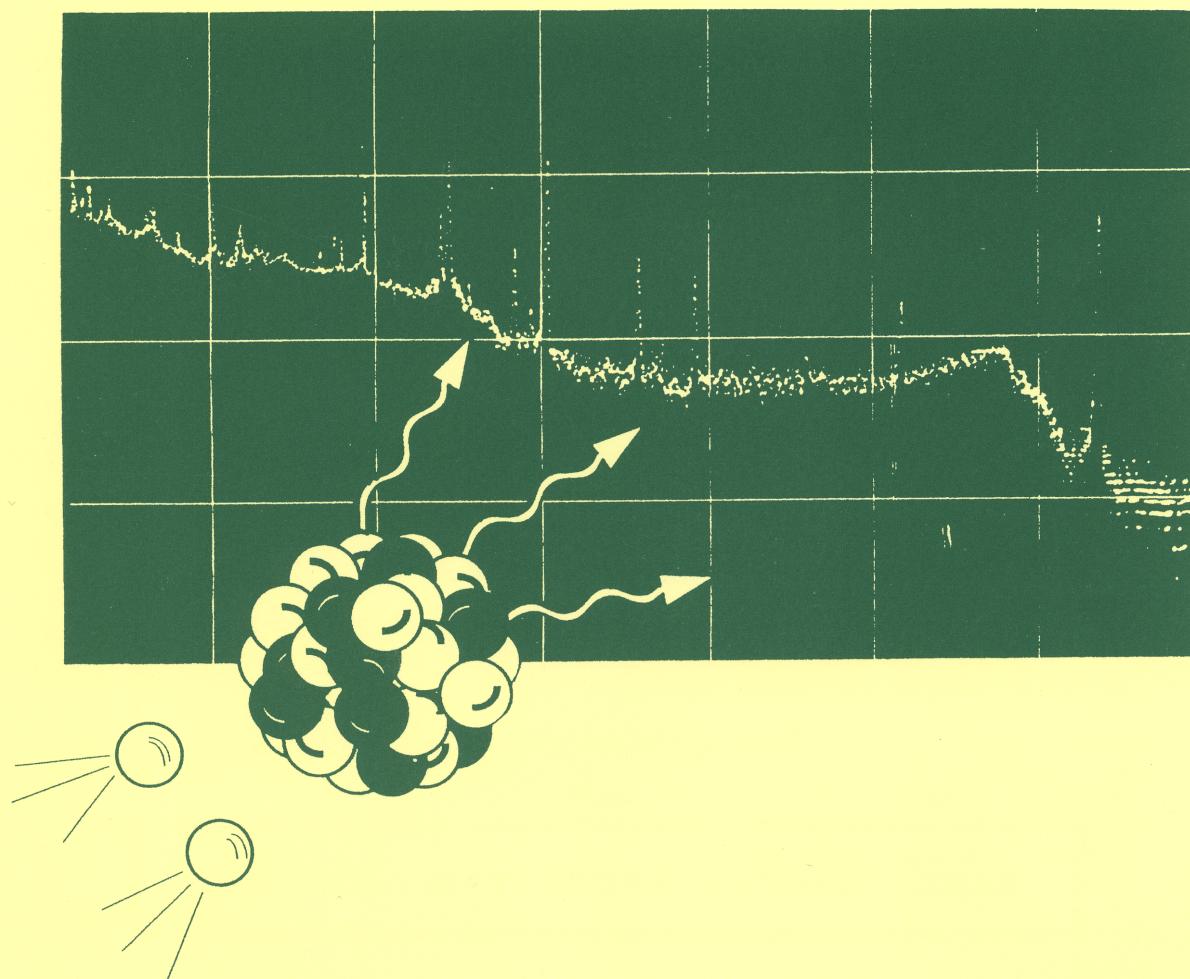


2013 年 8 月

# 放射化分析

No. 29



放射化分析研究会

# 放射化分析研究会

Japan Association of Activation Analysis

(JA<sup>3</sup>)

会誌

「Activation Analysis」

表紙図案は 岡田往子さん（東京都市大学工学部）によるものです。

# 放射化分析 No.29

## 目 次

### 特集 マレーシア原子力庁

Utilization of Neutron Activation Analysis facility at Malaysian Nuclear Agency	
M. S. Hamzah, S. A. Rahman, B. S. Wee, Md S. Elias	
N. A. A. Salim, A. Hashim and S. Shukor	2
Assessment of Elemental Pollution in Marine Sediment from Talang-Satang and Bako	
National Park of Sarawak, Malaysia	
Md S. Elias, M. S. Hamzah, Ab K. Wood, A. Hashim	
S. Ab Rahman, B. S. Wee and N. A. A. Salim	11
Selenium in human nails: a preliminary study using INAA	
B. S. Wee, M. F. A. Rahman, M. S. Hamzah	25
Elemental Determination and Source Apportionment of Road Dust in Klang Valley,	
Kuala Lumpur	
S. A. Rahman, M. S. Hamzah, Md S. Elias, B. S. Wee, N. A. A. Salim, E. Sanuri	29

### 研究紹介

#### 平成 23 年度京都大学原子炉実験所専門研究会

Applications of INAA and IPAA to cosmochemical materials	
N. Shirai, S. Sekimoto, S. Ohtsuka and M. Ebihara	45
$k_0$ -NAA による大気環境試料分析での KUR と JRR-3 の比較	
宮田 賢, 松本洋平, 高宮幸一, 奥村良	48
放射化分析による熱水性鉱石中のレアメタル存在度の解明	
石橋純一郎, 大城光洋, 山中寿朗, 古澤祉子	
野口拓郎, 高宮幸一, 奥村良	53

### 化粧品の分析

古田悦子	54
Neutron Activation Analysis and its Application in Malaysian Nuclear Agency	
Boon Siong Wee	55

多重即発ガンマ線分析(MPGA)による堆積物中のホウ素含有量の測定と古汽水性の復元

(予報)

豊田和弘, 藤 暢輔, 古高和禎, 原田秀郎, 米延仁志 64

平成 24 年度京都大学原子炉実験所専門研究会

放射化分析による多発地 ALS の毛髪中元素濃度定量-第 2 報-

紀平為子, 櫻井威織, 吉田宗平, 若山育郎, 高宮幸一, 中野幸廣 69

奥村良, 和田幸子, 岩井恵子, 岡本和士, 小久保康昌, 葛原茂樹

山林地域の土壤の酸中和能に対する植生の影響

陳品彧, 小豆川勝見, 松尾基之 72

京大原子炉の現況 & その他 関本 俊 77

FNCA の現況 松尾基之 81

国内外における放射性ストロンチウムの定量法 小豆川勝見 86

研究会報告

平成 23 年度京都大学原子炉実験所専門研究会

京都大学原子炉実験所専門研究会に出席して 白井直樹 92

開催報告 関本 俊 92

MARC IX 藤井俊行, 福谷 哲, 瀬田卓見, 関本 俊 94

NRC-8 宮本ユタカ 102

平成 24 年度京都大学原子炉実験所専門研究会 関本 俊 110

平成 23 年度博士論文抄録

Elemental Analysis of Primitive Carbonaceous Chondrites by Neutron-induced Single and Multiple Prompt Gamma-ray Analysis Techniques and its Cosmochemical Significance

Mohammad Amirul Islam 113

平成 23 年度修士論文抄録

ユレイライト隕石の元素組成に関する研究 熊谷和也 115

底質中元素の濃度と化学状態を指標とした貧酸素水塊の経年評価 起 孝志 117

平成 23 年度卒業論文抄録

放射化分析によるユーグライトの化学組成の解明 大塚紗恵 119

平成 24 年度博士論文抄録

化学組成から見た始原的エンドライト母天体における部分溶融過程 日高義浩 120

平成 24 年度修士論文抄録

山林地域の土壤の酸中和能に対する植生の影響	陳 品彧	126
平成 24 年度卒業論文抄録		
$k_0$ 標準化中性子放射化分析法の京大原子炉への適用と $k_0$ -IAEA ソフトウェアの評価	田中 景	128
鉄隕石中の極微量 Mn の中性子放射化分析-京大原子炉での試み-	田中義久	129
 施設便り		
日本原子力研究開発機構原子力科学研究所		130
東京大学大学院工学系研究科原子力専攻共同利用管理本部		131
京都大学原子炉実験所		131
東北大学電子光理学研究センター		134
 事務局より		
2010 年度第 2 回放射化分析研究会拡大幹事会議事メモ		137
2010 年度放射化分析研究会総会報告		138
2011 年度放射化分析研究会臨時(拡大)幹事会議事メモ		140
2012 放射化学会年会・第 56 回放射化学討論会放射化分析分科会議事録		141
2012 年度第 2 回放射化分析研究会拡大幹事会議事録		143
 カレンダー		145
 編集後記		
 広告		

# 特 集

Malaysian Nuclear Agency

海外放射化分析事情の第3回目はマレーシアです。ゲストエディターとしてマレーシア原子力庁分析化学応用グループ長の Dr. Mohd Suhaimi Hamzah にご協力いただきました。

本特集は下記4論文からなります。

1. Utilization of Neutron Activation Analysis Facility at Malaysian Nuclear Agency.  
Mohd Suhaimi Hamzah et al.
2. Assessment of Elemental Pollution in Marine Sediment from Talang-Satang and Bako National Park of Sarawak, Malaysia.  
Md Suhaimi Elias et al.
3. Selenium in human nails: a preliminary study using INAA.  
Boon Siong Wee et al.
4. Elemental Determination and Source Apportionment of Road Dust in Klang Valley, Kuala Lumpur.  
Shamsiah A. Rahman et al.

# Utilization of Neutron Activation Analysis facility at Malaysian Nuclear Agency

Mohd Suhaimi Hamzah, Shamsiah Abdul Rahman, Wee Boon Siong, Md Suhaimi Elias,  
Nazaratul Ashifa Abdullah Salim, Azian Hashim and Shakirah Shukor

*Malaysian Nuclear Agency,  
Bangi, 43000 Kajang, Selangor,  
Malaysia*

## Abstract

Neutron activation analysis (NAA) system has been established in Malaysian Nuclear Agency in 1983. The technique has been used for research, training and commercial service. It has become a major analytical technique in this research center and been applied for research in the fields of environment, geology, archaeology and agriculture. The NAA facility was also used by several universities for training and research. Common customers for commercial service were from regulatory body and industries dealing with mineral trading and processing. Their interest was normally for the determination of uranium and thorium in mineral and mineral products.

## Introduction

Neutron activation analysis (NAA) activity has been started in Malaysian Nuclear Agency (Nuclear Malaysia) since 1983 with the establishment of the NAA laboratory, not long after the installation of the only nuclear research reactor in Malaysia, PUSPATI TRIGA MK II reactor in 1982. The NAA system was set up as part of the reactor utilization program to provide elemental analysis needs for the research and training activities in this research center as well as for other potential users in the country. Since then, the NAA has become a major analytical tool besides other analytical instruments employed in this research center. It has been used as a reference analytical technique for elemental analysis, owing to its better accuracy compared to other analytical techniques.

The other important features of NAA technique are its high sensitivity, non-destructive in nature and multi-element capability. It is capable of analyzing up to 30 elements simultaneously in a single sample non-destructively. The technique has been very useful for the determination of uranium, thorium, gold, platinum group metals, rare earths and some other trace elements in various types of samples.

## NAA facilities and operational system

Neutron source for the NAA work in this country is provided by the Nuclear Malaysia TRIGA Mark II reactor [1]. It is a pool type reactor with maximum thermal power of 1 MW and generated by 8.5-20% enriched uranium fuel. The reactor is managed and operated by the Operation and Maintenance Section of the Nuclear Power Division. During operational season, it is normally operated for 4 days per week and about 6 hours per day with operating power normally between 500-750 KW. There are several irradiation compartments available in the reactor for sample irradiation, such as, the rotary rack, pneumatic transfer system and central thimble. Vertical cross section of the reactor indicating sample irradiation positions is given in Figure 1.

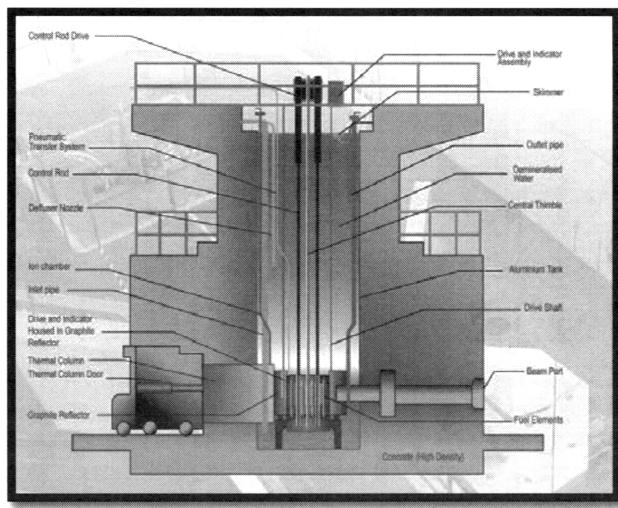


Figure 1: Vertical cross-section of PUSPATI TRIGA Reactor

The rotary rack, also known as Lazy Susan can accommodate up to 40 sample containers at different positions. During sample irradiation, the facility may be rotated around the core, thus minimizing differences of neutron flux received by samples loaded in different position. The rotary rack is normally used for long irradiation of samples - up to 6 hours per day. The average thermal neutron flux in this irradiation facility is about  $2.0 \times 10^{12} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$ .

The pneumatic transfer system (PTS) is a facility for transferring a sample from the pneumatic port into the irradiation compartment in the reactor and ejecting back the sample after irradiation by a pneumatic mechanism. It is an automatic system where a timer can be preset for a selected irradiation period, normally not more than 5 minutes. The thermal neutron flux in the PTS irradiation compartment is about  $5.0 \times 10^{12} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$ .

Central thimble is an irradiation facility located in the core, but seldom used for NAA work as the irradiation compartment is in contact with water coolant. Sample needs to be loaded into a water tight irradiation tube, normally made of aluminum. The neutron thermal flux in this facility is about  $1.0 \times 10^{13} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$ .

In Nuclear Malaysia, the NAA activity is normally performed by staffs of the Analytical Chemistry Application (ACA) group under the Division of Waste and Environmental Technology. The group employs seven gamma spectrometers consisting of HpGe detectors with various efficiencies ranging from 10-30% (Figure 2). One of the gamma spectrometer was attached with an automatic sample changer, which can be operated for round a clock counting. Softwares used for gamma spectrum analysis are Genie 2000 and Gamma Vision supplied by Ortec and Canberra respectively.

Samples receive for NAA are either in raw or homogeneous forms. Raw samples may be subjected to drying, cutting, milling or pulverizing to make it fine and sufficiently homogeneous. Sample to be analyzed is transferred into a polyethylene vial and loaded into an irradiation tube for irradiation. Irradiation tubes and sample containers used were made of high density polyethylene (Figure 3).

In routine NAA work, comparative method was used for quantitative analysis, in which suitable standards and reference materials were measured together with samples and blanks under a similar condition. Neutron flux monitors were used to correct for the variation of neutron flux experienced by the samples and standards during the irradiation process. Routine procedure of NAA method employed by the group has been described elsewhere [2] and is given in the Table 1. The laboratory has satisfactory number of reference materials ranging from biological, environmental and geological materials obtained from established agencies for quality control purposes (Figure 4).

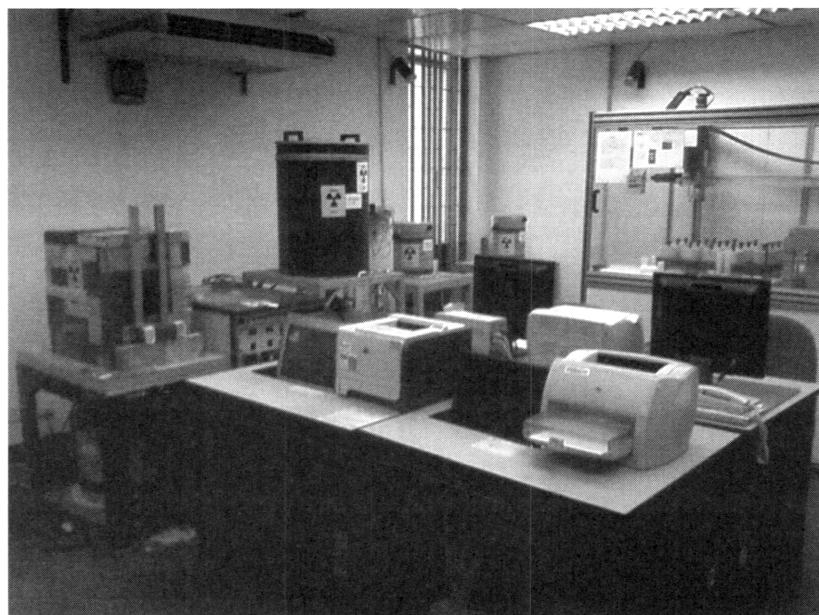


Figure 2: Nuclear Malaysia counting facility for NAA

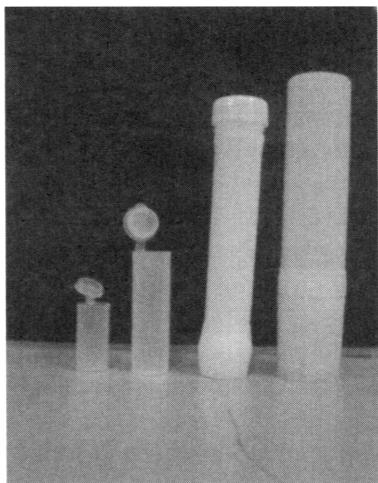


Figure 3: Sample containers and irradiation tubes

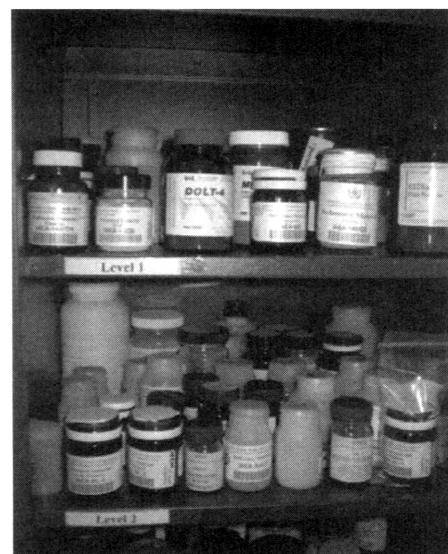


Figure 4: Certified reference materials

Table 1: Procedure for NAA routine analysis at Nuclear Malaysia

Procedure	Elements	Nuclides	Half-life	$\gamma$ -ray Energies (keV)
1. Irradiation: 1-5 min (Short irradiation) Cooling: 10-20 min Counting: 5 min	Al V Ti Ca Mg Br I Cl Dy Mn	<sup>28</sup> Al <sup>52</sup> V <sup>51</sup> Ti <sup>49</sup> Ca <sup>27</sup> Mg <sup>80</sup> Br <sup>128</sup> I <sup>38</sup> Cl <sup>165</sup> Dy <sup>56</sup> Mn	2.32 min 3.75 " " 5.79 " " 8.80 " " 9.46 " " 17.60 " " 25.00 " " 37.32 " " 2.32 " " 2.58 " "	1779 1434 320 3083 1014 617 443 2168 95 847, 1811
Cooling: 24 hours Counting: 1200s – 3600s	K Ga Na	<sup>42</sup> K <sup>75</sup> Ga <sup>24</sup> Na	12.40 hour 14.10 " " 15.00 " "	1525 834 1368, 2754
2. Irradiation: 6-12 hours (Long irradiation) Cooling: 4 - 7 days Counting: 3600 – 7200s	W As Br La Sm U Au Sb Yb Lu Nd Ba Rb Th Cr Yb Ce Hf Fe Sb Zr Tb Sc Ta Zn Cs Co Eu	<sup>187</sup> W <sup>75</sup> As <sup>82</sup> Br <sup>140</sup> La <sup>153</sup> Sm <sup>239</sup> Np <sup>198</sup> Au <sup>122</sup> Sb <sup>175</sup> Yb <sup>177</sup> Lu <sup>147</sup> Nd <sup>131</sup> Ba <sup>86</sup> Rb <sup>233</sup> Pa <sup>51</sup> Cr <sup>169</sup> Yb <sup>141</sup> Ce <sup>181</sup> Hf <sup>59</sup> Fe <sup>124</sup> Sb <sup>95</sup> Zr <sup>160</sup> Tb <sup>46</sup> Sc <sup>182</sup> Ta <sup>65</sup> Zn <sup>134</sup> Cs <sup>60</sup> Co <sup>152</sup> Eu	24.00 hour 26.40 " " 32.40 " " 40.20 " " 46.80 " " 2.35 days 2.70 " " 2.70 " " 4.20 " " 6.70 " " 11.10 days 12.00 " " 18.70 " " 27.00 " " 27.80 " " 32.00 " " 32.50 " " 42.50 " " 45.10 " " 60.90 " " 65.50 " " 72.10 " " 83.80 " " 115.00 " " 244.00 " " 2.05 years 5.25 " " 12.70 " "	686 559 555,776 1596 103 228,278 412 564 396 208 531 496 1077 312 320 177,198 145 482 1099,1293 603 757 879 889 1121 1221 1116 1173,1332 122,1808

### Utilization of NAA facility

The NAA system in Nuclear Malaysia has been used by research communities, environmental consultants, regulators and users from various institutions and private companies in the country. Main uses of the NAA technique for research were in the field of environment, geology, archaeology and

agriculture. Utilization of NAA from university researchers and postgraduate students were quite good. However, the activity seems to be decreased in recent years, mainly due to lack of funds. Users from industrial sector also played significant role in NAA utilization. This industrial application was generally related to regulatory requirements. Number of samples analyzed by the NAA technique was about 670 and 530 in 2010 and 2011 respectively. Ratios of NAA application for different type of activities, namely for research, academic training and commercial service (from industry and regulatory body) in the last 2 years were about 45%, 20% and 35% respectively.

### **Research activities**

Scope of research carried out by the analytical application group (ACA) within the last 10 years were mostly on environment, such as on marine sediment pollution, trace and toxic elements in food and air particulate pollution [3,4,5]. The group also collaborates with other research groups or institutions in the country in carrying out research activities in other fields, including geology, archaeology, and agriculture. Main research activities carry out by the group were as follows:

#### **Marine sediment contamination project:**

The project was initiated in the early 90s through IAEA/RCA regional project program and continued until now. Since then, hundreds of sediment samples including grab and core samples have been collected from various locations around the peninsular (in the Straits of Malacca and the South China Sea) as well as to the southern and eastern coasts of Borneo. Analysis of samples for major and trace elements have been performed using NAA and ICP-MS techniques and the results were reported in local and international journals [4,6,7]. Assessment on pollution status was based on enrichment factor by comparing the elemental concentrations with those of crustal values as well as by comparison with data from other countries. Information on elemental data of grab and core samples were used to indicate the extent of contamination process according to areas and depths respectively. Those data can be correlated with the anthropogenic activities in the past. Organic compounds, especially PAH has also been analyzed in some samples using GCMS to provide information on the major sources of organic pollutants in certain areas [8]. A set of database on the chemical contents in the coastal sediment of Malaysian waters will be established for future references.

#### ***Research on Air particulate pollution:***

Research on this area has been started in late 90s with the aim of producing long term database on the airborne particulate (particle fractions of <2.5 and 2.5-10 microns) in Kuala Lumpur area in terms of their levels, chemical contents, sources and source apportionments. The project was also conducted under the IAEA/RCA regional research cooperative program. In this project, NAA has been used as complimentary technique to PIXE (at GNS, New Zealand under IAEA regional research unit mechanism) especially for the determination of some elements (Al, Cr, Mn, Ti and V) in particulate samples [9]. Fingerprint of major pollutant sources have been identified for soils, motor vehicles, smoke and industries [10,11].

#### ***Research in Geology:***

Earlier application of NAA has been used to study the distribution of gold in several geological materials including soils, rocks and river sediments [12]. The technique was also applied for the determination of gold in tree leaves collected in areas known to have gold anomalies [13]. Higher gold content was found in leave samples collected in the area with relatively high gold their soil compared to those collected in the areas with relatively low gold in their soils.

### *Research in archaeological aspect:*

NAA has been used to identify the chemical contents and fingerprints of old Chinese ceramics, ancient beads [14] and bricks from several old structures in the country [15]. Study on old Chinese ceramics was conducted under the IAEA contract research. NAA has been used to identify the chemical fingerprints of blue and white potteries from two shipwrecks known as 'Wanli' and 'Desaru' shipwrecks (as given by the Malaysian Department of Museum) which went missing in 1625 and 1830 respectively [16]. The study shows that elemental contents of the clay bodies of blue and white shard from both shipwrecks were very similar and matching with those of shards collected from Jingdezhen. NAA has also been used to identify major chemical components that were used in making and coloring glass beads found in Sungai Mas, Kedah, Malaysia. The bead production center in the area was believed to be operated in the 13<sup>th</sup> centuries. Study on bricks from different old structures shows that NAA technique could be used to differentiate the bricks of different origin.

### *Project on trace and toxic elements in food and environmental samples:*

NAA has been used for the determination of trace elements in foodstuffs, such as rice [17], tea and cigarette [18,19], and fish[20]. NAA has also been used for the determination of uranium and thorium in various types of food items consumed by local people. The results have been compiled as database that will be very useful for radiological assessment purposes. Currently, the ACA group is conducting a research project for the determination of mercury and other toxic metal contents in various marine fish species in Malaysia using several analytical techniques such as NAA and ICPMS.

### *Research collaboration and training activities with local universities:*

The NAA technique was regularly used by postgraduate students from local universities to carry out their research works leading for degree of masters (MSc) and doctor of philosophy (PhD). Some of the students spend full time in our laboratory for the NAA works and the rest only used the irradiation facility provided by Nuclear Malaysia then performed the measuring part using counting systems in their universities. NAA counting facility is available in the National University of Malaysia, Bangi, Technology University of Malaysian, Skudai and University of ITM, Shah Alam. Undergraduate students were also allowed to use the NAA and other facilities for short industrial training and final year dissertation project. Some of collaboration works with universities on marine pollution, air particulate pollution, lichens as biomonitor [21], geological materials [22], development analytical methods [23,24] and quality control aspect [25] have been reported in national and international journal. In the last 10 years, there have been more than 20 postgraduate have obtained their respective degrees and about 90 undergraduates have benefited from these training activities.

### **Analytical services**

The group also provides NAA service to outside users. They were mostly from the mineral processing and mineral trading companies as well as from environmental consultant companies. Their interests were more for the determination of uranium and thorium in raw minerals, mineral products and mineral processing waste e.g. slag and sludge. Information on radioactivity values for naturally occurring radioactive materials (NORM) including uranium and thorium in certain types of materials was mean for safety purposes and regulated and enforced by the Atomic Energy Licensing Board (AELB) of Malaysia. Common materials analyzed under the commercial service were ilmenite, monazite, soil, vegetation, zircon and tin slag. The demands for this activity were quite consistent in the

last 10 years.

The NAA technique was also used for the analysis of medical rubber glove products for total chlorine compounds. Chlorine compounds have been used in glove manufacturing during chlorination process in order to reduce surface friction, thus make it smooth and donned easily [26]. Information on chlorine level in rubber glove products helps manufactures established their chlorination and washing processes for producing internationally acceptable powdered free gloves.

## Future activities

The role of NAA technique in the future for research, training and regulatory work is still very important. On top of that it is very much depending on the availability of the neutron source in the country which is getting depleted. The reactor is ageing and operational time getting decreased in the last 5 years due to breakdowns and maintenance activity. In term of application, the technique is still relevant for many research and development activities, especially for the determination of highly sensitive elements and analysis of hardly digested materials. For example, certain instrumental methods like AAS and ICPMS have more serious interference and some materials like zircon and slag are very difficult to digest which could leads to lower values under AAS and ICPMS measurements. In such case, NAA could be used as a reference technique for developing and establishing of reliable wet methods. New role of the NAA technique in Nuclear Malaysia could be related to the research for supporting the development of nuclear power program, such in developing nuclear grade materials and establishing environmental database for nuclear power candidate sites.

## Conclusion

There is no doubt that in the next 10 years the NAA technique will still be maintained along with other analytical techniques in Nuclear Malaysia and several universities in the country. The technique will continue to be applied in various research fields and for regulatory work. The role as a recognized technique for uranium and thorium determination is very important task for future activity. In fact, there is no other analytical technique available in the country which can measure these elements accurately from sub-ppm to percentage levels. In Nuclear Malaysia, we were very fortunate to have a complete NAA facility, especially the reactor. It is hoped that with proper maintenance, our current reactor could still be operated and providing neutron source for NAA activity for another 10 years. But beyond that, NAA activity in the country is uncertain, since there is no new research reactor in plan.

## References

1. Safety Analysis Report for PUSPATI TRIGA Reactor, Report number Malaysian Nuclear Agency: MINT/L/2006/42 (s), Malaysian Nuclear Agency, 2007.
2. Mohd Suhami Hamzah, Abd Khalik Wood, Zaini Hamzah and Che Seman Mahmood, *'Beberapa Aspek Penggunaan Teknik Analisis Pengaktifan Neutron dalam Kajian Geologi'*, Bulletin of the Geological Society of Malaysia, no. 24, October 1989(in Malay).
3. A. M. Yusof, S. K. Gill, S. Salleh, S Akyl, S. Hamzah, S. A. Rahman and A.K. H. Wood, *'The Use of Neutron Activation Analysis in Environmental Pollution Studies'*, JAERI -conf 2001.
4. A. K. H. Wood, Z Ahmad, N. A. M. Shazili, R. Yaakob, R Carpenter, Continental Shelf Research, vol. 7, no. 10, 1997, 1207-1228

5. Mohd Suhaimi Hamzah, Shamsiah Abdul Rahman and Abdul Khalik Wood, 'Mass and Elemental Concentration of Airborne Particles at Kuala Lumpur Site over the Past Six Years, Journal of Nucl. and Rel Tech., vol.5, December 2008, 27-34.
6. Md Suhaimi Bin Elias, Ab. Khalik Bin Wood, Awad Ahmad Al-Zahrany, Elias Saion and Mohd. Suhaimi Bin Hamzah. Trend in elemental pollution in sediments of the Straits of Malacca studied by NAA and ICP-MS. Conference on Research Reactor Utilization. 27-28 Jun 2007.
7. Elias M S, Hamzah M S, Abdul Rahman, S, Siong W and Salim N A A, 2011, 'Assessment of Sediment Quality Collected from Tunku Abdul Rahman Park, Sabah', paper presented at UMT 10<sup>th</sup> International Annual Symposium 2011
8. Md Suhaimi Elias, Ab. Khalik Wood, Zaleha Hashim, Wee Boon Siong, Mohd Suhaimi Hamzah, Shamsiah Abd. Rahman, Nazaratul Ashifa Abdullah Salim and Ariffin Talib (2007). Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) Contamination in the Sediments of East Coast Peninsular Malaysia. The Malays. J. Anal. Sci. Vol. 11. No.1 pg 70-75, 2007
9. M. Ebihara, Y. S. Chung, H. M. Moon, B. F. Ni, T. Otoshi, Y. Oura, F. L. Santos, F. Sasajima, Sutisna, B. S. Wee, W. Wimilwattanapun and A K. Wood, 'Application of NAA to Air Particulate Matter Collected at 13 sampling sites in eight Asian Countries: A collaborative study, Journal of Radioanal. And Nucl. Chem., vol. 278, no.2, 2008, 463-467.
10. Shamsiah A. R. Mohd Suhaimi H., Abdul Khalik, Md Suhaimi E, Nazaratul Ashifa A. S. and Eswiza S. 2011, 'Sources apportionment of Fine and Coarse aerosol in Klang Valley, Kuala Lumpur using Positive Matrix factorization, Atmospheric Pollution Research 2, 197-206
11. S.A. Rahman, Hamzah M.S., A.K. Wood, and Elias M. D.; Salim N.A.A. and Sanuri E., 2009, 'Chemical composition and source Apportionment of Aerosol over the Klang Valley, J. Sains Nuklear Malaysia, vol. 21, no. 1, 12-20.
12. Abdul Khalik Wood, Mohd Suhaimi Hamzah and Che Seman Mahmood, 'Analysis of gold in soil, rock and river sediments by Neutron Activation Analysis Technique, Jurnal Sains Nuklear Malaysia, vol. 4(2), 1986.
13. Mohd Suhaimi Hamzah, Che Seman Mahmood, Abdul Khalik Wood and Wan Fuad Hassan, 'A Survey on the Biogeochemical Anomaly at Several Areas in the District of Marang Terengganu', Jurnal Sains Nuklear Malaysia, vol. 12(1), Jun 1994, 253-260 (in Malay).
14. S.A. Rahman, M. S. Hamzah, A. K.Wood, M. S. Elias, K. Zakaria, Neutron Activation Analysis of Ancient Glass Beads from Sungai Mas Archeological Site, Bujang Valley, Malaysia. J. of Radioanal. and Nuc. Chem. Vol. 278, No.2 (2008) 271-276
15. Hamzah M.S., S.A. Rahman, A.K. Wood, and Elias M. D.; Salim N.A.A., 2009, 'Characterization of Clay Bricks from Structures of Historical Sites using Neutron Activation Analysis and Statistical Methods, J. Sains Nuklear Malaysia, vol. 21, No.1, 41-48

16. Roxanna Brown and Sten Sjostrand, Maritime Archaeology and Shipwreck ceramics in Malaysia, Department of Museums & Antiquities and Nanhai Marine Archaeology Sdn. Bhd., Pustaka Chipta Sdn. Bhd. Kuala Lumpur, Malaysia.
17. Nazaratul Ashifa Abdullah Salim, Md Suhaimi Elias, Abdul Khalik Wood, Eswiza Sanuri, Mohd Suhaimi Hamzah and Shamsiah Abdul Rahman, '*Multielemental analysis in Rice grain by Instrumental Neutron Activation Analysis*' Journal of Nuclear and Related Technologies, vol. 7, no.2, December 2010, 6-11.
18. Noordin Ibrahim, Che Seman Mahmood and Suhaimi Hamzah, '*Neutron Activation Analysis of cigarette ash*', Malaysian J. Sci. vol.9, 1987, 91-96
19. Noordin Ibrahim, Che Seman Mahmood and Suhaimi Hamzah, '*INAA Method in Determining Trace Elements in Malaysian Cigarette Tobacco*', J. Fiz. Mal., vol. 9, 1988, 71-74
20. S. A. Rahman, A. K. Wood, S. Sarmani and A. A. Majid, *Determination of mercury and organic mercury contents in Malaysian seafood*, Journal of Radioanal. And Nucl. Chem., vol. 217, no.1, 1997, 53-56
21. Mazlin, M., Laily D., Ahmad Zaharin A., Queck C. H., Abdul Khalik W., Suhaimi H., Shamsiah A. R. and Endin Put E., 2010, Determination of Trace Metals in Lichens under Different Ecological Conditions in Malaysia – Urban Proximity and Pristine Environment, Fresenius Environ. Bull., Vol 19, No. 7, 1265-1274.
22. Wan Fuad Hassan and Mohd Suhaimi Hamzah, '*Rare Earth Patterns in Some Granitic Rocks of Peninsular Malaysia*', GEOSEA 98, proceedings Geol. Soc. Malaysia Bull. 1999.
23. A.M. Yusof, M.M. Rahman, A.K.H.Wood, S.Hamzah and A. Shamsiah. *Development of a Method for the Speciation of Mercury in Environmental Sample Analysis*. The 12th International
24. Alias Mohd Yusof, Nazaratul Ashifa Abdullah Salim, Abdul Khalik Wood, Md Suhaimi Elias, Mohd Suhaimi Hamzah, Shamsiah Abd. Rahman, '*Speciation of Arsenic and Selenium in Lake Sediment*', The 12th International Conference on Modern Trends in Activation Analysis (MTAA-12). 16 – 21 September 2007, Tokyo, Japan. Conference on Modern Trends in Activation Analysis (MTAA-12). 16 – 21 September 2007, Tokyo, Japan.
25. Wee Boon Siong, Abdul Khalik Hj. Wood, Mohd. Suhaimi Hamzah, Shamsiah Abdul Rahman, Md. Suhaimi Elias, and Nazaratul Ashifa Abd. Salim (2007). *Certified Reference Materials for Analytical Quality Control in Neutron Activation Analysis*. The Malays. J. Anal.Sci. Vol.11. No.1 pg.17-22, 2007
26. Ong Eng Long, '*Recent Advances In the Malaysia's Glove Industry In Meeting Today's Healthcare Challenges*', paper presented at the Latex 2001 Conference, 4-5 Dec 2001, Munich, Germany.

# Assessment of Elemental Pollution in Marine Sediment from Talang-Satang and Bako National Park of Sarawak, Malaysia

Md Suhaimi Elias, Mohd Suhaimi Hamzah, Ab Khalik Wood, Azian Hashim, Shamsiah Ab Rahman, Wee Boon Siong and Nazaratul Ashifa Abdullah Salim

*Analytical Chemistry Application Group, Waste and Environmental Technology Division, Malaysian Nuclear Agency, Bangi, 43000 Kajang, Selangor, Malaysia*

## Abstract

The assessments of elemental pollution in sediment collected from national park of Sarawak were done based on their distribution pattern, geoaccumulation index and enrichment factor. The enrichment factors (EF) were determined by the elemental rationing method, whilst the geoaccumulation index ( $I_{geo}$ ) by comparing of current concentration to background concentration of metals. The elements were analyzed by using Instrumental Neutron Activation Analysis (INAA). The results of enrichment factor show that Talang-Satang and Bako National Park have significant contaminated by toxic elements such as As, Cr, Sb, Ti and U. Base on the classification system proposed for sediment quality with referring to  $I_{geo}$ , the sediment quality of the Talang-Satang and Bako National Park for Arsenic (As) contamination can be categorized as moderate to extremely contaminated. Contamination of element such as Cr, Sb and Ti can be categorized as uncontaminated to moderate contaminated, and U can be categorized as uncontaminated to moderate and strong contaminated. The average concentration of As in sediment of Bako shown surpassed sediment quality guideline (probable effect concentration - PEC) value, whilst Cr concentration in sediment of Talang-Satang shown above midpoint effect concentration (MEC). This indicating, the sediment of Bako and Talang-Satang could have a potential for producing chronic effect to the marine biota or benthic organism.

**Keywords:** geoaccumulation, enrichment factor, sediment, Sarawak national park.

## INTRODUCTION

Domestic and industrial waste, land reclamation, seabed dragging, agriculture-base, recreation, mining, fish culture, oil drilling, shipping accident, oil spill and atmospheric runoff are main sources of pollution. Sediment can be used as one of indicator to identify the sources, distribution and accumulation of elemental pollution. Accumulation of elemental pollution in sediment can give an adverse affect to the benthic organism especially to the micro-invertebrate species and other organisms (e.g., egg and larval stage of fish) that spend all or part of their life cycle associated either within (infaunal) or on (epibentic) the bottom sediment. Most of micro-invertebrate becomes part of diet to the other aquatic animals. Knowledge about the level of elemental pollution in sediment could give an adverse effect to the organism are still limited. However, a few guideline had been publish by Wisconsin Department of Natural Resources, USA can be used as a guidance to identify permissible limit of elemental pollution in sediment.

Talang-Satang National Park is the first national park in Sarawak to consist primarily of a marine area. It has been created for the primary purpose of marine turtle conservation. This national park includes four islands namely Satang Besar and Satang Kecil island (9,894 ha), Talang-Talang Besar and Talang-Talang Kecil island (9,520 ha). Bako National Park is Sarawak's oldest national park, covering an area of 2,727 hectares at the tip of the Muara Tebas peninsula. Bako National Park was gazetted as a protected area on 1 May 1957.

Talang-Satang National Park receive inputs of contaminant by discharge of plumes from three rivers (Sampadi, Rayu, Sibu) and Bako National Park received sediment contamination from Tabo, Buntal and Sarawak rivers. Metals are mainly associated with particulate and colloidal matter, which precipitate and deposit once they reach the marine environments. Metal accumulation in marine sediment may reflect a diversity of

natural processes such as erosion, early diagenesis and anthropogenic influences [1]. Distributions of the metals are influence by sediment texture and physical transport [2,3]. The input of natural and anthropogenic metals has consequences for their natural biochemical cycles, temporal and spatial distribution patterns and ultimately, their bioavailability to organisms [1]. The objectives of this study are to; 1) assess the marine elemental pollutions in sediment along Talang-Satang and Bako National Park by using enrichment factor (EF) and geoaccumulation index ( $I_{geo}$ ) to identify the level of pollution and 2) to assess the sediment quality by comparing with consensus-base sediment quality guideline.

### **Enrichment factors**

Enrichment factors (EF) can be used to estimate the anthropogenic impact on sediment is to calculate the normalized enrichment factor (EF) for metal concentrations above uncontaminated background level [4,5]. For this work, the samples analyzed were grab sediments, which represent recent deposits. By using the upper continental crust as reference [6], the enrichment factors for the sediments from Sarawak national park are estimated following the equation (1):

$$EF = \frac{(M / R)_{measure}}{(M / R)_{UCC}} \quad \text{----- Equation (1)}$$

where M is the element of interest, R is the reference element,  $(M/R)_{measure}$  is the elemental ratio found in sample, and  $(M/R)_{UCC}$  is the elemental ratio in the upper continental crust.

The EF method normalizes the measured metal content with respect to a sample reference metal such as Iron (Fe), Aluminum (Al), Scandium (Sc), Cobalt (Co), and Lithium (Li). Most of the studies applied and used Al and/or Fe for normalization as an alternative to study a marine contamination [7-13]. However, other element was applied to determine marine contamination. Stewart (1989) applied Manganese (Mn) for EF calculations to study marine sediment near Christchuch [14]. Matthai and Brich (2001) introduced the use of cobalt (Co) as a normalizing element for determination of anthropogenic pollution source in the marine off Sydney, Australia [15]. Yusof and Wood (1993) applied Scandium (Sc) to study the marine contamination of coastal sediment from Johor, Malaysia [16].

### **Geoaccumulation Index ( $I_{geo}$ )**

A common approach to estimate the enrichment of metal concentration above background or baseline concentration is to calculate the geoaccumulation index ( $I_{geo}$ ) as proposed by Muller (1969) [17]. The method assesses the degree of metal pollution in term of seven enrichment classes based on the increasing numerical values of the index. This index calculated based on equation (2).

$$I_{geo} = \log_2 \left( \frac{C_n}{1.5 \cdot B_n} \right) \quad \text{----- Equation (2)}$$

Where  $C_n$  is the concentration of the element in the enriched samples and the  $B_n$  is the background value of the element. The factor 1.5 is introduced to minimize the effect of possible variations in the background values, which may attribute to lithologic variations in the sediment [14, 18]. The descriptive classes for identifying sediment quality base on geoaccumulation index ( $I_{geo}$ ) values as shown in Table 1.

Table 1: Geo-accumulation values and classes for classification of sediment quality.

$I_{geo}$ values	$I_{geo}$ class	Sediment Quality
> 5	6	Extremely contaminated
4 – 5	5	Strongly and extremely contaminated
3 – 4	4	Strongly contaminated
2 – 3	3	Moderately and strongly contaminated
1 – 2	2	Moderately contaminated
0 – 1	1	Uncontaminated to moderately contaminated
< 0	0	Uncontaminated

## METHODOLOGY

### Sampling location

Twelve and six locations were selected along Talang-Satang and Bako National Park of Sarawak, respectively. Sediment samples were collected using Ponar grab sampler and then samples were transferred by using plastic spatula into polyethylene bottles. Sediment samples were dry at 60°C in oven for at least two week or until constant weight and ground by using agate mortar to get homogenizes powdered form of approximately less than 200-mesh size ( $\pm 75\mu\text{m}$ ). The Talang-Satang and Bako National Park location coordinates and map is shown in Figure 1 and Table 2, respectively.

Table 2: Station and coordinate of Talang-Satang and Bako National Park

Station		Latitude	Longitude	Water depth (m)
Talang-Satang National Park	PT01	01° 52.359' N	109° 47.235' E	9.7
	PT02	01° 53.698' N	109° 47.942' E	12.2
	PT03	01° 54.958' N	109° 48.579' E	15.5
	PT04	01° 56.153' N	109° 46.473' E	12.8
	PT05	01° 55.536' N	109° 44.977' E	11.0
	PT06	01° 53.259' N	109° 43.984' E	9.7
	PS01	01° 44.474' N	110° 10.760' E	5.4
	PS02	01° 45.777' N	110° 12.025' E	10.0
	PS03	01° 47.859' N	110° 11.412' E	11.7
	PS04	01° 48.217' N	110° 10.076' E	12.7
	PS05	01° 47.784' N	110° 08.456' E	11.2
	PS06	01° 44.820' N	110° 08.904' E	7.3
Bako National Park	BA01	01° 41.802' N	110° 25.405' E	4.6
	BA02	01° 43.364' N	110° 25.771' E	2.7
	BA03	01° 44.130' N	110° 26.730' E	4.6
	BA04	01° 44.568' N	110° 27.915' E	6.4
	BA05	01° 45.257' N	110° 29.546' E	9.7
	BA06	01° 45.181' N	110° 30.420' E	11.6

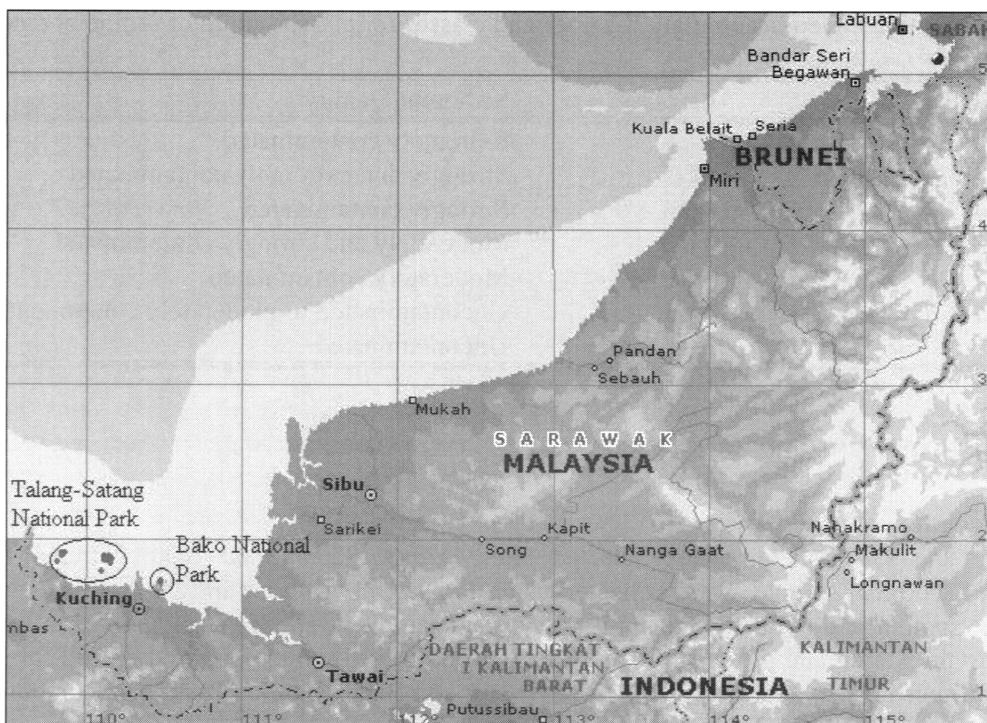


Figure 1: Map showing Talang-Satang and Bako National Park; Talang-Satang National Park consists of Talang-Talang Kecil, Talang-Talang Besar, Satang Kecil and Satang Besar Island.

### Sample Irradiation

Approximately 0.15 to 0.20 grams of powdered sediment samples were weighed using analytical balance. Samples were placed into small polyethylene vials and sealed with heating solder for the irradiation process. Analytical accuracy was obtained by using standard reference materials (SRM) IAEA Soil-7 and prepared standards solution consisting of a combination of solutions evaporated onto filter papers. The duplicate samples, standard solution and SRM were irradiated together in the 750kW PUSPATI TRIGA Mark II reactor at the Malaysian Nuclear Agency with a thermal flux of  $4.0 \times 10^{12} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$ . The irradiation process for shorter-lived radionuclide was performed for 1 minute by using pneumatic system and cooling time for 20 minutes followed by counting time 20 minutes.

Irradiation of up to 6 hours at the rotary rack for the longer-lived radionuclide was performed. The cooling times after long irradiation varied between 3 to 6 days for first counting, and 3 to 4 weeks for the second counting. Counting process of the irradiated samples, SRM and standard solution was performed for one hour each, by using coaxial hyperpure germanium detector. Computations of elemental concentrations were based on comparative method and data were reported in dry weight (d.w.).

## RESULTS AND DISCUSSIONS

### Elemental concentration

Concentration of 17 elements, minimum (min), maximum (max) and average values of sediments from Talang-Satang and Bako were shown in Table 3. Sediment of Bako (BA01-BA06) showed a higher average concentration value of Al, As, Eu, Mn, Sc, U, V and Zn compared with average concentration of respective elements from Talang-Satang (PT01-PT06, PS01- PS06) (Table 3). The comparisons of average concentration values of Bako and Talang-Satang National Park with upper continental crust values were shown in Table 3. The average elemental concentrations of As, Cr, Sb, Ti and U in sediment of Bako and Talang-Satang National Park shown a higher concentration compare to the upper continental crust, this shown an enrichment of elemental pollution in sediment of Bako and Talang-Satang National Park. The possibilities significant

contributions of elemental loading and presently observe in higher concentration of As, Cr, Sb, Ti and U accumulation in sediment of Bako and Talang-Satang National Park could be due to natural factors and man-made activities. Land runoff and erosion from ore-bearing rocks can be categorized as natural factors, while agriculture, domestic and industrial waste can be categorized as man-made activities [19]. Bako National Park received a direct discharge of pollution from Tabo and Buntal rivers and their location closed to the coastal area. Bako National Park also received significant amount of pollutants from agriculture, domestic and industrial waste from nearby Kuching town. The elemental concentrations in sediment of Talang-Satang National Park (island) are slightly lower compare to the Bako National Park due to influence of undercurrent and low and higher tide.

### **Sediment Guideline**

Six elemental concentration of As, Cr, Fe, Mn, Sb and Zn in Consensus-Based Sediment Quality Guidelines (SBSQG) [20], were compared with average concentration of Bako and Talang-Satang National Park (Table 3). Until now Malaysia has not establish the sediment quality guideline for marine and lake sediment. In countries with no local guidelines, the sediment quality guideline of SBSQG provides a useful tool to evaluate the toxicological potential of metals in sediments and to classify areas that may represent a risk for their biota or benthic organism in order to proposed better management practices.

The average concentration values of arsenic (As) (105.2 mg/kg) in Bako, surpassed the concentration of the probable effect concentration (PEC) of SBSQG (Table 3). This indicate that Bako sediment shown high concentration of As and it is vital to determine the existing and the potential source of pollution. This concentration probable could be give direct toxicology impact to the invertebrate or benthic organism. Chromium (Cr), Iron (Fe) and Manganese (Mn) in sediment of Bako shown a higher concentration compare to threshold effect concentration (TEC) values, whilst antimony (Sb) and zinc (Zn) concentration shown lowered concentration compared to TEC value. The Cr concentration (85.4 mg/kg) of Talang-Satang sediment shown surpassed the midpoint effect concentration (MEC) values (21.4 mg/kg). The As concentration of Talang-Satang sediment showed above the TEC values. However, other elements such as Fe, Mn, Sb and Zn shown lower TEC values. The concentration of As and Cr in sediment of Bako and Talang-Satang need to be monitor regularly and identification of sources of As and Cr pollution is necessity.

Table 3: Concentration of elements in sediment (mg/kg d.w.) collected from Talang-Satang and Bako National Park of Sarawak

Station	Elements																
	Al	As	Cr	Co	Eu	Fe	La	Mg	Mn	Sb	Sc	Sm	Th	Ti	U	V	Zn
PT01	15310	10.9	110.2	3.72	0.67	13560	28.2	12130	306	0.53	3.90	2.43	12.35	4588	3.45	37.2	29.4
PT02	15440	14.3	87.8	3.84	0.56	16110	16.2	9255	295	0.58	3.53	2.26	7.27	2818	2.78	33.7	28.7
PT03	15620	15.3	81.6	3.82	0.51	16990	14.8	12090	295	0.54	3.51	3.77	7.60	3094	3.25	31.2	23.0
PT04	13520	13.0	84.7	3.15	0.44	12180	13.7	10910	241	0.63	2.68	2.73	5.87	2568	2.50	43.5	19.5
PT05	13870	14.5	99.7	3.19	0.55	13310	19.7	9050	348	0.59	3.14	3.16	8.89	3093	3.21	32.6	23.5
PT06	13000	13.5	84.9	3.11	0.57	12790	17.6	6104	340	0.54	3.01	1.84	7.49	2818	3.07	28.0	21.4
PS01	27060	23.8	64.3	3.96	0.56	18040	19.1	8328	349	0.57	4.03	3.73	8.23	5660	2.26	44.2	31.1
PS02	26120	22.3	81.2	5.63	0.76	21470	22.6	6859	359	0.84	6.26	3.25	9.70	4167	2.64	46.8	42.7
PS03	18470	24.0	72.0	3.65	0.58	18440	20.0	5370	360	0.67	3.68	3.17	8.33	2333	2.13	42.5	26.0
PS04	20240	20.9	84.0	4.04	0.67	18820	21.5	5346	341	0.79	4.24	3.23	9.69	3767	3.05	36.8	31.7
PS05	21320	16.5	87.2	4.03	0.67	15820	23.9	5393	299	0.59	4.27	2.80	10.07	4694	2.95	39.3	29.9
PS06	21280	23.6	87.1	4.68	0.64	20730	23.0	5815	355	0.65	4.62	3.06	11.36	3377	2.93	43.1	33.1
Min	13000	10.9	64.3	3.11	0.44	12180	13.7	5346	241	0.53	2.68	1.84	5.87	2333	2.13	28.0	19.5
Max	27060	24.0	110.2	5.63	0.76	21470	28.2	12130	360	0.84	6.26	3.77	12.35	5660	3.45	46.8	42.7
Average	18437	17.7	85.4	3.90	0.60	16522	20.0	8054	324	0.63	3.90	2.95	8.90	3582	2.85	38.2	28.3

*Continued Table 3.*

BA01	34550	127.2	62.1	5.31	0.71	25050	17.2	11220	568	0.86	6.24	2.91	8.48	1458	17.62	62.9	38.7
BA02	23910	60.4	53.6	4.53	0.65	20520	16.5	7183	561	0.95	4.32	2.61	6.76	2161	2.76	55.7	27.4
BA03	26860	94.0	33.2	4.43	0.79	17710	19.8	7968	460	0.76	5.06	2.99	4.57	1878	6.74	52.4	28.5
BA04	33220	98.7	86.0	5.59	0.86	22580	23.8	8862	416	0.67	6.46	2.83	10.64	4744	10.29	63.1	37.6
BA05	27570	128.8	85.8	4.85	0.78	20470	24.1	9541	424	0.78	5.35	2.79	10.32	2773	11.76	61.2	35.4
BA06	37480	122.4	78.2	5.14	0.91	15980	25.8	7759	323	0.72	6.87	3.42	10.48	6266	13.21	37.5	36.9
Min	23910	60.4	33.2	4.43	0.65	15980	16.5	7183	323	0.67	4.32	2.61	4.57	1458	2.76	37.5	27.38
Max	37480	128.8	86.0	5.59	0.91	25050	25.8	11220	568	0.95	6.87	3.42	10.64	6266	17.62	63.1	38.69
Average	30598	105.2	66.5	4.98	0.78	20385	21.2	8755	459	0.79	5.71	2.92	8.54	3213	10.40	55.5	34.1
UCC <sup>a</sup>	77440	2.0	35.0	11.6	0.95	30890	32.3	13510	527	0.31	7.00	4.70	10.30	3117	2.50	53.0	52.0
TEC <sup>b</sup>	-	9.8	43.0	-	-	20000	-	-	460	2.00	-	-	-	-	-	-	120
MEC <sup>b</sup>	-	21.4	76.5	-	-	30000	-	-	780	13.50	-	-	-	-	-	-	290
PEC <sup>b</sup>	-	33.0	110.0	-	-	40000	-	-	1100	25.00	-	-	-	-	-	-	460

UCC = Upper Continental Crust

TEC = Threshold Effect Concentration;

MEC = Midpoint Effect Concentration;

PEC = Probable Effect Concentration.

<sup>a</sup> = Concentration values published by Wedepohl, 1995

<sup>b</sup> = Concentration values published in Consensus-Based Sediment Quality Guidelines (SBSQG) Recommendations for Use and Application  
Interim Guidance, Dec.2000

## **Enrichment factors**

Iron (Fe) was used for normalization study to determine the marine contamination of Talang-Satang and Bako national parks of Sarawak. The selection of Fe as a normalization element and used to be in the enrichment factor (EF) calculation due to Fe distribution was not related to other heavy metal [9]. Fe usually has a relatively high natural concentration [14], and therefore not expected to be substantially enriched from anthropogenic source in estuarine sediment [11].

The calculated EF values for selected elements of Talang-Satang and Bako National Park are shown in Table 4. EF values around 1.0 indicate that the element in the sediment is originated predominantly from lithogenous material, whereas EFs much greater than 1.0 indicating that the element is of anthropogenic origin [21]. Pekey (2006) classified the EFs for the element can be divided into three groups: Elements without enrichment ( $EF < 10$ ), elements with medium-level enrichment ( $10 < EF < 100$ ) and highly enriched elements ( $EF > 100$ ) [22]. Chen (2007) suggested that EF values as follow;  $EF < 1$  indicates no enrichment,  $EF < 3$  is minor enrichment,  $EF = 3$  to 5 is moderate enrichment,  $EF = 5$  to 10 is moderately severe enrichment,  $EF = 10$  to 25 is severe enrichment,  $EF = 25$  to 50 is very severe enrichment and  $EF > 50$  is extremely severe enrichment [23]. However, most popular implementation of the EF for indication and consider significant sediment contamination from anthropogenic, whereas the values of the EF higher than 2.0 [24-26]. EF values of elements of As (12.4 - 118.3), Cr (1.7 – 7.2), Sb (2.9 – 5.1), Ti (0.6 – 3.9) and U (1.4 – 10.2) from Talang-Satang and Bako national park indicating significant contamination originated from natural and/or anthropogenic sources. EF values of As show high values of more than 2.0 in all stations (Table 4). A possible source of As contamination is due to an upward migration of pore solution containing As element to the surface sediment (dogenesis process). The EF values of Bako national park area for As can be categorized as very severe enrichment to extremely enriched (45.5 – 118). The As contamination was expected to originate from inland activities and discharge every year by the Tabo River and also disperse over few kilometer along the Bako coast (within the study area). The EF values of Cr, Sb, Ti and U shown slightly higher, this also indicate significant sediment contamination of Talang-Satang and Bako National Park. The source of contamination could be from the erosion of granite rock and predominant feature of the terrain in this country [16]. The possibilities of Cr and Sb contaminations also expected by discharge of plumes from three rivers (Sibu, Sampadi and Rayu) and source of Ti contamination could be from anticorrosive paints applied on the boat and ships (Nobi et al., 2010). Source of uranium (U) contamination due to strong undercurrent could be responsible in bringing the U from bauxite-bearing rock into national park coastal area [16].

Table 4: Enrichment factor (EF) values for Talang-Satang and Bako National Park of Sarawak

Station	Al	As	Cr	Co	Eu	La	Mg	Mn	Sb	Sc	Sm	Th	Ti	U	V	Zn
PT01	0.5	12.4	7.2	0.7	1.6	1.9	2.0	1.3	3.9	1.3	1.2	2.7	3.3	3.1	1.6	1.3
PT02	0.4	13.8	4.8	0.6	1.1	1.0	1.3	1.1	3.6	1.0	0.9	1.3	1.7	2.1	1.2	1.1
PT03	0.4	14.0	4.2	0.6	1.0	0.8	1.6	1.0	3.1	0.9	1.5	1.3	1.8	2.4	1.1	0.8
PT04	0.4	16.5	6.1	0.7	1.2	1.1	2.1	1.2	5.1	1.0	1.5	1.4	2.1	2.5	2.1	0.9
PT05	0.4	16.9	6.6	0.6	1.4	1.4	1.6	1.5	4.4	1.0	1.6	2.0	2.3	3.0	1.4	1.1
PT06	0.4	16.3	5.9	0.7	1.5	1.3	1.1	1.6	4.2	1.0	0.9	1.8	2.2	3.0	1.3	1.0
PS01	0.6	20.4	3.2	0.6	1.0	1.0	1.1	1.1	3.2	0.9	1.4	1.4	3.1	1.5	1.4	1.0
PS02	0.5	16.0	3.3	0.7	1.2	1.0	0.7	0.9	3.9	1.3	1.0	1.3	1.9	1.5	1.3	1.2
PS03	0.4	20.1	3.4	0.5	1.0	1.0	0.7	1.1	3.6	0.9	1.1	1.3	1.2	1.4	1.3	0.8
PS04	0.4	17.1	3.9	0.6	1.2	1.1	0.7	1.1	4.2	1.0	1.1	1.5	2.0	2.0	1.1	1.0
PS05	0.5	16.1	4.9	0.7	1.4	1.4	0.8	1.1	3.7	1.2	1.2	1.9	2.9	2.3	1.4	1.1
PS06	0.4	17.6	3.7	0.6	1.0	1.1	0.6	1.0	3.1	1.0	0.9	1.6	1.6	1.7	1.2	0.9
BA01	0.6	78.4	2.2	0.6	0.9	0.7	1.0	1.3	3.4	1.1	0.8	1.0	0.6	8.7	1.5	0.9
BA02	0.5	45.5	2.3	0.6	1.0	0.8	0.8	1.6	4.6	0.9	0.8	1.0	1.0	1.7	1.6	0.8
BA03	0.6	82.0	1.7	0.7	1.4	1.1	1.0	1.5	4.3	1.3	1.1	0.8	1.0	4.7	1.7	1.0
BA04	0.6	67.5	3.4	0.7	1.2	1.0	0.9	1.1	2.9	1.3	0.8	1.4	2.1	5.6	1.6	1.0
BA05	0.5	97.2	3.7	0.6	1.2	1.1	1.1	1.2	3.8	1.2	0.9	1.5	1.3	7.1	1.7	1.0
BA06	0.9	118	4.3	0.9	1.9	1.5	1.1	1.2	4.5	1.9	1.4	2.0	3.9	10.2	1.4	1.4

### **Geoaccumulation index ( $I_{geo}$ ) values for Talang-Satang and Bako National Park.**

The  $I_{geo}$  values for the elements studied were calculated using Equation 2 as described by Muller (1969). The negative  $I_{geo}$  values are indicating that there are no significant contaminations or background level of element in sediments of Talang-Satang and Bako national park. Based on  $I_{geo}$  values indicating As, Cr, Sb Ti and U were shown significant increment of contamination (Table 5). The sediment quality of As was ranked from moderate contaminated to moderate and strongly contaminated of Talang-Satang and strong and extremely contaminated for Bako National Park. The  $I_{geo}$  class of As ranged 2 – 3 and 5 – 6 for Talang-Satang and Bako National Park, respectively. Based on  $I_{geo}$  classes, As contamination might be originated from land-based activities. Other elements such as Cr, Sb, Ti and U were rank from uncontaminated to moderately contaminated ( $I_{geo}$  class = 0 – 2 ) for Talang- Satang National Park. The sediment quality of U at Bako national park can be classified as uncontaminated to moderate and strongly contaminated ( $I_{geo}$  class = 0 – 3). Geoaccumulation index ( $I_{geo}$ ) values for all analyzed element in sediment of Talang-Satang and Bako national park were shown in Table 6.

**Table 5: Range of geoaccumulation values for As, Cr, Sb, Ti and U of Talang-Satang and Bako National Park.**

	Element	Values of geoaccumulation ( $I_{geo}$ )	$I_{geo}$ class	Sediment quality
Talang-Satang National Park	As	(1.9) – (3.0)	2 – 3	Moderately contaminated to moderately and strongly contaminated
	Cr	(0.3) – (1.1)	1 – 2	Uncontaminated to moderately contaminated
	Sb	(0.1) – (0.8)	1	Uncontaminated to moderately contaminated
	Ti	(-0.8) – (0.3)	0 – 1	Uncontaminated to moderately contaminated
	U	(-0.8) – (-0.1)	0	Uncontaminated
Bako National Park	As	(4.3) – (5.4)	5 – 6	Strongly and extremely contaminated
	Cr	(-0.5) – (0.7)	0 – 1	Uncontaminated to moderately contaminated
	Sb	(0.5) – (1.0)	1	Uncontaminated to moderately contaminated
	Ti	(-1.6) – (0.4)	0 – 1	Uncontaminated to moderately contaminated
	U	(-0.4) – (2.2)	0 – 3	Uncontaminated to moderately and strongly contaminated

Table 6: Geoaccumulation values ( $I_{geo}$ ) for Talang-Satang and Bako National Park of Sarawak

Station	Al	As	Cr	Co	Eu	Fe	La	Mg	Mn	Sb	Sc	Sm	Th	Ti	U	V	Zn
PT01	-2.9	1.9	1.1	-2.2	-1.1	-1.7	-0.7	-1.3	0.1	-1.4	-1.5	-0.3	-0.0	-0.1	-1.0	-1.4	
PT02	-2.9	2.3	0.7	-2.1	-1.3	-1.5	-1.1	-1.4	0.3	-1.5	-1.6	-1.0	-1.0	-0.7	-0.4	-1.2	
PT03	-2.9	2.4	0.6	-2.1	-1.4	-1.4	-1.7	-0.7	-1.4	0.2	-1.5	-0.9	-1.0	-0.6	-0.2	-1.3	
PT04	-3.1	2.1	0.7	-2.4	-1.6	-1.9	-1.8	-0.8	-1.7	0.4	-1.9	-1.3	-1.4	-0.8	-0.5	-0.8	
PT05	-3.1	2.3	0.9	-2.4	-1.3	-1.8	-1.3	-1.1	-1.1	0.3	-1.7	-1.1	-0.8	-0.6	-0.2	-1.2	
PT06	-3.2	2.2	0.7	-2.4	-1.3	-1.8	-1.4	-1.7	-1.2	0.2	-1.8	-1.9	-1.0	-0.7	-0.2	-1.5	
PS01	-2.1	3.0	0.3	-2.1	-1.3	-1.3	-1.3	-1.2	-1.1	0.3	-1.3	-0.9	-0.9	0.3	-0.7	-0.8	
PS02	-2.2	2.9	0.6	-1.6	-0.9	-1.1	-1.1	-1.5	-1.1	0.8	-0.7	-1.1	-0.6	-0.1	-0.5	-0.7	
PS03	-2.7	3.0	0.5	-2.2	-1.2	-1.3	-1.2	-1.9	-1.1	0.5	-1.5	-1.1	-0.8	-1.0	-0.8	-0.9	
PS04	-2.5	2.8	0.7	-2.1	-1.0	-1.3	-1.1	-1.9	-1.2	0.7	-1.3	-1.1	-0.6	-0.3	-0.3	-1.1	
PS05	-2.5	2.5	0.7	-2.1	-1.0	-1.5	-1.0	-1.9	-1.4	0.3	-1.3	-1.3	-0.6	0.0	-0.3	-1.0	
PS06	-2.5	3.0	0.7	-1.8	-1.1	-1.1	-1.0	-1.8	-1.1	0.4	-1.1	-1.2	-0.4	-0.4	-0.3	-0.8	
BA01	-1.8	5.4	0.2	-1.7	-1.0	-0.8	-1.4	-0.8	-0.4	0.8	-0.7	-1.2	-0.8	-1.6	2.2	-0.3	
BA02	-2.3	4.3	0.0	-1.9	-1.1	-1.1	-1.5	-0.4	1.0	-1.2	-1.4	-1.1	-1.1	-0.4	-0.5	-1.5	
BA03	-2.1	5.0	-0.5	-1.9	-0.8	-1.3	-1.2	-1.3	-0.7	0.7	-1.0	-1.2	-1.7	-1.3	0.9	-0.6	
BA04	-1.8	5.0	0.7	-1.6	-0.7	-1.0	-1.0	-1.1	-0.9	0.5	-0.7	-1.3	-0.5	0.0	1.5	-0.3	
BA05	-2.1	5.4	0.7	-1.8	-0.8	-1.1	-1.0	-1.0	-0.9	0.7	-0.9	-1.3	-0.5	-0.7	1.6	-0.3	
BA06	-1.6	5.4	0.6	-1.7	-0.6	-1.5	-0.9	-1.3	-1.2	0.6	-0.6	-1.0	-0.5	0.4	1.8	-1.0	

## **CONCLUSIONS**

Sediment of Bako and Talang-Satang National Park had shown an enrichment of As, Cr, Sb, Ti and U pollution. Land runoff and erosion can be categories as natural factors and agriculture, domestic and industrial waste can be categories as man-made activities. Bako National Park significantly received of pollutant from agriculture, domestic and industrial waste due to nearby Kuching town, whilst Talang-Satang received from discharge of rivers, runoff and erosion of land.

Both EFs and  $I_{geo}$  values are in agreement that elements were obtained in this study shown significant accumulation trend of As, Cr, Sb, Ti and U in sediment of Talang-Satang and Bako national Park. The possibility origin sources of elements contamination were expected from land-based (As, Cr, Sb, and U) and boating activities (Ti). Sediment quality of As from Talang-Satang and Bako national park can be categories as moderately to strongly contaminated, and strongly and extremely contaminated, respectively.

The sediment and benthic organism of Bako and Talag-Satang National Park are suggested to be monitored regularly especially for As and Cr concentrations, respectively. The monitoring of elemental concentrations in Bako and Talang-Satang is necessary in order to assess the level of pollution. Relevant authorities could use the data of this study for improvement of national park and coastal management strategies by limiting some other activities such as fishing, diving, boating, snorkeling in this protected area.

## **ACKNOWLEDGEMENT**

Authors would like to thank the Ministry of Science, Technology & Innovation Malaysia (MOSTI) for financial support under Sciencefund research grant (04-03-01-SF0026). The authors would also like to express their gratitude to the Forest Department of Sarawak for their support and assistance throughout implementation of this project. Lastly, the authors would also dedicate their thanks to the personnel of Analytical Chemistry Application Group for their assistance and analysis of samples.

## **REFERENCES**

- [1] Garcia, E. M., Cruz-Motta, J.J., Farina, O and Bastidas, C. (2008). Anthropogenic influences on heavy metals across marine habitats in the western coast of Venezuela. *Continental Shelf Research*, 28, 2757 – 2766.
- [2] Buccolieri, A., Buccolieri, G., Cardelluccio, N., Atti, A.D., Leo, A.D., Maci, A., (2006). Heavy metals in marine sediments of Taranto Gulf (Ionian Sea, Southern Italy). *Marine Chemistry* 99, 227–235.
- [3] Marchand, C., Lallier-Verges, E., Baltzer, F., Albe'ric, A.P., Cossa, D., Baillif, P., (2006). Heavy metals distribution in mangrove sediments along the mobile coastline of French Guiana. *Marine Chemistry* 98, 1–17.
- [4] Salomons, W., and Forstner U. (1984). Metals in the hydrocycle. Springer, Berlin Heidelberg Tokyo.
- [5] Dickinson, W.W., Dunber, G. B., and McLeod, H. (1996). Heavy metal history from cores in Wellington Harbour, New Zealand, *Environmental Geology*. 17, 59 – 69.
- [6] Wedepohl, K.H. (1995). The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 58, 1217 – 1232.
- [7] Windom, H.L., Smith, R. G. Jr. and Rawlinson, C. (1989). Particulate trace element composition and flux across the eastern US continental shelf. *Marine Chemistry*, 27 283 – 297.

- [8] Din, Z. B (1992). Use of aluminium to normalize heavy metal data from estuarine and coastal sediments of Straits of Malaka. *Marine Pollution Bulletin*, 24, 484 – 491.
- [9] Deely, J. M., and Fergusson, J. E. (1994). Heavy metal and organic matter concentration and distribution in dated sediments of a small estuary adjacent to a small urban area. *The Science of the Total Environment*, 153, 97 – 111.
- [10] Ravichandran, M., Baskaran, M., Santschi, P. H., and Bianchi, T (1995). History of trace metal pollution in Sabine-Neches Estuary, Beaumont, Texas. *Environmental Science and Technology*, 29, 1495 – 1503.
- [11] Niencheski, L, F., Windom, H, L., and Smith, R. (1994). Distribution of particulate trace metal in Patos Lagoon Estuary (Barzil). *Marine Pollution Bulletin*, 28, 96 – 102.
- [12] Bresline, V.T., and Sanudo-Wilhelmy, S. A., (1999). High spatial resolution sampling of metals in the sediment and water column in port Jefferson Habour, New York, *Estuaries*. 22, 669 – 680.
- [13] Sharma, V. K., Rhudy, K, B., Koenig, R., Baggett, A. T., hollyfield, S., and Vazques, F. G. (1999). Metals in sediments of Texas estuaries, USA. *Journal of Environmental Science and Health*, 34, 2061 – 2073.
- [14] Abraham, G.M.S., and Parker, R.J., (2008). Assessment of heavy metal enrichment factors and the degress of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Enviro. Monit. Assess* 136, 227 – 238.
- [15] Matthai, C and Brich, G. (2001). Detection of anthropogenic Cu, Pb and Zn in continental shelf sediments off Sydney, Australia – A new approach using normalization with cobalt. *Marine pollution bulletin*, 42, 1055 – 1063.
- [16] Yusof, A. M and Wood, A, K.H., (1993). Environmental assessment of coastal sedimens by the elemental ratio technique. *J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 167, No 2, 341 – 351.
- [17] Muller, G. (1969). Index of geoaccumulationin the sediments of the Rhine River. *Geojournal*, 2, 108 -118.
- [18] Stoffer, P., Glasby, G.P., Wilson, C.J., Davis, K.R., and Watter, P. (1986). Heavy metal pollution in Wellington Habour. *NewZealand Journal of Marine and Freshwater Research*. 20, 495 – 512.
- [19] Nobi, E.P., Dilipan, E., Thangaradjou, T., Sivakumar, K. and Kannan, L. (2010). Geochemical and geo-statistical assessment of heavy metal concentration in the sediments of different coastal ecosystem of Andaman Island, India. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 87, 253 – 264.
- [20] Consensus-Based Sediment Quality Guidelines (SBSQG) (2003). Recommendations for Use and Application Interim Guidance, Wisconsin Dept. of Natural Resources.
- [21] Szefer, P., Glasby, G.P., Szefer, K., Pempkowiak, J., and Kaliszan, R. (1996). Heavy-metal pollution ini superficial sediments from the southern Baltic Sea off Poland. *Journal of Environmental and Health*. 31A, 2723 – 2754.
- [22] Pekey, H. (2006). The distribution and sources of heavy metals in Izmit Bay surface sediments affected by polluted stream. *Marine Pollution Bulletin*, 52, 1197 – 1208.

- [23] Chen C-W., Kao C-M, Chen C-F and Dong, C-D. (2007). Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung, Habour, Taiwan. Chemosphere 66, 1431 – 1440.
- [24] Grousset, F. E., Quetal, C. R., Thomas, B., Donard, O. F. X., Lambert, C. E., Guillard, F., and Monaco, A. (1995). Anthropogenic vs. lithogenic origins of trace elements (As, Cd, Pb, Rb, Sb, Sc, Sn, Zn) in water column particles: Northwest Mediterranean Sea. Marine Chemistry, 48, 291 – 310.
- [25] El Bilali, L., Rasmussen, P. E., Hall, G.E.M and Fortin, D. (2002). Role of sediment composition in trace metal distribution in lake sediments. Applied Geochemistry, 17, 1171 – 1181.
- [26] Nazaratul Ashifa Abdullah Salim (2009). Speciation and total determination of Arsenic, Chromium and Selamium in freshwater bodies sediment. M.Sc. Thesis Universiti Teknologi Malaysia.

# Selenium in human nails: a preliminary study using INAA

Boon Siong Wee<sup>1\*</sup>, Mohd. Fahmi Abdul Rahman<sup>2</sup>, Mohd. Suhaimi Hamzah<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Malaysian Nuclear Agency, Bangi, 43000 Kajang, Selangor, Malaysia.*

<sup>2</sup>*Faculty of Science and Technology, University Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor, Malaysia.*

\*Corresponding author. E-mail: wee@nuclearmalaysia.gov.my

## Abstract

Selenium (Se) is an essential trace element for healthy body functions in humans. Deficiency of Se may cause diseases such as cancer and cardiovascular disease. However, Se toxicity or selenosis can also occur in humans as a result of high doses of dietary intake or industrial exposure. This study aims to use human nails for biomonitoring of Se in a healthy Malaysian adult. The results are used to assess long-term Se status and comparisons are made with literature values. Instrumental neutron activation analyses (INAA) were used to determine Se in nail samples collected in a 5-month period. There were 10 fingernail samples and 3 toenail samples. Results showed that fingernails contain an average of  $1.06 \pm 0.05 \mu\text{g/g}$  Se (range:  $0.98 - 1.13 \mu\text{g/g}$  Se) and toenails contain an average of  $0.94 \pm 0.07 \mu\text{g/g}$  Se (range:  $0.89 - 1.02 \mu\text{g/g}$  Se). Temporal variations of fingernail and toenail Se contents were rather small with RSD of less than 10%. Fingernails show slightly higher Se contents than those of toenails. Both fingernails and toenails show reproducibility of Se concentrations taken during the sampling period. These results are in agreement with literature values for healthy individuals, which show no deficiency or chronic exposures to Se in the past months. Thus, there is no potential health risk in the subject studied.

**Keywords:** Biomonitoring, Selenium, human nails, INAA.

## Introduction

Selenium (Se) is an essential trace element for producing Se-containing proteins or selenoproteins important for biological functions. Reilly [1] reported that diseases and conditions of humans associated with Se deficiency include diabetes, cystic fibrosis, Keshan disease, cancer and muscular dystrophy. Selenium deficiency can be prevented through dietary intake of food with high Se content such as meat, fish and eggs. Besides, Se supplement in the form of sodium selenite, sodium selenate, L-selenomethionine and selenium-enriched yeast can be used to compensate a low dietary intake [2]. The U.S. Recommended Dietary Intakes (RDIs) for Se is  $55 \mu\text{g/d}$  and the tolerable Upper Intake Level (UL) is  $400 \mu\text{g/d}$  [3]. In Malaysia, the Recommended Nutrient Intakes (RNIs) for men and women are  $33 \mu\text{g Se/d}$  and  $25 \mu\text{g Se/d}$ , respectively [4]. Through sufficient dietary intake, Se compounds can help to prevent and to treat cancer [5]. However, excess of Se intake may cause genotoxic effects but the mechanisms are not fully understood [5].

Because of potential harmful effects of Se deficiency and toxicity, it is of great importance to monitor the level of Se in humans through the use of biomonitoring. To date, Se contents in various biological samples such as blood, skeletal muscle, urine, internal organs, breast milk, hair and nails have been reported (e.g. [6]). For recent Se intake, blood and urine are commonly used whereas human nails are analyzed for long-term (6 to 12 month period) Se intake. The chemical composition of nail is stable after its formation and will not be affected by blood chemistry or chemical exposure [7]. The growth rate of fingernails is about  $0.1 \text{ mm/day}$  and toenails grow  $0.03-0.05 \text{ mm/day}$  [8]. Collection and storage of nails is simple and small amounts (about  $50 - 100 \text{ mg}$ ) are adequate for chemical analysis. The INAA method utilized in this study is sensitive for determination of Se contents in nail samples. The biomonitoring of trace elements such as Se using nail samples is still lacking in Malaysia. Therefore, this

study aims to use human nails for biomonitoring of Se in a healthy Malaysian adult. The results are used to assess the Se status and comparisons are made with literature values.

## Materials and Method

### *Sample collection and preparation*

Fingernails and toenails from every digit were collected from a healthy male volunteer with no history of smoking and selenium supplement use. The age of the subject is 35 years old. Sampling period was from January to May 2011 (Table 1). The numbers of toenails collected in this study were less than fingernails due to slow growth rate. All nail samples were collected using a clipper and kept in polyethylene bags. The samples were washed with acetone for 20 minutes in ultrasonic bath. After that, the samples were washed twice with deionized water for 20 minutes. Finally, the samples were washed with acetone for 20 minutes and kept in desiccators for drying.

### *Instrumental neutron activation analysis*

Each nail sample (about 60 – 100 mg) was packed separately into cleaned polyethylene vials. About 50 mg of reference materials namely NIST SRM 1566b (Oyster tissue) and IAEA-086 (Human hair) were included as comparative standard and quality control material, respectively. Empty vial was also included for blank correction. Gold standard solutions (about 10 µg Au) were pipetted onto filter papers and attached to all samples and reference materials as neutron flux monitor for flux correction during irradiation. All samples, blank and reference materials were subjected to 6 hours irradiation at the 1MW TRIGA MKII reactor of Malaysian Nuclear Agency with a thermal neutron flux of about  $10^{12} \text{ n}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . After the irradiation, gold monitors were counted first after 4 days decay while the other samples and standards were counted after 4 weeks decay and counting time for each sample was about 24 hours. Gamma-ray measurements were performed using a calibrated HPGe detector with GammaVision software [9]. The Au was measured using the 411.8 keV gamma-ray peak of  $^{198}\text{Au}$  (half-life 2.69 days). The decay-corrected specific activity of Au for NIST SRM 1566b (Oyster tissue) was used as a reference and all other Au monitors were compared against it. Results showed that variations of the specific activities of Au monitors were ranged from -7.4% to +1.8%. Therefore, all Se concentrations were corrected accordingly. Selenium was analyzed using the 136 and 264 keV gamma-rays of  $^{75}\text{Se}$  (half-life 120.4 day). Computation of Se concentrations was based on comparative method. Concentration values were reported as dry weight basis.

## Results and Discussion

### *Quality control results*

Selenium in IAEA-086 was determined along with the nail samples as quality control sample. The result obtained in this study was  $1.04 \pm 0.11 \mu\text{g/g Se}$  and in good agreement with the reference value of  $1.00 \pm 0.09 \mu\text{g/g Se}$  [10]. Selenium concentration of blank was  $0.003 \mu\text{g/g Se}$  assuming a representative sample mass of 0.2 g. The limit of detection ( $3\sigma$  of blank) was about  $0.03 \mu\text{g/g Se}$ .

### *Selenium concentrations in nail samples*

The Se concentrations of nail samples are presented in Table 1. Average Se concentration of fingernails was  $1.06 \pm 0.05 \mu\text{g/g Se}$  (range:  $0.98 - 1.13 \mu\text{g/g Se}$ ) and toenails was  $0.94 \pm 0.07 \mu\text{g/g Se}$  (range:  $0.89 - 1.02 \mu\text{g/g Se}$ ). It is evidenced that Se concentration in fingernails and toenails show no significant difference. On average the Se of fingernails was about 13% higher than those of toenails, which concurs with previous findings [11]. The lower Se concentrations found in toenails is likely related to a depletion of Se in the blood supply to the feet and toes. Besides, no external exposure could be directly identified to explain the slight variation between fingernail and toenail Se contents. If contamination did occur, anomaly in Se contents of fingernails could be detected in this study. Because of

potential contamination in fingernails, many previous studies only analyze toenails (e.g. [11], [12]). This study showed that temporal variations of fingernail and toenail Se contents were rather small with relative standard deviation (RSD) of less than 10%. The reproducibility of Se in fingernails and toenails indicates that no drastic changes in exposure or behaviors over the sampling period. Besides, the Se values taking into consideration of temporal variations could be very useful in estimating the average and ranges of Se contents in an individual. This study showed that data from both fingernails and toenails are informative and should be assessed collectively when computing elemental composition.

Table 1: Selenium concentrations ( $\mu\text{g/g}$ ) in fingernails and toenails. Errors are  $1\sigma$  of counting statistics.

Sample	Collection date	Concentration
Fingernails	F1	0.98 $\pm$ 0.11
	F2	1.00 $\pm$ 0.09
	F3	1.06 $\pm$ 0.12
	F4	1.05 $\pm$ 0.11
	F5	1.12 $\pm$ 0.12
	F6	1.07 $\pm$ 0.11
	F7	1.12 $\pm$ 0.11
	F8	1.13 $\pm$ 0.12
	F9	1.06 $\pm$ 0.10
<i>Average</i>		<b>1.06 <math>\pm</math> 0.05</b>
Toenails	T1	0.93 $\pm$ 0.09
	T2	0.89 $\pm$ 0.09
	T3	1.02 $\pm$ 0.10
	<i>Average</i>	

### *Implications from Se contents in nail samples*

The Se contents found in human nails may provide some information for health risk assessment. The monitoring carried out in this study would provide meaningful data of Se levels in nails for the assessment of health risk. Combining Se data of fingernails and toenails, the Se values found in this study were within a therapeutic range of 0.75 to 1.25  $\mu\text{g/g}$  Se as reported by Morris et al. [11]. Thus, the present data show no likely health risk in the subject studied. There may be possible health risk if the Se values were lower or higher than the therapeutic range. A compilation of Se in nail samples from literature is presented in Table 2. Results from different countries showed that the mean values of Se in nails show some similarities (0.8 – 0.9  $\mu\text{g/g}$ ) except for Denmark, New Zealand and Poland, which are in a lower values ( $\sim 0.5 \mu\text{g/g}$ ). Variations of nail Se contents could be related to geography, diets and lifestyle. Data from India, Sweden and America were within the therapeutic range where no adverse health risks are expected. The Se contents lower than 0.75  $\mu\text{g/g}$  were reported (Table 2) for samples from Denmark, New Zealand and Poland. Person having low Se may require supplementation of Se to increase the Se level in the body. Research showed that toenail Se content increases after taking selenium-enriched yeast for periods ranging from 1 year to 24 years [2]. Low Se contents in nails collected from older adults of New Zealand were related to impaired physical function [13]. In Poland, more than 90% of the studied population is at risk of chronic disease due to low Se level [12]. Previous studies have showed that low Se contents were related to some form of disease in humans. In order to prevent these diseases, sufficient Se intake should be recommended and the Se content in nails should be monitored periodically.

Table 2: Comparison of nail Se concentrations ( $\mu\text{g/g}$ ) from different countries.

Country	Samples	Average $\pm$ S.D.	Reference
Denmark	Toenails (n = 7)	0.49 $\pm$ 0.04	Behne et al. [2]
India	Fingernails (n = 33)	0.81 $\pm$ 0.04	Samanta et al. [14]
Malaysia	Fingernails (n = 13)	1.06 $\pm$ 0.05	This work
Malaysia	Toenails (n = 3)	0.94 $\pm$ 0.07	This work
New Zealand	Toenails (n = 507)	0.60 $\pm$ 0.40	Islam et al. [13]
Poland	Toenails (n = 331)	0.58 $\pm$ 0.13	$\dot{\text{Z}}\text{ukowska et al. [12]}$
Sweden	Fingernails (n = 96)	0.94 $\pm$ 0.21	Rodushkin and Axelsson [15]
U.S.A.	Toenails (n = 3575)	0.919 $\pm$ 0.249	Morris et al. [11]
U.S.A.	Nails (n = 285)	0.98 $\pm$ 0.40	Mason et al. [16]

## Conclusions

The application of INAA method was able to determine Se reliably and accurately, and minimized the possibility of contamination during sample preparations. This study presents the initial investigation using nail samples for biomonitoring of Se in a healthy person in Malaysia. Selenium concentrations reported here showed very good agreement to literature values that is within the range of 0.75 to 1.25  $\mu\text{g/g}$ . No chronic exposure or deficiency of Se could be detected. Therefore, no likely health risks are anticipated from the subject studied. Considering the benefit of this study, a biomonitoring program of Se status in Malaysian could be initiated.

## References

- [1] Reilly C (1998) Trends Food Sc Tech 9, 114-118.
- [2] Behne D, Alber D, Kyriakopoulos A. (2010) J Trace Elem Med Biol 24, 99-105.
- [3] Otten JJ, Hellwig JP, Meyers LD (eds)(2006). Dietary reference intakes: the essential guide to nutrient requirements, National Academy of Science, U.S.A.
- [4] Ministry of Health Malaysia (2005). Recommended Nutrient Intakes for Malaysia, Putrajaya.
- [5] Brozmanová J, Mániková D, Vlčková V, Chovanec M (2010) Arch Toxicol 84, 919-938.
- [6] Dumont E, Vanhaecke F, Cornelis R (2006) Anal Bioanal Chem 385, 1304-1323.
- [7] Danial III CR, Piraccini BM, Tosti A (2004) J Am Acad Dermatol 50, 259-261.
- [8] Fleckman P (1997) In: Scher RK, Daniel CR (eds), Nails: Therapy, Diagnosis, Surgery. Sounders, Philadelphia.
- [9] Wee BS, Dung HM, Wood AK, Salim NAA, Elias MS (2006) Nuclear Instrum Meth A 564, 716-720.
- [10] Heller-Zeisler SF, Parr RM, Ziesler R (1998) Fresenius J Anal Chem 360, 419-422.
- [11] Morris JS, Spate VL, Ngwenyama RA (2006) J Radioanal Nucl Chem 269, 283-290.
- [12]  $\dot{\text{Z}}\text{ukowska J, Bode P, Biziuk M (2009) J Radioanal Nucl Chem 280, 621-627.}$
- [13] Islam S, Carter K, Mhurchu CN, Anderson CS (2007) Australas J Ageing 26, 180-186.
- [14] Samanta G, Sharma R, Roychowdhury T, Chakraborti D (2004) Sci Total Environ 326, 33-47.
- [15] Rodushkin I, Axelsson MD (2000) Sci Total Environ 262, 21-36.
- [16] Mason MM, Morris JS, Spate VL, Baskett CK, Nichols TA, Horsman TL, Le Marchand L, Kolonel LN, Yukimoto S (1998) J Radioanal Nucl Chem 236, 29-34.

# Elemental Determination and Source Apportionment of Road Dust in Klang Valley, Kuala Lumpur

Shamsiah A. Rahman, Mohd Suhaimi Hamzah, Md Suhaimi Elias, Wee Boong Siong,  
Nazaratul Ashifa Abdullah Salim and Ezwiza Sanuri

*Malaysian Nuclear Agency, Bangi,  
43000 Kajang, Selangor, Malaysia*

## Abstract

This study identified the levels and sources of heavy metal contamination in road dust particles at five different routes (R1, R2, R3, R4 and R5) of Klang Valley, Kuala Lumpur. Each route covers at least 50 Km of 6 to 7 areas including highway, residential area, business centre and industrial area. Concentration of As, Al, Ba, Ca, Co, Cd, Cr, Cs, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sb, Sc, Ti, V and Zn have been determined using Neutron Activation Analysis (NAA) and Inductively Coupled Plasma mass spectrometer (ICP-MS). Based on the average concentrations, the order for dust metal concentrations was Al > Ca > Fe > K > Na > Mg > Ti > Zn > Mn > Ba > Cu > Pb > Cr > As > V > Ni > Cs > Sb > Sc > Co > Cd. Statistical method, factor analysis with varimax approach has been applied to identify the possible metal sources of the observed elemental distribution. The analysis indicated that principal sources of 21 elements in road dust particles included local soil, automobile exhaust emissions, tire wear, break dust, biomass combustion and industrial emission

**Keywords:** *Klang Valley, road dust, elemental distribution, factor analysis*

## Introduction

Anthropogenic emissions into the atmosphere have major impacts on the environmental change. In the developing country cities movement of people is highly dependent on motorized transportation such as cars, trucks and railways. Among the vehicle types, passenger cars and motorcycles take the largest market share and are experiencing the highest growth rate in the recent years, thus the vehicular exhaust emissions are increasing and is a nuisance with every day highs in the air pollution, especially particulates. Malaysia Environmental Quality Report 2010 [1] reported that motor vehicles remain the major contributor of air pollution especially in urban areas. The number of registered passenger cars increased by 7.16%, motorcycles by 5.61%, buses by 3.86%, goods vehicles by 3.20% and taxis by 6.96% in 2010 compared to 2009.

Besides the direct exhaust emissions, a major source of particulate matter is the fugitive dust due to vehicular activity on the road. This re-suspended dust includes wind-blown dust which settles on the road, wear and tear of tyres and dry deposits of other pollutants. This is the most importance sources for the emissions associated with the vehicular movement and contributes a great deal to fine particulate emissions. Vehicle emissions contribute most significantly to Kuala Lumpur's air pollution problems. Rahman et al, 2011 [2] investigated the source apportionment of fine (PM 2.5) and coarse (PM 2.5-10) particle in an industrialised urban area of Klang Valley, Kuala Lumpur by a EPA PMF3 method. Result revealed that motor vehicles including two stroke engines were the main source for both fine and coarse particles of Klang Valley which contribute about 57.6% and 55.5% respectively. Soil dust contributes about 8.3% of the fine mass measured and soil dust including road dust contribute about 26.8% of the coarse mass.

Road dust does not remain deposited in place for long. It is easily re-suspended back into the atmosphere and contributes certain amount of trace elements. Cd, Cu, Pb, Zn and Ni are commonly

released from vehicles and found in urban dust and plant at vicinity of the highway [3, 4, 5]. Therefore investigation of road dust is importance as road dust is freely inhaled by those traversing the streets and those residing within the area of the streets. In this work road dust samples were collected between February and March 2011 from five different busy routes of Klang Valley area (Figure 1). Samples were determined for their chemical composition by Neutron Activation Analysis (NAA) and Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer (ICP –MS) method. The objectives of the study were to determine the element distribution in the road dust of Klang Valley area and to provide the baseline information as well as to understand the source contribution to ambient particulate loading. The data obtained was then investigated for the main sources of individual metal in road dust by statistical method, factor analysis with varimax approach. [6,7]

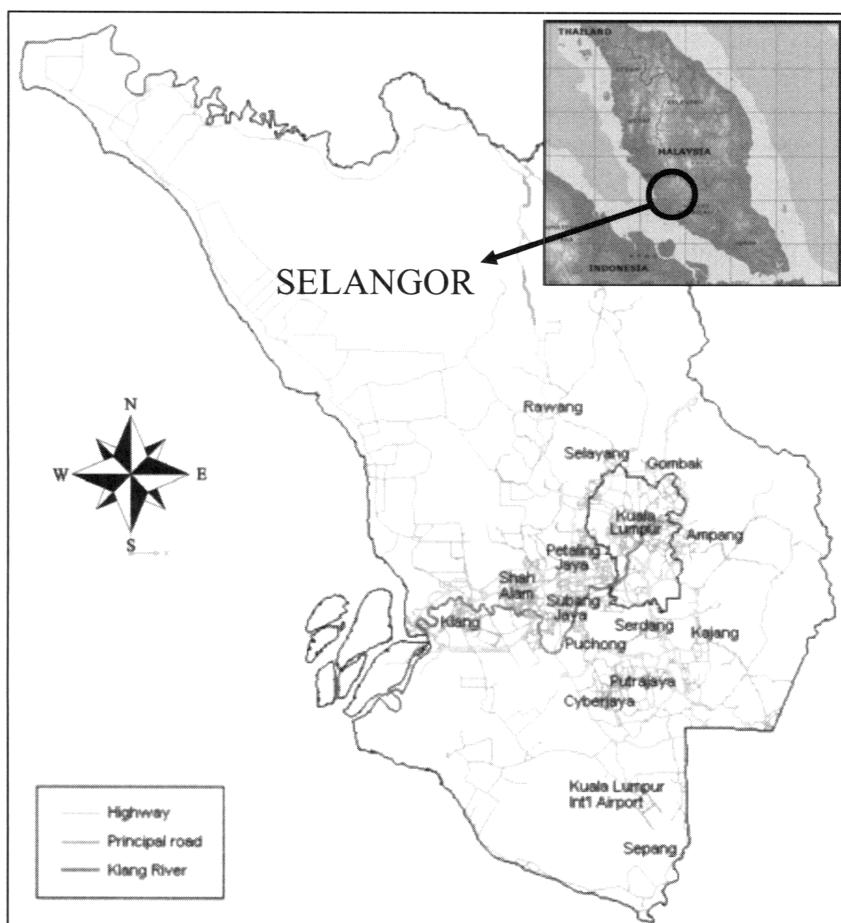


Fig. 1. Locations of sample collection of Klang Valley

## Methodology

### *Site description*

Klang Valley is an area in Malaysia comprising Kuala Lumpur [http://en.wikipedia.org/wiki/Kuala\\_Lumpur](http://en.wikipedia.org/wiki/Kuala_Lumpur) and its suburbs, and adjoining cities and towns in the state of Selangor. It is the heartland of Malaysia's industry and commerce with estimated population of 8 millions

[8]. Five road dust collected from five different routes (R1, R2, R3, R4, R5) of Klang Valley were considered in this study. Each route covers at least 50 Km of 6 to 7 areas including highway, housing area and business centre as listed in Table 1. R1 and R2 mostly cover the area of highway, housing area and business centre whilst R3, R4 and R5 also cover the route near industrial areas such as electrical equipment manufacturer and engineering works. R3, R4 and R5 also considered as high traffic density as most of the routes cover the streets/roads of downtown area.

Table 1: Route of road dust sample collection of Klang Valley, Kuala Lumpur

Route	Route location	Collection time	Route area
Route 1 (R1)	Depoh, MRR2 (Tmn Melati) - Klang Gate Village, MRR2 (Kuil Sikh) - Perwira Jaya Village, MRR2 (Tmn Safari) - Sg Besi, Roundabout Golden Horses - MTP - Puchong, Dumping - Depoh	8.00 am – 4.00 pm	Highway, housing area, business centre, dumping ground
Route 2 (R2)	Jln Travers - Jln Bangsar, Jln Maarof - Jln Damansara, Jln Beringin - NSC - Jln Setia, Jln Dutamas, Railway station - Jln Travers off Jln Tun Sambantan, Jinjang traffic light - Roundabout Sg Mas, KLSA	8.00 am – 4.00 pm	Highway, housing area, business centre
Route 3 (R3)	General post office - Jln Tun Sambantan, Jln Tun Sambantan – Jln Robertson, (Tmn Seputeh), Mahameru highway – KL Central, MRR2 (Sikh temple) - Kg Perwira Jaya, Taman Seputeh - Tmn Desa, Tmn Desa – Tmn Sentosa, Jln Hose - KLSA	8.00 am – 4.00 pm	Highway, housing area, business centre, small industry area
Route 4 (R4)	KLSA, Jln Sg Besi - Jln Tun Razak – HKL -PWTC, Roundabout Pahang - Jln Pahang- Tmn P.Ramlee, Jln Hose - Washing Bay - KLSA, Jln Ampang - Ampang Park - Jln Sultan Ismail, Roundabout Kg Pandan - Flyover Perkasa	8.00 pm – 4.00 am	Highway, housing area, business centre, industrial area, hospital
Route 5 (R5)	KLSA, Jln Syed putra - Jln Klang Lama, Susur Duta - Roundabout Segambut, Sg Besi - Jln Mahameru - Parlimen - PWTC, Jln Hose - Washing Bay - KLSA, Jln Dutamas 1- Jln Khidmat Usaha	8.00 pm – 4.00 am	Highway, housing area, business centre, industrial area

MRR2 = Middle Ring Road2, Tmn = Taman, Sg = Sungai, NSC = National Science Centre, KLSA = Kuala Lumpur – Shah Alam, MTP = Malaysia Technology Park, Jln = Jalan, HKL = Hospital Kuala Lumpur, PWTC = Putra World Trade Centre, KL = Kuala Lumpur

#### *Sample collection and separation*

Klang valley road dust was collected by a road sweeper truck (driving speed, 10 km/hr) with the help of Alam Flora Sdn Bhd. Alam Flora is a commercial organisation engaged in Solid Waste Management (SWM) and disposal business including cleansing services such as road sweeping, drainage cleaning, market cleansing, beach cleansing and grass cutting for Central and Eastern Region covering the states of Selangor, Pahang, Kelantan, Terengganu and Federal Territory of Kuala Lumpur and Putrajaya. About 1

kg road dust sample of each sampling route was collected from Alam Flora. All samples were clearly marked and transported to laboratory for registration and further analysis

In the laboratory all road dust samples were dried in an oven at 100°C for 24 hour. Samples were sieved through a 20 mesh size (850 µm) to remove the coarse sand and gravel. Samples were then passed through another two mesh sieves of nominal cutoff 90µm and 38µm and kept in plastic bottle. The samples are ready to be analysed

#### *Elemental analysis*

At least ten sub-samples were analysed for each route. A mixed of 5 ml nitric acid and 3 ml hydrofluoric acid was used to digest 0.5 gm road dust sample. The sample was heated to nearly dryness and the residue was diluted to volume of 50 ml in 2% nitric acid. Cd, Cu, Ni and Pb were analysed for this portion of subsample by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer (ICP-MS). The elements, Al, As, Ba, Ca, Co, Cr, Cs, Fe, K, Mg, Mn, Na, Sb, Sc, Ti, V and Zn were determined in another portion of subsample by Instrument Neutron Activation Analysis (INAA). About 0.2 gm sample was irradiated in the range of 1 minutes to 6 hours in Triga Mark II reactor at a neutron flux of  $1 \times 10^{12} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Samples were cooled for 10 minutes to 4 days prior to counting using Hp(Ge) detector in conjunction with a multichannel analyzer. The counting time was ranged from 5 minutes to 1 hour and counting geometry was set at 9 – 12 cm from the detector.

To examine the accuracy and reliability of the digestion method, the National Bureau Standard (NBS) Standard Reference Material in Coal Fly Ash (SRM 1633A CFA) was used to simulate the road dust particles, whilst the applicability of the analytical methods for the multi-elemental analysis by NAA is evaluated by the analysis of IAEA's Certified Reference Material (CRM), SL-1. The CRM was also used as the quality control material of the analytical procedure.

### **Result and discussion**

#### *Quality control*

Analytical result of the CRM analysis for both CFA and SL-1 analysed by ICP-MS and NAA respectively as compared to the certified concentration of the elemental content in CRM is tabulated in Table 2. The results presented indicate the typical accuracy and precision achievable by the analytical technique employed for the analysis of the road dust samples. Generally, all elements were recovered in the acceptable range of 80-110 %.

Table 2. Elemental content of Certified Reference Material, CFA and SL-1

Element	CFA (by ICP-MS)		SL-1 (by NAA)	
	This work (ppm)	Certified value (ppm)	This work (ppm)	Certified value (ppm)
Al			92651 ± 10968	<b>89000</b>
As			29.8 ± 0.4	<b>27.6 ± 2.9</b>
Ba			635 ± 27	<b>639 ± 106</b>
Ca			2032 ± 150	<b>2500</b>
Cd		<b>1.00</b>		
	1.19 ± 0.19			
Co			20.2 ± 0.7	<b>19.8 ± 1.5</b>
Cr			103 ± 4	<b>104 ± 9</b>
Cs			6.9 ± 0.3	<b>7.0 ± 0.9</b>
Cu		<b>118</b>		
	109 ± 8			
Fe			68686 ± 1345	<b>67400 ± 1700</b>
K			13706 ± 1100	<b>14500 ± 2100</b>
Mn			3520 ± 153	<b>3460 ± 160</b>
Na			1657 ± 58	<b>1700 ± 100</b>
Ni		<b>127</b>		
	149 ± 5			
Pb		<b>72.4</b>		
	70.5 ± 3.1			
Sb			1.40 ± 0.04	<b>1.31 ± 0.12</b>
Sc			17.3 ± 0.6	<b>17.3 ± 1.1</b>
Ti			5184 ± 531	<b>5170 ± 430</b>
V			168 ± 15	<b>170 ± 15</b>
Zn			225 ± 19	<b>223 ± 10</b>

#### Road dust size distribution

Table 3 presents the percentage of contribution of particle size to the road dust samples collected at Klang Valley. Only sample with particles size <850 µm were consider in this study. Particles 90 - 850 µm contributes about 90 % (wt/wt) of each sample. Those particles 38 - 90 µm composed 4.98, 3.90, 4.20,

3.40 and 6.00 % respectively of the samples, whilst particles <38 µm were in the range of 0.60 - 1.45% of particle samples. Generally, the 10-300 µm road-dust particle range was the major contributor because of the wind erosion of soil and larger particles crushed by vehicles [9]. Road dust size <100 µm is easily re-suspended by meteorological parameters (wind blowing) or vehicle re-suspension.

Table 3: Contribution of particle size to the road dust samples of Klang Valley, Kuala Lumpur

Route	Size fraction (%)		
	90 - 850 µm	38 - 90 µm	<38 µm
R1	89.4	4.98	0.65
R2	90.4	3.90	0.67
R3	90.2	4.20	0.75
R4	90.2	3.40	1.45
R5	89.4	6.00	0.60

R1= Route1, R2 = Route2, R3 = Route3, R4 = Route4, R5 = Route5

#### *Elemental composition of road dust size distribution*

##### **Major elements**

The analytical result of determination of major elements in the road dust at five different routes (R1, R2, R3, R4 and R5) of Klang Valley are summarised in Table 4. The content of major elements Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, K and Ti were found to be the highest concentrations in the samples which may be attributed to the soil in the surrounding of sampling areas. Al ranged from 3.77 to 6.71 %, Ca ranged from 0.64 – 4.35 %. Fe ranged from 0.96 – 3.46 %, K ranged from 2.4 – 3.4 %, Na ranged from 1.2 -1.8 % whilst Mg and Ti ranged from 0.1 – 1.0 %. Distribution of K, Mg, Na and Ti were found to be more uniform in all road dust size fractions, whilst Al, Ca and Fe were found to be predominant in particles size <38 µm and 38 - 90 µm as shown in Figure 2. Al, Ca, Fe, Mg and Na could also be produced from tyres bearing wear, car break lining or car break dust [10, 11] whereas Ca could also come from construction activities and construction materials.

Table 4: Major elements content (%) in road dust sample of Klang Valley, Kuala Lumpur

Element	R1				R2				R3				R4				R5			
	R1 <sub>38</sub>	R1 <sub>90</sub>	R1 <sub>850</sub>	R2 <sub>38</sub>	R2 <sub>90</sub>	R2 <sub>850</sub>	R3 <sub>38</sub>	R3 <sub>90</sub>	R3 <sub>850</sub>	R4 <sub>38</sub>	R4 <sub>90</sub>	R4 <sub>850</sub>	R5 <sub>38</sub>	R5 <sub>90</sub>	R5 <sub>850</sub>	R5 <sub>38</sub>	R5 <sub>90</sub>	R5 <sub>850</sub>		
Al	5.72	4.99	3.97	5.54	5.06	3.86	6.71	5.92	4.19	6.49	5.16	3.99	6.09	6.09	3.77	3.77	3.77			
	± 0.05	± 0.10	± 0.20	± 0.01	± 0.03	± 0.11	± 0.09	± 0.13	± 0.25	± 0.07	± 0.02	± 0.10	± 0.05	± 0.10	± 0.15	± 0.10	± 0.15			
Ca	3.87	2.22	0.89	4.35	2.66	1.10	2.64	1.66	0.64	3.34	2.11	1.01	3.10	2.06	0.94					
	± 0.11	± 0.03	± 0.13	± 0.04	± 0.07	± 0.06	± 0.06	± 0.07	± 0.01	± 0.13	± 0.09	± 0.02	± 0.05	± 0.03	± 0.05	± 0.03	± 0.05			
Fe	2.49	1.72	0.96	2.64	1.89	1.21	2.79	2.01	1.36	3.46	2.53	1.41	3.12	2.23	1.21					
	± 0.01	± 0.06	± 0.05	± 0.11	± 0.12	± 0.01	± 0.05	± 0.13	± 0.05	± 0.09	± 0.05	± 0.03	± 0.04	± 0.03	± 0.05	± 0.03	± 0.05			
K	2.74	2.89	2.81	2.47	2.69	2.58	3.28	3.37	2.86	2.50	2.79	2.63	2.63	2.67	2.67	2.42				
	± 0.02	± 0.08	± 0.12	± 0.08	± 0.04	± 0.14	± 0.04	± 0.02	± 0.03	± 0.02	± 0.12	± 0.15	± 0.14	± 0.70	± 0.04	± 0.04	± 0.04			
Mg	1.07	0.70	0.90	0.34	0.25	0.19	0.22	0.12	0.16	0.46	0.37	0.25	0.45	0.09	0.18					
	± 0.70	± 0.66	± 0.67	± 0.03	± 0.02	± 0.04	± 0.11	± 0.01	± 0.03	± 0.01	± 0.02	± 0.10	± 0.22	± 0.01	± 0.01	± 0.01	± 0.01			
Na	1.53	1.68	1.48	1.25	1.54	1.25	1.75	1.88	1.56	1.17	1.50	1.57	1.31	1.46	1.31					
	± 0.02	± 0.08	± 0.12	± 0.08	± 0.04	± 0.14	± 0.04	± 0.08	± 0.03	± 0.02	± 0.02	± 0.15	± 0.04	± 0.04	± 0.01	± 0.01	± 0.01			
Ti	0.29	0.20	0.08	0.32	0.18	0.10	0.35	0.18	0.10	0.40	0.19	0.13	0.36	0.21	0.11					
	± 0.01	± 0.03	± 0.01	± 0.02	± 0.02	± 0.02	± 0.04	± 0.02	± 0.03	± 0.01	± 0.03	± 0.02	± 0.05	± 0.05	± 0.02	± 0.02	± 0.02			

R<sub>38</sub> = road dust particle size <38 µm, R<sub>90</sub> = road dust particle size 38 - 90 µm, R<sub>850</sub> = road dust particle size 90 - 850 µm

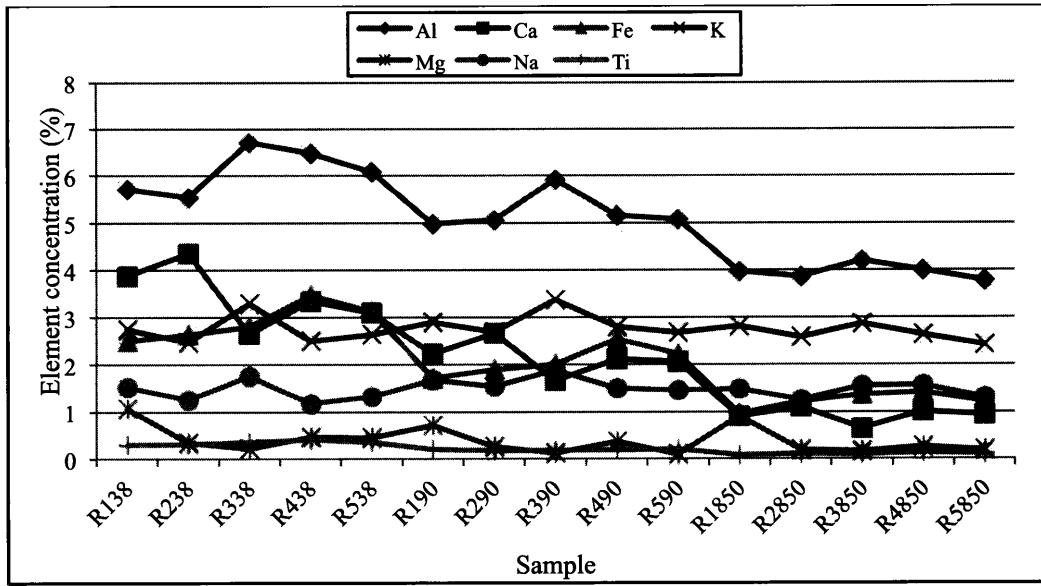


Fig. 2. Major elements content in road dust of Klang Valley

### Trace elements

Table 5 showed the average concentration of trace elements in the road dust size fractions at particulate sizes  $<38\text{ }\mu\text{m}$ ,  $38 - 90\text{ }\mu\text{m}$  and  $90 - 850\text{ }\mu\text{m}$ . In general, all elements were found to be predominant in particles,  $<38\text{ }\mu\text{m}$  and  $38 - 90\text{ }\mu\text{m}$  (Figure 3) except for Ba in which their distribution in all size fractions were found to be more uniform with concentration ranging from 187 to 230 ppm and 243 to 402 ppm in particles,  $<38\text{ }\mu\text{m}$  and  $38 - 90\text{ }\mu\text{m}$  respectively and 182 to 345 ppm in particles  $90 - 850\mu\text{m}$ . Ba including Cs and Sc maybe attributed to the local soil of the sampling area. Another possible source of Ba is from brake dust [10]. As, Cd, Cr, Ni and Zn were significantly higher in all size fraction of R3, R4 and R5 as compared to their levels in all size fraction of R1 and R2. Their concentration in particles,  $<38\text{ }\mu\text{m}$  ( $R3_{38}$ ,  $R4_{38}$ ,  $R5_{38}$ ) were in the ranged from 52.6 – 71.0 ppm, 3.93 – 5.15 ppm, 97.7 -132 ppm, 28.8 to 52.4 ppm and 65.8 to 1232 ppm respectively, in particles  $38 - 90\text{ }\mu\text{m}$  ( $R3_{90}$ ,  $R4_{90}$ ,  $R5_{90}$ ) were in the range from 61.9 to 80.8 ppm, 2.69 to 5.65 ppm, 71.6 to 122 ppm, 31.0 to 44.8 ppm and 369 to 676 ppm respectively, whilst in R1 and R2 ( $R1_{38}$ ,  $R1_{90}$ ,  $R2_{38}$ ,  $R2_{90}$ ) their concentration ranged from 43.9 to 65.0 ppm, 0.55 to 0.88 ppm, 62.5 to 92.0 ppm, 6.46 to 11.1 ppm and 343 - 624 ppm respectively. The same trend was observed for their concentration in particles  $90 - 850\mu\text{m}$  in which their concentration in  $R3_{850}$ ,  $R4_{850}$  and  $R5_{850}$  were higher as compared to in  $R1_{850}$  and  $R2_{850}$  as shown in Table 5. As mentioned earlier (section 1.1) these three routes (R3, R4 and R5) are higher traffic density and the sampling route area not only cover the highway and residential area but also industrial areas, suggesting that these elements may have come from diffuse pollution sources, such as traffic emissions, those domestic and industrial combustion processes [12, 13].

There is no significant difference in concentration that could be seen for elements Co, Cs, Cu, Mn, Pb, Sb, Sc, V in R1, R2, R3, R4 and R5. Their distributions in particles sizes  $<38\text{ }\mu\text{m}$ ,  $38 - 90\text{ }\mu\text{m}$  and  $90 - 850\text{ }\mu\text{m}$  were found to be more uniform in all routes. Co, Cu, Mn, Pb and Sb may have come from brake dust [14, 15]. Additionally Mn (including Fe, Cr and Ni) may be partially contributed from the engine abrasion of motor vehicle, whilst Zn could be produced from the tyre-bearing wear [9]. Malaysia has banned leaded petrol since early 1990s but the legacy of using leaded petrol for years will remain for a long time in the form of dust especially near the roadways [16]. The prohibition of the use of Pb as a fuel additive for gasoline means that other sources of Pb are now predominant in the roadside environment. The Pb content of brake linings has been found to range from 1.3 mg/kg to 12 %, and so

brake wear emissions may represent a significant source of airborne Pb [17]. Another possible source of Pb contributors in road dust is from yellow paint [15, 18]. The V was identified as an emission from both gasoline and diesel vehicles, brake dust and industrial and refining operations [12, 19]. Its average concentration in R1, R2, R3, R4 and R5 was 10.4 to 31.3 ppm, 7.93 to 36.6 ppm, 8.14 to 28.7 ppm, 13.0 to 42.2 ppm and 13.7 to 39.1 ppm respectively.

Table 5: Trace elements content in road dust sample of Klang Valley, Kuala Lumpur

Element	R1						R2						R3						R4						R5					
	R1 <sub>38</sub>	R1 <sub>90</sub>	R1 <sub>850</sub>	R2 <sub>38</sub>	R2 <sub>90</sub>	R2 <sub>850</sub>	R3 <sub>38</sub>	R3 <sub>90</sub>	R3 <sub>850</sub>	R4 <sub>38</sub>	R4 <sub>90</sub>	R4 <sub>850</sub>	R5 <sub>38</sub>	R5 <sub>90</sub>	R5 <sub>850</sub>			R4	R5											
As	47.3 ± 0.1	65.0 ± 0.5	6.69 0.02	43.9 ± 0.2	51.9 0.03	10.7 ± 0.1	71.0 ± 0.4	80.8 ± 0.2	9.43 0.13	52.6 ± 0.5	72.4 ± 0.1	67.9 ± 0.3	61.9 ± 0.1	12.9 ± 0.1	12.9 ± 0.2															
Ba	229 ± 45	374 ± 23	240 ± 33	187 ± 126	345 ± 32	182 ± 72	230 ± 39	243 ± 13	205 ± 30	224 ± 98	402 ± 24	345 ± 35	197 ± 121	309 ± 121	275 ± 82															
Cd	0.88 ±	0.55 0.23	0.05 0.43	0.88 0.10	0.61 0.15	0.01 0.02	5.15 1.56	3.37 0.13	2.16 0.22	3.93 0.12	5.65 1.16	1.32 1.02	5.13 0.61	2.69 0.11	2.32 0.92															
Co	4.95 0.11	2.94 0.09	1.29 0.03	5.65 0.03	4.20 0.03	1.58 0.03	6.40 0.73	3.77 0.12	7.34 0.04	7.34 0.32	4.83 0.17	2.27 0.14	6.38 0.88	4.53 0.27	1.62 0.35															
Cr	92.0 ± 0.3	62.5 ± 2.6	36.7 ± 1.4	86.4 ± 5.1	62.9 ± 1.3	15.6 ± 0.5	97.7 ± 2.3	71.6 ± 0.4	25.8 ± 9.8	132 ± 14	122 ± 11	52.1 ± 0.7	114 ± 13	86.0 ± 0.5	24.5 ± 0.2															
Cs	17.4 ± 1.1	20.3 ± 4.4	15.0 ± 1.1	14.5 ± 1.3	15.6 ± 0.6	14.1 0.11	17.1 ± 0.2	17.5 ± 1.7	14.5 ± 0.4	15.9 ± 2.9	18.5 ± 2.4	12.6 0.11	16.3 ± 0.2	16.7 ± 2.2	12.5 ± 0.7															
Cu	203 ± 18	176 ± 23	47.1 ± 10	182 ± 21	142 ± 25	70.0 ± 15	212 ± 14	169 ± 14	56.2 ± 8.0	199 ± 22	255 ± 4	91.9 ± 5.4	241 ± 4	215 ± 5.3	89.3 ± 26															
Mn	485 ± 6	382 ± 15	250 ± 48	496 ± 7	398 ± 18	210 ± 5	674 ± 6	482 ± 10	173 ± 12	492 ± 1	429 ± 7	293 ± 27	502 ± 14	391 ± 7	235 ± 38															

R<sub>38</sub> = road dust particle size <38 µm, R<sub>90</sub> = road dust particle size 38 - 90 µm, R<sub>850</sub> = road dust particle size 90 - 850 µm

Continued Table 5

Element	Element concentration (ppm)										R5				
	R1 <sub>38</sub>	R1 <sub>90</sub>	R1 <sub>850</sub>	R2 <sub>38</sub>	R2 <sub>90</sub>	R2 <sub>850</sub>	R3 <sub>38</sub>	R3 <sub>90</sub>	R3 <sub>850</sub>	R4 <sub>38</sub>		R4 <sub>90</sub>	R4 <sub>850</sub>	R5 <sub>38</sub>	R5 <sub>90</sub>
Ni	10.7 ± 0.4	11.1 ± 2.0	3.73 2.50	9.66 0.44	6.46 0.25	3.24 1.75	30.3 ± 0.8	31.0 ± 4.9	24.2 12.9	28.8 ± 2.6	39.8 ± 2.4	37.8 11.1	52.4 ± 3.3	44.8 ± 1.6	25.2 ± 4.7
Pb	158 ± 12	136 ± 9	92.5 ± 2.5	216 ± 33	149 ± 13	60.2 ± 8.6	237 ± 18	166 ± 29	86.3 ± 20	191 ± 16	179 ± 10	83.9 ± 9.2	193 ± 12	204 ± 3.9	111 ± 33
Sb	11.3 ± 0.2	7.63 0.17	2.47 0.11	10.6 ± 2.4	7.34 0.34	2.14 0.17	9.79 0.15	7.63 ± 1.7	2.13 0.53	12.6 ± 0.7	7.78 0.48	2.39 0.48	9.58 0.32	6.93 0.55	3.15 0.68
Sc	5.68 0.39	3.76 0.15	2.07 ± 0.14	6.48 0.66	4.26 0.27	2.32 0.04	6.35 0.66	4.23 0.04	2.27 0.03	7.90 0.19	5.01 0.18	2.57 0.23	7.44 0.18	4.91 0.14	2.46 0.09
V	31.3 ± 1.3	18.3 ± 0.8	10.4 ± 1.9	36.6 ± 2.4	17.7 ± 1.4	7.93 ± 1.1	28.7 ± 0.6	18.7 ± 1.0	8.14 0.64	42.2 ± 1.9	22.9 ± 1.2	13.0 ± 1.4	39.1 ± 5.1	22.1 ± 0.7	13.7 ± 2.6
Zn	623 ± 14	343 ± 8	119 ± 7	624 ± 10	372 ± 7	132 ± 10	658 ± 22	369 ± 17	170 ± 18	1232 ± 24	676 ± 14	320 ± 24	924 ± 6	598 ± 14	196 ± 17

R<sub>38</sub> = road dust particle size <38 µm, R<sub>90</sub> = road dust particle size 38 - 90 µm, R<sub>850</sub> = road dust particle size 90 - 850 µm

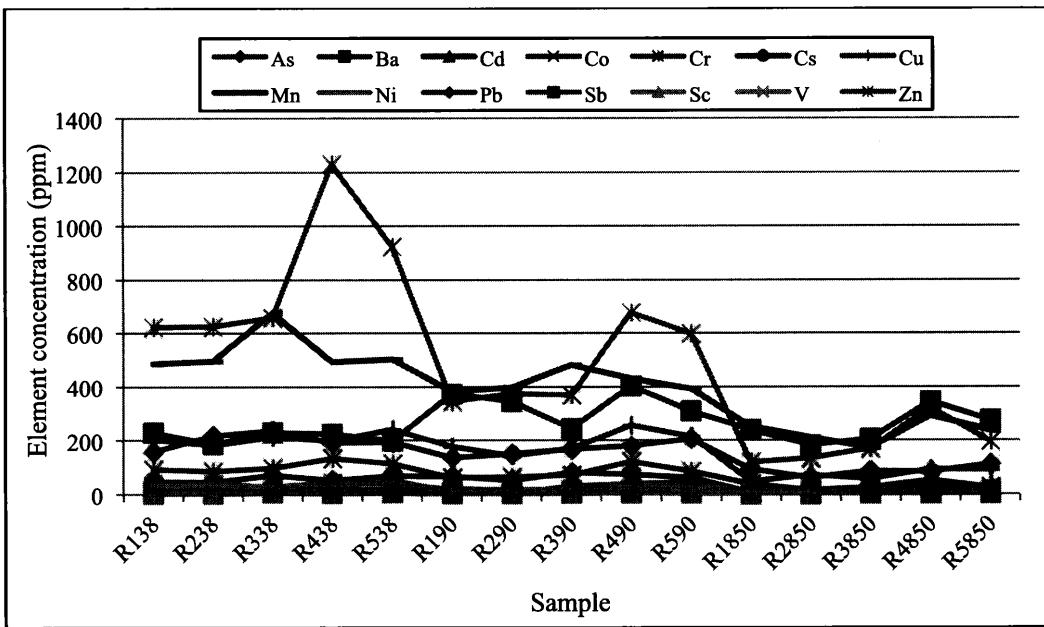


Fig. 3. Trace elements content in road dust of Klang Valley

#### *Source identification by factor analysis*

The various sources of the component and contamination in the re-suspended road dust are very difficult to identify. The results obtained from this work revealed that the metal sources for road dust metals are very complicated. Many approaches have been employed in identifying potential metal sources of road dust including the GIS technique and multivariate regression [20, 21, 22, 23, 24]. In this study, statistical method factor analysis with varimax approach and retention of principal components with eigenvalues  $>1$  was applied to the data sets of re-suspended road dust particle size  $<38\text{ }\mu\text{m}$  and  $38\text{ }\mu\text{m} - 90\text{ }\mu\text{m}$  ( $R_{38}$  and  $R_{90}$ ) and road dust particles size  $90 - 850\text{ }\mu\text{m}$  ( $R_{850}$ ) to identify the possible metal sources of the observed elemental distribution. Elements with low estimated communality (0.5 - 0.6) were removed from the analysis. Table 6 presented the factor loading obtained after varimax rotation, estimated communality as well as the variance of each factor for  $R_{38}$  and  $R_{90}$ . The four main factors were identified on the basis of the magnitude of eigenvalues ( $>1$ ). These factors accounted for 90.7% of the total variance in the whole data set with 14.5 estimated communality of 16 variables.

Table 6: Factor loading after varimax rotation for Klang Valley road dust ( $R_{38}$  and  $R_{90}$ )

Element	Factor Loading				Communality
	F1	F2	F3	F4	
Al	0.939	0.203	0.197	0.007	0.963
As	-0.113	0.744	0.473	0.009	0.790
Ca	0.495	-0.734	-0.295	-0.200	0.911
Cd	0.349	0.328	0.820	0.069	0.906
Cr	0.484	-0.324	0.705	0.260	0.903
Cu	0.017	-0.091	0.868	-0.052	0.764
Fe	0.037	-0.225	0.320	0.876	0.921
K	0.136	0.956	0.001	-0.192	0.969
Mn	0.854	0.257	0.140	-0.384	0.963
Na	-0.163	0.926	-0.226	-0.156	0.960
Ni	0.028	0.152	0.925	0.097	0.889
Pb	0.408	-0.116	0.503	-0.631	0.831
Sb	0.831	-0.443	-0.131	0.143	0.924
Ti	0.851	-0.345	0.222	-0.120	0.906
V	0.745	-0.591	0.197	0.029	0.943
Zn	0.607	-0.479	0.517	0.320	0.967
Eigenvalue	6.651	4.093	2.659	1.108	14.511
Var. (%)	41.567	25.584	16.617	6.926	

Factor 1 (F1) explained 41.6 % of the total variance and characterized by multiple-elements; Al, Mn, Sb, Ti, V and Zn with significant value of Ca, Cd, Cr and Pb. This factor source maybe explained by contribution mainly from industrial activities, tyre bearing wear and brake dust. The second factor, F2 which explained 25.6 % of the total variance, had high loadings on As, K and Na with slight amount of Cd. This factor appeared to represent biomass combustion process. The third factor, F3 explained a further 16.6 % of the total variance had high loading of Cd, Cr, Cu and Ni and significant value of As, Pb and Zn. Since the concentration of these elements were higher at R3, R4 and R5 this factor could be attributed to the source of industrial emission especially electrical industrial emission. Another possible source that contributed to the factor is from engine abrasion. The last factor, F4 had strong loading of Fe and slight amount of Zn, and accounted for 6.93 % of the total variance. Iron (Fe) is a major component of vehicles and tyre wear has been reported to contribute significantly to the Zn load in road dust. Therefore, this factor could be attributed to the abrasion of vehicle wheels and tyres.

Table 7 showed the source identification by PCA using road dust particles size 90 - 850  $\mu\text{m}$  ( $R_{850}$ ) data. The results showed that four eigenvalues  $>1$  explained 83.2 % of the total variance with 11.7 estimated communality of 14 variables. The first factor explained 32.8 % of

Table 7: Factor loading after varimax rotation For Klang Valley road dust ( $R_{850}$ )

Element	Factor Loading				Communality
	F1	F2	F3	F4	
Al	-0.137	-0.180	0.883	-0.126	0.847
As	0.347	-0.227	0.674	0.267	0.698
Ca	0.265	0.495	-0.361	0.652	0.870
Cr	0.170	0.651	0.490	-0.167	0.721
Cu	0.904	0.091	-0.220	0.090	0.883
Fe	-0.452	-0.081	0.056	0.816	0.880
K	-0.656	0.050	0.654	0.063	0.865
Mg	-0.519	0.630	0.042	0.212	0.713
Mn	0.229	0.886	-0.018	0.238	0.894
Na	-0.035	0.348	0.873	-0.183	0.918
Ni	0.818	0.133	0.256	-0.456	0.959
Ti	0.870	0.084	-0.004	-0.009	0.764
V	0.163	0.859	-0.157	-0.180	0.821
Zn	0.767	0.414	0.129	-0.203	0.818
Eigenvalue	4.596	3.120	2.716	1.221	11.652
Var. (%)	32.825	22.283	19.401	8.719	

the total variance and had the highest loadings on Cu, Ni, Ti and Zn. This factor seems to represent brake dust and engine abrasion. The second factor, F2 accounted for 22.3 % of the total variance showed high loading on Mn and V with significant value of As, Ca, Mg and Zn. This factor could be attributed to the source from oil combustion and construction activity. The third factor, F3 showed high loading on Al, Na, K, As and Cr, accounted for 19.4 % of the total variance This factor seems to represent the domestic industrial and biomass combustion processes. The last factor, F4 dominated by Fe and Ca and accounted for another 8.72 % of the total variance. This factor seems to represent source of local soil.

## Conclusion

Road dust samples collected from five different routes (R1, R2, R3, R4 and R5) in Klang Valley, Kuala Lumpur were analysed for their elemental concentrations using ICP-MS and INAA. Twenty one elements were identified: As, Al, Ba, Ca, Co, Cd, Cr, Cs, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sb, Sc, Ti, V and Zn. Based on the average concentrations, the order for dust metals was Al > Ca > Fe > K > Na > Mg > Ti > Zn > Mn > Ba > Cu > Pb > Cr > As > V > Ni > Cs > Sb > Sc > Co > Cd. In general, all elements were found to be predominant in particles,  $<38\mu\text{m}$  and  $38 - 90\mu\text{m}$  except for Ba in which their distribution in all size fractions were found to be more uniform. Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, and Ti were found to be the highest concentrations in the samples. Distribution of elements Ba, Co, Cs, Cu, Mn, Pb, Sb, Sc, V were found to be more uniform in all routes (R1, R2, R3, R4, R5) whilst high concentration of As, Cd, Cr, Ni and Zn appeared in the road dust near industrial area (R3, R4, R5). In general, road dust is attributed to many sources. The principal component factor analysis approach indicates that local soil, automobile exhaust emissions, tire wear, break dust, biomass combustion and industrial emission were the sources for the road dust in Klang valley.

## Acknowledgement

This work was supported by Malaysian Nuclear Agency, Bangi and part of IAEA/RCA Project, RAS-7015 activity. We thank all Analytical Chemistry Laboratory staff for their technical assistance and support throughout this research project

## References

1. Malaysia Environmental Quality Report (EQR), Department of Environment, Malaysia. ISSN 0127-6433, 2010, 60-62
2. Rahman, S. A., Hamzah, M. S., Wood, A. K., Elias, M. S., Salim, N. A. A., Sanuri, E. Sources Apportionment of Fine and Coarse Aerosol in Klang Valley, Kuala Lumpur Using Positive Matrix Factorization. *Atmospheric Pollution Research*, 2011, 2: 197-206.
3. Masoudi, S. N., Sepanlou, M. G., Bahmanyar, M. A. Distribution of lead, cadmium, copper and zinc in roadside soil of Sari-Ghaemshahr road, Iran. *African Journal of Agricultural Research*, 2012, 7(2): 198-204
4. Faiz, Y., Tufail, M., Javed, M. T., Chaudhry, M. M., Siddique, N. Road dust pollution of Cd, Cu, Ni and Zn along Islamabad expressway, Pakistan. *Microchem Journal*, 2009, 92: 186 -192
5. Li, X., Poon, C., Liu, P. Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong. *Applied Geochemistry*, 2001, 16: 1361–1368.
6. Darlington, R. D. Factor analysis,  
<http://www.unt.edu/rss/class/mike/Articles/FactorAnalysisDarlington.pdf>, cited on 15 April 2012
7. Costello, A. B., Osborne, J. W. Best practices in exploratory factor analysis: Four recommendations for getting the most from your analysis. *Practical Assessment Research and Evaluation*, 2005, 10 (7): 1-9
8. Klang Valley, [http://en.wikipedia.org/wiki/Klang\\_Valley](http://en.wikipedia.org/wiki/Klang_Valley), cited on 28 March 2012
9. Wang, C. F., Chang, Y. C., Tsai, S. F., Chiang, H. L. Characteristics of road dust from different sampling sites in Northern Taiwan. *Journal of the Air Waste Management Association*, 2005, 55: 1236 -1244.
10. Adachi, K., Tainosh, Y. Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust. *Environmental International*, 2003, 30: 1009-1017.
11. Gunawardana, C., Goonetilleke, A., Egodawatta, P., Dawes, L., Kokot, S. Source characterisation of road dust based on chemical and mineralogical composition. *Chemosphere*, 2012, 87(2): 163-170.
12. Han, L., Zhuang, G., Cheng, S., Wang, Y., Li, J. Characteristics of re-suspended road dust and its impact on the atmospheric environment in Beijing, *Atmospheric Environment*, 2007, 41: 7485–7499
13. Westerlund K-G. Metal emissions from Stockholm traffic—wear of brake linings. Report from SLB-Analyst 2001;3
14. Sternbeck, J., Sjödin, A., Andreasson K. Metal emissions from road traffic and the influence of resuspension - results from two tunnel studies. *Atmos Environ*, 2002, 36: 4735–4744
15. Fukuzaki, N., Yanaka, T. and Urushiyama, Y. Effects of studded tires on roadside airborne dust pollution in Niigata, Japan. *Atmos Environ*, 1986, 20: 377-386.
16. Rahman, S.A., Hamzah, M.S., Wood, A.K., Elias, M.S., Salim, N.A.A., Sanuri, E. The application of factor analysis to identify sources in Klang Valley aerosol, *Journal of Nuclear and Related Technologies*, 2009, 6(1): 279-286
17. Thorpe, A., Harrison, R. M. Sources and properties of non-exhaust particulate matter form road traffic: a review, *Science of the total environment*, 2008, 400: 270-282.
18. Fergusson, J. E., Kim, N. D. Trace elements in street and house dusts: sources and speciation. *Sci Total Environ*, 1991, 100: 125– 50
19. Schauer, J. J., Lough, G. C., Shafer, M. M., Christensen, W. F., Arndt, M. F., DeMinter, J. T., Park, J. S. Charcterization of metals emitted from motor vehuicles, 2006, HEI Reserch Report 133. HEI. Boston.
20. Davis, H. T., Aelion, C. M., McDermott, S., Lawson, A. B. Identifying natural and anthropogenic sources of metals in urban and rural soils using GIS-based data, PCA, and spatial interpolation. *Environ. Pollut*, 2009, 157 (8-9): 2378-2385.
21. Lee, C.S., Li, X., Shi, W. and Cheung, S.C., Thornton, I. Metal contamination in urban, suburban, and country park soils of Hong Kong: A study based on GIS and multivariate statistics. *Sci. Total Environ*, 2006, 356: 45-61
22. Banerjee, A.D.K. Heavy metal levels and solid phase speciation in street dusts of Delhi, India. *Environ. Pollut* 2003, 123: 95-105.

23. Dragović, S., Mihailović, N., Gajić, B. Heavy metals in soils: Distribution, relationship with soil characteristics and radionuclides and multivariate assessment of contamination sources. *Chemosphere*, 2008, 72: 491-495
24. Clougherty, J. E., Houseman, E. A., Levy, J. I. Examining intra-urban variation in fine particle mass constituents using GIS and constrained factor analysis. *Atmospheric Environment*, 2009, 43(34): 5455-5555

## Applications of INAA and IPAA to cosmochemical materials

Naoki Shirai<sup>1</sup>, Shun Sekimoto<sup>2</sup>, Sae Ohtsuka<sup>1</sup> and Mitsuru Ebihara<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Metropolitan University

<sup>2</sup>Kyoto University Research Reactor Institute

### Introduction

Cations like Zr, Nb, Hf and Ta are relatively small in size and high in charge, and are grouped into high field strength elements (HFSE). Such elements pairs as Zr-Hf and Nb-Ta, which have similar ionic radius at the same valency states, are well known to behave in a similar way during igneous processes such as partial melting and fractional crystallization [e.g., 1]. As these elements are classified into refractory elements in cosmochemistry, element pairs represented by Zr-Hf and Nb-Ta behave similarly during cosmochemical processes. However, recent studies using improved analytical methods such as ICPMS indicate that the fractionations of Zr-Hf and Nb-Ta in cosmochemical and geological samples can occur [e.g., 2, 3]. Therefore, Zr/Hf and Nb/Ta ratios provide useful information about condensation processes and igneous processes. Most of the previous works were done by using analytical methods accompanying acid digestion such as ICP-MS. HFSE often involve in creating analytical problems such as incomplete acid digestion and instability in solution. As an analytical method, we used INAA and IPAA in this study. Being a non-destructive methods, INAA and IPAA can potentially yield very accurate data for cosmochemical and geological samples. The aim of this study is to evaluate our Zr and Nb data for geological samples compared with their literature values and apply INAA and IPAA to cosmochemical samples.

### Experimental

Three GSJ standards namely JB-1 (basalt), JG-1 (granodiorite) and JR-1 (rhyolite) were analyzed by IPAA. JB-1 was used as standard for determination of Nb and Zr in JG-1 and JR-1. In addition to JB-1, chemical reagent samples, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (99.999 %, Soekawa Chemical Co., Ltd.), was irradiated to correct the spectral interference of <sup>52</sup>Mn formed by the <sup>54</sup>Fe(γ, pn)<sup>52</sup>Mn reaction. IPAA was performed by using a linear electron accelerator at KURRI. About 50 mg sample was taken into a sample container (9 mmφ) made of highly Al foil (Al: 99.5 %, Niraco Co., Ltd.). Five to ten samples were then stacked, among which thin foil disks (9 mmφ) of Au as a monitor of the intensity of photon were placed. IPAA was performed by irradiating the samples in a linear electron accelerator of KURRI at 30 MeV for 27 hours. The Al containers were replaced with new one after irradiation. Samples were measured for gamma-rays at RI research center of Tokyo Metropolitan University.

IPAA was also applied to six lunar highland meteorites. The IPAA procedure was same as that used for geological samples. INAA was performed by using a portion of each sample for the determination of their Hf and Ta abundances. In INAA, samples were doubly sealed with high-purity polyethylene bag and were irradiated for 4 hours by reactor neutrons at KURRI.

### Results and Discussions

Zirconium and Nb abundances were determined by using the 909.2 and 934.5 keV gamma-ray of <sup>89</sup>Zr and <sup>92m</sup>Nb, respectively. As reported by Kato and Matsumoto [4], 934.5 keV peak of <sup>92m</sup>Nb were caused by a spectral interference

for 935.5 keV peak of  $^{52}\text{Mn}$ . Its contribution was corrected by using 934.5 and 1434.1 keV peak of chemical reagent ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Contributions of  $^{52}\text{Mn}$  were 12 % for JB-1, 4 % for JR-1 and 8 % for JG-1. Our Zr and Nb abundances for JG-1 and JR-1 were compared with their literature values in Table 1. As shown in Table 1, there is difference of Nb and Zr abundances for JG-1 between ICP-AES and ICP-MS, and other methods. Analytical methods with acid digestion represented by ICP-AES and ICP-MS reported the lower Nb and Zr abundances in JG-1 compared with those of other methods. In consideration that granodiorites such as JG-1 contain zircon as accessory minerals and Zr and Nb are more partitioned into zircon than other minerals [5]. As zircon is an acidic refractory material, it is hardly dissolved under acid digestion. Therefore, Zr and Nb do not come into the solution. As a result, Zr and Nb values from ICP-AES and ICP-MS are lower than those from other methods (e.g., IPAA). Our Zr and Nb values for JG-1 are significantly higher than literature values obtained from ICP-AES and ICP-MS and are consistent with literature values from IPAA. Our RSD value for Zr in JG-1 is higher. It is likely that zircon is heterogeneously distributed in JG-1. Our Zr and Nb values for JR-1 are consistent with literature values.

Six lunar highland meteorites were analyzed by using IPAA and INAA. Our Nb/Ta ratios for six lunar highland meteorites are consistent with each other and are fallen in the range from lunar meteorites and Apollo samples. Zirconium/Hf ratio for Apollo samples range from 26.6 to 40.7. Almost all lunar highland meteorites including our samples have higher Zr/Hf ratios than those for Apollo samples. It has been reported that lunar highland meteorites possess zircon. Therefore, this difference could be a result of the presence of zircon.

### Summary

We performed IPAA for the determination of Nb and Zr abundances in JG-1 and JR-1 in KURRI. For JR-1, our Nb and Zr values are in good agreement with literature values. Our Nb and Zr data are relatively higher than literature values obtained from ICP-MS and ICP-AES. This difference is due to incomplete acid digestion of zircon. This study demonstrates that IPAA is more suitable method than the other methods accompanying with acid digestion such as ICP-AES and ICP-MS.

### References

- [1] Jochum K. P. et al. (1986) *GCA*, **50**, 1173-1183. [2] Münker C. et al. (2003) *Science*, **301**, 84-87. [3] Nebel O. et al. (2010) *GCA*, **74**, 4392-4404. [4] Kato T. and Matsumoto K. (1981) *Geostandard Newsletter*, **5**, 167-170. [5] Thomas J. B. et al. (2002) *GCA*, **66**, 2887-2901.

Table 1. Analytical results for JG-1 and JR-1 for Nb and Zr.

		JG-1			JR-1				
		Min	Max	Mean	Min	Max	Mean		
Nb (ppm)	This work			12.9 (3.6)*	This work		15.1 (3.4)*		
	PAA	11.5	-	12.4	PAA	16.5	-	17.2	16.9
	ICPES	10.2		10.2	ICP-AES	14.2	-	18	16.1
	ICPMS	10.9	-	12.2	ICP-MS	13.6	-	17	15.3
Zr (ppm)	XRF	9.8	-	14	XRF	10	-	17	15
	This work			138 (20)*	This work		105 (3.6)*		
	PAA	118	-	152	PAA	96.5	-	108	102
	ICPES	29	-	118	ICPES	90.6	-	97	94
	ICPMS	24.1	-	31.4	ICPMS	91	-	105	98
	INAA	57	-	187	INAA	90	-	160	127
	XRF	103	-	137	XRF	90	-	114	100

\*The values in brackets are RSD (n = 3).

## 目次

### $k_0$ -NAAによる大気環境試料分析での KURとJRR-3の比較

住査試験検査株式会社 宮田 賢平  
京都大学原子炉実験所 松本 幸一  
奥村 良  
高宮

S.H.I. Examination & Inspection, Ltd. Business Development Dept.

1  
S.H.I.

## はじめに

- $k_0$ 法は元素ごとに比較標準を必要とせず、また照射設備に依存しない。 $k_0$ 係数を使用するため、あらゆる施設で実施できる。
- 当社はJRR-3にて $k_0$ 法を用いた中性子放射化分析で大気環境試料の分析を行っており、精度の良い結果が得られている。
- 一方、KURでは中性子放射化分析では比較法が使われております。 $k_0$ 法はこれまで使用されてこなかった。

KURにて $k_0$ 法による大気環境試料の  
中性子放射化分析の検討を行った

S.H.I. Examination & Inspection, Ltd. Business Development Dept.  
2  
S.H.I.

## KURとJRR-3の比較

測定	短寿命核種測定		長寿命核種測定	
	KUR	JRR-3	KUR	JRR-3
照射設備	Pn-3(1MW)	PN-3	Pn-2(5MW)	PN-1
中性子束 / $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	$4.2 \times 10^{12}$	$1.5 \times 10^{13}$	$2.4 \times 10^{13}$	$5.2 \times 10^{13}$
Cd比	5.7	290	5.0	23
キャセルサイズ /mm	$\varphi 33 \times 110L$	$\varphi 17 \times 30L$	$\varphi 33 \times 110L$	$\varphi 33 \times 95L$
配管の内径/mm	$\varphi 38$	$\varphi 20$	$\varphi 38$	$\varphi 36.7$

1MW利用時ににおいて中性子束密度が低いため、  
照射時間や測定時間での調整が必要  
またCd比が小さく、妨害反応の検討も必要

S.H.I. Examination & Inspection, Ltd. Business Development Dept.  
3  
S.H.I.

## K<sub>0</sub>法の原理

### K<sub>0</sub>法の定義式

$$W_a = \frac{C_a}{C_{Au}} \cdot \frac{1}{k_0(\alpha)} \cdot \frac{f + Q_{0,Au}(\alpha)}{f + Q_{0,a}(\alpha)} \cdot \frac{\epsilon_{Au}}{\epsilon_a} \cdot \frac{W}{C} \cdot \text{元素質量} \cdot \frac{\epsilon_{Au}}{k_0 \cdot k_0 \text{系係数}}$$

①: 試料元素とコントローラーの計数率比

②:  $k_0$ 系係数

③: 原子炉内の中性子に依存する項

④: 測定器の検出効率

### K<sub>0</sub>法の手順

1. ZrとAuを元にトリプルモニタ法にて  
 $f/\epsilon_a$ を算出
2. コンバータクター(Fc)を算出
3. これを元に元素濃度を算出

SHI Examination & Inspection, Ltd. Business Development Dept.

SHI-2

5

## 定量値の変動要因

### 定量化を変化させる要因候補

- 中性子束の変動量
- 中性子のエネルギー分布の変動量(パラメータとしてはfと $\alpha$ )
- 勝害核反応

$Q_0$ : 中性子捕獲断面積

### KURで大気環境試料の分析を行う場合を想定し、

- 変動要因について検討を行った
- 標準物質を用いて分析を行った

6

SHI Examination & Inspection, Ltd. Business Development Dept.

SHI-2

## 目次

1. はじめに
2. KURとJRR-3での定量値の不確かさの比較
3. 標準物質SRM1633bへの適用

## 中性子束の変動量の確認①

### 実験条件

原子炉	KUR	JRR-3
照射設備	Pn-3(1MW)	PN-3
試料	Au	Au
照射時間	3分	1分
照射間隔	8分ごとに照射	45分ごとに照射
冷却時間	40時間	40時間
測定時間	150秒	150秒

- 照射位置を一致させるため、試料はキャップセルの底と平行になるように入れ、その上からガーゼを入れて固定した。

7

SHI Examination & Inspection, Ltd. Business Development Dept.

SHI-2

6

SHI Examination & Inspection, Ltd. Business Development Dept.

SHI-2



## 妨害核反応の確認②

妨害核反応による寄与と大気環境試料における定量値への影響

生成元素	妨害元素	生成元素定量値/ 妨害元素定量値	大気環境試料中の含有量/ng	予想される 妨害核反応 寄与/ng
Na	Al	2.2 × 10 <sup>-4</sup>	1.7 × 10 <sup>-3</sup>	4.0 × 10 <sup>-2</sup>
Mg	Al	1.8 × 10 <sup>-1</sup>	6.2 × 10 <sup>-2</sup>	4.0 × 10 <sup>-2</sup>
Mn	Fe	1.4 × 10 <sup>-5</sup>	8.5 × 10 <sup>-1</sup>	1.5 × 10 <sup>-3</sup>

大気環境試料では、特に寄与が大きいAIの妨害核反応の  
補正が必要となることが分かった

12 S.H.I. Examination & Inspection, Ltd. Business Development Dept. SHI

## 目次

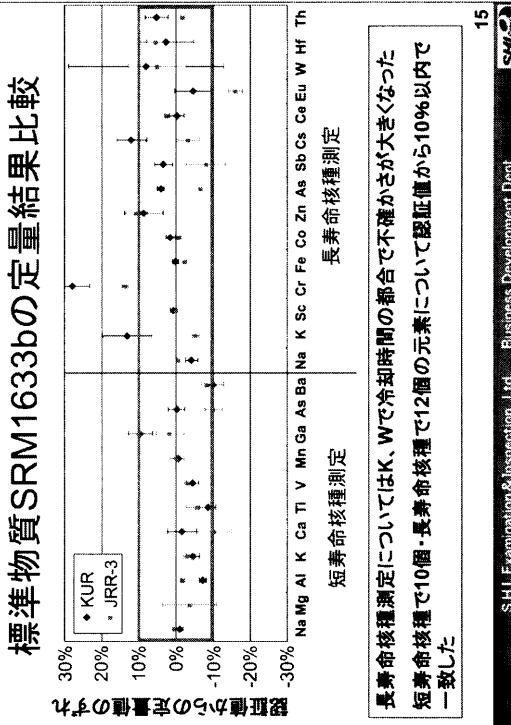
1. はじめに
2. KURとJRR-3での定量値の  
不確かさの比較
3. 標準物質SRM1633bへの適用

13 S.H.I. Examination & Inspection, Ltd. Business Development Dept. SHI

## 標準物質SRM1633bの照射・測定条件

	短寿命核種測定 KUR Pn-3(1MW)	長寿命核種測定 KUR Pn-2(5MW)
照射時間	1分	40分
冷却時間	1回目 16分	6日
	2回目 40分	16日
測定時間	3回目 6時間	30日
	2回目 300秒	5000秒
	3回目 1200秒	10000秒
		25000秒

14 S.H.I. Examination & Inspection, Ltd. Business Development Dept. SHI



15 S.H.I. Examination & Inspection, Ltd. Business Development Dept. SHI

## まとめ

- JRR-3と比べ、KURは中性子束はほぼ同等の変動であるものの、 $\gamma$ や $\alpha$ で変動が大きいことが分かった。
- JRR-3よりもCd比が低く、JRR-3では必要な無かつた妨害核反応についても補正が必要となった。
- 標準物質SRM1633b(Coal Fly Ash)の定量において、合計20元素について認証値と10%以内で一致した。

### 今後の課題

- 照射時のキャプセル内のフレックス分布の確認

## 放射化分析による熱水性鉱石中のレアメタル存在度の解明

石橋純一郎・大城光洋（九州大）・山中寿朗・古澤祉子（岡山大）・  
野口拓郎（高知大コア研）・高宮幸一・奥村良（京都大原子炉実験所）

近年注目を集めている海底金属資源の探査研究、特にレアメタルをターゲットとした研究に放射化分析（INAA）を利用することを目指して予察的研究を行っている。海底金属資源として注目されている熱水性硫化物鉱床から採取される鉱石は、鉱物組成が多様でまた不均質なものが多い。この中から含量の予想がしづらいレアメタル元素の定量分析を考えると、分析感度が極めて高く化学処理が不要で多元素同時分析が可能となる放射化分析は、非常に有効な分析手段であると考えられる。

平成 23 年度の京都大原子炉実験所による共同利用研究の枠組みのもとで放射化分析を実施した。照射と測定は、生成する放射性核種の半減期に対応して、短寿命核種測定 ( $^{66}\text{Cu}$ ,  $^{56}\text{Mn}$ )、中寿命核種測定 ( $^{76}\text{As}$ ,  $^{198}\text{Au}$ ,  $^{131}\text{Ba}$ )、長寿命核種測定 ( $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{203}\text{Hg}$ ,  $^{124}\text{Sb}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ) の 3 回に分けて行った。短寿命核種測定用の分析は、照射時間 1-3 分、冷却時間 10-30 分、測定時間 5 分で行った。中寿命核種測定用の分析は、照射時間 4 時間、冷却時間 3-10 日、測定時間 50 分で行った。長寿命核種測定用の分析は、照射時間 4 時間、冷却時間 25-35 日、測定時間 3 時間で行った。標準試料（短寿命核種測定は Na、中・長寿命核種測定は Co）を合わせて照射して照射時の中性子フラックスをモニタし、それぞれの核種について放射化断面積から計算される核種生成率と測定されたガンマ線強度と比較することで、試料中の元素の存在度を定量した。

今回分析に供した試料は、鹿児島湾若尊海底火口から KT08-09 航海の際にピストンコアにより採取された堆積物試料と、沖縄トラフのいくつかの熱水域から NT11-20 航海などの潜航調査により採取された熱水性鉱石試料である。鹿児島湾の堆積物試料の解析からは、輝安鉱（アンチモンの硫化鉱物）の鉱化作用に伴ってヒ素、金、コバルトなどの元素が濃集していることが見いだされた。また、沖縄トラフの鉱石試料の解析からは、一部の熱水域で銀の濃集を示す鉱石が多く産することが見いだされた。

(専門研究会報告書より転載)

## 化粧品の分析

お茶の水女子大学

古田悦子

化粧品に含まれる微量元素を、INAA, PGAA, ICP-MS, SEM-EDX により分析した。

### はじめに；

安全性の確保が必要な化粧品には、不純物も含め添加を禁止する物質のリストである「ネガティブリスト」と、防腐剤、紫外線吸収材及びタル色素の配合制限である「ポジティブリスト」が存在する。また、さまざまな添加物を含む化粧品は、その成分試験法が指定されている。しかしこの試験法には、ネガティブリスト、ポジティブリストに挙げられた元素の濃度や絶対量の基準が殆どない。砒素試験法に関してのみ検出限界は 2 ppm、すなわち 2 ppm 以下であれば含まれていても良いと記載されているわけだが、他の有害と考えられる金属元素等に関しては、限界値が示されていない。日本では、平成 13 年より、化粧品は全成分表示が義務付けられた。しかし、ネガティブリスト、ポジティブリストの内容は、国などの規制当局によって異なる。こうした現状下で、化粧品の安全が確保されているのか疑問である。

極微量の定量分析法として定着してきている ICP-MS 法では、試料の前処理が必要であり、有機無機化合物が混在している化粧品の分析は容易とは言い難いと考えられる。これに対し、中性子放射化分析法を用いた場合、種々の形態の試料を少量で多元素同時分析が可能であると考えられるが、その解析例は、アイシャドウ中の Fe と Zn の分析などの数例があるのみである。

本研究の目的は、諸分析法を用いた国内外の化粧品に含まれる不純物も含めた微量金属元素の定性定量分析により、添加規制元素の存在の有無の確認と、規制が十分であるか否かの検討にある。

### 研究方法；

① 試料：白金、金、銀を添加したと謳っている基礎化粧品の化粧水、乳液、クリーム等 16 試料、アイシャドウの 30 試料、リキッドファンデーションを除くファンデーション、粉おしろい、およびファンデーションの原材料の 22 試料、比較のための純度が種々の金属シートの「金」4 種類、「銀」1 種類である。

ただし、ICP-MS では、INAA 終了後に、ネガティブリストの元素が含まれている可能性が有る基礎化粧品 6 種類、および金属シートを試料とした。

② 試料調整方法：中性子放射化では、極力前処理をしないこととし、液体・粘性試料はろ紙 (ADVANTEC 5A,  $\phi$  16 mm) に吸収させ、赤外線ランプを用いて乾燥させたものを、粉体試料はそのままを、高純度ポリエチレンフィルムを用いて封入した。標準試料は、JA-2, JR-2 を用いた。

PGAA 用試料は、未処理のままのファンデーション等を、FEP フィルムを用い約 5×5 mm に封入した。(ICP-MS の試料調整法は、論文 1. に詳細を記載して有る。)

③ 放射化は、JAEA の JRR-3, PN-1 (熱中性子束;  $5.2 \times 10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>·sec)、PN-3 (熱中性子束;  $1.5 \times 10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>·sec)、PGAA (熱中性子束;  $1.6 \times 10^8$  n/cm<sup>2</sup>·sec) で行った。

- ④ 試料とした基礎化粧品に添加したとする金属元素の大きさを確認するため SEM-EDX による (JAEA 協力による) 画像取得、定性分析を行った。

結果：

基礎化粧品の INAA による分析結果を表 1 に示す。(ただし、測定結果の図表は、表 1 を除き省略させていただく。末尾記載の論文等 1.~3.に詳細を記載して有る。)

表 1 INAA により分析した基礎化粧品に含まれる Pt, Au, Ag (ppm)

Sample	Pt	Au	Ag
Lotion; Pt, Ag	1.6±0.2	<1×10 <sup>-3</sup>	0.120±0.02
Liquid; Pt, Au	1.3±0.2	<1×10 <sup>-3</sup>	0.088±0.018
Cream; Pt, Ag	2.4±0.3	<2×10 <sup>-3</sup>	0.093±0.019
Cream; Pt	<4	<6×10 <sup>-3</sup>	<5×10 <sup>-2</sup>
Gel; Au	<14	150±0.5~280±0.8	0.940±0.076
Cream; Pt	<2	<3×10 <sup>-3</sup>	<3×10 <sup>-2</sup>
Cream; Pt	<1	<1×10 <sup>-3</sup>	<5×10 <sup>-2</sup>
Liquid; Pt	79±2.2	<1×10 <sup>-3</sup>	<7×10 <sup>-2</sup>
Liquid; Pt	3.3±0.3	<2×10 <sup>-3</sup>	<3×10 <sup>-2</sup>
Cream; Pt	22±1.2	<2×10 <sup>-3</sup>	<7×10 <sup>-2</sup>
Liquid; Pt	0.9±0.2	<1×10 <sup>-3</sup>	<3×10 <sup>-2</sup>
Lotion; Pt	<1	<2×10 <sup>-3</sup>	<3×10 <sup>-2</sup>
Gel; Au	<2.6	29±0.7~220±0.5	0.97±0.067~ 6.04±0.28
Gel; Au	<5.6	208±3.3	1.08±0.03~ 6.63±0.27
Lotion; Au	<3.3	18.7±0.3	0.47±0.04~ 1.0±0.04
Gel; Au	<4.8	116±1.9~260±3.8	6.85±0.3~12.8±0.4

- 1) 試料調整は PGAA, INAA, (SEM-EDX,) ICP-MS の順に容易であり、中性子放射化法による分析は化粧品試料に向いていた。
- 2) 基礎化粧品では、ナノサイズの Pt, Ag を添加したと謳われた何も目視できない試料の多くから、Ag, Pt が各 ppb, ppm オーダーで検出された。しかし、16 試料中 4 試料では、検出限界以下となつた。これは、化粧品に含まれる Na の放射化による BG 値の上昇の影響と考えられる。
- 3) Au を添加したとする基礎化粧品には、肉眼で見ることが可能な金色の細片が含まれており、これは SEM-EDX から、Au である事が確かめられた。また、Pt の大きさは、1 辺が 200 nm 程度のものもあり、謳われている「ナノサイズの添加」に相違なかった。
- 4) Au を添加した基礎化粧品からは、同時に Ag が検出された。その量は添加したと謳っている化粧品

の 10 倍以上であった。この Ag の含有量は、広告に値すると考えられるが一切触れていないことから、(1) これらの化粧品では、製品化後の成分分析が行なわれていないと考えられる、(2) Au を添加することにより、その不純物である Ag が添加されたと考えられる。実際、Au、Ag 金属シートを ICP-MS により分析した結果、Au 中の Ag は約 0.1-5%、Ag 中の Au は約 2% 含まれていた。含有率はその純度により相当に異なるものの、重金属を添加することにより入ってきた「不純物」であると考えられる。

- 5) 基礎化粧品には、他に Zn, Cr, Sr\*, Pb\* (\*;ICP-MS による)が検出された。Sr はネガティブリストに含まれ、不純物であっても含有されてはいけない元素である。
- 6) ファンデーション試料に含まれる Fe の INAA と PGAA の分析値は良く一致していた。
- 7) ファンデーションの主要成分は、タルク ;  $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ 、マイカ ;  $KAl_2Si_3O_{10}(OH)_2$ 、酸化チタン ; TiO であり、Al, Fe, Ti, Mg, Zn, B, Si, La, Eu が%オーダーで含まれている試料が多かった。一方、「タルクフリー」の試料では、Ti, B が検出限界以下となった。
- 8) ファンデーションは、同一銘柄の商品であっても Ca, Fe 濃度が極端に違っていた。色味を変えるための成分の違いと考えられる。
- 9) ファンデーションの原材料であるカオリין 2 種類は、主要成分濃度に大差ないものの、仏製の方がその他の 10 核種が多く含まれていた。製品により、不純物の含有量に差があると考えられる。
- 10) アイシャドウには Al, Fe, Ti, Mg, Zn が%オーダーで含まれている試料が多かった。Al, Ti, Mg は、互いに相関はみられず、また、含有量と色との関連はみられなかった。
- 11) 黒・茶・藍など濃色アイシャドウに含まれる Fe と Mn, Co には明らかな相関がみられた。
- 12) アイシャドウ、ファンデーションとともに Zn の濃度が 2 極に分かれた。Zn は抗菌、紫外線散乱剤として用いられ、これらを強化したことを謳う化粧品には多く含まれていた。

### 結論；

1. 化粧品の微量分析に、放射化法は有効である。
2. 重金属元素を化粧品に添加することで、他の金属元素が不純物として混入する場合がある。
3. 化粧品類は肌に直接塗布するので、製造後の不純物検査が必要であるが、行われていない場合があると考えられる。
4. 機器分析の進歩により、超微量元素の検出が可能となってきた。このため、ネガティブリストの「不純物も含めて存在してはいけない」元素の限界値を定めるべきである。限界値を定めることによって、実効性のあるリストになると考える。

### 謝辞；

本研究は、東京大学開放研 2008-10 年度採択研究課題として遂行されたものであり、JAEA の江坂文孝氏、福山裕康氏、放医研の田上恵子氏、東京都立大学の中原弘道氏、東京都市大学の岡田往子氏、慈恵医科大学の箕輪はるか氏にご協力いただきました。この場をお借りして深謝いたします。

論文等； 上記の詳細を 1.~3. に記載、1)、2) は本研究の出発点となった、放射性物質を添加された化粧品に関する論文である。

1. Heavy metal elements in toiletries analyzed by INAA, ICP-MS and SEM-EDX.

Proc. Radiochim. Acta 1, 393-398 (2011)

2. 化粧品の中性子放射化分析を通して考える成分表示法の問題点

化学生物総合管理 5(1), 83-89 (2009)

3. Analysis of some heavy metallic elements added in toiletries.

Jpn. J. Health Phys., 45(4), 388-389 (2010)

1) Neutron activation analysis of trace elements in Japanese hormesis cosmetics.

J. Radioana. Nucl. Chem. 278(3), 553-557 (2008)

2) ホルミシス化粧品から受ける放射線被ばく線量の評価、

保健物理、43 (4), 341-348 (2008)

## Neutron Activation Analysis and its Application in Malaysian Nuclear Agency

Boon Siong Wee<sup>1</sup>

Malaysian Nuclear Agency, Bangi, Kajang, 43000 Selangor, Malaysia.

### Abstract

In Malaysia, the research reactor is utilized for various applications including neutron activation analysis (NAA) for research and service purposes. Throughout the years, many research projects have been successfully conducted at the NAA laboratory through international and local collaborations. These collaborations had been very important to improve on the research and applications of NAA in the country. The applications of NAA in the Malaysian Nuclear Agency are discussed in this paper.

### Introduction

Neutron activation analysis (NAA) is a non-destructive method with multi-elemental capability. The NAA technique provides high sensitivity and accuracy for trace element determination that could be applied to analysis of various sample types namely geological, biological and environmental samples. Simple sample preparation steps in NAA prevent sample contamination and only small sample size (about 100-500 mg) is required. Neutron source from a research reactor is required to perform NAA either for short and long time irradiation. In Malaysia, the PUSPATI TRIGA MARK II research reactor provides neutron irradiation facilities for NAA application. After activation by neutron, gamma-rays emitted from radionuclide were measured using HPGe detectors and spectra were analyzed using appropriate software. Quantifications of elemental concentrations are commonly performed using comparative method. Utilization of NAA is quite encouraging and many research projects were completed and new projects are being conducted. This paper will discuss the applications of NAA in Malaysian Nuclear Agency.

### The PUSPATI TRIGA MARK II reactor

The Malaysian Nuclear Agency (Nuclear Malaysia) owns the only research reactor namely the PUSPATI TRIGA MARK II reactor which comes into operation in 1982. The PUSPATI TRIGA MARK II reactor is a 1MW light-water moderated pool-type reactor. The first criticality was achieved on 28 June 1982. The cross section of the reactor is shown in Fig. 1. This research reactor is equipped with four beamports and one thermal column as shown in Fig. 2. Nuclear fuels of this reactor are standard TRIGA fuel elements (112 rods) composed of zirconium hydride alloy containing enriched uranium (8.5 – 20 wt.%) and cladded with stainless steel. The fuel elements configuration is shown in Fig. 3. During routine operation, the thermal neutron flux at rotary rack (RR) and pneumatic transfer system (PTS) is about  $2.3 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2/\text{s}$  and  $5.4 \times$

---

<sup>1</sup> Corresponding author email: wee@nuclearmalaysia.gov.my

$10^{12}$  n/cm<sup>2</sup>/s, respectively (Wee et al., 2006). The reactor operation time is 6 hrs/day and 4 days/week. This research reactor is utilized for the following purposes:

- (a) NAA for multi-elemental analysis of various samples.
- (b) Small angle neutron scattering (SANS) at beamport No. 4 for material characterization based on neutron scattering.
- (c) Neutron radiography at beamport No. 3 for studies of internal structures.
- (d) Isotope production for industrial and environmental tracer studies.

## The NAA Laboratory

At present, the NAA laboratory is based at the Analytical Chemistry Application Group. This group consists of seven researchers and nine assistants. The NAA laboratory is equipped with seven HPGe detectors with relative efficiencies ranging from 10% to 30%. Among these HPGe detectors, five were manufactured by Ortec and two by Canberra. Softwares used for spectrum analysis were Genie2000 and Gamma Vision, respectively. Short irradiation is performed using the PTS with irradiation time of 1 min. Long irradiation is performed at the RR with irradiation time of 1 – 6 hrs. Gamma-ray measurement times were ranged from 5 minutes to 24 hours depending on the half-live of radionuclides. Information on NAA method used in this laboratory is described in Wee et al. (2006, 2007). The NAA laboratory analyses about 450 samples annually. Users of NAA are researchers, students, government authorities and companies.

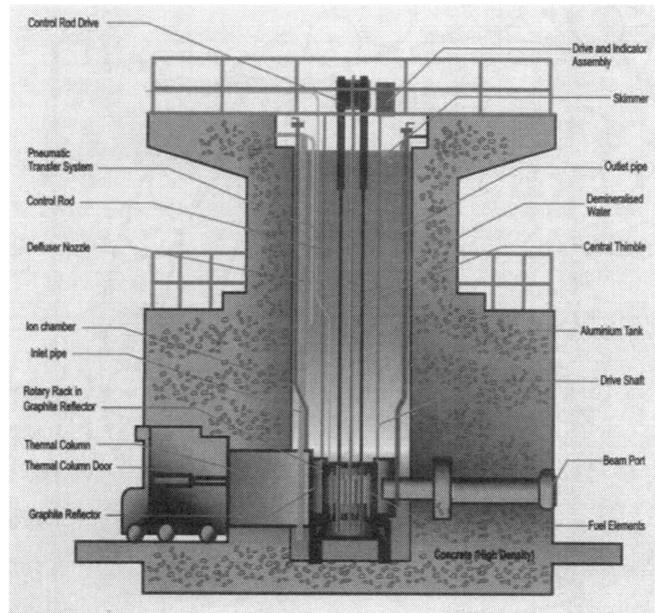


Fig. 1. Vertical cross section of PUSPATI TRIGA MARK II reactor.

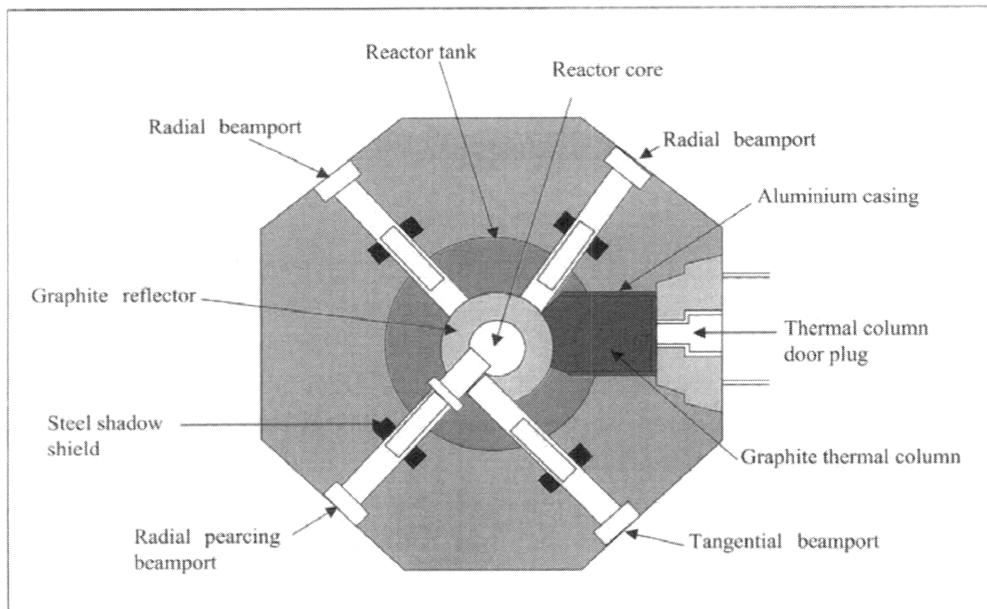


Fig. 2. The PUSPATI TRIGA MARK II beamports and thermal column arrangements.

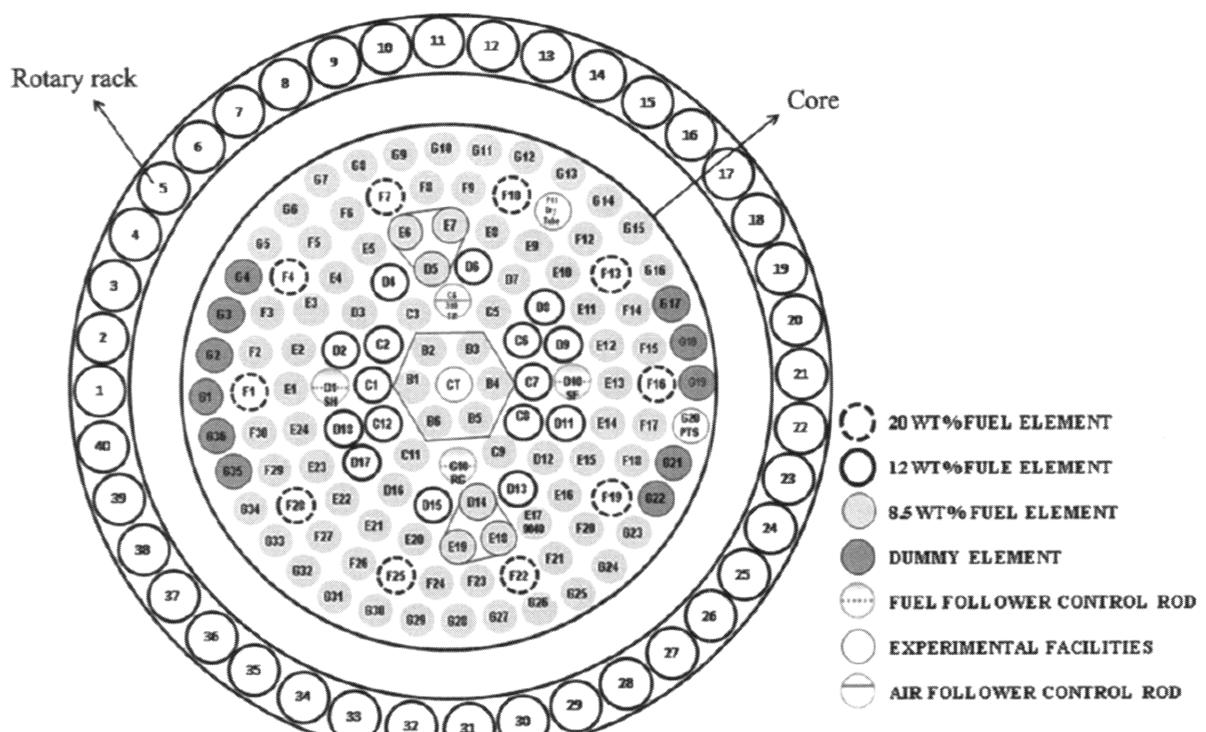


Fig. 3. Fuel elements arrangement of the PUSPATI TRIGA MARK II reactor.

## **Applications of NAA**

The NAA method is very useful for multi-elemental analysis of various samples. In our laboratory, NAA method is applied to research projects related to environmental studies. These research projects are financially supported by Malaysian Nuclear Agency and the Ministry of Science, Technology and Innovation (MOSTI). Collaboration with International Atomic Energy Agency (IAEA) and Forum for Nuclear Cooperation in Asia (FNCA) provides additional support to these projects. Occasionally, collaborations with local universities are essential to enhance the utilization of NAA in the country. In the paragraphs that follow, selected projects related to the applications of NAA are discussed.

**(a) Air particulate study in Klang Valley.**

Air pollution is an environmental issue in many countries including Malaysia. Monitoring of air pollution is essential to assess the level of air pollution in a selected area. In Kuala Lumpur, the capital city of Malaysia, air particulate samples were collected and analyzed using INAA. This project is supported by IAEA (Hopke et al., 2008; Shamsiah et al., 2011) and FNCA (Ebihara et al., 2006, 2008). Air particulate samples were collected using Gent air sampler installed with two polycarbonate filters having pore sizes of 0.4 and 8  $\mu\text{m}$ , respectively. The sampling time is 24 hours with a sampling rate of 16.7 L/min. Fine ( $\text{PM}_{2.5}$ ) and coarse ( $\text{PM}_{10-2.5}$ ) fractions were collected and were analyzed for their trace element contents. Trace elements (Al, Cr, Mn, V) in  $\text{PM}_{2.5}$  were reported for Kuala Lumpur and concentrations of these elements were found to be similar to those from big cities like Ho Chi Minh (Vietnam) and Daejon (Korea) (Ebihara et al., 2008). Contribution from industrial sources may cause increase of trace elements in the fine fractions. Trace elements in coarse fractions from Kuala Lumpur showed high levels of Al and Ti contents as compared to other Asian countries (Ebihara et al., 2008). The presence of Al and Ti in coarse fractions is commonly associated with soil dust.

**(b) Marine pollution study**

Trace and toxic elements in sediments are important indicators for environmental pollution. Since 2003, marine sediments were collected from various locations around the seas of Malaysia. The samples were subjected to elemental analysis using INAA method. Data from this study is assessed by using Potential Ecological Risk Index (PERI). The PERI is useful to evaluate the harm of heavy metals in the sediments (Hakanson, 1980). Calculations of PERI require three parameters: (i) pollution index,  $C_j^i$ ; (ii) potential ecological risk index for single heavy metal pollution,  $E_j^i$ ; and (iii) potential toxicity response index for various heavy metals in the sediments,  $RI$ . In this study, trace elements (As, Cr, Sb and Zn) in marine sediments collected around the coastal areas of Peninsular Malaysia were evaluated using PERI. Results showed that PERI for sediments were low signifying that minimal ecological risk. Besides PERI, other indexes such as geoaccumulation index ( $I_{\text{geo}}$ ) and pollution load index (PLI) could be used to assess trace element contamination in sediments (Elias et al., 2011).

**(c) Trace elements in fish**

Fish is an important source of protein for Malaysian. Main fishing areas in Malaysia are located at the Strait of Malacca and South China Sea. Daily fish consumption is estimated to be 160 g/person. Fish may contain some toxic elements due to water contamination and consumption of fish may pose some health effects to humans. This project aims to analyzed fish samples for trace and toxic elements and the data were used for human health risk assessment in Malaysia. The elements Cr, Hg,

Se and Zn were analyzed using INAA. Quality control materials used in this study were NRCC DORM-3 (fish protein) and IAEA MA-A-2 (fish flesh). Concentrations of the elements are used for estimating dietary doses from fish consumption. By using an average body weight of Southeast Asian of 50 kg, the dietary doses of Hg from fish were 0.40 µg/kg body wt./day (White fin Wolf Herring) and 0.23 µg/kg body wt./day (Red snapper), respectively. These values were higher than the reference dose (RfD) of 0.1 µg/kg body wt./day for Hg as proposed by EPA Guideline. For elements Cr, Se and Zn, their dietary doses were below EPA Guideline signifying that no potential health risk is anticipated.

(d) In-house reference material

Certified reference material is routinely used in INAA for quality control of analytical data. The cost of procuring certified reference materials is increasing due to limited production by the respective producers. Alternative to certified reference material is in-house reference material which can be produced by a laboratory for internal use. To date, our laboratory has characterized an in-house reference material (ST13) from marine sediment sample (Salim et al., 2011). Total amount of ST13 available is about 890 g. The sample is properly dried and homogenized using agate mortar. In the initial stage, twenty replicates of ST13 were prepared for neutron irradiation. Trace elemental data from INAA have been obtained for 31 elements (Al, As, Ba, Br, Ca, Ce, Co, Cs, Cr, Eu, Fe, Ga, Hf, K, La, Lu, Mn, Na, Nd, Rb, Sb, Sc, Sm, Ta, Tb, Th, Ti, U, V, Yb and Zn) and quality control data (IAEA SL-1 and IAEA Soil-7) were in good agreement with certified values ( $|z| < 2$ ). Other analytical methods (AAS and ICP-MS) will be used to obtain more elemental data for this in-house reference material.

## Summary

The NAA method is important for trace element analyses and it has been applied to many research projects conducted in Malaysian Nuclear Agency. Among the main applications of NAA are for environmental projects such as air particulate and marine pollution studies. Collaborations with IAEA and FNCA are essential to enhance the utilization of NAA and to promote knowledge exchange among scientists in this field. Besides, cooperation with government authorities and commercial users will ensure continuous support for NAA in Malaysia.

## Acknowledgements

I would like to thank the Kyoto University Research Reactor Institute (KURRI) for providing financial support. I am very grateful to Prof. S. Shibata (KURRI) and Prof. M. Ebihara (TMU) for their kind invitation to attend this meeting. I also thank Dr. S. Sekimoto (KURRI) and Dr. N. Shirai (TMU) for their kind assistance during my stay in Japan. Part of this study is supported by MOSTI Science Fund and is greatly appreciated.

## References

- Ebihara et al. (2006) *J. Radioanal. Nucl. Ch.* 269, 259-266.  
Ebihara et al. (2008). *J. Radioanal. Nucl. Ch.* 278, 463-467.

- Elias et al. (2011). Proceedings of the UMT 10<sup>th</sup> International Annual Symposium, Malaysia.
- Hakanson (1980). *Water Res.* 14, 975-1001.
- Hopke et al. (2008). *Sci. Total Environ.* 404, 103-112.
- Rahman et al. (2011). *Atmos. Pollut. Res.* 2, 197-216.
- Salim et al. (2011). Proceedings of the Nuclear Science, Technology and Engineering Conference, Malaysia.
- Wee et al. (2006). *Nucl. Instrum. Methods A* 564, 716-720.
- Wee et al. (2007). *Malaysian J. Anal. Sc.* 11, 17-22.

(専門研究会報告書より転載)

## 多重即発ガンマ線分析(MPGA)による堆積物中のホウ素含有量の測定と古汽水性の復元(予報)

豊田和弘\*、藤 暢輔<sup>△</sup>、古高和楨<sup>△</sup>、原田秀郎<sup>△</sup>、米延仁志<sup>+</sup>

\*北海道大学大学院 地球環境科学研究院 統合環境部門  
 △日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究部門 応用核物理研究グループ  
 +鳴門教育大学 大学院学校教育研究科

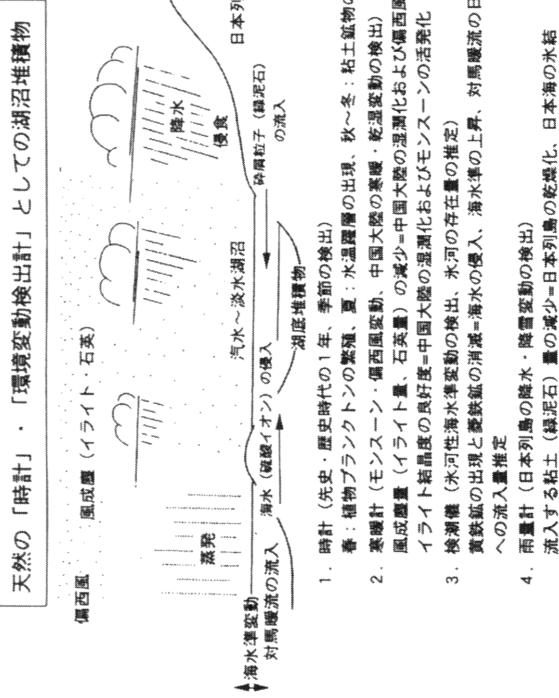
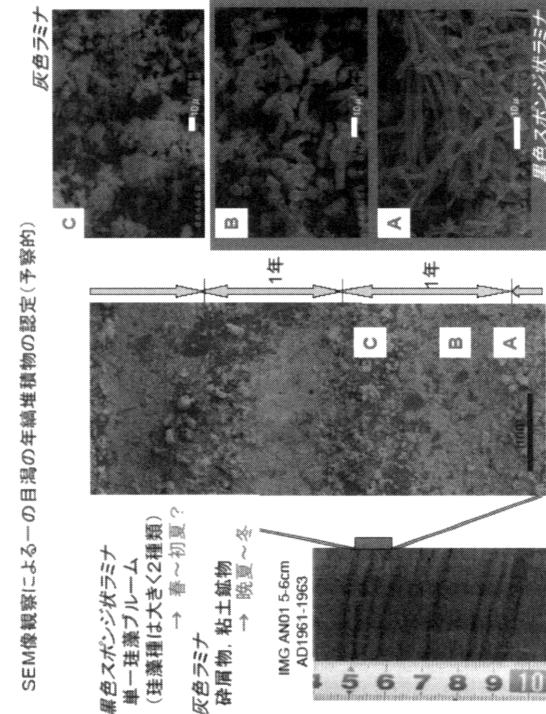
京都大学原子炉実験所専門研究会「放射化分析を用いた微量元素分析の現状」  
 平成24年2月1日(水) 14:40-15:00  
 京都大学原子炉実験所事務棟大会議室

### 現在分担者となつてある課題から

- 連携重点研究 平成21年度開始課題  
 多重検出を用いた中性子放射化分析法の高度化とその応用  
 「地球科学的試料への適用とその分析法の評価」班  
 NAAMG: 多重ガンマ線放射化分析  
 MPGA: 多重即発ガンマ線分析

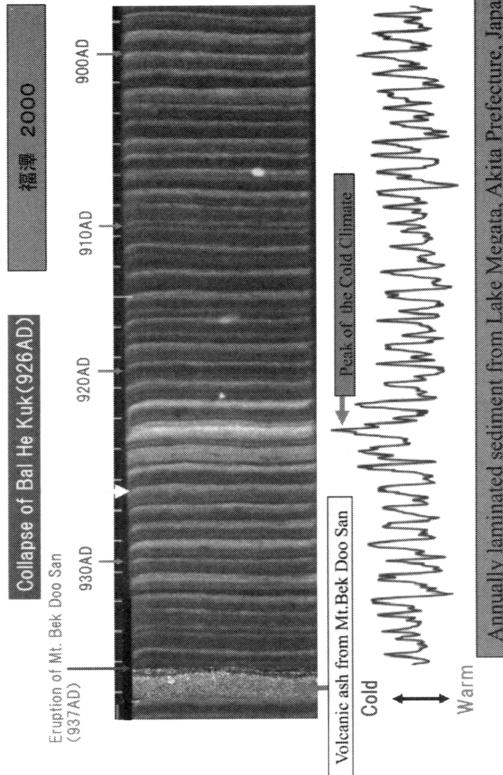
- 平成21～25年度: 新学術領域「環太平洋の環境文明史」  
 「年縞堆積物による環太平洋の高精度環境史復元」班  
 班代表: 米延仁志(鳴門教育大学)

- 平成23年度挑戦的萌芽研究「過去五千年間の歴史津波の検出法の確立—小川原湖年縞コアの高時間分解能な化学分析で」申請は受理されず、平成24年度挑戦的萌芽研究「過去数千年間の津波襲来履歴の新復元法—汽水湖年縞堆積物のストロンチウム同位体比で」を申請中。

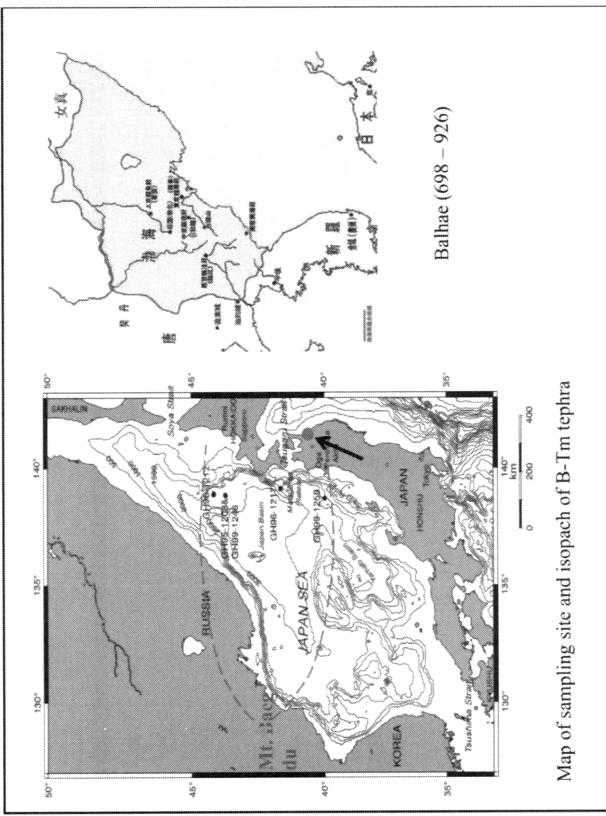


1. 時計 (先史・歴史時代の1年、季節の検出)  
 春: 植物プランクトンの繁殖、夏: 水温躍層の出現、秋～冬: 粘土鉱物の堆積
2. 寒暖計 (モンステーン・ベン西風変動、中国大陸の寒暖・乾湿変動の検出)  
 風成塵量 (イト・石英量) の減少=中国大陸の温潤化およびベン西風の弱化  
 イライト結晶度の良好度=中国大陸の温潤化およびモンステーンの活性化
3. 檢潮録 (水河性海水準変動の検出、水河の存在量の推定)  
 黄鉄鉱の出現と疊鉄鉱の消滅=海水の侵入、海水準の上昇、対馬暖流の日本海への流入量推定
4. 雨量計 (日本列島の降水・降雪変動の検出)  
 流入する粘土 (鮎泥石) 量の減少=日本列島の乾燥化、日本海の水結

## Climate changes in the Historical period



- 珪藻分析：海水準変動の研究に一般的な手法
- 堆積物のホウ素含有量(粘土成分との比較)  
海水中ホウ素濃度：8 ppm: 粘土鉱物への吸着
- 堆積物中の交換成分のSr/Ca比  
海水中Sr/Ca比：0.0091; 地殻中 : Sr/Ca比 : 0.0056
- 堆積物中の炭酸塩成分中のストロンチウム同位体比  
海水中 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ : 0.7092 (Sr濃度 8 ppm)  
日本的一般的な湖水中 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ : 0.703-0.706 (Sr濃度 <1 ppm)



Clays and Clay Minerals, 1968, Vol. 16, pp. 249-256.

### BORON FIXATION BY ILLITES

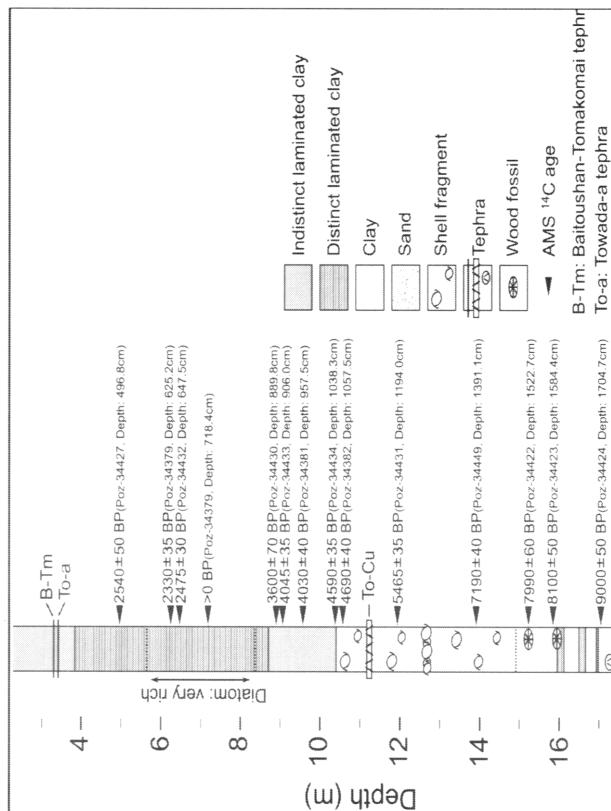
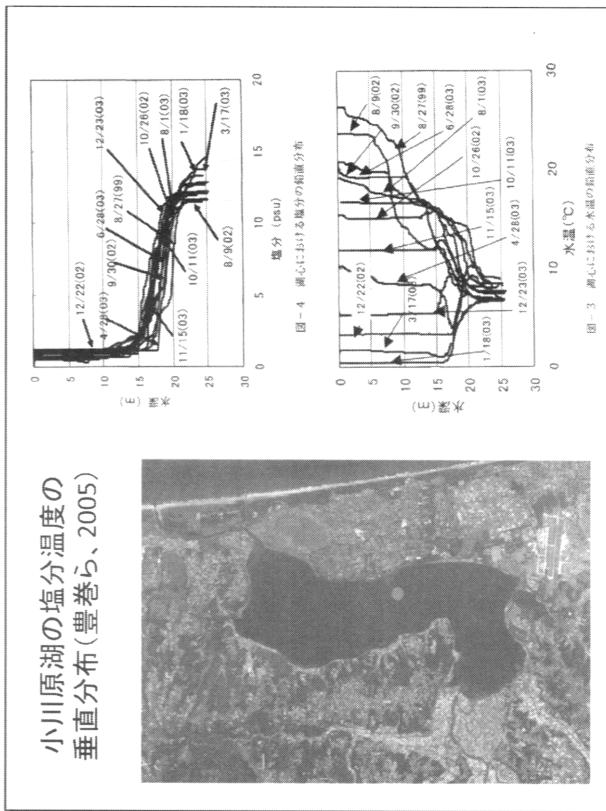
ELTON L. COUCH\* and RALPH E. GRIM

**Abstract-**The mechanism of boron uptake by clays, especially illitic clays, and the factors which control such uptake have long been debated issues. In an attempt to answer some of the questions of the controversy, three illites were treated in solutions containing boron. In the study, boron concentration, salinity,

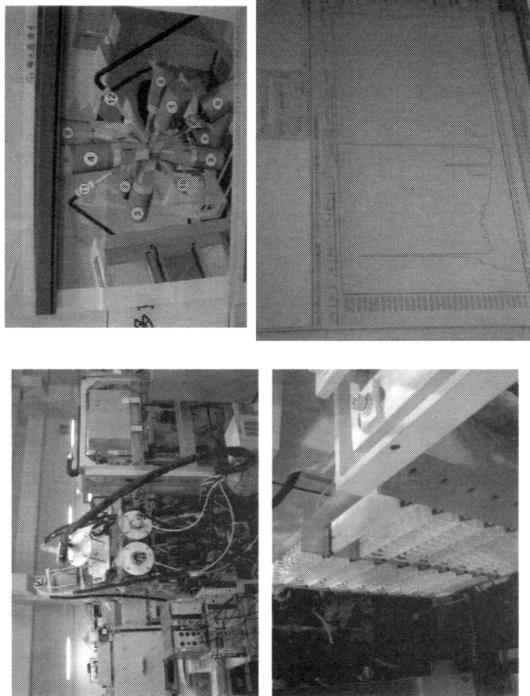
temperature, and time were varied independently over rather wide ranges.

For the illites studied, irreversible uptake of boron was increased by increasing boron concentration, salt concentration, temperature, and time of treatment. The amount of boron which was fixed also varied with the type of illite treated. The amount of fixation was controlled primarily by the specific surface area of the clay and also by the crystallinity, K content, and/or amount of mixed-layer material ("frayed-edge" development?), and apparently was independent of the original boron content of the clay.

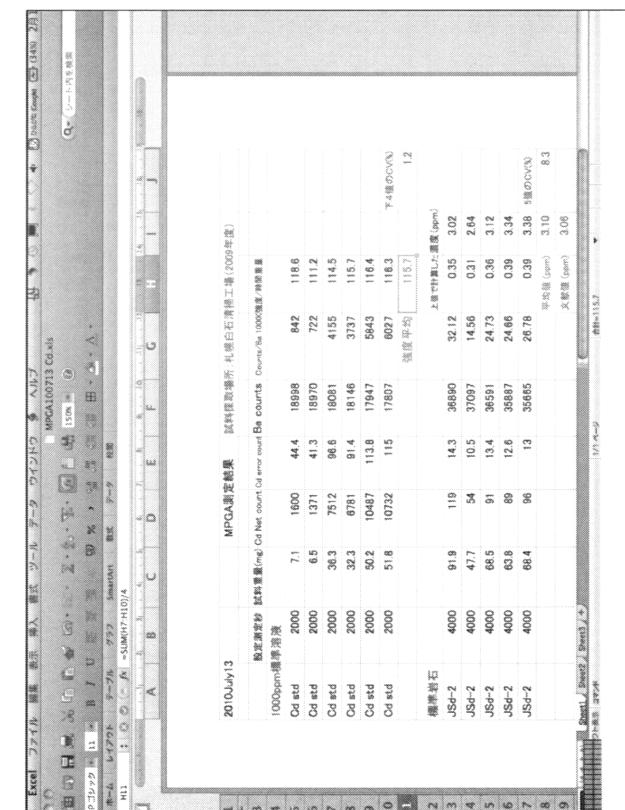
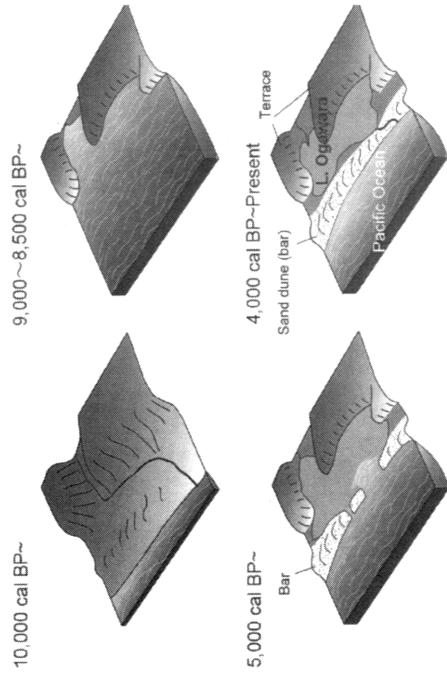
A two-step mechanism is proposed for boron fixation by illite, consisting of rapid chemical adsorption of the tetrahedral  $\text{B}(\text{OH})_4^+$  anion at the "frayed-edge" of the illite flake followed by much slower diffusion of boron into the tetrahedral part of the structure.



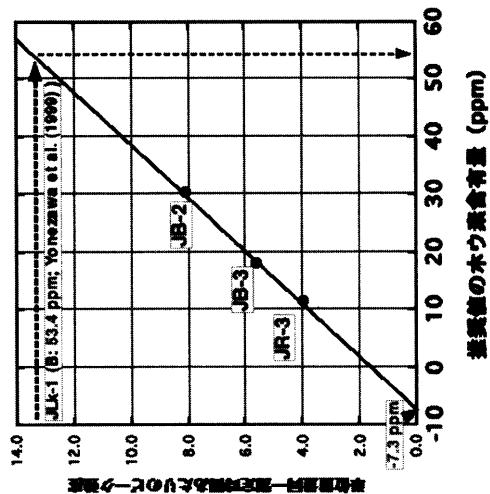
## 使用した多重即発ガンマ線分析装置



## コア柱状図から得られた小川原湖形成の歴史

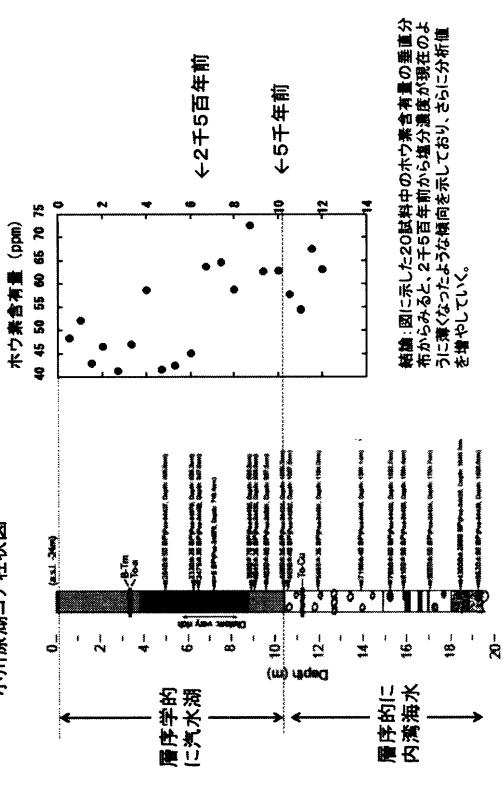


## MPGAのピーク強度と標準岩石中のホウ素含有量の推移値との比較



## 汽水湖堆積物コア中のホウ素含有量の垂直分布

小川原湖コア柱状図



## まとめ

- ・ 小川原湖のコア試料中の化学分析の確立をめざしている。
- ・ 昨年6月初旬の水質調査で311巨大津波で、小川原湖の汽水性に影響があつたのかを調査中。
- ・ PGA未経験者でもMPGA分析ができる体制がある。
- ・ 本MPGAはホウ素を数十ppm含む本資料を1日に數十個づつ測定するのに適している。
- ・ 小川原湖堆積物中のホウ素含有量は、海成層では65 ppm程度なのにに対して、ここ2千五百年ほどは45 ppm程度であり、底層水の汽水性の指標となりそうだといふ予備結果が得られた。今後も更に詳しい分析をする。

## 放射化分析による多発地ALSの毛髪中元素濃度定量-第2報-

紀平為子<sup>1</sup>、櫻井威織<sup>1</sup>、吉田宗平<sup>1</sup>、若山育郎<sup>1</sup>、高宮幸一<sup>2</sup>、

中野幸廣<sup>2</sup>、奥村良<sup>2</sup>、和田幸子<sup>3</sup>、岩井恵子<sup>3</sup>、岡本和士<sup>4</sup>、小久保康昌<sup>5</sup>、葛原茂樹<sup>5,6</sup>

1:関西医療大学保健医療学部, 2: 京都大学原子炉実験所, 3: 関西医療大学保健看護学部, 4: 愛知県立大学看護学部, 5: 三重大学大学院医学系研究科神経病態内科学, 6: 鈴鹿医療科学大学保健衛

生学部

**背景:** 1911年三浦謹之助の報告で明らかにされたように、古くより紀伊半島南部では筋萎縮性側索硬化症(ALS)が多発している。1960年代の和歌山県立医科大学神経病研究部と米国NIHとの共同研究によって紀伊半島古座川地区、穂原地区、Guam島南部、西ニューギニアにALSの集積発症が確認され、紀伊半島古座川地区では欧米に比して有病率が100-150倍と報告された<sup>1</sup>。これら多発地の環境調査では、Guam島と紀伊半島古座川地区に共通して土壌、河川、飲用水のCa, Mg含量が著しく低値であることが示された<sup>2</sup>。さらに、古座川地域の患者血清中のCa低値と住民血清中のCa低値およびPTH高値が認められた<sup>3</sup>。最近の疫学調査では紀伊半島南部での発症頻度の低下と発症年齢の高齢化が認められ、何らかの環境要因の関与が推察される<sup>4</sup>。我々は慢性的Ca欠乏によるPTHを介した骨吸収の促進と腸管からの有害金属の吸収増加による有害金属の体内蓄積あるいは体内分布の変化、これによるmetal-induced oxidative stress増大が当地域でのALS多発に関連する一つの要因ではないかと推察した<sup>1,2,3,4</sup>。本研究では、昨年に引き続きALS患者と多発地住民、対照地区住民において有害金属の体内蓄積の有無について検討する。

**目的:** 本年度は弧発性ALSと多発地住民、対照住民において毛髪中の金属元素の定量を行う。

**方法.** 多発地住民、対照地区住民、和歌山県内の弧発性ALS患者から頭髪を採取し、中性子放射化分析法による元素濃度測定を行った。頭髪は、側頭部2か所、後頭部1か所において毛根から約1cm離れた部位から長さ3cm(約200mg)をステンレス製はさみで採取した。試料前処理は、アセトン、精製水(3回)、アセトンで各々10分間強振し、風乾後約30mgを秤量、硝酸洗浄済みポリエチレン袋に封入し照射試料とした。照射条件は、照射カプセルに試料2個または試料1個と比較標準試料1個をいれ、京都大学原子炉実験所の研究用原子炉(KUR)の気送管Pn-1で照射した。短寿命核種では2分照射後直ちに測定、長寿命核種は120分照射後、約1ヶ月冷却後測定した。ゲルマニウム検出器と波高分析器を用いて計測された $\gamma$ 線スペクトルからピーク面積をCovell法で算出、標準試料との比較法で定量を行った。

標準試料として、Ca(100 $\mu$ g以下同様), Mg(20), Cu(5), Al(2), Mn(0.5), V(0.1)およびAg(10), Co(2), Cr(10), Zn(20)は米国SPEX社特注混合標準溶液から、Fe(100), Sb(2), Sc(0.2), Se(10), Hg(5)は各々原子吸光用標準液からH<sub>2</sub>Oで希釈し作成した。S(1000 $\mu$ g)は(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(w)GR 8.241gをH<sub>2</sub>Oに溶解し作成した。Br(2.662 $\mu$ g)は1/60 mol/l 臭素酸カリウム溶液, Cl(20 $\mu$ g)は1mol塩

化カリウム溶液、I ( $1.269 \mu\text{g}$ ) は  $0.05 \text{ mol/l}$  ヨウ素酸カリウム溶液から $\text{H}_2\text{O}$ で希釈し作成した。市販標準試料として、頭髪の標準試料(国立環境研究所環境標準物質NIES CRM No.13)とOrchard leaves(NBS)を使用した。

結果、多発地住民64名(年齢 $74.3 \pm 9.2$ 歳)、対照住民7名( $68.0 \pm 15.6$ 歳)、多発地ALS 1例(57歳)、弧発性ALS 10例( $71.0 \pm 10.9$ 歳)、その他の運動ニューロン疾患2例( $63.5 \pm 13.4$ 歳)から頭髪を採取した。頭髪中の $^{128}\text{I}$ ,  $^{80}\text{Br}$ ,  $^{27}\text{Mg}$ ,  $^{66}\text{Cu}$ ,  $^{52}\text{V}$ ,  $^{28}\text{Al}$ ,  $^{56}\text{Mn}$ ,  $^{49}\text{Ca}$ ,  $^{37}\text{S}$ の核種が検出された(図1)。長時間照射では $^{65}\text{Zn}$ が定量可能であった。本研究での測定値を頭髪標準試料の参考値から検証すると、Al:  $102.5 \pm 14.6$  (標準試料参考値  $109.2 \mu\text{g/g}$ , 湿重量換算。以下同様), Ca:  $706.4 \pm 123.6$  (標準試料参考値746.2), V:  $0.25 \pm 0.03$  (標準試料参考値 0.25), Cu:  $14.3 \pm 0.9$  (標準試料保証値 $13.9 \pm 1.2$ ), S:  $39.1 \pm 7.5$  (mg/g, 標準試料参考値45.5)であり妥当と考えられた。今回の測定では、これらの元素含量について検討した。

多発地住民では対照に比し毛髪中Al含量が高値、CuとSが低値を示した( $p < 0.05$ 、図2)。弧発性ALSでは毛髪中Al含量に対照と差を認めなかつた。頭髪中V含量は、多発地住民、対照住民、弧発性ALS間で差異を認めなかつたが、2012年の測定結果を加え比較すると多発地ALSでは弧発性ALSに比し高値であった。

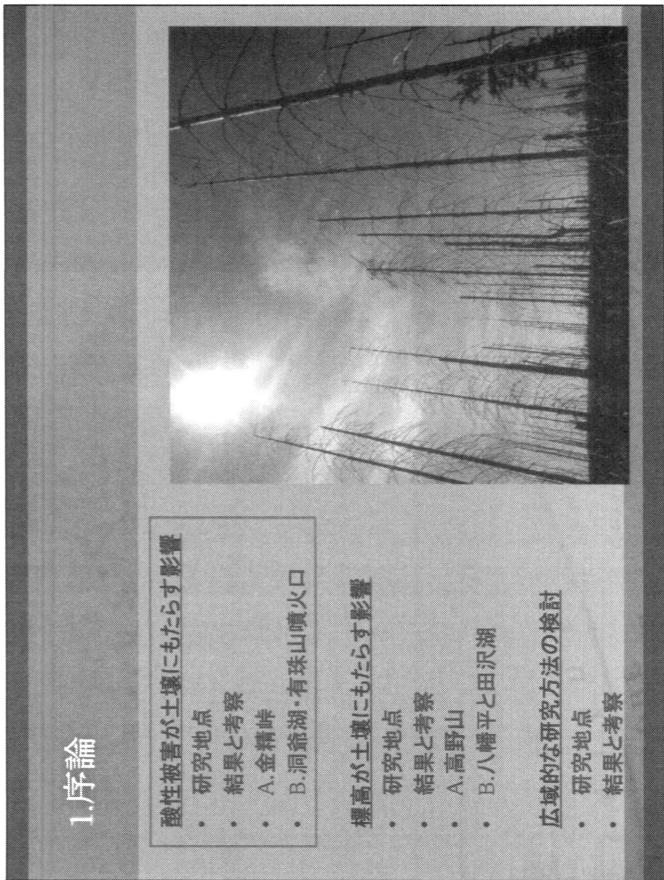
考察と結論。過剰なVやAlは中枢神経細胞、特に黒質線条体神経細胞にtoxicに作用すると報告されている<sup>5,6</sup>。弧発性ALS患者と多発地住民、対照住民の頭髪中V含量に差異を認めなかつたが、多発地ALS患者頭髪では高値を認めた。また、頭髪中Al含量は、多発地住民で高値を認めた。多発地ALS患者と多発地住民においてVやAlなど金属元素の過剰な体内蓄積あるいは体内分布の変化が示唆された。

## 文献

1. Yase Y. The pathogenesis of amyotrophic lateral sclerosis. Lancet 1972; 2: 292-296.
2. Garruto RM, Yanagihara R, Gajdusek DC, et al. Concentrations of heavy metals and essential minerals in garden soil and drinking water in the Western Pacific. In AMYOTROPHIC LATERAL SCLEROSIS IN ASIA AND OSEANIA ed by Chen KM and Yase Y, SHYAN-FU CHOU, NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY, 1984, PP. 265-330.
3. 紀平為子、岡本和士、吉田宗平、他.和歌山県内筋萎縮性側索硬化症多発地における元素の特徴に関する疫学的検討. 神經内科 2010, 73, 507-512.
4. Kihira T, Yoshida S, Hironishi M, Miwa H, Okamoto K, Kondo T. Changes in the incidence of amyotrophic lateral sclerosis in Wakayama, Japan. Amyotrophic Lateral Scler. 2005; 6, 155-63.
5. Ngwa A H, Kanthasamy A, Anantharam V, et al., Vanadium induces dopaminergic neurotoxicity via protein kinase Cdelta dependent oxidative signaling mechanisms: relevance to etiopathogenesis of Parkinson's disease. Toxicol Appl Pharmacol. 2009; 240: 273-85.

6. Abdel Moneim AE. Evaluating the potential role of pomegranate peel in aluminum-induced oxidative stress and histopathological alterations in brain of female rats. Biol Trace Elem Res. 2012; 150: 328-36.

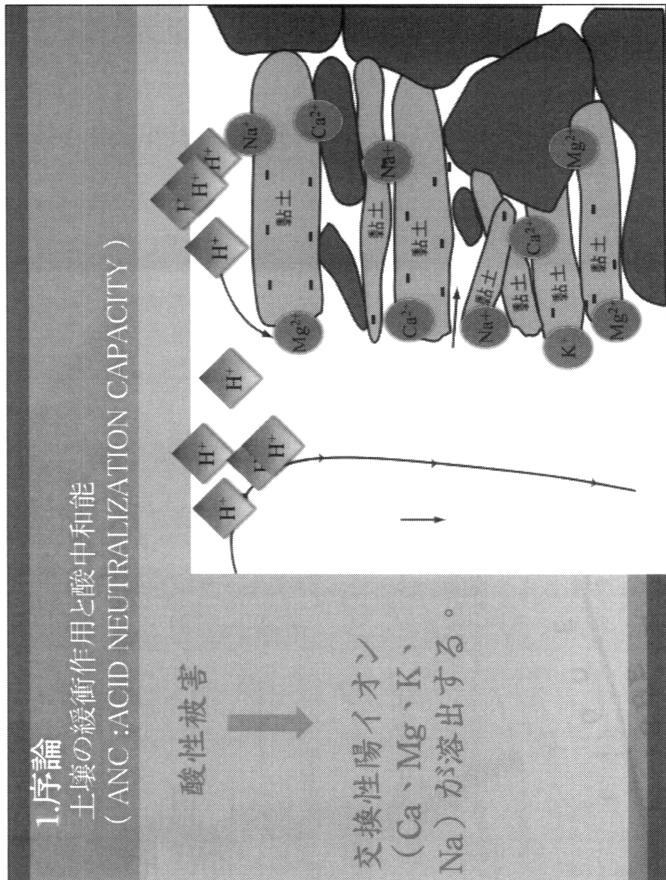
(専門研究会報告書より転載)



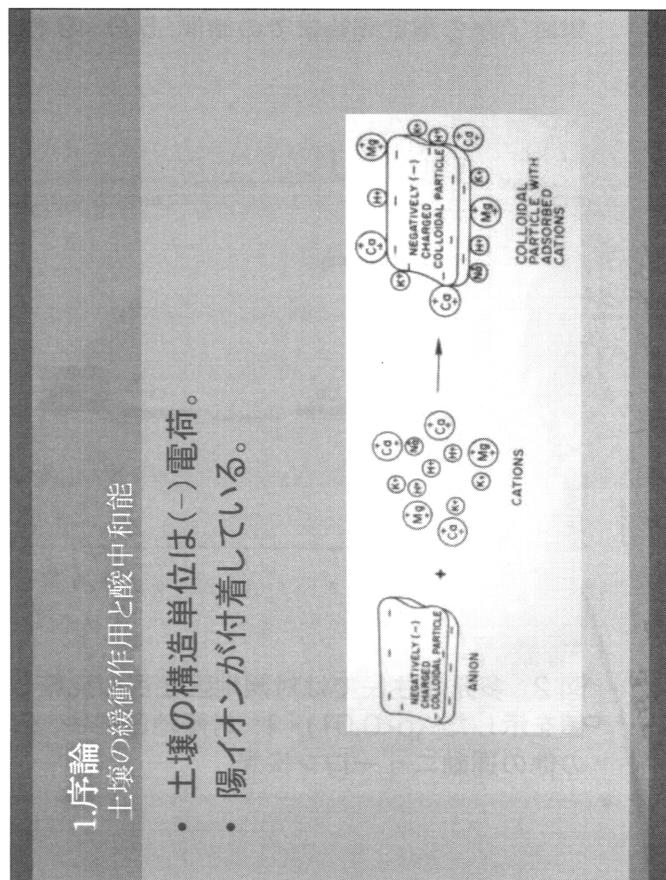
## 1.序論

山林地域の土壤の酸中和能に対する  
植生の影響

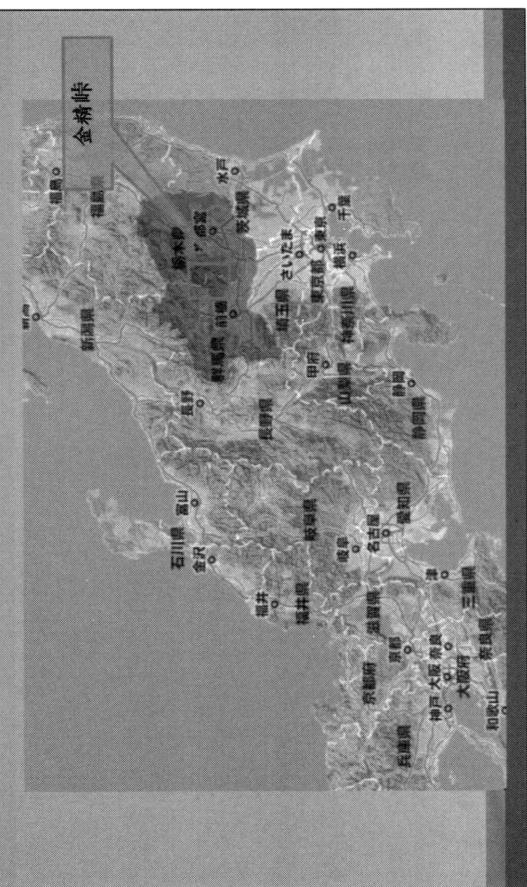
東京大学大学院 総合文化研究科  
広域科学専攻 松尾研究室  
○陳品或、小豆川勝見、松尾基之



- ・土壤の構造単位は( - )電荷。
- ・陽イオンが付着している。

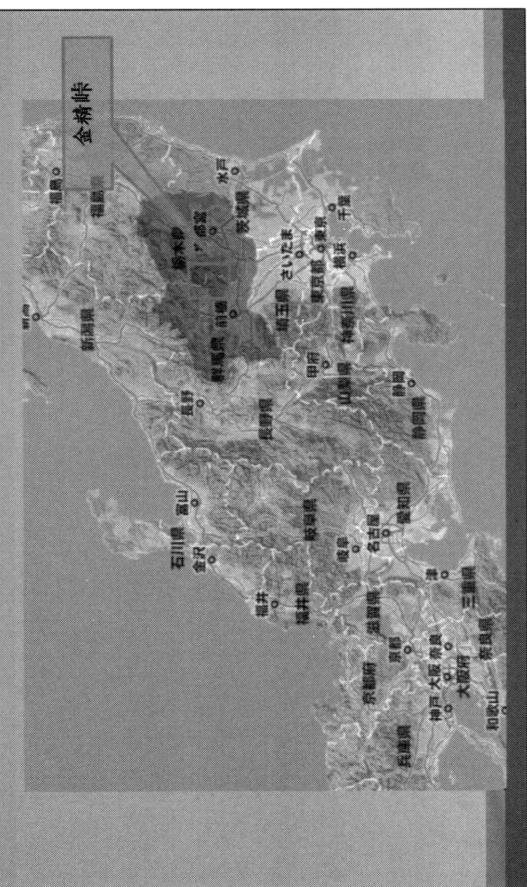


## 2. 研究内容 酸性被害が土壤にもたらす影響－サンプリング地点



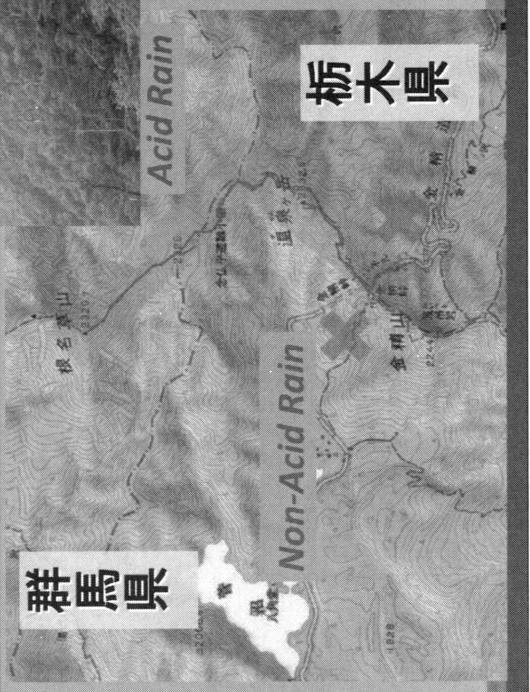
### 2-1 金精峰

## 2. 研究内容 酸性被害が土壤にもたらす影響－サンプリング地点

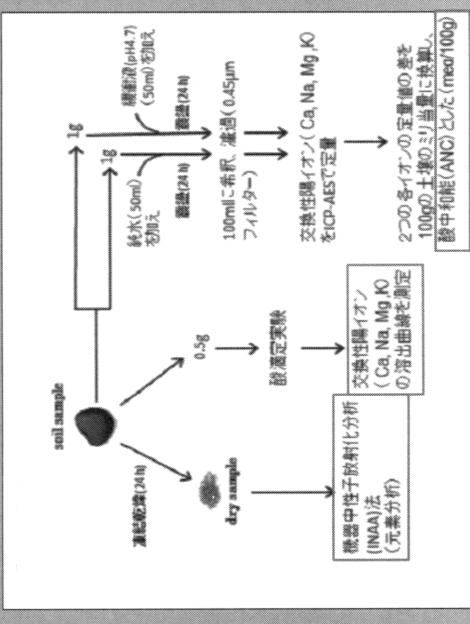


### 2-1 金精峰

## 酸性被害が土壤にもたらす影響 2-1 金精峰



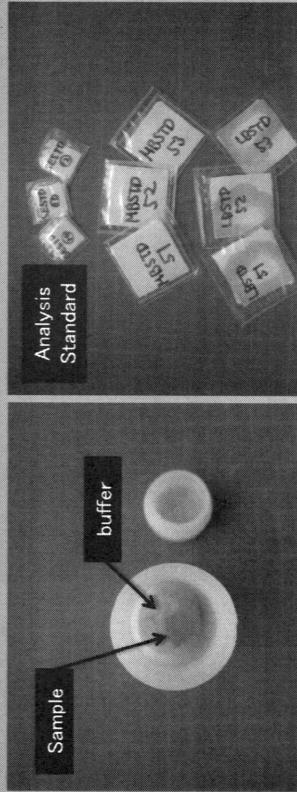
## 酸性被害が土壤にもたらす影響 2-1 金精峰(実験方法)



## 酸性被害が土壤にもたらす影響 2-1 金精峰

## 酸性被害が土壤にもたらす影響 2-1 金精峠(実験方法)

### INAA照射方法

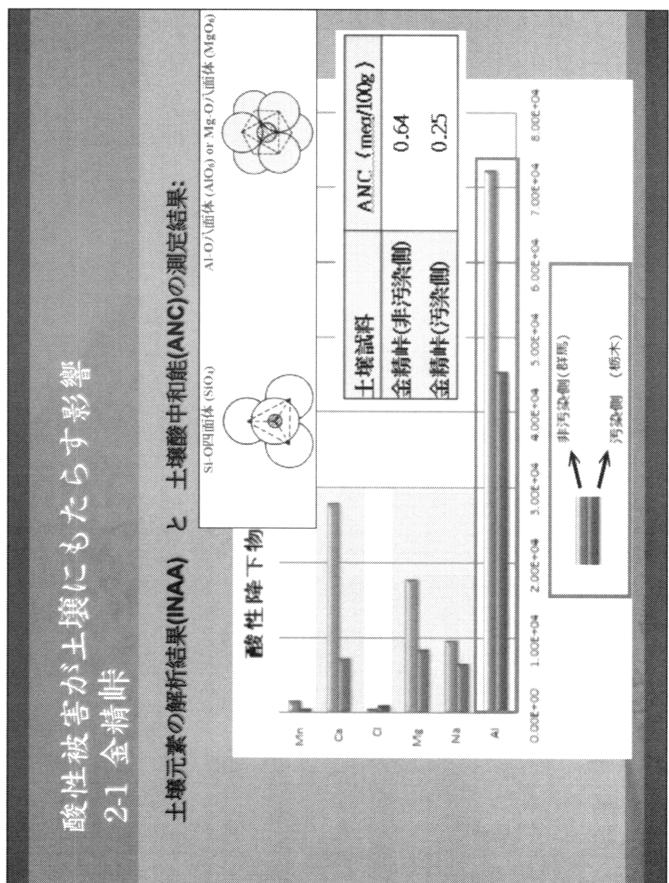
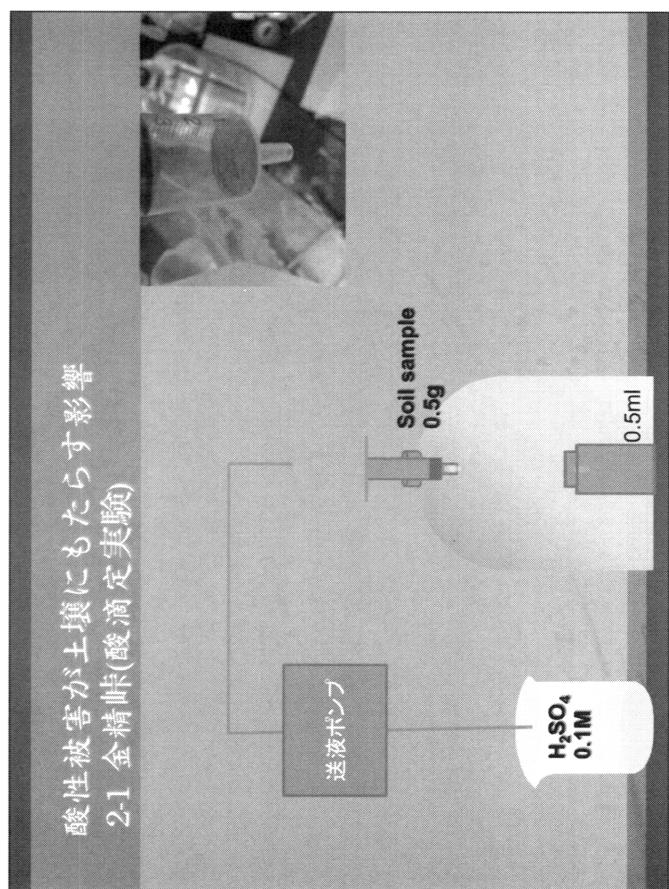


## 酸性被害が土壤にもたらす影響 2-1 金精峠(実験方法)

### INAA照射条件

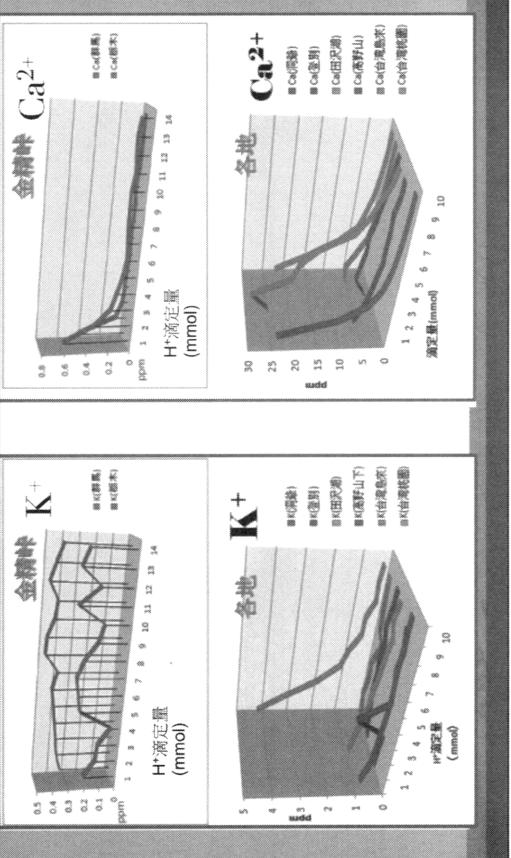
Sample	Nuclide	Energy/keV	照射時間	Live Time	Cooling	炉出力
	$^{40}\text{Ca}$	3084.4	10秒	600s	約10min	1MW
30mg (short)	$^{27}\text{Mg}$	1014.4	10秒	600s	約10min	1MW
	$^{23}\text{Na}$	1368.5	10秒	600s	約10min	1MW
30mg (middle)	$^{42}\text{K}$	1524.6	20分 (4分)	1200s	3~4days	1MW (5MW)

## 酸性被害が土壤にもたらす影響 2-1 金精峠(実験方法)

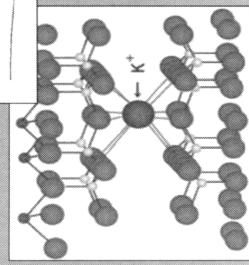
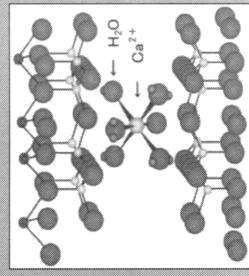


## 酸性被害が土壤にもたらす影響 2-1 金精峠（酸滴定実験の比較結果）

## 酸性被害が土壤にもたらす影響 2-1 金精峠（考察）



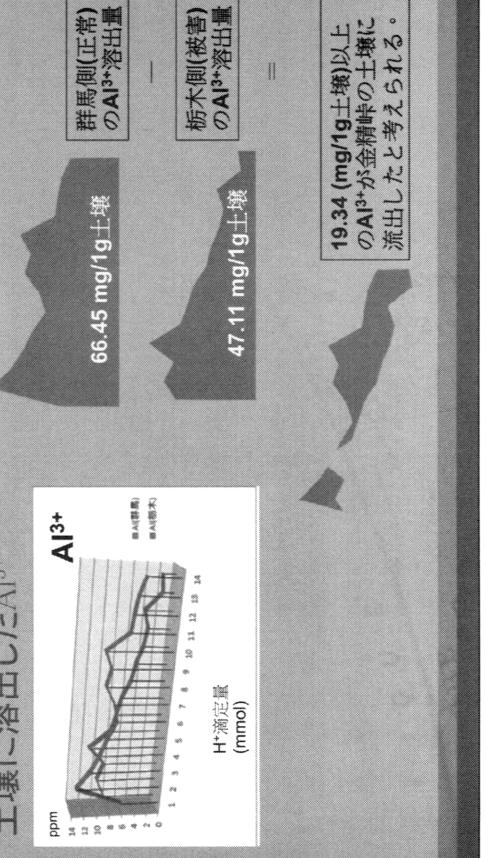
- 非交換性カリウム (non-exchangeable potassium)
- 土壤が極端な酸性被害を受ける時に非交換性カリウムも溶出すると考えられる。



- 土壤が極端な酸性被害を受ける時に非交換性カリウムも溶出すると考えられる。

## 酸性被害が土壤にもたらす影響 2-1 金精峠（考察）

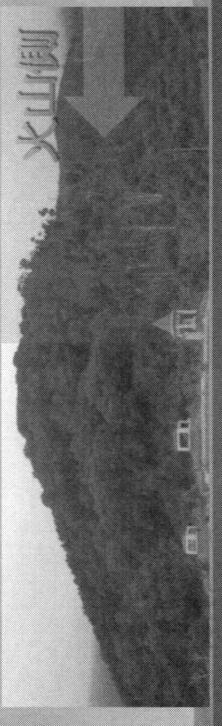
14mmolのH<sup>+</sup>を土壤に滴定した時点で：



## 酸性被害が土壤にもたらす影響 2-2 洞爺湖・有珠山噴火口

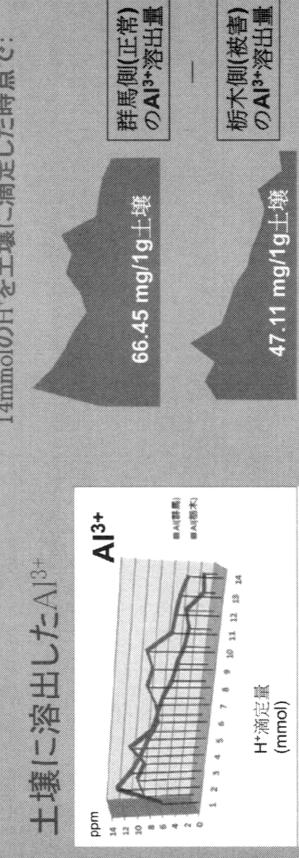
## 酸性被害が土壤にもたらす影響 2-2 洞爺湖・有珠山噴火口

- 有珠山は、北海道・洞爺湖の南に位置する活火山。
- 火山ガスの酸性被害 ( $SO_2$ ,  $H_2SO_4$ ) を受けたため、金精峠の実験結果と比較した。



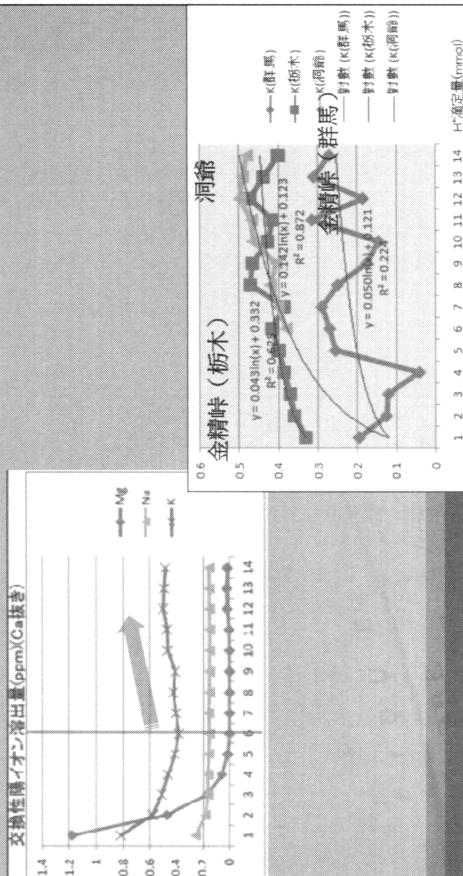
## 酸性被害が土壤にもたらす影響 2-1 金精峠（考察）

14mmolのH<sup>+</sup>を土壤に滴定した時点で：



## 酸性被害が土壤にもたらす影響 2.2 洞爺湖・有珠山噴火口

### • 酸滴定実験結果と金精峰との比較



### 3. 結論 酸性被害が土壤にもたらす影響：

1. 金精峰地域では、栃木県側の土壤の交換性陽イオンが流失している。その為、Al<sup>3+</sup>が可溶態になり、土壤の急激な酸性化が進行している。
2. 金精峰地域の土壤では19.34 mg/(1g土壤)以上のAl<sup>3+</sup>が金精峰の土壤に流出したと考えられる。
3. 酸滴定実験より、Caが不足している土壤が極端な酸性被害を受ける時にKの酸中和能に対する寄与度が増える。

Thank you!

## KURの現況 & その他

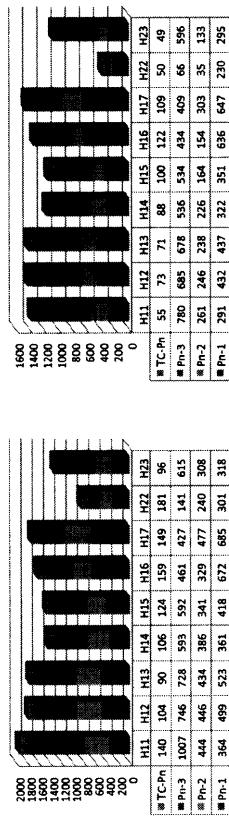
関本 俊

共同利用の状況：申請件数、照射回数、照射時間  
&  
放射化分析・定量に用いる標準岩石(GSJ)について  
(布村優太)

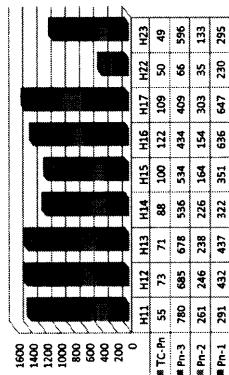
2013年1月25日(金)京都大学原子炉実験所

### ・再開後(2010年5月-)のKURIにおける共同利用の状況

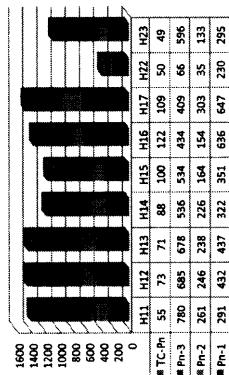
照射回数(Pn total)



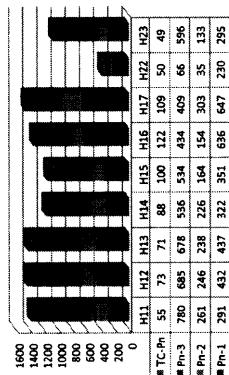
照射回数(NAA)



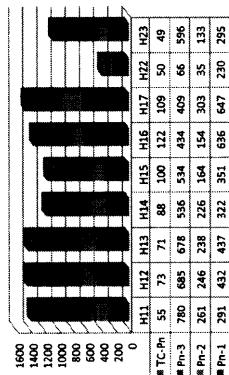
照射時間(NAA)



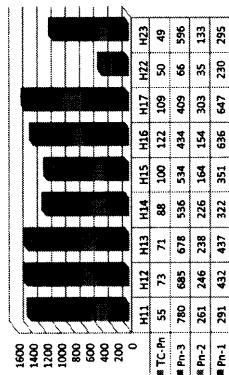
照射時間(Pn total)



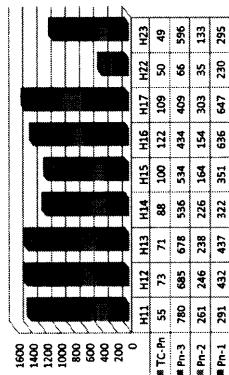
照射時間(Pn total)



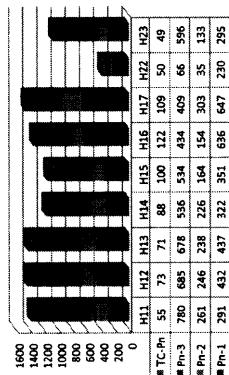
照射時間(Pn total)



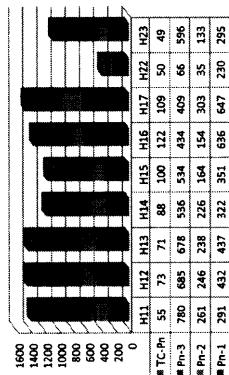
照射時間(Pn total)



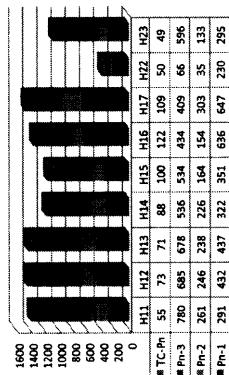
照射時間(Pn total)



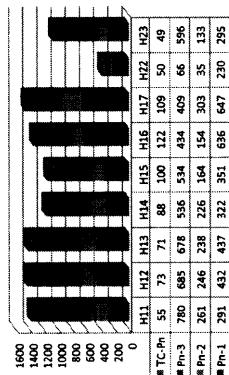
照射時間(Pn total)



照射時間(Pn total)



照射時間(Pn total)



## 平成24年度一通常採択 (19件)

- 遠藤 晚 「広島・長崎原爆中性子による誘導放射能評価のための組成分析」  
長谷部 徳子 「東アジアにおける古環境堆積物中の放射年代測定」  
紀平 紀平 「紀伊房秦嶺性微量元素と酸化的ストレッス障害」  
高岡 昌輝 「廃棄物焼却炉からの微少粒子の排出に伴う重金属、および貴金属の挙動に関する研究」
- 塙田 样文 「環境中におけるヨウ素の移行動態に関する研究」  
伊藤 登志子 「大気エアロゾル粒子のキャラクタリーゼーション」  
高塚 高塚 「中性子放射化分析によるハニウム酸化膜中ハニウムの定量」  
三浦 勉 「内標準法を併用した中性子放射化分析法の高精度化に関する研究」  
松尾 基之 「汽水域および沿岸域堆積物の放射化分析」
- 大平 寛人 「フィッシュショーン・トラック年代測定法による岩石の熱履歴解明に関する研究」
- 研究 山中 寿朗 「鹿児島湾熱水系アンチモン鉱床中の微量元素組成の解明」  
石橋 純一郎 「沖縄トラフ現世熱水鉱床におけるレアメタルの探索」  
兵藤 博信 「東アフリカ地殻火山灰の40Ar/39Ar年代Ⅱ」  
福島 美智子 「石巻地域における東日本大震災の影響の検討」
- 小佐古 敏莊 「放射性核種生成量評価のための中性子による材料照射の研究」  
大浦 泰嗣 「光量子放射化分析法による宇宙・地球化学的試料の元素組成の定量」  
白井 直樹 「放射化分析法による副作用「腎性全身性線維症」の発症機序の解明に関する研究—アチチバルトレーザー法の応用—」  
海老原 充 「宇宙・地球化学試料中の微量元素(Cl, Br, I)の中性子放射化分析」

## 平成24年度一下半期通常採択 (3件)

- 古田 悅子 「木材に含まれる有害金属元素の定量」  
大浦 泰嗣 「鉄隕石中の微量マンガンの中性子放射化分析」  
矢永 誠人 「亜鉛代用金属としてのコバルトの投与」

## 平成24年度一即時採択 (2件)

- 本多 照幸 「逐次溶解法を用いた堆積岩並びにペントナイトにおける微量元素収着挙動に関する研究」  
福岡 幸昭 「中性子放射化分析による地球化学図の作成」
- 以上採択番号順

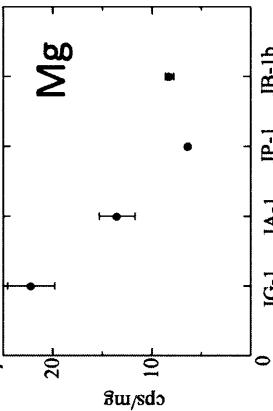
平成22年度、平成23年度の専門研究会の報告書を送りますので、封筒に住所、お名前をご記入ください。

### 研究会の開催時期とやり方について

### 放射化分析: 定量に用いる標準岩石(GSJ)について

- JB-1 (完壳)
- ろ紙
- Allende(隕石試料)--親鉄元素

JB-1b (Terashima et al., 1994),  
JG-1, JA-1, JP-1 (Imai et al., 1995)  
について、  
各元素の  
単位重量当たりのcps

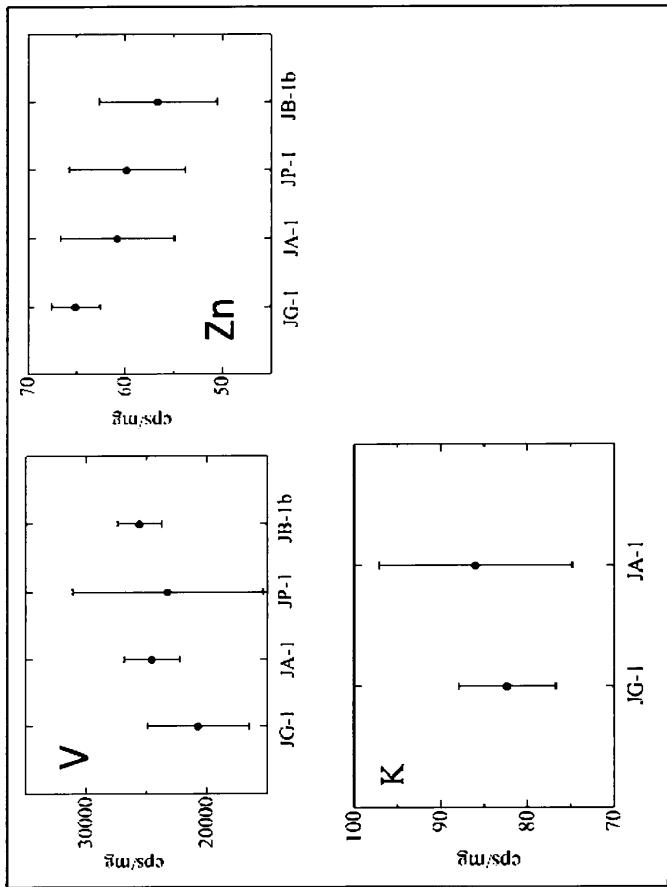
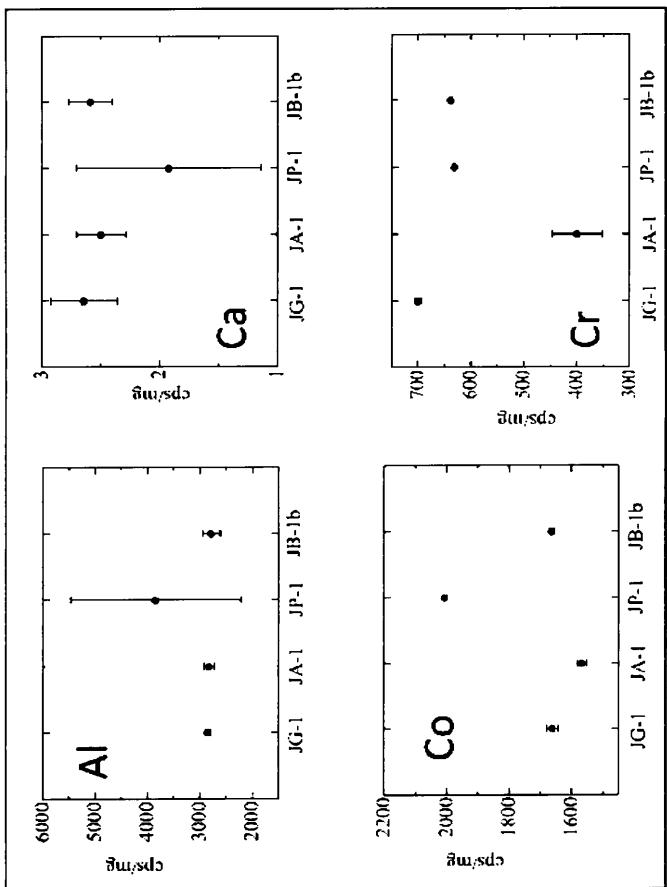
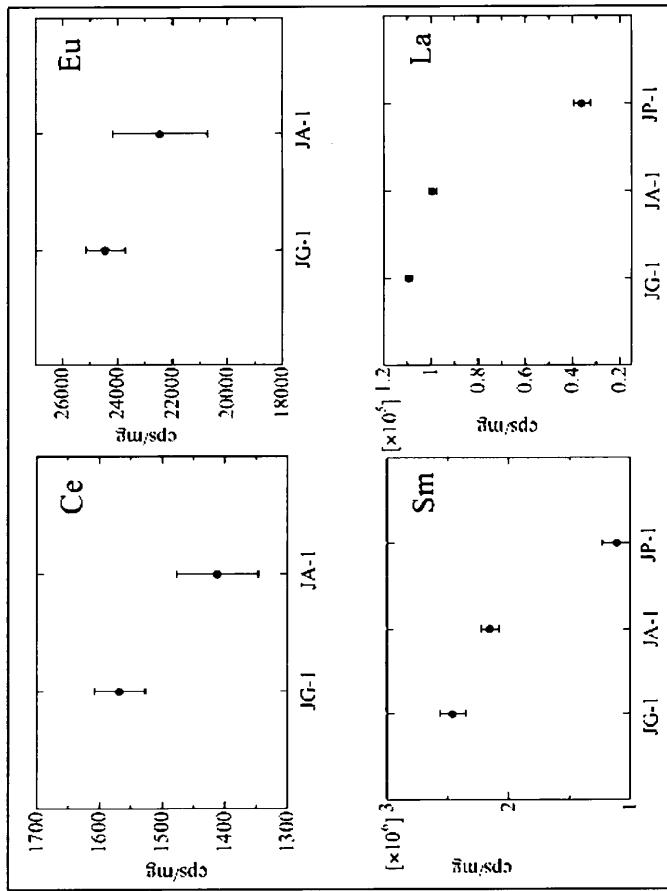
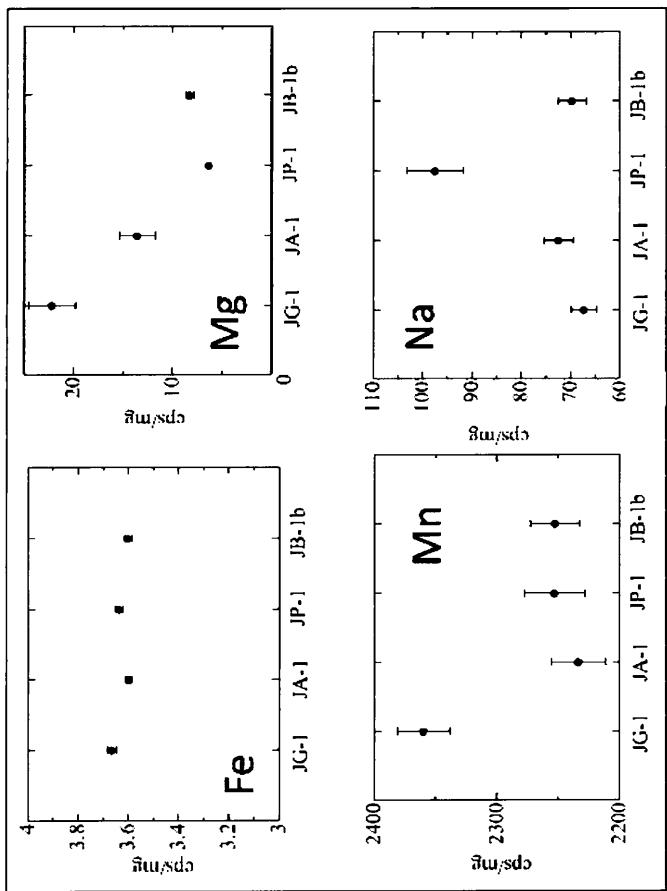


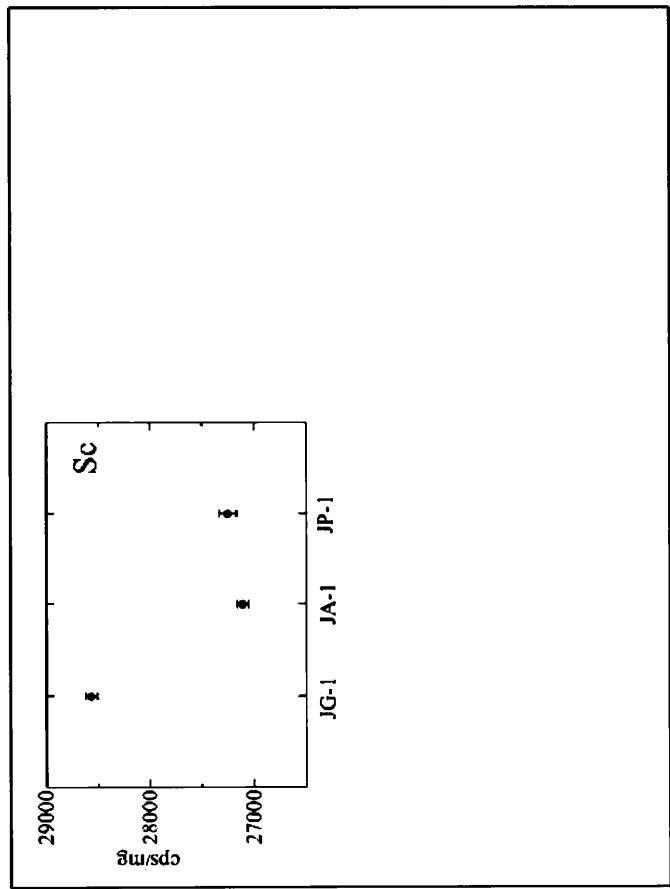
### 今回の研究会の報告書

原稿、pptx,

著作権譲渡書

しめきり二週間後の金曜日 2/8





## ◎FNCAとは

- 【名称】アジア原子力協力フォーラム(FNCA)  
Forum for Nuclear Cooperation in Asia

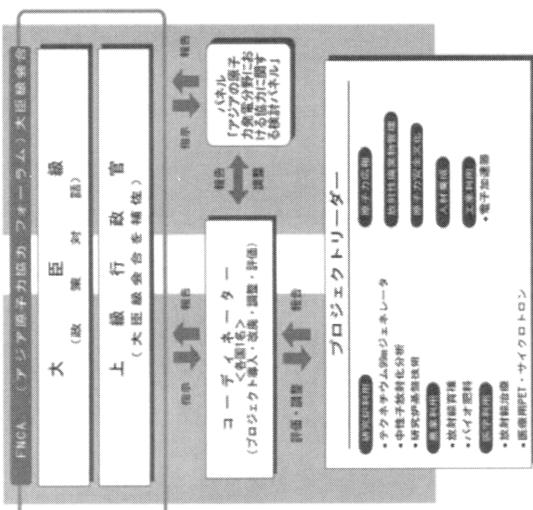
## The FNCA Workshop on the Utilization of Research Reactors

「放射化分析を用いた微量元素分析の現状」専門研究会  
2013.1.25 松尾 基之  
上級行政官  
(大臣級会合を補佐)

- 【内容】日本が主導する原子力平和利用協力の枠組み

- 【参加国】日本、オーストラリア、バングラデシュ、中国、インドネシア、韓国、マレーシア、フィリピン、タイ、ベトナム  
+ モンゴル、カザフスタン

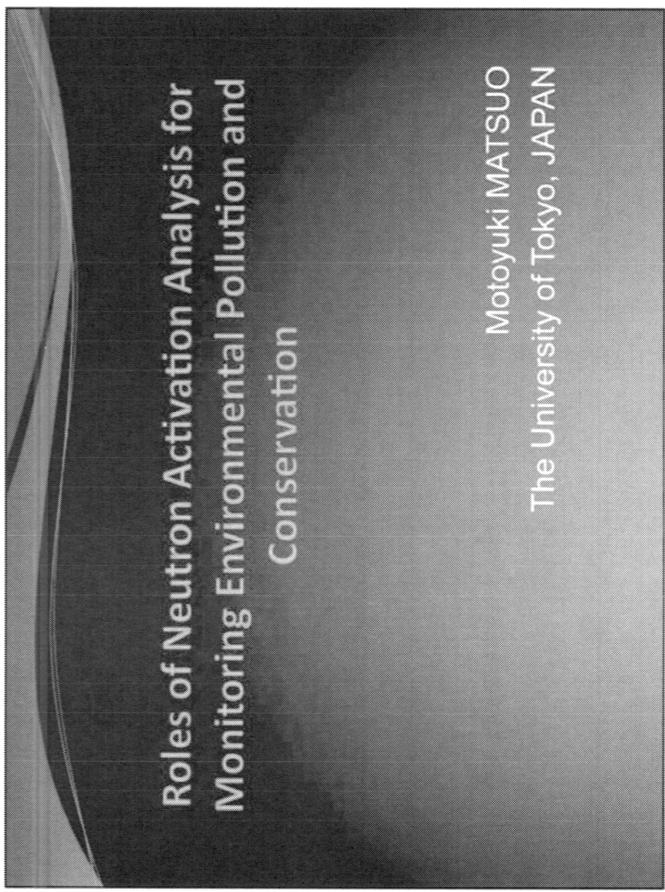
## ◎FNCAの構成



## ◎Implementation Plan of New Phase of NAA Sub-project

1. Geochemical mapping and mineral exploration
  2. Food samples for contamination-monitoring
  3. Marine sediments for environmental monitoring
- Lead Speech

“Overview and possible project goal focusing on sea  
coast environment”  
Prof. M. Matsuo, University of Tokyo, Japan.



### Neutron activation analysis

- One of major research reactor utilizations in FNCA countries
- Greater elemental coverage than other analytical techniques

### Features of environmental samples

- Complicated mixture of a lot of elements
  - Inorganic and organic elements
  - Major and trace elements
  - Toxic or harmful elements
    - Natural and anthropogenic origin

Neutron activation analysis is one of the most useful methods to analyze the environmental samples

### Solid environmental samples

- Our target is solid environmental samples
  - Sediments (River, Tideland, Marine)
  - Airborne particulates
  - Soils
  - and so on
- In case of sediments
  - Core sample may reserve records of past environment
  - We are focusing on core samples

## Objective of the project

- To identify the level of toxic or harmful elements in sediment samples  
ex) As, Sb, Cr, Cd and so on
- To identify the sources of pollution in sediment samples (Natural or anthropogenic origin?)
- To detect the environmental changes through core samples of sediments

## Domestic and international collaboration

- Atomic Energy Agency (Commission, Institute)
  - Nuclear Research (Technology) Institute
  - University
  - Government
  - Company
- Common samples and sample treatment
  - Common technical method
  - Common analytical method (including software)

## Expected output of the project

- Assessment of marine environmental pollution in Asian countries
- Detection of environmental changes in sea coast areas
- Development of common technical and analytical method
- Publication of the results in the high quality journals

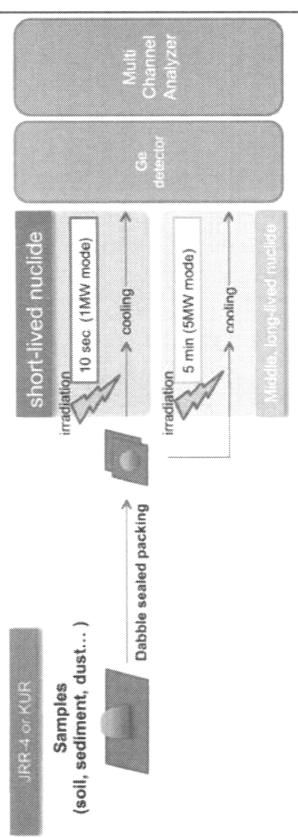
## Case studies in our research group

1. Environmental analysis using distribution of elements in estuarine sediments
2. Restoration of environment of coastal seabed with high time-resolution by using sediments under Hypoxia

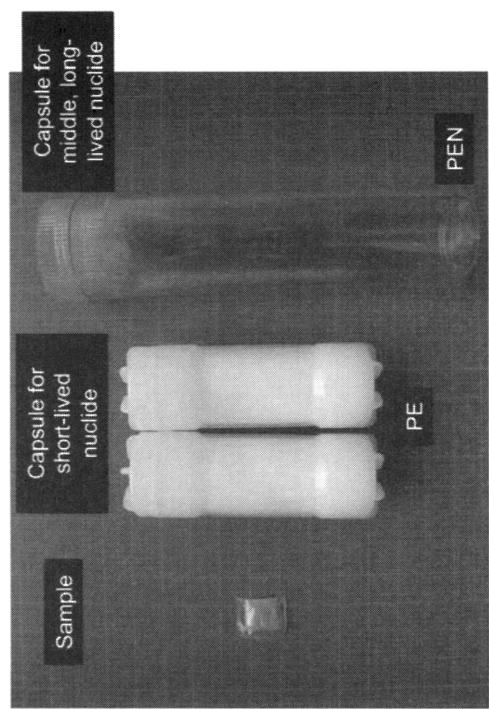
INAA at KUR (Kyoto University research Reactor)

- ## Determination of elements using research reactor

- Instrumental neutron activation analysis
    - Non-destructiveness
    - High sensitivity
    - Simple and Easy
    - Suitable for analysis of a series of sample

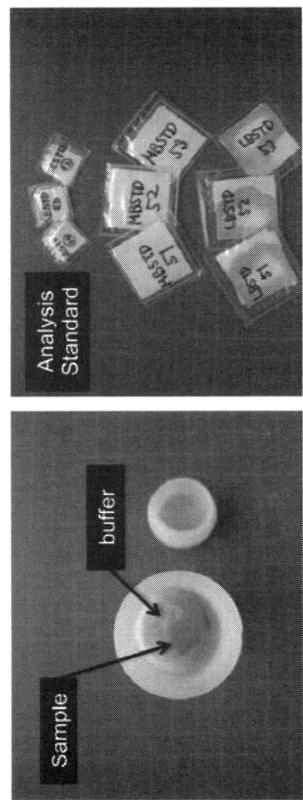


## Sample and irradiation capsules for INAA (JRR-4)

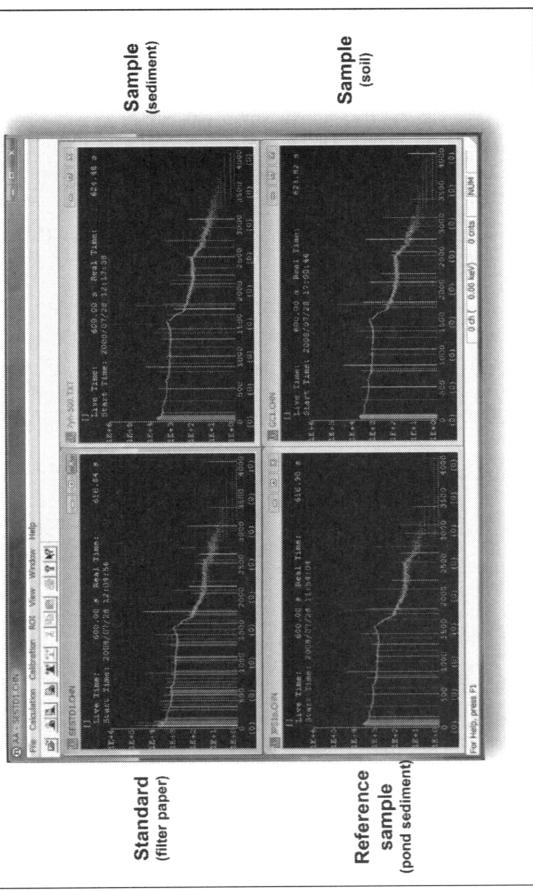


Filter papers were adopted as our analysis standards of INAA. Drops of the standard solution that was prepared using the reagent or commercial standard solution, containing known amounts of the element, were put on the filters.

Sample in capsule and standard for analysis



## Example of short-lived nuclide spectrum



Thank you  
for your attention!

# 国内外における放射性ストロンチウムの定量法



小豆川勝見(しようづがわかつみ)

東京大学大学院 総合文化研究科

## 国内での公定法

### 放射性ストロンチウム分析法(平成15年改定 文部科学省)

- 89Sr-イオン交換法、発煙硝酸法(難)
  - 妨害Caを除去するため、89Srと90Srを分離可
  - 90Sr-シュウ酸塩法
    - 妨害Caは除去しないため、89Srを測定できない
    - 90Sr-溶媒抽出法
      - 妨害Caは除去しない。牛乳を対象。89Srは測定できない

### 90Srの分析目標レベル

	供試量	目標分析レベル	単位
土壤・海底土	100 g乾土	0.2	Bq/kg乾土
海水	40 L	0.6	mBq/L

\*計数効率27%、バック0.3 cpm、測定60 min、Sr回収率90%による計算

### 90Sr, 89Sr標準溶液が必須

## 福島原発事故によって放出された放射性ストロンチウム

震災によって各号機から放出された大気中の放出量の試算値\*

核種	1号機	2号機	3号機	合計(Bq)
Sr-89	$8.2 \times 10^{13}$	$6.8 \times 10^{14}$	$1.2 \times 10^{15}$	$2.0 \times 10^{15}$
Sr-90	$6.1 \times 10^{12}$	$4.8 \times 10^{13}$	$8.5 \times 10^{13}$	$1.4 \times 10^{14}$

\*原子力安全に関するIAEA緊急会議に対する日本政府の報告書「東京電力福島第一原子力発電所の事故について」(原子力災害清算本部、平成13年10月修正版)

### 89Sr, 90Sr(いわゆる放射性ストロンチウム)の測定の特徴

1. 前壊時にγ線を放出しないため、定量にはβ線。よって化学分離処理が必要
  - 管理区域でも90Srの分離操作を行えない場合がある。
  - 90Sr: 数量10 kBqかつ濃度100 Bq/gを越えると放射性同位元素扱い(2004年-)

2. 低バックラッシュ、ガスフローカウンターも必須
  - 微量核種分析用の液シンの数は限られている。

3. 89,90Srは微量
  - 134+137Csが大量に存在、分離技術が結果に大きく影響。



## 89Sr, 90Srの特性と分離法

89Sr	$T_{1/2} = 50.53$ days	Mean β energy = 584.6	Daughter $^{89}\text{Y}$ Stable
90Sr	$T_{1/2} = 28.90$ years	Mean β Energy = 195.8	Daughter $^{90}\text{Y}$ Stable

90Sr	$T_{1/2} = 64.0$ hours	Mean β Energy = 933.6	Daughter $^{90}\text{Zr}$ Stable

### 分離法

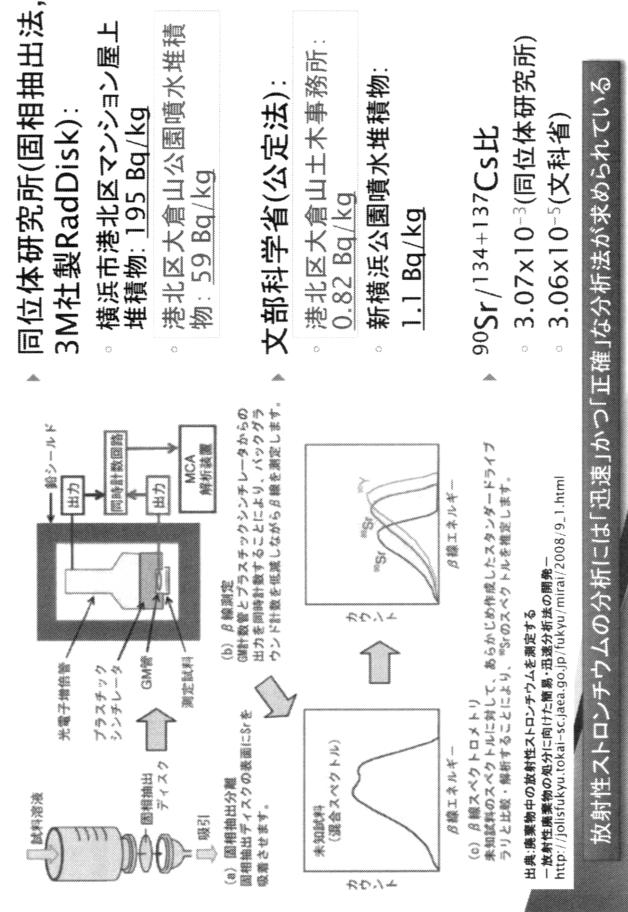
- ▶ 精製した90Srから生じる90Yの生成を2週間程度待つ必要がある
  - スカベンジングで90Sr精製後、ミルキングして90Yのβ測定
- ▶ 固相抽出法による90Srの選択的、高遠除方法が開発中
  - 例として、Kameo, Y., et al. Determination of  $^{89}\text{Sr}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in radioactive waster using Sr extraction disk and beta-ray spectrometer. /RNC 274(1), 71, 2007.

## 「横浜でストロンチウム検出 100キロ圏外では初」<sup>2011年10月報道</sup>

出展:朝日新聞http://www.asahi.com/national/update/1012/TKY201110110626.html

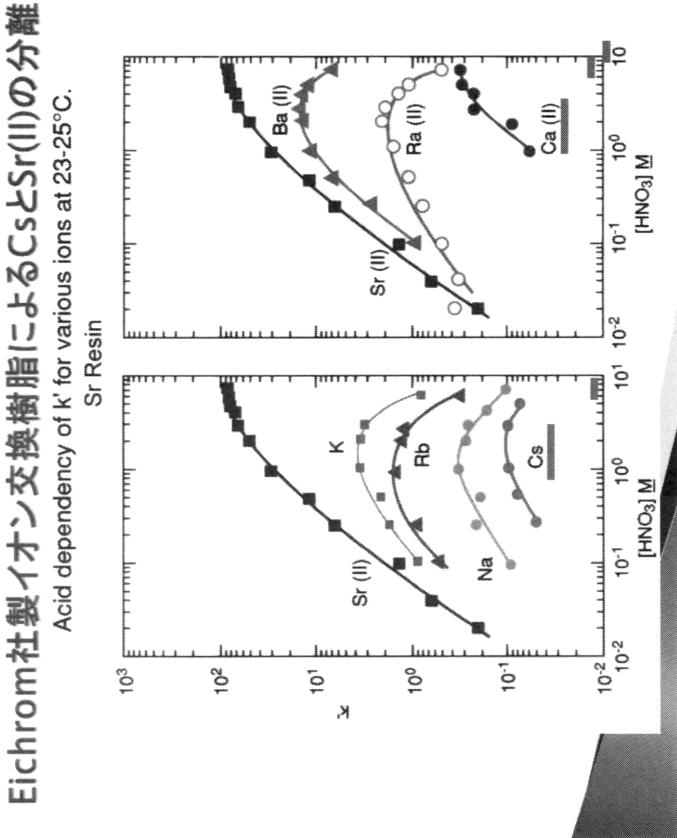
- ▶ 横浜市港北区のマンション屋上の堆積物から、195 Bq/kgの放射性ストロンチウムを、民間の分析機関が検出した。東京電力福島第一原発事故で放出されたとみられ、結果の報告を受けた横浜市は、再検査を始めた。
- ▶ 検出されたのは<sup>90Sr</sup>(半減期約30年)。文部科学省の調査では福島県内や宮城県南部など福島第一原発から100キロ圏内で検出されているが、約250キロ離れた横浜市内では初めて。
- ▶ 場所は築7年の5階建てマンション屋上。7月、溝にたまつた堆積物を住民が採取し、横浜市鶴見区の分析機関「同位体研究所」で測定した。放射性物質が蓄積しやすい条件とみられるため単純に比較できないが、4-5月に福島市内の土壤から検出された77 Bq/kgと比べても高い値だ。同じ堆積物からは63,434 Bq/kgの放射性セシウムも検出。私有地であることを理由に公表していないが、市衛生研究所での(放射性)セシウムの再検査でも、同じ堆積物から105,600 Bq/kgが検出された。

## 固相抽出法による放射性ストロンチウムの測定



## より早く、より正確な分析法を求めて

- ▶ × <sup>90Sr-90Y</sup>の放射平衡の待ち時間
- ▶ × 固相抽出法では示される値に不安
- ▶ ○ RadDiskは予察的な実験によれば、明らかに<sup>210Pb</sup>を拾っている。
- ▶ ○ 2012年2月からオーストリアに短期留学
- ▶ ○ カスケードしたγ線測定による微量核種の定量
- ▶ ○ 日本の土壤に合った放射性物質抽出法の確立(特に回収率の向上)
- ▶ ○ 原発周辺、横浜、柏の土壤に含まれる放射性ストロンチウムの分析
- ▶ ○ 分析法を論文(C. Steinhauser, V. Schauer, K. Shozugawa, Strontium-90 contaminations at selected hot spots in Japan, PLoS ONE, accepted)に基づき紹介する



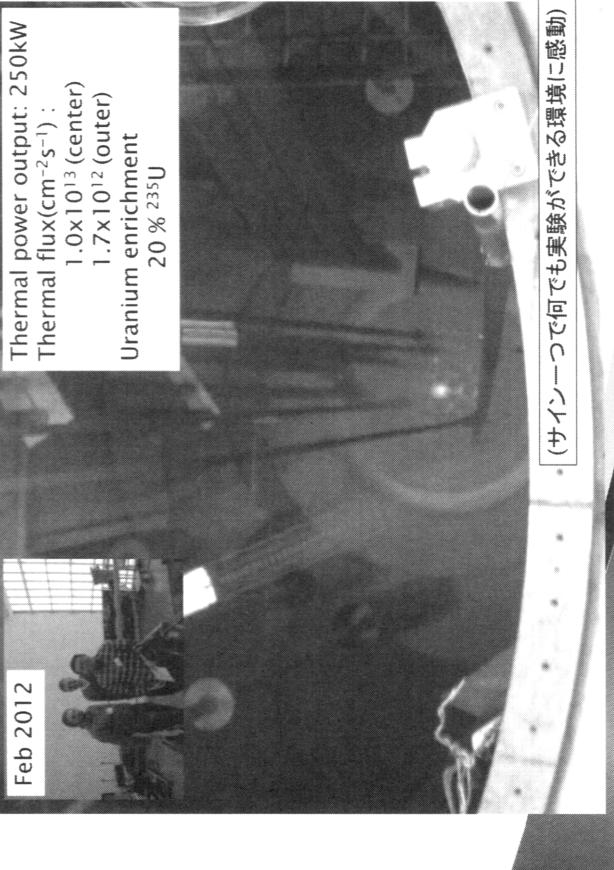
ウイーン大学  
Prof. Christian Koeberl

## 85SrによるSr回収率計算-酸抽出の効率を最大に-

- ▶ Ge半導体検出器で速やかに回収率を求められることが重要
  - $^{85}\text{Sr}$ (EC, 64.84d) ... Y: 514keV  $\beta$ : none
  - $^{87\text{m}}\text{Sr}$ (2.8h)...Y: 383keV  $\beta$ : none
- ▶  $^{85}\text{Sr}$ の作成
  - 3 mg  $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$  3時間照射
  - $^{134}\text{Cs}$ も一緒に作成
  - $\text{CsNO}_3$
- ▶ 供試土壤
  - 3g (hot, cold)
  - 警戒区域内を中心には25試料程度
- ▶ 放射化して作成し $t_c=^{85}\text{Sr}$ 
  - 照射用キャビセル
  - $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$



## TRIGA-II研究炉(ウェーン工科大学)



Thermal power output: 250kW  
Thermal flux( $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ):  
    1.0 $\times$ 10<sup>13</sup> (center)  
    1.7 $\times$ 10<sup>12</sup> (outer)  
Uranium enrichment  
    20 %  $^{235}\text{U}$

## 標準参照試料 IAEA-384 (Fangataufa Sediment)

### Information Massic Activities

Radionuclide	Information Value [Bq/kg]	95% C.I. [Bq/kg]	N <sup>a</sup>
$^{89}\text{Sr}$	1.7	1.5–1.9	15
$^{137}\text{Cs}$	0.30	0.24–0.50	26
$^{210}\text{Pb} (^{210}\text{Po})^{\$}$	22	21–23	13
$^{228}\text{Ra}$	2.4	2.0–2.9	18
$^{226}\text{Ra}$	1.6	0.8–2.0	5
$^{233}\text{Th}$	0.022	0.008–0.024	5
$^{234}\text{U}$	40	35–43	18
$^{238}\text{U}$	1.70	1.60–1.96	14
$^{239}\text{Pu}$	98	85–105	8
$^{240}\text{Pu}$	17.5	15.1–18.7	8
$^{241}\text{Pu}$	55	41–69	8

<sup>a</sup>Number of accepted laboratory means used to calculate the information massic activities and the corresponding confidence intervals.  
<sup>\\$</sup> $^{210}\text{Pb}$  and  $^{210}\text{Po}$  are considered to be in equilibrium.

▶ 土壤からの酸抽出

◦  $^{85}\text{Sr}$ スパイク後3gの土壤に対して

- 抽出条件
  - $\text{HNO}_3$ (60%) 2.5mL +  $\text{H}_2\text{O}$  2.5mL +  $\text{H}_2\text{O}_2$  1mL
  - 環流 20 min
  - (ここでsilicateが残つても全く問題ない) 回収率 > 98.5 %

▶  $\text{SiO}_2$ に富んだ土壤の放射性Srの分析法

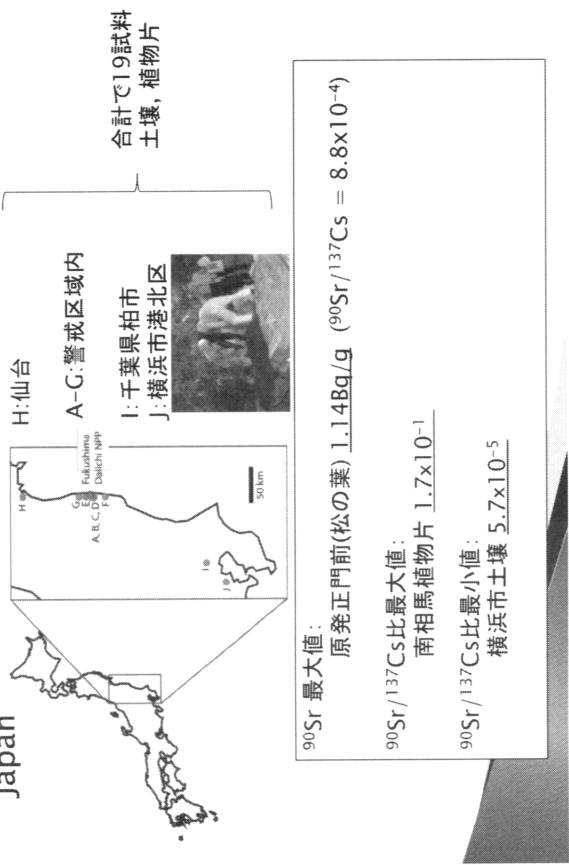
◦  $^{85}\text{Sr}$ スパイク後3gの土壤に対して

- 分離精製
  - $\text{Sr}-\text{resinB}(\text{Eichrom}^{\circledR})$ , 3M  $\text{HNO}_3$  + 0.05M シュウ酸5mlでコレインヨニンゲ
  - 8M  $\text{HNO}_3$ でSr吸着
  - 0.05M  $\text{HNO}_3$ で溶脱(90Y time zero)
- $\beta$ 測定
  - 低バックラッシュでチエレンコフル光測定, 1000 min/sample
  - 鉄エンチ(Fe(III))由来の影響が強いため、カクテルは使えない
  - 89と90はβスペクトル上で分離
- 信頼性
  - 標準参照試料の認証値と不確かさの範囲内で一致。

イオン交換樹脂による $^{85}\text{Sr}$ 分離精製

## 測定結果の要旨

- Strontium-90 contaminations at selected hot spots in Japan

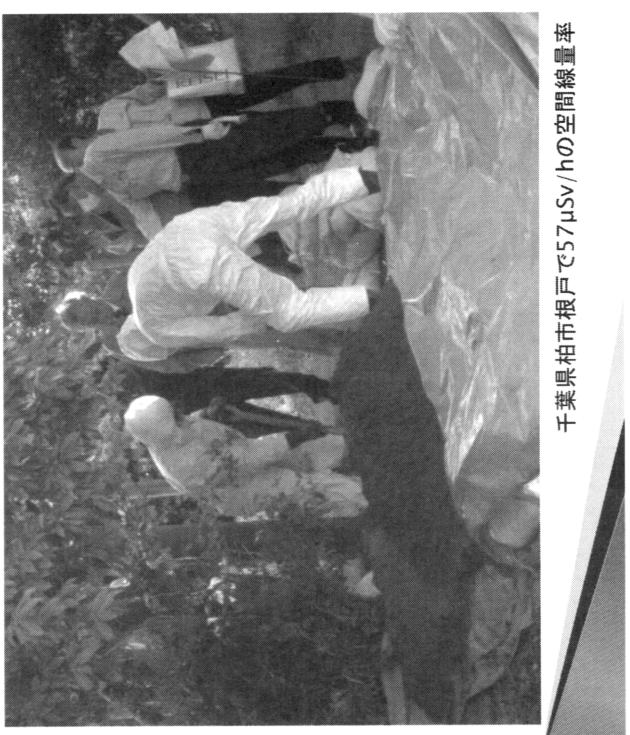


## 横浜市港北区マンション屋上、 $^{90}\text{Sr} = 195 \text{Bq/kg} (?)$

- 横浜市港北区のマンション屋上の堆積物について  
横浜市港北区のマンション(5階建て)の屋上の堆積物を集めて核種分析しました。



## 柏市根戸地区…文科省とJAEAの調査(10月23日)

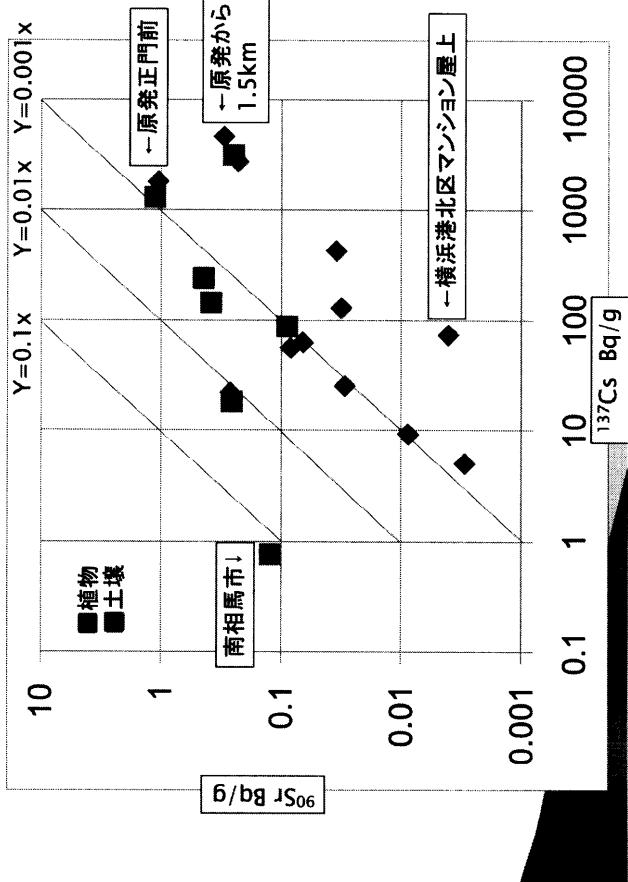


## 高線量を確認した場所(排水溝の破損個所)



千葉県柏市根戸で57μSv/hの空間線量率

## 90Sr / 137Cs比(土壤と植物片)



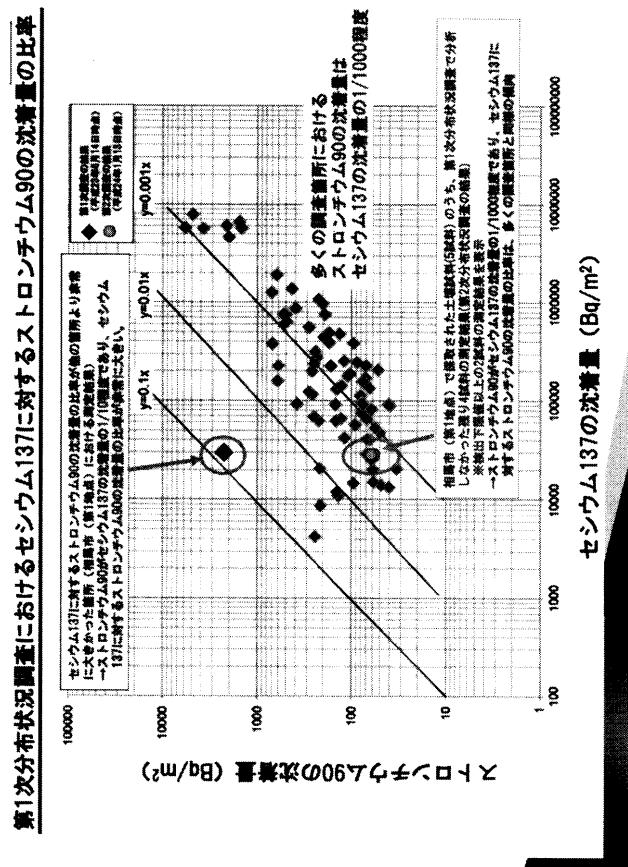
## 文科省の見解

(出典: ①ガンマ線放出検量の分析結果、及び②ストロンチウム89、90 の分析結果(第2次分析は因縁室)について)

- 多くの調査箇所における<sup>90</sup>Srの沈着量は<sup>137</sup>Csの沈着量の10分の1程度まで変動している場合があることが確認された。
- 「ごくまれ」の定義が不明だが、こちらでも同様の結果を確認。

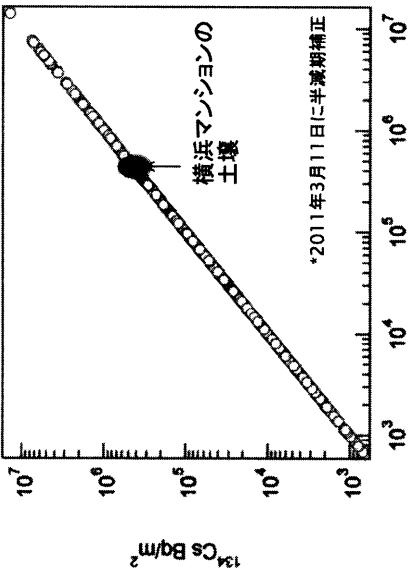
- ただし、相馬市における測定結果のように、ごくまれに<sup>90</sup>Srの沈着量が<sup>137</sup>Csの沈着量の1000分の1程度であることが確認された。
- 放射性セシウムに対する放射性ストロンチウムの沈着量の比率が特別に高いということではなく、放射性ストロンチウムの土壌への沈着の状況が、放射性セシウムよりもバラツキが大きいことが確認された。
- この原因を探るのが現在のテーマ。

文部科学省による、①ガンマ線放出検量の分析結果、及び②ストロンチウム89、90 の分析結果(第2次分析は因縁室)(第2次分析は因縁室)について



## 横浜市港北区マンション屋上堆積物の考察

マンション屋上堆積物  
 $^{134}\text{Cs} / ^{137}\text{Cs} = 0.97$   
→明らかに原発の影響

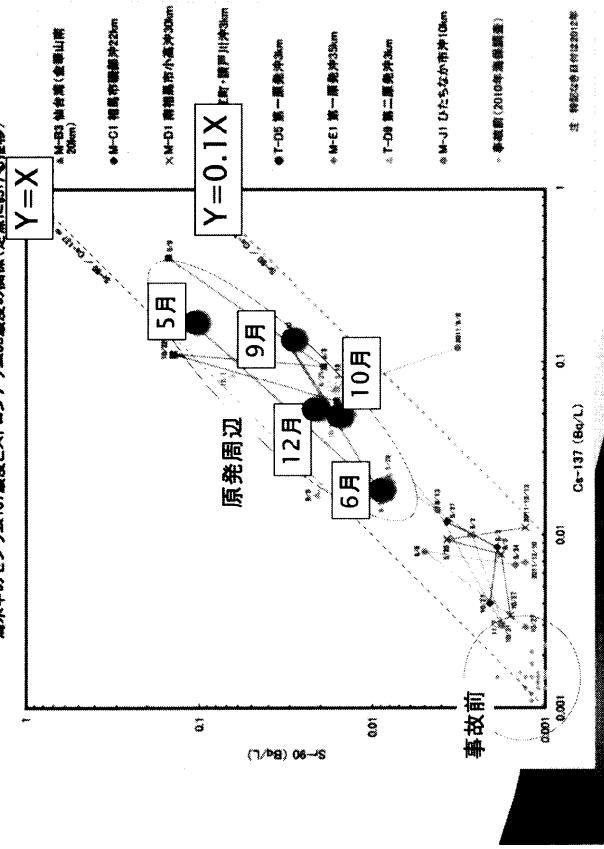


沈着後に雨で洗われているので、リーチングを考慮する必要があるのである

## 海水中の放射性ストロンチウム

### まとめ

- 放射性ストロンチウム分析法には簡単な固相抽出法と手間のかかる公定法があるが、RadDiskによる固相抽出法は<sup>90</sup>Srを過大評価している場合がある。(原因は天然核種)
- 土壤の<sup>137</sup>Csに対する<sup>90</sup>Sr放射能比(<sup>90</sup>Sr/<sup>137</sup>Cs)は10<sup>-1</sup>から10<sup>-5</sup>の範囲にある。おおむね10<sup>-3</sup>に集中する。放出源からの距離との相関はないことが特徴。
- 今回の報告は陸域(土壤・植物)のみ。海水・海底土についてはまた異なる挙動が確認されているため、今後も慎重な測定が求められる。



# 研 究 会 報 告

平成 23 年度京都大学原子炉実験所専門研究会

[2012 年 2 月 1 日]

京都大学原子炉実験所専門研究会に出席して

首都大学東京大学院理工学研究科

白井直樹

平成 23 年度京都大学原子炉実験所専門研究会「放射化分析を用いた微量元素分析の現状」は、2012 年 2 月 1 日（水）9 時 30 分から、京都大学原子炉実験所事務棟大会議室で開催された。2011 年 3 月 11 日の東日本大震災の影響により、日本原子力研究開発機構の研究用原子炉を用いることができなかつたこともあり、京都大学原子炉実験所の研究用原子炉を用いた講演が多かった。そのうち、中性子放射化分析を用いた宇宙・地球化学や環境科学分野に関する講演が 6 件、電子線型加速器を用いた機器光量子放射化分析に関する講演が 2 件あった。日本原子力研究開発機構での中性子放射化分析に関する講演が 3 件、化学分離法に注目した講演が 1 件あった。また、今回の専門研究会では、Malaysian Nuclear Agency から Wee Boon Siong 博士を迎、「Neutron Activation Analysis and its application in Malaysian Nuclear Agency」という表題で、Malaysian Nuclear Agency の研究炉そのものや施設、そこでの放射化分析の現状について紹介していただいた。昼食時に、産業技術研究所の三浦勉氏から、分析展 2011 での「放射化分析研究会」としての出展の報告、分析展 2012 での内容について議論が行われた。講演とは別に、日本原子力研究開発機構の笹島文雄氏から、JRR-3 と JRR-4 の現状について説明があった。最後に柴田誠一先生の閉会の挨拶で終了した。

## 開催報告

京大原子炉 関本俊

平成 23 年度京都大学原子炉実験所専門研究会「放射化分析を用いた微量元素分析の現状」が平成 24 年 2 月 1 日に所外の研究者 17 名を迎えて開催されました。研究会においては、KUR を用いた NAA の結果に関する講演が 6 件、光量子放射化分析の結果に関する講演が 2 件、JAEA における NAA・PGA 他を用いた研究に関する講演が 4 件ありました。また特別講演として、Malaysia Nuclear Agency の Wee 博士より Malaysian Nuclear Agency の研究炉そのものや、その他の施設について、また放射化分析の現状についての講演が行われた。また分野別にみると、宇宙地球科学分野に関する講演が 7 件、医療分野が 1 件、その他の分野 ( $K_0$  法、環境分野など) が 4 件でした。

上記の講演に加え、JAEA の笹島氏より、JRR-3, JRR-4 の現状についての説明があり、JRR-3

# 研 究 会 報 告

平成 23 年度京都大学原子炉実験所専門研究会

[2012 年 2 月 1 日]

京都大学原子炉実験所専門研究会に出席して

首都大学東京大学院理工学研究科

白井直樹

平成 23 年度京都大学原子炉実験所専門研究会「放射化分析を用いた微量元素分析の現状」は、2012 年 2 月 1 日（水）9 時 30 分から、京都大学原子炉実験所事務棟大会議室で開催された。2011 年 3 月 11 日の東日本大震災の影響により、日本原子力研究開発機構の研究用原子炉を用いることができなかつたこともあり、京都大学原子炉実験所の研究用原子炉を用いた講演が多かった。そのうち、中性子放射化分析を用いた宇宙・地球化学や環境科学分野に関する講演が 6 件、電子線型加速器を用いた機器光量子放射化分析に関する講演が 2 件あった。日本原子力研究開発機構での中性子放射化分析に関する講演が 3 件、化学分離法に注目した講演が 1 件あった。また、今回の専門研究会では、Malaysian Nuclear Agency から Wee Boon Siong 博士を迎、「Neutron Activation Analysis and its application in Malaysian Nuclear Agency」という表題で、Malaysian Nuclear Agency の研究炉そのものや施設、そこでの放射化分析の現状について紹介していただいた。昼食時に、産業技術研究所の三浦勉氏から、分析展 2011 での「放射化分析研究会」としての出展の報告、分析展 2012 での内容について議論が行われた。講演とは別に、日本原子力研究開発機構の笹島文雄氏から、JRR-3 と JRR-4 の現状について説明があった。最後に柴田誠一先生の閉会の挨拶で終了した。

## 開催報告

京大原子炉 関本俊

平成 23 年度京都大学原子炉実験所専門研究会「放射化分析を用いた微量元素分析の現状」が平成 24 年 2 月 1 日に所外の研究者 17 名を迎えて開催されました。研究会においては、KUR を用いた NAA の結果に関する講演が 6 件、光量子放射化分析の結果に関する講演が 2 件、JAEA における NAA・PGA 他を用いた研究に関する講演が 4 件ありました。また特別講演として、Malaysia Nuclear Agency の Wee 博士より Malaysian Nuclear Agency の研究炉そのものや、その他の施設について、また放射化分析の現状についての講演が行われた。また分野別にみると、宇宙地球科学分野に関する講演が 7 件、医療分野が 1 件、その他の分野 ( $K_0$  法、環境分野など) が 4 件でした。

上記の講演に加え、JAEA の笹島氏より、JRR-3, JRR-4 の現状についての説明があり、JRR-3

は H24 年度中に再開する予定であるとの説明（2月1日時点の情報）や、AIST の三浦氏より、平成23年に続き「分析展 2012」に「放射化分析研究会」としてブース出展を行うとの説明があり、その内容についての募集などもありました。

京大炉においては、共同利用が再開して1年以上が経過し、KUR を用いた研究結果の紹介や報告が昨年度の研究会より増えました。それらの中には、運転再開後の新規ユーザーによるものも含まれています。また東日本大震災の影響で JAEA のユーザーが、KUR を利用した結果、来年度以降、KUR を用いた放射化分析による研究の成果が増えることも予想されます。

平成24年度の専門研究会は、23年度と同様のタイトルで開催予定（開催時期は未定）です。例年、宇宙地球科学分野に関する講演が多くを占めますが、今後より幅広い分野において、より活発に放射化分析法が利用されることを目指し、特に、食品分野に代表される農学系の分野や考古学分野からも積極的に講演を募集することを計画しています。今年度の専門研究会についてはあらためてお知らせしますが、多くの講演が行われ、活発な議論が展開されることを期待しています。

## 放射化分析を用いた微量元素分析の現状 プログラム

### はじめに（趣旨説明）

#### 光量子放射化分析法による Ni の定量・その他

京都大学原子炉実験所 関本 俊

#### 放射化分析による宇宙化学的試料の分析

首都大学東京 白井 直樹

座長：高宮 幸一

#### $k_0$ -NAA における KUR と JRR-3 の比較

住重試験検査株式会社 宮田 賢

#### 放射化分析による多発地 ALS 及び PDC の毛髪中元素濃度定量

関西医療大学 櫻井 威織

#### 放射化分析による熱水性鉱石中のレアメタル存在度の解明

九州大学 石橋 純一郎

#### 京大炉を利用したはやぶさ回収試料の中性子放射化分析

首都大学東京 海老原 充

#### 分析展 2012 に関して「話題提供＆ご意見募集」

産業技術研究所 三浦 勉

座長：海老原 充（首都大学東京）

### 化粧品の分析

お茶の水大学 古田 悅子

Neutron Activation Analysis and its application in Malaysian Nuclear Agency

Malaysian Nuclear Agency Wee Boon Siong

中性子放射化分析による埼玉県荒川上流域の地球化学図

立正大学 福岡 孝昭

多重即発ガンマ線分析（MPGA）による堆積物中のホウ素含有量の測定と古汽水性の復元

北海道大学 豊田 和弘

座長：柴田 誠一

環境試料極微量分析のための化学分離法

日本原子力研究開発機構 宮本 ユタカ

広島原爆誘導放射能に伴う空間線量推定のための広島市内土壤の放射化分析

広島大学 遠藤 曜

藻類中の有害元素の定量に関する国際比較：CCQM-P118

産業技術研究所 三浦 勉

*9th International Conference on Methods and Applications of Radioanalytical Chemistry (MARC IX)* [2012年3月25-30日]

MARC IX が米国ハワイのコナで、2012年3月25日～30日の会期で開催された。この国際会議報告文を京大原子炉の若手研究者より寄稿していただいたので、以下に掲載する。（編集者）

京大原子炉 藤井俊行、福谷 哲、窪田卓見、関本 俊

プレナリーセッションでは、核鑑識（nuclear forensics）技術や核燃料サイクルにおける分離技術など、本学会に係わる様々な分野の代表的な研究が報告された。ITU（超ウラン研究所）の研究者から、核鑑識技術に関する発表が行われた。ウランの同位体比  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  に加え、 $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$  を用いる技術の検討や、年代測定に用いるような、ストロンチウム同位体、ネオジム同位体の精密同位体分析の導入について報告された。赤外分光法やイオンクロマトグラフィーを併用することにより、有機物の種類や、陰イオンの種類を同定し、出所が分からない核物質の起源を明らかにするという取り組みが紹介された。一例として、中東で多量に見つかった起源が分からないウラン化合物について核鑑識を行い、20世紀後半に得られた天然ウランであると識別された事例が紹介された。分析技術の高度化により、起源不明の核物質の識別がより正確に行なえつつあることが分かった。

座長：海老原 充（首都大学東京）

### 化粧品の分析

お茶の水大学 古田 悅子

Neutron Activation Analysis and its application in Malaysian Nuclear Agency

Malaysian Nuclear Agency Wee Boon Siong

中性子放射化分析による埼玉県荒川上流域の地球化学図

立正大学 福岡 孝昭

多重即発ガンマ線分析（MPGA）による堆積物中のホウ素含有量の測定と古汽水性の復元

北海道大学 豊田 和弘

座長：柴田 誠一

環境試料極微量分析のための化学分離法

日本原子力研究開発機構 宮本 ユタカ

広島原爆誘導放射能に伴う空間線量推定のための広島市内土壤の放射化分析

広島大学 遠藤 曜

藻類中の有害元素の定量に関する国際比較：CCQM-P118

産業技術研究所 三浦 勉

*9th International Conference on Methods and Applications of Radioanalytical Chemistry (MARC IX)* [2012年3月25-30日]

MARC IX が米国ハワイのコナで、2012年3月25日～30日の会期で開催された。この国際会議報告文を京大原子炉の若手研究者より寄稿していただいたので、以下に掲載する。（編集者）

京大原子炉 藤井俊行、福谷 哲、窪田卓見、関本 俊

プレナリーセッションでは、核鑑識（nuclear forensics）技術や核燃料サイクルにおける分離技術など、本学会に係わる様々な分野の代表的な研究が報告された。ITU（超ウラン研究所）の研究者から、核鑑識技術に関する発表が行われた。ウランの同位体比  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  に加え、 $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$  を用いる技術の検討や、年代測定に用いるような、ストロンチウム同位体、ネオジム同位体の精密同位体分析の導入について報告された。赤外分光法やイオンクロマトグラフィーを併用することにより、有機物の種類や、陰イオンの種類を同定し、出所が分からない核物質の起源を明らかにするという取り組みが紹介された。一例として、中東で多量に見つかった起源が分からないウラン化合物について核鑑識を行い、20世紀後半に得られた天然ウランであると識別された事例が紹介された。分析技術の高度化により、起源不明の核物質の識別がより正確に行なえつつあることが分かった。

INL（アイダホ国立研究所）の研究者より、核燃料サイクルにおける分離技術について発表があり、中でも、マイナーアクチニドであるアメリシウムの分離に関する報告は興味深かった。アメリシウムは硝酸溶液中において Am(III)であり、ラントニドに似た挙動を示すため、その分離は難しい。ビスマス酸ナトリウムを用いて高原子価の Am(VI)を生成することで分離効率の改善を試みる研究例が紹介された。また、PSI（ポールシェラー研究所）の研究者より、使用済燃料中の核分裂生成物 (FP) の分析に対する取り組みが紹介された。2007-2011 年の期間に行われた Euratom FP7 というプロジェクトの成果であり、2500K まで加熱可能な誘導加温装置を開発し、試料からの蒸発（揮発）成分を誘導結合プラズマ質量分析計に導入して定性・定量分析を行うというものである。挑戦的な内容だと感じた。

放射化分析のセッションでは、首都大学東京の研究グループより希土類元素の定量分析に関する発表が、石巻専修大学の研究グループより銀の定量分析に関する発表が行われた。首都大学東京の発表では、原子力研究開発機構の研究炉を用いた放射化分析法により、隕石（コンドライト）中に含まれる程度の極微量の希土類元素を定量した研究が報告された。京都大学の研究グループは、同研究用原子炉を用いて製造したセシウム、ストロンチウム、ヨウ素等の放射性トレーサを固液分配実験に供し、環境水中からの核種の除去に関して研究した成果を報告した。

アクチニドの分離に関するセッションでは、ORNL（オークリッジ国立研究所）の研究者より、<sup>238</sup>Pu の分離・精製に関する発表が行われた。同グループは、超ウラン元素 (TRU) や長半減期核分裂生成物 (LLFP) の試料作成も行っており、現在日本国内にて用いられている TRU および LLFP の核データ測定用照射ターゲットの中には、同グループより提供されたものがある。<sup>238</sup>Pu は、アイソトープ電池として利用されている核種であり、ORNL は NASA から 1kg/年の提供を求められている。このため、<sup>238</sup>Pu を大量に取り扱った際の、分離・精製特性を調査した。論文等で報告されている分離手法は少量のプルトニウムを用いて研究・開発されているため、スケールアップした際に有効に機能するかどうか分からぬ部分がある。例えば、イオンクロマトグラフィーはよく知られた分離手法であるが、多量のプルトニウムを用いると、水の放射線分解が起こり、カラムの樹脂間に空隙ができるため分離・回収効率が下がる。実際に、ORNL の HFIR (High Flux Isotope Reactor) にて<sup>237</sup>Np を照射して製造した<sup>238</sup>Pu の分離・精製について、製造した 10g の<sup>238</sup>Pu を 1 リットルのカラムに導入した際のホットセル作業の内容が紹介された。多量のプルトニウムを用いた試験の貴重な情報が公開され、興味深く聴講した。

同学会では、福島第一原子力発電所事故に関する特別セッションが設けられ、日本を含む欧米アジア各国の研究報告が行われた。いずれの発表においても事故の経緯が詳細に把握されており、早期から分析に取り組んでいることが分かった。科学的見地から適切に意見が述べられていた。地球規模で放射性物質を放出した事実を深く再認識するとともに、データの共有を始め、日本の果たすべき役割および責任は大きいと感じた。

## MARC IX プログラム(放射化分析関連のみ抜粋)

[詳細は、<http://www.marcconference.org/>をご覧ください。]

### Oral presentation

- Instrumental, Pre-Concentration, Radiochemical, and Speciation Activation Analysis.

*Organized and chaired by A. Chatt, Dalhousie University, Canada.*

#### STUDIES ON SELENOPROTEIN SPECIES IN BOVINE KIDNEYS BY BIOCHEMICAL NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS

Jayawickreme, CK; Chatt, A. Trace Analysis Research Centre, Department of Chemistry, Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, B3H 4J3, Canada

#### ARSENIC COMPOUNDS IN FIREWORKS? - AN ANALYSIS OF THE SUSPENDED PARTICLE EMISSION DURING VIENNA'S NEW YEAR FIREWORKS

Johannes H. Sterba(1), Fritz Grass(1), Georg Steinhauser(1), Johann Wernisch(2), Max Bichler(1);  
(1): Atominstitut, Vienna University of Technology, Stadionallee 2, 1020 Wien, Austria; (2): Institute of Solid State Physics, Vienna University of Technology

#### SHELLED MORINGA OLEIFERA SEEDS: A UNIQUE BIOSORBENT FOR THE REMOVAL OF HEAVY METALS FROM AQUEOUS PHASE USING NAI(TI) DETECTOR AND NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS TECHNIQUES.

Parul Sharma (1), M.M. Srivastava (2) and Shalini Srivastava (3).

(1) Department of Chemistry, Amity school of Engineering & Technology, Amity University, Manesar, Haryana.  
(2) Department of Chemistry, Faculty of Science, Dayalabagh Educational Institute, Dayalbagh, Agra, India.

#### RE-DETERMINATION OF (K0,Q0)- VALUES FOR 10 ISOTOPES OF ANALYTICAL INTEREST

F. Farina Arboccò<sup>1,2</sup>, P. Vermaercke<sup>2</sup>, K. Strijckmans<sup>1</sup>, K. Smits<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Department of Analytical Chemistry - Ghent University; Krijgslaan 281 S12, BE-9000 Gent, Belgium; <sup>2</sup>k<sub>0</sub>- INAA Laboratory - SCK•CEN, Belgian Nuclear Research Centre; Boeretang 200, BE-2400 Mol, Belgium

#### ANALYSIS OF FDA IN-HOUSE FOOD REFERENCE MATERIALS WITH ANTICOINCIDENCE INAA

David L. Anderson and William C. Cunningham,  
US Food and Drug Administration, Office of Regulatory Science

#### INSTRUMENTAL NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS OF RADIONUCLIDES AND TRACE METALS IN SOIL-PLANT SYSTEMS

Ramakrishna Naidu, G; Kalyan, Y; Gangadhar, B; Tharakeswar, Y; Sujan Kumar, K.

Department of Environmental Sciences, Sri Venkateswara University, Tirupati-517502, INDIA

#### RAPID DETERMINATION OF SILVER IN CULTIVATED JAPANESE AND KOREAN OYSTERS AND JAPANESE ROCK OYSTERS USING THE SHORT-LIVED NEUTRON ACTIVATION PRODUCT 110-AG

Fukushima, M (1); Chatt, A (2).

(1) Department of Basic Sciences, Faculty of Science and Engineering, Ishinomaki Senshu University, Minamisakai, Ishinomaki, Miyagi, 986-8580, Japan; (2) Trace Analysis Research Centre, Department of Chemistry, Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, B3H 4J3, Canada

#### TRAINING IN NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS: PROBLEMS AND SUGGESTIONS FOR SOLUTIONS

Bode, P(1); Bacchi, MA(2); De Nadai Fernandes, EA(2).

(1) Delft University of Technology, (2) CENA-USP.

## **GENERATION OF META IMAGES FOR VISUALIZATION OF THE DATA OBTAINED BY ANALYSIS OF THE TIME SERIES AUTORADIOGRAMS**

V. P. Kolotov (1), D. S. Grozdov (1), N. N. Dogadkin (1) and V.I.Korobkov (2).

(1) Vernadsky Inst.of Geochem.&Analyt.Chem., (2) Moscow State University, Russia

## **ACCURATE DETERMINATION OF RARE EARTH ELEMENTS IN COSMOCHEMICAL SAMPLES BY RADIOCHEMICAL NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS**

Aihara, H.; Ebihara, M. Tokyo Metropolitan University

## **PROMPT GAMMA CHARACTERIZATION OF ACTINIDES**

Christoph Genreith (1); Matthias Rossbach (1); Eric Mauerhofer (1); Tamás Belgya (2);

(1) Institute for Energy- and Climate Research 6 – Nuclear Waste Management and Reactor Safety, Forschungszentrum Juelich GmbH, 52425 Juelich, Germany; (2) Institute of Isotopes HAS. Dept. of Nuclear Research, H- 1525 Budapest, POB 77

## **○ Applications of Radioanalytical Chemistry and Neutron Activation Analysis for Nuclear Medicine and Biological Systems.**

*Organized and chaired by Organized by S. Srivastava, Brookhaven National Laboratory, USA*

### **PAVING THE WAY TO PERSONALIZED MEDICINE: PRODUCTION OF SOME PROMISING THERAGNOSTIC RADIONUCLIDES AT BROOKHAVEN NATIONAL LABORATORY**

Srivastava, SC, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY

### **WHOLE BODY COUNTING FOR TIME-DEPENDENT RADIOACTIVITY ESTIMATION IN PATIENTS UNDERGOING $^{177}\text{Lu}$ PRRT.**

Bode, P(1); Liu, B(1); Breeman, WAP(2).

(1) Delft University of Technology, (2) Erasmus Medical Center Rotterdam

### **THE CASE FOR FRACTIONAL SOLUBILITY PROFILES**

R.L. Metzger<sup>1</sup> and K.F. Eckerman<sup>2</sup>,

1)Radiation Safety Engineering, Inc, 2) Oak Ridge National Laboratory

### **A RAPID METHOD FOR DETERMINING STRONTIUM-89/90 IN URINE SAMPLES**

Dai X., Cui, Y.; Kramer-Tremblay, S., AECL Chalk River Nuclear Laboratories

### **REAL-TIME IMAGING OF NUTRIENT UPTAKE MANNER IN PLANTS USING CONVENTIONAL RADIOISOTOPES**

Nakanishi, TM: Knno, S; Kobayashi, NI; Hirose, A; Ishibashi, H; Tanoi, K Univ. of Tokyo

### **TRACE ELEMENTS IN OSTEOPENIA/OSTEOPOROSIS: A POTENTIAL, RADIATION FREE AND CHEAP METHOD FOR BONE- MINERAL-ASSESSMENT**

M.A. Chaudhri (Uni. Of Erlangen- Nuernberg & Pakistan Council of Scientific & Industrial Research), W. Kemmler (University of Erlangen- Nuernberg), I. A. Harsch (Uni. Of Erlangen-Nuernberg), J. Watling (Uni. Of Western Australia)

### **QUANTITATIVE STUDY OF NON- STIMULATED HUMAN WHOLE**

### **SALIVA USING NAA**

H R Lewgoy(1), C. B. Zamboni(2), S. Metairon(2), I. M. M. A Medeiros(2).

(1)Universidade Anhanguera Bandeirante, UNIBAN; (2)Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN -

NEUTRON AND GAMMA RAY DOSES FROM A  $^{252}\text{Cf}$  BRACHYTHERAPY SOURCE IN A WATER PHANTOM

Ibrahim Al-Saihati (1), Naqvi A. A.(2).

(1) Department of Electrical Engineering, (2) Department of Physics, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Dhahran, Saudi Arabia.

RADIONUCLIDES PRODUCTION BY DEUTERON BEAMS IRRADIATIONS

Bonardi, ML (1), Manenti, S (1), Gini,L (1), Groppi F (1),

(1) L.A.S.A. - Radiochemistry Laboratory, Università degli Studi di Milano and INFN Sez. di Milano, via F.lli Cervi 201, I-20090 Segrate (MI), Italy.

○ Instrumentation and Software for Nuclear Spectrometry.

*Organized and chaired A. Berlizov, IAEA, and C. Aalseth, PNNL, USA.*

A COMPTON-SUPPRESSED PHOSWICH DETECTOR FOR GAMMA SPECTROSCOPY

Abdollah Farsoni, Oregon State University

PURECOLD FAST ELECTRONICS FOR BETA-ALPHA- AND ALPHA- ALPHA PILE-UP SUPPRESSION

Rugard Dressler and Peter Rasmussen, Paul Scherrer Institute, CH-5232 Villigen, Switzerland

PULSE TUBE REFRIGERATION FOR HPGE DETECTORS AND ASSOCIATED ELECTRONIC

Michael E. Cournoyer (1), James Pecos (1), Howard N. Granzow (1), and Steve Chunglo (2).

(1) Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM 87545 (2) CANBERRA Industries, An AREVA company, 800 Research Parkway, Meriden CT 06450

CHARACTERISATION OF A SPECTROMETER FOR MEASUREMENTS OF ALPHA- PARTICLE AND X-RAY/GAMMA- RAY IN COINCIDENCE

M. Eriksson, I. Levy, J-F. Comanducci, IAEA-EL, Monaco

OPTIMIZATION OF PULSE PROCESSING PARAMETERS FOR HPGE GAMMA-RAY SPECTROSCOPY SYSTEMS USED IN EXTREME COUNT RATE CONDITIONS AND WIDE COUNT RATE RANGES

Ronald M. Keyser and Timothy R. Twomey, ORTEC, 801 South Illinois Avenue, Oak Ridge, TN 37831

DETERMINING HPGE TOTAL DETECTION EFFICIENCY USING  $\gamma$ -  $\gamma$  COINCIDENCE

Erikson L., Keillor M., Aalseth C., Hossbach T., Mizouni L., Stavenger T., McDonald B., Pacific Northwest National Laboratory

CONTROLLING LOW-RATE SIGNAL PATH MICRODISCHARGE FOR AN ULTRA-LOW-BACKGROUND PROPORTIONAL COUNTER

EK Mace, CE Aalseth, RM Bonicalzi, AR Day, EW Hoppe, ME Keillor, AW Myers, CT Overman, A Seifert, Pacific Northwest National Laboratory

DIGITAL PULSE-SHAPE DISCRIMINATION APPLIED TO AN ULTRA-LOW-BACKGROUND GAS-PROPORTIONAL COUNTING SYSTEM - FIRST RESULTS

C.E. Aalseth, A.R. Day, E.S. Fuller, E.W. Hoppe, M.E. Keillor, E.K. Mace, C.T. Overman, M.E. Panisko, A. Seifert, G.A. Warren, R.M. Williams. ORGANIZATION: Pacific Northwest National Laboratory, Richland, WA, USA

THE DESIGN, CONSTRUCTION, AND INITIAL CHARACTERIZATION OF AN ULTRA-LOW-BACKGROUND GAS-PROPORTIONAL COUNTING SYSTEM

A. Seifert, C.E. Aalseth, A.R. Day, E.S. Fuller, E.W. Hoppe, M.E. Keillor, E.K. Mace, C.T. Overman, G.A. Warren.

Pacific Northwest National Laboratory, Richland, WA, USA

DIGITAL GAMMA-GAMMA COINCIDENCE AND ANTICOINCIDENCE SPECTROMETRY DEVELOPMENT AND ITS APPLICATIONS TO COMPTON SUPPRESSION WITHOUT ANY GAMMA-RAY SENSITIVITY LOSS, SPECIAL ENVIRONMENTAL RADIONUCLIDE MONITORING AND NUCLEAR MATERIAL CHARACTERIZATION USING LIST-MODE DATA ACQUISITION

Weihua Zhang, Paweł Mekarski; Maxime Dion; Jing Yi; Kurt Ungar.

MATHEMATICAL EFFICIENCY CALIBRATION METHODS FOR HIGH QUALITY LABORATORY BASED GAMMA SPECTROMETRY SYSTEMS

P.J. LeBlanc (1), A. Adekola (1), F. Bronson (1), K. Morris (1), W.F. Mueller (1), R. Venkataraman (1);

(1) - Canberra Industries Inc., 800 Research Parkway, Meriden, CT, 06450, USA.

## Poster Session

IMPROVING NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS ACCURACY FOR THE MEASUREMENT OF GOLD IN THE CHARACTERIZATION OF HETEROGENEOUS CATALYSTS USING A TRIGA REACTOR.

Siaka Yusuf; Melinda Krahenbuhl; Bryan Haskins. The Dow Chemical Company.

FABRICATION AND CHARACTERIZATION OF AN IRRADIATION FACILITY FOR LARGE-SAMPLE GEOMETRY.

Talnagi, JW(1); Lei, LR(1); Spitz, HB(2); Glover, SE (3).

(1) The Ohio State University, (2) University of Cincinnati, (3) NIOSH.

DEVELOPMENT OF A PROMPT GAMMA ACTIVATION ANALYSIS FACILITY AT DALAT REACTOR.

Nguyen Canh Hai(1), Vuong Huu Tan(2), Nguyen Nhi Dien(1), Pham Ngoc Son(1), Tran Tuan Anh(1),  
(1) Nuclear Research Institute, 1 Nguyen Tu Luc street, Dalat, VietNam, (2) Viet Nam Atomic Energy Institute,  
59 Ly Thuong Kiet street, Hanoi, Viet Nam,.

RADIOXENON SIGNATURES BY NATURAL ACTIVATION.

Biegalski, SR (1); Klingberg, FJ (1).

(1) University of Texas at Austin.

USE OF A COTS X-RAY SCANNER FOR 2-D NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS.

Bounds, JA; Goda, JM; Myers, W; Rose, E; Sanchez, RG. Los Alamos National Laboratory.

NEUTRON ABSORPTION ACTIVATION ANALYSIS.

Steinhauser, G (1); Merz, S (1); J.H. Sterba (1).

(1) Vienna University of Technology, Atominstitut.

INAA STUDY OF Hg, Se, As, AND Br IRRADIATION LOSSES FROM L-CYSTEINE TREATED AND UNTREATED REFERENCE MATERIALS.

David L. Anderson, US Food and Drug Administration, Office of Regulatory Science.

ANTICOINCIDENCE INAA CAPABILITIES FOR ANALYSIS OF FDA TOTAL DIET STUDY SEAFOODS.

David L. Anderson, US Food and Drug Administration, Office of Regulatory Science.

CHLORINE DETECTION IN BFS CONCRETE SAMPLES USING A PORTABLE NEUTRON GENERATOR.

Zameer Kalakada(2), O.S.B. Zameer Kalakada (2), Al-Amoudi(2), M. Maslehuddin (3), M. Raashid (1) and Khateeb-ur-Rehman(1).

(1)Department of Physics, (2) Department of Civil Engineering and (3) Center for Engineering Research, King

Fahd University of Petroleum and Minerals, Dhahran, Saudi Arabia.

TRACE ELEMENT DETERMINATION IN A MUSSEL REFERENCE MATERIAL USING SHORT IRRADIATION INSTRUMENTAL NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS.

Moreira, EG(1); Seo, D(1); Vasconcellos, MBA(1); Saiki, M(1). (1) IPEN-CNEN/SP.

THE CORRECT AND INCORRECT WAY TO CALIBRATE A COMPTON SUPPRESSION COUNTING SYSTEM FOR GAMMA RAY EFFICIENCY.

Landsberger, S; Biegalski, S; University of Texas.

MEASURING ACTIVITY OF  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  AND  $^{232}\text{Th}$  DECAY CHAINS AND K-40 IN GEOLOGICAL SAMPLES USING NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS.

Landsberger, S; Dolloff, J; Kapsimalis, R; University of Texas.

TRACE ANALYSIS AND LEACHING DYNAMICS OF VOLCANIC ASH USING NAA AND ICP-MS.

B.Canion(1), S. Landsberger (1),

(1) University of Texas at Austin, Nuclear Engineering Teaching Lab, R-9000, Austin, Texas, USA 78712.

DETERMINATION OF ZINC IN GEOLOGICAL SAMPLES USING COMPTON SUPPRESSION AND EPITHERMAL INSTRUMENTAL NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS.

B. Canion (1), S. Landsberger (1), (1) University of Texas at Austin, Nuclear Engineering Teaching Lab, R-9000, Austin, Texas, USA 78712.

USING INNA TO DETERMINE CERAMIC PRODUCTION AND DISTRIBUTION DURING THE 13TH AND 14TH CENTURIES IN THE ESPAÑOLA BASIN, NEW MEXICO.

William D. James\* and Suzanne L. Eckert\*\*,

\*Center for Chemical Characterization and Analysis, Department of Chemistry, Texas A&M University, College Station, TX 77843, \*\*Department of Anthropology, Texas A&M University, College Station, TX 77843.

DETERMINATION OF COPPER IN NATURAL WATERS BY REVERSED-PHASE EXTRACTION CHROMATOGRAPHY AND NEUTRON ACTIVATION USING 1-(2-THIAZOLYLazo)-2-NAPHTHOL.

Goodwin WE; Rao, RR; Chatt, A. Trace Analysis Research Centre, Department of Chemistry, Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, B3H 4J3, Canada.

DETERMINATION OF IODINE IN CANADIAN FOODS BY EPITHERMAL INSTRUMENTAL NEUTRON ACTIVATION AND ANTI-COINCIDENCE GAMMA-RAY SPECTROMETRY.

W. Zhang(1,2); A. Chatt (1).

(1)Trace Analysis Research Centre, Department of Chemistry, Dalhousie University, Halifax, NS, B3H 4J3, Canada; (2) Radiation Protection Bureau, Health Canada, 775 Brookfield Road, AL 6302D1, Ottawa, ON, K1A 1C1, Canada

ESTIMATION OF COMBINED UNCERTAINTIES ASSOCIATED WITH THE DETERMINATION OF IODINE IN FOODS BY THE RELATIVE AND K0 INAA STANDARDIZATION METHODS.

Nyarko, BJB (1,2); Akaho, EHK (2); Fletcher, JJ (3); Chatt, A (1).

(1) Trace Analysis Research Centre, Department of Chemistry, Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, B3H 4J3, Canada; (2) Ghana Atomic Energy Commission, P.O. Box LG80, Legon--- Accra, Ghana; (3) Physics Department, University of Cape Coast, Cape Coast, Ghana.

OPTIMIZATION IN NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS.

De Nadai Fernandes, EA (1); Bode, P(2); Bacchi, MA(1).

(1)CENA-USP, (2) Delft University of Technology.

DETERMINATION OF URANIUM FISSION INTERFERENCE FACTORS FOR INAA.

Ribeiro Junior, IS (1); SAIKI, M (1); Genezini, FA (1); ZAHN, GS (1).

(1) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN.

OPTIMIZATION AND ESTIMATION OF COLD NEUTRON PROMPT ACTIVATION ANALYSIS SYSTEM BY USING MONTE CARLO CODE.

S.M.T Hoang (1,2); J.H Moon (1); Y.S Chung (1); B.G Park (3); G.M Sun (1).

(1)KAERI, (2)KOREA University of Science and Technology, (3) Seoul National University.

QUANTIFICATION OF NB AND ZR IN THE THE IRRADIATED PRESSURE TUBES FROM WOLDSEONG CANDU 1 UNIT BY REACTIVATION METHOD.

SUN, Gwang-Min (1); CHO, Dong-Keun, (1); (1)Korea Atomic Energy Research Institute.

OPTIMIZATION OF A PROMPT GAMMA ANALYSIS SETUP FOR ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL SAMPLES.

Fares A. Al-Matouq(1), A. H. Isab(2), Khateeb-ur-Rehman(1), M. A. Gondal(1), M. Raashid(1) and M. Dastageer(1),

<sup>1</sup>Department of Physics and <sup>2</sup>Department of Chemistry, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Dhahran, Saudi Arabia.

ASSESSMENT OF DIFFERENCES IN THE TRACE ELEMENT CONCENTRATIONS IN REGIONS OF HUMAN BRAIN BY INAA.

Saiki, M(1); Miranda, N(2); Leite, REP(2); Genezini, FA(1); Grinberg, LT(2); Ferretti, REL(2); Jacob-Filho, W(2).

(1)Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP. (2)Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.

DETERMINING TRACE AMOUNTS OF NICKEL IN PLANT SAMPLES BY NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS.

Landsberger, S; Canion, B; University of Texas.

DEMONSTRATION OF SELF-SHIELDING FOR THE ANALYSIS OF GOLD WITH NAA.

Landsberger, S; Dayman, K; University of Texas.

MONITORING OF NEUTRON FLUX CHANGES IN SHORT-LIVED NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS.

Landsberger, S; Dayman, K; University of Texas.

ELEMENTAL ANALYSIS OF BIOLOGICAL TISSUES OF DMMDMX/J AND C57BL/6J MICE STRAINS INVASTIGATED BY NAA.

S. Metairon(1), C. B. Zamboni(1), M. F. Suzuki(1), C. R. Bueno Jr.(2) O. A. Sant'Anna (3).

(1)Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN- CNEN/SP, (2)Centro de Estudos do Genoma Humano, Instituto de Biociências, USP, (3)Instituto Butantan.

DETERMINATION OF U CONCENTRATION IN GINSENG SAMPLES USING BY DELAYED NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS.

J.M. Lim<sup>1</sup>, J.H. Moon<sup>2</sup>, S.H. Kim<sup>2</sup>, M.J. Kang<sup>1</sup>, J.H. Jeong<sup>3</sup>, J.H. Lee<sup>3</sup>

1. Environmental Radioactivity Assessment Team, Korea Atomic Energy Research Institute 2. Department of Neutron Basic Science, Korea Atomic Energy Research Institute 3. Department of Environmental Engineering, ChungNam National University.

NUCLEAR AND RADIOCHEMICAL TECHNIQUES: A POWERFUL TOOL FOR NANOTOXICOLOGICAL STUDIES.

Sabbioni, E (1,2), Manenti, S (2), Bonardi, ML(2), Bellini, CM(2), Groppi ,F(2),

(1) ECSIN - European Center for the Sustainable Impact of Nanotechnology, Veneto Nanotech - Rovigo, Italy,

(2) L.A.S.A. - Radiochemistry Laboratory, Università degli Studi di Milano and INFN Sez. di Milano, via F.Illi Cervi 201, I-20090 Segrate (MI), Italy.

*8th International Conference on International Conference on Nuclear and Radiochemistry* [2012年9月16-21日]

日本原子力研究開発機構 宮本 ユタカ

2012年9月16日～21日の期間に開催された原子力と放射化学に関する国際学会"8th International Conference on Nuclear and Radiochemistry (NRC-8)"に参加した。1984年から4年毎にヨーロッパ圏内で開催されるこの学会、今回はイタリア北部のリゾート地であるコモ(Como)で開催された。開催場所を見た時にまず「なんでこんな行きにくい場所でやるのだろう。ミラノなら行きやすいのに...」と思った。コモはミラノから北に5kmほど離れたコモ湖畔の小さな街である。それまでその地名には全く興味がなかったが、調べてみると多くの有名人が別荘を持つほどの高級リゾートであり、夏の避暑地としても有名な場所であった。問題はその「リゾート地」までどうやって行くのかであった。スケジュールの都合でミラノ・マルペンサ空港に到着するのが午後7時過ぎ。一番簡単で確実なのは空港からタクシーに2時間くらい乗る方法である。ただし100ユーロ！もかかる。学会事務局からの勧めに従って空港から鉄道を乗り継いでコモ駅まで行くことにした。イタリア人は親切なのだが日本人から見ると「いい加減(loose)」な人が多いので、要注意というか寛大に受け入れる度量が必要なのである。実際、列車の切符窓口では一本早い電車を勧められたが、それは目的の乗り継ぎ駅に止まらないのを知っていたので、"Grazie"と言っておいて予定した電車に乗った。宿には日が変わる前に何とか到着できた。翌日、参加受付もしなくてはいけなかったので朝食を早々に切り上げて会場に向かった。宿から少し歩くと湖畔に出た。朝もやがかかった静かな湖畔は言葉が見つからないほどの絶景だった。15分ほど歩くと学会会場のホテルに着いた。会場は奇抜なデザインの建物であった。さすがファッションセンス抜群のミラノが近いだけあって斬新で洗練されたデザインである。開始時間に十分に間に合った...と思ったら間に合いすぎた。受付に誰もいない。よく見ると



朝もやの静かなコモ湖畔

NUCLEAR AND RADIOCHEMICAL TECHNIQUES: A POWERFUL TOOL FOR NANOTOXICOLOGICAL STUDIES.

Sabbioni, E (1,2), Manenti, S (2), Bonardi, ML(2), Bellini, CM(2), Groppi ,F(2),

(1) ECSIN - European Center for the Sustainable Impact of Nanotechnology, Veneto Nanotech - Rovigo, Italy,

(2) L.A.S.A. - Radiochemistry Laboratory, Università degli Studi di Milano and INFN Sez. di Milano, via F.Illi Cervi 201, I-20090 Segrate (MI), Italy.

*8th International Conference on International Conference on Nuclear and Radiochemistry* [2012年9月16-21日]

日本原子力研究開発機構 宮本 ユタカ

2012年9月16日～21日の期間に開催された原子力と放射化学に関する国際学会"8th International Conference on Nuclear and Radiochemistry (NRC-8)"に参加した。1984年から4年毎にヨーロッパ圏内で開催されるこの学会、今回はイタリア北部のリゾート地であるコモ(Como)で開催された。開催場所を見た時にまず「なんでこんな行きにくい場所でやるのだろう。ミラノなら行きやすいのに...」と思った。コモはミラノから北に5kmほど離れたコモ湖畔の小さな街である。それまでその地名には全く興味がなかったが、調べてみると多くの有名人が別荘を持つほどの高級リゾートであり、夏の避暑地としても有名な場所であった。問題はその「リゾート地」までどうやって行くのかであった。スケジュールの都合でミラノ・マルペンサ空港に到着するのが午後7時過ぎ。一番簡単で確実なのは空港からタクシーに2時間くらい乗る方法である。ただし100ユーロ！もかかる。学会事務局からの勧めに従って空港から鉄道を乗り継いでコモ駅まで行くことにした。イタリア人は親切なのだが日本人から見ると「いい加減(loose)」な人が多いので、要注意というか寛大に受け入れる度量が必要なのである。実際、列車の切符窓口では一本早い電車を勧められたが、それは目的の乗り継ぎ駅に止まらないのを知っていたので、"Grazie"と言っておいて予定した電車に乗った。宿には日が変わる前に何とか到着できた。翌日、参加受付もしなくてはいけなかったので朝食を早々に切り上げて会場に向かった。宿から少し歩くと湖畔に出た。朝もやがかかった静かな湖畔は言葉が見つからないほどの絶景だった。15分ほど歩くと学会会場のホテルに着いた。会場は奇抜なデザインの建物であった。さすがファッションセンス抜群のミラノが近いだけあって斬新で洗練されたデザインである。開始時間に十分に間に合った...と思ったら間に合いすぎた。受付に誰もいない。よく見ると



朝もやの静かなコモ湖畔

紙に開始を 30 分遅らせると書いてあった。当然、参加者は誰もそのようなアナウンスを受けていないので定刻にゾロゾロ集まる。でも受付には誰も居ない....まさにイタリアなのである。

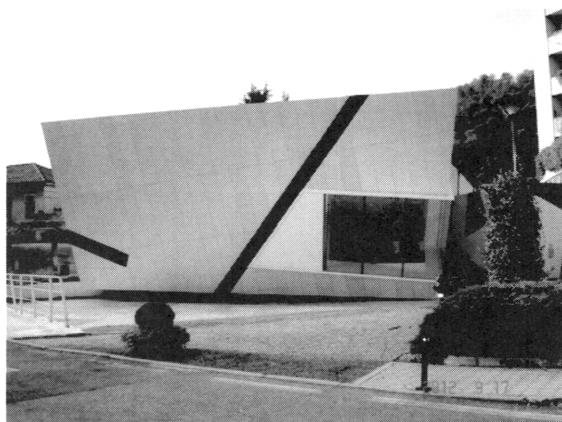
この学会はヨーロッパ圏内の放射化学研究者が特定の母体集団を持たずに定期的に開催されていたようであるが、今回から EuCheMS (European Association for Chemical and Molecular Sciences)の Division of Nuclear Radiochemistry が主体となって開催することになったそうである。

それに伴って核医学検査や核医学治療、それらに関連した RI 製造技術開発などの分野からの研究発表が数多くなったことに学会主催者が喜んでいた。その他にも超重元素合成、環境放射能、放射化学分離、核燃料サイクルなど、学会は放射化学に関する研究分野全般を幅広く網羅していた。核医学分野の発表が多い一方で、放射化分析の発表は数える程しかなかった。分析法の開発より応用面に研究の中心が移っていて、放射化分析法を用いて得られた定量結果を基に専門的な深い議論をしたい場合には、それぞれ専門分野に特化した研究集会に参加する傾向があるからだと思う。また、中性子照射に使える研究用原子炉の廃炉が欧米を中心に進んだことや、震災によって原子炉や加速器が利用できなくなったことも一因としてあると思う。Chatt 教授も今回は EXAFS や XANES などの分光分析法を使った化学種分析の研究成果を講演していた。放射化分析の話題では無いので、いつものマシンガントークに力が入っていないように見えた。

学会事務局の集計に依ると、参加者数 227 名、発表件数 245 件であったとのことである。日本人参加者数を正確に数えていないが、学生を含めて 20 名ほど参加していたのではないかと思う。中国や韓国、その他のアジア諸国やアフリカ諸国からの参加者は少なかった。ポスター発表を含めて講演キャンセルが少なく、ポスターセッションも盛会であった。この学会では発表の半分がポスター発表であった。口頭発表も招待講演が多く、一般講演は 42 件であった。質疑応答は発表後に個別に話し合う形式を重視しているようで、口頭発表の質疑応答を 1 件程度に制限して次々と流れいくのには少し物足りない気がした。福島原発事故によって放出された放射性物質の大気モニタリング測定結果について日本以外からも何件か発表があった。日本人のポスター発表に集まる外国人参加者も多く、国内外ともにこの事故に対して非常に注目が集まっていることを再認識した。

学会の中日に眺めが美しいコモ湖に船を出してディナーパーティーとなった。この眺めが美しいコモ湖畔には立派な別荘がいくつもあり、船長は船をハリウッドスターのジョージ・クルーニ氏の別荘に近づけて船内アナウンスしてくれた。残念ながら本人は不在のようだったが、ハウスキーパーが別荘の手入れをしていた。もしかするとその人が当の本人だったのかもしれない...

夕方に出港したのですぐに日が暮れて絶景が眺められなくなってしまった。並べてあるオードブルを食べるだけのイタリアにしてはとても「質素」な食事であった。多少の追加料理が出たが直に



斬新なデザインの学会会場

食べ尽くされてしまい、そのうち飲み物も全て空になってしまった。バンドが音楽（なぜだかスコットランド民謡！）を演奏していたが、狭い船内で誰も踊ろうとはしない。こういう場合、普通なら三々五々に参加者は帰るのだが、湖上なので帰りたくても帰れない。酔いも覚めて夜風に吹かれながら長い時間を過ごした。ディナーパーティーは今ひとつであったが、ピザやパスタは当然のことながら、食事やワインが美味しいコモ湖の「疑似」別荘生活を十分に楽しむことができた。

次回は2016年にフィンランド・ヘルシンキで開催されることである。最後にこの会議をお世話下さったミラノ大学 Mauro Luigi Bonardi 教授に感謝します。

#### NRC-8 講演題目(放射化分析関連のみ抜粋)

[詳細は、<http://nrc8.mi.infn.it/> または、<http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=183405> をご覧ください]

##### A new PTS for short-time neutron activation analysis

Primary authors : Prof. ISMAIL, Saleh (Atomic Institute-Vienna, Austria)

Co-authors :

##### A preliminary study of prompt gamma-ray activation analysis using pulsed neutron at J-PARC / ANNR

Primary authors : Dr. TOH, Yosuke (Japan Atomic Energy Agency, Japan)

Co-authors : Dr. HARADA, Hideo (Japan Atomic Energy Agency) ; Dr. KIMURA, Atsushi (Japan Atomic Energy Agency) ; Dr. NAKAMURA, Shoji (Japan Atomic Energy Agency) ; Dr. FURUTAKA, Kazuyoshi (Japan Atomic Energy Agency) ; Mr. KITATANI, Fumito (Japan Atomic Energy Agency) ; Dr. HARA, Kaoru (Japan Atomic Energy Agency) ; Dr. KOIZUMI, Mitsuo (Japan Atomic Energy Agency) ; Prof. EBIHARA, Mitsu (Tokyo Metropolitan University)

##### Application of medium-energy proton beam from AIC-144 cyclotron in biological and environmental studies

Primary authors : Ms. WÓJCIK, Anna (1 Department of Nuclear Physical Chemistry, The Henryk Niewodniczanski Institute of Nuclear Physics Polish Academy of Sciences, Cracow, Poland 2 Faculty of Physic and Applied Computer Science, AGH University of Science and Technology, Cracow, Poland)

Co-authors : Prof. MIETELSKI, Jerzy W. (Department of Nuclear Physical Chemistry, The Henryk Niewodniczanski Institute of Nuclear Physics Polish Academy of Sciences, Cracow, Poland)

##### Biodistribution of Gadolinium-Based Contrast Agent, and Concentration of Trace Elements in Normal and Nephrectomized Mice

Primary authors : Mr. WASHIYAMA, Kohshin (College of Medical, Pharmaceutical and Health Sciences, Kanazawa University, Japan)

Co-authors : Ms. TUJII, Haruka (College of Medical, Pharmaceutical and Health Sciences, Kanazawa Univeristy) ; Mr. MATSUMOTO, Takafumi (College of Medical, Pharmaceutical and Health Sciences, Kanazawa University) ; Mr. OKUMURA, Ryo (Research Reactor Institute, Kyoto University) ; Mr. TAKAMIYA, Koichi (Research Reactor Institute, Kyoto University) ; Prof. AMANO, Ryohei (College of Medical, Pharmaceutical and Health Sciences, Kanazawa University)

##### Characterization of silicon for photovoltaic applications with INAA and PGAA,

Primary authors : Dr. WIEHL, Norbert (University Mainz, Germany)

Co-authors : HAMPEL, Gabriele (University Mainz) ; KRATZ, Jens Volker (University Mainz) ; SCHMITZ, Tobias (University Mainz) ; STIEGHORST, Christian (University Mainz) ; KOENN, Florian (FH Aachen Campus Jülich) ; SCHERER, Ulrich W. (FH Aachen Campus Jülich) ; HAMPEL, Jonathan (Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Freiburg) ; BOLDT, Frank (Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Freiburg) ; REBER, Stefan (Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Freiburg) ; RIEPE, Stephan (Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Freiburg) ; APPELMAN, Klaas (Joint Research Centre, Petten) ; MOSS, Raymond (Joint Research Centre, Petten)

#### Detection of irradiated foods using TL, ESR and GC/MS

Primary authors : Mrs. KANG, Yoonjung (Busan Regional Korea Food & Drug Administration, Korea)

Co-authors : Dr. KIM, Jaei (Busan Regional Korea Food & Drug Administration) ; Dr. LEE, Heesook (Busan Regional Korea Food & Drug Administration) ; Mrs. WON, Soyoung (Busan Regional Korea Food & Drug Administration) ; Mr. LEE, Hweejae (Busan Regional Korea Food & Drug Administration) ; Dr. JIN, Mikyoung (Busan Regional Korea Food & Drug Administration) ; Mr. CHANG, Howon (Busan Regional Korea Food & Drug Administration) ; Mr. KWAK, Hyojin (Busan Regional Korea Food & Drug Administration) ; Dr. SEONG, Rackseon (Busan Regional Korea Food & Drug Administration) ; Dr. KWON, Kisung (Busan Regional Korea Food & Drug Administration)

#### Determination of Boron distribution in Co-Re alloys

Primary authors : Dr. SZENTMIKLÓSI, László (Centre for Energy Research, Hungarian Academy of Sciences, Hungary)

Co-authors : Dr. MUKHERJI, Debashis (Technische Universität Braunschweig, Institute für Werkstoffe) ; Ms. MÁCSIK, Zsuzsanna (Centre for Energy Research, Hungarian Academy of Sciences)

#### Determination of Mineral Contents in Korean Domestic Unpolished Rice and Bean Samples by Neutron Activation Analysis

Primary authors : Mr. MOON, JongHwa (Korea Atomic Energy Research Institute, Korea)

Co-authors : Mr. KIM, SunHa (Korea Atomic Energy Research Institute) ; Dr. SUN, GwangMin (Korea Atomic Energy Research Institute) ; Dr. CHUNG, YongSam (Korea Atomic Energy Research Institute) ; Prof. LEE, OkHee (YongIn University)

#### Development of diet-induced obesity in the rat, followed by radioanalytical methods

Primary authors : Dr. PAVELKA, Stanislav (Institute of Physiology, ASCR, Prague/Masaryk University, Brno)

Co-authors : Dr. MACEK JÍLKOVÁ, Zuzana (Institute of Physiology, ASCR, Prague) ; Dr. KOPECKÝ, Jan (Institute of Physiology, ASCR, Prague)

#### Experimental Performance Evaluation of a Compton Suppression System for Neutron Activation Analysis by Using a Gamma-ray Source and Standard Reference Materials

Primary authors : Mr. MOON, JongHwa (Korea Atomic Energy Research Institute, Korea)

Co-authors : Mr. KIM, SunHa (Korea Atomic Energy Research Institute) ; Dr. SUN, GwangMin (Korea Atomic Energy Research Institute) ; Dr. CHUNG, YongSam (Korea Atomic Energy Research Institute)

#### Geochemically anomalous phonolites from Lusatian Mountains, Czech Republic: Possible source materials and processes of their origin

Primary authors : Dr. MIZERA, Jirí (Nuclear Physics Institute ASCR)

Co-authors : RANDA, Zdenek (Nuclear Physics Institute ASCR) ; ERBAN, Vojtech (Czech Geological Survey) ; HEGNER, Ernst (Ludwig-Maximilians-University Munich, Department of Earth and Environmental Sciences) ; KRAUSOVA, Ivana (Nuclear Physics Institute ASCR)

#### INAA for discriminationg geographic origin of Brazilian rice

Primary authors : Dr. BACCHI, Marcio A. (CENA/USP, Brasil)

Co-authors : DE NADAI FERNANDES, Elisabete (University of Sao Paulo) ; ELIAS, Camila (U) ; Mrs. SARRIS, Silvana R.V. (CENA/USP) ; Mrs. KATO, Lilian S. (CENA/USP) ; Dr. SANTOS, Luis Gustavo C. (CENA/USP)

#### INVITED LECTURE - Error, Uncertainty, and Metrology in Nuclear Analytical Methods

Primary authors : Dr. LINDSTROM, Richard (National Institute of Standards and Technology, USA)

Co-authors :

#### INVITED LECTURE - Half lives of nuclides for geological use: 2012 evaluations for $^{87}\text{Rb}$ , $^{235}\text{U}$ and $^{234}\text{U}$

Primary authors : Prof. VILLA, Igor M (Universität Bern, Switzerland; Università Milano Bicocca, Italy)

Co-authors : Prof. BONARDI, Mauro L. (UNIMI and INFN - Milano) ; Dr. HOLDEN, Norman E (Brookhaven National Laboratory) ; Dr. DE BIVRE, Paul (Consultant in Metrology) ; Dr. RENNE, Paul R (Berkeley Geochronology Center)

#### INVITED LECTURE - Neutron Activation Analysis and Reference Materials – Development and Perfection

Primary authors : Dr. ZEISLER, Rolf (NIST, USA)

Co-authors :

#### INVITED LECTURE - Neutron activation analysis: a consolidated analytical tool in the sugarcane

Primary authors : Prof. DE NADAI FERNANDES, Elisabete (Nuclear Energy Center for Agriculture, University of Sao Paulo, Brasil)

Co-authors : Dr. BACCHI, Marcio A. (Nuclear Energy Center for Agriculture, University of Sao Paulo) ; Prof. SARRIES, Gabriel Adrian (Luiz de Queiroz College of Agriculture, University of Sao Paulo) ; Prof. BARROS FERRAZ, Epaminondas S. (Nuclear Energy Center for Agriculture, University of Sao Paulo)

#### INVITED LECTURE - Studies of Trace Element Species in Macromolecules and Protein Nanoclusters by Nuclear and X-Ray Techniques

Primary authors : Prof. CHATT, A. (Dalhousie University, Canada)

Co-authors : Dr. JAYAWICKREME, C.K. (Dalhousie University) ; Mr. CHRISTENSEN, S.L. (Dalhousie University) ; Mr. CHEVRIER, D.M. (Dalhousie University) ; Prof. ZHANG, P. (Dalhousie University)

#### Mineral Elements Determination in Medicinal Plants

Primary authors : SILVA, Paulo (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Brasil)

Co-authors : Mrs. FRANCISCONI, Lucilaine Silva (IPEN) ; Mr. GONÇALVES, Rodolfo Daniel Moreno Reis (IPEN)

#### Mineral Nutrients in Brazilian Commercial Dog Foods

Primary authors : Ms. ELIAS, Camila (CENA/USP, Brasil)

Co-authors : Prof. DE NADAI FERNANDES, Elisabete A. (CENA/USP) ; Prof. BODE, Peter (TU Delft) ; Prof. BACCHI, Marcio A. (CENA/USP)

#### NORMA: A new PGAI-NT setup at the Budapest Research Reactor

Primary authors : Dr. SZENTMIKLSI, Laszlo (Centre for Energy Research, Hungarian Academy of Sciences)

Co-authors : Dr. KIS, Zoltán (Centre for Energy Research, Hungarian Academy of Sciences) ; Dr. BELGYA, Tamás (Centre for Energy Research, Hungarian Academy of Sciences) ; Dr. RÉVAY, Zsolt (Centre for Energy Research, Hungarian Academy of Sciences)

#### Natural radionuclides levels in spices and medicinal plants by gamma spectrometry

Primary authors : Dr. JAHOUACH-RABAI, Wafa (Laboratory de Radiochemistry, National Center of Nuclear Sciences and Technologies (CNSTN), Technopole Sidi Thabet,Tunisia.)

Co-authors : Dr. Zohra (Laboratory of Radiochemistry, National Center of Nuclear Sciences and Technologies (CNSTN), Technopole Sidi Thabet,Tunisia.) ; Mr. Mohamed (Laboratory of Radiochemistry, National Center of Nuclear Sciences and Technologies (CNSTN), Technopole Sidi Thabet,Tunisia.) ; Dr. Souad (Laboratory of Radioanalysis, CNSTN, Tunisia.) ; Prof. Nafaa (Laboratory of Neutron Activation Analysis, CNSTN, Tunisia.)

#### Neptunium Redox Chemistry in Irradiated HNO<sub>3</sub> Solutions

Primary authors : Dr. PAULENOVA, Alena (Oregon State University, USA) Co-authors : MINCHER, Bruce (Idaho National Laboratory) ; PRECEK, Martin (Oregon State University) ; MEZYK, Stephen (California State University, Long Beach)

#### New analytical method for actinide (Pu, Am, U, Th, Np) separation based on diglycolamide resin (DGA)

Primary authors : Ms. GROSKA, Judit (Radanal Ltd., Hungary)

Co-authors : VAJDA, Nora (Radanal Ltd.) ; MOLNÁR, Zsuzsa (Radanal Ltd.) ; BOKORI, Edit (Radanal Ltd.)

#### Non-destructive and quantitative multi-elemental analysis by muonic X-ray spectroscopy for archeological bronze samples

Primary authors : Dr. NINOMIYA, Kazuhiko (Osaka University, Japan)

Co-authors : Prof. KUBO, M. Kenya (International Christian University) ; Dr. NAGATOMO, Takashi (KEK) ; Dr. KOBAYASHI, Yoshio (RIKEN Nishina Center, RIKEN) ; Dr. TAKAO, Suzuki (International Christian University) ; Dr. PATRICK, Strasser (KEK) ; KAWAMURA, Naritoshi (KEK) ; SHIMOMURA, koichiro (KEK) ; Prof. MIYAKE, Yasuhiro (KEK) ; Dr. HIGEMOTO, Wataru (Japan Atomic Energy Agency) ; Dr. SHIN-ICHI, Sakamoto (Japan Atomic Energy Agency) ; Dr. ISHIDA, Katsuhiko (RIKEN Nishina Center, RIKEN) ; Dr. MATSUZAKI, Teiichiro (RIKEN Nishina Center, RIKEN) ; Prof. SHINOHARA, Atsushi (Osaka University) ; Prof. SAITO, Tsutomu (National Museum of Japanese History)

#### OPENING LECTURE - Prompt Gamma Activation Analysis using High-Flux Cold Neutron Beam

Primary authors : Dr. REVAY, Zsolt (Technische Universität München, Germany)

Co-authors : Dr. KUDEJOVA, Petra (TUM FRM2) ; CANELLA, Lea (Technische Universität München) ; SOELLRADL, Stefan (P)

#### ORAL PRESENTATION - Analysis of Radioactive Waste Waters and Sudges int he Hungarian VVER NPP Paks

Primary authors : Prof. PÁTZAY, György (BME KKFT, Hungary)

Co-authors : Mr. WEISER, László (BME KKFT) ; Mr. FEIL, Ferenc (NPP Paks) ; Mr. PATEK, Gábor (NPP Paks)

#### ORAL PRESENTATION - Comparison of Quantitative Neutron Capture Radiography, Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, and Prompt Gamma Activation Analysis for Boron Determination in Biological Samples

Primary authors : Dr. SCHÜTZ, Christian (Institute for Nuclear Chemistry, University of Mainz, Fritz-Strassmann-Weg 2, D-55099 Mainz, Germany)

Co-authors : Dr. BROCHHAUSEN, Christoph (Institute of Pathology, University of Mainz, Langenbeckstrasse 1, D-55131 Mainz, Germany) ; Mrs. IFFLAND, Dorothee (Institute for Nuclear Chemistry, University of Mainz, Fritz-Strassmann-Weg 2, D-55099 Mainz, Germany) ; Prof. KRATZ, Jens Volker (Institute for Nuclear Chemistry, University of Mainz, Fritz-Strassmann-Weg 2, D-55099 Mainz, Germany) ; Dr. KUCZEWSKI, Bernhard (Division of Nuclear Chemistry, University of Cologne, Zülpicher Strasse 45, D-50674 Cologne, Germany) ; Prof. OTTO, Gerd (Department of Hepatobiliary, Pancreatic and Transplantation Surgery, University of Mainz, Langenbeckstrasse 1, D-55131 Mainz, Germany) ; Mr. SCHMITZ, Tobias (Institute for Nuclear Chemistry, University of Mainz, Fritz-Strassmann-Weg 2, D-55099 Mainz, Germany) ; Dr. HAMPEL, Gabriele (Institute for Nuclear Chemistry, University of Mainz, Fritz-Strassmann-Weg 2, D-55099 Mainz, Germany)

**ORAL PRESENTATION - Enhancing the dynamic range for high boron concentrations in low neutron capture cross-section matrices with Prompt Gamma Activation Analysis**

Primary authors : Mr. SOELLRADL, Stefan (Paul Scherrer Institute & Universität Bern, Switzerland)

Co-authors : LUEHRS, Hanna (Universität Bremen) ; TÜRLER, Andreas (P) ; KUDEJOVA, Petra (Technische Universitaet Muenchen) ; REVAY, Zsolt (Technical University Munich) ; CANELLA, Lea (Technische Universität München)

**ORAL PRESENTATION - Nuclear Forensics: age determination by the  $^{231}\text{Pa}/^{235}\text{U}$  ratio**

Primary authors : Dr. MENDES, Mickael (CEA, France)

Co-authors :

**ORAL PRESENTATION - On the development of a rapid method for the concentration and separation from water samples based on a new Sr selective resin**

Primary authors : Mr. SURMAN, Jake (Lancaster Environment Centre, Lancaster University, LA1 4YQ, UK) ; Dr. HAPPEL, Steffen (TrisKem International, Bruz, France)

Co-authors : Ms. KUHNE, Lena (Radiochemistry, Department of Chemistry, Philipps-University, Marburg, Germany) ; Dr. PATES, Jackie (Lancaster Environment Centre, Lancaster University, LA1 4YQ, UK) ; Dr. ZHANG, Hao (Lancaster Environment Centre, Lancaster University, LA1 4YQ, UK)

**ORAL PRESENTATION - Prompt Gamma Activation Analysis close to Detection Limits**

Primary authors : Dr. KUDEJOVA, Petra (Technische Universitaet Muenchen, Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM II), Garching, Germany)

Co-authors : Dr. TOMANDL, Ivo (Nuclear Physics Institute, Academy of Science CR, Czech Republic) ; Dr. VIERERBL, Ladislav (Research Centre Rez Ltd., Czech Republic, Nuclear Research Institute Rez plc, Czech Republic) ; Dr. Houben, Anne (Max-Planck-Institut fuer Plasmaphysik, Garching, Germany) ; Dr. REVAY, Zsolt (Technische Universitaet Muenchen, Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM II), Garching, Germany)

**ORAL PRESENTATION - Separation of Uranium and Polonium in drinking water by calix[6]arene columns**

Primary authors : Dr. BOUVIER-CAPELY, Céline (IRSN/PRP-HOM/SDI, France)

Co-authors : Mr. BONTHONNEAU, Jean-Philippe (IRSN/PRP-HOM/SDI) ; Dr. REBIÈRE, François (IRSN/PRP-HOM/SDI)

**Radiochemical separation of arsenic from selenium and its potential usage in generator isotope production**

Primary authors : Dr. CHAJDUK, Ewelina (Institute of Nuclear Chemistry and Technology, Dorodna 16, 03-195 Warsaw, Poland)

Co-authors : BILEWICZ, Aleksander (Institute of Nuclear Chemistry and Technology) ; Prof. POLKOWSKA-MOTRENKO, Halina (Institute of Nuclear Chemistry and Technology)

#### Radiochemical separation of uranium and protactinium from neutron irradiated thorium

Primary authors : Dr. CHAJDUK, Ewelina (Institute of Nuclear Chemistry and Technology, Dorodna 16, 03-195 Warsaw, Poland)

Co-authors : Mr. KALBARTZYK, Paweł (Institute of Nuclear Chemistry and Technology) ; Prof. POLKOWSKA-MOTRENKO, Halina (Institute of Nuclear Chemistry and Technology)

#### Radiometric quantification of type 1 iodothyronine 5'-deiodinase activity in human white adipose tissue

Primary authors : Dr. PAVELKA, Stanislav (Institute of Physiology, ASCR, Prague/Masaryk University, Brno)

Co-authors :

#### Research Alliance for Validation of PGAA Actinide Nuclear Data

Primary authors : Dr. ROSSBACH, Matthias (Institute for Energy and Climate Research, IEK-6: Nuclear Waste Management and Reactor Safety, Forschungszentrum Jülich GmbH, 52425 Jülich, Germany)

Co-authors : Mr. GENREITH, Christoph (Institute for Energy and Climate Research, IEK-6: Nuclear Waste Management and Reactor Safety, Forschungszentrum Jülich GmbH, 52425 Jülich, Germany) ; Dr. MAUERHOFER, Eric (Institute for Energy and Climate Research, IEK-6: Nuclear Waste Management and Reactor Safety, Forschungszentrum Jülich GmbH, 52425 Jülich, Germany) ; BELGYA, Tamás (Institute of Isotopes, HAS) ; REVAY, Zsolt (Technical University Munich) ; Dr. FIRESTONE, Richard B. (Lawrence Berkeley National Laboratory)

#### Selected Elements content in Paraguayan Wheat

Primary authors : Prof. FACETTI - MASULLI, J F (Universidad Nacional de Asunción - Paraguay)

Co-authors : Mrs. DE LORENZI, Adriana (Universidad Nacional de Asunción. Dpt.of Physics) ; Mrs. ROMERO DE GONZALEZ, Virginia (Universidad Nacional de Asunción)

#### Sequential separation and determination of Pu, Sr-90 and Am-241 in soil and sediment samples using DGA Resin for the preconcentration of the actinides

Primary authors : Dr. JÄGGI, Maya (Radioanalytics - Paul Scherrer Institut, Switzerland)

Co-authors : Dr. EIKENBERG, Jost (Paul Scherrer Institut - Radioanalytics) ; Dr. HAPPEL, Steffen (TRISKEM)

#### Sequential separation of ultra-trace U, Th, Pb, and lanthanides with a single anion-exchange column

Primary authors : Dr. MIYAMOTO, Yutaka (JAEA, Japan Atomic Energy Agency, Japan)

Co-authors : Dr. YASUDA, Kenichiro (JAEA) ; Dr. MAGARA, Masaaki (JAEA) ; Dr. KIMURA, Takaumi (JAEA)

#### The air-water partitioning of radon in groundwater contaminated by BTEX

Primary authors : Dr. LEE, Kil Yong (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Korea) Co-authors :

#### Validation of the method for Ni determination in NPP evaporator concentrates

Primary authors : Dr. SULAKOVA, Jana (CTU Prague, Czech Republic)

Co-authors : Dr. ŠEBESTA, Ferdinand (FNSPE CTU in Prague) ; Prof. JOHN, Jan (CTU Prague) ; RAINDL, Jakub (FNSPE CTU in Prague)

京大原子炉 関本 俊

平成 24 年度京都大学原子炉実験所専門研究会「放射化分析を用いた微量元素分析の現状」(開催責任者：海老原充，柴田誠一) が、平成 25 年 1 月 25 日に京大炉事務棟大会議室において、「冬の学校」の活動も兼ねて開催された。

京大炉(KUR)を利用した放射化分析に関する共同利用研究が再開して約 2 年半が過ぎ、放射化分析を利用した各研究分野において、様々な成果が得られつつある。特に平成 22 年度末から 23 年度初めにかけて、惑星探査機「はやぶさ」が持ち帰った小惑星イトカワの微粒子の微量元素の分析が、KUR を用いた中性子放射化分析法により行われ、その結果が米科学誌のサイエンスに掲載されるなど、大きな成果が得られている。

また東日本大震災の影響により、従来の原子力機構のユーザーによる KUR の利用が 23 年度下半期より増えてきており、原子力機構の JRR-3, JRR-4 の再稼働の目途が立っていない現在においては、平成 24 年度以降もそれらが増えることも考えられる。

そこで、従来の原子炉利用者（原子力機構の JRR-3, JRR-4 の利用者も含む）及び、それに限らない様々な分野の研究者による、中性子放射化分析法(NAA), 即発ガンマ線分析法(PGA), 光量子放射化分析(PAA)を利用した研究および、これら以外の手法を用いた微量元素の分析に関する研究の成果発表の場として、本専門研究会が開催された。また上記の話題の他、検出器に特化した話題、分析法の比較等々、様々な分野の研究者による、様々なテーマに関する研究発表も募集した。

今年度（平成 24 年度）の研究会は、所外の研究者 22 名、所内の研究者 9 名の参加者があった。研究会の概要及び、得られた成果、議論の内容を以下に記す。

#### 研究会の概要：

地球・宇宙科学分野に関する講演が 3 件（陳、石橋、白井）、分析法・解析手法に関する講演が 4 件（鵜野、鈴木、小豆川、二宮）、生物試料、環境試料に関する講演が 1 件ずつ（紀平、初川）、各施設に関する現状の説明が 3 件（石本、関本、大槻）、その他 FNCA の紹介と今年度のミーティングの報告に関する講演（松尾）と特別講演として、今年度で退官される福岡先生より講演があった。また昼には、分析展 2013 における放射化分析に関するセミナーのテーマの募集を行い、会議後には、放射化分析研究会の拡大幹事会を行った。

#### 得られた成果、議論の内容：

- ・「負ミュオン特性 X 線を用いた非破壊元素分析」においては、局所分析の際の位置分解能に関して、 $1 \times 1 \text{ cm}^2$  程度まで狭くすることが可能であるが、ビーム強度が小さくなることも言及された。
- ・東北大電子光理学研究センターでの光量子放射化分析は 2013 年 7 月以降に可能であることが確認された。ANSTO での放射化分析に関する運営について詳細に紹介された。
- ・荷電粒子を利用した分析については、最適な検出器について議論された。（NaI or CsI）

- ・放射化分析における定量の際に用いられる AIST 発行の標準試料について、その定量値の扱い方について議論された。（単一の標準試料を用いるか、複数用いて、統計誤差の小さいものを選択するか等）
- ・地球化学図に関する研究が、多発地 ALS の初期段階の研究に貢献できる可能性が示唆された。

尚、本研究会の翌日には、「有用放射性トレーサーの開発と利用」専門研究会（開催責任者：篠原厚）が開催され、本研究会の参加者の一部はそちらにも参加した。

平成 25 年度も、「京大炉(KUR)を用いた放射化分析の成果と今後の展望」というタイトルで、例年と同様に本研究会を開催予定である。25 年度の研究会の内容としては、

- ・NAA, PGA, PAA を利用した研究および、放射化分析以外の手法を用いた微量元素の分析に関する研究の成果発表

・FNCA(Forum for Nuclear Cooperation in Asia)との連携に関する議論

・APSORC '13 における放射化分析を利用した研究のレビュー

等を、計画している。

本研究会への要望などがあれば、是非、筆者(sekimoto@rri.kyoto-u.ac.jp)へご連絡頂きたい。

#### 「放射化分析を用いた微量元素分析の現状」専門研究会プログラム

日時: 2013 年 1 月 25 日

場所: 京都大学原子炉実験所事務棟大会議室

10:00- 開会あいさつ 海老原充（研究会所外代表者）

午前のセッション（座長：大浦泰嗣）

10:05- 「ANSTO の紹介及び訪問について」石本光憲

10:20- 「放射化分析による多発地 ALS の毛髪中元素濃度定量-第 2 報-」紀平為子

10:40- 「山林地域の土壤の酸中和能に対する植生の影響/

Effects of Regional Vegetation on Acid-Neutralization Capacity of Soil in Mountainous Area」

陳 品或

11:00- 「荷電粒子を利用する材料中の酸素、窒素、炭素の高感度分析法」鶴野浩行

11:20- 「地質試料の放射化分析: とくに九州四万十累層群の砂岩について」鈴木達郎

11:45- 昼食

ランチセッション（司会：松尾基之）

12:10-12:40 「分析展 2013 におけるセミナーのテーマ募集（仮題）」

午後のセッション 1（座長：薬袋佳孝）

13:10-「京大原子炉の現況&その他」関本 俊

13:25-「東北大学電子光理学研究センターの現況」大槻 勤

13:45-「FNCA の現況」松尾基之

14:05-「放射化分析による熱水性鉱石中のレアメタル存在度の解明（その 2）」石橋純一郎

14:30-「放射化分析 45 年で得たもの」福岡孝昭

15:00- 休憩

午後のセッション 2（座長：久保謙哉）

15:15-「光量子放射化分析による地球・宇宙化学的試料の分析」白井直樹

15:35-「放射化分析法を用いた Small Scale Gold Mining による水銀汚染試料中の Hg,Au の分析」

初川雄一

15:55-「国内外における放射性ストロンチウムの定量法」小豆川勝見

16:20-「負ミクロン特性 X 線を用いた非破壊元素分析」二宮和彦

16:40-閉会あいさつ 柴田誠一（研究会所内代表者）及び「有用放射性トレーサーの開発と利用」

専門研究会のご案内

# 平成 23 年度博士論文抄録

## Elemental Analysis of Primitive Carbonaceous Chondrites by Neutron-induced Single and Multiple Prompt Gamma-ray Analysis Techniques and its Cosmochemical Significance

首都大学東京大学院理工学研究科分子物質化学専攻  
Mohammad Amirul Islam

This thesis evaluated the nondestructive and accurate elemental analysis of primitive carbonaceous chondrites (CI and CM/C2) by neutron activation analysis (NAA), especially the prompt gamma-ray analysis (PGA) technique, for studying their chemical alteration history. Chondritic meteorites did not experience melting and igneous differentiation, and thus largely preserve records of physical and chemical processes in the solar nebula. Therefore, study of this group of meteorites is an important source of information about the processes occurring in the early solar system. Elemental analysis of the CI group of meteorites is of special importance because they have essentially the same chemical composition as that of the sun except for a few extremely volatile elements.

To determine the chemical composition of CI and CM/C2 chondrites accurately by PGA, it is necessary to consider neutron absorption, neutron scattering and gamma-ray attenuation in the sample and to be corrected, if necessary. Since CI and CM chondrites contain up to 2 mass% of Hydrogen (H), the evaluation of neutron scattering effects is important for their accurate elemental analysis by Single Prompt Gamma-ray Analysis (SPGA), considering that H has a high thermal neutron scattering cross section (the bound atom value is 80 barns). A study performed by using geological reference material GSJ-JB-2, as a meteorite analogue, mixed with oxalic acid (H-containing one) showed that analytical sensitivity (count rate per unit mass) increases with increasing matrix H concentration. With about 2 mass% of H, the sensitivity was enhanced by about 8% relative to a sample with 0% mass of H, which is within the marginal range of uncertainty due to the reproducibility of SPGA. Evaluation of the sensitivity change with increasing disk-shaped sample mass (or thickness) yielded no apparent enhancement of the sensitivity for any of the studied elements for the disk mass range of 400 mg to 1 g (corresponding thickness of 2 to 5 mm). The sensitivity was decreased for thick samples because of neutron absorption inside the sample, and this change of sensitivity could be ignored with a mass of up to 0.4 g. From this experiment, it was concluded that a sample mass of CI and CM/C2 chondrites of up to 0.4 g can be reliably analyzed by SPGA to avoid sensitivity change.

Since enhancement of the element sensitivity was reported for hydrogenous disk-shaped sample by previous studies, which was not in agreement with our study at JRR-3M of Japan Atomic Energy Agency (JAEA), this effect was explicitly studied theoretically by PHITS code calculation as well as experimentally by using a cylindrical PTFE sample holder. The experimental sensitivity variation with disk thickness for the studied elements observed at JRR-3M of JAEA could be explained by PHITS simulation.

Elemental analysis by SPGA is often restricted for poor detection sensitivity and spectral interference from known and unknown sources. To overcome these problems, a Multiple Prompt Gamma-ray Analysis (MPGA) system has been recently installed at JAEA. This study characterizes the MPGA system for elemental analysis of geological and cosmochemical samples. Using optimized procedures of MPGA, primitive carbonaceous

chondrites were analyzed. It was shown that some elements which could not be determined by SPGA, due to spectral interference or lower sensitivity, could be determined by MPGA. In this study, analytical capabilities of SPGA and MPGA were also compared to evaluate the potential advantages and disadvantages of these two methods for elemental analysis of geological and cosmochemical samples. It was demonstrated that MPGA can substantially reduce the background level, especially for hydrogenous samples relative to SPGA, which opens up a possibility to use lower energy prompt gamma rays of some trace elements for their quantification. Although Mg is one of the major constituent elements of rock samples, it is difficult to determine by SPGA. With MPGA, Mg contents could be determined with reasonable consistency with their corresponding recommended values in geological and cosmochemical samples, by carefully selecting suitable coincident prompt gamma-ray energy pairs. MPGA was also applied to a hydrogenous meteorite, Ivuna, which contains H at 2% mass level, and it was concluded that MPGA detection limits for most of the elements studied could be reduced by up to one order of magnitude, when compared with SPGA detection limits under the present experimental conditions.

Combining elemental abundances of the studied primitive carbonaceous chondrites obtained by PGA and INAA, the chemical composition of these meteorites were reported. The detailed chemical composition of the Antarctic CI chondrite, Y-980115, became firstly available from this study. When chemical compositions of Antarctic CI chondrite Y-980115 and non-Antarctic CIs (Orgueil, Ivuna and Alais) were compared, for most of the studied elements, elemental abundances of all CIs were within 15% deviation from the CI group mean. The elemental abundances of B and Ti of Y-980115 were 28% and 36% higher, respectively, than the CI group mean values, whereas that of H was 28% lower than the CI group mean value. For the above-mentioned elements (H, B and Ti), abundances of non-Antarctic CIs (Orgueil, Ivuna and Alais) were within 10% deviation from the CI group mean values, except for H content of Alais. CI chondrites are believed to be the most primitive meteorites, but large deviation of the abundances of Ti and H of Y-980115 from non-Antarctic CIs indicates that this chondrite has experienced nebular and/or parent body processes to alter the primitive chemical composition.

From this study, the bulk chemical compositions of the ungrouped chondrites B-7904 and Y-86720 indicated that refractory lithophile elements were in the CM-CO range and volatile lithophile (Mn and Na) abundances were CM-like, whereas those for Cl and H were low. The refractory, common and volatile siderophile and chalcophile element abundances were all CM-like, although Os and Sb contents were lower, and Au and S contents were higher than their CM mean values. Therefore, chemical compositions of the ungrouped chondrites (B-7904 and Y-86720) were CM-like with some exceptions in some elemental contents. Based on the depletion trend of thermally mobile and highly volatile elements, a new ordering scheme for describing the degree of thermal alteration of the metamorphosed chondrites experienced was proposed, which indicated that B-7904 is severely altered, while Y-793321 is the least altered, with Y-86720 being in-between. This study enabled us to understand that some asteroids experienced post-accretional heating which had caused their volatile element loss during thermal events.

# 平成 23 年度修士論文抄録

## ユレイライト隕石の元素組成に関する研究

首都大学東京大学院理工学研究科分子物質化学専攻  
宇宙化学研究室 熊谷 和也

### 1. はじめに

ユレイライト隕石は主にカンラン石と輝石から構成される隕石で、斜長石をほとんど含まず、鉱物間物質として炭素質物質を平均 3 %と豊富に含んでいる。ユレイライト隕石が含有する珪酸塩鉱物は明らかに火成活動を受けた痕跡を示しており<sup>[1]</sup>、ユレイライト隕石は分化を受けた隕石群であるエコンドライトグループに分類されている。しかしながら、酸素同位体組成や高い炭素含有量などは、最も始原的な隕石であると考えられている炭素質コンドライトと同じ傾向を示しており、ユレイライト隕石は分化したエコンドライトでありながら始原的な特徴を併せ持つというユニークな隕石グループである。

ユレイライト隕石はエコンドライトに分類されるにもかかわらず、金属相を含んでいる。その金属相は、鉱物の隙間に細粒状に存在するものと、カンラン石の周囲に存在する粗粒状のものがある<sup>[2]</sup>。それぞれの金属相の親鉄性元素存在度は異なるが、それらの親鉄性元素存在度パターンは CV コンドライト中の CAI に似ていると報告されている<sup>[2]</sup>。ユレイライト隕石の金属相には大部分の親鉄性元素が含まれると考えられ、その場合非金属相中の親鉄性元素含有量は低くなる。非金属相中の親鉄性元素存在度は、ユレイライト母天体での分化過程を反映していると考えられるが、親鉄性元素含有量が低く、それに基づいた研究例は少ない。そこで、本研究では、ユレイライト隕石の金属相と非金属相の分離を行い、それぞれの相の親鉄性元素含有量を求め、金属相と非金属相の成因を考察することを目的とした。

### 2. 実験

本研究では南極で発見された 5 つの隕石(Y-8448, Y-790981, Y-791538, A-881442, Y-980110)を使用した。各隕石の断片約 500 mg を用いて即発ガンマ線分析を行った。さらに隕石の断片 500 mg を粉末化し、50 mg を機器中性子放射化分析に使用した。

5 つの隕石のうち、2 つのユレイライト隕石 (Y-790981 と Y-791538) に対して、金属相と非金属相の分離実験を行った。試料は、機器中性子放射化分析で用いたものを使用した。まずそれぞれの試料に未照射の試料 50 mg をキャリアとして加えた。次に塩酸と王水で酸可溶相を溶かし、上清と残渣に分け、これらのガンマ線を測定した。その後、それらに Ni-S fire assay 法を適用して Ni ビーズを取り出し、そのガンマ線を測定した。この Ni ビーズを溶液化し、誘導結合プラズマ質量分析によって白金族元素を定量した。

### 3. 結果

放射化分析の結果 25 元素を定量することができた。その中で Y-790981 の塩素の値が文献値の範囲よりも高くなかった。この原因として南極による汚染の影響が考えられる<sup>[3]</sup>。それ以外の元素はユレイライトの文献値の範囲と良い一致を示した。

本研究で分析した 5 つのユレイライト隕石と、その他のエコンドライトに分類される隕石の主成分元素である Si, Mg, Ca の濃度間の関係を図 1 に示した。図 1 は縦軸に Ca/Si, 横軸に Mg/Si を取り、各隕石の分析値をプロットしたものである。図 1 より、それぞれのエコンドライトは別々の領域に分布され、化学組成の点からエコンドライト隕石の分類を行うことが可能である。ユレイライト隕石は他の隕石に比べて、Mg/Si 比が高く、Ca/Si 比が低い特徴を持っている。本研究で分析した 5 つのユレイライト隕石はユレイライト隕石の範囲にプロットされていることが確認できた。本研究で分析した 5 つのユレイライト隕石の中で、A-881442 は、国際隕石学会に承認されておらず、分類が行われていない。A-881442 は、化学組成の点からユレイライト隕石に分類されることがわかった。

金属相と非金属相の分離実験の結果を表 1 に示した。また、CI コンドライトで規格化した値を凝縮温度順に、図 2 に全岩分析と金属相<sup>[2]</sup>とともに示した。表 1 より、大部分のニッケル・コバルト・イリジウムなどの親鉄性元素は酸可溶相に、スカンジウムは主に酸不溶相に存在していることから、塩酸と王水を用いた溶出実験で、金属相と非金属相を相互分離できていることがわかった。しかし、酸可溶相での親鉄性元素含有量は報告されている金属相の親鉄性元素含有量に比べて低く、また全岩分析値と一致した値が得られた。これは、塩酸と王水の溶出過程で金属相とともにカンラン石も溶出していることが原因と考えられる。酸可溶相の親鉄性元素存在度パターンは、金属相と全岩での親鉄性元素存在度パターンと同じであった。カンラン石は、親鉄性元素をほとんど含有しないか、あるいは金属相と同じ存在度パターンを示すと考えられる。

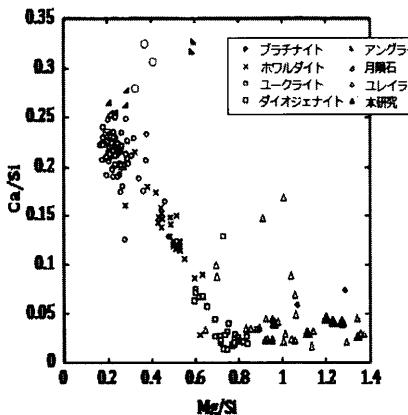


図 1. Ca/Si-Mg/Si ダイアグラム

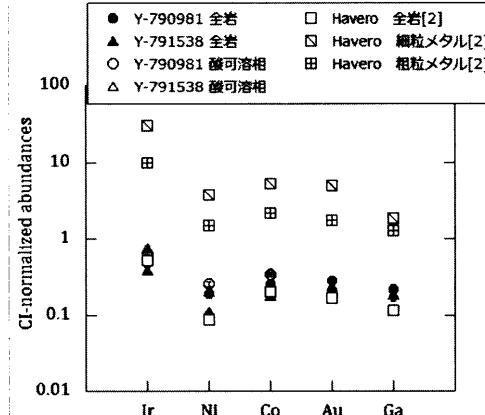


図 2. 親鉄性元素存在度パターン

表 1. 相分離後のガンマ線分析の結果

Y-790981							Y-791538						
	酸可溶相	酸不溶相	全岩				酸可溶相	酸不溶相	全岩				
Sc	ng	138 ± 3	301 ± 6	442 ± 1			115 ± 3	428 ± 9	559 ± 1				
Fe	mg	5.84 ± 0.46	1.0 ± 0.2	7.64 ± 0.02	0.02		3.22 ± 0.31	0.70 ± 0.15	3.95 ± 0.01				
Co	μg	5.26 ± 0.01	0.248 ± 0.002	7.37 ± 0.02	0.02		3.78 ± 0.01	0.251 ± 0.002	5.13 ± 0.02				
Ni	μg	82.3 ± 6.1	< 6	99.1 ± 0.6	0.6		45 ± 5	< 6	60.0 ± 0.5				
Ir	ng	8.38 ± 0.39	0.40 ± 0.10	10.9 ± 0.1	0.1		7.33 ± 0.34	0.55 ± 0.11	8.95 ± 0.08				

[1] : P.H.Warren (2011) *Geochim. Cosmochim. Acta*, **75**, 6912-6926.

[2] : H.Wänke *et al.* (1972) *Meteoritics*, **7**, 579-590.

[3] : M.Langenauer and U.Krähenbühl (1993) *Earth Planet. Sci.*, **120**, 431-442.

[4] : Y.Oura *et al.* (2003) *Antract. Meteorite Res.*, **16**, 80-93.

# 底質中元素の濃度と化学状態を指標とした貧酸素水塊の経年評価

東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻  
環境分析化学研究室 起 孝志

## 【諸言】

東京湾では夏季を中心に海水中の溶存酸素量(DO)が著しく低下する貧酸素水塊が発生し、それが原因で起こる青潮による水産物の死滅が問題となっている。海底から土砂を取り除くことで形成される浚渫窪地内が還元的な環境であり、貧酸素水塊を発達させる要因であると懸念されているが、貧酸素水塊と浚渫窪地の関係性はいまだに明らかになっていない。そのため、浚渫工事後の貧酸素水塊の動態を把握することが重要であるといえる。本研究では海洋堆積物に着目し、堆積物中に含まれている元素の中でも、有機物の酸化分解に関わる S、Fe、Mn の濃度と化学状態から貧酸素水塊の経年評価を行うことを試みた。

## 【試料・分析】

試料は 2010 年 7 月 20 日、2011 年 2 月 16 日、同年 8 月 22 日に採取し、さらに 2009 年 9 月 4 日に採取された試料も用いた。サンプリングは東京湾の幕張沖浚渫窪地と比較対照点にあたる自然海底において、不攪乱柱状採泥器を用いて底質を柱状に採取した。採取した底質コアは 3 cm ごとに分割し、化学状態ができるだけ変化しないよう冷凍保存した。なお、2011 年 8 月に採取したコアは筒に入った状態で -30°C で冷凍させた。その後、ノコギリを用いてコアの上部から 10 層、中部から 6 層、下部から 6 層を 0.6 cm の厚さでスライスし、その他の部位は 3 cm の厚さでスライスし、試料とした。各試料について機器中性子放射化分析法(INAA)、即発ガンマ線分析法(PGA)、X 線吸収微細構造(XAFS)法、メスバウア一分光法により元素濃度と化学状態の分析を行った。

## 【結果・考察】

### 底質中元素の挙動について

図 1 に 2009 年 9 月の浚渫窪地(HJ)と対照点(HKA)、2010 年 7 月の浚渫窪地(SK)、2011 年 2 月の浚渫窪地(OA)と対照点(OB)における S、Fe、Mn 各元素の X 線吸収端近傍構造(XANES)スペクトルを示す。S については 2470 eV 付近に S(-II)、2480 eV 付近に S(VI)のピークがみられた。浚渫窪地と対称点を比較すると、浚渫窪地では S(-II)の割合が高く、浚渫窪地は自然海底に比べ、還元的な環境

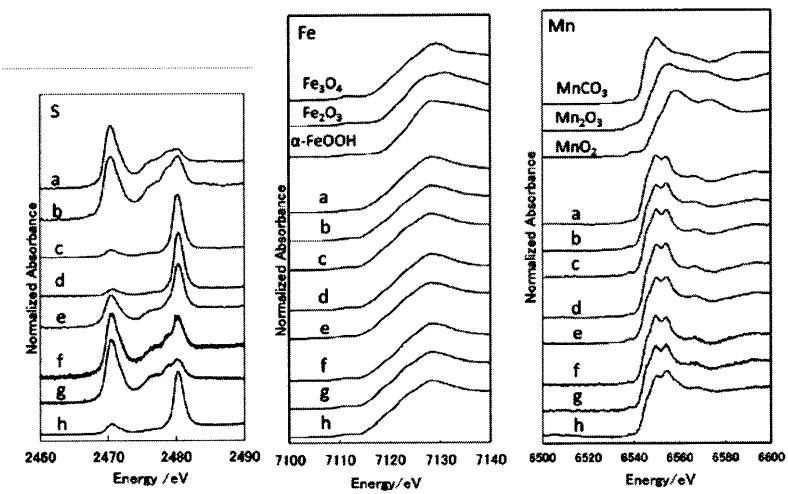


図 1. S・Fe・Mn の XANES スペクトル

a:HJ 0 cm b:HJ 36 cm c:HKA 0 cm d:SK 0 cm  
e:SK 30 cm f:OA 0 cm g:OA 42 cm h:OB 0 cm

であるといえる。また、浚渫窪地内でも SK は HJ、OA に比べ、コアの上部から下部まで S(VI)の割合が高くなっていた。図 2 に PGA により測定された S の全量と XANES の結果による S の

各価数の割合にから求められた S の価数別の濃度を示す。この図からも浚渫窪地は対照点よりも S(- II)の割合が高く、還元的な環境であることがわかる。また、SK と HJ を比較すると、SK では S(- II) 濃度で顕著な差がみられた。2010 年 7 月では酸素を含んだ海水が窪地内の底質に浸透したことにより S(- II)である難溶性の  $S^{2-}$  の溶脱したことが考えられる。以上のことから、S は水質の酸化還元状態に応じて存在形態が変化する元素であり、比較的短期の環境変動に対して鋭敏な指標であることが示唆された。S は試料採取の時期により化学状態が変化しているといえる。一方 Fe、Mn はすべての試料で価数の違いがないことから底質中では S と異なる挙動を示すことが明らかとなった。Fe、Mn に関しては底質試料に酸化剤 ( $H_2O_2$ ) や還元剤( $Na_2S$ )を加え、酸化還元電位を変化させた試料についても XAFS の測定を行った。その XANES スペクトルを図 3 に示す。

Fe、Mn ともに人为的に環境を変化させても価数に変化が生じなかったことから、両元素は安定な状態で堆積し、その後環境の変化があっても化学状態の変化がないと考えられる。

#### 高時間分解能をもった貧酸素水塊の評価

図 4 に INAA による 0.6 cm に細分したコア中の Fe と Mn の濃度の鉛直分布を示す。図中には 2011 年 8 月の浚渫窪地 2 地点(OC、OD)と対照点(OE)の結果を掲載した。浚渫窪地である OC、OD では両元素でコアの表層付近において濃度の減少する傾向がみられた。Fe、Mn はともに酸化的な環境では沈殿を形成し、還元的な環境では水に溶解する性質を示す。サンプリング当日は青潮が発生しており、還元的な環境であったことから、この結果は妥当であると考えられる。コアを細分化したことにより、Fe、Mn のコア全体での濃度変化の様子を明確にみることができた。これにより、これまでの 3 cm でコアをスライスしていた試料に比べ、高時間分解能をもった評価ができることが示唆された。

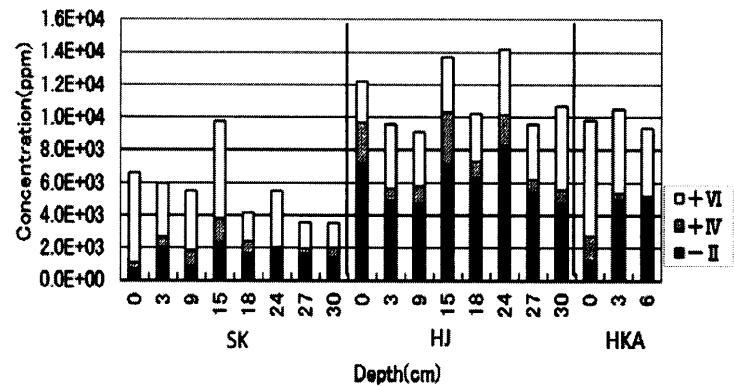


図 2. S の価数別濃度

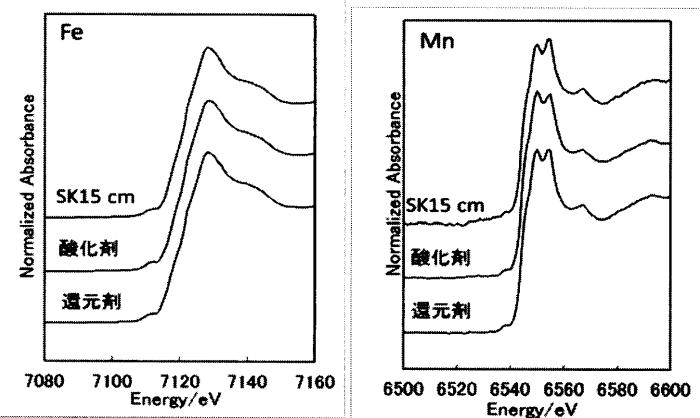


図 3. Eh を変化させた底質試料の XANES スペクトル

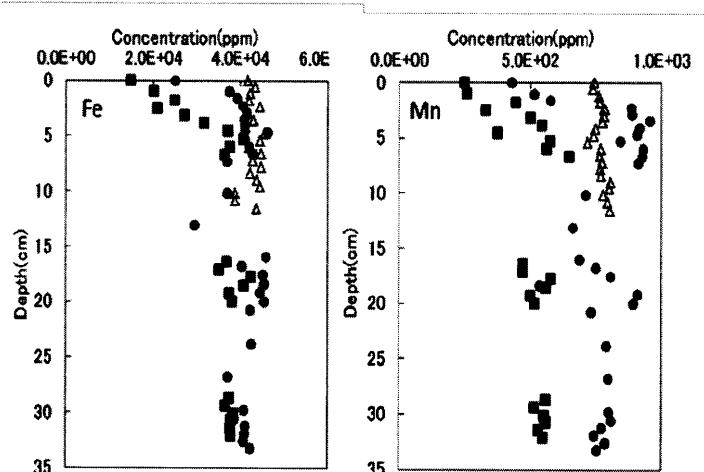


図 4. 細分化した試料における Fe・Mn 濃度の鉛直分布  
● : OC ■ : OD △ : OE

# 平成 23 年度卒業論文抄録

## 放射化分析によるユークライトの化学組成の解明

首都大学東京都市教養学部理工学系化学コース

宇宙化学研究室 大塚 紗恵

### 【はじめに】

代表的な分化隕石であるホワルダイト、ユークライト、ダイオジエナイトは HED 隕石と総称され、酸素同位体組成から同じ母天体起源と考えられている。分光学的研究から、HED 隕石の母天体は小惑星 4 ベスターが有力視されている。

本研究対象であるユークライトは母天体における火成活動の結果、形成された地殻物質であり、その母天体の地殻成分を保持している。したがってユークライトを元素分析することによって地殻形成に関する有益な情報を得ることができると考えられる。

本研究では南極大陸で発見された 7 つのユークライトの化学組成を放射化分析によって求め、これまでのユークライトと比較することにより化学的特徴を明らかにすることを目的とする。

### 【実験】

元素組成が解明されていない 7 つの南極隕石 (Y 793591, A 881820, A 881821, Y 980066, Y 980255, Y 981724, Y 981735) を分析した。各隕石試料をメノウ乳鉢で粉末化し均一にした後、その一部 (約 30~50mg) を用いて元素分析を行った。分析方法として、機器中性子放射化分析法 (INAA) と機器光量子放射化分析法 (IPAA) を用いた。照射は、京都大学原子炉実験所 (KURRI) で行った。

### 【結果】

33 元素の定量値を得ることができた。これらの定量値をもとに、まず今回用いた試料がユークライトであるのかを検討した。HED 隕石の文献値と定量値をもとに  $\text{CaO} / \text{Al}_2\text{O}_3$  比を求めた。分析した 7 つの試料の  $\text{CaO} / \text{Al}_2\text{O}_3$  比はユークライトの範囲内にあり、化学組成の点から、今回用いた試料はユークライトと分類された。

次にユークライト間の比較のため、横軸に Sc 含有量を、縦軸に La 含有量をとり、プロットした (図 1)。鉱物組成から、ポリミクトユークライトであると報告されていた A 881820, A 881821 は図 1 から集積岩ユークライトの領域にプロットされた。また Y 981724, Y 981735 は Y 980433 と一対の隕石とされるユークライトであるが、これもまた集積岩ユークライトの領域にプロットされている。A 881820, A 881821 と Y 981724, Y 981735 を区別する為、希土類元素存在度パターンを比較した。共に集積岩ユークライトの特徴である Eu における正の異常が見られた。これらの結果から、A 881820, A 881821 は集積岩成分を多く含むユークライトであることが分かった。しかし A 881820, A 881821 と Y 981724, Y 981735 を化学組成の点から区別することには至れなかった。

Y 793591, Y 980066, Y 980255 は図 1 より La 含有量が約 2-4 $\mu\text{g/g}$ 、Sc 含有量が約 22-36 $\mu\text{g/g}$  の範囲である Main-group ユークライトにプロットされ、希土類元素存在度パターンでは Eu の異常は見られなかった。

本発表では、さらに詳しく化学組成から議論する予定である。

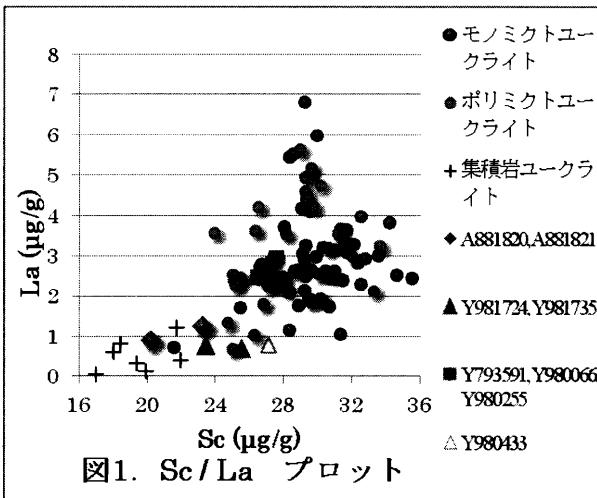


図 1. Sc / La プロット

# 平成 24 年度博士論文抄録

化学組成から見た始原的エコンドライト母天体における部分溶融過程

首都大学東京大学院理工学研究科分子物質化学専攻 日高 義浩

## 【はじめに】

始原的エコンドライトとは、始原的な物質（コンドライト）と分化した物質（エコンドライト）の 2 つの中間的な存在である。コンドライトは原始太陽系の星雲ガスから凝縮・集積した後、溶融を受けずに残った小惑星を起源とするのに対し、エコンドライトはそれらの小惑星が集積後に溶融・分化を起こしたもの起源とする。これらエコンドライト物質や地球を始めとした惑星の物質は、マグマオーシャンと呼ばれる母天体全球に渡る大規模溶融によって形成されたと考えられている。そのため、大規模溶融が起こる前の、分化の初期段階に何が起こっていたかということをエコンドライトや惑星物質の持つ情報から窺い知ることは困難である。始原的エコンドライトはこの分化の初期段階において形成されたと考えられる隕石群であるため、その際にどのような現象がどのような時間・空間的スケールで起きていたかを知る手がかりになると期待されている。

始原的エコンドライトがコンドライトとエコンドライトの中間的な存在であるとする根拠として、コンドライトに似た化学組成とエコンドライトに似た鉱物組織、という双方にまたがる化学的・鉱物学的特徴を有している点が挙げられる [1]。始原的エコンドライトには代表的なものとしてアカプルコアイト-ロドラナイトとウイノナイトという 2 つのグループが存在し、酸素同位体組成や鉱物組成の違いから、それぞれに起源となる母天体や経験した分化の程度が異なると言わわれている [2, 3, 4, 5]。アカプルコアイトとロドラナイトは同一の母天体起源であり、ロドラナイトの方がより分化の度合いが高いものとして定義されている [2]。

上記のような始原的エコンドライトの特徴は部分溶融と呼ばれる初期分化を受ける過程を経た結果であると考えられている。部分溶融過程には岩石中のケイ酸塩相が主体となる玄武岩質部分溶融（溶融温度：~1050 °C）と、金属・硫化物相が主体となる鉄ニッケル硫黄共融（溶融温度：~980 °C）という 2 つの溶融過程が存在するとされる [2]。玄武岩質部分溶融では長石  $(\text{Na}, \text{K}, \text{Ca})(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_8$  や輝石  $(\text{Mg}, \text{Ca}, \text{Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_6$  といった鉱物が溶融し、鉄ニッケル硫黄共融では鉄ニッケル合金や鉄硫化物が溶融する。このような溶融に関与する鉱物相の種類の違いから、玄武岩質部分溶融では Na, Al, K（プラジオファイル元素）や希土類元素（REE）などの親石性元素と呼ばれる元素群の組成が変化し、鉄ニッケル硫黄共融では Cu, Ga, Se や Rh, W, Re, Ir, Pt といった親銅性元素、親鉄性元素と呼ばれる元素群の組成が変化する。そのため、それぞれの始原的エコンドライト試料の化学組成における、各元素群の存在度の変化の傾向やその度合いを調べることによって、母天体で起きていた部分溶融過程の詳細を理解できると期待される。

近年、鉱物学的観点や同位体化学的観点からの部分溶融の規模や要因に関する研究の報告は少なからずある [2, 3, 4, 6] ものの、化学組成的観点からの考察は充分とはいえない状況である [7, 8, 9, 10]。その様な状況を踏まえて、本研究では多数の始原的エコンドライト試料を用いることで、化学組成の変化から始原的エコンドライトが経験した部分溶融過程を理解し、太陽系初期に

おける天体の分化過程に新たな制約を加えることを目的とした。

## 【実験】

本研究では、8つのアカプルコアイト (Dhofar 125, Dhofar 290, GRA 95209, MET 01195/01198/01244, Y-74063, Y-981505)、3つのロドラナイト (NWA 2235, Y-791491, Y-981725) と2つのウィノナイト (NWA 725, Y-8005) の計13個の始原的エコンドライト試料を用いた。各試料約 300 mg をメノウ乳鉢を用いて粉碎・粉末化した後、試料のケイ酸塩相と金属相それぞれに含まれる元素のより精確な定量を目的として、磁石を用いて非磁性相と磁性相の2つに分離した。非磁性相に対しては、機器中性子放射化分析法で主要および微量元素の定量、誘導結合プラズマ質量分析法で REE, Th, U の定量を行った。磁性相に対しては、誘導結合プラズマ原子発光分光分析法および誘導結合プラズマ質量分析法でそれぞれ主要および微量元素の定量を行った。

## 【結果】

### 非磁性相

火成活動の際にケイ酸塩相に取り込まれやすい元素群である親石性元素の組成を求めた。プラジオファイル元素組成において、アカプルコアイトは弱い枯渇、ロドラナイトは強い枯渇を示したが、ウィノナイトの2隕石はともにほとんど枯渇を示さなかった。REE 組成においても、アカプルコアイトとロドラナイトで軽希土類元素 (La-Sm) や Eu の濃度に枯渇や濃集といった変化が見られた一方、ウィノナイトでは大きな変化は見られなかった。

### 磁性相

火成活動の際に金属、硫化物相に取り込まれやすい元素群である親鉄性元素と親銅性元素の組成を求めた。アカプルコアイト-ロドラナイトにおいて、親鉄性元素の中でも特に親鉄性の高い元素である、強親鉄性元素 (Rh, Re, Ir, Pt) 存在度が試料間で系統的に変化していることが確認できた。それに対して、2つのウィノナイトの間では強親鉄性元素の濃度に大きな違いはなく、代わりに揮発性の高い元素 (Cu, Ga, Ge, Sn) の組成に大きな違いが見られた。

## 【考察】

### 始原的エコンドライトの起源物質

それぞれの始原的エコンドライトがどのような部分溶融過程を経ているのかをより深く理解するためには、その起源物質がどのようなものであったかについて把握しておくが重要である。また、この起源物質の性質自体も、初期太陽系の姿を知る上で重要な意味を持つと考える。始原的エコンドライトの起源物質を考える上で重要な試料が、アカプルコアイト Y-74063 とウィノナイト NWA 725 の2つである。これらはコンドライトに特有とされるコンドリュールと呼ばれる組織を保持している。そのためこれら2隕石は始原的エコンドライトの中で最もコンドライトに、即ち起源物質により近い隕石であると考えられる。この中で、アカプルコアイト Y-74063 は非磁性相における V や Cr の含有量や、磁性相における揮発性の高い元素の含有量といった化学組成上

の特徴がコンドライトの一種である EL コンドライトのものと非常に似通っていることから、その起源物質は EL コンドライトに類似したものであったと考えられる [11, 12]。

一方で、ウィノナイト NWA 725 に関しては、非磁性相の組成では Y-74063 と同様に EL コンドライトとの類似性が見られたものの、磁性相の組成においてはその組成に明確な類似性は見出だせなかつたため、アカプルコアイトとは異なる起源物質を持っていたと考えられる。

### 非磁性相（ケイ酸塩相）の部分溶融

アカプルコアイト-ロドラナイトのREE組成を詳しく見ていくと、その変化にいくつかの系統性がある、つまり単一の過程のみが原因ではないということがわかった（図. 1）。この結果と各鉱物のREEの分配係数[8]を併せて考えると、アカプルコアイトとロドラナイトのREE組成は定性的に、長石の増減とリン酸塩の増減という2つの事象が独立して起きていた結果であると解釈できる。

宇宙環境は地球上に比べて還元的な状況であり、REEの中でEuのみは二価の価数を取り他のREEとは挙動が異なってくる。そのような環境において、長石はLaのような軽希土類元素や二価のEuを取り込みやすく、リン酸塩は軽希土類元素を比較的取り込みやすいが二価のEuは取り込みにくい。そのため、これら2つの鉱物相の増減が、図. 1. に見られるような組成変化を説明しうる。長石の増減は玄武岩質部分溶融によって説明できるが、リン酸塩の増減を説明するためにはそれとは異なる過程が必要となる。リン酸塩は岩石中の存在量が微量（ $\leq 1 \text{ vol\%}$ ）であることから、それを主体とする溶融は非常に局所的で小規模なものであつたはずである。また、全岩組成に変化をもたらすには、生成したメルトが系から除去される必要がある。これらのことを、コンドライトの加熱・溶融実験において、加熱の最初期にリン酸塩に富んだメルトが生成したという報告[13]や、始原的エコンドライト中でリン酸塩メルトやリン酸塩を包有したメタルメルトの脈が見つかったという報告[14]と併せて考えると、リン酸塩の溶融は玄武岩質部分溶融の開始より前に、リン酸塩単独で、もしくは鉄ニッケル硫黄共融と共に起きていたと考えられる。

一方で、分析した2つのウィノナイト試料でプラジオファイル元素、REE共にほとんど枯渇や濃集といった組成の変化が見られなかつたことから、ウィノナイトのケイ酸塩相はほとんど溶融を受けていなかつたと言うことが出来る。この結果は他のウィノナイト隕石を分析した先行研究の結果[15]と一致している。

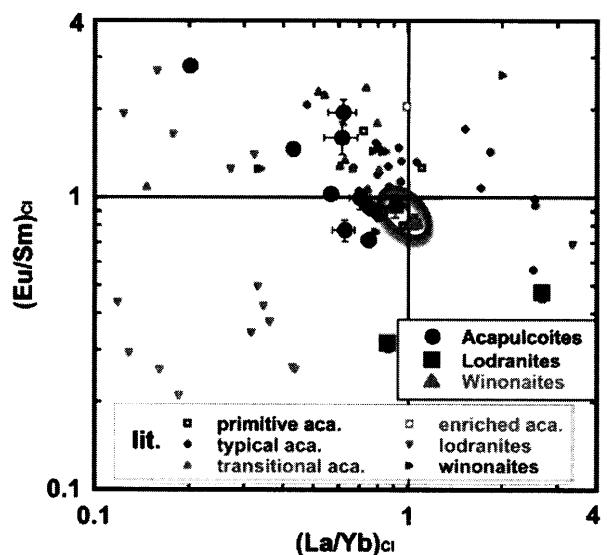


図. 1. CI コンドライト組成で規格化した始原的エコンドライトの Eu/Sm 対 La/Yb のグラフ。黒塗りの大きなシンボルは本研究の、白抜きの小さなシンボルは文献値を示す。丸で囲んだ試料は始原的エコンドライトの中でも最もコンドライトに近いとされる試料 (Y-74063 と NWA 725)。

## 磁性相（金属相）の部分溶融

強親鉄性元素は鉄ニッケル硫黄共融での固相・液相間での分配係数が非常に大きく [16]、それ故に僅かな溶融でも影響が顕著に現れる。従ってアカプルコアイト-ロドラナイト間で見られた強親鉄性元素存在度の変動は鉄ニッケル硫黄共融過程が存在した証拠であると考えられる。また、強親鉄性元素存在度と親銅性元素の存在度の間に非常に良い相関が見られたことも、鉄ニッケル硫黄共融過程の存在を強く示唆する。そこで、金属固相-金属液相間での分配係数 [16] を用いたモデル計算を行い、鉄ニッケル硫黄共融過程によるアカプルコアイトとロドラナイトのメタル組成の再現を試みた(図. 2)。ここでは EL コンドライト組成を出発物質として用いている。強親鉄性元素比を用いた検討の結果、アカプルコアイトとロドラナイトのメタル組成は鉄ニッケル硫黄共融過程のモデル計算の結果と非常に調和的であることがわかった。

しかし、EL コンドライトにおいて、鉄ニッケル硫黄共融過程だけでなく鉄ニッケル炭素共融過程という別の部分溶融過程の存在を示唆する報告 [17] があることから、アカプルコアイト-ロドラナイトにおいても鉄ニッケル炭素共融過程についての考察を行った。それぞれの部分溶融の開始温度(鉄ニッケル硫黄共融: ~980 °C、鉄ニッケル炭素共融: ~1150 °C) [18] とアカプルコアイト、ロドラナイトの推定到達温度(アカプルコアイト: ~1150 °C、ロドラナイト: ~1300 °C) [3] の関係から、アカプルコアイトにおいては十分な鉄ニッケル炭素共融を起こすことは難しいが、ロドラナイトにおいては可能だったと言える。その上で W/Re 比を比較すると、アカプルコアイトの集団とロドラナイトの間にわずかに差があることが確認できた。この結果はロドラナイトにおいて鉄ニッケル炭素共融過程が起きたためであると解釈できる。しかし、実験により得られる分配係数は大きな不確かさを持つため、確認された差がモデル計算の誤差の範囲に含まれる可能性もある。鉄ニッケル炭素共融が起きていたかどうかを判断するには更に多くのロドラナイトのデータが必要である。その結果はアカプルコアイト-ロドラナイトの母天体の組成や大きさに重要な制約を与える情報となることが期待される。

ウィノナイトに関しては、2つの試料間で揮発性の高い元素の濃度に大きな差が見られたが、強親鉄性元素濃度が試料間で差がないこととコンドライトの濃度とよく一致することから、どちらのウィノナイトも部分溶融の影響はほとんどないと言える。そのため、メタル組成の違いは母

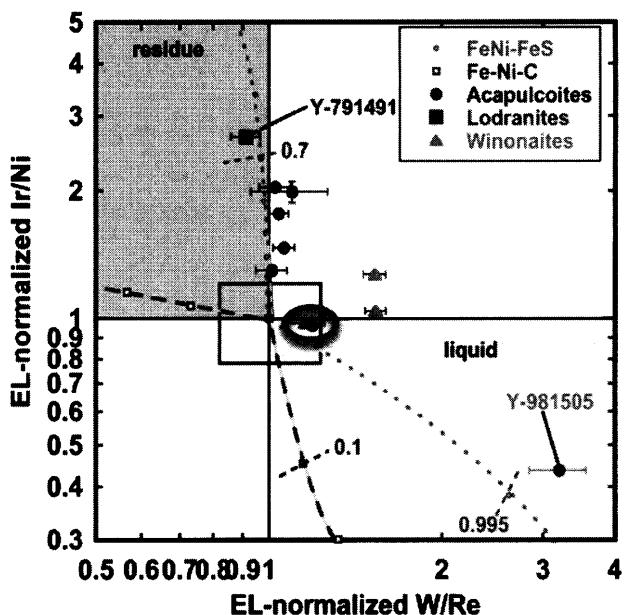


図. 2. EL コンドライト組成で規格化した始原的エンドライトの Ir/Ni 対 W/Re のグラフ。点線は鉄ニッケル硫黄共融過程、破線は鉄ニッケル炭素共融過程のモデル計算結果をそれぞれ表す。線上に挿入してある数字は溶融率を示す。図の左上の領域は部分溶融後の残渣の組成、右下の領域は液の組成をそれぞれ表す。図中の丸で囲んだ試料は最もコンドライトに近い始原的エンドライト(Y-74063 と NWA 725)。四角で示した範囲は EL コンドライトの組成範囲。

天体における変成作用によるものではないと解釈できる。

### 始原的エンドライト母天体の初期進化

非磁性相と磁性相で得られた結果からの考察をまとめると、以下のとおりである。アカプルコアイト-ロドラナイト母天体においてはケイ酸塩相の玄武岩質部分溶融と金属相の鉄ニッケル硫黄共融以外に、リン酸塩の溶融が独立して起こっていたこと、鉄ニッケル炭素共融が起こっていた可能性があること、の2つが示された。また、ウィノナイトに関しては、本研究の結果からはケイ酸塩相、金属相共に部分溶融由来の化学組成の変化はほとんど確認できなかったことから、ウィノナイト母天体において部分溶融はほとんど起こっていなかつたと言える。

最後に、これら本研究の成果と先行研究からの知見を併せ、アカプルコアイト-ロドラナイト母天体とウィノナイト母天体、それぞれにおける初期進化過程についての考察を行った。

アカプルコアイトとロドラナイトに関して、親石性元素存在度に大きな差が見られること、親鉄性元素存在度の範囲に重複が見られることの2つから、それぞれにおける部分溶融過程は独立しており相互の干渉は無かつたものだと考えられる。これに加え、アカプルコアイトとロドラナイトの形成年代に差がない [3] こと、それぞれ母天体中に存在した時の深さが異なるとされている [3] ことから、アカプルコアイト-ロドラナイト母天体において、深さの異なる複数の領域で同時に多発的に、しかしそれぞれに独立した状態で溶融が起きていたと考えることが出来る。化学組成と鉱物観察双方の結果から、ロドラナイトの部分溶融度は約 20 vol% という見積りが得られており、この程度の溶融度では天体内部で生じたマグマはある程度の独立性を保っており、少なくとも縦方向での連結はなかつたという解釈ができる。

ウィノナイト母天体においては、複数の隕石衝突により母天体の崩壊・再集積や再加熱といった現象が起こっていたとされる [4, 6]。そのため、ウィノナイト母天体には少なからず起源の異なる物質が含まれているはずである。このことから、それぞれのウィノナイトにおける金属相組成の違いはそれらが複数の異なる起源に由来するためであると解釈できる。本研究で得られた結果からはウィノナイト母天体においてはほとんど部分溶融がなかつたという結論が導かれたが、ウィノナイトは大規模溶融の産物であるとされる鉄隕石の一一種、IAB 鉄隕石と同一母天体起源であると考えられている [6] ことから、その母天体上では比較的大規模な溶融が起きていたはずである。しかし、IAB 鉄隕石母天体の金属-ケイ酸塩分離は不完全であり、その母天体上にはほとんど溶融を起こしていない箇所も残されているという解釈も存在する [4]。本研究で得られた成果はこのような解釈を裏付ける証拠の一つとなると考えられる。

### 参考文献

- [1] Prinz M. et al. (1980) *Lunar Planet. Sci. Conf. XI*: 902-904.
- [2] McCoy T. J. et al. (1997) *Geochim. Cosmochim. Acta* 61: 639-650.
- [3] Touboul M. et al. (2009) *Earth Planet. Sci. Lett.* 284: 168-178.
- [4] Schulz T. et al. (2012) *Geochim. Cosmochim. Acta* 85: 200-212.
- [5] Greenwood R. C. et al. (2012) *Geochim. Cosmochim. Acta* 94: 146-163.
- [6] Benedix G. K. et al. (1998) *Geochim. Cosmochim. Acta* 62: 2535-2553.
- [7] Kimura M. et al. (1992) *Proc. NIPR Symp. Antarct. Meteorites* 5: 165-190.
- [8] Torigoye N. et al. (1993) *Proc. NIPR Symp. Antarct.*

*Meteorites* 6: 100-119. [9] Mittlefehldt D. W. et al. (1996) *Geochim. Cosmochim. Acta* 60: 867-882. [10] Patzer A. et al. (2004) *Meteorit. Planet. Sci.* 39: 61-85. [11] Hidaka Y. et al. (2012) *Lunar and Planetary Sci. Conf.* 43: #1785 (abstract). [12] Hidaka Y. et al. (2012) *75<sup>th</sup> Met. Soc. Mtg.*, #5210 (abstract). [13] Feldstein S. N. et al. (2001) *Meteorit. Planet. Sci.* 36: 1421-1441. [14] McCoy T. J. et al. (2006) *Geochim. Cosmochim. Acta* 70: 516-531. [15] Hunt A. C. et al. (2012) *Lunar and Planetary Sci. Conf.* 43: 1818 (abstract). [16] Chabot N. L. et al. (2003) *Meteorit. Planet. Sci.* 38: 181-196. [17] van Niekerk D. et al. (2009) *Lunar and Planetary Sci. Conf.* 40: 2049 (abstract). [18] Rankenburg K. et al. (2008) *Geochim. Cosmochim. Acta* 72: 4642-4659.

# 平成 24 年度修士論文抄録

## 山林地域の土壤の酸中和能に対する植生の影響

Effects of Regional Vegetation on Acid-Neutralization Capacity of Soil in Mountainous Area

東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻  
環境分析化学研究室 陳 品彧

### 【目的】

日本の森林では、針葉樹林の土壤より広葉落葉樹林の土壤の酸中和能 (ANC : Acid Neutralization Capacity) が上回っている。これは、広葉樹林の土壤中には落葉の腐植により生じる有機酸が混在し、それが酸中和に影響しているためと考えることができる。東アジアの落葉樹林は、大陸の北東地帯に限られ、日本海と東シナ海の沿岸に面している。それに対して、常緑広葉樹林は亜熱帯地域に存在するため、緯度による土壤の酸中和能の違いにも着目したい。本研究では、各地土壤試料に対して元素の分布と化学状態を解明し、土壤の酸中和と地域的な因子（特に山林地域における植生）との関連性を明らかにすることを目的とする。

### 【実験】

試料採取 酸性降下物の有無については、酸性雨によって被害を受けている金精峠の汚染側（栃木県）と非汚染側（群馬県）の土壤試料を採取した。また、酸性物質が主成分の火山ガスで酸性被害を受けたと想定した洞爺湖・有珠山の噴火口周辺の土壤試料も採取した。

山地の標高については、高野山（和歌山県、異なる標高の 2 地点）と東北地方にある奥羽山脈の八幡平（標高 1100m）と田沢湖（標高 300m）の土壤試料を採取した。地域性の検討については、北緯 43 度～24 度に渡って 4 地点（北海道、東京、愛知、台湾）の土壤試料を採取した。

実験概要 土壤試料の処理を Fig. 1 に示す。各地から採取した土壤試料に対して機器中性子放射化分析、X 線吸収微細構造解析、酸滴定実験と酸中和能の測定を行った。

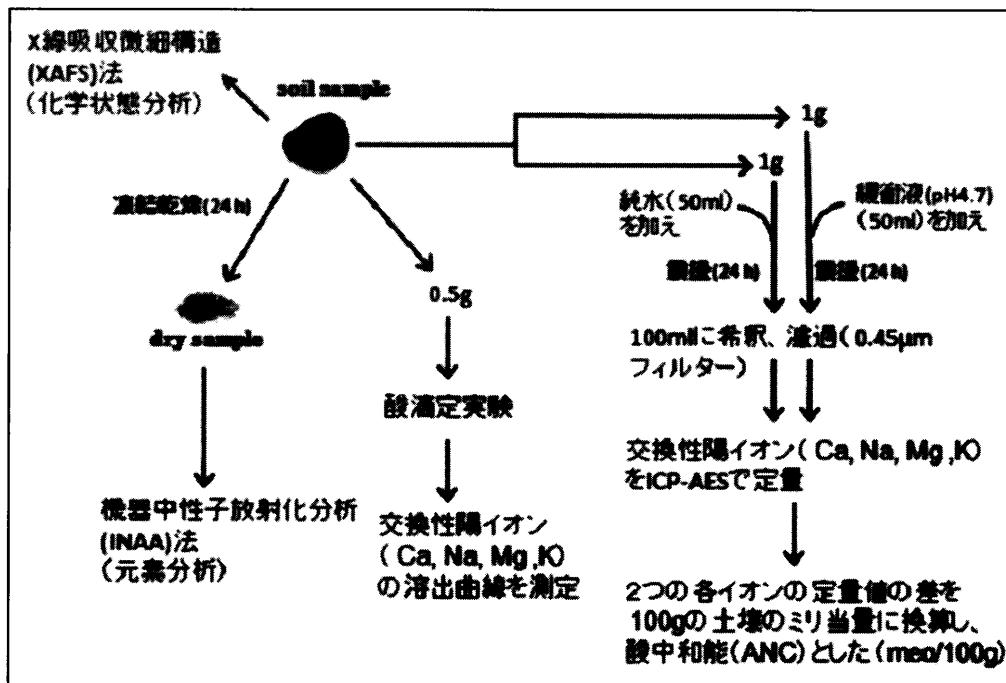


Fig. 1 土壤試料の処理

### 【結果と考察】

本研究では、酸性被害、標高、植生の各因子から各地の土壤試料を比較した。それにより、土壤の組成と交換性イオンの動態を確実に把握し、その上で土壤の酸中和能の地域性の検証を行った。

1. 酸性被害が土壤にもたらす影響 酸性雨被害が見られる金精峠の土壤の機器中性子放射化分析の結果をFig. 2に示す。酸性雨被害を受けていない非汚染側の土壤に比べ、被害を受けた汚染側のCa, Na, Mg等の交換性陽イオンの濃度は比較的低い値が観測された。それによって、酸性雨被害土壤の酸中和能が0.4 meq/100g程下がっている。これは酸性雨からの水素イオンが土壤に吸着されやすいため、Ca, Na, Mg等の陽イオンが水素イオンに交換され、土壤中で濃度が減少するためと考えられる。しかし、その他にも酸性雨被害を受けた土壤ではAlイオンの含量も減少していることが分かった。これは土壤構造中に存在しているAlイオンが酸性環境下で可溶態になり、土壤から溶け出したためと考えられる。更に、酸性火山ガス被害が想定される洞爺湖・有珠山噴火口の周囲の土壤試料について酸滴定実験を行った。その結果、両方の試料とも、酸中和の過程中にK<sup>+</sup>の溶出量の増加が観測された。

2. 標高と植生が土壤にもたらす影響 標高が高い針葉落葉樹林における土壤中の交換性陽イオンの濃度は、低標高の広葉常緑樹林より低く観測されたが、その土壤の酸中和能の変化量については全体から見ると目立たない。しかし、高山地の気候を想定して、凍結と溶解の繰り返し実験を行い、酸中和能を再び測定した。その結果、測定した3試料中の2試料は、Ca<sup>2+</sup>の溶出量が激減して土壤試料のANCが大きく下がった結果を得た。

3. 地域性の影響 高緯度～低緯度の土壤試料の機器中性子放射化分析と酸中和能測定の結果をFig. 4に示す。各試料の元素分布の解析結果により、北緯45～35度の落葉樹林帶のCa, Na, Mgの交換性陽イオンの濃度は比較的高い値が観測されたが、落葉樹林帶より低緯度の地域では、交換性陽イオンのKの含量が増えた。各試料の酸中和能の測定各イオンの分布割合の結果により、落葉樹林帶の土壤に対して、交換性陽イオンのCa<sup>2+</sup>寄与度が他の試料より高いという傾向が分かった。

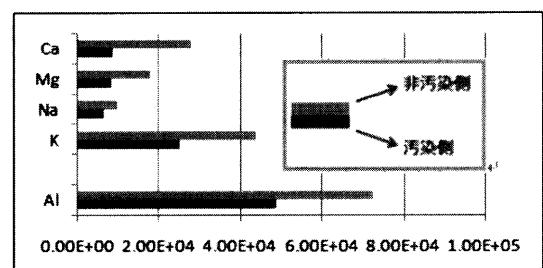


Fig. 2 金精峠土壤中の交換性陽イオンとAlの濃度比較(ppm)

Table 1 金精峠の土壤の酸中和能

土壤試料	ANC (meq/100g)
金精峠(非汚染側)	0.64
金精峠(汚染側)	0.25

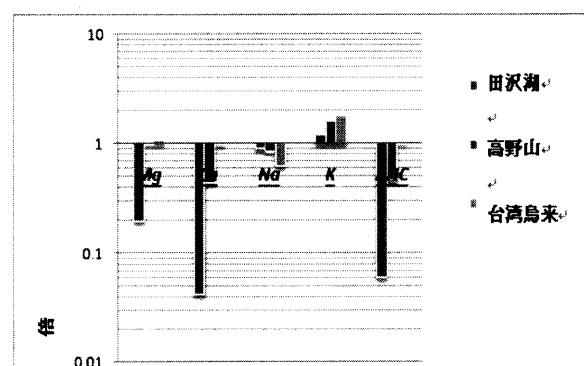


Fig. 3 温度差をかけた後のイオン及び酸中和能(ANC)の変化倍率

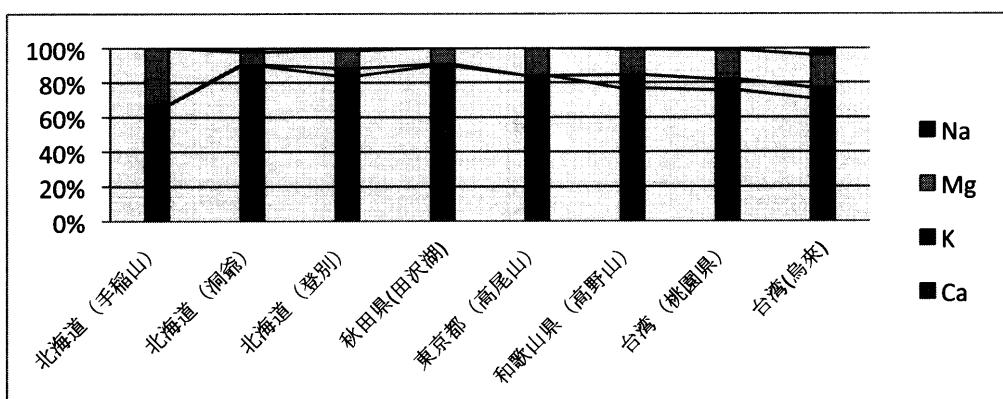


Fig. 4 各土壤試料の酸中和能(ANC)中の各イオンの割合

# 平成 24 年度卒業論文抄録

## $k_0$ 標準化中性子放射化分析法の京大原子炉への適用と $k_0$ -IAEA ソフトウェアの評価

首都大学東京都市教養学部理工学系化学コース  
宇宙化学研究室 田中 景

### ■はじめに

機器中性子放射化分析法 (INAA) では通常比較法により元素濃度の定量が行われている。すなわち、未知試料と共に元素濃度既知の比較標準試料を同時に中性子照射し、放射能比から濃度を計算する。比較法は原理が簡単で正確な定量値が得られるが、定量したい全元素の比較標準試料を準備する必要があるため、比較標準試料に含まれない計画外の元素はその誘導放射性核種が検出されても定量できないという欠点がある。一方、海外では  $k_0$  標準化法（以下  $k_0$  法と略す）がよく利用されている。この  $k_0$  法は濃度既知のある 1 つの元素の標準試料を同時に照射することで全元素を定量する方法であるが、比較法では考慮する必要がない照射場特性や検出器特性をあらかじめ正確に知る必要がある。 $k_0$  法では一般的に校正と定量を行う市販あるいは自作の専用ソフトウェアを用いるが、近年、国際原子力機関 (IAEA) が  $\gamma$  線スペクトル解析も組み込んだ無償ソフトウェア “ $k_0$ -IAEA” を公開した。そこで本研究は、これまでに  $k_0$  法がほとんど行われていない京都大学原子炉を利用した  $k_0$  法による INAA を行い、 $k_0$ -IAEA ソフトウェアにより得られる定量値を評価することを目的とした。

### ■実験

岩石標準試料、環境標準試料、 $k_0$  法用標準試料を京大原子炉 Pn-3 で 10 秒間、ならびに Pn-2 で 1 時間中性子照射し適当な冷却時間をおいて  $\gamma$  線を測定した。照射場の特性は Au-Lu-Zr モニタにより求め、検出器の特性を多核種混合標準線源と  $^{137}\text{Cs}$  線源の測定により求めた。比較法で定量した結果と、 $k_0$ -IAEA ソフトウェアを用いた  $k_0$  法で定量した結果を比較した。

### ■結果・考察

放射化分析では、 $\gamma$  線スペクトルのピーク面積を正確に計算することが重要である。 $k_0$ -IAEA によって計算されたピーク面積は、手計算と  $\gamma$  線スペクトル解析専用ソフトウェア “Hypermet-PC” による結果とよく一致していたが、800 カウント以下のピークでは約 0.5~1.5 倍になることがあった。

岩石標準試料 (JB-1a, JA-1, JF-1, JG-1, JR-1) の 10 秒照射における比較法と  $k_0$  法による定量値を推奨値との比として図 1 に示す。比較法による定量値はほとんどの元素で推奨値と良く一致した。一方、 $k_0$ -IAEA では Mn が推奨値と良い一致を示しているが、Al が系統的に約 1.4 倍推奨値より大きくなかった。また、Mg, V でもほとんどの試料

で推奨値より大きな値を示した。

誘導放射能の小さかった Ca と Ti

で

は 4 回行った JB-1a の定量結

果のばらつきが大きかった。

Al で系統的に高い定量値が得られた原因を探るとともに、1 時間照射した試料の定量を行い、 $k_0$ -IAEA ソフトウェアの総合的な評価を行う。

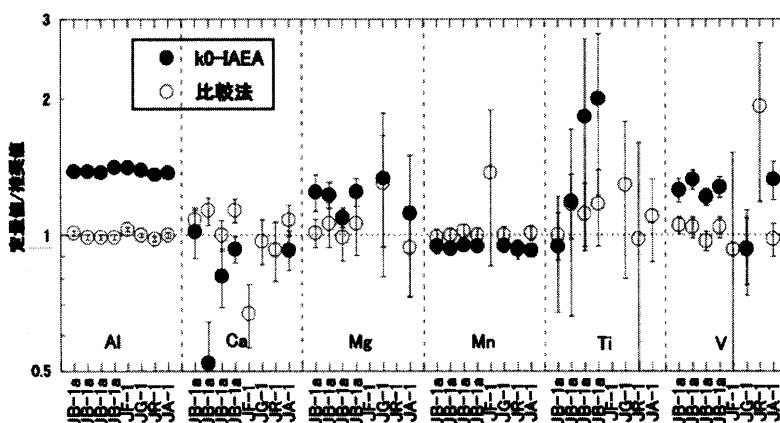


図 1 :  $k_0$  法と比較法による定量値の推奨値との比

# 鉄隕石中の極微量 Mn の中性子放射化分析-京大原子炉での試み-

首都大学東京都市教養学部理工学系化学コース  
宇宙化学研究室 田中 義久

## ■ はじめに

鉄隕石中の極微量 Mn の中性子放射化分析法による定量は妨害反応  $^{56}\text{Fe}(\text{n},\text{p})^{56}\text{Mn}$  により困難なため、あらかじめ鉄を除去する必要がある。そこで、今村<sup>1)</sup>は鉄隕石中の Mn を  $^{55}\text{Mn}(\text{n},\gamma)^{56}\text{Mn}$  反応を利用する前濃縮放射化分析法で定量するための Mn の化学分離法を開発し、新井<sup>2)</sup>はこの分離法を用い、JRR3 PN-3 で中性子照射したときの定量限界を検討した。本研究では、非破壊法とともにこの前濃縮 NAA 法を京大原子炉(KUR)での照射に適用して JRR-3 を利用した場合との定量条件を比較するとともに、鉄隕石や鉄鋼標準試料中の Mn を定量した。

## ■ 実験

鉄隕石と鉄鋼標準試料を酸で溶解し、HF 系陽イオン交換と 2-propanol-HCl 系陰イオン交換により Mn を化学分離した。Mn フラクションは加熱濃縮後、ろ紙に滴下・乾燥した。これをポリエチレンフィルムで包装後、KUR Tc-Pn で 4 時間照射し、Ge 検出器による  $\gamma$  線スペクトロメトリを行った。実験は二度行った。

## ■ 結果と考察

前濃縮 NAA 法で得られた鉄隕石と鉄鋼標準試料中の Mn の定量値を表 1 に示した。1 回目の実験では鉄鋼標準試料 JSS003-5 の Mn 定量値は保証値より小さくなり、化学収率が低かった恐れがある。2 回目の実験では既知量の Mn 溶液でも同様の化学操作を行ったところ化学収率は 91% であり、JSS003-5 の定量値は保証値とよい一致を示した。また、JSS001-5 の定量値も保証値と一致したことから 30ppb 程度の Mn 濃度までは定量できるといえる。本研究で得られた鉄隕石中の Mn 濃度は 273.4ppb と 414.9ppb であった。濃度が 1.5 倍ほど異なっており、JSS003-5 と同様に 1 回目の化学収率が低かったと考えられる。

KUR Tc-Pn における  $^{56}\text{Fe}(\text{n},\text{p})^{56}\text{Mn}$  反応の寄与は  $15.5 \pm 0.6 \text{ngMn/gFe}$  であった。これは JRR3 PN-3 における寄与  $97.3 \pm 6.3 \text{ngMn/gFe}$ <sup>2)</sup> の約 6 分の 1 である。Gibeon 隕石から化学分離した Mn フラクションの一部を Pn2 で 1 時間照射し、Fe の残存率を調べたところ 0.01% 以下であった。鉄隕石 1g を用いると Mn フラクションに混入した Fe から  $1 \times 10^{-3} \text{ng}$  相当の  $^{56}\text{Mn}$  が生成されることになる。これは操作プランクに含まれる Mn 量の 1000 分の 1 以下であり、定量限界を下げるためには操作プランクを低くすることが重要であると再確認された。また、Mn の検出感度は KUR Tc-Pn 4 時間照射で  $400 \text{cps}/\mu\text{gMn}$  であり、JRR3 PN-3 20 分照射における検出感度  $2400 \text{cps}/\mu\text{gMn}$  の 6 分の 1 であった。除去し切れなかった鉄からの妨害はほとんど無視できるので、感度の点から鉄隕石中の極微量 Mn の定量には JRR3 PN-3 での照射が適しているといえる。

表1 鉄隕石・鉄鋼標準物質中のMn濃度

試料	単位	Mn濃度			保証値
		1回目	2回目		
JSS003-5	ppm	19.8 ± 0.4	26.0 ± 0.3	27 ± 1	
JSS001-5	ppb		27.5 ± 2.2	30 ± 10	
Gibeon隕石	ppb	273 ± 9	415 ± 7		

参考文献 1. 今村典央 首都大学東京 卒業論文 (2009), 2. 新井優花 首都大学東京 卒業論文 (2010)

# 施 設 便 り

## 日本原子力研究開発機構原子力科学研究所

### 日本原子力研究開発機構研究用原子炉 JRR-3 /JRR-4 の復旧状況と再開の見込み

日頃から当部の研究炉 JRR-3 及び JRR-4 をご利用頂き、また、格別のご高配を賜り、深く感謝しております。

さて、東日本大震災に伴う JRR-3 及び JRR-4 の現在の状況についてお知らせします。

#### 1. JRR-3, JRR-4 の再稼働までの規制プロセス

- (1) 原子力規制庁に施設の健全性評価結果（点検及び耐震解析による評価結果）を報告
- (2) 原子力規制庁による当該報告書の確認
- (3) 報告書が安全上適切と判断された後、施設定期検査受検

#### 2. JRR-3 の現在の状況

JRR-3 は復旧が完了し、既往の安全基準に照らして全て健全性が確実になりました。健全性確認報告書につきましては、所定の機構内手続きを完了し昨年 11 月 2 日に原子力規制庁に対し報告を行いました。この後、上記「1.」の(2)及び(3)のプロセスが行われます。また運転再開への住民理解を得るための活動も必要と考えています。

平成 25 年度施設供用課題募集につきましては、JRR-3 も供用対象施設・設備として募集いたしました。既述のとおり来年度の運転計画が未定のため、採択された課題にあっても状況によりご利用いただけない場合があります。ご不便をおかけしますが、何卒ご理解の程よろしくお願い申し上げます。

#### 3. JRR-4 の現在の状況

健全性確認報告書作成にあたり、JRR-3 の地震波観測記録を用いて JRR-4 原子炉施設の地震波を評価し、耐震解析評価を現在実施しているところです。また、施設の点検・試験による健全性確認についても作業を行っております。さらに、点検の結果、補修が必要な部位に対しては復旧工事等を進めております。これらの中には、時間を要する「設置許可の変更」並びに「設計及び工事の方法の認可」という規制手続きを経ないと実施できないものもあることから、平成 25 年度の施設供用課題募集は行わないことと致しました。

研究炉利用者の皆様方には大変ご迷惑をお掛けいたしますが、何卒ご理解の程よろしくお願い申し上げます。お問い合わせ等ございましたら、以下までご連絡ください。

研究炉加速器管理部 研究炉利用課 利用促進係  
電話：029-282-5591 e-mail : kenkyuro-riyou@jaea.go.jp  
URL <http://jrr3uo.jaea.go.jp/>  
(研究炉加速器管理部研究炉利用課)

## 東京大学大学院工学系研究科原子力専攻共同利用管理本部 (大学開放研究室)

現在、我々の実験室では、一昨年の東日本大震災の教訓を生かし、測定室の床全面の免震化と液体窒素自動補給装置の導入、更には測定環境の改善のため実験室全体の除染を行う予定です。また、皆様に長年、利用されてきたオートサンプルチェンジャー（ASC-20）については老朽化が進んでいるため、これを機に大幅な更新を計画しています。

一方、ソフト面では、原子炉の長期停止という非常事態を受け、ホームページのリニューアルやメールマガジンでの情報発信を行い、再稼働へ向けて利用者への迅速且つ正確な情報提供を行う準備を始めました。

利用者の皆様には、満足いく共同利用の提供が行えず、ご迷惑をおかけ致しておりますが、上記のプロジェクトを実験室の高度化と銘打って新生共同利用としての再開を目指して参ります。

(澤幡浩之)

## 京都大学原子炉実験所

[以下は 2012 年 4 月における情報です。]

KUR は現在(2012 年 4 月)定期検査中ですが、2012 年 6 月より共同利用実験が開始される予定となっております。2012 年度の放射化分析に関する共同利用研究は、通年採択で 19 件が採択されています。これはプロジェクト研究を含めた全採択件数(177 件)の約 10% となっております。2012 年度の KUR の運転パターンは、昨年度と同じく火曜日の午前中に 1 MW で起動し、木曜日の午前 10 時頃に 5 MW に出力を変更し夕方まで運転するパターンを基本としています。下半期の 10 月 22 日からの週と 11 月 12 日からの週には、5 MW での 53 時間の連続運転も計画されています。また、昨年度末に導入されました B2 実験孔(水平実験孔)を用いた中性子照射装置が、本年度より稼働致します。この照射装置を用いることで、これまで圧気輸送管照射設備や水圧輸送管照射装置で照射を行うことができなかった大型の試料や重い試料、液体試料などの照射が可能になり、中性子放射化分析法の適用範囲が広がることが期待されます。本年度中は装置の特性試験を中心に行いますが、来年度からは放射化分析を含めた様々な中性子照射実験での利用を行う予定です。また、ホットラボでは新たに自動試料交換装置付き Ge 半導体検出器を導入致しました。本装置では 100 個の試料のガンマ線スペクトルの自動測定が可能で、試料毎に測定時

研究炉加速器管理部 研究炉利用課 利用促進係  
電話：029-282-5591 e-mail : kenkyuro-riyou@jaea.go.jp  
URL <http://jrr3uo.jaea.go.jp/>  
(研究炉加速器管理部研究炉利用課)

## 東京大学大学院工学系研究科原子力専攻共同利用管理本部 (大学開放研究室)

現在、我々の実験室では、一昨年の東日本大震災の教訓を生かし、測定室の床全面の免震化と液体窒素自動補給装置の導入、更には測定環境の改善のため実験室全体の除染を行う予定です。また、皆様に長年、利用されてきたオートサンプルチェンジャー（ASC-20）については老朽化が進んでいるため、これを機に大幅な更新を計画しています。

一方、ソフト面では、原子炉の長期停止という非常事態を受け、ホームページのリニューアルやメールマガジンでの情報発信を行い、再稼働へ向けて利用者への迅速且つ正確な情報提供を行う準備を始めました。

利用者の皆様には、満足いく共同利用の提供が行えず、ご迷惑をおかけ致しておりますが、上記のプロジェクトを実験室の高度化と銘打って新生共同利用としての再開を目指して参ります。

(澤幡浩之)

## 京都大学原子炉実験所

[以下は 2012 年 4 月における情報です。]

KUR は現在(2012 年 4 月)定期検査中ですが、2012 年 6 月より共同利用実験が開始される予定となっております。2012 年度の放射化分析に関する共同利用研究は、通年採択で 19 件が採択されています。これはプロジェクト研究を含めた全採択件数(177 件)の約 10% となっております。2012 年度の KUR の運転パターンは、昨年度と同じく火曜日の午前中に 1 MW で起動し、木曜日の午前 10 時頃に 5 MW に出力を変更し夕方まで運転するパターンを基本としています。下半期の 10 月 22 日からの週と 11 月 12 日からの週には、5 MW での 53 時間の連続運転も計画されています。また、昨年度末に導入されました B2 実験孔(水平実験孔)を用いた中性子照射装置が、本年度より稼働致します。この照射装置を用いることで、これまで圧気輸送管照射設備や水圧輸送管照射装置で照射を行うことができなかった大型の試料や重い試料、液体試料などの照射が可能になり、中性子放射化分析法の適用範囲が広がることが期待されます。本年度中は装置の特性試験を中心に行いますが、来年度からは放射化分析を含めた様々な中性子照射実験での利用を行う予定です。また、ホットラボでは新たに自動試料交換装置付き Ge 半導体検出器を導入致しました。本装置では 100 個の試料のガンマ線スペクトルの自動測定が可能で、試料毎に測定時

研究炉加速器管理部 研究炉利用課 利用促進係  
電話：029-282-5591 e-mail : kenkyuro-riyou@jaea.go.jp  
URL <http://jrr3uo.jaea.go.jp/>  
(研究炉加速器管理部研究炉利用課)

## 東京大学大学院工学系研究科原子力専攻共同利用管理本部 (大学開放研究室)

現在、我々の実験室では、一昨年の東日本大震災の教訓を生かし、測定室の床全面の免震化と液体窒素自動補給装置の導入、更には測定環境の改善のため実験室全体の除染を行う予定です。また、皆様に長年、利用されてきたオートサンプルチェンジャー（ASC-20）については老朽化が進んでいるため、これを機に大幅な更新を計画しています。

一方、ソフト面では、原子炉の長期停止という非常事態を受け、ホームページのリニューアルやメールマガジンでの情報発信を行い、再稼働へ向けて利用者への迅速且つ正確な情報提供を行う準備を始めました。

利用者の皆様には、満足いく共同利用の提供が行えず、ご迷惑をおかけ致しておりますが、上記のプロジェクトを実験室の高度化と銘打って新生共同利用としての再開を目指して参ります。

(澤幡浩之)

## 京都大学原子炉実験所

[以下は 2012 年 4 月における情報です。]

KUR は現在(2012 年 4 月)定期検査中ですが、2012 年 6 月より共同利用実験が開始される予定となっております。2012 年度の放射化分析に関する共同利用研究は、通年採択で 19 件が採択されています。これはプロジェクト研究を含めた全採択件数(177 件)の約 10% となっております。2012 年度の KUR の運転パターンは、昨年度と同じく火曜日の午前中に 1 MW で起動し、木曜日の午前 10 時頃に 5 MW に出力を変更し夕方まで運転するパターンを基本としています。下半期の 10 月 22 日からの週と 11 月 12 日からの週には、5 MW での 53 時間の連続運転も計画されています。また、昨年度末に導入されました B2 実験孔(水平実験孔)を用いた中性子照射装置が、本年度より稼働致します。この照射装置を用いることで、これまで圧気輸送管照射設備や水圧輸送管照射装置で照射を行うことができなかった大型の試料や重い試料、液体試料などの照射が可能になり、中性子放射化分析法の適用範囲が広がることが期待されます。本年度中は装置の特性試験を中心に行いますが、来年度からは放射化分析を含めた様々な中性子照射実験での利用を行う予定です。また、ホットラボでは新たに自動試料交換装置付き Ge 半導体検出器を導入致しました。本装置では 100 個の試料のガンマ線スペクトルの自動測定が可能で、試料毎に測定時

間や測定位置を設定することができ、測定の順番も任意に設定することが可能な、たいへん柔軟な測定装置となっておりますので、より効率的な放射化分析実験が可能になっております。2012年度の下半期の共同利用研究の公募は、昨年同様5月頃に開始される予定となっており、2013年度の通年採択での公募は10月頃に開始される予定ですので、多くの研究テーマの応募をお待ちしております。

#### 2012年度通年採択課題(放射化分析関連のみ)

採択番号	申請者	所属	研究題目
24P10-1	高宮 幸一	京都大学原子炉実験所	B2照射孔における照射特性
24P10-4	福谷 哲	京都大学原子炉実験所	環境サンプル中の微量元素分析における高信頼手法の開発
24P10-5	藤井 俊行	京都大学原子炉実験所	B2照射孔における溶液試料の中性子照射
2413	太田 朋子	北海道大学大学院工学研究院	現世から過去100年間の海藻中の環境放射能と重金属類の測定
2418	紀平 為子	関西医療大学保健医療学部	紀伊筋萎縮性側索硬化症における金属イオンと酸化的ストレス障害
2419	高岡 昌輝	京都大学大学院工学研究科	廃棄物焼却炉からの微少粒子の排出に伴う重金属、および貴金属の挙動に関する研究
2424	塙田 祥文	(財)環境科学技術研究所環境動態研究部	環境中におけるヨウ素の移行動態に関する研究
2432	伊藤 憲男	大阪府立大学放射線研究センター	大気エアロゾル粒子のキャラクタリゼーション
2444	高塚 登志子	産業技術総合研究所	中性子放射化分析によるハフニウム酸化膜中ハフニウムの定量
2448	三浦 勉	産業技術総合研究所	内標準法を併用した中性子放射化分析法の高精度化に関する研究
2449	松尾 基之	東京大学大学院総合文化研究科	汽水域および沿岸域堆積物の放射化分析
2462	山中 寿朗	岡山大学大学院自然科学研究科	鹿児島湾熱水系アンチモン鉱床中の微量元素組成の解明
2465	石橋 純一郎	九州大学大学院理学研究院	沖縄トラフ現世熱水鉱床におけるレアメタルの探索
2468	福島 美智子	石巻専修大学理工学部	石巻地域における東日本大震災の影響の検討
2471	大浦 泰嗣	首都大学東京大学院理工学研究科	光量子放射化分析のための光核反応収率の測定
2472	白井 直樹	首都大学東京大学院理工学研究科	放射化分析法による宇宙・地球化学的試料の元素組成の定量
2486	海老原 充	首都大学東京大学院理工学研究科	宇宙・地球化学試料中の微量ハロゲン(Cl, Br, I)の中性子放射化分析

(高宮幸一)

[以下は 2013 年 7 月における最新情報です。]

2013 年度の KUR の運転計画に変更があり、上半期の共同利用期間は 6 月中旬より 7 月末まで、下半期は 12 月下旬から 3 月中旬までとなっております。例年は 9 月から 12 月にかけても運転を行なっておりますが、2013 年度末に予定していた KUR のスタックや排風機の更新工事を年内に終了させる必要が生じたため、前述のような変更を余儀なくされております。また、上記工事の進捗状況や、2013 年 12 月に施行が予定されている試験研究炉に対する新規制基準への対応の状況によって、下半期の運転開始時期が遅れる可能性もあります。利用者の皆様にはたいへんご迷惑をお掛け致しますが、ご理解の程よろしくお願ひ致します。

#### 2013 年度通年採択課題(放射化分析関連のみ)

採択番号	申請者	所属	研究題目
P10-1	高宮 幸一	京都大学原子炉実験所	B2 照射孔における照射特性
P10-4	福谷 哲	京都大学原子炉実験所	環境サンプル中の微量元素分析における高信頼手法の開発
P10-5	藤井 俊行	京都大学原子炉実験所	B2 照射孔における溶液試料の中性子照射
P10-6	鷲山 幸信	金沢大学医薬保健研究域	生物を生きたまま中性子照射できる環境の構築と生命科学への応用
25002	塚田 祥文	環境科学技術研究所	地中におけるヨウ素の移行動態に関する研究
25004	古田 悅子	お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科	漢方薬剤に含まれる重金属元素の分析
25020	高塚 登志子	産業技術総合研究所	中性子放射化分析によるハフニウム酸化膜中ハフニウムの定量
25029	伊藤 憲男	大阪府立大学放射線研究センター	大気エアロゾル粒子のキャラクタリーゼーション
25037	窪田 卓見	京都大学原子炉実験所	LINAC を用いた制動放射線照射による放射化分析
25047	大浦 泰嗣	首都大学東京大学院理工学研究科	放射化分析を利用した宇宙線生成核種に関する研究
25049	三浦 勉	産業技術総合研究所無機分析科無機標準研究室	内標準法を併用した中性子放射化分析法の高精度化に関する研究
25053	松尾 基之	東京大学大学院総合文化研究科	汽水域および沿岸域堆積物の放射化分析
25065	福島 美智子	石巻専修大学理工学部	石巻地域における東日本大震災の影響の検討
25066	関本 俊	京都大学原子炉実験所	京大炉(KUR)における微小隕石及び標準岩石試料の中性子放射化分析
25070	太田 朋子	北海道大学大学院工学研究院	現世から過去 100 年間の海藻中の環境放射能と重金属類の測定
25072	鷲山 幸信	金沢大学医薬保健研究域保健学系	MRI 用ガドリニウム造影剤による副作用「腎性全身性線維症」の発症機序の解明に関する研究-アクチバブルトレーサー法の応用-
25074	海老原 充	首都大学東京大学院理工学研究科	宇宙・地球化学試料中の微量ハロゲン(Cl、Br、I)の中性子放射化分析

25077	石橋 純一郎	九州大学大学院理学研究院	島弧火山の現世海底熱水鉱床におけるレアメタルの探索
25079	堀 順一	京都大学原子炉実験所	パルス中性子源を用いた核種非破壊定量法に関する研究
25097	白井 直樹	首都大学東京大学院理工学研究科	放射化分析法による宇宙・地球化学的試料の元素組成の定量
25105	遠藤 晓	広島大学大学院工学研究院	広島・長崎原爆中性子による誘導放射能評価のための組成分析
25108	本多 照幸	東京都市大学大学院工学研究科	高レベル放射性廃棄物処分に係わる土岐花崗岩中の微量元素を対象としたナチュラルアナログ研究

(高宮幸一)

## 東北大学電子光理学研究センター

[以下は 2012 年 4 月における情報です。]

当センターの加速器設備は 300 MeV 電子線形加速器（ライナック）および、それをインジェクターとした 1.2 GeV 電子シンクロトロン（STB リング）で構成されている。2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震から 1 年以上が経過した。地震当日は R I 関係の共同利用実験を行っていて、第一実験室にビームを輸送し、放射性同位体の製造中であった。当然、直ちにビームを停止したが、なかなか揺れがおさまらず皆で外に飛び出した。揺れはかなり長く続いて治った。その時点から全てが経験したことのない非日常の世界に変わった。地震発生から 2 分半ほどでセンター全体が停電し、地下の加速器の様子は 3 月 17 日の復電まで調査できなかった。その後、徐々に加速器の被害状況の調査を開始し、以下のような被害状況が明らかになった。特に 300 MeV 電子ライナックの高エネルギー部の状態は、建設から 40 年以上経過していることもあり老朽化と相まって深刻な状況であった。

- ・ 300MeV 電子ライナック
  - (1) RF 伝送用真空導波管の破損
  - (2) 複数箇所の亀裂による加速器本体の真空漏れ
  - (3) 冷却水システムの水漏れ
- ・ 1.2 GeV 電子シンクロトロン
  - (4) シンクロトロンのアライメントずれ
  - (5) シンクロトロン電磁石電源の故障

今後の計画では加速器を中心に復旧できるように鋭意頑張っているが、あと 1 年ぐらいの時間を要するであろう。加速器やビームラインの変更も余儀なくされる。第二実験室のブースターリングのインジェクターは新設される予定であり、これまでの電子ライナックは第一実験室のみの低エネルギー大電流占有マシンになる予定である。下図を参考にして頂きたい。利用者の皆様にはご迷惑をお掛けするが、もうしばらくお待ち頂きたい。

25077	石橋 純一郎	九州大学大学院理学研究院	島弧火山の現世海底熱水鉱床におけるレアメタルの探索
25079	堀 順一	京都大学原子炉実験所	パルス中性子源を用いた核種非破壊定量法に関する研究
25097	白井 直樹	首都大学東京大学院理工学研究科	放射化分析法による宇宙・地球化学的試料の元素組成の定量
25105	遠藤 晓	広島大学大学院工学研究院	広島・長崎原爆中性子による誘導放射能評価のための組成分析
25108	本多 照幸	東京都市大学大学院工学研究科	高レベル放射性廃棄物処分に係わる土岐花崗岩中の微量元素を対象としたナチュラルアナログ研究

(高宮幸一)

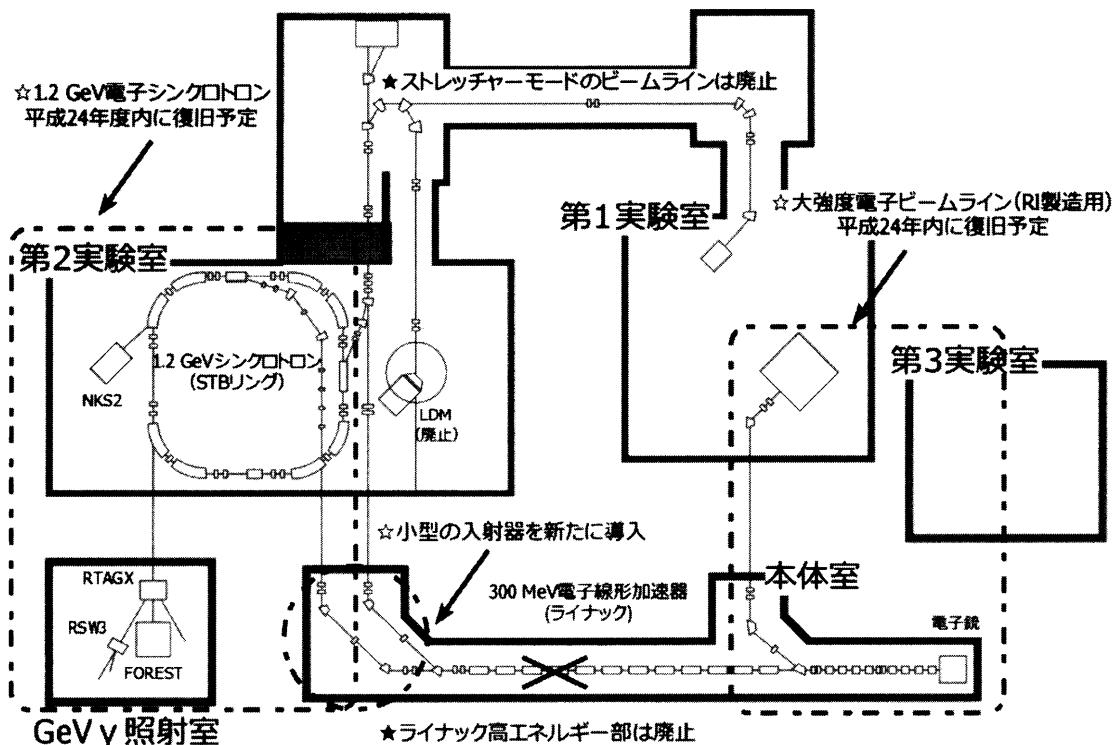
## 東北大学電子光理学研究センター

[以下は 2012 年 4 月における情報です。]

当センターの加速器設備は 300 MeV 電子線形加速器（ライナック）および、それをインジェクターとした 1.2 GeV 電子シンクロトロン（STB リング）で構成されている。2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震から 1 年以上が経過した。地震当日は R I 関係の共同利用実験を行つていて、第一実験室にビームを輸送し、放射性同位体の製造中であった。当然、直ちにビームを停止したが、なかなか揺れがおさまらず皆で外に飛び出した。揺れはかなり長く続いて治った。その時点から全てが経験したことのない非日常の世界に変わった。地震発生から 2 分半ほどでセンター全体が停電し、地下の加速器の様子は 3 月 17 日の復電まで調査できなかった。その後、徐々に加速器の被害状況の調査を開始し、以下のような被害状況が明らかになった。特に 300 MeV 電子ライナックの高エネルギー部の状態は、建設から 40 年以上経過していることもあり老朽化と相まって深刻な状況であった。

- ・ 300MeV 電子ライナック
  - (1) RF 伝送用真空導波管の破損
  - (2) 複数箇所の亀裂による加速器本体の真空漏れ
  - (3) 冷却水システムの水漏れ
- ・ 1.2 GeV 電子シンクロトロン
  - (4) シンクロトロンのアライメントずれ
  - (5) シンクロトロン電磁石電源の故障

今後の計画では加速器を中心に復旧できるように鋭意頑張っているが、あと 1 年ぐらいの時間を要するであろう。加速器やビームラインの変更も余儀なくされる。第二実験室のブースターリングのインジェクターは新設される予定であり、これまでの電子ライナックは第一実験室のみの低エネルギー大電流占有マシンになる予定である。下図を参考にして頂きたい。利用者の皆様にはご迷惑をお掛けするが、もうしばらくお待ち頂きたい。



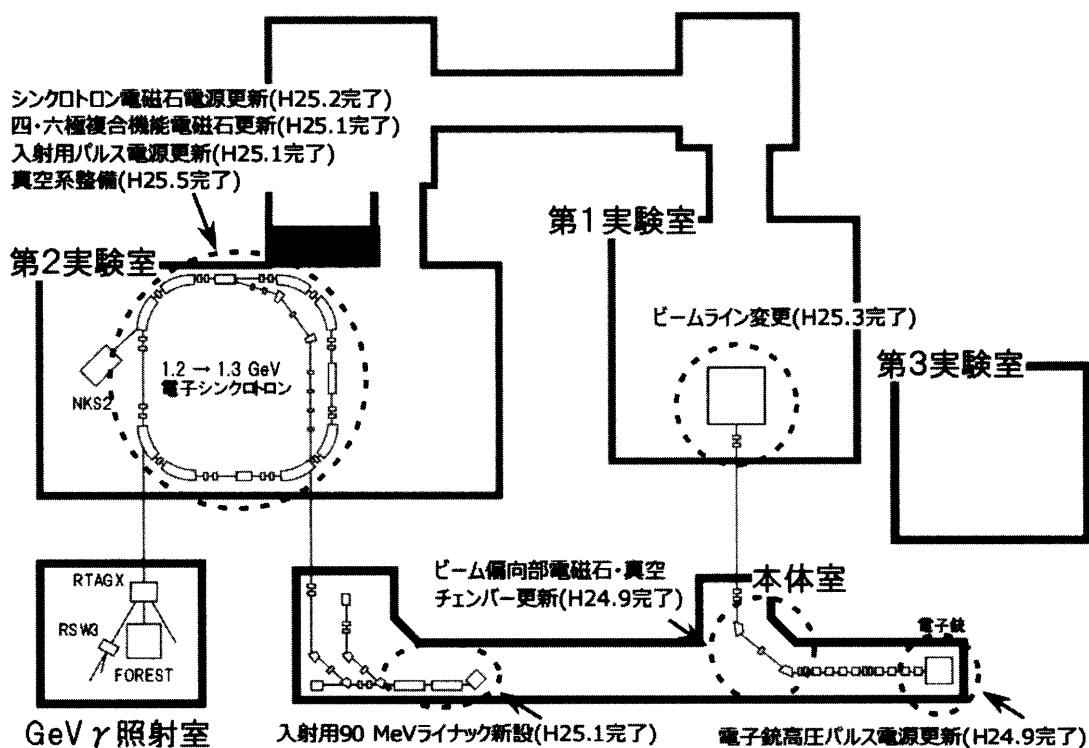
(大概勤)

[以下は 2013 年 7 月における最新情報です。]

東北大電子光物理学研究センターの 2013 年 7 月時点での現状を説明します。図に当センターの現在の加速器の様子を示します。震災により被害を受けた 300 MeV 電子ライナックは電子シンクロトロンへの入射器としての役割を切り離し、低エネルギー部を利用した大電流電子 (RI 製造) 専用の 60 MeV 電子ライナックとして作り替えられました。これにより、大電流電子ビームラインは震災前のビーム強度を維持したまま、シンクロトロンとは独立した運用が可能となります。一方、電子シンクロトロンへの入射器は 90 MeV 電子ライナックを新設しました。費用の観点からこれまでの 300 MeV よりも到達エネルギーが低くならざるを得なかつたために、シンクロトロン電磁石電源の改良を行い、より低い入射エネルギーから加速できるようにしました。最大エネルギーは 1.3GeV となる予定です。

これらの復旧・復興工事はほぼ完成し、現在、加速器の立ち上げおよびビームコミッショニングを行っているところです。既に電子シンクロトロンでは 1GeV 以上までの加速を確認しており、低エネルギー部も高周波(RF)源の試運転を行っています。加速器群の構成が大幅に変更されたため、変更申請、施設検査のスケジュールにもよりますが、2013 年末から共同利用を開始する予定で準備を進めています。それに先立って共同利用研究の公募も行われますので、多くの研究テーマの応募をお待ちしております。

これまで多くの方々から多大なる支援・励ましをいただきました。また、共同利用を停止している状況において共同利用者の皆様にはご迷惑をおかけしております。東北大学電子光理学研究センタースタッフは復旧復興に向けて取り組んでおりますので、今しばらくお待ちください。



(菊永英寿)

# 事務局より

## ◇2010年度第2回放射化分析研究会拡大幹事会議事メモ

日時：平成23年9月20日 18:40—20:10

場所：長野市若里市民センター（2011年放射化学会会場）

出席者：海老原充，三浦勉，大浦泰嗣，尾崎大真，久保謙哉，松尾基之，矢永誠人，箕輪はるか

### 1. 次期（2011年度）幹事の選挙報告

松尾選挙担当幹事から今回の選挙に関して報告があった。当初11名の推薦があったが、うち2名は非会員であることが分かり、9名の候補者を対象に、選挙を行った。得票順に7名の候補者を当選とした。（開票は海老原、三浦幹事が実施）

### 2. 2011年度幹事の確定

選挙結果を踏まえて、2011新年度の幹事を以下の通り確定した。

新規選出幹事（任期：2013年総会まで）

大浦泰嗣，佐野貴司，高宮幸一，松江秀明，松尾基之，箕輪はるか，矢永誠人

継続幹事（任期：2012年総会まで）

海老原充，河野公栄，澤幡浩，関本俊，三浦勉，宮本ユタカ

### 3. 2011年度任務分担

2011年幹事の役割分担を以下の通り決定した。

行事・企画：三浦，箕輪，関本

ネット：高宮，河野

編集：大浦，箕輪，佐野

選挙：松尾，松江

会員：矢永，宮本

会計：澤幡，宮本，三浦

監査：松尾

庶務一般：海老原

### 4. 事務局

会の運営を柔軟に行える様にするため、事務局はおかげ、仕事はすべて幹事が分担することが提案された。事務局を廃止するために、会の申し合わせ第5章の改訂を検討した。

### 5. ホームページ

ホームページの運用に利用している国立情報学研究所のサービスが2012年3月で廃止される。これにかわるサーバーを手当てる必要があるが、ネット担当幹事に検討してもらうことにした。

### 6. 分析展での活動

分析展2011でのブースとセミナーに関する活動と経費の報告が三浦幹事よりあった。来年度以

降も同様な活動を続けることとした。

## 7. 他学会との関わり

日本放射化学会や日本中性子科学会との連携について意見を交換した

## 8. 次回幹事会

次回幹事会は京大原子炉の専門研究会（冬の学校）にて行う予定。

# ◇2010年度放射化分析研究会総会報告

日時：2011年9月21日11時50分～

場所：長野市若里市民センター（2011年放射化学会年会会場）

## 議題・話題

### 1. 次期（2011年度）新幹事の選挙（選挙管理担当幹事：松尾、海老原）

### 2. 2011年度幹事（2011.9.21から次年度総会まで）（アイウエオ順）

新規選出幹事（任期：2013年総会まで）

大浦泰嗣、佐野貴司、高宮幸一、松江秀明、松尾基之、箕輪はるか、矢永誠人  
継続幹事（任期：2012年総会まで）

海老原充、河野公栄、澤幡浩之、関本俊、三浦勉、宮本ユタカ

### 3. 2011年度任務分担

行事・企画：三浦、箕輪、関本

ネット：高宮、河野

編集：大浦、箕輪、佐野

選挙：松尾、松江

会員：矢永、宮本

会計：澤幡、宮本、三浦

監査：松尾

庶務一般：海老原

### 4. 2010年度の活動報告

(1) 総会（2010年9月27日、2011年9月21日）

(2) 冬の学校（京大原子炉実験所専門研究会）、第1回拡大幹事会

(3) MTAA13 参加助成

(4) 分析機器展でのブース出展（2011年9月7日～9日）、workshop 開催（9月8日）

(5) 選挙（2011、2012年度幹事の選出）

(6) 第2回拡大幹事会（2011年9月20日；放射化学会年会時）

(7) 会誌の発行（No.27）

### 5. 2011年度の活動計画

- (1) 冬の学校（京大原子炉実験所専門研究会），第1回拡大幹事会
- (2) 分析機器展でのブース出展，workshop 開催（2012年9月；幕張メッセ）
- (3) 選挙（2011, 2012年度幹事の選出）
- (4) 第2回拡大幹事会（2012年10月；放射化学会年会時）
- (5) 総会（2012年10月；放射化学会年会時）
- (6) 会誌の発行（No.28,29,30）

## 6. 懸案事項

- (1) 会員管理の徹底
  - 未納会員対策
- (2) 会誌の活性化
- (3) 他の組織との関わり
  - ・放射化学会
  - ・中性子科学会
  - ・非破壊検査・可視化・分析技術研究会
  - ・KUR 利用者の会

### 拡大幹事会と総会での議論の要点

1. 2011年度は会員管理を柔軟に行える体制を整えることで合意されました。これまで開放研（実質的には澤幡さん）が会員管理を引き受けて頂いていました。これはJA3の組織が開放研ユーザー主体のものであったという、会の発足の経緯を受けてのものです。JA3が実質的にall Japan体制になり、それに伴って、会の運営もより柔軟になる必要があることから、会員管理を開放研に固定せずにより柔軟に行えるようにしようというものです。
2. 会の財政状況はMTAAの余剰金があるために、見かけは安泰に見えますが、経常的には必ずしもその限りではないのでないものと推察されます。これまで会費の納入についてはあまりやかましく考えることをしませんでした。しかし、会費未納でも会誌が送られている事実が指摘されており、極端な状況があれば是正する必要があります。会費納入を厳しくして、未納会員を会員リストから削除する（除籍という言葉は使いたくないのですが）と会員数が減ってしまうことはなりますが、やはり実体をしつておく必要があり、その上で身の丈に合った活動を行うべきであるとの意見で一致しました。
3. 会誌の活性化は常に話題になりますが、会誌あってのJA3だともいえますので、これはいつも話題にされるべきことだと認識で一致しました。
4. 他学会との関わりですが、当然放射化学会との関わりは強いわけですが、例えば研究炉の将来について、放射化学会が学会としてどのくらい重要だと考えているかというと心許なくなることがあります。これは放射化学会の会員で研究用原子炉を必要としている人がかなり少数だという現実を反映していると思われます。一方、中性子科学会は会を上げて研究用原子炉の重要性を議論し、いろいろな方面に要望書を提出しています。明らかに研究用原子炉に対する熱意が放射化学会とは違います。JA3が放射化学会にもっと積極的に働きかけるべきだという意見もあり、今後是非その様にすべきだと思いますが、中性子科学会との連携等を考えることも、場合によっては必要ではないか、と思われます。この4の内容は総会で議論する時間的余裕がなく、現時点では海老原個人の意見とすることですが、今後幹事会等で積極的に議論していきたいと思います。

5. 他の組織との連携もいろいろ考えられます。積極的な連携を行って、放射化分析の良いところを積極的にアピールして、会の活性化に繋げていくことで合意しました。

## ◇2011年度放射化分析研究会臨時(拡大)幹事会議事メモ

日時：平成24年2月1日17時頃から1時間弱

場所：京都大学原子炉実験所 事務棟小会議室

出席者：海老原充、三浦勉、宮本ユタカ、高宮幸一、関本俊

### 議題

#### 1. 会費納入と会員管理

本研究会の会計幹事の宮本氏より、会員の会費納付に関する資料が配られ、会員の管理の現状について報告があった。報告（資料）の内容は；

- (1) 2012/1/30 の時点で、会員 157 名中 55 名から会費の納付が確認されている、
- (2) 21 名の送付先不明があり、4 名の退会希望があった、
- (3) 法人からの納付はまだない。

これまで会員の管理については余り厳密に実施してこなかったが、会の財政をより健全にすることが望まれること、会員間の利益・不利益のバランスを計るべきこと、こうした業務を一幹事（澤幡幹事）に委ねてきたことは責任や負担の分散という観点から適当でないこと、等を考慮して、今後、次の様な方針で会員管理とそれに基づく会費納入を実施することが適当であるとの結論に達した；

- (1) 会員リストを早急に整備することとし、この責任者を宮本幹事が務める。宮本幹事は必要に応じて他の幹事に協力を求めながら実施する。
- (2) 具体的には、まず2011年11月に会誌及び会費の振り込み用紙を送った157名のリストを作成する。ついで、上記157名以外に会員として登録する必要が生じれば、そのつど、澤幡幹事より情報を宮本幹事に送り、最新の会員リストを作成する。
- (3) 新しい会員リストは.xlsx file等で作成し、研究会幹事が共有できるようにする。各幹事はその責任で、リストの書き替え、削除等の編集が出来るようになるが、幹事間に周知するとともに、最終責任は会員担当幹事（現時点では宮本幹事）が負うものとする。
- (4) 会のより健全な運営に向けて、会費納入と会誌発送を整合させる。そのためには、会員の除名、会員資格停止に関する会則を早急に議論し、施行する。会員の種別を現行より多様化（たとえば、永年会員、名誉会員等の創設）し、これまでの伝統を引き継ぐような、広報活動に資する方策を導入することも考慮する。
- (5) 以上の会員管理に関する業務移行は、JA3のwebsiteのサーバー移行（後述）と同時に始めことが望ましい。その際、マーリングリストについても会員管理の業務の一環として行うことが合理的である。

#### 2. JA3のホームページをおくサーバーについて

高宮幹事より、JA3のwebsiteのサーバー移行を行う必要があり、それには3万円必要であることが報告された。これに付随して、会員のマーリングリストの管理について議論され、会員のマーリングリストは会員情報と密接にリンクすることから、その管理を会員管理の業務とすることが提

案され、了承された。従って、今後の会員のメーリングリスト管理は会員幹事（現行では宮本幹事）が責任をもって行う。この時期はサーバーの移行時期と同時に行うことが適当である。

### 3. 今年度の会の活動について

三浦幹事をから、昨年同様、今年度も 2012 年の分析機器展への放射化分析研究会からの出展が提案された。内容として放射線計測も含めるかどうか、実施形態として別のグループと相乗りを行うかどうか、等について議論した。具体的な内容等については三浦幹事を中心に幹事の意見集約を計り、実施に向けて活動することが合意された。

### 4. その他

海老原幹事より今後の会の活性化を図るためにいかのような依頼、提案があった；

- (1) 大浦編集幹事からの伝言として、会誌の活性化のための案を出して欲しい旨の依頼があった。
- (2) JA3 の認知度の低い（と思われる）KUR ユーザーに JA3 の活動を知つてもらい、利用者として連携を強化するために、JA3 への入会を呼びかけてほしい。
- (3) 今後の JA3 の活動を国内ばかりでなく、国外にも向ける必要がある。その足がかりの第一歩として、アジア・オセアニアにおける連携が考えられるが、すでにアジア原子力協力フォーラム(FNCA) (<http://www.fnca.mext.go.jp/>) を通じて連携が成り立っているので、今後、これを強化し、更なる連携の道を探ることを考えるべきであろう。

## ◇2012 放射化学会年会・第 56 回放射化学討論会 放射化分析分科会議事録

日時：平成 24 年 10 月 5 日 12:00 - 12:55 （年会 3 日目）

場所：東工大蔵前会館 1 階 ロイアルブルーホール（討論会 B 会場）

参加者：20 名

### 放射化分析分科会

●施設報告【JRR-3 の再開の見通しと、平成 25 年度の JRR-3 施設供用利用・大学共同利用の公募の方針についての紹介】(JAEA・松江)

#### ・質疑

JAEA 所属の施設共同利用の担当者が複数名いるがそれぞれの役割が明確でない。外部の者にもわかりやすくしてほしい。（海老原）

●施設報告【再開後の KUR における共同利用の状況と、今年度の京大炉での専門研究会の案内】(KUR・関本)

1 月 25 日に京大炉にて研究会を予定している。

#### ・質疑

京大炉の研究会は冬の学校も兼ねる。機会を捉えて宣伝をしてほしい。（松尾）

研究支援のお願い。KUR でも開放研のように利用状況の連絡などきめ細かな支援をしてもらえるとありがたい。（海老原）

## 放射化分析研究会総会

### ●会計報告

#### ・特別会計

収入：MTAA12, ハンドブック／支出：渡航費 2名

#### ・2010 年度一般会計報告（松江，澤幡氏の代理）

収入：2010 年度会費／支出：会誌 No.26 発行

※会誌の発行が年一回だったため支出が前年度より少なかった。

#### ・2010 年度監査報告（河野）

#### ・2011 年度一般会計報告（松江，澤幡氏の代理）

収入：2011 年度会費／支出：会誌 No.27, 28 発行

※会誌を年 2 回発行したため赤字になった。

#### ・2011 年度監査報告（松尾）

特別会計，2010 年度，2011 年度一般会計とともに本総会にて承認された。

### ●幹事選挙の結果報告（松尾）

・新幹事として，海老原，大槻，澤幡，関本，三浦，宮本が選ばれたことの報告。

### ●新幹事の新たな役割分担についての承認（松尾）

代表幹事： 松尾

行事・企画： 三浦，大槻，関本

ネット： 高宮，箕輪

編集：大浦，箕輪，佐野

選挙：海老原，松江

会員：宮本，矢永

会計：澤幡，宮本，三浦

監査：海老原

### ●今後の選挙制度について（海老原）

・選挙を二年に一度にする。そのために 2011-2013 の幹事に、幹事期間の一年延長をお願いし、承認された。（ちなみに、2011-2013 の幹事は、大浦，佐野，高宮，松江，松尾，箕輪，矢永）  
・幹事には、放射化分析を行う施設側の人に必ず入ってもらうようにする、という案も出た。

### ●幹事の役割の明確化について（新代表幹事：松尾）

・各役割に当たった幹事においては、自発的にその役割に当たることが求められた。

### ●その他、活動報告など

・2012 年 9 月に JASIS2012 (分析展 2012) で放射化分析研究会としてセミナー及びブース出展。

参加者 52 名（三浦）

・Web サイトについて。NII (国立情報学研究所) のサーバがサービスを停止したため、Web 一時停止、新ドメイン取得しサーバ変更手続き、現在移行作業中。（高宮）

- ・会誌の発行について、次号 No.29 の発行が遅れている。発行予定は未定。（大浦）
- ・MTAA12 の残金について、放射化分析研究会の特別会計に組み入れたが、ICAA から一部寄付の打診があり、対応することにした（海老原）。また、一部は次年度の APSORC の際の活動資金として使用することを考えたらどうかとの提案があった（大槻）。
- ・会費納入調査について、会費納入者は全会員の 30～40%（宮本）

## ◇2012 年度第 2 回放射化分析研究会拡大幹事会議事録

日時：2013 年 1 月 25 日 17 時頃～1 時間弱

場所：京都大学原子炉実験所 事務棟小会議室

参加者：松尾、関本、大槻、大浦、菜袋、久保、箕輪、高宮（着席順）

### 1. 分析展 2013 のセミナーテーマに関して

- ・研究会のランチセッションで、この件について事前に議論を行った。  
ここで出た意見・議論の内容は、松尾代表幹事が別途三浦氏に連絡する。

### 2. APSORC2013 に関して

- ・JA3 としてどのように寄与するか、独自に何かイベントを行うか等を検討した。  
例えば、招待講演者（外国人）を推薦する事が考えられる。  
行事担当の大槻氏より APSORC の program committee に連絡をとり、引き続き検討を重ねる。

### 3. 新ドメインでの web サービスに関して

- ・現行の ML は JA3, JA3-kanjikai とも基本的には work している。  
ただ、あらたにメンバーになった人が登録されていないという問題<sup>1</sup> がある。  
とりあえずは、現行のものを使うことを確認した。

### 4. 会誌に関して

- ・No. 28 は、2011 年に発行された。No. 29 については、広告の原稿がないため、未だに発行できず。  
広告の原稿が出てこないのが一番の問題<sup>2</sup>。
- ・会誌の古い方の pdf 化は進んでいるのか？  
--->全て終了しているので、web 上でリンクを張って、見られるようにする。

### 5. その他

- ・本研究会の事務局は開放研のままで良いか？  
--->どこかに事務局がある形を取る方がよい。従って、開放研のままで良い。但し、事務的な仕事は皆で分担して行い、開放研のみに負担がかからないようにする。
- ・会費請求書は会誌に同封するので、前回の請求は No. 28 の発行された 2011 年である。通常は偶数号で請求するが、一年以上間隔が開いているので、No. 29 に同封する。それでも 1 年分の会費が抜けてしまうが、会誌を発行していないのに請求するわけに行かないもので、良しとする。
- ・名簿および、お金の管理をもっとフレキシブル（複数の幹事がアクセスできる）にすべきであるとの意見が出た。

これを解消すれば、

→事務局からの必要経費の振込に時間がかかりすぎている問題。

→上記\*1, \*2 の問題

が解決される。この件は、澤幡幹事と相談の上、引き続き検討を重ねる。

- ・選挙規約の改訂については、海老原、松江両幹事に次回の幹事会までに対応してもらうことにする。

# カレンダー

2012/6/24 - 29

Goldschmidt 2012

Montréal, Canada

<http://www.goldschmidt2012.org/>

2012/6/25 - 29

13th International Symposium on Biological and Environmental Reference Materials  
(BERM13)

Vienna, Austria

<http://www-pub.iaea.org/MTCD/Meetings/Announcements.asp?ConfID=41983>

2012/7/9 - 11

第49回アイソトープ・放射線研究発表会

東京大学弥生講堂

<http://www.jrias.or.jp/seminar/cat4/49-20127911.html>

2012/7/11 - 13

第21回環境化学討論会

愛媛大学

<http://www.j-ec.or.jp/conference/21th/index.html>

2012/9/17 - 21

8th International Conference on Nuclear and Radiochemistry (NRC-8)

Como, Italy

<http://nrc8.mi.infn.it/>

2012/9/19 - 21

日本分析化学会第61年会

金沢大学角間キャンパス

<http://www.jsac.or.jp/~61nenkai/>

2012/10/3 - 5

2012日本放射化学会年会/第56回放射化学討論会

東京工業大学大岡山キャンパス

<http://www.nr.titech.ac.jp/sorc56/>

2013/7/3 - 5

第50回アイソトープ・放射線研究発表会

東京大学弥生講堂

<http://www.jrias.or.jp/seminar/cat4/501.html>

2013/8/22-24

12th Asian Conference on Analytical Sciences (ASIANALYSIS XII)

九州大学病院キャンパス

<https://conv.toptour.co.jp/shop/evt/asianalysis/>

2013/9/10-12

日本分析化学会第62年会

近畿大学東大阪キャンパス

<http://conference.wdc-jp.com/jsac/nenkai/62/>

2013/9/22 - 27

Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry (APSORC-13)

金沢文化ホール

<http://www.radiochem.org/apsorc13/>

2013/9/22 - 27

6th International  $k_0$ -User's Workshop

Budapest, Hungary

<http://www.6thk0-user-workshop.mke.org.hu/>

2014/5/11-16

17th Radiochemical Conference (RadChem2014)

Marianske Lazne, Czech Republic

<http://www.radchem.cz/>

要旨締切: 2013/11/30

## 編集後記

☆ 約1年半ぶりの発行です。毎号に発行の遅れのお詫びをし、遅れないように努力する旨を書いてまいりましたが、なかなか状況を好転させることができませんでした。責任をとつて編集幹事を辞任したいところですが、2013年度も編集幹事を仰せつかりましたので、ひきつづき遅れないように鋭意努力を続けていきますので、よろしくお願ひいたします。

○ No.30で予定していた原稿も前倒しで本号に掲載しましたので、久しぶりに厚くなりました。特集もあります。施設だよりの情報は古くなってしましましたので、あらためて担当者の方から情報を提供していただきました。1年前の情報もただし書きをつけてそのまま載せましたので、ご注意ください。

△ 長く発行が滞っておりましたが、この間に JRR-3 の運転再開はありませんでした。それどころか、高速炉もんじゅでの安全点検にかかる問題や J-PARC における放射性物質の漏えい事故により JAEA は組織の抜本改革が行なわれようとしています。共同利用や施設共用がどのように継続されるかが気になります。

□ 一方、震災により大きなダメージをうけた東北大学の電子線形加速器の復旧がおわり、運転再開に向けて動き出しています。最近は、光量子放射化分析(PAA)の利用が少ない状況でしたが、RI コースは震災前よりもマシンタイムが長く取れるようですので、PAA を利用してみませんか。

(Y.O.)

## 本会誌の内容および投稿募集

放射化分析研究会の情報媒体は、定期刊行機関紙「放射化分析」、および電子メールです。会誌「放射化分析」は下記の記事で構成されます。

### 講座・特集・解説：

専門的な記事を毎号企画していきます。記事の内容についてのご希望や提案をお寄せください。

### 研究紹介：

放射化分析に関する研究、放射化分析を用いた研究を紹介していきます。  
研究の当事者にまとまった内容を執筆していただくものと、秀れた論文を紹介するものがあります。  
特に紹介したい研究についてご意見をお寄せください。

### Q&A：

会員から質問を受けて、回答やアドバイスを掲載します。どのような質問でも結構です。  
回答者は幹事会が責任をもって会員の中から選定します。

### 施設だより：

放射化分析を行うことができる共同利用施設の近況報告、また、採択されている研究課題などを掲載します。

### 談話室：

会員の気軽なおしゃべりの場です。要望、話題、新刊紹介、その他、どのような内容でも結構です。

### 若い声：

学生や若手研究者およびこれから放射化分析を手がけようとする方々の新鮮な声を反映させる欄です。

### 研究会報告・最近の動向等：

最近開催された研究会の報告です。放射化分析が取り扱われている研究は広範囲な分野に顔を出している筈です。放射化分析が関係している研究課題が1件でもあれば、この欄に取り上げたいと思います。

会員の皆さんからの情報提供をお待ちしています。

### 博士論文・修士論文・卒業論文抄録

### 事務局より

### 会員名簿

原稿はA4横書き、40字x40行、上下マージン25mm、左右マージン20mmを標準として、電子ファイルにより提出してください。編集の際にレイアウトを工夫させていただくこともあります。これ以外でもご相談に応じます。

本会誌に掲載された著作の著作権は放射化分析研究会に帰属します。

## 電子メーリングシステム

会員及び幹事会の電子メールアドレスが、下記のエイリアスに登録されています。  
これを用いて会員相互の交流・意見交換を促進していきます。

会員： JA3@kaihoken.nuclear.jp

幹事会： JA3-kanjikai@kaihoken.nuclear.jp

JA3@kaihoken.nuclear.jp に発信すれば、(電子メールアドレスが登録されている)  
会員全体に配信されます。

幹事会・事務局への連絡・要望等は JA3-jimu@kaihoken.nuclear.jp に発信して下さい。

メールアドレスを持っているけれど、事務局等からの電子メール  
を受け取ったことの無い会員は、アドレスが正しく登録されてい  
ない可能性があります。お心当たりの方は事務局宛ご連絡下さ  
い。入力を修正します。

### 放射化分析研究会

事務局 319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

日本原子力研究開発機構内 東京大学共同利用管理本部

TEL 029-282-5516 FAX 029-287-2464

E-mail: JA3-jimu@kaihoken.nuclear.jp

HomePage: <http://j-activation-analysis.org/>

### 幹事

海老原充・大浦泰嗣・大槻 勤・佐野貴司・澤幡浩之・関本 俊・高宮幸一・  
松江秀明・松尾基之・三浦 勉・箕輪はるか・宮本ユタカ・矢永誠人