

2010年7月

# 放射化分析

No.26



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（武蔵工大・工学部）によるものです。

# 放射化分析 No.26

## 目次

### 研究紹介

平成 21 年度京都大学原子炉実験所専門研究会

岩石・隕石中の微量希土類元素の放射化学的中性子放射化分析による定量

栗飯原はるか, 大浦泰嗣, 海老原充 1

雪氷中の粒子状物質を用いた大気環境評価に関する研究

藤井政光, 小豆川勝見, 松尾基之 3

Trace element analyses of howardites and polymict eucrites using NAA methods B.S.

Wee, Y. Oura, M. Ebihara 6

Source apportionment of airborne PM10 at a small industrial area using INAA and PMF

Jin-Hong Lee 11

KUR の現況&その他

関本 俊 12

NAA activities and Thai food

S. Laoharajanaphand, A. Busamongkol, V. Permmamthip, K. Judprasong, R.

Zwicker 17

Recent Analytical Studies by using INAA/PGAA/DNAA in KAERI.

Jong-Hwa Moon 23

毛髪が多元素放射化分析 -生物学的モニタリング-

大森 佐與子 33

中性子放射化分析における Internal single comparator 法の可能性

三浦 勉 46

### 研究会報告

APSORC09

APSORC09 に参加して

木川田 喜一 53

APSORC09

初川 雄一 53

セキュリティーしていますか

宮本 ユタカ 54

APSORC'09 に参加して

百島 則幸 56

平成 21 年度京都大学原子炉実験所専門研究会

参加者の視点から

豊田 和弘 59

開催報告

関本 俊 61

### 平成 21 年度博士論文抄録

食品からの安定元素と放射性核種の摂取量評価に関する研究

飯島 育代 64

平成 21 年度修士論文抄録

還元的环境下における底質中の元素の挙動と化学状態に関する研究	原 直樹	66
ICP-MS 法を用いた岩石試料中の Zn, Cd, In, Tl, Pb, Bi の定量法の確立と Tafassasset 隕石への適用	田村 麻衣	69
微量元素組成に基づく月隕石 Dhofar 1428 起源地域の物質進化の考察	日高 義浩	71
宇宙地球化学的試料への適用をめざした多重即発ガンマ線分析法の基礎検討	渡部 良	73

平成 21 年度卒業論文抄録

栄養機能性食品の生体ミネラルに及ぼす影響	大石 彩奈	75
緑茶・紅茶・ハーブ・生薬の効能と元素濃度の差異に関する研究	加藤 真梨	77
秋田県人の寿命に関する研究～秋田県のミネラル含有量について～	番場 紀子	79
中性子放射化分析によるヒ素の定量の半減期依存性	宮原 一平	81

施設便り

日本原子力研究開発機構原子力科学研究所	82
東京大学共同利用管理本部	83
京都大学原子炉実験所	85
東北大学電子光物理学研究センター	85

事務局より

87

カレンダー

88

編集後記

会員名簿

広告

# 研究紹介

平成 21 年度京大原子炉実験所専門研究会

岩石・隕石中の微量希土類元素の放射化学的中性子放射化分析による定量

Determination of trace lanthanoids in rocks and meteorites by  
radiochemical neutron activation analysis

粟飯原はるか, 大浦泰嗣, 海老原充

首都大学東京大学院理工学研究科

## 【はじめに】

希土類元素 (Rare earth element; REE) は地球・宇宙化学で最も重要な元素グループの一つである。REE は一部の地球岩石といくつかの隕石タイプで強く枯渇している。そのため低い存在度の試料で正確な定量値を求めるためには放射化学的中性子放射化分析 (Radiochemical neutron activation analysis; RNAA) 法が最も信頼性の高い分析法といえる。RNAA により正確な REE のデータを得るためには  $^{235}\text{U}$  の中性子誘導核分裂による軽希土類元素 (light REE; LREE) への寄与を正しく補正する必要があり、本研究ではその点に特に焦点を当て分析値の評価を行った。この研究の最終目的は特に LREE が強く枯渇している隕石グループであるユレライト隕石中の REE 存在度を求めることである。ユレライト隕石は明らかに分化した岩石学的特徴を示すにも関わらず、始原的な痕跡を持つ特異な隕石グループである。

## 【実験】

試料は岩石標準試料 JP-1 (カンラン岩), JR-2 (流紋岩), JG-2 (花崗岩) に加え, Allende (CV3) 隕石の分析を行った。また未知試料であるユレライト二試料 (NWA 2234, NWA 3222) も分析を行った。各試料約 70 mg を石英管に封入し, 希土類元素の化学標準試料とともに日本原子力研究開発機構の研究用原子炉 JRR-3 (熱中性子束;  $9.6 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) にて 24 時間中性子照射を行った。RNAA の操作は Minowa and Ebihara (2003) [1] を基に行った。この方法は水酸化物・フッ化物沈殿の生成と陰イオン交換, 抽出クロマトグラフによって精製する。化学収率は誘導結合プラズマ原子発光分光分析 (ICP-AES) により求めた。

さらに本研究では核分裂寄与補正のため核分裂生成物  $^{140}\text{Ba}$  から U を定量することを計画している。そこで Ba の挙動を確認するため  $^{131}\text{Ba}$ ,  $^{133}\text{Ba}$  と, さらに  $\gamma$  線測定の影響になると予想される放射性核種 ( $^{46}\text{Sc}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ) を用いたトレーサ実験を行った。このトレーサ実験では RNAA の操作を追い, アルカリ融解, 水酸化物・フッ化物沈殿生成を行った。

## 【結果・考察】

トレーサ実験により Ba および妨害元素の挙動を確認した。最終的な REE フラクシオン中に含まれる Ba の量は無視できる程度であり, 最も多く Ba が回収できるのはアルカリ融解後沈殿を溶解し, アンモニア水により弱アルカリ性条件下で水酸化物を生成した時の上澄み液であった。このことから REE フラクシオン中では  $^{140}\text{Ba}$  から  $^{140}\text{La}$  への壊変は無視できると考えられる。また同一試料

中からの U 定量には Ba が最も多く回収できるフラクション中の核分裂生成核種  $^{140}\text{Ba}$  を利用する予定である。このフラクションには中性子捕獲により生成した Ba 核種も含まれており、これが  $\gamma$  線測定バックグラウンドレベルを上げるため U の検出限界は試料中の U/Ba 比に依存することになる。しかし  $^{140}\text{Ba}$  の娘核種である  $^{140}\text{La}$  を定量に用いれば Ba 核種の影響を受けずに感度良く定量することができる。Allende 隕石の場合の試算では  $^{140}\text{La}$  を用いた方が  $^{140}\text{Ba}$  によって定量するよりも約四桁 U の検出限界が下がると推定される。

JP-1, Allende は三回, JR-2, JG-2 およびユレライト二試料は一回の分析を行い REE の定量を行った。 $^{235}\text{U}$  からの核分裂の寄与を受けるのは  $^{140}\text{La}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{147}\text{Nd}$  である。Allende は LREE に対し U 含有量が少ないため推定された核分裂寄与は La, Ce, Nd のいずれでも 1%以下であるため補正を行わず、そのままの値で文献値と非常に良い一致を示した。一方 JR-2, JG-2 は LREE が豊富であるが相対的に U も豊富であるため核分裂による寄与が無視できない。特に Ce と Nd では寄与が 10%を超えるため深刻な影響を与える。これらの元素の定量値は寄与の補正を行うことにより推奨値により近づいた。JP-1 は三回分析しており、それぞれの照射回毎に核分裂寄与を補正したところ三回の標準偏差が小さくなった。本研究の JP-1 の定量値は GSJ による推奨値より全ての元素で低い値を示したが、いくつかの文献値[2,3]と一致した値となった。

岩石標準試料と Allende の核分裂寄与は文献値の U 濃度を用いて見積りを行ったが、今回分析したユレライト二試料は U 濃度が報告されていないためユレライトグループで報告されている中で最も高い U 濃度を用いた。ここで推定した核分裂寄与は最も影響を受ける Ce で NWA 2234 では 1%以下, NWA 3222 では 3.5%以下となり、これは実質上限値である。そのため今回 LREE の定量値を求めるに当たりユレライト二試料は核分裂寄与の補正を行わなかった。NWA 2234 と NWA 3222 の太陽系平均存在度である CI chondrite 中の存在度で規格化した REE 存在度パターンは中希土類元素が枯渇している V 字型のパターンと相対的に LREE が枯渇し重希土類元素に豊む右上がりのパターンをそれぞれ示した。この二つのパターンは典型的なユレライトの REE パターンであり、LREE の枯渇はおそらく斜長石成分の欠如の結果であると考えられる。一方、V 字型パターンは LREE に豊富な地球成分による汚染か、ユレライト母天体上での火成プロセスで生成した液体成分をトラップしたためと考えられている。本研究ではユレライト二試料に対して核分裂寄与の補正を行わなかったが、地球に落下後長時間経過して回収された隕石では地上での風化等の影響により U 濃度が高くなっている可能性もあり、同一試料に対して REE と同時に U 濃度を求める必要がある。今後 REE と U の同時定量法の検討を行う予定である。

[1] H. Minowa and M. Ebihara, Anal. Chim. Acta 498 (2003) 25.

[2] A. Makishima and E. Nakamura, Geostand. Newslett. 307 (1997) 21.

[3] P. Dulski, Geostand. Newslett. 87 (2001) 25.

(専門研究会報告書より転載)

## 雪氷中の粒子状物質を用いた大気環境評価に関する研究

(A study on evaluation of atmospheric environment from an aspect of particulate matter in snow cover)

東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻

藤井政光、小豆川勝見、松尾基之

### 1. 序

越境する大気汚染物質が、近年の東アジアの経済発展に伴い、わが国でも日本海側の地域で報告されている。また、中国の急速な砂漠化の影響で、日本への黄砂の飛来量が増加傾向にある。黄砂などの吸湿性のエアロゾルは、降水時に氷晶核として機能し、逆に氷晶核は周囲のエアロゾルを捕捉する。よって、降雪後に融解せず凍結した雪氷には、降雪時に大気中に浮遊していた粒子状物質が蓄積して保存されているため、それを採取することで冬季の平均的な大気の状態を評価することができると考えられる。以上を踏まえ、本研究は、日本各地の雪氷を採取し、その融解液中の粒子状物質を観察、元素分析、状態分析することで、大気汚染物質の種類やその挙動を明らかにすることを目的とする。

### 2. 実験

この発表では、酸性雨による植生の枯損が報告されていて、かつ付近に人為的汚染の要因の少ない立山・黒部地区の試料についての成果を報告する。採取地点は地形を変数として山脈を挟んだ4ヶ所（①Midagahara ②Murodou ③Kurobedaira ④Ogisawa）を選定し、採取した雪氷は自然融解した後、その融解液中の粒子状物質を孔径  $0.22 \mu\text{m}$  のメンブレンフィルタにて分離した。得られた粒子状物質は走査型電子顕微鏡（SEM-EDS）で観察し、同時に個々の粒子に対する元素分析を行った。さらに、フィルタ上の粒子状物質に対して機器中性子放射化分析（INAA）による元素分析と X 線吸収微細構造法（XAFS）による状態分析を実施し、特に Ca に着目して標準試料との比較を行った。また、1ヶ所の試料については多重即発  $\gamma$  線分析（MPGA）を試験的に実施し、試料中で特に希薄な元素や、INAA で測定できない元素の測定を試みた。

### 3. 結果と考察

SEM 観察により粒子状物質中にフライアッシュの存在が確認された (Fig. 1)。フライアッシュは石炭火力発電所で石炭を燃焼することで発生するものであり、遠隔地からの大気汚染物質の輸送を証明するものである。よって、フライアッシュが大気汚染物質の挙動を

示す一つの指標となりうると考えられる。

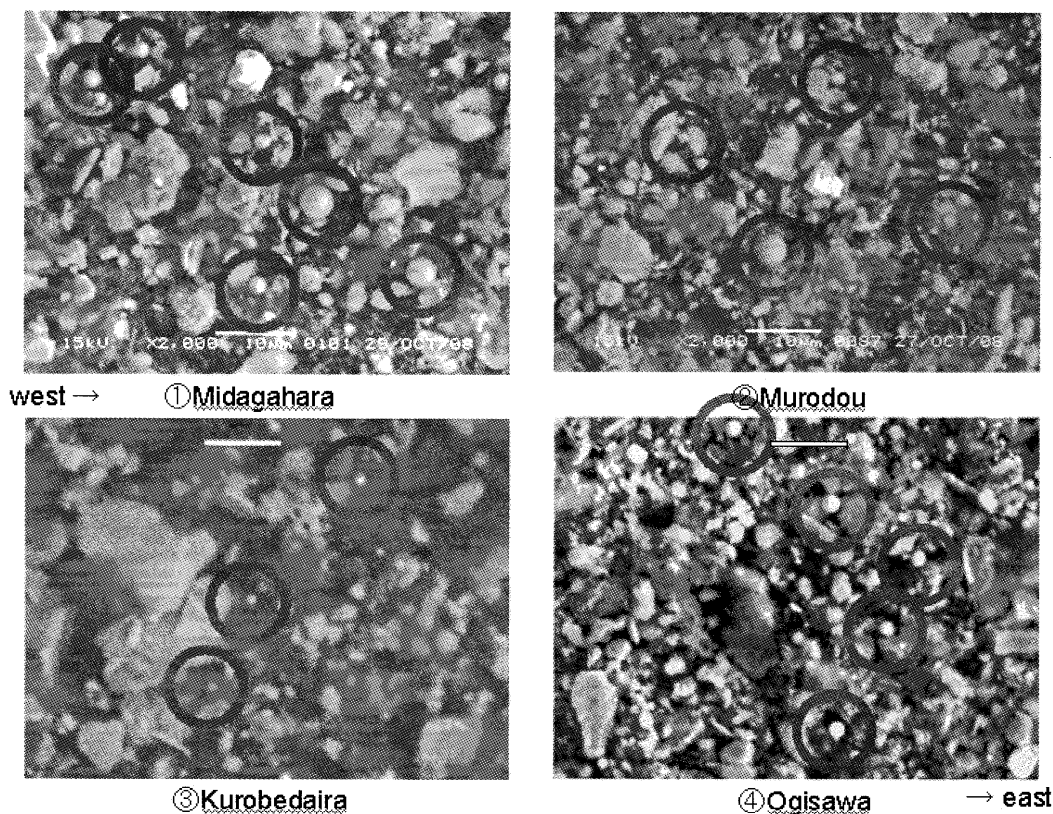


Fig. 1 : 粒子状物質の SEM 画像

INAA で得られた Ca の Al に対する質量比は、4つの地点のうち2地点は琵琶湖底質の標準試料である JLk-1 の値 (0.11) とほぼ同等の値を示したが、残る2地点は約 0.40 となった。この値は、中国の黄土の標準試料である CJ-1 の 0.97 より小さいが、JLk-1 より大きいことから、冬季の大気中にバックグラウンドとして黄砂が含まれている可能性を示唆するものと考えられる (Fig. 2)。

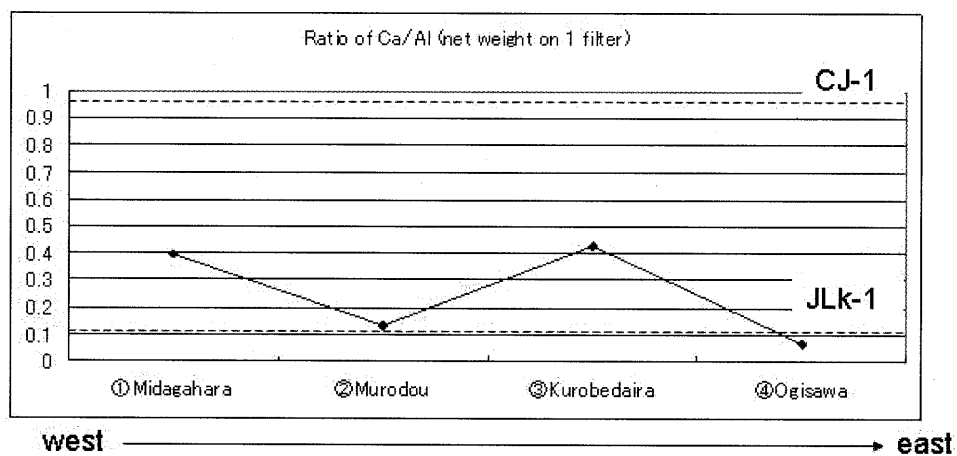


Fig. 2 : 各試料の Ca の Al に対する質量比 (点線は JLk-1 と CJ-1 の値を示す)



蛍光法XAFSによる状態分析では、CaのK端をターゲットとしたXANESのスペクトルは4地点の試料での差異は小さいということが分かった (Fig. 3)。これらのスペクトルと、calcite ( $\text{CaCO}_3$ )と gypsum ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )のそれを比較し、試料中のCaの主成分はgypsumであるとの結論を得た。この結果は採取地付近の土壌中のCaの状態と異なることから、Caを含んだ粒子状物質が大気中で $\text{SO}_4^{2-}$ と反応しgypsumとして存在しているものと推定された。このような現象があることは、タクラマカン砂漠付近のエアロゾルに関するTakahashi, Y. et al.<sup>1)</sup>の研究においても示されている。

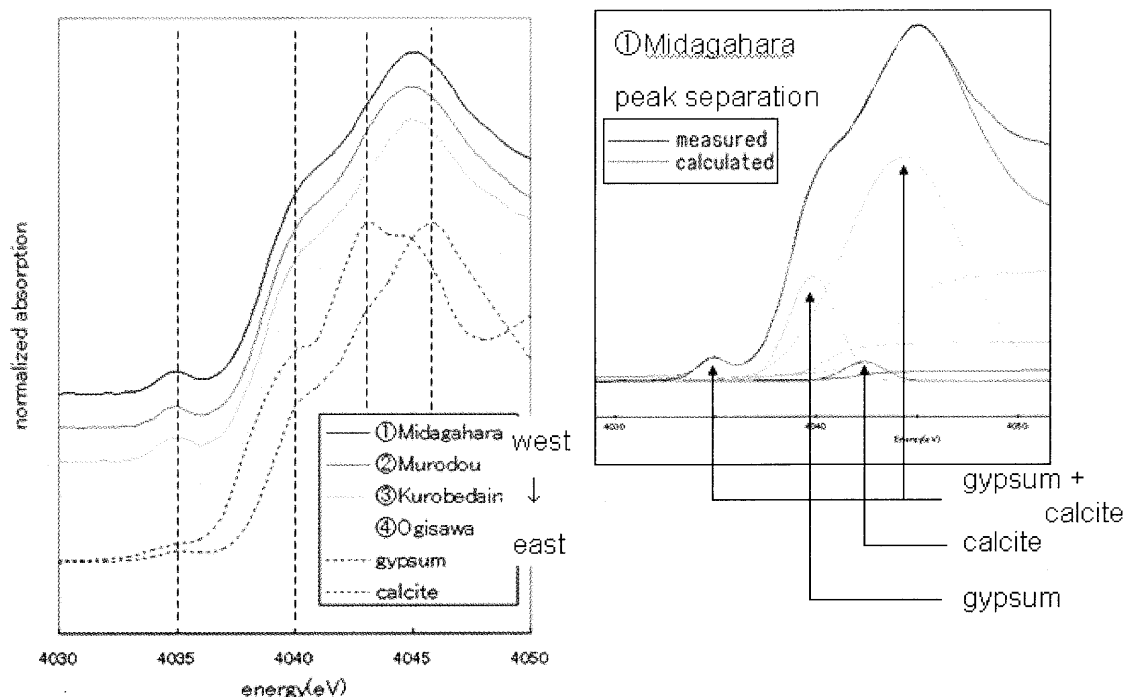


Fig. 3 : 各試料の Ca・K 端の蛍光法 XAFS スペクトル (左) とピーク分離の結果 (右)

以上から、立山・黒部地区の雪氷中の粒子状物質は、冬季の季節風の影響を反映したものであると考えられる。現在、群馬県、栃木県、北海道など他地域の雪氷試料の採取が完了しており、これらの試料との比較から、日本列島上空における大気浮遊粉塵の挙動の解明に関して、その一端を担うことが期待される。なお、MPGA の本研究への適用については、石油の燃焼による寄与が大きい Zn、V について、3 時間以上の測定で安定的な測定が可能であることが確認された。人為的影響を強く反映しているが試料中で希薄な元素や、INAA で測定することのできない Si、S、Cd の測定など、今後の本研究の遂行に資するものが大きいと考えられる。

<sup>1)</sup> Takahashi, Y., Miyoshi, T., Yabuki, S., Inada, Y. and Shimizu, H. (2008) Observation of transformation of calcite to gypsum in mineral aerosols by Ca K-edge X-ray absorption near-edge structure (XANES). *Atmospheric Environment*, 42, 6535-6541.

## Trace Element Analyses of Howardites and Polymict Eucrites using NAA Methods

B.S. Wee\*, Y. Oura, M. Ebihara

Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Metropolitan University, Minami-ohsawa 1-1,  
Hachioji-shi, 192-0397 Tokyo, Japan.

\*Present address: Malaysian Nuclear Agency, Bangi, Kajang, 43000 Selangor, Malaysia.

### Introduction

Meteorites are rocks fall from outer space. Meteorites are very old and their chemical compositions are essential for understanding of processes occur in the early solar system. In this study, we will focus on the differentiated meteorites from asteroid source. This group of meteorites consists of howardites, eucrites and diogenites (HED). The HED meteorites are believed to originate from asteroid 4 Vesta due to their similarities in reflectance spectra (McCord et al., 1970). Impact events in the parent asteroid have caused melting and mixing of various rock types, which formed the polymict breccias: howardites and polymict eucrites. Many of these howardites and polymict eucrites have no data for their trace element concentrations and this study provides the first data from neutron activation analysis (NAA). This study aims to determine chemical compositions of howardites and polymict eucrites and to put some constraints on the presence of impactor materials.

### Experimental

Seventeen meteorite samples were requested from National Institute of Polar Research (NIPR), Japan, and Meteorite Working Group of NASA, America. There are thirteen howardites namely CRE 01400, EET 87503, EET 87513, EET 99400, Kapoeta, LAP 04838, LEW 85313, MET 96500, QUE 97001, QUE 97002, QUE 99033, Y-7308 and Y-691573. The polymict eucrites are ALHA 76005, Y-74450, Y-75015 and Y-792769. All of these meteorites are from Antarctica except Kapoeta which is from Sudan.

All meteorite samples were homogenized in acid-cleaned agate mortar. In the initial experiment, all samples were subjected to prompt gamma-ray activation analysis (PGA). About 300 mg samples were packed using FEP films prior to PGA experiments. Irradiations were performed at the thermal neutron beam of JRR-3. Irradiation time is about 2 hours for each samples at neutron flux of  $10^8$  n cm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. Reference standard JB-1 and quality control material Allende were also included. High purity chemical reagents of B, Co, Cr, Mg, Ni, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and NH<sub>4</sub>Cl are used for elemental quantifications. Empty FEP bag was also irradiated for blank correction for elements Al and Na which is rather low at 0.28% and 0.01%, respectively.

Instrumental neutron activation analysis (INAA) consists of 2 irradiation schemes (10 s and 10 min). Samples of about 40 – 50 mg were doubly-sealed into PE bags prior to irradiations. For INAA, different irradiation and counting schemes are required to determine various elements in the sample. Short irradiation (10s) was performed at JRR-3 PN3 with neutron flux of about  $1.5 \times 10^{13}$  cm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> and Cd-ratio of 290. On the other hand, long irradiation (10 min) was performed at HR-1 with neutron flux  $9.6 \times 10^{13}$  cm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> and Cd-ratio of 8. It is common that a short irradiation of 10 s and counting time of a few minutes are required for determination of short-lived radionuclides such as Cl, K, Mg, Mn, Na, Ti, and V. A longer irradiation time of at 10 min is required for the determination of long-lived radionuclides such as Au, Co, Cr, Ir, Fe, Ni, rare earth elements, Th and Zn. Because of the variable half-lives of radionuclides, different cooling and counting schemes are utilized to obtain good counting statistics for most of the elements analyzed. Gamma-rays from the radionuclides are measured using Ge detectors fitted with multi-channel analyzer. Samples after the 10 min irradiations were measured at the Radioisotope Research Laboratory of TMU at different intervals in order to obtain data for various radionuclides. The spectra obtained from the detector are then analyzed using computer software to identify the various gamma-ray energies of each radionuclides. The peak areas for the

gamma-ray energies specific for the elements are calculated. A relative method using JB-1 as reference standard is used for most of the elements while Allende is used for Ni, Ir and Au quantifications due their low abundances in JB-1 (basalt).

## Results and Discussion

### *PGA data of Allende*

The Allende powder sample was analyzed repeatedly by using PGA during the course of this study. In The results of Allende in three runs are within 20% of literature values values (Jerosewish et al., 1987; Kallemeyn et al., 1989) except for Mg (585 keV) which deviates about 20 – 40%. The error bars are 1 $\sigma$  of counting statistics. For Si determination, the use of 3539 keV gives relatively good accuracy compared to 1273 keV. The element Mg was determined using 2828 keV and gives better result than the use of 585 keV. For the determination of Na at 472 keV which is interfere by B broad peak, the results are acceptable within 20% of literature values. The present data show that Mg 2828 keV peak and Na 472 keV give reliable results. Generally, the Si data from PGA is the most reliable than other elemental data where INAA is more superior.

### *INAA data of Allende*

The elements from Na to Zn are in agreement with literature values (Jerosewish et al., 1987; Kallemeyn et al., 1989) to about  $\pm$  20%. Elements from Ga to Hf deviations from literature values are larger than 20% except for La, Sm and Eu. Most of the heavy elements such as rare earth elements are imprecise as their low gamma-ray peaks interfered by high background and adjacent peaks which make their determinations difficult. Results between two runs deviate up to 11% except for Ga, Yb, Lu and Hf which show larger discrepancies but most of these results are within uncertainty in these two determinations. Only Tb shows two different results without overlapping. For element Tm, results are too high as the low energy peak is interfering by X-rays from decaying heavy elements and from lead shielding. For major elements Na, Mg, Al, K, Ca, Ti, Cr, Mn and Fe, and trace elements Sc, V, Co, and Zn, INAA data are preferred due to their good sensitivity. For other trace elements Ga, La, Ce, Sm and Eu could be used as information values. Thus, the REE, PGE, Th and U contents in meteorites are determined using ICP-MS which has good sensitivity and accuracy.

### *Siderophile elements in howardites and polymict eucrites*

Siderophile elements such as Co, Ni, PGE and Au are useful indicators for the presence of impactor materials because these elements are depleted compared to lithophile elements. Depletion of siderophile elements is due to their silicate-metal segregation. The presence of chondritic materials will increase the siderophile element contents in HED meteorites. The Co, Ni, Ir and Au of howardites and polymict eucrites are enriched compared to pristine eucrites and diogenites (Warren et al., 2009) indicate the presence of possible contaminations from impactor materials. In howardites, the CI-normalized values of Co, Ni, Ir and Au are within 0.1 – 0.001, which are higher than those of polymict eucrites analyzed in this study (Fig. 1). This signifies the presence of foreign materials with higher abundances of siderophile elements. In Kapoeta, LEW 85313, MET 96500 and QUE 97002, their Co, Ni, Ir and Au abundances are higher than the other howardites and polymict eucrites. In a Ni-Co plot (Fig. 2), howardites analyzed in this study are scattered within the ranges of literature values. A few of the howardites have Ni-Co abundances similar to those of CI signifying the presence of chondritic materials. However, variability in mixing of indigenous rocks may contribute to Ni and Co contents in howardites. The Au/Ir and Ni/Ir values for howardites and polymict eucrites are plotted in Fig. 3. It is evidence that the Yamato polymict breccias (Y-7308, Y-74450, Y-75015, Y-791573, Y-792769) are outside the chondritic ranges due to their high Au abundances. Gold contamination is suspected in the Yamato polymict breccias. Many howardites show overlapping of Ni/Ir and Au/Ir values with those of chondrites making it difficult to put constraint on the types of impactor materials present in these meteorites as demonstrated in Fig. 3.

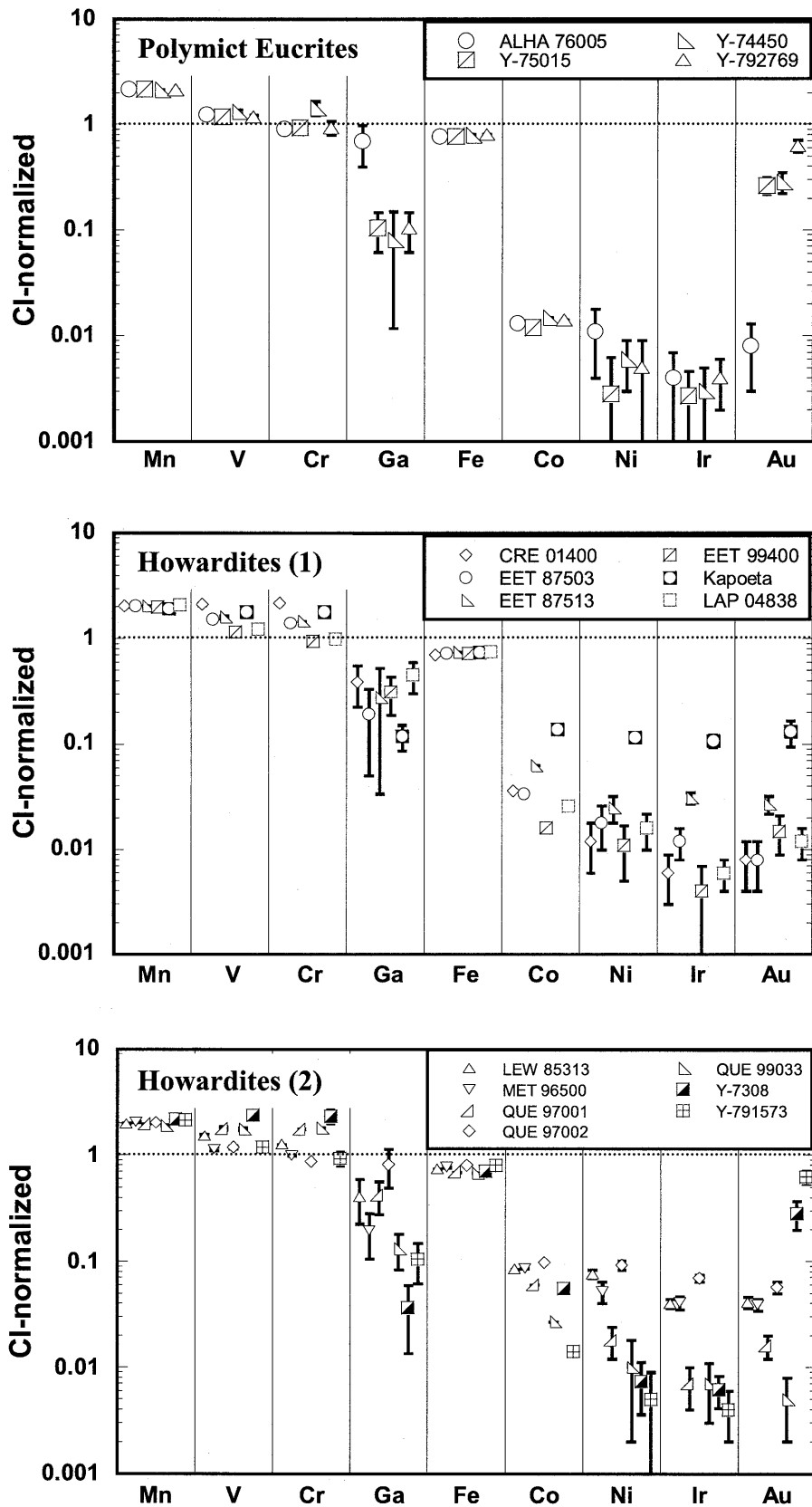


Figure 1 The INAA data for siderophile (Co, Ni, Ir, Au) and lithophile (Mn, V, Cr, Ga, Fe) abundances in howardites and polymict eucrites. Error bars are 1  $\sigma$  counting statistics.

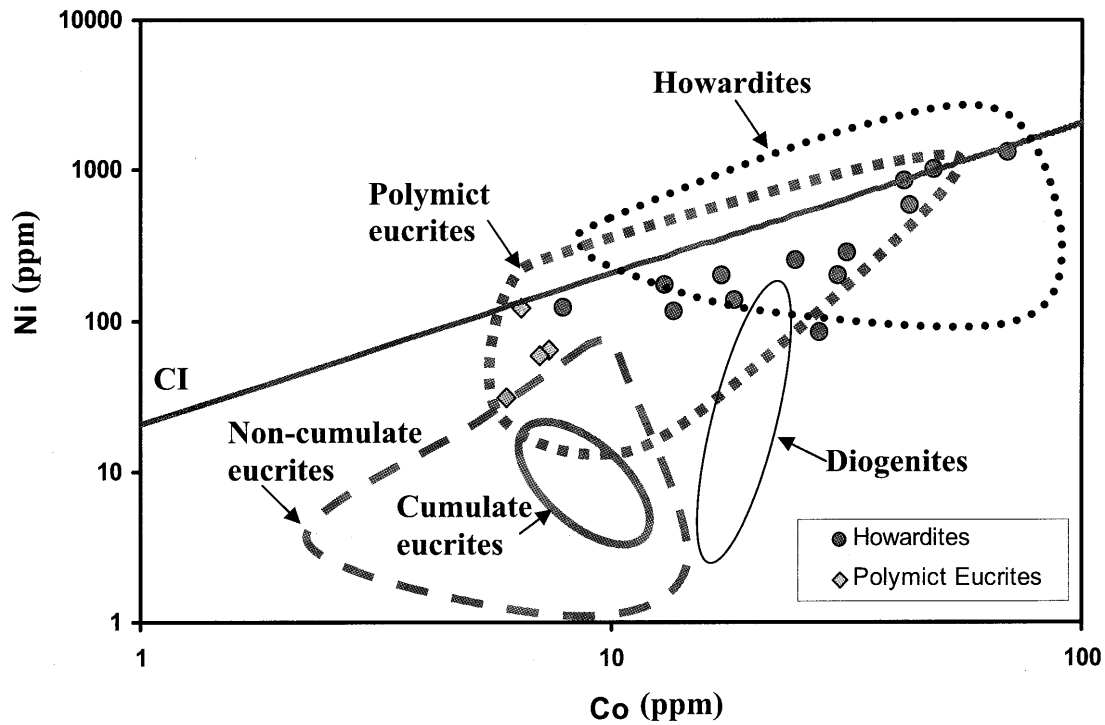


Figure 2 The Ni vs Co of howardites (round symbols) and polymict eucrites (diamond symbols). Literature values for HED meteorites are indicated in line shapes. CI value (Anders and Grevesse, 1989) is indicated by straight line.

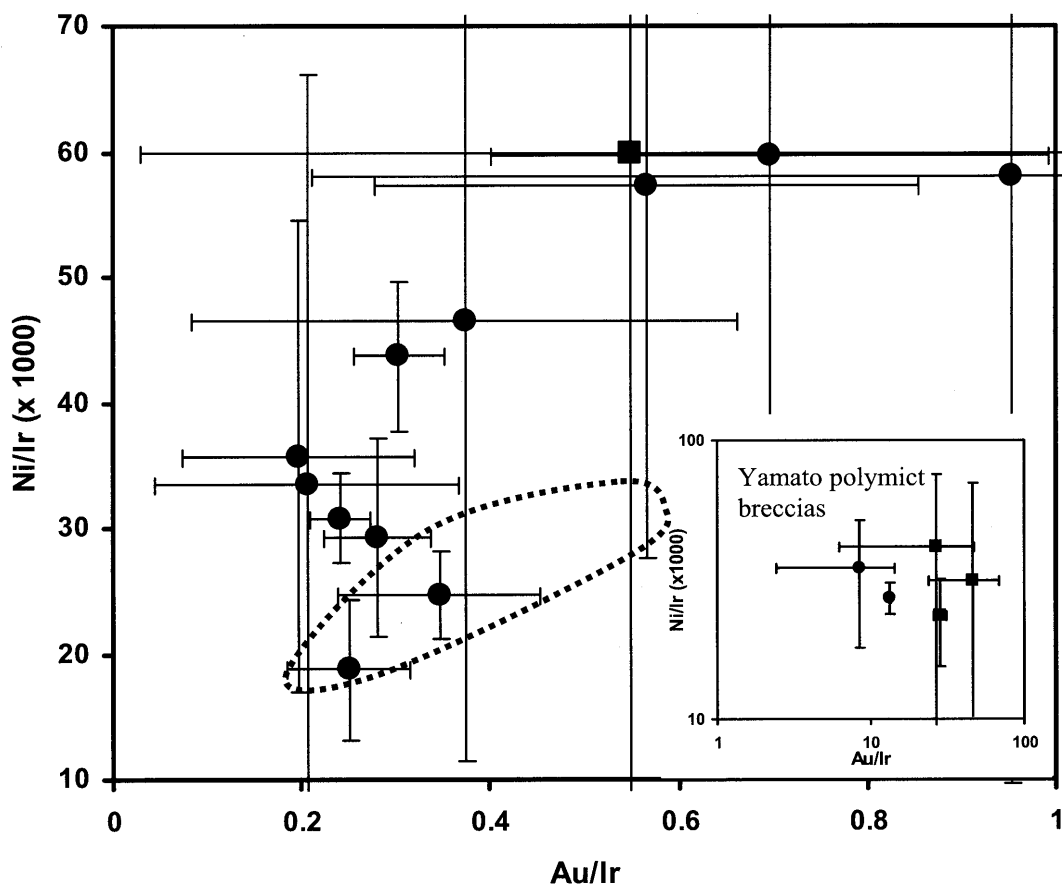


Figure 3 The Ni/Ir vs Au/Ir of howardites (round symbols) and polymict eucrites (square symbols). Error bars are  $1 \sigma$  counting statistics. Dotted lines are chondritic values from literatures (Tagle and Berlin, 2008).

## Summary

Both PGA and INAA methods are complimentary and they are very useful in getting essential information for howardites and polymict eucrites. Many of these data are firstly reported for these meteorites, which serve as reference data for future study. Among the howardites, Kapoeta, LEW 85313, MET 96500 and QUE 97002 contain higher siderophile elements possibly due to presence of chondritic materials. Polymict eucrites show lower siderophile contents (less than  $0.01 \times CI$  values) than those of howardites. It was found that polymict eucrites and howardites from the Yamato collection show high abundances of Au indicating possible contamination during curation.

The howardites and polymict eucrites analyzed in this study show variable abundances of siderophile elements suggesting that impactors of variable chemical compositions may have collided with the HED parent body. Further study using platinum group elements are in progress, which will enable us to discuss in detail the impactors of HED parent body.

## Acknowledgements

Samples from NIPR and NASA are greatly appreciated. We also thank the Japan Atomic Energy Agency (JAEA) for using their research reactor for this study. One of the authors (B.S.W) thanks the MEXT for a graduate scholarship. Finally, we would like to thank Kyoto University Research Reactor Institute for organizing this meeting and financial support.

## References

- Anders, E. and Grevesse, N. (1989). Abundances of the elements: meteoritic and solar. *Geochim. Cosmochim. Acta* **53**, 197 – 214.
- Jarosewich, E., Clark, Jr. R.S., and Barrows, J.N. (1987). The Allende meteorite reference sample. *Smithsonian Contrib. Earth Sci.* **27**, pp. 49.
- Kallemeyn, G.W., Rubin, A.E., Wang, D. and Wasson, J.T. (1989). Ordinary chondrites: bulk compositions, classification, lithophile-element fractionation, and composition-petrographic type relationships. *Geochim. Cosmochim. Acta* **53**, 2747 – 2767.
- McCord, T.B., Adams, J.B. and Johnson, T.V. (1970). Asteroid Vesta: spectral reflectivity and compositional implications. *Science* **168**, 1445 – 1447.
- Tagle, R. and Berlin, J. (2008). A database of chondrites analyses including platinum elements, Ni, Co, Au and Cr: implications for the identification of chondritic projectiles. *Meteorit. Planet. Sci.* **43**, 541 – 559.
- Warren, P.H., Kallemeyn, G.W., Huber, H., Ulff-Møller and Choe, W. (2009). Siderophile and other geochemical constraints on mixing relationships among HED-meteoritic breccias. *Geochim. Cosmochim. Acta* **73**, 5918 – 5943.

(専門研究会報告書より転載)

## **Source Apportionment of Airborne PM10 at a Small Industrial Area using INAA and PMF**

Jin-Hong Lee

*Department of Environmental Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea*

### Abstract

In this study, we measured 28 trace metals and 3 ionic components associated with airborne PM10 samples collected at Daejeon Industrial Complexes I and II, Korea from April 2000 to December 2002. The concentrations of metal elements and ion components of the samples were analyzed using instrumental neutron activation analysis (INAA), inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS), and ion chromatography (IC). Positive matrix factorization (PMF) and conditional probability function (CPF) were applied to these PM data sets to identify the diverse sources in the industrial area. A total of nine source types were identified to be important which include: secondary aerosol, cement/construction, soil dust, road dust, vehicle exhaust, incineration/Pb-related industry, metal smelting, fossil fuel combustion, and field burning. The unique source in study area is found to be originated from cement/construction with high concentration of Na and Ca from plaster factories and construction activities. The contributions of grouped sources to PM10 were estimated to be 48% by fugitive dust sources (cement/construction, soil dust, and road dust), 23% by secondary aerosol with regional sources, 20% by industrial activities with combustion type sources (incineration/Pb-related industry, metal smelting, fossil fuel combustion, and field burning), and 9% by vehicle exhaust.

---

\*jinlee@cnu.ac.kr

## KUR の現況&その他

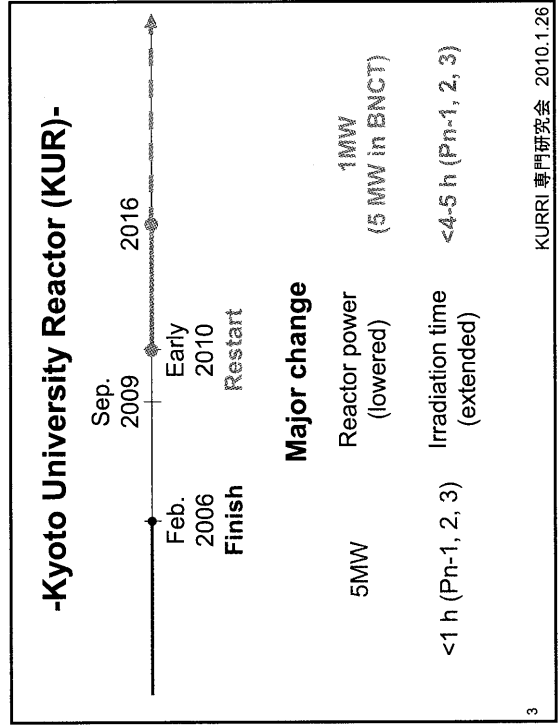
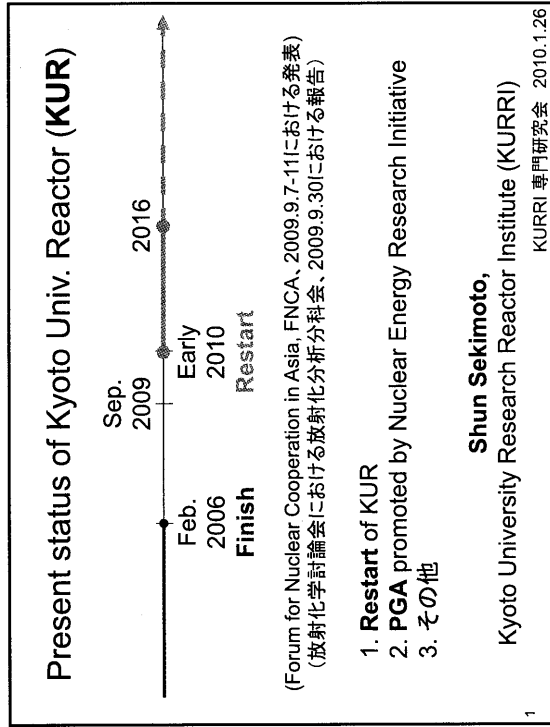
Present status of Kyoto University Reactor and so on

関本 俊

京都大学原子炉実験所

(専門研究会報告書より転載)





### 1. Restart of KUR

#### Preparation and New utilization program for NAA using KUR

**-contents-**  
 As preparation: **Major change** between before finish and after restart reactor power, irradiation time (lowered, extended)  
 : **Basic data** for 4 pneumatic system and reactor site for NAA

As new utilization program: Short-lived nuclides measurement system : PGA system

KURRI 専門研究会 2010.1.26

### Basic data for NAA using KUR

	5MW		1MW
<b>Pn-1</b>	$\phi_{th}$ : $1.93 \times 10^{13}$ (-1 h)		We should estimate neutron fluence rate in 1MW operation.  <b>1/5</b>
<b>Pn-2</b>	$\phi_{th}$ : $2.75 \times 10^{13}$ (-1 h)		
<b>Pn-3</b>	$\phi_{th}$ : $2.34 \times 10^{13}$ (-1 h)		
<b>Tc-Pn</b>	$\phi_{th}$ : $4 \times 10^{11}$ (-100 h)		
		(Cd) <sub>Av</sub> >200 *Determination of trace amounts of manganese in high-purity iron*	
<b>Reactor site</b>	$\phi_{th}$ : $4.65 \times 10^{13}$ (50 -100h)		

For RI-production,  
 Lower detection limits reported in MTA-12 (JRNC, 278(2008) 319-322)

KURRI 専門研究会 2010.1.26

## -Kyoto University Reactor (KUR)- New utilization program



- Restart of KUR from early 2010 with new fuels
- Operation of KUR until 2016 is assured

Nuclear Energy Research Initiative, Research Reactor and Hot Laboratory Utilization Program,

“Improvement of Utilization on KUR and HL in KURRI”

Toward the ideal model of small neutron source in university

KURRI 専門研究会 2010.1.26

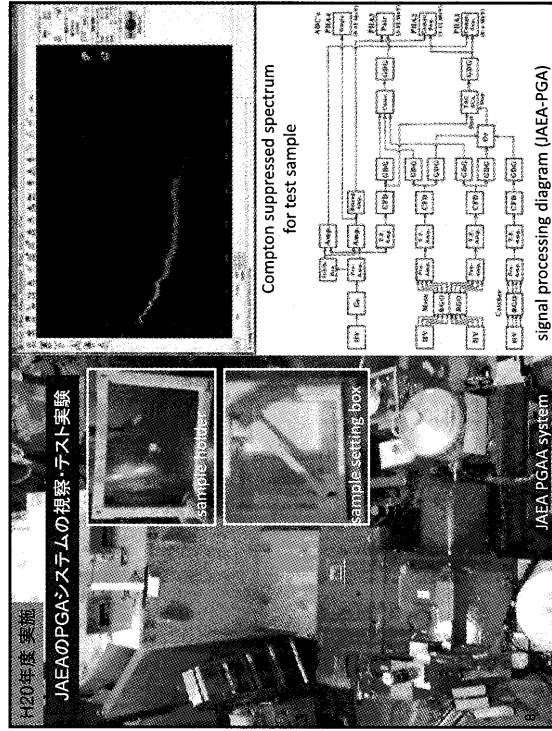
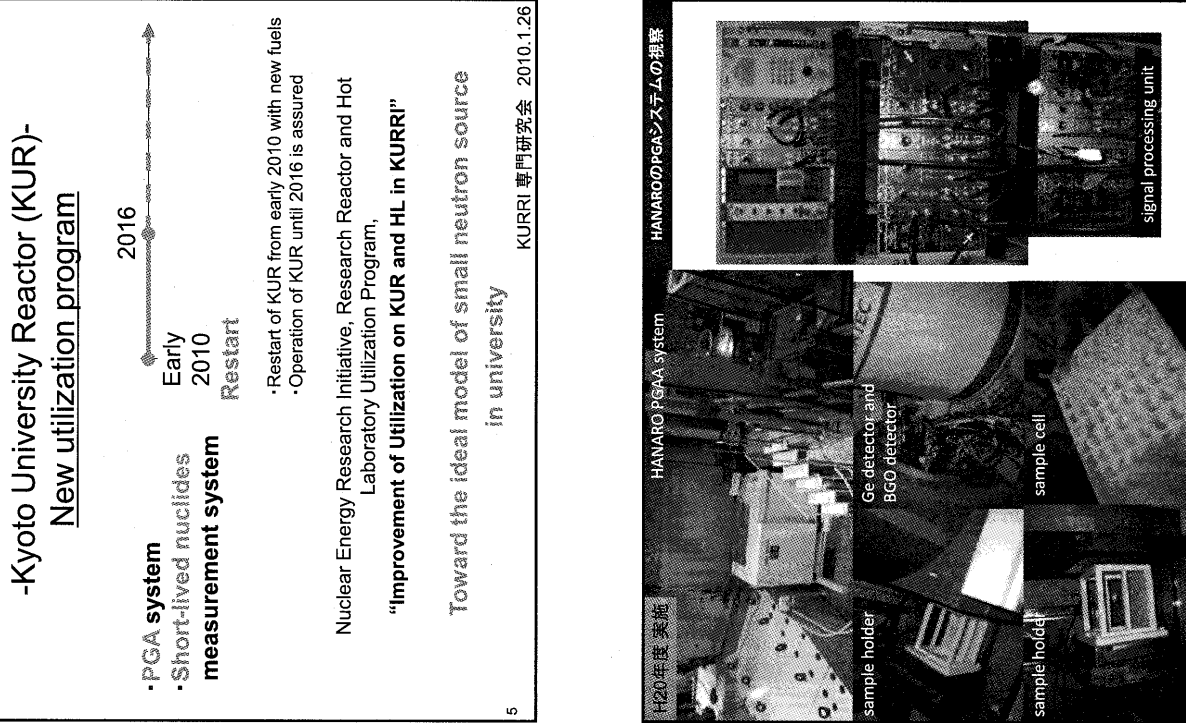
5

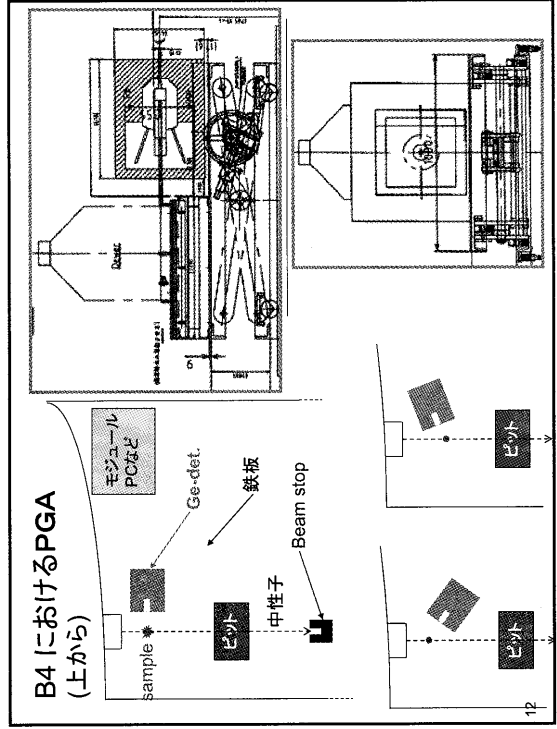
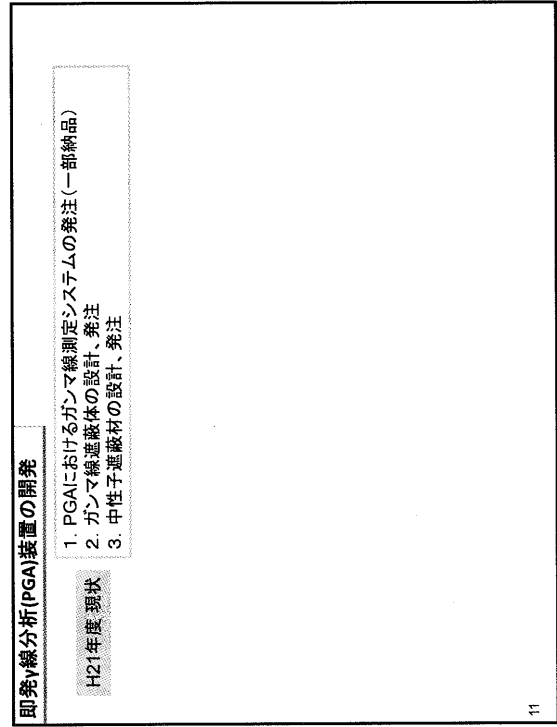
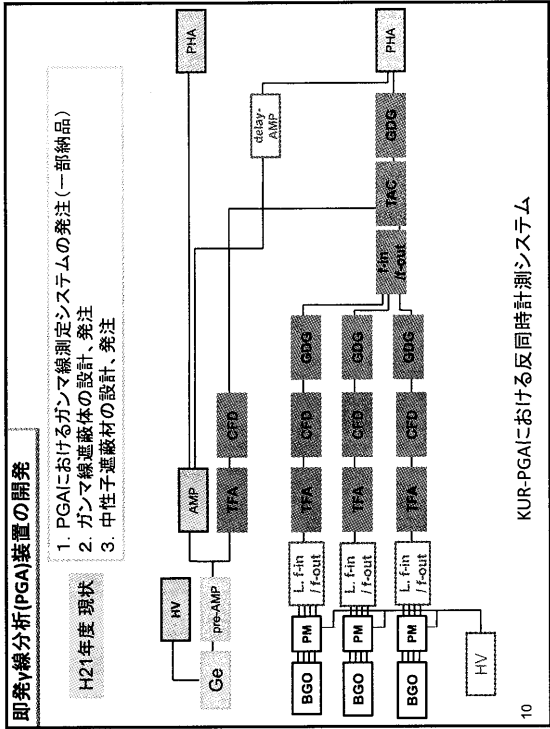
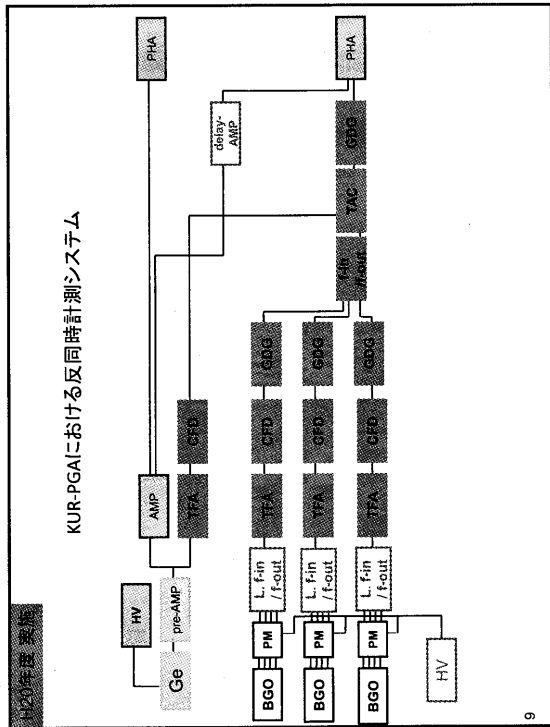
## 2. PGA promoted by Nuclear Energy Research Initiative

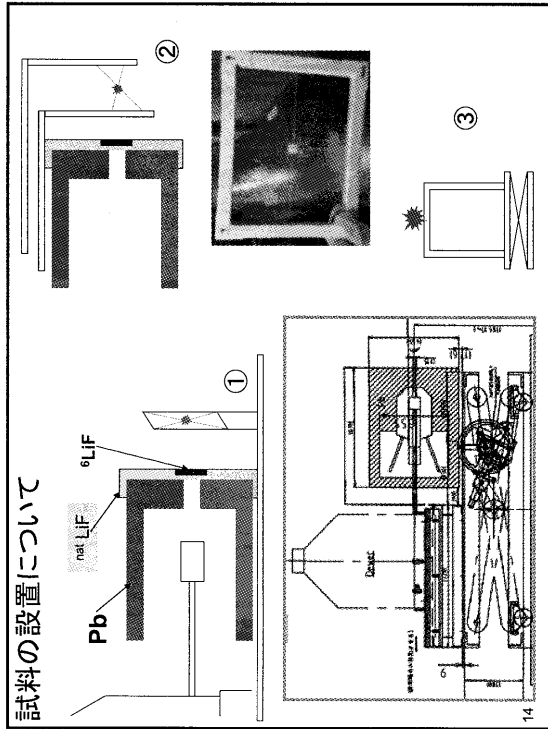
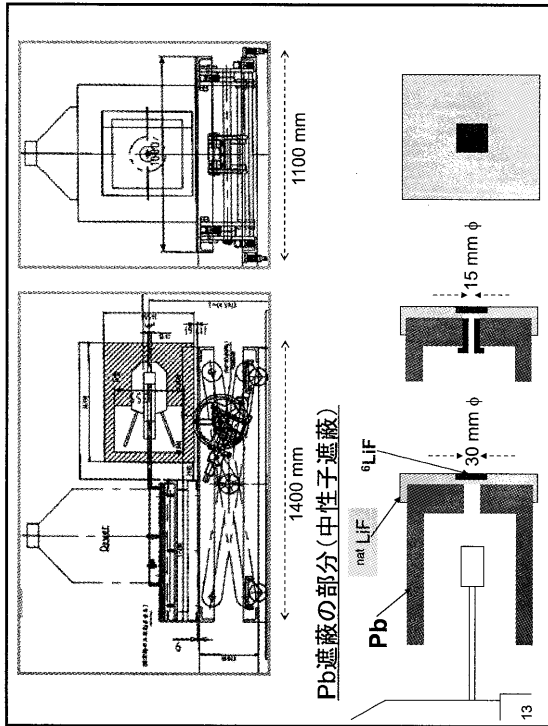
H20年度 実施	<ol style="list-style-type: none"> <li>HANAROのPGAシステムの視察</li> <li>JAEAのPGAシステムの視察・テスト実験</li> <li>PGAにおける反同時計測システムの導入と作動試験</li> <li>Ge検出器の仕様の検討</li> </ol>
H21年度 目標	<ol style="list-style-type: none"> <li>PGAにおけるガンマ線測定システムの整備と作動確認</li> <li>ガンマ線遮蔽体の設計および組み立て</li> <li>中性子遮蔽材の設計および組み立て</li> </ol>
H21年度 現状	<ol style="list-style-type: none"> <li>PGAにおけるガンマ線測定システムの発注（一部納品）</li> <li>ガンマ線遮蔽体の設計、発注</li> <li>中性子遮蔽材の設計、発注</li> </ol>
H22年度 予定	<ol style="list-style-type: none"> <li>PGAにおける測定の際の、ガンマ線バックグラウンド低減装置の導入</li> <li>中性子ビームを用いた標準試料や実試料のPGA実施</li> <li>最終のシステム性能評価（主要元素の検出限界値）</li> <li>マニュアル作成など</li> </ol>

即発γ線分析(PGA)装置の開発

6



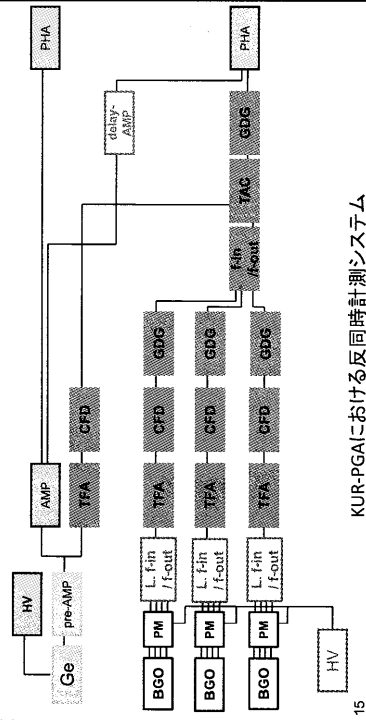




### 即発γ線分析(PGA)装置の開発

1. PGAIにおける測定の際の、ガンマ線バックグラウンド低減装置の導入
2. 中性子ビームを用いた標準試料や実試料のPGA実施
3. 最終のシステム性能評価(主要元素の検出限界値)
4. マニュアル作成など

H22年度 予定



### Summary

- KUR will restart on early 2010.  
Operation of KUR until 2016 is assured.
- Major change between before finish and after restart in reactor power, in irradiation time
- Basic data for 4 pneumatic system and reactor site for NAA
- New utilization program for KUR starts.  
PGA system  
Short-lived nuclides measurement system

## APPLICATION OF NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS AND THAI FOOD

Sirinart Laoharajanaphand\*<sup>1</sup>, Arporn Busamongkol<sup>1</sup>, Vorapot Permmamthip<sup>1</sup>, Kunchit Judprasong<sup>2</sup> and Ratirot Zwicker<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Thailand Institute of Nuclear Technology, Ongkharak, Nakhon Nayok, Thailand

<sup>2</sup>Institute of Nutrition, Mahidol University, Salaya, Nakhonpathom, Thailand

\* corresponding author

### Introduction

Thailand Institute of Nuclear Technology (TINT) is a governmental public organization under the Ministry of Science and Technology (MOST), the Government of Thailand. It has been established in 2007 by spinning off from the Office of Atoms for Peace, MOST. The office is responsible for carrying out nuclear research and development programs of the country. It works closely, but independently, with the Office of Atoms for Peace, the nuclear regulatory body of Thailand as well as other international nuclear institute. Several co-research and development in nuclear are actively carried out with various nuclear research institute abroad like JAEA, FNCA, ANSTO, US DOE, IAEA, KAERI etc.

### Nuclear Research Reactor in Thailand

TINT is also responsible for the operation and utilization of the Thai Research Reactor (TRR1/M1). It is a TRIGA Mark III light water swimming pool type reactor. Even though the reactor has reached its first critical in 1962, to date the reactor is still safely operating at 1.2 MW thermal power, 45 hours per week. The main utilization are NAA, isotope production, neutron scattering, gemstone enhancement, mutation breeding. With the average in-core flux  $10E13 \text{ n.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , various irradiation facilities are available both in core and out of core.

### Neutron Activation Analysis Techniques at TINT

NAA technique has been carried out at TINT since the reactor reached its criticality over 45 years ago. To date, NAA techniques has been utilized by Thai researchers for elemental characterization of various kinds of samples. NAA techniques developed at TINT include instrumental neutron activation analysis, epithermal instrumental neutron activation analysis, prompt gamma neutron activation analysis, radiochemical separation neutron activation analysis. Despite of the age of the reactor, researchers are still developing other NAA technique especially NAA for inhomogeneous samples called large sample neutron activation as well as pseudo-cyclic neutron activation.

### Applications of NAA in Thailand [1]

Elemental composition in various kinds of samples are being determined by NAA. Environmental study includes air pollution, water pollution, soil and sediment contamination. Food and health samples are heavy elements and nutritious minerals in rice and individual food items, contaminants in body fluid and fingernail. Minerals and mining exploration as well as for exporting are being carried out for major, minor and trace elements in rocks and ores. We also analyze elements in export products, gems and jewel. In agricultural samples are organic and chemical fertilizers as well as phosphogypsum. Some elemental compound are determined to support the identification of archeological subjects by fingerprint matching.

### NAA and Thai silk industry

NAA techniques has recently been applied for the analysis of toxic elements in different type of silk products. Some examples are silk cloth which are materials for various household items, sericin and fibroin powder which is valuable for cosmetics and health food. We also analyzed silk lava which is a famous and nutritious snack for Asian people.

### Toxic and nutrient minerals in Thai Food.

TINT also corporates with the Institute of Nutrition, Mahidol University, Thailand to obtain the elemental composition in Thai food. Data obtained will be valuable for updating the Food Composition Table of Thailand. Thus both nutrient and toxic minerals in Thai Food have been carried out.

Elemental level in varieties of Thai rice and beans by INAA [2,3] is first carried out aiming at the major food items consumed by most Thai people. Table 1 demonstrates the condition applied for the INAA technique for food samples. The validation and limit of detection of the analysis were carried out by measurement of certified reference materials including NIST 1568a, ACSP DORM-1 and NMIJ 7302-a). The results are in good agreement as shown in Table 2. To verify the elemental concentration in Thai rice and beans, commonly consumed varieties of rice and beans were obtained from 3 major distribution centers in Bangkok. In each center samples were bought from at least 3 vendors. The same type of samples in each distribution center were then added together, thus forming 3 sites for each type of rice and beans. Samples were then prepared for analysis by the method mentioned elsewhere [3]. Results of rice and beans are tabulated in Table 3 and 4, respectively.

**Table 1** Irradiation, decay and gamma ray measurement of food samples

Nuclides	Facility	Neutron flux (n. cm <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )	T <sub>i</sub>	T <sub>d</sub>	T <sub>c</sub> (sec.)	Nuclides
Short half-life	Pneumatic Transfer	2 x 10E12	25 sec.	2 min.	200	Al, Ca, Cl, Cu, Mg
Medium half-life	Epithermal out-core	1.8 x 10E9	12 hr.	24 hr.	1800	As, Br, K, Mn
Long half-life	Lazy Susan	3.4 x 10E11 – 5.6 x 10E11	36 hr.	2 week	3600	Cr, Fe, Se, Zn

**Table 2.** Validation of INAA by using NIST 1568a, ACSP DORM-1 and NMIJ 7302-a)

Elements	Concentration (mg.kg <sup>-1</sup> )		LOD
	Measured	Certified	(mg.kg <sup>-1</sup> )
Al	4.2	4.4	0.06
As	0.28	0.29	0.01
Br	7.9	8.0	0.1
Ca	117	118	15
Cl	305	300	0.3
Cr	3.54	3.60	0.4
Cu	2.5	2.4	0.8
Fe	54400	54000	16
K	1270	1280	14
Mg	550	560	29
Mn	19.7	20.0	0.6
Se	1.65	1.62	0.4
Zn	19.7	19.4	0.3

**Table 3. Elemental concentration in Thai rice**

		Concentration (mg.kg <sup>-1</sup> )												
		Al	As	Br	Ca	Cl	Cr	Cd	Fe	K	Mg	Mn	Se	Zn
jasmine	M1	3.1	0.11	0.45	<15	263	<0.4	<1.4	<16	560	59	8.3	<0.4	26.1
	M2	2.5	0.08	1.40	<15	240	<0.4	<1.4	<16	500	51	7.5	<0.4	23.3
	M3	2.2	0.15	0.46	<15	313	<0.4	<1.4	<16	900	198	13.6	<0.4	20.5
Brown jasmine	M1	3.3	0.17	0.48	<15	314	<0.4	<1.4	<16	2230	1083	26.6	<0.4	26.7
	M2	3.8	0.10	0.36	<15	315	<0.4	<1.4	<16	2300	1137	23.1	<0.4	22.1
	M3	2.7	0.21	0.62	<15	347	<0.4	<1.4	<16	2800	1276	33.3	<0.4	21.7
Glutin rice	M1	2.3	0.08	0.40	<15	214	<0.4	<1.4	<16	660	84	9.9	<0.4	20.3
	M2	2.5	0.08	0.34	<15	204	<0.4	<1.4	<16	500	51	7.7	<0.4	22.9
	M3	2.2	0.11	0.55	<15	299	<0.4	<1.4	<16	700	42	10.1	<0.4	21.0
Black glutin rice	M1	4.8	0.09	0.67	<15	205	<0.4	<1.4	<16	3070	1209	32.6	<0.4	25.5
	M2	4.0	0.11	0.65	<15	200	<0.4	<1.4	<16	2700	1139	28.6	<0.4	24.4
	M3	4.6	0.15	1.22	<15	256	<0.4	<1.4	<16	3000	1200	36.2	<0.4	24.8
Black sapphire jasmine	M1	9.1	0.19	0.75	<15	255	<0.4	<1.4	<16	2400	1500	55.7	<0.4	26.3
	M3	10.3	0.20	0.61	<15	357	<0.4	<1.4	<16	3400	1500	42.6	<0.4	34.3
Pink jasmine	M1	9.1	0.11	<0.1	<15	176	<0.4	<1.4	<16	2100	1000	26.5	<0.4	21.4
	M3	11.1	0.13	<0.1	<15	255	<0.4	<1.4	<16	2500	1100	28.1	<0.4	26.1

**Table 4. Elemental concentration in Thai beans**

		Concentration (mg.kg <sup>-1</sup> )										
		Al	As	Br	Ca	Cl	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Zn
Black eyed bean	M1	22.0	<0.01	1.30	550	1.1	<0.9	49.4	11700	1200	16.8	46.4
	M2	22.2	<0.01	1.45	521	1.0	<0.9	46.4	11400	1365	12.4	36.4
	M3	14.1	<0.01	0.44	700	90	<0.9	160	15100	2300	20.3	36.9
Green bean	M1	22.6	<0.01	1.27	1297	2.3	<0.9	48.8	11900	1250	10.5	39.4
	M2	21.4	<0.01	1.01	1027	1.7	<0.9	47.2	12400	1414	13.5	33.1
	M3	10.8	<0.01	0.92	1300	640	<0.9	< 16	13100	1600	12.2	8.5
Peanut	M1	33.7	<0.01	0.51	612	1.3	<0.9	28.5	6300	1420	20.4	49.4
	M2	39.7	<0.01	1.05	346	1.1	<0.9	31.5	6800	1410	23.8	36.3
Red bean	M1	25.6	<0.01	1.69	1037	1.2	<0.9	55.8	13200	1350	13.4	37.4
	M2	26.6	<0.01	1.13	653	1.1	<0.9	59.1	11600	1342	15.1	38.0
	M3	20.2	<0.01	1.35	1100	100	<0.9	< 16	12000	1600	15.1	8.2
Red kidney bean	M1	21.2	<0.01	1.75	1230	1.4	<0.9	71.9	14500	1120	13.6	28.7
	M2	26.5	<0.01	1.42	867	1.7	< .9	60.7	13500	1160	14.0	26.9
	M3	35.7	<0.01	<0.1	1000	168	<0.9	< 16	18700	1600	15.3	34.9
Soy bean	M1	35.1	<0.01	1.22	3250	0.5	<0.9	85.6	17500	1740	25.4	53.3
	M2	43.0	<0.01	1.62	2595	0.4	<0.9	89.0	14300	1791	25.2	53.1
	M3	20.4	<0.01	2.20	2800	56	16.4	< 16	19900	2600	33.6	58.1

#### Cyclic INAA technique to analyze selenium in food [4],

As selenium is one of the important elements for nutritionist, The researcher at TINT together with the expert from Dalhousi University, Canada, has developed the cyclic neutron activation analysis for determination of short half-life selenium in Thai food. The method proofed to be accurate, fast and sensitive for the analysis of trace selenium level in Thai food.

#### Elemental Study in Soybean and Products by Neutron Activation Analysis [5].

Since soybean is one of the food items commonly consumed in the region, special interest has been attack for evaluating the elemental composition of soy bean and its products especially various kinds of tofu. Results of the study are shown in Table 5. From the study of elemental composition of soybean and its products, we can conclude that after food processing, there is some elemental change because of food preparation steps may involse heat treatment as well as adding of some other compound which may contain some additional of other elements. Thus the nutritional contents changed after food processing.

**Table 5. Elements in soybean and its products mg.kg<sup>-1</sup>**

	Soybean	Soft tofu	Firm tofu	Jelly tofu	Egg tofu	Tofu sheet	Soy protein
Al	7.76	14.84	17.06	18.23	16.71	6.59	12.82
Br	1.74	1.26	103.97	1.02	15.80	LD	0.57
Cl	45.52	1962	9123	194	31111	10.21	292
Cu	14.7	16.0	17.8	16.6	LD	LD	LD
Fe	75.20	86.23	81.68	103.88	67.47	100.31	86.60
I	0.92	0.84	0.75	0.36	3.94	1.47	0.16
Mn	31.75	41.56	44.85	38.14	LD	42.22	46.98
Na	11	108	3941	847	30569	252	29.38
Se	0.13	0.24	LD	0.16	1.02	0.09	0.094
Zn	34.9	63.1	56.8	61.8	40.1	63.9	55.1
Ca(%)	0.27	1.04	0.29	0.34	LD	0.21	0.29
Mg(%)	0.23	0.22	0.54	0.27	LD	0.18	0.23
K(%)	1.72	0.84	0.58	1.46	2.71	0.37	1.54

#### RNAA for Cd in rice

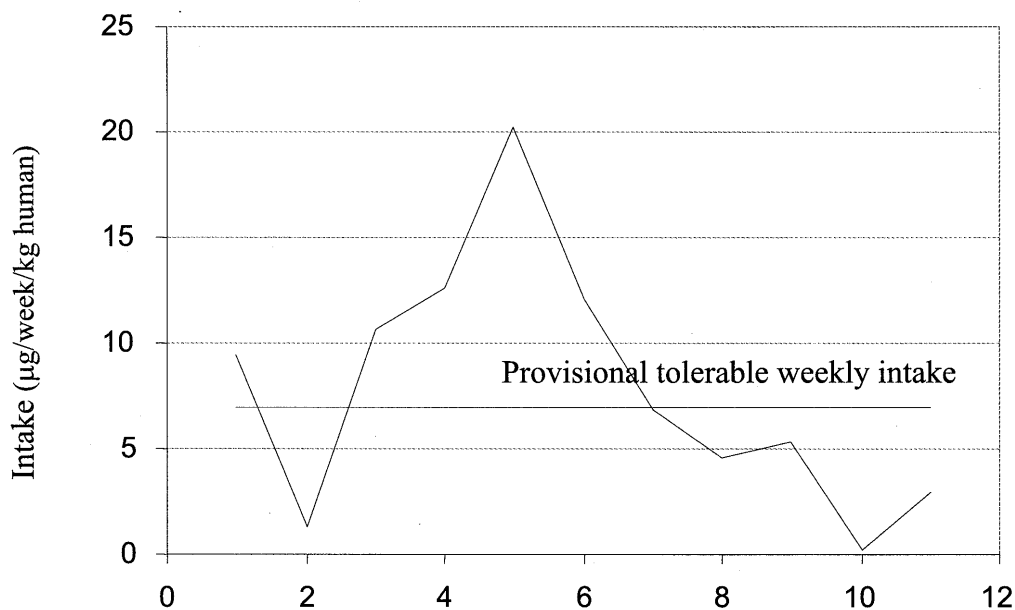
Another problem in the food project occurs from heavy metal contamination. Since rice is the main staple food in Thailand, the contamination in rice will heavily affect the health of the Thai people. In the past few years, it has been reported that local people living the specific location in the northern part of Thailand suffer from itai itai symptom. Thus we have analyzed for cadmium in eleven rice samples collected in the contaminated area by using RNAA technique [6]. Additionally, we also applied the technique for eight different varieties of common rice from all over Thailand collected for various local markets. Total of 50 rice samples were included in the study. Table 6 shown the cadmium content found in these samples.



**Table 6. Cadmium content in rice by RNAA**

Rice sample	Mean Cd (mg.kg-1)
Leb nok	0.0065
Cho lung	<0.006
Boton	<0.006
Keaw ngue sticky rice	0.016
Chiang rai sticky rice	<0.006
Manpu jasmine	<0.006
Pathumtani jasmine	<0.006
jasmine	<0.006
Contaminated rice no 1	0.270
Contaminated rice no 2	0.037
Contaminated rice no 3	0.305
Contaminated rice no 4	0.361
Contaminated rice no 5	0.579
Contaminated rice no 6	0.343
Contaminated rice no 7	0.195
Contaminated rice no 8	0.129
Contaminated rice no 9	0.152
Contaminated rice no 10	0.007
Contaminated rice no 11	0.085

Weekly intake of cadmium from contaminated rice has been estimated. Only those from contaminated area are found higher than the provisional tolerable weekly intake while those collected from all over the country are considered safe for daily consumption. Results presented in Figure 1 demonstrated the fact that rice collected from 6 contaminated sites are not suitable for consumption. Thus remediation is needed for farmers that grown rice for their living in these area.



**Figure 1.** Estimated weekly intake of cadmium from contaminated rice

### Conclusion

Neutron activation analysis carried out at TINT proof to be suitable for determination of elemental level in Thai food. The technique is sensitive for both minor and trace level for nutrient and mineral content in food. The result is valuable for nutritional and toxic assessment of food. The study can be applied for elemental determination of another edible items that Thai people consume as well as food in the Asia Pacific region.

### Acknowledgement

Part of the work presented here were supported by the IAEA.

### References

1. S. Laoharajanaphand, W. Dharmvanij, A. Busamongkol, R. Parepart, W. Wimolwattanapun and W. Chantarachot, J. Radio Anal. Nucl.Chem, Vol 278 no.3, 2008, 675-679
2. S. Chayasith, V. Permmamthip, A. Busamongkol and S. Laoharajanaphand, Simultaneous Multielement Determination of Trace Elements in Thai Cereal by Instrumental Neutron Activation Analysis, proceedings of the International Congress on Engineering Science and Technology 2007, Bangkok, Thailand, November 2007
3. S. Laoharajanaphand, V. Permmamthip, A. Busamongkol, M. Phraengam and S. Srianujata, J. Radio Anal. Nucl.Chem, Vol 281, 2009, 69-73
4. A Busamongkol, S Laoharajanaphand, K. Judprasong, Zwicker B.M. and A, Chatt, Determination of selenium in Thai food by cyclic Instrumental Neutron Activation Analysis, Ann Nutr Metab ,55(supl 1), 291, 2009
5. V. Permmamthip, A. Busamongkol and S. Laoharajanaphand, Elemental study in soybean and products by nuclear technology, Proceedings of the 11th Thailand Nuclear Science and Technology Conference, July 2009.Bangkok, Thailand.
6. R. Zwicker, A. Promsawad, B.M. Zwicker and S. Laoharajanaphand, Bull. Environ. Contam. and Toxicol, vol. 84, no.3, 2010, 285-288.

(専門研究会報告書より転載)

## Recent Analytical Studies by Using INAA/PGAA/DNAA in KAERI

Jong-Hwa Moon

*Korea Atomic Energy Research Institute, 150-1 Duckjin-Dong, Yuseong, Daejeon, Korea (jhmoon1@kaeri.re.kr)*

### Abstract

This presentation aimed at introducing recent analytical activities of instruments and application studies by using INAA/PGAA/DNAA in KAERI, Korea. The first topic is the studies related to INAA in terms of implementation of Compton suppression system (CSS) and homogeneity test for contaminated soil samples as a candidate reference material. As a major result of CSS implementation, 60% of background reduction can be achieved by the measurement of NIST SRM 2711-Montana Soil. One way ANOVA test was performed to determine homogeneity between within-bottle and between bottle samples. Five elements such as Na, As, Fe, Co and Th which have big signal to noise ratio, were selected for the homogeneity test. Except for Fe, the other elements have no significance in 95% of confidence level. The second topic is the application studies by using DNAA. A variety of environmental samples such as sediment, incinerator ash, coal fly ash, sewage sludge and air particulates, have been collected during the past years. DNAA was applied to determine U contents in those environmental samples. Conclusively, it is demonstrated that U contents of ppm level can be determined effectively by DNAA. The third topic is thermal neutron PGAA. Main activities of PGAA were the implementation of  $k_0$ -PGAA. Nuclear data like partial gamma-ray cross section and  $k_{0,H}$  were measured by using PGAA in HANARO. As results of the comparison with literature values, they are agreed well within 2% of relative error. As a final topic, the future plan in which NAA group in KAERI is promoting to build the facilities with respect to Cold neutron PGAA, NDP and PGI was briefly introduced.

(専門研究会報告書より転載)

2010 KURRI Meeting, Japan

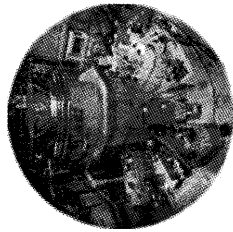
Recent Analytical Studies by  
using INAA/PGAA/DNAA in

KAERI

January, 2010

Jong-Hwa MOON

Korea Atomic Energy Research Institute



## Contents

- INAA Works
- DNAA Application Studies
- Current Thermal Neutron PGAA Activities
- Future Plans for Cold Neutron Activation Station

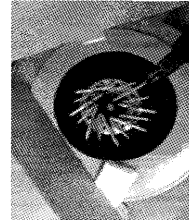
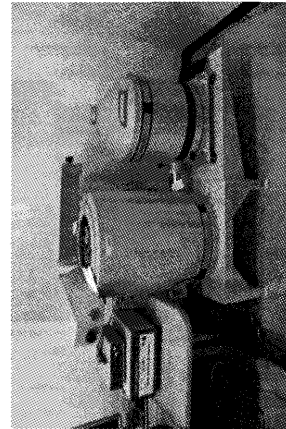
2

2010 KURRI Meeting

KAERI

## Implementation of Compton Suppression System

\* Compton suppression gamma-ray spectrometer reduces the Compton background of a gamma-ray spectrum and enhances the detection sensitivity of interesting nuclides in radioactive samples.



3

2010 KURRI Meeting

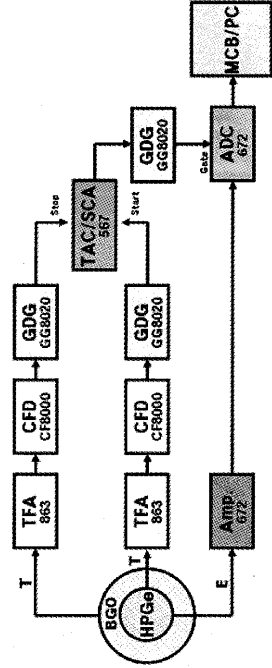
KAERI

2010 KURRI Meeting

## Implementation of Compton Suppression System

### Electronics

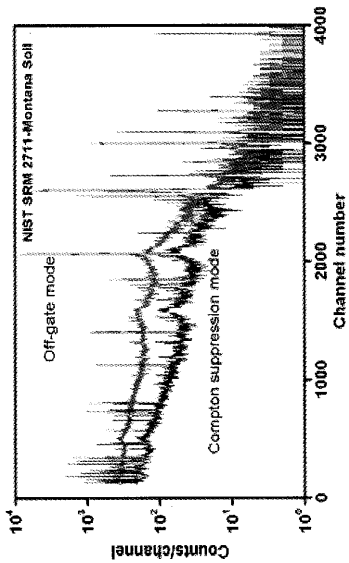
- \* Main detector : GMX type 40% efficiency HPGe
- \* Subsidiary detectors : Four Bismuth Germanate(BGO)
- \* Electronics for Timing signal : Timing Filter Amplifier, Constant Fraction Discriminator, Gate and Delay Generator, Time to Amplitude Converter, Single Channel Analyzer



4

## Implementation of Compton Suppression System

### NIST SRM 2711 Sample Measurement



5

## Implementation of Compton Suppression System

### Background reduction

\* The background reduction ratio along with the gamma-ray energy is 52% ~ 68%.

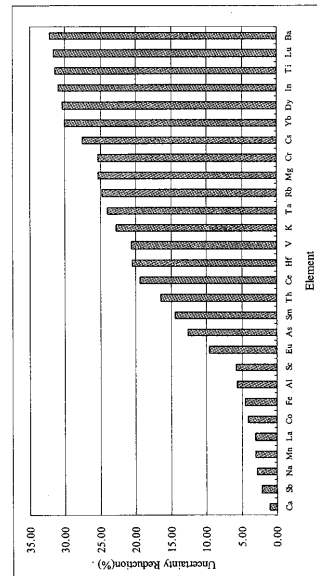
Nuclide	Energy	Bg counts of normal mode	Bg counts of suppression mode	Bg reduction (%)
Hg-203	279	4056	1668	58.9
Cr-51	320	3783	1802	52.4
Hf-181	482	2909	1206	58.5
Cs-134	795	2178	693	68.2
Sc-46	889	4412	1872	57.6
Fe-59	1099	766	400	47.8
Co-60	1332	110	44	60.0

6

## Implementation of Compton Suppression System

### Uncertainty Reduction for NIST SRM 2711

\* Due to the background reduction, small peaks in the low energy region have a big advantage.



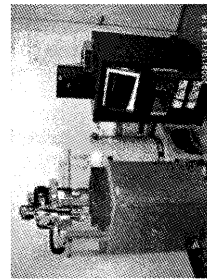
7

## Implementation of Compton Suppression System

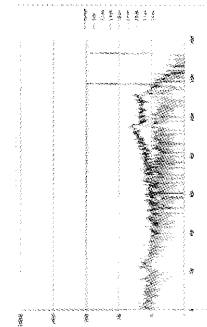
\* 40 samples can be measured with auto-sample changer.

\* Simultaneous detection with three modes (Normal, Anti-coincidence, Coincidence) will be possible in the very near future.

\* CSS will be applied for a variety of actual samples.



CSS with automatic sample changer



MCNFX Simulation for the optimization of CSS

8

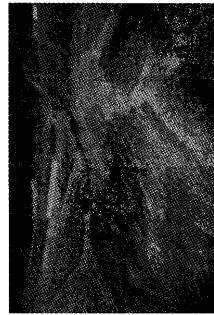
## Homogeneity Test for a Candidate RM by INAA

ISO 35 describes ; The homogeneity study is necessary in batch certification projects. When dealing with solid-state reference materials, including slurries and sludges, even two kinds of homogeneity studies are necessary, one to determine between-unit variation (between-bottle homogeneity study) and one to determine the minimum sample intake (within-bottle homogeneity study). The number of extra samples needed mainly on the between-bottle homogeneity study. The minimum number of bottles selected at random should not be smaller than 10.

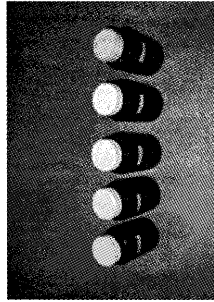
9

## Homogeneity Test for a Candidate RM by INAA

- ◆ Cooperation work with KRISS which is introducing INAA for making RMs
- ◆ Sample : Contaminated Soil (debris after mineral extraction)
- ◆ 5 elements (As, Na, Fe, Co, Th) were chosen as target elements for homogeneity test



Sampling Location  
(Chungyang, Chungnam Province)



Sample Bottles  
Provided from KRISS

10

## Homogeneity Test for a Candidate RM by INAA

### Measurement Condition

- \* After preliminary experiments, optimum and effective measurement conditions to minimize gamma counting uncertainty were established and the weight of sample is 100 mg.
- \* Three samples from a bottle were prepared and measured following measurement condition.

Division	Irradiation time	Decay time	Counting time	Nuclides detected
Medium	1 min	2 days	700 sec	$^{24}\text{Na}$ , $^{76}\text{As}$
Long	30 min	20 days	10000 sec	$^{233}\text{Pa}$ , $^{59}\text{Fe}$ , $^{60}\text{Co}$

11

## Homogeneity Test for a Candidate RM by INAA

### Analytical Results for As, Na

Bottle No.	As-76 ER(%)	Na-24 ER(%)	Mean RSD(%)	Mean RSD(%)
6	3324	1924	3335	1886
	3327	1924	3335	1886
	3329	1924	3335	1886
	3334	1924	3335	1886
	3334	1924	3335	1886
7	3423	1951	3361	1899
	3423	1951	3361	1899
	3443	1951	3361	1899
	3320	1906	3304	1882
	3324	1899	3304	1882
8	3324	1906	3304	1882
	3324	1906	3304	1882
	3324	1906	3304	1882
	3324	1906	3304	1882
	3324	1906	3304	1882
9	3354	1881	3405	1924
	3354	1881	3405	1924
	3354	1881	3405	1924
	3354	1881	3405	1924
	3354	1881	3405	1924
10	3273	1855	3281	1873
	3250	1855	3281	1873
	3250	1855	3281	1873
	3250	1855	3281	1873
	3250	1855	3281	1873
11	3357	1833	3315	1904
	3357	1833	3315	1904
	3357	1833	3315	1904
	3357	1833	3315	1904
	3357	1833	3315	1904
12	3367	1840	3352	1670
	3367	1840	3352	1670
	3367	1840	3352	1670
	3367	1840	3352	1670
	3367	1840	3352	1670
13	3251	1834	3286	1863
	3342	1893	3286	1863
	3342	1893	3286	1863
	3342	1893	3286	1863
	3342	1893	3286	1863
14	3261	1877	3312	1888
	3261	1877	3312	1888
	3261	1877	3312	1888
	3261	1877	3312	1888
	3261	1877	3312	1888
15	3335	1860	3334	1871
	3335	1860	3334	1871
	3335	1860	3334	1871
	3335	1860	3334	1871
	3335	1860	3334	1871

12

### Homogeneity Test for a Candidate RM by INAA

#### Homogeneity Test : One-way ANOVA test

\*  $Var_{total} = Var_{between-bottle} + Var_{within-bottle}$

\* **F test** : IF F ratio < F value, statistically not significant

\* **Here, F ratio =  $Var_{between-bottle} / Var_{within-bottle}$**

\* **Here, F value = 2.393 from the Table according to degrees of freedom, 9 and 20**

### Homogeneity Test for a Candidate RM by INAA

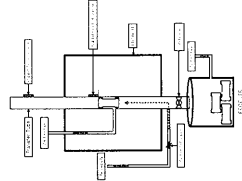
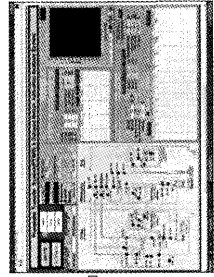
#### Analytical Results for Co, Fe, Th

Bottle No.	Co-59		Fe-56		Th-232		Mean	RSD(%)		
	CPM	CPM/g	CPM	CPM/g	CPM	CPM/g				
6	5,164	1.65	40,110	0.42	4,082	1.00	7.95	1.26	8.01	0.79
7	5,241	1.15	40,980	0.31	4,067	1.00	8.01	0.97	8.01	0.97
8	5,223	1.33	41,270	0.34	4,073	2.64	7.78	1.65	8.01	2.44
9	5,001	1.19	39,970	0.5	4,297	2.30	8.25	0.95	8.17	1.83
10	5,288	1.86	42,130	0.44	4,080	2.48	8.67	1.52	8.16	5.43
11	4,893	2.41	39,900	0.59	4,037	0.93	7.89	1.8	7.88	3.26
12	5,174	2.04	41,160	0.36	4,054	1.73	7.86	1.73	7.99	1.43
13	5,095	1.79	39,650	0.39	3,947	1.50	7.77	1.25	7.64	2.53
14	5,305	1.48	42,720	0.47	4,050	2.42	7.42	1.6	7.89	3.19
15	5,191	2.03	40,540	0.48	4,050	0.66	8.25	1.18	8.15	1.76

### DNAA Application Studies

#### DNAA system

The eighteen Hc-3 detectors are placed in one concentric ring around flight tube and encompassed by polyethylene moderator. The +1350V of bias is applied and the detectors were divided into three groups with six detectors. Total counts from each detector group are acquired from a 3-channel scalar.



### Homogeneity Test for a Candidate RM by INAA

#### The results of One-way ANOVA test

Element	F ratio
As	1.28
Na	0.68
Co	1.47
Fe	2.74
Th	1.60

\* Four elements have no significance except Fe in terms of between bottle homogeneity.

## DNA Application Studies

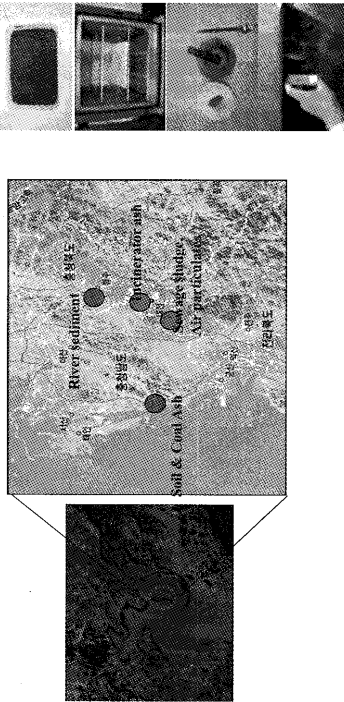
### Background counts with blank rabbit

More than 30 blank rabbits were tested for the identification of background counts under the fixed experimental condition (Irradiation with PTS #2 for 60s, waiting for 20s and counting for 60s)

Experimental date	No. of rabbit	Mean counts	SD in counts
27/03/2008	10	382	24
28/03/2008	5	380	22
30/03/2008	3	397	6
11/04/2008	4	361	32
03/12/2008	4	346	15
04/12/2008	3	334	4
05/12/2008	3	323	23
02/01/2009	3	392	29
Mean ± SD		364 ± 28	

## DNA Application Studies

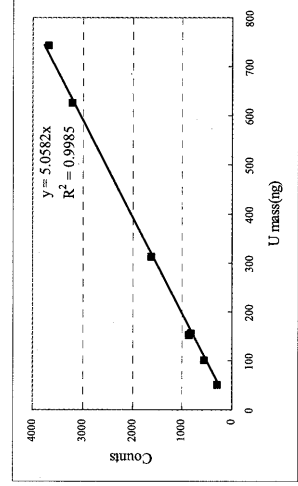
### Sampling and Sample Preparation



## DNA Application Studies

### Correlation between Counts and U mass

About 5.06 delayed neutrons per ng of U are counted under this experimental condition and a correlation coefficient is satisfactory as a result of linearity test



## DNA Application Studies

### Delayed Neutron Counting with U mass

The NIST SRMs such as 1632C-Bituminous Coal (U certified value : 0.513±0.012 mg/kg), 1633a-Coal Fly Ash (U certified value : 10.2±0.1 mg/kg) and 2704-Buffalo River Sediment (U certified value : 3.13±0.13 mg/kg) were used to measure delayed neutron counting with U mass.

NIST SRMs	Sample wt. [mg]	U mass [ng]	Net counts
SRM1632C	100.36	51.5	280
	200.15	102.7	556
	300.02	153.9	850
SRM2704	50.20	157.1	824
	100.29	313.9	1620
SRM1633a	200.15	626.5	3213
	72.94	744.0	3685



## DNAA Application Studies

### Neutron Flux Distribution of NAA#2

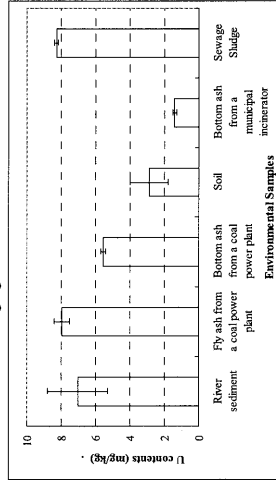
- ◆ Thermal neutron flux :  $3.2 \times 10^{13} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$
- ◆ Cd-ratio of  $^{198}\text{Au}$  : 102
- ◆ Thermal to epithermal neutron flux ratio,  $f$  : 1280
- ◆ Fast neutron flux :  $\sim 3.7 \times 10^{10} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$
- ▶ Fraction of the nuclear reactions induced by the thermal neutrons is predominant
- ▶ The influence of delayed neutrons emanated from fission reaction of  $^{232}\text{Th}$  with fast neutrons is negligible

21

## DNAA Application Studies

### Analytical Results

Fly ash from a coal power plant and sewage sludge have high U contents of around 8 mg/kg.



22

## DNAA Application Studies

### Neutron Flux Distribution of NAA#2

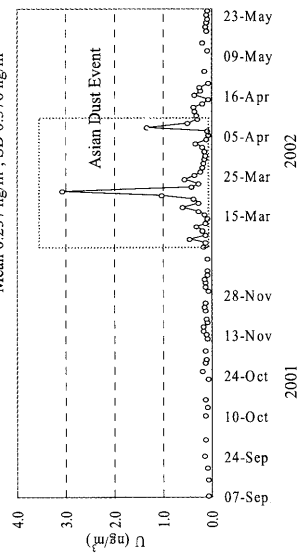
- ◆ Thermal neutron flux :  $3.2 \times 10^{13} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$
- ◆ Cd-ratio of  $^{198}\text{Au}$  : 102
- ◆ Thermal to epithermal neutron flux ratio,  $f$  : 1280
- ◆ Fast neutron flux :  $\sim 3.7 \times 10^{10} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$
- ▶ Fraction of the nuclear reactions induced by the thermal neutrons is predominant
- ▶ The influence of delayed neutrons emanated from fission reaction of  $^{232}\text{Th}$  with fast neutrons is negligible

21

## DNAA Application Studies

### Analytical Results : Air particulates

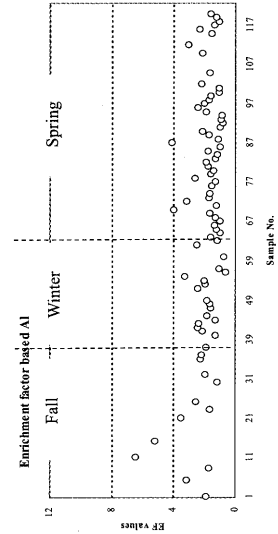
\* U concentration in the air ; Range 0.052 ~ 3.069 ng/m<sup>3</sup>  
 Mean 0.237 ng/m<sup>3</sup>, SD 0.376 ng/m<sup>3</sup>



23

## DNAA Application Studies

### Source Origin of U : Crustal



24

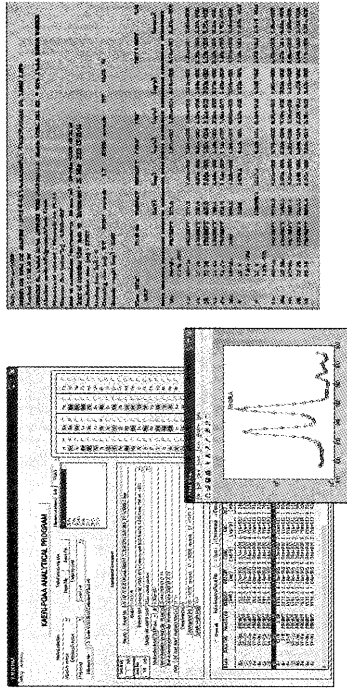
### DNA Application Studies

#### Remarks

These studies have demonstrated that DNA can be effectively applied to monitor or to survey the U concentration in various environmental samples as a very fast and reliable analytical technique.

### PGAA Activities

#### Development of $k_0$ -PGAA program



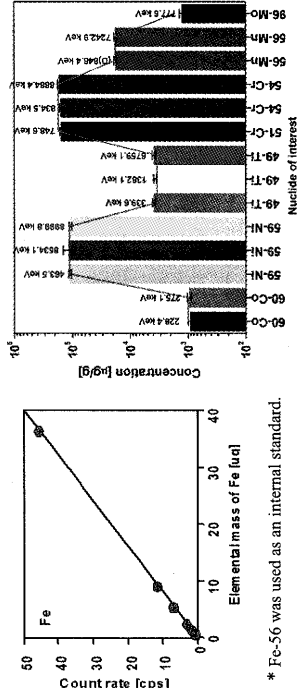
### PGAA Activities

#### Measurement of nuclear data for $k_0$ -PGAA

A(=Fe)	E [keV]	Partial gamma-ray cross section (barn)	$k_{0,II}$
56	122.14	9.63E-02 ± 4.27E-03	5.23E-03 ± 2.32E-04
56	230.29	2.74E-02 ± 7.49E-04	1.49E-03 ± 4.06E-05
56	352.39	2.74E-01 ± 3.47E-03	1.48E-02 ± 1.89E-04
56	366.79	4.98E-02 ± 9.07E-04	2.71E-03 ± 4.92E-05
56	6018.57	2.28E-01 ± 6.64E-03	1.24E-02 ± 3.60E-04
56	7278.92	1.38E-01 ± 4.85E-03	7.47E-03 ± 2.63E-04
56	7631.2	6.57E-01 ± 1.77E-02	3.56E-02 ± 9.58E-04
56	7645.6	5.53E-01 ± 1.37E-02	3.00E-02 ± 7.43E-04
54	9297.7	7.56E-02 ± 3.73E-03	4.10E-03 ± 2.03E-04

### PGAA Activities

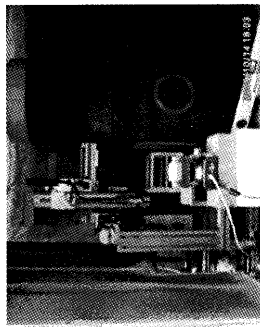
#### Measurement of Steel Samples by $k_0$ -PGAA



\* Fe-56 was used as an internal standard.

## PGAA Activities

Recently, auto-sample changer available to 20 samples has been implemented and measured sample can be monitored. Therefore, effective operation of PGAA system become feasible.



## PGAA Activities

### RoHS

(Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment)

#### Objectives

The purpose of this Directive is to approximate the laws of the Member States on the restriction of the use of hazardous substances in electrical and electronic equipment and to contribute to the protection of human health and the environmentally sound recovery and disposal of waste electrical and electronic equipment.

The use of hazardous substances such as Pb, Hg, Cd, Cr(VI) and brominated flame retardant (PBB and PBDE) in electrical and electronic equipment is restricted until July 1<sup>st</sup> 2003.

\* PGAA measurement was finished for candidate plastic RM and final analytical data for Hg and Cd are being treated

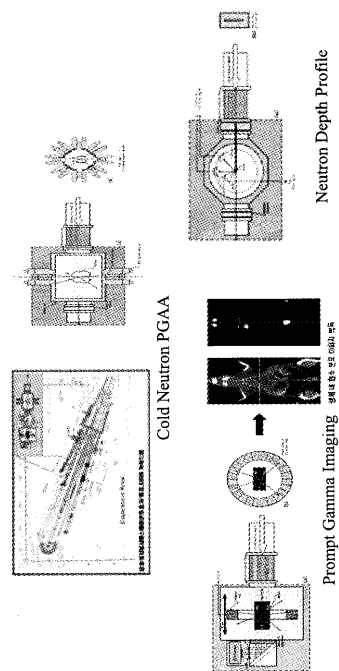
## Future Plans

### Detection Limits by NDP

Reaction	Abundance [%] or atoms/mCi	Target half-life	Energy of emitted particle [keV]	Cross-section [barns]	Detection limit's [atoms/cm <sup>2</sup> ]
<sup>3</sup> He(n,p) <sup>3</sup> H	0.00014	Stable	572 191	5327	1.01E+14
<sup>6</sup> Li(n,α) <sup>3</sup> H	7.5	Stable	2055 27275	940	5.71E+14
<sup>7</sup> Be(n,p) <sup>7</sup> Li	2.50E+14*	53d	1438 207	48000	1.12E+13
<sup>9</sup> B(n,α) <sup>6</sup> Li	19.9	Stable	1472 840	3837	1.40E+14
<sup>10</sup> N(n,p) <sup>10</sup> C	99.6	Stable	584 42	1.83	2.93E+17
<sup>17</sup> O(n,α) <sup>14</sup> C	0.0388	Stable	1413 404	0.24	2.24E+18
<sup>23</sup> Na(n,p) <sup>23</sup> Ne	4.40E+15*	2.6y	2247 103	31000	1.73E+13
<sup>33</sup> S(n,α) <sup>30</sup> Si	0.75	Stable	3018 411	0.19	2.83E+18
<sup>35</sup> Cl(n,p) <sup>35</sup> S	75.8	Stable	598 17	0.49	1.10E+18
<sup>39</sup> K(n,p) <sup>39</sup> Ar	0.012	Stable	2231 56	4.4	1.22E+17
<sup>59</sup> Ni(n,α) <sup>56</sup> Fe	1.30E+20*	80,000y	4757 340	12.3	4.37E+16

## Future Plans

### Cold Neutron Activation Station



## Future Plans

### Expectations

- ◆ CN-PGAA system will be able to enhance the quality of application studies using HANARO.
- ◆ PGI will be applied for diverse biological and archaeological studies.
- ◆ NDP technique will be applied for industrial fields like Li ion battery.

33

Thank you  
for your attention

34

毛髪が多元素放射化分析 -生物学的モニタリング-

Instrumental neutron activation analysis of hair

-A means of biological monitoring of environment, disease and nutrition-

大森 佐與子

大妻女子大学社会情報学部

(専門研究会報告書より転載)

# 毛髪が多元素放射化分析 —生物学的モニターとして—

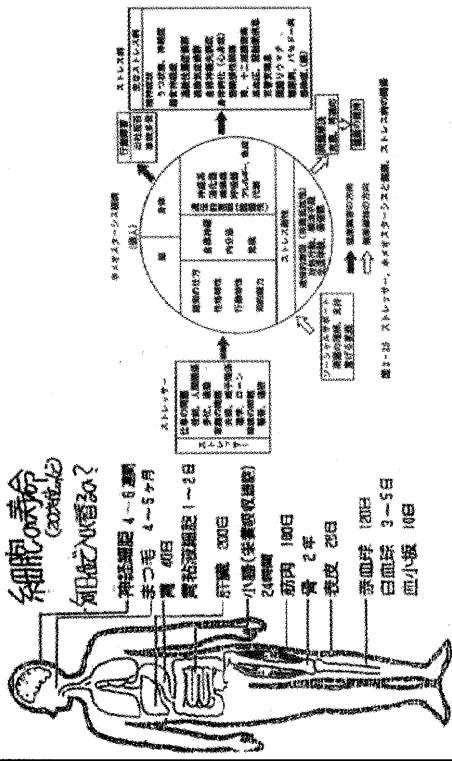
大妻女子大学社会学部  
環境情報学専攻  
大森佐與子

1

## 毛髪のもつ性質、特長

- 1) 毛髪的主要成分 (%): C:46, H:7.5, N:13.6, O:28.2, S:4.1 (以上で99.4%を占める), Ca:0.3%, また残りの0.3%が微量元素である。
- 2) 毛髪の化学組成 (%): 蛋白質:80~93, 水分:4~13, 脂肪:2~3, 灰分:0.2~0.8で、他の生体組織に比べ、水分の少ない硬組織でシステインを含む蛋白質である。
- 3) 毛髪・爪などの硬組織は、一種の排泄器官である。
- 4) 毛髪は成人男性に約20g、成人女性に約30gあり、1平方cmあたり350本、総本数8万~13万本在る。毛髪の成長速度は1cm/月である。
- 5) 元素の毛髪中濃度は、Telogen stageがAnagen stageより高濃度となる。
- 6) 毛髪微量元素の由来は、血液を経由して毛髪組織内に分布固定されるものと外界に由来して毛髪表面に付着するものに分けられる。
- 7) 人種・血統により、毛髪中の含有元素濃度が異なる。
- 8) 微量元素濃度は、毛髪が血液より10倍、100倍高値の傾向にある。
- 9) 毛髪・爪は生体組織中非破壊放射化分析可能な唯一の試料である。

3



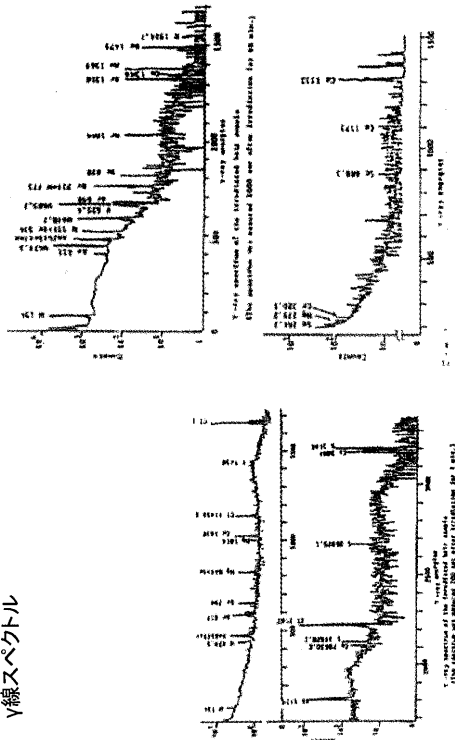
2

## 毛髪を生物学的モニターとして用いるための 留意事項

1. 洗髪処理の効果
2. 投与金属の体毛への出現時期と量
3. 他組織内との量的関係
4. 血中元素との濃度関係
5. 微量元素正常値のプロファイル
6. 体内から得られる情報

4

γ線スペクトル



5

核種の種類

Table 2 Neutron activation analysis of hair sample

Procedure	Sample	Detector	Quantity (LSI)	Detector Limit (LSI)
40 min. irradi.	187	46.6	41.8	0.005
10 min. counting	76	23.8	22.8	0.005
1000 sec. counting	24	18.2	18.6	0.005
10000 sec. counting	42	14.3	15.4	0.1
40 min. irradi.	75	121	244.8	0.02
20 days cooling	57	45.2	138.1	0.02
10000 sec. counting	31	70.3	437.7	6.0
100000 sec. counting	88	71	819	7.3
40 min. irradi.	48	84	893.3	0.04
20 days cooling	87	245	7715.5	8.0
10000 sec. counting	87	45.3	1093.322	1.8
100000 sec. counting	46	182	1723.322	0.008
40 min. irradi.	187	115	1120.122	0.002
20 days cooling	174	80	1690.9	0.001

Table 3 Neutron activation analysis of hair sample

Procedure	Sample	Detector	Quantity (LSI)	Detector Limit (LSI)
1 min. irradi.	76	17.6	44.3	0.018
2 min. counting	87	9.49	616.2	1.9
200 sec. counting	27	154.8	977.811	0.008
10000 sec. counting	84	6.3	871	0.05
40 min. irradi.	84	6.3	1039	0.16
20 days cooling	84	6.3	1039	0.16
10000 sec. counting	37	37.3	1825.2168	0.4
100000 sec. counting	45	2.33	1778.9	0.2
40 min. irradi.	37	5.06	3102.8	0.7

6

表 血中濃度と毛髪濃度の比較

Element	Blood <sup>1)</sup> (mg/l)	Hair (ppm) A. A. 2)	Hair (ppm) A. A. 2)	H. S. 2)
K	1737	89.8	89.8	95
Mg	37	89.5	89.5	95
Mn	0.031	0.709	0.709	2.3
Ni	2018	80.1	80.1	---
Na	0.047	0.748	0.748	0.5
P	379	---	---	180
Pb	0.25	---	---	7.8
S	2049	48100	48100	---
Sb	0.0047	0.332	0.332	---
Se	0.0797	0.012	0.012	---
Si	0.19	1.20	1.20	---
Sm	---	0.084	0.084	---
Sr	0.038	---	---	2.9
Te	0.046	3.58	3.58	4.2
Tl	0.017	0.061	0.061	0.28
V	6.9	131	131	---
Zn	6.9	131	131	---

\* : Neutron activation analysis, KRR group

\*\* : Multiscan spectroscopy

1) H.J.M. Bowen, J. Radioanal. Chem., Vol. 19, 215 (1974)

2) Hisayuki Terachi and Jun Kobayashi: Nippon Kagaku Zasshi, Vol. 98, 574 (1977)

7

図 Zn及びHg濃度ヒストグラム

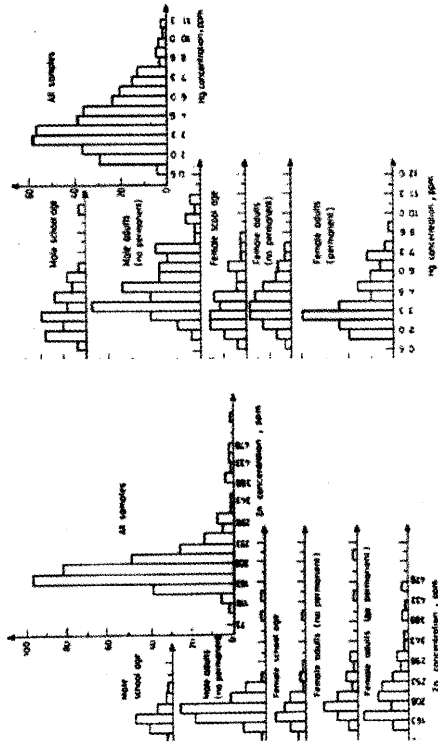
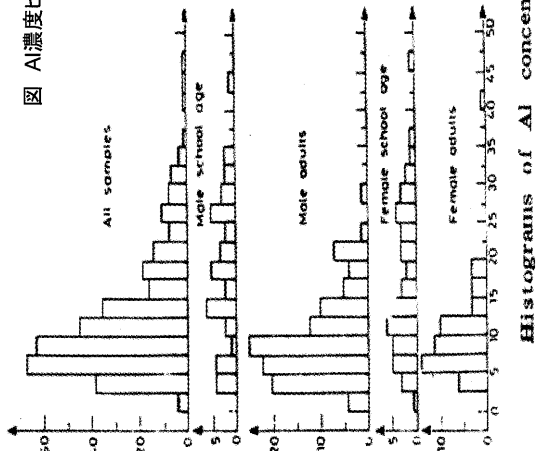


Fig. 6 Histogram of Hg concentration

8

図 AI濃度ヒストグラム



Histograms of AI concentration

日本人(正常)の性・年齢別元素濃度

Table Geometric means(GM) ppm and geometric standard deviations(GSD) (No. number of samples)

Element	All samples (n=381)		Male school age (n=119)		Male adults (n=118)		Female school age (n=117)		Female adults (n=107)	
	GM	GSD	GM	GSD	GM	GSD	GM	GSD	GM	GSD
Ag	0.77	1.0	0.79	1.0	0.78	1.0	0.76	1.0	0.75	1.0
As	1.0	1.2	1.0	1.2	1.0	1.2	1.0	1.2	1.0	1.2
B	0.016	1.8	0.016	1.8	0.016	1.8	0.016	1.8	0.016	1.8
Ca	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Cd	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0
Co	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0
Cu	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0
Fe	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Ga	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0
Ge	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0
Gr	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0
Hg	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0
I	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0
K	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Li	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0
Mn	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0
Ni	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0
P	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0
Pb	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0
Rb	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0
S	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0
Se	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0
Si	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0
Sn	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0
Sr	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0
Ta	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0
Tb	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0
Tl	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0
Tm	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0
V	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0
Zn	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0	0.001	1.0

Mn精錬所付近住民の毛髪中元素濃度

Table 1. Trace elements in hair is subjects living near a Mn smelter and in rural controls.

Element	One year after shut-down of the Mn smelter		Rural controls	
	GM	GSD	GM	GSD
Ag	0.77	1.0	0.79	1.0
As	1.0	1.2	1.0	1.2
B	0.016	1.8	0.016	1.8
Ca	1.0	1.0	1.0	1.0
Cd	0.001	1.0	0.001	1.0
Co	0.001	1.0	0.001	1.0
Cu	0.001	1.0	0.001	1.0
Fe	1.0	1.0	1.0	1.0
Ga	0.001	1.0	0.001	1.0
Ge	0.001	1.0	0.001	1.0
Gr	0.001	1.0	0.001	1.0
Hg	0.001	1.0	0.001	1.0
I	0.001	1.0	0.001	1.0
K	1.0	1.0	1.0	1.0
Li	0.001	1.0	0.001	1.0
Mn	0.001	1.0	0.001	1.0
Ni	0.001	1.0	0.001	1.0
P	0.001	1.0	0.001	1.0
Pb	0.001	1.0	0.001	1.0
Rb	0.001	1.0	0.001	1.0
S	0.001	1.0	0.001	1.0
Se	0.001	1.0	0.001	1.0
Si	0.001	1.0	0.001	1.0
Sn	0.001	1.0	0.001	1.0
Sr	0.001	1.0	0.001	1.0
Ta	0.001	1.0	0.001	1.0
Tb	0.001	1.0	0.001	1.0
Tl	0.001	1.0	0.001	1.0
Tm	0.001	1.0	0.001	1.0
V	0.001	1.0	0.001	1.0
Zn	0.001	1.0	0.001	1.0

I、環境金属汚染指標とその生体影響



## 超合金製造工場の作業内容

粉体冶金の一種

W 80—90%、Co 10%

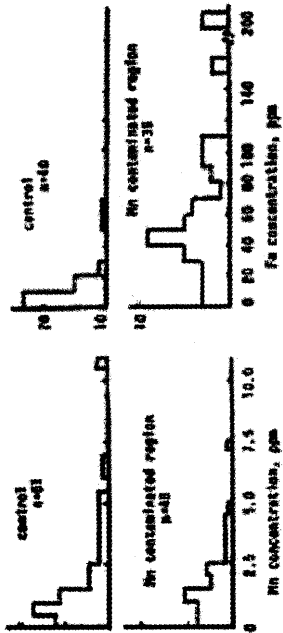
Ta 5—6%、Nb、Ni、Cr、V 0.5%

混合 — 成型 — 高温の炉で焼結  
— 研磨する過程

The study for searching allergy material from exposure to metal in hard metal factory by INAA

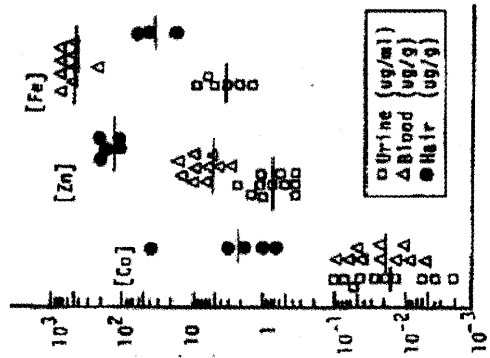
Biomed Res Trace Elements 14(4):279-283,2003

14



1.1. Histograms of Mn and Fe concentrations in hair.

13



Zn, Co, Fe concentrations in hair, urine and blood.

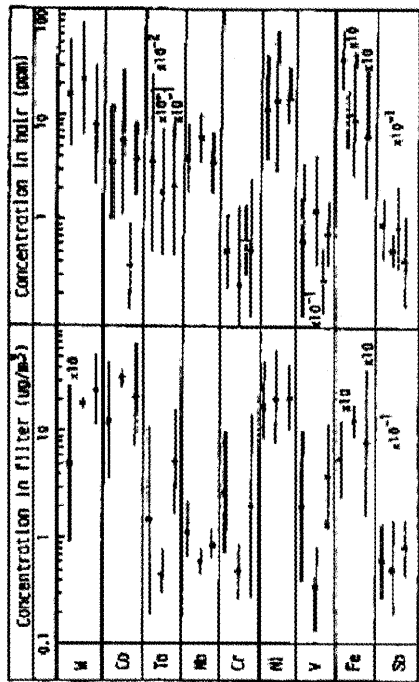
15

Table 3 Trace element concentration in filterdand hair

	Grinders Shapers (n=23)			Powder Shapers (n=21)			Grinders Shapers (n=21)			Powder Shapers (n=21)			Grinders Shapers (n=110)			Control (n=110)		
	GM	GSD	GM	GM	GSD	GM	GM	GSD	GM	GSD	GM	GSD	GM	GSD	GM	GSD	GM	GSD
W	49.0	5.3	1.78	1.1	2.46	2.1	15.9	3.2	21.8	3.5	7.85	3.7	0.015	1.6*				
Co	12.7	3.4	31.3	1.2	57.3	3.0	3.46	3.5	5.5	4.8	3.75	2.2	0.036	2.4				
Ta	1.42	7.8	0.44	1.7	5.11	3.1	0.35	0.9	0.18	3.0	0.19	4.2	0.026	1.6*				
Nb	1.18	1.8	0.59	1.3	0.85	1.4	3.78	2.1	5.88	1.7	3.45	1.9	2.2	1.6*				
Cr	2.67	3.7	0.47	1.8	1.94	7.2	0.49	2.2	0.26	5.5	0.53	4.5	0.62	2.1				
Ni	17.8	2.4	19.0	2.8	20.8	2.0	11.4	3.1	13.4	4.8	14.3	2.0	2.2	1.6*				
V	1.94	5.0	0.32	2.5	3.77	3.1	0.62	5.3	1.19	3.3	0.71	2.0	0.026	1.8				
Fe	5.32	2.3	12.5	1.4	78.6	4.7	33.9	1.9	78.2	5.1	84.7	4.1	10.0	1.0				
Sb	0.08	2.2	0.05	2.7	0.08	1.8	0.05	1.4	0.04	2.6	0.082	2.5						
Ag	0.48	3.4	0.24	1.5	0.40	2.1	0.36	2.7	0.16	1.2	0.45	2.5	0.27	2.0				
Al	1.80	3.0	0.84	1.7	0.58	1.6	8.18	1.6	6.48	1.5	4.70	1.4	10.0	1.9				
As	0.048	2.9	0.08	1.2	0.08	4.6	0.05	2.0	0.058	1.7	0.053	1.8	0.065	1.8				
Au	0.004	5.2	0.003	2.3	0.005	1.8	0.008	3.2	0.007	3.3	0.003	2.0	0.001	3.5				
Br	1.20	4.0	0.00	1.3	4.80	2.8	0.117	3.0	7.09	1.2	0.03	1.9	7.0	3.2				
Cu	11.2	2.2	2.2	4.09	1.3	7.20	1.8	458	2.0	523	1.4	588	1.8	780	2.2			
Cl	5.80	2.2	4.09	1.3	7.20	1.8	458	2.1	578	1.5	468	2.0	320	3.3				
Cd	0.89	3.9	0.16	1.9	0.24	2.3	12.7	1.6	10.5	1.2	27.1	1.7	12.0	1.6				
Hg	0.072	3.4	0.60	7.3	0.24	2.3	2.81	1.4	3.90	1.8	4.10	1.7	3.90	1.6				
I	0.024	4.3	9.60	2.1	0.128	2.8	0.12	2.1	0.22	3.5	0.17	2.5	0.48	2.4				
K	17.6	3.6	9.60	1.4	5.28	1.9	5.34	3.8	7.09	2.0	7.17	1.7	13.0	2.8				
Mg	4.32	4.3	2.10	3.8	3.20	2.7	53.2	2.5	42.0	2.3	53.2	1.7	75.0	2.4				
Mn	0.08	3.2	0.04	2.0	0.032	3.3	0.20	3.2	0.32	1.8	0.15	2.8	0.48	2.5				
Na	89.6	5.0	8.00	1.2	5.60	1.7	436	3.0	5.65	2.2	6.33	1.9	10.0	3.4				
Se	0.046	2.3	0.004	1.8	0.006	2.4	0.008	5.6	0.022	6.2	0.033	10	0.008	1.6				
Si	0.98	1.1	1.60	2.4	7.28	1.4	0.88	2.2	0.51	2.9	0.54	2.3	0.70	1.8				
Zn	1376	1.1	1.60	2.4	7.28	1.4	1.60	1.3	223	2.2	170	2.2	170	1.3				

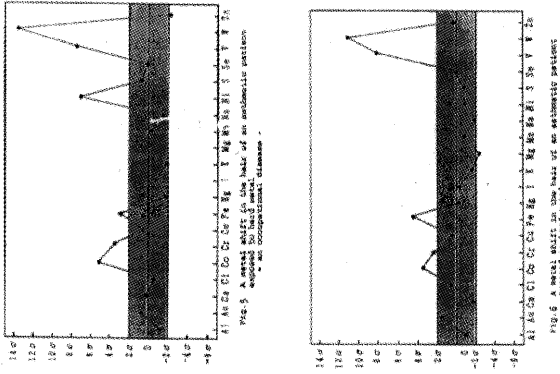
16

Fig.2 Trace elemental concentrations in filter and hair



■ grinders, ● Shapers, ▲ Powder handlers. | Control

超硬合金作業者  
喘息と金属



作業年数と  
毛髪中濃度の関連性

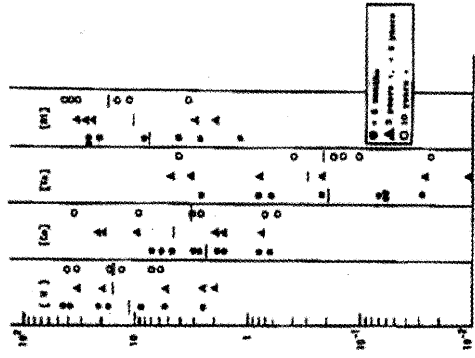


Fig.3 The relationship with periods exposed to hard metals and concentration of such hard metals in hair.

Fig.4 Ni, Co concentrations in hair and filter of occupational asthma and non occupational asthma.

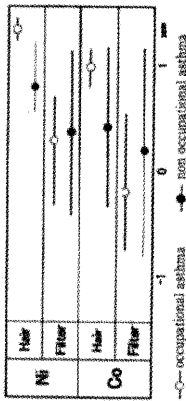


Fig.4 Ni, Co concentrations in hair and filter of occupational asthma and non occupational asthma.

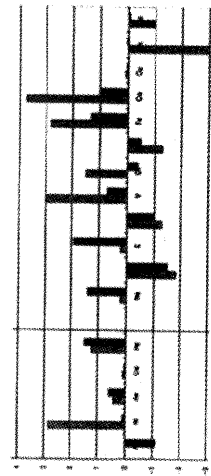


Fig.5 Balance of elemental concentrations in hair of a occupational asthma and the recovering from asthma.

## II、疾病診断と病態把握

ATD(アルツハイマー患者)の毛髪ミネラルバランス

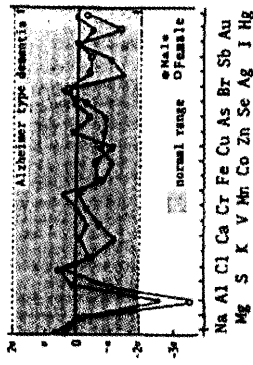
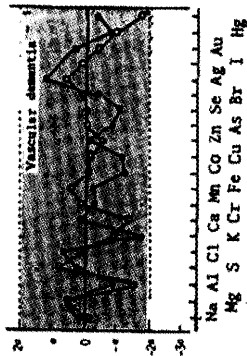


Fig.1 Mineral balance in hair of ATD patients

CVD(脳血管性病巣)の毛髪ミネラルバランス



## ① ATD、CVDとControl値を述べた表

Table 3 Analytical results for hair

Ela-ment	ATD patients (n=23)		CVD patients (n=25)		Normal person (over 50 years) (n=131)	
	Mean (SD)	Range	Mean (SD)	Range	Mean (SD)	Range
Ag	0.07 (0.07)	0.01-0.22	0.07 (0.07)	0.01-0.22	0.07 (0.07)	0.01-0.22
Al	2.52 (2.7)	0.82-7.7	2.51 (2.7)	1.6-7.7	2.0 (2.0)	0.5-7.5
As	0.048 (0.048)	0.0018-0.15	0.048 (0.048)	0.0018-0.15	0.048 (0.048)	0.0018-0.15
Au	0.019 (0.019)	0.0007-0.05	0.019 (0.019)	0.0007-0.05	0.019 (0.019)	0.0007-0.05
Br	0.29 (0.29)	0.01-0.9	0.29 (0.29)	0.01-0.9	0.29 (0.29)	0.01-0.9
Ca	199 (199)	2.4-208	199 (199)	2.4-208	199 (199)	2.4-208
Cl	1660 (1660)	1.5-1560	1660 (1660)	1.5-1560	1660 (1660)	1.5-1560
Co	0.0715 (0.0715)	0.0019-0.22	0.0715 (0.0715)	0.0019-0.22	0.0715 (0.0715)	0.0019-0.22
Cr	0.432 (0.432)	0.01-1.8	0.432 (0.432)	0.01-1.8	0.432 (0.432)	0.01-1.8
Cu	5.17 (5.17)	1.26-15.8	5.17 (5.17)	1.26-15.8	5.17 (5.17)	1.26-15.8
Fe	20.8 (20.8)	4.6-74.6	20.8 (20.8)	4.6-74.6	20.8 (20.8)	4.6-74.6
Hg	3.18 (3.18)	1.94-5.8	3.18 (3.18)	1.94-5.8	3.18 (3.18)	1.94-5.8
I	0.70 (0.70)	0.189-2.7	0.70 (0.70)	0.189-2.7	0.70 (0.70)	0.189-2.7
K	4.77 (4.77)	2.1-14.2	4.77 (4.77)	2.1-14.2	4.77 (4.77)	2.1-14.2
Mg	28.1 (28.1)	7.7-75.7	28.1 (28.1)	7.7-75.7	28.1 (28.1)	7.7-75.7
Mn	0.96 (0.96)	0.15-3.0	0.96 (0.96)	0.15-3.0	0.96 (0.96)	0.15-3.0
Ni	3.03 (3.03)	0.82-7.7	3.03 (3.03)	0.82-7.7	3.03 (3.03)	0.82-7.7
Sb	3.87 (3.87)	1.1-11.1	3.87 (3.87)	1.1-11.1	3.87 (3.87)	1.1-11.1
Se	0.602 (0.602)	0.197-2.1	0.602 (0.602)	0.197-2.1	0.602 (0.602)	0.197-2.1
S	0.242 (0.242)	0.088-0.6	0.242 (0.242)	0.088-0.6	0.242 (0.242)	0.088-0.6
V	1.6 (1.6)	0.4-3.4	1.6 (1.6)	0.4-3.4	1.6 (1.6)	0.4-3.4
Zn	118 (118)	1.6-114	118 (118)	1.6-114	118 (118)	1.6-114

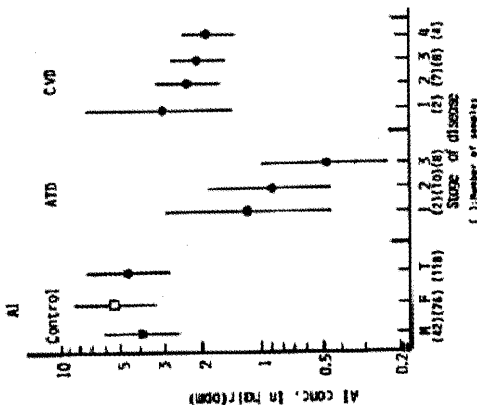
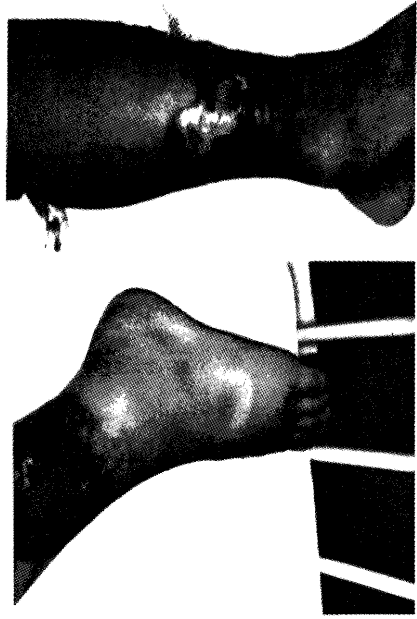


Fig.5 Relation between stage of ATD and CVD and Al concentration in hair

② クロム酸混液による火傷



Monitoring conditions of a disease with NAA of hair  
J.Radioanal.Nuclear Chem.,133(2)271-278(1989)

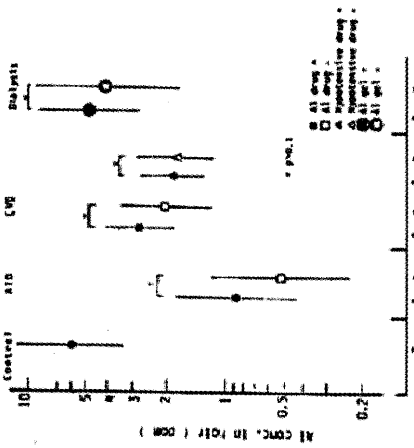


Fig.6 Influence of Al concentration in hair on administration of drugs

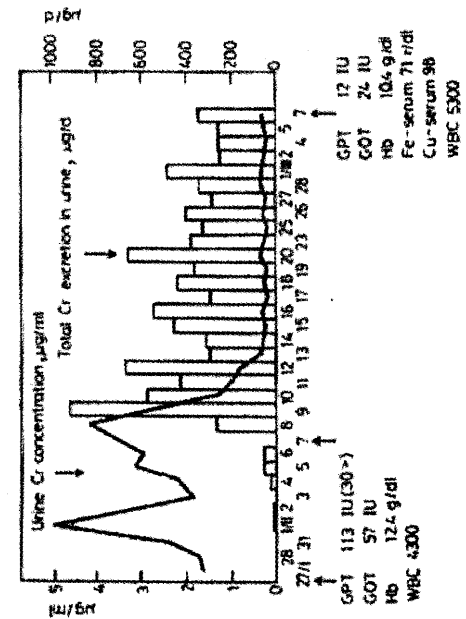


Fig. 1. Urine Cr concentrations and clinical blood results

Crの生物学的半減期

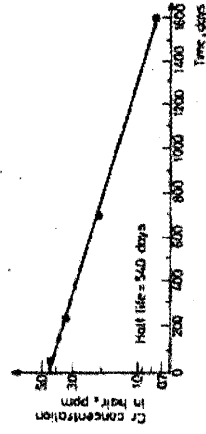


Fig. 3. Biological half-life of chromium in hair

Table 3  
Daily changes of chromium concentration in hair

Patient	Cr concentration, ppm
after 54 d	4.40
240 d	3.31
690 d	1.89
1390 d	0.64
Control (n = 53)	0.2 - 2.19*

\*Geometric mean and geometric standard deviation.

Table 4  
Analytical results

Elements	Patient		Schoolboys normal (n=58)		CSD
	after 240 d, after 690 d, after 1590 d, ppm	ppm	ppm	GM, ppm	
Al	6.45	11.0	10.7	6.74	1.9
Au	0.023	0.011	0.004	0.031	2.4
Br	6.75	3.31	4.1	1.54	2.0
Cd	46.3	266	330	321	1.5
Cl	967	644	600	439	2.2
Co	0.41	0.12	0.039	0.066	2.0
Cu	16.6	12.6	10.5	13.9	1.4
Fe	356	105	66.4	17.1	1.8
Hg	2.26	1.8	2.11	1.84	1.6
I	0.437	1.37	0.43	0.52	2.0
K	53.3	57.9	45.3	5.29	2.2
Mn	0.238	0.268	0.521	0.173	2.0
Ni	21.3	36.2	16.6	2.1	3.2
Sr	3.83	4.45	4.20	4.49	1.1
Se	1.04	1.00	0.67	0.65	1.6
V	0.041	0.062	0.022	0.038	2.1
Zn	300	463	119	169	1.2

\*Estimated value.  
GM - Geometric mean.  
CSD - Geometric standard deviation.

最悪病態から完治までの経過ミネラルバランス

S. ONOBUKI, T. EOMAYABE, CATCHING CONDITIONS OF A DISEASE

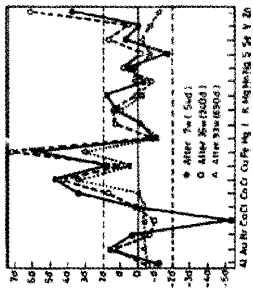


Fig. 4. Elemental balances in hair of acute chromic poisoning from the worst condition of disease to complete recovery as compared to the standardized content

社会的ストレスと毛髪中亜鉛

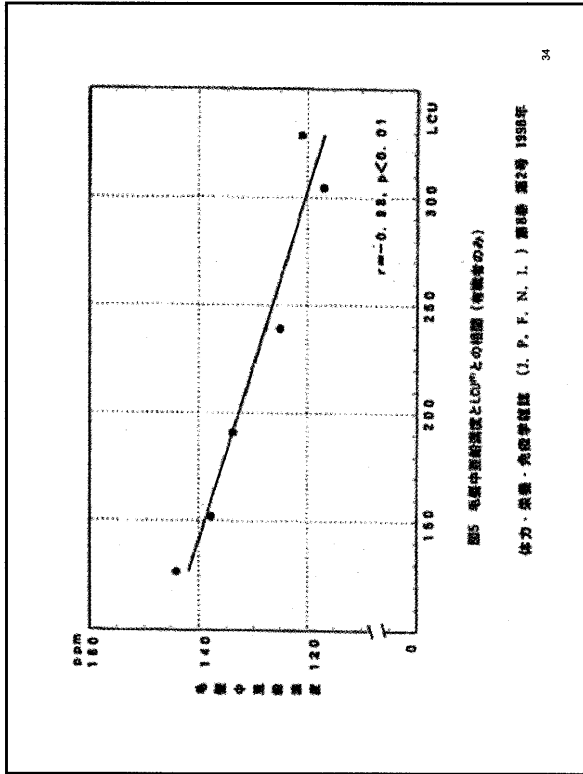
表2 社会的ストレスの事例尺取 (I. H. Holmes, S. R. Raheによる)

No.	出来事	11/10度	No.	出来事	11/10度
1	結婚者の死	100	23	文字や絵が写る	29
2	離婚	73	24	親類とのトラブル	28
3	結婚者との離婚	65	25	自分の特別な成功	26
4	汚染	63	26	妻が働き始める、仕事を辞める	25
5	親類な家族のメンバーの死	63	27	学校に行かなくなる、退学する	25
6	自分の心がやめる	59	28	生活状況の変化	25
7	結婚	56	29	個人的な習慣の変化	24
8	失業 (短期)	47	30	上司 (ボス) とのトラブル	23
9	結婚以上の結婚	46	31	労働時間や労働条件の変化	20
10	(重傷) 退職	45	32	仕事の変化	20
11	職業メンバーの結婚上の変化	44	33	学校の変化	20
12	結婚	40	34	気晴らしの変化	19
13	性的な関係	39	35	身体的活動の変化	18
14	新しい職業メンバーの獲得	39	36	社会活動の変化	18
15	ビジネスの退職	38	37	1万ドル以下の借入やローン	17
16	結婚者の変化	38	38	結婚者の変化	16
17	結婚者本人の死	37	39	両親の結婚者の変化	15
18	他の仕事への変更	36	40	失業の変化	15
19	結婚者との結婚上の借入の変化	34	41	休暇	13
20	1万ドル以上の借入 (返済)	31	42	クリスマス	12
21	借金やローンでの借入の増え	30	43	結婚者法制度	11
22	結婚での責任の変化	29			

表3 毛髪中亜鉛濃度とLCI<sup>m</sup>

	毛髪中の亜鉛濃度(ppm)	LCI <sup>m</sup> *	出稼率およびストレス値	
			出稼率	ストレス値
1. 男 会社員	121	325	5(85), 6(83), 11(44), 16(36), 22(23), 26(25), 30(23), 31(23), 40(15)	
2. 女 勤手	117	304	6(53), 7(59), 16(38), 22(28), 26(25), 28(24), 30(23), 31(23), 32(29), 36(16), 40(13)	
3. 女 専業主婦	125	239	16(38), 22(29), 24(23), 26(25), 29(24), 30(23), 31(23), 32(29), 36(16), 40(13)	
4. 女 勤手	134	190	16(38), 22(29), 26(25), 29(24), 30(23), 31(23), 32(29), 36(16), 40(13)	
5. 女 勤手	136	192	22(29), 26(25), 29(24), 30(23), 31(23), 32(29), 36(16), 40(13)	
6. 女 勤手	144	127	26(25), 29(24), 30(23), 31(23), 32(29), 36(16), 40(13)	
7. 女 勤手	159	100	22(29), 26(25), 29(24), 30(23), 31(23), 32(29), 36(16), 40(13)	
8. 女 勤手	165	76	22(29), 26(25), 29(24), 30(23), 31(23), 32(29), 36(16), 40(13)	

出稼率の数値は百分率、および( ) 内の数字はそれぞれのストレス値を示す \*LCIはLife Change Units



# 摂取ミネラルと生体ミネラル

餌の成分—Zn欠乏食、低蛋白食—

Table 1 Nutrients in diet

	Control diet	Protein free diet	Zinc free diet
Water	7.9%	10.5%	5.0%
Protein	34.1	0.0	15.0
Fat	4.8	4.1	10.0
Fiber	4.2	4.8	0.0
Ash	7.1	4.1	3.0
Soluble non-nitrogen extract	9.0	74.3	63.2
Zinc	65.5 ppm	35.5 ppm	1.4 ppm

(Oriental Yeast Industry)

Table 2 Trace elemental concentrations in hair of rats

Element	Normally fed rats		Zn deficient rats		Protein malnourished rats	
	GM(ppm)	GSD	GM(ppm)	GSD	GM(ppm)	GSD
Al	2.58	2.0	2.78	3.7	4.90	1.2
As	0.052	1.1	0.054	1.3	0.037	1.8
Au	0.0034	1.7	0.0041	2.6	0.0017	
Br	14.8	1.0	1.09	1.7	18.4	1.3
Ca	233	1.1	451	1.5	169	2.2
Cl	274	1.4	15.9	1.7	381	1.0
Co	0.053	1.0	0.073	1.3	0.041	1.2
Cr	0.174	2.9	0.354		0.268	1.2
Cu	12.8	1.1	13.7	1.2	15.7	1.1
Fe	26.8	1.0	26.1	1.2	35.4	2.1
Mg	0.216	2.2	0.049	3.6	0.13	3.3
Mn	0.720	1.5	11.8	1.2	3.24	1.1
Z	3470	1.3	8370	1.2	2060	1.7
Ni	89.2	1.4	143	1.4	50.9	2.9
Pb	0.602	1.3	0.358	1.3	0.331	2.3
Mu	122	1.8	485	1.1	135	1.3
S (S)	4.72	1.1	3.94	1.5	4.83	1.0
Se	0.0071	3.2	0.0033	2.6	0.0012	2.1
V	0.708	1.2	0.716	1.4	0.519	1.3
Y	0.0162	2.1	0.016	3.3	0.0069	2.0
Zn	188	1.1	6.5	1.1	163	1.0

Zn欠乏食・低蛋白食の体毛ミネラルバランス

低蛋白食 Zn欠乏食

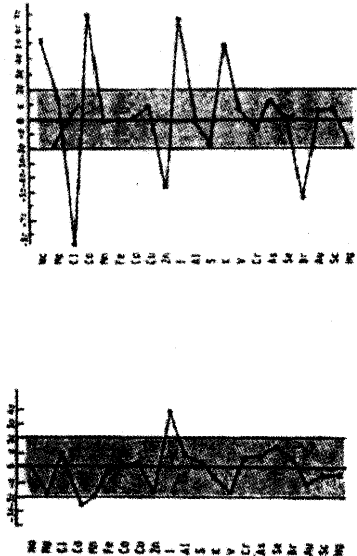


Fig. 2 The balance of elemental concentrations in hair of Protein malnourished rats.

Fig. 1 The balance of elemental concentrations in hair of Zn deficient rats.

食事内容調査

表 2 飼育動物の飼育内容調査表

項目	内容
動物種別	ラット
飼育施設	動物実験センター
飼育期間	4週間
飼育環境	23℃, 湿度50%
飼料	標準飼料
飼育者	田中 一郎
調査日	2023年10月
調査場所	実験室
調査器具	分析天秤
調査結果	...

栄養素バランスレーザチャート

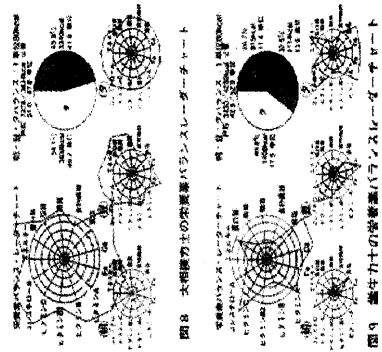


図 8 低蛋白食の栄養素バランスレーザチャート

図 9 Zn欠乏食の栄養素バランスレーザチャート

表 正常学生、力士、大学相撲選手の摂取ミネラル量

	表 10 摂取ミネラル量									
	Ca	Fe	Mg	K	Mg	Zn	CU	P		
コントロール大学生	550	16.2	10400	2850	240	8.1	1.3	1300		
所定量	600	10.0	3330	3000	300	15	2	500		
大相撲力士	1550	34.7	12280	9920	720	28.9	4.3	3600		
所定量	1400	20.0	7850	6000	600	30	4	1800		
大学生力士	480	10.9	5200	2280	190	8.7	1.2	1100		
所定量	600	10.0	3930	3000	300	15	2	900		

・Mg、Zn、Cu、Pは目標摂取量  
 ・Mは相撲力士は相撲総力ローリーが一般摂取量より2倍程度高かったため所定量も2倍値を用いて比較した

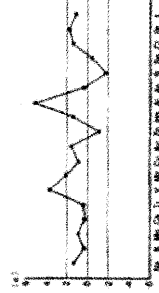


図6 大相撲力士におけるミネラルバランス

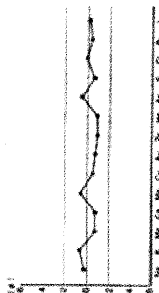


図7 大学生におけるミネラルバランス

正常者と味覚障害者の食事内容

Table 1. 味覚障害者の食事内容 (Table 1. Dietary intake of taste disorder patients)

I. 味覚障害者		II. 正常者	
総摂取量	1000g	1000g	1000g
蛋白質	60g	60g	60g
炭水化物	250g	250g	250g
脂質	80g	80g	80g
ミネラル	10g	10g	10g
ビタミン	10mg	10mg	10mg
繊維質	10g	10g	10g
水分	100g	100g	100g
その他	10g	10g	10g

摂取ミネラルバランス

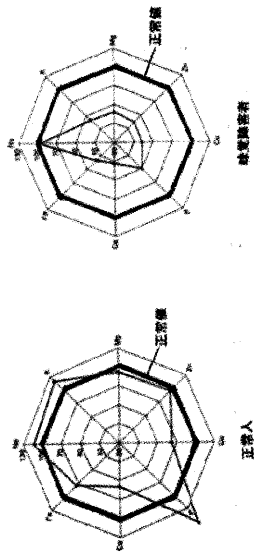


図9 正常者と味覚障害者におけるミネラルバランスの比較

毛髪中の trace elements から得られた知見

1. 新原因物質の発見。
2. 環境汚染(低濃度長期暴露)指標と生体影響
3. 体内欠乏元素の発見。(Zn 脱毛)
4. 生体内代謝影響の変化に関する指標。
5. 吸収障害の指標。
6. 免疫機能の低下の指標。
7. 疾病と栄養指導の指標。
8. 血液・尿中元素成績と相補った効果があり疾患鑑別の補助。
9. 必須ミネラルの過剰・過小摂取は±2σを逸脱しないが、欠乏食では必須ミネラルは-2σを逸脱すると共に他の元素にも変動あり。



### 最近 HANARO で行った実験

- ・栄養機能性食品(VC)を摂取することによる生体ミネラルに及ぼす影響。
- ・ウコンの多元素分析による商品ウコンに、Feの添加物の可能性。
- ・牛乳摂取によるカルシウムの吸収。

45

## 中性子放射化分析における internal single comparator 法の可能性

産業技術総合研究所計測標準研究部門

三浦 勉

## 1. はじめに

当研究所では精確な分析法を用いて信頼性の高い認証標準物質を開発するとともに開発した標準物質を社会に広める活動を行っています。標準物質の信頼性を高めるために複数の精確かつ原理の異なる分析法を用いて定量分析が実施され、得られた定量値から認証値が算出されます。ここで用いられる分析法として、同位体希釈質量分析法に加え中性子放射化分析法も重要な位置を担っています。中性子放射化分析法、特に非破壊中性子放射化分析法は ICP 質量分析法や ICP 発光分析法に代表される溶液分析法とは異なり、溶液化する必要がありません。溶液化しないことは、トレーサビリティの確保の点から非常に有利になります。溶液分析法では例え、検量線作成に国家標準にトレーサブルな標準液を用いたとしても、試料の溶液化に伴う損失、汚染に起因する不確かさは担保できないことは明らかです。その点非破壊中性子放射化分析ではトレーサビリティの連鎖が切断されることなく定量化が可能です。言い換えれば、非破壊中性子放射化分析法はトレーサビリティの確保が容易な分析法であると言えます。

中性子放射化分析法の定量法には複数の方法があります。すなわち、絶対法、比較法[1-2]、single comparator 法 ( $k$ -comparator 法[3]、 $k_0$ -standardization 法[4]) です。我々は非破壊中性子放射化分析法の定量値の精確さを向上させるために、内標準法を併用した検量線法により目的元素を定量しています。実際に内標準併用検量線法を生物試料、難分解性セラミックス中の  $\mu\text{g/g}$  レベルの微量元素分析に応用し、精確さを検証したところ満足できる結果を得ることに成功しました[5, 6]。この検証の中で、原子炉（日本原子力研究開発機構 JRR-3）の運転サイクルが異なっても単位質量あたりの内標準元素（Au）の減衰補正した計数率（ $^{198}\text{Au}$  cps/ $\mu\text{g}$ ）と目的元素（As）の減衰補正した計数率（ $^{76}\text{As}$  cps/ $\mu\text{g}$ ）がほぼ一定であることがわかりました。この興味深い事実から、内標準元素を single comparator として活用することが可能なのではないかと考え、Au を内標準として As を定量する場合について検討しました。

## 2. 実験

内標準として用いた金溶液はアサヒメタル製高純度金（純度表示値；99.99%）1.03515g を王水で溶解後、ポリプロピレン瓶中で 7% 塩酸により 100g に希釈して調製しました。ひ素標準液は NIST SRM 83d 亜ひ酸 ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ) 1.22g を希アンモニア水で溶解し、6%硫酸で pH 4 に調節した後、 $\text{H}_2\text{O}$  で約 920 g としました。調製したひ素標準液の濃度は電量中和滴定法で確認しました。両液を適宜混合してひ素濃度を段階的に変化させた比較標準溶液を調製しました。調製した比較標準溶液をポリプロピレン製シリンジにより、予め洗浄した ADNANTEC No.5C ろ紙（2 cm×2cm）に滴下して比較標準試料を作成しました。滴下量は

滴下前後のシリンジの重量を天秤で秤量し、その差から求めました。

中性子照射は、2008年12月8日、2008年12月15日、2009年6月25日の3回原子力機構JRR-3気送管PN-1で20分間中性子照射を行いました。短半減期核種の減衰後、ORTEC GMX-30190 Ge半導体検出器(相対検出効率30%、 $^{60}\text{Co}$  1332 keVの半値幅1.9 keV)とSEIKO MCA7700を用いて、 $^{76}\text{As}$ ; 559 keV及び $^{198}\text{Au}$ ; 411 keVの $\gamma$ 線を測定しました。計数誤差に伴う不確かさをできるだけ低減させるため、 $^{76}\text{As}$ 及び $^{198}\text{Au}$ は各ピークの積算値が6万カウント以上になるように測定時間を調節しました。

### 3. 結果と考察

#### 3.1. As、Auの核データ

まずAsとAuの核データを以下の表1に示します[4,7,8]。

Table 1 Nuclear properties of target nuclides and induced radionuclides

Target nuclide	Natural isotopic abundance, %	Induced radionuclide	$\sigma_0^*$	$Q_0^{**}$	Half life
$^{75}\text{As}$	100	$^{76}\text{As}$	3.86	13.6	1.09379 d
$^{197}\text{Au}$	100	$^{198}\text{Au}$	98.7	15.7	2.6951 d

\*: The cross-section of  $2200\text{ ms}^{-1}$  (n,  $\gamma$ ) reaction.

\*\* : Resonance integral to  $2200\text{ ms}^{-1}$  cross-section ratio.

放射化分析法で用いる内標準に適切な条件としては、熱中性子との反応断面積が大きく高感度なこと、目的元素と半減期が近いこと、中性子との反応性が類似していること、目的元素へのスペクトル干渉がない事などが挙げられます。表から確認できるように

- (1)  $^{197}\text{Au}$ は $\sigma_0$  (熱中性子反応断面積)が98.7 barnと大きく、感度が十分。
- (2)  $Q_0$  (共鳴積分/熱中性子反応断面積比)は15.7を示し、 $^{75}\text{As}$ と同様な反応性を示す。
- (3) 半減期も近い。

また、 $^{198}\text{Au}$ は $^{76}\text{As}$ に妨害となる近接 $\gamma$ 線を放出しないため、As分析用の内標準として適切と考えられます。

#### 3.2. 内標準の効果

放射化分析法で内標準を併用すると試料ごとに異なる中性子照射量の補正や $\gamma$ 線測定の繰り返し性を向上させることができます。

図1に $^{198}\text{Au}$ の生成量(cps/ $\mu\text{g}$ )に対する照射キャプセル内の位置の影響を示します。 $^{198}\text{Au}$ の生成量(cps/ $\mu\text{g}$ )は個々の試料の対する中性子フラックスの違いを反映しています。水平位置に従って中性子フラックスは減少していく傾向が見られます。この例では32試料における $^{198}\text{Au}$ (cps/ $\mu\text{g}$ )の相対標準偏差(RSD: Relative Standard Deviation)は4%を示しました。通常ならフラックスモニターで中性子フラックスの違いを補正する場面が多いと思いますが、内標準を添加することで試料測定のみでこの差を補正できます。実際、図1の例ではAsの定量が目的でした。 $^{76}\text{As}$ (cps/ $\mu\text{g}$ )のRSD(n=32)も $^{198}\text{Au}$ (cps/ $\mu\text{g}$ )と同様4%でしたが、内標準として $^{198}\text{Au}$ (cps/ $\mu\text{g}$ )を用いることでRSDは0.62%に大幅に改善されました。

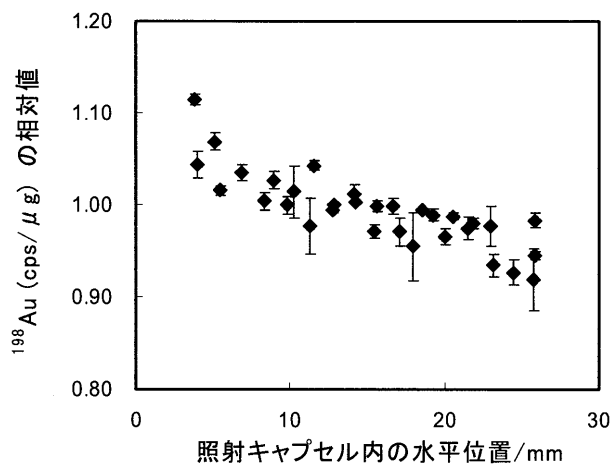


図1  $^{198}\text{Au}$ (cps/ $\mu\text{g}$ )に対する照射キャプセル内の位置の影響

図2に内標準の利用により $\gamma$ 線測定の一貫性の向上に成功した例を示します[5]。この例ではCrの定量( $^{51}\text{Cr}$  320 keV)を目的として、内標準にはCs( $^{134}\text{Cs}$  796 keV)を用いました。同一試料の測定を4回繰り返した結果を示しています。すなわち $^{51}\text{Cr}$ 計数率及び $^{51}\text{Cr}/^{134}\text{Cs}$ 計数率比をそれぞれの平均値で規格化して図示しました。 $^{51}\text{Cr}$ 計数率の4回のRSDは3.2%であったのに対して $^{51}\text{Cr}/^{134}\text{Cs}$ 計数率比のRSDは0.42%を示し、内標準の利用により一貫性をおよそ8倍改善することができました。

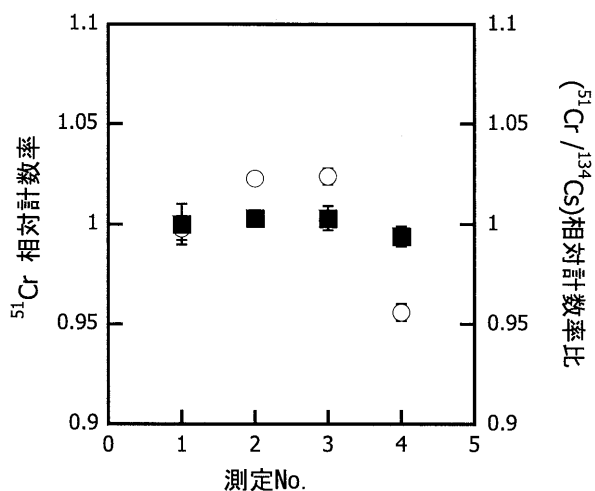


図2.内標準の利用による測定一貫性の向上  
○: $^{51}\text{Cr}$  相対計数率、  
■: $^{51}\text{Cr}/^{134}\text{Cs}$  相対計数率比  
検出器試料間距離: 0.3 cm

この例では検出器試料間の距離が0.3cmと近いため、測定位置の微妙なずれが計数率の変動をもたらしたと考えられます。仮に試料位置が異なっても、内標準( $^{134}\text{Cs}$ )の計数率も目的核種( $^{51}\text{Cr}$ )と同様に变化するため、 $^{134}\text{Cs}$ 計数率で規格化することでその変動を補正することができます。

### 3.3. 得られた検量線の評価

3回の照射によって得られたヒ素の内標準併用検量線を以下の図3に、各検量線の傾きを表2に示します。

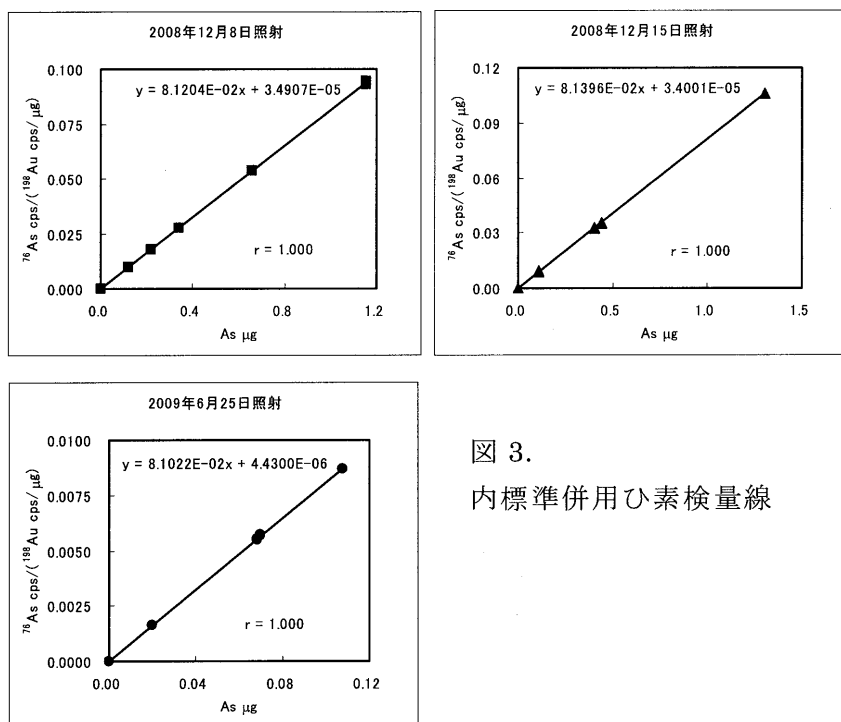


図 3.  
内標準併用ひ素検量線

表2 ひ素検量線の傾き

照射日	JRR-3運転サイクル	傾き
2008/12/8	R3-20-5	0.08120
2008/12/15	R3-20-5	0.08140
2009/6/25	R3-21-3	0.08102
	Mean	0.08121
	RSD%	0.23

図 1 に示した検量線は  $^{76}\text{As}$  559 keV 計数率 (cps) を金  $1\mu\text{g}$  当たりの  $^{198}\text{Au}$  411keV 計数率 ( $^{198}\text{Au}$  cps/ $\mu\text{g}$ , specific intensity) で規格化して作成しました。各検量線の相関係数 (r) は 0.9999 以上であり極めて良好な直線性を示しました。作成したひ素の濃度範囲はそれぞれ 0 から  $1.2\mu\text{g}$ 、0 から  $1.5\mu\text{g}$ 、0 から  $0.12\mu\text{g}$  であり、0 から  $1.5\mu\text{g}$  の範囲での直線性が実証されました。この良好な直線性は言うまでもなく、内標準により試料ごとの中性子フラックスの補正を行ったこと、各試料における  $\gamma$  線測定の繰返し性が向上したことに起因します。

また表 2 より検量線の傾きは複数日、しかも複数の運転サイクルの照射においても傾きが相対標準偏差 (RSD) 0.2%を示し、繰返し性よく一致することが確認できます。

ここで、Specific intensity ratio を以下のように定義し、表 3 に各照射日における specific intensity ratio を示します。

$$\text{Specific intensity ratio} = (^{76}\text{As cps}/\mu\text{g})/(^{198}\text{Au cps}/\mu\text{g})$$

表3 各照射日における<sup>76</sup>As, <sup>198</sup>Au間のspecific intensity ratio

照射日	JRR-3運転サイクル	Specific intensity ratios
2008.12.08	R3-20-5	0.08137
2008.12.15	R3-20-5	0.08122
2009.06.25	R3-21-3	0.08121
	Mean	0.08127
	RSD%	0.11

表3に示したように<sup>76</sup>As 559keV、<sup>198</sup>Au 411 keVの単位質量当たりの計数率も先の検量線の傾きと同様、RSD 0.11%で一致することがわかります。この事実は以下のことを示していると考えています。

- (1) JRR-3 PN 1で照射する場合、<sup>75</sup>Asと<sup>197</sup>Auの間の放射化断面積比は一定である。
- (2) JRR-3 PN 1の中性子スペクトルは運転サイクルに関わらず<sup>75</sup>As、<sup>197</sup>Auが示す $\sigma_0$ の差を反映しない程度に変動しない。
- (3) 2008年12月から2009年6月末までの期間で $\gamma$ 線測定に用いたORTEC GMX-30190 Ge半導体検出器の559keV、411 keV間の計数効率比は変動していない。

(1)については書いてしまえば当たり前ですが、測定精度の向上なしには、実証できない結果と考えています。(2)については、JRR-3 PN-1の*f*値(熱中性子フラックスと熱外中性子フラックスの比)の実測値が $150 \pm 5.6$  ( $n=20$ )であり、熱外中性子の寄与が非常に小さい照射場であることが要因と考えられます。(3)は適切に管理されたGe半導体検出器は非常に安定で信頼性が高い計測器があることを示していると考えています。

### 3.4 再現性のある specific intensity ratioは何にどのように使えるか

特定の原子炉照射装置、特定のGe半導体検出器に限定されますが、<sup>76</sup>Asの<sup>198</sup>Auに対する specific intensity ratioは高い再現性を示すことがわかりました。一度、<sup>76</sup>Asの<sup>198</sup>Auに対する specific intensity ratioを測定しておけば、分析試料のみに既知量のAuを添加することだけでAsが定量することができる可能性があります。内標準法を中性子フラックスの変動、 $\gamma$ 線測定の繰返し性の改善だけでなく目的元素の定量にまで拡張することが可能になります。これはいわゆる内標準を single comparatorとして用いることであり、internal single comparator法と称することができる定量法です。

ここで示した specific intensity ratioを  $k_0$ -standardization法における  $k_0$ -factorと比較してみます。 $k_0$ -standardization法における定量式は以下の式で表されます[4]。

$$Q_a \text{ (g/g)} = \frac{\left(\frac{N_p}{Wt_m SDC}\right)_a}{\left(\frac{N_p}{Wt_m SDC}\right)_{Au}} \times \frac{1}{k_{0,Au}(a)} \times \frac{f + Q_{0,Au}(\alpha)}{f + Q_{0,a}(\alpha)} \times \frac{\epsilon_{p,Au}}{\epsilon_{p,a}}$$

ここで添え字 a、Au はそれぞれ目的元素 a、金モニターAuを表し、Np: 同時計数及び不

感時間補正済みの  $\gamma$  線ピークカウント、 $W$ : 試料重量、 $w$ : 同時に照射する金モニターの重量、 $S$ :  $S=1-\exp(-\lambda t_{\text{irra}})$ 、 $t_{\text{irra}}$ : 照射時間、 $D$ :  $D=\exp(-\lambda t_d)$ 、 $t_d$ : 減衰時間、 $C$ :  $[C=1-\exp(-\lambda t_m)]/\lambda t_m$ 、 $k_{0,\text{Au}}(a)$ : 目的元素  $a$  の  $k_0$ -factor、 $f$ : 熱中性子/熱外中性子フラックス比、 $Q_0=I_0/\sigma_0$  (共鳴積分/熱中性子反応断面積比)、 $\alpha$ : 熱外中性子スペクトル領域の  $1/E$  則からのずれ、 $\varepsilon$ :  $\gamma$  線検出効率をそれぞれ示します。

上記の式で  $k_{0,\text{Au}}(a)$  で示される重要な  $k_0$ -factor は実験的に  $^{198}\text{Au}$  411 keV における計数率との比較で求められます。

$$k_{0,\text{Au}} = \frac{\left(\frac{Np}{Wt_m SDC}\right)_a}{\left(\frac{Np}{wt_m SDC}\right)_{\text{Au}}} \times \frac{f + Q_{0,\text{Au}}(\alpha)}{f + Q_{0,a}(\alpha)} \times \frac{\varepsilon_{p,\text{Au}}}{\varepsilon_{p,a}}$$

この式と上記の specific intensity ratio を比較すると、specific intensity ratio は照射する原子炉、照射装置、測定する Ge 半導体検出器を特定することで  $k_{0,\text{Au}}$  を求める式の第 2 項と第 3 項の計算が不必要な状態になった式に相当します。また specific intensity ratio は同時計数補正、精確な Ge 半導体検出器の効率校正、中性子スペクトルの補正を行わない、簡易かつ経験的な値と考えることができます。経験的な値ではありますが、不確かさ評価の観点から考察すると、 $k_0$ -standardization 法では sum 効果補正を含む精確な Ge 半導体検出器の効率校正、 $k_0$ -factor、実測される  $f$  値等の不確かさから逃れることはできません。以下に De Corte らが評価した  $k_0$ -standardization 法の不確かさを示します[9, 10]。全体として標準不確かさで 3.5%程度と見積もられています。標準不確かさ 3.5%のレベルは溶液分析法と比較して小さい値ではありません。

表4  $k_0$ -standardization法の不確かさ評価の例

Parameter	Contribution
$k_0$	~1 %
$Q_0$	~1 %
$\alpha$	~1.5 %
$f$	~1 %
$\varepsilon$ -measurement and conversion	~2 %
true-coincidence correction	~1.5 %
Overall	~3.5 %

それに対して、specific intensity ratio は原子炉、照射装置、Ge 検出器を限定することで Ge 半導体検出器の効率校正、 $k_0$ -factor、 $f$  値、 $\alpha$  値の不確かさから開放されます。不確かさも内標準併用検量線法には及ばないものの、 $k_0$ -standardization 法と比較して、より不確かさの小さい定量が可能と考えられます。

#### 4. 今後の展開

内標準法を拡張した internal single comparator 法による放射化分析法は経験的な specific intensity ratio を事前に取得する必要がありますが、放射化分析法の省力化、簡易化につながる手法になる可能性があると考えています。

## 5. 謝辞

本報告で記載した結果は産業技術総合研究所計測標準研究部門と日本原子力研究開発機構量子ビーム応用研究部門の共同研究「原子炉中性子を用いたSIトレーサブルな標準物質分析法及び不確かさ評価方法の開発」で実施した研究成果の一部です。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- [1] R. R. Greenberg, Pushing the Limits of NAA: Accuracy, Uncertainty and Detection Limits, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 278(2008)231-240.
- [2] R. R. Greenberg, R. M. Lindstrom, D.S. Simons, Instrumental Neutron Activation Analysis for Certification of Ion-implanted Arsenic in Silicon, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 245(2000)57-63.
- [3] F. Girardi G. Guzzi, J. Pauly, Reactor Neutron Activation Analysis by the Single Comparator Method, *Anal. Chem.*, 37(1965)1085-1092.
- [4] F. De Corte, A. Simonits, Recommended Nuclear Data for Use in the  $k_0$  Standardization of Neutron Activation Analysis, *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, 85 (2003)47-67.
- [5] T. Miura, H. Matsue, T. Kuroiwa, K. Chiba, Precise Determination of Cr and Co in Certified Reference Material of Silicon Nitride by Neutron Activation Analysis Using Internal Standardization, *Anal. Sci.*, 25(2009)881-885.
- [6] T. Miura, H. Matsue, T. Kuroiwa, Instrumental Activation Analysis of Hafnium in Zirconium metal using Internal Standardization, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 282(2009)49-52.
- [7] V. P. Kolotov, F. Decorte, Compilation of  $k_0$  and Related Data for Neutron-Activation Analysis (NAA) in the Form of an Electronic Database, *Pure Appl. Chem.*, 76(2004)1921-1925.
- [8] R. M. Lindstrom, M. Blaauw, R. F. Fleming, The Half-life of  $^{76}\text{As}$ , *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 257(2003)489-491.
- [9] J. Kucera, P. Bode, V. Stepanek, Uncertainty Evaluation Instrumental and Radiochemical Neutron Activation Analysis, in “*Quantifying Uncertainty in Nuclear Analytical Measurements*”, IAEA-TECDOC-1401, Viena, July 2004.
- [10] F. De Corte, A. Simonits, Vade Mecum for  $k_0$ -Users, Addendum to the KAYZERO/SOLCOI software package, DSM Research, Gellen(NL), R94/11492, December 1994.

(専門研究会報告書より転載)



# 研 究 会 報 告

*Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry 09 (APSORC09)*

[2009年11月29-12月4日]

APSORC09 に参加して

上智大学理工学部物質生命理工学科 木川田喜一

APSORC も 4 回目となり、初めてのアジア圏外での開催とのことであるが、私にとってはこれが初めての APSORC への参加である。日本からの参加者がたいへん多く、サンフランシスコ国際空港のリムジンバス乗り場が Napa 行きのバスを待つ日本人参加者で溢れ、バスに乗りきれずに数時間ひたすら次のバスを皆で待ち続けたのはご愛敬であった。11 月末ではあったが、バスを待つ間にカリフォルニアの強い日差しを浴び、少々日焼けしたような気もする。

今回の講演プログラムの中で個人的に強い印象を受けたのが、“Nuclear forensics” のセッションの存在である。日本語では「核の鑑識(活動|学)」と呼ばれるようであるが、私にとって初めて耳にする用語であった。近年の核拡散の問題とテロの横行により、闇で取引される核物質や放射性物質の出処をきちんと把握しようということであろうが、正直、平和ぼけの日本人の代表である私にとって、活発な議論がなされるこのようなセッションの存在は衝撃的であった。APSORC から帰国後、クリスマスにデトロイト便の航空機爆弾テロ未遂事件が起こり、空港保安検査の全身透視スキャナー装置に注目が集まったが、帰国時にサンフランシスコ国際空港で初めてスキャナーにご対面し(幸い? 体験はしなかったが···), 米国入国時の指紋採取と顔写真照合とも相まって、思わぬところで世界情勢を強く意識させられた APSORC への参加であった。

これまで Radio Chemistry の国際学会に参加したことはなかったが、APSORC09 に参加して研究に対するモチベーションが大いに高まった。次回の APSORC は再び日本での開催とのことである。次回は学生とともに参加するべく、研究と教育に勤しみたいと、強く考えている今日この頃である。

APSORC 09

原子力機構 初川雄一

1997 年に熊本大学で初めて開催された Asia Pacific Symposium on Radiochemistry (APSORC) が福岡 (2001 年)、北京 (2005 年) を経てついに太平洋を越えて米国・カリフォルニア州 Napa 市で開催された。

主催はカリフォルニア大学バークレイの H.Nitche 教授で、27 カ国からの 267 名の登録参加者

# 研 究 会 報 告

*Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry 09 (APSORC09)*

[2009年11月29-12月4日]

APSORC09 に参加して

上智大学理工学部物質生命理工学科 木川田喜一

APSORC も 4 回目となり、初めてのアジア圏外での開催とのことであるが、私にとってはこれが初めての APSORC への参加である。日本からの参加者がたいへん多く、サンフランシスコ国際空港のリムジンバス乗り場が Napa 行きのバスを待つ日本人参加者で溢れ、バスに乗りきれずに数時間ひたすら次のバスを皆で待ち続けたのはご愛敬であった。11 月末ではあったが、バスを待つ間にカリフォルニアの強い日差しを浴び、少々日焼けしたような気もする。

今回の講演プログラムの中で個人的に強い印象を受けたのが、“Nuclear forensics” のセッションの存在である。日本語では「核の鑑識(活動|学)」と呼ばれるようであるが、私にとって初めて耳にする用語であった。近年の核拡散の問題とテロの横行により、闇で取引される核物質や放射性物質の出処をきちんと把握しようということであろうが、正直、平和ぼけの日本人の代表である私にとって、活発な議論がなされるこのようなセッションの存在は衝撃的であった。APSORC から帰国後、クリスマスにデトロイト便の航空機爆弾テロ未遂事件が起こり、空港保安検査の全身透視スキャナー装置に注目が集まったが、帰国時にサンフランシスコ国際空港で初めてスキャナーにご対面し(幸い? 体験はしなかったが···), 米国入国時の指紋採取と顔写真照合とも相まって、思わぬところで世界情勢を強く意識させられた APSORC への参加であった。

これまで Radio Chemistry の国際学会に参加したことはなかったが、APSORC09 に参加して研究に対するモチベーションが大いに高まった。次回の APSORC は再び日本での開催とのことである。次回は学生とともに参加するべく、研究と教育に勤しみたいと、強く考えている今日この頃である。

APSORC 09

原子力機構 初川雄一

1997 年に熊本大学で初めて開催された Asia Pacific Symposium on Radiochemistry (APSORC) が福岡 (2001 年)、北京 (2005 年) を経てついに太平洋を越えて米国・カリフォルニア州 Napa 市で開催された。

主催はカリフォルニア大学バークレイの H.Nitche 教授で、27 カ国からの 267 名の登録参加者

があった。参加者は会議名にあるアジア・太平洋地域に限らずイギリス、ドイツ、フィンランドのようなヨーロッパ諸国、インド、ブラジルなど従来の枠を超えた諸国からの参加があり盛大に行われた。会議は「教育と将来」「核捜査」「放射線検出」「原子核エネルギー化学；GNEP と地球温暖化」「超重元素の化学」「RI ビーム」「アクチニド化学」「環境化学」など 13 の分野からなっていた。冒頭の D.C.Hoffman 教授（カリフォルニア大学）の基調講演では 112 番元素の名前がコペルシニウム（Cn）となったとの発表があった。

放射化分析に関する研究発表は「Nuclear Analytical techniques: Neutrons; Ions; X-rays; Synchrotron radiation, etc.」と名づけられたセッションに組み入れられた。全体講演で東大の中西友子先生が放射化分析とイメージングを結び付けて植物の生理活性研究への応用研究について話された。他に口頭で 12 件、ポスターに 9 件の発表があり、日本からは 5 件の発表があった。このセッションでは Table of Isotopes の編集者として知られる R.Firestone 教授（カリフォルニア大学）も招待講演のなかで IUPAC  $k_0$  値と放射分析法によって得られる核データとの比較を論じた発表を行った。世界的に有名なワイナリーが点在する、きれいな景色のなかで世界から集まった多くの研究者とワインを飲みながらの語り合う楽しい会議でした。



カンファレンスディナーの写真。  
左より H.Nitche 先生、工藤久昭先生（新潟大）  
S.Clark 先生(Washington State Univ.),  
中原弘道先生（都立大）、吉田善行先生（原子力機構）  
岸川俊明先生ご夫妻（熊本大）、永目諭一郎先生（原子力機構）

セキュリティーしていますか

日本原子力研究開発機構 宮本ユタカ

8 時間くらいの長旅の末、サンフランシスコ空港に到着した。入国審査で両手指の指紋と顔写真を撮られて尋問される。9.11 の爆破テロ以降、セキュリティーが厳しくなっていたことは知っていたが気分の良いものではない。前に並んでいた旅行代理店の添乗員らしき女性が「日本人は指紋が世界でも薄いらしく、機械がなかなか読みとれないので強く押しつけて下さい。」と連れの人に説明していた。本当？日本人がパネルにソフトタッチする習慣があるだけなのでは？とか思いながらパネルにベッタリと強く押しつけてやった。そのおかげ？で一発で読みとれたようである。で、さっさと通してくれるのかと思ったら「ナバ？ワイナリーツアーにも行くのか？」「ああ、ワイン

があった。参加者は会議名にあるアジア・太平洋地域に限らずイギリス、ドイツ、フィンランドのようなヨーロッパ諸国、インド、ブラジルなど従来の枠を超えた諸国からの参加があり盛大に行われた。会議は「教育と将来」「核捜査」「放射線検出」「原子核エネルギー化学；GNEP と地球温暖化」「超重元素の化学」「RI ビーム」「アクチニド化学」「環境化学」など 13 の分野からなっていた。冒頭の D.C.Hoffman 教授（カリフォルニア大学）の基調講演では 112 番元素の名前がコペルシニウム（Cn）となったとの発表があった。

放射化分析に関する研究発表は「Nuclear Analytical techniques: Neutrons; Ions; X-rays; Synchrotron radiation, etc.」と名づけられたセッションに組み入れられた。全体講演で東大の中西友子先生が放射化分析とイメージングを結び付けて植物の生理活性研究への応用研究について話された。他に口頭で 12 件、ポスターに 9 件の発表があり、日本からは 5 件の発表があった。このセッションでは Table of Isotopes の編集者として知られる R.Firestone 教授（カリフォルニア大学）も招待講演のなかで IUPAC  $k_0$  値と放射分析法によって得られる核データとの比較を論じた発表を行った。世界的に有名なワイナリーが点在する、きれいな景色のなかで世界から集まった多くの研究者とワインを飲みながらの語り合う楽しい会議でした。



カンファレンスディナーの写真。  
左より H.Nitche 先生、工藤久昭先生（新潟大）  
S.Clark 先生（Washington State Univ.）、  
中原弘道先生（都立大）、吉田善行先生（原子力機構）  
岸川俊明先生ご夫妻（熊本大）、永目諭一郎先生（原子力機構）

セキュリティーしていますか

日本原子力研究開発機構 宮本ユタカ

8 時間くらいの長旅の末、サンフランシスコ空港に到着した。入国審査で両手指の指紋と顔写真を撮られて尋問される。9.11 の爆破テロ以降、セキュリティーが厳しくなっていたことは知っていたが気分の良いものではない。前に並んでいた旅行代理店の添乗員らしき女性が「日本人は指紋が世界でも薄いらしく、機械がなかなか読みとれないので強く押しつけて下さい。」と連れの人に説明していた。本当？日本人がパネルにソフトタッチする習慣があるだけなのでは？とか思いながらパネルにベッタリと強く押しつけてやった。そのおかげ？で一発で読みとれたようである。で、さっさと通してくれるのかと思ったら「ナバ？ワイナリーツアーにも行くのか？」「ああ、ワイン

が美味しい所ですよね」「で、おまえの研究の専門は?...」早く通してくれよと思いながら顔ではニコニコ笑って話に付き合った。ハンコを押してもらって抜けるだけで30分もかかってしまった。やれやれと思いながらゲートを抜けると、シュワルネッガー州知事が"Welcome to California"とポスターで出迎えてくれた。

APSORCでの発表はプログラムにもあるように大半が米国と日本からであった。ビザ取得や旅費の補助などの問題があるためか中近東アジア諸国やアフリカからの参加者はいなかった。今回、米国の発表では「nuclear forensicsに役立つ分析技術として...」とか「nuclear forensicsのための外部資金で研究した」などの言葉が目立った。米国では9.11のテロ以降、セキュリティのために競争的研究資金が出ているようである。日本では「nuclear forensics」なる言葉はほとんどなじみが無い。「核鑑識」とか訳されているようである。核物質の出所や精製・濃縮などの履歴などを組成・形状分析して推定することである。発表では50~60年代に稼働していた原子炉や再処理工場の跡地から持ち出されたと思われる試料やゴミに紛れていた試料の分析例が紹介されていた。IAEAが査察で採取した試料の分析はこのような「核鑑識」とは目的が違おうし、分析所では分析結果を報告するのみで履歴推定などの結果に関する検討はしない。学会では核物質の同位体比測定、親核種と娘核種の原子数比測定、粒子形状の観察などの技術が紹介されていた。どのような技術が"nuclear forensics"なるものに必要なのか、また本当にそのような技術が必要とされるのかは疑問が残る所ではあったが、紹介されていた分析技術は高度なものがいくつもあった。それらの分析技術を地球化学や環境科学などの基礎基盤研究にうまく応用することで、研究が更に発展するのではないかと思った。放射光を使った3次元CT画像と蛍光X線分析を組み合わせた粒子分析では、地球儀に色分けされた国のように粒子のどの部分に元素が集まっているかが一目で分かるようになっていた。また、電気化学的にPuを酸化・還元し、濃縮することで $ag(10^{-18}g)$ レベルの同位体比をICP-MSで測定できる超微量分析技術には驚いた。

諸般の事情で"nuclear forensics"のsession organizerを引き受ける羽目になった時、正直このsessionは人数不足で成立しないと思っていた。しかし、今日の米国ではそうでないことがよく分かった。それにしても、満腹の午後から長時間(4時間!)に渡る国際学会の座長は睡魔と集中力で重労働であった。知り合いの米国の研究者が座長としてリードしてくれたのは助かった。

学会期間中、近くにあるショッピングセンターに何度か出かけて食事や買い物をした。さすがカリフォルニアワインの生産地だけあって、スーパーマーケットにも色々なワインがずらっと壁一面に並べられていた。

学会で出されたワインやポンドステーキを堪能し、太ってきたなと思い始める頃に帰国となった。以前は「この国を出て行く奴に用はない」と言わんばかりに出国手続きが簡単であったと思う。チェックインカウンターで荷物を預けると「スーツケースの鍵を開けたままにしろ」といきなり言われた。"Why?"と聞くと"Security Check!"また...である。更に全身X線スキャンでボディチェック。靴まで脱がされる。服を脱いで息を止めろと言われそうな勢いである。「何か体に悪い所はなかったか？」とガードマンに冗談を言おうかと思ったが、とてもそんな明るい雰囲気ではなかつ

た。散々securityに振り回されて後、帰国した。

料理学校での一風変わった Banquet も面白かったし、適度にコンパクトで色々な講演も聞いて実のある学会であったと思う。Nitsche 教授をはじめ、Ms.Michele Pixa や学生さんなど少数のメンバーで準備したようであるが、さぞや準備が大変だっただろうと思う。皆さんに感謝する次第である。

## APSORC' 09 に参加して

九州大学 百島則幸

「エスタの番号ですか？控えていません。」早速のトラブルである。大学のパソコンに情報はすべて入っている。「エスタに申請されていることを確認して搭乗券をお渡しすることになっていきます。」困った。「再申請して頂くか、番号が必要です。」まさか飛行場のカウンターでパソコンを取り出してエスタを再申請することになるとは・・・福岡空港は無料のネットワークが利用できたので助かった。申請の受理画面をチラッと見て「申請されていることが確認できました。ありがとうございました」まずは無事通過。ネット社会の災いかそれとも幸運か？

サンフランシスコの空は晴れ渡っていた。10 時発のナパ行きのバスがあるので、うまくいくと乗れるかもしれない。それに乗れなければ、次は 12 時発で 2 時間待ちになる。入国手続きとバスの出発時間との戦いである。ターミナルから出たのは 10 時である。向こう側のバス停に見慣れた顔がある。ちょうどバスに乗り込んでいるところである。間に合った、ラッキー。「申し訳ないが、あと二人しか乗れない」え、まだ 10 人いるのに。バスは 25 人程度が乗れる中型であった。結局 2 時間待つことになったが、ぞくぞくと見慣れた顔が増え、行列は長くなっていった。12 時過ぎにやってきたバスは 10 時発と同じサイズ。全員乗れるかなと話していると「申し訳ないが、あと 8 人しか乗れない」え、なぜ。確かに座席は埋まっている。どうやら、ナパ行きのバスは国内線ターミナルで乗客を拾ってから国際線ターミナルへ回ってくるようである。

APSORC' 09 が開催されたナパはワインで有名なところである。ベイブリッジを渡ると広大なブドウ畑が見えた。会場受付でグラスワインの引換券をくれた。夕方 5 時からオープニングセレモニーが開催されたが眠たい。うとうとしているうちにホフマン博士の講演も終わり、レセプションが始まった。早速ワインを頂いたがおいしい。主催された Nitsche 博士によると日本からの参加者は 99 人でアメリカ国内からの参加者より多いとのことであった。たくさんの日本人がきてくれたことに Nitsche 博士は感謝されていた。日本で始まった APSORC を日本の研究者がいかに重要視しているかがわかる。

基調講演が 8 時 30 分から 10 時まで組まれており、その後は 2 会場に分かれて分野ごとに発表が行われた。環境放射能セッションは初日に開催された。海外の研究者が注目している最新の研究内容に接することができるのが国際会議である。欧米研究者の発表から得た私の印象は、「機器分

た。散々securityに振り回されて後、帰国した。

料理学校での一風変わった Banquet も面白かったし、適度にコンパクトで色々な講演も聞いて実のある学会であったと思う。Nitsche 教授をはじめ、Ms.Michele Pixa や学生さんなど少数のメンバーで準備したようであるが、さぞや準備が大変だっただろうと思う。皆さんに感謝する次第である。

## APSORC' 09 に参加して

九州大学 百島則幸

「エスタの番号ですか？控えていません。」早速のトラブルである。大学のパソコンに情報はすべて入っている。「エスタに申請されていることを確認して搭乗券をお渡しすることになっていきます。」困った。「再申請して頂くか、番号が必要です。」まさか飛行場のカウンターでパソコンを取り出してエスタを再申請することになるとは・・・福岡空港は無料のネットワークが利用できたので助かった。申請の受理画面をチラッと見て「申請されていることが確認できました。ありがとうございました」まずは無事通過。ネット社会の災いかそれとも幸運か？

サンフランシスコの空は晴れ渡っていた。10 時発のナパ行きのバスがあるので、うまくいくと乗れるかもしれない。それに乗れなければ、次は 12 時発で 2 時間待ちになる。入国手続きとバスの出発時間との戦いである。ターミナルから出たのは 10 時である。向こう側のバス停に見慣れた顔がある。ちょうどバスに乗り込んでいるところである。間に合った、ラッキー。「申し訳ないが、あと二人しか乗れない」え、まだ 10 人いるのに。バスは 25 人程度が乗れる中型であった。結局 2 時間待つことになったが、ぞくぞくと見慣れた顔が増え、行列は長くなっていった。12 時過ぎにやってきたバスは 10 時発と同じサイズ。全員乗れるかなと話していると「申し訳ないが、あと 8 人しか乗れない」え、なぜ。確かに座席は埋まっている。どうやら、ナパ行きのバスは国内線ターミナルで乗客を拾ってから国際線ターミナルへ回ってくるようである。

APSORC' 09 が開催されたナパはワインで有名なところである。ベイブリッジを渡ると広大なブドウ畑が見えた。会場受付でグラスワインの引換券をくれた。夕方 5 時からオープニングセレモニーが開催されたが眠たい。うとうとしているうちにホフマン博士の講演も終わり、レセプションが始まった。早速ワインを頂いたがおいしい。主催された Nitsche 博士によると日本からの参加者は 99 人でアメリカ国内からの参加者より多いとのことであった。たくさんの日本人がきてくれたことに Nitsche 博士は感謝されていた。日本で始まった APSORC を日本の研究者がいかに重要視しているかがわかる。

基調講演が 8 時 30 分から 10 時まで組まれており、その後は 2 会場に分かれて分野ごとに発表が行われた。環境放射能セッションは初日に開催された。海外の研究者が注目している最新の研究内容に接することができるのが国際会議である。欧米研究者の発表から得た私の印象は、「機器分

析」、「同位体分析」、「犯罪」である。最後のキーワードは日本ではなじみが薄い、プルトニウムや濃縮ウランの不法な取引など犯罪にかかわる研究である。濃縮ウランがいつ精製されたものなのかウラン-トリウム年代測定法で調べていた。地面から掘り出された怪しげなポリビンのプルトニウムについて、その同位体比から米国のどこの施設で、いつ頃分離されたものであるのかなど推定していた。感心するばかりであった。

#### APSORC 09プログラム(放射化分析関連のみ抜粋)

#### **Session 11 – Subject 11: Applications of Nuclear & Radiochemical Techniques in Life Science; Nano Science; Environmental Science; Geo- and Cosmo Sciences, Archaeology; etc.**

**Chairs: G. Geipel, C. Walther**

- 11-TS11-1 Zhiyong Zhang (invited): Nuclear Analytical Techniques for Nanotoxicology Studies
- 11-S11-2 Joao Arruda-Neto: Probing Bio-Nanostructures (DNA) with Ionizing Radiation: Perspectives for Improving Cancer Radiotherapy
- 11-S11-3 Clemens Walther: The Role of Polymerization and (Pseudo) Colloid Formation for Understanding the Behavior of An Ions in Aqueous Solution
- 11-S11-4 Wolfgang Kretschmer: Application of Accelerator Mass Spectrometry to Archaeology, Geography and Environmental Science
- 11-S11-5 Hirotaka Oda: Radiocarbon Age of Miidera-Gire Attributed to Enchin and the Historical Age in which an Ancient Manuscript of Monzen Was Written
- 11-S11-6 Yuichi Kurihara: Radioactive Equilibria and Disequilibria of U-Series Nuclides in the Products from Izu Arc Volcanoes, Japan
- 11-S11-7 Toshiyuki Fujii: Nuclear Field Shift Effect in Isotope Fractionation of Palladium Using a Crown Ether
- 11-TS11-8 Peter Englert (invited): Orbital Planetary Gamma Ray Spectroscopy: From Concept to Success
- 11-TS11-9 Gerhard Geipel (invited): Interaction of Uranium(VI) Towards Glutathione – An Example to Study Different Functional Groups in One Molecule
- 11-S11-10 Katrin Viehweger: Glutathione – A Key Factor of Uranium Tolerance in Plant Cells
- 11-S11-11 Dorothea Schumann: Separation of <sup>60</sup>Fe Samples from an Irradiated Beam Dump for Nuclear Astrophysics Experiments

#### **Session 16 – Plenary (invited)**

**Chair: A. Chatt, Y. Maeda**

- 16-PS9 Tomoko Nakanishi: Application of Radioisotope Measurement for Plant Study – From Activation Analysis to Radioisotope Imaging Subject 9

#### **Session 18 – Subject 9: Nuclear Analytical Techniques: Neutrons; Ions; X-Ray; Synchrotron Radiation, etc.**

**Chair: R. Lindstrom, T.M. Nakanishi**

- 18-TS9-1 Richard Firestone (invited): Comparison of IUPAC k0 Values and Neutron Cross Sections to Determine a Self Consistent Set of Data for Neutron Activation Analysis
- 18-S9-2 Vladimir Kolotov: Development of Nuclear Image Methods of Analysis Based on Gamma Activation
- 18-S9-3 Zhifang Chai: Metallomics Study – A Nuclear Approach
- 18-S9-4 Yuchi Hatsukawa: Isotope Production for Medical Usage Using Fast Neutron Reactions
- 18-S9-5 Masumi Oshima: Application of Triple Gamma Coincidence in Prompt Gamma-Ray Analysis and Neutron Activation Analysis



18-S9-6 Daniel Cummings: Application of Gas Pressurized Extraction Chromatography (GPEC) to the Analytical Laboratory

**Session 21 – Subject 9: Nuclear Analytical Techniques: Neutrons; Ions; X-Ray; Synchrotron Radiation, etc.**

**Chairs: Y. Hatsukawa, V. Kolotov**

- 21-TS9-1 Amares Chatt (invited) : Preconcentration of Copper by Cloud Point Extraction with 1-(2-Pyridylazo)-2-Naphthol and Determination by Neutron Activation
- 21-S9-2 Hee Dong Choi : New Features of HYPERGRAM for HPGe Gamma-Ray Spectrum Analysis
- 21-S9-3 Richard Lindstrom: Uncertainty of Gamma-Ray Peak Integration
- 21-S9-4 Mohammad Islam: Non-Destructive Analysis of Bulky Meteorites by Neutron-Induced Prompt Gamma-Ray Analysis
- 21-S9-5 Jong-Myoung: Lim Comparative Study for Airborne Toxic Metal Determination by INAA and CCT-ICP-MS
- 21-S9-6 P. K. Pujari: Large Sample NAA by k<sub>0</sub>-Based Internal Mono Standard Method Using In-Situ Detection Efficiency

**APSORC '09 Poster Sessions**

**Subject Area 11 - Applications of nuclear & radiochemical techniques in Life Science; Nano Science; Environmental Science; Geo-and Cosmo sciences, Archaeology; etc.**

- PO-2-11-1 Pisutti Dararutana: A XANES Study on Ancient Thai Glass
- PO-2-11-2 Maria do Carmo Freitas: Air Pollution in chemical Elements, Determined by INAA, and Childhood Leukaemia in Portugal
- PO-2-11-3 Maria do Carmo Freitas: Analysis of Air Particulate Matter in Teflon and Quartz Filters by Short-Irradiation, Epithermal-Neutron Activation with Compton Suppression
- PO-2-11-4 Maria do Carmo Freitas: Characterisation of Biomonitors Used in Metal Air Pollution Studies: Capacity, pK-Values and Metal-Exchange Behaviour of *Parmelia sulcata*
- PO-2-11-5 Maria do Carmo Freitas: Characterisation of Soils, Plants, and Water Samples Collected at Sao Domingos Mine, Portugal
- PO-2-11-6 Mitsuru Ebihara: Application of NAA to the Trace Elemental Determination for Nail Samples from Residents of Tokyo, Japan
- PO-2-11-7 Mitsuru Ebihara: Determination of ultra-trace rare earth elements in ureilite meteorites by radiochemical neutron activation analysis with an emphasis of the correction for the contribution caused by neutron-induced fission of uranium
- PO-2-11-8 Mitsuru Ebihara: Cosmogenic Sc-45 in Gibeon Iron Meteorite by Radioanalytical Neutron Activation Analysis
- PO-2-11-9 Toshiyuki Fujii: Mass-Dependent and Mas-Independent Isotop Fractionations of Lead in Chemical Exchange Reaction Using a Crown Ether
- PO-2-11-10 Satoshi Fukutani: Study on Antimony Pollution Form in Soil Around Smelter by means of INAA
- PO-2-11-11 Etsuko Furuta: Heavy metal elements in toiletries analyzed by INAA and ICP-MS
- PO-2-11-12 Xiao He: Deposition in Lung and Translocation to Secondary Target Organs After Intratracheal Instillation of Nano-Ceria
- PO-2-11-13 Inaya Lima: Investigation of minerals distributions in bone of tibolone therapy by Synchrotron X-Ray Fluorescence Microscopy
- PO-2-11-14 Inaya Lima: The Zinc Distribution in Bone
- PO-2-11-15 Mutsuo Inoue: Vertical Distributions of <sup>228</sup>Ra and <sup>226</sup>Ra in the Japan Basin; Implications for Water Circulation and Residence Time
- PO-2-11-16 Satish Kayasth: Separation Science and Instrumental Approaches in Radioanalytical Chemistry
- PO-2-11-17 Yoko Kokubu: Application of continuous heating method by thermal ionization mass spectrometry for measurement of isotope ratios of plutonium and uranium in trace amount of MOX sample

- PO-2-11-18 Myung-Ho Lee: Isotope Correlations for Alpha Specific Activity and Isotopic Composition of Plutonium in High Burn-Up Pressurized Water Reactor Samples
- PO-2-11-19 Jong-Myoung Lim: Elemental Analysis of Fly and Bottom Ashes from a Coal Power Plant by Neutron Activation Analysis
- PO-2-11-20 Yukihiro Murakami: Measurements of detection limits for trace elements by multiple prompt gamma-ray analysis
- PO-2-11-21 Kevin Norbash: Reprocessing of Research Reactor Nuclear Fuel Based on Pyrochemical Separations Technique
- PO-2-11-22 Shin-ichi Sawada: Water diffusion in fluoropolymer-based fuel-cell electrolyte membranes investigated by radioactivated-tracer permeation technique
- PO-2-11-23 Keisuke Sueki: Synthesis of water-soluble encapsulated-radioisotope fullerenes
- PO-2-11-24 Shinji Sugihara: The Extraction of Past Environmental Information Using  $^{137}\text{Cs}$  and Some elements in Terrestrial Carbonate Deposits
- PO-2-11-25 Gwang-Min Sun: Development of Classification Technology for the Characterization of Raw Materials at Production Kilns in Baekje Period
- PO-2-11-26 Naruto Takahashi: Preparation of Labeled Porphyrin Compounds for PET and Gamma CT
- PO-2-11-27 Junpei Tomita: Ra isotopes in Na-Cl type groundwaters from deep wells in the coastal areas of Himi City, Toyama Prefecture, Japan
- PO-2-11-28 Tong-Zai Yang: Structural Change of Multiwalled Carbon Nanotubes Through X-Ray Irradiation
- PO-2-11-29 Hiroya Yokoyama: Meteorological Factors Producing Variation of Tritium Concentrations Measured in Fukuoka, Japan
- PO-2-11-30 Hong Zhang: Cyclic Neutron Activation Analysis of Fluorine in Commercial Tea at Shenzhen, China
- PO-2-11-31 Zhiyong Zhang: Radiotracer Technique: A Useful Tool for Studies of the Environmental Behavior of Nanomaterials

平成 21 年度京都大学原子炉実験所専門研究会

[2010年1月26日]

放射化分析専門研究会報告—参加者の視点から

北海道大学大学院地球環境研究科 豊田和弘

三年ぶりに放射化分析専門研究会に参加させていただきました。院生 2 名にも放射化分析の研究成果発表をさせていただき、また放射化分析未経験の 2 名の学生も同行しました。本冊子中には、本研究会のプログラムと主宰責任者からの本研究会報告が同時に掲載されるという事ですので、1 月 26 日の研究会に出席して印象に残った事を参加者の立場から列記します。

はじめの開会宣言では、本研究会は今回も若手育成と同時に国際化をめざしているので、スライドも発表も英語で発表するようにと連絡すべきだったと、海老原先生からコメントがありました。もしそういう条件ならば、私のつれてきた院生にとっては英語で発表するのは少し無理だったのではと思いました。しかし、今後は本研究会での英語での発表には成です。というのも、どこでも業績評価が問われる昨今、院生にとっては国内の別の学会よりも国際的な研究会にて英語で発表した方が高い評価が得られます。実際、今回英語で発表した院生もあり、スライドはすべて英語で作成されていたという院生もいて、よくご指導されているなと感心しました。

このように午前中は、院生を主とした若手からの発表がいくつもあり、それに対する激励、コメ

- PO-2-11-18 Myung-Ho Lee: Isotope Correlations for Alpha Specific Activity and Isotopic Composition of Plutonium in High Burn-Up Pressurized Water Reactor Samples
- PO-2-11-19 Jong-Myoung Lim: Elemental Analysis of Fly and Bottom Ashes from a Coal Power Plant by Neutron Activation Analysis
- PO-2-11-20 Yukihiro Murakami: Measurements of detection limits for trace elements by multiple prompt gamma-ray analysis
- PO-2-11-21 Kevin Norbash: Reprocessing of Research Reactor Nuclear Fuel Based on Pyrochemical Separations Technique
- PO-2-11-22 Shin-ichi Sawada: Water diffusion in fluoropolymer-based fuel-cell electrolyte membranes investigated by radioactivated-tracer permeation technique
- PO-2-11-23 Keisuke Sueki: Synthesis of water-soluble encapsulated-radioisotope fullerenes
- PO-2-11-24 Shinji Sugihara: The Extraction of Past Environmental Information Using  $^{137}\text{Cs}$  and Some elements in Terrestrial Carbonate Deposits
- PO-2-11-25 Gwang-Min Sun: Development of Classification Technology for the Characterization of Raw Materials at Production Kilns in Baekje Period
- PO-2-11-26 Naruto Takahashi: Preparation of Labeled Porphyrin Compounds for PET and Gamma CT
- PO-2-11-27 Junpei Tomita: Ra isotopes in Na-Cl type groundwaters from deep wells in the coastal areas of Himi City, Toyama Prefecture, Japan
- PO-2-11-28 Tong-Zai Yang: Structural Change of Multiwalled Carbon Nanotubes Through X-Ray Irradiation
- PO-2-11-29 Hiroya Yokoyama: Meteorological Factors Producing Variation of Tritium Concentrations Measured in Fukuoka, Japan
- PO-2-11-30 Hong Zhang: Cyclic Neutron Activation Analysis of Fluorine in Commercial Tea at Shenzhen, China
- PO-2-11-31 Zhiyong Zhang: Radiotracer Technique: A Useful Tool for Studies of the Environmental Behavior of Nanomaterials

平成 21 年度京都大学原子炉実験所専門研究会

[2010年1月26日]

放射化分析専門研究会報告—参加者の視点から

北海道大学大学院地球環境研究科 豊田和弘

三年ぶりに放射化分析専門研究会に参加させていただきました。院生 2 名にも放射化分析の研究  
成果発表をさせていただき、また放射化分析未経験の 2 名の学生も同行しました。本冊子中には、  
本研究会のプログラムと主宰責任者からの本研究会報告が同時に掲載されるという事ですので、1  
月 26 日の研究会に出席して印象に残った事を参加者の立場から列記します。

はじめの開会宣言では、本研究会は今回も若手育成と同時に国際化をめざしているので、スライ  
ドも発表も英語で発表するようにと連絡すべきだったと、海老原先生からコメントがありました。  
もしそういう条件ならば、私のつれてきた院生にとっては英語で発表するのは少し無理だったので  
はと思いました。しかし、今後は本研究会での英語での発表には成です。というのも、どこでも業  
績評価が問われる昨今、院生にとっては国内の別の学会よりも国際的な研究会にて英語で発表した  
方が高い評価が得られます。実際、今回英語で発表した院生もあり、スライドはすべて英語で作成  
されていたという院生もいて、よくご指導されているなと感心しました。

このように午前中は、院生を主とした若手からの発表がいくつもあり、それに対する激励、コメ

ント、アドバイスが、放射化分析歴が数十年のベテランの複数の参加者からありました。例えば、水中の垂鉛はドリルのワイヤーの垂鉛メッキのはがれたものと判明した話には、海老原先生から「そういう話は実はとても大切」とコメントがあり、関連して、ライターの発火石によるセリウムの汚染が問題になった例を紹介されました。他にも「久々に RNAA の化学分離のスライドをみて懐かしい」、「試料をアルミホイルで包むと金の汚染が生じる可能性がある。」、その他プローブ分析との併用の勧めなどなど。放射化分析を研究に利用している院生にとっては実にためになる研究会だったと思いました。そういえば昨年北大で開催された日本分析化学会では放射化分析の発表が一つもなく不思議に思ったのですが、別に放射化学討論会もあるし、本研究会がこうであれば、わざわざ分析化学会で発表する必要はないと感じた次第です。

次に昼前から午後にかけて、韓国の研究者2名とタイの研究者1名が、それぞれの国での放射化分析による研究発表がありました。本研究会のサーキュレーションにはアジアの研究者3名を招待すると記載されていたので、インドネシアの研究者も来るのではと私は期待して、インドネシア出身の特別研究生も1名参加させました。しかしそうではなかったのが、海老原先生に、どうしてインドネシアからは来日しなかったのかと伺いましたところ、いやインドネシアにも研究会への招待状をだしたのに、残念ながら全く返事がなかったのが、急ぎよ韓国へもう一人追加招待をしたのだ、との答えでした。これらの発表の中では、タイ国での放射化分析の現状は私にとっては新鮮でした。特に、米中のカドミウム含有量の定量は RNAA が標準的な手法だという話を聞いて、タイ国では放射化分析がカジュアルで正確な手法と認知されていてうらやましいと感じました。

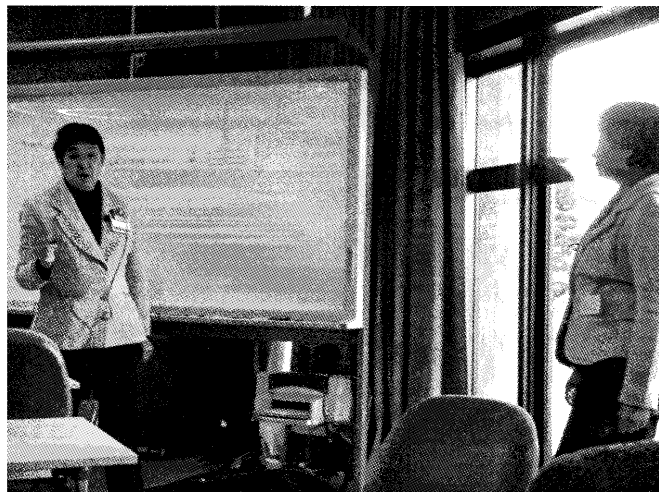


写真1. ホワイトボードで説明する Sirinart さん(タイ国)と司会の福島先生.

また午後には、原子炉をいつも管理運営していただいている方から、それぞれ日本原子力機構および京大原子炉の現状、改良点や変更点などについてご説明いただきました。共同利用促進という事で研究発表の成果もありました。また、中性子利用についての現状や大学共同利用との関連についても解説がありました。私は放射化学討論会には過去2回しか参加した事がなく、その辺の情報に疎いためかもしれませんが、1ユーザーとして興味深く拝聴しました。2010年中は JRR-3 も JRR-4 も運転されるけれども、2010年12月からどちらも半年ほど点検のために利用できないので、よく計画を練って放射化依頼をしてください、というコメントは放射化分析で研究しようという院生には貴重なものでした。また、海老原先生からの「研究炉の計画外停止で利用者側がフラストレーションを感じるのは判るが、その時に原子炉の運用に携わっている人は原子炉の稼働に向けて実に涙ぐましい努力をしているのが、最近よくわかった。」というコメントが印象的でした。

今回研究発表を通じて感じたのは、日本での放射化分析の今後の傾向としては、通常の ICP 質量分析装置では困難な、微粒子中の微量元素の定量が、ひとつの進むべき道だということです。数マイクログラム単位の微粒子試料を高い中性子密度下で数十時間照射して、微量元素を測定する。こうしたヘビーユーザーが増加するのではと予想します。経費がかかりそうですが、レーザービーム ICP 質量分析装置や SIMS でルーチン化するのに比べたら、遥かに分析値の信頼性も高く、経費も安いわけです。ただし、マイクロ天秤やクリーンな環境、そして何より分析者の技術が求められるのだと思います。

ちなみに、環境科学院という部局に所属する著者としては、最後の大森先生の毛髪中の微量元素のお話を一番興味深く拝聴しました。味覚障害、ストレス、アルツハイマー病、工場での労働衛生環境などと、毛髪などの生体試料中の微量元素との関連についてお話があり、質問も多く出ました。研究会ではお隣に座らせていただきまして、直接ご教示いただきました。国立環境研の頭髪標準試料には、女性の染めた毛髪を多く含んだ試料から作成しているものだから、臭素の含有量が高く、照射後の放射能の減衰が遅くて、微量の中寿命核種の定量ができないのですね、と私が言うと、最近販売されている洗髪液中には思わぬ微量元素が含まれていたりして、毛髪を生物学的なモニタリングするのはなかなか一筋縄にはいかないのだと、教えていただきました。さらに、「毛髪の標準試料の含有量は不均一性が大きい」とも伺い、そういえば最近 IAEA で発行している毛髪の標準試料を購入した時に、この試料の含有量の推奨値で検量線を確定しては駄目だ、とその欧州の事務局からメールで念を押されたのはそういうことだったのか、と思い出しました。

大森先生はこの春に定年退官と伺いました。十年程前でしょうか、退官直前の筑波大の関先生の生体試料中のセレンの分析の話も大変興味深く拝聴した事を思い出しました。これまで放射化学討論会には2回しか出席した事がないという私だから、そう感じるのかもしれませんが、放射化分析に関する先達の得たチップスやノウハウが失われるのはもったいないと思います。特に最近食品の安全や衛生問題が注目されてきており、本会は「冬の学校」も兼ねている事から、退官された先生でも時折招待して大学院生のために講演していただけるように、プログラムを配慮すべきではないだろうかと考えた次第です。

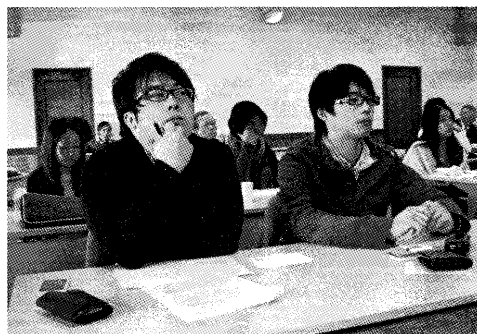


写真2. 熱心に講演に耳を傾ける院生ら。

## 開催報告

京大原子炉 関本俊

平成21年度京都大学原子炉実験所専門研究会「京大炉(KUR)における総合的微量元素計測システムの構築と応用」が平成22年1月26日(火)に所外の研究者27名を迎えて開催されま

今回研究発表を通じて感じたのは、日本での放射化分析の今後の傾向としては、通常の ICP 質量分析装置では困難な、微粒子中の微量元素の定量が、ひとつの進むべき道だということです。数マイクログラム単位の微粒子試料を高い中性子密度下で数十時間照射して、微量元素を測定する。こうしたヘビーユーザーが増加するのではと予想します。経費がかかりそうですが、レーザービーム ICP 質量分析装置や SIMS でルーチン化するのに比べたら、遥かに分析値の信頼性も高く、経費も安いわけです。ただし、マイクロ天秤やクリーンな環境、そして何より分析者の技術が求められるのだと思います。

ちなみに、環境科学院という部局に所属する著者としては、最後の大森先生の毛髪中の微量元素のお話を一番興味深く拝聴しました。味覚障害、ストレス、アルツハイマー病、工場での労働衛生環境などと、毛髪などの生体試料中の微量元素との関連についてお話があり、質問も多く出ました。研究会ではお隣に座らせていただきまして、直接ご教示いただきました。国立環境研の頭髪標準試料には、女性の染めた毛髪を多く含んだ試料から作成しているものだから、臭素の含有量が高く、照射後の放射能の減衰が遅くて、微量の中寿命核種の定量ができないのですね、と私が言うと、最近販売されている洗髪液中には思わぬ微量元素が含まれていたりして、毛髪を生物学的なモニタリングするのはなかなか一筋縄にはいかないのだと、教えていただきました。さらに、「毛髪の標準試料の含有量は不均一性が大きい」とも伺い、そういえば最近 IAEA で発行している毛髪の標準試料を購入した時に、この試料の含有量の推奨値で検量線を確定しては駄目だ、とその欧州の事務局からメールで念を押されたのはそういうことだったのか、と思い出しました。

大森先生はこの春に定年退官と伺いました。十年程前でしょうか、退官直前の筑波大の関先生の生体試料中のセレンの分析の話も大変興味深く拝聴した事を思い出しました。これまで放射化学討論会には2回しか出席した事がないという私だから、そう感じるのかもしれませんが、放射化分析に関する先達の得たチップスやノウハウが失われるのはもったいないと思います。特に最近食品の安全や衛生問題が注目されてきており、本会は「冬の学校」も兼ねている事から、退官された先生でも時折招待して大学院生のために講演していただけるように、プログラムを配慮すべきではないだろうかと考えた次第です。



写真2. 熱心に講演に耳を傾ける院生ら。

## 開催報告

京大原子炉 関本俊

平成21年度京都大学原子炉実験所専門研究会「京大炉(KUR)における総合的微量元素計測システムの構築と応用」が平成22年1月26日(火)に所外の研究者27名を迎えて開催されま

した。研究会においては一般講演が7件あり、そのうち中性子放射化分析を用いた、宇宙地球科学や環境科学分野に関する講演が6件、分析法の向上に注目した講演が1件でした。またJAEAおよびKURなど国内の研究用原子炉施設の現状報告及びその利用に関する紹介としての講演が4件、アジア諸国の研究者による、放射化分析に関連する招待講演が3件あり、特に“Recent Analytical Studies by using INAA/PGAA/DNAA in KAERI.” (J. H. Moon)においては、通常のNAAの際のガンマ線測定にGe-det.及びBGOを使用したアンチコインシデンスシステムを導入した結果が紹介され、測定のバックグラウンドが1-2桁下がった結果が示されました。そして本年度で退職される大妻女子大学の森佐與子先生には、「毛髪が多元素放射化分析 -生物学的モニタリング-」というタイトルの特別講演をしていただきました。

京大炉(KUR)の運転再開は、当初の予定よりだいぶ遅れましたが、平成22年6月はじめ頃の前定で、共同利用もそれに伴い再開の前定です。平成22年度の専門研究会は、タイトルは未定ですが平成22年12月か翌年の1月に開催前定です。この時には利用者の皆様に、再開後のKURの特性や新たに導入する設備の準備・利用状況とその適用範囲をお知らせできるとおもいます。

中性子放射化分析は、再開後も休止前と同様、KURの共同利用研究の重要な柱として位置づけられています。平成22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。

#### 「京大炉(KUR)における総合的微量元素計測システムの構築と応用」プログラム

開催日：平成22年1月26日(火) 9:00-17:30(前定)

場所：京都大学原子炉実験所事務棟大会議室

#### Opening

*Chairman: K. Toyoda (Hokkaido University)*

“Determination of trace lanthanoids in rocks and meteorites by radiochemical neutron activation analysis”

「岩石・隕石中の微量希土類元素の放射化学的中性子放射化分析による定量」

H. Aihara (Tokyo Metropolitan University)

“A study on evaluation of atmospheric environment from an aspect of particulate matter in snow cover”

「雪氷中の粒子状物質を用いた大気環境評価に関する研究」

○M. Fujii, K. Shozugawa and M. Matsuo (The University of Tokyo)

“Where is Micrometeorites in ice scraps resulted during Dome Fuji ice core?”

「ドーム Fuji 切削氷中の宇宙塵はどこにあるのか」

○A. Miura, T. Fukuoka (Rissho University)

*Chairman: M. Matsuo (The University of Tokyo)*

“Study on environmental fate of antimony in PET plastic bottles in Sapporo”

「札幌市におけるPETボトル樹脂中に含まれるアンチモンの環境動態」

○H. Kawamura and K. Toyoda (Hokkaido University)

“INAA of alkaline volcanic grains at Baitoushan and Ulleung-island volcanos and from sediment cores in Southeast Japan Sea”

「白頭山山麓と鬱陵島山麓から採取したアルカリ岩質テフラの微量元素分析と、日本海海底掘削コア中の鬱陵島系テフラとの比較」

○A. Umezu and K. Toyoda (Hokkaido University)

“Trace element analyses of howardites and polymict eucrites using NAA methods.”

Wee Boon Siong (Tokyo Metropolitan University)

“Source apportionment of airborne PM10 at a small industrial area using INAA and PMF”

Jin-Hong Lee (Chungnam National University)

*Chairman: T. Fukuoka (Rissho University)*

“The current state of research reactor in JAEA”

「JAEA 研究炉の現況」

J. Motohashi (JAEA)

“Future plan of utilization sharing of JRR-3 facility”

「今後の JRR-3 施設共用促進の試み」

H. Matsue (JAEA)

“Cooperation of Neutron Training Course between JSNS and Industrial Users Society for Neutron Application”

「中性子実習講座の中性子産業利用推進協議会と中性子学会との連携について」

M. Hayashi (Ibaraki Prefectural Government)

“Present status of Kyoto University Reactor and so on”

「KUR の現況&その他」

S. Sekimoto (KURRI)

*Chairman: M. Fukushima (Ishinomaki Senshu University)*

“NAA activities and Thai food”

L. Sirinart (Thailand Institute of Nuclear Technology)

“Recent Analytical Studies by using INAA/PGAA/DNAA in KAERI.”

J. H. Moon (KAERI)

*Chairman: Y. Kikawada (Sophia University)*

“Instrumental neutron activation analysis of hair -A means of biological monitoring of environment, disease and nutrition-”

「毛髪の多元素放射化分析 -生物学的モニタリング-」

S. Omori (Otsuma University)

“The potential of internal single comparator method in neutron activation analysis”

「中性子放射化分析における Internal single comparator 法の可能性」

T. Miura (AIST)

Closing



# 平成 21 年度博士論文抄録

## 食品からの安定元素と放射性核種の摂取量評価に関する研究

東京家政大学大学院家政学研究科  
人間生活学専攻 飯島 育代

栄養素、微量元素は一般的に日常的な食事から摂取されているが、カルシウム（以下、Ca と称する）不足による高齢者の骨粗鬆症や、鉄（Fe）欠乏による貧血、亜鉛（Zn）欠乏による成長障害等、摂取量の過不足は人体への影響が大きい。我が国では、2003 年から健康増進法に基づき、国民健康・栄養調査を行ってきた。この調査結果から 2005 年に、日本人の食事摂取基準(2005 年版)としてとりまとめられ、微量元素についても、欠乏症、生活習慣病の予防を目的として、種々の元素ごとに、目的に添った指標が定められた。

元素の種類は原子核内の陽子数で決められるが、核内の中性子数により質量数の異なるものがある。これらは同位体と呼ばれる。この内電離放射線を放出するものを放射性同位体あるいは放射性核種と称し、放射線を出さないものを安定同位体、あるいは安定元素と称している。

環境中には地球起源の自然放射性核種と、原子力利用により発生した人工放射性核種が存在している。2000 年の国連科学委員会の報告では自然放射性核種からの内部被ばく線量は、平均  $0.29\text{mSvy}^{-1}$  とされている。人工放射性核種は 1950 年代以降の大気中核実験によって生成し、環境中に放出されたものである。世界各国で原子力関連施設が稼働している現在においては施設から人工放射性核種が定常的に放出されている。また、放射線事故等や核テロの発生が危惧される。

本研究では、人が食事として取り込む安定元素と放射性核種の摂取量の評価を目的として、食品中の安定元素を一斉に分析する方法を検討した。次にその方法を用いて、野菜類、乳類・乳製品、魚介類、日常食について無機質、微量元素等の含量を求めた。

本論文は、主に安定元素と放射性核種の分析法及び安定元素の利用応用を検討した第 1 章と食品中の安定元素と人工放射性核種の摂取量評価についてまとめた第 2 章および総括の 3 章の構成となっている。

第 1 章では食品中の安定元素を一斉に分析する方法に、機器中性子放射化分析法 (Instrumental Neutron Activation Analysis : 以下、INAA 法と称す。) の適用性を検討した。中性子の短期照射と長期照射の併用により、約 20 元素の定量が可能であった。また標準物質を用いて分析値の質が確保されていることを確認した。

第 2 章では食品について INAA 法により安定元素を定量し、放射性核種の濃度を求めた。

野菜類は、「緑黄色野菜」に分類されている葉菜類、特にホウレンソウ、モロヘイヤが栄養元素やその他の微量元素を多く含むことが明らかになった。土壌中に多い Fe、アルミニウム (Al)、スカンジウム (Sc) はホウレンソウにおいて Fe と Sc、Fe と Al との間に高い正の相関が認められ、土壌から共に移行したと推察された。セシウム-137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) を高濃縮することが知られているシイタケは、Cs、ルビジウム (Rb) 濃度が他の農作物に比べ明らかに高く、両者は高い正の相関が認

められた。シイタケ中に取り込まれる際に同一の挙動をとることが示唆された。

農作物の分析値と日本人女性の農作物の摂取量（2007）をもとに元素の摂取寄与を調べた。日本人の食事摂取基準に対して最も寄与が高かったのは K であった。以下、マグネシウム（Mg）、Fe、Zn、Ca の順であった。

次に、乳類・乳製品 4 種について検討した。普通牛乳は各元素とも生乳と極めて近い濃度を示した。脱脂粉乳の栄養元素は日本食品標準成分表記載値とほぼ一致していた。生乳の Cs と人工放射性核種  $^{137}\text{Cs}$  との間には弱い正の相関が認められた。

次に魚介類について検討した。Fe はサバ、イナダなど、酸素供給能力の高い赤身の筋肉を持つ回遊性の魚類の濃度が高く、カレイ、タイなど白身の筋肉の魚種は低かった。無機質は日本食品標準成分表記載値と概ね一致していた。魚類の Cs と  $^{137}\text{Cs}$  とは正の濃度相関があることがわかった。スルメイカでは、 $^{137}\text{Cs}$  は検出されず、Cs も魚類より低い濃度であった。海洋中においても食物連鎖により、甲殻類より捕食者である魚類中の放射性セシウム濃度が高くなる傾向が認められた。

これら食品は、調理されて食事に供される場合が多い。したがって、食品を摂取するまでの棄却率、調理中の逸失率等が食品ごとあるいは調理法ごとに異なる。そこで、神奈川県住民が安定元素と  $^{137}\text{Cs}$  を毎日の食事から、どの程度摂取しているかを明らかにするために、郊外部と都市部に在住する女性の 1 日の食事（日常食）の無機質について日本人の食事摂取基準値と比較した。両地区ともほぼ基準を満たしているかやや少ない傾向が見られた。多くの元素は郊外部在住の方が都市部に比べ、摂取量が高かった。また、被験者の献立表を解析し、食事に供した食材を食品群別に分類して比較検討した。郊外部在住者は都市部に比べ、野菜類を初め、全ての食品群で食材を多用した献立を組み立てていた。両地区の  $^{137}\text{Cs}$  は、チェルノブイリ事故の起きた 1986 年では日常食中の濃度が増加し、その後、漸減傾向が見られた。近年では漸減傾向が停滞しているが、一方その変動も大きいため、人工放射性核種濃度調査に用いる日常食試料を個人別に分けて種々の元素摂取量と  $^{137}\text{Cs}$  を調べた。元素摂取量、 $^{137}\text{Cs}$  とも、通常の 5 人分 1 試料とした場合に比べ、その変動が大きく、個人の食生活の違いが微量元素や放射性核種の摂取量に大きな差となって反映されていることが明らかになった。日常食試料の Cs 元素と  $^{137}\text{Cs}$  摂取量には相関関係が認められず、多くの食材で、Cs と  $^{137}\text{Cs}$  とは平衡に達していないか、環境中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の減少に伴い、食材中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度が検出できなくなり、関連性が把握できなくなっている可能性が示された。

本研究は、今後、県民が食事から必要十分な栄養元素、微量元素を摂取する上での一つの指標として貢献できるものとする。さらには、今後、新たに食事摂取基準が定められる元素を食品成分表に記載する際には基礎データとして利用が可能である。また、食品のコバルト（Co）、Sc、アンチモン（Sb）等、極微量元素の食品中の濃度レベルが把握できた。さらに、不測の事態により、環境の放射能汚染が起きた場合、緊急時における被ばく線量評価を実施する上で、本研究データは平常時の放射能濃度レベルを示す基礎資料として非常に有用である。また、安定元素の Cs、Co 等の食品中の濃度を把握することは、放射能汚染が広がった際の  $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{60}\text{Co}$  のような放射性核種の食品中の分布を推測するための貴重な資料となると考える。

# 平成 21 年度修士論文抄録

## 還元的環境下における底質中の元素の挙動と化学状態に関する研究

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 原 直樹

### 【緒言】

東京湾は多くの都市河川が流れ込み、また閉鎖性の強い内湾域であるという地形的特徴から、汚染されることが多かった。現在でも夏季には貧酸素水塊の発生が報告され、魚貝類への深刻な影響が指摘される等多くの環境問題を抱えており、水質や生物に着目した研究が非常に盛んである。しかし、底質から得られる情報を環境の変遷の履歴として、環境を評価するという立場でなされている研究は少ない。また東京湾内の浚渫窪地は、貧酸素水塊生成の主因であると指摘され、全て埋め戻しが進められている。よって埋め戻しの前後で環境がどのように変化したかを評価するためにも、現在の浚渫窪地内の底質を分析することは非常に大きな意義があり、研究対象として好例であると考えられる。そこで本研究では、東京湾に多く存在し独特の生態系を持つと言われる干潟、貧酸素水塊発生の主因の一つだとされる浚渫窪地のそれぞれにおいて、底質を鉛直方向に採取して分析を行い、得られた結果から周囲の環境について評価することを研究の目的とした。

本研究ではまず第 I 章「干潟底質の酸化還元電位と底質中の元素の挙動」において、干潟における酸化還元電位(ORP)の深さ方向の変化に着目し、ORP 変化に対応して元素濃度がどのような影響を受けるのかを考察し、干潟の環境を評価した。そして第 II 章「東京湾における底質中の元素の化学状態」では、浚渫窪地と貧酸素水塊の関係を、底質中の元素の化学状態から明らかにした。また浚渫窪地に酸化還元状態の変化の履歴が記録されていると考え、過去の貧酸素水塊の影響や溶存酸素の変化の評価を行った。

### 【干潟底質の酸化還元電位と底質中の元素の挙動】

#### ○実験手法

多摩川河口干潟(35° 32.770' N、139° 45.238' E)、小網代湾干潟(35° 09.492' N、139° 37.413' E)それぞれにおいて、コアサンプラーで鉛直方向に採取した底質を深さ方向に 3 cm 毎にカットし、加圧ろ過を行った後、フリーズドライした。得られた乾燥試料について、機器中性子放射化分析法と即発γ線分析法を用いて多元素の定量分析を行った。定量値はデータの類似度をユークリッド距離の大小で表すクラスター分析と多次元尺度構成法(MDS)の 2 つの統計的手法を用いて、深度別、元素別に分類を行い、酸化還元電位等との相関に

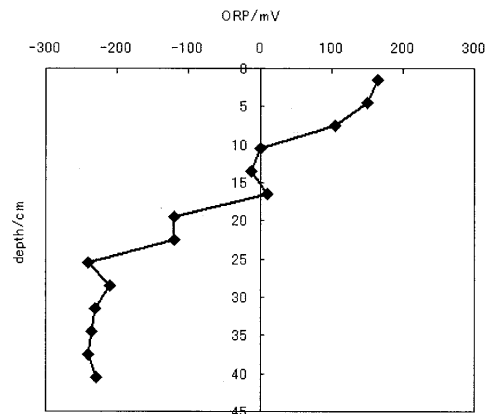


図 1. 多摩川河口干潟底質の酸化還元電位

ついて考察した。また X 線吸収微細構造 (XAFS)法によって、S の化学状態を評価した。

○結果と考察

図 1 に多摩川河口干潟底質の ORP の鉛直変化を示す。20 cm 以深の試料では ORP は負の値を取っていた。またこの ORP の変化を、元素分析値より得られた多摩川河口干潟底質のクラスター分析の結果と組み合わせて考えると、ORP が正の試料と負の試料で、ユークリッド距離が大きくなるという傾向が見られた(図 2)。また図 2 においては、図中において下側に位置する 3 試料について、その他の試料に比べ、有意にユークリッド距離が離れていた。これらの 3 試料については、人為起源が疑われる Cr や Zn と言った元素の濃度が、他の試料と比べて高くなっていた。また同じ試料を MDS によって解析した結果(図 3)においては、ほとんどの点が 2 軸上に乗っていた。この 2 軸はクラスター分析で差が見られた ORP 変化と人為起源に対応すると考えられ、これらが MDS を併用することで、より明確に評価できた。ORP 変化の小さい小網代湾干潟底質ではこの傾向は見られなかった。

以上の結果から、干潟という複雑な系についても、要素を絞ることで個々の要素の影響を評価し得ることが分かった。また多摩川河口干潟においては、元素の挙動が ORP 変化によって大きな影響を受けていることが分かった。本研究では、ORP 変化に重点を置いたことで、統計的処理がより有効に働き、環境を評価できたと考えられる。

【東京湾における底質中の元素の化学状態】

○実験手法

東京湾の幕張沖浚渫窪地(35° 37.699' N, 40° 01.099' E、試料名 HJ)と浚渫窪地外(35° 36.820' N, 140° 00.980' E、試料名 HKA, HKB)において、HR 型不攪乱柱状採泥器を用いて、底質を鉛直方向に採取した。これらの試料について、メスバウアー分光法・XAFS 法・粉末 X 線回折(XRD)法・イオンクロマトグラフィー・硫酸還元菌の生菌数測定等の手法を用いて、浚渫窪地の内外における酸化還元状態の差異、そして過去の酸化還元状態の変化を評価した。

○結果と考察

XAFS 法で得られた S の K 端における X 線吸収端近傍構造(XANES)のスペクトルをビ

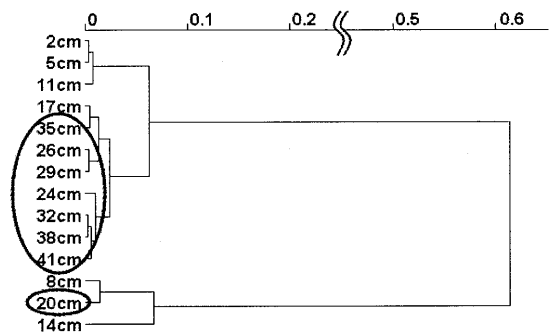


図 2. 多摩川河口干潟底質の深度別デンドログラム (ORP が負の試料を丸で囲んで示した)

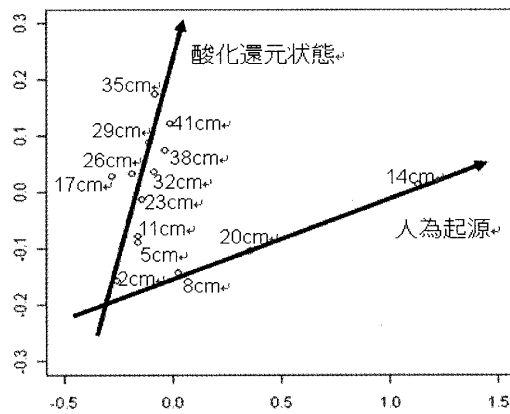


図 3. 多摩川河口干潟底質の MDS による結果

ーク分離した結果から得られた、各試料の S(-II)/S(+VI)比を図 4 に示す。

HKA と HKB に比べ、HJ においては S(-II)/S(+VI)比が大きくなっていた。

S は redox-sensitive な元素であり、浚渫窪地内が浚渫窪地外と比較して、還元的であることが示された。

次に HJ と HKB の底質間隙水中の  $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度と、底質 1 g 当たりの硫酸還元菌生菌数を表 1 に示す。硫酸還元菌は嫌氣的条件下において有機物の分解を行うバクテリアであり、その際に硫酸イオンを消費することが知られている。

イオンクロマトグラフィーで得られた  $\text{SO}_4^{2-}$ の濃度については、HJ で定量限界以下であったが、HKB では豊富に存在していた。本研究室のイオンクロマトグラフィーにおける  $\text{SO}_4^{2-}$ の定量限界は約 5 ppm であり、50 倍に希釈していたことを考慮すると、HJ の間隙水中の  $\text{SO}_4^{2-}$ の濃度は 250 ppm 以下となり、HKB に比べ 10 分の 1 以下と非常に大きな差が見られた。また硫酸還元菌の生菌数についても、HJ と HKB では HJ の生菌数が顕著に多かった。よってこれらの結果からも、浚渫窪地(HJ)では浚渫窪地外(HKB)に比べ、非常に還元的な環境であるということが明らかになった。

また、メスバウアー分光法による Fe の化学状態分析の結果、HJ の試料については HJ01 と HJ13 のみで hematite が同定できた。また XRD の結果においては、HJ の全ての試料において、goethite が同定できた。hematite と goethite は Fe の酸化物であり、これらが存在していることは、浚渫窪地内が酸化的環境になっていた時期があったことを示唆している。これらのことは、底質に過去の酸化還元環境が変化した履歴が記録されていることを意味すると考えられる。

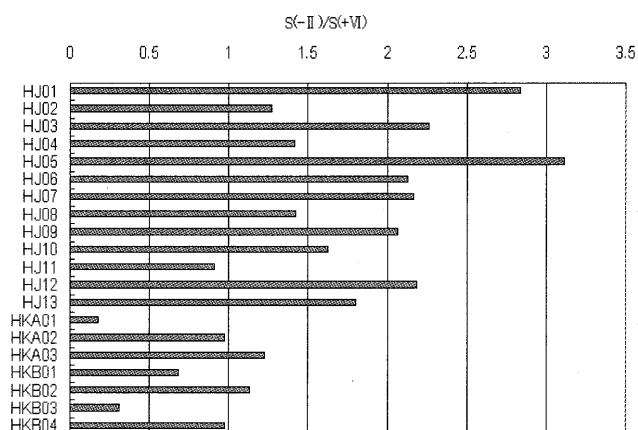


図 4. XANES から得られた東京湾底質の S(-II)/S(+VI)比

表 1. 東京湾底質間隙水中の  $\text{SO}_4^{2-}$ の濃度と、底質 1 g 中の硫酸還元菌生菌数(※は棄却)

試料名	$\text{SO}_4^{2-}$ / ppm	菌数 (Bacteria / 1 g 底泥)
HJ01	ND	10000
HJ02	※	7200
HJ03	ND	9000
HJ04	ND	8800
HJ05	ND	2400
HJ06	ND	4400
HJ07	ND	4200
HJ08	ND	3400
HJ09	ND	4200
HJ10	ND	13000
HJ11	ND	2200
HJ12	ND	1800
HJ13	ND	9400
HKB01	2720	920
HKB02	2810	1300
HKB03	2900	630
HKB04	2630	280

## ICP-MS 法を用いた岩石試料中の Zn, Cd, In, Tl, Pb, Bi の定量法の確立と Tafassasset 隕石への適用

首都大学東京大学院理工学研究科 田村 麻衣

### [序論]

本研究の定量目的元素である Zn, Cd, In, Tl, Pb, Bi は宇宙化学的には揮発性元素群に分類される。揮発性元素存在度は温度の変化に敏感なことから、隕石中の存在度を精度よく定量すると原始太陽系星雲からの元素の凝縮・集積過程、また隕石母天体形成後の熱履歴を深く考察することが可能となる。隕石・地球岩石試料中の揮発性元素の含有量は微量 ( $\mu\text{g/g}$ ~ $\text{pg/g}$ ) であり、さらに隕石は分析に使用できる量に制限があることから、これらの元素の定量には高感度な分析法が必要とされる。

本研究で用いる ICP-MS 法は微量~超微量レベルの多元素を同時に高感度で定量が可能で、ダイナミックレンジも広いなど多くの利点がある。一方で、微量元素を測定する際には共存する目的元素以外の元素(マトリックス元素)の妨害により感度が低下してしまうことが知られている。この問題は目的元素をマトリックス元素から分離することにより軽減させることができ、それに伴い目的微量元素の濃縮が可能となるほか、質量スペクトル干渉の除去も期待できる。また In は同位体を2つしか持たず、その1つ  $^{113}\text{In}$  が  $^{113}\text{Cd}$  と同重体であるため、同位体希釈法を組み合わせた ICP-MS 法を用いて In を定量するためには Cd からの分離が必要となる。

流田<sup>1</sup>は溶媒抽出と陰イオン交換による化学分離操作と同位体希釈法を組み合わせた ICP-MS 法による揮発性元素の定量法を開発した。そこで本研究ではこの定量法を改良し、Zn, Cd, In, Tl の高精度・高確度な分析法を確立することを目的とした。Pb は岩石中の含有量が  $\mu\text{g/g}$  レベルであること、Bi は単核種元素であること、またこの2元素は ICP-MS 測定時に質量スペクトル干渉が少ないことから、Pb と Bi は化学分離を行わず検量線法による定量を行い、上記4元素を合わせて同一試料からの6元素同時定量を行った。

標準岩石試料 JB-2 と Allende 隕石を繰り返し分析し定量法の評価を行った後、未知試料として本研究目的元素のうち Cd, In, Tl, Bi に対し推奨値が報告されていない標準岩石試料3種と Tafassasset 隕石試料の分析を行った。

### [実験]

岩石試料 100 mg に安定濃縮同位体スパイク溶液と  $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4\text{-HF}$  の混酸を加え、ホットプレート上で加圧分解・乾固を繰り返し、試料を分解した。Fe を +3 価にするため酸化剤として  $\text{H}_2\text{O}_2$  を加え、6M HCl の試料溶液とした。一部分取して 1000 倍に希釈し、Pb, Bi 用の 5% HCl 測定溶液とした。残りの試料溶液から、まずジイソプロピルエーテルによって  $\text{Fe}^{3+}$  と Tl を抽出した。有機相を 1M HBr によって Fe の逆抽出を行い、乾固・希釈して Tl 用の 5%  $\text{HNO}_3$  測定溶液を得た。一方、水相を 3M HCl 溶液にして強塩基性陰イオン交換樹脂のカラムに通した。この操作ではまず目的元素の Zn, In, Cd を樹脂に吸着させ、マトリックス元素を溶離した。次に 0.06M HCl で Zn と In を溶離し、最後に 1M  $\text{HNO}_3$  で Cd を溶離した。このとき元素の回収率を向上させるため、流田<sup>1</sup>よりも溶離

液量を増やした。得られた Zn-In と Cd の 2 つのフラクションをそれぞれ乾固した後、5% HNO<sub>3</sub> 測定溶液とした。測定溶液に加える内標準元素は質量スペクトル干渉や目的元素との質量数の差を考慮して、流田<sup>1</sup>とは異なる元素 (Tl には Bi、Pb-Bi には Tl) を選んだ。外部からの汚染を防ぐため試薬は全て高純度試薬を使用し、全ての操作をクリーンベンチ内で行った。測定には ICP-MS 装置 Plasma Quad3 を使用した。装置は目的元素の入っていない溶液を作製して最適化を行い、メモリー効果を防いだ。また同重体による干渉を考慮し、同位体希釈法の定量に用いる Cd の同位体を流田<sup>1</sup>とは異なる同位体 (<sup>110</sup>Cd) に変更した。

### [結果と考察]

JB-2 と Allende の定量結果 (n=3~8) をそれぞれ図 1, 図 2 に示す。図 1 に推奨値<sup>2</sup> (Tl と Bi は参考値<sup>2</sup>) と定量値の比を分析法ごとの報告値<sup>2</sup>とともに示した。図 2 は放射化学的中性子放射化分析による文献値 (n=15) との比 (Pb は推奨値<sup>3</sup>との比) を示す。文献値の影は標準偏差 (1σ) を表す。

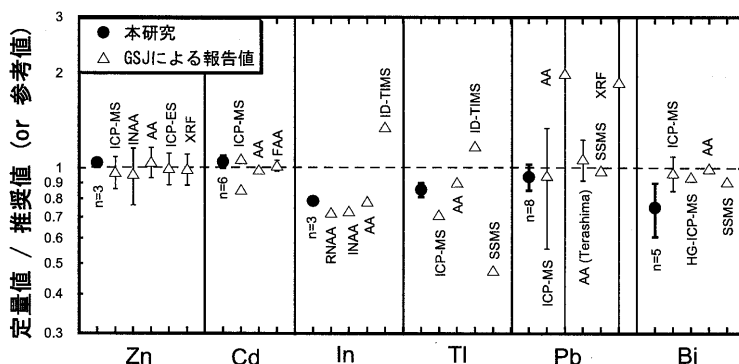


図1 JB-2 の定量結果

同位体希釈法で定量を行った Zn, Cd, In, Tl は、JB-2 と Allende 共に推奨値もしくは文献値とよい一致を示した。これら 4 元素の相対標準偏差 (1σ) は 5% 以内であり、精度のよい定量値を得ることができた。JB-2 の In と Tl の報告値は分析法ごとにばらついているが、本研究の定量値は原子吸光法 (AA) による報告値と一致した。JB-2 の In の定量値が推奨値から大きく離れているのは、推奨値が ID-TIMS による報告値により大きくなっているためだと考えられる。検量線法で定量を行った Pb と Bi は相対標準偏差 (1σ) が 10% 以上であった。Bi の定量値は 20% 程度低い値となったが、Pb は推奨値とよい一致を示した。

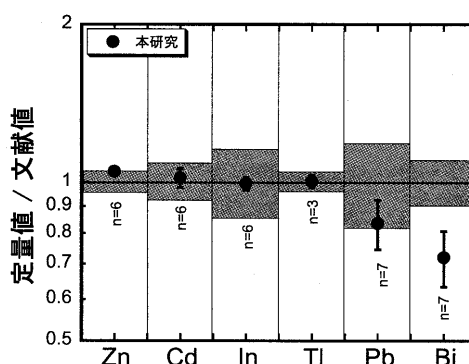


図2 Allende の定量結果

未知試料として標準岩石試料 JGb-2, JR-3, JG-3 の繰り返し分析を行ったところ、全目的元素について相対標準偏差 (1σ) 10% 以内で精度よく定量を行うことができた。

Tafassasset 隕石は未分類ではあるものの始原的なコンドライトと分化したエコンドライトを結ぶと考えられる特異かつ重要な隕石である。放射化分析による全岩分析と ICP-MS 法による白金族元素の定量の結果と合わせ、Tafassasset 隕石の化学組成上の特徴を明らかにし、またその成因を考察した。

参考文献 [1] 流田 (2008) 修士論文, 首都大学東京. [2] Imai et al. (1995) Geostandard. Newslett., 19, 135. [3] Jarosewich et al. (1987) Smithsonian. Contrib. Earth Sci. 27, 12.

# 微量元素組成に基づく月隕石 Dhofar 1428 起源地域の物質進化の考察

首都大学東京大学院理工学研究科 日高 義浩

[はじめに] 月表層の地形は大きく分けて、‘高地’ と ‘海’ の二種類に分けられる。このうち ‘高地’ は約 45 億年前に月形成初期のマグマオーシャンからできた斜長岩質の地殻部分であると考えられているため、‘高地’ の試料は月形成直後からの初期進化過程の手がかりを得るのに重要な試料である。しかし、月表層の物質は、火成活動による内因性の物質進化が終了してからも、現在に至るまでに種々の外因性の物質進化を経験しており、これらの試料の組成は月形成直後のもの、即ち月の初期進化過程を直接反映したのものから変化してしまっていることがわかっている。

そのような月表層における外因性の物質進化の主要な要因として、隕石の衝突による元素の混入と岩石の性状の変化が挙げられる。性状の変化は、元々できていた岩石が隕石の衝突により生じた熱で変成や溶融を起こすもので、このとき元素の再分配や隕石物質からの元素の混入も同時に起こるため、結果として岩石中の組織と組成がともに変化してしまう。さらに、元素の混入には、上記のような隕石物質から直接もたらされるものと、別の地質（‘海’ の玄武岩や KREEP 岩）への隕石衝突によって飛来した物質によるものがある。

隕石による元素の混入は金属相への親和性が極めて強い元素群である白金族元素において、また ‘海’ や KREEP 成分からの混入はマグマへの親和性の強い元素群である希土類元素においてそれぞれ影響が顕著にみられる。これは、元々の ‘高地’ の岩石中ではこれらの元素の含有量が非常に低いため、少量の混入によっても元素濃度のほとんどを外来物に支配されてしまうからである。しかし、このことは外来物の組成の特徴をほとんどそのまま引き継ぐことを意味するため、試料中のこれらの微量元素群の元素組成を調べることで、個々の試料がどのような物質進化を経たものなのか、についての情報を得ることができる。

今回用いた試料である月隕石 Dhofar 1428 は、これまでの鉱物観察の結果から月の ‘高地’ 試料の分類の一つ、レゴリス角礫岩であると考えられている。このレゴリス角礫岩とは、月表層の岩石が大小さまざまな隕石の衝突を受けて微細な粒（レゴリス）にまで粉碎されたものが再度凝縮して一つの岩石となったものである。これらレゴリスは隕石の衝突によって激しく攪拌されているため、月表層の数 km 四方でほぼ均一な組成で存在していると考えられており、それ故にその集合体であるレゴリス角礫岩は、岩石が元あった場所の数 km 四方の平均的な組成を示す、と見なすことができる。また、レゴリス層には微小隕石と呼ばれる直径数十 ~ 数百  $\mu\text{m}$  の非常に小さな隕石が非常に多く衝突しており、レゴリス層はこれら微小隕石の組成の影響を大きく受けていると考えられるため、レゴリス角礫岩である Dhofar 1428 の白金族元素組成は、月に飛来した微小隕石の組成の特徴としてとらえることができる。

これらのことから、本研究では月 ‘高地’ 隕石 Dhofar 1428 の主要および微量元素組成に加え、希土類元素組成、白金族元素組成を測定することで、この隕石が存在した地域数 km 四方の月表層での物質進化の度合いを見積もることを目的としている。また、Dhofar 1428 の白金族元素組成から、月表層に飛来する微小隕石に関する知見を得ることも目的としている。

[試料と実験] 試料は 2006 年にオマーンの砂漠地帯で発見された、全量 213 g の月 ‘高地’ 隕石 Dhofar 1428 の一部で、この全岩化学組成分析を行った。

主要、および微量元素組成を中性子放射化分析法で求め、さらに、白金族元素、希土類元素の二つの微量元素群組成を同位体希釈誘導結合プラズマ質量分析法によって求めた。

それとともに、走査型電子顕微鏡、電子線マイクロアナライザの二つを用いて鉱物組織の観察と組成の確認も行った。



〔結果と考察〕 全岩の化学組成において、Dhofar 1428 の主要元素組成は Al や Ca の濃度が高く、Fe や Mg の濃度が低い月の‘高地’に特徴的な組成を示した。他の月‘高地’隕石の平均組成ともよく一致することから、Dhofar 1428 が一般的な月‘高地’の隕石であることが確認できた。また、二つの別々の断片を用いて全岩化学組成をそれぞれ求めたが、それらの二つの値が非常に良く一致したことから、この隕石の組成は極めて均一であることがわかった。

‘高地’、‘海’、KREEP の月表層の三つの代表的な岩石種の希土類元素組成においては、‘高地’は‘海’や KREEP と比べて数十～数百倍濃度が低いことが知られている。そのため、‘高地’の岩石中に‘海’や KREEP の岩石片が存在すると希土類元素濃度が急激に変化する。Dhofar 1428 の希土類元素組成は、CI コンドライトの希土類元素存在度で規格化すると、軽希土類元素から重希土類元素にかけてやや右下がり、Eu に正の異常を示した。この特徴は月‘高地’の主成分である斜長石の希土類元素パターンと共通のものであるが、その濃度はその他の月‘高地’レゴリス角礫岩と同様に純粋な斜長岩よりもやや高くなっていることから、‘海’ないし KREEP 成分の混入の影響があることがわかった。また、これらの元素分析の結果は、Dhofar 1428 の隕石薄片が斜長石成分を多く含み、KREEP 岩の破片を含むという鉱物観察の結果と整合した。さらに、KREEP 岩は月の表側でのみ確認されている岩石種であることから、Dhofar 1428 は KREEP 存在地域周辺を起源としている可能性が高いと考えられる。

Dhofar 1428 の白金族元素組成は、CI コンドライト隕石の約 1/100 の濃度で、CI コンドライトの白金族元素存在度で規格化すると、元素間の分別が少ないフラットなパターンを示した。このことから、元素の分別作用をほとんど受けていない物質、すなわちコンドライト隕石グループの衝突の影響が強いと考えられる。また、隕石薄片の鉱物観察より、Dhofar 1428 中には金属鉄が少ないことがわかった。このことから、Dhofar 1428 起源地域では、金属鉄の含有量が多く、元素間の分別を受けている鉄隕石や石鉄隕石などの隕石グループの衝突が起きた可能性は低いと考えられる。白金族元素同士の元素比を比べてみると、コンドライトの中でも CK コンドライトや CM コンドライトと呼ばれるグループと良い一致を示すことから、Dhofar 1428 起源地域では、これらの炭素質コンドライトグループの隕石の衝突があった可能性が高いと考えられる。これらの炭素質コンドライトグループは金属鉄含有量が少ないため、鉱物観察の結果とも矛盾しない。

地球上で発見されている微小隕石の多くは、その組成や組織が CM コンドライトと極めて良く似ていることが知られている。そのため Dhofar 1428 の白金族元素組成が CM コンドライトによく似た特徴を示すことは、月表層に衝突する微小隕石も CM コンドライト組成のものが支配的であることを示していると考えられる。太陽系内での位置が非常に近いことから地球と月は同様の隕石衝突を受けていると言われており、そのことも本研究結果とよく整合する。

しかし、Dhofar 1428 の白金族元素組成が CK コンドライトにも似た特徴を示したことは、CK コンドライトが CM コンドライトとは異なる岩石学的特徴を持っていることから、微小隕石の衝突だけでは説明ができない。また、Dhofar 1428 隕石薄片の鉱物観察でも、熔融ガラスや熱変成組織などの、比較的大きな隕石の衝突の際に作られる特徴が見られたことから、Dhofar 1428 の白金族元素組成は微小隕石の影響に加えて CK コンドライトやその他の隕石の衝突の影響があった可能性が考えられる。

以上のことから、Dhofar 1428 は月‘高地’隕石の平均的な主要および微量元素組成と希土類元素存在度を持ち、KREEP 岩の混入を受けていること、CM もしくは CK コンドライトに似た白金族元素組成を持っていることがわかった。これらから、Dhofar 1428 起源地域は、KREEP 存在地域付近の‘高地’であり、重量比で約 2% の KREEP 岩の混入と、約 1% のコンドライト物質の混入を受けていることが示唆された。また、このコンドライト物質の多くは微小隕石であると考えられることから、月表層に衝突する微小隕石も CM コンドライト組成のものが支配的であることが示された。

## 宇宙地球化学的試料への適用をめざした多重即発ガンマ線分析法の基礎検討

首都大学東京大学院理工学研究科 渡部 良

【はじめに】即発ガンマ線分析 (PGA) は高感度で、高確度な、多元素同時非破壊分析法である。それゆえ、多くの分野で利用されている。しかし、宇宙地球化学的試料で定量可能な元素のほとんどは、%オーダーで試料中に存在している主要元素で、微量元素はわずかである。多数の即発ガンマ線が一つの元素から放出されるため、多元素が存在する試料ではガンマ線スペクトルが非常に複雑になり、微量元素からの即発ガンマ線は、主要元素からの即発ガンマ線に妨害され、中性子捕獲断面積が非常に大きい微量元素以外は、ほとんど検出できないことが多い。検出限界の改善の為に PGA に多重ガンマ線検出法を応用した多重即発ガンマ線分析 (MPGA) が最近考案され、このための装置が JRR-3 に設置された[1]。MPGA ではカスケード即発ガンマ線の同時計数により、スペクトルのエネルギー分解能が向上し、コンプトン散乱に由来するバックグラウンド計数も減少する。よって、MPGA ではガンマ線の重畳が減少するため従来の PGA で測定困難な微量元素の定量や定量値の確度向上が期待される。本研究では、宇宙地球化学的試料を MPGA で正確に定量するために再現性、S/N 比、試料重量などについて検討を行った。

【実験】冷中性子照射とガンマ線測定は日本原子力研究開発機構 (JAEA) の JRR-3M 冷中性子ビームラインに設置された STELLA で行った。STELLA は、4 つの Ge 半導体検素子から構成されるクローバー型 Ge 検出器 8 台とビスマスゲルマニウム酸化物 (BGO) シンチレータで構成された検出器システムである。FEP フィルムに封入した試料を二酸化炭素雰囲気下で、強度  $1.4 \times 10^7$  n/cm<sup>2</sup>/sec、ビームサイズが  $2 \times 3$  cm<sup>2</sup> の冷中性子ビームで照射しながら、即発ガンマ線を測定した。ガンマ線測定器の不感時間を補正するために中性子照射では生成しない <sup>133</sup>Ba 標準線源を常に試料と同時に測定した。測定データはイベントごとに記録され、測定終了後、sorting と呼ばれるデータ処理を施し、二次元スペクトルを得た。

【結果】岩石標準試料 JB-1 (206 mg) の測定を行い、3 つのモードで sorting して、それぞれ二次元スペクトルを作成し、Fe, Ti, Si のピークの S/N 比 (=ピーク正味計数値/バックグラウンド計数値) を比較した。各元素においてアドバックモードとアンチコインシデンスモードでの S/N 比はノーマルモードよりも約 2 倍高かった。アドバックモードは偽ピークを生じる可能性があるため、本研究では、アンチコインシデンスモードによる sorting を行うこととした。JB-1 (206 mg) を 30 時間の中で約 2 時間ずつ測定を 5 回を行い、計数率の再現性を検討した。不感時間を補正した計数率は、Fe は ± 6% で、Si は ± 2% で、Ti は ± 1% 内で一致した。岩石試料を効率良く測定するために適切な試料量を検討した。JB-1 または JB-1a の試料量に対する Fe, Ti, Si のピークの S/N 比と不感時間未補正の計数率の変化を図 1 に示した。S/N 比は試料量増加と共に増加するが、50mg を越えると変化は穏やかで、150mg を越えるとほぼ一定となった。計数率も試料量の増加とともに大きくなるが、不感時間も増加するため試料量に比例しなかった。そのため、試料量を 200 mg 以上にしても、測定条件上で利点はないと考えられることから、分析に供する試料量に制限がない場合、

150 mg~200 mg 程度の試料量が測定に適している」と判断した。

JB-1 (206 mg) を比較標準試料として, JSO-2 (330 mg), Allende 隕石 (233 mg), Gold Basin 隕石 (153 mg) に含有する元素を比較法と内標準法で定量した。これらの試料のいずれかで現在までにピークの検出ができた元素を濃度とともに表 1 に示した。主要元素の他、微量元素では中性子捕獲反応断面積が大きい Cd, Sm, Gd を検出できた。

しかし、従来の PGA で定量できない元素はまだ検出できていない。Allende 隕石の比較法を

用いた定量値は K を除き、±20%以内で文献値と一致した。K のずれは、低い計数率によると考えられる。そのため、誤差も大きい。内標準法は、いずれの試料でも文献値とよく一致し、元素間のばらつきも、比較法よりも小さかった。

本研究では、MPGA 法を宇宙地球化学的試料の分析に適用するために、MPGA 装置の性能や試料の適切な測定条件を調べた。150~200 mg の試料量を用いて、アンチコインシデンスモードによる sorting で二次元スペクトルを得ることで高精度な分析が可能であることがわかった。また、本実験時には、主要元素の定量ができるのみであったが、現在までにデータ収集システムが改良され、より高計数率まで不感時間があまり増えずに計数することが可能となった。今後、定量可能な微量元素が増えることが期待される。

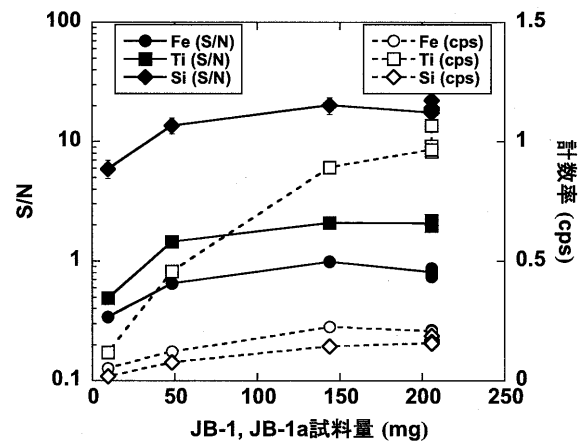


図 1 試料量に対する S/N 比と計数率の変化

表 1 比較法による隕石・岩石試料の定量値

unit	energy (keV-keV)	Allende		JSO-2		Gold Basin		JB-1	
		233 (mg)19625(sec)	[3][4]	330 (mg)20084(sec)	[5]	153 (mg) 18706(sec)	[6]		
Na	%	781 - 91	0.361 ± 0.091	0.329	1.51 ± 0.20	0.76	0.4 ± 0.07	0.582	2.05
Mg	%	2828 - 585	15.3 ± 0.7	14.9	0.68 ± 0.28	1	9.61 ± 0.47	13.3	4.65
Si	%	3539 - 4934	15.93 ± 0.49	15.98	20.42 ± 0.71	19.75	17.5 ± 0.5	17.5	24.48
Cl	ppm	517 - 1951	148 ± 5	320	253 ± 10	110	171 ± 6	140	176
K	%	771 - 1159	0.0786 ± 0.0321	0.0295	1.460 ± 0.100	1.29	0.093 ± 0.037	0.079	1.19
Ca	%	2002 - 1943	1.73 ± 0.16	1.86	0.51 ± 0.27	0.78	1.16 ± 0.16	1.41	6.61
Ti	%	342 - 1382	0.091 ± 0.006	0.096	0.680 ± 0.010	0.7	0.06 ± 0.01	0.08	0.79
Mn	%	271 - 105	0.123 ± 0.008	0.145	0.130 ± 0.013	0.136	0.219 ± 0.012	0.256	0.118
Fe	%	1260 - 352	24 ± 0.7	23.7	7.33 ± 0.40	7.3	23 ± 1	23	6.29
Co	ppm	159 - 277	662	662	775 ± 46	1071	817 ± 36	697	38.2
Cd	ppm	651 - 558	n. d.	0.43	101	101	n. d.	n. d.	0.11
Sm	ppm	439 - 334	n. d.	0.302	5.08 ± 0.28	4.53	0.281 ± 0.089	0.788	5.13
Gd	ppm	944 - 80	n. d.	0.39	n. d.	6.42	n. d.	n. d.	4.9

[1] Y. Toh et al(2008), J. Radioanal. Nucl Chem. 276, 217-220.

[2] N. Imai et al (1995), Geochem J. 29, 91-95

[3] G. W. Kallemeyn et al(1981), Geochim. Cosmochim. Acta 45, 1217-1230.

[4] E. Jarosewich et al(1987), Smithson. Contrib. Earth Sci, 27, 1-49.

[5] S. Terashima et al(2001), Geostandard Newslett. 26, 85-94.

[6] 浜中芳文(2009) 私信.

# 平成 21 年度卒業論文抄録

## 栄養機能性食品の生体ミネラルに及ぼす影響

大妻女子大学社会情報学部 大石 彩奈

### 1・はじめに

近年、美白・美肌効果や風邪予防、がん予防、貧血などにビタミンCが効果的だといわれている。また、ビタミンCを摂取すると鉄の吸収に効果的だと報告されている。健康意識の高まりから、不規則な生活などで不足しがちな栄養素を手軽に摂取できることで栄養機能性食品（サプリメント）を摂取している人の比率が高まっている。ビタミンCのはたらきは美容分野、医療分野において注目を集め、多岐にわたる。私自身、ビタミンCの効能についての知識が曖昧であったため、実際にはどのような効能があるのかを詳しく理解したいと考え、ビタミンCを摂取することにより、体に及ぼす影響を生体ミネラルのバランスの観点から調べることを試みた。ビタミンC摂取前後の生体ミネラルの変化を検討するとともに食事内容および生活習慣の調査を実施し、食習慣傾向を摂取ミネラルにより検討した。生体試料にはミネラル濃度が最も高値にあらわれる毛髪を用いて多元素放射化分析法を行った。

### 2・研究方法

#### <試料>

大妻女子大学大森ゼミ生 14 人に、ローズヒップというビタミンC（1錠1000mg）を毎食後1錠ずつ合計1日に3錠摂取し、3ヶ月間摂取した人を対象とした。実験開始時および3ヶ月間摂取後に採髪し合計28検体を分析対象試料とした。採髪は頭部10ヶ所、1ヶ所10本を根元より切り、一まとめにする。そして、根元側から4センチ長さを切り取り、試料とした。

#### <前処理>

採取した毛髪試料をアセトン、精製水（3回）、アセトンの順に各25mlで10分間強振し、風乾後、短寿命核種用に0.01~0.02g、長寿命核種用に0.03~0.04gを秤量し、硝酸洗浄済みポリエチレン袋に封入し、照射試料とした。

#### <標準試料の作製と標準物質の調整>

対象の標準試料原液の一定量をそれぞれ適量に希釈し、その100μlをマイクロピペットで採取し、硝酸洗浄済み濾紙片に滴下後、硝酸洗浄済みポリエチレン袋に封入し照射試料とした。

さらに、保証値が確立されている標準物質（NBSのOrchard LeavesとNIESのHuman Hair）を用いて、作製した標準試料の信憑性を確認した。

### <分析方法>

韓国原子炉研究所のHANAROにて1分間および20分間照射を行い、適時冷却後Ge検出器付属4096チャンネル波高分析器を用いて、短寿命核種200秒、中寿命核種300秒、長寿命核種3000秒計測を行った。

### 3・結果と考察

#### ①検出元素

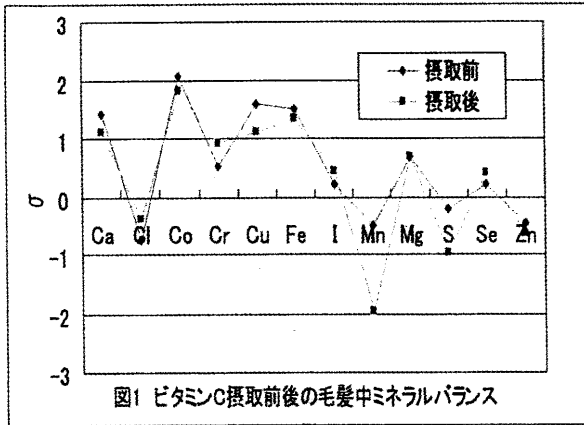
毛髪の多元素放射化分析により、検出された元素は、1分間照射にてAl、Br、Ca、Cl、Cr、Cu、I、Mn、Mg、S、V、さらに20分間照射し30日間冷却にてAg、Co、Fe、Hg、Rb、Se、Znの合計18種であった。

#### ②毛髪中ミネラルバランス

ビタミンC摂取前後の毛髪中ミネラルバランスを調べた。ビタミンC摂取前後の含有元素濃度を表1に示した。図1の毛髪ミネラルバランスは毛髪中元素濃度と正常人値との差を標準偏差で除し、標準偏差σを単位としてプロットしたものである。±2σを正常範囲とする。すべての元素の値は正常範囲内に収まっていた。ビタミンC摂取後の毛髪中ミネラルバランスはどちらも同じようなバランスであった。このことは、ビタミンCの摂取期間が短かったことあるいは、全試料の平均値であるので小さな変化があらわれなかったことによるのではないかと考えられる。今後検討の予定である。しかしMnは摂取後に数値が減少していた。これは対象の学生が毛髪処理としてのカラーリングや脱色をしていることが原因であると考えられる。

表1 ビタミンC摂取前後の毛髪中含有元素濃度

	摂取前(n=14)		摂取後(n=14)		成人女性正常人値(n=52)	
	GM	GSD	GM	GSD	GM	GSD
Ca	2170	1.98	1830	2.07	940	1.8
Cl	107	2.73	152	2.94	220	2.6
Co	0.21	1.5	0.17	1.92	0.035	2.4
Cr	0.96	1.87	1.28	1.38	0.63	2.2
Cu	31.6	1.61	24.9	2.01	15	1.6
Fe	55.7	1.67	52	2.16	28	1.6
I	0.41	1.82	0.51	1.6	0.35	2.4
Mg	137	1.95	138	2	86	2
Mn	0.31	2.15	0.08	2.65	0.49	3.3
S	42900	1.1	39700	1.11	43800	1.1
Se	0.72	2.34	0.77	1.76	0.67	1.4
Zn	164	1.22	155	1.18	180	1.3

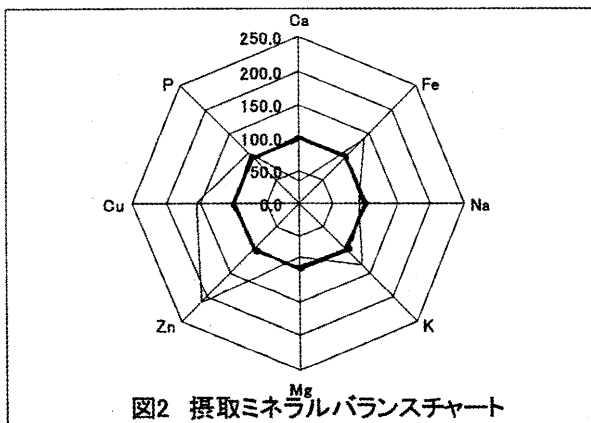


### ③摂取ミネラル

ヘルスメイクプログラムを用いて食事内容によるミネラル摂取状況を調べ表2に示し、摂取ミネラルバランスを図2に示した。所要量を100%とすると、摂取ミネラルバランスはCaのみが所要量の40%を下回っており、ほとんどの元素が100%に達し、特にZnは200%を上まわっていた。全体的に栄養バランスがとれている食事をとっていることがわかる。各々について調べたが摂取ミネラルバランスの悪い人が多かった。今後摂取ミネラルを意識して食事を摂ることが課題である。

表2 ヘルスメイクプログラムによる個人の摂取ミネラル

食事	Ca	Fe	Na	K	Mg	Zn	Cu	P
朝食	5	0	0	165	5	0	0.06	15
昼食	164	6.5	2133	1334	150	10.36	0.73	708
夕食	57	2.5	503	603	52	4.36	0.3	242
食事計	226	9	2636	2102	207	14.72	1.09	965
基準値	700	6.5	2953	1600	254	7	0.7	900
過不足	-474	2.5	-317	502	-47	7.72	0.39	65
比率%	32.3	138.5	89.3	131.4	81.5	210.3	155.7	107.2



### ④鉄の吸収とビタミンC

表3より、食事にオレンジジュースをつけることで最も生理的に利用される鉄の吸収率がよくなっている。菜食メニューIより菜食メニューIIの方が、生理的に利用される鉄の吸収が良い。このことはアスコルビン酸の量が10倍になっていることが関係すると考えられる。このことから、ビタミンCを食事と一緒に摂ることにより、鉄が2価から3価に還元され、吸収されやすくなるためだと考えられる。

表3 食事からの鉄の吸収

食事組成	エネルギー (kcal)	鉄含有量		吸収		生理的に 利用される 鉄の量 (mg/100kcal)
		非ヘム鉄 (mg)	ヘム鉄 (mg)	非ヘム鉄 (mg)	ヘム鉄 (mg)	
欧風朝食						
コーヒー付	320	2.8	-	0.16	-	0.16
コーヒー、オレンジジュース付	380	3.1	-	0.4	-	0.4
コーヒー、スクランブルエッグ、ベーコン付	480	4.2	0.03	0.25	0.01	0.26
紅茶付	320	2.8	-	0.07	-	0.07
菜食メニューI(アスコルビン酸含量7mg)	730	5.8	-	0.13	-	0.13
(インゲン豆、米、コーン、りんご)						
菜食メニューII(アスコルビン酸含量74mg)	620	5.8	-	0.98	-	0.98
(カリフラワー、赤インゲン豆、白ひ、 ヨーグルト、バナナ)						

### 4・まとめ

(1) 多元素放射化分析法により検出された元素はAg、Al、Br、Ca、Cl、Co、Cr、Cu、Fe、Hg、I、Mn、Mg、Rb、S、Se、V、Zn、の18種類であった。

(2) ビタミンC摂取前後の毛髪中ミネラルバランスに変化はほとんど見られなかった。このことは、ビタミンCの摂取期間が短かったことあるいは、全試料の平均値であるので小さな変化があらわれなかったことによるのではないかと考えられる。今後検討の予定である。

(3) ビタミンCを食事と一緒に摂ると鉄が吸収されやすくなる。

(4) 一個人の食事から摂取ミネラルバランスチャートを作り、摂取ミネラルバランスを調べてみた。所要量をクリアできていた。

(5) ビタミンCは鉄を2価から3価に還元し、吸収を高める効果があるが、今回の実験では、毛髪ミネラルバランスに変化がみられなかったことから1回に食するビタミンCの量と摂取期間に問題があると考えられ、さらに検討する予定である。

## 緑茶・紅茶・ハーブ・生薬の効能と元素濃度の差異に関する研究

大妻女子大学社会情報学部 加藤 真梨

### 1. はじめに

植物中には有機成分と無機成分が含まれている。含まれる元素量は、①植物の種類および属、②生育する土壌の特性、③気候や気象、④植物の生長段階によって違う。さらに、人為的に肥料を与えることや、土壌の改良などによっても元素濃度に影響を及ぼす。中でも、緑茶・紅茶・ハーブ・生薬は昔、薬効品と考えられ、解毒作用などの薬効や茶の香りなどは茶葉に元来含まれている有機成分および無機成分と深い関係にあるとされている。しかし、有機成分の効能は報告されているが、無機成分の効能はほとんど報告されていない。そこで、緑茶・紅茶・ハーブ・生薬に含まれる無機元素の含有量の差異を調べ、各々の特長を見出し、効能との関連性を検討する。

### 2. 研究の方法

かつて実験された、緑茶・紅茶・ハーブ・生薬に含まれる無機元素の差異について特長を見出し、元素濃度を必須ミネラルの観点から検討する。用いた試料は、過去の当研究室でとりあげた実験結果に基づくものである。緑茶については、藤野絵美 (H.16)・玉田鮎子 (H.18) のデータを用いた。紅茶については、伊藤のぞみ (H.10)・清水絵美子 (H.14)・佐々木悠子 (H.18) のデータを用いた。ハーブについては、那須野裕子 (H.11)・斉藤理英 (H.16) のデータを用いた。生薬については、那須野裕子 (H.11)・窪庭綾香 (H.14) の 8 名のデータすなわち、緑茶 51 件、紅茶 43 件、ハーブ 36 件、生薬 29 件。合計 159 件を対象とした。また、実験方法は KUR-Pn-I による多元素放射化分析による。

### 3. 結果および考察

緑茶・紅茶・ハーブ・生薬の有機成分とその効能を表 1 に示した。また、緑茶・紅茶・ハーブ・生薬の茶葉中元素濃度とその標準偏差を表 2 に示した。まず、Ca について検討すると、ハーブや生薬は緑茶の 2 倍高値であった。Ca は神経伝達、心臓の鼓動調整に作用し、関節炎、リウマチ、背痛、不眠症、月経痛、イライラなどに効果があると考えられている点から、「イライラにお茶を一杯」ということは Ca を補給することでストレスが解消すると考えられ、ハーブ・生薬の方が多いことは緑茶・紅茶より効果が

大きいことを示唆する。次に、Fe について検討すると、ハーブが高値を示した。Fe は効能が明らかにされており、血液関係に効能があるハーブは高値の傾向にあった。また、Fe は病気に対する抵抗力の強化や貧血、大腸炎、月経異常、消化不良などに効果があると考えられている点から、「鉄が不足すると貧血になる」ということは Fe を補給することで貧血が解消すると考えられ、ハーブが多いことは緑茶・ハーブ・生薬より効果が大きいことを示唆する。次に、K について検討すると、緑茶が高値を示し、他 3 種より高値を示した。K は緑茶を生産する際に窒素・リン酸・カリウムが肥料として使用されているため、茶葉に取り込まれやすい可能性が考えられる。また、K には血圧を下げる作用があると考えられている点から、K を補給することで高血圧の予防になると考えられ、緑茶が多いことは紅茶・ハーブ・生薬より効果が大きいことを示唆する。次に、Mg について検討すると、紅茶・生薬が高値を示した。Mg は筋肉の重要な働きに関与していると考えられ、減少すると脈の乱れや筋肉の収縮、ふるえが起ると考えられている点から、Mg を補給することで「長い間立つのがつらい」「すぐしゃがみ込む」などの症状を改善すると考えられ、紅茶・生薬が多いことは緑茶・ハーブより効果が大きいことを示唆する。次に、Mn について検討すると、緑茶・紅茶が高値を示した。Mn は骨の形成を促進し、肝臓や骨の酸素作用を活性化する。また、「骨の成長に欠かせないミネラル」といわれ、不足すると発育が遅れ、骨がもろくなると考えられている点から、Mn を補給することで骨の成長促進になると考えられ、緑茶・紅茶が多いことはハーブ・生薬より効果が大きいことを示唆する。次に、V について検討すると、紅茶が高値を示した。V は酵素の運搬、コレステロールの代謝、心臓発作を予防する。また、V を多く含むミネラルウォーターがインスリンの効き目を改善させ糖尿病を防ぐ効果があると考えられている点から、V を補給することで心臓発作予防や血糖値を減少させると考えられ、紅茶が多いことは緑茶・ハーブ・生薬より効果が大きいことを示唆する。次に、Zn について検討すると、緑茶・ハーブが高値を示した。Zn を補給することで味覚障害の緩和や男性の生殖機能を正常にし、さらに更年期障害の緩和に働きかけると考えられ、緑茶・ハーブが多いことは紅茶・生薬より効果が大き

いことを示唆する。最後に、Co・Cu・I・Seについては4種に特長的な差異はみられなかった。

#### 4. まとめ

必須元素と緑茶・紅茶・ハーブ・生薬の有効性を考えると、Caを補給することでストレス解消に作用すると考えられ、そのためには、ハーブ・生薬を服用することが効果的であることがわかった。次に、Feを補給することで貧血の解消を助ける作用を考えると考えられ、そのためには、ハーブを服用することが効果的であることがわかった。次に、Kを補給することで高血圧予防になると考えられ、そのためには、緑茶を服用することが効果的であることがわかった。次に、Mgを補給することで「長い間立つのがつらい」「すぐしゃがみ込む」などの症状を改善する作用があると考えられ、そのためには、紅茶・生薬を服用することが効果的であることがわかった。次に、Mnを補給することで骨の成長促進に作用すると考えられ、そのためには、緑茶・紅茶を服用することが効果的であることがわかった。次に、Vを補給することで心臓発作予防や血糖値を減少させる作用があると考えられ、そのためには、紅茶を服用することが効果的であることがわかった。最後に、Znを補給することで味覚障害の緩和や男性の生殖機能を正常にし、また、更年期障害の緩和に働きかける作用があると考えられ、そのためには、緑茶・ハーブを飲むことが効果的であることがわかった。

これらのことから、緑茶・紅茶・ハーブ・生薬には無機元素が不可欠であり、わたしたちの心と体が正常に作用し、健康を保つためにも無機元素は有効的であると考えられる。

●表1 緑茶・紅茶・ハーブ・生薬の有機成分と効能

	緑茶	紅茶	ハーブ	生薬
有機成分	カテキン	カテキン	精油	精油
	カフェイン	カフェイン	苦味質	クマリン酸
	ビタミン類(A・C・E)	ビタミン類(A・B・P)	食物繊維	アルコール類
	食物繊維	ポリフェノール	アントラキノン	炭水化物
	アミノ酸(テアニン)	アミノ酸(テアニン)	フラボノイド	フェノール化合物質
	フッ素	フッ素	粘液	グルコース
	β-カロテン	サポニン	タンニン	タンニン
	葉酸		サポニン	サポニン
	フラボノイド類		アルカロイド	植物酸類
	サポニン		フラボノイド	フタリド
効能	ストレス解消	眠気覚まし	冷え	貧血
	美肌・老化防止	ダイエット効果	月経不順	生理痛
	血圧調整	抗菌・殺菌作用	ストレス	補血
	疲労回復	疲労回復	安眠	糖尿病
	覚醒作用	覚醒作用	リラックス	高血圧
	かぜ予防	かぜ予防	消化不良	動脈効果
	口臭・虫歯予防	口臭・虫歯予防	胃	美白効果
	動脈硬化	自律神経の興奮	便秘	etc...
	心臓病予防	血中コレステロール低下	風邪	
	肝臓保護	抗酸化作用	花粉症	
	アレルギー症状抑制	リラックス効果	etc...	
	抗酸化作用			
	二日酔い防止			

●表2 緑茶・紅茶・ハーブ・生薬の無機成分の比較

	緑茶 N=51		紅茶 N=43		ハーブ N=36		生薬 N=29	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
Ti			1185	590	850	660	16.3	15.6
Ag					5.10	4.94		
Al	96.5	67.6	350	328	135	138	233	271
As	0.05	0.04	0.13	0.08	0.07	0.04	0.10	0.08
Au	0.007	0.003	0.006	0.006	0.01	0.01	0.005	0.003
Br	5.06	4.34	3.34	2.56	63.4	98.8	9.49	9.54
Ca	1230	430	2020	1260	3160	1880	3380	3130
Cl	835	420	544	345	1890	1650	1620	1650
Co	0.18	0.12	0.16	0.15	0.24	0.19	0.15	0.15
Cr	0.66	0.53	1.23	1.67	1.39	1.25	0.83	0.58
Cu	5.52	4.69	14.7	9.09	5.29	5.13	5.37	4.29
Fe	68.6	36.0	130	138	223	176	145	103
Hg	0.16	0.19	0.24	0.16	0.05	0.05		
I	1.22	0.89	0.81	0.50	0.49	0.36	0.08	0.05
K	23000	11400	16940	2900	8560	5300	10900	6350
Mg	740	470	1220	522	1090	890	1580	947
Mn	390	200	360	350	38.0	32.3	27.3	24.9
Na	74.6	76.6	27.6	15.7	139	116	77.7	83.6
S	870	700	910	480	759	639	773	660
Sb	0.13	0.12	0.13	0.20	0.20	0.23	0.13	0.09
Sc	0.05	0.03	0.16	0.14	0.51	0.48	0.24	0.26
Se	0.25	0.17	0.24	0.21	0.33	0.22	0.28	0.17
V	0.17	0.19	0.07	0.04	2.29	3.43	0.37	0.49
Zn	34.2	9.13	24.6	18.6	30.0	20.2	13.5	10.9
Rb			0.25	0.17	15.5	11.3	26.9	20.8

# 秋田県人の寿命に関する研究

～秋田県ミネラル含有量について～

大妻女子大学社会情報学部 番場 紀子

## 1、はじめに

長寿命・短寿命の県の特徴に生活習慣すなわち食習慣の差異が大きいことが考えられる。かつて、沖縄県は長寿県日本一であった。それは食べ物との関わりが考えられるので親子三世代（祖父母、父母、学生）の同居家族の食内容を調べた。祖父母にはミネラルが十分摂取していたが、父母、学生はミネラルバランスが悪く他は所要量を下回っていた。今回国民白書によると沖縄県は日本一の長寿県ではなくなった。このことはその当時我々が指摘した通りだった。

次に短寿命では、国民白書によると秋田県というのは、日本ワースト3に入る短寿命である。H18の丹友希の卒業研究で「秋田県人の生活習慣の生体ミネラルに及ぼす影響」という論文から秋田県人は全国平均からみても毛髪中の銅含有量に異常高値者が多いことを明らかにした。そして、H19の高田亜里沙の卒業研究で「秋田県人の寿命に関する一考察」という論文から、秋田県は鉱物の豊富な県でありその採掘する過程で河川水を汚染し周囲の土地、植物に影響を与えていることが明らかになっている。特に河川では銅の数値が高い地点もより多く存在していることがわかり、川中の銅含有量が高い原因は鉱山と関係していることを明らかにした。

秋田県は非常に死亡率の高い県である。平成20年の秋田県の死亡者数は全国2位。死因第一位の悪性新生物の死亡者数が12年連続で全国第一位。心疾患の死亡者数が全国11位。脳血管疾患の死亡者数は3年連続で全国一位。死亡率が深刻化している県である。秋田県は食塩の摂取量が多い、酒の消費量も多い（秋田市のビールの消費量が首都圏を抜いて全国一位）等と言われているため、やはり秋田県の食文化や嗜好品による健康の影響に少なくとも関係している可能性は無視できない。

そこで今回、私たちの主食である米に着目し、多元素放射化分析を行い、銅をはじめ多くのミネラルの含有量について検討する。

## 2、研究方法

秋田県産の22種類の米を分析した。試料の前処理として 収集した市販米をティッシュで拭き、短寿命核種測定用として0.02g前後、超寿命核種測定用として0.04gを精密天秤で秤量し、硝酸洗浄済

ポリエチレン袋に封入し照射試料とした。

保証値のある標準物質として日本国立環境研究所（NIES）から出されているHair と米国商務省の研究機関、NBSの Orchard Leaves を短寿命核種測定用に0.01g、長寿命核種測定用に0.02g 秤量し硝酸洗浄済ポリエチレン袋に封入し同時に照射および計測を行い作製した標準試料の信憑性を確認した。

韓国 HANARO にて1分間および20分間照射を行った。

### 1) 短寿命核種

1分間照射後2～6分間冷却してGe(Li)検出器付属4096チャンネル波高分析器にて200秒測定を行った。

### 2) 長寿命核種

20分間照射後30日間冷却した後、3000秒測定を行った。

## 3、結果および考察

### ① 検出元素

照射条件および計測条件により測定した元素はAg、Al、Br、Ca、Cl、Co、Cr、Cu、Fe、Hg、I、Mg、Mn、S、Sc、Se、Ti、Znの18種類であった。

### ② 米中に含有される元素濃度

表1 米に含有される元素濃度 (ppm)

	米中元素 平均値 (ppm)	N=20 標準偏差	新潟コシヒカリ (玄米)	玄米
Ag	0.21	0.17	0.08	
Al	12.3	20.3	1.30	1.50
Br	4.09	2.16		
Ca	186	46.9	46.1	
Cl(1)	367	89.7	213	
Co	0.10	0.04	0.012	
Cr	0.01	1.63		0.26
Cu	6.70	2.39	3.48	3.30
Fe	62.0	29.4		
Hg	0.99	0.62		
I	0.91	0.63		
Mg	2550	714	370	1.40
Mn	54.8	9.85	31.1	27.0
S	5870	4436	673	
Sc	0.0016	0.0005		
Se	0.71	0.45	0.15	0.09
Ti	23.6	11.6		0.43
Zn	124	23.1	16.9	20.0



米中に含有される多元素濃度を表 1 に文献値と共に示した。

新潟のコシヒカリや玄米の Cu 濃度は、3.48ppm で一般の玄米は 3.3ppm であるのに対し今回のデータにおいては 3.5~11.5ppm 平均して 7ppm であり明らかに高値であった。

そして Zn 濃度は文献値 16.99ppm、20ppm に比べ今回 124ppm で 6 倍の濃度が検出された。

H19 年の高田亜里沙さんの卒業論文によると、秋田県にはたくさんの鉱山があり河川や植物へ汚染している結果であった。また、H18 年の丹友希さんの卒業論文の秋田県の毛髪から銅がたくさん検出されていた。これらのことから、秋田県には鉱山による汚染で植物や河川が汚染されており、主食である米にも蓄積されている結果ではないかと考えられる。

また、Cu、Zn 以外にも Al は 10 倍、Ca は 4 倍、Mg は 6 倍、Mn は 2 倍、S は 8 倍の数値が検出された。

廃鉱としての Cu や Zn のある鉱山には Cu、Zn と不純物も多いことが考えられたため、これからの検討すべき研究課題である

- ③ 地域による元素濃度差異について地域差をみるための廃鉱の図を図 1 と表 2 に示した。

図 1 旧廃止鉱山分布図

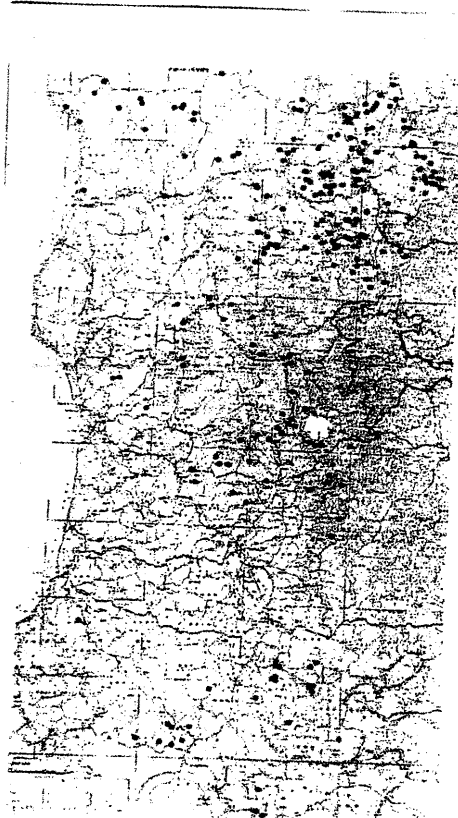


表 2 秋田県内の地域別 Cu、Zn 比較 (ppm)

	Cu	Zn
県北	6.91±2.95	134±14.2
県中	7.64±2.11	128±14.0
県南	6.12±1.77	117±27.4

表 2 により地域差を調べるため、県北、県中、県南において Cu 値、Zn 値を比較したところ、Cu にあまり差異はみとめられなかった。鉱山の多い所、少ない所関係なく秋田県全体的に Cu の濃度は高値であり、河川などにより広まっていると考えられる。しかし Zn 値は、北に行くほど数値が高いことがわかる。図 1 で見ると県北に行くほど旧廃止鉱山が多く広がっており、県南に行くほど旧廃止鉱山が減っていることがわかる。

#### 4、まとめ

日本人の寿命において東北地方は短寿命であるが秋田県が短寿命なのは食文化の影響があると考えられ、平成 19 高田亜里沙の卒業論文より、秋田県は昔から鉱山が多く、銅が河川や植を汚染している。平成 18 年丹友希の卒業論文より、秋田県の毛髪から多くの銅が検出され、鉱山の影響があることが理由の一つと考えられた。そこで今回、私たちの主食である米について調べたところ米にも影響しているのではなかと考えられる。

秋田米の濃度値からは他県に比べ銅の濃度は 3 倍であった。Al、Ca、Mg、Mn、S も異常の濃度が検出された。これはこれからの検討する研究課題である。

また、県中で比較したところ、Cu は県全体に広がっておりどこも高数値であった。

しかし、金属は、他の金属との相加、相乗、拮抗作用により生体内で変化する。そのため短命の原因とは断定できない。しかし、金属元素の豊富な県だからこそ短命の県なのかもしれない。

また、秋田の生活習慣は悪く、塩分、お酒の摂取が多く他県に比べてその影響は大きくなると思われる。脳血管疾患が全国 1 位の理由なのではないかと思われる。

このように秋田県の短命の原因は生活習慣と豊富な鉱山県からの複数金属の取り込みによる生体影響は無視できないと考えられる。

# 中性子放射化分析によるヒ素の定量の半減期依存性

報告者 宮崎大学工学部材料物理工学科 4年 宮原 一平

指導教官 宮崎大学工学部材料物理工学科 松田 達郎 教授

同 前田 幸重 助教

## 1 目的

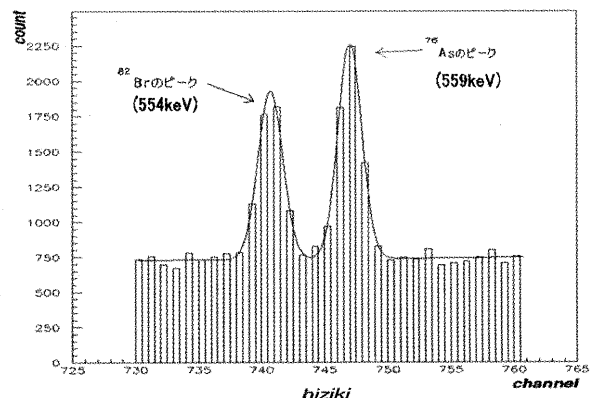
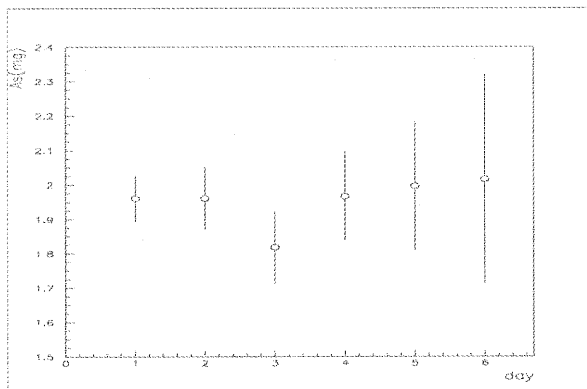
中性子放射化分析は非破壊分析として、有用な分析法の1つである。現在我々は「JAEA（日本原子力開発機構）」に設置されている原子炉を利用し、インド、バングラディッシュにおける地下水ヒ素汚染の調査をしている。そして地下水ヒ素汚染の原因と思われる地下の土中のヒ素を放射化し、ヒ素の量を計っている。分析試料中には目的とするヒ素以外の元素も多く含まれている。特にナトリウムは放射化されやすく、ヒ素の数倍のカウントを取る。これはGe検出器でのガンマ線検出の計数率の上限を決めてしまうと同時に、放射化されたヒ素から放出される $\gamma$ 線による光電ピーク下の連続バックグラウンドとしてヒ素検出の精度の上限を与えてしまう要因となっている。そこで、 $^{76}\text{As}$ の半減期（26.4時間）と $^{24}\text{Na}$ の半減期（15時間）の違いを利用し、バックグラウンドの減少による定量の誤差の減少を検討する事を目標に実験を行った。今回の実験の中性子照射は、宮崎大学RI木花分室に設置されている、Am-Be線源を使った中性子照射装置を利用した。また試料は身近なもので、ヒ素を比較的多く含む「ヒジキ」を放射化した。

## 2 実験方法

中性子放射化分析は安定な核種を中性子により放射化し、原子核を不安定な励起状態にし、崩壊時に放出される $\gamma$ 線のエネルギーを計り、核種の同定、定量をする分析法である。まず始めにU-8容器に入れたヒジ22.429gに中性子を24.5時間照射し、次にヒ素2mgを含ませた標準となる試料をU-8容器に入れたものを同じ条件で放射化した。その後、それぞれの試料から、ヒ素の崩壊時に放出される $\gamma$ 線を高純度Ge半導体検出器で測定し、カウントによるピークの面積を比較し、ヒジキ中に含まれるヒ素の量を調べた。また、この $\gamma$ 線の検出を6日間続け、核種の半減期の違いによる定量の誤差の影響を調べた。

## 3 結果

左下に計量したヒジキ中のヒ素の量と、その誤差を示したグラフを示す。また右下にヒジキから放出された $\gamma$ 線のエネルギースペクトルを示す。実験の結果、ヒ素を放射化した後、24時間の検出が、最も定量の誤差が小さくなるということが分かった。今回の実験では、 $^{76}\text{As}$ よりも半減期の短い核種の信号の減少による、バックグラウンドの減少が狙いであった。しかし、今回は中性子強度が弱く、照射時間も長いため、 $^{76}\text{As}$ と $^{24}\text{Na}$ の生成量の差が原子炉照射ほどには出ず、バックグラウンドの減少とともに、 $^{76}\text{As}$ のピークも減少し、時間の経過と共に定量の誤差は大きくなった。今後は原子炉で強度の強い中性子を照射し、同じように定量の誤差と半減期の関係を調べる必要がある。



# 施設便り

## 日本原子力研究開発機構

平成 22 年度から平成 23 年度の JRR-3 及び JRR-4 の運転・管理計画をお知らせします。

### ■JRR-3

平成 22 年度の JRR-3 の運転・管理計画は、平成 22 年 4 月から 11 月下旬まで施設共用運転を行います。そして、平成 22 年 11 月下旬から平成 23 年 7 月上旬まで、施設保全計画による各設備の整備及び施設定期自主検査期間となるため、約 32 週間にわたり原子炉の運転を停止致します。

#### JRR-3 ユーザーズオフィス

先端研究施設共用促進事業・「研究用原子炉 JRR-3 の中性子利用による施設共用促進」に基づき、産学連携推進部・施設利用課、研究炉加速器管理部・研究炉利用課、量子ビーム応用研究部門・研究推進室にまたがる利用者窓口、利用者支援、成果発信の機能を一元化する目的で JRR-3 ユーザーズオフィスが研究炉利用課内に設置されました。原子力機構が所轄する 17 台の中性子ビーム利用実験装置と放射化分析用照射設備 (PN-3) の施設共用利用支援を行います。利用者控室等の整備も行いましたのでご利用ください。

### ■JRR-4

平成 22 年度の JRR-4 の運転・管理計画は、前回ご報告した運転計画が変更となり、平成 22 年 12 月下旬まで施設共用運転を行い、平成 22 年 12 月下旬から平成 23 年 6 月中旬まで施設保全計画による各設備の整備及び施設定期自主検査となるため、約 24 週間にわたり原子炉の運転を停止致します。

平成 22 年度及び平成 23 年度の研究炉運転・管理計画を下表に示します。

年度	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
22 年度	<b>JRR-3</b> 23 3    28 7    2 12    6 16    10 20    15 25    19 22-01   22-02   22-03   22-04   22-05   22-06   22-07									施設定期自主検査(32週)			
	<b>JRR-4</b> 2 19    27    21    24 点検 保守(3週)									施設定期自主検査(24週)			
	19週									14週			
23 年度	<b>JRR-3</b> 23-01   23-02   23-03   23-04   23-05					年末・年始		23-06   23-07		24-01			
	<b>JRR-4</b> 官庁立会検査    点検保守(1週)									13週			4週
	23週									3週			

平成 22 年度は、JRR-3、JRR-4 が 12 月下旬から 6 月中旬まで長期的に原子炉の運転を停止致しますので、各実験設備及び照射設備の計画的なご利用をお願い申し上げます。

利用日程のご相談、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://rrsys.tokai-sc.jaea.go.jp/rrsys/>

(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)

- 平成 22 年度原子力機構施設利用共同研究は東海村の原子力科学研究所の施設利用が 70 件、高崎量子応用研究所の施設利用が 19 件となっており合計 90 件の研究課題で共同利用を行っております。なお、東海研利用の 70 件のうち、6 件が医療照射、中性子ビームを利用した中性子ラジオグラフィーおよび残留応力測定装置での研究課題が 21 件と、研究課題も多岐にわたり実施されています。
- 長らくご迷惑をお掛け致しておりました JRR-3 ならびに JRR-4 は無事に再開され、現在、順調に共同利用運転を行っています。運転情報などの詳細は、本誌でも、研究炉加速器管理部研究炉利用課よりご報告がありますのでご参照ください。また、照射および実験関係の情報については、開放研ホームページ(<http://kaihoken.nuclear.jp/>)にて随時、お知らせして参ります。
- 大学開放研では、共同利用を運営していく上で外部からの評価のひとつとして「人材育成」の成果が求められています。それに伴いまして、平成 19 年度より利用者の皆様には、卒業論文や学術論文数の情報提供のご協力をお願いしております。引き続き、ご理解とご協力をお願い致します。

(澤幡浩之)

### H22 年度原子力機構施設利用共同研究採択課題

#### 4.1 中性子利用分析を用いた自然科学の究明

課題番号	研 究 課 題	大学等	研究代表者
10129	元素組成に基づく南極隕石の宇宙化学的研究	首都大学東京	海老原 充
10130	堆積岩の微量元素組成から読み取る海洋における環境変動(II) 生物大量絶滅イベントの要因解明へ向けて	筑波大学	丸岡 照幸
10131	火口湖底質試料の放射化分析	上智大学	木川田喜一
10132	九州の上部四万十層群に関する放射化分析と F T 年代測定	鹿児島大学	鈴木 達郎
10133	K-A r 年代形成過程と岩体上昇過程の研究( I )	岡山理科大学	兵藤 博信
10134	高純度金属材料、石川町鉱物及び文化財鉄関連資料中の中の微量元素の挙動に関する研究	東京都市大学	岡田 往子
10135	石英単粒子による更新世火山の年代測定と年間線量測定	北海道教育大学	雁沢 好博

平成 22 年度は、JRR-3、JRR-4 が 12 月下旬から 6 月中旬まで長期的に原子炉の運転を停止致しますので、各実験設備及び照射設備の計画的なご利用をお願い申し上げます。

利用日程のご相談、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://rrsys.tokai-sc.jaea.go.jp/rrsys/>

(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)

- 平成 22 年度原子力機構施設利用共同研究は東海村の原子力科学研究所の施設利用が 70 件、高崎量子応用研究所の施設利用が 19 件となっており合計 90 件の研究課題で共同利用を行っております。なお、東海研利用の 70 件のうち、6 件が医療照射、中性子ビームを利用した中性子ラジオグラフィーおよび残留応力測定装置での研究課題が 21 件と、研究課題も多岐にわたり実施されています。
- 長らくご迷惑をお掛け致しておりました JRR-3 ならびに JRR-4 は無事に再開され、現在、順調に共同利用運転を行っています。運転情報などの詳細は、本誌でも、研究炉加速器管理部研究炉利用課よりご報告がありますのでご参照ください。また、照射および実験関係の情報については、開放研ホームページ(<http://kaihoken.nuclear.jp/>)にて随時、お知らせして参ります。
- 大学開放研では、共同利用を運営していく上で外部からの評価のひとつとして「人材育成」の成果が求められています。それに伴いまして、平成 19 年度より利用者の皆様には、卒業論文や学術論文数の情報提供のご協力をお願いしております。引き続き、ご理解とご協力をお願い致します。

(澤幡浩之)

### H22 年度原子力機構施設利用共同研究採択課題

#### 4.1 中性子利用分析を用いた自然科学の究明

課題番号	研 究 課 題	大学等	研究代表者
10129	元素組成に基づく南極隕石の宇宙化学的研究	首都大学東京	海老原 充
10130	堆積岩の微量元素組成から読み取る海洋における環境変動(II) 生物大量絶滅イベントの要因解明へ向けて	筑波大学	丸岡 照幸
10131	火口湖底質試料の放射化分析	上智大学	木川田喜一
10132	九州の上部四万十層群に関する放射化分析と F T 年代測定	鹿児島大学	鈴木 達郎
10133	K-A r 年代形成過程と岩体上昇過程の研究( I )	岡山理科大学	兵藤 博信
10134	高純度金属材料、石川町鉱物及び文化財鉄関連資料中の中の微量元素の挙動に関する研究	東京都市大学	岡田 往子
10135	石英単粒子による更新世火山の年代測定と年間線量測定	北海道教育大学	雁沢 好博

10136	放射能をプローブとした金属フラーレン並びに水溶性金属フラーレンの性質の解明	首都大学東京	秋山 和彦
10137	遠洋性および沿岸域堆積物の放射化分析	東京大学	小豆川勝見
10138	中性子放射化分析による火成岩、堆積岩中の親銅元素の定量	東京経済大学	新正 裕尚
10139	琵琶湖掘削コアの火山灰降灰層準中の火山ガラスの放射化分析	北海道大学	豊田 和弘
10140	葉の生体物質中の特定元素の取り込み	北海道大学	久下 裕司
10141	地圏環境における元素分布・循環の研究（Ⅴ）～花崗岩中の白金族元素存在度の多様性と岩石の成因	名古屋大学	田中 剛
10142	中性子放射化分析による宇宙・地球化学物質の研究（Ⅲ）	立正大学	福岡 孝昭
10143	メタンハイドレート含有海底堆積物の化学組成に関する研究	群馬大学	相澤 省一
10144	微小大気浮遊粒子PM <sub>2.5</sub> の元素組成	首都大学東京	大浦 泰嗣
10145	宇宙線生成核種を用いた岩石および土壌の風化速度の定量	筑波大学	末木 啓介
10146	サンゴ骨格中のホウ素およびハロゲン元素濃度を規定する因子に関する研究	琉球大学	大出 茂
10147	宇宙線生成核種を用いた宇宙化学的研究	首都大学東京	大浦 泰嗣
10148	沈み込み成分のマッピングによる比較島弧論	熊本大学	長谷中利昭
10149	元素組成に基づく月隕石試料の地球化学的研究	早稲田大学	唐牛 譲
10150	海洋地殻と島弧火山岩の即発ガンマ線分析	国立科学博物館	佐野 貴司
10151	PGAA, INAAによる鉱石試料及び鉱石含有日用品中の鉱石の体系化	お茶の水女子大学	古田 悦子
10152	即発ガンマ線分析法による隕石試料の全岩元素組成分析	首都大学東京	海老原 充
10153	即発γ線分析法による環境試料中の軽元素および有害金属元素の分析	東京大学	松尾 基之
10154	火成岩、堆積岩試料の即発γ線分析（Ⅱ）	立正大学	福岡 孝昭

#### 4.2 中性子利用分析によるライフサイエンスへの応用

課題番号	研究課題	大学等	研究代表者
10155	化粧品の中性子放射化法を用いた微量元素分析による国際的安全性の確保	お茶の水女子大学	古田 悦子
10156	トリチウム標識卵殻膜のラット投与後の体内動態	東京大学	井尻 憲一
10157	有明海海底土コアの元素分析による環境変動推定	九州大学	杉原 真司
10158	放射化分析法を用いた中央アジアの土壌中の金属元素の環境動態	東京農工大学	川端 良子
10159	地圏環境における物質移動に関するナチュラルアナログ研究	東京都市大学	本多 照幸
10160	ミヤコグサ種子中の微量元素集積に関わるQTL解析（Ⅱ）原因遺伝子特定に向けた高精度解析	筑波大学	古川 純
10161	ガンジス川流域ヒ素汚染地域土壌中のヒ素分析	宮崎大学	田辺 公子
10162	亜鉛欠乏状態における肝細胞および脾細胞中の可溶性タンパク質の構造変化（Ⅲ）	静岡大学	矢永 誠人
10163	標本土壌の放射化分析による土壌汚染調査と感染症研究への適用可能性	千葉大学	鈴木 弘行

#### 4.3 中性子利用分析の多極化

課題番号	研 究 課 題	大学等	研究代表者
10164	九州の上部四万十層群に関する放射化分析とF T年代測定	鹿児島大学	鈴木 達郎
10165	$\alpha$ 線トラックエッチング法による鉄鋼材料のポロン存在形態に関する研究	東京大学	小関 敏彦

### 京都大学原子炉実験所

長らく休止していたKURですが、新燃料がようやく3月に搬入され、6月に共同利用が再開されます。現在、圧気輸送管などの照射設備の再開前試験が行われており、共同利用再開に向けた準備が着々と進められています。再開後の詳細な運転パターンなどの情報はまだありませんが、再開直後は原子炉の安全性の確認や運転員の教育のため、単日運転(午前中起動、夕方停止)となる可能性もありますが、ユーザーの皆様の実験の支障とならないよう運用で工夫をしたいと考えております。また、休止期間が予定よりも長くなってしまい、ユーザーの皆様を始め関係者の方々にはたいへんご迷惑をお掛けしましたが、休止中に圧気輸送管照射設備の制御系の更新、ゲルマニウム半導体検出器を多数設置している測定室の整備、即発ガンマ線分析装置の導入、短寿命核種測定用のアンチコンプトン測定装置の導入など、多くの実験装置の導入や設備の整備を行うことができました。再開後は休止以前よりもさらに使い勝手の良い実験施設を目指し、活発な共同利用研究の場となるよう努力していきますので、引き続き皆様のご支援、ご協力をお願い致します。

(高宮幸一)

### 東北大学電子光物理学研究センター

この度、東北大学大学院理学研究科附属原子核理学研究施設は理学研究科附属より東北大学付置の東北大学電子光物理学研究センターに改組致しました。原子核理学研究施設いわゆる”核理研”は開所以来長く親しまれてきました愛称でしたが、今回から”電子光センター”とも呼んで頂きたいと思っております。改組は致しましたが、以前とは何ら変わりはありませんので、今後とも宜しくお願い致します。

以下は平成22年度の放射化学関連分野の採択課題です。今後ともふるって研究課題を申し込みください。

#### 4.3 中性子利用分析の多極化

課題番号	研 究 課 題	大学等	研究代表者
10164	九州の上部四万十層群に関する放射化分析とF T年代測定	鹿児島大学	鈴木 達郎
10165	$\alpha$ 線トラックエッチング法による鉄鋼材料のポロン存在形態に関する研究	東京大学	小関 敏彦

### 京都大学原子炉実験所

長らく休止していたKURですが、新燃料がようやく3月に搬入され、6月に共同利用が再開されます。現在、圧気輸送管などの照射設備の再開前試験が行われており、共同利用再開に向けた準備が着々と進められています。再開後の詳細な運転パターンなどの情報はまだありませんが、再開直後は原子炉の安全性の確認や運転員の教育のため、単日運転(午前中起動、夕方停止)となる可能性もありますが、ユーザーの皆様の実験の支障とならないよう運用で工夫をしたいと考えております。また、休止期間が予定よりも長くなってしまい、ユーザーの皆様を始め関係者の方々にはたいへんご迷惑をお掛けしましたが、休止中に圧気輸送管照射設備の制御系の更新、ゲルマニウム半導体検出器を多数設置している測定室の整備、即発ガンマ線分析装置の導入、短寿命核種測定用のアンチコンプトン測定装置の導入など、多くの実験装置の導入や設備の整備を行うことができました。再開後は休止以前よりもさらに使い勝手の良い実験施設を目指し、活発な共同利用研究の場となるよう努力していきますので、引き続き皆様のご支援、ご協力をお願い致します。

(高宮幸一)

### 東北大学電子光物理学研究センター

この度、東北大学大学院理学研究科附属原子核理学研究施設は理学研究科附属より東北大学付置の東北大学電子光物理学研究センターに改組致しました。原子核理学研究施設いわゆる”核理研”は開所以来長く親しまれてきました愛称でしたが、今回から”電子光センター”とも呼んで頂きたいと思っております。改組は致しましたが、以前とは何ら変わりはありませんので、今後とも宜しくお願い致します。

以下は平成22年度の放射化学関連分野の採択課題です。今後ともふるって研究課題を申し込みください。



#### 4.3 中性子利用分析の多極化

課題番号	研究課題	大学等	研究代表者
10164	九州の上部四万十層群に関する放射化分析とF T年代測定	鹿児島大学	鈴木 達郎
10165	$\alpha$ 線トラックエッチング法による鉄鋼材料のポロン存在形態に関する研究	東京大学	小関 敏彦

### 京都大学原子炉実験所

長らく休止していたKURですが、新燃料がようやく3月に搬入され、6月に共同利用が再開されます。現在、圧気輸送管などの照射設備の再開前試験が行われており、共同利用再開に向けた準備が着々と進められています。再開後の詳細な運転パターンなどの情報はまだありませんが、再開直後は原子炉の安全性の確認や運転員の教育のため、単日運転(午前中起動、夕方停止)となる可能性もありますが、ユーザーの皆様の実験の支障とならないよう運用で工夫をしたいと考えております。また、休止期間が予定よりも長くなってしまい、ユーザーの皆様を始め関係者の方々にはたいへんご迷惑をお掛けしましたが、休止中に圧気輸送管照射設備の制御系の更新、ゲルマニウム半導体検出器を多数設置している測定室の整備、即発ガンマ線分析装置の導入、短寿命核種測定用のアンチコンプトン測定装置の導入など、多くの実験装置の導入や設備の整備を行うことができました。再開後は休止以前よりもさらに使い勝手の良い実験施設を目指し、活発な共同利用研究の場となるよう努力していきますので、引き続き皆様のご支援、ご協力をお願い致します。

(高宮幸一)

### 東北大学電子光物理学研究センター

この度、東北大学大学院理学研究科附属原子核理学研究施設は理学研究科附属より東北大学付置の東北大学電子光物理学研究センターに改組致しました。原子核理学研究施設いわゆる”核理研”は開所以来長く親しまれてきました愛称でしたが、今回から”電子光センター”とも呼んで頂きたいと思っております。改組は致しましたが、以前とは何ら変わりはありませんので、今後とも宜しくお願ひ致します。

以下は平成22年度の放射化学関連分野の採択課題です。今後ともふるって研究課題を申し込みください。

<放射化学関連分野>

- 2700 高宮 幸一 京大・炉 Tc-99m の壊変定数の化学形に対する依存性
- 2701 関本 俊 京大・炉 光量子放射化分析による、地球・宇宙科学的試料中の微量元素の定量
- 2702 山村 朝雄 東北大金研 超臨界水利用の MOX 燃料製造と核分裂生成物分離に関する研究
- 2703 鹿野 弘二 函館高専 放射化分析法による通信用材料中の不純物評価
- 2704 桐島 陽 東北大多元研 選択硫化を用いる使用済燃料の再処理法の研究
- 2705 廣瀬健太郎 核理研 ( $\gamma$ , n) 生成核種の半減期精密測定
- 2706 鈴木 達也 東工大 固体抽出剤を用いた希土類元素とアクチノイド元素の分離に関する研究
- 2707 大浦 泰嗣 首都大 宇宙化学的試料および環境試料の光量子放射化分析
- 2709 木野 康志 東北大・理 陽電子消滅  $\gamma$  線ドップラー広がり測定装置の較正用線源 (Sr-85) 製造
- 2712 横山 明彦 金沢大 フィッション・トラック法による Pa-231 光核分裂反応断面積の測定

(大槻勤)

## 事務局より

毎年度の最初に発行する会誌に会員名簿を掲載しています。本号に掲載しましたが、ご自宅と思われる情報は掲載しませんでした。掲載を希望される方、掲載を希望されない方、訂正のある方は、事務局までご連絡いただけますようお願いいたします。会員情報は会員からの連絡にもとづいて修正しております。送付漏れがないよう会誌の宛先は、編集委員会で人づてに調査して届けております。よって、会誌が届いていても会員情報が修正されているとは限りません。ご確認くださいませようお願いいたします。

# カレンダー

2010/5/15 - 16

第 71 回分析化学討論会  
島根大学松江キャンパス

<http://www.jsac.or.jp/touronkai/71touron/kouen.html>

講演申込締切: 2010/1/20

参加申込締切: 2010/4/21

2010/7/7 - 9

第 47 回アイソトープ・放射線 研究発表会  
日本科学未来館

<http://www.jrias.or.jp/index.cfm/1.html>

講演申込締切: 2010/2/28

2010/9/15 - 17

日本分析化学会第 59 年会  
東北大学川内北キャンパス

[http://www.jsac.or.jp/~jsac\\_ne/59nenkai/59nenkaiindex.html](http://www.jsac.or.jp/~jsac_ne/59nenkai/59nenkaiindex.html)

講演申込締切: 2010/6/2

2010/9/27 - 29

2010 日本放射化学会年会・第 54 回放射化学討論会  
大阪大学吹田キャンパス

<http://www.chem.sci.osaka-u.ac.jp/lab/shinohara/rc54/>

講演申込締切: 2010/7/5

参加申込締切: 2010/8/27

2010/11/7 - 13

Application of Radiotracers in Chemical, Environmental and Biological Sciences  
(ARCEBS 10)

Bidhannagar, India

<http://www.saha.ac.in/cs/arcebs.2010/>

要旨締切: 2010/5/15

参加申込締切: 2010/9/15

2010/11/15 – 19

4<sup>th</sup> International Symposium on Nuclear Analytical Chemistry (NAC-IV)

Mumbai, India

<http://www.barc.gov.in/symposium/nac2010/index.htm>

要旨締切: 2010/6/30

参加申込締切: 2010/8/31

2010/12/15 – 20

The 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (PACIFICHEM 2010)

Honolulu, USA

<http://www.chemistry.or.jp/international/pacificchem2010/Top.html>

要旨締切: 2010/4/5

2011/3/13 – 18

13th International Conference on Modern Trends in Activation Analysis (MTAA-13)

Texas A&M University, USA

<http://tti.tamu.edu/conferences/mtaa13/>

要旨締切: 2010/11/1

参加申込締切: 2011/2/28

Travel support for young scientists and students: 2010/7/15

2012/1/22 – 27

Tenth International Conference on Nuclear Analytical Methods in the Life Sciences  
(NAMLS-10)

Bangkok, Thailand

2012/3/25 – 30

Methods and Applications of Radioanalytical Chemistry (MARC-IX)

<http://altmine.mie.uc.edu/nuclear/marc/index.shtml>

要旨締切: 2011/12/1

## 編集後記

○ 桜が散った頃に発行する予定でしたが、梅雨まっただ中になってしまいました。諸事情により特集の掲載を見送りました。申し訳ありません。特集なしは、No.24 に続き 2 度めですが、今後はこのような事がないよう努力していきます。また、発行が遅れたため、一部の記事の情報が、過去のものとなってしまいました。情報につきましては、時期外れにならないようメーリングリストによる発信も行っていきます。

△ JRR-3, JRR-4, KUR が動き始めました。何事もなく計画通り運転される事を祈りたいです。次号では、新しくなった KUR の紹介を特集として掲載する予定です。

□ NAC-IV と MTAA-13 のサーキュラーを掲載しました。特にこの 2 つの会議と何か関係がある訳ではありません。今後も会誌発行時に入手している国際会議サーキュラーは、掲載していきたいと思えます。

(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。

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://wwwsoc.nii.ac.jp/ja3/>

幹事

海老原充、大浦泰嗣、岡田往子、河野公栄、木川田喜一、澤幡浩之、高宮幸一  
初川雄一、榎本和義、松江秀明、松尾基之、三浦勉、宮本ユタカ