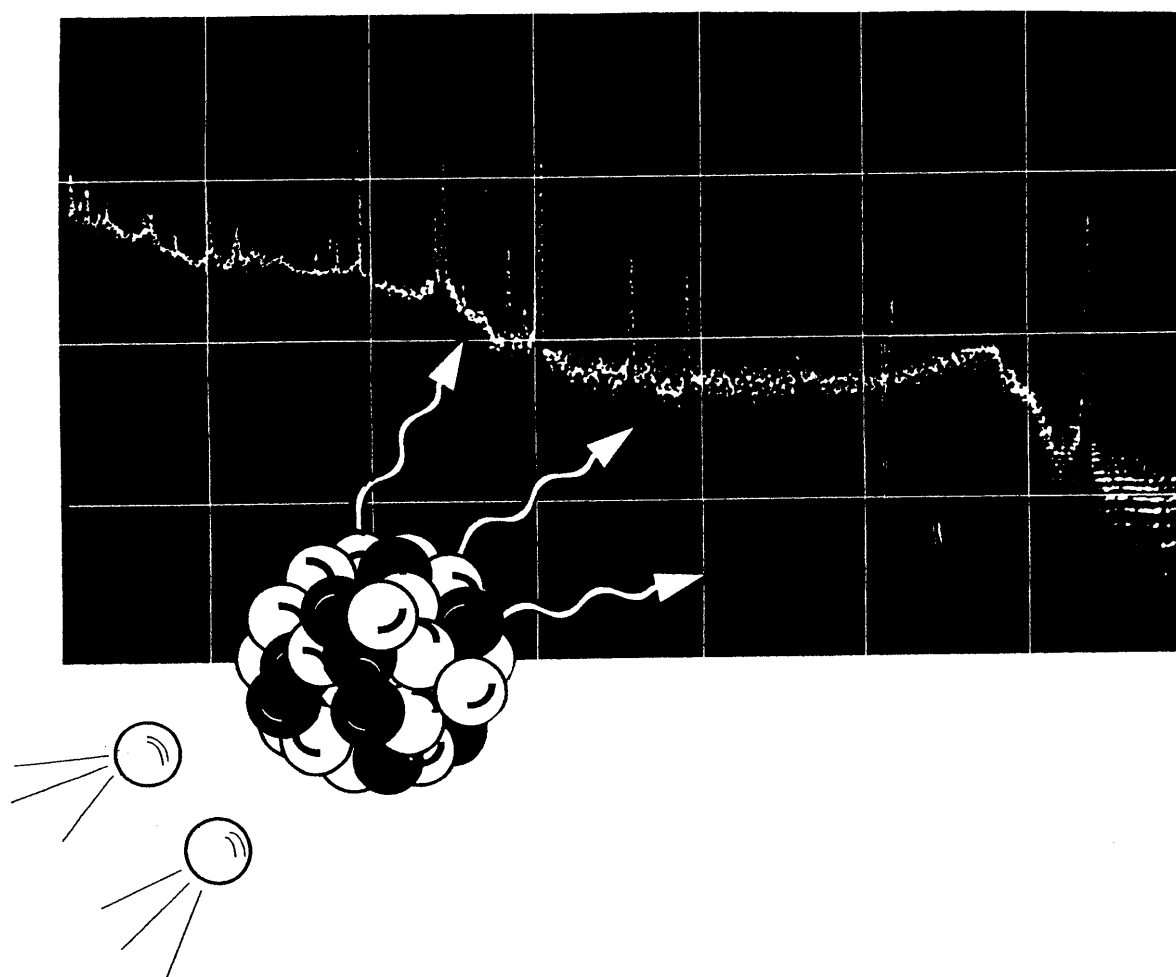


2011年5月

放射化分析

No.27



放射化分析研究会

放射化分析研究会

Japan Association of Activation Analysis

(JA³)

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.27

目次

特集

KURにおける放射化分析研究の現状と将来計画	高宮幸一, 関本俊	1
------------------------	-----------	---

研究紹介

2010 日本放射化学会年会/第54回放射化学討論会 公募セッション「放射化分析の現状と将来」

微量元素分析法としての中性子放射化分析の役割	井村久則	20
------------------------	------	----

放射化学的中性子放射化分析法の重要性—岩石・隕石中の極微量希土類元素の定量を例にして 栗飯原はるか, 大浦泰嗣, 海老原 充		27
---	--	----

標準物質開発における中性子放射化分析の役割		32
-----------------------	--	----

三浦 勉, 黒岩貴芳, 成川知弘, 千葉光一, 日置昭治, 松江秀明

地球化学図「明日のナショナルインベントリーマップ」に挑む INAA	田中 剛	39
-----------------------------------	------	----

機器中性子放射化分析法と多重即発ガンマ線分析法による環境試料の多元素分析		49
--------------------------------------	--	----

松尾基之, 小豆川勝見, 藤 暢輔, 村上幸弘

古高和禎, 木村 敦, 大島真澄, 小泉光生

環境化学研究分野における放射化分析法の利用 —野生生物から検出される有機態ハロゲン— 河野公栄		55
--	--	----

古鉄中の微量元素から何がわかるか	平井昭司	62
------------------	------	----

分析受託機関における多重即発ガンマ線分析他		69
-----------------------	--	----

須志田一義, 小島徳久, 谷口 舞, 村上幸弘, 大島真澄, 藤 暢輔, 古高和禎

原 かつお, 原田秀郎, 木村 敦, 金 政浩, 小泉光生, 中村詔司

住重試験検査(株)における受託放射化分析の依頼状況と今後の動向	永野 章	75
---------------------------------	------	----

京都大学原子炉実験所における放射化分析実験の現状		76
--------------------------	--	----

高宮幸一, 瀧本真己, 関本 俊, 奥村 良, 中野幸広, 柴田誠一

JRR3 と J-PARC における MPGA 開発		83
----------------------------	--	----

藤 暢輔, 古高和禎, 原かつお, 原田秀郎, 木村 敦, 金 政浩

北谷文人, 小泉光生, 中村詔司, 大島真澄, 村上幸弘

原子力機構における中性子利用分析の利用促進活動	松江秀明	90
-------------------------	------	----

アジア (オーストラリアを含む) における放射化分析ネットワーク	海老原 充	97
----------------------------------	-------	----

研究会報告

2010 日本放射化学会年会/第 54 回放射化学討論会

「放射化分析の現状と将来」の感想

小島貞夫 102

公募セッション開催報告

三浦 勉 104

施設便り

京都大学原子炉実験所

107

東北大学電子光理学研究センター

107

事務局より

109

カレンダー

114

編集後記

広告

特集

KURにおける放射化分析研究の現状と将来計画

京都大学原子炉実験所 高宮幸一・関本俊

1. はじめに

京都大学研究用原子炉（KUR）は2006年2月23日に高濃縮燃料での運転を終え、約4年間の休止期間を経て2010年4月に新燃料である低濃縮燃料により運転を再開した。2010年6月からはKURを用いた共同利用研究も再開され、今日まで大きなトラブルもなく運転され共同利用研究が続けられている。休止期間中はKURを用いた中性子放射化分析実験を実施することができなかつたため、韓国原子力研究所（KAERI）との協力により研究用原子炉HANAROを用いた一部の共同利用研究の継続を行ったり、中性子放射化分析実験の要である圧気輸送管照射設備の改修や、ホットラボに設置されている各種実験設備の整備を行ったりした。ホットラボの改修や実験設備の整備においては、原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブ事業や補正予算により後に紹介するような複数の新たな実験装置も導入され、放射化分析実験を中心とした元素分析のための実験環境強化が行われた。これらの実験室整備や新たな実験装置の導入は当実験所の若手の研究者や技術職員が中心となって進められた結果、実験所における将来の元素分析実験を担う人材の強化も同時に行われた。また、KURの今後の在り方についても議論が行われており、放射化分析研究についてもより一層の発展を目標とした実験設備の強化などが検討されている。本稿では、まずKURにおける放射化分析研究に関連する実験設備の現状を紹介し、次に放射化分析以外の元素分析設備の紹介を行い、最後にKURの将来計画における放射化分析研究の方向性などについて述べる。

（高宮）

2. KURにおける放射化分析研究の現状

KURの運転状況

再稼働後のKURは燃料を低濃縮燃料に変更したが、定格出力は休止前と同じく5MWとなっている。しかし、燃料の節約のために5MWでの運転時間は制限されており、通常は1MWでの運転を行っている。2010年度の典型的な運転パターンは、火曜日の午前中に起動後、正午前に1MWに到達し、木曜日の午前10時頃に出力を5MWに上昇させ医療照射を行い、医療照射の終了とともに原子炉を停止させる、というものであった。上半期においては医療照射の行われる5MW運転時においては、安全を期するため圧気輸送管照射設備を用いた実験も制限されていたため、2010年度の中性子放射化分析実験のほとんどが1MW運転時に行われた。下半期からは医療照射時の圧気輸送管照射設備の使用制限が緩和されたが、所内外のほとんどのユーザーにおいて1MW運転時の照射が主であった。これは医療照射が中止された場合は5MWでの運転が中止されたため、

計画的な実験を行うのに支障が生じることが原因のひとつだと考えられるが、中性子放射化分析実験には1 MW程度の出力で必要十分であると考えておられるユーザーも多いようであった。2011年度のKURの運転は2010年度とほぼ同様の運転パターンとなるが、医療照射の有無にかかわらず木曜日の午前からは必ず（例外もあるが）5 MWでの運転が行われる予定である。したがって、多くの中性子照射量を必要とされているユーザーの方々にも利用し易い運転パターンとなる。（高宮）

中性子照射設備

KURでの中性子放射化分析実験における中性子照射には、圧気輸送管照射設備、水圧輸送管照射設備、炉心内照射設備、スーパーミラー中性子導管設備が用いられている。圧気輸送管照射設備には、炉心近傍に照射孔が設置されているPn-1、Pn-2、Pn-3と、黒鉛遮蔽体によって高エネルギー中性子成分を低減させたTC-Pnの4種類がある。Pn-1～3および水圧輸送管照射設備(Hyd)における炉心での照射位置は図1のとおりである。

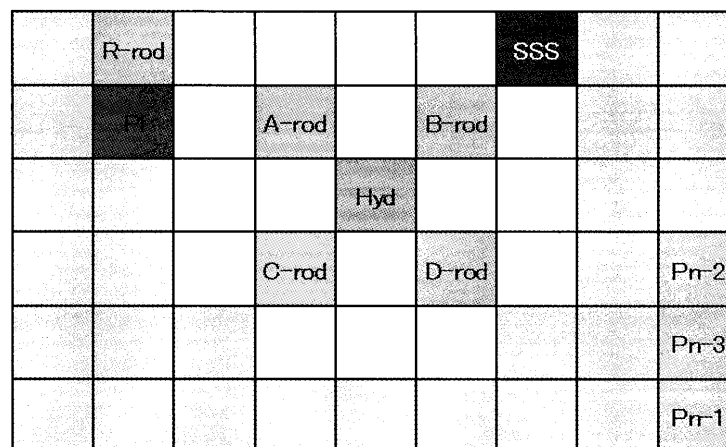


図1 KURの圧気輸送管照射設備および水圧輸送管照射設備の照射孔の配置

各照射設備における熱中性子束、Cd比や照射条件などについては表1のとおりである。照射時間の上限については、今後変更される可能性がある。

表1 KURの圧気輸送管照射設備および水圧輸送管照射設備の特徴

	熱中性子束 (n/cm ² /s)	Cd比 (Au)	照射時間上限		特徴
			1 MW	5 MW	
Pn-1	3.35 X 10 ¹²	6.8	4 h	1 h	トレーサー棟への接続輸送可
Pn-2	4.88 X 10 ¹²	5.9			核燃料物質の使用可
Pn-3	4.20 X 10 ¹²	6.2			
TC-1	7.61 X 10 ¹⁰	159	なし	なし	高いCd比 3キャプセルの同時照射可
TC-2	7.17 X 10 ¹⁰	161			
TC-3	6.27 X 10 ¹⁰	168			
Hyd	1.64 X 10 ¹³	3.9	なし	なし	

圧気輸送管照射設備を用いた中性子照射におけるキャプセルの挿入および取り出しの操作はKURに隣接したホットラボにて行うことができる。図2にホットラボにおける圧気輸送管照射設備の配置を示す。Pn-1はKURに最も近い位置に配置されており、照射設備のすぐ横に設置されているExtension-Pnを用いることで、照射したキャプセルをホットラボ棟と隣接するトレーサー棟まで接続輸送することができる。Pn-2には最も遮蔽能力の高いセルが設置されているため、長時間照射により高線量の放射能が生成する場合や核燃料物質を照射する場合に用いられている。Pn-3は測定室に最も近い位置にあり、キャプセルの開封設備も隣接しているため、短寿命核種の分析の際に用いられることが多い設備である。TC-Pnは中性子束は低いが高エネルギー中性子成分の比率が最も低いいため、高エネルギー中性子による妨害反応が生じる試料の分析などに用いられている。

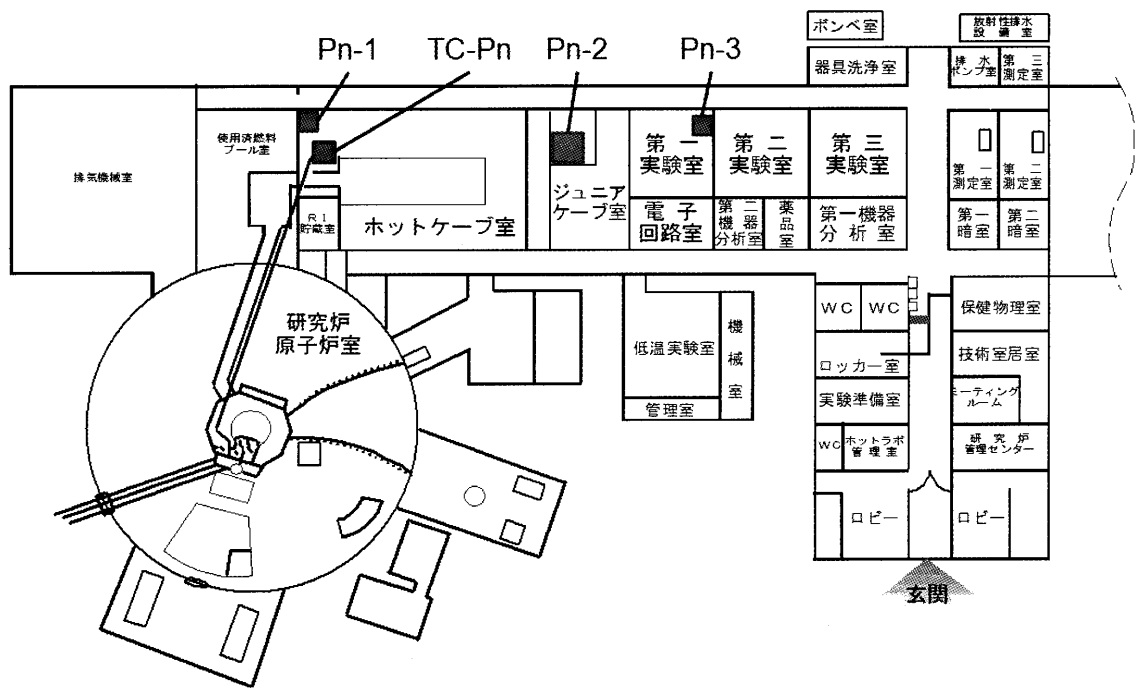


図2 ホットラボ配置図

圧気輸送管照射設備はKURの休止期間中に制御系の改修を行った。以前はキャプセルを輸送するために用いている炭酸ガスのバルブの開閉や照射時間などの制御を、リレー回路を用いた制御盤によって行っていたが、改修によりPLC (Programmable Logic Controller) とタッチパネルを有するPCによる制御へと変更を行った。改修の目的は制御盤の老朽化によるものもあるが、PLCを用いた制御とすることでソフトウェアによる制御回路の容易な変更を可能とし、複雑なインターロックシステムを組み込むなど制御方法の自由度と安全性の向上が大きな目的である。また、タッチパネルを用いることでキャプセル照射の操作をより簡便にすることができ、ユーザーの誤操作を減らし緊急時の対応をより確実にすることができるようになった。制御用のPCはデータベースサーバーに接続されており、照射条件や照射設備の線量などの記録を行うシステムを構築した。記録

された情報は実験者のユーザビリティの向上やトラブルが生じた際の原因究明に用いられている。図3に圧気輸送管照射設備の各種制御機器と改修を行った制御システムの概念図を示す。また、図4に Pn-1~3 および TC-Pn の操作画面を示す。

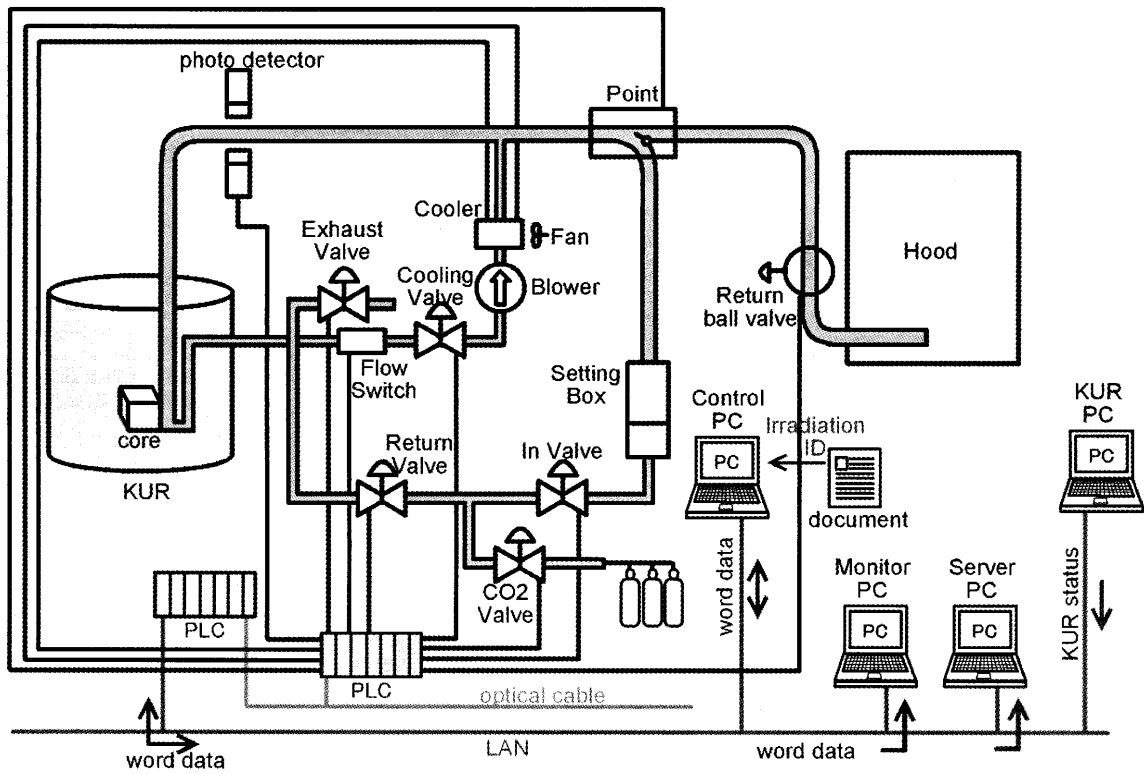


図3 圧気輸送管照射設備の制御機器と制御システム



図 4 (1) Pn-1~3 の操作画面



図 4 (2) TC-Pn の操作画面

(高宮)

実験室と測定室

圧気輸送管照射設備が設置されているホットラボには、図 2 に示した各種実験室が設置されている。このうち第 1～3 実験室は非密封 R I を用いた作業が可能な実験室となっており、第 2 実験室にはスクラバー付フード、ウォークインフード、カリフォルニア型フードが、第 3 実験室にはオークリッジ型フードが 2 台と、クリーンフードが 2 台設置されており、照射後の試料の化学分離などを行うことができる。核燃料物質を含んだ試料を取り扱う際には、ジュニアケープ室のスクラバー付フードを用いて化学操作を行うことができる。また、水圧輸送管照射設備を用いた照射や炉心内照射を行う場合には、照射試料および照射に用いるアルミニウム製のキャプセルが高線量となるため、試料の開封などの操作はホットケープ室に設置されたホットセルを用いて行われる。

照射後の試料のガンマ線分光分析は、ホットラボに設置されている第1～3測定室にて行うことができる。第1および第2測定室にそれぞれ5台、第3実験室に2台のGe半導体検出器が設置されている。第1測定室は主に中・短寿命核種の測定用に用いられており、5台の検出器はいずれもLaboratory Equipment社製のマルチチャンネルアナライザにて制御されている。第2測定室は主に中・長寿命核種の測定用に用いられており、Laboratory Equipment社製もしくはSEIKO EG&G社製のマルチチャンネルアナライザが接続されている。また、第2実験室にはオートサンプルチェンジャー（図5）が設置されており、最大20個の試料の自動連続測定が可能になっている。このオートサンプルチェンジャーの制御系は当実験所の技術職員によって開発されたもので、プリセットされたライブタイムもしくはリアルタイムによるサンプル交換のみならず、プリセットされたあるエネルギー領域におけるピーク面積をトリガーとしたサンプル交換が行えるなど、非常にユーザビリティの高い装置となっている。



図5 第2測定室のオートサンプルチェンジャー付ガンマ線分光分析装置

(高宮)

短寿命核種分析用アンチコンプトンガンマ線分光分析装置

短寿命核種から放出されるガンマ線を効率的に測定するためには、照射時間をできる限り短くし、照射終了後は迅速に測定を行う必要がある。また、分析試料中に高エネルギーのガンマ線を放出する核種を生成するような元素（例えばナトリウムや塩素など）が大量に含まれている場合は、コンプトン光子によるバックグラウンドを低減するために、分析試料を前処理して妨害となる元素をあらかじめ除去する必要がある。しかし、放射化分析法は前処理が不要である点が大きなメリットであり、前処理によるコンタミネーションの可能性を考えると、できる限り前処理を避ける方が賢明である。そこで、コンプトン光子による測定の妨害を回路的に除去する手法が考案され、主に短寿命核種の定量分析に用いられている。具体的には、主検出器であるGe半導体検出器をNaI検出器のような副検出器で取り囲み、主検出器から抜け出るコンプトン光子を副検出器で検出し、その信号を反同時計数回路によって処理することでコンプトン光子による測定の妨害を低減させる。

京都大学原子炉実験所においても、短寿命核種の効率的な分析を行うことを目的として、前述した原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブ事業および補正予算によってアンチコンプトンガンマ線分光分析装置（図6）を導入した。本装置はGe半導体検出器（GEM30-76-LB-C-HJ, ORTEC）と井戸型NaI(Tl)検出器（8HW10/(4)3L, Bicron）で構成されており、反同時計数回路を通してコンプトン光子による影響を抑制したガンマ線スペクトル測定が可能である。また、本装置は照射後すぐに測定が開始できるようにホットケープ室に設置されているPn-1 およびTC-Pnのステーションの直近に設置した。このことで、中性子フラックスが約2桁異なる照射条件で実験が可能となり、TC-Pnを用いることで高エネルギー中性子の照射で生成する妨害核種の影響を低減することもできる。

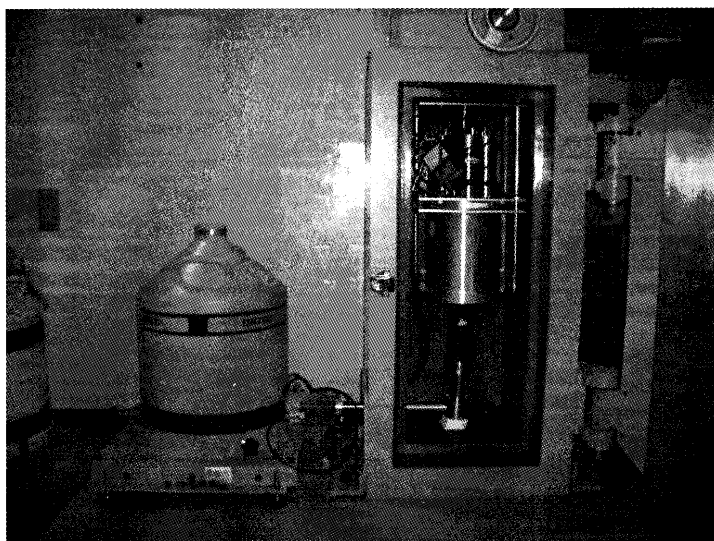


図6 ホットケープ室に設置されたアンチコンプトンガンマ線分光分析装置

本装置の性能試験を行うために標準線源や照射試料を用いた測定を行い、実試料を用いた測定試験も試みた。実試料を用いた測定試験では石巻専修大学の福島氏の協力を得て、海洋生物および茶葉の放射化分析を試みた。海洋生物などの生体試料の中性子放射化分析実験における短寿命核種の分析の際には、試料中に大量に存在する塩化ナトリウムによって生成する ^{24}Na および ^{38}Cl からの比較的短い半減期の高エネルギーガンマ線の放出により微量元素の分析が困難であるため、アンチコンプトン法によるガンマ線スペクトロメトリが有効であると考えられる。図7に海洋生物試料のPn-1(1 MW)での30秒照射後に測定したガンマ線スペクトルを示す。図中に示す2種類のスペクトルのうち計数の多い方はGe半導体検出器から出力された信号を直接測定したもので、計数の少ない方がアンチコンプトン回路を通して測定したものである。照射試料中に存在する ^{24}Na (1368, 2754 keV)、 ^{38}Cl (1642, 2167 keV)によるコンプトン散乱の影響が大きく低減されていることがこの図からわかる。図8には茶葉試料のPn-1(1 MW)での30秒照射後に測定したガンマ線スペクトルを示す。海洋生物試料と同様に、照射試料中に存在する ^{56}Mn (847, 1811, 2113 keV)、 ^{28}Al (1779 keV)によるコンプトン散乱の影響が大きく低減されており、S/Nが最大で1桁程度高くなっていることがわかる。

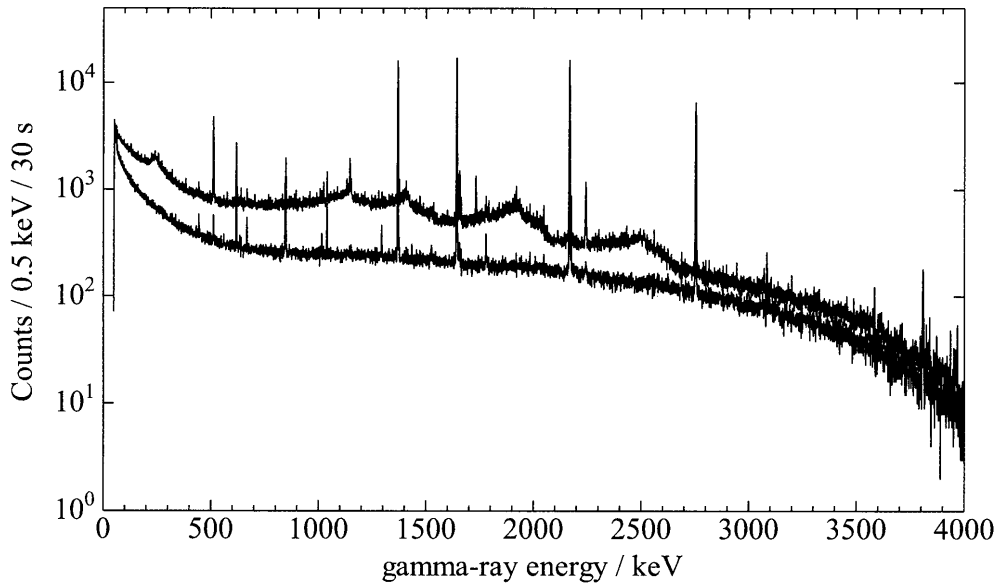


図7 アンチコンプトンガンマ線分光分析装置での海洋生物試料の測定例

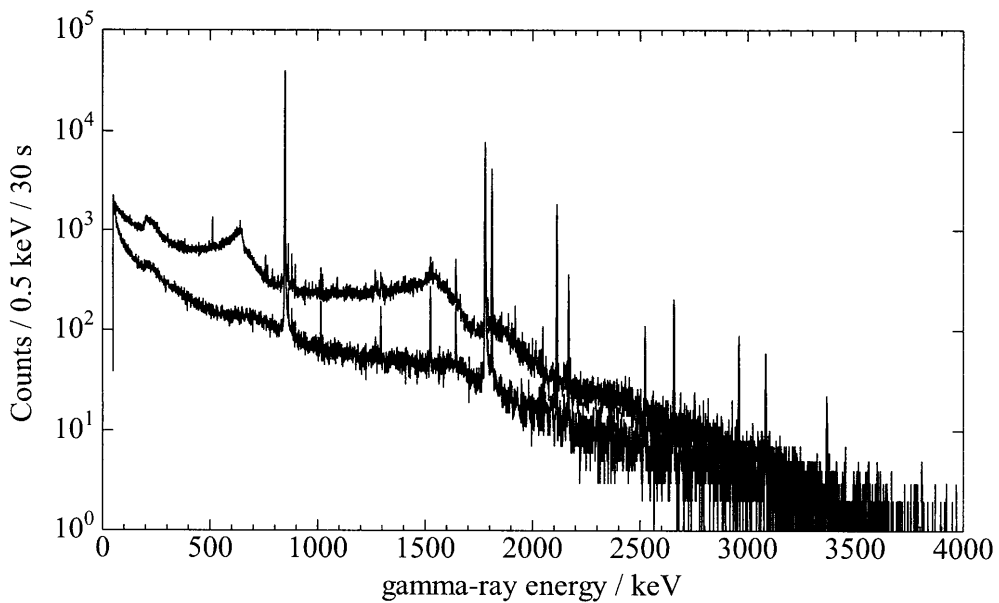


図8 アンチコンプトンガンマ線分光分析装置での茶葉試料の測定例

(高宮)

即発ガンマ線分析装置

京都大学原子炉実験所には中性子放射化分析法による元素分析のための施設として、圧気輸送管照射設備および水圧輸送管照射設備が整備されている。これらの施設を用いて分析試料中の極微量元素の定性および定量分析が可能となっている。中性子放射化分析法では、上記照射設備を用いて、分析試料の中性子照射を行い、中性子捕獲反応によって生成した放射性同位元素から放出されるガンマ線をGe半導体検出器によって測定することにより元素分析を行う。しかし、中性子放射化分析法は例えば水素、ホウ素、炭素といった軽い元素を分析対象とすることができず、また中性子放射化によって生成する放射性核種の寿命が数分以下と短い場合には分析精度が低下するなど、その

適用範囲には制限がある。これらの制限を可能な限り縮小するためには、従来の中性子放射化分析法を用いた分析方法に、即発ガンマ線放射化分析法（PGA）と短寿命核種用の中性子放射化分析法を組み合わせることがたいへん有効であると考えられる。

そこで京大炉においては、平成20年度原子力基礎基盤イニシアティブ、研究炉・ホットラボ等活用プログラムとして採択された研究課題「京大炉（KUR）及びホットラボの利用高度化に関する研究」の一環として、即発ガンマ線分析装置の開発が試みられている。このプログラムにおいては、即発ガンマ線分析装置のほか、短寿命核種用の中性子放射化分析ステーション、X線蛍光分析法、ICP-AESなども導入予定であり、これらの分析法を組み合わせることで相補的に利用することにより、ほぼすべての元素に対する定量分析が可能な、総合的な微量元素総合計測システム構築を目指す。また将来的には、本プログラムで開発・整備する微量元素総合計測システムを用いて、医療、考古学、宇宙地球科学などの分野における応用研究を遂行することを目標としている。尚、KURにおける即発 γ 線分析装置は、B4照射孔において開発が行われることとなった。

このプログラムは平成20年度から採択されており、以下に平成20-21年度におけるKURにおける即発 γ 線分析装置開発における実績を記す。

平成20年度には、即発 γ 線の測定に用いるGe検出器の信号処理系である即発 γ 線分析（PGA）反同時計測システムの導入や、オシロスコープ等を用いたそれらの作動試験、及び既存のGe検出器を用いた、中性子照射実験の際に測定対象となる光電シグナルと、除去すべきバックグラウンドシグナルの効率的な処理方法についての検討、さらに即発 γ 線分析装置を導入する中性子導管の特性に最も適したGe検出器の仕様の検討などを行ってきた。また日本原子力研究開発機構および韓国原子力研究所（図9にHANAROのPGAシステムの様子を示す。）に、すでに整備・利用されている即発 γ 線分析装置の調査を行った。

また平成21年度は、PGAにおいて、分析試料から放出される即発ガンマ線を効率的に測定するために、測定の妨げとなる光子を弁別し、それらの信号を弁別しないデータとともに同時に処理、記録するPGAガンマ線測定システムを整備した。また、PGA装置を中性子ビームライン近傍から放出されるガンマ線および中性子から遮蔽するために、PGA用ガンマ線遮蔽体を整備するとともにLi-6を濃縮したフッ化リチウムを用いた中性子遮蔽を行った。標準物質を用いたPGAの準備を行った。図10には、KURにおけるPGA装置の開発が行われているB4照射室の様子（図10a）、PGA用ガンマ線遮蔽体（図10b）及び粉末試料封入のためのテフロン容器（図10c）を示す。

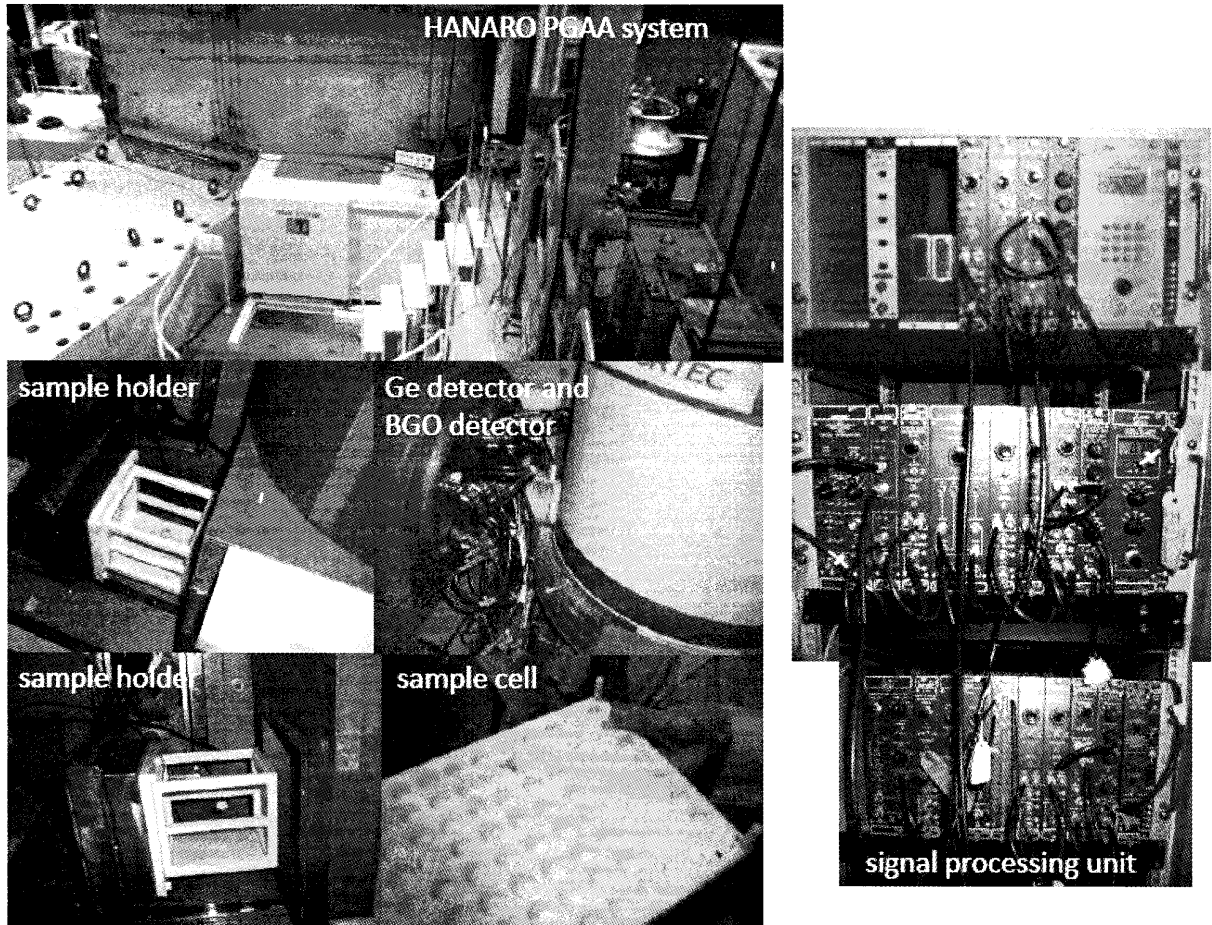


図9 HANAROのPGAシステムの様子

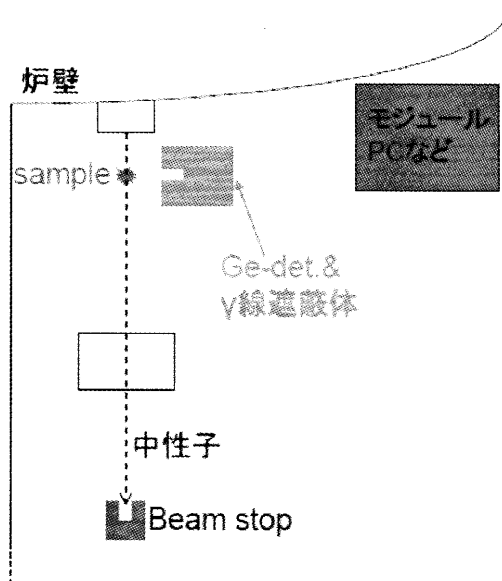


図10 a ホットラボ棟 B4 照射室の様子

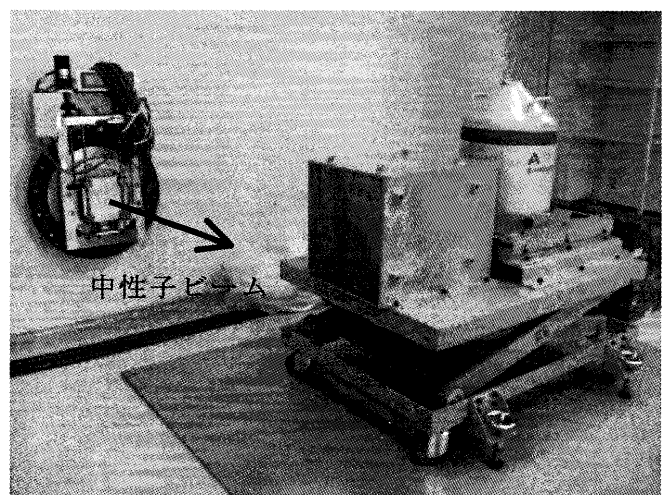
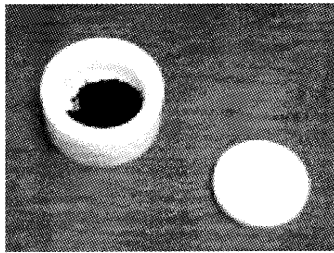


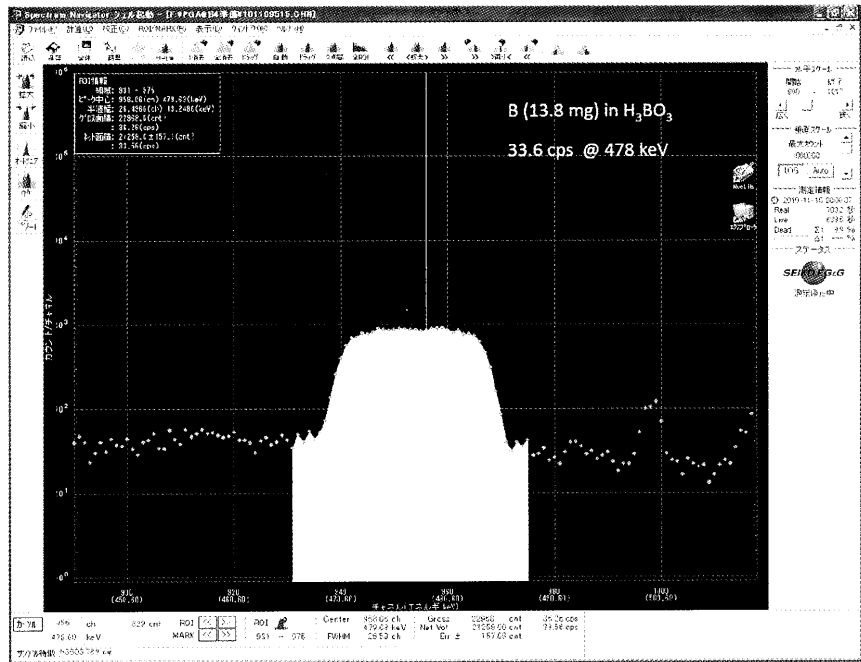
図10 b PGA用ガンマ線遮蔽体



↑図10c
粉末試料封入のための
テフロン容器（左図は、
JMn-1 標準試料(115
mg)

図11→

KURのB4でPGAを
行った際のBのピーク



平成22年度は原子力基礎基盤イニシアティブによるプログラムの最終年度であり、PGAの際のガンマ線バックグラウンド低減装置の導入や、中性子ビームを用いた標準試料や実試料のPGAの実施及び、最終のシステムの性能評価等を行う予定である。平成22年11月30日の時点において、上記のうちゲルマニウム検出器とその周辺の中性子及びガンマ線遮蔽体を用いて、標準岩石や化学試薬のPGAを行い、その結果から、いくつかの元素の（現時点での）検出限界値を算出したので、以下にそれを示す。

PGAを行った化学試薬は、以下の表2に示すとおりである。

表2 PGAを行った試料

Sample		Weight (g)	Target elements and their weights
H ₃ BO ₃	Chemical reagent	0.0789	B (13.8 mg)
NH ₄ Cl	Chemical reagent	1.533	Cl (1.02 g), H (115 mg)
Ni(CH ₃ COO) ₂ ·4H ₂ O	Chemical reagent	1.46	Ni (344 mg), H (82 mg)
Na ₂ SO ₃	Chemical reagent	1.037	Na (378 mg), S (263 mg)
JG-1	Reference Std. Rock	1.085	Si (366 mg)

尚、試料設置位置における中性子フラックスは、金箔の放射化により求めたところ、8.53E+06 n cm⁻² s⁻¹であった（KUR 1 MW 運転時）。図11には、KURのB4でPGAを行った際のホウ素のピークを示す。

また現時点における、各元素の検出感度(cps/mg)及び検出限界値を表3に示す。比較のため、筆者らが2008年10月にJRR-3のPGAにより各元素を分析した際の検出感度(cps/mg)も示す。尚、表3に示す検出限界値は、ガンマ線ピークのバックグラウンドの3σを測定時間(この場合は

1 時間)と検出感度(cps/mg)で除して算出した。今後は、本システムの検出感度の向上を目指し、PGAの際のガンマ線バックグラウンド低減などを図る予定である。

表 3 各元素の検出感度及び検出限界値 (平成 2 2 年 1 1 月 3 0 日現在)

	B4@KUR	JRR-3@JAEA	検出感度	weight	Peak Energy	検出限界値
	cps/mg	cps/mg	cps	(mg)	(keV)	(mg)
B	2.43	870	33.6	13.8	478	0.023
S	0.00015	0.088	0.04	263	841	142.4
H	0.00896	1.513	1.03	115	2223	13.0
Cl	0.01343	2.647	13.7	1020	517	2.1
Na	0.00040	0.252	0.15	378	473	90.0
Ni	0.00116	0.192	0.4	344	465	27.2
Si	0.00016	0.0114	0.06	366	3539	78.5

(関本)

照射場の特性

前述したようにKURは使用する燃料を変更して再稼働し、一般的な共同利用においては熱出力を定格出力の5 MWから1 MWに下げたの運転が行われるようになったため、中性子照射場の特性評価を行った。KURでの中性子放射化分析実験ではK₀法による定量分析は(将来的には試みたいと考えているが、現在のところ)行われておらず、比較標準試料を用いた照射が一般的に行われている。比較標準試料を用いた定量分析実験においては、比較標準試料に含まれている元素以外の定量ができないことや、実試料のみならず標準試料の照射および測定を行う必要があるため手間がかかるなどのデメリットがあるが、照射条件の変動による実験誤差の影響が少ないなどといったメリットもある。しかし、KURの照射キャプセルは一般的に放射化分析に用いられているキャプセルより少々サイズが大きい(内寸:φ24.6 mm 深さ98 mm)ため、照射場においてキャプセル内の中性子束に無視できない分布が存在する可能性がある。そこで、KURで中性子放射化分析に用いられている照射孔における中性子束分布の測定を行った。中性子束およびCd比の測定は金箔もしくは金線を用いて、中性子束の分布測定にはインクジェットプリンターを用いて調製した金およびアンチモンを照射ターゲットとして用いて放射化法により行った。生成放射能の測定には金箔および金線の照射の場合はGe半導体検出器を、インクジェットプリンターを用いて調製したターゲットの場合はイメージングプレートを用いた。中性子束の測定結果については既に表1に示したとおりである。中性子束の分布に関しては、図12にPn-1, Pn-2, Pn-3の、図13にTC-Pnの3つの照射位置についての照射キャプセルの長軸方向での¹⁹⁸Au(●)および¹²²Sb(○)の相対生成放射能分布を示す。図12における相対生成放射能強度はPn-2における¹⁹⁸Auの放射能強度の平均値を100として、図13においては炉心に最も近いTC-1の位置における¹⁹⁸Auの放射能強度の平均値を100として表している。これらの結果より、圧気輸送管照射設備における照射キャプセルの長軸方向での中性子束にはPn-1で4%、Pn-2で8%、Pn-3で7%の差異が存在し、TC-Pnにおいては各照射位置において約10%の差異が存在することがわかった。また、Pn-1において照射キャプセル内の円周に沿った中性子分布をアンチモンをターゲットとして測定したところ、炉心に

近い場所と遠い場所で約 8% の中性子束の差異が存在することがわかった。つまり、同一キャプセルでの照射であってもキャプセル内の試料の設置位置によって照射される中性子束に差異が生じるため、KUR の圧気輸送管照射設備を用いて複数の試料の中性子放射化分析を行う際には照射試料の設置位置に注意する必要があることがわかった。

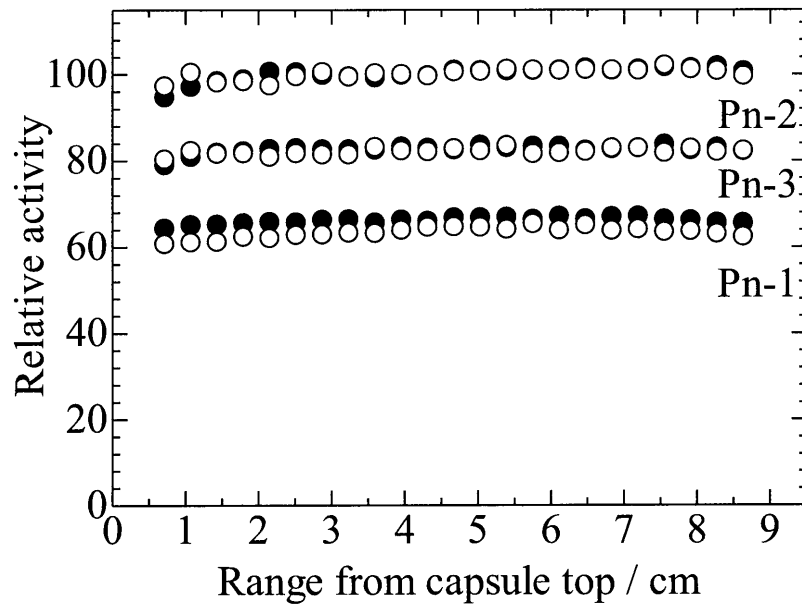


図 1.2 Pn-1, Pn-2, Pn-3 における照射キャプセルの長軸方向での ^{198}Au (●) および ^{122}Sb (○) の生成放射能分布

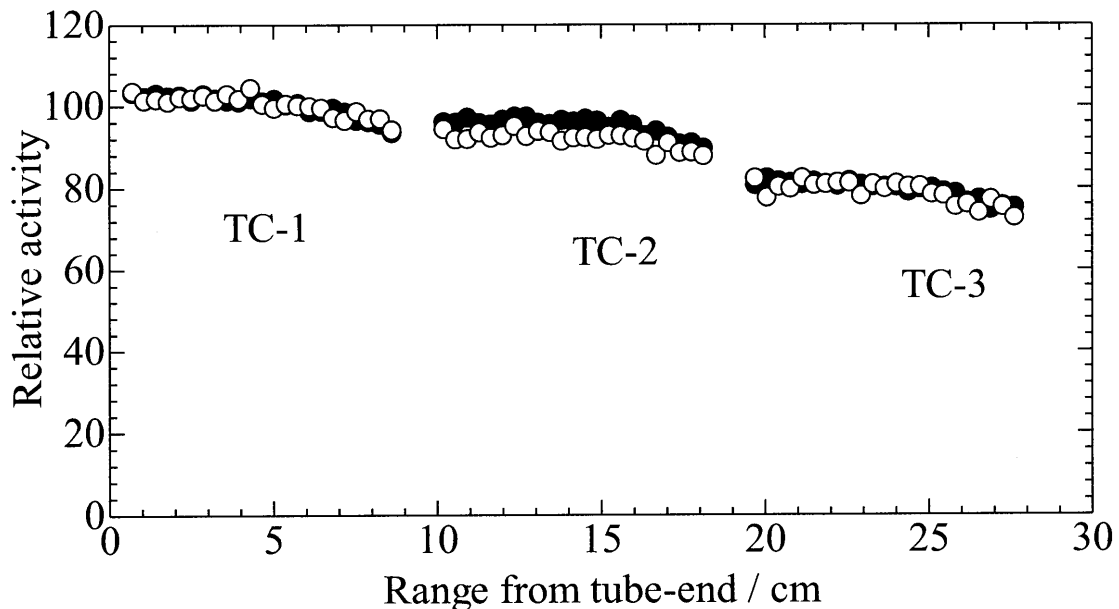


図 1.3 TC-Pn における照射管方向における照射キャプセル内での ^{198}Au (●) および ^{122}Sb (○) の生成放射能分布

また、KURの起動直後から約1.5時間毎のPn-2における中性子束分布の変動を調べた。図14に ^{198}Au および ^{122}Sb の生成放射能分布の変化を示す。 ^{198}Au に関しては起動後の経過時間に関わらず生成放射能の変化は少なく、その分布にも大きな変化はみられなかった。一方 ^{122}Sb においては、起動後3時間以降に特に照射キャプセル下部の生成放射能が減少する傾向がみられた。図15はキャプセル全体での ^{122}Sb と ^{198}Au の生成放射能の比の時間変化を示しており、この生成放射能比が起動後の経過時間とともに減少し、6時間後には約5%減少していることがわかる。つまり、速中性子による(n,p)反応や(n, α)反応のような核反応が生じるような元素の分析を行う際には、照射場の中性子エネルギーの変化についても注意して分析を行う必要が生じる。このような測定は一度しか行っていないので今後追試を行う必要があるが、中性子のエネルギースペクトルの変化を観測する簡便な方法として、金を照射試料に用いたCd比の時間変化についても調査を行う必要があると考えている。

以上の中性子束の測定実験から、他の研究用原子炉と比較して照射場が炉心に近いKURにおいては、照射する試料のキャプセル内での配置や比較標準試料の照射の方法などに十分注意して分析を行う必要がある。また、照射場の特性を固有のパラメーターとして解析を行う必要のある K_0 法をKURにて行う際には、照射場の特性をよく調査して行う必要があることがわかった。

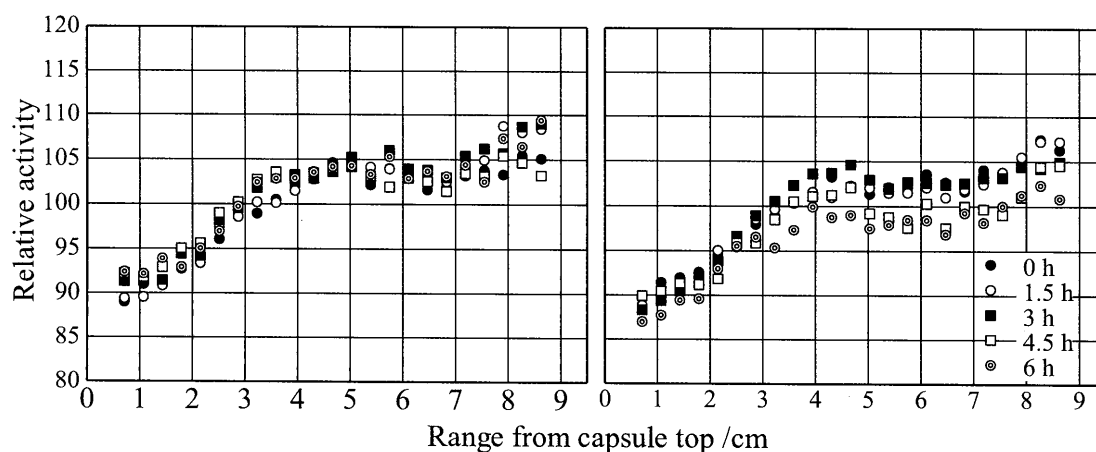


図14 Pn-2におけるKUR起動直後からの照射キャプセル内での ^{198}Au (左) および ^{122}Sb (右) の生成放射能分布の変化

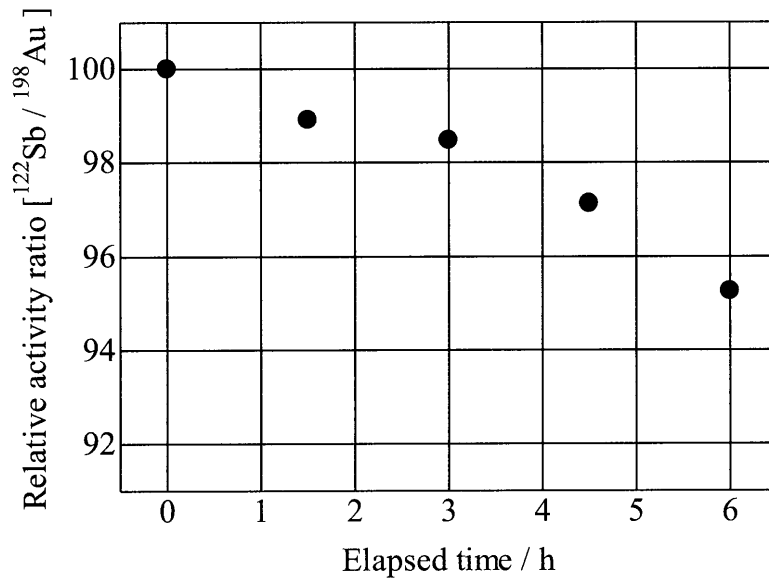


図15 Pn-2におけるKUR起動直後からの ^{122}Sb の ^{198}Au に対する生成放射エネルギー比の時間変化（起動直後を100とした）

（高宮）

3. 放射化分析以外の分析システム

京都大学原子炉実験所における中性子放射化分析実験はKURに隣接したホットラボにて行われており、ホットラボ内には放射性物質を取り扱うためのフードや放射線検出器が設置されているが、それ以外にも一般的な化学分析機器も多数設置されている（図16）。つまり、ホットラボにおいて、中性子放射化分析や即発ガンマ線分析といった放射化分析実験だけでなく、一般的な機器分析実験も同時に行うことができる。放射化分析法は簡便で確度の高い元素分析法であるがすべての元素の定量分析に適用できるわけではないので、他の機器分析を併用して元素分析を行うことの意義は大きいと考えられる。表4に京都大学原子炉実験所のホットラボに設置されている分析機器の一覧を示す。



図16 a ホットラボに設置されている分析機器類(1)
ICP-MS と蛍光 X 線分析装置

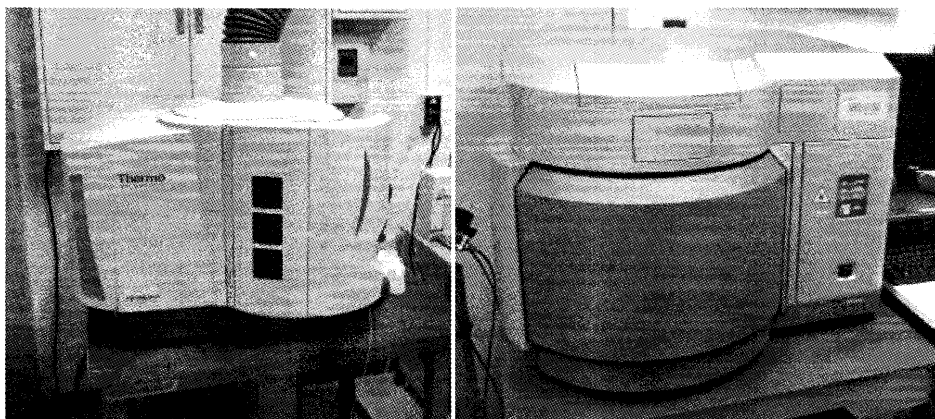


図 1 6 b ホットラボに設置されている分析機器類(2)
ICP-OES と蛍光レーザーラマン分光光度計

表 4 ホットラボに設置されている分析機器一覧

分析機器	商品名	製造元
ICP-MS	ELEMENT2	Thermo Fisher Scientific
ICP- OES (AES)	iCAP 6300	Thermo Fisher Scientific
蛍光 X 線分析装置 (XRF)	Epsilon 5	PANalytical
X 線回析装置 (XRD)	RINT2100	理学
レーザーラマン分光光度計	NRS-3100	日本分光
紫外可視近赤外分光光度計	V-7200	日本分光

京都大学原子炉実験所では、これらの装置を用いた機器分析を中性子放射化分析と組み合わせて、効率的な元素分析が可能な「元素分析コンプレックス」（図 1 7）の構築を検討している。具体的には、元素分析を行う際に、まず固体試料や液体試料中の元素分析が可能な XRF あるいは XRD により全元素分析を行い、次に PGA により軽元素を中心とした ppb-ppm レベルでの定量を行い、短寿命核種生成元素および長寿命核種生成元素をそれぞれ中性子放射化分析法によって ppb-ppm レベルで定量する。ここまでの分析はすべて非破壊による分析が可能であり、破壊分析が適しない貴重な試料などにおいて効率的な定量分析が可能である。もし、分析対象試料が破壊可能な試料である場合、さらに ICP-AES や ICP-MS による分析を行うことにより、中性子放射化分析法により定量できない元素についても ppb-ppm レベルでの定量分析が可能である。しかし、現在これらの装置はそれぞれが導入されたばかりであり、各々の装置を組み合わせた総合的な分析実験は行われていない。したがって、まずは京大炉の所員が中心となって、上記の特徴を生かした総合的な分析実験を行い、実験所における元素分析のパフォーマンスの高さを実証する必要がある。そして、将来的に多くの研究者に「元素分析といえば京都大学原子炉実験所」と認識されることを目指したいと考えている。

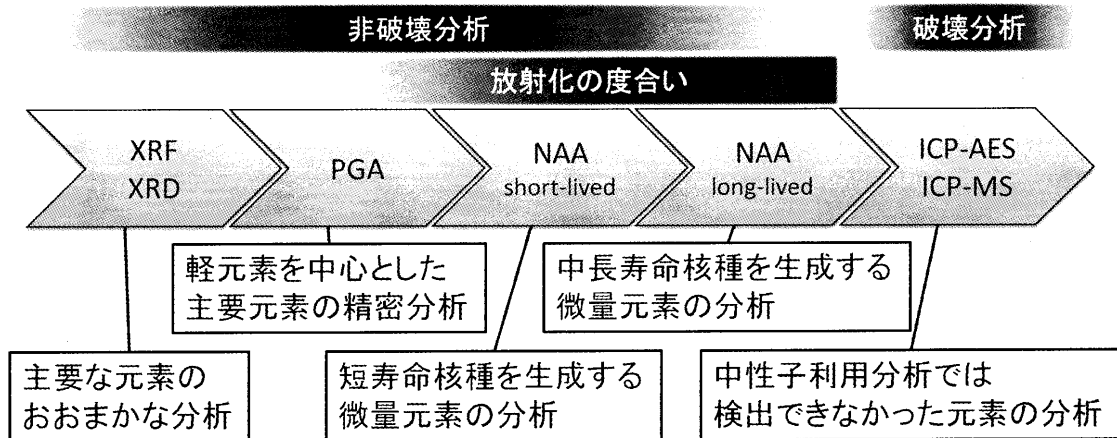


図 17 ホットラボにおいて実施可能な元素分析とその流れ

(高宮)

4. 今後の予定・将来計画

KURを用いた共同利用・共同研究は長い歴史を持ち、現在も多くの研究機関および研究分野において利用されておりその成果は高い評価を受けてきたが、KURの高経年化を考慮すると、近い将来にKURに代わって実験所の中核となる実験装置の導入は必要不可欠である。しかし、KURに代わる大型装置の導入には少なくとも10年程度の準備期間が必要となるため、放射化分析研究を含めた将来の研究の方向性についての検討が「複合原子力科学の有効利用に向けた先導的研究の推進」というテーマで進められている。検討内容のひとつはKURを中心とした既存の装置を用いた研究の活性化を目指したものであり、もうひとつは加速器中性子源の導入による新たな研究の創出を目指したものである。

KURを用いた研究の活性化に関しては、現有レベルの共同利用件数の維持および質・量両面の利用効率の向上と、今後の実験所の主軸となるような質の高い研究・シードの発掘が目標として掲げられている。共同利用件数に関しては、放射化分析関連の件数は減少する傾向にある。これは従来のユーザーの退職などによる件数の減少であると考えられるが、それを上回る新規ユーザーの獲得ができていないことが問題であると考えている。特に放射化学など放射能の利用に直接かわる研究分野以外における新規ユーザーの獲得ができていない。これは元素分析の分野における放射化分析法の認識が低下していることが主な原因であると考えており、分析化学会などでの放射化分析研究のアピールが必要であると考えている。もっとも、放射化分析法を用いて社会的にもインパクトのある研究成果を上げることが認識向上の近道であるので、まずは現在の設備を用いて質の高い研究を行い、成果を積み重ねることが重要である。また、放射化分析法の適用拡大も重要であると考えており、前に述べたアンチコンプトンガンマ線分光分析装置や即発ガンマ線分析装置などの導入による分析対象元素の拡大が試みられており、稼働率の低い照射ポートを改造して液体試料やサイズの大きな試料の照射が可能な設備の新設なども検討されている。

加速器中性子源の導入に関しては、導入する加速器や中性子源の特性をどのようなものにするか、それらを用いてどのような研究を推進していくのかを、所内外の化学、物理学、材料科学、生物学、医学など様々な分野の研究者によって検討している。放射化分析研究に関連しては、加速器からの

ビームを直接用いた荷電粒子放射化分析や、加速器中性子源を用いたエネルギーの高い中性子を用いた放射化分析法の開発などをテーマとして提案している。現在、京都大学原子炉実験所ではKURを用いた中性子放射化分析実験以外にも電子線型加速器を用いた光量子放射化分析実験が行われているが、新たに加速器を導入することで照射可能な粒子の種類が増え、分析可能な元素の種類や検出限界を拡張することが可能となる。これは前述の「元素分析コンプレックス」構想にも関連しており、京都大学原子炉実験所における元素分析実験のさらなる展開を目指すことができると考えている。

また、京都大学原子炉実験所では放射化学、原子力科学などの将来を担う若手研究者の人事育成にも積極的に取り組んでいる。これまでも国内外の大学院生を対象に臨界集合体実験装置KUCAを用いた原子力実習教育が行われており、2010年6月には通算の参加学生数が3000名に達している。現在はこのKUCAのみならず、原子力関連研究の様々な分野での実習教育が行われており、2010年度からは放射化分析実験に関連する実習教育も行われている。これらは原子力人材育成プログラム事業（原子力研究基盤整備プログラム）における「京都大学原子炉実験所における原子力教育研究基盤の整備」、国際原子力人材育成イニシアティブ事業（施設・設備の共同利用の促進事業）における「京都大学原子炉実験所における全国共同利用の促進」において行われており、それぞれ「原子炉利用分析実験」および「放射線計測コース」というテーマで実習セミナーを開催する。「原子炉利用分析実験」ではKURの圧気輸送管照射設備を用いて中性子放射化分析法を利用した元素分析実習を行い、放射化分析法の原理や技術的手法を理解することに加えて、放射性物質の製造および基本的な取り扱い方法、放射線の測定と分析といった、放射性物質を用いた実験研究の基礎的な知識や技術の習得を目指している。「放射線計測コース」では、環境中の放射性物質やKURの圧気輸送管照射設備を用いて製造する放射性物質の放射能測定実習を行い、Ge半導体検出器、NaIシンチレーション検出器、Si半導体検出器といった放射線計測機器の原理や使用方法についての知識や技術を習得することを目指している。これらの実習教育は放射化分析研究や放射化学といった分野に所属していない学生や若手研究者も対象にしており、放射化分析実験をはじめとする原子炉を利用した科学研究に関する理解を深めてもらい、最終的にはKURを用いた共同利用研究の新たなシーズの発掘につながることも期待している。

(高宮)

研 究 紹 介

2010 日本放射化学会年会/第 54 回放射化学討論会での公募セッション「放射化分析の現状と将来」での講演の発表要旨とパワーポイントファイルを掲載します。なお、要旨は、研究発表要旨集 (Journal of Nuclear and Radiochemical Sciences vol.11, Supplement, September, 2010)より転載いたしました。

- K101 微量元素分析法としての中性子放射化分析の役割 (金沢大院自然) 井村久則
- K102 放射化学的中性子放射化分析法の重要性—岩石・隕石中の極微量希土類元素の定量を例にして (首都大院理工) 栗飯原はるか, 大浦泰嗣, 海老原 充
- K103 標準物質開発における中性子放射化分析の役割 (産総研計測標準, 原子力機構) 三浦 勉, 黒岩貴芳, 成川知弘, 千葉光一, 日置昭治, 松江秀明
- K104 地球化学図「明日のナショナルインベントリーマップ」に挑むINAA (名古屋大年代測定セ) 田中 剛
- K105 機器中性子放射化分析法と多重即発ガンマ線分析法による環境試料の多元素分析 (東京大院総合, 原子力機構, 福井大) 松尾基之, 小豆川勝見, 藤暢輔, 村上幸弘, 古高和禎, 木村 敦, 大島真澄, 小泉光生
- K106 環境化学研究分野における放射化分析法の利用 —野生生物から検出される有機態ハロゲン— (愛媛大農) 河野公栄
- K107 古鉄中の微量元素から何がわかるか (都市大工) ○井昭司
- K108 分析受託機関における多重即発ガンマ線分析他 (東レリサーチセ, 福井大, 原子力機構) 須志田一義, 小島徳久, 谷口 舞, 村上幸弘, 大島真澄, 藤 暢輔, 古高和禎, 原 かおる, 原田秀郎, 木村 敦, 金 政浩, 小泉光生, 中村詔司
- K109 住重試験検査(株)における受託放射化分析の依頼状況と今後の動向 (住重試験検査) 永野 章
- K110 京都大学原子炉実験所における放射化分析実験の現状 (京都大原子炉, 京都大院工) 高宮幸一, 瀧本真己, 関本 俊, 奥村 良, 中野幸広, 柴田誠一
- K111 JRR3とJ-PARCにおけるMPGA開発 (原子力機構, 福井大) 藤 暢輔, 古高和禎, 原 かおる, 原田秀郎, 木村 敦, 金 政浩, 北谷文人, 小泉光生, 中村詔司, 大島真澄, 村上幸弘
- K112 原子力機構における中性子利用分析の利用促進活動 (原子力機構) 松江秀明
- K113 アジア (オーストラリアを含む) における放射化分析ネットワーク (首都大院理工) 海老原 充

【はじめに】

中性子放射化分析法は、透過力の大きい中性子と高エネルギーの γ 線を用いることから試料マトリックスの影響を受けにくく、いくつかの妨害核反応や γ 線の重なりなどの問題はあっても、選択性と正確さに優れた微量元素の定量法である。特に、非破壊多元素同時分析が可能な機器中性子放射化分析法 (INAA) は、固体試料に対し、目的元素の損失や汚染の原因となる試料の分解・処理の必要がなく信頼性の高い定量が可能である。さらに、 k_0 標準化法を用いた INAA では、比較標準を用いることなく数十元素の非破壊同時定量が可能であり、分析の信頼性に加えて簡便性と情報生産性も大いに向上し、他の機器分析法にはない優れた特長を有している。

本講演では、演者らが行ってきた k_0 -INAA の信頼性評価と大気浮遊粒子の分析への適用例[1, 2]を紹介し、微量元素の定量法としての INAA について再評価したい。

【実験】

標準物質：NIST SRM1633a (Coal Fly Ash), NIST SRM2783 (Air Particulate on Filter Media), NIES CRM No.8 (Vehicle Exhaust Particulates)。中性子モニター：Zr 箔 (Nilaco), 0.1%Au-Al 合金 (IRMM-530RB)。Au コンパレータ：10-50 μg Au 含有濾紙。中性子照射：JRR-3 PN-3, JRR-4 PNにて 30-90 s, JRR-3 PN-1 で 20 min, JRR-4 T-B で 40 min。検出器の較正： ^{241}Am , ^{109}Cd , ^{57}Co 等を用いて γ 線の検出効率とピーク/トータル面積比を測定した。 γ 線測定：核種の半減期を考慮し、較正測定位置で、照射後 3 min から 20 d に渡って測定した。各測定位置で試料とともに照射した Au コンパレータあるいは Au-Al 合金を測定した。

【結果と考察】

Table 1 に k_0 -INAA による NIST SRM1633a の分析結果を示す。妨害核反応 ($^{27}\text{Al}(n, p)^{27}\text{Mg}$) の影響が見られた Mg を除き、JRR-3 と JRR-4 を用いた定量値はよく一致した。17 元素が認証値(あるいは参考値)から偏差 3 %以内であり、37 元素が定量できた。応用として、アンダーセンエアサンプラーを用いて茨城県内の大気微粒子を粒径分画してメンブレンフィルター上に捕集し、 k_0 -INAA に供した。自然由来の Na, Mg, Cl の他, V, Mn, Fe, Co, Zn, Br, In, Sb, La, Sm など 31 元素が定量できた。講演では、INAA の重要な用途について考える。

[1]宮田, 丹治, 井村, 松江, 米沢; 分化, **55**, 689 (2006).

[2]岡田, 井村, 野口, 長谷川, 北; 茨城県霞ヶ浦環境科学センター年報, 第 2 号, 130 (2007).

Table 1 Analytical Results of NIST SRM1633a

Element	Found/ $\mu\text{g g}^{-1}$	%RSD	N	%Dev. ^a
Na	1 700	1.9	16	-0.2
Mg	4 650	4.2	12	2.3
Al	144 000	2.3	16	0.9
K	18 700	2.5	15	-0.5
Ca	1 080	7.1	11	-3.1
Sc	39.8	4.1	13	-0.4
Ti	8 100	2.8	16	1.3
V	308	2.7	16	3.7
Cr	199	2.6	13	1.6
Mn	180	6.5	16	0.6
Fe	93 000	3.1	13	-1.1
Co	44.8	2.4	13	-2.6
Zn	234	4.8	12	6.4
Ga	57.6	7.6	13	-0.6
As	140	3.0	10	-3.4
Br	2.58	17.9	5	-
Rb	136	4.1	12	3.7
Sr	820	4.0	10	-1.3
Zr	572	9.8	5	-
In	0.198	13.1	7	-
Sb	6.71	3.3	13	-1.4
Cs	10.4	4.0	13	-5.1
Ba	1 480	7.3	10	-1.1
La	80.7	3.6	10	-
Ce	179	3.1	13	-0.5
Nd	83.3	8.1	10	-
Sm	16.0	3.8	10	-
Eu	3.77	6.4	13	-5.6
Tb	2.55	9.5	10	-
Dy	14.9	5.4	10	-
Yb	7.76	2.3	10	-
Hf	7.83	3.0	13	-2.1
Ta	1.91	7.6	10	-
W	6.46	9.2	8	-
Ir	96.2	58.0	8	-
Th	24.7	2.7	13	0.1
U	9.81	7.0	12	-3.8

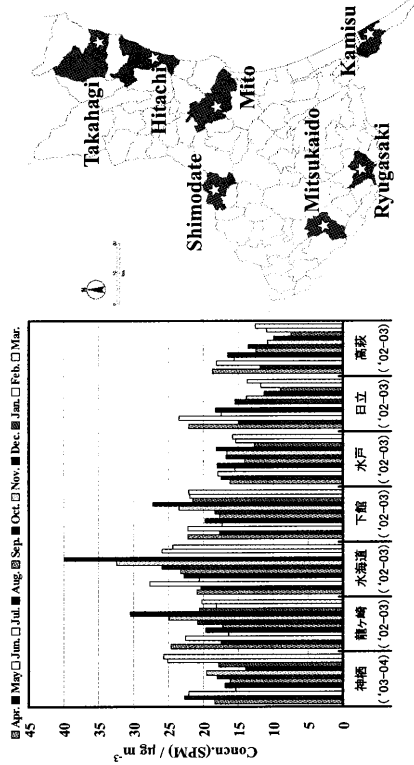
a) %Deviation from certified (reference) value.

Role of neutron activation analysis in trace element analytical methods
IMURA, H.

微量元素分析法としての 中性子放射化分析の役割

(金沢大院自然)
井村久則

茨城県のSPM



Ref: 2002~2004年度文部科学省地域貢献特許特別支援事業の成果, 茨城大学, 2005.

大気浮遊粒子状物質 (SPM)

- ・大気中に長時間留まる粒径 $10 \mu\text{m}$ 以下の粒子
- ・呼吸で体内に入り込み, 肺などの呼吸器に沈着する
- ・発生源は自然由来, 人為起源それぞれに複数ある
- ・大気汚染防止法で環境基準が定められている
- ・緩やかな改善が見られるがほぼ横ばいである

環境基準

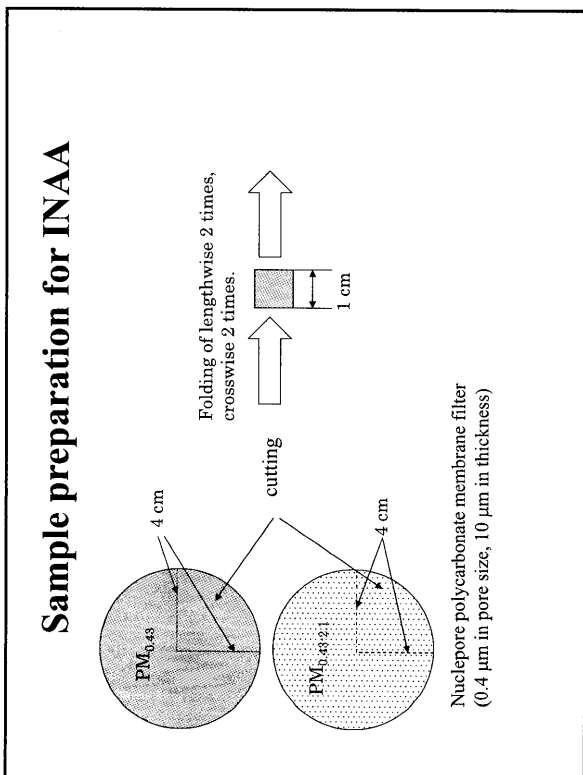
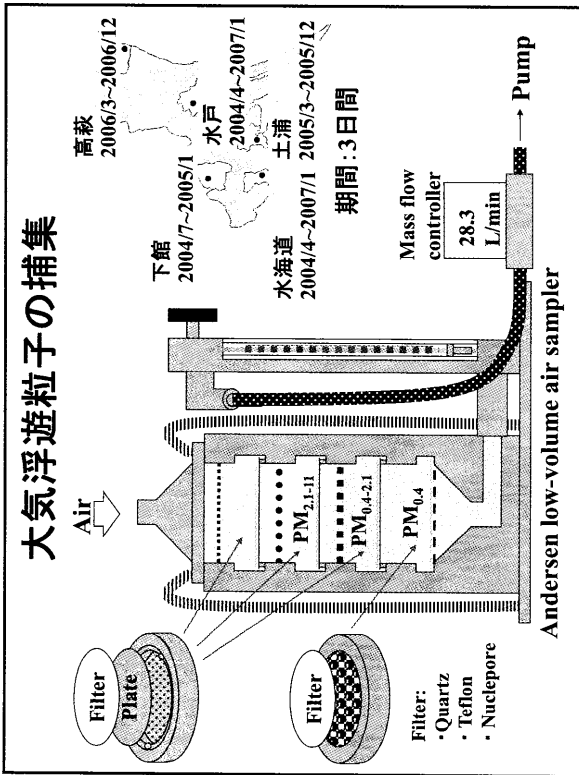
- ・一時間値の一日平均が 0.1 mg/m^3 以下であること
- ・一時間値が 0.2 mg/m^3 以下であること

分析方法

大気浮遊粒子を粒径別に捕集

- ・重量分析による粒子濃度 (PM) の測定
- ・元素分析による元素炭素と有機性炭素の定量
- ・イオンクロマトグラフィーによるイオン成分の定量
- ・機器中性子放射化分析 (INAA) による微量元素定量

Chemical Mass Balance (CMB) 法による解析



k_0 -INAAによる定量

- 中性子モニター (Au, Zr) と試料を照射キヤプセルに入れる
- JRR-3およびJRR-4にて中性子を30秒~40分間照射
- Ge半導体検出器によるγ線測定 (核種に応じて複数回測定)
- k_0 標準化法による定量

$$k_{0,Au}(a) = \frac{M_{Au} \cdot \theta_a \cdot \sigma_{0,a} \cdot \gamma_a}{M_a \cdot \theta_a \cdot \sigma_{0,Au} \cdot \gamma_{Au}}$$

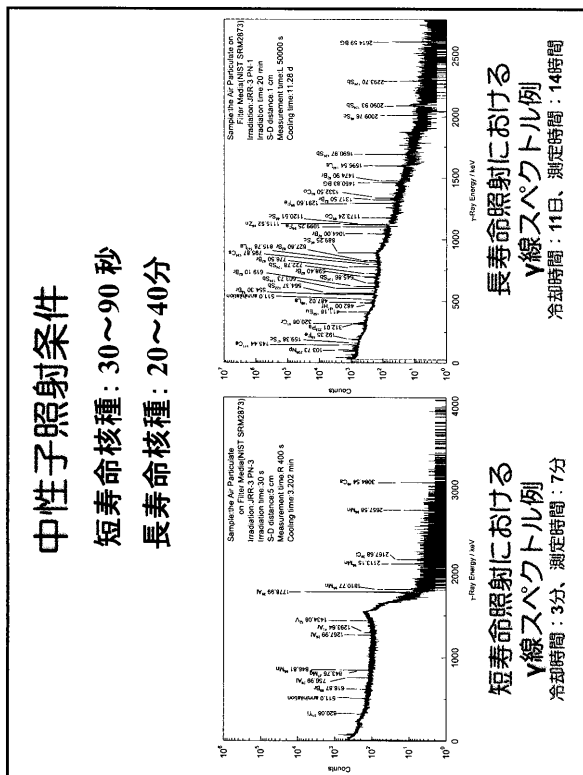
目的元素濃度

$$W_a = \frac{C_a}{C_{Au}} = \frac{1}{k_0} \frac{f + Q_{0,Au}(\alpha) \cdot \varepsilon_{Au}}{f + Q_{0,a}(\alpha) \cdot \varepsilon_a}$$

原子炉・検出器による補正項

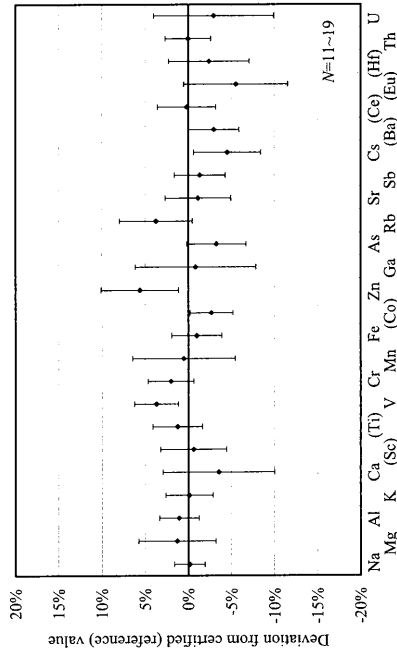
M : 原子量
 θ : 同位体存在度
 σ_0 : 熱中性子捕獲断面積
 γ : γ線放出率
 a : 目的元素

f : 熱中性子と熱外中性子束の比 (I_{th}/I_0)
 $Q_0(\alpha)$: 1/Eからのずれを補正した共振積分と熱中性子断面積との比 ($\int \phi \sigma$)
 ε_a : γ線検出効率



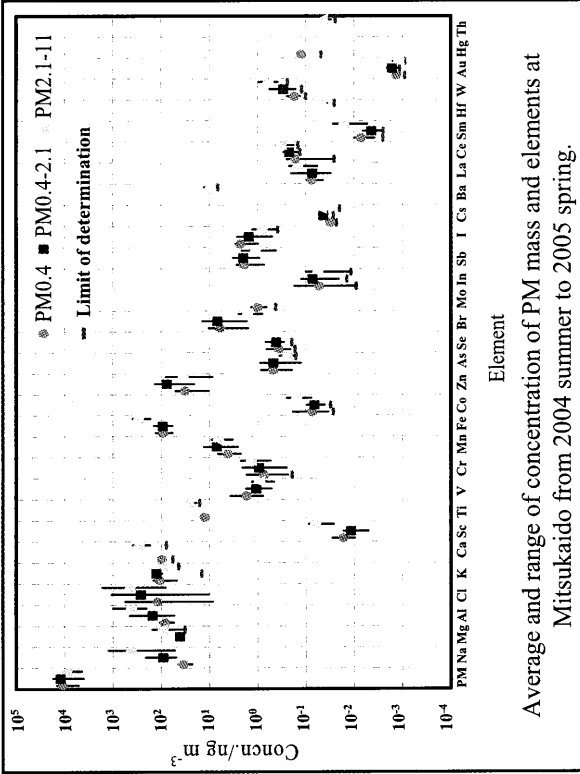
Evaluation of the values determined by k_0 -INAA with certified (reference) values of NIST the Air Particulate on Filter Media (SRM 2873)

Element	Found (24)	RSD [%]	DL [ng]	Certified (Reference)/ng	Deviation [%]
Na	1.93×10^3	2.3	2.61×10^1	1860	0.21
Mg	8.42×10^3	6.6	1.62×10^3	8620	-2.3
Al	2.40×10^4	0.59	5.72×10^1	23210	2.9
Cl	1.35×10^3	6.5	1.72×10^2	-	-
K	5.27×10^3	9.2	1.33×10^3	5280	-0.21
Sc	3.50	1.2	1.10×10^{-1}	3.54*	-1.2
Ca	1.24×10^4	1.3	3.10×10^3	13200	-6.1
Ti	1.37×10^3	2.3	1.26×10^3	1490	-8.1
Cr	1.47×10^2	9.2	9.38×10^1	135	8.7
V	5.13×10^3	5.5	9.55	48.5	5.8
Mn	31.8×10^3	0.77	2.06	320	-0.62
Fe	2.64×10^4	1.3	5.26×10^2	26500	-0.26
Co	7.81	7.4	2.09	7.7	1.4
Zn	1.72×10^3	1.4	9.44×10^2	1790	-0.61
Ga	7.02	1.1	3.13	-	-
As	1.21×10^1	3.6	1.55	11.8	-1.8
Br	2.60×10^2	0.49	1.97	-	-
Mo	2.34×10^4	10	9.18	-	-
Sb	7.16×10^3	2.2	2.49	71.8	-0.28
Ba	3.64×10^3	16	2.25×10^2	335	8.7
Cs	2.49	15	1.49	-	-
La	1.17×10^3	1.4	5.13×10^{-1}	-	-
W	4.85	1.1	2.08	5*	-3.1
Th	3.21	5.1	5.92×10^{-1}	3.23*	-0.50



Deviation of analytical results obtained by k_0 -INAA from certified (reference) values of NIST SRM 1633a (Coal Fly Ash).

Error bar shows standard deviation.

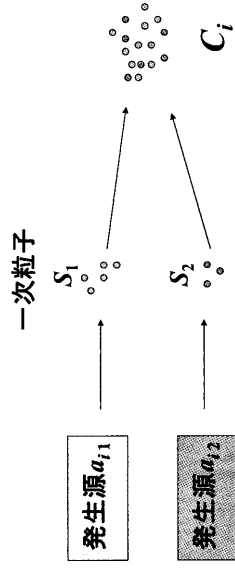


Average and range of concentration of PM mass and elements at Mitsuoka from 2004 summer to 2005 spring.

CMB法

$$C_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} S_j$$

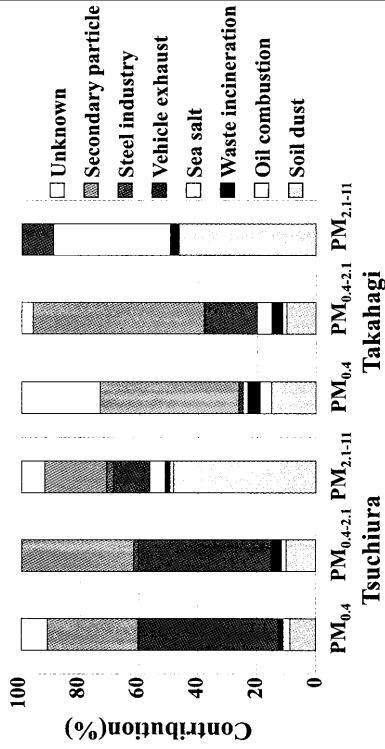
C_i : 成分 i の濃度
 a_{ij} : 発生源 j における成分 i の濃度 S_j : 発生源 j の濃度



多成分発生源データ

- Sea salt: 海水中の元素濃度から
- Soil dust: 汚染のない土壌の平均組成 (Bowen, 1979) から炭素成分は東京都の発生源データ (1989) から抜粋
- Vehicle exhaust: 標準物質 NIES No.8 (自動車排出粒子) の認証値, 参照値, 定量値から
- その他の発生源: 環境省 (2001) の発生源データを有機性炭素, BrI は東京都のデータから抜粋
- 二次粒子: CMB 計算後, 一次粒子に含まれていない OC, NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} を二次粒子とした

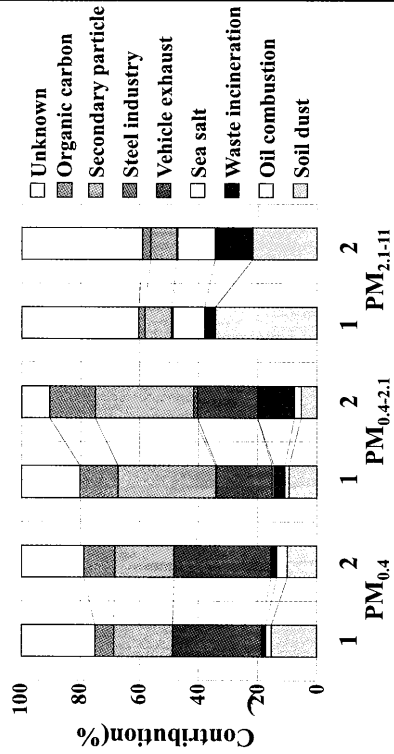
自動車交通の影響



Tsuchiura : 2005/3/14-3/17

Takahagi : 2006/3/24-3/27

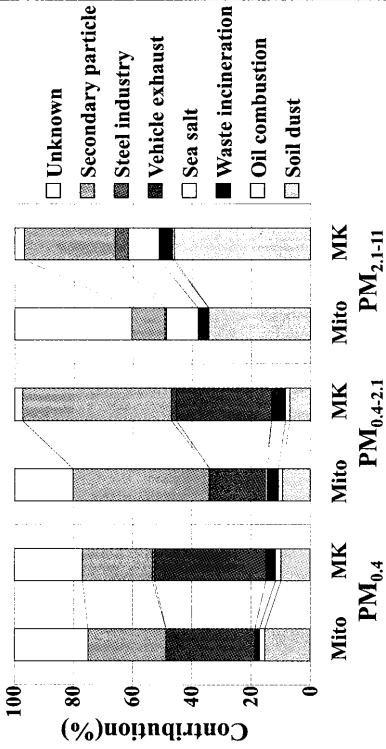
発生源データの比較



2005/11/14-11/17.

1: 自作データ 2: 関東SPM合同調査のデータ

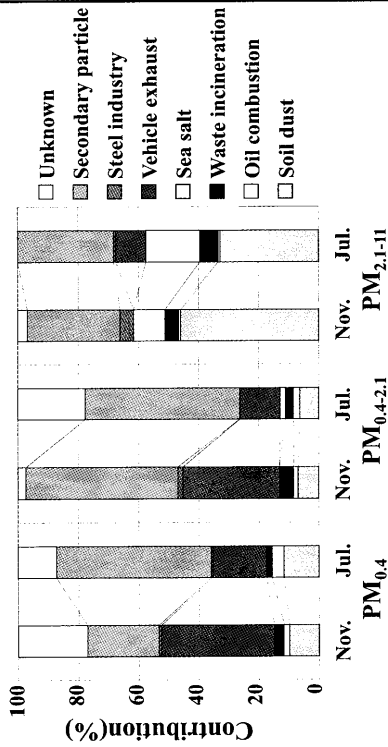
地域差



MK: Mitsuoka

2005/11/14-11/17

季節差



Source contributions to $PM_{0.4}$, $PM_{0.4-2.1}$, and $PM_{2.1-11}$ at Mitsukaido.

Nov. : 2005/11/14-11/17.

Jul. : 2006/7/28-7/31.

Methods used for the Analysis of SRM 1648a (Urban Particulate Matter, 2008)

INAA	Ag, Al, As, B, Br, Ca, Ce, Cl, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Hf, K, La, Mg, Mn, Na, Rb, Sb, Se, Si, Sm, Sr, Th, Ti, V, W, Zn
WDXRF	Al, Br, Ca, Cl, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, S, Si, Sr, Ti, Zn
SS-GFAAS	As, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn
PIXE	As, Br, Ca, Cu, Fe, K, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, V, Zn
PAA	As, Ca, Ce, Co, Ni, Pb, Rb, Sb, Ti, Zn
PGAA	B, Cd, Fe, K, S, Ti

*Methods used for establishment of certified values are indicated by bold-face type.

Methods

INAA	Instrumental neutron activation analysis
WDXRF	Wavelength dispersive X-ray fluorescence spectrometry
SS-GFAAS	Solid sampling graphite furnace atomic absorption spectrometry
PIXE	Proton induced X-ray emission analysis
PAA	Photon activation analysis
PGAA	Prompt gamma activation analysis

Method validation of k_0 -INAA

- Simultaneous determination (number of elements)
SRM 1633a: 37, NIES 8: 33, SRM 2783: 30, SPM: 30
- Detection limit (ng on filter)
Sm: 0.04, Sc: 0.06, La: 0.5, Co: 0.9, Mn: 2, As: 2, Br: 2, Sb: 2, V: 3,
Cr: 7, Na: 10, Al: 20, I: 20, Zn: 30, Cl: 200, Fe: 500
- Range (on filter)
0.2 ng (Sm, Lu) - 30 μ g (Fe)
- Selectivity or matrix effect
interference: Mg ($^{27}\text{Al}(n, p)^{27}\text{Mg}$)
no interference: Na ($^{27}\text{Al}(n, \alpha)^{24}\text{Na}$)
- Precision
SRM 1633a: 11 elements < 3% RSD, 22 elements < 5% RSD
- Accuracy (trueness)
SRM 1633a: 17 elements < 3% dev., 22 elements < 5% dev.
- Standard preparation
Au (comparator) and Zr monitor
- Sample preparation
nondestructive analysis
- Throughput
15 elements as Na, Al, Cl, V etc. (short half-life): <20 h
24 elements as Sc, Fe, Zn, Sb etc (long half-life): <30 h
- Cost
high?

Methods used for the Analysis of SRM 1566b (Oyster Tissue, 2010)

ID ICP-MS	Ba, Ca, Mg, Pb, K, Ni, Sn, Th, U, Zn
INAA	Ag, Al, As, Ca, Cl, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Rb, Se, Th, V, Zn
PGAA	B, H, K, N, S
FAES	Nb
ID TIMS	S
ICP-MS	Ag, Al, Cd, Co, Cu, Mg, Ni, Pb, Rb, Sr, V
CVAAS	Hg, MeHg
RNAA	Cd, Cu, Hg, Sb
ETAAS	As, Ni, Se
GC-AED	MeHg
GC-AED	MeHg
ICP-OES	Fe

*Methods used for establishment of certified values are indicated by bold-face type.

Methods

ID ICP-MS	Isotope dilution inductively coupled plasma mass spectrometry
INAA	Instrumental neutron activation analysis
PGAA	Prompt gamma analysis
FAES	Flame atomic emission spectrometry
ID TIMS	Isotope dilution thermal ionization mass spectrometry
ICP-MS	Inductively coupled plasma mass spectrometry
CVAAS	Cold vapor atomic absorption spectrometry
RNAA	Radiochemical neutron activation analysis
ETAAS	Electrothermal atomic absorption spectrometry
GC-AED	Gas chromatography with atomic emission detector
GC-AED	Gas chromatography with atomic fluorescence detector
ICP-OES	Inductively coupled plasma optical emission spectrometry

謝辞

日本原子力研究開発機構東海研究所（旧日本原子力研究所）
米沢 伸四郎 博士（IAEA, Vienna）
松江 秀明 博士

茨城県霞ヶ浦環境科学センター（旧茨城県公害技術センター）
江原 孝 室長
岡田 和則 主任研究員
半田 信吾 首席研究員
小川 邦彦 主任

茨城大学大学院理工学研究科
丹治 輝 修士
宮田 賢 修士

【はじめに】

放射化学的中性子放射化分析 (Radiochemical neutron activation analysis; RNAA) は中性子照射後に定量目的元素を放射化学的に分離・精製して γ 線測定をする定量分析法である。破壊分析であり、試料を放射化後に化学分離を行うため分析の効率は悪いが、妨害元素を含めたマトリックス元素を取り除くことができるので感度の高い分析が行える。そのため機器中性子放射化分析 (Instrumental neutron activation analysis; INAA) やその他の分析法 (質量分析等) では測定することのできない極微量レベルの元素でも定量が可能である。

ここでは岩石・隕石中の極微量希土類元素の定量例を示す。希土類元素 (Rare earth elements; REEs) は地球・宇宙化学的に重要な元素グループの一つであり、一部の岩石・隕石中では極度に枯渇している。そのような試料に対しては RNAA が最も信頼性の高い分析法となる。

【実験】

岩石標準試料および Allende 隕石各 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炉 JRR-3 にて 24 時間中性子照射を行った。RNAA の分離操作は Minowa and Ebihara (2003) [1] を基にしており、これは水酸化物・フッ化物沈殿生成と二つのカラム分離から構成される。化学収率は誘導結合プラズマ原子発光分析により求めた。また U の同時定量のため REEs とは異なるフラクションから硫酸バリウムを生成し、 ^{235}U の核分裂生成物 (^{140}Ba , ^{140}La) の量から U 濃度を求めた。

【結果・考察】

希土類元素 10 元素 (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Tm, Yb, Lu) が定量できた。本法では La, Ce, Nd の定量には ^{140}La , ^{141}Ce , ^{147}Nd を用いるが、これらの核種は中性子誘導核分裂 ^{235}U (n, f) の生成物としても生成される。従ってこれら 3 元素の正確な定量値を得るためには ^{235}U からの核分裂による寄与を正しく見積もり、補正する必要がある。この寄与の割合は U/REE 比により異なり、Allende 隕石のように比が低い場合は寄与が 1% 以下となるが、カンラン岩のように比が高い場合は、特に Ce, Nd で 10% 以上の寄与があり、深刻な影響を与える。La の場合は ^{140}La よりその親核種である ^{140}Ba の方が半減期が長く、分離により Ba を除去できるため Ce, Nd に比べ寄与が小さくなる。

^{235}U の核分裂による寄与の見積もりのため、同一試料からの U 定量も行った。定量には核分裂生成核種 ^{140}Ba , ^{140}La を用いた。本研究で分析した試料の中で最も U 濃度の低い Allende 隕石 (16 ppb) でも ^{140}Ba , ^{140}La のどちらを用いても U を定量することができた。同一試料から U 濃度を定量することにより、正確な核分裂による寄与を求めることが可能になり La, Ce, Nd のより正確な定量値を得ることができるようになった。

本研究で示されるように RNAA は希少な岩石・隕石試料中の濃度レベルの低い元素の定量に最適な分析法である。また RNAA では定量値の正確さが高いことも大きな特徴である。このように RNAA は INAA や他の分析法とは異なる優れた点を持っており、その重要性はこれからも変わらないと思われる。

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

Importance of radiochemical neutron activation analysis – in case of the determination of ultra-trace rare earth elements in rock and meteorite samples
AIHARA, H., OURA, Y., EBIHARA, M.

放射化学的中性子放射化分析法 の重要性－岩石・隕石中の極微量 希土類元素の定量を例にして

栗飯原はるか、大浦泰嗣、海老原充
首都大学東京大学院 理工学研究科

岩石・隕石中の微量希土類元素定量

- 希土類元素 (Rare Earth Elements; REEs)
- 地球・宇宙化学的に重要な元素グループの一つ
 - 一部の岩石・隕石中では極度に枯渇している

RNAA以外の代表的な分析法

INAA

- 非破壊分析
- 分離しないため簡便で信頼性が高い値が得られる
- 共存元素による影響を受ける (感度の低下)

ICP-MS

- 極めて高感度
- 同位体希釈法を用いると極めて高い精度が得られる
- 共存元素による影響を受ける (感度の低下)

放射化学的中性子放射化分析:

Radiochemical Neutron Activation Analysis
試料を照射後、定量目的元素を放射化学的に
分離・精製してγ線測定を行う分析法

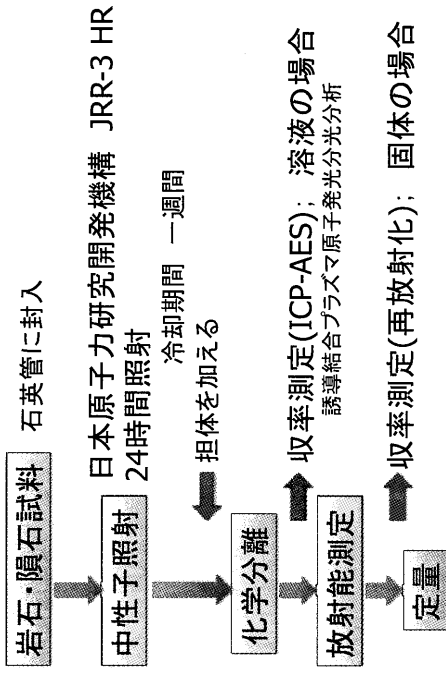
□特徴

- 妨害元素を含めた共存元素を分離し、目的元素を精製するため分析感度が高い
- 化学操作での汚染や損失が問題とならないため正確さが高い

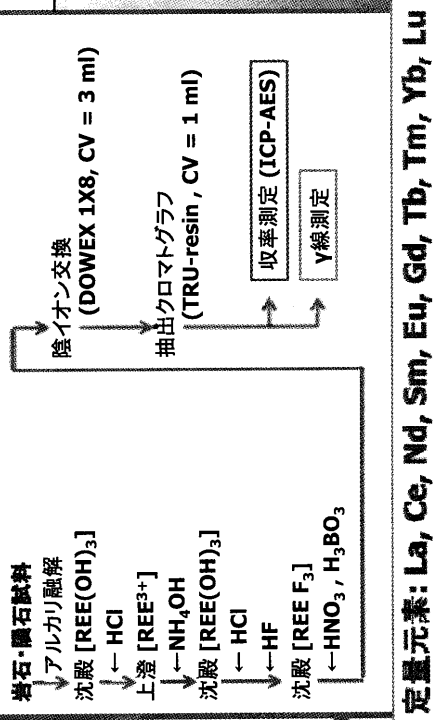
□問題点

- 分離を行うため効率が悪く、また被爆が避けられない
- 破壊分析であるため試料を失う

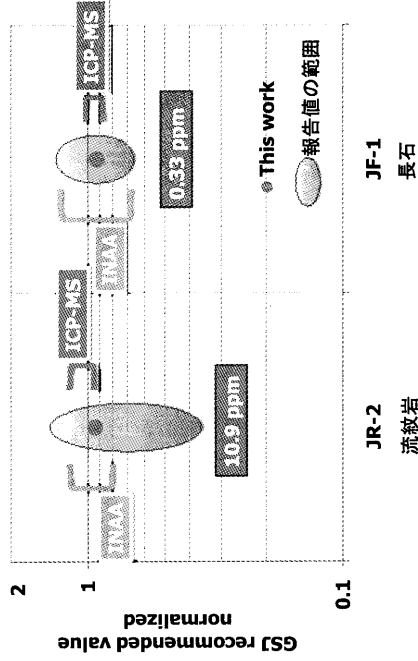
RNAAの流れ



化学分離操作



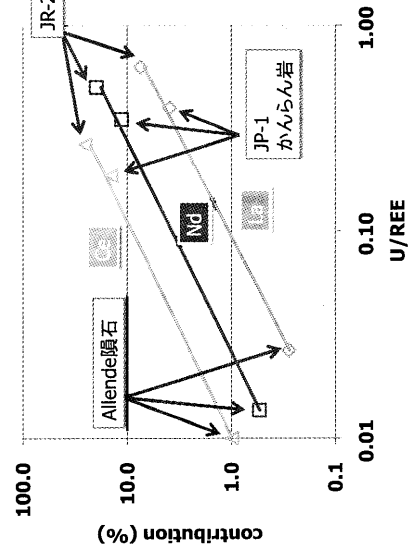
U定量結果



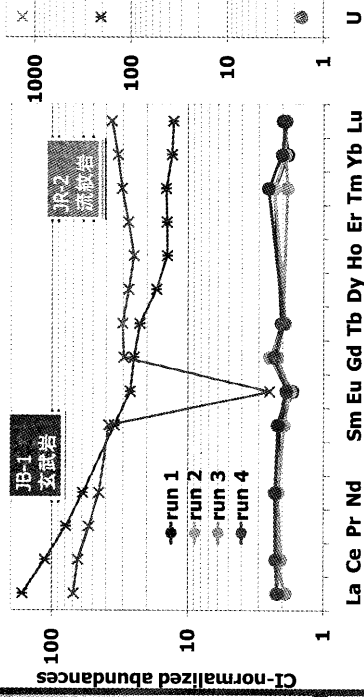
^{235}U 核分裂生成物の寄与補正

- $^{235}\text{U} (n, f) \rightarrow \begin{matrix} ^{140}\text{La} \\ ^{141}\text{Ce} \\ ^{147}\text{Nd} \end{matrix}$
- 正確なLa, Ce, Ndの定量にはこの寄与を補正する必要がある
 - 寄与の度合いはU/REE比による **U定量**
 - 核分裂生成物 ^{140}Ba を硫酸バリウムとして回収し、そこからUを定量する

核分裂生成物の寄与



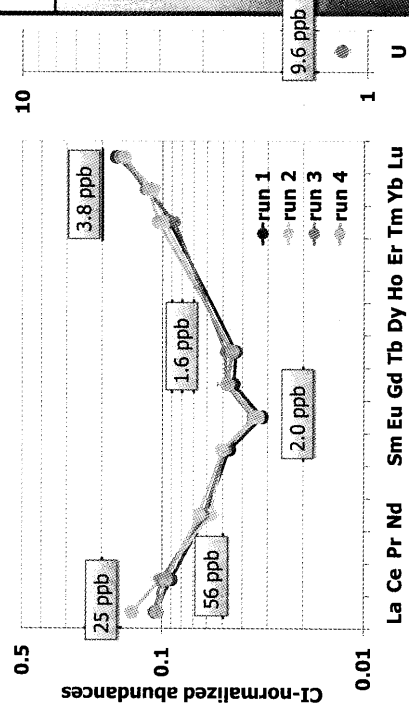
Allende隕石 定量結果



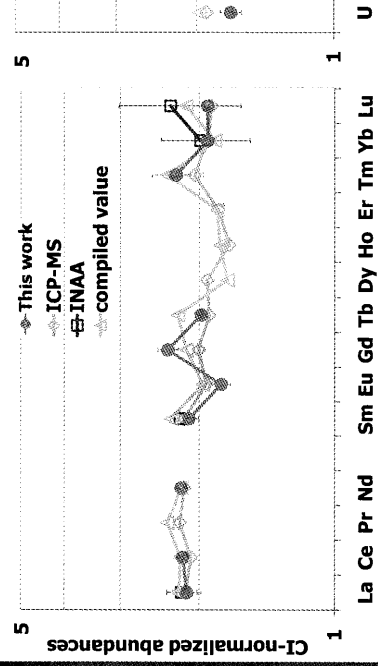
実験結果まとめ

- RNAAにより岩石・隕石試料中のREE 10元素の定量を行った
- REE定量と同一試料からU定量も行った
 - それにより ^{235}U の中性子誘導核分裂生成物による寄与を正確に補正することができる
 - 標準岩石の中で最も核分裂生成物の寄与を受けるとなるJR-2ではCeで25%の寄与があり、補正が重要となる
- 極微量な存在度の試料からも再現性よく定量できた

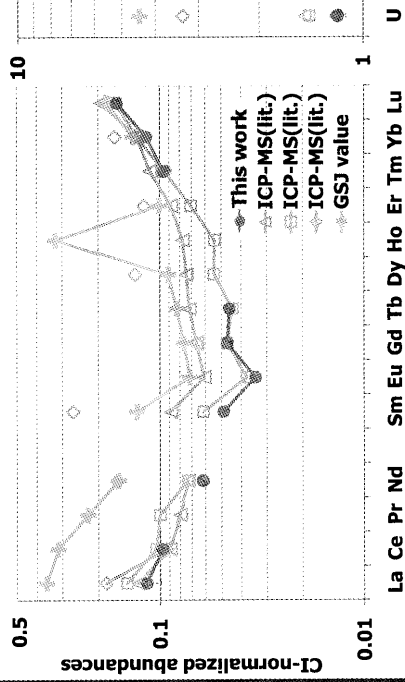
JP-1 定量結果



他の分析法との比較; Allende隕石



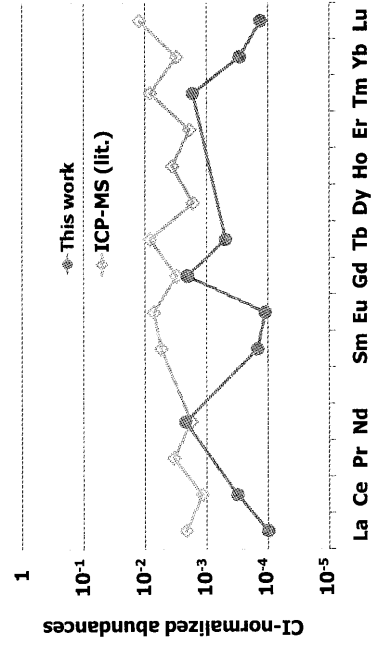
他の分析法との比較; JP-1



まとめ

- RNAAは目的元素の分離・精製を行うため、岩石・隕石試料での極微量元素の定量に最適な分析法である
- 本実験条件のRNAAの方がICP-MSより低い検出限界を得ることができる
- RNAAの場合照射時間を増やすことによりさらに低い検出限界が得られる
- RNAAにより他の分析法の定量値を評価することができる

検出限界



信頼性の高い標準物質を開発するためには、精確な分析法が必要である。国立計量標準研究所が参加する国際度量衡委員会物質量諮問委員会 (CCQM) は分析法のなかで最も精確さが高い分析法として一次標準測定法を定義した。定義を以下に示す。

- ・ 一次標準測定法とは、最高の計量学的な特性をもち、その操作を完全に記載及び理解でき、完全な不確かさの記載が SI 単位に基づいて記載できる方法である。
- ・ 一次標準直接法は、同じ量の標準を参照することなく未知の値を測定することが可能な方法である。
- ・ 一次標準比率法は、同じ量の標準に対する未知試料の比を測定する方法である。その操作は、測定方程式によって完全に記載されなければならない。

CCQM は一次標準直接法に重量法(Gravimetry, Gravimetric analysis)、電量分析法(Coulometry)、凝固点降下法(Freezing point depression)が、一次標準比率法に同位体希釈質量分析法 (Isotope dilution mass spectrometry: IDMS)、滴定法(Titrimetry)がそれぞれの定義に適合すると合意した。標準物質開発に関する国際規格 ISO Guide 35 においても、標準物質の認証値を決定するための分析法として一次標準測定法の適用が例示されている。当所も国立計量標準研究所として国際規格に適合した認証標準物質の開発を行っており、原則として一次標準測定法を含む複数の方法によって認証値を決定することとしている。2007年にCCQMは新たに比較法による中性子放射化分析法 (Neutron Activation Analysis: NAA) が一次標準比率法の定義を満たすことについて合意したことを明らかにした。これはNAAが原理的によく理解されていることに加え、CCQMで実施された複数の国際比較で不確かさはIDMSより大きいものの多くの良好な結果が得られている実績が評価されたものである。このようにNAAは精確さが高い分析法として認められているが、国内で中性子放射化分析のための中性子照射ができる施設が日本原子力研究開発機構と京大原子炉実験所に限定されていることを考えると、NAAを標準物質開発のための主要な元素分析法として活用することは、残念ながら現状では困難であるとの結論に至った。一方、NAAが、元素分析法として多く用いられているICP発光分析法やICP質量分析法とは原理が異なる方法であること、溶液分析法とは異なり固体分析法なので非破壊分析が可能なこと、同位体希釈法が適用できない単一核種の元素を精確に定量したい場合にその性能を最も発揮することができることを考え、NAAに適した元素に特化して手法の高度化を行うことが適切であるとの結論も得られた。我々はこのような観点に立ち、NAAの応用先として「(1) 難分解性試料中の元素分析 (2) 同位体希釈法が適用できない単一核種の元素の精確な分析」を選択した。本講演では上記(2)に該当する「アルセノベタイン標準液中のひ素の精確な定量分析」を標準物質開発における中性子放射化分析法の応用例の現状として報告する。

関連論文

1. T. Miura, H. Matsue, T. Kuroiwa, K. Chiba, *Anal. Sci.* 25, 881-885, 2009..
2. T. Miura, H. Matsue, T. Kuroiwa, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 282, 49-52, 2009.
3. T. Miura, K. Chiba, T. Kuroiwa, T. Narukawa, A. Hioki, H. Matsue, *Talanta*, in press.

The role of neutron activation analysis in the development of certified reference material
MIURA, T., KUROIWA, T., NARUKAWA, T., CHIBA, K., HIOKI A., MATSUE, H.

標準物質開発における 中性子放射化分析法の役割

○三浦 勉,¹ 黒岩 貴芳,¹ 成川 知弘,¹ 千葉 光一,¹
日置 昭治,¹ 松江 秀明²

- 産業技術総合研究所計測標準研究部門
- 日本原子力研究開発機構

ヒ素化合物の化学形態による急性毒性の違い

WHO(2001) EHC224*記載の半数致死濃度LD₅₀(急性)無機ヒ素

As(III), As₂O₃: 20 mg/kg~385 mg/kg

As(V), Na₃AsO₄: 87 mg/kg

有機ヒ素化合物

モノメチルアルソン酸, CH₃AsO(OH)₂: 1000~>1800 mg/kg
アルセノバタイン(AB), [(CH₃)₂As]⁺CH₂COO⁻: >10,000 mg/kg

* Arsenic and arsenic compounds. Environmental Health Criteria 224, WHO.

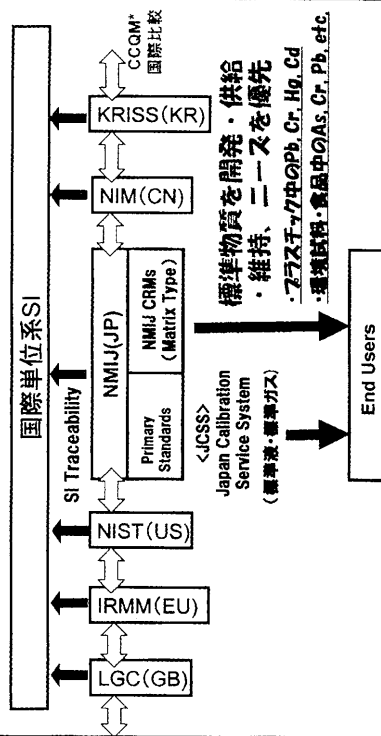


化学形態別分析が求められている。

ABのみ校正用CRMあり

(IRMM BCR-626, NMIJCRM 7901-a)

産業技術総合研究所計測標準研究部門(NMIJ)の活動



*:国際度量衡委員会物質量諮問委員会

ICP-OES, ICP-MSにおけるAs化学種間の感度差

分析装置	化学種	As/As(V)	液性	References
ICP-OES	As(III)	0.97	1%-HNO ₃	成川ら, 2009.
ICP-MS	As(III)	0.96	1%-HNO ₃	成川ら, 2009.
ICP-OES	AB*	1.15	1%-HNO ₃	成川ら, 2009.
ICP-MS	AB*	1.15	1%-HNO ₃	成川ら, 2009.
ICP-MS	AB*	1.09	2%-HNO ₃	J. Entwistle et al. (2006)

*:IRMM BCR-626 Arsenobetaine solution (1031 ± 6) mg/kg

・測定時にはAsの化学形態を揃える必要がある。

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

ひ素分析のための標準物質

- ・ひ素標準液(全量, 化学形態別)
As全量, As(III), As(V), 有機ひ素化合物
→ 機器校正用, 標準液作成用
- ・魚肉, 海藻, 米などの環境試料中のひ素化合物濃度が認証された標準物質
→ 試料分解, 化学分離の妥当性確認

高度な技術が必要なひ素化学形態別分析技術の国際的な同等性を確認するために, CCQMパイロット比較を実施

CCQM-P96 As and arsenobetaine(AB) content in marine fish (2007)
参加機関: NIST, KRISS, NIM, BAM, NMIJ

Total Asの結果: ◎, ABの結果: ?

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

アルセバタイン標準液の認証方法

IRMM BCR-626

双方とも有意な有機ひ素化合物の不純物は検出されていない。Total As濃度を再評価する

AB (1031 ± 6) mg/kg, As (433.8 ± 2.5) mg/kg

- ・ICP-OES, 1H-NMR, 元素分析, LC-ICP-MSで純度測定。
- ・LC-ICP-MSによる測定ではAB以外の有機ひ素化合物は検出されず。

AB (19.98 ± 0.47) mg/kg, As (8.43 ± 0.20) mg/kg

- ・ABを酸分解し, As(V)としてICP-OES, ICP-MS, AAS, LC-ICP-MSで測定。
- ・分解法のバリデーションはBCR-626で確認。
- ・不純物はHPLC-ICP-MSで分析, 0.3%のTMAOのみ検出。

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

CCQM-P96 As and arsenobetaine(AB) content in marine fish

参加機関: NIST, KRISS, NIM, BAM, NMIJ

- ・標準液として, NMIJ CRM7901-aを用いるかBCR-626を用いるかで, AB定量値が10%異なった。
- ・各測定の繰返し性は良好。

CCQMでIRMMを加えて検討

- ・測定時の化学形態の差?
- ・装置由来の感度差?
- ・瓶間均質性の問題か?
- ・認証値は正しいのか? (IRMMのNAA結果)

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

BCR-626, NMIJ CRM 7901-aの認証値の再評価

- ・認証時に用いた手法とは原理の異なる分析法で全ひ素濃度を測定し, 認証値を再評価する。
- ・認証値を評価するので, 不確かさの小さい精確な分析法が必要。

内標準併用中性子放射化分析法を適用
目標とする不確かさは拡張不確かさで2%以下。
認証に用いた標準のバイアスをさけるためにNIST標準を用いる。

内標準 → Auを選択
・Auは¹⁹⁷Au値(共鳴積分/熱中性子断面積)がAsの13.6に近い15.7を示す。
・⁷⁵Asへの妨害γ線を放出しない。
・高純度品が入り手可能。ICP-SFMSによるAu中のAs濃度の実測値は<30 μg/kg

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

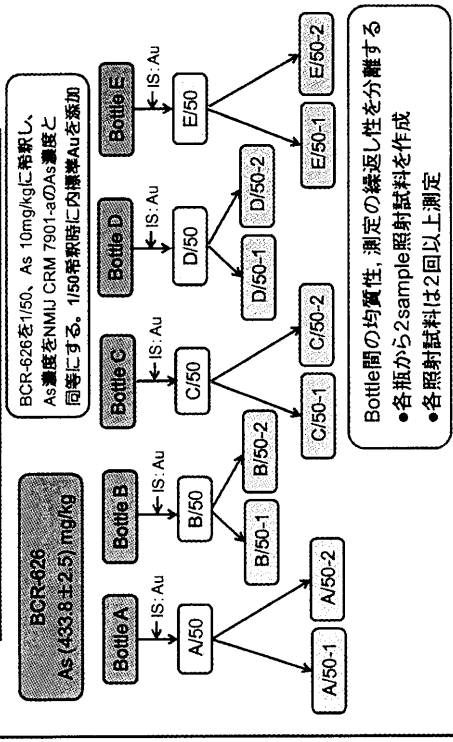
BCR-626. NMJJ CRM 7901-aの認証値の再評価 -As標準液-

NAAは原子核反応に基づく分析法であるため、価数等の存在状態に影響されずに精確な定量ができる。ICP-OES、ICP-MSと対照的にAs(V)とAs(III)の間で感度差がないことを実証した上で、AB標準液中のAsを定量する。

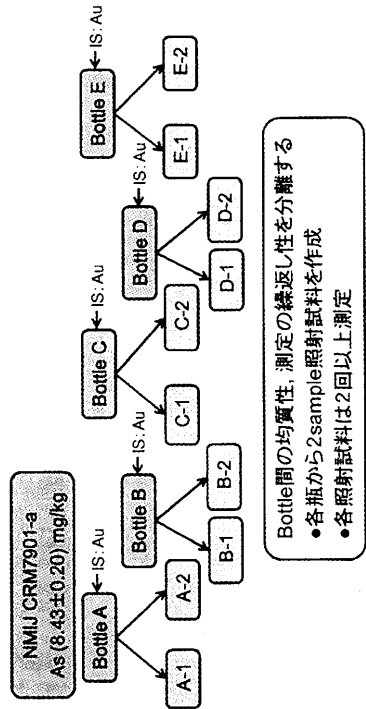
As(V)
NIST SRM3103a
9.933 mg/g ± 0.055 mg/g
高純度As metal をHNO₃で溶解しICP-OESによる濃度比較の
ため、Asの価数をAs(V)とする条件
を確立。

As(III)
As(III): 998.704 mg/kg ± 0.10 mg/kg
NIST SRM-83d As₂O₃ (99.9926% ± 0.030%)
をアンモニア水で溶解し調製した溶液。
・As(III)濃度は電量測定で測定し、溶液中に微量
量存在するAs(V)量はLC-ICP-TOFMSで測定。

BCR-626. NMJJ CRM 7901-aの認証値の再評価 -BCR-626試料調製-



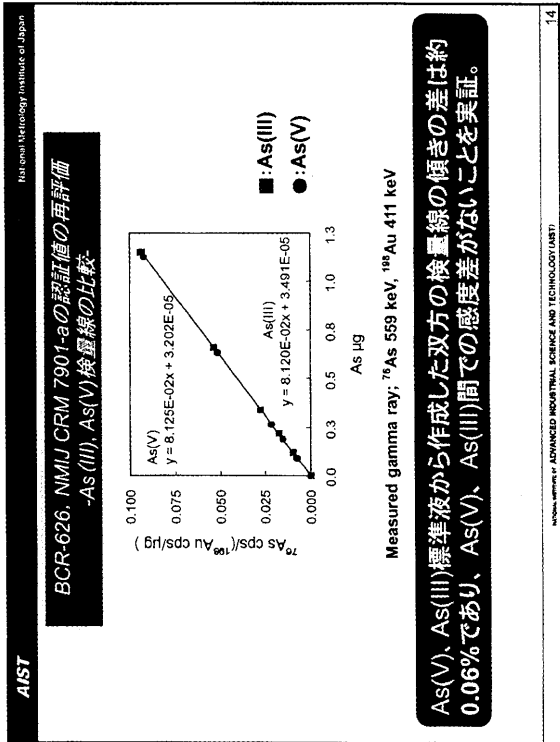
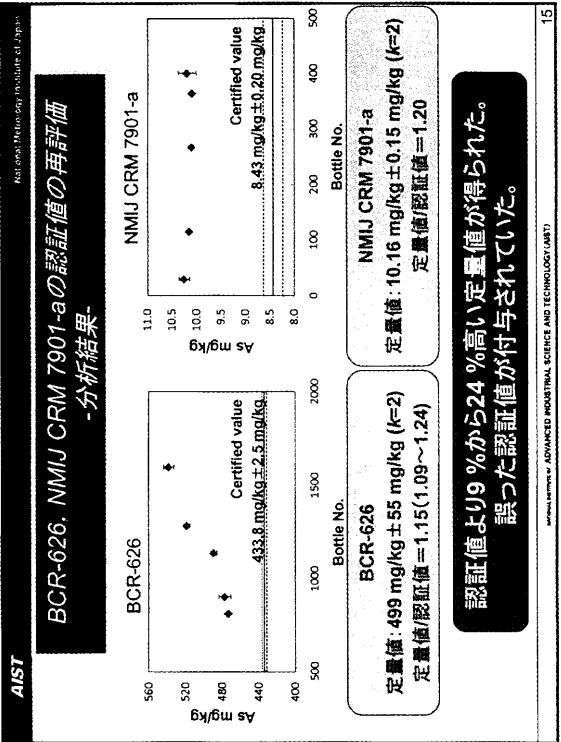
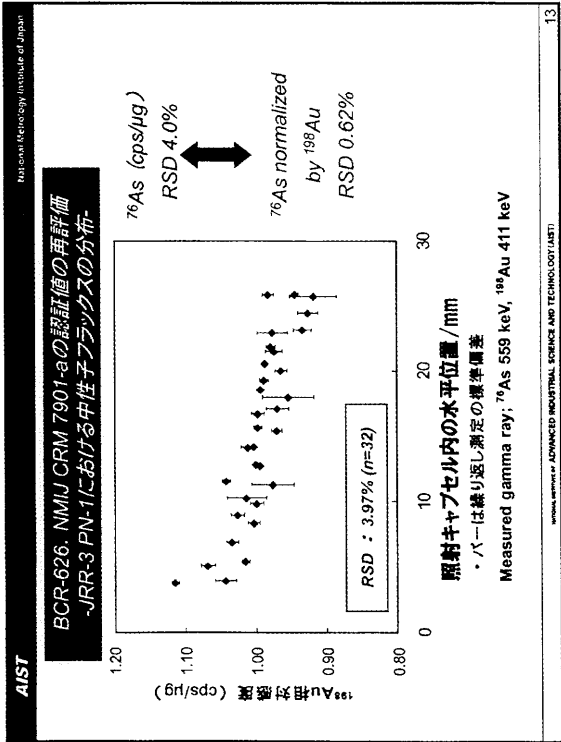
BCR-626. NMJJ CRM 7901-aの認証値の再評価 -NMJJ CRM 7901-a 試料調製-



BCR-626. NMJJ CRM 7901-aの認証値の再評価 -中性子照射及びγ線測定-

日本原子力研究開発機構JRR-3
熱出力: 20 MW
気送照射設備: PN-1
熱中性子束密度: $5.2 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ Cd比: 23
照射時間: 20分

γ線測定
Ge半導体検出器: ORTEC GMX 30190
MCA: SEIKO EG&G 7700
測定範囲: ~4 MeV, 8192 ch
遮蔽体: Fe (陸奥鉄)厚さ: 5 cm
試料は3mm厚のアクリル板に固定して測定



National Metrology Institute of Japan

BCR-626, NMJJ CRM 7901-a

不確か率の要因	BCR-626	NMJJ CRM 7901-a
材料調製		
秤量	0.015	0.016
内標準添加	0.020	0.019
比較標準調製		
As(III)標準液	0.010	0.010
秤量	0.015	0.016
内標準添加	0.020	0.019
ピーク面積評価	0.086	0.086
検量線	0.24	0.20
測定変動(ANOVA)	0.48	0.71
検量均質性	5.5	0.055
中性子フラックスの均質性	-	-
パルスハイブリッドアップ	0.089	0.089
γ線の減弱	-	-
壊変補正	0.049	0.049
アルセノベタン分子層	0.048	0.048
合成標準不確かさ	5.5%	0.76%
包含係数	2	2
拡張不確かさ	11%	1.5%

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

ICP-OES, ICP-MSにおけるAs化学種間の感度差

分析装置	化学種	As/As(V)	液性	References
ICP-OES	As(III)	0.97	1%-HNO ₃	成川ら, 2009.
ICP-MS	As(III)	0.96	1%-HNO ₃	成川ら, 2009.
ICP-OES	AB*	1.15	1%-HNO ₃	成川ら, 2009.
ICP-MS	AB*	1.15	1%-HNO ₃	成川ら, 2009.
ICP-MS	AB*	1.09	2%-HNO ₃	J. Entwistle et al. (2006)

*:IRMM BCR-626 Arsenobetaine solution (1031 ± 6) mg/kg

本当に感度差か？ 認証値の誤りが原因では。

BCR-626, NMJJ CRM 7901-aの認証値の再評価

-まとめ-

- アルセノバタイン標準液2種の認証値の再評価に内標準併用中性子放射化学分析法を適用した。
- 本法により、中性子フラックスの分布や測定変動に起因するばらつきを低減することができた。
- NAAではAs(III), As(V)間の感度差がないことを実証した。
- IRMM BCR-626, NMJJ CRM 7901-aの双方とも認証値と比較して9%~24%高い定量値が得られた。
- BCR-626は顕著な幅間差が見いだされた一方、NMJJ CRM 7901-aの均質性は良好であった。
- NMJJ CRM 7901-aの相対拡張不確かさは1.5%であり、目標不確かさ内の定量に成功した。
- ICP-OES, ICP-MS測定におけるAB/As(V)間の感度差は誤った認証値が付与されていたことが原因と考えられる。

BCR-626, NMJJ CRM 7901-aの認証値の再評価

-その後-

IRMM BCR-626

2010年7月にカタログから削除されていたことを確認。
頒布停止になった模様。

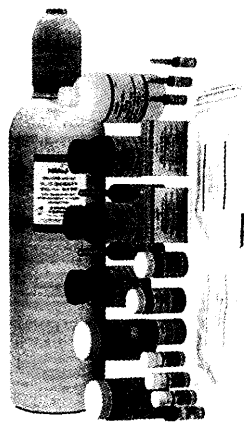
前処理中のアルセノバタインの揮散を防止するため、高温操作を可能にした密閉系前処理装置を新たに導入して、改めて前処理手法を含めた値付け手法の検討を行った。また、高精度での測定を可能にした放射化学分析法などを用いて手法の妥当性を十分に確認して、値付けの測定を改めて実施。
AB (24.40 ± 0.62) mg/kg, As (10.3 ± 0.26) mg/kgに
認証値を修正(2009.8.)。合わせてNMJJ CRM 7402-aの認証値も修正

放射化学分析法の現状と将来

- 原子核反応に基づく原理を持つことから標準物質開発に欠かせない高精度な分析法。認証値の検証にも応用が可能な高精度な分析法。
- 同位体希釈質量分析法が適用できないAs, Co, Na等の単一核種やハロゲンの定量分析に有効。
- 非破壊分析で優位性がある。
- 原子炉がいつでも使用できるわけではないので、定量的な標準物質の値付けに用いることができない。国内原子炉の稼働状況を見ると、応用の大層な拡大はできない。現状は特別に実施する分析法。

- NAAを知ってもらう活動。普及、広報のような地道な活動が重要。
- ユーズ一敷の拡大は無理でも、維持が必要だと思います。
- 原子炉の定量的な運転が必須。過年で放射化学分析が行える原子炉が必要。

御清聴ありがとうございました。



(名古屋大・年代測定セ¹、) ○田中 剛¹

【地球化学図とは】 誰もが中学や高校で学ぶ理科は、物理、化学、生物、地学の4分野からなる。地圏の情報もこの物理、化学、生物、地学に対応して整理される。地形図は、方向・距離・高低など地圏の物理情報をあらし、植生図はそこに生育する生物情報を、地質図は岩相や褶曲・断層など地学情報を表したものと位置づけられる。では、地圏の化学情報を表す図は何であろうか？ それが地球化学図である。

【試料】 小さな沢ごとにその出口で川砂を集め、川砂の化学組成が、その集水域の化学組成を代表するとみなす。詳細な地球化学図では、およそ1~2km²に1試料の割合、広域図では100km²に1試料が集められる。化学分析には、数百mg程の少量の試料しか用いられないので、試料採取現場で180μmの篩を通し、さらに粉碎して均質性を高める等の工夫がなされる。毎年同じ場所できりかえして試料を採集したり、実際の露岩を分析するなどして、河床堆積物試料の時間的・空間的代表性を検討した。アクセサリ―鉱物に由来するTi、ThやREEには、30%を超える変動がみられることもある。

【分析】 分析には多数の試料の多数の元素を分析出来る手法が望まれる。最も多いのは、蛍光X線分析とICP-MSである。演者らのグループでは、蛍光X線分析とクラシカルな(即発γ等を含まない)INAAを用いている。INAAは、約100mgの未知試料10試料を岩石標準試料(JB-1a)と貴金属、As、Se、Sbなどの混合試薬とともに、JRR-3、-4の気送管で5分照射、5日後名古屋へ郵送、名古屋大学RIセンターで測定を行う。これら二つの分析法は試料の酸分解過程がないので、難分解鉱物に含まれる元素も正しく定量されるのが強みである。元素存在度の多少より一見無関係な元素の地球化学的挙動が、目的元素の起源を示す指標となる。

【解析】 MgとFeは、調査地域の中央部と東南部に濃度の高い部分がみられる。この地域には、安山岩や斑レイ岩などの苦鉄質岩が分布する。主要化学成分の多くは、その地域の地質を反映することが多く、東(右)側では、MgとFeの分布傾向は、地質にほぼ一致する。図の西(左)側にもFeの多い場所がスポット状に分布するが、そこにMgは多くなく、苦鉄質岩の分布も知られていない。衛星写真との対比から、鉄の多い地点は、ゴルフ場に対応することがわかった。図の西側でFeの多い地点ではMnやCrも多い。MgとFeとMnとCrの関係の有無は、人為作用に因るFeの起源の違いを表している。

AuとAsの分布を比較した。いずれの元素も自然界には極微量しか存在しないが、INAAでは、精度良く定量できる。図の東(右)方のAuの多い所は、津具の金山(現在は廃鉱)周辺である。熱水性鉱床では、AuとAsとSbが良い相関を示すと言われている教科書通り、ここでも3元素は極めて高い相関を持って分布する。鉱山直下のずりの影響を受けた河床堆積物は、当然1000ppb近いAuと数百ppmのAsが検出されている。しかしAsは、少なくとも近年金の採掘がなされた形跡のない鉱山北方や大峠周辺の至る所に分布し、鉱山直下より高い濃度を示す地点さえ存在する。この地域に広く分布するAsは、Auの鉱兆であると同時に、採鉱に関係していない自然界のバックグラウンドではないだろうか。

INAA attempting to get a fruitful national inventory map "Geochemical Map"
TANAKA T.

2010年9月 放射化学分析の現状と将来

地球化学図「明日のナショナル インベントリマップ」に挑む

INAA

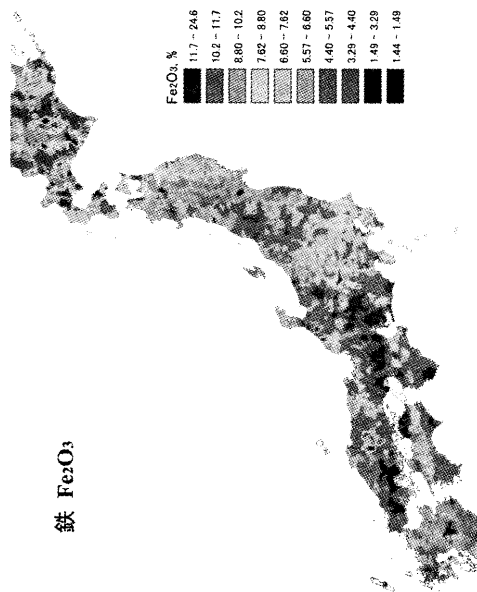
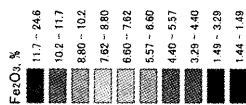
名古屋大学 年代測定総合研究センター

田中 剛

地表の化学 情報を表す地球化学図

地質調査総合センター

鉄 Fe_2O_3



地球化学図 とは？

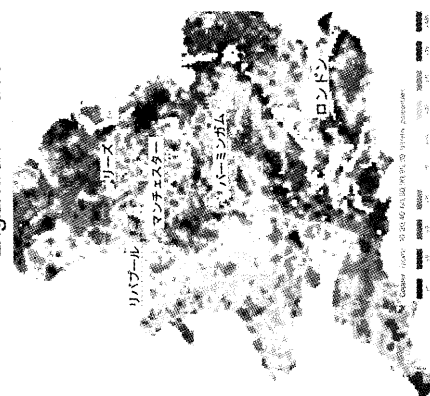
<地表の>

- 物理 情報 (位置, 高低, 距離) → 地形図
- 生物 情報 (植物群集) → 植生図
- 地学 情報 (岩相, 褶曲, 断層) → 地質図
- 化学 情報 (無機, 有機, 同位体) → 地球化学図

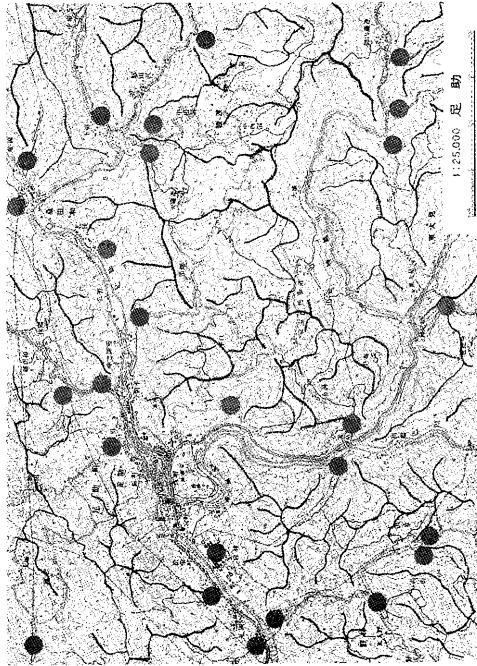
The Wolfson
Geochemical Atlas of
England and Wales

Copper

「銅」汚染の起源
を暴いた
イングランドと
ウェールズの
地球化学アトラス
(1978年)



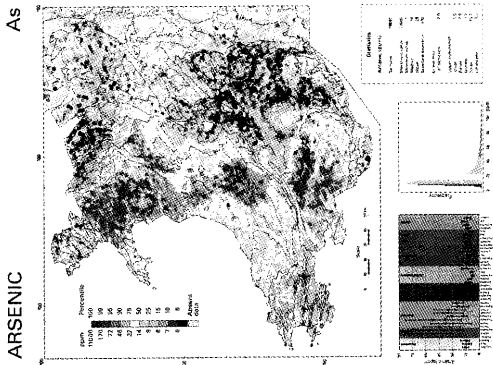
愛知県足助町付近での試料採取地点（丸印）



茶色の線は、尾根を辿っている。試料は尾根で囲まれた枝川の出口で採集し、集水域の化学組成を代表する。

英国ウエールズ地方 ヒ素の地球化学図

(英国地質調査所, 2000)



ヨーロッパの「環境先進国」では、試料採集密度の高い詳細な地球化学図の作成が進んでいる。同じ地域の河川水の化学組成分布図も作られ、二つの分布には高い相関が認められる。

河床堆積物の試料採集手順

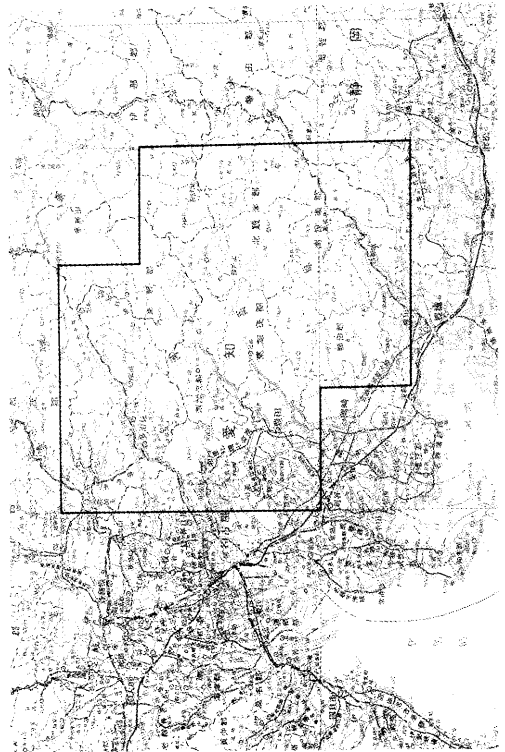


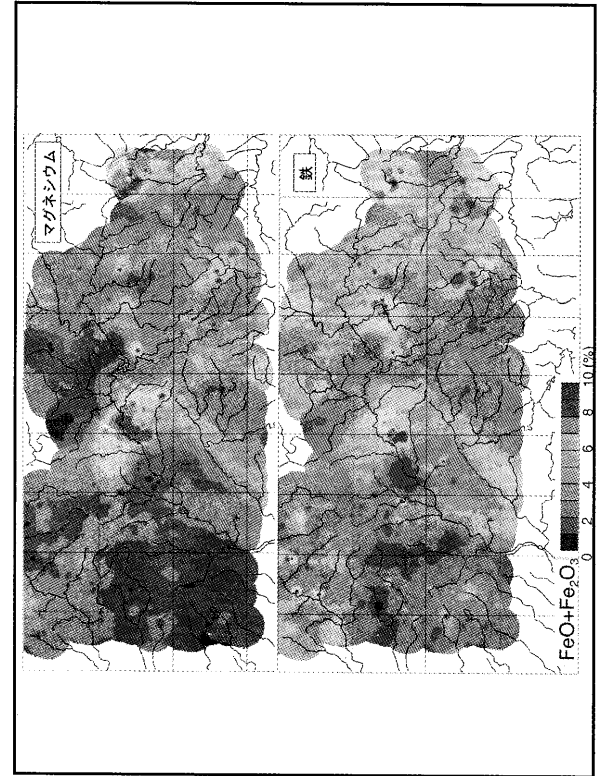
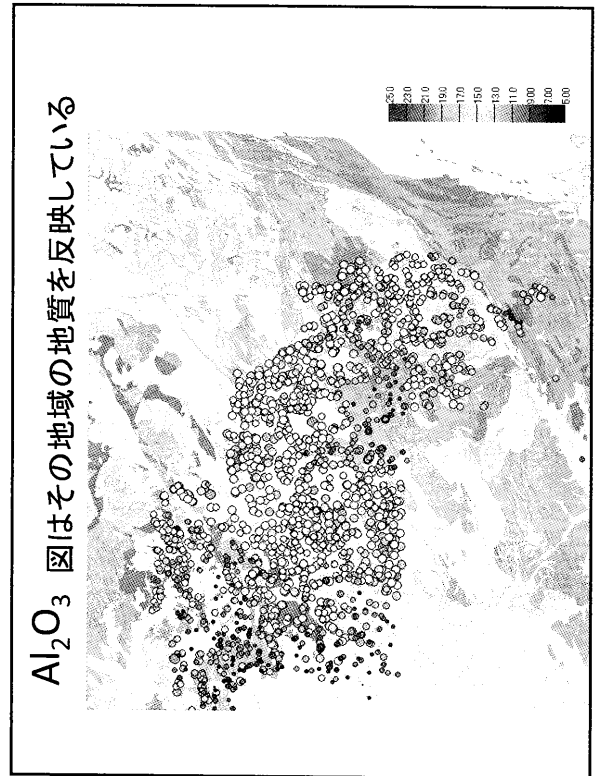
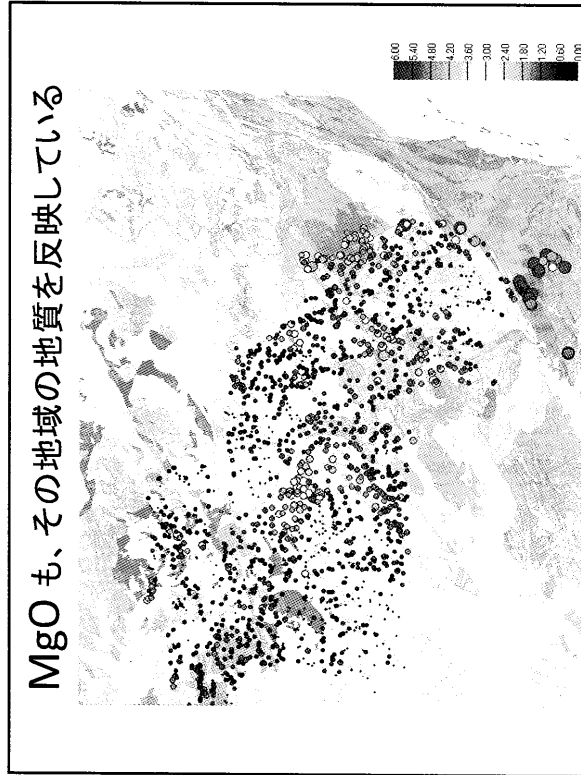
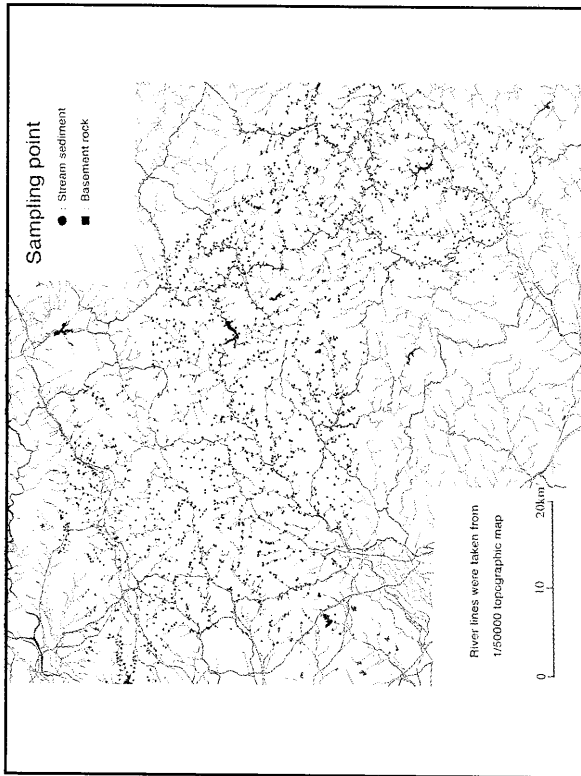
川床堆積物の採集手順

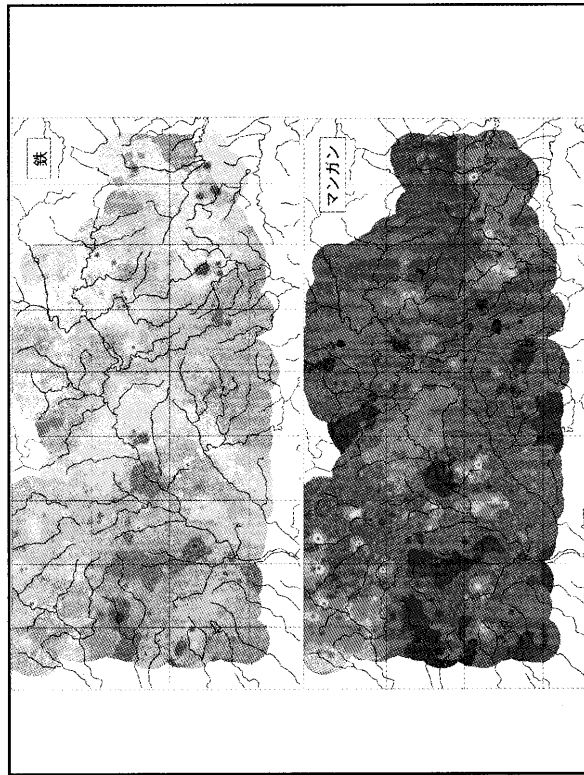
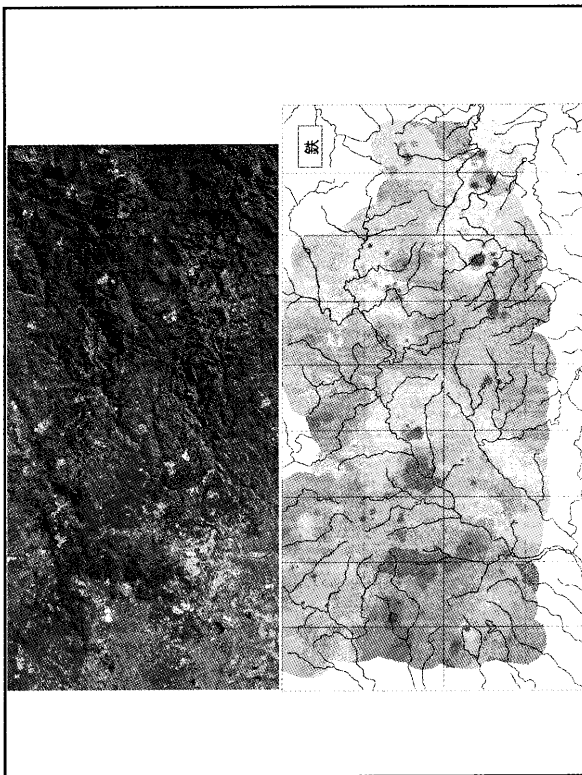
- ① 枝川の川床から1mmより細かい堆積物をつめる
- ② ①で集めた川砂を180μmの篩を通す(2回)
- ③ 細かい川床堆積物を試料としてろ紙中に回収

河床全体を代表するように様々な場所から川砂試料を集める

調査地域：愛知県東部～岐阜県南部







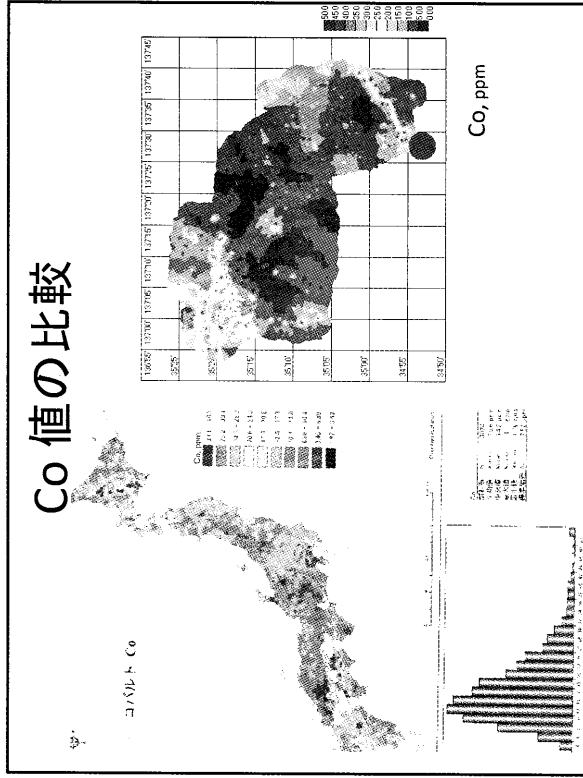
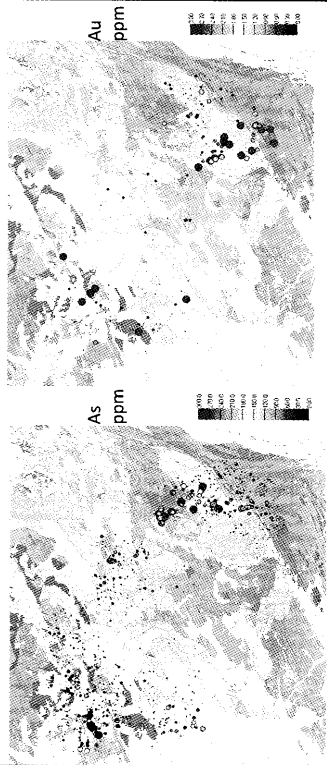
名古屋大学の地球化学図プロジェクト で用いられる分析機器とモニターされる元素

原子吸光	Na, K, Mg, Ca, Fe, Mn
ICP-AES	Al, Ti, P, Ce, Co, Cr, Cu, Ni, Sr, V, Zn
INAA	Na, K, Sc, Cr, Fe, Co, Ni, Zn, As, Se, Br, Rb, Sr, Zr, Ru, Ag, Sb, Cs, Ba
蛍光X線	La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Dy, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Th, U Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P

JRR-3または-4での気送管5分照射、4日の冷却後
名古屋大学に郵送、RIセンターでγ線測定

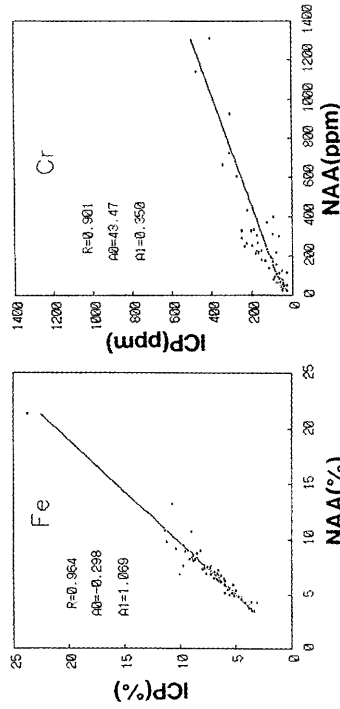


ヒ素を捨てた人は金も捨てたか！



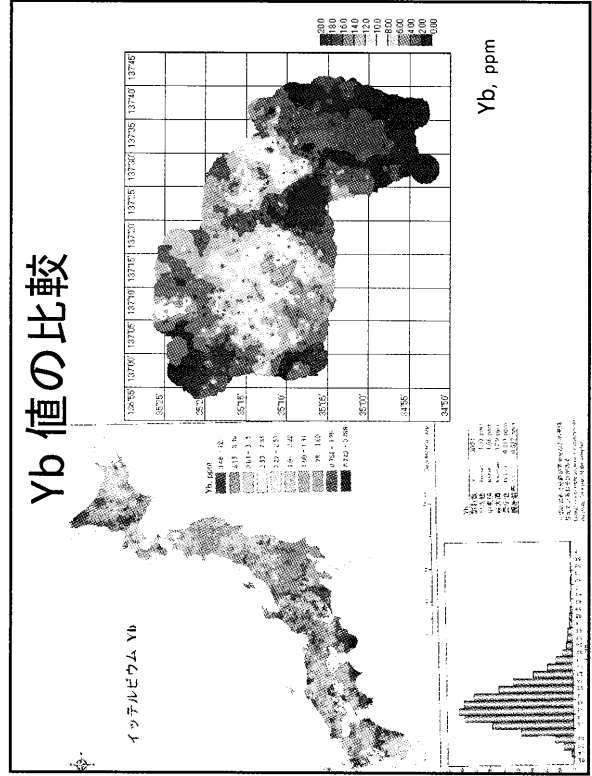
分析手法に依るデータの比較

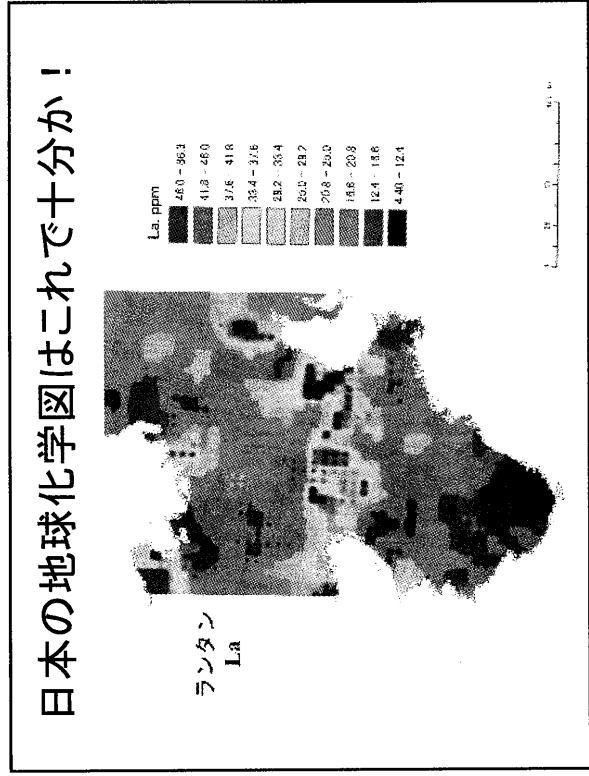
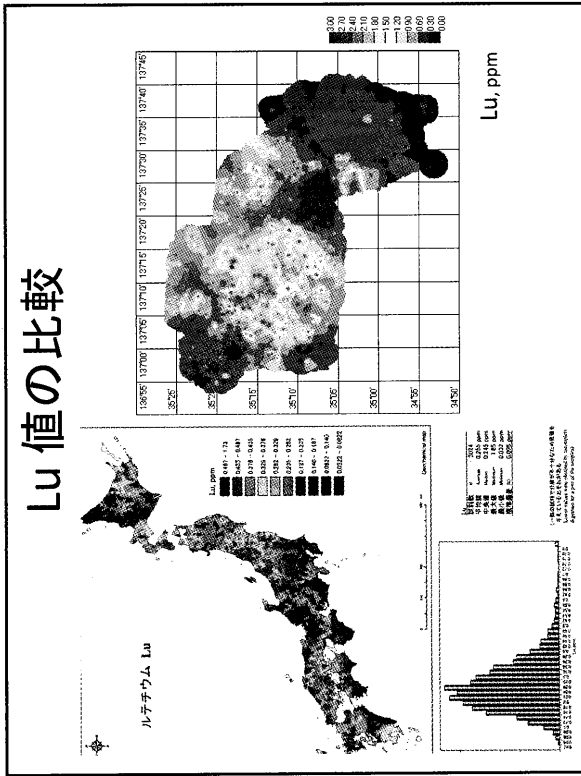
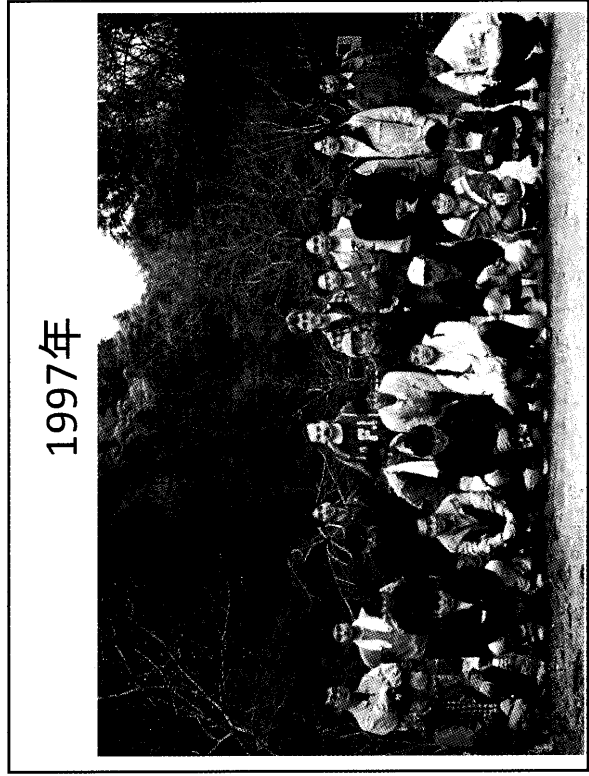
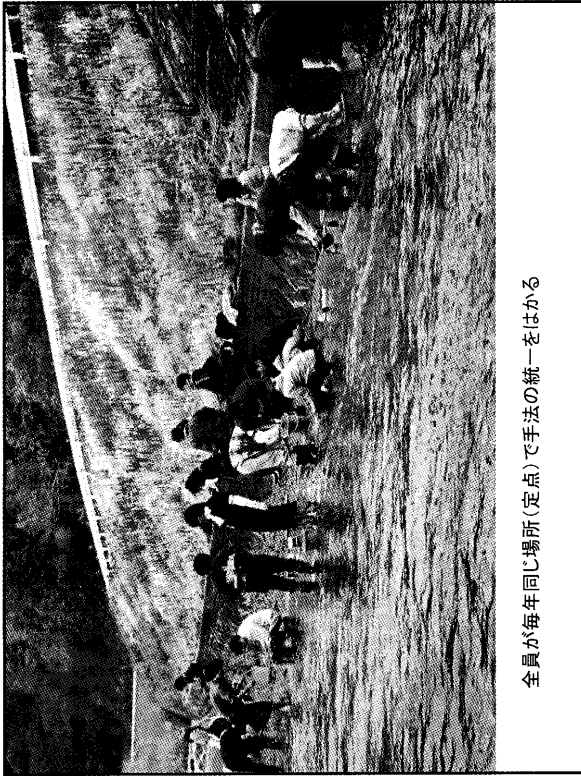
上岡 晃・田中 剛・伊藤 司郎・今井 登

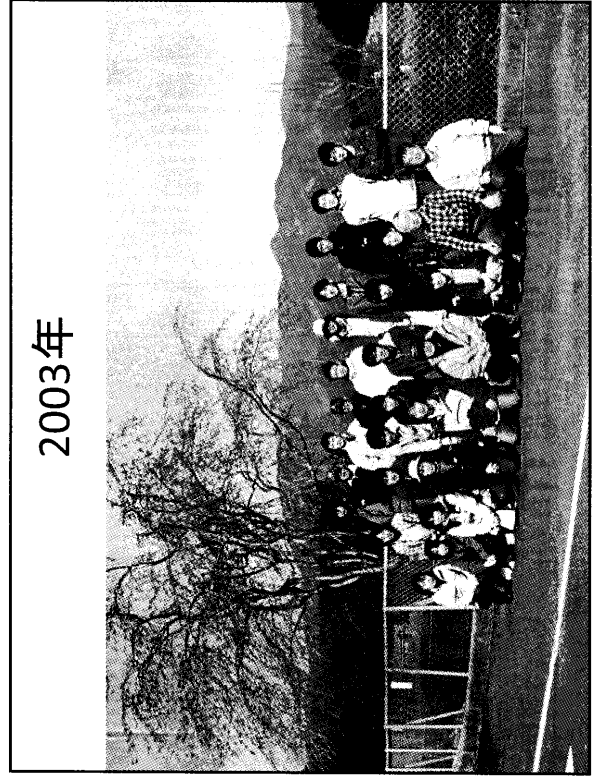
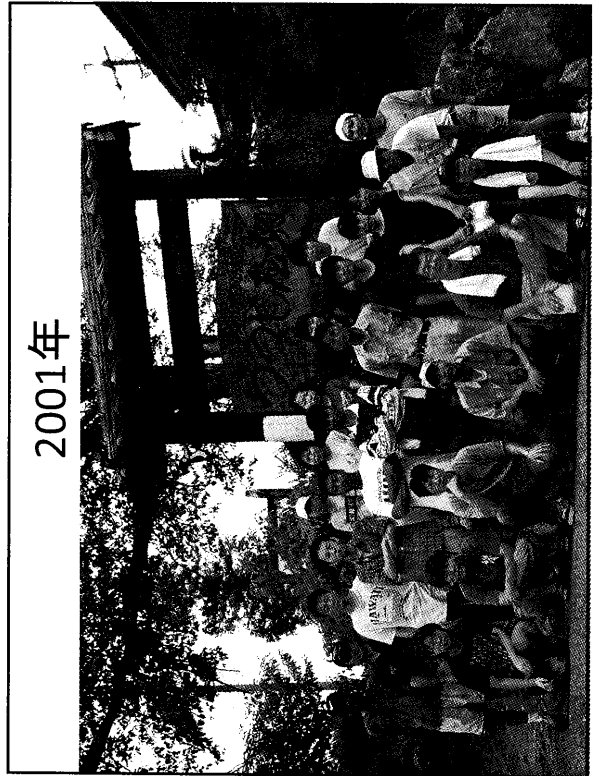
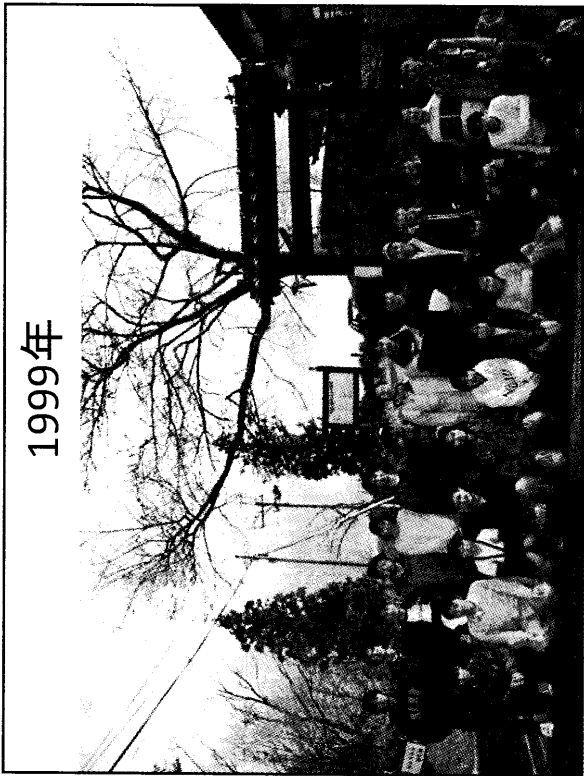


Comparisons of analytical results between different methods or laboratories for the common samples. NAA, ICP and B indicate each method or laboratory as described in table 1. Correlation coefficient (R), regression line, its slope (A1) and intercept (A0) are also shown on each figure.

ICP と NAA の分析値が等しければ、45度の線付近に分布する。
Cr は酸で分解しにくい鉱物に含まれるため、ICP の値が低い方向に分布する。







2004年



2007年



2005年



まとめ

- 地球化学図は、国土の化学情報図である。
- 地球化学図は、研究だけでなく資源評価／環境評価に用いられる。
- その解析は、目的元素だけでなく、多くの元素との関係の中でなされる。
- 中性子放射化分析は、もともと正確な値を与える分析法である。
- 地球化学図の作成は、フィールド、実習、放射線取り扱い、と楽しい教育素材である。

謝辞

- 地球化学図の作成は、名古屋大学地球惑星科学教室の、山本鋼志、南雅代、三村耕一、浅原良浩、竹内誠、吉田英一の教員方や学生達の協力で進めています。
- 中性子放射化学分析は、原研施設利用共同研究として行われ、開放研究室の澤幡浩之、川手稔、石本光憲、長須和良、名大アイントープセンターの小島久、を初めとする多くの皆様のお世話になりました。

K105

機器中性子放射化分析法と多重即発ガンマ線分析法による環境試料の多元素分析

(東京大院総合¹、原子力機構²、福井大³) ○松尾基之¹、小豆川勝見¹、藤 暢輔²、村上幸弘³、古高和禎²、木村 敦²、大島真澄²、小泉光生²

1. はじめに

環境試料中に含有される元素を定量し、その分布を明らかにすることは、試料自体の起源を知る上でも、試料の置かれてきた環境を理解する上でも重要な課題と考えられる。放射化分析法は、多元素同時定量分析が可能のため、多くの元素の分布を総合的に判断するのに最適な分析法と言える。我々はこれまでに、機器中性子放射化分析法(INAA)と中性子誘起即発ガンマ線分析法(PGA)を併用することにより、河口域や干潟の底質について、約30元素の垂直分布の検討を実施してきた。また、遠洋性海洋堆積物については、堆積当時の古海洋環境を復元することを目的として、多重即発ガンマ線分析法(MPGA)を適用し、種々の検討を行ったので、その結果を併せて報告する。

2. 河口域および干潟の底質の放射化分析

試料として、東京湾奥に位置する谷津干潟の底質を垂直方向に採取した。得られた約50cmのコアを現地で3cmごとに切り分け、酸化を防ぐためN₂中に封入した。試料はN₂を用いた加圧濾過により間隙水を取り除き、メスバウアー測定に用いた。その後、凍結乾燥を施し、めのう乳鉢で粉碎し均一にしたものを放射化分析に用いた。INAA, PGA法により、30数元素の垂直分布を得ることができた。採取した谷津干潟底質コアは深さ約25cmまでが泥質でそれ以深が砂質となっており、この変化は干潟の四方が埋め立てられたことによる影響と考えられる。得られた元素の垂直分布の多くも25cm前後で変化しており、その変化の特徴に従って4つのグループに分けることができた。これらのデータに対して主成分分析を適用した結果、底質の環境が還元になると、底質中の硫化物イオン濃度すなわち固相中の硫黄濃度が増加し、それに伴い、種々の重金属が硫化物として沈殿することが分かった。この結果は、メスバウアー分光法によって得られたパイライト(FeS₂)の垂直分布とよく一致した。

3. MPGA および PGA 法による海洋堆積物中の K/Ti 比の検討

遠洋性海洋堆積物は堆積速度が極めて遅いため、わずか数十 cm 程度のコアでも氷期一問氷期サイクルを経験した堆積物を得ることができる。本報告では南太平洋から採取した堆積物(コア長30cm)を用いて、MPGA および PGA によって得られた元素分析値から陸源破屑物の供給源の寄与(K/Ti 比)を求めた。K/Ti 比は K が大陸地殻を構成する illite に多く含まれ、逆に Ti は basalt のような塩基性岩に多く含まれることを利用している。すなわち大陸地殻物質の寄与が増加すると K/Ti 比は上昇する。この地球化学的指標が MPGA を用いても有意に得ることができるか標準参照物質を比較として検討を行った。その結果、堆積物、標準参照物質ともに MPGA は PGA と良い一致を示し、標準参照物質については保証値から求められた比の値と誤差の範囲で一致した。このことから MPGA 法を用いた多元素分析が従来の手法と同様に適用できることを確認した。今後は、MPGA が分析を得意とする高マトリクス中の微量元素の定量を試み、地球化学的指標に適用する予定である。

Multi-element analysis of environmental samples by instrumental neutron activation analysis and multiple prompt gamma-ray analysis.

MATSUO, M., SHOZUGAWA, K., TOH, Y., MURAKAMI, Y., FURUTAKA, K., KIMURA, A., OSHIMA, M., KOIZUMI, M.

第54回放射化学討論会(2010日本放射化学会年会):

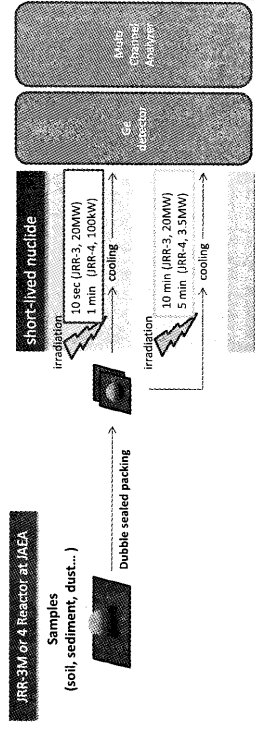
機器中性子放射化分析法と多重即発ガンマ線分析法による環境試料の多元素分析

(東京大院総合¹、原子力機構²、福井大³)

○松尾基之¹、小豆川勝見¹、藤暢輔²、村上幸弘³
古高和禎²、木村敦²、大島真澄²、小泉光生²

Determination of elements using research reactor

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



Features of environmental samples

- Complicated mixture of a lot of elements
 - Inorganic and organic elements
 - Major and trace elements
 - Toxic or harmful elements
 - Natural and anthropogenic origin
 - and so on
- Neutron activation analysis is one of the most useful methods to analyze the environmental samples

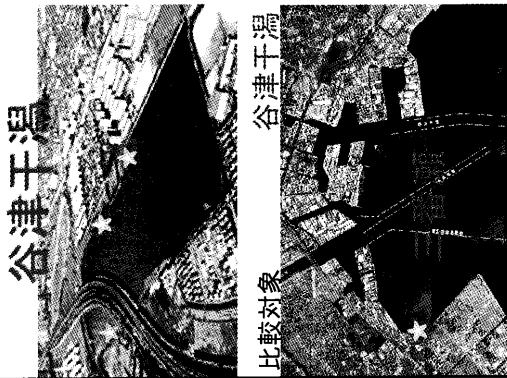
Case study 1:

干潟底質の元素分布に及ぼす周辺部埋立ての影響に関する研究

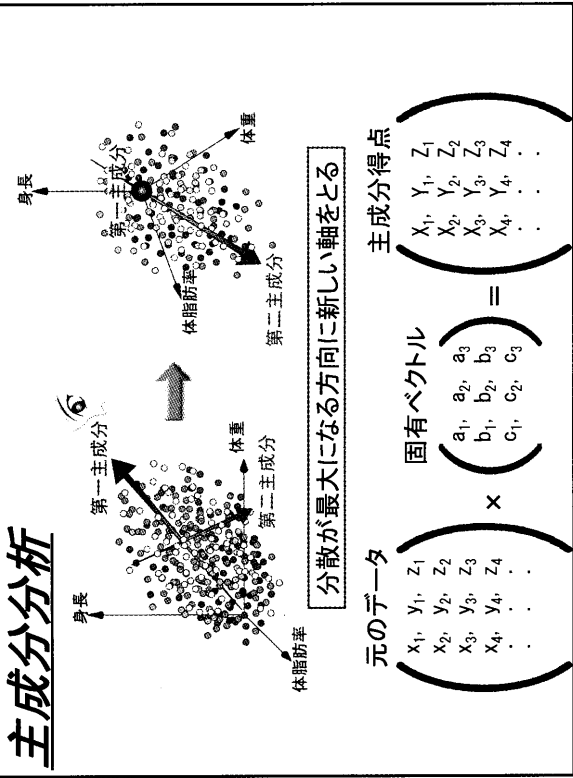
埋立てという観点から干潟底質の元素分布を分析

- 埋立ては干潟底質の
 - ① 何を(対象)
 - ② どのように(様子)
 - ③ どのくらい(程度)
- ⇒ より極端な事例をもとに、統計的手法を用いて客観的・総合的に判断
- 変化させたのか?

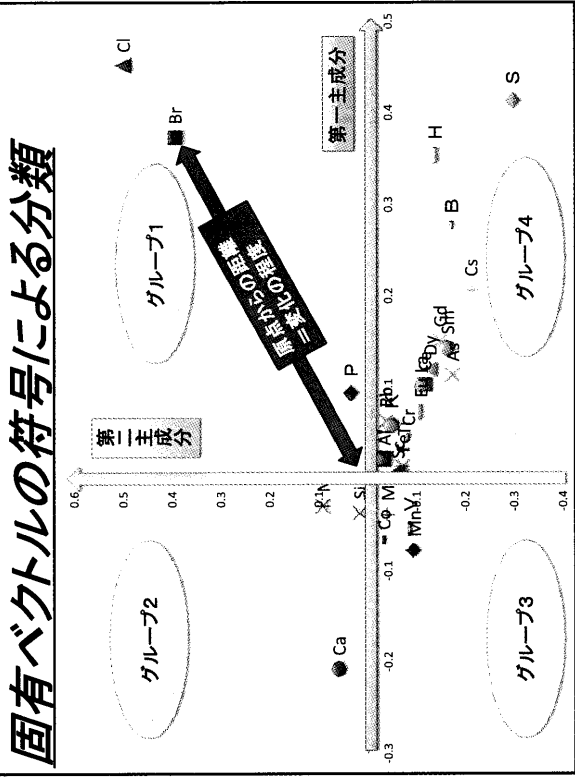
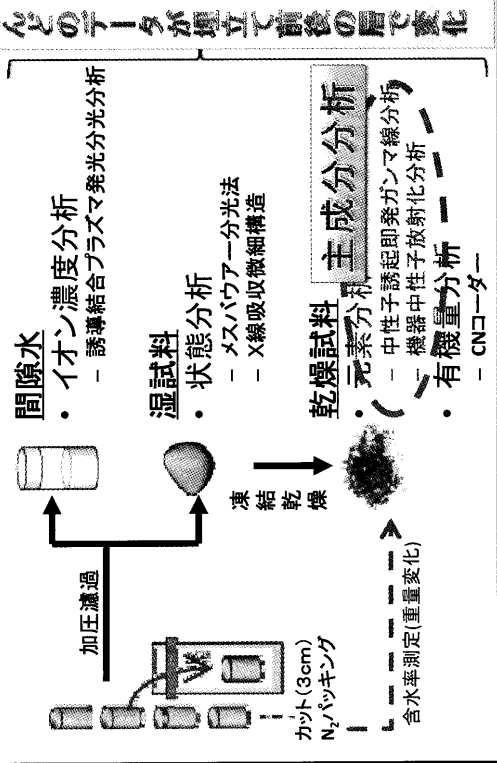
研究対象とその変遷



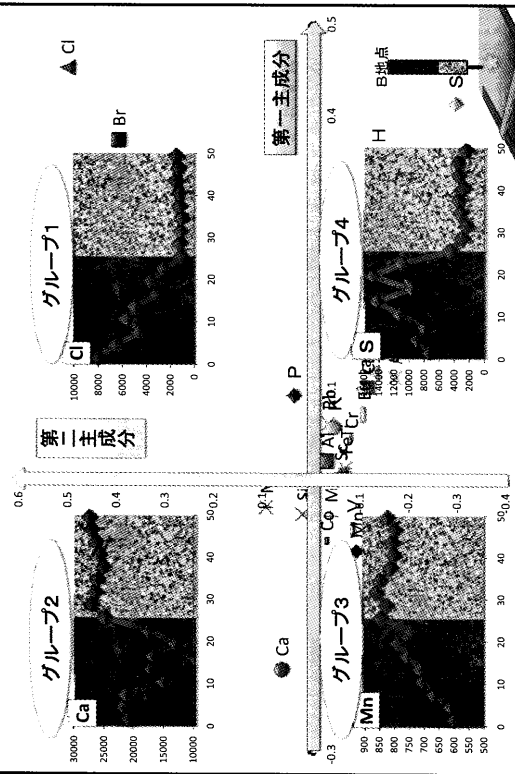
埋立てによる隔離
↓
二段階の変化
↓
高架橋による分断



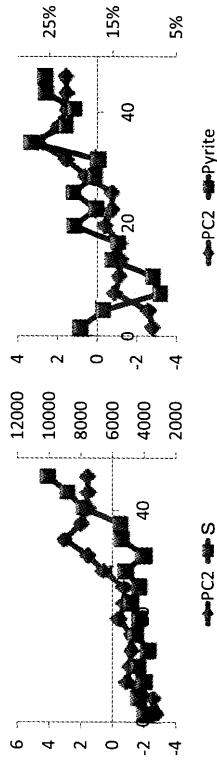
前処理 & 測定



各グループの挙動と成分の意味



第二主成分得点との比較



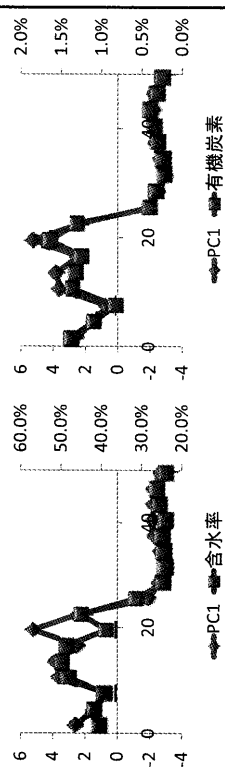
● 第二主成分得点と

硫酸還元と関連の深いS, Pyriteが一致

⇒ 第二主成分は「酸化還元」の指標たりうる

※ただし、粒径によって酸化還元環境は変化する
そのため、谷津干潟では第一主成分との関連が強い

第一主成分得点との比較



● 第一主成分得点と含水率・有機物量が一致

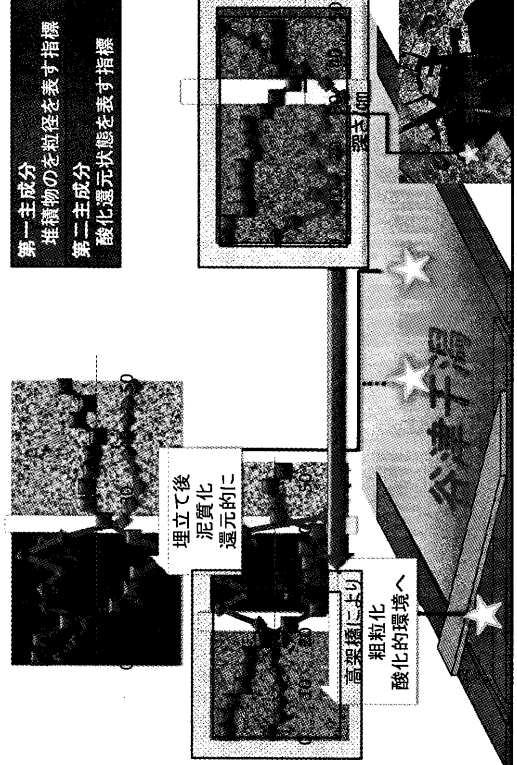
→ともに堆積物の粒径と高い相関を持つ

Emery(1972), 鎌田 泰彦(1981) etc

⇒ 第一主成分は「堆積物の粒径」の指標

と考えられる

主成分得点からみた干潟の変遷

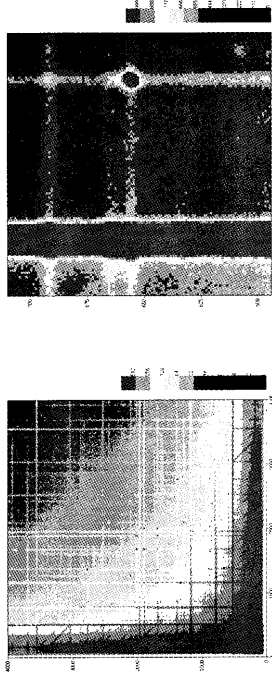


Case study 2:

MPGAおよびPGA法による海洋堆積物中のK/Ti比の検討

- MPGAによる環境試料測定(2006年~)
 - 試料別(ユーズ別)測定条件の最適化
 - 解析方法のブレークスルー
 - Cd検出限界下限の向上
- 地球化学的指標への応用
 - MPGAの特性を活かして得られた定量値を既存の手法と比較することで地球化学的指標への応用を検討
 - K/Ti比を用いた大陸起源物質の寄与の推定

谷津干潟底質の2次元マトリクス(07年度)
(558.5-651.3keV)



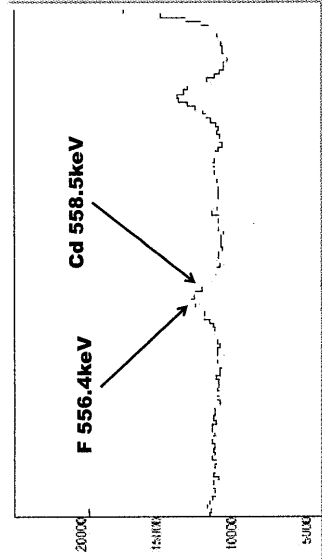
全体図

拡大図

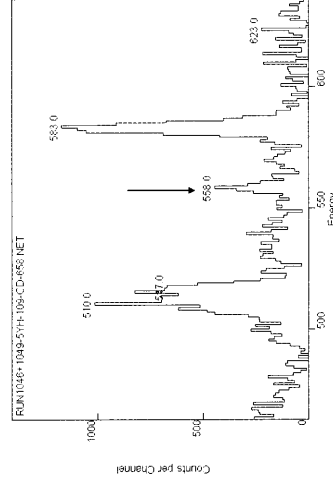
底質・堆積物におけるCd検出限界

MPGA-singlePGA測定(2008年)

- F(556.4keV)がCd(558.5keV)を妨害する
- Cd 1ppm程度が限界とされてきた

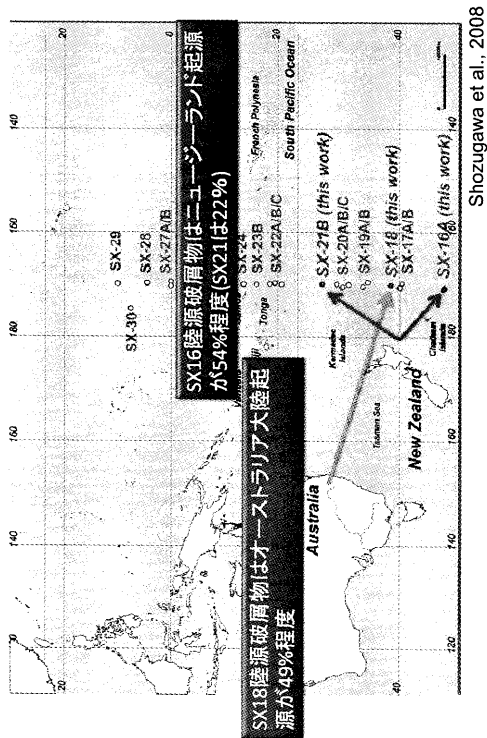


谷津干潟底質(07年度)



射影スペクトル
(矢印の所がCdのピーク)
97.7時間測定
JPSを基準とした時の分析値
Cd定量値 0.46±0.14ppm

堆積物に含まれる陸源破屑物の供給源



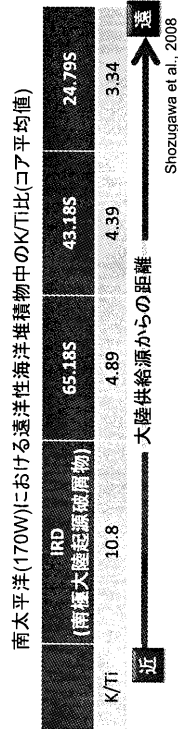
MPGAとPGAによるK/Ti比の比較

	PGA	MPGA	(certified value)
South Pacific Ocean Sediments	6.77	6.73	-
20.8kyr		↔ 1	
36.2kyr	6.68	6.69	-
Pond Sediment (Nies No.2)	0.719*	1.10	1.06
Standard reference materials	1.13		↔ 2
JLk-1 (AIST)	3.23*	5.70	5.89
	5.85		

- *measured in 2004
1. MPGAから得られたK/Ti比はPGAと非常に良い一致を示した。
 2. 海洋堆積物とは構成元素が異なる(マトリクスに違いがある)標準参照物質でも良い一致が得られた。

供給源推定の指標としてのK/Ti比

- 堆積物に含まれるKはilliteに多く含まれ大陸起源であることを示唆
- Tiはbasaltなどに多く含まれ島弧などが起源



南極大陸(あるいはオーストラリア大陸)からの距離とK/Ti比には強い負の相関が見られる

まとめ

- MPGAを用いた多元素分析が従来の地球化学的インデックスに適用可能であることを確認できた。
- 今後はMPGAが得意とする高マトリクス中に存在する微量元素の定量を試み種々の指標に適用する予定である。

(愛媛大学農学部) 河野公栄

今日、環境汚染物質として数多くの化合物が知られているが、なかでも有機ハロゲン化合物は化学的に安定で生物に毒性影響を及ぼすことから注目され、環境中における分布、挙動及び生物における蓄積と毒性影響に関して多くの研究が行われている。特にヒトを含む野生生物に対する毒性影響が強く、長距離移動によって地球規模で汚染が拡大している有機ハロゲン化合物 12 種が残留性有機汚染物質(Persistent Organic Pollutants: POPs)として、ストックホルム条約(別称 POPs 条約、2001 年採択)でリストアップされ、国際的監視のもと製造・使用の禁止、排出の削減、さらにそれら 12 種の化合物を含む廃棄物の適正処理等を通して汚染の低減化がはかられている。近年の POPs 条約の動きとしては、2009 年に新たに有機フッ素化合物を含む 9 種類の化合物が規制対象に追加された。しかしながら、それら以外にこれまで未検討の有機ハロゲン化合物の環境残留も懸念される。

有機ハロゲン化合物は、環境中で安定、かつヒトをはじめ生物に毒性影響を及ぼすなど共通した性質を有することから、本研究はこのような有機ハロゲン化合物をいわゆる有機態ハロゲン(Extractable organic halogens: EOX)という総体としてとらえ、そのなかで個々の有機ハロゲン化合物の位置づけを行うとともに、未検討の有機ハロゲン化合物の検索のための手がかりを得ることを目的としている。

具体的な試料調製は、野生生物試料中の EOX を有機溶媒で抽出し、純水での洗浄及びゲル浸透クロマトグラフィーによって無機ハロゲン及び妨害物質を除去した後、日本原子力研究開発機構、東海研究開発センター研究用原子炉 JRR-3 及び JRR-4 を用い中性子放射化分析(NAA)を行った。INAA の分析条件は以下の通りである。試料調製法としては、有機溶媒によるソックスレー抽出後、無機ハロゲンを除去し、濃縮した後、ポリエチレン容器に入れ中性子照射を行った。照射条件は、中性子束 $5.4 \times 10^{13} \text{n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ 、3 分間であり、照射後直ちに γ -ペクトロメトリーにより ^{38}Cl (1642, 2168 keV), ^{80}Br (616, 666 keV), ^{82}Br (619, 777 keV) 及び ^{128}I (443 keV) を測定した。本分析操作による誤差は 5~11% である。個別化合物の測定に関しては、有機溶媒抽出液をフロリジルカラムクロマトグラフィーによる妨害物除去の後、GC/MS 及び GC/ECD による分析を行った。本分析法による誤差は 5% である。試料中の EOX 濃度は低レベルであるため、分析操作中の汚染には注意を要する。さらに NAA のための試料容器は、低バックグラウンドのものが望まれる。

Applications of neutron activation analysis in environmental chemistry. —Presence of extractable organohalogens (EOX) in wildlife.
KAWANO, M.

環境化学分野における 放射化分析法の利用

野生生物から検出される有機態ハロゲン
[Extractable Organohalogens (EOX)]

愛媛大学農学部
河野公栄

Study Background

Nowadays there are innumerable chemicals in commercial and domestic use. Huge masses of such chemicals are manufactured and used in various industrial processes and in the everyday life of public. For the last few decades, environmental chemists have detected some chemicals which are polluting the environment. These pollutants are ubiquitous – present everywhere on the globe, even in the Antarctic environment.

Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs)

Pesticides	Industrial Chemicals	Unintentionally Produced Chemicals
Aldrin	PCBs	PCDDs
Dieldrin	Hexachloro- benzene	PCDFs
Endrin		PCBs
Chlordane		Hexachloro - benzene
DDT		
Heptachlor		
Mirex		
Toxaphene		
Hexachloro- benzene		

(UNEP 2005)

Why do I study for Organic Halogen Compounds ?

Organic halogen compounds are especially persistent in the environment and organisms, and toxic to human and wildlife. However, in spite of the detection efforts, only a limited proportion of the chemicals in the environment have been identified and listed as pollutants.

- Persistent
- Bioaccumulative
- Toxic
- Ubiquitous

Total organohalogenes (TOX)

Unextractable organohalogenes (UEOX)

Extractable organohalogenes (EOX)

Man-made organohalogenes
(PCBs, DDTs, HCHs, HCB,
Chlordane compounds CHLs)

EOCI = Known EOCl + Unknown EOCl

Total organohalogenes (TOX), Extractable Organohalogenes (EOX) and Man-Made Organohalogen Compounds Occurred in the Environment.

What is EOX ?

Extractable Organohalogenes (EOX)

Chemical Structures:

Organically-bound halogens, such as PCBs, DDTs and Dioxins

Chemical Properties:

Lipid-soluble substances extracted with organic solvents

Persistent and bio-accumulative in organisms

Effects

For example, PCBs, DDTs and Dioxins are very toxic organochlorine compounds. However, EOX toxicities are unknown so far.

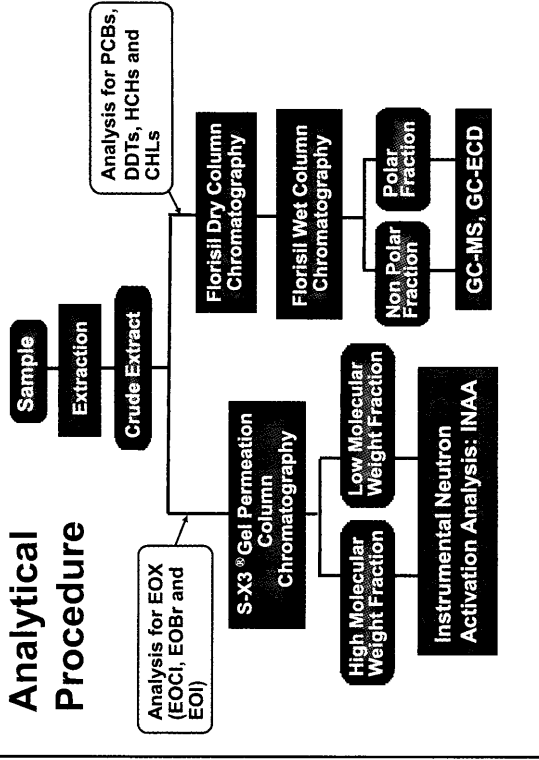
What is EOX ?

Classification on Organic Halogen Compounds and Extractable Organohalogenes (EOX).

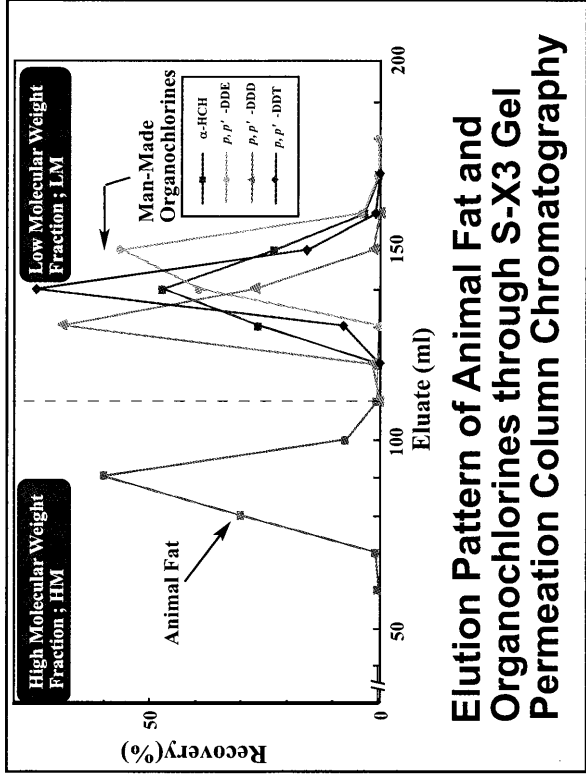
Objectives

1. Detection
 - EOX Levels in Wildlife
2. Characterization
 - Composition of Chlorine (EOCl), Bromine (EOBr) and Iodine (EOI)
 - Occurrence of Known EOCl and Unknown EOCl
 - Bioaccumulation Properties
3. Identification
 - Individual Compounds in Unknown EOX fraction

Analytical Procedure

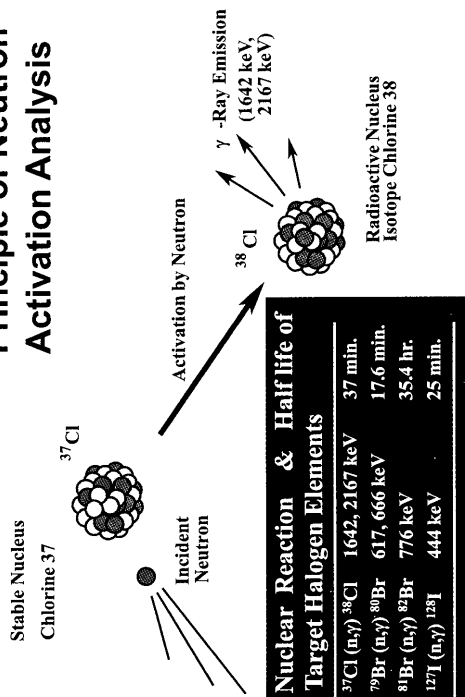


How to analyze EOX ?



Elution Pattern of Animal Fat and Organochlorines through S-X3 Gel Permeation Column Chromatography

Principle of Neutron Activation Analysis



Detection limits of activation analysis using a thermal neutron flux of $10^{13} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

熱中性子束密度 $10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ で放射化分析を行った場合の検出下限値

単位	元素名
10^{-12} g	
1	Dy, Eu
1-10	Mn, In, Lu
10 - 100	Co, Rh, Ir, [Er] Sm, Ho, Re, Au
100 - 1,000	Na, Ge, Sr, Nb, Sb, Cs, La, Yb, U, Ar, V, Cu, Ga
	As, Pb, Ag, [I] Pr, W
1,000 - 10,000	Al, [Cl] K, Se, Kr, Y, Ru, Gd, Tm, Hg, Si, Ni, Rb, Cd, Te, Ba, Tb, Hf, Ta, Os, Pt, Th
$10^4 - 10^5$	P, Ti, Zn, Mo, Sn, Xe, Ce, Nd, Mg, Ca, Tl, Bi
$10^5 - 10^6$	F, Cr, Zr, Ne
10^7	S, Pb, Fe

(Saadia Amiel, 1981)

INAA Conditions

Nuclear Reactor: JRR-4

Japan Atomic Energy Agency(JAEA)

Neutron Flux: $3.5 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$

Irradiation Time: Three min. Cooling with Dry Ice
 γ -Ray Spectrometry: Measurement Time (200 sec.)

Just After Irradiation

Target Nuclides: ^{38}Cl (1642, 2167 keV)

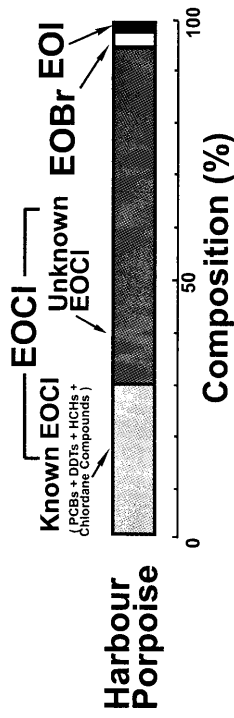
^{80}Br (616, 666 keV)

^{82}Br (777 keV)

^{128}I (443 keV)



Baltic Sea



Composition of EOX and EOCl (Known and Unknown Fractions)

Ecological Information

Harbour Porpoise (Baltic Sea)

Body Length: 140-190 cm

Body Weight: 45-65 kg

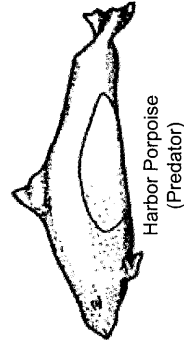
Habitat: Sub-Arctic and Temperate Zones (2.0 to 16 °C)
Coastal Area (within 10 km far from coast)

Feed: Herring

Life Span: 10 years

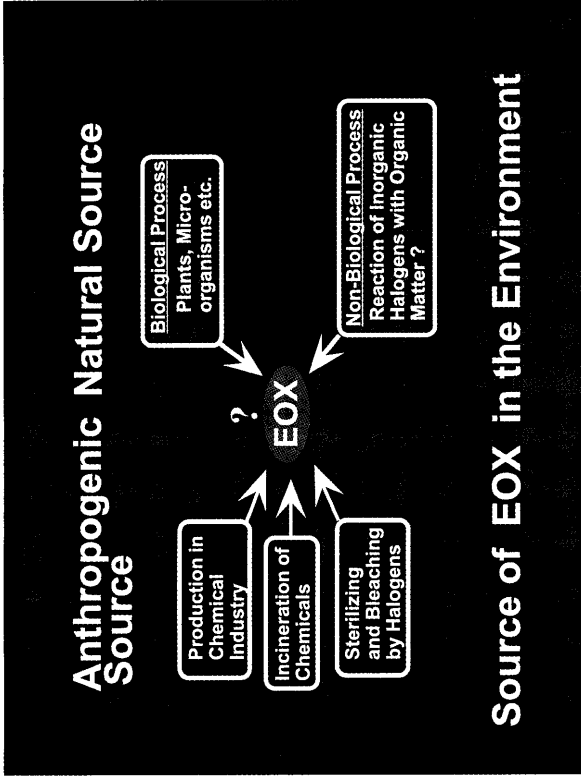
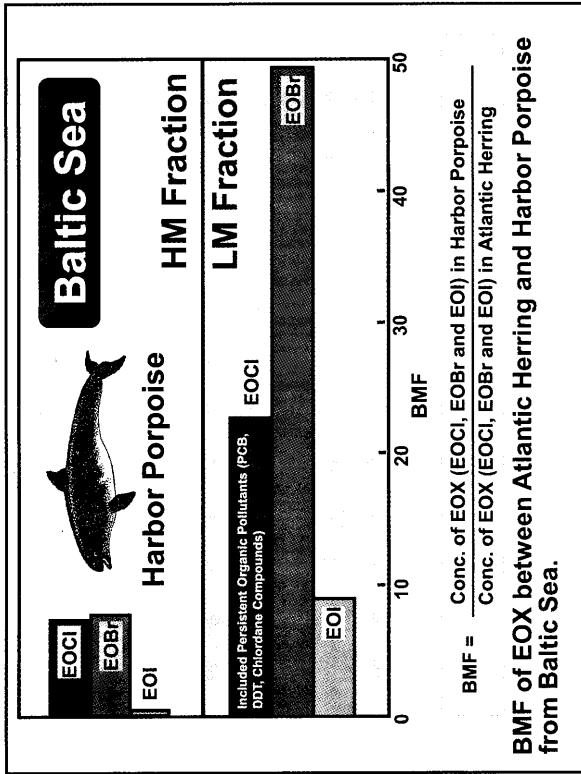
Biomagnification

Increase in the concentration of a substance through a food chain, i.e. from prey to predator.



$$\text{Biomagnification Factor (BMF)} = \frac{\text{Contaminant Concentration in Predator}}{\text{Contaminant Concentration in Prey}}$$

Some persistent substances accumulate in high concentrations in animals at the higher levels of food chains. As a result of this process of concentration through food chains, fish-eating animals such as marine mammals acquire concentrations of certain pollutants which are many higher than those found in the fish on which they feed.



Conclusions

- The order of percent compositions was Chlorine (EOCI) > Bromine (EOBr) > Iodine (EOI). This was same order as their abundance (inorganic elements) in the earth's crust.
- The percent compositions of EOCl in EOX and unknown EOCl in EOCl in harbor porpoise from the Baltic Sea were relatively high due to heavily contamination by human activities.
- Bio-accumulation Properties
BMF of EOBr in low molecular fraction was the highest among the halogens, suggesting the presence of most bio-accumulative compounds in the Baltic marine environment.

K107

古鉄中の微量元素から何がわかるか

(都市大工) ○平井昭司

「鉄は国家なり」の言葉があるように、鉄を制した国は偉大な文化あるいは偉大な権力を有することになる。人類が始めて鉄を道具として使用し、大きな帝国を築いたのは、今から約 4000 年前の西南アジアのアナトリア（現トルコ）地方のヒッタイト人といわれている。それまでの利器としては石器・土器・青銅器であったが、鉄器を武器として利用することで今まで以上の大きな力を持ち、西南アジア一帯を治めた。その後は、鉄を生産する技術がシルクロードを通り、わが国にも伝来してきた。わが国においては、砂鉄を原料としたたたら製鉄法が新たに展開し、一例ではあるが世界でも優秀な刀剣、日本刀が作られるようになってきた。一方、ヨーロッパ諸国に伝来した製鉄法は、17、18 世紀の産業革命とともに近代製鉄技術を生み出し、多量の鉄鋼を生産することで世界を制し始めてきた。その流れは、19 世紀のわが国にも強く影響を及ぼしてきた。

鉄の特質を顕著に表すのは、炭素含有量である。炭素濃度が 0.02% 以下であれば鉄、0.02% ~ 2.0% であれば鋼、2.0% 以上を鑄鉄と呼び、硬さも C 濃度が増すに連れて硬くなる性質を持つ。それゆえ、鉄器づくりにおいては、これらの性質をうまく生かせるように工夫を凝らすのが、前近代までの鉄器においては炭素以外に他の元素を混ぜて製作することはほとんどなされてこなかった。そのため、鉄器中の微量元素を分析することは、主に鉄器の純度を調べるのが目的であった。しかし、この不純物にも大事な情報が含まれている。すなわち、不純物元素の中には鉄原料のルーツが残されることになり、これらの情報から鉄原料の産地推定が可能となり、鉄の供給先や流通ものを知ることができ、当時の経済的・政治的・文化的勢力を知る上で大事な役割を担うことになる。

その役割を担える分析法のひとつとして中性子放射化分析法の存在がある。中性子放射化分析法の特長は、①少量（数 10mg）の試料で、②直接（化学分離をしない）扱い、③同時に、④多元素を、⑤高感度、かつ⑥真度高く定量できることであるので、文化財に値するような古鉄の分析法として、本法がふさわしい分析法のひとつに位置づけられる。しかし、現在、残念ながらわが国において本法を充分にも活用できる施設が備わっていない。

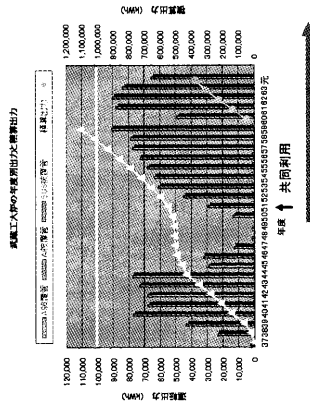
われわれのグループは、古鉄を中性子放射化分析して鉄原料の産地推定が行える指標元素を見出してきた。その元素は、As と Sb である。As と Sb は地球化学的には親銅元素といわれ、鉄と親和性が高く、鉄原料（鉄鉱石、砂鉄）を製錬しても鉄中には同じような割合で濃集する。その結果、As/Sb 濃度比を算出することで、鉄（鉄器）と鉄原料の異動識別から鉄原料の産地推定を可能にすることができた。

また、製鉄遺跡や鍛冶遺跡からは排出されたスラグ（鉄滓）が多量に出土してくる。このスラグの分析では、Ti と V に着目して分析することにより、先の As と Sb と同様にスラグと鉄原料の間で Ti/V 濃度比が同一の挙動をとることから、産地推定が行えることを見出したとともに、スラグを排出した工程（製錬過程か鍛冶過程）の区別をも行うことができた。

以上、鉄に特化した文化財試料の中性子放射化分析への応用を紹介したが、その活用となるといまだ不十分である。出土する遺物の数はいまだ増加の一步を辿り、新しい発見もなされているので、活用の機会が増えれば今後の更なる展開が期待される。

What can you know from trace elements in old iron?
HIRAI, S.

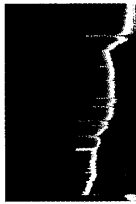
古鉄中の微量元素から何がわかるか



東京都市大学 平井昭司
2010年9月27日(月)
大阪大学吹田キャンパス 銀杏会館

中性子放射化分析による分析値

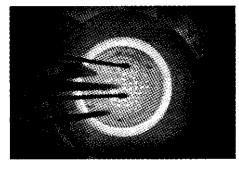
- ・ 真度(trueness)が高い
原子核の壊変現象を利用している
⇒ 化学干渉がない
広い濃度・質量範囲で直線性



・ 精度(precision)が低い
壊変現象は確率的現象
 $N \pm N^{1/2}$ (N:計数値)
分析値の精確さ(accuracy) = 真度(trueness) + 精度(precision)

中性子放射化分析の特徴

- 高感度分析(微量分析) ⇒ 微量な試料
- 多元素分析 ⇒ 軽元素を除く
- 同時分析
- 直接分析(化学分離をせず) ⇒ 機器中性子放射化分析
- 真度が高い
- 妨害・干渉反応が小さい
- 精度が劣る
- 放射能を扱う ⇒ 半減期に依存
被ばくに注意



中性子放射化分析の選択

他の分析技術にない特徴を生かした選択



- 古鉄(文化財)中の微量元素の定量
- ・ 貴重な試料 ⇒ 微量分析
 - ・ 直接分析 ⇒ 操作が容易(溶解が不要)
 - ・ 真度が高い

鉄の歴史



アラジャホエック遺跡BC2300

- BC2500～2000 隕鉄・自然鉄・自然鉄鉱石の還元
- BC2000～1200 ヒッタイト帝国(アナトリア, 現トルコ)

↓
各地へ伝搬

日本 ← 中国・朝鮮半島

弥生中期(BC200)～弥生後期(AD300)



たたら製鉄技法の開発



鉄を分析して何を知りたいか

- 鉄の材質を知る ⇒ 鉄の生産技術を把握する
 - ⇒ 鉄の種類(軟鉄・鋼・鋳鉄)
 - ⇒ 鉄原料の種類(鉄鉱石・砂鉄・隕鉄)
- 鉄の産地を知る ⇒ 鉄の供給・流通経路の把握
 - (鉄原料の産地)

技術能力及び政治的・経済的・文化的勢力の把握

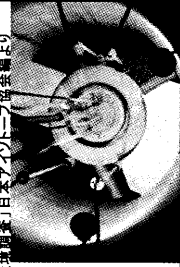
微量元素が有力な指標元素となる!

鉄の中性子放射化分析 (Feの原子核反応)

表 中性子によるFe原子核の主な核反応

標的核種	天然存在度 (%)	核反応	生成核種	半減期	熱中性子断面積 (barn)	共鳴積分 (barn)	速中性子断面積 (barn)	γ線エネルギー (keV)
⁵⁴ Fe	5.84	n, γ	⁵⁴ Fe	2.6y	2.5	-	-	-
		n, p	⁵⁴ Mn	313d	-	-	48×10^{-3}	835
		n, α	⁵¹ Cr	27.8d	0.37	-	0.37×10^{-3}	320
⁵⁸ Fe	91.68	n, γ	⁵⁸ Fe	安定	-	-	-	-
		n, p	⁵⁸ Mn	2.58h	-	-	-	-
⁵⁷ Fe	2.17	n, γ	⁵⁷ Fe	安定	-	-	0.87×10^{-3}	2113, 1811, 847
⁵⁹ Fe	0.31	n, γ	⁵⁹ Fe	45.0d	1.14	0.58	-	1292, 1099

「放射化分析による環境調査」日本アイソトープ協会編より



妨害核反応の影響を考慮

JRR-4
100kW
⁵¹Cr : Cr 214μg/Fe (g)
⁵⁶Mn : Mn 284μg/Fe (g)

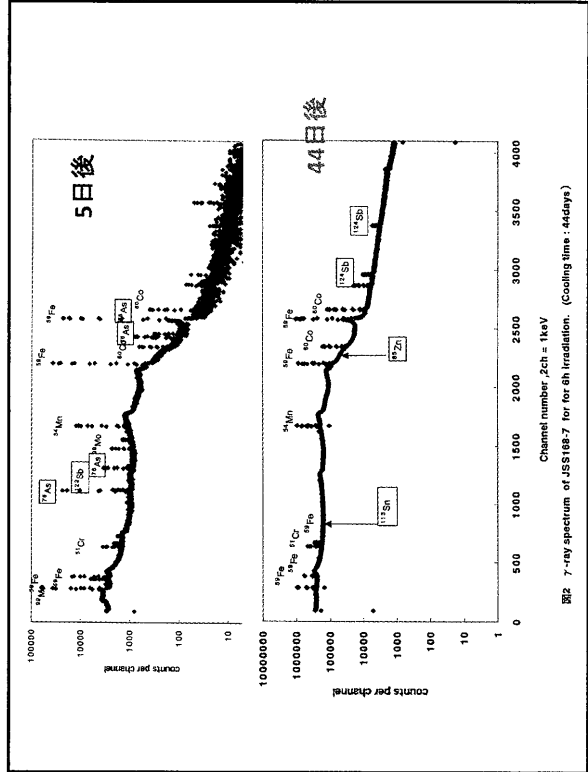
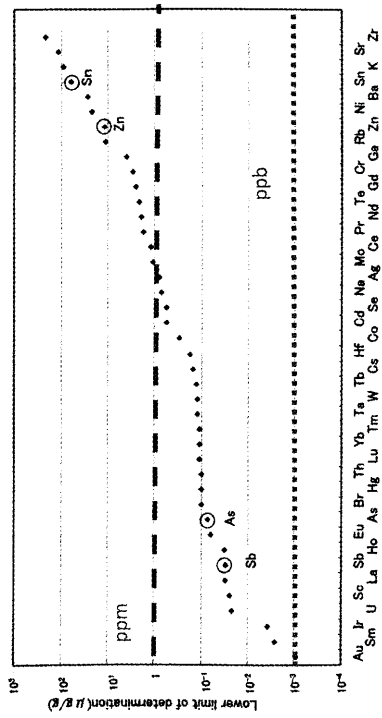


図2 7-γ線スペクトル (JSS1887 for 6h irradiation. (Cooling time : 44days))

高純度鉄中の微量元素の定量下限値 (INAA)



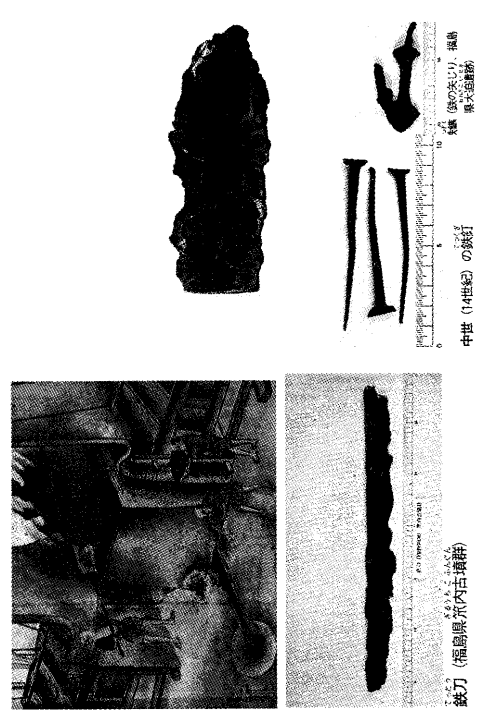
中性子束: 4×10^{12} n cm²/sec
試料量: 0.1~0.5g

周期表

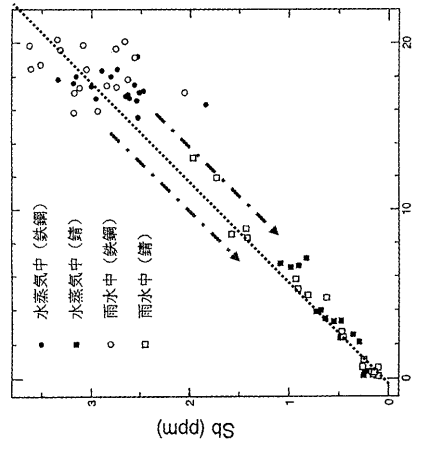
元素簡期表 (2003)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8	9	10	11B	12B	3B	4B	5B	6B	7B	0	
1	H																He	
2	Li	Be															Ne	
3	Na	Mg															Ar	
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Uub	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo		
ランタノイド																		
アクチノイド																		

文化財鉄器への展開

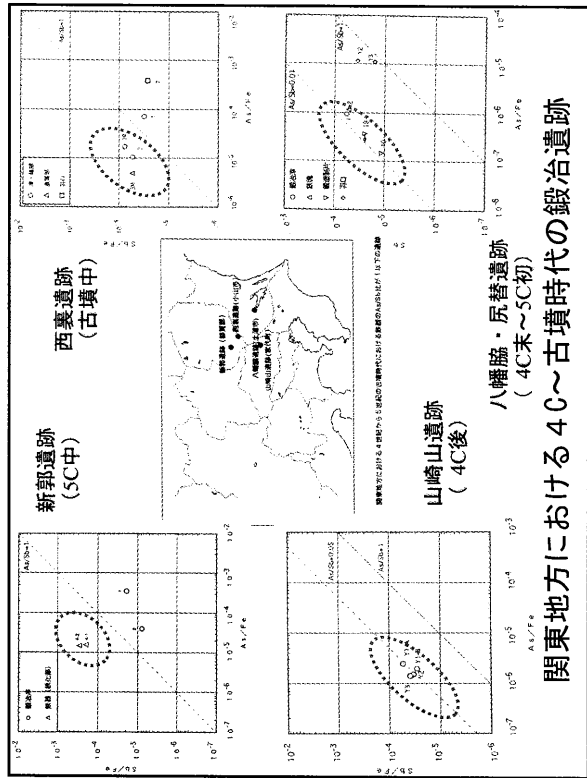
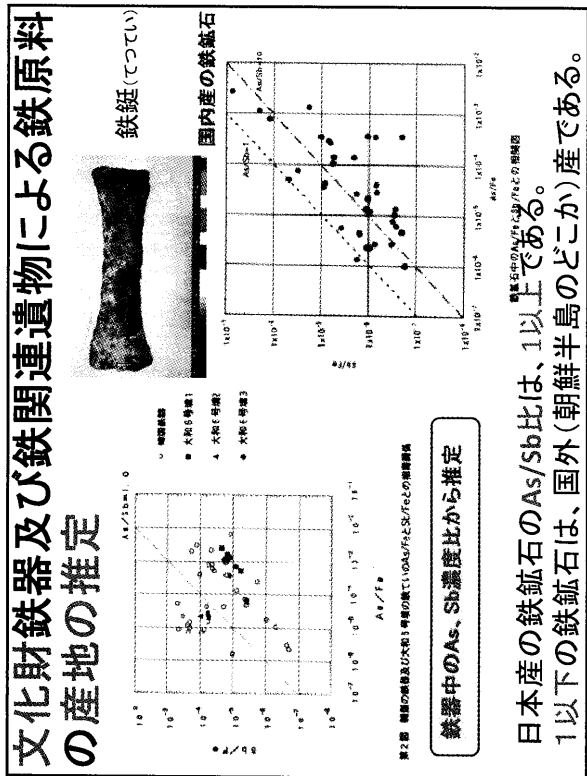
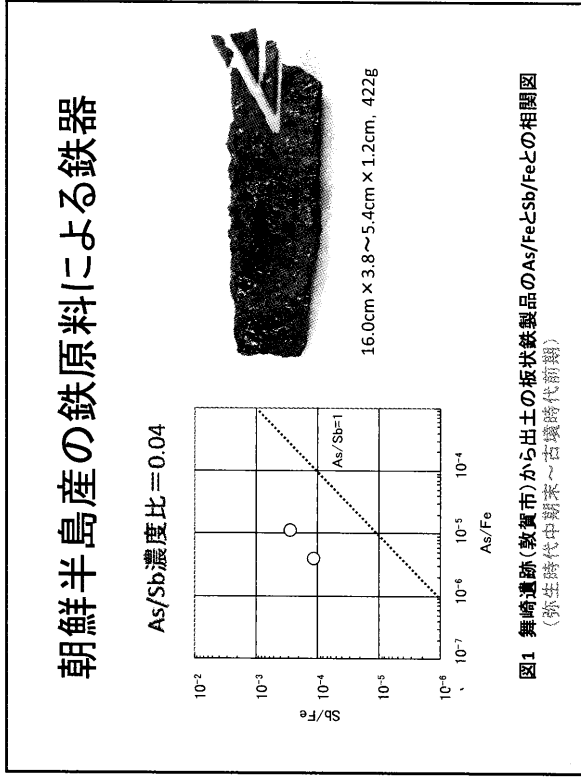
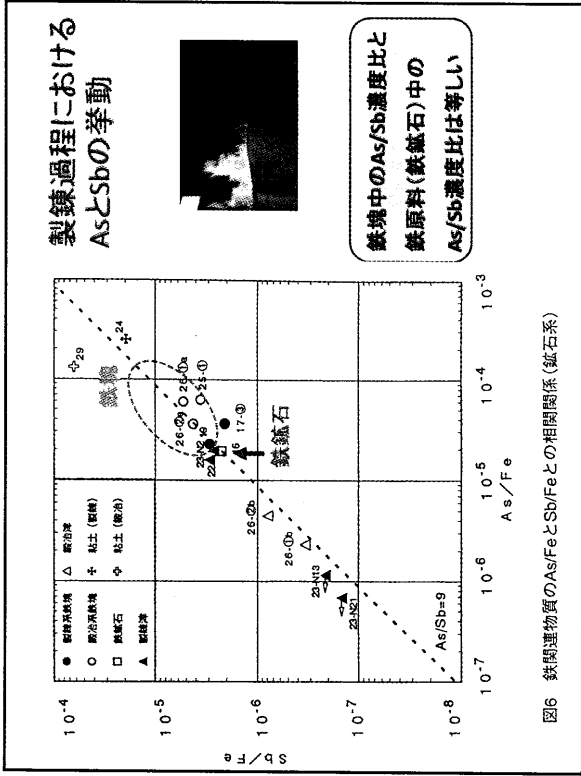


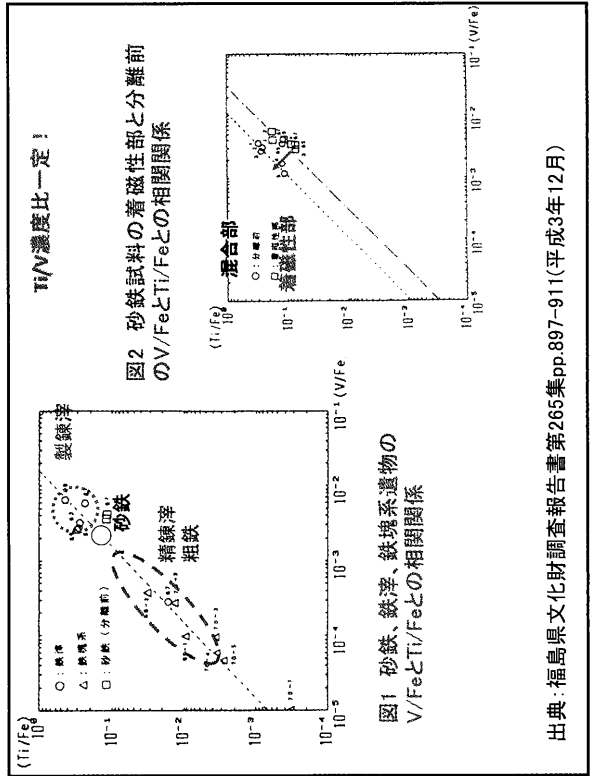
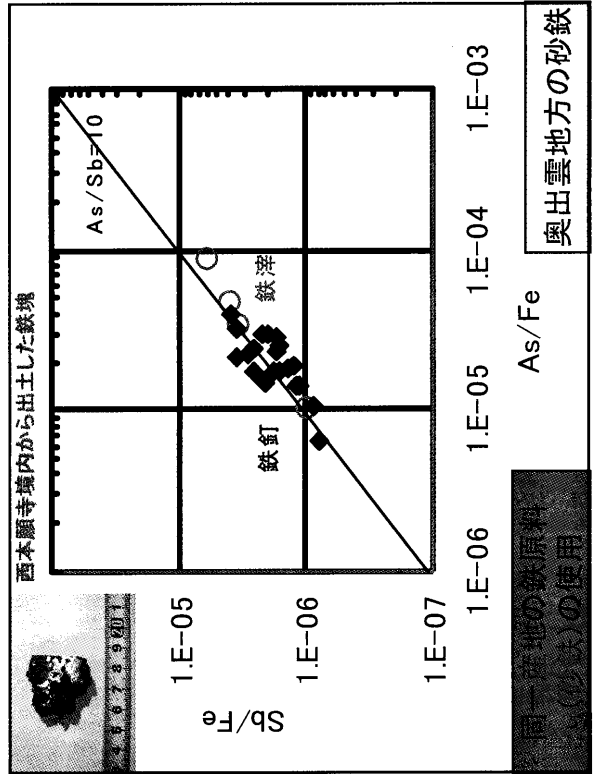
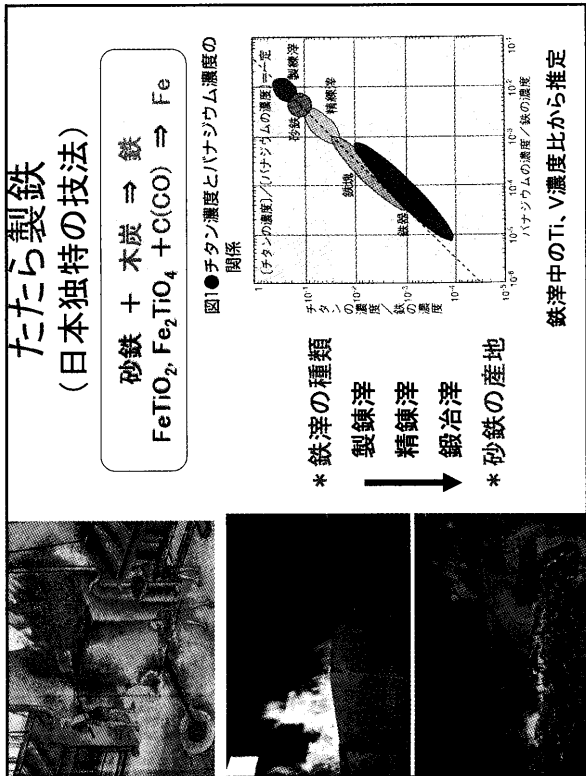
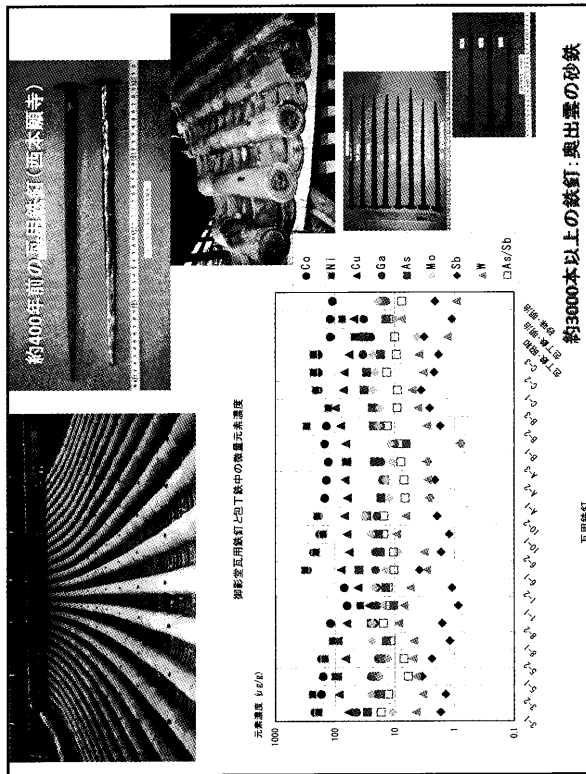
鉄鋼中のAsおよびSbの挙動



雨水および水蒸気による錆化の影響

同一の挙動





出典: 福島県文化財調査報告書 第265集 pp.897-911 (平成3年12月)

おわりに

- 文化財としての古鉄を分析して、鉄原料の産地を推定できる。
鉄器中のAs/Sb濃度比、鉄滓中のTi/V濃度比
- 鉄滓(スラグ)を排出した工程(製錬・精錬)の区別ができる。
- 鉄の材質を調査できる。
- 鉄の生産技術を把握することができる。
- 中性子放射化分析の活用は、その特徴を生かして行うことが望ましい。

【はじめに】住重試験検査(株)は、愛媛県西条市の住友重機械工業(株)(SHI)愛媛製造所内に立地しており、'79年にSHIの100%出資の子会社として営業を開始した。

現在、①非破壊検査事業、②エンジニアリング事業、③放射線利用技術事業の3つの主要事業を柱に総合エンジニアリングサービス会社として顧客サービスを展開している。今回は放射線利用技術事業で行っているサービスの一つである、放射化分析サービス(荷電粒子・中性子放射化分析)の状況と今後の動向について報告する。

【荷電粒子放射化分析】荷電粒子放射化分析(CPAA)は、分析対象物に加速器で加速した荷電粒子を照射し、生じた放射能の種類と強度から目的元素の定性・定量を行う。この時の分析目的元素は主に軽元素(ホウ素、炭素、窒素、酸素)で、生じるRIは短半減期であり β^+ の消滅 γ 線の計測を行う。通常、母材も放射化するため、ほとんどの場合で放射化学的手法を用いて目的RIを分離する。

当社では'80年代の後半より当社保有の小型サイクロトロンを用いてCPAA受託分析を開始し、この約20年間に3,657試料を分析した。分析試料の種類は時期によって傾向が異なっており、以下に時期毎の傾向を述べる。

- (1)初期(～'96年)： 試料はそのほとんどがSiやGaAsといった半導体試料であり、半導体製造開発関連の依頼で一度に多数の試料の依頼があることが多かった。ただ、一般機器分析技術や半導体製造技術の高度化と共に依頼数は減少していき、社内標準試料の値付けなど一回に数試料の依頼へと徐々に移行していった。
- (2)中期('97～'02年)： 鉄鋼・非鉄材料などの半導体以外の金属材料の依頼が増えるが、半導体同様、製造方法などがある程度確立すると減少した。
- (3)現在('03年～)： 一部の半導体材料の品質検査にCPAAが採用され、まとまった数の依頼があるようになった。それ以外では光学材料や非鉄材料の依頼が増え、半導体関連でもLSIではなく太陽電池向けと見られる分析依頼が増えている。

【中性子放射化分析】中性子放射化分析(NAA)の受託分析を、'08年よりJRR-3を利用して開始した。今年度までにすでに3000試料を越える分析を実施している。試料の種類は主に大気環境試料で、K0法で定量を行っている。また、JRR-3ではNAA以外に即発 γ 線分析の受託分析も実施している。

【今後の動向】CPAAでは、今後もしばらくは半導体中心とした分析依頼が見込まれ、その時々々の時勢を反映した依頼があると思われる。ただし、基本的には社内標準物質の値付けや一般機器分析方法の精度確認といった目的で利用されるため依頼数は爆発的には増えず、年間の依頼数は300-400試料で推移すると予想される。NAAは環境試料を中心に需要が見込まれるが、マシンタイムの制約があるため他の一般機器分析へと依頼が流れることが予想される。

Current request situation of contract activation analysis service in S.H.I. Examination & Inspection Ltd. and trend in the future
NAGANO, A.

【はじめに】京都大学原子炉実験所は京都大学研究用原子炉 (KUR)、臨界集合体実験装置、電子線型加速器といった実験施設を有し、放射化学、原子核工学、核物理、医学など様々な分野の実験研究が行われてきた。これらの施設は共同利用として全国の大学を中心とした研究者に利用されており、特に KUR を用いた放射化分析研究は多くの共同利用実験者に支えられ、京大炉の共同利用における中心的な役割を果たしている。この KUR は 2006 年 2 月に燃料の低濃縮化のために一旦運転を休止し、2010 年 5 月に低濃縮燃料を用いて運転が再開され、同年 6 月から共同利用実験が再開された。KUR の再開後においては、休止前まで行われてきた放射化分析実験を継続するだけでなく、より高度な利用体制を構築することを目的とし、休止期間中に既存の施設の改修や新たな実験装置の導入を行った。

【施設・設備】既存の施設の改修としては、圧気輸送管照射設備の制御系統の全面改修を行うことでより安全で利用のしやすい中性子照射を可能とし、オートサンプルチェンジャーを含むガンマ線分析装置の整備および制御系統の改修を行うことで、ガンマ線測定の利便性の向上などを行った。その他のホットラボの安全監視系統についても全面的な改修を行い、実験者が安全に実験を行うことができる環境を整備した。新たな実験装置としては、原子力基礎盤戦略研究イニシアティブに採択された課題「京大炉 (KUR) 及びホットラボの利用高度化に関する研究」によって、即発ガンマ線分析 (PGA) 装置および短寿命核種測定システムの導入を行った。PGA 装置は世界一の性能を誇るスーパーミラー中性子導管に接続され、中性子ビーム強度は高くないがバックグラウンドの低い測定環境における精密測定が期待される。短寿命核種測定システムは、Ge 半導体検出器と井戸型 NaI 検出器からなるコンプトンサプレッション機能を有するガンマ線スペクトロメトリ装置と照射試料の迅速搬送システムを組み合わせた装置で、圧気輸送管照射設備での中性子照射後短時間での S/N の高い測定が期待される。現在、これらの装置を使用した共同利用プロジェクト研究が行われており、様々なユーザーの意見を取り入れながら、より高度な放射化分析研究の場を提供していくことを目標としている。

【教育実習】原子力人材育成プログラム事業 (原子力総合技術プログラム) のもとに、2010 年度より KUR を利用した放射化分析実験の実習プログラムを開始する。この実習プログラムは全国の大学院生を対象として行い、実際に原子炉を用いた中性子放射化分析実験を体験することにより、中性子放射化分析実験の手法や特徴などについて学ぶとともに、放射性物質の製造、取り扱い、放射線測定といった放射化学の基礎的な知識や技術も習得することを目的としている。また、この実習プログラムを通じて放射化分析研究の裾野を広げ、多くの研究分野への適用拡大を目指している。

【将来計画】日本学術会議による提言「学術の大型施設計画・大規模研究計画のマスタープラン」において、京大炉の提案課題「複合原子力科学の有効利用に向けた先導的研究の推進」が採択され、これを将来計画の大きな柱として京大炉の将来計画の検討が進められている。本計画において放射化分析研究が中心的研究課題のひとつとしての役割を担い、京大炉におけるより高度な放射化分析研究が推進されるよう検討を行っている。

Current Status of Activation Analysis Experiments in KURRI

TAKAMIYA, K., TAKIMOTO, M., SEKIMOTO, S., OKUMURA, R., NAKANO, U., SHIBATA, S.

公募セッションK1「放射化分析の現状と将来」
原子炉施設における放射化分析の位置づけ



京都大学原子炉実験所における 放射化分析実験の現状

(京大炉・京大院工)

○高宮幸一/瀧本真己/関本俊/
奥村良/中野幸広/柴田誠一

京都大学原子炉実験所における 放射化分析実験の現状

照射設備

圧気輸送管照射設備 (Pn-1, Pn-2, Pn-3, TC-Pn)
スーパーミラー中性子導管設備
電子線ライナック

放射線測定設備

ガンマ線スペクトロメトリ装置
短半減期核種(アンチコンプトン)測定システム
PGA装置
自動測定装置

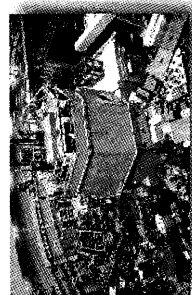
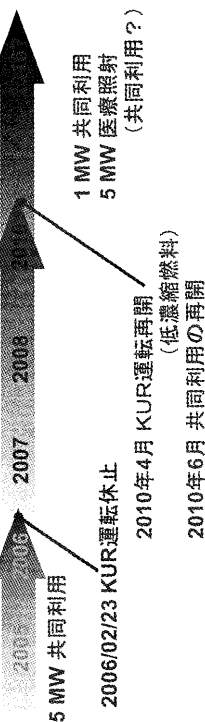
実験実習コースの開設

放射化分析実習
放射線計測実習

Hard

Soft

KURの運転および共同利用の計画



圧気輸送管照射装置・自動測定装置
PGA・短寿命測定システム
各種微量分析装置

照射設備の現状

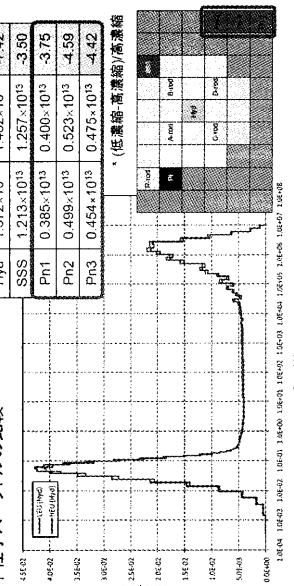
圧気輸送管照射設備 (Pn-1, Pn-2, Pn-3, TC-Pn)

高濃縮ウラン炉心との比較 僅かに中性子量が減少

熱中性子束の比較 ($E \leq 1\text{eV}$)

	低濃縮U (nV/MW)	高濃縮U (nV/MW)	差異* (%)
Hyd	1.372×10^{13}	1.482×10^{13}	-7.42
SSS	1.213×10^{13}	1.257×10^{13}	-3.50
Pn1	0.385×10^{13}	0.400×10^{13}	-3.75
Pn2	0.499×10^{13}	0.523×10^{13}	-4.59
Pn3	0.454×10^{13}	0.475×10^{13}	-4.42

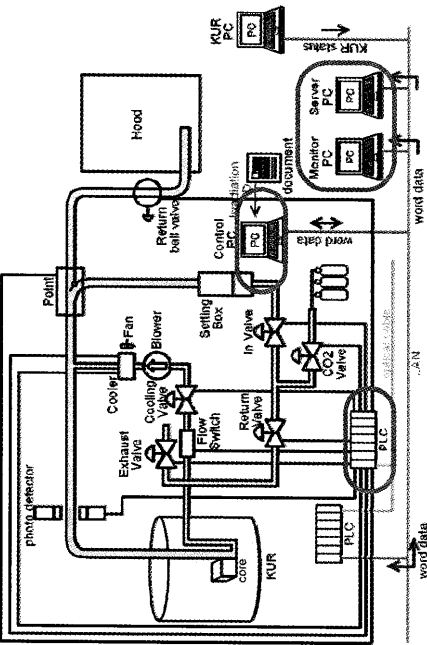
水圧輸送管における
中性子スペクトルの比較



* (低濃縮-高濃縮)/高濃縮

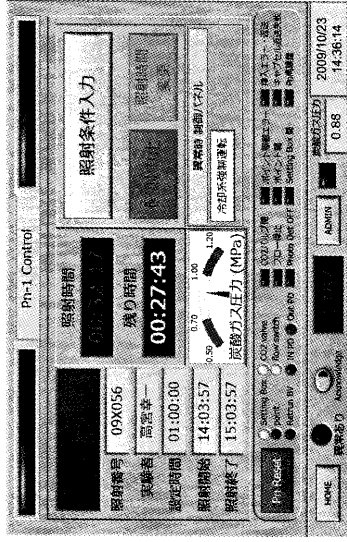
圧気輸送管照射設備 (Pn-1, Pn-2, Pn-3, TC-Pn)

PC (LabView) による PLC を用いた制御監視システムの全体像



K. Takamiya et al. J. Radioanal. Nucl. Chem. 278 719-721 (2008)

圧気輸送管照射設備 (Pn-1, Pn-2, Pn-3)



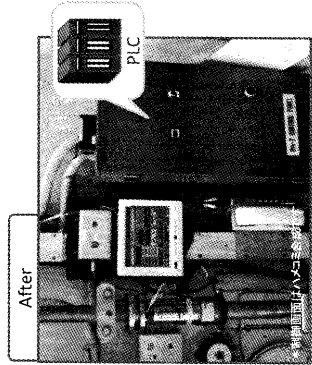
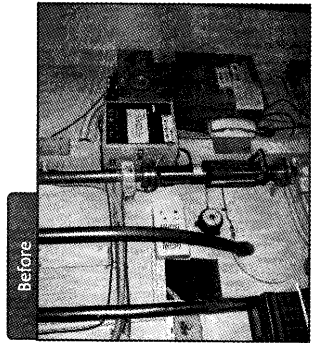
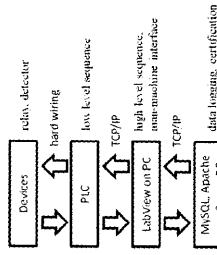
- 改善点
- インターロック強化
 - 操作の簡便化
 - 多くの情報を表示
 - 照射ログの記録
 - 装置監視の強化

Pn-1, -2, -3の制御画面

圧気輸送管照射設備 (Pn-1, Pn-2, Pn-3)

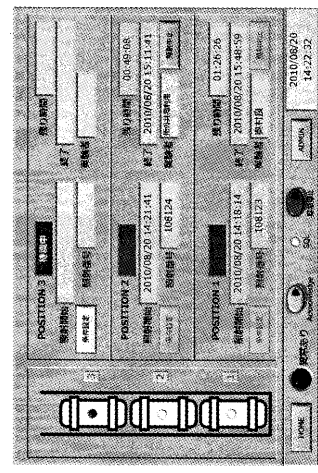
PLC (Programmable Logic Controller) を用いることで、柔軟なインターフェイス構築を可能に。

各機器の情報をサーバーに集約することで、集中管理と分散監視を可能に。



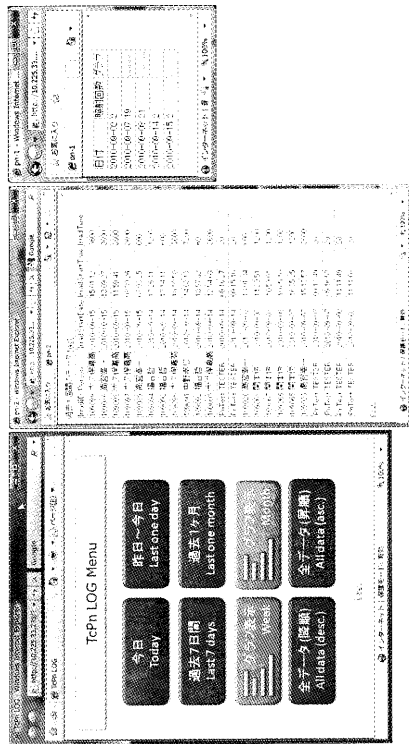
(黒鉛設備) 圧気輸送管照射設備 (TC-Pn)

- 改善点
- 3個同時に照射可能
 - インターロック強化
 - 操作の簡便化
 - 多くの情報を表示
 - 照射ログの記録
 - 装置監視の強化



TC-Pnの制御盤

圧気輸送管照射設備 (Pn-1, Pn-2, Pn-3, TC-Pn)



圧気輸送管照射設備のログ表示
(MySQL + Apache)

測定装置の現状

原子力基礎盤戦略研究イニシアティブ

「京大炉 (KUR) 及びヒットラボの利用高度化に関する研究」
(研究代表者: 川端祐司 教授)
[2008 ~ 2010年度]

微量元素総合計測システムの開発と応用研究

- 短寿命核種定量用の測定システム
照射ステーション近傍に検出器の設置
自動測定システム
- 即発ガンマ線放射分析システム
KURスーパーバーミラー中性子導管 (B4) に設置

圧気輸送管照射設備 (Pn-1, Pn-2, Pn-3, TC-Pn)

圧気輸送管照射設備の特性試験

放射化法による中性子線量測定 (Au, Au[Cd])

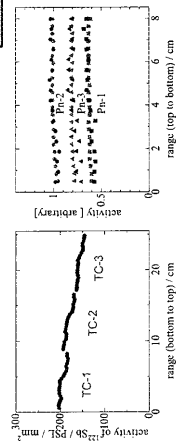
放射化法による中性子分布測定

照射中のキャプセル内温度測定

照射試料 (金属・石英など) の温度測定

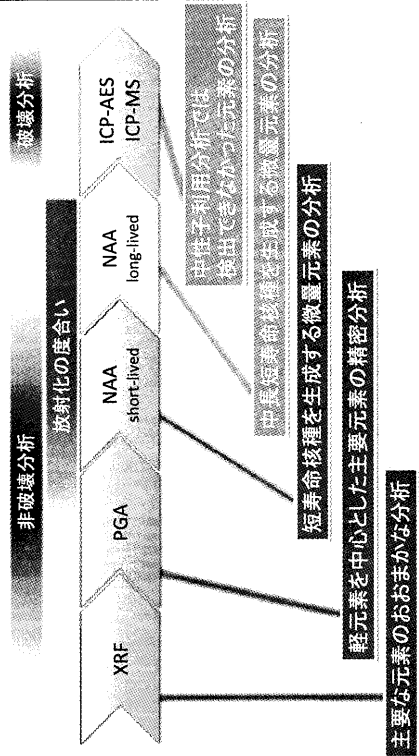
照射キャプセルの照射耐性 (強度) 試験

圧気輸送管照射設備を用いた安全な実験環境の構築
中性子照射場の特性の正確な評価

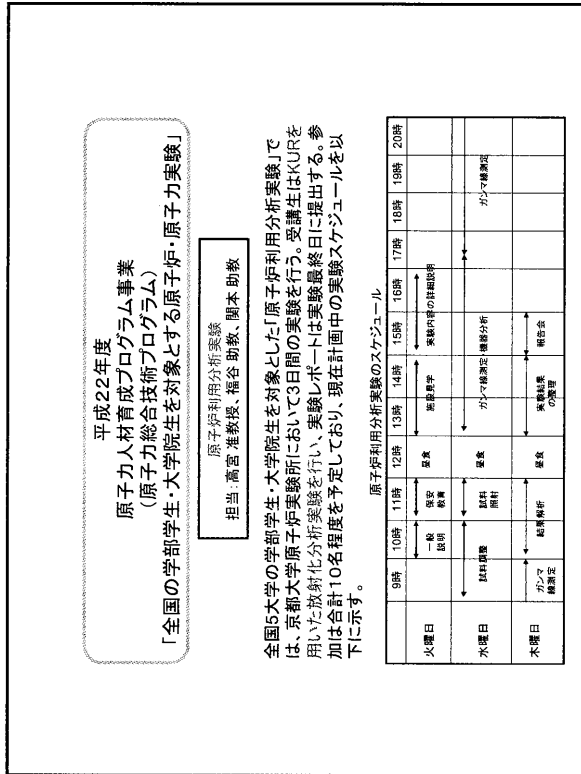
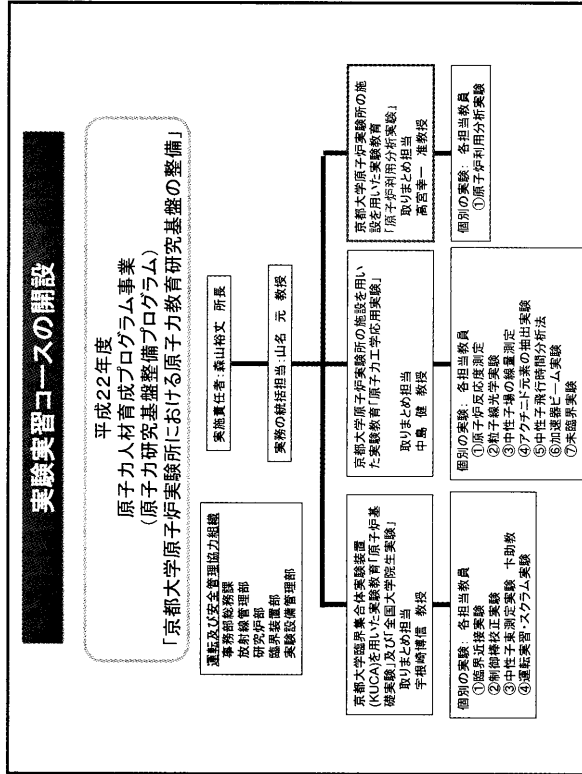
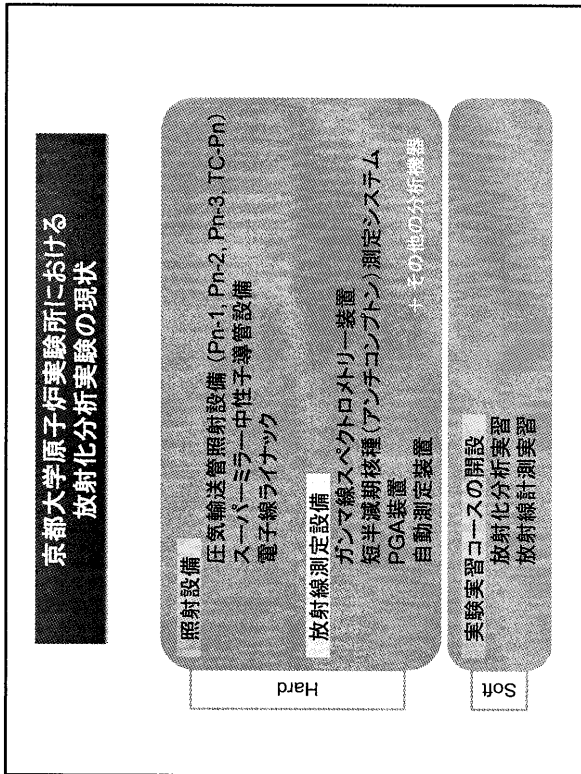
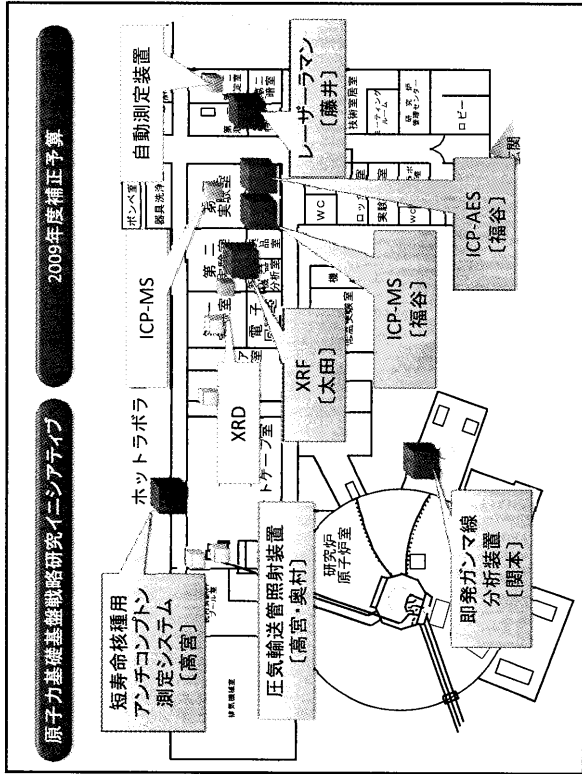


原子力基礎盤戦略研究イニシアティブ

2009年度補正予算

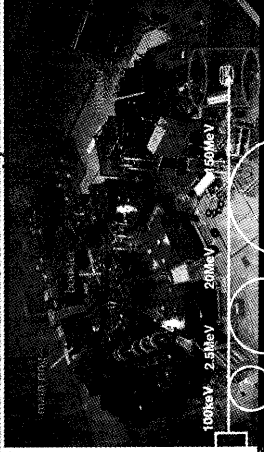


軽元素を中心とした主要元素の精密分析
主要な元素のおおまかな分析



次世代中性子源の開発

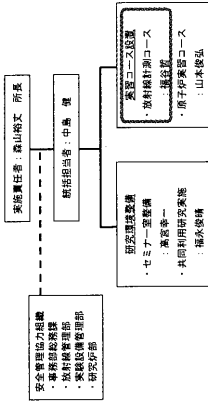
FFAG - KUCA ADSR system
schematic diagram



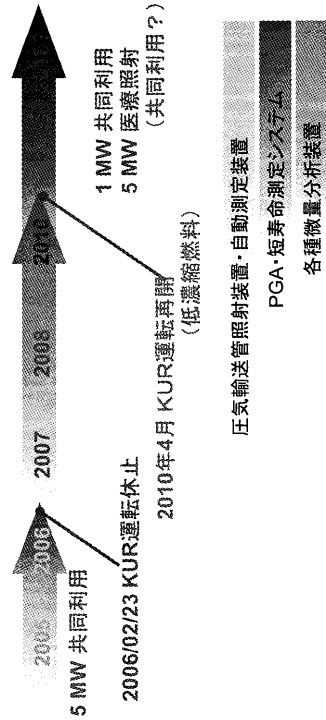
イオン源
イオンベンター
ブースター
京都大学連携研究団体
KUCA

平成22年度
国際原子力人材育成インシアティブ事業
(施設・設備の共同利用の促進事業)
「京都大学原子炉実験所における全国共同利用の促進」

実験コース設置 (対象施設: KUR及びホットラボラトリ)
当実験所が共同利用者に提供している各種の計測器等をはじめとする実験設備の
利用方法等を教育・実習するための短期 (1~3日間) コースを設置する。
設置する実習コースとしては、放射線計測コース及び原子炉実習コースとする。
放射線計測コースでは、ホットラボラトリに設置されている各種の放射線計測機
器の測定原理、使用方法を学習するとともに、測定データの解析処理方法の基本
についても学ぶ。また、KURと共有している圧気輸送管等の照射設備の利用方法を
学ぶ。



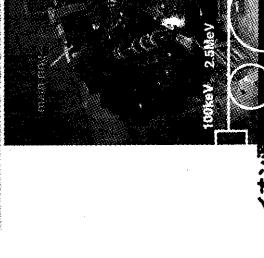
KURの運転および共同利用の計画



KUR代替中性子源の準備作業

次世代中性子源の開発

FFAG - KUCA ADSR system
schematic diagram



イオン源
イオンベンター
ブースター
京都大学連携研究団体
KUCA

提 言
学術の大規模設計画・大規模研究計画
一企画・推進策の在り方と
マスタープラン策定について一

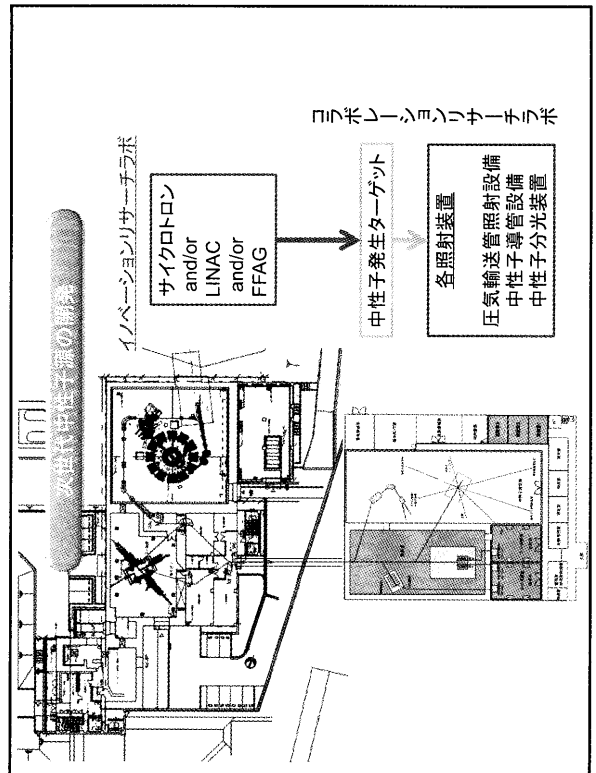
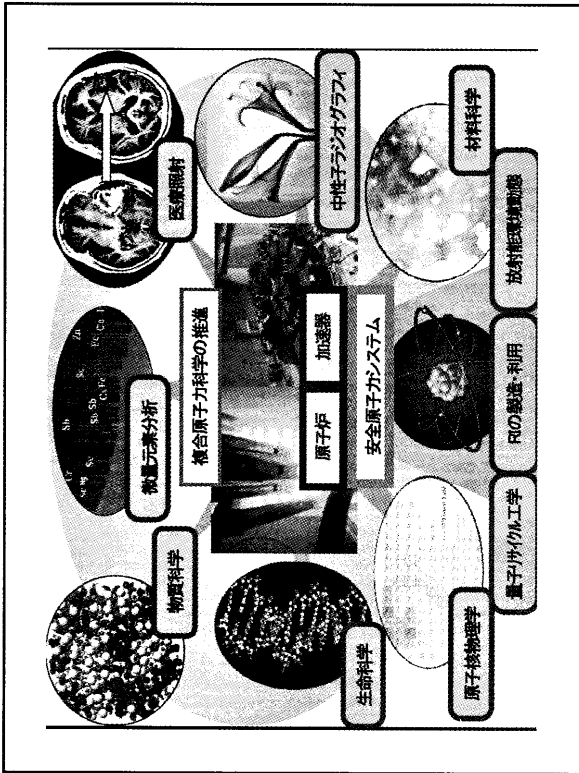
平成22年(2010年) 3月17日
日本学術会議
科学政策委員
学術の大規模設計画検討分科会

分類	計画名称	計画概要	実施主体	所要経費 (億円)
特種研究 事業 等	種別研究力 向上の補助 事業 等	人類社会の持続的 発展に不可欠な 先端技術の育成 と人材育成の 促進を図るため、 研究開発活動に 関する研究費の 増大と、研究費 の活用促進を図 る。また、研究 費の活用促進に 関する研究費の 増大を図る。	京都大学原子炉実験所 ×10億	研究経費 40 設備経費 50 ×10億
計画 10 分	主な 内容	主な内容 1. 学術の大規模設計画・大規模研究計画の策定 2. 学術の大規模設計画・大規模研究計画の推進策の在り方とマスタープラン策定について 3. 学術の大規模設計画・大規模研究計画の推進策の在り方とマスタープラン策定について 4. 学術の大規模設計画・大規模研究計画の推進策の在り方とマスタープラン策定について	主な実施機関等 京都大学原子炉実験所 等	備考 学術の大規模設計画・大規模研究計画の推進策の在り方とマスタープラン策定について 学術の大規模設計画・大規模研究計画の推進策の在り方とマスタープラン策定について 学術の大規模設計画・大規模研究計画の推進策の在り方とマスタープラン策定について

(審議のまとめ) 平成22年9月2日(案)

京都大学原子炉実験所における
放射化分析実験の現状(まとめ)

- ↑ ハード・ソフトの両面から、放射化分析研究の活性化のための活動を行っている。
- ↑ ハード面では照射装置や測定装置、各種分析装置などの整備が進んでおり、多種多様な放射化分析実験に対応可能な環境が整いつつある。
- ↑ ソフト面では、基礎的なレベルから実践的なレベルにわたっての実習コースの整備が進められており、放射化分析実験のための教育システムが整いつつある。
- ↑ KURの運転延長を含め、次世代の中性子源、および中性子源を用いた利用研究について検討を行っている。



JRR-3 と J-PARC における MPGA 開発

(原子力機構¹、福井大・国際原子力工²) ○藤 暢輔¹、古高和禎¹、原かおる¹、原田秀郎¹、木村 敦¹、金 政浩¹、北谷文人¹、小泉光生¹、中村詔司¹、大島真澄¹、村上幸弘²

【はじめに】 即発ガンマ線分析 (PGA) が 1 台のガンマ線検出器を用いてシングルス測定によって定量を行うのに対し、多重即発ガンマ線分析 (MPGA) では複数のガンマ線検出器を用いた同時計数測定を行い、エネルギー軸を 2 本持つ 2 次元ガンマ線スペクトルを解析する事により定量を行なう。一般的に、PGA に比べて MPGA は高いシグナル・ノイズ比 (S/N) が得られ、2 つのガンマ線の同時計数を用いるためにピークの同定が容易であり、妨害元素等の影響が少ない (もしくは評価が容易) 等の特長を持つ。しかし、2 本以上のガンマ線を同時に検出するため、高い検出効率を持つガンマ線検出装置が必要となる他、そのピーク・トータル比、中性子遮蔽能、データ収集系等も高い性能が求められる。本発表においては MPGA の現状として JRR-3 におけるこれまでの研究開発を述べ、将来計画として J-PARC における展望を述べる。

【JRR-3】 日本原子力研究開発機構 3 号炉の中性子ガイドホール C-2-3-2 ラインに MPGA 装置を開発してきた。現在稼働している検出器は 4 分割型となっているクローバー型 Ge 検出器が 8 台と BGO 検出器が Ge 検出器の周囲に配置されている。ビームラインの中性子遮蔽材には同位体濃縮された ⁶LiF の焼結タイルを用いており、測定位置の直前までスーパーミラーガイドが設置されている。MPGA の検出器はその性質からある程度試料に近接して設置する必要がある事と偶発同時計数を調整するために中性子強度を減衰させるアッテネータも備えている。中性子ビームサイズは横 2cm 縦 3cm 程度であり、最大の試料サイズも同程度となっている。試料は専用試料ホルダーにセットし、最大 180 個の試料までの自動測定が可能となっている。これまで農産物、地球・宇宙、環境、工業製品等の試料の測定が行われてきた。JRR-3 における MPGA の研究開発の現状及びバックグラウンドの低減効果(S/N の改善)、元素の同定等について報告する。

【J-PARC】 物質・生命科学実験施設(MLF)では、加速器からのパルス陽子ビームにより、高強度のパルス中性子が得られる。多くの原子核は熱外中性子エネルギー領域に固有の共鳴を持つため、飛行時間法(TOF)によってパルス中性子のエネルギーを測定し、中性子エネルギー毎の即発ガンマ線スペクトルを解析する事により S/N を改善する事が出来る。この TOF と MPGA を組み合わせた分析法の開発を計画している。J-PARC における研究開発の概要と期待される効果等を紹介する。本研究は、旧電源開発促進対策特別会計法に基づく文部科学省からの受託事業として、北海道大学が実施した「高強度パルス中性子源を用いた革新的原子炉用核データの研究開発」の成果を含みません。

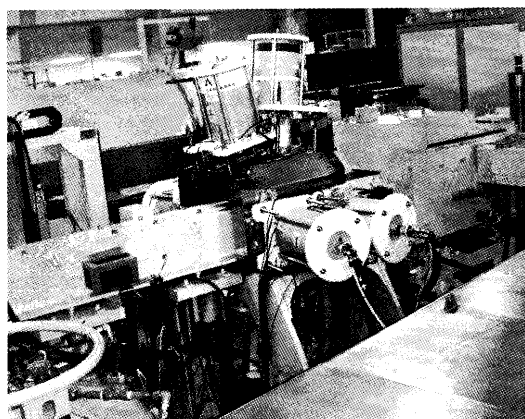


図 1 JRR-3 に設置された MPGA 装置
クローバー型検出器 8 台及び BGO 検出器から構成される。右側が炉心、左側がビームストップ側。

Development of MPGA in JRR-3 and J-PARC

TOH, Y., FURUTAKA, K., HARA, K., HARADA, H., KIMURA, A., KIN, T., KITATANI, F., KOIZUMI, M., NAKAMURA, S., OSHIMA M., MURAKAMI Y.

【はじめに】中性子即発γ線分析 (PGA) あるいは中性子放射化分析(NAA)など中性子を利用した元素 (同位体) 分析法は、非破壊多元素同時分析が可能であるという特徴を有し、各種材料中不純物の分析など産学官の幅広い分野において中性子利用を図る上で重要である。原子力機構・原子力科学研究所では、所内に設置された研究炉 JRR-3、JRR-4 の施設供用制度を通じて広く産官学の外部利用者に中性子利用していただいている。平成 18 年度からは、文部科学省委託事業「中性子利用技術移転推進プログラム (通称、トライアルユース)」が実施され、民間企業等の中性子利用に馴染みの薄い民間の方々を対象とし、課題毎に 1 名の中性子利用の専門家を配しての技術指導、ガラスバッジの手配などの事務手続きを行い、中性子産業利用の拡大に大きな寄与があった (<http://www.rada.or.jp/Neutron/index.html>)。放射化分析に係る設備については、残念ながらトライアルユース制度の支援対象外であったが、平成 21 度から文部科学省・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」(先端研究施設共用促進事業については、以下のホームページを参照のこと <http://kyoyonavi.mext.go.jp/>) に基づき、JRR-3 に設置された PGA も含む 17 台の中性子ビーム実験装置に加え放射化分析用照射設備 (PN-3) の支援を行うこととなった。本講演では、トライアルユースによる PGA の産業利用促進活動を紹介するとともに、新たに開始された共用促進事業を契機とした NAA も含めた JRR-3 を中心とした利用促進活動について紹介を行う。

【トライアルユース】トライアルユースにおける中性子利用分析支援においては JRR-3 即発γ線分析装置が支援対象となり、初年度の平成 18 年度においては、15 件の課題応募があった。初年度においては最も多い応募課題数であり当制度の呼び水の役目を果たした。また、本制度を通じて、導入以前にはほとんどなかった PGA の民間利用について延べ 36 課題の応募があり、さらにトライアルユース参加企業である住重試験検査株式会社では、平成 20 年度に本格的な中性子放射化分析サービスを開始するに至っている。

【JRR-3 共用促進事業】平成 21 年度中において、本事業予算を用いて、原子力科学研究所内の研究炉実験管理棟内に JRR-3 の施設供用利用者のための利用者窓口と利用者控室を整備した。平成 22 年度においては、施設共用技術指導員や共用促進リエゾンを配置し、利用者支援体制の充実と、原子力機構内で産学連携部、研究炉部、加速器管理部、量子ビーム応用研究部門に跨っていた利用者窓口と利用者支援の窓口を一本化する統一窓口 (JRR-3 ユーザーズオフィス) を整備し、施設共用の効率化、利用者への利便性向上、情報発信機能の充実を目指している (写真 1)。

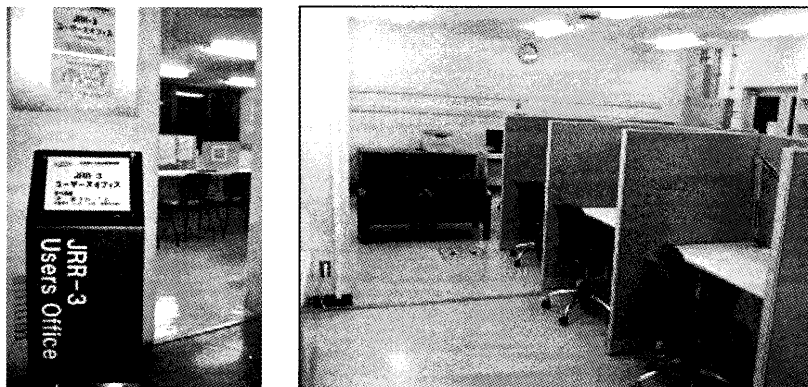
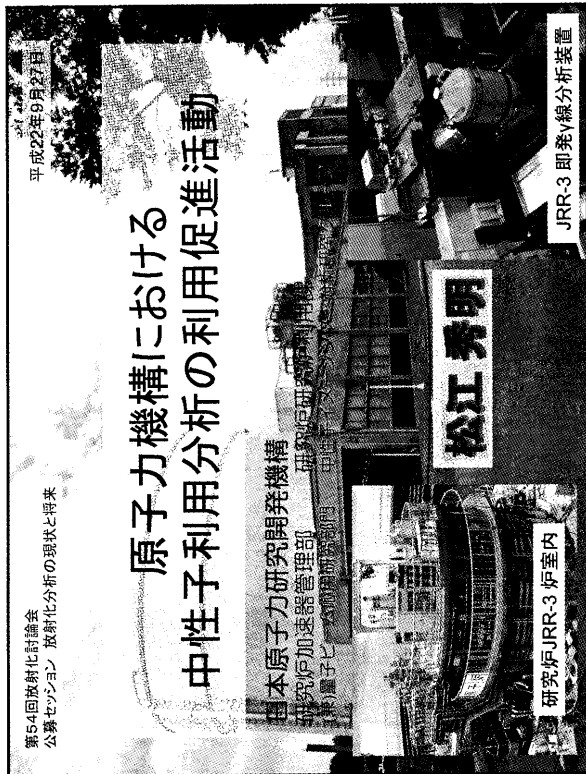


写真1 JRR-3 施設共用促進事業にて整備した利用窓口と利用者控室

Promotion of utilization for neutron activation analysis at JAEA
MATSUE, H.



中性子利用元素分析の特徴

各種分析法における定量下限値				
g	mg	kg	ng	pg
蛍光光度				
原子吸光				
誘導結合プラズマ発光分光 (ICP-AES)				
ポロログラフイ				
誘導結合プラズマ質量分析 (ICP-MS)				
加速器質量分析法				
蛍光X線分析法				
放射光利用蛍光X線分析法				
荷電粒子誘起X線分析 (PIXE)				
放射化分析 (NAA)				
即発ガンマ線分析 (PGA)				

● 励起源に透過力の大きい中性子を使用、均一に放射化

● 検出に透過力の大きいγ線を使用、試料マトリックスの影響小

↓

非破壊分析

分析値の正確さに優れる

発表内容

- 茨城県内大気浮遊粒子の k_0 法に基づく放射化分析 (茨城大学、茨城県との共同研究)
 - K101 増殖型原子炉としての中性子放射化分析の検証、茨城本館特設
 - 中野久野
- PGAによるコンクリート中の塩分分析(中性子トリアルユース)
 - K102 性能試験棟特設(特における感量放射化分析の採納検証と今後の動向、住友試験棟特設)
 - 六角 章
- 産業利用に係る放射化分析支援
- JRR-3ユーザーズオフィスについて

日本原子力研究機構・放射化分析支援システム

k_0 法に基づく定量計算

比較標準試料を用いず、多元素定量を実現

----- 大気浮遊粒子の放射化分析 -----
 茨城大学、茨城県との共同研究

捕集フィルター

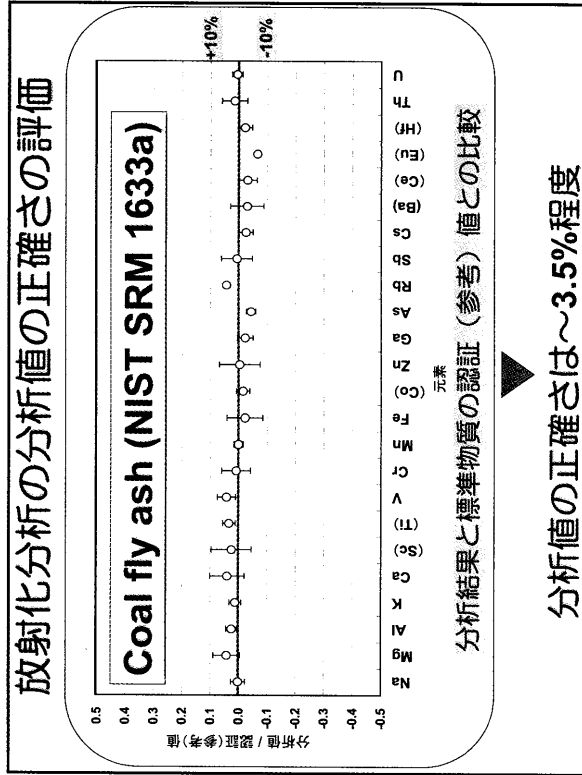
エアサンプラー

住宅地に設置されたジェネレーター

茨城県

2009 東セプテング

放射化分析による多元素定量



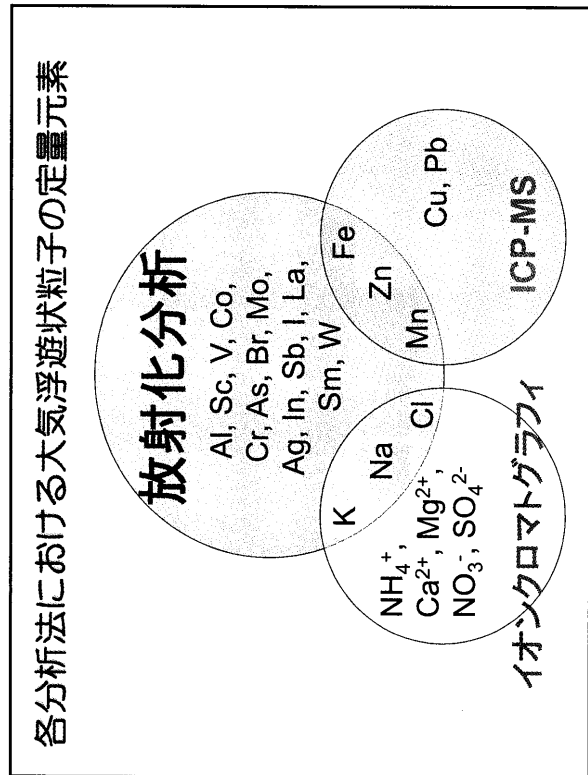
JRR-3 炉室内の放射化分析用照射設備 (PN-3)と放射化分析実験の様子

照射設備照射作業

測定操作

測定材料受け渡し

測定材料のチェック



茨城県内の大気浮遊状粒子 (SPM) の挙動解明

本研究で判明しつつあること

- 各採取場所の都市化傾向に関係なく首都圏に近いほどSPM濃度が高い
- その傾向は、人口由来要素が強いと考えられている小粒径の粒子やアンチモン(Sb)、臭素(Br)で顕著
- これらの結果から、県内のSPMは、首都圏の影響を強く受けていることを示唆

k_0 -NAAIによって
ルーティンワークとして
多試料分析が可能

原子力機構・茨城大学・茨城県 共同研究で実施

PGAによるコンクリートの塩化物イオン分析

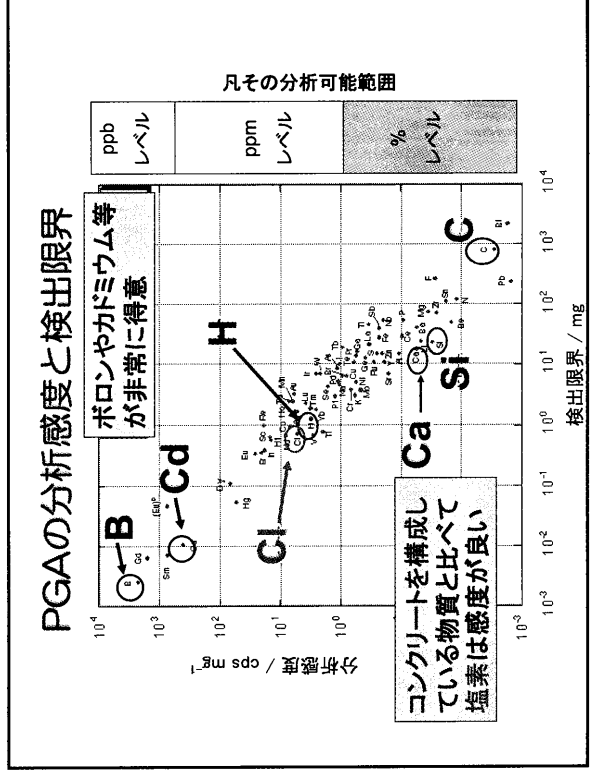
～H18・19中性子利用技術移転課題(トライアルユース)及び茨城県非破壊分析可能施設より～

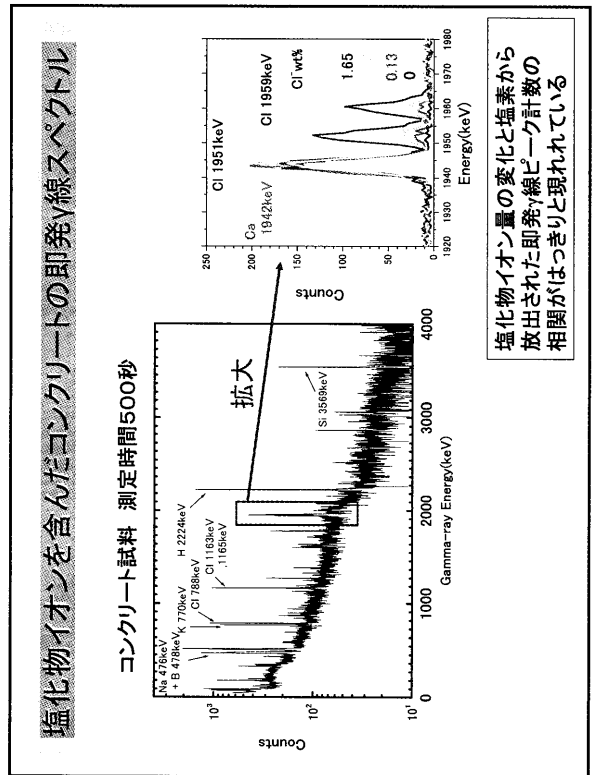
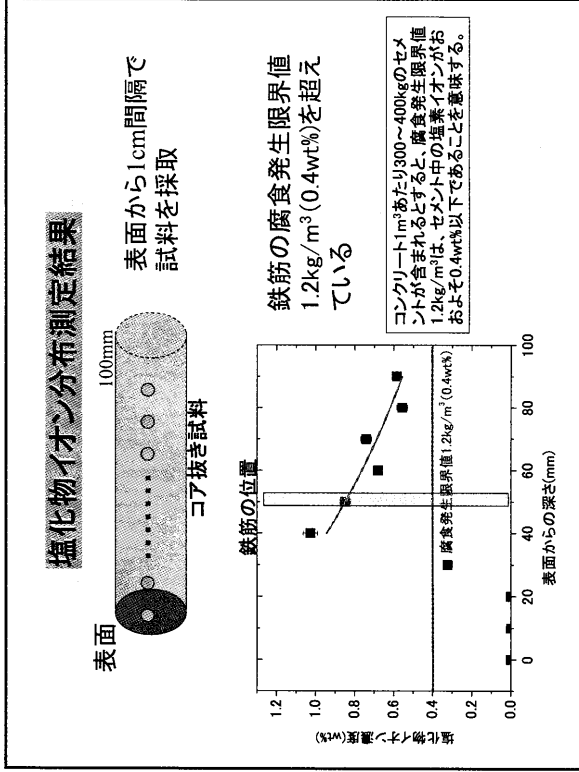
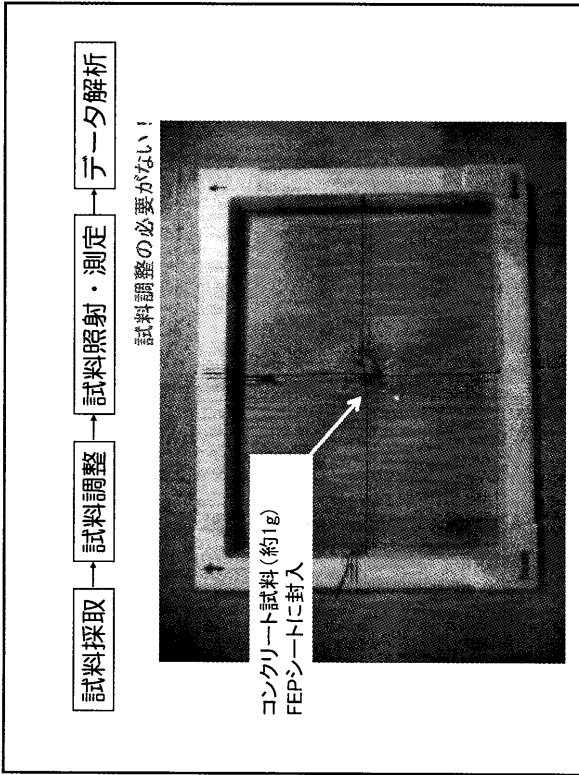
原子力機構 PGA装置担当 西原 義明
ドラアルユース・コーディネータ 大同工業大 西井 陽

本課題はH18中性子利用技術移転課題(トライアルユース)として行われてたものです。

JRR-3 即発γ線分析における利用促進

中性子利用技術移転課題(トライアルユース)平成18年度～





住重試験検査(株)の中性子放射化分析分野への参入

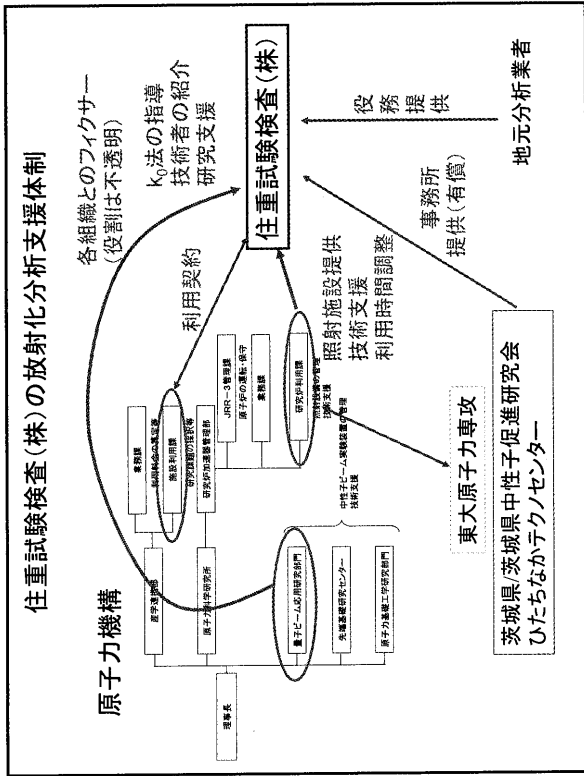
平成20年度本格参入

- ひたちなか量子ビームセンターに職員常駐
- 大気浮遊状態粒子の放射化分析 (東京都からの依頼分析)
- 即発γ線分析、中性子ラジオグラフィ、中性子残留応力測定を用いた依頼測定への参入

支援

茨城県中性子利用促進研究会
ひたちなかテクノセンター

住重試験検査株式会社の中性子利用サービスのホームページ
http://www.shiei.co.jp/japanese/hou_pganaa.shtml



先端研究施設共用促進事業

共用ナビ

文部科学省 MEXT

研究用原子炉JRR-3の中性子利用による施設共用促進

共同ナビは、研究用原子炉JRR-3の中性子利用による施設共用促進の目的を達成するために、関係機関と連携して、共同ナビの運用を推進しています。

トビックス

共同ナビの運用を推進するためのトビックスは、関係機関と連携して、共同ナビの運用を推進しています。

共同ナビの運用を推進するためのトビックスは、関係機関と連携して、共同ナビの運用を推進しています。

共同ナビの運用を推進するためのトビックスは、関係機関と連携して、共同ナビの運用を推進しています。

共同ナビの運用を推進するためのトビックスは、関係機関と連携して、共同ナビの運用を推進しています。

共同ナビの運用を推進するためのトビックスは、関係機関と連携して、共同ナビの運用を推進しています。

平成19年度及び平成20年度の放射化分析設備の利用実績

年度	H1&2	PN1&2	PN3	備考
平成19年度	173	205	1455	
平成20年度	203	448	3958	住重参入
増加数	30	243	2503	

平成20年度 PN-3 利用割合 34%

住重試験検査(株): 11%

民間: 40%

東大原子力専攻(大学共同利用): 6%

機構内:

中性子トライアルユースとJRR-3共用促進事業

H18 H19 H20 H21 H22 H23 H24

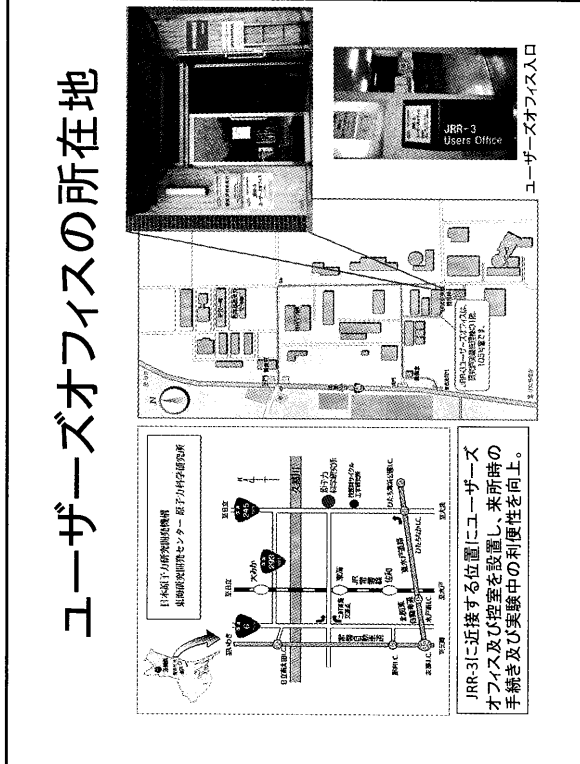
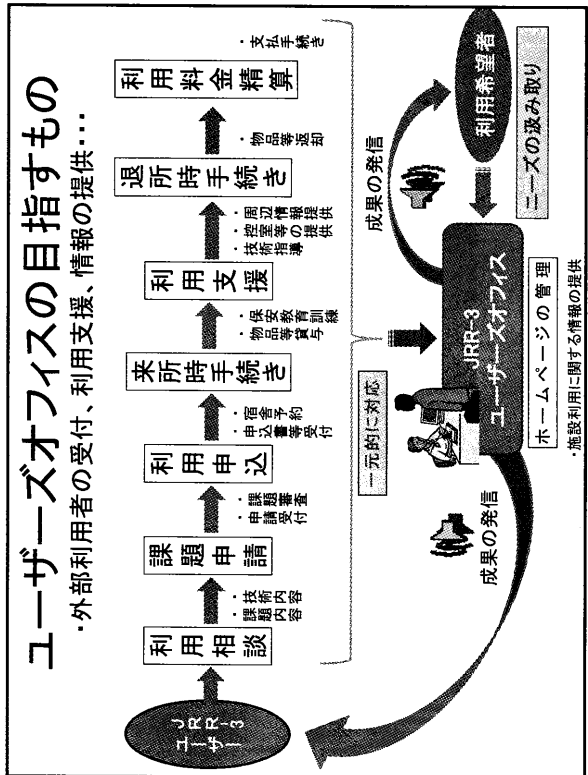
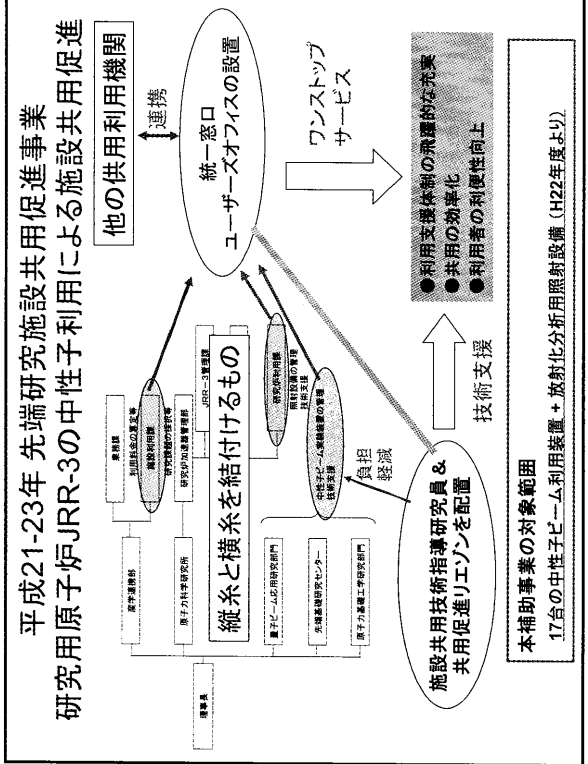
中性子利用技術移転課題(トライアルユース)

- 原子力発電施設等立地地域のみ(特別会計)
- 中性子ビーム利用支援
- 主に民間企業を対象
- 委託事業として放射線利用振興協会が実施

研究用原子炉JRR-3の中性子利用による施設共用促進@共用ナビ

3千万円(見込) 6千万円(見込) 再申請

- 施設共用利用者全体が対象(一般会計)
- 中性子ビーム利用及び中性子放射化分析支援
- 原子力機構が主体となって実施
- 恒久的な利用者支援体制構築



中性子放射化分析には原子炉中性子を利用するのが一般的であるが、研究用原子炉を取り囲む環境は決して良いとは言えず、特に欧米では悪化の一途をたどっている様に見える。日本においても長期的に見れば同様の傾向が伺える。幸い、京都大学原子炉実験所の原子炉の運転がこの5月末から再開し、今後少なくとも6年は継続的に運転される予定であり、更にそれを延長することも大いに望まれる。一方、日本原子力研究開発機構の研究用原子炉のうち中性子放射化分析の実施にとって重要な JRR-3, JRR4 は定常的に運転されており、当面、最悪の事態を迎えることはなさそうに見受けられる。しかし、昨年夏以降今年の春先まで、日本で中性子放射化分析に利用出来る原子炉はすべて運転を停止し、大きな影響を受けたことは記憶に新しい。

目をアジア向けると、多くの国々で研究用原子炉が稼働している。各国によって運転状況に差があるものの、放射化分析への利用は共通しており、また、その利用状況も総じて活発である。研究用原子炉を利用した放射化分析を共通課題として、こうしたアジアの国々と連携する試みが過去20年近く続いている。特に2000年から始められた「アジア原子力協力フォーラム」(Forum for Nuclear Cooperation in Asia; FNCA)では研究用原子炉の利用として、中性子放射化分析が主要プロジェクトの一つに据えられた。FNCA の元での中性子放射化分析プロジェクト（以下 FNCA/INAA プロジェクトと略記する）は2000年の発足当初は8ヶ国でスタートしたが、現在では FNCA 参加国すべての10ヶ国で実施出来るまでに拡大してきた。このフォーラムは日本の文科省と内閣府が所管する活動であることから、FNCA/NAA プロジェクトにおいても日本の貢献が最も大きい。

FNCA/NAA プロジェクトはある年限（通常3年）を設定して、特定のテーマを掲げて活動を行っており、2010年度は3期目の最終年度にあたる。これまですべての参加国が共通のテーマの元で活動を行ってきたが、第3期では3つのサブテーマ（地球化学的試料の分析による鉱物探査、食品分析による食の安全評価、沿岸海洋堆積物の分析による環境評価）を設定し、国の事情に添った活動が出来るように配慮されている。それぞれのサブテーマはオーストラリア、韓国、日本が中心になって実施されている。

現在の FNCA の活動の主体は参加国持ち回りで開催される年1回のワークショップであるが、実質的な活動はそれぞれの国に閉じた状態にとどまっている。将来的には参加国を横断するネットワークを形成することは大いに望まれるところで、例えば昨年経験したような非常事態にも対応出来るような方向に展開していければと考えている。こうしたネットワーク形成は日本の放射化分析の維持、発展にとって中・長期的には必須の選択肢になる可能性もあり、その場合、FNCA という枠組みがなくても持続する組織化が必要とされる。FNCA/NAA プロジェクトを基盤としたこうしたネットワークが、放射化分析の分野だけでなく、今後の日本放射化学会が主体となって実施することが期待される APSORC の運営や、核・放射化学のアジアでの連携強化に対しても大きく下支えするものと確信する。

Networking of neutron activation analysis people in Asia-Australia.
EBIHARA, M.

アジア(オーストラリアを含む)における
放射化分析ネットワーク

首都大学東京
海老原 充

日本の研究用原子炉
(NAAの利用を前提として)

日本原子力研究所, 日本原子力研究開発機構

JRR-2

JRR-3

JRR-4

JMTR

京都大学

KUR

武蔵工業大学

武蔵工大炉 (TIRIGA)

立教大学

立大炉 (TIRIGA)

元素分析法としての中性子放射化分析

Merits

INAA

非破壊

多元素同時分析

高信頼性

RNAA

高信頼性

高感度

Demerits

中性子源の確保

特に研究用原子炉(場所的制約)

中性子源の将来展望

国内

1. 研究用原子炉

2. 原子炉以外の中性子発生装置
²⁵²Cf

J-PARC

加速器駆動未臨界炉

国外 - 近隣諸国(アジア, オセアニア)

研究用原子炉

中性子源の将来展望

国内

1. 研究用原子炉
2. 原子炉以外の中性子発生装置
 ^{252}Cf
J-PARC
加速器駆動未臨界炉

国外 - 近隣諸国(アジア, オセアニア) 研究用原子炉



アジア・オセアニア地域における
NAA networkの構築

アジアにおけるNAA network

1. アジア地域原子力協力国際会議 (ICNCA)
(*International Conference for Nuclear Cooperation in Asia*)
1990~1999
2. アジア原子力協力フォーラム
(*Forum for Nuclear Cooperation in Asia*)
2000~present
3. KUR+KAERI
2006?~2008?
4. JA3+KA3
2005?~present

アジアにおけるNAA network

1. アジア地域原子力協力国際会議 (ICNCA)
(*International Conference for Nuclear Cooperation in Asia*)
1990~1999
2. アジア原子力協力フォーラム
(*Forum for Nuclear Cooperation in Asia*)
2000~present
3. KUR+KAERI
2006?~2008?
4. JA3+KA3
2005?~present

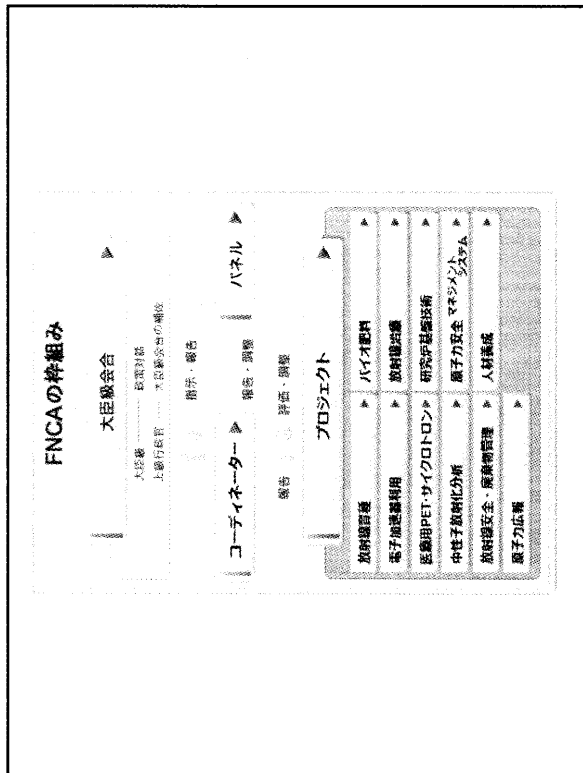
FNCAとは



参加国



主管庁
内閣府(原子力委員会)
文部科学省
委託先
(財)原子力安全協会



Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 269, No. 2 (2006) 249-266

Collaborative monitoring study of airborne particulate matters among seven Asian countries

M. Ebihara,^{1,*} Y. S. Chung,² W. Chudat,³ B.-F. Ni,⁴ T. Otoshi,⁵ Y. Oura,¹ F. L. Santos,⁶ F. Sasajima,⁷ S. Saito,⁸ A. K. B. H. Wood⁹

¹ Tokyo Metropolitan University, Tokyo, Japan
² Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon, Korea
³ Institute of Nuclear Energy Research, Tsinghua University, Beijing, China
⁴ Chong Anghar of Atomic Energy, Beijing, China
⁵ Osaka University of Community, Services and Science, Sakai, Japan
⁶ Philippine Nuclear Research Institute, Quezon City, Philippines
⁷ Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai, Japan
⁸ National Nuclear Energy Agency, Serpong, Indonesia
⁹ Malaysian Institute for Nuclear Technology Research, Selangor, Malaysia

(Received April 6, 2006)

Seven Asian countries have been collaborating in collecting airborne particulate matter (APM) in their individual countries and analyzing them by medium activation analysis as a common analytical tool. APM samples were collected into two fractions of fine and coarse grains (PM_{2.5} and PM_{10-2.5}). Analytical data were compared from several viewpoints such as particulate sizes, locality of sampling sites (either urban or rural) and geographical locations of participating countries. Chemical composition and their monthly variations as well as mass concentrations appear to be highly characteristic for particulate sampling sites, suggesting that NAA data are suitable for evaluating the air quality in each site.

FNCA/NAAワークショップ概要

西暦	Phase	workshop開催地	Project
2000		Daejeon, Korea	
2001	第1期	北京, 中国	大気浮遊塵, K ₀
2002		Jakarta, Indonesia	
2003		Dalat, Vietnam	
2004		Bangkok, Thailand	
2005	第2期	Kuala Lumpur, Malaysia	環境試料
2006		Manila, Philippines	
2007		Jakarta, Indonesia	
2008	第3期	Dalat, Vietnam	地球化学図, 食品, 海洋堆積物
2009		八戸, 日本	
2010		北京, 中国	

Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 278, No. 2 (2008) 463-467

Application of NAA to air particulate matter collected at thirteen sampling sites in eight Asian countries: A collaborative study

M. Ebihara,^{1,*} Y. S. Chung,² H. M. Duang,³ J. H. Moon,⁴ B.-F. Ni,⁴ T. Otoshi,⁵ Y. Oura,¹ F. L. Santos,⁶ F. Sasajima,⁷ S. Saito,⁸ B. S. Wei,⁹ W. Wimalawattanapun,¹⁰ A. K. B. H. Wood¹

¹ Department of Chemistry, Tokyo Metropolitan University, Etchujoi, Tokyo 192-0397, Japan
² Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon, Korea
³ Nuclear Research Institute, Daini, Vietnam
⁴ Chonnam National University, Gwangju, Korea
⁵ Osaka University of Community, Services and Science, Sakai, Japan
⁶ Philippine Nuclear Research Institute, Quezon City, Philippines
⁷ Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai, Japan
⁸ National Nuclear Energy Agency, Serpong, Indonesia
⁹ Malaysian Nuclear Agency, Bangi, Selangor, Malaysia
¹⁰ Thailand Institute of Nuclear Technology, Bangkok, Thailand

(Received July 10, 2008)

Air particulate matter (APM) samples (PM_{2.5} and PM_{10-2.5}) were collected at 13 sampling points in 8 Asian countries and their chemical compositions were determined by using neutron activation analysis (NAA) with the k_0 standardization method in addition to conventional comparative method of NAA. Analytical data showed that mass concentration and elemental composition of the APM collected are variable in terms of time and space and are related to the characteristics of the sampling sites concerned. NAA was proved to be highly effective for the regional determination of APM in chemical composition.

Status of the FNCA NAA project in phase 3

Sub-project	Leader / Sub-Leader	Initial indication of participation											Remarks	
		Australia	Bangladesh	China	Korea	Indonesia	Japan	Malaysia	Philippines	Thailand	Vietnam			
3.1 Geochemical mapping and mineral exploration	Dr. John Bennett / Prof. Tsuyoshi Tanaka	★	★	★	x	★	★	★	★	★	?	x	★	Begin as a "soft" project. All countries are asked to consult with government agencies responsible for geoscience and mineral exploration to explain the benefits of NAA. Please then consider joining the sub-project.
3.2 Monitoring of food contaminants	Mr. Jong-Ho Kim / Dr. Siroon Leoborapana Phand	x	x	★	★	★	★	★	★	★	x	★	★	Use rice and egg samples for inter-comparison between countries. Careful consideration needs to be given to the limits of detection of the NAA technique.
3.3 Monitoring of pollutants in marine sediments	Prof. Motoyuki Matsuo / Dr. Syed Md. Hossain	?	★	?	x	★	★	★	★	★	★	★	★	Use the NAA to enable multi-element analyses. Do not be over-enthusiastic about the number of sites over time. Collect samples from shallow sites and estuarine areas. Everyone to use the same sampling and analysis protocols.

Key: ✓ participant
 x non-participant
 ? possible participant, further consultation required
 ★ lead country
 ★★ participating countries

FNCA/NAA参加国の研究用原子炉の稼働状況

国名	状況
Australia	20MW, swimming pool, 2006臨界
Bangladesh	3MW, TRIGA-II, 1986臨界
China	CARR: 60MW, 2011臨界? 30MW, 1987臨界 (Serpong, BATAN)
Indonesia	JRR-3: 20MW, 1962臨界, 1990改造後臨界
Japan	HANARO: 30MW, 1995臨界
Korea	TRIGA-II, 1982臨界
Malaysia	1963臨界, 1988運転停止
Philippines	TRIGA, 1977臨界
Thailand	TRIGA-II, 1963臨界, 1975廃炉, 1984改造・再開
Vietnam	

今後に向けて

(実績)

- 2 国間交流
 - 機関 対 機関 (例: KURRI-KAERI)
 - 組織 対 組織 (例: JA3-KA3)
- FNCAを基盤とした networking
Virtual society

(展望)

- 2 国間, 3 国間の定期交流
情報交換, 相互利用, 共同研究
- アジア-オセアニアでの community networking
情報交換, 相互利用, 共同研究
- 放射化分析研究会アジア連合
日本, 中国, インド, 韓国を核に
- 放射化学会のアジア連合
APSORCの運営

研究会報告

2010日本放射化学会年会・第54回放射化学討論会

[2010年9月27-29日]

「放射化分析の現状と将来」の感想

愛知医科大学医学部 小島貞男

2010 日本放射化学会年会・第 54 回放射化学討論会で新たな試みである公募セッション「放射化分析の現状と将来」が、討論会初日 9 月 27 日に行われた。放射化分析法は、原子炉や加速器を使用するため、いつでも、どこでも、誰でも、簡単に利用できるという点では、誘導結合プラズマ質量分析法 (ICP-MS) など他の分析法に比べ劣っている。しかし、その欠点を補って余りある長所を持っているからこそ現在も利用されているのであろう。この新しい企画は、放射化分析法がかけがえのない分析法であることを再確認し、将来の方向性を見いだす契機にするために開かれたと思う。

研究発表の総数は 13 件であり、環境化学分野 3 件、地球・宇宙化学分野 2 件、産業利用 2 件、原子炉施設に関連するもの 3 件、標準物質、文化財、海外との研究ネットワークに関して各々 1 件ずつであった。研究対象は多岐にわたっており、放射化分析が幅広い分野で利用されていることを示している。環境化学分野では、機器中性子放射化分析法 (INAA) に、 k_0 法を併用し大気浮遊粒子中の 37 元素を定量した報告 (井村, 金沢大院自然), INAA と中性子誘起即発 γ 線分析法 (PGA) を組み合わせ底質試料中の約 30 元素を測定し、さらに多重即発 γ 線分析法 (MPGA) を海洋堆積物に対して新たに試みた報告 (松尾基之: 東京大院総合, 他), 野生生物試料中の有機態ハロゲンを化学分離した後に INAA によりハロゲンを測定した報告 (河野公栄, 愛媛大農) の 3 件が発表された。地球・宇宙化学分野では、 γ 線測定でオートサンプルチェンジャーを用いた INAA により多数の試料を測定し、「地球化学図」を作成している報告 (田中剛: 名古屋大年代測定セ), 放射化学的中性子放射化分析法 (RNAA) で隕石中の極微量の希土類元素を測定した報告 (栗飯原はるか: 首都大院理工, 他) の 2 件が発表された。産業利用に関しては、多重即発 γ 線分析装置 (STELLA) を用いた MPGA の実用化開発の報告 (須志田一義: 東レリサーチセンター, 他), 小型サイクロトロンを用いた荷電粒子放射化分析 (CPAA) による軽元素 (B, C, N, O など) の測定に関する報告 (住重試験検査: 永野章) の 2 件が発表された。また、標準物質中の As の濃度が放射化分析法以外の方法では正しい結果が得られず、保証値が訂正に至った報告 (三浦勉: 産総研計測標準, 他), 文化財の微量分析で古鉄原料の産地推定を行った報告 (平井昭司: 都市大工), アジア諸国の研究用原子炉施設間での種々の連携に関する報告 (海老原充: 首都大院理工) が発表された。原子炉施設に関連する報告は、KUR での共同利用施設としての PGA 装置, 短寿命核種測定システムの新規導入と教育施設としての原子力人材育成に関する報告 (高宮幸一: 京大炉, 他), 原子力研究開発機構による MPGA 装置の開発と J-PARC の将来計画に関する報告 (藤暢輔: 原子力機構, 他), 原

子力研究開発機構によるトライアルユースなどの産業利用促進活動の報告(松江秀明:原子力機構)の3件が発表された。

発表を聞いた感想を思いつくままに以下に書いていく。

- 1) INAA は個体試料の化学処理が不必要な非破壊分析法であり、省力化された測定法である。多くの試料の測定が必要な場合には極めて有利であり、INAA の長所の一つである。さらに、 k_0 法を併用しより簡便に測定を行う工夫や、試料をより多く測定するためにオートサンプルチェンジャーの利用などの改良が行われている。
- 2) INAA と同様な非破壊分析法である PGA を INAA と併用し、より多くの情報を得ている。さらに、PGA の S/N 比を向上させるために MPGA の開発が続けられており、さらに測定対象が広がる可能性がある。
- 3) 放射化分析法は難分解性試料中の微量元素分析で精確な測定結果を得ることができる数少ない分析法であり、そのような試料に対しては ICP-MS などの試料分解を必要とする分析法より優れている。
- 4) 一次標準測定法である同位体希釈質量分析法 (ISMS) が適用できない単一核種元素の精確な分析の場合には、NAA は極めて有利な分析法である。三浦らの報告で NAA の測定によって As の化学形態別分析用試料アルセノベタイン標準溶液の保証値が訂正されたことは特に注目値する。
- 5) 放射化学的中性子放射化分析法 (RNAA) は、「集約的な」分析法であり一般的ではないが、隕石などの貴重な少量試料中の極微量元素を超高感度で測定する場合には極めて優れている。
- 6) 試料を化学分離した後に INAA の測定を行う方法は、高速液体クロマトグラフ (HPLC) やイオンクロマトグラフ (IC) で化学形態別分離を行った後 ICP-MS に導入する LC-ICP-MS や IC-ICP-MS と競合関係にあると思われるが、対象となる元素によっては新たな化学形態別分析への応用につながる可能性もあると思われる。
- 7) CPAA は軽元素 (B, C, N, O など) の微量分析を行うことのできる特徴のある分析法であり、今後も着実に利用されていくと思われる。
- 8) KUR は共同利用研究施設であるとともに教育機関として将来の原子力を担う人材の育成を重要な課題として取り組んでいる。
- 9) 原子力開発機構は現在の利用者にとってより使いやすく、便利なように運営する努力とともに、新たな利用者の開拓を行おうとする試みが行われている。

以上、感想を 1) ~ 9) に箇条書きにした。

原子炉、加速器は限られた施設に設置された特殊な装置であり、これを利用する放射化分析法は利便性においては他の分析法に比べて不利である。しかしながら上述したように、この分析法の長所はこの短所を十分に補っている。KUR、原子力開発機構では共同利用のさらなる活発化の努力が継続的に行われているので、放射化分析法は将来も着実な進展が期待できると思われる。

産業技術総合研究所

計測標準研究部門

三浦 勉

2010 年度放射化学討論会では公募セッションの募集がありました。放射化分析研究会幹事会はこの機会をとらえ、現時点における放射化分析法の性能や応用面について多方面から評価し、放射化分析法の将来についての展望について討論することを目的として「放射化分析の現状と将来」との表題で公募に応募しました。その結果、応募は無事に採択され、標記のセッションを 2010 年 9 月 27 日 13 時～17 時 40 分に開催することができました。本セッションでは、以下の 7 テーマのもとに 13 件の講演が行われました。

1. 分析化学における放射化分析（存在意義、分析法としての能力）；
 - ・井村久則（金沢大院自然）「微量元素分析法としての中性子放射化分析法の役割」
 - ・栗飯原はるか、大浦泰嗣、海老原充（首都大院理工）「放射化学的中性子放射化分析法の重要性-岩石・隕石中の極微量希土類元素の定量を例にして」
 - ・三浦勉、黒岩貴芳、成川知弘、千葉光一、日置昭治、松江秀明（産総研・原子力機構）「標準物質開発における中性子放射化分析の役割」
2. 地球（宇宙）化学における放射化分析；
 - ・田中剛（名古屋大年代測定センター）「地球化学図「明日のナショナルインベントリーマップ」に挑む INAA」
3. 環境化学における放射化分析；
 - ・松尾基之、小豆川勝見、藤 暢輔、村上幸弘、古高和禎、木村敦、大島真澄、小泉光生（東大院総合・原子力機構・福井大学）「機器中性子放射化分析法と多重即発ガンマ線分析法による環境試料の多元素分析」
 - ・河野公栄（愛媛大農）「環境化学分野における放射化分析法の利用-野生生物から検出される有機体ハロゲン-」
4. 考古学における放射化分析；
 - ・平井昭司（都市大工）「古鉄中の微量元素から何がわかるか」
5. 依頼分析機関における放射化分析；
 - ・須志田一義（東レリサーチ）「分析受託機関における多重即発ガンマ線分析他」
 - ・永野章（住重試験検査）「住重試験検査(株)における受託放射化分析の依頼状況と今後の動向」
6. 原子炉施設における放射化分析の位置づけ；
 - ・高宮幸一、瀧本真己、関本俊、奥村良、中野幸広、柴田誠一（京大炉・京大院工）「京都大学

原子炉実験所における放射化分析実験の現状」

- ・藤暢輔、古高和禎、原かおる、原田秀郎、木村敦、金政浩、北谷文人、小泉光生、中村詔司、大島真澄、村上幸弘（原子力機構/福井大）「JRR3 と J-PARC における MPGA 開発」

7. 放射化分析の普及；

- ・松江秀明（原子力機構）「原子力機構における中性子利用分析の利用促進活動」
- ・海老原充（首都大院理工）「アジア（オーストラリアを含む）における放射化分析ネットワーク」

本セッションでは、まず分析法としての放射化分析法の評価についての講演が行われた後、地球化学、環境化学、考古学への応用に関する講演が行われました。続いて依頼分析機関及び原子炉施設での立場からの講演が行われた後、国内・国外における放射化分析の普及についての講演が行われました。本セッションを通して、放射化分析法の分析法としての有用性を再確認するとともに、その幅広い応用例から、放射化分析法の分析法としての能力がこれらの研究を下支えしていることがわかりました。

どの程度の聴衆に来ていただけるか不安に思っていたのですが、会場には多くの聴衆に来ていただき、安心しました。また、それぞれの講演に引き続き、設定時間をしばしば超過した活発な討論が行われました。そのため、当初予定していた休憩時間もとることができませんでしたが、活気の満ちた有益なセッションであったと考えています。

放射化学討論会一般セッションプログラム(放射化分析に関連した発表のみ抜粋)

1B01 中性子放射化分析法（INAA及びPGAA）を用いたSmall Scale Miningによる汚染試料中のHgとAuの分析法（原子力機構、デンマーク・グリーンランド地質学調査所、フィリピン大、アテネオ大）○初川雄一、大澤崇人、Peter Appel、Carlo Arcilla、 Emy Peretz

1B02 雪氷中の粒子状物質を用いた大気環境に対する人為的影響の評価（東京大院総合、原子力機構、福井大）○藤井政光、小豆川勝見、松尾基之、藤 暢輔、村上幸弘、古高和禎、木村 敦、大島真澄、小泉光生

1B03 Bulk chemical analysis of hydrogenous meteorites by neutron induced prompt gamma-ray analysis（首都大院理工、原子力機構、国立極地研）○アミル イスラム、海老原 充、松江秀明、小島秀康

1B04 インクジェットプリンタを利用した簡便で高精度な中性子分布測定法の開発（京都大院工、京都大原子炉、KAERI）○瀧本真己、高宮幸一、柴田誠一、奥村 良、中野幸広、J.H.Moon、S.H.Kim

1B05 X線吸収微細構造法による土壤中クロムの価数別定量法の検討（東京大院総合）○堀まゆみ、小豆川勝見、松尾基之

1P20 光量子放射化分析におけるフラックス補正（首都大院理工）○大浦泰嗣、海老原充

1P21 光量子放射化分析法による微量ニッケルの定量 -中性子放射化分析法との比較- (京都大原子炉、東北大電子光セ、京都大院工) ○関本 俊、廣瀬健太郎、瀧本真己、大槻 勤、柴田誠一

1P24 中性子放射化分析法によるアイメイク化粧品の金属元素の定量 (慈恵医大、お茶大、東京都市大) ○箕輪はるか、古田悦子、岡田往子

3S01 放射線ならびにアイソトープを駆使した植物生理学の研究 (東京大院農) 中西友子

施 設 便 り

京都大学原子炉実験所

KURは2010年5月に新燃料を用いて運転を再開し、6月より共同利用実験を再開致しました。2010年度は15件の放射化分析に関係する共同利用研究が採択され実施されました。2010年度は火曜日の午前中に起動後、正午前に1 MWに到達し、木曜日の午前10時頃に出力を5 MWに上昇させ医療照射を行い、医療照射の終了とともに原子炉を停止させる、という運転パターンでしたが、2011年度は医療照射の有無にかかわらず木曜日の午前からは必ず（例外もあるが）5 MWでの運転が行われる予定です。2011年度の通年での共同利用研究の公募は既に終了していますが、5月頃に下半期の公募が始まる予定ですので、多くの方の応募をお待ちしております。

(高宮幸一)

東北大学電子光理学研究センター

東北大学大学院理学研究科附属原子核理学研究施設は研究用電子直線加速器及びシンクロトロンを擁し、昭和41年の設置から今日まで42年に亘って、特色ある電子線を使った研究教育を行ってきました。平成21年12月より学内改組の措置を受けて大学院理学研究科から独立して東北大学の付置センターととして名称を東北大学電子光理学研究センターとして再スタートをしました。当センターは東北大学学内共同利用施設ですが、利用者を学内に限ることなく全国の大学・研究所等の研究者に利用の門戸を解放し、これまでに数多くの研究・教育に利用され、大きな成果を挙げまた多くの人材を輩出してきました。今後とも基礎科学や原子力の分野の発展と人材育成という観点から考えると、加速器を用いた共同利用の重要性は大きいでしょう。放射化学分野は、特に核・放射化学分野（核化学、原子核プローブ、アルファ放射体、放射化分析、環境放射能）などの研究分野とその周辺分野を含め、これらの分野の研究・教育は我が国の原子力及び放射線の高度利用を進める上できわめて重要な基盤であるとともに、放射性同位体を利用した分析化学、物性、生命科学までも支えるものです。これらの研究教育の遂行のためには、大学の研究室単位では導入がはなはだ困難な大型加速器やそれに付随した研究施設・設備の利用が不可欠です。電子光理学研究センターは、電子ライナックにより放射性同位体を製造および利用できる設備を有する世界できわめて希な施設であり、原子力やその周辺の基礎を支える核・放射化学分野、分析学、物性学、生命科学分野の研究・教育に寄与してきました。特に放射化分析には核反応を誘起させるための大型の施設が必要とされますが、近年研究用原子炉や加速器など、利用できる大型施設が少なくなっており、憂慮すべき事態と思っています。放射化分析の中では中性子放射化分析が良く利用されていますが、光量子放射化分析法や荷電粒子放射化分析法も定量できる元素に違いがあることからそれぞれ補完して利用されるのが重要となっています。

施 設 便 り

京都大学原子炉実験所

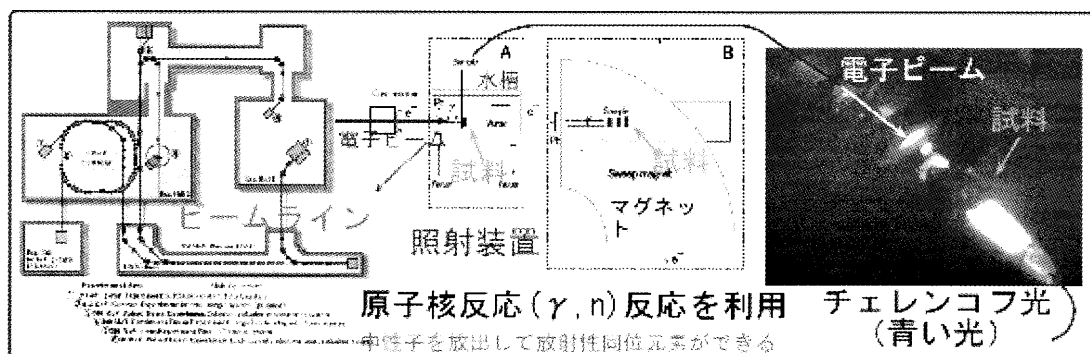
KURは2010年5月に新燃料を用いて運転を再開し、6月より共同利用実験を再開致しました。2010年度は15件の放射化分析に係る共同利用研究が採択され実施されました。2010年度は火曜日の午前中に起動後、正午前に1 MWに到達し、木曜日の午前10時頃に出力を5 MWに上昇させ医療照射を行い、医療照射の終了とともに原子炉を停止させる、という運転パターンでしたが、2011年度は医療照射の有無にかかわらず木曜日の午前からは必ず（例外もあるが）5 MWでの運転が行われる予定です。2011年度の通年での共同利用研究の公募は既に終了していますが、5月頃に下半期の公募が始まる予定ですので、多くの方の応募をお待ちしております。

(高宮幸一)

東北大学電子光理学研究センター

東北大学大学院理学研究科附属原子核理学研究施設は研究用電子直線加速器及びシンクロトロンを擁し、昭和41年の設置から今日まで42年に亘って、特色ある電子線を使った研究教育を行ってきました。平成21年12月より学内改組の措置を受けて大学院理学研究科から独立して東北大学の付置センターとして名称を東北大学電子光理学研究センターとして再スタートをしました。当センターは東北大学学内共同利用施設ですが、利用者を学内に限ることなく全国の大学・研究所等の研究者に利用の門戸を解放し、これまでに数多くの研究・教育に利用され、大きな成果を挙げまた多くの人材を輩出してきました。今後とも基礎科学や原子力の分野の発展と人材育成という観点から考えると、加速器を用いた共同利用の重要性は大きいでしょう。放射化学分野は、特に核・放射化学分野（核化学、原子核プローブ、アルファ放射体、放射化分析、環境放射能）などの研究分野とその周辺分野を含め、これらの分野の研究・教育は我が国の原子力及び放射線の高度利用を進める上できわめて重要な基盤であるとともに、放射性同位体を利用した分析化学、物性、生命科学までも支えるものです。これらの研究教育の遂行のためには、大学の研究室単位では導入がはなはだ困難な大型加速器やそれに付随した研究施設・設備の利用が不可欠です。電子光理学研究センターは、電子ライナックにより放射性同位体を製造および利用できる設備を有する世界できわめて希な施設であり、原子力やその周辺の基礎を支える核・放射化学分野、分析学、物性学、生命科学分野の研究・教育に寄与してきました。特に放射化分析には核反応を誘起させるための大型の施設が必要とされますが、近年研究用原子炉や加速器など、利用できる大型施設が少なくなっており、憂慮すべき事態と思っています。放射化分析の中では中性子放射化分析が良く利用されていますが、光量子放射化分析法や荷電粒子放射化分析法も定量できる元素に違いがあることからそれぞれ補完して利用されるのが重要となっています。

このたび、学校教育法施行規則の改正により「共同利用・共同研究拠点」制度が発足したことに伴い、全国共同利用型の研究センターとして改めて「拠点」としての認定を受けるべく作業を行ってきましたが、平成23年4月1日をもって文部科学省より共同利用・共同研究拠点としての許可がおりました。今後とも放射性同位体の高度利用による研究教育の基盤を維持し、その更なる放射化学や放射化分析の研究に大いに利用されることを希望する次第です。



ここに平成22年度共同利用課題を紹介するとともに、今後の課題申請をお待ちしています。

課題番号	研究代表者	所属	課題名
2721	高宮 幸一	京大・炉	Cr-51 の壊変定数の化学形に対する依存性
2724	佐藤 修彰	東北大多元研	韓国原子力分野学生実験プログラムー核燃料サイクルにおける加速器利用と RI 製造
2726	木野 康志	東北大・理	陽電子消滅γ線ドップラー拡がり測定装置の陽電子および較正用線源(Na-22, Sr-85)製造
2734	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
2735	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
2736	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
2737	廣瀬健太郎	東北大電子光	(γ , n)生成核種の半減期精密測定
2738	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
2739	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

(大槻勤)

事務局より

◇新幹事

過日行われた幹事選挙によって以下の方が新しい幹事に選出されました。任期は来週の放射化学会に会わせて行われる総会から2年後の総会までです；

海老原充，河野公栄，澤幡浩之，関本俊，三浦勉，宮本ユタカ（アイウエオ順）

また，以下の幹事は任期がもう1年あります；

大浦泰嗣，高宮幸一，福島美智子，梶本和義。松江秀明，松尾基之（アイウエオ順）

放射化分析研究会

代表幹事 海老原充

（首都大学東京 大学院理工学研究科）

[2010年9月24日付メーリングリストより抜粋]

◇第54回放射化学討論会 放射化分析分科会報告

開催日時：平成22年9月27日（月） 12：30～13：00

開催場所：大阪大学银杏会館 大会議室D,E(討論会B会場)

参加者：約30名

世話人：日本原子力研究開発機構 初川雄一，石巻専修大学 福島美智子

この分科会は当研究会で運営することが放射化学会理事会で了承されており，放射化分析研究会総会を兼ねるが，本年の総会は同日の討論会セッション終了後に行い，分科会の時間は拡大幹事会とした．時間の関係で，報告事項を中心に行った．

報告内容：

1. 幹事選挙について（松尾）

幹事選挙規約案の提案

幹事会規約案の提案

2. 研究会申し合わせ改正案の提案（松尾）

3. MTAA-12 関連

事業終了報告（大浦）

余剰金の報告（海老原）

4. 京大炉から（高宮）

共同利用公募について

将来を考える workshop が開かれる．これに関するアンケートを行っている．

5. 東大開放研（松江(代理)）

共同利用公募の締切は10月

（報告者 初川雄一）

◇放射化分析研究会総会議事録

日時：平成 22 年 9 月 27 日 19:00-20:00

場所：放射化学討論会 A 会場

出席者：14 名

1. 幹事の改選

- ・ 2010 年度幹事は以下の通り。

（今回の選挙で改選された幹事：2 年後の総会まで）

海老原充、河野公栄、澤幡浩之、関本俊、三浦勉、宮本ユタカ

（継続幹事：1 年後の総会まで）

大浦泰嗣、高宮幸一、福島美智子、榎本和義、松江秀明、松尾基之

- ・ 幹事の改選時期（タイミング）について議論があり、総会が終わるまでは前幹事が幹事の任を負い、総会終了後に幹事を交代することとした。

2. 会計報告

- ・ 愛媛大の河野氏から会計報告がなされた。（【資料掲示】放射化分析研究会 2009 年度収支一覧、領収書類のコピー。）

・ 会計の年度の日は 3 月 31 日とすることが合意されたが、実務を執り行っている澤幡氏に実務上どのタイミングが適当かを聞き、最終的な決議とすることになった。

・ 未納分の年会費の会計上の取り扱いについて議論があり、会費の該当年度の予算とするのではなく、支払われた時期の年度予算として処理する方が適切であり、これまでもそのように処理されてきたが、今後もそのように処理することとして合意された。

・ 会費未納が継続した場合に会誌の送付をやめるべきか議論がされ、あまり厳密にする必要もないので、未納の場合の送付停止などの処置は現段階では考えないことで合意された。

・ 郵送代の節約のため、および会費の公平性を高めるために、会員情報の定期的な更新をした方が良いので、今後の会員情報の更新の方法などについて会員担当者が検討を行い、次期幹事で決定することとした。（今年度会計における個人会費の支払いは約 90 人。会誌の送付は 160 人。）

・ 検討を行うために、会費の滞納状況について事務局（澤幡氏）から資料を提出してもらい、会計担当幹事が調査することとした。

3. 幹事会規約、及び幹事選挙規約の承認。申し合わせの一部修正

・ 松尾、木川田選挙担当幹事から、幹事会規約、及び幹事選挙規約について、複数の案が提案された。審議の結果、最も適切と考えられる案を採択した。これらの規約の内容を放射化分析研究会のホームページ上に公開することで、会員に周知することにした。

・ 上記規約採択に伴い、放射化分析研究会の申し合わせの一部を修正する必要がある、その修正案が松尾幹事から提案され、了承された。

・ 選挙の結果について全会員に信任を得るべきであるとの意見があり、次期幹事が信任の方法について検討を行うこととした。

◇放射化分析研究会幹事会議事録

日時：平成22年9月27日 20:00-20:30

場所：放射化学討論会A会場

出席者：海老原、松尾、高宮、松江、大浦、関本、三浦、河野、宮本

1. 代表幹事選出

- ・次期代表幹事は海老原氏とすることで合意された。

2. 担当幹事選出

- ・次年度における担当幹事が以下の通り決定された。

行事・企画：関本、松江、三浦

ネット：高宮、榎本

編集：大浦（、河野）

選挙：松尾、海老原

会員：宮本

監査：河野

会計：澤幡

- ・欠席の福島氏の担当は後日決定することとした。

3. 次回幹事会

- ・次回幹事会は京大原子炉の専門研究会（冬の学校）にて行う。

●放射化分析研究会幹事会規約

本研究会は10～15名の幹事から構成される幹事会を置く。

幹事の改選数は、幹事の定員数のほぼ半数とする。

幹事は、別途定める放射化分析研究会幹事選挙規約に基づき、選挙により選出する。

幹事の任期は、選挙による選出後に初めて開催される定期総会から翌々年度の定期総会までの約2年とする。ただし再選を妨げない。

幹事が任期中に会員資格を失った場合は、幹事としてその任に留まることはできない。

幹事会は互選により代表幹事を選出する。代表幹事の任期は2年とし、再任を妨げない。ただし、任期の途中で幹事の改選があった場合には、幹事会の信任を受ける必要がある。

●放射化分析研究会幹事選挙規約

幹事選挙は幹事会によって選出された 2 名の会員により構成される放射化分析研究会幹事選挙管理委員会(以下「選挙管理委員会」という)によって実施する。

幹事選挙においては、投票日において幹事にある者および前幹事が投票権を有する。前幹事とは前回選挙の投票時において幹事であった者を指す。

幹事候補者は、1 年以上の会員歴を有する会員でなくてはならない。

選挙管理委員会は、会員に対し幹事の改選の実施、その投票期間およびその他必要な事項を公示し、幹事候補者の推薦および立候補(自薦)を募る。それに基づき、候補者一覧を作成し、有権者に公示しなくてはならない。

開票は幹事外の会員の立ち会いの下、選挙管理委員会によって行われる。

●放射化分析研究会申しあわせ

第 1 章 総則

第 1 条 本会は放射化分析研究会 (Japan Association of Activation Analysis, JA3) と称する。

第 2 条 会員相互の交流を行うことによって、放射化分析および関連分野の研究の進展を図り、放射化分析の発展、普及に寄与することを目的とする。

第 3 条 前条の目的を達成するために次の活動を行う。

- (1) 機関誌「放射化分析」およびニュースレター(不定期)の発行
- (2) 研究会、講習会等各種学術的行事の開催
- (3) 放射化分析施設の整備、将来計画及び国際交流等の放射化分析に関わる活動に対する会員の総意のまとめと提言
- (4) その他前条の目的を達成するために必要な事業

第 2 章 会員

第 4 条 会員は正会員および賛助会員とする。

- (1) 正会員は本会の趣旨に賛同しその活動に参加する一般個人および学生
- (2) 賛助会員は本会の主旨に賛同し、その事業を援助する組織又は団体

第 5 条 所定の入会申込書によって申し込みがあり、幹事会で入会が適当と認められたものを会員とする。また退会する場合には、本会事務局に届け出なければならない。

第 3 章 幹事及び幹事会

第 6 条 会の運営は、幹事若干名で構成される幹事会で行う。幹事は編集・行事・庶務・会計などの業務を行う。

第 7 条 幹事の任期は 2 年とし、毎年半数を交替する。幹事の再任を妨げない。幹事は別途定める幹事選出規約に則り選出される。

第 4 章 会費および会計監査

第 8 条 会員は入会時および年度初頭に以下の会費を納入しなければならない。

正会員 (一般) 2,000 円、 (学生) 1,000 円
賛助会員 1口 25,000 円

第 9 条 会計年度は 4 月 1 日から翌年 3 月 31 日とする。

第 10 条 会計監査は会員より選出される。会計監査は会の収入、支出が正しく運用されているこ

とを監査する。

第5章 事務局

第11条 本会の事務一般業務を行うため事務局を置く。

第12条 事務局の場所および事務局担当幹事は、幹事会の合議によって決める。

カレンダー

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/>

2011/5/22 - 26

IUPAC International Congress on Analytical Sciences 2011 (ICAS2011)
国立京都国際会館, 京都市

<http://www.icas2011.com/>

2011/6/19 - 22

4th International IUPAC Symposium for Trace Elements in Food (TEF-4)
Aberdeen, UK

<http://www.abdn.ac.uk/tef-4/>

要旨締切: 2011/1/31

2011/7/6 - 8

第48回 アイソトープ・放射線 研究発表会
日本科学未来館, 東京

<http://www.jrias.or.jp/index.cfm/6,0,103,212,html>

講演申込締切: 2011/2/28

2011/7/16 - 18

第20回環境化学討論会
熊本県立大学, 熊本市

<http://wwwsoc.nii.ac.jp/jec/conference.shtml>

講演申込締切: 2011/4/8

2011/8/14 - 19

Goldschmidt 2011

Prague, Czech Republic

<http://www.goldschmidt2011.org/>

要旨締切: 2011/4/15

2011/8/23-26

11th Asian Conference on Analytical Science (ASIANALYSIS XI)

Nanjing, China

<http://asianalysis.nju.edu.cn/>

要旨締切: 2011/6/20

2011/9/7 - 9

分析展2011/科学機器展2011

幕張メッセ国際展示場, 千葉市

<http://www.jaimasis.jp/2011/index.html>

2011/9/18 - 23

3rd International Nuclear Chemistry Congress (3rd-INCC)

Sicily, Italy

<http://3rdincc.mi.infn.it/>

2011/9/20 - 22

2011日本放射化学会年会/第55回放射化学討論会

若里市民文化ホール, 長野市

<http://www.radiochem.org/toronkai/index.html>

2011/9/27 - 29

日本分析化学会第60年会

東京工業大学, 東京

講演申込締切: 2011/6/15

2011/10/16 – 21

International Society of Trace Element Research in Humans (ISTERH)

Belek (Antalya), Turkey

<http://www.isterh.com/>

要旨締切: 2011/6/1

2012/1/22 – 27

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

Bangkok, Thailand

<http://www.namls10.com>

要旨締切: 2011/8/31

2012/3/25 – 30

Ninth International Conference on Methods and Applications of Radioanalytical
Chemistry (MARC-IX)

Hawaii, USA

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

要旨締切: 2011/12/1

2012/6/24 – 29

Goldschmidt 2012

Montréal, Canada

<http://www.goldschmidt2012.org/>

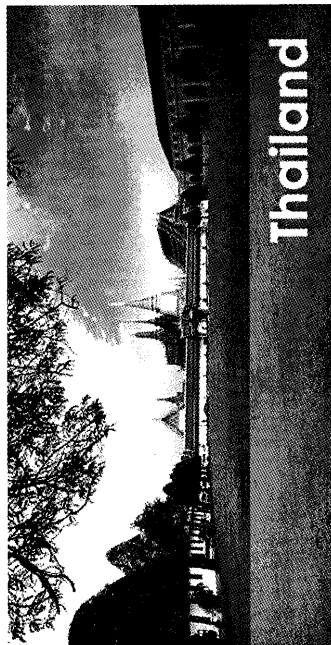
2012/9/17 – 21

8th International Conference on Nuclear and Radiochemistry (NRC-8)

Como, Italy

<http://nrc8.mi.infn.it/>

NAMLS 10: 1ST Announcement and Call for papers



Thailand

The Tenth International Conference on Nuclear Analytical Methods in the Life Sciences (NAMLS10) will take place on 22-27 January 2012 in Bangkok, Thailand.

The purpose of this conference is to discuss the development of nuclear and radiation techniques useful in the life sciences. The fields of interest include biology, biochemistry, medicine, agriculture, food sciences, plant sciences, nutrition, and environmental sciences.

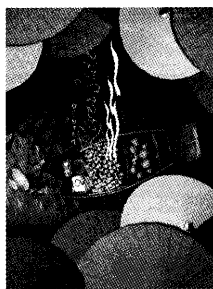
Conference topics shall include instrumental (INAA) and radiochemical (RNAA) neutron activation analysis, particle-induced x-ray emission (PIXE), energy-dispersive x-ray fluorescence (ED-XRF), inductively-coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), as well as metrology.

Important dates:

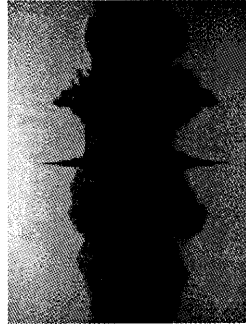
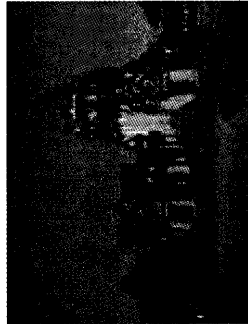
31 Aug 2011: Abstract submission deadline

15 Sep 2011: Notification of abstract acceptance

15 Oct 2011: Early registration deadline



Spicy Prawn Soup



For more information, please visit our website at www.namls10.com

CALL FOR PAPERS

Abstracts of papers to be presented at the conference are solicited at this time. An up-to-date list of session organizers is available on the MARC IX website listed below. If you are interested in submitting a paper to one of the special topic sessions, please contact the organizer or the Program Chair before submitting your abstract to help insure your paper is properly placed. All abstracts must be submitted to the Program Chair as described on the web site. Full details on preparation of 200-word abstracts and details on how to submit the abstracts can be found on the conference website.

TENTATIVE TIMELINES

Abstracts due: December 1, 2011
Notification to authors: December 15, 2011
Preliminary program: January 15, 2012
Draft Papers Due: At conference

CONTACT PERSONS

Questions concerning the scope and organization of the conference should be addressed to the General Chair:

Stephen P. LaMont, LANL
Tel: (505) 667-1008
E-mail: lamont@lanl.gov

Information on the scientific program of the conference can be obtained from the Program Chair:

Samuel E. Glover, NIOSH
Tel: (513) 553-6829
E-mail: sam.glover@uc.edu

CONFERENCE WEBSITE:

<http://almi.nrc.mie.uc.edu/nuclear/marc/>

PROGRAM COMMITTEE

GENERAL CHAIR

Stephen LaMont, Los Alamos National Laboratory

TECHNICAL PROGRAM CHAIR

Samuel E. Glover, NIOSH

ASSISTANT PROGRAM CHAIR

Ned Wogman, Pacific Northwest National Laboratory

Rob Steiner, Los Alamos National Laboratory

PUBLICITY CHAIR

Harry S. Miley, Pacific Northwest National Laboratory

ASSISTANT PUBLICITY CHAIRS

Robert Runkle, PNNL

FINANCE AND HOUSING CHAIR

James T. Tanner, Food Research, Inc

PUBLICATIONS AND PROCEEDINGS CHAIRS

Sam and Sherry Glover

AMERICAN NUCLEAR SOCIETY, NORTHERN

CALIFORNIA SECTION REPRESENTATIVE

Annie Kersting, Lawrence Livermore National Laboratory

CONFERENCE SECRETARY

Patt Wilson, Washington State University

WEB DESIGN

Dann Glover

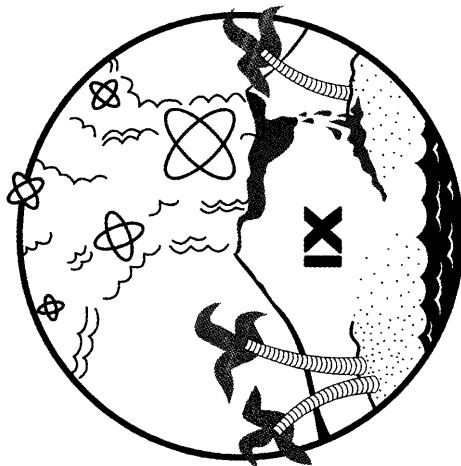
TECHNICAL PROGRAM COMMITTEE

A complete list of the technical program committee can be found on the conference web site.

FIRST

CALL FOR PAPERS

Ninth International Conference
METHODS AND APPLICATIONS OF
RADIOANALYTICAL CHEMISTRY



March 25-30, 2012
Kailua-Kona, Hawaii, USA

MARC IX

ABOUT THE CONFERENCE

The conference will continue the tradition set by the eight previous MARC conferences by focusing on emerging developments in radioanalytical chemistry, with particular emphasis on new applications. These conferences have grown to become a major international forum for the field of radioanalytical chemistry. The previous three conferences were the venue for the presentation of the Hevesy Medal, which is awarded to individuals who have made outstanding contributions to the fields of radiochemistry or radioanalytical chemistry, and the 2012 Hevesy Medal has been requested to be awarded at MARC IX. The scope of the conference includes, but is not limited to, techniques such as instrumental and radiochemical activation analysis; nuclear track analysis; radionuclide production; radiochemical separation methods; alpha, beta, gamma, x-ray and other nuclear spectrometries; *in situ* and remote sensing; radiochemical tracer methods, and mass spectrometry methods for the measurement of radionuclides. Applications of radioanalytical methods to environmental studies, environmental radioactivity including the actinide elements and radon, radioactivity in the ocean, biomedical, bioassay and clinical problems, geochemical, materials and energy sciences, nuclear fuel cycle and nuclear waste characterization, nuclear forensics, treaty monitoring, and non-proliferation studies are some of the topics presented at previous MARC conferences.

The objective of the MARC conferences is to promote a broad exchange of information on radioanalytical chemistry among scientists from participating countries. The MARC VIII conference attracted participants from more than 35 countries who benefited from the informal nature of the conference and the locale. The central geographic location of Hawaii encourages participation and attendance of scientists from Pacific Rim countries as well as providing European scientists with easy accessibility via major US airports. The isolated nature of Kailua-Kona on the Island of Hawaii provides an excellent atmosphere for informal discussions and working groups among the anticipated 250-300 attending scientists and also provides excellent recreational facilities for participating guests.

The conference will include both oral and poster sessions grouped around specific topics. Poster sessions will be organized around specific themes, similar, or in addition, to those included in the oral sessions. Continuing the policy of previous MARC conferences, papers presented at the conference will be peer reviewed and published in serial volumes of *The Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. Titles of these papers (as well as those of other MARC conferences) can be viewed at the MARC web site.

TENTATIVE TOPICS

The following topics are not exclusive and the organizers welcome papers in any area of fundamental or applied radioanalytical chemistry.

General Call for Papers

Applications of Nuclear Techniques to National Security and Treaty Monitoring

Ultra-sensitive Mass Spectrometric and Other Methods Applied to Environmental Problems

Reference Materials for Nuclear Mass Spectrometry

Quality Assurance Topics in Radioanalytical Chemistry

Advances in Actinide Analytical and Radionuclear Chemistry

Analytical Chemistry in Support of the Fuel Cycle

Actinide Mass Spectrometry Techniques and Applications

Speciation Studies of Radionuclides in the Environment

Activation Analysis for Nuclear Materials

Environmental Radioactivity

The National Nuclear Forensics Expertise Development Program: Graduate, Post-Doctoral, and University Research and Education Efforts

Nuclear Forensics

Instrumental, Preconcentration, Radiochemical and Speciation Activation Analysis

Instrumentation and Software for Nuclear Spectrometry

A comprehensive list of special topics and organizers is located on the conference website:

CONFERENCE WEB SITE

The conference web site address is:

<http://altmine.mic.uc.edu/nuclear/marc/>

Most information about the conference will be distributed through the web site and by e-mail. The web site will be updated periodically as new information is published.

CONFERENCE LOCATION

The conference will be held at the Sheraton Keahou Bay Hotel (the same hotel where MARC VIII was held). Kailua-Kona on the beautiful Island of Hawaii provides an excellent atmosphere for informal discussions and working groups among the anticipated 250-300 attending scientists.

REGISTRATION

A registration fee will be charged to all attendees to help defray the costs of the conference. The fee will include all official conference functions and a copy of the published proceedings.

HOUSING

The Sheraton Keahou Bay Hotel is designated as the official headquarters hotel and attractive discounted rates will be offered to the attendees. Please make reservations early at the headquarters hotel to assist the organizers with maintaining low registration fees. Please see the web site for more information.

SOCIAL AND GUEST PROGRAM

A social program is planned to provide an opportunity for informal contacts and discussions among the participants. Activities for guests on the Big Island of Hawaii and the other Hawaiian islands are many and will be offered through local agents. See the web site for links to information on Hawaii.



編集後記

○ 東日本大震災で被害を受けた方に心よりお見舞い申し上げます。

☆ この震災で、放射化分析には重要な研究機関、日本原子力研究開発機構と東北大学電子光理学研究センターにも大きな被害がでました。これらの職員の皆様は、施設の早い復旧に向けて努力されておられます。いかほどの労力かは想像できませんが、我々ユーザーが復旧に向けて手伝えることはないでしょうか。

△ 日本原子力研究開発機構と東京大学共同利用管理本部の施設便りは休載といたしました。もう少し落ついた後に、メールにて状況を報告していただくことにいたしました。

□ 中性子放射化分析が行える施設は、現在、京都大学原子炉のみとなってしまいました。京大炉は、昨年、4年ぶりに運転を再開したところですが、燃料低濃縮化の休止期間中に、気送管システムなどが更新されました。この新しい京大炉を特集として紹介しております。後期の共同利用申請の参考になれば幸いです。

◇ 原発に対して世間の激しい向かい風が吹いていますが、研究炉にも吹かないか心配です。何としても、食い止めなければなりません。

(Y.O.)

本会誌の内容および投稿募集

放射化分析研究会の情報媒体は、定期刊行機関紙「放射化分析」、および電子メールです。会誌「放射化分析」は下記の記事で構成されます。

講座・特集・解説:

専門的な記事を毎号企画していきます。記事の内容についてのご希望や提案をお寄せください。

研究紹介:

放射化分析に関する研究、放射化分析を用いた研究を紹介していきます。

研究の当事者にまとまった内容を執筆していただくものと、秀れた論文を紹介するものがあります。

特に紹介したい研究についてご意見をお寄せください。

Q&A:

会員から質問を受けて、回答やアドバイスを掲載します。どのような質問でも結構です。

回答者は幹事会が責任をもって会員の中から選定します。

施設だより:

放射化分析を行うことができる共同利用施設の近況報告、また、採択されている研究課題などを掲載します。

談話室:

会員の気軽なおしゃべりの場です。要望、話題、新刊紹介、その他、どのような内容でも結構です。

若い声:

学生や若手研究者およびこれから放射化分析を手がけようとする方々の新鮮な声を反映させる欄です。

研究会報告・最近の動向等:

最近開催された研究会の報告です。放射化分析が取り扱われている研究は広範囲な分野に顔を出している筈です。放射化分析が関係している研究課題が1件でもあれば、この欄に取り上げたいと思います。

会員の皆さんからの情報提供をお待ちしています。

博士論文・修士論文・卒業論文抄録

事務局より

会員名簿

原稿は A4 横書き、40 字 x40 行、上下マージン 25mm、左右マージン 20mm を標準として、電子ファイルにより提出してください。編集の際にレイアウトを工夫させていただくこともあります。これ以外でもご相談に応じます。

本会誌に掲載された著作の著作権は放射化分析研究会に帰属します。

電子メールリングシステム

会員及び幹事会の電子メールアドレスが、下記のエイリアスに登録されています。
これを用いて会員相互の交流・意見交換を促進していきます。

会員: JA3@kaihoken.nuclear.jp

幹事会: JA3-kanjikai@kaihoken.nuclear.jp

JA3@kaihoken.nuclear.jp に発信すれば、(電子メールアドレスが登録されている)
会員全体に配信されます。

幹事会・事務局への連絡・要望等は JA3-jimu@kaihoken.nuclear.jp に発信して下さい。

メールアドレスを持っているけれど、事務局等からの電子メールを受け取ったことの無い会員は、アドレスが正しく登録されていない可能性があります。お心当たりの方は事務局宛ご連絡下さい。入力を修正します。

放射化分析研究会

事務局 319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

日本原子力研究開発機構内 東京大学共同利用管理本部

TEL 029-282-5516 FAX 029-287-2464

E-mail: JA3-jimu@kaihoken.nuclear.jp

HomePage: <http://wwwsoc.nii.ac.jp/ja3/>

幹事

海老原充、大浦泰嗣、河野公栄、澤幡浩之、関本 俊、高宮幸一、福島美智子
榎本和義、松江秀明、松尾基之、三浦勉、宮本ユタカ