

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月5日現在

機関番号：31201

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22310024

 研究課題名（和文） アジア有害元素汚染地域における食のリスク評価と専用大気PIXE  
分析システムの構築

 研究課題名（英文） Risk assessment of foods in contaminated areas of Asia and development  
of an In-Air PIXE system.

研究代表者

世良 耕一郎 (SERA KOICHIRO)

岩手医科大学・医学部・教授

研究者番号：00230855

研究成果の概要（和文）：バングラデッシュ・モンゴルにおいて種々の食品・水・住民の毛髪等を採取・分析し有害元素濃度を測定した。また汚染の拡散状況を把握、曝露経路を同定した。毛髪分析により住民の曝露状況を把握、さらに住民の食生活を考慮した総合摂取量を推定した。その結果、有害元素総摂取量の管理が可能となった。また農作物中の有害元素動態を観察する目的で、「専用大気PIXE二検出器同時分析システム」を構築、全元素の同時定量分析法が確立された。それに伴い、軽元素検出用Si(Li)に装着する「先端キャップ」を開発し、軽元素に対する感度を二桁向上させた。さらに同法を用いた「生きた植物に対する定量分析法」を開発、有害元素の植物内動態観察が初めて可能となった。

研究成果の概要（英文）：Various foods including farm products, fishes and dairy products collected in the contaminated areas in Bangladesh and Mongolia have been analyzed. As a result, it becomes possible to evaluate the actual condition of contamination, to presume the pathways of exposure and to estimate total intakes of toxic elements for the people considering their eating habits. Also, a two-detector measurement system, consisting of two Si(Li) detectors with a vacuum cap and an X-ray absorbers, has been established in in-air PIXE system, and the method of quantitative analysis has been developed. Furthermore, the new method of quantitative analysis of living plants has been developed, and it became possible to observe movement of certain toxic elements in living plants.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
22年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
23年度	1,600,000	480,000	2,080,000
24年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	6,100,000	1,830,000	7,930,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境影響評価・環境政策

キーワード：有害元素・PIXE・健康影響・リスク評価・国際協力

## 1. 研究開始当初の背景

- (1) バングラデッシュにおいては、井戸水由来のヒ素汚染により国土の85%が高度ヒ素汚染地域に指定されており、二千万の中毒患者が存在すると言われている。現在、多くの地域で安全な井戸が掘られているが、汚染は既に環境全体に広がり、農作物や淡水魚類等を通じた曝露が続き、中毒患者の減少傾向は見られない。そのため環境の汚染状況や汚染拡散経路などを調査するとともに主食品中のヒ素濃度を把握、総合曝露量を管理することが急務となっている。
- (2) 一方モンゴルにおいては、零細金鉱山が各地に点在しそれらからの水銀・ヒ素・鉛などの汚染が環境に広がっている。しかしその実態や住民の健康影響などの調査は殆どなされていないのが現状である。また農作物や魚類主体の食生活であるバングラデッシュと異なり、モンゴルでは肉類・乳製品が主体の食生活であるため、曝露経路もより複雑なものとなる。汚染源からの拡散経路、食品汚染の実態を把握することが求められる。
- (3) 農作物中の有害元素は、農耕法などの改善により軽減することが知られており、実際にその研究がバンコク FAO などの研究機関で行われている。我々の PIXE は唯一「生きたままの植物の定量分析」を可能とし得る分析法である。しかし全元素の植物内動態を同時に観察するためには、「大気二検出器同時分析システム」の構築が不可欠であり、それを前提とした生きた植物に対する定量分析法が開発できれば、農作物中の有害元素動態の直接の観察が可能となる。その目的のためには、我々が真空 PIXE において開発し大気 PIXE にも既に応用している「無標準法」の植物試料への適用が有望な手段と思われる。
- (4) 我々は、1995 年よりアジア各国の有害元素汚染問題の調査研究を幅広く行っており、体内曝露評価のための無調製毛髪・尿・ツメ定量分析法など多くの技術開発を行ってきた。また各国の研究機関との連携などのネットワークも整えられている。本研究課題においても、それらの経験が生かされ、研究の推進が円滑に行われ得るバックグラウンドが整っている。

## 2. 研究の目的

本研究は、小型加速器を活用しアジアにおける研究機関の協力を得て、有害元素曝

露経路と有害元素の環境・食物への拡散の実態解明を行うこと、住民の総曝露量の管理を行うこと、及びそれらのために必要な技術開発を行うことを目的とする。

(1) バングラデッシュにおいては、現在多くの部落で安全な井戸が掘られているが、住民の多くが未だに中毒症を呈し続けており、環境全体の汚染による食品経由の曝露がその原因であると予想されていた。本研究においては現地で養殖池・河川の魚介類、農作物などの試料を幅広く収集し、我々により確立された PIXE 法によりそれらを定量分析、個々の食品の結果に対し統計的解釈を行ない総合的リスク評価につなげる。さらにその結果を住民に通知、住民や各国研究機関とともに対策を立案し住民を救済することを最終目的とする。

(2) 近年零細鉱業に起因する有害元素汚染が問題となり、バングラデッシュとは著しく食習慣・気候・風土を異にするモンゴルにおいても、同様の方針で研究を行なう。特に零細鉱山からの汚染の拡散状況の把握、住民の曝露経路の同定により、住民の健康への影響を軽減する方策の立案が求められる。バングラデッシュの場合、対象元素はほぼヒ素に限定されているが、モンゴルの場合は水銀・ヒ素・鉛・マンガン・クロムなど多種元素が対象となり、それらの拡散状況も異なると予想されることから、住民への健康影響までの経路はより複雑なものとなる。それらを解明し、健康への影響の軽減を図るとともに、汚染拡散への対策も立案する。

(3) 農作物可食部への有害元素の移行を調べ、その低減を図る研究を推進するため、「生きた植物に対する定量分析法」を開発する。軽元素から重元素までの動態観察のためには、大気 PIXE 分析システムにおける二検出器同時計測システムの確立が前提となる。同システムを構築した後、定量分析法確立のための方法論開発（ビームエネルギーロスの計算、X線発生断面の計算、検出効率測定・決定方法の開発等を含む）を行い、標準試料等を用いてその定量精度を確認する。生きた植物試料の分析のためには、正常な代謝が持続していることの確認方法、最適なビーム照射・X線測定条件の確立なども求められる。それらの開発を行った後、先ず無負荷での元素動態観察、次に重元素投与後の重元素動態観察へと研究を進め、有害元素の農作物内の動態観察に応用する。

### 3. 研究の方法

本研究は、中毒症に苦しむ人民の早期救済と食のリスク評価の方法論確立を第一の目標とし、また国際環境協力を耐えうるPIXE分析手法の確立及びその応用が第二の目標、さらに国際機関を通じ成果をアジア諸国に普及することを第三の目標とする。情報発信は、国際機関のネットワークを活用して、広範囲に実施する。住民への通知・指導に関しても、円滑な方式を確立する。その手順を、以下に列挙する。

#### (1) 試料採取

試料採取は平成22年23年度の2回に分け、それぞれバングラデッシュ・モンゴルにて行う。バングラデッシュにおいては、同国Metropolitan City CollegeのS. Islam氏が平成22年12月と平成24年1月から2月に分けて行い、数百の農作物・淡水魚などの試料と、数十の水試料、百数十の毛髪試料の採取が行われた。またモンゴルでの試料採取は分担者である村尾智が行い、平成21年7月と22年7月の2回に分けて、肉、乳製品、オイル、酒等の食品、また体内曝露評価のための毛髪試料、さらに植物、土、水などの汚染経路同定のための試料数百試料が採取された。また、本課題の主題に関連し、平成23年3月に発生した巨大津波がもたらした重金属汚染されたヘドロ試料、その上に生育する植物試料など、数百の試料が南相馬市から八戸市にかけての沿岸地方で採取された。また被災者の健康調査のため、釜石・大船渡・宮古市において数百の毛髪が採取された。

#### (2) 分析法の開発

大気二検出器同時分析システムの開発は23年～24年度に行われたが、22年度には先ずモンゴルの乳製品等の分析法開発が行われた。最初にオイル試料に対する大気PIXEにおける無標準法が開発された。次にバター、クリーム、チーズなどの乳製品に対する無標準法が開発され、本研究課題で対象とする食物試料全ての定量分析法が整備された。それらの成果に関しては、22年度中に国内外の学会において報告が行われた。

#### (3) 試料の分析

農作物、魚肉、獣肉等の試料に対しては、以前に開発が行われた「硝酸灰化内部標準法」により分析が行われた。統計処理のため、1試料から5～6枚のターゲットが独立に作成され、分析試料数は数千にも上った。乳製品や食物油の分析は上記の新手法により行われた。また、水などの液体試料は通常の内部標準法、毛髪試料は我々が以前に開発した無標準法、土壌試料は同じく以前

に開発を行った粉末内部標準法により定量分析が行われた。

(4) 生きた植物に対する定量分析法の開発  
大気二検出器同時分析システムとそれに対する定量分析法の確立は、3.11 震災の影響もあり平成25年4月に持ち越されたが、その前に一検出器を用いた「生きた植物に対する定量分析法」の開発が平成22年に行われ10月に完成、同年の国内学会で報告が行われた。さらに重元素投与後の植物内重元素動態の観測に23年8月に成功し、同年の国際学会で報告が行われた。

(5) 大気二検出器同時分析システムの開発  
平成23年4月より同システムの構築が開始され、24年6月には、軽元素測定用検出器の先端に装着する「先端キャップ」を開発、軽元素に対する感度を二桁改善することに成功した。さらにX線発生断面積の再計算、二検出器に対する検出効率の測定などが行われAl以上の全元素の同時分析が可能となった。

### 4. 研究成果

#### (1) 食のリスク評価と曝露経路の推定等

第一回の試料採取で採取された試料の分析・解析は平成24年度4月までに、第二回のそれらに関しては、平成24年の8月までに完了し、統計解析、総合的なリスク評価、曝露経路の推定、汚染拡散機構の解明などが行われた。それらの結果は、国際学会などの学会、数編の学術論文として既に報告されている。また、これらの結果は国際機関等を通して住民にも周知され、総曝露量の管理も可能となった。

#### (2) 食物試料に対する定量分析法の開発

平成22年度に行われた無調製のオイル試料に対する無標準法により、オイル一滴を支持膜上に滴下するのみで定量分析が可能となった。(下記、主な発表論文23)この手法は、エンジンオイルの分析など大気環境学における研究に広く利用されている。またバターなどオイル質の乳製品に対する無標準法により、従来の内部標準法の適用が困難な乳製品の分析が可能となり、しかも試料調製の手間が大幅に軽減された。

(3) 生きた植物に対する定量分析法の開発  
生きた植物試料に対する無標準法は、初めて正常な代謝を保った状態での各元素の動態観察を可能とした。それらの開発の結果、アポトーシス機構と関連すると思われる鉄・カルシウムの興味深い経時変化が観測され、さらに投与したヒ素など重元素の動態も数分単位での変化が観察可能であるこ

とが示された。(図 1) 現在、実際の農作物中の重元素動態の観察に応用されている。

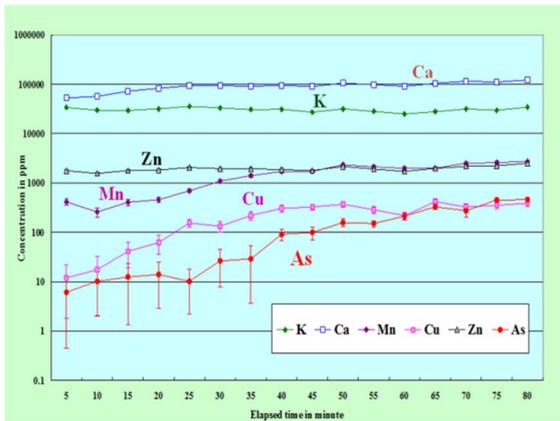


図 1. ヒ素投与後の植物内元素動態

(4) 大気二検出器同時分析システムの開発  
大気二検出器同時測定システムの開発により、アルミニウム以上の全元素の同時分析が可能となった。従来、大気 PIXE においては塩素より軽い元素の分析は困難であったが、「先端真空キャップ」の開発により空気からの制動放射線の BG を二桁押さえることに成功し、軽元素に対する感度が二桁上昇した。図 2 に二検出器の先端部の写真を示す。その結果、リンや硫黄などの元素の動きが、重元素と共に同時に観測可能となった。今後、同システムを農作物中の重元素の動態観察や、重元素の可食部への移行を押さえる為の農耕法の開発に生かしていきたいと考えている。



図 2. 大気二検出器同時分析システムの先端部。左が「先端キャップ」を装着した軽元素測定用、右が吸収体を装着した重元素測定用の Si(Li)、中央がビームの出口である。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に

は下線)

[雑誌論文] (計 26 件)

- 1) Quantitative Analysis with a Two-Detector Measuring System in In-Air PIXE. - Design to Improve Detection Sensitivity at Low Energies -, Sera, K., Goto, S., Takahashi, C., and Saitoh, Y., *Int'l Journal of PIXE*, Vol. 22-3-4, 2013 (印刷中) (査読有)
- 2) Risk Assessment of Arsenic and Other Heavy Metals from Vegetables Grown in Bangliah Village, Khandakar, J., Shafiqul Islam, Md., Nakamura, T., Sera, K., Takatsuji, T., and Kitamura, Y., Health Bangladesh, *Int'l Journal of PIXE*, Vol. 22-3-4, (2013) (印刷中) (査読有)
- 3) Cohort Study for Prevention of Atopic Dermatitis Using Hair Mineral Contents., Tamada, T, Saundars, T., Kuroda, S., Sera, K., Nakamura, T., Takatsuji, T., Hara, T., Nose, Y., *J. Trace Elements in Medicine and Biology*, 27, 126-131, 2013 (査読有)
- 4) 生きた植物試料に対する無標準定量分析法を用いた植物内元素変動の観察, 世良耕一郎、寺崎一典、佐々木敏秋、後藤祥子、高橋千衣子、齋藤義弘, NMCC 共同利用研究成果報文集第 18 巻、108-116、2013 (査読無)
- 5) モンゴル国北部における重金属汚染とリスク管理 -予報-, 村尾 智、川辺能成、世良耕一郎、後藤祥子、高橋千衣子、Tumenbayar Baatar, Uramгаа Jambardorj, NMCC 共同利用研究成果報文集第 18 巻、102-107、2013 (査読無)
- 6) 3.11 巨大津波が陸地にもたらした重元素汚染された汚泥試料の分析, 世良耕一郎、馬場史孝、後藤祥子、高橋千衣子、齋藤義弘, NMCC 共同利用研究成果報文集第 18 巻、84-92、2013 (査読無)
- 7) Effect of Biological Variability Incidental to PIXE-Hair Minerals on Risk Analysis of Atopic Dermatitis., Saunders, T., Kuroda, S., Makie, T., Sera, K., Yamada, T., Nakamura, T., and Nose; Y., *Biometrieund MedizinischeInformatik Greifs-walder Seminarberichte*, Vol. 18, 127-137, 2012 (査読有)
- 8) Influence of Demographic Factors on Arsenic Accumulation in Human Population Cases of Two Arsenic Affected Villages in Bangladesh.: Shafiqul Islam, MD., Khandakar, J., Takatsuji, T., Nakamura, T., and Sera, K. : *Int'l J. PIXE*, Vol. 22-1-2, 131-137, 2012 (査読有)
- 9) Sample Preparation for PIXE Analysis of Fatty Food., Goto, S., Takahashi, C. and Saitoh, Y., Murao, S., and Sera, K. : *Int'l J. PIXE*, Vol. 22-1-2, 29-35,

- 2012 (査読有)
- 10) Risk Assessment of Arsenic and Other Heavy Metals from Vegetables Grown in Bangliah Village, Bangladesh, Khandakar, J., Shafiqul Islam, Md., Nakamura, T., Sera, K., Takatsuji, T., and Kitamura, Y., *Health Int'l J. PIXE*, Vol. 22-1-2, 45-50, 2012 (査読有)
  - 11) モンゴル国北部のスマールスケールマイニング, 村尾智, 地質汚染-医療地質-社会地質学会誌 7, 22-25, 2012 (査読無)
  - 12) PIXEによる資源と環境ガバナンス構築の支援, 村尾智, 世良耕一郎, ニッ川章二, NMCC 共同利用研究成果報文集第 17 巻, 53-59, 2012 (査読無)
  - 13) 大気 PIXE による生きた植物試料に対する無標準定量分析法の開発, 世良耕一郎, 後藤祥子, 高橋千衣子, 齋藤義弘, NMCC 共同利用研究成果報文集第 17 巻, 69-80, 2012 (査読無)
  - 14) Application of PIXE to monitor the quality of salt fro salt farming areas in Thailand, Murao, S., Kirdmanee, C., Sera, K., Goto, S., Takahashi, C. and limsuwan, R., *Int'l Journal of PIXE*, Vol. 22-1-2, 195-200, 2012 (査読有)
  - 15) Statistical Consideration on the Variability Incidental to PIXE-Hair Minerals., Saunders, T., Kuroda, S., Nakamura, T., Yamada, T., Sera, K., Goto, S., and Nose, Y., *Int'l Journal of PIXE*, Vol. 22-1-2, 87-93, 2012 (査読有)
  - 16) Estimation of Hair Arsenic and Statistical Nature of Arsenicosis in Highly Arsenic Exposed Bangliah Village in Comilla District of Bangladesh., Shafiqul Islam, Md., Sera, K., Takatsuji, T., Anwar Hossain, Md., Nakamura, T., *Int'l J. PIXE* Vol. 21-3. 4, 101-118, 2011 (査読有)
  - 17) Analysis of Plants and Sediment from the Tidelands of the Coastal Regions of the Tohoku District Following the 2011 Tsunami., Sera, K., Baba, F., Goto, S., Takahashi, C., Saitoh, Y., and Matsumasa, M., *Int'l J. PIXE*, Vol. 22-1-2, 139-147, 2011 (査読有)
  - 18) Movement of Heavy Elements in Plants by Means of a Standard-free Method for Living Plants in In-Air PIXE, Sera, K., Terasaki, K., Sasaki, T., Goto, S., Takahashi, C. and Saitoh, Y., *Int'l J. PIXE*, Vol. 22-1-2, 149-155, 2011 (査読有)
  - 19) High Level of Arsenic Reaffirmed for Human Hairs in Mongolia., Murao, S., Sera, K., Tumenbayar, B., Sajiaa, N. and Uramгаа, J., *Int'l J. PIXE*, Vol. 21-3, 4, 119-124, 2011 (査読有)
  - 20) Estimation of Hair Arsenic and Statistical Nature of Arsenicosis in Highly Arsenic Exposed Bangladesh Village in Comilla District., Md. S. Islam, Sera, K., Takatsuji, T., Md. A. Hassain. and Nakamura, T., *Int'l J. PIXE*, Vol. 21-3, 4, 101-118, 2011 (査読有)
  - 21) Standard-Free Method for Living Plants in In-Air PIXE., Sera, K., Goto, S., Takahashi, C. and Saitoh, Y., *Int'l J. PIXE*, Vol. 21-1, 2, 13-23, 2011 (査読有)
  - 22) Investigative Studies on Water Contamination in Bangladesh. - Preliminary Treatment of Water Samples at the Sampling Site.-. Sera, K., Shafiqul Islam, Md, Takatsuji, T., Nakamura, T., Goto, S., Takahashi, C. and Saitoh, Y., *Int'l J. PIXE*, Vol. 20-3, 4, 119-126, 2010 (査読有)
  - 23) Quantitative Analysis of Untreated Oil Samples in In-Air PIXE., Sera, K., Goto, S., Takahashi, C. and Saitoh, Y., *Int'l J. PIXE*, Vol. 20-3, 4, 77-84, 2010 (査読有)
  - 24) Progress of IN-Air PIXE Development for Environmental Studies., Murao, S., Kawabe, Y., Sera, K. and Nakamura, T., *Proc. of 11th International Symposium on Mineral Exploration*, 107-110, 2010 (査読無)
  - 25) Epidemiological Assessment of Significance for Hair Minerals Measured by PIXE Method., Kuroda, S., Saunders, T., Nakamura, T., Sera, K., and Nose, Y., *Lecture Note in Engineering and Computer Science*, WCECS, San Francisco., Vol. 2, 932-935, 2010 (査読無)
  - 26) Epidemiological Assessment of Significance for Hair Minerals Measured by PIXE Method., Kuroda, S., Saunders, T., Nakamura, T., Sera, K., Nose, Y., *Lecture Notes in Engineering and Computer Science*, WCECS, San Francisco, Vol. II, 932-935, 2010 (査読無)
- [学会発表] (計 16 件)
- 1) Sera, K., Goto, S., Takahashi, C., Saitoh, Y., and Yamauchi, K. Effects of Heavy Elements in the Sludge Conveyed by the 2011 Tsunami on Human Health and the Recovery of the Marine Ecosystem., 13th International Conference on Particle-Induced X-ray Emission, March, 3-6, 2013 (招待講演) Gramado, Brazil,
  - 2) Rey-Saturay, E. M. and Murao, S. Culture of informal mining sector and its implications on the applicability of ethical jewelry: key consideration points from the case of Paracale,

- Camarines Norte, Philippines, 第22回環境地質学シンポジウム、つくば、2012年12月8日
- 3) 世良耕一郎、後藤祥子、高橋千衣子、斎藤義弘、大気二検出器同時測定システムの開発—低エネルギー領域感度向上のための試み—、第28回PIXEシンポジウム、2012年11月9日、東京
  - 4) Murao, S., Kirdmanee, C., Sera, K., Goto, S. and Takahashi, C. Detection of Lead in Human Hair: A Contribution of PIXE Measurement to the Lead-Elimination Issue, 第28回PIXEシンポジウム、2012年11月8日、東京
  - 5) 後藤祥子、高橋千衣子、斎藤義弘、世良耕一郎、バター・マーガリン等油脂食品に対する定量分析法の開発、第27回PIXEシンポジウム、2011年11月17-19日、京都大学
  - 6) 世良耕一郎、後藤祥子、高橋千衣子、斎藤義弘、生きた植物試料に対する無標準定量法の開発、第27回PIXEシンポジウム、2011年11月17-19日、京都大学
  - 7) Sera, K., Terasaki, T., Sasaki, S., Goto, S., Takahashi, C., and Saitoh, Y. Movement of Heavy Elements in Plants by Means of a Standard-free Method for Living Plants in In-Air PIXE., The Seventh International Symposium on Bio-PIXE, October 30 - November4, 2011, Sendai
  - 8) Goto, S., Takahashi, C., Saitoh, Y., Murao, S., and Sera, K., Sample preparation for PIXE analysis of fatty food., The Seventh International Symposium on Bio-PIXE, October 30- November4, 2011, Sendai
  - 9) Saunders, T., Kuroda, S., Sera, K., Nakamura, T., Makie, T., Yamada, T., and Nose, Y., Statistical Consideration on the Variability Incidental to PIXE-Hair Minerals., The Seventh International Symposium on Bio-PIXE, October 30 - November4, 2011, Sendai
  - 10) Shafiqul Islam, Md, Khandakar, J., Takatsuji, T., Nakamura, T., and Sera, K., Influence of Demographic Factors on Arsenic Accumulation in Human Populations : Based on Two Arsenic Affected Village., The Seventh International Symposium on Bio-PIXE, October 30- November4, 2011, Sendai
  - 11) Murao, S., Kawabe, Y., Sera, K., and Nakamura, T., Progress of in-air PIXE development for environmental studies., ISME-XI , Sept. 8, 2011, Espoo, Finland.
  - 12) Murao, S., Proton Induced X-ray Emission as a Versatile Technique for Risk Studies., UNEP-AIST Workshop on Responsible Production and Industrial Risk Management, March 24, 2011, Siam City Hotel, Bangkok.
  - 13) Islam, Md. S., Khandakar, J., Nakamura, T., Sera, K. and Khan, Md. M. H., Estimation of Hair Arsenic Levels in Bangladesh Population: Influence of Demographic Factors on Arsenic Accumulation in Human., International Conference on Environmental Engineering and Applications., 2010年9月10-12日, Singapore
  - 14) Ito, H., Saunders, T., Miyamoto, J., Nishiyama, M. and Nakamura, T., Establishing Allowable Value of Electric Conductivity for Monitoring Groundwater Based on the Benchmark Dose Concept and Its Application., International Conference on Environmental Engineering and Applications., 2010年9月10-12日., Singapore
  - 15) Sera, K., Goto, S., Takahashi, C. and Saitoh, Y., Quantitative Analysis of Untreated Oil Samples in In-Air PIXE., 12th International Conference on Particle Induced X-ray Emission and its Applications., 2010年6月27-7月2日., Guildford, UK
  - 16) Saunders, T., Imaizumi, H., Kuroda, S., Yamada, T. Sera, K., Nakamura, T., and Nose, Y. Statistical Analysis of Mineral Concentration Levels in the Hair of Healthy Mothers. 12th International Conference on Particle Induced X-ray Emission and its Applications., 2010年6月27-7月2日., Guildford, UK
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
    - 世良 耕一郎 (SERA KOICHIRO)
    - 岩手医科大学・医歯薬総合研究所・高エネルギー医学研究部門・教授
    - 研究者番号：00230855
  - (2) 研究分担者
    - 村尾 智 (MURAO SATOSJI)
    - 独立行政法人産業技術総合研究所・地圏資源環境研究部門・主任研究員
    - 研究者番号：10358145
- 研究分担者

中村 剛 (NAKAMURA TSUYOSHI)  
中央大学・理学部・教授  
研究者番号：80039586

(3)連携研究者

川辺 能成 (KAWABE YOSHISHIGE)  
独立行政法人産業技術総合研究所・地圏資  
源環境研究部門・主任研究員  
研究者番号：90392604