

令和 2 年 6 月 18 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01874

研究課題名(和文) 質量分析による環境中ネプツニウム同位体測定法開発とその応用

研究課題名(英文) Development of a mass spectrometric analysis for the environmental neptunium and its application

研究代表者

坂口 綾 (Sakaguchi, Aya)

筑波大学・数理解物質系・准教授

研究者番号：00526254

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、環境中のNpが「一般的なアクチノイド」と位置付けられ、包括的な研究が行われていく事を最終目的とし、質量分析による精度の高い測定のためのNpスパイクの製造を試みてきた。Th+Li反応によりNp-236の製造を試みるため、まずは大量のThや反応により生成する核分裂生成核種からNpを分離回収する方法、さらに、妨害核種となる長寿命のUやPuからNpを分離回収する方法を確立した。実際の照射試料に、確立した分離方法を適用したところ37～42 MeVのビームエネルギーで照射したTh中でNp-236mが生成されていることが世界で初めて確認された。さらに、この反応の核反応断面積を得ることに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Npは水に溶け環境中に広く拡散する可能性があるにも関わらず、測定の困難さからこれまで包括的な研究が行われていない。さらにTRU廃棄物における核種挙動や被ばくの観点から重要核種と位置付けられているものの、質量分析のためのスパイクが存在していないためモニタリングも限られている。本研究によりNpのスパイク製造法が確立されることで、放射性廃棄物さらに保健物理の分野に大きく貢献する。また、核種の物理化学的特性から、環境中では水のトレーサーとして利用可能性が高いため、環境科学・地球化学への応用も期待できる。このように本研究で提案している事は、さまざまな分野や社会において必要不可欠であり喫緊の課題である。

研究成果の概要(英文)：In this study, we have attempted to produce Np spikes for accurate measurement by mass spectrometry, with the final goal of identifying environmental neptunium (Np) as a 'common actinide' for a comprehensive study of Np. We established a method for the production of Np-236 by the Th+Li reaction, a chemical separation method to recover Np from a large amount of Th and fission products, and another method to concentrate Np from interfering nuclides such as long-lived U and Pu. By applying the established separation methods to actual irradiated samples, the formation of Np-236m was confirmed, for the first time, in Th irradiated with a beam energy of 37 to 42 MeV. Furthermore, we successfully obtained the nuclear reaction cross sections of this reaction.

研究分野：環境放射化学

キーワード：ネプツニウム 人工放射性核種 スパイク トレーサー

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

これまで、環境中のアクチノイドは、被ばく線量評価あるいは表層環境における元素挙動や物質動態の観点から、天然放射性系列核種であるウラン同位体( $^{234,235,238}\text{U}$ )やトリウム同位体( $^{228,230,232,234}\text{Th}$ )の研究が盛んに行われてきた。核エネルギー利用の増加に伴い放出された、人工のアクチノイドにおいては、核実験や原子力関連施設の事故漏えいを起源とするプルトニウム同位体( $^{238,239,240}\text{Pu}$ )を中心として、アメリシウム同位体( $^{241}\text{Am}$ )やキュリウム同位体( $^{242,243}\text{Cm}$ )がさまざまな試料中で評価されてきた。研究代表者らのグループも環境中のアクチノイド研究に携わり、これまで 250 報以上の国際論文として発表してきた。特に、近年の発展が目覚ましい最新鋭の質量分析技術(加速器質量分析, AMS; 誘導結合プラズマ質量分析, ICP-MS)や化学分離技術の導入により、これまで数百グラムの土壌試料や数十~数百リットルの天然水試料から、目的核種を濃縮・精製し、放射線測定で定量されていた核種が、1/10~1/100 の試料量かつ大幅に短縮された試料処理・測定時間で、高精度な定量が可能となりつつある。

これらを利用し、近年 研究代表者らは環境中に極微量存在する人工放射性ウラン同位体  $^{236}\text{U}$  に着目した研究を行ってきた。 $^{236}\text{U}$  はこれまでチェルノブイリ周辺や劣化 U 弾使用地域で U 汚染の指標として測定されてきたが、実は地球表層に約 900 kg の  $^{236}\text{U}$  がすでに蓄積していることが明らかになった。これは主として水爆実験による  $^{238}\text{U}(n,3n)$  反応で生成した  $^{236}\text{U}$  が、グローバルフォールアウトとして世界中に降下したものであることが計算結果から推測され、その後も精力的に土壌や河川水、地下水や海水等の評価を行ってきた。また、海水における U の物理化学特性を生かし、これまで海水循環を明らかにするために用いられてきた短半減期人工放射性核種の  $^{137}\text{Cs}$  に代わる新たな海水循環トレーサーとして、利用可能であることを示し、すでに日本海、北部太平洋、西部北太平洋に応用し、海洋での U 挙動や、海水の沈み込みや移流についての新たな知見も得られている。そのような中、環境中  $^{236}\text{U}$  起源推定のための計算において  $^{238}\text{U}(n,3n)$  と同時に起こる  $^{238}\text{U}(n,2n)$  反応で短寿命  $^{237}\text{U}$  が生成し、即座に壊変してネプツニウム同位体  $^{237}\text{Np}$ (半減期 214.4 万年)が生成している可能性が見いだされた。さらに、その量は  $^{236}\text{U}$  の約 2 倍の約 2000 kg であることも試算された。

Np は他のアクチノイドとは異なり、環境中では 5 価のカチオンとして存在すると示唆されており(Kaszuba&Runde, 1999)、鉱物にも吸着せず環境中では非常に移動性が高いと考えられている(Runde&Goff, 2005)。そのため、環境中での核種移動に関して定量的に評価することが重要となる。

また、 $^{236}\text{U}/^{237}\text{Np}$  比が発生源により大きく異なり核鑑識において重要なフィンガープリントとなる他、人工放射性(起源が明らか)かつ溶存性という特徴を併せ持つため、地球科学研究ツールとしての素質も兼ね備えており、さまざまな分野への応用が期待できる。しかし、これを遂行し世界の標準とするには解決せねばならないいくつかの重要な問題がある。最大の問題は質量分析におけるスパイクの欠如である。化学分離を必要とする質量分析においては、試料に含まれていない同位体を既知量添加し、それにより化学収率や分析計の効率補正を行う必要がある。しかし、現在 質量分析に使用できる Np スパイクが存在していない。そのため、現状では質量分析での定量が不可能である。また、ハンドリング可能な量の環境試料から迅速かつ簡便に、収率よく Np を回収する化学分離法が確立しているとは言い難く、これらを解決しない限りは、今後一般的な手法として利用されない。

### 2. 研究の目的

表層環境の物質循環や、被ばく線量評価に関わる環境中のアクチノイド研究において、高レベル放射性廃棄物の長寿命重要核種でありながら、その濃度（存在量）すら広域的に定量評価が行われなかったネプツニウム(Np)同位体に着目し、質量分析のための  $^{236}\text{Np}$  スパイク製造、高マトリクス試料からの簡便な Np 分離濃縮法の開発を行い、長半減期  $^{237}\text{Np}$  の超高感度定量法を確立する。これにより、環境中  $^{237}\text{Np}$  を超高感度で定量的に評価するとともに環境挙動を明らかにし、最終的には  $^{237}\text{Np}$  を“一般的な環境中アクチノイド”の一つに加え、新たな知見からの地球環境科学的研究のツールとして確立する。

### 3．研究の方法

上記目標達成のため、補助事業期間内に以下の課題に取り組んだ。

3.1  $^{236}\text{Np}$  スパイクの製造法開発と実際の製造 化学収率・測定効率補正のためのスパイクである  $^{236}\text{Np}$ (半減期 15.4 万年)製造を行う事が最終目的である。測定核種  $^{237}\text{Np}$  の含有量が測定妨害にならない程度に低く、かつ  $^{236}\text{Np}$  を効率よく製造することが必須となる。これには、 $^{238}\text{U}(p,3n)^{236}\text{Np}$  反応の核反応断面積データが重要となるが、既存データは ALICE コードの計算結果と大きく異なる他、本実験に耐えうる質を伴っていない。さらに、 $^{238}\text{U}(p,2n)^{237}\text{Np}$  に至っては核データすら存在していないため、まずは両核反応の断面積測定を行い、それに従い製造条件を決定することとした。

また、これまで全く実験例のない  $^{232}\text{Th}(^7\text{Li},3n)^{236}\text{Np}$  の反応による  $^{236}\text{Np}$  製造も考慮し、同様に核データをj得ることとした。

3.2 ハイマトリクス試料からの化学分離法開発 線測定用に用いられてきた方法は、非常に煩雑である上、毒劇法改正により使用困難な試薬も使用されているため、実用は非現実的である。また、アクチノイド分離の“簡易法”として発売されている新しい樹脂においても、化学分離が必要な照射試料や環境試料分析には分離方法が最適化されていない。そのため、市販のイオン交換樹脂やキレート樹脂により Np を精製する方法を確立する。特に、U や Th が大量（数十 mg）の溶液から、1 fg 以下の Np を精製するという特殊な条件での方法を先に確立する。

3.3 環境・地球科学的研究への応用 まずは大量（5 L 以上）の海水試料から、安価・簡便で効率よく Np を回収する方法について検討する。この時、デュアルトレーサーとして利用することを目指し、ウラン（U）についても回収率をモニターする。精製のための化学分離についても同様に最適化を行い、加速器質量分析に耐えうるような質の試料をj得る。

### 4．研究成果

#### 4.1 照射試料化学分離法の確立

大量の U から Np を分離する方法に関しては、U と Np の挙動が非常に類似しており、実際に様々な樹脂や試薬を用いて確立を試みたが、最終的に加速器質量分析や誘導結合プラズマ質量分析に耐えうるような試料の獲得には至らなかった。

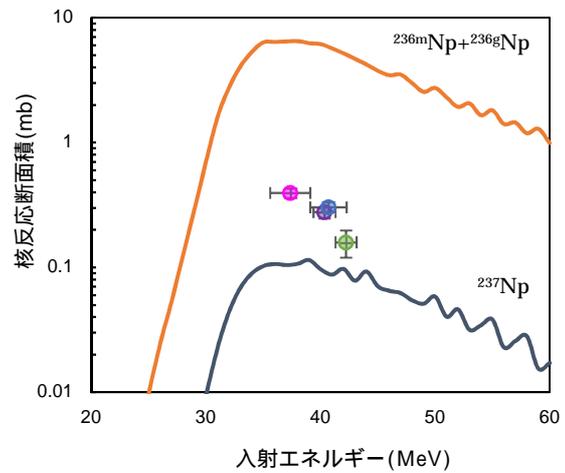
大量の Th から Np を分離する方法に関しては、アスコルビン酸と Fe を投入して Np の価数を四価に変換したものを、TAVA レジンを用いて分離することで Np が安定して 90%以上の収率で得られ、Th も 99.9%以上除去できることが分かった。また、 $^{236\text{m}}\text{Np}$  の測定妨害となる Pa 同位体が不完全核融合により製造されてしまう事が 4.2 実験を行う過程で明らかになったため、Pa を除去する方法も検討した。実際には TK400 レジンで 80-90%の Pa が除

去可能となった。最終的には、UTEVA レジンを用いて、 $^{236g}\text{Np}$  の測定妨害となる  $^{236}\text{Pu}$  や  $^{236}\text{U}$  を除去できる方法も組み合わせ、最終的な化学分離法を確立できた。

#### 4.2 $^{236}\text{Np}$ 製造

Th への Li 照射実験では以下の結果が得られた。

4.1 において模擬試料を用いた化学分離実験では 90% 以上の高い収率が安定して得られていたにも関わらず、実際の  $^{236m}\text{Np}$  測定における Np 回収率は 18.7~97.1 % とばらつきがみられた。精製試料の線測定から、複数の Th 箔において  $^{236m}\text{Np}$  の生成が世界で初めて確認された。測定した放射能と回収率から、実際に生成された  $^{236m}\text{Np}$  量を求め、核反応断面積を算出した(右上図)。



求めた核反応断面積シミュレーションによ

り得た励起関数(オレンジが全  $^{236}\text{Np}$  励起関数のシミュレーション、グレーが  $^{237}\text{Np}$  の励起関数のシミュレーション)との比較から、 $^{236g}\text{Np}$  は  $^{236m}\text{Np}$  の 15~31 倍生成していると期待できる。現在この試料の  $^{236g}\text{Np}$  と  $^{237}\text{Np}$  を加速器質量分析計および誘導結合プラズマ質量分析計にて測定中である。その結果から実際の  $^{236g}\text{Np}$  生成の有無や他の核種との比から製造条件の最適化を行う予定である。また、U への p 照射実験を通して、Np-236 が製造できるように、化学分離や照射セットアップについても引き続き検討する必要がある。

#### 4.3 環境試料中の Np 分析に関わる検討

安価・簡便をキーワードに、今回は酸化マンガン、および水酸化鉄との共沈により大量の海水から Np および U の回収を試みた。実験をそれぞれ 3 回行った実験結果を以下に示す。

表 海水からの U と Np の共沈実験結果

	Np 回収率(%)			U 回収率(%)		
	4.3	±	0.0	23.4	±	0.1
Mn	48.3	±	0.6	87.8	±	0.7
	39.3	±	0.4	92.6	±	0.3
	91.5	±	1.5	89.3	±	0.3
Fe	97.0	±	0.5	89.1	±	1.1
	101.4	±	1.4	91.2	±	0.8

酸化マンガンとの共沈では Np 回収率は 4-48% であった。また、U の回収率も併せて測定しており 23-93% と非常にばらついた結果が得られた。水酸化鉄との共沈では Np 回収率は 91.5-100% となり、U についても同様に高い回収率が得られた。特に Mn 酸化物沈澱において低い回収率や大きなばらつきが得られた原因については特定できなかった。結果として、水酸化鉄との共沈の方が Np を安定した高い回収率で濃集出来ることが分かった。また、QST の瀬古博士と共に共同で行っているアミドキシム基が塗布された吸着布を用いて、船上での作業を考慮しながら大量の海水からの吸着を試みたが、U に関しては安定して

90%以上の回収率が得られたものの、Np は 50%程度と低く同時にこれら核種を回収する方法としては不十分であった。

また、Ichrom 社製の UTEVA および TEVA レジンを用いて、上記で得られた Np に関して精製法確立を試みたが、U および Np のいずれにおいても安定した高い回収率が得られず、実用化に至っていない。

今後は、製造した  $^{236}\text{Np}$  を用いて、環境試料用分析法を確立後に実際にスパイクとして添加し、 $^{237}\text{Np}$  を定量化できるよう研究を続けていく予定である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 6件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 W. Men, J. Zheng*, H. Wang, Y. Y. Ni, Y. Kumamoto, M. Yamada, S. Uchida	4. 巻 246
2. 論文標題 Pu isotopes in seawater off Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant site within tw months after the severe nuclear accident	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Environmental Pollution	6. 最初と最後の頁 303-310
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi.org/10.1016/j.envpol.2018.12.007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 J. W. Wu, M. H. Dai, Y. Xu, J. Zheng	4. 巻 511
2. 論文標題 Plutonium in the Western Pacific: transport along the Kuroshio and the impact of the Fukushima Daiichi Nuclear Power plant accident.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Geology	6. 最初と最後の頁 256-264
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi.org/10.1016/j.chemgeo.2018.12.006	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 A. Yokoyama, A. Sakaguchi, K. Yamamori, Y. Hayakawa, K. Sekiguchi, S. Yanou, Y. Komori, T. Yokokita, and H. Haba	4. 巻 51
2. 論文標題 Development of a Np standard material for accelerator mass spectrometry	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IKEN Accelerator Progress Report 2017	6. 最初と最後の頁 229
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 W. Men, J. Zheng, H. Wang, Y. Y. Ni, T. Aono, Sherrod L. Maxwell, K.	4. 巻 8:1892
2. 論文標題 Establishing rapid analysis of Pu isotopes in seawater to study the impact of Fukushima nuclear accident in the Northwest Pacific.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-018-20151-4.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 W. T. Bu, Y. Y. Ni, G. Steinhäuser, W. Zheng, J. Zheng, N. Furuta	4. 巻 33
2. 論文標題 The role of mass spectrometry for radioactive contamination assessment	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Analytical Atomic Spectrometry	6. 最初と最後の頁 519-546
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7ja00401j	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Zhaoya Huang, Youyi Ni, Hai Wang, Jian Zheng, Shinnosuke Yamazaki, Aya Sakaguchi, Xinggui Long, Shigeo Uchida	4. 巻 148
2. 論文標題 Simultaneous determination of ultra-trace level <sup>237</sup> Np and Pu isotopes in soil and sediment samples by SF-ICP-MS with a single column chromatographic separation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Microchemical Journal	6. 最初と最後の頁 597-604
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.microc.2019.05.044	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Masatoshi Yamada, Jian Zheng	4. 巻 718
2. 論文標題 <sup>240</sup> Pu/ <sup>239</sup> Pu atom ratios in water columns from the North Pacific Ocean and Bering Sea: Transport of Pacific Proving Grounds-derived Pu by ocean currents.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science of the Total Environment	6. 最初と最後の頁 137362
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scitotenv.2020.137362	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Junwen Wu, Jian Zheng	4. 巻 324
2. 論文標題 Reference materials for quality assurance of environmental plutonium analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry	6. 最初と最後の頁 169-188
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10967-020-07053-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Y. Hayakawa, A. Yokoyama, A. Sakaguchi, K. Teranishi, R. Morita, N. Matsumura, A. Nakajima, D. Mori, Y. Komori, T. Yokokita, Y. Wang, H. Haba	4. 巻 52
2. 論文標題 Production of Np isotopes in the $^{232}\text{Th} + ^7\text{Li}$ reaction for standard material in accelerator mass spectrometry	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 RIKEN Accelerator Progress Report	6. 最初と最後の頁 202-202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計21件 (うち招待講演 11件 / うち国際学会 12件)

1. 発表者名 鄭 建
2. 発表標題 Ultra-trace measurement of radioactive isotopes using mass spectrometry
3. 学会等名 Japan-Korea Technology Information Exchange Seminar 2018, Japan Analytical Instruments Manufacturers's Association (JAIMA), Japan (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jian Zheng, Wu Men, Hai Wang, Yuichiro Kumamoto, Masatoshi Yamada, Shigeo Uchida
2. 発表標題 Plutonium isotopes in seawater off Fukushima within two months after the accident
3. 学会等名 Goldschmidt 2018, Geochemical Society and the European Association of Geochemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jian Zheng
2. 発表標題 Rapid radiochemical separation and ultra-sensitive mass spectrometric analysis of actinides
3. 学会等名 Fukushima Research Conference on Development of Analytical Techniques in Waste management (FRCWM2018), Collaborative Laboratories for Advanced Decommissioning Science and Japan Atomic Energy Agency (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jian Zheng
2. 発表標題 Release of plutonium isotopes from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident: distribution, source identification and dose estimation
3. 学会等名 The 3rd Global Chinese Congress of Radiation Research, The Chinese Committee of the ICRP (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Zhaoya Huang, Youyi Ni, Hai Wang, Jian Zheng, Shigeo Uchida, Aya Sakaguchi
2. 発表標題 Simultaneous determination of ultra-trace level $^{237}\text{Np}$ and Pu isotopes in soil/sediment samples by sector-field ICP-MS with a single-column chromatographic separation
3. 学会等名 日本分析化学会第67年会, 日本分析化学会 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福田 美保, 鄭 建, 山崎 慎之介, 青野 辰雄
2. 発表標題 福島第一原発事故後の陸域環境中のネプツニウムとプルトニウムについて
3. 学会等名 第20回「環境放射能研究会」, 高エネルギー加速器研究機構放射線科学センター
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jian Zheng, Hai Wang, Zhaoya Huang, Youyi Ni, Tatsuo Aono
2. 発表標題 Low-temperature fusion using $\text{NH}_4\text{HF}_2$ for rapid determination of Pu isotopes by ICP-MS/MS: application for marine sediments collected in Japanese coast
3. 学会等名 第20回「環境放射能研究会」, 高エネルギー加速器研究機構放射線科学センター (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 早川 優太, 山守 航平, 坂口 綾, 関口 佳汰, 矢納 慎也, 小森 有希子, 横北 卓也, 羽場 宏光, 篠原 厚, 横山 明彦
2. 発表標題 加速器質量分析による $^{237}\text{Np}$ の定量に向けた $^{236}\text{gNp}$ トレーサーの製造
3. 学会等名 2018日本放射化学会年会・第62回放射化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. Yokoyama, A. Sakaguchi, K. Yamamori, Y. Hayakawa, K. Sekiguchi, S. Yanou, Y. Komori, T. Yokokita, H. Haba, N. Takahashi, and A. Shinohara
2. 発表標題 Production of a Np standard material for accelerator mass spectrometry in nuclear reactions
3. 学会等名 18th Radiochemical conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鄭建
2. 発表標題 Environmental dynamics of Pu isotopes released from the Fukushima
3. 学会等名 Fukushima University, 4th Annual Report Symposium (panel discussion talk)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jian Zheng, Zhongtang Wang, Youyi Ni, Keiko Tagami, Shigeo Uchida
2. 発表標題 Ultra-trace determination of Pu using SF-ICP-MS for a field study in Japan on soil to crop transfer of global fallout plutonium.
3. 学会等名 Asia-Pacific Winter Conference of Plasma Chemistry (APWC 2017), Matsue, Japan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Jian Zheng
2. 発表標題 Advance of mass spectrometric techniques for ultra-trace determination of radionuclides and its application in environmental radiochemistry
3. 学会等名 Xinda Lecture, College of Chemistry and Engineering, Peking University, China (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Jian Zheng
2. 発表標題 Radiochemical methods development and application based on the use of ICP-MS instruments
3. 学会等名 Nordic Nuclear Safety Research, NKS-B ICP User Seminar, Denmark (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Jian Zheng
2. 発表標題 Tracing the Fukushima nuclear accident released radiocesium and Pu isotopes in the environment: the role of isotope ratio analysis for nuclear forensics.
3. 学会等名 Nuclear Emergency Expert Meeting (NEXT 2017), Hannover, Germany (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Jian Zheng, T. Aono, M. Yamada, K. Tagami, S. Uchida
2. 発表標題 Pu distributin in seawater and sediments in the Pacific off Fukushima after the FDNPP accident
3. 学会等名 Actinides 2017, Sendai, Japan (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Aya Sakaguchi
2. 発表標題 Isotopic signatures of actinides in environmental samples contaminated by the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident
3. 学会等名 Nuclear Emergency Expert Meeting (NEXT 2017), Hannover, Germany (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Jian Zheng
2. 発表標題 Tracing the Fukushima nuclear accident released radiocesium and Pu isotopes in the environment: the role of isotope ratio analysis
3. 学会等名 the 10th National Conference on Environmental Chemistry, China (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jian Zheng
2. 発表標題 Recent progress on mass spectrometric analysis of ultra-trace radioactive isotopes
3. 学会等名 the workshop on radioactive isotopes analysis, Taiyuan, China (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森田涼雅、早川優太、横山明彦、笠松良崇、篠原厚、羽場宏光、小森有希子、横北卓也、森大輝
2. 発表標題 $^{239}\text{Np}$ 複合核系における核分裂測定による軌道角運動量の推定
3. 学会等名 日本放射化学会第63回討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 早川優太、村田真優、松村夏紀、坂口綾、中島朗久、藤沼修平、関口佳汰、笠松良崇、篠原厚、羽場宏光、小森有希子、横北卓也、矢納慎也、森大輝、横山明彦
2. 発表標題 U+p及びTh+Li反応によるNp同位体励起関数の作成
3. 学会等名 日本放射化学会第63回討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺西翔、森田涼雅、早川優太、小森有希子、横北卓也、森大輝、横山明彦、羽場宏光
2. 発表標題 232Th+7Li反応系における不完全融合反応の研究
3. 学会等名 日本放射化学会第63回討論会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<a href="http://www.ied.tsukuba.ac.jp/~ayaskgc/index.html">http://www.ied.tsukuba.ac.jp/~ayaskgc/index.html</a> <a href="http://www.ied.tsukuba.ac.jp/~ksueki/lab/chrome/home1.html">http://www.ied.tsukuba.ac.jp/~ksueki/lab/chrome/home1.html</a>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	横山 明彦  (Yokoyama Akihiko)  (80230655)	金沢大学・物質化学系・教授    (13301)	

## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	鄭 建 (Zheng Jian)  (30370878)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・放射線医学総合研究所 福島再生支援本部・上席研究員（定常）  (82502)	
研究分担者	山崎 信哉 (Yamasaki Shinya)  (70610301)	筑波大学・数理物質系・助教  (12102)	