

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 5 月 20 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22404004

 研究課題名（和文）セミパラチンスク核実験場周辺住民の低線量率外部・内部被曝の
線量評価モデル構築

 研究課題名（英文）Construction of dose estimation model for low dose radiation exposure
for residents living around the Semipalatinsk Nuclear Test Site

研究代表

山本 政儀（YAMAMOTO MASAYOSHI）

金沢大学・環日本海域環境研究センター・教授

研究者番号：10121295

研究成果の概要（和文）：

1994 以来、旧ソ連セミパラチンスク核実験場周辺住民の放射線被曝線量を評価する目的で、数多くの地点を調査し、最大の汚染があるドロン村での Cs-137 汚染分布、蓄積量をベースにして線量評価を行ってきた。今回この手法を、ドロン集落以外の集落、南方に位置するサルジャーール、カラウル、カイナル集落に適合して、サルジャーール、カラウル集落住民の外部被曝を評価した。カイナル集落については、幅広い地域で Cs-137 汚染の分布、蓄積量を評価し、これらのデータをベースにして、被曝線量評価モデルの構築と線量評価を進めている。

研究成果の概要（英文）：

Since 1994, we have concentrated our energies on assessing the radiation dose for human effect and environmental contamination by the nuclear testings at the Semipalatinsk (SNTS) in Kazakhstan. For this purpose, residual long-lived radionuclides such as ^{137}Cs and Pu isotopes have been measured for environmental samples from various areas. At first, works were focused on Dolon village contaminated heavily and external radiation dose for resident was already estimated by detailed soil samplings where were carried out along a line perpendicular to the supposed center of plume of the first atomic bomb (Aug. 1949). In this works, such works were directed to Sarzhal, Karaul and Kainar villages located in the southern direction from the SNTS. Although the obtained data in Sarzhal and Karaul varied largely, overall, peak-like distributions similar to Gaussian function were observed for both ^{137}Cs and $^{239,240}\text{Pu}$ even after about 60 years from atomic bomb. Within the Sarzhal village, being about 5 km away from the center-axis, upper range is 5000-7000 Bq/m². Pu is around 2000 Bq/m². By using these data, external radiation doses in both villages were successfully estimated. On the other hand, in Kainar, Gaussian-like distribution was not observed, ^{137}Cs inventory was not so high, now its inventory was around 4000 Bq/m². The levels are nearly same as Karaul, but somewhat higher sites like hot-spot were in places existing. Now, further works in Kainar are continuing.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	5,300,000	1,590,000	6,890,000
2011 年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
2012 年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
年度			
年度			
総計	12,800,000	3,840,000	16,640,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：放射線・化学物質影響科学

キーワード：旧ソ連、セミパラチンスク核実験場、被曝線量評価、土壌、残留放射能

1. 研究開始当初の背景

放射線の人体影響の危険度の研究は、広島・長崎の原爆被災者コホート数十万人の高線量率・高線量をベースにして発ガンへの影響、寿命調査などが行われ、その影響が国際放射線防護委員会（ICRP）で認定されてきた。しかしながら、通常の被曝は、長期の低線量率・低線量が多く、原爆による瞬時の被曝からのリスクをそのまま低線量率・低線量被曝に適用することには疑問視されている。そのため、この難問題を現実的に解決するためには、大きな集団の長期の低線量率・低線量被曝の調査・研究が必須である。

旧ソ連の核実験場セミパラチンスクでは、1949-1989年の間に、地上で26回、大気圏で87回、地下で346回の核実験が周辺住民にその危険を知らせることなく実施されてきた。それにより、数十万の住民が、低線量率で低線量から高線量まで被曝した。世界では、米国のネバダを初めとして多くの地点で地上、大気圏の核実験が行われたが、多くの周辺住民が居住していて、しかも幅広い低線量率で長期被曝した集団は無く、このセミパラチンスクが最も適した集団であると考えられる。1994年に京都大学の「カザフスタンの経済再生と環境問題」の研究グループの分担者として始めてセミパラチンスクに行き、その後、広島大学原医研のグループとの共同で上記問題解決を目指して研究に着手してきた。

セミパラチンスク周辺住民被曝の特徴は、長崎、広島での爆発時の γ 、中性子線による直接被曝ではなく、大気中に拡散した放射性雲からの放射性降下物によるもので、300-500kmの範囲で降下し影響を及ぼした。それにより、外部被曝30-250cSv（1949-1992年間の総被曝線量）に加えて多量の内部被曝40-300cSvを受けたと言われている。しかし、これらの外部・内部被曝線量は、ソ連およびカザフスタンの科学者らによって主として数学的モデルで推定されてきたものでその検証も含めてモデルの妥当性が問われてきた。

2. 研究の目的

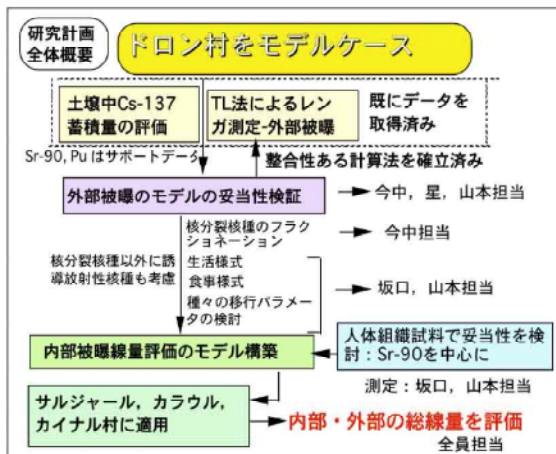
核実験当時に住民が住んでいた集落内外で詳細な放射能土壌汚染を明らかにし、かつ外部被曝のコンセンサスが得られたドロン集落をモデルケースとして、 $Cs-137$ 降下量から他の放射性核種の降下量を推定し、葉菜類、牧草から乳牛、ミルクへの移行等を考量した当時の内部被曝線量評価モデルを構築し線量を評価する。被曝当時の平均的な行動様式、主な食事などを文献や広島大グループで行ったアンケート調査をもとに情報を収集する。この研究期間中にドロンで亡くなられた方が居た場合には、一部の臓器提供を受ける（すでに、カザフスタン放射線医学環境研究所および当地の診療医師らとのコンセンサスを得ている）。

ドロン以外の集落で高い線量を受けたサルジャー、カラウル、カイナル集落でも同様な研究を実施する。最終的に、疫学的データを駆使して低線量率・低線量のリスク評価を行うための、集落ごとの平均的な内部・外部被曝の総線量を提供する。

3. 研究の方法

最も被曝を受けたと言われているドロン集落をモデルケースにして、他の地域、特に核実験から南方に位置するサルジャー、カラウル、カイナル集落に適用する。研究の方法を下記に示す

本研究では、南方に位置するサルジャー、カラウル、カイナル集落住民の被曝線量評価に力点を置く。

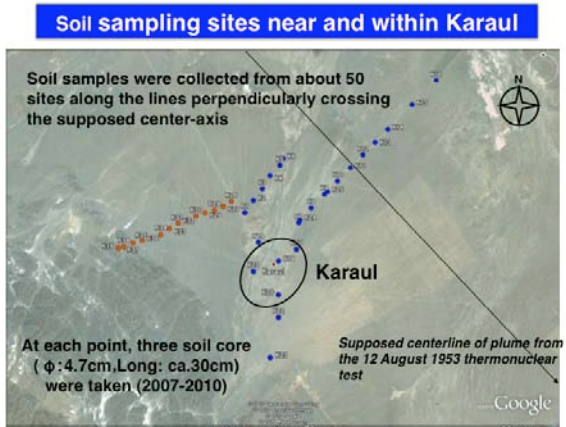
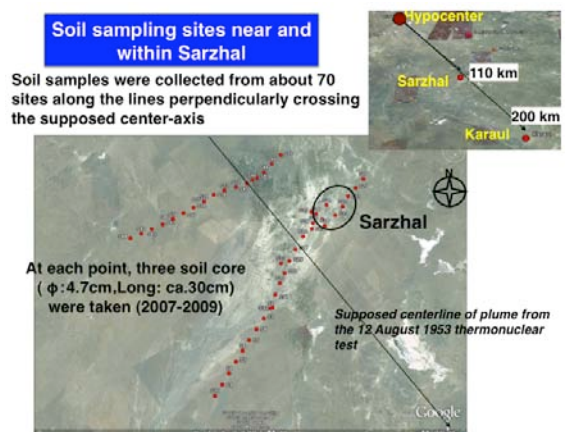


4. 研究成果

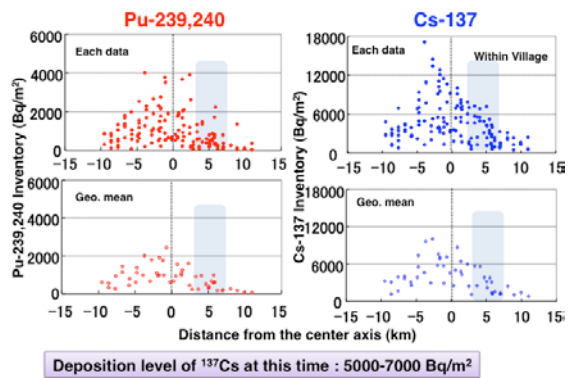
①サルジャー、カラウル集落について

本研究では、1953年の水爆(400 kt)の影響を強く受けたとされている核実験場南東に位置するサルジャー、カラウル集落に焦点を当てた。まず①サルジャー、カラウル集落及びその周辺地域の詳細な放射能汚染状況を明らかにし、次に②ドロン集落で試みたCs-137の初期沈着量から空間線量を計算する手法を両集落に適用して空間線量の評価することを目指した。

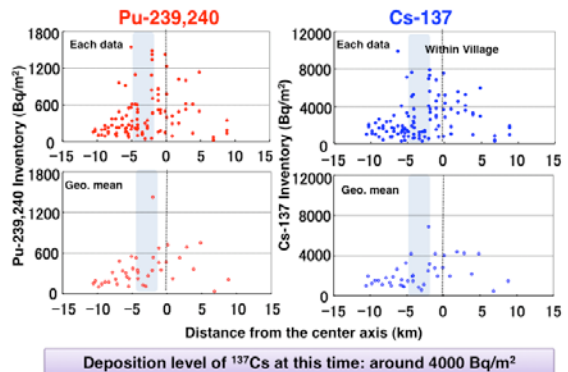
2007年から2010年にかけて、SNTS南東に位置するサルジャー、カラウル集落周辺の89地点において土壌試料採取(深さ30cm、直径4.7cmコア、3試料/1地点)を行った(2009,2010年には自身も調査に参加し、試料採取)。試料採取地点は、当時予想されたセンター軸に垂直になるように選んだ。すべての土壌試料は、風乾後、2mmで篩い分けし、粉碎器で混合攪拌して出来るだけ均一な土壌試料を調製した。この試料を用いてCs-137とPu-239,240を測定した。また核分裂生成物による被曝だけでなく、誘導放射性核種による被曝も考慮する目的でEu-152とCo-60を測定した。さらに、核分裂生成核種のフラクシヨネーション(volatile & refractory elements)の挙動の差異を検討するためにU-236及びNp-237(U-237)も測定した。



Inventories of ¹³⁷Cs and ^{239,240}Pu in soil at Sarzhai



Inventories of ¹³⁷Cs and ^{239,240}Pu in soil at Karaul



サルジャー・カラウル集落周辺で得た測定結果を上図に示す。Cs-137 と Pu-239,240 の蓄積量 (Bq/m²) は、3 試料の測定値の幾何平均値をその地点の代表値としてプロットしてある。横軸は予想されるセンター軸からの距離を表している。Cs-137、Pu-239,240 蓄積量は、それぞれ 260-17000、5-4000 (Bq/m²) の幅広い範囲で変動するが、ピークのような分布を示していることが分かる。60 年近く経過した今日でも放射性雲が通過した軌跡を確認できる。最大値を示す付近の地点が放射性雲のセンター軸であると考えられる。得られたデータに対してガウス分布を適用させ、集落近傍での分布幅を最小二乗法により決定した。これにより、センター軸が予想されていた軸よりもサルジャー村周辺では 1.8-2.5 km 南西方向に、カラウル村周辺では 0.4-0.7 km 北東方向にあることが新たに見出された。

サルジャー村での核分裂生成核種 (Cs-137 をベース) および誘導放射性核種 (Eu-152, Co-60, U-237 ベース) を用いて試算した空間線量率を右図に示した。全体の空間線量率への寄与の割合は、時間によって変化することが分かる。爆発後 7 時間から 2 日の間では、FP-Total と Induced-Total の寄与率はそれぞれ約 50% と同程度になる。2 日以降は、Induced-Total の大部分が短半減期核種によるものである。Induced-Total の線量率は急速に減衰し、FP-Total が支配的になる。5 日以降、U-237 の寄与率が上昇し、10 日での寄与率は 23% (FP-Total : 77%) となる。1 年後では、FP-Total よりも Co-60 の寄与率の方が上回っており、以降は Co-60 による線量率が支配的になる。

Table 1 に今回推定した空間線量率 (FP+Induced+U-237) と過去に旧ソ連科学者によって測定された爆発 2.5h, 24h, 84h, 218h, 360h 後の線量率データ (Archive data) との比較を示した。FP による全線量率は、Cs-137 初期沈着量に依存するために幅広い範囲を示す。Archive data は、本研究で推定した線量率と比較すると 1.0-8.0 倍高い値となっている。Archive data が本研究の計算値より高くなる理由として、まずフラクシネ

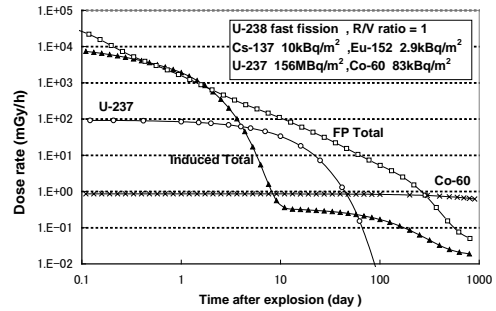


Table.1 Comparison of calculated total dose with archive data

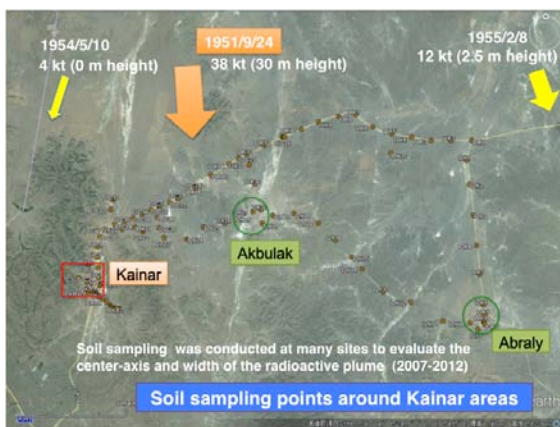
Time after explosion	Dose rate (μGy/h)				Archive data	Monitoring location
	FP	Induced	U-237	Total		
H+2.5h	5800 - 43200	7400	90	13300 - 50700	105240	Karaul
H+24h	700 - 3400	1900	80	2700 - 5400	10787	Sarzhai
H+84h	70 - 500	100	70	240 - 700	1578	Karaul
H+218h	20 - 170	0	30	60 - 200	263	Karaul
H+360h	20 - 120	0	20	40 - 140	132 - 324	Sarzhai

ーション効果が考えられる。一般的に FP の沈着放射能比は、核分裂収率から予想される放射能比 (理論値) と異なる。実際に Np-237 (Refractory) データを用いて沈着放射能比を計算すると理論値の 0.7-1.3 倍になる。下限の沈着比を用いると計算値はさらに低くなる。上限の沈着比を用いると計算値は最大で 2 倍ほどになる。他の理由としては Archive data の不確かさである。もし正確な位置情報が分かれば最適の Cs-137 初期沈着量を用いて比較することが可能となる。最後にそれぞれの集落での Cs-137 初期沈着量、Cs-137 単位沈着量当たりの積算空間線量をベースにして FP による空間線量を見積もった。また同様にして Eu-152 初期沈着量、Eu-152 単位沈着量当たりの積算空間線量から誘導放射性核種による空間線量を試算した。風速及び核実験場から各集落への距離から放射性雲の到達時間をサルジャーで 1.9 時間、カラウルで 3.9 時間と仮定した。またサルジャー、カラウル集落の住民は避難勧告により核実験当日からそれぞれ 16 日、10 日後に帰ってきたと仮定した。誘導放射性核種による空間線量の寄与は小さいため省略した。サルジャー集落における空間線量は 210-550mGy (1.7h-1y)、30-100mGy、30-100mGy (16d-1y)、カラウル集落では 120-370mGy (2.9h-1y)、10-90mGy (16d-1y) となった。それぞれの集落で得られた空間線量値は空気の吸収線量であり、人への

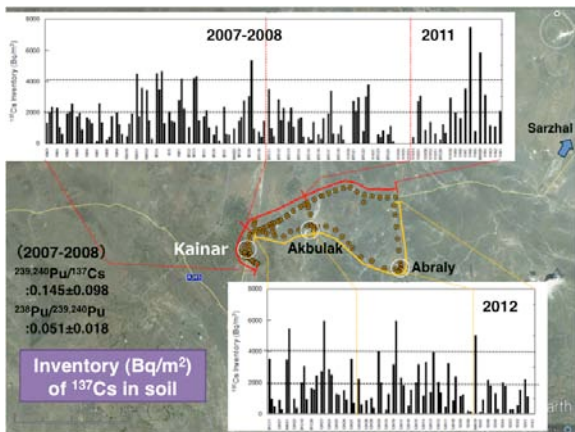
線量(実効線量当量)を評価する場合は生活様式にともなうパラメーターを考慮する必要がある。

②カラウル集落内外において

カラウル集落は、核実験場から150km南に位置し、下記に示すように主に3回の核実験からのフォールアウトを受けた。1953年9月24日の地上30m高さで実施された38ktによる影響が最大であると言われている。2007~2012年にかけて、カイナルに通じる道路沿い、アブラリー、アクブラク集落に通じる道沿い、更にカイナル集落内外で多数の土壌試料を採取し、Cs-137およびPuの蓄積量を評価してきた。



これまでに得られたCs-137蓄積量の結果を下図に示す。図に示すように、サルジャーやカラウルで観察されるようなピークを持つ分布は示さず、比較的低いレベル(1000-4000Bq/m²)で広範囲に汚染されていることが分かった。局所的にホットスポットが点在しているようにも見える。この地域は、降水量は比較的少ないが、ロシア科学者のモデル計算では、I-131、-133による内部被曝が高いと推定されている。距離が遠いために、粒子状フォールアウト降水量が少なくなり、ガス状のヨウ素などが多かったのではと推



測されている。今後、この放射性ヨウ素による内部被曝解決には、ヨウ素同位体の半減期の長いI-129の測定が必要であろう。

以上、サルジャー、カラウル、カイナル集落を中心に、住民の被曝線量評価に向けて取り組んできた。サルジャーやカラウルでのデータは、アメリカ・ロシア科学者が共同で進めているモデル計算の検証に大いに役立つものと思われる。またカイナル集落については、今回初めて広範囲のCs-137蓄積量の分布が得られ、今後のI-129測定とも併せて更に検討を進めていきたい。

(追伸：本研究期間中の2011/3/11に福島第一原発事故が発生し、多くの時間が福島に向けられた。本研究期間は終了したが、今後も調査研究を継続して行く。)

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3件)

1) Imanaka, T., Yamamoto, M., Kawai, K., Sakaguchi, A., Hoshi, M., Chaizhunusova, N., Apsalikov, K. N.: Reconstruction of local fallout composition and gamma-ray exposure in a village contaminated by the first USSR nuclear test in the Semipalatinsk Nuclear Test Site in Kazakhstan (査読有), *J. Environ. Biophys.*, 49, 2010, 673-684.

DOI: 10.1007/s00411-010-0301-5

2) Yamamoto, M., Tomita, J., Sakaguchi, A., Ohtsuka, Y., Hoshi, M., Apsalikov, K. N.: Uranium isotopes in well water samples as drinking sources in some settlements around the Semipalatinsk nuclear test site, Kazakhstan (査読有), *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 284, 2010, 309-314.

DOI: 10.1007/s10967-010-0463-2

3) Sakaguchi, A., Kawai, K., Steier, P., Imanaka, T., Hoshi, M., Endo, S., Zhumadilov, K., Yamamoto, M.: Feasibility of using U-236 to reconstruct close-in fallout deposition from the Hiroshima atomic bomb (査読有), *Science of Total Environment*, 408, 2010, 5392-5398.

DOI: 10.1016/j.scitotenv.2010.07.073

〔学会発表〕（計 6 件）

- 1) 山本政儀、旧ソ連核実験場セミパラチンスク周辺の感興放射能汚染と周辺住民の被爆線量について、弘前大学被曝医療総合研究所、青森、2011/11/11。
- 2) Kawai, K., Mino, K., Imanaka, T., Hoshi, M., Apsalikov, K. N., Yamamoto, M.; Retrospective studies on radioactive contamination in Sarzhal and Karaul settlements in the southern areas of the Semipalatinsk nuclear test site, Kazakhstan, *ibid*
- 3) Imanaka, T., Yamamoto, M., Kawai, K., Sakaguchi, A., Hoshi, M., Apsalikov, K. N.: Reconstruction of radiation exposure in Dolon village due to local-fallout from the Semipalatinsk nuclear test in 1949. *ibid*
- 4) Sakaguchi, A., Chiga, H., Shizuma, K., Steier, P., Hoshi, M., Endo, S., Zumadilov, M., Yamamoto, M.: Results on U-236 and other artificial radionuclide levels in soil from Hiroshima—Application for Hiroshima Black-rain issue. Workshop on Dosimetry, Studies of Hiroshima Black Rain and Related studies, Hiroshima, Japan, 2011/1/13.
- 5) Sakaguchi, A., Kawai, K., Steier, P., Chiga, H., Hoshi, M., Shizuma, K., Yamamoto, M.: Feasibility of using U-236 to reconstruct close-in fallout deposition from the Hiroshima atomic bomb, AMS-12, 2011, Wellington, NZ, 2011, 3/20-25.
- 6) Yamamoto, M., Kawai, K., Hoshi, M., Kazymbet, P., Apsalikov, K.N.: Uranium distribution in water (wells, taps, river and lakes) in Kazakhstan: laying stress on the area surround the Semipalatinsk nuclear test site, Kazakhstan-Chinese border, and uranium mine near Astana, The 4th international theoretical and practical conference on Medical-biological and radio-ecological problems on uranium- and oil-producing regions, Astana, Kazakhstan, 2010, 9/27-29.

〔図書〕（計 4 件）

- 1) Sakaguchi, A., Chiga, H., Steier, P., Yamamoto M., et al.: Preliminary results on soil core samples collected from the under-floors of houses built in 1-3 years after the Hiroshima atomic bomb, HPSHU English research Report series No. 28<

Proceedings of the 17th Hiroshima International Symposium-Lessons from unhappy events in the history of nuclear power development, January 25-26, 202, Institute for Peace Science, Hiroshima Univ., p.32-36 March 2012.

2) Kawai, K., Mino, K., Oikawa, S., Imanaka, T., Hoshi, M., Sakaguchi, A., Apsalikov, K. N., Yamamoto, M.: Radionuclides of the settlements in the Semipalatinsk historical cohort-laying stress on Sarzhal and Karaul settlements in the southern area (査読有), Proceedings of the International Workshop on Low Level Measurements and Its Application to Earth and Environmental Sciences (Edts. Yamamoto, M., et al.) ISBN 978-4-924861-23-7: 2010, p.138-145.

3) Shchijo, K., Takatsuji, T., Yamamoto, M., Nakashima, M.: Nuclide identification of alpha-emitters by autoradiography in specimen of atomic victims at Nagasaki, *ibid*, p. 70-73.

4) Yamamoto, M., Sakaguchi, A., Zhumadilov, K., Hoshi, M., Endo, S., Imanaka, T., Miyamoto, Y.: What is the origin of Cs-137 in under-floor soils of houses built in 1-3 years after the Hiroshima atomic bomb?, *ibid*, p. 37-44.

〔その他〕

ホームページ等
作成中

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 政儀 (YAMAMOTO MASAYOSHI)

金沢大学・環日本海域環境研究センター・
教授

研究者番号：10121295

星 正治 (HOSHI MASAHARU)

広島大学・原爆放射線医科学研究所・教授
研究者番号：50099090

今中 哲二 (IMANAKA TETSUJI)

京都大学・原子炉実験所・助教
研究者番号：90109083

坂口 綾 (SAKAGUCHI AYA)

広島大学・理学系・助教
研究者番号：00526254

(3) 連携研究者

無し