

平成 22 年 5 月 18 日現在

研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19404005  
 研究課題名（和文） 旧ソ連核実験場周辺住民の被曝線量評価の解決に向けて  
 研究課題名（英文） Toward the solution of radiation dose assessment to the residents living around the former USSR's nuclear test site  
 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

研究成果の概要（和文）：旧ソ連核実験場周辺住民の長期低線量率・低線量放射線被曝の健康・リスク評価を行うための基礎研究として、被曝を受けた周辺集落住民の出来るだけ正確な被曝線量を評価することを目的とした。この目的達成のために、最も大きな被害を被ったドロン村を中心に、南の集落、サルジャール村、カラウル村できめ細かな土壌サンプリングを行い、放射性雲の通過したセンター軸の位置、幅、さらに降水量を明らかにし、被曝線量を推定した。

研究成果の概要（英文）：Over a period of 40 y (1949-1989), the former USSR conducted more than 450 nuclear explosions at the Semipalatinsk Nuclear Test Site (SNTS), Kazakhstan. To obtain a more reliable estimation of radiation dose to residents in villages, we have conducted detailed soil sampling in and around the villages. In Dolon, a clear shape similar to a Gaussian function was observed in  $^{137}\text{Cs}$  and Pu distributions. Based on these data, it was estimated that residents of Dolon received a radiation dose in air around 0.5Gy. Iodine-129 in soil was successfully measured by AMS, and provided a valuable date to evaluate internal thyroid dose arising from incorporation of  $^{131}\text{I}$ . In Sarzhal and Karaul, a peak-like shape similar to Gaussian function was found, indicating that radiation dose to the residents living in these villages might be reconstructed.  $^{152}\text{Eu}$  and  $^{60}\text{Co}$ , and  $^{237}\text{Np}$  and  $^{236}\text{U}$  were detected successfully, and these data proved useful information on external dose from neutron induced-radionuclides and source material for atomic bomb devices tested.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	6,500,000	1,950,000	8,450,000
2008年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
2009年度	2,600,000	780,000	3,380,000
年度			
年度			
総計	12,500,000	3,750,000	16,250,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：環境学・放射線・化学物質影響科学

キーワード：旧ソ連核実験場、セミパラチンスク、低線量率・低線量被曝、被曝線量評価、土壌、残留放射性核種

## 1. 研究開始当初の背景

21 世紀の環境科学に課せられた最大の問題は、世界中に造り上げられてきた環境問題、すなわち負の遺産の複合現象を科学的に学び、将来に向けた新たな解決策を提示することである。こうした中、核被災の住民、環境は最たるものである。旧ソ連の核実験場セミパラチンスクでは、1949-1989 年の 40 年間で 450 回以上の核実験が行われ、それによって数十万人とも言われる周辺住民が外部・内部の長期の低線量率被曝を受けてきた。この被曝の特徴は、外部被曝 (30-250cSv) に加えて内部被曝 (40-300cSv) を受けていることであると言われている。これらの被曝量は、主として当時の線量率をベースにした数学的モデルで推定されたものであり、検証が必要であるなど不明な点が多かった。そのため、低線量率低線量被曝のリスク評価に役立てるためにも出来るだけ正確な線量評価の解決が強く望まれていた。

## 2. 研究の目的

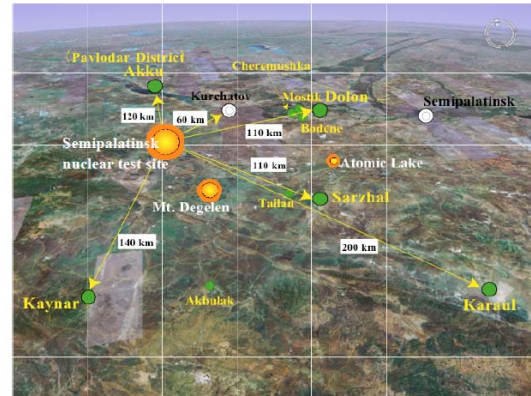
これまで、レンガを用いた TLD 測定や歯を用いた ESR 測定が行われてきた。本研究では、モデル、レンガ、歯の測定データの妥当性、さらには検証を目指して、主として土壌試料中の残留放射性核種の測定をベースにした外部・内部被曝線量の評価モデルを構築することを目指した。具体的には、最も被害を受けたとされるドロロン村 (1949 年の旧ソ連最初の地上核実験)、核実験場の南に位置するサルジャール、カラウル村 (1953 年の旧ソ連最初の地上水爆実験) に焦点を当てた。

## 3. 研究の方法

2005 年 3 月に開催されたセミパラチンスク核実験場周辺住民の被曝線量評価の国際シンポジウムで、被曝評価モデル等が議論され、結果として、核実験からの放射性雲が村落周辺のどの位置をどのような幅で通過したのかの情報が必須であることが提示された。このような議論を受けて、本研究では、ドロロン、サルジャール、カラウル村内外で、これまでで予想されてきた放射性雲の通過軸に垂直な方向で、きめ細かな土壌試料の採取を実施した。これらの試料について、核分裂生成核種  $^{137}\text{Cs}$  および原爆材料の Pu の測定を行った。また、ドロロン村において、主に  $^{131}\text{I}$  による甲状腺の内部被曝を検討するために半減期の長いヨウ素の放射性同位体  $^{129}\text{I}$  の測定を化学分析後 AMS で測定を試みた。

さらに、爆発時の中性子による土壌からの誘導放射性核種、 $^{152}\text{Eu}$  や  $^{60}\text{Co}$ 、1953 年の水爆の原爆材料、規模などの情報を得るために  $^{238}\text{U}(n, 2n)$ 、 $^{238}\text{U}(n, 3n)$ 、 $^{235}\text{U}(n, r)$  などの核反応で生成する可能性がある  $^{237}\text{Np}$ 、 $^{236}\text{U}$  についても測定を試みた。

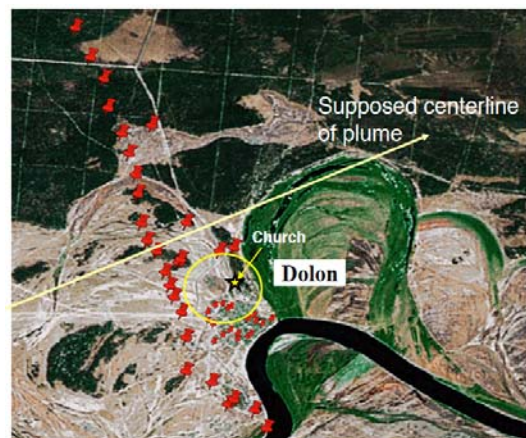
ドロロン村で、測定された  $^{137}\text{Cs}$  蓄積量をベースにして、核分裂収率、揮発性・不揮発性元素のフラクショネーション等を考慮した外部被曝線量モデルを検討した。



## 4. 研究成果

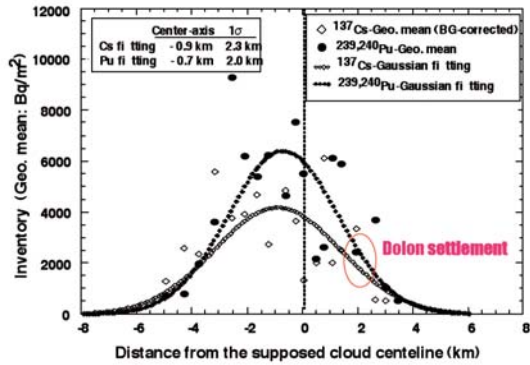
### (1) ドロロン村において

① 先ず、1949 年の旧ソ連最初の原子爆弾で大きな被害を被ったドロロン村で予想されていた放射性雲の通過軸にほぼ垂直な方向できめ細かな土壌採取を行い、 $^{137}\text{Cs}$  および Pu の蓄積量を評価した。



ドロロン村における土壌採取地点

下記にその結果を示すが、センター軸は約 1km 北にあること、蓄積量はガウス分布のような形で分布していることが明らかになった。



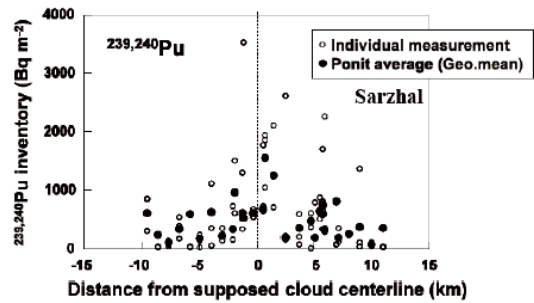
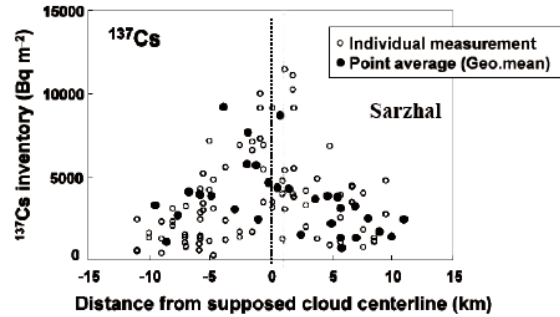
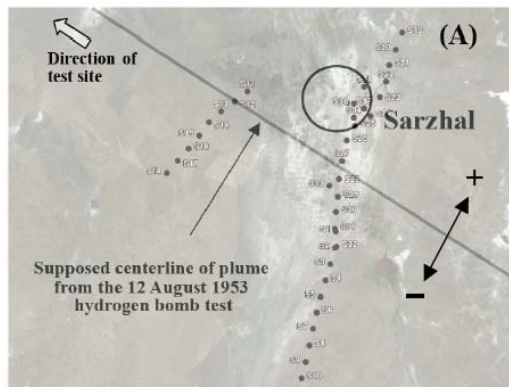
さらに、この分布をベースにして、当時の<sup>137</sup>Cs降下量を他の核分裂生成核種（フラクシヨネーションを考慮）と共に評価して外部被ばく線量を、各種の異なった方法（レンガのTLD測定、歯のESR測定）と比較した。これらが、屋外の外部被ばく線量として500mGy位で一致した。これにより、地表のセシウム-137の降下量がわかれば線量計算が可能ながことが分かった。

②ドロン村で採取した土壌について<sup>129</sup>Iの測定を試みた。14試料について化学分離後AMSで測定を行い全ての試料で<sup>129</sup>Iを検出出来た。<sup>129</sup>I/<sup>127</sup>I atom ratioは $3.3 \times 10^{-9}$  -  $3.3 \times 10^{-7}$ の範囲であり、<sup>129</sup>I蓄積量は $1.28 \times 10^{13}$  -  $1.59 \times 10^{14}$  atoms/m<sup>2</sup>であった。平均蓄積量 ( $8.0 \times 10^{13}$  atoms/m<sup>2</sup>)はバックグラウンド地域の値 (2-5)  $\times 10^{13}$  atoms/m<sup>2</sup>より幾分高い値であった。分布は、同時に測定した<sup>137</sup>CsやPuの分布と調和的であった。短寿命のヨウ素同位体、<sup>131</sup>I等による甲状腺の内部被曝線量を推定する貴重なデータを得ることが出来た。

(2)サルジャー、カラウル村において

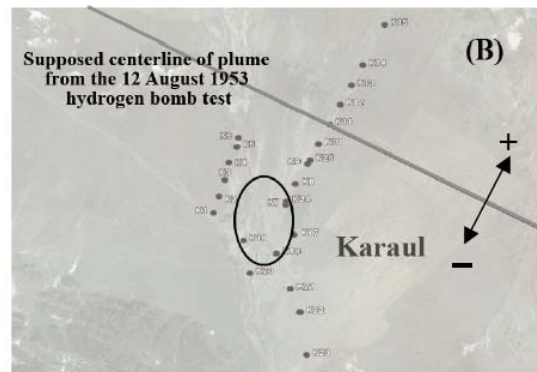
この集落地域は、主として1953年の旧ソ連最初の水爆からのフォールアウトで汚染された。両集落内外でドロン村と同様な手法できめ細かな土壌採取を試み、<sup>137</sup>CsとPu蓄積量のレベルと分布を検討した。

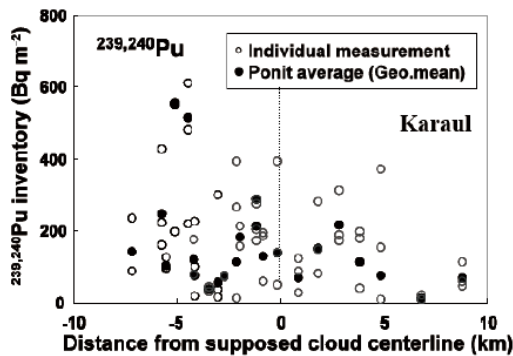
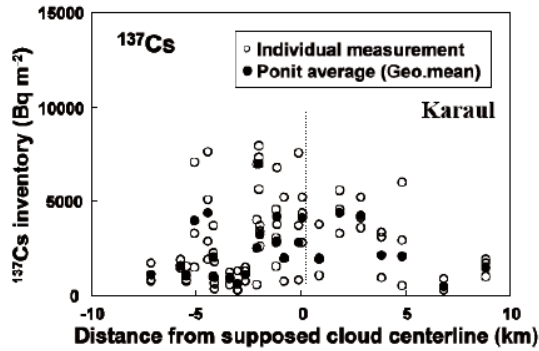
①サルジャー村周辺の土壌採取地点および<sup>137</sup>Cs、Pu蓄積量分布を下記に示す。



上記に示すように、サルジャー村周辺ではこれまでに予想されていた放射性雲の通過センター軸を中心にほぼガウス分布で<sup>137</sup>Cs、Puが分布していることが確かめられた。センター中心での現在の<sup>137</sup>CsおよびPu蓄積量は、それぞれ約10000Bq/m<sup>2</sup>、2000Bq/m<sup>2</sup>、集落(約+5km)内では5000Bq/m<sup>2</sup>、500-1000Bq/m<sup>2</sup>の範囲にある。また、<sup>239,240</sup>Pu/<sup>137</sup>Cs放射能比は0.2前後の範囲にあり、地球規模フォールアウトとの約0.02よりも10倍程度高い。このことは、Puが<sup>137</sup>Csに比べて大量に降下蓄積していることを示している。Puは非揮発元素と見なされ、揮発元素とのフラクシヨネーションを考慮する際に役立つ。

②次に、カラウル村周辺の土壌採取地点および<sup>137</sup>Cs、Pu蓄積量分布を下記に示す





カラウル村はサルジャーからさらに約100km 南東にある。上記に示すように、センター軸は予想されていた放射性雲の通過センター軸よりも集落側にある。ここでもガウス分布で<sup>137</sup>Cs、Puが分布していることが確かめられた。センター中心での現在の<sup>137</sup>CsおよびPu蓄積量は、それぞれ7000-8000Bq/m<sup>2</sup>、200-400Bq/m<sup>2</sup>の範囲にある。サルジャーと比べてレベルは約1/2程度に漸減していることが分かった。両集落内外での測定から、放射性雲が比較的狭い範囲で通過したことが分かった。

### (3) 中性子誘導放射能について

ドロン村およびサルジャーやカラウル村に被害を及ぼした原爆(1949年)、水爆(1953年)は20-30mの鉄塔の上で実験が行われた。

それゆえ、核分裂や水爆の核融合に伴う中性子によって表層土壌の元素が放射化(誘導放射性核種)され、放射性雲とともに行動し、集落に降下したことが予想できる。現在検出可能な核種として<sup>152</sup>Euや<sup>60</sup>Coが考えられる。今回、サルジャーおよびカラウル村の幾つかの土壌でこれら核種の測定を行った。非破壊測定では、検出できないので100g前後の土壌を用いて全分解-化学分離を行い、当実験施設の尾小屋微弱放射能地下測定室で検出を試みた。結果として、下記に示すような

値を得ることが出来た。表中の値は、測定日(2009年)での値である。これにより、誘導放射性核種からの線量評価を可能にした。

Sampling Point	<sup>152</sup> Eu Bq/m <sup>2</sup>	<sup>60</sup> Co Bq/m <sup>2</sup>
Tailan	184 ± 20	268 ± 30
Sarzhai	168 ± 20	60 ± 7
Karaul	120 ± 16	23 ± 3

### (4) 水爆に絡む<sup>237</sup>Np、<sup>236</sup>Uについて

旧ソ連最初の原爆はPu爆弾であることは既知であるが、1953年の水爆については不明な点が多い。特に、起爆剤が<sup>235</sup>Uなのか<sup>239</sup>Puなのか不明である。水爆についての組成、規模などの情報を得るために、<sup>238</sup>U(n, 2n)、<sup>238</sup>U(n, 3n)、<sup>235</sup>U(n, γ)核反応で生成する可能性がある<sup>237</sup>Np、<sup>236</sup>Uの測定を試みた。これら核種の考察は、特に核分裂生成核種の収率を見積もる際に必須である。

現在、5試料で両核種の値を得ることが出来た。<sup>236</sup>Uは、オーストリア・ウイン大学のAMSを用いて測定した(共同研究)。

Atomic ratio	Sarzhai	Karaul
<sup>237</sup> Np/ <sup>239</sup> Pu	0.3-0.4	0.3-0.4
<sup>236</sup> U/ <sup>239</sup> Pu	0.04-0.3	0.14-0.15
<sup>236</sup> U/ <sup>237</sup> Np	0.2-0.9	0.3-0.4

現在、さらに多くの地点の試料で検討しており、水爆の情報が得られることを確信している。

以上のように、本研究は、住民の被曝線量を評価する上での重要なデータを提供した。今後、これらのデータをベースにしてより正確な線量評価モデルの構築を目指す。

### 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5件)

1. M. Yamamoto, J. Tomita, A. Sakaguchi, Y. Ohtsuka, M. Hoshi, K. N. Apsalikov; Uranium isotopes in well water samples as drinking sources in some settlements around the Semipalatinsk Nuclear Test Site, Kazakhstan, J. Radioanal. Nucl. Chem., (accepted, 2010). (査読有)

2.K. Kawai, K. Mino, S. Oikawa, T. Imanaka, M. Hoshi, A. Sakaguchi, K. N. Apsalikov, M. Yamamoto; Radionuclides of the settlements in the Semipalatinsk historical cohort: Laying stress on Sarzhal and Karaul settlements in the southern area; Proceedings of the International Workshop on Low-level Measurements and Its Application to Earth and Environmental Sciences, ISBN-978-4-924861-23-7, March, 2010.

(査読無)

3.M. Yamamoto, S. Oikawa, A. Sakaguchi, J. Tomita, M. Hoshi, K. N. Apsalikov; Determination of  $^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$  isotopic ratios in human tissues collected from areas around the Semipalatinsk Nuclear Test Site by sector-field high resolution ICP-MS, Health Phys., 95, 291-299 (2008). (査読有)

4.S. Endo, J. Tomita, K. Tanaka, M. Yamamoto, S. Fukutani, T. Imanaka, A. Sakaguchi, H. Amano, H. Kawamura, H. Kawamura, K. N. Apsalikov, B. I. Gusev, N. E. Whitehead, S. Shinkarev, M. Hoshi; Iodine-129 measurements in soil samples from Dolon village near the Semipalatinsk Nuclear Test Site, Radiat. Environ. Biophys., 47, 359-365 (2008). (査読有)

5.M. Yamamoto, J. Tomita, A. Sakaguchi, T. Imanaka, S. Fukutani, S. Endo, K. Tanaka, M. Hoshi, B. I. Gusev, N. A. Apsalikov; Spatial distribution of soil contamination by  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{239,240}\text{Pu}$  in the village of Dolon near the Semipalatinsk Nuclear Test Site: New information on traces of the radioactive plume from the 29 August 1949 Nuclear Test, Health Phys., 94, 328-327 (2008). (査読有)

[学会発表] (計 16 件)

1.M. Yamamoto, K. Kawai, K. Mino, S. Oikawa, T. Imanaka, A. Sakaguchi, M. Hoshi, P. Steier, K. N. Apsalikov, Characteristics of residual radionuclides in soil in Sarzhal and Karaul villages affected mainly by the USSR first hydrogen atomic bomb in 1953, 15<sup>th</sup> Hiroshima International Symposium : Semipalatinsk and Other Radiation Studies, Hiroshima Univ., 2010/3/5.

2.T. Imanaka, M. Yamamoto, K. Kawai, M. Hoshi, N. Chaizhzhunsova, G. Bilyalova, K. N. Apsalokov; Reconstruction of radiation situation due to local fallout deposition in settlements around the Semipalatinsk nuclear test site, Kazakhstan, 2009/5/2, Radiocon-090, USA

3.S. Sakguchi, M. Yamamoto, P. Steier, K. Kawai, M. Hoshi; Estimation of the fallout level of U-236 in surface soil: Ishikawa and Hiroshima, Japan, Workshop on black rain of Hiroshima atomic bomb and related studies, Hiroshima Univ., 2009/3/27

4. N. E. Whitehead, S. Endo, K. Tanaka, M. Yamamoto, M. Hoshi; Attempt to use Be-10 at Dolon to detect the fallout plume, *ibid*.

5.T. Imanaka, K. Kawai, M. Yamamoto, M. Hoshi; External radiation by radionuclides other than fission product in Sarzhal village affected by the First USSR hydrogen bomb in 1953, *ibid*.

6.S. Fukutani, T. Imanaka, J. Tomita, M. Yamamoto, K. Tanaka, S. Endo, M. Hoshi; Measurement of Sr-90 in Semipalatinsk soil samples, *ibid*

7.M. Yamamoto, K. Mino, J. Tomita, T. Imanaka, S. Endo, H. Hoshi, K. N. Apsalikov, A. Sakaguchi, P. Steier; Radionuclide contamination of the settlements where Semipalatinsk historical cohort resided - laying stress on Salzhal a6nd Karaul, 14th Hiroshima International Symposium-Semipalatinsk and related studies, Hiroshima Univ., 2009/3/26

8.山本政儀, 星 正治, K. N. Apsalikov, 旧ソ連セミパラチンスク核実験場の環境汚染と被曝線量の現状, 第7回日本放射線安全管理学会, 金沢, 2008/12/3-5

9.S. Endo, J. Tomita, K. Tanaka, M. Yamamoto, A. Fukutani, T. Imanaka, A. Sakaguchi, H. Amano, Hidehisa. Kawamura, Hisao. Kawamura, K. N. Apsalikov, B. I. Gusev, N. Whitehead, S. Shinkarev, M. Hoshi, Iodine-129 measurements in soil samples from Dolon village near the Semipalatinsk nuclear test site, 13<sup>th</sup> Hiroshima International Symposium-Radiation Effects in Semipalatinsk), Hiroshima 2008/2/29.

10.M. Yamamoto, S. Oikawa, A. Sakaguchi, J. Tomita, M. Hoshi, K. N. Apsalikov, Determination of  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  isotopic ratios in human tissues collected from areas around the Semipalatinsk nuclear test site, 13<sup>th</sup> Hiroshima International Symposium-Radiation Effects in Semipalatinsk), Hiroshima 2008/2/29.

11.M. Yamamoto, K. Mino, J. Tomita, T. Imanaka, S. Endo, M. Hoshi, K. N. Apsalikov, Radionuclide contamination of the settlements where the Semipalatinsk historical cohort resided, International Symp. on 4<sup>th</sup> Dosimetry workshop on the Semipalatinsk Nuclear Test Site Area, Hiroshima, 2008/2/28

12.遠藤 暁, 富田純平, 田中憲一, 山本政儀, 福谷 哲, 今中哲二, 天野 光, 川村秀久, 河村日佐男, 星 正治: 旧ソ連核実験場近郊ドロン村から採取した土壌試料中  $^{129}\text{I}$  汚染量の測定, 原子力学会中四国支部研究発表会, 広島, 2007/9

13.小島貞男, 有信哲哉, 斎藤 直, 山本政儀: セミパラチンスク核実験場の土壌中に残存する中性子誘導長寿命放射性核種, 2007 日本放射化学会年会・第 51 回放射化学討論会, 静岡, 2007/9/24-26

14. S. Endo, J. Tomita, K. Tanaka, M. Yamamoto, S. Fukutani, T. Imanaka, H. Amano, H. Kawamura, K. Kawamura, M. Hoshi, First results of I-129 contamination measurement in soil samples of the Dolon village near Semipalatinsk Nuclear Test Site, 第12回広島国際シンポジウム, セミパラチンスクにおける放射線の影響 (12<sup>th</sup> Hiroshima International Symposium-Radiation Effects in Semipalatinsk), 広島, 2007/3/2

15. 今中哲二, 福谷 哲, 山本政儀, 富田純平, 坂口 綾, 遠藤 暁, 田中憲一, 星 正治: ソ連最初の原爆実験による放射能雲の通過位置とフォールアウト沈着パターン, 日本放射線影響学会第50回大会, 千葉, 幕張メッセ国際会議場 2007/11/13-15

16. 山本政儀, 富田純平, 坂口 綾, 星 正治, 遠藤 暁, 田中憲一, 今中哲二, Kazbek N. Apsalikov, カザフスタン・セミパラチンスク核実験場周辺の放射能問題: 環境放射能汚染の纏めと今後の展望, 第12回広島国際シンポジウム, セミパラチンスクにおける放射線の影響 (12<sup>th</sup> Hiroshima International Symposium-Radiation Effects in Semipalatinsk), 広島, 2007/3/2

## 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

### (2) 研究分担者

星 正治 (HOSHI MASAHARU)  
広島大学・原爆放射線医科研究所・  
教授  
研究者番号: 500099090

遠藤 暁 (ENDO SATORU)  
広島大学・原爆放射線医科研究所・  
准教授  
研究者番号: 90243609

今中 哲二 (IMANAKA TETSUJI)  
京都大学・原子炉実験所・助教  
研究者番号: 90109083