

IPSHU研究報告シリーズ  
研究報告No.55

**旧ソ連セミパラチンスク核実験場周辺集落の  
環境放射能汚染：  
サルジャール、カラウル及びカイナル集落と  
パプロダール州南部の集落**

山本 政儀\*・川合 健太・富田 純平

美濃 健太・坂口 綾・大塚 良仁

今中 哲二・遠藤 暁・川野 徳幸

星 正治・Kazbek APSALIKOV

Talgat MULDAGALIYEV・Boris GUSEV



March, 2018

広島大学平和科学研究センター  
〒730-0053 広島市中区東千田町1-1-89

TEL 082 542 6975

FAX 082 245 0585

E-mail: [heiwa@hiroshima-u.ac.jp](mailto:heiwa@hiroshima-u.ac.jp)

URL: <http://home.hiroshima-u.ac.jp/heiwa/>

# IPSHU 研究報告シリーズ

## 研究報告 No. 55

旧ソ連セミパラチンスク核実験場周辺集落の環境放射能汚染：  
サルジャー、カラウル及びカイナル集落と  
パブロダール州南部の集落

山本 政儀\*

金沢大学環日本海域環境研究センター・低レベル放射能実験施設  
(現：金沢大学大学院自然科学研究科)

川合 健太

金沢大学環日本海域環境研究センター・低レベル放射能実験施設  
(現：中部電力株式会社)

富田 純平

金沢大学環日本海域環境研究センター・低レベル放射能実験施設  
(現：(国研) 日本原子力研究開発機構原子力科学研究所)

美濃 健太

金沢大学環日本海域環境研究センター・低レベル放射能実験施設  
(現：日本原子力発電株式会社)

坂口 綾

金沢大学環日本海域環境研究センター・低レベル放射能実験施設  
(現：筑波大学アイソトープ環境動態研究センター)

大塚 良仁

金沢大学環日本海域環境研究センター・低レベル放射能実験施設  
(現：公益財団法人 環境科学技術研究所)

今中 哲二

京都大学原子炉実験所

遠藤 暁

広島大学工学研究科

川野 徳幸

広島大学平和科学研究センター

星 正治

広島大学平和科学研究センター

Kazbek APSALIKOV

Kazakh Scientific Research Institute for Radiation Medicine and Ecology  
Talgat MULDAGALIYEV

Kazakh Scientific Research Institute for Radiation Medicine and Ecology  
Boris GUSEV

Kazakh Scientific Research Institute for Radiation Medicine and Ecology

Environmental radioactive contamination in settlements around  
the former Soviet Union's Semipalatinsk nuclear test site :  
Sarzhai, Karaul and Kainar settlements , and some settlements  
located south of the Pavlodar Region

Masayoshi YAMAMOTO\*

LLRL, Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University  
(Present: Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University)

Kenta KAWAI

LLRL, Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University  
(Present: CHUBU Electric Power Co., Inc.)

Jumpei TOMITA

LLRL, Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University  
(Present: Nuclear Science Research Institute, Japan Atomic Energy Agency)

Kenta MINO

LLRL, Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University  
(Present: The Japan Atomic Power Company)

Aya SAKAGUCHI

LLRL, Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University  
(Present: Center for Research in Isotopes and Environmental Dynamics, University of  
Tsukuba)

Yoshihito OHTSUKA

LLRL, Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University  
(Present: Department of Radioecology, Institute for Environmental Sciences)

Tetsuji IMANAKA

Research Reactor Institute, Kyoto University

Satoru ENDO

Graduate School of Engineering, Hiroshima University

Noriyuki KAWANO

Institute for Peace Science, Hiroshima University

Masaharu HOSHI

Institute for Peace Science, Hiroshima University

Kazbek APSALIKOV

Kazakh Scientific Research Institute for Radiation Medicine and Ecology

Talgat MULDAGALIYEV

Kazakh Scientific Research Institute for Radiation Medicine and Ecology

Boris GUSEV

Kazakh Scientific Research Institute for Radiation Medicine and Ecology

\* Corresponding author : yama1018@staff.kanazawa-u.ac.jp

## 目次

Abstract	1
I. はじめに	2
II. サルジャーレ及びカラウル集落	3
III. カイナル集落及びパブロダール州南部の集落	16
IV. これまでに調査したセミパラチンスク全地域の <sup>137</sup> Cs及び <sup>239,240</sup> Pu 蓄積量と <sup>239,240</sup> Pu/ <sup>137</sup> Cs及び <sup>238</sup> Pu/ <sup>239,240</sup> Pu放射能比の比較	24
V. 全体のまとめ	24
参考文献	26
Appendix	29



## Abstract

More than 450 nuclear atomic explosions including atmospheric, aboveground and underground nuclear tests had been conducted by the former Soviet Union (USSR) at the Semipalatinsk Nuclear Test Site (SNTS) over the past 40 years. Since 1994, we have concentrated our energies on assessing the human health and environmental impacts of nuclear testing. Especially, residual long-lived radionuclides such as  $^{137}\text{Cs}$  and Pu isotopes have been measured for soil samples from various areas. The studies focused on the evaluation of radioactive contamination in the settlements where the Semipalatinsk historical cohort resided. In October 2005, detailed soil sampling was carried out around Dolon settlement to estimate the width and position of center-axis of the fallout plume associated with the first USSR atomic bomb on 29 August 1949, and provided useful information on the efforts to estimate radiation dose in Dolon settlement as reliably as possible. Such studies were, next, devoted more time and attention to the Sarzhal and Karaul settlements located in the southeastern direction from the SNTS. The local fallout from the first thermonuclear event on 12 August 1953 (30 m in height, 400 kt in scale) heavily affected those settlements.

Here, laying stress on Sarzhal and Karaul settlements, the accumulated levels and spatial distribution of soil contamination by  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{239,240}\text{Pu}$  have been excessively investigated since 2007. Besides, the radionuclides  $^{238}\text{U}$  and  $^{237}\text{Np}$  derived from bomb materials themselves were also measured together with the induced radionuclides,  $^{152}\text{Eu}$  and  $^{60}\text{Co}$ , in some soil samples. Based on those data obtained, radiation doses in air in two settlements were first reconstructed. As a result, adsorbed doses in air in case of the evacuation (non-evacuation) for inhabitants in Sarzhal and Karaul settlements were evaluated to be 20~100 mGy (210~530 mGy) and 10~75 mGy (120~380 mGy), respectively, as our tentative estimate for 1-year cumulative external doses mainly due to the local fallout from the first USSR hydrogen bomb test in August 1953.

Apart from the above researches, in the Kainar village, one of the villages where the historical cohort resides, located south of the SNTS, and in the Pavlodar District located in the adjust north direction of the SNTS in which data were very limited, accumulated levels of  $^{137}\text{Cs}$  and Pu isotopes in soils have been measured for evaluating  $^{137}\text{Cs}$  and Pu inventories and their spatial distributions.

The inventories of  $^{137}\text{Cs}$  found out both inside and outside of the Kainar village were in a wide range of 130~7,500 Bq/m<sup>2</sup>. A clear shape similar to a Gaussian function along the center-axis of the radioactive plume, which has been found in Dolon, Sarzhal and Karaul settlements, was not observed in their spatial distributions, indicating a wider and uniformly close contamination of this region.

On the other hand, in Pavlodar District, the  $^{137}\text{Cs}$  inventories ranged from 1,000 to 3,000 Bq/m<sup>2</sup> for soil samples. As a whole, Pavlodar areas that the surveys have been conducted were found not to be contaminated so highly, compared with the northeastern areas including Dolon settlement contaminated heavily by the first nuclear atomic explosion in August 1949. The obtained data were also compared with all the data from other areas where we have surveyed until now. The obtained data will be useful for future residents' exposure dose assessment

Key words: Semipalatinsk nuclear test site, Radioactive contamination, Radiation dose,  $^{137}\text{Cs}$ , Pu isotopes, Sarzhal, Karaul, Kainar, Pavlodar

I. はじめに

21世紀の環境科学に課せられた最大の問題は、世界中に作り上げてきた環境問題、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、核被災の環境、そこでの住民の生活は最たるものである。

放射線の人体影響研究は、広島・長崎の原爆被災者数十万人の高線量率・高線量を基にして発癌への影響、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適用することには疑問視されてきた。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。

チェルノブイリ原子力発電所事故(1986年4月)、さらに昨今の東京電力・福島第一原子力発電所事故(2011年3月)とも関連して特に長期の低線量率・低線量被曝の人体影響研究が緊急性を帯びている。1993年から1997年にかけてロシア・アメリカ・中国・カザフスタン・フランス・イギリスが共同で国際共同プロジェクト“RADOTEST(Radioactivity from

Nuclear Test Explosionsの略)”副題「原爆実験による放射性降下物の沈降、移動および人体影響の研究」をスタートし、多くのデータを発掘してきた(Warner and Kirchmann, 1999)。

低線量放射線被曝によるリスク評価は、その対象となる低線量放射線を被曝した集団が少ないこともあり非常に困難であるが、この問題解決に唯一貢献できるフィールドとして数十万とも言われる幅広い年齢層の周辺住民が広範囲の低線量率・低線量被曝を受けてきた旧ソ連(現カザフスタン共和国)核実験場セミパラチンスク(SNTS)周辺住民が挙げられる。この核実験場(Fig. 1)では、1949年から1989年の40年間に合計456回の核実験が実施され、そのうち116回は地上・大気圏内で実験が行われた(UNSCEAR, 2000)。周辺集落住民(Fig. 2)はこれらの核実験からのフォールアウトによる外部被曝と吸入・経口摂取による内部被曝を併せた混合被曝を受けてきた(約20万人の住民が健康被害を受けてきたと懸念されている)。この地域の放射線被曝の人体影響に関する疫学調査と線量評価は、実態に沿った放射線影響のリスク評価をする上で極めて重要である。これまで、外部被曝300~2500 mSv(1949-1992年間の総被曝線量)に加えて内部被曝400~3000 mSvを受けたと言われている。しかし、これらの外部・内部被曝線量は旧ソ連およ

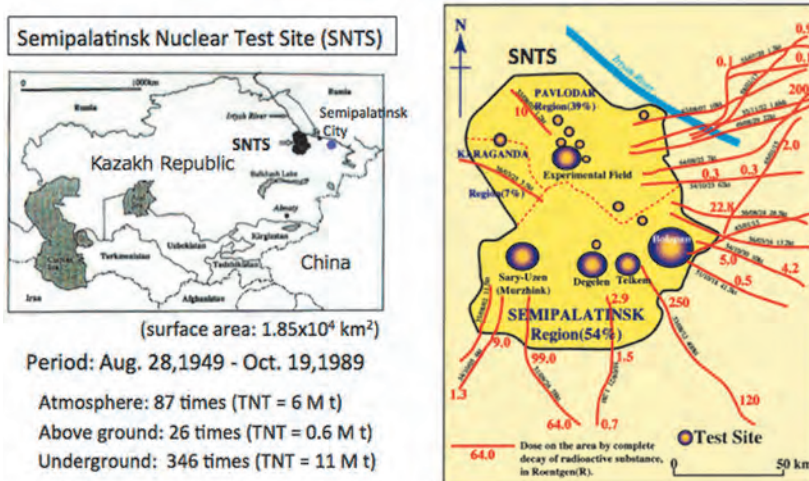


Fig. 1 Former Soviet Union's Semipalatinsk nuclear test site (SNTS) and chart of SNTS with the axes of most significant dose-forming local traces of radiation pollution.

びカザフスタンの科学者らによって、当時測定した数少ない線量率を基にして、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。それ故に、実試料測定に基づいた検証が必須である。

本研究グループは、これまでに広範囲の地域から土壌試料（主に 30cm コア）を採取し、セミパラチンスク核実験場周辺の放射能汚染の現状と得られた<sup>137</sup>Cs 蓄積量を基にして周辺住民の被曝線量を再評価することを目的に研究を進めてきた (Yamamoto *et al.*, 1996a, 1996b, 1999, 2001, 2002, 2004, 2006; Takada *et al.*, 1996)。また同時に、建物のレンガの TL 測定により空間線量、歯の EPR 測定から住民の外部被曝線量も併せて継続的に評価してきた (Göksu *et al.*, 2006; Stepanenko *et al.*, 2006; Sato *et al.*, 2006; Zhumadilov *et al.*, 2006)。1949 年に行われた旧ソ連最初の核実験 (22kt : 鉄塔を用いた地上爆発) の影響を強く受けたドロロン (Dolon) 集落において、核実験による放射性雲 (ブルーム) がどの位置をどの程度の幅をもって通過したのかを明らかにするために、2005 年にドロロン集落で詳細な土壌採取を行い、<sup>137</sup>Cs と <sup>239,240</sup>Pu 蓄積量の分布を明らかにした (Sakaguchi *et al.*, 2006; Yamamoto *et al.*, 2008)。

ドロロン集落における<sup>137</sup>Cs の初期沈着量から試算した積算空間線量、約 500 mSv (Imanaka *et al.*, 2006, 2010) は、当時の建物のレンガの TL 測定による線量 (Stepanenko *et al.*, 2006; Sato *et al.*, 2006; Göksu *et al.*, 2006) やモデル計算による積算空間線量 (Gordeev *et al.*, 2006; Simon *et al.*, 2006; Stepanenko *et al.*, 2007) とも比較的良好一致し、現在の残留<sup>137</sup>Cs 沈着量から核実験当時の放射能汚染状況を再現し、過去から現在までの被曝線量を評価できる可能性がでてきた。

本研究では、①旧ソ連初の水爆 (1953 年 8 月 12 日 : 400kt) の影響を強く受けたサルジャール (Sarzhäl) とカラウル (Karaul) 集落に焦点を当て、両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、得られたデータを基にして、ドロロン集落をモデルケースとした<sup>137</sup>Cs の初期沈着量から積算空間線量を推定する手法を適用し、両集落住民の被曝線量の再構築を試みた。

更に、②核実験場南西に位置するカイナル集落と③詳細な研究が実施されてこなかった核実験場の北側に隣接するパプロダール州南部の幾つかの居住地域の放射能汚染に焦点を当て、将来の被曝線量評価に資するための環境放射能汚染の実態を明らかにすることを目的とした。また、これまでに調査研究を実施してきた全域の汚染状況との比較も試みた。

## II. サルジャール及びカラウル集落

### 1. 旧ソ連初の水爆とサルジャール及びカラウル集落の概要

セミパラチンスク核実験場の南東に位置するサルジャール及びカラウル集落は、旧ソ連初の水爆 (RDS-6s, 400 kt, 1953 年 8 月 12 日) による局地的フォールアウト (local fallout) の



Fig. 2 Location map of settlements where the Semipalatinsk historical cohort resides.



影響を強く受けた。

この初の水爆は、Layer Cake と呼ばれ水爆というよりも爆縮型の原爆に近い球構造を持つ。Nuclear, Biological and Chemical Warfare (Bushan, 2002) によると、主要構成材料として球の中心からトリチウム ( $^3\text{H}$ ) ガス、 $^{239}\text{Pu}$ 、 $^{235}\text{U}$ 、 $^{238}\text{U}$  のフィッションタンパー、重水素化リチウム ( $\text{LiD}$ )、 $^{238}\text{U}$  のフュージョンタンパー、高性能の爆縮システムと予想されている。予想されるエネルギー収率 (400 kt) の内訳は、核融合 (D-T 反応) のエネルギー効率が 15-20 % であることから、核融合 80kt とすると核分裂は 320 kt となる。核分裂の収率をさらに細かく分けると、 $^{235}\text{U}$  と  $^{239}\text{Pu}$  による核分裂が 40 kt であり、 $^{238}\text{U}$  の 14 MeV 中性子による核分裂が 280kt と推定される。しかし構成材料の使用量などの詳細な情報は公開されておらず、不明な点が多い。

サルジャール集落では、SNTS から南東 100 km にあるため核実験当日までに避難勧告が出されており、住民は核実験 16 日後に集落へ戻ってきたとされている。一方、カラウル集落では、SNTS から 200km 近く離れていることから核実験当日までに避難勧告が出されていなかった。放射性プルームが集落周辺に向かって移動していることが確認されたため住民は緊急的に避難し、核実験から 10 日後に集落へ帰還した (S. Shinkarev 私信)。

サルジャール及びカラウル集落での線量データについては、線量率を基にしたモデル計算値 (Gordeev, 2002) や歯を用いた EPR 値 (Sholom *et al.*, 2007) が報告されている。しかし相互のデータを比較すると、モデル計算による線量の方が数倍高く、線量の不一致が問題となっている。モデル計算値、EPR 値ともにさらなる検証が必要であるとされている。

## 2. 実験方法

### 2.1 土壌試料採取と前処理

放射能汚染についての空間分布を得るために土壌試料について検討した。すでに先行研究として幾つかの土壌試料について、データが得られている。今回は、2007 年から 2010 年にかけて、サルジャール、カラウル集落周辺の 89 地点において採取 (深さ 30 cm、直径 4.7 cm ステンレスパイプを使用) した土壌試料を主に用いた (試料採取の様子: Fig. 3)。

試料採取は、カザフスタン放射線医学環境研究所の協力の下、広島大学・金沢大学・京都大学から成る研究グループで実施した。採取地点は、旧ソ連初の水爆のプルームが通過したと予想されるセンター軸に対して垂直になるような方向に沿って実施した (Figs. 4 and 5)。予想されるプルームのセンター軸は、Artemyev (2006) の報告を参考にし、地点① (N50° 27'0", E77° 44'24") と地点② (N 48° 19'12", E 80° 0'0") を結んだ直線とした。また試料採取地点の位置情報は、全地球測位システム (GPS) を用いて確認した (Appendixes I and II)。すべての土壌試料は、国内に持ち帰った後 100 °C 前後で乾燥、2 mm メッシュで篩い分けした。その後、粉碎機を用いて試料をできるだけ均一にした。



Fig. 3 Photograph of soil sampling near the Sarzhal settlement in 1995.

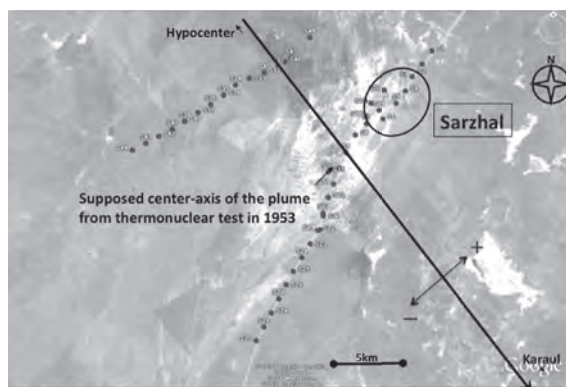


Fig. 4 Soil sampling points around Sarzhai settlement.

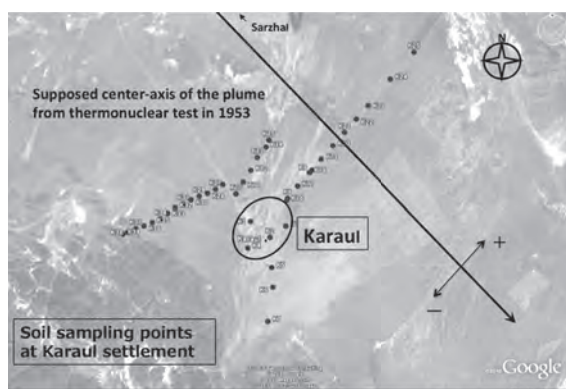


Fig. 5 Soil sampling points around Karaul settlement.

## 2.2 化学分離と放射能測定

採取した土壌試料について、下記に示す非破壊  $\gamma$  線測定で  $^{137}\text{Cs}$  を定量した後、放射化学分析を実施して Pu 同位体、一部の試料についてフラクショネーション (fractionation) 及び誘導放射性核種を評価するために  $^{236}\text{U}$  ( $^{238}\text{U}$ ) と  $^{237}\text{Np}$  及び  $^{152}\text{Eu}$  と  $^{60}\text{Co}$  も測定した。

[ $^{137}\text{Cs}$ ] : 核分裂生成核種 (FP)。プラスチック容器 (内径 6 cm、高さ 2 cm) に土壌試料 (60–80 g) を入れ、Ge 半導体検出器を用いて  $\gamma$  線計測し、 $^{137}\text{Cs}$  ( $T_{1/2}=30.1 \text{ y}$ ,  $\beta^-$ ) を定量した。測定の校正には、New Brunswick Laboratory (NBL) の標準物質 (No.42-1) と分析用特級 KCl の混合試料を使用した。

[ $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$ ] : 原爆・水爆の主要構成材料。 $\gamma$  線測定の後、Pu 分析を行った (Yamamoto *et al.*, 1996b)。Global fallout Pu で汚染された

通常地域の土壌中 Pu は、硝酸加熱で比較的簡単に抽出できるが、核実験近傍の Pu は蒸発・凝集した土壌粒子等に取り込まれているため、可能な限り全分解を試みた (Yamamoto *et al.*, 1999)。土壌試料 20–30 g を秤量後、電気炉を用いて一晩加熱 (450°C で灰化) した。灰化試料に化学収率補正用の  $^{242}\text{Pu}$  標準溶液を一定量添加し、硝酸、フッ酸を加えホットプレート上で蒸発乾固した。この操作を 3 回繰り返して大部分のケイ素を除去後、過塩素酸を加え蒸発乾固し、未反応のフッ酸を除去した。得られた乾固物に硝酸と過酸化水素を加え加熱抽出し、遠心分離により上澄みと残渣を分けた。残渣は、さらに硝酸とフッ酸を加えて再度蒸発乾固した。硝酸に溶解後、先に得られた抽出溶液と合わせ、0.45  $\mu\text{m}$  孔のフィルターで減圧ろ過し、最終的な抽出溶液を得た。その後、Pu 同位体を  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  で共沈させ、陰イオン交換樹脂 (DOWEX 1-8 100–200 mesh,  $\text{NO}_3^-$  型) カラムで Pu 分離・精製し、ステンレス板上に Pu を電着 (1A, 2 時間) した。表面障壁型 Si 半導体検出器を用いて  $\alpha$  線を計測した。 $^{239}\text{Pu}$  ( $T_{1/2}=2.41 \times 10^4 \text{ y}$ ,  $\alpha$ )、 $^{240}\text{Pu}$  ( $T_{1/2}=6.5 \times 10^3 \text{ y}$ ,  $\alpha$ ) 及び  $^{238}\text{Pu}$  ( $T_{1/2}=87.74 \text{ y}$ ,  $\alpha$ ) を定量した ( $\alpha$  線スペクトロメーターでは、 $^{239}\text{Pu}$  と  $^{240}\text{Pu}$  の  $\alpha$  線エネルギーを区別することが困難なので、両者の合計として  $^{239,240}\text{Pu}$  と記す)。

[ $^{236}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ] :  $^{238}\text{U}$  ( $T_{1/2}=4.468 \times 10^9 \text{ y}$ ,  $\alpha$ ) は、原爆・水爆のフィシオンタンパー、 $^{236}\text{U}$  ( $T_{1/2}=2.342 \times 10^7 \text{ y}$ ,  $\alpha$ ) は  $^{238}\text{U}$  ( $n, 3n$ ) および  $^{235}\text{U}$  ( $n, \gamma$ ) 核反応で生成される (Sakaguchi *et al.*, 2009)。土壌試料を全分解した溶液について、U 同位体を測定するために、加速器質量分析計 (Accelerator Mass Spectrometry : AMS) による  $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$  比測定用と全  $^{238}\text{U}$  濃度測定用に分けて化学分離操作を行った (Sakaguchi *et*

al., 2009)。 $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$  原子数比は、VERA (オーストリア・ウィーン大学の加速器研究機関) の AMS (TOF-AMS) で、全  $^{238}\text{U}$  濃度は  $\alpha$  線スペクトロメトリーで定量した。

分析には、土壌試料数 g を用い、全分解操作を行って試料溶液を得た。得られた溶液を秤量した後、溶液の 2/3 を AMS 測定用 (A 溶液) に、残りの 1/3 を全  $^{238}\text{U}$  濃度測定用 (B 溶液) とし、それぞれ秤量した。B 溶液のみに、 $^{232}\text{U}$  標準溶液を一定量添加した。A、B 溶液それぞれの U を  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  で共沈させ、回収した沈殿は少量の 10 M 塩酸で溶解した後、イソプロピルエーテルを用いた溶媒抽出により Fe を除去した。蒸発乾固後、10M 塩酸に溶解して陰イオン交換樹脂 (DOWEX 1-8 100-200 mesh, Cl 型) を用いたカラム法により U を分離・精製した。精製した B 溶液は Pu 分析と同様にして電着板を作成した。精製した A 溶液については、Fe 標準溶液 (1000 ppm) を 2 ml 添加し、再度 U を  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  で共沈させた。遠心分離で回収した沈殿を電気炉で 3 時間、800 °C で加熱した。この乾固物 (酸化鉄) を AMS 測定用のターゲットとし、AMS で測定を行った。

[ $^{237}\text{Np}$ ] : 主として  $^{238}\text{U} (n, 2n) ^{237}\text{U} \rightarrow ^{237}\text{Np}$  反応で生成。 $^{237}\text{U}$  ( $T_{1/2}=6.75 \text{ d } \beta^-$ ) は短半減期であるため、その子孫核種である半減期の長い  $^{237}\text{Np}$  ( $T_{1/2}=2.144 \times 10^5 \text{ y, } \alpha$ ) を測定して  $^{237}\text{U}$  を評価した。試料に化学収率補正のためのトレーサー  $^{239}\text{Np}$  ( $^{243}\text{Am}$  からミルキングして調整) を一定量添加し、Pu と同様な方法で処理して試料溶液を得た。蒸発乾固後、10M 塩酸に溶解し、イソプロピルエーテルを用いた溶媒抽出法により Fe を除去した。続いて TOA-Xylene による Np の溶媒抽出を行った。逆抽出で得られた溶液に La 担体、塩酸ヒドロキシルアミン、硫酸を加え 50°C で加熱。フッ酸を

加えフッ化ランタンによる共沈を行った。沈殿は、飽和硝酸アルミニウム溶液 (8M 硝酸) に溶解させ、陰イオン交換樹脂 (DOWEX 1-8 100-200 mesh,  $\text{NO}_3^-$  型) カラムで分離し、さらに U を除去するために、酢酸系の陰イオン交換樹脂カラムで精製した。ステンレス板上に Np 電着し、まず  $^{239}\text{Np}$  を Ge 検出器で測定して化学収率を評価した。その後、 $\alpha$  線スペクトロメトリーにより  $^{237}\text{Np}$  を定量した (Yamamoto et al., 1989)。

[ $^{152}\text{Eu}, ^{60}\text{Co}$ ] : 爆心地直下及びその周辺で中性子と表層土壌成分との核反応で生成する誘導放射性核種。 $^{152}\text{Eu}$  ( $T_{1/2}=13.516 \text{ y, } \beta^-$ ) 及び  $^{60}\text{Co}$  ( $T_{1/2}=5.27 \text{ y, } \beta^-$ ) は現在においても残留している可能性が高い核種である。土壌試料 80-90 g を用いて水酸化ナトリウム溶融 (電気炉で 100°C まで加熱し水分を蒸発させてから 400°C まで徐々に温度を上げ、一晚加熱溶融) を行い、溶融物を水に溶解させた。保持担体として Ce (III) を添加し、沈殿操作を繰り返しながら Fe、Mn、U、Th、Ra 等を除去し、最終的に Ce と共に Eu (+ Co) 沈殿物を得た。沈殿物を乾燥後、定型に加圧成型し、当研究室所有の尾小屋極低レベル地下測定室の Ge 半導体検出器 (Hamajima and Komura, 2004) を用いて  $\gamma$  線計測し、 $^{152}\text{Eu}$  および  $^{60}\text{Co}$  を定量した。Eu 及び Co 分析の化学収率は安定同位体測定 (ICP-MS) より求めた (Nakanishi, 2001)。

### 3. $^{137}\text{Cs}$ 初期沈着量を用いた空間線量評価

本研究では、Excel Visual Basic を利用して壊変系列 (decay chain) を考慮した爆発後の任意の時間における各核種の放射能を計算するプログラム FPCOMP (Imanaka and Kurosawa, 2009) を使用した。核種のデータ

については、日本原子力研究開発機構の核分裂生成物ライブラリー (JNDC FP Nuclear Data Library) を用いた (Ihara, 1989)。この FP ライブラリーでは、中性子エネルギー (熱中性子、速中性子、14 MeV 中性子) 別に U や Pu などの核分裂性物質の核分裂形式に関して、質量数 66 から 182 までの 1227 核種についての核データ (核分裂収率、半減期、壊変形式、平均  $\gamma$  線エネルギーなど) がアスキー形式で提供されている。

### 3.1 計算対象核種の選択

グラウンドゼロ (ground zero) での爆発後、放射性プルームが核実験場境界まで移動する間に、短半減期の FP の大部分は壊変する。したがって周辺集落に放射能汚染を引き起こし、被曝線量に寄与すると考えられる核種の選択については、爆発後 20 分経過した時点における FPCOMP の計算結果を使用し、74 核種を選択した。さらに  $\gamma$  線を放出しない、あるいはその放出が無視できる核種を除外し、最終的に計算対象核種を 30 核種 (Ihara, 1989) に限定した。これら 30 核種の物理的半減期、フラクシヨネーションに関わる難溶性指標、空間線量換算係数を Table 1 に示す。

### 3.2 フラクシヨネーション

FP 生成直後から沈着するまでの間、すべての FP が同一挙動を示すことはあり得ない。土壤に沈着した FP の組成は、核分裂収率から予想される比 (理論比) と大きく異なることが予想される。この現象は、フラクシヨネーションと呼ばれ、化学的分離と物理的分離プロセスによって引き起こされ、FP の沈着挙動を考察する上で必須である (Hicks, 1982)。放射性核種の化学的分別の結果、凝縮物粒子の内部に

非揮発性 (refractory) 元素が、そして粒子表面に揮発性 (volatile) 元素が濃集する。凝縮物の refractory/volatile 比は、粒子の表面積と体積との比、約  $1/r$  ( $r$ : 粒子半径) に依存する。つまり小さな粒子ほど、refractory に比べて volatile の割合が大きくなり、逆に大きな粒子ほど、volatile に比べて refractory の割合が大きくなる。一方、放射性核種の物理的分離は、粒子の沈降速度の違いによって生じる。小さな粒子に比べ、大きな粒子は沈降速度が速い。そのため粒子サイズによって放射性プルームの経路に沿い、放射性核種の物理的分離が起こる。爆発地点に近い場所では、refractory 元素を高い割合で含む粒子半径の大きな粒子が沈降する。爆発地点から距離が離れるにつれ、volatile 元素の割合が高く粒径の小さな粒子が輸送されてくる。もし FP の何か一つでもその放射能強度が分かれば、他の FP の放射能強度をある程度の確率で推定することが可能である。

### 3.3 フラクシヨネーション効果の評価

フラクシヨネーションの度合いを見積もる上で、土壤中の  $^{137}\text{Cs}$  と  $^{239,240}\text{Pu}$  のデータは重要となる。爆発直後の全ての核種が気化されている状態では、未核分裂の Pu と他の FP は混在しているため、refractory (R) に分類される FP の沈着量は Pu 量から推測することが可能である。Volatile (V) に分類されるような FP の挙動については、 $^{137}\text{Cs}$  から推測できる。先行研究 (ドロソ集落) では、R/V 比 ( $\varepsilon$ ) を用いることによって沈着放射能比を推定した (Imanaka *et al.*, 2006, 2010)。 $\varepsilon$  は、実際の沈着放射能比 (実測値  $^{239,240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$  比 (Pu/Cs 比)) をフラクシヨネーションがない状態の Pu/Cs 比 (爆弾の組成と出力から計算される理論値) で除することで得られる。

しかしながら、サルジャー・カラウル集落に放射能汚染を引き起こした水爆の構成材料の情報(核分裂物質の使用量や燃焼度(爆発規模))等が不明であるため、Pu/Cs比で沈着放射能組成を考慮することは困難である。そこで、本研究では $^{238}\text{U}$  ( $n, 2n$ ) 核反応で生成される $^{237}\text{U}$  ( $T_{1/2}=6.75\text{ d}$   $\beta^-$ ) を用いて沈着放射能比を検討した( $^{237}\text{U}$ は短半減期であるため、その子孫核種である半減期の長い $^{237}\text{Np}$ を測定)。ここでR/V比( $\varepsilon$ )は、先のPu/Cs比の場合と同様にして、実際の沈着放射能比、実測U/Cs比をフラクシヨネーションがない状態でのU/Cs比で除することで推定できる。理論比U/Cs比については、いくつかの仮定の基で計算した。まず①エネルギー収率の内訳(核融合80 kt、核分裂320 kt)、②核反応1回当たりのエネルギー放出(17.6 MeV, 200 MeV)、③核反応1回当たりの中性子放出数(1個、2.5個)を仮定した。上記のように仮定すると、(核分裂中性子数)/(核融合反応による14MeV中性子数)の比は、約1.14となる。つまり核分裂中性子数と核融合反応による14 MeV中性子数は、ほぼ同数となる。次に $^{237}\text{U}$ と $^{137}\text{Cs}$ の生成反応を考える。 $^{137}\text{Cs}$ は、 $^{238}\text{U}$ と14 MeV中性子あるいは核分裂中性子との核分裂反応である。それぞれの核反応断面積と中性子放出数から、生成された全 $^{137}\text{Cs}$ の約65%は $^{238}\text{U}$ と14 MeV中性子との反応に由来すると計算できる。一方 $^{237}\text{U}$ は $^{238}\text{U}$  ( $n, 2n$ ) 反応によって生成される。また $^{238}\text{U}$  ( $n, 2n$ ) 反応における14 MeV中性子と核分裂中性子の核反応断面積は、それぞれ974.4, 14.1 ミリバーン (mb) である。中性子数比はほぼ同数であるから、 $^{237}\text{U}$ の主要な生成反応は $^{238}\text{U}$ と14 MeV中性子との( $n, 2n$ )反応であると考えられる。以上により $^{238}\text{U}$ と14 MeV中性子との核反応に由来する $^{237}\text{U}$ と $^{137}\text{Cs}$ は、

ターゲット核( $^{238}\text{U}$ )が同じであり、中性子のフラックスも同じであると仮定できる。この仮定により、 $^{237}\text{U}/^{137}\text{Cs}$ の生成比(理論比)を算出でき、フラクシヨネーションの効果を考慮することが可能となる。ただし、この仮定を用いてR/V比を算出する場合、実際に $^{238}\text{U}$ と14 MeV中性子との核反応に由来する $^{137}\text{Cs}$ は全 $^{137}\text{Cs}$ の65%であるから、 $^{137}\text{Cs}$ の実測値に補正をする必要がある。

本研究では、さらに主に $^{238}\text{U}$  ( $n, 3n$ ) 反応によって生成する $^{236}\text{U}$ にも着目し、 $^{236}\text{U}$ データを用いてフラクシヨネーション効果を考察した。 $^{238}\text{U}$  ( $n, 3n$ ) 反応における14 MeV中性子と核分裂中性子の核反応断面積は、それぞれ405.8, 0.058 mbである。したがって $^{237}\text{U}$ の場合と同様に生成比(理論比) $^{236}\text{U}/^{137}\text{Cs}$ 比を算出できる。

FPがvolatileあるいはrefractoryに分類されるかについては、爆発後20秒後(液体の凝縮物が固化し始める時間)での存在形態とその割合で決定される(Hick, 1982)。ただし、核種によってはrefractoryとvolatileの中間の挙動を示すものもあり、それぞれの核種*i*について難融性指数(refractory index)という量が与えられている。 $r_i=1$ が完全難融性で、 $r_i=0$ が完全揮発性となる。 $^{137}\text{Cs}$ は典型的な完全揮発性のFPであり、Pu同位体はFPではないが、完全難融性のFPと同じように挙動する(Crocker *et al.*, 1965; Hicks, 1982)。ここでフラクシヨネーションファクターを $w_i$ とすると、

$$w_i = (1 - r_i) + \varepsilon \cdot r_i \quad \text{--- (1)}$$

と表される。 $w_i$ は、任意のFP核種について与えられ、沈着した場合にそのFP核種の $^{137}\text{Cs}$ に対する比が、フラクシヨネーションがない場

合に比べて何倍になっているかを表す値である。さらに任意の核種  $i$  の時間  $t$  における放射エネルギーを  $a_i(t)$  とすると、

$$a_i(t_i) = w_i \cdot f_i(t) \cdot a_{Cs}(t) \quad \text{--- (2)}$$

となる。 $f_i(t)$  は、フラクショナル係数がなくと仮定した場合における核種  $i$  の  $^{137}\text{Cs}$  に対する比 (理論比) である。(2) 式により、 $^{137}\text{Cs}$  放射エネルギーがわかれば、他の FP の放射エネルギーを推定することが可能となる。

### 3.4 空間線量換算係数

地上 1 m における空間線量率は、放射性核種が一様に地表に分布していると仮定して、沈着放射能密度から空間線量換算係数  $k_i$  (dose conversion coefficient) を用いて計算した。Table 1 に示す換算係数は、地表面粗度にとまなう放射線の減衰を考慮した Beck の値である

Table 1 Radionuclides used to estimate  $\gamma$ -ray exposure from local FP deposition in Sarzhal and Karaul settlements.

Nuclide	Half-life	Refractory index, $r_i$	Dose rate conversion Coeff. ( $10^{-9} \text{ Gy h}^{-1}$ )/(kBq $\text{m}^{-2}$ )
$^{91}\text{Sr}$	9.48 h	0.2	2.59
$^{90}\text{Y}$	49.7 min	0.2	2.08
$^{90}\text{Sr}$	2.71 h	1	4.66
$^{95}\text{Y}$	3.54 h	1	0.92
$^{91}\text{Zr}$	64.1 days	1	2.82
$^{92}\text{Nb}$	35.0 days	1	2.92
$^{92}\text{Zr}$	16.9 h	1	0.65
$^{93}\text{Nb}$	1.20 h	1	2.54
$^{93}\text{Nb}$	60.0 s	1	2.8
$^{99}\text{Mo}$	2.75 days	1	0.61
$^{103}\text{Ru}$	39.4 days	0.5	1.85
$^{103}\text{Ru}$	4.44 h	0.5	2.96
$^{106}\text{Ru}$	1.02 years	0.5	0.79
$^{125}\text{Sb}$	10.4 min	1	7.34
$^{125}\text{Sb}$	4.32 h	1	5.08
$^{130m}\text{Sb}$	40.9 min	1	9.88
$^{110m}\text{Te}$	1.25 days	0.7	5.29
$^{131}\text{I}$	8.04 days	0.7	1.49
$^{132}\text{Te}$	3.20 days	0.5	0.8
$^{132}\text{I}$	2.28 h	0.5	8.61
$^{131m}\text{Te}$	55.4 min	0.15	8.46
$^{132}\text{I}$	20.8 h	0.15	2.35
$^{134}\text{Te}$	41.8 min	0	3.27
$^{133}\text{I}$	52.6 min	0	9.71
$^{133}\text{I}$	6.55 h	0	5.48
$^{137}\text{Cs}$	30.17 years	0	2.18
$^{140}\text{Ba}$	12.7 days	0.6	0.57
$^{140}\text{La}$	1.68 days	0.6	7.83
$^{142}\text{La}$	1.545 h	1	8.32
$^{141}\text{Ce}$	1.375 days	1	1

All data quoted: Imanaka et al. (2010) and Ihara (1989).

(Beck,1980)。

以上により、時刻  $t$  での空間線量率  $d(t)$  は

$$d(t) = \sum_i k_i \cdot W_i \cdot f_i(t) \cdot a_{Cs}(t) \quad \text{--- (3)}$$

と表され、沈着時刻  $t_d$  から  $t$  までの積算空間線量  $D(t)$  は、

$$D(t) = \int_{t_d}^t d(t) dt = \sum_i k_i \cdot w_i \int_{t_d}^t f_i(t) \cdot a_{Cs}(t) dt \quad \text{--- (4)}$$

となる (Imanaka et al., 2010)。

本研究では、上記した手法を用いて空間線量を見積もるが、サルジャーールとカラウル集落において、その比較対象となるモデル計算による空間線量は推定されていない。しかし、一部利用可能な線量率データ、直接比較はできないが、外部被曝線量のデータが利用可能なので、線量率 (実測値) との直接比較も試みた。

## 4. 結果と考察

### 4.1 土壌中 $^{239,240}\text{Pu}$ 及び $^{137}\text{Cs}$ 蓄積量及び分布

#### 4.1.1 サルジャーール集落とその周辺

サルジャーール集落周辺で得た測定結果を Appendixes III に示す。 $^{239,240}\text{Pu}$  と  $^{137}\text{Cs}$  の測定値は、蓄積量  $I$  (インベントリー、 $\text{Bq}/\text{m}^2$ ) で表記してある。蓄積量  $I$  ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ ) は、 $W$  を 2 mm メッシュで篩い分けした全乾燥重量 (kg)、 $A$  を放射能濃度 ( $\text{Bq}/\text{kg}$ )、 $S$  を試料採取用ステンレスパイプの表面積 ( $\text{m}^2$ ) とすると、 $I = (W \times A)/S$  で表すことができる。 $^{239,240}\text{Pu}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  蓄積量の頻度分布を Fig. 6 示す。

また、ブルームの予想通過センター軸からの距離の関数で今回測定した全データをプロットしたものを Fig. 7 に示す。

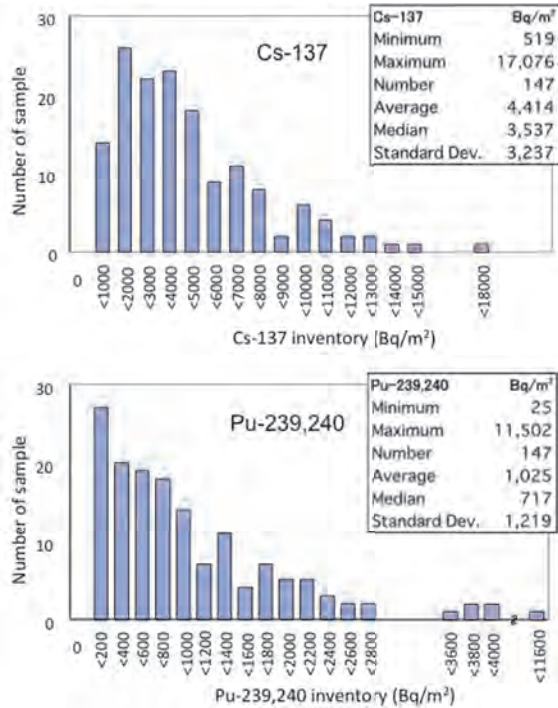


Fig. 6 Histograms of <sup>137</sup>Cs and <sup>239,240</sup>Pu inventories (Bq/m<sup>2</sup>) around Sarzhall settlement.

<sup>239,240</sup>Pu 及び <sup>137</sup>Cs 蓄積量は、それぞれ 5 ~ 11,500 及び 300 ~ 17,100 Bq/m<sup>2</sup> の範囲で変動し、平均値はそれぞれ 1,020 及び 4,420 Bq/m<sup>2</sup> であった。サルジャール周辺での <sup>137</sup>Cs 蓄積量

は、日本における global fallout <sup>137</sup>Cs (3,000 ~ 8,000 Bq/m<sup>2</sup>) 蓄積量の概ね 2 倍内である。一方、<sup>239,240</sup>Pu 蓄積量は、日本の global fallout (40 ~ 120 Bq/m<sup>2</sup>) の数十倍高い値である。サルジャール周辺における <sup>239,240</sup>Pu と <sup>137</sup>Cs の採取地点の値は、同一地点データに大きなバラツキがあるので、幾何平均での分布も示した (Fig. 7 の右図)。横軸は、予想されるセンター軸からの距離であり、横軸の正方向が北東方向に対応する。幾何平均の分布はガウス分布類似の分布を示している。1 地点での測定値のばらつきは大きい (Fig. 8)。

核実験から約 60 年経過した今日においてさえ、当時のプルームが通過した形跡を確認できる。最大値を示す付近の場所がセンター軸であるように思われる。本研究ではサルジャール集落内の空間線量を見積もるため、集落内の <sup>137</sup>Cs 蓄積量が重要なパラメーターとなる。<sup>137</sup>Cs 蓄積量は 1,100 ~ 5,700 Bq/m<sup>2</sup> の範囲にある。Global fallout からの寄与に関しては、ドロン集落周辺で 500 Bq/m<sup>2</sup> 程度 (Gastberger *et al.*, 2000) の値が報告されているが、サル

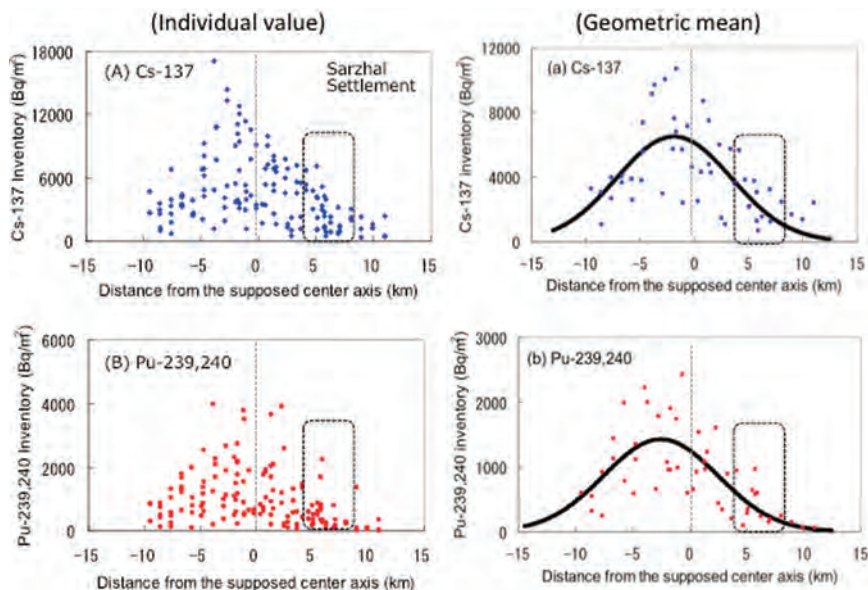


Fig. 7 Distributions of individual values and geometric means of <sup>137</sup>Cs and <sup>239,240</sup>Pu inventories in soils as a function of the distance from the supposed center axis of fallout plume in Sarzhall settlement.

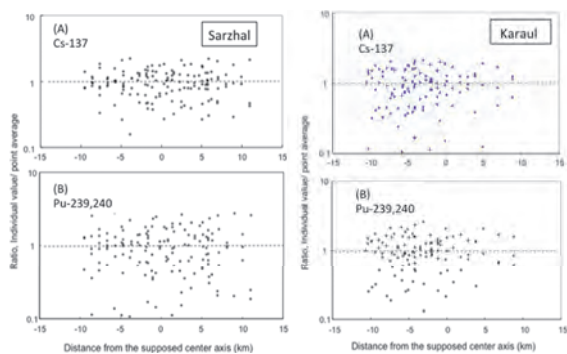


Fig. 8 Distribution of deviation values (individual value/mean values for  $^{137}\text{Cs}$  (A) and  $^{239,240}\text{Pu}$  (B) inventories in soils at one sampling point) as a function of distance from the supposed center axis of fallout

ジャール集落を含む南方面では報告が無く、実際に測定されたデータは上記したようにバラツキが非常に大きいので、今回は補正を行わなかった。カラウル集落に対しても同様に処理した。核実験当時（1953年8月）の値に補正すると  $3,700 \sim 19,700 \text{ Bq/m}^2$  となる。したがってサルジャール集落内での  $^{137}\text{Cs}$  初期沈着量を  $4,000 \sim 20,000 \text{ Bq/m}^2$  とした。ガウス関数のフィッティングにより放射性プルームのセンター軸は、予想されていた軸よりも  $1.8 \sim 2.5 \text{ km}$  程度南西方向にあり、その分布幅は約  $20 \text{ km}$  であると推定された。

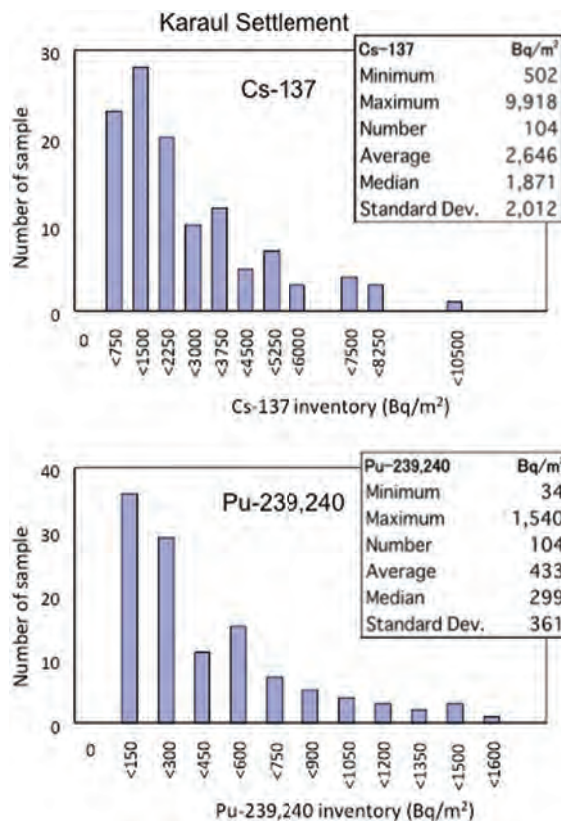


Fig. 9 Histograms of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{239,240}\text{Pu}$  inventories ( $\text{Bq/m}^2$ ) around Karaul settlement.

#### 4.1.2 カラウル集落とその周辺

カラウル集落周辺で得た測定結果を Appendixes IV に、その頻度分布を Fig. 9 に示す。Fig. 10 にプルームの予想通過センター軸

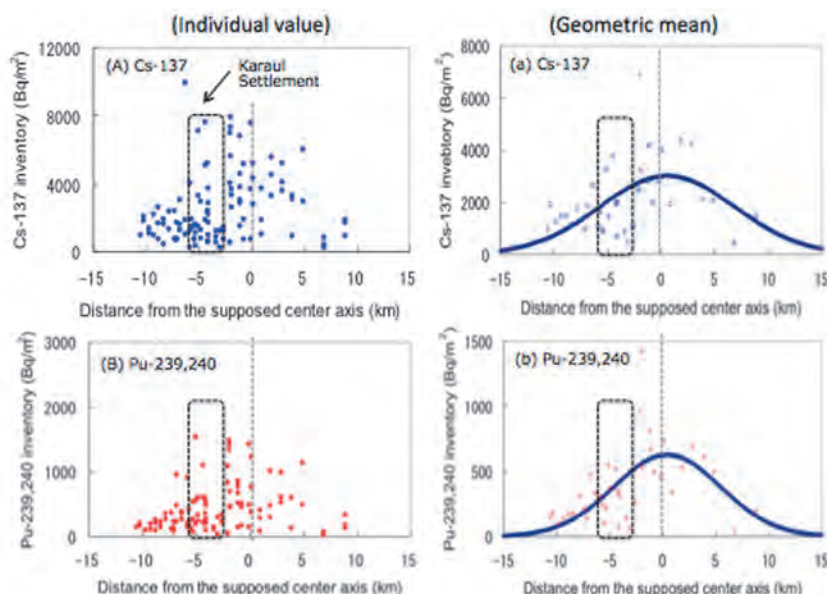


Fig. 10 Distributions of individual values and geometric means of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{239,240}\text{Pu}$  inventories in soils as a function of the distance from the supposed center axis of fallout plume in Karaul settlement.



からの距離の関数で今回測定した全データ及び地点毎の幾何平均をプロットしたものを示した。 $^{239,240}\text{Pu}$ と $^{137}\text{Cs}$ の蓄積量はそれぞれ34～1540、502～9918  $\text{Bq}/\text{m}^2$ であり、単純平均値は430、2,650  $\text{Bq}/\text{m}^2$ であった。カラウル集落はサルジャー集落からさらに南東方向に100 km程度離れており、SNTSから直線距離でおおよそ200 kmのところに位置している。プルームがサルジャーからカラウルへと移動する間に拡散・降下したため、カラウル周辺での $^{239,240}\text{Pu}$ と $^{137}\text{Cs}$ の蓄積量は全体的にみてサルジャーよりも低い値となっている。集落内での $^{137}\text{Cs}$ 幾何平均の変動幅は、580～4,200  $\text{Bq}/\text{m}^2$ 、核実験当時の値に補正すると2,000～14,400  $\text{Bq}/\text{m}^2$ となる。したがって、カラウル集落内での $^{137}\text{Cs}$ 初期沈着量を2,000～15,000  $\text{Bq}/\text{m}^2$ と評価した。また得られたデータに対して、ガウス関数でフィッティングした結果より実際のプルームのセンター軸は、予想されていた軸よりも0.4～0.7 km北東方向にあり、その分布幅はおおよそ20 km、サルジャー集落付近の幅と大差なく、同じような幅でプルームが到着したことが示唆される。

#### 4.1.3 $^{239,240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比

サルジャー及びカラウル集落周辺における $^{239,240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比の空間分布をFig. 11に示す。1地点につき3つの測定値があるが、その幾何平均値をその地点での代表値としてプロットした。 $^{239,240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$ 比はサルジャー村周辺で0.05～0.72（平均：0.21 ± 0.11）、カラウル集落周辺で0.08～0.29（平均：0.16 ± 0.05）であった。

サルジャー集落で観測された異常に高い $^{239,240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$ は粒径の大きなhot particleの影響によると考えられる。サルジャー集落では

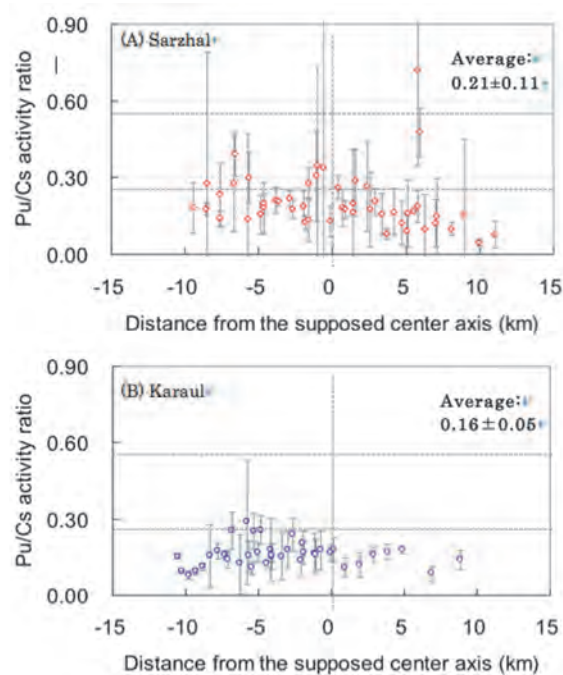


Fig. 11 Spatial distribution of geometric mean  $^{239,240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$  activity ratios in soil collected around (A) Sarzhal and (B) Karaul settlements

全体的にバラツキが大きく、対照的にカラウル集落ではバラツキが比較的小さい。これは、サルジャー集落が核実験場により近いために、粒径の大きなhot particleがカラウル集落に比べて多く降下したことによると思われる。また、以前にドロン集落で得られたガウス分布のピークのような $^{239,240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$ 比の分布（Yamamoto *et al.*, 2008）は見られなかった。 $^{239,240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比でフラクシオネーションの影響を見ると、サルジャー集落-カラウル集落間で大きな差は無い様に見える。

## 4.2 空間線量評価

### 4.2.1 $^{236}\text{U}$ , $^{237}\text{Np}$ データを用いたフラクシオネーション効果の評価

旧ソ連最初の原爆（1949年8月）はPu爆弾であることは既知であるが、1953年8月の水爆については不明な点が多い。特に、起爆剤が $^{235}\text{U}$ なのか $^{239}\text{Pu}$ 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、 $^{238}\text{U}$  ( $n, 2n$ )、 $^{238}\text{U}$  ( $n, 3n$ )、 $^{235}\text{U}$  ( $n, \gamma$ ) 核反応で生成する可能性がある  $^{237}\text{Np}$ 、 $^{236}\text{U}$  の測定を試みた。これらの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。 $^{236}\text{U}$ 、 $^{237}\text{Np}$  データ (Appendixes V and IV) およびそれらから計算した R/V 比 ( $\epsilon$ ) を Fig. 12 (Appendix VII) に示した。R/V 比を  $^{236}\text{U}$  から計算すると 0.2 ~ 0.4、 $^{237}\text{U}$  から計算すると 0.7 ~ 1.3 の範囲であった。

仮定では  $^{236}\text{U}$  と  $^{237}\text{U}$  は、ともに  $^{238}\text{U}$  ターゲット核種と 14 MeV 中性子の核反応により生成したとした。しかし実際は 14 MeV 中性子が非弾性散乱などによってエネルギーを失う可能性がある。核データライブラリー (Ihara, 1982) によると、 $^{236}\text{U}$  の生成反応である ( $n, 3n$ ) 反応の核反応断面積は、14 MeV 付近で一定でなく、中性子の衝突などでエネルギーが下がると急激に断面積は下がる。一方、 $^{237}\text{U}$  の生成反応である ( $n, 2n$ ) 反応の断面積は、14 MeV 付近でプラトーであり、多少エネルギーが下がったとしても断面積は比較的一定である。水爆実験の中性子エネルギースペクトルが利用可能でないため、本研究では、 $^{237}\text{U}$  を用いた R/V 比を採用した。全体の仮定 (400 kt やその内訳など)

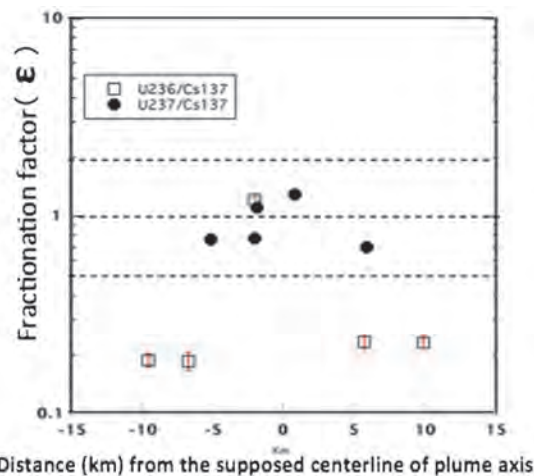


Fig.12 Comparison of fractionation factors ( $\epsilon$ ) estimated from  $^{236}\text{U}/^{137}\text{Cs}$  and  $^{237}\text{U}/^{137}\text{Cs}$  ratios.

の不確かさを考慮し、R/V 比を 1.0 と仮定して空間線量を試算した。

#### 4.2.2 $^{137}\text{Cs}$ 単位沈着量 ( $\text{kBq}/\text{m}^2$ ) 当たりの FP の空間線量

1953 年 8 月 12 日の午前 7 時 30 分、ソ連初の水爆実験が行われた。この核実験によるキノコ雲は高さ 16 km まで達し、平均 64.6 km/h の風速で南東方向に移動した。爆心地から各集落までの距離から、プルームの到達時間が予想されており、サルジャール村で 1.7 h、カラウル村で 2.9 h とされている (Gordeev *et al.*, 2002)。本研究でも同じ到達時間を採用した。地上 1m における  $^{137}\text{Cs}$  単位沈着量 ( $1 \text{ kBq}/\text{m}^2$ ) 当たりの積算空間線量の時間変化 (サルジャールに沈着後から 50 年まで) を Fig. 13 に示した。積算空間線量は 1 日で 50 年までの全積算線量の 45%、1 週間で 70%、1 年間で 98% を占める。サルジャール村ではプルームの到達時間 1.7 時間 ~ 1 年、そして避難を考慮し 16 日 ~ 1 年までの積算空間線量を計算すると、前者が 21 mGy、後者が 5 mGy となる。同様にしてカラウル村では 2.9 時間 ~ 1 年、10 日 ~ 1 年までの空間線量を計算すると、前者が 19 mGy で後者が 6 mGy となる。

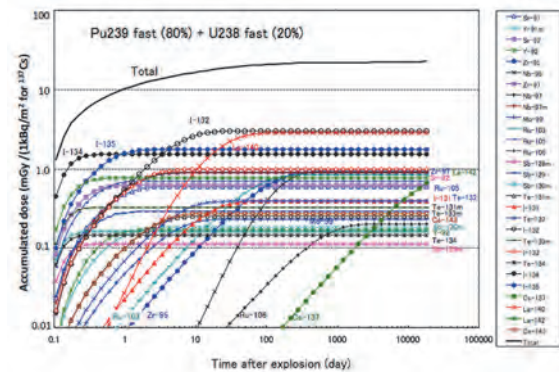


Fig.13 Cumulative  $\gamma$  exposure in air at 1 m above ground after deposition using an assumed initial  $^{137}\text{Cs}$  deposition of  $1 \text{ kBq}/\text{m}^2$ , fission contribution of  $^{239}\text{Pu}$  (80%) and  $^{238}\text{U}$  (20%), and a refractory/volatile ratio of 1.0.

4.2.3  $^{152}\text{Eu}$  単位沈着量 ( $\text{kBq}/\text{m}^2$ ) 当たりの空間線量

誘導放射性核種として検出された  $^{152}\text{Eu}$  及び  $^{60}\text{Co}$  の測定結果を Appendix VIII に示した。

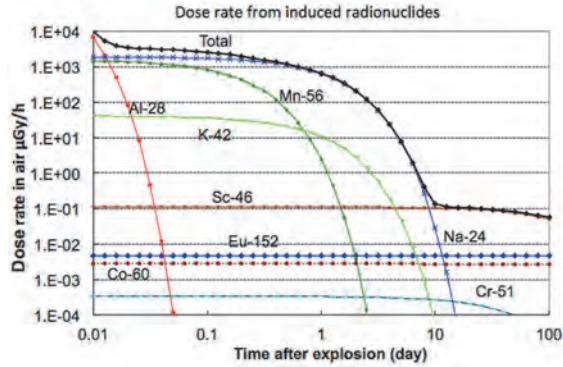


Fig. 14 Dose rates in air at 1 m above the ground per  $1 \text{ kBq}/\text{m}^2$  deposition of  $^{152}\text{Eu}$ .

得られた値を 1953 年 8 月当時の値に補正すると、 $^{60}\text{Co}/^{152}\text{Eu}$  放射能比は、サルジャール村で  $31 \pm 3$ 、カラウル村で  $17 \pm 3$  となる。これらの放射能比は、誘導放射性核種が土壌中の安定同位体と熱中性子による ( $n, \gamma$ ) 反応によって生成したと仮定した場合における  $^{60}\text{Co}/^{152}\text{Eu}$  放射能比 (0.26) と比べると、かなり高い値を示している。これは、水爆が鉄塔 (30m) 上で行われたために、主に鉄塔に含まれていた  $^{59}\text{Co}$  を放射化して生成した  $^{60}\text{Co}$  の影響であると考えられる。地上 1 m における  $^{152}\text{Eu}$  の単位沈着量 ( $1 \text{ kBq}/\text{m}^2$ ) 当たりの誘導放射性核種による空間線量率の時間変化を Fig. 14 に示した。また、ここでは土壌に含まれる安定同位体のデータとして、簡易的に広島土壌データを用いた。主な誘導放射性核種 ( $^{24}\text{Na}$ ,  $^{56}\text{Mn}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{42}\text{K}$ ,  $^{46}\text{Sc}$ ) について、時間別に積算の空間線量は、 $^{152}\text{Eu}$  単位沈着量 ( $1 \text{ kBq}/\text{m}^2$ ) 当たり 43 mGy (1.7 h ~ 1 y)、40 mGy (2.9 h ~ 1 y)、0.34 mGy (10 d ~ 1 y)、0.33 mGy (16 d ~ 1 y) と推定できる。

4.2.4 空間線量率 (FP、誘導放射性核種 ( $^{237}\text{U}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ) の比較

サルジャール集落における FP からの空間線量率にサルジャール集落 (07S9-2) の  $^{152}\text{Eu}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{237}\text{U}$  データを用いて計算した空間線量率 (誘導放射性核種、 $^{237}\text{U}$ 、 $^{60}\text{Co}$ ) を纏めて  $^{137}\text{Cs}$  初期沈着量を  $10 \text{ kBq}/\text{m}^2$ 、R/V 比を 1 と仮定した。 $^{237}\text{U}$  による線量率は、蓄積量と線量率換算係数  $0.592 \text{ (nGy/h)} / (\text{kBq}/\text{m}^2)$  を用いて計算した。また Fig. 15 の  $^{60}\text{Co}$  による線量率は、 $^{152}\text{Eu}$  単位沈着量から計算したものではなく、 $^{60}\text{Co}$  の蓄積量と線量率換算係数  $0.0136 \text{ (mGy/h)} / (\text{kBq}/\text{m}^2)$  を用いて計算した。全体の空間線量率 (FP+Induced-Total+ $^{237}\text{U}$ + $^{60}\text{Co}$ ) への寄与の割合は、時間によって変化する。爆発後 7 時間 ~ 2 日間での 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ため、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、 $^{237}\text{U}$  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  $^{60}\text{Co}$  の寄与率の方が上回っており、以降は  $^{60}\text{Co}$  による線量率が支配的になる。

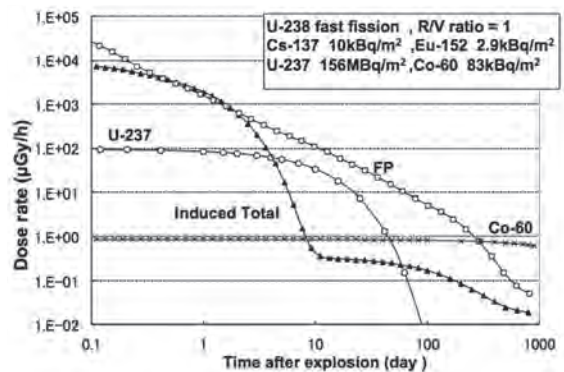


Fig. 15 Comparison of calculated dose rates in air by FP-Total, induced-Total,  $^{60}\text{Co}$  and  $^{237}\text{U}$ .

4.2.5 線量率モニタリングデータとの比較

今回測定したデータを用いて計算した空間線量率 (FP+Induced-Total+ $^{237}\text{U}$ ) と利用可能

である線量率 (Shinkarev,2007) の既存モニタリングデータ (爆発の 2.5h、24h、84h、218h、360h 後測定) を比較した結果を Table 2 に示す。

Table 2 Comparison of calculated total doses with monitoring values.

Time after explosion	Calculated dose rate ( $\mu\text{Gy/h}$ )			Total	Dose rate ( $\mu\text{Gy/h}$ ) Reported value*	Monitoring location
	FP	Induced	U-237			
H+2.5h	5757 - 43182	7384	92	13233 - 50658	105240	Karaul
H+24h	672 - 3362	1907	84	2663 - 5353	10787	Sarzhai
H+84h	67 - 500	102	66	235 - 668	1578	Karaul
H+218h	22 - 165	1	33	55 - 198	263	Karaul
H+360h	24 - 120	0	18	42 - 138	132 - 324	Sarzhai

\*Private communication from S. Shinkarev in 2007.

$^{137}\text{Cs}$  初期沈着量、 $^{152}\text{Eu}$ 、 $^{60}\text{Co}$  データはモニタリングポイントに合わせてサルジャール集落あるいはカラウル集落の値を用いている。FP による線量率は、 $^{137}\text{Cs}$  初期沈着量に依存するために幅広い範囲を持つことになる。既存モニタリングデータは、計算による全線量率と比較すると 1～8 倍高い値となっている。既存モニタリングデータが本研究の計算値より高くなる理由としては、まずフラクシヨネーション効果が考えられる。先に議論したように R/V 比は 0.7-1.3 の範囲であり、下限の R/V 比 (0.7) を用いると計算値はさらに低くなる。上限の R/V 比を用いると計算値は最大で約 2 倍になると考えられる。他の理由としてはモニタリングポイントの不確かさである。もし正確な位置情報が分かれば最適の  $^{137}\text{Cs}$  初期沈着量を用いて比較することが可能となる。

#### 4.2.6 サルジャール、カラウル集落における空間線量の推定

最後にそれぞれの集落での  $^{137}\text{Cs}$  初期沈着量、 $^{137}\text{Cs}$  単位沈着量当たりの積算空間線量から FP による空間線量を見積もった。また同様にして  $^{152}\text{Eu}$  初期沈着量、 $^{152}\text{Eu}$  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計算した。避難有りの場合 10d～1y、16d～1y の期間における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。

#### サルジャール集落

##### 1) FP による空間線量

$^{137}\text{Cs}$  初期沈着量①、 $^{137}\text{Cs}$  単位沈着量当たりの積算空間線量②とすると、

○避難無 (1.7h～1y) : ① 4～20 (kBq/m<sup>2</sup>) x

② 20 mGy (1.7h～1y) = 80～400 mGy

○避難有 (16d～1y) : ① 4～20 (kBq/m<sup>2</sup>) x

② 5 mGy (16d～1y) = 20～100 mGy

##### 2) 誘導放射性核種による空間線量

$^{152}\text{Eu}$  初期沈着量③、 $^{152}\text{Eu}$  単位沈着量当たりの積算空間線量④とすると、

○避難無 (1.7h～1y) : ③ 3 (kBq/m<sup>2</sup>) x ④ 43

mGy (1.7h～1y) = 130 mGy

サルジャール集落での積算の空間線量は、避難無 (1.7h～1y) : 210-530 mGy、避難有 (16d～1y) : 20～100 mGy と予想される。

#### カラウル集落

##### 1) FP による空間線量

$^{137}\text{Cs}$  初期沈着量⑤、 $^{137}\text{Cs}$  単位沈着量当たりの積算空間線量②とすると、

○避難無 (2.9h～1y) : ⑤ 2-15 (kBq/m<sup>2</sup>) x

② 20 mGy (2.9h～1y) = 40～300 mGy

○避難有 (10d～1y) : ⑤ 2～15 (kBq/m<sup>2</sup>) x

② 5 mGy (10d～1y) = 10～75 mGy

##### 2) 誘導放射性核種による空間線量

$^{152}\text{Eu}$  初期沈着量⑥、 $^{152}\text{Eu}$  単位沈着量当たりの積算空間線量④とすると、

○避難無 (2.9h～1y) : ⑥ 2 (kBq/m<sup>2</sup>) x ④ 40

mGy (2.9h～1y) = 80 mGy

カラウル集落での積算の空間線量は、避難無 (2.9h～1y) : 120～380 mGy、避難有 (16d～1y) : 10～75 mGy と予想される。

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、人への線量を評価する場合に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。

なお、本研究は金沢大学大学院自然科学研究科物質科学専攻 河合健太氏の博士前期課程の研究（修士論文）として実施されたものである。

### Ⅲ. カイナル集落及びパプロダール州南部の集落

#### 1. 調査地域の概要

##### 1.1 アブラリンスク地区のカイナル集落

セミパラチンスク核実験場では数多くの地上及び大気中で実験が行われたが、なかでも次の3つの地上核実験が広範囲にわたって甚大な被害をもたらしたと言われている：① 1949/8/29（最初の原爆実験、爆発威力：22 kt、爆発高度：30 m）、② 1951/9/24（38.3 kt、30 m）、③ 1953/8/12（最初の水爆実験、400 kt、30 m）。①の実験は実験場から北東方向のドロソ集落を、②の実験は実験場から南西方向のアブラリンスク地区（主集落：カイナル集落）を、③の実験は実験場から南東方向のサルジャー集落やカラウル集落を直撃した。

核実験場から南西約 150 km に位置するアブラリンスク地区のカイナル集落（Fig. 16）は、1950 年当時、人口約 3000 人の遊牧民の集落であった。この集落に、著しい放射性降下物があったのは②の 1951/9/24 に行われた爆発高度 30 m の地上核実験（当時の風速は 26.4 km/h）であるが、③の爆発に際しても被害を受け、1963 年までにこの居住地域の住民は少なくとも 10 回以上の放射性降下物による放射能の影響下におかれたと言われている。川野ら（2003）の「カザフスタン共和国セミパラチンスク被曝実態調



Fig. 16 Photographs of soil sampling around the Kainar settlements.

査報告書」によると、カイナル集落においては、実験の直前になると軍人がやって来て屋外に出て伏せるように命令され、遠方への避難は指示されなかった内容の証言が多いとされている。

アブラリンスク地区主任医師、シャハンタエフ・アキンバイ（Shahantaefu Akinbai）氏は、カイナル集落の住民の深刻な放射線被害に関する最初の情報が 1957 年にアカデミー会員の S. B. バルムハノフ氏と T. D. アトチャバロフによって得られたと述べている。住民の 30～40% に、歯茎、粘膜、鼻、腸の出血と言った独自の症状が集中的、また、脱毛、極度の疲労、全般的虚弱、労働能力の喪失も現れた。住民によると、こうした病気は核実験が開始されて初めて発生した病気である。当時、現地の人々が患ったこのような原因不明のだるさ・疲れやすさの地区独自の後遺症の症状は、「カイナル症候群」と名付けられ後で多くの人の命を奪った（Akinbai, 1995）。この住民には、“不安定型”の染色体異常が他の集落と比べて多く観察されており、核実験の開始から半世紀以上も経過しているにも関わらず、住民の中で放射能の医学的影響が現れ続けている。

## 1.2 パブロダール州南部のカラカンドラ州に接する地域

パブロダール州は、中央アジアのカザフスタンの州の1つ。北にロシアのシベリア連邦管区と、西は北カザフスタン州とアクモラ州に接し、東は東カザフスタン州に接し、南はカラガンダ州に接する。パブロダール州方面に被害をもたらした規模の大きな核実験の存在は報告されていない。しかし、度重なる地上及び大気中核実験によるフォールアウトからの影響が懸念されている。今回は、クルチャトフから直線距離で北約 95 km に位置するアック (Akku) 集落までの一円を調査対象とした (Fig. 17)。



Fig. 17 Map of some settlements in Pavlodar areas where surveys have been conducted.

## 2. 実験方法

### 2.1 土壌試料採取

アブラリンスク地区のカイナル集落を中心に、その周辺地域も含めて核実験による半減期の長い放射性核種  $^{137}\text{Cs}$  及びプルトニウム同位体 ( $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ) の土壌中での蓄積量やその空間分布を把握するために広範囲の地域から土壌試料 (2007 ~ 2012) を採取した (Fig. 18, Appendixes IX)。

一方、パブロダール州南部の核実験場に隣接する地域においては (Fig. 19)、残留放射能レ

ベル及び空間分布を把握するために、2006年8月クリビンカ (Krivinka) 集落周辺から→ベスカラガイ (Beskaragay) 集落→アック (Akku) 集落→シェルバクティ (Shcherbakty) 集落→セミノフカ (Semenovka) 集落→カノネルカ (Kanoneruka) 集落の順で土壌試採取を実施した。さらに追加として、2007年にシェルバク

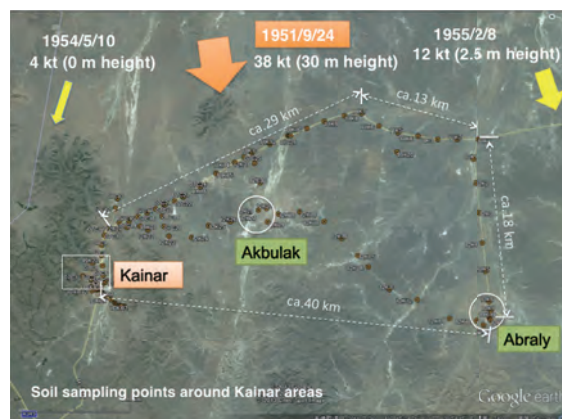


Fig. 18 Soil sampling locations in and outside the Kainar settlement and the atomic bombs which had effects on the Kainar area.

ティ集落内で、2007年及び2008年に範囲を広めてカノネルカ集落及びその周辺で試料採取を行った (Appendixes X)。試料は、直径 4.7 cm ステンレスパイプを用いて、一サイトにおいて約 30cm 深さで 1 ~ 3 地点から採取した。採取した全ての土壌試料は、国内に持ち帰った後、100°C 前後で乾燥、2 mm メッシュで篩い分けし粉碎器を用いてできるだけ均一にした。



Fig. 19 Soil sampling locations at some settlements in Pavlodar areas located in the adjust north direction of the SNTS.

## 2.2 化学分離と放射能測定

採取した土壌試料についての<sup>137</sup>Cs及びPu同位体(<sup>238</sup>Pu、<sup>239,240</sup>Pu)の測定は、上記した方法と同じである。今回、パブロダール州からの試料に対してPu汚染源の由来等を明らかにするために、上記と同様な方法でPuを分離し、さらに酢酸系の陰イオン交換樹脂カラムでPuを再精製して、HR-ICP-MSで<sup>240</sup>Pu/<sup>239</sup>Pu原子数比(以後、<sup>240</sup>Pu/<sup>239</sup>Pu比と記す)を測定した(日本分析センターに委託)。

## 3. 結果と考察

### 3.1 カイナル集落とその周辺

全ての<sup>137</sup>Cs及びPu同位体の測定値は、試料採取日での値で示してある。

#### 3.1.1 カイナル集落方面での予備調査

核実験場の南西方向のカイナル集落及びその周辺の放射能汚染の実態を知るために、1999年9月に予備調査を実施した。サルジャール集落からカイナル集落に通じる道路脇(99K20, 21)、カイナル集落入口の広場(99K22)、及び道路から南方向にあるアブラリー(Abraly)集落(99K19)で土壌(10 cm及び30 cm深さ、及びコア土壌)を採取した。<sup>137</sup>Cs蓄積量(Appendix XI)は、920～5,900 Bq/m<sup>2</sup>の範囲で変動し、同一地点でもバラツキが大きく、最高値はカイナル集落に通じる道路脇の99K20地点で検出された。<sup>239,240</sup>Pu蓄積量も60～1,460 Bq/m<sup>2</sup>で大きく変動した。1,460 Bq/m<sup>2</sup>の高い<sup>239,240</sup>Pu蓄積量は、ドロロンやサルジャール集落等で多数の地点で検出されてきた。硝酸加熱抽出できるPu成分が10～40%と少なく、核実験周辺のドロロン、サルジャール、カラウル集落などで見出だされてきた結果と同様な結果を得

た。大気圏核実験からのglobal fallout Puは、硝酸加熱で比較的容易に抽出できることを考えると、今回のPuは地上爆発の際に蒸発した表層土壌や原爆構成物等の様々な粒径の凝集粒子に取り込まれたPuであり、爆心地から約150 km離れたこの地域まで影響を及ぼしたことが確認できる。土壌の採取地域は、殆どがステンレスパイプでさえ打ち込むことが困難な固い礫まじりの裸地であった。Appendix XIIに<sup>137</sup>Cs深度分布の結果示すが、表層下5cm(99K21では10cm深さ)までに大部分が蓄積されており、今回の採取場所では表層土壌の風化は否定できないものの深部までの攪乱がそれほど起きていないと思われる。検出された<sup>137</sup>Cs蓄積量の上限値5,000～6,000 Bq/m<sup>2</sup>を1951年9月の核爆発時点に減衰補正すると15,000～18,000 Bq/m<sup>2</sup>の高い降下量があったことが推定される。このような結果を踏まえて、以下のカイナル集落及び広域の調査・研究を継続した。

なお、global falloutからバックグラウンド<sup>137</sup>Csの寄与に関しては、ドロロン集落周辺で500 Bq/m<sup>2</sup>程度(Gastberger *et al.*, 2008)の値が報告されている。南方面では報告が無く、実際に測定されたデータは上記したようにバラツキが非常に大きいので、今回のデータも含めて以下のデータについては補正を行わなかった。

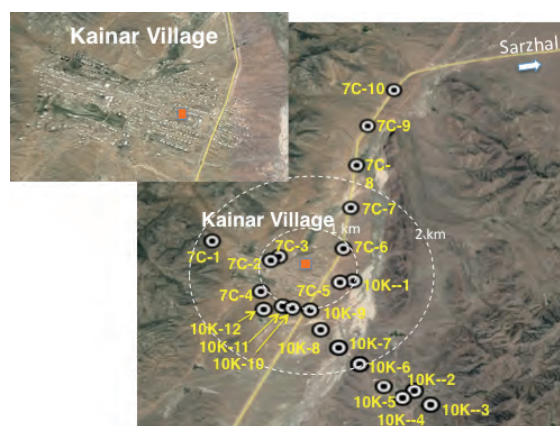


Fig. 20 Soil sampling locations in and near-outside the Kainar settlement

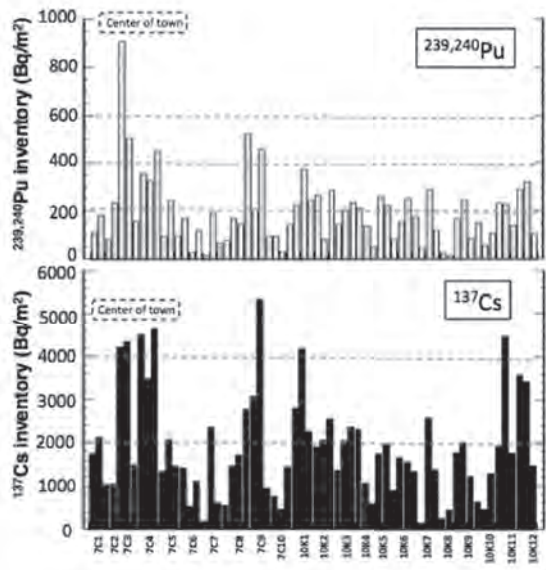


Fig. 21 Distributions of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{239,240}\text{Pu}$  inventories in soils in and near-outside the Kainar settlement.

### 3. 1. 2 カイナル集落及びその近郊

2007～2010年にわたって集落内(7C1～7C6, 10K1, 10K9～10K12)及びその近郊(7C7～7C10, 10K2～10K8))で採取した土壌のサンプリング地点(22地点)をFig. 20に、測定データをAppendixes XIIIに示す。集落内では、当時の放射性降下物を保存していると思われる未攪乱地域の存在は不明であり、全ての場所が細かい礫などを含む固い土壌で覆われていた。1地点当り3試料の30cm深さまでの採取

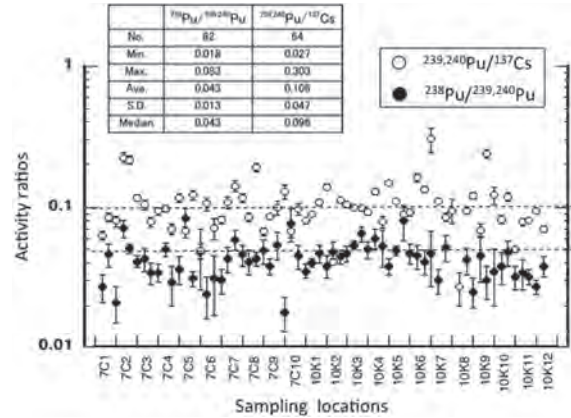


Fig. 22 Activity ratios of  $^{239,240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$  and  $^{238}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$  in soils in and near-outside the Kainar settlement. All data are as of the date of measurements: C-series, 2007/8; K-series, 2010/10).

を目標としたが採取困難な場所がいくつか存在した。22地点についての、 $^{137}\text{Cs}$ 及び $^{239,240}\text{Pu}$ の採取日での蓄積量(1951年9月の核爆発時点での減衰補正した $^{137}\text{Cs}$ 値)は、それぞれ、145～5,358  $\text{Bq}/\text{m}^2$  (565～19,500  $\text{Bq}/\text{m}^2$ )及び12～908  $\text{Bq}/\text{m}^2$ の幅広い範囲で変動し、平均は $1,900 \pm 1,230 \text{ Bq}/\text{m}^2$  ( $7,200 \pm 4,600 \text{ Bq}/\text{m}^2$ )、中央値1,680  $\text{Bq}/\text{m}^2$  ( $6,300 \text{ Bq}/\text{m}^2$ )及び $195 \pm 149 \text{ Bq}/\text{m}^2$ 、中央値168  $\text{Bq}/\text{m}^2$ であった(Fig. 21)。集落内においては、集落中央(7C3, 7C4)で $^{137}\text{Cs}$ 及び $^{239,240}\text{Pu}$ について、4,200～4,600  $\text{Bq}/\text{m}^2$ 及び510～910  $\text{Bq}/\text{m}^2$ の他の地点よりも数倍高い

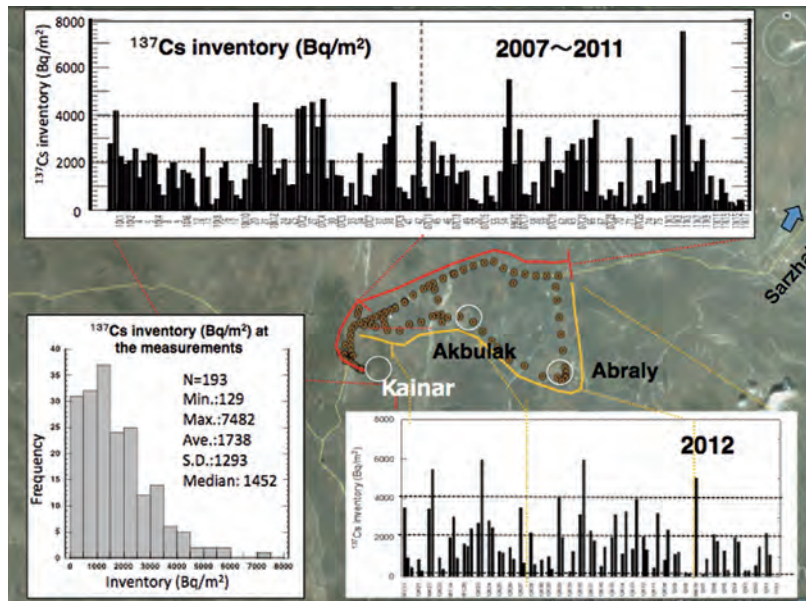


Fig. 23 Distributions of  $^{137}\text{Cs}$  inventories in soils inside and outside the Kainar area.



値が検出された。また、 $^{239,240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$  放射能比 (Fig. 22) は、測定時点 (1951年9月の核爆発時点での減衰補正值) では 0.027 ~ 0.303 (0.07 ~ 0.078) で、平均は  $0.106 \pm 0.046$  ( $0.028 \pm 0.012$ )、中央値は 0.096 (0.026) であった。Pu 同位体の  $^{238}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$  放射能比は、0.018 ~ 0.083 の範囲で変動し、平均は  $0.043 \pm 0.013$ 、中央値は 0.043 であった。

集落内での  $^{137}\text{Cs}$  蓄積量については、低い値よりも高い値の方が初期の汚染をより反映していると思われる。集落中央の高い値を用いて 1951年9月の核爆発時点 (減衰補正のみを考慮) での初期沈着量を推定すると  $15,000 \sim 17,000 \text{ Bq/m}^2$  になる。この値は、先に報告した 1953年8月の水爆からの局地的フォールアウトの被害を受けたサルジャー集落 ( $^{137}\text{Cs}$  の初期沈着量  $13,700 \sim 19,700 \text{ Bq/m}^2$  及びカラウル集落  $2,000 \sim 14,400 \text{ Bq/m}^2$  での上限値に匹敵する。また、1949年8月の旧ソ連最初の原爆からの局地的フォールアウトの影響を強く受けたドロロン集落での  $^{137}\text{Cs}$  初期沈着量  $10,000 \sim 16,000 \text{ Bq/m}^2$  と同程度のように思われる。カイナル地域の 2007年の調査は、1951年8月の核実験から局地的フォールアウトの被害を受け 56年も経過しており、この間の表層土壌の流出、攪乱等を考えると、少なくとも今回の測定値以上の  $^{137}\text{Cs}$  初期沈着量が推測できる。

### 3.1.3 カイナル集落一円の $^{137}\text{Cs}$ 蓄積量の空間分布

カイナル集落一円の  $^{137}\text{Cs}$  降下量の空間分布を知るために、2007 ~ 2010年の採取試料に加えて 2011 ~ 2012年にかけてさらに広域で土壌採取を行った。測定した全ての測定結果の採取日での  $^{137}\text{Cs}$  蓄積量を Fig. 23 に示す。87地点 192試料の  $^{137}\text{Cs}$  降下量は、 $129 \sim 7,482 \text{ Bq/}$

$\text{m}^2$  の範囲で分布した。平均値は  $1,740 \pm 1,290 \text{ Bq/m}^2$ 、中央値は  $1,450 \text{ Bq/m}^2$  であった。1951年9月の核爆発時点に減衰補正すると、 $470 \sim 30,000 \text{ Bq/m}^2$ 、平均値は  $6,700 \pm 5,000 \text{ Bq/m}^2$ 、中央値は  $5,500 \text{ Bq/m}^2$  になる。アクブラク (Akbulak) (12K20, 12K27 ~ 12K29) 及びアブラリー (Abraly) (12K6 ~ 12K10) 集落内外での  $^{137}\text{Cs}$  蓄積量は、概ね  $1,000 \sim 3,000 \text{ Bq/m}^2$ 、1951年9月の核爆発時点に減衰補正すると  $4,000 \sim 12,000 \text{ Bq/m}^2$  で、カイナル集落と比べて大差ないように思える。

Fig. 24 に、1951年9月に減衰補正した  $^{137}\text{Cs}$  蓄積量の全データ及びカイナル集落データをそれぞれ対数正規分布でプロットした結果を示す。両者の分布は概ね一致しており、累積加相対密度 90% の値は約  $15,000 \text{ Bq/m}^2$  になる。この値が、この地域の  $^{137}\text{Cs}$  初期沈着量を代表していると考えられる。

38地点 112試料で測定された  $^{239,240}\text{Pu}$  蓄積量は、 $11 \sim 1,455 \text{ Bq/m}^2$  範囲で変動し、カイナル集落内及びその近傍での平均は  $195 \pm 149 \text{ Bq/m}^2$  ( $n=64$ ) であった。

$^{239,240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$  放射能比は、採取日及び爆発時点での減衰補正值で、それぞれ 0.027 ~ 0.80 (平

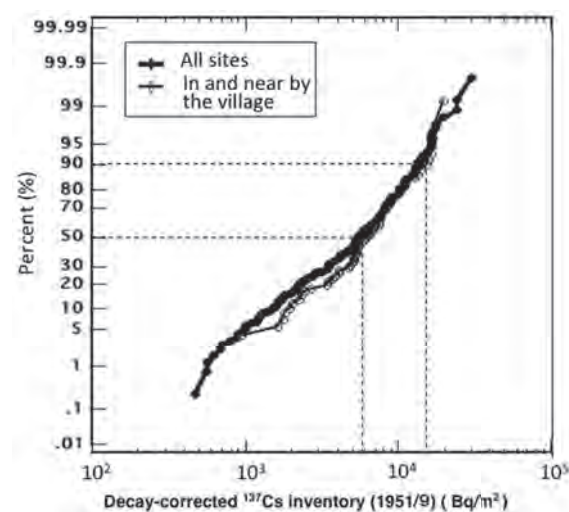


Fig. 24 Logarithmic normal distribution of  $^{137}\text{Cs}$  inventories decay-corrected to 1951/9 in soil samples collected around the Kainar area.

均  $0.15 \pm 0.10$ 、中央値 0.11) 及び  $0.007 \sim 0.22$  (平均  $0.039 \pm 0.027$ 、中央値 0.030) であった。この比は、被曝線量評価の際の FP のフラクシオネーションを考慮する上で重要なファクターになる。先のドロン集落周辺で検出された  $^{239,240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$  放射能比は、2005 年の試料採取時点で  $0.90 \sim 2.0$ 、1949 年 8 月の原爆時に補正すると  $0.25 \sim 0.55$  となる。カイナル集落での中央値 0.03 は、ドロン集落の  $1/10$  程度であり、非揮発性の Pu 降下が揮発性の  $^{137}\text{Cs}$  降下に比べて相対的に少なかったことが示唆される。 $^{238}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$  放射能比は  $0.018 \sim 0.091$  (平均  $0.053 \pm 0.016$ 、中央値 0.050) で、ドロン集落での  $^{238}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$  放射能比  $0.019 \sim 0.058$  (大部分:  $0.03 \sim 0.04$ ) と同程度である。

カイナル集落一円で測定した  $^{137}\text{Cs}$  と  $^{239,240}\text{Pu}$  蓄積量及び  $^{239,240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$  比のポイントデータからそれぞれの空間分布を分かりやすくするために ArcGIS ソフトを用いて 2 次元マップを作成した結果を Fig. 25 に示す。外挿手法

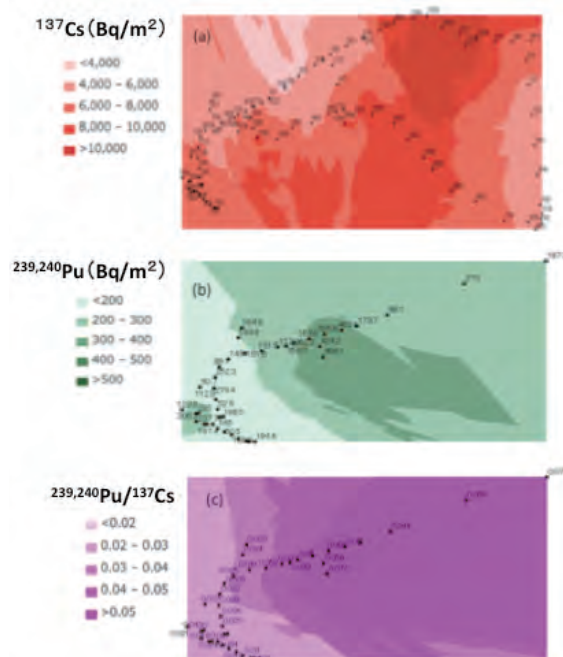


Fig. 25 Spatial distributions of (a)  $^{137}\text{Cs}$  and (b)  $^{239,240}\text{Pu}$  inventories, and (c)  $^{239,240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$  activity ratios in soils collected around the Kainar area. Maps were made by extrapolation using the ArcGIS software.

には、ArcGIS に組み込まれている Empirical Bayesian Kriging を用いた。図から分かるように、データの多くある  $^{137}\text{Cs}$  分布については、ドロン集落やサルジャー及びカラウル集落周辺で観測された放射性プルームのセンター軸に沿っての蓄積量のガウス分布のような空間分布をみられない。この結果は、測定した範囲の地域内であるが、放射性プルームが大きな広がりを持って、おおむね一様に降り注いだことを示唆していると思われる。

#### 4. 核実験場の北側に隣接するパブロダール州南部の幾つかの居住地区

##### 4.1 パブロダール州南部の幾つかの集落とその周辺

2006 年に採取した試料の  $^{137}\text{Cs}$  及び Pu の蓄積状況を Fig. 26 (Appendixes XIV) に示す。 $^{137}\text{Cs}$  蓄積量は、 $271 \sim 3,000 \text{ Bq/m}^2$  の範囲で検出され、平均は  $1,586 \pm 716 \text{ Bq/m}^2$  ( $n = 26$ )、中央値は  $1,505 \text{ Bq/m}^2$  であった。試料を採取した中で核実験場に最も隣接しているクリビンカ及びその周辺 (P1 ~ P6) では、殆どが  $1,100 \sim 2,000 \text{ Bq/m}^2$  であったが、 $3,000 \text{ Bq/m}^2$  の値が集落内で検出された。クルチャトフから直線で約  $82 \text{ km}$  離れているベスガラガイ周辺では  $1,000 \sim 2,200 \text{ Bq/m}^2$ 、最も遠方のアック (クルチャ

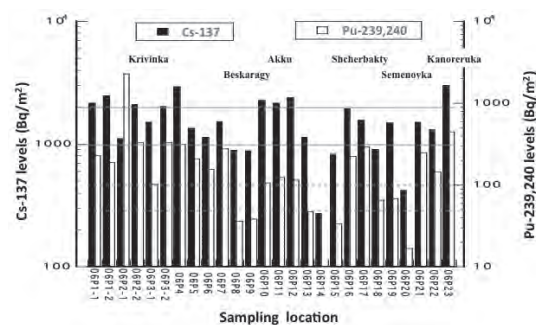


Fig. 26 Inventories ( $\text{Bq/m}^2$ ) of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{239,240}\text{Pu}$  in soils (ca. 30 cm in depth) from some settlements in Pavlodar areas located in the adjust north direction of the SNTS.

トフから直線で約 95 km, P11 ~ P13) では 2,000 Bq/m<sup>2</sup>、シェルバクティ周辺 (P16、P17) では 1,500 ~ 2,000 Bq/m<sup>2</sup>、セメノフカに通じる道路脇及び集落内 (P18 ~ P21) では、1,500 Bq/m<sup>2</sup> 前後であった。2007 年に再調査したシェルバクティ集落内 (5 地点、15 試料) では、大部分が 1,000 ~ 1,500 Bq/m<sup>2</sup>、1 地点で 2,400 Bq/m<sup>2</sup> で、2006 年結果と同程度であった。全体として、調査したこの地域の <sup>137</sup>Cs 蓄積量は、1,000 ~ 3,000 Bq/m<sup>2</sup> の範囲であると思われる。今回調査した核実験場北側の隣接地域は、ドロノ集落周辺の測定日 (2005 年) での <sup>137</sup>Cs 蓄積量 9,000 ~ 10,000 Bq/m<sup>2</sup> と比べて最高値は 1 / 3 程度である。

一方、<sup>239,240</sup>Pu 蓄積量は 6.8 ~ 2,300 Bq/m<sup>2</sup> で、平均は 248 ± 434 Bq/m<sup>2</sup>、中央値は 151 Bq/m<sup>2</sup> であった。2,300 Bq/m<sup>2</sup> の高い値がクリビンカ集落手前の P2 地点で観測された。

検出された Pu 汚染源の由来を明らかにするために <sup>240</sup>Pu/<sup>239</sup>Pu 比の測定を試みた (Fig. 27)。検出された <sup>240</sup>Pu/<sup>239</sup>Pu 比は、0.042 ~ 0.195 範囲で変動した。

原爆級 Pu の <sup>240</sup>Pu/<sup>239</sup>Pu 比は通常 0.05 前後、大気圏核実験からの global fallout <sup>240</sup>Pu/<sup>239</sup>Pu 比は約 0.18 である。低い値 (0.04 ~ 0.07) が見出された地点は、原爆材料の未核分裂の Pu が飛来していることを示している。最

大の <sup>239,240</sup>Pu 蓄積量が検出された P2 地点の <sup>240</sup>Pu/<sup>239</sup>Pu 比は 0.042 ± 0.001 で最も低く、未核分裂 Pu の hot particle の飛来によると思われる。この結果を見る限り、クリビンカ、シェルバクティ周辺まで核実験からの Pu 降下の影響を強く受けていて、それ以遠のバスガラガイ及びアックでは Pu 降下の影響が少ないように思われる。<sup>238</sup>Pu/<sup>239,240</sup>Pu 放射能比は、0.01 ~ 0.052 範囲であった。日本の土壤中の global fallout <sup>238</sup>Pu/<sup>239,240</sup>Pu 放射能比は 0.02 ~ 0.03 である。

<sup>239,240</sup>Pu/<sup>137</sup>Cs 放射能比は、被曝線量評価を行う際 FP 生成直後から沈着するまでの間の難溶性 (refractory) 及び揮発性 (volatile) 元素のフラクショネーションを知る上で重要なファクターである。<sup>239,240</sup>Pu/<sup>137</sup>Cs 放射能比は、0.025 ~ 2.08 範囲で変動するが、高い <sup>239,240</sup>Pu 蓄積量が観測された P2 地点の値 (2.08) を除くと、0.025 ~ 0.187 範囲 (平均: 0.095 ± 0.053、中央値: 0.077) であった。1949 年 8 月の最初の原爆実験の影響を強く受けたドロノ集落周辺での <sup>239,240</sup>Pu/<sup>137</sup>Cs 放射能比は、2005 年の試料採取時点で 0.90 ~ 2.0 範囲の高い値が検出されている。今回の北側の隣接する地域での値は、ドロノでの値よりも相対的に小さく、Pu 等を含む粒子状物質の降下が少なかったことを示唆する。

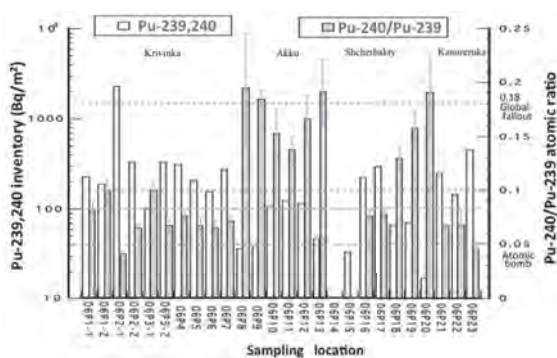


Fig. 27 <sup>239,240</sup>Pu inventories and <sup>240</sup>Pu/<sup>239</sup>Pu atomic ratios in soils from some settlements in Pavlodar areas located in the adjust north direction of the SNTS.

#### 4.2 カノネルカ集落及びその周辺との比較

カノネルカ集落は、1949 年 8 月 29 日の最初の原爆実験の影響を強く受けたドロノ集落から北東方向に直線でさらに約 28 km 離れている。当時の報告されている放射性プルームの流れから予想すると、おそらくカノネルカ集落も直撃されたと思われる。2008 年の採取試料における <sup>137</sup>Cs 蓄積量は 680 ~ 8,900 Bq/m<sup>2</sup> の範囲であった (Fig. 28, Appendix XV)。大部分の値

は 2,000 ~ 4,000 Bq/m<sup>2</sup> 範囲で、8,900 Bq/m<sup>2</sup> の高い値が集落北側の 8H11 地点で観測された。同時に採取した他の 2 試料についても 6,860 と 4,120 Bq/m<sup>2</sup> と高く、この地点を中心に蓄積量のガウス分布のような空間分布が得られ、おそらく、この地点が放射性プルームのセンター軸であると考えられる。

Fig. 29 に、パブロダール地域で得た <sup>137</sup>Cs および <sup>239,240</sup>Pu 蓄積量を、今回のカノネルカ及び

既に得られてきたドロン集落等の結果と比較して示した。試料採取時期が異なるため、特に <sup>137</sup>Cs 蓄積量の比較に関しては注意が必要であるが、図から明らかなように、パブロダール州の実験場に隣接する居住地域の両核種の蓄積量は、1949 年 8 月の最初の原爆実験の影響を強く受けた地域と比べて明らかに低く、北方向にそれほど大きな影響を与えていない。パブロダール州方面に被害をもたらした規模の大きな

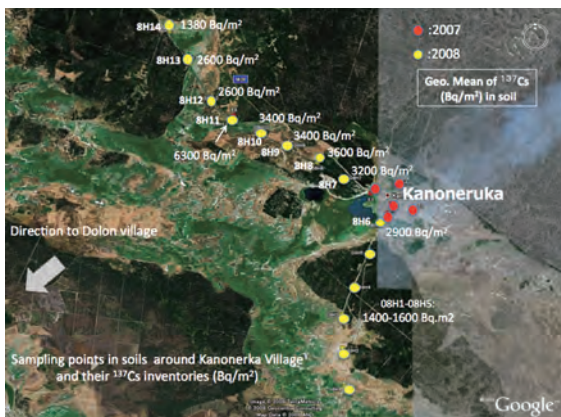


Fig. 28 Sampling locations in soils around the Kanonerka Village and their <sup>137</sup>Cs inventories (Bq/m<sup>2</sup>) with geometric mean.



Fig. 29 Comparison of <sup>137</sup>Cs and <sup>239,240</sup>Pu inventories in soils between Pavlodar and other areas

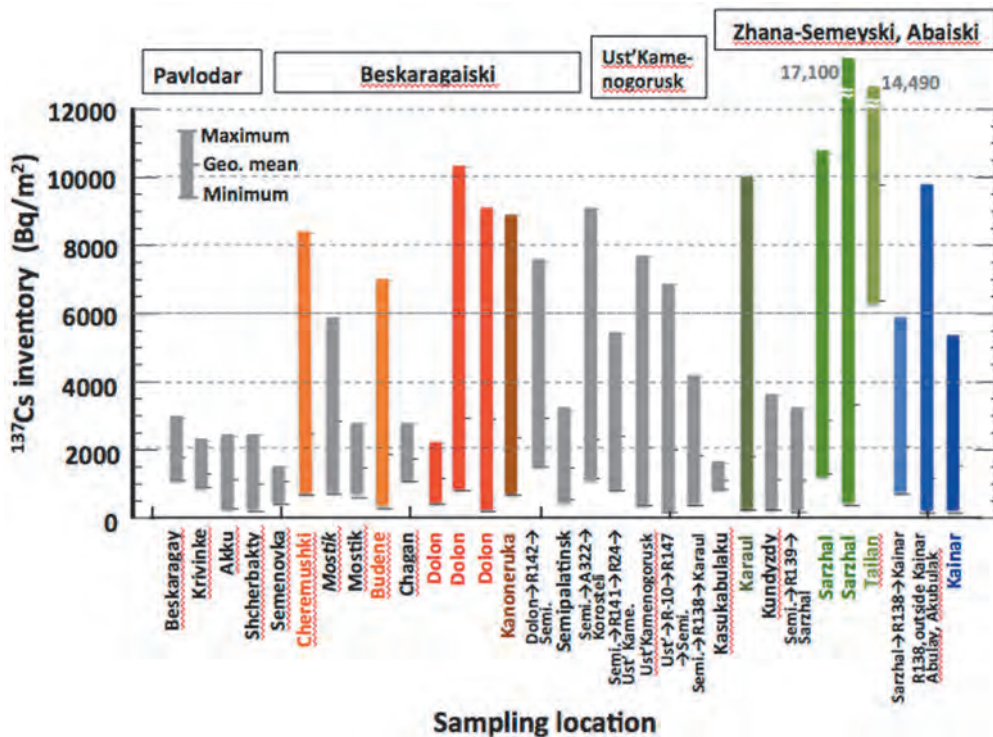


Fig. 30 Comparison with the <sup>137</sup>Cs inventories in soils from all areas around the Semipalatinsk nuclear test site where have been surveyed until now.

核実験の存在は報告されていない。しかし、度重なる地表及び大気中核実験によるフォールアウトからの汚染レベルは実験場の北東方向のドロロン村等と比べて低いが、クリビンカ集落手前の P2 地点で高い  $^{239,240}\text{Pu}$  蓄積量 ( $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  比 =  $0.042 \pm 0.001$ 、原爆級の Pu 同位体比) が観測されたことを考慮すると、この地域もレベルは低いが局地的 fallout を少なからず受けていることは確かである。

#### IV. これまでに調査したセミパラチンスク全地域の $^{137}\text{Cs}$ 及び $^{239,240}\text{Pu}$ 蓄積量と $^{239,240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$ 及び $^{238}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$ 放射能比の比較

これまでに測定してきた全地域の  $^{137}\text{Cs}$  及び Pu 蓄積量と  $^{239,240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$  及び  $^{238}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$  放射能比を纏めて Appendixes XVI に示した。データは全て、試料採取日に補正した値である。Fig. 30 に  $^{137}\text{Cs}$  蓄積量の比較を示す。いずれの地域においても、 $^{137}\text{Cs}$  及び  $^{239,240}\text{Pu}$  蓄積量は幅広く変動するが、低い値あるいは平均値よりも高い値の方が初期の汚染をより反映していると思われる。試料採取時期が異なっているために、直接比較は困難 ( $^{137}\text{Cs}$  の場合) であるが、概ねドロロン、サルジャー、カラウル集落が高く汚染されている。今回測定を行ったカイナル集落一円の汚染は、上記の高汚染地域よりもやや低く、パブロダール地域方面は、全体として、これまでに測定してきたセミパラチンスク全域と比べて  $^{137}\text{Cs}$  蓄積量はかなり低いことが判明した。

#### V. 全体のまとめ

サルジャー、カラウル集落周辺の 89 地点で 30 cm 土壌試料コアを採取した。集落内で

の放射性核種の初期沈着量、FP の空間分布、フォールアウトの沈着組成 (フラクシオネーション効果) を知るために  $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{236}\text{U}$ 、 $^{237}\text{Np}$  ( $^{237}\text{U}$ )、 $^{238}\text{Pu}$ 、 $^{239,240}\text{Pu}$ 、 $^{152}\text{Eu}$ 、 $^{60}\text{Co}$  を測定した。 $^{137}\text{Cs}$  及び  $^{239,240}\text{Pu}$  の測定結果から、1 地点での値のバラツキは大きい、2 つの集落で蓄積量に関して概ねガウス分布のような空間分布が得られた。現在の  $^{137}\text{Cs}$  の蓄積量 (インベントリー) から核実験当時の初期沈着量をサルジャー集落内で  $4 \sim 20$  ( $\text{kBq}/\text{m}^2$ )、カラウル集落内で  $2 \sim 15$  ( $\text{kBq}/\text{m}^2$ ) と推定した。また  $^{239,240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$  放射能比は 2 つの集落で比較的一致しており、2 つの集落の間での大きなフラクシオネーション効果はないと考えられる。

本研究では  $^{236}\text{U}/^{137}\text{Cs}$  比と  $^{237}\text{U}/^{137}\text{Cs}$  比で R/V 比を算出した。 $^{236}\text{U}$  から計算した R/V 比は  $0.2 \sim 0.4$  と低い値となった。これは  $^{236}\text{U}$  の生成反応である ( $n, 3n$ ) 反応の核反応断面積が、14 MeV 付近で一定でなく、中性子の衝突などでエネルギーが低下すると急激に断面積が小さくなるためであると考えられる。 $^{237}\text{U}$  から計算した R/V 比は  $0.7 \sim 1.3$  となった。

$^{137}\text{Cs}$ 、 $^{152}\text{Eu}$ 、 $^{237}\text{U}$ 、 $^{60}\text{Co}$  の単位沈着量当たりの線量率を計算し、線量率の時間変化を推定した。FP による線量率が大半を占めるが、時間によって全体の線量率への寄与が大きく変動することが分かった。爆発から数日までの間では、誘導放射性核種の線量率は FP と同程度であるが、それ以降は短半減期核種が多いため線量率は急激に減衰する。さらに 1 年以降では  $^{60}\text{Co}$  による線量率が支配的になることが分かった。

計算による線量率と線量率の既存モニタリングデータ (爆発の 2.5h、24h、84h、218h、360h 後測定) を比較した。既存モニタリングデータは、計算による全線量率と比較すると 1

～8倍高い値となった。幅広い範囲を示すのは、計算によるFPの線量率が $^{137}\text{Cs}$ 初期沈着量に大きく依存することによると思われる。また既存モニタリングデータが本研究の計算値より高くなる理由としては、まずフラクシオネーション効果が考えられる。R/V比は0.7～1.3の範囲であり、上限のR/V比(1.3)を用いると計算値は最大で2倍程度になると考えられる。他の理由としては既存モニタリングデータのサイト位置の不確かさである。正確な位置情報が分かれば $^{137}\text{Cs}$ 初期沈着量の最適値を用いてさらに比較検証することが可能である。

以上の結果から積算空間線量を計算し、サルジャー集落で避難無(1.7h～1y):210～530 mGy、避難有(16d～1y):20～100mGy、一方、カラウル集落で避難無(2.9h～1y):120～380 mGy、避難有(16d～1y):10～75 mGyと評価できた。

核実験場の南西方向のカイナル集落及びその周辺の放射能汚染の実態を明らかにするために2007～2012年にかけて、数多くの地点から土壌試料を採取し、 $^{137}\text{Cs}$ 及びPu同位体を測定した。87地点192試料の $^{137}\text{Cs}$ 蓄積量は、129～7,482 Bq/m<sup>2</sup>の範囲で分布した。平均値は1,740 ± 1,290 Bq/m<sup>2</sup>、中央値は1,450 Bq/m<sup>2</sup>であった。1951年9月の核爆発時点に減衰補正すると、470～30,000 Bq/m<sup>2</sup>、平均値は6,700 ± 5,000 Bq/m<sup>2</sup>、中央値は5,500 Bq/m<sup>2</sup>になる。38地点112試料で測定された $^{239,240}\text{Pu}$ 蓄積量は、11～1,455 Bq/m<sup>2</sup>範囲で変動し、カイナル集落内及びその近傍での平均は195 ± 149 Bq/m<sup>2</sup>(n=64)であった。カイナル集落一円の $^{137}\text{Cs}$ 降下量の分布は、ドロン集落やサルジャー及びカラウル集落周辺で観測された放射性プルームのセンター軸に沿っての蓄積量のガウス分布のような空間分布を示さず、測定した範囲内であるが、放射性プルームが大きな広がりを持っ

て概ね一様に降り注いだことを示した。空間線量の推定に関しては、今回得られたデータを基にして考察を進める予定である。

さらに、これまで詳細な調査が限定されてきた核実験場の北側に隣接するパプロダール州の幾つかの居住地区の放射能汚染状況を把握するために、 $^{137}\text{Cs}$ と $^{239,240}\text{Pu}$ 蓄積量及びPuの汚染源を知るために $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 同位体比の測定を行い、これまでに調査を行ってきた全地域の汚染状況との比較を行った。今回調査したパプロダール南部の $^{137}\text{Cs}$ 蓄積量は概ね1,000～3,000 Bq/m<sup>2</sup>範囲であった。また、核実験場に近いうクリビンカ集落周辺で2,300 Bq/m<sup>2</sup>の高い $^{239,240}\text{Pu}$ 蓄積量が見出され、 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比は0.042 ± 0.001で最も低く、未核分裂Puのhot particleがこの地域まで飛散していることがわかった。全体として、これまでに測定してきたセミパラチンスク全域と比べて $^{137}\text{Cs}$ 蓄積量はかなり低いことが判明した。

これまでに得てきたセミパラチンスク全域のデータは、今後の被曝線量再評価の上で貴重なデータベースとなる。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、試料採取に御協力いただいたカザフ放射線医学環境研究所の研究者及び各地域の住民の方々に深謝する。また本論文の作成にあたって、校正などに御協力いただいた広島大学平和科学研究センターの下手美和様に感謝する。本研究は、長期に渡る文部省の科学研究費助成金(基盤研究(A,B):海外、代表者:星 正治、山本政儀、川野徳幸)No.22404004、19404005、23406002、20406002、26257501、24310044、23310183、15H03137の助成を受けて行われた。

## 参考文献

- Akinbai, S. 1995. 被曝 50 年国際シンポジウム (1995 年 7/31 ~ 8/2, 広島)、原水協、  
<http://antiatom.org/page/index.php?id=132>
- Atetemye, O. I., Umarov, M. A. (2006), Radionuclides distribution from the 1953 explosion at the Semipalatinsk test site, Proc. Radioactivity after Nuclear Explosions and Accident. Moscow, Russia, Dec. 5-6, 2005, Gigrometizda, St. Petersburg, 2, 240-253 (in Russian)
- Gastberger, M., Steinhäusler, F., Gerzabe, M. H., Hubmer, A., Lettner, H., 2000.  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in environmental samples from Dolon near the Semipalatinsk nuclear test site. Health Phys., 79, 257-265.
- Beck, H. L. (1980), Exposure rate conversion factors for radionuclides deposited on the ground. EML-378 USDOE.
- Bushan, G. Katyal K. (2002), Nuclear, Biological and Chemical Warfare, Ashish (March 1, 2002) ISBN-13: 978-8176483124, 296 pp.
- Crocker, G. R., Kawahara, F. K., Freiling, E. C. (1965), Nuclear debris formation. In: Klement AW (ed) Radioactive fallout from nuclear weapons tests, Proceedings of the Second Conference. Germantown, Maryland, Nov. 3-6, 1964, CONF-765, USAEC, 72-80.
- Gökusu, H. Y., Stepanenko, V. F., Bailiff, I. K., Jungner, H. (2006), Intercomparison of luminescence measurements of bricks from Dolon village: experimental methodology and results of European study group, J. Radiat. Res., 47 (suppl), A29-A37.
- Gordeev, K., Vasilenko, I., Lebedev, A., Bouville, A., Luckyanov, N., Simon, S. L., Stepanov, Y., Shinkarev, S., Anspaugh, L., 2002. Fallout from nuclear tests: dosimetry in Kazakhstan. Radiat Environ. Biophys., 41, 61-67.
- Hamajima, Y., Komura, K. (2004), Background components of Ge detectors in Ogoya underground laboratory. Appl. Radiat. Isot., 61, 179-183.
- Hicks, H. G. (1982), Calculation of the concentration of any radionuclides deposited on the ground by offsite fallout from a nuclear detonation, Health Phys., 42, 585-600.
- Ihara, H. (ed.), (1989), Tables and figures from JNDC Nuclear Data Library of fission products, Version 2, JAERI-M. 89-204.
- Imanaka, T., Fukutani, S., Yamamoto, M., Sakaguchi, A., Hoshi, M. (2006), External radiation in Dolon village due to local fallout from the first USSR atomic bomb test in 1949. J Radiat. Res., 47 (suppl), A121-A127.
- Imanaka, T., Kurosawa, N. (2009), Application and development of FPCOMP for calculating FP composition. Proceedings of Ninth Workshop on Environmental Radioactivity, Tsukuba, Mar 27-28, 2008, KEK Proc 2008-9, pp 51-60 (in Japanese).
- Imanaka, T., Yamamoto, M., Kawai, K., Sakaguchi, A., Hoshi, M., Chaizhunusova, N., Apsalikov, K. (2010), 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. Radiat. Environ. Biophys., 49, 673-684.
- 河合 健太, 2011. 旧ソ連セミパラチンスク核実

- 験場周辺集落の放射能汚染と被曝線量評価,  
金沢大学大学院・自然科学研究科物質科学専攻, 修士論文, 2011年3月.
- 川野 徳幸, 峠岡 康幸, 平岡 敬, 松尾 雅嗣, K. N. Apsalikov, Z. Zhumadilov, 星 正治, 2003. カザフスタン共和国セミパラチンスク被曝実態調査報告書, 広島大学原爆放射線医科学研究所, 広島大学・ひろしま平和科学コンソーシアム, pp. 1
- Nakanishi, T. (2001), Eu-152 measurement at Kanazawa University (I), [http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/IPA/DS02/Final\\_pdf/Nakanishi.pdf](http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/IPA/DS02/Final_pdf/Nakanishi.pdf).
- NHK, 2009. 「核は大地に刻まれていた～“死の灰”消えぬ脅威～」, NHK 総合テレビ, 2009年8月6日放送.
- Sakaguchi, A., Yamamoto, M., Hoshi, M., Imanaka, T., Apsalikov, K. N., Gusev, B. I. (2006), Radiological situation in the vicinity of Semipalatinsk Nuclear Test Site: Dolon, Mostik, Cheremshki and Budene settlements, *J. Radiat. Res.*, 47 (suppl), A101-A116.
- Sakaguchi, A., Kawai, K., Steier, P., Quinto, F., Mino, K., Tomita, J., Hoshi, M., Whitehead, N., Yamamoto, M. (2009), First results of U-236 levels in global fallout, *Sci. Tol. Environ.*, 407, 4238-4242.
- Sato, H., Hoshi, M., Takada, J. (2006), Intercomparison of luminescence measurements of bricks from Dolon' village: experimental methodology and results from Japanese laboratory, *J. Radiat. Res.*, 47 (suppl), A23-A28.
- Sholom, S., Desrosiers, M., Bouville, A., Luckyanov, N., Chumak, V., Simon, S. L. (2007), EPR tooth dosimetry of SNTS area inhabitants, *Radiat. Meas.*, 42, 1037-1040.
- Shinkarev, S. (2007), Private communication.
- Simon, S. L., Beck, H. L., Gordeev, K., Bouville, A., Anspaugh, L. A., Land, C. E., Luckyanov, N., Shinkarev, S. (2006), External dose estimates for Dolon village: Application of the US/Russian joint methodology, *J. Radiat. Res.*, 47 (suppl), A143-A147.
- Stepanenko, V. F., Hoshi, M., Yamamoto, M., Sakaguchi, A., Takada, J., Sato, H., Iaskova, E. K., Kolizshenkov, T. V., Kryukova, I. G., Apsalikov, K. N., Gusev, B. I., Jungner, H. (2006), International intercomparison of retrospective luminescence dosimetry method: sampling and distribution of the brick samples from Dolon' village, Kazakhstan, *J. Radiat. Res.*, 47 (suppl), A15-A21.
- Stepanenko, V. F., Ivannikov, A. I., Bailiff, I. K., Zhumadilov, K., Skvortsov, V. G., Argembaev, R., Tsyb, A. F., Hoshi, M. (2007), The 1st Nuclear Test in the former USSR of 29 August 1949: comparison of individual dose estimates by modeling with EPR retrospective dosimetry and luminescence retrospective dosimetry data for Dolon village, Kazakhstan, *Radiat. Meas.*, 42, 1041-1048.
- Takada, J., Hoshi, M., Yamamoto, M., Nagatomo, T., *et al.* (1996), Dosimetry study of residents near Semipalatinsk Nuclear Test Site, High levels of Natural radiation 1996, *Radiation Dose and Health Effects*, pp.191-195.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2000), Sources and effects of ionizing radiation, UNSCEAR 2000 Report, Annex C. United Nations. New



- York. United Nations, New York.
- Warner, S. F., Kirchmann, R. J. C. (1999), SCOPE 59, Nuclear Test Explosions: Environmental and Human Impacts, JOHN WILEY & SONS, LTD, pp.304.
- Yamamoto, M., Chatani, K., Komura, K., Ueno, K. (1989), Development of alpha-ray spectrometric techniques for the measurement of low-level  $^{237}\text{Np}$  in environmental soil and sediment, *Radiochim. Acta*, 47, 63-68.
- Yamamoto, M., Tsumura, A., Katayama, Y., Tsukatani, T. (1996a), Plutonium isotopic composition in soil from the former Semipalatinsk Nuclear Test Site, *Radiochim. Acta*, 72, 209-215.
- Yamamoto, M., Tsukatani, T., Katayama, Y. (1996b) Residual radioactivity in the soil of the Semipalatinsk nuclear test site in the former USSR, *Health Phys.*, 1, 142-148
- Yamamoto, M., Hoshi, M., Takada, J., Sekerbaev, A. K. H., Gusev, B. I. (1999), Pu isotopes and  $^{137}\text{Cs}$  in the surrounding areas of the former Soviet Union's Semipalatinsk nuclear test site. *J Radioanal. Nucl. Chem.*, 242, 63-74.
- Yamamoto, M., Hoshi, M., Takada, J., Tsukatani, T., Oikawa, S., Yoshikawa, I., Takatsuji, T., Sakerbaev, A. Kh., Gusev, B. I. (2001), Some aspects of plutonium in and around the former Soviet Union's Semipalatinsk Nuclear Test Site, *Plutonium in the Environment* (A. Kudo, Ed.), Elsevier Science Ltd., pp. 375-399.
- Yamamoto, M., Hoshi, M., Takada, J., Oikawa, S., Yoshikawa, I., Takatsuji, T., Sekerbaev, A. K. H., Gusev, B. I. (2002), Some aspects of environmental radioactivity around the former Soviet Union's Semipalatinsk nuclear test site: local fallout Pu in Ust'-Kamenogorsk district, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 252, 373-394.
- Yamamoto, M., Hoshi, M., Takada, J., Sakaguchi, A., Apsalikov, K. N., Gusev, B. I. (2004), Current levels and distribution of  $^{137}\text{Cs}$  and Pu isotopes in soil on the Kazakhstan territory of the Kazakhstan-Chinese border: Semipalatinsk and Lob Nor nuclear test sites detonation, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 261, 533-545.
- Yamamoto, M., Hoshi, M., Sakaguchi, A., Shinohara, K., Kurihara, O. Apsalikov, K. N. and Gusev, B. I. (2006), Plutonium and uranium in human bones from areas surrounding the Semipalatinsk nuclear test site, *J. Radiat. Res.*, 47, Suppl., 85-94.
- Yamamoto, M., Tomita, J., Sakaguchi, A., Imanaka, T., Fukutani, S., Endo, S., Tanaka, K., Hoshi, M., Gusev, B. I., Apsalikov, K. N. (2008), 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, 328-337.
- Zhumadilov, K. S., Ivannikov, A., Apsalikov, K. N., Zhumadilov, Z., Toyoda, S., Zharlyganova, D., Tieliewuhan, E., Endo, S., Tanaka, K., Miyazawa, C., Okamoto, T., Hoshi, M. (2006), Radiation dose estimation by tooth enamel EPR dosimetry for residents of Dolon and Bodene, *J. Radiat. Res.*, 47 (suppl), A47-A53.

Appendix I Geographical position (GPS) of soil sampling sites around Sarzhal in 2007-2009

Sampling point No.	Lab. ID	Position by GPS		Distance* (X: km)
		N°	E°	
S1	07S1	49.63075	78.79328	10.9930
S2	07S2	49.62325	78.78381	9.9630
S3	07S3	49.61611	78.77444	8.9621
S4	07S4	49.60778	78.76772	8.0425
S5	07S5	49.60064	78.75864	7.0580
S6	07S6	49.59206	78.74589	5.7662
S7	07S7	49.58947	78.73069	4.7056
S8	07S8	49.58303	78.72033	3.6890
S9	07S9	49.57283	78.71122	2.5115
S10	07S10	49.56383	78.70425	1.5354
S11	07S11	49.55447	78.69872	0.6221
S12	07S12	49.54675	78.69331	-0.1820
S13	07S13	49.53803	78.68808	-1.0372
S14	07S14	49.52831	78.68494	-1.8318
S15	07S15	49.56183	78.69428	0.8202
S16	07S16	49.59397	78.73181	5.0531
S17	07S17	49.60294	78.73014	5.5165
S18	07S18	49.60144	78.73561	5.7463
S19	07S19	49.59706	78.74278	5.8953
S20	07S20	49.60867	78.74850	6.9611
S21	08S1	49.53644	78.68814	-1.1331
S22	08S2	49.52783	78.68314	-1.9682
S23	08S3	49.52008	78.67525	-2.9203
S24	08S4	49.51225	78.66731	-3.8809
S25	08S5	49.50422	78.65903	-4.8734
S26	08S6	49.49661	78.65208	-5.7609
S27	08S7	49.48861	78.64497	-6.6826
S28	08S8	49.48042	78.63769	-7.6264
S29	08S9	49.47231	78.63047	-8.5616
S30	08S10	49.46447	78.62300	-9.4943
S31	08S11	49.62522	78.65244	2.3159
S32	08S12	49.62208	78.63944	1.3503
S33	08S13	49.61897	78.62578	0.3470
S34	08S14	49.61528	78.61300	-0.6403
S35	08S15	49.60958	78.60172	-1.6641
S36	08S16	49.60439	78.58964	-2.7042
S37	08S17	49.59992	78.57792	-3.6777
S38	08S18	49.59497	78.56567	-4.7120
S39	09S1	49.60956	78.60175	-1.6641
S40	09S2	49.59508	78.56547	-4.7166
S41	09S3	49.59044	78.55400	-5.6858
S42	09S4	49.58669	78.54150	-6.6601
S43	09S5	49.58272	78.52944	-7.6220
S44	09S6	49.57903	78.51700	-8.5896
S45	09S7	49.62197	78.63967	1.3565
S46	09S8	49.62797	78.65881	2.8644
S47	09S9	49.63006	78.66450	3.3318
S48	09S10	49.63458	78.67292	4.1133
S49	09S11	49.64175	78.68228	5.1159
S50	09S12	49.64953	78.69317	6.2472

\*Distance from the supposed center-axis of the plume from thermonuclear test in 1953.

Appendix II Geographical position (GPS) of soil sampling sites around Karaul in 2007-2010

Sampling point No.	Lab. ID	Position by GPS		Distance* (X: km)
		N°	E°	
K1	07B1	48.95578	79.27139	-3.0008
K2	07B2	48.95022	79.25856	-4.1079
K3	07B3	48.95006	79.24394	-4.4190
K4	07B4	48.94519	79.24089	-5.4679
K5	07B5	48.93456	79.25878	-5.0761
K6	07B6	48.92422	79.25903	-5.7085
K7	07B7	48.90642	79.25381	-7.1326
K8	07B8	48.97000	79.27372	-1.9720
K9	07B9	48.98417	79.29381	0.1033
K10	08K1	48.97344	79.23372	-4.1224
K11	08K2	48.97944	79.23972	-3.3917
K12	08K3	48.98539	79.24608	-2.6431
K13	08K4	48.99200	79.25158	-1.9037
K14	08K5	48.99736	79.25878	-1.1423
K15	08K6	49.00083	79.26125	-0.7786
K16	08K7	48.96875	79.27294	-2.0963
K17	08K8	48.97611	79.28194	-1.1029
K18	08K9	48.98297	79.29169	-0.0964
K19	08K10	48.98967	79.30131	0.8915
K20	08K11	48.99642	79.31097	1.8861
K21	08K12	49.00311	79.32058	2.8739
K22	08K13	49.00981	79.33019	3.8618
K23	08K14	49.01661	79.34008	4.8730
K24	08K15	49.03000	79.35931	6.8487
K25	08K16	49.04358	79.37886	8.8562
K26	10K1	48.97881	79.22700	-4.1843
K27	10K2	48.97633	79.21789	-4.8781
K28	10K3	48.97444	79.21158	-5.3694
K29	10K4	48.97311	79.20492	-5.8473
K30	10K5	48.97144	79.19844	-6.3345
K31	10K6	48.96947	79.19219	-6.8278
K32	10K7	48.96778	79.18578	-7.3135
K33	10K8	48.96517	79.17978	-7.8320
K34	10K9	48.96236	79.17400	-8.3495
K35	10K10	48.96072	79.16753	-8.8350
K36	10K11	48.95919	79.16097	-9.3184
K37	10K12	48.95794	79.15453	-9.7780
K38	10K13	48.95619	79.14808	-10.2688
K39	10K14	48.95528	79.14433	-10.5480

\*Distance from the supposed center-axis of the plume from thermonuclear test in 1953.

Appendix III Results of Pu-239,240 and Cs-137 data in Sarzhal (2007 - 2009)

Sampling location	Distance from the center-axis (km)*	Pu-239,249 (Bq/kg)	Cs-137 (Bq/kg)	Pu-239,140 (Bq/m <sup>2</sup> )	Geometric mean	Cs-137 (Bq/m <sup>2</sup> )	Geometric mean	Pu/Cs	Geometric mean
<b>2007</b>									
<b>S1</b>	07S1-1	10.9930	0.11 ± 0.01	2.24 ± 0.21	25.0 ± 2.1	524.9 ± 48.0	0.048		
	07S1-2	10.9930	1.97 ± 0.09	13.21 ± 0.37	356.8 ± 16.8	2390.1 ± 66.6	0.149		
	07S1-3	10.9930	0.15 ± 0.01	2.19 ± 0.16	33.2 ± 2.2	478.0 ± 35.3	843.3	0.069	0.079 ± 0.054
<b>S2</b>	07S2-1	9.9630	0.33 ± 0.01	6.36 ± 0.32	65.3 ± 2.6	1269.9 ± 64.2	0.051		
	07S2-2	9.9630	0.22 ± 0.01	6.48 ± 0.22	42.6 ± 2.3	1272.5 ± 42.9	0.033		
	07S2-3	9.9630	0.46 ± 0.02	7.68 ± 0.30	97.0 ± 3.6	1618.4 ± 63.9	1377.7	0.060	0.047 ± 0.014
<b>S3</b>	07S3-1	8.9621	0.10 ± 0.01	1.33 ± 0.12	27.8 ± 1.8	375.3 ± 35.1	0.074		
	07S3-2	8.9621	0.40 ± 0.02	4.99 ± 0.26	98.1 ± 4.1	1209.6 ± 63.1	0.081		
	07S3-3	8.9621	4.87 ± 0.24	8.21 ± 0.29	1363.2 ± 67.5	2298.1 ± 81.1	1014.2	0.593	0.153 ± 0.298
<b>S4</b>	07S4-1	8.0425	1.03 ± 0.04	13.08 ± 0.30	242.0 ± 9.8	3085.9 ± 70.7	0.078		
	07S4-2	8.0425	0.89 ± 0.03	6.94 ± 0.27	265.6 ± 10.2	2058.0 ± 81.5	0.129		
	07S4-3	8.0425	0.88 ± 0.04	8.62 ± 0.32	230.9 ± 10.1	2269.7 ± 84.0	2433.7	0.102	0.101 ± 0.025
<b>S5</b>	07S5-1	7.0580	0.61 ± 0.03	4.98 ± 0.38	169.5 ± 7.1	1373.7 ± 103.5	0.123		
	07S5-2	7.0580	1.50 ± 0.05	4.20 ± 0.29	354.2 ± 11.7	994.1 ± 68.0	0.356		
	07S5-3	7.0580	0.48 ± 0.03	6.36 ± 0.30	111.8 ± 6.2	1486.5 ± 69.0	1266.2	0.075	0.149 ± 0.150
<b>S6</b>	07S6-1	5.7662	2.68 ± 0.11	14.67 ± 0.82	780.3 ± 32.4	4272.0 ± 237.7	0.183		
	07S6-2	5.7662	1.19 ± 0.04	8.46 ± 0.40	338.9 ± 12.5	2414.9 ± 113.7	0.140		
	07S6-3	5.7662	2.63 ± 0.09	9.99 ± 0.42	730.4 ± 26.5	2799.1 ± 116.5	3068.0	0.261	0.188 ± 0.061
<b>S7</b>	07S7-1	4.7056	0.02 ± 0.00	1.32 ± 0.16					
	07S7-2	4.7056	2.24 ± 0.07	11.26 ± 0.32	607.3 ± 19.1	3056.7 ± 85.5	0.199		
	07S7-3	4.7056	1.15 ± 0.04	14.89 ± 0.68	372.0 ± 12.4	4803.5 ± 219.8	3831.8	0.077	0.124 ± 0.086
<b>S8</b>	07S8-1	3.6890	0.82 ± 0.03	9.59 ± 0.48	199.7 ± 6.7	2342.7 ± 117.5	0.085		
	07S8-2	3.6890	2.59 ± 0.11	24.16 ± 0.99	593.8 ± 24.5	5527.1 ± 226.9	0.107		
	07S8-3	3.6890	0.31 ± 0.01	5.03 ± 0.36	73.6 ± 3.5	1179.6 ± 83.6	2481.1	0.062	0.083 ± 0.023
<b>S9</b>	07S9-1	2.5115	0.96 ± 0.03	7.21 ± 0.44	218.7 ± 7.8	1634.3 ± 100.6	0.134		
	07S9-2	2.5115	9.53 ± 0.50	25.35 ± 0.72	2600.0 ± 137.5	6913.6 ± 196.7	0.376		
	07S9-3	2.5115	0.62 ± 0.03	5.62 ± 0.39	146.1 ± 6.2	1325.6 ± 91.6	2465.0	0.110	0.177 ± 0.147
<b>S10</b>	07S10-1	1.5354	5.21 ± 0.28	27.28 ± 0.73	1263.0 ± 66.8	6606.8 ± 177.2	0.191		
	07S10-2	1.5354	3.09 ± 0.11	7.17 ± 0.27	705.5 ± 25.6	1636.2 ± 62.6	0.431		
	07S10-3	1.5354	8.02 ± 0.39	27.10 ± 0.80	2094.7 ± 102.1	7076.2 ± 210.2	4245.0	0.296	0.290 ± 0.120
<b>S11</b>	07S11-1	0.6221	2.76 ± 0.10	23.65 ± 0.65	631.2 ± 23.6	5399.5 ± 148.2	0.117		
	07S11-2	0.6221	2.61 ± 0.09	12.51 ± 0.41	717.2 ± 24.1	3430.7 ± 111.2	0.209		
	07S11-3	0.6221	7.67 ± 0.39	30.03 ± 1.33	1756.1 ± 88.7	6872.6 ± 303.6	5030.6	0.256	0.184 ± 0.071

\*Distance from the supposed center-axis of the radioactive plume from the first USSR hydrogen atomic bomb test in August, 1953. X=0 is set to the center-axis and X > 0 or X < 0 corresponds to N or S direction from the trace centerline.

Appendix III-2 (continued)

Sampling location	Distance from the center-axis (km)*	Pu-239,249 (Bq/kg)	Cs-137 (Bq/kg)	Pu-239,249 (Bq/m <sup>2</sup> )	Cs-137 (Bq/m <sup>2</sup> )	Geometric mean	Pu/Cs	Geometric mean
<b>2007</b>								
<b>S12</b> 07S12-1	-0.1820	2.49 ± 0.08	13.31 ± 0.39	584.7 ± 19.3	3119.2 ± 91.5		0.187	
07S12-2	-0.1820	2.37 ± 0.08	32.13 ± 0.63	674.4 ± 21.9	9125.7 ± 180.3		0.074	
07S12-3	-0.1820	2.02 ± 0.06	12.80 ± 0.49	541.6 ± 15.3	3420.8 ± 130.2	597.7	0.158	0.130 ± 0.059
<b>S13</b> 07S13-1	-1.0372	1.88 ± 0.06	16.56 ± 0.47	538.4 ± 17.5	4746.5 ± 134.5		0.113	
07S13-2	-1.0372	15.66 ± 0.54	17.67 ± 0.58	3508.9 ± 121.0	3957.2 ± 129.0		0.887	
07S13-3	-1.0372	2.01 ± 0.06	4.89 ± 0.22	506.9 ± 15.7	1231.0 ± 54.2	985.7	0.412	0.346 ± 0.390
<b>S14</b> 07S14-1	-1.8318	3.21 ± 0.10	20.81 ± 0.54	604.8 ± 19.2	3915.5 ± 101.4		0.154	
07S14-2	-1.8318	3.87 ± 0.14	40.48 ± 0.68	975.9 ± 35.0	10194.3 ± 170.0		0.096	
07S14-3	-1.8318	6.01 ± 0.23	44.82 ± 1.24	1486.7 ± 56.3	11074.8 ± 305.6	957.4	0.134	0.126 ± 0.030
<b>S15</b> 07S15-1	0.8202	8.35 ± 0.37	39.55 ± 0.86	1923.6 ± 84.4	9111.0 ± 199.0		0.211	
07S15-2	0.8202	4.78 ± 0.19	33.53 ± 0.90	1034.5 ± 40.3	7249.9 ± 195.2		0.143	
07S15-3	0.8202	8.45 ± 0.28	45.74 ± 1.03	1838.0 ± 60.0	9949.1 ± 223.5	1540.8	0.185	0.177 ± 0.035
<b>S16</b> 07S16-1	5.0531	0.68 ± 0.02	16.07 ± 0.45	177.7 ± 6.1	4179.6 ± 117.4		0.043	
07S16-2	5.0531	0.75 ± 0.03	4.57 ± 0.26	182.6 ± 7.2	1107.1 ± 62.6		0.165	
07S16-3	5.0531	3.07 ± 0.14	27.81 ± 1.09	786.1 ± 35.4	7125.6 ± 278.8	294.4	0.110	0.092 ± 0.061
<b>S17</b> 07S17-1	5.5165	3.32 ± 0.11	19.69 ± 1.06	869.3 ± 29.8	5161.5 ± 278.5		0.168	
07S17-2	5.5165	1.85 ± 0.05	11.16 ± 0.66	493.9 ± 14.0	2974.5 ± 176.7		0.166	
07S17-3	5.5165	3.13 ± 0.10	17.51 ± 1.17	610.1 ± 19.3	3410.0 ± 227.4	639.9	0.179	0.171 ± 0.007
<b>S18</b> 07S18-1	5.7463	3.36 ± 0.12	5.15 ± 0.27	811.4 ± 29.7	1240.7 ± 64.2		0.654	
07S18-2	5.7463	8.61 ± 0.34	7.18 ± 0.33	1697.2 ± 67.0	1416.1 ± 64.8		1.198	
07S18-3	5.7463	3.07 ± 0.10	6.40 ± 0.42	656.8 ± 22.1	1369.6 ± 90.9	967.1	0.480	0.722 ± 0.375
<b>S19</b> 07S19-1	5.8953	1.68 ± 0.05	3.23 ± 0.19	284.3 ± 8.6	546.4 ± 31.9		0.520	
07S19-2	5.8953	2.69 ± 0.07	7.15 ± 0.38	343.6 ± 9.6	913.4 ± 48.5		0.376	
07S19-3	5.8953	11.97 ± 0.52	21.29 ± 0.74	2236.8 ± 96.9	3975.9 ± 137.5	602.3	0.563	0.479 ± 0.098
<b>S20</b> 07S20-1	6.9611	0.21 ± 0.01	2.56 ± 0.18	62.9 ± 3.4	748.5 ± 51.3		0.084	
07S20-2	6.9611	2.98 ± 0.11	12.05 ± 0.30	798.5 ± 29.8	3226.8 ± 79.7		0.247	
07S20-3	6.9611	0.26 ± 0.01	2.94 ± 0.22	71.9 ± 4.0	798.1 ± 60.5	153.4	0.090	0.123 ± 0.093

Appendix III-3 (continued)

Sampling location	Distance from the center-axis (km)*	Pu-239,249 (Bq/kg)	Cs-137 (Bq/kg)	Pu-239,249 (Bq/m <sup>2</sup> )	Geometric mean	Cs-137 (Bq/m <sup>2</sup> )	Geometric mean	Pu/Cs	Geometric mean
<b>2008</b>									
<b>S21</b>	08S1-1	-1.1331	3.75 ± 0.14	22.15 ± 0.66	906.7 ± 34.3	5358.4 ± 160.7	0.169		
	08S1-2	-1.1331	6.12 ± 0.24	11.79 ± 0.47	1549.5 ± 60.1	2987.1 ± 118.6	0.519		
	08S1-3	-1.1331	12.64 ± 0.52	38.28 ± 0.66	3776.4 ± 154.1	1744.2	0.330	0.307 ± 0.175	
<b>S22</b>	08S2-1	-1.9682	1.75 ± 0.06	13.45 ± 0.32	491.4 ± 18.1	3775.8 ± 90.1	0.130		
	08S2-2	-1.9682	8.82 ± 0.27	34.74 ± 0.46	2306.2 ± 71.9	9080.2 ± 119.6	0.254		
	08S2-3	-1.9682	3.50 ± 0.13	17.50 ± 0.25	1094.1 ± 41.1	5466.8 ± 78.5	0.200	0.188 ± 0.062	
<b>S23</b>	08S3-1	-2.9203	3.29 ± 0.08	13.68 ± 0.35	995.6 ± 23.3	4134.7 ± 104.4	0.241		
	08S3-2	-2.9203	1.33 ± 0.06	7.11 ± 0.25	371.2 ± 16.0	1982.5 ± 69.1	0.187		
	08S3-3	-2.9203	2.57 ± 0.09	10.71 ± 0.35	778.5 ± 27.2	3240.8 ± 107.0	0.240	0.221 ± 0.031	
<b>S24</b>	08S4-1	-3.8809	0.69 ± 0.03	4.35 ± 0.18	192.5 ± 7.1	1212.6 ± 51.4	0.159		
	08S4-2	-3.8809	12.48 ± 0.40	53.37 ± 0.50	3992.8 ± 127.2	17075.9 ± 160.0	0.234		
	08S4-3	-3.8809	3.72 ± 0.14	14.69 ± 0.30	1236.1 ± 45.9	4885.4 ± 101.0	0.253	0.211 ± 0.050	
<b>S25</b>	08S5-1	-4.8734	0.18 ± 0.01	3.21 ± 0.17					
	08S5-2	-4.8734	1.69 ± 0.04	7.72 ± 0.17	464.9 ± 11.7	2123.5 ± 46.9	0.219		
	08S5-3	-4.8734	2.24 ± 0.10	19.98 ± 0.55	762.4 ± 35.3	6805.1 ± 188.9	0.112	0.157 ± 0.076	
<b>S26</b>	08S6-1	-5.7609	0.27 ± 0.01	7.06 ± 0.24	94.8 ± 4.8	2492.8 ± 84.6	0.038		
	08S6-2	-5.7609	0.14 ± 0.01	3.50 ± 0.19					
	08S6-3	-5.7609	8.33 ± 0.22	16.31 ± 0.30	1984.9 ± 53.3	3886.0 ± 72.7	0.511	0.139 ± 0.334	
<b>S27</b>	08S7-1	-6.6826	5.43 ± 0.12	10.42 ± 0.22	1783.5 ± 40.7	3421.8 ± 72.8	0.521		
	08S7-2	-6.6826	2.24 ± 0.06	15.20 ± 0.50	652.2 ± 16.6	4425.9 ± 146.1	0.147		
	08S7-3	-6.6826	4.63 ± 0.17	16.55 ± 0.40	1223.6 ± 45.3	4377.2 ± 104.6	0.280	0.278 ± 0.190	
<b>S28</b>	08S8-1	-7.6264	0.39 ± 0.02	2.29 ± 0.12	122.7 ± 5.7	718.1 ± 36.8	0.171		
	08S8-2	-7.6264	1.70 ± 0.06	14.46 ± 0.30	466.9 ± 15.2	3969.9 ± 83.6	0.118		
	08S8-3	-7.6264	0.88 ± 0.04	6.24 ± 0.30	252.8 ± 10.7	1789.8 ± 86.0	0.141	0.142 ± 0.027	
<b>S29</b>	08S9-1	-8.5616	0.40 ± 0.02	4.26 ± 0.24	120.3 ± 5.6	1267.8 ± 71.0	0.095		
	08S9-2	-8.5616	2.98 ± 0.06	3.64 ± 0.17	876.5 ± 17.9	1070.2 ± 49.4	0.819		
	08S9-3	-8.5616	0.14 ± 0.01	3.81 ± 0.14					
<b>S30</b>	08S10-1	-9.4943	4.00 ± 0.09	13.00 ± 0.33	839.9 ± 18.8	2725.7 ± 69.1	0.308		
	08S10-2	-9.4943	2.94 ± 0.06	16.29 ± 0.27	855.4 ± 17.4	4740.4 ± 79.5	0.180		
	08S10-3	-9.4943	1.01 ± 0.03	8.99 ± 0.30	299.3 ± 8.9	2676.4 ± 90.1	0.112	0.184 ± 0.100	
<b>S31</b>	08S11-1	2.3159	14.22 ± 0.27	28.46 ± 0.68	3905.0 ± 73.3	7817.1 ± 186.9	0.500		
	08S11-2	2.3159	3.17 ± 0.09	16.61 ± 0.37	867.0 ± 25.8	4541.0 ± 101.2	0.191		
	08S11-3	2.3159	4.70 ± 0.11	23.37 ± 0.70	1206.7 ± 28.5	6003.6 ± 180.0	0.201	0.268 ± 0.175	

Appendix III-4 (continued)

Sampling location	Distance from the center-axis (km)*	Pu-239,249 (Bq/kg)	Cs-137 (Bq/kg)	Pu-239,249 (Bq/m <sup>2</sup> )	Geometric mean	Cs-137 (Bq/m <sup>2</sup> )	Geometric mean	Pu/Cs	Geometric mean
<b>2008</b>									
<b>S32</b> 08S12-1	1.3503	0.69 ± 0.03	15.94 ± 0.31	205.0 ± 8.2		4767.0 ± 93.1		0.043	
08S12-2	1.3503	5.47 ± 0.16	26.45 ± 0.31	1681.9 ± 48.4		8130.0 ± 96.0		0.207	
08S12-3	1.3503	13.73 ± 0.30	25.95 ± 0.34	3664.9 ± 80.0	1081.1	6928.3 ± 90.5	6451.4	0.529	0.168 ± 0.247
<b>S33</b> 08S13-1	0.3470	0.17 ± 0.01	2.12 ± 0.14	40.6 ± 1.7		519.0 ± 35.0		0.078	
08S13-2	0.3470	1.77 ± 0.05	5.98 ± 0.17	521.6 ± 14.9		1761.5 ± 50.0		0.296	
08S13-3	0.3470	2.65 ± 0.07	11.41 ± 0.29	817.9 ± 20.1	258.6	3520.2 ± 88.5	1476.4	0.232	0.175 ± 0.112
<b>S34</b> 08S14-1	-0.6403	7.21 ± 0.16	40.24 ± 0.48	1900.8 ± 42.1		10605.9 ± 126.0		0.179	
08S14-2	-0.6403	39.24 ± 1.02	26.54 ± 0.47	11502.2 ± 299.5		7779.2 ± 136.6		1.479	
08S14-3	-0.6403	2.11 ± 0.07	14.11 ± 0.29	654.7 ± 23.2	2428.0	4386.3 ± 90.9	7126.2	0.149	0.341 ± 0.759
<b>S35</b> 08S15-1	-1.6641	10.81 ± 0.26	46.55 ± 0.56	2192.5 ± 53.6		9438.4 ± 114.4		0.232	
08S15-2	-1.6641	0.79 ± 0.02	10.98 ± 0.40	228.6 ± 6.7		3158.9 ± 115.1		0.072	
08S15-3	-1.6641	6.63 ± 0.14	44.92 ± 0.49	1777.7 ± 36.6	962.2	12048.8 ± 130.4	7108.8	0.148	0.135 ± 0.080
<b>S36</b> 08S16-1	-2.7042	6.38 ± 0.29	44.78 ± 0.52	1901.3 ± 85.0		13349.6 ± 154.7		0.142	
08S16-2	-2.7042	3.54 ± 0.09	16.45 ± 0.31	1123.5 ± 29.3		5215.2 ± 98.0		0.215	
08S16-3	-2.7042	9.68 ± 0.17	52.25 ± 0.49	2670.3 ± 47.5	1786.8	14413.9 ± 134.3	10011.7	0.185	0.178 ± 0.037
<b>S37</b> 08S17-1	-3.6777	5.86 ± 0.11	26.58 ± 0.29	1696.6 ± 32.9		7695.4 ± 82.5		0.220	
08S17-2	-3.6777	7.69 ± 0.21	39.81 ± 0.44	2086.1 ± 57.4		10805.5 ± 120.6		0.193	
08S17-3	-3.6777	8.15 ± 0.46	39.04 ± 0.37	2270.1 ± 127.6	2002.9	10877.5 ± 103.9	9670.9	0.209	0.207 ± 0.014
<b>S38</b> 08S18-1	-4.7120	5.74 ± 0.13	23.01 ± 0.33	1543.6 ± 34.7		6189.3 ± 87.6		0.249	
08S18-2	-4.7120	9.33 ± 0.22	34.38 ± 0.48	2528.7 ± 59.7		9312.0 ± 130.8		0.272	
08S18-3	-4.7120	2.83 ± 0.06	30.92 ± 0.45	634.1 ± 14.0	1352.7	6920.6 ± 100.8	7361.1	0.092	0.184 ± 0.098
<b>2009</b>									
<b>S39</b> 09S1-1	-1.6641	7.37 ± 0.16	29.77 ± 0.28	2143.5 ± 45.5		6778.2 ± 82.0		0.316	
09S1-2	-1.6641	5.60 ± 0.12	17.50 ± 0.34	1162.4 ± 25.2		3636.2 ± 71.6		0.320	
09S1-3	-1.6641	14.54 ± 0.49	67.84 ± 0.49	2749.4 ± 91.9	1899.2	12828.1 ± 92.1	6812.5	0.214	0.279 ± 0.060
<b>S40</b> 09S2-1	-4.7166	3.96 ± 0.11	16.46 ± 0.30	1178.8 ± 33.7		4897.7 ± 90.3		0.241	
09S2-2	-4.7166	3.23 ± 0.08	20.40 ± 0.31	860.1 ± 20.8		4257.5 ± 82.0		0.202	
09S2-3	-4.7166	5.83 ± 0.13	34.51 ± 0.46	1374.3 ± 30.0	1117.0	8136.7 ± 109.6	5536.0	0.169	0.202 ± 0.036

Appendix III-5 (continued)

Sampling location	Distance from the center-axis (km)*	Pu-239,249 (Bq/kg)		Cs-137 (Bq/kg)		Pu-239,249 (Bq/m <sup>2</sup> )		Cs-137 (Bq/m <sup>2</sup> )		Geometric mean		Pu/Cs		Geometric mean	
<b>2009</b>															
<b>S41</b>	09S3-1	-5.6858	2.89 ± 0.07	9.63 ± 0.27	804.6 ± 20.5	2679.5 ± 76.0	0.300								
	09S3-2	-5.6858	2.17 ± 0.06	9.87 ± 0.24	570.5 ± 15.3	2597.3 ± 63.4	0.220								
	09S3-3	-5.6858	4.00 ± 0.17	9.60 ± 0.19	1052.2 ± 45.3	784.6	2600.9	0.416	0.302 ± 0.099						
<b>S42</b>	09S4-1	-6.6601	7.32 ± 0.18	23.83 ± 0.40	1298.3 ± 32.3	4226.7 ± 70.8	0.307								
	09S4-2	-6.6601	5.40 ± 0.12	16.39 ± 0.32	1375.1 ± 30.8	3265.6 ± 82.2	0.421								
	09S4-3	-6.6601	9.75 ± 0.33	26.20 ± 0.37	1679.7 ± 57.1	1442.1	3654.7	0.475	0.395 ± 0.086						
<b>S43</b>	09S5-1	-7.6220	3.13 ± 0.08	18.68 ± 0.26	564.3 ± 13.6	3369.4 ± 47.3	0.167								
	09S5-2	-7.6220	4.92 ± 0.11	25.47 ± 0.30	1320.9 ± 29.6	6845.3 ± 80.1	0.193								
	09S5-3	-7.6220	4.80 ± 0.10	12.10 ± 0.29	1050.7 ± 21.1	921.8	3939.0	0.397	0.234 ± 0.126						
<b>S44</b>	09S6-1	-8.5896	2.04 ± 0.09	12.06 ± 0.20	507.2 ± 21.3	3003.3 ± 50.8	0.169								
	09S6-2	-8.5896	2.74 ± 0.10	16.75 ± 0.34	434.0 ± 15.9	2651.3 ± 54.1	0.164								
	09S6-3	-8.5896	4.71 ± 0.10	22.67 ± 0.19	755.3 ± 16.0	549.9	3069.4	0.208	0.179 ± 0.024						
<b>S45</b>	09S7-1	1.3565	7.36 ± 0.17	27.53 ± 0.24	2044.2 ± 46.8	7644.5 ± 65.7	0.267								
	09S7-2	1.3565	1.87 ± 0.06	10.07 ± 0.26	486.9 ± 15.4	2616.6 ± 68.2	0.186								
	09S7-3	1.3565	3.23 ± 0.13	24.62 ± 0.35	909.7 ± 37.2	967.4	4771.1	0.168	0.203 ± 0.053						
<b>S46</b>	09S8-1	2.8644	0.39 ± 0.02	2.30 ± 0.16	92.4 ± 4.1	548.1 ± 38.6	0.169								
	09S8-2	2.8644	1.53 ± 0.04	9.99 ± 0.25	438.9 ± 12.5	2247.1 ± 72.5	0.195								
	09S8-3	2.8644	1.18 ± 0.03	5.61 ± 0.16	271.8 ± 7.9	222.5	1076.4	0.268	0.207 ± 0.052						
<b>S47</b>	09S9-1	3.3318	3.56 ± 0.10	17.20 ± 0.18	944.4 ± 26.4	4562.6 ± 46.6	0.207								
	09S9-2	3.3318	4.69 ± 0.11	25.59 ± 0.31	1320.1 ± 30.2	5642.7 ± 86.9	0.234								
	09S9-3	3.3318	1.98 ± 0.06	24.65 ± 0.40	578.9 ± 18.6	897.0	5701.2	0.080	0.157 ± 0.082						
<b>S48</b>	09S10-1	4.1133	5.51 ± 0.17	27.80 ± 0.48	1344.7 ± 40.6	6783.5 ± 116.5	0.198								
	09S10-2	4.1133	1.69 ± 0.06	19.32 ± 0.48	426.9 ± 14.9	4874.1 ± 120.9	0.088								
	09S10-3	4.1133	5.54 ± 0.18	26.20 ± 0.35	1460.2 ± 47.2	942.9	5633.9	0.270	0.167 ± 0.092						
<b>S49</b>	09S11-1	5.1159	1.33 ± 0.05	5.36 ± 0.15	361.5 ± 13.0	1142.2 ± 40.1	0.316								
	09S11-2	5.1159	0.94 ± 0.05	20.89 ± 0.32	238.6 ± 11.9	4141.1 ± 82.0	0.058								
	09S11-3	5.1159	2.29 ± 0.06	12.54 ± 0.23	528.8 ± 13.4	357.3	2206.5	0.233	0.162 ± 0.132						
<b>S50</b>	09S12-1	6.2472	1.11 ± 0.03	4.85 ± 0.18	261.0 ± 8.0	896.6 ± 43.2	0.291								
	09S12-2	6.2472	0.88 ± 0.03	12.38 ± 0.14	210.0 ± 7.3	2320.3 ± 33.4	0.091								
	09S12-3	6.2472	0.35 ± 0.01	11.67 ± 0.26	69.6 ± 2.2	156.3	1553.4	0.039	0.101 ± 0.133						

Appendix IV Results of Pu-239,240 and Cs-137 in soils collected around Karaul settlement (2007 - 2010)

Sampling location	Distance from the center-axis (km)*	Pu-239,240 (Bq/kg)	Cs-137 (Bq/kg)	Pu-239,240 (Bq/m <sup>2</sup> )	Cs-137 (Bq/m <sup>2</sup> )	Geometric mean	Pu/Cs	Geometric mean
<b>2007</b>								
<b>K1</b>	07K1-1	-3.001	0.12 ± 0.01	0.89 ± 0.11	36.6 ± 2.5	267.9 ± 32.3	0.136	
	07K1-2	-3.001	0.06 ± 0.01	0.93 ± 0.10	15.1 ± 1.4	241.1 ± 26.0		
	07K1-3	-3.001	1.23 ± 0.04	5.16 ± 0.25	298.3 ± 10.3	432.3	0.238	0.180 ± 0.072
<b>K2</b>	07K2-1	-4.108	0.09 ± 0.01	1.39 ± 0.12	19.2 ± 1.4	287.9 ± 25.5		
	07K2-2	-4.108	0.85 ± 0.03	6.47 ± 0.34	225.6 ± 8.0	1724.9 ± 89.5	0.131	
	07K2-3	-4.108	0.38 ± 0.02	2.40 ± 0.19	99.0 ± 4.6	622.5 ± 49.5	0.159	
<b>K3</b>	07K2-4	-4.108	1.85 ± 0.07	10.96 ± 0.52	479.1 ± 17.9	220.4	0.168	0.152 ± 0.020
	07K3-1	-4.419	2.41 ± 0.10	20.08 ± 0.77	608.9 ± 24.0	5071.0 ± 195.7	0.120	
	07K3-2	-4.419	0.92 ± 0.04	7.87 ± 0.43	217.9 ± 9.0	1870.3 ± 102.7	0.117	
	07K3-3	-4.419	4.5 ± 0.2	31.02 ± 0.97	1098.6 ± 37.7	526.3	0.144	0.126 ± 0.015
<b>K4</b>	07K4-1	-5.468	0.52 ± 0.02	6.29 ± 0.36	126.0 ± 4.9	1528.1 ± 86.5	0.082	
	07K4-2	-5.468	0.41 ± 0.02	3.16 ± 0.24	95.7 ± 4.4	737.6 ± 56.9	0.130	
	07K4-3	-5.468	0.46 ± 0.02	3.79 ± 0.24	93.2 ± 3.7	104.0	0.123	0.109 ± 0.025
<b>K5</b>	07K5-1	-5.076	7.43 ± 0.39	34.26 ± 0.77	1540.3 ± 81.5	7102.1 ± 160.4	0.217	
	07K5-2	-5.076	0.84 ± 0.03	6.25 ± 0.21	196.1 ± 6.8	1460.6 ± 49.2	0.134	
	07K5-3	-5.076	2.90 ± 0.12	17.17 ± 0.34	554.2 ± 23.6	3282.2 ± 65.2	0.169	0.170 ± 0.041
<b>K6</b>	07K6-1	-5.708	1.61 ± 0.06	7.15 ± 0.51	427.1 ± 15.3	1899.4 ± 136.7	0.225	
	07K6-2	-5.708	1.08 ± 0.03	6.84 ± 0.30	222.0 ± 6.7	1407.5 ± 61.3	0.158	
	07K6-3	-5.708	0.81 ± 0.03	7.68 ± 0.53	158.3 ± 6.5	246.7	0.106	0.155 ± 0.060
<b>K7</b>	07K7-1	-7.133	0.55 ± 0.02	3.03 ± 0.33	138.7 ± 5.4	761.3 ± 83.1	0.182	
	07K7-2	-7.133	1.11 ± 0.04	8.11 ± 0.34	233.5 ± 8.1	1704.2 ± 71.5	0.137	
	07K7-3	-7.133	0.33 ± 0.02	2.81 ± 0.26	85.6 ± 4.3	736.9 ± 67.1	0.116	0.143 ± 0.034
<b>K8</b>	07K8-1	-1.972	5.31 ± 0.21	27.25 ± 0.61	1427.7 ± 56.7	7320.8 ± 163.5	0.195	
	07K8-2	-1.972	5.80 ± 0.24	21.80 ± 0.91	1490.8 ± 62.7	5602.2 ± 232.7	0.266	
	07K8-3	-1.972	5.21 ± 0.29	30.68 ± 0.88	1343.1 ± 74.0	7898.3 ± 226.8	0.170	0.207 ± 0.050
<b>K9</b>	07K9-1	0.103	1.46 ± 0.06	10.42 ± 0.47	393.0 ± 15.8	2803.8 ± 127.4	0.140	
	07K9-2	0.103	4.47 ± 0.15	18.97 ± 0.49	1228.4 ± 42.3	5209.4 ± 133.7	0.236	
	07K9-3	0.103	2.74 ± 0.10	15.32 ± 0.23	776.8 ± 29.3	4342.2 ± 66.4	0.179	0.181 ± 0.048

\*Distance from the supposed center-axis of the radioactive plume from the first USSR hydrogen atomic bomb test in August,1953. X=0 is set to the center-axis and X > 0 or X < 0 corresponds to N or S direction from the trace centerline.



Appendix IV-2 (continued)

Sampling location	Distance from the center-axis (km)*	Pu-239,249 (Bq/kg)		Cs-137 (Bq/kg)		Pu-239,249 (Bq/m <sup>2</sup> )		Cs-137 (Bq/m <sup>2</sup> )		Geometric mean		Pu/Cs		Geometric mean		
<b>K10</b>	08K1-1	-4.122	0.97 ± 0.03	8.03 ± 0.54	269.0 ± 8.4	2219.9 ± 23.6	0.121									
	08K1-2	-4.122	2.43 ± 0.10	17.04 ± 0.80	529.4 ± 20.8	3719.2 ± 35.9	0.142									
	08K1-3	-4.122	0.99 ± 0.02	4.50 ± 0.47	219.3 ± 3.8	993.9 ± 22.3	2017.0	0.221	0.156 ± 0.052							
<b>K11</b>	08K2-1	-3.392	0.38 ± 0.01	3.11 ± 0.37	109.1 ± 2.7	900.1 ± 18.1	0.121									
	08K2-2	-3.392	0.58 ± 0.01	2.07 ± 0.29	144.2 ± 3.4	519.5 ± 13.1	0.278									
	08K2-3	-3.392	0.60 ± 0.02	5.45 ± 0.33	133.1 ± 3.6	1210.3 ± 15.9	827.2	0.110	0.155 ± 0.094							
<b>K12</b>	08K3-1	-2.643	0.96 ± 0.03	5.59 ± 0.51	247.3 ± 7.8	1433.3 ± 22.8	0.173									
	08K3-2	-2.643	0.75 ± 0.02	2.50 ± 0.35	218.7 ± 5.6	729.2 ± 15.4	0.300									
	08K3-3	-2.643	1.22 ± 0.05	4.50 ± 0.34	342.4 ± 13.1	1264.1 ± 14.2	1097.3	0.271	0.241 ± 0.067							
<b>K13</b>	08K4-1	-1.904	1.67 ± 0.05	13.00 ± 0.76	475.0 ± 13.4	3701.8 ± 31.4	0.128									
	08K4-2	-1.904	1.62 ± 0.04	9.10 ± 0.62	459.2 ± 12.6	2582.2 ± 25.8	0.178									
	08K4-3	-1.904	2.90 ± 0.06	13.89 ± 0.79	703.0 ± 15.6	3364.1 ± 33.8	3180.0	0.209	0.168 ± 0.041							
<b>K14</b>	08K5-1	-1.142	0.50 ± 0.02	5.11 ± 0.57	148.3 ± 7.1	1517.1 ± 21.3	0.098									
	08K5-2	-1.142	2.82 ± 0.09	15.08 ± 0.78	851.5 ± 25.8	4561.7 ± 31.9	0.187									
	08K5-3	-1.142	3.00 ± 0.08	11.84 ± 0.91	770.7 ± 20.4	3045.4 ± 34.3	2762.2	0.253	0.167 ± 0.078							
<b>K15</b>	08K6-1	-0.779	1.93 ± 0.08	19.12 ± 0.96	523.8 ± 21.2	5176.5 ± 36.9	0.101									
	08K6-2	-0.779	0.69 ± 0.02	2.99 ± 0.43	173.2 ± 5.7	752.0 ± 16.7	0.230									
	08K6-3	-0.779	1.65 ± 0.04	6.80 ± 0.60	462.8 ± 12.4	1905.8 ± 22.2	1950.3	0.243	0.178 ± 0.078							
<b>K16</b>	08K7-1	-2.096	3.26 ± 0.12	15.59 ± 0.83	839.3 ± 31.3	4015.9 ± 35.0	0.209									
	08K7-2	-2.096	0.15 ± 0.01	1.81 ± 0.35	44.8 ± 2.6	544.9 ± 15.3	0.082									
	08K7-3	-2.096	4.55 ± 0.13	29.19 ± 0.74	1084.5 ± 31.1	6963.7 ± 30.0	0.156	0.139 ± 0.064								
<b>K17</b>	08K8-1	-1.103	2.27 ± 0.09	9.60 ± 0.66	672.8 ± 25.6	2844.7 ± 29.1	0.237									
	08K8-2	-1.103	2.99 ± 0.10	23.61 ± 1.48	860.1 ± 28.1	6787.9 ± 60.5	0.127									
	08K8-3	-1.103	2.35 ± 0.08	17.06 ± 1.07	521.4 ± 18.1	3779.7 ± 44.7	0.138	0.160 ± 0.060								
<b>K18</b>	08K9-1	-0.096	1.56 ± 0.05	11.52 ± 0.92	498.5 ± 17.2	3688.4 ± 45.1	0.135									
	08K9-2	-0.096	4.19 ± 0.13	22.22 ± 1.20	1424.1 ± 44.8	7552.9 ± 58.2	0.189									
	08K9-3	-0.096	0.60 ± 0.02	3.20 ± 0.33	142.8 ± 4.9	762.2 ± 14.9	0.187	0.168 ± 0.031								
<b>K19</b>	08K10-1	0.891	0.94 ± 0.02	6.09 ± 0.41	286.1 ± 7.4	1859.9 ± 18.6	0.154									
	08K10-2	0.891	1.22 ± 0.03	10.98 ± 0.56	413.8 ± 11.6	3729.4 ± 26.4	0.111									
	08K10-3	0.891	0.28 ± 0.01	3.37 ± 0.29	87.5 ± 2.8	1045.8 ± 12.9	0.084	0.113 ± 0.035								
<b>K20</b>	08K11-1	1.886	3.43 ± 0.10	18.81 ± 1.05	1014.1 ± 30.1	5563.7 ± 49.8	0.182									
	08K11-2	1.886	1.04 ± 0.03	11.40 ± 0.64	299.8 ± 9.2	3290.1 ± 29.4	0.091									
	08K11-3	1.886	1.63 ± 0.06	15.09 ± 0.50	486.9 ± 19.0	4515.8 ± 23.0	0.108	0.121 ± 0.049								

## Appendix IV-3 (continued)

Sampling location	Distance from the center-axis (km)*	Pu-239,249 (Bq/kg)	Cs-137 (Bq/kg)	Pu-239,249 (Bq/m <sup>2</sup> )	Geometric mean	Cs-137 (Bq/m <sup>2</sup> )	Geometric mean	Pu/Cs	Geometric mean
<b>2008</b>									
<b>K21</b>									
08K12-1	2.874	2.02 ± 0.05	11.77 ± 0.49	612.6 ± 13.8		3573.7 ± 22.9		0.171	
08K12-2	2.874	2.09 ± 0.06	16.23 ± 0.87	527.6 ± 14.4		4094.4 ± 37.5		0.129	
08K12-3	2.874	3.76 ± 0.11	19.71 ± 1.37	996.2 ± 28.9	685.4	5228.6 ± 57.1	4245.2	0.191	0.161 ± 0.032
<b>K22</b>									
08K13-1	3.862	3.33 ± 0.12	16.93 ± 0.75	606.9 ± 21.8		3080.9 ± 34.1		0.197	
08K13-2	3.862	0.47 ± 0.02	3.28 ± 0.32	132.3 ± 4.4		933.8 ± 15.4		0.142	
08K13-3	3.862	2.46 ± 0.07	13.36 ± 0.77	608.5 ± 16.5	365.6	3308.7 ± 35.9	2119.3	0.184	0.172 ± 0.029
<b>K23</b>									
08K14-1	4.873	4.93 ± 0.15	25.96 ± 0.88	1139.4 ± 35.8		5999.7 ± 38.7		0.190	
08K14-2	4.873	1.76 ± 0.05	10.40 ± 0.67	494.5 ± 12.9		2928.1 ± 27.8		0.169	
08K14-3	4.873	0.09 ± 0.00	1.90 ± 0.25		750.6		4191.4		0.179 ± 0.015
<b>K24</b>									
08K15-1	6.849	0.09 ± 0.01	1.45 ± 0.29	27.7 ± 2.6		429.5 ± 13.2		0.064	
08K15-2	6.849	0.25 ± 0.01	3.02 ± 0.31	71.4 ± 3.0		853.0 ± 14.3		0.084	
08K15-3	6.849	0.12 ± 0.01	0.98 ± 0.24	28.6 ± 2.6	38.4	240.9 ± 11.3	445.2	0.119	0.086 ± 0.028
<b>K25</b>									
08K16-1	8.856	0.43 ± 0.01	3.06 ± 0.43	132.7 ± 4.2		938.9 ± 18.4		0.141	
08K16-2	8.856	1.12 ± 0.04	6.12 ± 0.55	343.4 ± 12.6		1871.7 ± 23.1		0.183	
08K16-3	8.856	0.59 ± 0.02	5.46 ± 0.38	185.2 ± 5.5	203.6	1715.3 ± 15.1	1444.6	0.108	0.141 ± 0.038
<b>2010</b>									
<b>K26</b>									
10K1-1	-4.184	1.41 ± 0.09	9.46 ± 0.22	358.4 ± 22.5		2408.5 ± 57.1		0.149	
10K1-2	-4.184	0.70 ± 0.04	2.05 ± 0.16	195.9 ± 11.0		575.4 ± 45.2		0.340	
10K1-3	-4.184	1.81 ± 0.09	15.75 ± 0.70	599.2 ± 29.0	347.8	5217.8 ± 230.7	1933.8	0.115	0.180 ± 0.122
<b>K27</b>									
10K2-1	-4.878	2.09 ± 0.05	10.12 ± 0.32	608.5 ± 14.0		2946.3 ± 92.6		0.207	
10K2-2	-4.878	1.01 ± 0.03	3.17 ± 0.12	247.6 ± 7.4		779.5 ± 30.2		0.318	
10K2-3	-4.878	1.11 ± 0.03	4.23 ± 0.16	335.5 ± 8.9	369.7	1275.4 ± 49.6	1430.8	0.263	0.258 ± 0.056
<b>K28</b>									
10K3-1	-5.369	1.20 ± 0.03	5.07 ± 0.14	270.1 ± 7.6		1137.2 ± 30.8		0.237	
10K3-2	-5.369	0.25 ± 0.01	1.23 ± 0.13	72.9 ± 3.6		361.6 ± 39.5		0.202	
10K3-3	-5.369	2.14 ± 0.05	6.35 ± 0.15	546.8 ± 12.9	220.8	1624.1 ± 39.5	874.1	0.337	0.253 ± 0.070
<b>K29</b>									
10K4-1	-5.847	1.07 ± 0.04	6.12 ± 0.22	211.3 ± 7.5		1210.3 ± 43.4		0.175	
10K4-2	-5.847	3.75 ± 0.10	16.63 ± 0.42	909.4 ± 23.7		4033.0 ± 101.4		0.225	
10K4-3	-5.847	0.44 ± 0.02	0.72 ± 0.16	149.0 ± 5.2	305.9	241.0 ± 53.8	1055.7	0.618	0.290 ± 0.243

## Appendix IV-4 (continued)

Sampling location	Distance from the center-axis (km)*	Pu-239,249 (Bq/kg)		Cs-137 (Bq/kg)		Pu-239,249 (Bq/m <sup>2</sup> )		Cs-137 (Bq/m <sup>2</sup> )		Pu/Cs		Geometric mean	
<b>2010</b>													
<b>K30</b>	10K5-1	-6.335	1.30 ± 0.05	6.35 ± 0.24	382.2 ± 14.2	1869.2 ± 71.0	0.204						
	10K5-2	-6.335	0.99 ± 0.04	3.83 ± 0.17	264.5 ± 11.7	1024.8 ± 45.4	0.258						
	10K5-3	-6.335	1.35 ± 0.05	36.71 ± 1.52	364.4 ± 14.7	9918.2 ± 411.6	0.037	0.125 ± 0.115					
<b>K31</b>	10K6-1	-6.828	3.46 ± 0.11	11.01 ± 0.32	959.3 ± 30.6	3055.6 ± 88.7	0.314						
	10K6-2	-6.828	2.19 ± 0.12	7.33 ± 0.54	488.0 ± 27.6	1632.9 ± 120.5	0.299						
	10K6-3	-6.828	0.78 ± 0.04	4.35 ± 0.26	230.7 ± 12.7	1288.8 ± 76.1	0.179	0.256 ± 0.074					
<b>K32</b>	10K7-1	-7.313	1.52 ± 0.06	9.93 ± 0.42	370.2 ± 13.5	2411.8 ± 102.1	0.153						
	10K7-2	-7.313	0.10 ± 0.01	1.33 ± 0.11									
	10K7-3	-7.313	0.41 ± 0.03	2.40 ± 0.19	122.7 ± 8.0	722.3 ± 56.3	0.170	0.161 ± 0.012					
<b>K33</b>	10K8-1	-7.832	0.83 ± 0.04	4.16 ± 0.22	264.3 ± 13.8	1322.0 ± 70.7	0.200						
	10K8-2	-7.832	0.19 ± 0.01	2.64 ± 0.14									
	10K8-3	-7.832	1.23 ± 0.06	7.96 ± 0.18	367.0 ± 17.3	2375.1 ± 52.7	0.155	0.176 ± 0.032					
<b>K34</b>	10K9-1	-8.349	0.52 ± 0.03	6.13 ± 0.20	160.9 ± 10.4	1903.0 ± 63.5	0.085						
	10K9-2	-8.349	1.05 ± 0.04	7.52 ± 0.20	230.7 ± 8.4	1647.5 ± 44.5	0.140						
	10K9-3	-8.349	0.55 ± 0.03	1.71 ± 0.19	139.2 ± 7.8	430.4 ± 48.0	0.323	0.156 ± 0.125					
<b>K35</b>	10K10-1	-8.835	0.38 ± 0.03	3.04 ± 0.14	91.7 ± 7.5	734.9 ± 33.8	0.125						
	10K10-2	-8.835	0.93 ± 0.04	9.34 ± 0.37	259.9 ± 11.0	2614.9 ± 104.6	0.099						
	10K10-3	-8.835	0.67 ± 0.02	5.53 ± 0.18	201.1 ± 5.6	1661.3 ± 53.2	0.121	0.114 ± 0.014					
<b>K36</b>	10K11-1	-9.318	0.11 ± 0.01	1.63 ± 0.12									
	10K11-2	-9.318	0.45 ± 0.01	4.22 ± 0.20	104.2 ± 3.3	985.8 ± 46.4	0.106						
	10K11-3	-9.318	1.24 ± 0.05	14.22 ± 0.36	192.8 ± 7.6	2209.8 ± 56.4	0.087	0.096 ± 0.013					
<b>K37</b>	10K12-1	-9.778	0.35 ± 0.01	4.85 ± 0.18	98.5 ± 4.0	1380.1 ± 52.4	0.071						
	10K12-2	-9.778	0.41 ± 0.02	4.42 ± 0.17	100.0 ± 5.7	1086.1 ± 42.8	0.092						
	10K12-3	-9.778	0.07 ± 0.00	0.92 ± 0.12									
<b>K38</b>	10K13-1	-10.269	0.61 ± 0.04	6.77 ± 0.32	166.6 ± 10.5	1838.7 ± 88.0	0.091						
	10K13-2	-10.269	0.68 ± 0.04	6.92 ± 0.25	199.6 ± 12.6	2042.1 ± 74.2	0.098						
	10K13-3	-10.269	0.10 ± 0.01	0.62 ± 0.12									
<b>K39</b>	10K14-1	-10.548	0.70 ± 0.04	4.56 ± 0.15	149.8 ± 8.5	970.7 ± 32.2	0.154	0.094 ± 0.005					
					149.8 ± 8.5	149.8	0.154	970.7 ± 32.2	970.7	0.154 ± 0.010			

Appendix V Measurement of U-236, Np-237, Pu-239,240 and Cs-137 concentrations in soil samples

Samplig settlement (Lab.ID)	Atomic ratio		Activity concentration				Inventory			
	U236/U238 ( $\times 10^8$ )	U-236 (atoms/g) ( $\times 10^8$ )	Np-237 (Bq/kg)	Pu-239,240 (Bq/kg)	Cs-137 (Bq/kg)	U-236 (atoms/m <sup>2</sup> )	Np-237 (Bq/m <sup>2</sup> )	Pu-239,240 (Bq/m <sup>2</sup> )	Cs-137 (Bq/m <sup>2</sup> )	
Tailan	99K24-3	2.52 ± 0.095	1.20 ± 0.05	0.0102 ± 0.0010	3.44 ± 0.09	16.5 ± 0.50	3.714E+13	3.16	1064.8	5096
Sarzhai	07S302			n.d.	0.52 ± 0.02	8.18 ± 0.20			144.7	2289
	07S9-2	29.3 ± 0.339	16.30 ± 0.19	0.0180 ± 0.0020	5.59 ± 0.16	25.3 ± 0.70	4.448E+14	4.902	1525.5	6917
	07S14-3			0.0264 ± 0.0010	7.56 ± 0.25	44.8 ± 1.20		6.531	1867.8	11080 ± 306
	0S15-3	15.0 ± 0.299	5.99 ± 0.12	0.0314 ± 0.0010	8.95 ± 0.21	45.7 ± 1.00	1.304E+14	6.839	1948.5	9954
	0S19-3			0.0073 ± 0.0010	3.74 ± 0.11	21.3 ± 0.70		1.355	698.3	3978
	07S2-1	0.985 ± 0.110	0.20 ± 0.01		0.33 ± 0.01	6.36 ± 0.32	4.037E+12		65.3 ± 2.6	1270 ± 64
07S6-1	3.42 ± 0.206	0.69 ± 0.05		2.68 ± 0.11	14.67 ± 0.82	1.999E+13		780.8 ± 32	4272 ± 238	
08S2-2	105 ± 5.0	28.80 ± 1.37		8.82 ± 0.27	34.74 ± 0.46	2.373E+14		726.8 ± 23	9080 ± 120	
08S7-3	3.55 ± 0.228	0.62 ± 0.06		4.63 ± 0.17	16.55 ± 0.40	1.639E+13		1224 ± 45	4377 ± 105	
08S10-3	3.05 ± 0.275	0.59 ± 0.04		1.91 ± 0.03	8.99 ± 0.39	9.308E+12		299.3 ± 8.9	2676 ± 90	
Karaul	B5-1	10.9 ± 0.677	4.44 ± 0.28	0.0134 ± 0.0010	3.32 ± 0.09	34.3 ± 0.80	9.218E+13	2.786	689.3	7106 ± 166
	B8-1	9.99 ± 0.336	4.09 ± 0.14	0.0109 ± 0.0010	2.95 ± 0.11	27.2 ± 0.60	1.100E+14	2.934	793.5	7324 ± 162
Kokpekty	G4-2	0.537 ± 0.042			0.191 ± 0.01					
	07G5-1	0.638 ± 0.062	0.530 ± 0.05				8.82E+12			1152
	07G3-2	0.537 ± 0.042	0.346 ± 0.03				8.61E+12			3272
Dolon	05D02-1	0.216 ± 0.026	0.103 ± 0.01		4.22	5.11	4.30E+12			
	05D06-3	1.41 ± 0.076	0.656 ± 0.04		32.80	20.17	1.96E+13			
	05D24-3	1.00 ± 0.100	0.236 ± 0.02		11.26	13.91	8.83E+12			
	05D30-3	1.07 ± 0.090	0.227 ± 0.02		0.89	2.79	1.03E+13			
	Japan (Tatsunokuchi, Ishikawa Pref.)									
(2.23±0.62)×10 <sup>13</sup>										

Appendix VI Ratios of U-236/U-238, U-236/Pu-239, Np-239/Pu-239 and so on, measured in soils

Sampling Location	(Lab. ID)	Atomic ratio				Atoms/Bq				(Bq/Bq)
		U-236		Np-237		U-236 (atom)		U-236 (atom)		
		U-236	U-238	Pu-239*	Pu-239*	Cs-137 (Bq)	Pu-239,240 (Bq)	Pu-239,240 (Bq)	Cs-137	
Tailan	99K24-3	(2.25 ± 0.10)x10 <sup>-8</sup>		0.038 ± 0.002	0.307 ± 0.032	7.27.E+09	3.49.E+10		0.208	
Sarzhai	07S302								0.064	
	07S9-2	(2.93 ± 0.04)x10 <sup>-7</sup>		0.310 ± 0.010	0.333 ± 0.037	6.44.E+10	2.92.E+11		0.221	
	07S14-3				0.361 ± 0.014				0.169	
	0S15-3	(1.50 ± 0.03)x10 <sup>-7</sup>		0.071 ± 0.002	0.363 ± 0.014	1.31.E+10	6.69.E+10		0.196	
	0S19-3				0.202 ± 0.028	1.31.E+10			0.176	
	07S2-1	(0.985 ± 0.100)x10 <sup>-8</sup>		1.927 ± 0.223					0.052	
	07S6-1	(3.42 ± 0.21)x10 <sup>-8</sup>		0.237 ± 0.017					0.183	
	08S2-2	(1.05 ± 0.05)x10 <sup>-6</sup>		0.072 ± 0.004					0.254	
Karaul	08S7-3	(3.55 ± 0.23)x10 <sup>-8</sup>		0.137 ± 0.010					0.280	
	08S10-3	(3.05 ± 0.28)x10 <sup>-8</sup>				1.31.E+10	3.14.E+11		0.212	
	B5-1	(1.09 ± 0.09)x10 <sup>-3</sup>		0.142 ± 0.010	0.418 ± 0.041	1.29.E+10	1.34.E+11		0.097	
	B8-1	(9.99 ± 0.34) x10 <sup>-8</sup>		0.147 ± 0.007	0.382 ± 0.037	1.50.E+10	1.39.E+11		0.108	
Kokpekty	G4-2	(0.537 ± 0.042)x10 <sup>-8</sup>								
	07G5-1	(0.683 ± 0.062)x10 <sup>-8</sup>				7.63.E+09				
	07G3-2	(0.537 ± 0.042)x10 <sup>-8</sup>				2.63.E+09				
Dolon	05D02-1	(0.216 ± 0.026)x10 <sup>-8</sup>		0.0026 ± 0.0003		2.02.E+09	2.44.E+09		0.825	
	05D06-3	(1.41 ± 0.08)x10 <sup>-3</sup>		0.0021 ± 0.0001		3.25.E+09	2.00.E+09		1.627	
	05D24-3	(1.00 ± 0.10)x10 <sup>-8</sup>		0.0022 ± 0.0002		1.70.E+09	2.10.E+09		0.810	
	05D30-3	(1.07 ± 0.09)x10 <sup>-8</sup>		0.0270 ± 0.0023		8.14.E+09	2.54.E+10		0.320	
Japan (Ishikawa Pref.): global fallout										
(4.88 ± 0.85)E+09 (1.56 ± 0.10)E+11 0.031 ± 0.005										

Pu-239\*: Pu-240/Pu-239 atomic ratio for bomb material was assumed to be 0.045.

Appendix VII Evaluation of fractionation factor from U-236/Cs-137 or U-237/Cs-137 ratio

(I) U-236/Cs-137

Sample No.	Km	U-236 (atoms/m <sup>2</sup> )	error%	Bq/m <sup>2</sup>	Cs-137 (Bq/m <sup>2</sup> )	error%	Decay corrected at 1953 (Bq/m <sup>2</sup> )	Cs-137* (Bq/Bq)	error%	14MeV U-238 Act.Ratio (A)		Theoretical value 14MeV U-238 (B)		R/V=A/B	ε	error%
										U-236	Cs-137*	U-236	Cs-137*			
07S2-1	10	4.04E+12	4.90	0.00377	1.27.E+03	5.04	2.72.E+03	2.13.E-06	7.03	7.16586	9.23E-06	0.231	1.6			
07S6-1	5.8	2.00E+13	7.29	0.01867	4.27.E+03	5.57	1.33.E+04	2.15.E-06	9.17	9.23E-06	0.233	2.1				
08S2-2	-2	2.37E+14	4.76	0.22166	9.08.E+03	1.32	3.04.E+04	1.12.E-05	4.94	9.23E-06	1.217	6.0				
08S7-3	-6.7	1.64E+13	9.68	0.01531	4.38.E+03	2.39	1.37.E+04	1.72.E-06	9.97	9.23E-06	0.186	1.9				
08S10-3	-9.5	9.31E+12	6.73	0.00869	2.68.E+03	3.37	7.70.E+03	1.74.E-06	7.53	9.23E-06	0.188	1.4				

\*: Here, 500 Bq/m<sup>2</sup> as global fallout BG of Cs-137 was subtracted from measurement value

\*Cs-137: It was assumed that both U-236 and U-237 were produced by the reaction with U-238 and 14Mec neutron.

14Mev U-238fission: 224kt,

2 Mev U-238 fission:56 kt

2 MeV U-235+PU-239 fission: 40 kt

Percentage of Cs-137 produced by reaction with U-238 and 14Mev neutron is about 65% of the total.

(II) U-237/Cs-137

Sample No.	Km	U-237 (atoms/m <sup>2</sup> )	error%	Bq/m <sup>2</sup>	Cs-137 (Bq/m <sup>2</sup> )	error%	Decay corrected at 1953 (Bq/m <sup>2</sup> )	Cs-137* (Bq/Bq)	error%	14MeV U-238 Act.Ratio (A)		Theoretical value 14MeV U-238 (B)		R/V=A/B	ε	error%
										U-237	Cs-137*	U-237	Cs-137*			
07S14-3	-1.8	6.53	3.34	6.376E+14	7.58E+08	1.11.E+04	2.76	3.74.E+04	4.33	17.2066	28090	1.11	4.8			
07B8-1	-2.0	2.93	3.69	2.864E+14	3.40E+08	7.32.E+03	2.23	2.41.E+04	4.32	2.17E+04	0.77	3.3				
07S19-3	5.9	1.35	2.81	1.323E+14	1.57E+08	3.98.E+03	3.46	1.23.E+04	4.45	1.97E+04	0.70	3.1				
07S15-3	0.8	6.84	2.29	6.676E+14	7.93E+08	9.95.E+03	2.25	3.34.E+04	3.21	3.65E+04	1.30	4.2				
07B5-1	-5.1	2.79	2.65	2.720E+14	3.23E+08	7.11.E+03	2.26	2.34.E+04	3.48	2.13E+04	0.76	2.6				

### Appendix VIII Radionuclides Eu-152 and Co-60 induced by neutron with susrface soil

Sampling location	(Lab. ID)	Concentration (Bq/kg): Values at measurement date (2009/5)		
		Pu-239,240	Cs-137	Co-60
Tailan	99K24-3	1064.8 ± 28	5096 ± 154	268.7 ± 13.4
Sarzhah	07S9-2	2600 ± 137	6914 ± 197	60.0 ± 5.0
Karaul	05S5-2	196.1 ± 10.1	1461 ± 32	23.3 ± 3.0

(Decay corrected at 1953/8)

Sampling location	(Lab. ID)	Concentration (Bq/kg)			Ratio
		Pu-239,240	Cs-137	Co-60	
Tailan	99K24-3	3192.0 ± 144	407621 ± 20328	127.7	
Sarzhah	07S9-2	2908.9 ± 173	91066 ± 7585	31.3	
Karaul	05S5-2	2085.3 ± 190	35331 ± 4551	16.9	

Theoretical value of Co-60/Eu-152 activity ratio calculated by Imanaka : 0.26

Eu-152:  $T_{1/2}=13.537$  y, Co-60:  $T_{1/2}=5.27$  y

Appendix IX Soil sampling locations inside and outside and around the Kainar settlement

Site No.	Sampling location	Latitude (N)		Longitude (E)		N (°)	E (°)
		(°)	(')	(°)	(')		
<b>① 1999/9/10 Sampling</b>							
99K19	within Abraly village	49	10 4.2	77	57	1.2	49.1678 77.9503
99K20	roadside to Kainar	49	19 25.2	77	49	44.4	49.3237 77.8290
99K21	roadside to Kainar	49	15 33	77	27	13.2	49.2592 77.437
99K22	entrance of Kainar	49	13 27.6	77	23	3.0	49.2243 77.3842
<b>② 2007/8/31-9/1 Sampling</b>							
07C-1	within village	49	12 17.3	77	22	11.5	49.2048 77.3699
07C-2	within village	49	12 4.9	77	22	53.0	49.2014 77.3814
07C-3	within village	49	12 8.3	77	22	59.0	49.2023 77.3831
07C-4	within village	49	11 42.5	77	22	52.6	49.1951 77.3813
07C-5	within village	49	11 55.2	77	23	59.1	49.1987 77.3998
07C-6	roadside	49	12 19.5	77	23	53.9	49.2054 77.3983
07C-7	roadside	49	12 50.6	77	23	50.0	49.2141 77.3972
07C-8	roadside	49	13 24.4	77	23	44.1	49.2234 77.3956
07C-9	roadside	49	13 57.2	77	23	46.5	49.2326 77.3963
07C-10	roadside	49	14 30.0	77	23	59.9	49.2417 77.4000
07C-11	roadside	49	14 53.3	77	24	26.3	49.2481 77.4073
07C-12	roadside	49	15 57.3	77	24	54.2	49.2659 77.4151
07C-13	roadside	49	16 28.9	77	25	4.8	49.2747 77.4180
07C-14	roadside	49	15 10.4	77	25	15.0	49.2529 77.4208
07C-15	roadside	49	15 16.5	77	26	3.2	49.2546 77.4342
07C-16	roadside	49	15 30.4	77	26	49.9	49.2584 77.4472
07C-17	roadside	49	15 42.0	77	27	36.0	49.2617 77.4600
07C-18	roadside	49	15 55.5	77	28	20.2	49.2654 77.4723
07C-19	roadside	49	15 32.2	77	28	53.3	49.2589 77.4815
07C-20	roadside	49	14 58.8	77	29	3.7	49.2497 77.4844
07C-21	roadside	49	16 9.1	77	29	7.0	49.2692 77.4853
07C-22	roadside	49	16 21.5	77	29	56.8	49.2726 77.4991
07C-23	roadside	49	16 34.2	77	30	41.5	49.2762 77.5115
07C-24	roadside	49	17 8.30	77	32	9.6	49.2856 77.5360
07C-25	roadside	49	18 43.0	77	35	53.2	49.3119 77.5981
07C-26	roadside	49	19 52.5	77	39	51.3	49.3313 77.6643
<b>③ 2010/9/22 Sampling</b>							
10K1	outside village	49	11 57.3	77	24	10.60	49.1992 77.4029
10K2	outside village	49	10 40.4	77	25	26.58	49.1779 77.4241
10K3	outside village	49	10 39.6	77	25	42.83	49.1777 77.4286
10K4	outside village	49	10 42.7	77	25	18.07	49.1785 77.4217
10K5	outside village	49	10 49.9	77	24	54.67	49.1805 77.4152
10A6	outside village	49	11 1.25	77	24	34.98	49.1837 77.4097
10K7	outside village	49	11 10.5	77	24	13.36	49.1863 77.4037
10K8	outside village	49	11 21.1	77	23	53.80	49.1892 77.3983
10A9	within village	49	11 33.5	77	23	39.99	49.1926 77.3944
10K10	within village	49	11 33.6	77	23	23.94	49.1927 77.3900
10K11	within village	49	11 34.1	77	23	14.97	49.1928 77.3875
10K12	within village	49	11 30.4	77	22	59.60	49.1918 77.3832

Appendix IX-2 (continued): Soil sampling locations in 2011 and 2012

Site No.	Sampling location	Latitude (N)		Longitude (E)		N (°)	E (°)
		(°)	(')	(°)	(')		
<b>④ 2011/10/9 Sampling</b>							
11K1	Akbulak	49	19 41.3	77	56	0.10	49.3281 77.9334
11K2	↓	49	19 40.5	77	54	11.6	49.3279 77.9032
11K3		49	19 40.6	77	52	30.6	49.3279 77.8752
11K4		49	19 51.5	77	50	48.6	49.3310 77.8468
11K5		49	20 2.30	77	49	5.3	49.3340 77.8181
11K6		49	20 24.4	77	47	27.2	49.3401 77.7909
11K7		49	21 4.4	77	45	58.3	49.3512 77.7662
11K8		49	20 56.7	77	44	29.6	49.4908 77.7416
11K9		49	20 39.8	77	42	45.8	49.3444 77.7127
11K10		49	20 16.5	77	41	16.3	49.3379 77.6879
11K11		49	19 52.9	77	39	38.9	49.3314 77.6608
11K12	Abraly ↓	49	19 25.3	77	38	5.8	49.3237 77.6349
11K13		49	18 56.6	77	36	34.8	49.3157 77.6097
11K14		49	18 25.5	77	35	4.8	49.3071 77.5847
11K15		49	17 49.9	77	33	29.5	49.2972 77.5582
11K16		49	17 14.2	77	32	10.3	49.2873 77.5362
11K17		49	16 37.1	77	30	37.3	49.2770 77.5104
11K18		49	16 10.1	77	29	1.60	49.2695 77.4838
<b>⑤ 2012/8/4-5 Sampling</b>							
12K1		49	18 36.5	77	55	34.1	49.3101 77.9261
12K2		49	17 19.3	77	55	47.9	49.2887 77.9300
12K3		49	15 40.1	77	56	7.00	49.2611 77.9353
12K4		49	14 2.9	77	56	23.8	49.2341 77.9399
12K5		49	12 29.3	77	56	39.6	49.2081 77.9443
12K6		49	10 50.4	77	56	57.3	49.1807 77.9493
12K7		49	10 21.1	77	57	5.7	49.1725 77.9516
12K8		49	9 50.2	77	57	3.4	49.1639 77.9509
12K9		49	9 33.7	77	56	28.5	49.1594 77.9413
12K10		49	9 53.5	77	55	48.2	49.1649 77.9301
12K11		49	10 0.00	77	53	28.1	49.1667 77.8911
12K12		49	11 1.40	77	50	42.5	49.1837 77.8451
12K13		49	11 34.9	77	48	19.3	49.1930 77.8054
12K14		49	12 48.3	77	46	32.1	49.2134 77.7756
12K15		49	13 25.4	77	45	38.3	49.2237 77.7606
12K16		49	14 20.1	77	44	14.8	49.2389 77.7374
12K17		49	15 15.5	77	42	45.1	49.2543 77.7125
12K18		49	15 47.0	77	40	39.8	49.2631 77.6777
12K19		49	15 40.1	77	38	50.8	49.2611 77.6474
12K20		49	15 58.2	77	37	49.7	49.2662 77.6305
12K21		49	14 55.2	77	25	53.7	49.2487 77.4316
12K22		49	14 47.3	77	27	40.2	49.2465 77.4612
12K23		49	14 27.4	77	29	28.8	49.2409 77.4913
12K24		49	14 23.1	77	31	24.6	49.2398 77.5235
12K25		49	15 2.00	77	32	51.6	49.2506 77.5477
12K26		49	15 14.9	77	34	44.2	49.2541 77.5789
12K27		49	15 46.8	77	36	26.1	49.2630 77.6073
12K28		49	15 53.4	77	37	7.50	49.2648 77.6188
12K29		49	15 14.2	77	37	55.9	49.2539 77.6322
12K30		49	17 20.9	77	37	16.2	49.2891 77.6212
12K31		49	18 22.9	77	36	47.1	49.3064 77.6131



Appendix X-1 Soil sampling locations in the adjust north direction of Pavlodar region in 2006 and 2007.

No.	Sampling location	Sampling date	Latitude (N)		Longitude (E)		N	E		
			(°)	(*)	(°)	(**)				
<b>2006</b>										
P1	Outside Krivinka	2002/8/26	51	11	34.3	78	23	12.8	51.193	78.387
P2	Outside Krivinka	2002/8/26	51	8	17.4	78	13	11	51.138	78.220
P3	Outside Krivinka	2002/8/26	51	6	51.2	78	10	56.2	51.114	78.182
P4	Within Krivinka	2002/8/26	51	7	47.8	78	9	37.2	51.130	78.160
P5	Within Krivinka	2002/8/26	51	7	50.0	78	9	43.2	51.131	78.162
P6	Exit of Krivinka	2002/8/26	51	8	33.6	78	9	28.6	51.143	78.158
P7	15 km from Krivinka	2002/8/26	51	16	5.6	78	4	20.5	51.268	78.072
P8	↓	2002/8/26	51	18	33.1	77	58	56.2	51.309	77.982
P9	Outside Beskaragay	2002/8/26	51	21	49.7	77	54	57.5	51.364	77.916
P10	Exit of Beskaragay	2002/8/26	51	22	47.0	77	53	22.7	51.380	77.890
P11	Within Akku	2002/8/26	51	27	13.0	77	48	21.1	51.454	77.806
P12	Outside Akku	2002/8/27	51	27	22.6	77	47	21	51.456	77.789
P13	Within Akku	2002/8/27	51	29	7.6	77	46	18	51.485	77.772
P14	Within Akku	2002/8/27	51	27	58.2	51	27	19.7	51.466	51.455
P15	15 km from Akku	2002/8/27	51	27	19.7	78	1	44.8	51.455	78.029
P16	Exit of Shcherbakty	2002/8/27	51	22	56.5	78	18	47.9	51.382	78.313
P17	Forest near Shcherbakty	2002/8/27	51	21	32.0	78	17	11.7	51.359	78.287
P18	Bordar of Pavlodar	2002/8/27	51	14	57.1	78	34	18.6	51.249	78.572
P19	↓ (20km)	2002/8/27	51	7	23.0	78	49	46.3	51.123	78.830
P20	Semenovka	2002/8/27	51	2	51.0	79	6	42.7	51.048	79.112
P21	↓ (20km)	2002/8/27	50	57	26.5	79	21	33.1	50.957	79.359
P22	Exit of Semenovka	2002/8/27	50	53	19.3	79	27	49.8	50.889	79.464
P23	Near Kanonerka	2002/8/27	50	44	6.9	79	39	42.9	50.735	79.662
※	Townhouse of Akku		51	27	50.0	77	47	5.0	51.464	77.785
<b>2007</b>										
Ch1	Within Shcherbakty	2007	52	29	36.9	78	9	23.9	52.4936	78.1602
Ch2	Within Shcherbakty	2007	52	29	53.4	78	10	57.8	52.4982	78.1648
Ch3	Within Shcherbakty	2007	52	29	23.0	78	7	58.1	52.4897	78.1564
Ch4	Within Shcherbakty	2007	52	28	34.0	78	10	2.39	52.4928	78.1594
Ch5	Within Shcherbakty	2007	52	30	14.4	78	9	15.0	52.4873	78.1540

Appendix X-2 Soil sampling locations in the Kanonerka Village in 2007 and 2008.

Sampling No.	comment	Sampling date	Latitude (N)		Longitude (E)		N	E		
			(°)	(*)	(°)	(**)				
<b>2007</b>										
07H1		2007	50	3	23.7	79	2	20.2	50.723	79.706
07H2		2007	50	3	33.5	79	1	27.9	50.726	79.691
07H3		2007	50	3	18.8	79	1	18.7	50.722	79.689
07H4		2007	50	5	1.9	79	1	2.3	50.734	79.695
07H5		2007	50	3	9.7	79	0	38.1	50.731	79.677
<b>2008</b>										
08H1	Glassland	2008/9/9	50	38	51	79	39	30.7	50.676	79.659
08H2	Glassland	2008/9/9	50	39	51.2	79	39	25	50.662	79.657
08H3	Glassland	2008/9/9	50	0	2.5	79	39	25.7	50.679	79.657
08H	Glassland	2008/9/9	50	1	29	79	39	55.5	50.691	79.665
08H5	Glassland	2008/9/9	50	2	17.9	79	0	28.3	50.710	79.675
08H6	Glassland	2008/9/9	50	3	0.1	79	1	9.3	50.718	79.686
08H7	Glassland	2008/9/9	50		9.7	79	39	36.2	50.736	79.660
08H8	Glassland	2008/9/9	50		38.6	79	38	28.5	50.706	79.613
08H9	Glassland	2008/9/9	50	5	1.1	79	37	19.9	50.750	79.622
08H10	Glassland	2008/9/9	50	5	2.6	79	36	10.7	50.757	79.603
08H11	Glassland	2008/9/9	50	5	3.3	79	35	1.2	50.762	79.584
08H12	Glassland	2008/9/9	50	6	10	79	3	8.8	50.769	79.569
08H13	Glassland	2008/9/9	50	7	13.8	79	33	19.2	50.787	79.555
08H14	Glassland	2008/9/9	50	8		79	32	29.8	50.801	79.516

Appendix XI Results of <sup>137</sup>Cs and Pu in soil collected at Kainar areas in 1999/9/10

Sample No.	Sample Lab. ID	<sup>137</sup> Cs		<sup>239,240</sup> Pu		<sup>137</sup> Cs		<sup>239,240</sup> Pu		Activity ratio	
		Sampling depth (cm)	Bq/kg	Bq/kg	Total Pu Bq/kg	Soluble Pu* Bq/kg	Total Pu Bq/m <sup>2</sup>	<sup>137</sup> Cs Bq/m <sup>2</sup>	<sup>239,240</sup> Pu Bq/m <sup>2</sup>	<sup>239,240</sup> Pu/ <sup>137</sup> Cs	<sup>238</sup> Pu/ <sup>239,240</sup> Pu
99K19	19-1	0-10	31.9 ± 0.4				2717 ± 34				
		0-10	11.4 ± 0.4				923 ± 34				
		0-30	19.3 ± 0.5	0.92 ± 0.02	0.402		5021 ± 130	239 ± 5		0.048 ± 0.001	0.05 ± 0.004
		0-30	4.06 ± 0.28				1096 ± 76				
99K20	20-1	0-10	26.9 ± 0.6			2629 ± 58					
		0-10	55.9 ± 0.9	13.9 ± 0.5	0.116		5868 ± 93	1455 ± 57		0.248 ± 0.005	0.09 ± 0.006
		0-30	22.9 ± 0.4				5381 ± 92				
99K21	21-1	0-10	24.7 ± 0.6			2385 ± 60					
		0-10	31.0 ± 0.76	3.23 ± 0.08	0.297		3464 ± 83	351 ± 9		0.101 ± 0.003	0.07 ± 0.005
		0-30	7.16 ± 0.36				1348 ± 68				
		0-30	10.4 ± 0.4				2349 ± 90				
99K22	22-1	0-10	8.85 ± 0.61	0.61 ± 0.02	0.311		917 ± 63	60.7 ± 2.0		0.066 ± 0.002	0.050 ± 0.004
		0-10	9.05 ± 0.42				693 ± 32				
		0-30	4.31 ± 0.21				1131 ± 55				

\*Ratio of soluble Pu fraction (leaching by HNO<sub>3</sub>) for total Pu

Appendix XII Depth profiles of <sup>137</sup>Cs concentrations in soils collected near Kainar areas in 1999

Sample No.	Depth (cm)	<sup>137</sup> Cs		<sup>137</sup> Cs		Sample No.	Depth (cm)	<sup>137</sup> Cs	
		Bq/kg	(Bq/m <sup>2</sup> )	Bq/kg	(Bq/m <sup>2</sup> )			Bq/kg	(Bq/m <sup>2</sup> )
99K19	0-5	33.0 ± 0.7	1613 ± 32	99K21	0-5	90.6 ± 1.5	3793 ± 64		
	5-10	2.11 ± 0.23	124 ± 14		5-10	23.5 ± 0.5	1558 ± 36		
	10-15	0.24 ± 0.07	14.0 ± 4.1		10-15	1.64 ± 0.24	77.0 ± 11.3		
	15-20	0.35 ± 0.07	19.0 ± 3.8		15-20	0.68 ± 0.1	35.0 ± 5.1		
	20-29	0.58 ± 0.15	47.0 ± 12.2		20-30	0.38 ± 0.11	15.0 ± 4.3		
<b>Total</b>		<b>1817</b>		<b>Total</b>		<b>5478</b>			
99K20	0-5	44.2 ± 0.8	2393 ± 42	99K22	0-5	20.5 ± 0.5	1141 ± 29		
	5-10	4.93 ± 0.38	321 ± 25		5-10	n.d.			
	10-15	0.76 ± 0.14	42.0 ± 7.7		10-15	0.62 ± 0.09	35.0 ± 5.1		
	15-20	n.d.			15-20	0.27 ± 0.12	15.0 ± 6.7		
	20-30	n.d.			20-28	n.d.			
<b>Total</b>		<b>2756</b>		<b>Total</b>		<b>1191</b>			

Appendix XIII Results of  $^{137}\text{Cs}$  and Pu measurements in soils (sampling in 2007/831-9/1; ca. 30 cm in depth)

Sample No.	Sample Lab. ID	Sampling site	$^{137}\text{Cs}$		$^{239,240}\text{Pu}$		$^{137}\text{Cs}$ (Bq/m <sup>2</sup> )	$^{239,240}\text{Pu}$ (Bq/m <sup>2</sup> )	$^{239,240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$	Activity ratio	
			Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg				$^{238}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$	
07C1	1-1		7.86 ± 0.34	0.49 ± 0.02	1745 ± 76	110 ± 5	0.063 ± 0.004	0.027 ± 0.006			
	1-2		9.66 ± 0.42	0.82 ± 0.05	2119 ± 92	180 ± 10	0.085 ± 0.006	0.046 ± 0.009			
	1-3		5.12 ± 0.34	0.41 ± 0.02	1020 ± 68	81.3 ± 4.1	0.080 ± 0.007	0.021 ± 0.006			
07C2	2-1		4.19 ± 0.31	0.94 ± 0.05	1052 ± 77	235 ± 12	0.223 ± 0.020	0.071 ± 0.010			
07C3	3-1		21.3 ± 0.95	4.59 ± 0.22	4218 ± 188	909 ± 43	0.215 ± 0.014	0.051 ± 0.004			
	3-2		28.7 ± 1.0	3.36 ± 0.14	4344 ± 154	508 ± 21	0.117 ± 0.006	0.041 ± 0.004			
	3-3	center of village	9.23 ± 0.48	0.96 ± 0.05	1500 ± 78	157 ± 9	0.104 ± 0.008	0.043 ± 0.008			
07C4	4-1		19.1 ± 0.9	1.51 ± 0.08	4512 ± 208	357 ± 19	0.079 ± 0.006	0.034 ± 0.006			
	4-2		15.5 ± 0.7	1.45 ± 0.07	3485 ± 156	327 ± 15	0.094 ± 0.006	0.034 ± 0.005			
	4-3		20.0 ± 0.5	1.94 ± 0.09	4640 ± 118	450 ± 20	0.097 ± 0.005	0.050 ± 0.006			
	4-4		6.24 ± 0.31	0.43 ± 0.03	1321 ± 65	91.9 ± 5.8	0.070 ± 0.006	0.029 ± 0.009			
07C5	5-1		9.19 ± 0.30	1.08 ± 0.07	2069 ± 67	242 ± 15	0.117 ± 0.008	0.036 ± 0.008			
	5-2		9.20 ± 0.43	0.62 ± 0.04	1459 ± 69	98.5 ± 6.6	0.067 ± 0.006	0.083 ± 0.015			
	5-3		8.18 ± 0.51	1.00 ± 0.04	1406 ± 87	171 ± 6	0.122 ± 0.009	0.031 ± 0.004			
07C6	6-1		2.38 ± 0.13	0.12 ± 0.01	537 ± 28	26.1 ± 2.7	0.049 ± 0.006	0.048 ± 0.022			
	6-2	roadside	5.29 ± 0.44	0.56 ± 0.04	1118 ± 92	118 ± 7	0.106 ± 0.011	0.024 ± 0.008			
	6-3		1.09 ± 0.17	0.08 ± 0.01	188 ± 29	13.4 ± 1.1	0.071 ± 0.012	0.031 ± 0.014			
07C7	7-1	roadside	9.48 ± 0.36	0.78 ± 0.04	2357 ± 90	193 ± 9	0.082 ± 0.005	0.030 ± 0.006			
	7-2		3.47 ± 0.31	0.37 ± 0.02	620 ± 56	66.8 ± 3.6	0.108 ± 0.011	0.043 ± 0.009			
	7-3		2.80 ± 0.20	0.40 ± 0.02	555 ± 40	78.9 ± 3.9	0.142 ± 0.012	0.059 ± 0.010			
07C8	8-1	roadside	5.30 ± 0.27	0.62 ± 0.03	1452 ± 74	169 ± 8	0.116 ± 0.008	0.046 ± 0.008			
	8-2		5.76 ± 0.31	0.49 ± 0.02	1704 ± 91	145 ± 7	0.085 ± 0.006	0.041 ± 0.008			
	8-3		10.7 ± 0.5	2.03 ± 0.09	2768 ± 142	524 ± 22	0.189 ± 0.013	0.043 ± 0.005			
07C9	9-1	roadside	12.2 ± 0.3	0.81 ± 0.05	3062 ± 77	204 ± 13	0.067 ± 0.004	0.049 ± 0.010			
	9-2		22.3 ± 0.6	1.91 ± 0.08	5358 ± 152	460 ± 20	0.086 ± 0.004	0.038 ± 0.005			
	9-3		3.29 ± 0.3	0.33 ± 0.02	937 ± 86	92.8 ± 5.3	0.099 ± 0.011	0.054 ± 0.012			

Appendix XIII-2 (continued)

Sample No.	Sample Lab. ID	Sampling site	<sup>137</sup> Cs		<sup>239,240</sup> Pu		<sup>137</sup> Cs (Bq/m <sup>2</sup> )	<sup>239,240</sup> Pu (Bq/m <sup>2</sup> )	Activity ratio	
			Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg			<sup>239,240</sup> Pu/ <sup>137</sup> Cs	<sup>238</sup> Pu/ <sup>239,240</sup> Pu
07C10	C10-1	roadside	3.18 ± 0.31	0.41 ± 0.02	741 ± 72	95.7 ± 4.5	0.129 ± 0.014	0.018 ± 0.005		
	C10-2		1.75 ± 0.12	0.12 ± 0.01	449 ± 32	30.5 ± 2.3	0.068 ± 0.007	0.077 ± 0.020		
	C10-3		6.22 ± 0.44	0.61 ± 0.03	1447 ± 102	141 ± 8.1	0.097 ± 0.009	0.045 ± 0.009		
07C11	C11-1	roadside	18.2 ± 0.5	1.62 ± 0.08	3512 ± 94	314 ± 15	0.089 ± 0.005	0.048 ± 0.007		
	C11-2		4.04 ± 0.21	0.14 ± 0.01	971 ± 51	33.5 ± 3.1	0.035 ± 0.004	0.067 ± 0.023		
	C11-3		2.14 ± 0.22	0.45 ± 0.03	474 ± 49	99.5 ± 5.8	0.210 ± 0.025	0.040 ± 0.010		
07C12	C12-1	roadside	11.6 ± 0.7	0.95 ± 0.06	2845 ± 176	232 ± 13	0.081 ± 0.007	0.033 ± 0.007		
	C12-2		7.02 ± 0.49	0.66 ± 0.03	1521 ± 106	144 ± 7	0.095 ± 0.008	0.049 ± 0.009		
	C12-3		9.64 ± 0.37	0.87 ± 0.04	2281 ± 87	206 ± 10	0.090 ± 0.006	0.064 ± 0.009		
07C13	C13-1	roadside	6.46 ± 0.56	0.85 ± 0.05	1425 ± 124	188 ± 11	0.132 ± 0.014	0.064 ± 0.011		
	C13-2		10.2 ± 0.5	0.84 ± 0.05	2310 ± 102	192 ± 12	0.083 ± 0.006	0.056 ± 0.011		
	C13-3		4.84 ± 0.27	0.51 ± 0.04	1083 ± 61	115 ± 8	0.106 ± 0.010	0.059 ± 0.014		
07C14	C14-1	roadside	6.51 ± 0.33	1.45 ± 0.07	1582 ± 80	352 ± 18	0.223 ± 0.016	0.073 ± 0.009		
	C14-2		7.28 ± 0.31	0.67 ± 0.04	1650 ± 71	152 ± 9	0.092 ± 0.007	0.073 ± 0.012		
	C14-3		2.37 ± 0.18	0.22 ± 0.02	444 ± 33	40.7 ± 3.9	0.092 ± 0.011	0.067 ± 0.023		
07C15	C15-1	roadside	1.61 ± 0.20	0.74 ± 0.05	398 ± 49	183 ± 11.1	0.461 ± 0.064	0.018 ± 0.006		
	C15-2		1.46 ± 0.10	0.07 ± 0.01	246 ± 17	11.4 ± 1.3	0.046 ± 0.006	0.057 ± 0.026		
	C15-3		5.89 ± 0.18	0.83 ± 0.04	1417 ± 44	200 ± 9	0.141 ± 0.008	0.065 ± 0.008		
07C16	C16-1	roadside	2.79 ± 0.22	0.52 ± 0.04	591 ± 47	109 ± 8	0.185 ± 0.020	0.079 ± 0.016		
	C16-2		1.83 ± 0.16	0.25 ± 0.02	323 ± 29	43.8 ± 2.7	0.136 ± 0.015	0.073 ± 0.015		
	C16-3		8.02 ± 0.40	0.92 ± 0.05	1602 ± 79	183 ± 10	0.114 ± 0.008	0.065 ± 0.010		
07C17	C17-1	roadside	9.02 ± 0.34	2.39 ± 0.12	1914 ± 73	508 ± 26	0.265 ± 0.017	0.007 ± 0.007		
	C17-2		15.8 ± 0.9	2.15 ± 0.10	3373 ± 189	458 ± 22	0.136 ± 0.010	0.007 ± 0.007		
	C17-3		2.89 ± 0.18	0.55 ± 0.03	639 ± 39	121 ± 7	0.189 ± 0.016	0.013 ± 0.013		
07C18	C18-1	roadside	2.92 ± 0.17	0.88 ± 0.04	606 ± 36	183 ± 8	0.303 ± 0.022	0.009 ± 0.009		
	C18-2		6.40 ± 0.34	1.25 ± 0.07	1161 ± 61	227 ± 12	0.196 ± 0.015	0.008 ± 0.008		
	C18-3		1.35 ± 0.13	0.39 ± 0.02	275 ± 26	80.0 ± 4.6	0.291 ± 0.032	0.013 ± 0.013		

Appendix XIII-3 (continued)

Sample No.	Sample Lab. ID	Sampling site	<sup>137</sup> Cs		<sup>239,240</sup> Pu		<sup>137</sup> Cs (Bq/m <sup>2</sup> )	<sup>239,240</sup> Pu (Bq/m <sup>2</sup> )	Activity ratio	
			Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg			<sup>238</sup> Pu/ <sup>137</sup> Cs	<sup>238</sup> Pu/ <sup>239,240</sup> Pu
07C19	C19-1	Road side	14.6 ± 0.7	3.15 ± 0.12	2016 ± 92	435 ± 17	0.216 ± 0.013	0.068 ± 0.005	0.216 ± 0.013	0.068 ± 0.005
	C19-2		16.4 ± 0.8	2.94 ± 0.13	3057 ± 142	550 ± 24	0.180 ± 0.011	0.060 ± 0.005	0.180 ± 0.011	0.060 ± 0.005
	C19-3		5.30 ± 0.28	1.64 ± 0.07	931 ± 49	288 ± 13	0.309 ± 0.021	0.062 ± 0.007	0.309 ± 0.021	0.062 ± 0.007
07C20	C20-1	Road side	7.70 ± 0.55	2.29 ± 0.11	1655 ± 118	491 ± 23	0.297 ± 0.025	0.065 ± 0.006	0.297 ± 0.025	0.065 ± 0.006
	C20-2		8.76 ± 0.53	1.64 ± 0.07	1536 ± 93	288 ± 13	0.187 ± 0.014	0.071 ± 0.007	0.187 ± 0.014	0.071 ± 0.007
	C20-3		10.8 ± 0.6	3.13 ± 0.11	2453 ± 125	710 ± 26	0.289 ± 0.018	0.077 ± 0.005	0.289 ± 0.018	0.077 ± 0.005
07C21	C21-1	Road side	13.5 ± 0.6	3.42 ± 0.13	2743 ± 113	694 ± 26	0.253 ± 0.014	0.066 ± 0.005	0.253 ± 0.014	0.066 ± 0.005
	C21-2		9.76 ± 0.36	1.87 ± 0.09	2097 ± 78	402 ± 20	0.192 ± 0.012	0.058 ± 0.007	0.192 ± 0.012	0.058 ± 0.007
	C21-3		15.6 ± 0.4	3.01 ± 0.13	2958 ± 84	571 ± 25	0.193 ± 0.010	0.064 ± 0.005	0.193 ± 0.010	0.064 ± 0.005
07C22	C22-1	Road side	3.45 ± 0.38	0.38 ± 0.02	775 ± 85	84.9 ± 4.1	0.110 ± 0.013	0.066 ± 0.011	0.110 ± 0.013	0.066 ± 0.011
	C22-2		11.5 ± 0.7	1.79 ± 0.09	3017 ± 183	472 ± 25	0.156 ± 0.012	0.068 ± 0.008	0.156 ± 0.012	0.068 ± 0.008
	C22-3		16.0 ± 0.8	3.53 ± 0.15	3780 ± 179	834 ± 35	0.221 ± 0.014	0.074 ± 0.005	0.221 ± 0.014	0.074 ± 0.005
07C23	C23-1	Road side	2.59 ± 0.20	0.73 ± 0.04	577 ± 44	162 ± 8	0.282 ± 0.026	0.072 ± 0.011	0.282 ± 0.026	0.072 ± 0.011
	C23-2		1.70 ± 0.16	0.41 ± 0.02	416 ± 39	101 ± 6	0.243 ± 0.026	0.048 ± 0.010	0.243 ± 0.026	0.048 ± 0.010
	C23-3		3.45 ± 0.25	1.06 ± 0.05	836 ± 61	258 ± 13	0.308 ± 0.027	0.056 ± 0.008	0.308 ± 0.027	0.056 ± 0.008
07C24	C24-1	Road side	2.58 ± 0.15	0.40 ± 0.02	567 ± 33	88.5 ± 4.7	0.156 ± 0.012	0.052 ± 0.010	0.156 ± 0.012	0.052 ± 0.010
	C24-2		5.27 ± 0.28	0.79 ± 0.04	1146 ± 60	172 ± 8	0.150 ± 0.010	0.063 ± 0.009	0.150 ± 0.010	0.063 ± 0.009
	C24-3		0.62 ± 0.18	0.16 ± 0.01	129 ± 37	34.2 ± 2.9	0.265 ± 0.080	0.044 ± 0.017	0.265 ± 0.080	0.044 ± 0.017
07C25	C25-1	Road side	13.6 ± 0.6	2.89 ± 0.14	3020 ± 142	644 ± 30	0.213 ± 0.014	0.062 ± 0.006	0.213 ± 0.014	0.062 ± 0.006
	C25-2		0.97 ± 0.14	0.30 ± 0.02	218 ± 31	68.6 ± 3.9	0.314 ± 0.048	0.051 ± 0.011	0.314 ± 0.048	0.051 ± 0.011
	C25-3		2.56 ± 0.17	0.43 ± 0.02	585 ± 39	97.7 ± 5.5	0.167 ± 0.015	0.076 ± 0.013	0.167 ± 0.015	0.076 ± 0.013
07C26	C26-1	Road side	0.92 ± 0.13	0.74 ± 0.04	274 ± 39	218 ± 12	0.796 ± 0.120	0.091 ± 0.013	0.796 ± 0.120	0.091 ± 0.013
	C26-2		4.42 ± 0.19	0.65 ± 0.03	1229 ± 54	181 ± 8	0.147 ± 0.009	0.072 ± 0.009	0.147 ± 0.009	0.072 ± 0.009
	C26-3		2.53 ± 0.16	0.59 ± 0.03	698 ± 43	163 ± 8	0.233 ± 0.019	0.082 ± 0.011	0.233 ± 0.019	0.082 ± 0.011

Appendix XIII-4 (continued: sampling in 2010/9//22 ; ca. 30 cm in depth)

Sample No.	Sample Lab. ID	Sampling site	<sup>137</sup> Cs		<sup>239,240</sup> Pu		<sup>137</sup> Cs (Bq/m <sup>2</sup> )	<sup>239,240</sup> Pu (Bq/m <sup>2</sup> )	Activity ratio	
			Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg			<sup>239,240</sup> Pu/ <sup>137</sup> Cs	<sup>238</sup> Pu/ <sup>239,240</sup> Pu
10K1	10K1-2		8.09 ± 0.26	0.65 ± 0.02	2801 ± 91	224.7 ± 5.2	0.080 ± 0.003	0.035 ± 0.004		
	10K1-3		12.8 ± 0.2	1.14 ± 0.02	4176 ± 69	374.6 ± 7.1	0.090 ± 0.002	0.040 ± 0.003		
	10K2-1		6.11 ± 0.22	0.66 ± 0.02	2250 ± 81	244.3 ± 8.9	0.109 ± 0.006	0.047 ± 0.007		
10K2	10K2-2		6.41 ± 0.18	0.89 ± 0.04	1914 ± 53	266.8 ± 9.9	0.139 ± 0.006	0.038 ± 0.007		
	10K2-3		7.84 ± 0.30	0.32 ± 0.01	2061 ± 80	84.2 ± 3.6	0.041 ± 0.002	0.048 ± 0.009		
	10K3-1		8.37 ± 0.26	0.94 ± 0.02	2551 ± 79	286.0 ± 7.3	0.112 ± 0.005	0.044 ± 0.005		
10K3	10K3-2		4.60 ± 0.13	0.48 ± 0.01	1358 ± 38	141.1 ± 4.1	0.104 ± 0.004	0.047 ± 0.006		
	10K3-3		9.51 ± 0.17	0.95 ± 0.02	2040 ± 36	204.0 ± 4.1	0.100 ± 0.003	0.054 ± 0.004		
	10K4-1		11.2 ± 0.2	1.10 ± 0.04	2359 ± 44	233.4 ± 8.5	0.099 ± 0.004	0.065 ± 0.008		
10K4	10K4-2		9.13 ± 0.15	0.84 ± 0.03	2307 ± 38	212.4 ± 8.1	0.092 ± 0.004	0.050 ± 0.007		
	10K4-3		3.60 ± 0.12	0.47 ± 0.02	1055 ± 34	137.6 ± 5.9	0.130 ± 0.007	0.060 ± 0.010		
	10K5-1		1.97 ± 0.13	0.16 ± 0.01	600 ± 40	47.6 ± 3.3	0.079 ± 0.008	0.053 ± 0.016		
10K5	10K5-2	along a line perpendicular to the road	7.13 ± 0.13	1.06 ± 0.04	1740 ± 33	259.6 ± 8.8	0.149 ± 0.006	0.038 ± 0.005		
	10K5-3		7.14 ± 0.21	0.78 ± 0.02	1978 ± 59	216.6 ± 4.9	0.110 ± 0.004	0.049 ± 0.004		
	10K6-1		3.21 ± 0.16	0.29 ± 0.02	889 ± 45	79.7 ± 6.4	0.090 ± 0.009	0.080 ± 0.022		
10A6	10K6-2		5.52 ± 0.18	0.51 ± 0.02	1657 ± 54	152.5 ± 5.9	0.092 ± 0.005	0.047 ± 0.008		
	10K6-3		5.07 ± 0.21	0.82 ± 0.04	1555 ± 65	251.3 ± 11.6	0.162 ± 0.010	0.045 ± 0.009		
	10K7-1		4.36 ± 0.20	0.58 ± 0.02	1319 ± 60	177.0 ± 7.5	0.134 ± 0.008	0.041 ± 0.008		
10K7	10AK-2		0.55 ± 0.10	0.17 ± 0.02	145 ± 26	43.8 ± 4.0	0.303 ± 0.061	0.047 ± 0.020		
	10K7-3		7.40 ± 0.19	0.82 ± 0.03	2586 ± 66	288.0 ± 11.9	0.111 ± 0.005	0.030 ± 0.006		
	10K8-1		3.86 ± 0.15	0.33 ± 0.02	1375 ± 54	116.3 ± 6.1	0.085 ± 0.006	0.052 ± 0.011		
10K8	10K8-2		0.79 ± 0.13	0.08 ± 0.01	242 ± 38	23.1 ± 2.8	0.095 ± 0.019			
	10K8-3		1.38 ± 0.27	0.04 ± 0.01	450 ± 86	12.0 ± 2.3	0.027 ± 0.007			
	10K9-1		6.40 ± 0.31	0.61 ± 0.03	1768 ± 85	167.4 ± 7.8	0.095 ± 0.006	0.042 ± 0.009		
10A9	10K9-2		6.46 ± 0.24	0.78 ± 0.03	2014 ± 74	243.7 ± 10.3	0.121 ± 0.007	0.025 ± 0.006		
	10K9-3		3.39 ± 0.22	0.23 ± 0.02	1216 ± 78	84.0 ± 6.6	0.069 ± 0.007	0.045 ± 0.016		
	10K10-1		2.11 ± 0.08	0.51 ± 0.03	624 ± 24	149.2 ± 7.4	0.239 ± 0.015	0.030 ± 0.008		
10K10	10K10-2		1.61 ± 0.18	0.20 ± 0.02	458 ± 51	55.9 ± 4.5	0.122 ± 0.017	0.035 ± 0.015		
	10K10-3		5.03 ± 0.22	0.41 ± 0.02	1278 ± 56	104.6 ± 5.7	0.082 ± 0.006	0.038 ± 0.010		
	10K11-1		6.28 ± 0.28	0.74 ± 0.04	1928 ± 86	227.9 ± 11.4	0.118 ± 0.008	0.048 ± 0.010		
10K11	10K11-2	within the village	13.4 ± 0.3	0.67 ± 0.03	4481 ± 84	225.7 ± 8.8	0.050 ± 0.002	0.032 ± 0.006		
	10K11-3		6.27 ± 0.26	0.50 ± 0.02	1755 ± 73	138.7 ± 6.3	0.079 ± 0.005	0.034 ± 0.008		
	10K12-1		13.4 ± 0.3	1.08 ± 0.03	3585 ± 85	289.2 ± 8.6	0.081 ± 0.003	0.032 ± 0.004		
10K12	10K12-2		15.1 ± 0.3	1.41 ± 0.03	3431 ± 78	320.9 ± 7.0	0.094 ± 0.003	0.027 ± 0.003		
	10K12-3		8.04 ± 0.30	0.56 ± 0.02	1479 ± 55	102.8 ± 3.5	0.070 ± 0.004	0.038 ± 0.006		

Appendix VIII-5 (continued: sampling in 2011/10/9 ; ca. 30 cm in depth)

Sample		Sampling		<sup>137</sup> Cs		Sample		Sampling		<sup>137</sup> Cs	
No.	Lab. ID	site	Bq/kg	(Bq/m <sup>2</sup> )	No.	Lab. ID	site	(Bq/kg)	(Bq/m <sup>2</sup> )	No.	Lab. ID
11K1	11K1-1		7.44 ± 0.43	2103 ± 121	11K10	11K10-1		11.62 ± 0.34	2952 ± 86		
11K2	11K2-1		4.98 ± 0.31	1095 ± 67	11K11	11K11-1		1.86 ± 0.26	634 ± 88		
11K3	11K3-1		4.87 ± 0.33	1168 ± 78	11K12	11K12-1		6.72 ± 0.49	1413 ± 103		
11K4	11K4-1		11.21 ± 0.52	3151 ± 145	11K13	11K13-1		1.54 ± 0.22	397 ± 58		
11K5	11K5-1		3.57 ± 0.25	788 ± 55	11K14	11K14-1		4.56 ± 0.31	1297 ± 87		
11K6	11K6-1		24.21 ± 0.77	7482 ± 239	11K15	11K15-1		1.93 ± 0.24	704 ± 86		
11K7	11K7-1		9.34 ± 0.51	3560 ± 193	11K16	11K16-1		1.31 ± 0.14	314 ± 33		
11K8	11K8-1		4.39 ± 0.25	1612 ± 93	11K17	11K17-1		0.51 ± 0.20	177 ± 71		
11K9	11K9-1		9.04 ± 0.37	2016 ± 83	11K18	11K18-1		1.88 ± 0.24	430 ± 55		

Appendix XIII-6 (continued: sampling in 2012/8/4-5 ; ca. 30 cm in depth)

Sample No.	Sample Lab. ID	Sampling site	<sup>137</sup> Cs		Sample No.	Sample Lab. ID	Sampling site	<sup>137</sup> Cs	
			Bq/kg	(Bq/m <sup>2</sup> )				(Bq/kg)	(Bq/m <sup>2</sup> )
12K1	12K1-1		10.8 ± 0.5	2226 ± 100	12K17	12K17-1		27.1 ± 1.9	2337 ± 160
	12K1-3		3.13 ± 0.247	1099 ± 87		12K17-3		8.46 ± 0.43	1832 ± 94
12K2	12K2-1		3.67 ± 0.237	548 ± 35	12K18	12K18-1		12.8 ± 0.4	3182 ± 90
	12K2-3		4.79 ± 0.59	1529 ± 188		12K18-3		19.1 ± 0.6	5947 ± 173
12K3	12K3-1		1.87 ± 0.172	299 ± 28	12K19	12K19-1		3.57 ± 0.38	267 ± 28
	12K3-3		0.94 ± 0.15	304 ± 49		12K19-3		3.70 ± 0.32	1289 ± 111
12K4	12K4-1		10.3 ± 0.5	2002 ± 100	12K20	12K20-1		3.95 ± 0.29	1024 ± 76
	12K4-3		5.84 ± 0.341	1766 ± 103		12K20-3		1.46 ± 0.19	387 ± 51
12K5	12K5-1		6.39 ± 0.323	1313 ± 66	12K21	12K21-1		4.35 ± 0.27	870 ± 54
	12K5-3		2.11 ± 0.211	339 ± 34		12K21-3		1.12 ± 0.23	314 ± 63
12K6	12K6-1		9.53 ± 0.506	2148 ± 114	12K22	12K22-1		3.47 ± 0.25	954 ± 69
	12K6-3		7.03 ± 0.44	1797 ± 112		12K22-3		2.69 ± 0.27	398 ± 40
12K7	12K7-1		0.82 ± 0.144	137 ± 24	12K23	12K23-1		10.1 ± 0.6	2737 ± 153
	12K7-3		3.24 ± 0.258	903 ± 72		12K23-3		24.1 ± 0.5	5972 ± 116
12K8	12K8-1	Glassland	0.75 ± 0.22	214 ± 63	12K24	12K24-1	Glassland	11.8 ± 0.8	2860 ± 189
	12K8-3		0.46 ± 0.10	153 ± 34		12K24-3		9.83 ± 0.60	2520 ± 155
12K9	12K9-1		14.3 ± 0.7	1132 ± 54	12K25	12K25-1		5.09 ± 0.32	1275 ± 81
	12K9-3		4.89 ± 0.36	1245 ± 93		12K25-3		5.64 ± 0.36	1225 ± 79
12K10	12K10-1		2.91 ± 0.24	863 ± 71	12K26	12K26-1		5.69 ± 0.31	1487 ± 80
	12K10-3		7.34 ± 0.55	2396 ± 179		12K26-3		4.73 ± 0.39	922 ± 76
12K11	12K11-1		2.45 ± 0.20	436 ± 35	12K27	12K27-1		13.7 ± 0.4	3519 ± 100
	12K11-3		12.5 ± 0.6	3231 ± 159		12K27-3		2.02 ± 0.17	700 ± 60
12K12	12K12-1		6.54 ± 0.25	2043 ± 79	12K28	12K28-1		8.63 ± 0.35	2231 ± 91
	12K12-3		4.62 ± 0.45	1377 ± 134		12K28-3		2.10 ± 0.18	611 ± 54
12K13	12K13-1		29.7 ± 1.5	1397 ± 70	12K29	12K29-1		13.3 ± 0.3	4056 ± 102
	12K13-3		12.1 ± 0.7	3954 ± 214		12K29-3		6.17 ± 0.39	2013 ± 126
12K14	12K14-1		5.18 ± 0.28	1160 ± 62	12K30	12K30-1		3.29 ± 0.28	858 ± 72
	12K14-3		12.0 ± 0.5	3327 ± 146	12K31	12K31-1		7.46 ± 0.26	2704 ± 95
12K15	12K15-1		14.9 ± 1.0	2007 ± 139		12K31-3		12.1 ± 0.6	3077 ± 158
	12K15-3		9.09 ± 0.512	3168 ± 178					
12K16	12K16-1		3.02 ± 0.205	543 ± 37					
	12K16-3		8.64 ± 0.518	1532 ± 92					



Appendix XIV  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{239,240}\text{Pu}$  activities, and  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  atomic ratios in soils collected in the direction of Pavlodar region in 2006.

Sample No.	Total weight (g)	Activity concentration		Inventory		Activity ratio		Atomic ratio* $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$
		$^{137}\text{Cs}$ (Bq/kg)	$^{239,240}\text{Pu}$ (Bq/kg)	$^{137}\text{Cs}$ (Bq/m <sup>2</sup> )	$^{239,240}\text{Pu}$ (Bq/m <sup>2</sup> )	$^{238}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$	$^{239,240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$	
06P1-1	807.43	4.61 ± 0.22	0.488 ± 0.031	2148 ± 101	227 ± 6		0.106 ± 0.008	0.082 ± 0.008
06P1-2	778.06	5.5 ± 0.18	0.421 ± 0.025	2469 ± 80	189 ± 7		0.077 ± 0.005	0.099 ± 0.011
06P2-1	702.33	2.73 ± 0.19	5.676 ± 0.378	1107 ± 77	2299 ± 54	0.010 ± 0.002	2.077 ± 0.200	0.042 ± 0.001
06P2-2	658.10	5.54 ± 0.18	0.864 ± 0.043	2101 ± 69	328 ± 5		0.156 ± 0.009	0.066 ± 0.003
06P3-1	629.01	4.16 ± 0.27	0.284 ± 0.016	1508 ± 97	103 ± 4		0.068 ± 0.006	0.101 ± 0.008
06P3-2	619.25	5.64 ± 0.33	0.923 ± 0.092	2016 ± 119	330 ± 18		0.163 ± 0.019	0.068 ± 0.006
06P4	591.57	8.64 ± 0.27	0.936 ± 0.049	2946 ± 93	319 ± 5		0.108 ± 0.007	0.077 ± 0.004
06P5	813.53	2.85 ± 0.15	0.440 ± 0.036	1335 ± 71	207 ± 6		0.155 ± 0.015	0.068 ± 0.008
06P6	531.09	3.69 ± 0.25	0.514 ± 0.024	1130 ± 78	157 ± 5		0.139 ± 0.012	0.066 ± 0.007
06P7	826.40	3.18 ± 0.17	0.584 ± 0.009	1517 ± 82	279 ± 6	0.021 ± 0.002	0.184 ± 0.010	0.072 ± 0.006
06P8	875.96	1.76 ± 0.13	0.071 ± 0.005	888 ± 65	35.9 ± 4.6	0.052 ± 0.017	0.040 ± 0.004	0.195 ± 0.051
06P9	868.20	1.76 ± 0.13	0.076 ± 0.007	882 ± 66	38.2 ± 2.5		0.043 ± 0.005	0.185 ± 0.008
06P10	836.19	4.69 ± 0.19	0.221 ± 0.020	2262 ± 91	107 ± 13		0.047 ± 0.005	0.153 ± 0.023
06P11	825.73	4.54 ± 0.23	0.261 ± 0.017	2163 ± 109	124 ± 5		0.057 ± 0.005	0.138 ± 0.013
06P12	832.06	4.98 ± 0.16	0.239 ± 0.015	2388 ± 76	115 ± 7	0.057 ± 0.014	0.048 ± 0.003	0.167 ± 0.021
06P13	780.22	2.53 ± 0.16	0.105 ± 0.011	1138 ± 74	47.3 ± 6.5		0.042 ± 0.005	0.192 ± 0.030
06P14	906.09	0.52 ± 0.08	0.013 ± 0.003	271 ± 40	6.76 ± 0.76		0.025 ± 0.007	
06P15	826.59	1.73 ± 0.12	0.071 ± 0.005	825 ± 56	33.8 ± 2.3		0.041 ± 0.004	
06P16	808.88	4.17 ± 0.27	0.480 ± 0.027	1947 ± 127	224 ± 8		0.115 ± 0.010	0.077 ± 0.004
06P17	828.86	3.27 ± 0.17	0.611 ± 0.030	1564 ± 83	292 ± 9	0.022 ± 0.005	0.187 ± 0.014	0.078 ± 0.005
06P18	815.47	1.92 ± 0.18	0.140 ± 0.006	902 ± 83	66.1 ± 3.2	0.021 ± 0.006	0.073 ± 0.008	0.130 ± 0.011
06P19	783.44	3.31 ± 0.19	0.152 ± 0.016	1497 ± 84	68.6 ± 4.7		0.046 ± 0.005	0.158 ± 0.017
06P20	752.39	0.96 ± 0.11	0.038 ± 0.002	418 ± 47	16.7 ± 3.6	0.029 ± 0.009	0.040 ± 0.005	0.190 ± 0.038
06P21	787.63	3.31 ± 0.15	0.539 ± 0.025	1502 ± 68	245 ± 11	0.018 ± 0.005	0.163 ± 0.010	0.067 ± 0.002
06P22	824.06	2.75 ± 0.19	0.304 ± 0.011	1308 ± 92	145 ± 8	0.017 ± 0.004	0.111 ± 0.009	0.068 ± 0.013
06P23	775.83	6.7 ± 0.38	0.999 ± 0.032	3000 ± 169	447 ± 14		0.149 ± 0.010	0.045 ± 0.005

\* Typical value of  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  atomic ratio for global fallout is ca. 0.18, while its value for atomic bomb Pu is around 0.05.

Appendix XIV-2 (continued): Results of <sup>137</sup>Cs in soil samples from Shcherbakty in 2007.

Sample No.	<sup>137</sup> Cs	
	(Bq/kg)	(Bq/m <sup>2</sup> )
Ch1	1-1	8.47 ± 0.24
	1-2	5.49 ± 0.21
	1-3	4.49 ± 0.19
Ch2	2-1	1.89 ± 0.13
	2-2	4.73 ± 0.21
	2-3	1.08 ± 0.11
Ch3	3-1	2.74 ± 0.18
	3-2	4.03 ± 0.19
	3-3	4.38 ± 0.18
Ch4	4-1	5.76 ± 0.22
	4-2	4.10 ± 0.13
	4-3	3.06 ± 0.17
Ch5	5-1	0.18 ± 0.12
	5-2	1.49 ± 0.14
	5-3	0.64 ± 0.12

All <sup>137</sup>Cs data are the values on the sampling date

Appendix XV Results of <sup>137</sup>Cs concentrations in soils from Kanoneruka Regions (sampling: 2008/9/9)

Sampling site	Sample No.	Cs-137* (Bq/kg)	Cs-137 (Bq/m <sup>2</sup> )	Geo.mean Cs-137 (Bq/m <sup>2</sup> )	K-40 (Bq/kg)	Natural radionuclides		
						Ra-226 (Bq/kg)	Ra-226 (Bq/kg)	Ra-228 (Bq/kg)
08H1	1-1	3.56 ± 0.16	1284.7 ± 58.0		686.6 ± 7.1	12.92 ± 0.35	13.34 ± 0.62	
	1-2	7.19 ± 0.23	2172.1 ± 68.0		618.8 ± 7.4	12.52 ± 0.39	12.34 ± 0.67	
	1-3	3.97 ± 0.17	1233.6 ± 53.8	<b>1509.9</b>	513.7 ± 6.8	11.61 ± 0.37	10.44 ± 0.64	
08H2	2-1	3.27 ± 0.12	908.1 ± 33.1		675.9 ± 5.5	11.45 ± 0.27	12.73 ± 0.49	
	2-2	5.83 ± 0.18	1799.8 ± 54.1		698.9 ± 6.6	11.71 ± 0.32	13.08 ± 0.58	
	2-3	5.32 ± 0.19	1600.8 ± 56.6	<b>1377.9</b>	694.6 ± 7.2	13.36 ± 0.37	14.22 ± 0.66	
08H3	3-1	4.90 ± 0.18	1901.0 ± 71.0		681.5 ± 7.2	13.81 ± 0.37	14.11 ± 0.66	
	3-2	3.68 ± 0.16	1407.5 ± 62.3		695.2 ± 7.2	12.87 ± 0.36	13.19 ± 0.64	
	3-3	6.55 ± 0.15	1834.3 ± 43.0	<b>1699.4</b>	682.4 ± 5.5	12.64 ± 0.28	14.33 ± 0.50	
08H4	4-1	6.15 ± 0.21	2138.1 ± 74.7		667.8 ± 7.6	13.81 ± 0.39	13.67 ± 0.68	
	4-2	3.24 ± 0.16	1105.0 ± 53.8		671.3 ± 7.2	12.72 ± 0.36	13.99 ± 0.65	
	4-3	5.88 ± 0.19	1255.1 ± 41.2	<b>1436.7</b>	663.2 ± 6.7	13.01 ± 0.35	13.95 ± 0.62	
08H5	5-1	6.08 ± 0.16	2178.2 ± 58.3		685.2 ± 5.8	14.21 ± 0.31	14.87 ± 0.55	
	5-2	4.87 ± 0.16	1563.0 ± 52.1		685.7 ± 6.2	11.21 ± 0.30	12.52 ± 0.57	
	5-3	4.74 ± 0.18	1296.7 ± 49.8	<b>1640.5</b>	665.3 ± 7.1	14.08 ± 0.37	15.47 ± 0.66	
08H6	6-1	16.31 ± 0.27	3866.8 ± 63.9		523.5 ± 5.6	15.12 ± 0.35	14.53 ± 0.59	
	6-2	12.28 ± 0.30	2663.0 ± 64.2		529.0 ± 7.0	16.18 ± 0.44	15.00 ± 0.74	
	6-3	8.07 ± 0.25	2269.2 ± 71.5	<b>2858.9</b>	562.0 ± 7.4	16.35 ± 0.46	17.08 ± 0.79	
08H7	7-1	12.15 ± 0.27	4089.3 ± 89.8		651.3 ± 7.0	13.42 ± 0.38	14.61 ± 0.67	
	7-2	8.96 ± 0.24	2896.2 ± 78.5		642.8 ± 7.3	10.83 ± 0.37	11.53 ± 0.65	
	7-3	8.13 ± 0.23	2879.8 ± 82.1	<b>3243.0</b>	654.6 ± 7.2	12.02 ± 0.37	13.62 ± 0.68	
08H8	8-1	8.34 ± 0.16	3124.9 ± 58.8		682.1 ± 4.9	9.41 ± 0.22	10.39 ± 0.40	
	8-2	8.73 ± 0.26	3364.3 ± 101.6		686.2 ± 8.2	10.23 ± 0.38	11.70 ± 0.69	
	8-3	11.86 ± 0.30	4383.4 ± 109.3	<b>3585.2</b>	674.7 ± 8.0	10.77 ± 0.38	11.23 ± 0.65	
08H9	9-1	7.82 ± 0.19	3043.9 ± 74.1		654.6 ± 6.0	14.81 ± 0.33	17.83 ± 0.62	
	9-2	8.21 ± 0.24	3354.7 ± 97.1		658.6 ± 7.5	14.46 ± 0.40	16.50 ± 0.74	
	9-3	8.85 ± 0.20	3745.0 ± 85.6		658.8 ± 6.2	14.68 ± 0.33	17.17 ± 0.62	
08H10	10-1	8.68 ± 0.14	3780.9 ± 60.8		662.9 ± 4.3	14.95 ± 0.24	16.32 ± 0.44	
	10-2	6.44 ± 0.23	2674.8 ± 95.7		670.6 ± 7.9	14.70 ± 0.43	14.56 ± 0.77	
	10-3	10.83 ± 0.40	3985.1 ± 146.2	<b>3428.5</b>	651.9 ± 10.9	14.44 ± 0.60	15.35 ± 1.05	
08H11	11-1	19.45 ± 0.20	6858.7 ± 68.8		645.6 ± 4.2	10.79 ± 0.21	10.80 ± 0.38	
	11-2	24.65 ± 0.48	8902.0 ± 174.6		692.8 ± 9.8	9.80 ± 0.46	10.63 ± 0.80	
	11-3	10.69 ± 0.29	4115.5 ± 113.5	<b>6310.3</b>	673.4 ± 8.5	12.77 ± 0.42	10.37 ± 0.70	
08H12	12-1	8.36 ± 0.20	3377.5 ± 78.9		667.1 ± 6.1	11.90 ± 0.31	11.59 ± 0.57	
	12-2	6.79 ± 0.22	2639.5 ± 86.9		641.2 ± 7.6	11.57 ± 0.37	11.90 ± 0.66	
	12-3	4.90 ± 0.14	1985.6 ± 55.5	<b>2606.1</b>	653.7 ± 5.3	11.26 ± 0.26	12.29 ± 0.49	
08H13	13-1	11.90 ± 0.35	2061.7 ± 61.0		151.3 ± 5.0	6.44 ± 0.39	4.31 ± 0.66	
	13-2	16.28 ± 0.29	3419.4 ± 61.0		219.8 ± 4.2	7.56 ± 0.30	5.94 ± 0.50	
	13-3	11.71 ± 0.28	2569.1 ± 60.7	<b>2626.2</b>	272.9 ± 5.1	8.19 ± 0.34	6.09 ± 0.57	
08H14	14-1	1.97 ± 0.11	676.1 ± 36.4		655.9 ± 5.8	16.25 ± 0.32	15.14 ± 0.56	
	14-2	9.26 ± 0.27	2110.9 ± 60.4		586.6 ± 7.6	14.57 ± 0.43	14.07 ± 0.75	
	14-3	5.18 ± 0.12	1825.3 ± 43.9	<b>1375.9</b>	624.2 ± 4.7	15.74 ± 0.26	17.23 ± 0.48	

Forest in the village  
2006/10/1 Cs137 Pu239,240  
3000 Bq/m<sup>2</sup> 53 Bq/m<sup>3</sup> Pu/Cs  
0.0177

\*Values of Cs-137 are as of the date of sampling.

Appendix XVI Accumulated levels of <sup>137</sup>Cs and <sup>239,240</sup>Pu in soils from the areas around the Semipalatinsk Nuclear Test Site where have been measured until now.

Region & District	Sampling date	Sampling location	Number of site	<sup>137</sup> Cs inventory (Bq/m <sup>2</sup> )					<sup>239,240</sup> Pu inventory (Bq/m <sup>2</sup> )									
				Number of Meas.	Lowest	Highest	Mean (Average)	One sigma	Media n	Geo. mean	One sample	Number of Meas.	Lowest	Highest	Mean (Average)	One sigma	Median	Geo. mean
<b>Pavlodar</b>																		
Krivinka	2006/8	in & around the settlement	6	9	1107	2946	1862	634	2016	1766								
Beskaragay	2006/8	in & around the settlement	4	4	888	2264	1387	655	1202	1297								
Akku	2006/8	in & around the settlement	4	4	271	2388	1490	978	1651	1122								
Sheherbakty	2006/8 2007	in & around the settlement	7	16	197	2419	1177	587	1221	1000								
Semenovka	2006/8	in & around the settlement	4	4	418	1502	1181	517	1403	1052								
<b>Beskaragaiskii</b>																		
Izvyestka	1995/10	in & around the settlement	1	1														
Cheremushki	2002/10, 2003/10	in the settlement	15	14	660	8357	3303	2462	2455	2455								
Mostik	1995/10	in & around the settlement	1	7	695	5857	3331	1688	3438	2825								
Mostik	2002/10, 2003/10	in the settlement	5	5	587	2767	1626	784	1627	1452								
Budene	2002/10, 2003/10	in the settlement	13	10	261	6979	2538	1930	2044	1854								
Chagan	1995/10	in & around the settlement	1	5	1056	2755	1868	744	1805	1738								
Dolon	1995/10	in & around the settlement	2	10	405	2187	1294	560	1326	1166								
Dolon	2002/10, 2003/10	in & around the settlement	25	22	788	10314	3957	3039	2751	2944								
Dolon	2005/9	in & around the settlement	25	77	209	9000	3571	2073	3273	2897								
Kanoneruka	2008/9	in & around the settlement	14	42	676	8902	2722	1522	2419	2382								
Dolon→R142→Semipalatinsk	1996/9	side of the road	4	24	1510	7495	3288	1710	2594	2927								
Semipalatinsk	1996/9	in the City	2	13	551	3129	1678	838	1695	1479								
Semipalatinsk→A322→Korosteli	1996/9	side of the road	6	36	1165	9062	2549	1466	2301	2291								
<b>Ust'Kamenogorusk</b>																		
Semipalatinsk→R141→R24→Ust'Kamenogorusk	1997/10	side of the road	4	16	789	5389	2721	1316	2755	2399								
Ust'Kamenogorusk	1997/10	in & around the settlement	6	26	352	7674	2532	1702	2161	2059								
Ust'Kamenogorusk→R10→R147→Semipalatinsk	1997/10	side of the road	9	39	175	6854	2456	1551	2234	2004								
<b>Zhana-Semeyskii, Abaiskii</b>																		
Semipalatinsk→R138→outside Karaul	1999/10	side of the road	17	40	356	4179	2121	1031	2174	1824								
Kasakbulaku	2008/8	in the settlement	5	3	824	1588	1133	402	987	1089								
Karaul	2007-2010	in & around the settlement	39	110	241	9918	2514	2040	1849	1797								
Kundyzy	2008/8	in the settlement	6	17	247	3606	1565	1192	1122	1133								
Semipalatinsk→R139→outside Sarzhal	1999/9	side of the road	5	19	171	3188	1389	258	1269	1117								
Znamenka	1995/10	in the settlement	1	1														
Znamenka	2008/8	in the settlement	5	0														
Sarzhal	1995/10	in & around the settlement	7	33	1295	10689	4201	2448	3129	2881								
Sarzhal	2007-2010	in & around the settlement	50	146	375	17076	4429	3245	3584	3321								
Tailan	1999/9	in the settlement	2	4	6384	14485	10418	4207	10398	9772								
R139→outside Kainar	1999/9	side of the road	4	17	693	5868	2620	1937	1737	2113								
R139→outside Kainar, Abulay, Akubak	2007/8, 2011/10, 2012/8	side of the road, in & around the settlement	79	127	129	7482	1613	1278	1297	1154								
Kainar	2007/8, 2010/9	in & around the settlement	22	64	145	5358	1900	1229	1680	1524								
Total number			400	965														

637

965

400

Appendix XVI-2 Activity ratios of <sup>239,240</sup>Pu/<sup>137</sup>Cs and <sup>238</sup>Pu/<sup>239,240</sup>Pu in soils from areas around the Semipalatinsk Nuclea Test Site where have been measured until now,

Rejion & District	Samping date	Sampling location	Pu-239,240/Cs-137 Activity ratio						Pu-238/Pu-239,240 iActivity ratio									
			Number of site	Number of Meas.	Lowest	Highest	Mean (Average)	One sigma	Median	Geo. mean	One sample	Number of Meas.	Lowest	Highest	Mean (Average)	One sigma	Median	Geo. mean
<b><i>Pavlodar</i></b>																		
Krivinka	2006/8	in & around the settlement	6	9	0.068	2.08	0.339	0.653	0.137	0.160	1	0.021	0.052	0.037	0.021	0.037	0.037	0.010
Beskaragay	2006/8	in & around the settlement	4	4	0.040	0.184	0.079	0.07	0.045	0.062	2							0.057
Akku	2006/8	in & around the settlement	4	4	0.025	0.057	0.0043	0.045	0.045	0.041	1							0.022
Shcherbakty	2006/8, 2007	in & around the settlement	7	2	0.115	0.187	0.151				1							
Semenovka	2006/8	in & around the settlement	4	4	0.0046	0.163	0.09	0.058	0.076	0.076	3	0.017	0.029	0.021	0.007	0.018	0.021	
<b><i>Beskaragayskii</i></b>																		
Izvyestka	1995/10	in & around the settlement	1	2	0.037	0.092	0.065	0.039	0.065	0.058	2	0.002	0.03	0.016	0.029	0.016	0.0076	
Cheremushki	2002/10, 2003/10	in the settlement	15	4	0.638	2.09	1.354	0.625	1.345	1.235	4	0.031	0.04	0.037	0.004	0.037	0.037	
Mostik	1995/10	in & around the settlement	1	3	0.11	0.26	0.19	0.075	0.200	0.179	3	0.019	0.029	0.023	0.006	0.020	0.022	
Mostik	2002/10, 2003/10	in the settlement	5	2	0.05	0.177	0.114	0.09	0.114	0.177	1							0.039
Budene	2002/10, 2003/10	in the settlement	13	5	0.21	1.26	1.256	0.435	0.756	0.635	4	0.034	0.039	0.036	0.0022	0.036	0.036	
Chagan	1995/10	in & around the settlement	1	2	0.024	0.069	0.0465	0.032	0.0465	0.041	2	0.025	0.025	0.025	0.004	20.025	0.025	
Dolon	1995/10	in & around the settlement	2	2	1.32	1.50	1.41	1.124	1.41	1.410	2	0.034	0.039	0.037	0.004	0.037	0.037	
Dolon	2002/10, 2003/10	in & around the settlement	25	8	0.30	1.49	1.00	0.437	1.124	0.830	9	0.03	0.046	0.038	0.0047	0.038	0.038	
Dolon	2005/9	in & around the settlement	2	78	0.25	5.68	1.21	1.07	0.955	0.993	77	0.019	0.058	0.0356	0.0086	0.036	0.035	
Kanoneruka	2008/9	in & around the settlement	14	1							0.149							0.045
Dolon→R142→Semipalatinsk	1996/9	side of the road	4	8	0.037	0.657	0.242	0.235	0.170	0.154	8	0.021	0.038	0.030	0.01	0.026	0.029	
Semipalatinsk	1996/9	in the City	2	5	0.019	0.053	0.035	0.0067	0.034	0.033	5	0.022	0.047	0.030	0.010	0.026	0.029	
Semipalatinsk→A322→Korosteli	1996/9	side of the road	6	12	0.018	0.083	0.052	0.017	0.052	0.049	12	0.024	0.043	0.03	0.0064	0.0295	0.030	
<b><i>Ust'Kamenogorsk</i></b>																		
Semipalatinsk→R141→R24→Ust'Kamenogorsk	1997/10	side of the road	4	8	0.035	0.079	0.06	0.016	0.059	0.058								
Ust'Kamenogorsk	1997/10	in & around the settlement	6	12	0.018	0.09	0.056	0.019	0.061	0.052								
Ust'Kamenogorsk→R10→R147→Semipalatinsk	1997/10	side of the road	9	15	0.026	0.084	0.047	0.016	0.041	0.044								
<b><i>Zhana-Semeyskii, Abaiskii</i></b>																		
Semipalatinsk→R138→outside Karaul	1999/10	side of the road	17	12	0.038	0.126	0.074	0.027	0.078	0.070	12	0.008	0.046	0.029	0.012	0.031	0.026	
Kasukabulaku	2008/8	in the settlement	5	3	0.164	0.515	0.295	0.191	0.207	0.260	13	0.0081	0.052	0.025	0.012	0.022	0.022	
Karaul	2007-2010	in & around the settlement	39	110	0.037	0.618	0.170	0.0786	0.1556	0.155	32	0.0021	0.0579	0.0157	0.0126	0.0117	0.0119	
Kundyzy	2008/8	in the settlement	6	17	0.043	0.173	0.111	0.027	0.115	0.107	16	0.012	0.048	0.0264	0.0121	0.0289	0.024	
Semipalatinsk→R139→outside Sarzhai	1999/9	side of the road	5	5	0.032	0.245	0.121	0.085	0.085	0.096	5	0.024	0.041	0.031	0.0075	0.030	0.030	
Znaenka	1995/10	in the settlement	1	1							0.055							
Znaenka	2008/8	in the settlement	5	0							11	0.039	0.18	0.113	0.045	0.119	0.104	
Sarzhai	1995/10	in & around the settlement	7	10	0.10	0.30	0.189	0.065	0.18	0.177	10	0.005	0.013	0.0089	0.003	0.0085	0.0084	
Sarzhai	2007-2010	in & around the settlement	50	146	0.033	1.475	0.235	0.198	0.189	0.184	77	0.0016	0.107	0.0137	0.017	0.0095	0.0093	
Talain	1999/9	in the settlement	2	1							0.151							0.0065
R139→outside Kainar	1999/9	side of the road	4	4	0.016	0.082	0.041	0.0285	0.033	0.031	4	0.052	0.085	0.0638	0.0162	0.060	0.062	
R139→outside Kainar, Abulay, Akubulak	2007/8, 2011/10, 2012/8	side of the road, in & around the settlement	79	48	0.035	0.796	0.201	0.123	0.188	0.173	48	0.018	0.091	0.063	0.0152	0.065	0.061	
Kainar	2007/8, 2010/9	in & around the settlement	22	64	0.027	0.303	0.106	0.047	0.096	0.098	62	0.018	0.0063	0.0432	0.0133	0.043	0.040	

ISSN 1342-5935

---

**IPSHU研究報告シリーズ**  
**研究報告No.55**

旧ソ連セミパラチンスク核実験場周辺集落の環境放射能汚染：  
サルジャー、カラウル及びカイナル集落とパブロダール州南部の集落

---

2018年3月発行

発 行 広島大学平和科学研究センター  
〒730-0053 広島市中区東千田町1-1-89  
TEL: 082-542-6975 FAX: 082-245-0585  
E-mail: [heiwa@hiroshima-u.ac.jp](mailto:heiwa@hiroshima-u.ac.jp)  
URL: <http://home.hiroshima-u.ac.jp/heiwa/>

印 刷 株式会社 ニシキプリント  
〒733-0833 広島市西区商工センター7丁目5-33

---

© 2018広島大学平和科学研究センター