

セミパラチンスク核実験場近郊住民の被曝線量体系構築と健康影響研究
ーデータベース構築による放射線のリスク推定ー

(課題番号：17406001)

平成17～18年度科学研究費補助金（基盤研究（B））
研究成果報告書



平成19年3月

研究代表者： 星 正 治
(広島大学原爆放射線医科学研究所 教授)

セミパラチンスク核実験場近郊住民の被曝線量体系構築と健康影響研究
—データベース構築による放射線のリスク推定—

目 次

はしがき	.....	1
研究組織	.....	4
研究経費	.....	5
研究発表	.....	7
研究成果	.....	27
発表論文, および資料	.....	69

はしがき

本科学研究費による研究はセミパラチンスク旧ソ連核実験場からの放射線の汚染とその被ばく、とその影響であり、過去の研究を含めすでに12年目を終了した。長期間の研究である。核実験場内で核実験が行われたが、核実験場の外に住んでいてそこから飛来した放射能による汚染と被ばくが発生した。本研究はセミパラチンスク旧ソ連核実験場近郊住民の核実験による人体への被ばく線量評価とその人体影響調査が目的である。

セミパラチンスク核実験場はカザフスタン共和国にあり、旧ソ連時代に1949年から1990年まで合計467回の核実験が行われた。その後この核実験が原因で、近くに住んでいる人々への放射線の影響があったとされている。多くの報道があり、数十万人が被曝したと言われている。

われわれの研究グループも平成6年の研究所の改組以来、研究テーマとし研究活動を開始した。ここはチェルノブイリと異なり放射能汚染は少ないが、被曝線量は大きい。その違いは、核実験場内で核爆発を引き起こし、それが核実験場の外に流れ出て多くの村落や町を通過したその下に住んでいる住民を被ばくさせた。たとえば、もっとも被ばくが大きかったとされるドロソ村は1グレイ相当の被曝があったとされる。

文部省の科学研究費補助金を平成7年から現在まで2年ごとに継続して受領してきた。本年(平成19年)は平成17年度から18年度にかけて受領した日本学術振興会の科学研究費補助金を使って行われた研究の報告である。

研究の内容としては、プルトニウム、セシウムなどの土壌汚染、人体の骨や臓器などの汚染、人の歯を使った外部被曝線量評価、煉瓦を使った外部被曝線量評価などを行ってきた。これらにより、核実験により人々が本当に被曝したことを証明した。その後、人の影響調査を進め、甲状腺の検診、血液の甲状腺ホルモンの測定、血液の染色体異常の検出、個人被曝線量の評価などの分野に関しても研究を継続的に続けている。まず甲状腺の異常は放射線に感受性のある結節が多発している。個人の被曝線量評価は、現地の放射線医学環境研究所のグループ(アプサリコフ氏、チャイジュヌソバ氏等)やモスクワのオブニンスク(ステパネンコ氏等)およびモスクワの放射線生物物理学研究所(シンカレフ氏等)との共同研究で進めている。また、すでにドイツのグロッシュェのグループは2万人の放射線医学環境研究所のコホートを使って発ガンリスクを解析し求めている。論文発表(Radiat. Res. 164, 409-419, 2005)もされている。しかしながら、この中の被ばく線量はクラキナ氏がグシェフ所長の下で解析した値である。この値は今回の研究の成果で下に述べるが半分以下になる可能性がある。そして、線量はリスクを求める際にその分母となっているので、リスクは2倍以上になることになる。

また、歯学部専門家とも共同研究している。口の奇形である発生異常、虫歯の多さなどを調べた。被曝地のサルジャル村と、被曝していないコクペクティ村との比較で明確な差が出てきた。これらはいずれも被曝量が大きいことを示していて、問題が大きいことが分かっている。

また、セミパラチンスク近郊住民の心的影響を調べるためのアンケート調査も進めている。このアンケートには健康に関わる内容に加えて、被曝者の被曝時の証言を書き込んでもらった。これは、広島と長崎で、被曝の影響を見るため、物理的な線量ではなくアンケートで心的問題を調査しその結果が出ていることによる。これらの調査で物理的な線量は小さくとも健康影響があることが広島や長崎で分かってきた。また被曝の証言の収集は、過去にセミパラチンスクで調査さ

れたことはなく非常に貴重であると考えられる。これらの調査も引き続き行った。

さらに、被曝のデータ解析のため、計算機を現地に導入して新たなシステムを入れた。それまではデータを必要とした際には、その都度情報を出してもらっていた。しかし、それぞれのデータベースを有機的に結びつけ解析するためには専用のシステムが必要となったことにより導入した。現在、各種データの入力が続けていて合計で13.6万人分のデータができています。またそのための専門の担当者のトレーニングを実行した。

また特筆すべきことは、2005年3月9日-11日の3日間にわたって広島大学の広仁会館で開催したワークショップであり、そのまとめをサプリメント (Journal of Radiation research 47 sup. A1-A224, 2006. (29 papers)) として発行したことである。これらは、主題：「セミパラチンスク核実験場近郊住民の被曝線量推定のための国際相互比較」で、3rd Dosimetry Workshop on the Semipalatinsk Nuclear Test Site (10th Hiroshima International Symposium) を兼ねている。主催：広島大学原爆放射線医科学研究所、共催：広島大学21世紀COEプログラム「放射線災害医療開発の先端的研究教育拠点」、日本放射線影響学会、支援：独立行政法人日本学術振興会(JSPS) (代表：星 正治)、である。これは、ヘルシンキ2001年、セミパラチンスク2002年を受けて開催された第3回目のワークショップである。

これまで、線量評価の結果については、その方法により大きな差異があったが、このワークショップでそれが解消した。内容としては、ドロン村での結果について議論し、1. 煉瓦のTLDによる測定、2. 歯のESR法による測定、3. 放射能の雲の計算による方法、4. 土壌汚染(Cs-137等)の測定と線量評価、5. 染色体異常などの結果であった。結論として、煉瓦が、空中線量で0.5グレイ位、歯が0.1から0.5グレイ、土壌汚染からの計算が0.5グレイ位との結果が出された。また計算は0.5グレイ位となり矛盾は解消した。また染色体異常の研究は明確ではなかったが、0.3グレイ位の評価も出された。結論として矛盾はない。今まで0から2グレイまでの大きな幅で評価法によって異なっていたことが、空中線量で0.5グレイと収束した。ただ、ドロン村の近郊で第1回目の旧ソ連の核実験の放射能の雲の通過位置と方向が問題となったので、横切る形でサンプリングを行った。10kmに渡って約500m毎に採取し、セシウムとプルトニウムを測定した。歯を集めESR法による測定を行った。血液を採取し染色体異常や遺伝子の突然変異を調べた。これらは、正確な被曝線量推定のための基礎資料とする。

また、線量評価のための問診表を作成し問診し、個人線量評価方法の確立のための作業を開始した。I-131(半減期8.0日)の線量評価のため、同位体であるI-129(半減期 1.6×10^7 年)の測定を行った。被曝者の心的影響、証言等を集め被曝の影響を検討した。現地にすでに存在している検診データのコンピューター入力を進めている。

今までの線量評価はこれらの方法により全く異なっていたが、これまでの研究を集大成し結論を得た。これによりセミパラチンスク核実験場近郊住民の正しい被曝線量評価が実現することになった。これは、論文集に (Journal of Radiation research 47 sup. A1-A224, 2006. (29 papers)) まとめた。

今後の課題として、ドロン村だけでなく他の村の線量評価を進める。またそれぞれの村について個人被曝線量推定研究を進める。セミパラチンスクでの放射線被曝によるリスク見積もりもドイツのグループとも連携して放射線のリスク計算の準備を開始した。

以上述べたように、この地域の住民は大きな線量の被曝が認められる。住民が数多い地域での

被曝は広島・長崎以外では存在しない。また放射線被曝の問題では低線量・低線量率の問題が最近クローズアップされている。この地域は大線量から低線量の被曝まで含み、全てが低線量率の被曝である。人への被曝で影響が認められるほどまで人口が多く、ある程度大きい被曝があるところとしては、この地域が唯一であろう。従って、低線量・低線量率被ばくのリスク解明のため、今後さらに多方面で詳細で継続的な研究がますます必要である。

研究組織

- 研究代表者 : 星 正 治 (広島大学原爆放射線医科学研究所 教授)
- 研究分担者 : 遠 藤 暁 (広島大学原爆放射線医科学研究所 助教授)
田中 憲一 (広島大学原爆放射線医科学研究所 助手)
片山 博昭 ((財)放射線影響研究所情報技術部 部長)
大 瀧 慈 (広島大学原爆放射線医科学研究所 教授)
岡本 哲治 (広島大学大学院医歯薬学総合研究科 教授)
豊 田 新 (岡山理科大学理学部 助教授)
川野 徳幸 (広島大学原爆放射線医科学研究所 助手)
原田 結花 (広島大学原爆放射線医科学研究所 助手)
山本 政儀 (金沢大学自然計測応用研究センター 教授)
木村 昭郎 (広島大学原爆放射線医科学研究所 教授)
- 研究協力者 : Kazbek N. Apsalikov (カザフ放射線医学環境研究所)
Nailya J. Chaizhunossova (カザフ放射線医学環境研究所)
Boris I. Gusev (カザフ放射線医学環境研究所)
Zhaxybay S. Zhumadilov (セミパラチンスク医科大学)
Valeri F. Stepanenko (ロシア医学アカデミー放射線医学研究所)
武市 宣雄 (武市クリニック)
山田 英雄 (医療・技術ロシア語通訳・翻訳)
平 岡 敬 (ヒロシマ・セミパラチンスク・プロジェクト)
松尾 雅嗣 (広島大学平和科学研究センター)
今中 哲二 (京都大学原子炉実験所)
福 谷 哲 (京都大学原子炉実験所)
宮澤 忠蔵 (奥羽大学歯学部)
坂 口 綾 (金沢大学大学院自然科学研究科)
富田 純平 (金沢大学大学院自然科学研究科)
カシム・ズマジーロフ (広島大学大学院医歯薬学総合研究科)
イリダナ・テレウハン (新疆師範大学)
焦 玲 (広島大学大学院医歯薬学総合研究科)
平林今日子 (広島大学大学院医歯薬学総合研究科)
ディナーラ・ジャルリガノワ (広島大学大学院医歯薬学総合研究科)
デボルシ・バタチャルジー (広島大学大学院医歯薬学総合研究科)
ジョイータ・バタチャルジー (広島大学大学院医歯薬学総合研究科)
寺沢 奈々 (広島大学大学院医歯薬学総合研究科)
原田 浩徳 (広島大学原爆放射線医科学研究所)
飯田 昭三 (広島大学原爆放射線医科学研究所)

佐々木正夫 (京都大学)
 高辻 俊宏 (長崎大学環境科学部)
 田中 公夫 ((財) 環境科学技術研究所)
 佐藤 齊 (茨城県立医療大学保健医療学部)
 蓮中 正彦 ((財) 放射線影響研究所情報技術部)
 峠岡 康幸 (広島大学大学院医歯薬総合研究科)
 小嶋知恵子 (ヒロシマ・セミパラチンスク・プロジェクト)
 橋村ますみ (ヒロシマ・セミパラチンスク・プロジェクト)
 Rafail Rozenson (Astana National Medical Academy, Kazakhstan)
 Ian Bailiff (University of Durham, UK)
 Steven L. Simon (National Cancer Institute, USA)
 Yeter H. Göksu (GSF, Germany)
 Alexander Ivannikov (MRRC of RAMS, Russia)
 Alexander Romanyukha (USUHS, USA)
 Sergey Pivovarov (National Nuclear Center, Kazakhstan)
 Valeriy Skvortsov (MRRC of RAMS, Russia)
 Igor K. Khvostunov (MRRC of RAMS, Russia)
 Natalia Semioschkina (GSF-ISS, Germany)
 Mark Orlov (MRRC of RAMS, Russia)
 Sergey Shinkarev (Institute of Biophysics, Russia)
 Natallia Savva (Belarusian Research Center for Pediatric Oncology and Hematology)
 Yuriy Yakovlev (Kazakh Research Institute for Radiation Medicine and Ecology)
 Vladislav Golikov (Research Institute of Radiation Hygiene, Russia)

研究経費

交付決定額 (配分額)

(金額単位：千円)

	直接経費	間接経費	合計
平成17年度	7,000	0	7,000
平成18年度	6,500	0	6,500
総計	13,500	0	13,500

研究発表

(1) 学会誌等

1. Zhumadilov, K., Ivannikov, A., Skvortsov, V., Stepanenko, V., Zhumadilov, Zh., Endo, S., Tanaka, K., and Hoshi, M.: Tooth Enamel EPR Dosimetry: Optimization of EPR Spectra Recording Parameters and Effect of Sample Mass on Spectral Sensitivity. *J. Radiat. Res.*, 46 (4), 435-442, 2005.
2. Imanaka, T., Fukutani, S., Yamamoto, M., Sakaguchi, A. and Hoshi, M.: Width and Center-axis Location of the Radioactive Plume That Passed Over Dolon and Nearby Villages on the Occasion of the First USSR A-bomb Test in 1949. *Journal of Radiation Research*, 46 (4), 395-399, 2005.
3. Marennny, M., Shinkarev, S. M., Penezhev, A. V., Savkin, M. N., Hoshi, M.: Assessment of exposure to the population of Russia from radon. In: *High Levels of Natural Radiation and Radon Areas: Radiation Doses and Health Effects. Proceedings of the 6th International Conference on high levels of natural radiation and radon areas, held in Osaka, Japan September 6-10, 2004.* Eds.: T. Sugahara, H. Morishima, M. Sohrabi, Y. Sasaki, I. Hayata, S. Akiba. Elsevier, Amsterdam, 352-353, 2005.
4. Marennny, M., Shinkarev, S. M., Penezhev, A. V., Morozov, Yu. A., Frolova, A. V., Morozov, Yu. A., Okhrimenko, S. E., Savkin, M. N., Hoshi, M.: Assessment of exposure to the population of Moscow from natural sources of radiation. In: *High Levels of Natural Radiation and Radon Areas: Radiation Doses and Health Effects. Proceedings of the 6th International Conference on high levels of natural radiation and radon areas, held in Osaka, Japan September 6-10, 2004.* Eds.: T. Sugahara, H. Morishima, M. Sohrabi, Y. Sasaki, I. Hayata, S. Akiba. Elsevier, Amsterdam, 356-357, 2005.
5. Tikunov, D. D., Ivannikov, A. I., Petin, D. V., Orlenko, S. P., Borysheva, N. B., Nalapko, M. V., Skvortsov, V. G., Stepanenko, V. F., Endo, S., Tanaka, K., Tieliwuhan, E. and Hoshi, M.: EPR spectroscopy and beta-counting measurement of tooth enamel and dentine samples from population of Techa river region in South Ural. *Indian Journal of Radiation Research*, 2 (2), 9-24, 2005.
6. Stepanenko, V. F., Orlov, M. Yu., Voillequ, P. G., Snykov, V. P., Khvelenskiy, Y. A., Volokitin, A. A., Gaziev, Y. I., Kryukova, I. G., Endo, S., Tanaka, K., and Hoshi, M.: ¹³¹I and ¹³⁷Cs fallout in Russia and Belarus following the Chernobyl accident: analysis of archive data relevant to thyroid dose assessment. *Indian Journal of Radiation Research*, 2 (3), 18-37, 2005.
7. Zvonova, I. A., Bratilova, A. A., Pochtennaja, G. T., Hoshi, M.: Chernobyl exposure and thyroid cancer among population of the Bryansk region in Russia. *Proceedings of the 2nd International Conference on Radioactivity in the Environment, 2-6 October 2005, Nice, France, 2005.* Eds. by P. Strand, P. Borretzen & T Jolle, 6-9, 2005.
8. Wieser, A., Debuyst, R., Fattibene, P., Meghzifene, A., Onori, S., Bayankin, S. N., Blackwell, B., Brik, A., Bugay, A., Chumak, V., Ciesielski, B., Hoshi, M., Imata, H., Ivannikov, A., Ivanov, D., Junczewska,

- M., Miyazawa, C., Pass, B., Penkowski, M., Pivovarov, S., Romanyukha, A., Romanyukha, L., Schauer, D., Scherbina, O., Schultka, K., Shames, A., Sholom, S., Skinner, A., Skvortsov, V., Stepanenko, V., Tielewuhan, E., Toyoda, S., Trompier, F.: The 3rd international intercomparison on EPR tooth dosimetry: Part 1, general analysis. *Applied Radiation Isotopes*, 62, 163-171, 2005.
9. Toyoda, S., Tielewuhan, E., Romanyukha, A., Ivannikov, A., Miyazawa, C., Hoshi, M. and Imata, H.: Comparison of three methods of numerical procedures for ESR dosimetry of human tooth. *Applied Radiation Isotopes*, 62, 181-185, 2005.
 10. 星 正治, 遠藤 暁: 新しい原爆線量評価体系 DS02. 臨床技術講座, 日本放射線技術学会雑誌, 61 (8), 1087-1093, 2005.
 11. Cullings, H. M., Fujita, S., Watanabe, T., Yamashita, T., Tanaka, K., Endo, S., Shizuma, K., Hoshi, M., Hasai, H.: *In Situ Measurements Database*, Chapter 4. Sample Collection and Documentation. Reassessment of the Atomic Bomb Radiation Dosimetry for Hiroshima and Nagasaki - Dosimetry System 2002, Volume 1, 223-260, 2005.
 12. Cullings, H. M., Fujita, S., Hoshi, M., Egbert, S. D., Kerr, G. D.: *In Situ Measurements Database*, Chapter 5. Alignment and Referencing of Maps and Aerial Photographs. Reassessment of the Atomic Bomb Radiation Dosimetry for Hiroshima and Nagasaki - Dosimetry System 2002, Volume 1, 261-333, 2005.
 13. Cullings, H. M., Fujita, S., Preston, D. L., Grant, E. J., Shizuma, K., Hoshi, M., Maruyama, T., Lowder, W. M.: *In Situ Measurements Database*, Chapter 6. The RERF Dosimetry Measurements Database. Reassessment of the Atomic Bomb Radiation Dosimetry for Hiroshima and Nagasaki - Dosimetry System 2002, Volume 1, 334-361, 2005.
 14. Maruyama, T., Cullings, H. M., Hoshi, M., Nagatomo, T., Kumamoto, Y., Kerr, G. D.: *In Situ Measurements and Calculations*, Chapter 7. Thermoluminescence Dosimetry for Gamma Rays, Part A. Thermoluminescence Measurements. Reassessment of the Atomic Bomb Radiation Dosimetry for Hiroshima and Nagasaki - Dosimetry System 2002, Volume 1, 362-394, 2005.
 15. Cullings, H. M., Egbert, S. D., Maruyama, T., Hoshi, M., Fujita, S.: *In Situ Measurements and Calculations*, Chapter 7. Thermoluminescence Dosimetry for Gamma Rays, Part B. Comparison of TLD Measurements with DS86 and DS02. Reassessment of the Atomic Bomb Radiation Dosimetry for Hiroshima and Nagasaki - Dosimetry System 2002, Volume 1, 395-455, 2005.
 16. Kerr, G. D., Shizuma, K., Maruyama, T., Cullings, H. M., Komura, K., Okumura, Y., Egbert, S. D., Endo, S.: *In Situ Measurements and Calculations*, Chapter 8. Activation Measurements for Thermal Neutrons, Part A. Cobalt (^{60}Co) Activation. Reassessment of the Atomic Bomb Radiation Dosimetry

for Hiroshima and Nagasaki - Dosimetry System 2002. Volume 2, 456-481, 2005.

17. Shizuma, K., Imanaka, T., Endo, S., Iwatani, K., Hasai, H.: *In Situ* Measurements and Calculations, Chapter 8. Activation Measurements for Thermal Neutrons, Part C. ^{152}Eu Depth Profile Measurements in Japan. Reassessment of the Atomic Bomb Radiation Dosimetry for Hiroshima and Nagasaki - Dosimetry System 2002. Volume 2, 490-496, 2005.
18. Straume, T., Marchetti, A. A., Egbert, S. D., Roberts, J. A., Men, P., Fujita, S., Shizuma, K., Hoshi, M. : *In Situ* Measurements and Calculations, Chapter 8. Activation Measurements for Thermal Neutrons, Part D. ^{36}Cl Measurements in the United States. Reassessment of the Atomic Bomb Radiation Dosimetry for Hiroshima and Nagasaki - Dosimetry System 2002. Volume 2, 497-538, 2005.
19. Hoshi, M., Endo, S., Tanaka, K., Ishikawa, M., Straume, T., Komura, K., Rühm, W., Nolte, E., Huber, T., Nagashima, Y., Fukushima, H., Imanaka, T.: *In Situ* Measurements and Calculations, Chapter 8. Activation Measurements for Thermal Neutrons, Part H. ^{152}Eu and ^{36}Cl Intercomparison Study. Reassessment of the Atomic Bomb Radiation Dosimetry for Hiroshima and Nagasaki - Dosimetry System 2002. Volume 2, 578-587, 2005.
20. Komura, K., Hoshi, M., Endo, S., Imanaka, T., Fukushima, H.: *In Situ* Measurements and Calculations, Chapter 8. Activation Measurements for Thermal Neutrons, Part I. Ultra-Low-Background Measurements of ^{152}Eu in Hiroshima Samples. Reassessment of the Atomic Bomb Radiation Dosimetry for Hiroshima and Nagasaki - Dosimetry System 2002. Volume 2, 588-592, 2005.
21. Endo, S., Tanaka, K., Ishikawa, M., Komura, K., Shizuma, K., Hoshi, M.: *In Situ* Measurements and Calculations, Chapter 10. Factors Affecting Neutron Measurements and Calculations, Part A. Neutron Background *In Situ* Measurements. Reassessment of the Atomic Bomb Radiation Dosimetry for Hiroshima and Nagasaki - Dosimetry System 2002. Volume 2, 722-726, 2005.
22. Endo, S., Hoshi, M., Shizuma, K., Hasai, H.: *In Situ* Measurements and Calculations, Chapter 10. Factors Affecting Neutron Measurements and Calculations, Part D. Trace Elements in Granite. Reassessment of the Atomic Bomb Radiation Dosimetry for Hiroshima and Nagasaki - Dosimetry System 2002. Volume 2, 746-749, 2005.
23. Iwatani, K., Hasai, H., Shizuma, K., Hoshi, M., Oka, T., Endo, S., Imanaka, T.: *In Situ* Measurements and Calculations, Chapter 10. Factors Affecting Neutron Measurements and Calculations, Part F. Water Content in Granite. Reassessment of the Atomic Bomb Radiation Dosimetry for Hiroshima and Nagasaki - Dosimetry System 2002. Volume 2, 755-756, 2005.
24. Endo, S., Tanaka, K., Ishikawa, M., Hoshi, M., Onizuka, Y., Takada, M., Yamaguchi, H., Hayabuchi,

- N., Maeda, N., Shizuma, K.: Microdosimetric evaluation of the 400 MeV/nucleon carbon beam at HIMAC. *Medical Physics*, 32 (12), 3843-3848, 2005.
25. Endo, S., Tanaka, K., Ishikawa, M., Hoshi, M., Onizuka, Y., Takada, M., Hayabuchi, N., Maeda, N., Shizuma, K.: Microdosimetric evaluation of secondary fragments in Phantom produced by therapeutic 290 MeV/nucleon carbon beam at HIMAC. *Proceedings of the 1st Asian Congress of Radiation Research*, 181, 2005.
 26. Tanaka, K., Tieliewuhan, E., Endo, S., Toyoda, S., Romanyukha, A. and Hoshi, M.: Verification of Monte-Carlo-based conversion of imaging plate response for measurement of ^{90}Sr accumulation in teeth. *Proceedings of the 1st Asian Congress of Radiation Research*, 175-176, 2005.
 27. Toyoda, S., Hirata, N., Imata, H., Tieliewuhan, E., Romanyukha, A., Tarasov, O., Tanaka, K., Endo, S. and Hoshi, M.: ESR Dosimetry of Cow Teeth from South Ural Region. *Proceedings of the 1st Asian Congress of Radiation Research*, 175, 2005.
 28. Tieliewuhan, E., Tanaka, K., Toyoda, S., Kadoma, A., Endo, S., Romanyukha, A., Tarasov, O. and Hoshi, M.: Determination Technique ^{90}Sr in Cow Teeth using Imaging Plate. *Proceedings of the 1st Asian Congress of Radiation Research*, 176, 2005.
 29. Tanaka, K., Kobayashi, T., Bengua, G., Nakagawa, Y., Endo, S. and Hoshi, M.: Characteristics of BDE dependent on dose protocol and 10B concentration for BNCT using near-threshold ^7Li (p,n) ^7Be direct neutrons. *Physics in Medicine and Biology*, 50, 167-177, 2005.
 30. Tanaka, K., Kobayashi, T., Bengua, G., Nakagawa, Y., Endo, S. and Hoshi, M.: TPD based evaluation of moderator characteristics for BNCT using ^7Li (p,n) neutrons at proton energy of 2.5 MeV. *Jpn. Jour. Med. Phys.*, 25 (Sup.3-1), 355-358, 2005.
 31. Bengua, G., Tanaka, K., Kobayashi, T. and Nakagawa, Y.: Gaussian proton energy spectrum for BNCT using near threshold ^7Li (p,n) ^7Be neutrons. *Jpn. Jour. Med. Phys.*, 25 (Sup.3-1), 363-366, 2005.
 32. Onizuka, Y., Endo, S., Tanaka, K., Hoshi, M., Ishikawa, M., Sakurai, Y., Kobayahi, T., Hayabuchi, N., Takatsuji, T., Takada, M. and Maeda, N.: Measurement of radiation dose on lateral direction. *Jpn. Jour. Med. Phys.*, 25 (Sup.3-2), 171-172, 2005.
 33. Ishikawa, M., Kumada, H., Yamamoto, K., Kaneko, J., Sakurai, Y. and Tanaka, K.: Upgrade of scintillator with optical fiber detector using compensation of gamma ray and dead-time correction. *Jpn. Jour. Med. Phys.*, 25 (Sup.3-2), 186-188, 2005.
 34. Stepanenko, V. F., Hoshi, M., Bailiff, I. K., Ivannikov, A. I., Toyoda, S., Yamamoto, M., Simon, S. L.,

- Matsuo, M., Kawano, N., Zhumadilov, Z., Sasaki, M. S., Rosenson R. I. and Apsalikov K. N.: Around Semipalatinsk Nuclear Test Site: Progress of dose Estimations Relevant to the Consequences of Nuclear Tests (A summary of 3rd Dosimetry Workshop on the Semipalatinsk Nuclear Test Site Area, RIRBM, Hiroshima University, Hiroshima, 9-11 of March, 2005). *Journal of Radiation Research*, 47, Supplement A, A1-A13, 2006.
35. 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., and Jungner, H.: International Intercomparison of Retrospective Luminescence Dosimetry Method: Sampling and Distribution of the Brick Samples from Dolon' Village, Kazakhstan. *Journal of Radiation Research*, 47, Supplement A, A15-A21, 2006.
36. Sato, H., Hoshi, M., and Takada, J.: Intercomparison of Luminescence Measurements of Bricks from Dolon' Village: Experimental Methodology and Results from Japanese Laboratory. *Journal of Radiation Research*, 47, Supplement A, A23-A28, 2006.
37. Göksu, H. Y., Stepanenko, V. F., Bailiff I. K., and Jungner H.: Intercomparison of Luminescence Measurements of Bricks from Dolon' Village: Experimental Methodology and Results of European Study Group. *Journal of Radiation Research*, 47, Supplement A, A29-A37, 2006.
38. Ivannikov, A., Zhumadilov, K., Tieliewuhan, E., Jiao, L., Zharlyganova, D., Apsalikov, K. N., Berekenova, G., Zhumadilov, Z., Toyoda, S., Miyazawa, C., Skvortsov, V., Stepanenko, V., Endo, S., Tanaka, K. and Hoshi, M.: Results of EPR Dosimetry for Population in the Vicinity of the Most Contaminating Radioactive Fallout Trace After the First Nuclear Test in the Semipalatinsk Test Site. *Journal of Radiation Research*, 47, Supplement A, A39-A46, 2006.
39. Zhumadilov, K., Ivannikov, A., Apsalikov, K. N., Zhumadilov, Z., Toyoda, S., Zharlyganova, D., Tieliewuhan, E., Endo, S., Tanaka, K., Miyazawa, C., Okamoto, T., and Hoshi, M.: Radiation Dose Estimation by Tooth Enamel EPR Dosimetry for Residents of Dolon and Bodene. *Journal of Radiation Research*, 47, Supplement A, A47-A53, 2006.
40. Romanyukha, A., Schauer, D. A. and Malikov, Y.K.: Analysis of Current Assessments and Perspectives of ESR Tooth Dosimetry for Radiation Dose Reconstruction of the Population Residing Near the Semipalatinsk Nuclear Test Site. *Journal of Radiation Research*, 47, Supplement A, A55-A60, 2006.
41. Skvortsov, V., Ivannikov, A., Tikunov, D., Stepanenko, V., Borysheva, N., Orlenko, S., Nalapko, M. and Hoshi, M.: Considerations Regarding the Implementation of EPR Dosimetry for the Population in the Vicinity of Semipalatinsk Nuclear Test Site Based on Experience from Other Radiation Accidents. *Journal of Radiation Research*, 47, Supplement A, A61-A69, 2006.

42. Toyoda, S., Imata, H., Romanyukha, A. and Hoshi, M.: Toward High Sensitivity ESR Dosimetry of Mammal Teeth: The Effect of Chemical Treatment. *Journal of Radiation Research*, 47, Supplement A, A71-A74, 2006.
43. Sevan'kaev, A., Khvostunov, I., Lloyd, D., Voisin, P., Golub, E., Nadejina, N., Nugis, V., Sidorov, O. and Skvortsov, V.: The Suitability of FISH Chromosome Painting and ESR-spectroscopy of Tooth Enamel Assays for Retrospective Dose Reconstruction. *Journal of Radiation Research*, 47, Supplement A, A75-A80, 2006.
44. Tanaka, K., Endo, S., Ivannikov, A., Toyoda, S., Tieliewuhan, E., Zhumadilov, K., Miyazawa, C., Suga, S., Kitagawa, K., and Hoshi, M.: Study on influence of X-ray baggage scan on ESR dosimetry for SNTS using human tooth enamel. *Journal of Radiation Research*, 47, Supplement A, A81-A83, 2006.
45. Yamamoto, M., Hoshi, M., Sakaguchi, A., Shinohara, K., Kurihara, O., Apsalikov, K. N. and Gusev, B. I.: Plutonium and Uranium in Human Bones from Areas surrounding the Semipalatinsk Nuclear Test Site. *Journal of Radiation Research*, 47, Supplement A, A85-A94, 2006.
46. Semioshkina, N. and Voigt, G.: An Overview on GSF Activities at the Semipalatinsk Test Site, Kazakhstan. *Journal of Radiation Research*, 47, Supplement A, A95-A100, 2006.
47. Sakaguchi, A., Yamamoto, M., Hoshi, M., Imanaka, T., Apsalikov, K. N. and Gusev, B. I.: Radiological Situation in the Vicinity of Semipalatinsk Nuclear Test Site: Dolon, Mostik, Cheremushka and Budene Settlements. *Journal of Radiation Research*, 47, Supplement A, A101-A116, 2006.
48. Tieliewuhan, E., Tanaka, K., Toyoda, S., Kadoma, A., Endo, S., Romanyukha, A., Tarasov, O. and Hoshi, M.: ^{90}Sr Concentration in Cow Teeth from South Ural Region, Russia, Using Monte Carlo Simulation. *Journal of Radiation Research*, 47, Supplement A, A117-A120, 2006.
49. Imanaka, T., Fukutani, S., Yamamoto, M., Sakaguchi, A. and Hoshi, M.: External Radiation in Dolon Village Due to Local Fallout from the First USSR Atomic Bomb Test in 1949. *Journal of Radiation Research*, 47, Supplement A, A121-A127, 2006.
50. Gordeev, K., Shinkarev, S., Ilyin, L., Bouville, A., Hoshi, M., Luckyanov, N. and Simon, S. L.: Retrospective Dose Assessment for the Population Living in Areas of Local Fallout from the Semipalatinsk Nuclear Test Site Part I: External Exposure. *Journal of Radiation Research*, 47, Supplement A, A129-A136, 2006.
51. Gordeev, K., Shinkarev, S., Ilyin, L., Bouville, A., Hoshi, M., Luckyanov, N. and Simon, S. L.:

- Retrospective Dose Assessment for the Population Living in Areas of Local Fallout from the Semipalatinsk Nuclear Test Site Part II: Internal Exposure to Thyroid. *Journal of Radiation Research*, 47, Supplement A, A137-A141, 2006.
52. Simon, S. L., Beck, H. L., Gordeev, K., Bouville, A., Anspaugh, L. R., Land, C. E., Luckyanov, N. and Shinkarev, S.: External Dose Estimates for Dolon Village: Application of the U.S./Russian Joint Methodology. *Journal of Radiation Research*, 47, Supplement A, A143-A147, 2006.
 53. Stepanenko, V. F., Hoshi, M., Dubasov, Y. V., Sakaguchi, A., Yamamoto, M., Orlov, M. Y., Bailiff, I. K., Ivannikov, A. I., Skvortsov, V. G., Iaskova, E. K., Kryukova, I. G., Zhumadilov, K. S., Endo, S., Tanaka, K., Apsalikov, K. N. and Gusev, B. I.: A Gradient of Radioactive Contamination in Dolon Village Near the SNTS and Comparison of Computed Dose Values with Instrumental Estimates for the 29 August, 1949 Nuclear Test. *Journal of Radiation Research*, 47, Supplement A, A149-A158, 2006.
 54. Tanaka, K., Iida, S., Takeichi, N., Chaizhunusova, N. J., Gusev, B. I., Apsalikov, K. N., Inaba, T. and Hoshi, M.: Unstable-type Chromosome Aberrations in Lymphocytes from Individuals Living near Semipalatinsk Nuclear Test Site. *Journal of Radiation Research*, 47, Supplement A, A159-A164, 2006.
 55. Chaizhunusova, N., Yang, T. C., Land, C., Luckyanov, N., Wu, H., Apsalikov, K. N. and Madieva, M.: Biodosimetry Study in Dolon and Chekoman Villages in the Vicinity of Semipalatinsk Nuclear Test Site. *Journal of Radiation Research*, 47, Supplement A, A165-A169, 2006.
 56. Takeichi, N., Hoshi, M., Iida, S., Tanaka, K., Harada, Y., Zhumadilov, Z., Chaizhunusova, N., Apsalikov, K. N., Noso, Y., Inaba, T., Tanaka, K. and Endo, S.: Nuclear Abnormalities in Aspirated Thyroid Cells and Chromosome Aberrations in Lymphocytes of Residents near the Semipalatinsk Nuclear Test Site. *Journal of Radiation Research*, 47, Supplement A, A171-A177, 2006.
 57. Taooka, Y., Takeichi, N., Noso, Y., Kawano, N., Apsalikov, K. N., and Hoshi, M.: Increased T-cell Receptor Mutation Frequency in Radiation-Exposed Residents Living near the Semipalatinsk Nuclear Test Site. *Journal of Radiation Research*, 47, Supplement A, A179-A181, 2006.
 58. Zhumadilov, Zh.: Thyroid Nodules in the Population Living Around Semipalatinsk Nuclear Test Site: Possible Implications for Dose-Response Relationships Study. *Journal of Radiation Research*, 47, Supplement A, A183-A187, 2006.
 59. Katayama, H., Apsalikov, K. N., Gusev, B. I., Galich, B., Madieva, M., Koshpessova, G., Abdikarimova, A. and Hoshi, M.: An Attempt to Develop a Database for Epidemiological Research in Semipalatinsk. *Journal of Radiation Research*, 47, Supplement A, A189-A197, 2006.
 60. Kawano, N. and Ohtaki, M.: Remarkable Experiences Of The Nuclear Tests In Residents Near The

Semipalatinsk Nuclear Test Site: Analysis Based On The Questionnaire Surveys. *Journal of Radiation Research*, 47, Supplement A, A199-A207, 2006.

61. Kawano, N., Hirabayashi, K., Matsuo, M., Taooka, Y., Hiraoka, T., Apsalikov, K. N., Moldagaliev, T. and Hoshi, M.: Human Suffering Effects of Nuclear Tests at Semipalatinsk, Kazakhstan: Established On the Basis of Questionnaire Surveys. *Journal of Radiation Research*, 47, Supplement A, A209-A217, 2006.
62. Matsuo, M., Kawano, N., Satoh, K., Apsalikov, K. and Moldgliev, T.: Overall Image of Nuclear Tests and Their Human Effects at Semipalatinsk: An Attempt at Analyses Based On Verbal Data. *Journal of Radiation Research*, 47, Supplement A, A219-A224, 2006.
63. 星 正治 : セミパラチンスク旧ソ連核実験場近郊住民の被曝調査とその意義. 広島大学平和科学研究センターNewsletter 2006 年, 1-2, 2006.
64. 星 正治 : 新しい原爆放射線評価システム DS02 と背景. 応用物理学会放射線分科会誌「放射線」, 32(3), 126-136, 2006.
65. 武市宣雄, 星 正治, 中村靖司, 秋山實利, 佐々木英夫, 前田 亮, 早川式彦, 覚道健一 : 原爆被爆者(広島)の甲状腺癌発生—被曝 60 年で分かってきたこと—. *広島医学*, 59(4), 336-340, 2006.
66. Endo, S., Hoshi, M., Takada, J., Takatsuji, T., Ejima, Y., Saigusa, S., Tachibana, A. and Sasaki, M. S.: Development, Beam Characterization and Chromosoma Effectiveness of X-rays of RBC Characteristic X-ray Generator. *J. Radiat. Res.*, 47 (2), 103-112, 2006.
67. Sasaki, M. S., Endo, S., Ejima, Y., Saito, I., Okamura, K., Oka, Y., Hoshi, M.: Effective Dose Equivalent of A-bomb Radiation in Hiroshima and Nagasaki as Assessed by Chromosomal Effectiveness of Spectrum Energy Photons and Neutrons. *Radiat. Environm. Biophys.*, 45, 79-91, 2006.
68. Toyoda, S., Kadoma, A., Ueda, Y., Tarasov, O., Krylova, E., Romanyukha, A., Tanaka, K., Tielieuhan, E. and Hoshi, M.: Assessment of Sr-90 in cow's teeth using plane optic-stimulated luminescent detectors. Correlation between the obtained data and activity of the soil contaminated due to the Kyshtym accident. *Radiation Safety Problems*, 2, 29-37, 2006. (in Russian).
69. Wieser, A., Debuyst, R., Fattibene, P., Meghziene, A., Onori, S., Bayankin, S.N., Brik, A., Bugay, A., Chumak, V., Ciesielski, B., Hoshi, M., Imata, H., Ivannikov, A., Ivanov, D., Junczewska, M., Miyazawa, C., Penkowski, M., Pivovarov, S., Romanyukha, A., Romanyukha, L., Schauer, D., Scherbina, O., Schultka, K., Sholom, S., Skvortsov, V., Stepanenko, V., Thomas, J. A., Tielewuhan, E.,

- Toyoda, S., Trompier, F.: The third international intercomparison on EPR tooth dosimetry: Part 2, final analysis, *Radiat. Protect. Dosim.* 120, 176-183, 2006.
70. Matsuo, M., Bektorov, Y., Muldagaliyev, T., Apsalikov, K., Hirabayashi, K., Kawano, N.: A Preliminary Study on the Attitudes toward Nuclear Weapons and Nuclear Tests of the Residents of Kurchatov, Kazakhstan. *Hiroshima Peace Science*, 28, 134-154, 2006.
71. 川野徳幸：被曝のひろがり～カザフスタン共和国セミパラチンスク核実験場の核被害～．『広島から世界の平和について考える』．現代史料出版，pp.183-240，2006年7月．
72. Komura, K., Hoshi, M., Endo, S., Imanaka, T., Egbert, S. D., Rühm, W., Fukushima, H. and Fujita, S.: Atomic Bomb Induced ^{152}Eu : Reconciliation of Discrepancy between Measurements and Calculation. *Health Physics*, 92(4), 366-370, 2007.
73. Jiao, L., Takada, J., Endo, S., Tanaka, K., Zhang, Z., Ivannikov, A. and Hoshi, M.: Effects of sunlight exposure on the human tooth enamel ESR spectra used for dose reconstruction. *J. Radiat. Res.*, 48: 21-29, 2007.
74. 川野徳幸，広島大学図書館，星 正治，神谷研二：広島大学「原爆・被ばく関連データベース」の概要と公開の意義．長崎医学会雑誌，81，201-205，2007．
75. 平林今日子，川野徳幸，峠岡康幸，Talgat Muldagaliyev, T., Apsalikov, K., 松尾雅嗣，大瀧 慈，星 正治：セミパラチンスク核実験場近郊住民に対するアンケート調査による放射線障害に関する検討．長崎医学会雑誌，81，276-280，2007．
76. 片山博昭，Apsalikov, K., Gusev, B., Galich, B., Medieva, M., Koshpessova, G., Abdikarimova, A., 星 正治：セミパラチンスク核実験場近郊住民を対象とした疫学データベースの構築と健康影響調査．長崎医学会雑誌，81，281-284，2007．
77. 川野徳幸，平林今日子，大瀧 慈：原爆被爆者の「こころ」と「くらし」における（継続的）被害の実態：朝日新聞「被爆60年アンケート調査」結果を手がかりに．長崎医学会雑誌，81，195-200，2007．
78. Matsuo, M.: Concept of Peace in Peace Studies: A Short Historical Sketch. Vladimir Zelichenko et al (eds.) *Peace Studies and Peace Discourse in Education (IPSHU English Research Report 20)*, 13-26, Also translated into Russian *Vestnik (Tomsk State Pedagogical University)*, 64(1), 52-59, 2007.
79. Tanaka, K., Endo, S., Toyoda, S., Tieliewuhan E., Romanyukha, A., Hoshi, M.: Monte Carlo-based calculation of imaging plate response to ^{90}Sr in teeth: experimental validation of the required correction on sample thickness. *Radiation and Environmental Biophysics*, 46, 2007. (in press)

80. Toyoda, S., Romanyukha, S., Hino, Y., Itano, S., Imata, H., Tarasov, O. and Hoshi, M.: Effect of chemical treatment on ESR Dosimetry of Cow Teeth: Application to the samples from Southern Urals. Radiation Measurements, 2007. (in press)
81. Zhumadilov, K., Ivannikov, A., Apsalikov, K., Zhumadilov, Zh., Zharlyganova, D., Stepanenko, V., Skvortsov, V., Berekenova, G., Toyoda, S., Endo, S., Tanaka, K., Miyazawa C. and Hoshi, M.: Results of tooth enamel EPR dosimetry for population living in the vicinity of the Semipalatinsk Nuclear Test Site. Radiation Measurements, 2007. (in press)
82. Stepanenko, V. F., Hoshi, M., Ivannikov, A. I., Bailiff, I. K., Zhumadilov, K., Skvortsov, V. G., Argembaeva, R., Tsyb, A. F.: 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. Radiation Measurements, 2007. (in press)
83. Khailov, A., Tikunov, D., Ivannikov, A., Skvortsov, V., Stepanenko, V., Zhumadilov, K., Tanaka, K., Endo, S. and Hoshi, M.: Tooth enamel EPR dosimetry of neutrons: enhancement of the apparent sensitivity at irradiation in the human head phantom. Radiation Measurements, 2007. (in press)

(2) 口頭発表

1. 星 正治：セミパラチンスク核実験場近郊住民の被曝調査と現状。国際反核会議『反核運動団体：成果と展望』，アルマトイ，カザフスタン，2005年5月19日。
2. 武市宣雄，星 正治，中村靖司，佐々木英夫，前田 亮，大瀧 慈，早川式彦：原爆被爆者（広島）の甲状腺癌発生：被爆60年で分かってきた事。第46回原子爆弾後障害研究会，広島，2005年6月5日。
3. 星 正治：放射線障害医療研修方法の開発。（セッション4：緊急被ばく医療開発研究と研修プログラムの開発）。平成17年度特別教育研究経費第1回広島大学・長崎大学連携融合事業カンファレンス－国際放射線被ばく者先進医療開発研究の機関連携事業－，広島，2005年8月25日。
4. Zvonova, I. A., Bratilova, A. A., Pochtennaja, G. T., Hoshi, M.: Chernobyl exposure and thyroid cancer among population of the Bryansk region in Russia. The conference on Radioactivity in the Environment, Nice, France, October 2 - 6, 2005.
5. Hoshi, M.: Retrospective assessment of thyroid doses for the residents of Brest oblast of Belarus. Medical Symposium, Minsk, Belarus, November 2, 2005.
6. Hoshi, M., Stepanenko, V.: Application of different methods of Retrospective Dosimetry in the vicinity of SNTS: an overview of recent results. Workshop 2 “Radiation dose reconstruction near Semipalatinsk nuclear test site area”, 48th Annual Meeting of Japan Radiation Research Society / The 1st Asian Congress of Radiation Research, Hiroshima, November 15 -17, 2005.
7. Stepanenko, V., Hoshi, M.: International Intercomparison of Luminescence Retrospective Dosimetry in the vicinity of SNTS: an overview of the results. Workshop 2 “Radiation dose reconstruction near Semipalatinsk nuclear test site area”, 48th Annual Meeting of Japan Radiation Research Society / The 1st Asian Congress of Radiation Research, Hiroshima, November 15 -17, 2005.
8. Zhumadilov, K., Ivannikov, A., Apsalikov, K., Zhumadilov, Zh., Zharlyganova, D., Tieliewuhan, E., Jiao, L., Miyazawa, C., Stepanenko, V., Skvortsov, V., Toyoda, S., Endo, S., Tanaka, K. and Hoshi, M.: Dose reconstruction by tooth enamel EPR dosimetry for residents of settlements placed in vicinity of the radioactive fallout trace of the first test in SNTS. Workshop 2 “Radiation dose reconstruction near Semipalatinsk nuclear test site area”, 48th Annual Meeting of Japan Radiation Research Society / The 1st Asian Congress of Radiation Research, Hiroshima, November 15 -17, 2005.
9. Yamamoto, M., Sakaguchi, A., Hoshi, M., Imanaka, T., Apsalikov, K. N., Gusev, B. I.: Soil Contamination of Pu isotopes and ^{137}Cs in the Vicinity of Semipalatinsk Nuclear Test Site: Dolon,

- Mostik, Cheremshki and Budene Settlements. Workshop 2 “Radiation dose reconstruction near Semipalatinsk nuclear test site area”, 48th Annual Meeting of Japan Radiation Research Society / The 1st Asian Congress of Radiation Research, Hiroshima, November 15 -17, 2005.
10. Imanaka, T., Fukutani, S., Yamamoto, M., Sakaguchi, A., Hoshi, M.: External dose assessment for Dolon village due to fallouts from the Semipalatinsk Nuclear Test Site. Workshop 2 “Radiation dose reconstruction near Semipalatinsk nuclear test site area”, 48th Annual Meeting of Japan Radiation Research Society / The 1st Asian Congress of Radiation Research, Hiroshima, November 15 -17, 2005.
 11. Tanaka, K., Iida, S., Takeichi, N., Tchaizhunossova, N. J., Gusev, B. I., Aspalikov, K. N., Hoshi, M.: Higher frequency of unstable type chromosome aberrations in lymphocytes from residents living near Semipalatinsk nuclear test site. Workshop 2 “Radiation dose reconstruction near Semipalatinsk nuclear test site area”, 48th Annual Meeting of Japan Radiation Research Society / The 1st Asian Congress of Radiation Research, Hiroshima, November 15 -17, 2005.
 12. Zhumadilov, Z., Land, C., Hoshi, M.: Thyroid studies in the Semipalatinsk region of Kazakhstan. Workshop 2 “Radiation dose reconstruction near Semipalatinsk nuclear test site area”, 48th Annual Meeting of Japan Radiation Research Society / The 1st Asian Congress of Radiation Research, Hiroshima, November 15 -17, 2005.
 13. Takeichi, N., Hoshi, M.: Examination of thyroid in Semipalatinsk and Hiroshima. Workshop 2 “Radiation dose reconstruction near Semipalatinsk nuclear test site area”, 48th Annual Meeting of Japan Radiation Research Society / The 1st Asian Congress of Radiation Research, Hiroshima, November 15 -17, 2005.
 14. Toyoda, S., Hirata, N., Imata, H., Tieliewuhan, E., Romanyukha, A., Tarasov, O., Tanaka, K., Endo, S. and Hoshi, M.: ESR Dosimetry of cow teeth from South Ural region. 48th Annual Meeting of Japan Radiation Research Society / The 1st Asian Congress of Radiation Research, Hiroshima, November 15 -17, 2005.
 15. Tieliewuhan, E., Tanaka, K., Toyoda, S., Kadoma, A., Endo, S., Romanyukha, A., Tarasov, O. and Hoshi, M.: Determination technique for ⁹⁰Sr concentration in cow teeth using Imaging Plate 48th Annual Meeting of Japan Radiation Research Society / The 1st Asian Congress of Radiation Research, Hiroshima, November 15 -17, 2005.
 16. Jiao, L., Takada, J., Endo, S., Tanaka, K., Ivannikov, A., Hoshi, M.: Human Tooth Enamel Electron Spin Resonance (ESR) Dosimetry: Effects of Solar Radiation Exposure. 48th Annual Meeting of Japan Radiation Research Society / The 1st Asian Congress of Radiation Research, Hiroshima, November 15 -17, 2005.

17. Bhattacharjee, D., Endo, S., Tanaka, K., Ohtaki, M., Hoshi, M.: Detection of Radionuclides in Lime Consumed with Betel Nuts and Tobacco by People of Northeast India. 48th Annual Meeting of Japan Radiation Research Society / The 1st Asian Congress of Radiation Research, Hiroshima, November 15 -17, 2005.
18. Endo, S., Tanaka, K., Ishikawa, M., Hoshi, M., Onizuka, Y., Takada, M., Hayabuchi, N., Maeda, N., Shizuma, K.: Microdosimetric evaluation of secondary fragments in Phantom produced by therapeutic 290 MeV/nucleon carbon beam at HIMAC. 48th Annual Meeting of Japan Radiation Research Society / The 1st Asian Congress of Radiation Research, Hiroshima, November 15 -17, 2005.
19. Tanaka, K., Tieliewuhan, E., Endo, S., Toyoda, S., Romanyukha, A. and Hoshi, M.: Verification of Monte-Carlo-based conversion of imaging plate response for measurement of ⁹⁰Sr accumulation in teeth. 48th Annual Meeting of Japan Radiation Research Society / The 1st Asian Congress of Radiation Research, Hiroshima, November 15 -17, 2005.
20. 星 正治：新しい原爆線量評価システムDS02 の背景とまとめ。特別講演。放射線取扱主任者部会年次大会，広島，2005年11月17日。
21. 田中憲一，広島大学原爆放射線医科学研究所線量測定・評価研究分野，広島大学大学院工学研究科量子エネルギー工学，広島大学原爆放射線医科学研究所国際放射線情報センター：広島原爆被ばく資料の紹介。放射線取扱主任者部会年次大会，広島，2005年11月17日。
22. Stepanenko, V. F., Ivannikov, A. I., Skvortsov, V. G., Zhumadilov, K. Sh., Apsalikov, K. N., Tanaka, K., Endo, S., Hoshi, M.: Dolon' Village near Semipalatinsk Nuclear Test Site: Instrumental Estimates of Accumulated Dose by Retrospective Luminescence and EPR Dosimetry Methods in Comparison With Computed Values. International Conference: Radioactivity after nuclear explosions and accidents. Moscow, December 5-6, 2005.
23. Shinkarev, S., Gavrilin, Yu., Hoshi, M.: Study on whole body and thyroid dose assessment for the general population in Belarus following the Chernobyl accident. 11th Hiroshima International Symposium -20th anniversary of the Chernobyl accident and related Semipalatinsk problems-. Hiroshima, February 7, 2006.
24. Takeichi, N., Hoshi, M., Mimoto, A., Danilova, L., Grigorovich, A., Sivuda, V.: Examination of thyroid in Belarus. 11th Hiroshima International Symposium -20th anniversary of the Chernobyl accident and related Semipalatinsk problems-. Hiroshima, February 7, 2006.
25. Whitehead, N.: How recoil sputtering affects the weathering of Chernobyl hot particles. 11th Hiroshima International Symposium -20th anniversary of the Chernobyl accident and related

Semipalatinsk problems-. Hiroshima, February 7, 2006.

26. 星 正治：新しい原爆放射線量評価システムDS02 の背景とまとめ。「広島・長崎原爆放射線量新評価システムDS02 と環境放射能計測技術」，2006 年春季第 53 回応用物理学関係連合講演会，東京，2006 年 3 月 23 日。
27. 水上里美，岩橋 均，木村真三，櫻井良憲，齊藤 剛，藤井紀子，田中憲一，遠藤 暁，星正治：酵母に対する熱中性子線の影響。日本農芸化学会 2006 年度大会，2006 年 3 月 25-28 日。
28. Hoshi, M., Gavrilin, Yu., Shinkarev, S., Germenchuk, M., Luckyanov, N., Zhukova, O.: Retrospective assessment of thyroid doses for the residents of Brest oblast of Belarus. International Conference “20 years after Chernobyl. Strategy for Recovery and Sustainable Development of the Affected Regions”, Minsk, Belarus, April 19-21, 2006.
29. Takeichi, N., Hoshi, M., Shimizu, K., Danilova, L., Grigorovich, A., Antipkin, Y., Yamada, H.: Thyroid Cancer Development in Chernobyl including new additional results. International Conference “20 years after Chernobyl. Strategy for Recovery and Sustainable Development of the Affected Regions”, Minsk, Belarus, April 19-21, 2006.
30. Gavrilin, Yu., Shinkarev, S., Bouville, A., Voilleque, P., Luckyanov, N., Hoshi, M.: Internal doses to thyroid from radioiodine. Retrospective assessment. International Conference “20 years after Chernobyl. Strategy for Recovery and Sustainable Development of the Affected Regions”, Minsk, Belarus, April 19-21, 2006.
31. 星 正治：歯を使ったESR法による線量評価。セッション4：緊急被ばく医療開発研究，線量評価と研修プログラム開発。第2回広島大学・長崎大学連携融合事業カンファレンスー国際放射線被ばく者先進医療開発研究の機関連携事業。長崎，2006年6月3日。
32. 川野徳幸，広島大学図書館，星 正治，神谷研二：広島大学「原爆・被ばく関連データベース」の概要と公開の意義。第47回原子爆弾後障害研究会。長崎，2006年6月4日。
33. 平林今日子，川野徳幸，峠岡康幸，Muldagaliyev, T., Apsalikov, K., 松尾雅嗣，大瀧 慈，星 正治：セミパラチンスク核実験場近郊住民に対するアンケート調査による放射線障害に関する検討。第47回原子爆弾後障害研究会。長崎，2006年6月4日。
34. 片山博昭，Apsalikov, K., Gusev, B., Galich, B., Medieva, M., Koshpessova, G., Abdikarimova, A., 星 正治：セミパラチンスク核実験場近郊住民を対象とした疫学データベースの構築と健康影響調査。第47回原子爆弾後障害研究会。長崎，2006年6月4日。

35. 川野徳幸, 平林今日子, 大瀧 慈: 原爆被爆者の「こころ」と「くらし」における(継続的)被害の実態: 朝日新聞「被爆60年アンケート調査」結果を手がかりに. 第47回原子爆弾後障害研究会. 長崎, 2006年6月4日.
36. Sahoo, S. K., Yonehara, H., Enomoto, H., Hoshi, M., Takada, J.: Measurement of Uranium Isotopes in Hiroshima “Black-Rain” Soil samples. 日本保健物理学会第40回研究発表会. 広島, 2006年6月8-9日.
37. 武市宣雄: 特別講演: チェルノブイリ20年. 日本保健物理学会第40回研究発表会. 広島, 2006年6月8-9日.
38. Zhumadilov, K., Ivannikov, A., Apsalikov, K., Zhumadilov, Zh., Zharlyganova, D., Stepanenko, V., Skvortsov, V., Berekenova, G., Toyoda, S., Endo, S., Tanaka, K., Miyazawa, C. and Hoshi, M.: Results of tooth enamel EPR dosimetry for population living in the vicinity of the Semipalatinsk Nuclear Test Site. BiodosEPR-2006, 2nd International Conference on Biodosimetry and 7th International Symposium on EPR Dosimetry and Applications. Bethesda, Maryland, USA, July 10-13, 2006.
39. Borysheva, N., Tikunov, D., Ivannikov, A., Skvortsov, V., Stepanenko, V., Hoshi, M.: Absorbed doses in tooth enamel due to external and internal irradiation of human body by ^{134}Cs and ^{137}Cs isotopes. BiodosEPR-2006, 2nd International Conference on Biodosimetry and 7th International Symposium on EPR Dosimetry and Applications. Bethesda, Maryland, USA, July 10-13, 2006.
40. Toyoda, S., Romanyukha, A., Hirata, N., Tieliewuhan, E., Itano, S., Imata, H., Tarasov, O. and Hoshi, M.: ESR Dosimetry and ^{90}Sr Distribution, Detected by Imaging Plates, of Cow Teeth from Southern Urals. BiodosEPR-2006, 2nd International Conference on Biodosimetry and 7th International Symposium on EPR Dosimetry and Applications. Bethesda, Maryland, USA, July 10-13, 2006.
41. Hoshi, M., Toyoda, S., Ivannikov, A., Zhumadilov, K., Fukumura, A., Apsalikov, K., Zhumadilov, Zh. S., Bayankin, S., Chumak, V., Ciesielski, B., De Coste, V., Endo, S., Fattibene, P., Ivanov, D., Kirillov, V., Mitchell, C. A., Onori, S., Penkowski, M., Pivovarov, S. P., Romanyukha, A., Rukhin, A. B., Schultka, K., Seredavina, T. A., Sholom, S., Skvortsov, V., Stepanenko, V., Tanaka, K., Trompier, F., Wieser, A., Wolakiewicz, G.: Interlaboratory comparison on Tooth Enamel Dosimetry on Semipalatinsk Region: Part 1, General View. BiodosEPR-2006, 2nd International Conference on Biodosimetry and 7th International Symposium on EPR Dosimetry and Applications. Bethesda, Maryland, USA, July 10-13, 2006.
42. Ivannikov, A., Toyoda, S., Hoshi, M., Zhumadilov, K., Fukumura, A., Apsalikov, K., Zhumadilov, Zh. S., Bayankin, S., Chumak, V., Ciesielski, B., De Coste, V., Endo, S., Fattibene, P., Ivanov, D., Kirillov, V., Mitchell, C. A., Onori, S., Penkowski, M., Pivovarov, S. P., Romanyukha, A., Rukhin, A.

- B., Schultka, K., Serejavina, T. A., Sholom, S., Skvortsov, V., Stepanenko, V., Tanaka, K., Trompier, F., Wieser, A., Wolakiewicz, G.: Interlaboratory comparison on Tooth Enamel Dosimetry on Semipalatinsk Region: Part 2, Effect of Spectra Processing Procedure. BiodosEPR-2006, 2nd International Conference on Biodosimetry and 7th International Symposium on EPR Dosimetry and Applications. Bethesda, Maryland, USA, July 10-13, 2006.
43. Tikunov, D. D., Khailov, A. M., Trompier, F., Borysheva, N. B., Ivannikov, A. I., Skvortsov, V. G., Stepanenko, V. F. and Hoshi M.: Lower Bound of Enamel Radiation Sensitivity to Neutrons. BiodosEPR-2006, 2nd International Conference on Biodosimetry and 7th International Symposium on EPR Dosimetry and Applications. Bethesda, Maryland, USA, July 10-13, 2006.
44. Khailov, A. M., Tikunov, D. D., Ivannikov, A. I., Skvortsov, V. G., Stepanenko, V. F., Zhumadilov, K., Tanaka, K., Endo, S., Hoshi, M.: Enhancement of the EPR sensitivity of tooth enamel to neutrons at irradiation in the human head phantom. BiodosEPR-2006, 2nd International Conference on Biodosimetry and 7th International Symposium on EPR Dosimetry and Applications. Bethesda, Maryland, USA, July 10-13, 2006.
45. Stepanenko, V. F., Ivannikov, A. I., Orlov, M. Yu., Skvortsov, V. G., Iaskova, E. K., Kryukova, I. G., Kolyzhenkov, T. V., Bailiff, I. K., Göksu, H. Y., Jungner, H., Zhumadilov, K. Sh., Apsalikov, K. N., Tanaka, K., Endo, S., Hoshi, M.: The 1st Nuclear Test in the Former USSR of 29 August, 1949: Comparison of Individual Dose Estimates by ESR Retrospective Dosimetry with Calculation and Luminescence Retrospective Dosimetry Data for Dolon' Village, Kazakhstan. BiodosEPR-2006, 2nd International Conference on Biodosimetry and 7th International Symposium on EPR Dosimetry and Applications. Bethesda, Maryland, USA, July 10-13, 2006.
46. 星 正治:チェルノブイリ事故等における被ばく線量評価. 日本保健物理学会シンポジウム「チェルノブイリ原子力発電所事故から20年 - その影響の科学的解釈」. 東京, 2006年9月4日.
47. 遠藤 暁, 豊田 新, 小村和久, 田中憲一, 白石久二雄, 今中哲二, 西戸裕嗣, 藤元憲三, 明石真言, 宮澤忠蔵, 星 正治:JCO被ばく者歯中アマルガムを用いた中性子被ばく線量の推定. 日本放射線影響学会第49回大会, 札幌, 2006年9月6-8日.
48. 遠藤 暁, 鬼塚昌彦, 田中憲一, 高田真志, 前田直子, 宮原信幸, 早瀬尚文, 石川正純, 星 正治: 290MeV/核子炭素ビームが生成する中性2次フラグメントのマイクロドシメトリ. 日本医学物理学学会第92回大会. 福岡, 2006年9月29-30日.
49. Kumar, A., Pandey, B. N., Matsuura, S., Hoshi, M. and Mishra, K. P.: Detection and Characterization of Free Radicals by ESR Spectroscopy: Methodology and Applications (Invited Talk). International Free Radical School-Research Approaches and Methodologies, Dr Ambedkar College, Nagpur, India, January, 2007.

50. Khvostunov, I. K., Nikjoo, H., Uehara, S., Hoshi, M., Endo, S.: The Microdosimetric Consideration of RBE of Low-Energy Proton on V79 Cells. III International symposium "Problems of Biochemistry, Radiation and Space Biology", Moscow, Dubna, January 24-28, 2007.
51. Mishra, K. P., Matsuura, S. and Hoshi, M.: Low Dose Radiation and Antioxidants Suppress High Dose Radiation Induced Tumor in Mice: Perspectives to Low Dose Health Effects. 12th Hiroshima International Symposium -Radiation Effects in Semipalatinsk-, Hiroshima, Japan, March 2, 2007.
52. Berikkhanova, K., Hoshi, M., Honda, H. and Zhumadilov, Zh. Sh.: Treatment of surgical infection in Semipalatinsk region. 12th Hiroshima International Symposium. -Radiation Effects in Semipalatinsk-, Hiroshima, March 2, 2007.
53. Endo, S.: First results of I-129 contamination in soil samples of Dolon village near Semipalatinsk Nuclear Test Site Area. 12th Hiroshima International -Symposium Radiation Effects in Semipalatinsk-. Hiroshima, March 2, 2007.
54. 星 正治：広島長崎の原爆線量評価システムDS02について。筑波大学－KEK連携支援事業セミナー「マルチタンデム静電加速器による重イオンビーム学際利用への新展開」－UTTACの最新研究成果と動向－。つくば，2007年3月16日。
55. Endo, S., Tomita, J., Tanaka, K., Yamamoto, M., Fukutani, S., Imanaka, T., Amano, H., Kawamura, H., Kawamura, K. and Hoshi, M.: First results of ^{129}I contamination measurement in soil samples of the Dolon village near the Semipalatinsk Nuclear Test Site. 8th workshop for environmental radioactivity. Tsukuba, March 22-24, 2007.

(3) 出版物

1. Reassessment of the Atomic Bomb Radiation Dosimetry for Hiroshima and Nagasaki - Dosimetry System 2002. -Report of the Joint US-Japan Working Group. Editors: Robert W. Young, George D. Kerr. Volume 1 and 2, pp.998, the Radiation Effects Research Foundation, 2005.
2. 葉佐井博巳, 星 正治, 静間 清, 遠藤 暁, 田中憲一, 岩谷和夫, 柴田誠一, 今中哲二, 柴田徳思, 長島泰夫, 小松原哲郎, 小村和久, 渡辺忠章, 山下智昭 (監訳): 広島および長崎における原子爆弾放射線被曝線量の再評価-線量評価システム 2002 (DS02) -. 日米合同実務研究班報告書. (編集者) Robert W. Young, George D. Kerr., 全 2 巻, pp.1015, 放射線影響研究所, 2006 年.
3. Hoshi, M., Stepanenko, V. F., Endo, S., Tanaka, K., Whitehead, N. E., Whitehead, B. K., Tsyb, A. F.(Ed.): Journal of Radiation Research, Vol. 47, Supplement A, pp224, March 28, 2006.
4. 川野徳幸: カザフスタン共和国セミパラチンスクにおける核被害解明の試み: アンケート調査を通して. IPSHU 研究報告シリーズ, No.36, 広島大学平和科学研究センター, 2006 年 3 月.
5. 川野徳幸 (編集責任), 平林今日子, カズベック・アプサリコフ, タルガット・モルダガリエフ, 松尾雅嗣 (編): カザフスタン共和国セミパラチンスク地区の被曝証言集. 広島大学ひろしま平和コンソーシアム・広島大学原爆放射線医科学研究所, 2006 年 3 月.

(4) その他の講演や発表等

1. 星 正治：講演「世界における被ばくの実態」．HICARE講演会世界の放射線被ばくの現状を知る報告書．20-41，2005．
2. 遠藤 暁：講演「暮らしの中の放射線」．HICARE 講演会世界の放射線被ばくの現状を知る報告書．8-19，2005．
3. 遠藤 暁：霧箱を使って放射線・宇宙線を見てみよう．青少年科学の祭典．広島，2005年11月13日．
4. 遠藤 暁：放射線の基礎知識－放射線の性質，単位，人体への影響－．緊急被ばく医療「島根フォーラム」，松江，2006年1月20日．
5. 遠藤 暁：セミパラチンスク核実験場近郊線量評価とI-129 測定 の提案．筑波大学加速器センターセミナー，筑波，2006年3月17日．
6. 星 正治：日米共同研究による広島・長崎の原爆放射線の見積もりおよびセミパラチンスク核実験場周辺住民の被曝と健康影響．九州大学，福岡，2006年7月4日．
7. 遠藤 暁：放射線を見る－簡易霧箱の作成－．日本原子力学会オープンスクール，2006年7月5日．
8. 星 正治：放射線の計測Ⅱ 線量評価と事例（選択）．第1回緊急被ばく医療セミナー．千葉，2006年9月20-21日．
9. 星 正治：放射線と被曝についての解説．第3回広島大学技術センター研修会．広島，2006年11月27日．
10. 星 正治：報告「これまでの被ばく線量研究とその役割」．ポストCOE第1回設立準備研究会「原爆・被ばく被害の包括的解明に向けて」（広島大学原爆放射線医科学研究所・文書館・平和科学研究センター共催）．広島，2006年12月19日．
11. 星 正治：チェルノブイリやセミパラチンスクにおける放射線被ばくの調査研究．平成18年度（第14回）救急医療研修会（福島県救急病院協会主催）．郡山，2007年3月8日．
12. 星 正治：放射線と被曝についての解説．医療専門家による報告会～ベラルーシでの医療支援活動をふり返って～．福岡，2007年3月18日．

研究成果

セミパラチンスク核実験場近郊住民の被曝線量と健康影響調査

星 正 治

広島大学原爆放射線医科学研究所

1. はじめに

セミパラチンスク核実験場周辺住民の被ばく線量調査と人々への健康影響調査について開始してから12年を経過した。本グループはその他にも世界中の被曝者の被曝やそれに関わる健康影響調査を行ってきた。目的には2点ある。第一に検診などの調査を行い被曝による疾病発生のメカニズムを調べることであり、被ばく者自身の健康を守ることである。第二はこの調査により放射線の被曝量と疾病の発症の関係を明らかにし、上記のような放射線を使った業務に従事している人々や医療放射線による一般人の被曝による病気発症の危険性（リスク）を見積もることである。

放射線は工業生産の場や、医療、電力など各方面で使われていて、これを避けては通れないほど利用が進んでいる。このため、それを職業的として使う人や一般人への放射線の被曝を必要最小限に制限する必要がある。そのための線量限度の基準が必要となる。それは、放射線の危険度（リスク）はほとんど広島・長崎の被曝者の疫学調査から導きだされている。そのリスクは国際的な機関である国際放射線防護委員会（ICRP）で決定されていて、その結果は日本では放射線障害防止法を中心とした各種の法令（医療法など）にも取り入れられており、人工的に作られた放射線からの被曝の限度を定めている。

セミパラチンスク関連の科学研究費補助金は平成7年から現在まで受領してきた。本報告書は平成17年度から18年度にかけて受領した日本学術振興会の科学研究費補助金を使って行われた研究の報告である。

すでに述べたように、世界中で使われているリスクの基準はほとんど広島・長崎の被曝者の調査に基づいて決められているが、原爆による被曝は百万分の一秒という短時間、一瞬であった。しかし、セミパラチンスクでの被ばくのように被ばく時間が長く、数時間から数ヶ月にわたって被曝した場合はそのリスクが異なっているとする意見もある。放射線に少しずつ時間をかけて被曝すれば、被曝している間でも細胞内でDNAの修復が可能であるので、異なる可能性はもっともかもしれない。このことを明らかにすることがこの調査のもう一つの最終的な意味である。

ともかくも、本研究およびこれまでの一連の研究ではそれぞれ将来の目標に向かって、現地の放射線医学環境研究所のカズベック・アプサリコフ所長、ボリス・グシェフ副所長、ナイラ・チャイジュヌソバ副所長、セミパラチンスク医学アカデミーのテレウオフ・ムラット学長、ザクシバ・ズマジーロフ副学長などと共同で測定などを進めている。

1. 金沢大学の山本政儀のグループを中心とした、土壌の汚染からの内部被曝の推定のためのCs-137、Pu同位体、U同位体などの測定。
2. 原医研の、遠藤暁、田中憲一、イリダナ・テレウハン、焦玲、茨城県立医療大学の佐藤斉、

岡山理科大学の豊田新、奥羽大学の宮澤忠蔵などの各氏を中心とした、煉瓦、歯などを使った外部被曝の測定。

3. 武市宣雄医師、山田英雄氏、田中公夫氏、飯田昭三氏などを中心とした甲状腺の検診による診断と、採血による染色体異常、小核の検査。

4. 原医研の川野徳幸氏、峠岡康幸氏、平和科学研究センターの松尾雅嗣氏、平岡敬前広島市長らによる、心的問題を検討するためのアンケートおよび被曝の証言の収集。

5. 放射線影響研究所の片山博昭部長を中心とした、現地でのデータベース構築とその解析などの研究開発。

6. 広島大学大学院医歯薬学総合研究科の岡本哲治氏を中心とした、歯科の検診と遺伝子などの検査、などである。

また、NGOの団体である、広島のヒロシマ・セミパラチンスク・プロジェクトとは、薬品や超音波検診装置などの機材の供給で共同作業を行ってきた。

本報告書では以上の研究について進行状況や結果を報告する。

2. セミパラチンスクでの被曝

セミパラチンスクには旧ソ連時代に使われていた四国ぐらいの広さの広大な核実験場がある。1949年から1989年にかけて旧ソ連により延べ459回の核兵器の爆発試験がセミパラチンスク核兵器試験場で実施された。その内訳は地表26回、空中87回、地下346回であった。ロシアの報告によれば、TNT換算総出力は地表0.6Mt、空中6Mt、地下11Mtからなる18Mtであった。これは広島原爆の出力16ktの1100倍である。この出力はソ連の全核爆発の6%であるが、実験場周辺に村や都市は接近しているので、周辺住民の放射線被ばくを引き起こした。

大気中の核実験の直後、核分裂生成物である放射能を含んだ雲が実験場の外に出て被ばくや汚染を生じた。ただ核爆発地点から離れた住民への放射性フォールアウトによる放射線被曝が及ぼす人体影響は、爆発からの直接放射線影響に比べると明確ではない部分がある。

旧ソ連から独立したカザフスタン共和国は実験場周辺地域の被曝データを公開した。しかしこれらは当時の軍の管理下で実施されたもので、疑問も少なくない。また、健康影響調査に関しては旧ソ連およびその後のカザフスタン共和国による調査がある。主にセミパラチンスク市にある放射線医学環境研究所によって調査研究されてきている。それによるとこの地域の悪性腫瘍の発生は核実験の後に増加し、全体として被曝していない地域より多いとされている。また被曝線量との関係も議論されており、放射線による悪性腫瘍の発生は白血病、甲状腺、食道、胃、肝臓、腸、肺、乳房に観察されているとの報告を出している。その他染色体異常や奇形など放射線によるとされる異常が観察されている。放射線によるリスクも計算され広島・長崎の原爆被爆者との違いも示されている。ただこれらは診断や調査の基準が異なっていることも考えられるため、確認などの作業が必要と考えられる。

3. 現在の汚染や放射線量には問題はない

調査を開始するに当たって調査団を派遣することになるが、調査の団員に対して、被ばくが生ずるのかどうか知る必要がある。また、現地の専門家としての関係者や市長などの行政の関係者、一般住民なども、現在セミパラチンスク地区に住んでいることでの被ばくがあるかどうかは常に問われる。それで、まず調査のはじめに現状はどうなっているかについて調査を行った。そのため、最初の1995年の現地調査ではポータブルの測定器を用いて環境放射線測定を行った。それらは、ドロン、ズナメンカ、セミパラチンスク市そして原子の湖で行った。

原子の湖での線量率はおよそ $10\mu\text{Sv/h}$ (単位は一時間当たり百万分の一シーベルト) であった。幾つかの村とセミパラチンスク市の環境放射線線量率は、 $0.1\mu\text{Sv/h}$ 以下であった。原子の湖の爆発地点から 50km 離れた被曝した村といわれているズナメンカにおいても、線量率は自然レベルの $0.07\mu\text{Sv/h}$ であった。広島での現在の自然放射線は $0.1\mu\text{Sv/h}$ 以下ぐらいであるので核実験場以外では同じレベルである。そのため、現在居住していることでの被ばくは無いので、問題はない。ただし、原子の湖だけは自然界の 100 倍となっていた。

4. 核分裂後の FP 組成変化計算

今中哲二

はじめに

セミパラチンスク核実験場周辺の村落に沈着したフォールアウトによる被曝や、広島・長崎原爆による黒い雨地域での被曝を議論するにあたっては、原爆が炸裂した後、その核分裂生成物 (Fission Product: FP) の組成が、時間とともにどのように変化するかという知見が不可欠である。核分裂収率や放射能半減期といった FP に関する基本データは核データファイルとしてまとめられており、FP 組成の時間変化についても、誰でも容易に入手できる形で計算結果が整備されているものと思われた。しかしながら、手元のハンドブックやインターネットサイトを調べたり、何人かの専門家にも尋ねたりしてみたが、意外なことに、簡便な形にまとめられた最近のデータは見あたらなかった。たとえば、アイソトープ便覧 (改訂第 3 版、1984) で紹介されているのは、1950 年代の論文 (Bolles and Ballou, 1959) であった。

今中らはこれまで、セミパラチンスク核実験場周辺の村落での放射能汚染に関連し、「地表沈着 Fallout からの外部被曝評価」の取り組みを行ってきた。その作業の過程で、旧原研の核データファイルと Microsoft Excel の Visual Basic とを用いて、核分裂後の FP 組成変化を計算するプログラム (FPCOMP.xls) を作成し、それに γ 線量率換算係数を組み込んで、爆発後の任意の時間での沈着放射能からの線量率と積算線量を計算できるようにした。

FP 組成変化は、セミパラチンスクや広島・長崎だけでなく、原子力施設事故、核実験の検証、高レベル廃棄物処理といった問題にも関連する基本的データといっただろう。今中らは、FPCOMP.xls を用いて、速中性子による Pu239 核分裂、速中性子による U235 核分裂、熱中性子による U235 核分裂という 3 つの核分裂について、1 秒後から 100 万年後までの FP 組成を計算した。

本稿では、10 分後から 100 万年後の計算結果を表にまとめておいた。

1. 計算方法

- 物理データ:核分裂収率などの核データは、旧原研・核データセンターから 1997 年に download した、JNDC FP Nuclear Data Library を用いた (H. Ihara, JEARI-M 89-204)。(現在は別の format で JNDC FP Decay File として公開されている。http://wwwwncd.tokai-sc.jaea.go.jp/index_J.html) この Library では、中性子エネルギー (fast, thermal, 14MeV neutron) 別に、Th, U, Pu など 20 の fission 形式に関して、質量数 66~172 までの 1227 核種 (stable を含む) について、部分収率、全集率、半減期、収率、崩壊形式などが、アスキー形式で提供されている。実質的にほぼすべての FP データが含まれていると思われる。このアスキーデータを数値に変換して Excel シートに取り込んだ。(Fast は核分裂中性子の約 2MeV、Thermal は 0.025eV、14MeV は核融合 D-T 反応に対応)。
- FPCOM.xls : Excel Visual Basic を用いて、核分裂後任意の時刻での FP 組成を計算するプログラムを手作りした。まず、部分収率を基に時刻ゼロでの各 FP 生成量を求め、input 指定の時間順に組成変化を順に追っかける。先祖については 8 代前まで follow できるようにして、時間インターバル中の放射エネルギー変化を求めた。遅発中性子放出プロセスも組み込んである。
- 計算:時刻ゼロで 1 kt の核分裂があったとして、1 秒後から 100 万年後までの各 FP 放射エネルギーを計算した。プロット用には、時間幅を対数で 200 点に分割して全核種対象計算をした。(手元の PC で計算時間は約 20 分だった。10 年前だったら数日かかったと思う。)

2. 計算結果

- Table 1 : 1 kt の核分裂後の各時間での放射エネルギー : Pu239 Fast, U235 Fast, U235 Thermal と $t^{-1.2}$ 則。

1 kt の核爆発は、Glasstone の“The Effects of Nuclear Weapons” (1977) より、いずれの核分裂についても、 1.45×10^{23} 個の核分裂とした。

$t^{-1.2}$ 則は、 $A(t) = 1.03 \times 10^{-16} t^{-1.2}$ (Ci / fission)、 t : day (原子炉材料ハンドブック、1972)。

- Table 2 : 主要な FP の放射エネルギー割合 (%) の変化。

ある時刻で 5%以上の寄与を示した FP を中心に、いくつかの FP (Kr-85, I-129, Eu-155) を加えてリストアップした。

計算結果の妥当性については、手元の資料や private communication で入手できたデータの限りではまずまずの結果が得られている。今後、publication データを見つけて比較するとともに、ORIGEN2 コードによる計算を行って比較する予定である。計算の妥当性を確認した後、14MeV 中性子による核分裂などの計算を加え、プロットなども加えて改めて計算結果をまとめるつもりである。

Table 1. 1 キロトンの核分裂後の各時刻でのFP 総放射エネルギー

核分裂モード	放射エネルギー, Bq															
	10m	1h	6h	1d	7d	30d	180d	1y	5y	10y	50y	100y	1000y	10000y	1E5y	1E6y
Pu239 Fast	1.11E+20	1.66E+19	1.99E+18	5.34E+17	5.59E+16	1.02E+16	1.12E+15	3.81E+14	3.80E+13	1.81E+13	6.12E+12	1.97E+12	1.56E+09	1.40E+09	1.05E+09	2.35E+08
	1.13E+20	1.80E+19	2.33E+18	5.53E+17	5.37E+16	1.09E+16	1.26E+15	3.59E+14	3.84E+13	2.39E+13	8.35E+12	2.59E+12	1.45E+09	1.35E+09	1.05E+09	2.81E+08
	1.13E+20	1.80E+19	2.37E+18	5.59E+17	5.37E+16	1.11E+16	1.29E+15	3.67E+14	4.01E+13	2.53E+13	8.87E+12	2.75E+12	1.43E+09	1.33E+09	1.06E+09	2.89E+08

Table 2. 各時刻での主要なFP 放射能の総放射エネルギーに対する割合, %.

FP核種	半減期	核分裂モード	収率 (%)	10m	1h	6h	1d	7d	30d	180d	1y	5y	10y	50y	100y	1000y	10000y	1E5y	1E6y
1 Kr-85	10.73 y	Pu239 Fast	0.13							0.04	0.10	0.79	1.20	0.27	0.03				
		U235 Fast	0.27							0.07	0.24	1.74	2.04	0.44	0.06				
		U235 Thermal	0.27							0.07	0.24	1.69	1.94	0.42	0.05				
2 Sr-89	50.5 d	Pu239 Fast	1.75		0.02	0.02	0.09	0.80	3.19	3.70	0.86								
		U235 Fast	4.53		0.06	0.23	0.23	2.21	7.91	8.73	2.41								
		U235 Thermal	4.89		0.06	0.25	0.25	2.42	8.54	9.36	2.59								
3 Sr-90	28.5 y	Pu239 Fast	2.04						0.02	0.22	0.64	5.86	10.89	12.18	11.19				
		U235 Fast	5.43					0.01	0.06	0.52	1.80	15.28	21.79	23.54	22.47				
		U235 Thermal	5.90					0.01	0.07	0.57	1.97	16.36	22.99	24.76	23.68				
4 Y-90	2.671 d	Pu239 Fast	2.04						0.02	0.22	0.64	5.86	10.89	12.18	11.19				
		U235 Fast	5.43					0.01	0.06	0.52	1.80	15.28	21.80	23.55	22.48				
		U235 Thermal	5.90					0.01	0.07	0.57	1.97	16.36	23.00	24.77	23.69				
5 Sr-91	9.48 h	Pu239 Fast	2.43	0.07	0.43	2.50	2.50												
		U235 Fast	5.65	0.16	0.92	4.91	5.55												
		U235 Thermal	5.92	0.17	0.99	5.23	5.95												
6 Y-91	58.51 d	Pu239 Fast	2.43				0.08	0.86	3.59	5.52	1.81								
		U235 Fast	5.65		0.02	0.18	2.07	2.07	7.73	11.31	4.43								
		U235 Thermal	5.92		0.02	0.19	2.24	2.24	8.26	12.00	4.70								
7 Sr-92	2.710 h	Pu239 Fast	2.96	0.27	1.48	3.43	0.13												
		U235 Fast	5.73	0.52	2.63	5.66	0.24												
		U235 Thermal	5.91	0.54	2.75	5.81	0.25												
8 Y-92	3.540 h	Pu239 Fast	2.98		0.30	4.87	1.35												
		U235 Fast	5.74	0.02	0.53	8.01	2.51												
		U235 Thermal	5.96	0.02	0.57	8.27	2.60												
9 Sr-93	7.43 m	Pu239 Fast	3.61	3.26	0.21														
		U235 Fast	6.08	5.36	0.32														
		U235 Thermal	6.25	5.51	0.33														

Table 2 続き.

FP核種	半減期	核分裂モード	収率 (%)	10m	1h	6h	1d	7d	30d	180d	1y	5y	10y	50y	100y	1000y	10000y	1E5y	1E6y		
10 Y-93	10.1 h	Pu239 Fast	3.73	0.06	0.64	3.81	4.13														
		U235 Fast	6.14	0.10	0.97	6.54															
		U235 Thermal	6.39	0.10	1.01	6.73															
11 Zr-93	1.5E6 y	Pu239 Fast	3.73													5.44	6.07	7.74	23.03		
		U235 Fast	6.14													9.60	10.28	12.69	31.57		
		U235 Thermal	6.39													10.16	10.88	13.11	31.96		
12 Nb-93m	13.6 y	Pu239 Fast	3.54													5.17	5.77	7.35	21.88		
		U235 Fast	5.83													9.12	9.77	12.06	29.99		
		U235 Thermal	6.07													9.66	10.33	12.45	30.37		
13 Y-95	10.30 m	Pu239 Fast	4.60	3.80	0.88																
		U235 Fast	6.34	5.30	1.15																
		U235 Thermal	6.42	5.35	1.16																
14 Zr-95	64.05 d	Pu239 Fast	4.69			0.05	0.17	1.51	6.44	11.53	4.58										
		U235 Fast	6.36			0.05	0.23	2.19	8.40	14.34	6.78										
		U235 Thermal	6.50			0.05	0.23	2.23	8.44	14.30	6.77										
15 Nb-95	34.97 d	Pu239 Fast	4.68					0.20	3.35	20.37	9.72										
		U235 Fast	6.36					0.29	4.37	25.34	14.38										
		U235 Thermal	6.49					0.30	4.39	25.27	14.37										
16 Zr-97	16.90 h	Pu239 Fast	5.30	0.08	0.51	3.43	6.12	0.16													
		U235 Fast	5.98	0.09	0.53	3.35	6.74	0.19													
		U235 Thermal	6.00	0.09	0.53	3.29	6.68	0.19													
17 Nb-97	1.202 h	Pu239 Fast	5.32	0.01	0.30	4.49	8.31	0.22													
		U235 Fast	5.99	0.01	0.34	4.92	10.31	0.29													
		U235 Thermal	6.01	0.01	0.34	4.89	10.32	0.29													
18 Nb-97m	59.997 s	Pu239 Fast	5.16	0.10	0.62	4.22	7.51	0.20													
		U235 Fast	5.82	0.12	0.74	4.63	9.32	0.26													
		U235 Thermal	5.84	0.12	0.74	4.60	9.33	0.26													
19 Mo-99	2.751 d	Pu239 Fast	5.98	0.02	0.15	1.20	3.71	7.81	0.13												
		U235 Fast	5.71	0.02	0.13	0.98	3.43	7.79	0.12												
		U235 Thermal	6.11	0.02	0.14	1.03	3.63	8.32	0.12												
20 Tc-99	2.14E5y	Pu239 Fast	5.98											0.01	0.05	57.12	62.14	61.65	14.95		
		U235 Fast	5.71											0.01	0.03	58.82	61.47	59.04	11.97		
		U235 Thermal	6.11											0.01	0.03	63.97	66.77	62.62	12.44		

Table 2 続き.

FP核種	半減期	核分裂モード*	収率 (%)	10m	1h	6h	1d	7d	30d	180d	1y	5y	10y	50y	100y	1000y	10000y	1E5y	1E6y		
21	Tc-99m	Pu239 Fast	5.21		0.01	0.53	3.26	7.48	0.12												
		U235 Fast	4.97		0.01	0.44	3.01	7.45	0.11												
		U235 Thermal	5.32		0.01	0.46	3.19	7.96	0.12												
22	Mo-101	Pu239 Fast	6.54	4.30	2.69																
		U235 Fast	5.35	3.50	2.05																
		U235 Thermal	5.08	3.33	1.96																
23	Tc-101	Pu239 Fast	6.54	2.05	7.52																
		U235 Fast	5.35	1.66	5.74																
		U235 Thermal	5.08	1.58	5.47																
24	Mo-102	Pu239 Fast	6.63	4.90	1.48																
		U235 Fast	4.53	3.33	0.95																
		U235 Thermal	4.23	3.10	0.88																
25	Tc-102	Pu239 Fast	6.63	6.69	2.03																
		U235 Fast	4.53	5.16	1.47																
		U235 Thermal	4.23	5.08	1.45																
26	Ru-103	Pu239 Fast	6.83		0.01	0.10	0.37	3.20	11.70	7.60	0.86										
		U235 Fast	3.27			0.04	0.17	1.60	5.24	3.24	0.44										
		U235 Thermal	3.03			0.04	0.16	1.47	4.77	2.93	0.40										
27	Rh-103m	Pu239 Fast	6.82			0.10	0.37	3.20	11.68	7.59	0.86										
		U235 Fast	3.27			0.04	0.17	1.59	5.23	3.24	0.44										
		U235 Thermal	3.02			0.04	0.16	1.47	4.77	2.93	0.40										
28	Tc-104	Pu239 Fast	6.54	4.98	4.96																
		U235 Fast	2.28	1.79	1.68																
		U235 Thermal	1.84	1.42	1.34																
29	Tc-105	Pu239 Fast	5.35	4.61	0.36																
		U235 Fast	1.20	1.02	0.08																
		U235 Thermal	0.96	0.82	0.06																
30	Ru-105	Pu239 Fast	5.39	0.17	1.81	6.97	1.56														
		U235 Fast	1.20	0.04	0.37	1.33	0.34														
		U235 Thermal	0.96	0.03	0.30	1.05	0.27														
31	Rh-105	Pu239 Fast	5.39		0.03	1.21	5.56	3.28													
		U235 Fast	1.20		0.23	0.76	0.61														
		U235 Thermal	0.96		0.18	0.95															

Table 2 続き.

FP核種	半減期	核分裂モード	収率 (%)	10m	1h	6h	1d	7d	30d	180d	1y	5y	10y	50y	100y	1000y	10000y	1E5y	1E6y			
32 Ru-106	1.018 y	Pu239 Fast	4.36				0.03	0.24	1.28	8.80	18.37	12.07	0.84									
		U235 Fast	0.56					0.03	0.16	1.01	2.52	1.54	0.08									
		U235 Thermal	0.40						0.02	0.11	0.71	1.78	1.06	0.06								
33 Rh-106	30.4 s	Pu239 Fast	4.36				0.03	0.24	1.28	8.80	18.37	12.07	0.84									
		U235 Fast	0.56					0.03	0.16	1.01	2.52	1.54	0.08									
		U235 Thermal	0.40					0.02	0.11	0.71	1.78	1.06	0.06									
34 Pd-107	6.5E6 y	Pu239 Fast	3.05													0.96	1.07	1.41	5.72			
		U235 Fast	0.33													0.11	0.12	0.15	0.51			
		U235 Thermal	0.14													0.05	0.05	0.06	0.21			
35 Sn-126	99932 y	Pu239 Fast	0.31													6.21	6.53	4.65	0.04			
		U235 Fast	0.14													3.03	3.06	2.11	0.02			
		U235 Thermal	0.05													1.23	1.24	0.83				
36 Sb-126m	19.0 m	Pu239 Fast	0.31													7.29	7.67	5.46	0.05			
		U235 Fast	0.14													4.09	4.13	2.84	0.02			
		U235 Thermal	0.06													1.63	1.65	1.11				
37 I-129	1.57E7 y	Pu239 Fast	1.53													0.20	0.22	0.29	1.26			
		U235 Fast	0.83													0.12	0.12	0.16	0.57			
		U235 Thermal	0.72													0.10	0.11	0.14	0.49			
38 Te-131	25.0 m	Pu239 Fast	2.96	0.46	3.37	0.13	0.26	0.09														
		U235 Fast	2.71	0.37	3.07	0.07	0.13	0.05														
		U235 Thermal	2.48	0.34	2.82	0.06	0.11	0.04														
39 I-131	8.04 d	Pu239 Fast	3.87		0.01	0.21	0.81	5.73	4.37													
		U235 Fast	3.18		0.01	0.16	0.69	4.88	3.33													
		U235 Thermal	2.88		0.01	0.15	0.63	4.41	2.97													
40 Te-132	3.204 d	Pu239 Fast	5.09	0.02	0.11	0.88	2.80	7.29	0.28													
		U235 Fast	4.56	0.01	0.09	0.69	2.46	6.91	0.23													
		U235 Thermal	4.28	0.01	0.09	0.63	2.28	6.48	0.22													
41 I-132	2.28 h	Pu239 Fast	5.29	0.01	0.11	1.02	2.88	7.51	0.28													
		U235 Fast	4.60		0.04	0.62	2.53	7.12	0.24													
		U235 Thermal	4.30		0.03	0.56	2.35	6.68	0.22													
42 Te-133m	55.4 m	Pu239 Fast	3.61	0.87	3.11	0.61																
		U235 Fast	3.37	0.79	2.69	0.49																
		U235 Thermal	3.36	0.79	2.68	0.48																

Table 2 続き.

FP核種	半減期	核分裂モード	収率 (%)	10m	1h	6h	1d	7d	30d	180d	1y	5y	10y	50y	100y	1000y	10000y	1E5y	1E6y		
43	I-133	Pu239 Fast	6.83	0.03	0.39	3.85	7.95	0.63													
		U235 Fast	6.72	0.02	0.36	3.25	7.57	0.64													
		U235 Thermal	6.70	0.02	0.36	3.19	7.47	0.64													
44	Xe-133	Pu239 Fast	6.89			0.16	1.93	18.05	5.00												
		U235 Fast	6.73			0.13	1.80	18.17	4.51												
		U235 Thermal	6.70			0.13	1.77	18.09	4.43												
45	Te-134	Pu239 Fast	4.23	1.43	4.16	0.24															
		U235 Fast	6.27	2.11	5.79	0.31															
		U235 Thermal	6.91	2.29	6.30	0.33															
46	I-134	Pu239 Fast	7.05	0.86	6.22	2.66															
		U235 Fast	7.51	0.58	6.21	3.09															
		U235 Thermal	7.74	0.50	6.30	3.23															
47	I-135	Pu239 Fast	6.05	0.23	1.43	7.02	3.90														
		U235 Fast	6.23	0.25	1.41	6.41	4.02														
		U235 Thermal	6.29	0.25	1.42	6.36	4.02														
48	Xe-135	Pu239 Fast	7.43	0.02	0.33	4.88	11.72														
		U235 Fast	6.57		0.15	3.48	11.05														
		U235 Thermal	6.53		0.14	3.37	10.95														
49	Cs-135	Pu239 Fast	7.45													6.71	7.50	9.69	33.06		
		U235 Fast	6.57													6.62	7.10	8.89	25.35		
		U235 Thermal	6.53													6.70	7.18	8.77	24.51		
50	Xe-137	Pu239 Fast	5.76	4.04	0.14																
		U235 Fast	5.90	4.23	0.17																
		U235 Thermal	6.11	4.36	0.18																
51	Cs-137	Pu239 Fast	6.50					0.01	0.07	0.63	1.84	16.79	31.42	37.09	36.46						
		U235 Fast	6.20				0.01	0.06	0.54	0.54	1.89	16.08	23.10	26.33	26.89						
		U235 Thermal	6.27				0.01	0.06	0.54	0.54	1.87	15.61	22.10	25.11	25.69						
52	Ba-137m	Pu239 Fast	6.16					0.01	0.07	0.60	1.74	15.90	29.75	35.13	34.53						
		U235 Fast	5.87				0.01	0.06	0.51	0.51	1.79	15.23	21.87	24.94	25.46						
		U235 Thermal	5.94				0.01	0.06	0.51	0.51	1.77	14.79	20.92	23.78	24.33						
53	Xe-138	Pu239 Fast	4.65	3.28	1.87																
		U235 Fast	6.03	4.20	2.25																
		U235 Thermal	6.37	4.43	2.38																

Table 2 続き.

FP核種	半減期	核分裂モード	収率 (%)	10m	1h	6h	1d	7d	30d	180d	1y	5y	10y	50y	100y	1000y	10000y	1E5y	1E6y		
54	Cs-138 32.2 m	Pu239 Fast	5.80	1.23	7.22	0.11															
		U235 Fast	6.42	1.17	7.75	0.11															
		U235 Thermal	6.65	1.18	8.09	0.12															
55	Cs-139 9.76 m	Pu239 Fast	5.37	4.39	0.84																
		U235 Fast	6.26	5.18	0.93																
		U235 Thermal	6.28	5.28	0.95																
56	Ba-139 1.379 h	Pu239 Fast	5.59	0.50	4.69	3.24															
		U235 Fast	6.31	0.55	5.01	3.21															
		U235 Thermal	6.35	0.56	5.10	3.21															
57	Ba-140 12.75 d	Pu239 Fast	5.32	0.03	0.24	0.88	0.03	6.04	9.47	0.02											
		U235 Fast	6.12	0.03	0.24	0.99	7.36	10.36	0.03												
		U235 Thermal	6.29	0.03	0.25	1.02	7.66	10.63	0.03												
58	La-140 1.678 d	Pu239 Fast	5.33			0.03	0.31	6.40	10.90	0.03											
		U235 Fast	6.12			0.02	0.34	7.79	11.93	0.03											
		U235 Thermal	6.30			0.03	0.36	8.11	12.24	0.03											
59	La-141 3.930 h	Pu239 Fast	5.24	0.10	1.79	7.06	1.10														
		U235 Fast	5.95	0.11	1.90	6.92	1.22														
		U235 Thermal	5.80	0.11	1.85	6.63	1.17														
60	Ce-141 32.38 d	Pu239 Fast	5.24			0.06	0.34	2.92	9.79	3.58	0.20										
		U235 Fast	5.95			0.06	0.38	3.49	10.49	3.66	0.24										
		U235 Thermal	5.80			0.06	0.37	3.40	10.07	3.49	0.23										
61	Ba-142 10.7 m	Pu239 Fast	4.45	3.33	0.87																
		U235 Fast	5.59	4.12	1.01																
		U235 Thermal	5.78	4.25	1.05																
62	La-142 1.545 h	Pu239 Fast	4.77	0.38	3.65	3.33															
		U235 Fast	5.67	0.43	4.03	3.41															
		U235 Thermal	5.88	0.44	4.18	3.48															
63	Ce-143 1.375 d	Pu239 Fast	4.30	0.01	0.21	1.65	4.21	1.95													
		U235 Fast	5.69	0.02	0.26	1.88	5.43	2.72													
		U235 Thermal	5.94	0.02	0.27	1.93	5.62	2.84													
64	Pr-143 13.58 d	Pu239 Fast	4.30			0.02	0.27	4.99	8.82	0.04											
		U235 Fast	5.69			0.02	0.34	6.95	11.03	0.05											
		U235 Thermal	5.94			0.02	0.36	7.26	11.36	0.05											

Table 2 続き.

FP核種	半減期	核分裂モード	収率 (%)	10m	1h	6h	1d	7d	30d	180d	1y	5y	10y	50y	100y	1000y	10000y	1E5y	1E6y		
65	Ce-144	284.2 d	Pu239 Fast	3.62			0.03	0.27	1.39	8.75	16.43	4.67	0.11								
			U235 Fast	5.26			0.04	0.42	1.93	11.57	25.86	6.85	0.13								
			U235 Thermal	5.47			0.04	0.43	1.97	11.74	26.29	6.81	0.13								
66	Pr-144	17.28 m	Pu239 Fast	3.62			0.03	0.27	1.39	8.75	16.43	4.67	0.11								
			U235 Fast	5.26			0.04	0.42	1.93	11.57	25.86	6.85	0.13								
			U235 Thermal	5.47			0.04	0.43	1.97	11.74	26.29	6.81	0.13								
67	Pr-145	5.98 h	Pu239 Fast	2.96	0.76	3.54	1.64														
			U235 Fast	3.74	0.90	3.88	2.03														
			U235 Thermal	3.92	0.95	4.02	2.12														
68	Pr-146	24.07 m	Pu239 Fast	2.44	3.65																
			U235 Fast	2.90	4.67																
			U235 Thermal	2.98	5.07																
69	Nd-147	11.06 d	Pu239 Fast	1.98	0.01	0.10	0.37	2.40	3.11												
			U235 Fast	2.10	0.01	0.09	0.38	2.66	3.09												
			U235 Thermal	2.25	0.01	0.10	0.40	2.85	3.27												
70	Pm-147	2.623 y	Pu239 Fast	1.98				0.02	0.20	1.90	4.90	17.06	9.55								
			U235 Fast	2.10				0.02	0.20	1.79	5.51	17.90	7.69								
			U235 Thermal	2.25				0.02	0.21	1.89	5.80	18.43	7.80								
71	Sm-151	90.0 y	Pu239 Fast	0.78						0.02	0.07	0.70	1.41	3.06	6.45	7.94					
			U235 Fast	0.41						0.01	0.01	0.04	0.36	0.56	1.18	2.58	4.49				
			U235 Thermal	0.42						0.01	0.01	0.04	0.36	0.54	1.14	2.49	4.69				
72	Eu-155	4.96 y	Pu239 Fast	0.23					0.01	0.12	0.33	1.90	1.98	0.02							
			U235 Fast	0.06						0.03	0.03	0.09	0.47	0.37							
			U235 Thermal	0.03						0.01	0.01	0.05	0.26	0.20							

5. 金沢大学の山本グループの土壌サンプリングと測定およびその結果

上記ワークショップの結果から放射能の雲が通過した幅は数 km で狭く、中心から 2km 程度離れても半分くらいに減少することが分かった。ドロロン村が被ばくした際の雲の通過場所は村から 2km 程度離れているが、その通過した中心点はグシェフ副所長の証言だけである。それでその証言に従って通過した線に垂直に両側 5km ずつ全体で 10km を約 500m 単位でサンプリングして、セシウム 137 とプルトニウムの同位体について測定した。測定は金沢大学の山本グループが行った。結果としてはグシェフ副所長の証言は正しく正規分布に似た形を取っていた。下記、図 1 にドロロン村などの村の位置をグーグルの衛星写真の上に書いた。図 2 に放射能の雲が通過した位置を示す。

図 3 は、これまでの土壌汚染の調査ルートとその結果を示す。結果はセシウム-137 とプルトニウムの同位体である。ここでのサンプリングは、中国の核実験場からの影響もあるとされたので、2000km に渡ってアルマティからセミパラチンスクへ車で移動し、サンプリングをした。その結果、セシウムには中国の影響と見られる高い値が存在する。しかし、プルトニウムのピークはセミパラチンスクの核実験場の影響と考えられる。

図 4 は、ドロロン村、チャガン村、モスティック村、チェリョームシカ村、ブデネ村と雲の通過した線との位置関係。サンプリングのポイントも示す。川はイルティッシュ川。ドロロン村では垂直に全体で約 10km に渡って約 500m 単位でサンプリングした。

図 5 には、ドロロン村の近くで雲の通過した線に垂直に 10km サンプリングして採取した土壌の測定結果をまとめた。左図がセシウム 137 で右図が Pu-239, 240 の測定結果。青い線がグシェフ副所長の証言した雲の通過した中心である。下の方、31 番から下はドロロン村の中で採取したサンプルの測定結果。これによれば、グシェフ副所長の証言の青い線はほぼ中心となって正しかったことを示している。

図 6 にチェリョームシカ村、ブデネ村、モスティック村、チャガン村の測定結果を示す。バックグラウンドが 2000Bq/m^2 とすると、明らかに高いレベルの値が見られる。同様に図 7 は、サルジヤール村の衛星写真とサンプリングの場所、およびその結果を示す。ここもバックグラウンドが 2000Bq/m^2 とするとほとんどのデータが高い。図 8 も同様で、カイナール村、アクブラク村の結果。ここでも明らかに高い値が見られる。

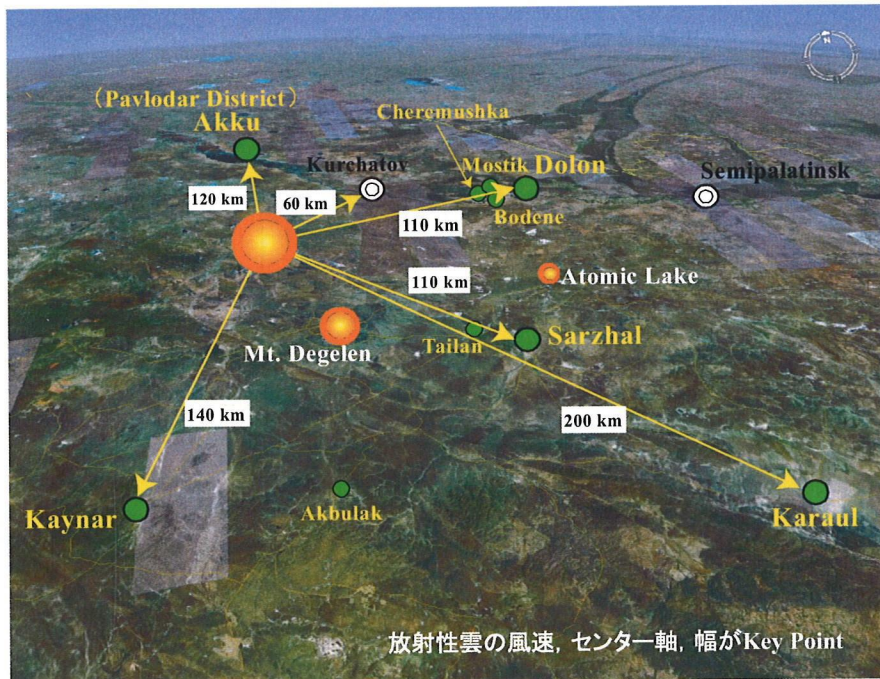
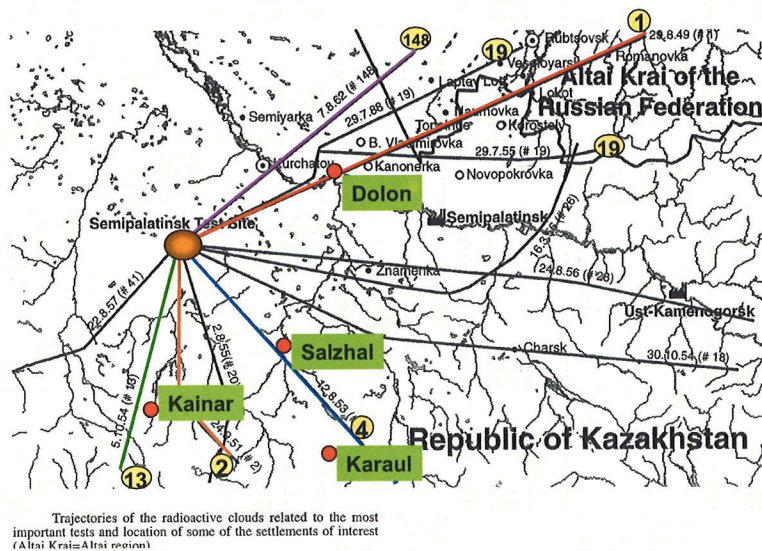


図1. 核実験場と被ばくした村との位置関係。

K. Gordeev · I. Vasilenko · A. Lebedev · A. Bouville
 N. Luckyanov · S. L. Simon · Y. Stepanov
 S. Shinkarev · L. Anspaugh

Radiat Environ Biophys (2002) 41:61–67
 DOI 10.1007/s00411-001-0139-y

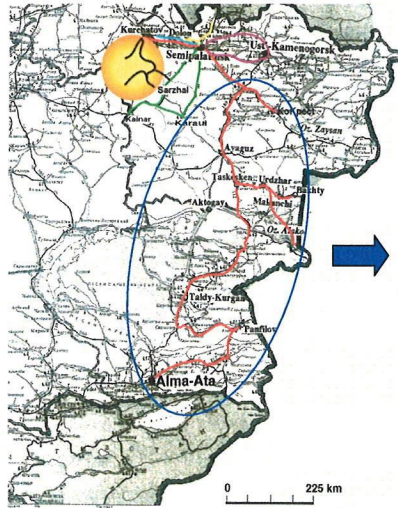
Fallout from nuclear tests: dosimetry in Kazakhstan



Trajectories of the radioactive clouds related to the most important tests and location of some of the settlements of interest (Altai Krai=Altai region)

図2. 雲の通過した線を示す。ドロン村は①で示すように、第1回の核実験(長崎型原爆)による。ゴルディーエフらより転載。

これまでの調査研究ルート



中国国境沿いの土壤中¹³⁷Cs の蓄積量

1地点: 3.5試料 (粉土は3試料で0.10 cm 深さ (直径4.7cmパイプ、幾つか0.10cm深さ)
測定: 50.80g, γ線スペクトロメトリー, 一日測定, 全部で125試料

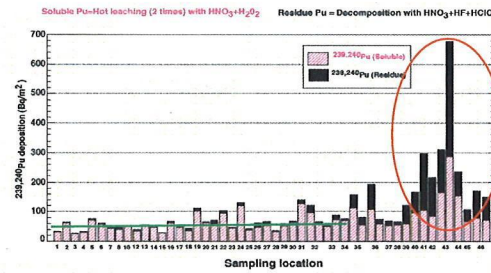
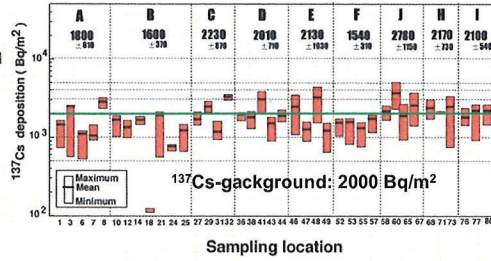


図3. これまでの土壌汚染の調査ルートとその結果。特に中国の核実験場からの影響もあるとされたので、2000km に渡ってアルマティからセミパラチンスクへ車で移動し、サンプリングした結果。セシウム 137 とプルトニウムの同位体の結果。セシウムには中国の影響と見られるセシウム 137 の測定結果に高いところが見られる。プルトニウムのピークはセミパラチンスクの核実験場の影響と考えられる。

ドロンおよびその周辺集落

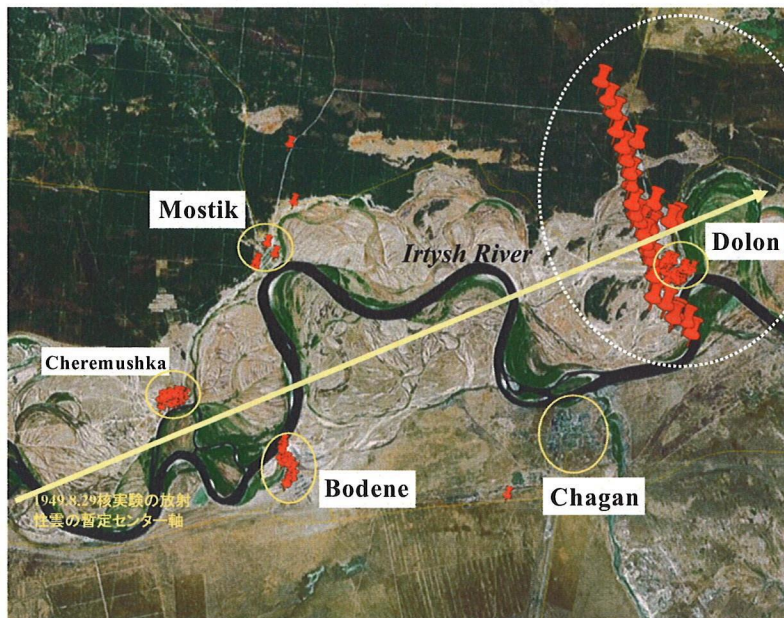


図4. ドロン村、チャガン村、モスティック村、チェリョームシカ村、ブデネ村と雲の通過した線との位置関係。川はイルティッシュ川。ドロン村では垂直に全体で約 10km にわたって 500m 単位でサンプリングした。

ドロン集落周辺の¹³⁷Cs, ^{239,240}Pu 蓄積量分布

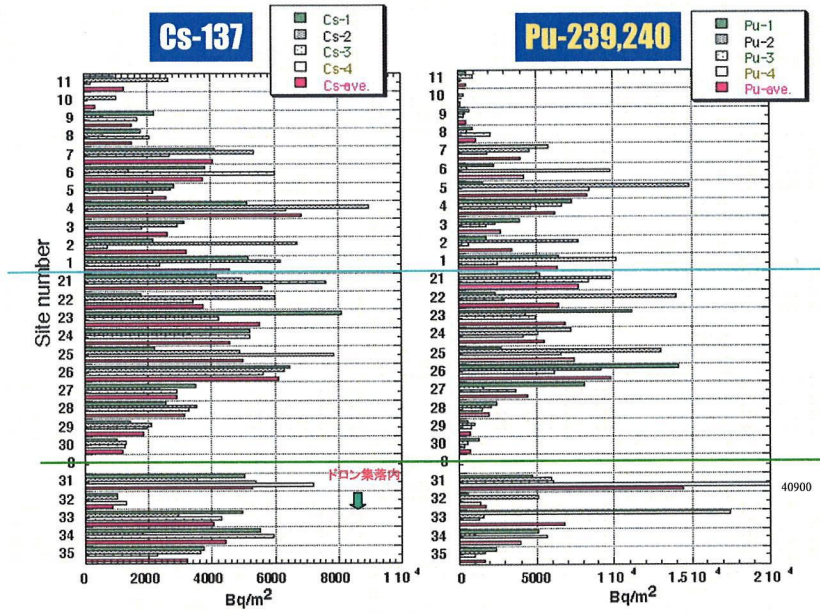


図5. ドロン村の近くで雲の通過した線に垂直に 10km サンプリングして採取した土壌の測定結果のまとめ。左がセシウム 137 で右が Pu-239, 240。青い線がグシェフ副所長の証言した雲の通過した中心。31 番から下はドロン村の中で採取したサンプルの測定結果。これによれば、グシェフ副所長の証言の青い線はほぼ中心となっている。

Cheremushka, Budene, Mostik, Chagan 集落 での土壌中¹³⁷Cs蓄積量

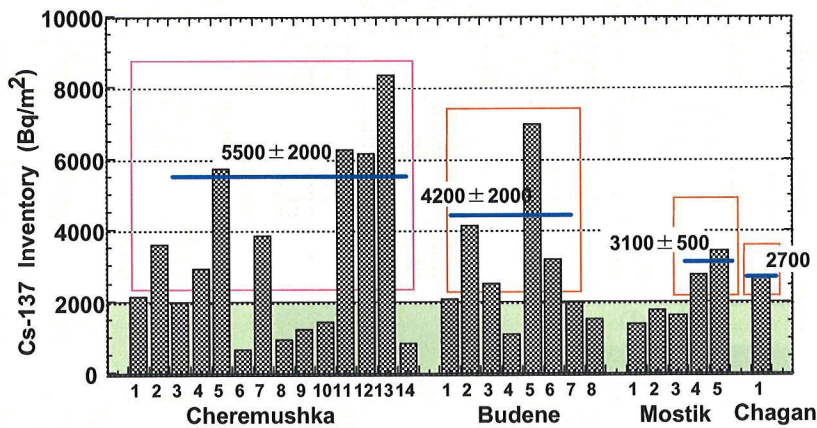


図6. チェリョームシカ村、ブデネ村、モスティック村、チャガン村の測定結果。バックグラウンドが 2000Bq/m² とすると、明らかに高いレベルの値が見られる。

サルジャー集落とその周辺

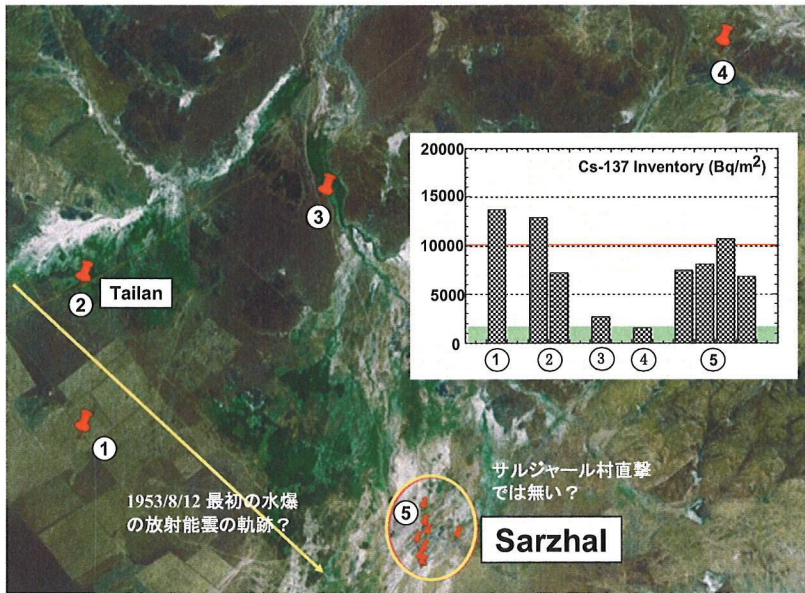


図7. サルジャー村の衛星写真とサンプリングの場所、およびその結果。バックグラウンドが2000Bq/m² とするとほとんどのデータが高い。

カイナル, アクブラク集落

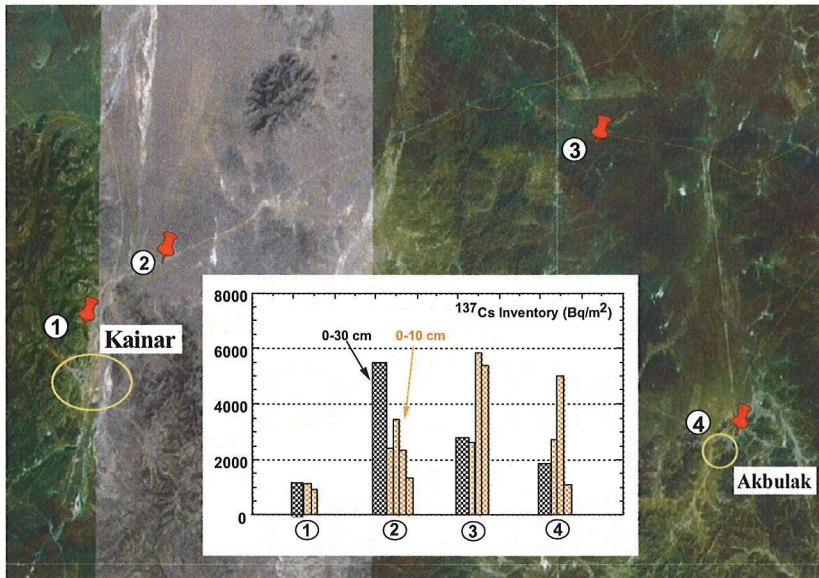


図8. カイナル村、アクブラク村の結果。ここでも明らかに高い値が見られる。

図9にはアック村方面とパブロダール市方面への土壤の測定結果を示す。甲状腺に対する放射線の影響などを調査する場合、がんは自然にも起こるので、被ばく地と被ばくしていない非被ばく地（対照群、コントロール群）の検診結果を比較して、被ばく地の方が多くを示さなければならぬ。現在はコクペクティ村を非被ばく地としているがプルトニウムとセシウムをみると被ばくの可能性を示した。コクペクティ村は非被ばく地として選ばれているがすでに3番目である。その前の非被ばく地は甲状腺の結節が多いなどの理由で被ばくの可能性のあることから選び直されている。すなわち、ほとんどの村が被ばくしているため、非被ばく地(対照群)を選択するのは至難である。そのため北側のこの方向は従来あまり放射能の雲が飛んでこなかったとされているので、パブロダール市またはその周辺の村を非被ばく地として選定する試みを進めている。予想通り、高い値は少ない結果となった。今後非被ばく地として選定するかどうか、選定するとしたらどの村を選ぶか考察を深める。

パブロダール方面の土壤中¹³⁷Cs蓄積量

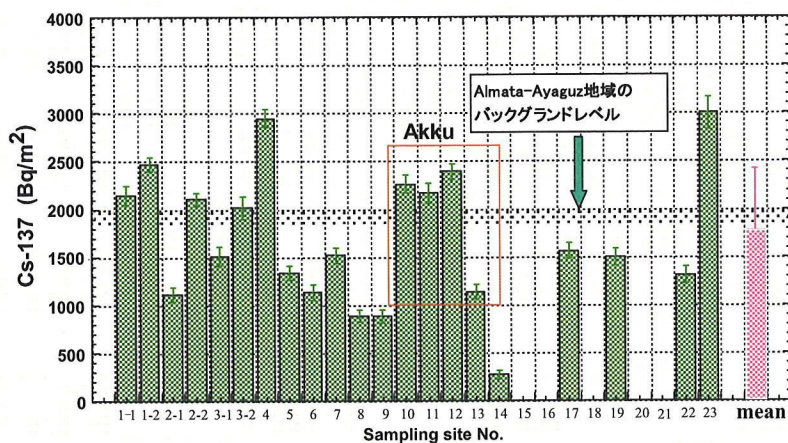


図9. アック村方面とパブロダール市方面への土壤の測定結果。この方向は従来あまり、放射能の雲が飛んでこなかったとされている通り、高い値は少ない。

土壤汚染の測定結果については、今後の課題との関係で下記9. に考察を深める。

6. 旧ソ連核実験場近郊ドロン村から採取した土壌試料中 ^{129}I 汚染量の測定
 (First results of ^{129}I contamination measurement in soil samples of the Dolon village near the Semipalatinsk Nuclear Test Site)

遠藤 暁、富田純平、田中憲一、山本政儀、福谷 哲、今中哲二、天野 光、川村秀久、
 河村日佐男、星 正治

はじめに

旧ソ連核実験場セミパラチンスク核実験場では、1949年から1989年の間に大気、地上、地下核実験を450回以上に上り行ってきた。ドロン村はセミパラチンスク核実験場(SNTS)の境界から60kmに位置しており、1949年の最初に行われた旧ソ連核実験で放出された放射性雲が上空をとり放射能によって汚染されたことで知られている。最近、1949年時のドロン村住民の線量を評価するために種々の試みが行われている。健康調査の一環として、甲状腺検診なども平行して行われており、セミパラチンスク核実験場近郊住民の甲状腺検診において甲状腺異常が報告されている。甲状腺異常は、 ^{131}I 放射能汚染との相関もあることから、甲状腺線量を評価するために ^{131}I 放射能汚染濃度を決定することは重要である。しかしながら、放射性ヨウ素 ^{131}I は半減期が短い(8.02d)ため、セミパラチンスク核実験場における評価では利用できなかった。近年、加速器質量分析法(AMS)が確立され、本測定法を用いることにより、半減期長い(1.57×10^7 y)放射性ヨウ素 ^{129}I を測定することが可能である。本研究では、セミパラチンスク核実験場周辺のDolon村から採取した土壌サンプルを利用し、AMS測定を行い、 ^{129}I 汚染量を評価した。

方法

土壌の採取は、2005年に行った。1949年の最初の核実験において生成された放射性雲が通過したとされる軌跡と垂直に、およそ500m間隔で10kmにわたり土壌を21地点で採取した。各々の試料採取地点においては、およそ1-2m離し3角形状に3点、30cmの土壌コアを採取した。また、ドロン村居住区において5地点において同様に試料を採取した。26地点から78試料の試料はまずGe検出器を用いた ^{137}Cs 放射能の測定を行った。 ^{137}Cs 放射能測定後、 ^{137}Cs のインベントリを指標としてAMS測定に利用する14試料を選んだ。14の土壌試料からヨウ素成分の抽出を、九州環境計測協会において行い、AMS測定は日本原子力機構むつ事業所・タンデム加速器を用いた。

結果と考察

$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子比率は 3.3×10^{-9} から 3.3×10^{-7} の値が得られた。これらの値は核実験や原子力産業から寄与を含めた環境バックグラウンド(10^{-9} - 10^{-7})と同程度であった。原子比より土壌中の ^{129}I インベ

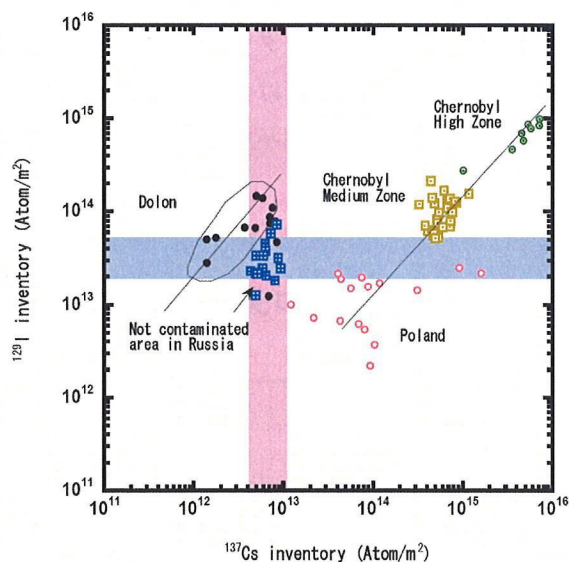


図1 ^{129}I - ^{137}Cs 相関図

ントリを決定したところ $1.2 \times 10^{13} \sim 1.5 \times 10^{14}$ (atoms/m²) が得られた。得られたインベントリと ¹³⁷Cs インベントリの相関を図1に示す。

比較のためチェルノブイリ原発事故由来の ¹²⁹I として、高汚染地域、中汚染地域およびポーランドにおける測定値、更に非汚染地域としてモスクワにおける測定をプロットした。高汚染地域、中汚染地域、ポーランドの ¹²⁹I-¹³⁷Cs 相関はきれいに線上に乗っておりチェルノブイリ原発事故由来であることがわかる。これに対しセミパラチンスク核実験場周辺のデータでは、¹²⁹I 濃度が以上に高く ¹²⁹I/¹³⁷Cs で 17-20 の値が得られている。非汚染地域であるモスクワの ¹²⁹I 濃度も、ポーランドと比較し高い値を示していることから、核実験由来の ¹²⁹I のほかに原子力施設などからの影響があると考えられる。今後、コントロール地域などの測定を行っていく。

参考文献

1. Parry, S.J. et al, J. Radioanal. Nucl. Chem. 248, 137-141 (2001)
2. Paul, M. et al, Nucl. Instrum. Methods, B29, 341-345 (1987)
3. Pietrzak-Flis, Z. et al, Health Phys. 84, 698-708 (2003)

7. ESR 法を用いた歯の被ばく線量の測定

Results of tooth enamel EPR dosimetry for population living in the vicinity of the Semipalatinsk Nuclear Test Site

**K. Zhumadilov^{a,*}, A. Ivannikov^{a,b}, K. Apsalikov^c, Zh. Zhumadilov^d, D. Zharlyganova^a,
V. Stepanenko^b, V. Skvortsov^b, G. Berekenova^c, S. Toyoda^e, S. Endo^a, K. Tanaka^a,
C. Miyazawa^f and M. Hoshi^a**

^a Research Institute for Radiation Biology and Medicine, Hiroshima University, 734-8553, Japan

^b Medical Radiological Research Center, Obninsk, 249036, Russia

^c Scientific-Research Institute for Radiation Medicine and Ecology, Semipalatinsk 490050, Kazakhstan

^d Semipalatinsk State Medical Academy, Semipalatinsk 490050, Kazakhstan

^e Department of Applied Physics Faculty of Science Okayama University of Science, 700-0005, Japan

^f School of Dentistry, Ohu University, Koriyama-shi, Fukushima Pref. 963-8611, Japan

EPR dosimetry; tooth enamel; Semipalatinsk nuclear test site; Excess dose

*Corresponding author. Tel: +81-82-257-5937, Fax: +81-82-256-7108,

E-mail address: kassym@hiroshima-u.ac.jp (K.Sh.Zhumadilov).

Abstract

The method of electron paramagnetic resonance (EPR) dosimetry was used on human tooth enamel to obtain individual absorbed doses of residents of settlements in the vicinity of the Nuclear Test Site (SNTS)

in Semipalatinsk region, Kazakhstan. Measured teeth were extracted according to medical indications. In total, 105 tooth enamel samples were analyzed including 8 tooth samples from control settlement Kokpekty, which located 400 km to the Southeast from SNTS and was not subjected to any radioactive contamination.

It was found that the excess doses obtained after subtraction of the contribution of natural background radiation ranged up to about 440 mGy for residents of Dolon whose tooth enamel was formed before 1949, and do not exceed 100 mGy for younger residents. For residents of Mostik, excess doses do not exceed 100 mGy for all ages except in one resident, for whom an extremely high dose of 1250 mGy was registered. For Bodene settlement, excess doses higher than 100 mGy were obtained for two samples from the residents having enamel formed before 1949. An extremely high dose (2800 ± 400 mGy) was obtained for one resident of Semipalatinsk City. The average excess dose for Semipalatinsk samples with enamel formation before 1949 was determined close to average excess dose for tooth enamel samples from Dolon village.

1. Introduction

In the period from 1949 to 1962 125 nuclear tests (including 25 near-surface nuclear tests) were conducted at the Ground Zero technical site in the territory of Semipalatinsk Nuclear Test Site (SNTS). The date of 29 August 1949 represents the first nuclear explosion, which contaminated by radioactive fallout a huge territory northeast from the epicenter. The radioactive dust cloud was transferred by the wind and its gradual precipitation formed several radioactive fallout traces (Deriglasow et al., 1991; Dubasov et al., 1993). There are no data describing the dynamics of the precipitation of the dust from the radioactive cloud on the region adjacent to the SNTS. It is a very complicated procedure to reconstruct the individual and collective radiation doses received by the local population.

EPR dosimetry is one of the useful tools for such dose reconstruction (IAEA Report, 2002). This method can determine the radiation doses retrospectively even more than 40 years after the exposure event. EPR measures the amount of the stable radicals created by radiation exposure in tooth enamel.

The group of scientists from Kazakhstan, Japan and Russia participated in this investigation. The purpose of this work is determination of the radiation doses received by the population of villages near SNTS (including Dolon, Mostik and Bodene located near the radioactive fallout trace formed as result of the most hazardous nuclear test of 1949 (Imanaka et. al., 2005; Stepanenko et. al., 2006), Kurchatov and Semipalatinsk City) by EPR dosimetry in tooth enamel samples prepared from the teeth and collected from those villages and cities.

2. Materials and methods

From 2000 to March 2005, 110 teeth samples were extracted on the basis of medical indications from adult residents of Dolon, Mostik, Bodene villages, Kurchatov City and Semipalatinsk City, which is located from 70 to 150 km from SNTS. However, 13 teeth samples were rejected because of insufficient amount of enamel. Another 11 teeth were collected as controls from the population of Kokpekty village (400 km east of the test site), which was not subjected to any radioactive contamination. Three samples of the above eleven were later rejected for the same reason. A description of the samples is given in the table 1.

Enamel was mechanically separated from dentine using hard alloy dental drills and diamond saws. Dentins were removed carefully with cooling water in order to prevent the sample from heating which can

induce an additional EPR signal and significantly change shape of the signal (IAEA Report, 2002). Tooth enamel was crushed by cutting pliers to chips 0.5–1.5 mm in diameter. Two samples were prepared from buccal and lingual parts of each tooth.

Enamel samples for dose calibration were prepared from molars collected from the population of the Kokpekty village. Tooth enamel powder prepared from different teeth was pooled together and split into aliquots of 100 mg. The aliquots were irradiated to doses of 0, 100, 200, 300, 500 and 1000 mGy respectively from a collimated ^{60}Co source at Hiroshima University (Ikeya, M. 1993; Ivannikov et.al., 1997).

The EPR measurements were carried out at least ten days after irradiation and sample preparation so that all transient radiation and mechanical-induced signals have faded out or come to an equilibrium state (IAEA Report, 2002).

The measurements were carried out in the X-band on the EPR spectrometer JEOL JES-FA100 at stabilized room temperature of 21°C. The spectrometer was equipped with a high Q-factor cylindrical TE₀₁₁ cavity model ES-UCX2. The spectrum recording parameters were the same as previously published (Zhumadilov et. al., 2005).

Specially designed computer software (Ivannikov et. al., 2002) was used for extraction of the radiation-induced signal (RIS) from the total EPR spectrum and determination of its intensity (or peak-to-peak amplitude). This procedure is able to deconvolute the total spectrum of irradiated enamel into the RIS and the background signal (BGS) by applying non-linear least squares fitting (Ivannikov et. al., 2001) of a model spectrum to the experimental one. The spectrum processing procedure was applied in a mode with description of the BGS by two components composed of superposition of Gaussian derivative functions. A fitting window of 3.0 mT width was used, for all the enamel spectra (the left border of the fitting window is –1.0 mT and the right border is +2.0 mT relative to the maximum of the BGS). (Zhumadilov et. al., 2005; Ivannikov et. al., 2006)

3. Results and discussion.

The doses for the residents of Semipalatinsk City and Kurchatov City were included in this report from the published data (Ivannikov et. al., 2002). The highest doses of 1300 mGy from Mostik and 2800 mGy from Semipalatinsk need additional investigation and are not included in the present analysis. The experimentally determined dose was considered to consist of two contributions: dose from natural radiation background accumulated during a tooth enamel lifetime and dose received as a result of nuclear tests (excess dose). The last contribution is subject of the interest for present dose reconstruction. At first, the intensity of the RIS was converted into a dose absorbed by enamel D_{en} (expressed in mGy) calibrated using calibration by a ^{60}Co gamma source. Second, excess dose in enamel was determined by subtraction of contribution of the natural background radiation during the enamel existence after its formation from the absorbed dose in enamel.

The lifetime of the tooth enamel was obtained by subtraction of the average age of tooth formation for a given tooth position from the age of a person at the moment of measurement. The ages of tooth enamel formation were determined according to published data (IAEA Report, 2002).

For the residents of Dolon absorbed doses were found to be in the range from -24 ± 37 to 496 ± 55 mGy. For some doses, negative values were obtained. This is because the measurements were performed near the threshold of sensitivity of the method. It is natural that some of the values become negative according to their statistical distribution determined due to experimental errors. The negative doses probably are the result of the underestimation of uncertainty of the dose assessment.

For all the samples, excess doses were calculated by equation:

$$D_{ex} = D_{en} - TA * D_b,$$

Where: D_{en} - dose calculated by automatic program, in mGy

TA - teeth enamel age, years

D_b - background dose, 0.8 mGy/year (Zhumadilov et. al., 2006; Ivannikov et. al., 2006)

Uncertainty of dose determination (E_r) was determined based on semi-empirical formula used in the previous publication (Zhumadilov et. al., 2006).

In Fig.1, individual excess dose determinations for different years of enamel formation are shown. An increased dose value was determined for one sample formed before 1949 corresponding to the period of the most contaminating nuclear test. The average excess dose for enamel formed before 1949 for Dolon is 153 ± 54 mGy (Fig.1 (a)), for enamel formed after 1949 the average dose is 25 ± 11 mGy. For Mostik excess dose before 1949 is 19 ± 15 and after 1949 is 44 ± 14 (Fig.1 (b)). For Bodene excess dose before 1949 is 74 ± 40 and after 1949 is 17 ± 10 (Fig.1(c)). For Kurchatov average excess dose before 1949 is 11 ± 20 and after 1949 is 9 ± 27 (Fig.1 (d)) and for Semipalatinsk City average excess dose before 1949 is 145 ± 68 and after 1949 is 74 ± 35 (Fig.1 (d)). The value of average dose for Semipalatinsk City is close to the average results of Dolon village. One of the explanations is the person worked in place located close to SNTS and another explanation that they were born in village that affected by fallout from Test Site. The bulk of the excess doses are near the sensitivity threshold of the method.

For control samples, excess doses are from -66 ± 39 up to 24 ± 39 mGy, for Dolon from -74 ± 38 up to 440 ± 106 mGy, for Mostik from -64 ± 32 up to 119 ± 51 , for Bodene from -50 ± 38 up to 356 ± 58 mGy, for Kurchatov from -47 ± 85 up to 56 ± 42 and for Semipalatinsk City from 0 ± 46 up to 268 ± 79 . Low doses were found for the group with enamel formed after 1962, the end of atmospheric nuclear tests. The dose values for the group having enamel formed before 1962 are consistent with estimations based on the official registered data indicating high levels of the fallout in the period 1949-1962. The experimentally measured individual doses can be compared with data of dose reconstruction, which were shown in previous publication (Imanaka et. al., 2005; Stepanenko et. al., 2006) and which amount was about 0.5 Gy for Dolon.

4. Conclusions.

The individual absorbed doses were determined for residents of different villages affected by fallouts from nuclear tests and for residents of Semipalatinsk and Kurchatov City.

Higher average excess doses were determined in Dolon and Semipalatinsk city for residents whose tooth enamel was formed before 1949. Results of dose estimation from Dolon samples are in agreement with the fact that this village is located closer to the axis of the radioactive trace. A result from

Semipalatinsk needs special investigation.

It should be noted that for Semipalatinsk city and for some villages the number of investigated samples is insufficient to draw final conclusions about the level of exposure to population on the basis of the results of EPR dosimetry. It is necessary to investigate more samples of tooth enamel formed before 1949 for residents permanently staying in affected areas in the period of the tests.

Acknowledgements

We are expressing thank to Group of Dr. Apsalikov from Scientific-research institute of Medicine and Ecology who collected all of samples.

References

1. Deriglasow, V. I., Gorin, V. V., Maltzev, A. L., Matuschenko, A. M., Safonov, F. F. and Smagulov, S. G., 1991. Radiological situation at Semipalatinsk test site bordering regions of the Kazakh SSR. Bulletin of the Public information center by atomic Energy (CNII atominform) N4: 46-52. Moscow. Russia. (in Russian)
2. Dubasov, U.V., Matuschenko, A.M., Filonov, N.P., et al., 1993. Semipalatinsk Test Site: estimation of radiological consequences Bulletin of the Public information center by atomic Energy (CNII atominform). Special issue. Moscow. Russia. (in Russian)
3. IAEA Report, 2002. Use of electron paramagnetic resonance dosimetry with tooth enamel for retrospective dose assessment. Report of a coordinated research project. IAEA-TECDOC-1331. Vienna.
4. Ivannikov, A.I., Skvortsov, V.G., Stepanenko, V.F., Tikunov, D.D., Fedosov, I.M., Romanyukha, A.A., Wieser, A., 1997. Wide-scale EPR retrospective dosimetry: Results and problems. Radiat. Prot. Dosim. 71, 175-180.
5. Ikeya, M., 1993. New applications of electron spin resonance dating, dosimetry and microscopy. World Scientific, Singapore.
6. Imanaka, T., Fukutani, S., Yamamoto, M., Sakaguchi, A., Hoshi, M., 2005. Width and Center-axis Location of the Radioactive Plume That Passed over Dolon and Nearby Villages on the Occasion of the First USSR A-bomb Test in 1949. J. Radiat. Res. 46 (4), 395-399
7. Stepanenko, V.F., Hoshi, M., Dubasov, Yu.V., Sakaguchi, A., Yamamoto, M., Orlov, M., Bailiff, I.K., Ivannikov, A.I., Skvortsov, V.G., Kryukova, I.G., Zhumadilov, K.S., Apsalikov, K.N., Gusev, B.I., 2006. A gradient of radioactive contamination in Dolon village near SNTS and comparison of computed dose values with instrumental estimates for the 29 August, 1949 nuclear test. J. Radiat. Res. 47, A149-A158.
8. Zhumadilov, K.S., Ivannikov, A.I., Skvortsov, V.G., Zhumadilov, Zh.S., Endo, S., Tanaka, K., and Hoshi, M., 2005. Tooth enamel EPR dosimetry: selecting optimal spectra registration parameters and effects of sample mass on sensitivity. J. Radiat. Res. 46 (4), 435-442.
9. Ivannikov, A.I., Zhumadilov, Zh., Gusev, B.I., Miyazawa, Ch., Jiao, L., Skvortsov, V.G., Stepanenko, V.F., Takada, J. and Hoshi, M., 2002. Individual dose reconstruction among residents living in the vicinity of the Semipalatinsk Nuclear Test Site using EPR spectroscopy of tooth

- enamel. Health Phys. 83 (2), 183-196.
10. Ivannikov, A.I., Trompier, F., Gaillard-Lecanu, E., Skvortsov, V.G. and Stepanenko, V.F., 2002. Optimization of recording conditions for the electron paramagnetic resonance signal used in dental enamel dosimetry. Radiat. Prot. Dosim. 100, 531-538.
 11. Ivannikov, A.I., Skvortsov, V.G., Stepanenko, V.F., Tikunov, D.D., Takada, J., Hoshi, M., 2001. EPR Tooth Enamel Dosimetry: Optimization of the Automatic Spectra Deconvolution Procedure. Health Phys. 81 (2), 124-137.
 12. Ivannikov, A., Zhumadilov, K., Tieliewuhan, E., Jiao, I., Zharlyganova, D., Apsalikov, K.N., Berekenova, G., Zhumadilov, Zh., Toyoda, Sh., Miyazawa, C., Skvortsov, V., Stepanenko, V., Endo, S., Tanaka, K. and Hoshi, M., 2006. Results of EPR Dosimetry for Population in the Vicinity of the Most Contaminating Radioactive Fallout Trace After the First Nuclear Test in the Semipalatinsk Test site. J. Radiat. Res. 47, A39-A46.
 13. Zhumadilov, K., Ivannikov, A., Apsalikov, K.N., Zhumadilov, Zh., Toyoda, Sh., Zharlyganova, D., Tieliewuhan, E., Endo, S., Tanaka, K., Miyazawa, C., Okamoto, T. and Hoshi, M., 2006. Radiation Dose Estimation by Tooth Enamel EPR Dosimetry for Residents of Dolon and Bodene. J. Radiat. Res. 47, A47-A53.

Figures

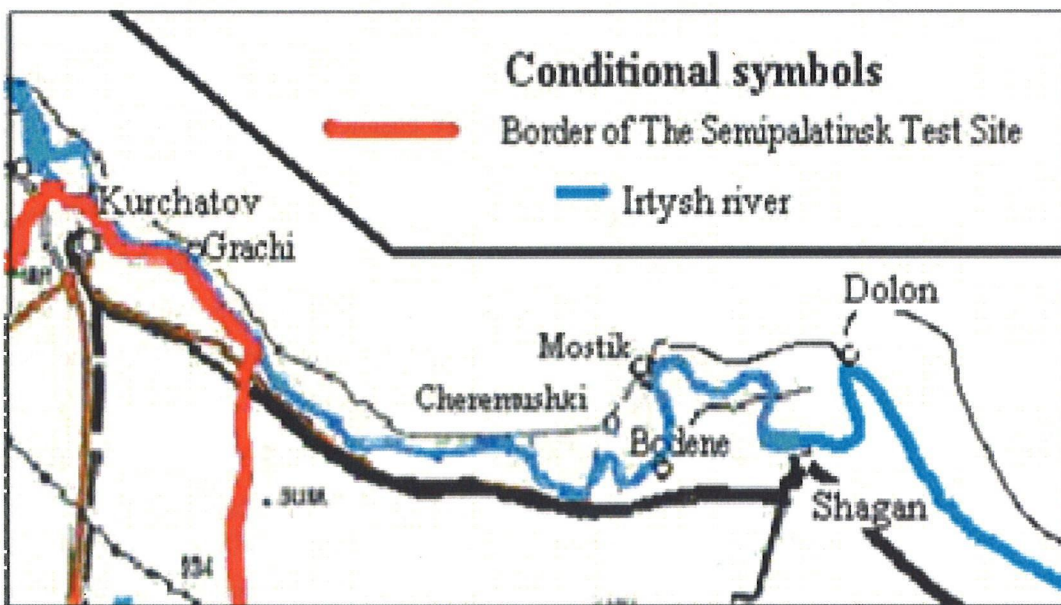


Fig. 1. Map of this area where we obtained the data

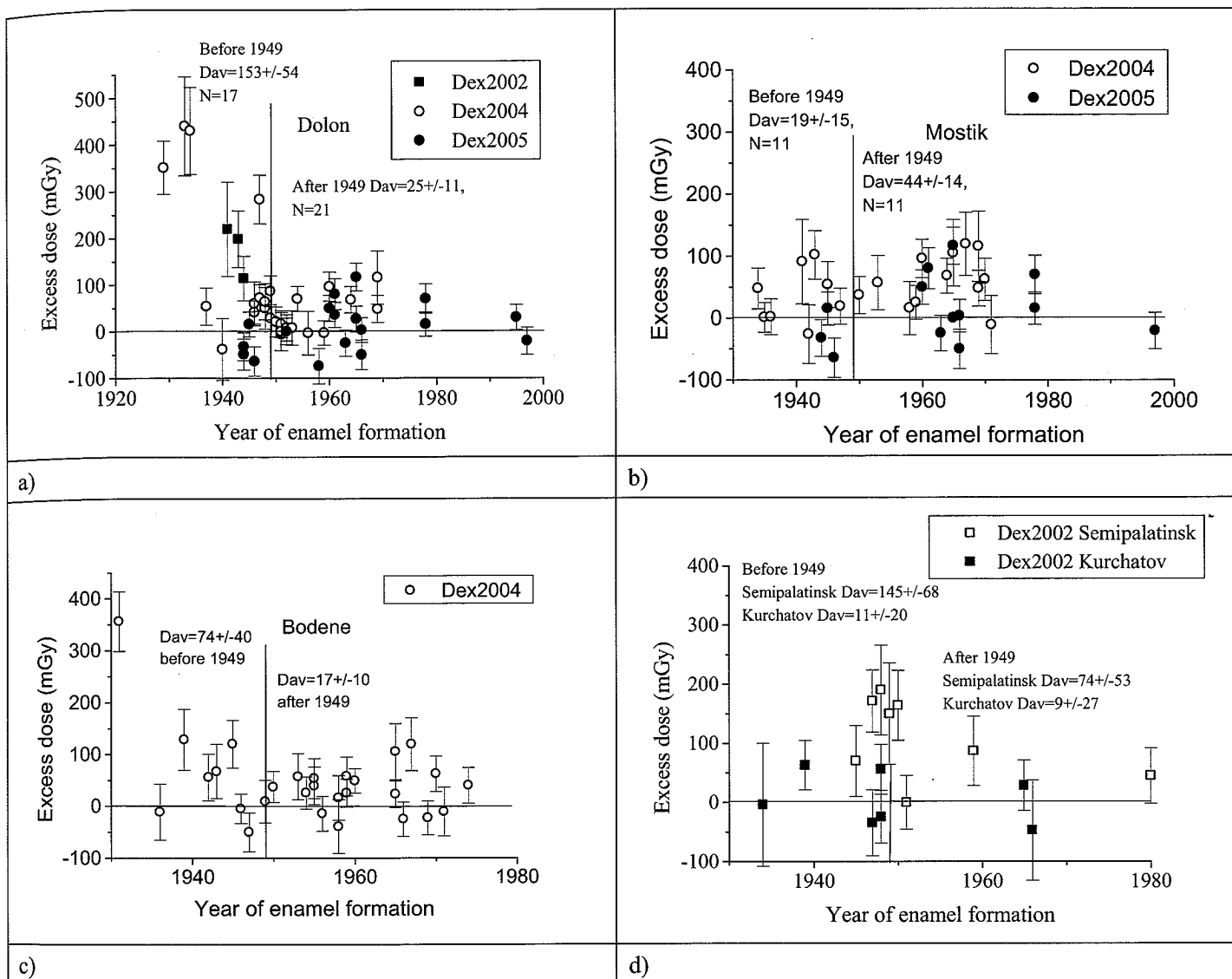


Fig.2. Excess doses in enamel versus the year of enamel formation for Dolon (a), Mostik (b), Bodene (c), Semipalatinsk City and Kurchatov City (d). Note: D_{av} -average excess dose (mGy); D_{ex2002} -excess dose measured in 2002, D_{ex2004} -excess dose measured in 2004, D_{ex2005} -excess dose measured in 2005

Tables

Table 1. Information about samples from vicinity of the Semipalatinsk Nuclear Test Site

Settlements	Years of analysis	Measured	Enamel formed before 1949	Distance from epicenter, km
Dolon	2002 (Ivannikov et. al., 2002)	3	3	100
	2004 (Ivannikov et. al., 2006)	26	13	
	2005	9	1	
Mostik	2004 (Ivannikov et. al., 2006)	10	8	90
	2005	13	4	
Bodene	2004 (Zhumadilov et. al., 2006)	20	9	90
Semipalatinsk	2002 (Ivannikov et. al., 2002)	9	4	150
Kurchatov	2002 (Ivannikov et. al., 2002)	7	5	70
Kokpekty	2004 (Zhumadilov et. al., 2006)	8	-	400
Total		105	47	

8. セミパラチンスク地域の被曝者の検診と染色体異常の検査

飯田昭三、武市宣雄、星 正治

セミパラチンスクの被曝者の甲状腺の検診や採血については、各村々を訪れて行った。それらの村として選んだ所は、もっとも大きな被曝地域（1Gy 相当の被曝）として、ドロソ村、サルヂャル村、その次の村（0.5Gy 相当の被曝）としてカイナル村、コントロールとしてコクペクティ村である。以下に検診の数について表にした。

	2003	2004	2005	2006
ドロソ	26	30	37	35
サルヂャル	8	37	18	24
カイナル	15	27	12	11
カラウル	0	25	15	1
コクペクティ	10	17	14	20
シェルバクティ	0	0	0	25
セミパラチンスク	28	8	1	1
その他	10	1	1	0
計	97	145	98	117

甲状腺の検診結果などについては総合的なレポートはまだ出ていないが、参考文献の武市他（広島医学）にその結果の一部が出ている。この報告は広島の医師会の槇殿賞を受賞した。

染色体の検査についても現在も解析中であるがその一部を以下に報告する。培養法としては一般的なものである。血液は当地のセミパラチンスクでは十分に処理が出来ないので、血液を冷蔵し持ち帰った。これは京都大学名誉教授の佐々木正夫氏の方法による。組織培養法および標本作製は一般的に広く用いられている方法を使った。以下にそれを述べる。

末梢血液の処理と培養方法

- (1) あらかじめヘパリン液(100U)でぬらした注射筒で5～10mlの静脈血を採取し、軽く混合して血液とヘパリンを混合させて、血液の凝固を防ぐ。
- (2) これを培養液+20%牛胎児血清 20mlの液に混合する。
- (3) 培養開始日にPHA(phytohemagglutinin)を0.2ml加え2日培養する。
- (4) 2日後、Colcemid処理で分裂細胞を集め、低張液処理で細胞を膨潤させメタノール3対氷酢酸1の液で固定して、スライドガラスに滴下し温熱乾燥法で標本作製する。
- (5) 乾燥後ギムザ染色液で染色して、顕鏡を行う。

検査の暫定的な結果を下表に示す。検査数を今後とも増やし、被曝との関係を考察する。

2001年	検査数	異常数 (%)
ドロン	34	24 (71)
サルジャル	15	7 (47)
カイナル	14	9 (64)
コクペクティ	10	5 (50)
計	73	45 (62)

2002年	検査数	異常数 (%)
サルジャル	6	5 (83)
カイナル	22	18 (82)
コクペクティ	22	9 (41)
計	50	32 (64)

9. アンケート調査・聞き取り調査によるセミパラチンスク被曝実態調査研究の概要

川野徳幸

研究参加者：川野徳幸（代表）、平林今日子、松尾雅嗣、峠岡康幸、平岡 敬、原田浩徳、原田結花、大瀧 慈、星 正治

【研究目的】

カザフスタン共和国には米ソ冷戦構造の負の遺産とも言えるセミパラチンスク核実験場がある。そこでは、1949年から40年間、大気中での111回の核実験を含む合計456回の核実験が行われてきた。これにより、核実験場を中心とする広範囲で50万人とも、100万人とも推定される住人が被曝する結果となった。そこで、川野らの研究グループは、セミパラチンスク核実験場近郊住民を対象としたアンケート及び聞き取りによる被曝実態調査研究を2002年より開始した。本調査研究は、自由記述の証言を含むアンケート調査・聞き取り調査という方法によって、セミパラチンス

ク核被害の実態の一端を明らかにすることを目的とする。

【研究方法と結果】

アンケート調査票の設問は、これまで旧厚生省、広島市、長崎市、日本被団協等が行ってきた被曝実態調査を参考に作成した。

2005年度（平成17年度）は、核実験場近郊のバラドリハ地区の6村で実施した。その結果、281件のアンケート調査票と140件の被曝証言を回収した。同時に、11名の被曝者へのインタビューも実施した。また、2006年度（平成18年度）は、セミパラチンスク核実験場北部の4村で実施した。その結果、261件のアンケート調査票と237件の被曝証言を回収した。次頁以降に2002-2006年調査の回収状況と調査地の地図を示す。

平成17年度及び18年度は、平成16年度までに収集した調査票をデータとして、主に次の3つの視点<①被曝体験の態様、②被曝体験当時と現在の気持ち、③心的影響を含む健康状況>からセミパラチンスクの被曝実態解明を行った。考察では、広島・長崎における類似の調査結果との比較検討も行った。その結果、特に次の点を明らかにした。これらの研究成果については、Journal of Radiation Research 等に発表した。

- 1) セミパラチンスク被災者には、具体的な被曝体験（閃光の体験、爆風の体験等）がある。
- 2) セミパラチンスク被災者には、核実験時の避難体験などのセミパラチンスク特有の被曝体験がある。
- 3) (広島・長崎との比較検討により) セミパラチンスク被災者が広島・長崎と共通する多くの被曝体験を有す。
- 4) 核実験体験による心的外傷を受けた被災者が少なからずいる。
- 5) セミパラチンスク被災者の関心の中核をなすものは、実験後の健康被害である。
- 6) アンケート回答者の内、30%以上が健康不良を訴えた。具体的疾患としては、関節疾患、高血圧、心臓疾患、胃腸障害を挙げるものが多かった。
- 7) 被曝線量が高いとされる村の住民ほど、放射線障害有りとする回答頻度が高かった。
- 8) 核実験による家族、友人の死が「家族解体」となりうること、ひいては「教育機会の喪失」、「相互扶助力の減退」といった社会的被害の要因となる可能性がある。
- 9) 被災者の思いと要求を考察した結果、多くの被災者に次の点が共通であった。
 - ①核実験に対する強い憤りの思いがある。
 - ②核兵器廃絶への切実な願い、そして核実験の即時中止を求める思いがある。
 - ③現在置かれた状況に対する(経済)援助、現在の健康不良に対する医療支援、そして被曝という現実に対する国家補償を求めている。

10. カザフスタン共和国保健省医学環境研究所におけるデータベース構築

片山 博昭

はじめに

カザフスタン共和国保健省医学環境研究所（カザフ研究所）には、1949年から始まった旧ソビエト連邦による核実験場近郊住民に関する情報が集められている。近郊住民に関する情報は核実験が行なわれた当初から集められ、現在でも継続されている。情報の種類としては、姓名、性、生年月日や居住歴などのいわゆる基本情報、死亡情報、罹患情報、検診情報、各種の質問表、被曝した試料からの線量測定情報など多岐に渡っている。これらの資料は紙に書かれた状態で保存され、各国との共同プロジェクトが発生する度に、この用紙からパーソナルコンピュータに入力されてきた。即ち、これらの資料は物理的に保管する場所として一箇所にまとめられ管理されてきたが、デジタル資料としての一元的な保管・管理はされていなかった。そのため、各部署に設置されたパーソナルコンピュータの中には同じ内容、もしくは少しだけ異なったデータが分散され保存されている。有効な疫学的な解析を行なう場合は、これらの資料がデータベースとして一元管理されることが望ましい。さもなければ、新しい解析が行なわれる度に、そのためのデータセットを以前と同様に作成しなければならなくなる。我々はまた、疫学的影響を調査だけでなく、被曝者個々の被曝線量を出来るだけ詳しく計算する事も目的の一つとしている。その為には、土壌や煉瓦などの被曝試料から得られた測定値データや ESR などから得られた生物学的線量推定値、被曝者が摂取した食事やミルクの量などを調査した質問表、更には被曝者個々の居住歴、仕事の内容などが多角的にリンクされなければならない。これらを達成する為には高度に一元化されたデータベースの構築は必須である。

経過

2002年8月23日、カザフ研究所のアプサリコフ所長、グシェフ副所長と協議し、データベース構築はカザフ研究所の完全な協力の下に行なうこと、我々の役割としてデータベース構築に必要な機材の設定、技術力供与、そして研究所職員の教育を行なうことを決定した。また、研究所は保有する全てのデータを可能な限り、構築するデータベース上に置く。その為の職員の確保を行なうことも決定された。この協議により、2003年3月19日から4月15日まで、2003年6月4日から7月8日までの2回に渡り、カザフ研究所からプログラマーを招聘し放射線影響研究所情報技術部にてデータベースの研修を行なった。当初は現地プログラマーにアプリケーションプログラムの作成をさせることを試みたが、最終的にデータベースに使用するアプリケーションは日本側で作成し、現地プログラマーにはデータベースの保守をすることになった。2003年7月21日、カザフ研究所に設置されたデータベースサーバに OS、データベースエンジンをインストール、クライアント PC にも必要な設定を行なった。2003年7月25日にデータの入力を始めた。データの入力は順調に進み、2003年9月30日で49,000件、2006年11月10日では136,000件に達し、死亡情報は69,000件が入力された。上記プログラマーの退職に伴い、2006年11月に現地から新採用のプログラマー1名を放影研に招聘し、3週間にわたり研修を行なった。入力する対象集団は、核実験場に近い地域から始めた。現在は、アバイ地区、ベスカラガイ地区、ジャナセメイ地区を主として個人情報の収集を行ない、データベースへの入力を行なった。今後は周辺の地域の情報

を入手し、旧セミパラチンスク州を全て含むデータベースを構築する予定である。データベースへ入力されている情報は個人情報に関するものが主で、姓名、姓、生年月日、家族構成、居住歴、職歴、被爆者手帳の記載事項等である。解析に当たっては、これらの基本的情報を持つ母集団を策定し、その上で解析に必要な集団を抽出する。

データベース

データベースに使用したハードウェアの仕様は、CPUはPentium III 1.4GHz、1GB RAM、本体のHDは36GB、データ部に108GB(36GB*3)のRAID IIIである。ソフトウェアとして、OSにRedHat Linux 8.1、データベースエンジンにSybase 11.0.3.3 for Linuxを採用した。Sybase 11.0.3.3 for Linuxを採用した第一に理由はOSと同じく、使用に関してライセンス費などが発生しないこと、必要に応じて容易に拡張ができることであった。データベース自体は2台用意し、一台はバックアップとして設定され、毎晩メインのデータベースからデータが転送され、不意の障害に備えている。全ての機器は19インチラック内に設置され施錠されている。またデータベースサーバが設置されている部屋も常に施錠され、厳重に守られている。

データベーステーブル構造

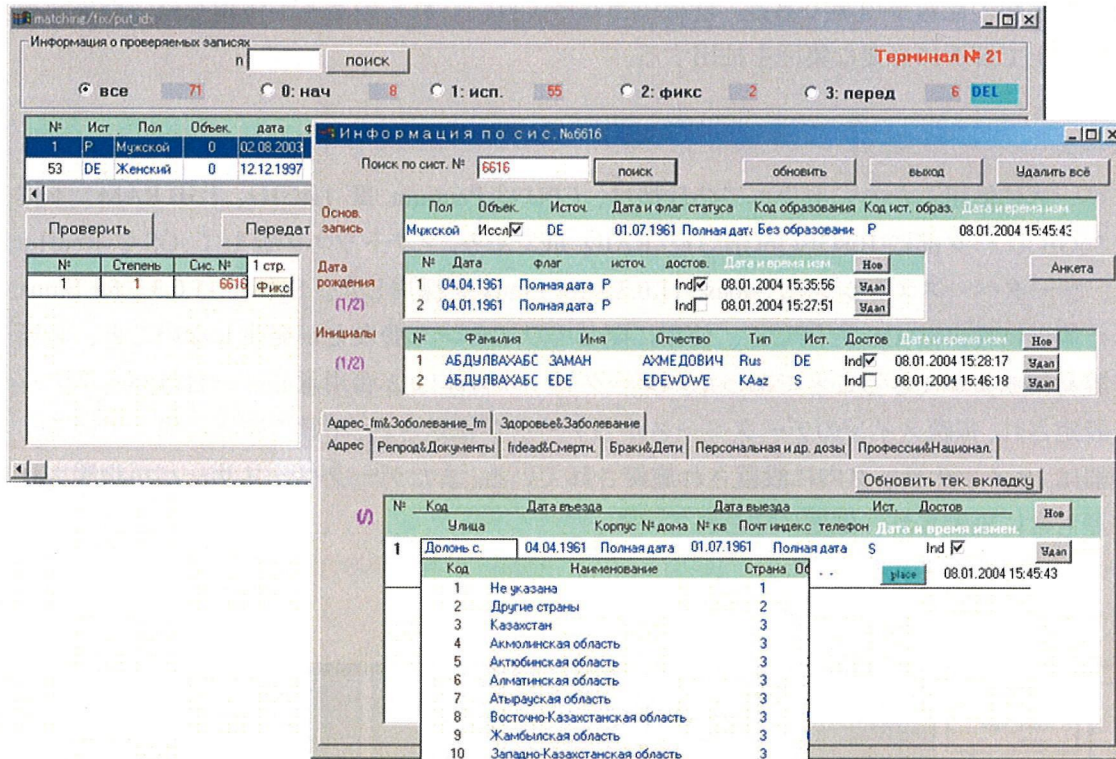
places * idplace country region area settlement descrip updt	clc_code * idclc code code_item updt diag * iddiag icd9 icd10 descrip updt	id * sysid gender tpstat stat_src stat_dt stat_df ideduct ideduct_src updt	names * sysid * seq_no firstname lastname midname type src ind updt	ldead * sysid * seq_no icd9 icd10 comment deaddt deaddf src ind updt	doze * sysid * seq_no total dozemdt dozemdf src ind updt	disease * sysid * iddiag * seq_no now_past comment diagdt, df src updt	reprod * sysid id_number typegroup usedhozb birtdoc ushozbk per4648 per4650 liv_bgdt,df liv_enddt,df left_bgdt,df left_enddt,df updt
dbours * src descrip updt	heath * idheath descrip updt	id_entry * tty_id * s_no src gender tpstat stat_dt stat_df ideduct firstname lastname midname nametype birthdt birthdf run_flg reg_flg sysid updt	births * sysid * seq_no birthdt birthdf src ind updt	nations * sysid * seq_no idnational sourd sourdof src ind updt	marriage * sysid * seq_no mardt mardf idhusband src ind updt	heaths * sysid * idheath src updt	ldead * sysid iddead updt
nation * idnational descrip updt	istusr * iduser lastname updt	adres * sysid * seq_no idplace street box housenmb room postalindex numberbel indt,df outdt,df doc_type src ind updt	trades * sysid * seq_no idtrade bgdt,df enddt,df src ind updt	children * sysid * seq_no * idchild updt	adres_fm * sysid * idrelat * seq_no idplace indt,df outdt,df src ind updt	disease_fm * sysid * idrelat * iddiag seq_no qe_no src updt	question1 * sysid * qe_no exam_dt,df pid exam_place harm_trade marr_1 trade_reason updt
rftrade * idtrade descrip handle_1-5, o job_type updt	doc_type * doc_type descrip updt	mh_out * tty_id * s_no * mh_type * sysid	doc_inf * sysid * doc_type * seq_no number serial memo src updt	relat * sysid * idrelat * idrelt dozes updt	clc_data * sysid * qe_no * idclc * code value notes updt	question2 * sysid * qe_no exam_dt,df pid exam_place dr_sign updt	
iprel * idrelat descrip updt	rezid * idrezult descrip updt	icd9 icd9 descrip updt					
clc_item * idclc clc_item type unit class_no updt	icd10 icd10 descrip updt						

データベースは上記に掲げた基本情報のみでなく、死亡情報、集団検診による血液学的検査、生化学的検査の結果も含んでいる。これらのデータは様々な入力源から得られ、全てのデータは一意的個人識別番号で結合されている。

アプリケーションプログラム

クライアントPCでデータ入力に使用されるアプリケーションプログラムは、パワービルダーで作成する。開発は日本語で作成するが、最終的にロシア語に翻訳しランタイムバージョンにし、メールにて現地に配送する。現地では研修を受けたプログラマーが送付されたアプリケーション

ソフトが各クライアント PC で使用できるように所定の場所にコピーする。これらのプログラムは個人同定を含むために、非常に複雑に出来ている。



集計結果

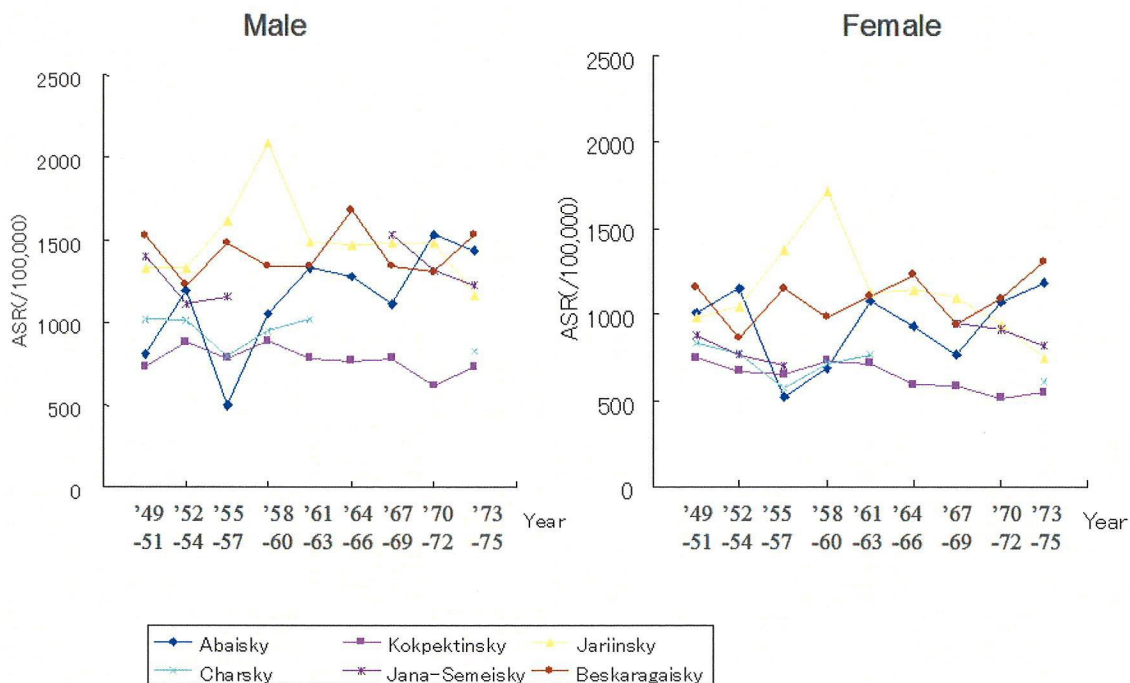
- 年次別地域別登録者数および死亡者数

	1949	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000
人口												
Abaisky	5914	5862	5715	5784	5355	4821	4100	3386	2550	1806	1102	353
Ayagozsky	4	4	4	5	5	6	6	6	5	5	5	1
Kokpektinsky	3548	3517	3153	2647	1924	1137	227	0	0	0	0	0
Jarminsky	11707	11764	11145	10141	9182	7952	6537	6494	5745	4545	2075	67
Charsky	3099	3079	2852	2611	2175	1782	1405	1304	1205	863	370	1
Jana-Semeisky	3438	3458	3482	3461	3535	3323	2943	2583	2070	1485	653	4
Baskaragaisky	18672	18124	21151	22406	21846	21105	20001	18801	17374	15597	13461	11400
Borodulihinsky	7902	8055	8681	9356	9712	9997	10195	9200	7768	6168	4285	2389
Unknown	4510	4468	4241	3926	3756	2924	2066	1605	1158	714	281	27
死亡者数												
Abaisky	142	90	62	125	148	212	241	210	195	169	227	0
Ayagozsky	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Kokpektinsky	149	172	214	209	167	198	216	0	0	0	0	0
Jarminsky	365	381	523	441	385	346	129	0	523	501	610	0
Charsky	131	150	93	106	90	16	115	0	106	80	2	0
Jana-Semeisky	36	65	53	4	18	111	83	116	124	147	197	0
Baskaragaisky	162	273	265	214	299	267	276	348	289	365	365	36
Borodulihinsky	1	4	3	5	0	4	21	317	216	366	370	5
Unknown	132	170	176	48	80	214	223	120	127	58	92	0

これは現在のデータベースに入力されているデータを年次別、地域別に表にしたもので、上段は登録者数、下段は死亡者数である。5年毎の区切りで表示している。このように5年毎の数値で見ると、安定した入力が行なわれているかのように思える。次にジャナセメイ地区だけを取り出して、1958年から1965年までの死亡者数を表にすると、如何に少数の死亡者数しか登録されていないかがわかる。

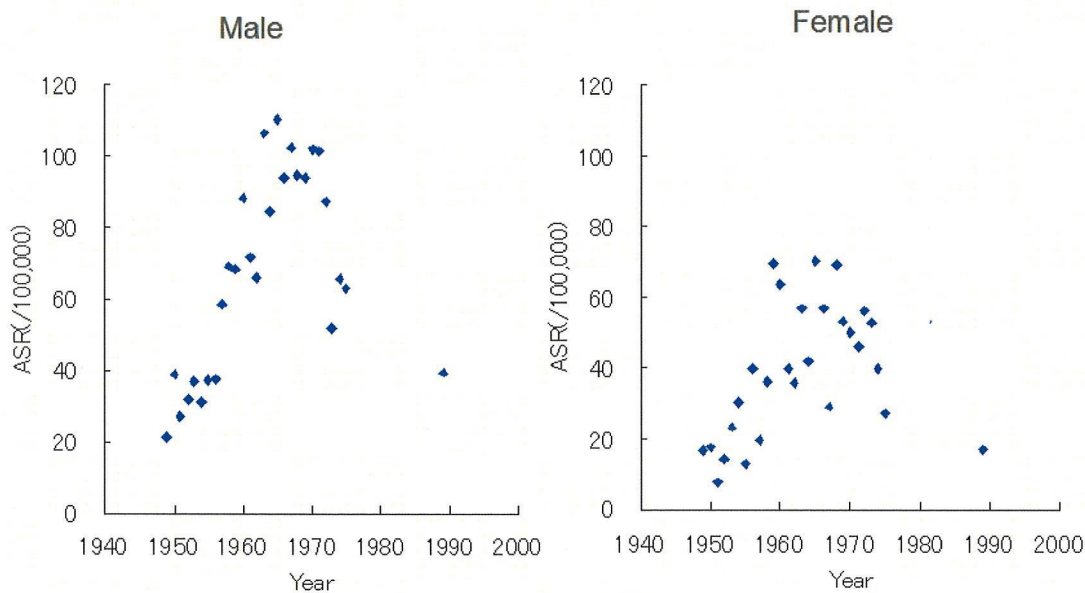
	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965
Jana-Semeisky	0	1	4	9	8	7	7	18

- 地区毎の死亡率 (対 10 万人)

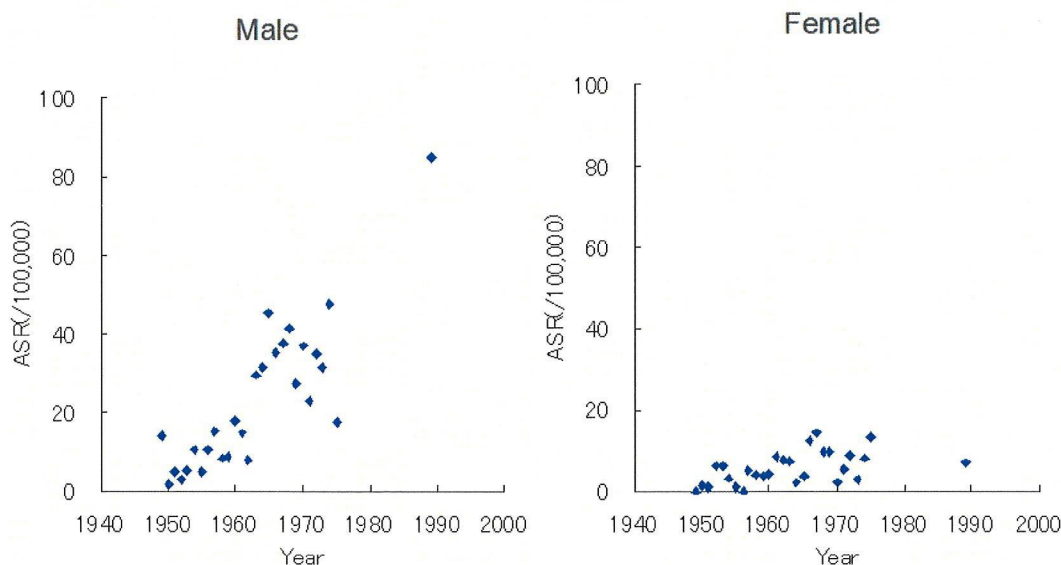


- 食道がんの年次推移 (対 10 万人)

(Kokpektinsky の 1989 年、Charsky の 1996 年から 1971 年、Jana-Semeisky の 1958 年から 1965 年を除いたもの)



- 肺がん死亡の年次推移（対 10 万人）
 （Kokpektinsky の 1989 年、Charsky の 1996 年から 1971 年、Jana-Semeisky の 1958 年から 1965 年を除いたもの）



考察

旧共産圏においては、人口動態統計や死亡統計（地区別、死因別、年齢別死亡数）を入手することが非常に困難であり、これまで様々な手段を通じ統計資料を入手するべく努力してきた。しかし、入手できるものは断片ばかりであり、政府統計資料の入手には至っていない。今回、INCO-COPERNICS と呼ばれたプロジェクトが作成した 1949 年から 1975 年にかけての、年齢別、地区別人口および死亡数を記した統計資料を入手し、この統計情報を元に、データベースに入力された情報から年齢調整罹患率を算出した。地区毎の死亡率では男女間に差は無いが、人口による補正をしたにも関わらず地区によっては倍の死亡率を示しており、死亡が確実に登録されているのかの確認が必要であろう。これまでの調査結果からは、この死亡数は州に保存されている ZAGS（結婚、出産、死亡の届出）から得られたものだということから、これ以上の確認は難しいかもしれない。しかしながら、この死亡数が確実なものとするならば、地区によるかなりの偏りが考えられ、解析時において特に注意を要する。

食道がんによる死亡は胃がんによる死亡とほぼ同数で、男女とも高値を示しているが、1980 年頃をピークに下がっている。国際がん登録機関（IARC）による資料から、イラン北部から中央アジアを通り中国北西部にかけて食道がんの罹患、死亡率が高いと推測されており、これは「食道がんベルト」と呼ばれている。セミパラチンスクのデータから得られた食道がんの死亡率は、IARC の推測で得られた「食道がんベルト」を実データによる実証ということになる。熱い茶を飲む習慣が食道がんを引き起こす主要原因と言われている。

肺がんによる死亡では、男性に死亡数の上昇が顕著であり、女性では殆ど上昇は見られない。研究所の医師の話では、元来、カザフ人には喫煙習慣がなく、第 2 次世界大戦で旧ソビエト軍として徴集され、軍隊で喫煙を覚えたとのことで、喫煙人口は確実に増加している。1949 年の調査開始から男性において確実に増加し、女性には増加が見られないことから、放射性物質による内部被曝が原因とは考えられず、喫煙による影響によるものと思われる。

結語

これまで述べたように、データベースへの登録は順調に行なわれているが、内容を詳細に見てみるとかなりのばらつきが見られる。最終的に、疫学的解析を行なわなければならないが、解析するに足るデータ精度を得るために、(1)国あるいは州による地区別、性別、年代別、また年次別の人口動態統計資料、(2)死亡原因別の統計資料などを入手する必要がある。その資料を元に、データベースに登録された登録者数を比較し、できるだけその差を埋める努力をしなければならない。さもなければ、解析に当たって、登録されたデータに偏りがないことを証明することは難しい。また、現在のデータの収集作業は統計学者や疫学者による長期的計画に基づいたものではないために、収集内容も場当たりの傾向が強く地区毎の偏りがあるように見受けられる。今年度から放影研の疫学者の参加をお願いし、これまでのデータを解析、今後どうすべきかの検討を始めた。

1 1. 平成 17 年 3 月 9-11 日に広島大学で開催した国際ワークショップとその論文発表

平成 17 年 3 月 9-11 日の 3 日間にわたって広島大学の広仁会館で開催し、その結果を *Journal of Radiation Research* 47 supplement A1-A224 2006 (29 papers) にまとめた。第一論文は会議全体のまとめである。この論文集は、付録として添付している。会議の主題は、「セミパラチンスク核実験場近郊住民の被曝線量推定のための国際相互比較」で、3rd Dosimetry Workshop on the Semipalatinsk Nuclear Test Site (10th Hiroshima International Symposium) を兼ねている。主催は、広島大学原爆放射線医科学研究所、共催に、広島大学 21 世紀 COE プログラム「放射線災害医療開発の先端的研究教育拠点」、日本放射線影響学会がある。それから、独立行政法人日本学術振興会 (JSPS) (代表：星 正治) の支援を受けた。これは、ヘルシンキ 2001 年、セミパラチンスク 2002 年を受けて開催された第 3 回目のワークショップでもある。以下に詳細を説明する。(本文は今中哲二氏の 2005 年 3 月 25 日付のまとめを基にしている)。

1 1-1. 煉瓦による TL 測定の測定に関して、6 名の発表が行われた。Stepanenko (Obninsk、ロシア、MRRC: Medical Radiological Research Center)、佐藤 斉 (茨城県立医療大学)、Simon (NCI)、Goeksu (GSF)、Bailiff (University of Durham)、Grosche (Federal Office for Radiation Protection, Germany)らである。

内容は、Stepanenko が TL 相互比較サンプルの測定に関して全体的な説明をした。ドロン村の TL 相互比較測定に供するため、2002 年 9-10 月にドロン村 3 カ所から 4 つのレンガサンプルを国際相互比較用に採取した (学校 1、大教会 2、小教会 1)。レンガは、MRRC で 7 つに分割し、そのうち 5 つを Intercomparison サンプルとして、ヘルシンキ大学、広大原医研、米国 NCI、英国 Durham 大学、ドイツ GSF に送って測定した。

佐藤 斉も日本での TL 相互比較サンプル測定結果を報告した。TL 測定の方法は従来からの、石英粗粒子法である。レンガから石英を抜き出し、フッ酸で表面処理 (α の寄与を除くため) をする。TL は 200~400°C のプラトー部分の発光量を用いた。試料に (0.2~1Gy で) 何点か既知量の追加照射をして、発光プラトーの高さをプロットし、未照射サンプルの被曝量を求めた。カザ

フからの建造年の情報を基に BG 値(230~350mGy)を差し引いた。表面 1cm での吸収線量は、220~310mGy くらいであった。

アメリカの Simon (NCI)による米国での TL 相互比較測定も発表された。Simon の所属は、NCI の Division of Cancer Epidemiology and Genetics である。相互測定サンプルを Simon が代表となり受けとり、測定は Oklahoma State University (OSU)で行った。OSU での TL 測定法は、Optical Stimulated Luminescence (OSL: 光刺激蛍光) というものである。Simon からは、ドロン村の相互比較サンプルだけでなく、Kanonerka 村など独自にサンプリングしたデータの報告もあった。Simon らの BG 推定法はレンガ深さ 10cm のところ (約 0.5Gy) を自然 BG レベルとする方法である。1cm 値から BG レベルをさっ引いて fallout 線量とする。ドロン村の結果は、レンガ 1cm で 0.21 ± 0.12 Gy となった。さらに、形状・遮蔽効果を見込んだ換算係数を 2 とすると、地表 1m 空気線量は 0.42 ± 0.24 Gy となる。

Goeksu のドイツでの TL 相互比較測定。GSF も OSL 法による測定。建物の建築後年数を、(レンガ深部の TL 総線量) ÷ (レンガの β 、 γ 成分、現場の外部 γ 測定に基づく年間線量) で評価した。ドロン村の大教会の建築後年数は 95 ± 6 年となった。一方、記録は 1904 年の建築であるから、みごとに一致している。BG 値を引いた相互比較レンガの 1cm 線量は約 200mGy で、これに (モンテカルロで求めた) 換算係数を用いて地表 1m 空気線量にすると、0.3~0.5Gy となった。

Goeksu らのレンガ TL 測定値の表

	TL(Total)10m, mGy	BG 値, mGy	10mmNet, mGy
大教会(KSD2-1)	540±35	350±10	190±25
大教会(KSD1-3)	585±65	390±10	195±47
小教会(KSD3-2)	602±64	380±10	222±47
学校(KSD4-1)	530±48	320±10	210±32

Bailiff の TL 相互比較測定へのコメント。Bailiff、Stepanenko、Goeksu らは連名で昨年 12 月の Health Physics にセミパラ TL 測定の論文を出している。その論文での大教会の 2 つのサンプルに基づく地表 1m 空気線量は、475 と 415mGy だった。Bailiff からは、BG の評価方法、サンプル採取位置 (建物のコーナーからサンプルをとるとその影響がある)、汚染の非一様性の問題などのコメントがあった。

Grosche の TL 測定報告。相互比較の枠外で、ドイツグループが行った TL 測定の報告をおこなった。Grosche は疫学の専門家である。大教会のレンガ表面と深さ 10cm での TL 値が同じくらいだった。バックグラウンドの問題は簡単ではない。大教会レンガでの BG 値を 350 ± 50 mGy とすると、1cm_Net 線量は 200~300mGy となる。レンガ 1cm 吸収線量から地表 1m 空気吸収線量への変換係数を取りあえず 2 とすると、ドロン村での地表 1m 空気線量は 400~600mGy となる。

1 1-2. 歯エナメル ESR 測定に関して、7 名で 8 演題の発表があった。Ivannikov (MRRC)、Romanyukha (University of the Health Sciences, Bethesda)、Pivovarov (Institute of Nuclear Physics, Kazakhstan)、Skvortsov (MRRC, Obninsk)、Kassym Zhumadilov (広大原医研)、豊田 新 (岡山理科大)、Khvostunov (MRRC, Obninsk)らである。

Ivannikov は、ドロロン、モスティク村住民の歯のエナメル質の測定を ESR 法で行った。ドロロン村から 29(11)本、(その隣の)モスティク村から 16(7)、(イルティッシュ川対岸の) Bodene 村から 23(9)の測定結果が得られた。(かっこは、1949 年にエナメル形成が終わっていたサンプル数)。サンプルは、セミパラチンスクの Apsalikov らが被曝を確認した上で記録したものである。それを広島大の ESR 測定装置を使って、岡山理科大の豊田と、Obninsk の Ivannikov の指導の元に測定した。ドロロン村の測定結果では、自然 BG 値を 0.8mGy/y として差し引いた。モスティクでは、ドロロンのように 1949 年以前サンプルでの顕著な増加はなく、全体の平均で 42mGy だった (ただし、1.3Gy という Outlier 値ひとつは除いた)。ドロロンの被曝量分布は大小 2 つのグループに分かれ (Bimodal)、線量の大きい 4 人の平均線量は 370mGy だった。

Romanyukha は、豊田や Simon のグループである。歯エナメル ESR の線量がモデル計算値に比べて小さいのは今回の WS までの大きな問題であった。それに関して、確かなサンプルが必要などとの意見を述べ、Pivovarov は歯の測定を行い測定における問題点を指摘した。Skvortsov は、Obninsk の MRRC でこれまで行ってきた、チェルノブイリ汚染地住人、チェルノブイリ事故処理作業員、原子力潜水艦乗務員などの歯エナメル ESR 測定の紹介をした。K. Zhumadilov は歯エナメル ESR 測定の測定条件などの検討結果を発表した。

豊田 新は、牛の歯を使って ESR 測定を試みようという Trial の話。NaOH または KOH による化学処理について、濃度、時間に関する最適処理条件に関する報告をおこなった。Pivovarov はさらに、土壌の ESR を測定した。セミパラチンスク核実験場内外の土壌をサンプリングし、ESR 測定により核実験による被曝線量を測定した。その結果被曝地からの距離の遠くないところでその影響が出るものであったが、信憑性に疑問が残る。

Khvostunov は急性被曝患者の染色体異常と歯 ESR の測定結果を比較し発表した。原子力潜水艦での被曝 24 人、チェルノブイリ事故運転員 10 人の染色体異常 (Dicentric と FISH による translocation) の経時変化、歯エナメル ESR、物理的推定線量を相互比較した。Dicentric は 30~40 年たっても少し残っている。Translocation と物理線量の関係は今でも観察されるが、広島・長崎の場合よりちょっと少ない。ESR と物理推定値は大ざっぱに一致した。歯のエナメル質の測定が他の結果と比較して線量評価に役立つことを示した。

土壌などの汚染測定、被ばく線量計算に関しては、8 名で 10 演題の発表を行った。山本政儀 (金沢大学 LLRL)、坂口 綾 (金沢大学 LLRL)、今中哲二 (京都大学原子炉実験所)、Semioshkina (GSF, ドイツ)、Orlov (MRRC, Obninsk)、Shinkarev (Institute of Biophysics, Moscow)、Stepanenko (MRRC, Obninsk)、Simon (NCI, Bethesda) らである。

山本政儀は周辺住民の骨中の Pu と U 測定と線量評価を行った。核実験場周辺の各地区から、解剖後の人骨サンプル (肋骨 or 長骨) を 89 個 (50~200g、灰化して 5~20g) 入手して測定した。サンプルの平均死亡年齢は 59.3 歳。^{239,240}Pu の測定結果では、平均は 0.05mBq/g ash。²³⁸U では、平均濃度は 0.28mBq/g ash。U の由来はもちろん Natural である。セミパラチンスク周辺の人たちの人骨中 Pu 濃度は、世界の他のデータと比べてくに大きいということはない。U については、日本の 10 倍くらいで明らかに大きい。STS 周辺の村での井戸水を測ってみると日本に比べ 100 倍くらいのところがあった。WHO による飲料水中のウラン基準は 2ppb だそうで、それを遥かに上回る場所があった。骨中の Pu 測定値を基に、(取り込みは 1955 年に 1 回の吸入で生じたと仮定し、ICRP66 モデルで残存割合を求め) 平均 Pu 取込量を求めると約 10Bq となり、それにとりま

う被曝は 0.2mSv となった。U による被曝については、234+235+238 を合わせた U の摂取量が毎年 30Bq であったとして、生まれてから 60 年間の被曝を計算すると約 0.1mSv となった。

坂口 綾は同様に土壤中 Pu、Cs 測定し発表した。1949 年の最初の核実験により大きな汚染を受けたと言われている Dolon、Cheremushki、Mostik、Budene 村での土壤中の Pu、Cs 測定結果。Pu の測定結果をみると、Dolon、Cheremushki はかなりの汚染だが、Mostik (2 サンプル) は小さい。Budene はその中間。Pu データを元にする、放射能雲の幅はずい分狭かったと言える。土壤を、粒径別に分けて、それぞれの Pu、¹³⁷Cs を測定してみると、粒子が小さくなるほど Cs の割合が大きくなる傾向が認められている。

今中哲二はドロン村の土壤中のセシウム 137 のデータに基づく線量評価を行った。ドロン村の土壤中 Cs137 について、山本らによる 22 データ、Gastberger らの 27 データ、合計 49 データを解析した。Global フォールアウトの BG 値として 1.9kBq/m² を採用して差し引いて汚染分布をプロットし、さらに明らかな outlier 値を除くと、きれいな Log-normal 分布を示した (22 データ)。その 90 パーセンタイルを汚染の代表値とすると、1949 年の Cs137 汚染レベルは 32kBq/m² となった。一方、核実験直後の Cs137 沈着 1kBq/m² 当りの地表 1m 線量を計算で求めた。ドロン村への沈着を 3 時間後としたときの線量率変化と積算線量である。50 年間の積算線量は、1kBq/m² 当り 20.1mGy であるが、はじめの 1 年で 19.3mGy(96%)である。上記の計算は、FP 組成が (希ガスを除き) そのまま沈着したとしての計算である。実際には、元素の性質にともなって fractionation を起こす (高融点元素は早めに凝固し爆発点近傍での落下が多くなる)。Decay とともに元素組成も変化し複雑になる。幸い、Nevada 核実験の測定データが報告されている (Hicks, 1982) のでそれを参考にして fractionation 効果を計算してみた。それによるとはじめの 1 年間の積算線量は 16mGy となった。Arrival time の影響については、3 時間後を基準に、2 時間と 4 時間の場合を計算してみた。その結果は積算線量に 1 割程度の違いがあった。結局、ドロン村の Cs137 沈着量の代表値を 32kBq/m² とすると、はじめの 1 年間の空気線量は 510mGy となった。

Semioshkina は核実験場内の汚染の現状、Pu、Sr、Cs の測定結果の発表を行った。Semoishkina のグループは、ISTC (国際科学技術センター：旧ソ連の核科学者流出を防ぐ基金) のプロジェクト (複数) として核実験場内の状況や環境汚染を調べた。土壤中の Pu、Sr、Cs データに関する報告があった。旧核実験場内では現在、馬などの放牧が行われており、そうした人々の線量評価が実際的な問題のようだ。彼らの全身計測データでは Cs137 濃度はそれほどではなかった。

Orlov は放射能雲の幅の評価を行った。幅は 10km 以内で狭いが、長距離を走った。ドロン村の被曝線量に関する以前の物理的評価は、約 2Sv という大きな値で、その値の根拠は実験直後のモニタリングデータとされてきた。最近の資料、今回のワークショップを通じて明らかになったことは、その根拠となっているデータは、1949 年 9 月 5 日にドロン村郊外で記録された、33 μ R/sec (119mR/h) というただ一つのデータだったことである。その値を減衰曲線に当てはめて、約 2Sv という値が出てきていた。一方、今回ワークショップでは、ドロン村の空間線量は 0.5Gy 程度だったという評価に落ちついた。Orlov によると測定記録は、放射能雲の軸上 (ドロン村の境界からは北西 1.5km) の値で汚染の最大値を示している。TL データが得られた大教会からは 3.2km である。ドロン近辺と思われる汚染分布データが得られており、放射能雲の広がりはずいぶん小さかったことを示している。

Shinkarev はドロン村の外部被曝線量評価を行った。Institute of Biophysics は、旧ソ連の軍事関係の放射線研究所で、セミパラチンスク汚染問題についてももっとも関わってきた研究所である。

論文は Gordeev (最近亡くなられたとの連絡があった、ご冥福をお祈りする) が中心になって行ったことの報告である。Shinkarev とも、ただひとつの測定データを基に、減衰曲線をあてはめて積算線量を評価すると、2.4Sv という値になったと報告した。

Stepanenko はドロン村の外部線量の推定と雲が通過した中心から離れると急激に線量が低下することを示した。1949年のただひとつの測定記録に基づく MRRC の評価は 2.26Gy となった。ただし、Orlov が報告したように、雲の幅はずいぶん狭かった。ガウス分布とみなすと $1\sigma=1.5\text{km}$ で、ドロン村の平均線量は 576mGy となり、TL データと consistent である。Ivannikov の歯エナメルデータからドロン村住民の被曝量を 174mGy とすると、「生活スタイル・遮蔽効果」係数は 0.3 となった。

Simon はドロン村の外部線量を計算した。米国側でも、ドロン村ただひとつの測定データと Trinity 核実験の減衰カーブを用いて線量評価を行った。「生活スタイル・遮蔽効果」係数を考慮すると、「雲の中心軸上」での被曝量は 0.25~0.75Gy となった。ドロン村での平均被曝量はその 20~30%であろう。とすると、歯エナメル ESR データやレンガの TL データと consistent である。

11-3. 広島および広島のグループにおけるその他の研究活動を発表した。内容は医療関係・人文関係の報告が主であった。武市宣雄(武市クリニック)は甲状腺の検診結果についてその結果をまとめ発表した。Zh. Zhumadilov (Semipalatinsk State Medical Academy) は甲状腺の結節に関して、それが被ばくの指標になることについて発表した。Shinkarev (Institute of Biophysics)は甲状腺の被ばく線量推定に関してその方法と結果を発表した。峠岡康幸(マツダ病院、現広島大学)は T-cell receptor の突然変異の割合がセミパラチンスクの被曝者に大きいことを発表した。川野徳幸(広大原医研)はセミパラチンスクの被ばく者のアンケート調査について説明した。松尾雅嗣(広大平和科学研究センター)は核実験と人体影響について言葉の問題から解析を試みた。Tieliewuhan (広大原医研)はウラル地方ではマヤークに研究所などがあり、事故による汚染があった。その地方の牛の歯の中の ^{90}Sr の測定を行いモンテカルロ計算と比較した。ここでは動物の歯の中のストロンチウムの測定をイメージングプレートで測定する方法を発表した。片山博昭(放影研)は、コンピュータのサーバーを導入しデータベースの構築を行っている。疫学データを入力していたが、データベースそのものやデータの入力状況を報告した。Apsalikov (Institute of Radiation Medicine and Ecology, Semipalatinsk) は研究課題で進めている共同研究の最も重要なカウンターパートである。この研究所は旧ソ連時代より、セミパラチンスクの核実験場近郊住民の放射線による健康影響を研究してきたところである。この研究所には今まで蓄積した線量データや、疫学データがあるが、これについてまとめた。このデータは前の片山らが進めているデータベースに入力される。

11-4. 染色体異常については、2件の発表とコメントが1件あった。Chaizunussova (IRME: Institute of Radiation Medicine and Ecology, Semipalatinsk)は、ドロン村と control の Chekoman 村で、各15人の1945-49年生まれ的女性から血液を採取し、FISH法を用いてリンパ球での Translocation 頻度を調べた。染色体検査がうまくいったのは、ドロン村で10人、Chekoman 村で5人だった。ドロン村では15086個の細胞をしらべ Translocation 頻度は $1.6\pm 0.2\%$ 、Chekoman 村では8730個の細胞をしらべると $0.6\pm 0.18\%$ で、ドロン村の方が有意に大きかった。線量・効果直線をあてはめてドロン村のドナーの被曝量を求めると、 $0.18\sim 0.26\text{Gy}$ となった。田中公夫(環境科学技術研究

所) は、SNTS 周辺の 5 つの村と市 (Dolon、Sarjal、Kaynal、Znamenka、Semipalatinsk) から 123 人、control として Kokpekti から 36 人の血液を採取し、リンパ球の不安定型染色体異常を調べた。Dolon、Sarjar、Kaynal での Dicentric+Ring の頻度は、1000 細胞当たり 2.25、1.69、1.55 で、Kokpekti(0.78) の 2~3 倍だった。Dolon などでは、MCA(multiple complex aberration)の明らかな増加が認められた。また、汚染地域 212 人と control(Kokpekti)21 人の小核細胞を調べた。汚染地域の方が若干大きい傾向が認められた (有意ではなさそう)。FISH を用いて Sarjal と Kokpekti での translocation を 5 人ずつ調べた限りでは違いは認められなかった (検査細胞数 5040 と 5080 で、異常細胞率 2.17% と 1.77%)。汚染地域の村で Dicentric や MCA の頻度が大きいことは、現在も被曝が続いていることを示唆しており、Pu 汚染などの内部被曝が疑われる。染色体データについては、統計処理の方法次第で話が変わってくるかもしれないというコメントが佐々木正夫先生からあった。

Chaizhunossova の報告をそのまま受けとると、ドロン村の被曝量は約 200mGy というようになって、TL 測定、歯エナメル測定、物理的評価など、ドロン村に関するほぼすべての評価が consistent となる。

1 1 - 5. 以下にドロン村の線量評価に関してまとめる。

(1) レンガの TL 相互比較測定に基づく空間線量

相互比較測定の結果、BG 値の評価方法に問題は残るが、表面 1cm の吸収線量として 0.2~0.3Gy であった。この値を地表 1m 空気線量に換算すると、0.4~0.6Gy となる。

(2) 汚染データに基づく空間線量

今中が Yamamoto らと Gastberger らの土壌測定データに基づいて計算した。事故直後の Cs137 沈着量を 32kBq/m² とすると、地表 1m での積算線量は 0.51Gy となった。

(3) 実験直後のモニタリングデータに基づく空間線量評価

ただひとつ記録されている実験 1 週間後のドロン村郊外での線量率測定データに基づく、その場所での積算線量は 2~2.3Gy。この値は、放射能雲の直下なので、2~3km 離れたドロン村での値はその 20~30%となり 0.4~0.7Gy となる(Stepanenko、Shinkarev、Simon)。

上記の 3 つの評価から、ソ連最初の核実験にともなうドロン村での空間線量は約 0.5Gy ということになる。おおよその線量の結論が出た。

(4) ドロン村住民の被曝量計算

計算値について。Simon の報告にもあったが、

$D_{person} = D_{air} \times (D_{body}/D_{air}) \times ((T_o/24) + ((24-T_o)/24) \times SF)$ とする。

ここで、 D_{body}/D_{air} : 人体の自己遮蔽効果(0.75)、 T_o : 屋外にいる時間、SF 家屋の遮蔽効果係数(0.33) とする。従って、 $T_o=12h$ の場合、 $D_{person} = 0.5 \times D_{air}$ なので、空間線量 0.5Gy として全身被曝量は 0.25Gy となる。

(5) 歯エナメル ESR 測定による biological 線量評価

Ivannikov の値は、報告によって少しずつ違ったりしているが、1949 年にドロン村にいた 11 人の平均線量として 140mGy を得た。そのうち大きな線量を示した 4 人の平均で 370mGy という値である。「生物学的線量評価」にともなういろいろな問題を考えると、物理的モデル評価(平均 0.25Gy) との一致は良好である。

(6) 染色体異常データに基づく biological 線量評価

Chaizhunossova の線量評価 (0.18~0.26Gy) と物理的被曝評価 (0.25Gy) は全く consistent になっ

た。染色体異常については、ヘルシンキのグループがドイツやカザフスタンと共同研究をし、被曝地でもその染色体異常の頻度は変わらない、すなわちバックグラウンドと一緒にという結論を得ている。それで今回の結論はそれと異なっている。そのため、今回の染色体の結果をもって物理学的な評価と一致したと結論する前に、染色体異常観察結果の研究者間での違いを検討する必要があると考える。染色体グループだけでも集まって討議する必要性を感じる。

(7) 高田らの TL データに関する今中のコメント

ドロン村の大教会から最初にレンガを採取し TL 測定を行ったのは、高田・星・山本グループである。Takada ら (JRR1999) によると、TL 測定に基づくドロン村の空気中線量は 1.42Gy で、住民の外部被曝量は 0.99Gy となっている。同じ大教会サンプルで、今回の相互比較の線量は Takada 論文の約 3 分の 1 となった。この違いについて、検討した。Takada らによる総 TL 線量 (表面 5-10mm から厚さ 20mm 分) : DTL は、 $790 \pm 90 \text{mGy}$ である。この値は、今回の相互比較の総 TL 線量 $600 \pm 50 \text{mGy}$ とさほど違っていない。DTL から、空気線量 Dair への換算は、

$$\text{Dair} = 2 \times (\text{DTL} - \text{DBG}) / \text{Tav} = 2 \times ((790 - 270) / \sim 0.7) = 1420 \text{mGy}$$

である。

ただし、はじめの 2 は壁表面線量から地表 1m への換算係数、Tav は表面から TL サンプル深さへの透過係数である。住民の外部被曝 DExt は、Dair に「建物遮蔽・生活スタイル」係数 0.7 をかけて 990mGy となる。(さらに、人体自己遮蔽係数 0.7~0.8 が入るが、Takada らの評価には入っていない)。今回の相互比較と Takada らの値は、今回の相互比較に比べ、「DTL が若干大きく BG 値が若干小さい」(Net で 520mGy なので相互比較の約 2 倍)、「TL の Net 線量から地表 1m への変換係数が大きい」(1.5 倍) で 2 つを合わせて約 3 倍ということになる。

Baillif は今回の発表で、建物コーナーのレンガをサンプリングすると、エッジ効果があって、壁の中央より TL 値が大きくなると Monte Carlo 計算結果を示しながら指摘していた。

(8) 結論

これらのことからドロン村は戸外 (遮蔽のないところで) 500mGy の前後である。人については、遮蔽のある家の内部にいたり外部にいたりするので、遮蔽効果から線量は低くなり、戸外の半分程度、データから言っても、200mGy から 300mGy 位で。低い値は 100mGy 程度にもなり、高い値は 400mGy 程度くらいにもなる。これが結論である。

(9) 今回の作業はこれらの各発表を影響学会誌の付録に発表することである。本報告書の付録につける (Journal of Radiation Research 47 supplement A1-A224 2006 (29 papers))。

12. 今後について

今回の研究の成果は、ドロン村で線量推定の方法により大きく異なっていたが、戸外(無遮蔽)で 500mGy 位との結論が出た。これにより、今後の課題は、被ばくした他の村を含めて線量を評価することである。放射線のリスクは広島・長崎の被ばく者の疫学調査と線量評価からほぼ求められているが、低線量や低線量率の被ばくではリスクが異なるとの批判がある。そのためにセミパラチンスクでの研究を進めてきた。今後は個人被ばく線量の評価が必要となる。個人被ばく線

量の評価には被ばくした際に家の中にいたか外だったか、農場で働いていたか、学校に行っていたか、ミルクは飲んでいただけ等の個人情報が必要で、オブニンスクの Stepanennko のグループと問診票を作り問診を開始している。

また Institute of Biophysics の Shinkarev のグループとは本人を客員教授として1年間招聘し、この地方の村々の被ばく線量を評価している。

疫学調査については、すでに放射線医学環境研究所の2万人のコホートがあり、ドイツの Groshe のグループが解析を進めている。しかしながら、このコホートで使っている線量は外部被ばくで約 1000mGy である。今回の結果を使えば 200-300mGy あるいは 100mGy であるので被ばく線量が3分の1以下となる。従って単純に考えればリスクが3倍に増加する。すでに Groshe に連絡し私たちの評価を使用することで了解が取れた。

その他ケースコントロールスタディの開始など検討中である。

今後、片山らの構築中のデータベースに線量を入力し低線量率の被曝の影響、特にリスクを求める。

謝辞

広島大学原医研における調査は、国内外の共同研究者との共同研究で推進してきた、今までに名前を挙げた研究以外にもその他、関係された数多くの研究者とともに実施された。また NGO であるヒロシマ・セミパラチンスク・プロジェクトのメンバーまた医療通訳の山田英雄氏他関係の方々には多くの御協力をいただいている。ここにあげていない関係者も多いが、これらすべての関係者に心から感謝する。