

チェルノブイリ核施設崩壊による微量放射線の 生態系におよぼす影響

Ecological Effects by Radiocontamination after Chernobyl Catastrophe

野村大成

Taisei NOMURA

大阪大学大学院医学系研究科・教授

Graduate School of Medicine, Osaka University, Professor

Radionuclides were measured and identified in the contaminated area (Gomel, Khoyniki, Bragin) and uncontaminated area (Minsk) after Chernobyl catastrophe. Radionuclides, mostly ^{137}Cs , were concentrated in the glasshopper < dragonfly < mole < mouse, although those in the soil are decreasing. High concentration was also observed in carp and frog. Significantly high incidence of somatic mutations (spot test) was detected in *Drosophila* by feeding contaminated red berry. Chromosomal aberrations remained in *Drosophila*, frog, and mouse may be caused by highly concentrated radionuclides in these animals, rather than transgenerational (genetic) effects. Lymphocytes in the peripheral blood were also collected from liquidators and people living in the contaminated area. Expression level of WT1 tumor gene, a maker of leukemia, was significantly high in 14 of 17 liquidators with hematological abnormality, indicating a higher risk of leukemia in these population.

1. 研究目的

文明科学の進歩は、人類に多大の便宜と生活の向上をもたらしている。しかし、その見返りに、地球に多くの負担をかけ、その創造力と消化力にも限界があることを知ることになった。東南アジアにおいては、今まさにこの事態は進行中である。旧ソ連邦においてはアジア以上に矛盾が生じており、経済破綻がそれをより深刻化している。

ウクライナ共和国チェルノブイリ核施設崩壊により放出された放射性物質の殆どは、ベラルーシ共和国内に降下し、同共和国の約半分を汚染さす結果となった。しかも、原爆等1回大量被曝（高線量、高線量率被曝）と異なり、この低線量・低線量率長期間内部・外部被曝という汚染形態は程度の差こそあれ、我々がダイオキシン等の新人為起源有害物質

の曝露を受ける形態そのものである。また、生態系には、ヒトにあらわれるよりもはるかに早くその影響があらわれている。

本海外共同研究は、人為起源物質による地球環境汚染の生態系への影響を調査研究することにより、放射線のみならず環境有害物質の微量・長期間・複合被曝の人類と地球の未来におよぼす影響を把握し、防護するのを目的とする。

2. 研究経過

チェルノブイリ核施設崩壊による生態影響の国際調査（UNESCO Chernobyl Ecological Sciences Network, CESN）により、1995年8月汚染地域の植物、特に食用植物（イチゴ、キノコ、小麦他）を採取するとともに、

汚染地域に生息する野生動物への影響調査を開始し、食用イチゴ、キノコ等での高度の汚染残存と野生動物（カエル、昆虫、野生マウス）での奇形、染色体異常の高発が現地調査でわかった。

1996年6月下旬ベラルーシを訪問し、ベラルーシ共和国非常事態省チェルノブイリ担当次官 Rolevich 博士、ベラルーシ科学アカデミー遺伝学・細胞学研究所 Kartel 所長と今後の調査計画を検討し、日産学術研究助成金の申請を行った。また、被曝住民と家族の血液を採取し、末梢血液 RNA を用いた WT1 遺伝子濃度検出による白血病の早期診断と DNA 解析を行うことにした。

〔第1年度〕（1997年）

ベラルーシ汚染地域での土壌・生態系での放射性物質の蓄積とその核種を調べるため、汚染地域（ゴメリー、コイニキ、ブラギン）と対照地域（ミンスク）の土壌、植物、野生動物等での放射性物質の測定と核種の同定を行った。

土壌中（表層、深度1 cm, 5 cm, 10 cm）の ^{137}Cs , ^{90}Sr の測定と樹木（外皮、各年輪）への分布を、食用植物として穀物、現地人の好んで食べるイチゴ、キノコへの生物濃縮を調べた。特に、キノコには高濃度に濃縮されていることがすでにわかっているからである。

汚染地域（土壌・植物）に生息する昆虫類、両生類（カエル等）およびゲッ菌類（マウス、ハタネズミ）等における放射性物質の体内分布と動態を定量化し、生物濃縮を検討することにより、生態系への影響の分析を行った。

〔第2年度〕（1998年）

低線量・低線量率被曝の影響を最新技術を用いて検出するため、翅毛変異系統ショウジョウバエ *mwh* と *flr/TM3, Ser* を交配し、その幼虫に、汚染食物（イチゴ、キノコ）を経口投与し、内部被曝により誘発される体細胞突然変異を検出した。また、高感度突然変異、流死産、奇形、がん検出系マウス（PT-HTF₁ および SCID マウス）を用い汚染食物を

妊娠中に投与し、次世代で障害と遺伝子異常の検出を試みた。

ヒトへの影響を検出するため、ベラルーシ汚染地域住民の子孫における染色体異常、奇形発生および、遺伝子異常について調査を行う。また、白血病発生の早期診断のため、住民の末梢血白血球より RNA を抽出し、WT1 遺伝子を用い前白血病状態の検出を行った。

3. 研究成果

3.1. 汚染地域での土壌・生態系での放射性物質の蓄積とその核種：高レベル汚染地域（ゴメリー、コイニキ、ブラギン）では十余年を経過した現在でも長半減期核種の汚染が続いている。残存する主な核種はセシウム 137、ストロンチウム 90 で、物理学的半減期はそれぞれ、30.2年、28.9年である。自然浄化による放射能汚染の低減化が期待されるが、不攪乱土壌におけるセシウム 137 の浄化半減期が24年とされていることから高汚染地での放射能汚染の実質的な半減期は物理的半減期とあまり差がないことになる。

図-1、2に示すように、土壌においても上層と下層においてセシウム 137 の分布に大きな差が認められ、動植物内でも同様に分布の差が認められた。そして、生体内には土壌よりはるかに高い濃度のセシウム 137 が検出され、汚染土壌からのセシウム 137 が生物体内で高度に濃縮されていることが認められた。チェルノブイリ核施設崩壊後、土壌、水中より放射性降下物は減少していつているのに対し、草木、食用植物（イチゴ、キノコ等）、水生動物（鯉、カエルなど）などへの強度の生物学的濃縮に加え、10年以上たった現在でも、野生陸生動物への強度の濃縮を認めた。体重当たりで比較すると、バッタ、トンボ、モグラ、マウスへすすむにつれ高度の放射性物質の生物学的濃縮がみられた（図-2）。

3.2. 微量長期汚染の生態系への継世代的影響：野生の植物やショウジョウバエ、カエル、ハタネズミでの染色体異常の検出を行ったところ、カエル等に事故後10年たっ

ても、直後とほぼ同じぐらい高頻度に染色体異常が検出されている。これは、継代的影響と考えるよりも、図-2に示したように、野生動物に高濃度の放射能が世代を越えて濃縮残存しているためと考えた方がよい。

3.3. 遺伝的影響の実験研究： 粉末化した野イチゴ、キノコなどを飼料に混ぜてショウジョウバエ幼虫に食べさせ、ショウジョウバエ翅毛突然変異検出を行った。赤イチゴ投与で、体細胞突然変異が有意に検出された(表-1)。妊娠マウスへの投与は、キノコ自体の作用(ホルモン類似作用?)のため、妊娠が抑制され、実験は不成功に終わった。

3.4. ヒトでの遺伝子変異の調査： 放射能被曝者(放射性物質除去作業員、汚染地域住民等)およびその子供(約200名)の血液より単核球を採取し、白血病早期発見のため、WT1遺伝子発現の定量と分子レベルでの遺伝子変異の検出を行った。被曝者56名中血液異常を示した者17名中14名に、異常に高いWT1遺伝子の発現がみられ、白血病高リスク群であることを示唆した。血液異常を呈しない被曝者39名中9名にも軽度のWT1の発現がみられたが、ミンスク在住正常人29名中5名にも同じ傾向がみられた。しかし日本人49名や、日本在住のコケシアン26名には全く異常値がみられず、他因子との複合汚染の関与を含めた重要な継続調査課題となった。

4. 今後の課題と発展

Chernobyl核施設崩壊10年以上たったことにより、 ^{131}I 等、核種によってはすでに殆ど存在しないものもある。半減期の長い ^{137}Cs 、 ^{90}Sr 等の核物質も減少していることは国際機関の調査のとおりである。しかし、土壤の放射能汚染は減少したが、我々が最も恐れていた樹木、食用植物、昆虫、魚類、そして哺乳類へと強い生物濃縮が起きていることがわかった。これは、汚染地域に生育する動植物への放射性物質の濃縮が永年にわたることを示唆している。現在のところ、ヒトにおける高度濃縮は、我々の調査では検出されてい

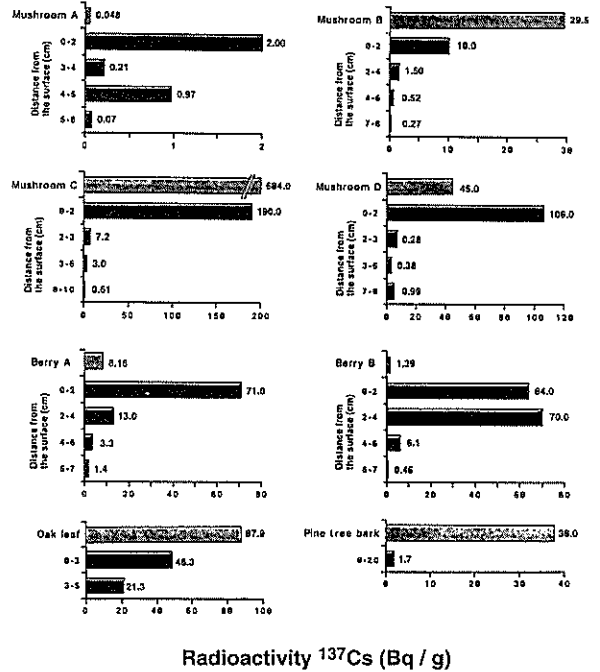


図-1 キノコ、野イチゴ、松、オーク(葉)と土壤の放射能汚染。

Fig. 1 Radioactivities in mushroom, berry, pine tree bark, oak leaf and soil in the contaminated area.

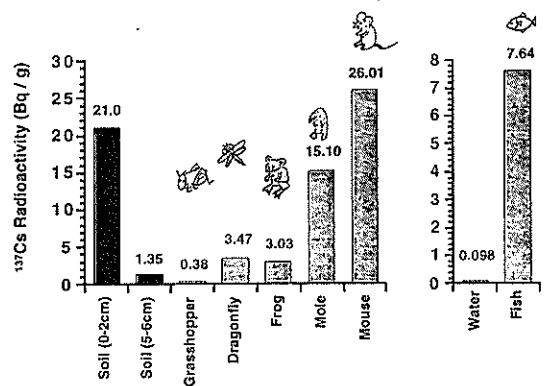


図-2 土壤、水の放射能汚染と野生動物での濃縮。

Fig. 2 Concentration of radionuclides in wild animals from soil and water.

表一 1. 汚染野イチゴおよびキノコによるシヨウジョウバエ体細胞突然変異の誘発

Table 1. Number of mutant spots by radionuclide-contaminated berry and mushroom

Samples	Radioactivity of ^{137}Cs (Bq/g)	No. of wings scored	No. of spots			
			mwh		twin	
			small	large		
Red berry	0.08*	100	48	14	0	
	0.55	100	42	7	6	
	50.1	100	78**	5	5	
Black berry #1	0.11*	100	40	6	4	
	0.951	100	41	6	6	
	4.2	100	51	3	6	
	#2	0.11*	100	91	5	0
		314	100	103	11	2
White mushroom	0.4*	100	101	5	3	
	1,000	100	136	6	0	

* from uncontaminated area. ** $p < 0.05$ by χ^2 and t test

いが、生態系での汚染修復方法を動植物の移動による他国、他都市への汚染の拡散の防止を含めて考案する必要がある。しかも、低線量・低線量率長期間内部・外部被曝形態は、ダイオキシン等の新人為起源有害物質の曝露を受ける形態そのものである。従って、本調査研究による生態系およびヒトでの研究成果は、微量・長期間・複合被曝の人類の未来におよぼす影響を予知、防護する有力な資料となる。

また、被曝者に見られる WT1 遺伝子の高発現は、チェルノブイリ事故により増加しないとされている白血病発生について将来にわたって注意深い観察をせまっている。被曝者子孫への遺伝的影響についても、慎重な研究の必要性を示している。

5. 発表論文リスト

- 1) Nakajima, H., Ryo, H., Nomura, T., Saito, T., Yamaguchi, Y., and Yeliseeva, K. G. Radionuclides carved on the annual rings of a tree near Chernobyl. *Health Physics*, 74: 265-267, 1998.
- 2) Li, L. Y., Nakajima, H., and Nomura, T. Dose rate effectiveness and potentially lethal damage repair in normal and double-strand break repair deficient murine cells by γ -rays and 5 fluorouracil. *Cancer Letters*,

123: 227-232, 1998.

- 3) T. Nomura. Dose rate effectiveness and repair in radiation-induced mutagenesis, teratogenesis, and carcinogenesis in mice. In: *Trends in Radiation and Cancer Biology* (R.N. Sharan, Ed.) pp. 149-155, Forschungszentrum Julich, Germany, 1998.
- 4) 野村大成。未来世代を脅かすもの。ここまできた化学物質の生殖毒性。婦人民主クラブ、東京、1997.
- 5) 野村大成。化学物質や放射線で誘発されたがんや奇形は、その子孫にどう伝播するか！？「あなたは子孫を残せか！？」、別冊宝島411 (宝島社、東京)、83-96 頁、1998.
- 6) 中島裕夫、梁 治子、山口嘉朗、斉藤直、Elisseeva, K. G.、野村大成。チェルノブイリ事故後の汚染地域に見られる放射性物質の生物濃縮、第41回日本放射線影響学会、講演要旨集148頁、1998.

本海外共同研究は、中島裕夫、本行忠志、梁 治子、O. A. Elisseeva (大阪大学大学院医学系研究科)、K. G. Elisseeva、E. V. Krupnova (ベラルーシ科学アカデミー遺伝学細胞学研究所)、L. A. Smirnova (ベラルーシ国立先端医学研究所) との共同研究によるものである。