

ベラルーシ、ウクライナ、ロシアにおけるチェルノブイリ原発事故研究の現状調査報告

(京大炉、原子力安全研究グループ¹、原子力資料情報室²、チェルノブイリ子ども基金³)
今中哲二、小出裕章、小林圭二、川野眞治、海老澤徹¹、渡辺美紀子²、平野進一郎³

1. はじめに

1986年4月26日にチェルノブイリ原発事故が発生してからすでに16年が経過した。この間、公的機関の報告をはじめ無数の資料や論文が発表されるとともに、数多くの国際会議がチェルノブイリ事故について開かれてきた。私たち京大原子炉・原子力安全研究グループは、事故発生のニュースが流れた当日からチェルノブイリ事故の全体像を把握すべく努力を続けてきた[1-3]。しかしながら、事故から16年以上がすぎた現在でも、暴走から爆発に至る物理プロセス、事故直後の周辺地域の放射能汚染状況や周辺住民の被曝状況など未だに解明されていない問題が多々残されている[4-6]。また、事故処理作業従事者や汚染地域住民に対する長期的な健康影響については、今後の観察結果をまつ必要がある。

私たちは、平成12~14年度にかけて「ベラルーシ、ウクライナ、ロシアにおけるチェルノブイリ原発事故研究の現状調査」というテーマで科研費・海外学術調査の助成をうけて、事故被災3カ国でのチェルノブイリ事故研究の現状調査を行ってきた。本報告では、これまでに私たちが行ってきた調査の概要とチェルノブイリ事故に関する興味深い知見をいくつか紹介する。

2. 調査の概要

チェルノブイリ事故に関連して私たちが旧ソ連の研究者と交流をはじめたのは1990年であった[7]。1994年、1996-1997年にはトヨタ財団からの研究助成をうけて共同研究を実施した[8-10]。今回の科研費調査においては、これらの経験と人的コネクションを基に、以下の2つの作業に取り組んだ。

- ◇ パート (国外作業): ベラルーシ、ウクライナ、ロシアの各研究所を訪問し、チェルノブイリ事故研究の現状や事故当時の活動について調査し、興味深い研究について特別レポートを依頼すること。
- ◇ パート (国内作業): チェルノブイリ事故に関する文献の分析、重要な資料の翻訳、ニュース・資料の整理やホームページによる情報発信など。

2-1. パート

2000年に3回、2001年に2回の海外調査を行い以下の研究所を訪問した。

- ベラルーシ: 原子力合同研究所、放射線生物学研究所、放射線医学内分泌学臨床研究所(以上、ミンスク市)、森林学研究所(ゴメリ市)
- ウクライナ: 核研究所、放射線医学研究センター、サイバネティックス研究所(以上、キエフ市)、学際科学技術センター「シェルター」(チェルノブイリ市)
- ロシア: 一般遺伝学研究所、エコロジー進化問題研究所(以上、モスクワ市)、医学放射能研究センター、農業放射能生態学研究センター(以上、オブニンスク市)、全口緊急放射線医療センター(サンクトペテルブルグ市)

これらの研究所訪問を通じて、被災3カ国の研究者20名に22編の特別レポートの作成を依頼した。これらのレポートに、今中の原稿1つを加えて、KUURI-KR-79レポート(本文296ページ、英文)としてまとめた[11]。表1にその目次を示す。

2-1 . パート （国内作業）

チェルノブイリ事故当時のソ連においてもっとも権力をもっていたのはソ連共産党であった。チェルノブイリ事故が発生すると、ソ連共産党中央委員会政治局のなかに「チェルノブイリ事故対策特別作業班」が設置され、情報収集にあたるとともに事故対策に関する全般的方針が決定された。ソ連崩壊後の1992年にその秘密議事録が暴露された[12]。1986年8月にソ連政府がIAEAに提出した事故報告書[13]では、周辺住民の間に1件の放射線障害もなかったとされ、公的機関の報告では現在もその見解が踏襲されている。ところが、特別作業班の議事録には、多数の周辺住民に放射線障害のあったことが報告されていた（表2）。今回、この議事録の全訳作業を行った。その他、チェルノブイリ事故に関する最近の論文などを基に、事故プロセスや放射能放出に関する独自の分析を実施した[4-6]。

表1 “Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia” (KURRI-KR-71, July 2002) の目次 .

	タイトルの日本語訳	著者
1	チェルノブイリ原発事故による放射能影響に関する最近のトピックス	今中哲二 (KUR)
2	チェルノブイリ型原発：その特徴と事故原因	M. MALKO (Belarus)
3	チェルノブイリ原発事故の原因とシナリオ、ならびに敷地周辺への放射能放出	B. GORBACHEV (Ukraine)
4	崩壊したチェルノブイリ4号炉内の核燃料	V. PAVLOVYCH (Ukraine)
5	チェルノブイリ原発周辺地域における放射能汚染の解析	A. GAYDAR 他 (Ukraine)
6	チェルノブイリ原発冷却池における放射能生態系の現状	O. NASVIT (Ukraine)
7	ロシアの汚染地域におけるヨウ素 131 汚染、甲状腺被曝量、甲状腺ガン	V. STEPANENKO 他 (Russia)
8	ウクライナ・ジトーミル州ステパニフカ村の食品放射能汚染：1992年と2001年	V. TYKHYY (Ukraine)
9	ベラルーシ食品中のチェルノブイリ事故由来の放射性物質濃度	V. MATSKO 他 (Belarus)
10	チェルノブイリ周辺における魚の放射能汚染の長期的観察	I. RYABOV (Russia)
11	チェルノブイリ事故処理作業従事者のEPRによる被曝量評価	V. CHUMAK (Ukraine)
12	ロシアの放射能汚染地域住民の歯エナメルEPR測定を用いた遡及的被曝量評価	A. IVANNIKOV 他(Russia)
13	ベラルーシの汚染地域住民に対する放射線リスクの評価	V. KNATKO 他 (Belarus)
14	ヨウ素 131 吸入によるベラルーシ汚染地域住民の甲状腺被曝量	V. KNATKO 他 (Belarus)
15	ロシア全国医学被曝登録に基づく疫学研究：チェルノブイリ事故処理作業者に観察されたガン影響と非ガン影響	M. MAKSIOUTOV (Russia)
16	チェルノブイリ事故によるウクライナ住民への医学的影響研究によって得られた疫学的知見	A. PRYSYAZHNYUK 他 (Ukraine)
17	チェルノブイリ事故によって胎内で急性被曝をうけた子供たちの知性と脳障害	A. NYAGU 他(Ukraine)
18	チェルノブイリ事故に被災したベラルーシの子供たちの健康状態：事故から16年	A. ARYNCHYN 他 (Belarus)
19	チェルノブイリ事故によるベラルーシでの甲状腺ガン	M. MALKO (Belarus)
20	放射線被曝事故によるヒトリンパ球染色体異常の解析	G. SNIGIRYOVA 他 (Russia)
21	チェルノブイリ事故処理作業における染色体異常の追跡調査	N. SLOZINA 他 (Russia)
22	チェルノブイリ原発30km圏無人ゾーン居住者の血液リンパ球染色体異常	L. BEZDROBNA 他 (Ukraine)
23	事故後の数年においてチェルノブイリ地域で観察された農作物に対する放射線の細胞遺伝学的影響	S. GERASKIN 他(Russia)

表2 ソ連共産党チェルノブイリ事故対策特別作業班の議事録に記載されていた被災者に関する記述。

<日付>	<記載の内容>
1986年4月29日, 4月30日:	記載なし。
5月1日:	ソ連保健省第1次官シチェーピン同志に対し,放射線障害や子供を含め,入院者数に関するデータを事故対策特別作業班に報告するよう要請した。
5月3日:	記載なし。
5月4日:	5月4日までに病院に収容された者1882人。検査した人数全体は3万8000人。さまざまなレベルの放射線障害が現れた者204人,うち幼児64人。18人重症。
5月5日:	病院収容者は2757人に達し,うち子供569人。914人に放射線障害の症状が認められ,18人がきわめて重症で,32人が重症。
5月6日:	5月6日9時の段階で病院収容者は3454人に達する。うち入院治療中は2609人で,幼児471人を含む。確かなデータによると,放射線障害は367人で,うち子供19人。34人が重症。モスクワ第6病院では,179人が入院治療中で,幼児2人が含まれる。
5月7日:	この1日で病院収容者1821人を追加。入院治療中は,7日10時現在,幼児1351人を含め4301人。放射線障害と診断されたもの520人,ただし内務省関係者を含む。重症は34人。
5月8日:	この1日で,子供730人を含む2245人を追加収容。1131人が退院。病院収容中は5415人,うち子供1928人。315人に対し放射線障害の診断。
5月10日:	この2日間で子供2630人を含む4019人を病院に収容。739人退院。8695人が入院中で,うち放射線障害の診断は,子供26人を含め238人。
5月11日:	この1日で,495人を病院に収容し1017人が退院。8137人が入院中で,放射線障害の診断はうち264人。37人が重症。この1日で2人死亡。これまでの死亡者数は7人。
5月12日:	ここ数日間で,病院収容2703人追加,これらは主にベラルーシ。678人退院。入院治療中は1万198人,うち345人に放射線障害の症状あり,子供は35人。事故発生以来8人が死亡。重症は35人。
5月13日:	この1日で443人病院収容。908人が退院。入院中は9733人で,うち子供4200人。放射線障害の診断は,子供37人を含む299人。
5月14日:	この1日で,1059人を病院に追加収容し,1200人が退院。放射線障害の診断は203人にまで減少。うち,32人が重症。この1日に3人死亡。
5月16日:	入院中は,子供3410人を含め7858人。放射線障害の診断は201人。15日に2人死亡し,これまでの死亡者は15人。
5月20日:	この4日間に病院に収容したのは716人。放射線障害は,子供7人を含め,211人。重症は28人で,これまでに17人が死亡。
5月22日,5月26日:	記載なし。
5月28日:	入院中5172人で,放射線障害は182人(うち幼児1人)。この1週間で1人死亡。これまでの死亡者は22人。(そのほか事故時の死者2名)。
6月2日:	入院中3669人で,放射線障害の診断171人。重症23人でこれまでの死亡者24人。23人がいまだに重症。
6月4日,6月9日:	記載なし。
6月12日:	入院中2494人で,放射線障害の診断189人。これまでの死亡者24人。
6月20日,6月25日,7月2日,7月7日,7月10日,7月23日,	7月31日,8月13日,8月22日,9月5日,9月19日,10月17日,
11月15日,1987年1月4日,3月16日,7月13日,1998年1月6日:	記載なし。

- ・事故対策特別作業班の会合は40回開かれており,その日付はすべて表に示した。
- ・死者や重症者の人数は,原発職員と消防士について知られている人数とほぼ一致している。

3. 空っぽだった4号炉炉心とウラン燃料の行方

事故で崩壊した4号炉は1986年秋、突貫工事によって建設されたコンクリート構造物「石棺」で覆われた。事故から2年たった1988年、炉心キャビティの外側から炉心へ向けてボーリングが行われテレビカメラが挿入された。炉心には、崩れた炉心構造物や火災消火のためにヘリコプターから投下された物資がぎっしり詰まっているはずであったが、テレビに写ったものは、ほとんどガランドウになっている炉心だった。その後の調査[14,15]をふまえて作成した炉心のスケッチを図1に示す。圧力チャンネル管や制御棒チャンネル管が貫通し重さ2500トンもあった上部構造板は、ほぼ垂直になって炉心キャビティに引っかかり、チャンネル管が引きちぎれて垂れ下がっている。下部構造板は、炉心直下の配管室を押しつぶすように4mほど下がり、その4分の1が溶けてしまっている。注目されるのは、炉心キャビティに大きなコンクリート板が落ち込んでいることである(10×5×1.4mと5×2×2mの2枚)。これらのコンクリート板は、気水分離タンク室の壁パネルであった。また、上部構造板と炉心キャビティの間にもコンクリート板がはさまっている。これらのことは、事故時に上部構造板が中央ホール空間に飛び上がり、それも一定時間空中にあったことを示している。

チェルノブイリ4号炉には、190トンのウラン燃料が装荷されていた。石棺の安全性にとって最も危険されるのは、残った核燃料での再臨界である。炉心調査と平行して石棺内各区画の状況調査が行われてきた[16]。炉心にあった核燃料は、炉心構造物と反応して溶融し、「溶岩状物質」となって炉心下部の区画に流れ出していた。図1の灰色部分は、溶岩状物質の主な存在場所を示している。さまざまな場所の溶岩状物質サンプルが採取され、その成分と放射エネルギーが測定されている。その分析結果によると、溶岩状物質は、核燃料がジルカロイやステンレスといった炉心構造物材、遮蔽材に使われていた砂(蛇紋岩)コンクリートなどと反応したできたもので、ウラン燃料の平均含有率は約7%であった[17]。

溶岩状物質に含まれているウランの量は、目視や発熱量測定などによって約120トン(65~165トン)と推定されている[16]。溶岩状物質以外のウラン燃料の分布について、Pavlovychは、石棺内にチリとして飛び散ったのが約30トン(かなり不確か)、上部炉心構造板に垂れ下がっている圧力チャンネル管に残っているのが10~30トンで、その他、中央ホールのガレキの下にかなりの核燃料が埋まっているであろうと推定している[18]。こうした評価に基づいておおざっぱに言えば、ウラン燃料の約6割(推定範囲は4割~8割)が溶岩状物質となり、残りが中央ホールのガレキの下になったり、チリになったりして飛び散ったことになる。

再臨界の可能性についてPavlovychは、最も危険と思われる炉心直下区画の溶岩状物質について、さまざまなケースを

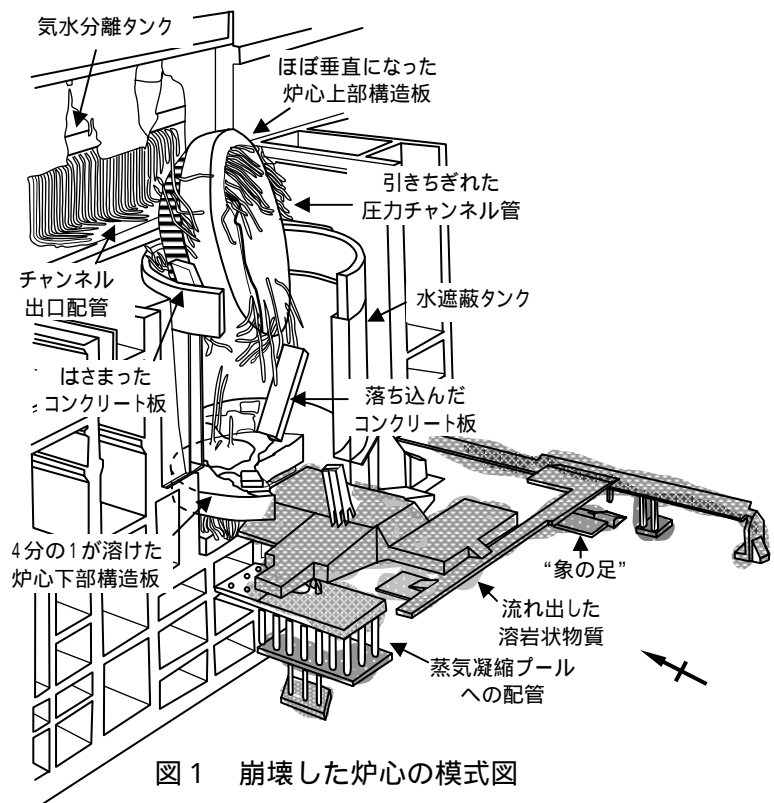


図1 崩壊した炉心の模式図

表3 主要な核種の放出量推定値.

核種	半減期	炉内量 ^{*,**} MCi	放出量, MCi ^{**} () は炉内量に対する%				
			ソ連政府報告 [10] (1986)	瀬尾[20] (1988)	今中[8] (1994)	ウクライナ報告 [21] (1996)	Borovoi [19] (2001)
¹³¹ I	8.05 d	36.5	7.3 (20)	25.4 (70)	(49)	(50-60)	(50-60)
¹³⁷ Cs	30.2 y	7.7	1.0 (13)	4.35 (57)	(31)	(20-40)	(33±10)
⁹⁵ Zr	64 d	119	3.8 (3.2)	5.60 (4.7)	(5.0)	(3.5)	-
⁹⁰ Sr	28 y	5.5	0.23 (4.0)	0.53 (9.6)	-	(4-6)	-

* 1986年ソ連政府報告の値. ** 放射エネルギーはすべて1986年5月6日換算値.

想定してモデル計算をしている[18]。その結果、溶岩状物質に40%の水が含まれるといった非常に極端な条件以外では臨界には至らないという結果が得られている。

4. 放出放射エネルギー

どれだけの放射エネルギーが環境中に放出されたかは、原子力事故の規模を決定する基本的なファクターである。1986年のソ連政府報告書では、希ガス5000万Ci、希ガス以外5000万Ci、合計1億Ciの放射エネルギーが放出されたとしている。しかし、この値は過小評価であると指摘されている。最近になって、石棺内の状況や「溶岩状物質」の組成分析を基に、残留している放射エネルギーに基づく放出放射エネルギーの評価が試みられている。Borovoiら[19]は、サンプル中の¹³⁷Csと¹²⁹Iの測定に基づき、溶岩物質からは¹³⁷Csのうち60%、放射性ヨウ素については100%が放出され、炉心外に吹き飛ばされた燃料片には¹³⁷Csの全量と¹²⁹Iの25-37%が残っていた、と報告している。表3は、主要な核種についての放出量評価値をいくつか比べたものである。おおざっぱに言えば、放射性ヨウ素の50~60%、放射性セシウムの30~50%、不揮発性核種の約5%が放出されたと言えよう。事故時の放射エネルギーにすると、¹³¹Iで40~50MCi、¹³⁷Csで2~4MCi、⁹⁰Srで0.3MCiが放出されたことになる。

5. 事故直後の周辺放射線量

第32回学術講演会では、1986年5月1日のチェルノブイリ原発周辺30km圏の空間線量率データを用いて、汚染の大きいいくつかの集落では、住民避難までの被曝量が1Svを越えた可能性を指摘した[3]。今回の調査中に、1986年6月1日時点での空間線量率地図[22]を入手した(図2)。この図によると、たとえばUsov村の空間線量率は200mR/h程度である。1カ月前の5月1日時点に遡るとその10倍の2R/h程度だったと考えられる。先の評価でのUsov村5月1日の値は350mR/hであったから、図2のデータの方が約6倍大きな放射線量を示している

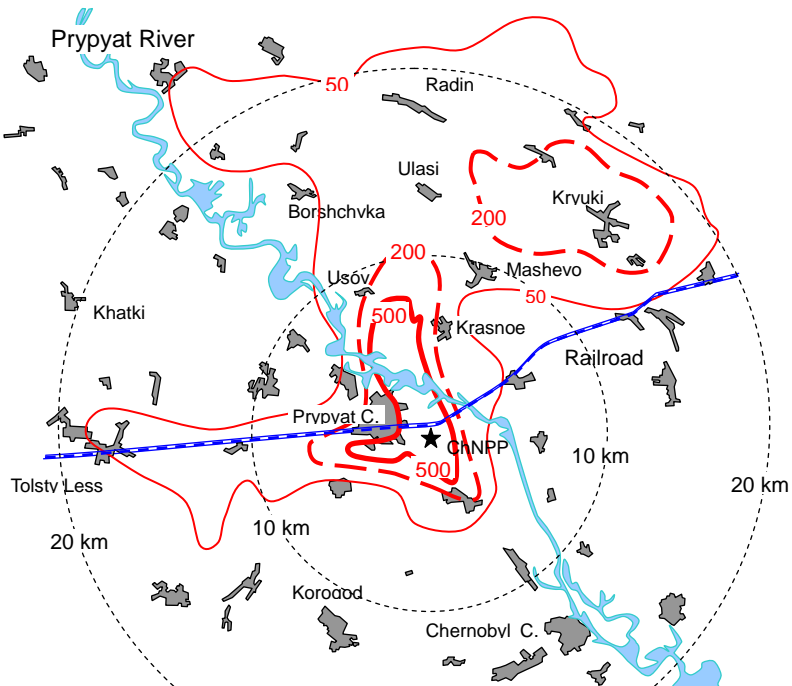


図2 チェルノブイリ原発周辺の空間線量率分布
1986年6月1日、mR/h [22].

6. おわりに

チェルノブイリ原発事故という原子力災害のなによりの特徴は、広大な面積の放射能汚染とそれにもなう大規模な住民避難・移住であろう。移住の対象となる地域 (^{137}Cs の土壤汚染密度 555 kBq/m^2 以上) の面積は、被災3カ国合わせて1万 km^2 余りに達している。これまでに避難・移住を余儀なくされた人々の数は、事故直後に30km圏から強制避難させられた11.6万人を含め、約35万人と推定されている。チェルノブイリ原発周辺無人ゾーンの面積は 3700km^2 にも達しており、大阪府 (1800km^2) の2倍の面積から地域社会が丸ごと消滅してしまった。私たちはこの16年間、チェルノブイリ事故がどのような事故であったのか解明しようと努力してきたつもりであるが、私たちが明らかにできることは、事故が周辺の人々にもたらした厄災のほんの一部でしかないことを痛感している。

参考文献

1. 瀬尾健ほか「チェルノブイリ原発事故における放射能放出量と環境汚染」KUR第21回学術講演会(1987)。
2. 今中哲二ほか「チェルノブイリ原発事故による放射能汚染と最近の諸問題」KUR第27回学術講演会(1993)。
3. 今中哲二ほか「チェルノブイリ原発事故影響研究と被災者救援の現状に関する調査報告」KUR第32回学術講演会(1998)。
4. T. Imanaka and H. Koide "Assessment of External Dose to Inhabitants Evacuated from the 30-km Zone soon after the Chernobyl Accident", *Radiation Biology, Radioecology*, **40** (2000) 582-8.
5. 今中哲二「運転員はなぜAZ5ボタンを押したか? チェルノブイリ原発事故の暴走プロセス」*技術と人間*, 2002年5月号。
6. 今中哲二「水素爆発か核爆発か? チェルノブイリ原発4号炉爆発の正体」*技術と人間*, 2002年7月号。
7. 瀬尾健「チェルノブイリ旅日記」, 風媒社, 1992。
8. 今中哲二ほか「チェルノブイリ原子力発電所4号炉事故による放射能放出量と事故直後の被曝線量評価に関する研究」トヨタ財団1993年度研究助成報告書, 1994。
9. Imanaka T. Ed., "Research Activities about the Radiological Consequences of the Chernobyl NPS Accident and Social Activities to Assist the Sufferers by the Accident", KURRI-KR-21 (1998)。
10. 今中哲二編「チェルノブイリ事故による放射能災害: 国際共同研究報告書」*技術と人間*, 1998。
11. Imanaka T. Ed., "Recent Research Activities about the Chernobyl Accident in Ukraine, Belarus and Russia", KURRI-KR-79 (2002)。
12. Ярошинская А., "ЧЕРНОБЫЛЬ: Совершенно секретно", ДРУГИЕ БЕРЕГА, Москва, 1992.
13. USSR State Committee on the Utilization of Atomic Energy, "The Accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant and Its Consequences", August 1986.
14. V. K. Tolstonogov, "Current State of the Sarcophagus and Safety Problems", Sarcophagus Safety '94: The State of the Chernobyl Nuclear Power Plant Unit 4, OECD/NEA 1995.
15. Киселев А. Н., Чечеров К. П., "Модель процесса разрушения реактора 4-го энергоблока чернобыльской АЭС", *Атомная Энергия* **91** №6 (2001) 425-34.
16. В. Н. Герасько и др. "Объект УКРЫТИЕ. История, состояние и перспективы", Книга, Киев 1997.
17. R. Sich, "The Chernobyl Accident Revisited, Part III: Chernobyl Source Term Release Dynamics and Reconstruction of Events During the Active Phase", *Nuclear Safety*, **36** No.2 (1995) 195-217.
18. V. M. Pavlovych, "Nuclear Fuel in the Destroyed 4th Unit of Chernobyl NPP", KURRI-KR-79, pp45-58 (2002).
19. Боровой А.А., Гагаринский А.Ю., "Выброс радионуклидов из разрушенного блока чернобыльской АЭС", *Атомная Энергия* **90** №2 (2001) 137-45.
20. 瀬尾健ほか「チェルノブイリ事故による放射能放出」, *科学*, **58** No.2 (1988)108-17。
21. Минчернобыль "ДЕСЯТЬ ЛЕТ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС: НАЦИОНАЛЬНЫЙ ДОКЛАД УКРАИНЫ", 1996.
22. G. M. Kozubov et al.; "The Map-scheme of Radiation Damage of Coniferous Forests in the Region of Accident on the Chernobyl Nuclear Power Plant", Institute of Biology, Komi Scientific Center, Ural Division of USSR Academy of Sciences, 1991.

・なお、チェルノブイリ事故に関する私たちの作業結果は、原子力安全研究グループのホームページに逐次掲載している (<http://www-j.rii.kyoto-u.ac.jp/NSRG/>)。

T. Imanaka, H. Koide, K. Kobayashi, S. Kawano, T. Ebisawa, M. Watanabe, S. Hirano.