

第2部 生産連合「マヤク」における1957年の放射線事故

2.1 事故の性格と土地の放射能汚染

2.1.1 事故の直接原因

生産連合「マヤク」における放射性物質の大気放出を伴う放射線事故は、現地時間1957年9月29日16時22分に発生した。現在のIAEA放射線事故国際分類によれば、現地規模での住民の放射線防護措置が必要な深刻な影響に至っており、尺度6ないし7に相当する。

直接原因は、再処理の高レベル液体廃棄物貯蔵所の化学爆発だった。爆発は、再処理工場の液体廃棄物処理貯蔵施設C-3の貯蔵タンク(bank)No.14で起こった。この施設は1953年に運開し、再処理液体廃棄物の処理と長期貯蔵用の地下に埋められたコンクリート施設で20個のステンレス鋼タンクが2列あった。これらの円筒形で底の平らな1重壁のタンクは、高さ6m、外径8m、壁厚13mmで、全内部容積は300m³だった。各容器にはそれぞれ鉄筋コンクリート製の直径9m、深さ7.4m、厚さ0.8-1.2mの漏斗が付いていた。各漏斗の上には、円盤状の厚さ0.8m、重さ160tの鉄筋コンクリートが乗っていた。その上に厚さ1-1.5mの盛り土があった。

この施設には、循環冷却水系、換気系と計測-制御装置があった。タンク内水と冷却水の水位と、出口水と空気の温度が計測されていた。

タンクNo.14は、1957年3月9日から4月10日まで廃棄物が充填された。全部で256m³が入れられた。技術文書によると、大体の成分は次の通りだった:単位 g/l

NaNO₃ 200; NaAc 60; K₂Cr₂O₇ 5; Cr(NO₃)₃·9H₂O 3; Fe(NO₃)₃ 3; Ca(NO₃)₂ 0.8

殆どは、中-及び長寿命の核分裂生成物だった。原因は、タンク冷却設備の異常とそれにより誘発された物理-化学反応だった。

爆発に至った最もあり得た事象の連鎖は次の通りである。

1. 冷却水の温度と水の制御機器が故障し、運転員側から計測制御機器の修正操作なし
2. 冷却水量が減少又は停止し、タンク中の70000kcal/h程度の崩壊熱除去が大きく低下中断
3. タンク水温が上昇し、塩溶液から水が蒸発し、乾いた塩の残滓形成
4. 残滓が爆発。残滓の爆発に至った直接の要因は、正確には判らない

事故原因検討委員会は、タンクNo.14の運用が不十分で、C-3施設中の放射性廃棄物処理貯蔵技術文書[保安規定]に違反し、タンクと漏斗冷却水の水位が制御されず、既に運転初期の年々に計測制御機器が運転から取り外されていたことを確認した。

ケーブル・コリドーの配置が悪く、また、放射線場が強かったため、設計に従いタンクを直接貫通する計測制御系の保守作業が非常に困難で、廃棄物で一杯になった容器から漏斗に水が蒸発したため電気回路が損傷し、タンク壁が腐食により貫通し漏斗内冷却水が放射能汚染し、漏斗内に連続給水でなく間欠給水されたという目撃証言がある。

運転直員の目撃者は、爆発の40分前に施設区画で強い蒸気と黄色い煙に気付いた。現代の解析によれば、最もあり得る直接原因は、乾燥塩残滓の自発熱爆発である。塩混合物は、約78%の強い酸化剤(NaNO₃とK₂Cr₂O₇)と22%の還元剤(NaAc)を含み、化学的に活性な系で、そこでは過熱されると発熱酸化-還元反応が促進可能で、気体生成物が放出され、この混合物が爆発物質となり得る。電源系統の異状による電気火花により爆発が誘起された可能性もある。

当時の結論によれば、タンクNo.14中で爆発した乾燥塩の量は70-80tに達し、TNT換算25-29t

だった。付近の建屋と構築物の破壊度に基づく現在の評価によれば、TNT 等価 8-16 から 120-170t に相当する。

爆発の結果、タンク No.14 の漏斗の 160t のカバーが、引き千切られ、大きな損傷も無く 20-25m 飛んだ。隣の No.7 と 13 の漏斗カバーも 0.5-1m 動いた。タンク容器の破片は 150m の距離まで飛び散った。爆発場所には、深さ 9-10m、直径約 20m の窪みができた。距離 1000m までのガラス窓は完全に壊れた。タンク No.14 の爆発は施設 C-3 全体の稼働停止に至り、再処理工場だけでなく、事業所全体の運転を困難にした。

2.1.2 土地の放射能汚染の特徴と影響

爆発生成物は大気中を上昇し、形成された雲が動いた方向に大気拡散し地上降下した。現在の評価によれば、爆発雲の上端は上昇が安定化した時点で 1000-1100m に達した。大気中を上昇した爆発生成物は代表的には、設備片、土、埃、大粒子エアロゾルで、それらは直接爆発場所の近くに降った。残りは分散度の高いエアロゾルで大気中を移動する雲を形成した。地表に降下した放射能の空間分布については、雲通過時の気象条件と、実際の土地汚染の空間分布を満足するよう選ばれた拡散モデルを用いた最近[1998]の評価によれば、通過するエアロゾル雲は分散性が高く、主に重力落下した。その空気力学的メジアン直径(重さによる)は 200-260 μ だった。このメジアン直径は分散度に対応し、吸入性粒子(<10 μ)は有意でない。同じ評価によれば、事業所敷地境界外の放射性降下物中で吸入性の Sr90 の放射能割合は、約 10⁻⁷ だった。分留の事実は示されていないので、こういう割合は他の放射性核種に対しても得られよう。例えこの評価の精度が低く、1 ないし 3 桁変わっても、吸入性エアロゾルの割合は少ないという事実上の結論は変わらない。

評価[1984]によれば、爆発相中には約 740PBq(20MCi)の核分裂生成物の β 放射能が引き込まれ、その約 90%が事業所敷地に降下し、残りの 74PBq(2MCi)が隣接地域に降下し、Chelyabinsk、Sverdlovsk と Tyumen 州の一部地域が放射能で汚染した。この汚染地域は、その後、「東ウラル放射能跡」と呼ばれた。

事故の深刻な放射線影響についての最初のデータは、1957 年 9 月 30 日の夜に既に、事業所敷地の γ 線量率測定により得られた。影響の実際の規模がわかったのは 1957 年 10 月初めで、事業所中央工場ラボ部隊とソ連国家水紋委員会応用地球物理研究所の事業所派遣部隊により、1957 年 11-12 月に詳細調査された。その結果確認されたこととして、放射能汚染した土地は、十分に狭い带状で、幅 20-40km、長さ 300km に及ぶ。基本的な放射能成分は γ 線を放出する Ce144、Zr95、Ru106 で、長寿命の Sr90 の寄与は比較的小さかった。

その後(1958-60 年間)の土地放射能汚染の空間分布と特性の調査により、事故影響を十分完全に評価出来るようになった。データ[1982]によれば、初期の核種組成は主に Ce144 と Zr95(全 β 放射能の 91%)で、Sr90+Y90(5.4%)と Ru106(3.7%)の寄与は少なく(表 2.1)、Cs137 と Sr90 の比は 0.013、Sr89、Pm147、Eu155 と Pu の割合は有意でないと評価された。「東ウラル放射能跡」軸頭部-そこは 1967 年にカラチャイ湖岸からの風による放射能輸送がなかった-の最も汚染の高い表土中の Sr90、Cs137 と Pu の合計蓄積量比と事業所からの大気放出による土地汚染蓄積量に基づく現代の評価(1998)により、初期の核種組成が若干変更された。特に、Cs137 の放射能割合は以前の 10 倍になり、Pu の放射能割合は 0.002%となる。

初期組成中では Sr90 が最も長寿命で放射能的に重要で、かつ初期放射能に最も寄与していた

ので、指標核種とされ、それとの比で他の土地汚染核種が評価された。

「東ウラル放射能跡」のマクロ空間分布全体図(Sr90 による初期放射能汚染密度評価)を図 2.1 に示す。明らかにこの分布には最大濃度軸があり、汚染源から遠ざかるにつれて下がり、また軸の両側の直角方向に急減する。Sr90 に対し核種が分留された証拠は無いので、他の核種の空間分布も同じと見なされる。

表 2.1 1957 年事故放出の初期核種組成と
「東ウラル放射能跡」の土地(事業所敷地外)の初期放射性核種蓄積量

核種	1982 年評価		現代の評価	
	全放射能中の寄与	蓄積量、PBq (Ci)	全放射能中の寄与	蓄積量、PBq (Ci)
Sr89	痕跡	-	痕跡	-
Sr90+Y90	5.4	2.0 (5.4)	5.4	2.0 (54)
Zr95+Nb95	24.9	18.4 (498)	24.8	18.4 (496)
Ru106+Rh106	3.7	2.7 (74)	3.7	2.7 (74)
Cs137	0.036	0.027 (0.72)	0.35	0.26 (7.0)
Ce144+Pr144	66.0	48.8 (1320)	65.8	48.7 (1316)
Pm147	痕跡	-	痕跡	-
Eu155	痕跡	-	痕跡	-
Pu	痕跡	-	0.002	0.0014 (0.038)

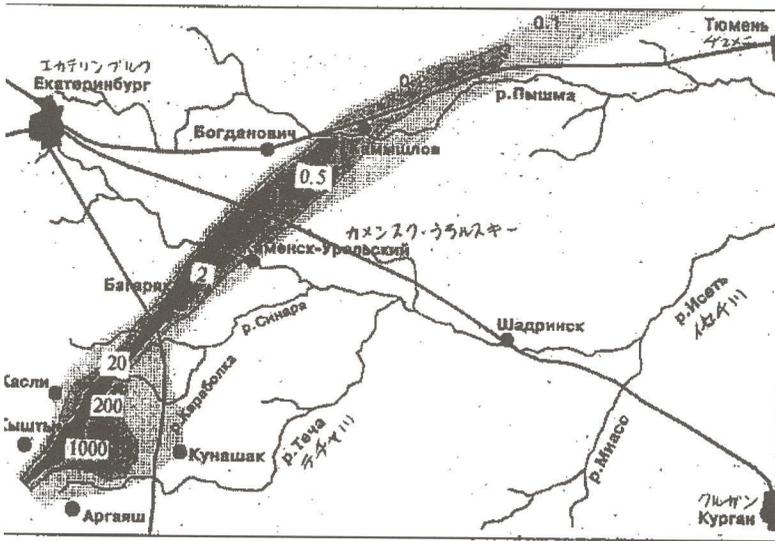


図 2.1 「東ウラル放射能跡」地図 数値は Sr90 初期汚染密度等高線、Ci/km²

敷地境界近く of 軸上の初期最大汚染密度は、Sr90 で 150 TBq/m² (4000 Ci/km²)、全βで 5.6 PBq (150000 Ci/km²) に達した。爆発場所から遠ざかるにつれて、軸上の汚染密度は当時の全地球的なバックグラウンド(1.8 kBq/m² または 50 mCi/km²)まで下がった。

汚染地域住民の防護措置が必要な基準として、Sr 初期汚染密度 74 kBq/m² (2 Ci/km²) が採用された。表 2.2 のデータによれば、全汚染面積は約 2 万 km² であり[Sr90 最小初期汚染密度 3.7 kBq/m² (0.1 Ci/km²) 以上、当時検出に十分な信頼性があり、全地球的バックグラウンドの 2 倍]、Sr90 の汚染密度が 74kBq/m² を超え、放射線防護措置が導入され、公式の放射能汚染地域となった土地面積は約 1000km² で、「東ウラル放射能跡」の全面積の 5%だった。この地域は狭く、幅 4.5-6km、長さ 105km だった。

1957年の雪が積もる迄と1958年の初期まで、放射性物質の風輸送による「東ウラル放射能跡」の土地の弱い追加汚染があった。これは汚染の強い頭の部分に隣接する東側-卓越する西風の風下地域(Chelyabinsk 州 Kunashak 村方向)で特に目立った。放射能の風移行は、放射性降下物との関係でよく検出できた。特に、事故前の降下物との比較では、事業所の東15kmにある Metlino 村の降下物レベルは、1957年9月末-10月初に500倍、10-11月に53倍、1958年夏に10倍に増えた。

この期間を通じ少し低い、事故前の50-100倍の強度の降下物が Taxtal 居住地(Kunashak の近く、事業所の北東50km)で記録された。

放射性物質の風による移行により、汚染地域のマクロ分布は全体として変わらなかったが、汚染の少なかった東側周辺部の汚染密度は高まった。その結果、Sr90 の 3.7kBq/m^2 (0.1Ci/km^2) 等高線は Kunashak 村の方に動き、 74kBq/m^2 (2Ci/km^2) を超える汚染面積が約4%増えた。

2.1.3 汚染地域の放射線状況

1年後までの事故後期間中は、事業所内での事故影響克服も、住民の放射線防護実施も、共に非常に困難で重大だった。

「マヤク」にとって事故影響が深刻だったのは、C-3 施設が運転から外され、通常の生産活動ができなくなったからである。敷地、建屋、設備、配管の一部が極めて高いレベルの放射能で汚染したため、再処理工場の運転が技術的に非常に困難になった。敷地の汚染密度は、Sr90 で1-10PBqに達し、 γ 線量率(現実の機器測定に基づく)は爆発穴の縁で1000R/hを超え、爆発場所から500mでも ~ 72 R/h あった。事故後最初の数週間は、「マヤク」自身の以前は「きれい」だった区域、他の事業所、Ozersk 市に放射能汚染が拡大した。これは、自動車輸送、要員と資材の移動の際に、放射能汚染が移ったからだ。特に事故翌日、Ozersk 市の土地放射能汚染は、事故前の60-1100倍に上がり、その後も上がり続けた。最大汚染は通勤バス停に見つかり、そこは店や食堂等があり人々が集まる公共の場所だった。この場所の γ 線量率は20-40倍に増えた。住民の服と履物、金票や文書にかなりの汚染が見つかった。この関連で、「きれいな」風呂と「汚染」風呂が営業し、町の通常生活活動が混乱した。

Ozersk 市と事業所敷地境界外の土地、第1番に「東ウラル放射能跡」の50kmまでの最も近い地域は、事故直後の3-6ヶ月間、土地、全ての環境物、更に食糧、飼料、住居と日用品の汚染レベルが高かった。幾つかの居住地では、このため住民に対し有意な放射線作用があった。状況を更に深刻にしたのは、村地域の大部分の食糧原料と馬草が冬に向かって準備される時期だったため、貯蔵物が強く汚染し、住民が以後6-8ヶ月に渡り長期に内部被曝する源となった。

農産物の最大放射能汚染は汚染源に最も近い(20kmまで)村に見られ、10-1000kBq/kgに達した(表2.3)。放射能のかなりの部分は、ミルクを除き、Ce144 と Zr95(60-70%)で、ミルクでは殆どがSr90(70%)だった(表2.4)。高レベルの汚染が住居内と日用品にあった(表2.5)。特に、床の汚染密度は、居住地の平均土地汚染密度の0.3-1.2倍に達した。個人の服と履物の汚染は若干少なかった。

最も汚染した居住地では、事故直後の日々の外部 γ 線量率200-400 μ R/sが測定された(表2.6)。これは、Sr90初期汚染1kBq/m² 当り計算上、平均0.015 μ R/s(又は1.3mR/d)に相当する。

放射能汚染の圧倒的部分は、比較的短寿命の核種によるもので、最初の1年が過ぎると環境の放射能汚染は大きく下がった(図2.2)。

表 2.3 事故後初期の日々の幾つかの居住地における食糧、水と飼料の放射能汚染

居住地、村	爆発地点からの距離、km	平均初期 Sr 汚染、 kBq/m^2	β 放射能濃度、 kBq/kg								
			家庭パン	水	じゃがいも	ミルク	肉	骨	穀物	干草	草
Berdenish	12.5	24000	2600	52	170	96	59	92	700	360	26000
Satluykoba	18	15000	2200	100	11	81	-	-	3000	340	23000
Galinkaeva	20	15000	1800	100	7.4	52	6.3	2.0	440	96	4400
Russkaya Karabolka	35	2400	100	5.6	-	24	5.9	-	110	280	10000
Yugo-Konevo	55	370	-	0.015	-	5.2	1.1	0.28	56	59	-
Bagaryak	75	37	-	0.011	-	4.4	-	-	44	100	120

表 2.4 直後の 8 ヶ月間の食糧、水と飼料の汚染核種組成、全放射能の%

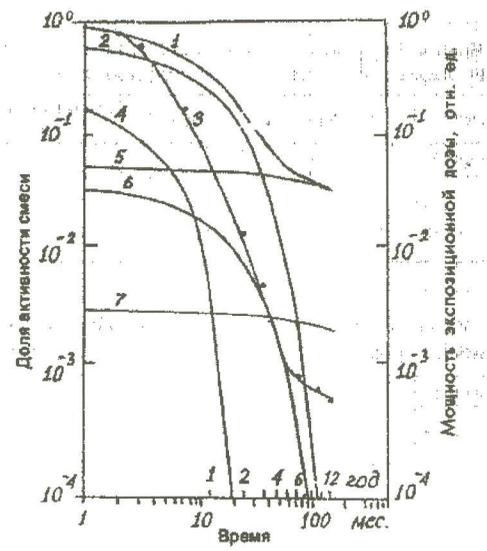
産物	Sr90+Y90	Cs137	希土類核種合計
野菜、じゃがいも	16	6	64
ミルク	70	-	-
水	28	-	72
穀物	16.4	5.1	64
干草	16.5	5.1	63

表 2.5 直後期間の住民の住居と日用品の汚染レベル、 kBq/m^2 、全 β 放射能による

居住地、村	床	服	下着・シーツ	履物	食器
Berdenish	2200-3300	1700	-	2800	-
Satluykoba	4100	2200	-	5600	-
Galinkaeva	5200	2600	-	7400	-
Russkaya Karabolka	110	110	22-110	89-110	89-1400
Yugo-Konevo	89-220	22-270	22-190	56-78	44-100
Bagaryak	0-44	22-170	11-89	3.3-100	33-110

表 2.6 直後 4 ヶ月間の居住地における開放空間中の外部 γ 線量率、 $\mu R/s$

居住地、村	事故後時間、日			
	1	16	30	120
Berdenish	400	190	150	120
Satluykoba	310	80	70	50
Galinkaeva	170	125	110	85
Russkaya Karabolka	25	3.0	2.4	1.0
Yugo-Konevo	6.0	1.5	0.70	0.10
Bagaryak	4.0	1.2	0.10	0.05
Kamensk-Uralskiy 市	3.0	0.80	-	-



左縦軸:核種割合; 横軸:時間(月); 右縦軸:外部線量率(相対単位)
 1-全β放射能; 2-Ce144+Pr144; 3-照射線量率; 4-Zr95+Nb95; 5-Sr90+Y90; 6-Ru106+Rh106; 7-Cs137
 図 2.2 最初の 12 年間の放射性核種組成変化と外部γ線量率変化

初めの期間(事故後数ヶ月)のγ線量率変化は、放射性崩壊の結果としての土地汚染密度低下による。その後、土壤中への放射性核種沈降により外部線量の低下は加速された(表 2.7)。事故後 8 年を過ぎると、短寿命核種の内では最も長寿命の Ru106 は完全に崩壊し、その後の低線量率のγ線は Cs137 だけによるものだった。

表 2.7 累積外部γ線量(単位初期土地汚染密度に対し)、R/(kBq/m²-Sr90)

事故後時間	線量	事故後時間	線量
10 日	0.013	3 年	0.19
30 日	0.038	4 年	0.19
3 月	0.095	5 年	0.19
6 月	0.14	12 年	0.19
1 年	0.17	-	-
2 年	0.19	1990-1995 年間	0.20

全ての環境体と農産物の放射能汚染も、土地汚染密度の低下テンポをある程度反映し、時と共に下がった(表 2.8)。初期(最初の 5 年)に環境と農産物の放射能汚染レベルの影響を左右したのは、次の物理的及び生物学的プロセスだった。風輸送、水流、土壤中の垂直沈降による移行、土と水中での放射性核種の物理-化学的形態変化、土壤中捕捉(底堆積物)、農業用を含む植物の根吸収強度の変化。特に、5 年の間は農業栽培物への根以外からの吸収が大きく影響した。

表 2.8 「東ウラル放射能跡」地域の農産物での平均β放射能濃度と Sr90 初期土地汚染密度の移行係数 = (Bq/kg-産品重さ) / (kBq/m²-Sr90)

産物	1957 年	1958 年	1960 年	1965 年	1970 年	1975 年	1980 年	1985 年
草	10000	100	11	12	10	9	8	7
穀物	90	2.2	1.4	0.83	0.57	0.52	0.46	0.44
じゃがいも	-	1.7	0.68	0.68	0.51	0.39	0.36	0.34
野菜	-	1.6	0.63	0.63	0.48	0.37	0.34	0.32
ミルク	4.5	1.5	1.0	0.58	0.40	0.36	0.32	0.31

データ[1958-1984 年間]によれば、地上植物体の直接汚染の結果、根以外から摂取される割合は、1957 年には 100%だった。風による巻き上げと移行によるものは 1958 年には数十%で、時と共に一貫して下がり、1961-1967 年間には、数%で安定化した。

5-8 年目(Zr95、Ce144 と Ru106 崩壊後)には、環境の放射能汚染は Sr90 と Cs137 だけで規定されるようになり、植物他の産物中の濃度は、殆どはこれらの長寿命核種の崩壊により、ゆっくりと下がった。物理プロセス(風輸送、水流、土壤中の垂直移行)の他、収穫物の処分の結果、農地の全放射性核種蓄積量が目覚ましく下がった。

環境と農産物の放射能汚染低下とほぼ同じテンポで、現地産物食餌による生体中への放射性核種摂取も減った。1957 年秋-冬と 1958 年春-夏は、現地民の食餌が最も汚染していた。現実の食餌構成要素の測定汚染レベルと、直後の 8 ヶ月間(事故で汚染した食品を保管し摂取する期間)の個別産物の日間摂取量評価に基づくデータ[1990]によれば(Sr90 汚染 1kBq/m² 当り計算値)、全β放射能が 61Bq、Sr90+Y90 が 6 Bq、Cs137 が 1Bq、Ce144 と Zr95+Nb95 が 50Bq だった。2 年過ぎると 2.5-3 分の 1 になり、3 年過ぎると全β放射能で 25 分の 1、Sr90 で 7 分の 1 に下がった。後[1996]で再構築されたデータにより、食餌から人体中への放射性核種年間摂取量の変化が評価できた(表 2.9)。事故から 35-40 年過ぎると、Sr90 の年間摂取量は平均 200 分の 1、Cs137 は 2000 分の 1 に下がった。

表 2.9 完全に現地産物の食餌から成人住民中に摂取される放射性核種の年平均計算摂取量 (Bk/年) / (kBq/m² -Sr90)

事故後時間、年	Sr90+Y90	Zr95+Nb95	Ru106+Rh106	Cs137	Ce144+Pr144
1	3800	3800	510	580	29000
2	1100	24	130	240	7000
3	480	0	29	55	550
5	260	0	1.8	8.0	18
10	160	0	0	1.9	0
15	58	0	0	0.73	0
25	22	0	0	0.30	0
35	19	0	0	0.25	0

2.2 事故影響清算と住民の放射線防護に関する措置

2.2.1 初期及び中間期間

1957 年事故影響の克服に向けたあらゆる総合復旧行為は、3 つの基本問題を解決しなければならなかった。

- 「マヤク」と隣接事業所要員を含む、住民の放射線防護の確保
- 「マヤク」とそれに繋がる他の事業所の正常生産活動復旧
- 農業と林業の経済復旧

事故後期間の影響の特徴についての現在の分類に従えば、採られた行為は、初期(数日から 1 週間);中間(1-2 年目)と後期又は復旧(その後)という全 3 期間の間に実現された。

初期には、「マヤク」生産回復と、「マヤク」要員と住民の被曝を制限するため緊急措置が実施された。「マヤク」と Ozersk 市での緊急措置は、事故後の生産活動確保、事業所と Ozersk 市の土地の除染、要員と Ozersk 市住民の放射線防護確保という目的をたどった。措置の内容を表 2.10 に示す。それらは十分に効果的だったようで、困難は伴ったが、「マヤク」の生産活動だけでなく、事業所敷地における建設他の組織の活動も確保できた。ここでの作業は土地の強い放射能汚染のた

めに困難だったにも拘わらず。

表 2.10 生産共同体「マヤク」と Ozersk 市に対する初期の間の措置

基本課題	解決を待つ課題	措置内容
事業所の通常生産活動確保 要員と市民の放射線防護 効果的な線量測定及び放射能測定管理	1. 生産組織の一部変更 2. 効果的システム組織化と「マヤク」と Ozersk 市に対する線量測定管理量増 3. 要員の放射線防護 4. 住民の生活活動規制	労働場所と技術ステップの一部変更。高放射能汚染区域での建設中断。敷地境界外に軍建設体を転居。個別建屋と設備の保全(初めの 2-5 日間) 1 事業所の線量測定部要員増、線量・放射能測定器具の迅速な追加配備、特に自作(最初の週) 2 住民放射線管理部の設置と設備装備(最初の 2 日) 3 製品 (貯蔵所、倉庫、食堂、パン工場、牛乳工場)、町、道、自動車、社会施設、学校、幼稚園、個々の住居の常時放射能管理組織(1957 年秋) 要員の線量測定及び放射能測定管理の改善と量の増加、直交替後の強制的な管理処理 1 通勤バスルート特別制限 2 汚染品、私服と作業衣、履物の不使用、放射能測定支援(1957 年秋) 3. 「きれい」と「汚い」風呂と洗濯場に作業編成(最初の数週間)
除染。事業所敷地境界外に放射能汚染拡大を予防	1. 事業所の汚染地区画、敷地への通路と衛生防護区域の除染 2. 自動車と鉄道輸送径路、個別建屋と設備の除染 3. 事業所敷地と町の道路使用、自動車輸送の規制 4. 町の土地除染 5. 社会施設と住宅の除染	爆発場所近くの最も汚染した土地区域の表土をきれいな土で埋め、線量率を少なくとも 1/10 に下げる。道路とアスファルト舗装の表層(5-10cm)を除去し埋設。鉄道の路盤と土手にきれいな砂利を敷く。全部で約 32 万 m ³ の土と砂利を除去し埋設。作業の大部分は 1958 年初までに実施。 ブラシと除染剤(アルカリ灰汁 40%、K ₂ MnO ₄ 、ケロシン+H ₂ SO ₄ 、硫酸他)を用い、水で濯ぐ 自動車運行経路変更、作業用車両が事業所敷地境界外へ出る回数制限(最初の週)。自動車の洗浄所と線量管理所の運用開始(1958 年 1 月) 1. 可動式及び固定式水源を用い道路の系統的水洗(1957 年 10 月から) 2. 路盤の一部の硬い舗装の交換(冬までに) 3. 芝を掘り返し、ごみ(落葉)と最初の降雪(冬までに)の掃除と搬出 1. 食堂と店の床除染 2. 幼稚園を入念に何回も掃除 3. 住宅モニタリング者に居住区画除染の妥当性と設備について覚え込むよう指示(1957 年秋の間全部)

「東ウラル放射能跡」頭部区域は、特に高レベルの外部放射線が観測され(表 2.6)、緊急の住民の放射線防護措置が採られ、汚染地域の一部住民が避難することになった。この決定は、当時の放射線状況と、避難しなかった場合に最近接居住住民が受ける恐れのある線量予測評価に基づくものだった。評価によれば、これらの居住地住民は、最初の 1 ヶ月住むだけで 100cGy に及ぶ外部被曝線量を受ける可能性があった。そこでソ連中型機械省は、「マヤク」から 12-22km の距離にある近い村の住民避難を決定した(これはその後、事実上、移住となった)(表 2.11)。避難は事故後 7-10 日までに完了した(Kirpichiki 村は 14 日目まで)。

これらの村の全住民 1383 人は、汚染していない土地に搬出され、一時的に順応建物に収容された。人々は完全な衛生処置を受け、汚染した私服と履物は没収・処分され、新品と交換された。被災者の全個人財産、更上記地域にあったコルホーズの全所有物-住宅、生産、社会と補助建物、農業原料ストック、個人の家畜と家禽を含む-は処分された(体内放射能が比較的少ない個人の家畜を除く。それはソホーズ No.2 に移され、非汚染地域に置かれた)。その後、避難民は汚染地域

表 2.11 1957 年秋の居住地住民の避難

居住地、村	爆発場所からの距離、km	初期平均土地汚染密度、kBq/m ² -Sr90	住民数、人	外部被曝累積線量、cGy	
				避難まで	避難が無かった場合
Berdenish	12.5	24000	535	40	110
Satluykova	18	15000	288	24	72
Galikoeva	20	15000	377	24	72
Kirpichiki	22	110	183	0.4	0.6

境界外の居住地に永久的に居を定め、住民の被った全損害を国が補償した。

ほぼ 2 年の中間経過期間の間、「マヤク」の通常活動と要員の放射線防護に向けた作業が続いた。「マヤク」と Ozersk 市ではこの間、事業所と町の土地除染措置が続いていた。1958 年 3 月、事業所の汚染区画をきれいな土で埋め、建屋と設備の除染が終わった。これらの作業に参加した人々は高い被曝線量を受けた。当時のこういう復旧作業に対する職業被曝の許容線量 0.15Sv/y(又は直当り 0.2mSv)から、計算上 1 回当たりの許容線量 0.8-1.0cSv が割り当てられた。しかし、1957-1958 年間に「B」再処理工場の復旧作業に参加した数人は、60-120cSv までの線量を記録した。町の土地除染作業により、室内外の表面汚染密度が 100-1000 分の 1 に下がった。

非常に重要な問題があった。出てくる液体廃棄物の処理の復活とその設備の埋設だ。このため、事故が起きた再処理工場の C-3 施設の復旧と改修が必要だったが、新設備も作られた。1958 年初、基本的に、C-3 施設の冷却系と換気系の復旧、計測制御系とケーブル網の改修は完了し、冷却系は現代化され、破損タンクは処分された。1961 年に、信頼できる冷却、換気と制御系を持つ高レベル液体廃棄物の新しい貯蔵施設が運開し、旧施設は除染され、きれいな水が詰められ、保全された。「マヤク」は通常運転をするようになったが、土地の放射能汚染は今でも部分的に残っている。

中間経過期間の主な課題-「東ウラル放射能跡」地域住民の放射線防護の確保-は、汚染食品摂取による内部被曝リスクの低下にあった。ソ連保健省(第 3 主管部)とソ連中型機械省は、1957 年末に、これ以上の住民避難は不要との結論に達した。何故なら、残りの汚染地域の外部線量レベルは、最初の 1 年間もその後の期間も、住民の居住を制限する要因ではなく、第一の因子は内部被曝(先ず、様々な核種混合物からの胃腸系被曝と、Sr90 による骨組織被曝)だからだ。

当然、効果的な措置は、食品と飼料の汚染レベル管理であり、許容レベル以上汚染した一部製品を使わないようにすることだ。この措置の導入は事故後初期に決定された。食品と飼料の許容限界値は事故の 3 ヶ月後、ソ連保健省勧告に基づき設定された。この決定は人体骨格中の Sr90 許容量 740Bq に相当するもので、食品からの年摂取限度は 52kBq と設定された。この生産規則は 1958 年 1 月 1 日に 1 年間時限施行されたが、実際には数年間続いた。

年摂取限度の設定は極めて必要なことだった。何故なら、これに基づき食品中の Sr90 と核種混合物(全β放射能)含有量の年摂取限度が評価され、放射線管理に際し放射能汚染の程度が規定されるから。

ソ連中型機械省とソ連保健省は、現地村住民に他所から搬入した汚染していない食品を完全に確保することの非現実性を認識していた。そこで、汚染食品の一部を「きれい」な食品と交換するのは、短寿命核種が崩壊していない間の暫定(1-2 年間)措置だった。

食品の質と使用除外を組織的に管理するため、「マヤク」医療部が動員され、その後更に 7 つの放射能ラボが Chelyabinsk と Sverdlovsk 州衛生防疫部に設けられ、総員 100 人が従事し、方法指示書が開発され、ラボ要員が養成された。「マヤク」の放射線ラボは初日から稼動し、2 つのラボが 4

ヶ月後に、残りは10-12ヶ月後に参加した。

最初(1957年末)、食品の品質管理と廃棄は、近くの「マヤク」居住地で行われた:つまり Kajakul 村(放出源からの距離 20km)、Alabuga(24km)、Russkaya Karabolka(35km)、大きい村 Yugo-Konevo(55km)と Bagaryak(75km)、Kamansk-Uralskiy 市で。その後、特に初期の Sr90 汚染密度が 18-37Bq/m² の約 50 居住地に拡大した。最初の2年間に破棄された食品量を表 2.12 に示す。2年間に放射能ラボで約 10 万の試料が分析された。

表 2.12 食品と飼料への使用から外された量、 t

飼料、 食品	管理の各期間に使用から外された食品と飼料の量		
	最初の3ヶ月	最初の6ヶ月	最初の2年
干草	1100	1554	3521
わら	880	1987	3212
穀物	750	916	1308
じゃがいも	40	50	240
肉	-	1.7	104
野菜	-	36	61
牛乳	-	-	66.6
卵	-	-	14027

品質チェックと使用除外は導入が遅れ、現地産の全食品チェックと「きれいな」食品との交換(除外食品は金銭で補償された)が不可能だったため、既に 1958 年初に効果の少ない措置と認識された。つまり、最初の2年間に取り除かれた食品は、2-3 の居住地の年間蓄積量程度でしかなかった。最初の1年間の現実の汚染レベルと年摂取限度を比べると、大部分の汚染地域で年摂取限度を超えていたことが証明され(表 2.13)、設定された年摂取限度に達し得る計算上の摂取期間も短かった(表 2.14)。

表 2.13 1958年に現実に観察された食品汚染レベルが年摂取限度を超えていた倍率

居住地	初期土地汚染密度、 kBq/m ² -Sr90	穀物	牛乳	じゃがいも	干草
Russkaya Karabolka 村	2400	190	250	32	36 - 360
Yugo-Konevo 村	370	100	120	10	100

表 2.14 現地産食品摂取により Sr90 の許容年摂取限度に達するまでの計算上の期間

初期土地汚染密度、kBq/m ² -Sr90	事故時からの摂取継続時間
370-3700	1月
37-370	1年
<37	>1年

現地産食品の品質チェックと使用除外による、当時と将来の住民の予測線量(汚染現地産食品を摂取すると Sr90 による長期内部被曝に至ることを勘定に入れ)を下げる効果が不十分だったので、ソ連とロシア共和国閣僚会議は決議を採択し、Sr90 の最少初期汚染密度が 74kBq/m² (テチャ川の Bararyak 村まで)と 150kBq(同下流)の地域からの居住地からの移住を予定した。

移住は、段階的に、先ず暫定、次に恒久収容建屋の準備状況に応じ行われ、該当する村のソホーズ[国営農場]と他の居住地の区分移動は拒否しなかった。

初期(緊急移住)と中間経過期(計画移住)に互って、Metlino 村(新しい村、テチャ川の Metlino 村から移住)を含め全部で 24 居住地の総員 12763 人が移住した。うち 7-10 日目の緊急移住は 1383 人、計画移住は 11380 人(250 日*までに 6007 人、330 日*までに 3367 人、670 日*までに 2006 人)

[注*:最終文献により確認された実際の移住の平均期間]

全移住民は、国家から「マヤク」を通じ、移住による経済損失が補償された(建物喪失の金銭補償、移住費)。この他、国は、住民に対する住居-生活と社会-文化条件の確保に多大の出費をし、かなりの割合の組織的移住希望者が住み付いた場所で、物質と農業生産の基盤を設立し発展を計った。

不完全なデータによれば、1959年7月までの移住と「マヤク」維持に関する、ソ連とロシア共和国の国家の総支出は～52百万ルーブリと評価される(表 2.16)

表 2.16 「東ウラル放射能跡」地域から 1957-1959 年間の住民移住に対する直接費用

支出項目	支出総額、百万ルーブリ
住民移住総費用	41.7
製品没収に対する農業事業所への補償	6.7
土地収用補償	0.8
除染費	2.6
計	51.8

事故後の中間経過段階の間に、他の放射線防護措置が導入され、何よりも先ず Sr90 初期汚染密度が 74kBq/m^2 以下の地域に住む非移住民の高い被曝が予防された。これらの措置の主目的として、Sr90 汚染密度が $74\text{-}150\text{kBq/m}^2$ の地域は、住民による産業利用(直接、間接に住民が所有する結果、ここの農業他の事業所を置く)がないようにされた。この目的は、Chelyabinsk と Sverdlovsk 州執行委の公式決定により達成され、いかなる産業利用も住民の衛生区域への接近も禁止された。その境界は、Sr90 初期汚染密度が $74\text{-}150\text{kBq/m}^2$ の等高線に置かれた。衛生区域という法的地位は、住民移住後導入された。その管理は省庁部隊の保全下に置かれ、順守チェックは現地衛生防疫部が行った。その全面積は約 700km^2 だった。

同じ期間(1958-1959 年間)に、何よりも先ず経済利用から外された一部汚染地域の除染が行われた。除染は、次の 3 目的を迫った:①風輸送による 2 次汚染の低減;②移住村の土地の経済利用防止;③野で働く農業労働者の外部被曝低減。農業用の犁を用い耕地が除染され、特別の機械化部隊が編成され、全部で約 2 万 ha の土地が掘り返された。かつての居住地は土堀設備により建屋が壊され、壕に埋められた。幾つかの場所では、地表面が整地され、松の種が播かれた。

2.2.2 後期(復旧期間)

後期(今も続いている)の始まりは、住民の汚染地域からの移住とされ、主な放射線要因は体内摂取された Sr90 からの内部被曝である。Sr90 の半減期は長いため、この段階の基本的課題は、非移住民の長期安全居住確保にある。その条件は、国際及び国内の住民の放射線防護要求を満足しつつ、住民の通常の生活活動への介入を最小に(又はそんなものではなく)することである。

60年代初の評価によれば、汚染地域に住民が長期に安全居住する場合の Sr90 年摂取限度に相当する Sr90 汚染密度は 150kBq/m^2 (4Ci/km^2) だった。

後期段階の間ずっと住民の長期安全居住を確保するため、総合措置が実施された。それは、常に放射線衛生管理を行い、現地産物の高い汚染を防ぐと共に、下げる方向に向けられていた。現地産食品と飼料から食餌を通じ現地住民(そして産物の汚染区域境界外搬出により地域住民)の Sr90(と Cs137)の摂取量が増える主要因は、前も今も住民による汚染地-特に衛生区域-の経済利用であり、組織上不備があるためだ。

衛生区域設置は、境界近く(5-10km)にある移住しなかった村の通常生活活動への介入だった。何よりも先ず、住民が牧場、干草狩場と森の一部を利用できなくなった。村民の長期間積み重ね

られてきた生活を変えるのは困難で、汚染地域に特別の農業事業所が編成された後でも、幾人かの住民は衛生区域の耕作を続けた。衛生区域土壌から自留地産品への典型的な放射能食物連鎖が形成された(図 2.3)。

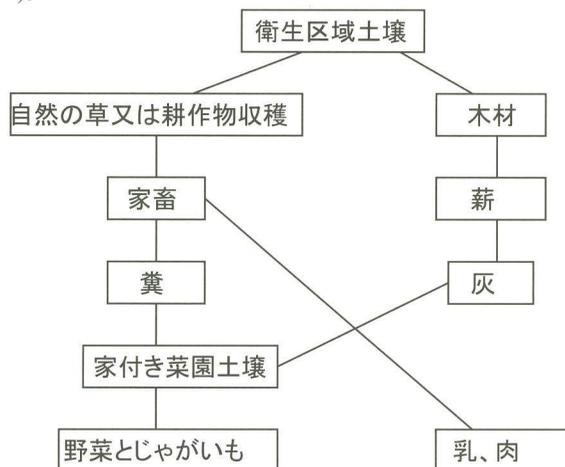


図 2.3 衛生区域を住民が利用した場合の自留地産品への放射性核種の摂取

Sr90 が土壌→天然の草の取り入れと耕作物の収穫→家畜→畜産物から人間の食物連鎖に移行する程度には差があり、又、現地民の食餌の構成から大部分(50%超)の Sr90 は、ミルクの摂取による。それは、現地民が圧倒的に天然草地(牧草地、干草狩場)を用いて生産している。天然草地飼料中の Sr90 汚染密度は、耕作地飼料の約 10 倍であり、従って天然草地の利用が住民被曝の主要因の 1 つになった。

衛生区域近くにある居住地の中で、個人産食品の汚染が高かったのは、圧倒的に衛生区域の土地汚染密度勾配の高い村だった。これは「跡」の高汚染部(Kunashaksk 地区 Bol.Kuyash、Mal.Kuyash、Tatarskaya Karabolka、Musakaeva と Kaslinsk 地区の Krasnuy Partizan)の特徴だが、Bagaryak 村の大規模居住地住民も自家用の草刈や薪取りに衛生区域内の草地を利用していた。

1964 年の衛生区域付近居住地の詳細調査結果によれば、家付き菜園の土の汚染密度が高かった(居住地平均と比較し)のは 5-6%だった。これらのデータも、衛生区域設定により経済活動が制限されるまでの、菜園土への放射能取り込みの寄与を反映している。それらは、以後も典型的と見なせる。他の評価によれば、Chelyabinsk 州の大多数の居住地は、60年代の Sr90 の最小汚染密度 18kBq/m^2 の境界内にあり、草地の汚染密度が 74kBq/m^2 を超え、住民の受取るミルクの 15%、肉の 39%とじゃがいもの 29%を生産していた。これは衛生区域の利用時の家付き菜園の 2 次汚染の影響を反映している。

後期に行われた住民の放射線防護措置の性格は、表 2.17 のデータで判断できよう。

60 年代に系統的で十分に広い土地をカバーした衛生-放射線及び獣医-放射線管理が行われた。最初のもは既に 1958 年にソ連保健省が放射能ラボ網を設置した際に組織化され、ロシア共和国保健省放射線衛生研究所 Chelyabinsk 支部の活動の結果進み、その後それをベースにソ連保健省生物物理研究所第 4 支部が編成された。60 年代には、Chelyabinsk と Sverdlovsk 国家衛生防疫監視システム中の特別放射線衛生管理部が稼動を始めた。次の指標が管理された:土地と環境物と、食品の放射能汚染レベル、外部 γ 線量率、住民の生活活動条件。

表 2.17 汚染地域に長期居住非移住民の後期の放射線防護措置

措置目的	措置内容
住民の高被曝の制限と防止	1. 放射線-衛生管理 2. 放射線-獣医管理 3. 衛生区域の産業利用禁止 4. 農業と林業の再編
個人産品の汚染低下	5. 居住地の土地利用規制 6. 特別な農業技術措置

当時また、Chelyabinsk 国家衛生防疫監視システム中に特別ラボと放射線獣医部が編成された。その職務として、衛生区域を構成する農地の利用が管理され、あらゆる種類の農産物の汚染レベルが系統的に評価された。

放射線衛生管理と放射線獣医は、製品の許容放射能汚染レベルを設定した。その値の進展を表 2.18 に示す。許容限度を超えると、食品を利用から外したり、処分した。

表 2.18 「東ウラル放射能跡」地域に設定された食糧目的農産物中の許容 Sr90 放射能濃度

施行開始	穀物	じゃがいも	野菜	ミルク	肉
1958 年 1 月	92	92	92	28	28
1858 年中期	185	185	185	56	185
1959 年 1 月	74	74	74	37	92
1976 年(NRB-76 に基づく)	7.4	1.8	3.7	5.6	3.7
1997 年(NRB-96 に基づく)	140	240	240	25	50

注:1958 年 1 月と中期、そして 1959 年の値は、ソ連保健省が承認:年摂取限度 52kBq(1.4 μ Ci)に基く。1976 年の値は、Chelyabinsk 州執行委決定により NRB-69 と NRB-76 に対応し導入(年摂取元素 0.32 μ Ci):ここで年摂取限度は 1/3 に下げられた。1997 年の値は「衛生規則・基準 SanPiN2.3.2.590-96 による。

移住後の衛生区域の地位は、Chelyabinsk と Sverdlovsk 州執行委決議により規定された:これは秘密文書だったが、その主な要求は現地政府組織を通じ住民に届けられた。衛生区域境界と土地の保全是省庁部隊により行われ、境界は現場表示された;境界にある深い溝が車両の無許可通過を相当防いだ。しかし境界は非常に長い(約 200km)ので、保全是不十分だった。1962 年に保全面積は 220km² に縮められ、同時に保全地域の一部を利用する特別の国営農場[ソホーズ]が編成された。しかし、衛生区域の法的地位はそのままだった。残念ながら、保全区域の削減は、住民による保全区域の利用を強めた。

60 年代初、汚染地域で農業と林業の経営-経済再編が行われた。この目的の 1 つは、移住後経済利用から除外された一部保全区域の農業と林業の復興と並んで、住民の生活活動をより良く管理し、衛生区域に隣接する地域や衛生区域自身の自然資産を目的に向け合理的に利用することだった。多数の小さい集団農場[コルホーズ]~農地を住民が広く利用~の代りに、特別の国営農場[ソホーズ]と国営林業公社が編成された。その課題は、衛生区域を構成する自然草地の住民による利用や、更に農業や林業に行くため通るのを直接禁止し、最大制限することだった。収用地域の農業と林業の復旧により、住民による衛生区域土地利用は大幅に減らすことが出来た。

しかし、個人産物の放射能汚染低減に関する直接措置は、一部の居住地で行われたが、不十分だった。これらの措置は、居住地付近の土地利用構造の変更(牧場をより汚染の少ない草地に移す)、草刈場と牧場の再耕、家付き菜園の深耕を含んでいた。

1960-1961 年間に衛生区域設定後、Bagaryak 村近くの天然草地 400ha が深耕され、その縁の初期 Sr90 汚染密度は 74kBq/m² だった。更に Bagaryak 村そのものの家付き菜園約 150ha も深耕された。菜園の深い再耕は Metlino 村でも行われた。

それでも、放射能汚染条件中における個人産物の扱いに関する特別勧告-特に、60-70年代に開発された畜産技術採用、土地利用制限、特別な農業技術適用-は広い適用を見なかった。これは、当時これらのデータが秘密で住民に届かなかったことから説明される。

森林地(全汚染地面積の20%)利用時の現地住民の放射線防護措置は、何よりも先ず、住民による衛生区域のあらゆる経済利用禁止と、特別林業公社による衛生区域外側での住民による林地利用と林業製品の規制を含んでいた。このため林業製品中の Sr90 許容濃度が設定され、92kBq/m² を超えなければ家畜放牧や干草刈りが許された。衛生区域を構成する放牧と干草刈りに好適な森林地は、植林により削減され、Sr90 汚染密度が 74kBq/m² を超える土地の木の燃料利用が制限された。少量の細工用木材は殆どが生産目的用だった。しかし完全に避けられない範囲では、こっらの制限は守られなかった。

後期の間に行われた、汚染地域住民が安全に住むための多年に及ぶ制限、Sr90 と Cs137 の放射性崩壊、自然のプロセスと産業-経済活動の結果、個人産物中のこれらの核種の含有量は大きく低下した。現時点で表 2.19 に示すレベルに達した。

表 2.19 1993-1997 年間の衛生区域境界近く of 農地と個人産物中の平均 Sr90 汚染レベル

地区 「東ウラル放射能跡」の	居住地の平均土地汚染 密度、kBq/m ²	産物中の Sr90 放射能濃度、Bq/kg(l)*	
		じゃがいも	ミルク
北部(Chelyabinsk 州)	15	2.0	4.0
開始-中間部	18	1.0	1.5

注*: 平均値と、個々の年と個別居住地の値との間には2倍の差がある。

表 2.19 のデータによれば、個人産物摂取による住民の被曝線量と、我が国の放射線安全基準の間には大きな余裕がある。放射線安全基準 NRB-76/87 の住民被曝限度とそこから誘導される食品許容濃度(1976年設定)との関係で言えば、1993-1997年間の Sr90 放射能濃度は、ミルクについて11倍、じゃがいもについては2倍の余裕がある。現在の放射線防護基準 NRB-99 とそこに示されている食品に対する Sr90 の許容放射能濃度に基けば、余裕はミルクに対し6-17倍、じゃがいもに対し100-200倍となる。これらの評価値は、全体として、「東ウラル放射能跡」最高汚染部近くに住民の、現在の放射線安全性レベルは十分に高いことを特徴付けている。

2.3 東ウラル放射能跡地域における農林業の再生 (概要)

1959年までに放射能汚染のため、約10万ha強が農業利用から外された。林業も停止した。

産物の放射能チェックが導入され、適さない産物は利用から外された。

放射能汚染を下げるために効果的な農業と畜産法が開発-実践定着化された;

1958年:「マヤク」実践科学研究所; 1958-1959年:ロシア共和国保健省レニングラード放射線衛生国立研究所 Chelyabinsk 支部とソ連農業省総合放射能ラボ(これらをベースに統合後、ソ連保健省生物物理研究所第4支部となった)を設置;モスクワ農業アカデミー、モスクワ国立大学、土壌研究所、農業物理研究所も動員。

先ず、農地と、産物の許容放射能汚染レベルが設定され、次に許容値を超えない汚染レベルの農産物が出来る土地利用範囲が線引きされた。最初は Go-Stop の判定で精一杯だった。

その後60-70年代の研究の結果、Sr90汚染環境中での農業が科学的に根拠付けられた。具体策:

土壌除染と処理:表層汚染土の除去

①機械(ブルドーザ、パワーシャベル、トラック等)又は手作業(家付き菜園)で汚染土を除去-搬

出-埋設。作業効率は低い(機械を使う場合で 0.1ha/h 以下)、収穫物中の Sr90 は、50-90 分の 1 に減った。初期平均 Sr90 汚染密度 74kBq/m^2 の地区産の野菜が、以後 30 年間、放射線基準を満足するものとして、Ozersk 市に納入された。

②汚染表土を下層に埋め除染。大面積農地用。植込用深耕犁や特に開発された「土壌層交換機」を用いる。厚さ 20cm までの表土を最大深さ 0.5-0.7m(深耕犁)及び 0.8-1.0m(土壌層交換機)まで埋設。産物中 Sr90 は、深耕犁で平均半分(最大 7 分の 1)になった。効果は、同時にミネラル肥料を数十%まで用いると収量が増え向上。重い(粘土)土壌に対しては十分だが-チェルノブイリでも示されたように-、軽い砂土には向かない。欠点として、重いキャタピラ付トラクタが必要でエネルギーを大量に使い、作業効率が低い(0.2ha/h まで)。1960-1961 年に約 6550ha の宅地と農地で実施。

土壌中から摂取されるSr90を下げる農地改良。土壌から吸収される成分中のSr90割合を下げる農地改良剤(石灰、チョーク)を、代表的な灰色森林土とアルカリ黒土に用いると、収穫物中の Sr90 が 10-30%減った。Sr90 を根から吸収されない形態に変更する化学固定剤 sulphate、phosphate と、K と Na の silicate が試験され、収穫物中の Sr90 濃度は 2-4 分の 1 になったが、実施されず。

天然農草地土壌処理。耕作・深耕し、植物根がある層の Sr90 濃度を下げ、Sr90 濃度の高い芝を処分(本質上、かなりの付着土を処分することになる。耕作地と牧場・草刈り場の両者で行われた。後者は、後で(チェルノブイリ事故影響処理時に)「牧場と草刈り場の根本的改善」と呼ばれた)。土壌の放射能が「希釈」され、干草中 Sr90 濃度は、通常の再耕で 3-4 分の 1 になった。広く実践された。

耕作と収穫法の変更。農作業時に植物より 2 桁高い放射能濃度を持つ土壌粒による直接汚染を防ぐ。汚染は主に、畝盛土、種まき準備(掻き集め、かき混ぜ、干草積み重ねとプレス)、種まき、収穫時に起る。作業回数-特にコンバインによる穀物の直接収穫-を削減し、土が湿っている期間に作業し、出来るだけ高い所で切り個別収穫するよう勧告されたが、広くは用いられなかった。

農業耕作物と種類の選択。根からの Sr90 吸収係数は、産物に異なる。これは Sr90 の担体となる安定 K 消費量に差があるためである。少ないのはじゃがいも、多いのは野菜-ネギ等の薄い表面層に Sr90 が濃縮-と果実。差が大きいのは飼料作物。飼料として用いる牧草の地上植物体は、穀物、じゃがいもと根菜の 2-3 倍汚染している。後者が生産に適している。最悪は天然農地の牧草、耕作地産物に変えるだけで Sr90 濃度は 10-15 分の 1 になる。

2.4 「東ウラル放射能跡」地域住民の被曝線量

事態が進行中に幾つかの時を追った「東ウラル放射能跡」地域住民の被曝線量評価が行われた。線量の計算評価は、外部 γ 線観測レベルと主要な農産物中の放射性核種濃度に基づくもので、時の経過と共に新しいデータや ICRP の新放射線防護基準が現れ、精度が上がった。

1974 年の評価は、12 年間に互って測定された外部 γ 線量率に、遮蔽係数 0.5 を適用し、更に 60 年代に確立した経口摂取時の内部被曝線量係数を適用したものだ。事故の雲が通過する時の吸入による内部被曝も考慮された。

1984 年の評価では、精度の高い土地の放射線汚染密度値が用いられ、外部被曝線量計算法では、初期土地汚染の構成比で核種毎の組織吸収線量に対する線量係数が用いられ、内部被曝に対しては ICRP 外の線量パラメータが用いられた。

最近の評価[1996、1997]では、次の変更が導入された。

- 期待される実効線量及び(各器官と組織に対し)線量当量
- 内部被曝に対する最新の ICRP1996 年線量係数の使用

1996 年評価は、ロシア連邦国家衛生防疫監視委の承認した手法により行われた。本書を準備する際、計算よりも信頼できるものとして外部 γ 線量率測定値に立ち戻り、外部累積被曝線量を評価した。これ以外は、上記委により承認された手法によっている。

上記[1996]評価も、本書も、住民の合計被曝線量は、移住までの(移住民)又は汚染地域にずっと住み続けた(非移住民)場合の外部 γ 線累積線量と、同上の期間に生体内に摂取された放射性核種による内部被曝線量期待値の合計として評価している。

本書の外部実効累積被曝線量評価では、 γ 線照射線量率のその時間変化のデータを用いた(図 2.2、表 2.8)。

累積外部 γ 被曝線量は、事故時点から所定期間に実際に観測された照射線量率の積分として得られる。全身実効外部被曝累積線量は、照射線量率から実効組織線量への変換係数と、住民の典型的な生活活動における γ 線遮蔽係数を導入し、被曝線量を累積し得られる。*

$$\text{注}: 0.87 \cdot (\text{Gy}(\text{空気})/\text{R}) * 0.7 \cdot (\text{Sv}(\text{組織})/\text{Gy}(\text{空気})) = 0.6 \cdot \text{Sv}(\text{組織})/\text{R}$$

実効 γ 線遮蔽係数値は、次の式で定義される

$$\text{Ke.e} = [\text{Ke Tp} + (1 - \text{Tp})] \text{Ks} \quad (2.6)$$

ここで、Ke – 建屋内 γ 線強度減衰係数、相対単位: Ke.e=0.05-0.3、Ke.eの平均値 0.3 を選択; Tp – 建屋内平均居住時間、相対単位: Tp=0.4-0.8、平均値として 0.7 を採用; Ks – 積雪による γ 線減衰年平均係数: Ks=0.85。

実効外部被曝線量評価は、Sr90 単位初期汚染密度に対し計算される。内部被曝期待線量評価も同様。

事故時に様々な年齢だった住民の放射性核種連続摂取時の内部被曝期待線量は、次式による:

$$E_{\text{ing}}(\text{T}, \text{j}) = \sum r_j \sigma_{r0} \cdot i_{r0}(\text{T}, \text{j}) \cdot e_{\text{kr,ing}}(\text{T}+\text{j}) \quad (2.7)$$

ここで、 $E_{\text{ing}}(\text{T}, \text{j})$ は、事故時にT歳だった人が、事故後j年間に、放射性核種rの連続摂取により、70年の生涯に期待される個別器官と組織の実効実効線量 Sv/(Bq(Sr90)/m²);

σ_{r0} は核種rによる初期汚染密度: Bq/m²で、 $\sigma_{r0} = \sigma_{\text{Sr90},0} \cdot \text{R}$ により評価。ここでRは核種rのSr90に対する初期放射能比

$i_{r0}(\text{T}, \text{j})$ は、T歳年齢集団平均の、単位土地汚染密度に対する事故後j年目の食餌からの核種rの年摂取量、Bq/(y \cdot Bq(Sr90)/m²); 各年の計算評価に用いられる $i_r(\text{T}, \text{j})$ は、完全に現地産物を摂取すると仮定し(表 2.9)、現地の各年齢集団の平均的な食餌に基いた。

$e_{\text{kr,ing}}(\text{T}+\text{j})$ は、線量係数で、年齢T+j歳の食餌から核種rを多数回摂取する時に期待される内部被曝値を与える、Sv/Bq。ICRPの $e_{\text{kr,ing}}(\text{T}+\text{j})$ に対する標準勧告値(個別器官と組織に対する)と実効線量により、実効実効線量と、線量当量を評価できた。

類似の、吸入による内部被曝線量評価は 1996 年にのみ行なわれた;今の前提によればエアロゾル微粒子の寄与は小さいので、本書では省略する。

「東ウラル放射能跡」の放射線状況と住民の生活活動条件の変化に関する批判的分析により、前期の放射能汚染密度の評価値を修正する必要があるが出てきた。この理由は、移住までに 330-670 日

住んだ住民もまた移住しなかった住民も、生活活動において、居住地平均の汚染密度を大きく上回る土地を使っていたからだ。特に、初期汚染密度勾配が大きかった地域の隣に住んだ住民が。従って、計算には、居住地中心から半径 10km の所謂「生活活動地域」の初期平均汚染密度評価を追加した。こういう仮定の正当性は、一連の居住地の自家産物中 Sr90 実濃度データにより確認された。それは「生活活動地域」中の汚染密度に対応していた。

計算に用いられた現地住民の食餌量が最大可能な摂取量として現実の 2 倍だったことが、実際の放射線-衛生管理により確認され、更に「生活活動地域」という考え方は一連の居住地に対して修正 - 専門家評価によれば評価値の 1/3 に - するのが妥当だった。

現代の期待線量値評価(G.N.Romanov)を、移住民(表 2.29)と非移住民(表 2.30)対し示す。これらの表によれば、土地汚染密度と移住までの居住期間に応じ、最も被曝した年齢集団(事故時に 1-2 歳)に期待される線量は:全被曝線量は 0.4-150cSv;累積外部被曝線量は 0.2-47cSv;最も被曝した器官(胃腸系)の全実効線量は 3-1200cSv;骨髄は 0.3-130cSv と広い範囲に散ばっている。非移住民に対する類似の評価によれば、同じ年齢集団に対する単位土地汚染密度(単位 mSv/(kBq (Sr90)/m²))に対し、実効線量(全身外部被曝 0.24 を含め)は 0.97、胃腸系と骨髄を含む全線量当量はそれぞれ 7.3 と 1.1 だった。

最も汚染の高い「東ウラル放射能跡」近くの個別居住地に常時住む住民は、移住民に匹敵する高い被曝を受けた。特に 20-40cSv の実効線量が、事故時に 1-2 歳だった Poroxovoe、Metlino、Tatarskaya Karabolka と Musakaevo の居住地に期待される。この線量は、移住した居住地、Yugo-Konevo、Mal.Troshkovo、Igish、Gornuy(Konevskiy Rudnik)、Krivosheino、Mel'nikovo の住民被曝線量に近い(表 2.31)。

住民被曝線量は、かなりの程度、事故放出物中の Ce144、Zr95 と Ru106 の存在による。その放射能割合は 94%だった(表 2.1)。これが全期待実効線量に主に寄与した(初年目で約 70%、全期間で 66%)。比較的短寿命の核種が、事実上、累積外部被曝線量の全てを条件付けた(外部被曝の全期待被曝線量に対する寄与は、初年目で約 30%、連続居住時で約 28%である)。

これらの核種は、胃腸系の線量形成上も主な役割を演じた。特に、それらは胃腸系の実効線量の 90%を条件付け、この約 80%は Ce144 によった。

これらのデータに照らせば、「ストロンチウムの危険性」が誇張されていると言うべきだ。それとの関連で、住民に対する初期と中間経過期間の放射線作用レベルが換算された。「ストロンチウム」のリスクは、短寿命核種が崩壊した 5 年経過後からリーダーになる。より厳密には放射線危険性は(全期間の蓄積線量に基き、初年間の線量の 70%に寄与することを考慮し)「セリウムの危険性」と名付けるべきかもしれない。

2.4.2 採られた住民被曝線量防止対策の意義

住民被曝低減のために行われた行為の効果は、移住民に対してのみ十分正確に評価できよう。

表 2.32 に示すように、事故時点から連続居住条件に対する線量の約 95%は、事故後 10 日以内での緊急避難により予防された。より遅い期間での移住では効果が下がり、670 日までの移住により予防される線量は 14-18%を超えない。この観点からは、670 日後の移住は余り正当化出来ない。

表 2.29 移住民の予測被曝線量評価

居住地	平均初期汚染密度、kBq/m ² -Sr90		住民の最大被曝年齢集団(事故時に1-2歳の子供)、cSv					成人、cSv				
	居住地地域	生活活動地域	実効線量		実効線量(被曝重量)			実効線量		実効線量(被曝重量)		
			全被曝	外部被曝	肺	胃腸系	骨髄	全被曝	外部被曝	肺	胃腸系	骨髄
10 日後移住												
Berdenish	24000	-	91	40	37	620	72	59	40	36	250	65
Satluyjiva	15000	-	56	24	23	380	44	36	24	22	150	40
Galinkaeva	15000	-	56	24	23	380	44	36	24	22	150	40
Kirpichiki	110	-	0.42	0.18	0.17	2.9	0.33	0.27	0.18	0.17	1.1	0.30
250 日後移住												
Rus.Karabolka	24000	-	150	47	41	120	130	91	47	41	420	110
Alabuga	300	-	18	5.8	5.0	0	16	11	5.8	5.0	51	14
M.Troshkovo	890	-	55	18	15	140	48	34	18	15	150	41
Troshkovo	590	-	37	12	10	430	32	22	12	10	100	27
Yugo-Konevo	370	-	23	7.3	6.3	290	20	14	7.3	6.3	64	17
Gornuy	180	-	12	3.7	3.2	88	9.7	7.2	3.7	3.2	33	8.7
Igish	1200	-	75	23	20	560	65	46	23	20	200	55
330 日後移住												
Metlino(新)	56	920	22*	6.6*	6.6*	160*	20*	13*	6.6*	5.7*	62*	17*
Gusevo	300	300	21	6.3	6.3	150	19	13	6.3	5.5	60	16
Boevskoe	150	260	10*	3.2*	3.2*	76*	9.6*	6.4*	3.2*	2.8*	30*	8.0*
M.Shaburovo	150	270	10*	3.2*	3.2*	76*	9.6*	6.4*	3.2*	2.8*	30*	8.0*
Fadino	300	300	21	6.3	6.3	150	19	13	6.3	5.5	60	16
Mel'nikovo	670	670	47	14	14	340	43	29	14	12	140	36
Bryuxanovo	300	300	21	6.3	6.3	150	19	13	6.3	5.5	60	16
Krivosheino	440	440	31	9.4	9.4	230	29	19	9.4	8.3	90	24
670 日後移住												
Kajakul'	74	2000	65*	16*	16*	490*	61*	34*	16*	16*	180*	46*
Tuygish	150	150	14	3.4	3.4	100	13	7.2	3.4	3.4	38	9.6
Skorinovo	150	150	14	3.4	3.4	100	13	7.2	3.4	3.4	38	9.6
Chetuyrkino	150	150	14	3.4	3.4	100	13	7.2	3.4	3.4	38	9.6
Klyukino	150	150	14	3.4	3.4	100	13	7.2	3.4	3.4	38	9.6

*:専門家評価

他に実施された住民防護措置(表 2.33)は、明らかに不十分だった。特に、移住、衛生区域設定と放射線-衛生管理による制限が遅れ、汚染産物を非汚染産物と交換する必要があったので、移住民・非移住民共に、全面的な被曝予防は出来なかった。事実、事故後最初の1年間の生活では、あらゆる汚染食品産物と飼料が、全面的に管理なしに利用された。2-3年後に行われた産物の交換もまた、産物が没収された特定の集団には有効だったとは言え、全産物の完全な管理は不可能だったため不十分だった。2年目に始まったこの期間に対し、被曝が10%削減された可能性はある。

衛生区域設定による土地のあらゆる経済利用の禁止は大きな意味を持った、しかし、これは禁止導入遅れ(さもなければ、移住までの間の居住地の生活活動を完全に麻痺させただろう)という負の側面を伴ったし、保全措置も不十分だったため、一部住民に隣接する保全区域の利用を許してしまった。1962年に衛生区域の一部の保全が解除され(Russkaya Karabolka村)、それが特別農業事業所の管理に移されたため、被曝レベルが上がることになった(例えば、Tatarskaya Karabolka、Bagaryak村)。特にTatarskaya Karabolka村の生活活動地域の平均土地汚染密度は、居住地の約30倍、Muskaevo村では40倍、Bagaryak村では7倍あった。それでも経済活動禁止は、非移住民による最も汚染した地区の産業利用に伴う被曝を予防できたので、大きな意味を持った。これにより、Kasli市とBol'shoy及びMaluy Kuyash村住民の初期Sr90汚染密度18000-37000

表 2.30 事故時から住んでいる非移住民の予測被曝線量評価

居住地 (1997.06.01 現在の 住民数: 千人)	平均初期汚染密度、kBq/m ² -Sr90		住民の最大被曝年齢集団 (事故時に1-2歳の子供、 cSv)						成人、 cSv				
	居住地 地域	生活活 動地域	実効線量		実効線量(被曝重量)		実効線量		実効線量(被曝重量)		肺	胃腸系	骨髄
			全被曝	外部被曝	肺	胃腸系	骨髄	全被曝	外部被曝	肺			
3.7-37	3.7-37	3.7-37	0.36-3.6	0.09-0.92	0.09-0.92	2.7-27	0.39-3.9	0.21-2.1	0.09-0.92	0.09-0.92	1.0-10	0.26-2.6	
地区センタ													
Kuyshtuym 市(41)	3.7	-	0.36	0.09	0.09	2.7	0.39	0.21	0.09	0.09	1.0	0.26	
Kaslisi 市(19.7)	3.7	-	0.36	0.09	0.09	2.7	0.39	0.21	0.09	0.09	1.0	0.26	
Bagaryak(2.1)	37	260	8.4***	2.1**	2.1***	63***	9.1***	4.9***	2.1***	2.1***	23***	6.1***	
Kunashak(5.7)	11	-	1.1	0.28	0.28	8.1	1.2	0.63	0.28	0.28	3.0	0.78	
Kamensk-Ural'skiy 市(60)	56	-	5.4	1.4	1.4	40	5.8	3.2	1.4	1.4	15	3.9	
住民被曝レベルの高い居住地 (Chelyabinsk 州)													
Kaslinsk 地区													
Poroxovoe(0.125)	30	590	↓***	↓***	↓***	↓***	↓***	↓***	↓***	↓***	↓***	↓***	↓***
Nov.Techa(0.030)	7.4	220	1.8	1.8	54	7.8	4.2	4.2	1.8	1.8	20	5.2	14
Metlino**(新)	56	920	30	7.7	220	32	17	17	7.7	7.7	83	22	22
Slobodchikova(0.012)	22	290	9.4	2.4	7	10	5.4	5.4	2.4	2.4	26	6.8	6.8
Yushkovo(0.426)	22	270	8.8	2.2	66	9.5	5.1	5.1	2.2	2.2	24	6.3	6.3
Moskvina(0.014)	26	170	5.4	1.4	40	5.8	3.2	3.2	1.4	1.4	15	3.9	3.9
Kunashak 地区													
Tatarskaya Karabolka(0.717)	18	670	22	5.5	160	23	13	13	5.5	5.5	60	16	16
Musakaeva(0.044)	33	1400	44	11	330	48	26	26	11	11	120	32	32

* 住民被曝線量が高い居住地は個別検討

** Metlino 村の移住後、215 人が残った;1998 年にはそういう住民の残りは数人だった。1961 年の住民数は転入者を考慮し再構築。

*** 専門家評価

表 2-31 住民の予測被曝線量平均レベルの差

期待実効線量値の範囲、 cSv		居住地	
子供(1-2 歳)	成人	移住民	非移住民
150	90	Russkaya Karabolka	-
55-90	35-60	Berdenish、Satluykova、Galikaeva、 Kajakul'、Yugo-Konevo、Mal.Troshkovo、 Krivosheiko、Mel'nikovo	- Muskaevo、 Metlino(新)
15-75	9.45	Metlino(新)、Gusevo、Fadino、 Bryuxanovo、Alabuga	Tatarskaya Karabolka、 Paroxovoe
18-22	11-13	Skorinovo、Chetuyrkino、Klyukino、 Tigish、Mal.Shaburovo、Boevskoe	-
10-14	6.4-7.2	-	Slobodchkova、 Yushkovo、Bagaryak、 Nov.Techa、Moskvina
5-10	3-6	-	

表 2.32 移住による予防線量(移住せず住み続けた場合に期待される実効及び線量当量の%)

線量の種類	移住の時期、日			
	10	250	330	670
全被曝の実効線量:				
子供(1-2 歳)	96.1	36.1	27.5	5.5
成人	95.7	33.3	23.5	14.3
(外部被曝に付随する線量を含む				
子供(1-2 歳)	93.4	20.6	14.1	7.6
成人)	93.4	2.06	14.1	7.6
全被曝の線量当量				
肺				
子供(1-2 歳)	93.8	20.6	14.1	7.6
成人	93.9	31.5	25.6	7.6
胃腸系				
子供(1-2 歳)	96.4	33.3	29.6	3.7
成人	96.2	36.0	25.0	6.0
骨髄				
子供(1-2 歳)	96.5	38.8	28.6	18.4
成人	96.2	34.6	23.1	7.7

k Bq/m² までの土地利用が防止され、Tyubuk 村民の 1800-3700k Bq/m² -Sr90 の土地利用等が防止された。利用が続いていれば、住民の平均累積被曝線量は何倍にもなった可能性がある。

表 2.33 実施された住民被曝低減措置の効果

措置内容	成果	不十分点とその原因
「東ウラル放射能跡」の頭部分から住民の緊急避難	潜在線量の 95%を予防し、決定論的影響を予防した。	-
計画移住: 250-330 日後	潜在線量の 20-30%を予防し、確率論的影響の頻度低減	より早期に移住していればもっと大きく有効だった。遅れた原因:放射性核種の移動特性を考慮したタイムリーな住民被曝線量予測がなかった;素早い組織的な移住は困難-移住民収容のため住宅、生産及び地域社会施設を建設する必要があった
670 日後		潜在予防線量は 5-10%でしかない。原因は同上。
放射線衛生管理と汚染産物の没収	潜在低減線量は、非移住民の小部分で 10%まで	導入遅れと全ての現地産物の管理は不可能。原因:組織-技術的困難と、汚染食品のきれいなものとの交換は経済的に困難
居住地の土地利用再編、生活への介入、個人家畜の居場所変更	有意でない(事故後、遅い段階での被曝線量低下)	行われた範囲が狭い(全ての場所でない)、導入遅れ、被曝低減効果が低い(10-20%まで)-これらの措置が行われた居住地のみ。
農地除染	1-2 年間、風による輸送の低減と周辺地域の 2 次汚染低減。効果は全体として大きくなかった。	導入遅れ(圧倒的に移住後)。処理された耕地の割合は低かったので、風による輸送を低減する効果は小さい。
土地の経済利用禁止	非移住民の線量を低減できる可能性は高かった(衛生区域を設定しない場合)。衛生区域を設定しない場合、隣接地に厳格な放射線管理措置を適用する必要がある。それがないと、線量は数倍になり得る。	導入遅れ(移住後のみ)。全体として、1 年目(と 2 年目)の住民被曝は防止できなかった。衛生区域と言う地位の効果は不十分だったため、多くの住民の線量が高くなった。1962 年に一部地区(北の Russkaya Karabolka 村)の保全が解除されたため、後期事故後段階の住民被曝レベルが上がった。

2.5 放射線医学的影響

2.5.1 住民に対する放射線リスク

確定論的影響が現れる閾線量は、100-1000mSv である(表 2.34)。

表 2.34 個々の決定論的影響が現れる線量

線量、mSv	100	300	300	500	1000
損傷器官、病気	精巣;一時不妊	リンパ球減少	水晶体;白内障	血液学的反応	急性放射線病 I 度

事故後最初の1年間に大部分の住民が受けた線量は、確定論的影響が現れるためには不十分だった。しかし、特に血液学的指標の変化が、最も被曝した住民には現れ得た:移住民の最大外部被曝線量は200-500mSv あった(表 2.29)。これは、Berdensh、Satluykova、Galikaeva、Russkaya Karabolka、M.Troshkovo、Igish 村住民にあてはまる。表 2.29 によれば、汚染食品摂取による内部被曝を考慮しても住民の全被曝レベルは、急性放射線病を引き起こし得ない。

ICRP の閾値のない仮定によれば、放射線誘発悪性新生物発生リスクは、致死性固形がんと白血病合計の男女平均で、0.05/Sv である(表 2.35-省略:Pub.60&61 より)。

しかし、考慮すべきこととして、放射線誘発悪性新生物発生リスクは、自然発生頻度に比例している。例外は稀な病気である白血病だ。更に、このリスクは年齢と共に減少し、固形がんが 45 歳、白血病では 60 歳で最低値に達する(表 2.36--省略:Pub.60&61 より)。これは、年齢による組織の放射線感受性と潜伏期間の差による。年齢 18 歳と 60 歳の人被曝した場合、固形がんリスクには 3.5 倍差が出るが、白血病リスクはほぼ同等になる。

南ウラル住民の年齢・性分布に対する荷重平均発がん効果は、男性 0.0252/Sv、女性 0.0392/Sv で、両性平均は固形がん 0.0332/Sv、白血病は 0.0077/Sv で、ICRP [Pub.60&61]の値を超えない。

上記の住民に対する、1957 年以後の被曝増加による発がんリスクがどれ程かを、表 2.37 と表 2.38 に示す。これらは、移住民と非移住民に対する被曝線量評価値-期待される[預託]全線量当量-に基づく。

表 2.37 が示すように、7 つ(I ~ VII)の移住及び非移住民集団に、南ウラル住民に対する標準値を

表 2.37 「東ウラル放射線跡」住民の放射線誘発悪性新生物の最大リスク
(ICRP Pub.60 より、悪性新生物=5・10⁻²/Sv、白血病=0.8・10⁻²/Sv、固形がん=4.2・10⁻²/Sv)

母集団	集団数、千人	集団線量当量、人 Sv	全余命に対する最大リスク			
			固形がん		白血病	
			千人当り頻度*	母集団に対する頻度	千人当り頻度*	母集団に対する頻度
移住民						
I (7-10 日に移住)	1.38	708	21.5	29.7	4.09	5.6
II (250 日)	6.01	2502	17.5	105.0	3.30	19.8
III (330 日)	3.37	535	6.6	22.3	1.30	4.38
IV (670 日)	2.01	465	9.7	19.6	1.80	3.6
合計	12.77	4210	13.9	176.6	2.6	33.4
非移住民						
V (移住境界に近く高線量被曝)	4.7	525	4.7	22.1	0.9	4.2
VI (初期 Sr90 汚染密度 37-74 (150) kBq/m ² 、高線量被曝せず)	62.5	1125	0.75	47.2	0.14	8.8
VII (初期 Sr90 汚染密度 3.7-37 kBq/m ²)	190.0	1026	0.23	43.1	0.04	7.6
合計	257.7	2676	0.42	112.4	0.08	20.6
全住民	270.0	6886	1.07	289	0.20	54

注*:荷重平均値

表 2.38 「東ウラル放射能跡」地域住民の放射線誘発がんと白血病による死亡確率、 $10^{-6}/y$

母集団	がん	白血病
	移住民	
I	307	58
II	250	47
III	94	18
IV	138	26
母集団 I-IV 合計*	~200	37
	非移住民	
V	67	12.8
VI	10.7	2
VII	3.3	0.57
母集団 V-VII 合計*	6	1.14
全住民*	15.3	2.85

*:荷重平均値

超える発がんリスク増加は見られない。7-10 日後に移住した集団は、標準値に比べ、固形がんリスクが 50%低く、白血病リスクは 52%低い。しかし、同表によれば、放射線事故により(自然発生悪性新生物頻度に追加して)「東ウラル放射能跡」地域に最初から住む全住民に対し、289 件の固形がんと 54 件の白血病が現れる確率がある。うち、がん 112 件と白血病 20 件は非移住民である。

放射線誘発がんと白血病による死亡確率は、全住民に対しそれぞれ $15.3 \cdot 10^{-6}/年$ と $2.85 \cdot 10^{-6}/年$ 、移住民に対し $200 \cdot 10^{-6}/年$ と $37 \cdot 10^{-6}/年$ 、非移住民に対し $6 \cdot 10^{-6}/年$ と $1.14 \cdot 10^{-6}/年$ と評価された(表 2.38)。

現実の自然発生悪性新生物による死亡率のバックグラウンド上で、放射線誘発死亡率がどの程度有意かは、表 2.39 のデータから判断できよう。ここにソ連で 1960-1985 年間に観察された全悪性腫瘍による死亡率データが示されている。

表 2.39 ソ連全体の全悪性腫瘍による死亡率、100 万人当り年当り

指標	1960 年	1965	1970	1975	1980	1985
絶対値	1115	1236	1277	1345	1400	1506
1960 年に対し	1	1.07	1.10	1.16	1.21	1.30

「東ウラル放射能跡」地域の全住民に対する放射線誘発悪性新生物による追加死亡率の寄与は、自然発生死亡率の 0.94-1.27%と評価され、最も被曝した移住民に対しては 12-16%と評価される。この増分が現実の存在として実証される可能性は、移住民の数が統計的に少なく、また地域全住民については確率的評価値が小さいので、高い自然発生死亡率と言うバックグラウンド上で見出すのは困難である。これがどの程度正しいかは、地域住民の実際のがん死亡率データを示す必要がある。

2.5.2 がん以外の身体影響

「東ウラル放射能跡」地域住民の健康状況は、事故後期間の様々な段階で調べられた。

最初の 2 年間、7-10 日と 250 日目に移住した最も被曝した住民と、事故時に「マヤク」敷地の保全を行った一部軍人が検査された(表 2.40)。検査結果が示すように、一部住民には、末梢血中の白血球、リンパ球と血小板数に正常値からの偏差が見られた。初期に外部被曝 $2.1-100cSv$ と期待全被曝 $6.7-120cSv$ と評価された個人には、白血球形態の左変移が見られ、棒状核好中球割合が 20%に達した。血液学的変移は急速に正常化した。一部住民(10%までの住民が外部被曝 $47cSv$ 、全被曝 $120cSv$ 被曝)には、最初の 2 年間に弱い白血球細胞症と血小板数増加傾向が見られた(図 2.5、2.6)。

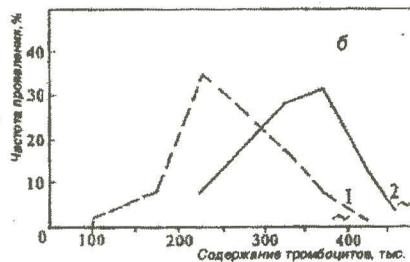
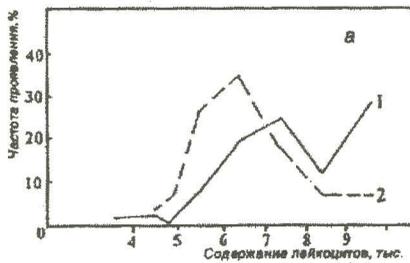
1-2年後の一部移住民の臨床検査時に、アテローム性動脈硬化症、心臓弁膜症、慢性胃炎や胆嚢炎の形の身体病が記録された。神経病候群は通常、脳動脈硬化、脊髄神経根炎、神経炎、脳炎、脊髄空洞症、下肢の静脈瘤、扁平足等と関連していた。

成人住民の肺気管支系の特別検査が、Berdenish, Galikaeva と Russkaya Karabolka 村で行われ、被検者の 12.5-20.5%に肺の病気があった(肺気腫、肺硬化症、慢性気管支炎の形)。

表 2.40 最も被曝した住民の血液学的特徴と被曝反応、最初の 2 年間に対する評価

事故後時間	居住地(被検者数)	評価線量、cSv*		急性放射線病の徴候	被曝の血液学的反応			
		実効外部線量	期待全被曝線量		白血球	好中球	リンパ球	血小板
1週-1月	Ozersk 市、軍人(153人)	100	-	なし	減少症 (35人) $4.5 \cdot 10^9/L$	形態左遷移 (60人)	減少症 (116人) $1.8 \cdot 10^9/L$	変化なし
1-9月	Berdenish 村、 Satluykova、Galikaeva、 Russkaya Karabolka、 Yugo-Konevo、 Bagaryak**、Alabuga、 Igish、Bryuxanovo、 Tatarskaya Karabolka	2.1-47	6.7-120	なし	弱い減少症	-	小さい減少症	小さい減少症
15月	(2055人、子供1032人含) Berdenish、Galikaeva、 Russkaya Karabolka	24-47	46-120	なし	弱い減少症	-	変化なし	弱い細胞症
24月	(245人、子供93人含) Berdenish、Galikaeva、 Russkaya Karabolka (236人、子供97人含)	24-47	46-120	なし	弱い減少症	-	変化なし	弱い細胞症

注*:本書中の評価線量; **:この居住地からの移住なし



横軸単位:千

1- 被曝集団; 2-コントロール集団(グラフ間の差は、両集団の不十分さによる可能性があり得る)
図 2.5 被曝及び非被曝民の末梢血中の白血球(a)と血小板(b)数の分布(%)グラフ

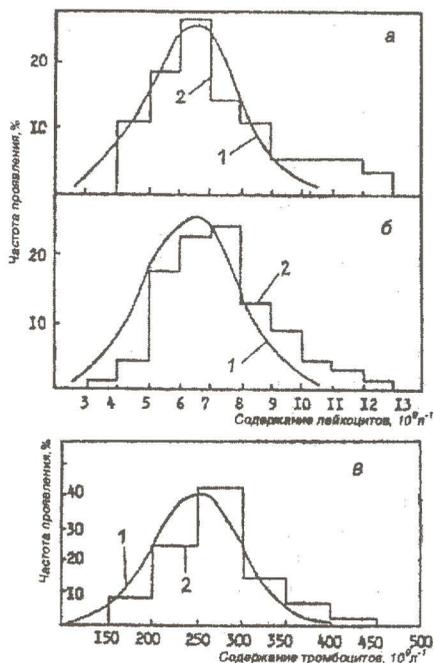


図 2.6 被曝住民(1)と非被曝住民(2)の白血球 (a -Berdenish 村; b -Galikaeva 村)と血小板 (B -Berdenish 村)数の分布 (縦軸:%; 横軸:10⁹/リットル)

表 2.41 初期汚染密度 37-74kBq/m²(Sr90)地域に住む事故後 3-15 年間の健康な住民の状態偏差

指標	被検群	コントロール群
数、人	2767	964
心臓-血管、神経と消化器系の機能変移	+++	+++
末梢血指標(括弧内-正常値)		
赤血球(4.9・10 ¹² /l)	15-20.5	4.7-7
白血球(4.9・10 ⁹ /l)	9.1	1.4
リンパ球(1.3・10 ⁹ /l)	6.3	3.3
棒状核好中球(7%)	54.8	35.1
好酸球(5%)	26.4	8.6

子供の 32%は急性呼吸器病と診断された。個別例では、くる病、肝炎、そして恐らく寄生虫病(応急検査では確認されず)、好酸球増多症すら被検者の 30-60%にあった。被災民とコントロール住民(「東ウラル放射能跡」の 125km 南に住む)の間で病気の頻度と経過を比較すると差はなかった。これらの全てが示すように、最も汚染した地域に住む住民の事故後 2年間の被曝(外部被曝 47cSv、全被曝 120cSv)では、放射線病の進展には至らなかった。しかし被曝の結果、末梢血の形態学的構成に変化が現れる可能性を考慮すると、診断に成功していない隠れて進行する全身病の影響を除外してはならない。

その後の事故後 12-15 年以後の期間、被曝民の非発がん身体影響の可能性評価が、一度ならず行われた。Sr90 汚染密度 37-74kBq/m² の地域住民(移住せず)2767 人と、コントロール地区住民 964 人の検査によれば、3-5 年経過後、被曝民には心臓-血管、神経と消化器系の機能変化がより頻繁に観察された。しかし、これらの変化の深刻さと経過長さは、コントロール地区と差がなかった。

より目立ったのは、末梢血の定量的変移で(表 2.41)、特徴は、赤血球と白血球数の増加(コントロールの 2 倍)、リンパ球数の減少(2 倍)、白血球形態の核左方変移である-若い棒状核好中球(1.5 倍)

と好酸球(3倍)が多い。

この目立った変化の幾つかは5年経過後も残っていた。時たま、血小板数増加とヘモグロビン量減少が見られた。これらの観察された変化は、被曝だけの作用に結びつけてはならない。何故なら、一般にここでは居住条件や他の形態の病気の蔓延が非常に大きく影響していたから。

事故の10年後、「東ウラル放射能跡」地域住民(移住せず)1万3千人のうち、様々な年齢の7799人の病気が分析された。表2.42のデータが証明しているように、肺病の頻度にコントロールとの差はない。慢性肺炎はどの年齢の被曝民も同頻度で、肺硬化症は年齢と共に増えるという法則性がある。この資料は、間接的に、肺病発生に対する影響がないことを確認している。さもなければ、最も放射線感受性の高い子供の頻度が高かったはずだ。

表 2.42 初期汚染密度 37-74kBq/m² (Sr90)の地域に12年間住んだ住民の呼吸器病頻度

年齢、歳	群人数 (被検者)、 人	慢性肺炎、 気管支拡張症	肺硬化症	気管支喘 息	肺結核	全頻度	
						10万人当 り	10万人・ 年当り
<15	2368	2(8)*	0(0)	1(4)	3(13)	19	1.6
15-30	2315	2(9)	1(4)	1(4)	11(48)	58	4.8
31-50	1298	-(-)	4(31)	4(31)	12(92)	154	13
>50	1818	2(11)	63(346)	1(6)	17(94)	448	37
合計	7799	6(8)	68(87)	7(9)	43(55)	157	13

括弧内は、10万人当り頻度

肺の病気による死亡率の構造と頻度は、放射能汚染のない Chelyabinsk 州村地区と事実上同じだった(表2.43)。両方の比較住民 cohort の特徴が同じなのは、肺結核や子供の肺炎による死亡率が高いためだった。

表 2.43 初期汚染密度 37-74kBq/m² (Sr90)地域に最初の10年間住んだ住民の肺炎症病死亡率

年齢、 歳	群人数 (被検者)、人	全ての種 類の病気*	肺結核	全頻度	
				10万人当り	10万人・年当り
<15	4640	90(194)	1(2)	196	20
15-30	2110	3(14)	13(62)	76	7.6
31-50	3230	10(31)	26(81)	112	11
>50	3270	82(250)	42(129)	379	38
合計	13230	185(140)	82(62)	202	20

括弧内は、10万人当り頻度

事故後10年間の住民の肺病による死亡率変化(表2.44)によれば、結核による死亡率を含め、時の経過による増減はない。放射線要因は肺病の頻度に-特に肺がんの頻度にも-影響していなかった。

追加して示す指標(表2.45)は、例えば移住しなかった Bagaryak 村住民～外部被曝 2cSv レベル、期待全実効線量 5-8cSv～の事故の10-12年後における成人と子供の実際の肺病率である。実際の有病率で被曝群とコントロール群の間に大きな差はない。コントロール群の子供と成人に急性肺炎が多いのは、病院から遠いところに住んでおり医療支援が遅れたことにより説明されよう。しかし、被曝民に若干だが有意に肺ぜんそくが多いのは説明できないままだ。恐らく、放射線ではない別の要因が絡んでいるのであろう。

放射線の負の効果として、妊婦、胎児と新生児の健康への影響がある。事故前と事故後14年間の満1歳までの乳児死亡率データの対比(表2.46)から明らかなように、どの死因指標についても、「東ウラル放射能跡」地域住民が高いということはない。なお、新生児病、肺炎と感染症による死亡

率が、汚染地区でもコントロール地区でも低いのは、「東ウラル放射能跡」地域の既存居住地において事故後衛生条件や医療サービスが改善されたためであろう。

表 2.44 肺病と肺がんによる死亡の変化

事故後年	住民数、千人	死亡		
		全ての肺病	結核	肺がん
1	15.3	21	16	4
2	12.9	17	9	3
3	12.9	34	10	6
4	12.9	24	9	1
5	12.9	13	5	0
6	13.2	20	10	6
7	13.2	10	6	4
8	13.2	18	5	3
9	12.9	16	4	6
10	12.9	12	8	3
合計	-	185	82	36

表 2.45 事故後 10-12 年間に Bagaryak 村病院でサービスを受けた住民の呼吸器病頻度、10 万人当り換算

病気の種類	15 歳までの子供		成人	
	被検者群、8411 人	コントロール群、4071 人	被検者群、3961 人	コントロール群、8652 人
急性肺炎	96.8	120.4	20.2	54.3
慢性気管支炎	7.6	7.4	43.6	58.9
慢性肺炎	7.6	-	6.3	2.3
気管支喘息	-	-	21.8	12.7
結核	2.5	-	4.8	11.6

表 2.46 「東ウラル放射能跡」形成後 14 年間の 1 歳までの乳児死亡率、誕生千当り換算

病気	誕生時期*	汚染地域	コントロール地域	
			Kaslinsk 地区非汚染部	Uralsk 地区
新生児病	I	11.8±11.8	19.9±3.0	13.5±1.6
	II	8.7±2.2	13.8±3.2	14.5±1.7
栄養異常	I	17.3±2.2	12.3±2.4	13.3±1.7
	II	15.2±2.8	12.2±3.0	5.0±1.0
肺炎	I	21.1±2.4	25.6±3.4	22.1±2.1
	II	1.7±1.0	3.1±1.5	16.1±1.8
感染症	I	6.6±1.3	6.2±1.7	5.7±1.1
	II	1.6±0.9	2.3±1.3	3.0±0.8

注*: I-事故前 1-6 年、 II-事故後 1-14 年

2.5.3 発がん効果

現在の国際的状況によれば、被曝の無条件的影響として、様々な器官と組織の悪性新生物がある。何よりも先ず放射線に対し幾つかの種類 of 造血組織が反応し、骨髄性白血病が現れる。次に一連の組織が応答し、乳腺、消化器系や肺組織に悪性新生物が現れる。

Sr90 汚染密度 37-74kBq/m² の地域に事故後 21 年間住んだ住民の、死亡率の数値と構成の分析結果を表 2.47 に示す。

分析が示すように、被検地区とコントロール地区の悪性新生物による死亡率は、数値においても構成においても同一である。結果としてこの期間平均の全種類の腫瘍による死亡率は、住民 10 万人当たり年当たり 146 件であり、非常に少ないとみなせる。何故なら 70 年代中期と末の典型的な値は、およそ 10 万人当たり 200 件/年だったから。

表 2.47 汚染密度 37-74kBq/m² (Sr90)の地域住民 3918 人の悪性新生物による死亡率構成

悪性新生物部位	症例数	%	10 万人当り頻度	10 万人・年当り頻度
唇	1	0.83	25	1.2
食道+胃+腸	52	43.3	1328	63
肝臓+胆嚢+膵臓	7	5.8	77	3.7
喉+気管支+肺	19	15.8	485	23.1
骨	1	0.83	25	1.2
皮膚	3	2.5	77	3.7
子宮+子宮頸部	20	16.6	510	24
卵巣	1	0.83	25	1.2
膀胱	2	1.70	51	2.4
腎臓	1	0.83	25	1.2
頭脳+脊髄	5	4.17	128	6.1
甲状腺	1	0.83	25	1.2
乳腺	2	1.70	51	2.4
急性白血病	3	2.5	77	3.7
慢性擬リンパ白血病	1	0.83	25	1.2
他の組織	1	0.83	25	1.2
合計	120	100	3036	145.8

死因の第 1 は胃腸系の腫瘍で、先ず胃がんである。次に肺と上部呼吸系のがんである。女性では有病率と死亡率に対する生殖器の腫瘍の寄与が高い。乳腺腫瘍の頻度も十分に高かった。

何もない母集団では全種類の白血病頻度が普通に観察される頻度に達せず、10 万人当り年当り、急性と慢性のリンパ白血病に対しそれぞれ 3.7 件と 1.2 件だった。

骨内の Sr90 沈着が原因であり得る骨原発性肉腫の頻度も、コントロール地区の値を超えなかった。

更に研究は事故後 25 年間に渡り行われたが、この期間中ソ連住民のがん死亡率の一般的上昇(表 2.39)と言うバックグラウンドを上回る被曝地域住民の腫瘍病死亡率の上昇は見つからなかった。表 2.48 のデータが示すように、被曝住民のがん死亡率上昇は、それがピークを打った可能性のある期間にも、事故後 25 年間全部にも、見られていない。最も被曝した Berdenish、Satluykova と Galikaeva 村の移住民の腫瘍病死亡率は、被曝した非移住民のそれを超えていない。被曝線量は 13-30 倍も差があったのに。汚染地域の非移住民の平均死亡率は 10 万人・年当り 137 件で、コントロール母集団のそれは 132 件だった。

表 2.48 事故後 25 年間に対する被曝および非被曝民の悪性新生物による死亡率

母集団	平均期待実効全被曝線量、cSv*	死亡率、10 万人・年当り
最も被曝した Berdenish、Satluykova と Galikaeva 村の移住民	82	110.5
非移住民:		
a) 初期汚染密度 37-74(150)kBq/m ² (Sr90)に居住	31	157.4
b) 初期汚染密度 3.7-37(150)kBq/m ² (Sr90)に居住	21	129.2
c) a)と b)の全住民	6	137.2
非被曝民	~0	131.9

注*:本書で行った評価による。

死亡率中の悪性新生物による割合は、「東ウラル放射能跡」頭部から迅速に移住した住民と、Chelyabinsk 州全体に対し、それぞれ 11.7%と 17.8%だった。Chelyabinsk 州の被曝していない住民の方が、最も被曝した住民より腫瘍病死亡率が高そうな印象を受けるほどである。これは、社会と環

境要因によるものであり得る。

「東ウラル放射能跡」住民に対する被曝の影響を、30年間を通じて分析するために、ウラル放射線医学理論-実践センタ中に「東ウラル放射能跡」被曝住民の個人登録が設けられた。登録は「東ウラル放射能跡」の22の村からの移住民(8千人+その子孫9千人)と、汚染密度 150kBq/m^2 (Sr90)未満の「東ウラル放射能跡」に常時住む一部住民(13の村民1万2千人)に対するデータを纏めるものである。移住民が30年間の受けた平均線量当量は $30\text{--}530\text{mSv}$ 、常時住む住民の平均線量は $5\text{--}60\text{mSv}$ である。研究のため、cohort法および[retrospective]解析が用いられた。被曝線量と移住時期を考慮し、4つの住民群が編成され、また比較のためにChelyabinsk州の村民が使われた。移住民は、平均実効線量 496 、 120 と 40mSv の3群に分けられた。最初の群(1500人)には、迅速に移住した3つの村民(Berdenish、SatluykovaとGalikaeva村、及び、Russkaya Karabolka村)が入り、実効線量は $150\text{--}1500\text{mSv}$ の範囲にあった。第2群(2800人)には、250日後に移住した5つの村民が入り、平均実効線量は 120mSv だった。第3群(3600人)は330-670日後に移住した13の村民から編成され、平均実効線量は 40mSv だった。第4群は「東ウラル放射能跡」に常時住む住民で、30年間に対する平均実効線量は 58mSv だった。

図2.7に、「東ウラル放射能跡」地域の各被曝住民群の30年間に対する全死亡率を示す。一覧するため、自然の年齢別標準化指標も示す。州の村民の年齢分布により標準化した死亡率が、第1被曝群の場合、Chelyabinsk州村民集団の類似指標を超えている。第2と第3群では、両者の間に有意差はない。



I - 自然死亡率; II - 標準化死亡率 (注: mSv → mSv)

図2.7 「東ウラル放射能跡」の様々な被曝線量住民群における30年に対する全死亡率、千人当たり

この結果をよく理解するため、高線量集団の死亡率を5年毎に区分し、より詳細に観察しよう(図2.8)。直後の5年のみ緊急移住した住民の全死亡率が有意に高い。この差はまさに最高被曝線量群に見られたのだが、追加の分析をせずに放射線によるものと言ってはならない。晩発性放射線効果のより重要な指標は、白血病を含む腫瘍死亡率である。図2.9に、州の村部人口で標準化した、30年間に対する腫瘍死亡率を示す。どの線量群にも、コントロール群に比べ、がん死亡率の増加はない。それどころか、第2と第4群では、が有意に低いがん死亡率が見られる。データの偏差と、線量依存性との関連はあり得ない。従って、放射線の効果については、肯定も否定もしてはならない。この場合に可能なのは、他又は追加の要因か、又は、あらゆる要因の複合である。30歳を超える住民のがん死亡率にも、各線量群の間に有意差はない。

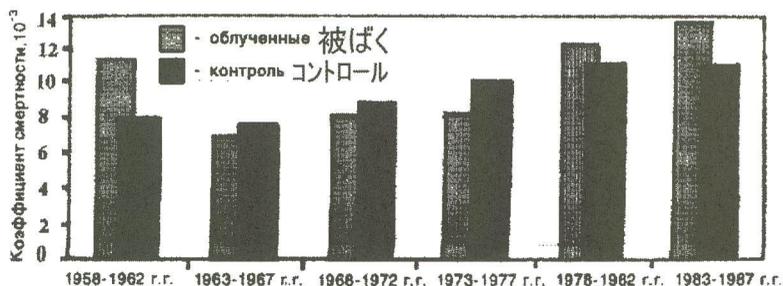


図 2.8 「東ウラル放射能跡」頭部住民の全死亡率の変化、千人当り

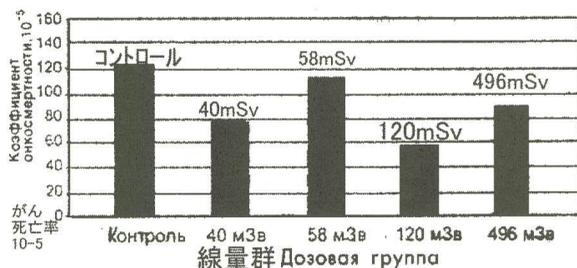


図 2.9 「東ウラル放射能跡」地域で様々な線量被曝した住民群の 30 年間の全死亡率、10 万人当り

表 2.49 ウラル放射線医学理論-実践センターの個人-線量登録に入っている被曝住民の腫瘍病死亡率の構成

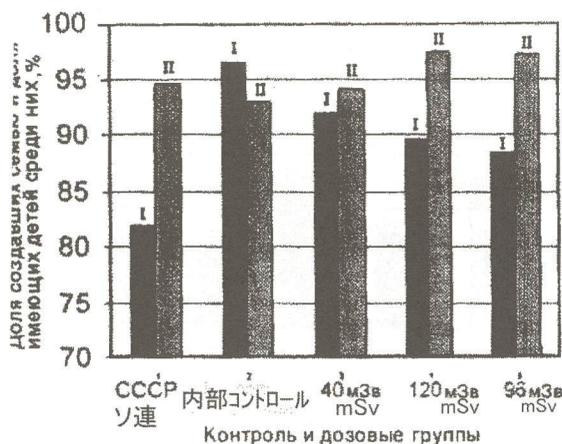
局所がん-9MKB による	住民線量グループによる自然のがん死亡率			
	496 mSv	120 mSv	58 mSv	40 mSv
口腔粘膜	2.49	0	1.49	5.32
食道	12.44	10.67	12.95	1.06*
胃	32.35	24.0	30.37*	39.4
他の消化器	9.95	21.34	16.93	20.23
肺と気管支	22.4	10.67	28.88	26.62
骨、皮膚、胸腺	0	2.67	5.98	4.26
子宮頸部と体部	9.95	14.67	10.95	13.84
他の泌尿生殖器	4.98	5.34	5.98	6.39
脳、神経と内分泌系	2.49	2.67	5.98	5.32
局所不祥	2.49	1.33	6.47	1.06
血液芽球性	9.95	1.3	5.48	3.2
性格不祥	0	0	1.99	2.13

* p<0.05 で、死亡率レベルのグループ比較において有意差あり。

各線量群に対する病因別腫瘍病死亡率構成を表 2.49 に示す。ここでは Chelyabinsk 州におけるがんの頻度に関する一般的傾向が保存されている:つまり最も寄与率が高いのは胃、食道と胃腸系で、次に肺、気管支、子宮である。各線量群に対し、法則的で有意な偏差は見られない。個々の偏差は、病因や年齢別集団の員数が小さいためであり得るので、偶発的な性格を持っている。悪性新生物の放射線事故との関連における病因分析では、最初に診断された腫瘍と幾つかの外部作用要因との依存性について頻度のグループ化が行われた。例えば Chlyabinsk 州で、有病率と放射線被曝との関連は見つからなかったが、病気の頻度と大気中への SO₂ 放出との完全な相関が見つかった。SO₂ は発がん物質ではないが、化学物質汚染の全般的指標としては適切である。事実データによれば、SO₂ 放出がなければ有病率は 225 件であるが、年間 50、100 及び 150t になると、10 万人当

り年当りの有病率は250、275及び300件になる。従って、Chelyabinsk州地図上で悪性新生物による死亡率は、放射能汚染跡ではなく、冶金及び化学産業の事業所の配置と相関している。

移住民における生殖機能状態は、30歳までに家庭を作り子供のある人々の数(%)の評価に基づき分析された(図2.10)。内部コントロール群(コントロール群I)としては、研究対象集団で、事故時(1957年9月)に30歳以上で、孫のいた人々が用いられた。第2のコントロール群としては1987年のソ連のデータが用いられた。被曝民の間で、子供のいる人々の割合(%)に有意差はない。このことから、この線量の被曝は生殖機能を破壊しなかったと結論できる。



I - 30歳以上で家族持ち; II - 家族持ちで子供が居る
 図 2.10 東ウラル放射能汚染地域の被ばく住民の生殖機能状態

行われた研究により次の結論が下せる:

- 1) 1957年事故後初期の年々の住民医療検診では、放射線病は見つからなかった
- 2) 個別の非確率的影響の疫学的分析が、4つの被曝群(496、120、58と40mSv)について行われ、事故後最初の5年間だけは最高線量群(迅速移住民)に、州の村住民と比べ、全死亡率の有意な増加が確認された。ここで、どの被曝線量群にも腫瘍病死亡率の増加は見られなかった。このことは間接的に、最初の5年間における最高被曝群の全死亡率増加の原因は、全身病の他、精神的ストレスでもあり得たことを示している。生まれた場所から速やかに(7日間の内に)避難する際に、それまでの間ずっと栽培し収穫してきた自家産物の処分、土地の収用や家畜の処分と言った重なる悲劇を住民は経験せざるを得なかったのだから
- 3) 被曝者の生殖機能の分析によれば、不妊の孫の割合の増加は見られなかった
- 4) 予備分析によれば、被曝者子孫に致死性の身体障害頻度は増えていない

2.5.4 被曝住民の健康状態の全般的評価

以下の被曝住民の健康状態の全般的評価は、Chelyabinsk州とSverdlovsk州の観察群とコントロール群住民における、有病率、死亡率と出生率に基づき行った。観察対象群として「東ウラル放射能汚染」地域にある16居住地の総数8519-9480人(観察時期による)の住民;コントロール群は総数12604-15882人の住民から構成した。

1-10歳の子供の死亡率分析は、国全体の特徴と異なる指標を示さなかった。若年死亡率は1951年から1961年まで、コントロール地区でも観察対象地区でも2.7分の1に、小児死亡率は2.5分の1に下がった。これは、当時の生活と医療サービスの向上を証明している。事故後、両地区とも同じ

様に小児死亡率は下がったが、コントロール地区のほうが下がり方は少なかった(表 2.46)。

出生率は事故の1年前から下がり始めた;この低下は更に続き、コントロール地区でも観察された。しかし、コントロール群である Chelyabinsk 州 Uraleysk 地区は例外で、理由は明確でないが、2つのコントロール地区では村部と市部の人口比に差があるため、生活水準と社会-医療サービスのレベルが違うことと関連があるのかも知れない。

Chelyabinsk 州の観察対象とコントロール地区住民の死亡率の構成はほぼ同等である。死因で最も多いのは血液循環系病(東ウラル放射能跡地区で43.0%、Chelyabinsk州地域で45.4%)、不幸な事故(23.4%)と外傷(15.6%)である。腫瘍病の割合は、東ウラル放射能跡地域で11.7%、Chelyabinsk 州地域で17.8%である。各被曝線量集団の全原因による死亡率の変化は、ウラル放射線医学理論・実践センタの医療-線量登録に輸入されており、図 2.7 と 2.8 に示す。

2.5.5 放射能汚染を被ったウラル地域の社会問題。放射線事故被災地域が受けた損害の評価

ウラル地区の「マヤク」における放射線事故の結果、3つの州-Chelyabinsk、Sverdlovsk と Kurgansk の住民が被災した。15の行政地区(832の居住地、5つの町-総数約35万人)が放射能汚染した。ここで Chelyabinsk 州住民は、テチャ川への放射能放出と1957年事故の両方に被災し、幾らかの住民は両方の放射線状況の結果、被曝を被った。

コンビナートの建設、その活動、そして特に放射線事故は、隣接地域の環境、経済及び社会的インフラに被害をもたらした。被災地域のうち51居住地からは完全に、また10居住地からは部分的に、5704世帯が移住した。一時的に経済活動から約95haの土地が外され、約25haは常時除外されている。

「マヤク」の事故の結果、住民移動が始まり、数が減り、放射能汚染し「見込みのない」居住地が消え、自然と農業従事人口が減り、特に-この地域住民の主な産業だった-農業生産高全体も減ることとなった。

総損害評価額は、1991年価格でほぼ150億ルーブリに達した。これは、1995年12月27日のロシア連邦中央銀行の相場で約95億ドルに等しかった。ウラル地域の諸州が被った被害は、移住、汚染地域リハビリ、住民と処理者の健康、社会-経済施設の移動、耕作地の使用停止、住民移動、被災地の農業事業所活動停止による農産物不収穫を含んでいる。この評価は、住民が被った社会的及びモラル上の損失;農業と林業事業所の専門転換に関連する支出、テチャ川氾濫原リハビリ費、被災地他の放射能汚染レベル・モニタリング費と言った重要なものを勘定に入れていない。放射能汚染は、地域の社会-経済発展にとりマイナスに影響した。

事故の社会-経済的影響と経済的損失そのものが、更に汚染地区住民の生活水準が頑固に低下し続ける条件となった。個々の地区での経済活動制限措置は1980年まで続いたのに、必要な社会-経済的補償はなかった。

経済基盤の破壊と経済の危機的状況は、住民の社会-経済的状況と健康に反映されている。被災地区では、社会インフラの整備レベルが極端に低く、これでは被曝住民の社会的補償は確保できない。何よりもこれは、住宅の確保、あらゆる種類の医療及び社会-文化サービス、栄養のある食品が不満足なことに現れている。被災地区における保健面での遅れは、先ず病床確保率が低く、総合病院が少なく、現存の医療施設の機材ベースが弱いことから判る。

移住民だけでなく、汚染地域に残った住民も、物質的のみならず、精神的被害を被った。厳しい秘密の雰囲気は常に「マヤク」の活動を取り囲んでいたため、住民の間に放射能嫌悪症が広がり、

新しい原子力施設などとても受け入れられなくなった(特に、南ウラル原発の建設)。

住民と社会組織に対するアンケート・データ(図 2.11)は、全体として被災地域の大多数の回答者(70%以上)は「マヤクの活動は環境に悪い」とみなしており、回答者の 80%は「コンビナートで放射線事故が再発する可能性があり不可避」とすら確信している。

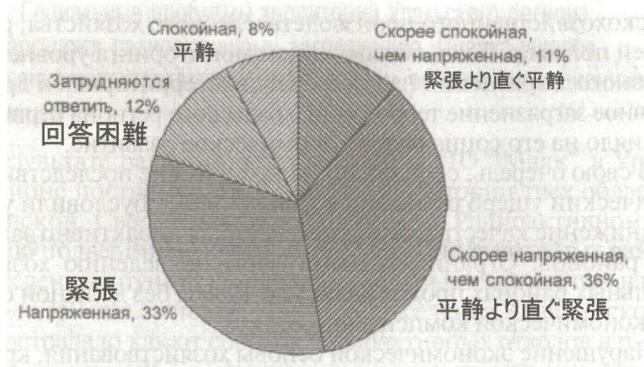


図 2.11 放射線作用を被った地域住民の社会-心理状態評価

1993 年まで被曝住民は、先ず明らかに病気に罹っている者や移住者すら、社会的特典は何ら予定されていなかった。住民は、生活の質の低下による明らかな健康状態悪化に対してのみならず、放射線が作用する条件中で長期間居住するリスクに対しても補償を受けていなかった。住民の大多数は、公的認知-従って特典や補償-を受けていない放射線被災者と自らを見なし、不公平感を感じている。

テチャ川沿岸に住む住民の一番の心配は健康状態であり、主に、有難くない環境状況と住宅地の放射線被曝と関連付け、将来の子孫についても気にしている。

全体として、被災地区地域の社会-精神的緊張は、極度に高い。「平穏でいるよりも、緊張しているかすぐ緊張する」と 1993 年に回答者の 69.4%は評価した。住民の気分は、不満と心配が圧倒している(回答者の 72.1%)。

社会-心理状況に対しては、無条件的に、経済-政治改革の歩みが影響している。国家法「生産連合「マヤク」の 1957 年事故とテチャ川への放射能放出の結果放射線の影響を被った市民の社会的保護について」が 1993 年に採択され、また 2つの連邦特別プログラム(1992 年と 1996 年)が採択され、社会-心理状況は改善されたが、根本は変わっていない。汚染地域と「きれいな」地域を比較評価すると、「放射能汚染地域における緊張のレベルは、より高いままである」と結論できる。社会学者の評価によると、近年、これらの地域における社会-心理状況は「社会的ストレス」という評価に近い。

2.7 結論概要

生産連合「マヤク」における 1957 年の放射線事故[訳注:所謂「ウラルの核惨事」]は、原子力事業所活動における最大級の巨大放射線事故の 1 つである。それは、それ以後事故のない事業所作業の確保、そして、住民と従事者の放射線防護に向けた、広範で多額な対策活動を必要とした。

環境と住民への影響の面で、これは社会的事故だった。原子力事故国際尺度によれば「深刻(レベル 6)」に属する。グローバルな影響を与えた(尺度 7)チェルノブイリ事故と対比すれば、この事

故の放出放射能、影響環境面積と土地汚染面積は約 1/100 で、被曝住民数は 1/50-1/100 だった。

これより前のテチャ川の放射能汚染と同様、この事故は何よりも先ず、形成される液体放射性廃棄物取扱技術の不備によるものだった。60 年代初までの核-化学生産技術は、最も放射線的に危険だった。この事故が契機となり、放射性廃棄物取扱技術が整備され、放射線事故予防とその影響軽減措置が開発された。旧ソ連だけでなく、後で他の諸国においても。

放射性物質の大气放出を伴ったこの事故の直接原因は、高レベル液体廃棄物貯蔵タンク冷却系の故障、更に技術要員の作業組織の不備であり、そのため結局、1つのタンクの爆発に至った。

爆発中には、約 740PBq(20MCi)の中長寿命放射性核種が巻き込まれ、その約 10%が事業所敷地境界外の隣接地域に降下し、延長約 300km の狭い放射能跡を形成した。放射能が検出された全土地汚染面積は約 2 万平方キロ、住民の放射線防護措置が採られた範囲の面積は約千平方キロだった。土地放射能汚染密度は、1 回の高所放出に対する大气からのエアロゾル粒子降下の空間分布モデルに符合し、場所により汚染密度には大きな差があった:全核種合計の初期土地汚染密度は、検出可能レベル 150kBq/m^2 (4Ci/km^2) から 5.6PBq/m^2 (15万 Ci/km^2) -事業所敷地近くの跡の「軸」上まで変化していた。合計初期放射能中の長寿命 Sr90 と Cs137 の割合は、それぞれ 2.7%と 0.35%、Pu は 0.004%だった。

主な初期対策は次の通り:

- 事故により引き起こされた技術的混乱を処置し、将来の同種事故の再発防止を考慮しつつ、「マヤク」の生産活動を継続する(事業所敷地の強い放射能汚染の処置、事業所と動員された要員、そして Ozersk 市民の放射線防護確保、放射性廃棄物の処理と貯蔵に係る系統の設備及び技術的改善)
- 汚染地域住民の放射線防護、特に長期居住時の放射線安全性確保
- 地域経済-何よりも先ず農業-に対する事故影響の最小化

事故直後、根拠ある対策の迅速な選択と実施という困難な問題が起こった。国内にも国際的にも巨大放射線事故の処置経験(勧告、指針、そして放射線安全規則)がなかったため、決定は困難だった。また、環境放射能学、放射線状況の予測、放射線の人間に対する危険性の性格について必要な知識もなく、対策を効率的に提案し実施できる素養のある専門家も不足していた。

非常に困難な放射線事故だったが、事業所の生産活動は止められず、それに更に莫大な事故影響処置活動が追加された。1957-58 年間には、主に敷地と装置の除染が行われた。破壊した放射性液体廃棄物処理貯蔵設備は 1958 年初に処分された。1961 年には、より信頼できる液体放射性廃棄物貯蔵設備一式が運開した。

汚染地域住民の放射線防護のため、主に次の措置が採られた。

- 移住:先ず事故の 7-10 日後に事業所に近い 4 つの村から。その後 250-670 日後、Sr90 汚染密度境界 $74-150\text{kBq/m}^2$ ($2-4\text{ Ci/km}^2$) 内の 20 の村から) 全部で 12763 人
- Sr90 汚染密度境界 $74-150\text{kBq/m}^2$ ($2-4\text{ Ci/km}^2$) 内の地域に対し産業-生活様式の制限-移住後、衛生[=立入禁止]区域設定による
- 1958-60 年間に、高汚染地産の農産物と食糧中の放射性核種濃度をチェックし、所定の基準値以上の産物が見つかれば没収

住民の生活への介入の中で最も有効だったのは移住で、最も効果がなかったのは、特に食品の摂取を禁止し没収する放射線管理だった。導入が遅く、チェックされ没収された産物の割合も低

かったからである。移住により予防されたと期待される全被曝線量は、7-10 日後の移住で 95-96%、250 日後で 33-36%、330 日後で 24-28%、670 日後で 6-14%だった。原則として移住は、1 ヶ月-最大限でも 2 ヶ月-以上遅れた移住は、有効でなかった可能性がある。

衛生区域の設定は、「跡」頭部近くの非移住民の全[外部+内部]被曝線量を数分の 1 に下げた潜在的可能性があるが、2 年後からの放射線管理と産物没収による年間線量低減は 10%以下だった。

現在の評価によると、移住民では移住時期が遅くなるほど全実効被曝線量中の外部被曝の寄与が 43%から 24%まで少なくなった。7-10 日後の移住時には(成人で)400-600mSv、250 日後で 70-460mSv、330 日後で 60-290mSv、670 日後で 30-160mSv。事故後住み続けた非移住民に対する同じ線量は、大多数に対し 2-20mSv であるが、跡頭部に近い村の非移住民では 100-150mSv に達することもあった。

以前の通常のお考え方「住民に対する主な放射線危険性は骨に沈着する Sr90 による赤色骨髄の内部被曝である」は、若干変更が必要だ。今示されたように、期待される線量の約 70%は事故後の最初の 1 年間によるもので、その期間は外部被曝の寄与が高く、主に線量に寄与する(全核種からの 60-80%)のは Ce144 である。しかし、この事故の影響の放射線危険性は「セリウムによる」とは言え、事故後の長期的な Sr90 からの防護措置は実践的に正しい。

土地の放射能汚染核種中、Pu239 割合は有意でなく、住民被曝に大きな寄与はなかった。

全体として、外部被曝を含む全線量は、抹消血を除き、早期に決定論的影響を引き起こすには不十分である。これは住民の健康状態観察により確認された。事故影響処理と事業所敷地保全に加わった従業員と軍人 4 万人に、急性放射線病は 2 例しか記録されていない。住民の間に急性放射線病はみつからなかった。

最も被曝した住民(外部被曝線量 0.5Sv まで)と一部軍人(同様平均線量 1Sv まで)には、早期の血液学的反応が見出されたが、直後の 1-2 年以内に抹消血に見られた偏移は正常化した。この反応は、軍人には中程度の白血球減少症とリンパ球減少症として、そして住民には弱い白血球細胞症と血小板細胞症-血小板減少症として現れた。

その後、3-15 年間の観察によれば、初期 Sr90 汚染密度 37-74kBq/m² の汚染地域に常に住む住民には、抹消血の定量的偏移が保存された。その特徴として、赤血球と白血球の多くなる頻度が高く(コントロール群に比べ 2 倍の頻度)、リンパ球の量が少なく(半分)、白血球細胞の形態が左に変移し若い棹状核好中球(1.5 倍)と好酸球(3 倍)の割合が増える。

事故後 10 年以上の間、常に住み被曝した住民の有病率の特徴として、(被曝のない住民に比べ)、肺の病気と結核、肺がんの頻度、1 歳までの乳児死亡率と他の指標-特に一般有病率と死亡率、生殖機能状態-に差がなかった。

従って、被曝民の間に腫瘍病増加の証拠は得られない。事故後 21 年間の観察によれば、この部分の住民における悪性新生物の構成比とその発生頻度は、事実上被曝のない住民と同じである。骨内 Sr90 摂取に拘らず白血病や骨腫瘍の頻度増加は見られない。詳細評価によれば(比較的少ない統計バックによる)、事故後 25 年間の腫瘍病死亡率は、最も被曝した移住民で 10 万人・年当り 110 件、非移住被曝民で 137 件、被曝しなかった住民で 132 件である。

1957 年の事故後 40 年間の放射線誘発白血病と固形がんの可能症例数は、Sr90 初期汚染密度 3.7 kBq/m² (0.1Ci/km²) 境界内地域住民では、それぞれ 54 件と 289 件になり得る。それは 10 万人・年当り白血病で 0.285(0.114-3.7)件、固形がんで 1.53(0.6-2.0)件に相当する。しかし、この潜在的上昇は、

正確な評価ではない。何故ならその数が少なく、何よりもまず、自然発生の白血病と固形がんが、被曝のない地域でそれぞれ10万人・年当たり～5件と1.5件あるのだから。

事故の1年後、総面積約5万7千haの汚染農地利用が出来なくなり、農業生産量が減少した。その経済損失を低減する課題が設定され、措置が策定・定着化された。農業環境放射線分野での特別研究により、汚染地域に農業を導入する可能性が根拠付けられた。この重要な実践問題は、迅速かつ効果的に解決され、それにより3つの重要な状況が得られた。

- 放射能汚染密度勾配が高い十分に狭い帯を衛生[=立入禁止]区域とし、その境界外のより汚染の少ない土地を利用する際には、土地汚染レベルに最も適した作物を作る
- 農業環境放射線分野の研究の強力な実施により、土壌-植物-家畜系における Sr90 の挙動の基本的法則性、そして Sr90 の主な農産物中への取込みと、取込み制限手段について、必要な情報がタイムリーに得られた
- 飼料から畜産物に移行する Sr90 を類似物として比較的安定な K で代替する。またこれを考慮し、植物より有意に汚染の少ない産物として望ましい肉を生産する

農業の実際の復興は、既存の小さなコルホーズ [集団農場]に代えて、幾つかの特別ソホーズ[国营農場]の設置に基くもので、牛肉と豚肉の生産に向けられた。飼料生産制限として、汚染飼料が得られる天然草地の利用が禁じられ、全面的に耕作地の割合が増やされた。家畜を特別な場所に収容し肥育も勧告された。

農業の復興は1961年に始まり、1978年に事実上終わった。この結果、8万7千haの収用地が使用され出した。そのうち農地は4万1千haで、初期 Sr90 汚染密度の最大値は約 3700kBk/m^2 (100Ci/km^2) だった。1971-90年間に Chelyabinsk 州特殊経営体で、穀物120万t、ミルク28万1千t、肉5万2千tが生産された。農業の復興は、経済損失を大きく補償しただけでなく、産物の汚染密度も確実に下げた。特別ソホーズの全活動期間を通じ、その産物の Sr90 濃度は所定の許容濃度を超えなかったし、個人産物等と比べ、特殊経営体産の牛肉、豚肉と牛乳は4倍「きれい」だった。

事実上農業の復興と同時に林業事業所の活動も変更された。地域経済における役割は小さかったが。

テチャ川の場合は、自然界生物に対する放射線影響の全面的な評価は行なわれなかったため、その発現の事実は残念ながら知られていないが、最も汚染した「東ウラル放射能跡」地域における動植物に対する影響は深刻だったようだ。こういう放射線影響は、かなりの程度、事故後最初の2年間の内外被曝合計線量が高かったためだ。現代の評価によれば、この期間の最大吸収線量は、松の葉、芽と種子で400-800Gy、白樺の芽と種子で100-800Gy、草で200-800Gy、哺乳類で100-200Gy、鳥で40-100Gy、土壌無脊椎動物で200Gy、魚で40Gyに達した。

見つかった早期放射線影響(事故後1-2年経過)で最も深刻なものは、松の木の樹冠の大きな損傷と枯死で、面積はそれぞれ80と50km²あった。深刻だが、枯死には至らない白樺樹冠の損傷、草植物相構成の変化も見られた。動物において放射線影響評価に関する早期の所見はないが、1962年の後、遅い影響としてネズミ種のげっ歯類と土壌微生物数等の数に変化が見られた。げっ歯類におけるこの影響は、形態学的指標と個体数の悪化として現れたが、ここでは被曝集団の放射線抵抗性向上も確認された。土壌微生物は、外見が定量的に変化した。

被曝集団は、時間経過による回復プロセスにより補償された。現在、被曝と非被曝環境系集団の間で、生物学的生殖能力と外観形態に差はない。

他に確認された放射線影響の中で特に注意を引くのが遺伝的影響の発現である。放射線誘発遺伝障害は動物及び植物の母集団中でゆっくり進行するようで、遺伝的負荷の顕在化には長くかかる。しかし、放射線の遺伝的影響により既存母集団の喪失には至らず、現在事実上良好である。遺伝障害の影響は、放射線耐久性に関する母集団の非均質性、修復システムと進化の選択により補償されている。

この事故は、ソ連において新しい学問分野-環境放射線学-を産み、放射線安全性と放射線医学を進歩させた。ほぼ30年間、放射能汚染地域は我が国のユニークな実験基地だった。

この分野の研究で蓄積された経験は、チェルノブイリ原発事故の影響を軽減する一連の防護措置を実施するため、非常に有用だった。