第５部　放射線事故時の住民と環境防護の学問的-実践的経験の一般分析

5.1　放射線事故の医学-衛生及び環境影響緩和の学問的経験

環境に対する大規模な放射性物質放出の処理清算～より正確には影響の緩和～は、本書の前の部で検討されたように、放射線防護、環境放射能学、放射線生物学及び一連の学際分野における基本的及び応用上の諸問題の総合的な解決なしには不可能であった。これらの問題解決の多くは、科学的及び社会的意義において前例がなかった。本書で検討された放射線事故対策と対応の結果、放射能汚染を被った地域では、人間と環境に対する様々な問題を提起した。特に強度の放射能汚染の影響を研究するために特異的な問題点を明らかにした。

多年に及ぶ総合的な自然研究の結果、次の分野で科学的に解決できる範囲が大きく拡大した。

- 基本的な自然環境～大気、水相と地表環境系～における人工放射性核種移行の法則性
- 様々な代表的生物体～動植物～における放射性核種の代謝と蓄積の法則性
- 農業における放射性核種挙動の特徴、その人体への移行、人間に至る農業連鎖中の放射性物質の流れを制限する可能性
- 生体のあらゆるレベル～分子、細胞から集団に至る～に対する電離性放射線作用の法則性
- 環境系の放射線損傷と被曝後の回復プロセスの研究
- 大規模防護措置が実施される条件の中で、生活活動様式を考慮に入れた、住民の内部及び外部個人被曝線量が防護される法則性
- 住民の様々な年齢及び人種集団に対する放射線作用のレベルと、医学-生物学的影響の間の因果関係の法則性
- 臨床-疫学研究において現れた慢性放射線障害他の放射線障害を総合的な徴候により分離して診断すること。医学-人口論的及び医学-遺伝的研究において現れた、被曝の確定論的及び確率論的影響に対する線量-効果と時間-効果の依存性
- 現在及び次世代の被曝の危険性を低減するための、現実及び仮想条件における防護措置の効果の定量的評価の方法論
- 事故時被曝衛生防護基準策定の科学的根拠付け
- 放射線リスクの高い集団を含む人々の社会的リハビリ・システムの科学的根拠付け

大規模な放射能環境汚染と、それに関連する大きな住民集団の健康に対する電離性放射線の影響を伴う現象と、事象研究の半世紀に及ぶ経験により、ソ連においては本質的に、放射線惨事の影響を緩和する(弱める)学問的-実践的根拠が開発された。特に、1957 年の南ウラルにおける事故影響の処理清算経験は、チェルノブイリ事故の問題を解決する際、必須の条件だった。

以下に、次の２つの重要な分野における主な研究結果を要約する。一つは人間の健康に対する電離性放射線の影響であり、もう一つが事故の影響を最低減化するための農業環境放射線学と環境防護の役割である。

5.1.1　住民の健康に対する放射線の影響

放射線事故時に発生した多数の問題の中、特別の不安を引き起こしたのは被曝した人々の健康だった。防護措置は、住民を有害な放射線影響から防護し、又これが完全には達成されない際には、この作用を大幅に下げる低減策に向けられた。

我が国で発生した放射線事故は、比較的長い間隔があったがいずれも相互に関連があった。最初の放射線事故～テチャ川への放出～と 1986 年のチェルノブイリ原発事故は殆ど 40 年を隔てている。しかしこの期間内に、被曝した人々の健康影響の研究と分析へのアプローチには重大な質的変化が起こった。それぞれの放射線事故の医学的影響は同等ではない。厳密にこう言えるのは 2 つの大規模事故～第 1 は 1957 年秋に生産連合「マヤク」で起こった事故、第 2 はチェルノブイリ原発事故～だけである。テチャ川に対する状況は、自然の河川の中への液体放射性廃棄物放出の結果だった。ここで放出は短期ではなく 2.5 年間に及び継続し、迫り来る危険性について住民には全く知らされなかった。1957 年「マヤク」とチェルノブイリ事故後の住民避難は最初の数日、数週間、数ヶ月後から始まったのに対し、テチャ川沿岸住民では数年後で、既に移住が始まってからの防護対策だった。これが住民に対する放射線作用の特徴を運命付けた。貯水池には長寿命の Sr-90 と Cs-137 が存在したため、テチャ川沿岸民の高い被曝は慢性的だった。土着民に対し、それは一生続いた。

住民の医療検診が始まった時間も違う。1957 年のマヤク事故とチェルノブイリ原発事故では、それは事実上事故直後に始まったが、テチャ川沿岸民に対しては殆ど 3 年経過した後だった。テチャ川上流の居住地住民の本格的な検診は 1952 年に初めて行われ、そこで主な役割を演じたのは生物物理学研究所の専門家で、一部の住民にはすでに慢性放射線病が発現していた。然るに、1957 年のマヤク事故後もチェルノブイリ惨事後も、一般住民の間には急性及び慢性放射線病は記録されていない。これらの事実だけでも、医学的な影響に関してはテチャ川の状況が比較的深刻であることを明示している。しかしながら土地放射能汚染の規模、被災民の数と集団被曝線量に関しては、チェルノブイリ原発事故は未曾有だった。

医学的観察は、テチャ川沿岸民では既に約 50 年間、「南ウラル放射能跡」住民ではほぼ 45 年間、そしてチェルノブイリ事故後では 15 年間行われている。観察期間が違うので、特に晩発性放射線影響に関する部分では、完全かつ最終的な結論は下せない。

経過時間の他に、放射線被曝の住民に対する医学的観察の方法論の面でも大きな変化があった。最も重大な質的変化として、テチャ川沿岸民に対する研究時には方法論的アプローチの面で苦労した。20 世紀の 50-60 年代には世界中を見渡しても、感染性でない諸要因に対する大規模疫学調査の確立した方法論はなかった。更に、その開始時には慢性放射線病の全体徴候は知られていなかった研究実施プロセスを通じて、それらは詳細化されて行った。どういう生体系に放射線作用に対する反応が予測され得るかも、完全には明らかでなかった。汚染地区の医学-人口論的研究は、広範な指標と試行錯誤で行われ、それらの大部分は情報として不十分だった。全有病率の研究は、費用の面のみならず、当時の州政府医療統計と 1 次文書の保管の面でも困難だった。家族の病歴や、病院カルテにおける新生物の診断に関する完全な情報を得るのにも成功しなかった。主に研究が行われた僻地の村では 50 年代の保健状況には改善が望まれる点が多数残っていた。地区の病院の医師配備も不完全で、当時は新しく未知の放射線医学の啓発や教育がなされておらず、中等及び初等医学教育を受けた医療スタッフが大多数だったため、診断全般、特に放射線影響の診断が大きく歪められた。従って、最も被曝し、放射線による健康影響が進展していた年余にわたり、全ての研究の責任を担った事実上唯一の医療機関はチェリャビンスクとシャドリンスクにおいて編成された 2 つの保健所だったが、当時は資材もスタッフ配備も不十分だった。それを大きく支援したのが、毎年のソ連保健省派遣隊で、主に生物物理学研究所の専門家

が参加していた。派遣隊には、衛生学者、各専門別の臨床医と線量測定の専門家が入っていた。当時の大規模研究を統括したのは、放射線衛生学と医学分野の学者だった。

放射線の人体影響を解明する研究は、汚染地区においてはすでに住民の健康状態が非常に悪いという背景があったのでかなり困難だった。特にこれが当てはまるのは、タタール人やバシキル人が住むチェリャビンスク州の幾つかの地区だった。テチャ川において 1957 年「マヤク」事故後行われた研究では、放射線による変化を、バケツ一杯の病気や地域特有の風土病から鑑別する必要性に直面した。それらに相当するのは、ブルセラ病[訳注:波状熱-家畜から感染]、結核、食道がん、腫瘍病の前駆となる女性器の炎症である。更に、住民の疾病予防観察時に見られたのは圧倒的に、様々な高齢疾患に苦しむ老人だった。しかしこれらは全て、代表的なレトロスペクティブな分析結果を反映するものではあり得ない。当時先ず臨床症状や徴候が記述され、それがその後、放射線病と確認されて行った。その後、住民に対するこれらの数々の診断名は修正が必要だった。

放射線事故時の人々の健康評価に際し臨床的手法が用いられ、特有の規模で行なわれたのはチェルノブイリ原発事故後だった。最初の 2 つの放射線事故でこれに携わったのは圧倒的に生物物理学研究所とその支部だった。チェルノブイリ原発事故後は数十の医療機関がこれに加わった。その中には専門機関もあった。全ての場合に、これは大量かつ多様なデータを得る上で積極的役割を演じたが、不備も多くあった。テチャ川沿岸では、1957 年事故後、人々に対するマイナスの被曝影響の解明を「自己規制」する傾向が優先した。チェルノブイリ事故後は、まさに正反対の傾向～放射線要因の影響の過大評価～が前面に出てきた。そこで国際的専門家による特別調査団の参加を得て、チェルノブイリの状況を評価し、住民の健康に対する事故影響の脅威について、客観的で容認される考え方を得る必要があった。

広範な一般住民層に対する放射線の健康影響を臨床的に評価することには限界があった。特に低線量被曝においては、限界があり、医学-人口学的な方法論を使う必要があった。医学-人口学的モニタリングにより、住民を高い割合でモニターできただけでなく、柔軟かつ客観的に評価も出来た。初めてこのことを認識したのは、テチャ川沿岸の研究者だった。その後、医学-人口学的研究は南ウラル放射能跡とチェルノブイリ原発事故による汚染地区住民の住民健康調査時に応用された。21 世紀が始まる今の目で見ると、50 年代後半にテチャ川沿岸で始まった最初の医学-人口学的研究は、単純だったように見えるかもしれない。しかし、当時はまだ「医学-線量登録」という考えは存在しなかった。行われた研究は厳格に秘匿され、この研究を許された狭い範囲の専門家以外には、事実上、上述の登録を用いた開発的研究の機会は閉じられていた。住民観察時の個人被曝線量評価は萌芽状態にあった。テチャ川沿岸で初めて、医学-人口学的モニタリングの手法が全面的に用いられた。当時の健康評価の主な指標は、死亡率、そして生誕率、それから死亡率から誘導される平均寿命だった。誕生と死亡に関する 1 次文書[証明書]には、統計的だけでなく、法的意義があった。それは厳格に検査され、保管されていたので、要求される資料の完全さが確保された。

70 年代中頃、大規模疫学研究の手法が実践に移され、それに基き個人別の医学-線量登録が提案された。生物物理学研究所第 4 支部で、テチャ川沿岸民の大部分が個人登録された。この動機となったのは、人体中の Sr-90 含有量を記録できる個人被曝カウンターの開発だった。現時点に至るまで、放射線事故により被曝した人々の殆ど全ての影響評価は、個人毎の医学-線量登録の

利用に基いている。しかし以前同様、何年も前に得られた集団の評価に基く、テチャ川沿岸に対する医学-人口論的結果は大きな意義を今なお保持している。

テチャ川沿岸、南ウラル放射能跡及びチェルノブイリ事故汚染地区における被曝民の医学的影響の比較分析が提案された。本書の初めの 3 部で、これらの資料の詳細な分析が行われた。重要なコメントとして、住民の健康における被曝の確定論的及び確率論的影響として分類されるマイナスの現象は、テチャ川沿岸民にのみ、全流長に渡り～特に圧倒的に上流部に～見つかった。テチャ川沿岸の残りの部分は、これらの影響の発現は弱く、常に統計的に有意とは限らない。東ウラル放射能跡地域においては社会的に変化、例えば過剰死亡率を、当面は、見出せなかった。類似した放射線-疫学情報がチェルノブイリ原発事故後得られた。この事故における唯一の例外は、子供の甲状腺がんである。これらの地域において、早期の確定論的影響の進展が予測される時間は過ぎてしまったが、広範な確率論的影響～腫瘍を含む(潜伏期が 2－8 年と潜伏期の短い白血病を除く)～の発現に対しては、未だ最終段階には至っていない。このように、線量-効果と時間-効果の立場から、放射線影響の法則性の展開が多少なりとも見られるのは、基本的にはテチャ川沿岸での 50 年間に及ぶ観察により得られた資料からである。しかしこれらの資料についても、「放射線影響」と即断解釈してはならない。それは不確定性を伴っている。

「確定論的致死効果」の概念は、テチャ川沿岸における研究指導者の一人である M.M.Sauroviy 教授～本書の共著者～により導入された。この型の影響に関連するものには、過剰死亡率、寿命短縮、そして胎児死亡率がある。コメントすべきこととして、世界の疫学研究の実践では、「確定論的致死効果」という用語は使われていない。この用語は、広島と長崎の被曝者を観察した資料中にはない。日本では、確定論的致死効果が発生し得た期間は、2 つの町に落とされた原爆による核惨事直後の混乱の中で見過ごされた。世界の疫学は日本で得られた結果に「時計を合わせて」いるので、テチャ川における影響は全てが同一の座標軸での議論にはならない。そうは言っても事実からは逃れられない。今や既に明らかなように、テチャ川における放射線事故は、被曝した人々の影響の深刻さに関しても極めて特徴的なのだ。

テチャ川で得られたあらゆる疫学情報と資料は、不確定性から逃れられず、そのため結果の解釈が困難である。特に複雑な問題は、人々の健康において登録された病変が、いずれも放射線に由来すると結論できないことである。これらの事実が存在するという事実そのものは、非常に多くの風土病と言うバックグランドがあるので、放射線に由来するという側の直接の証拠にはならない。発生時点では、線量レベルと影響の範囲に、被曝要因が絡んでいるという理屈は明らかだった。しかし当時、例えば各死亡例に対する「印」により、被曝の役割が肯定又は否定されることはなく、当然断定は出来なかった。放射線による健康状態の変化の同定は、全世界の経験でも、放射線病、放射線火傷他、幾つかの形態の明らかな放射線障害を除き、「現れた変化の性質を物語る直接の証拠はない」という唯一の原則に苦労している。これが関連する特別の段階が、集団レベルで研究される健康指標～生誕率と死亡率～である。この場合、比較疫学分析の結果で満足せざるを得ない。その根拠は、被曝住民群とコントロール群の比較である。この群の使用は多くの問題を引き起こす。特にコントロール群の「十分性」の問題とか、コントロール群の「多数性」とかいう(幾つかのコントロール群)という問題である。

「放射線影響」の概念を用いる際に、明らかに理解できるように、例えば過剰死亡率の発生は被曝のせいだけではない。住民の自然及び社会-経済学的条件や医学-人口学的バックグランドの

他、過剰死亡率の形成には、様々な病態により、炎症になった人々などが主にこれらの指標に寄与していたに違いなかった。重症の場合、被曝はそういう状況の進行を加速した。この状況は、影響が最も現れるのは最も弱い年齢～若年の子供と老人～であることから確認された。

医学-人口学的研究結果を確認する重要な意義は、人々の臨床研究データにあった。例えば、血液循環器官病により過剰死亡率が形成されるメカニズムを理解するためには、被曝した人々における心臓-血管系の機能及び器官の変化の研究結果が大切である。本来の免疫能の低下は、高線量の被曝者に見られ、感染症の急性増悪や人体の日和日感染により引き起こされる諸種の病気による過剰死亡率の増加により説明される。

もし、テチャ川沿岸の状況を、川へ放射性廃棄物が初めて放出された時点から、全ての期間に亙って分析すれば、時間と共に人々に被曝の早期及び晩発性影響が進展する良く似た現実及び期待「シナリオ」に気付いたであろう。期待「シナリオ」とは、豊富な実験放射線生物学から学問的に潜在的可能性があるものだけをさす。当時、放射線医学分野で類似の先例は、全く考えられなかった。

テチャ川における状況に適用される「早期影響」という用語は、ある程度、例えば慢性放射線病に近い。過剰死亡率も、初期の年々に形成され、その後数年間維持された。それも住民の健康悪化の証拠だった。放出低減措置の結果、線量率は激減し、徐々に確定論的致死効果は消失した。それに替わって 7－13 年目から、腫瘍発生という影響が現れ始めた。最初に気付かれたのが白血病で、その後他の新生物が現れた。

人々の健康の最も重大なマイナスの変化は、テチャ川上流部沿岸に発生した。そこでは様々な居住地における平均累積線量が、骨表面で 1400－2300 mSv、骨髄で 600－1600 mSv になった。幾つかの評価によれば、小腸下部に対する最大線量は 2500 mSv に近かった。これは様々な居住地住民に対する平均線量の話である。居住地境界で一部の人々は、平均の 5 倍の線量を受けた。最後に、テチャ川岸のこの部分では、外部被曝線量が合計被曝線量に最も寄与した。

この地域の人々の健康におけるマイナスの変化は、歴史的に積み重ねられてきた全ての社会的及び経済的条件により悪化した。放射線影響の進展に影響した要因には、風土病だけでなく、住民の人種構成もあった。比較的低い生活水準、不十分な食事、元々の(被曝に無関係の)高い有病率と死亡率が、放射線影響の進展のため好都合な条件になった。

テチャ川沿岸民の腫瘍死亡率研究のため、様々な被曝線量時の腫瘍発現の頻度に注意が向けられた。効果の大きさだけでなく、範囲も注意された。テチャ川沿岸上流部では、白血病、食道、胃、膀胱、肺、乳腺と子宮がんに関し、住民の間で過剰死亡率が見られた。テチャ川沿岸の残りの部分では、過剰死亡率は白血病と子宮がんによるものだった。然るにイセチ川住民の過剰死亡率は白血病だけで、それも信頼度は有意でなかった。テチャ川沿岸の全ての資料を纏めると、稀に遭遇する脳腫瘍が観察された。様々な線量の 3 集団における腫瘍全体の効果は、10 万人年当り 3.4、1.6 と 0.3 死亡数だった。

腫瘍の発生は最も被曝線量が高かった器官に限定されるに違いないと予測できた。これは先ず骨とそれに近い骨髄と軟組織表層、そして脳膜である。予測が正しかったのは骨髄(つまり白血病)と中枢神経系腫瘍についてだけだった。第 2 の高線量器官～胃腸系と泌尿器～は放射性核種が常に移動する場所であり、追加被曝するものの不確実であった。

胃腸系の腫瘍が食道と胃や線量が有意に高い下部腸管に局限される理屈はない。しかし、胃は

最も様々な前癌病変になりやすい器官で、最高被曝群では食道がんによる過剰死亡率が、この部位の非常に高い自然発生がんによる死亡率のバックグランド上に形成されていた。これは風土がん病であり、東方型の食餌をする住民生活の人種特性による。子宮がんによる過剰死亡率は理解困難である。唯一注目されたこととして、テチャ川沿岸で有病率が高い婦人病は、子宮頸炎、子宮頸びらん他の炎症病で、それらはしばしば腫瘍病の前駆病変である。

線量特性の異なる 3 つの住民群の存在は、最小がん化線量の暫定評価の基礎になった。それは次の過程から求められた。つまり、「効果がより高い線量群では現れ、より低い線量群では存在しなければ、最小がん化線量は、最高被曝群の線量当量値の範囲内にあるに違いない」。例えば、放射線誘発胃がんの場合、最低がん化線量の平均は 200 から 1000 mSv の範囲にある。ここで 200 mSv と 1000 mSv は 2 つの境界にある住民群の平均線量当量である。過剰死亡率形成の条件が異常な食道と子宮がんを除けば、近似的に、テチャ川沿岸における他の新生物に対する最小がん化線量も 200－1000 mSv の範囲にある。

従って 2 つの誘因に気付くことができる。慢性的な外部及び内部被曝時に、内部被曝線量が大きく違うと、最も線量レベルが高く、生物学的に被曝に脆弱な器官に放射線誘発腫瘍が発生する。テチャ川沿岸で行われた研究結果に基き、放射線作用の結果としての発癌効果に関し始めて下された重要な結論は、この地域で腫瘍が多いというバックグランド条件中で大きく強調された可能性がある。

1957 年事故後は、テチャ川沿岸に比べ、最高汚染地区民のより実務的な移住のおかげで、最大累積線量は 500 mSv 弱だった。こういう線量を受けたのは、事故の 7－10 日後に避難した住民群だった(約 1380 人)。後の移住民(250－600 日後)の累積線量は 230－440 mSv の範囲にあった。その数は約 11、000 人だった。

この住民群の観察方法には、臨床的、並びに、医学-人口学的手法を含んでいた。40 年間の研究を通じ、末梢血の分類、肺と心臓-血管系の状態に明確な変化は解明できなかった。住民の全有病率と感染症率のレベルと構成、再生産健康状態そして死亡率に、有意な変化は見られなかった。重要なので強調すると、潜伏期を考慮しても、被曝後晩発期に悪性新生物の頻度増加は現れなかった。悪性新生物の分布が、総数 27 万人と累積線量範囲 60 から 520 mSv という大集団に対し研究された。

チェルノブイリ事故の特徴は、「南ウラル放射能跡」と違って、事故直後に数百人の事故対策要員が高線量被曝したことにあった。彼らは除染作業者として破壊炉の近くで直接作業し、Ⅲ とⅣ 号機の屋根の火災を消した消防士を含んでいた。

チェルノブイリ周辺の汚染地域に住民が住み、そこで農業を含むあらゆる種類の生産をしているが、15 年間の観察データによれば、「特有の」病理(白血病、先天性発達異常、再生産健康低下、そして甲状腺腫瘍以外の悪性腫瘍の発生頻度増加)は、コントロール群住民と比べ、何ら現れていない。

このように、被曝住民の医学的影響に関しては～住民に慢性放射線病、確定論的致死効果や腫瘍効果がなく～テチャ川における状況と大きく異なる。

放射線事故の結果被曝した住民に対する観察の結果、一連の非常に重要な放射線生物学的意義のある結論が導びかれる。これは、電離性放射線の人間に対する影響について現存の情報を非常に豊かにするものである。

この 10 年間、特に ICRP Publication 60 出版後、規制の考え方として述べられている個々の前提や仮説を不磨の大典のように引用することが流行になった。確定論的効果に関する事実ではない前提が積み重ねられ、その列挙はほんの数個の用語により制限されている。ICRP は資料に疑いを呼び起こさないような公刊だけを目指していることは理解できる。そうは言っても、注意深すぎるアプローチは、放射線生物学的効果についての想定を貧弱にする。電離性放射線の確率論的効果に閾値がないことは、ICRP により念の為にそして規制適用のためだけに採用されたものだが、被曝による損失評価時や様々な予測時に世を惑わす元になった。ソ連における 3 つの事故状況中で得られた情報により、多くの認定された前提の見直しに至り得る。何よりもこれは、生体レベルに対する電離性放射線作用に閾値が無いということに当てはまる。3 つの事故状況に関する資料と幾つかの文献データを分析すると、閾値は確定論的効果だけでなく、発癌に対してもあるに違いない。最後の例においてだけでも実際の閾値について述べるべきだ。特にチェルノブイリ事故の資料を解釈する時には、注意深く観察すべきではあるが、テチャ川と 1957 年事故に関するデータは、これを明示している。表 5.1 に累積線量の想定閾値を述べる。

表 5.1　確定論的効果に対する累積線量当量の閾値と、3 つの事故状況データによる被曝の発癌効果に対する事実上の閾値

効果の名称	主要な効果	大略発現期間	被曝継続時間	Critical 臓器累積線量*
早期決定論的効果				
慢性放射線病	-	最初の 10 年	主に最初の 2 年	骨髄 800mSv
血液学的症候群	-	最初の 10 年	主に最初の 2 年	骨髄 550mSv
免疫反応抑圧	-	最初の 10 年	主に最初の 2 年	骨髄 600mSv
確定論的致死効果				
過剰全死亡率	血液循環器病と感染病	最初の 6 年	全期間発現、主に最初の 2 年	骨髄 500mSv 小腸下部 1000mSv
過剰若年死亡率	先天性発達異常、感染、新生児病、生れ付き虚弱	最初の 13 年	全期間発現、主に最初の 2 年	骨髄 200mSv 小腸下部 500mSv
確率論的腫瘍効果				
過剰がん頻度	白血病を除く全ての癌	10－30 年	30 年まで	器官平均 500mSv
過剰白血病頻度	主に骨髄性白血病	10－30 年	30 年まで	骨髄 200mSv
過剰甲状腺がん頻度	10 歳までの子供		14 年まで	甲状腺 100mSv
* 成人に対する丸めた線量当量値				

確定論的効果の進展の時間変化から判るように、それは圧倒的に線量率が最大の年々に形成された。年間線量負荷が激減した場合、以後数年間、過剰若年死亡率が予測された。過剰若年死亡率低下のテンポが年間線量の低下より遅れるので、この効果の進展に対しては胎児やゼロ歳児の直接の被曝だけでなく、母体を経由する間接的影響もあると言える。

表 5.2 に示す資料が示すように、検討された放射線事故の際に腫瘍効果に関し得られたデータは、特に ICRP Publication 60 に導入された腫瘍リスクについての現存の想定とよく合っている。

事故時住民の放射線防護の目的の一つは、被曝の確定論的効果の防止である。従って、最初の防護措置は、表 5.1 に示す線量値未満に下げることに向けられねばならない。様々な生体系の被曝感受性を考慮し、この表の中で最も低いレベルを目指すべきである。つまり、

- 骨髄と子供の甲状腺を除く、人体の任意の臓器と全身に対し、内外被曝線量 ＜500 mSv
- 骨髄に対し ＜200 mSv
- 子供の甲状腺に対し ＜100 mSv

表 5.2　様々な部位の腫瘍に対する放射線リスク係数～テチャ川沿岸と原発事故汚染地区の被曝住民の観察結果から計算～と ICRP データとの比較(10-2/Sv)

腫瘍の種類、部位	放射線被曝状況データ		ICRP Publication 60、1990
	範囲	平均	
白血病	0.24－0.36	0.30	0.5
食道癌	0.81－0.96	0.90	0.3
胃がん	0.24－0.83	0.50	1.1
腎臓がん	0.15	0.15	0.3
乳腺がん	-	0.07	0.2
子宮癌	0.36－0.90	0.63	-
肺がん	1.25	1.25	0.85
中枢神経腫瘍	0.5	0.5	-
甲状腺がん	-	-	0.08
その他新生物	-	-	1.67
全新生物	-	4.3	5.0

5.1.2　環境放射能影響

環境が放射能汚染すると、様々な種類の自然界と農業環境系の変化に至り得る。これらの変化の範囲は十分に広く、被曝の性格(線量率、累積線量)、そして様々な種、集団と環境系、更に環境要素を変化させる放射線感受性の大小に依存する。テチャ川に対する放射性廃棄物の放出のような深刻な放射線影響に対しては、個々の種や集団の死滅に至る深刻な障害に至り得る。

1957 年事故とチェルノブイリ原発事故の環境影響研究によれば、様々な種類の植物と動物に、細胞遺伝学的、形態学的、生化学的、現象学的[phenology]及び遺伝学的指標に有意な変化が見られた。

自然の中における農業を中心とする環境系への放射線影響は、優越生物体の様々なレベルにおける放射線感受性に依存する。最も放射線感受性が高い植物として針葉樹があり、環境系としては針葉樹の森がある(森の積み重なり列を構成している裸子樹木植物の放射線抵抗性は非常に低い)。様々な自然と農業環境系に生きる動物の中で、最も放射線に敏感なのは哺乳類である。放射線に対し、かなり安定なのは、草植物とその集団、小動物では土中の無脊椎動物である。放射線抵抗性が最大なのは微生物である。

強調すべきこととして、放射性物質により汚染された地域に住む人間の被曝線量は、事実上全ての種類の生物(放射線感受性が人間に近い哺乳類を含め)よりも相対的に、1－2 桁低い。人間と生物に対する線量作用のこの原則的特徴は、環境生物の安全についての考え方を策定するために重要である(特に ICRP Publication 60 (16 条)の規定の策定に対し。それによれば、放射線基準により人間が防護される状況なら、生物全体も放射線作用から防護される)

放射性物質が環境に短期間放出される放射線事故の特徴は、2 つの期間の存在である～強い短期被曝と、それに続く線量率が比較的ゆっくり低下する長期段階(1957 年南ウラル事故とチェルノブイリ原発事故のように)。最も深刻な環境被害が発生するのは、普通、急性期間中の放射線作用の結果である。放射線障害の範囲は広範で、細かな細胞遺伝学的変化から個別の生物種(動植物)の全滅、更に環境系の破壊に至る(例、「マヤク」付近の針葉樹植生の枯れと、チェルノブイリ原発付近の「赤毛」の森)。

両事故後、松の森の致死的及び半致死的影響は、数十平方キロの面積で発生した。針葉が干乾びたり、木枯れを引き起こす線量は 50 から 100 Gy で、このうち 80－90 %はβ線による。木の吸収線量の大部分は、事故後最初の数ヶ月間に蓄積された。汚染した森における放射線影響は主に、

事故後最初の1年間に現れる。その後の期間は修復再生プロセスが働き、障害を受けた木の樹冠体積は95 %まで回復した。広葉樹や草原のような、他の地上環境系の放射線影響は、より弱かった。

線量率が下がる程、放射線障害と回復プロセスのバランスは、後者の方が優位になり、放射線障害の程度により、環境系が回復する。回復プロセスは、分子と細胞から集団、群落に至る全ての生体レベルで進む。生物界は、集団、群落、環境系として放射線抵抗性があり、強力な回復能力を持っている。

生物群落と環境系における放射性核種分布は均質ではないので、個別の構成要素の被曝線量は広い範囲にわたる。汚染した森で、最も被曝したのは、下生え中の小動物と地表又は土壌上層に住む哺乳類(げっ歯類)である。草原と牧草地の群落で最も被曝したのは、穀物草の種と房である。貯水池で最も被曝したのは、底堆積物中に住む水棲生物である。汚染した水棲生物群落中には、比較的線量率が低い場所がある。つまり、湖や川で、水の上層に住むものの被曝線量は、底堆積物中に住む生物よりも、急速に放射性核種から浄化される(プランクトン)。

大多数の貯水池では食物連鎖の影響が顕著で、「肉食」魚の方が「平和」(植物食)魚より放射性セシウムの蓄積レベルが高かった。チェルノブイリ原発ゾーンに近い貯水池において内部被曝線量率が最大になったのは1986年で、2−3 mGy/日に達し、天然被曝レベルの3桁上になった。これらの貯水池では、被曝線量が高く、水棲生物(例、魚)に放射線障害の目に見える徴候が現れた。つまり、ハクレンに、生殖系異常数の増加が見られ、個体死、生殖腺の形態変化、生殖細胞の一部退化が現れた。チェルノブイリ原発の貯水池では、生殖細胞異常のハクレン数が、事故後の各観察年に50−90 %までになった。それでも他の圧倒的多数の貯水池では水棲生物の被曝線量は基本的に低線量領域に属し、その作用と影響について、放射線生物学と環境放射線学上の激論が残されている。

汚染環境系における電離性放射線作用に対する反応は2つのグループに分けられる。第1は直接の反応で、被曝に直接関連のある変化である。第 2 の反応は間接的に引き起こされるもので、代表生物が被曝障害を受け、死んだり抑圧されることによるものである。つまり、針葉樹の森が障害を受けると光が良く通るようになり、ミネラル性の栄養条件で、より放射線に頑丈な広葉樹が繁殖する。草原群落では同じ理由から、外見上の構成が変わり、より放射線抵抗力のある草植物種が優越気味になる。

放射線障害を受けた自然の区画の復活において少なからず重要なのは、所謂周辺からの侵入現象で、つまり隣接する「きれい」又は汚染のより少ない土地から動物が移動し種が運ばれる。これにより、直接の放射線作用により生物界が受けた本来の障害が、より広範かつ深刻になり得る。

生物界の放射線影響の重要グループに遺伝障害がある。南ウラル放射能跡とチェルノブイリ原発に近いゾーンにおける放射線遺伝学的研究によれば、主に生化学レベルで動植物界の様々な代表に多くの遺伝的変化が見られた。汚染地域の生物界における放射線遺伝学的変化の特徴は、他の型の被曝影響と同様、障害と修復プロセスの同時進行である。放射能汚染地域における放射線遺伝学的変化の問題は(南ウラル放射能跡でも、チェルノブイリ原発ゾーンでも)、最も研究されていない分野の一つで、多年の腰を据えた観察が必要である。それでも南ウラル放射能跡に対する40年間の環境放射線学的観察経験と、チェルノブイリ原発ゾーンにおける14年間

の同様の研究経験が示しているように、被曝集団の遺伝学的変化の影響を過大評価すべきではない。

5.1.3 農業の問題

放射線事故後の汚染地域における農業組織の一般的課題は次の通りである。

- 制限と介入による経済損失の低減。これは一時的に禁止されていた土地における農業の復活までを含む
- 放射能汚染レベルが設定された安全基準を超えない食品、飼料及び産業用の1次農産物を確保すること
- 設定された安全基準を満足しない汚染農産物を利用又は加工するための特別な方法の定着化

特に重要な社会-心理的意義を持つのが、個人の自留地での自作農産物の汚染で、それは汚染地域に住む人々自身の食事に直接入る。

チェルノブイリ原発事故の処理清算経験が示すように、放射線安全基準を超える放射性核種を含む農産物は、放射能恐怖症[radiophobia]の主因の一つで、電離性放射線の影響とは無関係であるが、社会-心理学的要因により形成される様々な種類の病気の原因になっている。

放射線学の観点からは、内部被曝線量の形成において重要な意義を持つのは、環境にある放射性核種の組成で、何よりも先ず、生物学的に移行する核種があると農産物中に蓄積し、更に人体に到達し、その器官と組織に沈着する。事故の早期段階で特別の役割を演じたのは、ヨウ素の放射性同位体である。チェルノブイリ事故時には(第3部参照)、放出された放射性物質中のI-131が、多くの場合この事故の放射線影響を運命付けた(甲状腺がん)。I-131の人体への主な摂取経路は、農業連鎖～降下物→牧草→ミルク～である。I-131の他の摂取経路～呼吸と飲料水～の意義は相当低い。

より後の期間における内部被曝の危険性は(特に長期的視点では)、主に比較的半減期の長い核種～Sr-90、Cs-134とCs-137により規定される。南ウラル(1957年)とチェルノブイリ原発事故時の降下物中のSr-90とCs-137のそれぞれの組成が、それぞれの場合の農業面における長期的防護措置の幾つかの特徴を運命付けた。

汚染農産物の影響と言う観点から、放射性物質が環境に放出される放射線事故の深刻さは、既にのべた核種組成の他、一連の諸要因により規定される。何よりも大きな意義を持つのは事故による放射能降下が発生した季節である。この面で南ウラル事故(1957年)とチェルノブイリ原発事故は対照的だった。前者は9月末に発生し、栽培期は基本的に終わり、実際放牧は終り貯蔵飼料(「きれいな」飼料)があった。この場合、空気からの植物汚染が大きく制限された結果、飼料から畜産物連鎖中への放射性核種の移行も少なかった。逆にチェルノブイリ原発事故時は、晩春-初夏期に起こり、春の農作業(種播きと野菜とジャガイモの植付け)は終わり、家畜は生産性の低い牧草地に放牧されて、貯蔵飼料は使い果たし、秋播き作物は家畜用の緑の代替飼料として用いるべく大量の植物体に育っていた。このように、チェルノブイリ原発事故は、農産物の汚染規模の観点から、かなり深刻な時期に発生した。明らかに、収穫最盛期に放射性核種が降下したら、もっと深刻だったが。

農産物の放射能汚染が特に深刻だったのは最初の年(栽培期)で、これは植物体の空気経由汚

染による。地上植物体の空気経由汚染濃度は、2 年目以後～主な汚染源は根からの摂取～の何倍もあった。畜産連鎖の面でも、植物への放射性核種の空気経由付着により干草が大きく汚染し、「冬の」ミルク中の放射性核種濃度が高くなった。

環境中への人工放射性核種取り込みは、自然界における新しい要素である。その生物学的移動性～食物連鎖に含まれて移動する程度～は、大部分の場合、様々な生化学プロセス(所謂、放射性核種の経時変化)の結果、減少する。この概念が示唆していることとして、時と共に土壌や底堆積物中において非溶解性の化合物が形成され、放射性核種固定が強まる。幾つかの場合(チェルノブイリ原発近接ゾーンのように燃料粒子組成で放射性核種が降下)には、放射性核種の生物学的取り込みは時と共に増加し得る。地上の生物地質連結体では土壌が主な放射性核種吸着体で、水環境系では大量の放射性核種が底堆積物中に集まっている。

第 2 栽培期が始まると、放射性核種が生物循環に取り込まれる主な経路は、根から植物中への摂取である。放射性核種の植物中への摂取は土壌の特性に依存する。ここで同一種植物でも、Sr-90 と Cs-137 の蓄積量の差は、土壌の特性により 10 倍に達し得る。全体的には、土壌の生産性が高いほど、又、機械的組成が重いほど、放射性核種の根からの摂取は少ない。この観点から、南ウラル事故とチェルノブイリ原発事故にはそれぞれ特徴がある。つまり、東ウラル放射能跡の殆どの表土は十分生産性が高く(黒土と灰色森土)、植物中への放射性核種移行は最低に近かった。チェルノブイリ原発のある地域で最も広がっている土壌型は、泥炭、芝-灰白土で機械的組成が軽く(砂又は砂質)、植物中への放射性核種摂取は最高だった。こういう土壌の存在が、事故後晩発期も含め、食物連鎖などを通じて内部被曝線量がかなり高くなった主要因の一つだった。

汚染地域で生産された農産物中の放射性核種含有量変化の特徴は、時と共に減少することである。植物産物(穀物、野菜、ジャガイモ、他)と畜産物(ミルク、肉、他)中の Sr-90(南ウラル事故後)と Cs-137(チェルノブイリ原発事故後)の濃度減少は、放射性核種の半減期、並びに、事故後最初の期間(1－3 年間)最大限急いで行われた対策の遵守によるものである。しかし以後、放射性核種濃度減少のテンポは激減した。つまり、チェルノブイリ原発事故周辺地域における主な農産物(ミルク、肉、植物産物)中の Cs-137 含有量の環境半減期は、事故後最初の 2－3 年間は 1.5－2 年だったが、7－14 年後では 5－10 年に増えた。今後の期間(20－30 年目)、土壌から植物中への Cs-137 摂取の減少は、非常に緩慢と期待される(放射性崩壊速度に合致する減少になるかも知れない)。

農地と農業企業生産物の汚染の意義は重大なので、農業加工コンビナートにおいて防護措置を実施し、内部被曝を最小化することが焦眉の問題となった。事故後最初の段階(最初の数日、数週間、数ヶ月)におけるこれらの農業対策は、基本的に禁止の性格を持たねばならなかった(例、基準以上に汚染したミルク他の食品の利用禁止、汚染牧草地での放牧中止、等)。同時に、事実上全ての農業分野をカバーする防護措置システムが開発され定着化された。

ウラルで有効だったのは、土地利用を最適化し、肉の生産に向け事業を転換し、飼料生産では天然農地を除外し耕作物の割合を増やし、飼料中の穀物、ジャガイモと根菜を豊富にし、深く耕すことだった。

農業(耕作地)における効果的対策は、多年に及ぶチェルノブイリ原発事故影響の処理清算の実践が示すように、施肥と土壌の石灰化だった。これらの対策の結果、大部分の土地において農産物中の Sr-90 と Cs-137 濃度が平均 1.5－2.5 分の 1 に下がった。農業における総合的防護措置全体の中で、効果の面で最も有意義だったのは、草原と牧草地の根本的改良で、それにより飼料

植物中(そして結果的にミルクと肉中)の Sr-90 と Cs-137 濃度は 3－8 分の 1 に下がった。植物産物で理論的に高い効果(産物中の放射性核種含有量が数十分の 1 に低減)が期待されるのは、Sr-90 と Cs-137 の蓄積が最も少ない種類の植物を選ぶことだろう。しかしこの実践における遵守は、非常に困難であった。

畜産における東ウラル放射能跡とチェルノブイリ原発事故の経験によれば、最も有効なのは動物の屠殺前肥育だった(屠殺前に「きれい」な飼料で維持)。これにより、高い汚染密度の農地に居た動物から「きれいな」肉を得ることが保証された。Cs-137 に対し遥かに有効だったのは、フェロシンを含む薬剤を飼料中に処方することだった(又は動物の胃腸系に直接投与)。これにより確実にミルク中の Cs-137 濃度が 5－10 分の 1 になった。効率が高かったのは、特別に合成されたフェロシンを含む物質の使用だった。このイオン交換材を用い、チェルノブイリ原発事故放射能汚染地域にある 1500 の個人経営体のミルク全部が処理され、Cs-137 の 90%以上が浄化された。ここで多くの研究が示すように、除染ミルクの生物学的(生化学的)及び技術的特性とその栄養価は破壊されなかった。このプロジェクトは、一連の組織的な問題と汚染規模が莫大だったので、全面的には広まらなかった。

農業加工コンビナートの加工分野における潜在的防護能力が最も完全に実現されたのは、汚染ミルクのバターへの加工であり、最終製品中の Sr-90 と Cs-137 濃度は確実に 5－6 分の 1 になった。効果がより低かったのは、植物産物から放射性核種を特別に浄化することだった。

こういう農業加工コンビナートにおける防護措置適用の経験はプラスだったが、大量環境汚染条件下における多くの対策は効果が低かった(耕作地にゼオライト、畜産に幾つかの吸着剤の適用、他)。一連の防護措置は、南ウラル放射能跡地域では相対的に有効だったが、チェルノブイリ原発事故ゾーンで効果が小さかった。つまり、放射性核種を含む表土を深く埋める深耕は、南ウラル放射能跡の黒土型の機械的に重い土壌に向いていた。チェルノブイリ原発事故ゾーン中の軽い芝-灰白土に対し、生産性の高い表土層を深く埋め、表層の根生育ゾーンに生産性の低い層を持って来ても、効果は不十分だった。

大きな意義を持ったのは、農業生産企業のゾーン組織化だった(農地汚染密度を考慮し、植物生産、飼料生産と畜産を、農業加工コンビナートに割り当てる)。特に注意が払われたのは、最も汚染した産物が生産される、所謂被曝農地の選別だった。

他の優先事項として、汚染食品が注目された。事故後最初の期間、放射線モニタリングの範囲が不充分だったため、対策の効果の主な基準は、環境放射能指標～防護措置による低減倍率～だった。換言すれば、線量形成における役割や経済的費用を考慮せず、あらゆる種類の農産物中の放射能濃度低減が追求された。放射線事故影響の処理清算時に、極めて重要なことは、防護措置の効果を評価する際に、環境放射能基準から放射能学的指標(つまり、被曝線量低減による評価)に出来るだけ速く移行することである。これにより、汚染地域住民の放射線安全を確保する問題を解決するため、より合理的な経済資源の利用ができる。チェルノブイリ原発ゾーンにおける農業戦略が事実上完全に線量測定基準に移行したのは、事故後 5－7 年を過ぎてからであり、これが原因となって、多くの正当化出来ない過剰対策を実施するため大量の支出が行われた。残念ながら、チェルノブイリ原発事故ゾーンにおいては、経済的に農業対策の効果を評価する手法(予防線量に対する費用を評価)は、実際には行なわれていない。これらの問題は更に理論的検討が必要で(例えば、ICRP の放射線防護の考え方の枠組みにおける)、放射線事故ゾーンで実践に適

用するのは困難である。

実践では、先験的な前提～農業加工コンビナートにおける対策の効果は、主にその定着化開始時期に依存する～が確認された。環境の放射能汚染後、早く着手するほど、農産物中の放射性濃度低減倍率と言う観点と、汚染地域に住む住民の内部被曝線量低減と言う面で、有効性も高くなる。放射性物質が数回に亙って環境放出される事故状況の特徴は、住民被曝線量のかなりの部分は事故後 1－2 年に環境からの被曝を受けることにある。

チェルノブイリ原発事故後、汚染地域(Cs-137 に関し 185 kBq/m^2 以上)の農業地において行われた総合防護措置の効果は、社会セクタで生産される農産物に由来する集団線量低減倍率によれば、2.5－3 分の 1 と評価される。農業における防護措置実施の遡及[=後付け]評価によれば、農業加工コンビナートにおいて防護措置がタイムリーに全面実施されていたなら、チェルノブイリ・ゾーンの内部被曝線量は、少なくとも 2 分の 1 になっていただろう。

5.1.4 林業活動

大規模な放射線事故時の長期で重要な問題が林業面で発生するのは、それが経済と住民の被曝線量決定において相当の影響力を持つ場合である。この条件中で森の汚染は、林業作業員、そして、森の野獣、キノコやイチゴを摂取し、森の牧草地に放牧し、木材を建築や暖房等に利用する現地住民の被曝源になる。チェルノブイリ事故後、森地域住民の内部被曝線量におけるキノコの寄与は 50－60%に達し得たと確認された。この理由から、適切な対策を実施し、森資産の放射能汚染による損失の可能性を下げる必要があった。この制限の厳格さの程度は、土地放射能汚染密度により規定された。制限及び禁止措置の効果の評価によれば、そういう措置の導入により予防された集団線量は小さく、単位予防線量当りの計算費用は極度に高く、時にはこれらの対策の妥当性が疑しかった。

事故後の期間における森の放射能汚染状況の変化は、自然の生物地球化学プロセスにより左右され、森環境系要素間の長寿命放射性核種の分布と移行、そして、林業産物への移行に影響を及ぼす。それらの方向と強度は、環境系の型、土壌の型、降下放射性核種の物理-化学形態とその土壌中存在時間に依存する。

事故後最初の年々には、時と共に放射性核種の移動度と生物摂取度は減ったり、増えたりした。しかし、どの場合にも数年後には、生物摂取量と生産物中濃度が疑似平衡状態に達し、生物摂取度と森の土壌中での移動度の時間変化は殆ど無くなる。放射性核種の林業産物中への移行係数は環境系型に依存し 2 桁までの差があり得る。従って、汚染した森の環境放射能と経済的なリハビリ勧告を策定する際には、森の環境放射能汚染度分類に基き異なるアプローチが必要である。

森環境系は、放射性核種の風と水移行経路に対する生物地球物理学的バリヤとして有効で、風輸送を大きく制限する。木立の列が無くなっても、損傷していない森の下生えと表層度が残っていれば、その防護機能は保存される。森の植生から隣接地域への放射性核種搬出のテンポが有意ではないことから、森全体の放射能汚染レベル低下の主要因は、放射性崩壊(半減期による減少)であると結論される。

汚染地域においてあらゆる手段で森を維持、再生することは、汚染森地域リハビリの処置システム中、必須の要件である。

5.1.5 表層水の汚染

水理問題は、上述の3つ[テチャ川に放射性核種放出、南ウラル事故(1957年)とチェルノブイリ事故(1986 年)]の観察状況において、環境の放射能汚染の影響緩和に関する措置システム中、急を要した。しかし、汚染地域における水理問題解決の緊急性とその意義は、例えば農業セクタにおける類似の問題と比べ、3つの状況間に差があった。

テチャ川への放射性物質放出では、全ての影響が汚染水環境によるものであり、貯水池と川の網における液体廃棄物処理と川水中の放射性核種濃度低減に関し、多くの防護措置が取られた。主な防護措置は、水利用禁止だった(汚染地域では、完全かつ長期)。これらの措置は食用、家畜飼育と灌漑目的での水利用に係るものだった。魚の採取と、汚染河川遊水地での農作業が禁止された。

地表環境における類似問題に比べ、1957 年南ウラル事故時の水理網汚染問題は若干緊急度が低かった。これは、汚染地域において川網が有意に発達していなかったため、住民の線量負荷形成上、水－食物連鎖の役割が相対的に低かったことによる。

そして最後に、最も深刻な問題が持ち上がったのがチェルノブイリ原発事故だった。原発敷地の水がその完全な支流であるプリピャチ川(冷却池を含む)に流れ込み、ドニェプル川のような巨大欧州河川が放射能汚染し、大きな住民集団(キエフのような町を含む)が直接その水を使い、ドニェプル・カスケードの水が経済利用されている(黒海に至るまで)ため、汚染の危険性のある範囲は莫大になった。

チェルノブイリ事故の環境放射能問題の一つは、ロシア、ベラルーシとウクライナの一連の湖の長期にわたる放射性セシウム汚染だった。ロシアで水と水棲生物の汚染レベルが最高だったのは、ブリャンスク州の Cs-137 汚染密度 0.6－1.0 MBq/m^2 の地域にある Kojanovskoe 湖と Sbyatoe 湖だった。これらの湖の特徴として、底堆積物による Cs-137 固定特性が相対的に低かった。この結果、湖水中の Cs-137 放射能濃度は、原発ゾーンに近い湖と同程度になった。

チェルノブイリ事故後、ドニェプル川とプリピャチ川の集水域全体が放射能に汚染した。この結果、ドニェプル川の水を飲む 8 百万人が追加被曝し、又、3 千 2 百万人が、汚染水による灌漑や魚採取により被曝した可能性がある。ドニェプル貯水池系の年間商業漁獲高は 25000 t に達する。ドニェプル川水は 180 万 ha 以上の農地を灌漑している。これらの経路による住民の内部被曝線量形成寄与は平均 4－5 %と評価される。しかし個別地域によっては(ザポロジ州)20－60 %に達し得た。事故放出から遠い痕跡地にある淡水と海水環境系が、チェルノブイリ事故の影響を被った。バルト海産物中のチェルノブイリ起源の放射性物質摂取による集団線量は 1400 人 Sv と評価される。

事故後最初の月々中、高レベル水汚染により、水資源を防護する為の迅速な措置実施の必要性について、極度に厳しい問題が設定されるに至った。先ず初めに I-131 他の核種の人体への摂取を下げる行政措置が取られ、表層水源と給水からの汚染飲料水利用が制限され、地下水利用割合が増やされた。事故放出の 1 ヶ月後、水環境の放射能汚染予測が得られた。最初の予測評価は、極端に保守的で、水環境に対する可能な事故影響を過大評価していた。原発に近いゾーンから川への放射性核種の洗い出し係数を相当高くしていた(10－100 倍)。最も保守的な仮定では、キエフ貯水池水の住民による利用の禁止が検討された。極端な評価と並んで、比較的小部分(1 %未満)の放射性核種しか貯水池に達しないとする、より現実的な予測も策定され、厳格な制限が回避さ

れた。最終的には、後者の評価と勧告の方が全く妥当だった。しかし、このように他の対策を計画する時には、水環境の放射能汚染について、しばしば現実的ではない最悪の予測に基づく対応策の検討から出発した。

5.2 実施された防護措置の効果の分析

生産連合「マヤク」とチェルノブイリ原発における放射線事故の影響緩和に関し蓄積された研究成果によれば、その最小低減化は複雑、困難な問題であり、将来のこういう事故発生を防止する必要がある。直接、住民の放射線安全確保に向けた措置の他、常に放射線事故に対する効果的な対応システムを準備状態におき、情報研究を行い、技術に起因するリスク評価と、特に放射線事故リスクの十分な認識を同じく焦眉の問題として普段から認知すべきである。残念ながらこれら検討対象の放射線事故が発生した時点で、ソ連では、又、全世界(原子力先進国)においても、この種の活動は余り開発されていなかったか、完全かつ十分な原則やアプローチ法に基づいていなかった。その結果、事故後数十年を経た今でも、その影響を低減(最小化)する問題が最終的に解決されたとは言えない。

本書が論じている事故影響処理清算中に蓄積された、技術的及び組織的な防護措置の実施経験は、類例が無く、将来の放射線防護問題を解決する為、極めて貴重である。ここでは、これらの経験はソ連社会構造の次のような特殊性に結びついており、考慮に入れる必要がある。

- 非市場経済
- 環境汚染と住民に対する放射線作用に関する情報の秘密性と公開制限
- 無視する社会意識の役割

特に防護措置の経済効率の比較分析を困難にしたのは、旧ソ連における価格形成の特徴、農民の生活活動条件の社会-経済学的条件(特に南ウラル、そこでは事実上完全に自分の生産物を食品にしていた)だった。

防護措置を順調に作働させる為の典型的な状況は、数回の大規模投資(例えば、避難又は貯水池カスケード建設)に引き続く、連続的な運転費用の支出である。様々な時点における支出を比較するためには、インフレーションや、全体の価格水準との関連における個別支出項目の比重の変化等を考慮する必要がある。普通、これらの要因を考慮するため、割引計算法が適用される。特に高度の社会-政治的地位が賦与される防護措置に対する十分な基準割引率の選択は、複雑な課題である。理論的には、基準割引率は、需要と供給の平衡を特徴とする理想市場の分析に基かねばならず、様々な経済分野に対し同一である。基準割引率の近似として市場経済における割引率が使えたかも知れない。そこでは国家予算による投資の増加は、この財政資源の別の利用法と比べ経済的に正当化され得ただろう。しかしソ連では国家価格統制が明白に言明されていたが、90年間に状況が根本的に変化し国際価格に接近したため、様々な年における支出を基準年に換算するこのアプローチを実際に行うと大きな誤差を伴う状況下にあった。

本書で著者(I.I.Linge)は別の指標を用い、その時の平均賃金に対し数値的に同等になるよう費用を換算した。こうして50－90年代における価格変化の除去に成功した。

幾つかの場合には、防護措置と予防線量の関係が余り明確でなく、実施費用のみが評価された。これは、放射性物質閉じ込めに関する作業の特徴である

現在の眼で実施の効果が分析される防護措置は、5つのグループにまとめられる

- 事故源の隔離と、放射性物質の環境への移行を制限する追加の防護障壁の建設
- 環境における放射能源と住民との接触時間の制限。つまり避難、移住と住民の汚染地への接近制限
- 事故時被曝基準と規則の制定と順守
- 衛生措置と薬剤の処方(衛生処理、食品摂取制限、ヨウ素剤予防措置、他)
- 農業、林業と水利用における防護措置

汚染物質の除染、収集と隔離は、汚染レベルと規模、そして適用される方法と手段に非常に強く依存するので、現在の眼からは検討されない。

5.2.1 環境における追加の防護障壁の建設

テチャ川の貯水池カスケード

原子力産業創生の時期における技術は不完全性であった為、放射性物質の環境放出が高い頻度とレベルで報告されている。放出された放射線の影響に関する知識が不十分であった。しかし作業効率が最優先だった。放射能汚染の危険性が目前にあった場合でも、政府は兵器用 Pu と U の処理プロセス優先を続けた。

1951 年から、生産連合「マヤク」は、放出量を制限し、追加の防護障壁を建設し、放射性物質の環境における拡散を制限するため、総合技術措置の実施に着手した。これらの措置は有効な成果があった。$3.7 \cdot 10^{14}$ Bq (10000 Ci)に達した毎日の放出が、1951 年 9 月半ばには $3.7 \cdot 10^{13}$ Bq/日まで減った。最も重要な措置は、再処理工場施設からの放射能排水の放出先を、全てカラチャイ湖(沼)に切り換えたことだった(1951 年 10 月)。テチャ川への毎日の放出は$(3.7-7.4) \cdot 10^{12}$ Bq/日(100－200 Ci/日)まで削減された。以後、放出低減に関する追加措置が採られた。

1951 年から 1963 年までの期間に水理施設システム～テチャ川貯水池カスケード～が建設された。これは 4 つの貯水池(V-3、V-4、V-10 と V-11)と 2 つの水路を含んでいる。貯水池 V-11 の下の堤には排水系が備えられ、放射性核種の放出を防いだ。許容濃度を超えた場合には、汚染水は貯水池 V-11 に戻される。右岸と左岸の水路は、表層水の流出から防護するため建設された。この他、右岸水路を通り Misheryak 川の氾濫水、産業-生活用水と Argayashiy 熱電併給所用水が運ばれる。左岸水路を通るのは、Irtyash 湖とその上流の氾濫水と町の産業-生活用水である。

テチャ川貯水池カスケードの建設と運転費を、建設、改造費(表 5.3)と運転費に分けて示す。テチャ川貯水池カスケードの建設費は設計文書に基き評価される。基準換算係数を用い現在の米ドルに換算すると、テチャ川貯水池カスケードの全施設費は 1 億 3 千万ドル程度になる。

表 5.3 テチャ川貯水池カスケード建設費評価

施設	主な資材量(堤防建設、土掘削)			施設費、百万ﾄﾞﾙ (1984 年価格百万ﾙｰﾌﾞﾘ)	労働支出、人年
	土、千立米	ｺﾝｸﾘｰﾄ、千立米	鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄ、立米		
V-3	45	2.6	1155	2.7 (2.1)	160
V-4	180	10	1850	8.5 (6.6)	500
V-10	1600	5.6	80	13 (10)	750
V-11	1000	15	600	16 (12.2)	920
左岸水路	940	-	165	47 (36)	470
右岸水路	840		150	42 (32)	300
計	4605	33.2	4000	129.2 (98.9)	3100

テチャ川貯水池カスケード建設費の第 2 の要素～運転費～は、現時点で年間約 50 万ドルで、以前の期間は年間百万ドルを超えていた可能性がある。運転期間全体では約 3－4 千万ドルに達

した。このように現在までの全運用費は、1 億 6－7 千万ドルである。

最初の年々における河川水の汚染の変化についてのデータでは、放射能汚染状況改善における、各堤の役割やテチャ川貯水池カスケード全体の役割を正確には規定できない。何故ならそれらの建設と同時に放出も減ったから。放出停止後にも、遥かに低い程度とは言え、テチャ川貯水池カスケード地区からの放射性物質の放出は続いた。

90 年代末、湖沼遊水地からの洗い出しによるテチャ川上流の水中への Sr-90 移行量は約 $2\cdot10^{12}$ Bq/年 (50 Ci/年)だった。$1.5\cdot10^{10}$ Bq/年 (0.4 Ci/年)を超えない量が、貯水池 V-11 の堤を透過し入っている。左岸水路を通る放出は $(1.1-2.2)\cdot10^{11}$ Bq/年 (3－6 Ci/年)の範囲、右岸水路を通る放出は$(1.1-6.3)\cdot10^{11}$ Bq/年 (3－17 Ci/年)の範囲にある。

テチャ川水相の安定化を仮定した予測によれば、30 年後に川の遊水地からの洗い出しと流出レベルが、$1.1\cdot10^{12}$ Bq/年程度で平衡に達し得る。これは既に観察値に近いので、この期間は既に到来していると想定する根拠がある。状況が悪化するのは、川の年間水量が増えた場合のみだろう。

多年の観察データによれば、カラチャイ湖水の拡散範囲と比べ、全体としてテチャ川貯水池カスケード地区の川床水の汚染はなかった。汚染地下水が衛生-防護ゾーン外側に放出される可能性の観点から、唯一潜在的に危険な地区は貯水池 V-11 南岸である。

大きな貯水池の建設により、貯水池 V-11 の堤決壊時のテチャ川住民に対するリスクが防止された。90 年代初、原子炉の運転が中止されたため、テチャ川貯水池カスケードの水位が徐々に上がり始めた。堤 No.10 と No.11 の同時決壊の影響評価によれば、危険性としては、放射性物質の放出だけでなく、急速な水没もあるだろう。波の高さは、決壊場所の 9.4 m から、河口近くの 4 m にまで及ぶだろう。水没ゾーンの幅は 0.4 から 6 km の範囲にあるだろう。Muslyumovo 村に波の先端は 7.9 時間後に到達し、15.1 時間後、波頭高さは 12.3 m になり得る。テチャ川河口までの Muslyumovo、Brodkalmak 他の居住地が部分的に水没するだろう(45 時間後)。この惨事が発生したとすれば、蓄積された経験からこの状況で唯一正しい住民防護のための意思決定は、遅滞のない避難だろう。堤決壊の放射線学的影響評価は次の通り。貯水池 V-11 から $5.2\cdot10^{14}$ Bq (14000 Ci) の Sr-90 が放出されよう。約 $3.7\cdot10^{13}$ Bq は、Muslyumovo 村までの川遊水地に沈着するが、同村地区の Sr-90 濃度はほぼ 100 倍に高まる。その後 Sr-90 濃度は急減し、数年後元のレベルに戻る。イセチ川全長に亙り、堤防決壊後 1－1.5 年間、水利用を制限する必要があるだろう。

テチャ川貯水池カスケード地区の状況を大きく改善するに違いない措置として、弱い放射能汚染水を利用する産業の設置がある。そういう施設になり得るのが、南ウラル原発で、それは水処理と水浄化系により取水よりも放射性核種の少ない水を放出するだろう。同時に、水温上昇により蒸発量が増え、貯水池カスケードの水理状態の安定化[訳注:水位上昇の防止]に成功するだろう。

テチャ川貯水池カスケードを安全に維持する為の支出は無期限の長期間続けなければならない。こういう状況でより妥当なのは、一つの処理清算法として、浄化水放出によるテチャ川貯水池カスケードの水量低減があり得る。あらゆる物価高騰の折り、テチャ川貯水池カスケードを運用し終りのない費用を支出するより、この措置の方が経済的であり得る。

チェルノブイリ原発ゾーンにおける水保全措置

チェルノブイリ原発事故の直後、現実的に最も危険と評価されたのは、原発敷地から大量の放射性核種が洗い出され、プリピャチ川、そしてドニェプル川に達することだった。ドニェプル川の汚染防止の為、大量の作業が行われた。その主な動機は、「放出された放射性核種の全てが直ぐ

に川の網の中に洗い流されるか、又は、地下水、更に地下帯水層に達し、その後、田畑や 2 千万人に水を供給しているドニェプル川に至る」と想定されたことにあった。

非常に短期間の内に(1986 年)、特にドニェプル川の給水源の防護措置が実施された。プリピャチ川下流、ドニェプル川とキエフ貯水池への他の流入場所に、131 個の全長 18 km を超えるフィルタ及び盲ダム型水理施設、4 個の底トラップと 5 個の水中ダムが、建設され運開した。キエフとジトミル州の居住地には、570 個の自噴井戸が掘られ、810 km を超える水道管網が敷設された。実施された防護措置は十分長期間高い効果があると想定されたが、実際の効果は極めて低かった。幾つかの例を検討しよう。

プリピャチ川を守る為のフィルター付きダム施設

主な防護材は、クリノプチロライトで、46000 立米がフィルター材としてダム中に置かれた。1 立米のクリノプチロライトは 1 Ci の Cs-137 と結びつく能力があると期待された。実際の Cs-137 保持特性は設計の 3－4 桁下だった。これは主に、吸着材の粒子が大きかった(5－20 mm)ためだった。原発の北西にあるサハン川床における適用に対する詳細研究(集水面積 190 km^2 、Cs-137 存在量 $3.2 \cdot 10^{14}$ Bq (8550 Ci)、Sr-90 は $1.2 \cdot 10^{14}$ Bq (3340 Ci))によれば、浄化係数(ろ過前後の水中放射能の比)は、3 未満だった。1987 年増水期の Cs-137 の全体バランスは次の様に評価された。サハン川床からの洗い出し $1.8 \cdot 10^{11}$ Bq (4.8 Ci)～そのうち $1.0 \cdot 10^{11}$ Bq (2.8 Ci)は浮遊物に含まれる。プリピャチ川に到達 $3.3 \cdot 10^{10}$ Bq (0.9 Ci)～そのうち $0.74 \cdot 10^{10}$Bq (0.2 Ci)は浮遊形態で、底堆積物又は水中に存在 $9.6 \cdot 10^{10}$ Bq (2.6 Ci);吸着 $1.1 \cdot 10^{10}$ Bq (0.3 Ci)。このように、サハン川における措置の結果吸着されたのは $1.1 \cdot 10^{10}$ Bq (0.3 Ci)で、集水域存在量の 0.004 %未満だった。以後の期間の同じ著者の効率評価は更に良くない。「原発隣接ゾーン内の河川に対し放射性核種低減の程度の評価を行ったが、フィルターダムの効果は低かった。つまり、ダム通過前後の Sr-90 と Cs-137 濃度差は、測定誤差の範囲を出なかったことが確認された」。こういう防護措置にマイナスの影響として、ダムが泥土で埋った後、その場所が水浸しになり、沼化した。そういう森の浸水面積は 4000 ha あった。

同じようなマイナスの評価を、フィルターダム建造に関するあらゆる総合措置に与えることが出来る。ウクライナ地域にこの施設を実現する為の支出は近似的に約 7 百万ルーブル、ウクライナとベラルーシ地域全体では 950 万ルーブル以上と、1986 年価格で評価される。これは平均賃金で 4 万 6 千人月分となる。

川床砂利場

総合水保全措置として、プリピャチ川のチェルノブイリ市から河口までの区間に 3 つの所謂「川床砂利場」が建造された。撤去された土壌の量はチェルノブイリ砂利場で 16 万 2 千立米、オタシェフスク砂利場で 29 万立米、そして、イワンコフ砂利場で 390 万立米である。

川床砂利場の建造は、浮遊粒子又は底堆積層に吸着されている放射性核種を維持し、川の流れに乗りキエフ貯水池に輸送されないようにするためだった。その建造時点では明らかに、増水期の放射性物質搬出の危険性を過大評価していた。後で行われたプリピャチ川の固体流出物による Cs-137 搬出量は、1987 年増水ピークで $1.9 \cdot 10^{11}$ Bq/日(5 Ci/日)以下、1988 年には(3.7－7.4)・10^{10}(1－2 Ci/日)以下だった。1987 年間の浮遊物による Cs-137 搬出量は、$7.4 \cdot 10^{12}$ Bq(200 Ci)だった。Cs-137 の川床砂利場による保持効率評価によれば、チェルノブイリやオタシェフスクのような小さな川床砂利場は事実上効果がない。何故なら、その中に蓄積している泥は春の増水期に

簡単に砂利場から離れるから。最初の年のイワンコフ砂利場の効果は、固形物と共に搬出される固定性の良い Cs-134 と Cs-137 に対し 10 %以下と評価された。Sr-90 に対しては砂利場の効果は有意でないと認識された。初年以後、イワンコフ砂利場中の Cs-137 蓄積量は(4.4－7.4)・10^{11} Bq(12－20 Ci)だった。

砂質の放射能の少ないものが砂利場に堆積し、放射性核種の大部分を維持している泥成分が主に輸送されたので、川床砂利場の効果は設置初年ですら低かった。事故から 3 年経過するとイワンコフ砂利場は事実上完全に砂で埋ってしまったためか、キエフ貯水池上部は汚染泥堆積物で塞がれてしまった。底トラップの直接建設費は合計約 1 千万ルーブリ(1984 年価格)で、5 万人分の平均月給となる。

フィルター幕。放射性物質をプリピャチ川に固定する積極的措置

実験的にプリピャチ川で鉱物を用いた障壁の建造が試みられた。2 昼夜の間絶え間なく(1986 年 6 月初)、はしけから敷地堰堤に、クリノプチロライトと炭酸塩を添加したトリポリ火力発電所の灰が捨てられた。搬入された 7000 t の吸収混合物により、川に流れた数万 Ci のうち 1.5・10^{12} Bq (40 Ci)が捕獲できた。

チェルノブイリ原発貯水-冷却池からの放射性核種移行の予防

原発の破壊した炉心の冷却に用いられた水が放出された結果、貯水-冷却池は、放射性核種により強く汚染した。貯水池中の放射性核種内蔵量は現在の評価によれば次の通り。Cs-137 が 1.3・10^{14} Bq (3500 Ci)、Sr-90 が 3.0・10^{13} Bq (800 Ci)、Pu-239 が 1.1・10^{11} Bq (3 Ci)。貯水量は 1.6・10^{8} 立米で、浸透によるそこからの流出量は(1－2)・10^{8}/年に近いので、貯水池からプリピャチ川に放射性核種が移行する脅威がある。1986 年に水施設を放射能汚染から守る最初の作業として、原発を取り巻く不浸透性の壁～深さ 30 m の粘土の隔壁～が建造された(計画長 8－8.5 km、実現 2.8 km)。この他、長さ 5.5 km に及ぶ排水井戸系の建設の試みが提案された:南部遮断排水井戸 54 個、プリピャチ川沿岸鉛直排水井戸 96 個。

貯水-冷却池とプリピャチ川の間の排水幕の建造費だけで～運用されなかった～、約 2 千 2 百万ルーブリかかった。プリピャチ川の 2 次汚染予測によれば、有意な脅威ではなかったとは言え、期待されるプリピャチ川の全 β 放射能上昇は約 30 Bq/立米だった。

このように最初に 1987－88 年間に行われた科学的に根拠のある貯水-冷却池からプリピャチ川への移行評価によると、数百メートルの距離のろ過過程は遅く最小限で、運用上の措置は不要だった。その後の研究でも全体としてこの結論を見直すには至らなかった。1992－1997 年間の貯水-冷却池からの Sr-90 の流出放射能は約(2－4)・10^{12} Bq だった。

移行が強力で、検討された防護措置に大きな効果があるという誇張は、かなり長期間存在した。例としてある論文中の評価が引用できる。そこでは、具体的な研究結果を何ら引用することなく、科学的な分析は言うに及ばず、次のことが確認されている。「ソ連民間防衛軍のデータによれば、ろ過ダムを用いると水中 Sr 濃度は 15 分の 1、Cs-137 は 35 分の 1、細かな浮遊粒子は 350－450 分の 1 に下がる。ゼオライト通過後、水は事実上完全に浄化される」。

全体として、汚染地域の Cs-137 蓄積量に比べ水の道により移行する放射性核種の割合は、そう有意ではなく、溶解形態の Cs-137 流出量は、時と共に十分明白に減る。1987 年から 10 年後、プリピャチ川水に溶けた形態での Cs-137 流出量は、キエフ貯水池からの流出量と等しく、ほぼ 10 分の 1 に減った。

このように、原発ゾーンで実施された全ての水保全総合措置の効果を分析し、全体として評価すると、次のことを認めるべきである。事故後初年に想定された大規模かつ長期の措置は、あるべき防護効果がなく、一連の場合には地域の水没という形での、望ましくない環境影響があった。

防護障壁を建造する措置には明確に現れる社会的影響はなかった。不安を下げるのに役立ったとすらコメントできた。何故なら、事故影響克服の努力の全体量が、一瞥して明らかだから。但し、こう大規模では恐怖を高めただけだという別の意見もある。しかし、次の事実をコメントしない訳には行かない。これらの作業を実施した数千人は所謂「事故処理清算者集団(cohort)」であり、彼らはあらゆる社会的及び心理的問題を抱えている。

防護措置の定量的評価を表 5.4 に示す。比較の為に思い出そう。テチャ川貯水池カスケードでは放射能 1Ci を閉じ込める為に約 500 ドルを要した。チェルノブイリ原発ゾーンの水保全措置では、1Ci 閉じ込めの費用は 230 万ドルに達し、何千倍にもなった。

表 5.4　チェルノブイリ原発ゾーンで閉じ込め水保全措置の効果と環境影響の評価

防護措置	閉じ込め Cs-137 放射能、TBq (Ci)	費用 千.平均月給	動員要員数、人	単位費用 千.平均月給/TBq (千.平均月給/Ci)	環境影響
ろ過ダム系	0.074－0.11 (2－3)	46	3000	420－620 (15－23)	森面積 4000ha が浸水。
川床砂利場	0.44－0.74 (12－20)	50	500	68－114 (2.5－4.2)	450 万立米の砂によりキエフ貯水池の底堆積物となり得る泥を捕獲。
貯水-冷却池隔離	0.037 未満 (1 未満)	100 超	1000 超	2700 超 (100 超)	チ原発敷地の地下水位上昇。

上記の原発ゾーンでの水保全措置に関する費用と得られた便益の関係については、別の観点がある。その理由は、決定原則「ドニェプル川に至る放射性核種の移行経路を遮断する為、費用を考えず可能なことを全て行うことが避けられない」だった。完全に納得できるものではないが、「これらの措置はロシア専門家の勧告に基づいている」との引用があった作業もあった。それは専らチェリャビンスク事故に向けられたものだった。全くの所、このアプローチだけが、我々ウクライナ専門家にとり唯一可能だった。例えば、プリピャチ川に燃え滓放出のような、最もエキゾチックな措置がウクライナ科学アカデミーのイニシアティブで行われた。更に勇ましい提案がウクライナ科学アカデミーとウクライナ水理省により提案された。これは新しい川床を建造し、最も汚染した地域に入る前に北側でプリピャチ川を迂回させる提案だった。興味ある証拠として新しい川床を作るというアイデァの記述の特徴は明白に、土中壁の建造と同等だった。

全体として確認できるように、チェルノブイリ原発事故後、テチャ川で蓄積された「水」の役割が完全には考慮されなかった。この原因の一つは、明らかに、この方面の研究の秘密性だった。この経験から教訓を引き出し、十分に根拠付けることは、将来のために極めて重要である。明らかに、「チェルノブイリ」の状況は、「南ウラル」と比較し、異なる。ウラル事故では、約 3 百万 Ci の放射性物質(面に可溶性の放射性核種)が開放水網に放出された後、それ以上の拡大を予防する措置が解決された。チェルノブイリでは数十万 Ci が様々な形態で表土中にあり、その洗い出しを予防する課題が解決された。しかし、この課題を解決する手段はテチャ川におけるやり方に符合しており、水理施設の建設が目指された。

経験を完全に抽出する観点から、ウクライナ専門家による開発された、チェルノブイリ収容ゾーンを安全な状態に転換する全体戦略を検討しよう。この基本概念を正当化する前提は、環境影響が最低ということである。放射能危険源は次のように分けられる。

1. 放射性核種による表面汚染: Cs-137 (全存在量$4.1\cdot10^{15}$ Bq ～ 11万Ci)、Sr-90 ($4.7\cdot10^{15}$ Bq ～ 12万7千Ci)と Pu ($3.0\cdot10^{13}$ Bq ～ 800 Ci)
2. 「シェルタ[石棺]」内にある核的-及び放射線-危険性のある物質。量は約 180 t、合計放射能は約 $7.4\cdot10^{17}$ Bq (2千万 Ci)
3. 原発運転の結果蓄積された放射性廃棄物。特に廃炉時に出てくる放射性廃棄物
4. 放射性廃棄物の埋設地(長期管理可能埋設)と、除染の進行に伴い作られた放射性廃棄物の暫定閉じ込め場所
5. 原発の貯水-冷却池。

上述の危険性リストは、一連の注意を引き起こす。先ず、「シェルタ」が核的に危険であるという評価である。客観的な分析に基く十分に多くの研究によれば、この放射能-危険施設は、核的に危険ではない。この他、4 号炉事故との関連で、原発ユニットの通常運転の結果形成された放射性廃棄物は、完全に正確には検討されていない。少なくともこの基本概念が予定している当面の間(2020－2025年)、放射性廃棄物を安全に取扱う問題を解決出来るような設備と技術はある。

ゾーン境界外に放射性核種が移行する可能な経路は、川、空気、生物起源及び技術起源と認識される。定量的には次の通り。1989－1993年間の観察による表面水～ $(4.1－15.7)\cdot10^{12}$ Bq (112－425 Ci) Sr-90 及び $(1.9－4.6)\cdot10^{12}$ Bq (52－125 Ci) Cs-137、空気輸送～有意でない、生物起源(渡り鳥)～年間数 Ci、技術起源～年間 1Ci 未満。地下水中への放射性核種移行は事故の 20－30 年後潜在的に危険と評価される。

基本的概念の前提と想定される研究方向中、最大の議論の的についてだけコメントしよう。

第1に、「シェルタ」施設の潜在的危険性の過大評価である。例えば施設破壊を含む、如何なる事故シナリオに対しても、影響は制限されているだろう。それは汚染地域の様相に深刻な変化はもたらさない。

第2に、基本概念は発電ユニットの無条件の運転停止と、貯水-冷却池を含む原発のインフラ要素の処理清算を志向している。将来の唯一の種類の産業活動として、放射性廃棄物処理・埋設国家センタの建設が検討されている。これ自身は事実上、建設された原発とスラブチチ市の現代的なインフラを要求してはいない。スラブチチ市の社会-経済的発展問題の解決は、何か別の手段によると想定されている。

水保全措置の部分で、基本概念は、現存施設の運転の他、新しい構造物の建造(プリピャチ川右岸に対増水ダム、排水路を建造しベラルーシ側からの流出を防止)、冬季の対積雪措置を想定している。この他、以前行われた介入の影響の処置清算作業も予定されている(運用されていない井戸の施)。

経済的便益を伴わない大規模作業の実施は、無料の資源があって可能になる。現在のウクライナの経済状況を考慮すると、この基本概念の完全実施は、ありそうにない。近い将来の年々に、ゾーン中で放射性核種の移行を管理し、1986年に建造された井戸系を維持する緊急作業のみが行われると期待されよう。

5.2.2 住民に対する放射線影響レベルの制限

これらの集団の防護措置(シェルタ収容、避難と移住、子供と妊婦の一時的搬出、放射能汚染地域への接近制限)は、本質上単純で、住民に理解された。予測線量を下げると言う意味での効果は高い。しかし直接の物質的損失だけでなく、そういう措置の心理的認識に係る費用は、遥かに大きい。

住民被曝の予防に直接関連する防護措置は、次の面から検討するのが妥当である。予防線量、防護措置の価格、防護措置に伴うリスク、社会的影響、実践上の問題点。

汚染地域への住民接近の制限

歴史的に最初に実施された防護措置(残念ながら遅れたが)は、テチャ川への住民接近制限と水利用制限だった。1951 年初、水利用を完全に禁止するため、Metlinsk 貯水池岸に監視所が置かれた。1951 年秋、禁止はテチャ川上流の全ての居住地に拡大された。その後、鉄線柵が建造され、1956 年にテチャ川とイセチ川に保全部隊が導入された。代替水源として、沿岸の村に井戸や噴水井戸が作られ、漸く 1955 年に全ての居住地に確保された。しかし、灌漑や動物飼育用水として多くの場合、住民は以前通りテチャ川の水を使った。全体として 1952－1957 年間にこの措置のため相当の予算が費やされたが、大きな結果はもたらされなかった。最も重要な原因は、完全秘密主義と関連があり、住民にも現地政府にも伝統的な生活様式を変えるだけの深刻な動機が無かった。つまり住民は禁止の理由を知らされなかったし、彼らになされた説明(水の細菌及び化学汚染)は考えられないように思えた。住民の伝統的生活様式である川への愛着(漁業、水鳥、水利用)の方が強かった。移住と衛生-保全ゾーン体制の設置後、完全かつ厳格に順守する意味で、制限がより有効になった。

制限的な防護措置の比較分析が正しいのは、具体的な状況(場所、時間)に対してのみである。ある研究では、様々な経路(水摂取、その菜園灌漑利用、岸辺草原への放牧)について、Muslyumovo 村川辺に 1953－1954 年間と 1970 年代に住むことに対する被曝線量が評価された(表 5.5)。

表 5.5　Muslyumovo 村民の 1953－1954 年間と 1970 年代の期間における最大可能被曝線量評価

摂取又は被曝源	摂取量(kg/年)又は河辺滞在時間、年	制限がない場合の 1953-1954 年間の線量、mSv/年	制限を守った場合の 1953-1954 年間の線量、mSv/年	制限がない場合の 1970 年代の線量、mSv/年	制限を守った場合の 1970 年代の線量、mSv/年
川水	550	35*	<1	0.5*	なし
魚	5.5－20	15－60*	0	0.3－1.2*	なし
ミルク	120	14*	<1	0.9*	0.016
肉	10－40	1－30*	<1	0.06－2*	0.002
野菜	70	1.5*	<1	0.1*	0.04
汚染地滞在	0.017	5.4**	0	1.4**	0
合計		72－150	<4	3.2－6.1	0.58
*小腸下部線量　　**全身線量					

このように Muslyumovo 村のテチャ川に対する制限措置は、1953－1954 年間で 150 mSv まで、1970 年代で 5 mSv 程度の線量を防止できた。

チェルノブイリ原発地区で最初の接近制限措置が取られたのは、事故の数時間後だった(4 月 26 日朝 9 時、秩序の維持の為、プリピャチ市に約 600 名に軍作業者が入った)。状況がよく判らず、事前に策定された事故時作業管理システムがなかったので、最高危険区域に対する接近制限の効果的組織化は困難だった。それでも事故ゾーンへの接近制限は急速に明確な様相を得た。1986

年 5 月、チェルノブイリ原発回りに柵を設け、保全体制に置く決定がなされた。1986 年 7 月、10-及び 30-km ゾーン境界に警報システムを装備する作業が終わった。短期間に効果的なゾーン保全システムの設置に成功し、それは輸送物の汚染管理とその除染に巧く符合していた。1986 年 5 月から 1988 年 1 月までの期間に、170 万の輸送物がチェックされた。しかし、厳重に接近管理をしても、1987 年春のゾーンへの住民の自発的帰還は防げなかった。1988 年秋までに、このゾーンのウクライナ地域には既に 1200 人が住んでいた。ベラルーシ地域でその数は 6500 人に達した。

汚染地区への接近制限の可能性を全体として分析すると、効果的なシステムが作れると確認できるのは、次を含む総合的アプローチしかない。

- 接近制限を実施する組織を準備する計画実施と決定措置がある
- 人々のアクセス、輸送設備汚染とゾーンから搬出される資材の総合的管理

理解できる理由として、事故地区で接近制限の運用により、集団及び個人線量が大きく節減され得る。チェルノブイリがそうだったように、もし接近制限が短期間行われ、特別のシステム装備もなければ、この防護措置に伴うリスクはそう高くなく、経費もまったく妥当であり得る。必要な情報供与に伴う社会的影響は容認できよう。それどころか非常に極端でも短期間なら、この措置は社会意識面でプラスに評価され得るだろう。つまり、「政府は運用上第一の措置を採ったが、それは後で放射能汚染状況が明らかになった後は、過剰と判った」と言うことで。

避難と移住

テチャ川。1951 年既に、テチャ川沿岸民の移住の必要性が検討されていた。しかし移住は決定されず、放射性物質の放出低減と水利用制限による健康状況の改善が大きく期待された。

1951 年 7－9 月、放出場所に近い居住地 Metlino 村住民に初めての医学-線量測定検診が行われた。以後の年々、この検査は繰り返された。1953 年既に、住民の健康状態は悪化し、一部住民には慢性放射線病が現れていることが明らかになった。医学-線量測定検査の結果、放射性廃棄物が放出された場所に近いテチャ川岸住民に移住が勧告された。このように、当時、移住の根拠となる放射線学的な基準は設定されていなかったが、法的に医学的勧告が重用された。

「マヤク」指導部により、1954 年に住民数 3300 人の 16 の小さな村とテチャ地質調査所村の移住が提案され、1955 年に更に 5 つの大きな居住地の移住が提案された。その中で最大の Muslyumovo 村はとどのつまり今もって移住していない。しかしソ連閣僚会議 1954 年 7 月 11 日決議により、1955 年 5 月までに、10 の居住地住民だけが移住するよう指示された。1954 年秋、政府により、移住者に対する特典と補償システムが承認された。1956 年 9 月、ソ連閣僚会議により、テチャ地質調査所村の移住が決定された。その後、移住計画は削減された。主に、増水期に浸水する個別住民の家だけが移住が必要と認識された。残りの場合には、代替給水設備(水道、井戸)が提案された。大いに期待されたのが、きれいな水をテチャ川に流す迂回水路の運開だったが、川が浄化が期待されるという予測は正しくなかった。そこで移住が続いた。1954－1960 年間に全部で 21 の居住地から約 8 千人が移住した。

これらの措置を評価すると、明らかに対応が遅れたことが確認できる。現地レベルでの社会的影響は主に、川沿岸の伝統的生活様式の喪失と関連している。社会全体に対する影響は、如何なる形でもマスコミでは取り上げられなかったので、80 年代末まで事実上ゼロだった。1989－1991 年にチェルノブイリ事故の影響下でテチャ川に関する全ての資料の秘密が解除され、この地域の 50 年代の出来事が、社会的注目の焦点になった。

以前に行われた被曝線量変化のデータにより、3 つの住民集団*に対し、より早期の移住により防止できた線量の価格が評価できる(表 5.6) (注*: Ⅰ－Metlino から Kurmanovo、Ⅱ－Karpino から Zatechenskoe、Ⅲ－イセチ川沿岸民)。1 人 Sv 当りの許容価格を 2 万ドルとすれば、集団Ⅰの移住は 1952 年末まで、集団Ⅱは 1951 年末までの期間正当化され、集団Ⅲは移住不要だった。

表 5.6　様々な期間に移住した時の「費用-便益」比 [千ドル/人 Sv]

移住可能日	集団Ⅰ	集団Ⅱ	集団Ⅲ
1950.01.01	2	9	36
1951.01.01	3.4	15	46
1956	90	160	1000
1963	150	300	1700

1957 年事故。南ウラル放射能跡の近接頭部には、数個の居住地があり、線量率範囲は 170－400 μR/秒だった。放射線状況予測によれば、最初の 1 ヶ月住むだけで外部γ線量は 1 Gy(100 rad)に達し得た。この予測に基き、避難が決定された。この居住地住民 1383 人の避難は事故の 10 日後終わった。

その後、現地産物の高い汚染が下げられなかったので、東ウラル放射能跡内部で追加の住民移住が決定された。2 年間に 20 の村の住民が移住した。このうち 6007 人は 250 日後、3367 人は 1 年強後、2006 人は 3 年後だった。

実現され予防された被曝線量と、移住時期及び費用との関係の分析によれば、移住が正当化されるのは事故後早期の半年間に決定された場合のみである。予防線量 1 人 Sv 当りの緊急移住費用は 350－600 ドルを超えないが、250 日後の移住では 6 千から 6 万ドルの範囲になる。以後の移住では線量予防費用は急増し、遅い移住では 1 人 Sv に対し数十万米ドルに達する。

緊急移住に伴う外傷他の身体的リスクに関する正確なデータはないが、移住により引き起こされた可能性のある自殺が 1 件想起される。以後の移住は、住居の準備に応じ段階的に行われた。それにより移住に伴うリスクが更に低減できた。

社会的影響は局地的性格を持っていた。何故なら、テチャ川の事象と同様、その原因は社会に対し隠されていたから。緊急移住は家畜の処分と私有財産の喪失を伴ったので、個人レベルでの認識は明らかに非常に深刻だった。コメントすべきこととして、特に遅い段階の移住では、家と財産に対し最大限の補償を得ることに住民は遥かに熱心になった。

チェルノブイリ事故。最初の避難決定(プリピャチ市とヤノフ駅)は現地政府委員会により 1986 年 4 月 27 日朝行われ、避難自身は同日日中に行われた。プリピャチ市の避難はチェルノブイリ原発所長が決定できたが、彼は行わず、自分自身の職務に違反した。それでも執行部は、予定されていた事故時計画を用い個別様式のものを策定した。これは一連の文書により確認される。例えば、政府委員会レベルでの決定の前に自動車輸送の準備は始められていた。ほぼ同じ理屈から 30-km ゾーンの移住が決まった。原子炉が破壊したという事実が明らかな状況では、事象進展の予測～特にその後の放射能汚染の拡大状況～は判らなかった。これが正しくタイムリーな決定だった。

避難費用の評価では、大部分の公式情報源は自然な指標によっている。例えば、ウクライナでは移住者に対しアパート 8200 戸と、8500 軒の一戸建てが提供された。同じ情報源によればベラルーシでは 1986－1987 年間に 9770 軒の一戸建てが建設された。費用を近似評価すると、同年の物価で 1 億ルーブリであり、賃金単位では 50 万人・月になった。処分財産の補償もほぼ同量だっ

た。このように11万6千人移住の全費用は約100万人の月給分である。これは現在のロシアの物価では約1億ドルに相当する。単位線量1人Sv予防当りの費用は、最高汚染居住地の1000ドルから、より汚染の低い場所の15000ドルまでになるだろう。例外は30-kmゾーン内の非汚染居住地区である。どちらの評価も、1986年4−5月に行われた避難を完全に正当としている。上述を大きく超える他の評価もある。

避難の社会的影響が克服できるのは事故後初期のみのようだ。後ではそれは深刻化し、1000人以上〜普通は老人〜が、元の住所に戻った。主な理由として彼らが挙げているのは、

- 与えられた住宅の質に不満
- 幾つかの家族が共通の台所のある家に居住し、主人の感覚を失い、心理的に緊張し不平不満が増大した
- 新しい居住地の自然環境に不満

人間関係や心理的ストレスから、それまでに蓄積された親戚、友人や文化的な繋がりが破壊され、やる気と心理的状態が悪化した。帰還の理由の大部分は、生家に対する愛着だった。明らかに、帰還の動機として重要な役割を演じたのは、高齢者の新しい生活条件と環境に対する適応能力の低下だった。これらの人々にとって、収用ゾーンに住むことは心配を引き起こさない。回答者の75%は、被曝に間連する危険性について聞くのを望まなかった。

スリーマイルアイランド原発事故(米、1979年)と同様、チェルノブイリ原発事故後最初の数日いや1週間は、避難の可能性に対し個人的反応の枠内ではパニック気質が表れた場合もあった。事故が起ったという情報に対するそういう急性反応の他に逆反応〜抑制反応〜もあり得る。個別訪問後、プリピャチ市では20人が避難を逃れようとした。こういう気質は、村では更に強かった。

これらや他の諸要因を組織的避難措置の際には考慮しなければならない。その中で最も重要なものを摘出すると家族は全員揃って避難しようとすることや、文書他の貴重品の扱いについては非常に入念に教える必要がある。

1986年夏、数十の居住地が移住した(ブリャンスク州の4つの小さな居住地を含む)。避難理由は、事故後初年の予測線量が高かったことだ。重要なこととして、これらの居住地は30-kmゾーンから遠い所にあった。この後、1988年に至るまで、移住問題は発生しなかった。それどころか、30-kmゾーン内の4つの居住地に住民を帰還させる案が検討された。

1987年末には、基本的な種類の農産物の汚染レベルについて自然界の情報が大量に蓄積されていた。この時点で主になったのは、根からCs-137とSr-90が摂取され植物そして畜産物に行く経路だった。当時、事故後様々な期間における農産物中のCs-137とSr-90含有量の、保守的ではあるが十分信頼できる予測計算が行われた。これらのデータは、「東ウラル放射能跡」に関し得られた情報を考慮しており、長期間の内部被曝予測線量をより正確に推定できた。同時に、所謂「厳重管理区域」(Cs-137土壌汚染密度が15 Ci/km^{2}を超える居住地)における制限システム実施によるマイナスの影響について、十分な量の全体情報が蓄積されていた。そういうマイナスの影響に属するものには社会的なもの(最も有能な専門家の流出、伝統的生活様式の破壊〜自留地生産、キノコとイチゴの採取、等)と、医学-衛生学的影響(制限又は自己規制によるバランスの取れていない食事)がある。これらのデータに基き NCRP の枠内で、住民被曝の暫定許容レベルを毎年設定することから、様々なやり方への移行が開発された。一般的考えは次の通り。多くの居住地で

は至近年に、住民生活に直接触れる制限の緩和が可能だった。厳重管理区域の別の地域では、年々強力な防護とリハビリ処置が採られ、それによっても大多数の制限を取り除けただろう。最後に第Ⅲ群の居住地に対しては、制限は無期限の長きに亙り、継続する必要があったので、移住が提案された。基準自身もNCRPで一度ならず審議された。その結果1988年に、所謂35remの考え方が採用され、チェルノブイリ事故による追加の被曝線量の許容値として、全生涯に対し350mSvが提案された。

この考え方が政府により承認された後、専門家の支援を得て、居住地と予想線量のリストが作られ、線量が350－500mSvの範囲に入る居住地では、あらゆる低減の可能性が検討された。ロシア共和国とウクライナ共和国政府決定レベルで現実の歩みが進み、移住可能居住地と移住時期のリストが定められた。NCRPの考え方は、国際組織の側から、非常に厳格で保守的と評価された。然るに、当時のソ連特有の政治状況で、こういう考え方は社会の注目の的になり、ウクライナとベラルーシでは全く別の評価がなされた～住民の健康を無視し、これらの民族ジェノサイド[抹殺]を目指すも同然ではないかと。この問題は第5.3節でより詳細に検討する。

その結果、移住基準として追加被曝線量5mSv/年が検討されるようになったが、残念ながら一連の専門家の全面的反対にもかかわらず、別の指標が使われるようになった～Cs-137 土壌表面汚染密度である。基準ではSr-90とPu-239、240が予定されたが、実際にはそれらは殆ど使われなかった。1990年初、提案された移住規模は次のように提案された。ウクライナ2910家族、そこから1991年には2287家族に増えた。ベラルーシでは、国家プログラムによれば、1990－1992年間に9万4100人の移住が予定された。実際には1990－1991年間に5万2200人が移住した。ロシアでは1990－1992年間に義務的に1万5千人以上の移住が計画された(Cs-137 汚染密度30 Ci/km^2 超)。全体として、移住ゾーンと任意移住権ゾーンを勘定すれば、移住規模は8万4200人と評価された。

一人当りの移住費用は、全3カ国でほぼ同じ～当時の価格で40、000ルーブル/人、又は、(130－150)月給分(現在のロシアの条件では1万3千－1万5千ドル)～と評価された。このように遅い移住の場合の人Sv当りの価格は極度に高く、最小値でも約13万ドルである。

採用された移住計画が、マイナスの社会的影響を何倍も大きくしたこともあった。まずかった移住決定の例として、町型のポレスコエ村の移住が挙げられよう。そこではキエフ州の50居住地のそれぞれに、9から560の家族が散らばっていた。

極めて非均質的な、所謂染みのような特徴を持つ汚染に、採用された表面汚染基準を厳密に適用したため、移住される居住地はより汚染の少ない地域に囲まれ、相互に大きく離れて存在していた。これは、社会意識中で、明確な事故ゾーン境界を洗い流してしまい、事故を何処にでもあるものにした。人間と社会にとっては、危険ゾーンの境界という考えが重要である。これを確認するのが、移住ゾーンや収用ゾーンからの安全距離に関する多数の住民からの質問だった。こうして移住プロセスは、隣接地域で雪崩プロセスの進展を引き起こした。最初に高い能力のある専門家～医療関係者、先生、農学者等～が去った。これは当然の順序として、子供の居る家族等の脱出を誘発した。

大規模移住プログラムを実際に完全に実施した旧ソ連圏国家は一つもない。経済的困難の増大により、放射線危険性の評価が棚上げされ、1992年既にロシアの最高汚染地区の人口移動が差引きプラスになった。

移住プログラムの実施が困難なことは、ロシア連邦政府決定(1989.10.5 と 1990.03.16 付)によ

る強制移住居住地人口の変化データが実証している(表 5.7)。住民数 100 人以上の居住地で完全移住に成功した所は一つも無い。最も割合が高かった Sbyack 村では、500 人以上が移住したが、それでも 20 人は移住を拒否した。

表 5.7　ロシアの放射能汚染ゾーンからの移住民

居住地	Cs-137 Ci/km^2	住民、人						計画実施率、%
		1986 年	1989 年	1991 年	1992 年	1993 年	1995 年	
ロシア共和国閣僚会議指示、1989.10.05 付 No.878 (移住計画期間 1989－1993 年)								
Zluynkov 地区								
Otolpenko	35	28	17	0	0	0	0	100
Sennoe	32	123	117	125	69	60	49	60
Savitskiy Log	33	157	138	144	76	42	7	96
Chexov	35	63	58	53	12	7	3	95
Krasnuy Kamen'	27	75	59	65	20	28	10	87
Zarech'e	35	24	28	24	5	0	0	100
Medvej'e	28	61	49	50	0	0	0	100
Kamen'	24	222	171	171	80	32	26	88
Krasnogor 地区								
Zabor'e	97	1065	932	609	201	183	166	84
Nikolaevka	72	472	384	110	88	79	69	85
Berezovka	27	32	23	2	0	0	0	100
Mixalevka	24	39	23	5	0	0	0	100
Yamshtche	49	87	71	12	6	4	1	99
Aleksandrovka	34	94	54	50	0	0	0	100
Yalovka	63	1967	1353	912	830	789	736	63
Novozuybkov 地区								
Orel	33	6	32	4	0	0	0	100
Moshok	33	10	10	5	0	0	0	100
Borok	32	20	11	10	0	0	0	100
Sbyatck	34	632	673	593	95	28	21	97
ロシア共和国閣僚会議指示、1990.03.16 付 No.293 (移住計画期間 1990－1993 年)								
Gordeev 地区								
Zaytsev	16	63	53	58	27	21	16	75
Ermaki	15	53	39	38	8	9	8	85
Zasechnuy	16	11	3	0	0	0	0	100
Dyagov	20	60	55	50	12	4	2	97
Kojanuy	35	981	881	857	570	512	541	45
Krasnogor 地区								
Uvel'e	40	839	749	435	480	456	451	46
Podslabushka	19	70	38	6	0	0	0	100
Bayluki	26	79	43	19	3	0	0	100
Zaozer'e	27	34	24	2	0	0	0	100
Barsuki	20	35	25	9	0	0	0	100
Gorodok	13	40	20	2	0	0	0	100
Lesnoy	21	44	34	0	0	0	0	100

このように、緊急及び計画移住の実践経験によれば、それが線量低下のために有効で実現可能なのは、事故後早期だけである。逆の場合、移住は長引く社会経済問題に転化し、それを無くする解決策の明確な展望はない。つまり、事故から 15 年経っても、ウクライナ、ベラルーシそして程度は低いがロシアで、以前同様、移住居住地と移住順序のリストが存在している。

現在では、放射線管理や放射線状況予測が実時間で可能で、原則的に向上しており、革新的な防護措置により更に効果が上がる可能性がある。重要なことは、完全な事故対応システムを作り上げ、それを実践できるような決定を行使するだけだ。

子供と妊婦の一時移動。胎児と若年子供の放射線感受性が高いと言うデータが、放射線事故ゾーン境界外に妊婦と子供を一時的に移動するような選択的な防護措置の根拠となった。世界で始めて、それはチェルノブイリ原発事故後実践された。先ず、1986 年夏季に、厳重管理ゾーンからクリーンな地区へ子供と妊婦の組織的移動が提案された(子供と青少年約 8 万人と妊婦約 5 千人)。しかし、実際に実施された措置の範囲の方が広かった。1986 年 5 月から 6 月初めまでに、ウクライナの放射能汚染地区から夏期休暇に 20 万人以上の子供が移動させられた。ゴメリ州の南 3 地区からの子供と妊婦の移動は 5 月初に、モギレフ州とブリャンスク州からは 1986 年 5 月終りと 6 月初めに行われた。移動時期と期間に応じ(平均夏の 3 ヶ月)、1986 年の線量低減量は、年間線量の 15－20%又は 70 年間全線量の 5－8%だった。最高汚染地区からの早期搬出時、この値は 10－30mSv に達し得た。

費用は十分控えめだった。と言うのは、大部分の子供は地域の夏季保養所や少年団キャンプに収容されたからである。従って、強く汚染した地区に対する措置の費用効果は、1 人 Sv 当り約 4000 ドルに達し得た。キエフを含む汚染のより少ない地区から子供を移動させた場合、単位予防線量当りの費用は数十、数百倍になった。

この防護措置の社会的影響は、詳細に研究されていない。概してプラスの評価は、非常に広い範囲で行われたためだろう。しかし同時に汚染地域の妊婦に特に注目したことは、マイナスの寄与として心理的緊張を生み、特に生誕率低下の原因になったのかも知れない。

住民のシェルタ収容。住民の防護措置としてのシェルタ収容は事実上行われなかった。とは言っても 1986 年 4 月 26 日付の詳細勧告があり、特にプリピャチ市の幾つかの学校では外気中での身体運動が停止された。プリピャチ市の住民被曝線量データに基けば、この措置は 100 人 Sv 程度の効果があっただろう。その後の避難を考慮すると、この防護措置の費用は極めて少ないと見なせる。通報と指示の費用しかかからないからである。これは現場無線連絡設備のある小さな町では、数ヶ月分の月給を超えないだろう。このようにプリピャチ市で 1 人 Sv 予防費は約 1 ドルであっただろう。その後の避難を考慮すると、もっと低くなる。

住民に対する放射線被曝を低減する防護措置の分析後、その効果の比較評価を試みよう。ここでは実際に実現された予防線量と費用の範囲、更に逸失機会、つまり実施されたはずの措置の形で纏める。防護措置に対する費用効果評価を表 5.8 に示す。それが確信を持って示すように、急速で遅滞の無い措置は、遅れて正当化されない介入より、数百倍、いや数百万倍効果がある。

表 5.8　放射線影響の軽減に関する防護措置の効果比較

防護措置	個人予防線量の範囲、mSv	費用の範囲、ドル/人 Sv	経験(地域、時間)
緊急移住	13000－23000	300－600	ウラル、1957 年 10 月
	100－3000	1000－15000	ﾁｪﾙﾉﾌﾞｲﾘ、1986 年 4-5 月
移住	40－200	6000－100000	ウラル、1958 年 11 月
	50－100	130000－500000	ﾁｪﾙﾉﾌﾞｲﾘ、1990-1991 年
子供と妊婦の移動	＜1－40	4000－400000	ﾁｪﾙﾉﾌﾞｲﾘ、1986 年 5-9 月
シェルタ収容	5－100	0.02－1	ﾌﾟﾘﾋﾟｬﾁ市、1986 年 4 月 26 と 27 日)

5.2.3　衛生措置とヨウ素剤予防投与に関する防護措置

検討された防護措置には、放射性物質の体内取り込みを制限し、また人体への付着を減らすための行政レベル(禁止)、衛生(食品の管理と処理、防護手段と、衛生措置)と薬剤(放射性核種に代替・結合する薬)措置があった。

ヨウ素剤予防

ヨウ素予防勧告は、チェルノブイリ原発事故の遥か前に策定されていた。安定ヨウ素剤摂取の効果は、体内に放射性沃素が取り込まれ始める時間と安定ヨウ素剤摂取時間の関係、そして、これらの期間の長さに大きく依存する。チェルノブイリ原発事故時のヨウ素予防実施規模に関する最初の公式声明は、その実施の規模と効果を非常に過大評価していた。ソ連代表団が 1986 年に IAEA に提出した報告と、保健省のデータによれば次の評価が述べられている。ヨウ素剤予防は5百万人を捕捉し、そのうち160万人は子供だった。残念ながら、以後の研究でこれらの正当性や実施については、少なくとも1986年4－5月に関しては、確認されなかった。上記報告に明らかに反するものに当時ウクライナ保健大臣 A.E.ロマネンコのデータがあり、それによればヨウ素剤による予防は、何処よりも先ず、キエフ州北部地区で行われた。キエフ州だけでヨウ素予防は45万9千人を捕捉し、その中で17万人が子供だった。このデータはある論文の情報に合わない。それによれば、事故前にプリピャチとチェルノブイリの倉庫に十分な量のヨウ化カリウムが蓄積されていたが、30-km ゾーン住民にヨウ素予防を行う決定は現地政府機関の優柔不断さにより遅れた。ここに述べられている事実として、キエフ州保健部がヨウ素予防の決定をしたのは 5 月 6 日になってからだった。データによれば、1986 年 6 月から 8 月中旬までの期間にロシア共和国でのヨウ素剤予防措置は 71、930 人を捕捉し、そのうち 25、060 人が子供だった。全く明らかなように、ヨウ素予防期間がこう遅れては、その効果はゼロだった。

プリピャチ市でヨウ素予防措置が行われた事実は十分確信できる。そこでは分析によればヨウ素予防措置は住民の 70%を捕捉し、そのうち 4 月 26 日からのものが 60%だった。ヨウ素剤予防による予防線量の最も根拠のある評価は、避難民に対し 1 万 5 千人 Sv、残留民に対し 5 万人 Sv である。(3.9 節)

ヨウ素剤予防費用の最高評価のために、最新の評価を用いるのは全く妥当である。それによれば1人当り10セントを超えない。このように避難したプリピャチ市民に対する「費用-予防線量」比は非常に低く、人 Sv 当り 0.02 ドルである。残りの住民については、ヨウ素予防措置実施の規模と期間に関する正確なデータが無く、正確な効果の評価は困難である。5月7日までの期間、ヨウ素剤予防措置が捕捉していた住民は 50 万人を超えなかったと想定される。この場合、ヨウ素剤予防効果の最大評価値は、1 人 Sv 当り 0.1 ドルとなる。

安定ヨウ素剤服用に伴う多数の副作用の危険性については、実際には見られなかった。これは全体として最新のリスク評価(10^{-7})と対立するものではない。但し、ヨウ素のアルコール溶液服用時に喉と食道の炎症例はあった。

多くの場合、主に必要な情報が無かった為、住民は安定ヨウ素剤の服用を放射線作用全般に対する防護手段と認識したため、キエフ他の大都市で、最も広く使われたヨウ素剤～ヨウ素のアルコール溶液～の深刻な不足が発生した。

チェルノブイリの経験によれば、原子炉施設の事故に備え、次を確保する必要がある。

- 安定ヨウ素剤のストック、危険性のある施設のすぐ近くで使えるように(放射性ヨウ素の甲状腺蓄積を予防する為)、そして、戦略的に事故地区で最初の数日間今のみ備蓄する
- 緊急状態に住民間に安定ヨウ素剤を配布する手順と服用登録に関する計画、手順と指示
- 原発事故時に対する準備と、計画と指示の能力を定期的に検証する手順

衛生処理

人々の衛生処理に関する最も大量の作業は、30-km ゾーンで事故影響の処理清算作業に従事した人々に対するものだった。1986 年間に百万回以上の衛生処理作業が行われた。作業は浴場やシャワーを用い、居住地、ソ連国防省が展開した衛生-洗浄所、民間防衛軍の特殊設備基地、防疫用シャワー付き自動車で行われた。衛生処理により予防された線量は、幅が非常に大きいが、事故早期の多くの場合 1−2 mSv に達し得たと想定できる。

1 人当り衛生処理費は、大したことはなかった。それは立派な風呂家の値段と同等で、そこに行く費用は 1 ルーブル(つまり月給の 0.005 倍)を超えない。最近の貨幣単位では 0.5 ドルに相当する。このように、この防護措置に対する投資効果は、1 人 Sv 当り 500 ドルになった〜但し放棄された衣服の値段は考慮せずに。個別例では 1 人 Sv 当り 25 ドルに達し得た。

住民の避難は、没収された衣服の代わりに悪くない品質の新品が支給された時には、全体としては正常に衛生処理と認識された。しかし、これは住民に関しては 1 回限りの行為だった。コメントすべきこととして、衣服の処分と特にそれに対する補償の支払いは、チェルノブイリ事故後最初の 1 年間、実践上の一つの問題だった。繰り返し処理(もしかしたら別の基準によって)が要求された場合、住民認識上のストレスは大きくなった。何故ならこれは、汚染した現地の条件では効果的な除染は不可能だと言う考えを播き散らしたからである。

食品摂取制限

テチャ川、南ウラルとチェルノブイリ原発の放射能汚染地域で生産された農産物の摂取制限は、住民の内部被曝線量を制限する最重要防護措置の一つだった。事故直後の期間、この制限は総合的な禁止措置により達成された。チェルノブイリ原発事故時点でのソ連の生産状況は深刻だった。ソ連では春の月には家畜の飼料が普通なくなってしまっており、住民に畜産物を集中的に供給する計画は伝統的に困難だった。温室栽培が発達していなかったので、新鮮な野菜(サラダ他の葉菜)の供給にも、類似の状況があった。その結果、村の住民の主な食品源は、自留地で生産されるミルク、野菜とジャガイモだった。小さな町の住民は次のものを消費していた。社会生産セクタから商業的に調達される肉、ミルク、保存食品等、自留地で生産されるジャガイモ、野菜とイチゴ、多くの場合、別荘や庭にある温床で出来た緑野菜。しかし、住民の食品の主な特徴として、貯蔵が事実上なかった。放射性物質により汚染された食品の摂取を制限する決定の実施がどれほど困難だったか理解するためには、こういう状況を詳しく認識する必要がある。

チェルノブイリ原発事故発生時は、家畜の放牧開始に該当し、汚染牧草地の代替はなかった。事故の数日後、ミルク中の I-131 暫定許容レベルが導入された。しかし、放射性核種は事実上数時間内に、草→乳牛→ミルクの連鎖を通りミルク中に移行するので、最も重要な数日は過ぎてしまっていた。制限措置実施が特に遅れたのは、個人セクタだった。5 月 6 日以後、暫定許容レベルが公式承認され、その施行が何よりも先ず社会セクタで生産されるミルクと乳製品に対し広められた。次の事実を確認する多くの証拠がある。つまり初期段階においては、ミルクや新鮮緑野菜の摂取拒否はかなり稀だった。特に、4 月 26 日から 5 月 20 日までの期間のデータによれば、ミルクと新鮮葉菜の摂取に有意な変化は見られなかった。子供の日平均ミルク摂取量は、ジトミル州では 0.44 ﾘｯﾄﾙから 5 月中旬には 0.34 ﾘｯﾄﾙに、キエフ州では 0.32 ﾘｯﾄﾙに下がった。しかしこのように、ミルク摂取拒否により甲状腺線量を激減させる可能性は、実現されなかった(表 5.9)。

こういう措置がより大規模に実施されていたらどうなったか、ただ想定できるだけだ。子供が

表 5.9　牧草地汚染の後の様々な期間におけるミルク摂取拒否による甲状腺線量の低下

汚染後時間、日	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	15
線量低下倍率	12	6	4	2.9	2.4	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2

生乳とその処理製品を 1 週間(2 日目から 10 日目まで)摂取拒否したとすれば、最低でも甲状腺線量は半分に減っただろう(放射性ヨウ素の短寿命同位体を考慮)。こうして、ウクライナの最高汚染地区だけでも(子供 8 万 9 千人、集団線量 64000 人 Gy)甲状腺集団線量は 32000 人 Sv 以上下がっただろう。

この防護措置実施に対する費用評価時に考慮する必要があることとして、摂取が拒否されたミルクだからと言っても不良品ということにはならない。大部分はバター、チーズ、醗酵クリーム他の製品の製造に利用できただろう。もし費用としてこの量のミルクの半分の費用を用いると、4 万ドルとなるだろう。こうして、この子供に対する防護措置の費用効果として、1 人 Sv 当り 1.25 ドルが得られる。ミルクの商業販売価格(0.3 ルーブリ/リットル)と農業セクタでの価格(1 ルーブル/リットル)に差があるので、この評価額は 3 倍になり得る。

この防護措置の社会的影響は、完全実施されたならその効果は大きかっただろうが、短期間である。従って、迅速に広範な地域で適用する意義はあった。

1986 年夏、自留地で生産されたミルク他の産物の摂取制限が勧告され、同時に Cs-137 土壌汚染密度が 15 Ci/km^2 以上の場所が厳重管理区域とされ、毎月 30 ルーブル規模～平均月給の 1/6 ～の金銭補償が行われた。汚染食品の摂取制限の影響に関するデータは、相互に合致するとは限らない。この原因は次のようにかなり多い。食物連鎖中の移行パラメータの地域差、食餌構成、社会セクタと自留地産物の比率他。従ってこういう措置の効果として、より小さい範囲～例えば、ブリャンスク州厳重管理区域に住む村の住民～を検討するのが妥当である。総合的措置による全体としての個人内部被曝線量の低減量は、1986 年の 10－100 mSv から 1989 年の 2－20 mSv だった。

この防護措置の費用として次が含まれる。補償金、厳重管理ゾーンで直接役務を行った衛生監視放射線ラボ要員維持費、農業化学及び獣医学的管理費、効果的でない適用により失われた産物の価格。これは年当り 3 千万ルーブル、つまり約 1 千 5 百万ドルを下らない。この場合、予防線量費は 1986 年に 1 人 Sv 当り 13000 ドルとなる。以後の年には、費用は変わらないので、現地産物摂取制限による線量効果は急減する。こうして 1989 年に 1 人 Sv 当り予防費用は 100、000 ドルに達した。

ブリャンスク州の汚染地区では、個人所有の大型有角獣が没収され、農民の生活様式が大きく破壊された。この防護措置の他の社会的影響として、公式の移住決定が未だない間の、一部住民の脱出がある。既に 1988－1989 年間に小さな居住地(人口 100 人まで)で住民数が減り、大きな集落(住民約 1000 人)では増える傾向が見られた。この理由の一つに、きれいな食品の運送困難があった(現地産の食品を、所謂きれいな運び込まれた製品に換えるよう勧告があった)。全体として、長期の自作食品摂取制限は住民に強い心理的トラウマ作用を及ぼした。例えば、搬入された食品に接すると、住民は緊張し、次のことに注目する状況になった。新来者は現地産の食品を食べるか、搬入物を食べるか。後者の場合、住民はその度に、放射能汚染条件の中で住む危険性を認識した。

同時に一部住民は如何なる制限も拒否した。通常、これは老人で、伝統的な食品を拒否するだ

けの重大な理由を何ら見出さなかった。大規模に行われた線量管理によれば、1987－1989 年間の内部被曝線量が 50 mSv/年(初年の暫定許容線量中の内部被曝割当て値)を超えた人が、ごく稀ながら居た。通常、これは事実上全ての現地産物(ミルク、魚、森の獣、キノコ、イチゴ等)を摂取していた人だった。

こういう防護措置に伴うリスクとして、食事の栄養バランスの破壊を挙げるべきだろう。その中には自己規制によるものもあった～これは特に子供の居る家庭に広がっていた。多くの場合、搬入された食品は、自家産物より品質が悪かった。これは先ず粉ミルクに当てはまった。新鮮なミルクに慣れた子供は、しばしば粉ミルクの摂取を拒否した。緑野菜、果物とイチゴのような一連の食品に、代替品は作れなかった。

住民中に体内 Cs-134 と Cs-137 含有量が非常に高い人が居たので、そういう人にはフェロシンを含む薬を服用させる考えが生まれた。しかし、組織上と官僚主義的な理由から、この考えは広い適用を見なかった。これは、「費用－効果」の関係からは一番見込があったのだが(住民の放射能測定検査は放射線-衛生状況モニタリングの枠内で行われるので、発見する為の追加費用は不要)。L.A.イリーン、V.P ボロソフ他による開発の成果もしかるべく適用されなかった。これは上述のフェロシンを含むフィルタの、個人事業への適用だった。1989－1990 年間にフェロシンを含むフィルタは、ベラルーシ、ロシアとウクライナのミルク中 Cs-137 濃度の高い 1500 の個人事業に試験的に適用された。フィルタ材は一度使われ、ミルク中の Cs-137 濃度が確実に 90 %まで下がった。フェロシン含有薬は、乳牛の肉中への Cs-137 取り込みを予防する為に、90 年代に使われ出しただけだ。

その他の自留地における作業安全に関する制限と勧告による被曝線量低減への寄与は評価が困難である。それらの幾つかは住民生活に深刻な不調和をもたらした。特に、家付き菜園の肥料として糞と灰の利用禁止は、しばしば代替物(例えば、「きれいな」有機肥料入手)がなかったため、無視された。菜園に肥料として灰の使用制限は、炉の灰には汚染があり、追加の被曝源でもあったので、考え出された。実際に放射線学的観点からより重要だったのは、汚染した糞の使用だった。経験的に、中の放射能濃度が土地の 10 倍以下なら、糞の使用が勧告された。しかしこの勧告は常に守られたとは限らない。事故の数年後の菜園の汚染レベルの方が、1986 年より高くなった場合もあった。

観察対象群の防護措置の効果は、何よりも先ず、事故の規模、放射能汚染後の経過時間、食事のような人種特性、現地の環境と地球化学的特徴他の多くの要因に依存する。一つの指標により対比すると(表 5.10)、防護措置のタイムリーさが重要である。

表 5.10　チェルノブイリ原発事故後の防護措置費

防護措置	実施費の範囲、 1 人 Sv、人 Gy 当りドル	経験 (年、地域、集団)
ヨウ素予防	0.02－0.1	1986 年、住民
衛生処理	25－500	1986 年、原発ゾーン
1 週間子供のミルク摂取禁止	1－15	1986 年、ウクライナ汚染地区子供住民
現地食品の摂取制限と管理	2800－25000 8600－68000 13800－120000	1986 年、ブリャンスク州 1987 年、ブリャンスク州 1089 年、ブリャンスク州

5.2.4 農林業における防護措置

大規模な放射線事故時に、困難で、一連の場合に事実上解決できない問題が発生するのが、汚染農地における農業生産の確保である。更に複雑にする状況として、土地利用の中断や汚染農産物原料や家畜の不良品処分と言う問題解決から逃れられない場合もある。これほど劇的な状況ではなくても、農林業で必要な措置を採り、製品の放射能汚染レベルを所定の暫定許容レベル未満とし、要員の安全作業条件を作る必要がある場合もある。

汚染原料の不良品処分問題

我々の経験によれば、巨大放射線事故時に農林業において発生する緊急で困難な課題として、放射性核種の含有量が高いため、保持するのが妥当でなく不可能な原料、動物と資産を処分する問題がある。

1957 年事故の後、村の居住地で避難が行われたのを思い出そう。農業家畜(乳牛、羊、家禽)の汚染は非常に強く、如何なる処理も不可能で、一部動物には放射線病の進展が見られた。この結果、全ての動物が処分された。1959－1961 年間には放射線障害により枯死した松の木が伐採された。ここで重要なので強調するが、当初より「東ウラル放射能跡」頭部のリハビリという課題は、設定されなかった。

チェルノブイリでは、事故直後、プリピャチ市の完全除染計画が策定された。この状況で、町の近くに事故後最初の数週間の内に放射線障害により枯死した、ほぼ400 ha の森塊の存在が、二次汚染の脅威と見なされた。このため、損傷森塊(「赤毛」の森)の埋設が決定された。全部で4 千立米の森が深さ 1－2m～つまり、事実上の地下水レベル～に埋められた。作業実施の結果、この地域でのγ線量率は、40－50 分の 1 に下がった。2－3 年後既に、塹壕傍らの地下水中の放射性核種濃度の大きな上昇が見つかった。このため、塹壕から水理網への長寿命放射性核種の移行を予防する課題が設定された。このように、実現された枯れた森の埋設という手段は、良くなかったと認識すべきだ。この間連で重要なコメントとして、汚染地域におけるあらゆる防護措置は、隔離だけでなく、何よりも先ず環境面を総合的に検討すべきである。換言すれば、防護措置は如何なる環境上の影響～水理、風光、土壌生産性等の変化～をもたらすか、分析するのが重要である。

チェルノブイリ原発 30-km ゾーンから、 12 万頭の大型有角獣が搬出され、夏季まで放射能汚染した牧草地に放牧された。組織的にきれいな飼料を確保するのには成功しなかった。5－6 月には搬出された家畜の大部分が屠殺されたが、その肉は直接の食品利用には不適だった。降下物の大部分は短寿命同位体だという当時のデータに基づき、肉の放射能濃度が容認できるまで下がるまで、冷蔵倉庫に置くことが勧告された。汚染の少ない一部の肉は、汚染してない肉と混ぜ、ソーセージ、挽肉、保存食品等に利用するよう勧告された。これらの勧告はマスコミで、「チェルノブイリの放射能を全国に広げる」誘因になると厳しく批判された。それでも、あらゆる場合に、生産物は、獣医や衛生部の検査を受け、所定の基準を満足した場合のみ出荷された。更に確認されたこととして、冷蔵庫に保管された肉の放射能低下速度からは、妥当な時間内での使用は保証されなかった。1986 年だけで、暫定許容レベル以上に汚染した肉が 31.3 t 生産された。1991 年に食用に適さない最後の肉 4.0 t が特殊埋設処分場に送られた。

このように、チェルノブイリの状況では、畜産物の深刻な喪失から逃れられなかったが、全体的なアプローチはよく知られていた。放射能汚染状況に関するタイムリーな情報がなく、又、何よりも飼料や食品(肉他)の備蓄がなかったことが、問題解決を深刻にし困難にした。

チェルノブイリ原発事故後、放射能汚染地域だけでなくその隣接地域でも、個人経営体と社会セクタで得られたミルクの全面摂取禁止が決定された。暫定許容レベルを超えたミルクは全て、長期保存に適したバター又は他(主にチーズ)に加工された。総合措置の実施により、町住民に規定通りの乳製品を供給でき、村民の食事からの放射性核種摂取が大きく下げられた。同時に加工により、8 億ルーブルを超える全量のミルクが損失から逃れることに成功した。特にその大部分はあれやこれやの理由から加工する必要があったので、損失予防額は若干増えると想定される。それでもいずれの場合にも、損失予防額の合計は当時の値段で 1−2 億ルーブルを超え、これは平均月給の 50 万－百万倍だった。

5.2.5 農業実施法と農業産業における防護措置の効果の評価

上述の大規模な放射線事故の経験によれば、汚染地域における農業生産の継続は、何よりも先ず次の強制措置実施により規定される。

- 主な被曝線量形成核種に着目し、主な種類の植物食品と飼料、更に畜産物の汚染の暫定許容レベルのタイムリーな設定。暫定許容レベル値は、住民の年間合計線量から割当てられる、事故時内部被曝限度に基かねばならない
- 汚染地域部の指定により、産物の汚染が設定された暫定許容レベル値を超える地域の境界内では、一般に受容されている業界の慣行として、以後の農業生産活動は制限(又は禁止)されるべき(土地利用の種類も)
- 生産物の放射線管理を導入し常時実施し、実際(と予測)汚染レベルと暫定許容レベルとの関係を評価する
- 一般に採用されている手段から選ぶか、特別の手段を開発し、得られる農産物の汚染を下げる(分野の専門化、土地利用制限、土壌除染処理、農業設備と農地改良措置、飼料基地編成、農業動物と家禽の肥育と維持、得られた産物の利用法、加工処理、農業原料の食品加工、技術目的に加工)
- 汚染地域(及び土地利用)とその境界を設定し、その内部では総合的措置の導入後、得られる産物の放射能汚染レベルが下がり、暫定許容レベルを超えないという要件が達成され、農業生産の復興(継続)が可能になった
- 汚染地域において農業生産が復興する条件の中で、農業企業、個人と農地経営体の農業生産活動を組織的に変更する

上の課題の解決には、直ぐには克服できない困難がある。何よりも先ず、それは土地の事故汚染の規模、レベルと性格、産物の実際の汚染レベルと暫定許容レベルとの関係にあった。かなりの面積の放射能汚染地で農業生産を復活又は継続するという考えは、全体としては、住民の放射線防護の観点から妥当で、経済的及び社会-心理学的に意義がある。しかし、この考えを、1957 年と 1986 年事故により汚染した地域に実際に農業を導入した結果と対比すると、理論とは大きな乖離が見られ、その結果、実際の措置の効果は大幅に少なかった。この原因は幾つかある。

生産連合「マヤク」ゾーン中での研究の成果により開発された農業実施に関する勧告を除き、チェルノブイリ原発事故まで、放射線事故時の住民の放射線防護に係る国内と国際的勧告の中には、大面積放射能汚染時に農業が再導入できる根拠基準となるような明確な規定がなかった。この分野の勧告の大部分は、事故後初期における暫定許容レベルの値の設定、不都合な産物の摘

出と利用禁止に関するものだった。

農業分野の対策に関する IAEA 勧告[TECDOC-745、1994]ですら、不十分だった。それは、大面積汚染時に、国家レベルで対策を導入する必要がある場合にしか、実践適用は出来そうにない。そういう勧告が無かったため、正しくない決定や、正しい決定の承認遅れ、効果の評価抜きで対策の導入に迫られ、効果がないか原則的に正しくない対策が実施されるに至った。

特徴的なこととして、内部被曝線量形成における事故後早期期間の圧倒的役割の評価が不足し、この期間中、植物産物の放射能汚染低減と予防に関し、事実上何の対策も取れなかった。1957年と1986年事故影響分析によれば、約1年の初期期間を通じ(事故が栽培期に発生したら)、放射線防護の観点から、次の様な不適切な状況が存在する。

- 植物と一部動物製品の全放射能に対し、短-及び中寿命放射性核種の寄与が相当大きい
- 汚染食品を摂取した住民においては、個別器官(何よりも先ず、胃腸系)の線量当量に対する、事故後最初の1年間の短-及び中寿命放射性核種による内部被曝への寄与は、長寿命の Sr-90 と Cs-137 を含む全放射性核種からの生涯線量の 80－90%に達し得る
- 現地農産物中の放射性核種摂取による住民の初期期間における内部被曝線量の大部分 (80－90%まで)は、放射能降下停止後の地上植物体(根以外)の空気汚染によるものである

従って、事故後初期の放射能汚染条件における農業生産の基本戦略は、次からの2者択一にならざるを得ない:

① 被曝が暫定許容レベルを超過しない条件－農業生産継続
② 暫定許容レベルを超える条件－農業中断、住民による現地農産物の調達と食用禁止

しかし、内部被曝の大部分は初期(1 年まで)に形成されるにも拘らず、より後の期間における防護措置解除が議論された経緯がない。その大きな理由の一つとして、農業加工コンビナートにおける長期にわたる防護措置の重要性があり、暫定許容線量が徐々に厳しくなり、それに応じ農産物食品中の放射性核種暫定許容濃度も厳しくなったからである。最終的には、事故時用ではない放射線学的指標への移行が時間の経過に伴い予定されねばならない。長寿命放射性核種含有量に関し、暫定から常時基準への防護措置の移行例は、1997 年の暫定許容レベル-93 から衛生規則(SanPiN) 2.3.2.560-96 への移行であり、主な食品中の CS-137 の許容濃度は7倍厳しくなった。

先に注記したように、農業生産における防護措置の効果の評価は様々な指標を用い行われた。すなわち防護措置適用後の農産物中の放射性核種濃度の低減倍率や対策実施による予防線量と単位予防線量当たりの費用計算である。防護措置の最適化に係る現実的基準は、まさに後者の経済効果そのものである。この基準こそ、防護措置の根拠付けのため主に用いねばならない。しかし、他の基準に依存する多くの理由がある。実際、多くの防護措置は、農業を行う上で一般的なことである。防護措置により個人線量は下がるが、集団線量は上がる状況もあり得る。一例えば、痩せた土地に多くの施肥をする場合である。農業の採算が取れ、この結果過剰生産になる場合、一般にどの程度の防護措置が適切なのだろうか? 逆に、農業に採算性が無く、その結果製品価格が市場平均値を超える場合、どの程度までの防護措置費なら適切なのか?

農地を土地利用から外し農業生産高を大幅に削減し、畜産をきれいな飼料に転換するか縮小する方が良い場合もあるだろう。しかし、両ケース共に旧ソ連圏時代の状況では、農業生産における積極的な防護措置は極めて有用だった。第 1 に、強力な農業活動により、生物学的移動性を下げる農業-環境学的プロセスが加速され、放射性核種が根のない層に閉じ込められた。第 2 に、

農業加工コンビナートにおける大部分の措置は農業生産を強化するもので、採算性を向上させた。第3に、大きな地域での農業活動中断は、住民の雇用問題を生んだ。最後、第4に、主な目的～個々の農産物中の放射性同位元素の濃度低下～が達成された。

事故後初年の防護措置

1957年と1986年に起きた2つの事故後の初期期間中、農業における防護措置対策実施が、全体として勧告されたが、総合的なものとして完全実施されたわけではなかった。相対的に容認できる迅速さで暫定許容レベル値が設定されたにも拘らず、汚染面積が広く、放射線管理対象の生産物量が多かったので、この時期、実際の産物の汚染レベルが暫定許容レベルを満足しているかを評価する上で、現実には困難が発生した。このような状況だったので、農業生産をタイムリーかつ十分に削減できず、住民に安全な食用農産物を供給できなかった。このような問題は両方の状況で事実上同じであり次の不備が掲げられる。農産物と食品の放射線管理所網の全面展開の困難さ、管理施設に測定器等の不備、要員の教育と養成の問題、自ら放射線管理の実施、適切及び非適切(不合格品として除かれる)産物を用いた国家管理組織などの困難さである。実際には、測定は、生産場所、集積地、加工場所と直接食品原料を調達する場所と自家用生産場所で行わねばならなかった。

上述の防護措置の全面実施が困難であった最も重要な要因の一つは、村の住民が、社会-経済的にこういう措置を受け入れなかったことだ。特に放射能汚染が地域的性格を持っていた場合には、個人産物の利用を禁止し、個別分野の農業生産を中止すると、主な農業雇用がなくなり産物も得られなくなるので、村民に以後居住する考えを失わせた。大量の安全基準値を超える産物が生産されると、特に村の現地では、社会-心理学的状況が不安定化した。この結果、住民の移動、その後移住が増えた。

食品の品質管理と暫定許容レベルを超える汚染レベルの産物の利用を防止する措置の効果が不十分だったため、チェルノブイリ原発事故後、最も重要な初期の住民の内部被曝線量が増えた。又、ウラル事故の後ではもっと重大であった。当時、村民は初期の間、移住しなかったので、大部分の内部被曝線量を、事故後1年間の汚染産物摂取から受けたことになる。

チェルノブイリ原発事故では、既に検討したミルクと肉の他に、広範な放射能汚染という問題が生まれた。これは事故直後からの空気経路による汚染で、種播きが終わった後に起こったので、農業分野の政策転換、作物転換の余地はなかった。それでも大きな損失は避けられた。1986年6－7月、新しい植物製品の販売量が増えるにつれて、収穫から販売に至る全ての段階で大規模な放射線管理が始まった。この種の放射線管理の迅速な展開には、機器装備や養成要員の不足のため、ブレーキがかかった場合もあった。

1986年7月防護措置に関する最も複雑な状況が、放射能汚染の州にある農業加工コンビナートにおいて発生した。そこでは面積50万haに20種の作物が実っていた(主な品種は、小麦、ライ麦、カラス麦、ジャガイモ、野菜からイチゴ、タバコ、ホップ)。ソ連農業委員会により、全ての収穫作物に対し、40以上の方法により、収穫、分類(その後の利用方向に従い)と加工規則が策定され、生産現場に渡され、好都合な最終製品が得られるように予定された。この方法は、農作業に従事する専門家の放射線安全性を確保する要求も含んでいた。この措置を採用すれば、事実上全ての汚染地域で収穫と耕作が出来るはずであった。しかし、30-kmゾーン内での防護作業は行われなかった。

放射線安全規則を説明するため、大部数の 4 つの指示書が刊行され、作業法が勧告された。農業経営体には、基準を超える衣服を渡し、シャワーと特殊服洗濯所、農業設備除染所を組織的に設けるよう指示された。これは農業加工コンビナート労働者の放射線負荷を確実に下げたに違いなかった。残念ながら、これらの措置は何処ででも実施された訳ではなく、常にタイムリーとも限らなかった。

チェルノブイリ原発事故後 1 年間の農業加工コンビナートにおける損失と影響の評価をするため、次の重要な要因を検討する必要がある。土地基盤と大型有角獣の損失、基準以上に汚染したミルクの加工、非常に大面積農地の放射線学的モニタリング、農業加工コンビナートにおける作業の放射線安全確保、農産物の放射線学的管理、汚染原料の処理と分類、生成された廃棄物の利用又は埋設などである。

土地利用中止は、土壌の Cs-137 汚染密度が 40 Ci/km^2 を超えた全農地で実施された。68、500 ha の農地が土地利用から除外された。そこでの農作業などの活動は事故後 20 年間実施されないだろうと想定すると、予防線量 2－3 千人 Sv が得られる。労働者の予防線量～つまり汚染密度 > 40 Ci/km^2 の農地で働いたとすれば受けた線量と、汚染密度 15－40 Ci/km^2 の農地で働き受ける線量との差～は小さく、20 年間で 10 人 Sv である。このように、活動中止による予防線量は、ほぼ 2－3 千人 Sv である。

土地利用中止の費用は有意ではないと評価される。何故なら農業設備と労働資源は近くの汚染の少ない農地で活用できるからである。土地利用拒否に伴う経済損失の評価の方がより困難である。ソ連の農業生産の採算性は低かったので、土地利用から外された面積が十分制限されている場合、所謂逸失利益と結び付けるのは困難である。従って、文献に見られる極端な評価は正当ではない。これを補強する文献もある。それは計算上の逸失利益を何分の 1 にも減らせるに違いない。費用には、農業活動復活のための作業費もある。整地作業(伐採と株抜取り)の費用は、チェルノブイリ原発事故の場合 2 千万ドルになり得る。生産基地(建物、設備、インフラ社会基盤)の損失額は、数百万ドルと評価される。こうして、単位予防線量当りの費用は、1 人 Sv 当りほぼ 7000 ドルとなった。再度注意しよう。予防線量費が想対的に低いのは、2 つの要因による。つまり、農業の採算性が低いことと、最も汚染した土地で活動が中止されたことによる。

表 5.11 に、プラスの結果とマイナスの影響を示す。この中には、1986 年に農業加工コンビナートにおいて実施された総合防護措置の結果としての経済的及び社会的影響が含まれる。コメントすべきこととして、農業において非常に大量の追加作業の主な要因は、大多数の農産物中の放

表 5.11　1986 年の主な措置の原因－根拠とその結果

措置	原因	実施根拠	プラスの効果	伴うリスク*
農業活動中断	常時高レベル汚染	収用区域形成	高い個人と集団線量の予防	放棄農地に動植物繁殖
ミルクの加工	高レベル汚染	衛生制限;暫定許容レベル	個人と集団線量の制限; ロスの予防	代替品が無く自己規制により消費減少
植物農産物の管理と不合格処分	放射能汚染	同上	個人と集団線量の制限	産物の不合格処分によるロス
避難家畜の屠殺	放射能汚染;飼料不足	同上	住民・作業員被曝予防	集団線量増加
原料の 1 次処理と分類	放射能汚染	同上	放射能閉じ込め、最終製品の汚染減少	追加作業時の作業員被曝

* 直接の経済損失の他、防護措置実施に伴うものを含む

射性物質含有量を衛生上広範に制限したことにあった。数十種類の生産物中の放射性核種含有量が規則により制限された。その中には食餌中構成割合が百－千分1のものもあった。農業加工コンビナート産物中の放射性核種許容含有レベルは 2 回引き下げられ、農業加工コンビナートにおける事故対応作業の規模は4－5倍に、個別種類によっては10倍にも増えた。この場合食品中放射性核種の暫定許容含有レベルのような介入レベルを最適化するプロセスがあれば、損失費用は何分の1にも減っただろう。残念ながらそういう最適化は行われなかった。

長期的防護措置の効果

放射能汚染成分中に長寿命の生物学的に有意な放射性核種(Cs-137 と Sr-90)があれば、中期及び後期の事故後期間の農業加工コンビナートにおける主な防護措置は、これらの放射性核種の様々な食物連鎖～何よりも先ず土壌→植物の連鎖～への移行を最小化することでなければならない。チェルノブイリ原発事故後、遅い期間における、根からの長寿命放射性核種(Sr-90 と Cs-137)摂取と言う条件中での、農業の継続と復旧は、2 つの課題の解決に向けられた。第1に、事故後最初の2年間、産物中の放射能汚染レベルを暫定許容レベル未満に下げる。第2に、その後の事故後の期間、計画的に、常にそして定常的に農産物の汚染レベルを下げ、住民が通常の生活活動をする時の内部被曝線量をそれぞれの限度内に納める。これらの課題は、農産物の汚染レベルを下げるため、大規模な防護措置の実施を要求した。その全般的な効果は措置の範囲により、また個別直接の効果は汚染産物の減少により評価された。

実践に定着したか、生産現場で試みられた防護措置に含まれるものとして、

- 土地汚染密度と各種植物産物中への Sr-90 と Cs-137 摂取レベルの違いに基く土地利用の最適化。最適化の結果として、個々の農地区分に適切な食用及び飼料用作物の種を播き、天然牧草地と草刈り場の利用を制限、変更し、個別経営体の土地利用範囲内で特別の輪作を開発する
- 農業企業の専門分野を変更し、個々の植物産物と畜産物の生産量比率を変える(作物転換)
- 土壌の特別な機械処理法を定着化する。これは深耕による放射性核種の耕地下層への埋設、表面汚染層の除去による土地区分の除染を含む
- 農地改良により土壌の農業化学特性を改善し、生産性を上げ、根からの放射性核種摂取を下げる
- 汚染草原牧草地の改良。天然から耕作地に変える
- 放射性核種の根からの吸収が少ない代替農業作物品種の定着化
- 各種家畜と家禽に対し、種の特性、年齢と経済目的を考慮し、特別の飼料を用いる
- 肉用家畜を屠殺前に「きれいな」及び汚染の少ない飼料で肥育する
- 胃腸系通過時に放射性核種と結合する特別の添加剤を飼料に入れる
- 動植物産物の一般に採用されている処理法から最も効果のあるものを選ぶ
- 植物産物を加工利用(植物バター、澱粉、アルコール、砂糖等の製造用)

農業加工コンビナートにおける防護措置の最重要要素は環境放射能モニタリングで、その結果が決定の根拠となる。農業加工コンビナート・システムにおける放射線状況の管理は、国家獣医部と農業化学社により実施され、各地域に研究施設がある。事故前は放射線学的検査を行う能力～先ず農産物中の放射性核種含有量の測定～は極めて制限されていた。そこで第一の課題は、既存の測定網に機器を配備し、専門家を養成・認定し、測定法のマニュアルを策定することだっ

た。初期段階で事故影響の処理清算に大きな役割を演じたのは、機器の基盤を持っていた業界の研究機関で、何より先ず農業放射線学研究所だった。1990 年には農産物の品質の放射線管理は 73 の共和国と州の農業化学ステーション、そして、749 の獣医ラボ放射線管理所で行われ、1 万 2 千人が働いていた。ほぼ 1992 年まで同程度の管理規模が確保されたが、1993 年から削減が始まった。ロシア農業省のデータによれば、事故影響を受けた土地の環境放射能モニタリング実施の規定(計画)費用は、250 ドル/ha である。

事故の結果、Cs-137 汚染密度が 1 Ci/km^2 を超えた農地面積は全部で 6 百万 ha を超えた。1986 年に最高汚染地区(Cs-137 土地汚染密度 5－15 Ci/km^2 超過)とその隣接地区だけが明確に確認された。後の 1988－1989 年に農業面の放射線調査とモニタリングシステムが構築された後、各畑～個別ケースによってはその中の細区分の～の放射能汚染の特徴が確認された。

1957 年事故後、ウラル地域で定着化した最も効果的なやり方の中に、天然農地の利用制限による農業企業の土地利用最適化と転換があった。これにより特に 1982 年までに農業生産が復興し、約 4 万 1 千 ha の面積で肉産物の獲得が目指された。汚染産物は数十分の 1 に減った。これは次の状況により説明される。

- 「東ウラル放射能跡」放射能汚染地域の主要核種としての Sr-90 の特徴として、土壌→植物→農業動物の連鎖を移行する際にカリウムと区別される。このため、肉(豚と牛)は最も汚染した産物でも、穀物に比べると 5－90 倍、又、野菜に比べると 10－170 倍「きれい」になった
- 「東ウラル放射能跡」地域は十分に狭い帯で、汚染密度勾配が大きい。このため、土地利用が合理的に最適化できた
- 農業の復興が行われた地域の全面積は、地域の規模中大きくない

実際にウラル地域の農業復興が勧告できたのは、汚染が相対的に局所化し、放射能汚染レベルが非常に低い何らかの種類の農産物がある場合に限られる。しかしチェルノブイリ原発事故後の Cs-137 放射能汚染規模は、地域を超え、様々な植物産物と畜産物中の Cs-137 摂取レベルが近かったので、大規模かつ全面的に個別事項を分析し、個々に非汚染関連の製品の製造を目指すのは、不可能で妥当でなかった。従って、後期におけるチェルノブイリ地域にある農業企業の実際の生産のやり方は、圧倒的に伝統的な多くの分野に亙るもので、様々な対策の実施対象とされたのは正当である。実際に農業加工コンビナートの大規模な業種転換は非現実的だった。

チェルノブイリ地域にある個別経営体の活動を制限するような転換を実践に定着化させる手段として、土地利用の最適化がある。これは土地汚染密度が非均一であることを考慮し、新しい次の様な転作区分を設けるものである。食品用、飼料用(乳牛と肥育用それぞれに対する飼料基地の設置を含む)、加工用及び搾油用作物などの区分である。効果は、特に泥炭沼土の草原牧草地を含む、土地利用構造の変化である。この措置の実施は、大きな経済的及び社会的困難を伴った、しかし一連の場合、より汚染の少ないミルクを確実に得るため、これらの措置は避けられなかった。

土壌の機械的処理手段の中で、効率が高かったのは、深く耕し、表面の汚染層を深さ 1 m までの耕作層より下に埋めること(実験では収穫物中への放射性核種移行の低減効果は 10 分の 1 まで。実際の条件では 2－5 分の 1)と、細かい表面層の除去による除染(最大効果 50－90 分の 1)だった。

ウラル地域の耕地において、深耕は約 6500 ha の面積で行われた(即ち全汚染耕地面積の 16 %)。

しかし、圧倒的に軽い土壌成分が存在したチェルノブイリ地域では、深耕は実施できなかった。ウラルでは又、表層除去による除染後、その地区 50 ha に野菜が植えられた。両方共に、機械耕作の生産性が低かったのでエネルギーと労働の投入量が高く、全体として経済的に費用がかかった。原則として、これら両手段が勧告され得るのは、多くの場合局所限定規模の事故の場合だろう。

同様の措置がチェルノブイリ地域においては、非常に大きな規模で実施された。深耕による埋め込みは 15 万 ha の面積で実施された。これは普通の農業技術的措置であるが、その実施費用としては消費エネルギーが 25－45 %増えただけだ。ここで産物自身の価値増加は 5－15 %しかなかった。濃度減少効果は若干高かった(1.2－1.3)。事故後最初の 1－2 年間、全体として、予防線量 1 人 Sv 当りの費用は、数千から数万ドルの範囲に入り得た。その後の年には、この防護措置費用は急増した(1 人 Sv 当り 4－30 万ドル)。1988 年、防護措置は約 30 万 ha で行われた。ここでベラルーシ、ウクライナとロシアの Cs-137 汚染密度が 5 から 40 Ci/km^2 までの草原牧草地面積は約 40 万 ha だった。草原と牧草地の表層改良も行われた。これは次の改良策を含んでいた。表面の芝層を破り、深耕又は耕作によるミネラル層の攪拌、及び、石灰とミネラル肥料散布による表層改良後、多年草の種撒きによる草原と牧草地の根本的改良。これらの手段による草収穫物内への Cs-137 取り込み減少効果は、ミネラル質土壌で平均 1.5－3 分の 1、有機土壌(低地と泥炭)で 2－10 分の 1 だった。事故影響を受けた農業加工コンビナートにおいてはミルクと畜産が主導的であり、草原と牧草地の耕作措置の効果は高く、生産性の観点からはプラスの方向に大きく農地構成が変化した。これらの地区では、天然の草刈り量が 4 分の 1 に減り、それだけ耕作牧草地が増えた。

Sr-90 と Cs-137 の収穫物中への摂取量を低減するために試行錯誤された多くの農地改良法のうち、ウラルとチェルノブイリ地域で十分広範囲で適用されたのは、石灰とミネラル肥料だった。これらの方法は土壌の農業化学特性を改善し、最終的に土壌の生産性を高め、収量を増やし、収穫物中への放射性核種取込みを減少させた。ミネラル肥料をバランス基準量(植物の主なミネラル養分必要量に従い)施すと、(灰色の森土壌と、ウラル地域のアルカリ性黒土に対し)取込みが 1.5－2 分の 1 に減った。

チェルノブイリ地域の砂と粘土質の芝-灰白土と草原-沼土、アルカリ黒土そして泥炭土にミネラル肥料を施しても収穫物への Cs-137 取込量が減った。これは、ウラルにおける施肥時の Sr-90 摂取量の低下に匹敵した。カリウムと燐の施肥量を増やすと低下はより顕著になった。土壌の型、植物の種類と肥料中の N、P と K の比に応じ、実験条件で収穫物中への Cs-137 取込量の低下は、穀物で 7.5 分の 1、豆類で 18 分の 1 に及んだ。もっとも実践の場での低下はこれより低かった(特に、オリョール州黒土で 3.6 分の 1、ベラルーシの芝-灰白土で 2－3 分の 1)。実験で糞と腐泥を施すと、産物中の Cs-137 は、穀物で 1.7－3.3 分の 1、豆類では 3.6－24 分の 1 になった。ミネラル肥料、石灰、微量元素肥料、糞、腐泥、砂と粘土を様々な比率で同時に施すと、ミネラル肥料だけの時と比べて、植物中の Cs-137 蓄積量は 1/2 になった。ミネラル肥料を草原牧草地に施すと収穫物中の Cs-137 蓄積量は 2－3 分の 1 になった。

農地改良措置は、個別の化学物質と天然物質を土に施し、放射性核種を非可逆吸着するか、生物学的に摂取されにくい化合物に転換し、根からの吸収を減少させる手段を含んでいるが、これは実践上広い適用を見なかった。その理由は、相対的に効果が低く、実施費用が高かったためだ

った。ウラル地域の土壌中のSr-90を不動態化するため、アルカリ金属の硫酸塩、燐酸塩と珪酸塩が施され、Sr-90摂取量は2－4分の1に下がった。チェルノブイリ事故後の条件で、アルモ珪酸塩、ゼオライト、粘土ミネラル(泥岩、クリノプチロライト)、粘土が実験され、それらは不可逆的にCs-137 を吸着する能力があった。これらの化学物質と天然吸着剤には、Cs の植物中への移行を十分高く(10%まで)下げる能力はなかった。事故後1－2年が過ぎると、Csは土壌の天然粘土ミネラルに不可逆的に吸着された結果、Cs の生物学的摂取度は激減したため、状況は複雑化した。固定化物質の利用適用は、高い経済支出を伴った。比較的安い普通の粘土を、軽い組成の砂土に施すことすら、この時期には、全体的には妥当でなくなっていた。

畜産で、主な経済的な理由で正当化された措置は、住民の食事中Sr-90とCs-137の主な摂取源であるミルクと肉中の両核種の低減に向けられ、動物飼料中の放射性核種含有量を低減させる総合的防護措置が開発され実施された。総合措置とは、土地利用の最適化～天然農地を輪作から外したり利用制限～、草原と牧草地の根本及び表層の改善(チェルノブイリ地域)、飼料作物の特別輪作区の設置、飼料の構成を変更し高い放射性核種を含むものを除くことから成った。これらの措置は広く実践され、放射能汚染地域という条件の中で組織的に畜産を行う基本となった。この措置の効果の直接の評価はないが、住民の食事中のこれらの核種の寄与により定義すれば、伝統的なやり方と対比し、チェルノブイリで 2－5 分の 1、ウラルで数十分の 1 の低減効果に達する。

飼料の放射能をチェック・管理しても、特に放牧期に基準を満たすきれいな畜産物を得るという問題は解決できなかった。従って畜産では追加の措置を適用し、大部分の場合に要求される品質の製品が確保できるようにした。肉生産時の最も重要な措置の一つは、肉用家畜を3段階肥育で、徐々に飼料中の Cs-137 含有量を下げ、動物体が所定の商品値に近づけられた。管理基準は、動物体中の Cs-137 生体測定値だった。有効な措置として広まったのは、屠殺前の数カ月間きれいな飼料を肉用家畜に与えることだった。屠殺前に大型有角獣を「きれいな」又は汚染の少ない飼料に移行すると、肉中のSr-90とCs-137は1/2未満に下がった。このやり方は、「東ウラル放射能跡」のあらゆる場所で適用された。チェルノブイリ地域でも、この方法はかなり広範に用いられた。

汚染地域における畜産のやり方の一般的な方向は、合理的な飼料で、きれいな(或いは、基準通りのきれいな肉が得られることが保証されるだけの放射性核種を含む)飼料の生産が前提だった。この目的で、チェルノブイリ・ゾーンには、大規模な草原牧草地の改良プログラムが実施された。しかし草原の改良作業は高価な対策に該当したので、農業加工コンビナートにおいては通常その実施は遅らされた。これらの要因を考慮し、畜産では胃腸系から動物体内に入る放射性核種を大きく下げる飼料添加物法が実施された。

ウラル地域では、特殊添加物を動物飼料に入れるやり方は事実上行われなかった。但し、乳用家畜にカルシウムを含む物質(チョーク他のミネラル物質)を与え、安定カルシウム摂取によりミルク中へのSr-90移行を減らすよう、勧告はされたのだが実行されなかった。

チェルノブイリ地域で90年代に相対的に広く適用されたのは、飼料添加物としての六シアン化鉄ないしフェロシンで、これは胃腸系中で Cs-137 と結合し、筋肉組織とミルク中への移行を下げる。旧ソ連諸国でフェロシンは、粉末、二元薬 (おがくずとフェロシンの混合物)、フェロシン添加塩～おしゃぶりと、大丸薬カプセルの形で、動物の胃に入れられた。これらの薬剤の効果

として、乳牛のミルク、大型有角獣・羊と豚の筋肉組織中の Cs-137 含有量は 8－16 分の 1 に達した。それでもこのやり方が全ての場所に広がらなかったのは、何よりも先ず組織-設備と経済的なソ連崩壊後の問題に原因がある。

汚染地域住民の個人経営体の農業継続に際しては、特に解決困難な問題が発生した。この問題は旧ソ連国家の特徴である。つまり、全産物で暫定許容レベルを超えないよう遵守せよと要求されても、個人経営体では土地利用性格の変化は不可能で、農業企業向きの特殊な手段ややり方の適用は望まれず不可能だった。理由としては他に、伝統的に主な飼料源として天然農地を利用してきたこともある。このために、個人経営体の生産物、何よりも先ずミルクと肉は、農業企業体の計画生産物よりも汚染レベルが高くなった。

当然ながら、収穫物の放射能汚染低下という基準から最も有効なものは、バランスの取れた総合的防護措置である。ここで強い汚染地域で単位予防線量当たりの費用は、1 人 Sv 当たり数千ドルまで下げられ得る。弱い汚染地域では、防護措置の効率はより低くなる可能性がある。1 人 Sv 当りの費用は数万から数十万ドルに達し得る。

全体として、チェルノブイリ原発事故後汚染した州内の農業加工コンビナートにおいて非常に大量の作業が行われた結果、植物産物に設定された基準を上回る汚染製品は、ミルクについては 1990 年既に、肉については 1992－1993 年頃に無くなったと考えられる。

5.3 事故影響措置清算に関する意思決定の特徴

著者らの経験によれば、住民に対する安全防護措置を実行する意思決定は、結局の所、住民生活への重大な干渉であり、従って単なる上意下達の実施系統ではなく、社会管理の一要素として検討、解釈すべきである。放射線事故は、他の緊急事態と同様、日常活動の枠を超えるものであるから、社会の安全管理体制が適応出来るだろう。こういう特殊な状況においては、特別の管理機関が予定されている国もある。それは、一時的にではあるが、安全の観点から効果的な事故対策活動を指導する。通常これらの機能は、国家機関と組織に委ねられ、そこで全ての完全確保機能が実施される。現時点でロシアではそういう機能は、緊急事態防止及び対応システムの枠内で実施されている。放射線事故のような稀な緊急事態に関しては、意思決定支援システムに必須の要素は、科学-技術的支援で、それは専門家、技術的能力のある特別部門と研究機関の活動に基くものである。

このように、我々の考えでは、最善の意思決定スキームは、次の行為を行う能力のある個人と組織の参加と想定される。状況の分析と評価～この中にはこのために必要な資源の管理も含む、防護措置の選択と最適化、防護措置が十分で、意思決定者、関連住民と社会全体に受け容れられる根拠の信頼性分析などである。

科学的支援の運用に関する技術的な準備の他、住民と地域の安全防護上の諸問題に関する意思決定は、更にもう一つの面で非常に重要である。一面では、意思決定する行政官は、明確な政治的判断能力を持ち、緊急状況において専門家を信じ、バランスの取れた決定をしなくてはならない。別の面では、行政責任者個人の優先事項は社会の危機意識の鼓舞である以上、彼には裁量の余地がなければならない。この章では、放射線事故後の住民防護に関する意思決定の特徴的な具体例が以下検討される。

南ウラルにおける事故(テチャ川と東ウラル放射能跡)が発生した社会は、高度の軍隊的性格

があり、事実上戦時と変わらなかった。特に、防護対策・計画と意思決定に際して圧倒的な権力集中化という特徴に現れていた。

テチャ川の状況の特徴は、防護措置の実施テンポが極度に緩慢だったことで、これは明らかに中央政府機関の側が急を要する問題を理解しなかったか、もしかすると無視したのだろう。1957年「マヤク」事故後最初の移住決定は、放射線学的観点から根拠付けられていた。これは最も汚染の高い居住地からの移住だった。しかし以後、移住のテンポは激減した。住民にとって事故から2年後の移住は効果が小さかったとはいえ、結果的に移住プログラムは実施されなかった。テチャ川でも東ウラル放射能跡でも、放射能汚染源は巨大秘密事業所であり、その活動の実態について、現地住民だけでなく、現地と地域政府も何も知らなかったと、コメントしよう。これらの全てにより、南ウラルにおける50年代の事故後の住民防護に関する意思決定プロセスは曲折した特別なものになった。

50年代末に衛生ゾーン設置に関する作業が終わり、Puコンビナートの影響ゾーンに居住したか居住している住民の定期的医療-線量測定観察が組織的に行われている。チェリャビンスク市にモスクワ生物物理学研究所第4支部が編成された(現在のウラル放射線医学理論実践センター)。その基本課題は、事故の放射線学的側面を研究し、住民に専門的な医療支援を提供することである。

しかし、事故影響処理清算に関するこれらの活動も、別の研究も、80年代末までマスコミで取り上げられることはなかった。その為この期間には、住民の強い不安は観察されていない。「マヤク」地区の状況は、狭い範囲の我が国の専門家を除けば、メドベージェフの有名な暴露本により西側専門家の方がより詳細に知っていたのは、全くの本末転倒である。

チェルノブイリ原発事故時点では、それまでの事故と比べ状況は原則的に変わっていた。

第1に、緊急事態における住民防護組織システムが存在していた。これは後で説明するように、十分公式のもので、次のものを含んでいた。

- 原発首脳部の管理行動手順と責任
- 運転組織による事故対策システムの要素(運用上の支援を行う省庁間グループ、科学支援機関)
- ソ連民間防衛軍。性格上、住民防護という課題の部分を全て包含し、基本組織から分岐)
- 必要な衛生規則(放射線安全基準、原子炉事故時の意思決定指針)
- 被曝被災者に高度な支援を提供する部分で医療の確保
- 巨大産業事故の調査と処理清算の一般的手順

ここでの問題は、上述の事故対策システム要素の深刻な問題に関し、緊急に自立的な意思決定を行う可能性が、国家組織の全システムに一つも想定されていなかった点である。従って、プリピャチ市住民の避難のような大規模な課題について、現地レベルの長には、公式の責任はあったとは言え、事実上は決定できなかった。

他に原則的に対応できなかったのが、グローバル化における情報管理と通信システムの活用である。大気中の放射性物質濃度の管理は、原子力の開発と共にルーチン手順となり、そのためのシステムにより産業施設の大規模損傷を確認できた。国際化が進んでいるため、南ウラルの時のようにソ連社会を事故に関する情報から隔離するのは事実上不可能である。それでも、ソ連共産党中央委運営グループも、政府委員会も、住民に十分な情報を与えると言う対策上重要な問題の

一つをうまく解決できなかった(それだけ、ソ連住民は、普通、類似した種類の放射線事故に対しタイムリーに準備ができていなかった)。意思決定プロセスは秘密の中で進められたため、既に批判に対し弱みがある。理由と根拠を知らされず、社会意識の根底には政府に対する不信から、人々の健康を軽視しているという見方が生まれ、これらが何らかの政治的利益のために利用された。こうして、住民防護に関する実際の意思決定とその社会による認知との間の乖離が、事故発生直後に現れ、その後月を経るにつれて両者の溝は増大していった。

更に次の側面でも、チェルノブイリ原発初期段階の状況は、ウラルよりも困難だった。公式的には、皆、事故影響処理清算に関する全ての措置には科学-技術的根拠が必要だと認識していた。しかし事故後最初の数週間から、別の大きな負の傾向が表われた。多くの資源と長期間影響を及ぼす大規模な防護措置が、必要な科学的根拠なしに行われた。しばしば、意思決定のベースには短期的な政治的判断という側面が横たわっていた。

5.3.1 防護措置の科学的根拠

どの大規模な放射線事故も大惨劇で、その多くの側面は特有かつ複雑であるため殆ど研究されていない。このため、事故影響処理清算に関する如何なる防護措置と意思決定にも、必然的に伴う科学的側面の科学的探究には、特別の意義がある。

チェルノブイリ原発事故の影響処理清算時の科学の役割を実証する幾つかの例を検討しよう。表 5.12 に、事故後 5 年間における基本的な住民防護措置に関する意思決定日(政府又は全権行政機関による)を示し、その幾つかの特徴、意思決定の種類と、その科学的根拠を記す。

意思決定の種類については、次の 5 グループに分けた。

1) 衛生基準と制限(S)。これはソ連又は共和国の主任国家衛生医の承認文書に示されている
2) 行政意思決定(A)。防護措置の適用が計画されている具体的な地域と居住地を示すもの
3) 政府と省の命令(B)。作業実施手順に関する直接の勧告又は指示を含む。所謂、行政命令又は指示
4) 基本的考え方(C)。ソ連 NCRP[国家放射線防護委]、後の RNCRP(ロシア)の決定。基本介入レベルに関するもの。その実施のためには、引き続き立法又は行政の意思決定が必要である
5) 立法機関の決定(Z)。何らかの措置の実施を行政府に指示するか、介入レベルを直接規定する

衛生上の制限には、年間線量、生涯の追加線量、食品及び自然環境物中の放射性物質含有量についての規則を含む。原則として重要なのは、事実上全ての決定の場合、衛生上の制限に対しては、官庁首脳部(農林業分野の)が十分しっかりした科学-技術上の根拠を持っていた。当然、基本的考え方に関する決定にも科学的根拠があった。残念ながら他の種類の決定は、行政及び立法上のものを含め、しばしば深い検証をせずに行われた。

表 5.12 から判るように、数十万人の安全性問題に間連するか(No.5 と 12)、又は、数十万・数百万人の通常生活を大きく破壊する(No.28、29、32 と 33)多くの決定が、科学的分析と影響評価の結果に反して行われた。上述の決定に関する解析文書は、多くの別の状況を明らかにするもので、防護措置実施の考え方と目的が大きく歪められていた。派生的な介入レベルが一度ならず用いられ、対策実施地区の拡大が決定された。決定時には、頻繁に所謂「社会的要因」が考慮され、対策実施ゾーンが拡大した。予定されていた 1988 年の「35 レム」と 1995 年の「線量」の考え方以外の

表 5.12　チェルノブイリ原発事故時の住民防護措置に関する意思決定の科学-技術的根拠

No.	日付	決定種類	防護措置に関する決定	科学的根拠の有無	影響住民数、千人
1	1986.04.26	A	原発への接近制限	有	
2	1986.04.26	A	プリピャチ市民のヨウ素予防	有	32
3	1986.04.27	A/S	プリピャチ市民の避難	有	46
4	1986.05.01	A	30-km ゾーンの住民避難	有	115
5	1986.05.02	A	ヨウ素予防に関する意思決定**	無	0
6	1986.05.05	A	ヨウ素予防に関する意思決定***	有	400
7	1986.05.06	S	食品中の I-131 含有量制限	有	3000****
8	1986.05.10	A	キエフ市から子供の搬出に関する決定	無	1000
9	1986.05.12	S	暫定年間線量限度(100 mSv)の決定	有	270
10	1986.05.15	S	線量率による区域分け(1、3、5、20 mR/h)	有	< 100
11	1986.05.16	S	食品中の放射性同位体含有量制限	有	
12	1986.05.29	A	ソ連共産党中央委とソ連保健省の、ウクライナ共和国とベラルーシ共和国の放射能汚染地区における除染作業実施に関する決定	無	250
13	1986.05.30	S	線量率と食品中放射性物質含有量の規則	有	200
14	1986.05.30	B	農業工業コンビナートにおける防護措置に関する勧告	有	
15	1986.08.22	A	土壌中の Cs-137 含有量(15 Ci/km^2)による所謂、厳重管理ゾーンの設定	有	240
16	1987.04.23	S	事故後 2 年目の暫定許容線量限度を 30 mSv に設定	有	< 100
17	1987.08.12	A	特に社会的諸要因も考慮に入れた厳重管理ゾーンの設定	無	240+40
18	1987.12.15	S	食品中の Cs-134 と Cs-137 含有量制限	有	
19	1988.05.23	B	土壌と産物中の Cs-134 と Cs-137 規制	有	
20	1988.07.18	S	事故後 3、4 年目の暫定許容線量限度を 25 mSv に設定	有	< 100
21	1988.09.13	A	厳重管理ゾーンの拡大	無	280+6.0
22	1988.10.06	S	食品中の Cs-134 と Cs-137 含有量の制限	有	
23	1988.11.22	C	生涯追加線量を 350 mSv に制限する NCRP の考え方	有	
24	1989.05.24 1989.10.05	A	生涯線量基準による移住	有	5.8
25	1989.12.30	A	厳重管理ゾーンの拡大	無	
26	1990.01.26	A	ミルク中の Cs 含有量が高いための特典	無	200
27	1990.03.16	A	生涯線量基準による移住	有	2.3
28	1990.09.28	A	土壌中の Cs-137 によるゾーン分け。1、5、10、15、30 Ci/km^2	無	260
29	1991.03.11	A	ミルク中の Cs 含有量が高いため特典のある居住地リストの拡大	無	
30	1991.02.19	B	農業工業コンビナートにおける防護措置に関する勧告	有	
31	1991.04.08	C	追加被曝を 1 及び 5mSv/年に制限	無	
32	1991.05.15	Z	社会保護及び放射線防護のため土中の Cs-137 と年間線量によるゾーン分け基準	無	
33	1991.12.28	A	法に応じロシア汚染地域のゾーン分け	無	230 万

*科学-技術的根拠、**「安定ヨウ素剤予防は緊急性を失った」ので、ヨウ素剤輸入拒否、***根拠のある決定だが遅れた
****完全には実施されず

大多数の決定は、事故後期間に完了が予定されていない。決定の連鎖:「基本的考え方」→「政府又は立法府の決定」→行政決定」には、単純化が付き物で、しばしばより「簡単」な基準に取って変わられた。

例えば、暫定許容レベルを守るため簡単な措置、耕作牧草地の分離、を採用するため、現地政府機関は別の決定の方により興味を示した。1989 年夏季を通じ、現地産のミルクその他食品の C-137 含有量に関する大量の管理データが蓄積された。リストにあるゾーン(表 5.12 の No.15、17、21 と 25)の外にある一連の居住地で個人経営体のミルクに暫定許容レベルを超える例が確認された。特定の前提(許容レベルは、基準レベルの放射性核種を含む個別の食品の食餌中比率

を考慮し、常時摂取すると想定し設定された)に拘らず、ミルクに関する暫定許容限度を超えると、ミルクその他の食品の摂取制限の動機になった。それに引き続いて、これらの居住地住民への補償が決定され、リストの作成が委任され、それが承認された(表 5.12 の No.26)。このリスト作成には、管轄の省庁～農業省と保健省～が参加した。問題は無くなったと提示できたのに、1990 年 8 月 6 日にロシア政府は放射能汚染ゾーンで働く人々に対する特典の問題を審議している。Cs-137 汚染密度が 15 Ci/km^2 を超える居住地と、「きれいな産物が出来ない」居住地(以前のリストの事実上の取り消し)に対し、Cs-137 汚染密度に依存し差別化した補償システムの導入が決定された。次の土地 Cs-137 汚染密度の境界値が採用された:1、5、10、15、30 Ci/km^2 。このリストの作成が委ねられたのは、この分野を管轄する省庁～国家経済委員会、労働省と現地政府機関～だった。これに対応するリストはロシア共和国国家経済委員会により作成され、施行された(表 5.12 の No.26)。しかし、それは既に、きれいな産物が出来ない居住地リストと呼ばれ、ブリャンスク州とカルーガ州の Cs-137 土地汚染密度が 1 Ci/km^2 を超える大部分の居住地を含み、その中にはミルクに関し暫定許容レベルを超過した例は全く無かった所もある。このように、現地政府には、土地汚染密度が 1 Ci/ km^2 を超える全てのゾーンで事故後作業を行う予算を要求するあらゆる手段を講じたのである。

住民と環境の保護そして事故影響処理清算に関する一連の決定には、深刻なマイナスの影響があった。そのうち幾つかを以下検討する。

事故についての情報。考え抜かれた情報公開キャンペーンがあれば、事故影響は最小限に出来ただろう。明確な情報連絡～その中には放射性物質の放出継続についての状況の特徴が明確でないことも含まれる～があれば、放射能汚染地域の具体的列挙も出来たし、放射線状況のチェックによる明確な甲状腺被曝予防指示があれば、ストレスも緩和できただろう。全く明らかな様に、放射能降下ゾーンの住民中や防護措置実施責任を有する現地政府機関において十分な情報活動を実施するためには、中央指導部(この場合にはソ連共産党中央委政治局運営グループとソ連政府委員会)は、特に事故後初期の数日か数週間の内に、少なくともソ連欧州部における放射線状況の規模、レベルと変化に関するデータが、厳格に実時間で入って来て、意のままに利用出来るようにせねばならない。歴史的事実と客観性の立場から思い出すべきこととして、本当の巨大規模事故は、惨事の 2－3 日後、既に明確になる。その時には、国防省と国家水紋委の航空線量測定探査により予備的にボルガ川からバルト海に至るソ連欧州部地域の緊急状況が調査されていた。徐々に放射線状況の詳細～主に現地の線量率～が判るにつれて、強力な放射能降下ゾーン(Cs-137 で 5 Ci/km^2 以上)には、少なくともベラルーシ、ウクライナとロシアの 9 つの大きな州が含まれることが明らかになった。

既に一度ならず強調したように、チェルノブイリ原発事故時点で旧ソ連では、放射線事故時の作業組織化に関する民間防衛方面の公式計画があったにも拘らず、大規模事故時に国内の放射線状況に関するデータを収集、分析し解釈する、実際に稼動する事前に開発済みの国家システムは設置されていなかった。同じ理由から、資格のある要員が確保されておらず、平常時にも稼動し異常時には遅滞なく展開する、最新の手法～特に設備～を備えたセンターとその地方支部もなかった。従って事実、政府委員会とその現地職務者により、地域で進展している放射線状況の規模、レベルと変化について必要データを得るための莫大な努力が行われたにも拘らず、数万の具体的な居住地と数百の地区に関する多くの極めて重要なデータを得ることには成功しなかっ

たことに、何の不思議もない。そういう種類の情報が得られたのは、事故の漸く数週間後、2－3ヶ月後のことすらあった。この関係で特に強調すべきこととして、上述の理由から、政府委員会に相当する保健省委員会が共和国で1986年5月1日に設けられたが、「ヨウ素危険性」の全期間を通じて、圧倒的多数の被災地区～旧ソ連欧州地区全域は言うに及ばず～における放射性ヨウ素同位体の降下レベル、ミルクと葉菜中の濃度についての系統的なデータは何ら持っていなかった。ここで次のコメントが適切だろう。この問題に関し事故の数年後発表されたすべてのデータは、特に本書で引用されているものや、有名な放射性ヨウ素降下地図も、大部分が事後評価により得られた。残念ながら、一連の著者の声明によれば実時間で得られたという少数のデータも、明らかに、上述の理由から政府委員会～何よりも先ず被災民に組織的な医療援助を行う問題を扱う保健省～の活動では用いられなかった。それでもチェルノブイリ原発4号機の惨事直後、専門家にとって「ヨウ素」の危険性が重要なものの一つであることは自明だった～放射能降下ゾーン中に居た(又は居る)住民に対する基本的な放射能危険性因子ではないにせよ。これについては、1986年6月29日政府委員会において宣言され、また後でそのメンバーがゴルバチョフに暗号電報を打った。その中で何よりも先ず住民の子供集団を放射性ヨウ素の危険性から守る具体的措置が提案されていた。従って、事故後最初の数日と数週間の組織的混乱状態～と特に心理的状況～の中で上述のことを考慮すると、政府委員会とソ連共産党中央委政治局運営グループは、事象の論理に従い、国全体に対し高度に優先度が高い政治的決断を行い、数百万の住民の間でミルクの全面摂取禁止とヨウ素剤予防投与を実施しなければならなかった。それには、旧ソ連欧州部全域の放射能降下ゾーンが入る。全く明らかなこととして、そういう行為は全く情報がなく、又、住民だけでなくあらゆるレベルの行政組織にも全く準備がなかったという背景の中で、住民の間にパニックを引き起こさないはずがなく、明らかに必要な資源も不足し、組織間の軋轢を起こし、かなり長い間農業活動が崩壊した。

情報提供の問題に戻ると、強調するが、実際の政府の情報政策は原則的に別で、これは住民だけでなく、事故対策活動に従事する作業者に対してもそうだった。例として、事故後チェルノブイリ原発に来た指導者は殆ど全員、データが矛盾し完全でなかったとコメントした。事実上公式データがない場合、噂が主な非常に強力な事故に関する情報源となった。

この関連では、第4部に詳述されている、シベリア化学コンビナート事故後の状況が興味深い。セベルスク市民には非常に速く詳細な情報がもたらされたため、市民の間にパニックは何ら現れなかった。明らかにこれを可能にしたのは、コンビナート首脳に対する高度の信頼だった。逆にトムスク市民は、情報があったにも拘らず、長い時間の経過と共に、パニックの傾向が見られるようになった。

ミルクと緑菜の摂取禁止。既に触れたように、事故についての情報があれば、食品摂取の禁止又は制限は、NRB-76 に基き現地レベルで決定できたが、これは行われなかった。自立自作行為に対する明確な指示も許可も与えられなかった。

ヨウ素予防。チェルノブイリ原発事故の殆ど20年前の1967年にソ連保健省により、原子炉事故の場合、住民の子供と青少年にヨウ素剤予防を行う特殊な指示が承認されていた。同じ学者グループと他の著者が合同で作った秘密でない(公開)文書「原子炉事故時の住民防護に関する措置の策定に対する暫定方法論指示」が、1970年12月ソ連保健省により承認され、1971年初めに出版された。この公文書において初めて、ヨウ素予防から緊急避難に至る、住民防護に関する様々

な決定に対する放射線学的基準が規定された。基本的基準として、放射性ヨウ素の吸入による甲状腺に対する予測線量負荷が用いられた。

こうしてチェルノブイリ惨事の 15 年前、ソ連民間防衛軍とその現地部隊、州と共和国の保健部、旧ソ連保健省、それぞれの省庁は、この文書に従うことになった(又は従わねばならなかった)。これは、原子炉事故という条件中で住民防護のための行為を計画し実践的に策定するという組織-方法論的な課題に関する、最新の科学的根拠のある勧告に必要なブロックを含んでいる。その後、1982 年にソ連保健省により、ソ連衛生立法の基本基準文書として、詳細な「原子炉事故時の住民防護措置に関する意思決定基準」が承認された。しかしチェルノブイリ原発事故直後始まった調査によれば、州の管轄機関(民間防衛軍、他)、被災共和国の保健省、～残念ながら旧ソ連保健省も含め～の何処にも、上述の文書は見当たらなかった。

ここでチェルノブイリ原発事故直後の日々に、困難、複雑化しつつあった状況を検討しよう。ソ連レベルの最初の決定(表 5.12 の No.5)は、全く科学的検証や必要な情報なしに行われた。ソ連保健省の委員会の議事書から

5 月 2 日(事故の 7 日後):「ヨウ化ナトリウムの輸入拒否が妥当。何故ならヨウ素予防は緊急性を失ったから」

5 月 5 日(事故の 10 日後):「ポタノフ A. I.(ロシア共和国保健省)は、安定ヨウ素剤による予防に関する指示を、保健機関に迅速に与えるよう要請。ヨウ素予防に関する指示を承認。公式指示を全ソの共和国に送付するよう委ねる

引用されたデータは、状況が全く理解されていなかったことを証明している。放射性物質の強い放出は 5 月 5 日まで続いた。5 月後半に大規模に行われたヨウ素剤予防措置は、実際既に手遅れだった。

30-km ゾーンにおける作業の強化。事故後直ぐにチェルノブイリ原発ゾーンに大量の兵士が導入された。その中には、年齢 19－20 歳の緊急部隊の兵士も居た。5 月末に、除染作業を早める決定がなされた(表 5.12 の No.12):「チェルノブイリ原発ゾーン除染作業は第一の課題で、重要な社会-経済的及び政治的意義がある。それを早めるためソ連共産党中央委とソ連閣僚会議は決議する。

除染作業が大規模なことを考慮し、兵団、大隊、小隊の展開を早め、特殊教育召集に予備役から 6 ヶ月までの期間必要な軍属数を動員し、又、国民経済から所定の手順で輸送手段他の設備を作業実施の間動員する。1985 年 8 月 20 日付けソ連閣僚会議決定 No.795-236(ソ連共産党中央委とソ連閣僚会議 1986 年 5 月 29 日付け決議 No.634-188)は国防省に設定された限度以上に軍属を召集する。」

このように、電離性放射線源を取扱った経験のない予備役を除染作業に大量召集する決定がなされた。除染作業の規模とテンポの計画では、現実性や可能被曝線量の立場からの評価はなかった。表 5.13 に、上述の決議に含まれている個別施設ついての除染作業完了工程と実際の作業結果を示す。計画期間と結果を比べると、多くの目的が達成できず、よりゆっくりしたテンポで解決した方が、被曝線量を低く出来た課題もある。

事故の実際の損害を非常に大きくした決定について再度コメントすべきである。

- 事故後最初の日々に村民に通報がなく、甲状腺被曝の予防又は制限が出来なかった
- 30-km ゾーン内作業のテンポが極度に速かったため、数十万人の素人作業員が動員された

表 5.13　除染実施作業工程とその結果

施設	計画実施期間	最終結果
ⅠとⅡ号機、運転開始に必要な屋外生産構築物と共に	1986.07	1 号機開始 1986.10 2 号機開始 1986.10
Ⅲ号機	1986.08	1987.12 開始
Ⅳ号機周辺地域	1986.09	「シェルタ」は 1986.11 完成したが、放射線状況が改善したのは、主要な除染作業が終わった 1987 年末。
ⅤとⅥ号機建設場	1986.10	発電ユニット完成の問題は以後取上げられず
ヤノフ鉄道駅	1986.08	住民の帰還はなかった
チェルノブイリ市の施設と地域	1986.10	住民の帰還はなかった
一時移住ゾーン(ウクライナ共和国閣僚会議とベラルーシ共和国閣僚会議との合意による)	1986.09	住民の帰還はなかった
厳重管理ゾーン(ウクライナ共和国閣僚会議とベラルーシ共和国閣僚会議との合意による)	1986.09	除染は多くの場合多数回行われたが、汚染が繰り返されたため効果は低かった
プリピャチ市の住宅、建屋、構築物と地域(第 1 番)	1986.12	住民の再避難はなかった
*ソ連共産党中央委とソ連閣僚会議決議 1986.05.29 付け No.634-188 への添付		

- 放射能汚染地域に住む基準についての科学的問題に関し、社会的議論が組織的に行われたが、これは社会的に責任あるものと呼んではならない。最後の誤りについて、詳論しよう。

5.3.2　学者への信頼

科学的根拠のある決定が出来るか否かは、社会の側からの専門家に対する信頼に依存する。事故後最初の月に現実の危険性はあまり無いのに一連の行為が行われたことが証明したように、学者や専門家の意見に対する不信の徴候が現れた。例えば、全地域から子供の組織的避難の際、極度の注意が払われたのは住民の間に現れた被災民の分類手順と、放射線病による死者の勘定だった。この時点で得られていた放射線学専門家の予測によれば、住民に放射線障害が現れる確率は極めて低く、致死線量を受けた事故対策要員と消防士の数は非常に正確に予測されていた。

1986 年夏の中頃までに、状況は若干改善された。責任ある決定の準備プロセス中に、科学-技術的根拠付けのステップが義務的に含まれるようになり、一連の正しくない決定が見直された。

1988 年までに、汚染地区の放射線状況を長期予測するため、かなりの量のデータが蓄積された。この他、総合的防護措置全体の実際の可能性や、様々な種類の制限の住民に対するマイナスの影響が知られるようになった。一連の汚染地区で放射線状況が大きく改善された。この状況の中でソ連NCRP[国家放射線安全委]は、所謂「35 レム」の考え方～生涯追加線量を 350 mSv に制限～を提案した(更に－安全居住の考え方)。この考え方を実際に実現するため、非常に狭い範囲の最も汚染した地区だけ移住し、残る居住地の制限体制の大幅緩和が想定された。しかしこの実現には成功しなかった。一連の理由から、これは社会的議論の中心になった。

1988 年から平行して「グラースノスチ[情報公開]」政策が進み、プレスにチェルノブイリ問題に関する記事が益々増えていった。安全居住の考え方は、マスコミやウクライナとベラルーシの科学アカデミーの一部学者側からの、厳しい批判に曝されるようになった。1989 年には、我が国で蓄積されつつあった複雑困難な政治状況と事実上の社会による専門家不信を考慮し、ソ連政府は公式に IAEA に「ソ連で策定された、チェルノブイリ原発事故の結果放射能汚染した地域に住民が安全に住む考え方の国際審査と、そして、これらの地区住民に対する健康防護措置の効果

の評価」を要請した。

この結果、1990 年春、国際チェルノブイリ・プロジェクトの実施が始まった。有名な学者重松逸造教授～広島の放射線影響研究所理事長～を議長とし、メンバー19 人の独立の国際諮問委員会が編成された。プロジェクト実施には23カ国と7国際機関から、約200人の独立専門家が参加した。オーストリア、フランスと米国を含む幾つかの国の研究所が、収集試料の分析評価を行い支援した。

当初の国際チェルノブイリ・プロジェクトのプレス報道では、積極的なコメントが付いていた。しかし、「国際チェルノブイリ・プロジェクト参加者は、行われた放射線防護措置は全く妥当と見なしている」という表明が報道された後は、マスコミのプロジェクトに対する風向きが急変した。何十もの出版物でプロジェクト参加者は、国際「原子力マフィア」の利益のため事故の放射線影響を隠そうと望んでいると断罪された。

コメントすべきこととして、国際チェルノブイリ・プロジェクトにより準備された文書は、当時の年々行われ又計画された防護措置の厳しい批判を含んでいる。これは、総括文書で次のように公式に述べられている通りである。

「国際諮問委員会はこうコメントした:長期計画において実施されたか計画された防護措置は、善意に基くものとは言え、全体として、放射線防護の観点から厳格に必要だった範囲を超えていた。移住や食物制限措置は、より小規模で行うべきだった。そういう措置の実施の程度は、放射線防護の観点からは正当化されない。しかし、現在の政策を少しでも緩和すると、汚染地域住民の間にある高レベルのストレスと不安感から、そして住民の期待にそむき、マイナスの結果に至るだろう。多数の社会的及び政治的諸要因を考慮に入れる必要があり、又、最終的決定は責任と能力のある組織が行わねばならないと認識する。」

より具体的なコメントの中には、次のような言明がある:「...移住の望ましい代替として、保健に関連するすべての社会的及び経済的諸要因を考慮し、食物摂取に対する基準の緩和を検討すべきである。更に各汚染地域における現地産食品の摂取制限は、幾らかの人々の生活の質の大きな悪化を意味し、そう言う人々は、移住しても以前の生活様式に戻ろうとするだろう。食品に対する禁止レベルを比較的低くしたことが、問題を先鋭化した可能性がある。」

国際チェルノブイリ・プロジェクトは、汚染地域に住む可能性の問題に関する議論打ち切りの動機になったと言えるかも知れない。実際、ソ連政府により 1991 年 6－8 月に社会、及び、行政府と立法府代表との会見を含む措置が計画され、そこで国際チェルノブイリ・プロジェクトの結果を広範な社会に説明しようとした。しかし国の全体状況が悪化し、1991 年 8 月の事件によりソ連崩壊に至り、このため国際チェルノブイリ・プロジェクトの勧告実施や、広範な社会層への結果説明どころではなくなった。国際チェルノブイリ・プロジェクトの報告書が出たのに、プロジェクトの詳細な総括結果を採り上げたマスコミは一つもなかった。結果として、ベラルーシ、ロシアとウクライナ政府は事実上2つの観点～制限された移住プログラムを考えるソ連国家放射線安全委員会と、移住は全て余計だとみなす国際チェルノブイリ・プロジェクト～に振り回された。

チェルノブイリの悲劇に乗じて政治的、行政的及び社会的キャリアを積み重ねてきた特定の個人により社会的な不満が煽られ、行政組織は以前の決定の見直しに追い込まれた。そのような決定の見直しを専門家は支持しなかったが、専門家は率直に言って意思決定プロセスから除外

された。上述の 35 レムの考え方の他に、介入線量基準(1991 年における追加線量 1 と 5mSv)が策定された。しかしそれは、反論にも拘らず無視され、以後の措置は全て、線量基準でなく土地汚染密度基準により実施された。より後の期間においては、「地域汚染密度」は、農業生産法の組織化に対してのみ用いるのが合理的なのだが。

既に事故後初年に現地政府は、採用された放射線学的及び環境放射能学的基準の順守は強制ではないと公式表明した。より汚染した居住地が近くにあれば十分で、その時には所謂社会的所諸要因に頼ることができた。1990 年にはチェルノブイリ原発事故に関連した様々な支払いが、既に 50 万人を超える住民に対し行われていた。

1991 年に状況は複雑困難化し、非常に多くの共和国と現地指導部は、所謂放射能汚染ゾーンを最大限増やそうとした。この状況では、事故影響克服単一プログラムの作成というアイデアは全く合理的であるが(採択された被災者社会保護問題規制法と同等)、最善の形態では実施されなかった。

(1)放射能汚染ゾーン境界を決める際に、放射線学的アプローチを主張した者は、

- 既に社会的に迫害された者を含む少数の放射線防護分野の専門家
- 放射線と我々の生活における他のリスクの関係を理解している大学者
- ソ連予算からの支出規模とその可能性の限界を想定できる個々の経済学者

(2)放射線汚染ゾーンを最大限拡張する側で活発だった者は、

- ソ連国庫から財政予算と物質的資産を受取ることに熱心なウクライナとベラルーシ共和国政府とロシアの地方政府、経済-行政エリート
- 多数の社会活動家、その中には心から心配し自分の行動のマイナスの影響が理解できず、自分の政治的運命が事故影響により「啓蒙」されたとした者も居た

政治的妥協の結果についてソ連政府の明確な見解なかったので、共和国の全ての要求が事実上満足された。このため、連邦法では放射能汚染ゾーンが最大限押し広げられた。連邦法中で所謂社会-経済的特典の地位を与える下限汚染密度を 1 Ci/km^2 としたことには、原則的意義があった。多くの特典付きのこのゾーンが現れたこと自身、放射線基準とは全く関係が無い。当時の評価によれば放射能汚染ゾーン中に居る住民数は 130 万人だった。90 年代中頃、何度もの拡張の結果、汚染地域の住民数は約 7 百万人になった。残念ながら、間違った拡張の対価は、特典や補償の支払いに費やされたお金だけではない。公式に放射線被災者、事故の犠牲者と認定され、住民に深刻なモラルの喪失をもたらした。

そう簡単でなかったのが、事故影響処理清算作業参加の基準で、そのため処理清算者数が異常に増えた。1989 年春、最も厳しい作業が終わった時、チェルノブイリ原発ゾーン中の処理清算者数は、25－30 万人と評価された。しかし現実の数はこれより多く、数年経過後「事故処理清算者」数は 3 倍半の 80 万人に達した。

再度、チェルノブイリ惨事被災市民社会保護に関するソ連法、1991 年 5 月 12 日制定、に戻ろう。この時点では既に精神的に近いウクライナとベラルーシ共和国法が採択されており、数日後(5 月 15 日)類似のロシア共和国法が採択された。1991 年はソ連が存在した最後の年であることを思い出そう。1991 年春、様々な連邦協定案を含むソ連の将来構想が検討された。連邦政権は、最も権威ある共和国～ウクライナ、ベラルーシとロシア～との妥協を試みたが、最初の 2 ヶ国との関係はチェルノブイリと不可分に結び付いていた。両共和国は、連邦国庫からの強力な資金をあ

てにしていた。妥協は非常に大きな価格により達成された。先ず国の数百万住民にもたらされた損失が国家により認知され、その補償手順が定められた。法の個別条項(第5条)には、幾つかの合理的制限があったにも拘らず、そのベースには汚染密度による区域分けの根拠となる規定があった。法により、次の様な放射能汚染ゾーンが予定されていた。収用ゾーン、移住ゾーン、住民被曝線量を減らすための防護措置実施付き居住ゾーン、そして、このゾーンから任意に移住すれば補償が得られる権利付のゾーン(以後、移住権付き居住ゾーン)、社会-経済的特典付きゾーンの5つである。

この法の採択による最大のマイナス影響は、その基本的な条項に関連がある。その幾つかを見よう。

［第8条　移住ゾーン］

移住ゾーン～ロシア共和国、ウクライナ共和国とベラルーシ共和国の収用ゾーン境界外の地域で、汚染密度がCs-137 で15 Ci/km^2 、Sr-90 で3 Ci/km^2 又はPu-239、240 で0.1 Ci/km^2 。汚染密度がCs で40 Ci/km^2 又はSr-90 で3 Ci/km^2 又はPu-239、240 で0.1 Ci/km^2 、及び、Cs土地汚染密度が 15－40 Ci/km^2 の地域は、チェルノブイリ惨事からの放射性降下物による住民の年平均被曝線量が5 mSv(0.5 レム)を超える可能性があり、住民を強制移住する。ゾーンの残りの地域で他の居住地に脱出、又は、当該地域に住む決定をした市民は、この法律で定める補償と特典を受ける権利を有する。

チェルノブイリ惨事により放射能汚染を被った地域の風光及び地球科学的特徴～特に、放射性核種が植物に移動しやすい土壌がある地域の存在～を考慮し、ロシア、ウクライナ及びベラルーシ共和国立法府は、こういう個別地域に対しては、より低い放射能汚染でも、チェルノブイリ惨事からの放射性降下物による住民の年平均被曝線量が5 mSv(0.5 レム)を超える可能性があるとし、対処できる。

住民の健康状態を定期的に医療チェックする義務があり、被曝低減に向けた防護措置が行われているゾーンでは、住民はマスコミを通じ情報を得る。

移住地域に住む制度、その地域の経済利用手続きについては、ロシア、ウクライナ、ベラルーシ共和国政府が、ソ連政府と共に定める。

法のこの条項により、強制移住の考えが導入されたため、線量の大部分は既に被曝してしまっており、追加年間被曝線量が数 mSv を超えない地域から、住民の強制的移住が始まった。ロシア、ウクライナとベラルーシ共和国政府による、移住ゾーン地域内の経済活動手続きに関する最後の規定は、多くの種類の経済活動を禁止した。このため経済の急速な悪化に至った。

［第10条　社会-経済的特典という法的地位付きの居住ゾーン］

社会-経済的特典という法的地位付きの居住ゾーン～ロシア共和国、ウクライナ共和国とベラルーシ共和国の収用、移住ゾーンと移住権付き居住ゾーン境界外の地域で、Cs-137 汚染密度が1 から5 Ci/km^2 の地域。このゾーン住民の年平均実効線量当量は、1 mSv(0.1 レム)を超えてはならない。

ロシア、ウクライナ、ベラルーシ共和国政府はソ連政府と共に、このゾーン境界を決める追加基準を、他の(Cs-137 以外)長寿命放射性核種による土地汚染に則り、設定できる。

上述のゾーンにおいて、定期的に放射線管理と住民健康状態の医学管理が行われる。

引用した第 10 条は、放射線事故ゾーンに莫大な地域を取り込んだ。その面積もまだ正確には

知られておらず、大部分においては放射線安全の確保上、何の問題も存在しない。このゾーンの決定時には、その起草者も、汚染密度 1 Ci/km^2 を超える汚染地域の 30 %以上がソ連国境外にあるとは知らなかった(表 5.14)。重要なコメントとして、チェルノブイリ原発事故の結果汚染した大部分の外国では、被害の補償要求はなく、健康障害に対する個別補償は支払われなかった。

表 5.14　チェルノブイリ事故の結果、欧州諸国の Cs-137 土地放射能汚染

国	国の面積、千 km^2	1 Ci/km^2 超過汚染面積、千 km^2	降下放射能合計	
			PBq	欧州全降下量中%
オーストリア	84	11.08	1.6	2.5
ベラルーシ	210	43.50	15.0	23.4
英国	240	0.16	0.53	0.8
ドイツ	350	0.32	1.2	1.9
ギリシャ	130	1.24	0.69	1.1
イタリア	280	1.35	0.57	0.9
ノルウエー	320	7.18	2.0	3.1
ポーランド	310	0.52	0.4	0.6
ロシア(欧州部)	3800	59.30	19.0	29.7
ルーマニア	240	1.20	1.5	2.3
スロバキア	49	0.02	0.18	0.3
スロベニア	20	0.61	0.33	0.5
ウクライナ	600	37.63	12.0	18.8
フィンランド	340	19.00	3.1	4.8
チェコ	79	0.21	0.34	0.5
スイス	41	0.73	0.27	0.4
スエーデン	450	23.44	2.9	4.5
欧州全体	9700	207.5	64.0	100.0
全世界			77.0	

第 12－22 条には社会-経済法的特典地位ゾーンに住む市民、果ては軍務でこのゾーンに居たか居る軍人を含む「被災者」に対する特典と補償が規定されている。

以後、全 3 ヶ国の「チェルノブイリ」法は、細かな変更があったが、本質は以前のままだった。現在の知見では健康に何の障害も無い数百万人に特典と補償が支払われている。

1991 年に、「連邦－共和国事故影響克服プログラム」の実施が始まった。以後、全 3 ヶ国で影響克服国家プログラムが実施され今も実施中であるが、過剰な特典と補償は国家予算に対し深刻な負荷になっていて(ベラルーシとウクライナでは予算の相当部分)、実践的な措置への予算割当てを困難にしている。ここで、大部分の予算は、面積と人口が最大の社会-経済特典法的地位ゾーンに費やされている。これは、ロシアの 1992－2000 年間の特徴でもある。このように、法に述べられている Cs-137 土地汚染密度の等高線 1、5、15、40 Ci/km^2 に基くゾーン分けは、予算の浪費を招き、具体的な地域で実際に必要な目的を絞った支援を妨害した。

第 8－10 条による第 2 の問題規定は、住民の健康状態の医療管理義務を優先していた。抽象的意味で人間的な考えは、チェルノブイリ原発事故の後期段階という具体的状況において、極めてネガティブな役割を演じた。医学的にあり得る影響は十分明確に描けた状況で、大量の予算が医療管理に割かれた。これは何よりも先ず、特に発生が予想された甲状腺がんであり、本質上、検診というスクリーニングの結果みつかった。あり得る残りの影響、例えば固体がんや遺伝欠陥は、真剣で長期の科学的研究結果によってのみ見つけられ得た。法は別物を義務付け、実践保健機関を住民の健康状態悪化の証拠探しに向けていた。生活水準が急低下し、人口論的にも良くない状況では、これらの証拠はすぐ見つかった。汚染州住民の集団意識中に、現実の健康問題と放射線

影響との妄信的な相関関係が形成された。この傾向が最も頑固だったのは、死亡率他の生活水準低下の表われを示す指標に直面した一部の医療労働者だった。原則的に重要なコメントとして、汚染地区と州の人口指標は、ロシアの他地域のバックグランドと何ら区別できないにも拘わらず、有意を主張する医療労働者が多い。

これら施行された法の最も深刻な誤りは、環境特性～Cs-137 土地汚染密度～をゾーン境界決定に密接に結びつけたことだった。専門家には良く知られているように、事故後の時間経過と共に、土地汚染密度と被曝線量との関係はますます薄くなって行く。それどころか、Cs-137 土地汚染密度が同じでも、風光と生物地球科学的特性により、内部被曝線量は数十倍・数百倍変わり得る。

唯一合理的な出口は、「チェルノブイリ」法の基本規定の根本的変更であろう。しかしそのためには、社会の放射線リスクに対する正しい理解と、全ての社会層の環境文化全般の意識レベル向上が必要である。

5.3.3 放射線事故影響克服国家プログラム

ソ連が存在しなくなった後、新しい全3ヶ国で、チェルノブイリ原発事故影響克服国家プログラムの実施が続けられた。プログラムは、次の方向の総合的作業を予定していた。住民移住、社会保護、環境状態と住民被曝線量のモニタリング、線量負荷低減、農林業における措置、住民と地域の社会-心理学的及び経済的リハビリの7項目である。全3ヶ国で、プログラムで意図された目的の完全達成には成功しなかった。これは、資金不足だけでなく、プログラムの目的設定時の原則的な誤りのためでもある。それは、通常、「チェルノブイリ」法の条文に基いていた。

明らかに、1991 年に採択された目標～人間の全居住環境要素の改善により放射線作用を補償する～の達成は原理的に困難である。安定した社会なら出来たかも知れない。しかし、設定された目的を、全面的に生活水準が下がる状況の中で達成するのは実際には不可能である。最も深刻な誤りは次の通りである。

- 住民移住プログラム
- 事故影響処理清算作業への参加に関する極端な義務、特に処理清算作業者への住宅供与と不具に関する特典の部分
- 放射能汚染ゾーンに入る全地域に向けたプログラム

例として、ロシアの 1992－2000 年間における国家プログラム実施の幾つかの問題を検討しよう。それは、様々な年に様々に呼ばれた(単一国家プログラム、緊急措置プログラム、1998－2000 年に対する連邦特別プログラム)。他に、特別プログラム「チェルノブイリの子供」と「事故処理清算者に対する住居」が実施されている。ロシアの困難な経済状況にも拘らず、1992－1995 年間だけで事故影響克服作業に9兆ルーブリ以上が費やされ、法に従い特典と補償の形で5兆ルーブリが支払われた(総額 30 億ドルを超える)。

プログラムは 250 万人以上の市民に係ったが、その大部分は汚染の弱い社会-経済的特典法地位ゾーンに住んでいた。予算の大部分は、放射線被曝被災者の社会保護、事故の影響を受けた地域の経済的リハビリに費やされた。事故影響処理清算作業者と住民(ゾーンにより区別)には、多くの特典と補償が提示されている。

1992－1995 年間には、ブリャンスク州住民の移住が予定された。これは 1989 年に大規模実施

され始めたもの。この措置実施の結果、事故後の年々に汚染地域からほぼ 5 万人が任意に移住又は脱出した(図 5.1)。強制移住居住地には 2 千人以上が住んでいる。再度思い出そう。移住に関する決定は、世論と立法機関の圧力の下で採択された。特徴的に、90 年代初め放射能汚染ゾーンで差引きプラスの人口動態が見られるようになった(図 5.2)。

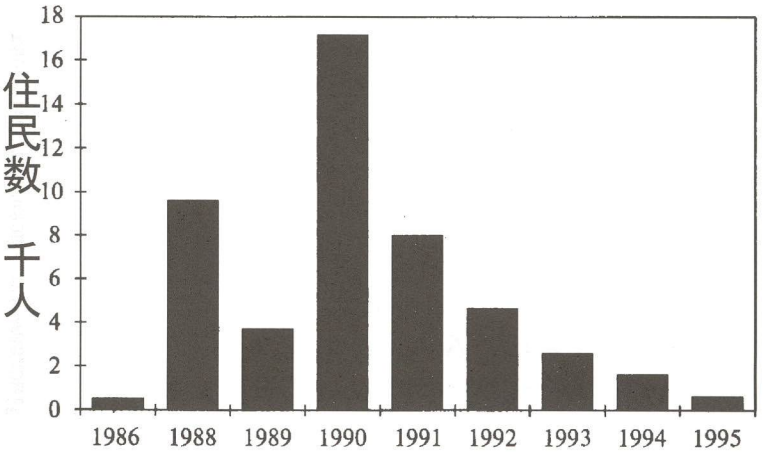

図 5.1　放射能汚染したブリャンスク州居住地からの移住民数の変化、 千人

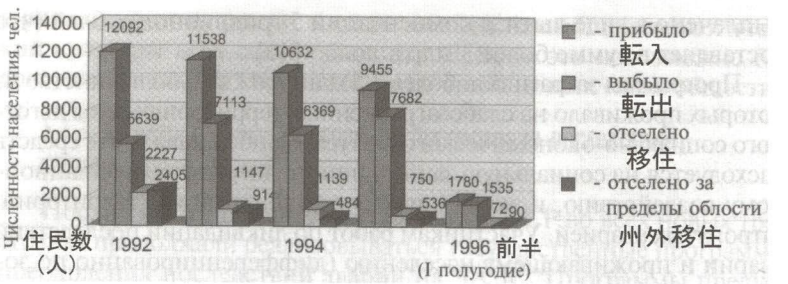

図 5.2　ブリャンスク州の住民移動(移住ゾーンと移住権付きゾーン)

事故影響克服プログラムの結果を評価するためには、放射能汚染ゾーンにおける社会-心理学的状況に影響を与えたか知ることが重要である。放射能汚染ゾーンにおける社会-心理学的状況のモニタリングにより確認できたこととして、1993 年までの経済改革初期では、連邦プログラムには住民に対する明確な補償効果があった。国全体の特徴であるマイナスの傾向は、ここでは幾つかの留保や不明確な形で現れた。幾つかの指標(内的ストレス他)によれば、特典法的地位ゾーンと移住権付きゾーンの状況は、コントロール地域よりも良かった。全面的な生活水準低下により、徐々にこの差は確認できなくなった。マイナスの傾向について、深刻な変化は起こらなかった。以前同様、コントロール地域の住民に比べ、自分の健康、環境汚染状況とこれらの諸問題に関し自分の持つ情報を、遥かに悪く評価していた。こうして次のように結論できる。チェルノブイリ原発事故影響克服プログラムは所期の目的とその成果を達成できなかったと。

これに劣らず劇的なのが、チェルノブイリ原発事故影響の処理清算作業に参加した者の状況である。法により予定された障害者に対する多額の特典は、この人間集団の障害者数の激増を誘

発した。実践保健労働者が放射線影響の特徴を知らなかったため、どんな健康上の変化もチェルノブイリ原発地区に居た事実と結び付けられた。驚くべき例として、事故処理清算者の疾病率の局地的な急増が挙げられる。1986 年夏、事故対策作業にロストフ州サリスク市から予備役集団が動員された。ほぼ全員、ゴメリ州ペチコフシン村地区で働いた。この居住地地区の放射線状況データによれば、数ヶ月の間にこの集団の個人は 50mSv を超えない線量を受け得た。それでも、1994 年にほぼ 70%(120 人中 80 人以上)が、特別医学委員会の結論により有病者となった。これは唯一の例ではない。事故処理清算者の健康問題は～そして手当て支払い留保に対する合法的な抗議活動も同様に～全世代の生涯に亙り続く。事故影響処理清算者の死亡率が高い～それも超高い～という記事が現れるのが常態になった。コメントするが、それは現実とは許せないほど矛盾する。ロシア医学-線量登録データによれば、事故影響処理清算者の死亡率は、コントロール群より高くないどころか、低い。

90 年代初め、チェルノブイリ原発事故影響処理清算に関し採られた措置の影響で、ウラル地域の放射線汚染の影響が、何よりも先ず社会と住民の側から、新たに注目された。正当な法が採択されたが、「チェルノブイリ」法の効果が、特典と補償部分の汚染地域住民に行き渡るのが大幅に遅れた。そこで 1995 年までの期間のウラル地域放射線リハビリと被災者支援措置に関するロシア連邦国家プログラムが策定され、施行された。その後、類似のプログラムが採択された。

プログラムの主な目的は次の通りだった。

- 生産連合「マヤク」の活動に関連する放射性廃棄物閉じ込めとウラル地域の汚染予防
- 汚染地域の環境健全化(リハビリ)
- 環境-放射線状況モニタリングシステムの開発
- 住民の医療サービスと保健レベルの向上
- 社会及び生産インフラの開発

プログラムの技術的部分～カルチャイ湖とテチャ川貯水池カスケード～は、疑い無く、放射線安全状況を改善できる。特に住民と地域に関する部分では、ウラル・プログラムはチェルノブイリに良く似ている。現地政府の極端な期待、政府により承認された最初のプログラムに対する事実上全面的な疑問は、無益だった。実際のプログラム予算は極度に少なく、約束の数十分の 1 以下だった。こういう状況では、過度な補償政策は地域の社会及び環境学的な諸問題が増悪するだけだ。

シベリア化学コンビナートにおける 1993 年の事故は、放射線事故の影響処理清算に対する社会の注目が最も高かった時期に発生した。チェルノブイリ・プログラムの予算はピークに近かったし、ウラル・プログラムも始まっていた。この状況中では、新しい事故～より正確には事象;[incident]～の影響処理清算のため、巨大規模プログラムが採択されるように思えた。トムスク州行政庁は、数百万ドルの費用がかかるプログラムを策定したが、政府はそれを承認しなかった。その結果、極めて効果の無いことに予算が消費された例もあるが(予防線量 1 人 Sv に対する費用が 44 億ドルと極めて大きい個別措置もあった)、全体として敷地境界外の事故影響処理清算に対する支出は大きくはなかった(約 20 万ドル)。

再度コメントする必要があることとして、1991 年のチェルノブイリ法の採択時に、深刻な誤りがなされ、修正は不可能ではないにせよ困難であった。チェルノブイリ・プログラムのベラルーシとウクライナにおける実施状況はロシアに近かったが、より悪いこともしばしばだった。何

故なら、これらの諸国における生活の中でそれらは、遥かに大きな役割と場所を占めていたから。しかし、放射線要因の過大評価に間連する誤りは、現実でない課題を設定し、その後実施すらされず、残念ながら、最近まで同様なキャンペーンが繰り返された。

5.3.4 人間と社会に対する放射線以外の影響因子

発生した放射線事故、何よりも先ずチェルノブイリ原発における惨事の経験が示したように、住民に対し個人及び集団レベルでの影響にある程度寄与したのは、放射線要因だけでなく、というよりもむしろ交錯する情報の影響だった。これは、1 面では特に放射線リスクの認識によるもので、別の面ではそれを増幅する社会そのものの機構による。

放射線リスクの正しい認識の必要性と特徴を簡単に検討しよう。目に見えず、感覚器官で知覚できないが、極めて危険な要因としての放射線に対する認識形成の出発点は、核兵器、日本への原爆投下とその後の大規模核実験である。半世紀の核軍拡は、事実上全ての核兵器国を捉え(40年代末の米、英とソ連から、90 年代末のインドとパキスタンまで)、核の対立が続いたことが、不十分な放射線リスク認識が極度に先鋭化し強まった主な原因の一つである。電離性放射線は、健康に対する脅威としてだけでなく、将来世代に対する避けようのない危険性としても広く認識され出した。

核軍拡以外にも多くの諸要因があり、上記の電離性放射線作用についての認識が一般化していった。その中には次の様なものを示すことができる。全ての核国家における秘密性、全面的に取り囲まれている核兵器生産工場と貯蔵所、核実験と新種核兵器(水爆と中性子爆弾)生産と具体的な諸国への配備の禁止を求める国際運動、防止する活動にも拘らずこの危険な兵器が国際社会に拡散する不安、人間の健康と環境に対する放射線作用の研究に対する国際社会の入念な注意などである。

このように、毎日の生活において特に放射線リスクを認知する必要性については十分大きな根拠がある。放射線事故時には、技術由来の事故と惨事の特質から、これは深刻なレベルに到る。確認できることとして、社会は自然災害には～破滅的影響でも～概して冷静に応じる傾向がある。これを実証する根拠として、地震、洪水、、嵐、竜巻の被災地域では、自然災害の再発の危険性が非常に高い場合ですら、市民生活活動は急速に復旧するという、多数の例が挙げられる。

技術由来の事故が発生した場合、社会の最初の反応は、起ったことの原因と責任の追求である。ここで責任レベルが重い程、深刻な惨事と社会は認識する。従って、国が管理する事業所での事故や惨事の社会的影響は最も深刻になる。このように、電離性放射線源の応用、又、原子力活動は、完全に国家により行われるか、その厳格な監視と規制下にある為なおのこと、放射線事故の社会的影響は明らかに最も重大になる。

全体として、社会の事故と惨事への関係は 2 つの反応に分けられ得る。第 1 は全体としては十分な反応で次の段階を含む。惨事の解明と被災者の明瞭な分類、起ったことの原因と責任の追求、普通は保険による被災者に補償するメカニズム、責任者処罰(生産者、運転組織)、同様の事故の再発に至り得る原因の除去(構造と組織の不備、人的要因他)。こういう種類の事故としては先ず第一に、火事と交通事故がある。

犠牲者の絶対数がどんなに多くても、社会は交通事故リスクに適応していると想定できる。自動車、鉄道、航空と船舶において、数十、数百や数千人の死者が出ても、あれやこれやの交通手段

の必要性が疑問視されることはない。社会にとってこのリスクは、社会的に容認できると想定すべきである。

別の反応には比較的稀な技術由来の事故があり、それに対する社会の反応は遥かに複雑で厳しいと想定される。これは放射線と化学事故である。これらの場合、事故の情報に対する住民の一次反応は、何よりも先ず放射線事故の場合は、自分と子孫の健康に対する不安である。被災者の範囲は完全には明瞭でない。直ぐに事故に至った活動を認可した政府に対して責めが及ぶ。この後、社会的な増幅メカニズムが入る。社会的な注目や認識に興味を持つ人々、集団や組織が、マスコミに支援され事象を激化させる。マスコミにおける事象の激化自身も社会不安を増幅し、「被災者」の範囲を拡大する。こういう増幅メカニズムの社会的影響は非常に様々で、科学や個別の種類の活動における社会との関係が根本的に変わる場合もある。

増幅過程に活発に参加しうる人々と組織の範囲を、簡単に描こう。第 1 に、現地政府と政治活動家である。様々な動機による(「国家の側からの補償増加を望む」から、「自分個人に社会の関心を引き付ける」に至る)これらの人々の活動は、しばしば全く純粋である。しかし対象物の理解が弱く、専門家側からの公式情報の利用を望まず、反対の論理そのものと同じになり、不可避的に事故後状況を激化させる。国家全体と比べ、現地政府のこの種の情報能力が高く、信頼も高い場合、住民に対する影響は非常に深刻になる。現地政府のこういう国家への補償要求反応を無く出来るだろうか? Yes、しかしチェルノブイリ原発事故後ではほとんど見られなかった。

1991 年、共和国(ウクライナ、ベラルーシとロシア)と連邦法の採択後、特典法地位の地域が何倍にも拡大した。全ての地域の政府が、放射能汚染地域に含めるようデータを提出した。例外は、幾つかの保養地区が汚染したクラスノダル地方だった。現地政府は、保養所の名声を失うまいと、殆ど自発的に狭い汚染地域の除染作業に取り掛かった。

社会不安の増幅過程に参加する能力があり準備のある第 2 グループは、環境と反軍組織である。常時活動している組織が、その反応の不可避性と先鋭さと方向を規定する。事故影響の激烈化は、彼らの以前の全ての活動の有用性と内容を証明することになる。ある役割を演じるのは、放射線事故犠牲者の退役軍人の運動である。その本質上、彼らは一面では獲得した犠牲者の地位とそれに相当すつ補償と手当てを確保しようとし、別の面では放射線事故への自分の参加を神話化しようとする。そして更に、状況を劇化し、社会の側からの共感を得ようとする。

影響増幅プロセスで劇的な役割を演じる第 3 のグループは、文化、芸術の知識人代表である。自らを人民の良心と同一視する聖像意識に放射線作用についてのステレオタイプ化された認識が重なると、心理的影響が何倍にも増幅され得る。例えば、チェルノブイリ原発事故後、文化活動家の主導で、チェルノブイリ犠牲者埋葬の危険性だけでなく、死者を「汚染」土内に埋葬する「非倫理性」までが議論された。第 1 と第 2 の問題は(ユニークな場合を除き)、余計な考えだが、社会に莫大な影響を与える潜在性をもっている。類似の問題が、ゴイアニア(ブラジル、1988 年)の放射線事故後にあった。そこでは、死者の墓地埋葬に住民が激しく反対した。

文化活動家の関与があると専門用語が締め出される。例えば、土地の放射能汚染は土壌中に有害(この場合は放射性)物質が存在することを意味するが、放射性感染(病原菌により満たされる)に変えられる。更に劇的なのは、地域の障害(軍事解釈の他に)は「健康」が失われた地域と同じと認識され得る。

放射線事故が経済的に利益になる活動条件中で起こった場合、状況を激烈化するプロセスに

代替技術を用いる組織や集団が参加し得る。チェルノブイリ原発事故後これらの諸要因の役割を過小評価するのは不当であろう。それどころか大いに納得できることとして、原子力と火力発電の戦略的な対立の役割を証拠付ける一連の論拠がある。

放射線事故後の様々な段階において、上述のグループの役割と活動性は変わり得る。つまり、文化活動家による問題への関与は常に、比較的短い移行期に限られる。環境組織は普通、より長期間活動する。とは言え、その活動、目的と課題が何らプラスの結果を与えないこともありえる。例えば、子供を温暖な気候のロシア中部地帯から南のクリミヤ又はキューバに休暇に送り出すための資金集めキャンペーンの効果は疑わしい。資金集めの動機～「放射線障害の子供」～に関しても、達成され得る予防効果に関しても。圧倒的に健康な子供に対してはプラスだが。

原則的に重要な唯一のこととして、放射線事故に遭った人々の本当の心理的リハビリは、現地政府が問題の本質を理解し、そのプロセス中で協力する場合にのみ可能である。

5.4 事故時の放射線と線量測定管理の諸問題

放射線事故における線量測定の実践と問題を現状分析した経験の蓄積により、我々にはこの分野におけるアプローチと勧告のシステム化を試みることが出来る。

事故時の環境放射線管理と対策に動員された人々の個人線量測定管理は、次を含む。

- 最も重要で代表的な放射線パラメータの測定
- 1 次情報を指定通り伝達、記録、保管
- 情報を分析し、放射線状況、被曝線量と可能な放射線影響の予測
- 管理結果を提出し、目的に適う最適の、人々、植物、動物界の放射線防護措置を策定

5.4.1 環境の放射線管理

事故初期段階における環境放射線管理の主な課題は、放出特性と防護障壁境界外に放出された放射性物質を緊急に測定し、事故地区の気象(水理)状況データを得て、現地のγ線量率と地表に近い大気層(水)中の放射性核種の体積濃度を評価することである。これらの課題の解決は、衛生-防護ゾーンと放射線危険性のある事業所の監視ゾーン中で稼動している当局の常設観測網、および、境界外の地域水理気象観測網、衛生部門と移動ラボ(グループ)の支援を受けた民間防衛軍の放射線踏査に依拠している。図 5.3 に、放射線危険施設の通常運転時の典型的な放射線管理スキームを示す。

事故事象が突然発生し速く進行する条件では、最も早い情報(何よりも先ず、事故地区と監視ゾーンのγ線量率地図)は、確認(警報)と言う性格を持たざるを得ず、第一に事故の発生源と放射性物質拡散セクタにおける最初の防護措置を展開し、更に管理システムを平常から緊急時事故モードに素早く切り替えるためのものである。

例えば原子力発電所に対しては、事故状況を宣言する基準は、現地の特定管理場所と生産区画中の外部被曝線量当量率と空気中の I-131 放射能濃度である(表 5.15)。

強調すべきこととして、表 5.15 に示す基準は、防護措置の実施を直接規定するものではなく、事故の事実を警報発信し、事故対策システムを準備する必要性を示すだけである。つまり、事故状況が宣言されるのは監視ゾーンの開放場所の線量率が 20 μ Sv/時になった時である。このレベルで 10 日間変わらなかったとしても、実効線量は約 2mSv であり、放射線安全基準によれば住民をシェルタ収容するレベル A～5mSv～よりも低い。

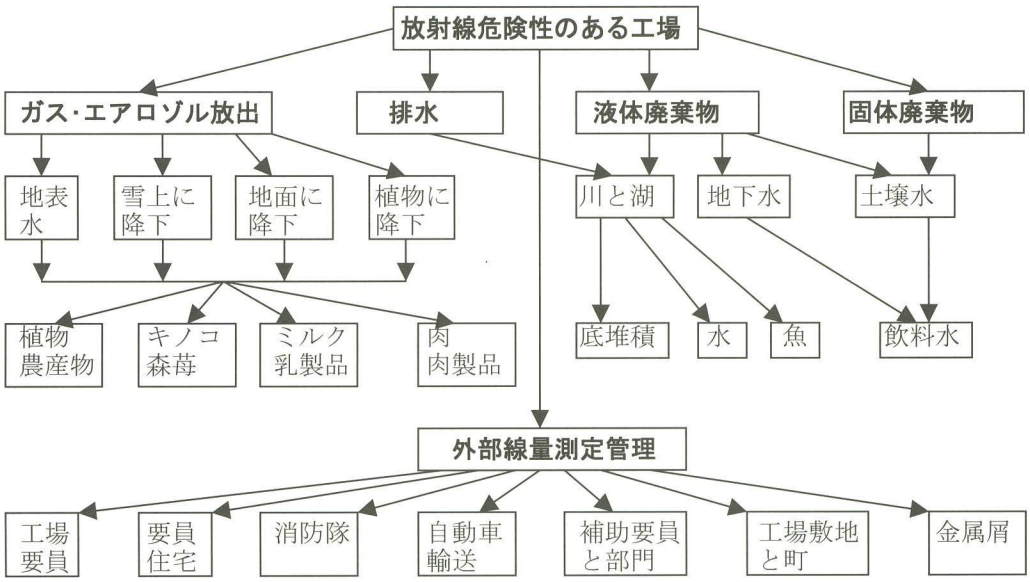

図 5.3　放射線生産施設の通常運転条件における放射能汚染源と放射線管理対象物

表 5.15　原子力発電所における「事故準備」と「事故状況」宣言基準

No.	管理パラメータ、管理場所	事故準備	事故状況
1.	線量当量率、　μSv/時		
1.1	要員が常時居る区画	> 29	> 600
1.2	敷地と衛生-防護ゾーン	> 2.4	> 200
1.3	原子力発電所監視ゾーン	> 0.6	> 20*
2.	空気中 I-131 放射能濃度、　Bq/ﾘｯﾄﾙ		
2.1	要員が常時居る区画	> 0.16	> ～2.6
2.2	敷地と衛生-防護ゾーン	> 0.006	> 7.4
2.3	原子力発電所監視ゾーン	> 0.006	> 0.60*
*	放射線高感受性集団(年齢 1－8 歳の子供)に対し設定。		

生産連合「マヤク」(1957 年)とシベリア化学コンビナート(1993 年)における放射線事故は、放射性物質の大気放出量が大きく異なる。それでも一連の共通点がある。

- 設備容器が爆発的に破壊した結果、事故放出と放射能跡が形成される速さ
- 技術文書により確認された溶液の核種組成は、Zr-95＋Nb-95、Ru-106＋Rh-106 と Ce-144＋Pr-144 を含み、それらは放出中と降下中に分留せず、γ線により環境中で緊急測定できた。しかし事故発生まで溶液の放射線管理は、全β放射能測定により行われ、Sr-90＋Y-90 試料線源校正時に、放射性混合物中の核種バランス比率が、数倍歪められ得た
- 汚染空気塊が、直ぐ近くにある閉鎖都市オゼルスクとセベルスクを通過した。そこでは放射能観測所網が最も整備され運用されていた。工場ゾーン境界外の常設放射能測定所の配置は希薄で、実時間では放射能跡の位置と形を同定できなかった。1957 年事故時に放射能跡頭部の放射線状況についての最初の確認情報が得られたのは事故の数日後で、トムスク放射能跡の場合は数時間後だった
- 主に 1 階建ての村では、放射性雲からの外部被曝線量を下げる可能性は限られている(γ線

低減倍率は、木造家屋に対し 0.9、石造家屋に対し 0.6)。このため、住民のシェルタ収容は、村住民にタイムリーに通報された場合でも、放射性核種の吸入及び皮膚と衣服の汚染を下げる面でのみ有効となり得た

放射線安全性を確保する重要な手段は、通常運転時でも事故時でも、環境放射線モニタリングである。それは、環境の放射能汚染指標と生物界の状況パラメータを定期的に観察するシステムと理解され、その目的は人間と環境に対する望ましくない影響をタイムリーに見付け予測することである。環境放射線モニタリング・データは、放射線安全性確保に関する管理上の決定プロセスを支援する情報を提供する。環境放射能モニタリングは、幾つかの下部システムに分けられる。つまり定期放射線管理、放射線状況の自動連続管理と環境放射能管理独自の下部システムである。

事故後の環境状況に対する定期放射線管理の基本課題は、

- 全地球的な放射線バックグランドを確実に記録できる感度で、自然環境の放射能汚染レベルを系統的に観察する
- 様々な地点における土地と自然環境の放射能汚染を見付ける
- 環境放射能汚染のレベルと規模を評価し、汚染の核種組成を測定する
- 環境放射能汚染レベルの変化を管理する
- 放射能汚染とその汚染の影響により発生した放射線危険性を評価する。危険度の観点から、様々な環境体の汚染を構成する核種中で優越核種を見付ける
- 放射線状況の変化と放射能汚染の影響を予測する
- 事故施設が立地されている地区の放射線状況と環境状況及びその変化についての情報を収集し、取り纏めて、関連機関と官庁に伝える

放射線状況の自動管理システムの基本課題は、事故放出の発見、放射能汚染拡大及びその環境と住民に対する影響の予測である。この課題が解決できるためには、様々な設備手段～つまり放射線を記録し、そして情報を収集、伝送と処理する特別プログラムの枠内で、放射線状況自動管理統一国家システム(EGASKRO)の作成が必要である。

EGASKRO の基本機能は次の通りである。

- 環境の放射線状況を常時追跡
- 放射線状況を分析、評価、予測し、緊急事態を予防する
- 放射線緊急事態発生時に防護措置実施に関する提案を策定する
- 専門データベース、コンピュータ・モデルと全地球情報システムを構築し、住民の環境の放射線安全性確保に関する行政決定を情報支援する

EGRASRO は多重レベルシステムであり、放射線上危険な状況が発生した際に、国家、地域、地区又は局地レベルで意思決定を行う人々に対し、支援情報を提供しなくてはならない。

EGRASRO の重要機能の一つは、放射線事故時に環境汚染影響の信頼性の高い予測の策定である。一般的な場合、予測プロセスは次の諸段階を含む。

- 環境の汚染源と汚染構成要素の移行に関する必要入力情報の収集と分析
- 放射線放出の環境影響数学モデルの策定と、モデルのパラメータの決定
- 必要な計算を実行し、環境放射能状況の評価がしやすいよう結果を視覚化
- 実際のプロセス・モデルの適切性と予測情報の信頼性の評価

放射線-危険性のある施設が立地されている地区の環境放射能モニタリングの基本目的は次の通りである。

- 人間と自然環境に対する可能な放射線影響の測定
- 環境状況の特徴となる指標の総合的解明
- 環境放射能状況を予測する情報の獲得
- 放射線-危険性のある施設運転時の環境保全確保

地域環境放射能モニタリングは、次のものに対する放射能測定と線量測定観察を含む。大気、放射能降下物、水源～表層と地下水を含む土壌、自然界及び農産物、都市環境、住民6項目である。

定期的放射線管理とEGASKROは、地域環境放射能モニタリング・システムの構成部分であり、それは十分汎用性があり、かつ、施設の通常状態並びに様々な深刻度の事故状態において有用でなければならない。ここで管理システムは、必要な入力データを得て、放射線状況を評価し、被曝線量を決定し、住民と環境の保護に関する意思決定が運用出来なくてはならない。

環境への放射性核種の移行源に対する管理の信頼性を向上するため、管理手段は何重にも多重化され、管理システムは全体として自立し、放射線-危険性のある施設の運転とは独立に機能し、事故時や送電網遮断時にも稼働能力が確保されねばならない。

緊急放射線管理の最終端としてのタイムリーな通報の意義は、チェルノブイリ事故の教訓から、ほぼ明らかである。事故放出の大部分は10日間に起こったため、住民のシェルタ収容とタイムリーなヨウ素予防は、現実に達成可能な措置だったと想定される。それでも大部分の場合、それらは必要な範囲で実施されなかった。これは、状況によれば(放射線状況が急速に悪化し)その実施の必要性が明らかだったプリピャチ市でも同様だった。

事故の中間段階では、全汚染地域のγ線量率、線量形成核種の降下密度、農産物と食品の汚染レベル等のより詳細なデータが得られるようになる。事故前から置かれていた常設管理ポストの役割は下がり、逆に様々な形態の可動放射線測定ラボの役割が増える。事故の中間段階の終りと最終段階には、新しい常設観測網が設けられ、総合放射線-衛生及び環境放射能調査が行われ、長期の放射線状況予測が目指される。

事故放射線管理の最も重要な実践的結果の一つは、汚染地域の放射能ゾーン区分けである。経験によれば、ゾーン区分けのために含まれ得る基本的な放射線パラメータには、住民の外部及び内部被曝の予測線量(線量カタログの編集又は線量レベルに従い居住地リストをランク分け)、放射能降下完了後のγ線量率、最も生物学的に重要な放射性核種(I-131、Sr-90、Cs-137、Pu-239、240)による土地汚染密度、現地ミルク他の食品の放射能濃度がある。

事故後、様々なパラメータによる放射能汚染ゾーンを同時に設定するためには、その階層と適用条件を明確に理解する必要がある。環境安全性よりも人間の安全性が優先するので、線量によるゾーン分けが、環境放射能よりも優先されねばならない。しかしチェルノブイリ事故の経験が示すように、明快さと再現性から時間的安定性が高い Cs-137 土地汚染密度が、より手っ取り速く、判りやすく、社会的認識のためには被曝線量自体よりも受け容れやすかった。そしてそれが、残念ながら、市民の放射線及び社会保護法として法的に固定されてしまった。更に、事故ゾーン分けはその性格上、常に動くものなので、放射線状況の変化に伴い定期的に見直す必要がある。

国際勧告の出発点として、放射線防護は、事故後の様々な期間に積み重ねられた具体的な被曝条件を考慮し、構築されねばならない。ここでは、以前の被曝は考慮されない。住民の放射線防護

は介入と解釈され、従って設定された住民に対する暫定線量限度は、被曝を制限する根拠として、現在の放射線防護理論の立場からは根拠がない*。*[脚注*:　介入(intervention)の概念はチェルノブイリ事故に引き続き発展し、1991 年に ICRP Publication 60 に結実した。とは言っても、1983 年に採択された事故所期段階における住民防護基準では、既に介入の考えが用いられていた]*　しかし巨大放射線事故条件における認識と管理の特質を考慮すれば、こういう認定に反論が無い訳ではない。例えば、国家の戦略的決定をする人々にとって、重要な因子は次のものであり得る。

- 被災民に国家が保証する安全レベルの達成～暫定許容線量のように
- 行政上の決定の結果、時と共に放射線状況が改善していることを実証する～例えこの改善の原因が自然によるものであっても～時と共に放射線衛生規則を厳しくし、達成された安全レベルを固定する
- 事故による各地域と住民集団に対する放射線学的な損害を正当に評価し、国家がそれを認知し、様々なやり方で補償する～生涯線量基準により同定可能かも知れない
- 一法基盤の統一を目指し、線量を、放射線防護のためだけでなく、被災民と非被災集団の間の社会的な線引きを表わす適切な定量的指標としても用いる
- 国内の放射線-衛生要求の標準化を目指す～例えば、食品中の許容放射性核種濃度。

管理メカニズムは、理論的な放射線防護システムの枠を出て、社会的及び政治的諸要因が同等の駆動力となり、特に放射線事故の際には、実際の安全システムを形作る。

事故時環境放射線管理の範囲と形態は、現実に積み重ねられる経験的要素から出発し設定される。ウラルとチェルノブイリ事故の経験に基き、巨大放射線事故後に勧告される特徴的な放射線管理スキームを、図 5.4 に示す。

図 5.4　放射線事故後の環境放射線管理の形態

1. 連続管理
- 1.1. γ と β+γ 線空気吸収線量率(地上 1 m)
- 1.2. 水中放射性物質濃度(全 α と β 放射能)

2. 定期的(システムによる)管理
- 2.1. 地表大気中放射性物質濃度(全 α と β 放射能、揮発成分とアエロゾル)
- 2.2. 地表大気中放射性核種濃度
- 2.3. 水中放射性核種濃度
- 2.4. γ 又は β+γ 吸収線量(空気、組織)
- 2.5. 放射能降下強度
- 2.6. 地表からの β 粒子束密度

3. 調査による管理
- 3.1. γ 又は β+γ 線照射線量率(全監視ゾーンに適用)
- 3.2. 地表からの β 粒子束密度(全監視ゾーンに適用)
- 3.3. 土壌中放射性核種濃度(それに基き－個別核種による土地の放射能汚染密度)－監視ゾーンに適用
- 3.4. 水中放射性核種濃度
- 3.5. 生産物、薬草、農産物と飼料産物中の放射性核種濃度
- 3.6. 非食品用現地産物中の放射性核種濃度
- 3.7. γ 線照射線量率(及び空気中放射性物質濃度)－放出雲の軌跡付近とその内部

コメントすべきこととして、全ての放射線パラメータの測定は、事故の後期段階では義務ではなく(例えば、図 5.4 の 1.2、2.2、2.4、2.6)、放射線生物学的に重要な長寿命核種を選択でき(例えば、2.1、3.5、3.6)、事故管理地域も削減できる。

5.4.2 放射線状況分析のモデルと方法

事故時放射線管理とチェルノブイリ事故後の対応の経験に加え、計算機技術の能力が何倍にも増えたので、放射線状況と放射線影響の分析と予測法は大きく進歩した。現時点では、多数の環境中の放射性核種拡散評価と住民の被曝評価モデルが開発されている。放射線及び放射能状況を評価と予測するため、次のモデルが適用される。

- 大気中放射性物質拡散
- 農業と自然環境システムにおける放射性核種の移行評価
- 土壌中の放射性核種の垂直移行
- 表層水中の放射性核種の拡散
- 電離性放射線場の特性計算
- 動植物産物の汚染評価
- 人間の外部及び内部被曝線量評価と予測

放射性核種の大気拡散モデル中で最も広く受け容れられているのはガウスモデルである。それは、任意の点の放射性混合物の希釈関数として、垂直及び水平方向にガウス分布を想定する。分散は、放出源距離と地表粗度の経験的関数として与えられる。ここで分布に関するデータは、実験が行われた以上の他の拡散条件に対してもそのまま用いられる。そのためこのモデルの適用範囲には次の制限がある。地表近くの放出源、距離は 10－20 km まで、風速 5－10 m/秒。こういうモデルはコンピュータ・システムの形で実現され、そのサービス水準は様々である。一例は TRACE システム[ロシア開発]で、それにより放出後時間に依存し、予測汚染密度値(合計と核種毎)と住民の様々な年齢グループに対する実効被曝線量及び線量当量を計算し、表と地図の形に提示できる。

他のガウス分布コンピュータ・モデルの例が、ATSTEP システム[CAP88-PC、USEPA、1992]で、ここでは、流れのセグメント・モデルと球塊のハイブリッド・モデルが用いられる。近く(40 km まで)の放射能混合物の拡散は、幾つかの球塊と時間ステップによりモデル化される。

ガウス・モデルの適用範囲が限られているので、より複雑なモデル～例えばラグランジェ～を用いる必要がある。そういうモデルは、垂直構造と大気境界層の相似則、三次元風場、降水、地表形状の影響を考慮し、数百 km までの距離の放射線状況を予測できる。

現在外国で用いられているコンピュータ・モデル MARC-1、UFOMOD、COSYMA、MACCS、CRRIS は、実時間運用を予定していない。EC 委員会の下で実施されている RODOS プロジェクトの枠内で、実時間で稼動する欧州単一システムの構築が想定されている。そういう意思決定支援システムは、その複雑さと汎用性から、大型コンピュータとグラフィック・ステーションの利用を要求するため、広範な定着化のためには経済的制約が大きい。

放射性混合物の大気中拡散計算においてキーとなる役割を果たすのは、気象状況とその予測についてのデータである。ロシアや外国で広く受け容れられている(RODOS プロジェクトの枠内で)のは RECASS コンピュータ・システムである。研究生産連合「タイフーン」により、コンピュータによる 1 次気象データ～風速と風向、気温、地上環境データ、大気湿度他～処理、伝送及び表示が、開発され実現された。上記パラメータの予測は、12 時間ごとの時間ステップに対し行われる。放出物拡散計算の入力データとして用いられる風の場は、相当希薄な測候所網から内挿するため、追加誤差を生む。事故状況においては、放出源場所～例えば原発の気象鉄塔～から、常時

データが得られ得る。この情報は、放出特性に対する運用データと放射線モニタリングデータと共に、より正確な大気中の放射性核種拡散計算のために利用し得る。混合物輸送ラグランジェ・モデルと、ガウスモデルに比べより完全な入力データ・セットを用いるコンピュータ・システムの例には、「NOSTRADAMUS」がなり得る[ロシア開発]。これは、事故規模～局地的(放出継続時間が数時間、拡散距離が数十 km)から全国的(数日間放出、1－2 千 km 拡散) ～による差が分析できる。

「NOSTRADAMUS」システムは、大気中に放射性物質がアエロゾルと気体状で放出された後、地上降下する際の、放射線状況予測の運用のため用いられる。それは又、垂直風速場の補完に必要な大気境界層モデルを持ち、気象データにより大気安定度カテゴリーの決定ができる。乱流交換係数を決めるため、多年の観測に基く垂直拡散係数のデータが用いられる。

「NOSTRADAMUS」システムで可能なのは

- 数百 km の距離に及ぶ放射性核種輸送計算
- 風速場の空間-時間的非均質性の考慮
- 拡散プロセスに対する現地地形の影響に着目
- 降水の影響の考慮

大気拡散モデルの実験データによる検証(様々な条件で 700 以上の測定)によれば、「NOSTRADAMUS」システムに含まれているラグランジェ・モデルは、標準的なガウス・モデルより広い条件中で実験結果に合致する。

システムには、居住地データベースが繋がっており、直ぐに住民の被曝線量評価ができる。パケットの線量評価ブロックは、放射性崩壊と核種転換(連鎖)を考慮し、ICRP、IAEA と USNRC の国際刊行物に基く。システムの線量低下予測に基き、最適の勧告が出され事故初期の段階で住民防護対策に期待される効果が分析できる(シェルタ収容、安定沃素服用、時間と共に線量状況が変わる中で住民避難経路の最適化)。

測定値と放射線モニタリング・データの解釈は、放射線状況評価に直接利用するだけでなく、逆の課題～そういう測定から放出源特性を再現する～ためにも重要な意義を持つ。現在、放出源パラメータ(全放射能、核種組成、実効放出高さと降水定数)と、線量率及び放射能汚染密度の測定データとの相関についての効果的な手法が開発されている。

大気中放射能混合物拡散予測の上記手法とモデルの複雑さとは別に、事故後の放射線状況評価の運用に当っては、一連のしばしば克服困難な困難に直面する。モデルそのものの誤差以外に、計算入力データにも、次のような一連の不確実性がある。

- 放射能源特性の不確実性～通常、信頼できる核種組成、時間変化、混合物の物理-化学形態等のデータはない
- 放射線モニタリング・データの不確実性。これは、機器の物理特性や人的要因による測定の誤り、測定場所選定誤りにより起こり得る。この他、局地地形に関連するエラーもあり、測定結果の非均質さが大きくなる。これらの不確実性は全てデータ選択とモデル利用時に考慮されねばならない
- 上述した測候所データ内挿時の気象データ・エラーの不確実性。風速、風向、降水についての局地データにも誤りがあり得る

5.4.3 要員の個人線量と放射能測定管理

チェルノブイリ事故に先立つ年々に、事故時要員の外部被曝線量測定の組織化、方法と手段に対する明確な要求が公式化され、その後拡充されたが、現在に至るまで原則的な変更はなされていない。事故に動員された要員の線量測定管理システムは、組織線量測定と線量範囲 0.05 から 50 Gy までの被曝の詳細を検知するものである。このシステムにより、2 時間内に最大線量評価誤差 100 %として、臨床徴候があり得る被曝をした人々を確実に摘出しなくてはならない。

チェルノブイリ事故以前は、これらの要求は、事故時個人γ線量系 IKS-A と、事故時個人β、γと中性子線量計 GNEYS のセットにより満足されていた。IKS-A と GNEYS 線量計は、±20 %以下の誤差で、5 mGy－10 Gy の範囲のγ線と、50 mGy－50 Gy の中性子による吸収線量を測定する。γ線量計指示の測定時間は 10 秒、±50%での中性子線量 1 次評価時間は 1 分であるが、最終評価は 30 分要する。

チェルノブイリ事故までの対応の中で、事故時線量測定に関しては非常に限られた範囲内がその対象であった。つまり、臨界集合体、原子炉と核分裂性物質製造施設における制御不能連鎖反応である。こういう状況により、運転要員の深刻な放射線障害に至ったが、作業区画や工場ゾーン境界を超えては広がらなかった。従って、被災者の放射線管理段階についての医療関係者に対する厳格な時間要求は、事実上実現可能と想定された。

- 第 1 段階～事故直後の数分。要員は警報により情報を受けた後、所定の事故閉じ込め措置を行い、遅滞なく事故区画から出なければならない。管理部門は迅速措置として特別の治療薬服用を準備し、緊急被災者支援措置に着手しなければならない
- 第2段階～事故の 10－15 分後。この時点で、被曝特性と事故目撃者の要員構成に関するデータを得なければならない。何よりも先ず、全身被曝が 2 Gy 又は皮膚被曝が 12 Gy を超える被災をした要員について
- 第 3 段階(最初の 1 昼夜)、第 4 段階(2－6 昼夜)と第 5 段階(7 昼夜以後)は、専門の放射線医療センタで行われる。臨床目的で、より狭い線量範囲(1 Gy 未満、1－2 Gy、5 Gy、6－10 Gy、10－20 Gy、20 Gy 超)と、身体中の線量分布が確定される

上で検討された放射線事故の特徴として(テチャ川への放出を除き)、事故の設備への影響が例外的に深刻～爆発的破壊、火災と事故の火元の燃焼～だったため、事故事象が他の放射線-危険施設(隣接の高レベル廃棄物貯蔵所、発電ユニット他)に拡大する可能性があった。このため、線源の閉じ込めと管理回復のため事故時作業に多数の作業者集団を動員する必要があった。残念ながら、検討された事故の早期段階において、シベリア化学コンビナートを除き、十分な事故管理の確保には成功しなかった。例えば、チェルノブイリ原発事故の夜、破壊された 4 号機の近くには 600 人以上が居て、事故救援作業に直接参加し、事故を目撃した。しかし誰一人として事故時線量計は付けていなかった(原発要員により用いられていた IFKU 型写真フィルム線量計の検出上限は 20 mGy で、広範囲な線量測定には不適だった)。こうして、上述の第 1 と第 2 段階の線量測定は行われず、被曝者の分類は急性放射線病の初期徴候という臨床所見に従い行われた。第 3－第 5 段階の線量測定は、入院条件で主に臨床的推定法と生物線量測定により行われた。

その後の事故影響処理清算期間おいては、高い計画被曝レベルを設定した後、個人線量測定管理は特別プログラムの枠内で行われねばならず、それは具体的条件に最も適した規則、手法と手段の実施を含んでいる。

事故影響処理清算期間中の要員に対する線量管理の効果は、個人線量分布形態の分析に基き評価された。知られているように、職業被曝レベルが低い場合、放射線作用を大きく制限する必要はなく、個人線量分布は普通、対数正規分布の性格を持つ。期待線量が許容限度に近い場合には、より厳格な線量負荷管理が必要である。そのため線量分布は正規分布に近くなる。

一般的に、線量測定管理データは、ハイブリッド対数正規分布により巧く表現される。線量(E)分布関数がハイブリッド対数正規分布になるのは、$\ln(\rho E)+E$ が正規分布になる場合である。管理パラメータ ρ は、何らかの設定被曝レベルを超えないようにするための管理措置を表わす。もし $\rho \to 0$ なら分布は対数正規分布で近似され、もし $\rho \to \infty$ なら正規分布になる。

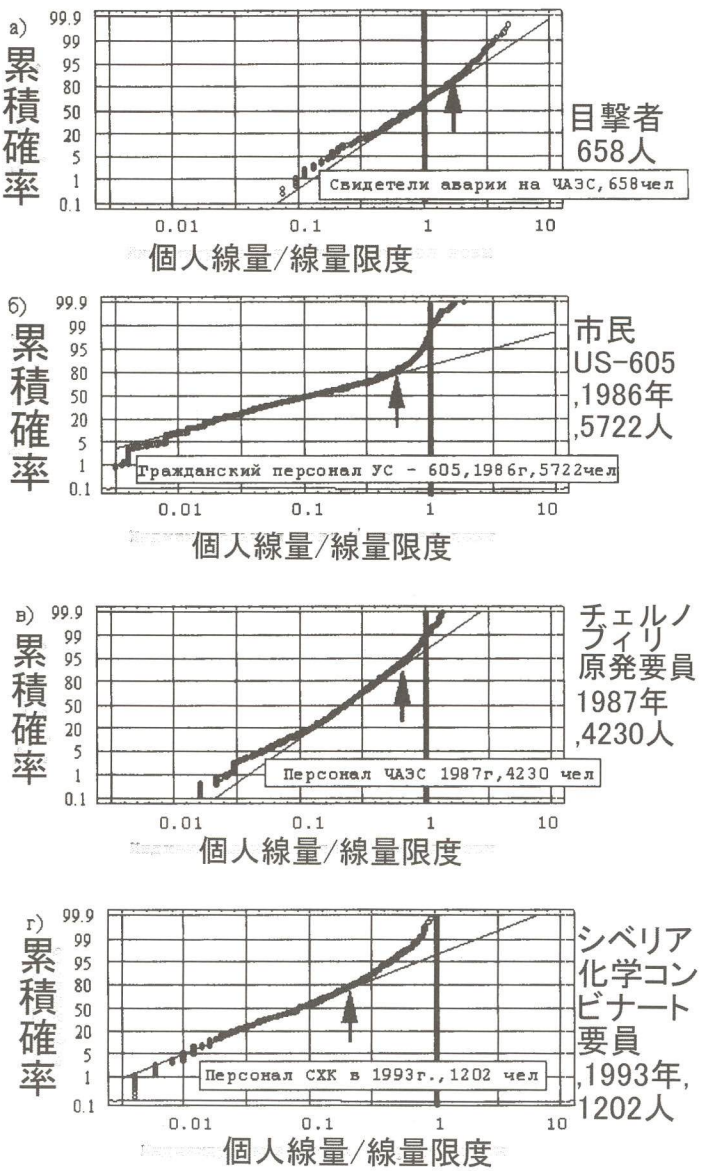

図 5.5　事故要員と処理清算者に対する許容計画高度被曝として設定された線量限度に対する外部線量の確率分布図

図5.5に例として、チェルノブイリ事故に動員された様々な要員集団とシベリア化学コンビナート事故影響処理清算に参加した要員の線量分布を示す。

思い出そう。1986 年に安全防護の為の計画被曝線量が高められ外部被曝線量 0.25 Gy に設定され、1987 年には 0.05 Gy にされた。尤も 1987 年には特別許可により 0.1 Gy まで許されたが。一瞥して判るように、事故時個人被曝線量管理がなかったため、要員と目撃者のほぼ 50 %の被曝線量は 0.25 Gy の線量レベルを超えることになった。

原子力省専門建設管理部労働者に対しては、チェルノブイリ原発の被曝線量制限はより効果があったが、それでも事故時線量限度に近いレベルから始まり(図 5.5 б と в の矢印)、一部要員は設定された線量限度(計画過剰被曝)を超えた。

シベリア化学コンビナートにおいては、より効果的な要員の被曝線量管理が行われ、個人線量測定管理の運用は非常に巧く行われた。

コメントすべきこととして、作業参加者は外部 γ - β 線、接触 β 線および放射性核種を吸入した結果内部被曝という組み合わせ被曝を被った。しかし、多数の事故対策要員に対し、β 線と内部被曝による個人線量測定管理を必要な精度と緊急度で運用する問題は、きわめて重要だが未解決のままである。

検討された事故の特徴として、外部 γ と β 被曝の重なりが圧倒的だった。更に特定の被曝状況又は α 放出物質(例えば Pu-239)が放散される事故では、内部被曝が主な放射線要因になり得るので、それに相応しい線量測定と放射線管理法を追加して防護措置とする必要がある。

5.4.4 住民の個人線量測定と放射能測定管理

原子力事業所と発電所の通常運転時には、住民の個人線量測定と放射能測定管理は予定されていない。住民の放射線安全状況を評価するため、環境放射線管理(線量率、空気中・水中・食品中の放射能濃度)で十分である。しかし、放射線事故が起こると状況は異なる。チェルノブイリ事故の経験によれば、被災が予想される住民に医療及び衛生支援を組織的に実施し、行われた防護措置の効果をチェックし、放射線疫学調査を行うためには、大規模な住民の線量測定及び放射能測定検査が必要である。個人管理で優先される事項は、甲状腺内に含有される I-131 放射能量の直接測定(第 1 に子供が対象)、WBC により器官と組織に摂取された別の放射性核種と、外部被曝の抜取り個人管理である。甲状腺内の I-131 含有量の直接測定が行われた範囲は十分に概観でき、次の数になる。避難民 25720 人、汚染地域住民 35 万人が検査を受けた。

住民の個人線量測定管理は、要員に対する同様の管理と比べ、次のような一連の特徴がある。

- 被検者集団は任意ベースで形成され、抜取り管理の性格を持つ。チェルノブイリ事故後初期段階における個人線量測定管理「要求」は、研究及び実践機関の現実能力を超えていた。より後の段階には(1989 年)、逆の極端な事態になった。様々な省庁の機関が、重複して検査を行ったため、汚染地域住民に放射線状況が明確に伝わらなかったどころか、しばしばお互いに矛盾した結果をもたらしていた。この段階で、個人線量測定管理結果に対する住民の関心を繋ぎとめるため、線量測定検査は医療と統合された。
- 要員の被曝線量制限は規制措置によるものであるが、住民に対する個人線量測定管理結果は自己規制に対する警戒信号である。こうして、モニタリングの他に、住民の線量測定管理は防護措置の一つとなる役割を果たす。

- 住民が個人線量測定管理結果を認識する場合、単純な「危険か、危険でない」である。この関連で個人線量測定管理の重要な要素は、その種の評価に対する管理レベルの設定である。
- 通常、住民の個人線量測定管理は一度しか行われなかった。そのため、その後の年間線量を評価するためには、方法論的なバックアップが必要だった。その他、事故後期間中に住民が移住した場合、線量測定データの収集と保管には、大きな行政上の組織的な努力が必要である。

甲状腺中 I-131 放射能測定検査

住民の甲状腺線量測定検査を組織的に行う時に考慮すべきこととして、人体中への1回(短期)摂取の約30時間後に甲状腺中のI-131含有量は最大になり、又、ミルクから毎日摂取する場合(村民の特徴)は牧草から1回摂取後5−6日目に最大になる。甲状腺からI-131が排出される実効半減期は全年齢に対し4.5日を超えるので、若干の時間をかけて必要な範囲で放射線状況の予備検査を行い、十分に計画を立て、最初の数日間現地から避難していない住民の甲状腺線量測定検査ができる。

事故後最初の数日間に避難した村民、特にミルクを摂取したような人の線量測定検査は、避難民が既に落ち着いた場所で行うのが妥当である。

事故後最初の数日間に避難した都市住民の線量測定検査は、放射性ヨウ素の人体内摂取が始まったと想定される日を少し過ぎてから始めてよい。放射性ヨウ素の人体内摂取が始まったと想定される最初の日々の測定は情報が少なく、妥当な評価ができない。

チェルノブイリ事故後、数十万の住民に対し、甲状腺内放射性ヨウ素の直接測定を、最適な時期に実施するのは不可能に近かった。実際に測定の大部分は事故後 15 日以降に行われ、ロシアの幾つかの汚染地区では半月も過ぎてから行われ、これらのデータの価値と信頼性が大きく下がった。しかも 1 回限りの測定が遅い時期に行われたので、以後の吸収線量評価のためには、住民の食餌についての個人別質問と言う、更なる努力が必要だった。ベラルーシで行われた放射能測定データの1次分析では、安全管理レベルとして、年齢とは無関係に甲状腺上の測定線量率値0.3−0.6mR/時以上が用いられた。このように、I-131 が完全に崩壊し放射能を消失をするまでの間に測定された個人線量の範囲は、測定日と年齢により、0.1 から 2 Gy という非常に広い範囲に分布し得た。

検査実施に動員された労働者には、放射能測定の経験がなく、測定実施法や得られたデータの記録法に違反し、得られたデータは深刻な問題を内包していた。つまりベラルーシで行われた30 万を超える測定のうち、線量評価に適したのは約 13 万人分しかなかった。特徴的な誤りは次の通りである。汚染した服を着たままの測定、標準的でない測定器具の配置、所定フォームに、区画内バックグランドと使用測定器形式に関するデータがない。それでも混乱の中での測定により、甲状腺吸収線量の個人分布について十分な全体像を得ることができた。

体内セシウム放射性核種の放射能測定

チェルノブイリ事故後、1986 年夏から、人々の体内 Cs-134 と Cs-137 含有量の大規模検査が展開され始めた。この作業は高度の放射線取扱資格を持つ専門家により行われたので、問題点は少なく測定に成功した。それでも事故後最初の 2 年間、可動式 WBC 装置による汚染居住地における直接測定データの解釈に、問題が発生した。

WBC 測定データにより、居住地の汚染状況、個人の食生活と、事故後様々な期間における防護

措置の効果による個人被爆線量形成の詳細なメカニズムが解明できた。これらから得られた多くの共通性は、以前の事故及び将来事故が起こった場合の分析に有用と思われる。

抜取り個人線量測定管理

検討された事故では住民の外部被曝は遥かに大きく、このためその管理が放射線安全性確保のため極めて緊急である。あらゆる経験から、個人線量測定管理データは、全種類の放射線管理データのうち最も信頼できる。何故なら、それは大きな科学-方法論的な研究経験と最新の測定器を持つ研究機関により組織的に緊急時に行われるからである。その他、外部被曝は、内部被曝よりも変動が少ない。普通、住民全数から 20 %を抜き出せば、居住地における個人被爆線量形成の完全な像が得られる。チェルノブイリ事故後の住民の個人線量測定管理により、住民の職業-年齢グループに特徴的な線量関係と、最も重要な生活活動条件と線量との対比が解明できた。居住地とその後土地汚染の非均一性にも拘らず、居住地の Cs-137 平均汚染密度が、外部被曝線量を計算するため十分信頼できる入力パラメータだった。この結論はチェルノブイリ事故後の個人線量測定管理指標により検証され、放射能跡が十分狭く横断方向に線量率勾配が高い場合ですら正当だった(例、シベリア化学コンビナート事故)。

チェルノブイリ事故後のより後の期間、被災集団の住民に対する個人線量測定管理は、現業組織(農林業経営体労働者)により年間を通じ行われ始めた。明らかになったこととして、線量計の被曝期間が長くなるほど管理データの信頼性が下がった。事故後期段階の個人線量測定管理の必要性はない。何故なら、計算法により十分正確な評価が得られるから。

このように、住民の個人被爆線量と放射能測定管理の経験が証明していることは、事故対応上迅速に測定機器、行動計画論と要員を確保し、効果的に組織的な大規模測定を行うことの重要性である。

5.4.5 後向き線量評価

過去の事故の処理清算経験によれば～シベリア化学コンビナートにおける事故を除き～、今行われている線量測定管理から得られているデータは、特に事故初期段階においては不十分である。この為、高度な医療支援に利用できないし、極めて重要なこととして他の防護措置の導入が必要という意思決定にも使えない。このため事後に、所謂物理的及び生物学的手法を用いて線量を再構築する必要がある。この方法の本質は、被曝した人々の所有物を活用し、又、生物学的資料に被曝反応があり得ることにある。これらの反応はある期間、時には長期保存され、その処理と記録により被曝線量評価ができ得る。後向き線量測定評価法を適切に選択すれば、線量推定の精度と感度が決まる。

後向き線量測定法は、直接法と間接法に区分される。直接法は、被曝により人体組織と器官及び所有物に残された(固定された)痕跡の利用に基く。

間接遡及線量測定法では、環境物体中に残された被曝の痕跡、更に、放射線場パラメータ、位置、姿勢と人々の移動ルートについての追加情報に基き、個人線量と体内分布を計算する。しばしばコントロールとして小規模の放射線事故のモデル実験が行われ、ここでは線量測定用の人体ファントムを被災民の同じ位置と姿勢に置かれる。事故-危険地区に対しては事前に可能な事故シナリオ時の電離性放射線場が計算され得るし、滞在位置と姿勢に応じて人体の数学モデルを用い線量分布を計算するコンピュータ・プログラムが用いられ得る。

物理測定機器を用いる後向き線量測定に属するのは、

- ファントム外部照射時の、衣服と人体組織試料(抜歯、爪、髪)の電磁気共鳴(ESR)
- 熱中性子被曝による血中誘導放射能(Na-24)、髪・爪とウール衣服に含まれるセレンの高速中性子放射化(Se-32 (n,p) P-32)、又は携えていた金属の放射化による測定法
- 石英含有材に対する熱ルミネッセンス法。例えば、フォトン照射に対する電気絶縁器の陶磁器と生活用セラミック
- 抜け毛を含む、被曝数時間後の単位皮膚面積当り異常な髪の形態と割合の分析し、皮膚のγ-β被曝の遡及線量測定
- 放射性核種を摂取し内部被曝した時、人体内に残っている放射性核種の量を評価する生物物理学的線量測定法

ESR線量測定法は、電離性放射線作用下で形成される、自由ラジカルの電子と分子周辺の核スピンとの相互作用記録に基く。放射線信号の感度と保存時間は、被曝試料の種類に大きく依存する。例えば、染色も汚染もない繊維に対する感度は、木綿の 2－3 Gy からウールと人絹の 8－10 Gy まで変化する。人体の非均質照射の場合、特に繊維から多くの情報が得られる。チェルノブイリ事故後広く広まったのは、歯のエナメル質の ESR 線量測定法である。フォトンの照射作用下で歯の石英エナメル質に常磁性部が現れ、それは生涯保存され、放射線信号は 10^2 Gy まで線量に線形依存する。最小測定可能外部γ線量は、誤差30－40 %で約0.05－0.1 Gyに達し得ると言われている。エナメル質には人間の生涯の被曝情報が蓄積されているので、課題は事故による被曝の分離である。これがないと、他の手法で得られた線量(計算又は熱ルミネッセンス線量計による機器測定)と直接比較できず、厳密に正確な手法ではない。

図 5.6 に、ブリャンスク州汚染地区(ズルィンコフ)とカルガ州コントロール地区(ボロフ)住民に対する累積線量頻度分布を示す。明らかに、汚染地区において住民個人の事故被曝が、バックグランド値を超えて個人平均線量を 30 %上回るケース数には、相当大きな誤差がある。更に、

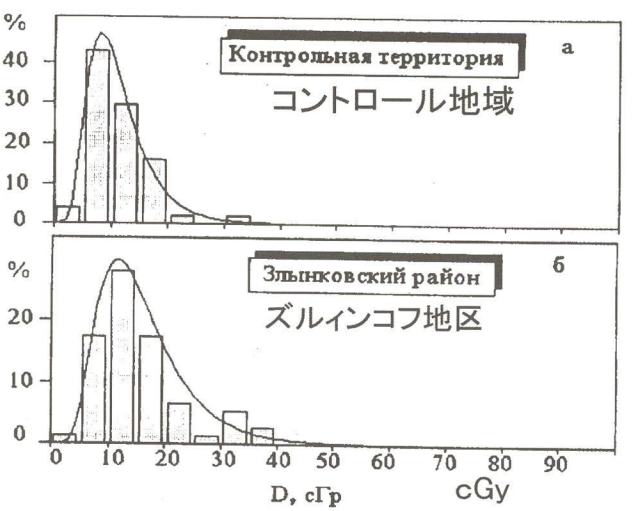

図 5.6　歯のエナメル質から測定された累積線量の頻度分布ヒストグラム
カルガ州ボロフ地区(ａ)とブリャンスク州ズルィンコフ地区(６)
ボロフ地区:測定数 105、平均累積線量 11.1 cGy、標準偏差 5.0 cGy
ズルィンコフ地区:測定数 75、平均累積線量 14.8 cGy、標準偏差 8.5 cGy

ESR 法により得られる線量評価は、疫学調査の熱ルミネッセンス反応による現地累積γ線量の再現は、電離性放射線作用下で結晶欠陥ができ、加熱すると再結晶する時に光量子を発するという石英の特性を利用する。元の物質から石英を化学的に分離すると、測定下限は、誤差±30 %で 0.1 Gy である。この方法は、特に出発事象から直後の数ヶ月、数年間の放射線状況について十分な情報がない過去の事故に対し有用である。試料の測定吸収線量から、人間に対する線量に換算する際にも追加誤差～少なくとも 50 %の～が発生する。他に事故状況においては、柔らかい[エネルギーが低く浸透力が弱い]フォトンとβ線があるので、検査対象資料～例えば煉瓦～の層毎に線量測定せねばならず、複雑になる。

最も広く用いられている人体の誘導放射能を用いる中性子熱線量測定法は、血中の Na-24 放射能の測定である。この放射性核種は半減期 15 時間で崩壊し、半減期 11－13 日で人体から排出される。最大中性子カーマは～精度 2.5 倍まで～、具体的な中性子スペクトルに対する補正をしなければ、約 $10^{-5} \cdot A$ となる。ここで A は血漿の放射能濃度(Bq/ﾐﾘﾘｯﾄﾙ)である。

生物学的線量測定は、被曝に対する生物学的反応を反映する生物学的指標に基き、組織や他の生物試料中に吸収された線量を確認する手段である。

事故後の早期と中間段階では、急性γ線被曝に対する血液学的～特に細胞内の核型～な線量評価法が、物理的な個人線量測定データが無い場合には、最も情報に富むものの一つである。血液学的及び細胞遺伝学的指標は、急性作用(>= 1Gy)時線量の再構築評価のためにも有効だった。

長期蓄積線量又は低線量被曝の場合、細胞遺伝学的及び生物物理的指標を用いることが有用である。表5.16に、これらの方法の可能性について、幾つかのデータを示す。コメントすべきこととして、これらは全て広く行われている訳ではなく、大規模な線量測定管理に用いることはできない。それらの主な使途は、放射線臨床診断と、幾つかの種類の放射線-疫学研究の支援である。

表 5.16　生物線量測定法の概略特性

方法(パラメータ)	目的	吸収線量下限、Gy
・末梢血の細胞構成の分析(好中球と血小板の含有量変化)	急性被曝後の線量再構築	1
・末梢血と骨髄リンパ球の染色体異常分析(ダイセントリック環状)	急性被曝後の線量再構築	0.05-X 線; 0.1-γ線; 0.01-核分裂中性子
・FISH 法(現場[in situ]蛍光ハイブリッド法により転座数)	長期線量の再構築	>= 0.1
・微小核テスト(血、骨髄、水晶体細胞中の微小核発生頻度)	相対線量分布のためのスクリーニング。水晶体の個人線量再構築	>= 0.1
・蛋白中の変異分析(guanin fosforiboziltransferaze:GFRT 中の異常)	長期累積線量の再構築	0.5
・Glikoforinテスト(人間のGlikofolin 遺伝子の突然変異頻度)	相対線量分布のためのスクリーニング。事故後後期の個人線量再構築	> 0.05

5.5　放射線事故時の住民と人間居住環境の保護の根拠としての衛生及び環境規則

5.5.1　放射線事故後の意思決定に対する国の基準の変化

介入レベルの放射線生物学的根拠は、検討された放射線事故の影響を低減するプロセスの中で策定され、利用されてきたもので、2 つの基本的要件に基き作られた。

- 被爆早期期間において住民の確定論的影響を許さない(予防する)
- 最大の放射線影響を受けた住民集団における被曝の確率論的影響の可能性を最少にする

強調すべきこととして、事故時放射線防護理論は、様々な事故状況や、様々な事故段階に対す

る、厳格に固められた決定方法や規則を準備していなかった。それよりも、放射線防護の最も急を要する実践的な対応問題の全体を通じて、現実的に発生した事故の進展が誘因となり防護理論が完成されて行った。検討された事故時の住民被曝基準システムの展開は、概略以下の通りである。

ソ連の原子力産業創成期にテチャ川の放射線状況が深刻化した原因の一つとして、環境放出される液体放射性物質に対する、衛生法上及び環境規則上の値がなかった。容赦のないプルトニウム生産拡大、極度の秘密体制で、環境放射線の知識が無く、生産連合「マヤク」の影響ゾーン中の環境放射線管理が不十分だったため、問題の認知が遅れ、放出低減と住民被曝制限に向けた国家の意思決定も遅れた。

放射線防護に対する現在の見地から出発すれば、テチャ川への放出認可後の放射線状況は、事故状態と同一と分類されるべきで、放射線事故に対し典型的な次の措置という形態の介入が必要である。適切な線量測定と放射能測定管理、放出源の隔離、移住、禁止ゾーンの設定と「きれいな」水源の建設。

世界を見ても、当時(1950 年代初め)、線量基準の形での介入レベルは未確立だった。しかし、ICRP の 1991 年の移住に対する勧告(長期被曝に対し 5－15 mSv/月)と形式的に比較すれば、約 4 mSv/月は 1954 年に移住が提案されたゾーンの境界にあり(放出場所から 60 km まで)、当時の移住規模についての専門家評価は、現在の線量基準に合致するのである。

テチャ川における長寿命放射性核種 Sr-90 と Cs-137 の摂取制限の重要な意義により、衛生規則により飲料水中の許容汚染にいての体積濃度が定められた(それぞれ 15 Bq/ﾘｯﾄﾙと 555 Bq/ﾘｯﾄﾙ)。これらの基準は公式には 60 年代に設定され、事故時規則ではないが、当時の法的解釈ではテチャ川への放出は事故とは見なされず、従ってカテゴリーB(一部住民の制限)に対し設定された衛生規則が根拠として適用された。

1957 年 9 月 29 日に発生した「マヤク」事故の初期段階の主な放射線作用因子は、住民の外部被曝だった。放射能跡頭部にある居住地からの避難(移住に切り換え)は、決定論的影響を予防する目的で行われた。そういう地域では、事故後最初の 1 ヶ月間の外部被曝を同一線量 100 R(約 1 Gy)に制限できると想定された。3 つの居住地からの避難は、事故放出から 7－10 日後に完了し、この期間中に受けた外部被曝線量は平均 0.5 Gy だった。

その後 2 年間に亙り行われた(事故から 250－670 日後) 住民約 1 万人の計画的移住は、Sr-90 に対し設定された食事からの年間許容限度約 50 kBq/年を守るため、村民に完全な搬入食品を供給する必要があったのに、実現不可能だったからである。

許容限度レベルに汚染した食事から 1 ヶ月間に摂取する Sr-90(4.3 kBq/月)から期待される実効内部被曝線量 0.12 mSv/月を、上述の ICRP 移住基準と比較すると、一つ目には移住は正当化できないように見える。しかしながら、事故後初年の汚染食品摂取制限についての現在の意思決定基準は、Sr-90 に対し 100 Bq/kg である。これに近い次の値が英国で採用された。子供食品に対し 75Bq/kg、主要な食事要素に対し 125 Bq/kg、そして、残りに対し 750 Bq/kg。Sr-90 年間摂取限度 50 kBq は、1 日あたり 140 Bq/日に相当し、つまりこれが現在の基準に合致している。「マヤク」の近くに住む村民にとって、現地産物の生産と摂取の制限は死活問題でもあり、伝統的な生活様式を破壊した。これらの特定の条件の中で、社会的要因を考えず移住基準に形式的に従うことが、果たして正しい根拠があると言えるだろうか。

Sr-90 土地汚染密度 2－4 Ci/km^2 地域の環境規則の導入は、衛生規則(線量)から誘導されたものとは言え、実践上は数値が一人歩きした。何故なら、組織的な土地収用、汚染農地と森の利用、環境放射能管理と疫学調査のためにこの基準が都合よく利用されたのである。こういう「独立の」環境ゾーン分けの利点と特に欠点が明確になったのは、チェルノブイリ事故後、Cs-137 汚染密度(40－15－5－1 Ci/km^2)により地域がゾーン分けされ、防護措置や農業活動が行われた時だった。

チェルノブイリ事故の前に 2 つの原子炉で大事故が起った。「ウインズケール」(1957 年 10 月)と「スリーマイルアイランド(1979 年 3 月)」である。これらも再度～特に早期段階に対する～特別の緊急時対策事故時規則を更に策定する必要性があった。ソ連では 1971 年に原発事故に対する基本原則が策定され、ソ連保健省の公文書となり、再度 1983 年に詳細版が出た。

緊急時における住民避難の意思決定に対する線量基準は、各国で 70－80 年代に定められ、国際機関の勧告と共に、表 5.17 に示す。

表 5.17　事故の第 1(初期)段階における住民避難の意思決定に対する線量基準

国又は国際機関	最初の週に対する予測線量、mGy		基準設定年
	全身	個別器官	
ICRP	50－500	500－5000	1984
IAEA	50－500	500－5000	1985
WHO	50－500	500－5000	1984
EEC	100－500	300－1500*	1982
英国	100－500	300－1500*	1981
オランダ	50－500	250－1500*	-
ドイツ	100－500	300－1500	-
ソ連	250－750	300－2500*	1971、1982
* 皮膚に対し 100－5000 mGy; ** 甲状腺に対してのみ			

表 5.17 から判るように、80 年代中頃の国際及び国家基準は、お互いにかなり近く、ここで国家の上限介入レベル基準(ソ連を含む)～個別器官に対する最大線量～は、ICRP、IAEA と WHO の勧告より 2－3 倍厳しい。

緊急時では、被曝の非確率的影響要因としての住民に対する主な危険は、外部γ線、そして、放射性ヨウ素の吸入摂取(原子炉事故の場合)と想定され、住民防護に関する最も現実的で十分な意思決定アプローチは、γ線量率による被曝の規制になった。そういう誘導介入レベルの導入は新しいアプローチで、チェルノブイリ原発における大規模事故に対する住民被曝規制システムで必要とされた。この規制手段により、具体的な地域での人々の居住を許すか、又は、特別の防護措置を導入するかという問題への現実的な意思決定が可能になると想定される。

期待されるγ線照射線量と、チェルノブイリ事故との関連で設置されたゾーン境界における実効線量を、表 5.18 に示す。

しかし、実際に、シェルタ収容とヨウ素剤予防投与に関する意思決定基準の適用は順調に稼動しなかった。この理由として、国家の情報政策の欠陥があり、事故規模が巨大で、必要な測定器具や要員が養成されておらず、国の各地域に資格のある必要な人材を供給できなかった。

住民避難に関する最初の意思決定後、事故の中間段階が始まった。国際勧告によれば、この期間は 1 年を超えない。この段階の事故影響処理清算では、複雑化した放射線状況を念入りに調査し、長期に起り得る変化を予測し、汚染地域に住む人々に対し外部と内部の線源から期待される被曝線量を評価する必要がある。至近年だけでなく、測定技術由来の放射線バックグランドが高い条件中で居住する全期間に対しモニターする必要がある。

表 5.18　期待されるγ線照射線量とゾーン境界における実効線量

指標		事故後 15 日の照射線量率等高線			
		1 mR/時	2 mR/時	5 mR/時	20 mR/時
現地の降下物からの照射線量、R	事故後日数				
	1	0.30	0.60	1.50	6.0
	2	0.41	0.82	2.05	8.2
	4	0.55	1.10	2.75	11
	7	0.70	1.40	3.50	14
	15	0.94	1.88	4.70	19
	30	1.20	2.40	6.00	24
	90	1.66	3.22	8.30	32
	365	2.38	4.76	11.8	48
雲と降下物からのγ線年間照射線量、R		2.6	5.3	13	53
期待される外部被曝実効線量、mSv					
町の住民に対し		6.3	13	31	130
村の住民に対し		12	24	60	240

チェルノブイリのような規模の事故影響処理清算の経験によれば、上に列挙された課題の解決は 1 年の枠内には収まらない。このためには、3 年間の緊張した作業の実施が必要で、科学力、組織力と経済力が総動員された。緊急時の確定論的(非確率論的-身体)影響を予防する課題は、事故初期段階で解決されなければならない以上(そしてこの課題は十分解決された)、中間と復興段階で全面に出てくるのは、住民の放射線安全性確保の観点からは、起り得る晩発性の確率論的身体影響(がん)と遺伝的影響の最小化である。こういう課題を国際機関～先ず IAEA と ICRP～は、それぞれ具体的な場合に行われ得る措置の「利点」と「欠点」を対比し、最適化原則に基づき解決するよう勧告している。これはまさに理論的根拠のある正当なアプローチである。しかしそれをチェルノブイリ事故において実施するには、少なくとも次の 3 つの障害があった。

第 1 に、そういうアプローチは十分「理論的」で、経済的及び放射線的な要因だけが厳密に定量的に考慮される。しかし、「スリーマイルアイランド」原発の事故影響処理清算経験が既に示したように、第 1 の場所を占めるのは、放射線ではなく、多くの不確定性が蓄積しつつある条件中でのパニックやストレスと間連した人間の心理要因である。そういう条件でより論理的なのは、住民被曝を最少にするためにあらゆる可能性を考慮した専門家集団の決定に基くことで、「利点」と「欠点」の数学的対比という ICRP や IAEA 勧告から得られる理論的な決定ではない。

第 2 に、注意を向けるべきこととして、時間と情報が足りない中で意思決定をしなくてはならないという課題である。「利点」と「欠点」のを対比考慮する時の入力データには大きな不確定性があり、勧告されている数学的解析法を用いても、意思決定による純粋の利点と非常に望ましくない影響の評価が混じることになり得る。

第 3 に、放射線安全性確保に関し想定されている防護措置の「利点」と「欠点」の比を定め最適化原則を実際に用いる場合には、我が国の条件で集団線量に対する金銭相当額を十分な精度で算定する必要がある。こういう学問的評価はチェルノブイリ事故以前にも行われたが、ソ連では何ら法的地位を得ていない。明らかにここで十分合意できることは次の通りである。現状の出版物によれば、各国の専門家評価によるこの値の範囲は 10 から 100、000 ドル/人 Sv である。

以上の議論は、事故中間段階で放射線防護措置を計画するための基本線量基準として、我々が住民の暫定年間被曝限度を導入・利用した動機として説明している。理論的に起こり得るいかな

る大規模事故の際でも、上記選択肢のないアプローチが採用される可能性を想定すべきである。

放射線事故の状況変化を考慮し、又、事故の性格と規模が明確になるにつれて、ソ連保健省付属国家放射線安全委員会(NCRP)は、専門家評価に頼るようになり、その結果ソ連保健省により、事故ゾーン住民に対する次の暫定基本線量限度の承認が根拠付けられた。事故後初年に対し100 mSv、1987年に対し30 mSvそして1988年と1989年に対し25 mSv。この線量限度の順守は、放射線事故ゾーンにある各居住地の被曝者集団の平均線量により管理された。ここで内部被曝線量の評価のため、遥かに大きな安全基準値が採用され、現地産物～それも自留地の～のみを摂取するとし、分布の 90%をカバーする放射能濃度が用いられた。暫定基本線量限度の導入時には、事故の結果汚染したソ連全域で全ての必要措置の実施が予定された。暫定許容レベルを超える食品と飲料水は不合格処分、建屋、道、生活用品、車両他の居住環境物の除染、農業における防護措置システムの適用(例えば、家畜屠殺前に「きれい」な飼料に移行、深耕、農産物加工、草原-牧草地の根本的改良、他)。同時に留保条件として、もし上で列挙した措置では、具体的居住地で、設定された暫定基本年間線量限度の順守が確保できない場合には、そこの住民は順守が保証できる場所に移住しなくてはならないとされた。住民の放射線防護について詳細な放射線-衛生学的及び環境学的基準は、本書の初めの 3 部で検討されている。飲料水と基本食品中の Cs-134 と Cs-137 の暫定許容濃度を設定する問題だけに留まろう。1957 年の「マヤク」事故と同様に、チェルノブイリ事故後この問題は、汚染地域に住む村民と農業実施に対し最も重要になった。社会-経済的可能性を考慮すると、この問題にはソ連だけでなく、国境を超えてチェルノブイリ降下物が輸送された結果、以前の全地球的な Cs-137 と Sr-90 のバックグランドが変わった全ての国が係っている。表5.19に各国で採用された広範な暫定許容レベルを示す。それは次の一連の要因により説明され得る。汚染レベルの非均一性、様々な現地の状況、国家行政システムと住民の保健問題に対するアプローチの特徴。事故に関し各国で採られた措置の基本にある放射線防護原則は共通であるが、状況評価においては差異が発生した。以後のこの差異の拡大において圧倒的な役割を演じたのは、科学的な放射線生物学的なアプローチではなく、高級指導層の意思決定議論における社会-経済的因子、政治的及び心理的動機だった。

放射能汚染を生じた場合、社会-経済レベルや他の面で似ている諸国ですら、結果的に暫定許容レベルが違う。これらの差異は、住民の間に不安、専門家全体の間の疑惑と、住民からの信頼性低下を含む政府機関における困難を引き起こした。得られた情報に基き欧州専門家は、各国の対策レベルの差異を生んだ4つの主な原因を発表した。

- 意思決定プロセスにおいて放射線以外の基準に大きな注意が払われた
- 住民に対する放射線影響の不確定性の程度に差異があった
- 潜在的な放射線危険性を評価する方法論に差異があった
- 環境中の放射性核種モデルのパラメータに大きな差異があった

チェルノブイリ事故後の最初の2つの段階におけるそれぞれの介入レベルと厳格な防護措置の導入は、基本課題～住民の高レベル被曝の予防～に対し必要な意思決定であり正当だった。しかしながらこれらの措置は住民の伝統的な生活様式を激しく破壊しない訳には行かなかった。

後期(復興)期間では住民の放射線安全性確保と並ぶ主な問題は、住民を事故前の通常生活条件に戻すことである。長い間汚染地域の制限された条件の中(生産と現地産食品摂取の禁止)で住んでいると、特にマイナスの社会-経済的及びモラル-心理的影響があるだけでない。この言葉

表 5.19　食品(Bq/kg)と飲料水(Bq/ﾘｯﾄﾙ)中のセシウム放射性同位体の濃度の暫定許容レベル

国	飲料水	ミルクと乳製品	植物産物	肉	他産物	設定日
オーストリア	—	300	175	300	—	—
ノルウエー	—	300	300	300	—	1986.06.20 迄
	—	370	600	600	370	1986.06.20
				6000(野獣)	(子供食品)	
フィンランド	—	1000		1000	1000(穀物)	1986.05.22
スエーデン	—	1000	1000	1000	—	1986.05.02
		300	300	300	300	1986.05.15
			10000	—	—	(輸入に対し 5 月 2－15 日)
スイス	—	370	600	600	600	1986.09.08
イタリア		250	250	250	—	1971
		管理ﾚﾍﾞﾙ;	事故ﾚﾍﾞﾙは	10 倍高い		
		370	600	600	370	1986.05.31 EC*
ドイツ	—	370	600	600	370	1986.05.31 EC
ギリシャ	—	370	600	600	370	1986.05.31 EC
アイルランド	—	370	600	600	370	1986.05.31 EC
ルクセンブルク	—	370	600	600	370	1986.05.31 EC
オランダ	—	370	600	600	370	1986.05.31 EC
フランス	—	370	600	600	370	1986.05.31 EC
デンマーク	—	370	600	600	370	1986.05.31 EC
英国	—	3600	190000	1000	280000	1986.03
		最大	値		(果物)	
		370	600	600	370	1986.05.31
ベルギー	—	370	600	600	370	1986.05.31 EC
トルコ	—	370	600	600	370	1986.5.31
米国	90(対チ事故)	8900				1982(ﾐﾙｸのみ)
カナダ	50	50－1000	300	300	300	1986.05
スペイン	—	370	600	600	370	1986.05.31 EC
ポルトガル	—	370	600	600	370	1986.05.31 EC
オーストラリア	—	100	100	100	100	1986.05
ソ連	18.5	370	740	1850－2960	370	1986.10.06
					(子供食品)	

* 食品輸出入管理用

の広い意味で食事の質が悪化するため、直接健康障害や、心理的ストレスによる身体影響に至り得る。まさにこの影響に、チェルノブイリ事故後現実にぶつかった。IAEA の公式文書に次のように強調されているのは偶然ではない。「...線量レベル(そしてそれに続く誘導レベル)に関する決定により、防護措置が弱まったり中断される場合には、より広範な社会-政治的性格を考慮する必要がある」。

以前に触れた状況との関連で、事故後期段階の被曝規制の基本目的は、最適化アプローチに基く線量基準を設定、導入し、住民の生活活動上のあらゆる制約を撤去できるようにすることでなければならない。残念ながら、一連の客観的な事実により、ソ連ではこの状況において利益と損失の衡量は行われなかった。放射線-衛生状況の評価を、旧ソ連全域にまたがるモザイク状(非均質)に放射能が降下した数千の居住地について行う必要性については、放射線的な「パスポート」作りを確実に行う必要があった。この作業の主要な段階は 1987 年末-1988 年初に完了し、今後の住民被曝を規制する戦略について問題が発生した。

NCRP により 1990.01.01 に、生涯被曝許容限度という形で、介入レベルの設定に関する勧告が策定された。もし(予測によれば)線量はより低いと期待されるなら、住民の生活活動に対する制

限の撤去が想定されたが、このレベルを超えた場合には1990年から住民移住が勧告された。

放射線医学の経験の蓄積を考慮しNCRPは、生涯に対する実効線量当量350 mSvを勧告した。これは1990年1月1日までに住民が既に受けた線量を含む。生涯線量限度(350 mSv)は、極めて保守的な値である。第1に、介入基準として、その居住地住民の平均個人線量でなく、住民の高被曝集団に対する期待線量が想定されている。第2に、具体的な居住地における居住期間は70年と仮定されている。つまり事故発生に近い年(1984－1986)に生まれた人が被曝者になった。第3に、被曝集団の外部被曝は個別成人住民カテゴリーの職業活動の特徴により決定され(農民、林業員)、その被曝線量は別の住民集団に比べ1.3－1.7倍高い。第4に、内部被曝に関する防護基準は、食事から放射性核種を摂取する確率の評価に基づいており、そこでは食事汚染の指標としてミルク中のCs-137濃度が採用された。ミルクの汚染レベル確率は対数正規分布の性格を持つことを考え、放射性核種の安全な経口摂取レベルとしてはこの分布の90 %をカバーする値が採用された。これは算術平均値を1.7倍上回る。第5に、子供住民の内部被曝線量を計算するモデルには、追加の保険として、成人の特性も組みこまれた。最後、第6に、土壌→草→ミルクの連鎖におけるCs-137の半減期は、チェルノブイリ原発事故後既に後期において確認された7年ではなく、可能な最大限の値として 14 年とされた。更により後の研究で確認されたこととして、ミルクのCs-137半減期は、事故後最初の2－3年は1.5－3年だが、より後でも7－12年に増えるだけである。

これらの全ての仮定を重ね合わせると、70年間の期待線量には少なくとも2倍の余裕があることになる。ここから、最終報告では、人々に期待される個人被曝線量の平均予測値は、生涯に対し100－170 mSvとされた。NCRP勧告の論理は、上述の平均期待値100－170 mSvではなく、350 mSvの介入レベルを設定しているが、これは合理的な用心と、科学的に又組織的にも丸々の不確定性が存在する結果としての「過剰保険」要求によるものである。

1988年に提示されたNCRPの考え方は、予測生涯被爆線量が350 mSvを超え得る境界内にある居住地から人々を計画的に移住させる最初の要因となった。ソ連政府の、1991－1992 年におけるチェルノブイリ原発事故影響処理清算についての緊急措置に関する決議により、関連地区から人々の移住を完了させねばならなかった。

NCRP の考え方は、主に政治活動家個人、幾つかの社会団体と共和国科学アカデミー側から、多数の議論と厳しい公正な批判を引き起こした。その批判の主な対象は介入レベル 350mSv で、それは容認できないほど高いとの批判に曝された。最終報告として、既に 1991 年に新しい政府決議「チェルノブイリ原発事故の被災地区での住民居住の考え方」が作成され承認されていて、その本質は次の通りである。放射能汚染を被った全ての地域に対し最小介入レベルとして年間個人被曝実効線量当量の平均値 1 mSv が設定される。追加的に 1991 年に、防護措置実施後の年間線量上限値として5 mSvが導入される。これらの年間線量率の間で防護措置が実施され、住民は任意にこれらのゾーンから移住する権利を持つ。

この介入レベルの考え方を、現実に期待される人々の移住規模に適用するとどうなるか。表5.20に、1991年の平均内部及び外部線量が 1 と 5 mSv/年を超え得る住民数と居住地数を示す。この場合、全住民(70、5500 人)が2056の居住地に住んでおり、全て放射性セシウム土地汚染密度5 Ci/km^2 (185 kBq/m^2)の等高線内にある。

表5.20から判るように、生涯線量350 mSvに、上述の介入レベル範囲1－5 mSv/年を追加する

表 5.20　1991 年の平均内部及び外部線量が 1 と 5 mSv/年を超え得る住民数と居住地数の計算評価

線量範囲 mSv/年	内部被曝制限条件					
	0.3 mSv まで		0.5 mSv まで		制限なし	
	住民、千人	居住地数	住民、千人	居住地数	住民、千人	居住地数
>= 1	312.4	1148	399.7	1533	470.0	1698
1－5	306.4	1108	393.0	1485	415.3	1418
> 5	6.0	40	6.7	48	54.7	280

と、計画移住民数(5－6 万人)が、約 40 万人に膨れ得る(任意移住)。既に住民が移住した厳重管理区域での実践が示すように、放射能汚染の非均質性が非常に大きく(モザイク状)、該当する村ソビエトやコルホーズ等のインフラが破壊されたため、隣接地の住民も一緒に移住した。従って、80 万人の移住という話になった。

下限介入レベル(1 mSv/年)の強制的導入は、チェルノブイリ事故の現実を考慮も無視もせず、事故前の基準に移行したいという気持ちを反映している。勧告介入レベル 1 mSv/年は、NCRP 勧告の誤解と関連がある。チェルノブイリ事故の場合、そういう関連は正しくない。ここでは次のことを思い起こすのが適切である。つまり NCRP により勧告された線量制限システムは、「...通常運転常態における管理可能な放射線源からの被曝に対し適用される」。従って、NCRP 勧告の線量限度システムに含まれる住民の年平均被曝レベル 1 mSv/年は、事故状況における住民被曝には適用できない。事故の場合、放射線源は管理下になく、個々の住民個人の被曝は、通常の生活様式を破壊する幾つかの活動のおかげでのみ制限され得る(常にではないが)。そういう活動が「介入」であり、その基本的部分は住民の被曝を制限するために適切な措置の適用である。

5.5.2　現在の国際的介入基準とその実施法の分析

現時点で ICRP は、原子炉の放射線事故時に適用され得る組織的な防護措置として、2 つの介入基準システムを勧告している(表 5.21)。これらの措置に属するのは、シェルタ収容、ヨウ素剤予防、避難、一時的及び永久移住、汚染食品摂取制限である。これらの措置を含む期間は、事故の脅威の様相により延びるが(予防[preventive]措置)、1 年までである。移住に対しては、年間残留被曝の範囲が与えられている。予防線量が上限介入レベルを超える場合、移住は無条件に正当である。予防線量が下限介入レベルより下なら、移住は通常、正当ではない。

表 5.21　ICRP 勧告の介入レベル

措置	介入レベル－予防される線量、 mSv	
	殆ど常に根拠あり	最適化範囲
シェルタ収容	50	左記の根拠ある値の 1/10 以上
ヨウ素剤予防－甲状腺線量当量	500	
避難(1 週間内に)		
－全身線量	500	
－皮膚線量当量	5000	
移住	1000	継続被曝 5－15 mSv/月
個別種類の食品摂取制限	10(事故後初年)	1000－10000 Bq/kg(β - γ 線) 10－100 Bq/kg(α 線)

次の状況をコメントしよう。

- 列挙された防護措置は、直接住民に係るもののみを含む
- 甲状腺と皮膚の被曝制限を予定した基準に対しては、実効線量ではなく個々の器官に対する線量を用いる
- 他の事故状況、例えば環境への超ウラン元素(Pu 他)放散も、勧告の枠内である

ICRP と違い IAEA は基本安全基準(Safety Series No.115)として、1 つの介入レベルを提案した(表 5.22)。それでも IAEA 勧告は、これらの介入レベルの文字通りの完全実施は、義務ではないとしている。具体的な放射線事故の特徴を考慮すれば、より低いかより高い介入レベルを用いる方がより正当であり得る。しかし、IAEA 提案の介入レベルそのものは、国境を超える影響のある事故の場合に防護措置を同期化する指針にならねばならない。

表 5.22　IAEA 勧告の放射線事故時の介入レベル

措置	介入レベル－予防線量	被曝器官
シェルタ収容	10 mSv	全身
避難	50 mSv	
ヨウ素剤予防	100 mSv	甲状腺
一時移住	30 mSv/月	
移住後帰還	10 mSv/月	全身
永久移住	1000 mSv/生涯	

放射性核種を含む食品摂取制限	主な産物、kBq/kg(ﾘｯﾄﾙ)	ミルク、子供食品、飲料水、kBq/kg(ﾘｯﾄﾙ)
Cs-134、137; Ru-103、106; Sr-89	1	1
I-131	1	0.1
Sr-90	0.1	0.1
Am-241; Pu-238、239、240、242	0.01	0.001

このように国際レベルでも様々に提示されているが、全体として放射線事故の早期と中期段階に対する基本的な介入レベルに関する勧告に矛盾はない。ここでは、特定の状況に関連するものは除外できる(例えば、気象条件により移住不可能、食品源がない等)

設定された介入基準の基本には予防線量があるとは言え、国際機関はこのアプローチを住民の放射線防護の課題を解決するために限定しているようだ。

EC 委員会の枠内でも、食品汚染に関する介入レベルを規定する指示が策定された(表 5.23)。その本質上、これは放射線事故状態における国際貿易安定化が目的であり、つまり商品食品の消費者を防護するための活動レベル又は介入レベルである。この指示は EC の枠内で義務化され、事故後直ちに実施され、必要時には早急に手直しされる。

表 5.23　EC 委員会で基本的な食品の種類に対し勧告された介入レベル、 Bq/kg

放射性核種	食品の種類				
	子供食品	乳製品	第 2 段階食品	他の食品	液体食品
Sr 同位体、特に Sr-90	75	125	7500	750	125
沃素同位体、特に I-131	150	500	20000	2000	500
α 放出体、Pu 同位体と超ウラン元素	1	20	800	80	20
半減期 10 日を超える残りの全核種、特に Cs-134 と Cs-137	400	1000	12500	1250	1000

飼料、家畜用、	
豚	1250
鳥、羊、子牛	2500
他の動物	5000

類似の文書は、FAO/WHO の傘下でも準備された(表 5.24)。

しかしながらも、現時点でも、事故処理の中間、そして特に後期段階における介入レベルは相互に合致しておらず、大きな不確定性がある。これは、除染、汚染地域における農業生産導入時の防護措置、汚染地のリハビリ再利用等に関連する。最近の ICRP 刊行物「慢性被曝から住民を防護」では、介入に際しては予防線量の考え方を補足する補助基準を設定し、(医療と職業被曝を除く)

表 5.24　食品に対する基本介入レベル、 Bq/kg

放射性核種	基本食品	ミルク、子供食品、飲料水
Cs-134、Cs-137、Ru-103、Ru-106、Sr-89	1000	1000
I-131	1000	100
Sr-90	100	100
Am-241、Pu-238、Pu-239	10	1

全電離性放射線源と被曝経路からの合計線量により放射線状況を評価するようにした。介入除外を合すため、次の各商品群に対し線量レベル 1 mSv/年が提案されている。つまり食品、建材と他の全部の商品に対してである。このアプローチは、概念的に実践活動において用いられる線量が 10 μ Sv/年未満の電離性放射線源を規制から除外する条件と似ており、国際貿易において介入とは無縁になる。コメントできることとして、ICRP が到達した事故後後期段階の介入解除レベルは、我が国の SanPiN[衛生規則]と同等だった。しかしチェルノブイリ事故後適用された暫定年間線量限度から内部被曝線量を割り当てるやり方と比べて、ICRP が適用した全体最適化手順は、広範な社会から信頼性を獲得する面では我が国の SanPiN に比し劣るようだ。

実際、事故後最初の 1 年の「栄養規範」に基づく 10 mSv/年から、後期段階の 1 mSv/年へのジャンプは柔軟性に乏しく、その面では、段階的に暫定許容レベルを厳しくし、通常条件の基準に移行する方が良い。

5.6　放射線防護システムと事故対応

電離性放射線を利用する時の安全性を確保する問題は、数十年の長さにわたり学者と専門家が分析している。既に 50 年以上、人間の健康と自然の生物に対する放射線の影響は、社会の注目の的である。直ちにコメントすべきこととして、放射線源の通常運転時に職業労働者の安全性を確保する問題は、社会の厳しい議論の対象ではない。これに対し、不測の事故状況に引き込まれた住民に関する状況は全く異なる。自然生物に対する放射線作用について特に厳しい問題が、チェルノブイリ原発事故後発生した。本質上、原子力存在の合法性の問題も起った。どういう原因から、原子力発電のような経済的に正当化される活動が、こんなにも激しく反対されるのか?恐らくこれは事故の破滅的影響と関連があるのだろう。しかし本書の前の部で示したように、放射線そのものの影響は比較的制限され、十分に明らかである。更に別の原因もあり、それは特に現在の放射線安全システムの全体構成に基いている。それは、我々の理解によると、国際放射線防護委員会[ICRP]と IAEA の良く知られた勧告が構成している、アプローチ、原則と具体的な指示システムのことである。

電離性放射線源の通常運転時の放射線安全性確保は、次の 3 原則に基づいていることを、思い出そう。

- 基準化(全ての運転中の電離性放射線源からの人間の個人被曝線量は許容限度を超えないこと)
- 根拠付け(天然バックグランドの放射線に追加され得る害のリスクより、人間と社会に対し得られる利益が小さい放射線源の利用を禁止)
- 最適化(どのような放射線源を利用する際にも、経済的及び社会的要因を考慮し達成できるレベルに、個人被曝線量と被曝する人数を、可能な限り少なくすること)

放射線事故時には、2 つの原則～根拠付けと最適化～が採用され、この上に現在の事故時放射

線防護システムを構成するよう勧告されている。しかし、実践適用の経験が、殆ど完全に欠落している。放射線防護分野の専門家は、事ある毎にこれには多くの原因～放射線恐怖症や必要レベルの専門家支援がない等～があると説明している。しかし、常に不十分な意思決定になるということは、事故時の放射線防護に関する根本的なシステムが、事故対策システムと乖離しているという考えに到達する。

5.6.1 防護措置決定の原則

防護措置を決定する原則を検討する際には2つの面を考慮する必要がある。一面では、放射線防護問題に対する科学的に根拠のあるアプローチが存在し、それは専門家により指導される。別の面では、防護措置の具体的決定は、該当する対策システムの枠内で全権を有する人が行い、その人は、通常、社会の考えや多くの他の諸要因～特に放射線リスクに対する自分の個人的な関係～を考慮する。

環境に放射性物質が長時間放出される事故時に、住民と要員を防護する問題は、国際的な科学-技術協力の対象である。この問題は近年、特に活発に検討されている。放射性物質を伴う事故後の防護措置に関する意思決定原則は、ICRPとIAEA勧告中に述べられている。その本質は次の通りである。

- 対策の実施により、深刻な確定論的影響から逃れること。個人被曝線量をこれらの影響が現れる閾値より低くする
- 確率的影響のリスクは、社会-経済的観点から正当化できる対策の実施により制限し、結果として被災者の健康にプラスの影響を目指さねばならない
- 確率論的影響の総数は、集団実効線量の低減により、可能な限り制限しなければならない

ICRP の最後の勧告が、実際の活動と介入ための防護システムを規定する。実践活動の特徴は、管理と制御の可能性(線源も含め)と長期計画である。予想される被曝レベル又は被曝確率(実践活動により管理可能な部分ではない)を下げる活動は、介入と呼ばれる。コメントとして、NRB-99[ロシア放射線防護規則 1999 年版]の介入の定義は、用語と規定の部分が若干異なる(対応する節では、用語としてICRP勧告の精神が用いられてはいるが)。

放射線事故とは、何らかの原因(施設の故障、ヒューマンエラー等)により電離性放射線源の管理が失われた結果である。このように、導入される介入は、管理される側の実践活動の欠陥又は違反と関連がある。この欠陥又は違反が重要でなくても、どんな場合にも次の社会的問題を誘発する。事故が起らないと誰が如何に保証したのか? この保証をだれが管理しなければならなかったのか? この分野全体に対する政府の保証責任の程度は? これらの状況を念頭に ICRP 勧告を検討しよう。介入時の放射線防護システムは次の原則に基づいている。

a) 想定される介入は、損害よりも大きな利益をもたらさねばならない。つまり、介入による線量低減の結果としての被害の低減は、介入による損害とそのための社会的費用を含む損失を正当化するに十分でなければならない

b) 介入の形態、規模と期間の長さは最適化され、予想される線量の低減からの純粋の利益～つまり被曝による損害低減(利益)から損害を差し引いたもの～が最大にならねばならない。

介入を要求する仮想的状況の範囲は極めて広いため、入力データとして、設定された線量限度を適用し、実践活動を管理するのは妥当ではないと認識された。論争の不要な説明の一つとして、

予備的な線量限度を設定すると、介入によりプラスの結果が達成される範囲を大きく超える規模の措置が採用されがちになる。可能と見なせるのは、早期段階での意思決定だけに対し十分に広い範囲を設定し、住民の間に確定論的影響が発生する可能性を許さないようにすることである。NRB-99では、例えば、レベルA(防護措置実施の必要性なし)とレベルB(防護措置実施が必要)に相当する予防線量値の差は、10 倍に達している。予備的に、より明確な介入レベルを設定するのが妥当なのは、食品の国際貿易に対してだけである。何故ならこの分野では、各国で採用された食品中の許容放射性物質濃度には差があるので、放射線事故状況中で長期間衝突が起る可能性があるから。この理由から、国際機関によりそれぞれ勧告が策定済みで、公式機関は立場の紛糾から逃れられ、まさにこれ自身が、それらの活動に対する信頼を高める。

こうして、放射線事故の具体的な状況において、根拠付けと最適化の原則を適用すると、技術的及び経済的に妥当な介入レベルが得られる。現在提示されている介入レベルは、防護措置により予防されると見られる線量が採用されている。それは、防護措置の適用が無い場合に期待される線量と、防護措置実施後も残る線量の差として定義される。具体的状況において予防線量の予測には多くの困難があるため、可能と認識されているのは様々な種類の誘導値～例えば、線量率、表面汚染密度等～の設定である。これらの値と予防線量との関係は、事故発生状況、放射能汚染と現地の特徴といった具体的状況に依存し、大きく変わり得る。長寿命核種による表面汚染に生涯線量予測が重なった具体的なチェルノブイリ事故状況においては、不確定性が非常に大きく、汚染密度をゾーン分けの基準として用いるのは、明らかに完全な成功ではなかった。コメントとして専門家がよく理解していたように、技術的に妥当な介入レベルと誘導値の関係は非常に複雑で、その管理は単純でなく、望ましくもなかった。このために新語、所謂「行為レベル」が現れたのかも知れない。

上述のアプローチを纏めた寓話は次の通りである。純益があれば介入は正当である。ここでは通常、妥当な介入レベルには若干の幅があり、最適値はこの幅内にあるだろう。介入が正当化されない場合、防護措置はマイナスの放射線影響を最小化できる。しかし全体的結果がマイナスなら、それは正当でもないし、最適でもない。

文献中に、介入原則の精緻化と具体化について幾つかの試みがある。幾つかの例を検討しよう。

農業対策を実施する指導部に対し、IAEAの1994年出版物は、3原則を引用している。正当性と最適化の原則は次の様に先走っている。「深刻な確定論的影響を予防するため可能な全ての措置を採らねばならない」。これは、ICRP により宣言された基本アプローチの最初のもの(深刻な確定論的影響から逃れること)と比べると、指導原理としては相当厳格で、本質的に正当性と最適化原則という考えに矛盾する。IAEA 文書にこの不一致が現れた原因は、推測するに、何よりも先ず、介入原則の決定はこの指導部の目的ではないことと関連している。

ある論文[1993]は、意思決定6原則を述べている。我々の見解では、それらは完全に妥当であるが、より一般的な国際勧告によりカバーされている。例えば最初の2つは次の様に定式化されている。

1.「大部分の場合、住民の放射線防護措置は最も有効な、事故の最も早い時期に採らねばならない。何故なら、住民に予測される被爆線量(例えば最初の1年間に)の大部分は、事故初期の数日又は数週間内に発生するから。事故のこの段階における具体的な被曝経路の防止に適用さ

れるものが、第1の緊急防護措置である。

2. 線源又は被曝経路の除去又は阻止に向けられる放射線防護措置は、予測又は現実の人間の全被曝線量に関する寄与の面から、この事故段階では極めて重要である。この事故段階における被曝経路に対し適用される措置は、第1に最も効果のある放射線防護措置である。

上の原則と ICRP 原則を比較すると、両者とも最適化原則を具体化している。第一に防護措置の実施時期に関し、第2に最適な防護措置の選択に関してである。

NRB-99 の防護原則の定式化は、国際勧告に対応する。とは言え、補足を伴っており、その妥当性は多いに疑わしい(6.2、6.3 と 6.4 節の最後の文)。それらを詳細に検討しよう。

「もし想定される被曝線量が臨床上判定可能なレベルを超えれば(例えば2日間に全身に対し1 Gy)、迅速な介入(防護措置)が必要である。ここで被災者の健康に対する害が、利益を超えてはならない。」

これらの補足が NRB-99 に現れた原因は、何よりも先ず、文書中で列挙されている対策が、シェルター収容、避難と「速やかに」という用語の特別な理解に限定されていることと関連している。この補足の誤りを実証できる、簡単な例が挙げられる。線量率 20 mGy/時の局所汚染が見つかった。NRB-99 によれば、この場合速やかな介入は要求されない。しかし、10 日間の予測線量は、同じ文書の 6.5 節で述べられている基準値を何倍も上回る。

介入の基本原則～根拠付けと最適化～を見直す客観的理由はないと想定される。しかし、それでも実際に利用する際の問題点を完全に解決してはいないと認識する根拠はある。至る所で、国際勧告も含め、放射線以外の作用要因(特に、放射線リスクに対する社会の心配・不安と理解レベルの特徴)の重要さと、社会-心理的対策の必要性が認識されている。放射線以外の要因の定量的表現の問題は、それを最小化する原則の開発と同様、まだ解決を見ていない。それでも、放射線事故時の情報の影響の強さと規模はよく知られている。もう一度繰り返すが、その根底に、住民による被曝への認識の特徴があり、特に放射線リスクに関する「高度の」情報や、技術由来の事故に対する理解と認識が全体として歪んでいる。原子力に関してしばしば言われることとして、更にまた、国のエネルギー資源と生活水準の相互関係を個々人が普段から理解する体験がない。目に見えない脅威があると、社会に不安を呼び起こす作用が増強される構図は、知られている。プレスとテレビによる事象の劇化は、現地の政治リーダーの活動を誘発する。その後の政治家の活動そのものが住民の恐怖を更に助長する。「目に見えない脅威と、がん及び子供と孫に継代する有難くない遺伝的変化から避けられないという恐怖に常にさらされているのだから」。とキャンペーン化されやすい。

このように、放射線リスク認識の特性により、社会に大きな不安があると、防護措置を実施しないことは、正当化と最適化原則に完全に合致する場合でも、社会から受け容れられなくなり得る。こういう介入は不可避だが正当ではない(根拠付け原則の立場からは)場合、最初の形態の基本原則にこだわるのは誤りである。この状況における一般的な最適意思決定アプローチは明らかである。最も社会の心配を静め信頼できるように見え、一方では介入による不利益～外国に対する借金を含む～の程度が最少となるような措置を実施する必要がある。こういうアプローチが正当と判断されるのは、放射線以外の事故影響により、本書の前の部で強調したように、放射線の立場からは誤った決定がなされ得て、数千万ドルが費やされる場合である。

基本的アプローチと原則を更新しようという試みがあると、事故の放射線以外の影響を下げ

られたかも知れない。放射線以外の影響因子と社会-心理的措置の必要性に関して言えば、明らかに、確定論的影響の予防と確率的影響の制限に向けた既知の基本的アプローチを、次の条項により補足する必要がある。

「防護措置実施又は実施しないことに根拠があり、社会に理解されれば、放射線以外の要因のマイナスの影響は下げることが出来る」

再度思い起こそう。我々が検討しているのは純粋の科学的立場からの放射線防護の原則ではなく、放射線事故時の住民と環境の防護原則である。より一般的に、放射線の影響の中には医学的影響だけでなく、上述の経済的利益と客観的により危険の少ない種類の活動に対する社会のネガガイブな関係がある。この状況では、対策実施の費用と対策による不利益は、事故時に採られた措置が十分と認識されなければ、社会が認識し始めた被害とは対比できないほど大きくなり得る。この理由から、根拠付けと最適化の原則も更にもう 1 つの原則により補足するのが妥当である～つまり社会的認知に対し十分な措置という原則である。これは次のように定式化できる。

「想定される介入は、必ず社会により十分と評価されねばならない。もし正当化され最適化された意思決定が社会により十分と認識されないなら、適切な追加措置を採り社会がそれらを十分と認識するようにしつつ、介入による損害を最小にしなければならない」。

当面「十分な社会認知の原則」と呼ぶ第 3 原則は、本質上「妥協原則」であり、これに対しては幾つかの反論が挙げられる。その主なものは次の通りであろう。妥協は社会プロセスの常態であり、我々の生活そのものである。それをわざわざ意思決定原則に取り込むべきではない。しかし、我々の考えによれば、そうではない。指示文書にこういう詳細な考え方の原則がなくても、多くの場合、専門家(放射線学者、社会学者、心理学者他)が関与し、意思決定を支援する可能性はあると判断される。提案された原則を適用しても、現在の文書が宣言している最終目的～「裕度」はあるにせよ、正当な介入～は達成できない。しかしその利用により、遥かに現実的に、線量低減による損失減少[=利益]を、介入による害やそのための費用に比べ、大して低くなくできる。明らかに、この差違は勿論、防護措置が無い場合に発生し得る放射線以外の諸要因による損害を上回る。例として、事故地区において実施された防護措置の効果を幾分なりとも実証するために、トムスク-7 事故が引用できよう。実際比較的小額の予算が、非常に効果の低いものに使われた。しかしこれにより、同じ位、或いはそれ以上に効果の少ない多額の支出が防止できた。

「十分性原則」の考慮は、防護措置に関する意思決定を支援する情報が使われる状況により大きく変わる。それは、線量低減に関する防護措置の正当化と最適化という技術面だけでなく、技術由来及び自然のリスクの具体的レベル、介入問題の検討そのものを必要とする具体的な放射線リスクの認識、社会的リスクの増加効果、他多くの、周りにある全ての現実と間連する以上、それは何倍にも増大し得る。表には出ないが、多くの専門家により、このことは良く認識されている。特に EC 委員会により開発される意思決定支援システム RODOS は、事故の脅威発生時から長期対策に至るまで、次の段階の情報支援を予定している。

レベル 0: 放射線データの補充と検証、それを直接又は最小限の解析付きで、地理及び人口情報と共に意思決定者に表示

レベル 1: 放射線状況の分析と予測

レベル 2: 潜在的対策の評価(シェルタ収容、避難、ヨウ素剤配布、食物摂取制限、退避)。特に、

それらの実施可能性と、長所と短所の定量的評価

レベル3: 不確定性がある条件中で、相対的な利益と不利益(費用、予防線量、ストレス低減、社会的及び政治的受容度のような)による代替対策の評価とランク付け～意思決定者の嗜好も考慮

放射線事故時の防護原則の簡単な説明から判るように、管理組織による緊急及び長期防護措置の適用に関する意思決定プロセスは、極めて複雑で大きな責任を伴う。何故なら、純粋に技術的な関係だけでも、防護措置は事故被災民と地域の多くの生活活動面に触れるからである。当然、放射能汚染状況の予測、介入に関する意思決定時の正当化と最適化の確保、及び、それらの社会に対する説明は、科学-技術の支援抜きで行えることではない。すなわちここで決定的意義を持つのは、完全かつ包括的なシステム化された信頼できる情報である。

5.6.2 事故対策の基本要素

すでに様々な防護措置の分類が知られている。それ自身は、放射線事故の深刻度分類と関連がある。最も検討が進んでいる事故分類は、原子力発電所に関するものである。コンツェルン「ロスエネルゴアトム」の文書では、原子力発電所に対する事故分類は、次の 3 段階である。

局所事故～これは原子力発電所の運転異常で、所定の施設、技術システム、区画又は建屋の境界を超えて、通常運転に対し設定された量を上回る放射性物質が放出され(又は電離性放射線強度の増加)るが、住民と原発敷地にいる要員に何ら危険はない

現地事故～これは原発の運転異常で、原発の衛生-防護ゾーン境界内に、通常運転に対し設定された量を上回る放射性物質が放出される

広範囲事故～～これは原発の運転異常で、原発の衛生-防護ゾーン境界を超えて、通常運転に対し設定された量を上回る放射性物質が放出される

明らかに、この分類は、地理的範囲と予測される影響の規模を十分明確にしている。しかし、社会における被曝の認識の特徴から、人々の関心の中心は些細な事象[incident]や原子力施設の単なる運転異常にある。そこで自然と一般的で判り易く、起り得る全ての事象をカバー出来る分類を作る必要性が出てきた。類似の尺度として、国際原子力事象尺度(INES)と呼ばれるものが IAEA と OECD/NEA により策定された。最も重要な通報システム中における役割は IAEA の主導で作られた。この尺度は IAEA でも、このシステム参加国でも事象尺度の決定時に用いられている。明らかに、これは実際に原子力事象に関し原子力業界、マスコミと社会の間の相互理解を確保している。何故なら、原子力施設で発生した事象の問題点を、安全性と影響の観点から社会に情報伝達する時に、常に用いられているからである。

この尺度には 8 つのレベルが含まれる。下限レベルはゼロ(安全性に対し有意でない事象)。最高レベルは 7(人々の健康と環境に広汎な影響のある大事故)。「スリーマイルアイランド」原発事故はレベル 5 に相当する。炉心が損傷し発電所は完全に戦列から離れたが、敷地外への放射性物質放出は有意でなかった。チェルノブイリ事故は、炉心が破損し、敷地境界から遠くにある土地が放射能汚染し、レベル 7、つまり尺度の最高値、に相当する。

原子力事象の圧倒的多数は、INES を用い評価すると、下限以下又はレベル 1 に相当する。しかしそれらは普通、マスコミで大きく取上げられるので、INES 尺度は、特に原子力の技術的性格と専門用語を考慮し、必要な情報を広めるのに有用である。

INES は作られた時から、主に原発における事象の評価に用いられている。しかし後で拡大され、全ての民生用原子力施設と放射性物質輸送の事故の際にも利用されるようになった。1990年9月1日からこの尺度はロシアで使われている。尤もコンツェルン「ロスエネルゴアトム」では、例えば放射線事故の住民と環境に対する影響に関し、別の 5 レベルの尺度が用いられている。全体的コメントとして、各省庁で用いる放射線事故分類の調整が、遥かに重要であり緊急課題である。

住民が被曝する可能性のある経路は十分に良く知られている。その低減措置も同様である。しかし被曝そのもの以外に、放射線事故の他の住民、環境と社会全体に対する～ネガテイブと解釈され得る～影響形態を考慮する必要がある。

上述の状況により、住民と環境防護の問題をより広く検討することになった。我々の観点では、幾つかの種類の措置を検討し、放射線事故の影響を緩和する意義がある。つまり、

- 社会に対する説明
- 住民と環境の放射線防護
- 事故状況の管理と同定
- 社会-心理学的保護
- 経済リハビリ

根拠付け措置に属するものは、

- あらゆる種類の情報活動。特に予防措置により、技術由来のリスク一般と特に放射線事故リスクの十分な認識を得る。放射線事故への対応準備体制と迅速な影響処理清算に対する政府の関心に対し市民の信頼を得る
- 事故後に行われる措置と、それが十分であることについて完全で実務的な情報
- 事故影響処理清算の問題に関し科学的な合意を確保する
- 意思決定の根拠に対する理解と信頼を確保する
- 住民と環境の放射線防護特有の措置は、5.2 節で検討された次の 5 つに大別出来る。
  - ① 追加の防護障壁の設置
  - ② 放射線との接触制限。これは、住民のシェルタ収容、避難と移住、子供と妊婦の一時搬出、接近制限、他の措置である
  - ③ 衛生措置又は制限により、個々の器官、組織と全身の被曝を予防する。WBC 測定適用、衛生措置、ヨウ素剤予防、基準を超えて汚染した食品と水の摂取禁止又は制限、経営体のやり方を制限、安全な労働条件を確保等
  - ④ 農林業における原料と製品中の放射性物質含有量を下げる技術的措置
  - ⑤ 放射性物質の収集と隔離(地域、建物と施設の除染、廃棄物埋設、特に農林業の実施時に形成される)

住民と環境の防護に関する意思決定に対し重要な意義を持つ、管理と状況診断措置に属するものは、

- 事故の初期段階で放射線状況の確実な現状掌握
- 放射線-衛生及び環境放射線状況のモニタリング
- 住民の医学-線量測定検査

既にコメントしたように、ある状況において、医学-線量測定検査は、医学的影響を早期に見付

け疾病予防を行う防護措置機能を果たし得る。放射線-衛生及び環境放射線状況モニタリングも、状況についての完全な情報を提示することにより、社会-心理的状況の安定化ができるので、重要な防護措置と解釈できる。我々が住民に対する情報を特に分けなかったのは、経験上これはあらゆる住民防護措置に必ず伴う特殊な活動だからである。放射線事故に被災した住民の社会-心理学的保護とリハビリの問題は、最も複雑で解決困難である。それを解決する多数の方法の中に、幾つかの種類の情報活動があり、放射線作用についての合理的な知識の拡大を目指し、住民の間に「犠牲者」が形成されないよう、前向きに生きるように、住民を心理的に直接支援することがある。一定の役割を果たし得るのは、客観的な事故影響評価の視点で社会のコンセンサスを形式することである。しかし、この種の事故では国家レベルで損害が認知され、特典と補償が支払われているので、残念ながらこの可能性は限られよう。

経済リハビリのためには、遥かに広汎な措置が列挙される。リハビリ措置の選択と根拠付け法の 1 つは論文中にある。認識すべきこととして、こういう措置を実施する可能性は、衛生規則によりしばしば制限される。しかし実例として、そういう衛生規則の緩和は極めて少ない。それでも、放射能汚染と間連はないが、1 つの例が紹介できる。核兵器製造作業の結果、米国で 50 年代にクリンチ・リバー付近のかなりの地域が水銀汚染した。80 年代に環境状態に対する要求が厳しくなったのに伴い、かなりの地域の表土層を撤去する計画が策定された。しかし観光収入が大きく減る恐れがあった。その結果、水銀濃度基準が 3 倍以上高められた。原則として良く似た状況がクラスノダルで見られ、行政府は自分の地域がチェルノブイリ原発事故の結果放射能汚染した居住地リストに入るのを望まなかった。同じような衛生規則の緩和は、科学的立場から根拠があり、チェルノブイリ原発と南ウラル事故の結果汚染した一連の地域をリハビリするのに大きな推進力になり得た。ここで、マイナスの影響に至ることもあり得るので、その導入は総合的に分析してからにしなければならない。そういう状況の例は、ロシア地域により厳しい衛生規則 SanPiN-96 が導入された条件の下で、ブリャンスク州南西地区に暫定許容レベル-93 が施行され続けたことである。これは、これらの地区の生産物を区別する実際の障壁となった。

5.6.3 放射線事故時における意思決定支援科学技術センター

放射線事故時に科学-技術面での情報支援を運用する重要性が理解され、多くの国で、原子力施設と管理機関と住民の安全確保機構のシステムの中に、危機管理センターの設置が推進された。近年、ロシアでも同じようなセンターが設けられた。

事故施設を安全状態に戻すという、そういうセンターの基本機能を確保する能力に留まらず、住民と環境の安全確保問題に関する意思決定支援を如何に行うかを次に検討する。

現在のロシアの事故対応システムでは、連邦レベルで次の 3 つの危機センターに分れている。つまりロシア非常事態省危機状況管理センター、ロシア原子力省危機状況センターとコンツェルン「ロスエネルゴアトム」危機センターである。ロシア非常事態省危機状況管理センターはロシア非常事態省首脳部と非常事態に関する省庁間委員会を情報支援する。その活動において、それは非常事態省地域センターに依拠し、現地からの情報の入手、処理と表示を確保している。放射線事故が起るとロシア非常事態省危機状況管理センターは、ロシア科学アカデミー原子力安全研究所をベースに設置されるセンターから運用上の科学-技術支援を受ける。

このセンターでは、放射線安全の専門家が 24 時間当直する。まさに彼らが、管理機関に最初の

勧告をしなければならない。科学-技術支援センター要員への事故通報システムにより、通報後数時間で完全準備状態に入る。管理機関への勧告は、次の 3 つ型のデータに基づき策定される。事象現地からの運用情報、地域と核-及び放射線危険性のある施設に関する一般データ・ベース、モデル化の結果。放射能放出の恐れがある場合には、作業にロシア水紋気象庁原子力情報分析センター研究生産連合「タイフーン」に設置(オブニンスク市)~が動員される。その課題は、大気中の放射性物質拡散予測である。この課題は、次の 2 つの手段により解決される。原発に置かれ現地の気象データを用いる自律システム、及び、「タイフーン」において直接統合気象データを用いるシステム。

原発に事故が起ると、基本的な管理機能はコンツェルン「ロスエネルゴアトム」~ロシア原発の運転組織(レニングラード原発はコンツェルンに入っていないが、事故対応は行う)~の危機センターに集中される。この危機センターの課題は、原発敷地と衛生-防護ゾーン中の活動の調整である。最新のデータ伝送システムにより、事故を起こした原発、原発にある現地危機センター、危機センター情報支援センターと地域事故-技術センターとの相互の情報の交換が確保される。ロスエネルゴアトム危機センターを、住民防護・環境放射能技術の面で支援するセンターには、前述のロシア科学アカデミー原子力安全研究所、研究生産連合「タイフーン」と国立研究センタ「生物物理研究所」をベースにした事故時医学・放射線-線量測定センターがある。

1999 年に、ロシア原子力省危機状況センターが稼動を始めた。その課題は、緊急事態委員会の情報支援である。危機状況センターは、最新の情報技術を用いている。情報分析システムには、放射線と環境モニタリング・システムが入っている。データベースは、各施設の詳細情報を持っている。

5.6.4 放射線防護に対する線量とリスク評価へのアプローチ

近年、リスク分野の分析と認識の研究が大きく進んだ。簡単に、このアプローチの潜在的可能性と限界を検討する。実践活動において、リスク分析法は、最適化原則を実施する際に放射線防護に対する費用を根拠付ける十分に価値ある解析方法である。一般的アプローチは、個人と集団に発生する確率論的及び確定論的な死亡リスクを評価し、リスク価格又は単位リスクの等価金額を定め、それを生産の経済パラメータと比較する。例えば NRB-99 によれば、1 人 Sv の集団被曝は、住民の寿命 1 人年の潜在的喪失に等しい。ここでリスクの価格(住民の寿命 1 人年の喪失)の問題は、解決されないままである。少なくとも住民 1 人当たりの年間国家支出額という下限だけはあるが。

NRB-99 では、それ以下なら無視でき、それ以上の低減は妥当でない、最低リスク・レベルを認識している(基準~致死的悪性腫瘍)。このレベルは、リスク最適化範囲と無条件に受容できる範囲(年間 10^{-6})に分けられる。比較のため更に幾つかの値を導入しよう。つまり、施設の通常運転条件における要員の個人死亡リスクの限度は丸めると年間 $1.0 \cdot 10^{-3}$、住民に対しては年間 $5.0 \cdot 10^{-5}$ である。

放射線事故時の防護措置の最適化の際にも、リスク分析法の利用は魅力的と想定される。それよりも、介入に伴う所謂「身体リスク」が理論的に評価可能である。最も簡単な場合として、移住に伴う傷害や疾病がある。つまり居住環境の変化等により健康に対し望ましくない影響が増悪するリスクである。しかし、幾つかの深刻な問題があり、介入時にリスク・アプローチの適用は困

難になる。そのうち幾つかを検討する。

リスク分析の様々な側面に付随する用語と考え方の不確定性。知られているように、リスクは事象の総体と関連しているが、各々に何らかの相互作用があっても、全て定量的に評価できるとは限らない。この結果、リスクが完全に呈示できるのは、潜在的に可能な事象、その確率と影響の形でだけである。個々の人々に対する様々なリスク要素の積算は非常に複雑な問題である。ある研究[INSAG-9]によれば、既に線量範囲 10－100 mSv で、リスク・アプローチは完全には十分でなくなる。更に複雑なのが社会リスクの分析である(事故による個人リスク、リスクに曝されている人数、経済社会的影響)。集団リスクは、個人リスクとそれに曝されている人数の積として理解されるが、これは社会リスクの一部でしかなく、別の基準により補足しなければならない。更に、原発の大事故時には、被曝線量に直接関連する社会リスクは、別の社会的影響に比べ重要でなくなる[INSAG-9]。

放射線リスク認識の特徴。同じ大きさだが性格が違うリスクを同一と認識するのは困難と思われる。極端な例を挙げよう。事故時放射線からの確率論的影響のリスクと、何らかのレジャーに伴う死亡リスク(登山、狩り等)。前者には身体的だけでなく遺伝的影響もあり、誰かの一方的な活動の結果押し付けられたもので、何ら直接の利益を伴わない。後者のリスクは自由意志によるもので、しばしば健康に良い活動と間連があり、大きなプラス感覚を伴い、子孫にも影響はなく、通常、保険がかけられている。このように、リスク・アプローチでは、別の量を導入しリスク認識を考慮する必要がある。リスク認識の特徴を表わす量は、地理的にも時間的にも極めて不安定と想定されよう。

リスク価値の決定困難。ある研究によれば、リスク価値或は「統計的」な生命の社会的価値の設定には 3 つのアプローチがある

- 住民 1 人当たり国民所得又は純利益の利用
- リスク低減に対する社会の支払希望額の分析
- 幾つかの追加リスクに対する補償希望(準備)額の分析

コメントとして、第 1 のアプローチは、ある程度 NRB-99 で実現されており、安全確保に対する国家の支払可能総額を表わし、全体として経済的により正当である。第 2 は事故時の防護問題により近い。チェルノブイリ原発事故の影響がこの明確な例である。第 3 は直ぐに応用される新技術に関するものである。このように確認できることとして、上述のアプローチは相互に完全には一致せず、1 人 Sv 当りの価値として表わされる人命の価値として極めて広い範囲が得られる。こうして例えば、生活レベルがほぼ同等の国家間で、1 人 Sv 当りの価値は 10000 から 630000 ドルの範囲にある。

放射線リスクモデルの不確定性。同一集団の人々に対し、数値でも影響実現時間でも、非常に異なったリスク評価値が得られ得る(加算、積算と年齢別積算モデル)

計器により検証又は確認する手法性がないこの状況は最も重要である。何故なら、放射線影響を計器により確認する可能性が有るか無いかは、事故対応の不可分の要素だからである。

得られた結論は、決して、リスク分析法を放射線事故時の対応支援から排除するものではない。しかし、先ずは防護措置の社会-心理的根拠付けの科学的-方法論的なアプローチである。そして逆に、リスク分析法は、放射性及び化学汚染物質による環境汚染に関し、住民の健康と自然環境を防護するシステムを形成する時に、最も重要な解析手段になり得るし、ならねばならない。

包括的結論と勧告

1. 環境への放射性物質放出を伴う巨大な放射能汚染事故は、特別の国家対応と国際協力が必須な緊急課題であるが、極めて稀れな問題でもある。過去の事故影響を処理清算した経験によれば、事故対策システムは、技術的面と並んで、職業人と住民に対し被曝の放射線学的(線量)基準に基づき、目前の事態に対応するため、および長期的展望に立つ意思決定が出来なくてはならない。対策システムには、管理及び執行機構、そして住民に正確に情報を公開する政策を行う技術設備を含まねばならない。

2. 事故初期段階で特に重要な意義を持つのは、緊急時の当面の防護措置について、その規模と実施手段に関するタイムリーで遅滞のない意思決定である。防護行為が早くエネルギッシュであればあるほど、その効果もより高く、事故により期待される放射線と非放射線影響も全体として少なくなる。過去の事故影響処理清算の経験によれば、この期間においては、放射線状況についての情報は無いか不完全なので、最初の意思決定はしばしば裁量的な性格を持つ。過去における国の行政は厳格な縦の権力機構という特有の様相を持ち、住民防護に関する現地レベルでの原則的な意思決定を除外していた。一面では、こういう中央集権は、長期的措置に必要な財政及び資源を確保したが、別の面ではそれらの実施を抑制した。対策機構の間で、事前に意思決定の義務と権限を合理的に配分し、初期の事故対策計画に反映すべきである。

3. 事故初期段階における事故対策要員と住民の放射線防護に関する基本的措置のリストは完備され、十分に準備されるべきである。

対策要員に関しては、これは放射線防護薬の服用、個人防護装備の利用、電離性放射線場が強いゾーンから人々の退去、放射線状況調査後、事故源を閉じ込める事故対策要員の合理的制限、及び、事故処理清算に動員された人々のタイムリーな交替(線量管理)である。事故対策の指導者に対し、高い許容計画被曝線量(設定限度より高い)が許されるのは、救助活動に従事したり、管理不能の現場状況の制圧という、より大きな脅威を予防するためだけであり、大規模であってはならない。

住民の放射線防護に関する措置には、シェルタ収容及び(又は)避難、事故地区への接近制限、ヨウ素予防(原子炉事故の場合)がある。

事故対策に動員された全ての個人に対する一般的な集団防護措置としては、放射性物質の環境への管理されない放出(流出)の停止が必要である。

放射線事故後最初の数時間-日においては、放射能放出源の閉じ込めが、施設管理の優先課題であり、こうして事故施設の労働者と彼らの家族が住む町の住民、そして、残念ながら程度は低くなるが近い近隣居住地の住民が防護される。過去の事故において一般住民が最も弱い集団だった。何故なら、当時は秘密体制だったため、放射線個人防護措置についての早期通知と情報が無く、一時シェルタ収容、避難又はヨウ素予防も、タイムリーに行われず、初期対応が遅れたのである。このマイナスの教訓から最も重要な結論として、放射線事故の場合に、その早期段階で、事故影響ゾーンに住む住民に通報し、正しい情報を与え、防護に関する勧告を人々の理解を得て実施することが、緊急時における対策機構の第 1 の課題である。

放射線状況の変化～特に放射性降下物が拡散する恐れのある規模の状況から～が不確定な場合は、住民防護措置(避難を除く)は最悪の事故進展シナリオに基かねばならない。地域の放射能

汚染状況が明確になるにつれて、これらの措置～人々のシェルタ収容、野外滞在制限、住居密封、ヨウ素予防(少なくとも 1 週間)、現地産食品の摂取制限或は禁止～には、過剰と思われた場合においてすらも、最終的には、放射線学的、心理学的及び社会-社会経済的面で、実被曝が無かったり、措置をしなかった場合に比べると、計り知れない大きな利益がある。

4. 放射線学的指標による住民と家畜の強制避難は、事故早期段階における最も劇的で長期的な(新居建設とインフラ整備を考慮すれば)有効な措置である。テチャ川における事象時には液体放射性廃棄物が放出された場所に最も近い居住地からの住民の移住が遅れたので、一部住民は放射線障害(慢性放射線病)を受けたが、1957 年の生産連合「マヤク」とチェルノブイリ事故の後は避難措置が若干遅れたものの、住民間に被曝の確定論的影響を防ぐという主な目的は達成できた。

国際及び国内の文書によれば、避難には一時的措置と言う特徴があり、状況が正常化した後、住民の帰還が完了する。この想定は、部分的には、可能な事故の多くの典型的シナリオが、短寿命放射性核種の短期的放出(放射性希ガス、ヨウ素の放射性同位体等)であることから説明される。しかし本書で検討された深刻な放射線事故においては、土地の長期放射能汚染により、一時避難が永久移住に転化した。線量基準が住民の帰還を許しても(例、チェルノブイリ事故後)、責任者と～というよりも社会に～心理的障害が形成され、汚染地域に人々を戻す意思決定が困難になった。

恐らく、国際勧告に述べられている事故後 2 年間ではなく 1 年間が、前の住所に戻る興味を住民が維持できる最大期間なのだろう。残留放射能汚染が続くと、若く労働能力のある人々は帰還決定をする動機を急速に失い、不可避的に居住地の社会-経済的インフラの崩壊に至る。戻ってきた住民に、生活活動再開の保証や展望は殆ど無い。

5. 子供と妊婦の非汚染地区への一時移動は、チェルノブイリ事故後幅広く実践された。純粋に放射線学的観点から、事故後早期におけるこれらの措置は、正当化される。それ以後のこれらの行為は、一般的な健康増進と見るべきである。つまり、その実施基準は、特定の住民集団ということではなく、医学的指標でなければならない。

6. 本書で検討されたそれぞれの巨大な放射線事故とテチャ川における状況の共通要因は、最も放射能汚染を被った地区住民の移住の遅れである。数年を過ぎると、実効線量の大部分は既に被曝しており、放射線学的立場からは、明らかに更に心理的障害を深めるような措置は正当化されなかったし、追加移住の決定については尚更問題だった。物質的資源の制約から、検討された 3 つの場合に住民移住が若干遅れた。移住の決定が迅速に出来なかったことは、次のように説明可能である。事故の初期と中間段階で実施される課題と問題の全体がタイムリーに認識されなかったため、放射能汚染地域に住む人々に、目立たないが避けられないように蓄積されていた長期的な問題が検討されなかった。過去の事象の教訓によれば、国際刊行物により勧告されているそれぞれの事故段階に対し独立した措置ではなく、事故後の全期間に対する影響緩和に関する単一戦略計画の策定が必要である。それよりも我々の観点から納得できる国際勧告は、放射能汚染地域からの一時的又は永久移住の決定に関する線量基準であり、その必要性が認められる。

7. 事故後期段階における住民の放射線防護措置は、2 つの方向に集中しなければならない。つまり居住地の放射能汚染状況の改善と、農林業面で回復措置を実施し、安全基準を満足する製品の生産を目指すことである。この場合、予防及び制限措置は、リハビリ措置に従属しなければな

らない。

8. 工場廃棄物の水中放出のみによって放射能汚染状況が形成されたテチャ川の状況を除き、検討された大規模な放射線事故における水保全対策の効果は低かった。これは、巨大な水理建造物による自然の水環境系に対する人間の大規模介入の妥当性に疑念を抱かせる。

9. 事故の中間(放射性物質放出後 1−2 年経過)及び後期段階での総合的影響緩和措置として例外的に重要な意義を持つのは、農業加工工場における防護措置システムである。すなわち、本システムを実施し、農産物中の放射性核種含有量の低減を目指すことである。これらの措置の効果の大きさは、次の要因により規定される。第 1 に全実効線量に対する内部被曝の大きな寄与、第2に内部被曝低減は外部被曝よりも費用面で経済効果があり、そして第3に農業加工工場における総合措置の実施には、放射能汚染地域に住んでいる村民に対しプラスの社会心理学的意義がある。この問題の枠内で特別の役割を持つのが、個人自留地で得られる生産物中の放射性核種含有量を減らす課題であり、我々の経験によれば社会セクタの製品より自作農作物の汚染が有意に高かった。

10. 大規模放射線事故時に自然界では放射線障害により、極端には個々の生物集団の完全死や環境系全体の完全破壊までが発生し得る(例えば、哺乳類の死や針葉樹林の破壊が、東ウラル放射能跡の形成時やチェルノブイリ原発事故後近くのゾーンで発生した)。最も放射線感受性の高い環境系と生体集団に対する放射線障害は、吸収線量が 50−100 Gy を超えると起る。従って自然及び農業環境系に対し確認及び予測される放射線作用は、人間の放射線防護ほど厳しくない。何故なら、環境有意線量(環境系損傷の面で)は人間の許容事故被曝線量限度よりもかなり高いからである。本書で検討された放射線影響分析は、人間と環境の放射線防護についての現在の原則の根拠を確認している〜人間の直接防護、及び、環境放射線規則に対する衛生規則の優位(つまり、放射線安全基準により人間が守られたなら、これらの条件中では電離性放射線から生物界も守られる)。自然と農業環境系は、事故後期に線量率が低下した後、放射線障害から回復するのに十分高い潜在能力を持っており、それは動植物の放射線汚染からの自浄作用の影響と相俟って、自然環境の回復に至る。

11. 蓄積された経験は次のことを証明している。つまり、汚染地域の森植生は、放射性核種移動に対し信頼できる地球化学的障壁であり、この自然現象をリハビリ措置計画時に考慮すべきである。同時に、森塊は放射性物質を高度に蓄積(含有)する食物(キノコ、イチゴ、獣、他)の源であり、この状況から食餌中の重要な線量形成要素である。森に防護措置を導入できる可能性には大きな制約があり、基本的には禁止の性格を持つ。南ウラルとチェルノブイリ事故の影響処理清算の経験が証明しているように、大規模除染措置を実施する立場から最も正当化されるのは、汚染森の合理的な保全である。この場合、森の帳の下の下生えと落葉の完全な撤去や、土壌の機械処理は非現実的と言える。部分的に損傷した被曝森の伐採は十分注意し行うべきである。何故なら不可避的に環境の望ましくない変化に至るからである。

12. 放射線防護は重要ではあるが、決して唯一の事故後の防護活動ではない。事故影響を緩和する措置の規模を正しく根拠付けて限定できなければ、又、住民と活発な社会層の間で積極的な情報提供や説明活動をしなければ、取り返しのつかない大きな経済的、社会的及び心理的問題が起る。放射線事故当時には政府により準備された住民の役割は受動的だったので、所謂「被曝者支援無し」効果に至った。ソ連において伝統的だった事故被災民に対する特典と特権のセットは、

放射線事故後の地域リハビリという目的のためには完全な成功ではなかった。何故なら、住民の間に「犠牲者」という法的地位を残す方が、放射線状況の改善を目指すより、物質的により魅力的だったからである。追加の状況として、ソ連が崩壊し、人々の経済状況が急激に悪化し、この補償依存という傾向を悪化させた。まさにこの複雑困難な時期に、上記事故に動員された住民カテゴリーに関する法基盤が作られた。これには納得できる科学的根拠はないし、世界に類似の法はない。

13. 我が国の住民の放射線防護、特に社会-心理的防護法は非常に特異であり、道に迷ったと見なされよう。外国の事故、政府の対応と社会の認識の分析に依れば、将来の放射線事故は、多くの問題を生む可能性があり、本書で検討されているような意思決定が必要になる。従って、本書で述べられている事象や事故分析と勧告はこの関連で、不測の放射線事故に対する普段からの準備を高め、住民と環境の防護に関する行為と意思決定を最適化するものである。著者らの見解によれば、放射線事故という緊急の課題に関する研究開発に本分析は大いに寄与するものと確信される。