

附属書 A. CHERNOBYL チェルノブイリ

A.1. 前書き

(A 1) チェルノブイリ原子力発電所の事故は、1986年4月26日午後1時24分ごろ、4号機原子炉の低出力工学試験中に発生した。安全システムのスイッチが切られ、原子炉の不適切で不安定な運転により制御不能な電力サージが発生し、その結果、連続して水蒸気爆発が起こり原子炉建屋を激しく損傷させ、原子炉を完全に破壊した(UNSCEAR, 2000)。

(A 2) 損傷を受けた原子炉からの放射性核種の放出は、主に10日間にわたったが、放出速度は様々であった。最高の放出は初日に生じた。その後5日間は放出減少が続き、その後10日目まで放射性核種の放出速度が増加し、その後放出は急激に低下し、激しい放出期間は終了した。事故で放出された放射性核種は、旧ソ連のヨーロッパ地域の(チェルノブイリ)原子炉周辺地域に最大密度で堆積した。地上の放射能汚染は、ある程度までは、北半球のほぼすべての国で見られた(UNSCEAR, 2000)。

A.2 初期段階

A.2.1. 初期段階の防護戦略

(A 3) チェルノブイリ事故の前に、2つの文書が、線量限度と放射線緊急事態の際に適用される放射線基準に関する防護戦略をまとめていた。放射線安全基準(SRS-76, 1977)は、労働者と一般市民のための線量限度を導入し、「原子炉事故の際の公衆を保護するための措置に関する意思決定の基準」(公衆衛生省, 1983)は原子炉事故の際に公衆の放射線防護を提供するために開発された。これらの基準によれば、2種類の線量、すなわち外部被ばくによる全身線量と、内部被ばくによる放射性ヨウ素同位体からの甲状腺線量を考慮しなければならなかった(表 A.1)。事故の初期段階の期間については、基準が承認されたときには正式に確立されていなかった。甲状腺への内部被ばくに関しては、吸入摂取量と経口摂取量の両方が含まれていた。表 A.1 に示す基準は、被ばくした人々の間で急性の健康影響を防ぎ、確率的健康影響が起こる可能性を減らすために作成された。

(A 4) 事故の初期段階は1986年4月26日に始まり、1986年5月5日に終わった。その時までには環境中への放射性核種の放出は数桁減少した。原子力事故で最も一般的に考えられている緊急の防護措置は、屋内退避、避難、甲状腺をブロックするための安定ヨウ素の摂取、および食料の消費制限である。

(A 5) しかしながら、チェルノブイリ事故の時点では、政府は事故の初期段階における緊急時対応措置の実施のタイミングと規模に大きな影響を与えた。これは、事故の影響を軽視し、放射線条件に関する情報を分類し、地方自治体が決定を下すのを妨げようとしたためである。チェルノブイリ事故の結果を緩和するための政府委員会は4月26日の午後に創設された。政府官僚のほか、さまざまな専門家(物理学者、緊急事態および放射線防護における専門家など)が含まれていた。あらゆる側面の専門家が政府委員会の活動に関わっ

たが、決定を下す権利を持っていたのは、政府高官だけであった。

表 A.1 原子炉事故の際に公衆を保護するためにとられるべき対策についての判断を下すための基準（公衆衛生省、1983年）。

*推定線量推定値と放射性ヨウ素汚染レベルが行動レベル A を超えていない場合は、対策を講じる必要はない。

Parameter パラメータ	Action level [†] 方針導入レベル	
	A	B
Whole-body dose from external exposure, Gy 外部被ばくによる全身線量、Gy	0.25	0.75
Absorbed dose to thyroid from intake of radioiodines, Gy 放射性ヨウ素の摂取による甲状腺の吸収線量、Gy	0.25–0.30	2.5
Time-integrated concentration of ¹³¹ I in ground-level air, kBq s L ⁻¹ 地上大気中のヨウ素131の時間積分濃度、kBq/L		
Children 子ども	1480	14,800
Adults 成人	2590	25,900
Total integrated intake of ¹³¹ I with foodstuffs, kBq 食品と ¹³¹ Iの総積算摂取量、kBq	55.5	555
Maximum concentration of ¹³¹ I in fresh milk, kBq L ⁻¹ , or in daily diet, kBq day ⁻¹ 生乳内のヨウ素131の最大濃度、kBq/L、または毎日の食事 中のヨウ素131の最大濃度、kBq/日	3.7	37
Ground deposition density of ¹³¹ I on pasture, kBq/ m ² 牧草地におけるヨウ素131の地上堆積密度、kBq/m ²	25.9	259

† 予測線量推定値または放射性ヨウ素汚染レベルが行動レベル B 以上になった場合、適切な対策（屋内退避、避難、および安定ヨウ素の摂取）を早急に導入することを推奨する。

・推定線量推定値または何らかのレベルの放射性ヨウ素汚染が行動レベル A を超えているが、対策レベル B に達していない場合、対策を適用するかどうかは、実際の原子炉の状況と地域の状況によって決まる。

A.2.2. 緊急防護措置

A.2.2.1. 屋内退避

(A6) 事故発生日（1986年4月26日）、原子力発電所から約3km離れ、ほとんどの原発労働者とその家族が住んでいたプリピャチの居住者に対して、政府委員会から屋内退避勧告が発表された。Pripyatの5万人の居住者の総人口の約25%は、屋外で過ごす時間を制限していた（Likhtarev et al., 1994）。原子力発電所から30km圏内にあった（30km

ゾーン) 農村居住区内の居住者には、チェルノブイリ事故の発生について、正式に通知されなかった。そのため、できるだけ屋内で過ごすことは勧告されなかった。

(A7) 1986年4月27日14時30分から17時45分(事故後37~40時間)の間、プリピャチの住民全員が、損傷を受けた原子炉からの放射性核種放出の継続と町のさまざまな場所での照射率(exposure rate 空間線量率?)の上昇により避難した。キエフ州¹当局は、避難に1200台のバスと3台の列車を準備した。合計で、49,360人が避難したと推定されている:バスで33,460人、列車で2200人、自家用車で5100人、そして8600人は自主的に移動した(Alexakhin et al., 2004)。避難者の所持品は非常に限られており、主に書類や、ペットを連れて行くことが許された。人々は限られた期間プリピャチを離れるが、その後戻ってくると考えられていた。避難した人々は、ウクライナの、主にはキエフ州にあるさまざまな地域や集落に移動した。チェルノブイリ原子力発電所の職員約5000人はプリピャチに留まった;これらの人々は、1986年4月28日に30km圏内の別荘群に移転した。

(A8) 事故後の最初の数日間で、チェルノブイリ原子力発電所周辺で広範囲の照射率測定が行われた。その結果、1986年5月1日までに国家水文気象委員会の職員により最初の照射率マップが作成された。測定された照射率に基づいて計算された線量推定値によると、30km圏内の圧倒的多数の人口に対して避難は必要とされなかった(表A.1の外部照射による全身線量の基準)。しかしながら、原子炉の状況に関連した別の要因も考慮された:1986年4月30日に、炉心に残っている燃料の温度の大幅な上昇が観測された。炉心の底部が破られる可能性があり、炉心が原子炉の下の圧力抑制プールと相互作用する場合、放射性物質の重要な放出をもたらす可能性は排除できなかった。その時点の状況を分析して、モスクワのクルチャトフ研究所の専門家たちは、最悪のシナリオを除外しなかった。集団全身線量推定値によれば、深刻な確定的影響が発生する可能性のある地域は、損傷を受けた原子炉から約30kmまで広がる可能性があることを示した。1986年5月2日、原子炉の状況の変化と気象条件の予測が不可能であったため、政府委員会は全人口を30km圏から避難させることを決定した。この避難(49,355人の住民)は、1986年5月2日から7日の間に行われた。同時に、約50,000頭の牛、13,000頭の豚、3300頭の羊、および700頭の馬が30km圏内から避難させられた(Nadtochiy et al., 2003)。猫や犬を含む、避難しなかった2万以上の家畜が殺され、埋められた。

¹州はアメリカの州とほぼ同等の行政単位

A.2.2.2. 安定ヨウ素剤の摂取

(A9) ヨウ化カリウム(KI)剤はチェルノブイリ原子力発電所に隣接する地域に住む人々に事前に配布されていなかった。したがって、1986年4月26日と27日に、医療関係者は1軒ごとに、そしてプリピャチの学校や幼稚園へ行き、住民にKI剤を提供した。KI剤を服用した住民の割合は1986年4月27日の午後までに62%に達した(Likhtarev et al., 1994)。安定ヨウ素の投与と使用が効果的であったのは、唯一プリピャチであった。30km

圏内の村での KI 剤の配布は、避難とほぼ同時に開始された。30 km 圏に住む人々のインタビューの結果によると、KI 剤の配布は主に 1986 年 5 月 1 日から 4 日にベラルーシで、そして 1986 年 5 月 2 日から 7 日にウクライナで行われた (UNSCEAR、2000)。しかし、これは遅すぎてほとんど効果がなかった。30 km 圏外の農村地域では、事故の初期段階で安定ヨウ素剤は使用されなかった (Uyba et al.、2018)。

A.2.2.3. 食品の消費制限

(A 10) 事故後の最初の数日間 (1986 年 5 月 5 日まで) にチェルノブイリ事故の実際の規模と放射線障害についての公衆への通知がなかったため、事故の初期段階で、その間に汚染された食品の消費に対する制限はなかった。汚染地域の住民はヨウ素 131 で汚染された牛乳を消費したため、特に小さな子供たちの間で、甲状腺への高被ばく線量をもたらした。

A.2.3. 緊急対応者

(A 11) 事故当日の夜にチェルノブイリ原子力発電所の敷地内にいた約 600 人の緊急作業員が最高線量を受けた。ほとんどの場合、吸入による放射性核種の摂取は比較的少なかったため、最も重要な被ばくは外部被ばくによるものであった。急性放射線症は、134 人の緊急作業員に対して確認された。これらの患者のうち 1 人は、2.1Gy 未満の外部照射による全身線量を受けた。93 人の患者は、より高線量を受け、より重症の急性放射線症を患った。50 人の患者が 2.2~4.1 Gy、22 人の患者が 4.2~6.4 Gy、21 人の患者が 6.5~16 Gy の被ばく線量であった。急性放射線症の患者 8 人について評価されたベータ線照射による皮膚線量は、外部照射による全身線量の 10~30 倍の範囲であった。それらの線量は、主に臨床線量測定法 (すなわち、血液成分および/または血液リンパ球の細胞遺伝学的パラメータに基づいて) を用いて推定された (UNSCEAR、2000)。

A.3 中間段階

A.3.1. 中間段階の防護戦略

(A 12) チェルノブイリ事故の時までに、長期の偶発的被ばくの制限に関する一時的な年間線量限度の概念がソ連で開発されていた (SRS-76、1977)。事故後の実際の放射線条件に基づいて、ソ連の国家衛生主任医師 (the Main State Sanitary Physician) は、公衆に対して以下の一時的な線量限度を採用した。

- 1986 年 5 月 12 日、事故後 1 年目 (1986 年 4 月 26 日から 1987 年 4 月 25 日まで) の全身等価線量 100 mSv (外部被ばく 50 mSv、内部被ばく 50 mSv) ;
- 1987 年 4 月 23 日、事故後 2 年目の年間線量 30 mSv (内部被ばく 10 mSv)。そして
- 1988 年 7 月 18 日、事故後 3 年目と 4 年目の年間線量 25 mSv (内部被ばく 8 mSv)。
したがって、チェルノブイリ事故の発生時から 1990 年 1 月 1 日までの間に、一般市民に最大 173 mSv の線量が許された。

(A13) 1988年11月22日、ソ連の放射線防護委員会は、チェルノブイリ放射性降下物の結果による生涯実効線量として、一般の人々に350 mSvの限度を勧告した。この生涯線量限度の国際的な受け入れを求めて、ソ連政府は国際原子力機関 (IAEA) に国際的な専門知識を提供するよう求めた (IAEA, 1991)。1990年から1991年にかけて、チェルノブイリ事故の実際の放射線影響を評価するために、独立した国際的な専門家チームがソ連を訪問した。そしてソ連の科学者によって提供された概念、方法論、住民への放射線量の見積もりを検討した。IAEAは、実施または計画された対策は放射線防護の観点からは厳しすぎると指摘し、350 mSvの生涯線量限度が厳しすぎると示唆した (IAEA, 1991)。しかし、350 mSvの限度は、一般大衆やマスメディアからの圧力のため、政府役人によって拒否された。

(A14) 1991年の終わりまでに、ソ連は15の別々の国に別れた。このうち、ベラルーシ、ウクライナ、そしてロシア連邦はこの事故の影響を強く受けていた。これら3カ国のそれぞれは、公衆の放射線防護に関する独自の国内政策を実施したが、規制された状況における公衆の年間実効線量限度1 mSvを採用するという、1990年のICRP勧告の影響を受けた。

A.3.2. 放射線モニタリング

(A15) 放射線モニタリングの目的は、放射線状況を特徴付けることである。チェルノブイリ事故時に利用可能な放射線監視システムは、広範囲の照射率測定、食品の放射能測定、および選択された環境サンプルのスペクトル測定を含んでいた。必要なデータを収集するために、ウクライナ、ベラルーシ及びロシア連邦で、生物学的に重要な放射性核種の地上沈着密度の測定に関する集中的な活動が開始された:短命のヨウ素131と長寿命のCs137、Sr90、Pu239と240。広範囲のスペクトル測定の開始が遅れたため、土壌サンプル中のヨウ素131の測定データは欠けていた。

A.3.3. 汚染レベル

(A16) 北半球のほぼすべての国で、ある程度は地上の放射能汚染が見つかった。汚染地域 (平均的なCs137堆積密度が37 kBq/m²を超える場所) がヨーロッパの多くの国々で見つかった。ヨーロッパ13カ国の汚染地域 (37-185 kBq/m²) の面積は160,000 km²以上であった。より高いレベルの汚染 (Cs137> 185 kBq/m²) がベラルーシで19,100 km² (Cs137; 185~555 kBq/m²)、ウクライナで7200 km² (Cs137: 555~1480 kBq/m²)、およびロシア連邦で3100 km² (Cs137> 1480 kBq/m²) 見つかった。

A.3.4. 被ばくレベル

(A17) 1986年5月から6月にかけて、住民のヨウ素131甲状腺含有量の大規模モニタリング研究が、3つの最も汚染されている国 (ベラルーシ、ウクライナ、ロシア連邦) で行われた。1986年6月末までに、40万人を超える甲状腺の直接測定が行われた。これには、

ベラルーシで 20 万人以上、ウクライナで約 15 万人、ロシアで 45,000 人が含まれている (Zvonova et al., 1993; Likhtarev et al., 1996 ; Stepanenko et al., 1996 ; Gavrilin et al., 1999; Uyba et al., 2018)。

(A 18) 事故前に放牧されていた牛からの新鮮な牛乳の消費は、大多数の住民にとって放射性ヨウ素摂取の主な経路であった。これは、特に損傷を受けた原子炉の近くの農村地帯に住む子供たちの大量の甲状腺被ばく線量をもたらした。最も汚染された地域に住んでいた人々の中で甲状腺の直接測定値を有する居住者の割合が高かったので (約 50%)、信頼できる個人甲状腺線量の見積もりが可能になり、対策レベル A と B の基準を比較することが可能になった。ゴメル州の南部の 3 つの地域の避難した村および避難しなかった村のかなりの数の小児 (3 歳以下) が、約 2.5 Gy を超える甲状腺線量を受けており (行動レベル B - これを超えるべきではない)、それぞれ、55%と 30%であった (Savkin and Shinkarev, 2007)。直接甲状腺測定から導き出された子どもの甲状腺線量の最高推定値は 50 Gy もの高さであることがわかった (Shinkarev et al., 2008)。

(A19) 一般市民の甲状腺線量に対する短寿命放射性ヨウ素 (同位体) の寄与は、チェルノブイリ事故後のヨウ素 131 からの甲状腺線量の数パーセント以内である。一般の人の甲状腺への内部被ばくの観点から見た主な短命の放射性ヨウ素は、ヨウ素 133 とヨウ素 132 (テルル 132 の摂取と体内でのヨウ素 132 への放射性崩壊のため) である (Gavrilin et al., 2004)。

(A20) 1987 年以来、汚染地域の人々が受けた線量は、地上に堆積した Cs134 と Cs137 による外部被ばくと、Cs134 と Cs137 による食物汚染による内部被ばくから本質的に生じたものである。事故後の最初の 10 年間に汚染地域の住民が受けた Cs134 と Cs137 の平均実効線量は、約 10 mSv と推定される。平均実効線量の中央値は約 4 mSv であり、約 10,000 人が 100 mSv を超える線量を受けたと推定されている。生涯実効線量は、事故後の最初の 10 年間に受けた線量よりも約 40%高いと予想される。

A.3.5 防護措置

A.3.5.1. 移転

(A 21) 30 km 圏外のベラルーシとウクライナの約 40 の村で比較的高い照射率が測定された (UNSCEAR, 2000)。事故後の最初の 1 年間の集団への外部被ばくを制限するために、1986 年 5 月 10 日に補正された照射率の減少の値に応じて汚染地域の描写 (「ゾーニング」) が行われた。1986 年 5 月 12 日にソ連の国家衛生主任医師によって、被害を受けた地域を描写する基準が承認された。

- > 20 mR/h - 立ち入り禁止区域。居住者が恒久的に移動させられた区域
- 5~20 mR/h - 一時的な避難区域。移住住民が放射線条件の正常化後に戻ってくると仮定された区域、そして
- 3~5 mR/h - 厳重管理区域。1986 年の夏に子供と妊娠中の女性が移動させられた区域 (吉田注 : 1mR ≒ 10 μ Sv)

(A 22) 1986年8月、地理的原則と放射線基準に基づいて一時的避難区域が形成されたため、政府委員会は国家水文気象委員会、公衆衛生省、ソ連国防省に、避難区域の南部と西部にある47の汚染の少ない集落の放射線の詳細なモニタリングを実施するよう命じた。これは、住民を再び避難させる（住民を家に戻す）可能性を判断するためであった。モニタリング結果によると、シェルター（注：石棺？）の建設後、27の農村集落（ベラルーシで12、ウクライナで15）の住民に再避難（注：帰還）が推奨された。再避難のための基本的な放射線基準は次の通りであった：放射性核種沈着密度および照射率は、沈着密度がCs137で555kBq/m²未満、Sr90で111kBq/m²未満、Pu239,240で3.7kBq/m²未満、および1986年9月に修正された照射率減衰が0.2mR/h。これらの基準を満たすことで、再避難住民への総線量（外部と内部）が1987年の線量限度（30 mSv）を、1.5-2倍の幅で（？）超えないことが保証された。

(A 23) ソ連の公衆衛生省および国家水文気象委員会の勧告により、12のベラルーシの集落は1986年から1987年の冬までに再避難した（シェルターの建設と集落の除染後）。しかしウクライナ当局は、30 km 圏内の住民の再避難は経済的にも社会的にも望ましくないと考え、再避難を支持しなかった。

A3.5.2. 食品の摂取制限

(A 24) 事故後の最初の数週間で、最も重要な放射性核種はヨウ素131であり、ある牛乳サンプルでは、その濃度は37~370 kBq/Lであった。食品中のヨウ素131濃度を管理するために、1986年5月6日、食品中のヨウ素131の最初の一時的許容レベル（TPL）（牛乳と水については3.7 kBq/L、乳製品と葉菜類については18.5~74 kBq/kg）が、ソ連の国家衛生主任医師によって採択された。一時的許容レベルを超える汚染を有する牛乳は、ヨウ素131が無視できるレベルに減衰するまで保存することができる乳製品（バター、チーズなど）に加工された。1986年5月30日、ソ連の国家衛生主任医師は一時的許容レベルを改訂し、総ベータ放射能を牛乳と水で0.37 kBq/L、その他の食品で0.37~18.5 kBq/kgに大幅に減少させた。1986年5月から1993年までの飲料水と食料品の一時的許容レベルの変遷の年表は、Alexakhin et al. (2004) で示されている。

A.3.6. 除染

(A 25) 集落の除染には、次のことを含んでいた；汚染された土壌の除去；それを「きれいな」土で置き換える；除染できなかったものの解体；道路のアスファルト化、舗装；屋根の交換；発生した廃棄物を一時保管場所に埋め込む。除染作業は、1986年5月末に開始された。これは、主にソ連軍と民間防衛軍の化学部門によって行われ、居住地が位置していた放射能汚染区域に従って行われた。1986年に様々な地域（建物、輸送施設など）の表面放射能汚染レベルの基準が確立され始め、これらは除染作業の完全性の基準として使用されることを意図していた。許容される汚染レベルは、全身および皮膚に対する放射線量

限度に基づいている。表面汚染に関する基準の作成には、対応する衛生対策の導入など、いくつかの目標があった。集落内の様々な種類の品目に対する表面汚染の許容レベルの変遷は、Alexakhin et al.に示されている（2004）。

（A 26）除染に関する意思決定は、主に次の2つの基準に基づいていた。(i) その品目が放射能汚染地域にあること（除染作業のほとんどすべてが義務的移住地域で行われた）、(ii) 除染された品目の社会的および経済的意義。いくつかの決定は、表面汚染に関して確立された基準を超えたという事実に基づいていた。

（A 27）1986年から1987年にかけて、状況が大きく改善されたが、これはいろいろな集落の頻りに訪れる様々な場所での照射率を根本的に減らすことで達成された。これにより、さまざまな専門家や一部の年齢層（例：子ども）の外部線量を平均30%減少させた。1989年までに、集落の完全除染は事実上完了した。その効率の評価は、平均して10%を超えないことが示された（Alexakhin et al., 2004）。

（A 28）チェルノブイリ事故後の対応策の適用の経験は、事故の中期および後期において一般的な戦略を練り上げ、費用対効果分析を行うことの重要性を明確に示した。無効で高価な対策は避けるべきである。例えば、集落の除染は事故後の最初の数年間は旧ソ連の汚染地域で広く適用されていた；これは膨大な資金を必要とし、外部被ばくの減少に関しては、その有効性は比較的低いものであった。明確な戦略が欠如していたため、30 km 圏内およびその他の汚染地域にある多くの集落で集中的な除染が行われた。しかし、政府当局のさらなる決定によると、30km ゾーンと他のいくつかの高度に汚染された地域は「排他的な無人区域」と決定されたので、これらの集落の汚染除去に費やされた莫大な資源は無駄であった。別の例では、汚染された土壌からの放射性核種の移動から水系を保護するために、事故後の数ヶ月から数年で多数の高価な対策が講じられた；しかし、これらは一般的に無効だった。さらに、上記の対応策は、これらの緩和活動を実施する労働者の比較的高い被ばくをもたらした。

A.3.7. 緊急対応者

（A 29）外部被ばくの線量限度は、時間ともに、また人員のカテゴリによって異なっていた。事故前に制定されていた国内規制（SRS-76、1977）によれば、1986年に、一般労働者の0.05 Svという線量限度は、その人員の同意により、一回の介入で最大2倍、複数回の介入で最大5倍超過することができた。1986年には、許容最大線量は0.25 Svであった。1987年に、民間作業員の年間線量限度は、現場で行われた作業の種類に応じて0.05または0.1 Svに下げられた。しかし、非常に重要な介入の実施のために、限られた数の労働者に対しては0.25 Svまでの線量が保健省によって許可された。1988年には、石棺内部のエンジンホールを除染作業に携わる作業者を除き、年間線量限度はすべての民間作業員に対して0.05 Svに設定された。エンジンホールの作業者は、年間線量限度は0.1 Svに設定された。1989年以降、年間線量限度は例外なく、すべての民間作業員に対して0.05 Svに設定

された (Kryuchkov et al.,2011)。当時の国内規制に従って計画被ばく状況にある労働者の年間線量限度は 0.05 Sv であったことを強調することは重要である (SRS-76、1977)。したがって、これらの民間作業員はあたかも計画被ばく状況にある労働者であるかのように管理されていた。軍事労働者に対しては、国防省が線量限度を 0.25Sv に下げた 1986 年 5 月 21 日まで、戦時の放射線被ばくに対応する 0.5 Sv の線量限度が適用された (Chvyrev and Kolobov、1996)。1987 年以降、線量限度は軍人と民間作業員で等しくなった。

(A 30) 1986 年に事故処理作業員の正式な登録簿が作成された。この登録には、処理作業員の主な被ばく経路である外部照射による線量推定値が含まれていた。登録データによると、記録された平均線量は年々減少し、1986 年の約 0.17 Sv から 1987 年に 0.13 Sv、1988 年に 0.03 Sv、1989 年に 0.015 Sv であった。ただし、以下のようなさまざまな理由で、報告されている結果の妥当性を評価することは一般的に困難であった。(i) 相互校正なしに、異なる組織によって異なる線量計が使用された、(ii) 記録された多数の線量が、適用された線量限度に非常に近かった、(iii) 0.1、0.2、または 0.5 Sv など、多数が丸められた値であった。それにもかかわらず、1986 年から 1987 年にかけての処理作業員への外部ガンマ線照射による平均実効線量は約 0.1 Sv であると仮定するのが妥当と思われた (UNSCEAR、2000)。

(A 31) 事故進行中の原子炉周辺のヨウ素 131 と短寿命放射性ヨウ素のために、事故後最初の数週間の間現場にいた処理作業員が、内部照射として相当量の甲状腺線量を受けた可能性がある。1986 年 4 月 30 日から 5 月 7 日の間に 600 人以上の作業員に対して行われた限られた数の測定に基づいて、事故当日の一回の摂取と安定ヨウ素剤の非投与を仮定すると、処理作業員の甲状腺線量は平均 0.21 Gy となった。甲状腺線量中央値の実効線量比は 0.3 と推定された。しかしながら、ヨウ素 131 の摂取による内部被ばくは、1986 年 5 月以降に生じた外部被ばくと比較して無視できるほどであったことに留意すべきである (UNSCEAR、2000)。

A.3.8. ステークホルダーの参加

(A 32) チェルノブイリ事故後の実際の放射線状況についての公衆への早期の通知はなかった。反対に、照射率、各種放射性核種の沈着密度などの測定結果は分類された。そのため、国民は連邦および地方当局からの情報に対する信頼をなくした。放射線データが一般に公開されるようになったのは、チェルノブイリ事故から 1 年後であった。チェルノブイリ事故からの数年 (1980 年代後半から 1990 年代初頭) はソ連の崩壊が同時に起こり、社会経済状況は急激に悪化した。連邦および地方当局は、影響を受ける人々に放射線条件および放射線障害に関する実際の情報を提供しようとしたが、放射線知識の欠如および以前の当局の行動により、信頼を効果的に回復させることは不可能であった。公衆とオープンに接触し、対応策の適用に関する意思決定プロセスに利害関係者を参加させるための当局の継続的な努力は状況を改善した。

A.4. 長期段階

A.4.1. 放射線モニタリング

(A 33) 個人の外部被ばく線量を評価するための熱ルミネセンス線量計測定、および個人の内部被ばく線量を評価するためのホールボディカウンターでの測定に基づいて、汚染地域で個人放射線モニタリングが広く適用された。公衆に対する外部被ばくによる実効線量は、ベラルーシ、ロシア連邦、およびウクライナで、以下に基づいて推定されている：(i) 大量の照射率測定および汚染地域で実施された土壤中の放射性核種濃度の測定、(ii) 年齢、季節、職業、住居の種類を関数としての屋内外の居住状況に関する人口調査、ならびに熱ルミネセンス線量計による直接測定に基づく。公衆に対する Cs134 および Cs137 の内部被ばくによる実効線量は、2つの方法で推定されている：(i) 測定された食品中濃度からの食事摂取量の推定および標準的な消費量の仮定、(ii) ホールボディカウンター (UNSCEAR、2000)。

(A 34) ドイツの環境・自然保護・および原子力安全省は、ベラルーシ、ロシア連邦、およびウクライナでホールボディカウンター測定のキャンペーンを組織した。1991年から1993年にかけて、約30万人のCs137の全身含有量がモニタリングされた(Hill and Hille、1995)。モニターされた人々の90%について、Cs137からの内部実効線量率は年に0.3 mSv未満であることが判明した。

A.4.2 長期防護対策

A.4.2.1. 長期または恒久的な移転

(A 35) 1990年代にベラルーシとウクライナで大規模な移転が行われた。ベラルーシでは、第一次移転地域（すなわち、Cs137の沈着密度が1480 kBq/m²を超える）の全村落の住民が1991年から2000年に移転した。同じ期間に、約30万人がCs137の沈着密度が37 kBq/m²を超えた地域から、移転または自身の判断で移動した。

A.4.2.2. 農業防護対策

(A 36) ベラルーシ、ロシア連邦、およびウクライナの汚染地域における農業生産には、次の4つの比較的明確な段階に従って、広範な対策が適用された(Alexakhin et al., 2004)。

- ・ 第一段階（1986年－1987年）で農産物の広範な放射線モニタリングが実施されている間には、経済的または放射線学的観点から正当化されない、いくつかの高価な対策が適用された。
- ・ 第2段階（1988年－1990年）では、Cs137の沈着密度に従って、農地を以下の3つのゾーンに分類してバランスのとれた対策を実施した：<555 kBq/m²、555 - 1480 kBq/m²、>1480 kBq/m²。中間地帯では、農業生産を回復させるために、牧草地の根本的な改善、牛へのフェロシンの使用、屠殺前に豚に汚染されていない飼料を与える、ジャガイモ畑へ

のミネラル肥料の適用などを含む一連の対策が適用された。Cs137 が 1480 kBq/m² を超えるロシア連邦のゾーンでは、農業生産が中止された。

- ・第 3 段階（1991 年–1997 年）の間、農業生産が放射線基準を満たさない地域では、全面的な対策がとられた。
- ・最終段階（1998 年から現在まで）では、年間線量が 1 mSv 未満と定義されている通常の状態への段階的な回復があった。Cs137 の汚染が > 1480 kBq/m² の農地の修復も検討されている。

(A 37) チェルノブイリ原発事故の中期および後期に、ベラルーシ、ロシア連邦、およびウクライナの汚染地域の農業生産に適用された対抗措置により、1986 年から 2006 年までの期間、集団内部線量約 12,000~19,000 人 Sv、または対抗手段を用いなければ受けたであろう集団内部線量の 30 から 40%（甲状腺線量を除く）の回避が可能となった（Fesenko et al., 2007）。

A.4.3 健康監視（ヘルスサーベイランス）

A.4.3.1. 臨床的に重要な確定的影響のある人々の追跡調査

(A 38) チェルノブイリ事故の後、134 人が急性放射線症候群と診断された。急性放射線症候群の人々のうち 28 人が事故後数ヶ月以内に死亡し、死亡した人の 95% が全身線量 > 6.5 Gy であった。事故後の最初の 2 ヶ月間の全ての死亡の主な原因は、骨髄不全であった。急性放射線症候群の患者は、モスクワの Burnasyan 連邦医学生物物理学センターで臨床監視下にあり、キエフの放射線医学研究センターで追跡調査されている（UNSCEAR、2008 年）。

A.4.3.2. 健康監視プログラム

(A 39) チェルノブイリ事故の後、ソ連全域で、事故処理作業員および最も汚染された地域の住民と彼らの子孫が強制登録され、継続的な健康監視が開始された。1991 年の終わりまでに、全連邦分散型臨床線量登録簿は 659,292 人の人々に関する情報を記録していた。ソ連が独立国家に解散した後も、各国内のチェルノブイリ登録簿は、個々に独立してであるが、引き続き運営されている。国内登録基準、補償法、線量再構築方法、および追跡メカニズムの変更により、さまざまな国内情報源からのデータの比較可能性がますます制限されてきた。被ばくした人々のより詳細な登録はロシア連邦に存在していた（専門職の放射線作業員の登録、軍用労働者の登録、そしてヘリコプターのパイロットと乗組員の cohort）（UNSCEAR、2000）。ベラルーシ、ロシア連邦、ウクライナでは、甲状腺がんや血液悪性腫瘍を含む、人口ベースの専門的な登録簿が多数設置されている。

(A 40) チェルノブイリ事故後 3 年以上にわたり、ソ連はその影響を軽減するための努力をもつばら国内問題と考えていた。IAEA による国際チェルノブイリプロジェクト、WHO によるチェルノブイリ事故の健康への影響に関する国際プログラム、笹川記念保健医療財団によるチェルノブイリ事故後の子供のスクリーニングの国際プログラムなど、チェルノ

ブイリ事故の健康への影響を評価する上で、1990年に国際協力が発展し始め、その後大きな役割を果たした。

A.4.3.3. 疫学研究

(A 41) ベラルーシ、ロシア連邦、およびウクライナで、多数の疫学的（コホートおよびケースコントロール）研究が行われた。一般に、これらの研究では、避難者、汚染地域の居住者、事故処理作業員のうちの1つないしそれ以上のグループが検討された。チェルノブイリ事故の晩発的健康影響に関する研究は、小児の甲状腺癌、事故処理作業員および汚染地域の居住者の白血病およびその他の癌に焦点を当てているが、これらに限定されていない。以下の健康影響が研究されている。(i) 作業員または汚染地域の居住者における甲状腺癌以外の固形腫瘍の発生、(ii) 被災者集団における甲状腺異常、(iii) 甲状腺以外の身体的な異常、(iv) 免疫学的状態、(v) 有害な妊娠結果。

A.4.3.4. ステークホルダーの参加

(A 42) 1986年、全連邦農業放射線研究所は、汚染地域での農業生産の問題に取り組み、「クリーンな」食料生産に関する勧告を作成し、そのような地域に住むことの安全性について一般の人々に知らせるために、ゴメルに支部を設立した。1991年、ゴメル国立医学研究所が、地域の健康問題に従事する医療専門家を訓練するために設立された。ゴメルには共和国の放射線医学・人間生態学センターも1990年代後半に建てられた。同じ時期に、科学アカデミーの放射線生物学研究所はミンスクからゴメルに移転した。したがって、ゴメルはチェルノブイリ事故後の影響の研究、被災地での安全な暮らし方についての住民への勧告の作成、およびこれらの地域での任務に関する専門家の養成に関わる最も重要な科学教育機関の中心となった。

A.4.4 修復活動の進化と終了

(A 43) ロシアでは、チェルノブイリ事故で汚染された集落を修復段階から通常的生活環境に移行させるための基準と要件に関する勧告が、IK ロマノビッチ教授の指導の下で、サンクトペテルブルク放射線衛生研究所の科学者グループによって作成された (Barkovskii et al., 2012)。勧告は、放射線に関する制限が存在しない場合、長期的な対策を終了し、通常的生活状態に移行するために満たす必要がある放射線および非放射線基準を提供している。

(A 44) 放射線学的基準は数値形式で表されている — 対象となる居住地における居住者の決定グループ（最も被ばくした居住者の10%）の平均実効線量は1 mSv/年未満であるべきである。ここで検討される線量は、チェルノブイリにのみ関連する年間被ばく量である。

(A 45) 非放射線学的基準は、対象となる集落で、いかなる制限も特別な防護措置も適用することもなく、農業活動を行えるという要件を満たすことである。

(A 46) 以下の追加要件が満たされるべきである。

- ・放射線モニタリングに基づいて、住民の通常的生活条件への移行の予定日を特定すること。このような計画は少なくとも5年に1回は更新されるべきである。
- ・通常的生活環境への移行が予定されている日の5年前に、対象となる集落のために、住民の生活水準を低下させない移行を提供する一連の活動プログラムが考案されるべきである。そのようなプログラムは住民に提示されるべきである。住民は、そのようなプログラムの実施結果を年毎に知らされるべきである。
- ・通常的生活環境に移行した後も、チェルノブイリの被曝成分からの年間線量の評価とともに、放射線モニタリングを継続する必要がある。チェルノブイリ事故による個人の実効線量が70 mSvを超える一般の人々は登録されるべきである。

(A 47) しかし、修復措置の終了および通常的生活環境への移行に関する勧告は、実際にはロシア連邦では実現されていない。これらはまだ推奨事項である。公的に「汚染された集落」と指定された集落のある地方当局は、この地位の撤回に対して抵抗がある。これは住民への金銭的補償の停止につながり、地方当局は社会的抗議を恐れている。このように、ロシア連邦では、汚染地域から通常的生活環境への移行を決定する法的規制文書はなく、そのような移行は今日まで行われていない。

A.5 時系列

(A 48) チェルノブイリ事故の時期のタイミングを表 A.2 に示す。 セクション 2.1 で説明したように、緊急被ばく状況から既存の被ばく状況への移行は、必ずしもすべての地域で同時に起こるわけではない。(注：表は次ページ)

表 A.2 チェルノブイリ事故の時期のタイミング段階

Table A.2. Timing of the phases in the Chernobyl accident.

Phase		
Off-site オフサイト	Early phase 初期段階	26 April–5 May 1986 (end of massive radioactive releases) 1986年4月26日から5月5日まで(大量の放射能放出の終わり)
	Intermediate phase 中期段階	5 May 1986– May 1991 [adoption of laws on the legal status of contaminated areas in Belarus (February), Ukraine (February), and the Russian Federation (May)] 1986年5月5日～1991年5月[ベラルーシ(2月)、ウクライナ(2月)、ロシア(5月)における汚染地域の法的地位に関する法律の採択]
	Long-term phase 長期段階	First semester of 1991 onwards 1991年前期以降
On-site 原発現地	Early phase 初期段階	26 April–5 May 1986 (end of massive radioactive releases) 1986年4月26日から5月5日まで(大量の放射能放出の終わり)
	Intermediate phase 中期段階	5 May 1986–November 1986 (achievement of construction of the sarcophagus) 1986年5月5日～1986年11月 (石棺の建築達成)
	Long-term phase 長期段階	November 1986 onwards 1986年11月以降