

第10章 放射線被ばく事故

原子力技術の研究開発や放射性同位元素の利用の過程で、世界では多くの放射線事故が起きています。放射線を用いる技術は、おおむね安全に利用されてきてはいますが、時として管理が不十分であったり、予想を超える事態が生じたりしたことにより深刻な事故が起きたことも事実です。原子力発電だけでなく、放射線治療、製品の滅菌、食品保存、ガンマ線照射といった目的で非常に強い線源を使用する施設においては、施設で働いている人たちや周辺に住んでいる人たちの放射線による深刻な障害を避けるために、設備の設計や運転管理に特別な注意を払う必要があります。

UNSCEAR の 2008 年報告書^{参考1}に取りまとめられた 1945 年～2007 年間の放射線事故の発生件数は、表 10-1 に示すとおりです。同報告書では、原子力施設で起きた重大な事故の大部分は報告されているものの、管理されていない状態にある線源（身元不明線源）が原因となった事故、教育や研究施設での事故、そして医療に関連する事故は報告されていない可能性もあると記されています。

表 10-1. 放射線事故による死亡と早期急性健康影響の件数

事故の種類	1945-1965 年		1966-1986 年		1987-2007 年		合計	
	死亡	早期影響	死亡	早期影響	死亡	早期影響	死亡	早期影響
原子力施設での事故	13	42	34	123	3	2	50	167
産業事故	0	8	3	61	6	51	9	119
身元不明線源による事故	7	5	19	98	16	205	42	308
教育/研究作業中の事故	0	2	0	22	0	5	0	29
医療利用の事故	不明	不明	4	470	42	153	46	623

この章では、原子力利用に伴う事故として、チェルノブイリ原子力発電所事故並びに日本で発生した福島第一原子力発電所事故及び JCO 臨界事故、また放射性同位元素の利用に伴う身元不明線源の紛失に伴う事故として、ゴイアニア被ばく事故について述べていきます。

チェルノブイリ原子力発電所事故

◎事故の概要^{参考1}

1986年4月26日、旧ソビエト連邦のチェルノブイリ原子力発電所において保守点検のため前日から原子炉停止作業中であった4号炉において、急激な出力上昇を伴う暴走事故が発生し、爆発により原子炉とその建屋が破壊されました。その爆発とその後の火災により、大量の放射性物質が約10日間に渡り大気中に放出され続けました。放射性物質は北半球全体に拡がり、旧ソ連、ヨーロッパの他の国々の広い範囲に大量の放射性物質が沈着し、特に旧ソビエト連邦を構成していたベラルーシ、ウクライナ及びロシアの3共和国では、深刻な社会・経済的混乱を引き起こしました。

◎作業員への影響

事故発生当初に大きな被害を受けたのは、なんといっても現場で事故対応のために緊急作業にあたった人たちです。事故当時、構内にいた職員や消防士は、消火と放射性物質の拡散を抑える緊急作業にあたりましたが、そのうち2人は放射線被ばくとは関係がない原子炉の爆発と火傷で死亡しました。

放射線の健康への影響は、大量の放射線に被ばくしたのち数日から数カ月のうちに起きる「急性放射線症候群」と、比較的低い線量に被ばくしたあと数年後以降に発生する「晩発障害」に分けられます。134人の施設職員及び緊急隊員が急性放射線症候群と診断され、そのうち28人が4カ月以内に放射線被ばくが原因で亡くなりました。結局事故が直接の原因で死亡した人は30人と報告されています。

その後、施設の復旧作業が行われましたが、1986年から1990年の間に復旧作業員が受けた平均実効線量は、主に外部被ばくによるもので約120ミリシーベルトであったと推定されています。記録された線量の約85%は20-500ミリシーベルトの範囲でしたが、作業員の個々の線量は10ミリシーベルト未満から1,000ミリシーベルト以上までバラついていました。53万人の復旧作業員の集団実効線量（平均実効線量に作業員の人数を掛けたもので、対象集団としての被ばくの大きさを表す指標）は、約6万人・シーベルトだったと推定されています。

これらの復旧作業員における急性放射線症以外の健康影響についても幅広く調査が行われています。白内障の増加は比較的早い時期から報告されており、放射線被ばくとの関連が疑われています。さらに、白血病や甲状腺がんについても放射線被ばくの増加とともに増えていることが示唆されています。また、他のがんやがん以外の疾病も増加しているという報告がありますが、放射線以外の生活習慣等が影響しているという見方もあり、今後も注意深く被ばく生存

者の観察を続ける必要があると考えられています。

◎一般住民への影響

放射線による甲状腺がんは、広島・長崎の原爆被爆者の調査などから、被ばく後10年近くの潜伏期間を置いて増加することが知られていますが、チェルノブイリ事故の場合は、事故後、約4年たって増加傾向がみられています。ベラルーシ、ウクライナ及びロシアの3共和国において、事故発生時の1986年に18歳未満であった人々において1991年から2015年の間に2万人の甲状腺がんの発生が報告されています。1991年～2005年の間に登録された甲状腺がんの症例数よりも約3倍の数となっています。

これらの甲状腺がんの症例は、対象集団の加齢による自然発生的な増加、放射線被ばく、事故後に甲状腺がんのリスクが認識されたことによる確認数の増加、甲状腺がんを検出する診断手法の改善などの多くの要因によるものとされており、一概にすべてが事故により放出された放射性ヨウ素によるものとはされていません。甲状腺検査を受けた時に10歳未満であった小児の甲状腺がんの罹患率の調査では、ベラルーシにおいて、事故後5年間が経過した1991-1995年の年間罹患率が他の5年間（1986-1990、1996-2000、2001-2005等）の年間罹患率より1桁近く高い結果となっていました^{参考2}。

チェルノブイリ事故後に確認された甲状腺がんの症例の増加は、放射線被ばくの長期的な影響を決める更なる調査が必要とされています。現在実施している疫学対象集団における研究及び放射線起因の甲状腺がんの生物因子に関する研究は、放射線被ばくにおける発がんの理解を促進し、被ばくに起因する甲状腺がんの発生の部分の評価の改善に寄与すると考えられています。

甲状腺がんの発生以外でも、地表面に沈着した放射性物質による外部被ばく及び汚染された食品の摂取による内部被ばくは、主にセシウム137によって一般の住民も長期的な放射線被ばくを受けました。しかし、結果として長期的な被ばくによる放射線量は比較的低く、ベラルーシ、ウクライナ及びロシアの汚染地域における1986年～2005年の間の個人の平均実効線量は9ミリシーベルトとされています。これは一般の住民に大きな健康影響を及ぼすとは考えにくい数値と考えられています。しかし、事故による深刻な混乱は、大規模な社会的・経済的影響をもたらし、被災した人々に大きな苦痛をもたらしました。

コラム⑬ 原子力利用における事故の評価尺度(国際原子力事象評価尺度)

国際原子力事象評価尺度 (INES) は、原子力事故の共通評価を目的とした指標であり、国際原子力機関 (IAEA) と経済協力開発機構原子力機関 (OECD/NEA) が策定したものです。1992 年に各加盟国に対し正式採用が勧告され、日本でも 1992 年 8 月に採用されています。

事業所外への影響、事業所内への影響及び深層防護の劣化の 3 つを指標として評価するもので、最も深刻な事故をレベル 7 としてそれ以下に分類する尺度です。

レベル 4 以上の事例は以下のとおりです。

レベル	事例
7 深刻な事故	○旧ソ連・チェルノブイリ原子力発電所事故(1986年) ○日本・福島第一原子力発電所事故(暫定、2011年)
6 大事故	○ウラル核惨事(キシユテム事故)(1957年)
5 事業所外へのリスクを伴う事故	○カナダ・チョークリバー研究所原子炉爆発事故(1952年) ○英国・ウインズケール原子炉火災事故(1957年) ○米国・スリーマイルアイランド原子力発電所事故(1979年) ○ブラジル・ゴiania被ばく事故(1987年)
4 事業所外への大きなリスクを伴わない事故	○米国・フォールズ SL-1 炉爆発事故(1961年) ○日本・東海村 JCO 臨界事故(1999年) ○ベルギー・フルーリュス放射性物質研究所ガス漏れ事故(2008年)等

福島第一原子力発電所事故

◎事故の概要^{参考4}

2011年3月11日、マグニチュード9.0の東日本大震災が発生し、福島第一原子力発電所には15.5メートルの津波が押し寄せました。発電所は全電源を失って原子炉を冷却する機能を失い、水素爆発等により放射性物質が環境中に放出されました。原子力発電所の敷地から20キロメートル圏内及び周辺地域の約85,000人の住民が、3月11日から15日の間に政府の勧告により避難しました。発電所から20～30キロメートル圏内に住む住民は、屋内退避しました。その後、2011年4月には、地表の放射性核種のレベルの上昇に伴い、発電所のさらに北西に住む1万人の人々の避難が勧告されました。これらの避難によって、被災による被ばくのレベルは大幅に減少しました。公衆への放射線被ばくを制限するために、水と特定の食品の摂取が一時的に規制されました。また、原子力発電所の緊急事態への対処にあたり、一部の作業員および緊急対応要員が被ばくしました。

チェルノブイリ原子力発電所の事故とよく比較されますが、福島第一原子力発電所での事故は、原子炉の種類、事故の経緯、放射性核種の放出とその拡散の特徴、そして講じられた防護対策の観点で異なっています。いずれの事故でも、多量のヨウ素131およびセシウム137（原子力事故後の被ばくにおいて、いずれも最も重要な放射性核種）が環境中に放出されましたが、福島第一原子力発電所での事故からのヨウ素131およびセシウム137の放出は、チェルノブイリでの事故と比較してそれぞれ約10%と約20%でした（表10-2）。

表10-2. 主要な原子力施設事故及び核実験における放射性物質の放出^{参考3}
 (単位：千兆ベクレル)

事故名（発生前）	希ガス	¹³¹ I	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	⁹⁰ Sr
英国ウインズケール(1957年)	26	1.8	0.2	-	<0.001
米国スリーマイルアイランド(1979年)	90	<0.001	-	-	-
ソ連邦チェルノブイリ(1986年)	6,500	1,800	85	47	10
日本福島第一(2011年)	7,300	120	15	15	-
核実験(1957年代以降)	-	675,000	948	-	622

◎作業員への影響

UNSCEARは2013年報告書^{参考5}において放射線量および健康と環境への関連影響についての評価を行いました。また、その後の進展を踏まえて、UNSCEAR 2020報告書^{参考9}として情報の更新を行いました。事故後、2012年3月までの間に、21,135人の作業員が福島第一原子力発電所の敷地内で事故後の処理作業に従事しました。これらの作業員の平均実効線量は約13ミリシーベルトでした。最も高い実効線量は679ミリシーベルトで、このうち内部被ばくは590ミリシーベルトでした。6名の作業員が内部被ばくと外部被ばくの合計で250ミリシーベルトを超える累計線量を受け、168人の作業員が100～250ミリシーベルトの範囲でした。2013年4月以降は50ミリシーベルトを超える被ばくは確認されておらず、2018年以降は20ミリシーベルトを超える被ばくは確認されていません。

甲状腺の被ばくについては、13名の作業員がヨウ素131の吸入により2～32グレイの範囲の線量を甲状腺に受けたと推定されました^{参考9}。この事故で被ばくした作業員に、放射線による死亡や急性疾患は見られませんでした。

2014年には緊急作業に従事した約20,000人の作業員を対象とした疫学調査が開始されました。この調査では、緊急作業によって受けた放射線被ばくと、がんや白内障など長期的な健康影響との関係が分析されていきます。

◎一般住民への影響

「福島県県民健康調査基本調査」では、2011年3月2日から7月11日までの4ヶ月間に、福島県民が受けた外部被ばく線量が推定され、現在も継続されています。それによると、2020年3月1日現在で、平均が0.9ミリシーベルトと報告されています^{参考6}。また、避難区域外の福島県内の地域や周辺の県では、より低い線量でした。

甲状腺への平均線量の推定値は主にヨウ素131によるものであり、最も被ばくした成人で最大35ミリグレイ、1歳児で最大80ミリグレイの範囲でした。主に外部の自然放射線源からの甲状腺への年間線量は、一般的に1ミリグレイ程度でした。

福島県の一般住民への健康影響については、県民健康調査として甲状腺の検査、精神心理的な調査、妊産婦の調査などが実施されています。特に放射線による影響が表れやすいと考えられている小児甲状腺がんについては、事故当時概ね18歳以下であった県民等を対象に30万人以上の超音波検査を含む精密検査が実施されています。予想以上に高い頻度で甲状腺がんが診断されていますが、事故からの被ばくに関連した増加なのか、健常児において本来みられる頻度なのか議論が分かれています。他の健康影響については、これまでのところ、事故からの放射線被ばくによる明らかな影響は見られていません。引き続き、慎重に調査を行う必要があると考えられます。

JCO事故

◎事故の概要

1999年9月30日、茨城県東海村の(株)ジェー・シー・オー（JCO）のウラン加工工場において「臨界事故」が起きました。

その日、JCOの工場において、実験炉「常陽」の燃料用として核分裂を起こすウラン（ウラン235）の割合を18.8%に高めた（原子力発電所の燃料は通常4%程度の濃縮）ウランの硝酸溶液を製造していました。その際、規定量以上のウラン溶液を1カ所に集中したため、核分裂が継続して起こる臨界状態になり、作業員3人が大量の被ばくを受けました。その結果、2人が死亡するという、日本の原子力施設における初めての大事故になりました。また、臨界状態が約20時間継続し、工場周辺350メートルの地域住民は避難を、また、10キロメートル以内の範囲は屋内避難を要請される事態となりました。

◎作業者への影響

ウラン溶液を沈殿槽に注入していた作業者2人と隣室で監督していた1人の計3人が大量の放射線を受け、科学技術庁（当時）の放射線医学総合研究所病院に運ばれ治療を受けました。もっとも被ばく線量の大きかったAさんは、83日後に、その次に被ばく線量の大きかったBさんは211日後に亡くなりました。また、Cさんは81日後に退院しました。

これらの人々の中性子主体の被ばく線量は、Aさんが10～20グレイ、Bさんが6～10グレイ、Cさんは1.2～5.5グレイ相当と推定されています。

本書では急性症状の被ばく線量の推定値の単位としてグレイで記載しましたが、JCOにおける被ばく事故の特徴は、中性子線と γ 線の両方の放射線で大きな線量を被ばくしたことです。従来は γ 線のグレイ値に対する臨床症状が基準となっていたため、中性子線での被ばくの効果に配慮する必要がありました。このため、文献などでは中性子線の生物学的効果（1.7と仮定）を考慮した γ 線相当線量としてグレイ・エクイバレント（GyEq）と言う単位で記載されているものもあります。

これら3人の方々以外にも約170名の従業員がいましたが、最大で48ミリシーベルトの線量とされています。

◎一般住民への影響

核分裂が継続していた20時間は周辺地域でもガンマ線および中性子線が検出されましたが、臨界状態が終息して通常のレベルに戻りました。この事故による環境への影響は一時的なもので、一般の人々の健康に影響を及ぼすようなものではありませんでした。

半径350mに居住する約200名の住民の方々は、一時的に避難しましたが、90%の人は5ミリシーベルト未満の線量であり、10%の人は5～25ミリシーベルトの線量でした。

ゴイアニア事故

◎事故の概要

1987年9月にブラジルのゴイアニア市で4名が死亡するというアイソトープによる最大の事故が発生しました。ゴイアニアは、首都ブラジリアから南西約250キロメートルにあるヤゴス州の州都で、人口92万人の大都市です。

市の中心近くにあった病院が移転して廃墟となった後、治療用の放射線照射装置が置き去りにされていました。内部には、アイソトープであるセシウム137

が残されたままでした。セシウムはガンマ線を出すアイソトープで、事故当時の放射能は約 50 兆ベクレルでした。

やがてこの廃墟には貴重なものがあるとの噂がたち、放射線治療用の照射装置が解体されて、セシウムが収納されている容器が市中心部近くの廃品回収業者に売られてきました。廃品業者の作業場でこの容器が壊され、セシウムが夜間青白く光ったため、それが何かを知らない大勢の人々が好奇心で家に持ち帰ったり、体に塗ったりしました。その結果、多数の人々がかなりの放射線被ばくを受けるとともに、セシウムが拡散するという、いわゆる放射能汚染が広い範囲に生じてしまいました。

事故に巻き込まれた女性（後日この事故で死亡）が家族の健康異状に気づき、廃品回収業者が買い込んだ金属の塊が原因ではないかと考えて、これを公衆衛生局に持ち込んだことから、被ばく事故であることが判明しました。この事故では、放射線照射装置の解体からセシウムが発見されて救援活動が開始されるまで 16 日が経過してしまったこと、この時期この地方は雨期に当たり、セシウムが水溶性であったため、降雨で汚染が拡大したことが事態を一層悪化させました。

◎一般住民への影響

事故の連絡を受けたブラジル原子力委員会は、ただちに 238 名の専門家を投入して被ばく者の治療、地域・住民の汚染調査、環境影響評価などの救援活動を開始しました。また、国際原子力機関（IAEA）を通じて日本を含む外国からも専門家が応援に駆けつけました。そして、市民約 11 万 2,000 人について汚染検査を行って汚染者 249 人を発見し、うち 129 人にセシウム 137 による被ばくがあることも分かりました。このうち 80 名の便の検査として 4,000 件の試料の放射能の分析が行われました。

この事故の結果、放射線被ばくにより 6 才の子ども 1 名を含む 4 名が死亡しました。この人たちの被ばくは 4~6 グレイと評価されました。また、21 名が 1 グレイ以上、更にそのうちの 8 名は 4 グレイ以上で、最大は 7 グレイと評価されました^{参考 1,7,8}。

航空機や自動車による広い地域の放射線量の調査も実施されました。755 名もの専門家グループが大規模な環境汚染の除染に従事しました。85 軒の住宅は除染が必要で、7 軒は取り壊されました。一時保管のために集められた放射性廃棄物の総量は 3 千立方メートル以上にも上り、1987 年以降、処分場に貯蔵されています。

コラム⑭ 産業における事故

産業分野で用いられる放射線源に関わる事故は、世界的に見ると原子力発電所での放射線障害を伴う事故よりも頻繁に起こっています。しかし、一般的にはそれほど注目されていないようです。

UNSCEAR の 2008 年報告書によると、1945 年から 2007 年の間に、放射線源、加速器、X 線機器を使用する産業施設において、約 80 件の事故が報告されています。これらの事故で 9 名の死亡が報告され、120 名の作業員が負傷しました。負傷した作業員の中には、急性放射線症候群を患った方もいました。負傷が多い部位は手であり、切断が必要となった場合もありました。

また、1996 年から 2007 年までの間に、放射線源の紛失や盗難、または投棄による 31 件の事故が起きています。これらの「身元不明線源」としても知られている線源による事故では、子どもを含む 42 名が死亡しており、さらに急性放射線症候群、四肢等の深刻な傷害、内部被ばく、または精神的な問題により、数百人に治療が必要とされました。6 件の事故は放置された放射線治療装置によるものでした。

参考資料（第 10 章）

- 参考 1. 原子放射線の影響に関する国連科学委員会、「放射線の線源と影響」、UNSCEAR 2008 年報告書
- 参考 2. 原子放射線の影響に関する国連科学委員会, “Evaluation of data on thyroid cancer in regions affected by Chernobyl accident”, UNSCEAR 2018
- 参考3. Mikhail Balonov, “Health Effects of Reactor Accidents with Special Regards to Chernobyl – A Review Paper”, Jpn.J.Health Phys., 54(3) (2019)
- 参考 4. 国連環境計画「放射線 影響と線源」2017 年 11 月
- 参考 5. 原子放射線の影響に関する国連科学委員会、「東日本大震災後の原子力事故による放射線被ばくのレベルと影響に関する UNSCEAR 2013 報告書刊行後の進展(国連科学委員会による今後の作業計画を指し示す 2016 年白書)」、UNSCEAR 2016 年報告書
- 参考 6. 福島県、第 38 回「県民健康調査」検討委員会（令和 2 年 5 月 25 日）

資料 1 「県民健康調査「基本調査」の実施状況について」

- 参考 7. International Atomic Energy Agency, "The Radiological Accident in Goiania", STI/PUB/815, 1988
- 参考 8. International Atomic Energy Agency, "Dosimetric and medical aspects of the radiological accident in Goiania in 1987, IAEA-TECDOC-1009, June 1998
- 参考 9. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2020 Report, Scientific ANNEX B : Levels and effects of radiation exposure due to the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station : Implications of information published since the UNSCEAR 2013 Report, March 2021