放射性廃棄物の処分に対する放射線防護の方策 ——ICRP Publication 77 を中心として——

小佐古敏荘^{*1}, 杉浦紳之^{*1}

(2000 年 12 月 5 日受付)

Policy of the Radiation Protection for the Disposal of Radioactive Waste —Commentary of ICRP Publication 77—

Toshiso KOSAKO^{*1} and Nobuyuki SUGIURA^{*1}

I 序

原子力発電の社会への定着に伴い、放射性廃棄物の適切な管理、処理、処分が話題となっている。放射性廃棄物管理、とりわけその処分においては、放射線防護の原則は従前の放射線作業場所のそれとは性格を異とする。つまり、作業場所での議論は放射線作業員（国内法では業務従事者となっているが）の確定的な影響、また、確率的な影響を防護することが一義的な目的である（もちろん周辺の公衆の放射線防護も考慮しているが、通常は施設内の防護が十分であれば公衆の安全は比較的容易に達成できる）。ところが、放射性廃棄物の処分の問題においては、放射性廃棄物を環境中に持ち込むわけであるから、一義的な防護の対象は公衆になる。

放射線防護の諸原則は 1928 年（昭和 3 年）より国際放射線防護委員会（ICRP, 初期は国際 X 線ラジウム防護委員会（IXRP））により与えられてきた。ICRP は長くその防護の体系を医学利用、原子力利用、加速器利用、放射能・放射線の産業利用を中心に考えていたが、

この種の活動の展開に伴い、その勧告の対象を放射性廃棄物、ラドン等の人の活動にかかわる自然界の放射線に広げてきた¹⁾。

放射性廃棄物の処分に関しては、前述のようにその防護の一義的な対象が公衆であるので、公衆に対する放射線防護の諸原則をこれに展開することとなる。放射線防護の体系は 1958 年の ICRP Publication 1（以下 Publ. 1 と省略する）以降、勧告という形で ICRP 出版物（Publication）として公表されている。防護の考え方を展開した主勧告は Publ. 1（1958）、Publ. 6（1964）、Publ. 9（1966）、Publ. 26（1977）、Publ. 60（1990）と、なされたきた。本格的な防護体系は広島・長崎の原子爆弾被爆生存者の疫学データが本格的に反映できるようになった 1977 年の Publ. 26²⁾ に形作られた。さらに広島・長崎の原爆線量の再評価、リスクモデルの進展等を織り込んだ主勧告が 1990 年になされ、この ICRP Publ. 60³⁾ が現在の放射線防護の基礎を形作っている。

II 放射性廃棄物処分に関連する ICRP の勧告

これらを受けて、放射性廃棄物処分にに関する ICRP の勧告が作られてきたわけであるが、歴史的には 1977 年に「放射性固体廃棄物処分にに関する放射線防護の諸原則」が Publ. 46⁴⁾ の形で公表され、さらに 1998 年に放

^{*1} 東京大学原子力研究総合センター；東京都文京区弥生 2-11-16（〒113-0032）
Research Center for Nuclear Science and Technology,
The University of Tokyo; 2-11-16, Yayoi, Bunkyo-ku,
Tokyo 113-0032, Japan.

放射性廃棄物全般にわたる方策として、「放射性廃棄物の処分に対する放射線防護の方策」が Publ. 77⁵⁾として公表された。翌年, Publ. 81⁶⁾, 「長寿命放射性固体廃棄物の処分に適用する放射線防護勧告」が Publ. 46 を補完するものとして出版された。ICRP は放射性廃棄物処分に関連してはこの三部作で完結した勧告としており, 当面これら以上の勧告を作ることは意図されていない。

これらの勧告の階層構造は以下のようにになっている。つまり, まず, Publ. 77 が放射性廃棄物処分全般にわたる放射線防護策を述べている。放射性廃棄物に対する規制免除値 (現在, 国際原子力機関 (IAEA) 等ではこれをクリアランスレベルと呼んでいる) 等を含む固体廃棄物全般にわたる原則として Publ. 46 が勧告されている。この勧告はリスク限度の考え方を放射性廃棄物処分分野に持ち込んだものとして注目された。さらに, 長寿命の放射性固体廃棄物処分に適用する放射線防護の勧告として, Publ. 81 が用意された。筆者 (T.K.) は ICRP 第4委員会委員として Publ. 77 あるいは81の策定に8年間係っており, その経験も織り込んでこれら近年に刊行された文書の解説を試みる。

III 放射性廃棄物処分全般にわたる

ICRP の放射線防護の方策 (ICRP Publ. 77)

1. 一般的事項

ICRP はこの勧告書の中では6章に分けて記述している。第1章, 緒言においては, 放射性廃棄物の処分が処分場での廃棄物の保持または環境への放出, あるいはその二つの組み合わせによって公衆の被曝要因を形成していることを強調し, 考えるべきことの中心が公衆被曝であることを指摘している。次の第2章では, 線量の概念, 廃棄物の定義 (これは回収の意図なしで廃棄物を捨てることで, 工程の残渣, 尾鉱, 放流物の排出も含まれる) 等の用語の説明, 定義が行われている。放射性廃棄物の議論には除外 (自然界等に存在し制御不可能な宇宙線や, 人体中のカリウムなどをいう), や免除 (そのものの持つ放射能があまりにも小さく, 人に対する健康影響は無視しうるほど小さく, その利用の価値があり, 社会がこれを制御するために払うための莫大なコストが意味をなさないとき, これらに対する法律の適用を免除することをいう) の考え方が不可欠である。

一般に放射性廃棄物の処分には①希釈と分散, ②濃縮と保持の二つの方法がある。放流物等による処分は前者であり, 固体廃棄物の処分は主として後者である。処分の際にも用いられるが, 放射性廃棄物管理という言葉も定義の必要がある。一般に次の二通りの使い方をしてい

る。

①廃棄物で始まり処分で終わる過程の全ての流れと, ②環境, 環境の利用, および公衆の健康が守られるようにして廃棄物を処分する過程, の二つである。前者は広義な定義である。いずれにしても, 放射性廃棄物管理には公衆の健康管理のツールとしての役割が期待されているわけである。

この点を, 第3章で「公衆被曝に関する ICRP の方策」の形でふれている。時として, ICRP は現実離れた低い線量限度を用意すると主張する人もいるが, ICRP の立場は, 「放射線防護の主たる目的は, 放射線被曝を生ずる有益な行為を不当に制限することなく, 人に対する適切な防護基準を作成すること」としている点に注目すべきであろう。とりわけ下線部分を忘れてはならない。廃棄物管理の方策はある行為の結果人々にもたらされる線量 (と, 線量を受ける確率) に基づき, 行為から受けるリスクの受容性の概念に基づくべきであるとしている。

2. 廃棄物処分に関する方策と課題

放射性廃棄物も一般の廃棄物と並べての議論が必要で, 既に, 1972 年には「廃棄物その他の投棄による海洋汚染の予防に関するロンドン条約」(いわゆるロンドン条約)⁷⁾で, 環境を保護するための予防的な取り組み (予防の原則) を求めている。また, 近年においては 1997 年に IAEA において「使用済み燃料管理の安全および放射性廃棄物管理の安全性に関する合同条約」(いわゆる合同条約)⁸⁾が合意され放射性廃棄物に対する各国政府の適切な対処が要求されている。このような歴史的な展開の中で放射性廃棄物処分に対する放射線防護の方策が論じられているわけである。

では, 現在の放射線防護体系は処分問題への適用が有効であるのか? 課題, 困難さはどこにあるのであろうか? 現在の放射線防護の体系は, 行為の正当化, 防護の最適化, 個人の線量限度により組み上げられている。第4章, 第5章に従って説明を加えよう。

〔行為の正当化〕

まず, 行為の正当化であるが, 「放射線被曝を伴うどんな行為も, その行為によって, 被曝する個人または社会に対し, 少なくともそれが引き起こす放射線損害を相殺するのに十分な便益を生むものでなければ, 採用すべきでない」と定義される正当化を放射性廃棄物の処分に適用する際には, 処分が行為の一部であることを正確に把握する必要がある。つまり, 放射性廃棄物はそれのみで正当化を考えるのではなく, 原子力発電, 医療等の行為の一部であることを認識しその正当化を図るべきであ

る。そのとき初めて放射性廃棄物の処分が正当化されるわけである。このあたりは理解できるが、「その行為が終了していたならば、正当化のためには行為よりむしろ介入を考慮しなければならない」の部分は解説が必要であろう。例えば、核実験サイトが今は既に何年も前にその使用を止めていて、汚染土壌のみが残ったとしよう。この場合には行為との関連は既に断ち切れている。その場合の放射性廃棄物に対する行動は「介入（被曝線量を下げる活動一般をいう）」と呼ばれ、行為の基準とは異なった運用となる。では、介入に対する公衆の限度はどのように考えるのか。これは一般原則としてはICRP Publ. 82⁹⁾、放射性廃棄物に対する展開例としては、ICRP Publ. 81 にそれが見られる。

〔防護の最適化〕

次の防護の最適化は、「線量を低減させるために、合理的なすべてのことを行うこと」と広く解釈されている。つまり、経済的および社会的な要因を考慮に入れて、正味の便益が最大となるように防護を調整するよう、あらゆる合理的な手段をとることをいう。では、具体的にはこの防護の最適化はどのようなプロセスにより達成できるのだろうか？ここでキーワードとなるのは拘束値である（この点、後述）。

〔個人の線量限度〕

個人の線量の限度は、公衆に対しては1 mSv/yとされている。現在の基準を30年程度以下の短・中半減期の放射性核種に対する放流物放出に対して適用することには大きな抵抗はないが、環境のモデル化には常に不確実さがつきまとい、それをどう扱っていくかに課題がある。30年程度以上の半減期を持つ長半減期の放射性核種の処分に際して、長期間にわたる環境のモデル化、個人線量および集団線量の推定値は非常に不確実になる。また、線量と損害の関係も遠い将来の時点では不確実である。これらの点についてはICRP Publ. 81に勧告がされている。

3. 放射性廃棄物処分に関する方策

第6章においては放射線防護の3原則（正当化、最適化、線量限度）を次に説明する概念の展開と共に、放射性廃棄物処分に対してその適用を試みている。ポイントは<公衆被曝の管理>であり、廃棄物処分からの公衆被曝の管理は「拘束値を組み込んだ防護の最適化を用いることによって行われるべきである」としている点である。

〔線量拘束値〕

線量拘束値とは、「線源関連の個人線量であって、決定グループの構成員に対する線量が拘束値を超える原因

となるかもしれないような防護のいかなる選択肢をもそれ以上の検討から除くため、防護の最適化においてもつばら使用されている」とされており、将来に対して前向きに使用されるものである。つまり、線源（つまり廃棄物処分事業）から見ると、個人の線量限度1 mSv/yをフルに使うことは許されず、設計のための目標値としての割振値を与えようというわけである。当然、状況によりこれは代わりうるが、通常は政府等により与えられる。従って、その使用は設計等、将来のことに対して使用されるわけで、実際の場面で僅かこれを超えることがあっても他の線源寄与分を含めた個人の線量限度が保たれていれば、それが故に責めを負うなどという性格のものではない（つまり、限度のように用いられない）。その意味で、前向きの使用というわけである。

では、Publ. 77では廃棄物処分の線量拘束値をいくらとしているのであろうか？48項において、「複数の線源による被曝を見込んでおくため、単一の線源についての防護の最適化に用いられる拘束値の最大値は、年あたり1 mSv以下とすべきであり、年あたり約0.3 mSvを超えない値が適切であろう」としている。つまり、0.3 mSv/yの線量拘束値を取ればそれは慎重に拘束値を設定したことになる。

また、同48項においては、「放出制限を補足するために環境モニタリングが必要とされる状況においては、誘導された制限値が整備されるべきで、他の行為と組み合わせた影響を評価するためにも年あたり1 mSvに近づくような決定グループの線量に基づいて決めるべきである」としている。また、49項には「廃棄物処分により生ずる線量の評価には、環境モデル、代謝モデルが含まれるが、これらのモデルは現実をよく代表することを目指し、それによって諸資材の重大な乱用を避けるべきである」としている。極めて大事な点である。

〔集団線量〕

集団線量は、ICRPの防護体系を廃棄物処分に適用する際に、限定的ではあるが重要な役割を果たす。元来、集団線量は1958年勧告（ICRP Publ. 1）において放射線の遺伝的影響に関連して集団の被曝に言及した際に提起されたのが最初であるが、「社会集団全体の受けるリスクの表現」として用いられてきた。現在は、①放射線防護の選択肢の最適化のためのパラメータとして、②線源が社会集団へもたらす影響の尺度として、用いるという二つの限定された使用を行っている。通常の使用においては集団線量は、「個人線量が小さいという根拠だけで、小さい個人線量による集団線量の成分を無視すべきであるとは勧告しない」としているが、他方で、「諸資

材をどんなに合理的に配備しても集団線量を低減することは不可能かもしれないという理由から、線源が広範囲にわたっている場合には、最適化において、多人数に対する小さな線量による集団線量を時には無視することが可能かもしれない」としている。文献 10) による議論、ICRP における議論においてもほぼ $10 \mu\text{Sv/y}$ のレベルでは積算をしなくてよいようである。廃棄物処分に関連して集団線量が議論となるのは、①小さい個人線量からなる集団線量の加算、②長期間にわたる集団線量の加算の 2 点においてである。前者については既に述べた。後者については長期間にわたる評価の不確実さの問題である。この勧告の中では次の 2 点が指摘されている。①一般に、数千年より長い期間にわたる集団線量の予測、②数百年より長い期間にわたる健康損害の予測、は批判的に吟味されるべきである。つまり不確実性が大きくなり困難さが大きいといっているわけである。Publ. 81 でも指摘されているが長寿命放射性廃棄物処分において数千年を超えた時間領域に集団線量の考え方を直接展開することは難しだろうと結論されている。

〔潜在被曝〕

潜在被曝とは、「起こることが確実ではないが、その発生確率を与えることができる被曝のこと」をいい、発生確率と線量などの結果の積として与えられる。放射性廃棄物処分の線量評価のように将来起こるかもしれない被曝を考える場合に使われる概念である。この勧告においては潜在被曝の位置付けを次のように行っている。「通常、線量評価に使用するモデルは環境条件の広範囲にわたる変動に対応できるように選ばれている。しかしながら、例えば、100 年に 1 回程度以下の頻度で起こるような極端な条件、および事故ならびに破壊的な事象の発生は、通常の条件を評価するのに使用されるモデルの範囲外であろう。仮にそれらが発生した場合には、通常よりも大きな被曝を生じさせるかもしれない。このような被曝は潜在被曝として取り扱われるべきである。廃棄物管理を決定する過程で、潜在被曝の大きさと確率を考慮すべきである。」これは潜在被曝をリスクとして捉え、リスク拘束値という形でコントロールも可能である。放射性廃棄物の処分方針は通常被曝と潜在被曝の相互関係によって成立しており、放射性廃棄物の分散（通常は極めて長期間にわたるゆるい放出）は保持（アクシデンタルにバリアが破壊されることもきわめて低い確率ではあるが存在する）に比べてより適切ではないと自動的にみなすべきではない。どちらの戦略も必要であり、この二つの間で適切なバランスを捜し求めるべきである。（63 項）

〔介入の考え方〕

事故や破壊的な事象に対しては介入を持ってこれにあたるわけであるが、介入に対しては以下の点に留意することとしている。（ICRP Publ. 60 の(113), (131)項）

- ① 提案された介入は、害よりも益の方が大きいものであるべきである。すなわち、線量を引き下げた結果生ずる損害の減少は、この介入の害と社会的費用を含む諸費用とを正当化するのに十分なものであるべきである。
- ② 介入の形、規模、および期間は線量低減の正味の便益、つまり放射線障害の低減の便益から介入に関する損害を差し引いたものを最大とするように、最適化されるべきである。

ここで注意すべきは、介入の基礎に、行為の基準としてある線量限度やあらかじめ設定された限度を用いてはならず、定量的な介入レベルと対策レベルは、提案された行動によって回避される線量に関連されなければならない点である。

〔将来世代の防護〕

廃棄物処分に絡んでは現代の世代以外に将来の世代に起こりうる害の重要性を判断することも必要になる。これらは将来世代の仮想的な決定グループに対して評価されるが、通常被曝に対しては年間個人実効線量、潜在被曝に対しては年間個人リスクをもってする。判断に関する量としては、①多くの世代にわたる集団に負わされる総損害、②ある定められた世代に負わされる総損害、③仮想的な決定グループで代表される個人に負わされる、毎年あるいは生涯にわたる損害、がある。

〔長寿命放射性廃棄物処分〕

長寿命放射性廃棄物処分に関しては以下の点に放射線防護原則の応用の困難さが存在する。①時間および線量の範囲の拡張、時間は数万年から百万年が登場し、線量は初期の大きな線源領域から μSv の範囲にまで届く。②時間軸が大きいこと等により、モデル、パラメータ、線量に不確実性が伴い、これをどのように考えるかが重要。③潜在被曝とリスク基準がそのままでは時間軸の長さゆえの不確実性のため、適用が難しい面がある。④行為と介入の基準の適用性に検討が必要、など。これらの諸点に対しては、Publ. 81 がその解答を与えている。

〔残渣の再評価〕

放射性廃棄物処分においては残渣と呼ばれる「灰色」領域のものが存在しそれに対して、考慮すべき原則があげてある。残渣の例としては、①採鉱およびラジウム化合物を用いた発光体製造のような過去の操業からの長寿命物質の陸地処分による堆積物、②廃棄物の長期貯蔵あ

るいはラジウムを用いた作業に用いられ、引き続き他の目的に使用された建物、③放射性物質が居住区域および農業区域に拡散した事故、があげられている。残渣を扱う対策は介入として扱われるべきで、対策がもたらす線量の低減が介入の経済的および社会的費用を上回るときのみ、残渣をもっと良い処分場に移し、または別の方法で処分すべきであることを意味している。決定はケースバイケースで行われるべきであり、益が害を上回ることを目指すべきで、前もって選択された線量に基づくべきではない。また、介入を必要としない残渣は、それ自体更なる規制を受けないようなものであるべきである。しかしながら、残渣の新たな利用は行為として扱われ、それに応じて規制を受ける必要があろう。(64～66 項)

IV ま と め

国際放射線防護委員会 (ICRP) は最近、放射性廃棄物処分に関する諸原則をまとめ、ICRP Publ. 77 および Publ. 81 の出版物とした。これに従前からの Publ. 46 を加えた三部作がその体系を作っている。ここでは放射性廃棄物全般の方策を与えている Publ. 77 を中心にその考え方を解説した。この考え方は Publ. 81 にも展開されており諸原則の基礎をあたえている。次号には Publ. 81 の解説を行う予定である。

Publ. 77, 81 の翻訳等で浜田達二氏 ((財) 原子力安全研究協会)、飯本武志氏 (東京大学原子力研究総合センター) にご教授、ご協力を頂きました。記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 小佐古敏荘; 放射線防護の歴史と国際放射線防護委員会 (ICRP) の活動, フィルムバッジニュース, No. 273, 2-7 (1999).
- 2) ICRP; Recommendations of the International Commission on Radiation Protection, ICRP Publication 26 (1977). 訳書; 国際放射線防護委員会報告, ICRP Publication 26, 日本アイソトープ協会 (1977).
- 3) ICRP; 1990 Recommendations of the International Commission on Radiation Protection, ICRP Publication 60 (1991). 訳書; 国際放射線防護委員会の1990年勧告, ICRP Publication 60, 日本アイソトープ協会 (1991).
- 4) ICRP; Radiation protection principles for the disposal of solid radioactive waste, ICRP Publication 46 (1986). 訳書; 放射性固体廃棄物処分に関する放射線防護の諸原則, ICRP Publication 46, 日本アイソトープ協会 (1987).
- 5) ICRP; Radiological protection policy for the disposal of radioactive waste, ICRP Publication 77 (1998). 訳書; 放射性廃棄物の処分に対する放射線防護の方策, ICRP Publication 77, 日本アイソトープ協会 (1998).
- 6) ICRP; Radiation protection recommendations as applied to the disposal of long-live solid radioactive waste, ICRP Publication 81 (2000). 訳書; 長寿命放射性固体廃棄物の処分に適用する放射線防護勧告, ICRP Publication 81, 日本アイソトープ協会 (2001).
- 7) IMO; 1996 Protocol to the convention on the prevention of marine pollution by sea dumping of wastes and other matter, IMO Doc. LC/SM 1/6 International Maritime Organization (1972).
- 8) IAEA; Joint convention on the safety of spent fuel management and on the safety of radioactive waste management, Document GOV/INF/821-GC (41) /INF/12 (1997).
- 9) ICRP; Protection of the public in situations of prolonged radiation exposure, ICRP Publication 82 (2000).
- 10) 小佐古敏荘, 杉浦紳之, 他; 集団線量の考え方, *RADIOISOTOPES*, 48, 600-610 (1999).