

荒廃した生活環境の回復研究連絡委員会  
放射性物質による環境汚染の予防と回復専門委員会報告

# 放射性物質による環境汚染の予防と回復 に関する研究の推進

平成17年3月23日

日本学術会議

荒廃した生活環境の回復研究連絡委員会  
放射性物質による環境汚染の予防と回復専門委員会

この報告は、第19期日本学術会議、荒廃した生活環境の回復研究連絡委員会のうち、放射性物質による環境汚染の予防と回復専門委員会と放射性物質による環境汚染の調査小委員会の審議結果を踏まえ、放射性物質による環境汚染の予防と回復専門委員会においてとりまとめ発表するものである。

#### 荒廃した生活環境の回復研究連絡委員会

- 委員長 木村逸郎 (日本学術会議第5部会員、原子力安全システム研究所技術システム研究所長、京都大学名誉教授)
- 幹事 古崎新太郎 (崇城大学工学部教授、東京大学名誉教授)
- 幹事 飯田孝夫 (名古屋大学大学院工学研究科教授)
- 幹事 水野光一 (産業技術総合研究所首席評価役)
- 委員 高田 純 (札幌医科大学医学部教授)
- 委員 田中 知 (東京大学大学院工学系研究科教授)
- 委員 庄司喜彦 (遺棄化学兵器処理機構技術管理部担当部長)
- 委員 森田昌敏 (国立環境研究所総括研究官)
- 委員 藤原修三 (産業技術総合研究所爆発安全研究センターセンター長)
- 委員 福井正美 (京都大学原子炉実験所教授)

#### 放射性物質による環境汚染の予防と回復専門委員会

- 委員長 木村逸郎 (日本学術会議第5部会員、原子力安全システム研究所技術システム研究所長、京都大学名誉教授)
- 幹事 飯田孝夫 (名古屋大学大学院工学研究科教授)
- 幹事 田中 知 (東京大学大学院工学系研究科教授)
- 委員 高田 純 (札幌医科大学医学部教授)
- 委員 福井正美 (京都大学原子炉実験所教授)

#### 放射性物質による環境汚染の調査小委員会

- 委員長 木村逸郎 (日本学術会議第5部会員、原子力安全システム研究所技術システム研究所長、京都大学名誉教授)
- 幹事 飯田孝夫 (名古屋大学大学院工学研究科教授)
- 幹事 田中 知 (東京大学大学院工学系研究科教授)
- 委員 高田 純 (札幌医科大学医学部教授)
- 委員 福井正美 (京都大学原子炉実験所教授)
- 委員 久松俊一 (環境科学技術研究所環境動態研究部次長)

- 委員 野口 宏 (日本原子力研究所保健物理部次長)  
委員 柳原 敏 (日本原子力研究所 バックエンド技術部次長)  
委員 河田東海夫 (核燃料サイクル開発機構理事)  
委員 五十嵐康人 (気象研究所地球化学研究部主任研究官)  
委員 村松康行 (学習院大学理学部教授)  
委員 石川秀高 (原子力安全研究協会国際研究部部長)  
委員 石川 勇 (高度情報科学技術研究機構非常勤嘱託)  
委員 川上 泰 (原子力安全研究協会研究参与)  
委員 吉岡満夫 (福井県原子力環境監視センター所長)  
委員 吉田至孝 (原子力安全システム研究所主任研究員)

以下の方々は、資料提供、審議参加、報告書とりまとめなどで協力を得た(順不同)

- 植松邦彦 (日本原子力産業会議常任相談役)  
梅木博之 (原子力発電環境整備機構技術部部長)  
大井川宏之 (日本原子力研究所東海研究所大強度陽子加速器施設開発センター  
核変換利用開発グループリーダー)  
池上哲雄 (核燃料サイクル開発機構大洗工学センターシステム技術開発部分  
離変換工学グループ研究主席)  
廣瀬勝己 (気象研究所地球化学部第2研究室長)

#### 会合記録

第1回研究連絡委員会： 平成15年12月19日

第1回専門委員会： 平成15年12月19日

第2回専門委員会： 平成16年 1月 6日

第3回専門委員会： 平成16年 4月 1日

第4回専門委員会： 平成16年 6月11日

第5回専門委員会： 平成16年 8月 5日

第6回専門委員会： 平成16年10月 6日

シンポジウム： 平成16年 8月 6日

第1回小委員会： 平成16年 4月 1日

第2回小委員会： 平成16年 6月11日

第3回小委員会： 平成16年 8月 5日

第4回小委員会： 平成16年10月 6日

# 要 旨

## 1．報告書の名称

放射性物質による環境汚染の予防と回復に関する研究の推進

## 2．報告書の内容

### (1) 作成の背景

科学技術が著しく発展した 20 世紀の中葉以降において、放射線と原子力エネルギーの利用は産業の発展と人間生活の向上に大きく貢献してきた。しかし他の科学技術と同じように、放射線や原子力エネルギーの利用にも影の部分として放射線障害と放射性物質による環境汚染の問題が存在する。このため前期（第 18 期）に第 5 部で時限的に設置された「荒廃した生活環境の先端技術による回復」研究連絡委員会がこの問題の重要性を指摘し、幅広く事例を紹介した上で五つの提言を示した対外報告を取りまとめた。しかしながら、放射性物質による環境汚染の予防と環境の回復に関連する課題は多岐にわたっている。そこで、今期（第 19 期）も時限的に「荒廃した生活環境の回復」研究連絡委員会と「放射性物質による環境汚染の予防と回復」専門委員会が設置され、さらにその下に「放射性物質による環境汚染の調査」小委員会を設け、総合的な放射線・放射能の環境監視の必要性、放射性物質による環境汚染の予防、この分野での研究体制の強化と人材育成の必要性などを調査し、取りまとめた。

### (2) 現状および問題点

環境監視の観点では、1960 年代までに盛んに行われた大気中核爆発実験に伴う放射性物質による環境汚染の調査は全国で行われてきており、現在では非常に低いレベルにまで汚染は減少している。わが国の周辺では、ロシアによる放射性物質の投棄や原子力潜水艦の老朽化に伴う廃棄の問題で、日本海全域での海洋の放射性物質による環境汚染調査が行われている。一方、東アジアには約 80 基の原子力発電所が稼動中であり、さらに建設中の発電所も多い。わが国を含めた周辺諸国の、原子力発電所あるいは原子力軍艦から放射性物質の放出事故が起きた場合に備えて原子力防災対策が講じられているが、広域の環境監視体制は十分とはいえない。再処理施設の稼動に伴う施設周辺での環境汚染に対する監視体制は一応整っているが、回収が難しく環境に放出され、地域あるいは地球規模の汚染を起こす可能性のある核種に対する広域の監視体制は十分とはいえない。

放射性廃棄物管理の観点では、原子力発電所の運転に伴って発生する放射性廃棄物の処分や原子力施設の廃止措置に伴う汚染物質の処理に対し、周到な対策が配慮されている。しかしそれらが社会的に受け入れられるためには十分な説明を行うとともに、長寿命で人体への放射線影響が大きい放射性核種を変換する技術を研究開発すべきである。

原子力防災の観点では、原子炉施設、核燃料施設や原子力軍艦の災害を想定して周到な防災対策が講じられている。冷戦終結後の新しい問題としては、小型核兵器や放

放射性物質によるテロの潜在的脅威がある。この課題に対し国として種々の防護対策を考えておく必要がある。

これらの諸課題を解決していくには、わが国として研究体制の充実と研究機関相互の連携を強化するとともに、将来こうした課題に取り組む研究者や技術者を養成するための教育をより充実する必要がある。

### (3) 提言

これまで、放射性物質による環境汚染の予防と回復に関して、広範囲な調査とその内容の分析を行ってきた。これらの調査と分析を通して、以下の課題について改善の必要があり、政府の関係省庁、大学や研究機関および研究者とその所属する学会等に対し、ここに提言を行う。

- 1) わが国および近隣諸国が放射線と原子力エネルギーの平和利用を進める際に生じる恐れのある原子力災害、原子力軍艦の航行と寄港やその廃棄、および核・放射性物質テロなどに伴う放射性物質による環境の汚染に対し、東アジアの国々と協力してこの地域を中心とした総合的な放射線・放射能の監視システムを構築する必要がある。また、これらの事態に対する放射線防護対策およびそれからの復興策をあらかじめ策定しておくべきである。
- 2) 放射性物質による環境汚染の予防のためには広範囲な放射線・放射能の環境モニタリングが必要である。再処理施設の稼動に伴って放出が予想される核種として、トリチウム、炭素 14、クリプトン 85 およびヨウ素 129 があり、これらは特に地球規模の汚染源となるので、放出源近傍の環境の監視を強化するとともに、これらの核種の環境中における挙動および生体影響の評価に関し精度の高い研究を指向する必要がある。
- 3) 放射性廃棄物を安全に処分するには、社会に受け入れられる地層処分技術の確立とそれらの処分された放射性廃棄物による環境汚染の予防に関する基礎研究が必要である。並行して、長寿命で人体への放射線影響が大きい放射性核種の核変換処理技術の確立を目指した研究も推進すべきである。さらに原子力施設の廃止措置技術の確立は環境保全上重要な課題である。
- 4) わが国において、放射線防護に関する研究は、国公立の研究機関や大学で進められてきたが、統一した方向性と全体を通じた総合性に欠けるところがあった。東アジア域での原子力災害やテロに伴う放射性物質による環境汚染の予防と回復のため、研究機関および大学を通じた連携・協力を強化すべきである。一方、放射線防護のための人材養成と教育も十分とはいえない。このため関連する大学がその充実に努めるとともに、複数の大学が協力した教育コースの設置、教育のための大学と研究機関の連携や施設設備の共同利用なども積極的に取り入れるべきである。

# 目 次

第1章	序言	1
第2章	原子力災害による環境汚染の予防と回復	
2.1	はじめに	4
2.2	世界とわが国の原子力災害およびそれからの回復と復興	4
2.3	原子力潜水艦の事故による環境汚染の予防と回復	5
2.4	わが国と東アジアの原子力開発の現状	9
2.5	JCO 臨界事故と原子力防災の課題	12
2.6	小型核兵器や放射性物質による破壊活動の問題	14
2.7	東アジア地区の放射線・放射能の監視システムの必要性	16
2.8	まとめ	16
第3章	放射性物質による環境汚染の予防のための環境監視	
3.1	はじめに	18
3.2	核燃料施設周辺における環境モニタリング	18
3.3	地球規模の環境モニタリング	20
3.4	トリチウムによる環境汚染の予防と対策	23
3.5	天然放射性物質の取り扱いの現状と課題	25
3.6	まとめ	26
第4章	原子力発電で発生する放射性物質による環境汚染の予防	
4.1	はじめに	27
4.2	放射性廃棄物処分の安全確保の考え方	27
4.3	放射性物質の地層処分技術	28
4.4	ウラン廃棄物による環境汚染の予防	29
4.5	原子力施設の廃止措置に伴う環境修復技術	31
4.6	核変換処理による長寿命放射性物質の消滅処理技術	33
4.7	まとめ	35
第5章	原子力災害防護の分野における研究体制と人材育成の現状と問題点	
5.1	はじめに	36
5.2	わが国の研究体制の現状と連携・協力の必要性	36
5.3	大学における研究と教育の現状と人材養成の必要性	37
5.4	まとめ	38
第6章	結言	40

## 第1章 序言

科学技術が著しく発展した20世紀の中葉以降において、放射線と原子力エネルギーの利用は産業の発展と人間生活の向上に大きく貢献してきた。しかし他の科学技術と同じように、放射線や原子力エネルギーの利用にも影の部分として、放射線障害と放射性物質による環境汚染の問題が存在する。このため第18期の第5部で時限的に設置された「荒廃した生活環境の先端技術による回復」研究連絡委員会では、「放射性物質による環境の汚染防止と回復研究促進」小委員会を設け、この問題の重要性を指摘し、幅広く事例を紹介した上で五つの提言を示した対外報告を取りまとめて、公表した。しかしながら、放射性物質による環境汚染の予防と環境の回復に関連する課題は多岐にわたっている。そこで、第19期でも第5部に「荒廃した生活環境の回復」研究連絡委員会が設置され、その下に「放射性物質による環境汚染の予防と回復」専門委員会が設けられた。さらにその下に「放射性物質による環境汚染の調査小委員会」が編成され、この小委員会を中心に総合的な放射線・放射能の環境監視の必要性、放射性物質による環境汚染の予防、こうした分野における研究体制の強化と人材育成の必要性などの問題について、社会のための科学技術の立場から検討を加え、行政、研究者の仲間（学界）および広く社会へ提言することを目的とした。

小委員会では、放射性物質による環境汚染の予防と回復について、以下のような問題点の抽出を行い、広範囲な調査とその内容の分析を行ってきた。

- (1) わが国は第2次世界大戦末期に広島と長崎に原子爆弾が投下され、これにより多くの国民が死傷し、環境は放射性物質によって汚染した。その後の冷戦時代、米国と旧ソ連を中心として戦略核兵器が開発されて蓄積・配備され、さらに核爆発実験が強行された。これにより地球上は放射性物質によってあまねく汚染し、実験場の周辺は著しく汚染した。その後大気中核爆発実験は中止され、地下核爆発実験もほぼ中止となっている。大気中核爆発実験による環境の汚染の調査は全国で行われてきており、現在汚染は非常に低いレベルにまで減少している。冷戦終結後、最近になって核不拡散体制に対する挑戦が問題になっており、国際原子力機関(IAEA)は改めて核不拡散体制の強化のため多国間核管理構想を打ち出している<sup>(1)</sup>。今後世界全体を巻き込んだ形での核戦争が勃発する恐れは極めて低いと考えられるが、小型核兵器や放射性物質を装備した爆弾などによる破壊活動(テロ)の恐れはあり、わが国でもその可能性はゼロではない。
- (2) わが国は米国と安全保障条約を締結しており、それに伴って国内に米国の軍事基地が存在する。ここには核兵器は持ち込まれないことになっているが、指定された基地には米国の原子力軍艦が寄港している。その周辺では以前から環境放射能の測定が行われてきた。こうした軍艦の原子炉等の事故などに対し、最近原子力防災体制が整備され、防災訓練なども行われている。

日本海の内側のロシア領にはロシア太平洋艦隊の基地があり、ここには旧ソ連時代からの老朽潜水艦が多数係留されており、順次廃棄されつつあるが、その途中で大きな臨界事故の発生も伝えられる。以前、海洋に放射性廃棄物が投棄されたこともあり、周辺区域とくに日本海の放射性物質による汚染の監視は重要であ

る。

日本近海では、米国やロシアに加えて、最近では中国の原子力潜水艦も航行しているため、そうした原子力軍艦による海洋での放射性物質による汚染にも配慮しておく必要がある。

- (3) わが国では、エネルギー政策基本法に基づくエネルギー基本計画の中で、原子力発電は安全確保を大前提に基幹電源として推進することが明記されている。また、原子力委員会もこれまで一貫して原子力発電の推進とその国民的合意形成を進めてきている。一方、周辺の諸国もエネルギー需要の増大に伴い原子力発電を積極的に推進している。こうして、東アジア4国(日本、韓国、中国および台湾)にはすでに約80基の原子力発電所があり、建設中や計画中のものも多い。わが国ではこうした原子力発電所の周辺では環境の放射線や放射能の測定が周到に行われ、施設からの放射性物質の放出およびそれによる環境の汚染を監視する体制が取られている。しかしそれらは主に都道府県レベルまでであり、わが国を取り巻く海洋や大気における地球規模の環境モニタリング体制は十分とはいえない。近隣諸国との連携協力体制も十分ではない。
- (4) わが国では、原子力発電所から出る使用済み燃料は再処理し、抽出したプルトニウム等は原子炉に再装荷することになっている。一方そこで発生する放射性廃棄物は厳重に処理し、処分することになっている。しかし再処理施設の稼働により、トリチウム、炭素14、クリプトン85およびヨウ素129は環境に放出され、地球規模の汚染源となる。したがってこれら4核種の挙動について十分注意を要する。
- (5) 上に述べた放射性廃棄物の処分および原子力発電所等の原子力施設の廃止措置に伴う汚染物質の処理と処分には周到な方策が取られることになっている。しかし、とくに高レベル放射性廃棄物の地層処分に関してはまだまだ研究開発すべき課題が残されている。さらに、それらが社会的に受容されるためには、長寿命で人体への放射線影響が大きい核種を変換する技術を研究開発することが望まれる。
- (6) わが国において、放射性物質による環境汚染の予防と回復、とくにその予防に関する研究開発および各地区の環境放射線・放射能の測定は幅広く実施されてきた。しかし、中心となる研究機関がなく、やや個別的で連携協力が十分とはいえなかった。

こうした研究および技術を支えるための人材養成と教育も十分でなく、これまで原子核(力)工学の学科や大学院専攻があった大学でも、放射線防護、保健物理、環境放射能などを専門に教育研究する講座があるところは少なかった。さらに最近の大学改革と再編成の中でそれはほとんどなくなっているとさえいえる状況にある。

このような方針のもとに、本報告書「放射性物質による環境汚染の予防と回復」を取りまとめた。本報告書の最終的な取りまとめに先立って、平成16年8月6日、日

本学術会議において、シンポジウム「核災害からの復興と原子力の平和利用における今後の課題　ビキニ被災 50 周年を記念して」を開催し、そこでの発表内容および一般参加者からの意見を本報告に反映させた。

#### 参考文献

- ( 1 ) IAEA Expert Group, *Multilateral Approaches to the Nuclear Fuel Cycle*, INFCIRC/640, IAEA, (2005).

## 第2章 原子力災害による環境汚染の予防と回復

### 2.1 はじめに

1960年代までに盛んに行われた大気中核爆発実験による環境汚染の調査はいくつかの研究機関や全国の自治体で精力的に行われており、こうした人工放射性物質による汚染は非常に低いレベルにまで減少してきている。現在では核実験の影響は実験場周辺に限定されている。わが国の周辺では、旧ソ連とロシアによる放射性物質の海洋投棄や原子力潜水艦の老朽化に伴う廃棄の問題があり、日本海での海洋の放射能調査が部分的に行われている。東アジアでは現在約80基の原子力発電所が運転中であり、さらに建設中の発電所も多い。日本を含めた周辺諸国で、原子力発電所あるいは原子力軍艦で放射性物質を放出する事故が起きた場合、さらに放射性物質の飛散を伴うテロが起きた場合に対する環境放射能監視体制は十分とはいえない\*。このような背景があるために、この章では、世界とわが国の原子力災害の現状、原子力潜水艦の事故、東アジアの原子力開発の現状、JCO臨界事故時の問題点と原子力防災の課題、小型核兵器や放射性物質を用いたテロによる放射線被ばくと環境汚染等、東アジア地区の放射線・放射能の監視システムの必要性について記述する。

### 2.2 世界とわが国の原子力災害およびそれからの回復と復興

20世紀後半、米国と旧ソ連が対立した冷戦下では核兵器開発競争が激化し、合計2,400回を超える核爆発実験が実施された。広島原爆の3万5千発分に相当する核爆発実験は世界の各地で放射能汚染による災害を引き起こしていたことが、1991年の冷戦終結以後次第に明らかになった<sup>(1)</sup>。この災害は、その地に暮らす公衆の健康を害し、環境に負の影響を与えてきた。核兵器の恐怖は、原子力・放射線技術の平和利用分野にも、大きな心理的影響を与えている。

わが国は、1945年に2度の核兵器の使用により被災し、広島、長崎は壊滅した<sup>(2)</sup>。原子爆弾で被爆した生存者にも白血病や固形がんの過剰発症が見られた。1954年、大型戦略核兵器のビキニ環礁での実験において、マグロはえ縄漁船・第五福竜丸が核の灰の降下による甚大な放射線の被ばくを受けた。船員の死亡、死の灰で汚染したマグロの大量処分は、わが国の社会へ原子力技術の大いなる影の心象を与えた<sup>(3)</sup>。

原子爆弾投下の直後、一部の学者は爆心地には70年間草木は生えないと考えた。しかし、実際には、翌年、二つの都市の爆心地にも雑草が生え、その後住宅やビルも建ち社会としても目覚ましい復興を遂げた。原子爆弾による被災とその後の被災地の自然回復や社会の復興の現実は、原子力技術利用における防災や、緊急時の放射線防護、被ばく医療、原子力災害の対処の基礎となりうる。

わが国では、後で述べる東海村JCO臨界事故以後、原子力防災体制の確立に力を注いでいる。しかし、稀にしか発生しない放射線事故や原子力災害に対して、世界的に経験が不足しているのが実情である。わが国でも、広島・長崎、第五福竜丸、東海村JCO臨界事故の数例の経験があるのみである。それぞれの災害の特殊性や、公衆の被ばく経路も異なっている。したがって、20世紀に世界で発生した歴史的な原子力災害の科学的調査を基礎に、原子力災害の実像を捉え、その自然回復や社会の復興に関して科学的に認識することは有用である。

\* 国外で発生する原子力事象に対し、内閣に放射能対策連絡会議がある。

わが国の原子力災害分野の調査結果と研究成果は十分に蓄積されているとはいえない。原子力災害に対しては、理学、工学、農学、医学などに加えて、人文社会科学まで含む幅広い専門知識が必要とされる。第五福竜丸の被災後、日本学術会議の勧告等もあって関連した学会や研究機関が誕生している。しかし、大規模な原子力災害に対処する方法や方策を積極的に研究する専門組織や機関は存在していない。それに伴い原子力災害の放射線防護研究および復旧研究は不十分な状況にある。この種の研究の目的と方法は、以下の項目にまとめられる。原子力災害について、(1)その本質の自然科学的認識、(2)社会的影響の認識、(3)原子力災害からの回復現象の認識、および(4)社会の復興過程および課題の認識である。

研究の課題としては、まず、20世紀の世界の原子力災害を、防災の視点から検証し、科学的に総括することにより、今後役に立てることである。次いで、この研究成果の上に、放射線と原子力エネルギーの平和利用に付随する諸問題の解決に取り組む。これらを通じた課題として、原子力災害の未然の防止策、緊急時の放射線防護策、社会への衝撃の緩和策、災害からの復興策の立案などである。これらの研究課題は、自然科学的な取り組みのみならず、人文社会科学的な取り組みも合わせて重要である。

#### 参考文献

- (1) 高田 純、「世界の放射線被曝地調査」ブルーバックス、講談社(2002)。
- (2) 日本学術会議原子爆弾災害調査報告書刊行委員会編、「原子爆弾災害調査報告集」日本学術振興会(1953)。
- (3) 第五福竜丸平和協会編、「ビキニ水爆資料集」東京大学出版会(1976)。

## 2.3 原子力潜水艦の事故による環境汚染の予防と回復

### 2.3.1 ロシア極東における原子力潜水艦解体の現状

世界でこれまでに就航した原子力潜水艦は、1998年の時点で487隻、原子炉の基数でいえば約700基と言われている<sup>(1)</sup>。そのうち、ロシアは1950年代末から冷戦終結にいたるまでの旧ソ連時代に、250隻もの原子力潜水艦を建造している。表2.1に示すように、その後、ロシアで退役した原子力潜水艦の総数は2003年5月で約192隻と報告されている。その内116隻が北極海域に、約76隻が極東海域にあり、原子炉の燃料抜き取りが済んでいるのはそのうちの1/3に満たない。多くは湾内に係留されたままの状況が続いている<sup>(2)-(4)</sup>。

過去にロシアでは、原子力潜水艦に係わる5回の臨界事故(燃料交換時:2回、修理中:2回、建造中:1回)が発生している。そのうち1回は1985年8月10日に極東のウラジオストック近くのチェジュマ湾で燃料交換作業中、冷却水喪失が原因で臨界事故が起きている。そのとき、 $2.6 \times 10^{17}$ Bqもの放射性物質が放出され、水蒸気爆発で10名が死亡している<sup>(5)</sup>。事故により放出された大量の放射性物質は東風に乗って内陸のロシア側に降下した。これらの地域には居住者が少なかったので人的被害は起きなかった。放射性物質は雨水とともに移動し、徐々に河川から湾に入り、やがて日本海へと流出したことは明らかである。事故を起こした原子力潜水艦は現在でも湾内に係留されたままの状態である。臨界事故以外の事故を起こした原子力潜水艦も2

隻係留されており、早急に恒久的な処理が求められている。今後日本海における海底土の移行の観測、汚染表層土の移行観測などの長期的観測も必要である。

原子力潜水艦による事故はロシア極東の問題とはいえ、隣国の日本として関心を持たざるを得ないのは、臨界事故が起きたにもかかわらず長年知らされなかったことである。極東太平洋艦隊では今後とも永続的に7年から10年ごとのオーバーホールの際に、燃料の取り扱いが行われる。したがって、何らかのミスによる同様な事故が発生する可能性がある。こうした事故が起これば日本海は汚染し、わが国としても影響を受ける。

表 2.1 ロシア原子力潜水艦解体に関する最新のデータ(2003年5月現在)

	北方艦隊	極東太平洋艦隊	合計
退役総数	116	76	192
解体済み	54	28	82
解体予定	62	48	110
燃料抜取済み	73	38	111
燃料抜取予定	43	38	81

一方、ロシアの原子力潜水艦の使用済み核燃料を積んだ船が、オホーツク海から宗谷海峡を通過して日本海を航行している。日本原子力産業会議の調査団<sup>6)</sup>が2003年秋にロシア当局から入手したルート図によると、カムチャツカ半島ペトロパブロフスク・カムチャツキー近郊の原子力潜水艦解体工場に取り出された使用済み核燃料が、輸送船でウラジオストク近郊の一時貯蔵施設に運ばれている。極東地域における老朽原子力潜水艦の繋留保管の長期化やその使用済み核燃料の輸送も、日本海的环境汚染防止の観点から、わが国として無視しがたい重要な問題である。

### 2.3.2 原子力潜水艦解体に対するわが国の支援

原子力潜水艦解体を実施している造船所は、ロシア極東ではプリモーリエ地方(日本語では沿海州)のポリショイ・カーメンにあるズヴェズダ造船所である。この造船所はロシアで最大の原子力潜水艦解体実績を有していて、2003年10月までに合計32隻の原子力潜水艦を解体している<sup>6)</sup>。

極東ロシアにおける攻撃型原子力潜水艦解体事業は、2003年1月に小泉首相がロシアを訪問した時、日本とロシア両国の首脳により採択された「日露行動計画」の中で、着実・早急な実施が明記された。ビクター級退役原子力潜水艦解体実施の取り決め案文が2003年4月に基本的に合意されることにより、その事業実施の目途がついた。日本支援によるロシア極東の退役原子力潜水艦解体事業「希望の星」の開始式典が2003年6月7日、ズヴェズダ造船所で行われ、その後、解体作業が続いている。日本の援助資金により建造された放射性液体廃棄物処理施設である「すずらん丸」は2001年に完成し、3年間の運転で低レベル放射性廃液約2500m<sup>3</sup>を処理した。すずらん丸の運用データ、放射線管理データなどを今後日露間で共有することは大切である。

### 2.3.3 海洋環境の放射性物質による汚染に対するわが国の対応

旧ソ連およびロシアは放射性廃棄物を日本海およびカムチャツカ半島沖の極東海域で投棄していた<sup>(7)</sup>。1966年から1992年にかけて、水深1,100mから3,700mの海域に、液体廃棄物455TBq、放射性固体廃棄物252TBqを投棄したことが1993年4月にロシア政府から公表された「ヤプロコフ白書」<sup>(8)</sup>で報じられて以来、わが国においては科学技術庁（現文部科学省）が中心となり、関係省庁等の協力を得て、日本周辺における放射能調査を継続して行っている<sup>(9)(10)</sup>。

日本と韓国は旧ソ連とロシアが北西太平洋とその周辺海域に放射性廃棄物を投棄していたことを重く受け止めた。日韓露3国政府は、投棄された放射性廃棄物による海洋の放射能汚染状況を調査するため、1994年2月に「日韓露共同海洋調査に関する協定」を締結した。1994年3月の第1回調査では日本海、1995年8月の第2回調査ではオホーツク海、カムチャツカ半島南方など日本海以外の海域を対象とした調査を行った<sup>(11)(12)</sup>。

これまでの海洋調査によれば、日本海はすり鉢状の海底地形を持ち、その中・深層部には日本海固有水と呼ばれる比較的冷たい海水を蓄えている。日本海固有水は、日本海の北西部で冬季の冷却によって表層の海水が中・深層に沈みこむことにより形成されると考えられている。一方、300mよりも浅い表層では、対馬暖流が対馬海峡から津軽・宗谷の両海峡に向けて流れている。周囲を大陸と島で囲まれた日本海の表層、中・深層における海水の滞留時間などの挙動を十分に調査することは環境影響評価に欠かすことができない。

日本原子力研究所では、1997年から2002年にかけて文部科学省からの委託調査と国際科学技術センター（ISTC）パートナープロジェクト調査を同時進行することで、ロシア側の排他的経済水域（EEZ）を含めた日本海の広い範囲において、継続的で系統だった海洋学的調査・研究を実施した。ISTCパートナープロジェクトではロシア極東水理気象研究所と協力し、日本海のロシア側EEZ内で海洋調査を行った<sup>(13)</sup>。文部科学省からの委託調査および北海道大学・九州大学との共同研究により、日本側EEZ内の調査も行った。これらの調査により日本海の調査可能な海域を大まかではあるがほぼ網羅することができた。今後のISTCプロジェクトでは、ウラジオストック南方海域と日本海北部を調査対象海域として、ウラジオストック沖に投棄された放射性固体廃棄物からの漏洩およびウラジオストックにおける原子力潜水艦の解体などにより新たに発生する汚染の可能性を引き続き監視し、周辺海域の海洋汚染調査および海洋環境影響評価に寄与することができる、などの成果が期待できる。

日本原子力研究所は原子力事故時の放射性物質の大気拡散予測システムSPEEDIとその世界版WSPEEDIを開発し、グローバルな実証的検証を行ってきた。さらに大気・陸域・海洋における様々な環境数値モデル開発と環境影響研究の母体となるソフトウェア「SPEEDI-MP」を開発し、海洋環境汚染のシミュレーション<sup>(14)</sup>として日本近海（対馬海峡）で原子力潜水艦が事故により沈没したと想定し、日本近海での汚染の拡散状況を調べている<sup>(15)</sup>。

近隣諸国と日本の協力体制については、国連環境計画（UNEP）が日本海および黄海における海洋環境の保全を目的とした北西太平洋地域行動計画（NOWPAP）を推

進している。日本（海上保安庁）、中国、韓国、ロシアがこれに参画している。同行動計画において海洋データ、海洋汚染防除の分野における検討に海上保安庁が参画している<sup>(16)</sup>。

#### 2.3.4 米国の原子力軍艦の寄港など

わが国は米国との間に安全保障条約を締結しており、それに伴って国内に米国の軍事基地が存在する。このうち横須賀、佐世保、沖縄（金武中域）の港には原子力軍艦が寄港する。2001年2月末現在原子力潜水艦および水上艦の寄港の回数は、それぞれ959回と45回、合計1,004回に達している<sup>(17)</sup>。安全保障条約による軍艦の寄港であるため、艦上の原子炉等は原子力基本法、原子炉等規制法等の適用を受けず、国の規制も受けない。しかし、その安全性について米国政府の声明があり、万一の事故にさいしては直ちにわが国に通報することになっている。

わが国としては、最初の米国原子力軍艦の寄港以来、港湾の海水等の放射能を測定している。1978年5月米国の原子力潜水艦が佐世保に寄港中に高い放射線測定値が観測されたが、その原因は確認されないまま終わった。

東海村のJCO事故の後、原子力災害対策特別措置法が制定されたが、原子力軍艦はその対象外となった。しかしその重要性に鑑み、各地方自治体では防災マニュアルや防災計画の中に原子力軍艦事故を盛り込み、中央省庁でも申し合わせをしている。しかしながら、米国の原子力軍艦の寄港および航行中における放射性物質の放出を伴う事故に際し、周辺海域等における放射線・放射能監視体制は現状で十分であるとはいえず、対策の強化が望まれる。

現在中国は漢級を始め6隻の原子力潜水艦を保有しており、過去にその原子力潜水艦がわが国の漁船や商船と接触事故を起こしている。米国だけでなく、ロシアや中国の原子力軍艦の航行中における海洋での放射性物質による汚染にも配慮しておく必要がある。

#### 参考文献

- (1) 高度情報科学技術研究機構、「原子力百科事典、Atomica」インターネット版(2004)。
- (2) 植松邦彦、ロシア北方艦隊退役原子力潜水艦解体事業調査報告書、日本原子力産業会議、2003年6月。
- (3) 植松邦彦、ロシア原子力潜水艦解体の現況、原子力 eye、49、No.8、66-69(2003)。
- (4) 澤田哲生、ロシア太平洋艦隊の退役原子力潜水艦解体の現状と課題、日本原子力学会誌、46、405-409(2004)。
- (5) M. Takano et. al.、Reactivity Accident of Nuclear Submarine near Vladivostok, J. Nucl. Sci, Technol. ,38, 143-157(2001)。
- (6) 植松邦彦、ロシア太平洋艦隊退役原子力潜水艦解体事業調査報告書、日本原子力産業会議、2003年11月。
- (7) 穂波 穰、旧ソ連及びロシアによる放射性廃棄物の海洋投棄、保健物理、29,

124-128 (1994).

- ( 8 ) ロシア大統領府、ロシア連邦領土に隣接する海洋への放射性廃棄物の投棄に関する事実と問題 ( 仮訳 )、モスクワ、1993 年.
- ( 9 ) 行松泰弘、旧ソ連・ロシアによる放射性廃棄物の海洋投棄に関するわが国の対応、保健物理、**29**、129-131(1994).
- ( 10 ) 原子力安全委員会、平成 5 年度版原子力安全白書、大蔵省印刷局、平成 7 年 2 月.
- ( 11 ) 天野 光ほか、極東の放射性廃棄物投棄海域における環境放射能調査、第 1 回日韓露共同海洋調査における原研の調査、JAERI-Research 96-049、1996 年 10 月.
- ( 12 ) 外川織彦ほか、北西太平洋とその周辺海洋の放射性廃棄物投棄海域における海洋放射能調査、第 2 回日韓露共同海洋調査における原研の調査、JAE RI-Research 98-062、1998 年 10 月.
- ( 13 ) T.Ito et al., *Anthropogenic Radionuclides in Seawater of the Japan Sea: the Results of Recent Expeditions Carried Out in the Japanese and Russian EEZ*, Proceedings of the International Symposium on Radioecology and Environmental Dosimetry, Institute for Environmental Sciences, Japan (2004) .
- ( 14 ) 放射線医学総合研究所、海洋環境における放射能研究の現状と未来、2003 年 3 月.
- ( 15 ) T. Kobayashi et. al., *Estimates of Collective Doses from a Hypothetical Accident of a Nuclear Submarine*, J. Nucl. Sci, Technol. **38**, 658-663. (2001)
- ( 16 ) 海上保安庁編、平成 12 年版 海上保安白書、大蔵省印刷局、平成 12 年 9 月.
- ( 17 ) 中央防災会議防災基本計画専門調査会第 1 回資料「風水害・原子力災害について」、2001 年 10 月.

## 2 . 4 わが国と東アジアの原子力開発の現状

1953 年の米国大統領アイゼンハワーによる核技術の平和利用宣言「アトムズ・フォー・ピース」を受けて、わが国でも原子力平和利用の気運が高まった。翌 1954 年 4 月日本学術会議は原子力平和利用の基本方針を審議し、自主、民主、公開の 3 原則を声明として発表し、翌 1955 年これを取り入れた原子力基本法が制定された。本格的に原子力の利用が始まったのは、このような原則の法制化の下においてである。それから 50 年を経て、表 2.2 に示すように、現在わが国の稼働中の商業用原子炉は、53 基、4590 万 7 千kWの設備容量を有し、電力総需要の約 3 分の 1 を供給している<sup>(1)</sup>。これは米国、フランスに次ぎ、世界で 3 番目の原子力発電所保有国である。なお、全体の半数以上の 29 基が日本海側に設置されていることも注目される。

2003 年 12 月末において、世界で運転中の原子力発電所は 434 基、設備容量は 37,628 万kWである<sup>(2)</sup>。このうち、アジアの原子力発電所は 100 基を超え、とくに東アジアに多く、表 2.2 および図 2.2 に示すように、運転中の原子力発電所は日本を含めて 84 基存在している。韓国では、運転中の原子力発電所が 18 基あり、電力の 39%

を供給している。建設中の原子力発電所は2基あり、2015年までにさらに6基の建設が予定されている。中国では、8基の原子力発電所が運転中で、3基が建設中である。原子力発電が電力に占める割合は約1%にすぎないが、さらに今後非常に多くの原子力発電所設置計画が立てられている。台湾では、6基の原子力発電所が運転中で、2基が建設中である。現在電力の約21%を原子力で供給している。

表 2.2 東アジアの原子力発電の開発状況(2003年12月現在)<sup>(1)</sup>

国名	運転中	建設中・計画中
日本	52 (4574.2)*	11 (1360.8)
韓国	18 (1571.6)	8 (880.0)
北朝鮮	0	2 (200.0)
中国	8 (629.8)	3 (277.0)
台湾	6 (514.4)	2 (270.0)

\* 2005年1月に53基となった

( )内の単位は万kW

参考文献

- (1) 原子力文化振興事業団、原子力・エネルギー図面集 2004-2005.
- (2) 日本原子力産業会議、世界の原子力発電開発の動向 2003(2004年6月).

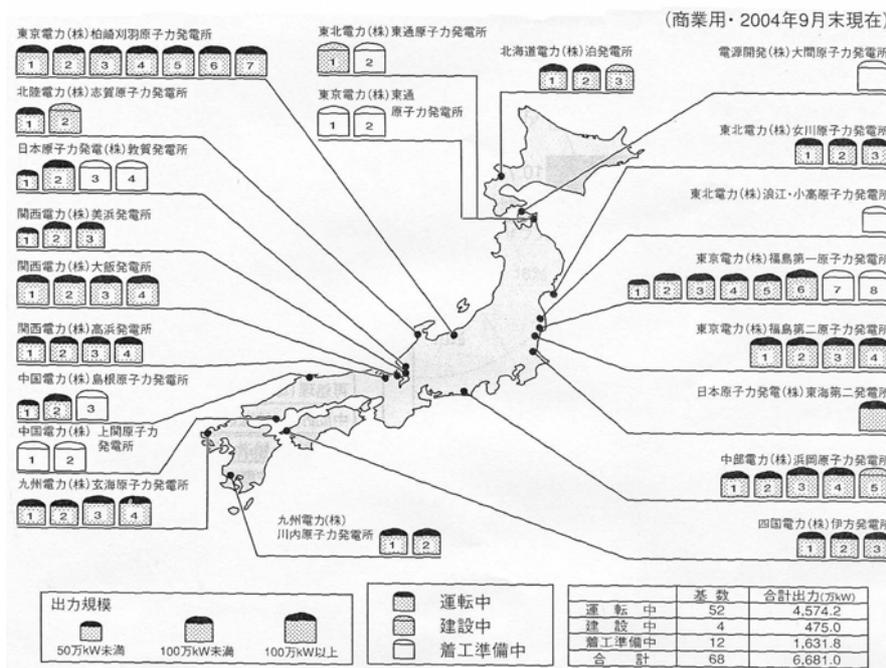


図 2.1 わが国の原子力発電所<sup>(1)</sup>

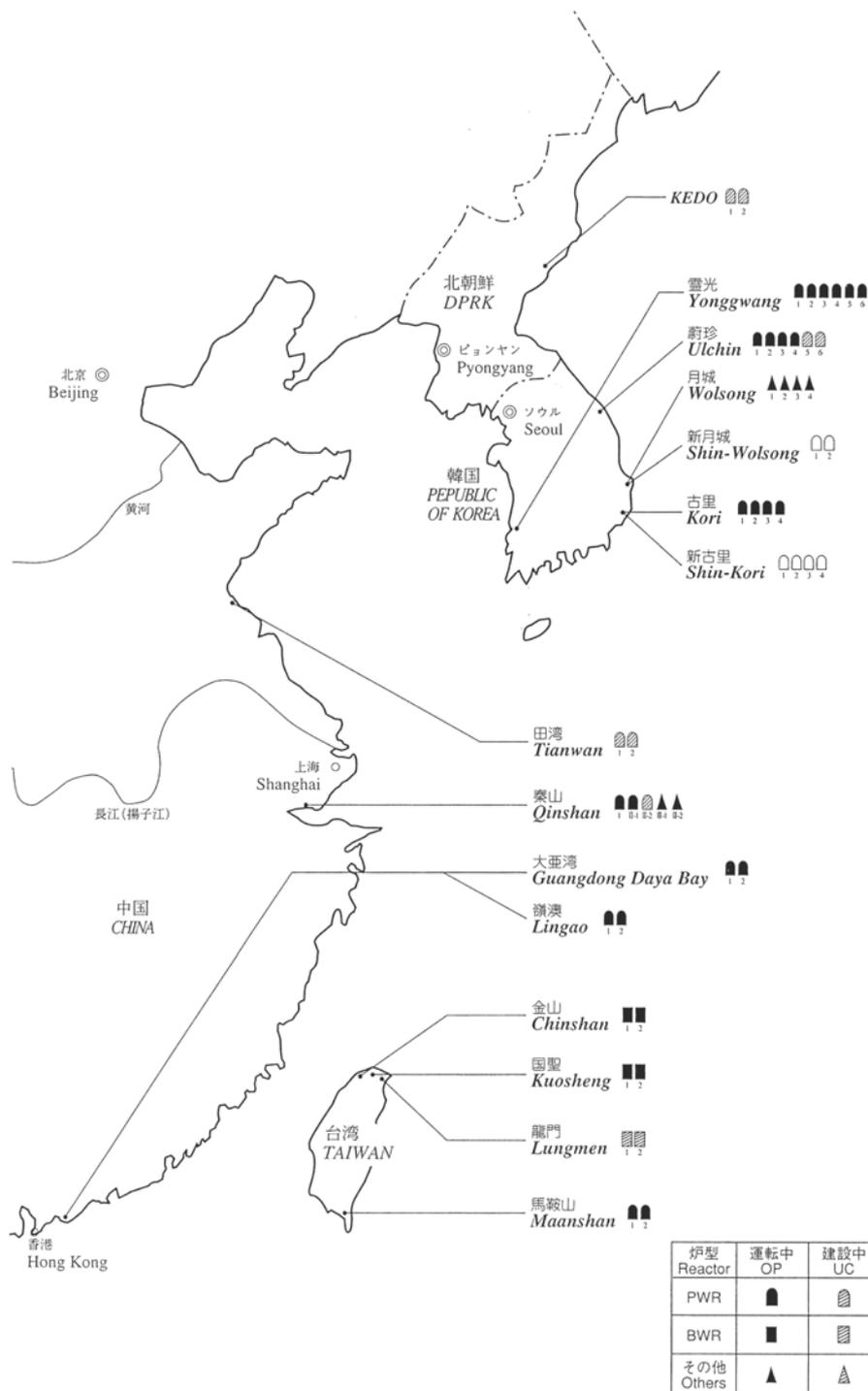


図 2.2 東アジアの原子力発電所(わが国以外)<sup>(2)</sup>

## 2.5 JCO 臨界事故と原子力防災の課題

### 2.5.1 JCO 臨界事故

茨城県東海村の(株)JCOにおける臨界事故はわが国の原子力平和利用に大きな衝撃を与えた。この臨界事故とその後の国および地方自治体の対応を時系列で以下に記す<sup>(1)</sup>。

1999年9月30日	10時35分	JCO 転換試験棟で警報
	14時30分	科学技術庁災害対策本部を設置
	15時00分	東海村村長 350m 圏内住民の避難要請の決定
	15時30分	原子力安全委員会緊急助言者組織の招集を決定
	22時30分	県知事、10km 圏内の住民に屋内退避を要請
10月 1日	1時40分	第1回現地事故対策本部会議の開催
	14時30分	現地事故対策本部会議、10km 圏内の屋内退避解除

9月30日の10時35分には中性子および線量の検出により臨界事故の発生が予測された。16時30分になお中性子線が検出され、臨界状態が続いていることが確認された。その後10月1日の6時15分に臨界状態の終息が確認された。

1979年の米国スリーマイルアイランド(TMI)事故を教訓に、国は「災害対策基本法」の中に「原子力発電所等周辺の防災対策について」(防災指針)を1980年6月に定めている<sup>(2)-(4)</sup>。それにもかかわらず、JCO臨界事故後の対応が遅れた理由は、原子力防災体制が原子力発電所、再処理施設等からの放射性物質の大量放出を想定していることにあった。JCOからの適切な情報発信がなされず、防災上の措置を検討した施設ではないウラン加工施設での臨界事故であったため、自治体の判断が困難な状況であった。東海村においては事故後2時間程度で村内放送により村民への情報の提供を開始している。JCOからの要請により、事故後3時間半程度でJCO施設から350m以内の周辺住民に対する避難の実施を判断している。一方、茨城県では22時30分に「念のため」10km圏内の住民に対して屋内退避を要請している。その実施に当たっては国にも確認を求めている。結果的に見れば、そこまでの措置が必要であったか疑問である<sup>(5)</sup>。

事故後の情報伝達について、住民の情報源は主にテレビであった。NHKは当日の22時30分に茨城県が対象区域と住民を明確にして屋内退避を要請する前の21時30分に「10km圏内の住民に屋内避難要請」の旨の報道をしたため、周辺市町村に混乱を生じた。緊急時に住民に適切な情報を提供することは、公共放送としての使命ではあるが、不確定な情報を住民に提供することは、混乱を避ける意味から災害時には特別な注意を要する。事故時には、(1) 災害対策本部が積極的に情報発信、(2) 線量情報の発信、(3) 信頼のにおけるスポークスマン等が必要である。

緊急時の環境モニタリング対応について、初動の時点で茨城県としての地域防災計画に基づく緊急時モニタリング体制<sup>(6)</sup>が機能したとは言えない。JCO周辺の中性子線の測定についても、初動の時点では事業所の境界で中性子線の測定が必要な状況が継続しているとの認識がなかったため、当初はガンマ線の測定結果しか得られなかった。臨界が継続していたと言う情報がJCOから発信されなかった問題もある。ウラン加工

施設において、臨界事故が発生し、これが長時間に渡り継続することは原子力関係者の間においても死角となっていた。

## 2.5.2 原子力防災対策の現状

JCO臨界事故を踏まえ、わが国では災害対策基本法のもとで、迅速な初期対応ができる体制、国の緊急時対応体制の強化、原子力事業者の役割の明確化を図る観点から、原子力災害対策特別措置法<sup>(7)</sup>が制定された。平常時からの備えとして、原子力防災専門官の配置やオフサイトセンターの設置、防災業務計画の策定などが実施され、原子力災害時には、オフサイトセンターに関係機関が集結し、迅速な対応と情報共有化が図れるように設備と体制が整備された。さらに、原子力防災関係者に対しては、原子力防災訓練の実施および教育・研修等を通じて、平素から理解促進および能力向上が図られている。緊急時被ばく医療の面では、医療機関の体制の見直しやメンタルヘルス対策が充実された。これらの対策により、JCO事故発生前に比べて設備や能力が格段に強化されてきている。

一方、住民に対する防護措置について目を向けると、わが国ではERSSおよびSPEEDIを用いた原子力災害進展と周辺環境影響の予測結果を参考にして検討が行われる仕組みとなっている。これらは何れも解析手法であり、迅速な対応を行うためには結果が得られるまでの所要時間と解析結果の不確実さについてあらかじめ検討しておく必要がある。米国では、原子力災害時の住民防護措置は、図 2.3 に示すように災害事象から決定される仕組み<sup>(8)</sup>が定着しており、解析による予測<sup>(9)</sup>は補完的な位置付けとなってきている。わが国と米国では国土の広さや慣習の違いなどがあるため、米国の仕組みがわが国において適用できるとは限らない。しかし、住民防護措置を迅速に決定するための手法の研究は継続されるべきである。さらに、原子力事業者は事故拡大の防止および事故による影響緩和の観点からシビアアクシデント対策としてのアクシデントマネジメントを整備<sup>(10)</sup>しており、アクシデントマネジメントの実施に伴う原子力防災への種々の影響についても研究しておく必要がある。

よって、原子力災害時に国や地方自治体および関連研究機関が迅速に対応できる体制を整えるために、放射線防護研究所の設置と放射線防護を含めた原子力一般の基礎教育を受けた人材の育成が求められる。

### 参考文献

- (1) 原子力安全委員会ウラン加工工場臨界事故調査委員会報告(本文)、平成 11 年 12 月 24 日。
- (2) 原子力防災対策の実効性向上を目指して 平成 11 年 4 月 28 日。
- (3) 原子力災害対策特別措置法、平成 11 年 12 月 17 日公布。
- (4) 原子力施設等の防災対策について(防災指針) 平成 12 年 5 月一部改訂。
- (5) 日本保健物理学会、東海村臨界事故に対する日本保健物理学会の提言、平成 12 年 3 月。
- (6) 緊急時環境放射線モニタリング指針、平成 12 年 8 月一部改訂。
- (7) 経済産業省原子力のページ、「原子力災害対策特別措置法」の概要について、

<http://www.atom.meti.go.jp/siraberu/anzen/08/main01s.html>.

- ( 8 ) F.Congel, F.Kantor, T.Mckenna, et. al., *Criteria for Preparation and Evaluation of Radiological Emergency response Plans and Preparedness in Support of Nuclear Power Plants*, NUREG-0654 Rev. 1 Supp. 3 (1996).
- ( 9 ) T.Mckenna, J.Trefethen, K.Gant, et. al., *RTM96 Response Technical Manual*, NUREG/BR-0150, Vol. 1, Rev. 4(1996).
- ( 10 ) 経済産業省原子力安全・保安院、軽水型原子力発電所におけるアクシデントマネジメントの整備結果について評価報告書、第 70 回原子力安全委員会資料第 3-2 号 (2002).

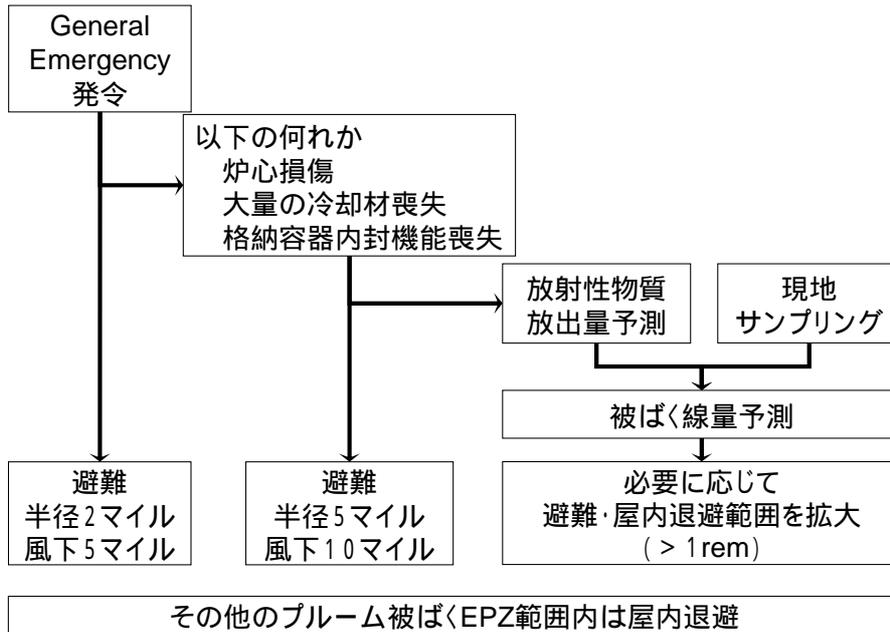


図 2.3 米国の原子力災害時における住民防護措置判断の目安 (EPZ: Emergency Planning Zone、緊急事態対応計画地域)

## 2.6 小型核兵器や放射性物質による破壊活動の問題

冷戦の終結に伴い、米国と旧ソ連を中心として戦略核兵器はほぼ影をひそめ、戦術核兵器の存在が今日の 21 世紀の脅威となっている<sup>(1)</sup>。特に広島型核兵器の威力に比べて 10 分の 1 以下の小型核兵器がすでに 1960 年代に米国と旧ソ連で開発され、配備されていた。これまでは小型核兵器はあまり目立たない存在であった。20 世紀には力の恐怖による均衡のもとで、核兵器自体が使用不能の兵器であった。しかし 2001 年 9 月 11 日 (9.11) のテロリストによる米国攻撃以後、状況は一変した。

開発当初のスーツケースサイズの核兵器は、現在さらに小型化され、テロリストが隠密に持ち運べる大きさとなっている可能性がある<sup>(3)</sup>。こうした小型の核兵器でも、高性能 TNT 爆弾の 1kt と同じ爆発力があるばかりでなく、広範囲に死の灰をまき散らし、放射性物質で環境を汚染する恐れがある。したがって、人口密集地を狙えば、10 万人以上を殺傷し、100 万人以上に危険な放射線被ばくを与えると予想されている<sup>(3)-(5)</sup>。

現在テロリストたちはこの可搬型の小型核兵器を手に入れようとしている<sup>(2)</sup>。しかも米国の専門家は、その可能性は高いと読んでいる。その背景には、ソ連崩壊前に大

量にあった戦術核兵器の行方の不透明性にある。それらの盗難および不当な売買に対する防護体制の不安である。失業や給料が充分支払われていない核技術者の存在が状況を悪化している。この状況が核兵器の闇市や核技術者の闇のリクルートに繋がっている。実際、レベジ・ロシア安全保障会議書記が、1997年に訪口した米議員団に対し、ロシアが保有していた携帯型核兵器84個の行方不明を語っている<sup>(5)</sup>。

2003年5月21日、米国上院は威力5kt未満の小型核兵器の製造に至りうる可能性のある研究・開発を禁止する条項を廃止することを決定した。下院も5月22日、同様の法案を通過させた。これには米国がテロリストへの反撃やテロ支援国家に戦術核兵器を使用する狙いが想像される。戦場での使用や地下壕網や地下通路の破壊である。もしこうした研究開発が実際に行われ、使用されることになれば、21世紀の世界の脅威は一層増大することは間違いない。そしてこれにより国際的な核兵器不拡散体制は崩壊に至る。

9.11以後、一部の人たちは最も危険な災害として、核テロリズムが21世紀に発生するかもしれないことを認識している。戦争とは無縁と思われる先進国の都市で、突然発生するかもしれない極めて大きなリスクであり、わが国でもこうした核テロリズムに対抗する放射線防護や緊急被ばく医療の研究が、一部の科学者により始められている。

2000年以降、国はNBC（核、生物、化学）テロの対策を進めている。特に9.11とイラクへの自衛隊派遣以来、テロ対策は強化されつつある。核テロとしては、最大の脅威である上述の核兵器以外に、放射性物質を通常爆弾でばら撒く、いわゆるダーティボム（汚い爆弾）による攻撃、さらに原子力発電所や核燃料施設への攻撃が考えられている。原子力発電所の防衛は特に重要であり、現在それは一段と強化されている。炉心破壊を伴う最大規模の原子力災害に至れば、チェルノブイリ原子炉事故の規模が予測される。しかし、核兵器テロの災害規模が広島・長崎規模であることを知れば、実害としては原子炉テロの被害規模は数段低いと予想される<sup>(6)</sup>。

こうした状況に鑑み、今後核爆発を伴う災害における放射線防護や緊急被ばく医療の研究を推進する必要がある。この種の研究のための核爆発実験はありえないので困難を伴うが、旧ソ連のセミパラチンスクなどの核兵器実験の跡地やその周辺の調査および計算機シミュレーションの利用で研究可能である<sup>(6)</sup>。核爆発現象からの原子力災害に対する放射線防護計算機システムの開発研究とそれを運用した種々の防災行動の方策研究が今後の課題である。その中では、公衆のみならず、防災隊員の放射線防護策も対象となる。もちろん、国家や社会の重要施設の防護対策の研究も必要である。

わが国として、国際テロリストによる携帯型核兵器やダーティボムの持ち込みを最大限警戒しなくてはならない。そのためには、水際での阻止が最も重要である。つまり、主要区域での核兵器や放射性物質の検知システムを備える必要がある。放射性核種は、自ら放射線を出して、存在が分かることが多いので、監視は比較的容易である。米国やヨーロッパでは、空港やハイウェイなどの国境となるゲートにおいて秘密のうちに、それを配置していると言われる。こうした機材を供給する企業もある。わが国としては、まず監視システム全体の設計が必要となる。すなわち防止策の研究とこれにもとづく政策の立案が重要課題である<sup>(6)(7)</sup>。

## 参考文献

- ( 1 ) B. Alexander and A. Millar edited, *Tactical Nuclear Weapons - Emergent Threats in an Evolving Security Environment*, Brassey's, Inc., Washington, D.C. (2003).
- ( 2 ) C. Mark, T. Taylor, E. Eyster, W. Maraman, J. Wechesler, *Can Terrorists Built Nuclear Weapons?*, Nuclear Control Institute, Washinton, D.C. <http://www.nci.org/k-m/makeab.htm> (1986).
- ( 3 ) J.W. Poston edited, *Management of Terrorist Events Involving Radioactive Material*, NCRP Report No.138, National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda (2001).
- ( 4 ) 高田 純、1 キロトン核兵器の地上爆発による放射線被ばくと防護、*広島医学*、57、4号、368-370、(2004)。
- ( 5 ) 高田 純、「東京に核兵器テロ!」、講談社 (2004)。
- ( 6 ) 高田 純、9.11 テロ以後の私の取り組み、*原子力 eye*、51、2号、23(2005)。
- ( 7 ) 国民の保護に関する基本指針( 要旨 )[http://www.kantei.go.jp/jp/singi/hogohou sei/pc/youshi\\_g.pdf](http://www.kantei.go.jp/jp/singi/hogohou sei/pc/youshi_g.pdf) (2005)。

## 2.7 東アジア地区の放射線・放射能の監視システムの必要性

前述したように、わが国の周辺では旧ソ連とロシアによる放射性廃棄物の海洋投棄および老朽化した原子力潜水艦の廃棄に伴う海洋汚染の問題がある。一方、日米安全保障条約に基づいて米国の原子力軍艦の寄港が 1,000 回を越えている。日本近海では米国だけでなく、ロシアや中国の原子力潜水艦が航行している。こうした状況に鑑み、これらの原子力潜水艦や原子力軍艦による海洋汚染や事故に対して、日本周辺海域の放射線・放射能監視体制の確立が望まれる。

東アジア地域においては、わが国を始め、韓国、中国および台湾で原子力発電が盛んで、表 2.2 に示したように約 80 基の原子力発電所が稼働し、建設計画も進んでいる。これらの原子力施設で、原子力災害やこれらの国々での核・放射性物質テロなどに伴う放射性物質による環境の汚染に対し、国境を越えて輸送される放射性雲から国民を防護するため、東アジア域から北半球程度の空間領域を視野に入れて、各国と連携しつつ早期警報の役割を果たす国際的なモニタリングネットワークの構築を模索すべきである。さらに、原子力災害や汚染事故に対する放射線防護対策および災害からの復興策を、東アジアの国々と協力して、あらかじめ策定しておくべきである。

## 2.8 まとめ

この章では、わが国とその周辺における原子力災害の可能性について幅広く調査し、その対策および研究開発の必要性を示した。わが国は世界で唯一の原子爆弾の被爆国であり、核爆発実験の被災も受けたので、その経験と調査研究の成果を原子力防災にも生かすべきである点を強調した。わが国の周辺でのロシア、米国および中国の原子力軍艦の航行等の現状とわが国を含めた東アジアでの原子力発電所の開発の現状に

ついて述べた。わが国で発生した JCO 臨界事故と原子力防災対策の現状と課題についておよび小型核兵器や放射性物質による破壊活動の問題について述べた。このような背景から、わが国および近隣諸国が放射線と原子力エネルギーの平和利用を進める際に生じる恐れのある原子力災害、原子力軍艦の寄港やその廃棄、および核・放射性物質テロなどに伴う放射性物質による環境の汚染に対し、東アジアの国々と協力してこの地域を中心とした総合的な放射線・放射能の監視システムを構築する必要がある。さらに、これらの事態に対する放射線防護対策および原子力災害からの復興策をあらかじめ策定しておくべきである。

## 第3章 放射性物質による環境汚染の予防のための環境監視

### 3.1 はじめに

原子力発電所から出る使用済燃料を再処理する施設の稼動に伴って、放出が予想される比較的寿命の長い核種としてトリチウム、炭素 14、クリプトン 85 およびヨウ素 129 がある。これらの 4 核種は、特に地球規模の汚染源となる可能性がある。再処理施設を含めた関連施設周辺での放射性物質による汚染に対する監視体制は現状で十分整っている。これに対し、回収が難しく環境に放出され、地域あるいは地球規模の汚染を起こす可能性のあるこれらの核種に対する広域の監視体制は十分とはいえない。前の章で述べたように、日本を含めた周辺諸国で、原子力発電所あるいは原子力軍艦で放射性物質の放出を伴う事故が起きた場合の広域の環境監視体制は十分とはいえない。この章では、核燃料施設周辺における環境モニタリングおよび地球規模の環境モニタリングの必要性、環境への放出量が多いトリチウムによる環境汚染の予防と対策ならびに管理が不適切な場合には被ばくと環境汚染を引き起こす可能性がある天然放射性物質の取り扱いの現状と課題について述べる。

### 3.2 核燃料施設周辺における環境モニタリング

核原料物質や核燃料物質を取り扱う施設は世界中に広く存在し、軍事目的の施設から、平和利用を目的とした核燃料の製造、使用、使用後の処理を行う施設等が含まれる。これらの施設は通常大量の放射性物質を内蔵するか取り扱っているため、施設操業に伴う環境安全の確認のため環境放射線・放射能のモニタリングが行われている。チェルノブイリ原子炉事故のような大規模な事故をはじめとして、初期の軍事用施設に見られるように、事故の結果により施設内外に重大な放射能汚染を引き起こした例がある。このような重大な事故はもちろんのこと、予期しない放射性物質の放出時における汚染の広がりをも的確に把握することも環境モニタリングの重要な使命である。老朽化に伴う施設廃止の際には汚染土壌等の環境浄化が必要となる場合もあり、環境モニタリングは浄化の必要性の判断や浄化後の確認のためにも重要である。

国内の核燃料施設周辺における環境モニタリングは、周辺住民の安全性の確認を目的として自治体によって実施されている。事業者も放出管理や施設管理も目的に加えた環境モニタリングを行っている。住民の安全を守るという観点から、周辺環境モニタリングでは放射線(能)に一定の水準を定め、それを超えるような事態に対して警告を出すことが求められる。さらに、施設の平常運転時ばかりではなく何らかの異常がある場合にも備えた監視体制が取られている。放射線量に加えて、施設から放出される可能性の高い核種濃度が監視対象とされ、それぞれに専用の手法が適用されている。

再処理施設を例に取れば、国内においては茨城県東海村に技術開発を目的とした施設があり、青森県六ヶ所村には初の商用施設が建設され、通水作動試験や化学試験を経て、劣化ウランによる試験が開始されている。この施設は年間 800 t ウランの処理能力を持ち、これは東海村の施設に比較して 4 倍の能力である。これに伴い平常運転時における一部の核種の環境中放出量が東海村より増加する。特に、トリチウム、炭素 14、クリプトン 85 およびヨウ素 129 は放出量が増加し、周辺環境においてバックグラウンドと比較して高い濃度が観測されると予測されるため、重点的な監視が必要

となる。しかし、クリプトン 85 は希ガスであり、周辺環境中に蓄積せずに移流拡散するため、周辺環境モニタリング上の技術的問題は特にない。トリチウム、炭素 14 およびヨウ素 129 については生物に取り込まれやすいため、周辺環境での蓄積や思わぬ濃縮が懸念される。東海村の再処理施設周辺においても線量評価上問題となるレベルではないものの、施設外におけるそれらの核種の存在は確認されている。様々な化学形を取りえるため、化学形別のモニタリングが要求され、それに対応する分析手法も複雑となる。

一方、環境モニタリングにおいて放出放射性核種の行方が全て明らかとなるわけではない。これは、安全性確認の目的からもその必要性は認められないためである。施設に予期しない事故があった場合、放出放射性核種分布とその動態予測に関する精度を上げ、行方を明らかにした上で、より現実的な被ばく線量評価を行うことは重要である。そのためには、環境中におけるそれらの核種の挙動を研究し、移行モデルを開発するとともに地域特異的な移行パラメータを求める必要がある。環境モニタリングのデータもこの目的のために使用することは可能である。しかし、モニタリングは住民の安全性確認の観点から行われることを考えると、必ずしも十分な精度のパラメータが得られるとは限らない。万一の事故に備えて精度の高い予測システムを用意するには、それに用いられる地域特異的なパラメータを平常運転時に放出される放射能を利用して決めておく。そのためには、通常のモニタリングの精度を超えた測定と放出核種の挙動追跡が要求される場合が多く、モニタリングに加えて環境放射能研究を行う必要がある。

例えば、施設周辺のクリプトン 85 は簡単に追跡できるため、これを利用した移流拡散モデルの検証はよく行われる。この場合には通常のモニタリングとして行われているモニタリングステーションによる測定だけでは不十分であり、広範囲で追加の試料採取を行って精度よく測定を行う必要がある。他の 3 核種についても地域特異的な移行パラメータを実地で求めることにより移行モデルの精度を上げることが可能である。それによって、施設側の放出管理の合理化につなげられる可能性も大きい。

英国のセラフィールドのウィンズケール工場やフランスのラ・アーグ再処理工場では、上記の核種以外にストロンチウム 90、セシウム 137、ルテニウム 106 およびウランやプルトニウムなどのアクチノイド元素が施設から放出されている。したがってこれらの核種の環境モニタリングも重要である。

原子力発電所や核燃料施設における万一の大規模事故の際には、事故後に環境からの放射性核種の除染を考慮しなければならない。環境中での挙動には核種の化学形が大きく影響を与える。化学形は環境からの除染を行う上でも重要な知見である。このため、環境中での放射性核種の挙動を化学形態別に明らかにし、形態に即した除染法を適用する必要がある。放射性物質についての化学形態の研究は新たな手法の導入により新展開を見せている。例えば放射光を用いた X 線吸収微細構造解析はチェルノブイリ原子炉事故によって放出されたウラン燃料の化学形態の解明に応用されている。こうした新たな手法により環境中における放射性物質の化学形態に迫るとともに、土壌を化学的に除染する手法あるいは微生物や植物を用いた手法の開発を行わなければならない。この種の手法の応用性にはやはり地域依存性があるため核燃料施設周辺

地域に適した手法の開発も必要である。

### 3.3 地球規模の環境モニタリング

#### 3.3.1 環境放射能モニタリング

放射性物質による環境汚染には、核爆発実験や原子力発電所や再処理施設における大規模な汚染から、原子力電池のような小型の放射性同位体利用装置機器による小規模汚染に至るまで、さまざまな水準の事象発生があり得る。これらの事象を適切に監視して検知するが、国民の安全を確保するうえで要求される。

#### 3.3.2 危機管理と研究

全地球規模での放射能汚染は、過去の核爆発実験とチェルノブイリ原子炉事故に由来するため、現在の環境中の放射能水準は大幅に低下している。このことを踏まえた上で、環境モニタリングを危機管理目的のモニタリングと研究目的のモニタリングにその任務分担を明確化する必要がある。危機管理では即応体制が求められ、試料を採取している現場でいち早く測定・検出することが求められる。一方研究モニタリングでは、環境における放射性核種の移行や輸送・拡散などの主要なプロセスの解析などに重点があり、データの正確性、精度が問題になる。

#### 3.3.3 危機管理モニタリングの意義と要件

原子力施設における重大な事故や核爆発実験に対応した全国・全省庁を統括した監視システム整備の促進が必要である\*。緊急時に、政策決定者である国・地方自治体の長が、時々刻々と変化する環境放射線の情報をいかに概観して、迅速に政策決定できるのかが重要である。小型核兵器や放射性物質による破壊活動に対応した監視システムや緊急時モニタリング体制を構築しておく必要もある。

一般的に環境放射線と放射能のモニタリングを考えた場合、空間ガンマ線線量率と核種モニタリングが中心となってきた。しかし、核分裂に伴って発生する中性子の監視と純アルファおよび純ベータ放射体に対するモニタリングにも留意する。さらに、国民の放射線防護にとって有効な新しい着想にもとづく研究を促進すべきである。例えば、放射性雲を人工降水によって除去して海洋表層で減衰させることは不可能であろうか。放射性ヨウ素だけでも除去できれば、放射線防護に非常に役立つ。

#### 3.3.4 研究モニタリングの意義と要件

環境中の放射性核種の長期動態に注目すべきである。長期にわたって、系統的に、気圏、水圏、土壌圏、生物圏（人体を含む）で、人工放射性核種の濃度観測を継続して監視する。各圏における物質循環と、人工放射性核種の動態はリンクしているので、各圏での物質循環の理解を伴った研究の促進が必要である。

最近の計算機技術の進展により、大気や海洋における物質輸送モデルがますます発展している。さまざまな時間・空間スケールでの物質輸送をシミュレートし、環境中に放出された放射性核種の将来分布の予測が可能となっている。物質輸送モデルの計

---

\*包括的核実験禁止条約（CTBT）の有効性を検証するため、世界的には放射性核種監視ネットワークが整備されつつある。

算を行うためには、発生源情報や濃度、計算結果検証のための時系列観測データが必要不可欠である。気象研究所の海洋放射能のデータベース（HAM）と全球降下量データベース（IGFD）や、日本分析センターの環境放射線データベースなど、種々のデータベースの利便性を向上させる必要がある。

長期的なモニタリングに取り組むためには、環境標準物質の整備による放射能測定トレーサビリティ確保、難分析核種の測定法開発とマニュアルの整備、極低レベル放射能測定施設の整備・拡充など、基礎的な技術力の維持が必要である。

### 3.3.5 技術を開発すべき項目

危機管理および研究モニタリングのいずれにおいても、有用なデータを得るにはモニタリング技術の移転と向上に努める必要がある。クリプトン 85（気象研究所）、塩素 36（筑波大学）、ネプツニウム 237（金沢大学）、テクネチウム 99（放射線医学総合研究所）、ヨウ素 129（放射線医学総合研究所・核燃料サイクル開発機構）測定技術など、括弧内に示すような特定機関あるいはごく少数の機関しか保持していない分析が困難な核種の測定技術を他機関へ積極的に移転することと、わが国では金沢大学にしかない極低バックグラウンド施設の充実と全国共同利用を図る必要がある。

核燃料再処理、廃棄物処理処分、核融合などに起因するトリチウム、炭素 14 を始めとする、易移動性で被ばく線量の観点から重要な核種については、より簡便、高感度、迅速な測定技術の開発を推進すべきである。

ICP 質量分析や加速器質量分析など、より高感度で迅速な分析技術の開発を推進する必要がある。マイクロチップ分析など、従来の発想に捉われない新規技術によって、分析のダウンサイジングや軽量化を図るべきである。

わが国では、自動化された低レベル大気放射能観測機器の開発・普及が遅れている。自らで観測機器を積極的に研究開発し、危機管理対応監視と物質循環研究で活用すべきである。ハード・ソフト両面の国際標準の技術を確立して、他の国に提示することが望まれる。さらに、わが国では、ゲルマニウム半導体検出器を結晶から製造する製作会社が不在である。放射線測定の基盤となるべき機器や技術は国産とするのが望ましい。製造技術がすでに失われた検出器があり国による何らかの保護施策も必要といえる。

### 3.3.6 大気環境における研究課題

大気環境部門で重点化すべき研究対象としては、再浮遊現象、ラドン（ $^{222}\text{Rn}$ ）壊変生成物による高ガンマ線線量率事象およびラドン放出率地図作製とラドン観測のような課題がある。

大気中に放出された放射性核種が降水・降下塵とともに一たん地表に沈着した後、再度、大気中に浮遊する現象を再浮遊現象という。現在の大気中粒子状人工放射性核種のバックグラウンドは、この再浮遊過程に支配されている。近年、地方自治体における監視によって、春先にセシウム 137 の検出が相次いでいる。原子力施設等に異常が見られないことから、自治体等ではこの「異常値」の説明を求められており、原因解明が必要である。

近年、福島県（2002年10月）および茨城県（2003年12月）において、降雨時または降雪時に、原子力施設および周辺に設置されたモニタリングポストで、 $100\text{nGy}\cdot\text{h}^{-1}$ を超える異常な空間ガンマ線線量率の上昇が観測された。ラドンの壊変生成物が大気中から降雨によって除去され、地表面に沈着することで、空間線量率が上昇することは知られている。上記の例はこれまで観測されている変動量を超えており、このような高ガンマ線量率事象の発生メカニズムは明確には分かっていない。原子力施設周辺において、環境放射能監視の観点から自然現象と人為的原因との識別は重要である。

ラドン壊変生成物による高ガンマ線量率事象に関連する3次元拡散・輸送モデルによる計算においても、初期値と検証データが必要である。このためには、ラドンの放出率地図とラドン濃度観測が一定の密度で、東アジア地域で行われる必要がある。

### 3.3.7 海洋環境における研究課題

日本における海洋放射能研究は1954年のビキニの水爆実験とそれに伴う海洋放射能汚染を契機にして始まった。海洋汚染の実態把握および海洋生物への影響を目的としていた。供給量が最大だった時期から約40年が経過した現時点では、セシウム137やプルトニウムはともに200mから数百mの深さに、表面での2-10倍大きい極大濃度を持つ鉛直分布を示す。ロンドン条約で放射性廃棄物の海洋投棄が禁止された後、海洋放射能研究は比較的小規模で続けられた。2.3.3で述べたように、1993年ロシアによる放射性廃棄物の日本海への投棄の実態が明らかになると、日本海を中心に日本海周辺国も含み組織的な海洋放射能汚染の実態把握の研究が再開された。この研究は、IAEAモナコ海洋環境研究所を主体とした世界海洋放射能研究に発展した。

海洋は基本的に諸外国と繋がっており、大規模な海洋放射能汚染の影響は一国に留まらない。海洋法などで経済水域等が決まっており、海洋放射能汚染のような微妙な問題については、自由に他国の経済水域で海洋調査ができない。したがって、大規模な海洋汚染が起きた場合、あるいは可能性がある場合には、関係国との国際協同調査が必要となる。海洋放射能の国際監視については、バックグランド調査と海洋汚染の可能性のある事象の調査にわけ、前者については、世界海洋循環実験(WOCE)などの大規模な海洋観測研究にあわせて実施する。

従来、海水中の放射能測定には、一検体あたり、100-500リットルの多量の試料量が必要であった。しかし、最近の放射能測定技術や高感度質量分析器の進歩により、必要試料量が減少している。したがって、精密な放射能の分布を描ける可能性がうまれて、海洋放射能のトレーサとしての利用の可能性も広がっている。

### 3.3.8 環境放射線防護

ヨーロッパを中心に、ヒト以外の環境についても放射線防護の必要性が語られるようになった。国際放射線防護委員会(ICRP)は、ICRP91報告書として、「ヒト以外の種に対する電離放射線の影響評価のための枠組み」をまとめた。わが国においても、このような環境防護に対しての研究の取り組みが求められている。わが国を含む東アジア域における生態系全体の中で、放射線影響を蒙る感受性の高い種をスクリーニングしていく。特定種の減少が、生態系全体に及ぼす影響についても研究する。他方、

気候変動によって引き起こされる水循環の変動や、農業生態系の変動は、食糧問題に直結している。そのために気候変動による影響に加えて、放射能汚染が農業生態系に特に打撃を及ぼす事態が想定できるならば、この点について検討する必要がある。単に生態系を放射線から防護するという理念的・観念的な発想ではなく、より切実な食糧問題が発生するか否かを追求することが、今後の研究の発展を考慮する上では、重要である。

### 3.4 トリチウムによる環境汚染の予防と対策

国連科学委員会報告(UNSCEAR)によれば、大気中で宇宙線との核反応により窒素および酸素から生成される地球上でのトリチウム賦存量は  $1.3 \times 10^6 \text{TBq}$  (生成率:  $3.7 \times 10^4 \text{TBq} \cdot \text{y}^{-1}$ ) であり、その分布量比率は、成層圏 6.8%、対流圏 0.4%、陸上生態圏 27%、海洋混合層 35%、海洋深層 30%と報告されている。他方、核爆発実験によるトリチウムの環境への放出量は上述した宇宙線起源よりも多く、1950年代以降  $2.4 \times 10^8 \text{TBq}$ と評価されている。減衰により今後数十年以内には宇宙線起源の賦存量と同レベルになると推定される。これにより人類に大きな放射線影響が及ぼされる恐れはない。このような核爆発実験による環境への放出量を考えれば、単一の原子力施設からの放出割合はわずかである。再処理施設および今世紀にも稼働が期待される熱核融合炉を含めて、全ての原子力施設からの気体および液体として環境へ放出される率は今後増加することが予想される。実際、UNSCEARに集計された全世界の原子力発電所から環境中へのトリチウム放出率は、気体  $4.2 \times 10^3 \text{TBq} \cdot \text{y}^{-1}$  および液体  $8.8 \times 10^3 \text{TBq} \cdot \text{y}^{-1}$  である。その内、わが国の寄与は気体として 0.88%、液体として 3.8%であった。EUは、主に英、仏両国の再処理施設から、1997年には気体  $1.2 \times 10^4 \text{TBq} \cdot \text{y}^{-1}$  および液体  $1.3 \times 10^5 \text{TBq} \cdot \text{y}^{-1}$  であった。これは宇宙線による生成率よりも大きくなっている。わが国では最近劣化ウランによる試験の始まった青森県六ヶ所再処理施設では、安全審査・認可ベースとして、気体  $1.9 \times 10^3 \text{TBq} \cdot \text{y}^{-1}$  および液体  $1.8 \times 10^4 \text{TBq} \cdot \text{y}^{-1}$  が放出限度として設定されている。熱出力 5GWの核融合炉では1日に  $10^5 \text{TBq}$  程度のトリチウムを取り扱うことが計画されている。その隔離性能が環境へのトリチウム放出に大きく影響する。従来、一般環境中の大気、河川、植物等、野外環境でのトリチウムに関する研究は多く報告されている。しかし、実際の取扱・放出施設近傍における放出量と動態に関する情報は極めて限られている。そこで既設の施設において、“As Low As Reasonably Achievable (ALARA)”の観点から作業員や周辺の一般公衆に対して無駄な被ばくを低減するために、放出源評価並びに周辺環境におけるトリチウムの動態を究明することは今後の重要な研究課題である。

前述したように、人工起源のトリチウムのうち、原子力発電所の平常時運転に伴う放出は少ない。他方、トリチウムを生産する重水炉や核融合実験施設から、過去において  $10^3 \sim 10^4 \text{TBq}$  のトリチウムが、気体もしくは水蒸気態としてスタックから異常に放出された事例が欧米諸国において報告されている。しかしながら、いずれの事例も尿中濃度やモニタリング結果によれば、最大の被ばく線量は高々気体で数  $\mu \text{Sv}$ 、水蒸気で  $20 \mu \text{Sv}$  と評価されている。この結果はトリチウムの事故的な大量放出に対して、環境および人体への影響がそれ程大きくないことを示唆している。この評価が妥当で

あれば、ゼロリリースを指向する研究の重要度は経済的側面から低くなる。他方、その評価が妥当でない、もしくは不明なパラメータにより結果が大きく影響されるならば、それに関連した研究を優先することが重要である。このような研究に関しては1980年代以後、文部省科学研究費補助金により精力的に実施され、その成果報告(トリチウム資料集・1988、核融合特別研究総合総括班事業)も作成されている。したがって、このような放出量と被ばく線量が示されている事例について、科学的にその妥当性を明らかにする研究が必要である。1990年代以後の研究の進展・総括も、単なる現象解明を累積することのみに留まらず、今後の問題点・研究の意義・必要性をこのような実証的観点から明確にすることが望まれる。

トリチウムの異常放出ではなく、原子力施設の平常時稼働による慢性的な環境汚染の解明とそれによる被ばく線量評価は必ずしも十分に実施されてきたとはいえない。この背景には、わが国の核アレルギーから施設起因の放出量を社会に公開する姿勢が消極的であったことにもよる。今後、単なる野外モニタリングの結果だけでなく、放出量やその施設内での発生源と動態などについても詳細に検討し、トリチウムによる被ばく線量評価結果と共に社会に公表することが公衆の理解を得るためや環境教育の観点からも望まれる。長期放出による慢性的な野外環境の汚染レベルに関しては、わが国の原子力発電施設や再処理施設において  $1\text{TBq}\cdot\text{y}^{-1}$  以上の大気への放出があれば、雨水、土壌水、植生などの環境試料水中トリチウムの濃度は濃縮操作なしにバックグラウンドと有意な値が検出される。個々の立地条件や放出量により環境中濃度が異なるため、これらの関連情報を累積することが、わが国におけるスケールアップされた再処理施設稼働後の環境汚染と被ばく線量評価の観点からも重要である。近年、韓国などの重水炉においては、 $10^2\text{TBq}\cdot\text{y}^{-1}$  以上の大気への放出に対して詳細な環境モニタリングが実施されており、今後、共同研究や情報交換を実施するシステムを構築することも有益である。

米国の低レベルの浅地層放射性廃棄物処分場において、その地下水が  $10^7\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$  オーダのトリチウムに汚染されていたこと、カナダで汚染した地下水からトリチウムが地表に拡散して環境が慢性的に汚染されていたことなどが報告されている。しかしながら、わが国では、低レベルといえども管理された状態で放射性廃棄物が処分されていることから、上述したような処分場近傍環境におけるトリチウム汚染の恐れは少ない。六ヶ所村の再処理施設においても、その稼働前に施設内外におけるトリチウムのバックグラウンドを把握しておくことはもちろんのこと、その取扱・管理・回収・重水精製・モニタリングなどについては既存の再処理施設および稼働が停止された重水炉施設において得られてきた知見を十分に検討し、トリチウムの放射線安全を確保することが放出量を低減し、環境汚染の予防にも反映される。

核融合炉に関連したトリチウムの放射線安全に関しては、元素状や水蒸気状の形態以外に、有機形態もしくは粒子状としてのトリチウムの生成も考えられている。燃料として大量に使用されるトリチウムが、燃焼システム系内外に分布し、それらの隔離・回収の工学的システムを通過した成分が、格納建家に漏洩して環境に放出される。ここで核融合炉に特有な系は燃焼システム系内であり、それ以後の環境への移行と動態および人体への影響評価法は既設の施設からのシナリオと類似している。このよう

な、特に燃焼システム系内外におけるトリチウム賦存量評価については今後の研究課題である。人体に対する被ばく線量は、元素状と水蒸気状トリチウムの存在割合の評価精度に応じて算定可能である。

トリチウムによる被ばく線量は、摂取量が明らかであれば人体臓器や年齢差の相違まで考慮した精度で評価可能な手法が確立されている。しかし、摂取量の評価精度は環境での動態の複雑さから、かならずしも高いとはいえない。したがって、研究用原子炉と発電用原子炉を含めてトリチウムの発生源を有する既存の施設はその情報を積極的に開示し、放出量と被ばく低減の安全対策に資する知識・知恵を累積していくことが長期的観点から重要である。

### 3.5 天然放射性物質の取り扱いの現状と課題

現在、放射線審議会<sup>(1)</sup>ではIAEAが策定した国際基本安全基準（BSS115）と安全指針（RS-G-1.7）にしたがって、天然放射性物質（NORM）も法体系に組み込む作業が進められている。「除外、行為および介入」の考え方や対応のための線量の目安／基準は、放射性物質による汚染の予防や回復を議論する場合と本質的に同じである。

#### 3.5.1 産業利用

通常は放射性物質とみなされないが、規制当局によって特に指定された有意の量の天然放射性同位元素を含む物質の取り扱いと貯蔵をする作業などは規制対象とする必要がある。国内における天然放射性物質の利用実態調査から、産業利用されている鉱石類のうち、比較的天然放射性物質の濃度が高いモナザイト、リン鉱石、チタン鉱石、バストネサイト、ジルコンおよび輸入量が多い石炭並びに金属単体としての濃度がBSS免除レベルを超える酸化サマリウムが検討されている。代表的な例としてリン鉱石を取り上げる。堆積性リン鉱石はウラン 238 を  $1500\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、火成岩性リン鉱石はウラン 238 を  $70\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  含有している。リン鉱石の工場付近の大気中放射能濃度はウラン 238 が約  $700\mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  存在している。リン鉱石産業で発生する副産物の石膏中にはラジウム 226 約  $900\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  が存在し、廃棄物のケイ酸カルシウムスラッグの表面では  $0.07\sim 0.21\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$  の放射線線量率である。産業では取扱量が膨大であるので、貯蔵や作業環境の規制だけでなく、発生する産業廃棄物の処理処分についても規制をする必要がある。

#### 3.5.2 一般消費財

モナザイトサンドなどの天然放射性物質を利用した一般消費財<sup>(2)</sup>としては、健康関連商品のふとん、まくら、肌着、空気清浄機、家庭用温泉器、イオン水、塗料および自動車用触媒等が販売されている。天然放射性物質を比較的多量に含む原料および材料を利用している一般消費財としては、セラミック、ガラス製品、合金、顔料、ガスマントル等が存在している。これらの消費財に対してはBSSの免除レベルを適用し、超える消費財は型式承認等の制度で対応すべきである。

#### 3.5.3 身元不明線源の原因

金属スクラップ等に混入した身元不明線源が時々発見されて、新聞などで問題として取り上げられている。国外では死者の事例も報告されている。これらの事故は放射線源の管理を厳格に行えば防ぐことが可能である。天然放射性物質を利用した一般消費財でも社会的な混乱が起きる可能性がある<sup>(3)</sup>。2001年3月30日、仙台市環境局今泉工場で放射性物質が発見されたとの連絡が仙台消防局に入り、約5mの警戒区域を設けた。現物の表面で $7.6 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ の被ばく線量率があった。調査の結果、家庭用のラドン温泉器と判明した。また2001年7月6日に大分エコセンター(株)から大分県警にゲ-トモニタの警報が鳴ったために返品されたとの連絡が入った。物品は金属パイプ状でその中心部表面で線量率は約 $10 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ であった。放射線測定の結果、 $176\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ のトリウム232が111g装備されていた。自動車用触媒のアースキーパと判明した。これらの事例からもわかるように、天然放射性物質を利用した消費財が廃棄された場合、社会的混乱が起きる可能性があるため、ある程度の規制は必要である。

#### 参考文献

- (1) 放射線審議会基本部会、自然放射性物質の規制免除について、平成15年10月。
- (2) 日本保健物理学会、人為的に高められた環境放射線専門研究会報告、2003年1月。
- (3) 日本保健物理学会、身元不明線源問題検討委員会報告書、2002年3月。

### 3.6 まとめ

この章では、原子力施設周辺特に再処理施設周辺における環境モニタリングの重要性と課題、地球規模の環境モニタリングにおける危機管理モニタリングと研究モニタリングの役割分担の明確化、将来の核融合炉を含めた原子力施設から環境への放出量が大いトリチウムによる環境汚染の予防と対策および天然放射性物質の取り扱いの現状と課題について述べた。再処理施設の稼働に伴って放出が予想されるトリチウム、炭素14、クリプトン85およびヨウ素129の核種は特に地球規模の汚染源となる可能性がある。これらの核種は、回収が難しく環境に放出されると、地域あるいは地球規模の汚染を起こす可能性があるため、放出源近傍環境の監視を強化するとともに、広域の環境監視体制を確立する。さらに、環境中の挙動および影響評価のための精度の高い研究を指向する。なお、商用再処理施設の稼働が近いことから、これに関連する上記核種の監視の強化と影響評価を重点的に提言に盛り込む。

## 第4章 原子力発電で発生する放射性物質による環境汚染の予防

### 4.1 はじめに

原子炉の運転に伴って発生する放射性廃棄物の処分や原子力施設の廃止措置に伴う汚染物質の処理は十分な方策がとられている。しかし、それらを安全に処理処分するためには、社会に受け入れられる技術の確立とそれらの処分された廃棄物中の放射性物質による長期にわたる環境汚染の予防に関する基礎研究が必要である。これと並行して、核変換処理による長寿命放射性物質の消滅処理技術の確立を目指した研究開発を進めておくべきである。この章では、放射性廃棄物処分の安全確保の考え方、放射性物質の地層処分技術、ウラン廃棄物の環境汚染の予防、原子力施設の廃止措置に伴う環境修復技術および核変換処理による長寿命放射性物質の消滅処理技術について述べる。

### 4.2 放射性廃棄物処分の安全確保の考え方

原子力発電所や再処理施設の稼働に伴って放射性廃棄物が発生する。例えば、原子炉の場合は運転中に放出される気体廃棄物があり、原子炉冷却材中には、いずれも微量ながら原子燃料に由来する微量のウランと中性子の反応により生成する核分裂生成物および原子炉材料の腐食物が中性子と反応して生成する放射性物質が存在する。施設の維持管理に伴う交換部品、それらの作業時に使用されるウェス、工具等、作業者の着用した衣類なども低レベル放射性廃棄物となる。

原子力施設がその使命を終了し、廃止措置の段階に至り、施設の解体撤去が行われる場合、多量の放射性廃棄物が発生する。放射能レベルの極めて低い放射性廃棄物も存在することから、放射線防護上、その影響を無視できるレベルを基準として設定されるクリアランスレベルを用い、そのレベル以下である場合は一般の廃棄物として処分することが考えられている。

放射性廃棄物の管理は、処理と処分に大別される。ここで言う「処理」とは蒸発濃縮、焼却、圧縮などの方法による減容とセメントなどによる固化を行い、人間の生活環境から隔離する「処分」に適した形態にすることを言う。

放射性廃棄物の処分は地表から数メートルの深さのトレンチ、あるいはコンクリートピットに埋設する浅地中処分、および 50m から 100m の深さに埋設する余裕深度処分と数百メートル以上の深さに埋設する地層処分がある。浅地中処分はほとんどの低レベル廃棄物に適用される。浅地中処分においては一定の期間、居住、井戸の掘削などを制限する制度的管理を行う。この期間中に放射性核種は減衰し、管理期間終了時においては、一般公衆に有意な被ばくを与えないように管理される。地層処分は使用済燃料の再処理に伴って発生する高レベル放射性廃棄物、または低レベル廃棄物であっても極めて半減期の長い放射性核種を含む廃棄物、例えば、超ウラン核種を含む廃棄物（TRU 廃棄物）のうち、定められた濃度を超えるものに適用される。地層処分は半減期の長い放射性核種を含む放射性廃棄物を対象としていることから、原則として、制度的管理のような人為的な制度に依存することなく、安全が確保されるように深い、安定な地層に埋設し、長期間の安全確保を確実なものとする。

放射性廃棄物処分の安全確保は処分場に埋設処分された放射性廃棄物中の放射性

核種が長い年月の間に地下水等によって人間環境に移行し、その結果、人に有意な影響を与えることを防止することにある。人に対する放射線の影響については国際放射線防護委員会（ICRP）がその防護レベルについて勧告しており、各国はこれを基本として放射線防護体系を構築している。日本においても原子炉等規制法および放射線障害防止法により、放射性廃棄物処分に関わる安全規制が行われている。

放射性廃棄物処分における安全確保は、埋設処分された放射性廃棄物からの放射性核種による一般公衆の被ばくについて安全評価を行い、その結果が上記の法令等に定められた基準を下回ることを示すことによって行われる。このため、安全評価においては、十分な信頼性のあるモデル、パラメータ等を用いる必要がある。地層処分においては1万年から10万年にわたる期間を評価する必要があり、このような超長期にわたる評価においては不確実性についても考慮することが要求されている。

気体廃棄物、液体廃棄物のように、自然環境において拡散、希釈される性質の廃棄物は一定の条件の下に放出することが認められている。このための濃度は核種、化学形ごとに法令で定められており、放出に際しては測定し、確認することが求められている。

自然環境における拡散、希釈が期待できない固体状の放射性廃棄物で極めて放射能レベルの低い廃棄物については、法律による規制から外し、一般的な廃棄物として取り扱うというクリアランスの考え方がある。今後、発電用原子炉の廃止措置などに際して必要とされる廃棄物管理の方法である。これに際しても安全評価により、一般公衆の被ばく線量が基準を下回ることを示す必要がある。クリアランスの基準としては国際的に $10 \mu\text{Sv}\cdot\text{y}^{-1}$ の値が用いられている。この値はクリアランスによる個人の放射線リスクが規制上、重要でないほど十分に小さいこと、総合的な放射線影響が十分に小さく、ほとんどの状況において規制当局による管理が容認されないこと、クリアランスという行為が本来、安全であり、前記二つの基準に合致しないかもしれないようなシナリオになる多少の可能性もないことなどから決定されている。

#### 4.3 放射性物質の地層処分技術

わが国の原子力発電所の運転により生じた使用済燃料は、国内のほかにフランスとイギリスで再処理が行われている。両国での再処理に伴って発生する高レベル放射性廃棄物はガラス固化された後に、専用船でわが国に返還される。2002年末現在、国内分を含めて約750本が貯蔵管理されており、原子力発電により発生した使用済燃料から換算したガラス固化体の量は約16,000本に相当する。2020年末で、その発生相当量は約40,000本と見積もられている。

高レベル放射性廃棄物は初期に放射能レベルが高く、その後減衰するものの長期にわたって潜在的な危険性が残る。そのため、ガラス固化体を長期にわたって人間と環境から安全に隔離する必要がある。ガラス固化体から発生する熱が大きい初期の30年から50年の間は貯蔵管理を行う。実際に、返還されたガラス固化体は日本原燃(株)の青森県六ヶ所村に建設された高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センターで貯蔵されている。貯蔵管理後、地層処分が予定されている。

ガラス固化された高レベル放射性廃棄物は、これまでに人類が経験したことのない

時間スケールで安全に管理する必要がある。将来の不確実性を考慮して、現実的で実現可能な技術的解決策として、安定な環境である深地層の利用があげられる。管理の方法としても、受動的な安全系を採用すれば長期間の安全性が担保可能である。論理的な視点からも、将来の世代が過度の負担を負わないように配慮する必要がある。世代内の負担の公平性を担保するには、問題解決のための適切な資源配分や公平かつ公開性のある意思決定プロセスを要する。

わが国の地層処分の研究は 1976 年に動力炉核燃料開発事業団において開始された。1992 年には地層処分の技術的可能性についての研究成果の第 1 次取りまとめが行われ、1999 年に地層処分の技術的信頼性についての研究成果の第 2 次取りまとめが行われた。原子力委員会の原子力バックエンド対策専門部会の活動報告に沿って、2000 年に処分事業を行う原子力発電環境整備機構が設立された。2010 年ごろに処分地選定を開始し、2020 年までに最終処分建設地の選定を行う予定である。2030 年までに事業許可申請を行い、2035 年ごろまでには建設・操業を開始する予定である。

地層処分システムが備えるべき固有の安全性を確保するためには、適切な地質環境の選定を行い、選定された地質環境に対して人工バリアや処分施設を適切に設計・施工する。地層処分にとって適切な地質環境を選定するには、地層処分場としての長期間にわたる安定性の確認と天然バリアとしての地盤や地下水の性質に関する適正の確認を行う。これらの確認を行うには、火山・火成活動および地震・断層活動などの天然現象の過去から現在までの活動履歴の追跡と地質環境特性を調べるためのボーリング調査を行う。ガラス固化体のオーバーバックの寿命は 1000 年程度と見積もられているので、緩衝材等の人工バリアの性能確認も要する。地層処分場としては、内陸部の場合は深度 1000m、面積約 3km × 約 2km、沿岸部の場合は深度 500m、面積約 3.5km × 約 1.5km が想定されている。

地層処分システムは、通常の工学システムと異なり、対象とする数万年以上の期間と数 km<sup>2</sup> × 300m 以深の空間領域にわたっているため、そのシステムの安全機能を直接確認することは困難である。それ故、「予測評価」による安全性の確認が行われる。将来起きる可能性のあるシナリオに基づき予測解析を行う。長期間の予測に伴う不確実性も考慮に入れる。評価対象としては、地層処分した高レベル放射性廃棄物による人間とその環境への影響、人間が近づくあるいは放射性物質が人間の生活環境へ運ばれる可能性の評価、および放射線の被ばく線量等である。

処分事業を進めるには、段階的な意思決定と信頼性の構築が求められる。特に、地層処分の安全性に対する信頼と処分事業への信頼を得る必要がある。安全評価の信頼性を高めるためには、ナチュラルアナログや天然放射性核種の実測値との比較などの多面的な推論、地層処分の安全に関する不確実性に対する多重バリアシステムの冗長性や工学的対策等が必要である。残された課題と解決方法も提示する。このような手順で、利害関係者の信頼性を獲得し、段階的な意思決定により慎重に計画を推進する。

#### 4.4 ウラン廃棄物による環境汚染の予防

原子力発電所のウラン燃料は、ウラン鉱石から、製錬、転換、濃縮、再転換、整形加工という工程で製造される。これらの工程を行う施設の運転・解体に伴いウランを

含んだ放射性廃棄物が発生する。これらの放射性廃棄物をウラン廃棄物という。他の放射性廃棄物と比較すると次のような特徴がある。

- (1) 放射性核種濃度は比較的 low、特にベータ線やガンマ線を放出する核種の濃度は低い。
- (2) ウランは半減期が長く時間の経過による放射能の低減が期待できない。例えば、ウラン 238 の半減期は約 45 億年と極めて長い。
- (3) 精製されたウランについては子孫核種の生成と累積によって放射能濃度が 1,000 年程度経過すると徐々に増大し、数十万年でピークになる。
- (4) 気体状の子孫核種であるラドンが生成し、条件によっては有意な被ばく線量を与える可能性がある。
- (5) 濃度および存在する量によってはウランの放射線以外の因子、例えば重金属としての性質による影響が問題となる可能性がある。

ウラン廃棄物による環境影響を検討する際に重要な点は、天然中にウランが存在し、それに起因する自然放射線による被ばくを公衆が受けている点である。ウラン核種の一つであるウラン 238 の土壌中の平均的な濃度は  $40\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  である。ウラン 238 系列に起因する自然放射線による平均的な年間実効線量は体外被ばく、体内被ばくを合計して  $1.3\text{mSv}\cdot\text{y}^{-1}$  と評価されている。

ウラン廃棄物の処理処分の基本的考え方は、以前原子力委員会において検討された<sup>(1)</sup>。そこではウラン廃棄物による環境汚染を防止する対策が上述したウラン廃棄物の特徴を踏まえて検討されている。それによるとウラン廃棄物はその放射性核種濃度によって、クリアランスレベルの対象となる廃棄物、トレンチ処分やピット処分のような浅地中処分の対象となる廃棄物、あるいは放射能濃度が高い廃棄物については地下 50-100m の一般の土地利用には使われない安定な地層中に設けた埋設場での処分(余裕深度処分)として対応できることが示されている。このような処分の安全評価は処分後の放射性核種の移行を表すシナリオに基づき行われる。シナリオはモデルとデータにより構成される。今後ウランおよび子孫核種の環境中での挙動や、人間への取り込みに関するデータベースの整備が必要である。適切な除染が行われウラン燃料として再利用されると、処分される廃棄物の量および濃度が減少することより、環境負荷が低減する。このため効率的な除染法の確立が重要である。さらに、処分方法の選別はその放射能濃度によって行われることから、特に低レベルのウラン濃度を効率よく測定する技術の開発が必要になる。

放射性廃棄物処分後の安全評価は推定される被ばく線量を線量基準と比較しつつ行われるため、放射線防護基準をどのように設定するかが重要になる。原子力安全委員会においてまとめられた「放射性廃棄物処分の安全規制における共通的な重要事項について」<sup>(2)</sup>によると、検討の方向性として、諸外国の例を参考にしつつ、わが国の国情を踏まえて、放射線防護にかかる安全規制上の要件を定めることが適当と述べている。通常シナリオに対する拘束値については諸外国では  $0.1\text{-}0.25\text{mSv}\cdot\text{y}^{-1}$  を採用し

ている国が多い。ウラン廃棄物については天然中にウランが存在し、それおよび子孫核種による自然放射線により被ばくしていることに留意しつつ適切な線量基準を早急に設定する必要がある。

#### 参考文献

- (1) 原子力委員会、「ウラン廃棄物処理処分の基本的考え方について」、平成 12 年 12 月 14 日。
- (2) 原子力安全委員会、「放射性廃棄物処分の安全規制における共通的な重要事項について」、平成 16 年 5 月 10 日。

### 4.5 原子力施設の廃止措置に伴う環境保全技術

世界各国で 430 基以上の商業用原子力発電所が稼働している。これらの中にもその使命が終了し運転を停止したもの、経済的な理由や事故等で運転を停止せざる得なくなったもの等、廃止措置が必要であるかすでに廃止措置を終了した施設が幾つか存在している。他方、旧ソ連邦の崩壊後、核兵器の製造に関係した幾つかの施設が不要になるとともに、原子力発電から撤退する国もあり、閉鎖された原子力施設の廃止措置は世界的な課題である。

わが国では、日本原子力研究所のJPDR (Japan Power Demonstration Reactor) がすでに廃止措置を終了した<sup>(1)</sup>。その後、わが国初の商業用原子力発電所である東海発電所 (ガス冷却炉) が 1998 年、新型転換炉原型炉ふげんは 2003 年に停止し、それぞれ廃止措置作業や廃止措置準備作業が進められている<sup>(2)(3)</sup>。人形峠のウラン濃縮関連施設も運転が終了し、廃止措置準備段階にあり、幾つかの研究用原子炉の廃止措置が進められている。

現在、わが国では 52 基の原子力発電所が稼働している。2010 年になると運転開始後 30 年を超える施設は 10 基を超える。さらに、運転を終了する研究開発用原子力施設も増加することが予想される。運転を終了した原子力施設の解体に伴う放射性物質の環境への影響を抑制し、安全かつ合理的な廃止措置を進めることが重要であり、適切な環境保全技術開発を進める必要がある。

#### 4.5.1 廃止措置に伴う環境保全技術

商業用原子力発電所や再処理施設等の大型原子力施設は、内蔵放射能レベルが高いこと、解体物の減容のみでなく解体工事の 2 次廃棄物も含む放射性廃棄物の低減 (解体工事の 2 次廃棄物の抑制も含む) が必要なこと、様々な核種により汚染された機器構造物が存在すること等の特徴がある。それゆえ、これまでに研究開発用原子力施設の解体作業等で実地適用された技術や経験に基づいて、さらなる技術開発を進め、安全で合理的な廃止措置を実現することが求められている。廃止措置に必要な代表的な技術として、計画作成・計画評価、除染・解体、プロジェクト管理、放射性廃棄物の処理処分等がある。このうち、計画作成・計画評価技術には残存放射能の評価、解体する機器や構造物に関する情報の取得、作業計画、費用や安全性の評価、環境影響評価等が含まれる。除染・解体技術は解体作業時の作業員の被ばく低減、作業の効率化、

環境に及ぼす影響の低減等を図ることを目的にし、遠隔操作技術や系統除染技術が含まれる。プロジェクト管理技術は解体プロジェクトを安全性、経済性、地域社会との協調等、様々な観点から検討し、最適な実施を図るためのシステム工学や作業中における作業員や放射線の管理技術等が含まれる。他方、原子力施設の解体作業からは、比較的短期間に多量の放射性廃棄物が発生することから、これらの合理的な処理処分に関する検討が必要である。

#### 4.5.2 動力試験炉の廃止措置

日本原子力研究所では、解体技術の開発と実証および解体作業の経験とデータ取得を主な目的として、動力試験炉（JPDR）の解体撤去作業が1986年から1996年にかけて行われた。施設の解体に先立って、システムエンジニアリング、除染技術、遠隔操作技術、解体技術、内蔵放射能評価技術等の広範囲にわたる技術開発が行われた。解体実地試験では、開発した水中プラズマアーク切断や水中アークソー切断により炉内構造物や原子炉圧力容器の遠隔解体が行われ、開発技術の有効性が実証された。解体作業では24,400トンの廃棄物が発生し、1,660トンの放射性廃棄物は保管廃棄施設で保管し、約1,670トンの極低レベルコンクリートは敷地内の廃棄物埋設実地試験に供された。作業員の集団被ばく線量は約0.3人・Svであった。施設の解体後、跡地は更地に整備されている。

#### 4.5.3 主要な課題

わが国においては、JPDRの解体作業が問題なく完了したことにより、原子力発電所を安全に解体撤去できることが実証され、商業用原子力発電所等の大型原子力施設も同様に安全に解体撤去できると考えられる。しかし、上述した各種技術の開発・改良を進め、より安全で合理的な廃止措置を実現し、放射性廃棄物量の低減を含め、バックエンド対策費用の削減を図ることも必要である。他方、原子力施設の解体作業からは、短期間に多量の放射性廃棄物が発生することが予想されるため、廃棄物の処理処分を安全で合理的に進めることが重要な課題である。解体作業で発生するTRUおよびウラン廃棄物を含む放射性廃棄物の処分や再利用の方法についても幾つかの課題が残っている。解体から生じる廃棄物の中には十分に再利用・再使用が可能な機器やコンクリート片等があり、その有効利用の道を開く必要がある。現在、クリアランス制度や原子力施設の廃止措置規制の整備が進められようとしている<sup>(4)(5)</sup>。特に、解体廃棄物に関しては、クリアランス検認技術を早期に確立してクリアランス制度の実用化を目指すことが必要であり、クリアランス物の再利用の早期社会定着を促す具体的な施策を示すことが重要である。なお、クリアランスレベルの導入が、現状の原子力施設周辺で行われている環境モニタリングに及ぼす影響についても考慮する必要がある。

他方、商業用原子力発電所においては、電気料金に上乗せする方式で解体廃棄物の処理処分を含めて廃止措置費用を確保する原子力発電解体引当金が制度化されている。核燃料加工施設等については現在その具体的な方策についての検討が進められている。一方、大学や公的な原子力研究機関では、運転を停止した原子力施設の廃止措

置や放射性廃棄物の処理処分については、発生者責任の考え方の下で、所要の資金を確保して実施していく必要があり、資金の確保についての対策が必要となってきた。

#### 4.5.4 今後の進め方

使命を終えた原子力施設は適宜廃止措置を行い、その跡地の有効利用を図る必要がある。これまでに、日本原子力研究所、核燃料サイクル開発機構、原子力発電技術機構等により廃止措置の技術開発が進められた。原子力施設の廃止措置は安全を確保しつつ合理的に行うことおよび技術の継承や必要な技術開発を適宜行うことが必要である。一般産業と同様に解体物の有効利用は、環境負荷の低減という観点からも促進していくことが重要である。

今後、使命を終える原子力施設が増加していく中で、原子力に関する環境保全の一つとして、運転を終了した原子力施設の確実な廃止措置、解体等で発生する機器や物の有効利用、放射性廃棄物の合理的な処理処分等に係る課題を総合的に検討することが必要な時期に来ている。

#### 参考文献

- (1) 宮坂靖彦ほか、J P D R 解体実地試験の概要と成果、原子力誌、**38**、553、(1996)。
- (2) 原電ホームページ、東海発電所の新たな役割(廃止措置)、  
<http://www.japc.co.jp/haishi/>。
- (3) サイクル機構ホームページ、ふげん発電所の廃止措置について、  
<http://www.jnc.go.jp/zfugen/index.html>。
- (4) 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会廃棄物安全小委員会、原子力施設におけるクリアランス制度の整備について、平成 16 年 9 月。
- (5) 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会廃止措置安全小委員会、原子力施設の廃止措置規制のあり方について、平成 16 年 12 月。

### 4.6 核変換処理による長寿命放射性物質の消滅処理技術

#### 4.6.1 高レベル放射性廃棄物のリスク低減

電気出力 100 万kWの軽水型原子力発電所を 1 年間運転すると、1tの使用済燃料中に約 30kgの核分裂生成物、約 10kgのプルトニウムと約 1kgのNp、Am、Cmなどのマイナーアクチノイドが含まれる<sup>(1)</sup>。現在わが国では、使用済燃料は再処理し、残存するウランとプルトニウムは回収して再び燃料としてリサイクルし、大半の核分裂生成物とマイナーアクチノイドはガラス固化して、深い地層中に処分することになっている。使用済燃料中の核分裂生成物、マイナーアクチノイドおよびプルトニウムの人体への放射線影響の大きさを表す毒性指数の時間変化は図 4.1 のようになる<sup>(2)</sup>。再処理後 100 年までは核分裂生成物が支配的であるのに対し、100 年以降はマイナーアクチノイド(ここではプルトニウムを含めTRUを図示)が支配的である。高レベル廃棄物中のマイナーアクチノイドおよび長寿命核分裂生成物を分離し、毒性指数の低い核種に変換すれば、図 4.2 のように新燃料なみの毒性指数になる時間を数万年から数百

年に短縮することが可能である<sup>(2)</sup>。

#### 4.6.2 核変換処理の方法とその研究

長寿命で毒性指数が大きいマイナーアクチノイドと長寿命核分裂生成物の核変換のためには、余剰中性子が多く、中性子束が高い場で核分裂や捕獲反応を起こす方法が主である。このためには原子炉または加速器の使用が考えられている。将来的には核融合炉の利用もありえる。核変換用原子炉としては、余剰中性子が多いので高速増殖炉が有効である。マイナーアクチノイドの燃料を多く装荷して、その核変換を主目的とした専焼炉の提案もなされている。大出力陽子加速器と未臨界炉を組み合わせた加速器駆動未臨界系はさらに余剰中性子が多く、高中性子束場が作ることが可能で、マイナーアクチノイドと一部の長寿命核分裂生成物の核変換に供することができる。

#### 4.6.3 分離・燃料ターゲット開発研究

たとえ原子炉や加速器駆動未臨界系を使用して中性子によるマイナーアクチノイドと長寿命核分裂生成物の核変換が原理的に可能になっても、使用済燃料の再処理の中でマイナーアクチノイドと長寿命核分裂生成物を適切に群分離し、さらにそれらを照射場の中に装荷するための燃料ターゲットが製造できなければ、核変換処理は不可能である。分離については、従来の燃料再処理で開発され、実用化している混式法から発展させた方法が試みられるとともに、熔融塩や液体金属を用いる乾式分離法についても研究が進められている<sup>(3)</sup>。マイナーアクチノイドや長寿命核分裂生成物を含む燃料ターゲットは、わが国では試料の入手が困難で、取扱える施設は限られ、厳重な法規制を受けているため、研究開発は遅れている。そのような条件を克服しつつ、研究に取り組んでいるグループや外国との共同研究を進めているところもある。

#### 4.6.4 今後の進め方

原子力発電を中心とした核エネルギーの利用は、地球温暖化ガスの発生が少なく、人類の持続的発展とわが国のエネルギー安全保障にとって重要である。短期的にも長期的にも放射性物質による環境汚染の可能性を内蔵している。このため短期的には、施設の安全性を向上し、そうしたことが起こる確率の低減化に努めねばならない。長期的には、マイナーアクチノイドや長寿命核分裂生成物を群分離し、核変換して、毒性指数を大幅に下げ、汚染源となる放射性物質そのものの低減化を目指した研究開発を進めるべきである。そのためには、大学、新しく発足する予定の日本原子力研究開発機構、電力中央研究所などが連携協力することが必要である。この研究開発には国際協力が極めて有効である。

#### 参考文献

- (1) 高度情報科学技術研究機構、「原子力百科事典、Atomica」インターネット版(2004).
- (2) 大井川宏之、核変換処理技術の現状と課題、日本学術会議放射性物質による環境汚染の予防と回復専門委員会配布資料、(2004).

(3) 日本原子力学会分離変換工学専門委員会、「総説 分離変換工学」、(2004).

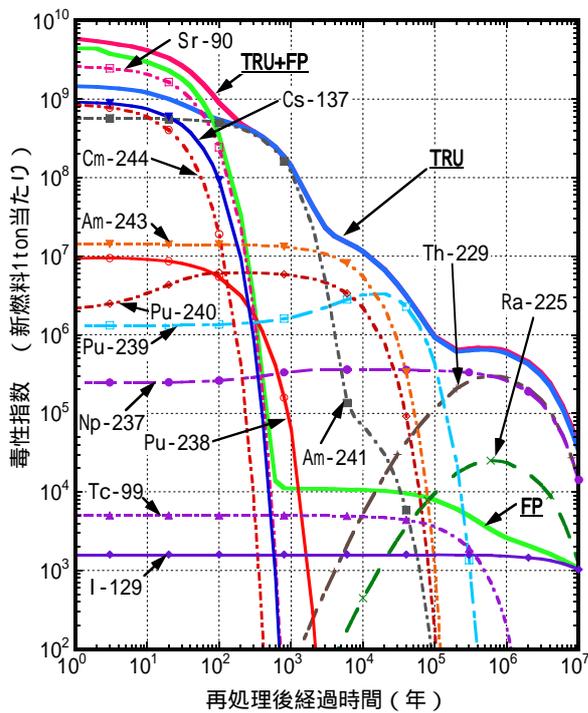


図4.1 高レベル放射性廃棄物の放射性毒性

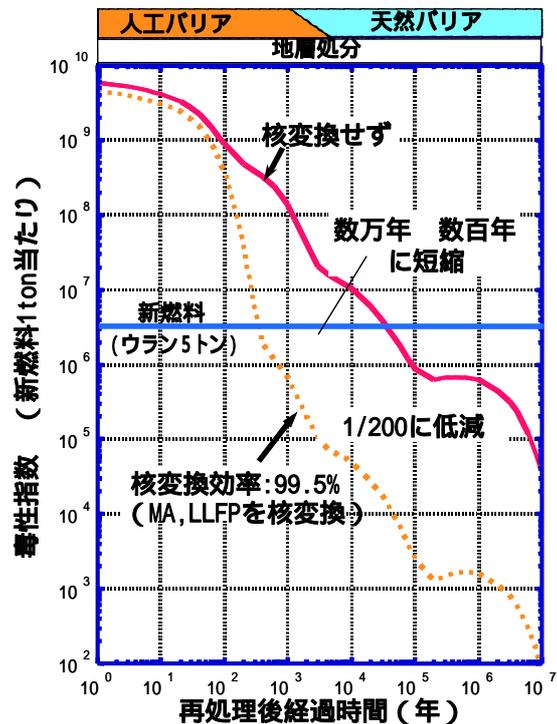


図4.2 高レベル放射性廃棄物の毒性の核変換による低減

#### 4.7 まとめ

この章では、原子力発電所や再処理施設の稼動に伴って発生する放射性廃棄物の処理処分の安全確保について、放射性物質を地層処分する場合の技術的問題点、ウラン廃棄物を地層処分で将来発生するかもしれない環境汚染を予防する方策、原子力施設の廃止措置に伴って要求される環境修復技術および放射性廃棄物の減容を目指した核変換処理による長寿命放射性物質の消滅処理技術の可能性について述べた。放射性廃棄物を安全に処分するには、社会に受け入れられる地層処分技術の確立とそれらの処分された廃棄物の環境汚染の予防に関する基礎研究が必要である。並行して、核変換処理による長寿命放射性物質の消滅処理技術の確立を目指す。原子力施設の廃止措置技術の確立は環境保全上重要な課題である。

## 第5章 原子力災害防護の分野における研究体制と人材育成の現状と問題点

### 5.1 はじめに

日本を含めた周辺諸国で、原子炉あるいは原子力軍艦において放射性物質の放出を伴う事故が起きた場合の環境監視体制と放射性廃棄物を安全に処理処分するためには、社会に受け入れられる技術を確立する必要がある。また、1974年の日本分析研究所による環境放射能データ捏造事件から始まり、最近の東京電力による原子力発電所自主点検記録の不正に至るいくつかのことから、原子力関係者の倫理が厳しく問われている。さらに昨年関西電力で発生した原子力発電所2次系配管破損事故では安全管理体制の不備が指摘されている。原子力災害の防護に対しても、まずはこのような点を配慮し、改善を図ることからかかるべきである。その上で、放射性物質による環境汚染の予防と回復の諸課題を解決していくには、国内の研究開発体制の連携と充実を図るとともに、将来の研究者や技術者を養成するための教育も充実させていく必要がある。この章では、わが国の研究体制の現状と連携・協力の必要性および教育とくに大学教育の現状と将来の人材育成の必要性について述べる。

### 5.2 わが国の研究体制の現状と連携・協力の必要性

わが国の原子力災害に対する体制と放射線防護に関連した研究体制を最初に概観する。

原子力発電所や再処理施設周辺では、自治体と事業者が常時環境の放射線と放射能の監視を行っている。平常時の対応としては、国の委託を受けて日本分析センターが、環境放射能水準調査として、47都道府県の分析機関から送付される環境試料のストロンチウム90、セシウム137、プルトニウム等の放射能分析を行っている。原子力発電所設置道県は事故対応と平常時の放射能レベルの確認を行っている。

JCO 臨界事故時の環境モニタリング対応について、2.5節で述べたように、初動の時点で茨城県としての地域防災計画に基づく緊急時モニタリング体制が機能したとは言えない。それでも、日本原子力研究所と核燃料サイクル開発機構の協力があって、ある程度の対応をとることができた。同じような事故が他の道府県で起きた場合、同様な対応が取れるか疑問であった。JCO 臨界事故後、原子力災害対策特別措置法が制定され、原子力防災専門官の配置やオフサイトセンターの設置、防災業務計画の策定などが実施され、原子力災害時には迅速な対応が図れるように設備と体制が整備されている。また、異常時の通報システムも完備している。

これら原子力災害防護の基礎となるわが国の放射線防護に関連する研究は、日本原子力研究所、核燃料サイクル開発機構、放射線医学総合研究所、気象研究所、環境科学技術研究所、都道府県の研究所、および大学が中心になって行ってきた。日本原子力研究所の保健物理部は放射線被ばくの実務と基礎研究を、核燃料サイクル開発機構は核関連施設の放射線防護の実務と研究を行ってきた。両者は近く統合され、日本原子力研究開発機構が発足する。その後放射線防護部門の組織が変更される可能性がある。日本学術会議の勧告で設立された放射線医学総合研究所は放射線影響、放射線医療などの研究に加えて、わが国全土にわたる環境放射能の測定など幅広い研究を進めてきた。しかし、独立行政法人化後は緊急被ばく医療と放射線影響に関連した放射線

安全研究を志向している。気象研究所は大気中核爆発実験が行われている頃から、大気および降水中に含まれる人工放射能の測定に関する研究を行ってきた。現在は前述のように大気中クリプトン 85 の監視拠点となっている。その他、環境科学技術研究所や都道府県の研究所でも放射線影響や放射能の環境動態に関する研究が進められている。

しかしながら、世界情勢に目を向けてみると 2 章で述べたとおり日本近海では米国だけでなく、ロシアや中国の原子力軍艦が航行し、東アジアではわが国を始め、韓国、中国および台湾で原子力発電が盛んである。21 世紀に入り、テロリストによる小型核兵器や放射性物質を装備した爆弾(ダーティボム)を用いた破壊活動が想定される。

いくつかの公的研究機関において、放射線防護に関する研究は行われているが、それらは原子力災害防護の分野から見ると統一した方向性と全体としての総合性に欠け、研究機関の間および大学との連携・協力も不十分である。とくに東アジア域で、原子力発電所あるいは原子力軍艦から放射性物質が放出する事故が起きた場合や新しい核爆発実験を想定した広域の環境監視体制とテロを想定した事故時の対応体制は十分ではなく、この分野の研究も満足に行われているとはいえない。こうした事態は予想外の場所で、想定外の状況で発生する可能性が高いことから、広域の環境監視と事故時に対応するため、統一的に放射線防護を担当する機関の設置ならびに広域の環境監視システム整備の促進が望まれる。ここでは東アジア域の国際的放射線モニタリングネットワークセンター的役割を果たすとともに、各自治体や他の研究所および大学とのネットワークも構築し共同研究や訓練を通して、迅速な対応や研究機関の連携が可能になるように努め、平常的には原子力災害の放射線防護、予防、復旧に関連する基礎研究を行うべきである。これらの研究課題は人文社会科学的側面からも取り組む必要があり、国民の放射線防護にとって有効な新規着想にもとづく研究を促進すべきである。

### 5.3 大学における研究と教育の現状と人材養成の必要性

2.4 節に述べたように、わが国の原子力平和利用は 1954 年に日本学術会議が基本方針を示し、翌年原子力基本法が制定されることにより開始した。これに伴い当時の文部省は全国の主要な大学に原子核(力)工学の学科および大学院専攻の設置を進めた。ビキニ海域での第五福竜丸の被災を受けて、1958 年に静岡大学に放射化学研究施設(後に理学部付属)が設置され、研究と教育を続けられている。京都大学原子炉実験所では、放射線管理研究部門が置かれ、放射線防護を中心として、その研究用原子炉周辺の環境モニタリングに関する基礎研究を行ってきた。1968 年に日本学術会議が勧告した「放射線影響研究の推進について」により、1975 年に金沢大学理学部付属低レベル放射能実験施設が設置され、翌年京都大学放射線生物研究センターが設置された。前者は最近改組され、金沢大学自然計測応用研究センターの中に統合されている。しかし、過去を総括してみると名古屋大学など放射線防護の基礎研究に重点的に取り組むところもあったが、ほとんどの大学の原子核(力)工学科・専攻の中で、放射線防護あるいは保健物理を科目とした講義にとどまり、放射線防護あるいは保健物理を正式に冠した講座として組み入れられることはなかった。その後も、日本

学術会議では保健物理学を中心とした研究センター構想も出されたが実現していない。最近各大学で改組や再編成が行われる中で、原子核（力）工学の学科はほとんどなくなり、半分以上の大学院専攻も名称を変え、原子力学は一部として含みながらも、新しい分野をとり入れたり、他の分野と融合したりしている。こうした動きの中で、これまででも少なかった放射線防護関係の講座とそれを目指して研究を進める教員がさらに少なくなっているように見受けられる。ただ本年4月に開設予定の東京大学大学院工学系研究科原子力専攻（専門職学位課程）では、放射線安全についてしっかりと教え込むこととしている点が注目される。

米国でもスリーマイル島原子炉2号機の事故以来原子力発電所の新規建設が止まり、それが派及して約20年前から多くの大学が原子核（力）工学科・専攻を廃止あるいは改組している。それでも有力な大学のいくつかはなお原子核（力）工学科をそのまま存続するか、または放射線防護と組み合わせたものに改組している点が注目される。その例を表5.1に示す。

表 5.1 放射線防護をとり入れた米国大学の例

大 学 名	名 称
Oregon State University	Dept. of Nuclear Eng. and Radiation Health Physics
University of Florida	Dept. of Nuclear and Radiological Eng.
University U. of Illinois	Dept. of Nuclear, Plasma and Radiological Eng.
University of Michigan	Dept. of Nuclear Eng. and Radiological Sciences
University of Texas, Austin	Dept. of Mechanical Eng., Nuclear and Radiation Eng. Program

( Dept.=Department, Eng.=Engineering )

放射線防護のように重要なながらも非常に地味な学問の教育・研究は、大学法人の中で認められにくいかも知れない。しかし、原子力平和利用として、原子力発電と放射性同位体の利用を推進するさいに、国民の健康を守り、国土、海洋などの環境を放射性物質による汚染から守るという重要な科学技術として、研究の推進と人材の養成を忘れてはならない。これは広く原子力学の再構築の一環としても位置付けて取り組み、各大学で再考するとともに、複数の大学が協力した「大学横断型原子力工学コース」のような教育組織や大学と研究開発機関が連携協力した「連携大学院ネット」の中で取り上げることが考えられる。その一貫として大学や研究開発機関の施設設備を教育目的に共同利用することも重要であろう。

多くの大学にはアイソトープ総合センター（大学により名称が異なる）があり、そこで放射線防護に関する教育研究が進められていることが多い。しかし、これまでの章で述べてきたような原子力施設や原子力軍艦の防災の問題や放射性廃棄物の処理処分の問題に本格的に取り組んで教育・研究しているところは見当たらず、わが国の大学において放射線防護の拠点となる研究所は存在しない。原子力災害が起きた場合、放射線防護だけでなく原子核工学全般について基礎的な素養を有した人材が必要である。こうした人材育成は放射線防護に関連した基礎研究を通して行われる部分が多い。この面からも、統一的に放射線防護を担当する機関を設置して、放射線防護の再

教育や東アジア地域における広域の環境監視システムの構築と維持に必要な各国の人材を育成することが必要と考えられる。

#### 5.4 まとめ

わが国の放射線防護に関する研究は、原子力災害防護の分野から見ると統一した方向性と全体としての総合性に欠け、研究機関の間および大学との連携・協力も不十分である。とくに東アジア域での原子力災害などを想定した広域の環境監視体制とテロを想定した事故時の対応体制は十分ではなく、この分野の研究も満足に行われているとはいえない。こうした事態は予想外の場所で、想定外の状況で発生する可能性が高いことから、広域の環境監視と事故時に迅速に対応できる体制と人材が必要である。これらに対応するため、統一的に放射線防護を担当する機関の設置ならびに広域の環境監視システム整備の促進が望まれる。

一方、大学における放射線防護の研究は、原子力平和利用を図るうえで重要な科学技術であることから、基礎研究の推進と人材の養成を忘れてはならない。これは広く原子力学の再構築の一環としても位置付けて取り組み、各大学で再考するとともに、複数の大学が協力した「大学横断型原子力防災・放射線防護コース」のような教育組織や大学と研究開発機関が連携協力した「連携大学院ネット」の中で取り上げることが考えられる。その一貫として大学や研究開発機関の施設設備を教育目的に共同利用することも重要であろう。

## 第6章 結言

以上述べてきたように、放射性物質による環境汚染の予防と回復に関連し、いくつかの課題が存在する。その中には行政（主として関係省庁）において措置すべき施策もあるが、一方では大学や研究機関および研究者とその所属する学会等で検討し、取り組むべきものも多い。ここでは主として放射性物質による環境汚染の予防と回復に関連する研究の推進を軸として、それを通して示すべき施策まで含めて以下のとおり提言にまとめた。

- 1) わが国および近隣諸国が放射線と原子力エネルギーの平和利用を進める際に生じる恐れのある原子力災害、原子力軍艦の寄港やその廃棄、および核・放射性物質テロなどに伴う放射性物質による環境の汚染に対し、東アジアの国々と協力してこの地域を中心とした総合的な放射線・放射能の監視システムを構築する必要がある。またこれらの事態に対する放射線防護対策および原子力災害からの復興策をあらかじめ策定しておくべきである。
- 2) 放射性物質による環境汚染の予防のためには広範囲な放射線・放射能の環境モニタリングが必要である。再処理施設の稼動に伴って放出が予想される核種として、トリチウム、炭素 14、クリプトン 85 およびヨウ素 129 があり、これらは特に地球規模の汚染源となるので、放出源近傍の環境の監視を強化するとともに、これらの核種の環境中における挙動および生体影響の評価に関し精度の高い研究を指向する必要がある。
- 3) 放射性廃棄物を安全に処分するには、社会に受け入れられる地層処分技術の確立とそれらの処分された放射性廃棄物による環境汚染の予防に関する基礎研究が必要である。並行して、長寿命で人体への放射線影響が大きい放射性核種の核変換処理技術の確立を目指した研究も推進すべきである。さらに原子力施設の廃止措置技術の確立は環境保全上重要な課題である。
- 4) わが国において、放射線防護に関する研究は、国公立の研究機関や大学で進められてきたが、統一した方向性と全体を通じた総合性に欠けるところがあった。東アジア域での原子力災害やテロに伴う放射性物質による環境汚染の予防と回復のため、研究機関および大学を通じた連携・協力を強化すべきである。一方、放射線防護のための人材養成と教育も十分とはいえない。このため関連する大学がその充実を図るとともに、複数の大学が協力した教育コースの設置、教育のための大学と研究機関の連携や施設設備の共同利用なども積極的に取り入れるべきである。

