

## 企業法研究

# 微小操作技術の発展による新たな環境リスク対処

東海大学教養学部人間環境学科・大学院人間環境学研究科教授 勝田 悟

### 1. はじめに

微小なものを操作する技術開発は飛躍的に進み、原子またはそれ以下のレベルで分解・崩壊を制御するレベルに達している。例えば、従来から原子力発電所では中性子の照射によって  $^{235}\text{U}$  (ウラン 235) 及び  $^{239}\text{Pu}$  (プルトニウム 239) [プルサーマル発電、高速増殖炉を含む] の原子核を崩壊させ、大量のエネルギーを生成している。発電は、タービンの運動エネルギーと磁場によって行われ、莫大な電力が社会に供給されている。

このような核分裂を利用する技術、及び研究開発中の核融合技術では、原子または原子核より微小な粒子を操作している。この反応で起こっている科学的現象は、未だ不明な部分が多く未知なリスクが存在している。核爆弾の開発、実験では、複数の放射性物質を生成し環境中に大量に放出したことによって地球上における存在率を増し、放射線による環境リスクを高めてしまっている。原子力発電所、原子力船・潜水艦など核反応で生成したエネルギーを利用する技術は、実用化、普及しており、定常時の安全管理、事故時の対処が不可欠となっている。

他方、原子核内の素粒子に関する挙動・性質の解明(数式上の証明)は進みつつある。まだ、基礎研究の途中段階であり、巨大な加速器(大型ハドロン衝突型加速器[スイス]など)で存在及び性質の確認が実施されている。現在確認されている118種類の元素の内部構成や性質を知ることによって新たな科学技術の発展が期待できる。それと同時に、新たな環境リスクの発生の可能性がある。これまでの環境汚染、環境破壊は、新たな科学技術によって引き起こされたものがほとんどである。これらの多くは、再発防止策が法令によって規制されている。ただし、予防に関しては利害関係が障害となって、十分な対応ができない場合がある。地球温暖化による気候変動、海面上昇、海の酸性化は、一般的によく知られている化合物である二酸化炭素が主要な原因物質となっている。この化学物質に関しては被害と原因の因果関係が科学的にはほぼ明確になっているにも関わらず、具合的な対策について国際的なコンセンサスが得られないまま環境破壊が進んでいる。人間活動自体の変革も必要であることから一般公衆への理解も十分に得られているとは言えない。したがって微小操作技術で生じる目には見えない新たなリスクが高い確率で推定されても、経済的な利害関係などが生じた場合、予防が困難となることも懸念される。

しかし、加速器による実験で素粒子研究が進展することで、新たな科学的知見が整備されつつあり、新たな技術の開発が行われることが予想される。原子力発電所では、核反応を行っていることからニュートリノ（注1）（素粒子）が発生しているが、その挙動は明確にはわかっていない。核反応は、多くの不明な性質をかかえたまま、人為的操作によってエネルギーが利用されている。この他原子の操作技術（ナノテクノロジー）は、次々と実用化、普及が進んでおり、環境リスクが不明な化合物が生成される虞もある。そもそも地上に存在するほとんどの化合物の SDS（Safety Data Sheet）（注2）情報は整備されていない。

本論文では、微小操作技術の発展による新たな環境リスク対処するための環境法による今後の汚染防止規制（評価と予防）のあり方について核反応を中心に研究した。なお、本論における微小操作技術とは、原子の大きさである直径  $10^{-9}$ m の粒子を扱う技術をはじめ一般公衆が感覚的に機能の理解が困難なものを対象とする。

## 2. リスクの所在

### 2. 1 原子核の崩壊 核分裂—放射性物質の環境放出—

#### （1）基本的な性質

原子力発電では、原子核に中性子が照射されることによって核分裂を発生させ、原子核の状態が変化（壊変）する。この際に、放射性物質を生成（励起状態へ遷移）し、放射線が放出される。

核分裂では熱と放射線が放出され、原子力発電ではこの熱を利用し蒸気を作り出しタービン（蒸気タービン）を回して電気を生成している。放射線は発電には不要なものであるが、多くの物質を励起させ、放射性物質に変化させる。したがって、この放射性物質を適正に管理しなければ、放射線曝露の可能性が高くなり、リスクが大きくなる。

例えば、原子力発電では、 $^{235}\text{U}$  に中性子を照射した核反応を利用しているが、ウラン燃料の 95%（自然界では、99.7% [質量%]）を占める  $^{238}\text{U}$ （ウラン 238）が、 $^{239}\text{Pu}$  に壊変されている。 $^{239}\text{Pu}$  は、原子爆弾の原料となり、半減期が 24,100 年と非常に長い寿命があり、常温常圧では固体で白銀色の金属である。また、壊変時に  $\alpha$  線と熱エネルギーを放出し、直接摂取することによる有害性として「肺がんや白血病の発症の懸念」がある（注3）。

一方、地球上に存在する放射性物質には、人類が行った核爆弾の実験によって自然環境中に存在率を高めてしまったものもある。原子力発電所事故による放射性物質の放出で問題となる  $^{137}\text{Se}$ （セシウム 137）や  $^{85}\text{kr}$ （クリプトン 85）、 $^{90}\text{Sr}$ （ストロンチウム 90）などは、核兵器の実験が原因で環境中に飛躍的に存在率が増加し、半減期も数十年と長いこと既に環境リスクを高めているといえる。 $^{131}\text{I}$ （ヨウ素 131）も存在率が急激に高めるが、半減期が 8.02 日と短いため 3 ヶ月で環境中の存在率は 2000 分の 1 に低下する。ただし、ヨウ素は体内に取り込まれ血液を循環し、甲状腺に取り込まれやすいため、子供への影響（甲状腺ガンなど）が懸念されている。また、セシウムは、カリウム、ストロンチウムはカルシウムに化学的性質が類似しているため、体内に取り込まれやすく放射線による健康障害を発生する

虞がある。原子核の質量数が変化しても生体に摂取される化学物質としての性質は維持されるため、有害物質（環境汚染物質）の一種と言うこととなる。

### （2）天然の放射性物質

天然放射性同位体としては、カリウム、カドミウム、セレン、水素、炭素、サマリウム、ビスマス、タリウム、バナジウム、インジウム、ネオジム、及びウラン、ラジウム、ラドン（注4）などがある。したがって、自然から発せられる放射線の測定値には、当該自然放射線、宇宙から到達する宇宙線（放射線）、及び核爆弾実験で生成した放射性物質、原子力発電所等核施設から漏洩する放射線が含まれている。さらに旧ソ連のチェルノブイリ原子力発電所、日本の福島第一原子力発電所の事故で発生した放射性物質も特定地域で放射線を放射している。放射性元素の原子核は、温度や圧力に関係なく一定の速度で崩壊しているため、時間の経過とともに原子が改変する。

海水には、ウラン、ストロンチウム、セシウム、カリウムがイオン（負 [アニオン] または正 [カチオン]）の電気を持つ原子または原子団 [特定の原子の一団] が含まれており、原子力発電所の事故などで、海水中に流れ込むと特定の化学物質の挙動を確認することは困難である。

なお、大気中には、放射能は極めて少量だが、前記の宇宙線（アルファ線、ベータ線、ガンマ線：粒子線であるアルファ線、ベータ線は地球の磁場で曲げられ、ほとんど地上には到達しない）や放射性のクリプトンや炭素が存在する。核爆弾が製造される以前は、1立方メートル（ $m^3$ ）あたり、0.001 ベクレルだったが、現在は核実験や核施設からの放出で1000倍以上の1ベクレル程度になっている。環境中の物質バランスは既に変化している。

### （3）新たな汚染対処

原子力発電所の運転においても放射性物質は放出されており、僅かずつ環境中の物質バランスを変化させている。世界的に原子力発電所が増加していることから、環境汚染防止の観点から国際的なリスク管理を構築していかなければならない。ただし、従来の環境汚染物質と異なり、個別化学物質規制ではなく同位体（中性子数が異なる原子核を持つ原子）の曝露を減少させるための新たな技術開発を行わなければならない。現在の環境規制で実施されている濃度または総量を減少させる方法による直接的規制だけではなく、原子核から放射される放射線の減衰、または隔離も必要である。

例えば、現在、日本原子力研究開発機構の大強度陽子加速施設（J-PARC）で行われている「核変換技術研究」では、長寿命核種に中性子を照射して短寿命の核種に変換することが進められている。この研究が実用化、普及できれば、高レベル放射性廃棄物を比較的短時間でリスク低下が期待でき、数万年（または十数億年）かかる核廃棄物管理を数百年～1000年程度に短縮することが可能となる。さらなる研究の進展と早期の実用化が期待される。

## 2. 2 精神的な不安

### (1) 放射性物質の漏洩

「敦賀原発風評事件」(名古屋高裁金沢支部平成1・5・17判時1322号99頁、判例タ705号108頁)では、1981年1~4月にかけて日本原子力発電敦賀原子力発電所1号機(Boiling Water Reactor: 沸騰水型原子炉: 以下、BWRとする(注5))の廃液貯蔵タンクから約1立方メートルの放射性物質を含む廃液が敦賀湾に漏出した。この原子炉は、1970年に日本で万国博覧会に送電をし、日本の科学技術レベルの高さを国内外に示したものである。BWRは、わが国の原子力発電所の原子炉に多く採用されており、炉の中でタービンを回す蒸気を直接発生させる方式である(当該発電を採用しているところは、東京電力、中部電力、東北電力、北陸電力、中国電力、北海道電力、及び日本原子力発電[げんでん]である。)。原子炉、タービン、復水器を同一の冷却系統で使用しているため、装置全体がコンパクトにできるが、原子炉で使用される冷却材を設備内全体に循環させるため、放射線管理区域(法によって、放射線[及び放射性物質]に対する防護が厳しく行われる区域)が大きくなる。したがって、復水器(タービンを稼働させる蒸気を冷却する装置)、タービン等に放射性物質が存在しているため漏洩個所も広がることとなる。

本事件の廃液の中の放射性物質は、10ミリキュリー(注6)から数ミリキュリー(1キュリー=370億ベクレル)の放射能をもっていたとされており、敦賀湾の中にある浦底湾へ一般排水路から流れ込み、ホンダワラ、ムラサキイガイなどからコバルト60(通常時の10倍といわれている)が検出された。漏出の原因は作業員が手順書通りに行わなかったためとされている。当時の科学技術庁(現 文部科学省)は、ホンダワラ、ムラサキイガイ、ナマコ、サザエ等を調査し、これらは人体に影響なしと結果を報告している。

安全性を示された後も風評被害が大きく、「敦賀市原発事故補償額調停委員会」で検討した補償額が風評被害を受けた被害者に提示されたが、これを不服として提訴した。結果、この地域の漁業関係者に補償金が支払われている。

### (2) 平穏な生活への支障

一般公衆にとっては、放射性物質のリスクについてあまり知識を有していないことから、「敦賀原発風評事件」では敦賀湾の魚が危ないといった定性的(リスクの有無)な考え方のみで有害性を判断し、他に食物の選択肢があれば避けてしまうのは当然の行為である。なお、BWRであるため通常でも食物に超微量放射性物質は含まれていたと考えられる(注7)が、原子力発電所における発電方式について理解している一般公衆は少ないと思われる。当該事故対処として行われた行政機関の調査で、定量的な値(人体に有害な量であるか否かを測定)によって「人体に影響がない量で安全」と示されても、一般公衆にとっては放射性物質のリスク尺度が不明であることから容易には受け入れなかった(許容できなかった)といえる。また、判決では、汚染区域は浦底湾に限定されているが、この根拠に関しては、疑問がある。放射性物質は極めて低いレベルでも追跡調査できるため、放射性物質の海水中での挙動を徹底的に調査し、科学的知見を蓄積するべきだったと考えられる。

一方、東京電力福島第一発電所事故による精神的苦痛による損害賠償請求事件「福島第一原子力発電所事故による緊急時避難準備区域内の住民が被った精神的苦痛の慰謝料額につき、原子力損害賠償紛争審査会の策定に係る中間指針等に沿った慰謝料額を超えないとした事例」（東京地裁平成26年(ワ)1448号平27・6、9民32部判判時2271号80頁）では、被告の東京電力が既に支払っていた精神的損害賠償慰謝料にさらに追加して慰謝料を請求している。原告の主張は、①避難による精神的苦痛、②高い放射線量下の生活による精神的苦痛、③放射性物質の汚染に係る生活破壊による精神的苦痛、④本件原発の至近距離の生活による精神的苦痛、を受けたというものである。本判決では、①は精神的苦痛による慰謝料の発生を認めるべき程度に至らない水準まで緩和した、②は、原告が不安を抱いているとしても合理的なものとはいえない、③は原告の不安は漠然としたもの、④は、本件原発から約21キロメートル離れた地域に自宅を有する住民が、本件の一切の事情を斟酌しても既払いの慰謝料額を超えるとは認められないと判断し、棄却となっている。

この裁判所の判断は、自然科学的な正確な知見が十分でないままで放射線による健康被害に関する定量的評価を余儀なくさせたもので合理性に欠けていると考えられる。そもそも正確なハザード、曝露を個別にモニタリングしているわけではなく、その各環境条件における生体影響に関しての明確な閾値もないまま状況で判断することはできない。放射線は、粒子の性質を持つ波で有り、核分裂で発生する素粒子の状態もまだほとんどが不明であるのが現実である。個人が持つ不安を定量評価すること自体無意味で有り、短期的な生体影響のように自覚できるものではない。長期的な生体影響に関して不安を感じても妥当な感覚である。

さらに参照条文となっている「原子力損害の賠償に関する法律」第3条第1項は、「原子炉の運転等の際、当該原子炉の運転等により原子力損害を与えたときは、当該原子炉の運転等に係る原子力事業者がその損害を賠償する責めに任ずる。ただし、その損害が異常に巨大な天災地変又は社会的動乱によって生じたものであるときは、この限りでない。」と示されており、曖昧な規定内容である。賠償の対象除外とされる「巨大な天災地変」に東日本大震災が該当するとすれば、被告の東京電力の責任ではなくなると考えられる。そもそも原子力発電所のリスク管理においては政府によるガイドラインが中心となっていること、及び電力供給による公共事業の利益者は需用者である一般公衆であることから、被告を電力会社のみとすることにも疑問がある。政府も「原子力発電所、及び廃棄物処理場、処分場が安全である」ことを広報しており、政府、関連行政の責任も追及すべきである(注8)。核反応は、中性子と原子核を微小操作する技術であり、「安全である」といった抽象的な表現は不適切であったと考えられる。原子力発電所周辺住民への負荷についての事前評価が不足していたとするのが相当である。

### (3) 慢性的な生体影響—感覚では確認できない被害—

環境汚染による健康障害は発症までの期間が長期化することによって他の病気との関係が不明になり、原因と被害との関係が不明確となる。放射線による健康被害は、強力な放射

線によってやけどなど急性的な健康影響を発症すれば、因果関係に関する証明の蓋然性が高まると考えられる。しかし、低レベルの放射線によって健康障害が発症した場合、病気の原因が複数存在することが有り、原因と被害の因果関係を証明することは困難となる。

長期間を経て健康被害が発症する石綿被害の損害賠償控訴事件「1.石綿製品製造等を行う工場の周辺住民が中皮腫に罹患したことについて、工場から飛散した石綿粉じんと発症との因果関係を認め、工場を経営する企業が住民の遺族に対して大気汚染防止法 25 条 1 項に基づく無過失損害賠償責任を認めた事例、2.石綿製品の製造工場の周辺住民中皮腫に罹患する危険性が高いことの医学的知見は、昭和 50 年当時未だ集積されていなかったとして、国の国家賠償法上の責任を否定した事例」（大阪高裁平成 24(ネ)2695 号平 26・3・6 民 1 部判時 2257 号 31 頁）では、昭和 32 年から昭和 50 年までの間に工場敷地外へ石綿粉じんが飛散したことによる汚染が問題となっている。判決は控訴棄却（その後、上告されたが上告棄却、上告不受理決定となった〔決定日平成 27 年 2 月 18 日〕）となっている。

大気汚染防止法第 2 条第 9 項に基づき政令で石綿は、特定粉じんと定められ敷地境界線外への単位容積当たりの本数許容値を定めている。石綿の直径は 0.02~0.35 マイクロメートル（20~350 ナノメートル）であり、針先で人の肺の細胞を刺激することによって肺がんを誘発することが科学的に判明している。しかし、原因と被害に関する相当因果関係に関し科学的証明の蓋然性が不足していたと考えられる。国家賠償法上の責任に関しては、WHO（World Health Organization）が発行した環境衛生クライテリアの見解を参考にしており、医学的な知見の低さを根拠として原告の控訴を却下している。医学的な知見の低いことを確認しながら、WHO の見解の両方を根拠としていること自体、矛盾がある。したがって、有害性がよくわからないまま、大量に石綿を使い続けたことが問題であったと思われる。石綿は、安価で断熱性等極めて高い性能を持った材料で有り、一般に普及したものである。1985 年（昭和 60 年）以前は魚焼き網にも使用されていた（注 9）。このような状況から潜在的な石綿被害者は莫大に存在していると考えられる。

#### （4）放射線ホルミシス効果

温泉は、鎌倉時代から経験的な知見に基づき健康改善・維持を目的に効能を発揮し、江戸時代からは湯治も行われている。全国に、2,800 ヶ所以上の温泉があるとされており、昔から経験的に上手に地熱利用をしていたといえる。しかし、地下水を暖める地熱がある地域には、Ra（ラジウム）など放射性物質が存在している。ラジウムは半減期が 1602 年で、原子核が崩壊して Rn（ラドン）という化学物質に壊変する。また、Rn は気体（注 10）の放射性物質であり放射線被曝のリスクがあり、放射線は低レベルであるため慢性的な影響の虞がある。

ただし、このラドンなどによる被曝は、「一時的な低線量の放射線照射で、体のさまざまな活動を活性化する」とされる低放射線によるホルミシス効果（Radiation Hormesis）が得られるとの学説も発表されている。ラドン温泉やラジウム温泉といわれる温泉では、健康のために自ら進んで温泉水を摂取している人もおり、ホルミシス効果を謳った温泉では、伝説な

どで神格化されている場合もある。学術的な健康増進の効果は、ミズーリ大学のトーマス・D・ラッキー (Thomas. D. Luckey、生化学者) が、米国保健物理学会誌 1982 年 12 月号総説で紹介されたことで注目された。国内では電力中央研究所、岡山大学などで人の免疫細胞 (及び自然治癒力) の活性化について研究が行われている。

放射能泉は温泉の泉質の一種となっており温泉地に書かれた効能には、痛風、高血圧症、動脈硬化症、慢性皮膚病などがあげられている。飲用としては、痛風、慢性消化器病、神経痛、筋肉痛、関節痛などに効き目があることがあげられている。衛生面では、通常の温泉と同様に法令に従って都道府県保健所によって、陽イオン、陰イオン、遊離成分などが分析されている。

わが国の温泉法では、温泉の定義として、ラドンの含有を定めており、放射性物質としての有害性は問題にしていない。法律 (温泉法第 2 条第 1 項) で「温泉」とは、地中からゆう出する温水、鉱水及び水蒸気その他のガス (炭化水素を主成分とする天然ガスを除く。) で、温度又は物質を有するものと定めている (注 11)。

放射性物質の有害性はほぼ科学的に解明されているが、法律による温泉の定義にもなっており、前述のような健康に役立つという学説 (ホルミシス効果) も存在する。しかし、福島原発事故をはじめ原子力利用の失敗による放射性物質汚染が問題になっており、今後原子核の操作で放射線が放出される可能性がある。さらに宇宙には粒子線を含む放射線が通過していることから宇宙開発におけるリスク対策も必要となっている。放射線に関する性質を明確に把握し、法令による明確なリスク対策が必要である。

### 3. 高度な技術

#### 3. 1 専門的判断

##### (1) リスク回避

福島原発事故では、農作物、畜産物、水産物が放射性物質により汚染され、食品衛生法 (第 6 条) に基づき政府から摂取制限も発せられた。また、ホットスポット (放射能が異常に高い区域) も多くの地域で存在することから、風評被害を悪化させたとも考えられる。情報公開に関した事前の対処を整備するべきである。特に、放射性物質 (微粒子) 降下物 (フォーアアウト) の検出・挙動モニタリング技術が不十分である。放射線量に関しては、インターネット、新聞等で定点調査結果が公開されているが、その数値の定量評価に関しては、一般公衆にとって理解することは困難であると思われる。

未知なリスクに関する対処は、一般公衆には不明な部分が多く、過剰な不安感を高めることになる。バイオテクノロジーは、10 ナノメートル程度の DNA を操作する技術で、生体反応であるため生物としての機能の操作も可能であることから、リスク回避には専門的な知見が不可欠である。原子力発電所、放射性廃棄物処理場・処分場の立地のように抽象的に安全性を主張しても一般公衆の理解は得られない。

当該未知なリスクに関しては、「P4 施設利用差止め等請求事件」 (水戸地土浦支判・平

5・6・5 訟月 40・5・1002(118頁) で争われている。原告らの請求は、「被告理化学研究所の P4 実験室における P4 レベル(注 12)の組換え DNA 実験により、その生命、身体に回復しがたい重大な損害を受けるおそれがあり、平穏で安全な生活を営む権利や生命、身体に対する安全性の意識が現に侵害されているとして、被告理化学研究所に対し、不法行為及び人格権に基づいて P4 実験室を P4 レベルの組換え DNA 実験に使用することの差し止めを求め、また、すでに P4 実験室でなされた各実験により損害を被ったとして、被告理化学研究所及びその理事長である被告小田稔に対し不法行為に基づく損害賠償を求める」となっている。しかしこの請求は棄却となっている。

重要な争点は、組換え体の未知なリスクで、「当該技術が高度なため実験内容が一般市民には理解できないこと」と、「安全性の確認の基準が従来のモニタリング規制のように排出濃度で決められないこと」が挙げられる。未知なリスクを持った組換え体に対して、一方的に安全と説明しても一般公衆には理解できないのは当然である。

ただし、遺伝子組換え体の野外への漏洩防止策は、今後微少操作で発生する化学物質のリスク対策の視点となり得る。その方法は、ハザードがわかったものはその大きさに応じて曝露を極力少なくするために封じ込めをレベルに応じて行うというものである。生物の性質を把握し生物学的、物理学的に封じ込めるというものである。性質が不明なものは、最も高いレベルの封じ込めを行い、表示も義務づけている。原子力発電所でも、事故対策の基本は、「止める、冷やす、封じ込める」であり、ハザードが大きいものは外部への放出を止めることが最も基本ということとなる。

## (2) 事後対応

ハザードの存在を把握せず、環境破壊を起こす新たな建築物を環境アセスメントなく立地してしまうと被害が発生した後に運転中止が争点となる。微小操作技術は、減量化、リサイクルに大いに貢献することが期待されており、環境保全技術の向上が期待されている。しかし、新たな化学物質の生成や形状が環境リスクを発生させる可能性もある。風力発電施設は、再生可能エネルギーとして環境保護技術として期待され、クリーンな(有害物質や地球温暖化原因物質を生成しない)技術として注目されていたが、新たな環境破壊が問題となっている。

「風力発電施設運転差止等請求事件」(名古屋地裁豊橋支部平 26・(ワ)61 号判時 2272 号 96 頁)では、風力発電の騒音被害を原因とする人格権に基づく運転差止請求及び慰謝料請求の妥当性が争点となった案件である。被告は、風力発電事業等を目的とする会社で有り、当該施設を建設し運転を行っている。原告は、風力発電施設から発生する騒音(音波または振動)で、夜間の就寝が妨げられたり、頭痛、耳痛にさいなまれていると被害を訴えている。裁判では、受忍限度に関し議論されているが、精神的苦痛に関しては個人差があり、感覚的で微妙な被害であるため、受忍の程度を定めることは妥当とは思われない。風力発電施設は、環境影響審査法の規制対象(注 13)となっており、事前評価を十分に行うべきと考えられる。しかし、判決は棄却され、「風力発電による騒音被害が受忍限度内であるとして、



これに基づく運転差止請求及び慰謝料請求が否定された事例」となっている。

### (3) 事前対処—原子力発電所の立地—

「伊方発電所原子炉設置許可処分取消請求事件」（最判平4・10・29 第一小法廷最高裁判所民事判例集46巻7号1174頁、判時1441号37頁、判タ804号51頁）では、原子炉等規制法第23条に基づく原子炉設置許可申請に対する行政の許可の処分取り消しを求めて争われたが、「設置許可審査は、原子力の開発及び利用の計画との適合性や原子炉施設の安全性に関する極めて高度な専門技術的判断を伴うものであり、適正である」との判断が示されている。

専門家の判断に従うしかないことは理解できるが、一般公衆がこの判断をそのまま許容することは困難である。精神的な面で、リスクをもったよくわからない技術について疑問を持つことは当然である。一方的に原子力発電を「安全」であるといった広報や、リスク内容を理解しないまま「危険」であるといった抗議は、正確な判断の障害となる。放射性物質のリスクはまだ十分に解明されていないことは事実であるため、今後も原子力発電所で事故が発生すると風評被害が発生することは避けられないと考えられる。

また、「志賀原発運転差止請求事件」（名古屋高判金沢支部平21・3・18、判時2045号3頁、判タ1307号187頁）では、原告である周辺住民百数十人が、原子力発電所に増設された2号機の原子炉が運転されれば、平常運転時または地震等の異常事象時に環境中に放出される放射線及び放射性物質によって被曝することにより事故の生命・身体等に重大な被害を受けるとして、人格権または環境権に基づき北陸電力（原子力発電所の事業者）に対して、運転差止めを求めている。判決は原告の棄却、上告も棄却されている（最判平28・10・28）。

判決の理由として、「原子炉は危険を内包するものであって、安全管理方法は、原子炉ごとに異なり、かつ、その資料はすべて原子炉設置者の側が所持していることなどを考慮すると、本件原子炉の安全性については、被告側において、まず、その安全性に欠ける点のないことについて、相当の根拠を示し、かつ、必要な資料を提出した上で主張立証する必要がある。安全性の主張立証が尽くされた場合に、住民らが具体的危険性の主張立証をする必要がある。」とした。さらに被告の立証に関しては、通商大臣（現 経済産業省大臣）及び当時の原子力安全委員会が定めていた安全審査の基準を満たしていれば、被告の主張立証を尽くしたとすべきとしている。

被告の北陸電力は、原子力発電所立地を政府の将来のエネルギー計画に基づき、豊富な財源を使って調査しているものであり、原子炉増設時に十分に資料を整備しているものである。対して、住民に、調査をする際の財源、知見を十分に備えているとは考えづらく、判決の判断は政府の調査報告を肯定しているにすぎない。原子力発電における核反応は、未だ十分に科学的に把握されているわけではない。また、原子力発電所内の内部事象（事業所内の対処）は多くのリスク分析はなされていても、外部事象（自然現象など）に関しては不明部分が多いことは、福島第一原子力発電所の事故で証明されている。事前のリスク分析とその

結果に基づいた対処の規定を法令で明確に定める必要がある。

「志賀原発運転差止請求事件」本判決理由で注目されることは、「安全管理方法は、原子炉ごとに異なる」と示している点で有り、全世界に立地する原子力発電所について個別外部事象と、施設に応じた内部事象に関するリスクを審査が不可欠であると考えられる。

#### (4) リスクコミュニケーションの欠如

原子力発電等科学技術は、生体等へのリスク研究が不十分なまま、開発が先行している場合がある。原子力発電では、エネルギーの需要増大に対応した供給源、現在の生活維持（経済維持）には重要な技術であるが、下記のような問題点がある。

- ・ 予見困難なリスクが存在 — 経験的な知識で対応
- ・ 利用される技術は、原子より小さい粒子（中性子、陽子、電子）、及び波（放射線）を制御
- ・ 事故等非意図的な事態、予想不可能な自然現象（地球内部の変化、気象）

最も大きな問題は、リスク対処が不明な状態で技術が普及したことである。放射線のリスク対策として ICRP（International Commission on Radiological Protection：国際放射線防護委員会）（注14）の検討結果が国際的に参考にされている。1977年の勧告で、職業における被曝限度は、年間50mSv（ミリシーベルト）（注15）と定めたが、1990年の勧告では、職業被曝を年間20mSvと規制（実効線量限度）を厳しくしている。ただし、勧告の考慮点として、「人類が直面している多くの危険の1つである電離放射線だけについて勧告を出すことは、電離放射線に無用の不安を引き起こす可能性がある」と懸念しており、電離放射線は恐れるのではなく注意して取り扱うことが必要である」としている。また、放射線防護を実施する責任を持つ専門家が、国家間による違い、地域的な違いなどをしん酌できるように、勧告には十分に柔軟性を持たせるとも述べている。したがって、放射線のリスクは確実に存在するが、有益な利用も数多くされているため、過剰な不安も懸念している。

ICRPは、OECD/NEA、IAEA、ILO、UNEP、WHO（諮問機関）、IEC、ISOなど多くの機関と連携しており、ICRPの勧告は、現在では、IAEAの安全基準の基礎となっており、わが国をはじめ世界各国の放射線のリスクに対する法令の基準作成の際の根拠となっている。また、核兵器の実験被爆や核の平和利用被爆（原子力発電所など）に対する一般公衆の基準として1954年に暫定線量限度、1958年に線量限度も勧告しているが、人への許容線量でないことを明確に述べている。

微小操作技術の発展により、これまでにない化学物質の生成、素粒子の制御などが行われる場合、新たなハザードが発生する可能性もあり、その曝露を最小限にするための対処を検討するためのICRPのような国際機関が必要になると考えられる。

### 3. 2 リスク管理

#### (1) リスク分析

一般的なリスク管理では、装置・システムに故障または誤操作・誤動作による障害が発生

した場合、事故にならないように確実に安全側に機能するような設計思想（フェールセーフ：fail safe）、作業員などが誤って不適切な操作を行っても正常な動作が妨害されないこと（フールプルーフ：fool proof）、及び誤動作防止・条件がそろわないと操作が行われなようにすること（インターロック：interlock）ことが実施されている。これらは、研究施設、工場及び原子力発電所などで詳細な解析（フォルトアナリシスなど）に基づき計画される。個々の企業では、CSR（Corporate Social Responsibility）及び経営管理の重要な自主規制として業態に即した形で検討している。原子力発電所では、これら管理は、極めて厳重に実施されている。しかし、外部事象の分析が不足したことで、福島第一原子力発電所の事故が発生している。

## （2）予防

環境汚染に対する予防に関しては、「国連環境と開発に関する会議（1992年）」で採択された下記の「環境と開発に関するリオ宣言」の第15原則で概念が示されている。

「環境を保護するため、予防的方策は、各国により、その能力に応じて広く適用されなければならない。深刻な、あるいは不可逆的な被害のおそれがある場合には、完全な科学的確実性の欠如が、環境悪化を防止するための費用対効果の大きい対策を延期する理由として使われてはならない。」

当該原則で示されている「完全な科学的確実性」は、理想的な目標であり、自然科学では実現が極めて困難である。また、「深刻な、あるいは不可逆的な被害のおそれ」も前述の通り慢性的な影響である場合、自然科学的には十分にリスクを解析するのは困難である。したがって、先端技術が発生させる環境汚染に対して予防は極めて難しく、まずリスク不明な部分を明らかにすることが必要である。

## （3）微小物質のリスク

他方、原子レベルの材料（環境省ではナノテクノロジー材料と示している）が引き起こす「ヒトの健康、動植物へ影響をもたらす可能性」については、環境省・ナノ材料環境影響基礎調査検討会『工業用ナノ材料に関する環境影響防止ガイドライン（2009年）』（19-20頁）では、「ナノ材料については、ヒトや動植物に対する影響について一定の条件の下で実施された試験結果が数多く報告されているものの、有害性評価が実施あるいは確定されるまでは至っていない。」と述べている。また、当該ガイドラインでは、U.S.EPA（U.S.Environmental Protection Agency）等の機関がレビューした結果に基づいて知見を整理した結果として次の内容が示されている。

### ・ヒトの健康への影響

ナノ材料のヒトへの影響に関しては、ヒト細胞等を用いた *in vitro* 試験と哺乳類（げっ歯類）を用いた *in vivo* 試験の様々な結果が報告されている。なお、ナノ材料に特化した疫学調査は報告されていない。社会的注目も集めているのは、多層カーボンナノチューブを遺伝子変異マウス（アスベストに感受性が高く中皮腫の発生が早いマウス）の腹腔内に注入した試験の事例であり、一定期間にわたる観察により、クロシドライト（青石綿）で

の発症率を上回る中皮腫の発現が報告されている。

・動植物への影響

ナノ材料の動植物への影響に関しては、主に、水生生物を用いた試験の事例がある。動植物へ与える影響については、ヒト影響の研究以上に、得られる情報が少ないのが現状である。ナノ材料を被験生物にばく露する方法についても、そのサイズをどう設定すべきか、それをどう制御すべきか、標準となる試験方法が固まっていない。

・ナノ材料の特徴と影響メカニズム

ナノ材料は、ヒトの健康あるいは動植物へ影響を及ぼす可能性を示唆する試験結果が報告されている。一般に化学物質がそれらに影響を及ぼす場合、化学物質そのものが本質的に持つ有害性（個別の物質が固有に持つ化学的性状）の他、分子の形状・サイズや酸性度等の物理的な特徴が生物に影響を及ぼし得ることが知られている。ナノ材料についても、それぞれの化学的組成（炭素、チタン・銀等の金属等）の違いによって影響の種類や程度が決まるだけでなく、「サイズが小さいこと、表面積が大きいこと、及び活性酸素の生成能力の複合作用が、肺損傷の重要な要素になっている（U.S.EPA (2007)）」とした報告があるように、ナノ材料がナノスケールであるが故に持つ特性に起因する影響が懸念されることが指摘されている。

以上のように原子レベルの粒子の人体及び動植物へ与えるハザードに関しては、何らかの影響の可能性はあるが、十分に自然科学的な解明には至っていない。また、まだ具体的な症状も不明なことから汚染による被害が発生しても因果関係の証明は極めて難しいといえる。また、事前の対処を図るにもまだ知見が十分でない。核反応の利用のようにリスク分析が後追いになることが懸念される。また、原子レベルの研究は、いずれ原子核内の操作に及ぶことも予想され、中性子、素粒子を操作する場合、原子が不安定になり放射線が発生する可能性が高い。微小操作技術の総合的なリスク管理を実施していくことが合理的であると考える。

#### （４）放射線の利用

放射線は、短期間、または長期間の照射（吸収）で高い有害性があるが、既に工業、及び医学分野で透過性がある性質を有効に利用している。工業用の透過写真など非破壊検査（超音波を利用することもある）に利用されている。大きな建築物内部の損傷やタンカーの底の内部亀裂など目視できない部分の検査ができ、検査には、専門的知識を持った国家資格者が必要となる。

医学でも放射線が利用されており、エックス線を用いたレントゲン検査やコンピュータ断層撮影法（Computerized Tomography Scan：通称、CT スキャンといわれている）などがある。専門の国家資格者がこの操作を行っている。これら医療関係の放射線の利用は、「医療法」の細則である「医療法施行規則」、及び「獣医療法」の細則である「獣医療法施行規則」で定めている。なお、放射線は使用しないが核磁気共鳴画像診断法（Magnetic Resonance Imaging：MRI）も身体内部の状況の検査ができる。

なお、前述の有害性が高い<sup>137</sup>Seは、有用な使い方もされており、放射線を用いた医学治療、トレーサーとして研究開発、工業用計測器にも使われ流量計などに利用されている。わが国の放射線医学総合研究所では、原子力発電所及び原子力施設事故に対処するための医療体制、測定、医療のための移動施設を整備（緊急被ばく医療施設）、放射線を利用した、ガンなど医療検査の開発（分子イメージング）、粒子線を使い、シンクロトロンを利用し、患部を適切に治療するシステム開発・実用化（重粒子線、新治療研究）などが進められている。

事業場内の労働者の安全に関しては、「労働安全衛生法」の細則である「電離放射線障害防止規則」によって規制されている。この規則では、作業時におけるエックス線作業主任者及びガンマ線透過写真撮影作業主任者（専門的知識を持った国家資格者）が必要であり、作業者の教育訓練、作業環境測定、健康診断の義務が定められている。運搬車両については「放射性同位元素等車両運搬規則」で規制されている。また、医療関係の放射線の利用は、「医療法」の細則である「医療法施行規則」、及び「獣医療法」の細則である「獣医療法施行規則」で定めている。診療放射線技師に関しては、「診療放射線技師法」で規制されており、資格関係等は、「診療放射線技師法施行令」及び「診療放射線技師法施行規則」で定められている。

他方、高速増殖炉に関しては、高度な高速の中性子線の制御によってプルトニウムによる発電を行っている。この技術に関しては、中国で実用化が進められているが、わが国においては、運転管理において事故、不祥事が相次いでいるため、研究開発が見直されている。核融合に関しても、原子より小さなものについてコントロールが必要な原子核の融合を扱うことから実用化前に十分にリスク評価しなければならない。これらは、ガイドラインではなく、手続き等を法令で定めることが必要である。

#### 4. まとめ

最先端技術に関して現在判明しているリスクと不明な部分を明確にする必要がある。これら情報を公開し、リスクコミュニケーションを図ることが重要である。安全を強調することはリスクを拡大させる虞があるが、過剰な不安を生じさせることにも注意する必要がある。

微小操作技術の発展は、自然科学における複数の学術分野で有望な技術となっており、新たな可能性を見いだすことが試みられている。しかし、人体への健康影響及び生態系へ新たなリスク発生の虞もある。これまでと異なる汚染形態が発生する場合、新たな規制システムを検討しなければならない。各技術に固有な性質があることから、新たな個別技術及び環境保護の専門家によってそれぞれのリスク分析を行い、技術が普及する前に開発の一部として環境影響面を評価し、その結果に基づく対策が必要である。

原子レベル（またはそれより小さい素粒子など）が発生させるリスクを事前に評価し、環境影響の予防が図られることが望まれる。しかし、技術の有益な部分のみを注目し、開発・

普及が進んでいることは事実であることから、リスクが存在していることを十分に理解しなければならない。新たな技術における環境リスクが予測できない部分を明らかにし、把握できる部分と分類する必要がある。把握できたリスクには、その性質に応じた対策を行い、不明な部分にはシールなど最も厳重な対処が望まれ、巨大なハザードが予想され、曝露が膨大または不明な場合は技術普及そのものに対し慎重にならなければならない。

原子力発電所の立地、普及に関しては、エネルギー政策及び経済政策における電力供給面が期待され、リスク分析は後追いとなっている。また、不安を抱く施設周辺住民等とのリスクコミュニケーションが不足していると考えられる。核分裂、放射線、放射性物質の制御、環境中における挙動に関しては、まだ不明な部分が多く、早急に解析を進める必要がある。不安定な状態となった原子核を中性子で制御する技術開発も進められており、リスク低減技術の開発や制度を推進しなければ社会的責任を持った技術にはならない。

今後漸次、原子より小さい世界が解明されていくことが予想され、人工的な微小操作技術が新たなリスクを誕生させる高い蓋然性をもっており、環境リスクに関しての事前評価に基づく新たな対処を築いていくことが必要である。

#### (脚注)

---

(注1) ニュートリノとは、原子核が出す放射線のエネルギー分布においてスイスの理論物理学者ヴォルフガング・エルンスト・パウリ (Wolfgang Ernst Pauli) によって理論的に考え出された電気を帯びていない粒子である。ウランの核分裂実験を成功させたイタリアの物理学者エンリコ・フェルミ (Enrico Fermi) が、1933年にニュートリノ (イノはイタリア語で小さいを意味する) と名付けられた (ニュートロン [中性子] は、1932年に発見されていた)。その後、物理学者フレデリック・ライネス (Frederick Reines) ら研究グループによって1954年にその存在確認がなされ、2015年にノーベル物理学賞を受賞した日本の物理学者梶田隆章と、カナダの物理学者アーサー・マクドナルド (Arthur Bruce McDonald) によって「ニュートリノが質量を持つことを示したニュートリノ振動が発見」された。

(注2) 化学物質の性状については、米国の労働安全衛生法 (Occupational Safety and Health Act of 1970, 29 U.S.C.651,653,655,657.) の危険有害性周知基準(1985年制定) (29 CFR1910.1200(Hazard Communication Standard : HCS).) において、労働者の安全確保を目的としたMSDS (Material Safety Data Sheet) の情報公開が行われている。本規則では、事業者に対し作業者に危険・有害化学物質のMSDS情報を提供することを義務づけている。環境に関しては、1986年に、40 CFR370.20 (Applicability), SARA Section 311 及び Section 312に基づいてMSDSの作成が義務づけられた ( Superfund Amendments and Reauthorization Act of 1986, 42 U.S.C. 11011,11012,11024,11025,11028,11029)。その後、2002年に南アフリカ・ヨハネスブルグで開催された「持続可能な開発に関する世界サミット (World Summit on Sustainable Development :

WSSD [リオ+10])」で、「化学品の分類および表示に関する世界調和システム (The Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals : GHS)」の検討が行われ、国際的な化学物質のハザード情報普及が図られた。GHS の目的は、化学物質の有害性等について国際的に統一した情報伝達方法として、表示、SDS (Safety Data Sheet) を促すことにある。

(注3) 勝田悟『原子力の環境責任—サイエンスとエネルギー政策の展開—』(中央経済社、2013年) 12頁。

(注4) ラドンに関しては、状態が気体で有り、半減期が数時間から3.8日程度であるため短時間で壊変し、ポロニウム (Po) など個体の放射性物質になる。呼吸で吸い込んだものが体内に存在している間に固体 (放射性元素) に変化し、体内の細胞内に入り込むことが懸念される。肺胞に付着したラドンは放射線を出し続けることとなり、肺がんの原因になるとされている。ラドンは、地下水に溶け込み、また地下にガス状で存在しており、地下室や地下水を利用すると気圧の低くなった地上のシャワー室などで吹き出し高濃度になることがあるため注意しなければならない。

(注5) 勝田・前掲注(3) 86頁

(注6) 放射線に関して、「単位」自体がわかりにくく、一般公衆におけるリスク判断をさらに困難にさせている。1キュリー (curie) は、1秒間に  $3.7 \times 10^{10}$  個 (370億個) の原子核の崩壊を起こす放射性物質の量のことをいう。単位の記号は、“Ci”と表す。しかし、放射能単位キュリーは、現在はあまり使用されていない。

近年では、キュリーに代わって1秒間に原子核が1回崩壊する放射能の強さを使うようになっており、1ベクレル (becquerel) という単位を使う。現在は国際単位系の組立単位と指定され、標準単位として国際的に使用されている。単位の記号は、“Bq”と表す。1キュリーは  $3.7 \times 10^{10}$  ベクレル ( $1\text{Ci} = 3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$ ) に相当する。原子力発電所 (わが国で採用されている軽水炉) で100万kWの電気出力で1年間運転すると、1.5京ベクレル ( $1.5 \times 10^{16}\text{Bq}$  : 10,000兆=1京) の放射能が生み出される。

(注7) わが国の関西電力、四国電力、九州電力及び日本原子力発電で採用している原子炉では、PWR (Pressurized Water Reactor : 加圧水型原子炉) を採用している。当該発電は、原子炉内を加圧し、冷却水 (原子炉を循環する蒸気 : 軽水) が高温でも沸騰しないようにし、蒸気発生器 (熱交換) によって別の水の循環系統でタービンを回す蒸気を発生させる方式となっている。BWRより放射線管理区域を減少することができ、タービン建屋内で放射線に対する防護の必要がないメリットがある。しかし、蒸気発生器を設置しなければならないため、発電施設が大きくなり、熱効率も悪くなる。また、部品点数も多くなりメンテナンスすべき部分が増えるデメリットがある。

(注8) 政府がエネルギー政策のイニシアティブを持ち、原子力発電所のリスク管理においてガイドラインを示し、安全性を広報していた現状から、原子力損害賠償法制定時の専門部会長を務めた我妻栄が主張した「最終的な賠償責任は国が持つべき」との考えに基づき、法律で事前リスク評価も定めるべきであったと考えられる。

(注9) 東京都『アスベスト Q&A ver1.03』(2005年) 34~39頁。

(注10) Rn(ラドン)は、自然に存在する希ガス元素の中で最も重い放射性元素で、天然水に微量含まれている。融点が $-71^{\circ}\text{C}$ で、沸点 $-62^{\circ}\text{C}$ であるため、常温常圧では気体である。

(注11) 温泉水の定義として、温泉法第2条第1項では、「この法律で「温泉」とは、地中から湧出する温水、鉱水及び水蒸気その他のガス(炭化水素を主成分とする天然ガスを除く。)で、別表に掲げる温度又は物質を有するものをいう。」との規定が定められている。別表の二に定める物質(掲げるもののうち、いずれか一)には、「ラドン(Rn) : 二〇(百億分の一キューリー単位)以上。」及び「ラジウム塩(Raとして) : 一億分の一ミリグラム以上」との記載がある。

(注12) rDNA 実験ガイドラインでは、実験のリスクレベルによって P1~P4 に分類しており、P4 は最も高い感染性の病原体を用いる最も高いリスクをもつレベルである。

(注13) 風力発電施設は、環境影響審査法で1万kW以上ならば第一種事業、7,500kW以上1万kW未満の場合第二種事業として定められている。

(注14) ICRP とは、電離放射線の曝露に関連していたガン及びその他の病気防止、並びに環境保護に貢献する活動をしている国際機関である。構成メンバーは、約30ヶ国からの放射線リスクの保護分野における主要な科学者が集まっており、この他政策立案者を含む200を超える国からも参加している国際的 NGO 団体となっている。事務局は、スウェーデン・ストックホルムにある。1928年に放射線医学の専門家を中心として「国際X線およびラジウム防護委員会」(International X-ray and Radium Protection Committee : IXRPC)として創設し、1950年に医学分野以外も活動の対象にし現在は、本委員会と四つの専門委員会(放射線影響、誘導限度、医療放射線防護、委員会勧告の適用)がある。1950年以降基準値が公表されており、重要なものとしては、1958年に Publ.1 の勧告以来、1962年に Publ.6 (最大許容線量)、1965年に Publ.9 (許容限度)、1977年に Publ.26、1990年に Publ.60 (線量当量限度) の勧告を改訂している。

(注15) シーベルト(sievert)とは、国際単位系に採用されており、標準単位として国際的に使用されている。単位の記号は、“Sv”と表す。放射線防護の研究で高い業績があり、国際放射線防護委員会の委員長をつとめたスウェーデンの物理学者 R.M.シーベルト(Rolf Maximilian Sievert)に因んで命名された。電離放射線(原子に衝突するとイオン化させるエックス線または放射線)の等価線量をあらわし、1シーベルトは、1ジュール/キログラムとなる。また、放射線は、体の異なった部位で健康影響も異なってくるため、人体に対する影響の大きさ評価した値を実効線量といい、この単位もシーベルトを用いる。(以前用いられてきたレムと同様の等価線量を表し、1レムは、100シーベルトに相当する。)