

見解

より強靱な原子力災害対策に向けたアカデミアからの提案 — 放射性物質拡散予測の積極的な利活用を推進すべき時期に来たと考えます



令和5年（2023年）9月26日

日本学術会議

地球惑星科学委員会

地球惑星科学社会貢献分科会

この見解は、日本学術会議地球惑星科学委員会地球惑星科学社会貢献分科会の審議結果を取りまとめ公表するものである。

地球惑星科学委員会地球惑星科学社会貢献分科会

委員長	佐竹 健治	(第三部会員)	東京大学 地震研究所地震火山情報センター教授
副委員長	中村 尚	(連携会員)	東京大学先端科学技術研究センター教授
幹事	益田 晴恵	(連携会員)	大阪公立大学都市科学・防災科学センター客員教授
幹事	山岡 耕春	(連携会員)	名古屋大学環境学研究科教授
	田近 英一	(第三部会員)	東京大学大学院理学系研究科教授
	春山 成子	(第三部会員)	三重大学名誉教授
	大久保修平	(連携会員)	東京大学名誉教授
	川口 慎介	(連携会員)	国立研究開発法人海洋研究開発機構主任研究員
	木村 学	(連携会員)	海洋研究開発機構海域地震火山部門アドバイザー
	佐々木 晶	(連携会員)	大阪大学大学院理学研究科教授
	佐藤 薫	(連携会員)	東京大学大学院理学系研究科教授
	鈴木 康弘	(連携会員)	名古屋大学減災連携研究センター教授
	高橋 桂子	(連携会員)	早稲田大学総合研究機構グローバル科学知融合研究所上級研究員・研究院教授
	谷口 真人	(連携会員)	人間文化研究機構総合地球環境学研究所副所長教授
	張 勁	(連携会員)	富山大学学術研究部理学系教授
	佃 栄吉	(連携会員)	国立研究開発法人産業技術総合研究所名誉リサーチャー
	新野 宏	(連携会員)	東京大学名誉教授
	西山 忠男	(連携会員)	熊本大学先端科学研究部理学系特任教授
	氷見山幸夫	(連携会員)	北海道教育大学名誉教授
	藤井 良一	(連携会員)	情報・システム研究機構国立極地研究所特任研究員
	藪田ひかる	(連携会員)	広島大学大学院先進理工系科学研究科教授
	渡部 潤一	(連携会員)	大学共同利用機関法人自然科学研究機構国立天文台教授

本見解の作成にあたり、以下の方々に御協力いただいた。

関谷 直也	(連携会員)	東京大学大学院情報学環総合防災情報研究センター 准教授
岩崎 俊樹		東北大学名誉教授
大原 利眞		埼玉県環境科学国際センター研究所長
近藤 裕昭		産業技術総合研究所環境創生研究部門客員研究員
鈴木 靖		政策研究大学院大学 防災・危機管理コース講師
関山 剛		気象庁気象研究所全球大気海洋研究部第三研究室主 任研究官
鶴田 治雄		リモート・センシング技術センター客員研究員
山澤 弘実		名古屋大学大学院工学研究科総合エネルギー工学専 攻教授
渡邊 明		福島大学名誉教授

本見解の作成にあたり、以下の職員が事務を担当した。

事務	松室 寛治	参事官 (審議第二担当) (令和4年7月まで)
	佐々木 亨	参事官 (審議第二担当) (令和4年8月から)
	高橋 直也	参事官 (審議第二担当) 付参事官補佐 (令和5年3月まで)
	柳原 情子	参事官 (審議第二担当) 付参事官補佐 (令和5年4月から)
	大澤 祐騎	参事官 (審議第二担当) 付審議専門職付 (令和4年3月まで)
	稲元 祥吾	参事官 (審議第二担当) 付審議専門職付 (令和5年1月まで)
	近藤 慈恩	参事官 (審議第二担当) 付審議専門職付 (令和5年2月から)

要 旨

1 背景と課題

東京電力福島第一原子力発電所の事故（以下「1F事故」という。）から12年が経過した。被災の傷は人心に深く刻まれ、復興は未だ道半ばであるばかりか、処理水放出などの新たな課題も山積している。1F事故を教訓として、放射性物質の拡散に伴う災害を軽減・回避する手立てについて、国¹、原子力規制委員会、自治体、科学者コミュニティは、様々な取組を通して模索してきたが、解決への道のりが見出せたとは言い難い。

1F事故の発生直後、国費を投じた緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム「SPEEDI」の情報を、被ばくなどの防護措置に活用できなかった事実は、私たち国民に深刻な問題を突き付けた。原子力災害特別措置法（原災法）に基づく「原子力災害対策マニュアル」（2000年）には、「SPEEDI」の情報は「住民避難等の防護措置を決定する際の基本情報」と位置付けられ、「緊急時環境放射線モニタリング」の実測値を考え合わせて防護措置の決定に用いることが定められていたが、1F事故時には活用されなかった。これは、放射性物質の拡散予測情報を実際の防護措置に活かすプロセスに欠陥があったことを示す。

国民の安全を確保するためには、放射性物質の拡散に関するあらゆる科学情報を収集し、防護措置の判断に活用することが必要不可欠である。ところが、2016年に原子力規制委員会は、防護措置の判断に「SPEEDI」は使用しないとする方針を決定し、避難はモニタリングデータに基づいて判断するとした。モニタリングポスト等の観測値のみに依存する我が国の防護策は、予測情報を積極的に活用する国が多い中、国際的比較からも奇異に映る。

原子力規制委員会は「予測情報は信頼性を欠いており、不確実な予測を根拠にした避難は混乱を招き、被ばくの危険を増大させる恐れがある」ことを理由に、防護措置に予測情報を使用しないこととした。これに対し、原子力発電所の立地自治体から予測情報の活用を求める声上がり、その後政府は「自治体の責任において活用することは妨げない」とし、自治体自らの判断と責任の下で使用可能とした。しかしこのことは、原子力災害対策特別措置法第四条2項²及び原子力災害対策特別措置法第六条の2³に照らせば、原子力規制委員会が地方公共団体等や国民に対して担うべき責任を全うしていない異常事態である。

この12年間に、放射性物質拡散の予測精度や不確実性に関する理解は確実に向上した。原子力発電所の長期再稼働や新設という政策転換が示された現在、国民の安全を最優先に確保するためには、放射性物質拡散予測の活用を含む科学的な防護措置を策定するための指針の確立及び原子力災害対策をより強靱にするための見直しが必要である。

¹ ここで国とは、内閣府及び「原子力災害対策特別措置法」に基づく緊急時における原子力災害対策本部と「原子力基本法」に基づく平時における原子力防災会議によって規定されている関係省庁（<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/hakusho/hakusho2022/1-4.htm>（2023年7月11日確認））に加え、気象庁を指す。

² 原子力災害対策特別措置法第四条2項：原子力規制委員会委員長は、この法律の規定による地方公共団体の緊急事態応急対策の実施が円滑に行われるように、その所掌事務について、当該地方公共団体に対し、勧告し、助言し、その他適切な措置をとらなければならない。

³ 原子力災害対策特別措置法第六条の2：原子力規制委員会は、（中略）地方公共団体、指定公共機関及び指定地方公共機関その他の者による原子力災害予防対策、緊急事態応急対策及び原子力災害事後対策の『円滑』な実施を確保するための指針（以下『原子力災害対策指針』という。）を定めなければならない。

2 見解

本見解は、主に原子力規制委員会及び国¹に対し、原子力発電所事故時の放射性物質の拡散問題から国民の安全を守るための必須要件として、以下4点の見解を表明する。

見解1 放射性物質の拡散に対して国民の安全を確保するための防護策は、モニタリングデータだけでなく数値シミュレーションによる予測から得られる科学的な情報と知見を最大限に活用して策定することが強く望まれる。

モニタリングデータは信頼できる実況値であるが、事故発生時にはモニタリングデータが得られない場合もある。加えて、モニタリングのみでは放射性物質の拡散に関する将来情報は得られないため、放射性プルームから内部被ばくを防護する際の弱点となり得る。放射性物質の拡散予測は、モニタリングデータが得られない不測の事態が起きても、不確定性の定量的評価を含む有用な将来情報が得られる。さらに、モニタリングと予測情報を総合すれば、放射性物質放出量の精確な推定が可能となる。すなわち、モニタリングと予測の相補的な活用が、国民の命を守る最適な防護策の提供を可能にする。

見解2 原子力規制委員会と原子力規制庁は現行の『原子力災害対策指針』³ [1]を改訂し、拡散予測情報の活用指針を統一し、責任の所在を明らかにした上で、最適な防護策の策定と施行が望まれる。

原子力規制委員会の現行方針は、放射性物質拡散の予測情報の活用を求める自治体の声と乖離している。この乖離の放置は、防護措置に対する責任の所在が不明瞭なまま、避難や防護における国民のリスクを放置することと同等である。国民のリスク回避を最優先に考え、現行の『原子力災害対策指針』³を改訂し、避難や防護の責任の所在を明らかにした上で防護策の策定指針を統一し、国¹、原子力規制委員会、自治体が一体となって最適な防護策を策定し施行することが望まれる。

見解3 原子力規制委員会は科学者・専門家の能力を最大限に活用することが望まれる。

緊急時に、原子力規制委員会や政府に対して、放射性物質拡散や気象の予測を含め、関連分野の科学者や専門家から適切な科学的助言が提供され、有効に活用されるような仕組みと体制の構築が必要である。

見解4 国¹、原子力規制委員会、自治体、科学者コミュニティ、市民は互いに協力し、市民の視点から防護策を策定し、緊急時に確実に運用するための準備が望まれる。

放射性物質の拡散の深刻さが時々刻々と変化する緊急時において、国民の安全を確保するには、自治体や市民にリスクを公表・周知した上で理解を求め、国¹、原子力規制委員会、自治体、科学者コミュニティ、市民が総力を挙げて防護策を策定・運用することが求められる。平時においても、最新データの公表や科学技術の活用を踏まえた訓練を実施し、従来の枠に捉われない様々なレベルの協力により策定・運用を準備する必要がある。

目 次

1	背景	1
2	現状と課題	4
	(1) モニタリングのみに依存する防護策の限界とリスク	4
	(2) 防護策の策定指針における国と地方自治体の乖離	5
	(3) 科学を活かすことが望まれる防護策	7
	(4) 実効性のある防護策を実現するために	10
3	国民の安全を確保するために求められる要件	12
	(1) モニタリングと放射性物質拡散予測の相補的活用	12
	(2) 統一指針に基づく防護策の策定	15
	(3) 科学と科学者・専門家の最大活用	16
	(4) 相互信頼を基盤とする防護策（新5W1H）の実施	18
4	見解	20
	<参考文献>	21
	<参考資料1>	25
	<参考資料2>審議経過	31

1 背景

東京電力福島第一原子力発電所の事故（以下「1F事故」という。）から12年が経過した。被災の傷は人心に深く刻まれ、復興は未だ道半ばである。未解決の課題のみならず、処理水放出など新たに生じた課題も山積している。この12年間、国¹、原子力規制委員会、自治体、科学者コミュニティは、様々な取組を通して、放射性物質の拡散による災害回避について検討してきた。しかしながら、解決に至る道筋は未だ見えない。

日本学術会議地球惑星科学委員会においては、第22期に提言「これからの地球惑星科学と社会の関わり方について—東北地方太平洋沖地震・津波・放射性物質拡散問題からの教訓—」（平成26年(2014年)9月30日）[2]を取りまとめ、6つの提言を行った。これらの提言内容を基盤として、将来起こり得る大規模災害の際に同じ問題を繰り返さないために、地球惑星科学と行政、社会との関わり方の検討を重ね、課題解決に向けた取組を行ってきた。これら6つの提言の中には実現したものもあるが、残念ながら実現途上のもものも残されている。

世界平和の基盤が戦争や侵略等によって揺らいでいる今日、エネルギーの安定確保が我が国の経済安全保障上の喫緊の課題として突き付けられている。さらに、2030年～2050年の段階的なカーボンニュートラルの実現に向けた加速的な取組が必要とされる現状において、化石燃料への再依存を許容することによってエネルギー問題を解決することは難しい。自然エネルギーへの完全な移行にも時間を要することを考慮に入れると、エネルギー問題の解決への取組は極めて厳しく、技術的な課題のみならず人間活動の根源に立ち返り社会全体を視野に入れた課題解決が求められている。我が国においては、東日本大震災以降稼働を停止していた原子力発電所（以下「原発」という。）の新增設を巡る議論が再開され、政府からは、既存の原発の使用年限の引き上げや次世代型原発の開発・建設を進める施策転換が打ち出されている。

このような状況の下、私たちは今一度、1F事故とそれによってもたらされた災害を振り返り、今も残っている傷跡をこれ以上深めないように、そして原子力施設の事故による災害を二度と繰り返さないように課題の解決策を模索・提案し、早急に解決できるようにしなければならない。

現在、最優先に解決すべき重大な課題の1つは、万が一放射性物質が拡散したときの国民の安全確保のための道筋を明確にすることである。国民の安全確保には、放射性物質の拡散に関連するあらゆる科学の知見・工夫を総動員して、不確実性がある状況においても避難や防護におけるリスクを最も低くする施策を策定し、その施策を着実に運用・実施できるようにすることが必要不可欠である。とりわけ、放射性物質拡散の予測・評価において、近年著しく信頼性が向上した放射性物質拡散数値モデルの活用は極めて重要である。このことを踏まえて、少なくとも以下の4つの背景(i)～(iv)を認識し、解決を図ることが求められる。

- (i) 現行の『原子力災害対策指針』³では、モニタリングポスト等のデータのみ依存した防護策が策定されており、そこでは屋内退避への偏重があり、避難や防護におい

てリスクを内包する可能性がある。このリスクの低減には、放射性物質拡散の予測情報を有効活用することが考えられる。しかしながら、原子力規制委員会は2014年に緊急時にSPEEDIを使用しないことを宣言し [3]、2016年には住民避難など防護措置の判断には予測情報を使用しないと決定しており [4]、その後は、防護措置に関わる新たな改善策はとられていない。1F事故以降の12年間に、放射性物質の拡散を予測する数値モデルの高精度化により予測の信頼性は向上し、またその不確実性を定量化する新たな予測法も確立されてきた。1F事故の教訓は、「万全の安全対策をしていると思っても、事故は人知の及ばぬ事態によって起きてしまう」ことである。そのような事故に対する国民のリスクを軽減するためには、拡散数値モデルによる予測情報を含むあらゆる準備可能な情報を活用して防護措置を講ずる必要がある。そのためには、まず、予測情報など活用可能な科学情報を実際にどのように有効に利用し得るかを議論する公の場がないことも問題であることを深く認識する必要がある。原子力回帰が進む現在、原子力規制委員会、科学者、自治体関係者等が集まり、放射性物質拡散予測を直接的・間接的にどのように原子力防災に活かせるかについて、これまで途絶えていた真摯で誠実な議論を再開する時期である。原子力規制委員会には、放射性物質拡散予測や拡散数値モデルに関わる科学者及び専門家、自治体関係者との責任ある議論を公に透明性を持って開始し、意識を共有し、予測情報等の科学情報を防護策に活用するための体制を喫緊に整備することが望まれる。

(ii) 上記の原子力規制委員会による『原子力災害対策指針』³において、原子力発電所周辺の防護措置を近傍の放射線量のモニタリングデータに基づいて判断すべきとした理由として、同委員会は「予測情報は信頼性を欠いており、不確実な予測を根拠に避難すると混乱を招き、被ばくの危険を増大させる恐れがある」ことを挙げた。一方、原発の立地自治体からは、予測情報の活用を求める声上がり [5]、その後、政府は「自治体の責任において活用することは妨げない」として自治体の裁量で予測情報の使用を認めた [6]。しかしながら、各自治体において自力で拡散予測を行うことは経費的にも技術的にも困難で、国の方針に沿って、原子力施設立地等の道府県に導入されていたSPEEDIシステムの端末機が平成27年度に撤去された状況では、立地道県や地方自治体が拡散予測情報をリアルタイムで取得・利用を行うことは現実的には難しい。この状況は、原子力災害対策特別措置法第四条2項及び原子力災害対策特別措置法第六条の2に照らせば、原子力規制委員会が地方公共団体等及び国民に対して担うべき責任を全うできていない異常な事態である。

(iii) 1F事故の発生直後は、国費を投じて開発された緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム「SPEEDI」による情報を被ばくなどの災害回避に活用できなかった。原子力災害特別措置法（原災法）に基づく「原子力災害対策マニュアル」（2000年）には、「SPEEDI」の情報は「住民避難等の防護措置を決定する際の基本情報」と位置付けられており、「緊急時環境放射線モニタリング」の結果（実測値）を考え合わせて

防護措置の決定に用いることと定められており、政府主催の防災訓練（原子力災訓練）において使用されてきたにも関わらず、1F 事故時に活用されることはなかった。「原子力災害対策マニュアル」には、放射性物質拡散の予測情報をどのように活用すれば良いのかについての基本的認識の欠如が指摘されている [7]。放射性物質の拡散に関するどのようなデータ及び情報を有効に活用できるのかについて、行政と科学者との間には認識の乖離がある。予測とモニタリングから得られる放射性物質拡散データと情報を緊急時に施策に反映するには、実用レベルでの実現可能性(feasibility)/実践能力(capability)/効用(utility)を視野に入れ、かつ必要な専門性を踏まえた幅広い議論が必要であり、科学者や専門家の専門知識を活かすことができるような検討の場と組織が必要である [8] [9]。しかしながら、現時点ではそのような場も組織体制も存在しない。

(iv) 各自治体は、特別措置法における国の責任・指導の下で放射性物質の拡散問題に直接対峙しなければならない。放射性物質の拡散の状況は、発電所の炉内や施設の状態、気象状況に依存して時々刻々と変化し得ることが想定され、そのような状況下で防護措置を決定する判断は、困難を極めることが容易に予想される。防災訓練で使用はされても、1F 事故発生時には活用できなかった放射性物質の拡散予測情報を、国民の避難・防護リスクの低減に活用できるようにするため、より高い専門性が担保される仕組みを取り入れた組織と運用の体制づくり、並びに緊急時に機能する人的ネットワークの構築が必要不可欠である。原子力関連施設での事故発生時に国民の安全を確保するためには、自治体と市民が発災時に被る苦悩や不安を理解し、国¹、原子力規制委員会、自治体、科学者コミュニティ、市民の総力を挙げた取組が必要であるが、現時点における取組にはこのような意識が十分とは言えない。平時の自治体の訓練においても専門家を導入することは短期的にも実現可能である。中長期的には、様々なレベルでの協力と組織体制の構築、IT 技術等も取り入れた技術増進や情報公開、人材育成も含めた取組も全国的な展開として進める必要がある。

以下、上記背景(i)～(iv)それぞれに対して、2章において現状と課題、3章において解決に必要な要件を言述し、4章において見解を表明する。

2 現状と課題

(1) モニタリングのみに依存する防護策の限界とリスク

『原子力災害対策指針』³ [1]によれば、原子力関連施設で緊急事態が発生した場合には、原子力施設から概ね半径 5 km 以内の「予防的防護措置を準備する区域」(PAZ: Precautionary Action Zone)、及び概ね 30km 以内の「緊急時防護措置を準備する区域」(UPZ: Urgent Protective Action Planning Zone)において、防護措置を講ずるとされている。これらの区域に対して、原子力事業者は、「警戒事態」、「施設敷地緊急事態」、「全面緊急事態」のいずれに相当するかを判断して、国及び必要に応じて地方公共団体に事態の発生を通報する。

上記の通報を受けて、国や地方公共団体は、公衆等に対する情報提供を行わなければならない。特に、「全面緊急事態」の場合には、PAZ 内では、全ての住民等を対象に避難や安定ヨウ素剤の服用等を実施する。また、避難よりも屋内退避が優先される場合には安定ヨウ素剤の服用等の防護措置を実施する。一方、UPZ 内では、段階的な避難や必要な防護措置を実施するまでは屋内退避を原則実施する。ただし、放射性物質の放出後は、その拡散によりさらに広い範囲にわたって空間放射線量率等の高い地点が発生する可能性がある。そのため、PAZ や UPZ 以外においても、緊急時モニタリングの結果等を踏まえて、屋内退避や避難、一時移転、飲食物摂取制限等の防護措置を行うとされている。飲食物中の放射性核種濃度の測定は、空間放射線量率に基づいて、測定を開始すべき範囲を数日以内に特定し、開始すると定められている。このように、現行の『原子力災害対策指針』³ [1]では、PAZ、UPZ、UPZ 外のいずれにおいても、緊急時モニタリングの結果等に基づいて避難や屋内退避の判断をすることになっている。

モニタリングは、空間放射線量率の絶対値等の基本的かつ重要な防災に役立つ情報を提供する。その一方で、モニタリングのみから得られる情報は、例えば、日本気象学会「原子力関連施設の事故に伴う放射性物質拡散に関する作業部会」によって指摘されているように [10]、以下の課題を抱えている。

第一の問題は、モニタリング値で高い空間線量率が確認されたとしても、情報が提供された時点では既に、高い濃度の放射性物質の領域（放射性プルーム）が通過した後である場合には、通過する間の吸引による内部被ばくを防ぐことはできない。また、上空の放射性プルームの動きを事前に捉えることが困難なため、降水とともに放射性物質が落下し、飲料水や家畜の飼料等を汚染することを事前に知ることも難しい。

第二に、既存のモニタリングポストは数が限られるために、現実には汚染された高濃度地域を見逃す危険性がある。従って、安定ヨウ素剤服用のタイミングや範囲を適切に決定することが困難である。

第三に、緊急時における機器の故障や通信の切断などでモニタリングデータが得られないことが十分に想定される。特に、原子力施設の事故が地震や風水害などの自然災害によるときは、その危険性が高い [11]。実際、1F 事故の際には、原発 10 km 圏内にあった 23 のモニタリングポストのうち、5 か所は津波により被災し、残りのほとんどはデータ伝送基地局のバックアップ電源が途絶し、生き残ったのは手動による再起

動を経て衛星テレメータが使えた大熊町大野局のみであった。現在は原発 30km 圏内に通信経路を有線・携帯電話・衛星で三重化した 36 局が配置されている。しかし、自然災害時には有線・携帯電話は被害を受ける可能性があり、衛星も回線容量が限られるため、ほかの緊急通信との輻輳も懸念される。

モニタリングポスト数の増加や機能増強がなされてはいるものの、その保守管理は、自治体の平常業務負担を増加させているという別問題としての一面もある [12]。加えて、緊急時の陸上放射線量を十分に把握するには、航空機観測やドローンを駆使した無人観測も求められる。さらに、沿岸域の原子力関連施設で発生した事故時には、海洋汚染の観測も合わせて必要となろう。

モニタリングデータのみ依存する防護策は、たとえ 1 時間先であっても予測情報を提供しない。従って、時々刻々と事故状況が変化し、その状況に応じて種々の対応も変化せざるを得ない緊急時においては、策定した防護策が実施時には既に最善ではなくなってしまうという潜在的リスクを増大させる可能性がある。

モニタリングデータのみから予測情報を得てリスク増大を回避するには、モニタリングで常時得られるデータを長期間蓄積し、それらを教師データとする深層学習により気象条件により変化する空間放射線量率の分布から予測情報を得ることが重要である。また、そのような長期間蓄積データが十分な量でなくても、教師なし機械学習によって予測情報を獲得できる可能性がある。しかしながら、現時点ではその実現可能性が示されていない。現時点では、放射性物質拡散シミュレーションによる予測情報の活用が現実的ではあるが、将来的にはさらに新しい技術による予測情報も視野に入れ、防護策のリスクをより低減できるように予測システムを随時更新していくことが必要である。

我が国で原子力関連施設の事故が起きた場合、仮に日本政府から公式に放射性物質の拡散予測情報が発表されなかったとしても、海外で実施された複数の予測情報をインターネット経由で多くの国民が目にする状況が容易に想定される。実際、1F 事故の際にも、空間解像度は粗いものの、海外諸国から多くの予測情報が配信された [13]。特に、複数の予測結果の間に本質的な差異が存在する場合や、モニタリングによる情報と明白な差異が見られる場合には、社会的混乱を招きかねない。こうした混乱を最小限に留めるためにも、我が国独自の信頼性の高い放射性物質の拡散予測情報の提供が求められる。

緊急事態発生時の防護措置において最も重要なことは、周辺住民の被ばく等の被災を最小にすることである。国民の健康や命を守る責務を完遂するためにはモニタリングのみに頼るのではなく、予測情報を含む最新の科学に基づくあらゆる知見を総合的に集約して最善の防護措置の判断ができるようにしなければならない。

(2) 防護策の策定指針における国と地方自治体の乖離

原子力規制委員会は、2013 年の『原子力災害対策指針』において、緊急時には空間線量率のモニタリング値等に基づいて対処し、拡散数値モデルによる予測を参考とす

るとした。しかし、2014年10月8日の原子力規制委員会においては、「緊急時における避難や一時移転等の防護措置の判断にあたって、SPEEDIによる計算結果は使用しない。」とすることが決定され、その理由として「原子力災害発生時に、いつどの程度の放出があるか等を把握すること及び気象予測の持つ不確かさを排除することはいずれも不可能であること」が挙げられた [3]。

2016年3月16日には「拡散計算の結果に信頼性はない。原子力災害発生時に、予測に基づいて特定のプルームの方向を示すことは、かえって避難行動を混乱させ、被ばくの危険性を増大させることとなる。・中略・従って、放射性物質の放出前の避難については、同心円的に事前に決められた方法で行うべきである。」との見解が示された [4]。この時点において、原子力規制委員会は「予測に基づき方向を示唆して避難することの弊害」という強い批判的表現を使い、「用いてはならない」という趣旨を強めた。さらに、当時多くの原子力安全・防災専門家からも SPEEDI の計算結果に伴う不確実な部分が緊急時に無用な被ばくや混乱といった深刻な副作用をもたらすのではないかという強い懸念が示された [7]。

その後、都道府県知事の団体である全国知事会が政府に SPEEDI の活用の余地を残すよう申し入れ [5]を行った。この申し入れを受けて2017年7月24日の原子力災害対策関係府省会議は、拡散予測の活用に関して「国は、地方公共団体が、原子力災害時や避難訓練等において、原発事故の状況等の情報に加え、自らの判断と責任により大気中放射性物質の拡散計算を参考情報として活用することは妨げない。」「なお、原子力事業者も地方公共団体から地域防災計画避難計画の具体化・充実化の観点から要請があれば、大気中放射性物質の拡散計算の情報を提供する。」とした [6] [12]。しかしながら、現行の原子力災害対策指針³ [1]にはこれらに関する記述はない。

もともと、原子力災害特別措置法（原災法）に基づく「原子力災害対策マニュアル」[14]において、SPEEDIによる情報は「住民避難等の防護措置を決定する際の基本情報」と位置付けられ、「緊急時環境放射線モニタリング」の結果を考え合わせて防護措置の決定に用いるものと定められ、実際の訓練においても用いられてきた。しかしながら、1F事故では、SPEEDIによる予測情報が活用されなかった、あるいは活用できなかった。その理由は事後に検証され、以下のように報告されている。

まず、政府事故調査報告書 [15]では、SPEEDIは活用できたはずとしている。事故時に放出源情報が得られない場合においても、ある単位量の放射性物質が放出されたことを仮定した数値シミュレーションによる予測は可能であり、自治体及び住民は、その予測計算結果を活用することにより道路事情等に精通した地元ならでの判断で、より適切な避難経路や避難方向を選ぶことができる。1F事故時に SPEEDI が有効活用されなかったのは、関係機関が予測結果を住民避難のために実際に役立てるという発想を持ち合わせておらず、各機関の役割が明確に定められていなかったためと報告した。

一方、国会事故調報告書 [16]では、SPEEDI を活用しないとの当時の判断は適切だったと述べられている。緊急時対策支援システム (ERSS) と SPEEDI は一定の計算モデルを基に将来の事象の予測計算を行う1つのシステムであるから、ERSS から放出源情報が

得られない場合、SPEEDIの結果単独で避難区域設定の根拠とできる正確性はなく、かつ1F事故時は事象の進展も急速であったため、SPEEDIの予測結果を初動の避難指示に活用することは当時は困難であった。従って、当局はERSSから放出源情報が得られなかったため、SPEEDIは活用できないと考え、活用しなかったと報告した。これら2つの報告書は、一見相反する見解を述べているかのようであるが、「2011年3月12日以降に福島県庁等自治体に提供された当時の放射性物質の拡散予測情報が役に立たなかった」という点では一致している。

このような放射性物質の拡散予測に対する見解の相違や異なる解釈は、さらに深刻な状況を生み出している。緊急時に避難指針を決定しなければならない原子力施設が立地する道県等の地方自治体にとって、拡散予測情報を「自治体の責任において活用することは妨げない」との国の方針は、地方自治体が自らの責任で判断することを意味しており、実務上は極めて重いものである。このことは、自治体の防災担当者に過大な責任を強いているばかりか、原子力災害対策特別措置法 [17] 第四条2及び第六条の二に照らせば、国と原子力規制委員会が地方公共団体及び国民に対して担うべき責任を結果的に果たすことができないという異常な事態が放置されたままになっているのである。

原子力施設の立地道県からは、依然として、大気中の放射性物質の拡散予測を有効に活用する方法を検討すべきでないか等の意見が出されている [12]。このことは、1F事故では現実に、発災後の放射線量の拡散予測や避難等の必要性などに対する多くの住民の不安が市町村自治体の対策本部に非常に多く寄せられたことを根拠としている。また、1F事故時にSPEEDIによる拡散予測情報が活用されず、官邸からの同心円状の地域避難指示により強制的避難をさせられた高齢者が命を落とすなどの被害が生じたという指摘 [18]も根拠となっている。さらに、震災の被害によって多くのモニタリングポストの故障やデータ通信の不具合から実測データが得られなかった事実や、モニタリングポストの増数や分布の限界からホットスポット（周囲よりも汚染が高度な場所が狭い範囲で局地的に生じる現象）を見逃す懸念を予測情報によって補完する必要があるという指摘、さらにはその補完をしないことによるリスクの増大に対する懸念は、当然のことながら地方自治体関係者からも挙がっている [12] [19]。

上記のように、国民の安全を最大限に確保すべき防護措置における放射性物質拡散予測の活用についての見解は、国¹及び原子力規制委員会と立地道県、地方自治体との間で明らかな齟齬を生じており、それは現在も解決されていない。国民及び地方自治体や都道府県、国¹や原子力規制委員会、放射性物質拡散問題を専門とする科学者や専門家の3者間の異なる見解を照らし合わせ、より良い見解に至るための情報交換や検討の場は現時点では設置されておらず、今後の道筋が見えないのが現状である。

(3) 科学を活かすことが望まれる防護策

原子力規制委員会は、2014年に「SPEEDIを避難の判断には『用いない』」としていたが [3]、上述のように、2016年には「予測に基づき方向を示唆して避難することの弊害」

という強い批判的な表現で [4] 「用いてはならない」という趣旨を強めた。この見解は現在も継続されている。その結果、原子力規制委員会の避難・防護指針はモニタリングポスト等による観測値のみに依存したままであるが、(2)に述べたように、この方針は国民の安全の確保の観点から本質的なリスクを孕んでいることを忘れてはならない。

1F 事故以降、12 年の間にコンピュータの性能は向上し、それとともに放射性物質の拡散数値モデル自体も当時の SPEEDI に比べて高性能かつ高精度になった [20] [21]。なお、1F 事故時のように、放射性物質の発生源情報は実際の事故の発生時においては精確には同定できない可能性が高い。しかし、1F 事故時に得られた観測データのさらなる解析により、当時の発生源情報がかなり正確に同定できた [22] [23] ことで、1F 事故時の放射性物質の拡散状況の再現実験が可能となり、その結果として、拡散予測に利用する気象データそのものについての課題も明確化できた。さらに、拡散数値モデルに境界値として与える気象庁の気象予測モデルの分解能は 1F 事故時よりも格段に向上し、気象庁予測モデル自体の高性能化も飛躍的に進んだ [24]。すなわち、この 12 年間で拡散数値モデルによる予測精度は大きく向上している。また、複数の最先端の拡散数値モデルによる結果を新たに収集された放射性物質観測と比較した結果からモデル間の結果のばらつきに対する予測の不確定性評価についての理解も進み [25] [26]、単独モデルを使用する際においてもアンサンブル予測手法の発展により予測の不確実性の統計的評価が可能であり [27]、確率的な精度情報を付加した拡散予測情報の提供が可能となっている。

このように、アンサンブル予測手法の発展により統計的な不確実性の評価が可能であるという上記の考えが、今日のアカデミアの認識である。これに対して、原子力規制委員会が数値モデルを防護判断に使わないとした過去の判断 [3] [4] は、当時利用可能であった決定論的予測による限られた事例の検証に基づくものであり [28]、今日のアカデミアの認識とは大きく異なっていた。

ただし、上空を移流拡散してきた放射性物質が降水粒子に取り込まれて地表面を汚染する湿性沈着の問題は、降水予測に不確実性が大きいいため、現在でも精確な予測は難しい。しかしながら、湿性沈着についての理解が進んだこと [21] に加え、降水に関してはレーダーによる降水の実況値に基づいて予測の精度が向上している。例えば、降水のある地域における家畜飼料や水道水の貯水池が汚染される危険性を事前に把握する手法が提案されており [10]、これらの知見を活用した湿性沈着予測を活用することが考えられる。

以上のように、放射性物質の拡散数値モデルによる客観的予測は、1F 事故から 12 年を経て高精度化するとともに、不確実性を客観的かつ定量的に評価する手法も開発されてきた。このことを踏まえて、原子力施設の事故は今後も発生可能性があるものとして事故があった際の被害を軽減する最善策の策定には、数値モデルから得られる予測情報も関連省庁や地方自治体の避難と防護措置に活用して被害を受けるリスクを減らすことが極めて重要である。放出源情報の精度が保証されないなどの不確定な状況下においても、ある単位量の放射性物質が放出されたことを仮定した数値シミュレー

ションによる予測結果とモニタリングを総合して最も信頼性の高い科学情報を提供できるようにし、科学者や専門家による助言を迅速に現場の施策決定に活かせる仕組みと体制の構築を併せて実現する必要がある。

放射性物質拡散に対する防護措置には、モニタリングポスト等の観測値と数値モデルによる予測という2種類の異なる科学的情報を、片方が使えない場合もあり得ることを念頭に、相補的に活用できるようにすることが極めて重要である [29]。すなわち、放射性物質拡散から国民の安全を確保するためには、入手可能なあらゆる科学情報を有効に活用した防護措置の総合的判断を行う体制と運用の整備が必要不可欠である。

海外では、モニタリング情報と予測情報の双方を避難・防護策に活かすことは常識である [30] [31] [32]。米国では、1F事故の発生直後、米国本土用に開発された放射性物質拡散モデルを日本周辺に適用できるよう迅速に改変し、日本に派遣された米国エネルギー省の専門家に対して日々の天気や放射性物質拡散予測情報を、モニタリングに適した位置情報や分析結果情報などとともに提供した [30] [33] [34]。フランスにおいても、独自の放射性物質拡散モデルを用いて予測計算し、その情報を在日フランス大使館や本国から東日本大震災の被害者救助に派遣された救助隊に送られると同時に、メディアからの1000件以上の問い合わせにも対応した [30] [35]。オーストラリア、英国、ドイツ、スウェーデン、デンマーク、台湾においても、それぞれ独自の予測モデルによる数値計算で得られた予測情報を様々な側面で活用した [30] [32] [36]。

さらに、IAEA(International Atomic Energy Agency)の緊急防護措置に関する報告書 [37]では、「防護措置の有効性を損なうことなく利用可能な資源を最大限活用するためのあらゆる予報モデルの使用と放射性物質のモニタリング結果を活用する必要がある」と明記されている。

我が国では、現業として運用されている放射性物質拡散予測モデルはなく、防護措置を含む災害対応における予測情報の活用も準備されておらず、国際的なスタンダードからは、大きくかけ離れた状態にある。

加えて、前述のIAEA報告書には、「防護措置には柔軟性が必要であり、例えば嵐など気象条件が悪いときは、予定した避難が危険となることも考慮すべきである」と明記されている [37]。このことは、気象分野に限らず、地震による斜面崩壊、有毒ガスタンクの崩壊など、緊急時に起こり得る様々な現象による複合災害を念頭において、想定されるリスクに関連する分野の専門知識を活かすことが必要であることを意味する。

1F事故当時の我が国の拡散予測モデルであったSPEEDIは、開発者により納品されたシステム製品と位置付けられており、計算された結果は所定の手続きに従って国の避難・防護対策本部等の意思決定機関に送付され、そこで最終的な判断がなされるという利用法が設定されていた。しかし、SPEEDIの数値計算手法や予測モデルの特性、予測情報としての利点や欠点など、得られた予測情報を現場での避難や防護に活かすために必要な「専門的助言」が、原子力安全防災について高度な見識を有する科学者や技術者から迅速に提供される体制が設定されていなかった。この失敗が、SPEEDIの計算結果が有効に活用されなかった大きな要因となっただけでなく、ひいては1F事故後に放

放射性物質の拡散予測から得られる科学情報の活用を否定する原因になったと考えられる。上記を踏まえ、我が国における最新の科学的知見を基にした放射性物質拡散予測システムの再建及びその運用と活用体制についての再考が喫緊に必要である。

(4) 実効性のある防護策を実現するために

多大な被害を招いた1F事故の教訓を今後の避難・防護対策に活かすことは、世界的に見ても数少ない過酷な事故を経験した我が国の責務である。1F事故発生時に福島県庁に送られた SPEEDI 情報を見直してみると、その情報が防災担当者にとっては全くといっていいほど役に立たない内容だったことが分かる。表1は、2011年3月12日以降に福島県庁に提供された SPEEDI 情報に関して公表された5W1Hである [38] [39] [40] [41]。公表されなかった情報があったものの、表1より、SPEEDIの情報がどのような意味を持ち、どのように使用すれば良いかが不明であったために、その活用には到底至らなかったであろうことを如実に知ることができる。

つまり、放射性物質拡散予測を原子力災害発生時に原子力発電所立地自治体の担当者に情報を提供して避難や防護に実際に活用するには、まず、1)SPEEDI システム自体や数値計算モデル及び計算結果自体の信頼性や有用性を明らかにした上で、2)計算結果を現場でどう活用すれば良いかについての易用性が担保されるよう運用と体制を整備する、という2つの観点から、観測と予測の2種類の科学情報をどう併用するかを判断することが必要なのである。

表1 福島県庁に送られた SPEEDI 情報に対する5W1H

いつ (When)	全面緊急事態で、避難指示のエリアが逐次的に拡大していく時期に
誰が (Who)	福島県の原子力防災担当者が
なんのため (Why)	不明
「どこへ」「どの地域を」 (Where)	不明 (UPZ: 原子力施設から概ね30km圏内で、PAZ (5km圏)を除く)
何を (What)	不明 (モニタリングポストがほぼ全滅状態にある中で地表の汚染状況を推定しようとしたか?)
どのようにする (How)	不明

出典：福島県災害対策本部事務局「福島第一原子力発電所事故発生当初の電子メールによる SPEEDI 試算結果の取扱い状況の確認結果」 [38]、福島県「SPEEDI 電子メールデータ削除問題」 [39]、福島県「県が受信した SPEEDI 電子メールデータ一覧及び個別データ」 [40]、福島県「県が受信した Fax 個別データ 2012年6月14日」 [41]

原子力災害発生時のように一刻を争う判断が求められる緊急時においては、提供される情報が放射線被害からの防護策の決定に役立つこと（有用性）は必要であるが、それだけでは実用に供されることはない。観測データ及び予測データのいずれについ

ても、大量の生に近いデータではなく、統計処理に基づいた科学的根拠のある情報として提供され、容易に判断に用いることができる分かりやすく、使いやすい情報であること（易用性）が必要である。実際の現場で用いることができない情報を提供することは、場合によっては情報を提供する側の責任逃れと捉えられかねず、情報を実際に利用する地方自治体の防災担当者を煩わせ、本来ならばその恩恵を受けるべき原子力施設周辺の住民への弊害を招きかねない。その意味においては、2011年3月12日以降に福島県庁に提供された SPEEDI による予測情報はかえって混乱を招くだけで、「弊害がある」という原子力規制委員会の懸念には一理あったといえるのかも知れない。

万が一の原子力災害に備え、立地道県では原子力防災訓練を実施している。毎年訓練を実施している福井県では、オフサイトセンター（原子力緊急時対処施設）内での各機能班（総括班、広報班、放射線班、プラント班、医療班、住民安全班）の訓練、緊急時環境モニタリング、住民が参加した避難訓練、汚染検査、ヨウ素剤配布等の一連の過程が訓練対象であり、中でも避難訓練は各市町の住民に対する正確な情報伝達や、避難・屋内退避等防護措置の周知と実行が経験できる唯一の機会である [12]。福井県では、事故の進展に備え、住民の防護措置の判断に資する緊急時モニタリング等の初動体制を、原発から 30km の範囲を対象に、限られた人員や機材の中で迅速かつ的確に準備する必要があるとし、地域特性(地形や集落等)と季節ごとの気象条件、様々な放出条件等を仮定してあらかじめ計算しておいた放射性物質の拡散情報は、リアルタイムの予測情報でないものの、防災関係者の教育・訓練等に役立つ可能性があるとしている [12]。

有用性のある放射性物質の観測及び予測情報は、上記のような現実の発災をできるだけリアルに再現した原子力防災訓練の中に実用的に埋め込まれて、初めてその易用性を示すことができる。そのためには、まず科学的根拠データの 5W1H を明確にしておく必要があり、さらに発災時に想定される各段階での 5W1H からなる階層を積み上げて 5W1H の全容を明確化する必要がある。

放射性物質の拡散に関する課題の解決は、国民の安全を最優先に確保するために立地道県をはじめとする地方自治体や地域住民の声を基盤として、あらゆる科学的な根拠と可能性を排除することなく、これまでに蓄積された知見と関係者全員の知恵を総動員した避難・防護策が策定・運用されて初めて実現できるものである。

3 国民の安全を確保するために求められる要件

(1) モニタリングと放射性物質拡散予測の相補的活用

2章(2)で述べたように、現行の『原子力災害対策指針』³ [1]では、原子力関連施設で緊急事態が発生した場合には、緊急時モニタリングセンターを立ち上げ、緊急時モニタリングの結果に基づいて、避難と防護を行うとしている。確かに、モニタリングによる測定値は最も信頼できるデータの1つである。しかし、モニタリングの情報は（現時点以前の）過去の実況値であり、避難や屋内退避、飲食物や飼料の摂取制限などの判断に必要なかつ有用な、今後の放射性物質拡散の挙動に関する情報を的確かつ迅速に得るには、モニタリングデータとほぼ瞬時に得られる数値モデルによるシミュレーション予測情報の両方を相補的に活用することが望ましい。

モニタリングデータを基に防護策を策定すること自体は適切と認められるものの、予測情報の活用を原子力防災から排除することは大きな損失となる可能性が高い。また、モニタリング情報のみに依存すると、複合的な障害でモニタリング設備が破損した場合など情報が得られない場合には避難や防護に活かす根拠データが入手できなくなり、対応が困難となる可能性がある。さらに、モニタリングポストだけでは空間的な観測密度が十分でなく、放射性物質濃度の高い領域を見逃す可能性がある。住民の被ばくを極力防ぐために万全の避難や防護を講ずることが求められる中、これらの課題を抱えるモニタリングを補完する手法は平時から準備しておく必要がある。

このような補完手法として最も有効であるのは、放射性物質の拡散を予測する数値モデル（以下「拡散数値モデル」という。）の活用である。拡散数値モデルは、大気運動のカオス性や数値モデルの不完全性（数値モデルの空間解像度よりスケールの小さい現象は数値モデルが解像できる物理量を使って近似的に表現せざるを得ないことに起因する性質）による不確定性は有するものの、モニタリングのみでは得られない将来の予測情報を、物理学に基づく客観的な手法で得ることができる。2章(3)においても述べたように、1F事故後の12年間に気象庁をはじめとする研究機関の観測技術と数値モデルを用いた気象予測技術は著しく向上しており、より精度の高い放射性物質の監視・予測技術を構築できる基盤も整ってきており、1F事故後に精力的に収集された観測データの解析や数値モデルを利用した放射性物質の放出量の推定研究により、放射性物質の挙動の実態把握が事故時と比べると格段に進んだ [22] [23]。加えて、拡散数値モデルによる予測の精度と不確実性の評価も進み、拡散数値モデルを防護措置に有効に活用できる可能性が示されている。

さらに2章(3)の説明に加えて、放出源情報やモデルの水平解像度などを統一した上で行われた、異なる12個並びに9個の拡散数値モデルによる1F事故時のセシウム137の拡散の国際比較実験の結果 [25] [26]から、放射性物質の拡散の方向はいずれのモデルでも16方位にして1程度の誤差、放射性物質の到達時間は2～3時間以内の誤差に留まることが明らかにされた。また、最良の予測を与えるモデルは事例ごとに異なるものの、8個以上の異なるモデルによる予測を平均したときに最も良い予測精度が得られることなども分かってきた [42] [43]。時間的には3時間単位の予測とすることで、

高濃度の放射性物質（プルーム）の飛来について、「飛来なし」と予測したにもかかわらず、実際に飛来があった割合は 0.5%以下という高い信頼度で予測できることも分かかってきており [42]、緊急時の避難の判断に活用できる有用な情報となる。加えて、多数のモデルを用いることにより、予想される平均的な放射性物質の濃度に加えて起こり得る最大の濃度とその確率情報も得ることができる [42]。

図 1 は、2011 年 3 月 11 日から 3 月 24 日までに累積沈着したセシウム 137 の分布を示している [26]。左図(a)は航空機測定によって観測された分布であり、右図(b)はマルチモデル アンサンブルシミュレーションという手法により得られたシミュレーション結果である。左図(a)と右図(b)はいずれもセシウム 137 の累積沈着分布の特徴を捉えている。

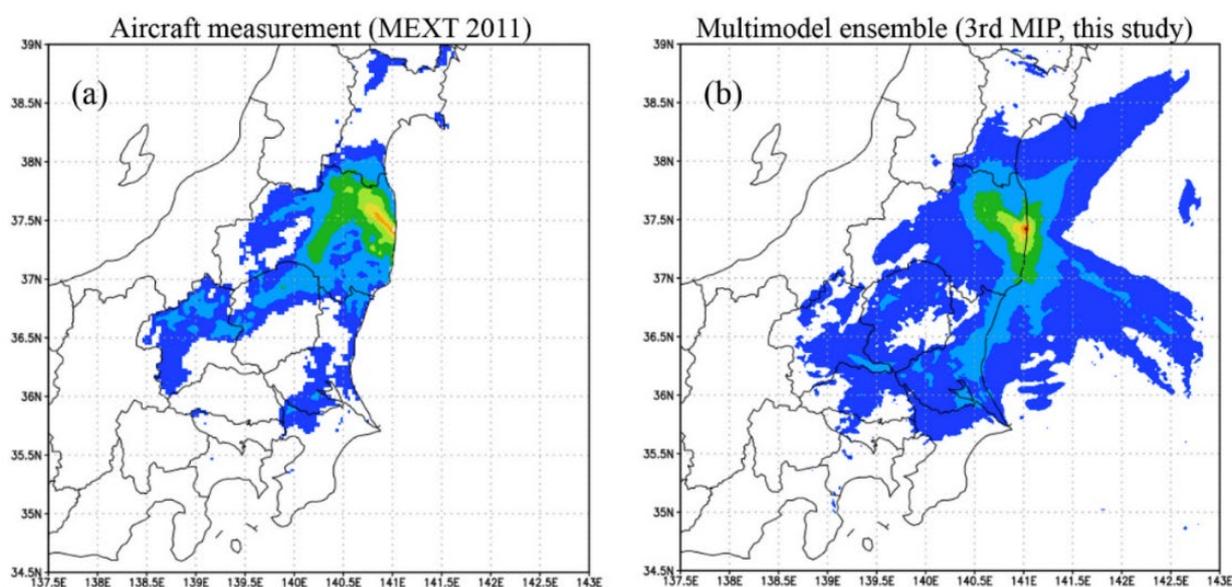


図 1 2011 年 3 月 11 日から 3 月 24 日までに累積沈着したセシウム 137 の分布 (a) 航空機測定によって観測された分布 (b) シミュレーションにより得られた分布。

出典：SATO, Y. , et. al., “A model intercomparison of atmospheric ^{137}Cs concentrations from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, phase III: Simulation with an identical source term and meteorological field at 1-km resolution,” Atmos. Environ. [26]。

以上より、拡散数値モデルの予測情報を緊急防護措置の判断に有効に利用し、モニタリングを補完することが強く望まれる。加えて、拡散数値モデルの利用には以下のような長所がある。

- 1) 物質の拡散による濃度分布は、物質放出量は何倍かに増減した場合には、分布パターン自体は変化せずに濃度の値のみが一律に何倍かに増減する性質がある。従って、単位面積当たり単位時間に一定量の放射性物質が放出されるという仮定条件の下で、放射性物質の拡散予測計算を平時から絶えず実施し、その結果を蓄積しておくことにより、事故が起きた際やイベントなどの緊急措置により放射性物質が放出

された際には、蓄積した結果を活用した重ね合わせ計算をすることによって、放射性物質の拡散予測を瞬時に得ることができる。加えて、この特性のみならず、災害により地上気象観測データやモニタリングデータが入手できなくなった場合においても、発災前に行った計算により、災害の影響を受けることなく拡散予測情報を得ることができる。

- 2) 拡散数値モデルの予測結果を基に緊急時モニタリングポストの最適な配置を決定することができる。
- 3) モニタリングポストの観測データを拡散数値モデルに同化することにより、評価の難しい原発事故時の放射性物質の放出量を定量的に推定することが可能となる。
- 4) モニタリングポストでは観測できない上空における移流拡散の予測計算を基に、もし降水があった場合、湿性沈着により人や家畜が水道水や飼料を摂取した場合のリスクを事前に把握することができ、予防措置が可能となる。また、モニタリングポストが充実していない遠方への移流拡散も事前に予測可能である。
- 5) 事故発生地から離れた被害の影響のない場所で予測計算が可能であり、予測情報を安定的に提供することができる。なお、拡散数値モデルの初期値と境界値に用いる気象庁の気象データは、仮に事故発生地周辺での地上気象観測のデータが入手できなくとも、十分な精度で活用が可能である。

従って、拡散数値モデルは、モニタリングと相補的に活用することによって、緊急時の避難や防護措置に利用可能な有効な手法であり、平時から拡散数値モデルによる予測を、適切な国の組織において業務的に行うことは、より強靱な原子力災害対策を実現するために不可欠である。

拡散数値モデルを用いた予測システムを具体的に構築するには、以下を想定すれば実現可能である。想定する予測システムは、日々予報精度の改善を図り、我が国で最も高性能な数値予報モデルを有する気象庁との密接な連携の下、気象庁日本域局地モデル（1時間ごとに水平解像度2kmで10時間予報を実施）及びメソモデル（水平解像度5kmで3時間ごとに39または78時間予報を実施）の予測結果を気象庁から直接オンラインで入手し、これを初期値・境界値として予測する拡散数値モデルを構築することが望ましい。拡散数値モデルとしては、世界版緊急時環境線量情報予測システム WSPEEDI (Worldwide version of System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information) を利用するか、長期的な計画としては、気象庁から提供される最新の局地モデルに WSPEEDI の放射性物質に関わる過程を導入し利用することが望ましい。

一方、数値モデルによる予測は、大気運動のカオス性や数値モデルの不完全性を反映して、観測値を基に推定した初期場に含まれる僅かな誤差が時間とともに拡大する

ことは避け難い。特に、高気圧に覆われて大規模な風が弱く局所的な海陸風に影響される場合や、前線の通過などで風向が急変する場合も、拡散予測の不確実性が大きくなる可能性がある。このような不確実性を評価するためには、初期値に含まれる誤差を考慮した複数の異なる初期値からの予測を行うアンサンブル予報（現在、気象庁ではメソスケールモデルにおいて 21 通りのアンサンブル予報を実施している）が有効であり、気象庁の協力を得て整備していくことが望ましい。

上記や 2 章(3)でも述べた放射性物質の湿性沈着は、沈着をもたらす局地的な降水予測に誤差が生じやすいことを考慮して、緊急事態においては最新の降水の状況をレーダー観測に基づく解析雨量によって常時把握するとともに、沈着が起きないと仮定した移流拡散予測による放射性物質の各地点での鉛直積算量をその時刻で起こり得る湿性沈着量の最大値と見做し、その値を基に最悪汚染に備えることが望ましい [10]。

また、事故発生直後に放射性物質の放出量や放出高度などの具体的状況が正確に把握できない状況では、数通りの放出高度を推定し、各ケースに対して放射性プルームがどの方向に流れやすいかという予測情報を出力して、避難と防護策に活用できる予測情報として加工するとともに、モニタリングデータをモデル予測結果と比較することにより、放出量の定量的な推定にも利用することが考えられる。

放出量の推定は、緊急時のみならず事故後の課題である放出量推定による被ばく線量の再構築（特に、放射性ヨウ素からの甲状腺線量の再構築）のために、放射性物質拡散予測の計算が不可欠である。つまり、放射性物質拡散の予測は、平常時における緊急時訓練への利用、事故時における利用、事故後の人体への線量再構築における利用があり、原子力防災全体における各時期において不可欠であり、重要である。

モニタリングと放射性物質拡散の予測情報を相補的に活用する具体例としては、30km 圏（UPZ）内のモニタリングと予測情報から状況変化の傾向や特徴を捉え変化に応じた防護策の計画的な策定、モニタリングが手薄になる UPZ 以遠における航空機等によるモニタリングすべき重点地域のサーベイの提供、飲料水・農産物検査が必要となる地域や優先順位決定のための計画策定に用いる指標情報の提供と検査準備の確保、屋内退避期間及び一時移転のタイミングの事前計画の策定と円滑な実施準備の確保、現地作業等の屋外活動の時間設定の際に必要なプルーム防護のための放射性プルームの移流・拡散予報情報の提供なども挙げられ、現状の防護策のリスクを低減し、より強靱な原子力災害対策の実現が可能である。

(2) 統一指針に基づく防護策の策定

2 章(2)で説明したように、原子力規制委員会は「福島第一原子力発電所事故の教訓として、原子力災害発生時に、いつどの程度の放出があるか等を把握すること、及び気象予測の持つ不確かさを排除することはいずれも不可能であるから、SPEEDI などの放射線拡散予測情報は被ばくのリスクを高めかねない」とし、「緊急時における避難や一時移転等の防護措置の判断にあたって、SPEEDI による計算結果は使用しない」とした。

一方、原子力防災は本質的に「不確かさ」を内包しており、その不確かさを理解し

た上で「リスクは合理的に実行可能な限りできるだけ低くしなければならない」を踏まえて計画と実践を行うことが不可欠である [19]。すなわち、不確かさがあるからこそ、あらゆる知見と意見を活用することでリスクを管理し、リスクを活用した(Risk-informed)意思決定が必要である [19]。「この時間とこの場所であれば『高い確率で』安全が確保できる」という予測情報は、一刻を争う緊急時において、より確実な避難・防護策の策定と実施に直結する有益な情報となり得る。

原子力災害への対応は、特別措置法の下、国の責任と指導に従って対処すると考えている自治体は、原子力規制委員会が示した「放射性物質拡散予測を緊急時の防護措置の判断に用いない」という『原子力災害対策指針』 [1]と「原子力事業者も地方公共団体から地域防災計画避難計画の具体化・充実化の観点から要請があれば、大気中放射性物質の拡散計算の情報を提供する。」という決定の間で困惑している。国¹及び原子力規制委員会と地方自治体が納得する統一した指針の下で避難・防護策を策定し実施することは、一刻を争う緊急時には極めて重要である。さもなければ、原子力災害対策特別措置法に定められた「国と原子力規制委員会が地方公共団体及び国民に対して担うべき責任」を果たすことはできず、「行政の不作为」は解消できない。

原子力規制委員会は、「最新の放射性物質予測の精度と不確かさがどれほどであるか、また拡散予測情報をどのように活用することが有用であるか」を理解し、「モニタリングデータと予測情報を最大限に活かし、相互に補完して活用することにより、国民の被ばくリスクを最小化するために、避難・防護対策指針を統一指針として再度検討する必要がある」ことを是非ご理解いただきたい。その上で、現行指針の改訂と統一指針の策定に向けたアクションを喫緊に起こすことが強く望まれる。

放射性物質の拡散予測情報を我が国独自に常時取得できる状況を保持することは、国家安全保障上においても重要である。例えば、海外の原発における放射性物質漏出事故が発生した場合は、海外に駐在する日本人や企業は、日本独自の信頼できる情報を基に安全を確保する権利を有し、国はその安全確保に責務があることは自明である。

(3) 科学と科学者・専門家の最大活用

1F 事故の非常に重要な教訓の1つは、放射性物質の拡散予測システムは、その構築が一旦完了した後も継続的に、最先端の知見を取り入れた数値モデルとして更新されていく必要があることである。さらに、最も信頼できる最新の大気状態を初期値と境界値に用いた予測計算が行われることが求められる。また、予測システムを用いて緊急事態の発生後速やかに拡散状況が把握できるようにするために、平時から常時予測計算を行っておくことが望ましい。加えて、多くの原子力発電所が沿岸地域に設置されていることから、その設置周辺地域は複雑な地形を考慮して、各原子力発電所の立地特性を十分に把握した上で気象と放射性物質拡散の予測データやモニタリングデータを解読する必要があることも忘れてはならない。

上記の要件を実現するためには、我が国において大気の状態を最も正確に常時把握することができ、かつそれを基に最先端の気象予測計算を行える高精度の数値モデル

を有するのは気象庁であることから、新たに構築される放射性物質の拡散予測システムは、気象庁の協力を得ることが現実的である。気象庁から直接オンラインで現在の大気状況及び将来の予測データを受信し、これを初期値及び境界値として拡散予測モデルによる予測計算を行うことが強く望まれる。また、将来的にはこの拡散予測システムの気象予測部分には、気象庁のその時点で最も水平解像度の高いモデル（現時点では局地モデル）を用い、これに放射性物質とその拡散に関わる過程を組み込むことが最も望ましい。各種自然災害に関連する重要業務を担う現業体制に大きな支障を与えることなく、平時と緊急時を問わず、迅速かつ正確に放射性物質の拡散予測ができる新システム構築とその運用体制の整備が必要である。このような放射性物質の拡散予測システムと運用体制の構築により、国民の安全の確保を左右する重大な局面には不可欠なデータと情報を提供することができる。

SPEEDI 運用の失敗から得られたもう1つの大きな教訓は、事故や避難の状況が時々刻々と変化する緊急時は、同様にモニタリングデータと放射性物質拡散予測情報も時々刻々と変化するという不確定要素を踏まえた上で、モニタリングデータと予測情報を適切に解釈し、避難や防護策に活用する必要があることである。そのためには、科学者及び専門家の解説や助言を政策決定者の判断に的確に取り入れる仕組みが必要である。このような仕組みが構築されれば、科学者や専門家は、平時からモニタリングデータや予測情報をどのように避難や防護に活かすべきであるかを検討し、的確な助言が可能になる。緊急時においても、緊急時であることを踏まえた適切な専門的助言が可能になる。さらに、平時と緊急時の専門的な考察と検討から、起こり得る新たなリスクの予見を見出す可能性も高まり、原子力災害対策の強靱化をさらに高めることができる。

上記を実現するためには、まず、原子力規制委員会の下で実用レベルでの実現可能性、実践能力、効用を視野に入れた上で、行政官のみならず必要な専門性を踏まえた科学者や専門家も参画する公の場における幅広い議論が必要であろう。その上で、その内容を具体化する体制構築が必要である。原子力規制委員会は、総合的な情報の集約とそれらの活用、システムの構築や運用等を含め避難・防護策の全般を把握し、一元的に管理できることが望まれる。この原子力規制委員会の下に、専門組織として、気象庁の下に設置されている火山噴火予知連絡会に類似するものが想定される。火山噴火予知連絡会は、行政官と科学者・専門家間の情報交換、意思疎通、フィードバックがよく機能している好例である。

不確定性を本質的に回避できない原子力関連施設からの放射性物質汚染に際して、的確に対処できる人材を育成するためにも、少なくとも原子力規制庁、国土交通省、文部科学省の省庁間の壁を越えた協力のさらなる強化が求められる。日本学術会議提言「第6期科学技術基本計画に向けての提言」（2019年10月31日、日本学術会議科学者委員会学術体制分科会）では、科学技術政策への科学者からコミュニティの主体的かつ組織的な参加の重要性が提示されている。学術界や学術コミュニティやそれら関係機関の強力な協力も欠かせない。

(4) 相互信頼を基盤とする防護策（新5W1H）の実施

原子力関連施設で事故が起きた場合は、その発生直後から、当事者となる自治体は原子力規制委員会が策定した施策に沿って現場の指揮にあたることになる。現場では、次々に起きる想定外を含む事象や事態に対して、適切に優先順位をつけて時機を逃さず施策を実施しなければならない。当事者自治体では一刻を争うような業務が殺到し、極めて過酷な状況が想定される。このような困難な状況を、可能な限り平常時から想定し、自治体と住民が理解した上で、万が一に備えた準備をすることが求められる。2章(4)に述べた1F事故の教訓を活かすためには、防護措置は少なくとも表2に示す「新5W1H」の要件を満たす必要があると考えられる。

新5W1Hは、万が一の事故発生に備えて平時の訓練においても活用し、各組織や体制における課題を随時洗い出しておくことが肝要である。また、住民に防護措置の内容を確実に周知し、それを理解し、冷静に行動するよう平時から訓練を重ねて、不測や不安がある状況においても堅実に実施できるようにすることが大切である。

情報は、平時と緊急時に関わらず、全てを公表することを前提とすることは極めて重要である。ただし、情報を提供する側と授受側の相互信頼の確立がなければ、全ての情報を有効に活用して最大の防護効果を上げることは難しい。その相互信頼を得るための第一歩として、新5W1Hを基盤にして、どの情報をどのタイミングで公表するかについての条件や、想定外の場合の対応も含めて様々な想定を可能な限り想定し、各市町村の特性を踏まえた具体的な方針をあらかじめ定め、それらの内容をリスクも含めてメディアや住民に周知し、理解を求めておく必要がある。

例えば、第1段階では政策担当者、第2段階で避難当事者に対して公表する場合、どの段階でどの情報をどのように公表するのか、それはなぜか、公表までの時間はどれくらい必要であり、その時間内で何を整備し対応し得るのかなどについて、全ての情報を公表するまでの具体的な手続きが周知され、共有される必要がある。各自治体の現場における情報公表の最善策を平時より議論し、改善点を共有し、提供側と授受側の相互信頼関係を形成し続ける努力を継続し、可能な限りの信頼関係を形成しておくことが、緊急時の避難や防護においてパニックを引き起こさないために極めて重要である。

重要性や緊急性が高い情報の社会への発信や緊急時の情報公表に適切に対応し、それらを有効活用するために、平時から社会科学分野やアンケートなどの統計をとる実施機関などとも連携した専門的研究機関や部署と専門家の養成も重要である。

さらに、平時においても、緊急時においても、各組織や体制に配属された科学者や専門家による安全を担保するための付加的な説明や情報を丁寧に分かりやすく授受側へ提示していくことも、国民や市民の安全・安心を確保するために重要かつ有効であることを忘れてはならない。

表2 原子力事故による放射性物質拡散発生時に提供する情報が満たすべき新5W1H

いつ (When)	『原子力災害対策指針』 ³ [1]に示されている 全面緊急事態⁴の初期対応段階⁵から中期対応段階への移行期 における以下の4つの各時期(時期0から時期3)に [注意事項1] ⁶ を参照のこと。 時期0 : PAZ ⁷ で例外的に屋内退避中の病人、障害者、要介護者が避難への移行が可能な時期。受け入れ先や移動時の安全確保などが求められる時期。 時期1 : UPZ ⁸ 内、屋内退避施設の放射線量率がOIL ⁹ 1 ¹⁰ を超えて数時間以内。 時期2 : UPZ内、屋内退避施設の放射線量率がOIL 2 ¹¹ を超えて数日以内。 時期3 : UPZ内で放射線量率がOIL 2以下であっても、屋内退避が1週間を超える場合(備蓄、停電、ストレスなど)。
誰が (Who)	原発立地市町村あるいは都道府県の 原子力防災担当者で、放射性物質拡散についての専門的知識を持つ者が [注意事項2] ¹² を参照のこと。
なんのために (Why)	UPZの住民の放射線被ばくリスクを可能な限り低減するために [注意事項3] ¹³ を参照のこと。
どこへ (Where)	UPZから、UPZ外の 広域避難施設へ
何を (What)	住民の 広域的な避難や一時移転¹⁴を
どのようにする (How)	原子力規制省庁及び原発事業者、原発立地市町村の行政、警察、消防、道路管理者等の 防災実務者と各配属における専門家 の間で滞りない情報共有を 基盤として計画的に実施する。 [補足説明] ¹⁵ を参照のこと。

出典：地球惑星科学委員会地球惑星科学社会貢献分科会で独自に作成

⁴ 全面緊急事態とは、警戒事態、施設敷地緊急事態より重大な状況。公衆への影響可能性が高い事象の発生事態を指す。

⁵ 初期対応段階とは、PAZ内の住民は、原則として数時間～1日以内に広域避難する時期を指す。例外として、緊急避難が生命へのリスクを増すような高齢者・要介護者等はPAZでも屋内に退避する。

⁶ [注意事項1] 現行の『原子力災害対策指針』³ [1]では、「屋内退避を継続している間に、原子力災害を終息させることが『常に』可能であると想定されている。しかし、原発事故が巨大災害や他国からの攻撃を含むテロなどによる場合には、その想定が妥当とは言い難いことも十分にありうる。また、現行の上記指針は「比較的に低い空間放射線量率の地域においても、1週間以内に一時移転(=1週間程度たってからの避難)等の早期防護措置を講じなければならない」とされている。「避難」は1日以内を目安に実施される施策を指す。

⁷ PAZ (Precautionary Action Zone)は、原子力施設から概ね半径5km以内の「予防的防護措置を準備する区域」を指す。

⁸ UPZ (Urgent Protective Action Planning Zone)は、原子力施設から概ね30km圏内を指す。UPZはPAZを含む。

⁹ OIL (Operation Intervention Level)とは、被ばく線量が1mSvにならないような目安を言う。

¹⁰ OIL 1とは、500 μ Sv/hでは2時間(屋外)～5時間(木造家屋内)で1mSvに達することを言う。

¹¹ OIL 2とは、20 μ Sv/hでは2日(屋外)～5日(木造家屋内)で1mSvに達することを言う。

¹² [注意事項2] 専門知識を有する者が、専門性の高いデータや情報、説明が送付された場合においても対応できるような体制が必要である。各市町村に配属できない場合は、道県レベルでの知事アドバイザーとしての配属が望ましい。

¹³ [注意事項3] 被ばくには外部被ばくと内部被ばくがある。外部被ばくとは、放射線量率×低減率の時間積分。屋内退避していても時間とともに増大する。内部被ばくとは、プルームや地表付近に沈着した放射性物質セシウム・ヨウ素等)が人体内に取り込まれ、体外に排出されるまで放射線を浴び続けることを指す。

¹⁴ 一時移転とは、発災から1週間程度経てからの避難を指す。

¹⁵ [補足説明] 「どのようにするか(How)については、以下の事柄も考慮する必要がある。

- ・病人や介護必要者への配慮、避難先との調整、道路啓開や放射線量率などを考慮した避難経路の確保に留意する。
- ・情報が発出されてから実際の避難行動が開始までの、準備・調整による一定の時間遅れ(数時間～半日程度のリードタイム)が必要である。これを考慮しないと、現場の防災実務者に「賞味期限切れ」の無用な情報が送りつけられ、混乱を引き起こす。
- ・放射性物質がどのような空間分布で時間的に拡散していくかを可視化するために、放射性物質の仮想放出後24時間(避難移動時間に相当)にわたって、1時間ごとの空間線量の分布図を提供することが有用である [44]。

4 見解

見解 1 放射性物質の拡散に対して国民の安全を確保するための防護策は、モニタリングデータだけでなく数値シミュレーションによる予測から得られる科学的な情報と知見を最大限に活用して策定することが強く望まれる。

信頼できる実況値としてのモニタリングデータと将来の予測情報を総合して活用することにより、現行防護策の強化が必要である。『原子力災害対策指針』³ [1]の「結び」には「そもそも防災とは、新たに得られた知見や把握できた実態等を踏まえ、実効性を向上すべく不断の見直しを行うべきものである。本指針についても、このような観点から、今後の検討結果に加えて、地方公共団体の取組状況や防災訓練の結果等を踏まえ継続的な改定を進めていくものとする。」とある。国¹及び原子力規制委員会は、必要不可欠なあらゆるデータと情報を最大限に利用した最適な原子力災害対策を提供する義務と責任がある。

見解 2 原子力規制委員会と原子力規制庁は現行の『原子力災害対策指針』³ [1]を改訂し、拡散予測情報の活用指針を統一し、責任の所在を明らかにした上で、最適な防護策の策定立と施行が望まれる。

自治体の声と乖離している原子力規制委員会の現行方針は、防護措置に対する責任の所在を不明瞭にしたまま、避難や防護における国民のリスクを放置することと同等である。国民のリスク回避を最優先に考え、現行の『原子力災害対策指針』³ [1]を改訂し、避難や防護の責任の所在を明らかにした上で防護策の策定指針を統一し、国¹、原子力規制委員会、自治体が一体となって最適な防護策を策定し、施行することが望まれる。

見解 3 原子力規制委員会は科学者・専門家の能力を最大限に活用することが望まれる。

モニタリングデータや予測情報を的確に理解し、防護策に活用するには、関連する分野に精通した科学者や専門家の知見と経験の活用が重要である。特に、原子炉機構や炉内事象だけでなく、大気や海洋などの環境、物質動態、人的影響等に関する専門的かつ総合的知見が必要である。緊急時において原子力規制委員会や政府へ適切な科学的助言を提供するには、原子力規制委員会の下に放射性物質拡散や気象の予測と関連分野の科学者や専門家が参画する体制を構築し、科学情報や助言を効果的に防護策に活かす仕組が望まれる。

見解 4 国¹、原子力規制委員会、自治体、科学者コミュニティ、市民は互いに協力し、市民の視点から防護策を策定し、緊急時に確実に運用するための準備が望まれる。

放射性物質拡散問題に直接対峙しなければならない自治体、市民の苦悩や不安は大きい。安全確保のためには、国¹、原子力規制委員会、自治体、科学者コミュニティ、市民の総力を挙げた取組が必要不可欠である。緊急時には、自治体や市民にリスクを公表・周知した上で理解を求め、その上で防護策を実施することが、パニック回避には極めて重要である。この実現には、平時において、情報提供側と授受側の相互信頼の形成、科学者や専門家の専門知識を活用、リスク低減のための情報の公表と最新技術の利用を踏まえた訓練を実施し、様々なレベルの協力による防護策策定と実施の準備が必要である。

<参考文献>

- [1] 原子力規制委員会, “原子力災害対策指針,” 2019.
- [2] 日本学術会議地球惑星科学委員会, “提言「これからの地球惑星科学と社会の関わり方について—東北地方太平洋沖地震・津波・放射性物質拡散問題からの教訓—」,” 2014.
- [3] 原子力規制委員会, “緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム(SPEEDI)の運用について,” 2014. <https://www.nra.go.jp/data/000027740.pdf> (2023年4月21日確認).
- [4] 原子力規制委員会, “原子力災害発生時の防護措置の考え方,” 2016. <https://www.nsr.go.jp/data/000143747.pdf> (2023年4月21日確認).
- [5] 全国知事会, “原子力発電所の安全対策及び防災対策に対する提言,” 2015. <https://www.nga.gr.jp/item/material/files/group/3/150820genteigen.pdf> (2023年4月25日確認).
- [6] 原子力関係閣僚会議決定, “原子力災害対策充実に向けた考え方: 福島教訓を踏まえ全国知事会の提言に応える,” 2016. https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/genshiryoku_kakuryo_kaigi/pdf/h280311_siryoku.pdf (2023年9月17日確認).
- [7] 寿楽浩太、菅原慎悦, “「SPEEDI」とは何か、それは原子力防災にどのように活かせるのか?,” 原子力と地域社会に関する社会科学支援事業平成28年度研究成果報告書, 2017.
- [8] 日本学術会議東日本大震災復興支援委員会放射能対策分科会, “提言「復興に向けた長期的な放射能対策のために—学術専門家を交えた省庁横断的な放射能対策の必要性—」,” 2014.
- [9] 恩田裕一, “福島第一原発事故による放射性物質の移行調査における研究者の役割,” 学術の動向, 3, 10-17, 公益財団法人日本学術協力財団, 2018.
- [10] 日本気象学会「原子力関連施設の事故に伴う放射性物質拡散に関する作業部会」, “原子力関連施設の事故に伴う放射性物質の大気拡散に関する数値予測情報の活用策について,” 天気, 62, 113-123, 気象学会, 2015.
- [11] 岩崎俊樹, “福島第一原発事故の放射性物質残留拡散問題-日本気象学会の事故後の活動と数値予報モデルの活用策について,” 学術の動向, 3, 18-23, 公益財団法人日本学術協力財団, 2018.
- [12] 岩永幹夫, “福井県における環境放射線モニタリングと原子力災害時の自治体対応について,” 学術の動向, 3, 54-58, 公益財団法人日本学術協力財団, 2018.
- [13] 小出重幸, “放射線予測情報の開示と、社会の信頼、メディアの役割,” 学術の動向, 3, 48-53, 公益財団法人日本学術協力財団, 2018.
- [14] 原子力防災会議, “原子力災害対策マニュアル,” 2000.
- [15] 東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会(政府事故調), “中間報告,” 2011.

- [16] 東京電力福島原子力発電所事故調査委員会(国会事故調), “報告書,” 2012.
- [17] 原子力災害対策特別措置法 (平成十一年法律第百五十六号), 2021.
- [18] 大矢根 淳, “シリーズ 被災地から未来を考える② 防災と支援—成熟した市民社会に向けて 第 5 章 ポスト 3.11・原発防災パラダイムの再構築に向けて,” 有斐閣, 2019.
- [19] 山口 彰, “原子力リスクの評価と原子力防災のあり方,” 学術の動向, 3, 36-41, 公益財団法人日本学術協力財団, 2018.
- [20] SEKIYAMA, T.T., KUNII, M., KAJINO, M., SHIMBORI, T., “Horizontal resolution dependence of atmospheric simulations of the Fukushima nuclear accident using 15-km, 3-km, and 500-m grid models,” 93(1), 49-64, J. Meteor. Soc. Japan, 2017.
- [21] KAJINO, M., SEKIYAMA, T., IGARASHI, Y., KATATA, G., SAWADA, M., ADACHI, K., ZAIZEN, Y., TSURUTA, H., NAKAJIMA, T., “Deposition and dispersion of radionuclides released due to the Fukushima nuclear accident: Sensitivity to meteorological models and physical modules,” 124(3), 1823-1845, J. Geophys. Res., 2019.
- [22] TSURUTA, H., OURA, Y., EBIHARA, M., OHARA, T., NAKAJIMA, T., “First retrieval of hourly atmospheric radionuclides just after the Fukushima accident by analyzing filter-tapes of operational air pollution monitoring stations,” 4, 6717, Science Report, 2014.
- [23] TERADA, H., NAGAI, H., TSUDUKI, K., FURUNO, A., KADOWAKI, M., KAKEFUDA, T., “Refinement of source term and atmospheric dispersion simulations of radionuclides during the Fukushima Daiichi nuclear power station accident,” 213, 106104, J. Environ. Radioact., 2020.
- [24] 気象庁, “メソ数値予報システムの改良(第 2 章応用編 第 2.2 節),” 数値予報解説資料集, 277-288., 2022.
- [25] SATO, Y., et.al., “Model Intercomparison of Atmospheric ^{137}Cs From the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident: Simulations Based on Identical Input Data,” J. Geophys. Res., 123, 11748-11765, 2018.
- [26] SATO, Y., et. al., “A model intercomparison of atmospheric ^{137}Cs concentrations from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, phase III: Simulation with an identical source term and meteorological field at 1-km resolution,” Atmos. Environ., X7, 100086, 2020. doi:10.1016/j.aeaoa.2020.100086.
- [27] 気象庁数値予報課, “第 3 章メソアンサンブル予報システム, メソスケール気象予測の現状と展望,” 数値予報課報告・別冊, 第 66 号, 85-115., 2019.
- [28] 原子力規制委員会, “資料 2 「防災基本計画の改定を踏まえた今後の対応について」,” 第 20 回原子力規制委員会(平成 27 年 7 月 22 日), 2015. <https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11235834/www.nsr.go.jp/data/000115657> (2023 年 9 月 17 日確認) .
- [29] 山澤弘実, “モニタリングと大気拡散計算により原子力事故影響の把握とその事故対応への反映,” 学術の動向, 3, 30-34, 公益財団法人日本学術協力財団, 2018.

- [30] 近藤裕昭, “福島第一原子力発電所事故時の海外における拡散数値モデルの放射線防護への活用状況について,” 本稿参考資料1を参照のこと, 2022.
- [31] PULLEN, J., CHANG, S. , HANNA, J., “Air/sea transport, dispersion and fate modeling in the vicinity of the Fukushima Nuclear Power Plant: A special conference session summary,” Bull. Amer. Meteor. Soc., 94, 31-39, 2013. doi:10.1175/BAMS-D-11-00158.1.
- [32] HANNA, T., AMADA, H., KONDO, A., WATANABE, R. , OHBA, S., “International workshop at Fukushima, Japan, on dispersion and deposition modeling for nuclear accident releases: Transfer of science from academic to operational Models,” Bull. Amer. Meteor. Soc., 97, ES31-ES36, 2016, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00191.1> (2023年7月14日確認).
- [33] SUGIYAMA, G., NASSTROM, J., POBANZ, B., FOSTER, K., SIMPSON, M., VOGT, P., ALUZZI, F. , HOMMAN, S., “Atmospheric dispersion modelling: Challenges of the Fukushima Daiichi response,” Health Physics, 102, 493-508, 2012. DOI: 10.1097/HP.0b013e31824c7bc9.
- [34] “2011-Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant Emergency (Japan),” NARAC Timeline, <https://narac.llnl.gov/about/event-timeline#aFukushima> (2023年7月14日確認).
- [35] CHANPION, D. , et al., “The IRSN’ s earliest assessments of the Fukushima accident's consequences for the terrestrial environment in Japan,” Radioprotection, 48, 11-37, 2013. DOI: 10.1051/radiopro/2012052..
- [36] “International workshop on dispersion and deposition modeling for nuclear accident releases -Transfer of science from academic to operational models-,” Fukushima University 2nd-3rd March 2015. <http://venus.iis.u-tokyo.ac.jp/english/workshop/newE.htm> (2023年7月14日確認).
- [37] International Atomic Energy Agency, “ CONSIDERATIONS IN THE DEVELOPMENT OF A PROTECTION, EPR-Protection Strategy (2020),” April 2021, <https://www.iaea.org/publications/14801/considerations-in-the-development-of-a-protection-strategy-for-a-nuclear-or-radiological-emergency> (2023年6月28日確認).
- [38] 福島県災害対策本部事務局, “福島第一原子力発電所事故発生当初の電子メールによる SPEEDI 試算結果の取扱い状況の確認結果,” 2012. https://www.pref.fukushima.lg.jp/download/1/SPEEDI_kakuninnkekka.pdf (2023年4月21日確認).
- [39] 福島県, “ SPEEDI 電子メールデータ削除問題,” 2012. <https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/16025c/genan13.html> (2023年4月21日確認).
- [40] 福島県, “県が受信した SPEEDI 電子メールデータ一覧及び個別データ,” 2012. <https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/57410.pdf> (2023年4月21日確認).
- [41] 福島県, “県が受信した Fax 個別データ 2012年6月14日,” <https://f-archive.jaea.go.jp/handle/faa/210993/> (2023年4月21日確認).

- [42] 山澤弘実, “原子力事故データの総合解析による事故時の有害物質大気中動態評価法の高度化,” 環境研究総合推進費終了研究成果報告書, 2021. https://www.erca.go.jp/suishinhi/seika/db/search.php?research_number=1-1802 (2023年4月21日確認).
- [43] 山澤弘実, “大気拡散モデルの原発事故環境データによる評価とその緊急時応用,” 日本原子力学会誌, 64(2), 84-88, 2022.
- [44] 日本学術会議総合工学委員会原子力事故対応分科会, “提言「東京電力福島第一原子力発電所事故によって環境中に放出された放射性物質の輸送沈着過程に関する計算結果の比較」,” 2014.

福島第一原子力発電所事故時の海外における拡散数値モデルの放射線防護への活用状況について

(公社) 日本気象学会「学術委員会放射能汚染に関する対策部会」 部会長
産業技術総合研究所 環境創生研究部門 客員研究員

近藤裕昭

本稿は、地球惑星科学委員会社会貢献分科会からの要請に応え、「福島第一原子力発電所事故時の海外における拡散数値モデルの放射線防護へ活用状況」を、福島第一原子力発電所からの放射性物質の拡散に関する国際ワークショップ^{1),2),3)}における知見も合わせて、とりまとめたものである。

1. 数値モデルの放射線防護への活用

原子力発電所を運用している各国は、緊急時対策用のモニタリングおよびそれを支援する数値モデルのシステムを保持している場合が多い。福島第一原子力発電所の事故に際し各国がどのように活動したかについて、2015年3月2日～4日に福島大学で国際ワークショップ (International workshop on dispersion and deposition modeling for nuclear accident releases -Transfer of science from academic to operational models-) ;以後福島ワークショップと略す) が行われた^{1), 2), 3)}。ワークショップではオーストラリア、米国、英国、フランス、ドイツ、スウェーデン、デンマーク、台湾からそれぞれのモデルと活動の概要および反省点についての発表がなされた (表 1)。これらの国のうち、米国は在日米軍が日本国内に駐留しており、東日本大震災の救援活動である Operation Tomodachi (OT) を実施した。最近ではこれら活動に対する報告書も公開されるようになってきている。以下米国とフランスで実際に行われたオペレーションについて数値モデルの活用の観点から少し詳しく見てみる。

2. 米国のオペレーション

米国では、国内で緊急時が発生した場合にはまず Department of Homeland Security's Interagency Modeling and Atmospheric Assessment Center (IMAAC) が活動することになっているが、今回の福島事故の場合は国外での事象であったので IMAAC は活動しなかった。しかし、国防省、商務省、エネルギー省および Nuclear Regulation Commission (NRC) が福島事故に対し直ちに活動を開始した。3月12日には NRC は the Radiological Assessment System for Consequence Analysis (RASCAL)⁴⁾ を用いて炉心損傷が 10-100% のさまざまなシナリオに基づき放射性物質の発生量の推定を行った⁵⁾。そして 14 日以降に得られた限られたモニタリングデータから、状況を推定する作業を行った。この情報は 14 日中にエネルギー

一省の National Atmospheric Release Advisory Center (NARAC) に送られた。NARAC の大気拡散モデル (WRF を用いている⁶⁾) はもともと米国本土用であるが、日本周辺を解析できるようにすぐに改変が行われた。NARAC はモデル計算から日本に派遣された米国エネルギー省の専門家に対し、日々の天気および放射性物質の拡散予測情報を提供し、モニタリングに適した位置情報や状況の分析結果の情報を提供した。また、日本にいる米国民に対し、日本における被ばく量を推定し、放射線防護計画を支援した。さらに米国本土に放射性物質が到達する時刻を予測し、モニタリング情報と数値モデルの情報から発生量推定やガウス分布モデル結果の補正を行った⁷⁾。

NARAC と同時に U.S. Defense Threat Reduction Agency (DTRA) は改良型 Lagrangean puff モデルである Hazard Prediction and Assessment Capability (HPAC)⁸⁾ による計算を実施し、その結果は在日米軍伝えられた。米国で OT にかかわった人数は艦船で 17000 人、陸上で 58000 人の合計 75000 人である⁹⁾。国防省としては、これらの人々の外部被ばくを防ぎ、また汚染された食料や水をとってしまうリスクを下げる必要があった。DTRA は OT に参加している第 7 艦隊艦船に対し、2 日先までの放射性物質の拡散予測を提供した。計算による予測情報は、艦船が福島第一原子力発電所からのプルームを避けて行動するのに役立った。3 月 13 日にはミサイル駆逐艦ジョン・S・マッケインと米空母ロナルド・レーガンが太平洋上を航行していたが、ロナルド・レーガンでは、福島沖の太平洋上で 3 月 13 日 12 時 (JST) に福島第一原子力発電所からのプルームに入り、以降 14 日 0 時まで放射線を観測した。また、ジョン・S・マッケインでも放射線を観測したが、おおよそ予測と実測の関係は reasonable であった。またモデルは、後に行われた乗組員の被ばく影響評価に対し、艦船上の限られたモニタリングを補うものとして活用されたが、モデルの限界のため、航空機の乗員の被ばく評価には使用されなかった。

3. フランスのオペレーション

フランスでは Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) が 3 月 11 日 11 時 (UTC) より活動を開始し、オペレーションモデルである C3X と 2.5km 解像度の Météo-France Applications of Research to Operations at MEsoscale (AROME) weather model 使用して放射性物質の動きを予測した。この際の放出シナリオはまず 40 ケースほど検討された。さらに 3 月 19 日以降は拡散の予測結果をホームページ上で公開し、モニタリングデータが入手されたあと、3 月 22 日の発生量情報を診断的に解析した。これらの情報は在日フランス大使館やフランスから東日本大震災の被害者救助に派遣された救助隊に送られると同時に、メディアからの 1 千件以上の問い合わせに対応した。IRSN ではこのほか一般に対する予測結果の out reach に対し相当の努力を費やしている。IRSN がモデルを運用している理由として、多岐にわたる放射線防護体制の構築は実際に放射性物質が放出される前から開始する必要がある、それには予測が必要であることをあげている。

4. オペレーションの反省点

福島ワークショップでは、以上のオペレーションに実際に参加したメンバーより発表

があった。DTRA の Ron Meris は科学者と意思決定者の間で状況把握のために interactive にコミュニケーションをすることと、そのための信頼醸成を図ることがまず重要であることを述べた。また、大規模災害において意思決定者は可能な限り最良の情報を迅速に入手して状況判断や行動を決める必要がある。虚偽の情報にふりまわされるリスクを最小にするにはサイト責任者、消防隊長から首相まで最良の科学的な情報を共有して行動をする必要がある。また、モデルがすべてを解決できるわけではなく、意思決定者の疑問は時々刻々変化する。これらに迅速かつ臨機応変意対応できる専門家が必要である。モデルのインターフェースは柔軟である必要があり、そこから専門家が事象のシナリオをフレキシブルに作成できる必要がある。そのシナリオにもとづき問題をつきとめ、科学的な解決策に導くことが重要であることを述べた。

IRSN の Damien Didier は福島事故にモデルを適用してみても明らかになったモデルの問題点について述べた。一つは、モニタリングに基づく環境データがなかなか入手できないこと（米国は日本の報告を待たず、モニタリング要員を派遣し、軍の艦船、航空機、各基地においてモニタリングを実施した）、また情報があったとしてもそれを効率的に処理するツールがなかったこと、発生源やモデルに多くの不確実性があったこと、状況の診断と予報を同時に行わなければならなかったことの困難さなどをあげた。またこれらの問題については整理され、改善がなされつつあることも報告された。

5. 数値モデルの用途

福島ワークショップやその後の報告書などから数値モデルによる拡散予測には大きく 3 つの用途があることがわかる。

1. 事故初期において想定しうる炉内事象のシナリオ（おおむね 100 程度）に対し、環境中に出てくる放射性物質の拡散をあらかじめ予測しておき、環境モニタリング情報から炉内で進んでいる現象を推定すること。その後モニタリング情報が入手されるようになった後は逆解析により発生源情報を迅速に推定すること。
2. 自衛隊をはじめとする災害救援機関に対し、あらかじめ拡散予測情報を発出し（2 日程度先まで）、交通規制や救援の実施の作業計画、どこに前線本部やモニタリングポイントをおくか等の判断に役立てること。
3. マスコミや一般の人に向けて現在と今後の状況の見通しについて説明をすること。

Ron Meris の報告にあるようにモデル開発者はモデルを開発すれば終わりではなく、専門家として自ら意思決定者への助言や一般への情報提供に努める必要がある。しかし、それには一定の訓練が必要であろう。

6. まとめ

福島第一原子力発電所事故以前、放射性物質の拡散を予測するモデルは SPEEDI および WSPEEDI しかなかったが、平成 24 年度科学研究費補助金（新学術研究領域研究；研究領域提案型）福島原発事故により放出された放射性核種の環境動態に関する学際的研究 A1-01 班では大気汚染や大気エアロゾル分布予測モデルをベースに放射性物質が実際にどのよう

に拡散していったかを複数のモデルにより明らかにした。複数のモデルが動くことにより、モデルの問題点や不確実性の幅がより明らかになり、そのような不確実性がある中でどのように情報を伝えるかに関する一定の議論もなされた。また発生源情報が無いときに、モニタリングデータをもとにそれを逆推定する手法も進歩した。特に、プルームが低気圧性擾乱により上空に運ばれ、そこで降水に取り込まれて地上に落ちて引き起こされる湿性沈着現象が、原子力発電所からかなり離れた場所で、複雑な地形の影響を受けながら起きることなど従来あまり指摘されなかったことが解明された¹⁰⁾。湿性沈着はモニタリングでは雨が降るまで全くわからない情報であるため、飲料水や土壌汚染などへの対応を考える上で重要な情報である。

日本気象学会でも数値モデルの活用策に関する提言を出しているが¹¹⁾、日本原子力学会では SPEEDI の活用方法について a. 緊急時対応の全期間、b. 緊急時モニタリング体制が整う以前の大量放出の段階、c. 緊急時モニタリング体制が整って以降についてその方策を提言し、原子力規制庁に情報を一元化することを提言している¹²⁾。一方、原子力規制委員会は SPEEDI の情報を常時持たないこととした^{13, 14)}。しかしながら福島事故における米軍の例でもわかるように実際に防災・救援出動をしなければいけない自衛隊等にとって予測情報はその後部隊の展開や隊員の安全を図る上で重要な情報となるはずである。原子力規制委員会が予測情報を持たない以上、モデル開発者の協力を得ることを前提に、予測情報については防災予測情報の経験が豊富な気象庁、または実際に防災・救護活動を実施する防衛省等で情報を一元管理し、原子力規制庁等が行うモニタリング情報とつぎ合わせていく作業をたとえば内閣府政策統括官の下で実施していく省庁連携が今後必要であろう。

参考文献

- 1) Organizing Committee of Fukushima workshop, 2015: Abstract of international workshop on dispersion and deposition modeling for nuclear accident releases. Transfer of science from academic to operational models. 32 pp.
- 2) 東大生産技術研究所ホームページ。
<http://venus.iis.u-tokyo.ac.jp/english/workshop/newE.htm> (2022年12月19日閲覧)
- 3) Hanna, S., T. Yamada, H. Kondo, A. Watanabe, R. Ohba, 2016: International workshop at Fukushima, Japan, on dispersion and deposition modeling for nuclear accident releases: Transfer of science from academic to operational Models. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 97, ES31-ES36.
- 4) United States Nuclear Regulatory Commission Radiation Protection Computer Code Analysis and Maintenance Program .
<https://ramp.nrc-gateway.gov/codes/rascal> (2022年12月19日閲覧)
- 5) Pullen, J., J. Chang, and S. Hanna, 2013: Air/sea transport, dispersion and fate modeling in the vicinity of the Fukushima Nuclear Power Plant: A special conference session summary. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 94, 31-39, doi:10.1175/BAMS-D-11-

00158. 1.

- 6) Sugiyama G., J. Nasstrom, B. Pobanz, K. Foster, M. Simpson, P. Vogt, F. Aluzzi, S. Homman, 2012: Atmospheric dispersion modelling: Challenges of the Fukushima Daiichi response. *Health Physics*, 102, 493-508.
- 7) NARAC ホームページ.
<https://narak.llnl.gov/about/event-timeline#aFukushima> (2022年12月19日閲覧)
- 8) Hill, A. 2003: Using the Hazard Prediction and Assessment Capability (HPAC) hazard assessment program for radiological scenarios relevant to the Australian defence force.
<https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA416823.pdf> (2022年12月19日閲覧)
- 9) Marro, R., M. McKenzie-Carter, S. Rademacher, K. Knappmiller R. Ranellone, D. Case, J. Dunavant, T. Miles, 2014: Radiation dose assessments for fleet-based individuals in Operation Tomodachi, revision 1, DTRA-TR-12-041 (R1).
<https://www.hSDL.org/c/abstract/?docid=759522> (2022年12月19日閲覧)
- 10) Nakajima, T., S. Misawa, Y. Morino, H. Tsuruta, D. Goto, J. Uchida, T. Takemura, T. Ohara, Y. Oura, M. Ebihara and M. Satoh, 2017: Model depiction of the atmospheric flows of radioactive cesium emitted from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident. *Progress in Earth and Planetary Science*, 4:2DOI 10.1186/s40645-017-0117-x.
- 11) 日本気象学会ホームページ.
<http://www.metsoc.jp/2014/12/17/2467> (2022年12月19日閲覧)
- 12) 日本原子力学会東京電力福島第一原子力発電所事故に関する調査委員会, 2014: 福島第一原子力発電所事故 その全貌と明日に向けた提言 -学会事故調最終報告書-, 丸善, 425 ページ.
- 13) 原子力規制委員会, 2019 : 原子力災害対策指針.
- 14) 原子力規制委員会, 2014 : 緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム(SPEEDI)の運用について.
<https://www.nra.go.jp/data/000027740.pdf> (2023年4月21日確認)

表1 福島ワークショップに参加した各国の緊急時対応モデルの例^{1), 2)}

国名	モデル・コード名	開発・運用機関	特徴	備考
オーストラリア	ARGOS	Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency		
デンマーク	ARGOS	Technical University of Denmark	気象予測(ECMWF等)に基づく Lagrangean puff モデル	デンマーク以外でも使用
ドイツ	RADOS	Federal Office for Radiation Protection	近距離(小規模イベント): Gauss 分布 Puff モデル 長距離(大規模イベント): COSMO GME+Lagrangean Particle Dispersion Model	
英国	NAME	英国気象局	ECNWFによる気流+Lagrangean 粒子拡散モデル	
フランス	C3X	Institute for Radiation protection and Nuclear Safety (IRSN)	近距離は Gauss 分布プリュームモデル、中・遠距離はオイラーモデル、気象は Meteo France による予測。	在日本フランス大使館等に情報提供
スウェーデン	ARGOS	Swedish Radiation Safety Authority		
米国	HPAC	Defense Threat Reduction Agency (DTRA)	Lagrangean puff モデル	Operation Tomodachi で使用
米国	RASCAL	Ramsdell Environment Consulting, U.S. NRC	Lagrangean trajectory Gaussian puff model	

<参考資料2>審議経過

第23期

平成27年3月31日 地球惑星科学委員会地球惑星科学社会貢献分科会（第1回）

- ・東北地方太平洋沖地震・津波・放射性物質拡散問題についての情報共有

平成27年7月24日 地球惑星科学委員会地球惑星科学社会貢献分科会（第2回）

- ・原子力関連施設の事故に伴う放射性物質の大気拡散に関する数値予測情報の活用策についての検討

平成28年1月18日 地球惑星科学委員会地球惑星科学社会貢献分科会（第3回）

- ・大気海洋拡散シミュレーションと情報発信問題及び現場科学者からの問題提起に関して議論

平成28年12月28日 地球惑星科学委員会地球惑星科学社会貢献分科会（第4回）

- ・有害物質拡散の実態把握・予測と危機管理体制学術及び行政の連携の仕組みについての議論

第24期

平成30年4月2日 地球惑星科学委員会地球惑星科学社会貢献分科会（第1回）

- ・放射性物質拡散の実態把握及び危機管理体制及び学術と行政の連携の仕組みについて検討

平成30年7月31日 地球惑星科学委員会地球惑星科学社会貢献分科会（第2回）

- ・SPEEDIをめぐる経緯についての情報共有と議論及び放射性物質の移動の計測と予測における課題について議論

令和元年12月25日 地球惑星科学委員会地球惑星科学社会貢献分科会（第3回）

- ・放射性物質拡散問題に関する提言について、具体的な内容を議論

令和元年12月25日 地球惑星科学委員会地球惑星科学社会貢献分科会（第4回）

- ・地球惑星科学委員会地球惑星科学社会貢献分科会活動記録の内容について、議論と承認

第25期

令和2年12月26日 地球惑星科学委員会地球惑星科学社会貢献分科会（第1回）

- ・放射性物質拡散問題について今後取り組むべき課題の検討と議論

令和3年4月6日 地球惑星科学委員会地球惑星科学社会貢献分科会（第2回）

- ・放射性物質拡散問題についての提言・見解（案）について目次等概要について議論

令和3年12月25日 地球惑星科学委員会地球惑星科学社会貢献分科会（第3回）

- ・放射性物質拡散問題についての提言・見解（案）について準備状況の報告と具体的内容についての議論

令和4年12月27日 地球惑星科学委員会地球惑星科学社会貢献分科会（第4回）

- ・放射性物質拡散問題についての提言・見解（案）の内容及び申出書提出についての承認。3.11 を見据えて、できるだけ早い時期に提言を公表できるように科学的助言等対応委員会へ提出することとした。

令和5年3月23日 地球惑星科学委員会地球惑星科学社会貢献分科会（第6回）（メール審議）

- ・見解（案）として承認した。

令和5年9月19日 科学的助言等対応委員会承認

見解「より強靱な原子力災害対策に向けたアカデミアからの提案 — 放射性物質拡散予測の積極的な利活用を推進すべき時期に来たと考えます」