

報 告

科学者から社会への
情報発信のあり方について



平成26年（2014年）1月31日

日 本 学 術 会 議

総合工学委員会・機械工学委員会合同

計算科学シミュレーションと工学設計分科会

この報告は、日本学術会議総合工学委員会・機械工学委員会合同計算科学シミュレーションと工学設計分科会が計算科学シミュレーションの情報発信検討小委員会での審議を反映して取りまとめ、公表するものである。

日本学術会議総合工学委員会・機械工学委員会合同
計算科学シミュレーションと工学設計分科会

委員長	萩原 一郎(第三部会員)	明治大学研究・知財戦略機構特任教授、 先端数理科学インスティテュート副所長/東京工業大名 誉教授
副委員長	大富 浩一(連携会員)	株式会社東芝研究開発センター参事
幹事	小山田耕二(連携会員)	京都大学国際高等教育院教授
幹事	松尾亜紀子(連携会員)	慶応義塾大学理工学部機械工学科教授
	岸本喜久雄(第三部会員)	東京工業大学大学院理工学研究科機械物理工学専攻教授
	北村 隆行(第三部会員)	京都大学大学院工学研究科機械理工学専攻教授
	木村 文彦(第三部会員)	法政大学理工学部機械工学科教授/東京大学名誉教授
	大島 まり(連携会員)	東京大学大学院情報理学環/生産技術研究所教授
	笠木 伸英(連携会員)	科学技術振興機構上席フェロー/東京大学名誉教授
	加藤 千幸(連携会員)	東京大学生産技術研究所教授
	金田千穂子(連携会員)	株式会社富士通研究所専任研究員/大阪大学特任教授
	岸浪 建史(連携会員)	釧路工業高等専門学校・校長
	久保 司郎(連携会員)	摂南大学理工学部教授/大阪大学名誉教授
	越塚 誠一(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻教授
	小林 敏雄(連携会員)	日本自動車研究所副理事長・研究所長/東京大学名誉教 授
	白鳥 正樹(連携会員)	横浜国立大学安心・安全の科学研究教育センター特任教 授/横浜国立大学名誉教授
	杉原 正顕(連携会員)	青山学院大学理工学部物理・数理学科教授
	高橋 桂子(連携会員)	独立行政法人海洋研究開発機構 地球シミュレータセン タープログラムディレクター
	中尾 充宏(連携会員)	佐世保工業高等専門学校校長
	中橋 和博(連携会員)	独立行政法人宇宙航空研究開発機構航空本 部長兼研究開発本部長(理事)
	兵頭 志明(連携会員)	兵庫県立大学大学院シミュレーション学研究科教授
	藤井 孝蔵(連携会員)	独立行政法人宇宙航空開発機構大学研究機関連携室室 長・宇宙科学研究所教授
	水野 毅(連携会員)	埼玉大学機械工学教授
	宮内 敏雄(連携会員)	東京工業大学名誉教授
	宮崎 則幸(連携会員)	京都大学・九州大学名誉教授
	矢川 元基(連携会員)	公益財団法人原子力安全研究協会理事長/東京大学東洋 大学名誉教授
	吉村 忍(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻教授

今田 正俊(特任連携会員) 東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻教授

計算科学シミュレーションの情報発信検討小委員会

委員長	今田 正俊(特任連携会員)	東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻教授
副委員長	矢川 元基(連携会員)	公益財団法人原子力安全研究協会理事長／東京大学・東洋大学名誉教授
幹事	高橋 桂子(連携会員)	独立行政法人海洋研究開発機構地球シミュレータセンタープログラムディレクター
幹事	大塚 孝治(連携会員)	東京大学理学系研究科教授・附属原子核科学研究センター長
	萩原 一郎(第三部会員)	明治大学研究・知財戦略機構特任教授、先端数理科学インスティテュート副所長／東京工業大学 名誉教授
	大富 浩一(連携会員)	株式会社東芝研究開発センター参事
	笠木 伸英(連携会員)	独立行政法人科学技術振興機構上席フェロー／東京大学名誉教授
	久保 司郎(連携会員)	摂南大学理工学部教授／大阪大学名誉教授
	越塚 誠一(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科教授
	江口 至洋	独立行政法人理化学研究所神戸研究所副プログラムディレクター
	木村富士男	独立行政法人海洋研究開発機構横浜研究所プログラムディレクター
	佐藤 三久	筑波大学計算科学研究センター長
	畑田 敏夫	東京大学生産技術研究所特任教授
	松本三和夫	東京大学大学院人文社会系研究科教授
	渡邊 國彦	独立行政法人海洋研究開発機構地球シミュレータセンター長

本件の作成に当たっては、以下の職員が事務を担当した。

事務	盛田 謙二	参事官(審議第二担当)
	齋田 豊	参事官(審議第二担当)付参事官補佐
	沖山 清観	参事官(審議第二担当)付審議専門職

要 旨

1 本報告作成の背景と課題

科学および研究制度は、多大な国家的支援を受け、研究者数も増大し続けてきた。国家財政の相当部分を占めるまでになった膨大な研究資金は、国民的支持を必要不可欠なものとしており、制度としての科学の将来と科学情報の開示や流通のあり方に深刻な問題を提起し続けている。

2011年の東日本大震災と東京電力福島原子力発電所の事故は、地震と津波の予知・警報、地震後の減災対応の遅れ、原子力災害の深刻さ、放射能拡散等の検知・予測とその情報公開の停滞などに見られた問題によって、科学と技術の現状と役割に対する失望と不信を、国民の間に広く引き起こした。情報発信や受信、及び科学情報の活用についてのプロトコル（手続きや手順を定めたルール）がなかったこと、信頼度を吟味した情報収集・発信が機能しなかったこと、不必要な統制や研究者の委縮という事態も招いたことなど多くの課題も残されたままとなっている。

緊急事態や困難な事態に際しての適確、冷静な科学的知識・情報の提供や分析と信頼性評価、情報の公開性の保証などが単なる個人レベルを超えて組織的なレベルで必要であることは、自然災害や原子力事故はもとより、科学と技術のあらゆる分野で広範に認識されている。その中でも社会的影響の大きな情報を発信し得る学問分野、公益的な現業組織¹⁾を抱える分野、すなわちエネルギー（原子力発電とその規制や放射線対策を含む）、気象・環境、災害、医療・保健などの分野で、この必要性はより大きく深刻である。

一方、インターネットの普及、情報伝達手段の進展、データ蓄積能力の増大、情報検索機能、公開機能の近年の向上は顕著であり、上記の問題の解決のために貢献する可能性が生まれている。しかし実際には十分に活用されているとはいえない。

公益的な現業組織を抱える、社会への影響の大きな分野において、公開を原則として、行政から独立した自律的な科学者・研究者コミュニティからの情報発信の仕組みを整備することは、その必要性にもかかわらず進んでいない。影響の大きな問題は多くの場合不確実性を抱えており、現状では、信頼度が高い情報を提供できる科学者・組織ほど、影響の大きさのために沈黙せざるを得ないという傾向がある。この状況は、震災直後のままであり、重大事態において、科学と科学者は最先端の知見や信頼すべき情報を提供してくれなかったという国民の失望が繰り返されるだろうという危惧はそのまま続いている。

情報発信に際しては、多様性を保持しつつ、信頼性の高い情報を収集し、科学者が迅速に提供できる枠組みを整備することが必要である。そのためには、法律的、社会学的な配慮や保証などが必要である。またインターネットを含む最先端の堅牢な情報通信発信システムの整備も必要である。情報を公開する手法、手段、信頼度の確保の方法、機動性などについて、その理念と制度のあり方、具体的な解決法を、問題の複合性と困難

さを考えて、理学や工学だけでなく、社会学、法律、情報科学など、分野を超えて検討する必要がある。

2 報告の内容

本報告では、分野を超えて上に述べた問題を議論し、科学者からの自律的情報発信のために必要な組織とプロトコルの整備を進めることを提案し、留意、検討すべき課題を提示する。

この報告は、社会的に重大な事態が発生した際に、科学の最新の成果を生かした適確な情報発信ができるような仕組みを整備するために、学術会議、関係学会と関連科学者、公益的な現業組織、文部科学省をはじめとする行政組織、総合科学技術会議並びに、研究資金提供組織が、協力して検討することを呼びかけるためのものである。科学者がその高度の専門知識を駆使して、迅速に信頼度の高い情報を発信できるようにするには、重大事に際しての知見・情報が不確実性を抱えていることを前提に、個人や少数の科学者が無限責任を負うことなく、全体として情報収集・集中・発信が迅速適確に行なえる仕組みを作らなければならない。このような組織は、公益的な現業組織や発信機関を抱える学問分野に属する、現場の使命感を持った科学者のコミュニティから構成される必要がある。また、一方で分野を超えた科学者の横断組織によって、総合的な知見と配慮が加えられる必要もある。双方を実現するために、我々は下の概念図にあるような二段階の組織を構想した。この二段階組織を実現するにあたり、持つべき機能、考慮すべき要素を以下に挙げ、これらを、分野を超えて学術界の総力を挙げて検討した上で実現することを提案する。

科学者からの信頼性の高い情報発信のための組織概念図

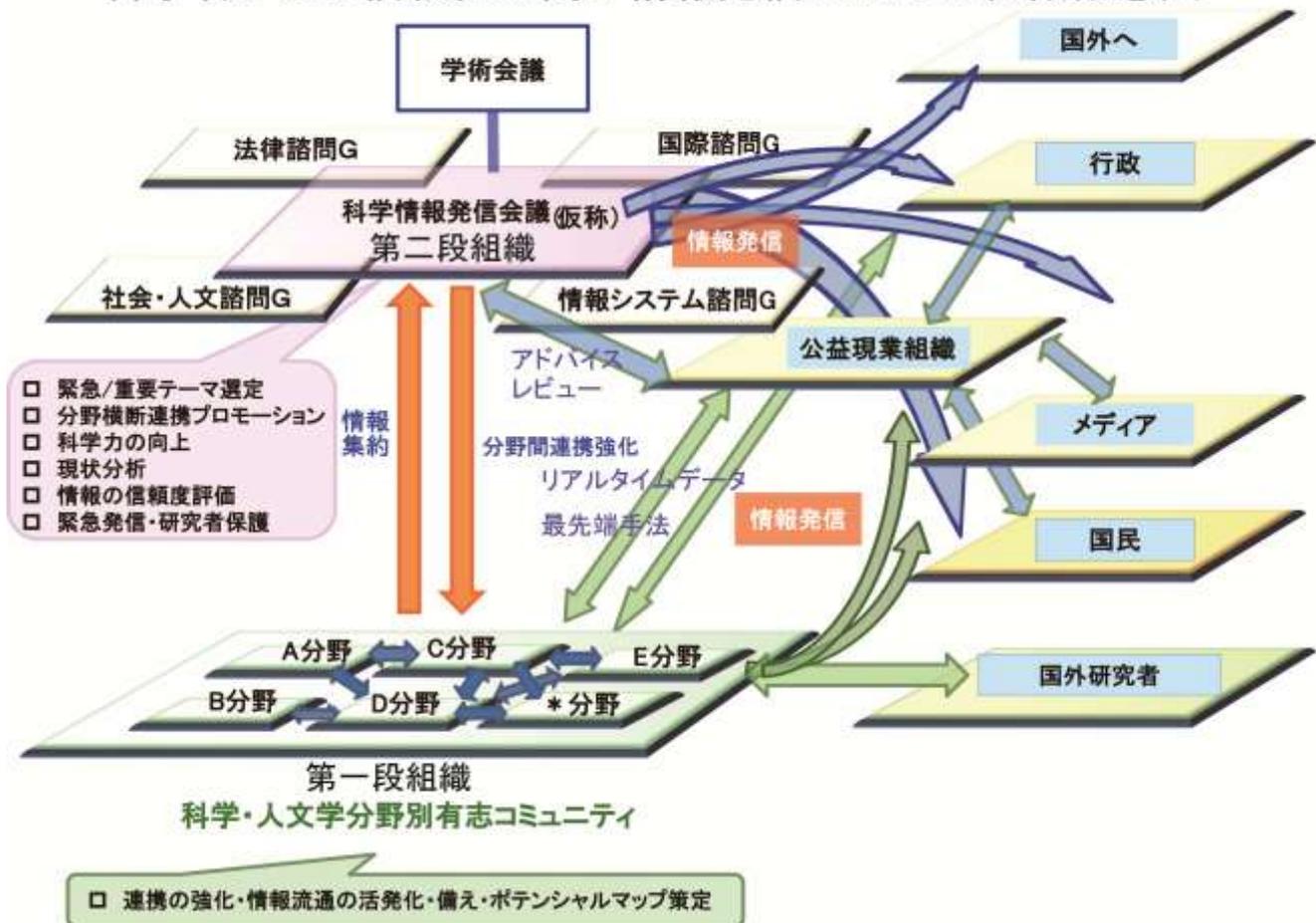


図1 情報発信組織の概念図

二段階組織が持つべき構成、機能、配慮すべき事項

- 1) 分野内で意志を持つ現場の科学者がコミュニティを形成して第一段組織を構成し、社会的影響の大きな緊急時や重大な事態に際して、必要とする情報を発信できる体制を整える。
- 2) 科学情報を収集、集中し、分野を超えて、より大局的な見地から、科学情報の発信と収集についての指針、戦略を決定する第二段組織を確立する。
- 3) 第一段組織と第二段組織の間の、支援と連携、アドバイスや情報の集中を可能にするような、平常時から連携体制を整備する。第一線の科学者が第二段組織に情報を提供しやすい仕組みを工夫する。
- 4-1) 二段階組織のアドバイスとレビューにより、公益的な現業組織が信頼度の高い科学的知見を反映できるようにする。
- 4-2) 二段階組織が必要とするリアルタイムのデータを現業および行政組織、その他から提供を受けられるような体制を用意する。情報の収集・集中を容易にする調査権などについての可能性も追求する。

- 5) 二段階組織の行政に対する独立性を保持すると同時に、行政および一般市民に、タイムリーに選択肢や分析結果を提供しうるプロトコル（情報発信・受信及び活用を確実にこなうための手順、規則）を整備する。政策・施策の選択は最終的には行政機関が責任を持つ体制を確立すること、また行政機関の選択、決定および対応、施策後にその妥当性を第二段組織が検証できる体制についても可能性を追求する。また、行政組織および公益的な現業組織はそれぞれ、科学者組織と連携して科学者側の情報の発信・受け入れが行なえる仕組みを整備する。
- 6) 社会学的知見や法律的な専門的知見が情報発信に際して十分に加えられるように配慮する。
- 7) 情報の受け手のニーズを把握し、同時に不確実性を含む情報についての基本的理解（リテラシー）を深めるような活動に貢献する。
- 8) 堅牢な情報発信システムの整備が行なえるよう、情報システム・ネットワークの専門家による検討を行なえる体制を作る。科学情報図書館としての機能を検討する。
- 9) すべての活動が科学者の行動規範に十分に沿ったものであるように留意する。
- 10) 第二段組織と日本学術会議との適切な関係を構築する。
- 11) 適切な財政的裏付けを持つ。

¹⁾ 「公益的な現業組織」とは、ここでは公共エネルギー産業、例えば電力会社（原子力発電を含む）、気象庁などの気象・災害に対処する組織、医療・保健に携わる病院および医師団体など、公益性が強く、法律で定められる業務を国民のために提供する組織を総体的に指す言葉として用い、必ずしも非営利団体に限定しない。また、ここで取り上げる問題点に関して言えば、これらの業務の監督官庁である原子力規制委員会および経済産業省、環境省、厚生労働省などの行なう業務も一部含む。特に本報告で問題となるのはこの中でも先端的な科学技術の成果を反映しうる業務についてである。

目 次

1	はじめに一現状認識と科学・技術の社会的課題.....	1
2	科学者からの情報発信のための組織の再構築.....	5
	(1) 情報発信に関するプロトコルと体制の整備が早急に必要とされる分野.....	5
	(2) 震災から得られた教訓.....	5
	(3) 科学者からの情報発信の組織のあるべき姿.....	7
	(4) 実現が求められる組織体系.....	8
3	計算科学分野の課題.....	11
4	結語.....	12
	<参考文献>.....	13
	<参考資料1>.....	14
	審議経過.....	14
	<参考資料2>.....	15
	別添資料1 原子力発電所からの事故時に想定しうる放射能拡散予測を含む災害予 測の科学的な検討に関する専門研究者への呼びかけ(2012年11月25日) .	16
	別添資料2 日本海洋学会震災対応ワーキンググループからの資料(2012年12月2 日)	18
	別添資料3 大気拡散問題検討会からの資料(2013年7月23日)	35

1 はじめに—現状認識と科学・技術の社会的課題—

計算科学に基づくシミュレーションは高度の専門性を有する一方、シミュレーションの結果が社会に対して大きな影響を与える場面は急速に増大してきている。したがって、シミュレーションの結果を最先端の科学技術の成果として、国民に理解されるように適切に取り扱うことは、国民の生命や安全を守る上で極めて重要になってきている。この認識の上に立って、わが国における計算科学シミュレーションの専門家が分野を超えて結集している計算科学シミュレーションと工学設計分科会、計算科学シミュレーションの情報発信検討小委員会(以下、小委員会)では1年余りの議論を行なった。その結果、この章で述べる背景認識に立ち、計算科学シミュレーションの分野における課題が、それだけにとどまらず、広く科学者からの情報発信の抱える問題につながり、社会における科学の成果の利用のあり方に関わるという理解を得た。その上で、2章以降に述べるような組織と体制を科学者全体の問題として整備していく必要があるという結論に至った。その経緯と内容を報告し、学術会議、関係学会と関連科学者、公益的な現業組織(以下、現業組織と略す)、文部科学省をはじめとする行政組織、総合科学技術会議並びに、研究資金提供組織が、協力してこの報告の趣旨を実現するよう検討することを提案する。

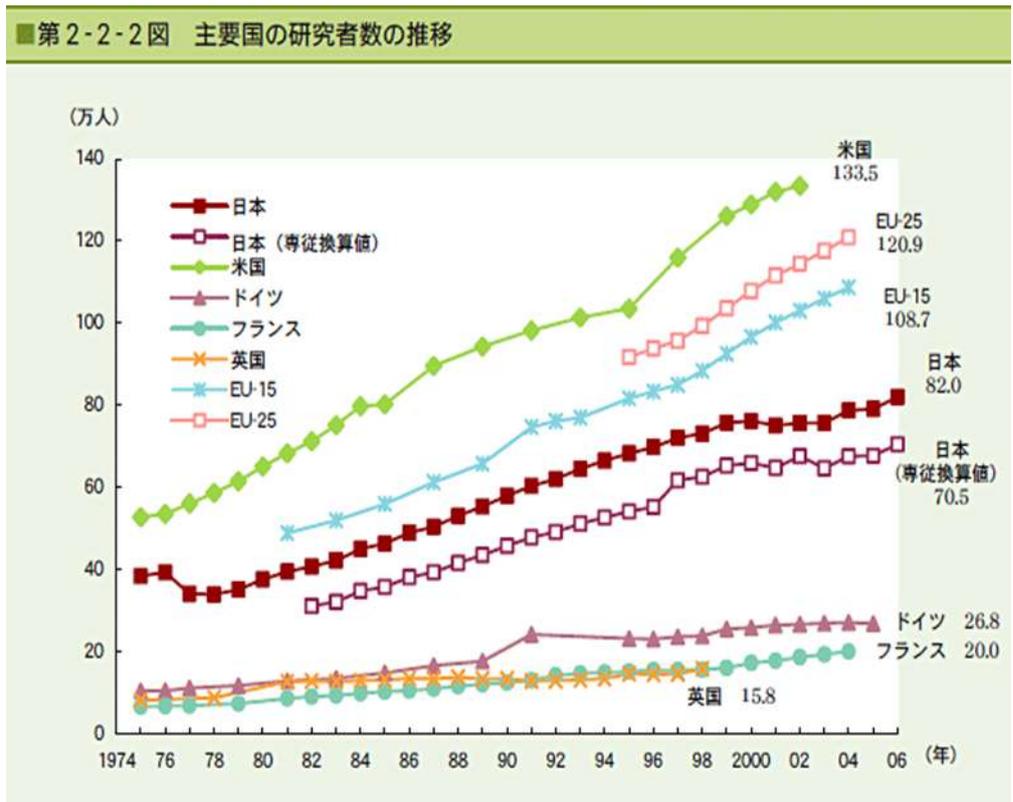


図2 研究者数の推移 (平成19年度版 科学技術白書より)

Figure 4-13
Gross domestic expenditures on R&D by United States, EU-27, OECD, and selected other countries: 1981-2007

Constant 2000 PPP dollars (billions)

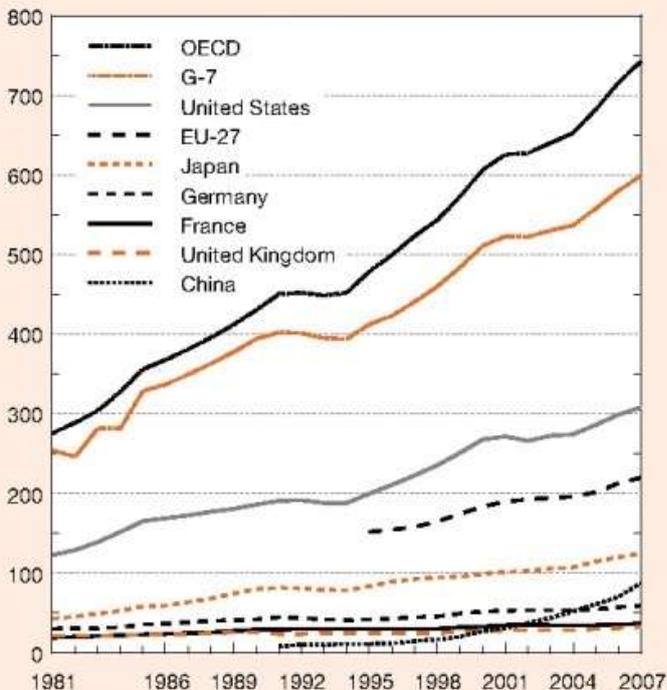


図3 科学技術研究開発費の推移
 (全米科学財団より)

科学および研究制度が多額の国家的支援とそれに伴う研究者数の飛躍的な増大を契機として大きな転換点にさしかかって久しい。専門性や独自の価値観のために社会から一定程度隔離したシステムによって科学は成功を収めてきたが、国家財政の相当部分を占めるまでになった膨大な研究資金は、国民的支持を必要不可欠なものとしている。この結果、科学のあり方と現状との間には相克がある。科学の専門化が進むと同時に膨張を続ける制度としての科学をどのように時代や国民の要請に適合させていくかについて、将来の科学制度と科学情報の開示や流通のあり方に深刻な問題を提起し続けており、まだ今後のあるべき姿を描き出せていない。わが国においても、国家財政の危機的な状況も加担して、事業仕分けに象徴されるような素朴な疑念がはげ口として語られることにも相克は端的に現れている。また、原発事故に際しての国民の不信感の中にも、この大局的問題に起因して生じている雰囲気が発露と苦悩が見られる。2011年の東日本大震災と東京電力福島原子力発電所の事故は、地震と津波の予知・警告への期待に対する期待外れ、地震後の減災対応の遅れ、原子力災害の深刻さ、放射能拡散等の検知・予測とその情報公開の恐るべき停滞によって、科学と技術の現状と役割に対する強い失望と不信を、国民の間に広く引き起こすこととなった。情報発信や受信、及び科学情報の活用についてのプロトコル（手続きや手順を定めたルール）がなく、信頼度を吟味した情報発信が機能しなかったために、ネット社会も反映しての異なる内容の「科学的情報」の氾

20世紀初頭より爆発的に成長した自然科学研究とその成果により、科学の影響力は飛躍的に増大した。その波及効果の拡がりおよびその深さにおいて、軍事と産業革新・民生の両面で、国家の趨勢と将来を左右しうるまでになった。各国の政府による科学に対する国家的支援により、研究者の数はここ100年の間に100倍に増大したといわれる(図2、3) [1]。科学とその成果を利用した技術は、普遍性により国境や時代の枠を超えた価値を持つが、その普遍性とは対照的に、科学は国家間の競争と産業政策の枠の中に組み込まれ、国家支援の対象となった。近年のわが国においても、1995年の科学技術基本法の制定に伴い、科学技術関係予算は科学技術創造立国の掛け声とともに高い優先度で、現在年間4兆円を超えている。

濫のみならず、不必要な統制や研究者の委縮という事態も招いた場面がいくつも見られた。早い段階からの、科学的なネット情報の発信や、医療・救援活動、放射線被ばく調査や放射線量調査などで個人的、あるいは有志集団による自発的、英雄献身的な活動があり、学会の声明・活動もあった。しかし一方で、各個々の研究者が孤立して沈黙し、分野のコミュニティによっては情報流通すら十分に行われない場面も多く見られた。さらに分野を超えた協力と総合的対応が必要とされながらも、ほとんど機能しなかったか、大幅に遅れるなど不十分であった分野や課題が多く見られた。これもきっかけとして、科学と技術が突きつけられている課題と、国民からの期待と厳しい視線は、従来に増して強く深刻なものとなっており、「科学離れ」にもつながりかねない。

この事態が浮き彫りにしたように、緊急事態や困難な事態に際しての適確、冷静な科学的知識・情報の提供や分析と信頼性評価、情報の公開性の保証などが属人的でなく組織的なレベルで必要であることは、自然災害や原子力問題はもとより、科学と技術の分野を問わず広範に認識されるまでになった。特にこの必要性は、社会的影響の大きな情報を発信する学問分野、現業組織を抱える分野においてより著しい。すなわちエネルギー（原子力発電とその規制や放射線対策を含む）、気象・環境、災害、医療・保健などの分野において、より顕著である。重大な事態に際して、国民の期待は現業組織が問題に機動的に対処し、科学的知見に基づく情報を提供してくれることであった。しかしながら現業組織従事者は個人としては別としてその職務上は科学者ではなく、法律上定められたルーティン業務や政府からの指示以上のことを行なうことを制限されている。また制度上、重大事態のときにそれに何らかでも対処することのできるような制度設計になっておらず、むしろ対処を避けることによって現業組織従事者、関係者が責任を果たしていることになってしまう場合も少なくない[7]、[8]。震災後の国民の科学への不信の相当部分が、この現業組織の対応から発している。

一方、ここ10～20年、上記の問題を解決しようとする場合に注目すべき社会環境の劇的な変化が生じている。これは主としてコンピュータ能力の増大を要因として、インターネットの普及による情報ネットワークそのものと情報伝達手段の進展、データ蓄積能力の増大、情報検索機能、公開機能の向上が端緒となっている。これらの劇的な変化と進展が、上記の問題の解決を大きく促進する可能性が指摘されており、現在、絶好の機会が訪れているものの、実際にはネットワーク能力とデータ処理能力の向上を十分に利用した効率的、重層的な科学情報の伝達手段や、その方法の活用と公開、伝達内容の整理・体系化が進んでいるとはいえない。また、細分化した膨大な情報を科学者自身が把握しきれない、互いにコミュニケーションしきれない現状も指摘されている。

研究者間の情報交換の促進とともに、研究者からの社会への自律的な情報発信と行政、メディアなどを含む、多様な社会、国民との間の情報交換、意思疎通システムの革新が時代の要請となっていることは、さまざまな局面で広く認識されているが、冒頭に述べた科学および研究制度の転換点の大局認識に立って、長期的視野と喫緊の課題の両方に対処していかなければならない。

とりわけ、社会への影響の大きな分野において、東日本大震災以降の経験と反省の上に立って、国民が求める科学情報を、公開を原則として、行政から独立した自律的な科学者・研究者コミュニティから発信する必要性は増大している。その際、研究者集団とその研究成果の多様性を保持しつつ、信頼性の高い情報を提供する科学者組織の枠組みが必要である。以上、情報を公開する手法、手段、信頼度の確保の方法、機動性などについて、その理念と制度のあり方を、分野を超えて再検討する必要がある。本分科会においては、その上で、次節に述べるような研究者集団からの自律的情報発信のための二段階組織とプロトコルの整備が必要であるという結論に至った。

本分科会に属する計算科学シミュレーションの情報発信検討小委員会ではこの課題に資するためのケーススタディとして、原子力規制委員会からの原子力発電所事故時の拡散予測の公表データをきっかけとする、「大気拡散、海洋拡散の第一線の専門家による科学的な検討を平成24年11月25日に呼びかけ」(参考資料 - 別添資料1参照)、2つの科学者集団からの報告書が提出された(参考資料 - 別添資料2、3参照)。大気拡散については、大気拡散問題の代表的な研究者有志により構成された大気拡散問題検討会による回答報告であり、海洋拡散については、日本海洋学会震災対応ワーキンググループによる回答報告である。これについては以下の(2)、(4)でも触れるが、これらの報告書は4つの点で意義があると考えられるので呼びかけ文ともに別添資料1～3として添付する。意義の第一は、シミュレーションの結果そのものについて、拡散の放出源の大きさ(ソースターム)がわからない場合には不確実性を伴わざるを得ないと同時に、ソースタームが推定できる場合には最先端のシミュレーションによって1ケタ程度の誤差の範囲の精度で拡散を予測でき、拡散方向と範囲については概ね正しい結果を与えるという信頼性があること。実観測データと突きあわせながら、さらに精度を高めることが可能であることが示されていること。第二にこのような現在望みうる最高の精度で結果を出す潜在的な力をわが国の複数の現場の科学者集団が持っていること。第三に科学者集団の予測が緊急時に時機に叶う迅速さで国民に提供されるためには組織づくりなど解決すべき課題があり、これが明示されていること。第四に現業組織の活動を平常時に科学者集団が評価、アドバイスすることの重要性を明らかにしたことである。

2 科学者からの情報発信のための組織の再構築

(1) 情報発信に関するプロトコルと体制の整備が早急に必要とされる分野

1999年のブダペストの世界科学会議で、『科学と科学的知識の利用に関する世界宣言』[4]がなされ、「科学のための科学」一辺倒であった反省から、「知識のための科学；進歩のための知識」に「平和のための科学」、「開発のための科学」、「社会における科学と社会のための科学」が加えられた。その範囲で、科学研究は基本的には研究者の自主性に基づいて、自由闊達に進められるべきであり、限定的な分野を除いては、規制や統制、管理は、科学の基本的な精神にそぐわない。それにもかかわらず、すでに1に述べたように、また次節(2)でもより詳細に述べるような東日本大震災後の情報発信の遅滞や失敗の教訓と反省の上に立って、社会的な影響の大きな問題に関する情報発信のために一定のプロトコルの整備が必要であることが明らかとなった。このことは、前述の『科学と科学的知識の利用に関する世界宣言』で改訂された科学のあり方と軌を一にするものである。直接的に社会的な影響の大きな科学分野は現業組織、発信機関を持つ分野と重なっており、具体的にはエネルギー(原子力発電とその規制や放射線対策を含む)、気象・環境、災害、医療・保健などの分野を含む。平時、緊急時を含む経常的な分野内のコミュニティでの情報流通を強化し、どのような場合でも信頼性の高い科学的情報発信と受信を可能にする組織づくり、行政を含む外部への発信のプロトコルの整備が喫緊の課題である。

(2) 震災から得られた教訓

東日本大震災当時における科学情報、特にシミュレーションに関連する情報発信については、放射性物質拡散予測が、インターネットを通じて海外の様々な機関から発信されているにもかかわらず、日本の科学者・研究者から発信された予測は、ほとんど皆無であった。緊急重大事に、現業として活用されるべく巨額を投資して開発されたSPEEDI(文部科学省の外郭団体である原子力安全技術センターが運営していた原子力災害時のための「緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム」)の情報は、震災直後から作成されていたにもかかわらず、活用されなかった。SPEEDIの現業現場においては、作成された情報を次にどこへ伝えればよいのか、誰が責任を持ち、決定すればよいのかについての具体的な手続きが決まっていなかったという関係者の証言がある[5],[6](及び脚注^{1,2})。原子力安全委員会、文科省、経産省などの情報をマネジメントする立場が機能不全に陥っていたことに加えて、想像を超えた現場における混沌と混乱の実態があったといえる。

一方、大気、海洋拡散関連分野の科学者、研究者たちは、福島原発における状況についての情報がほとんどない状態で、有志による個別独自の科学情報の収集と発信がインターネットを介してなされていた。しかしながら、観測データ配信が途絶えた中で、独自に科学情報を作成しても、作成した情報の信頼性を検討、検証、比較ができなかった。情報交換を試みようにも、どこの誰が、何ができるのか、についての情報が研究者同士で共有されていなかった。個別に作成された科学情報が、社会的に重大

な影響を与える可能性があることは、科学者個人においても容易に想像が付き、どのような立場で、どのように発信したらよいのかわからなかったという様々な証言がある³⁻⁵。情報発信によって発生する社会的リスクを科学者個人は負うことはできない。加えて、組織としても、社会的責任を負えない科学情報発信を制約した事例のひとつとして、2011年3月18日付（社）日本気象学会理事長メッセージ「東北地方太平洋沖地震に関して日本気象学会理事長から会員へのメッセージ」[7]は記憶に新しい。

大気、海洋拡散関連分野における日本の科学者は、世界の最先端モデルを用いた放射性物質拡散シミュレーション予測を実施することができる十分なポテンシャルを持っており、得られる予測情報は、観測データと組み合わせることで、危険を回避するための強力な科学情報となりうる（参考資料[2]、[3]を参照）。これらの科学情報の信頼性を判断できるのは、科学者のみであるから、科学者からの発信がなければ、国民、社会で科学情報が活用されることはない。発信可能な環境が整わなければ、国費を投入した有効な科学的手段が国民の利益として還元されることはないのである。

東日本大震災当時から現在に至るまで、緊急重大時におけるシミュレーションの科学情報としての有用性について様々な分野、立場から議論されてきたが、克服すべき課題は山積している。現業組織の従事者は、国民の視点からはそのように映らなくとも、十分に責務を果たしたと自己評価をしており、そこに「乖離」が存在する。また、3つの事故調査委員会からの報告書におけるシミュレーションの取り扱いは、それぞれに異なっており結論は出ていない。現時点で原子力規制庁は、原子炉の安全性確保等に関連するハードウェアの安全性や、現在進行している汚染対策については取り組んではいないものの、原子炉から放出された物質がどのように大気、海洋、土壌に拡散し、生物を介して環境を汚染するのかについての根本的な問題に対して、放射性物質汚染を様々な視点からの複合問題として解決しようとするアプローチをとっていない。科学者が科学的根拠を明らかにした信頼できる情報を発信することが、ここに挙げたいずれの課題の解決にも資することになる。

¹ 計算科学シミュレーションと工学設計分科会に属する計算科学シミュレーションの情報発信検討小委員会高橋桂子幹事、木村富士男委員による茅野政道氏（日本原子力研究開発機構原子力基礎工学研究部門長）へのインタビュー（2012年7月2日）

² 第3回計算科学シミュレーションの情報発信検討小委員会（2012年10月29日）での茅野政道氏（日本原子力研究開発機構原子力基礎工学研究部門長）のコメント

³ 計算科学シミュレーションと工学設計分科会に属する計算科学シミュレーションの情報発信検討小委員会高橋桂子幹事による山形俊男氏（東京大学（当時））、升本順夫氏（海洋研究開発機構）、宮澤泰正氏（海洋研究開発機構）のインタビュー（2012年5月8日）

⁴ 計算科学シミュレーションと工学設計分科会に属する計算科学シミュレーションの情報発信検討小委員会高橋桂子幹事による池田元美氏（海洋研究開発機構）、のインタビュー（2012年6月20日）

⁵ 計算科学シミュレーションと工学設計分科会に属する計算科学シミュレーションの情報発信検討小委員会高橋桂子幹事、木村富士男委員による大原利真氏（国立環境研究所）へのインタビュー（2012年6月22日）

(3) 科学者からの情報発信の組織のあるべき姿

信頼に足る科学・技術の成果の上に立って、緊急時にもその当時に望みうる最高の成果に基づく適切なアドバイスがあつてほしいという、国民の要求、期待があつたにもかかわらず、現業組織が対処しなかつたという東日本大震災後の事態に対して、何かの対応ができるとしたら、どこであろうか。多くの現業活動が高度な科学・技術に支えられていることを考えるならば、現業組織の活動を支える関連学問分野のコミュニティ、科学者の連携以外には不可能であろう。まず、緊急時はもとより、平常時も含めて活動可能な、現業活動を支える学術コミュニティにおける専門家ネットワークの確立が必要である。広範に重大な影響を与えうる情報は多くの場合不確実性を伴うという特徴を持つ。しかしながら、不確実さについての付加情報があれば信頼度を増すことが期待できる。さらに、付加情報をつけた情報は、公益に叶った国民の利益安全を守るために有効に働く可能性が高い。これが国民の期待・要望であつた。多少の不確実さを理由として、有用な「情報のたね」を隠蔽することは、社会・国民の利益に反する。したがって、情報発信は基本的には公開性と自由な発信を保持し、情報統制を行なわないことが重要である。

では、この情報発信は現場の科学者のコミュニティと連携だけで対処できるであろうか。科学者個人による自由な情報発信のみであれば、爆発的に多様な情報がネット上で飛び交い、信頼度の担保が困難になる。また、信頼度の低い情報によって、パニック等、社会が機能不全に陥ることがあり得るという懸念も示されている。すなわち、社会の機能不全を防止するには、社会学的、心理学的考察が必要であることを示している。

また、不確実さがあるということは、予測・提言が外れる可能性もあることを意味する。仮に予測が外れた場合に生じる不利益・被害をどう扱うかという問題がある。この問題の重大さは、2009年に300人以上が死亡したイタリア中部ラクイラの地震の際に「安全宣言」が被害を広げたとして、イタリアの地震学者に対して下された有罪判決にその端緒をみることができる。この判決に対して、英国のThe Royal Societyは、科学情報には不確実性が存在することを認めたとうえで、そのことによって、科学者からの専門的科学情報の発信が制限されてはならない、という抗議を表明している[8]。また、日本地震学会（加藤照之会長）は、判決に対し、会長声明において、研究者の意見や科学的根拠を示すことができなくなる可能性を指摘し、強い懸念を表明した[9]。

発信された情報に起因する被害に伴う訴訟などのリスクがあれば、有用と考えられる情報であっても、沈黙を守ったほうが「得」になるという結論となる。また、信頼度の高い情報を提供できる科学者・科学者集団ほど、発信する情報が社会で重視されることによって、このリスクが高まるという皮肉な状況が存在する。科学者の活動は現業組織と異なり、自律的で自由な活動、自己の信念のみに基づいた発言という科学者精神によって支えられており、リスクを伴いながら犠牲的精神や個人的な良心による活動、発信することを頼りにするという点では、制度として機能しない。実際に

東日本大震災後には機能しなかった、という反省が得られている。すなわち「普通の」科学者が有益な情報を提供しやすくする仕組みが必要である。このためには発信情報の基(情報の「たね」となる科学情報の収集機能の確保と情報の信頼性の科学的精査、さらに、精査された情報の発信ルートの確保、情報提供者の保護や法律的配慮を行わなければならないことを示している。

現業組織には、平常時から信頼に足る研究成果が、絶えず適切に現業組織活動に反映されることが望ましい。しかしながら、現時点においては、現業と絶えず更新されていく研究成果とのつながりは不十分である。現業組織相互間および現業組織と科学者、基礎科学との間の風通しが悪く、日々進展する科学的知見を絶えず取り入れる仕組みが希薄であることが、「ムラ」構造と呼ばれるものを生み出した一因として指摘されている。「ムラ」の外側からの様々な視点からの評価に耐えうる現業組織に転換し、また、その現業組織に対して、科学界が必要な支援を行なうことが、健全で、かつ強靱な現業組織の育成と運営には欠かせない。

さらに、現業組織で収集されている科学情報の作成に必要なデータおよび行政当局による収集データが、科学者からの要求に対して常に提供される仕組みを作ることによって、科学者組織が情報を収集、集中しやすくし、的確な判断を行ないやすくすることは重要である。

また、科学者からの情報発信は行政からの独立性を保証することは必要であるが、重大事に際して行政に対してタイムリーなアドバイスを行なう、妥当な選択肢を提示する、などの連携機能も必要である。最終的な政策決定は行政の責任で行なうべきものであるが、行政の選択と決定、施策後に、その妥当性を科学者集団が検証できるしくみは必要である。このためにも行政からの独立は必要なことであり、また、事務組織の独立性なども含め、十分な調査権限、財政的な基盤なども十分に配慮される必要がある。行政との関係については諸外国の制度なども参考にしながらよく検討する必要がある [10]。

情報発信のシステムは平常時から情報発信の手順、ルールを確立しておかなければ、緊急時に役立つことはないということも、東日本大震災の教訓は示している。

(4) 実現が求められる組織体系

(2)および(3)の考察の上に立つならば、現場研究者のコミュニティ組織だけで、科学者からの情報発信を担うには無理があることは明らかであり、分野を超えて大局的かつ総合的な判断を行なう第二段目の組織が必要である[11]。

すなわち科学情報発信の体制は、現場研究者の有志によるコミュニティと、分野を横断し高い見識から総合的に判断のできる組織の二段で構成されることが望ましいという結論に至る。この二段の組織のそれぞれと両者間の連携、及び社会との関係は以下のような要件を満たすことが望まれる (図 1)。

1) 通常の学協会、あるいは学協会がなじまない分野においてはこれとは別に、学協会との連携は保ちつつも、分野内で意志を持つものがコミュニティを形成し、第一段組

織を構成する。平常時から、信頼度の高い情報の所在、集め方、不確実性の程度について議論を重ね、社会的影響の大きな緊急時や重大な事態に際して、必要とする情報を発信できる体制を整えること。また、この体制はしっかりしたセキュリティシステムを持ち、災害時や国民が動揺しているなどの緊急時にも確実に情報発信できなければならないという意味で堅固でなければならない。第一段組織をどのように構成するかは分野により異なると考えられ、また、複数の第一段組織が存在する分野もあり得る。

- 2) 現場コミュニティの連携強化を、分野を超えて支持し、より大局的な見地から、科学情報の発信と収集についての指針、戦略を決定する第二段組織を確立すること。
- 3) 1)の情報発信に際して、特に重大な事態の場合に、第一段組織は、分野を超える第二段組織の支援と連携、アドバイスを受けられるとともに、第二段組織は最先端の情報を第一段組織から受け取れるよう、平常時から連携体制を整備すること。
- 4) この二段階組織は、公益的な現業組織の日常的な活動が日進月歩する科学的知見、基礎研究の成果を反映するようにアドバイスするとともに、必要に応じて機敏にリアルタイムのデータを現業および行政組織から提供を受けられるような体制を用意すること。また、現業や行政組織が担いきれない問題について、平常時から検討を重ね対処法を確立すること。現業組織にあっては二段階組織のアドバイスとレビューを受けられる体制を整備すること。
- 5) この二段階組織は行政に対して独立を維持すると同時に、必要な時に、第二段組織から信頼性が高いと考えられる知識と情報に基づいて行政および一般市民に、タイムリーに選択肢や分析結果を提供しうるプロトコル（情報発信・受信及び活用を確実にこなうために定める手順、規則）を整備すること。発信に際して、基本理念はすべての情報の公開であるが、第一段組織の研究者からの情報の信頼度を吟味するとともに、情報発信が個人責任に帰さないような制度的枠組みを整備することに留意すること。行政組織への発信に際して、信頼度と不確実性を吟味し、不確実性のある問題に対しては複数の選択肢を提示し、政策・施策の選択は最終的には行政機関が責任を持つ体制を確立すること。また行政機関の選択の妥当性を事後に第二段組織が検証できる体制を持つこと。第二段組織は行政との独立性を維持する必要があるが、将来整備される可能性のある科学顧問制度（イギリス、アメリカなどで政府が必要時に科学者の意見を聞けるように設けられている制度）などと理念的に共通の部分もあり、機能、果たすべき役割と関係を吟味検討する必要がある。また、6)の社会学的、法律的知見を加えて、社会的機能不全を避けられるよう留意すること。
- 6) 1)や2)の情報発信に際して、社会学的知見や法律的な専門的知見が十分に加えられるように第二段組織において平常時からこれらの専門家を加えた検討を行なうこと。
- 7) 第二段組織において、情報の受け手のニーズを把握し、同時に不確実を含む情報についての基本的理解(リテラシー)を深めるような活動に貢献すること。また、受

け手のリテラシーに応じた最もふさわしい情報発信があり、リテラシーが低いと科学者が自己規制せざるを得なくなることに留意し、科学者の良心に依存し過ぎなくとも機能するような制度設計に留意すること。

- 8) 情報システムとネットワーク技術（情報伝達手法と大容量情報処理能力）の日進月歩の発展を取り込みながら、誰もがいつでもアクセスできる公開性を備えた堅牢な情報発信システムの整備が行なえるよう、情報システム・ネットワークの専門家による検討を行なえる体制であること。また、このネットワークシステムが科学の効率的健全な発展のための、オープンアクセス情報を集積した科学情報図書館としての機能や、分野間の研究者の情報交換を促進する機能も備えるためにはどのような体制が必要か検討を進めること。
- 9) すべての活動が科学者の行動規範に十分に沿ったものであるように留意すること。
- 10) 第二段組織と日本学術会議との適切な関係を構築すること。
- 11) 適切な財政的裏付けを持つこと。

1 で述べた大気拡散、海洋拡散現象の研究者からの原子力発電所事故があった場合の拡散のシミュレーション結果とそれに基づく報告(別添資料2, 3)においても、上記の第一段組織と位置付けられる現場コミュニティの自発的な活動は、現時点においても一定程度機能しうるということが立証された。これらの報告にもあるように、さらに、分野を超えて機能する第二段組織の組織作りと今後の体制整備が大切であると考えられる。ここで提案した組織は、以下の課題をまず解決する必要がある。

- 1) 第一段組織には、平常時からネットワークを作る必要があるが、どれだけの専門家を集め、機能を維持することができるか。緊急時には、専門家が平時に帰属する組織から一時的に離れて、専門分野の一科学者として第一段組織に帰属し、情報収集と情報の作成に専念するようなシステムは可能か。
- 2) 第二段組織においては、総合的判断が求められる機能を平常時からいかに機能するようにするのか、その人材集めと資金的な裏付けが可能か。

3 計算科学分野での課題

計算科学分野においても、同様の課題がある。東日本大震災後の、原子力発電所事故時の放射能予測システム SPEEDI が機能しなかったことなど、気象庁を含む現業組織の情報公開の失敗、遅れ、混乱は計算科学の分野と密接な関係を持ち、科学者コミュニティにおいても対応の欠如、遅れが随所で見られた。一方、様々な内容の情報が科学的研究や考察の結果として国内外から発信され、混乱も招いた。

短期的および長期的な観点から、シミュレーションによる予測研究の推進と、予測可能性と精度評価の検討、適切な予測結果の開示方法、科学的に裏打ちされた冷静な情報・知識の提供や、エネルギー問題への科学的な情報提供など、さまざまな課題が計算科学研究者とそのコミュニティに突きつけられている。現状における「技術」（すなわち社会に直接向き合う応用・予測・対策への活用）の課題と限界に対して、「科学」として応えられる範囲での検討を行い、適切に課題解決への方向を示すことは、スーパーコンピュータをはじめとする巨額の研究費をつぎ込んだ科学研究を進める分野と研究者の責務でもある。

例えば、適切な大規模災害の予測、分析を防災・減災に活かすこと、大規模災害への迅速な対応により、尊い人命や産業、財産を守ることは、2011年を境に計算科学シミュレーションに携わる者にとって非常に重要な課題の一例となった。しかし、この課題に対して国民の期待に応え得るような、今までの研究体制に対する真摯な評価、批判を経た対処がなされたとは言い難い。さらに、計算科学シミュレーションにおいて、初期条件や境界条件、パラメータの違いにより結果が異なる場合に、その差と原因を明確にし、精度を向上させること、並びにその限界を周知し、どのように読み解くべきかについての専門情報を解説することも重要である。これら、前提・仮定の理解と得られる結果の限界の認識、精度検証とその情報発信は、計算科学にとどまらず、科学・技術が社会全般から要請されることでもある。差し迫った課題には以下のものがある。

- 1) 現場の研究者の立場から、シミュレーションの課題と情報公開のあり方、緊急時や困難な課題への対応について適確な企画・検討を行なう。
- 2) これを端緒とし、最先端の計算科学シミュレーションの成果をいかに社会に発信し、行政の意思決定に結び付けていくかについて検討を進める。
- 3) その上で広く分野を横断した科学者・研究者から社会への情報発信のあり方を検討する。

社会、行政に甚大な影響を与えると考えられる重大な科学的研究の結果は、発信する科学者個人の責任というよりも、科学者コミュニティ全体からの発信と捉えられるべきである。研究者コミュニティから社会への独立・自立した機敏で適切な情報発信のプロトコルを探ることや、計算科学以外の分野との連携を強めることは、2で述べた全般の課題と共通しており、科学全体の課題の一つとして、解決を図っていかなければならない。

4 結語

東日本大震災以後の事態への深刻な反省に立ち、社会的な影響の大きな科学分野、現業組織を抱える分野においては、二段階からなる科学情報発信の組織と体制を、適切な財政的裏付けを伴って整備することが、再び国民の期待を裏切らないためには最低限必要である。現場の有志の研究者のコミュニティからなる第一段組織と、分野を超えて広い見地からの判断、行政機関へのアドバイスなどを行なう第二段組織の連携と、平時と緊急時を通じて機能しうる体制の検討を進めるべきである。このためには日本学術会議における分野を超えた横断的な取り組みとアクション、学術会議が果たしうる役割の検討が早急に望まれる。この分科会では十分な検討を経ていないが、大気汚染、地球温暖化、地球規模感染症、いわゆるテイラーメイド医療における計算的側面など広範な分野においても、分野の個性に相応しい組織と体制が望まれる。

<参考文献>

- [1] 佐藤文隆『職業としての科学』（岩波新書、2011）
- [2] 松本三和夫『構造災』（岩波書店、2012）、pp. 36-48.
- [3] 松本三和夫「構造災と責任帰属—制度化された不作為と事務局問題」、『環境社会学研究』第19巻（2013）、pp. 20-44.
- [4] 「科学と科学的知識の利用に関する世界宣言」（世界科学会議（ブダペスト、1999年7月1日採択）
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu4/siryo/attach/1298594.htm
- [5] 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）最終報告書（2012年7月23日）
- [6] 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年9月11日）
- [7] 日本気象学会理事長声明（2011年3月18日）
<http://www.metsoc.or.jp/others/News-index.html>
- [8] 英国ロイヤルソサエティ声明（2012年10月25日）
<http://royalsociety.org/news/2012/italian-earthquake-scientists/>
- [9] 日本地震学会会長声明（2012年10月29日）
<http://www.zisin.jp/pdf/SSJ20LAquilafinal20wa.20121029.pdf>
- [10] 佐藤靖・有本健男、研究ノート：「科学的知見と政策形成」、『年報 科学・技術・社会』第21巻（2012）pp. 87-105.
- [11] 今田正俊：「科学者から社会への情報発信の課題とあるべき姿」、『年報 科学・技術・社会』第22巻（2013）p11-19.

＜参考資料1＞総合工学委員会・機械工学委員会合同計算科学シミュレーションと工学設計分科会審議経過

平成23年（2011年）

12月19日 分科会（第1回）

22期計算科学シミュレーションの情報発信検討小委員会の設置
について議論

平成24年（2012年）

3月29日 分科会（第2回）

22期計算科学シミュレーションの情報発信検討小委員会の設置を幹事会
に提案することを承認

平成25年（2013年）

7月12日 分科会（第3回）

報告案「科学者からの社会への情報発信のあり方について」の審議

平成26年（2014年）

1月31日 日本学術会議 幹事会（第187回）

報告「科学者からの社会への情報発信のあり方について」について承認

[計算科学シミュレーションと工学設計分科会計算科学シミュレーションの情報発信検討小委員会]

平成24年（2012年）

5月25日 小委員会（第1回）

小委員会の進め方について

8月27日 小委員会（第2回）

小委員会での取りまとめの方針及び課題リスト

10月29日 小委員会（第3回）

茅野政道日本原子力研究開発機構原子力基礎工学研究部門長講演

平成25年（2013年）

1月18日 小委員会（第4回）

山岸俊男玉川大学脳科学研究所教授講演

4月2日 小委員会（第5回）

上昌広東京大学医科学研究所教授講演

6月21日 小委員会（第6回）

船橋洋一日本再建イニシアティブ理事長、田中知東京大学教授、岩崎
俊樹東北大学教授、小出重幸氏、大西隆日本学術会議会長から意見聴
取

7月3日 小委員会（第7回）

まとめについて

＜参考資料 2＞

注) 別添資料 2、3 は別添資料 1 にある呼びかけに応じて提出されたもので、本文中にも記述があるように、この報告で提案する第一段組織の自発的活動の好例であると考えられ、第一段組織を立ち上げるに際しての現実性、わが国の研究者のポテンシャルを示していると判断できるので、資料として収録する。資料の中のデータの精度、信頼性について、本報告をまとめるに際して、検証を行なったものではない。なお、データの精度、信頼性については資料[2]の参考文献([1]～[14]) および別添資料 3 の参考文献([1]～[7]および[10])を参照されたい。

別添資料 1：原子力発電所からの事故時に想定しうる放射能拡散予測を含む災害予測の科学的な検討に関する専門研究者への呼びかけ (2012 年 11 月 25 日)

別添資料 2：福島原発からの放射性元素直接放出による海洋汚染(2012 年 12 月 2 日)

別添資料 3：原子力発電所から放出された放射性物質の大気拡散シミュレーション報告と提案 (2013 年 7 月 23 日)

**原子力発電所からの事故時に想定しうる放射能拡散予測を含む
災害予測の科学的な検討に関する専門研究者への呼びかけ**

日本学術会議 総合工学委員会・機械工学委員会合同
計算科学シミュレーションと工学設計分科会
「計算科学シミュレーションの情報発信検討小委員会」

表記学術会議小委員会では、シミュレーション科学分野における様々な情報の発信についての課題を広く検討しています。

昨今、皆さんも報道等でご存知の通り、原子力規制庁から発表された全原発での事故時の放射能拡散予測について、様々な問題が提示されています。シミュレーション予測が多く国民の安全や生命に直接的に影響する可能性があり、社会に対するインパクトも大きく、シミュレーション科学分野に関わる情報発信についての多くの課題を提示していると考えます。

計算科学シミュレーションの情報発信検討小委員会では、上記の課題についての検討を進めていますが、シミュレーション科学分野、特に、大気中の拡散シミュレーションの専門家、高い関心をお持ちの科学者・研究者の力をもとに、科学的な立場からこの課題に対して対処検討し、専門研究者の見解をまとめておくことが大変重要であると考えています。また、原子力規制庁から発表された全原発の重大事故時の放射能拡散予測結果に対して、科学的な立場から独立した意見を述べる可能性や必要性について検討することも意義のあることであると考えています。それに限らず昨年福島原発事故の検証、今後予想されうる影響の大きな災害に際しての予測もこの課題には含まれます。

また、予測手法の検証やそれに必要なデータの整備、さらにはこの検討が防災計画立案や緊急時対応等にどのように役立つのか、対応策や情報伝達手段との整合性についての科学的な検討も含まれます。

以上の目的のためには専門家間の緊密な情報交換が必要であり、早急な取組みも必要ですが、長期的継続的な活動が必要となるものもあります。

科学的な根拠や不確実性をきちんと提示しながら、この国民的な課題に応えうる基礎データを提示していくという重要かつ意義ある活動を、関連専門分野の研究者の皆さんの研究活動の中に位置づけて使命感を持って取り組んでいただくことを呼びかけたいと

思います。

関連する科学者、研究者の総力を挙げての取り組みが必要な時です。

想定しうる事故に伴って起き得る拡散予測などの、貴重なデータを提供していただける場合は、その社会的影響の大きさに鑑みて、学術会議等での、行政から独立した科学者による科学的な責任ある検討を経て、慎重かつ透明性のある取り扱いを行ない、時宜を得た形で適切な意見表明、対策や今後の指針にも生かされ活用されるよう、議論を提起し検討を進めるための重要な資料とする予定です。

皆さんからの信頼性のあるデータあるいは信頼性の評価は、学術会議での今後の取り組みにおいて大きな力となるものです。原発での放射能拡散予測に関する資料提供やご協力いただける方、今後取り組んでいきたいと思われる方、さらには研究者間の情報交換の場の構築にご協力頂ける方はご連絡ください。

また、上記の取り組み、また関連する取り組みについての意見、情報がありましたら、併せて、ご連絡ください。

連絡先：

「計算科学シミュレーションの情報発信検討小委員会」

委員長 今田正俊 imada@ap.t.u-tokyo.ac.jp

副委員長 矢川元基 yagawa@eng.toyo.ac.jp

幹事 大塚孝治 otsuka@phys.s.u-tokyo.ac.jp

幹事 高橋桂子 takahasi@jamstec.or.jp

<別添資料2>日本海洋学会震災対応ワーキンググループからの資料 (2012. 12. 2)

福島原発からの放射性元素直接放出による海洋汚染

日本海洋学会震災対応ワーキンググループ／モデリングサブグループ

池田元美 (北海道大学) 世話役

升本順夫 (東京大学大学院理学系研究科、海洋研究開発機構)

宮澤泰正 (海洋研究開発機構)

磯辺篤彦 (愛媛大学沿岸海洋科学研究センター)

三寺史夫 (北海道大学低温科学研究所)

早稲田卓爾 (東京大学大学院新領域創成科学研究科)

津旨大輔 (財団法人電力中央研究所環境科学研究所)

木田新一郎 (海洋研究開発機構)

小林卓也 (日本原子力研究開発機構)

内山雄介 (神戸大学大学院工学研究科)

吉田祥子 (ウッズホール海洋研究所)

広瀬直毅 (九州大学応用力学研究所)

他6名

要旨

本資料は日本海洋学会震災対応ワーキンググループ (WG) が平成25年8月にまとめた報告書[1]に基づいている。海洋学会では平成23年4月に同WGを立ち上げ、福島第一原子力発電所の事故が海洋にどのような影響を及ぼしているか、学術的な立場に基づいて調査研究すると同時に、その情報を検証することによって社会に発信してきた。平成25年3月をもって緊急対応から持続的な組織に替えることとし、報告書を作成したものである。

主たる視点として、福島原発事故を例にとり、重大な影響を受ける可能性のある地域 (沿岸域) の拡がりに注目する (図1)。基準となる放射性元素の濃度を設定する必要があると考え、セシウム137の濃度について、海水で100Bq/L、海底堆積物で100Bq/Kgを基準値とする。また20Bq/Lと20Bq/Kgにも注目する。その理由は、海水を飲用することはないものの、福島沖で平均すると、魚などの海産物に5倍程度の濃度となって現れており、それぞれの基準によって、海産物では緊急時 (事故後1年間) の摂取限度500Bq/Kg、それ以降の摂取限度100Bq/Kgとなるからである。これを目安として考えることとし、さらに予防原則に基づいた低い濃度の設定を付録Cに記した。

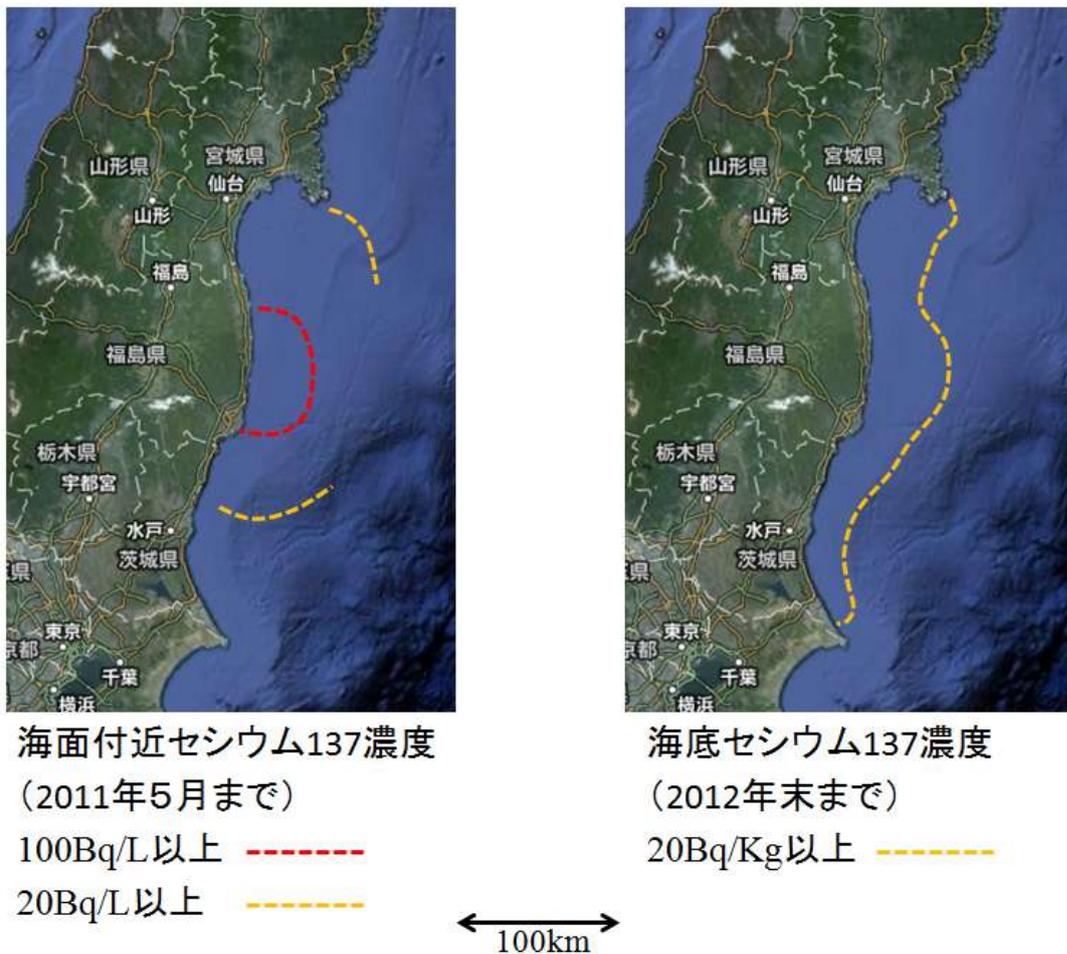


図1 観測値とシミュレーションから推定した汚染分布概観

濃度分布を推定する方法を記すと、観測値がある場合はそれに準拠するが、時空間的に密ではないので、シミュレーション結果によって補充し、拡がりを見積る。わが国では6つの異なるモデルを利用するグループが協力しており、それらの多数が示す結果を引用する。なお外国のモデルが時として大きくはずれる値を示していることには留意を促す。海洋循環モデルは移流拡散の機能を持ち、黒潮流路など流速場を決める主要な成分は、衛星データなどを用いて実際の場に十分近いものとしている。風応力は大気の再解析場から求めており、河川流量は気候値（平年値）を用いた。

海洋への直接放出量（大気経由ではない部分）については、東京電力による4月上旬のみの放出推定値として約1PBq（Petaは10の15乗）が出されているのに対し、シミュレーション分布を観測値に合わせる逆推定によれば3PBqかそれ以上になる（[2][3]）。

事故発生から2ヶ月程度の期間において、福島県沖が最も高く、30km沖でも100Bq/Lに達した。福島以外には観測値が非常に少ないので、シミュレーションに基づいて推定するしかないが、茨城・福島県境で20Bq/L、宮城県沖にも同等の汚染域が広がった。距離で表すと、100km近く南北に離れた沿岸域まで、海水に高濃度汚染が広がったことになる。モデルによって、北方に広がる傾向が強いものと、逆に南方に広がるものがあるので、この違いを作る要因をさらに分析し、妥当なモデル設定を探求しているところである。

1年あるいはそれ以上の時間スケールでは、海水中の汚染は格段に下がったものの、福島県沖はもちろん、茨城県全域と宮城県全域の沖で（100m深くらいまで）の海底堆積物に20Bq/Kgを越える値が出ている。文部科学省が主導した観測のうち、茨城県沖の1箇所と宮城県沖の1箇所において500Bq/Kg前後の高い値が見られる。すなわち、150Kmくらい南北に離れた沿岸域で、海底堆積物に高濃度が出ている。この高濃度放射性元素が海水から直接堆積物に吸着したのか、生物起源物質に付着してから堆積したのかまだ不明であるが、少なくとも海流に乗って移動したのは確かなので、海洋モデルを使って数例を示すこと、また追加実験を実施することも可能である。

福島原発以外のケースについては、研究課題として実行したケースはあるが、同一の原発について複数のモデルを用いたところはない。しかしながら、単一モデル結果として有意義と考えられるなら、その結果を提供することは可能である。

モデリングサブグループで議論したように、これまでのモデリング活動をさらに発展させ、得られた科学的知見を広く社会に還元することによって、海洋科学専門家の責任を果たすべきである。今後、同様の事故が発生した場合に、海洋専門家に求められることは、海洋汚染のモニタリング観測、試料分析とデータ解析、そしてモデル予測を迅速に行うことによって、汚染状況の現状と予測を市民に分かりやすく伝えることであり、汚染による被害をできるだけ低減することである。本来、公的機関（省庁、地方自治体など）の責任において、被害予測や避難勧告が出されるべきであるが、その公的機関だけに任せるのではなく、それから独立した専門家がセカンド・ピニオンとして情報を提供することが市民の信頼を得る条件であろう。それぞれ独自に客観的な意見を述べられる数名の専門家が汚染状況、予測の妥当性、さらに不確定要素を確認するしくみを整えることが望まれる。

1 セシウム 137 の観測データ

3月下旬から福島原発沖で政府の委託調査として JAMSTEC が行った観測により、海面近くの採水に基づいてセシウム 134 と 137 などの濃度を得ることができた。原発近傍を除くと、100Bq/L 前後の濃度から 10Bq/L までが見える（図 2）。12 日間の調査期間では、徐々に沖方向に汚染が広がっていった。このデータは、この報告で示すように、モデル・シミュレーションの結果と比較することによって、モデルの検証、および放射性元素の放出量を逆に推定することに用いられた。

図 3 に示すのは、海底から堆積物を採取し、セシウム 134 と 137 の濃度を計測したデータである。茨城から宮城に至る沿岸から 100Km 程度の領域で調査しており、その分布は 10 から 150Bq/Kg 程度であるが、2 点では格段に高い 500Bq/Kg 程度を示すなど、非常に不均一である。高濃度を示す 2 点のうち茨城沖の点では、徐々に濃度を高くしているが、この傾向が全体を代表しているわけではない。おそらく海底地形や土壌の状態によって、高濃度粒子が集積するなど、未解明のプロセスが起きている可能性が高い。

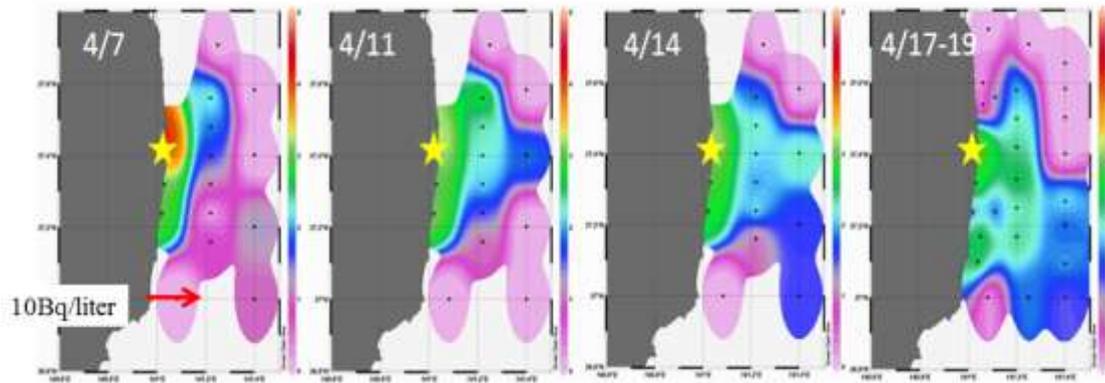
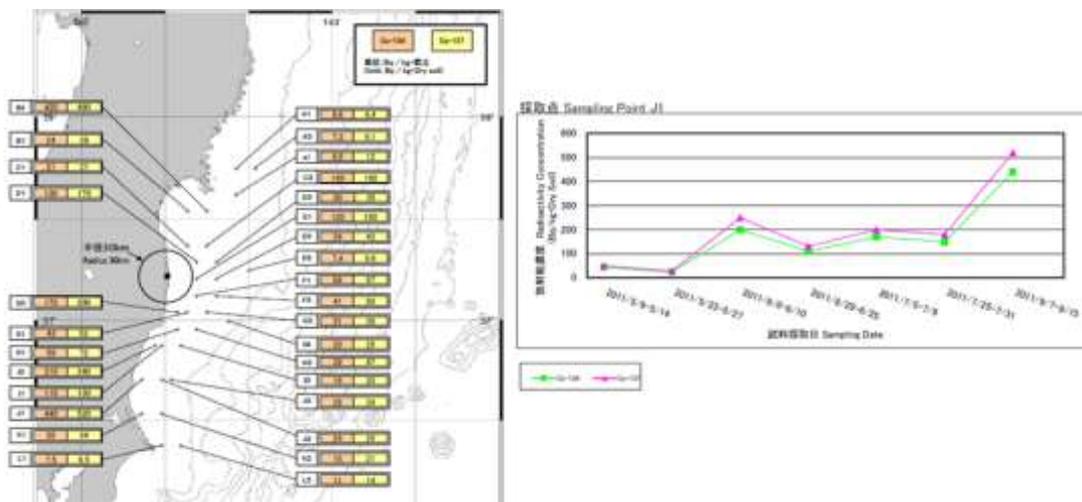


図2 23年4月、福島原発から15Kmと30Km沖の調査点におけるセシウム137の濃度。青が100Bq/L前後の濃度を示す。



図

3 (左) 23年9月、文部科学省の調査による海底堆積物のセシウム134と137の濃度。(右) 茨城沖の高濃度を示す調査点における時系列(23年5月から9月まで)。

2 シミュレーションモデルの解説

従来のモデルには2つの系列がある。ひとつは、沿岸付近の高解像度モデルによって、温排水のアセスメントを行うもの、もうひとつは、黒潮・親潮混合域の中規模現象を含めて扱い、流速、水温などの再解析を行うものである。

2 a. 沿岸付近の高解像度モデル

いくつかのモデルが開発されており、ROMS (Regional Ocean Modeling System)、JCOPE (Japan Coastal Ocean Predictability Experiment)、FVCOM (有限体積モデルを用いている) などの例がある ([2][3][4][5][6][7][8][9][10][11])。一例を示すと、モデル領域は海岸から約100kmの幅と、海岸に沿って約300kmの長さを持つ。水平解像度は1km×1km程度、鉛直には200m程度の海洋上層に20層を持つ。この上層より下には静止海水を仮定し、水深が上層より浅い海底地形のある部分では、地形に準拠したシグマ座標で表す。次に示す外洋域モデルにネスティングして、黒潮などによる流速場と水塊条件の影響を取り入れる。このモデルを再解析気象データから求めた風応力によって駆動する。再解析気象データの代わりに、気象庁の全球モデルGSMを境界条件とした領域気象モデル(NuWAS)から求めた

風応力を用いることも試している。潮汐流は弱いものの、モデルに取り込んでいる。

放射性物質は原発から放出する量を決め、その移流と拡散をモデルで計算する。放射性物質は沈降しないものとしても、2ヶ月程度の期間における海水中の濃度については十分な精度を持つ。また大気を経由する降下を加えることも可能であり、その結果も出している。

2 b 黒潮・親潮混合域の中規模渦解像モデル

中規模現象を含む海洋循環場のシミュレーションは、放射性物質の移動・拡散を含まないモデルとして進められてきた。JCOPE2はその一例であり、多くのモデルに共通している概要は次のとおりである。モデル領域は日本東海岸から日付変更線あたりまでの黒潮・親潮混合域とし、解像度は3km×3km程度までの高解像度も可能である。海面高度計および水温のデータを用いて現実の循環場を再現することを目的にしている。

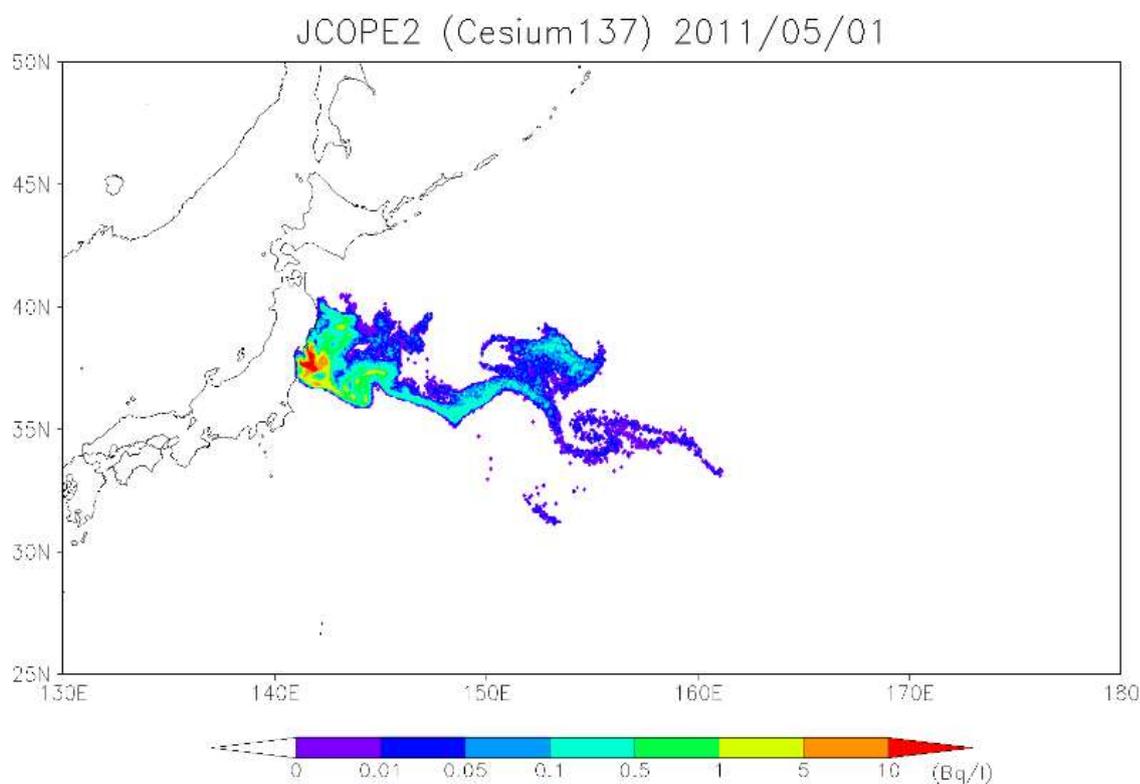


図4 JCOPE2のシミュレーション結果(5月1日)。色は濃度(Bq/L)を示す。

これに福島沖で4月上旬に粒子を入れて、時間変化していく海洋循環場を予測した結果を図4に示す。粒子追跡による放射性元素の分布には、3週間で1500km東に移動している部分もある。このモデルでは沿岸近傍の循環を再現することが難しいが、沿岸モデルをネスティングすることによって、放射性元素の移動と拡散を再現することを試みた。

本報告には載せていないが、このモデルを用いて1年後、2年後の分布を示すことは可能である。震災の被災国であるとは言え、原発からの放射性元素を太平洋に拡散させた加害国として国際的責任を果たすためには、長期間のシミュレーションと海洋調査によって、汚染分布に関する情報を広く提供することが必要であろう。

3 モデルで検討する要素とシミュレーション方法

沿岸モデルには、沿岸域（10～30km 幅）の風成循環と河川水などによる密度流を正確に再現し、また海底地形の効果、および現場の速度・密度構造によって決められる鉛直混合を含むことが必須である。このモデルと中規模渦解像のできる外洋モデルをネスティングし、放射性元素放出源の情報を導入する。

外洋モデルにはデータ同化の手法を用いて、海洋物理観測データに整合する海域結合モデルのシミュレーション結果を求める。多くの場合に、JCOPE2 を用いた。放射性元素については、観測データと比較してモデル内の分布を修正することも考慮し、その水平フラックスをモデルから求める。さらに放出源の情報と比較して、放出源とモデルの双方を検討する。

いくつかの沿岸域のモデルを検証し、不確かさを特定するため、モデル相互比較（Model Inter-comparison）を行う。駆動力、解像度、力学過程など基本的な要素は共通にしたが、外洋モデルとのネスティング方法にモデル間で違いがあり、シミュレーション結果の相違もネスティング方法の違いに起因する場合が多いと判断している。

放射性元素のふるまいについては、大型生物や海底堆積物に永く存在する可能性のあるセシウム 137 についてシミュレーションを行った。植物プランクトンへの付着、食物連鎖による濃縮、堆積物への吸着を見積もることは重要であるが、現時点ではモデル比較を行う段階になっていない。今後さらに検討する要素として、表層から浅い海底への Ekman 流、鉛直対流などに伴う堆積物吸着も推算することとしている。河川と土壌を通じた放射性元素の海洋流入を考慮し、その重要性を見積もることも重要であると認識している。

以下にこれまで行ったモデル設定の詳細を記す。

風応力：共通の風応力場として、ASCAT（0.25 度格子）を用意した。各モデルで他の風応力場も用いたシミュレーションを行い、風応力データへの依存を調べている。

河川流量：特に流量の多い季節は河川水による低塩分水の挙動が重要になることも考えられるので、季節変動する気候値を用いた。実測データを用いたケースも感度実験として行うことを推奨している。

海面熱・淡水フラックス：沿岸モデルには重要でないと考えられる。外洋モデルで長期間（1 年間以上）の比較を行う場合は十分な注意を要する。

潮汐（含む残差流）：陽に取り入れたモデルと鉛直混合などにパラメータ化して影響を見るモデルの両方がある。結果としては、放射能分布への影響は小さい。

モデルのスピンアップ：1～2 カ月とし、その後 2 カ月程度の期間で比較を行う。

4 シミュレーション結果（海洋拡散モデルの相互比較）

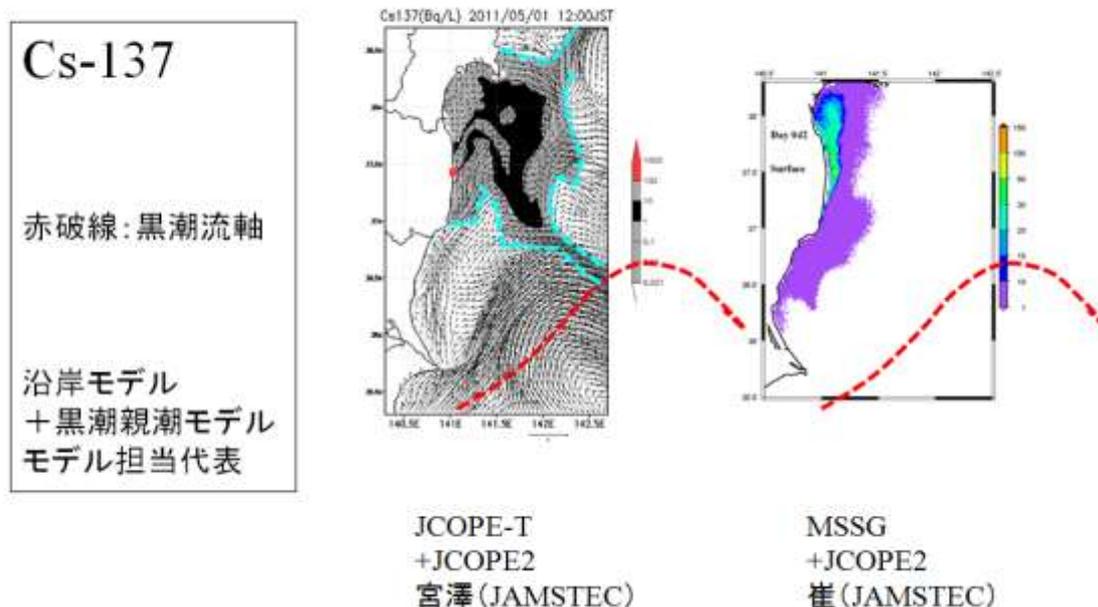
23 年 3 月末に福島第一原発から放出された放射能汚染水が、最初の 2、3 ヶ月の期間でどのように日本近海で拡がったかに注目し、モデルの相互比較を行った。この比較によって、より信頼に足るモデル・シミュレーションが示せば、1 年以上経過した段階で海底土に依然として蓄積する放射性元素の分布を説明する一助とできるし、また観測値と付き合わせることによって、放出量を推定する作業にも必須の要素となると考えた次第である。

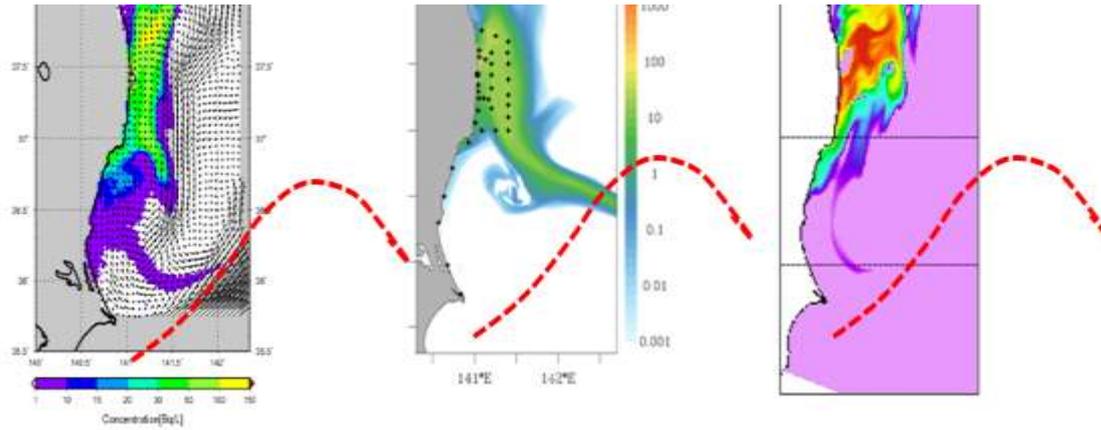
汚染域の分布を決めるメカニズムについて、基本要素を述べる。沿岸を南向きに流れる海流は、低塩分水によって作られており、河川水流入あるいは初期条件、そしてモデルへの復元力として与えられた。気象条件によって、北向き・南向きの沿岸流ができる状態を再現するのは、再解析気象データによる風応力である。以上 2 つのメカニズムによって、放射性物質が流出した直後（1～2 週間）の分布が決まる。

その後、黒潮流路と中規模渦（直径 100-200Km 程度）が重要な要素となり、黒潮域への取り込み、日付変更線あたりまでの東向き移動と南北への拡散を支配する。黒潮・親潮の流路、流速、そして中規模渦の場所、大きさ、強さについては、衛星データを主とした情報をモデルに取り入れて、流速場を再構築しており、現段階で最も妥当な方法と考えられる。

参加している 6 グループともこれらの条件を満たしてモデル構築を行ってきた。ただし、沿岸モデルと外洋モデルを組み合わせる際に、海洋の再解析に依存する流れ場を、沿岸モデルがどこまで妥当に取り入れているかが重要になり、図 5 に示すように放射性元素の水平分布はモデル間で違いもある。その一因は、茨城沿岸から東経 143 度に至る領域で、黒潮の北方向への蛇行（高気圧性渦を含む）と低気圧性渦の挙動が、モデル間で多少異なることである。中規模現象が沿岸流に及ぼす影響に注意を払う必要があり、外洋モデルの流れ場を沿岸モデルに反映する方法を吟味し、すべてのモデルでおおよそ妥当な結果を得た。

モデル間の相違でもう一点気がつくことは、沿岸近くの汚染域が南方に広がるか、北方に広がるかの違いである。この原因を探るには、海面近くの流れ場とそれに対応する海面力学高度をモデル間で比較するのが第一にとる方法である。図 6 に示すように、南方に広がるモデルでは南向きの流れが卓越しており、北方に広がるモデルでは北向きの流れが支配的である。ただし、低塩分水の存在と風応力にはほとんど違いが無いので、沿岸モデルが外洋モデルに動かされるメカニズム、すなわち陸棚波の形成に相違があると考えられる。現在、この点をさらに探求しているところである。



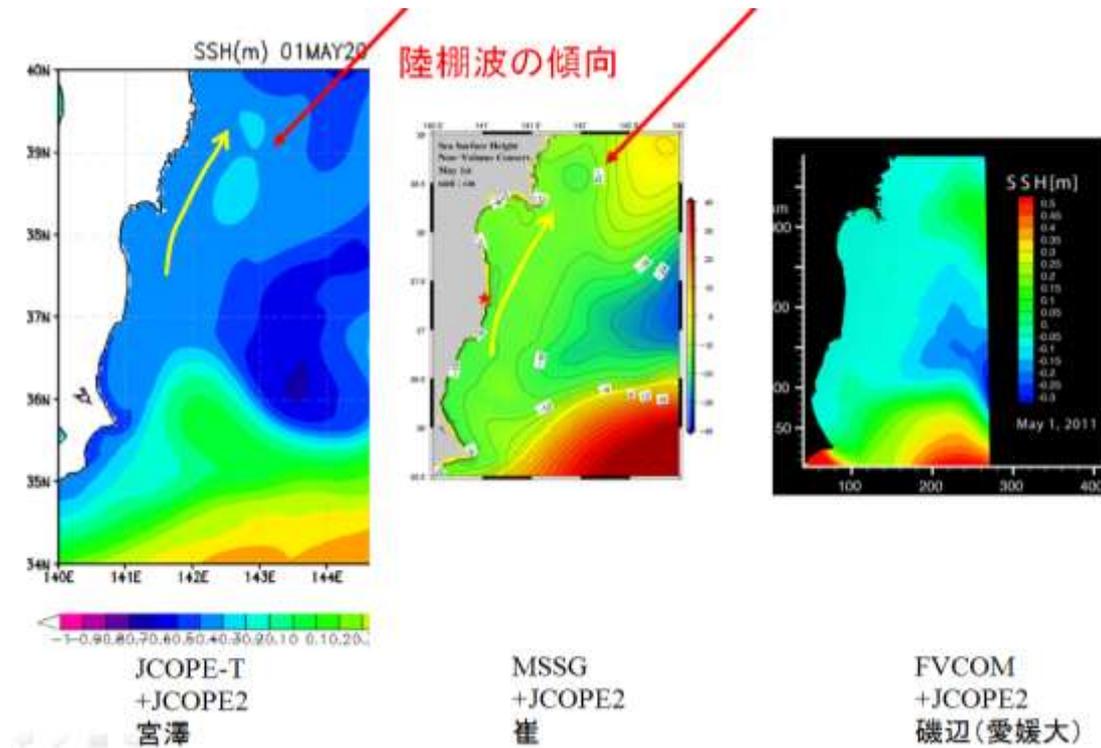


Kyoto-U
+Kyoto-U
小林(原研)

ROMS
+JCOPE2
津旨(電中研)

ROMS-L2
+ROMS-L1
+JCOPE2
内山(神戸大)

図5 6グループのうち5つのモデル結果比較(23年5月1日)。赤破線は黒潮流軸の位置を示す。濃度を示す色は異なるが、高い所は100Bq/L近く、水色破線(JCOPE)と青から紫色が10Bq/L程度を示している。



JCOPE-T
+JCOPE2
宮澤

MSSG
+JCOPE2
崔

FVCOM
+JCOPE2
磯辺(愛媛大)

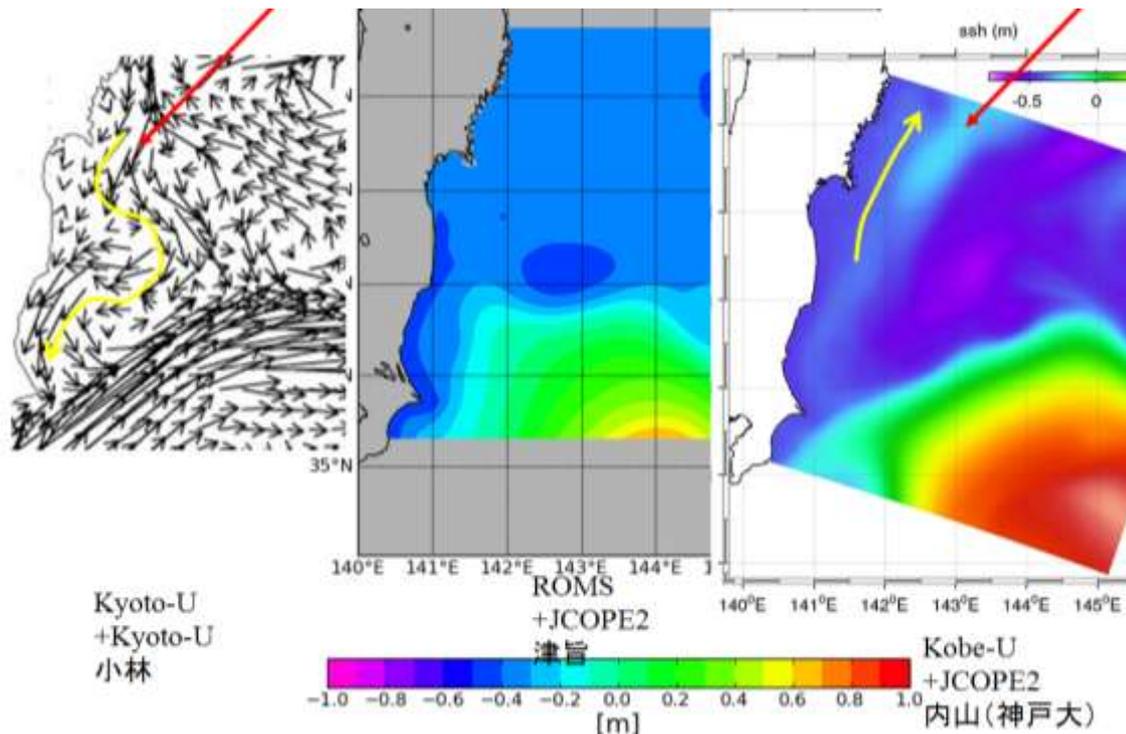


図6 6つのモデルにおける海面力学高度あるいは海面流速（23年5月1日）。赤（青）は力学高度が高い（低い）ことを示す。黄色矢印は沿岸流の方向を示す。

ここまで水平方向の分布を中心に述べてきたが、鉛直方向にも海水の混合が起きれば、海面近くの濃度は下がる。鉛直混合の強弱によって海面近くの濃度は減増するが、4月以降は30m程度の混合層（よく混合した層）とするのが妥当であろう。

データによるモデルの検証について、若干のコメントを述べる。原発事故の直後にドリフターを投入した。ドリフターはある深度を流れに沿って流れ、定期的に浮上して位置を知らせる。その深度が100乃至200mであるので、海面流速と対応しない可能性もある。また、海面水温は水温の高低によって、高気圧性と低気圧性の渦を表すが、その厚さについては他の情報を要することに注意すべきである。震災後1-2カ月の放射性元素データは、採取点が限られているので、土壌データなどから推定することが有効かもしれない。茨城沿岸の海底土に高濃度が現れているので、そこはかなり高い濃度（50Bq/L程度）を持った海水が流れていた可能性はあるだろう。

放射性元素放出については、原発周辺海域（10Km程度まで）の海水データを用いたモデル検証と逆推定法により、3-4PBq、あるいはそれ以上のセシウム137が放出されたと考えるのが妥当である。

付録A 日本以外のモデル・シミュレーション

○フランス Sirocco モデルによる予測

国際原子力機関（IAEA）の要請を受け、フランスの研究機関と大学が共同で開発、運用している。福島第一原子力発電所の事故の後、本州東方海域に焦点を当てたモデルが作られ、移流拡散法による放射性核種の分布のシミュレーションを行っている。その説明と計算結果は

<http://sirocco.omp.obs-mip.fr/outils/Symphonie/Produits/Japan/SymphoniePreviJapan.htm> で見ることが出来る。

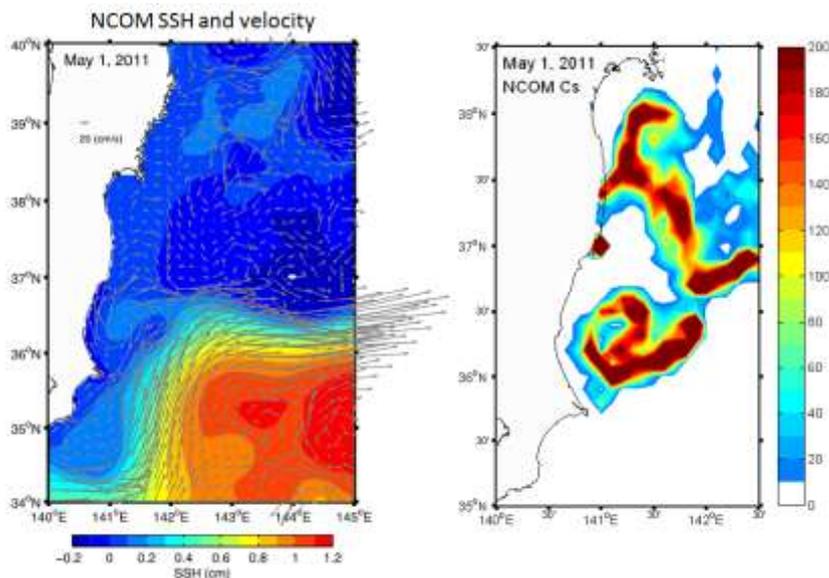
○米国 NCOM (Navy Coastal Ocean Model) モデルによる予測

米国海洋大気庁 (NOAA) と海軍海洋研究所 (N00) が協力して運用している。粒子追跡法を用いた計算を行っており、ホームページでは、日本付近をネスティング手法で細かくした流れ場のアニメーションが公開されている。

http://www.opc.ncep.noaa.gov/newNCOM/NCOM_currents.shtml

○Woods Hole Oceanographic Institution によるセシウム分布のシミュレーション ([12])

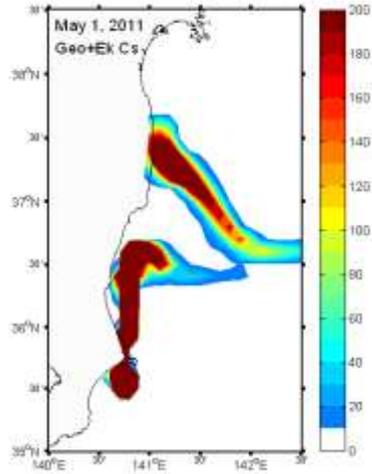
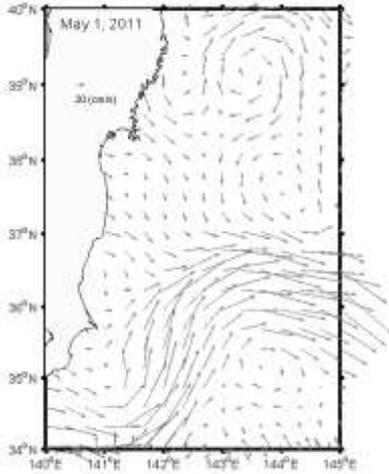
WHOI の Steve Jayne 氏らは 2 通りの方法で流速場を求め、そこに福島原子力発電所からの海洋流入を与えて、セシウム 137 の濃度分布を計算した。ひとつは、Navy coastal Ocean Model (NCOM) 水平解像度 3km を Global HYCOM に nesting したものである。潮汐は Oregon State Model を用い、SSH, SST と T-S 観測値が同化されている。



図A1 NCOMによる海面高度と流速場、および混合層内のセシウム 137 (5月1日)。

もうひとつの方法では、AVISO 地衡流場(水平解像度 1/3x1/3 度)に海面下 Ekman 流(水平解像度 2x2 度)を加えた流速場を用いた。水平解像度が十分でないため沿岸域近くの流速場は妥当でないが、数ヶ月経過して外洋へ流出したセシウムの分布は NCOM の結果に近い。

AVISO geostrophy and Ekman currents



図A 2 AVISO 地衡流場に海面下 Ekman 流を加えた流速場、セシウム 137 の分布 (5 月 1 日)。図A 1 と A 2 は吉田祥子氏提供

付録B 福島原発以外のケース

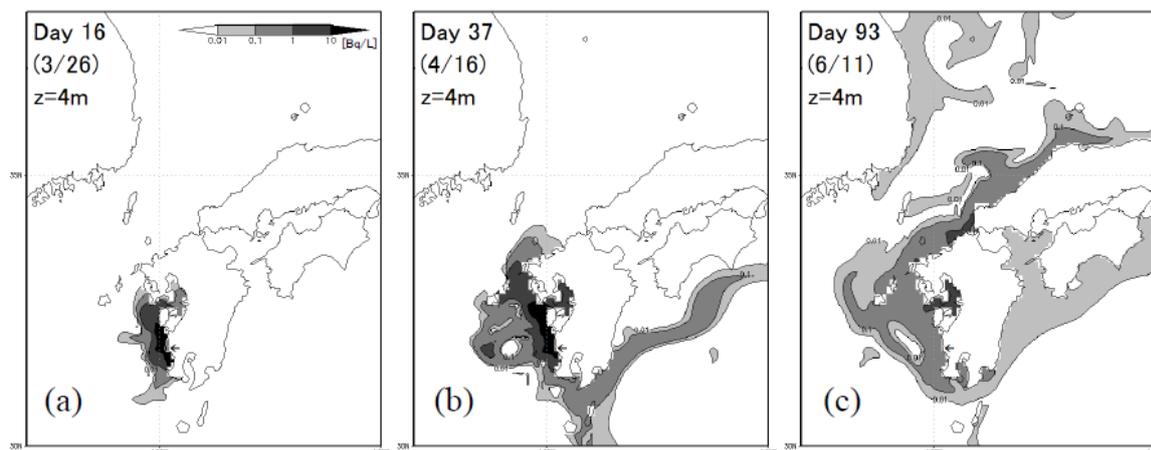
研究課題として実行したケースはあるが、同一の原発について複数のモデルを用いたところはない。単一モデルとしても有意義と考えるので、その結果を提供する。

B a 川内原発

現実的な海況を再現・予測することのできるデータ同化モデル（分解能約7.4kmメッシュ）の流動場を用いて、川内原発付近を起源とする受動トレーサーの輸送過程をシミュレーションした。23年3月11日からの1ヶ月間に10PBqの放射性元素が海水中に流出したと仮定し、その濃度を移流拡散方程式によって計算した。半減期は考慮せず、中立トレーサーと仮定した。水温や塩分と同様に鉛直拡散はNoh and Kim (1999)法を用いた。

図B 1に示す計算結果では、1ヶ月間、約15km 沖合での最高値は60Bq/L に達したが、放出停止後は最高濃度部が北方へ移動し、有明海内外では長期間にわたって1Bq/L 以上の状態が続いた。起源付近の濃度は比較的速やかに低下し、2ヶ月後には1Bq/L を下回った。一部は南方へも輸送され、流出から約1ヶ月後に黒潮に乗ると、速やかに太平洋沿岸域へ広がった。太平洋に比べて、日本海へのトレーサー輸送速度は遅い。黒潮と対馬暖流の移流速度の差と考えられる。しかし濃度は日本海側が高く、長崎市付近で13Bq/L（4月下旬）、博多付近で1.5Bq/L（5月下旬）に達する。また、5月後半から韓国東岸でも濃度が上昇する。東シナ海で水深100~200mの深さまで拡散した放射性元素が、対馬海峡西水道の底部を伝って韓国海域に達し、沿岸湧昇によって表層に現れたものである。

以上はある一つのシナリオに基づいてシミュレーションした分布であるので、流況や気象条件によって状況は変わる。少なくとも、川内原発から排出された物質は、あまり沖合へ拡散せず東シナ海・太平洋・日本海の沿岸域に高濃度帯を形成する恐れがあり、さらに隣国にまで達する可能性がある。



図B 1 川内原発から放出された放射性元素のシミュレーション結果（広瀬直毅氏提供）

B b 大飯原発

広瀬（日本海洋学会 2011 年度秋季大会講演 233）が行った川内原発周辺の海洋放射性元素拡散シミュレーションと同様に、東日本大震災での福島第一原発の事故による海洋放射性物質拡散をふまえて、他の原発についても万一の場合を想定し排出物の輸送過程をある程度想定するべきであるとし、大飯原発（福井県）付近を起源とする受動トレーサーの輸送過程をシミュレーションした。

現実的な海況を再現・予測することのできるデータ同化モデル JCOPE-T (Miyazawa et al., BioGeoSciences Discuss, 2012; 分解能約 3km メッシュ) の 1 時間間隔 3 次元流動場を用いた。受動トレーサーの放出は、福島第一原発から事故により海洋に直接流出したセシウム 137 と同様であるとした。すなわち、2011 年 3 月 26 日から 2011 年 5 月 8 日まで、5.9PBq 流出するとした推定シナリオ (流出時間変化は Tsumune et al. 2012, J. Environmental Radioactivity, 流出総量は Miyazawa et al. 2012 に従う) を想定した。半減期として 30.1 年を考慮し、蒸発も沈殿もしない中立トレーサーと仮定した。移流項の差分化はフラックス修正法 (Boris and Book, 1973)、水平・鉛直拡散は調和型拡散項で表現し、水平拡散係数は Smagolinsky (1963) によるものとし、Smagolinsky 係数として 0.1 を与えた。鉛直拡散係数は、Mellor and Blumberg (2004) による混合層モデルから算出した。

表層の流出分布 (図 B 2) は、受動トレーサーが対馬暖流第一分枝に沿って日本海沿岸を北上する様子を示している。放出後 1ヶ月を過ぎると、1Bq/L 以上の濃度域が能登半島沿岸に比較的広く分布することが特徴的である。対馬暖流は季節によって流量は変わるが、石川県西岸まで方向はほぼ一定であり、沖合に広がるよりも沿岸近くに拡散することに注意をしたい。

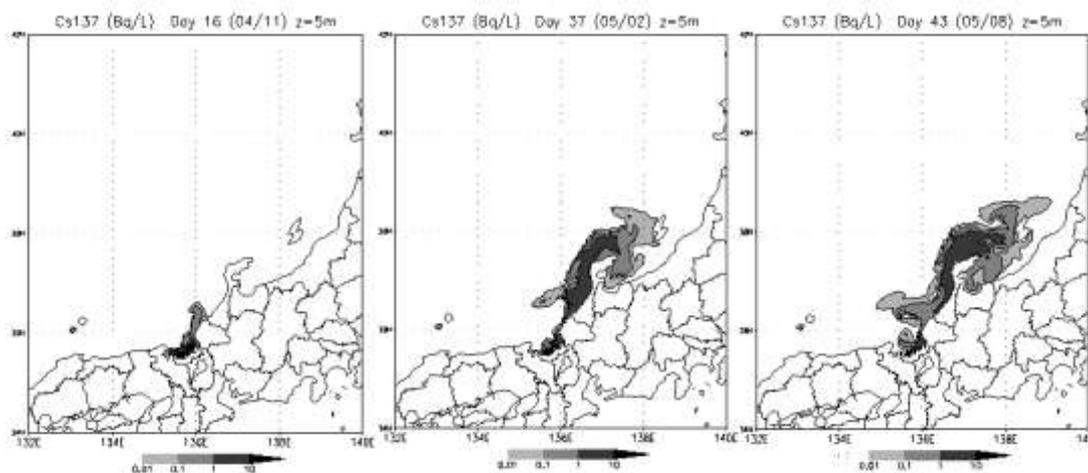
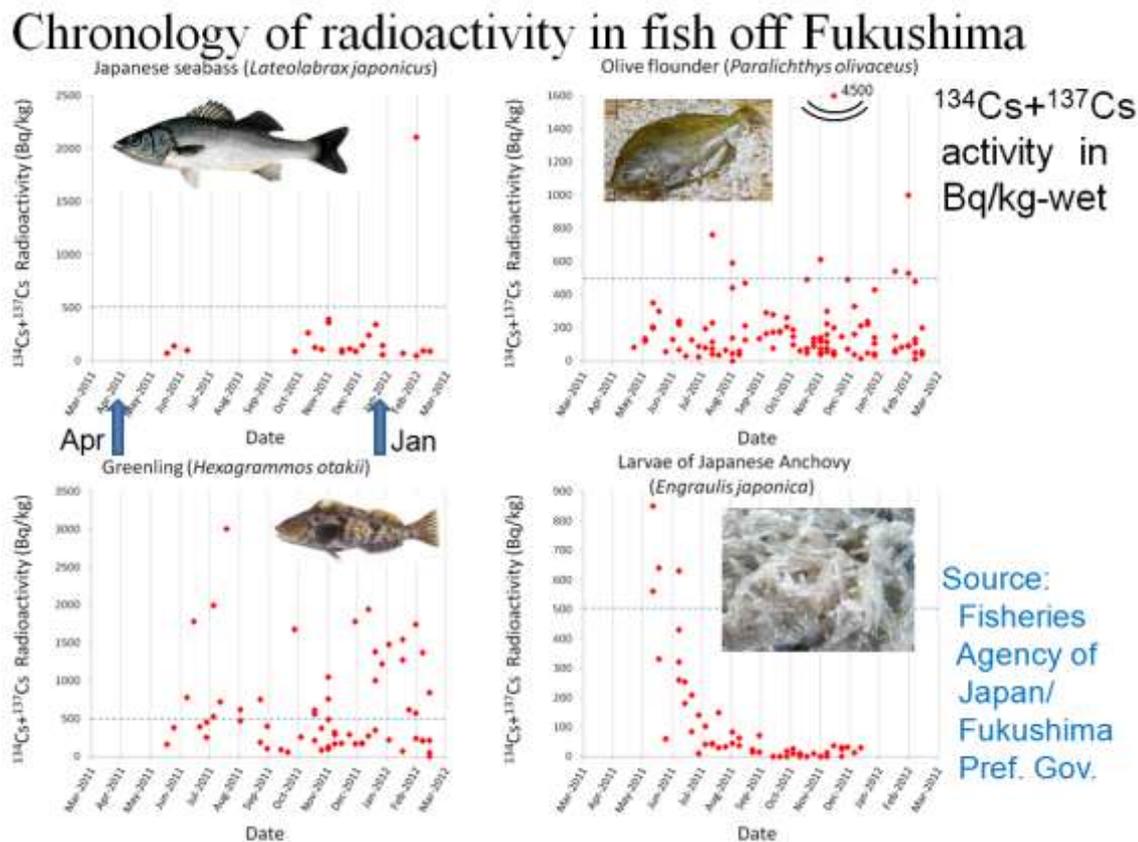


図 B 2 大飯原発から放出された放射性元素のシミュレーション結果 (宮澤泰正氏・升本順夫氏提供)

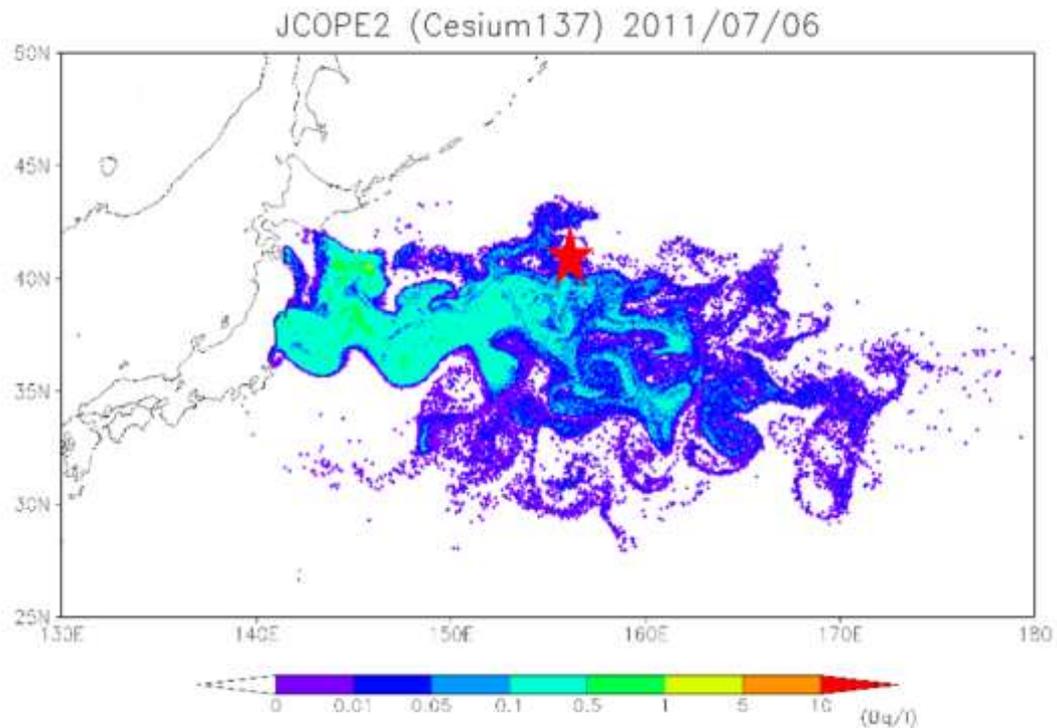
付録C 海洋生態系と海産物の放射性元素汚染

福島沖で採取された魚類のセシウム 134 と 137 の合計濃度を図C 1 に示す。海面近くに生息する魚類は原発事故から 2 ヶ月程度の期間は高濃度の汚染を示したが、その後は急速に低下した。底魚は 24 年に入っても依然として高濃度汚染が続いている。高い汚染を示す個体がある一方で、時間的な平均値は 100Bq/Kg 程度であり、海水のセシウム濃度の 5 倍であると見積もることができる ([13])。



図C 1 魚類のセシウム 137 濃度 (神田穰太氏提供)

上記の推定の一一方で、従来、海水中の放射性元素を付着する植物プランクトン、それを摂取する動物プランクトンから小型生物、そして魚類に至る食物連鎖によって、放射性元素が魚類に濃縮すると言われている。また魚類のえらなどに付着することによっても、高濃度になることが示唆されてきた。図C 2 に示す例では、北太平洋のセシウム 137 分布が 0.2Bq/L 前後の海域において、赤星の場所で捕獲された魚類に 20Bq/Kg の濃度が見出された。これから、100 倍の濃度に濃縮することもありうると考えられる。



Fish with 20Bq/Kg of Cs-137 ★

図C 2

以上のように不確定要素の大きな場合に、選択肢のひとつは予防原則に立つことである。すなわち、ある措置をとることによって、可能性は高くないが重篤な損害を未然に防げるなら、ある程度のコストを払ってもその措置をとる方を選択することである。本件においては、セシウム 137 の海水濃度が 1Bq/L なら、そこで採取された魚類を検査にかけることによって、高濃度の魚類を摂取する可能性を排除する措置をとることである。これを選択するか否かは、情報を適切に公開した上で、市民が決めることである。

付録D 海底堆積物への蓄積

24年10月に海洋学会の会員に向け、下記の公開質問を発しているところである。さらに25年3月に海洋学会春季大会中にシンポジウムを開催し、議論を展開したので、その結果をまとめており、近日中に公開できると考えている ([14])。

< 公開質問： 池田会員 > (2012年10月15日)

海水における放射性元素の濃度は、昨年の夏以降低下していますが、海底堆積物への蓄積はそれと入れ替わりに増加し、現在も依然として高い濃度を保っています。特に宮城から茨城にかけて、200メートル以浅の海底に高濃度の箇所があります。100Bq/kg以上に増えたセシウム137が、下記の(1)～(5)のいずれのプロセスによるならば矛盾がないか、何人かの専門家にご意見を伺ってきたところですが、まだ統一見解は得られていません。

- (1) 4-6月、植物プランクトンに吸着し、沈降・堆積した
- (2) 4-6月、動物プランクトンの糞が浮遊沈降している懸濁粒子となり、それに吸着し堆積した
- (3) 4-6月、震災に伴う海水中の土砂に吸着し、沈降・堆積した
- (4) 4-6月、表層近くの高濃度汚染水が風などによって海底まで送られ、堆積物に直接吸着した
- (5) 河川あるいは陸面で放射性元素が土砂に吸着し、7-10月、河川水とともに海洋に流れ込んだ
ある程度、定量的な推定値を提供してくださると幸いです。それぞれのプロセスの時間スケールにも言及してください。全体でなく一部のプロセスに関する推定でも結構です。

参考文献

- [1] 東日本大震災にかかわる日本海洋学会の諸活動に関する報告書. 日本海洋学会震災対応ワーキンググループ編集 (本報告と共に提出)。
- [2] Miyazawa, Y., Y. Masumoto, S. M. Varlamov, T. Miyama, M. Takigawa, M. Honda, and T. Saino, 2013: Inverse estimation of source parameters of oceanic radioactivity dispersion models associated with the Fukushima accident, *Biogeosciences*, 10, 2349-2363, doi:10.5194/bg-10-2349-2013.
- [3] Kobayashi, T., H. Nagai, M. Chino and H. Kawamura, 2013: Source term estimation of atmospheric release due to the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident by atmospheric and oceanic dispersion simulations. *J. Nucl. Sci. Technol.*, 50, 255-264.
- [4] Miyazawa, Y., Y. Masumoto, S. M. Varlamov, and T. Miyama, 2012: Transport simulation of the radionuclide from the shelf to open ocean around Fukushima, *Continental Shelf Res.*, Volumes 50-51, 15 December 2012, Pages 16-29.
- [5] Masumoto, Y., Y. Miyazawa, D. Tsumune, T. Tsubono, T. Kobayashi, H. Kawamura, C. Estournel, P. Marsaleix, L. Lanerolle, A. Mehra, and Z. D. Garraffo, 2012: Oceanic dispersion simulations of Cesium 137 from Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, *ELEMENTS*, 8, 207-212, doi: 10.2113/gselements.8.3.207.
- [6] Choi, Y., Kida, S., and Takahashi, K., 2013: The impact of oceanic circulation and phase transfer on the dispersion of radionuclides released from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant, *Biogeosciences*, 10, 4911-4925, doi:10.5194/bg-10-4911-2013.

- [7] Kawamura, H., T. Kobayashi, A. Furuno, T. In, Y. Ishikawa, T. Nakayama, S. Shima, and T. Awaji, 2011: Preliminary numerical experiments on oceanic dispersion of ^{131}I and ^{137}Cs discharged into the ocean because of the Fukushima daiichi nuclear power plant disaster. *Journal of Nuclear Science and Technology* 48, 11, 1349-1356.
- [8] Tsumune, D., T. Tsubono, M. Aoyama, M. Uematsu, K. Misumi, Y. Maeda, Y. Yoshida, and H. Hayami, 2013: One-year, regional-scale simulation of ^{137}Cs radioactivity in the ocean following the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, *Biogeosciences*, 10, 5601-5617, doi:10.5194/bg-10-5601-2013.
- [9] Tsumune, D., T. Tsubono, M. Aoyama and K. Hirose, 2012: Distribution of oceanic ^{137}Cs from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant simulated numerically by a regional ocean model, *Journal of Environmental Radioactivity*, 111, 100-108, 10.1016/j.jenvrad.2011.10.007.
- [10] 内山雄介・石井倫生・津旨大輔・宮澤泰正 (2012) : 福島第一原子力発電所を放出源とする放射性セシウム 137 の沿岸域での分散特性, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.68, No. 2, p. I_931-I_935.
- [11] 内山雄介・山西琢文・津旨大輔・宮澤泰正・石井倫生 (2013) : 福島第一原発からの放射性核種の初期分散に及ぼす沿岸ジェットとメソスケール渦の影響, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.69, No.2, I_1051-I_1055.
- [12] Rypina, I., S. R. Jayne, S. Yoshida, A. M. Macdonald and E. M. Douglass, 2013: Short-term Dispersal of Fukushima-derived Radionuclides off Japan: Modeling Efforts and Model-data Inter-comparison, *Biogeosciences Discuss.*, 10, 1517-1550, doi:10.5194/bgd-10-1517-2013.
- [13] Tateda, Y., D. Tsumune and T. Tsubono, 2013: Simulation of radioactive Cs transfer in the southern Fukushima coastal biota by the dynamic food chain transfer model *Journal of Environmental Radioactivity*, 124, 1-12, 10.1016/j.jenvrad.2013.03.007.
- [14] Otosaka, S., and T. Kobayashi, 2013: Sedimentation and remobilization of radiocesium in the coastal area of Ibaraki, 70 km south of the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185, 5419-5433, doi:10.1007/s10661-012-2956-7.

<別添資料3> 大気拡散問題検討会からの資料(2013年7月23日)

原子力発電所から放出された放射性物質の
大気拡散シミュレーション
報告と提案

2013年7月23日

大気拡散問題検討会

本報告書について

本報告書は、日本学術会議 総合工学委員会・機械工学委員会合同計算科学シミュレーションと工学設計分科会に属する計算科学シミュレーションの情報発信検討小委員会からの「呼びかけに」対して迅速に回答するために、日本の大気拡散問題の専門家および研究者の有志により構成された大気拡散問題検討会によって作成されたものである。

大気拡散問題検討会は、3.11を契機にして明らかとなった放射性物質の大気拡散問題に関する科学的情報の精度と情報発信に関する諸課題を整理し、解決策を検討することを目的としている。物質の大気拡散問題に関連する課題の検討には、気象学、数値シミュレーション、原子力等の複数分野の基礎理論、応用、現業等からの様々な専門家らの科学的知見が必要であることから、それら各分野において日本を代表する一線の専門科
学
者から構成されている。

大気拡散問題検討会は、関連学協会とは独立に構成されているが、構成メンバーは、学術会議、気象学会、原子力学会等において活動を行っていることから、気象学会、原子力学会等の動向や活動も踏まえながら、それら各学会や組織の枠を超えて考えなければならない諸問題について、検討会、大気拡散問題に関係する機関や関係者へのインタビュー、勉強会を実施し、検討を重ねた。以下に活動内容を示す。

(活動内容)

第1回検討会 平成24年6月22日

第2回検討会 平成24年7月2日

第3回検討会 平成25年4月17日

第4回検討会 平成25年4月23日

第5回検討会 平成25年6月14日

第1回インタビュー 平成24年5月8日 (独)海洋研究開発機構 山形俊男先生(東京大学名誉教授)、升本順夫((独)海洋研究会開発機構プログラムディレクター)、宮澤康正((独)海洋研究会開発機構研究員)

第2回インタビュー 平成24年6月20日 (独)海洋研究開発機構 池田元美先生(北海道大学名誉教授)

第3回インタビュー 平成24年6月28日 社会安全研究所 首藤由紀様

第4回インタビュー 平成24年7月31日 気象庁総務部参事官 国土交通技官 隈健一様

第1回勉強会 平成25年2月1日

第2回勉強会 平成25年2月26日

第3回勉強会 平成25年3月22日

大気拡散問題検討会 メンバー

木村富士男

東京教育大学大学院卒。理学博士。気象研究所応用気象研究部室長、東北大学、筑波大学教授を経て、現在、独立行政法人海洋研究開発機構 地球環境変動領域 次世代モデル研究プログラム プログラムディレクター。専門：局地気象学、数値モデル、都市気象。日本学術会議特任連携会員。気象学会、大気汚染学会、米国気象学会の会員。

高橋桂子

東京工業大学大学院卒。工学博士。花王株式会社、ケンブリッジ大学客員研究員、東京工業大学招聘研究員を経て、現在、独立行政法人海洋研究開発機構地球シミュレータセンタープログラムディレクター。慶應義塾大学大学院理工学研究科特任教授。専門：環境工学、数値流体力学、シミュレーション科学。日本学術会議連携会員。日本流体力学会理事、応用数理学会理事。気象学会、数値流体力学会、応用数理学会、米国気象学会、Association for Computing Machinery (ACM) 会員。大気、海洋、気象、気候変動を対象とした大規模シミュレーションに従事。

滝川雅之

2000年東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。博士（理学）。現在、独立行政法人海洋研究開発機構 地球環境変動領域物質循環研究プログラム 大気物質循環研究チームチームリーダー(主任研究員)。専門：大気化学、大気環境学、気象学。気象学会、大気環境学会、JpGU, AGU, AMS(アメリカ気象学会)の会員。大気環境問題に関する研究、特に、数値モデルを用いた化学物質の変動と気象・気候の変動の相互作用に関する研究を行っている。

茅野政道

名古屋大学大学院卒。工学博士。現在、独立行政法人日本原子力基礎工学研究部門長。専門：環境科学、保健物理、シミュレーション科学。日本原子力学会会員。SPEEDI及び世界版 SPEEDI(WSPPEEDI)の開発と検証研究に携わり、福島第一原発事故では、3月16日から原子力安全委員会の専門委員として放出量推定やSPEEDIを利用した対応に従事。

大原利眞

北海道大学大学院卒。工学博士。財団法人計量計画研究所研究員、静岡大学教授を経て、現在、独立行政法人国立環境研究所地域環境研究センター長。専門：大気環境科学、大気環境工学、大気汚染モデル。大気環境学会副会長。気象学会、日本エアロゾル学会、米国地球物理学連合の会員。これまでに、東アジアや国内における広域・越境大気汚染の数値シミュレーション、福島第一原発から放出された放射性物質の大気シミュレーシ

ョン等に取り組む。

石川裕彦

京都大学理学研究科修士課程修了後、日本原子力研究所において SPEEDI、WSPEEDI の開発研究に従事(1981-1994)。チェルノブイル原子炉事故の長距離拡散の研究で博士(理学)を取得。1994年より京都大学防災研究所において気象災害の研究を進めている。日本自然災害学会理事、日本気象学会、日本原子力学会、日本地球惑星科学連合、米国地球物理学連合所属。

鈴木 靖

東京大学大学院卒。博士(理学)。日本気象協会首都圏支社調査部長、京都大学防災研究所特定教授を経て、現在、一般財団法人日本気象協会技師長。専門：海上気象、海洋波浪、気象・海洋・波浪数値モデリング。原子力安全技術センターSPEEDI 運用化検討ワーキング委員(平成21年度まで)、現在、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で活動。日本気象学会、日本海洋学会、土木学会、水文・水資源学会の会員。

はじめに ー問題提起と視点ー

3.11 福島原発事故では、緊急時における放射性物質の大気拡散予測について、SPEEDI による初動があったにも関わらず予測シミュレーションの結果を避難に迅速に活用できなかった。SPEEDI による予測結果は、放出量が不明であったため絶対値には不確実さがあるものの、放射性プルームの動きや地表汚染の相対的分布の予測は、その後発表されたモニタリング結果や種々の観測結果と遜色のないものであった。この結果がもっと有効に活用されていたならば、放射線量が高い地域への避難や放射性物質が飛来する中での避難は回避できたであろう。シミュレーション予測の能力、およびその活用の仕方には、多くの課題があることは否めないが、シミュレーション予測が、災害を予め回避するために活用されるべき有用な手段であることを示している。

これまでに報告された3つの事故調査委員会の報告書は、それぞれの報告書において、SPEEDI についての扱い方と評価が異なる。今回の事故で、緊急時モニタリングによりおよそその汚染分布が把握されるまでに数日の時間を要したことを考え合わせると、モニタリングを含めた観測機器の頑健性を高め、併せて SPEEDI そのものの限界を理解した上で、モニタリングとの併用運用を行うことが重要である。モニタリングのみ、あるいはシミュレーション予測のみ、といった一方のシステムに依存した緊急事態への対処ではなく、状況に応じて複数の有効な科学情報を駆使した最善の対処が肝要である。

3.11 福島原発の事故発生当時、諸外国からの放射性物質の拡散に関する複数のシミュレーション結果が、インターネットを介して発信された一方で、日本の大気拡散問題に関わる機関や、大気拡散問題に関係する研究者からの発信は少なかった。様々な情報が流れる中で、信頼のおける情報を選びとることは、多くの国民にとっては困難なことである。また、その後長い時間が経過した今でも、科学者からの発信は限られたものとなっている。これは、何を意味するのだろうか。

社会的に影響が大きい情報をどのように発信すればよいのか、また、受け取る側もどのように受け取ればよいのか。初めて発信、受信する科学情報について、情報を扱う経験が皆無であった私たちは、3.11 福島原発事故を契機に、必要とされる科学情報とは何かについて、再度、立ち返り、深く思いを廻らせなければならない。現時点で同じことが起こったとしても、3.11 の震災当時と同じことが繰り返されてしまう危惧は今でもぬぐいきれない。未だに多くの課題が残されており、まだ解決の糸口さえ見える段階ではない。

最も先端のシミュレーション技術を用いると、放射線物質の拡散はどの程度の精度で予測ができるのか？ 予測精度を左右する要因は何なのか？ 昨年 10 月には原子力規制庁から、現有の各原発から 3.11 福島原発と同様に放射線物質が放出されたことを想定した拡散予測が発表された。この情報をどのように読み解くべきか？ またそれらを活用するための問題点は何か？ 本報告では、主に大気拡散問題に関する科学情報の信頼性と情報発信の視点から、放射性物質の拡散予測シミュレーションの現状と問題点、さらには今後の可能性を提示し、課題を克服するための今後の指針を提案する。

1. 福島第一原子力発電所事故に関する大気拡散シミュレーション

(ア) SPEEDI の予測精度と適時性

SPEEDI が事故当時に関連機関に提供した予測は、「定期実行」と「依頼計算」に分けられる。定期実行は、毎正時に単位量の放出（1 Bq/h）が始まったと仮定して、1時間ごとの放射性プルームの動きを空間線量率分布等の形で提供したものである。今回の事故では、3月11日16時から定期実行が開始され、毎正時に関係機関に情報を提供し続けた。当初は、25 km 四方の範囲を対象に2時間後までの分布予測を提供していたが、3月16日8時から汚染範囲の拡大に伴い、対象範囲を100 km 四方に拡張し、3時間後までの分布予測の提供に切り替えている。依頼計算は、旧原子力安全・保安院の緊急時対応センター(ERC)やオフサイトセンター(OFC)及び旧原子力安全委員会等が、事象進展に伴う環境影響確認や緊急時環境モニタリング計画の立案、放出量の逆推定やそれに基づく線量評価のために予測条件を指定して行ったものである。

これらの予測計算の結果は、平成24年9月21日に福島県がホームページ上で公開した環境モニタリングポストのデータとの比較から、その精度や時間的適切さが検証されている[1]。参考文献[1]によれば、定期実行については、最大2～3時間の誤差があるものの時々刻々の放射性プルームの動きを時・空間的に俯瞰できている。政府の事故調査委員会の報告書は、サイト北西地域について、15日は屋内退避し16日に避難する等、避難時期の判断にSPEEDIの結果は活用できたとしているが、そのような利用が可能な精度はあったと考えられる。また定期実行は、ベントや水素爆発による放射性物質の放出、炉内圧力低下の懸念に起因する試算であるが、3月12日の1号機のベントと水素爆発や15日の2号機からの漏えいの影響の空間的な広がりなど、測定結果と極めて近い予測結果が事前に把握できるものも複数含まれている。福島第一原子力発電所北西部に大規模な汚染をもたらしたとされる3月15日を例にとると、15日6時頃の爆発音後に、ERCは当時想定された2号機サブプレッションチェンバ破損による影響確認のための計算をSPEEDIの操作を担当する原子力安全技術センターに依頼している。6時51分に受信した結果は、すでに同日夕方の北西部での地表汚染を予報しており、後に行われた航空機サーベイによるセシウムの地表沈着量分布の測定結果とよく一致している。当時は放出量情報がなかったため相対分布の予報になっていたが、15日早朝から敷地境界では高線量が記録された。この時点において、限られたモニタリングデータと相対分布の予報を用いて、緊急避難に関する第一次的な処置が必要かどうかを検討および判断し、指示するまでの一連の対処を行う時間的余裕はあったと考えられる。このことから、今後も同様な事態になった場合には、モニタリングと計算シミュレーションによって適時性のあるデータと情報提供が可能であると考えられる。

(イ) 領域大気輸送モデルによる相互比較

大気モデルによる放射性物質の移流拡散シミュレーションに関する手法についてはAppendix A.に概要をまとめてあるが、原子力発電所事故に起因する人工放射性核種の大気の輸送拡散シミュレーションを行う数値モデルとしては、原子力研究開発機構等に

よって開発された発電所周辺域を対象とした **SPEEDI** がよく知られている。内閣府原子力安全委員会が定めた「原子力施設等の防災対策について」における「緊急時予測支援システムの整備・維持」などで定められたとおり、緊急時対策支援にはモデルを用いた線量推定と緊急時モニタリングの双方が並行して行われることが肝要である。今回の事象では地震、津波、停電などの複数の要因によって原子力発電所周辺のモニタリングが十分機能しなかったため、モニタリングによる緊急時予測は、想定されていた通りには活用できなかった。また、単位放出量予測の結果も活用されなかった。

福島第一原発事故の事後解析は、各地で行われてきたモニタリング等と、**SPEEDI** だけではなく国内外の数値モデルを用いた総合的なシミュレーションによる検証が進められてきている[2][3][4][5][6]。本節では、科学技術研究費補助金(新学術領域研究: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」(領域代表者: 恩田裕一筑波大学教授)により進められている日本周辺域を計算対象領域とした領域大気輸送モデルを用いたシミュレーション結果検証に関する初期的な成果について概要を報告する。参加機関については、Appendix B.を参照していただきたい。

図1に文科省航空機モニタリングおよび各モデルによる2011年3月末までのセシウム137積算沈着量をそれぞれ示す。航空機モニタリングでは福島県浜通りおよび中通り、茨城県および群馬県、栃木県から長野県にかけての領域で沈着が見られている。福島県中通りから栃木県にかけての地域での沈着量分布については国立環境研究所(NIES)、気象研究所(MRI)などのモデルで比較的高めの沈着量を示している。これらは粒子状セシウムの粒径に合わせた沈着量計算を行っており、より精度の高い沈着量分布推定のためには形状および組成に関する情報が必要であることが示唆される。

加えて、沈着モデルの違いだけではなく、放出量や降水分布などの他の理由が予測精度に影響を与えている可能性があり、降雨分布の時間変動や濃度分布に関する更なる情報やより精度の高い放出量推計が必要である。本報告時点では、沈着モデルの精度が重要であることが示されているものの、シミュレーションの予測精度の可能性と限界を、さらに継続的に検証、評価していくことが重要であることも付け加えておく。なお、日本学術会議 総合工学委員会 原子力事故対応分科会 原発事故による環境汚染調査に関する検討小委員会では国内外の諸機関に広く呼びかけ、より広範なデータの収集とモデル間相互比較を進めている。

0.1 度格子点におけるセシウム137積算沈着量のモデルによる推定値と航空機モニタリングとの散布図を図2に示す。おおむね1ケタ程度の誤差の精度で積算沈着量を数値モデルにより推定できると考えられる。名古屋大学の平尾ら(2012)[7]によればここで用いた放出量の推定における不確定性は3倍程度である。それ以外の不確定要因としては気象モデルにおける気象場の再現精度および大気輸送モデルにおける降水等による大気からの除去過程などが考えられる。

図3に、内部被ばくへの影響が大きいと考えられる大気中ヨウ素131の原子力発電所周辺における地表付近濃度の時間変化を示す。気象的要因に着目すると、図1の積算沈着量分布は降水量分布の影響を強く受け、大気中濃度は風向・風速の影響を主に受ける。

15 日前後の大量放出時での観測結果はないものの、20 日前後に継続的に放出があったと考えられる時期に文部科学省サンプリングでの観測が行われていたため、そちらの観測結果と併せてモデル結果を示す。20 日午後には浪江町津島地区において $1200\text{Bq}/\text{m}^3$ という非常に高い値が観測されているが、このような放出源からの直接的なプルームの輸送に関し、どの大気輸送モデルでもおおむね再現できている。一方で 18 日前後のような放出源からの直接的な輸送が見られない時期においてはモデル間でのばらつきが相対的に大きくなっている。福島第一原子力発電所から南に約 100 km 離れた東海村の(独)日本原子力研究開発機構では継続的な観測が行われており、5 月 23 日までの平均濃度が $12\text{Bq}/\text{m}^3$ と推定されている。

以上(ア)より、事故当時の SPEEDI の予測結果の相対値としての精度と適時性から、数値シミュレーションは、一定の精度を持って放射性プルームの動きや地表汚染の相対的分布を十分な時間的余裕をもって、提供可能である。また、(イ)より、領域大気輸送モデルによる相互比較結果から、適切な放出情報が得られれば、一定の不確実性の範囲内で予測を行う力があるモデルと科学者集団が存在するといえる。

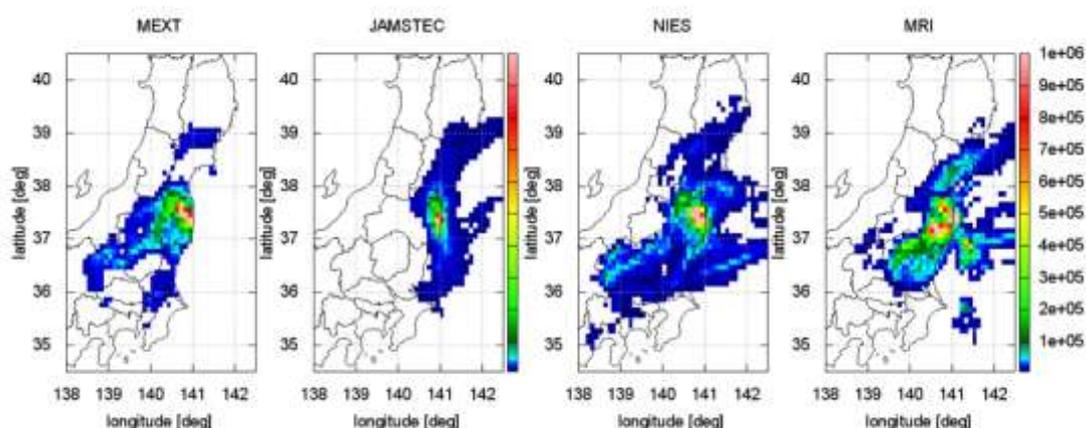


図 1：2011 年 3 月末までのセシウム 137 積算沈着量。単位は Bq/m^2 。最左端は、文部科学省航空機モニタリングによる平成 24 年 5 月末までの積算沈着量を、平成 23 年 3 月末以降の沈着は小さかったものとして 3 月末までの積算値に換算したものである。それ以外は数値モデルによる推定値をそれぞれ示す。

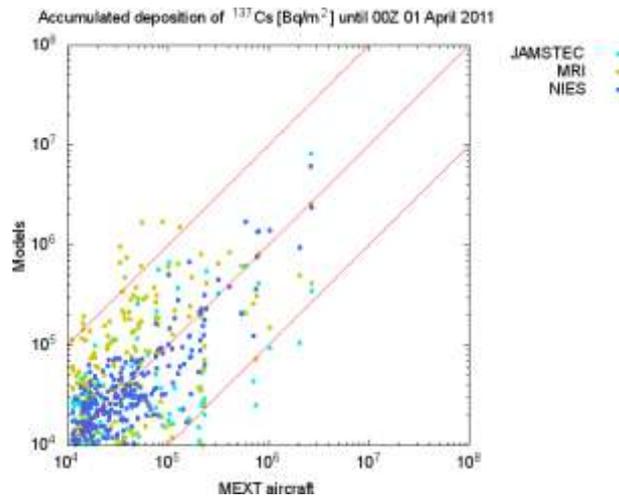


図 2：文部科学省航空機モニタリングと各数値モデルでのセシウム 137 積算沈着量散布図。単位は Bq/m^2 。各点の色はそれぞれのモデルを示す。赤線はモデル—観測間の差異が 10 倍、1 倍、1/10 であることをそれぞれ示す。

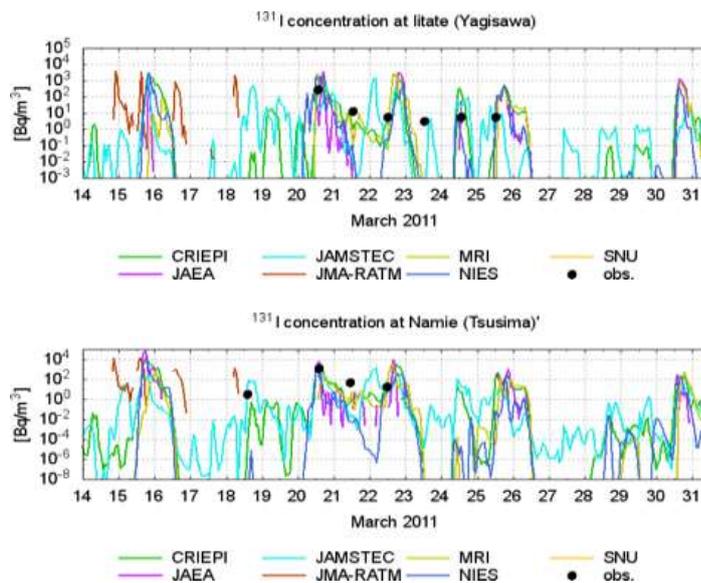


図 3：飯館村(上図)および浪江町津島地区(下図)におけるヨウ素 131 地表付近濃度の時間変化。単位は Bq/m^3 。黒丸は文部科学省サンプリングによる観測結果、各色による線は領域大気輸送モデルによる計算結果である。

2. 他の原子力発電所での影響評価

(ア) 影響評価について

原子力発電所事故から放出された放射性物質による被ばく線量を評価するため、数値シミュレーションの結果得られた放射性物質の積算沈着量および地表付近における積算濃度を基に実効線量を推定する。実効線量は組織あたりの等価線量に組織過重係数を乗じたものを各組織で加算して算出するもので、等価線量が甲状腺などの各組織および臓器への局所的な被ばく線量であるのに対し、全身への生物学的影響を評価する際の尺度として一般的に用いられる。IAEA (2007) [8] による屋内退避等の緊急防護措置が必要となる基準は最初の7日間で100ミリシーベルト、緊急時の早い段階で一時避難等の防護措置が必要となる基準は年間100ミリシーベルト、長期医療対策等が必要となる基準は月間100ミリシーベルトである。

国内6カ所の原子力発電所(福島第一、女川、柏崎、大飯、敦賀、玄海)において福島第一原子力発電所事故と同程度の放出が生じた場合の影響評価について以下に概要を示す。計算条件設定についてはAppendix C.の概要を参照していただきたい。

(イ) 結果

図4にその結果について示す。事故発生後7日間で10ミリシーベルトを超える高線量域の分布についてはおおそ原子力規制委員会によるシミュレーション結果と一致するが、柏崎での東西方向への広がりやや大きいなど若干の差異がある。これは本シミュレーションでは原子力発電所周辺の気象場だけではなく、気象庁メソスケールモデルの結果を用い、各地点での気象場の変化などを考慮しているためと考えられる。また図5にはそのうち大飯原発において同等事象が発生した場合の周辺各地点での最大実効線量の発生率を示したものである。計算期間は限られるものの、10ミリシーベルトを超える高線量域が生じる可能性があるのは原発のごく近傍に限られるが、低気圧が原発の北部を東進する場合など特定の気象場の場合には京都府や滋賀県との県境付近まで高線量域が広がる可能性が示唆された。また福井県、滋賀県、京都府、大阪府などでは0.1-1ミリシーベルトの実効線量を示す事例が全計算期間の10%以上を超える期間で見られた。今後は、より高い確率的な評価のためには、より詳細解像度の、より長期間の、複数モデルによるアンサンブルシミュレーションが必要であると考えられる。

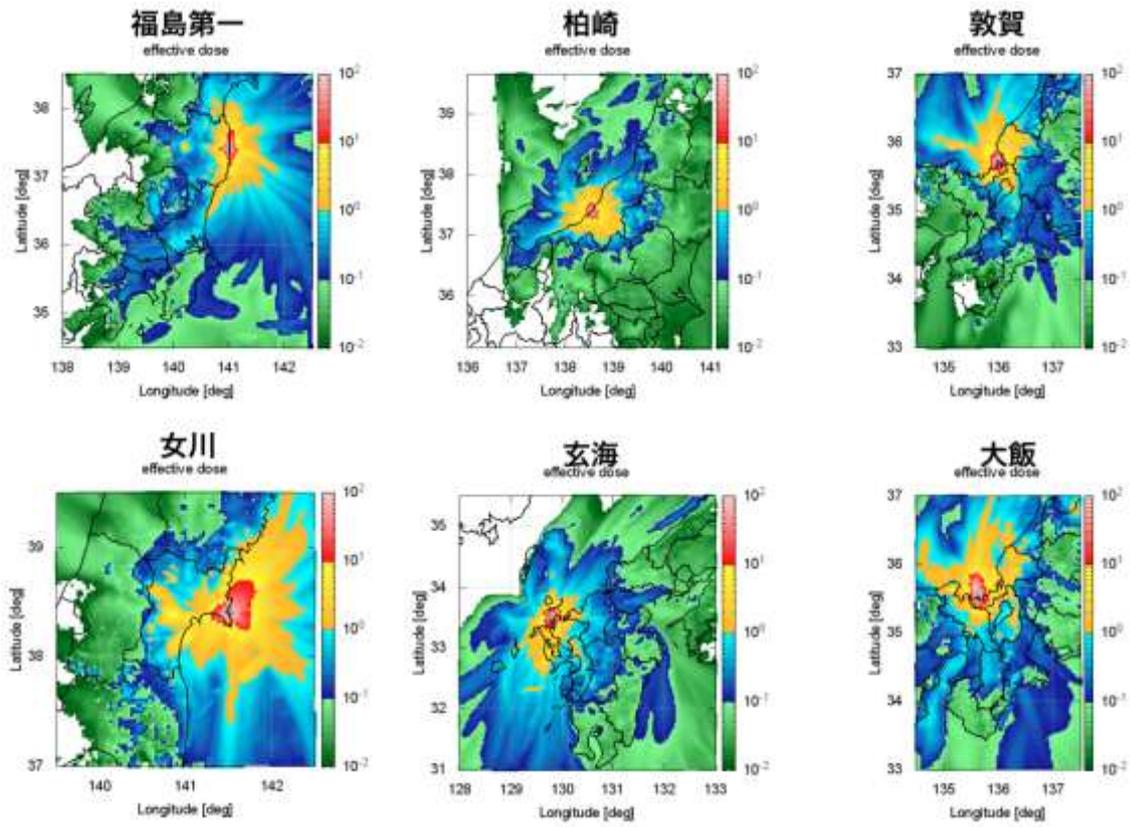


図 4：各原子力発電所において福島第一原子力発電所事故に相当する放出が生じたと仮定した際の各地点における最大実効線量分布。単位はミリシーベルト。

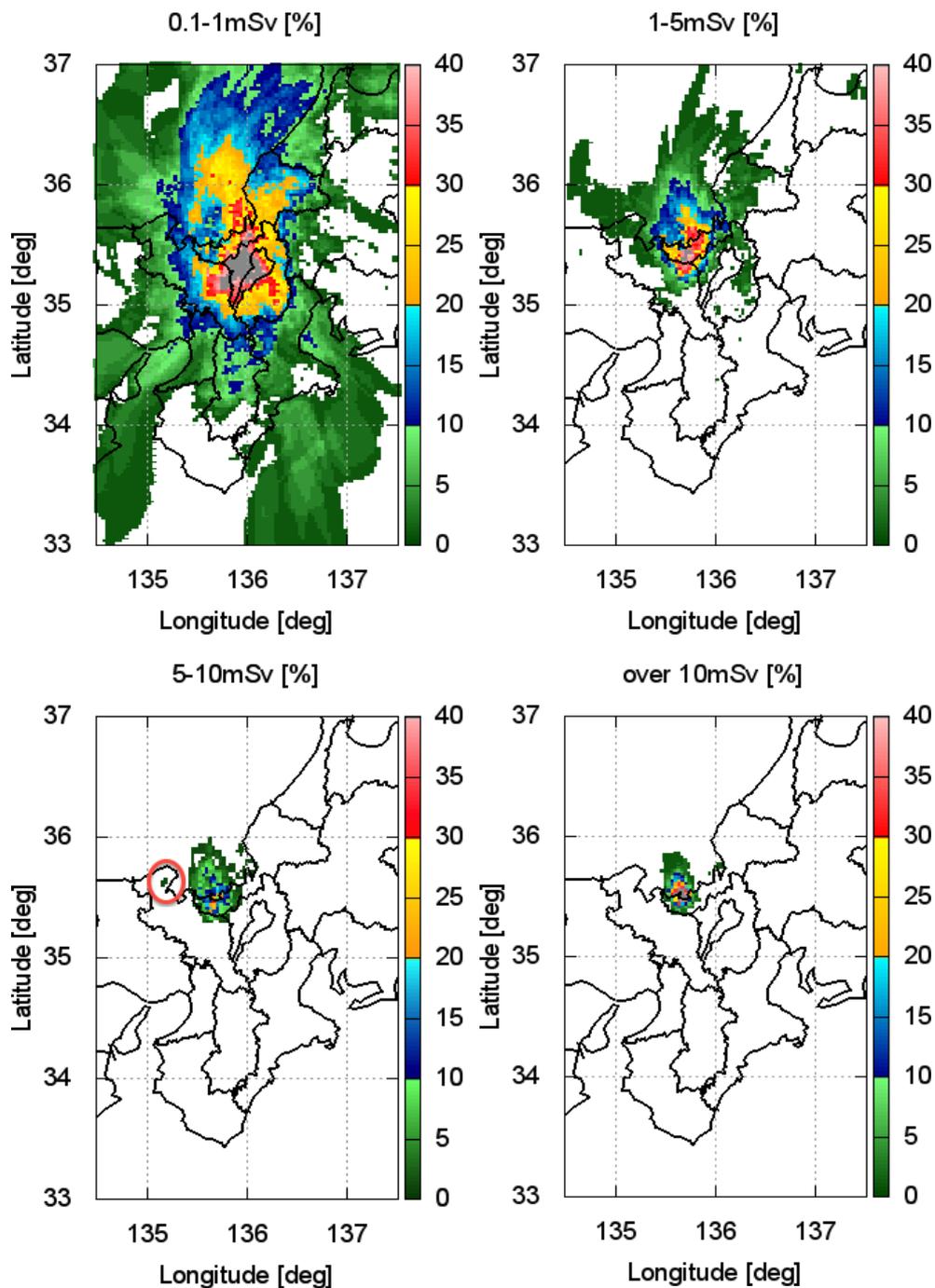


図 5：WRF/Chem モデルにより推定された、福島第一原子力発電所事故に相当する放出が生じたと仮定した際の大飯原発における各地点における最大実効線量の発生確率。左図より順に 0.1-1mSv, 1-5mSv, 5-10mSv, 10mSv 以上。単位は%。左下図の丹後半島の赤丸印については、p17 を参照いただきたい。

3. シミュレーションに関する問題点・不確定性の指摘

【モデル不確定性（放出シナリオ、評価シナリオ、沈着過程等モデル自体の不確定性、過酷事故の想定範囲の問題）】

本書で示した放射性物質の拡散シミュレーションのうち、福島第一原発からの放射性物質拡散の再現結果では、沈着量の地域分布については観測値と良い一致を得た。しかし、観測から得られた拡散・沈着した放射性物質の絶対量との誤差は、概ね1ケタ程度の誤差があることがわかった。シミュレーションに用いた放出量推定[9]は、推定モデルに起因する誤差が含まれている。したがって、本シミュレーション結果には、放出量推定誤差とシミュレーション誤差の両方が含まれていると考えるべきであり、この2つの誤差を厳密に分離することは困難である。放出量が同量であっても、複数のモデル間の結果を比較すると1ケタ程度の差がある。放出量がなんらかの方法で推定できれば、ほぼ1ケタの誤差で放射性物質の沈着量分布は推定可能と考えられる。

【原子力規制庁による各原発からの放射性物質拡散予測結果の解釈】

昨年10月に公表された原子力規制庁からの各原発からの放射性物質の拡散予測は、降水確率を考慮できるタイプのプルームモデルによるシミュレーション結果である。このプルームモデルによる結果は、従来手法を踏襲することによって得られた予測値である。この予測値には、プルームの移動に大きな影響を与える地形の影響は、プルームの中心軸の高さについて地形の影響が考慮されていることから小規模な起伏は考慮されているものの、現実的な地形は考慮されていない。実際には、原発の近傍は複雑な地形であることが多い。加えて、原発から遠方の地点においては、降雨によって放射性物質が沈着して高線量地域を形成する場合や、谷筋に沿って高濃度プルームが到達する場合がある。このような高線量地域の形成を、今回の原子力規制庁のプルームモデルによるシミュレーションで予測することは難しい。つまり、拡散過程における地形の効果や降雨等による湿性沈着過程の扱いが大幅に単純化されていることから、福島原発事故で実際に生じたようなホットスポットの予測は難しい。また、原子力規制庁は、実効線量が7日間で100 mSv（IAEAの避難が必要とすべき線量基準）に達する確率が気象指針（原子力安全委員会決定(昭和57年1月)）に示された97%に達する距離を方位ごとに試算して地図化している。この試算結果は、ある方位の当該距離の住民にとっては避難が必要となる確率は3%であるが、いずれかの方位に当該距離までの避難対策を講じる必要が生じる確率は、48%（3%×16方位）であるから決して低確率とはいえない。

4. まとめと提案

【予測シミュレーションの能力】

シミュレーション結果から、大気における放射性物質の沈着量分布は、事後の観測結果とほぼ同様の結果が得られた。しかし、拡散する放射性物質の絶対量は、上述のように1ケタ程度の誤差がある。これが、現時点における放射性物質の拡散予測シミュレーションの能力と限界である。この結果の誤差は、放出される放射性物質の量と時間的タ

イメージが適切に把握できないと、さらに拡大しうる。予測精度をさらに向上させるためには、炉内解析から放射性物質の放出過程の解析、さらに放出過程から放出量をより精確に見積もる必要がある。

一昨年の震災後には放射性物質の放出絶対量が即時には得られなかったため、これに線形にスケールする拡散量の絶対値が見積もれなかったことが、拡散予測が参照されなかった一つの大きな要因となった。できるだけ速やかに放出絶対量を推定するには、事故現場およびその周辺のモニタリングデータを用いる以外に今のところ有効な方法はなく、モニタリングデータを併用することは極めて重要である。また、緊急時における放射性物質の拡散予測には、現在の予測シミュレーションの精度が1ケタ程度の誤差を含むことから、モニタリングによる実測データを併用して用いることは精度向上にも重要である。モニタリングによる完全な観測結果が得られるには、現在の技術では数日の時間を要することから、緊急時には、あらかじめ想定した放出シナリオに基づく予測シミュレーションとその時点時点の暫定モニタリングデータを併用して、拡散する放射性物質を予測推定することが重要かつ有効であると考えられる。また絶対量が不確定でも、少なくとも避難時期および避難経路の妥当性について検討ができる予測情報が得られることから、この情報を有効に活用すべきである。

モニタリングがオンタイムであれば、瞬時に予測シミュレーションに反映できるシステムを構築することは可能であろう。そのためには、災害や事故発生にも耐えられる頑強なモニタリングシステム、およびそれらの観測結果を瞬時に確認できる頑健なネットワークシステムも同時に必要である。また得られた実測値も参照しながら複数の研究組織/研究者がシミュレーションを行い、複数の結果を一か所に集めながら、研究者ネットワークで信頼度を含む議論をし、行政組織等が迅速的確に参照、情報発信し得るまでの堅牢な体制を整備しなければ、一昨年の震災後と同様、宝の持ち腐れとなる。

現在、原子力規制庁の「原子力災害対策指針」では、緊急時モニタリングの体制整備で「緊急時モニタリングの結果を解釈する際には、気象状況データや大気中拡散解析の結果を参考にする。(中略)。災害等によって緊急時モニタリングを十分に実施できない場合に、気象予測や大気中拡散予測の結果をモニタリング体制整備の参考にする・・・」、また緊急事態対応策で「国は、例えば緊急時モニタリングによって得られた空間線量率等の値に基づく SPEEDI のような大気中シミュレーションを活用した逆推定の手法等により、可能な範囲で放射性物質の放出状況の推定を行う。また、原子力事故の拡大を抑えるために講じられる措置のうち、周辺環境に影響を与えるような大気中への放射性物質の放出を伴うものを実施する場合には、気象予測や大気中拡散予測の結果を住民等の避難の参考情報とする。」等、記載されている。また、同委員会の制定した「緊急事態応急対策委員の職務に関する細則」には、「対策委員は、必要と認める場合には、対策委員及び関係行政機関の職員以外の専門家に意見または説明を求めることができる」とある。これらは、ここでの提案に概ね合致するものであり、今後、具体的なスキームが構築されることが重要である。

指針：

http://www.nsr.go.jp/activity/bousai/data/130227_saitaishishin.pdf

細則：

http://www.nsr.go.jp/activity/bousai/data/120919_kinkyusyokumu.pdf

【科学的専門知識を活かす重要性】

モニタリングがほとんど入手できないような状況を仮定しておくことも、リスク管理として当然のことながら必要である。そして多くの場合は、このようなデータの入手が不完全であると想定すべきであろう。不完全な観測データ、および不完全な予測シミュレーション結果であっても、大気拡散を専門とする科学者が観測データおよび予測シミュレーション結果を観れば、どこに、どれだけの危険が潜在しているかの一次的な判断は可能である。最も急を要する災害初期に、迅速で正確な判断は、よりローリスクの避難には不可欠である。

3.11 福島原発事故以前にも、大気拡散問題の専門家が必要な時には招集されることが原子力安全委員会によって定められており、任務を担当していた専門家も実際に存在した。それにも関わらず、このプロセスは実施されることはなく、機能しなかった。なぜか？この失敗の原因の検証と、二度と繰り返さないための今後の対処は、非常に重要な課題である。

緊急時の判断の現場に該当する科学的な専門知識を活用できるようなプロセスと体制を整え、その体制が確実に機能するような仕組みを考える必要がある。一連の専門知識を活用するプロセスは、その時々々の卓越した個人的な能力によって活用されるのではなく、システムティックに構築される必要があり、このことが国民の緊急の危険をあまねく回避するためには重要である。緊急時における現場体制が十分に機能するような支援として、緊急時においても該当専門分野の科学者が結集し、そこで検討されて導き出された専門的な科学情報が、避難等の対策にまで活かされなくてはならない。これらのプロセスは、平常時からの訓練を行っておくべきであることは言うまでもない。また、既に活動が開始されている規制庁の活動においても、上記のことを強く提案したい。

原子力規制委員会の活動に対して、後述する科学者コミュニティからの日常的なアドバイスや検証を行い、先端的な学術成果をいち早く取り込む仕組みが必要である。これは SPEEDI を含む原子力規制委員会の活動にとどまるものではない。原発事故に代表される緊急時の対処について、科学の先端的な成果を取り込めるような科学者と行政組織との連携、加えて、互いに検証し合いながら対処する方法を、早急に整備する必要がある。

【低確率の高濃度拡散領域の存在と避難区域の設定についての課題】

本報告のシミュレーション結果の図 5 下段左図において赤丸で囲まれた領域から、生起する確率は低いものの高濃度の放射性物質の拡散と沈着が予想される地域の存在が示された。これらの地域の存在を、避難計画を立案する際にどのように扱う必要があるのかについては、関係各所と専門家、市民の同意形成の上、指針の決定がなされるべきで

ある。

上記にも述べたとおり原子力規制庁の報告書で用いられた 97%タイル値を用いる根拠と妥当性を議論する必要があることを指摘したい。97%タイル値とは、海などが無い場合、いずれかの方角ではこの線量が出現する確率が 2 分の 1 (50%) の高濃度の拡散領域が存在する、と解釈すべきである。出現確率が 50%であるような高濃度の領域の存在をどう考えるべきか。97%にしてあるいは 99%にして避難区域を設定するかどうか、についての議論を尽くす必要がある。

【オープンな情報と議論の場の必要性】

大気拡散問題に関する多くの観測データを含む様々な科学情報は、3.11 福島原発事故に関連する情報のみならず、平常時においても散在している。不確定性を含む「解」について、少なくとも科学情報に関する限り、大気拡散問題に関連する科学者が、可能な限りのデータを駆使して議論を尽くし、その結果を社会に還元する必要がある。これらの議論は、まずは第一義的に、科学的な立場で行われるべきであり、得られた結果データは科学的解釈に依拠したものである必要がある。この結果データおよび科学的見解は、政治的な見解や配慮とは一線を画し、科学の独立性を保持することが重要である。一方、科学者は、得られた科学的情報を、それを得た方法や不確実性も含めて、客観的、且つ、わかりやすく行政機関や社会に伝える責務がある。その上で、この科学的見解をどのように活かすかについての政治的判断の議論は、複眼的な視点から、行政レベルで行われるべきものであろう。

このプロセスは、直ちに、極めて重要な「ワンボイスかセカンドオピニオンか」という問題と直接に関係する。3.11 の大気拡散問題は、国民の生命に直結する可能性がある重大問題であった。そのような問題に対して、国民の財産を投じて発展をしてきた科学技術が本当に役に立つことを示すことは、科学者の使命であると考えられる。少なくとも、大気拡散シミュレーション予測には、誤差や不確定性による予測結果の幅を含むことを明らかにしたうえで、複数の科学的結果からより信頼性の高い情報と解説を科学者から提供することが、大気拡散シミュレーション予測情報の提供には必要である。

【分野横断的取り組みと評価の必要性（海洋・海洋生物、土壌、植生・農業、医学・疫学）とその「知」を活かす必要性】

環境中の放射性物質の移動は、3.11 東日本大震災から 2 年を経た今でも続いている。大気における拡散だけでなく、海洋へ放出された放射性物質の沈着、およびそれを介した生態系への影響、生態系を介しての食物連鎖、土壌や河川、貯留水や地下水を介した放射性物質の循環と沈着プロセスの解明や、それらを通じた生態系への影響などは、長い時間を経て明らかになる問題であり、今後のがれき処理の過程等にも影響が見込まれる。これらの多くの問題は、従来の知見がほとんどない。長期的なビジョンに立った拡散問題を包括的に扱うための分野横断での活動の立ち上げが必要である。これには基礎科学的で地道な研究活動の成果と、そこで確立されるコミュニティの力も積極的に活用

すべきであろう。気象等の予測・観測に関わる現業機関（気象庁）や原子力規制委員会、またそれらを所轄する関連行政機関への積極的な関与にむけて、所掌の見直しも必要であろう。

これまでも、わずか2年間という短い期間の中で、文部科学省の新学術領域を含む様々な科学コミュニティの取り組みは、学術レベルでの堅実な知識の蓄積となってきた。これらの知見から得られた新たな課題について、断片的な知識にならないように継続的な知見の蓄積が重要である。さらに、これらの知見が個別の学術コミュニティだけでなく、関連する学術コミュニティに共有されることが重要である。加えて、これらの学術横断コミュニティの「知」は、現業に活かされ、それらの現業を運営する行政に活かされるような道筋をつけなければ、科学による「知」が国民の要求に応えることはできない。

【科学者コミュニティにおける問題】

現在、大気拡散問題の専門家コミュニティ、関連する分野の科学者は、重大な問題が起きたときに、科学情報を提供するために迅速に動けるような状態ではない。関連分野の科学者間のネットワークの欠如、緊急時において対処できる施設と科学者の不足は深刻である。この深刻な困難に留意しつつ、3.11 福島原発問題を発端として、科学者からの情報発信について噴出した「どうしたらよいかわからない状態」を、もう一度繰り返さないために、国民の生命維持に重大な影響を与える情報の発信のしかたについての検討と対策は、必要不可欠である。

3.11 福島原発問題に関連した大気拡散問題だけでなく、緊急時の対応に関係する環境省、気象庁、原子力規制庁、厚生省などの関連行政組織が、科学者の力を結集して危機に活かせる機能を持つ必要がある。現時点において関連行政組織が組織として十分に機能していても、それだけでは不足している、あるいは不足となる可能性があるともみなされる国民からの視点があることを深く認識しなければならない。このような行政関連組織の中に、緊急時における臨機応変の柔軟な体制を取り入れるためにはどのような可能性があるのか、また、最先端知識・技術を迅速に取り入れ、より精度を上げた情報発信体制を構築するにはどうしたらよいか。現業を含む行政組織の側においても、科学者との連携を強化し、その連携と連携による成果を評価する体制を作り上げる必要があるのではないかと。これらの課題に対応する活動をすぐに立ち上げる必要がある。

加えて、参考文献[10]にも一部記載があるように、関係する現存の学会が震災と原発事故発生後の事態に対して、科学者の力を結集して危機に対処する機能を果たせなかったことについての根本原因を検証する必要がある。まずは、関係学会内でのこれまでの活動を振り返り、問題点を明らかにし、学会間の連携に基づくボトムアップ的な、現場研究者のネットワークづくりとその連携を強化した組織化が必要である。さらに、このボトムアップ的コミュニティを維持し、陳腐化してアクティビティが落ちないように、コミュニティを見守る評価チェック機構を併せて組織化する必要がある。もう一度同じことを繰り返さないためには、このような組織の構築が極めて重要である。

【提案】

1. 国民をはじめ情報を受け取った人が、意思や行動を選択する際に、ベストチョイスすることに役立つような科学情報の発信を可能とする組織と仕組みを構築する必要がある。
2. 科学情報を現実問題の解決に活かすためには、確かな科学的根拠からなる情報を科学者から発信できる環境が必要であり、その科学情報は、該当する分野を超えた複眼的な評価を経る必要がある。
3. 上記 2. を実現するためには、現場の研究者ネットワークからなるボトムアップ的なコミュニティと、それを支援、評価する超分野的な科学者組織から構成される 2 部構成組織の運営が有効である。
4. 緊急時に対応できるような組織であるためには、平常時においてもその活動が維持され、継続される必要があり、科学者コミュニティは、科学の独立性と科学者の行動規範に基づく情報の発信と収集および討議が可能な場である必要がある。
5. 構成された組織のうちの超分野的組織は、その独立性を堅持するとともに、原子力規制庁をはじめ、緊急時に対応することが使命とされる行政組織と連携し、科学的知見を緊急の現場で活かす役割を担うことが必要である。

Appendix A 放射性物質の大気移流シミュレーションモデルについて

大気中における放射性物質の輸送および拡散、さらには降雨等による大気中からの除去などをシミュレーションするための数値モデルは、基本的には光化学オキシダントや窒素化合物などの大気汚染物質の大気中における挙動を推定するモデルと同じような仕組みで計算を行う。すなわち、大気および地表面(陸面および海面)を適当な間隔(等間隔あるいは不等間隔)で離散化した上で、各タイムステップでの各格子代表点における大気中濃度の時間変化を求める。このため、いわゆる天気予報を行う気象モデルの結果、具体的には各タイムステップにおける東西風、南北風、鉛直風および降水強度を用い、原子力発電所から放出された放射性物質が風にのって運ばれ、かき混ぜられることによって拡散しつつ重力によって沈降していったり、途中で降雨があれば雨粒によって大気中から除去され地表面に沈着したりする過程を計算するものである。具体的には、以下の様な移流拡散方程式を解くことになる。

$$\frac{\partial q}{\partial t} = -\vec{v} \cdot \nabla q + \frac{\partial q}{\partial t}|_{diff} + Q - L$$

ここで、 q は放射性物質の大気中濃度、より厳密にいうならば単位体積あたりの各放射性物質による放射能の強度 (Bq/m^3) であり、右辺は左からそれぞれ移流による濃度変化、乱流による濃度変化、放出フラックスによる濃度変化(Q)、大気からの除去過程による濃度変化(L)をそれぞれ示す。放出フラックスとしては原子力発電所からの放出、地表等にいったん沈着したものの再飛散などが考えられる。また除去過程には放射性崩壊による濃度変化のほか、重力沈降などによる乾性沈着と降雨・降雪に伴う湿性沈着とがある。

上記の移流拡散方程式の解法としては、オイラー型モデルとラグランジュ型モデルの2つに大別出来る。オイラー型モデルでは先述したように気象モデルと同じように離散化した格子点を設定し、上記方程式を差分化して各格子代表点での大気中濃度の時間発展を解くことになる。一方でラグランジュ型モデルでは福島第一原子力発電所から放出される物質を多数の擬似粒子で仮想し、これらの粒子群の移動を追跡することにより大気中濃度の時間発展を解くことになる。この際、大気中濃度は各格子代表点周辺での粒子数から求められることになる。オイラー型モデルにおいては移流に数値拡散が含まれることになるため、移流スキームの精度によってはラグランジュ型モデルに比較して速く拡散が進んでしまう可能性がある。また乱流による濃度変化についてはオイラー型モデルでは渦拡散などの形を仮定して計算することになるが、ラグランジュ型モデルでは個々の粒子のランダムウォークとしてモデル化することになるので低濃度における精度は低下する。

大気中からの除去過程としては重力沈降などによる地表面への乾性沈着、降雨による湿性沈着などがある。これら各過程の推定手法としては大きく2つの手法があり、ひとつはチェルノブイリ原子力発電所事故などの過去の事例における観測結果を元に何らか

の簡単な関数の形でパラメタライズしたもの、もう一方は粒子形状などの観測事例を元に、大気汚染モデルで使われている、大気中を浮遊する微粒子(エアロゾル)の除去過程を援用するものである。前者はチェルノブイリでの事例をよく説明しうるが、原子炉などの構造が大きく異なる事例であるためどの程度物質の形状が似ているかなどについては現時点ではまだあまり明らかではない。一例として SPEEDI では過去の事例を基に乾性沈着速度を基本的に土地利用等によらず一定としているが、感度実験等の結果を基に森林上空でのみ沈着速度を大きくしている。後者の詳細モデルはたとえばつくばなどで得られている観測事例をよく説明しうるが、そもそも今回の事例は1号機、2号機、3号機での複合的な放出であるため、それぞれの放出イベントで放出形態等が大きく異なっていた可能性がある。このため、除去過程についてはさらに広範な観測結果から検証を進めていく必要がある。パラメタライズした降水による除去過程は、たとえば

$$\frac{\partial q}{\partial t} = -\Lambda q, \Lambda = \alpha P^\beta$$

のような関数形で表現される。ここで Λ は大気中における洗浄係数であり、降水強度 P とチェルノブイリ原子力発電所事故における観測結果から推定されたパラメータ α 、 β を用いて計算される。パラメータは核種などによって異なり、たとえば粒子状セシウムでは α は 3×10^{-5} から 1.2×10^{-4} 、 β は 0.5 から 1.0 といわれている。詳細なモデルとしては、たとえば国立環境研究所の森野らは米国環境保護庁で開発された大気汚染などのためのオイラー型モデルである3次元化学輸送モデル CMAQ を用い、粒子直径 $1 \mu\text{m}$ を仮定して硫酸エアロゾルに近い形での湿性沈着を考慮したモデルを使用している。

「大気移流拡散モデルを用いた**予測**シミュレーション」という時に、事故発生以降の気象情報の**解析値**を用いて移流拡散計算を行い事故後に放出された放射性物質の現在分布を算出する「現状推定計算」と、数値気象予報モデルが予報した6時間先12時間先...の**数値予報**を用いて現在分布している放射能の今後の移流拡散と新たに放出される放射能がどちら方向に流れるかを計算する「予報計算」の両者がある。「予報計算」の場合は、気象予報計算そのものの予報誤差に起因して、現況からずれる危険性を内包している。福島第一原子力発電所事故時に、「予報計算」を行ったのはリアルタイムで稼働していた SPEEDI のみであり、その他の計算は WSPEEDI による計算も含め全て「現状推定計算」の範疇に入る。

Appendix B 福島第一原子力発電所事故からの大気拡散実験相互比較について

表 1 に領域大気モデルを用いた数値実験を行なっている機関と、そのモデル概要について示す。参加機関は海洋研究開発機構(JAMSTEC)、気象研究所(MRI)、国立環境研究所(NIES)である。空間解像度は 3~5km 程度の分解能で日本、とくに東日本域を対象としたモデルである。厳密なモデル間相互比較を行うためには気象場、放出量分布、計算領域等を揃える必要があるが、現時点での知見を集約することを優先したため計算条件等は同一ではない。

すべてのモデルの共通範囲での比較を行うため、東経 138 度から 142.5 度、北緯 34.5 度から 40.5 度の領域を対象領域として設定し、領域内におけるモデル格子を 0.1 度 x0.1 度(約 9km 四方)格子に投影し相互比較を行った。また比較対象としては文部科学省が行なっている航空機モニタリングによるセシウム 137 の積算沈着量を用いた。原子力発電所周辺以外の都道府県での観測結果については 2012 年 5 月末までの積算分布が公開されているが、モデル結果については大規模な放出が収まった 2011 年 3 月末までの積算であるため、観測結果についてはセシウム 137 の半減期(30.1 年)で当該日時での値に補正している。ただしこれは土壌移行や河川流出等による減衰を考慮していないため補正量を過小評価している可能性がある。

Appendix B 表 1：領域大気モデルによる福島第一原子力発電所からの放出実験参加機関。

機関名	水平解像度	格子数	鉛直層数
JAMSTEC	3km	249x249	34
MRI	3km	213x257	19
NIES	3km	237x237	34

Appendix C. 他の原子力発電所における環境影響評価実験に関する設定

福島第一原子力発電所事故での放出量を想定した環境影響評価実験を、柏崎、女川、玄海、敦賀、大飯の各原子力発電所について行った。用いたモデルは海洋研究開発機構の WRF/Chem モデルである(表 1 参照)。放出規模としては福島第一原子力事故と同程度を想定し、ヨウ素 131 総放出量を 100PBq, セシウム 137 総放出量を 10PBq とし、放出継続時間を 24 時間、放出高度は地表面とした。放出量の時間変動については現時点では考慮していない。モデル予報変数としてはヨウ素 131 およびセシウム 137 を考慮し、線量評価の際にはセシウム 134 濃度をセシウム 137 と同じであると仮定して考慮している。すべての実験において水平解像度は 3km、鉛直層数は高度 100hPa までの 34 層である。気象場は 2011 年の 3 月、7 月、12 月とし、春、夏、冬の各季節での影響について一日ごと 48 時間計算を行い、合計 93 日間における各地点での実効線量が最大となるケースを評価した。気象場の初期値および側面境界は気象業務支援センターのメソ数値予報 GPV(Grid Point Value) の各時刻における解析値込みの数値データを使用している。

線量評価の際には地表面からの外部被ばく、放射雲の通過に伴う外部被ばくおよび吸入による内部被ばくの影響を考慮している。内部被ばく等を推定する際の活動シナリオとしては原子力規制委員会のシミュレーション同様、日中 8 時間外部 8

の確率論的環境影響評価コード MACCS2 を用いたシミュレーションでは原発近傍での通年の気象場を用い、地形等の影響は考慮していない。一方、本シミュレーションでは計算期間は 3 ヶ月間と短いものの、気象場としては気象庁メソ数値モデルの結果を用い、より広域的な気象場の変動を考慮しており、また地形等の影響も併せて考慮している。

<参考文献>

- [1] 茅野、日本原子力学会誌「アトモス」, Vol. 55, PP.220-224, 2013.
- [2] Morino, Y., T. Ohara, and M. Nishizawa: Atmospheric behavior, deposition, and budget of radioactive materials from the Fukushima Daiichi nuclear power plant in March 2011, *Geophysical Research Letter*, 38, L00G11, doi:10.1029/2011GL048689, 2011.
- [3] Morino, Y., T. Ohara, M. Watanabe, S. Hayashi, and M. Nishizawa: Episode analysis of deposition of radiocesium from the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident, *Environmental Science and Technology*, 47, 2314-2322, 2013.
- [4] Takigawa, M., M. Niwano, H. Akimoto, and M. Takahashi, 2007: Development of a one-way nested global-regional air quality forecasting model, *SOLA*, 3, 81-84.
- [5] Niwano, M., M. Takigawa, M. Takahashi, H. Akimoto, M. Nakazato, T. Nagai, T. Sakai and Y. Mano, 2007: Evaluation of Vertical Ozone Profiles Simulated by WRF/Chem Using Lidar-Observed, *SOLA*, 3, 133-136.
- [6] Tsuruta, H., M. Takigawa, and T. Nakajima: Summary of atmospheric measurements and transport pathways of radioactive materials released by the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, *Proceedings of the 1st NIRS Symposium on Reconstruction of Early Internal Dose in the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident*, 101- 111, 2012.
- [7] Hirao, S., H. Hibino, T. Nagae, J. Morizumi, and H. Yamazawa, Estimation of uncertainty in the release rate of I-131 and Cs-137 from FDNPS estimated from environmental data, *Proceedings of International Symposium on Environmental monitoring and dose estimation of residents after accident of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Stations*, 2012.
- [8] IAEA(2007) : Radiation protection and Safety of radiation sources: International basic safety standards, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3 (interim).
- [9] Katata, G., M. Ota, H. Terada, M. Chino, and H. Nagai, Atmospheric discharge and dispersion of radionuclides during the Fukushima Daiich Nuclear Power Plant accident Part I: Source term estimation and local-scale atmospheric dispersion in

early phase of the accident, *Journal of Environmental Radioactivity*, 109, 103-113, 2012.

[10] 「福島第一原子力発電所事故に関するセミナー」報告書 何がわるかったのか、今後何をすべきか, 一般社団法人 日本原子力学会 原子力安全部, 2013年3月.

[11] IAEA(2000) : Generic procedures for assessment and response during a radiological emergency, IAEA-TECDOC-1162, ISSN 1011-4289, IAEA, Vienna.

(以上)