

科学技術未来戦略ワークショップ報告書
**非定常時を想定した
環境科学・技術の体系化とその応用**

平成27年11月30日（月）開催



エグゼクティブサマリー

災害時等の非定常時には、直接的な人命被害や物的破壊のみならず、有害物質の拡散や災害廃棄物の発生など、中長期的に人命・健康・環境に影響を与える様々な課題が混在して発生し、定常時とは異なる対応が求められる。しかし、現在の環境科学・技術は定常時を前提として構築されており、非定常時に対応した環境科学・技術を準備しなければならない。東日本大震災を契機として、災害時における環境に関する研究の必要性が認識され、各地で研究が実施されているが単発的であり中長期的観点での研究は少ない傾向がある。一部体系だった取組みも始められているが緒についたばかりであり、こうした取組みも含めて分野や組織、災害の種類等を超えた枠組みの構築が求められる。

本ワークショップ開催の目的は、非定常時において人命・健康・環境への影響を低減するために、環境・防災・健康分野の連携と、観測・予測・評価・対策のサイクルの構築・応用の必要性を確認するとともに、具体的な研究開発課題の抽出とそれによる成果のイメージを共有し、研究開発推進の体制や方法に関する基本要件や留意すべき点を検討することである。なお、ここでは「非定常時」を「何らかのイベント(災害等)を起点として定常時とは異なる状態に移行した時点から、以前の定常時に戻るまで、あるいは新たな定常時に到達するまでの期間」と定義する。

本ワークショップで確認された共通認識や意見は以下の通りである。得られた知見は今後の研究開発戦略の検討に活用する。

■ 提言の基本コンセプトについて

- 非定常時において人命・健康・環境への影響を低減するために、環境・防災・健康分野の連携と、観測・予測・評価・対策のサイクルの構築・応用の必要性が認識された。
- 「非定常時」について以下のような指摘があった。
 - ◇ 非定常時に関する全体像の把握と整理が必要である。非定常時は多様であり(時間軸、空間軸、相関等)、非定常時を引き起こすトリガーも多様である(突発的・長期的、自然災害・人為的要因等)。現象の解明のようなハザードの研究者は多く存在するが、その先の損失や影響といったディザスターの研究者が少ない。本コンセプトはまさにディザスターの研究開発であり、ディザスターのような新たな切り口を突破口に、新たな領域の作成を目指して取り組む。
 - ◇ 非定常時には、非連続に起こる低頻度な非定常時と、定常時から連続して起こる高頻度な非定常時の2つの側面がある。特に前者では、定常時の体制では対応できない複合状態となり、様々な分野の知が求められ、コミュニティの連携が非常に重要である。後者では、定常時の理解や定常時に潜在しているリスクの理解が重要である。
 - ◇ 個別の要素研究のみならず、全体を把握し他と関連づけて考える視点が必要である。

■ 取り組むべき具体的な研究開発課題について（主要なものを抽出）

- 災害環境マネジメント(強靱化、レジリエント化、知見の体系化、社会実装の方法論検討等)と健康リスク管理の構築
 - ◇ 被災地の応急的水循環システム構築
 - ◇ 災害廃棄物の量的質的把握と管理、含有有害物質の適正管理、対応業務の体系化
- 緊急時の有害物質リスク管理の構築とその実施

- ◇ 時間スケールを考慮した段階的リスク管理戦略の構築
- ◇ 上記戦略に基づく有害物質のリスク評価と基準値の検討、実施体制の構築
- 汚染スクリーニング手法の開発と意思決定に資する科学データ提示
 - ◇ 汎用機器による迅速・簡易・網羅的分析手法の開発
- OPEM サイクル(観測・予測・評価・対策)による感染症リスク低減マネジメントの構築
 - ◇ ウイルス検出手法の開発(検出効率向上、迅速化)
 - ◇ 病原体輸送モデルや感染伝播モデルによる予測
 - ◇ 人口・気象・環境情報を統合した感染リスクの評価
 - ◇ 感染性胃腸炎監視システム構築と流行抑制策の実施
- 火山灰・火山ガスの健康影響研究
 - ◇ シミュレーションによる影響や被害の予測
 - ◇ 高感受性者を中心とした健康影響の把握
 - ◇ 火山灰やフッ素への対応を中心とした水インフラ対策技術の構築
(その他、観測体制や医療体制構築、他のインフラへの対応策の検討)
- 非定常時における基準の検討とリスク評価
 - ◇ 有害物質の健康影響にとどまらない包括的なリスク評価と費用対効果分析
 - ◇ 高頻度非定常イベントにおける基準の設定(再評価や方法論の構築)
 - ◇ 避難を要するようなイベントにおける基準の設定(リスク緩和や対策立案)

■ 研究開発推進の体制や方法に関する基本要件や留意すべき点について

- 非定常時には広い分野の知が求められ、コミュニティの連携が非常に重要である。
- 過去の経験の蓄積と活用が重要である。
- 社会の受容も考慮することが必要である。
- 低頻度に起こる非定常時も視野に入れて、高頻度に起こる非定常時を対象とすることで、人材と研究の能力を高めてアプローチする視点もある。

目 次

エグゼクティブサマリー	i
1. ワークショップ開催趣旨	1
1. 1 はじめに	1
1. 2 趣旨説明	1
2. セッション 1 話題提供	3
2. 1 災害環境マネジメント研究と非定常時の健康リスク管理技術 平山修久（国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター 主任研究員）	3
2. 2 緊急時における有害物質のリスク管理の考え方についての NIES の取り組み事例 鈴木規之（国立環境研究所 環境リスク研究センター センター長）	12
2. 3 非定常時の汚染調査に向けた地方環境研究所の取り組み 宮脇崇（福岡県保健環境研究所 管理部 計測技術課 研究員）	21
2. 4 非定常時における感染症リスクの低減と環境科学・技術について 大村達夫（東北大学 未来科学技術共同研究センター 教授）	28
2. 5 火山灰・火山ガスの健康影響に関して取り組むべき研究課題 石峯康浩（国立保健医療科学院 健康危機管理研究部 上席主任研究官）	38
2. 6 非定常時の基準設定 村上道夫（福島県立医科大学 医学部 健康リスクコミュニケーション学講座 准教授）	46
3. セッション 2 総合討論	55
4. まとめ	59
付録 1 ワークショップ開催概要・プログラム	61
付録 2 ワークショップ参加者リスト	62

1. ワークショップ開催趣旨

1. 1 はじめに

科学技術振興機構(JST)研究開発戦略センター(CRDS)では、今後我が国が取り組むべき重要な研究開発領域、研究課題、研究開発システム等について広く提言を行っている。この提言は、JST戦略的創造研究推進事業における研究開発領域の設定などに活用されるとともに、政府の各種施策にも反映されている。こうした提言をまとめるにあたり、CRDSでは技術分野の俯瞰を目的とした「俯瞰ワークショップ」や、重要テーマの研究開発戦略を検討する「科学技術未来戦略ワークショップ」を開催しており、本ワークショップ「非定常時を想定した環境科学・技術の体系化とその応用」は、上記「科学技術未来戦略ワークショップ」に位置づけられる。

1. 2 趣旨説明

本ワークショップ開催の目的は、非定常時において人命・健康・環境への影響を低減するために、環境・防災・健康分野の連携と、観測・予測・評価・対策のサイクルの構築・応用の必要性を確認するとともに、具体的な研究開発課題の抽出とそれによる成果のイメージを共有し、研究開発推進の体制や方法に関する基本要件や留意すべき点を検討することである。なお、ここでは「非定常時」を「何らかのイベント(災害等)を起点として定常時とは異なる状態に移行した時点から、以前の定常時に戻るまで、あるいは新たな定常時に到達するまでの期間」と定義する。

災害時等の非定常時には、直接的な人命被害や物的破壊のみならず、有害物質の拡散や災害廃棄物の発生など、中長期的に人命・健康・環境に影響を与える様々な課題が混在して発生し、定常時とは異なる対応が求められる。しかし、現在の環境科学・技術は定常時を前提として構築されており、非定常時に対応した環境科学・技術を準備しなければならない。

東日本大震災を契機として、災害時における環境に関する研究の必要性が認識され、各地で放射性物質の拡散や蓄積、災害廃棄物の発生予測や把握などの研究が実施されているが、単発的であり中長期的観点での研究は少ない傾向がある。一部体系だった取組みも始められているが緒についたばかりであり、こうした取組みも含めて分野や組織、災害の種類等を超えた枠組みの構築が求められる。

そこで、非定常時の環境に関し、個別に存在する知識と手法を、不足を補いながら相互に関連付け、系統的に整理・統合・発展させること、その結果を共有し、実際の非定常時にその知識と手法を速やかに提示または実行すること、さらには、不確実性の大きな状況や複雑な状況下でも柔軟な対応が出来るよう準備することで、人命・健康・環境への影響を低減する必要がある。

本テーマの研究開発を進めるにあたり、中長期的観点も含めて非定常時に対処するためには、環境分野のみならず、防災分野や健康に関連する分野の連携が必要と考えられる。そして、事前に必要となる知識と手法を分野等を超えて整理・統合・発展させ共有するとともに、各事例について観測・予測・評価・対策のサイクルを構築し応用することが特に重要と考えられる。

本ワークショップでは、具体的な事例として、①様々な災害等により引き起こされ、人命や健康、環境に大きな影響を与える化学物質の拡散、②気候に起因する自然災害のうち、今後の気候変動も踏まえ大きな影響が顕在化しつつある水害、③地球内部に起因する地震・津波・火山噴火の自然災害のうち、今後課題が顕在化すると思われる火山噴火、の3つを中心に、人命・健康・環境への影響に関連する研究開発について話題提供いただき、求められる研究開発課題を確認し、それによる成果のイメージを共有する。さらに、総合討議では、研究開発推進の体制や方法に関する基本要件や留意すべき点などを検討する。

本ワークショップについて

目的

- ① 提言の基本コンセプトの確認
- ② 取り組むべき具体的な研究開発課題の抽出と成果のイメージの共有
- ③ 研究開発推進の体制や方法に関する基本要件や留意すべき点の検討

基本コンセプト

非常時において人命・健康・環境への影響を低減するために
 ➢ 環境・防災・健康分野の連携
 ➢ 観測・予測・評価・対策のサイクルの構築・応用
 が必要

1

背景

非常時の特徴と必要とされる対応

現在の環境科学・技術は非常時を前提としており、非常時(非常時以外)を想定した準備が必要

※「非常時」: 何らかのイベント(災害等)を起点として非常時とは異なる状態に移行した時点から、以前の非常時に戻るまで、あるいは新たな非常時に到達するまでの期間

非常時の特徴

- ・ 人命・健康・環境に影響を与える様々な課題が混在して発生
- ・ 予測が困難、不確実性が高い
- ・ 環境基準など非常を前提とした施策が適用できない

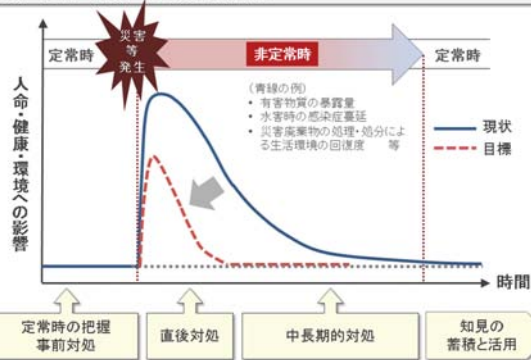
こうした特徴をふまえた非常時の環境科学・技術が必要

- ・ 非常時の環境に関し、個別に存在する知識と手法を、不足を補いながら相互に関連付け系統的に整理・統合・発展させ、それらを共有(データベース整備など)
- ・ 実際の非常時に知識と手法を速やかに提示・実行
- ・ 不確実性の大きな状況下、複雑な状況下での柔軟な対応

2

実施する意義・効果

非常時を想定した環境科学・技術を体系化し応用することで、人命・健康・環境への影響を低減

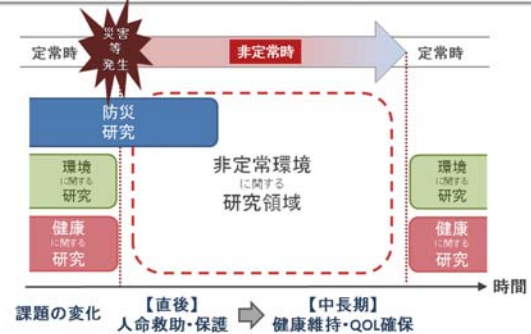


3

現状認識

研究の不足領域と主要なプレイヤー

- ・ 防災研究の多くは直後の人命救助・保護を最優先に実施
- ・ 時間の経過と共に健康維持・QOL確保へと課題が変化したが、その中長期的な研究が不足
- ・ 健康維持・QOL確保には環境・健康の視点が不可欠

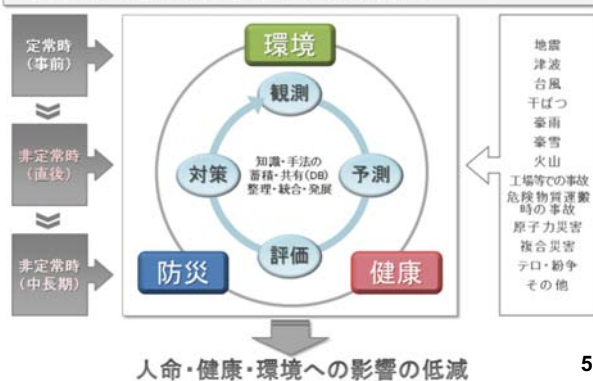


4

提案の方向性

基本コンセプト

- ・ 環境・防災・健康の分野連携
- ・ 各事象について、観測・予測・評価・対策のサイクルの構築・応用



5

2. セッション 1 話題提供

2. 1 災害環境マネジメント研究と非定常時の健康リスク管理技術

平山修久（国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター 主任研究員）

2011年の東日本大震災後、国立環境研究所では環境回復研究(PG1)、環境創生研究(PG2)、災害環境マネジメント研究(PG3)の3つのプログラムからなる災害環境研究を行っている。PG1とPG2は主に福島原発事故への対応、PG3は将来の災害に備えた環境マネジメントシステムを構築する研究である。PG1では、放射性物質の管理システムや環境動態の解明、生物・生態系の影響等を関係団体と行っている。PG2は福島県の新地町で地域でのICTを使った実証、住民とのワークショップ、エネルギー等のモデル開発などを行っている。PG3は大きく3つあり、(1)災害廃棄物、(2)健康・環境リスクの管理戦略、(3)ネットワーク構築と人材育成プログラムなどを行っている。

災害と環境について、ハザードが小さければ、環境あるいは健康のリスク、災害時や非定常時におけるリスクが小さくなる。また、環境防災あるいは減災力の強化や社会のVulnerability(脆弱性)の縮小により災害は小さくなる。災害や環境というのは組み合わせであり、技術や仕組み、システムを考え、災害環境マネジメントという概念を考えていく必要がある。その中では、リスクを低減するということと、災害前よりもより良い社会環境を目指す復興を実現するという考え方をいかに定常時の環境技術やシステムに組み込んでおくのが重要である。

社会環境システムという意味で私が取り組んでいるのが水環境と資源循環であり、システムそのものに対する技術と、それを取り巻く制度・マネジメントの2つの観点が必要である。技術については、水道や下水道の分野で管路耐震化といったものがあり、耐震化や米国での導入などの取り組みを行っている。マネジメントについては事業継続計画(BCP)の概念のように、どのように回復していくのかをしっかりと考えておかなければならない。水道あるいは下水道の分野では、評価軸(スライド16)が通水率や復旧率のみであったが、ここをいかに健康リスクや環境リスクとして捉えるかが重要だろう。現在、水量のみならず水質がどう回復していくのかといった評価手法を日米で共同研究している。その他、対策の見える化が研究としては必要だろう。例えば、健康リスクについて、どのような対策をすればどれだけリスクが低減できるのか、また、それをどのように社会とコミュニケーションしていくのかといった研究が必要になってくる。

災害時は飲める水や衛生的な水を給水タンク車により応急的に給水をしているが、東日本大震災では3カ月以上の時間スケールであった。上水道や下水道システムという定常時の環境システムが回復するまでの技術やマネジメントを考えておかなければならない。その一つが被災地内の応急的な水循環システムである。例えば、膜処理や簡易生物処理の技術を被災地域に導入し、被災地域の水循環を構築するには、膜モジュールの標準化や可搬化のような技術を研究しておかなければならない。

災害廃棄物については、これまで非定常時を想定した技術の研究が十分でなかったところで、適切な時期に、あるいは復旧・復興と連携した形で技術を考えていくことも必要であろう。首都直下地震や南海トラフ地震など、将来に向けた管理システムや量の推定方法の研究があるが、例えば、GIS等で市民が災害時にどのくらい瓦礫が出るかがわかる、あるいは、自治会でどう対応するかを検討し、それを踏まえて普段の環境をどう考えていくのかという仕組みや情報システムも必要である。国立環境研究所では、石綿の迅速な判定手法や管理について技術的な検討も進めている。また、マネジメントという点では、環境部局等の対応業務の体系化も必要である。災害廃棄物をどう平時の資源循環や廃棄物処理システムとリンクしていくのが今後の課題である。

では、その災害マネジメントと環境マネジメントをどう考えたらいいか。実際の環境マネジメントは定常時の環境を対象としており、災害に関しては一つのトピックとして扱われているに過ぎない。一方、災害分野では、災害マネジメント、防災マネジメント、減災マネジメントという考え方が定着してきている。災害廃棄物に関しては、ことが起こったら研究が進み、起こらなかったら研究はどうなるかわからない。環境分野と災害分野をどう融合していくのが非常に重要ではないか。最終的にはレジリエントな社会やコミュニティの構築がゴールになる。環境分野は持続可能な社会が一つのゴールであり、防災分野は安全・安心な社会がゴールになるが、実は目指している社会は同じではないか。つまり、持続可能な社会は、実は災害にも非常に強い社会という側面がある。それを技術的あるいは科学技術の点から示しながら、次の研究開発をしていかなければならない。それらを支えるのが非定常時の環境科学・技術になる。

例えば、環境システムそのものを強くしていく強靱化やレジリエントといった技術開発と、社会環境システムのようなマネジメントをレジリエントなものにしていくようなものがある。これらを今後の研究開発あるいは技術開発として、知見を体系化していくこと、アジアを中心に世界の災害環境に関する知見を総合的に検証しながら体系化していくこと、そして、非定常時を想定したような環境技術の社会実装の仕組みや方法論も研究対象としては非常に重要な部分になる。

質疑

(Q：質問、A：回答、C：コメント)

Q: BCPを設定するための基本的な考え方は既に規定されているか。

A: 日本では内閣府防災担当が、民間企業だけではなく社会として通常の機能をどう維持していくのか、どう回復していくのかを、しっかりと計画として考えておかなければならないとしている。工場にどれだけ生産能力があり、イベントの後にどれだけ生産能力が落ち、それをいつまでに回復するのかといったことを手順等も含めて考えていく、それがBCPあるいはBCMの考え方となっている。それを環境に置きかえた場合に、環境に対するリスク管理が普段だと十分できているものが、例えば災害時にはそれがどこまで落ちるのか、あるいは普段は水道水質基準にきちんと合っているものが災害時にどこまで本当に合っているのかといったものが、BCPという考え方で表現できる。

Q: イベントをどのように想定するかといったガイドラインはあるか。

A: 欧州のBCPのISO22000では、基本的なイベントというのは、自分の事業あるいは自分の組織に影響があるイベントは全て考える必要があるとしている。しかし、日本の場合は、まず地震から考えてくださいとしている。水分野ではインフルエンザへの対応をどう考えていくのかのマニュアルはあるところにはある。

Q: 下水道施設は一度被害を受けるとほとんど機能しないため、その機能が無くならないように、災害後にどれだけの人が対応できるか、どのようなロジスティクスや資源が必要なのかを事前に計画し、ビジネスが維持できるよう実際に対応されていたため、東日本大震災では大きな被害を受けたが結構早い回復ができたと思っている。そこにはBCPが完備されていた。BCPの考え方は非常に重要であり、これからやらなくてはならないことがたくさんあるのではないか。

A: 実際に仙台の南蒲生の浄化センターでは、このような考え方で水質基準の管理を設定して対応していた。

C: 下水道を分散型にすれば災害に対して非常に強くなるだろうという話があり、災害後にはそのような議論は活発になるが、それが終わると忘れられてしまう。論文の数も同様である。既に減ってきてしまっているという

ことは、それだけ社会の関心が早く薄まってしまうということである。しかし、次の災害に向けて、いかに取り組みを継続し社会に定着していくかは非常に重要だ。

Q: 論文の減少について、大学などで継続的にこの分野を研究することの難しさなどはあるか。

A: 研究がプロジェクト型となる傾向があり、災害はやはり防災分野だろうという、学術分野の仕切りのようなものが見え隠れする部分があるのではないか。防災分野での環境研究については、災害廃棄物や水道等があるがコミュニティが少ない。防災分野のコミュニティは多く、環境分野のコミュニティも多いが、両方をわかっている人、あるいは災害マネジメントと環境マネジメント、環境リスクマネジメントをわかっている人が非常に少なく育てなければならない。それを大学で実施しようとする、どうしても一つの研究プロジェクトとしての実施で留まってしまう側面があるのではないか。

C: 大学は狭い範囲で研究をしている。例えば災害なら災害の、津波なら津波だけを研究する。そうではなく、このような研究は幅広い分野の研究者が集まり作っていくものであると思う。研究アライアンスの中に大学や個人が入り研究するような体制をどこで作るかをしっかり考えてもらえるといいのではないか。

C: 大学では有志同士で集まって研究をする形であればできると思う。

C: 大学の中だけで集まるのではなく、社会、住民や企業も参加した枠組みの中で幅広い合意のもとに作るこ
とがこのような研究では大事ではないか。

C: 研究に対するモチベーションとして、震災などが起きた時はみんながやろうとするが、社会のことを広く考え
て継続的に研究する人がどれだけいるかという問題がある。資金も徐々につかなくなる。単独の大学や複
数の大学だけではなかなか難しい。

National Institute for Environmental Studies

災害環境マネジメント研究と 非常時の健康リスク管理技術

「非常時を想定した環境科学・技術の体系化とその応用」
ワークショップ
2015年11月30日
国立環境研究所 平山 修久

E&M Environmental Emergency Management
National Institute for Environmental Studies

1

National Institute for Environmental Studies

Contents

- > 災害環境マネジメント研究
- > 非常時の健康リスク管理
- > 災害マネジメントと環境マネジメント

2

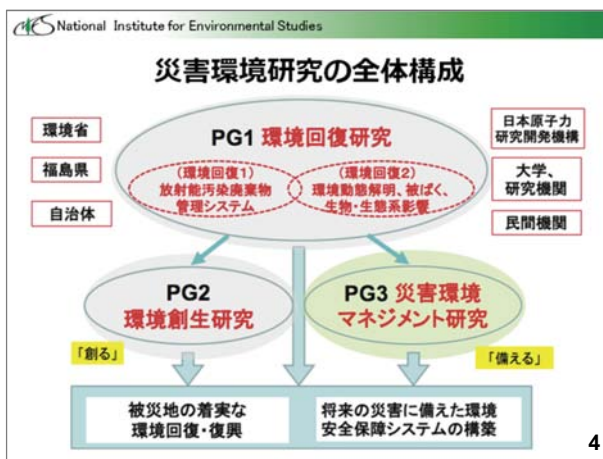
National Institute for Environmental Studies

国立環境研究所における災害環境研究

> 「環境回復研究」、「環境創生研究」、「災害環境マネジメント研究」の3つのプログラムを中心に展開し、福島等被災地の着実な環境回復と復興を進めるとともに、将来の災害に備えた環境マネジメントシステムを構築する

- 環境回復研究プログラム
- 環境創生研究プログラム
- 災害環境マネジメント研究プログラム

3



National Institute for Environmental Studies

環境回復研究1 放射性物質に汚染された廃棄物等の処理処分技術・システムの確立

中期計画での目的と達成目標：
●放射性物質に汚染された廃棄物や土壌等の適正な管理システムの開発に関する調査研究を実施
●科学的知見を蓄積・提供して、喫緊の課題である汚染廃棄物等の適正かつ円滑な処理の推進に貢献

(1) 処理プロセスでの制御技術システムの開発・評価
・熱移動メカニズムの解明
・洗浄・水処理技術
・不燃物等減容化技術
・コンクリート技術適用
・保管・貯蔵・最終処分技術
(溶出・吸着メカニズムの解明を含む)

(2) 処理施設の長期管理等技術の確立
・焼却施設等の長期的な維持管理・廃止撤去手法の確立
・中間貯蔵・最終処分施設の長期的な維持管理・廃止手法の確立

(3) フローストックモデルの構築、測定モニタリング技術等の確立
・フローストックのリスク評価と管理システム開発
・測定モニタリング管理手法開発
・リスクガバナンス手法検討

✓ 処理処分等技術・システムの確立に必要な知見の蓄積
→ 国の技術基準・指針等への反映・活用、得られた知見の体系化・情報発信

5

National Institute for Environmental Studies

環境回復研究2 放射性物質の環境動態解明、被ばく量の評価、生物・生態系への影響評価

中期計画での目的と達成目標：
●環境モニタリングと環境動態計測により、多媒体環境中の放射性汚染実態と環境動態の把握、将来予測
●人への被ばく量の広域的な推計手法を開発して被ばく実態を把握
●放射性物質による生物・生態系に対する影響の把握

PJ1(1) 環境動態計測
(1) 複数の流域で放射性物質の実態と動態を計測によって把握
(2) 多媒体環境モデル構築に使用する環境計測データ取得

PJ1(2) 多媒体環境モデリング
(1) 大気、陸域、沿岸海域における放射性物質予測モデル構築
(2) 放射性物質による長期間の汚染予測、対策効果の評価

PJ2 生物・生態系影響
(1) 放射性物質による生物・生態系に対する影響の把握
(2) 無人化や除染による生態系変化の把握

PJ4 人への被ばく量評価
(1) 環境計測とモデリングによる放射性物質による人への被ばく量の広域での評価
(2) 放射性物質の測定法の開発

✓ 放射性物質による環境汚染の実態・影響を把握するために分野横断研究
✓ 国や自治体等が実施する環境回復に係る施策の推進を科学的側面から支援

6

National Institute for Environmental Studies

環境創成研究

災害後の地域環境の再生・創造等に関する調査・研究の推進

中期計画での目的と達成目標：
 災害後の地域環境の再生・創造のため、自治体レベルで環境都市を形成していくための政策支援研究

- 環境都市形成のシステム・データベースの開発・整備を自治体との連携で推進
- 地域情報・空間情報を活用した地域エネルギー・資源循環システムの計画と評価モデルの開発
- 環境未来都市等の政策へ反映するための産官学連携構築に貢献
- 長期政策目標と短中期事業を整合させる手法を開発し、復興自治体と連携して計画立案に適用

PJ1 環境創生の地域情報システムの開発
 (1) 地域ICTシステムの構築
 (2) 地理情報システムを活用した復興まちづくり支援システム

PJ2 環境創生の地域情報システム解析モデルの開発
 (1) 復興事業を評価するマクロモデルと地理情報システムの開発
 (2) モデルを用いた将来シナリオの策定・評価、環境への影響評価

PJ3 参加型の環境創生手法の開発と実装
 (1) 住民・行政間の双方向地域情報システムの開発・実証試験
 (2) ステークホルダー間コミュニケーションによる住民参加型まちづくり支援

✓環境回復と環境創生をつなぐ産官学研究
 ✓環境の視点から地域資源、エネルギー、産業、コミュニティ、将来ビジョンを社会実装する研究

National Institute for Environmental Studies

災害環境マネジメント研究

将来の災害に備えた環境マネジメントシステム構築に関する調査研究の推進

中期計画での目的と達成目標：
 ●東日本大震災等の検証調査を通じ、災害と環境、社会の間の相互関係を体系的に明確化
 ●災害時の環境リスクを低減するための技術・手法や制度・体制の具体的な対策を提示

PJ1 災害時の資源循環・廃棄物マネジメント強化戦略の確立
 (1) 災害・地域特性に応じた災害廃棄物量的質的管理システムの開発・適用
 (2) 地域復興・復興と連動した災害廃棄物処理技術システムの開発・適用
 (3) 災害廃棄物処理に係るマクロ・ミクロ両面からの制度・マネジメントの開発・適用

PJ2 環境・健康リスク管理戦略の確立
 (1) 災害時のリスク管理目標の構築
 (2) 災害時の探索的分析・迅速分析の構築
 (3) 災害リスク管理の体制の提案

PJ3 災害環境研究ネットワーク拠点の構築
 (1) 災害環境分野に関する情報や知見の蓄積・発信
 (2) 災害環境研究分野における効果的な人材育成プログラムの開発・実施
 (3) 災害環境研究分野の人的ネットワークの構築

災害廃棄物研究、地震・津波影響をもとに、今後の災害に備えた環境研究という新しいコンセプトで今年度から本格開始 → 災害環境研究の構築を

✓災害環境研究で得られた知見を一般化・体系化する研究
 ✓将来の災害に備えた環境影響の評価や対応できる社会づくりを支援

National Institute for Environmental Studies

災害と環境

災害ハザード Hazards

災害 Risk

社会システムの環境防災・減災力 Vulnerability

National Institute for Environmental Studies

災害環境マネジメント

- ＞ 社会システムの環境防災・減災力を向上させる
 - － 災害環境マネジメント力を向上する
 - － 災害リスクを低減し、災害時の環境衛生面からの市民の安全・安心、都市の人間安全保障を確保する
 - － 災害前よりも良い社会環境を目指す復興を実現する
- ＞ 災害環境分野
 - － 衛生・環境工学：生（いのち）を衛（まも）る工学
 - － 災害環境学
 - － 災害環境マネジメント分野

National Institute for Environmental Studies

災害時の資源循環・廃棄物マネジメント強化戦略の確立

災害・地域特性等に応じた災害廃棄物量的質的管理システムの確立

東日本大震災の検証

将来の災害対応

災害環境マネジメント力の向上

地域復興・復興と連動した災害廃棄物処理技術システムの確立

技術と制度

災害廃棄物処理に係るマクロ・ミクロ両面からの制度・マネジメントの確立

National Institute for Environmental Studies

災害環境研究ネットワーク拠点の構築

災害廃棄物情報プラットフォーム

人材育成プログラム、参加型研修コンテンツの開発

過去の災害に関する資料

http://dwasteinfo.nies.go.jp

Third UN World Conference on DRR Public Forum
 17th March, 2015

National Institute for Environmental Studies

Contents

- 災害環境マネジメント研究
- 非定常時の健康リスク管理
- 災害マネジメントと環境マネジメント

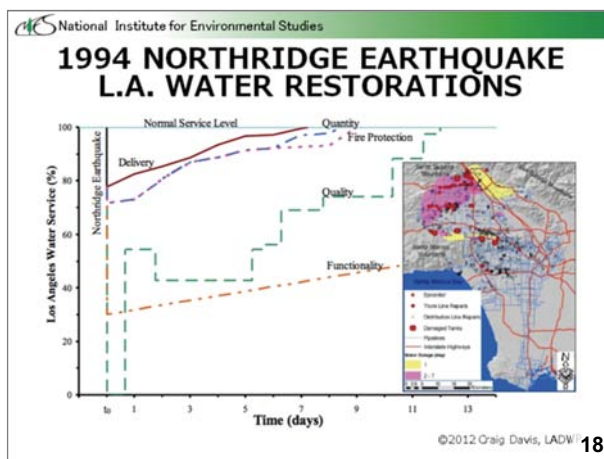
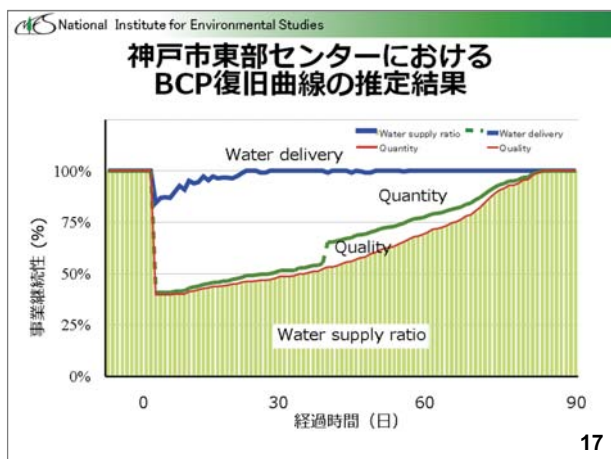
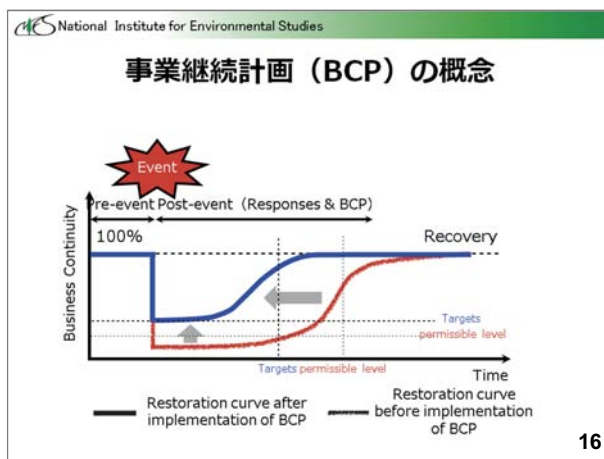
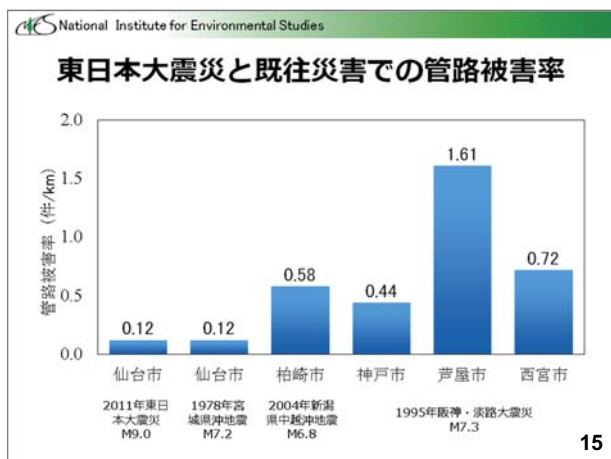
13

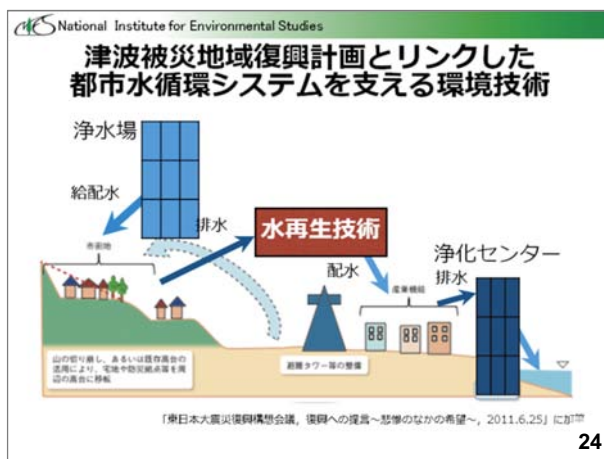
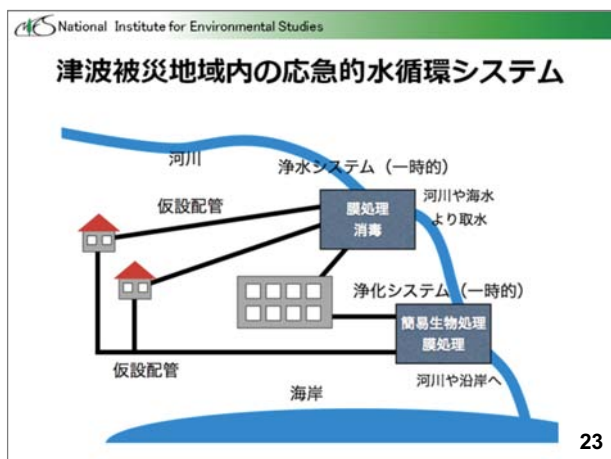
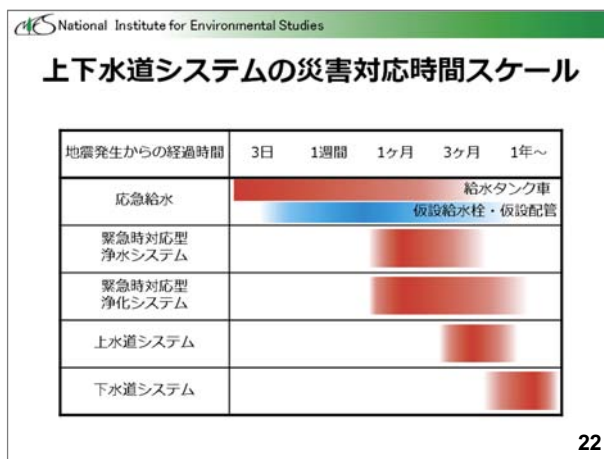
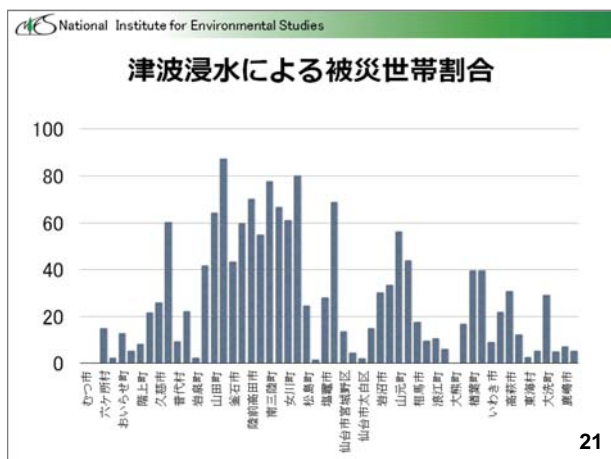
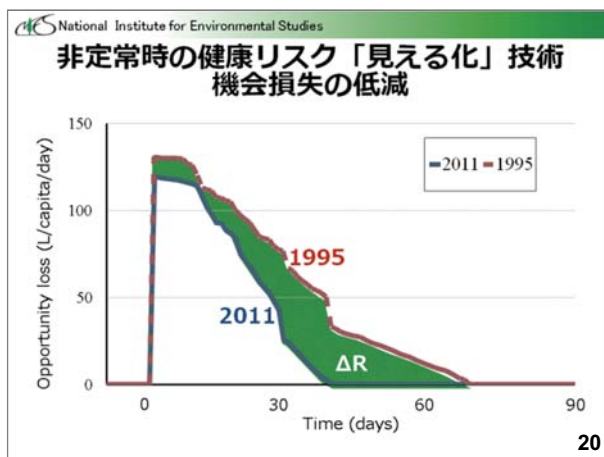
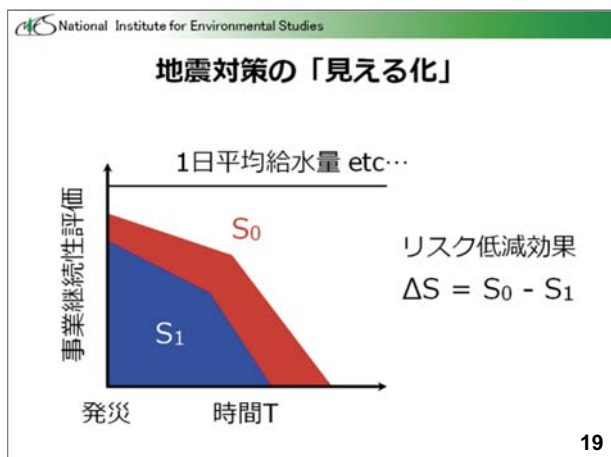
National Institute for Environmental Studies

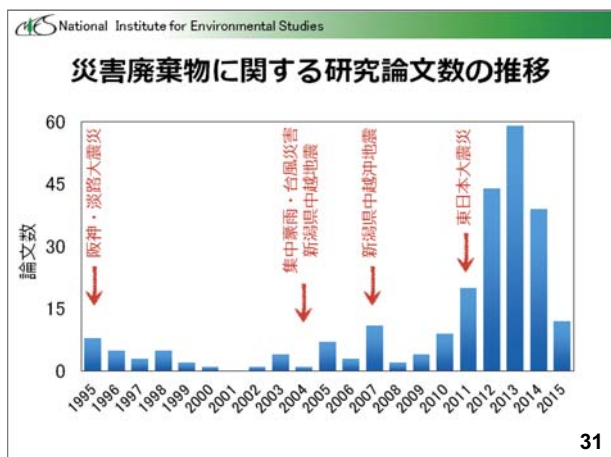
非定常時における健康リスク管理

- 災害時の人命・健康・環境に対する影響を低減するために必要な社会環境システムをデザイン・管理するための技法の体系
- 社会環境システム
 - 水循環
 - 資源循環
- 制度・マネジメント

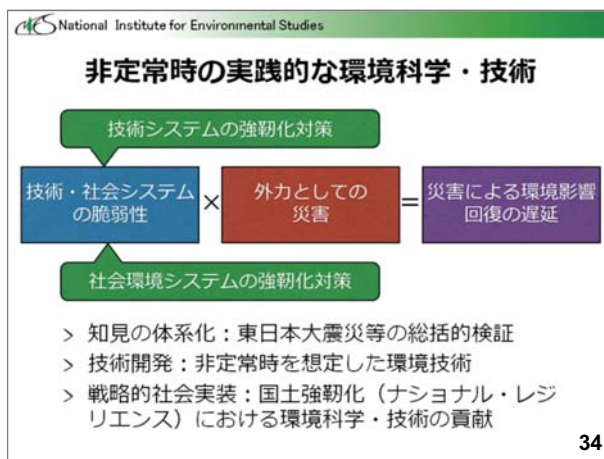
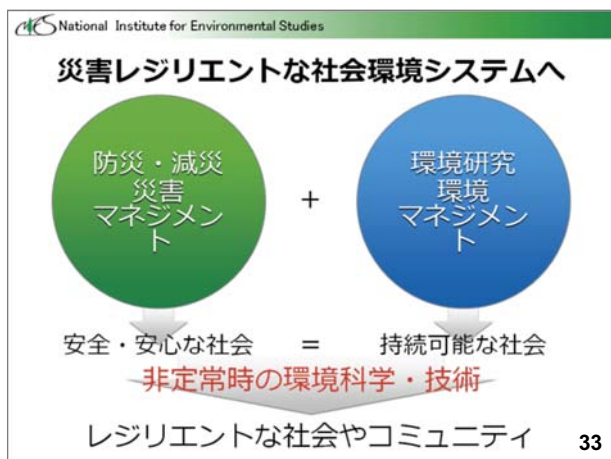
14







- National Institute for Environmental Studies
- ### 非定常時における環境科学・技術
- > 環境科学
 - 環境マネジメント
 - 災害に関する科学技術は一つのトピック
 - > 災害科学
 - 災害マネジメント
 - 環境は一つの対象
 - > 環境科学分野と災害科学分野の分野融合
- 32



2. 2 緊急時における有害物質のリスク管理の考え方についての NIES の取り組み事例

鈴木規之（国立環境研究所 環境リスク研究センター センター長）

我々が扱っている有害物のリスクアセスメント、リスク管理は暗黙あるいは明示的に、ある種の状態を想定している。このため緊急時を考えたときに、平常時がどういうもので、緊急時がそれに対してどこが違うのかということをもまず明らかにする必要がある。本日は、基本的に有害物のリスク評価について、緊急時の考えを紹介する。

リスク分野の研究で、発がんリスクの「生涯発がん確率 10^{-5} 」は非常に有名であり、平常時のリスク管理で常識的に使われるベンチマークであった。これは、水道水の有機系塩素化合物の問題を契機としてできた。年間を通して人口動態が一定であることを前提とすると、この 10^{-5} は、年間の確率で 10^{-7} 程度であり、1億の人間では年14人程度の数が人口統計にあらわれるものになる。

交通事故の死者は、生涯死亡確率で 10^{-3} 程度のオーダーになる。水難事故では 10^{-4} 程度になる。低いものでは、飛行機で 10^{-5} から 10^{-6} 程度になる。自然災害は、通常大体 10^{-5} 前後になる。また、世界の人口69億人で年間たった1人だけ、ある原因による死亡のリスクがあると考え、生涯死亡確率は 10^{-8} 程度になる。 10^{-8} を下回ると、少なくとも年間の死亡統計にはこの原因での死亡者は1人も表れなくなる。極端なものとして、危険な山登りの生涯死亡確率は、大体 10^{-1} のようになろう。ちなみに、戦争による死者数の計算は 10^{-1} 程度にもなりえる。この 10^{-1} は上限のリスクであり、これを超える値は人間社会が存続できないことを意味する。

災害時、緊急時、非定常という言葉に一般化したほうがよいが、まず災害時のリスクレベルを考える必要がある。改めて 10^{-5} に立ち返ると、これは自然災害の小さいものや交通事故の2桁下で、鉄道や航空機など比較的安全性の高い公共交通機関と同じ程度か少し大きい程度である。VSD (Virtually Safe Dose, 実質安全量) という言葉があり、ほぼ無視できる、あるいは実質的には安全と信じる状態を担保する数字といえる。これは人口統計でいえば、人口1億の国で10人であり、通常検出はできるかどうか分からないすれすれの値である。

ここで、緊急時と平常時のリスク管理を考えると、少なくとも3つの問題がある。

一つ目は、時間の問題であり、平常時のリスク管理は、一般的には生涯にわたり一定あるいは長期間一定の曝露・被ばくといった状態を想定することが普通である。これは我々が無意識に前提としているものであり、全てのデータセット、全ての方法が、ほぼこれに基づいて作られている。それに対して緊急時は短時間の非定常状況であり、有害物の曝露は限定された時間しか継続しない。短期曝露による長期影響は考えることができるが、一定ではない曝露の影響はそもそもデータがない場合が多く、それを評価する方法は存在していない。

二つ目は、リスクレベルの問題で、一般には平常時では 10^{-5} 、 10^{-6} のレベルが十分に安全であり目標にされている。しかし、緊急時に、上限(10^{-1})より下の範囲のどこで許容するかは一概に決めかねる。

三つ目は、リスク管理の問題であり、平常時は、長期平均的なリスク管理があるが、緊急時におけるリスク管理の概念はほぼ無く、放射性物質の公衆被ばく量管理の考え方が国内で初めての事例であろう。

私の分野では、緊急時を考えることは非常時の健康影響をどう考えるかということと捉えることが正しい問題設定であると思う。しかしながら、この非定常のリスク評価、管理をどうするかは、未完成である。

中国の天津で工場が爆発してシアンが飛んできて健康被害があるかという質問を受けたことがあったが、シアンの濃度がある濃度に達し、3日間吸ったことで何が起るか、その健康リスクを的確に評価する方法はほとんどなく、どうしていいかわからない。

急性毒性の概念はあるが、それより低いところで何が起るかということ、しかも1週間や3日間や1日間、ある

量の被ばくをしたらどうなるということは答えようがなく、調査方法もない。

放射線の場合、健康維持の考え方については、比較的簡単である。放射線では、事故時の公衆の被ばく量管理という考え方が構築されている。これは非常に参考になる。この考え方の基本は、生涯被ばく量を100ミリシーベルト以下としている。この100ミリシーベルトはワンショットの被ばくで0.1シーベルトを下回るところには、有意な影響がないという広島の疫学での結論から来たものと思われる。これだけから生涯にわたって、1年間何ミリシーベルト浴びても大丈夫かは、自動的に出てこないが、低線量直線仮説が成立するのならば、影響がその原因となる物質なり線量の積算値で規定できる。同様の毒性のメカニズムが存在するものも、基本的にこの考え方がとれるので、比較的簡単に構築ができる。

急性毒性というのは、一種のワンショットの曝露量に対する影響を定義している。このため急性毒性の実験の中に時間の概念はそもそも存在していない。平常時は一般に急性毒性は問題にならず、より低いレベルが指向されるため、余り考えられていない。

緊急時をどうするかは、常識的に急性影響よりもある程度低く抑えるということではないだろう。

さらに非定常な慢性影響という概念は一般的には検討されたことがない。慢性影響の場合は、曝露量、毒性のメカニズムが密接に関連している。先程の発がん性や放射性物質のように、投与量、原因物質、原因となる線量の積算曝露量で影響が決定されるメカニズムならば基本的に足し算で良いが、そういうものばかりではない。慢性影響は投与の水準そのもの、期間がどのぐらいか、それらのものの組み合わせによって決定されるような仕組みが多々存在している。

その場合には、単純に曝露量を積算する話が成立しなくなる。このため、一生涯の中の例えば5分の1の期間、ある曝露量を受けたことにより起こる慢性影響は簡単な課題ではない。ものによっては個別の実験に基づいて議論ができる場合もあると思うが、一般的には構築し切れない。少なくとも投与量の大きさとその積算量、期間などが関係してくる。

そうすると、非定常の慢性影響に対する何らかの判断をすとなれば、安全係数、不確実係数の段階で扱うことしか方法はなく、影響評価における新たな課題であり、毒性影響リスクの本質に触れる課題になってくると思う。

危機管理状況での健康影響評価において、例えば消火のために何かをまいた場合、短時間なので基準値には十分な安全を見込んでおり健康に問題ないとの説明がよくなされているが、積算曝露量が大きくなりたためか、安全係数の範囲だからか、短時間だからかは、誰も答えられないのが現状と思われる。

有害化学物質の緊急時のモニタリング指針を、半年くらいかけ、ある学会でまとめた。

環境基準は、長期の時間スケールに適用するものだが、緊急事態に通用しそうもないと考えた。少なくとも緊急事態には時間スケールがあるので、例えば発生からある期間を考え、その期間において、少なくとも不健康にならない基準と考えたのが、この緊急時のA基準やC基準である(スライド18)。期間については説明は困難であるが、1カ月程度の短時間立ち入りは許されるとか、住むことはできるだろうという水準として、緊急時A基準やC基準を考えてみた。

緊急時A基準は、作業環境基準から曝露時間の換算を行ったものである。この作業環境の基準は、発がん物質であれば生涯発症リスクで大体 10^{-3} 程度の設定となっている。非発がんの場合は一概にはわからない。作業環境の 10^{-3} は1,000人に1人なので、工場労働者であれば、その人を生涯追跡すると影響が見つかるか見つからないかのぎりぎりのところである。

緊急時C基準は、作業環境基準と環境基準の中間の 10^{-4} 程度での提案である。

非発がんに関しては単純な計算ができない。非発がんについて基準を作るときに、通常使われるのは無毒性量である。本来、「観察可能な無毒性量」と訳すべき無毒性量のリスクレベルは大体 10^{-1} である。そこから下のリスクレベルでは観察が通常困難となり、実験的に証明することはできない量になるため、そこが通常の出発点になる。

作業環境管理濃度は、無毒性量の少し下程度やほぼそれに近いところに設定されている。

緊急時A基準は、その作業環境管理濃度に環境曝露状況の換算を行うことがA基準の基本的な扱いである。環境基準の場合は、感受性差を大体1桁ぐらいみて、長期曝露の重大性や、低濃度での情報があるときは、別なファクターをつけることを行っている。緊急時には長期曝露の重大性に相当する部分がある程度カットしても、基本的に使えるだろうということで計算をしている。

発がんに関してはリスクレベルの調整、非発がんに関しては個人の感受性差をより小さく見積もることで、環境基準を超える曝露でも十分な余裕があるため大丈夫という説明を数字にしたと思えばよい。

600物質ほど数字の設定をして学会から出している。緊急時A基準を超えた場合は、作業環境等、すなわち工場の作業環境を超えている状態なので逃げたほうがよい。緊急時Cに関しては、逃げない、すぐに逃げなくてもどうにかなるが、感受性の高い人は何か起こるかもしれないので、なるべく早く退避するということを書いている。あと、自治体向けのマニュアルなどを引用した。

作成過程でわかったのが、日本では事業所とか工場が持つ物質のデータベースが、どこにも存在していない。このため、事故が起きたときに、どこに何があるかということが事実上わからない。PRTRの情報は必ずしもその目的でつくられたものではないので十分ではない。消防や毒劇の情報はあり得るが、データベース化されていない。それは別な意味で重要な問題と思う。

今、IRIS(統合リスク情報システム)のほかに、SDS(安全データシート)のある物質がおそらく800、千から千何百ある。通常、急性毒性しかないが、そこから基準値を検討しようとしている。

緊急時の危機管理を、非定常の課題と捉えるのは非常に正しいと思う。今までのリスク評価の考え方の多くが、平常時を暗黙あるいは明示的に意図している。このため非定常時を扱おうとすると、毒性影響あるいは不確実性係数などの評価手法といった基本に立ち返らないと考え切れない。

一方で、現実的な取り組みも必要であり、利用可能な情報の集約とか、現時点で対応可能な、少なくとも仮の考え方ぐらいは構築しておくことも、まさに災害対応としては現実的であろうと思っている。

この研究全体は、国立環境研究所の災害環境研究における災害マネジメント研究グループの中で、1つのプロジェクトとして、福島チームの中で続ける予定にしている。

質疑

(Q: 質問、A: 回答、C: コメント)

Q: 緊急時A基準、C基準は大気中の個別の化学物質をイメージしているという理解でよいか。というのも、食品関連であると、無機ヒ素は日本人で 10^{-3} オーダー、アクリルアミドも同程度、加工肉も 10^{-2} から 10^{-3} オーダーである。PM2.5の判定基準レベルは 10^{-2} オーダーである。大気の1個の化学物質はものによって違うので、大ざっぱにこのあたりを目安にして、個別調整するイメージで提案している理解でよいか。

A: 大体正しい。いろいろなケースがあるのはその通りであり、この緊急時A基準、C基準も調整をしている。既

存の基準と逆転するところがたくさんあり、それは違う理由で既に設定されている数字があると思う。

Q: 非定常時における基準の考え方で、IRISの毒性情報から引っ張ってくるしかないということなのだが、現状、それ以外の方法で考えることは難しいのか。情報はないということなのか。

A: IRISは使えるが、我々が使おうとしているのはSDSである。ただしSDSは実験根拠のよくわからない急性毒性だけが報告されている物質が非常に多数ある。2つを合わせると1,000程度あり、それについて数字をつくり、参考になるものをつくりたい。

Q: 有害物質について同時に2つのリスクが起こったとき、相乗的な影響を考える必要はないか。

A: あると思うが、そこまで考えていない。相乗的な作用がある組み合わせは、比較的限られていると思う。この仕事は、どちらかというと化学プラントの事故のように毎年一定程度起こるものにまず通用するものにした

い。

緊急時における有害物質のリスク管理の考え方についてのNIESの取り組み事例

国立研究開発法人国立環境研究所
環境リスク研究センター
鈴木規之

1

緊急時のリスク管理を考えるには

- 実は平常時も含めて、どのようなリスクを、どのように管理するか、基本的に考え直す必要がある
 - 平常時とはどのような状態か？…従ってどのようなリスク管理により「平常時の安全な状態を達成」するか？
 - 緊急時とはどのような状態か？…従ってどのようなリスク管理によって「緊急時の安全な状態を達成」するか？
- 平常時とは何か、緊急時とは何か

2

発がんリスク

- 水道水中の有機塩素化合物問題(1970年代から研究が進み明らかに)
 - 塩素消毒によりトリハロメタンが発生
 - クロロホルムほか計4種の類似物質の合計
 - トリハロメタンを含む水を飲むことでがんが発生する可能性がある
- 「生涯発がん確率 10^{-5} 」
 - (当時の話ですが)クロロホルム $30\mu\text{g/L}$ を含む水道水を飲むと10万人に一人のがんが発生するかも知れない

3

生涯発がん確率と超過発がん数

- (1)一人の人が一生の間に 10^{-5} の確率でがんになるとすると
 一人一年あたり、がんになる確率 = $\frac{10^{-5}}{70}$ (人の寿命 70年想定)
- (2)日本全体(1億人)あたり、一年あたりの(この原因による)がんの発生数
 $\frac{10^{-5}}{70} \times 10^8 \approx 14$ → 日本全体で年間14人のがんの超過発生に相当
- (3)(この原因による)年間死亡確率
 $\frac{14}{10^8} = 1.4 \times 10^{-7}$ → 生涯発がん確率 10^{-5} = 年間死亡確率 1.4×10^{-7}

4

いろいろなリスク要因:例えば交通事故と水難事故

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • 全国の人口 <ul style="list-style-type: none"> – 128,019,000人 • H22年交通事故死者数(全国) <ul style="list-style-type: none"> – 4,863人 | <ul style="list-style-type: none"> • 全国の人口 <ul style="list-style-type: none"> – 128,019,000人 • H22年水難死者数(全国) <ul style="list-style-type: none"> – 877人 |
| ↓ | ↓ |
| 年間死亡確率 = 3.8×10^{-5} | 年間死亡確率 = 6.9×10^{-6} |
| ↓ | ↓ |
| 生涯死亡確率 = 2.7×10^{-3} | 生涯死亡確率 = 4.9×10^{-4} |

5

いろいろなリスク要因:例えば航空機事故と水難事故

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • 世界の人口 <ul style="list-style-type: none"> – 69億人 • 世界の航空機事故年平均(1950-2000年) <ul style="list-style-type: none"> – 712人 | <ul style="list-style-type: none"> • 全国の人口 <ul style="list-style-type: none"> – 128,019,000人 • H22年自然災害による死者・行方不明者(全国) <ul style="list-style-type: none"> – 77人 |
| ↓ | ↓ |
| 年間死亡確率 = 1.0×10^{-7} | 年間死亡確率 = 6.0×10^{-7} |
| ↓ | ↓ |
| 生涯死亡確率 = 7.4×10^{-6} | 生涯死亡確率 = 4.3×10^{-5} |

6

極端な思考実験: 世界で年間1人の確率 vs. 致死率0.5%の危険行為

- 世界の人口
 - 69億人
 - 世界のこの原因による死者数が年間1人として
 - 0.5% = 5×10^{-3} の事象
 - 登山バリエーションルート?
 - 岩壁、冬山登攀
 - 8000m・未踏峰とか
- ↓
- 年間死亡確率 = 1.5×10^{-10} 年間死亡確率 = 5.0×10^{-3}
- ↓
- 生涯死亡確率 = 1.0×10^{-8} 生涯死亡確率 = 0.35
- 実質ゼロリスクに近い? 20-40歳台20年分として = 0.1

7

生涯発がん確率 10^{-5} の意味?

- 10^{-5} はどんな意味があるか?
 - 鉄道や航空機など安全性の高い交通の事故と同程度か少し大きい
 - 自然災害など(巨大災害のない年ならば)より少し小さいが同程度
 - 水難事故より1桁ほど小さい
 - 自動車事故より2桁ほど小さい
 - 事業所内の労働災害リスクより2桁ほど小さい
- 10^{-5} のリスク管理が適用されている事例
 - 発がん物質の一般的管理水準
 - VSD (Virtually Safety Dose=実質安全量) の名称あり
- ⇒ 汚染物質、汚染物に対して「安全と信じる」状態を担保するための数値が 10^{-5} あたりか
 - ベネフィットとの関係とか難しい議論はあるが...
 - ほぼ「無視できる」あるいは統計上も観察困難となるレベルと考えることができるのでは

8

緊急時における有害物質へのリスク管理試論

- | 緊急時のリスク管理 | 平常時のリスク管理 |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> 時間の問題 <ul style="list-style-type: none"> - 緊急時とは、短期間の非定常状況。有害物質への曝露あるいは被ばくは限定された時間、か続かない。 • 短期曝露による長期影響はあり得るが、物質や生物学的特性による リスクレベルの問題 <ul style="list-style-type: none"> - 緊急時には他の状況から見て、より厳格な短期間の曝露・被ばくを許容する可能性がある • どの程度のリスクレベルが許容し得るか、一般的な値はない 緊急時における有害物質のリスク管理の課題 <ul style="list-style-type: none"> - 緊急時における有害物質のリスク管理の概念は過去にほとんどない - 放射線の公衆被ばくでは事故時の被曝量管理の考え方があり、国内で大規模に展開されたのは福島第一原発事故に伴う事態がわらわら初め | <ul style="list-style-type: none"> 時間の問題 <ul style="list-style-type: none"> - 平常時のリスク管理は、生涯にわたって一定、あるいは長期にわたる一定の曝露・被ばくのような、定常的状況を想定することが一般的 リスクレベルの問題 <ul style="list-style-type: none"> - 一般に「十分に安全」を確保して、平穏な安心を確保することが目標とされる • 10^{-6} ~ 10^{-4} のリスクレベルが多くなる基礎 平常時におけるリスク管理の課題 <ul style="list-style-type: none"> - 十分な安全を定常的に確保するための、より高感度、繊細な、系統平均的なリスク管理 |
- 緊急時を考えると非定常時ととらえることは正しい
しかし、緊急時または非定常時リスク管理の考え方は未完成

9

危機管理状況における健康影響管理の考え方(試論)例1: 放射性物質

- 危機管理状況における考え方
 - 基本: 生涯被曝量 < 100 mSv にすべき
 - 被ばく(曝露)積算量の範囲で調整すること
 - ⇒ 1年間だけ20倍になってもリスク水準は有意に増加しないと考えられる
 - ICRPはこの可能性について検討している
- 一定の被ばくで生涯
 - $1 (mSv/y) \times 70 (y) = 70 (mSv) < 100 mSv$
- 1年間だけ20倍に
 - $1 (mSv/y) \times 69 (y) + 20 (mSv/y) \times 1 (y) = 89 (mSv) < 100 mSv$
- もし5年間20倍に
 - $1 (mSv/y) \times 69 (y) + 20 (mSv/y) \times 5 (y) = 169 (mSv) > 100 mSv$
- 5年間20倍とすると合計は100を超えるかも知れないが、誤差範囲を見なす?

10

危機管理状況における健康影響管理の考え方(試論)例2: 急性毒性

- 急性毒性の場合は、影響は単回の曝露量(被ばく量)のみで決定される
 - 化学事故、原爆
- 危機管理状況における考え方
 - 平常時には一般に急性毒性は問題とならない
 - より低いレベルでの管理が指向される
 - 緊急時では?
 - 平常時における急性影響
 - 急性影響は全く問題とならない管理が指向される
 - $100 (mg/kg) \ll LD_{50}$
 - 危機管理状況における急性影響
 - 急性影響より低く抑えるべきことは平時と同じ
 - しかし、より急性影響レベルに近づくことはあり得るかも
 - $100 (mg/kg) \ll LD_{50}$
 - 実際には、曝露時間が想定される場合もあるので、いくらか複雑になる
 - ACGIHが定めるCレベルなど

11

危機管理状況における健康影響管理の考え方(試論)例3: 慢性影響

- 慢性影響の場合は
 - 曝露量、濃度について
 - 投与量自体の大きさ
 - 投与量の積算曝露量
 - のいずれによって影響が決定されるのか必ずしも定かでない
 - 物質や影響によって異なるのでは
 - 曝露期間の考え方について
 - どの程度の期間が慢性影響の発現に必要か
 - 寿命の異なる生物のデータをどのように換算するか
 - などの点の考え方が定まっていない
- 投与量の積算曝露量が影響が決定されるならば
 - ⇒ 発がん物質と同様の考え方になる
- 投与の水準や期間の状況によって影響が決定されるならば
 - ⇒ 発がん物質のような考え方は取れない
 - 影響メカニズムに基づく考察が必要となる
 - 一般論としては、安全係数・不確実性係数の見直しにより対処することになる

- 非定常な慢性影響という考察はほとんど検討されたことがない
- 影響評価における新たな課題ともとらえられる

12

危機管理状況での健康影響管理の考え方... (例)

- よくある説明:「基準値を超過したが、短時間(あるいはわずかの超過)なので、基準値には十分な安全を見込んでいるので健康に問題はありません」
- この説明の解釈は何か?
 - 積算曝露量は大きくならない?
 - 安全係数の範囲だから大丈夫?
 - 短時間だから大丈夫?

13

有害化学物質の緊急時モニタリング実施指針について

(有害物質の緊急時モニタリング指針(第一版)(環境化学 21(3)V-xxxii(2011))

国立環境研究所 鈴木規之
(環境化学会共同担当者:門上希和夫、
中野武、吉永淳、白石不二雄、中島大介)

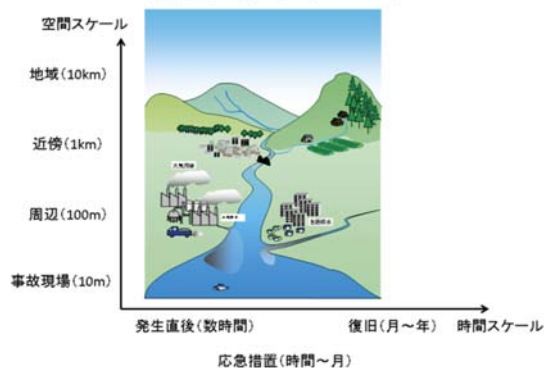
14

1. 緊急時モニタリングの目的

- 有害化学物質に関する緊急時においては、以下のような目的において緊急時モニタリングを実施することが求められる。
 - 緊急時の状況下での最低限の安全の管理
 - 最低限の安全は確保されているという安心の確保
 - 市民、行政に方法や情報を提供
 - 現地の自治体・研究機関などの専門家集団、また被災地域内外の専門家集団の連携による迅速な活動を可能とする

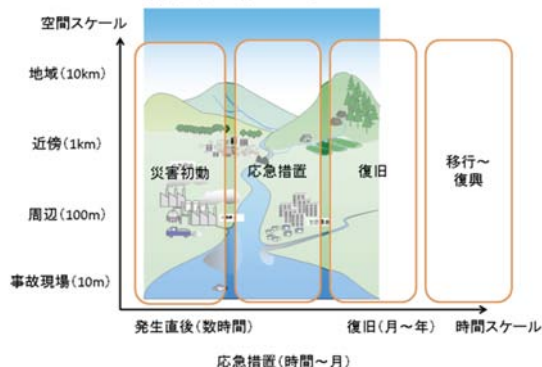
15

緊急時のイメージ



16

緊急時のイメージ



17

緊急時の化学物質管理戦略



18

大気判断値に関する資料 緊急時A基準を構成するための考え方

- 緊急時A基準を構成するための考え方
 - 作業環境基準を元に、曝露時間の換算を行う。
- 緊急時C基準を構成するための考え方
- 発がん物質の場合、
 - 作業環境ではおよそ生涯発症リスクで 10^{-3} 程度相当の設定が多く、環境基準では一般に 10^{-5} 程度相当の設定が行われている。
 - 緊急時C基準としては生涯発症リスクで 10^{-4} 程度相当値とすることを提案する。
- 非発がん物質の場合には、
 - 環境基準特有の不確実性係数に対する考察に基づき、長期曝露での重大性に関連する不確実係数の見直しによって緊急時C基準を構成することを提案する。

19

緊急時C, A基準(案)の考え方(大気)

- 対象物質
 - 作業環境関連の指針値等や現行基準等項目を参照
 - ⇒事業所で管理される物質であり、事故や被災地で問題となる可能性が高いと思われる
- 諸基準と緊急時C, A基準(案)



20

緊急時C基準(案)への追加説明

- 発がん物質
 - 10^{-4} のリスクレベルを生涯の $1/100 \cong 0.7$ year受けた場合の積算リスク
 - $10^{-4} \times 0.01 + 10^{-5} \times 0.99 \cong 1.1 \times 10^{-5}$
 - 約1年程度以下であれば、一桁高いリスクレベルを受けても有効数字二桁の範囲で平常時の生涯リスクと変わらないと見なせる
- 非発がん物質
 - 作業環境基準に対する安全係数 $100 \cong 4 \times 10 \times 3$
 - = 曝露時間の換算 × LOAEL-NOAEL変換 × 感受性差
 - 通常環境基準に比べて、個人の感受性差を小さく(余裕のない側)に変更することで想定

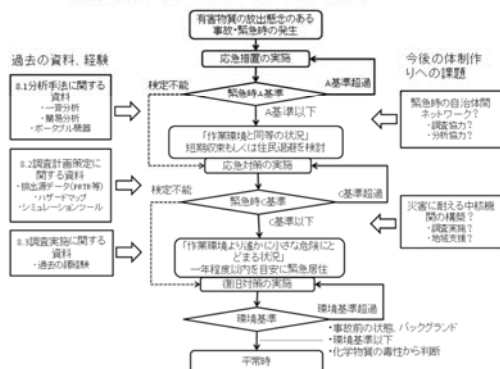
21

緊急時C, A基準(案)の考え方

- 緊急時A
 - 「作業環境と同等」の状況
 - ⇒短期収束出来なければ住民は退避もあり得る
- 緊急時C
 - 「作業環境より遙かに小さな危険にとどまる状況」
 - ⇒1年以下を目安にこの数値以下であれば緊急退避的な居住は可能
 - 「1年」に明確な根拠はなく、3日か1年が確定は出来ない
 - 発がん物質では1年に多少の意味がある

物質名	単位	作業環境基準	緊急時A基準(案)	緊急時C基準(案)
ベンゼン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
トルエン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
キシレン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸エチル	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ブチル	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ヘキシル	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸オクチル	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸デシル	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ドデシル	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ステアリン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ラウリン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ミリスチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸パルミチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ステアリン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸オレイン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸エルカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アビエール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸リグノール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸カドナール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸トコフェール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸シカドール	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸ベヘン	mg/m ³	0.1	0.1	0.1
酢酸アロチン	mg/m<			

緊急時対応の考え方



25



図 2.3 事業場情報マップの作成イメージ

●有害物質 ▲最も使用される特定事業場
参考：国土交通省都市・地域整備局下水道部「有害物質等流入事故対応マニュアル」（平成 17 年 11 月）
（自治体環境部局における化学物質に係る事故対応マニュアル策定の参考）

今後の課題

- 緊急時の調査方法の開発、蓄積
 - 調査計画項目、手順の確立
 - 緊急時に迅速に対応可能なモニタリング手法
 - 調査機関のネットワーク
- 緊急時に対応可能なデータ蓄積
 - 広域の緊急時では、可能性のある排出源のデータ収集が有効か
 - 大気汚染防止法：ばい煙発生施設、一般粉じん発生施設、特定粉じん発生施設等
 - 水質汚濁防止法：特定施設
 - PRTR制度：排出・移動状況、取引量
 - 最大排出シミュレーション?

26

おわりに

- 緊急時のリスク管理は、非常時リスクへの課題ととらえるべき
 - 平常時を意図してこれまで構築されてきた、リスク評価や管理の考え方は適用しない
 - 毒性、影響、また不確実性係数など評価手法、曝露把握の仕方など、そもそもの基本に立ち返らないと考えられない
- 現実的な取り組みも必要
 - 同時に、現在利用可能な情報の集約
 - 現在でもアプローチ可能な仮の考え方の構築
 - なども同時に進めて現実的な戦略を考えていく必要がある
- 国環研では、災害環境研究プログラム(福島支部で予定)において、災害マネジメント研究プログラムの中で災害にともなう環境・健康のリスク管理戦略に関する研究を進める計画
 - 次期中長期計画の間に、方法、体制等の整備を進めていきたい

27

2. 3 非定常時の汚染調査に向けた地方環境研究所の取り組み

宮脇 崇（福岡県保健環境研究所 管理部 計測技術課 研究員）

我々は、2009年から主に土壌汚染を対象に、非定常時の汚染調査に適用可能な分析法開発を行っている。これまでに開発した分析法はGC-MSやLC-MSを利用するスクリーニング等であり、現在は、重金属を含めた包括的スクリーニングの開発に取り組んでいる。この研究の背景として、地方環境研究所では対応が困難な調査事例があり、具体例には油の流出事故、水質事故、不法投棄、災害などがあげられる。これらは、通常の行政検査とは異なり、いずれも非定常時の汚染調査に該当するものである。この非定常時汚染調査には、次の2つの問題がある。1つは、どのような物質がどれだけあるのかわからないという問題、もう1つは、現行の公定法には事故や災害を想定した詳細な分析マニュアルがないという問題である。そのため、対応に直面した分析担当者は、どのように対処していいのかわからないという状況に陥ることが多かった。

このような問題を解決し、行政対応を早期に行うためには、汚染の概要を速やかに把握する迅速かつ簡易なスクリーニングの開発が必要である。しかしながら、スクリーニングといってもその開発は容易ではない。筆者は、前処理の課題点について取り組み、測定に関してはノウハウを持つ大学と共同研究を進め、GCスクリーニングの開発をすることができた。本法は、ヘキサンと水の二相系溶媒によるマイクロ波抽出を特徴としているが、これにより抽出液を固相カラムに通すだけで分析できるようになり、従来よりも迅速かつ簡易な前処理を確立することができた。また、測定については、保持時間、マススペクトル、検量線等の情報を予め登録した化学物質データベースを導入することで、有機汚染物質の網羅的な同定・定量が自動的にできるようになった。本法は操作が簡便で、10検体を一度に処理でき、約1,000種の物質の有無を1～2日間で判別できるという特長がある。

さらに、本スクリーニングの開発についてももう少し詳しく説明する。近年、学会等で発表されている網羅分析の多くは、測定系に最新鋭の測定機器を使用したものである。例えば、GC×GC-MS、Orbitrap Fusion、LC-QTOF-MS等がこれに該当する。これらの機器はいずれも高額であるため、地方環境研究所ではそれらの導入は難しい。そこで、汎用機器である四重極型GC-MSを使って網羅分析ができないかを考えた。まず初めに取り組んだのが、前処理の迅速化と効率化である。既存の公定法マニュアルの操作方法を調べ、どの部分を短縮化し、合理化できるかについて検討した。その結果、筆者が注目したのが、“水”を分析に利用することであった。従来法では、水は抽出、精製、測定の各工程において妨害成分になることが多く、抽出前の試料風乾や各工程での脱水操作等が必要であった。しかしながら、マイクロ波抽出（原理的には電子レンジと同じ）を用いたことで、水を熱源として利用できたため、水があっても問題なく抽出できるようになった。

ここで、水を抽出溶媒として使う3つの利点について説明したい。1つ目は、試料の風乾が不要になることである。通常、風乾には数日かかるが、この時間を削減することができた。2つ目は、有機溶媒と水の二相系溶媒による抽出が可能になったことである。これまでは前処理工程において、ろ過や脱水など様々な操作があったが、それらの処理が一切不要になった。3つ目は、二相系溶媒による選択的な抽出ができることである。つまり、汚い試料でも分析ができるということである。例えば、震災で発生したような油まみれの試料を、アセトンやジクロロメタンを用いてソックスレー抽出で分析すると、ベースラインの高いクロマトグラムが得られるため、データ解析ができない。本法ではヘキサンを抽出溶媒としているため、そのようなことはほとんどなかった。これまでに様々な試料を分析し、うまく抽出できなかったものもあるが、定量精度は従来法に対して概ね倍半分（50～150%）であり、精度は多少落ちるが、多成分の化学物質を短時間でスクリーニングできることを実証した。

本法による調査事例について、東日本大震災後の環境調査を紹介する。この調査は、東北大学から協力依頼を受けて参加したものであり、筆者はスクリーニング分析を担当した。その結果、津波堆積物から高濃度のPAHsやアルカン類が検出され、燃焼や石油由来の汚染があることがわかった。特に、沿岸域の津波堆積物では、その寄与率が高かったことから、震災による化学コンビナートからの油流出の影響が示唆された。また、津波の影響があった場所では同様にPAHs汚染が確認されたが、津波の影響がなかった場所では全体的に濃度が低く、検出物質のパターンも全く異なることが明らかになった。以上の結果から、本法によって調査地域全体の汚染状況を把握することができ、災害調査用のスクリーニングとしても適用可能であることが示された。

本稿ではGCスクリーニングを用いた調査事例を紹介したが、今後はLCスクリーニングや重金属類分析を併用した包括的な分析法として確立し、事故や災害等の非常時用の調査方法として提案したい。何か問題が発生した場合にはまずスクリーニングを行い、有害化学物質の有無を判別し、その汚染範囲を早期に絞り込むことができれば、住民への避難指示や二次被害防止等の措置を速やかに行うことができる。そのためにも、各地方環境研究所で対応可能な分析体制をつくることが求められるが、非定常時の汚染調査についてはあまり検討されていないのが現状である。しかしながら、どの機関においても、日々の行政検査では豊富な経験をもつため、検査で使用する器具や機器を用いた分析法であって、その操作が簡易であれば、より多くの機関で非定常時の汚染調査が可能になると考えられる。本スクリーニングはそのようなことを考慮して開発した分析法であり、他の地方環境研究所への技術移転や普及も想定している。全国の地方環境研究所には相当数の分析者がいるため、このマンパワーを活用することは、国全体の危機管理を考えた上でも大変有用である。そのためにも、非定常時の汚染調査マニュアルの策定や研修システムの整備が不可欠であると考ええる。また、地方環境研究所では対応できない重大な化学汚染や同定が困難な事例なども想定されるため、より高精度な分析技術を有する国立の研究所や大学機関等にバックアップしてもらえようようなネットワーク体制の構築が必要であると考ええる。

質疑

(Q: 質問、A: 回答、C: コメント)

Q: 本抽出条件で、どのような範囲の物質を選択できるかの検討はあるか。

A: おおよそ、GCスクリーニングではLogPが2以上、LCスクリーニングがそれ以下を想定している。

Q: NAGINATAで測定可能な1,000か2,000程度の物質の中で、どの範囲がこの選択抽出で可能といった作戦も含めて提供できると非常に有用ではないか。

A: GCスクリーニングとLCスクリーニングがはっきり分かれるわけではなく、ある程度オーバーラップしている部分がある。オーバーラップしている部分はお互い検証することができる。残りの部分は、疎水性の高いもの、疎水性の低いものをそれぞれGCとLCでスクリーニングすることを検討している。

C: 毒性の情報との突き合わせをする必要があり、いずれ始めたいと思っている。その節は協力をお願いしたい。

Q: 今回、媒体が土壌や堆積物であるが、水や大気、血液などは可能か。

A: 水に関しては他の自治体や大学の先生方が集中的に研究している。大気に関してはあまり情報がない。血液に関しては分析が難しい。決まった物質であれば分析法を作ることは可能だが、網羅分析というと、先ほど紹介した最先端の機器を用いれば可能性はある。しかし、自治体にあるような高価ではない分析機器では難しい。

- Q: 本法を、全国にどう展開したらいいのか。また、不明物質をスクリーニングするということで、地域を知るということを経営にやる必要があると思う。
- A: 自治体向けに開発した方法なので、自治体で情報を共有し、お互いにできることとできないことを議論することが必要である。どのような形や方法で共有化するか、ワーキング的に意見交換をしていくことがまず重要かと思う。展開としては、マイクロウェーブをお勧めしたい。重金属も有機物質も対応できる。ただ、マイクロウェーブは500万円程度するので、難しい場合は超音波抽出や浸透抽出でもできるような方法があればよい。今後はそのような展開をしようと思っている。

非常時の汚染調査に向けた 地方環境研究所の取り組み

福岡県保健環境研究所 宮脇 崇

1

発表の前に ～環境行政で求められること～

今後の地環研が目指すべき方向とは

危機管理

政策提言

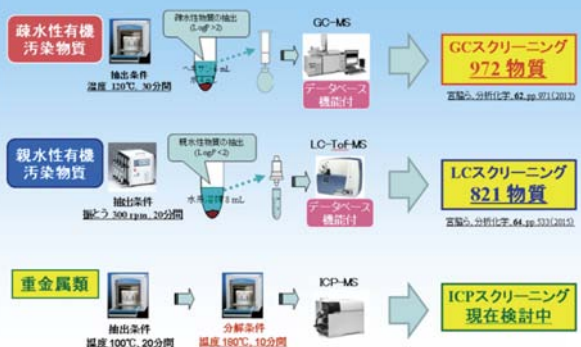
情報発信

日常のモニタリング技術がベースとなり、事故や災害等の緊急時調査に対応可能な分析体制を構築する

検査だけでなく、原因究明等の問題解決への手がかりとなる解析や評価も地環研が担う重要な役割である

2

発表の前に ～開発スクリーニング(土壌汚染)～



3

発表の流れ



1. 研究背景および目的
2. 開発した分析法の概要
3. 網羅分析について
4. GCスクリーニングの開発
5. 本法による調査事例の紹介
6. まとめと今後の展開
7. 非常時汚染調査を考える

4

研究背景 — 環境調査の現状と課題 —

地方環境研究所において対応が困難であった過去の事例

【ヒアリング先】

福岡県保健研、北九州市環科研、佐賀県衛生産業センター、気仙沼市役所
兵庫県環境センター、大阪市環科研、埼玉県国際環境センター、東京都環境公社
筑紫保健所(福岡県)、宗像・遠賀保健所(福岡県)ほか



油の流出事故



水質事故



不法投棄



災害(地震・津波)

現行の公定法には事故や災害を想定した調査マニュアルがない

行政対応を迅速に行うためには、化学汚染の全体像を速やかに把握するスクリーニングの開発が求められる

5

研究目的

有害化学物質を迅速かつ網羅的に
計測する分析法の開発

コンセプト「速く、簡単に、たくさん！」

分析工程における課題点を抽出



前処理



測定

- 抽出に時間がかかる
- 同時処理の数に限界がある
- ろ過・脱水・溶媒置換・濃縮操作等複雑な作業が多い

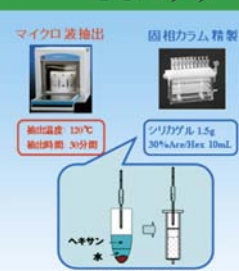
- 多成分測定のためには、標準品を買い揃える必要がある
- マニュアル法では測定数に限界がある

個人研究
迅速前処理法の開発

共同研究
(北九州市立大)
データベース開発

6

GCスクリーニングの概要



マイクログラフ抽出
抽出温度 130℃
抽出時間 30分

固相カラム精製
シリカゲル 1.5g
30%Acn/Hex 10mL

GC/MS用データベース
親水性有機化合物 972物質

保持時間 (相対保持時間)
検量線
マススペクトル



本法の特長

- ◆ 操作が簡便で、10検体の同時処理を行うことができる
- ◆ 約1000種の有機汚染物質の有無を1~2日で調べることができる

7

発表の流れ



抽出操作
精製操作
網羅測定

1. 研究背景および目的
2. 開発した分析法の概要
3. 網羅分析について
4. GCスクリーニングの開発
- 5. 本法による調査事例の紹介**
6. まとめと今後の展開
7. 非定常時汚染調査を考える

8

調査事例 東日本大震災の環境調査



浸水被害市街地



浸水被害のない高台



津波汚泥



瓦礫堆積物

津波堆積物や土壌を中心にサンプリングを行い、スクリーニング分析を実施した

9

スクリーニング結果(濃度分布)



総濃度の分布(ng/g)

市街地において濃度レベルが最も高かった

津波堆積物

津波堆積物から検出された物質の一覧

物質名	濃度値	検出率
Benzo(a)pyrene	1.2E-01	1.2E-01
Benzo(a)fluoranthene	1.2E-01	1.2E-01
Benzo(b)fluoranthene	1.2E-01	1.2E-01
Benzo(k)fluoranthene	1.2E-01	1.2E-01
Benzo(e)pyrene	1.2E-01	1.2E-01
Benzo(g,h,i)perylene	1.2E-01	1.2E-01
Benzo(a)anthracene	1.2E-01	1.2E-01
Benzo(b)anthracene	1.2E-01	1.2E-01
Benzo(k)anthracene	1.2E-01	1.2E-01
Benzo(e)anthracene	1.2E-01	1.2E-01
Benzo(a)phenanthrene	1.2E-01	1.2E-01
Benzo(b)phenanthrene	1.2E-01	1.2E-01
Benzo(k)phenanthrene	1.2E-01	1.2E-01
Benzo(e)phenanthrene	1.2E-01	1.2E-01
Benzo(a)pyrene	1.2E-01	1.2E-01
Benzo(a)fluoranthene	1.2E-01	1.2E-01
Benzo(b)fluoranthene	1.2E-01	1.2E-01
Benzo(k)fluoranthene	1.2E-01	1.2E-01
Benzo(e)pyrene	1.2E-01	1.2E-01
Benzo(g,h,i)perylene	1.2E-01	1.2E-01
Benzo(a)anthracene	1.2E-01	1.2E-01
Benzo(b)anthracene	1.2E-01	1.2E-01
Benzo(k)anthracene	1.2E-01	1.2E-01
Benzo(e)anthracene	1.2E-01	1.2E-01
Benzo(a)phenanthrene	1.2E-01	1.2E-01
Benzo(b)phenanthrene	1.2E-01	1.2E-01
Benzo(k)phenanthrene	1.2E-01	1.2E-01
Benzo(e)phenanthrene	1.2E-01	1.2E-01

本法による分析結果
1429 ng/g-dry
PAHs主体の高レベル
燃焼・石油由来の汚染

10

津波浸水被害と汚染形態



PAHs



包材添加剤



アルカン類

津波による主たる浸水被害地

津波の浸水地域は多環芳香族炭化水素(PAHs)によって汚染されていることがわかった

11

調査研究成果をホームページで紹介



三井物産環境基金
「津波汚泥による化学物質曝露のリスク評価と地域再生プロジェクト」

共同研究プロジェクト
東北大学
佐賀大学
熊本大学
福岡県保健環境研究所
いであ株式会社
株式会社 日吉

東北大学大学院・医学系研究科
発達環境医学分野ホームページ
<http://sasaki-web.info/ddem/screening>

三井物産環境基金
「津波汚泥による化学物質曝露のリスク評価と地域再生プロジェクト」

共同研究プロジェクト
東北大学
佐賀大学
熊本大学
福岡県保健環境研究所
いであ株式会社
株式会社 日吉

12

発表の流れ

1. 研究背景および目的
2. 開発した分析法の概要
3. 網羅分析について
4. GCスクリーニングの開発
5. 本法による調査事例の紹介
6. **まとめと今後の展開**
7. 非常時汚染調査を考える

13

まとめ ー地環研向けに開発した分析法ー

前処理工程 (4時間, 1日2回) 測定 (夜間運転)

利点

- ◎スピード: 迅速分析により早期の行政支援(1~2日で報告)
- ◎作業性: マンパワーがなくても、検体処理能力が高い
- ◎コスト: 汎用機器を使用するため、新たな設備投資が不要
- 技術: 高度な技術や経験がなくても実施可能(技術移転可)

欠点

- △同定精度: 誤検出や誤不検出の可能性(要検証)
- △定量精度: 概ね公定法値に対して、倍半程度(50~150%)
- △下限値: 0.5~20 ng/g (物質により異なる)

14

まとめ ー非常時調査の分析法としてー

作業時間・検体数

- 1日(前処理4時間) 最大10検体/バッチ
- 1日(前処理2時間) 最大10検体/バッチ
- 1日(前処理4時間) 最大10検体/バッチ

今後の展開 マイクロ波装置を使わない分析法の開発 (GC/MSデータベース用)

新しい調査方法の提案

15

非常時汚染調査の一例

事業所 様々な土壌汚染

スクリーニングの実施

有害物質検出 (陽性) 有害物質不検出 (陰性)

汚染範囲の特定 非汚染範囲の特定

初期調査にスクリーニングを行うことで、有害物質の有無が明らかになり、汚染範囲や非汚染範囲を分けることができる。これにより、詳細調査が必要な地点の絞り込みや発生源推定が可能になり、従来よりも短期間で効率的な調査ができる。

16

発表の流れ

1. 研究背景および目的
2. 開発した分析法の概要
3. 網羅分析について
4. GCスクリーニングの開発
5. 本法による調査事例の紹介
6. **まとめと今後の展開**
7. **非常時汚染調査を考える**

17

非常時における汚染調査とは？

地域住民(被災者)の安全・安心の確保

例) 非難指示・立ち入り禁止地区の指定・健康被害対策・汚染の拡大防止

速やかな行政対応

※判断するための科学的データ(暫定値)が必要

詳細データの蓄積
定常時データとの比較

正確な情報に基づく、復旧・復興計画の策定へ

暫定的な結果であっても、汚染概況を速報できる調査手法が求められる

18

非常時を考える

問題点

**非常時汚染調査(分析法)に対する
 統一的な見解がない**

- 分析精度がないとデータにならないのか？
- 基準物質だけ測って安全といえるのか？
- 下限値を考える必要などあるのか？

「既成概念に捉われない非常時に対する新しい
 考え方を共有することが必要である」と考える

初動調査で化学物質の有無がわかるだけでも有用な情報になる
 例) 工場周辺から有害物質が検出された → 避難指示へ
 例) 油汚染(基準なし)の恐れがある → 立入禁止エリア指定

19

地環研にできること・できないこと

◎ 定常時モニタリング分析 (サンプリングからデータ報告)

⇒ 分析マニュアルに従い、決められた物質を測っている

？ 非常時分析

○ ターゲット分析(PRTR情報に基づくモニタリング分析)

△ ノンターゲット分析(情報がない場合のスクリーニング)

分析マニュアルがあり、簡便な分析法であれば、対応可能
 環境省環境調査研修所による分析研修で技術習得が可能

× 予算がない→高額な分析機器は買えない

× 異動がある→技術を高められない(高度な分析や解析は無理)

× 人がいない→当該自治体では対応不能(他からの支援が必要)

20

謝辞

本研究は、JSPS科研費「15K21702」
 及び公益財団法人鉄鋼環境基金からの
 助成を受けて実施した

21

2. 4 非定常時における感染症リスクの低減と環境科学・技術について

大村達夫（東北大学 未来科学技術共同研究センター 教授）

非定常をどう考えるかということは非常に難しいテーマであり、感染症の場合も例外ではない。想定外のことが起こった場合に発生する感染症は一過性の「非定常」現象であり、なかなか起こらないような現象である。ところが、インフルエンザや感染性胃腸炎のような感染症を考えると季節性を持って定常的に起こっている。しかしながら、これらの感染症は秋から冬にかけて流行が顕著であり、その期間において「非定常」現象として捉えることも出来る。したがって、本日の話では、定常か非定常か曖昧なところがあるかもしれないが、普通よりは少し大きな感染症の流行が起こったような状況を、非定常とすることにしたい。曖昧なところがあるかもしれないが、その点ご容赦いただきたい。

感染性胃腸炎について、昔はコレラやチフスなどが主流であったが、今ではウイルスによる感染性胃腸炎が主流となってきている。社会の中でどのように感染が起きているかを見ると、一次感染では例えば水環境や食品などを通じて誰かが感染する。そして人から人への二次感染が起こり、大きな流行が発生すると考えられる。感染者が増加すると、下痢や嘔吐により病原微生物が排出され、都市の下水処理場や下水道が整備されていない地域においては浄化槽などを通じて再び水環境に戻ってくる。このような社会の中での病原微生物の循環が感染症流行の発生要因である。

水起因による感染症に関するデータは今のところ見当たらないため、2014年の厚生労働省の食中毒のデータを見ると、ノロウイルスが54%、細菌が37%、その他の化学物質などもあるが、およそ2万件の食中毒が起こっている。そのうちの54%がノロウイルスという意味から、今後は病原ウイルス起因の感染症に十分注意して行くべきと考える。

それでは感染性胃腸炎でどの程度の社会的負担が発生しているのか。厚生労働省が行っている小児科の定点観測結果の10年間平均値を示したグラフ(スライド4)から年間100万人近い感染者数が計算できるが、実際はその約10倍多い1000万人といわれている。1年間に1人1万円程度の医療費とすると、約1,000億円の社会的負担が毎年発生することになる。ロタウイルスについては、福田氏がワクチンの開発・導入時の医療費を正確に分析している。それによると、年間220億円も要している。つまり、ロタウイルス以外の感染症であるノロウイルスなどを含めると、1,000億円程度と考えても不思議ではない。

第31週から第35週程度を非流行期のベースラインと考えて、その感染者報告数を見ると、2000年から2015年までの各週の報告数が右肩上がりになっている。ベースラインが毎年上がってきているといえる。これは非常に問題で、社会的負担も増加する。この現象は、気候変動などの非定常現象が要因となり感染症のリスクを年々増大させてきているためと考えている。他にも要因があるかもしれないが、散発的に起こる小さな非定常現象が非流行期での感染者数のベースラインを上げているのではないかとと思われる。

気候変動は渇水や洪水の頻度を増加させると言われているが、例えば渇水時には、水位が低下し河川の流量に対して下水等の排水の量が増えることとなり、感染者から排出された病原微生物の濃度を高めることになる。また、豪雨時には、CSO(合流式下水道)の場合、処理をし切れない下水が河川などの水環境に放出される。これらはまさに感染症のリスクを高めることになる。また、2007年9月に大型低気圧が宮城県を襲った際、非流行期にもかかわらず、宮城県内の33海域中の19海域で採取されたカキ試料からノロウイルスが検出された。すなわち、海が攪拌されることで通常とは異なる状況が引き起こされたと考えられる。その他、アメリカで発生した水

系感染症集団発生の20～40%は大雨と関連しているとの報告や、太平洋諸島において渇水及び大雨により下痢症報告数が有意に増加するとの報告がある。これらの報告も含めて、気候変動によって生ずるさまざまな非定常現象が、感染症のリスクを高めていると考えられる。実際に、茨城県常総市で発生した水害後の毎日新聞には、肺炎や胃腸炎感染症、レジオネラ、レプトスピラ等に十分注意しなくてはならないと記載された。東日本大震災では、東北大学賀来先生によると、1週間を過ぎた頃から感染症が発生したという。2009年9月台風Ketsanaがマニラを襲った後、人獣共通感染レプトスピラが流行して2,299人が発症し178人が亡くなったという記事が出ている。このレプトスピラ症は足などの傷から菌が入り病気を起こす。これらの状況からも、災害時等において感染症に対する十分な注意が必要であることは明らかである。

次に、災害と感染症は非常に緊密な関係があるという前提のもと、定常時および非定常時に感染リスクをどのように考えたらいいのか、そのリスクを低減し、より安心で安全な社会をどう作っていくか考えたい。このコップの中に1個のウイルスがあるとする。まず、なぜここにウイルスが存在するのか。それは、社会制度、例えば環境基準などがあるなかで、社会インフラ、医療、経済、生態系、戦争やテロ、災害というような様々な要因によって、自然界などの様々な過程を経由してここに存在している。このリスクを制御しようとする場合には、前述した要因を考慮してウイルスのリスクをキャラクタライズする必要がある。それによって初めてリスクの予測と評価ができ、現状におけるリスク制御のために必要な対策や改善ができると考えている。例えばノロウイルスならノロウイルスがなぜそこにいるのかをキャラクタライズして観測 (Observation) する。観測した結果に対して、ノロウイルスが社会の中でどのような挙動を示すか、どのぐらいの濃度になるかということを予測 (Prediction) する。予測した結果、ノロウイルスの感染リスクを評価 (Evaluation) して、最後にノロウイルスの感染リスクを低減するための対策 (Measures) は何かと考える。この、いわゆるOPEMサイクルを回すことにより、ノロウイルスの感染に対して安心・安全な社会の実現ができるのではないだろうか。

このOPEMサイクルは定常時、非定常時に問わず適用可能であるが、特に非定常時には定常時とは異なったリスクのキャラクタリゼーションを行うことにより、非定常時OPEMサイクルを構築できると考える。ただし、非定常時のキャラクタリゼーションの手法は非定常現象の性質によって異なるし、もちろん病原微生物の種類によっても異なることになる。したがって、このOPEMサイクルを非定常時の感染リスクの低減対策に活用するためには新たな研究開発が必要である。

つぎに、非定常時を念頭に置いたOPEMサイクルの4つの要素である観測、予測、評価、対策について、これまでの研究成果と、将来に推進が期待される研究について述べることにする。

観測について。観測するためのツールが必要である。ウイルスの検出と定量技術をスキルアップしなくてはならない。我々が考えてきたのが、このEnzymatic Virus Elutionメソッド (EVE法) というもので、アミラーゼ、リパーゼ、プロテアーゼの3種を混合し酵素処理を行い、有機物を分解し、ウイルスを湧出させ、それを測るという技術である。これはまだスキルアップ中で、例えば検出技術の標準化および実用化、感染症の違いによる変化も研究しなければならないが、普通の同定法の40倍程度の感度で検出できる。

災害時にサンプルを採取し、公的機関である保健所や研究所に持ち込むのは時間がかかるので、もっと簡易にウイルスの有無を調べることはできないか。まだアイデアであるが、活性汚泥の中から抽出したノロウイルスを吸着するタンパク質を使って、例えば表面プラズモン共鳴 (SPR) センサーチップの上にタンパク質を配置して、ウイルスとそのタンパク質が結合することによりセンサーチップに電気的な反応を起こして検出する。このチップを水の中に浸すことですぐに検出することができる。北海道大学と東北大学との共同研究であり、今後新たに研

究開発していきたいと考えている。

また、定常時も非定常時も感染者がどれだけ地域に存在するかという確かなデータは殆どないのが現状である。東北大学を中心に多くの大学と国立国際医療研究センターとの共同研究である新世紀重点創生プラン(RR2002)という研究プロジェクトで、住民に血液を提供してもらい抗体を調べることによって地域での感染者の状況を調べた。この調査ではヘリコバクターやカンピロバクターの抗体を調べることで、これらに感染したことがある感染者がどの程度いるのかを知ることができた。抗ヘリコバクター抗体の血清陽性率と年齢の関係をみると、抗体の陽性率は継続して高く、ヘリコバクターに感染後の抗体保有が継続することが明らかになった。一方、ノロウイルスの抗体は速やかに減少する。こうした抗体の減少傾向の違いにより、最近感染したのか、ずっと以前に感染したのかといったことが判断できる。したがって血清の抗体検査が、地域の感染の評価に活用できると考えられる。

愛媛大学の渡辺先生(応用生態工学)とのデング熱に関する共同研究では、ダッカで洪水によりデング熱が流行するという橋爪らの研究結果を参考に、東北大学の押谷先生のグループが実施しているフィリピンでのJ-GRIDの研究と協働して、デング熱を媒介する蚊であるネッタイシマカの生存域が洪水後にどのように拡大していくかを研究している。すなわち蚊の遺伝子と蚊の中のデングウイルスの遺伝子を解析し、蚊のいわゆる感染率を調査しデング熱の感染拡大を評価している。また、感染の拡大メカニズムを研究するには、地域をメッシュに分割し1メッシュ中の蚊数、蚊のウイルスの遺伝子保有率、蚊の遺伝子の多様性や流動性を解析すれば、デングウイルスを媒介する蚊がどちらに飛行し、どこで交流しているかを判断することができることから、蚊の媒介によるデング熱の感染拡大メカニズムを明らかにすることができる。

予測について。これまでに、我々の研究チームによって、定常時に松島湾へ流入するノロウイルスの拡散の状況の予測や、非定常時としては病原体輸送モデルを用いたカンボジアプノンペン近郊における洪水時の大腸菌拡散の状況を予測した研究がある。これらの研究成果は、定常時と非定常時に問わず水環境中のノロウイルスをはじめとする病原体の水環境中での動態を予測することに利用できる。しかしながら、感染症のリスクを予測するには水環境中の病原微生物だけでなく、社会での水利用の実態や人々の行動状況を把握する必要がある。そしてまた、病原微生物が人々に摂取される量を予測し、感染症が社会の中でどのように起こるのかについて、家庭内での人と人だけでなく、人の社会的行動を考慮した感染症の伝搬を予測するモデル開発も進めているところである。

感染症のリスク評価については、前述したRR2002研究プロジェクトの成果が役に立つと思われる。ラオス、タイ、カンボジアで、飲み水起因の下痢症のリスクの調査研究を行った。対象地域をメッシュに分割し、そのメッシュ内の飲み水の指向、川の有無などから推定したものである。年間1,200万件程度の下痢症発生リスクが算出された。また、気候変動による洪水時の下痢症リスクについては、地球温暖化に対してA1F1シナリオという化石燃料を大量に使った最悪の状況で2008年時点と2050年の比較を行った結果がある。ジャカルタでは、2008年で2万4,000人の感染が、2050年には11万人程度が感染するとの結果が示されている。

対策については、我々のCRESTプロジェクトの研究成果が一つの例として考えられる。プロジェクトの研究結果から下水中のノロウイルスの濃度と感染者数のピークにおよそ2、3週間程度のタイムラグがあることが明らかになった。この結果は下水中のウイルス濃度を観測すれば2、3週間前には感染症の流行を事前に捉えることができることを示している。したがって、ノロウイルスによる感染症の情報を前もって提供し、手洗いやうがいなどの対策を促すことができ、感染症の流行を未然に防止する水監視システムができると考えている。2009年のインフル

エンザは早めに大流行したためピークが秋ごろになった。ここで手洗いを指導したため例年出るはずの感染性胃腸炎のピークがなくなったとの報告もあり、手洗いなどの対策をすれば確実に感染症のリスクを減らすことができる証左であると判断している。

非定常時に安全な飲料水を提供するための消毒剤として有機鉄を使った簡易な対策もある。有機鉄錠剤をペットボトルに入れて太陽光のUVを利用し殺菌して飲用する。この錠剤により多くの活性酸素を発生させ消毒効果を高めるような研究も行っている。

また、災害時の非定常に安全で安心な生活を維持するためのマニュアルづくりも実施した。東日本大震災後の3月15日に作成を開始し5月2日に完成した。3,000部刷って配付し報道にも取り上げられた。

OPEMサイクルを回すことによって、定常時、非定常時に問わず感染症のリスクが低減された社会を作ることが可能であると考え。さらに、上下水道の水インフラシステムの整備により、赤痢やコレラなどの以前から顕在化していた感染症のリスクが殆どなくなった先進国でも、潜在する病原微生物による感染リスクが存在し非定常時に顕在化することも念頭に置かなければならない。その例は近年顕在化したノロウイルスによる感染症が良い例であろう。非定常OPEMサイクルの適用にあっても、非定常時にどのような病原ウイルスが顕在化するかなど、日頃から顕在化しそうな病原微生物のデータをとっていかなくてはならない。非定常時に感染症がアウトブレイクし、これがずっと顕在化してしまい、新興・再興感染症になってしまうようなことだけは避けなくてはならない。

終わりに、非定常時における感染症の評価においては、定常時における感染症の動向をしっかり把握することが重要である。すなわち、定常時には感染症リスクを様々な要因を勘案してキャラクターゼーションを行い、リスクの観測と、そのリスクを予測し評価することにより、その対策を講ずることで、感染症に対して安心・安全な社会を作ることをこれまで行ってきた。非定常時には定常時のスキームを利用し、非定常時に適合したOPEMサイクルを見いだす必要がある。このサイクルを機能させることにより、非定常時においても安心・安全な社会とすることができると考えている。そのためには、非定常時の感染症リスクをしっかりと把握することも重要であり、感染症リスクが持続しないように、もしくは次の非定常時に顕在化させないための新たな環境創造を行っていくことが重要である。

以上をまとめると、新たな環境創造のためには、定常時の感染症リスクを含むさまざまな環境リスクのキャラクターゼーションを基礎として、非定常時環境リスクのキャラクターゼーションを行う必要がある。このキャラクターゼーションを確実にを行い、OPEMサイクルを有意義に機動させるには、多様な学問の融合による新規な科学的手法や技術の開発が不可欠である。その上で開発される手法や技術を、学問の重要な要素とする非定常時環境リスク低減のための環境科学の体系化を図っていく必要がある。

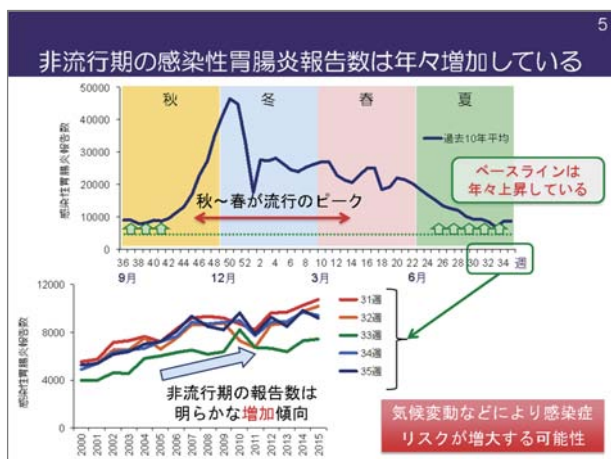
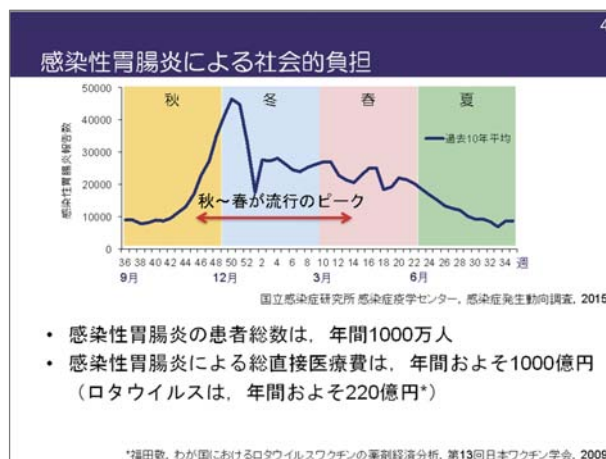
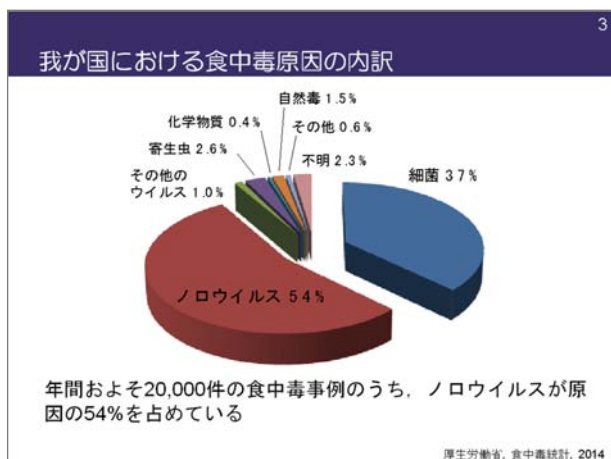
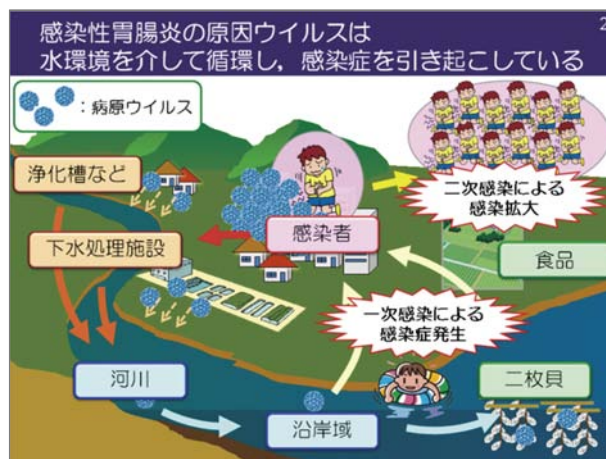
質疑

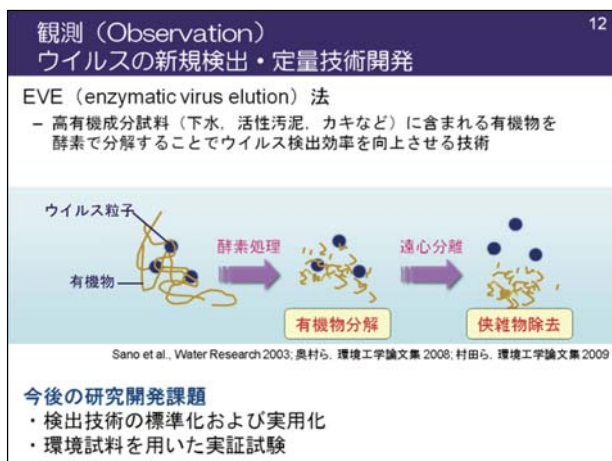
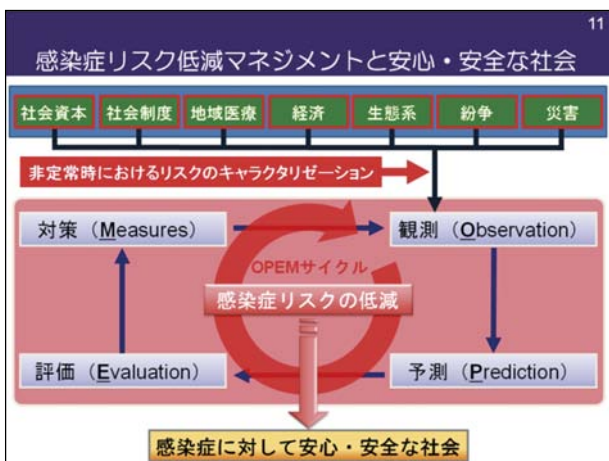
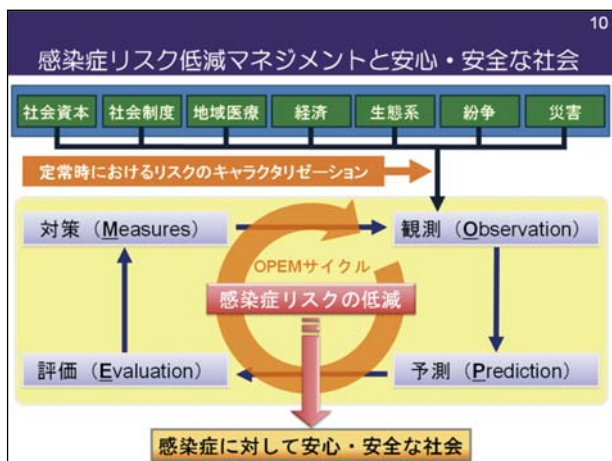
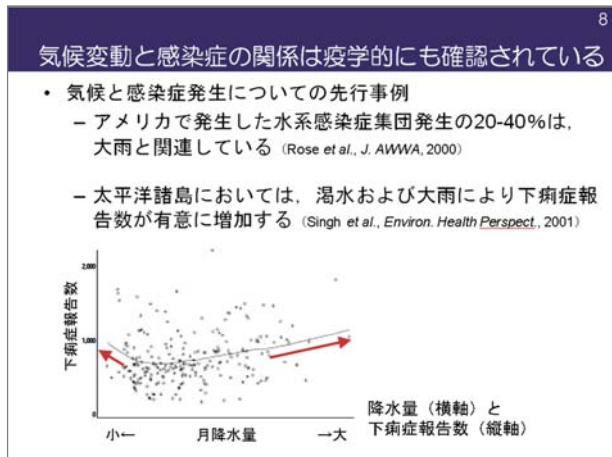
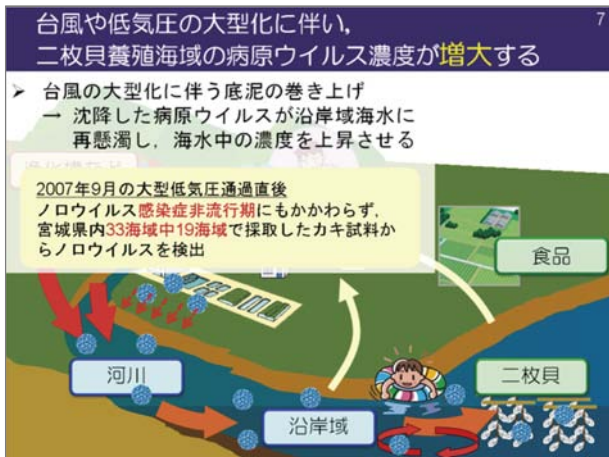
(Q：質問、A：回答、C：コメント)

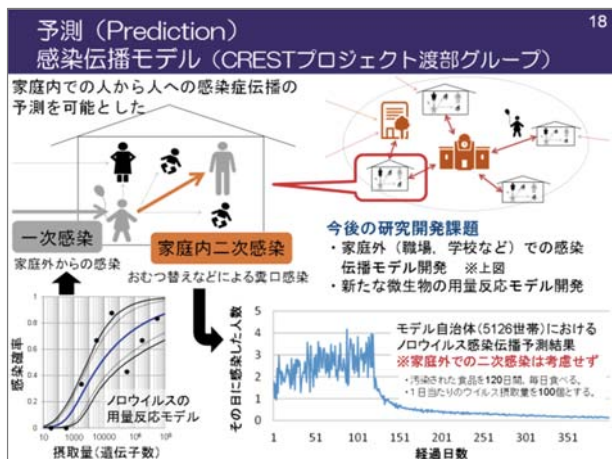
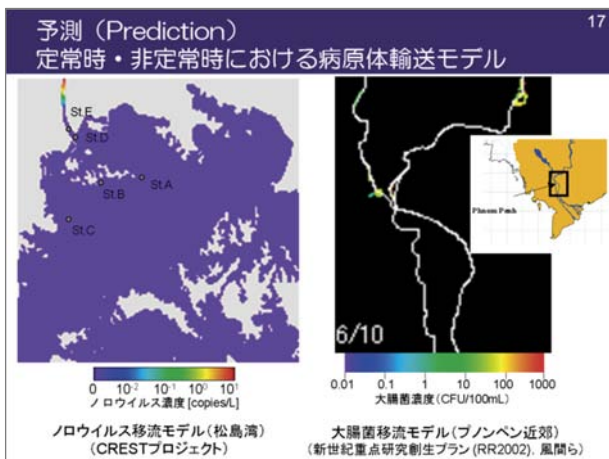
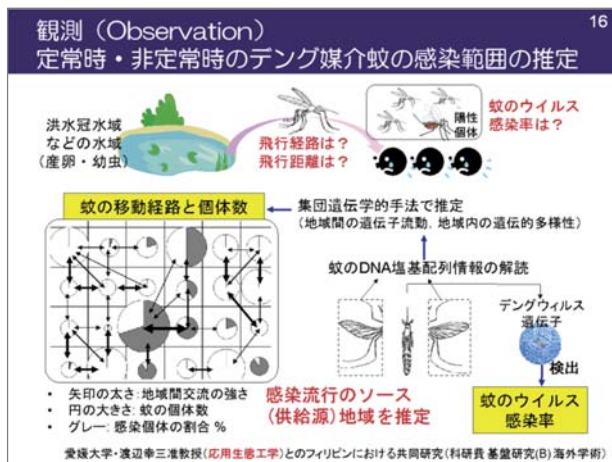
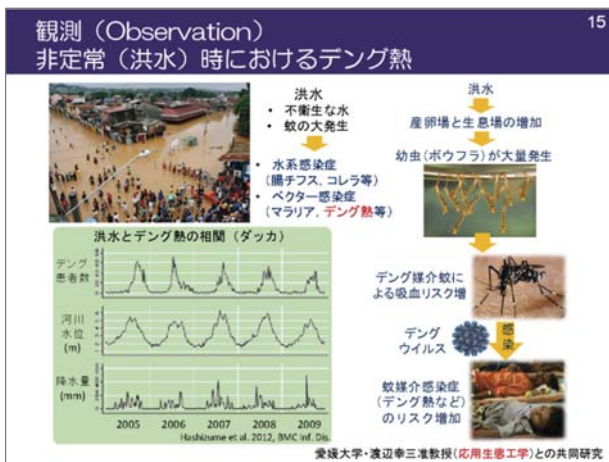
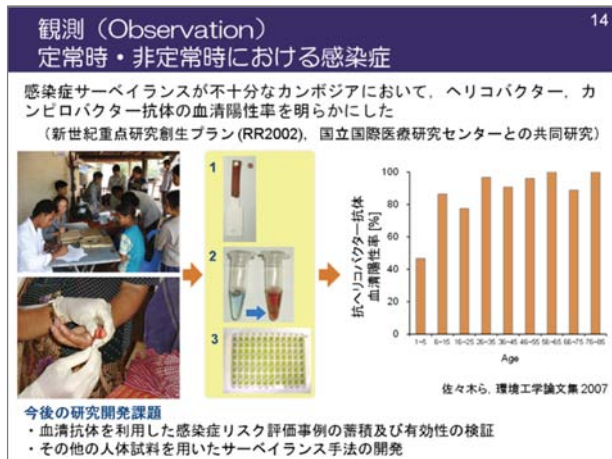
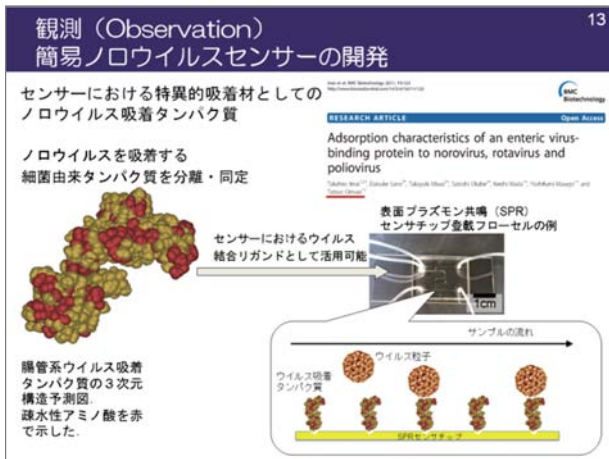
Q： 非定常時の対象外かもしれないが、1回の海水浴で感染リスクがパーセントレベルで上がるという研究を疫学調査と組んで報告した米国の事例があったと思う。一方で日本では調査した事例がほとんどなく、海水浴の感染リスクが依然として不明でコントロールも不明である。そのような調査をもっとすべきではないかと思っているがいかがか。

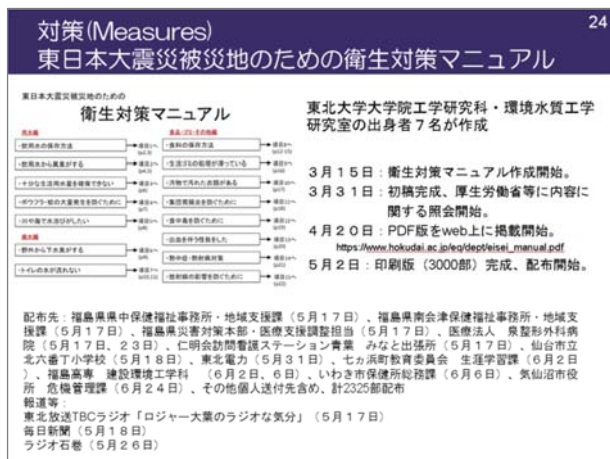
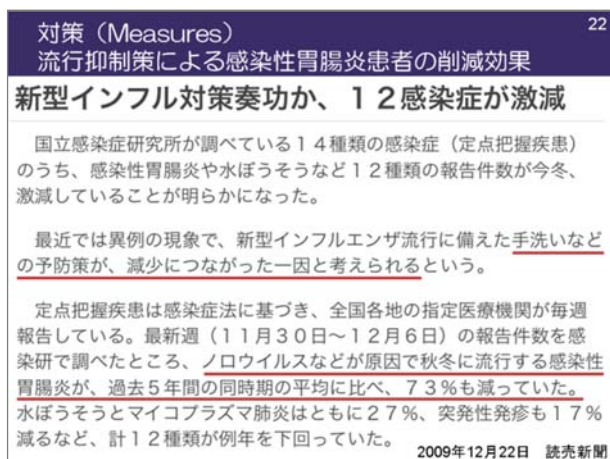
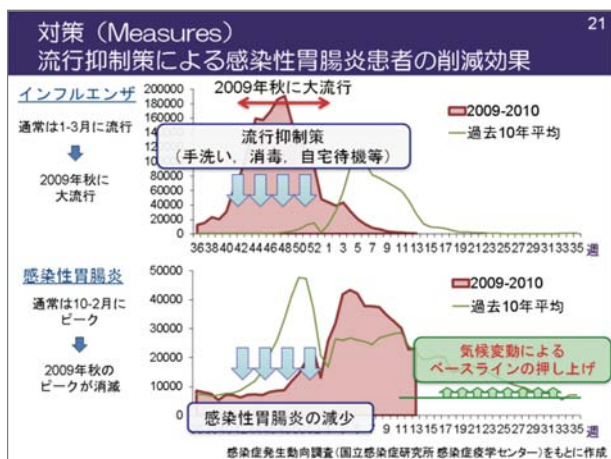
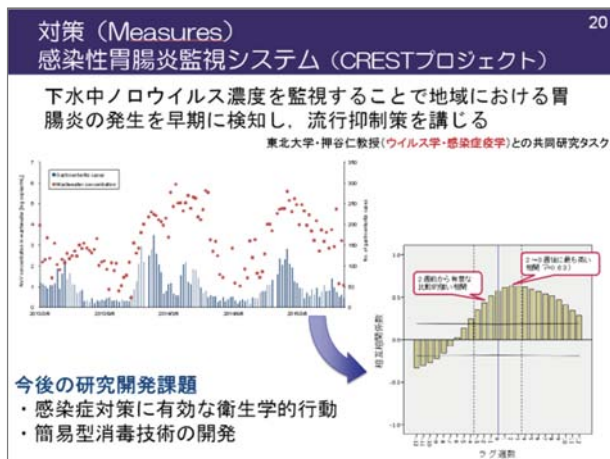
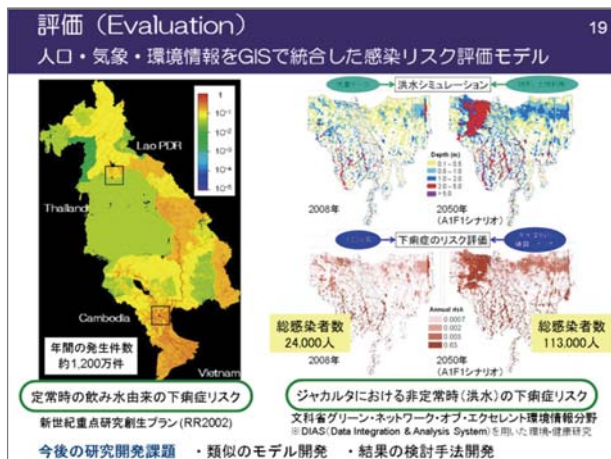
A： 水浴による感染リスクの調査は定常時だけでなく非定常時にも必要と思う。ただ、そのようなデータは日本

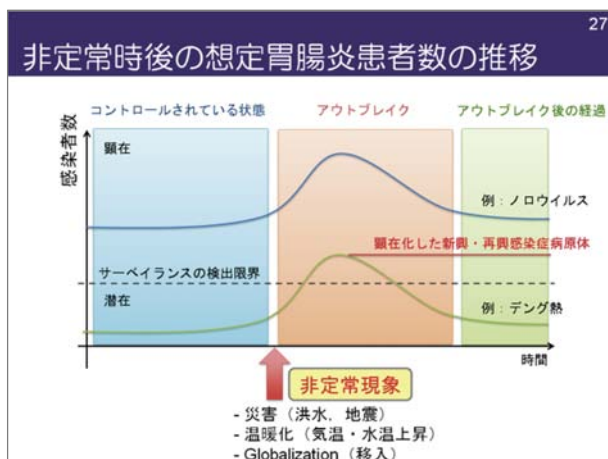
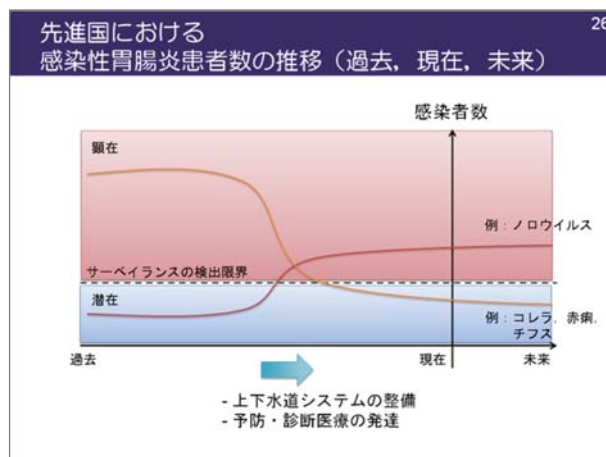
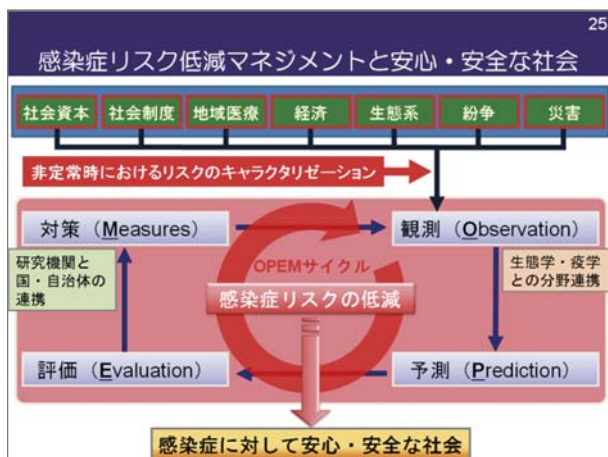
においては皆無と言っていいと思われる。リスク調査に必要な「泳いだときに何ミリリットル海水を飲む」というデータは存在するが、水泳者が感染したかどうかの追跡調査が必要である。追跡調査はなかなか難しく、したがってそのようなデータはあまりないと思う。オランダでは、トライアスロンに参加し水路で泳いだ人に協力していただいて、どの程度の参加者が感染したかというデータはあると聞いている(数%または3%)。日本で実施するとなると、例えば海水浴場で泳いだ人が何%下痢をしたという話になったら、その海水浴場には行かなくなってしまう。風評被害の懸念がありどうも研究が顕著にならない。非定常時に水浴する人は少ないと思うが、非定常時の水泳に対しても、感染リスク対策の検討をしていかななくてはならないと思う。











- 28
- ### おわりに（1）
- ・ 非定常時における感染症の評価においては定常時における感染症の動向をしっかり把握することが重要である。
 - ・ すなわち、定常時には感染症（病原微生物）リスクを様々な要因を勘案して、キャラクタリゼーションを行ない（リスクの観測）、そのリスクを予測し評価することによって、その対策を講ずることによって感染症に対して安心・安全な社会を作ることを目指している（OPEMサイクル）。
 - ・ 非定常時には、定常時のスキームを利用し、非定常時に適合したOPEMサイクルを見いだす必要がある。このサイクルを機能させることにより、非定常時においても安心・安全な社会とすることが出来ると思われる。

- 29
- ### おわりに（2）
- ・ そのためには、非定常時後の感染症リスクのfateをしっかり把握することも重要であり、感染症リスクが持続しないか、もしくは次の非定常時に顕在化させないための新たな環境創造を行なっていくことが重要である。
 - ・ 以上を最後に纏めると、新たな環境創造のためには、定常時の感染症リスクを含む様々な環境リスクのキャラクタリゼーションを基礎として、非定常時環境リスクのキャラクタリゼーションを行う必要がある。このキャラクタリゼーションを確実にしない、OPEMサイクルを有意義に機動させるには、多様な学問分野の融合による新規な科学的手法や技術の開発が不可欠である。その上で開発される手法や技術を学問分野の重要な要素とする非定常時環境リスク低減のための環境科学の体系化を計ることが肝要である。

2. 5 火山灰・火山ガスの健康影響に関して取り組むべき研究課題

石峯康浩（国立保健医療科学院 健康危機管理研究部 上席主任研究官）

現在、国立保健医療科学院では健康危機管理研修を担当している。従来は感染症や食中毒、インフルエンザ等を中心に研修をしていたが、東日本大震災以降、長期避難における大勢の方の避難所での健康管理や衛生対策が不十分であったことから研修の内容を見直すことになり、平成24年度から全面的に災害対応研修に切り替えられた。基本的には保健所の方々の災害研修の企画やその運営をしているが、コンピューター関係のバックグラウンドがあるため研修のためのアプリ開発なども行っている。

火山噴火に関する健康影響の研究は日本ではほとんど行われていない。三宅島の火山噴火の際、火山ガスによる健康への影響が懸念され全島避難となった時に、健康影響関連の情報発信を担当したことから現在も研究を続けている。御嶽山の火山噴火以降様々な委員会が立ち上がり、内閣府のシェルターに関する検討委員会にも参加した。箱根でも噴火があった。二酸化硫黄や硫化水素が非常に高濃度で出ており、観光客など一般の方の立ち入りに関する検討会のアドバイザーもしている。戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)の「レジリエントな防災・減災機能の強化」でも、厚生労働省グループという形でDMATなどの災害支援チームの情報共有の技術の開発をしている。

もともとの専攻は地球惑星科学で、かつては流体シミュレーションに関する研究をしていたため、2000年の三宅島の噴火の際に火山ガス拡散のシミュレーションを実施した。健康にどのような影響があるのか国内には詳しい人がいないということで、海外の状況について情報収集を行った。海外では火山ガスの流体計算をしている研究者と、公衆衛生、もしくは疫学の研究者、環境工学の研究者らが連携しているが、日本はそういったことを全く行っていない。海外の方にガイドラインや住民への情報提供などについて教えてもらい、日本語のパンフレット等も作成して配る活動もしている。国際学会に火山災害の健康被害に関するネットワークとホームページがあり、日本国内でも情報提供をするべきだと考え、全て自身で翻訳し日本語のページを公開している。そこでつながりから、桜島の火山噴出物の毒性調査といった研究も実施してきた。理化学研究所では、呼吸器系疾患のシミュレーションを担当し、その後東日本大震災を経て現在の所属へ移った。火山噴火も呼吸生理も、固気混相流ということで流体力学的にはよく似ており、表面現象は違うが内部ではスポンジ状のものの中を液体が流れているという点で似ている。健康被害とシミュレーションとを組み合わせた研究にはそのような背景がある。

最近、火山噴火に関する報道等が増えているが、昨年9月の御嶽山噴火の影響が大きいと考えられる。63人の方が死亡もしくは行方不明となっている。しかし、火山の専門家の立場からすると火山噴火自体はそれほど増えていない。むしろ20年程度非常に静かだった方が特異であり、それ以前には雲仙普賢岳や三宅島、伊豆大島、北海道有珠山などで大きな噴火があり、この程度の噴火は10年に1回程度は起きている。一方で、日本では最近もう少し規模の大きい噴火は起きていない。桜島や御嶽山、伊豆大島の噴火と比較すると、インドネシアで最近起きた噴火は100倍から1,000倍程度の規模である。その規模の噴火がインドネシアや南米チリ等ではこの10年ぐらいで頻繁に起きている。インドネシアでは2010年、日本より数桁大きい噴火がジャワ島ジョグジャカルタ付近で発生し、400人近くが亡くなり40万人が避難する事態が発生している。また、2014年にはジャワ島ケルト火山で噴火が発生し、6人が死亡、20万人程度が避難している。人口が比較的密集していない郊外でこの規模の避難が発生しており、日本で同規模の噴火が起これば、さらに1桁大きい人数が避難する可能性のある火山が大都市近くにある。

他の大きな事例として2010年のアイスランドの火山噴火がある。直接的な死亡や健康被害はなかったが、航空機事故の懸念が非常に高まり2週間ほど運行が止まった。25カ国で約10万便近い航空機がとまり、航空会社の直接被害だけで2,000億円程度である。関係する経済効果も含めると、5,000億円程度の規模で被害が出た。ロンドンで1,500キロ、遠いところではローマで3,000キロの距離のところでも影響を被り運行が全て止まってしまった。九州で同規模の噴火が起こると、日本全体で航空機が止まってしまう事態が発生し得る。こうした事態は地学的には100年に1度もしくは1,000年に1度のスパンで起きると想定される。何らかの備えをしておかなければならないが、現状では日本では対策がほとんど進んでいない。

地震のマグニチュードに相当するものが、VEI (Volcanic Explosivity Index, 火山爆発指数) と言われている。VEI0 (ゼロ) といわれる、噴出物が1万立方メートル以下のものは世界中でほぼ毎日起きている。ハワイでは大体VEI3程度が発生しており、VEI2～3程度は日本でも時々発生する。VEI4以上は最近の日本ではあまり発生していないが、世界的には約10年に1回、100年に1回発生する。これが日本でも起き得るということを十分に考慮して、対策もしくは研究を進めるべきではないか。

日本では、VEI4相当の噴火は20世紀でも5回起きている。VEI5相当になると20世紀は1914年の1回のみであり、100年前に1回起きているだけで、それ以降起きていない。その前の世紀では1回から3回は起きており、100年に1回程度は起きることが十分考えられる。

富士山の噴火は、1707年江戸時代の宝永噴火が関東への影響という意味では最も大きいものになる。噴出量では864年の貞観噴火が最も大きく、ほぼ1,000年以上前になる。これは青木ヶ原樹海の溶岩流を流したことでよく知られている。この2つが突出しているが、それ以外にもここ3,500年で88回程度富士山は噴火している。平均すると約40年に1回になるが、最後に噴火した1707年以降はぱったりと活動を止めており、今後このまま噴火しないと考えるべきなのか、もしくはこれ以前のように度々噴火するのか、全くわからない。このような噴火も想定しようというのが火山学会の中では流れとなっていると思う。

富士山で宝永噴火と同程度の噴火が起きると、関東一円で数センチ以上の降灰が起きる。飛行機だけでなく、鉄道や高速道路も麻痺する。呼吸器疾患に関しては基本的に2センチ以上の降灰エリアでせきやのどの痛みといった呼吸器等の異常を訴える方が多くなる。経済的にも2兆5,000億円の被害額が出るというのが2000年の富士山ハザードマップ検討委員会の想定である。健康影響に関しても今後検討していく必要があるのではないかな。

次に、火山噴出物による被害について。火山噴火では溶岩流や火砕流など、巻き込まれるとすぐに命にかかわるというのが多く、災害対応ではそちらが中心となるが、慢性的に十年や数十年その影響を受けながら生活することで健康被害が想定されるものに関していうと、火山灰もしくは火山ガスの影響が大きいと考えられる。

まず、火山灰について。世界的に見ても桜島の火山活動は非常に活発である。鹿児島市だけで60万の人口があり、火山灰による健康リスクが非常に高いエリアだと言われている。近年で噴火活動が最も活発だった1980年代に、鹿児島大学の公衆衛生の先生方が子供の喘息等の影響を調べている時代があったが、今は全く調べていないというのが現状である。噴火すると市民は砂ぼこりの中を傘をさして歩く。2014年は1,000回程度噴火しており、雨が降るよりも火山灰が降るほうが多いという。しかし、どれだけ健康影響があるかはあまりはっきりしていない。

一方、火山ガスについて。三宅島の全島避難は4年半にわたったが、特に二酸化硫黄ガスが住民の居住エリアで5ppmを超えることが頻発したため立ち入り規制がかかった。現場に行くと、土石流で神社の社務所や鳥居

が1メートル程度埋まり、その上の木が全てガスで立ち枯れしている状況であった。2005年に全島避難が解除されたが、その後も規制があり、24時間ガスマスクを持ち、サイレンが鳴ったらそのガスマスクをつけるという条例のもとで暮らしていたのが三宅島の状況である。

このような桜島や三宅島のような世界的に見ても非常に特異なケースが発生しているにも関わらず、日本では健康影響に関する調査や研究がほとんどされていなかった。先程紹介したように1980年代には桜島周辺で若干事例があったが、基本的には火山噴火研究は御嶽山噴火以降の報道等にもみられるとおり、直接的な被害を軽減するため、噴火予知をして噴火が予測されたら避難するという、「いかに避難するか」に研究の主眼が置かれており、健康被害に関して日本ではほとんど顧みられてない。火山研究者そのものが最近、絶滅危惧種と言われたり40人学級と言われたりしており、その中でも健康影響を気にしているのは私ぐらいだということで、ほとんど研究されていないというのが現状である。

しかも、桜島以外では噴火の頻度が低い。さらに、人口が多くても数千人、少ないと数十人（口永良部も約130人）という離れ小島のような場所で発生するため、疫学的に統計解析が可能なレベルにならない。医学的なデータがとりにくく、疫学的には難しいというのが現状である。

1980年に米国シアトルのそばのセントヘレンズ火山で噴火が発生した際、喘息等の患者、特に救急外来の患者数のモニターをしており、喘息が4倍、気管支炎が2倍程度増加、COPD（慢性気管支炎）の増悪も増加したとされている。当時はまだPM2.5、PM10の規制値がなかったので、TSP（総浮遊粒子状物質）濃度で解析をしている。その結果、特に死亡事例等はなかったようだが、火山灰濃度が非常に高いところで健康影響や急性増悪はやはりあるだろうと言われている。

桜島による肺がんの死亡率については、鹿児島大学の公衆衛生の先生により、垂水市と鹿屋市だと、垂水市の方が肺がんのリスクが高く火山灰の影響があるのではないかと言われていた。しかし、私が鹿児島県全体で見ると、鹿屋市が非常に低いだけで、垂水市が危険なわけではないことがわかった。今のところ、肺がんの死亡率に火山灰の影響はなさそうだと確かめている。

火山ガスの毒性について、特に二酸化硫黄が成層圏に入った際に硫酸ミストとなってPM2.5を増加させることが非常に懸念されている。18世紀に起きたアイスランドでの大噴火では、火山ガスが非常に高濃度で健康被害があったと言われている。同じ状況が現在のヨーロッパで発生したと仮定して、恐らく心筋梗塞等で約14万人の死亡者数の増加が発生するとの推定が2011年に報告されている。

日本で研究推進が望まれる課題として、観測体制強化などの他、病院での医療体制と病状や状況の把握、さらに、コンピュータシミュレーションを活用した見積もりがあるのではないかと。なお、SIPの中で火山ガスのモニタリングに関する公募があり、若干は改善されると思う。病院での喘息把握等に関しては、実は英国から研究助成が決定した。先程の国際ネットワークで、鹿児島はフィールドとして最も解析しやすいということで、2年間で1億円程度の研究が始まったところである。私も参加しており、鹿児島大学の呼吸器内科の先生と帝京大学が中心となり研究が進められると思う。これによりデータが出ることが期待される。

質疑

（Q：質問、A：回答、C：コメント）

Q： 原発関連では、避難後の健康影響や避難そのものによるリスクがかなり問題視されている。火山関連では海外も含めていかがか。

- A: 海外でも火山噴火は避難生活が長くなる傾向が強いということで、特に公衆衛生的な観点というよりも、メンタルの面で調査されている方がいる。鬱が多くなるなどの報告事例がある。
- Q: 気象状況により被害の状況が変化すると思うが、どのように気象の部分の評価を加えていくのか。
- A: 例えば富士山のハザードマップでは、一月毎の平均風速や風向を加えてシミュレーションをし、各月を重ね合わせる形で気象条件を入れている。基本的には、大規模噴火では対流圏の気象場はほぼ影響がない。大規模噴火では地上から40～50キロに噴煙が達するため、成層圏の風、偏西風で流されるという形で影響が出る。よって、あまり気にしなくてもよいというのが現状。低いところの火山ガスは当然ミクロな気象や地形の影響があるので、そこは計算しなければいけない。特に三宅島では顕著だったが、夏と冬では風向きが逆転するため影響が大きな住宅地域が変化した。
- Q: 健康影響とのことだが、例えば生態系や農業へもかなり影響はあると思う。
- A: 影響は大きい。今回は健康影響ということで話題提供をしたが、交通網も重要である。富士山に関していうと、個人として最も心配しているのは水であり、水源がほぼ埋没してしまうだろう。3,000万人の水がめがどうなるのか。1週間程度で水がなくなる。電力も重要である。ジェットエンジンが止まると話したが、同様に火力発電のタービンも止まる。ほぼ1日で止まるだろうと東京電力も言っている。
- Q: 先ほどの40人学級のうち、生態系などを見ている方はいるか。
- A: 生態系を対象とする研究者はいない。日本の噴火に関しても、ニュージーランドの方が調査研究をしたいということで、時々我々が道案内する程度。ニュージーランドは火山国なので、リスク管理という観点で、環境影響、生態系への影響等、それなりの方が研究している。

科学技術振興機構 研究開発戦略センター 科学技術未来戦略ワークショップ
「非定常時を想定した環境科学・技術の体系化とその応用」

火山灰・火山ガスの健康影響に関して 取り組むべき研究課題

国立保健医療科学院 健康危機管理研究部
(日本火山学会火山防災委員/
日本地球惑星連合環境・災害対応委員)
石峯康浩

平成27年11月30日 於 TKP市ヶ谷カンファレンスセンター

1

本日の発表内容

- ◆国内外の最近の火山噴火と頻度
- ◆火山灰・火山ガスの健康影響研究の現状
- ◆研究推進が望まれる課題

2

最近の日本国内における火山噴火

2014年の御嶽山噴火災害以降、いくつかの火山で火山活動が高まり、火山災害への備えの重要性が再認識されている。

2014年9月の御嶽山噴火



国土地理院の「御嶽山の火山活動に関する状況」より引用
(http://charts.gsi.go.jp/arcgis/rest/info/00229_50345036.pdf)

2015年5月の口永良部島噴火



気象庁の「火山噴火予知連絡会拡大幹事会資料」より引用
(http://www.data.jma.go.jp/fcd/voic/data/voic/201505/voic20150507/CPVE/j/kyou/kyou150530/2_jma.pdf)

3

最近のインドネシアにおける噴火

日本をしのぐ火山国インドネシアでは近年でも10万人以上が避難する噴火が相次いで発生している。

ジャワ島中央部のメラビ火山



2010年10月の噴火で386人死亡、
約40万人が避難。

ジャワ島東部のケルト火山



2014年2月の噴火で6人死亡、
約20万人が避難。

4

火山噴火による2010年のヨーロッパ航空路麻痺

飛行機のジェットエンジンは火山灰に非常に弱い。
噴火の影響を受けた空港は、原則、閉鎖。



2010年のアイスランドの火山噴火の際に火山灰が浮遊した範囲

アイスランド・ロンドン 約1500km
アイスランド・オスロ 約1500km
アイスランド・パリ 約2000km
アイスランド・ローマ 約3000km

2010年のアイスランド・エイヤフィヤトラヨークトル火山の噴火で25か国の空港で約9万6000便が欠航、400万人が影響を受けた。損害額は直接被害は約2000億円。間接被害込みで5000億円。

5

噴火の規模(VEI)と頻度

火山爆発指数: 1982年にアメリカ地質調査所のクリス・ニューハール (Christopher G. Newhall) とハワイ大学マノア校 (University of Hawaii at Manoa) のスティーヴ・セルフ (Steve Self) が提案した火山の爆発の大きさを示す区分。火山そのものの大きさではなく、その時々での爆発の大きさの指標である。

VEI	噴出物の量	状況	機構	噴煙の高さ	発生頻度	例	ここ1000年の発生数*
0	< 10,000 m ³	非爆発的(non-explosive)	ハワイ式	< 100 m	ほぼ毎日	マウナ・ロア山	無数
1	> 10,000 m ³	小規模(gentle)	ハワイ式/ストロンボリ式	100-1000 m	ほぼ毎日	ストロンボリ島	無数
2	> 1,000,000 m ³	中規模(explosive)	ストロンボリ式/ブルカノ式	1-5 km	ほぼ毎週	ガレラス山 (1993)	3472
3	> 10,000,000 m ³	やや大規模(severe)	ブルカノ式/プリニー式	3-15 km	ほぼ毎年	Koryaksky	868
4	> 0.1 km ³	大規模(cataclysmic)	プリニー式	10-25 km	2-10 年	ブレイン山 (1902)	278
5	> 1 km ³	非常に大規模(paroxysmal)	プリニー式	> 25 km	2-50 年	セント・ヘレンズ山 (1980)	84
6	> 10 km ³	colossal	プリニー式/ウルトラプリニー式	> 25 km	2-100 年	ピナトゥボ山 (1991)	39
7	> 100 km ³	super-colossal	プリニー式/ウルトラプリニー式	> 25 km	2-1000 年	タンボラ山 (1815)	5 (推定)
8	> 1,000 km ³	mega-colossal	ウルトラプリニー式	> 25 km	2-10,000 年	トナリ山 (73,000 BP)	0

(出典: Simkin and Siebert, 1994を改定。*はスミソニアン博物館によるthe Global Volcanism Programより)

出典: 内閣府・火山防災対策の推進に係る検討会資料(2011)

6

出典：内閣府・火山防災対策の推進に係る検討会資料(2011)

7

- ・ 864年 貞観噴火 東北貞観地震(M8.3-8.6)の5年前
- ・ 1707年 宝永噴火 南海地震(M8.6)の49日後

8

富士山ハザードマップ検討委員会による火山灰の分布予測

9

10

桜島火山の火山灰が降る鹿児島市街地

火山ガスの影響で立ち枯れした三宅島の樹木

11

- ◆火山研究の中心は予知、直接被害の軽減。
- ◆そもそも火山研究自体がマイナー。
- ◆噴火の頻度が低く、医学データの取得が困難。
- ◆火山周辺は人口が少なく疫学的な解析が困難。

12

セントヘレンズ噴火における健康影響

- 1980年の米国セントヘレンズ火山の噴火では、同火山から135km離れた町で噴火後1週間のぜんそく発作による救急外来が前年同時期の4倍に増加。気管支炎の患者も2倍。
- 噴火当日の現地のSTP濃度は $33400\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。
- 噴火後1週間は $1000\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上が継続 (Baxter et al. 1981; 当時の米国の環境基準値は日平均 $260\mu\text{g}/\text{m}^3$)。
- 桜島の継続的な噴火では浮遊粒子状物質濃度の顕著な増加は起きず、明瞭な健康影響は報告されていない。

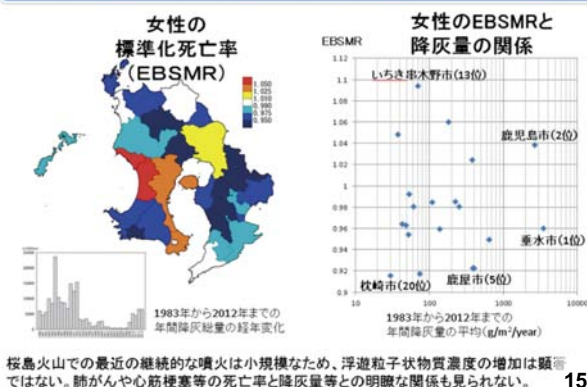
13

桜島火山における健康影響の先行研究

- 脇坂一郎・柳橋次雄・泊 淳・安藤哲夫 (1983) 桜島火山活動が学童の健康に及ぼす影響, 日本公衆衛生雑誌. 30(3), 101-108.
- 脇坂一郎・柳橋次雄・泊 淳・安藤哲夫 (1983) 呼吸器疾患による死亡像に及ぼす桜島の火山活動の影響, 日本公衆衛生雑誌. 30(3), 109-116.
- 脇坂一郎・柳橋次雄・泊 淳・安藤哲夫・坂本峰至 (1984) 桜島火山活動が死亡像に及ぼす影響, 日本公衆衛生雑誌. 31(10), 548-556.
- 矢野栄二・東 博文・西井俊治・小泉 明・横山泰彦 (1987) 桜島火山灰降灰地区森林作業者の呼吸機能, 日本公衆衛生雑誌. 34(5), 251-254.
- 矢野栄二 (1987) 火山灰の健康影響をどうとらえるか. 13-30, In 環境研究と疫学-その有効性と限界 (鈴木継美・大井 玄編集), 恒星社厚生閣, 126p.
- 脇坂一郎・柳橋次雄・泊 淳・安藤哲夫 (1988) 呼吸器疾患の死亡像に及ぼす火山性大気汚染の影響, 日本衛生学雑誌. 42, 1101-1110.
- Uda, H., Akiba, S., Hatano, H. and Shinkura, R. (1999) Asthma-like disease in the children living in the neighborhood of Mt. Sakurajima, J. Epidemiol., 9, 27-31.
- Shinkura, R., Fujiyama, C. and Akiba, S. (1999) Relationship between ambient sulfur dioxide levels and neonatal mortality near Mt. Sakurajima volcano in Japan, J. Epidemiol., 9, 344-349.

14

鹿児島県における肺がん死亡率(2003-2012年)



15

毒性が強い火山ガス

二酸化硫黄	三宅島では4年半に及ぶ避難生活の要因に。特にぜんそく患者が危険。
硫化水素	温泉地域での中毒事故の主な原因。2015年3月にも秋田県の乳頭温泉で事故。
二酸化炭素	アフリカ・カメルーンで1986年に1700人が死亡する中毒事故。1997年に八甲田山でも発生。
塩素	水に溶けて塩酸になる。火山灰表面に付着して皮膚を刺激。
フッ化水素	フッ素症の原因。火山噴火に伴って水道の規制値を超える事例あり。
ラドン	肺がんの発生を高めるリスクあり。

16

火山ガスの健康影響

1783年のアイスランドのラキ火山噴火と同規模の災害が現在、発生した場合、火山ガスを起源とするPM2.5濃度の増加により、ヨーロッパ全土で約14万人の死者数の増加が発生するとの推定報告あり (Schmidt et al. PNAS2011)。

17

本日の発表内容

- ◆自己紹介
- ◆国内外の最近の火山噴火と頻度
- ◆火山灰・火山ガスの健康影響研究の現状
- ◆研究推進が望まれる課題

18

研究推進が望まれる課題

- 火山周辺におけるSO₂、H₂S、PM_{2.5}等の観測体制強化
- 火山噴火時の機動的稠密観測網配備への計画立案
- ぜんそく患者等、高感受性者の状態把握のための医療機関との協力体制の整備
- コンピュータシミュレーション等を活用した被害見積もり
- 被害想定に基づく被害軽減対策の検討
- 上記の研究成果を社会で活用するための地元行政との連携体制の構築

19

まとめ

- 昨年の御嶽山噴火災害以降、日本国内において(比較的小規模とはいえ)噴火が相次いでおり、火山研究の必要性が再認識されつつある。
- 火山灰の拡散は、周囲100キロ程度まで、ぜんそく発作等による救急外来数を増加させる恐れがある。
- 火山ガスの拡散は周囲1000キロ以上にわたって心肺疾患による死亡者数を増加させる恐れがある。
- 日本国内では、火山噴火への災害対策は主に火砕流や溶岩流・土石流などを対象としており、長期的な健康影響に対する研究はほとんど実施されていない。
- 火山噴火の健康影響を研究するには、火山学だけでなく大気環境学や気象学、疫学、公衆衛生学等、多彩な学術領域が有機的に連携する必要がある。

20

2. 6 非定常時の基準設定

村上道夫（福島県立医科大学 医学部 健康リスクコミュニケーション学講座 准教授）

言葉の定義として、ここでは、「非定常時」は、平時とは異なるといった程度の、曖昧な意味で使う。また、ここでは、「基準」は、法的な拘束力があるものとなないもの、それから罰則があるものとなないものと、様々なものを「基準」と呼んでいるので、ケースバイケースで意味合いが違うという前提で理解してほしい。「基準値」は値であるが、「基準」と言った場合は運用も含めて「基準」と言う。何回測定するとか、あるいはどのような対策をとるかを含めて「基準」という言葉を使う。

本日の話は、主に、放射性防護分野の基準から学ぼうというものである。その基準の紹介をした後、福島の事故の諸リスクの話をした上で、研究開発課題、期待される成果について話をする。

水道水質関係の基準は、超過した時は法的に対応する。必ずしも断水とは限らず、断水も含めて対応する。大気汚染に関しては、例えば光化学オキシダントの基準達成率は約0%であり、環境基準として注意報レベルや警報レベルがあり、トリプルスタンダード状態に対応をとっている。PM2.5では、外出の自粛基準がある。火山噴火は、例えば三宅島の場合は、避難や帰島に関する基準がある。リスクコミュニケーションの実施についても明示した。洪水の場合は、川の水位基準に基づいて避難が生じる。福島原発事故を例に挙げると、避難や飲食物の基準が暫定規制値を含めて存在した。帰還に関する協議などもあった。

安全とは何かという議論から、安全の基準について話したい。安全が客観で、安心は主観であるという考え方があるなら、私は賛成しない。安全とは、ISO/IEC Guide51では「受け入れられないリスクがないこと」という定義である。すなわち、リスクは比較的再現性の高い客観性がある方法で算出できるが、何をもって受け入れるかは、人によって、社会によって、あるいは文化によって、時代によって変わってくる。どこで安全とみなすかは、社会がどこで合意するかということで決まる。合意形成されたこのリスクに基づいて基準が変わる。この基準が守られたときに、社会としての安全性を確保でき、安全性は客観性を持つということである。言いかえるならば、安全とは、個人にとっては、客観的なリスク評価と主観的なリスク認知の融合概念である。社会としては、社会的合意に基づく約束事である。

原発事故と基準に関して、避難と除染の基準・目標について話す。

まず、福島の事故直後に原発からの距離に応じた形で避難が決められた。4月22日に線量に応じた避難指示が出された。8月26日に除染なども含めた目標値の設定が行われた。基本的にはその線量はICRP(国際放射線防護委員会)勧告などに基づいている。飲食物の出荷制限に関する暫定規制値は、3月17日に設定された。早い段階で設定されたのではないかと考えている。このときの基準は、原子力安全委員会の指標として99年の値とコーデックス委員会のガイドラインの値を使っている。あとは、避難指示解除である。避難指示は20ミリシーベルト(mSv)/年を出している、それ以下であるという要件のほかに、インフラ、生活関連サービス、除染の状況、さらには県・市町村・住民との十分な協議に基づくという、3つの条件が使われている。線量に関しては、この3番目の十分な協議の中で決まっていたことは興味深い。

飲食物の新基準値は2012年4月から出たが、これはコーデックス委員会の介入線量レベルから来ているという説明と、ALARA(合理的に達成できる限り低く)の専門家が、市民の、消費者の気持ちを特に重視して決めていったところが大い。

放射性防護と基準に関して、ICRPの考え方は、状況として、計画被ばく状況と、緊急時被ばく状況と、現存

被ばく状況とある。その中で、緊急時被ばく状況というのは100mSvから20mSv程度の範囲で適合させて対策をとり、現存被ばく状況は20mSvから1mSvの中で徐々に減らしていく。この100mSvという数字は、確定的影響、例えば男性の一時的な不妊が明確に増えるレベルなど、発がんの明確な状況が増える例から決まっている。それから、避難の基準に使った20mSv/年は職業被ばくの基準から来ている。職業被ばくの基準の数字は、英国学士院による「受け入れられるリスク」が主に参照された。これは年間死亡率 10^{-3} である。つまり、労働者は20mSv/年を18歳から50年間被ばくするという状況で、65歳になると年間死亡率 10^{-3} を超えることから決まった。除染の最終目標である1mSvは、公衆被ばくの基準から来ている。

英国学士院による受け入れられるリスクは、1歳から20歳の男性の年間死亡リスク(年間死亡率 10^{-3} 程度)、特殊事例としてアメリカ大統領は暗殺リスク(10^{-2})、自発的なスポーツ活動、プロのスタント、危険な職業、それから製造業の年間事故死亡リスクなどを比べて出した提案であり、年間死亡率 10^{-2} は受け入れられないが、年間死亡率 10^{-3} の場合は、個人が状況を知り、リスクに匹敵する恩恵を受け、リスク低減のための手段が講じられているという3つの条件がクリアできているのであれば、全く受け入れられないとは言えないという表現でまとめられている。

これは明確なパターンリズムである。すなわち、年間死亡率 10^{-3} よりも高いリスクの場合は、国家として介入し、認めない。一方でこれより低いレベルでは、条件をクリアしている場合ならば、個人の自由を尊重するという、国家の介入としての基準である。これは、自由と安全のバランスであり、パターンリズムから支えられている基準になる。

基準に関連して、原発事故後の対応の良かった点は、比較的早かったことである。これは基準が整理されていて、それがうまく使えたためである。被ばく量のリスク削減効果は、回避被ばく量で50mSv程度になる。生涯での追加被ばく量は10mSv程度のため大きく回避でき、かなりの健康リスクを下げることができた。また、中絶の有意な上昇もない。

課題点としては、基準に関する誤った説明と運用があった。特に食品の暫定規制値に、間違えた説明をした専門家、説明者が多かった。また、出荷制限については、暫定規制値を出すときの決め方と、数字の出し方、仮定、実際の運用に、齟齬があった。ただし、実際は100%汚染物質を食べるとか、あるいはセシウムについて50%食べるというコンサバティブな仮定になっており、これがバッファとなったため、実際に受けた被ばく量は非常に少なかった。

それから、平時と事故時の基準で違いがあることが、人々に受け入れ難かったようである。要はダブルスタンダード的な感覚になるため、難しい。また、避難そのものや避難後の生活は放射線自体の問題ではないが、それらの避難のリスクがとても大きい。また、経済的な分野から、特に食品の経済的な損失や除染に関する損失がかなり大きかったとも指摘されている。

また、賠償・補償に関する根拠、法的・倫理的合理性、整合性についての議論も必要だろう。

次に基準に関する新しい動きについて紹介したい。

原子力災害における放射性防護分野の基準の考え方は興味深い。一つは、自治体毎の避難解除に関する線量目標があったということである。実質的に20mSv/年は採用されず、自治体、ステークホルダー毎の議論で決まった。

原発事故前の2009年にICRPのパブリケーション111というものがあり、汚染地域をもつ国における食品の放射線に関わる質の管理のために、関連するステークホルダー及び一般市民の代表者を関与させるべきであると

している。

パブリケーション111もあって、食品の新基準値、消費者の声を重視して定められた。柏市のコミュニティでは、消費者、生産者、流通者の方々が円卓会議で集まり、独自のルールを決めたという事例がある。20ベクレル/kgという、実際の新基準の5分の1であるが、そこで合意した。数字よりも、そのような合意のプロセスを作ったという枠組みに意味があり、これにより消費者は、それで納得し、満足し、誇りも回復する。そして、生産者にとっては、自分たちがそこで管理でき、そこが目標値となって、自信を持って生産していく。生産者にとっては、傷つけられた誇りの回復にもなった側面があった。

リスクの話をしていると最終的には価値観の話にならざるを得ない部分があるが、いつも思い出すのが、イギリス政府の組換え遺伝子作物論争の際の報告書の有名な文章、「この論争は安全に関するものではない。どのような世界に生きたいかという、はるかに大きな問題に関するものだ」という言葉である。すなわち、リスクの大小について議論しておらず、我々はどのような世界に生きたいかとか、どのような体制の社会にしたいかという話を議論しているのであり、それをもとに基準値を決めている。

次に原発事故のもたらした諸リスクについて話す。原発事故がもたらしたリスクは、放射線だけではなく、それ以外のことも重大な問題である。

スライド12は私と共同研究者の最近の研究で、老人施設からの避難と被ばくのトレードオフの研究である。老人施設から避難後に居住者の死亡率が増加した。これを損失余命の指標で比べると、避難を回避できた人よりも400倍高い、あるいは100mSv被ばくしたときよりも2倍程度高い。避難のリスクが結果的に大きかった。これは、当時避難をするべきだったか、しないべきだったかを議論するためでなく、今後の準備として、避難計画の整理、基準も含めて考えるための研究である。避難の影響は大きく、減らせるリスクの余地が大きいと考えて出した研究である。

被ばく量と発がんリスクについても研究している。外に8時間いるという過大な評価を行った数字である。福島市の放射線の被ばくによる生涯での発がんリスクは0.1%のオーダー、もう少し低いかもしれない。一方で、避難後の健康への影響は違うところにあることがわかってきた。福島県立医科大学の県民健康調査のデータによれば、避難後に肥満が増加し、BMI25以上の人が10%程度増加した。BMI30~40の全死亡率はBMI23~25と比べて1.36倍なので、肥満による健康リスクの悪化のほうが被ばくよりも高いことも考えられる。また、子供が運動しないことで、事故前の小学1年生の肥満傾向は18位であったが、事故後は1位になった。状況は徐々に改善されているが、やはりこのような問題がある。

精神的なストレスでは、K6という心の健康を測定する指標で測ると、通常は3%程度であるが、事故後は15%で現状も高い状態になっている。K6が高い人の方が自殺だけでなく死亡率も高いとの海外での報告事例もある。精神的なストレスに与える影響因子として、被ばくによる次世代への影響が起きると思う人が、オッズ比で2.17倍と高い。居住地の変更では1.55倍である。放射線に対する認識の度合いや居住地の変更による精神的な影響がかなり関係してくる。

災害時の影響とは、放射線などの単純な影響の議論ではなく、避難そのものや、避難によって生じる身体的な影響、精神的な影響などを総合した災害の影響である。

次に、取り組むべき研究課題と期待される成果について示す。

基準に関する事前の準備は非常に大事である。リスク削減に非常に有効に機能する。たとえば、特に放射線自体のリスクは削減することができた。また大事なのは、値だけでなく、運用も視野に入れることである。どのよう

に対策をするか、何回測るか、どのように測定するかも含めて考える。法的・倫理的な根拠の整理が必要であり、法的な整備も必要であると思う。行政官との対話、コミュニケーションも重要ではあるが、平時の住民とのコミュニケーションが重要である。また、満足感、納得感、誇りの獲得には、ステークホルダー間の合意形成を助けることが非常に有効ということがわかってきた。避難は大きなリスク要因である。大規模災害は、毒性影響だけでなく、大きな身体的・精神的なリスクをもたらしており、包括的なリスク評価が必要である。

3つほど取り組むべき研究分野がある。

1つ目は、災害時におけるマルチプルリスク評価と費用効果分析である。災害が生じたときの毒性影響や、避難、身体的、精神的な影響、さらには事前対策・事後対策およびその費用がどれくらいで、リスクをどの程度下げられるかということである。すなわち、日常全てを包括的に捉える総合リスク評価を、災害科学の分野では再構築すべきである。

2つ目は、高頻度非定常イベントの基準設定である。例えば、大気のおゾンやPM2.5など、基準値超過や警告などの頻度が比較的高い事例を対象にして、どのようなリスクとコストが生じているのかを調べてみる。どのような基準値、運用・対応が有効か。基準値の更新を前提としたフレームができるのかどうか。環境基準は更新を前提にする法律であるが現実には難しい。注意報、警報などの諸対応について再評価し、方法論を構築する。

3つ目に、避難や短期的汚染にかかわる基準設定である。避難のリスクは高いが、それでも避難を要する非定常イベントの対象は何かということである。あるいは、短期的に飲み物や環境に汚染があったとして、生態系も含めて、どの程度まで受け入れられるか。どういったリスクがあるのかも大事であるし、それと同時にどの程度まで受け入れられるのか。その基準がどのくらいなのか。リスクと費用はどのくらいなのか。それは運用できるのか。基準値は実現できるか。損害賠償や補償との法的、倫理的な調和があるか。個人的にはStandard I 的なアプローチ(パターンリズムに基づく基準)に加えて、事前の準備としてStandard II のアプローチ(ステークホルダー間での合意形成に基づく基準)ができる余地があるのではないかと、そういった設定ができるか。それをもって、災害発生時の総合的なリスク緩和、それから事前・事後対策の立案になればいいと思っている。

質疑

(Q: 質問、A: 回答、C: コメント)

Q: 3つの取り組むべき研究分野は放射能以外についても言及しているということよいか。

A: 3つは放射能以外の話をしているつもりである。2つ目の高頻度非定常イベントについて、例えばオゾンやPM2.5では注意報や警報という形で通常的环境基準とは異なる基準を既に設定しており、そこをもう少し再評価すべきではないか、ということである。

Q: Standard I とStandard II は、Standard II の方が厳しくなる印象を持つが、Standard I の準備段階としてStandard II を入れると、Standard II に収斂してしまわないか。

A: そうとは限らない。伝統的な食文化に対してはむしろ基準を緩めたケースがある。どこのステークホルダーの誰を重視するかの問題である。また、Standard II のようなアプローチは、値を決めるというよりも、そのような枠組みを作る取り組みをすることに焦点を置いている。誰がどう決めて、どのようにするかというフレームをつくるという意味があると思う。

Q: Standard I は、値を決めるということが前提か。

A: 必要である。

Q: この2つのフレームは、一般的には、普遍的に議論されるのか。

A: 一般的な議論というわけではないだろうが、この2つのフレームで整理できると思う。

「非定常時を想定した環境科学・技術の体系化とその応用」
ワークショップ(JST CRDS) 2015年11月30日

非定常時の 基準設定

福島県立医科大学
医学部 健康リスクコミュニケーション学講座
准教授 村上道夫

1

本日のおはなし

1. 原発事故に関する基準の紹介
2. 原発事故がもたらした諸リスク
3. 取り組むべき研究課題と期待される成果

2

原発事故に関する 基準の紹介

3

非定常イベントと基準

1. 水道水質汚染事故
超過時に対応(断水含む)
2. 大気汚染
例: 光化学オキシダント(注意報レベル・警報レベルあり)、PM_{2.5}(外出自粛基準あり)
3. 火山噴火
三宅島の例: 避難あり、帰島に関する基準(SO₂)あり
4. 洪水
避難あり(水位基準)
6. 化学工場事故
セブソ事件の例: 避難あり(土壤中TCDD濃度基準)
7. 原発事故
福島島の例: 避難・飲食物基準、帰還に関する協議あり

4

安全とは何か

ISO/IEC Guide 51 (2014)の定義:
「受け入れられないリスクがないこと」
(Freedom from risk which is not tolerable)

1. 社会として「受け入れられないリスク」がどれくらいかということについて合意を持つ
2. 合意形成された「受け入れられないリスク」に基づいて定められた基準がある
3. その基準が守られる
4. 1~3のプロセスを経て、社会としての安全性を確保でき、安全は客観性を持つ

安全とは、客観的リスク評価と主観的リスク認知の融合概念であり、社会的合意に基づく約束事*である

* 岸本克生(2011)学理, 108(2), 22-25.

5

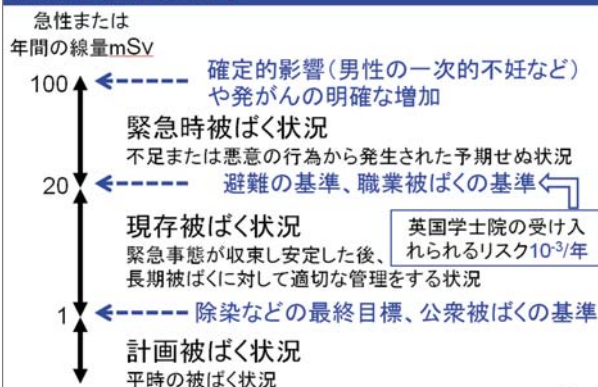
原発事故と基準

- ◆避難と除染の基準・目標
事故直後に原発からの距離に応じて避難。4月22日に線量に応じた避難指示。8月26日に除染などの目標設置。線量はICRP勧告に基づく。
- ◆飲食物の出荷制限に関する暫定規制値
3月17日に設定。原子力安全委員会の指標とコーデックス委員会のガイドラインに基づく。
- ◆避難指示解除
①線量(20mSv/年以下)、②インフラ、生活関連サービス、除染の状況、③県・市町村・住民との十分な協議に基づく。
- ◆飲食物に関する新基準値
コーデックス委員会の介入線量レベルとALARA*に基づく。

* As low as reasonably achievable(合理的に達成できる限り低く)

6

放射線防護と基準



ICRP (1991) ICRP Publication 60.

ICRP (2007) ICRP Publication 103.

7

英国学士院による受け入れられるリスク

1~20歳(男)での年間死亡リスク、米国大統領の暗殺リスク、自発的なスポーツ活動、プロのスタント、危険な職種(採石、鉱山、建設など)や製造業の年間事故死亡リスク



年間死亡率 10^{-2} は受け入れられないが、 10^{-3} の場合は、

- ◆ その個人が状況について知っている
- ◆ リスクに匹敵する恩恵を受けている
- ◆ リスク低減のための手段が講じられている

ならば、全く受け入れられないとはいえない。

パターンリズム、自由と安全、倫理

The Royal Society Risk assessment (1983) Reports of a Royal Society study group.

8

基準などに関する対応の良かった点と課題点

- ◆ 良かった点
 - 比較的是やい対応
 - 被ばくリスク削減効果(回避被ばく量 $\sim 50\text{mSv}^*$)
 - 中絶の有意な上昇なし**、水・食糧不足による死亡や感染症の流行などもなかった
- ◆ 課題点
 - 基準に関する誤った説明と運用(飲食物暫定規制値の根拠や出荷制限回避ルール)
 - 平時と事故時の基準の違い(ダブルスタンダード問題)
 - 避難のリスク、避難後の毒性影響以外のリスク
 - 経済的損失
 - 賠償・補償に関する根拠と法的・倫理的合理性、整合性

* UNSCEAR (2014) 2013 Report. ** 藤森ら(2012) 周産期医学, 42(3) 303-306.

9

基準に関する新しい動き

- ◆ 自治体ごとの避難解除に関する線量目標
- ◆ ICRP Publ. 111 (2009)*
「汚染地域を持つ国における食品の放射線に関わる質の管理のために、...関連するステークホルダー(当局、農業組合、食品産業、食品流通、非政府消費者団体、その他)および一般市民の代表者を関与させるべきである。」
- ◆ 飲食物の放射性物質の新基準値
- ◆ 柏市コミュニティにてステークホルダー間で合意(20Bq/kg)**
- ◆ 組換え遺伝子作物論争に関するイギリス政府の報告書***
「この論争は安全性に関するものではない。
どのような世界に生きたいかという、はるかに大きな問題に関するものだ。」

* ICRP (2009) ICRP Publication 111. ** 五十嵐泰正, 「安全・安心の柏市柏市円卓会議」, 聖紀書院, 2012. *** Select Committee on Science and Technology (2000) Science and technology, third report.

10

原発事故がもたらした諸リスク

老人施設からの避難と被ばくのトレードオフ



Murakami et al. (2015) PLOS ONE, 10, e0137906.

*実際の避難と90日後に避難した場合と比べた際に回避できた被ばくリスク

- ◆ 老人施設からの避難後に居住者の死亡率が増加した。
- ◆ 避難によって回避できた被ばくリスクよりも、避難そのものによるリスクの方が(結果的には)大きかった。
- ◆ この研究は、避難するべきであったかどうかを議論したものではない。今後の準備として、避難計画の整備などによって、減らせるリスクの余地が大きいことを示した。

12

生涯被ばく量と発がんリスク推計(福島市)

事故時 年齢	事故後1年 実効線量 (ミリシーベルト)	生涯での 合計実効線量 (ミリシーベルト)	生涯でのがん罹患リスク(%)	
			全固形がん	白血病
<1歳(男)	7.1	30	0.27	0.030
	0.088	0.17	0.00086	0.000057
<1歳(女)	7.1	30	0.41	0.031
	0.088	0.16	0.0012	0.000036
20歳(男)	5.6	25	0.14	0.012
	0.062	0.16	0.00074	0.000056
20歳(女)	5.6	25	0.21	0.0079
	0.058	0.14	0.00098	0.000034

注) 外部被ばく、内部被ばく(呼吸+飲食)の合計。下段青字は飲食由来のみ。
外に8時間という想定で算出しているため、被ばく量とリスクを2~3倍くらい
高めに算出している。

※生涯でのがん罹患リスクは男:62%、女:46%*

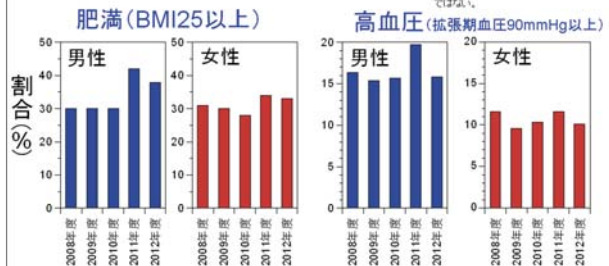
Murakami and Ohi (2014) PLOS ONE, 9, e112791.

* <http://ganjoho.jp/public/statistics/pub/statistics01.html>

健康診査における経年変化

対象: 事故時避難区域など市町村住民

※震災前のデータは市町村特定健診・
後期高齢者検診結果。対象集団は同一
ではない。



※BMI 30~40の全死亡率は、BMI23~25と比べて、
男1.36倍、女1.37倍(平均12.5年の追跡調査。年齢・地域・喫煙・飲酒・既往症・運動で調整)*

第12回「県民健康調査」検討委員会資料 <http://fukushima-mimamori.jp/>

* [Sasaki et al. \(2011\) J. Epidemiol. 21\(6\), 417-430.](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3111111/)

小学生の運動習慣と肥満傾向

運動習慣		肥満傾向	
体育以外の運動なし		小学1年生肥満傾向児	
福島県避難区域		福島県	
2011年度	53.0%	2010年度	5.0%(18位)
2012年度	45.1%	2012年度	9.7%(1位)
2013年度	39.3%	2013年度	7.6%(1位)
全国平均		17.6%*	

注) 福島県避難区域は「ほとんどして
いない(週1回未満)」、全国平均はと
きたままたは「しない」の合計。

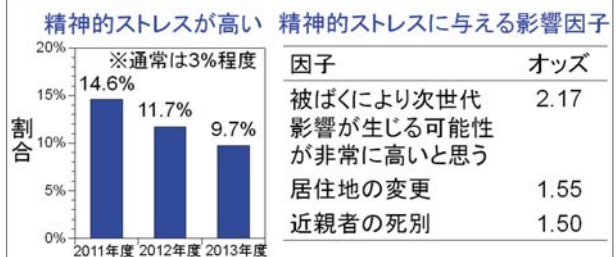
注) カッコ内の数字は都道府県別の順位

運動しない子供、肥満の子供が増えた
(状況は徐々に改善している)

第19回「県民健康調査」検討委員会資料 <http://fukushima-mimamori.jp/>
安江 (2014) 金澤大学短期大学部研究紀要, 71. http://www.jc-u-aizu.ac.jp/O8/2014pdf_01.pdf

精神的ストレス(気分の落ち込みや不安の度合い)

対象: 事故時避難区域など市町村住民



◆精神的ストレスの高い人が依然として通常よりも多い。
◆居住地が変わった人や被ばくによる影響が生じると考える
人ほど、精神的ストレスが高い人の割合が多い。

第11回、第15回、第19回「県民健康調査」検討委員会資料 <http://fukushima-mimamori.jp/>
Suzuki et al. (2015) Bull. World Health Organ. 93, 598-605.

取り組むべき研究課題 と期待される成果

原発事故に関する基準とリスクの教訓

- ◆基準に関する事前の準備はリスク削減に有効
- ◆値だけでなく、運用も視野に入れることが重要
- ◆法的・倫理的視点からの整理必要
- ◆平時のコミュニケーション・説明が重要
- ◆満足感、納得感、誇りの獲得には、ステークホルダー間の合意形成に基づく基準が有効
- ◆避難は大きなリスク要因の一つ
- ◆大規模災害は、毒性影響だけでなく、大きな身体的・精神的リスクをもたらす(包括的リスク評価が必要)

取り組むべき研究分野(1)

1. 災害時におけるマルチプルリスク評価と費用効果分析

- ◆ 災害が生じた時の毒性影響はどのくらいか？
- ◆ 避難、身体的影響、精神的影響はどのくらいか？
- ◆ 費用はどのくらいか？
- ◆ どのような事前対策・事後対策が、どのくらいの費用で、どのくらいリスクを下げることができるのか？

毒性物質の健康影響だけではなく、日常生活すべての点から包括的にとらえる。総合的なリスク管理。災害科学の再構築。

19

取り組むべき研究分野(2)

2. 高頻度非定常イベントにおける基準設定

- ◆ 基準値超過や警告などの頻度が比較的高い事例を対象にする。どのようなリスクとコストが生じているのか？
- ◆ どのような基準値、運用・対応が有効か？
- ◆ 基準の更新を前提としたフレームを構築できるか？
- ◆ 基準に関するリスクコミュニケーションは有効か？

現在の基準、注意報、警報などとリスク・諸対応に対する再評価、方法論の構築。

20

取り組むべき研究分野(3)

3. 避難・短期的汚染に係わる基準設定

- ◆ 避難のリスクが高いことを念頭に、それでも避難を要する非定常イベントの対象は何か？
- ◆ 飲食物・環境などへの短期的な汚染は、社会や生態系にとってどの程度まで受け入れられることができるか？
- ◆ その基準値はどのくらいかが適切か？リスク、費用はどのくらいか？運用可能か？実現可能性はあるか？
- ◆ 損害賠償、補償などと法的・倫理的に調和しているか？
- ◆ Standard-I的アプローチに加え、事前準備として、Standard-II的アプローチによる基準設定は可能か？

非定常イベントを想定した基準設定。災害発生時の総合的なリスク緩和と事前・事後対策の立案。

21

3. セッション2 総合討論

モデレータ 林信濃（CRDS 科学技術イノベーション政策ユニット フェロー）

コメンテータによるコメント

● 藤倉良（法政大学 人間環境学部 教授）〔H26年度CRDS環境専門会議委員〕

過去の経験を教訓としてどう生かすかが一つのキーポイントだろう。災害廃棄物の論文数のグラフがあったが、しばらく経つと研究者の関心も薄れてしまうのがよく表れている。そして、忘れられると研究費もつかなくなる。科研費の申請書に緊急性の項目があるが、このような研究の緊急性が高いとはなかなか書けない。さらに、先ほどの40人ほどしか研究者がいないような小さなコミュニティでは、さらに研究費の獲得は難しいだろう。また、東日本大震災において阪神大震災の経験がどのように役に立ったのか、役に立たなかったのか、役に立てられなかったのかということを行政が検討し、その結果を明らかにすることは難しい。そのような意味でも、過去の教訓をまとめるのは研究者の仕事なのかもしれない。

パーミシブレベルのように、非常時に平常時よりも緩い基準を採用することについて、ステークホルダーが理解できるか。なぜ緩い基準を作る必要があるのかを理解できるように説明するのは難しい。平常時でも基準は厳格に遵守しなければいけないのかという問題もある。浄水の基準をほんの少し超過したら、その途端に浄水場を閉めて断水させることが本当に妥当なのか。行政側としては基準値を1%でも超えたら、操業停止せざるを得ない。この問題を非常時の場合にはなおさどう考えるのか。

大学では「リスク＝ハザード×確率」と教えているが、非常に大きなハザードでも、確率が非常に小さければ、他の普通のリスクと同様に取り扱っていいのだろうか。一つの例が今回の大津波ではないかと思う。火山噴火も同様だと思う。1000年に一度しかないと言われていた津波が来て大変な被害があった。そして、これからどう復興するべきかを考えるときに、1000年に一度しか来ないのなら防潮堤を造らなくてもよいという議論も当然成り立つわけだが、勇気を持ってそのような議論ができない雰囲気になっている。インドネシアのアチェには津波でほぼ全滅した町があるが、そこでは防潮堤は造らずに以前と同じように生活している。あの津波は700年に一度のものであり、あと700年は来ないから、防波堤は不要とのことである。それも一つの考え方だと思う。そのようにものすごく小さな確率で、しかし、ハザードは大きいものを、本当に今までのリスクレベルと同程度に考えていいのかどうか。

次に、避難のあり方について。多くの避難民は一時的に体育館などに避難し、仮設住宅が準備されたらそこに移る。しかし、仮設住宅はいずれ閉鎖されるので、最終的にはまだどこかに定住先を探さないといけない。一方で、避難所での待ち時間は長くなるが、その間に仮設ではなくパーマネントの市営住宅が建設され、避難民がそこに定住できたケースもある。実際に現場を拝見してどちらがよいのか考えさせられた。また、避難民を受け入れる側のキャパシティについてはこれまで全く考えられていなかったのではないかと。この町はどれだけの避難民を受け入れられるのだろうかということである。首都直下地震が起きて、東京で例えば500万人の人が避難をしたときに、どこに500万人の避難民を受け入れる余地があるのか、インフラはどうか、そのようなことも考えるべきではないか。

このような復興に関する研究は、純粋な科学技術研究とは離れてしまうがもっと検討しても良いと思う。

● 松藤敏彦（北海道大学 大学院工学研究院 教授）〔H26年度CRDS環境専門会議委員〕

最近の研究費の公募では、研究のテーマが例示されるとそこに応募が集中してしまう。特に先端的なものに集中し、多くが同じテーマに偏るということが起きている。研究戦略の立案の際はそこに配慮する必要がある。

また、上記と関係するが、部分部分の研究になってしまう。全体を考えたときに何が本当に重要で、他のものとリンクしながら考える視点が必要かと思う。

非定常時とは何かも、一次的、二次的といった段階がある。例えば危険物の災害というのは、東日本大震災では、津波によって危険物が無くなったとか、下水処理施設が壊されたなどは一次、その影響は二次である。火山の影響、地震や津波の影響も、段階別に考える必要がある。また、災害にも人為的に生じるものと、自然災害経由で起きるものがある。そのような体系付けが要るのではないかと感じた。

さらに、施設の回復の観点が不足している。実際には、インフラの復旧支援という非常に大きな問題がある。また、それを經由した様々なリスクも生じるだろうと思うので、感染症などの健康リスクの問題と、インフラに関するものと、様々なレベルのものがあるのではないかと。

そして、基準について常に困っているのは、排出基準を施設が独自に下げて設定することである。根拠はなく、下げておけば認めてくれるというようなことが実際の問題で、それが非常に不経済を生じている。そういったことが非定常時にはより発生しやすいのではないかと。すなわち、定常時のことをきちんとやっておかないと非定常時はうまくいかないということである。

定常時と非定常は全く違うか。災害時の計画を一生懸命作っているが、現在の問題もたくさんある。現在の問題と連続して解決しなければいけないということがあり、あまり線を引きたくないと考える。非定常は特殊であるということはない。定常の連続として非定常があるという見方が要るかと思う。

定常時と非定常時について

- 定常時のリスク管理を把握し、その延長上で緊急時の話をしていかなければいけない。
- 想定外の事態のような非連続に起こる非定常時と、定常時から連続して起こる非定常時（最終的には定常で終わる）の2つがある。非定常時という設定をすることで定常時がよく理解できるという意味で、非定常時という切り口は非常に重要である。すなわち定常時が大事である。非定常時の現象は、定常時に存在する病原微生物の顕在化である。定常時に病原微生物が地域の中にどのような形で存在しているのかを理解する。グローバル化に伴う新型ウイルスの輸入でも、定常時における潜在的なリスクの理解が重要である。
- 高頻度非定常とは、定常時と非定常時が連続する上記後者のイメージである。
- 非定常時のレベルの幅が相当ある。時間軸、空間軸が非常に多様である。全体像をマップ化し、重要な部分を可視化できるとよい。
- 緊急時の有害物質管理の取組みでは、高頻度非定常に意図的にフォーカスしようとしている。具体的な事案が、ある程度の頻度で残念ながら発生し、それに対応するところに課題を設定しないと、研究や人材の継続性が確保できない。もちろん低頻度の災害も視野に入れているが、足場として高頻度非定常にフォーカスし、人材と研究の能力を高めてアプローチする。非定常という形でより学問的に一般化した形で問題を捉える方がよい。
- 研究費配分で、頻度が非常に少ないが重大な課題であり継続的な研究が必要だというテーマをきちんと設定することも一つの方法である。

非定常時に関する全体把握と分野連携について

- 定常時には今までの体制の中で研究ができていたが、非定常時にはそれらを超えた複合状態となる。それをどう認識してどう対処するか。コミュニティの連携は非常に重要である。相互関係をうまく整理ができれば説得力を増すのではないか。
- 防災の分野では学問体系のマップを作成した。様々な軸で防災学をマップ化し、どの分野でどのような研究がされているのかの整理を京都大学防災研究所が中心となり、21世紀COEプログラム「災害学理の究明と防災学の構築」で実施した。同様の取組みをこの分野でもしっかりと行う必要がある。一つの学問体系や領域をつくるぐらいの覚悟を持って取り組まないと、環境分野で非定常時のことをやったという一つのトピックで終わってしまう。
- 火山や地震がどう起こるのかといったハザードの研究者は日本に非常に多く存在する。しかし、そこから先のディザスターの研究者が少ない。本研究はまさしくディザスターである。つまり、イベントにはトリガーがあり、トリガーは一瞬で起こることもあれば、中長期的に起こるものもある。そのトリガーを中心として研究を進めていくのか、あるいは別の視点で対象を中心に研究を進めていくのかで随分異なる。そこを突破口にしないといけないのではないか。そうすることで必然的に非定常の整理ができる。
- 災害に関連すると様々な分野の人の知が必要となる。高頻度非定常は定常時の連続として比較的实施しやすいが、低頻度非定常に対しては真に分野を超えた集まりでないとできない。
- 全体のマッピングがスタートかもしれない。
- 気候変動の適応策に関する研究とも共通する側面がある。
- 噴火の規模と頻度という整理は非常によい。これに類するものを様々な分野で試行実験してみると、抜けている事項やそれぞれの課題が見えるのではないか。

火山噴火による影響に関する研究について

- VEI4～5クラスの噴火は世界規模で考えると数年に一回起きており日本でも起こり得るにも関わらず、日本では健康被害に関しては全く研究が進んでいない。この日本の現状に対し海外からは非常に奇異に思われている状況である。
- 日本は火山の数も人口も多い。一方、チリは火山は多いが人口が少ない。同じことが日本で起きたら、同じ被害では済まない。2015年3月の国連防災世界会議では、火山のリスクは日本が断トツに高く、経済被害では日本が圧倒的な1位で2位のインドネシアの2倍程度とされた。
- 富士山の噴火時には水道が非常に問題になると考えている。水源が埋まらないような非常に少量の火山灰でも、フッ化水素の基準が水道の規制値を超える可能性が高いと言われている。関東平野の水供給ができなくなる状況について全く誰も考えていない。
- 飲料水からのフッ素の除去は難しく技術開発が必要である。

基準について

- 定常時においても共通するが、行政は基準が全てである。基準以内であれば安全、わずかでも超過すれば危険ということになり対応へと動く。非定常時においても基準によって動く、動かないの判断が決まってくる。

- 非定常時への対応として基準物質だけの考え方でいいのか。非定常時には基準物質では無いが危険なものも存在する。東日本大震災の際も公園の津波汚泥に基準物質ではないがPAHsの物質が結構入っていた。その中にはベンゾピレンという発がん性物質があった。
- 放射線防護の分野は過去の蓄積があり準備をしていたため対応が早かった。過去の経験の蓄積が役に立った。社会科学系では、最後の章で **Lessons Learned** を検討する論文が少なくないが、そうでない分野もたくさんある気がする。そうした過去の経験のレビューの実施も必要と思う。

4. まとめ

本ワークショップで確認された共通認識や意見は以下の通りである。

■ 提言の基本コンセプトについて

- 非定常時において人命・健康・環境への影響を低減するために、環境・防災・健康分野の連携と、観測・予測・評価・対策のサイクルの構築・応用の必要性が認識された。
- 「非定常時」について以下のような指摘があった。
 - ◇ 非定常時に関する全体像の把握と整理が必要である。非定常時は多様であり(時間軸、空間軸、相関等)、非定常時を引き起こすトリガーも多様である(突発的・長期的、自然災害・人為的要因等)。現象の解明のようなハザードの研究者は多く存在するが、その先の損失や影響といったディザスターの研究者が少ない。本コンセプトはまさにディザスターの研究開発であり、ディザスターのような新たな切り口を突破口に、新たな領域の作成を目指して取り組む。
 - ◇ 非定常時には、非連続に起こる低頻度な非定常時と、定常時から連続して起こる高頻度な非定常時の2つの側面がある。特に前者では、定常時の体制では対応できない複合状態となり、様々な分野の知が求められ、コミュニティの連携が非常に重要である。後者では、定常時の理解や定常時に潜在しているリスクの理解が重要である。
 - ◇ 個別の要素研究のみならず、全体を把握し他と関連づけて考える視点が必要である。

■ 取り組むべき具体的な研究開発課題について（主要なものを抽出）

- 災害環境マネジメント(強靱化、レジリエント化、知見の体系化、社会実装の方法論検討等)と健康リスク管理の構築
 - ◇ 被災地の応急的水循環システム構築
 - ◇ 災害廃棄物の量的質的把握と管理、含有有害物質の適正管理、対応業務の体系化
- 緊急時の有害物質リスク管理の構築とその実施
 - ◇ 時間スケールを考慮した段階的リスク管理戦略の構築
 - ◇ 上記戦略に基づく有害物質のリスク評価と基準値の検討、実施体制の構築
- 汚染スクリーニング手法の開発と意思決定に資する科学データ提示
 - ◇ 汎用機器による迅速・簡易・網羅的分析手法の開発
- OPEM サイクル(観測・予測・評価・対策)による感染症リスク低減マネジメントの構築
 - ◇ ウイルス検出手法の開発(検出効率向上、迅速化)
 - ◇ 病原体輸送モデルや感染伝播モデルによる予測
 - ◇ 人口・気象・環境情報を統合した感染リスクの評価
 - ◇ 感染性胃腸炎監視システム構築と流行抑制策の実施
- 火山灰・火山ガスの健康影響研究
 - ◇ シミュレーションによる影響や被害の予測
 - ◇ 高感受性者を中心とした健康影響の把握

- ◇ 火山灰やフッ素への対応を中心とした水インフラ対策技術の構築
(その他、観測体制や医療体制構築、他のインフラへの対応策の検討)
- 非定常時における基準の検討とリスク評価
 - ◇ 有害物質の健康影響にとどまらない包括的なリスク評価と費用対効果分析
 - ◇ 高頻度非定常イベントにおける基準の設定(再評価や方法論の構築)
 - ◇ 避難を要するようなイベントにおける基準の設定(リスク緩和や対策立案)
- 研究開発推進の体制や方法に関する基本要件や留意すべき点について
 - 非定常時には広い分野の知が求められ、コミュニティの連携が非常に重要である。
 - 過去の経験の蓄積と活用が重要である。
 - 社会の受容も考慮することが必要である。
 - 低頻度に起こる非定常時も視野に入れて、高頻度にかかる非定常時を対象とすることで、人材と研究の能力を高めてアプローチする視点もある。

付録 1 ワークショップ開催概要・プログラム

- 開催日時 平成 27 年 11 月 30 日(月)13:00 ～ 17:30
- 開催場所 TKP 市ヶ谷カンファレンスセンター カンファレンスルーム 9B
- プログラム

総合司会 松本 麻奈美(CRDS フェロー)

(敬称略)

13:00～13:15	開会挨拶 鹿園 直毅 (CRDS フェロー、東京大学教授) 趣旨説明 松本 麻奈美(CRDS フェロー)
13:15～16:15	セッション 1 話題提供 【発表各 25 分、質疑応答各 5 分】 司会:松本 麻奈美(CRDS フェロー) (1) 平山 修久(国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター 主任研究員) 災害環境マネジメント研究と非定常時の健康リスク管理技術 (2) 鈴木 規之(国立環境研究所 環境リスク研究センター センター長) 緊急時における有害物質のリスク管理の考え方についての NIES の取り組み事例 (3) 宮脇 崇 (福岡県保健環境研究所 管理部 計測技術課 研究員) 非定常時の汚染調査に向けた地方環境研究所の取り組み (4) 大村 達夫(東北大学 未来科学技術共同研究センター 教授) 非定常時における感染症リスクの低減と環境科学・技術について (5) 石峯 康浩(国立保健医療科学院 健康危機管理研究部 上席主任研究官) 火山灰・火山ガスの健康影響に関して取り組むべき研究課題 (6) 村上 道夫(福島県立医科大学 医学部 健康リスクコミュニケーション学講座 准教授) 非定常時の基準設定
16:15～16:25	休憩
16:25～17:25	セッション 2 総合討議 モデレータ:林 信濃(CRDS フェロー) コメンテータ: ・藤倉 良 (法政大学 人間環境学部 教授)※ ・松藤 敏彦 (北海道大学 大学院工学研究院 教授)※ ※H26 年度 CRDS 環境専門会議委員
17:25～17:30	閉会挨拶 倉持 隆雄(CRDS センター長代理)

付録２ ワークショップ参加者リスト

(事前登録分、敬称略)

氏名	所属	役職
講演者・コメンテータ（五十音順）		
石峯 康浩	国立保健医療科学院 健康危機管理研究部	上席主任研究官
大村 達夫	東北大学 未来科学技術共同研究センター	教授
鈴木 規之	国立環境研究所 環境リスク研究センター	センター長
藤倉 良	法政大学 人間環境学部	教授
平山 修久	国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター	主任研究員
松藤 敏彦	北海道大学 大学院工学研究院	教授
宮脇 崇	福岡県保健環境研究所 管理部 計測技術課	研究員
村上 道夫	福島県立医科大学 医学部 健康リスクコミュニケーション学講座	准教授
研究開発戦略センター（CRDS）		
倉持 隆雄	環境・エネルギーユニット	センター長代理 ／上席フェロー
鹿園 直毅	環境・エネルギーユニット／東京大学 生産技術研究所	フェロー／教授
松本 麻奈美	環境・エネルギーユニット	フェロー
林 信濃	科学技術イノベーション政策ユニット	フェロー
島津 博基	環境・エネルギーユニット	フェロー
富川 弓子	システム・情報科学技術ユニット	フェロー
樋口 壮人	海外動向ユニット	フェロー
研究者		
三浦 尚之	東北大学 未来科学技術共同研究センター	特任准教授
科学技術振興機構関係者		
南 裕一	低炭素社会戦略センター	副調査役
渡邊 篤	低炭素社会戦略センター	主査

■ワークショップ企画メンバー■

松本麻奈美	フェロー	(環境・エネルギーユニット)
尾山宏次	フェロー	(環境・エネルギーユニット)
鹿園直毅	フェロー	(環境・エネルギーユニット)
島津博基	フェロー	(環境・エネルギーユニット)
富川弓子	フェロー	(システム・情報科学技術ユニット)
林信濃	フェロー	(科学技術イノベーション政策ユニット)
樋口壮人	フェロー	(海外動向ユニット)

※お問い合わせ等は下記ユニットまでお願いいたします。

CRDS-FY2015-WR-08

科学技術未来戦略ワークショップ報告書

非定常時を想定した環境科学・技術の体系化とその応用

平成 27 年 11 月 30 日 (月) 開催

平成 28 年 3 月 March 2016

ISBN 978-4-88890-487-2

国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター
環境・エネルギーユニット

Environment and Energy Unit, Center for Research and Development Strategy
Japan Science and Technology Agency

〒 102-0076 東京都千代田区五番町 7 K' s 五番町

電話 03-5214-7481

ファックス 03-5214-7385

<http://www.jst.go.jp/crds/>

©2015 JST/CRDS

許可なく複写・複製することを禁じます。

引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

No part of this publication may be reproduced, copied, transmitted or translated without written permission.

Application should be sent to crds@jst.go.jp. Any quotations must be appropriately acknowledged.

