

情報交換会講演会

テーマ 「災害と大気汚染」

日時 平成 24 年 7 月 26 日 (木) 14:00~17:00

場所 名古屋大学 環境総合館 3 階講義室 2

〒464-8601 名古屋市千種区不老町

(地下鉄名城線「名古屋大学駅」下車すぐ)

主催 大気環境学会酸性雨分科会

共催 全環研東海近畿北陸支部共同調査研究 (越境/広域大気汚染)

【講演】

14:00-14:05 はじめに

14:05-15:00 特別講演「原発事故の大気環境影響と予測の可能性」

名古屋大学大学院工学研究科教授 山澤弘実

15:00-15:55 講演 1 「東日本大震災とその後の環境保全」

宮城県保健環境センター 北村洋子

15:55-16:05 休憩

16:05-17:00 講演 2 「滋賀県大気シミュレーションモデルによる光化学オキシダント及び放射性物質の拡散予測」

滋賀県琵琶湖環境科学研究センター 園 正

以上

原発事故の大気環境影響と予測の可能性

名古屋大学大学院工学研究科 山澤弘実

講演では、福島第一原発事故により大気中に放出された放射性物質の環境影響を考える際の着眼点と我々の理解を整理し、大気拡散計算を主体とする予測の有用性と限界について議論する。

今回の事故を含めて原発事故の特殊性は、1)被ばく線量が最終的な評価対象でありその経路が複雑であること、2)事故時ではソースターム（核種、量等）の不確かさが極めて大きいこと、3)環境移行評価で必要となる核種の物理・化学的性状がほとんどの場合に不明であること、4)測定が線量率や濃度といったような異なる物理量について種々の方法で行われ、それが時間・空間的に断片的であることにある。従って、測定のみ或いは大気拡散等のモデルによる評価のみの何れでも環境影響の総体を評価することは困難である。特に緊急時対応では、時間的制約や情報の種類及び量の制約により影響評価は特に難しい。一方では、影響情報に対する社会的ニーズは極めて高く、即時性も求められる。今回の福島事故の影響とサイト外の緊急時対応について、これらの観点から概観し、大気環境分野での反省点と今後の展望を明らかにしたい。

東日本大震災とその後の 環境保全

酸性雨情報交換会
平成24年7月26日
宮城県保健環境センター
北村洋子

震災直後沿岸部被害状況



南三陸町 3月13日



仙台空港 3月16日



名取市 3月12日



石巻市 3月13日

本日の内容

- 1 宮城県の被害状況及びがれき処理状況
- 2 宮城県保健環境センターの被災状況と現状
- 3 環境省及び宮城県の大気緊急モニタリング調査
- 4 今後の課題

宮城県のがれき

宮城県内の災害廃棄物量はおよそ**1,800万t**に及ぶと推定されている。宮城県内の一般廃棄物の排出量は**平成21年度に年間79.5万t**であったが、今回の災害廃棄物量は、これを大きく上回り、約23年分に当たる。これを2年間で処理を実施。

仙台市及び利府町を除いた13市町について地域を4ブロックに分けブロック単位で処理計画の策定及び処理に当たる。

地域ブロックごとに大規模な仮置き場(二次仮置き場)を1箇所あるいは数カ所設置する。

「宮城県災害廃棄物処理実行計画(第1次案)―災害廃棄物処理の基本的考え方―平成23年7月 宮城県」より

現在、宮城県では仮設焼却炉29基が稼働し、がれき処理能力合計値:4,495t/日

「環境省 http://garekikouiki-data.env.go.jp/miyagi_kasetsuro.html」

1 宮城県の被災状況

- 【地震のマグニチュード】**9.0** 観測史上世界第4位の規模
【最大震度】**7(内陸の栗原市で観測)** 過去には兵庫県神戸市、新潟県川口町で観測
【人的な被害】死者:約9,500人, 行方不明者:約1,800人(H24.1.24現在)
(東日本大震災全体 死者:約16,500人, 行方不明者:約3,400人)
【住家の被害】全壊:約84,000棟, 半壊:約138,000棟
(東日本大震災全体 全壊:約128,000棟, 半壊:約243,400棟)
【避難者の状況】ピーク時の3月14日には**1,183施設に32万人以上が避難**
県民の約15%に当たる
【津波被害】津波被害面積の6割が宮城県に集中し、**県土の約4%の327 Km²が浸水した**、これは大阪市の1.5倍の面積に当たる
【地盤沈下】海抜ゼロメートル以下の面積が56Km²となり震災前の**3.4倍**に増えた
【被災直後の状況】気仙沼市は被災直後から火災が発生し町全体が火の海に
南三陸町の歌津大橋の落橋、沿岸部にあるすべての下水道処理施設が破壊された。(完全復旧には数年を要する)
【被災額】合計の被害額:8兆5000億円を超える(個人資産を含むと**10兆円**を遙かに超える被害額になると思われる)
【応急普及状況】仙台空港、仙台塩釜港高砂埠頭、道路や防潮堤 etc.
「復興に命をかける 宮城県知事 村井嘉浩」より

震災1ヶ月後の石巻市内のがれきの様子

石巻市の災害廃棄物発生量は推計値の約30%を占める538万t (3月27日)



土川海岸の防波堤(4m
(1m地盤沈下))

2 宮城県保健環境センターの被害状況



宮城県保健環境センター

昭和47年(1972)4月	新築移転
昭和53年(1978)6月	宮城県沖地震(マグニチュード7.4, 最大震度5)で甚大な被害を被る
昭和62年(1987)4月	微生物棟(2F)新築
平成11年(1999)8月	特定化学物質(ダイオキシン)検査棟(1F)新築
平成18年(2006)8月～	本館耐震工事
平成23年(2011)3月	東日本大震災で5階建本館が壊滅的な被害を被る
平成23年6月～	仙台市内3ヶ所に分かれて業務再開

大気環境部はその他に大崎保健所旧検査室を借りしICP/MS、炭素分析計、試料分解装置、PM2.5用天秤等を設置して業務を遂行している。

最後に避難した職員さん

地研・国環研・民間からボランティア分析申し出

被災直後の試料分析 (大気環境部)

○被災直後に環境省東北地方環境事務所から全国の地方公共団体に向けて被災地支援の照会をしたところ、80の地方公共団体から具体的な申し出があった。

大気環境部ではH22年度分の未分析有害大気汚染物質試料のうち、重金属5成分12件を富山県、ベンゾ[a]ピレン、酸化エチレン各24件を神戸市に分析をお願いした。

○(独)国立環境研究所が宮城県から要請を受ける形で気仙沼地区、南三陸地区、石巻地区の避難所で粉じんの調査を行い、粉じん濃度、重金属類の分析等を実施した。

○アスベスト調査

被災地でサンプリングした試料をボランティアとして分析の申し出があった民間分析機関に分析をお願いした。



宮城県沖地震の被害(1978. 6. 12)



3 環境省及び宮城県の大気緊急モニタリング調査

環境省緊急モニタリング

- ・アスベスト大気濃度
- ・常時監視対象物質(SO₂, NO₂, SPM, CO)
- ・ダイオキシン類及び有害大気汚染物質(優先取組物質)

- ①津波の被害にあった工業地帯の付近等有害物質が流出している可能性が比較的高い地域
- ②ヘドロが大量に打ち上げられている地域
- ③ダイオキシン等有害物質の発生が懸念される地域



宮城県緊急モニタリング(大気)

- ・アスベスト大気濃度
- ・大気中重金属(無機元素)濃度
- ・大気浮遊粉じん濃度

- ①環境省モニタリング対象外の地域
- ②各市町村の要望に沿った地点

アスベストモニタリング調査

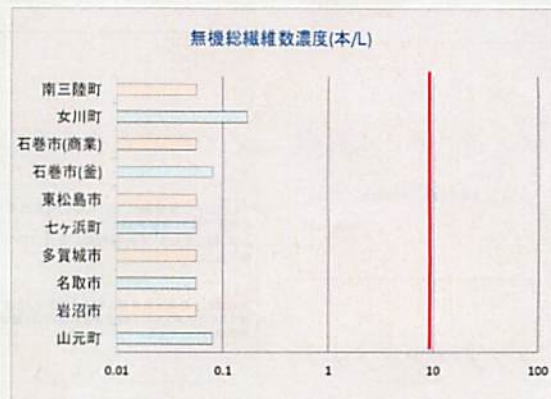


No.	市町名	地点
1	気仙沼市	気仙沼市立高森中学校
2	南三陸町	宮城県志津川高等学校
3	女川町	女川町立女川第二小学校
4	石巻市	石巻市立湊中学校 石巻市商會館
5	東松島市	矢本東市民センター
6	七ヶ浜町	七ヶ浜町生涯学習センター
7	多賀城市	多賀城市立図書館大分室
8	名取市	名取市文化会館 名取市立下郷田小学校
9	岩沼市	岩沼市総合体育館
10	亶理町	亶理町役場
11	山元町	坂元公民館

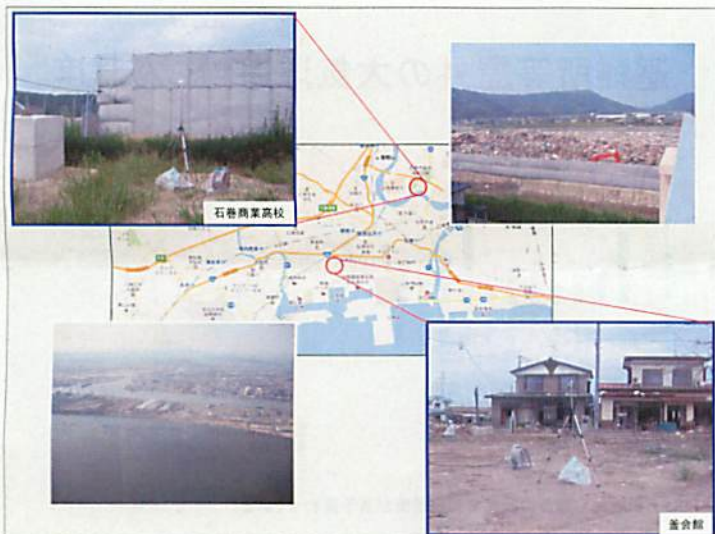
調査箇所

調査地点

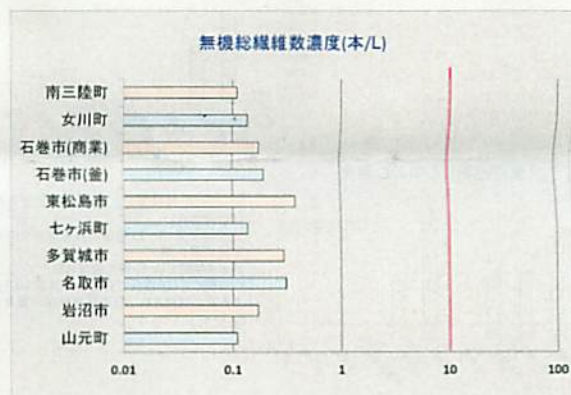
アスベスト調査結果(9月)



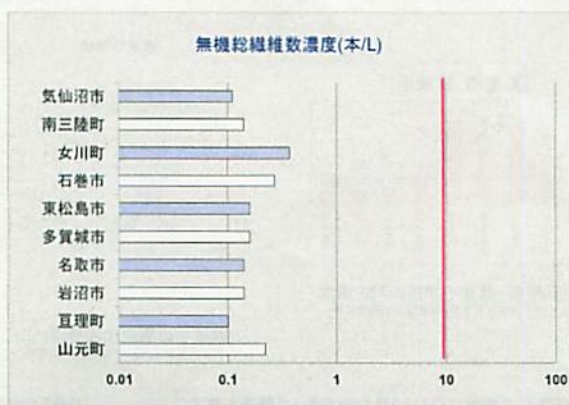
ND(0.06本/L未満)の地点についても、0.06本/Lとして表示している。



アスベスト調査結果(12月)



アスベスト調査結果(6月)

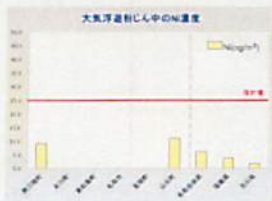


大気中重金属測定結果

経測地点	経測日時	経測流量 (m³)	経測重量 (mg)	経測濃度 (μg/m³)	As	Be	Cr	Hg	Mn	Ni	備考
南三陸町 志津川高校	H23.6.7-9	1007.8	44.0	43.8	0.7	<0.4	65.0	1.5	5.5	9.1	新規所
女川町 女川第二小学校	H23.6.7-9	1003.9	86.2	85.8	2.8	<0.4	98.1	1.9	19.3	<5	新規所
東松島市 矢本東市民センター	H23.6.6-7	1007.4	76.5	102.2	3.3	<0.4	75.5	2.3	37.7	<5	新規所
名取市 名取市文化会館	H23.6.14-15	1002.1	35.4	35.3	<0.4	<0.4	472	1.5	9.5	<5	新規所
亶理町 亶理町役場	H23.6.1-2	1006.4	44.6	44.4	0.8	<0.4	124	2.2	5.5	<5	居住区域
山元町 坂元公民館	H23.6.1-2	1008.2	41.4	41.3	0.6	<0.4	56.6	1.8	4.0	11.1	居住区域
平均値					0.5		40				
H23年度 平均値					0.27	<0.6	3.0	1.8	22	6.2	
環境大気汚染測定局					0.79	<0.6	3.4	1.7	17	3.7	
古川日大気汚染測定局					0.70	<0.6	2.0	1.7	12	1.6	
宮城県内の測定値の範囲(H19~22)					ND~5.1	ND	0.37~15	0.75~5.1	0.77~94	ND~9.7	

*分析は21ヶ試料から直接2cm以内の切り出した3粒を適用。各粒の平均値を算出(1粒平均)および設置状態を考慮し、本報告を決定。

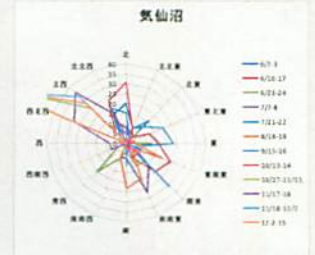




As, Hg, Niの重金属については測定地点6ヶ所で指針値を下回った。
BeIに関してはいずれも検出下限値以下であった。

指針値とは、環境中の有害大気汚染物質による健康リスクの低減を図るため環境省が設定した環境目標値の一つである。

避難所等屋外の大気浮遊粉じん濃度

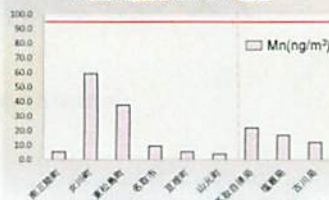


気仙沼のTSP濃度
赤線は仙台市平均、破線は95%信頼区間
色の濃いカラムは2週間連続

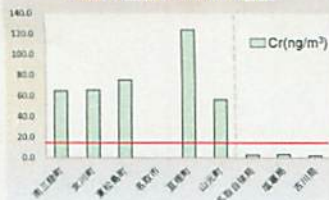
気仙沼の風向出現頻度(%)
同地点の観測データ(1時間値)から作成

中島大介氏提供

大気浮遊粉じん中のMn濃度

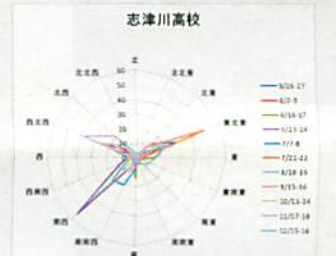
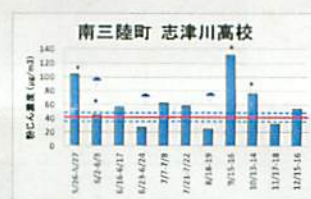


大気浮遊粉じん中のCr濃度



Mn, Crには指針値のような環境省の定めた指針値はない。
赤線は平成19～22年度の宮城県内の測定値の最大値。
過去4年間でMnの最大値は94。
Crに関しては5地点で過去の最大値15を超える値が観測されたため経過観察の要あり。

避難所等屋外の大気浮遊粉じん濃度



志津川高等学校のTSP濃度
赤線は仙台市平均、破線は95%信頼区間
*はグラウンドでの捕集、黒印は校舎前

志津川の風向出現頻度(%)
気象庁観測データ(10分間値)から作成

*仮設住宅建設の関係で測定場所が若干変わっている。

中島大介氏提供

大気浮遊粉じんに関する調査 (避難所・がれき置き場)



No.	市町名	地点
1	気仙沼市	本吉広域防災センター
2	南三陸町	宮城県志津川高等学校
3	石巻市	石巻市立渡波小学校 石巻市立渡波小学校 宮城県石巻商業高校

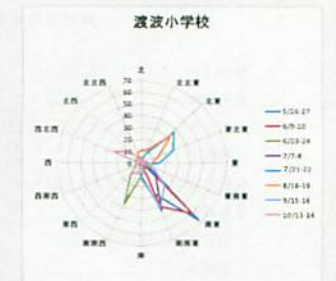
調査箇所



石巻市での肺炎やぜんそくの患者数は、被災後1カ月の時点で例年の4倍近くになっているとの報告があった。(石巻赤十字病院)

調査地点

避難所等屋外の大気浮遊粉じん濃度



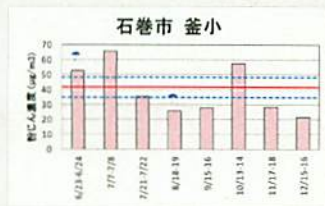
石巻市 渡波小学校のTSP濃度
赤線は仙台市平均、破線は95%信頼区間

渡波小の風向出現頻度(%)
気象庁観測データ(10分間値)から作成

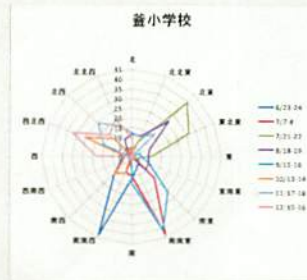
*避難所の解散に伴い10月14日をもって調査を終了。

中島大介氏提供

避難所等屋外の大気浮遊粉じん濃度



石巻市 釜小のTSP濃度
赤線は仙台市平均、破線は95%信頼区間



釜小の風向出現頻度(%)
気象庁観測データ(10分間値)から作成

中島大介氏提供

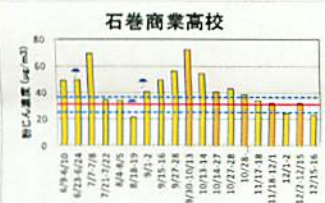
* 南方方向に日本製紙石巻工場をはじめとする工場地帯がある。9月以降部分的に操業を開始。



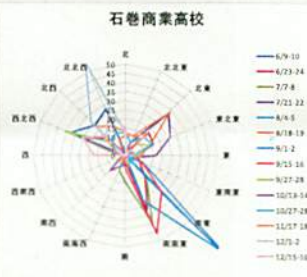
復興へ
頑張ろう!
みやぎ

ご清聴ありがとうございました。

一次仮がれき置き場近辺の 大気浮遊粉じん濃度



石巻市 石巻商業高校のTSP濃度
赤線は同地点の過去平均、破線は95%信頼区間
色の濃いカラムは2週間連続



石巻商業高校の風向出現頻度(%)
気象庁観測データ(10分間値)から作成

* 石巻商業高校の北側、廊下の窓からすぐそばに一次仮がれき置き場の山が見える。

今後の課題

■アスベスト調査

・建築物等の解体、解体物の運搬・処理及び発生した災害廃棄物の処理が本格化するため、継続的なモニタリングが不可欠である。

■重金属、大気浮遊粉じん調査

・避難所は閉鎖され、被災地域で暮らす人々の生活環境は改善されつつあるが、一次、二次がれき置き場に堆積しているがれきには腐敗物、重金属などが含まれている可能性がある。
・Cr濃度の測定値が高値を示したこともあり、濃度の推移等を今後も注視していく必要がある。

■ダイオキシン調査

・震災廃棄物の焼却処理の本格化と工場再開により一斉に焼却施設等が稼働することによるダイオキシン類の排出状況を把握する。

解説

福島第一原発事故の大気を介した環境影響 環境影響の全体像把握に向けた第一歩

名古屋大学大学院工学研究科 山澤 弘実, 平尾 茂一

事故放出された放射性物質の環境影響について、現在は現地測定が精力的に進められており、徐々にその詳細が明らかになりつつある。一方、影響の全体像については公的な説明が一切なされていない。事故のいずれの段階でも、たとえ概要であっても生じた重大な環境影響の全体像をとらえ、社会に伝える努力が施設外事故対応の基本であろう。

I. はじめに

福島第一原子力発電所の北西方向での他の地域に比べて高い空間線量率の状態が、本稿を執筆している2011年5月初旬の段階でも継続している。事故サイトから100~200 km以上離れた関東地方では3月15、16日の空間線量率上昇が見られ、21日以降の水道水や農作物から放射能が検出された。また、一方では南相馬市の海岸寄りの地域等では比較的距離でも空間線量率が低い。

これらの測定結果は国等の機関から公表されているが、質の異なる生のデータが時間的・空間的に統一性のない羅列の形で複数の機関から公表されており、事故後、2ヶ月を経過した段階でも影響の総体について公的な形で説明がなされていない。特に事故初期の2週間程度の間に、プラントからの放射性物質放出状況に関する情報が皆無のまま、我が国がかつて経験したことのない事故放出放射能による環境汚染が各所で次々と検出され、米国を始めとする諸外国の反応も大きかったこともあり、断片的な情報が逆に憶測や社会混乱の原因になったように思える。環境分野を専門とする者ですら関係機関のホームページやマスコミから得られる情報を集めて注意深く解析しないと、事故規模や環境影響がどのように進行しているのかの大まかな輪郭さえとらえにくい状況であった。

放射性物質の海洋放出も重大な影響を与えているが、本稿では大気放出に限って事故の環境影響をもう少し分析的に見ることにする。比較的短期間で起こる影響を考える上で重要な視点は、(1)事故施設から放出された放射性核種の種類と量の時間経過、(2)大気中輸送現象の結果としての影響地域での放射性物質の大気中濃度と地表面

沈着量(土壌、水および農作物汚染)、(3)大気中の放射性物質からの放射線による外部被ばく(クラウドシャイン)および吸入による内部被ばく、(4)地表面沈着核種による外部被ばく(グランドシャイン)である。ここでは、これらの視点から大気輸送を中心に今回の事故影響を暫定的に概観することにする。

これらの視点のほかに、長期の影響を考慮すると地表沈着核種の再浮遊による内部被ばくや農作物への移行等が必須の視点となる。また、これらの事故影響の把握とそれに基づく対策立案・実施が適時・適切に行われたか、その結果が周辺住民の安全確保に寄与したか、情報が適切に公開され国民および世界の国々での混乱回避に寄与したかといった視点からは、今後、客観的かつ多面的に厳しい教訓が導かれることが必至である。ここでは予断を避けるべきであるが、情報が十分整理されていない現時点において本稿を執筆する制約上、事実と予断を区別することができない場合があることをあらかじめお断りする。

II. 事故施設からの大気放出

今回の事故では、大気放出された放射性核種、放出量(率)、放出形態(位置、連続的あるいは間欠的)、およびこれらの放出源情報の時間経過が施設側からの情報として全く得られていないことが、施設外の環境影響を見積もり、対策を立案する際に大きな障害となったことは明らかである。施設外の緊急時対策におけるこれらの情報の必要性・重要性が認識されていないのか、認識されているとすればなぜ必要な情報の収集が行われなかったのか、あるいは見積もる手段あるいは能力がなかったのか、十分に検証される必要がある。本章では、施設側からの情報が全く期待できない状況において、得られている限られた環境モニタリング結果等の情報からの放出源情報の推定について、原子力安全委員会から公表された推定結果も含めて概説する。

Impacts of Fukushima Daiichi NPP Accident through Atmospheric Environment: Hiromi YAMAZAWA, Shigekazu HIRAO.

(2011年5月31日 受理)

1. 施設等のモニタリングデータ

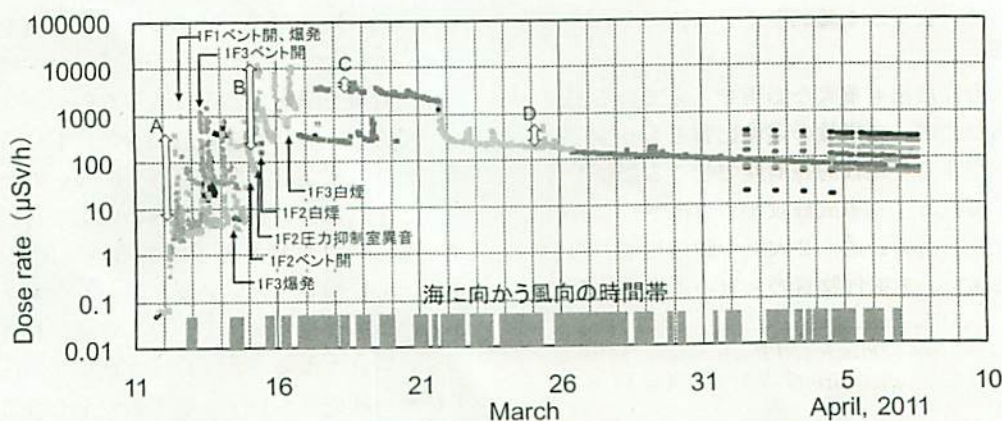
排気筒経由の放出であれば排気筒モニタから放出率の見積もりが可能である。しかし今回の事故では、電源喪失によるものは不明であるが排気筒モニタの情報は全く得られていない。また、常設のモニタリングポストによる敷地境界での空間線量率の測定結果も得られておらず、3月中はモニタリング車により、おおむね1地点(正門あるいは西門が主)において10分間隔で線量率が得られているに過ぎない。測定者にとっては自身の被ばくや汚染を伴う作業であり、多大の苦労があったことは想像に難くないが、放出に関する大まかな傾向は読み取ることができるものの、放出源情報の経時変化を定量的に得るための情報として十分ではない。事故初期ではその拡充が行われず、影響評価で最も重要な14~16日にかけて測定箇所が減らされ、大量の大気中放出が継続していると見られていたその後2週間ほどの期間は拡充されなかった。4月以降、敷地境界のモニタリングポストで線量率が測定されるようになった。しかし、放出率がかなり低減した段階では最小位が1 $\mu\text{Sv/h}$ のモニタリングでは、3月中のような極めて大量の放出がないことの確認に過ぎず、継続している放出の大きさを見積もる情報となり得ない。敷地外には福島県が20点以上の観測局を設けているが、地震および停電の影響によるものと思われるが、線量率、気象等の対策立案に必要な情報が得られていない。

第1図に事業者が公表した敷地境界(原子炉建屋から1 km 程度の距離)での空間線量率の測定結果を示す¹⁾。3月16日以前では線量率は大きな増減を繰り返しており、特に15日午前以前については放出を伴うであろうと推定される事象と対応している。図では線量率モニタリングに付随して測定された風のデータから、風向が海側に向かう時間帯をハッチした。風の測定はおそらく地上2, 3 m 程度で行われたものと思われ、平坦でない地形を考慮すると測定された風向がサイト全体の風を代表するものか注意が必要であるが、15日午前以前では、陸側に向かう風向が継続した時間帯でも線量率上昇のない場

合が多い。したがって、放出を引き起こす事象に伴う間欠的な放出であった可能性が高いと考えられる。

一方、16日以降では、内陸に向かう風向の時間帯では高い頻度で線量率上昇が見られる。ブルームが通過する際の線量率上昇は、ブルームの中央部が測定点の極近傍を通過するかある程度の距離を持って通過するかで大きく異なる。このことは、簡易な計算でも示すことができ、東海村臨界事故での測定値にも明瞭に見られた。地上付近の風向は大気乱流による揺らぎと気象場の経時変化により絶えず変動することを考え合わせると、線量率に見られる短時間の変動は、ブルームの軸が測定点を横切ったこと(放出点を支点とする時計の針でブルームを例えると、針がスweepすること)を表しており、放出の変動を表しているとの見方は大方間違いない。これらのことを考慮すると、16日以降は放出が連続的に継続しているように筆者らには見えるが、現時点では確信を持っている訳ではない。風向変動の影響は15日午前以前についてもあてはまり、線量率変動の形状は必ずしも放出モード(放出率の時間変化パターン)を表しているとは限らない。

以上の考察より、敷地境界の線量率データから放出モードを推定するのは簡単ではないが、線量率の上昇幅はその時の放出率の情報を持っている可能性が高い。第1図にA, B等の符号を付して例示したように、各ピークの大きさを拾い上げ時系列を得れば、その包絡線は良い近似で放出モードの包絡線と見なすことができるものと考えられる。この考えに基づく解析結果は本稿では省略するが、放出は14日夕方までは比較的小さく、15日に最大であり、その後3月末にかけて漸減し、その時点で最大から3, 4桁小さいと推測される。ただし、この概算では線量率に寄与する核種組成の時期の違いは考慮していない。今後、線量率変動の特徴、例えばグランドシャイン成分の減衰やスカイシャイン成分とグランドシャイン成分の比等から放出源に関するその他の情報を引き出せる可能性がある。



第1図 事業者による敷地境界付近での空間ガンマ線線量率のモニタリング値¹⁾

2. 遠方データからの放出源情報推定

4月12日に原子力安全委員会から、事故当初から4月5日までのヨウ素131およびセシウム137の放出量の暫定推定値がそれぞれ 1.5×10^{17} Bq および 1.2×10^{16} Bq と公表された²⁾。この推定値は、原子力安全・保安院公表の値(1.3×10^{17} Bq および 6.1×10^{15} Bq)³⁾とともに、INES(国際原子力・放射線事象尺度)レベル7との暫定評価の根拠となったものである。この原子力安全委員会の情報は、論文として公開される情報⁴⁾の公表日時点までのものである。図表等は参考論文に譲り、ここでは要点のみ概観する。

この推定値は、測定された放射性核種の大気中濃度をSPEEDIおよびWSPEEDIによる大気拡散計算で再現するために必要な放出率として得られている。すなわち、大気拡散計算では単位放出(例えば、各核種が1Bq/hで放出されたこと)を仮定し、測定で得られた濃度を計算で得られた濃度(この場合は希釈率に相当)で除することによって放出率を得たものである。ただし、15日は放出率推定に使用できる大気中濃度が得られていないために、事故施設から北西方向の地表面沈着核種からのグランドシャイン線量率の測定値と計算値を用いて推定されている。

その結果は、ヨウ素131の放出率は3月14日までは 10^{14} Bq/h台、15日のある時間帯は 10^{16} Bq/h程度、その後、24日頃までは 10^{14} Bq/h台で推移し、その後、3月27日にかけて 10^{13} Bq/h以下までに減少したものと推定されている。その後、3月末に一たん 10^{14} Bq/h程度に増加し、その後数日の間に 10^{12} Bq/h程度に減少したとされている。この変化の傾向は、前節で述べた敷地境界付近での線量率から推定される放出率変動と類似したものである。セシウム137については、対ヨウ素131比が時間の経過とともに増加しているものの、おおむね同様の変動傾向である。

類似の方法による推定は過去にも行われており、例えばチェルノブイリ事故⁵⁾、欧州での医療用セシウム137焼却による大気放出事故⁶⁾、JCO事故⁷⁾では他の方法による推定値と整合性のある結果が得られており、詳細な推定は原理的にできないが比較的堅牢な方法である。

一方、今回のこの推定方法には大きな不確かさが含まれている可能性がある。大気拡散計算では主に風速場および大気乱流場の誤差に起因する誤差が含まれ、計算で得られたブルームの位置および到達時刻等は必ずしも実測と一致するとは限らない。また、測定値がブルームの主要部をとらえたものであるかどうか推定精度を左右する。今回の場合、大気中濃度測定値の数は極めて限定的であるため、放出率の推定精度および時間変動把握の詳細さは限られ、公表された値は暫定的なものとみるべきで、今後、検証が必要である。

この観点から、事故初期に緊急時モニタリングにより

大気中濃度がほとんど得られていないことは、前述の近傍での線量率モニタリングが不足していることとあわせて、放出率推定と環境影響の視点での事故規模把握にとって、さらに重要なこととして周辺住民の内部被ばく防護の観点から重大な欠陥である。事故発生後1週間以上にわたり緊急時モニタリングによる大気中濃度の測定が行われなかったのは(あるいは、行われたがデータが得られていないのか筆者にはわからないが)、施設外の事故マネジメントとして不可解である。

Ⅲ. 大気拡散の状況

1. 概要

5月の段階でも敷地内の線量率には風向変化とある程度相関を持って変動していることから、大気中放出が継続していると見られるが、その放出率は3月中と比べると数桁小さいものであると考えられる。したがって、放出率が大きい3月25日頃までの大気拡散状況が環境影響の様態をほぼ決定づけたと見ることができる。本稿ではその期間のみ対象とする。ただし、それ以外の期間の大気放出による影響が無視できないことは当然である。

この重要な期間での影響を、①20km圏内での拡散と沈着による汚染(近距離影響)、②施設北西方向の数十km範囲への影響(北西域影響)、③福島県中通りや他の東北地方および関東地方への広域影響の3種類に分類すると把握しやすい。

近距離影響については、まだモニタリング情報が十分公開されておらず、大量放出期間の汚染の進展や現状での汚染分布の把握は不十分である。4月に文部科学省が初めて公表し、その後、数回測定が追加された20km圏内の線量率⁸⁾(主にグランドシャインで、土壌汚染を反映)は、 $100 \mu\text{Sv/h}$ を超える高い地点と、主にサイト北側の海岸近くの $1 \mu\text{Sv/h}$ 以下の地点が混在しており、汚染の局在性が強い。これは、事故施設からのブルームが伸びる方向、その時の放出率および降水の有無によって決定されたものと解され、今後、詳細な測定と解析が必要である。

2. 北西方向の汚染

海岸域では、一般場の気圧傾度が小さくなると海陸風循環が卓越し、福島第一原子力発電所の地域では夜間海側に向かっていった風が早朝に南側に向き、その後、順に南西、西を経由し午後から夕方にかけて北西に向かう時計回りの風向変化が何度も起こっている。また、阿武隈山地の斜面および谷地形に伴う谷風との複合による内陸への輸送が起こったものと考えられる。3月中の放出率が大きい期間では、15日、20日がその例である。特に、15日は他の日に比べて放出率が1~2桁大きいと見積もられており、このときに起こった海風・谷風による内陸部への輸送と夜間の弱風による滞留が大気輸送面での汚

染域形成の一要因である。ただし、現時点では、15日の何時頃に放出された放射性物質が北西域汚染に寄与したかは、十分把握されていない。

さらに、同日夕方から翌日にかけて降水が観測された。福島市では15日夜は雨であったが、気温が低下した16日未明は雪のため、標高の高い阿武隈山地では15日夜間も雪であった可能性が高い。降水がある場合の放射性物質の沈着(湿性沈着)は降水が関与しない沈着(乾性沈着)に比べて格段に大きな地表汚染をもたらす。重力沈着が効く大粒径粒子状の放射性物質を除くと、乾性沈着では地表面に接する空気中の放射性物質のみが沈着し、上空の放射性物質の寄与は、大気乱流による鉛直輸送を経る必要がある。すなわち、乾性沈着は地表面に近い大気中放射性物質が主に寄与する。一方、湿性沈着では、降水が落下過程で大気中の放射性物質を高い効率で捕捉して地上に運ぶ。したがって、希ガスを除き大気中に存在するすべての放射性物質が沈着の寄与源となり得る。

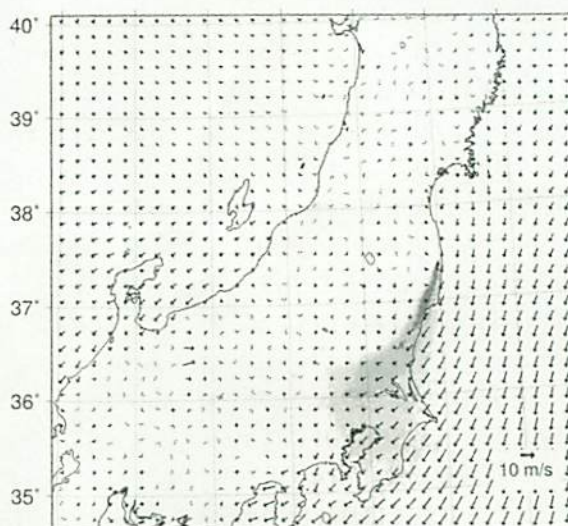
以上に加えてグランドシャインによるガンマ線線量率の経時変化に対する考察を加えると、北西方向の汚染域は、3月15日の高放出率、局地風循環および降水の3条件が重畳したことによるものと結論づけられる。この北西方向の汚染域(沈着によるグランドシャイン)は、遅くとも3月16日早朝の段階で原子力災害対策本部により行われた2号機圧力抑制室損傷を想定したSPEEDI計算の結果(原子力災害対策本部事務局の計算第41項)⁹⁾として把握されており、実際の汚染状況と近い分布が得られている。また、15日午後以北西方向へ拡散する可能性が高いことは、同日未明の段階でのSPEEDI計算より現地災害対策本部でも予測結果を得ている(現地原子力災害対策本部の計算第3項)¹⁰⁾。

3. 広域影響

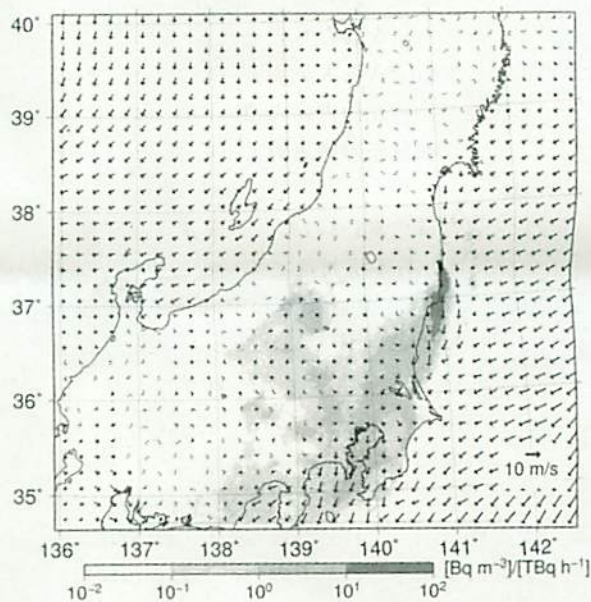
着目期間での広域影響で顕著なものは、①12日の北方向への影響(女川での線量率上昇)、②15~16日および③20~22日の関東地方とその他の地方への影響である。本節では②および③の関東方面への影響について述べる。これら2つの事例についての数値モデル⁷⁾による大気輸送計算結果の例を第2図に示す。気象庁と電力中央研究所の解析気象データJRA 25を入力として非静水圧近似大気力学モデルMM5により風速場および乱流場の3次元分布を計算し、ラグランジュ型の拡散モデルにより濃度場を得たものである。いずれの計算も大気輸送の概要把握を目的とし、実際の放出率とは異なる一定の放出率を仮定し、沈着を含まない大気輸送過程のみを考慮した大気中濃度の暫定計算結果であるため、実際の濃度分布とは異なることに注意していただきたい。

福島第一原子力発電所が立地する東南北部-関東北部の阿武隈山地東側の太平洋岸では、本州南岸に低気圧あるいは停滞前線があり、北高の気圧配置の場合、阿武隈

09 JST 15 March 2011



09 JST 22 March 2011



第2図 事故放出放射性物質(非沈着性)の1時間平均地上大気中濃度の1 TBq/h 連続放出を仮定した計算結果例(上図:2011年3月15日9時, 下図:3月22日09時)

山地が障壁となり、大気下層0.5~1 km 程度では海岸線に沿って南向きの風が吹き、阿武隈山地が途切れ関東平野が開ける東海村付近から北東からの風となって内陸に入り込む風系が高い頻度で形成されることが知られている。このような風は一般的には海洋性の安定な温度成層を伴うことが多いため、拡散混合は小さく高濃度が維持されやすい傾向を持つ。また、関東地方では低気圧あるいは前線による降水を伴う頻度が高いことも特徴である。

②および③の期間はいずれもこの状況によるものである。幸いにも②の期間での降水は限られた地域だけでかつ弱いものであったため、湿性沈着の影響は大きく出現しなかったと考えられる。また、15日に関東地方に影響

を与えたブルームは、大気輸送の時間経過を考え合わせると前日深夜から当日朝に放出されたものであり、北西方向に影響を与えたブルームとは異なり比較的放出率が小さかった可能性もある。このような拡散状況は、3月15日の時点で文部科学省および日本原子力研究開発機構により WSPEEDI の計算結果が得られており⁸⁾、その結果は筆者らの事後計算と類似し、濃度等値線の値は未確定であるものの分布の全体像とその時間進展は現実に近いものであったと考えられる。

一方、③の事例では、前述の風系による輸送が長時間継続し、さらに21~22日に関東全体で強い降雨が継続したことにより、広い範囲で放射性物質の沈着による影響をもたらした。影響の範囲および程度は実測に基づき評価されなければならないが、影響範囲が広い実測と大気輸送計算との相補的な総合解析が必要である。

IV. さらに気がかりは

事故に伴う大気中放出放射性物質の影響については、定量性や空間的な詳細さは未だ不十分な状況であり、今後、実測に基づき把握することが、環境修復に向けた作業の第1段階である。

一方、今後の測定によって評価できない事項もある。まず、ブルーム通過時のクラウドシャインによる外部被ばく線量と吸入による内部被ばく線量である。各地で測定された線量率および大気中濃度から、広域での影響は小さいものと想定されるが、放出率を確定した後に SPEEDI 等の計算により被ばく線量を評価(線量再構築)し、その値が十分小さいことを確認する必要がある。特に、大気中濃度等の測定データの少ない事故初期および事故施設近傍ではその必要性が高い。

また、海洋汚染が問題となっており、その原因として4月上旬の滞留水放出(核種区別なし、 1.5×10^{11} Bq)と同時期の2号炉取水口付近の漏洩(主要核種の総量 4.7×10^{15} Bq)等の放出量が評価されている。汚染の影響は今後、長期間監視されることになるが、その原因としてこれら液体での放出・漏洩のみしか評価されていないのは明らかに片手落ちである。大気中放出量はこれらの量に比べて1~2桁大きいこと、大気放出された放射性物質は陸域に向かっていった時間より海上に向かっていった時間が長いこと、さらに海上の大気中放射性物質はいずれ海洋に沈着することを考えると、比較的広域での本当の海洋汚染源は大気中への放出であることは明らかである。筆者の調査不足であればよいのだが、この点について責任ある機関からの公的コメントが見当たらないのが気が

かりである。今後、もし未公開の測定結果が存在していたり、第三者や国外からの指摘で上記のような問題点を検討するようでは、事故の環境影響の全体像をありのままに把握しようとする姿勢とはいえず、関連分野の学会員・研究者からの信頼すら回復できない。

— 参考資料 —

- 1) 東京電力㈱, <http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/f1/index-j.html>
- 2) 原子力安全委員会, <http://www.nsc.go.jp/info/20110412.pdf>
- 3) 原子力安全・保安院, <http://www.meti.go.jp/press/2011/04/20110412001/20110412001-1.pdf>
- 4) M. Chino, H. Nakayama, H. Nagai, H. Terada, G. Katata, H. Yamazawa, "Preliminary Estimation of Release Amount of ^{131}I and ^{137}Cs Accidentally Discharged from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant into the Atmosphere", *J. Nucl. Sci. Technol.*, 48, (2011). (accepted)
- 5) M. Chino, H. Ishikawa, H. Yamazawa, et al., *Application of the SPEEDI System to the Chernobyl Reactor Accident*, JAERI-M 86-142, (1986).
- 6) 山澤弘実, "Algeciras での Cs-137 大気中放出事故の長距離拡散解析", 日本原子力学会誌, 41, 114-116 (1999).
- 7) S. Hirao, H. Yamazawa, "Release rate estimation of radioactive noble gases in the criticality accident at Tokai-mura from off-site monitoring data", *J. Nucl. Sci. Technol.*, 47[1], 20-30 (2010).
- 8) 文部科学省, http://www.mext.go.jp/a_menu/saigaijohou/index.htm
- 9) 原子力安全・保安院, http://www.mext.go.jp/a_menu/saigaijohou/syousai/1305747.htm
- 10) 原子力安全・保安院, http://www.nisa.meti.go.jp/earthquake/speedi/ofc/speedi_ofc_index.html

著者紹介

山澤弘実(やまざわ・ひろみ)
名古屋大学大学院工学研究科
(専門分野/関心分野)放射性物質の環境動態, 原子力環境安全

平尾茂一(ひらお・しげかず)
名古屋大学大学院工学研究科
(専門分野/関心分野)環境放射能・放射線, 大気環境動態