

## 環境への放出から生活環境への影響に至る経路の総合解析

森口 祐一

Twitter @y\_morigucci

東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻(本郷キャンパス)  
(兼担)新領域創成科学研究科環境システム学専攻(柏キャンパス)

(独)国立環境研究所客員研究員、前循環型社会・廃棄物研究センター長

1

## 講義内容

1. はじめに ~自己紹介を兼ねて~
2. 昨年3月15日頃、21日頃に起きたこと
3. 放射性物質による下水汚泥や都市廃棄物の汚染
4. 放射性物質の環境中での移動と被ばく経路
5. 汚染の地域分布と「都市濃縮」によるホットスポット
6. 横断的なモニタリングと総合解析の必要性

2

### 略歴

- 京都大学工学部衛生工学科卒業
- 1982年、国立公害研究所(現(独)国立環境研究所)研究員
- 環境庁、OECD事務局勤務、国立環境研究所循環型社会・廃棄物研究センター長等を経て
- 2011年4月より東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻・教授
- 中央環境審議会臨時委員、東京都環境審議会委員
- OECD環境情報作業部会元議長(2003～2008)
- 国連環境計画持続可能な資源管理に関する国際パネル・メンバー(2007～)
- 環境回復検討会委員、水道水における放射性物質対策検討会委員、  
下水道における放射性物質対策に関する検討会委員
- 日本学術会議特任連携会員(東日本大震災復興支援委員会放射能対策分科会委員)

### 在学当時の京都大学衛生工学教室の構成

	キャンパス	講座名
1研	吉田	水道工学
2研	吉田	放射線衛生工学
3研	吉田	環境衛生学
4研	吉田	衛生設備学
5研	吉田	水質工学
6研	吉田	産業衛生工学
7研	宇治	原子エネルギー研究所原子炉保安工学部門
8研	熊取	原子炉実験所廃棄物処理設備部門

3

第2回環境回復検討会(平成23年9月27日)  
委員提出資料

## 空間線量別・土地利用別面積の推計結果 (汚染土壌量、廃棄物量推計の基礎データとして)

東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻

森口祐一

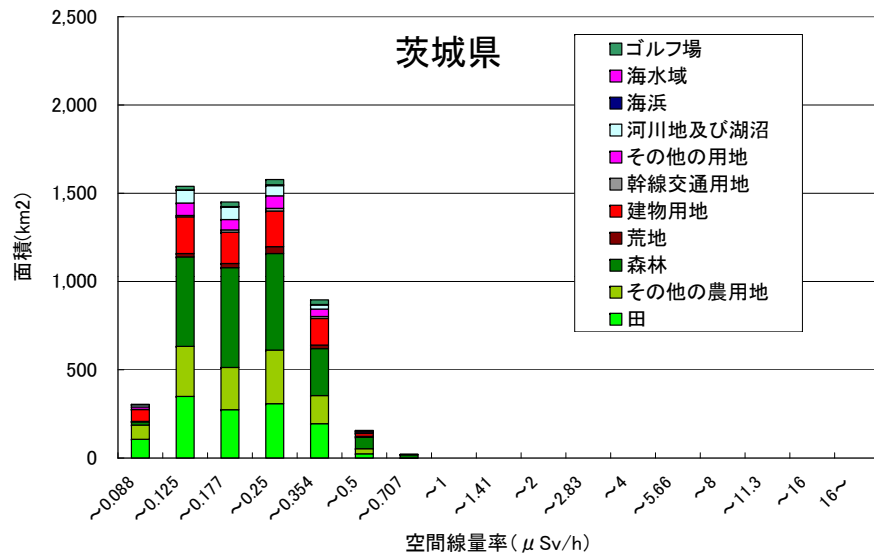
本資料は、インターネット上で有志により作成された線量マップ\*  
<http://www.nnistar.com/gmap/fukushima.html>

をもとに、国立保健医療科学院政策技術評価研究部・健康危機管理研究部の高橋邦彦氏の全面的な協力により、地理情報システム(GIS)を用いて集計されたデータをもとに、提出者が編集、グラフ化したものです。この集計作業は7月上旬に行ったものであり、空間線量はそれ以前の測定値を用いています。このため、現時点よりも線量が高めに集計されています。

本資料の作成の経緯、最近の報道との関係については末尾の注釈を参照下さい。

\*) 第1回環境回復検討会(平成23年9月14日)委員提出資料参照

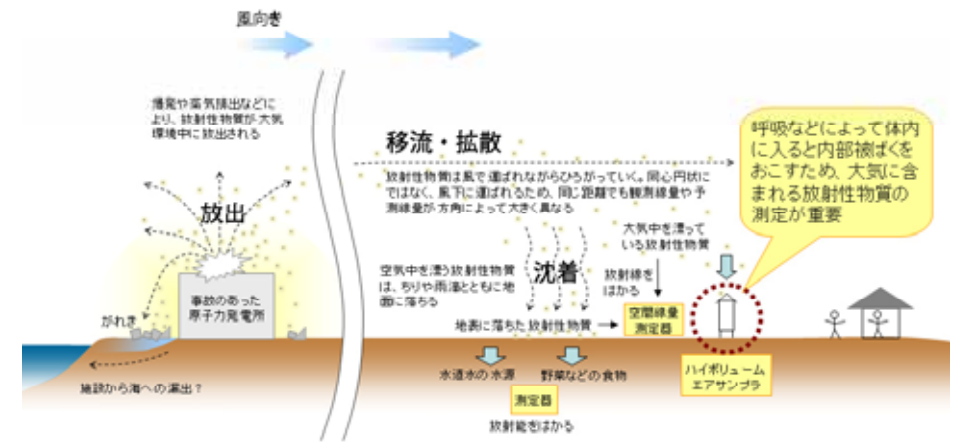
4



5

## 環境中へ放出された放射性物質のゆくえ

(講演者の作成した図をもとに国立環境研究所在任最終日(2011/3/31)に国環研HPに掲載)



出典: 国立環境研究所ホームページ

関連リンク: 高エネルギー加速器研究機構ホームページ

6

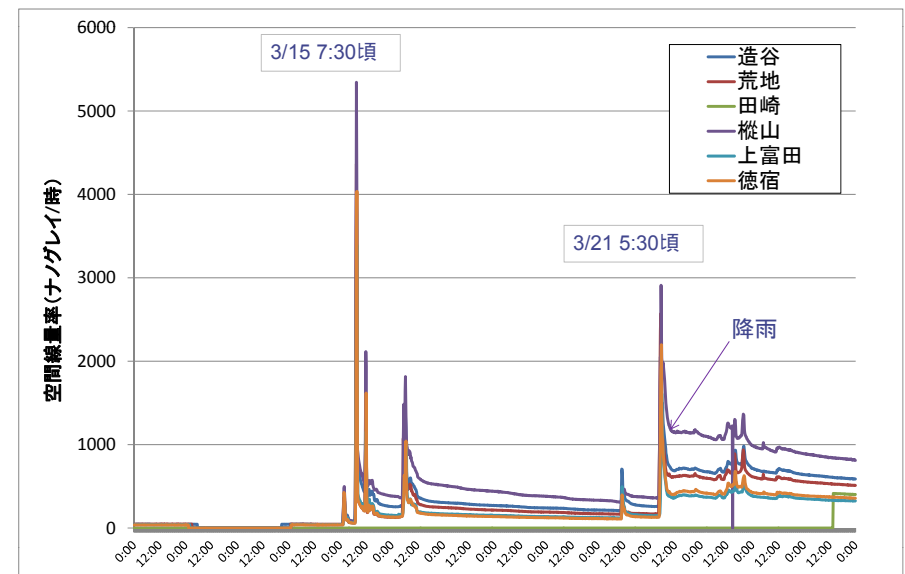
## 茨城県放射線監視センターのモニタリング局の配置



<http://www.pref.ibaraki.jp/bukyoku/seikan/houshasen/housyasengyoumu.html>

7

## 茨城県放射線監視センターの鉾田地区のモニタリングデータ



[http://www.houshasen-pref.ibaraki.jp/earthquake/doserate\\_2011.html](http://www.houshasen-pref.ibaraki.jp/earthquake/doserate_2011.html) の掲載データから作成

8

## 講義内容

1. はじめに ~自己紹介を兼ねて~
2. 昨年3月15日頃、21日頃に起きたこと
3. 放射性物質による下水汚泥や都市廃棄物の汚染
4. 放射性物質の環境中での移動と被ばく経路
5. 汚染の地域分布と「都市濃縮」によるホットスポット
6. 横断的なモニタリングと総合解析の必要性

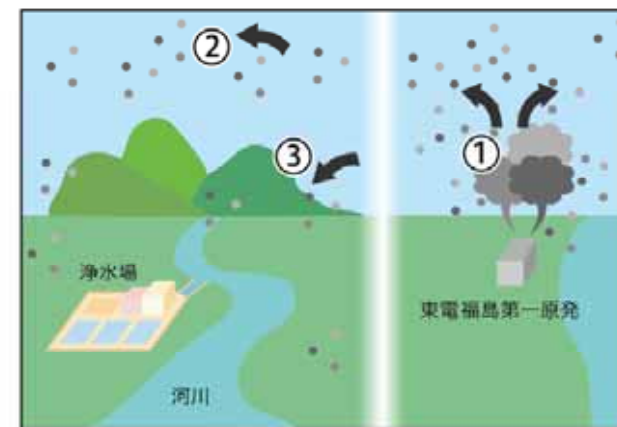
9

## さまざまな媒体中での放射性物質検出の主な経過

3/23	金町浄水場で水道水から210Bq/kgのヨウ素検出を公表 (その後、浄水処理に伴う発生土からも放射性物質を検出)
5/1	福島県中浄化センター(郡山市)において、下水汚泥から26,400Bq/kg、溶融スラグから334,000Bq/kgのセシウム検出を公表
5/8	福島市堀河町終末処理場の下水汚泥から、446,000Bq/kgのセシウム検出を公表
6/28	東京都江戸川清掃工場の焼却灰から9740Bq/kgのセシウム検出を公表 環境省が16都県の一般廃棄物焼却炉の焼却灰の調査を指示
8/29	焼却灰中から8,000Bq/kg以上のセシウムが検出されたのは1都6県計42施設との調査結果を公表。最大は95,300Bq/kg(福島市)
10/23	千葉県柏市の市有地の側溝破損箇所の近傍で、57.5μSv/hの空間線量、土壌中セシウム濃度276,000Bq/kgを検出
12/28	上記箇所における環境省の調査結果の最終報告。最大で土壌中のCsは450,000Bq/kg。Cs134/Cs137比、土壌の性状から、不法投棄等ではなく、原発事故由来のものが現地で濃縮されたものと推定。 集水域の雨水拵中の泥のセシウム濃度は650,000Bq/kg

10

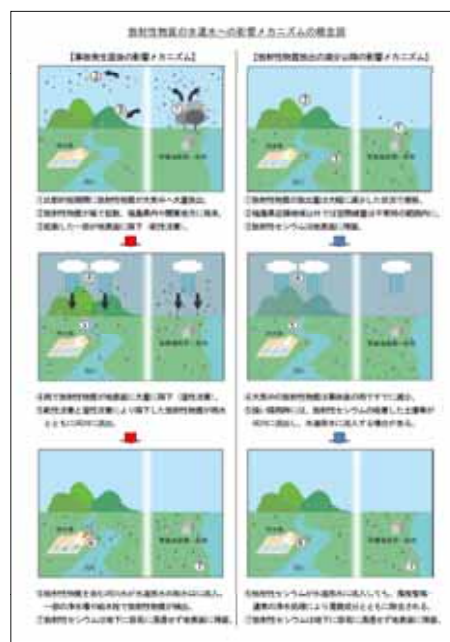
## 2011年3月15日頃に起こったこと



- ①比較的短期間に放射性物質が大気中へ大量放出。
- ②放射性物質が風で拡散、福島県内や関東地方に飛来。
- ③拡散した一部が地表面に降下(乾性沈着)。

図の出典: 厚生労働省 <http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r9852000001g9fq.html>

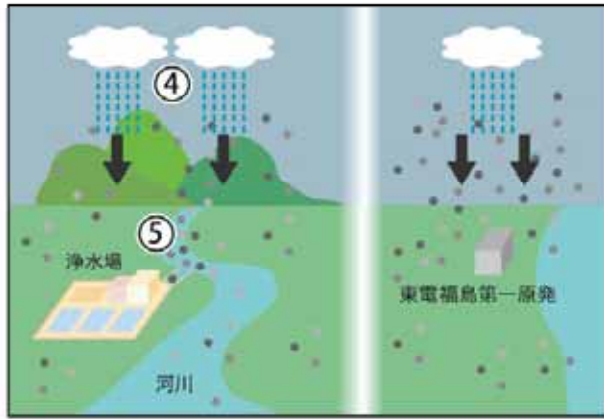
12



<http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r9852000001g9fq.html>

11

## 2011年3月21日頃に起こったこと



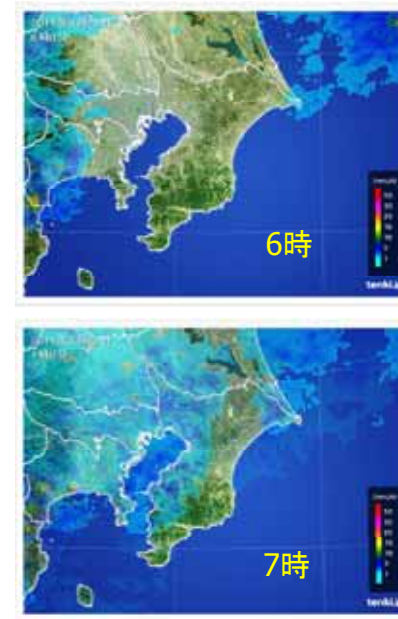
- ④雨で放射性物質が地表面に大量に降下（湿性沈着）。
- ⑤乾性沈着と湿性沈着により降下した放射性物質が雨水とともに河川に流出。

元図の出典：厚生労働省 <http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r9852000001g9fq.html>



3月20日夕～21日朝にも新たな放出があったと考えるのが妥当。これが茨城県南や千葉県東葛の汚染の原因

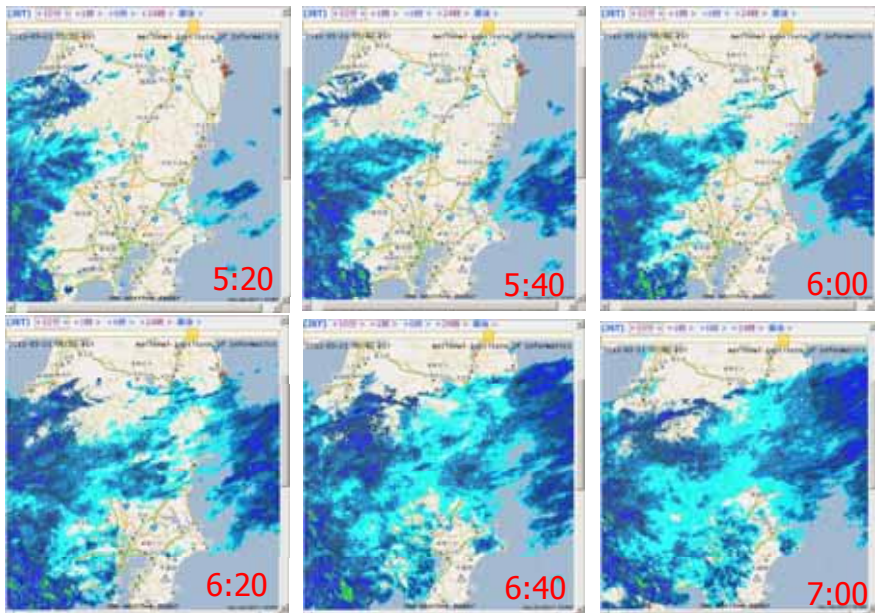
## 2011年3月21日朝の雨雲画像と風向(アメダス)



茨城県南地域、千葉県東葛地域付近で放射性物質を含む北東からの風と南西からの風がぶつかり、雨が降った。

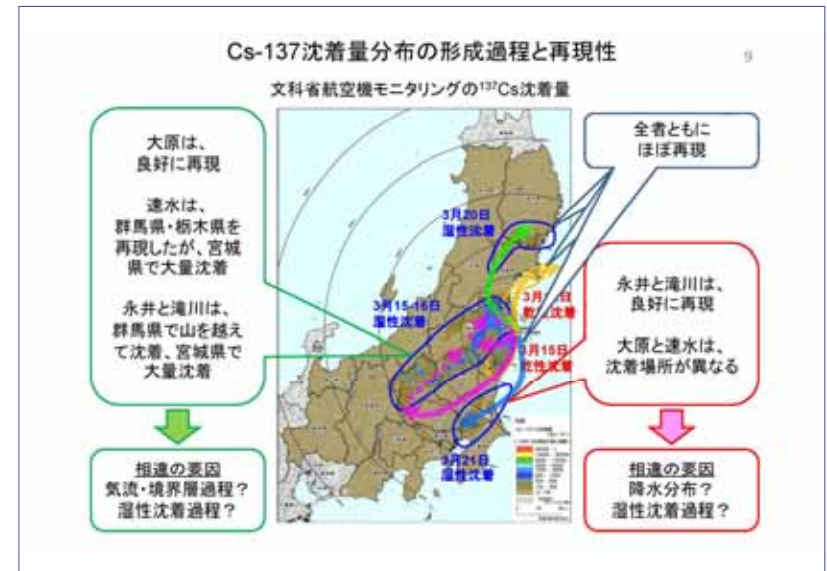
[http://tenki.jp/past/detail/pref-15.html?year=2011&month=3&day=21&selected\\_image=rader](http://tenki.jp/past/detail/pref-15.html?year=2011&month=3&day=21&selected_image=rader)  
<http://agora.ex.nii.ac.jp/earthquake/201103-eastjapan/weather/data/amedas-20110311/wind/8.html>

## 2011年3月21日5:20～7:00の雨雲画像



<http://agora.ex.nii.ac.jp/earthquake/201103-eastjapan/weather/data/radar-20110311/8.html>をもとに作成

## 2011年3月15日頃、21日頃の現象の再現例



出典：公開ワークショップ「福島第一原子力発電所事故による環境放出と拡散プロセスの再構築」  
 パネルディスカッション資料 <http://nsed.jaea.go.jp/ers/environment/ensv/FukushimaWS/panel2.pdf>

## 講義内容

1. はじめに ~自己紹介を兼ねて~
2. 昨年3月15日頃、21日頃に起きたこと
3. 放射性物質による下水汚泥や都市廃棄物の汚染
4. 放射性物質の環境中での移動と被ばく経路
5. 汚染の地域分布と「都市濃縮」によるホットスポット
6. 横断的なモニタリングと総合解析の必要性

17

## さまざまな媒体中での放射性物質検出の主な経過

3/23	金町浄水場で水道水から210Bq/kgのヨウ素検出を公表 (その後、浄水処理に伴う発生土からも放射性物質を検出)
5/1	福島県中浄化センター(郡山市)において、下水汚泥から26,400Bq/kg、溶融スラグから334,000Bq/kgのセシウム検出を公表
5/8	福島市堀河町終末処理場の下水汚泥から、446,000Bq/kgのセシウム検出を公表
6/28	東京都江戸川清掃工場の焼却灰から9740Bq/kgのセシウム検出を公表 環境省が16都県の一般廃棄物焼却炉の焼却灰の調査を指示
8/29	焼却灰中から8,000Bq/kg以上のセシウムが検出されたのは1都6県計42施設との調査結果を公表。最大は95,300Bq/kg(福島市)
10/23	千葉県柏市の市有地の側溝破損箇所の近傍で、57.5μSv/hの空間線量、土壌中セシウム濃度276,000Bq/kgを検出
12/28	上記箇所における環境省の調査結果の最終報告。最大で土壌中のCsは450,000Bq/kg。Cs134/Cs137比、土壌の性状から、不法投棄等ではなく、原発事故由来のものが現地で濃縮されたものと推定。 集水域の雨水拵中の泥のセシウム濃度は650,000Bq/kg

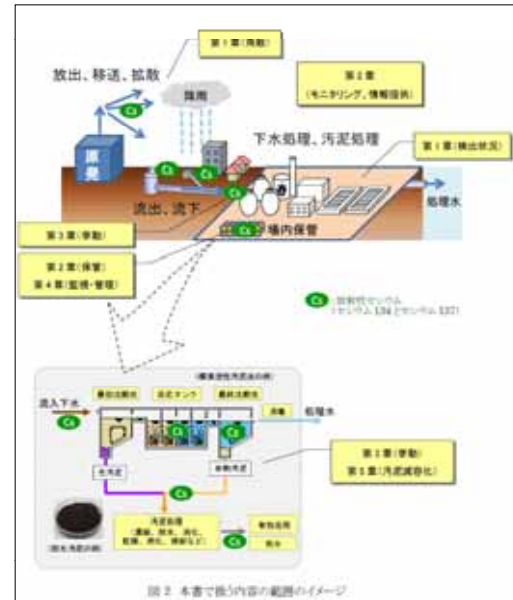
18

表 1-1 平成 23 年 10 月 28 日時点までの下水汚泥中の放射性物質検出状況

■排水式下水道				■排水式下水道				■一部合流式下水道			
測定対象	測定時期	測定値	セシウム濃度(Bq/kg)	測定対象	測定時期	測定値	セシウム濃度(Bq/kg)	測定対象	測定時期	測定値	セシウム濃度(Bq/kg)
北海道	7	ND	ND	北海道	7	100	1,430	北海道	7	4	4
青森県	14	ND	ND	青森県	7	ND	ND	青森県	4	14	14
岩手県	46	7	3,000	岩手県	24	3,200	444,000	岩手県	20	22	1,030
宮城県	88	ND	4,810	宮城県	57	10	1,674	宮城県	11	113	113
秋田県	5	ND	ND	秋田県	17	124	3,200	秋田県	7	17	17
山形県	20	7	2,45	山形県	16	11	2,200	山形県	7	17	17
福島県	87	26	1,000	福島県	42	81	3,700	福島県	10	4,000	28,400
茨城県	101	11	1,430	茨城県	30	14	1,284	茨城県	17	148	2,000
栃木県	117	87	18,100	栃木県	30	148	13,000	栃木県	14	210	4,200
群馬県	181	27	8,100	群馬県	30	8,100	23,000	群馬県	27	79	3,400
埼玉県	30	18	2,200	埼玉県	40	1,400	11,870	埼玉県	17	21	1,100
千葉県	36	10	5,000	千葉県	21	40	1,170	千葉県	20	29	1,000
東京都	84	14	6,810	東京都	17	14	10	東京都	10	41	3,100
神奈川県	140	10	1,444	神奈川県	19	89	1,018	神奈川県	10	1,210	1,210
新潟県	139	1	300	新潟県	4	12	87	新潟県	4	12	87
富山県	1	ND	ND	富山県	4	ND	ND	富山県	4	ND	ND
石川県	2	ND	ND	石川県	2	ND	ND	石川県	2	ND	ND
福井県	2	ND	ND	福井県	2	ND	ND	福井県	2	ND	ND
山梨県	2	ND	ND	山梨県	2	ND	ND	山梨県	2	ND	ND
長野県	2	ND	ND	長野県	2	ND	ND	長野県	2	ND	ND
岐阜県	2	ND	ND	岐阜県	2	ND	ND	岐阜県	2	ND	ND
静岡県	2	ND	ND	静岡県	2	ND	ND	静岡県	2	ND	ND
愛知県	2	ND	ND	愛知県	2	ND	ND	愛知県	2	ND	ND
岐阜県	2	ND	ND	岐阜県	2	ND	ND	岐阜県	2	ND	ND
東京都	10	10	2,000	東京都	10	10	2,000	東京都	10	10	2,000
神奈川県	3	141	2,110	神奈川県	2	18,000	72,000	神奈川県	2	18,000	72,000
埼玉県	44	3,400	13,000	埼玉県	3	2,000	7,000	埼玉県	3	2,000	7,000
千葉県	87	1,300	6,000	千葉県	8	3,000	42,000	千葉県	8	3,000	42,000
東京都	40	400	3,200	東京都	34	2,500	42,000	東京都	34	2,500	42,000
神奈川県	111	1,410	5,000	神奈川県	8	8,000	28,100	神奈川県	8	8,000	28,100
東京都	11	ND	ND	東京都	11	8,000	20,000	東京都	11	8,000	20,000
神奈川県	7	ND	ND	神奈川県	42	1,117	35,000	神奈川県	42	1,117	35,000
埼玉県	4	71	3,100	埼玉県	122	394	13,000	埼玉県	122	394	13,000
千葉県	3	ND	ND	千葉県	9	ND	ND	千葉県	9	ND	ND
東京都	1	7	1	東京都	4	22	20	東京都	4	22	20
神奈川県	1	ND	ND	神奈川県	1	7	17	神奈川県	1	7	17
埼玉県	1	ND	ND	埼玉県	1	24	24	埼玉県	1	24	24
千葉県	1	ND	ND	千葉県	1	ND	ND	千葉県	1	ND	ND
東京都	1	334,000	334,000	東京都	1	334,000	334,000	東京都	1	334,000	334,000
神奈川県	1	12,000	29,000	神奈川県	11	12,000	17,000	神奈川県	11	12,000	17,000
東京都	2	18	18	東京都	2	18	18	東京都	2	18	18
千葉県	1	ND	ND	千葉県	1	ND	ND	千葉県	1	ND	ND

雨水が流入する合流式下水道で高濃度のセシウムを含む汚泥が発生

19



20

## 下水処理過程における放射性セシウム挙動イメージ

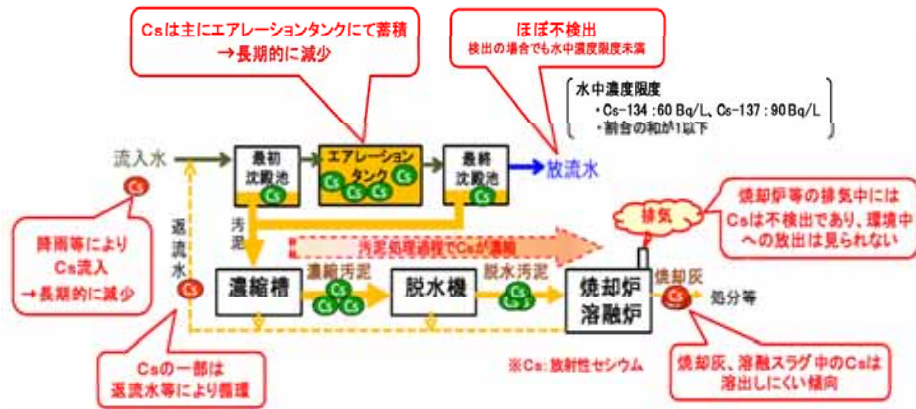


図 3-3 下水処理過程における放射性セシウムの挙動イメージ

## 中間とりまとめに掲載された脱水汚泥中セシウム濃度の推移

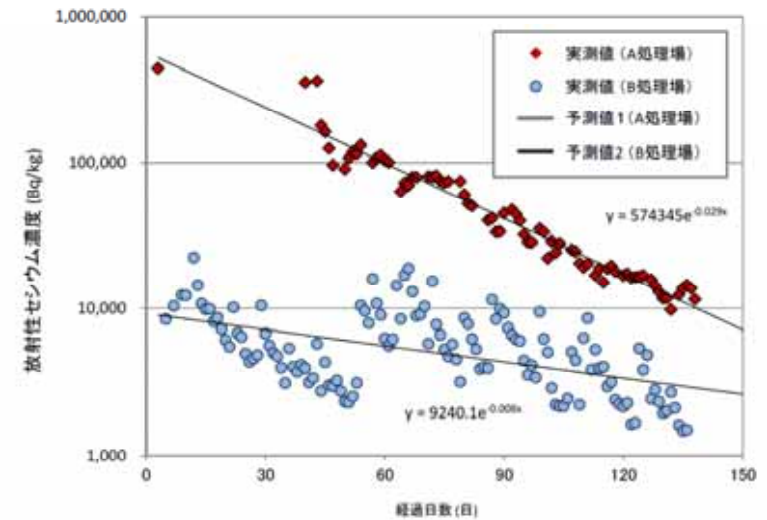
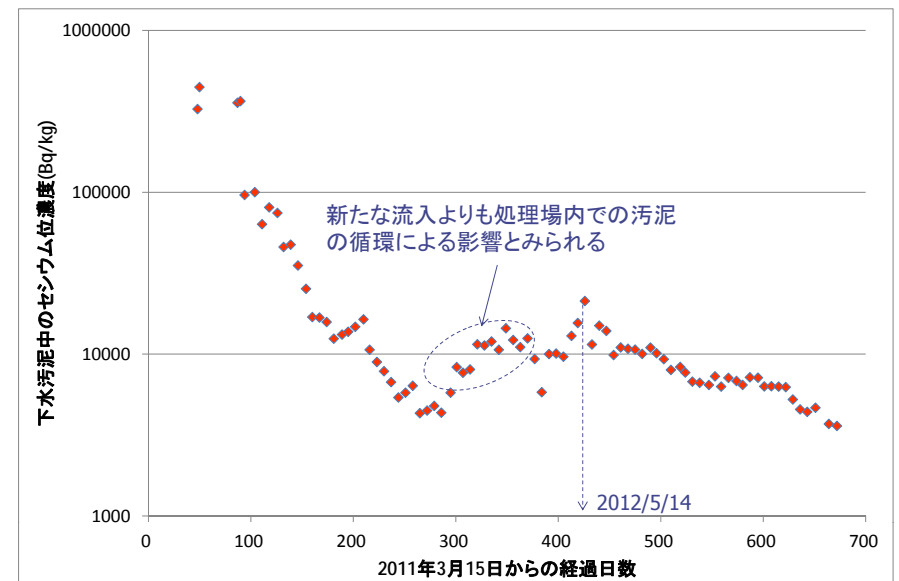


図 3-2 脱水汚泥中の放射性セシウム濃度 (Cs) の推移予測  
(放射性セシウム濃度は、Cs-134 と Cs-137 の合計値)

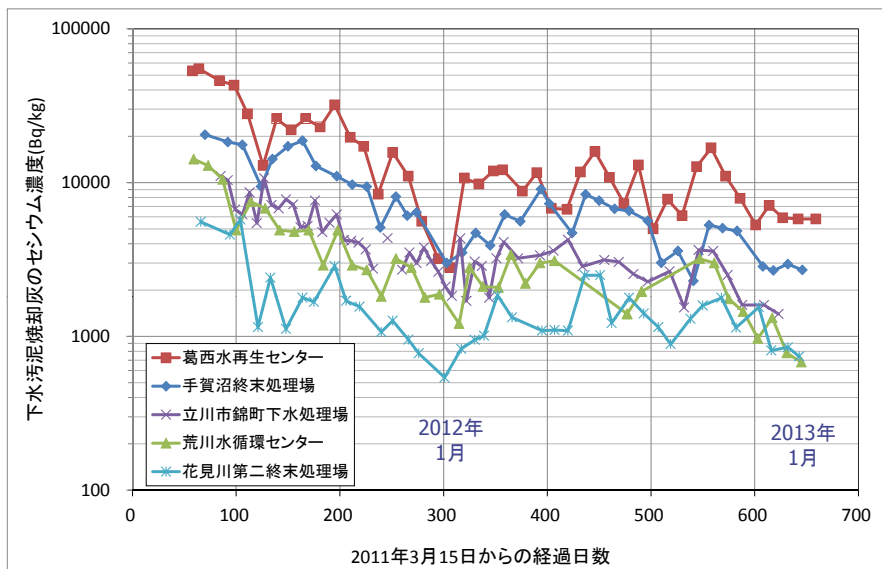
## 下水処理場における汚泥の一次保管 (使用していない曝気槽に保管)



## 福島市堀河町終末処理場における脱水汚泥中セシウム濃度の推移



### 首都圏の下水汚泥焼却灰中のセシウム濃度の推移

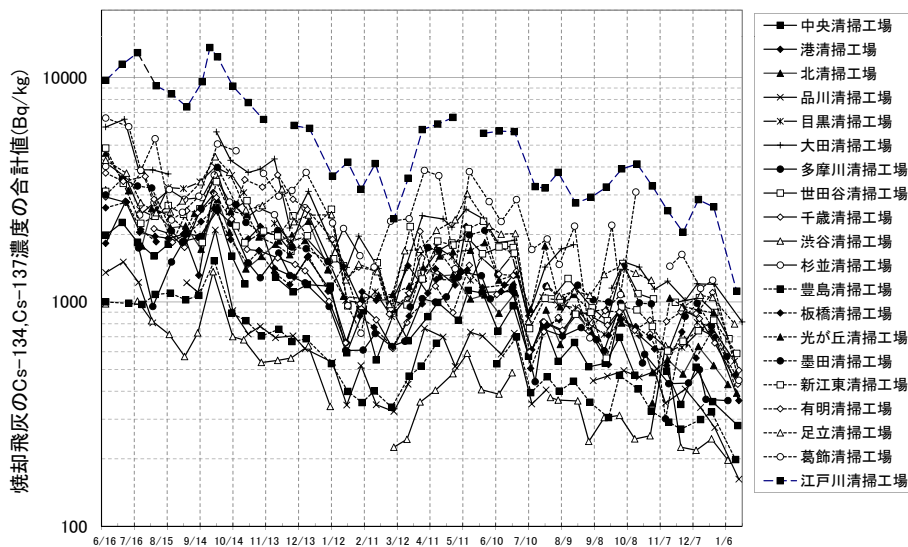


注：焼却灰中の濃度は脱水汚泥中濃度の数十倍  
データの出典：[http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd\\_sewerage\\_tk\\_000168.html](http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000168.html) 25

### さまざまな媒体中での放射性物質検出の主な経過

3/23	金町浄水場で水道水から210Bq/kgのヨウ素検出を公表 (その後、浄水処理に伴う発生土からも放射性物質を検出)
5/1	福島県中浄化センター(郡山市)において、下水汚泥から26,400Bq/kg、溶融スラグから334,000Bq/kgのセシウム検出を公表
5/8	福島市堀河町終末処理場の下水汚泥から、446,000Bq/kgのセシウム検出を公表
6/28	東京都江戸川清掃工場の焼却灰から9740Bq/kgのセシウム検出を公表 環境省が16都県の一般廃棄物焼却炉の焼却灰の調査を指示
8/29	焼却灰中から8,000Bq/kg以上のセシウムが検出されたのは1都6県計42施設との調査結果を公表。最大は95,300Bq/kg(福島市)
10/23	千葉県柏市の市有地の側溝破損箇所の近傍で、57.5μSv/hの空間線量、土壌中セシウム濃度276,000Bq/kgを検出
12/28	上記箇所における環境省の調査結果の最終報告。最大で土壌中のCsは450,000Bq/kg。Cs134/Cs137比、土壌の性状から、不法投棄等ではなく、原発事故由来のものが現地で濃縮されたものと推定。 集水域の雨水枡中の泥のセシウム濃度は650,000Bq/kg

### 東京23区の焼却工場の飛灰中セシウム濃度の推移



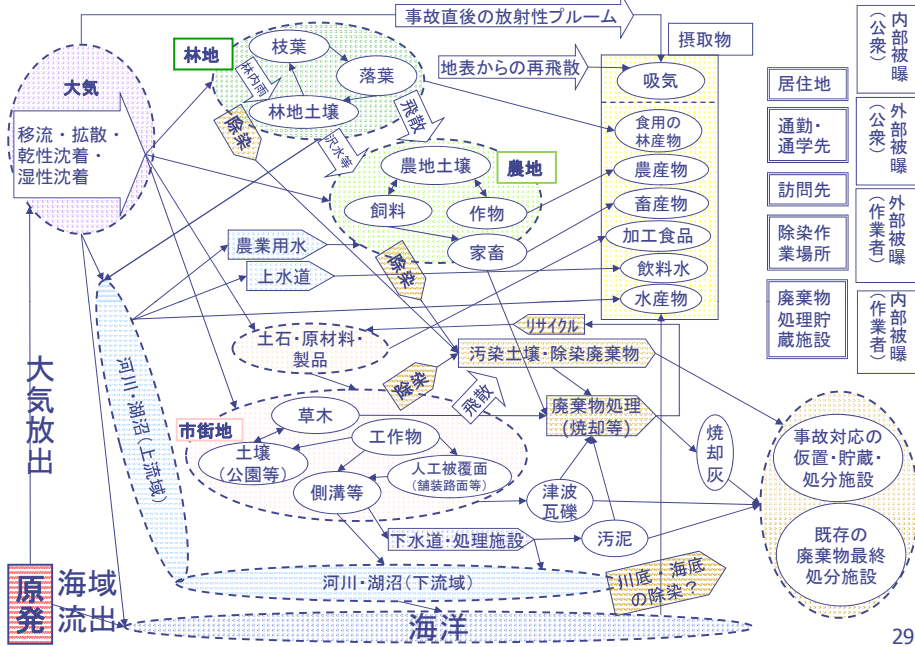
東京23区の清掃工場における飛灰中セシウム濃度の推移

東京23区清掃一部事務組合の公表資料をもとに作成  
<http://www.union.tokyo23-seisou.lg.jp/gijutsu/kankyo/kumiai/oshirase/hoshano/shokyakubai.html> 27

### 講義内容

1. はじめに ~自己紹介を兼ねて~
2. 昨年3月15日頃、21日頃に起きたこと
3. 放射性物質による下水汚泥や都市廃棄物の汚染
4. **放射性物質の環境中での移動と被ばく経路**
5. 汚染の地域分布と「都市濃縮」によるホットスポット
6. 横断的なモニタリングと総合解析の必要性

### 環境への放出から被ばくに至るさまざまな経路



### 学術からの提言—今、復興の力強い歩みを— ～日本学術会議・東日本大震災復興支援委員会提言～



- ▶ 第22期(H23.10~H26.9)、東日本大震災復興支援委員会並びにその下に3分科会(災害に強いまちづくり、産業振興・就業支援、放射能対策)を設置(審議、ヒアリング、現地調査、ワーキンググループ)
- ▶ 同委員会及び3分科会から、5つの提言を发出(内部意見聴取実施)(4月9日(月)の日本学術会議総会で報告)

#### 提言一覧:

1. 学術からの提言 — 今、復興の力強い歩みを—  
(東日本大震災復興支援委員会提言:以下の2.~5.の提言を取りまとめたもの)
2. 二度と津波犠牲者を出さないまちづくり —東北の自然を生かした復興を世界に発信—  
(東日本大震災復興支援委員会 災害に強いまちづくり分科会提言)
3. 被災地の求職者支援と復興法人創設 —被災者に寄り添う産業振興・就業支援を—  
(東日本大震災復興支援委員会 産業振興・就業支援分科会提言)
4. 放射能対策の新たな一歩を踏み出すために —事実の科学的探索に基づく行動を—  
(東日本大震災復興支援委員会 放射能対策分科会提言)
5. 災害廃棄物の広域処理のあり方について  
(東日本大震災復興支援委員会提言)

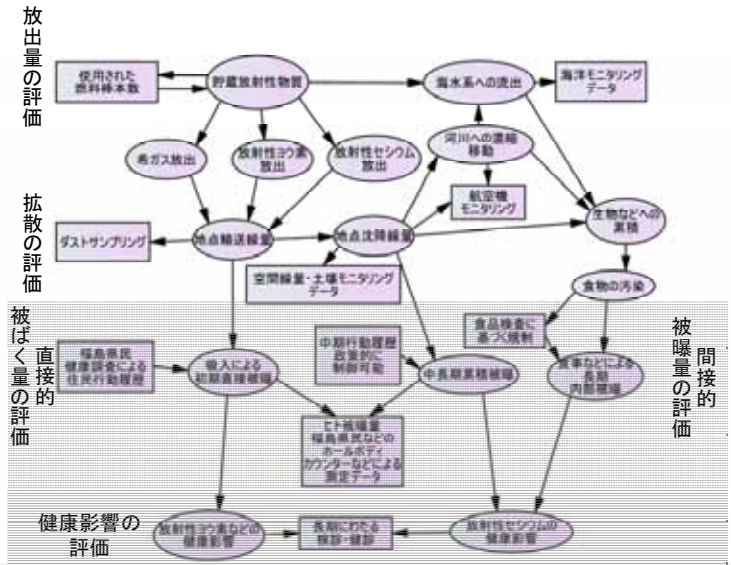
提言

放射能対策の新たな一歩を踏み出すために  
—事実の科学的探索に基づく行動を—

平成24年(2012年)4月9日  
日本学術会議  
東日本大震災復興支援委員会  
放射能対策分科会

東日本大震災復興支援委員会 放射能対策分科会			
委員長	大西 隆	第二分科会	東北大学大学院工学部放射線科学科
副委員長	春日 文子	第二分科会	東北大学大学院工学部放射線科学科
幹事	長谷 雅隆	第二分科会	東北大学大学院工学部放射線科学科
幹事	藤 悠司	調査委員	国立・システム研究機構放射線環境研究センター長、東京大学放射線環境研究センター長、東京大学
委員	正人	第三分科会	東北大学大学院工学部放射線科学科
委員	弘平	第一分科会	東北大学大学院工学部放射線科学科
委員	正和	第二分科会	東北大学大学院工学部放射線科学科
委員	洋	第二分科会	東北大学大学院工学部放射線科学科
委員	昌博	第三分科会	国立・システム研究機構放射線環境研究センター長、東京大学放射線環境研究センター長、東北大学
委員	昌博	第三分科会	国立・システム研究機構放射線環境研究センター長、東北大学放射線環境研究センター長、東北大学
委員	重光	調査委員	東北大学大学院工学部放射線科学科
委員	悠司	調査委員	国立・システム研究機構放射線環境研究センター長、東京大学放射線環境研究センター長、東北大学放射線環境研究センター長、東北大学
委員	悠司	調査委員	国立・システム研究機構放射線環境研究センター長、東京大学放射線環境研究センター長、東北大学放射線環境研究センター長、東北大学
委員	悠司	調査委員	国立・システム研究機構放射線環境研究センター長、東京大学放射線環境研究センター長、東北大学放射線環境研究センター長、東北大学
委員	悠司	調査委員	国立・システム研究機構放射線環境研究センター長、東京大学放射線環境研究センター長、東北大学放射線環境研究センター長、東北大学
委員	悠司	調査委員	国立・システム研究機構放射線環境研究センター長、東京大学放射線環境研究センター長、東北大学放射線環境研究センター長、東北大学
委員	悠司	調査委員	国立・システム研究機構放射線環境研究センター長、東京大学放射線環境研究センター長、東北大学放射線環境研究センター長、東北大学
委員	悠司	調査委員	国立・システム研究機構放射線環境研究センター長、東京大学放射線環境研究センター長、東北大学放射線環境研究センター長、東北大学
委員	悠司	調査委員	国立・システム研究機構放射線環境研究センター長、東京大学放射線環境研究センター長、東北大学放射線環境研究センター長、東北大学
委員	悠司	調査委員	国立・システム研究機構放射線環境研究センター長、東京大学放射線環境研究センター長、東北大学放射線環境研究センター長、東北大学

### 短期・中期の被ばくと健康影響に係る簡易俯瞰図





# 考え方のアウトライン



被ばくのきっかけとなった原発事故による放出総量

放射性物質放出総量の環境中での分配

- ・海、大気、土壌、河川への推定分配と測定される分布
- ・核種と減衰
- ・今後の環境中での循環や濃縮を考慮した汚染推移の予測など

人への被ばく経路の網羅的把握

- ・被ばく形態(事故後短期比較的高線量vs中長期低線量)
- ・被ばく経路(外部被ばくvs内部被ばく)
- ・場所、時期ごとの被ばく量
- ・被ばく時間
- など

これまでの被ばく量、今後想定される被ばく量の推定

健康影響の評価

健康被害をできる限り防止するための方策の提案(具体策と効果の推定)

- ・除染
- ・水、食品の検査
- ・健康観察による異常の早期発見と適切な医療の提供 など

# 被ばく量の推定と健康被害の予測



## (1) 被ばく量の推定

空間線量率と滞在時間シナリオに基づく外部被ばく量の試算

▶「時間軸」および「②地域区分」を元に、空間線量率の代表的な値を設定し、直後(事故～3日)、短期(3日～3ヶ月)、中期(3ヶ月～3年)、長期(3年～30年)の外部被ばく量を試算

▶中長期の被ばく量は<sup>134</sup>Csと<sup>137</sup>Csによるものと仮定し、半減期をもとに理論的な線量率の低下を考慮

▶放射性物質汚染対処特別措置法(2011年8月30日制定)の区分ごとに、事故後3年経過時点での除染による線量率の低下を設定し、避難からの帰還時点の除染レベルでは不十分な場合は、帰還後も一定期間、継続的に除染が行われることを想定

▶除染作業、廃棄物処理に関わる従業者の被ばくも考慮すべきであることを指摘

# 被ばく量の推定と健康被害の予測



## (1) 被ばく量の推定

設定したシナリオ

A 区域: 除染前の年間追加被ばく量が50mシーベルト(以後、Sv)程度の区域

- 1a)20mSv/yで帰還後、除染なし
- 1b)20mSv/yで帰還後、年率20%で5年間除染を継続
- 2a)10mSv/yで帰還後、除染なし
- 2b)10mSv/yで帰還後、年率10%で5年間除染を継続

B 区域: 除染前の年間追加被ばく量が20mSv程度の区域

- 1a)3カ月滞在後避難、10mSv/yで帰還後、除染なし
- 1b)3カ月滞在後避難、10mSv/yで帰還後、年率20%で5年間除染を継続
- 2)1カ月滞在後避難、5mSv/yで帰還後、除染なし

C 区域: 除染前の年間追加被ばく量が5mSv程度の区域

除染の効果も含め、2014年3月時点で2011年9月(5mSv/y)に比べ50%線量低下

D 区域: 除染前の年間追加被ばく量が2mSv程度の区域

除染の効果も含め、2014年3月時点で2011年9月(2mSv/y)に比べ50%線量低下

E 区域: 除染前の年間追加被ばく量が0.5mSv程度の区域、除染は行わない

# 被ばく量の推定と健康被害の予測

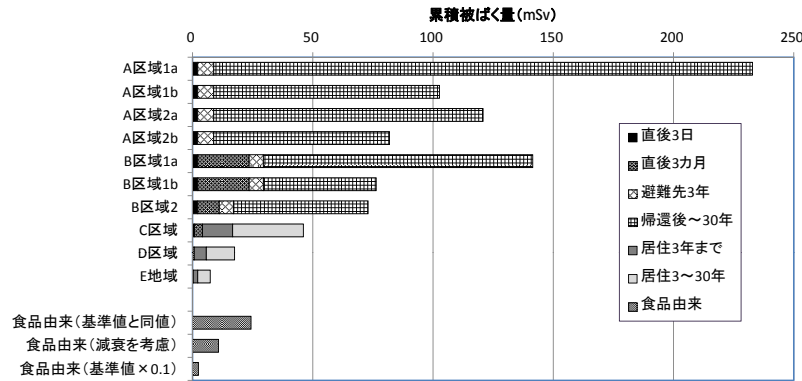


## (1) 被ばく量の推定

被ばく量の試算で仮定した空間線量率

	事故直後 ピーク	事故後 3週間	事故後 3ヶ月	避難先	H23.9の現状	除染後 (H26.3時点 を想定)	
	μSv/h	μSv/h	μSv/h	μSv/h	年間 mSv	年間mSv	
A区域	50			0.6	10	52.6	10～20
B区域	50	25	15	0.6	4	21.0	5～10
C区域	20	5	2		1	5.3	2.6
D区域	1	0.6	0.5		0.4	2.1	1.1
E区域	1	0.2	0.18		0.15	0.8	除染なし

# 地域区分ごとの今後30年間の累積被ばく量の試算結果



設定したシナリオ  
 A区域 1a)20mSv/yで帰還後、除染なし 1b)20mSv/yで帰還後、年率20%で5年間除染を継続  
 2a)10mSv/yで帰還後、除染なし 2b)10mSv/yで帰還後、年率10%で5年間除染を継続  
 B区域 1a)3カ月滞在後避難、10mSv/yで帰還後、除染なし  
 1b)3カ月滞在後避難、10mSv/yで帰還後、年率20%で5年間継続除染)  
 2) 1カ月滞在後避難、5mSv/yで帰還後、除染なし)  
 C区域 除染の効果も含め、2014年3月時点で2011年9月(5mSv/y)に比べて50%線量低下  
 D区域 除染の効果も含め、2014年3月時点で2011年9月(2mSv/y)に比べて50%線量低下  
 E区域 2011年9月時点で0.5mSv/y、除染は行わない

# 提言



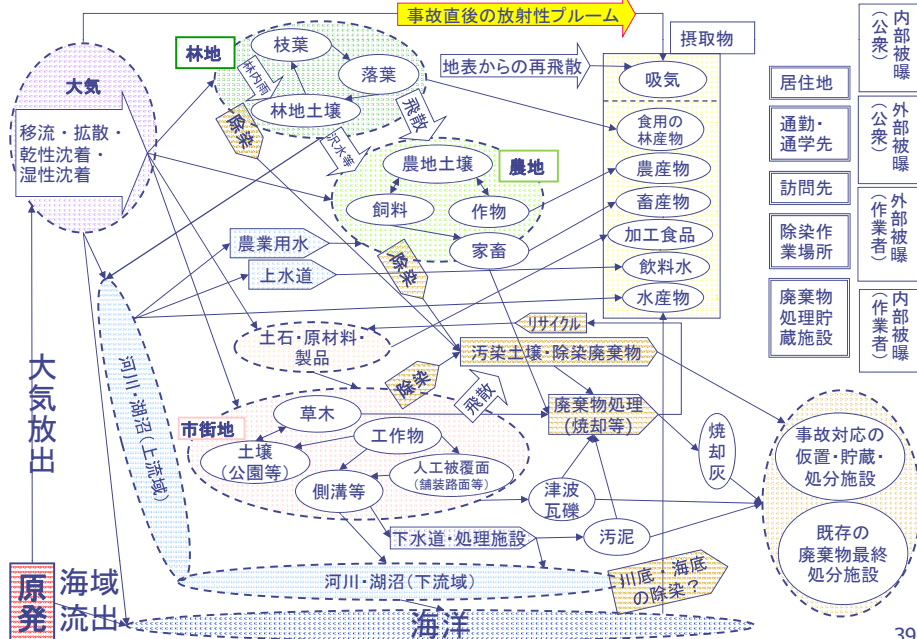
## 福島第一原子力発電所の事故による国民の健康影響を減らすために

- 提言1 被ばく線量の推定と住民健診・検診の継続した実施
- 提言2 住民帰還後にわたる除染目標の設定、除染作業の管理
- 提言3 疫学的研究の実施とその他基礎研究との統合的理解、結果の住民健康管理への反映

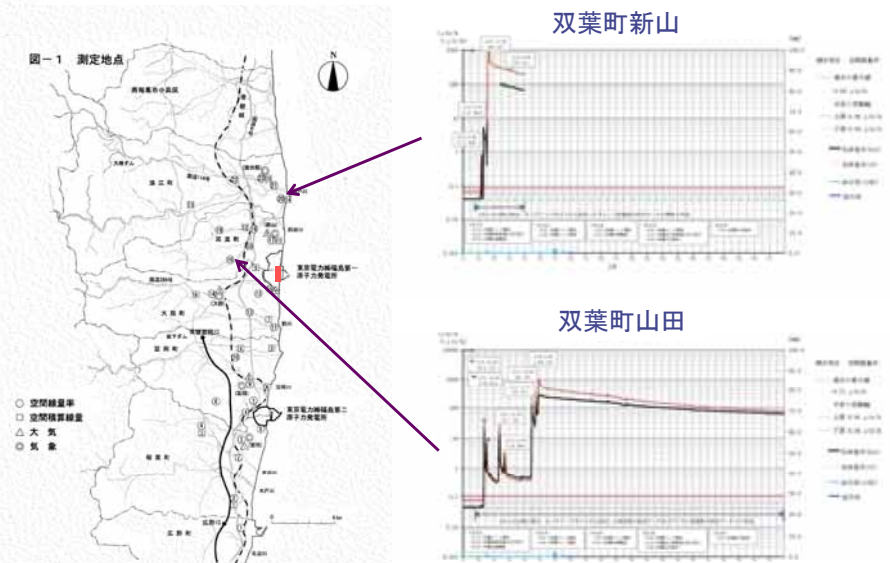
## 放射線被害の現状と今後についての評価および健康影響のより正確な推定のために

- 提言4 放射能健康影響評価の全貌を把握する領域横断的研究体制の構築
- 提言5 データの迅速かつ着実な収集、標準化された様式によるデータ提供のための公的な仕組みの確立
- 提言6 放射線健康影響評価の基礎数値に関する不確かさ情報の公表、ならびに不確かさ情報に基づく測定結果や推定結果の精度管理

## 環境への放出から被ばくに至るさまざまな経路

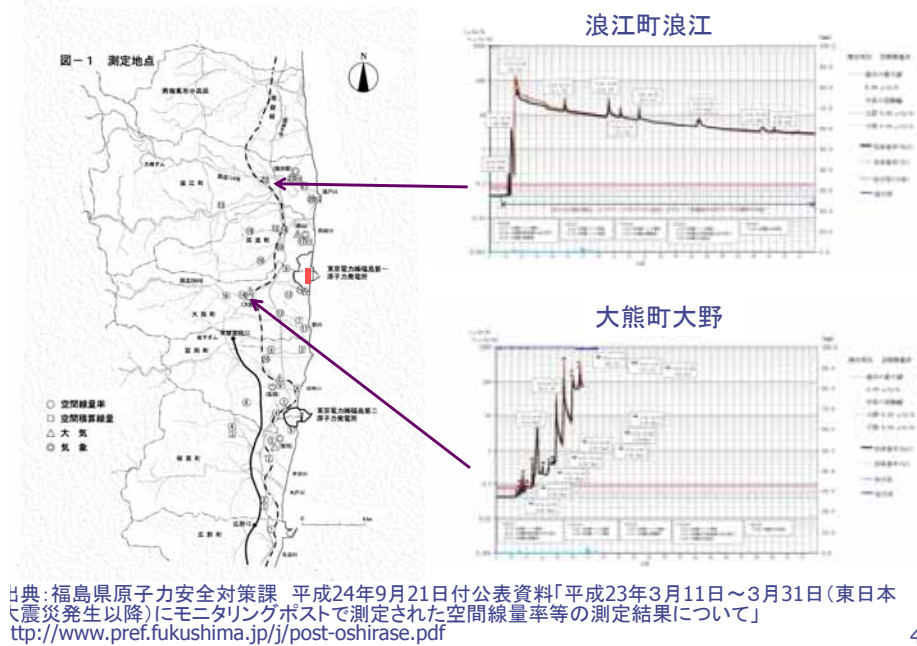


## 事故直後の空間線量率のモニタリングデータ



出典: 福島県原子力安全対策課 平成24年9月21日付公表資料「平成23年3月11日～3月31日(東日本大震災発生以降)にモニタリングポストで測定された空間線量率等の測定結果について」  
<http://www.pref.fukushima.jp/j/post-oshirase.pdf>

## 事故直後の空間線量率のモニタリングデータ



41

## 初期被ばく(とくに<sup>131</sup>I)の再現可能性

➤ 放医研の初期被ばくモデル計算の想定 体内で $I131/Cs137=3$

➤ USDoE測定データ

3/21 14:01  
 いわき中央IC付近  
 サンプルID SCF-00092

	Paper	Charcoal		Paper	Charcoal	Total	
Cs-137	5.09E-10	4.71E-12	μ Ci/mL	1.88E+01	1.74E-01	1.90E+01	Bq/m <sup>3</sup>
Cs-134	5.43E-10	3.73E-12	μ Ci/mL	2.01E+01	1.38E-01	2.02E+01	Bq/m <sup>3</sup>
Te-129m	6.42E-09		μ Ci/mL	2.38E+02		2.38E+02	Bq/m <sup>3</sup>
I-132	1.85E-08	1.38E-10	μ Ci/mL	6.84E+02	5.11E+00	6.89E+02	Bq/m <sup>3</sup>
Te-132	2.25E-08	1.38E-10	μ Ci/mL	8.32E+02	5.11E+00	8.37E+02	Bq/m <sup>3</sup>
I-131	6.08E-08	1.92E-08	μ Ci/mL	2.25E+03	7.12E+02	2.96E+03	Bq/m <sup>3</sup>
Gross Beta	7.19E-07		μ Ci/mL	2.66E+04		2.66E+04	Bq/m <sup>3</sup>
				I-131/Cs-137		155.8	

➤ JAEA Review 2011-35

福島第一原子力発電所事故に係る特別環境放射線モニタリング結果

<http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/pdfdata/JAEA-Review-2011-035.pdf>

によれば、3/15,3/21の東海村でのI131/Cs137比は約10

➤ 拡散シミュレーションやモニタリングにおける大気環境研究の実績の活用  
 湿性沈着、乾性沈着、ガスから粒子への転換、ガス状物質と粒子状物質の計測

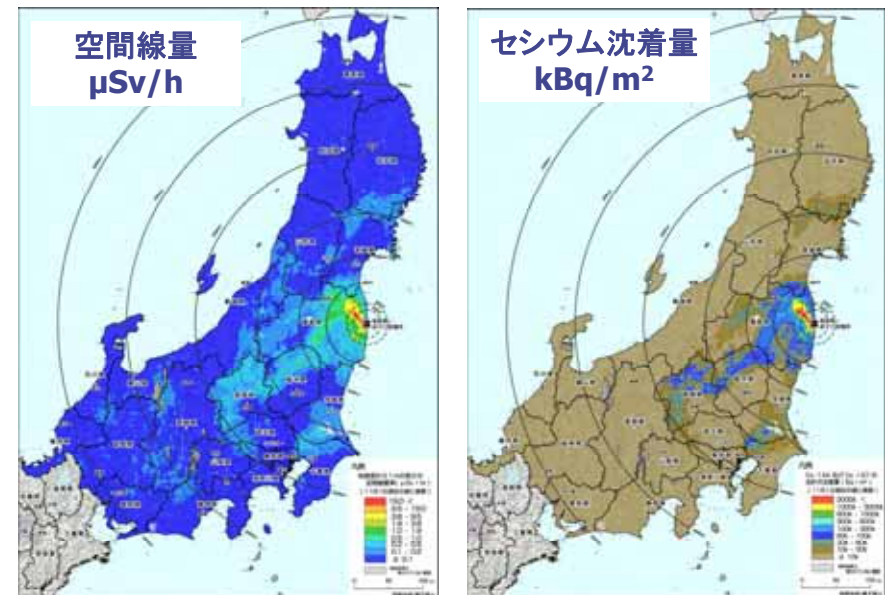
42

## 講義内容

1. はじめに ~自己紹介を兼ねて~
2. 昨年3月15日頃、21日頃に起きたこと
3. 放射性物質による下水汚泥や都市廃棄物の汚染
4. 放射性物質の環境中での移動と被ばく経路
5. 汚染の地域分布と「都市濃縮」によるホットスポット
6. 横断的なモニタリングと総合解析の必要性

43

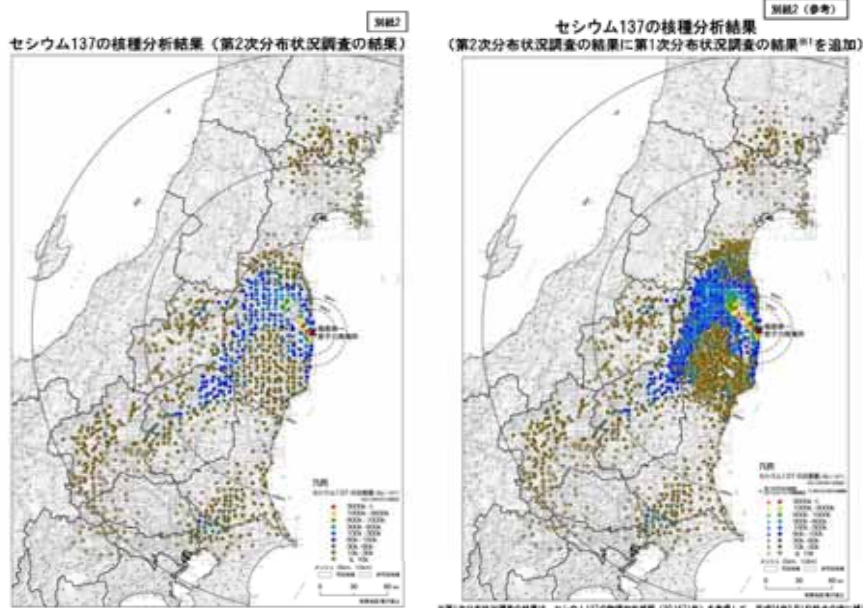
## 文部科学省の航空機モニタリングによる広域汚染マップ



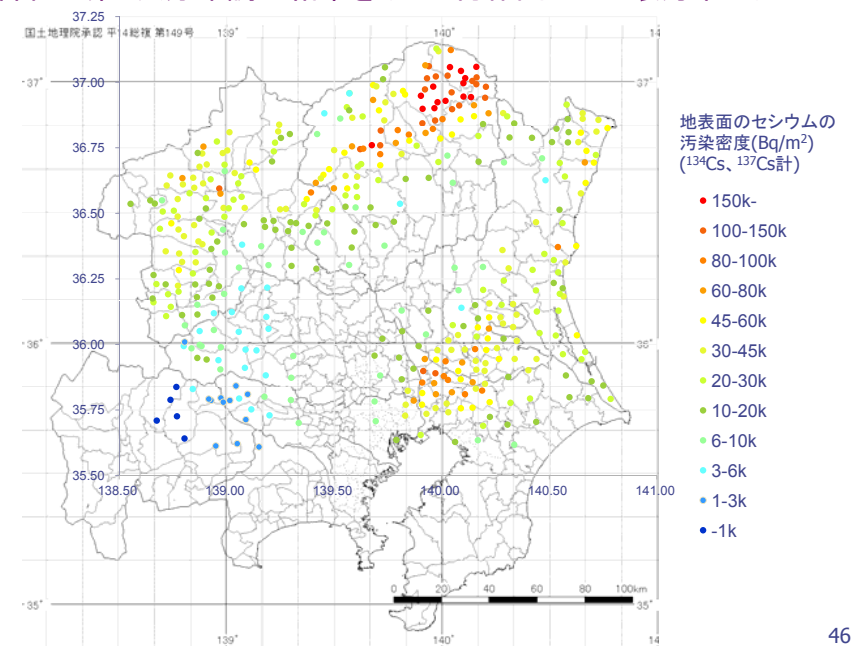
[http://radioactivity.mext.go.jp/ja/1910/2011/11/1910\\_1125\\_2.pdf](http://radioactivity.mext.go.jp/ja/1910/2011/11/1910_1125_2.pdf)

44

文部科学省によるガンマ線放射核種分析結果(第2次分布調査)2012.9.12発表

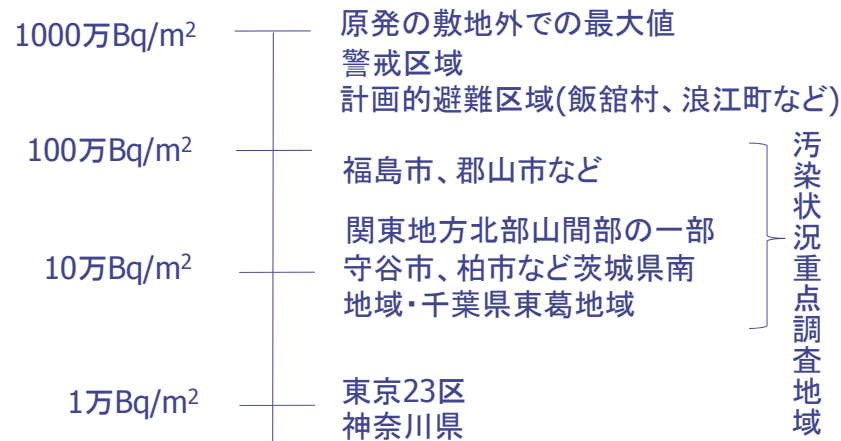


文科省の第2次分布調査結果をもとに再作図した土壤汚染マップ



面積あたりのセシウム沈着量の程度

セシウム134とセシウム137の  
合計沈着量



注)セシウム134とセシウム137の事故後初期の沈着量はほぼ1:1  
1:1の条件下では10万Bq/m<sup>2</sup>は空間線量0.375μSv/hに相当

自治体レベルでの多様な主体による調査例:守谷市

○守谷市役所

- ・市内保育所, 保育園, 幼稚園, 各小中学校のグラウンド(39カ所)
- ・市内公園(67カ所)

<http://www.city.moriya.ibaraki.jp/section/0210/houshasen/index1.html>

- ・GPS連動型放射線自動計測システム(KURAMA)を用いた走行測定

<http://www.city.moriya.ibaraki.jp/section/0210/houshasen/index7.html>

○常総生活協同組合

- ・土壌沈着量調査 44メッシュ [http://www.coop-joso.jp/radioactivity/result\\_soil.html](http://www.coop-joso.jp/radioactivity/result_soil.html)
- ・空間線量調査 80地点 [http://www.coop-joso.jp/radioactivity/result\\_space.html](http://www.coop-joso.jp/radioactivity/result_space.html)

○守谷あんしんお散歩プロジェクト(もりあん) 大柏散歩人氏作成

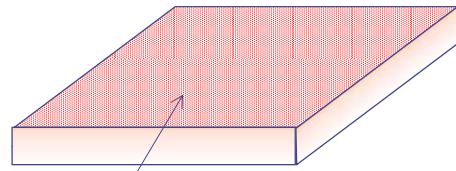
- ・茨城県守谷市における放射能汚染調査報告

[http://dl.dropbox.com/u/32540907/moriya\\_radioactivity\\_Report20120217v102.pdf](http://dl.dropbox.com/u/32540907/moriya_radioactivity_Report20120217v102.pdf)

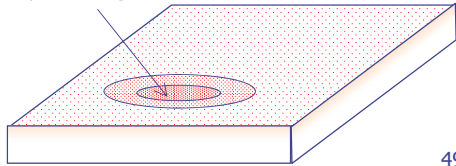
# 土壤汚染の測定値:「Bq/kg」と「Bq/m<sup>2</sup>」

換算する場合には、深さ何cmで採取された土か、その土がどれだけの範囲に広がっているかを確かめることが大切。土を誤摂食した場合の内部被ばくの観点ではBq/kgも大切だが、その場所で受ける外部被ばく線量はBq/m<sup>2</sup>が大切。

換算計算例:  
土のみかけ比重を1.3とすると、5cm深さで採取した場合の土1Bq/kgは65Bq/m<sup>2</sup>  
(100cm×100cm×5cm×1.3g/cm<sup>3</sup>=65kg)  
面積あたりの沈着量が13kBq/m<sup>2</sup>の場合  
200Bq/kg  
地表から1cmの土に90%のセシウムが吸着しているとすれば、地表1cmでは  
900Bq/kg  
雨水の流路で10倍に濃縮されれば約1万Bq/kg



あたり一面に沈着した地域  
表面の土のBq/kgの値が同じでも、周辺の空間線量は大きく異なる。  
表面の局所的なホットスポット



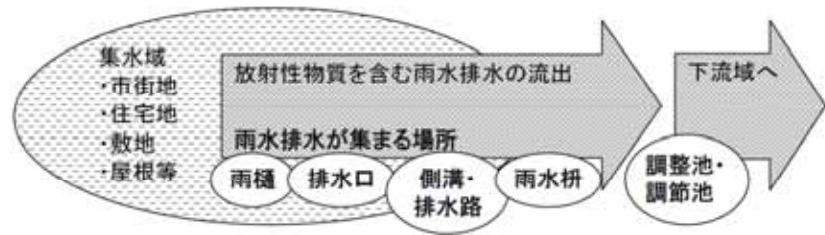
土壌コアのサンプル。  
市街地では通常は深さ5cm。水田では15cm、畑では30cmの場合が多いので、比較する場合は深さに注意!

# 柏市内における「都市濃縮」の事例

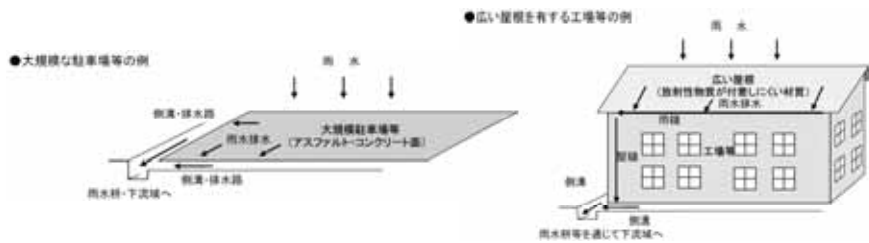


出典:環境省2011.12.28報道発表資料 <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=14647> をもとに編集

# 雨水の通り道における「都市濃縮」

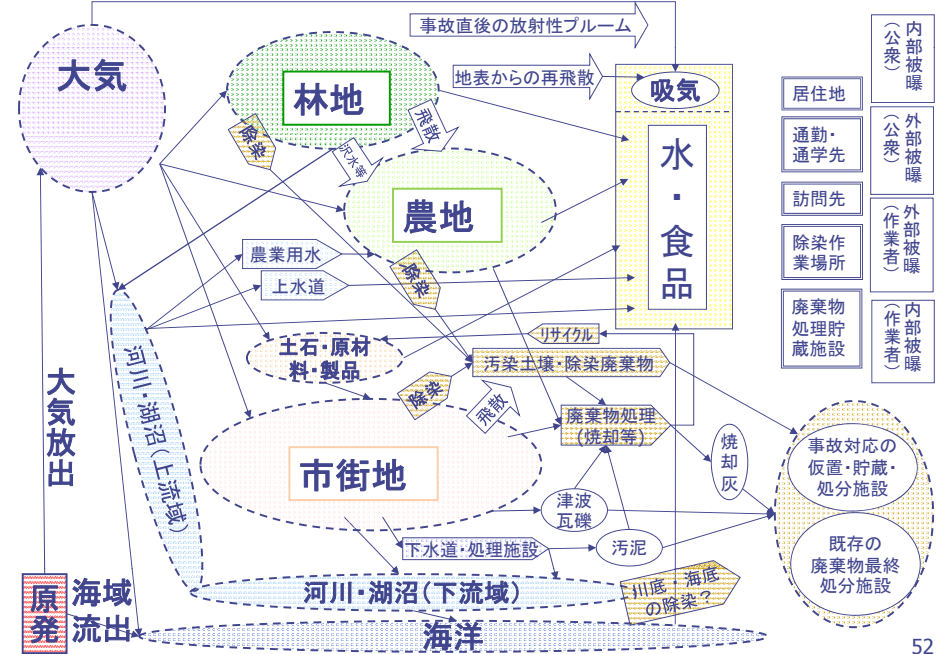


屋根や舗装面など広い面積に降った雨の通り道に土砂などがあるとそこに溜りやすい



出典:環境省 放射性物質による局所的汚染箇所への対処ガイドライン、平成24年3月

# 環境への放出から被ばくに至るさまざまな経路



## 講義内容

1. はじめに ~自己紹介を兼ねて~
2. 昨年3月15日頃、21日頃に起きたこと
3. 放射性物質による下水汚泥や都市廃棄物の汚染
4. 放射性物質の環境中での移動と被ばく経路
5. 汚染の地域分布と「都市濃縮」によるホットスポット
6. **横断的なモニタリングと総合解析の必要性**

53

## 文部科学省の放射線モニタリング情報サイト掲載データの概要 →原子力規制委員会に順次移行中 (モニタリング調整会議の次回開催は?)

項目	主な実施主体
環境一般等のモニタリング	
全国的なモニタリング	
都道府県別環境放射能水準調査(47都道府県各1箇所)	文部科学省
可搬型サーベイメータによる広域なエリアの空間線量率調査	都道府県等
航空機による広域モニタリング	文部科学省
周辺より高い放射線量が確認された件に関する現地調査	文部科学省、環境省
環境放射線測定結果、学校関係	都道府県等
離島等	環境省
東電福島原発周辺を中心とした陸域モニタリング	
福島県全域等	
旧緊急時避難準備区域等	文部科学省、原子力災害対策本部
警戒区域及び計画的避難区域におけるモニタリング	
海域モニタリング	文部科学省など
学校等(学校、保育所等)	
港湾、空港、公園、下水道等のモニタリング	国土交通省、福島県
水環境・廃棄物のモニタリング	
水環境(河川、水源地、湖沼等)	環境省、経済産業省、福島県
廃棄物	環境省、経済産業省、福島県
農地土壌、林野、牧草のモニタリング	農林水産省、福島県
食品、水道のモニタリング	厚生労働省、農林水産省
放射線量等分布マップ等	文部科学省など

54

## さまざまな研究プロジェクト間の連携可能性

アドバイザー等として関与している、競争的資金による調査研究課題群

### ➤ 科学研究費新学術領域研究

「福島原発事故により放出された放射性核種の環境動態に関する学際的研究」  
(ISET-R、研究代表者: 恩田裕一筑波大学教授) <http://iset.suiri.tsukuba.ac.jp/>

### ➤ JST先端計測分析技術・機器開発プログラム放射線計測領域

<http://www.jst.go.jp/pr/info/info874/besshi1.html> 実用化(短期開発型)6件  
<http://www.jst.go.jp/pr/info/info883/besshi1.html> 実用化(中期開発型)4件、革新技術タイプ2件  
<http://www.jst.go.jp/pr/info/info910/besshi1.html> 2次公募分 実用化3件、革新技術タイプ6件

### ➤ 環境省環境研究総合推進費

・ZRFb-12T1 流域に沈着した放射性物質の移動と消長に関する文献調査及び知見整理  
・循環型社会形成推進研究(復興枠)K122102~K122106  
(「放射能汚染廃棄物処理施設の長期管理手法に関する研究」など)

媒体ごとの汚染の相互関係の解明が必要(大気、土壌、植物・作物、体内蓄積)

55

## 環境動態の総合解析に対するニーズ

- 初期被ばくの再現(環境媒体中濃度 摂取量の推定)
- 中長期にわたる外部被ばくの推計
- 食品経由の内部被ばく防止のための経路の解明、移行防止
- より効果的な除染計画の基礎(例: 森林から市街地への移染)
- 水を介した移染の解明と対策  
(森林 農地、都市濃縮、上流 下流、海域など)
- 人工システム内での放射性物質管理(排水、廃棄物処理処分、再生利用など)

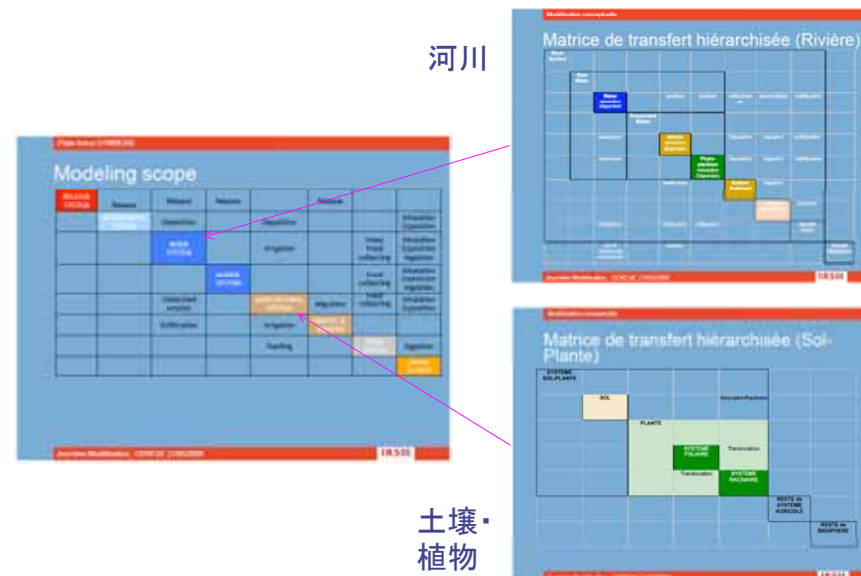
56

## 媒体間の移行、蓄積の総合的説明



出典：IRSN <http://www.irsn.fr/FR/Larecherche/outils-scientifiques/Codes-de-calcul/Code-SYMBIOSE/Documents/symbiose.pdf> 57

## IRSNの多媒体プラットフォーム SYMBIOSE



河川

土壌・植物

出典：[https://www.eccorev.fr/IMG/pdf/ECCOREV\\_2008\\_05\\_Gonze.pdf](https://www.eccorev.fr/IMG/pdf/ECCOREV_2008_05_Gonze.pdf)

58

## 今後実施すべき環境動態調査・研究

(IRSNによるマトリックスをもとに学会分科会で作業途上のもの)



発生源	放出・拡散	放出・拡散	放出・拡散	放出・拡散	放出・拡散	放出・拡散	放出・拡散
放射線	not important	not important	not important	not important	not important	not important	not important
大気	沈着	沈着	沈着	沈着	沈着	沈着	呼吸・外部被ばく
再浮遊(飛散)	河川・湖沼・地下水	移行・蓄積	濃縮	not important	移行・蓄積	移行・蓄積	飲用・外部被ばく (含レジャー&作業環境)
再浮遊(飛散)	汽水・海水混入	海洋	not important	not important	移行・蓄積	移行・蓄積	呼吸・外部被ばく・飲用 (含レジャー&作業環境)
再浮遊(飛散・燃焼・花粉)	浸食・流出	not important	陸上環境 (農地・森林・他)	陸上環境 (市街地、処理施設)	移行・蓄積	移行・蓄積	呼吸・外部被ばく (含通勤・通学先)
再浮遊(飛散・燃焼)	流出	流出	not important	陸上環境 (市街地、処理施設)	not important	not important	呼吸・外部被ばく (含通勤・通学先)
再浮遊(燃焼)	not important	not important	給餌・廃棄	廃棄	食品・餌・飲料水	食事	食事
not important	not important	not important	not important	not important	not important	not important	人の被ばく

## 提言



### 福島第一原子力発電所の事故による国民の健康影響を減らすために

- 提言1 被ばく線量の推定と住民健診・検診の継続した実施
- 提言2 住民帰還後にわたる除染目標の設定、除染作業の管理
- 提言3 疫学的研究の実施とその他基礎研究との統合的理解、結果の住民健康管理への反映

### 放射線被害の現状と今後についての評価および健康影響のより正確な推定のために

- 提言4 放射能健康影響評価の全貌を把握する領域横断的研究体制の構築
- 提言5 データの迅速かつ着実な収集、標準化された様式によるデータ提供のための公的な仕組みの確立
- 提言6 放射線健康影響評価の基礎数値に関する不確かさ情報の公表、ならびに不確かさ情報に基づく測定結果や推定結果の精度管理

60

## 環境科学分野からの貢献が可能と思われる知見

放射性物質以外の環境汚染物質、とくに微量有害化学物質に関する種々の調査研究で蓄積されてきた知見の活用

### <現象の把握>

- サンプルング手法、物理・化学分析手法を含むモニタリング手法

### <現象の解明>

- 環境媒体間の物質移動の解明

### <影響評価>

- リスク評価(健康影響の評価、生態系への影響評価)

### <対策技術>

- (環境工学寄りではあるが)分離技術、環境修復技術

### <総合的な対応>

- 施設立地のアセスメント、計画・政策のアセスメント
- リスク管理、リスクコミュニケーション

## 震災・原発事故後の関連発表一覧

[論文、書籍、解説等]

- 森口祐一:巻頭言 東日本大震災復興に寄せて, 季刊環境技術会誌, 144, 2-3, (2011)
- 森口祐一: 原発事故に関する情報をどう読み解くか〜放射線, 放射能のモニタリングデータを中心に〜, 資源環境対策別冊47(10), 57-70, (2011)
- 森口祐一:巻頭言 原発事故の教訓, 日本LCA学会誌, 8(1), 1, (2012)
- 森口祐一: 放射性物質と汚染された廃棄物の分布, 都市清掃, 65(305),17-22, (2012)
- 森口祐一: 放射性物質汚染の現状把握と除染, 環境情報科学, 41(1),43-49,(2012)
- 森口祐一:放射性物質で汚染された廃棄物への対処, 科学, 82(4), 412-418, (2012)
- 森口祐一:【環境論壇】震災, 原発事故後の廃棄物・リサイクル政策の針路, 環境経済・政策研究, 5(2), 89-92,(2012)
- 森口祐一: 廃棄物処理制度と放射性物質で汚染された廃棄物の処理, 季刊環境技術会誌, 150, 8-12, (2013)
- 分担執筆 東京大学工学系研究科編:震災後の工学は何を目指すのか, 内田老鶴圃, (2012)
- 編著:災害廃棄物問題ー将来への教訓ー SUR(Sustainable Urban Regeneration) 24号
- 分担執筆:第5章 震災復興と循環型社会の形成, 大西隆編著:復興まちづくりの最前線, 学芸出版社 [学会招待講演、特別講演等]
- 日本保健物理学会, 日本放射線安全管理学会, 環境放射能除染学会, 応用統計学会, 環境科学会, 日本公衆衛生学会, 土木学会環境システム委員会 [市民向けの講演、行事参加]
- 柏市, 文京区, 守谷市, ふくしま会議, 横浜市(予定)など