

琵琶湖流域における 放射性物質拡散影響予測 (中間報告)

【本調査の目的】

原子力発電施設の事故等により、本県にとって過酷な条件で多量の放射性物質が放出された場合を想定し、浄水対策など事故時の対応を検討するため、琵琶湖水への影響予測を行った。

2013/11/18

滋賀県琵琶湖環境科学研究センター

環境リスクの評価と対応方策検討事業

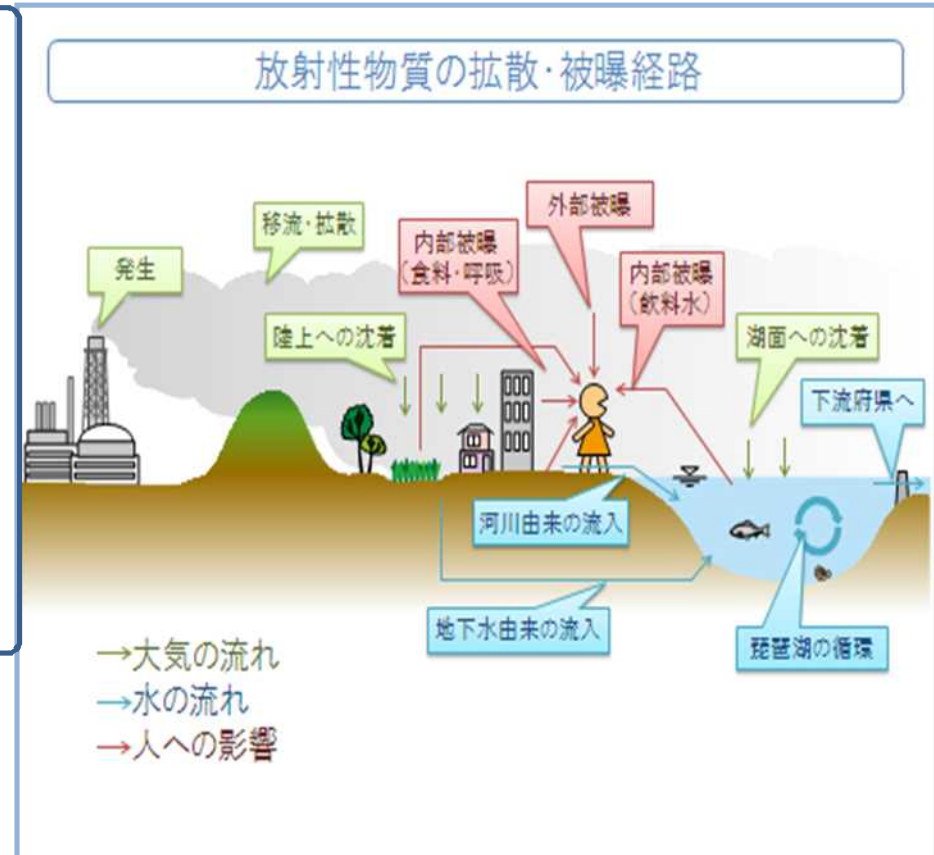
平成24年度

①陸域および湖面への沈着量予測
(大気シミュレーションモデル活用)
対象:セシウム・ヨウ素

②陸域および琵琶湖での挙動予測
(流域水物質循環モデル活用)

③放射性物質拡散に伴うリスク整理
リスクコミュニケーション手法検討

現地・国・研究機関情報収集



「地域防災計画見直し検討委員会」に
中・長期計画策定のための資料提供

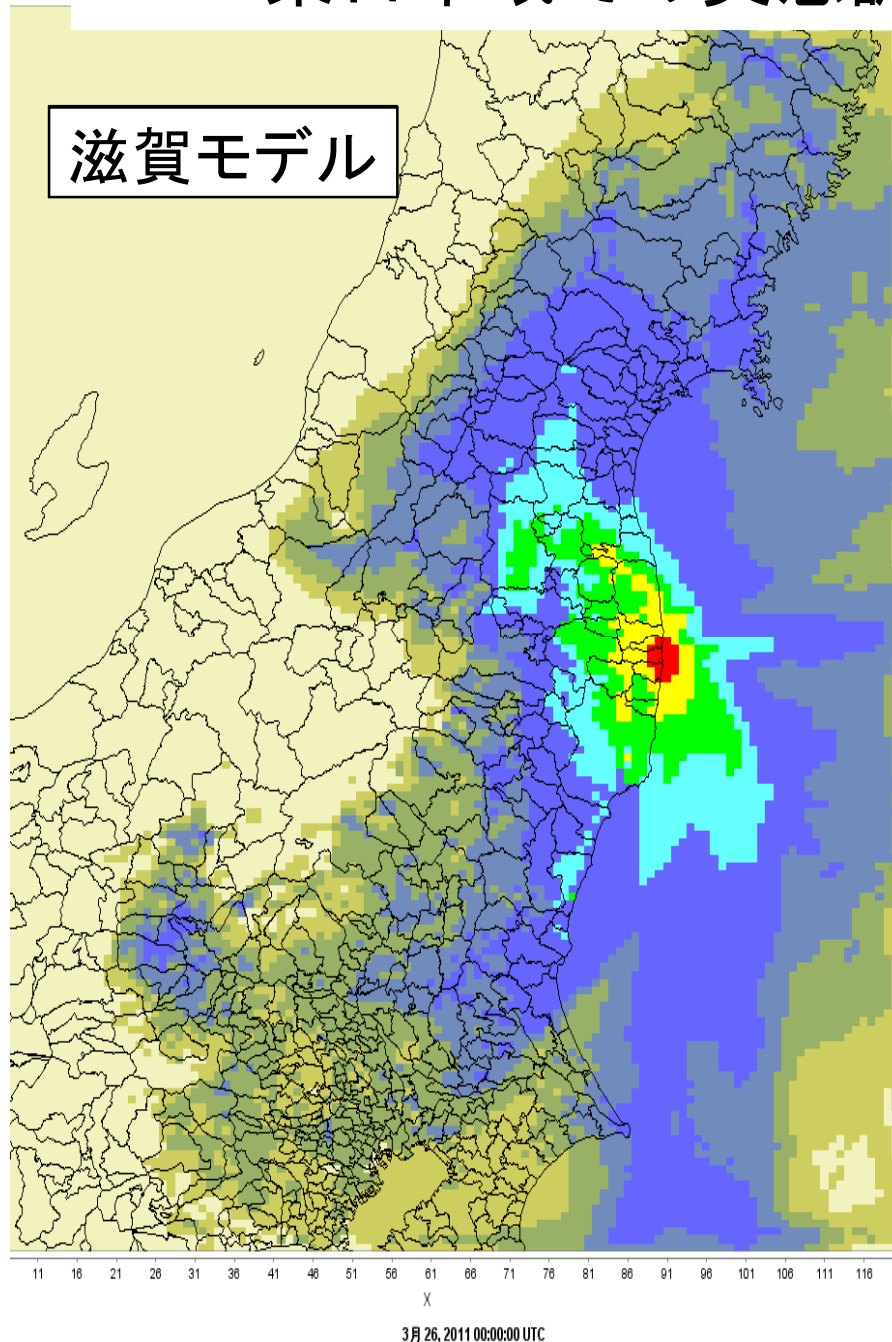
平成25年度

平成24年度の成果を基に 予測・影響評価手法の改良
リスクコミュニケーション手法の継続的検討

大気モデルを用いた検討

- 福島第1原子力発電所事故に、滋賀県モデルを適用し、ヨウ素131沈着量の検証を行う。
- 連続放出試算から、琵琶湖流域に最も影響が大きいと考えられる日を抽出する。
期間:2010～2012年度 四半期毎に抽出
- 最も排出量が多かった福島3月15日の状況を想定して、事故後24時間沈着量を推定する。

東日本域での実態調査と滋賀モデルとの比較



3月26, 2011 00:00:00 UTC

ヨウ素131沈着量(Bq/m²)
平成23年6月14日時点

文部科学省調査

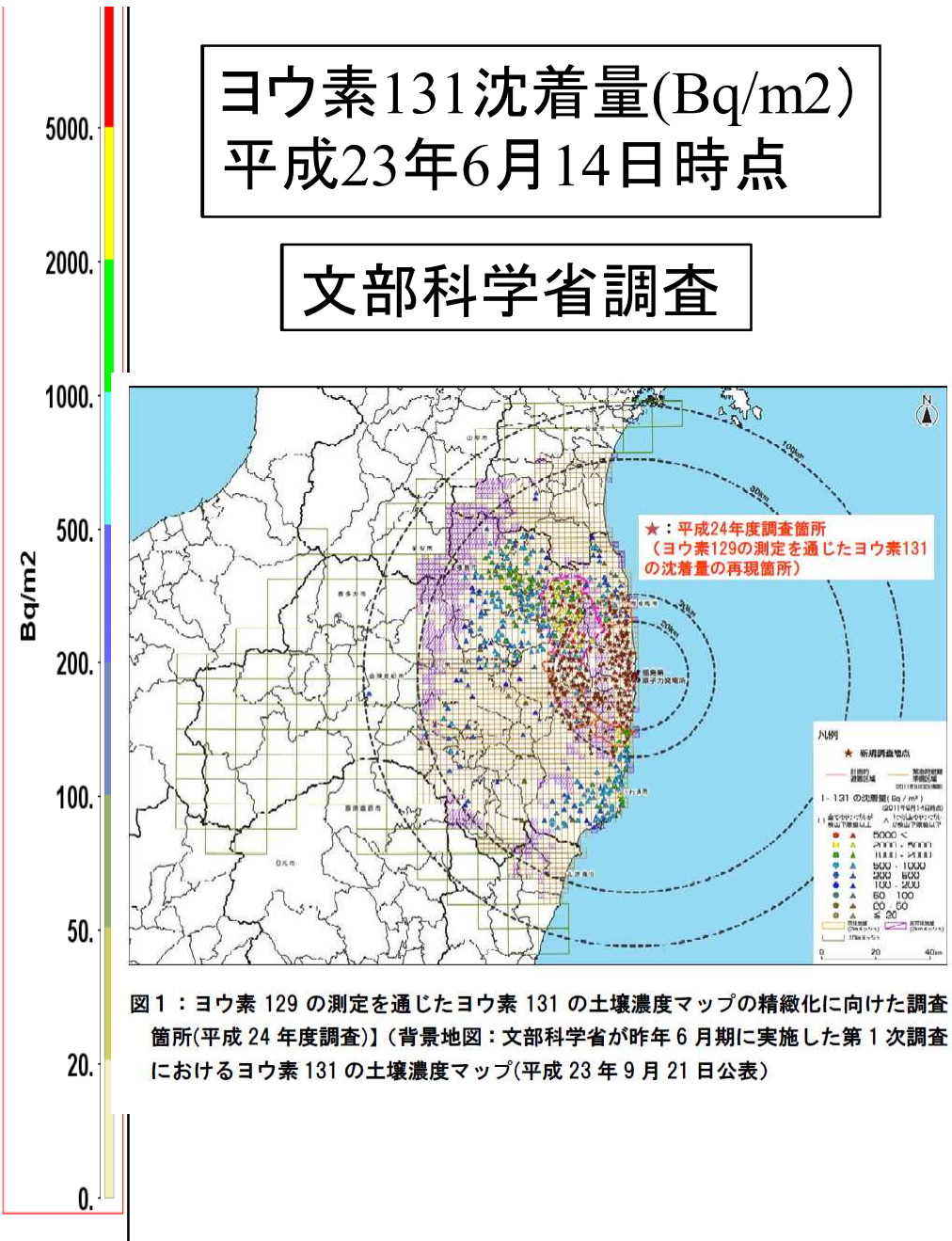


図1:ヨウ素129の測定を通じたヨウ素131の土壌濃度マップの精緻化に向けた調査箇所(平成24年度調査)](背景地図:文部科学省が昨年6月期に実施した第1次調査におけるヨウ素131の土壌濃度マップ(平成23年9月21日公表))

大気モデルを用いた検討

- 福島第1原子力発電所事故に、滋賀県モデルを適用し、ヨウ素131沈着量の検証を行う。
- 連続放出試算から、琵琶湖流域に最も影響が大きいと考えられる日を抽出する。
期間:2010～2012年度 四半期毎に抽出
- 最も排出量が多かった福島3月15日の状況を想定して、事故後24時間沈着量を推定する。

シミュレーション実施日の選定方法

放射性物質を一定量で連続放出



10kmメッシュで計算



琵琶湖流域総和計算



6時間総和時系列で表示



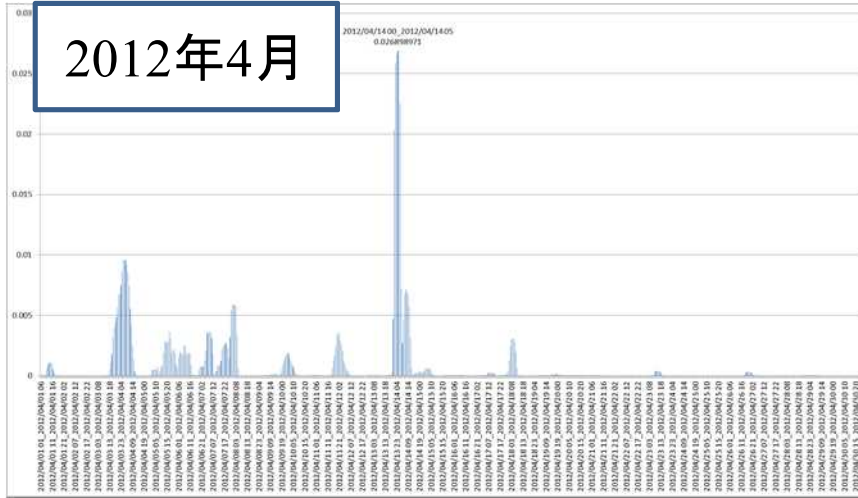
四半期毎に沈着量が最も多い日時を選定



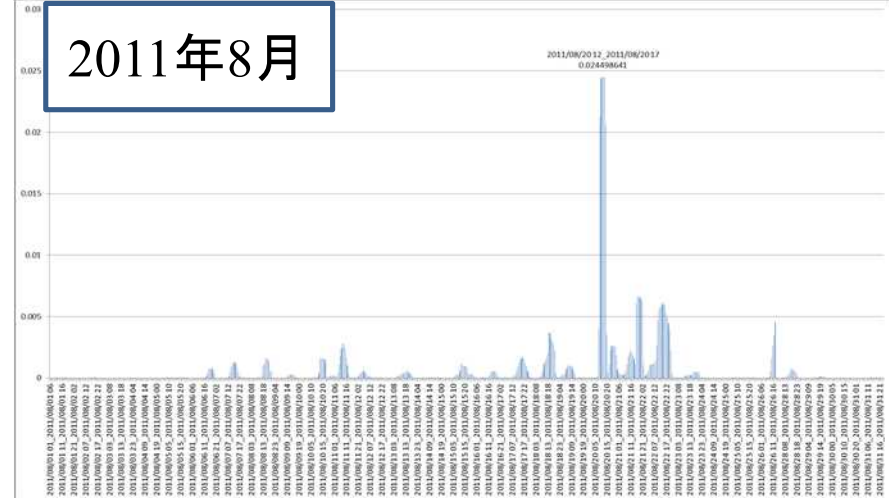
24時間沈着量 (Bq/m²)・放射線量 (μSv/h) で図示

沈着量概算(セシウム・美浜)

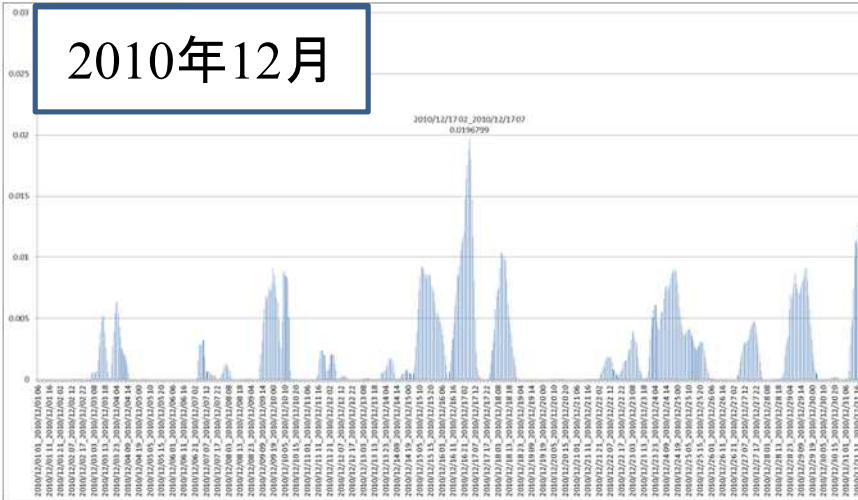
2012年4月



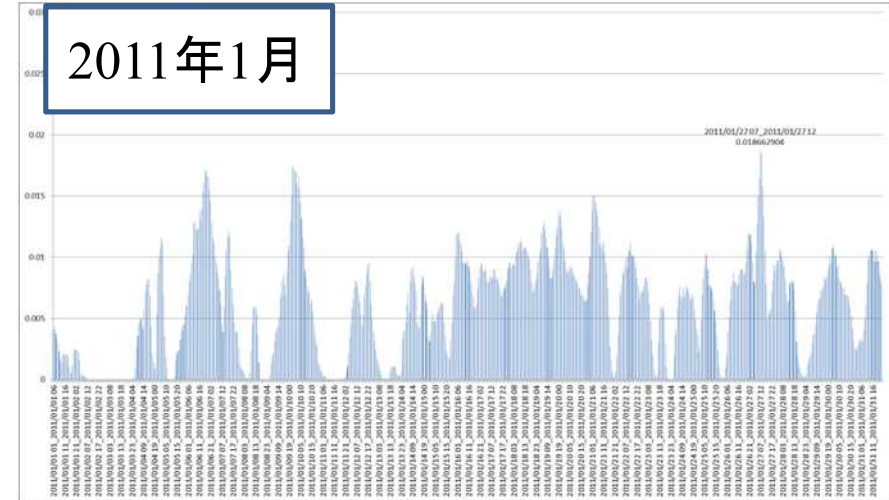
2011年8月



2010年12月

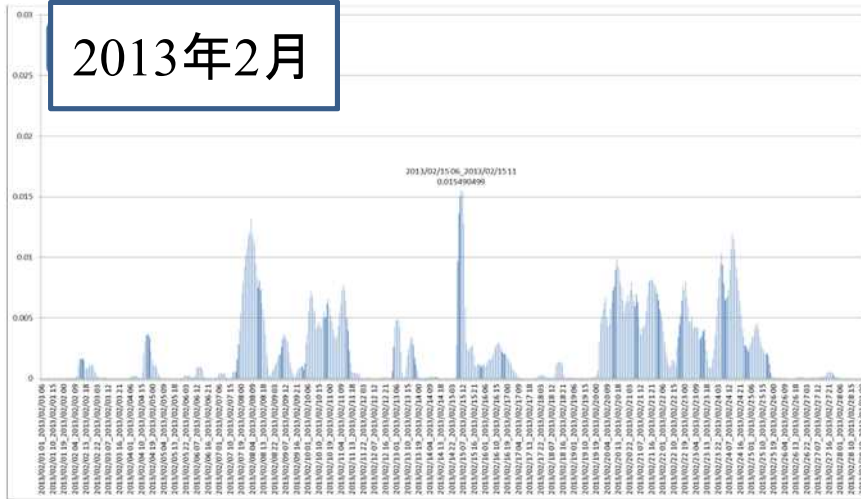


2011年1月

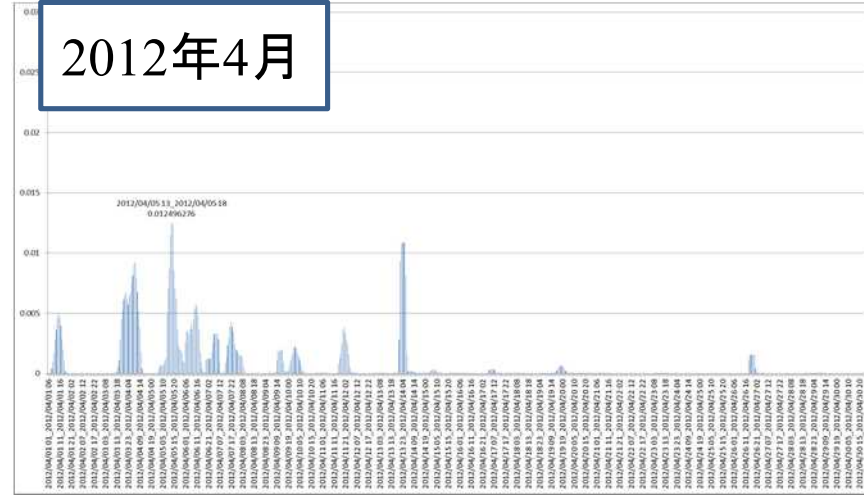


沈着量概算(セシウム・大飯)

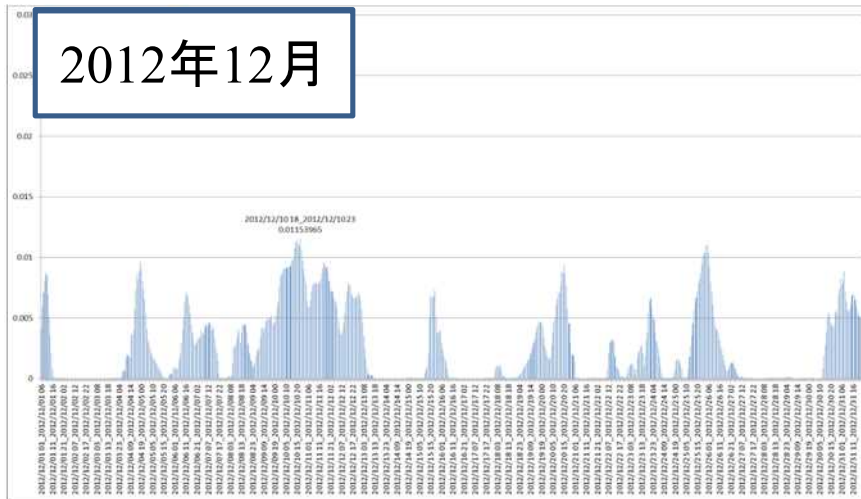
2013年2月



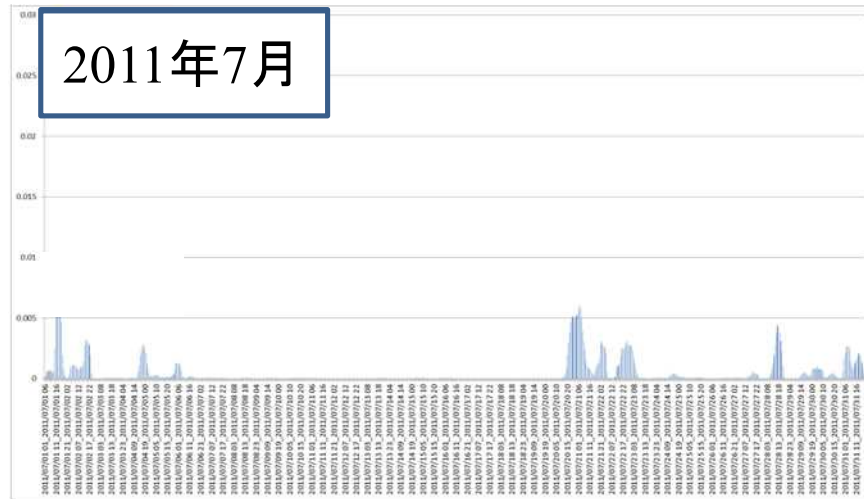
2012年4月



2012年12月



2011年7月



シミュレーション実施日時(セシウム)

美浜

- ① 2012年 4月14日 0時～ 6時(4月～6月)
- ② 2011年 8月20日 12時～18時(7月～9月)
- ③ 2010年12月17日 2時～ 8時(10月～12月)
- ④ 2011年 1月27日 7時～13時(1月～3月)

大飯

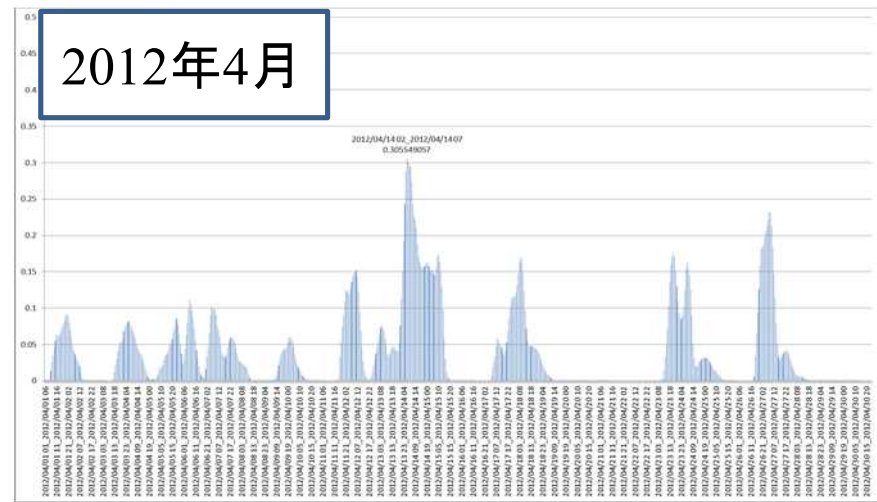
- ① 2013年 2月15日 6時～12時(1月～3月)
- ② 2012年 4月 5日 13時～19時(4月～6月)
- ③ 2012年12月10日 18時～24時(10月～12月)
- ④ 2011年 7月21日 2時～ 8時(7月～9月)

沈着量概算(ヨウ素・美浜)

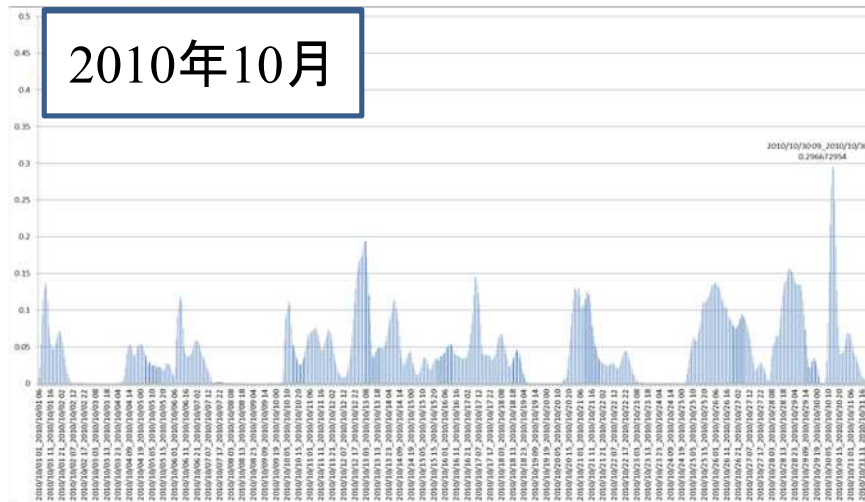
2011年2月



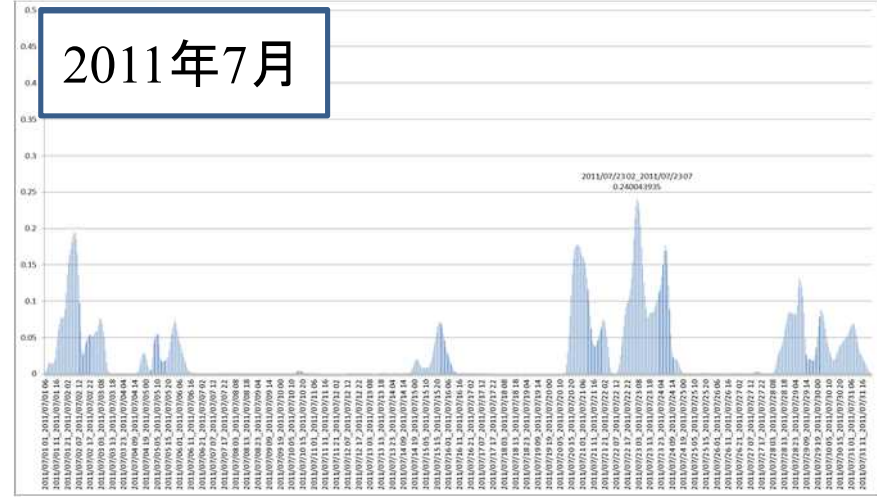
2012年4月



2010年10月

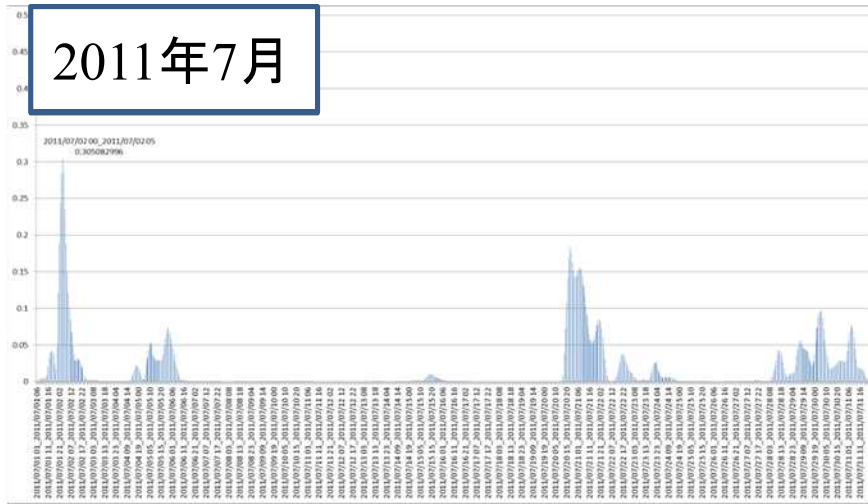


2011年7月

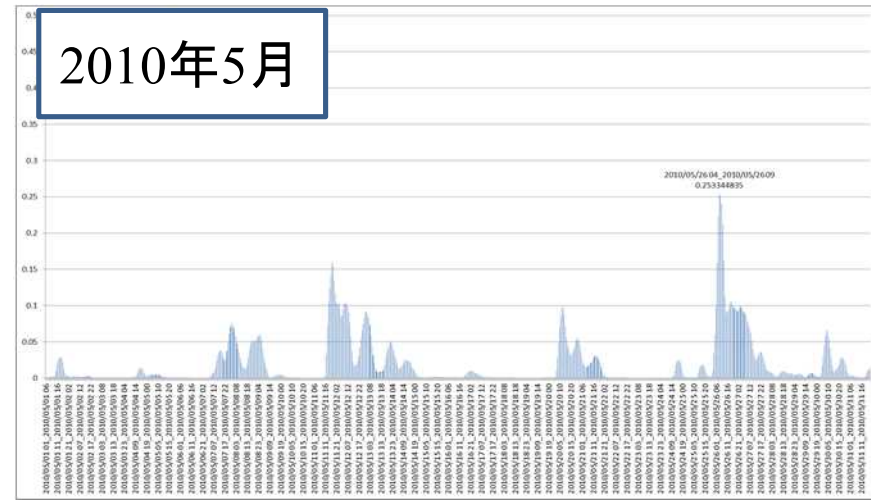


沈着量概算(ヨウ素・大飯)

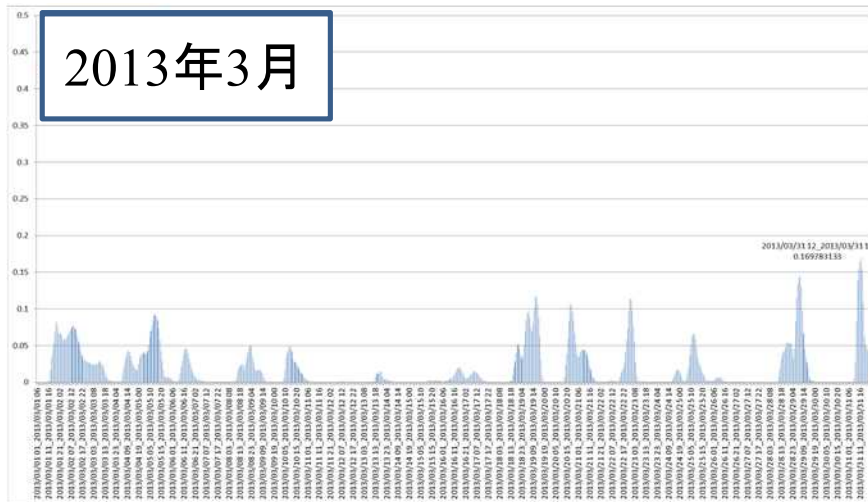
2011年7月



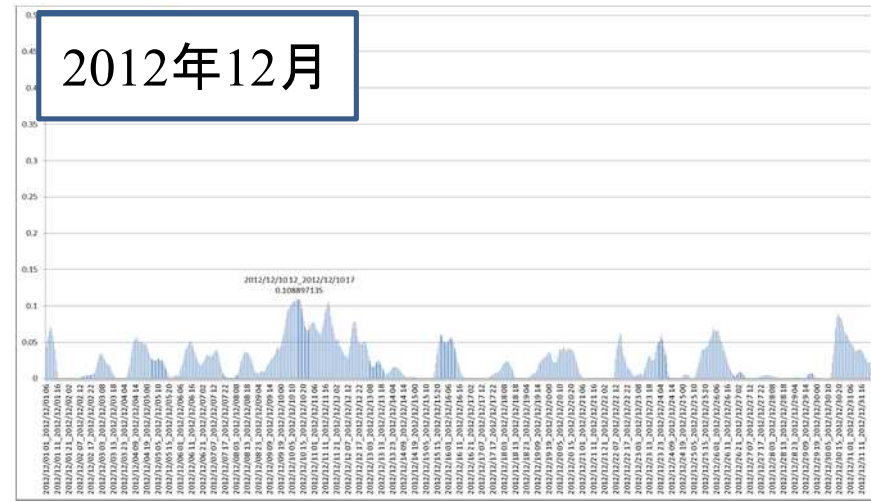
2010年5月



2013年3月



2012年12月



シミュレーション実施日時(ヨウ素)

美浜

- ① 2011年 2月20日 6時～ 12時(1月～3月)
- ② 2012年 4月14日 2時～ 8時(4月～6月)
- ③ 2010年 10月30日 9時～ 15時(10月～12月)
- ④ 2011年 7月23日 2時～ 8時(7月～9月)

大飯

- ① 2011年 7月 2日 0時～ 6時(7月～9月)
- ② 2010年 5月 26日 4時～10時(4月～6月)
- ③ 2013年 3月 31日 12時～16時(1月～3月)
- ④ 2012年 12月 10日 12時～18時(10月～12月)

大気モデルを用いた検討

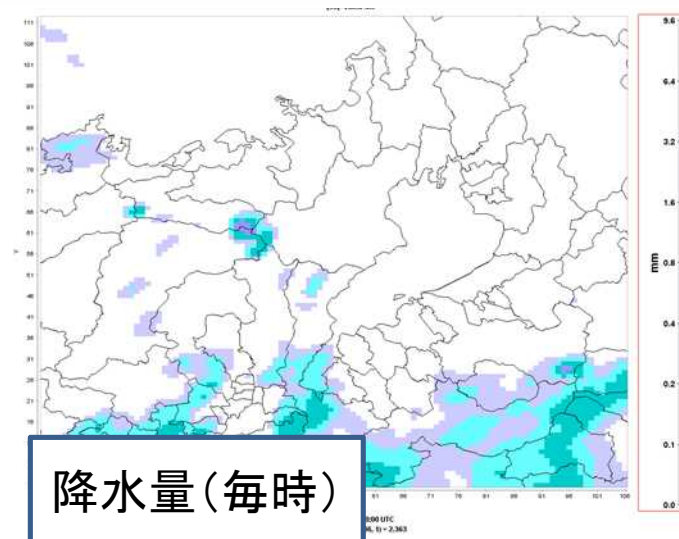
- 福島第1原子力発電所事故に、滋賀県モデルを適用し、ヨウ素131沈着量の検証を行う。
- 連続放出試算から、琵琶湖流域に最も影響が大きいと考えられる日を抽出する。
期間:2010～2012年度 四半期毎に抽出
- 最も排出量が多かった福島3月15日の状況を想定して、事故後24時間沈着量を推定する。

シミュレーション前提条件

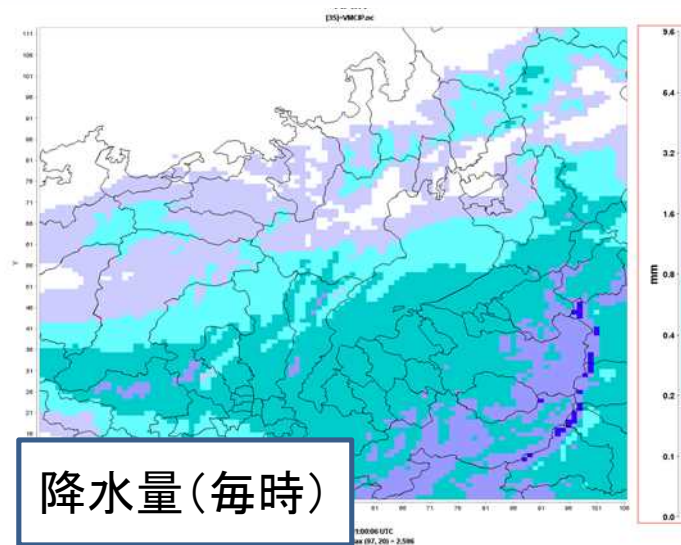
- 放出量 Cs137 4×10^{14} Bq/h 6時間
Cs134 = $1.2 \times$ Cs137
I 131 4×10^{15} Bq/h 6時間
(旧原子力安全委員会資料参照)
- 放射性物質形態
セシウム: 粒子100% ヨウ素: 粒子15%+ガス85%
(東京電力 3月25日発表資料)
- 沈着量外部被ばく線量換算係数(成人)

Cs134	3.6×10^{-3}	(nSv/h)/(Bq/m ²)
Cs137	1.4×10^{-3}	
I 131	8.9×10^{-4}	

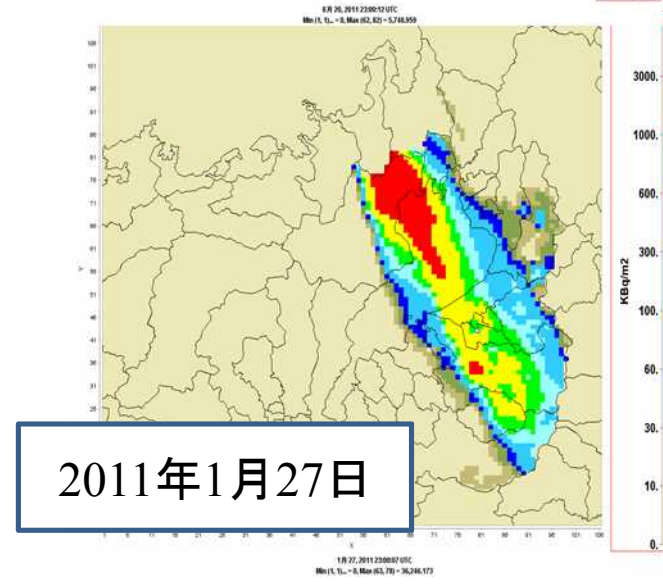
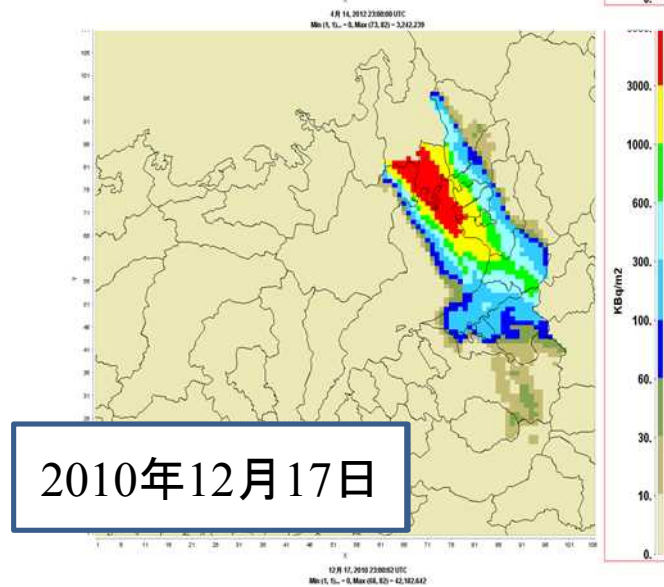
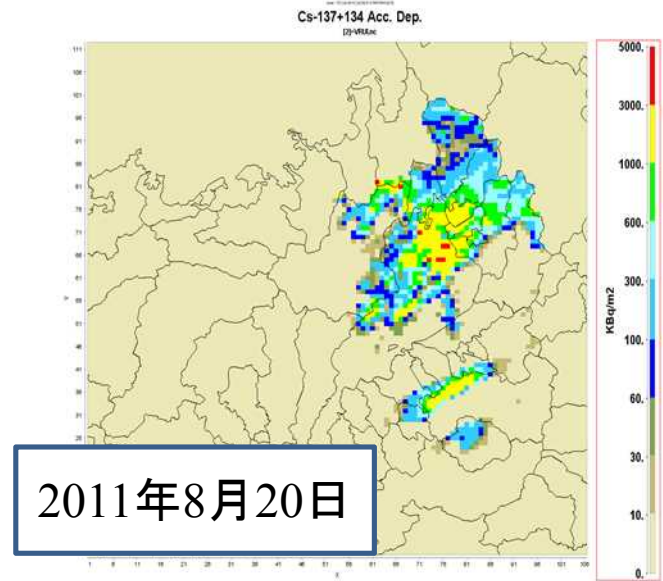
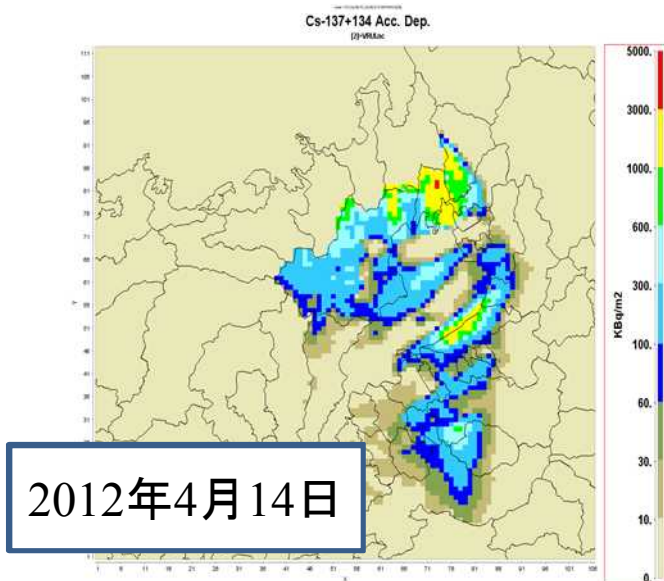
滋賀県シミュレーション事例(2012.4.14美浜)



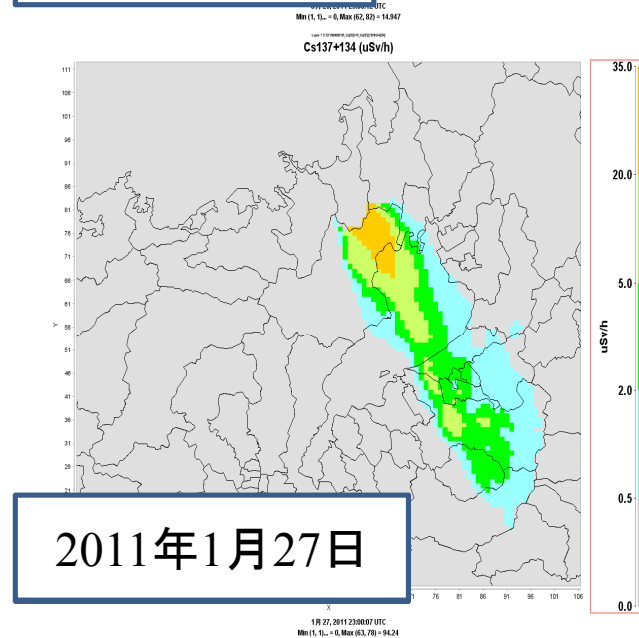
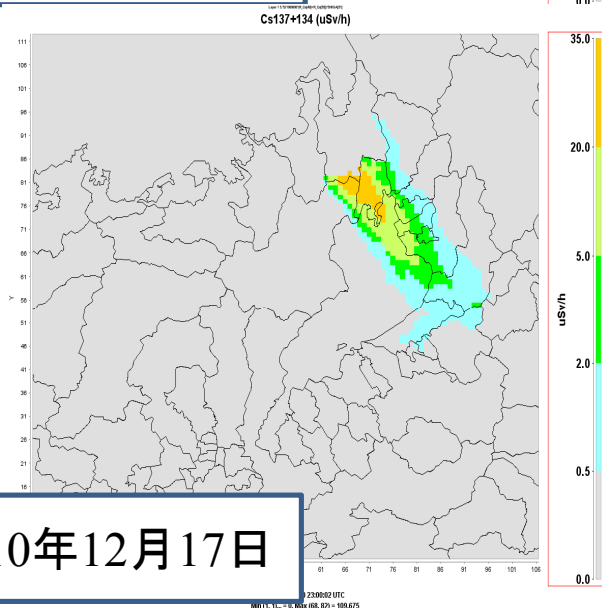
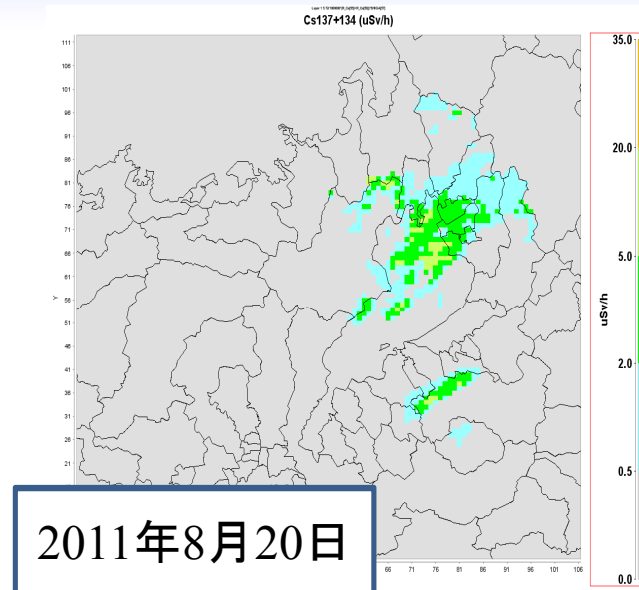
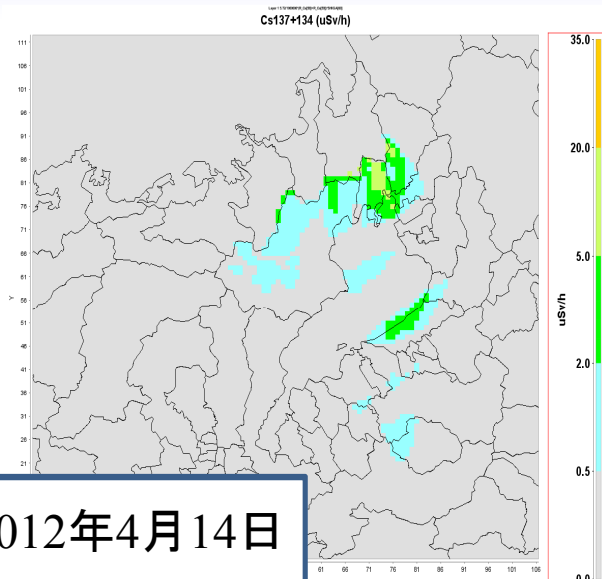
滋賀県シミュレーション事例(2013.2.15大飯)



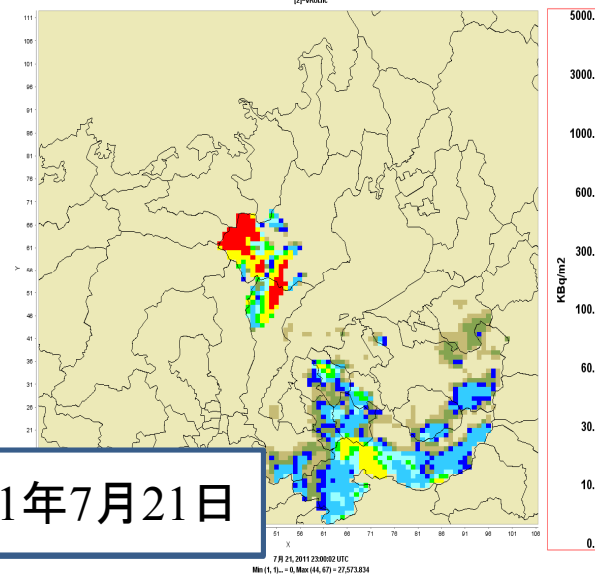
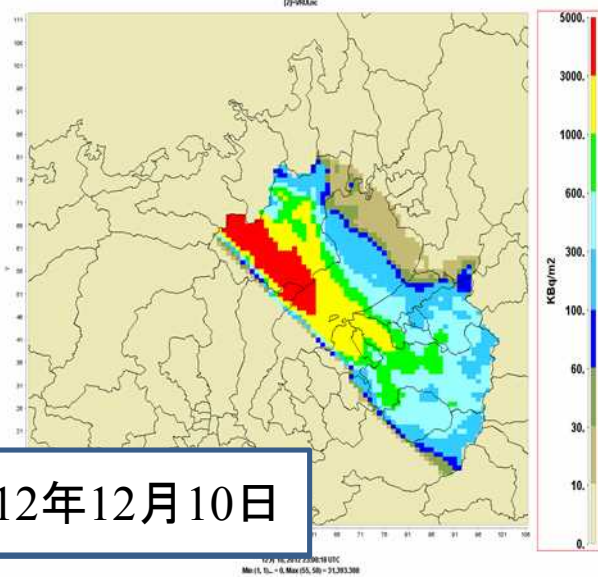
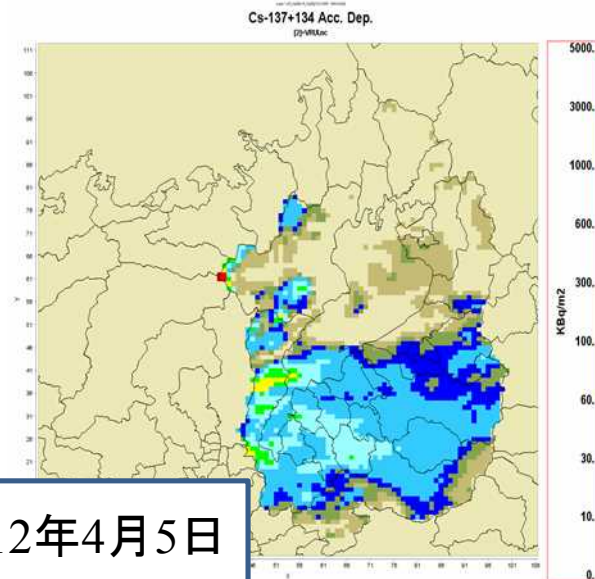
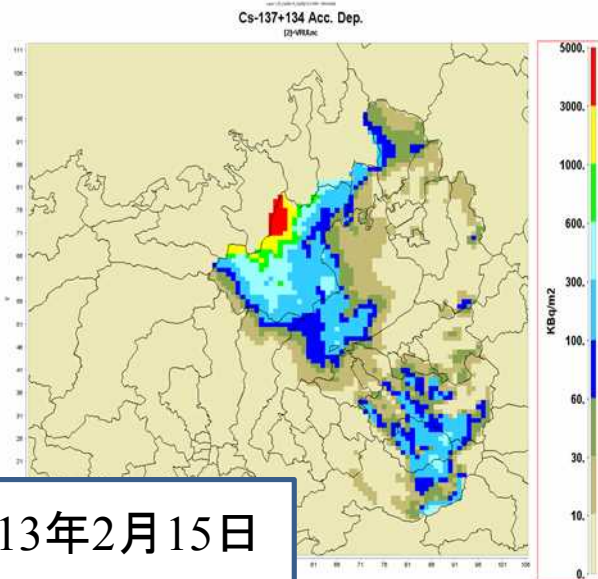
累積沈着量(セシウム・美浜)



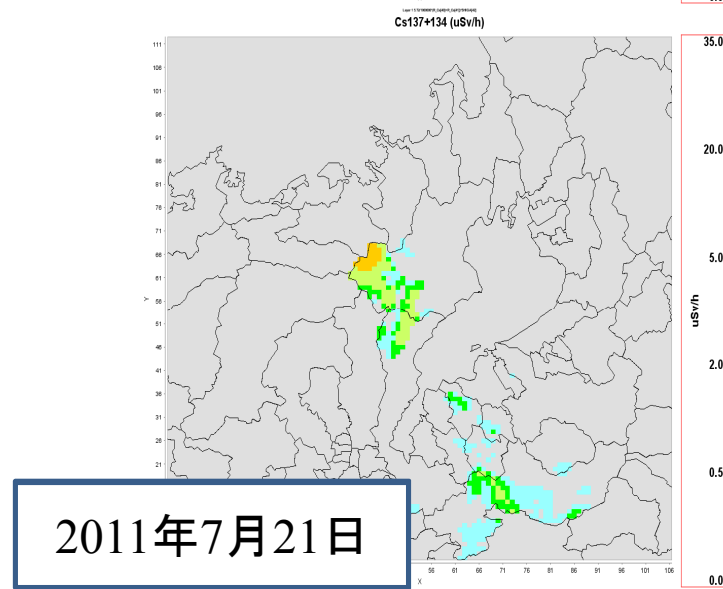
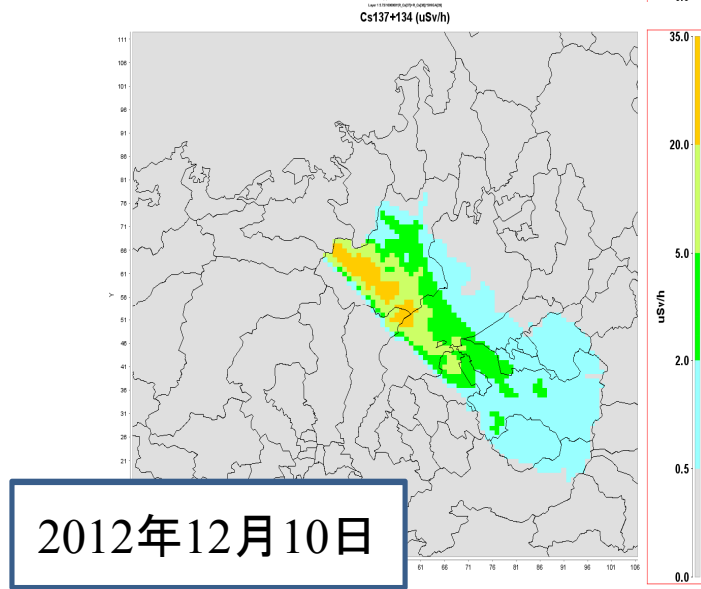
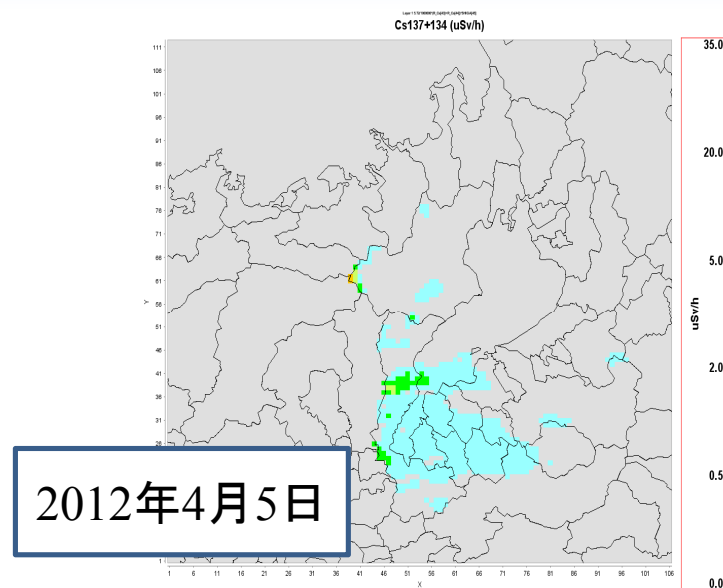
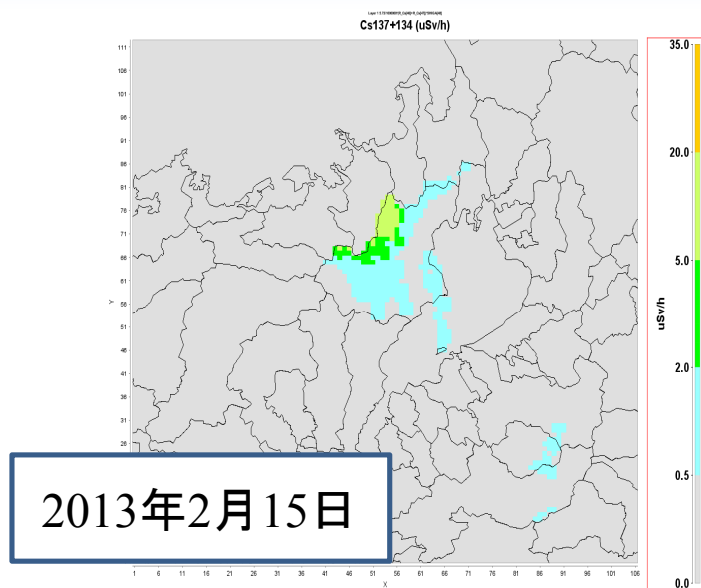
実効線量への換算(セシウム・美浜)



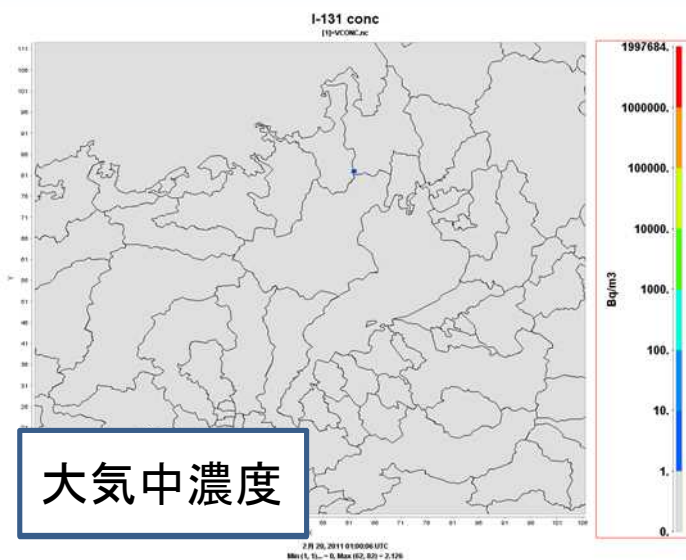
累積沈着量(セシウム・大飯)



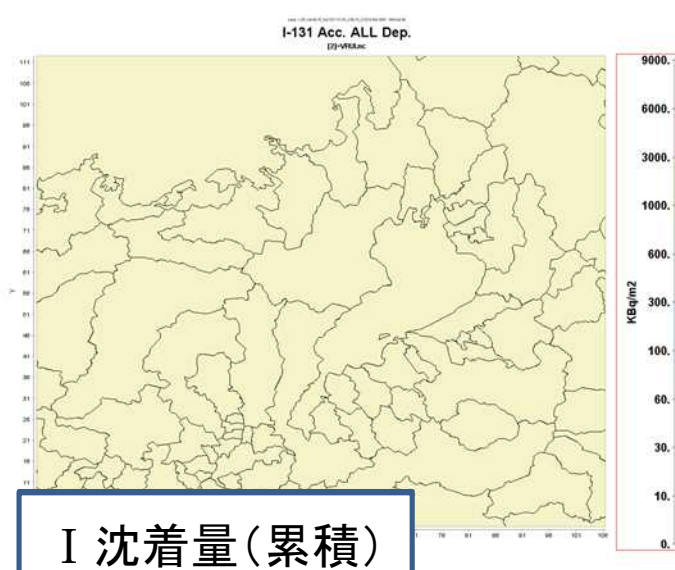
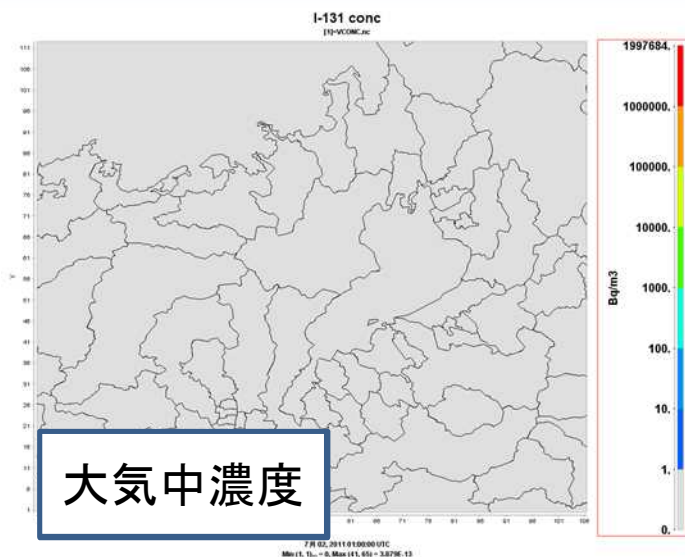
実効線量への換算(セシウム・大飯)



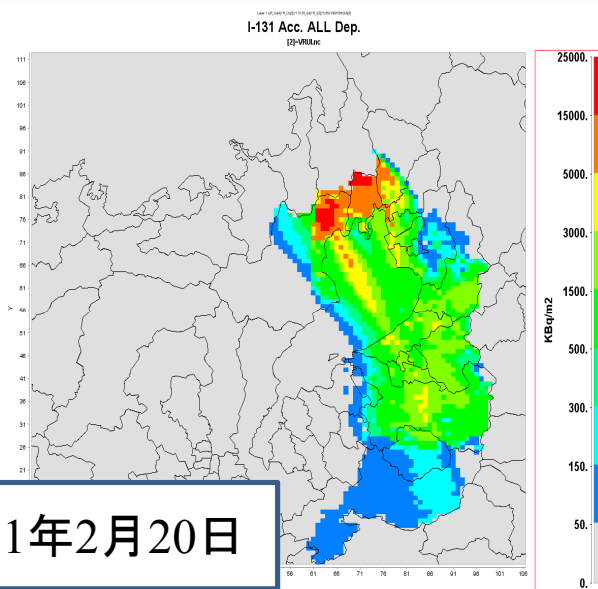
滋賀県シミュレーション事例(2011.2.20美浜)



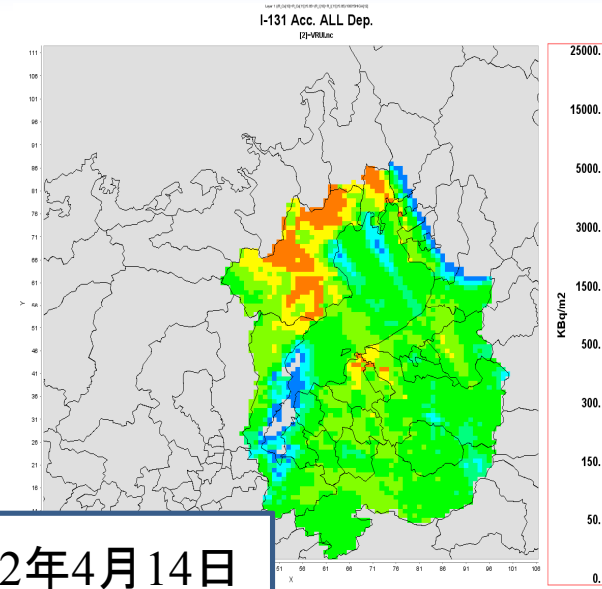
滋賀県シミュレーション事例(2011.7.2大飯)



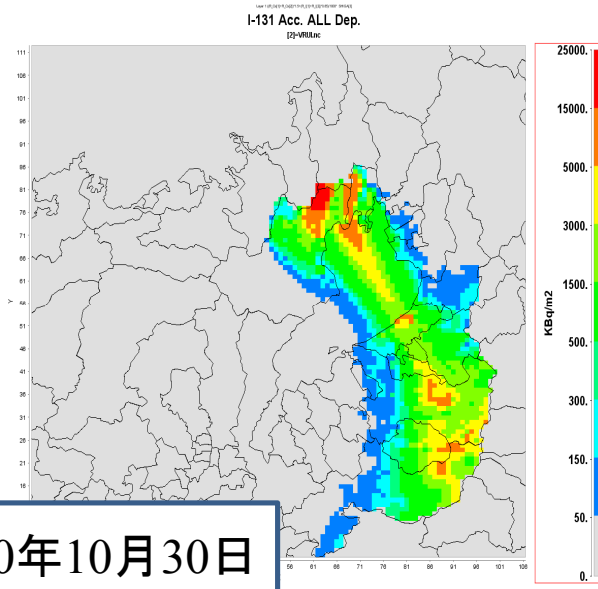
累積沈着量(ヨウ素・美浜)



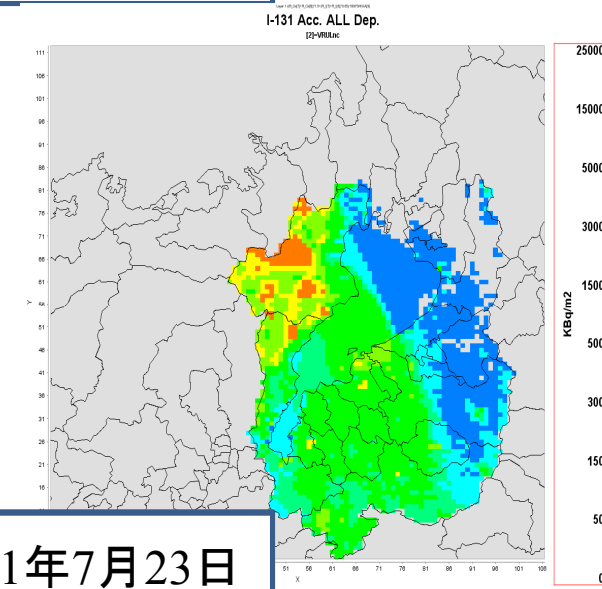
2011年2月20日



2012年4月14日

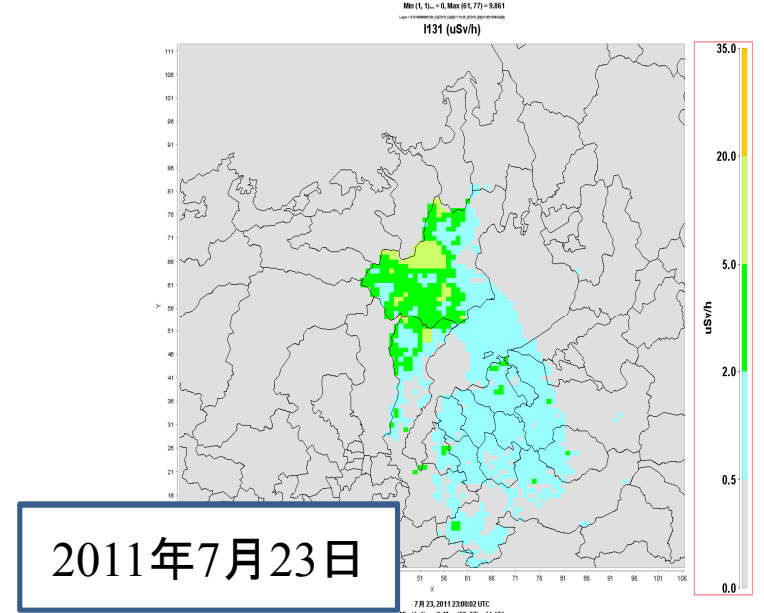
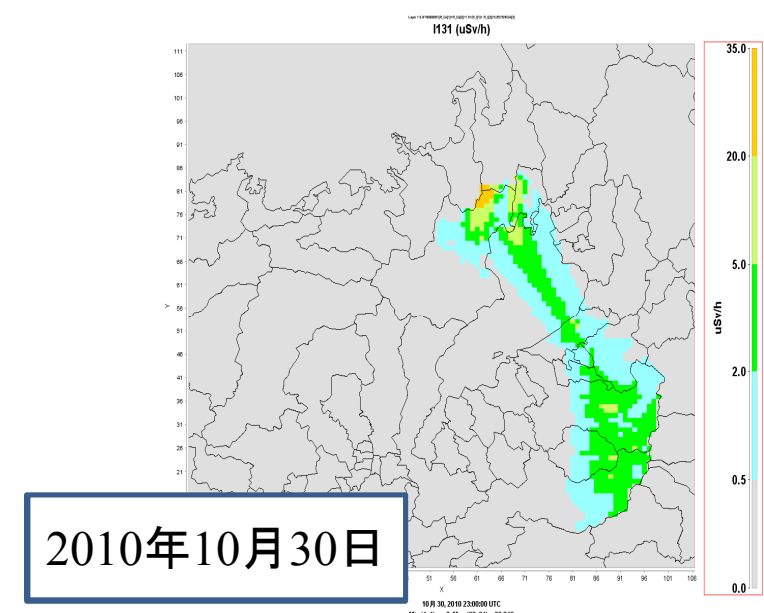
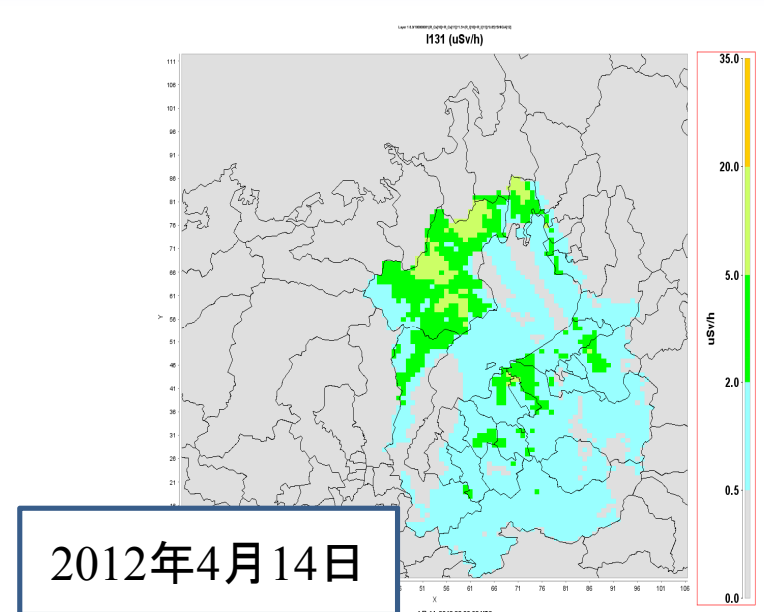
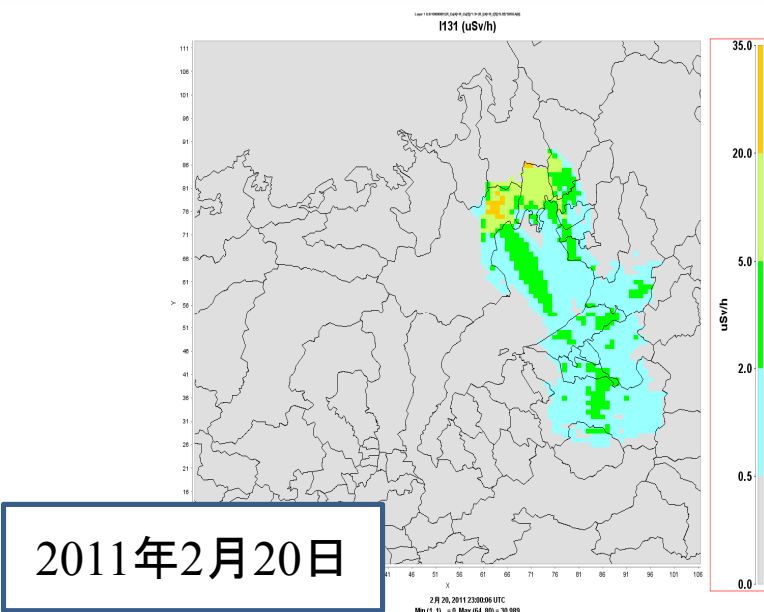


2010年10月30日

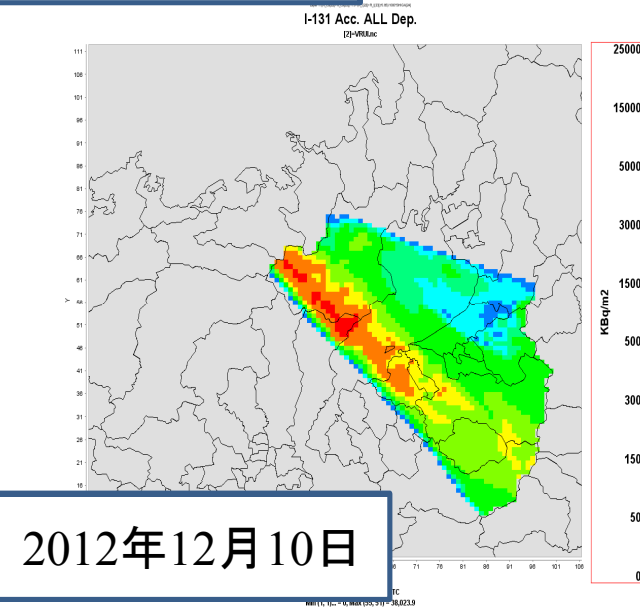
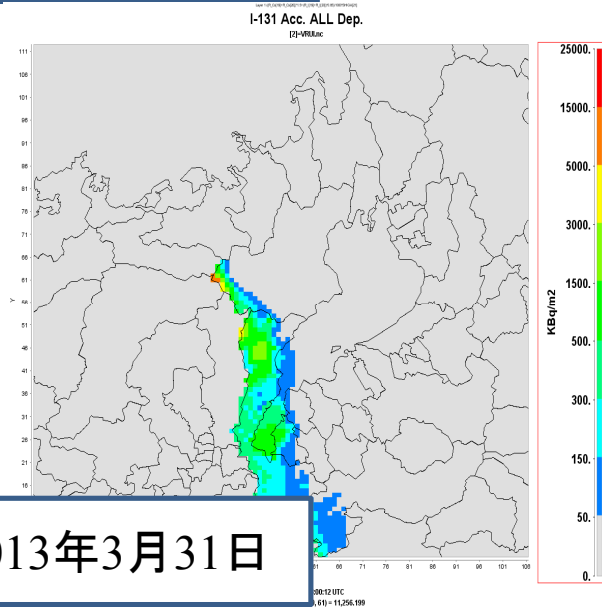
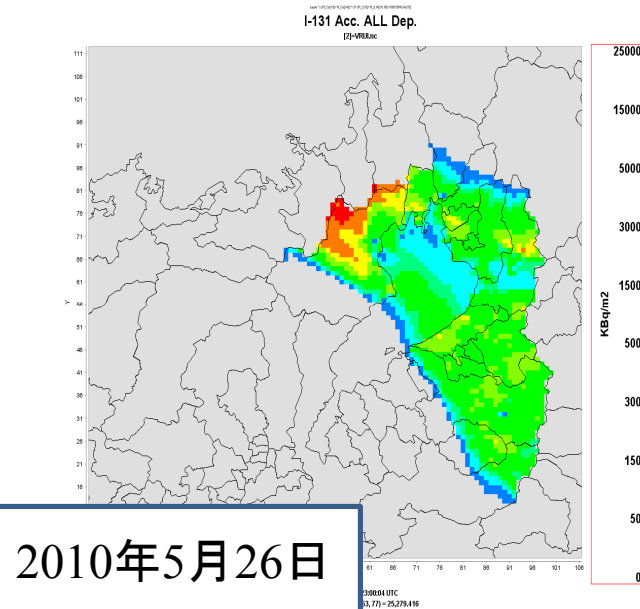
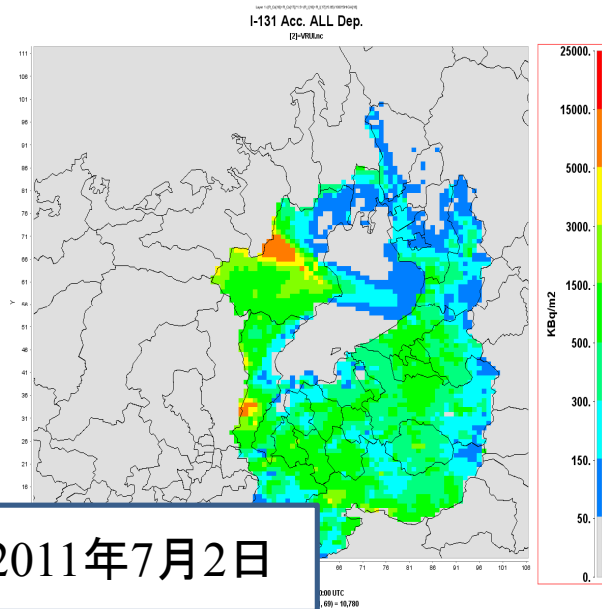


2011年7月23日

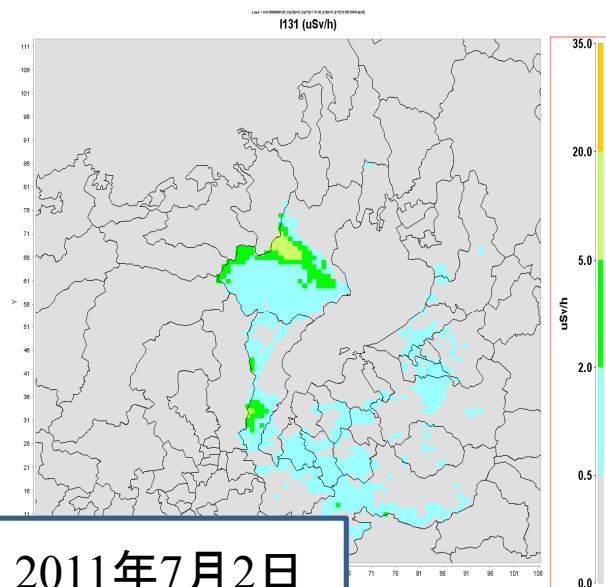
実効線量への換算(ヨウ素・美浜)



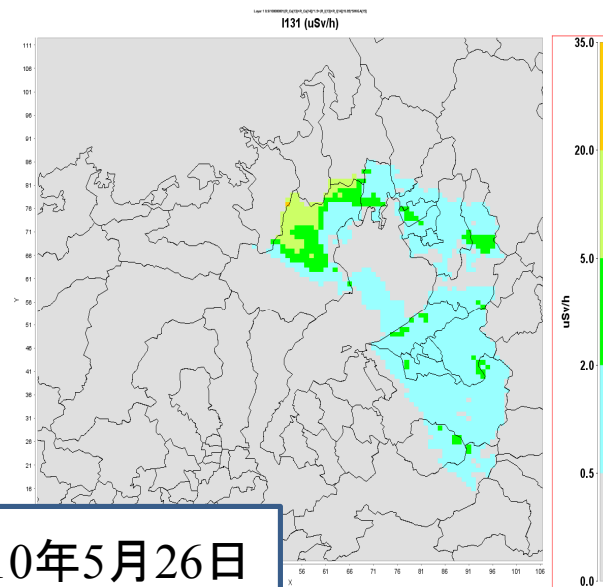
累積沈着量(ヨウ素・大飯)



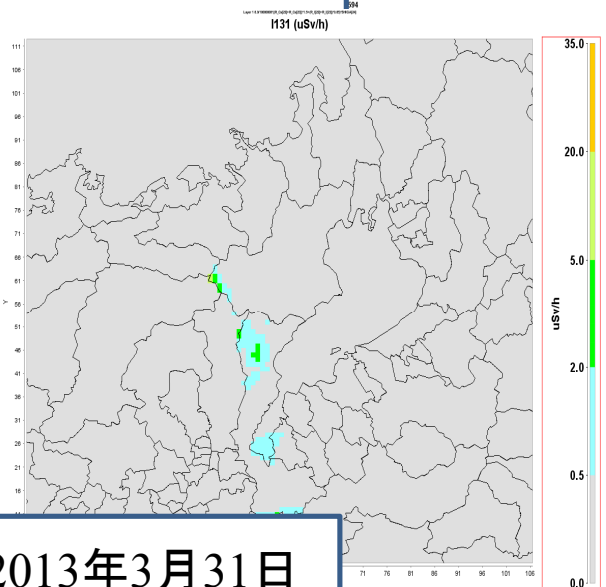
実効線量への換算(ヨウ素・大飯)



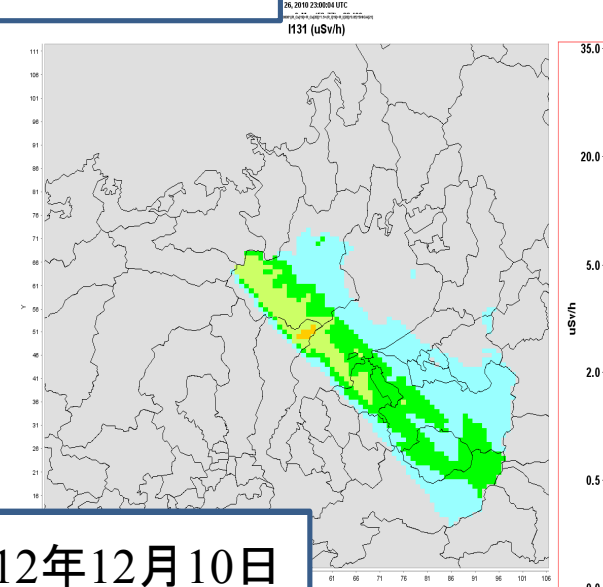
2011年7月2日



2010年5月26日

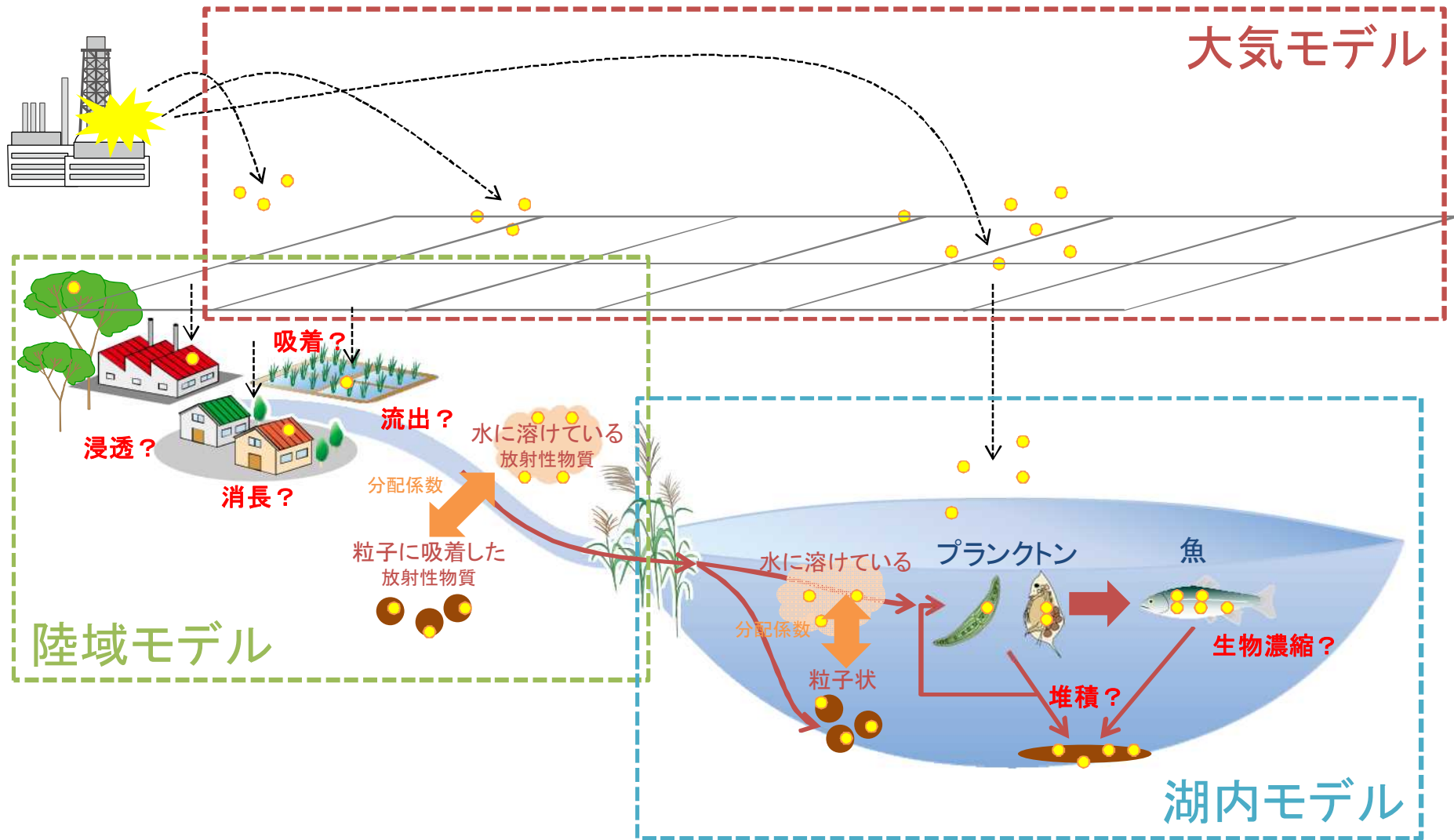


2013年3月31日



2012年12月10日

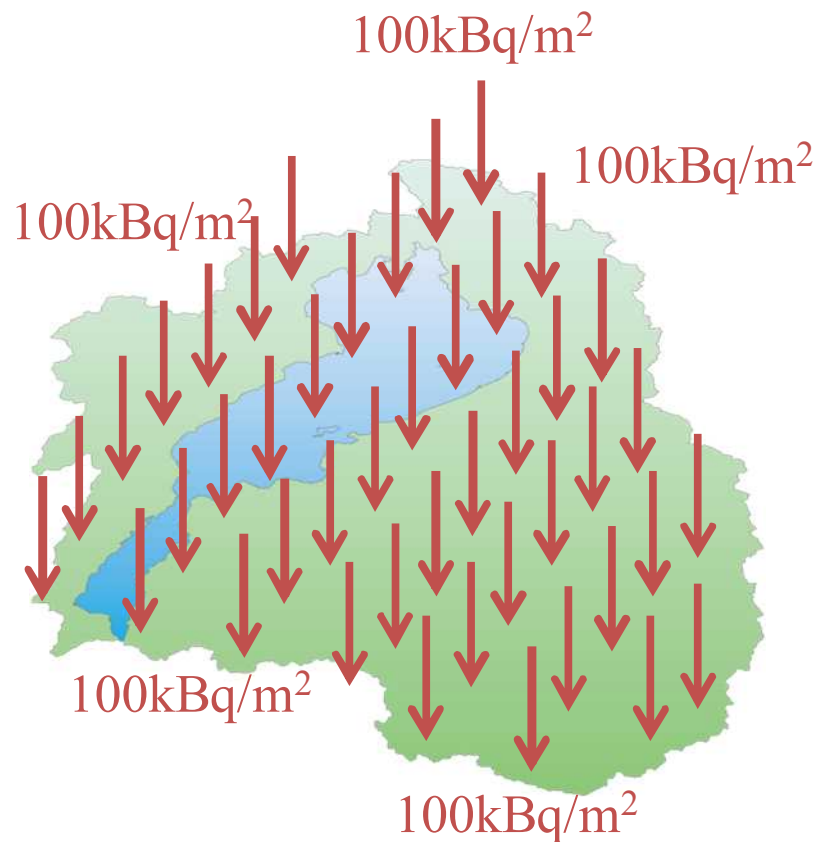
モデルの対象範囲



前回の見直し検討会議(8/5)との違い

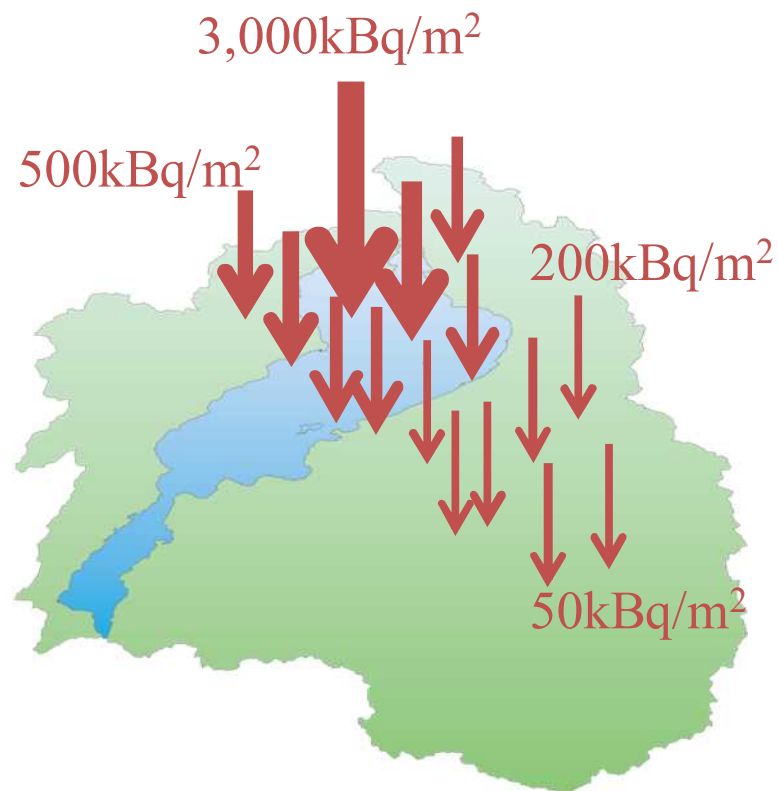
前回(8/5)の計算方法

流域全体に等しく 100kBq/m^2 の放射性物質が沈着したと仮定



今回(11/18)の計算方法

大気モデルによる高沈着量日の計算結果を陸域・湖内に適用



計算条件 (^{137}Cs)

■ 計算期間

- 放射性物質の放出発生日から3ヶ月間

■ 放射性物質

- セシウム(全て ^{137}Cs であると仮定(半減期でみて安全側))

■ 大気由来負荷(フォールアウト)

- 大気モデルの計算結果を適用
- 美浜・大飯における2010-2012年度の最大沈着量(四季別)

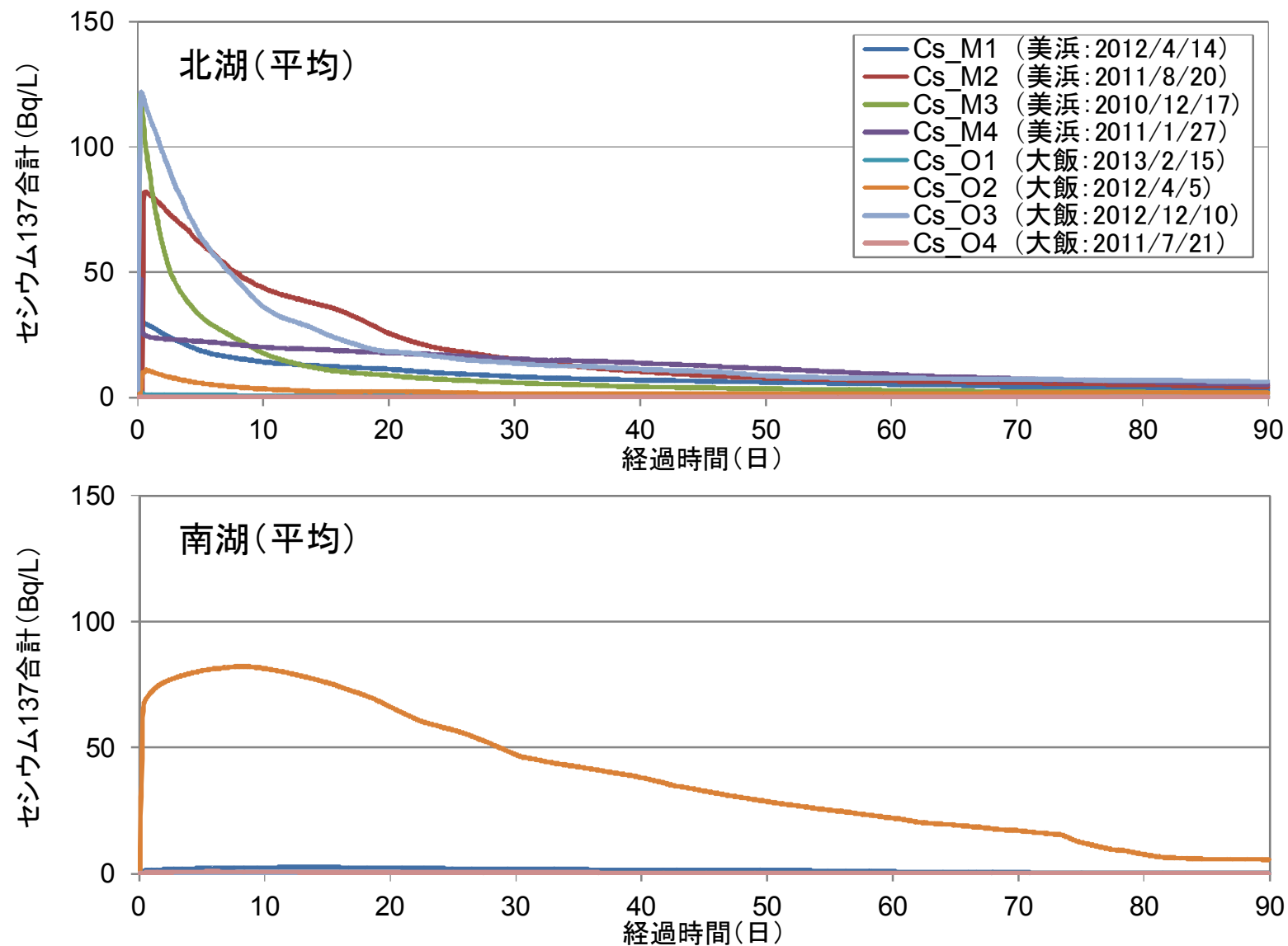
■ ^{137}Cs のパラメータ

- 崩壊定数(1/s): 7.29×10^{-10} (半減期30年)
- 分配係数(L/kg):
 - Ciffroy et al. (2009)より、淡水中の現場測定による最頻値($10^{4.5}$)
 - 土壌中については、IAEA(Technical Reports Series No.472, 2010)の幾何平均値を使用(1.2×10^3)

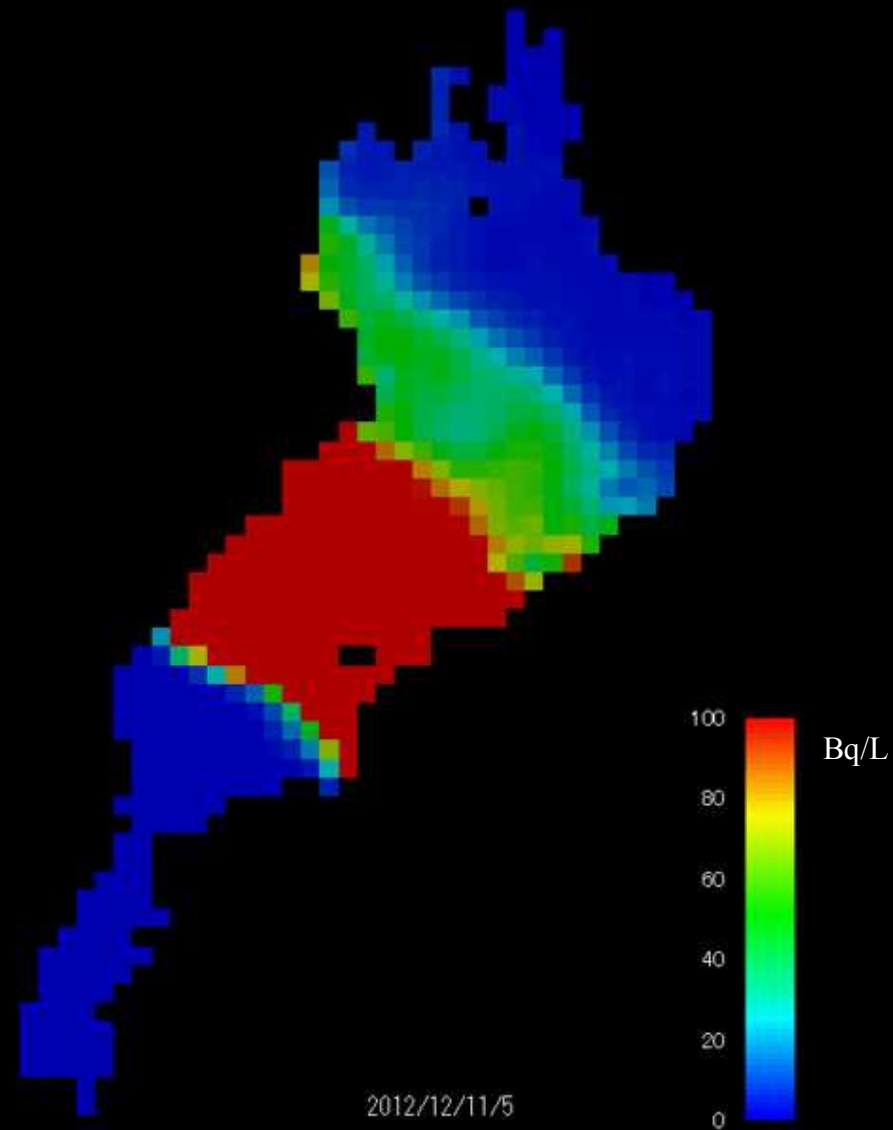
大気からの沈着シナリオ (^{137}Cs)

ケースID	放射性物質	原発	順位	季節	大気モデル沈着期間		
					自	~	至
Cs_M1	セシウム	美浜	1	春	2012/4/14 0:00	~	2012/4/14 23:00
Cs_M2			2	夏	2011/8/20 12:00	~	2011/8/21 11:00
Cs_M3			3	秋	2010/12/17 2:00	~	2010/12/18 1:00
Cs_M4			4	冬	2011/1/27 7:00	~	2011/1/28 6:00
Cs_O1		大飯	1	冬	2013/2/15 6:00	~	2013/2/16 5:00
Cs_O2			2	春	2012/4/5 13:00	~	2012/4/6 12:00
Cs_O3			3	秋	2012/12/10 18:00	~	2012/12/11 17:00
Cs_O4			4	夏	2011/7/21 2:00	~	2011/7/22 1:00

^{137}Cs 北湖・南湖(表層(水深0-5m)の平均値)

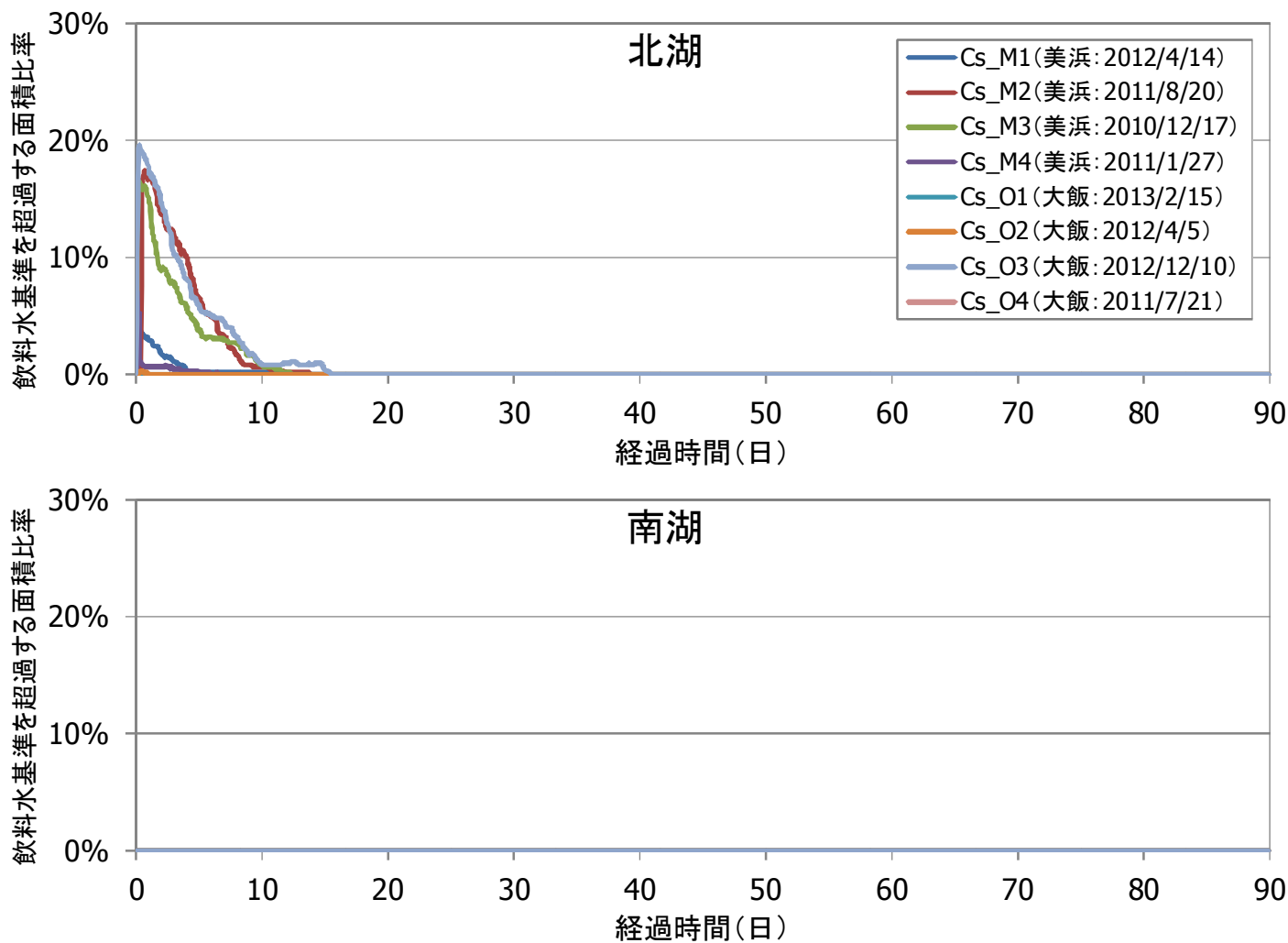


湖内における ^{137}Cs の時間変化 (Cs_O3: 大飯2012/12/10)



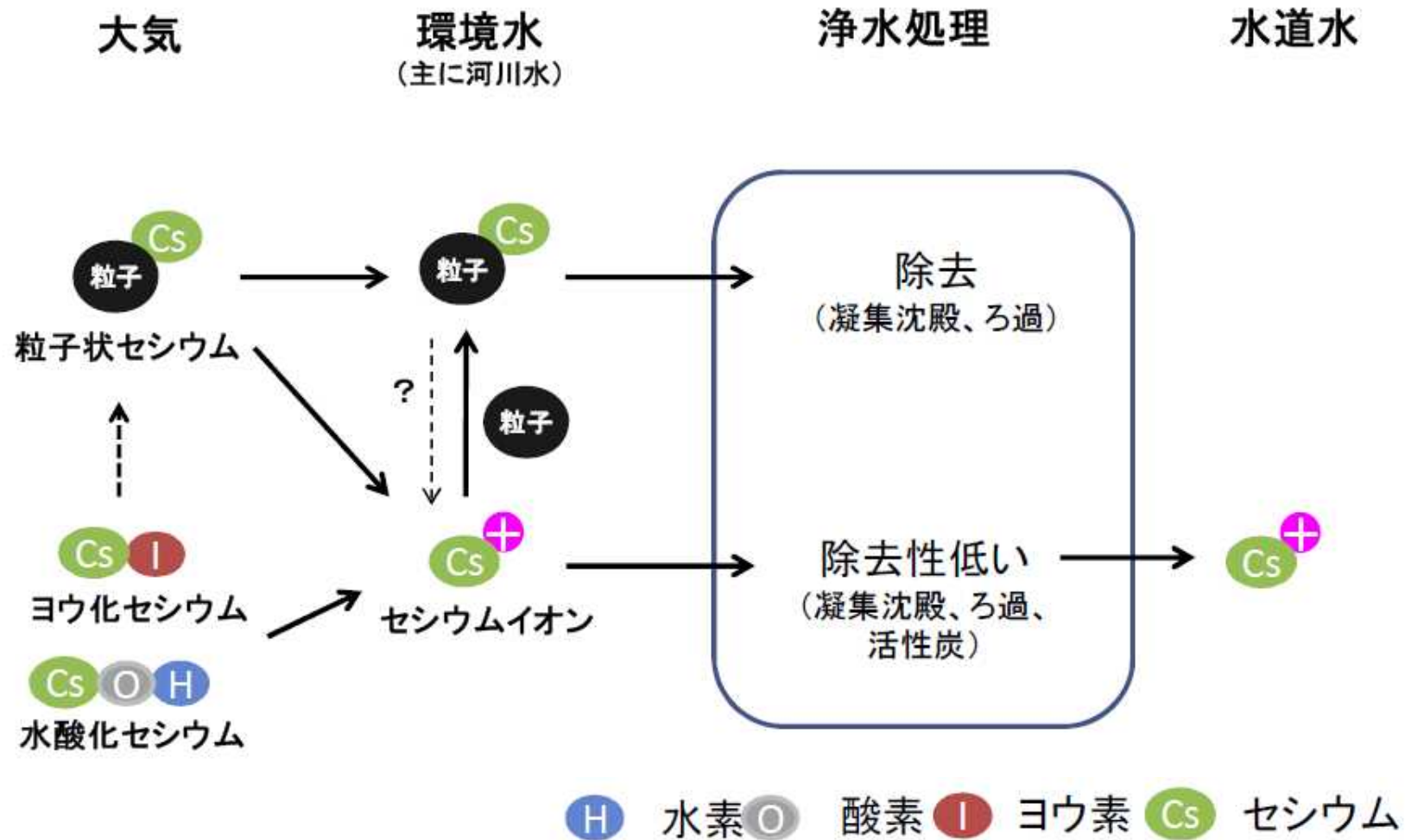
セシウム 大飯③2012年12月10日 (12月11日5時時点)

防護措置実施の判断基準OIL6を超過する面積比率 (¹³⁷Cs 北湖・南湖)



※参考:放射性セシウムに係るOIL6(経口摂取による被ばく影響を防止するため、飲食物の摂取を制限する際の基準)は、飲料水で200Bq/L(琵琶湖水中の基準ではない)

放射性セシウムの浄水処理概念図



出典：国立環境研究所 放射能汚染ジョイントセミナー「生活環境から放射能汚染を考える」(2013/2/22開催)における浅見真理ら(国立保健医療科学院)発表資料より抜粋

計算条件 (^{131}I)

■ 計算期間

- 放射性物質の放出発生日から3ヶ月間

■ 放射性物質

- ヨウ素 (^{131}I)

■ 大気由来負荷 (フォールアウト)

- 大気モデルの計算結果を適用
- 美浜・大飯における2010-2012年度の最大沈着量 (四季別)

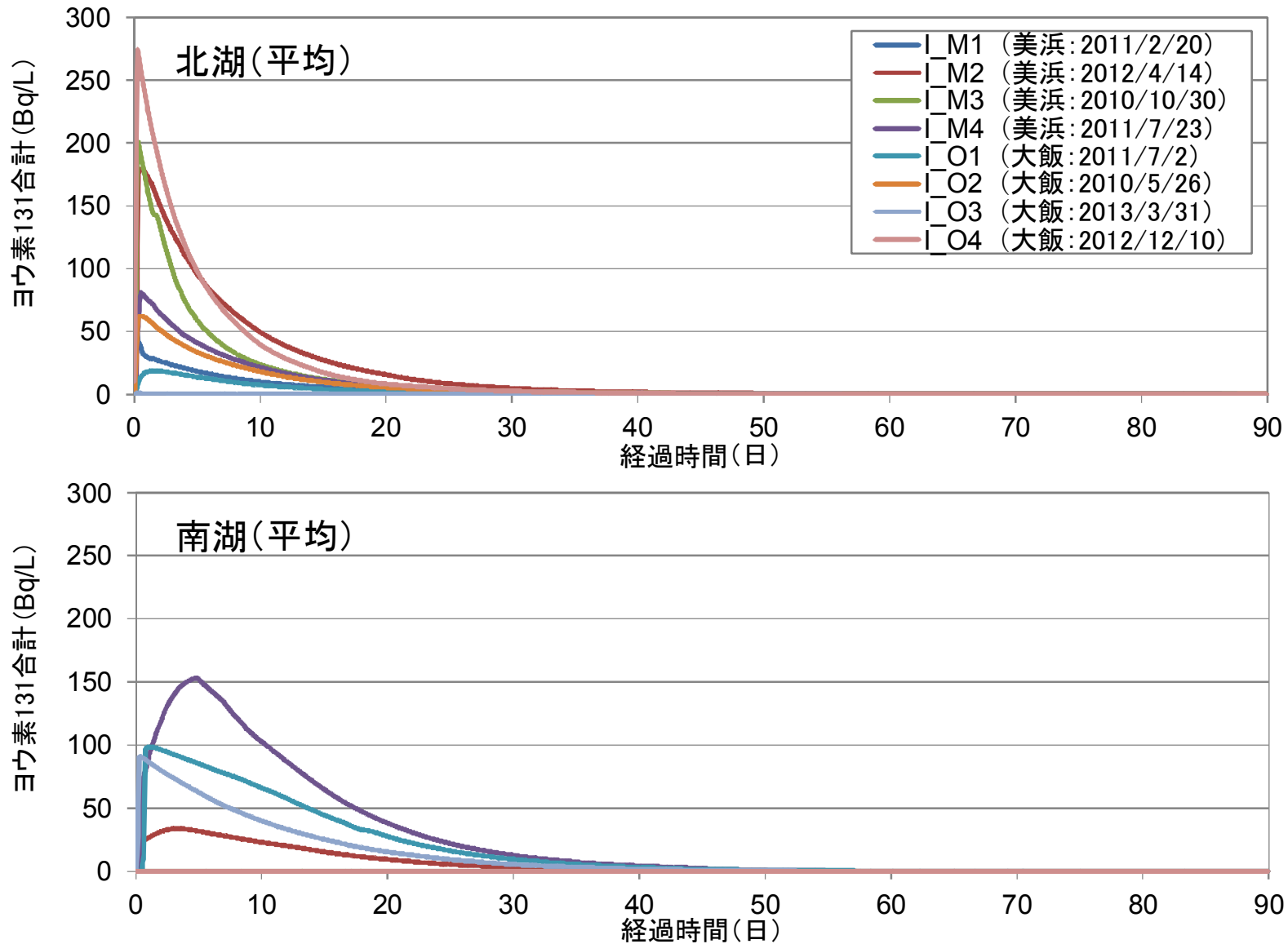
■ ^{131}I のパラメータ

- 崩壊定数 (1/s) : 1.00×10^{-6} (半減期8日)
- 分配係数 (L/kg) :
 - Ciffroy et al. (2009)より、淡水中の吸着実験による最頻値 ($10^{2.3}$)
 - 土壌中については、IAEA (Technical Reports Series No.472, 2010) の幾何平均値を使用 (6.9)

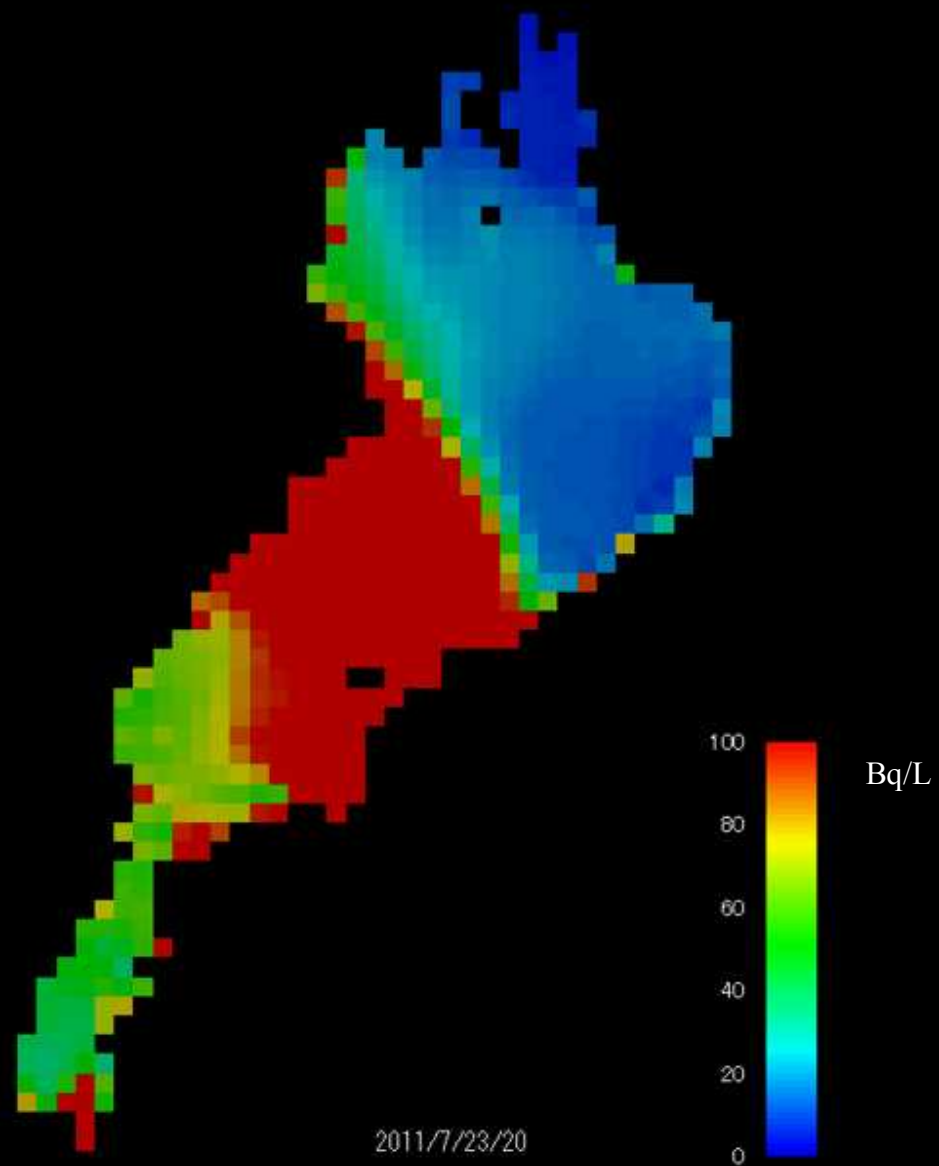
大気からの沈着シナリオ (^{131}I)

ケースID	放射性物質	原発	順位	季節	大気モデル沈着期間		
					自	~	至
I_M1	ヨウ素	美浜	1	冬	2011/2/20 6:00	~	2011/2/21 5:00
I_M2			2	春	2012/4/14 2:00	~	2012/4/15 1:00
I_M3			3	秋	2010/10/30 9:00	~	2010/10/31 8:00
I_M4			4	夏	2011/7/23 2:00	~	2011/7/24 1:00
I_O1		大飯	1	夏	2011/7/2 0:00	~	2011/7/2 23:00
I_O2			2	春	2010/5/26 4:00	~	2010/5/27 3:00
I_O3			3	冬	2013/3/31 12:00	~	2013/4/1 11:00
I_O4			4	秋	2012/12/10 12:00	~	2012/12/11 11:00

^{131}I 北湖・南湖(表層(水深0-5m)の平均値)

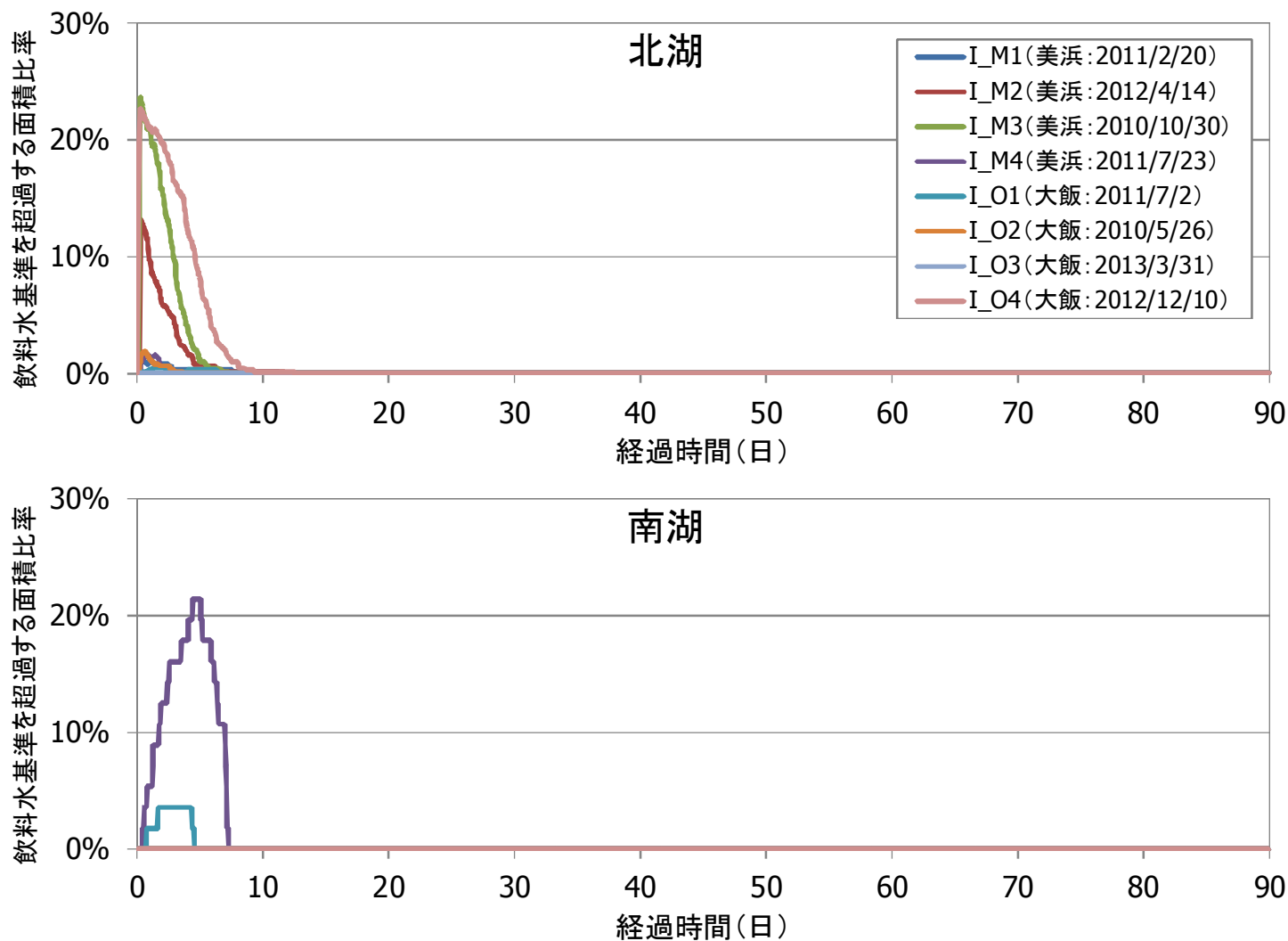


湖内における ^{131}I の時間変化 (I_M4: 美浜2011/7/23)



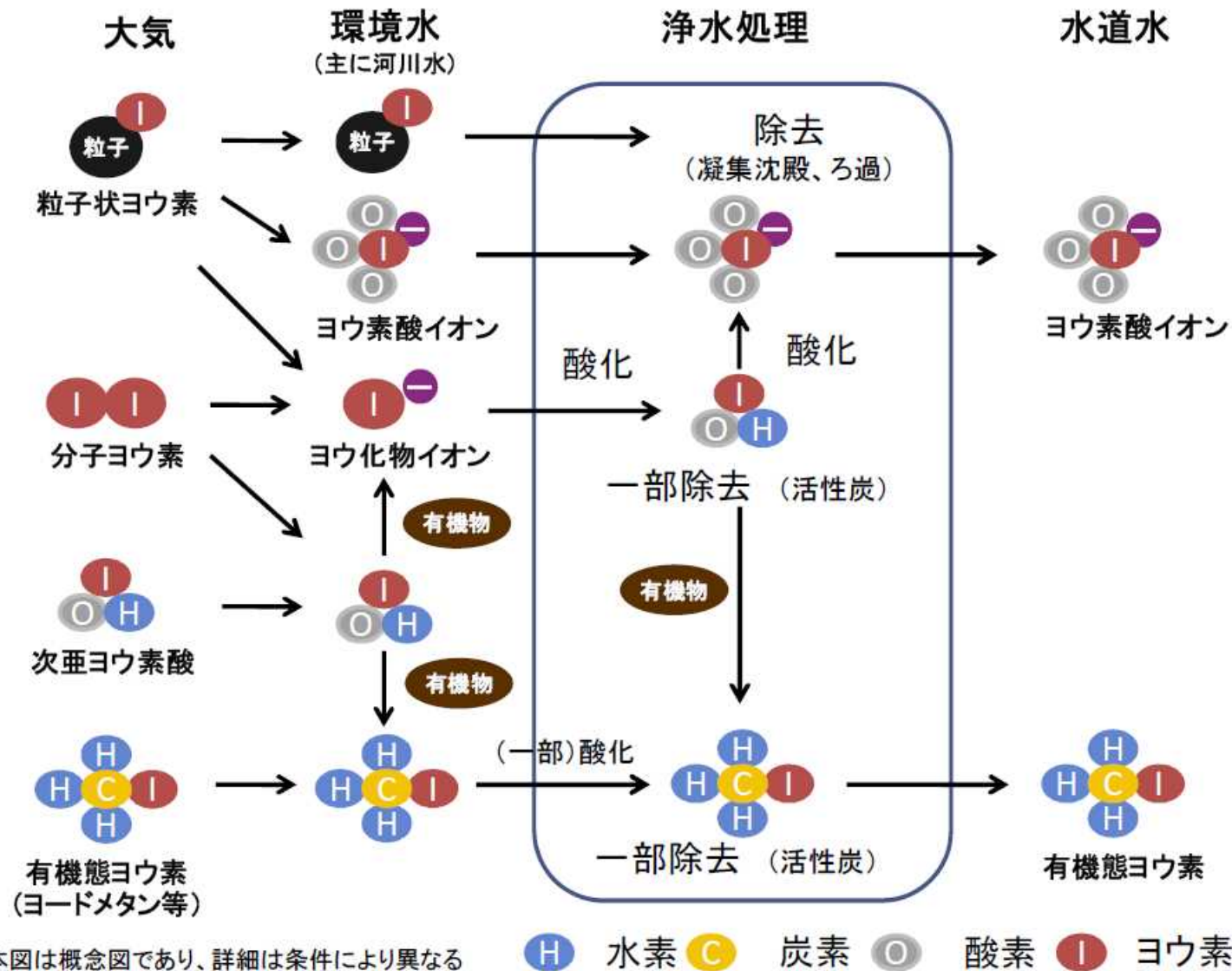
ヨウ素 美浜④2012年7月23日 (7月23日20時時点)

防護措置実施の判断基準OIL6を超過する面積比率 (¹³¹I 北湖・南湖)



※参考:放射性ヨウ素に係るOIL6(経口摂取による被ばく影響を防止するため、飲食物の摂取を制限する際の基準)は、飲料水で300Bq/L(琵琶湖水中の基準ではない)

放射性ヨウ素の浄水処理概念図



出典： 国立環境研究所 放射能汚染ジョイントセミナー「生活環境から放射能汚染を考える」(2013/2/22開催)における浅見真理ら(国立保健医療科学院)発表資料より抜粋

結果のまとめと今後の課題

■ 結果のまとめ

□ 大気モデルによる高沈着量日の結果を陸域・湖内に適用したところ、琵琶湖表層のうちOIL6の飲料水基準を超過する面積比率が事故直後には最大20%程度（北湖:Cs・I、南湖:I）となり、またこうした水域が長い場合で10日間前後残る可能性が示された。

■ 今後の課題

□ 中長期の予測や浄水場の取水口、生物等への影響も踏まえつつ、事故時の放射性物質を、いつ頃（事故直後～長期）、どこで（集水域、河川、琵琶湖）、何を（水質、底質、生物等）、どの程度の頻度でモニタリングすればよいのかを検討する。

参考

大気中への放射性物質放出量 試算値(Bq)

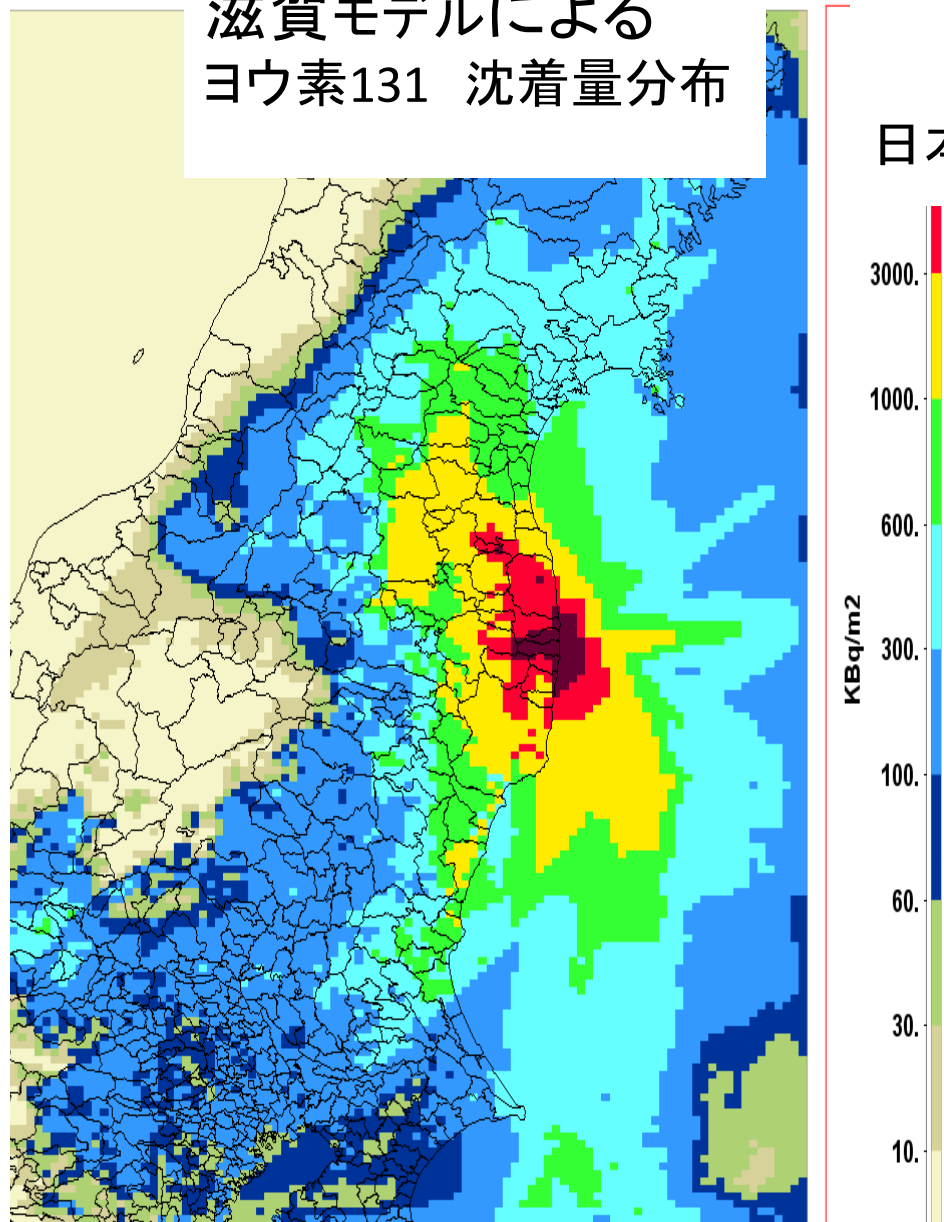
核種	半減期	1号機	2号機	3号機	合計
Xe-133	5.2日	3.4×10^{18}	3.5×10^{18}	4.4×10^{18}	1.1×10^{19}
I-131	8.0日	1.2×10^{16}	1.4×10^{17}	7.0×10^{15}	1.6×10^{17}
Cs-134	2.1年	7.1×10^{14}	1.6×10^{16}	8.2×10^{14}	1.8×10^{16}
Cs-137	30.0年	5.9×10^{14}	1.4×10^{16}	7.1×10^{14}	1.5×10^{16}
Sb-127	3.9日	1.7×10^{15}	4.2×10^{15}	4.5×10^{14}	6.4×10^{15}
Te-129m	33.6日	7.2×10^{14}	2.4×10^{15}	2.1×10^{14}	3.3×10^{15}
Ba-140	12.7日	1.3×10^{14}	1.1×10^{15}	1.9×10^{15}	3.2×10^{15}
Sr-89	50.5日	8.2×10^{13}	6.8×10^{14}	1.2×10^{15}	2.0×10^{15}
Te-127m	109.0日	2.5×10^{14}	7.7×10^{14}	6.9×10^{13}	1.1×10^{15}

1.2倍



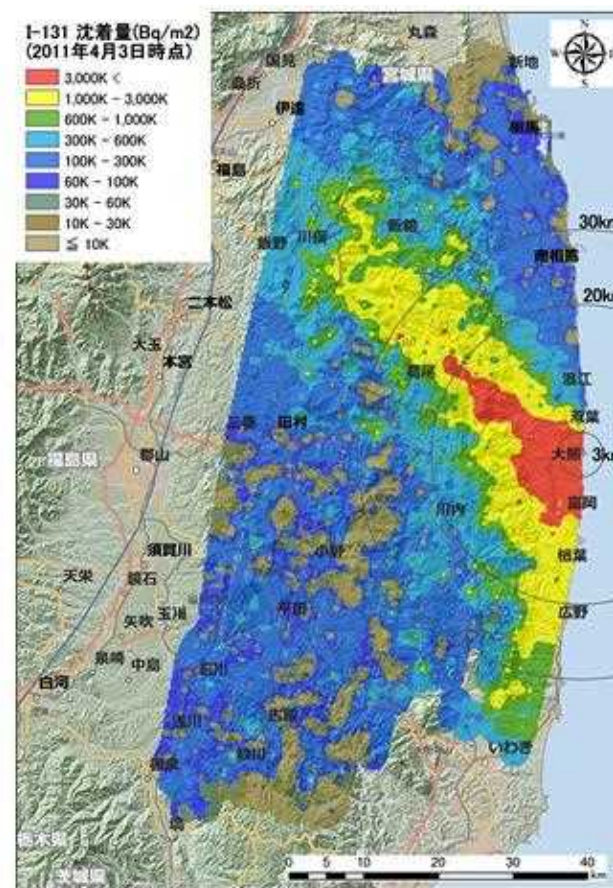
東日本域での実態調査と滋賀モデルとの比較

滋賀モデルによる
ヨウ素131 沈着量分布



平成23年4月3日
航空機モニタリング

日本原子力開発機構 米国エネルギー省



OILと防護措置について

- 緊急時防護措置

OIL1 空間放射線量率 $500\mu\text{Sv/h}$

数時間以内に避難・屋内退避等

- 早期防護措置

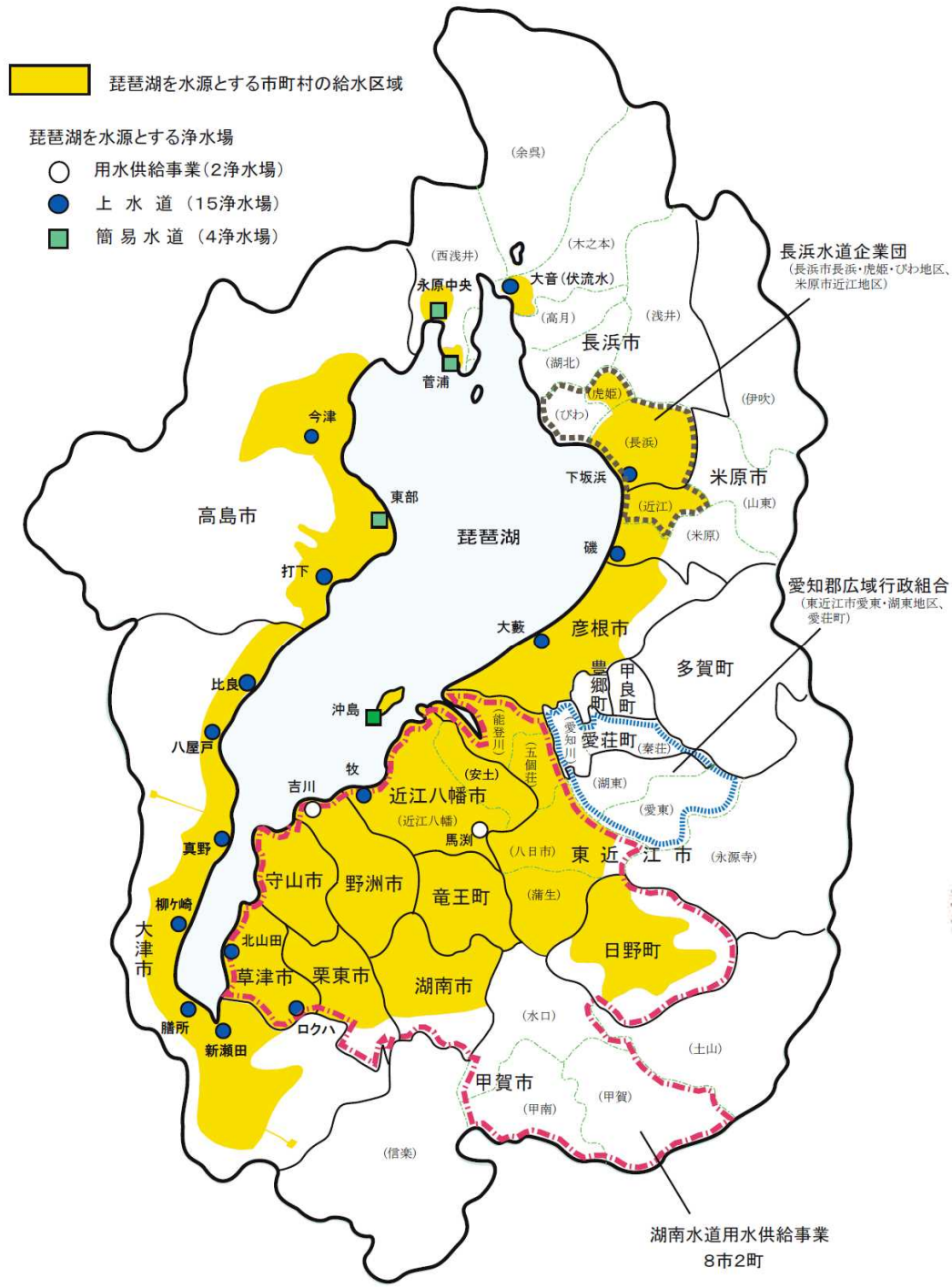
OIL2 空間放射線量率 $20\mu\text{Sv/h}$

地域生産物摂取制限

1週間程度内一時移転

- 飲食物に係るスクリーニング基準 $0.5\mu\text{Sv/h}$

飲食物放射性核種濃度測定実施地域特定基準



琵琶湖を水源とする 浄水場の位置

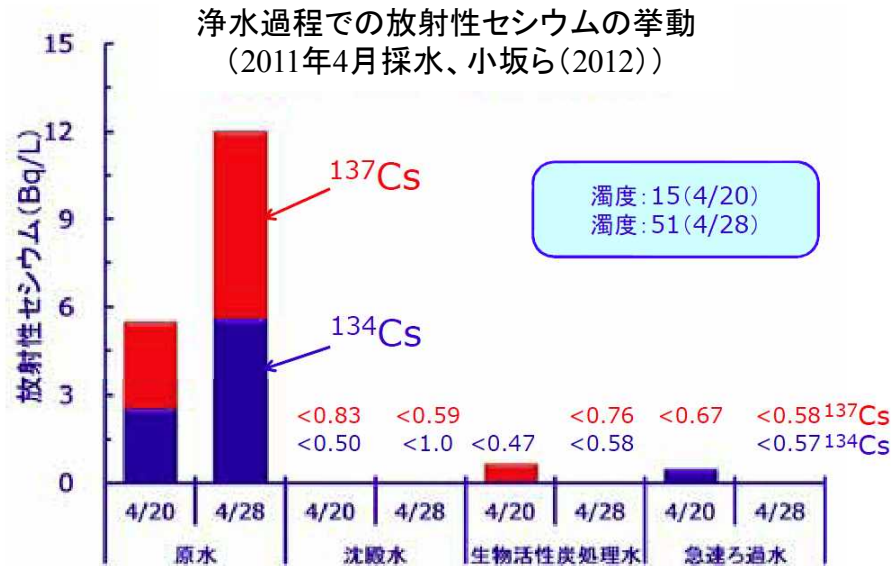
出典: 滋賀県の水道(H23)

琵琶湖を水源とする浄水場

- 用水供給事業(2浄水場)
- 上水道(15浄水場)
- 簡易水道(4浄水場)

放射性セシウムの浄水場での除去

放射性セシウムの浄水処理における挙動

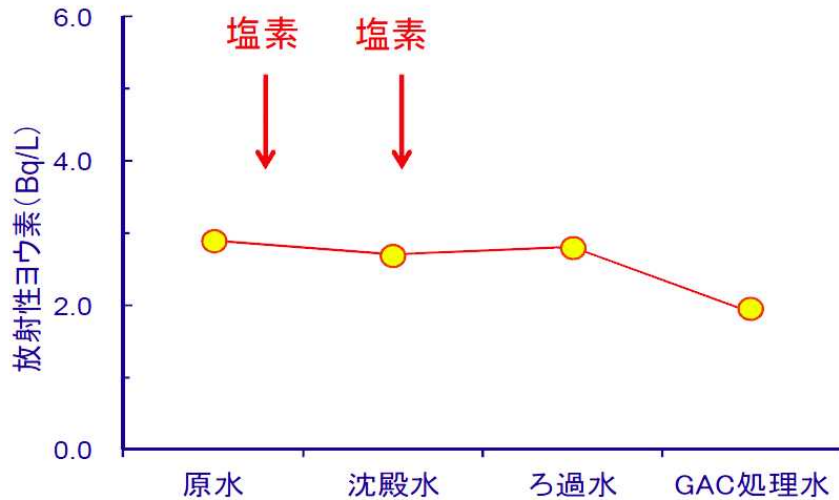


放射性セシウムの浄水場での除去について

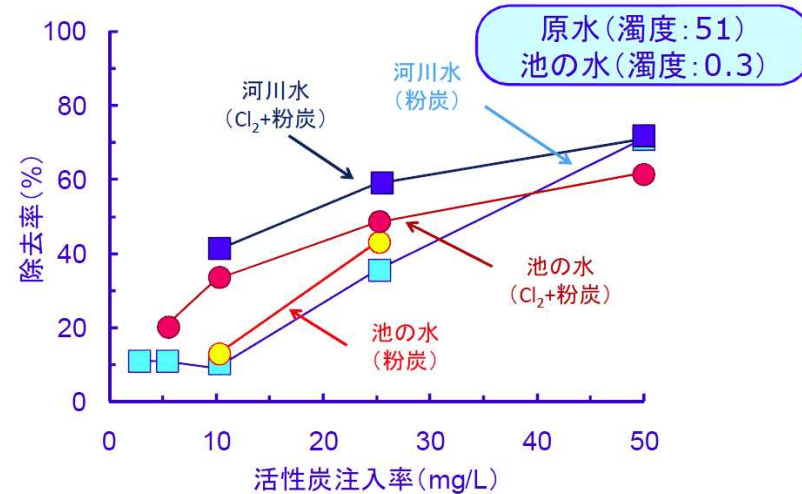
- 原水に濁質が含まれている場合は、濁質に放射性セシウムが収着しているため、固液分離処理(凝集沈殿、ろ過など)による濁質除去・制御が肝要となる。
- 溶存している放射性セシウムの除去性は低い。この場合、過去に凝集助剤としても使用されていたことのあるベントナイトなどの添加により一部吸着除去可能。

放射性ヨウ素の浄水場での除去

浄水処理工程における放射性ヨウ素の挙動例
(2011年4月, Kosaka et al., *Water Research* (2012))



弱塩素処理 + 粉末活性炭で除去率向上
(2011年4~5月, Kosaka et al., *Water Research* (2012))



河川水 (3.4~3.5 Bq/L)、池の水 (7.4~9.5 Bq/L);
塩素10分のち粉末活性炭30分: (塩素注入率 1.0 mg/L(河川水), 0.5 mg/L(池の水))

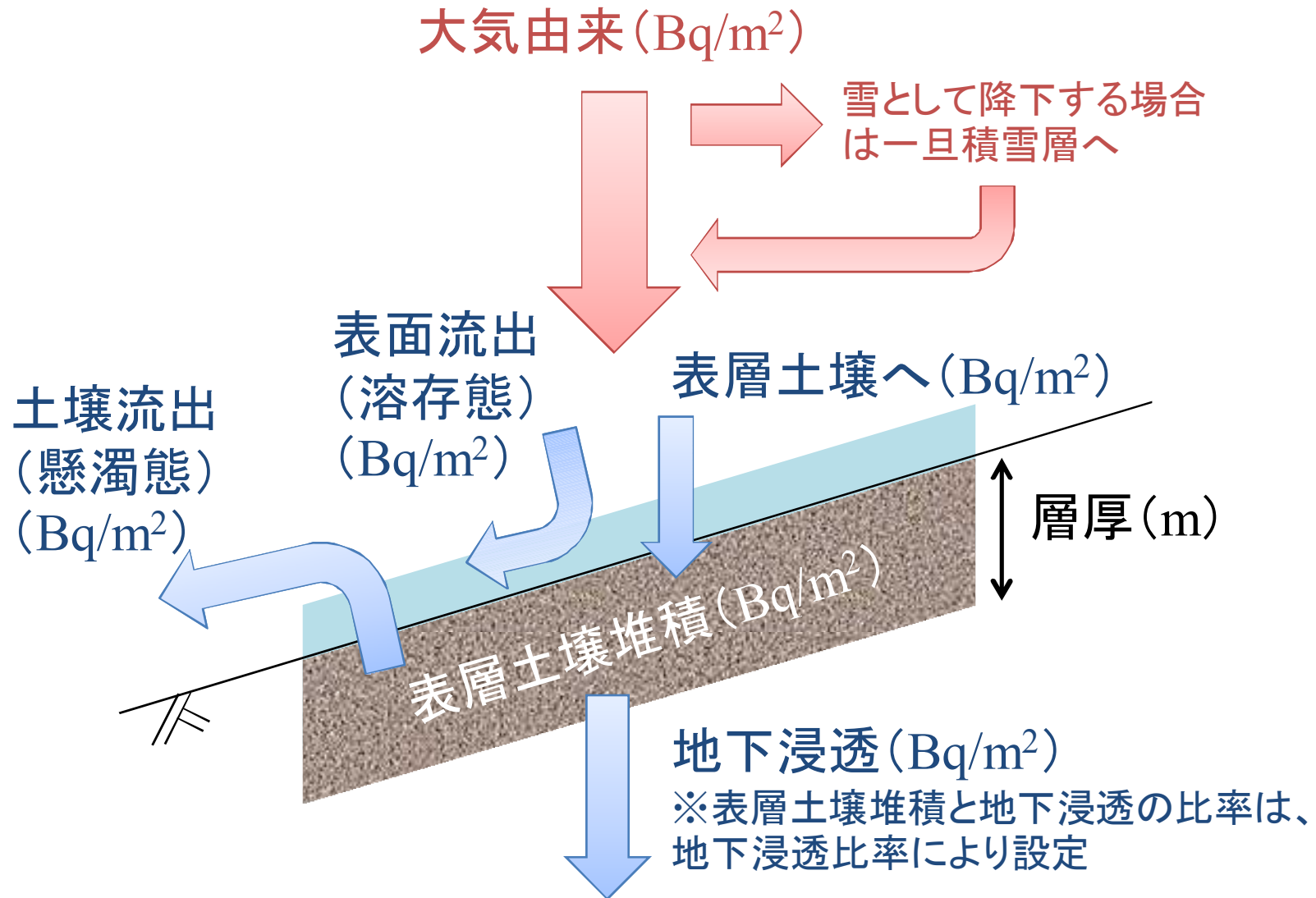
22

放射性ヨウ素の浄水場での除去について

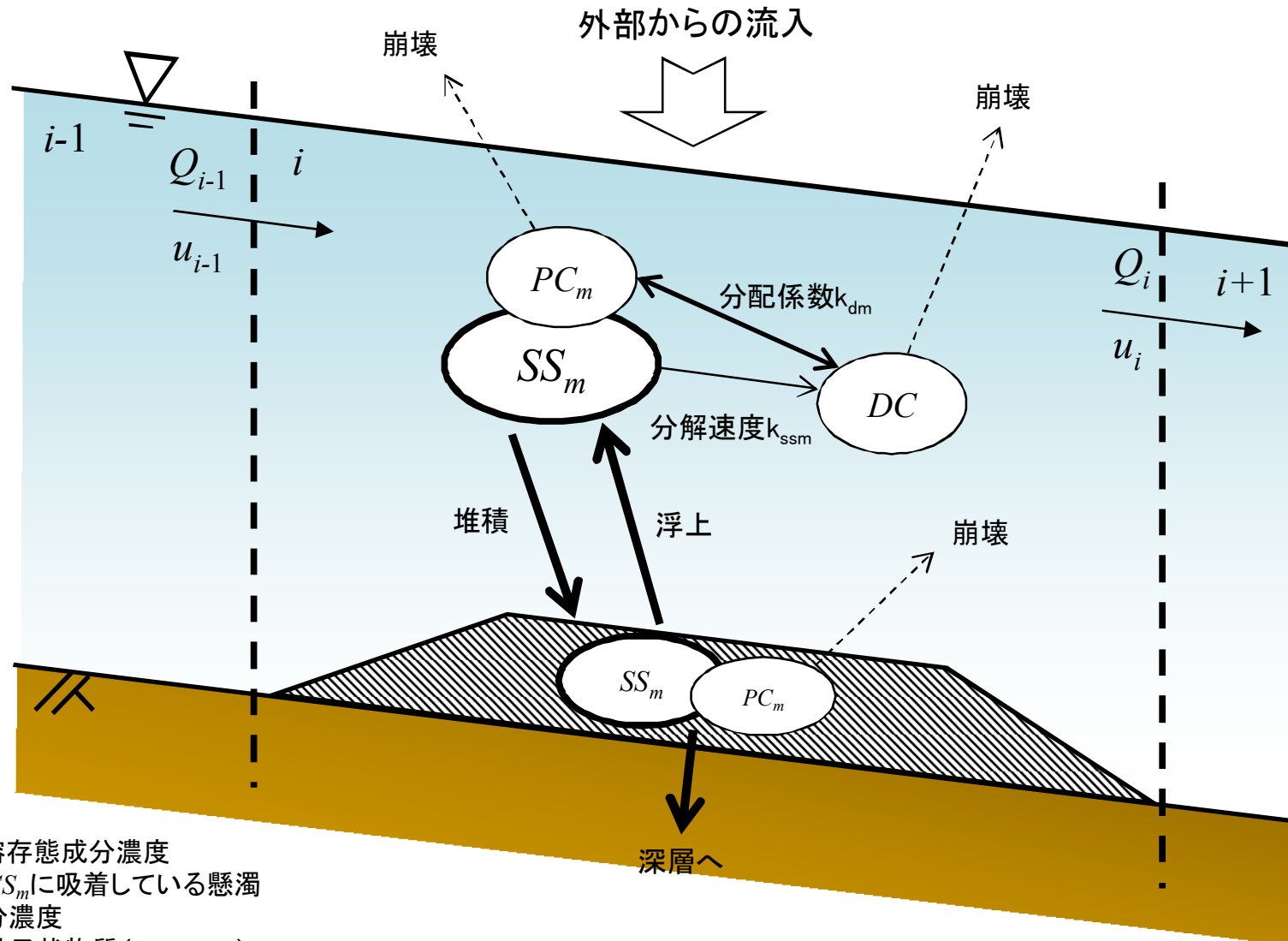
- 凝集沈殿では一部の粒子付着態以外、除去されない。
- 弱塩素 (0.5~1.0 mg/L) + 粉末活性炭により比較的良好な除去
- 酸化しすぎるとヨウ素酸イオンとなり、除去困難に

出典: 国立環境研究所 放射能汚染ジョイントセミナー「生活環境から放射能汚染を考える」(2013/2/22開催)における浅見真理ら(国立保健医療科学院)発表資料より抜粋

大気由来放射性物質の分配

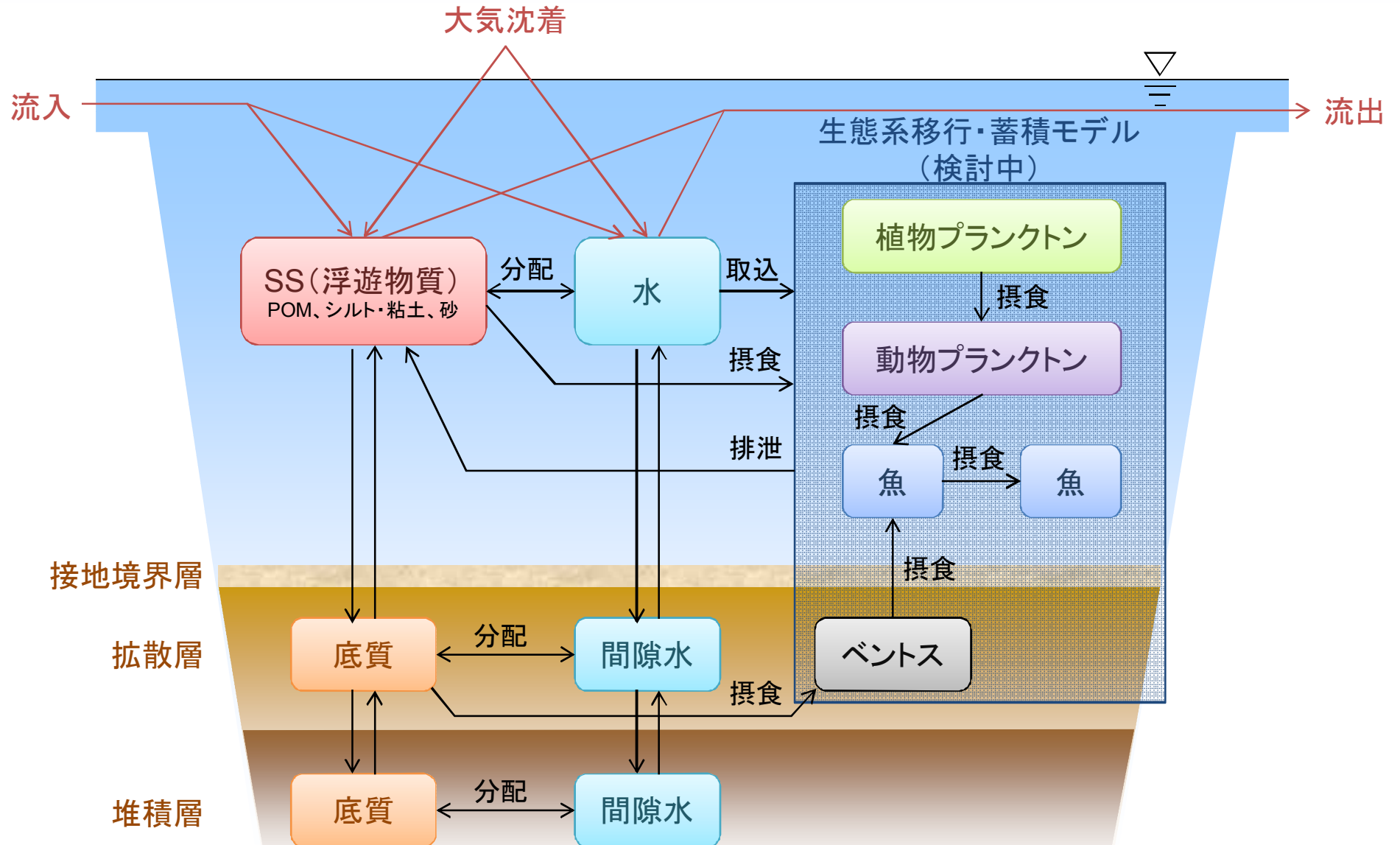


河道における放射性物質の動態

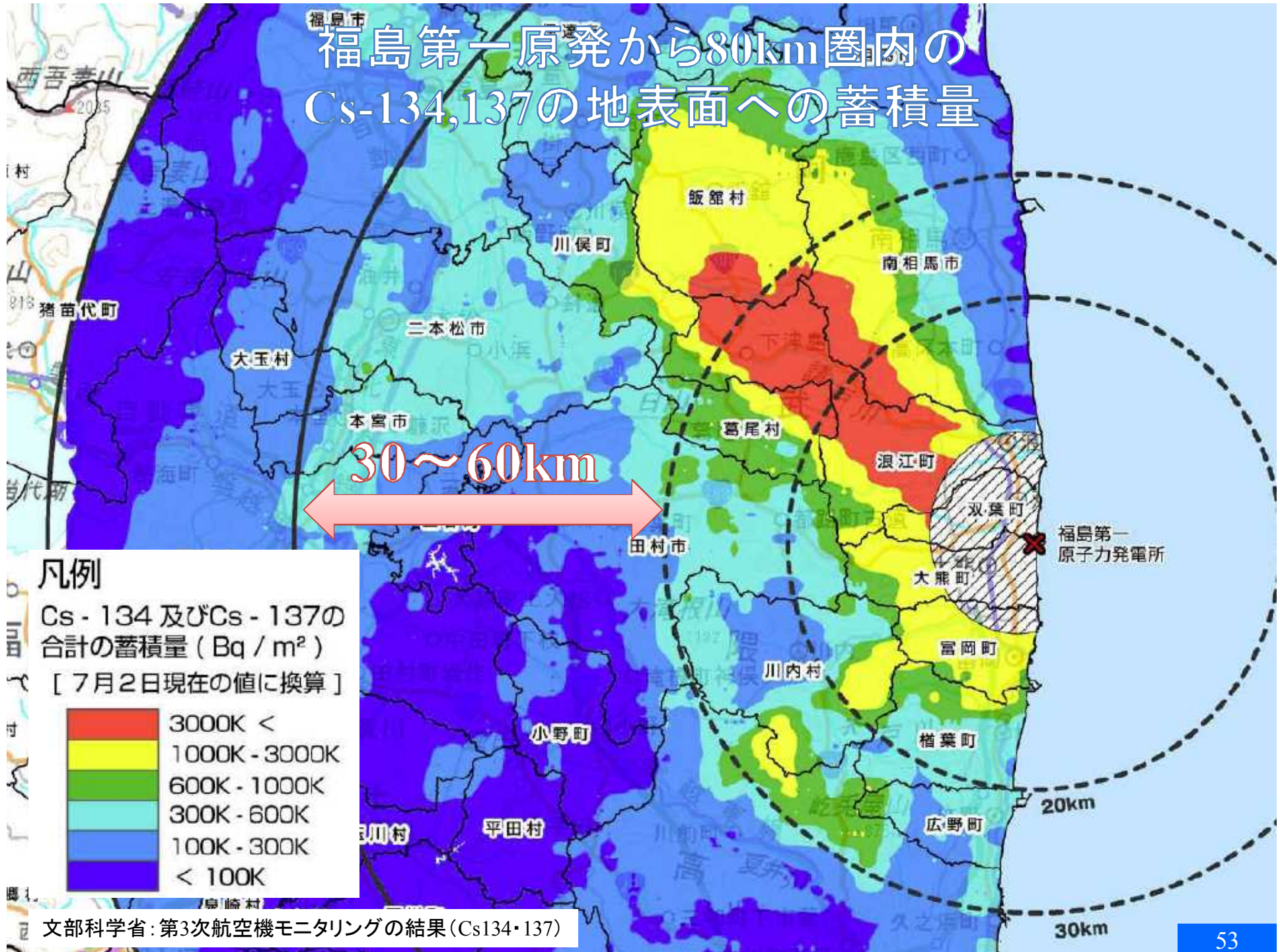


DC : 溶存態成分濃度
 PC_m : SS_m に吸着している懸濁
態成分濃度
 SS_m : 粒子状物質 ($m=1,2,\dots$)

湖内核種移行モデルの概要



福島第一原発から80km圏内のCs-134,137の地表面への蓄積量



文部科学省: 第3次航空機モニタリングの結果 (Cs134・137)