

福島長期環境動態研究 (F-TRACE)

浪江町における調査研究の現状



LONG-TERM ASSESSMENT OF TRANSPORT OF RADIOACTIVE
CONTAMINANT IN THE ENVIRONMENT OF FUKUSHIMA

福島長期環境動態研究プロジェクト

日本原子力研究開発機構

福島研究開発部門 福島環境安全センター



浪江町内における環境動態調査等の概要



- 森林調査**: 小出谷川沿い森林
- 河川調査**: 請戸川・高瀬川・小出谷川
- ダム調査**: 大柿ダム
- 河口域調査**: 請戸川河口域
- 長期線量率調査**: 津島地区(除染モデル実証事業実施エリア)
- 沈着挙動調査**: 町内の公共施設(地衣類調査)、高太石山・十萬山(年度内に実施)
- シミュレーション**: 請戸川水系

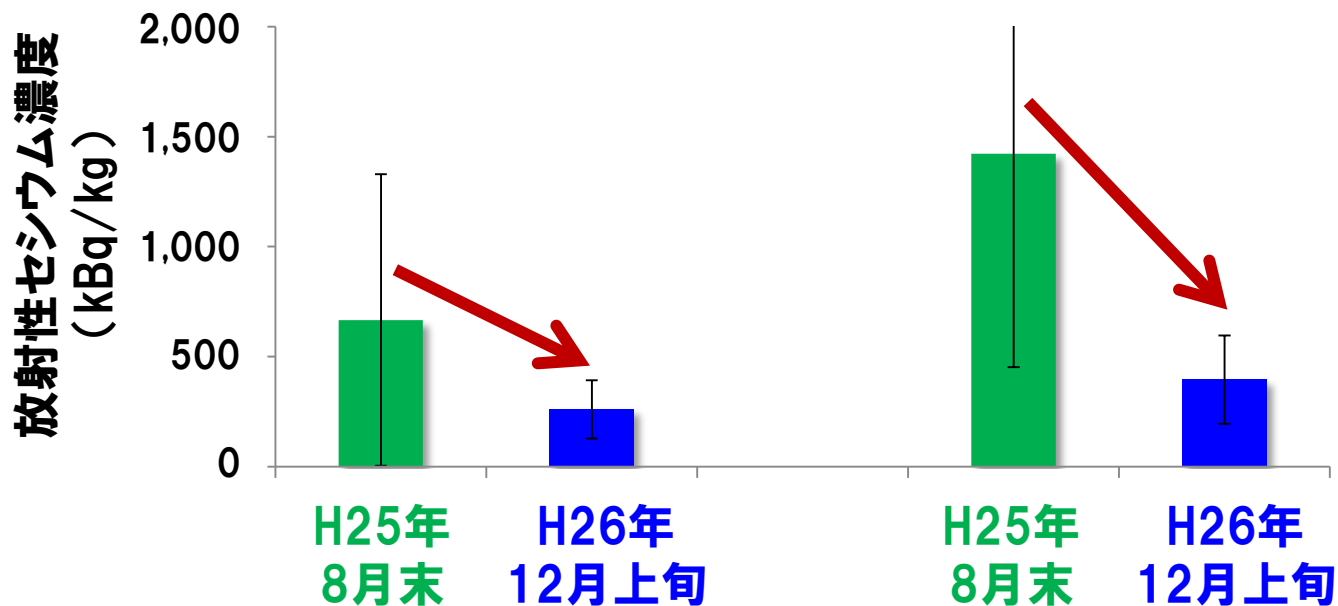
調査	調査項目	主な知見
森林調査	<ul style="list-style-type: none"> ・山地の森林から土壌とともに河川に流出する放射性セシウムの量と土壌中の濃度。 	<ul style="list-style-type: none"> ・地形の急峻な山岳地であっても、森林から流出する放射性セシウムの量は著しく少ない(平成25～26年の1年間で森林に分布する放射性セシウムの0.1%が森林から流出)。 ・森林から流出する土壌中の放射性セシウムの濃度は、時間とともに低くなっている(平成25年→平成26年で、セシウム137濃度は5分の2以下に低下。)
河川調査	<ul style="list-style-type: none"> ・河川水中の放射性セシウム濃度と海への放出量。 ・河川敷・河床の堆積物中の放射性セシウム濃度と線量率。 	<ul style="list-style-type: none"> ・河川水中に溶けているセシウム137濃度は、請戸川で0.1～0.3 Bq/L、高瀬川で0.07 Bq/L未満。 ・河川水中の土砂粒子に吸着されているセシウム137濃度は、時間とともに低くなっている。 ・請戸川河口から海に1年間に流出するセシウム137は、流域に沈着した量の1%未満。 ・河川敷では、高水敷に放射性セシウムを含む土砂が堆積しやすいが、堆積物中の放射性セシウム濃度および河川敷の空間線量率は減少傾向。 ・今年7月の台風および9月の記録的大雨の後、下流域の河川敷の空間線量率は、大きく減少。

調査	調査項目	主な知見
ダム調査	<ul style="list-style-type: none"> ・湖水中の放射性セシウム濃度。 ・ダム湖内の流速・濁度の分布。 ・底質中の放射性セシウム濃度。 	<ul style="list-style-type: none"> ・放流水中の溶存態セシウム濃度は0.5 Bq/L程度。 ・平成26年10月の台風時の調査から、東北農政局が設置したシルトフェンスにより、表層水中の土砂粒子の移動は制限されている。 ・放流口近くでは、高水時でも湖底付近の流速は極めて遅く、底質の巻き上げは起こりにくい。 ・底質中の放射性セシウム濃度の分布から、1年間にダムに堆積する放射性セシウム量を推定。
河口域調査	<ul style="list-style-type: none"> ・海水中の放射性セシウム濃度。 ・海底の堆積物中の放射性セシウム濃度の分布。 	<ul style="list-style-type: none"> ・海水中の放射性セシウム濃度は、通常の検出限界よりきわめて低く、概ね0.01 Bq/L以下と推測。 ・河川から供給された土砂に吸着している放射性セシウムは、海水中で一部が脱離している可能性。 ・海底土の放射性セシウム濃度は概ね100～200 Bq/kg程度で、ダムや河川の堆積物より2～3桁低い。 ・放射性セシウム濃度が比較的高い(10,000 Bq/kg前後)海底土は、海底の中でも凹状の窪地等、比較的狭い範囲に点在する。 ・海底の放射性セシウム濃度の分布は、海底地形に基づき推定できる可能性(現在、解析を実施中)。

調査	調査項目	主な知見
解析(シミュレーション)	<ul style="list-style-type: none"> ・河川～河口域までの放射性セシウムの流入・移動・堆積挙動のシミュレーションツールの開発。 	<ul style="list-style-type: none"> ・放射性セシウム・土砂の移動シミュレーションツールを開発し、実際の大雨時の移動挙動の解析に適用したところ、観測値と同様の結果が得られ、ツールの適用性を確認した。 ・ツールを今後の大雨イベントを想定した解析に適用し、放射性セシウムの移動挙動予測を実施した。
長期線量率調査	<ul style="list-style-type: none"> ・除染済みエリアの空間線量率。 	<ul style="list-style-type: none"> ・除染済みエリアのうち、未除染エリアとの境界付近における空間線量率の変化を調査したところ、物理減衰にしたがった減少傾向に比べて空間線量率が高くなる箇所は確認されなかった。
沈着挙動調査	<ul style="list-style-type: none"> ・地衣類中の放射性セシウム濃度と土壌沈着量。 	<ul style="list-style-type: none"> ・地衣類ウメノキゴケ類(特にキウメノキゴケ、マツゲゴケ)中の放射性セシウム濃度は、土壌沈着量との相関性が高く、初期の放射性セシウム降下量の指標に適用できる可能性。 ・地衣類は、事故初期に降下した放射性セシウムとその化学形態を保持し、環境中の放射性セシウムの沈着挙動を調べる材料として適している可能性。 ・今後、山域における放射性セシウムの分布状況調査に地衣類を用いた評価手法を適用する。

□ 実施内容

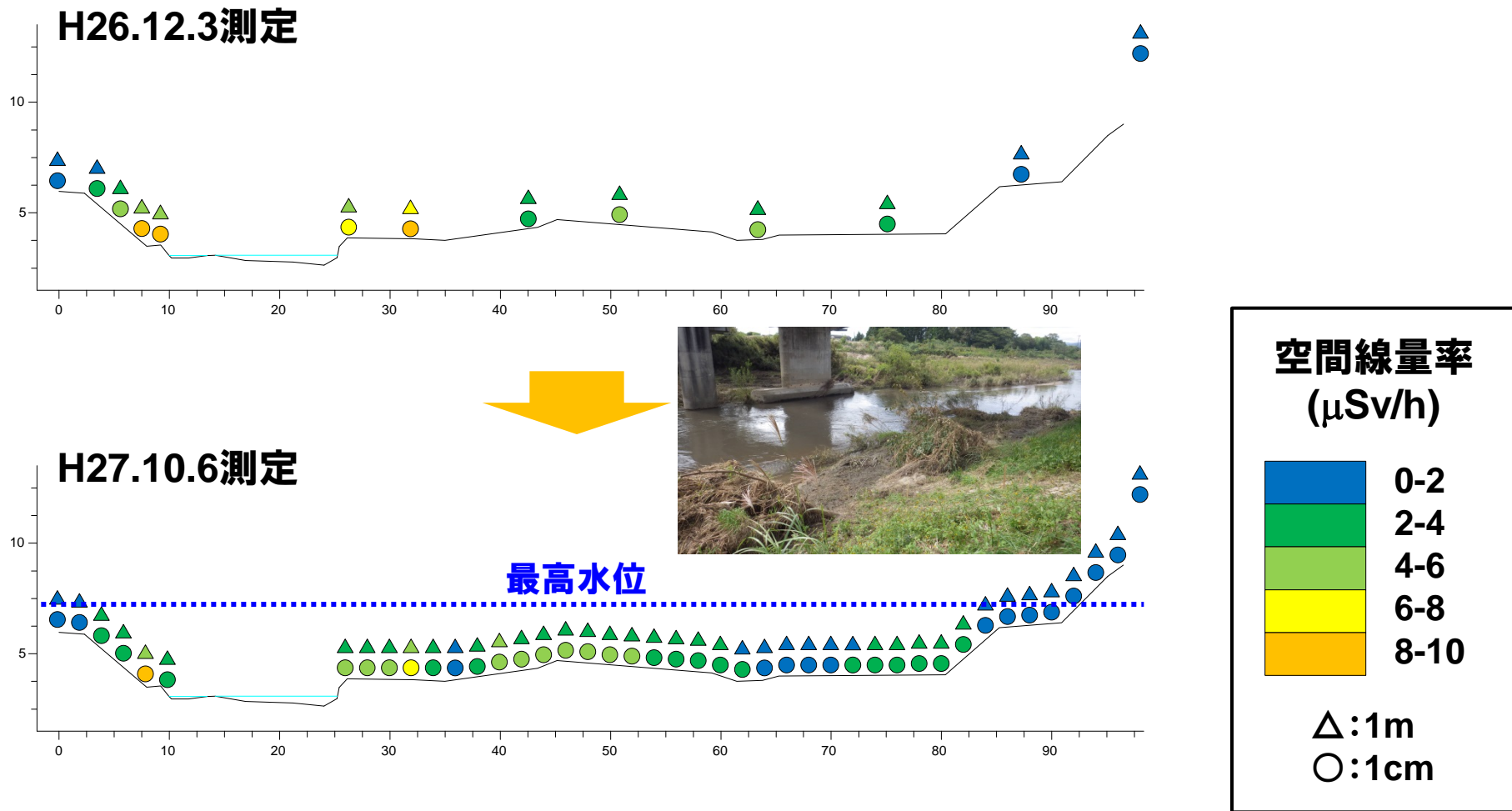
- 2箇所の治山ダムに堆積した深さ0～5 cmの土壌を平成25年8月末と平成26年12月上旬の2回採取し、放射性セシウム濃度を比較



➤ 治山ダムに流入し堆積する土壌の放射性セシウム濃度は低下する傾向

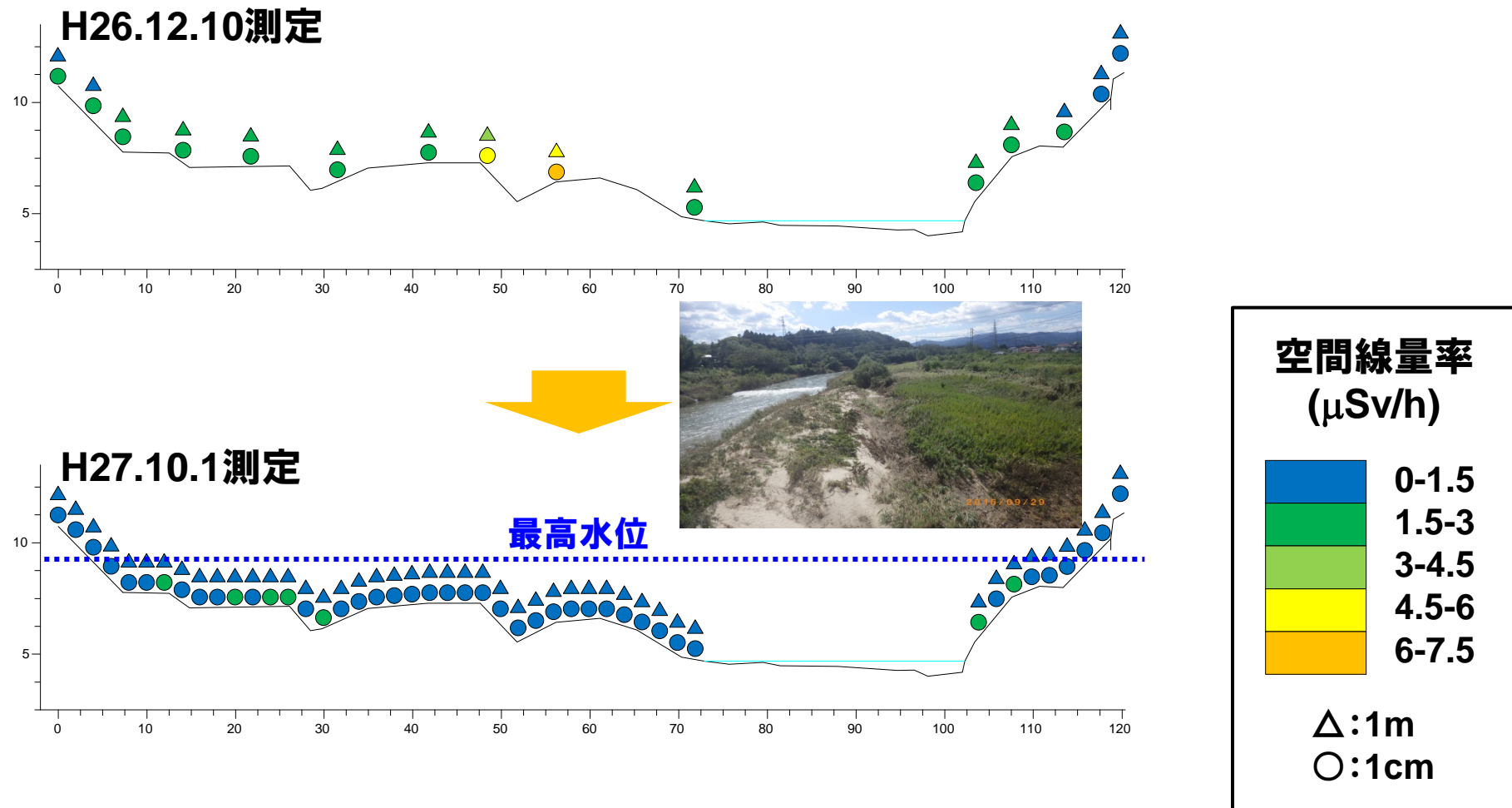
請戸川：請戸川橋直下河川敷の空間線量率変化

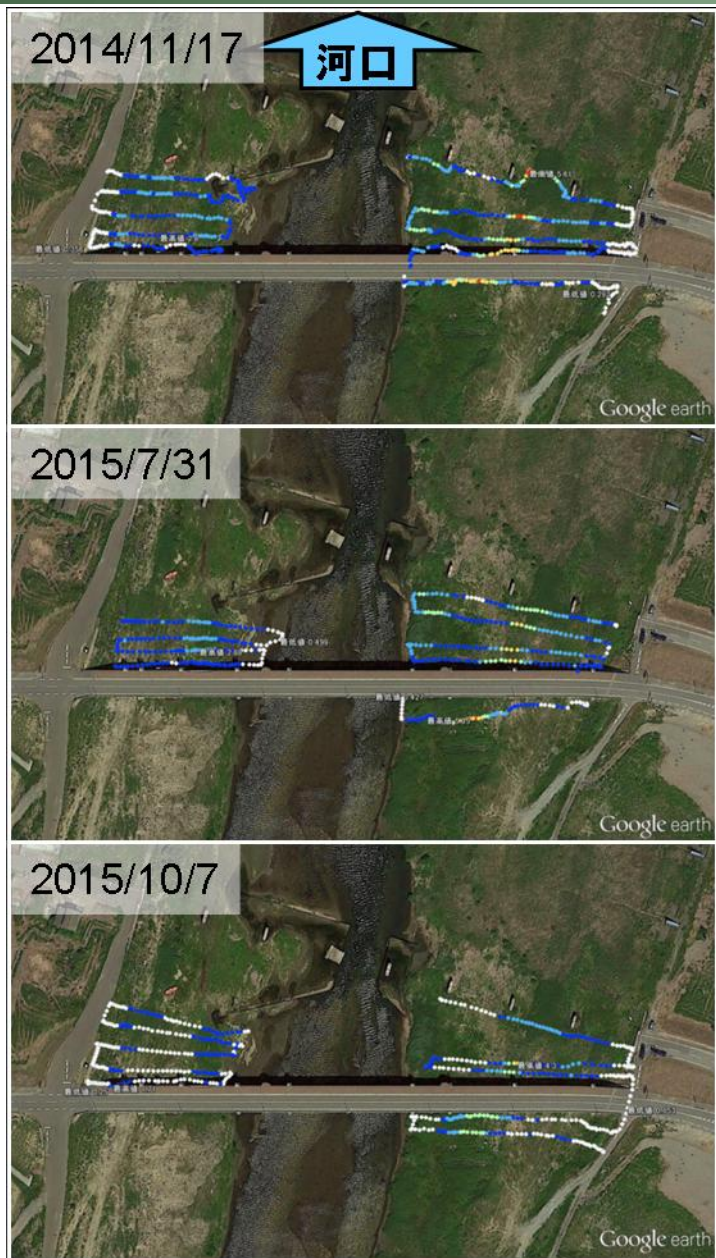
➤ 細粒土砂が堆積するも、線量率の増加は認められなかった



高瀬川：高瀬橋直下河川敷の空間線量率変化

➤ 河川敷の広範囲に砂が堆積し、線量率は大きく低下

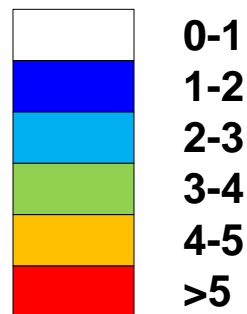




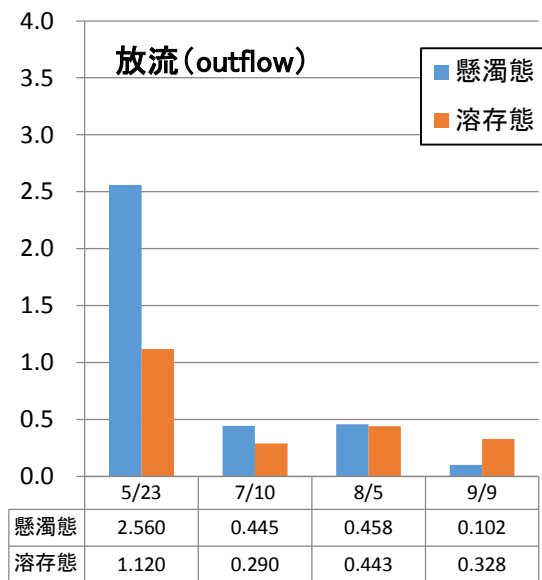
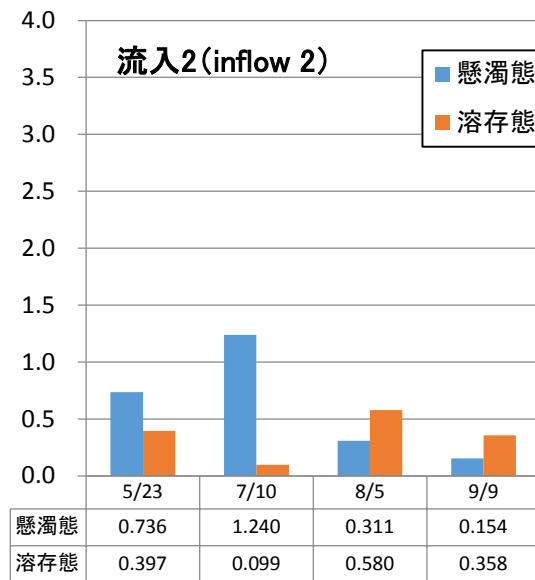
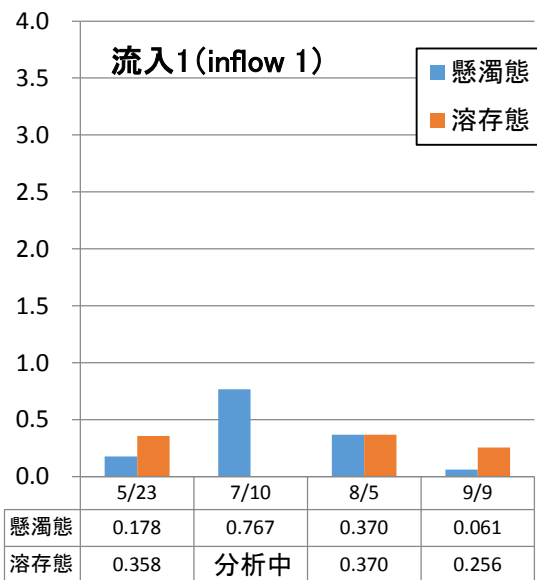
請戸川・高瀬川合流後の請戸橋直下河川敷の空間線量率の変化

- 7月の台風12号後に線量率は低下
- 9月の記録的大雨後に線量率は大きく低下
- 高瀬川起源の砂が大量に堆積したためと考えられる

5cm空間線量率
($\mu\text{Sv/h}$)



ダム調査： 水中の放射性セシウム濃度



- 平水時、流入1および流入2ともに懸濁態は1.5 Bq/L以下、溶存態は1.0 Bq/L以下。
- 表層水を放流していることから放流水中の懸濁態および溶存態はともに0.5 Bq/L以下。(ただし、5月については、直前の降雨により静水池の水が流出したため、放射性セシウム濃度が高くなったと推測)。

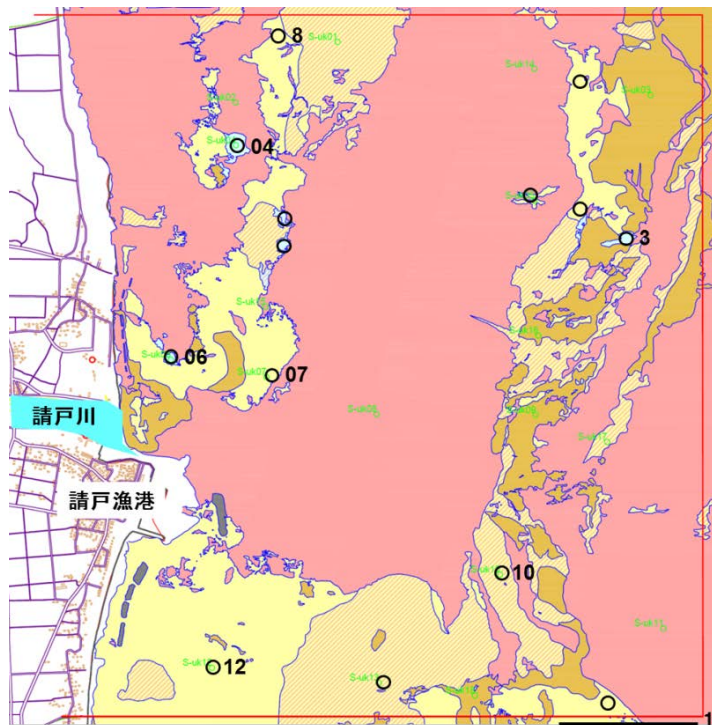
河口域調査： 海底の放射性セシウム濃度の分布

【調査内容】

- 柱状試料採取(バイブレーションコアサンプリング)

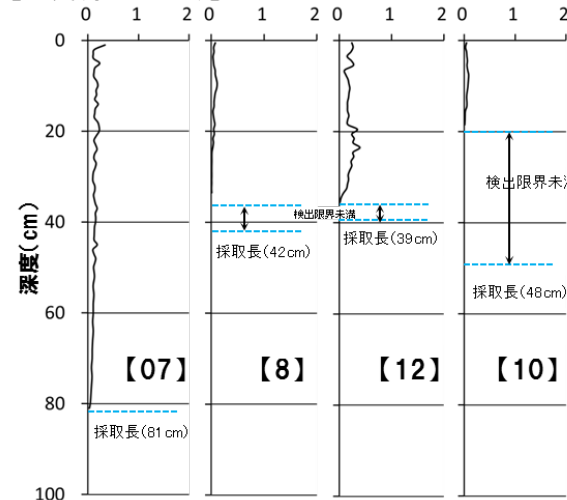
【調査結果】

- 海底土の大半を占める砂質の海底土は、放射性セシウム濃度が100~200 Bq/kgで、濃度の変化小さい
- 粒度の小さい海底土では、比較的高い濃度を示す地点も存在

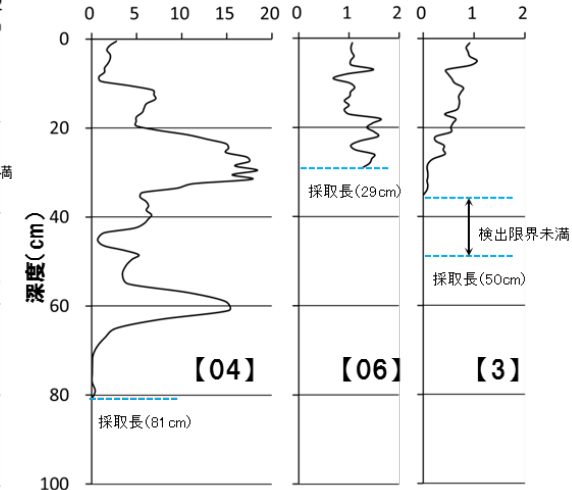


○: 柱状試料採取地点

【砂質(細~中粒)】濃度(¹³⁷Cs kBq/kg dry)



【シルト質】濃度(¹³⁷Cs kBq/kg dry)



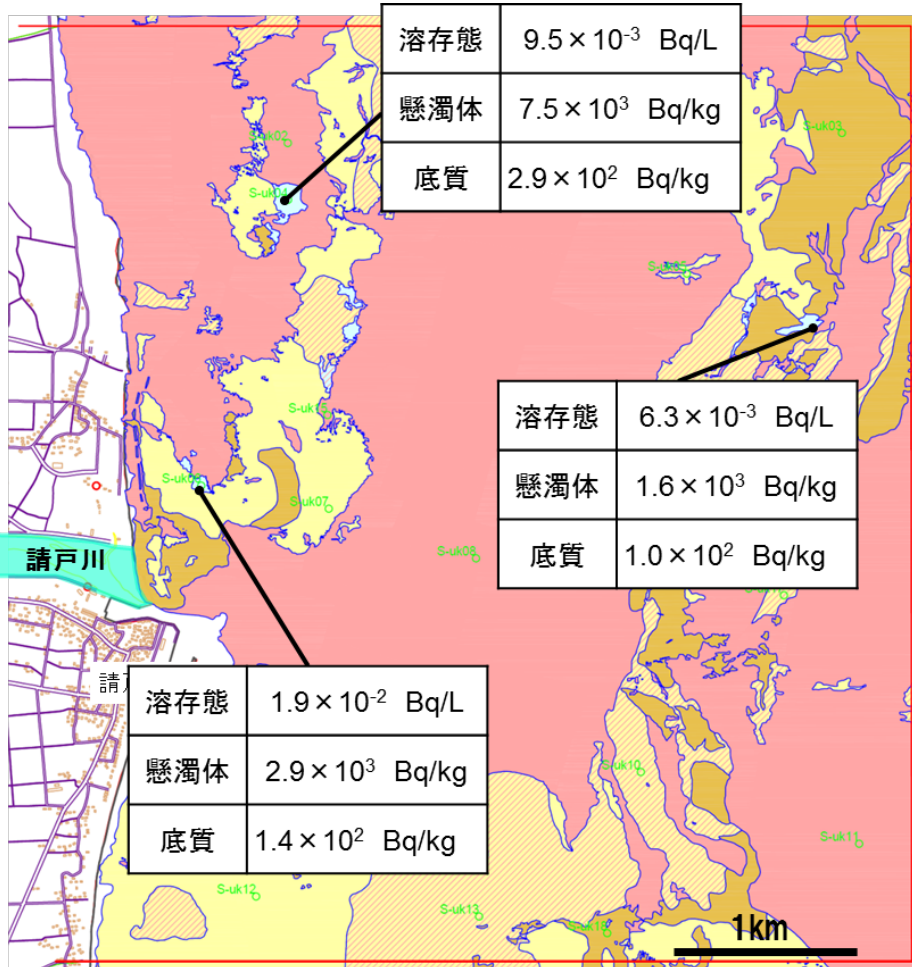
請戸川河口域の底質分布推定図
及び柱状試料採取地点

- 海底土の大半はダムや河川の土砂と比べて2~3桁程度濃度が低く、河口域における希釈効果は大きい

【調査内容】

- 海水試料の採取・分析

【調査結果】



請戸川河口域の底質分布推定図及び海水の放射性セシウム濃度 (^{137}Cs)

- 溶存態の放射性Cs濃度はマイナス2乗～3乗オーダーであり、東電等の他機関の調査結果と同程度。
- 懸濁態粒子に対する放射性セシウムの吸着分配係数(固体に対する吸着力を示す係数)は、請戸川河川の懸濁態分配係数より小さい。



- 河川から供給された懸濁態粒子に吸着されていた放射性セシウムの一部が脱離された可能性。

【沖合10km】

溶存態	7.3×10^{-3} Bq/L
懸濁体	分析必要量回収できず
底質	採取できず(参考: 12Bq/kg)

【沖合20km】

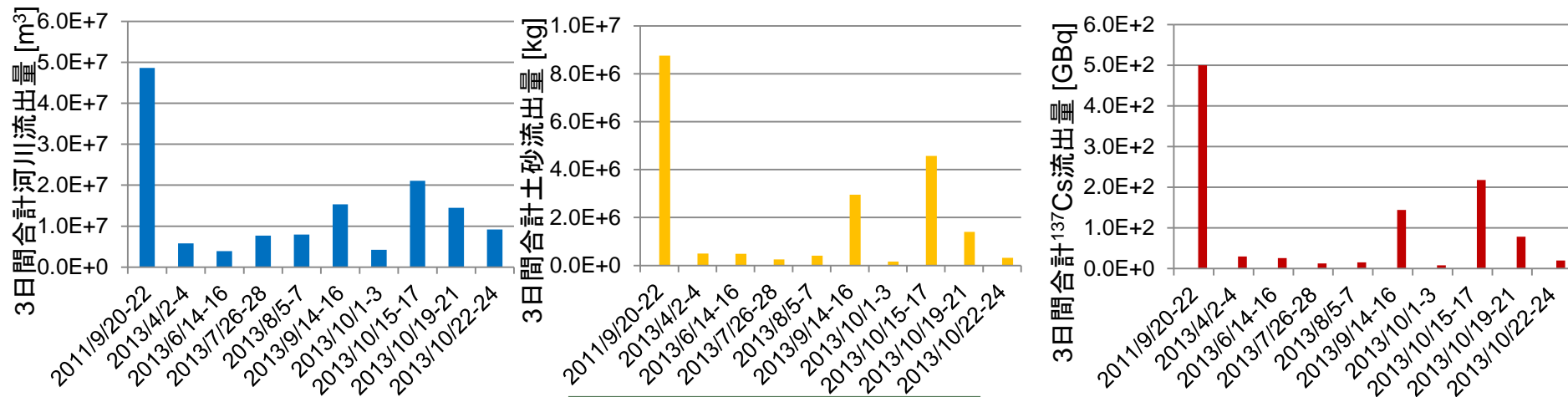
溶存態	4.5×10^{-3} Bq/L
懸濁体	3.6×10^3 Bq/kg
底質	8.8×10 Bq/kg

解析：降雨の規模に応じた流出挙動の整理

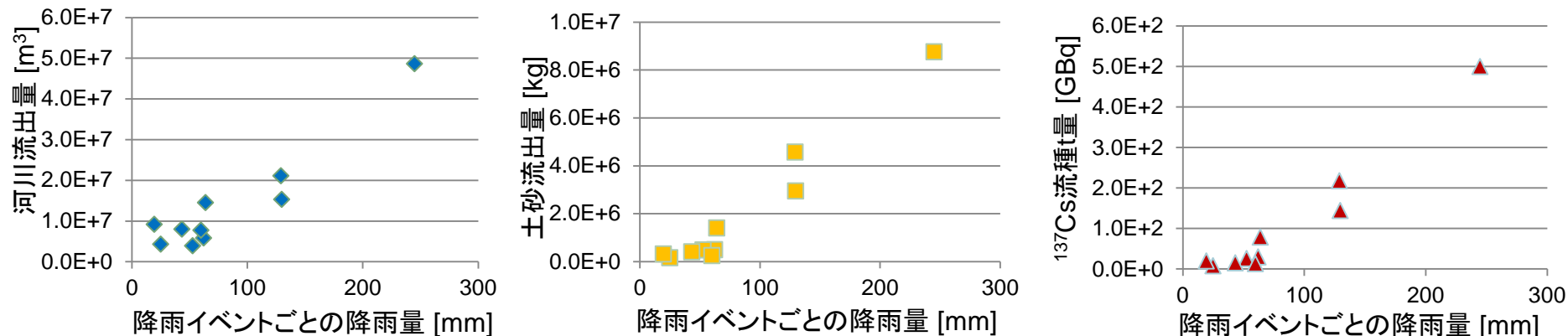
陸域解析モデルGETFLOWSにより、降雨強度の異なる複数のイベント時の、請戸川から海への土砂・放射性セシウム流出量を算出。

⇒ 降雨強度の違いに応じた放射性セシウム流出量等を整理。今後の降雨に対する事前予測が可能。

2011、2013年の主要な降雨イベントごとの、請戸川での土砂および放射性Csの流出量(3日間合計)

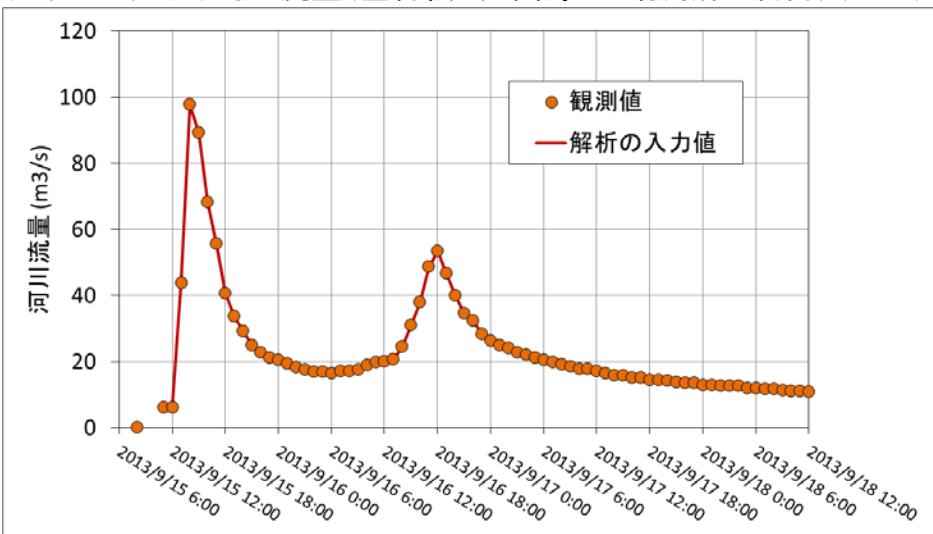


河川流出量と土砂・放射性Cs
流出量の関係

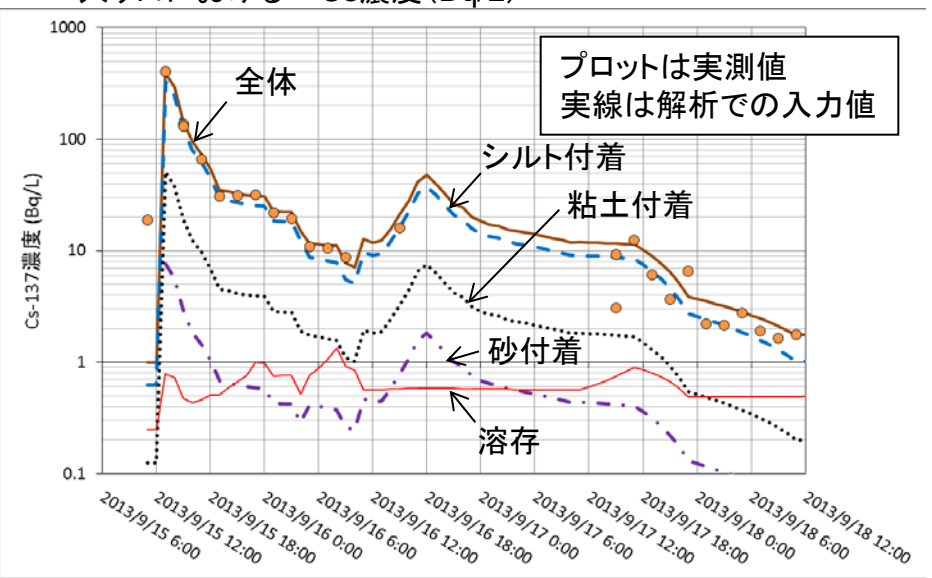


解析：大柿ダム湖内における土砂・放射性セシウム の挙動

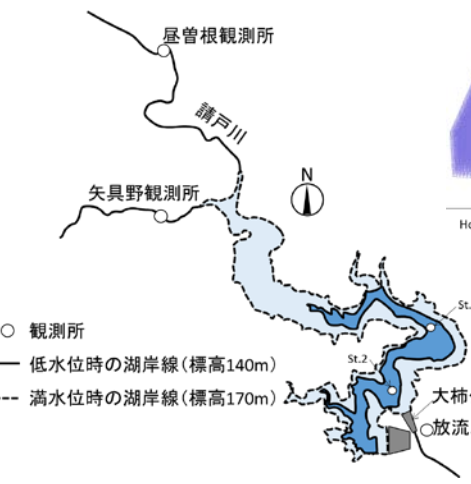
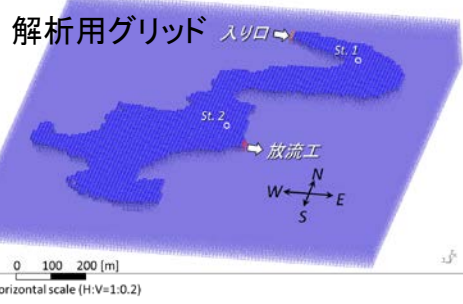
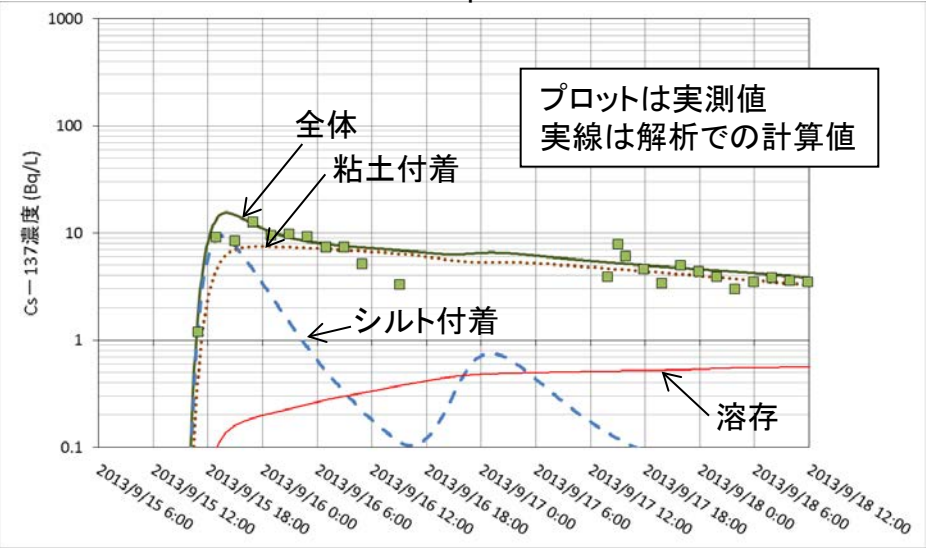
入り口における河川流量 (屋曾根と矢具野の2観測所の合計) (m³/s)



入り口における¹³⁷Cs濃度 (Bq/L)



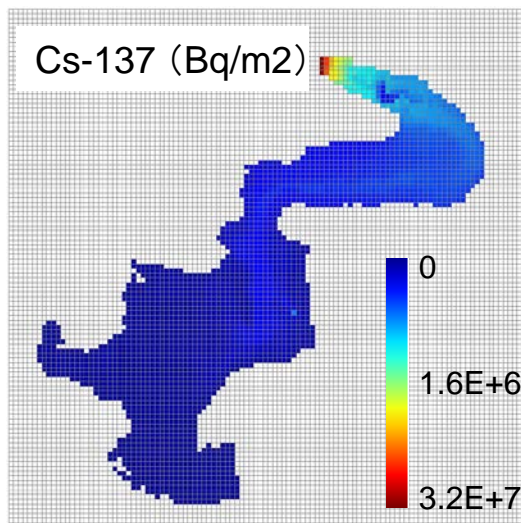
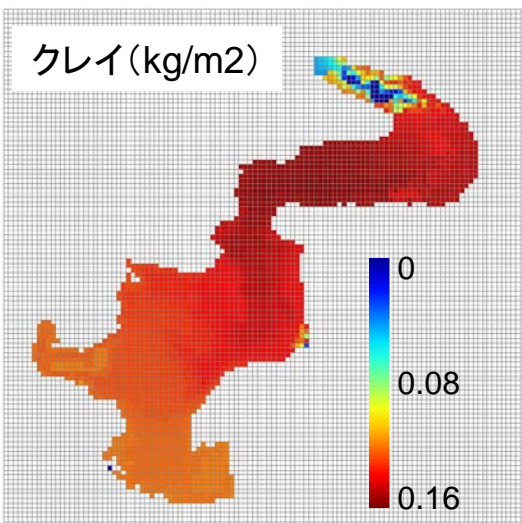
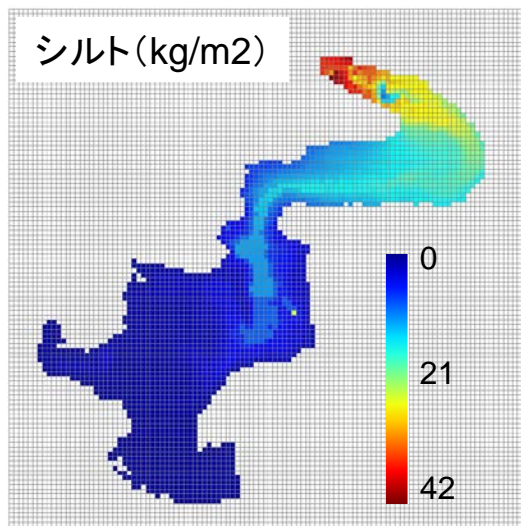
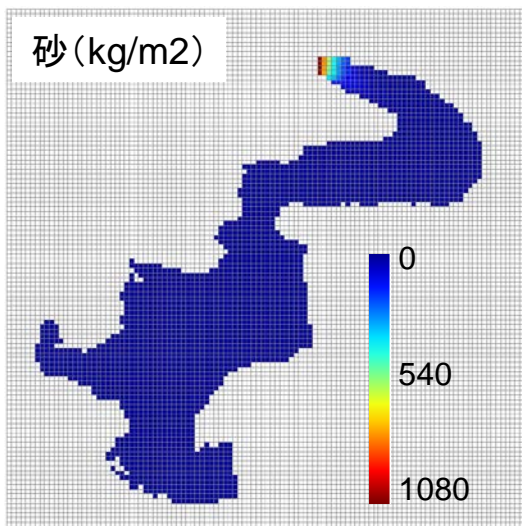
出口における¹³⁷Cs濃度 (Bq/L)



- モニタリング項目 (東北農政局)
- ・降雨強度
 - ・水位
 - ・浮遊土砂濃度 (粒径分布含む)
 - ・¹³⁷Cs濃度

2013年9月の台風時の大柿ダム湖内での土壌・放射性Csの挙動を、3次元水・土砂・放射性物質輸送モデルFLESCOTを用いて計算。⇒ 解析は実測値をよく再現した。

湖底への土砂・セシウム蓄積状況(2013年9月台風時の解析例)



- ・ダム湖の流入地点から、砂(粗い)、シルト(中程度)、クレイ(細かい)の順に堆積。
- ・シルト3%程度、クレイは65%程度が流出した可能性。
- ・放射性セシウム流出率は12%程度。

物質収支

	砂(kg)	シルト(kg)	粘土(kg)	Cs(Bq)
流入量	4.3E+5	9.2E+5	1.5E+5	3.4E+11
堆積量	4.3E+5 (100%)	9.0E+5 (97%)	1.8E+4 (12%)	2.9E+11 (84%)
残存浮遊量	4.5E+1 (0%)	1.7E+3 (0%)	3.4E+4 (23%)	1.3E+10 (4%)
流出量	0 (0%)	2.7E+4 (3%)	9.8E+4 (65%)	4.1E+10 (12%)

解析：シミュレーションを用いたダムでの放射性セシウムの挙動予測

水位の違いによる流出率への影響の評価

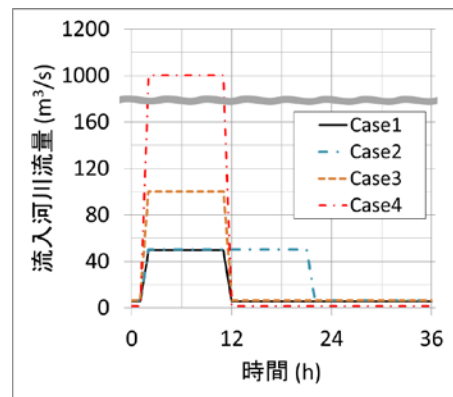


2013年9月の台風時の流入量を仮定し、ダム湖の水位が異なる(低水位標高140m、高水位標高170m)場合に、上流から流入した土砂やセシウムのうち、どの程度の割合が下流に流出するかを計算(1次元モデル利用)。→高水位の場合、ダム湖での緩衝効果が高まり下流へのセシウム流出率が低下。また、土壌粒子が小さいほど流出しやすいことがわかった。

	低水位 (実際の状況)	高水位 (通常の状態)
砂の流出率	0.0%	0.0%
シルトの流出率	4.5%	1.6%
クレイの流出率	54%	34%
¹³⁷ Csの流出率	9.0%	3.5%
シルト付着 ¹³⁷ Csの割合	40%	18%
クレイ付着 ¹³⁷ Csの割合	60%	82%

Kurikami et al., J Environ Radioact, 2014

流入流量の違いによる流出率への影響の評価

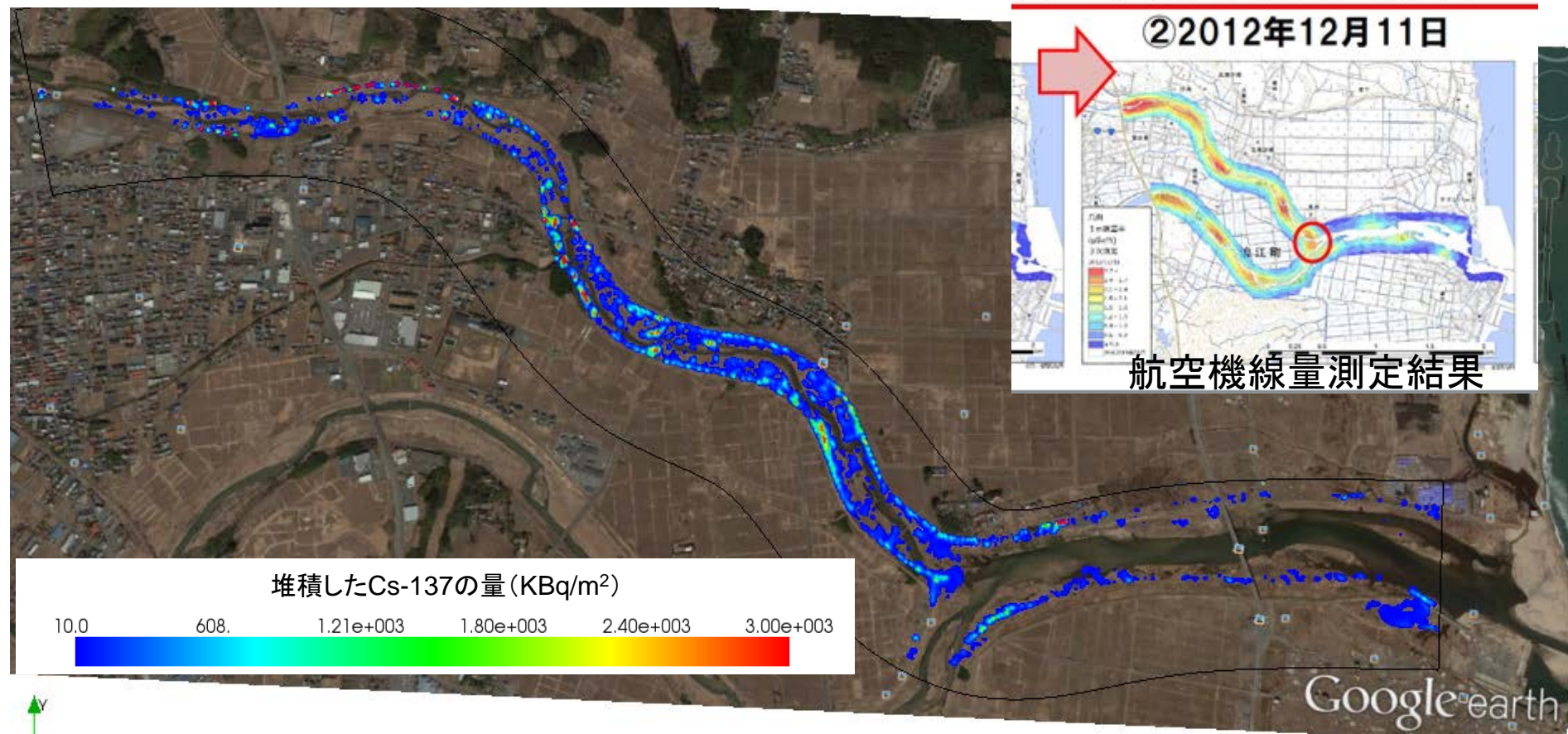


上流河川からの河川水流入量や増水継続時間が異なる場合に、上流から流入した土砂やセシウムのうち、どの程度の割合が下流に流出するかを計算(3次元モデル利用)。→流入流量が多いほど、また、増水継続時間が長いほど、土砂・セシウムの流出割合が増加することがわかった。

	Case1	Case2	Case3	Case4
砂の流出率	0%	0%	0%	0%
シルトの流出率	2%	3%	9%	79%
クレイの流出率	30%-	44%-	46%-	90%-
¹³⁷ Csの流出率	5%-	8%-	13%-	79%-

クレイ浮遊残留5-30%程度、Cs浮遊残留1-5%程度あり

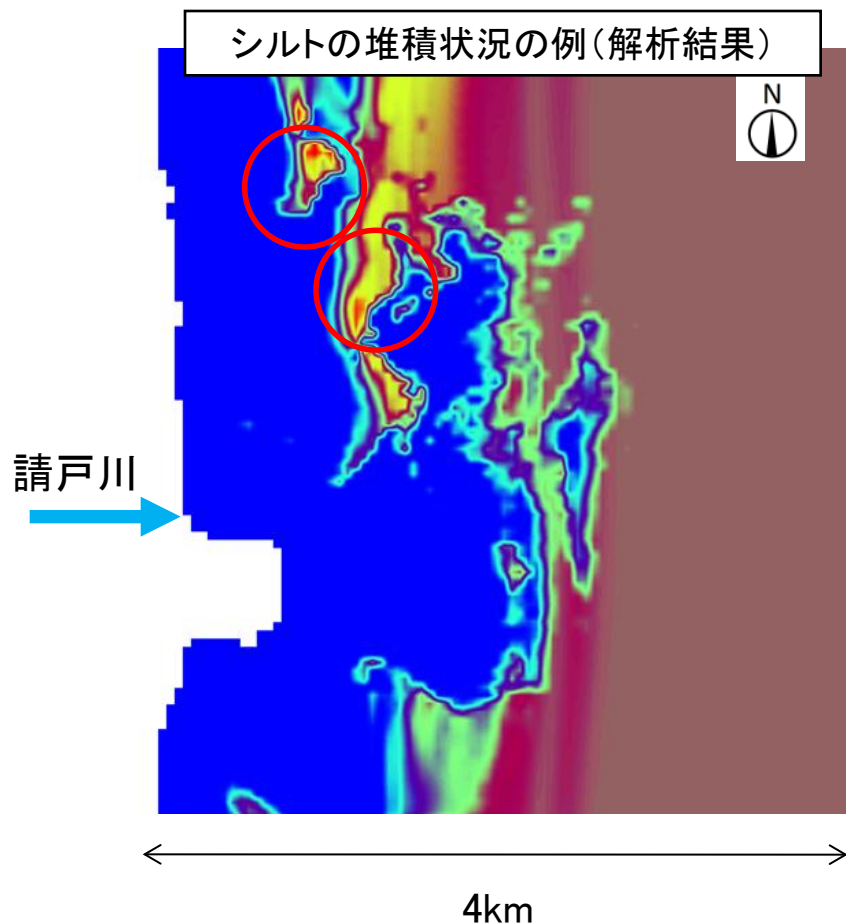
解析： 請戸川下流での河川敷への土砂堆積の評価



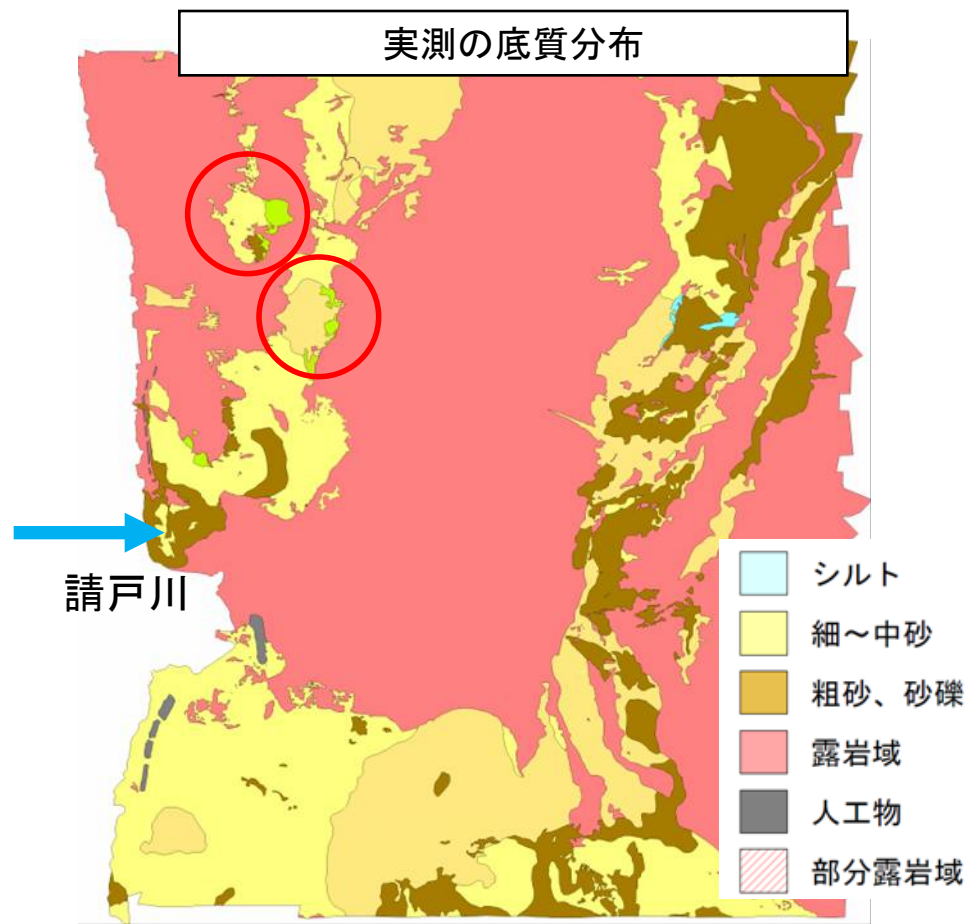
2次元土砂輸送モデルNays2Dを用い、2011年9月台風通過時の河川敷堆積解析を試行。高流量時に運ばれた土砂が河川敷に堆積する状況を定性的に再現。堆積しやすい場所や量の評価を実施中。

河口沿岸域の海底地形をモデル化し、波浪による巻き上げ、風、海流、河川流出のデータを利用し、土砂(シルト)の輸送を3次元モデルROMSを用いて解析

シルトの堆積状況の例(解析結果)

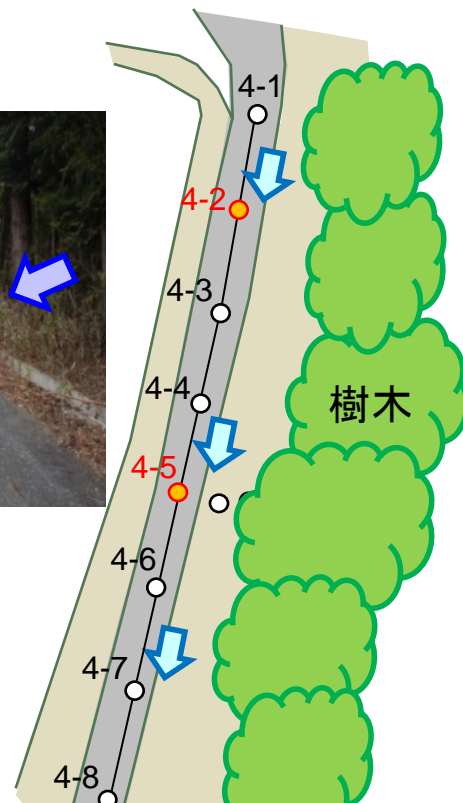
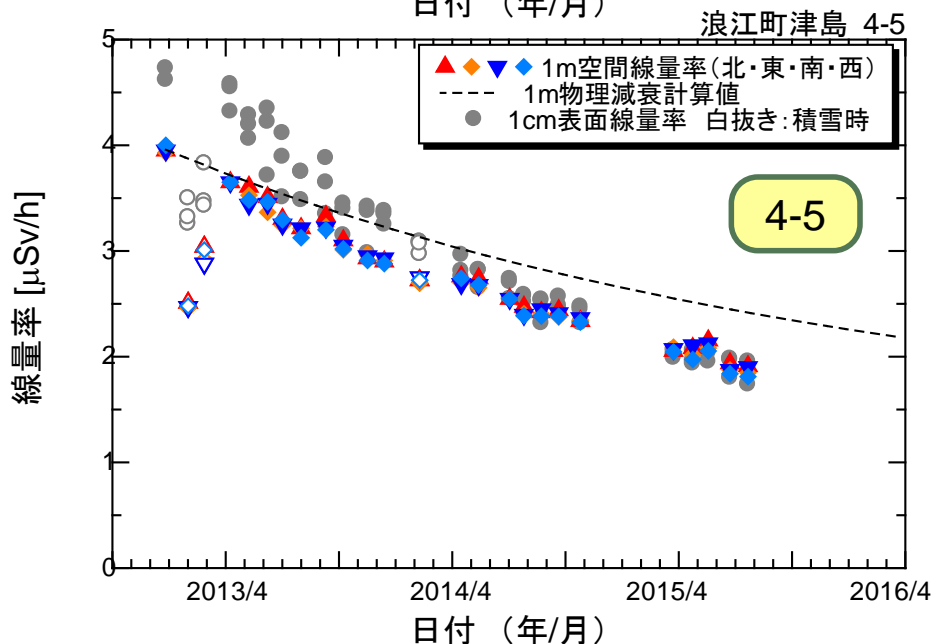
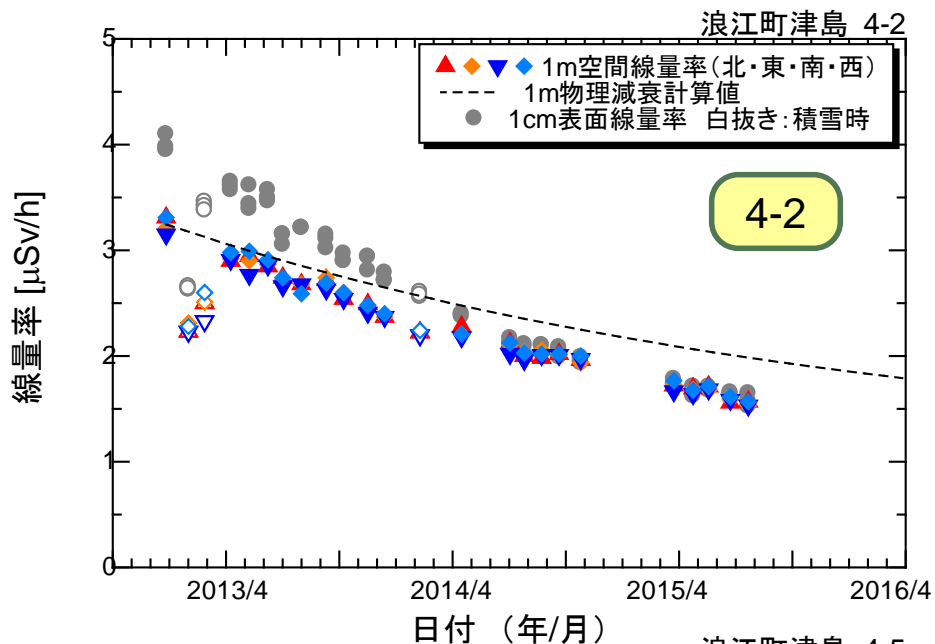


実測の底質分布



- 河口から出たシルトが堆積しやすい場所をある程度推測
- 測定すべき地点の選定に活用

長期線量率調査： 傾斜道路上での線量率の変化



- ・線量率の減少率は物理減衰よりも大きい。
- ・1m空間線量率と1cm表面線量率で挙動が異なる。
調査開始時は1cm > 1mであったが、1cmの減少率が大きく、2014年秋には1cm ≒ 1mとなった。
- ⇒ アスファルト表面に分布していた放射性セシウムが、傾斜道路の高所から低所へ流出したことが推測される。

(1) 地衣類試料の放射性Cs濃度について

□地衣類種：

- ・全調査地点で9種類を採取（うち、2種(FC, PC)が優占）
- ・浪江町ではそのうち次の6種類を採取
FC (キウメノキゴケ)、PC (マツゲゴケ)、
PR (オオマツゲゴケ)、PA (ナミガタウメノキゴケ)、
PT (ウメノキゴケ)、CA (シラチャウメノキゴケ)



図5 調査地点に優占的に生育する地衣類2種（キウメノキゴケとマツゲゴケ）

(2) 地衣類試料と土壤沈着量との関係について

- 事故後初期(2011年6月)に採取された土壤中の放射性Cs沈着量(計算値)との間に良好な正の相関関係 ($r = 0.90$ ($P < 0.01$))

事故から約2年経過しても、事故当初の放射性Cs降下状況を反映している可能性が示されました。

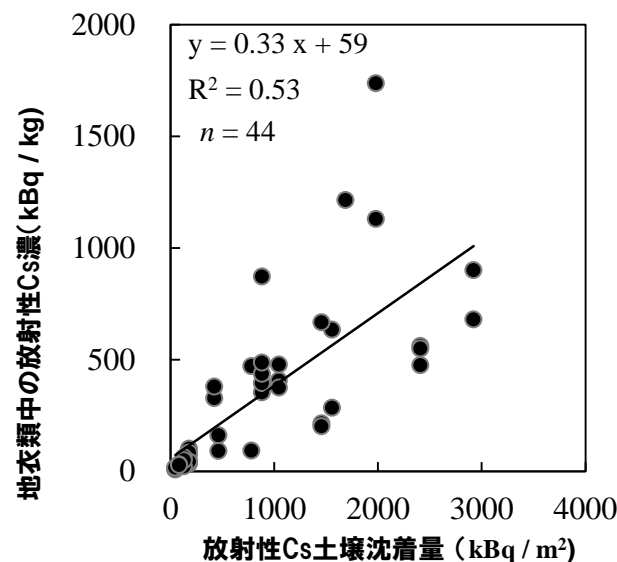


図6 地衣類中の放射性セシウム濃度と土壤沈着量との関係 (Dohi et al., JER146, (2015))