

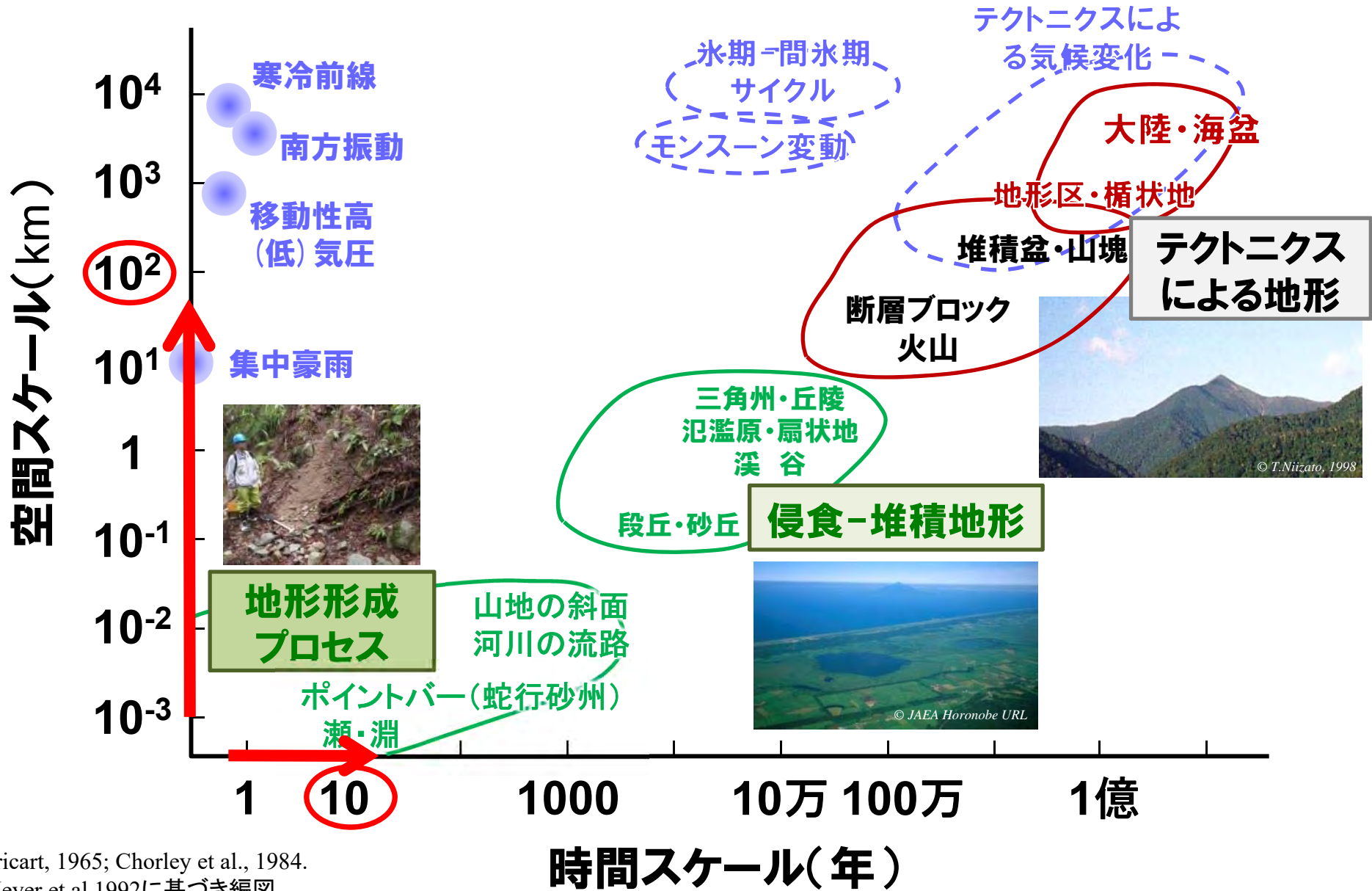
福島長期環境動態研究 —放射性セシウムの移動予測と移動抑制— (陸域を中心として)

新里 忠史

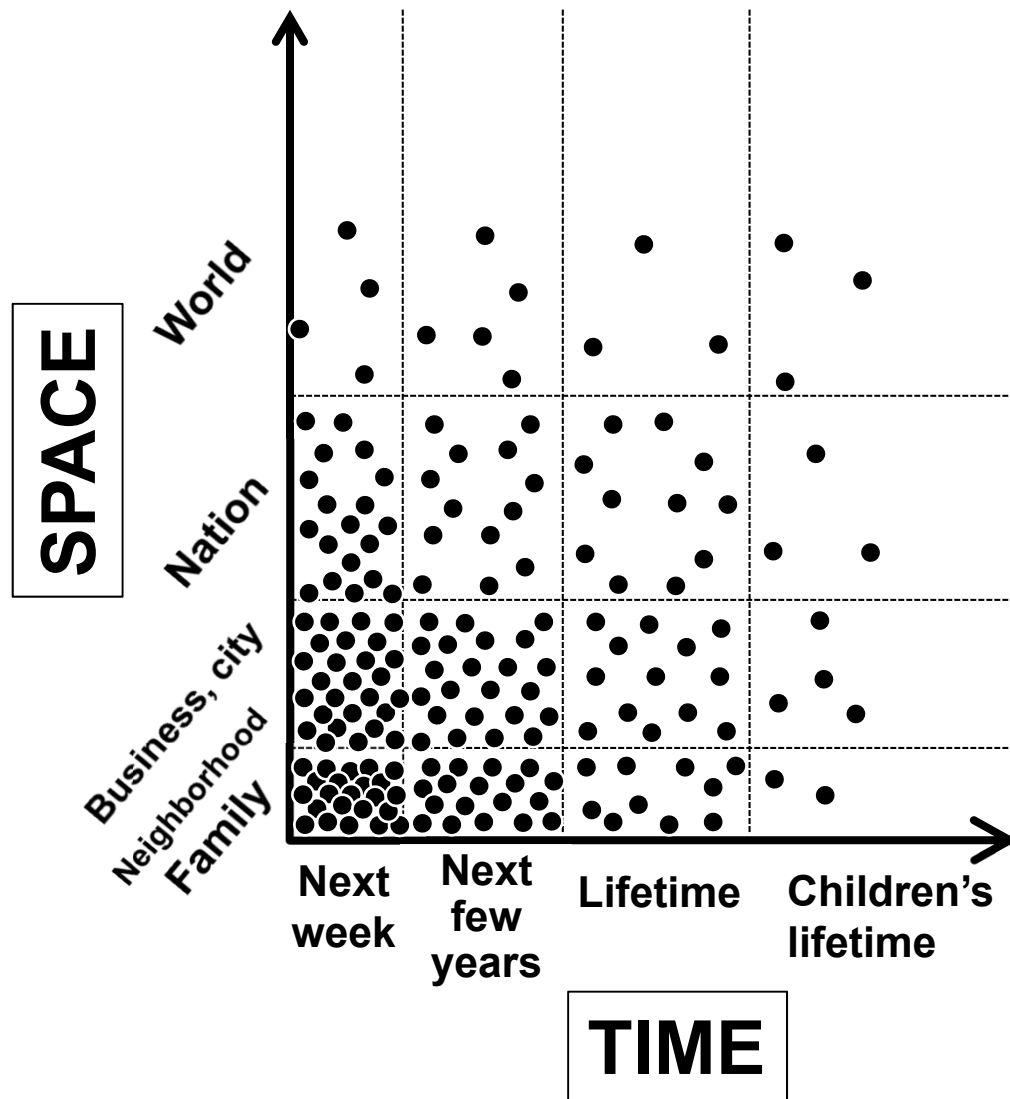
国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
福島研究開発部門 福島環境安全センター



自己紹介



Tricart, 1965; Chorley et al., 1984.
Meyer et al.1992に基づき編図

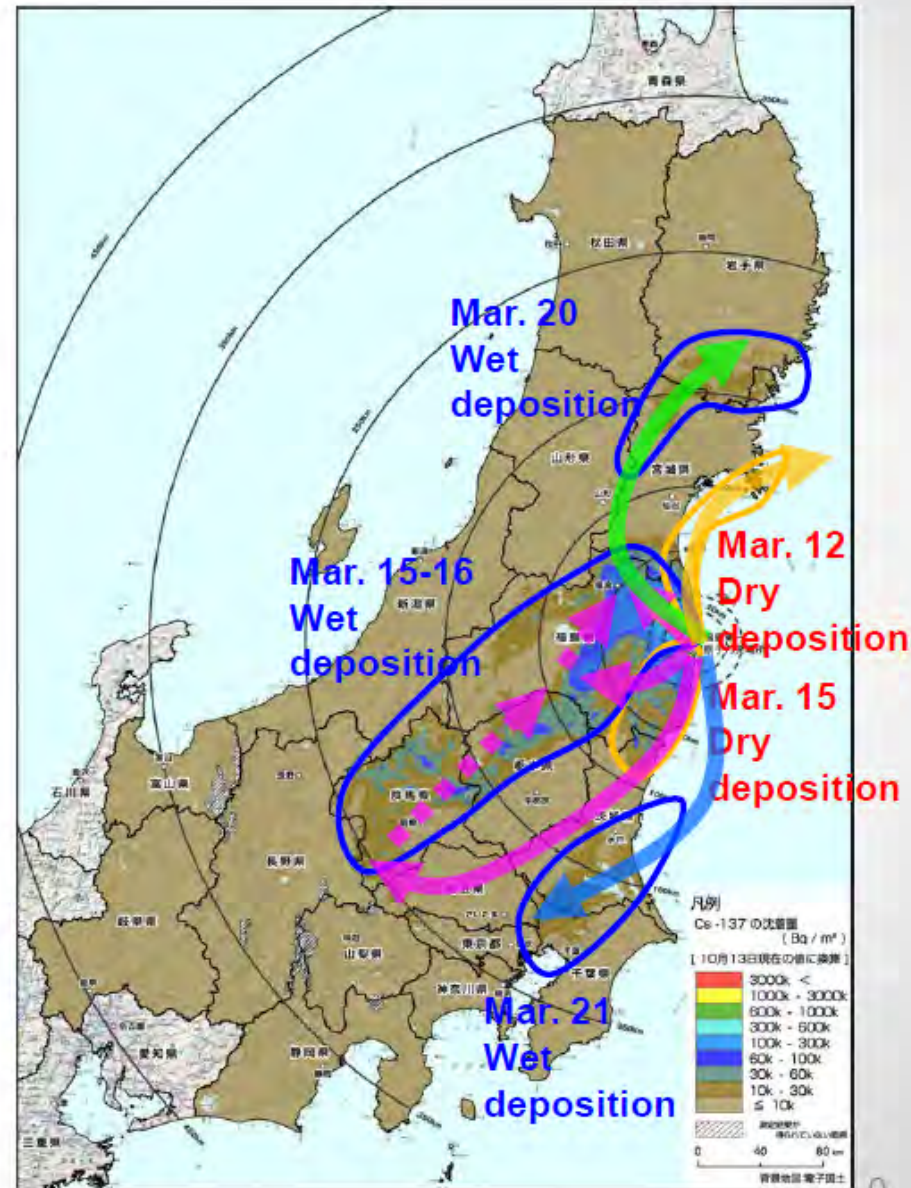


- ✓ *Although the perspectives of the world's people vary in space and in time, every human concern falls somewhere on the space-time graph.*
- ✓ ***The majority** of the world's people are concerned with matters that affect only family or friends over a short period of time.*
- ✓ ***Others** look farther ahead in time or over a larger area – a city or a nation.*
- ✓ ***Only a very few people** have a global perspective that extends far into the future.*

将来を見据えて現在の課題
に取り組む視点が必要

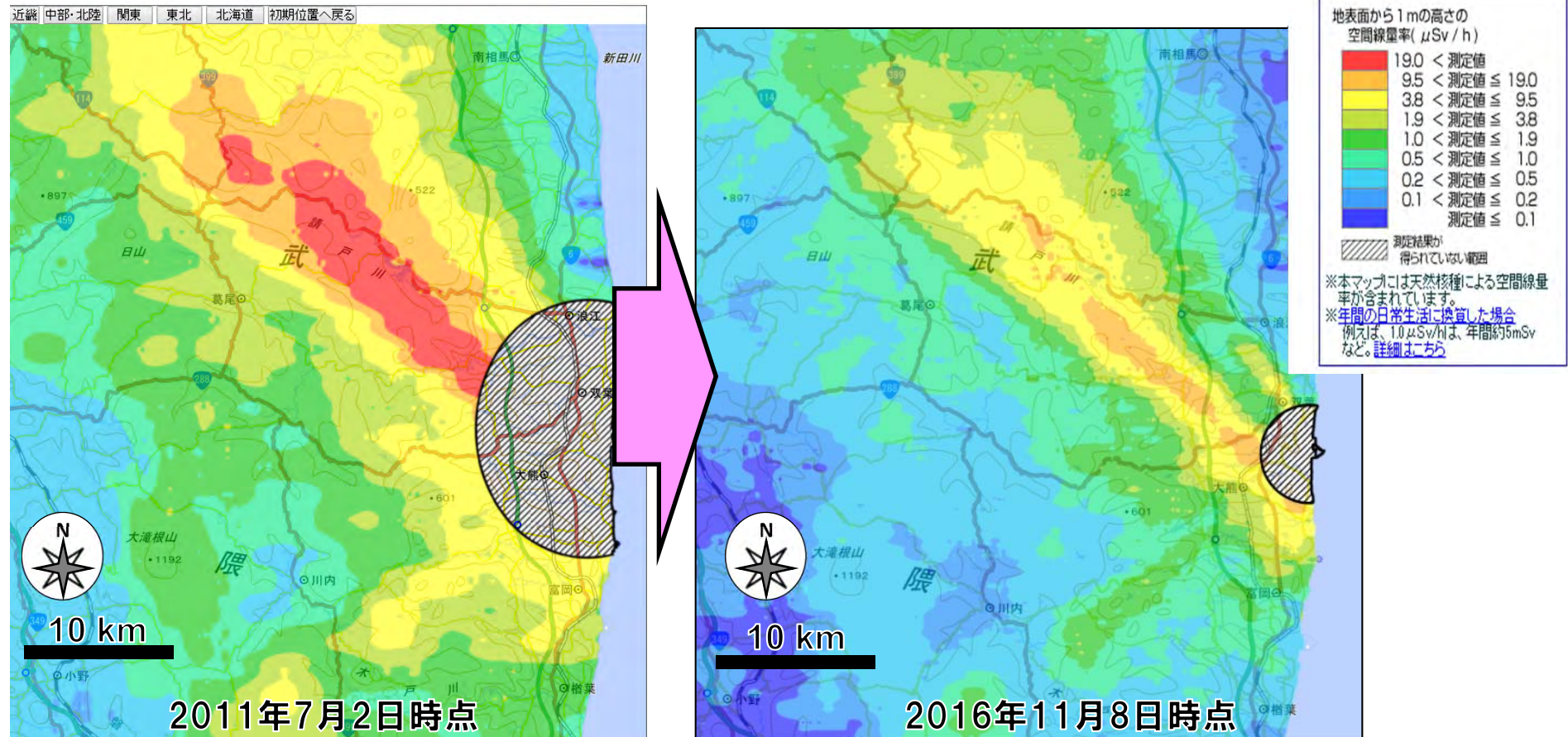
- Deposition of Cs-137 was estimated by WSPPEEDI model by comparison with measured surface soil concentration and meteorological data.
- Radioactive material deposited by **Wet** and **Dry** deposition processes depending on wind directions on each day.

H. Nagai *et al.*, “Atmospheric dispersion simulations of radioactive materials discharged from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant due to accident: Consideration of deposition process”, The first NIRS symposium on reconstruction of early internal dose due to the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident, Chiba, Japan, 10-11 July, 2012



空間線量率の分布(航空機モニタリング)

放射線量等分布マップ 拡大サイト



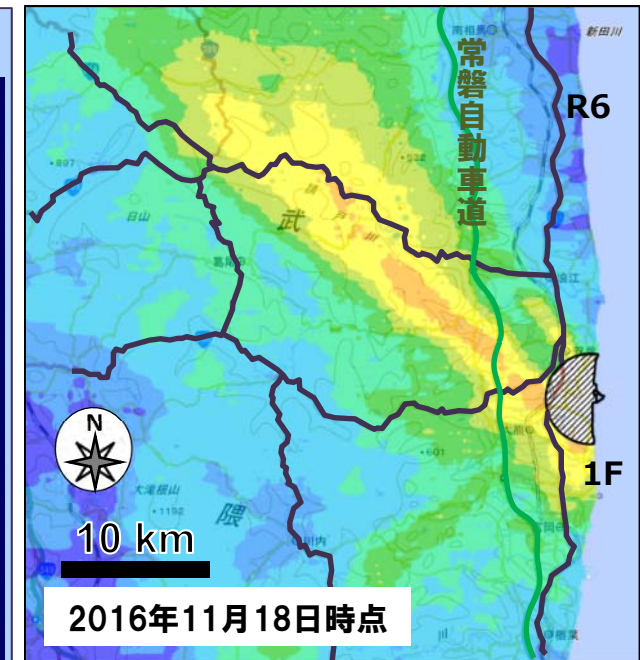
- 空間線量率は全般的に低下
- まだ、空間線量率の高い地域が残存

地形と空間線量率の分布

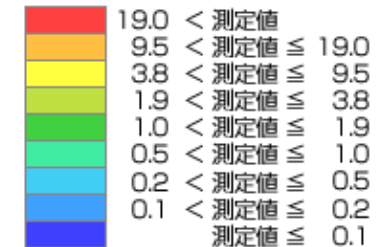
土地利用状況



空間線量率の分布



地表面から1mの高さの
空間線量率(μSv/h)



測定結果が
得られていない範囲

- 空間線量率は全般的に低下
- 未だ、空間線量率の高い地域が残存
→ 山地の森林が大部分を占める

引用: <http://ramap.jaea.go.jp/map/>

福島長期環境動態研究(F-TRACE)の概要

- 現象論モデルを用いた水流等移動経路における放射性物質移動量の定量的予測
- 放射性セシウムによる被ばく線量の変化の推定
- 被ばく線量低減に有効な移動抑制等の対策の提案

放射性物質の移動経路



モデルで予測する放射性物質の挙動と活用先

森林内での化学種毎の放射性物質流出・流入挙動予測

- ➔ 森林内での作業従事時の外部被ばく線量変化評価
- ➔ 林産物中放射性物質濃度の評価に活用

環境水への化学種毎の放射性物質流入挙動予測

- ➔ 水の摂取による内部被ばく線量変化評価
- ➔ 農・水産物中放射性物質濃度の評価に活用

生活圏・周辺への放射性物質流入挙動予測

- ➔ 生活圏における外部被ばく線量変化評価

地下への移流

河川水流による移動

塩による脱離・凝集
海流による移動

- 福島県内の農業・林業・水産業等の復興促進
- 住民の帰還促進

- **森 林**：森林斜面からの放射性セシウムの流出は著しく少ない。森林内に留まる傾向。林床が落葉落枝で被覆されていることがポイント。地上部(樹木)よりも地下部(リター層、土壌層)に大部分が分布
- **河 川**：高水時に放射性セシウムの大部分が移動するものの、河川地形に応じて侵食・運搬・堆積の状況が異なる。土壌粒子の粒径、流速、河川敷と河川水位、上流部の放射性セシウム蓄積量との関係が重要
- **ダム湖**：湖底の地形に合わせて放射性セシウムを含む土砂が流入し堆積する。ダム湖からの流出は少ない。湖水の放射性セシウム濃度は著しく低い。河川の流入口や放流口、濁度と湖底地形の関係がポイント
- **まとめ**：
 - ✓ 環境中での振る舞い、自然が本来持つ移動抑制機能を理解すること
 - ✓ 既設の構造物の特性や既往技術を活かした対策を考え出すこと

Forest investigation



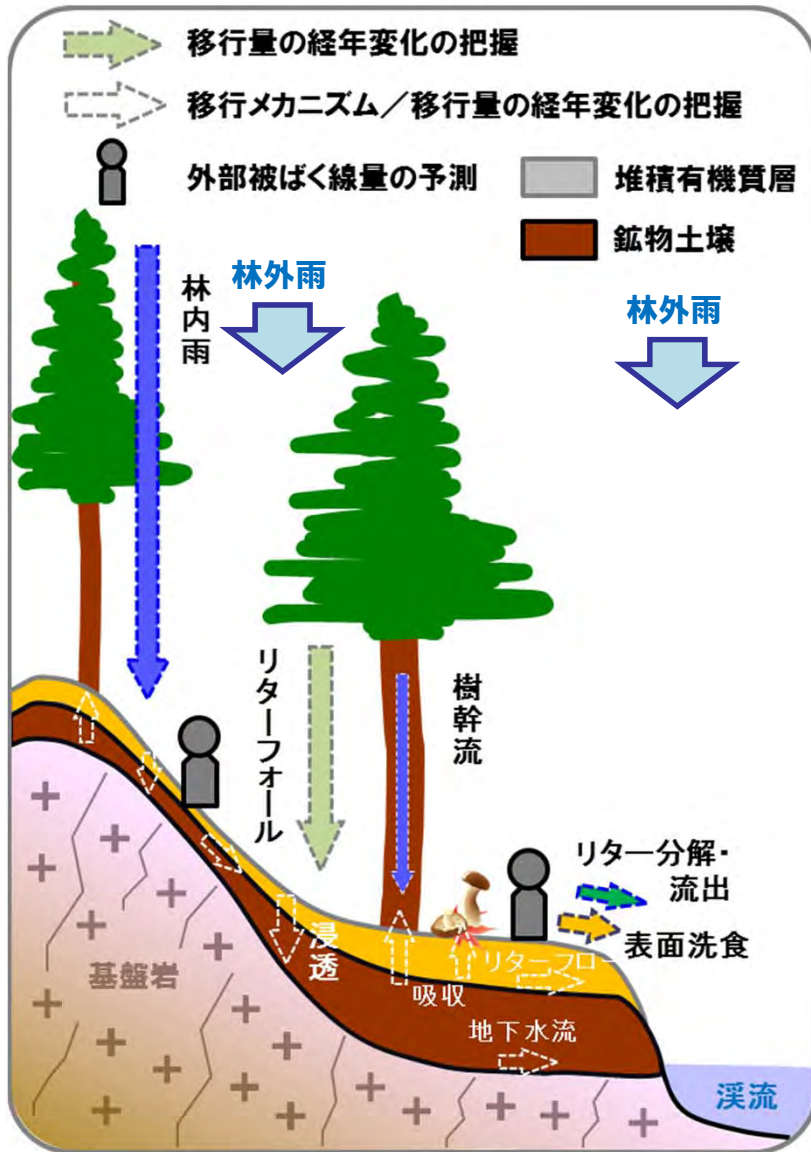
Ogi, Kawauchi
(**deciduous** broad-leaved forest)



Ogi, Kawauchi
(**evergreen**
coniferous forest)



Yamakiya, Kawamata
(**mixed forest**; red pine,
konara oak)



□ 森林生態系からの放射性Csの流出 →森林域からのCs流出予測

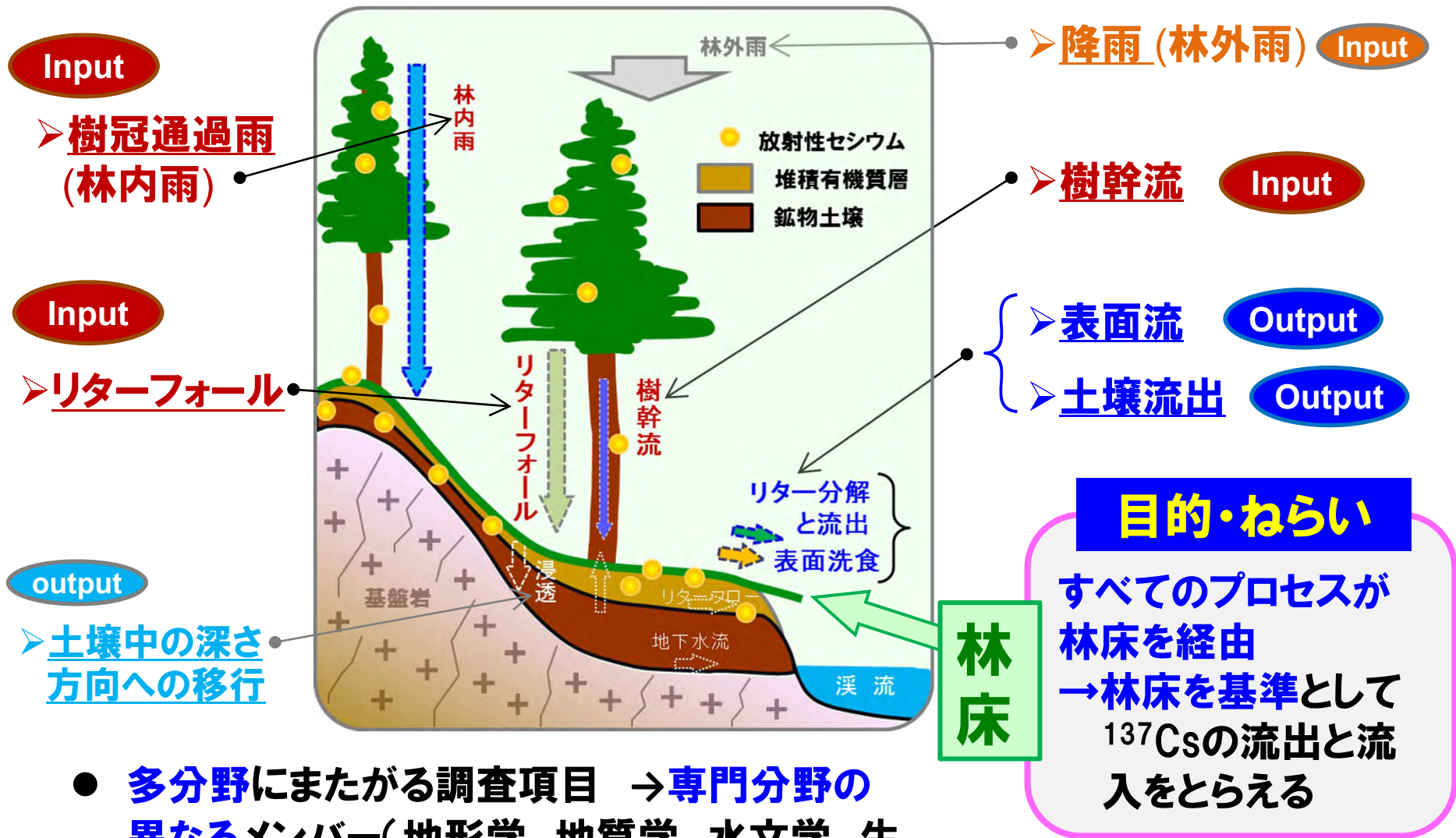
- ✓ 土壤侵食 / 表面流出に伴う粒子態 / 溶存態Csの流出；表面洗食(森林斜面→溪流)
 - ✓ リター分解、水流に伴う溶存態Cs流出(森林斜面/リター層/地下水→溪流の河川水/帯水層→本流河川)
 - ✓ 土壤中での移行
- 筑波大学

□ 森林生態系における放射性Csの移行 →林産物のCs濃度予測

- ✓ 樹木 / 山野草 / きのこと-土壤中での移行
 - ✓ きのこと-原木での移行
 - ✓ 木材(樹皮-辺材-心材)での移行
 - ✓ リター分解によるCs溶出と土壤への移行
 - ✓ 土壤中での移行
- 広島大学
森林総合研究所

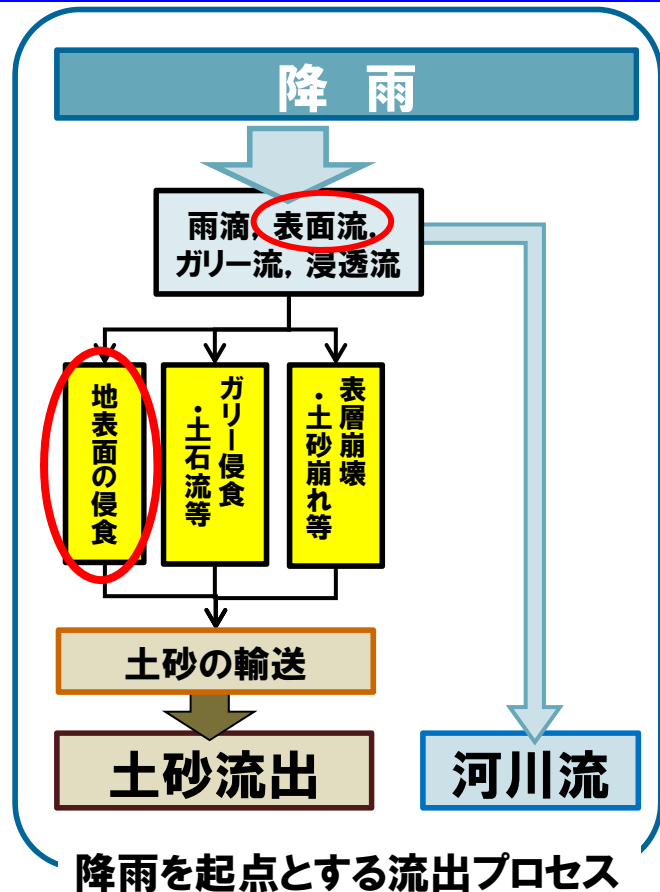
□ 森林内と隣接地での外部被ばく →森林内と隣接地での被ばく線量の予測

- ✓ 森林生態系内における放射性セシウム分布の経年変化
 - ✓ 森林内における空間線量率の経年変化
- 森林総合研究所



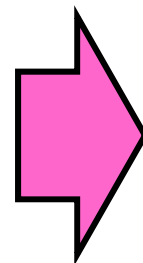
- 多分野にまたがる調査項目 → 専門分野の異なるメンバー(地形学、地質学、水文学、生物学)から構成されるチームを編成

森林からの流出プロセスの推定と調査領域の選定



※空中写真(左)と地形図(右)は大よそ同じ範囲を示しています。

- 表面流と土砂流亡に伴う放射性セシウムの移動
- 尾根線で囲まれた小水系(流域)を対象 → 小水系アプローチ



- 植生, 地形, 土壌分布, 森林における移動プロセスの観察, 放射性セシウムの深度分布等の現地調査
- 小水系内部での放射性Cs移動を追跡→モデル化→予測

調査項目

□ 植生調査（現地調査）

- ✓ 樹種，樹高/直径，立木密度，林床植生
- ✓ 山野草，キノコ，樹木の試料採取
- ✓ キノコ原木と菌床での移行試験



□ 地形調査（簡易水準測量，トータルステーション，3Dレーザースキャン）

- ✓ 斜面の方位と傾斜，微地形の形状と三次元分布

□ 土壌調査

- ✓ 土壌分布，土壌記載，土壌採取，土壌の粒径と鉍物組成データの取得，放射性セシウム濃度測定



スクレーパープレートによる土壌採取

□ 移動現象の調査

- ✓ 空間線量率の測定
- ✓ 林床及び河床状況の観察



空間線量率の測定

□ 土砂移動と表面流観測

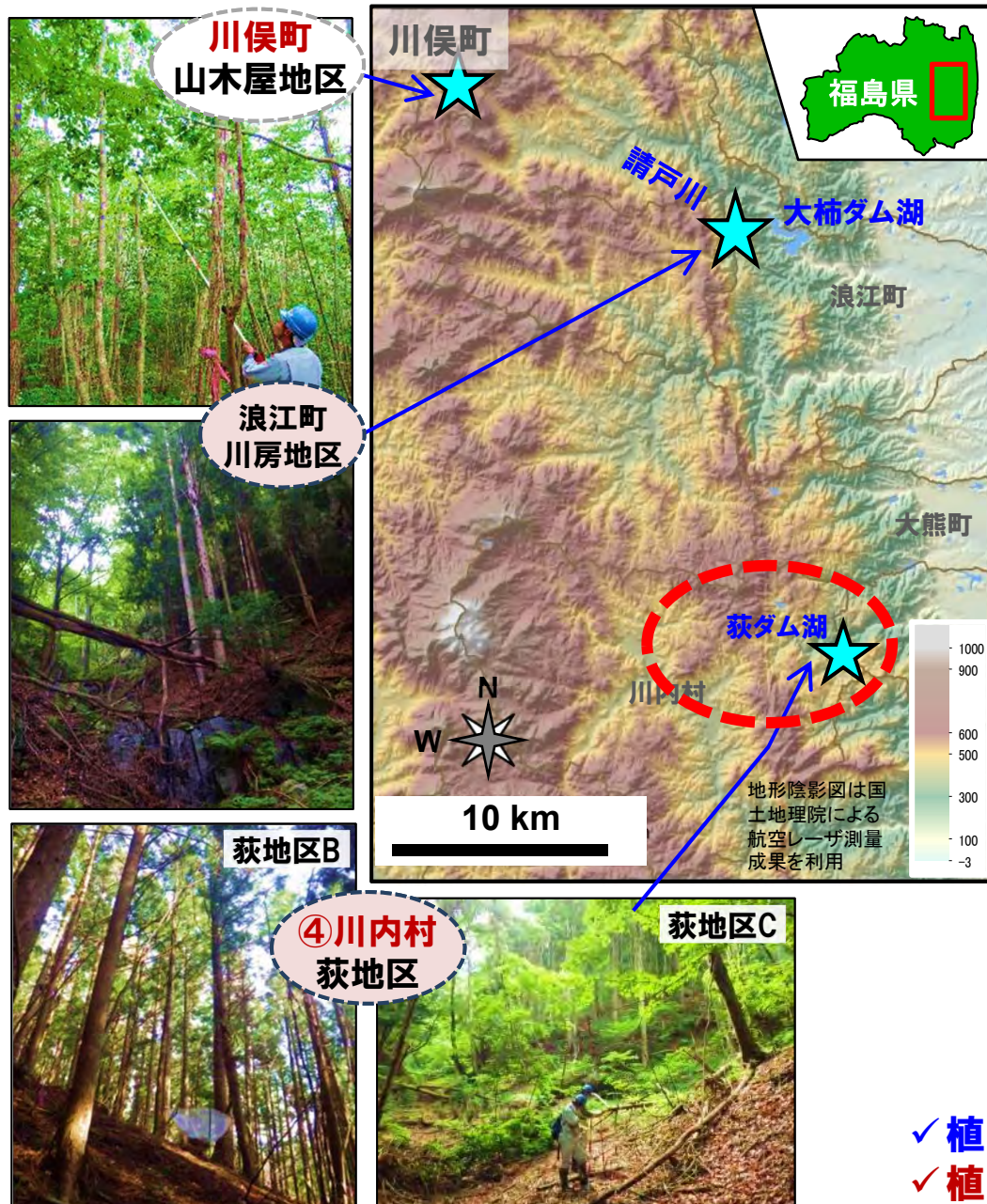
- ✓ 林内気象の観測
- ✓ 土砂移動量，表面流量等の観測



- 植生-地形-土壌特性(粒径分布，鉍物組成)-放射性セシウム分布の相関性に関するデータ
- 現象論的移動モデル構築に係る定性・定量的データの取得
- 森林生態系における物質循環，樹木や山野草の放射性セシウム動態の把握

→ 林内での動態予測モデル構築

森林調査:調査地



植生	地形	土壌
川侯町山木屋地区入久保山(降水量 1221.7mm/年)		
<ul style="list-style-type: none"> ✓ 落葉広葉樹林 (一部、アカマツ) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 南向きの谷地形 ✓ 緩～急傾斜の斜面 ✓ 傾斜や方位の変化が大きく複雑な地形 	褐色森林土 観測プロット/緩 観測プロット/急 ミニ・プロット
浪江町川房地区 (請戸川 & 大柿ダム湖)		
<ul style="list-style-type: none"> ✓ 下流)常緑針葉樹林 ✓ 上流)落葉広葉樹林 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 東向きの急峻な谷地形 ✓ ガリー侵食による運搬・堆積 	堆積性土壌
川内村萩地区 (萩ダム湖)(降水量 1465.1 mm/年)		
< 萩地区 A > <ul style="list-style-type: none"> ✓ 常緑針葉樹林 (スギ林) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 北向きの谷地形 ✓ 中程度～急傾斜 ✓ 尾根-斜面-谷底からなる単純な地形 	褐色森林土 ミニ・プロット
< 萩地区 B > <ul style="list-style-type: none"> ✓ 常緑針葉樹林 (スギ林) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 南向きの谷地形 ✓ 急傾斜 ✓ 尾根-斜面-谷底からなる単純な地形 	褐色森林土 観測プロット/急 ミニ・プロット
< 萩地区 C > <ul style="list-style-type: none"> ✓ 針広混交林 (スギ、アカマツ、コナラ) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 南向きの斜面 ✓ 極急傾斜 (50度超) ✓ 尾根-斜面-谷底からなる単純な地形 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 褐色森林土 ✓ 堆積性土壌 ミニ・プロット

- ✓ 植生が同一、地形が異なる → 山木屋地区
- ✓ 植生が異なる、地形が同一 → 山木屋地区と萩地区

森林からの放射性セシウム流出量の評価

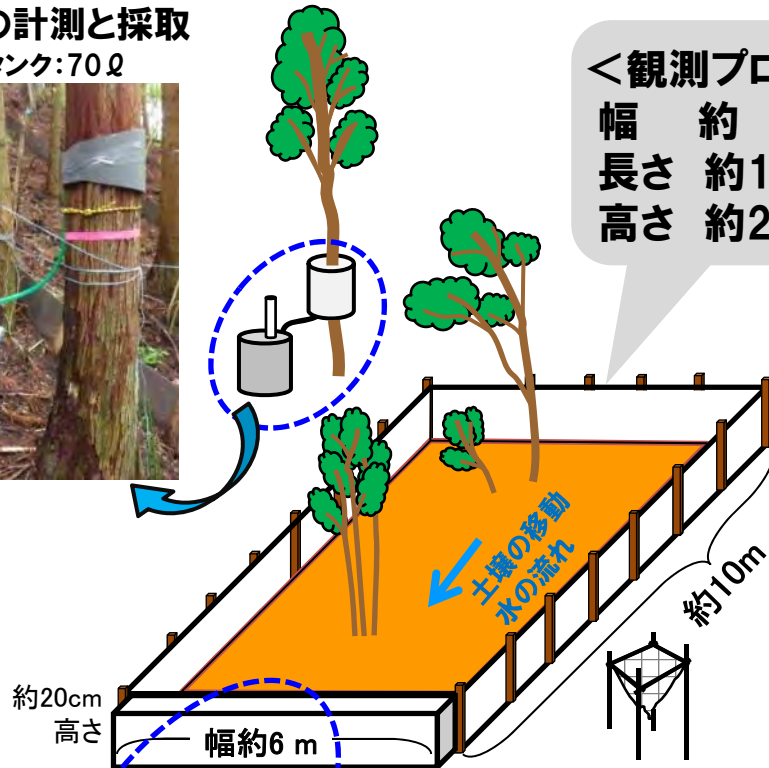
樹幹流の計測と採取

集水タンク: 70 L



<観測プロット>

幅 約 6 m
長さ 約 10 m
高さ 約 20 cm



林内雨量計
+
降雨採取
(2 L)

貯留ボックス
(18 L)

リターフォールトラップ
(1 m 四方)

土砂貯留タンク
(200 L)



樹冠から林床へ (放射性Csの流入)

- **林内雨** → 「林内雨量」の観測
→ 「林内雨」の採取
- **樹幹流の発生**
→ 「樹幹流下量」の観測
→ 「樹幹流」の採取
- **リターフォール**
→ リターフォールの採取

林床から林外へ (放射性Csの流出)

- **表面流と土壌流出の発生**
→ 「貯留ボックス」における水位観測
→ 「土砂貯留タンク」で全量回収

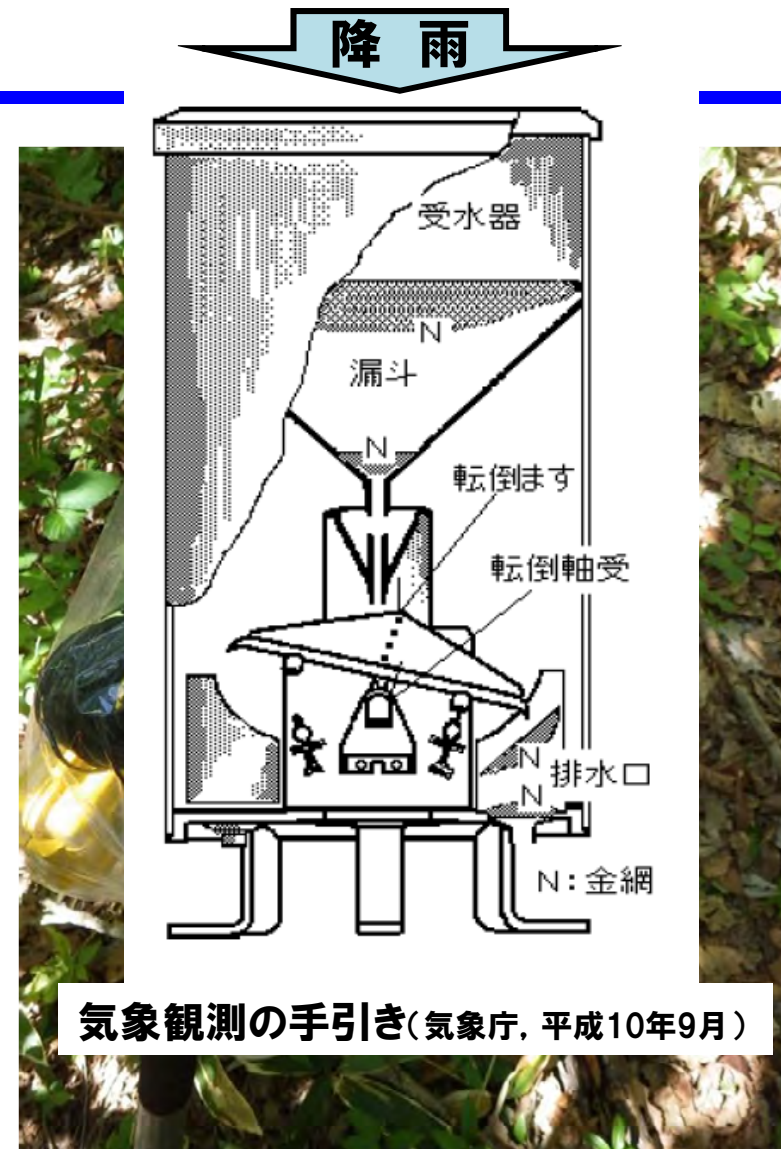
林床を基準に考える

ある期間/ある面積における放射性Cs流出
入量の定量的評価: $[Bq\ m^{-1}\ 期間^{-1}]$

林内雨の観測

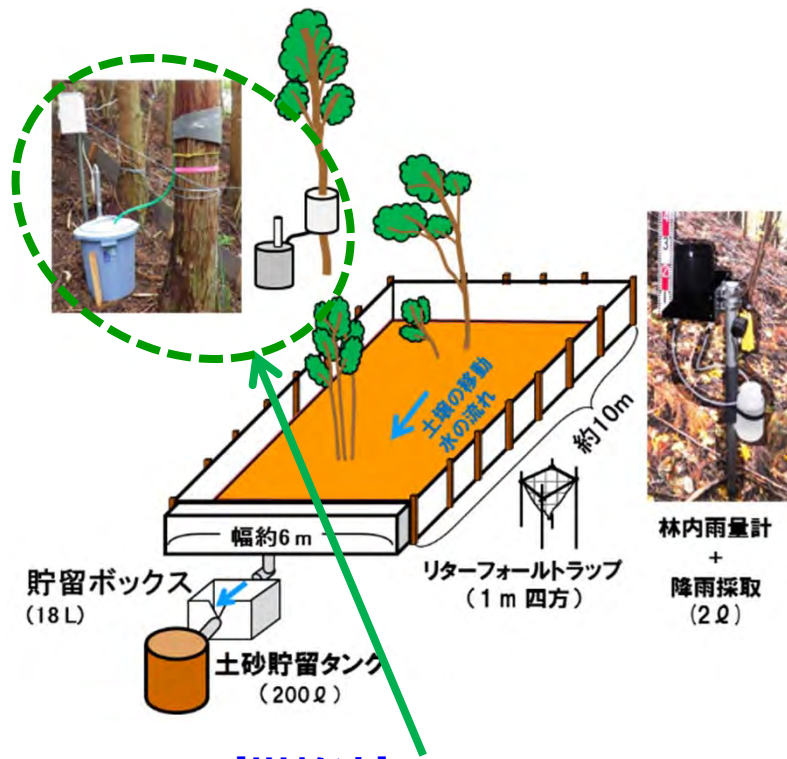


- ✓ 転倒ます型雨量計で降雨量を計測
- ✓ 雨量計と接続された採水ボトルで林内雨を採取(2L)
- ✓ 落葉落枝や花粉の混入を防ぐため、採水部をビニールで覆う



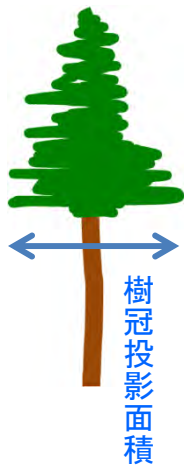
- ✓ 放射性セシウム沈着量(Bq/m^2)
- = 降雨量($\text{mm} = \text{L}/\text{m}^2$) \times 放射性セシウム濃度(Bq/L)

樹幹流の観測



【樹幹流】

- ✓ 幹の周りに流水を受ける覆いを設置
- ✓ 流下する樹幹流をポリバケツに全量集め、水位から体積を算出(L)
- ✓ 体積を樹冠投影面積で割ることにより、単位面積当たりの樹幹流下量を算出(L/m²)



- ✓ 放射性セシウム沈着量(Bq/m²)

$$= \text{樹幹流下量(L/m}^2\text{)} \times \text{放射性セシウム濃度(Bq/L)}$$

リターフォールの観測



[リターフォール量]

- ✓ 園芸用の支柱で1 m四方の枠を作り、寒冷紗を張る
- ✓ 放射性セシウム沈着量(Bq/m²)
= リターフォール量(kg/m²)×放射性セシウム濃度(Bq/kg)



表面流出の観測



[表面流出]

- ✓ タンク内に流入した表面流の水位を計測
- ✓ 水位→体積に換算し、表面流の流量(L/m²)を算出
- ✓ 流出した土砂等をすべて回収

✓ 放射性セシウム流出量(Bq/m²)

$$= \{ \text{表面流量 (L/m}^2\text{)} \times \text{放射性セシウム濃度 (Bq/L)} \} \\ + \{ \text{土砂流出量 (kg/m}^2\text{)} \times \text{放射性セシウム濃度 (Bq/kg)} \}$$



観測プロットでの試料採取



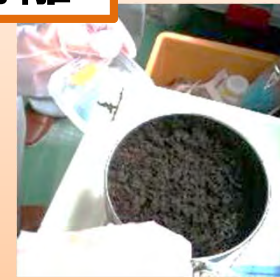
溶液試料の減圧ろ過



固相試料の分離



①三角堰内から採取したスギ・広葉樹の枝葉



②三角堰の底質(スギの実、4 cm以下の枝葉、土壌)



③三角堰内の水(試料採取時に濁った)

乾燥器による乾燥



リター_杉の枝葉



リター_落葉樹の枝葉



採取により浮遊した泥質分;粘土, シルト



三角堰の底質_スギの実、枝葉、土壌

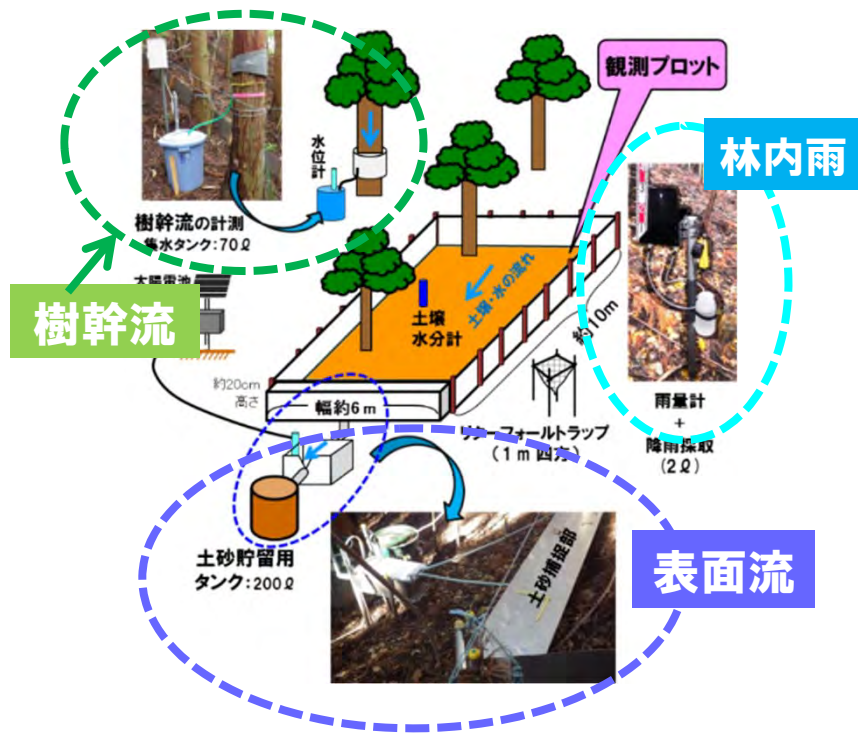
観測プロット	川内村荻地区 KAプロット (常緑針葉樹林;スギ林、急傾斜地)				川俣町坂下地区							
					KEプロット (落葉広葉樹林;緩傾斜地)			KWプロット (落葉広葉樹林;急傾斜地)				
	観測期間	2013/6/10 ~11/18	2014/6/3 ~10/20	2015/6/24 ~10/28	2016/6/16 ~11/28	2013/3/29 ~11/19	2014/6/2 ~10/17	2016/6/15 ~11/29	2013/6/28 ~11/19	2014/6/2 ~10/17	2015/6/30 ~11/5	2016/6/15 ~11/29
	約23週間	約20週間	約18週間	約24週間	約34週間	約20週間	約24週間	約20週間	約20週間	約18週間	約24週間	
周辺土壌(0-5cm)のCs-137沈着量 [kBq/m ²] ※2013年11月に減衰補正	770				1200			1600				
土壌流出によるCs-137の流出量 観測期間あたり[Bq/m ²]	507	250	1200*	276	242	660	27	474	970	1900	287	
4月-11月期[Bq/m ²]	776	437	2314* (151)	316	253	1171	82	810	1721	3607* (180)	308	
流出率 [%] (雨期; 4月-11月期)	0.1	0.06	0.30* (0.02)	0.04	0.02	0.1	0.01	0.05	0.11	0.23* (0.01)	0.02	

*2014年11月に観測プロットの土砂受け部を改修。土砂受け部の幅の増加のため、2015年度はセシウム137の流出量等が見かけの増加を示す。

*括弧内の数字は、プロット改修前の土砂受け部の幅に換算した値

▶観測プロット周辺土壌のCs-137沈着量と比較し、流出率は年間0.01~0.1%の範囲

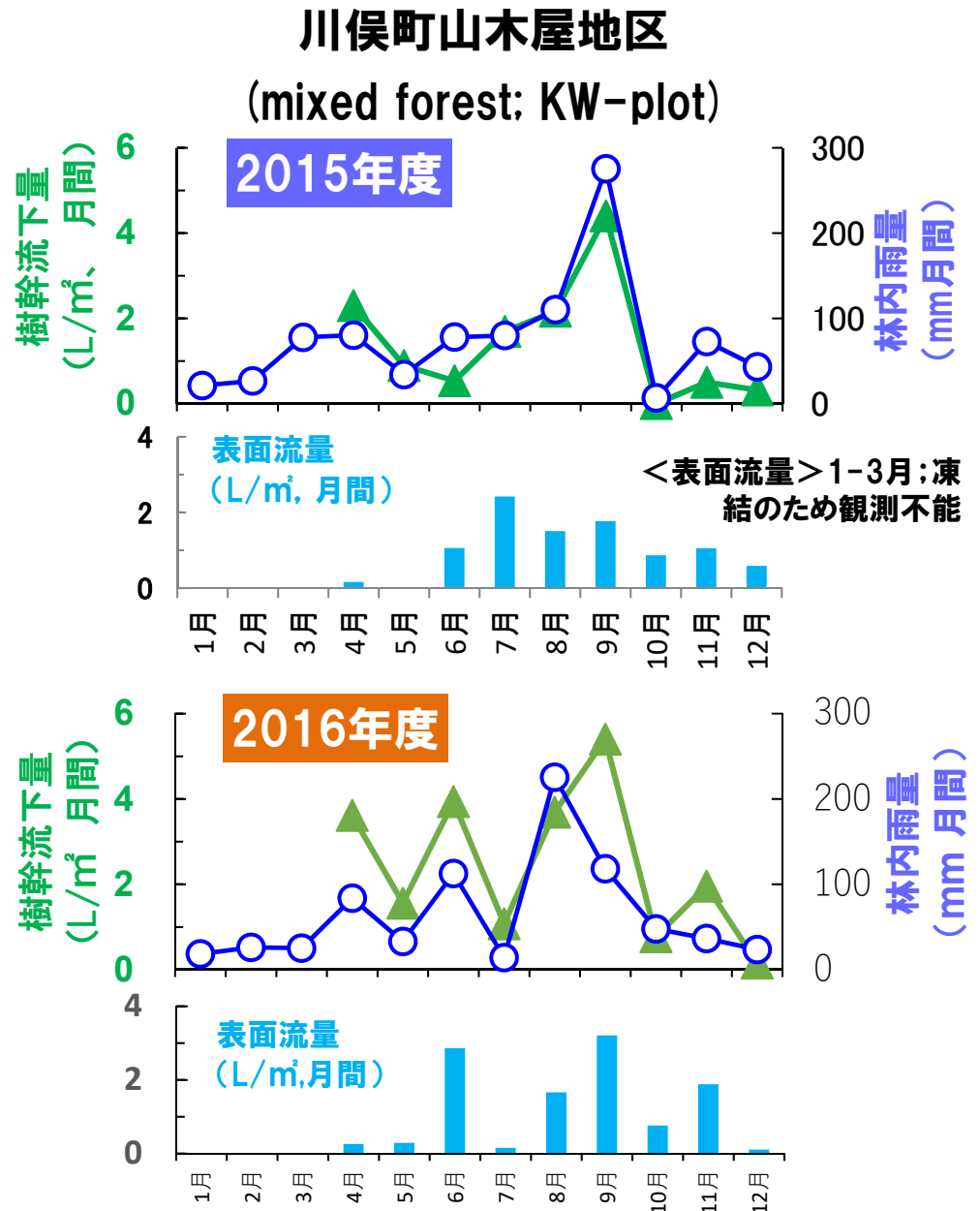
林内雨, 樹幹流, 表面流の観測

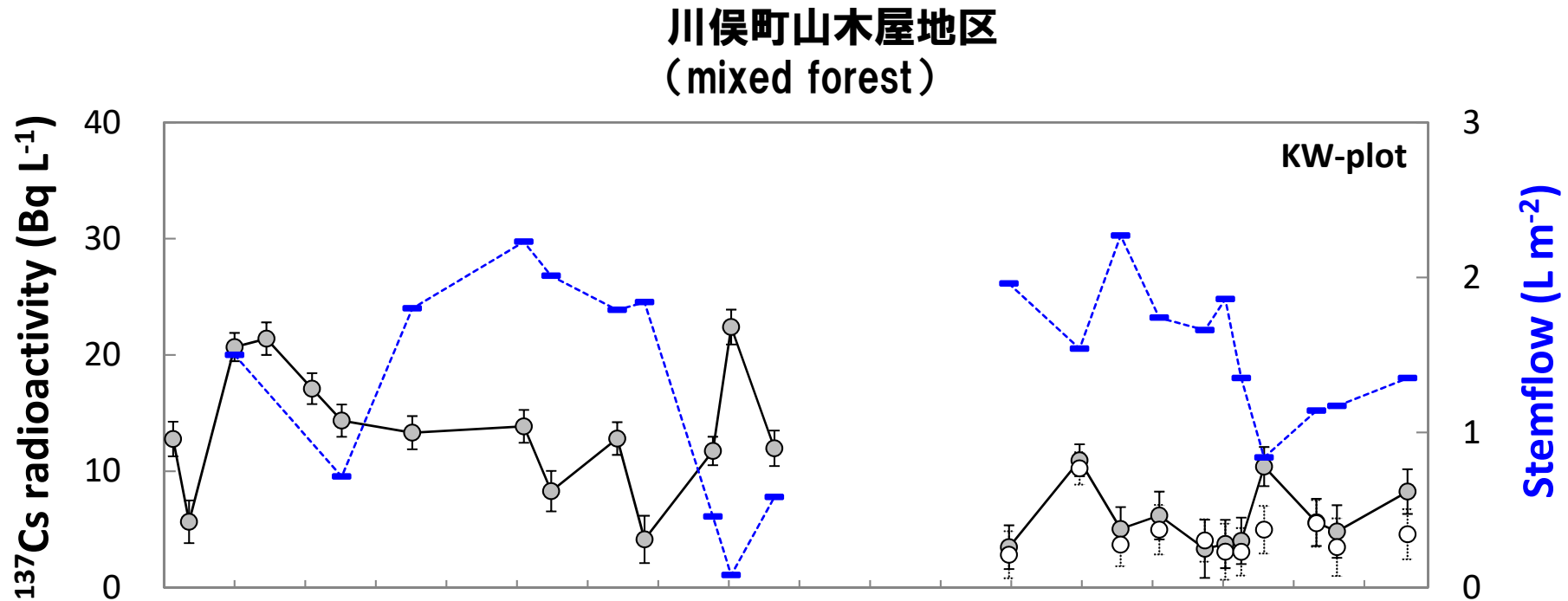


□JAEAの観測では・・・、
林外雨に対して、

- ✓ 林内雨 58.1 ~ 73.0%
- ✓ 樹幹流 0.0 ~ 2.1%
- ✓ 表面流 0.02 ~ 5.7%

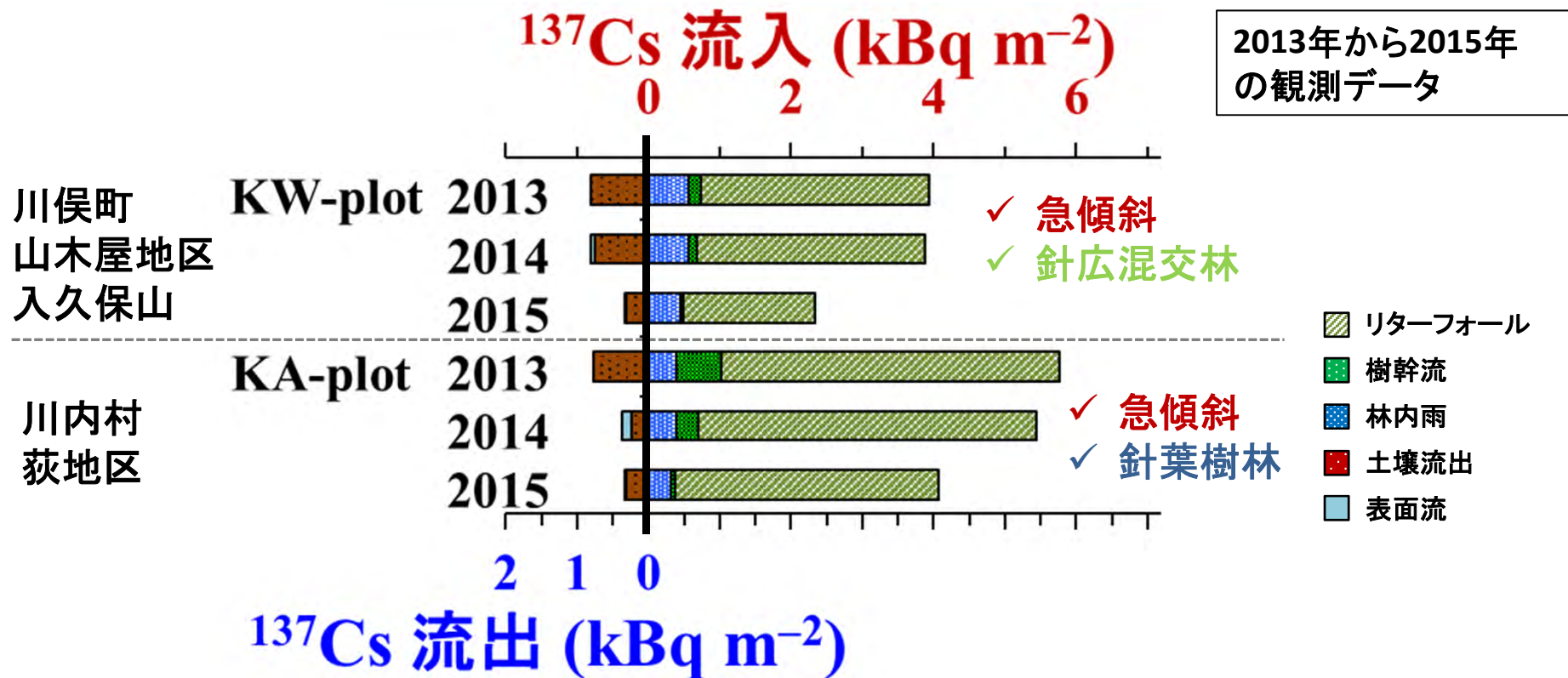
(2015年度)





- 1) 樹幹流下量(L)／樹冠投影面積(m²) = 単位面積当たり樹幹流下量(L/m²)
- 2) 単位面積当たり樹幹流下量(L/m²)×放射性セシウム濃度(Bq/L)
= 放射性セシウム沈着量(Bq/m²)

林床を基準とした ^{137}Cs の流出入量



観測プロットにおける観測結果

樹冠から林床への流入量 > 林床から林外への流出量

→ 森林域はシンクとしてふるまう傾向

放射性セシウムの流出量と流入量は、ともに減少傾向

放射性セシウムの流入量; 林内雨は明瞭な傾向なし

樹幹流とリターフォールは減少傾向

森林内で観察される移動現象

□ 降雨による移動

- ✓ 雨滴侵食(リター被覆が無いか薄い林床)
- ✓ 樹幹流による樹木の根元付近の侵食
- ✓ 表面流による侵食(リター被覆が無い林床で顕著)
- ✓ リターフロー(広葉樹の落葉からなる林床斜面)
- ✓ 雨期(主に7月から10月)
- ✓ 比較的に広範囲

□ フロスト・アクションによる移動

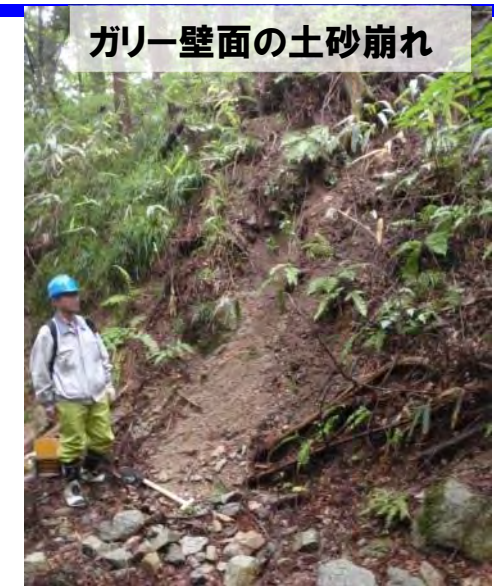
- ✓ 凍上とフロスト・クリープ(凍結融解作用)
- ✓ 凍結融解した土壌の傾斜方向へのスリップ
- ✓ 冬期
- ✓ 日中に日差しの差し込む南向き谷地形
- ✓ 林内では局所的

□ マスマーブメントによる移動

- ✓ ガリー壁面、林道壁面や石取り場などの人為的な崖での土砂崩れ
- ✓ 主に、雨期および融雪期(3月)
- ✓ 林内では局所的

□ 雪による移動

- ✓ 積雪が斜面の傾斜方向へ移動し侵食
- ✓ 日中日差しの差し込む林床では、融雪水
- ✓ 積雪および融雪期
- ✓ 林内では局所的

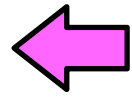




落葉広葉樹林の林床



➤ **山地森林**



下草/リター/表土除去による**林床状況の変化**
→**土壤流出に伴う放射性セシウム流出状況の変化**

➤ **緩傾斜地、開けた傾斜地/平坦地(畑地)**

➤ **森林に隣接する平坦地(家屋、機材小屋等)**



□ 植生調査

- ✓ 毎木調査、林床の被覆率



□ 地形調査・気象観測

- ✓ 斜面方位/傾斜、林内雨量

□ 土壌調査

- ✓ 土壌層位、土壌採取(20 cm 深度)、粒径分布、105°C 乾燥、粉碎
- ✓ ^{137}Cs 濃度分析 [Bq/kg]
- ✓ ^{137}Cs 存在量 [Bq/m²]



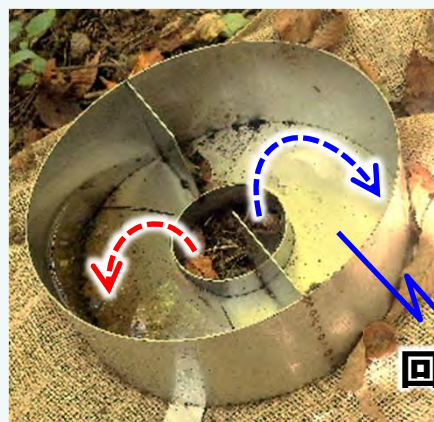
スクレーパープレート土壌採取(深度1-2 cm間隔)

□ ^{137}Cs 流出量の観測

- 放射性セシウム流出量が多い→土壌流出
- 林床における動き出しをとらえる→雨滴侵食
 - ✓ 雨滴侵食による土壌移動量(乾燥重量)
 - ✓ 移動土壌の粒径分布、105°C 乾燥
 - ✓ ^{137}Cs 濃度分析 [Bq/kg]
 - ✓ ^{137}Cs 流出量 [Bq/m²]、流出率 [%]

$$^{137}\text{Cs} \text{流出量} = \frac{(\text{濃度 [Bq/kg]} \times \text{乾燥重量 [kg]})}{\text{林床の露出面積 [m}^2\text{]}} \quad [\text{Bq/m}^2]$$

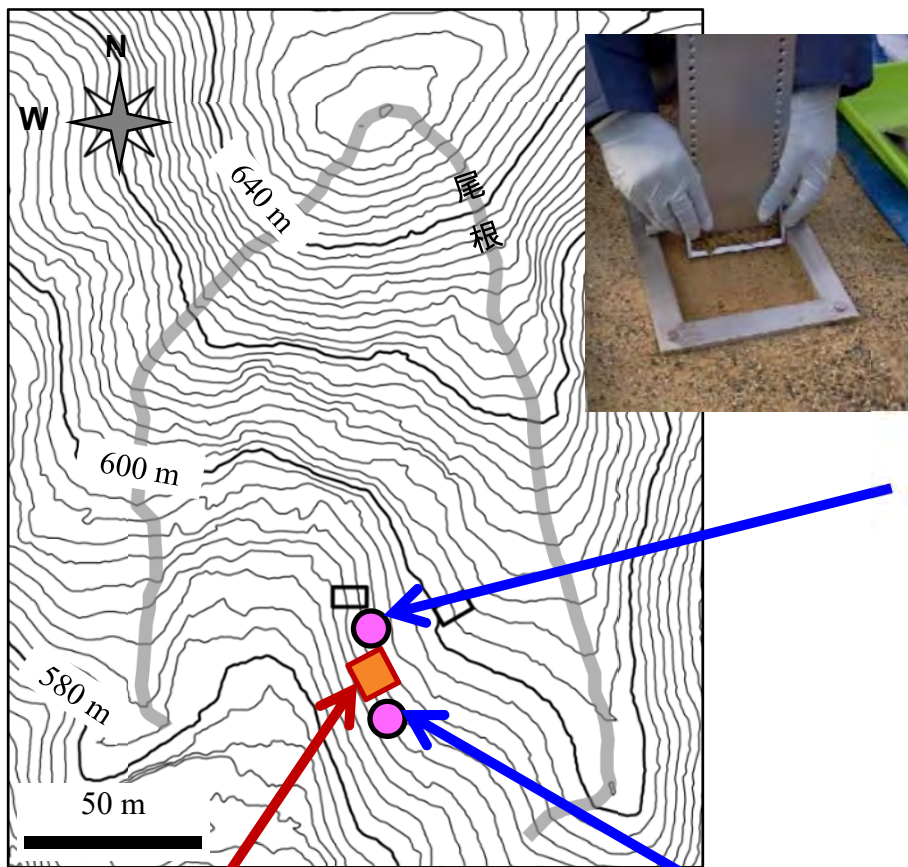
$$^{137}\text{Cs} \text{流出率} = \left(\frac{^{137}\text{Cs} \text{流出量 [Bq/m}^2\text{]}}{^{137}\text{Cs} \text{存在量 [Bq/m}^2\text{]}} \right) \times 100 \quad [\%]$$



モーガン型スプラッシュカップ (Morgan, 1978)

- ✓ 外径30 cm、内径10 cm (林床の露出面積約75cm²)
- ✓ 高さ 内側 2.5 cm 外側10 cm

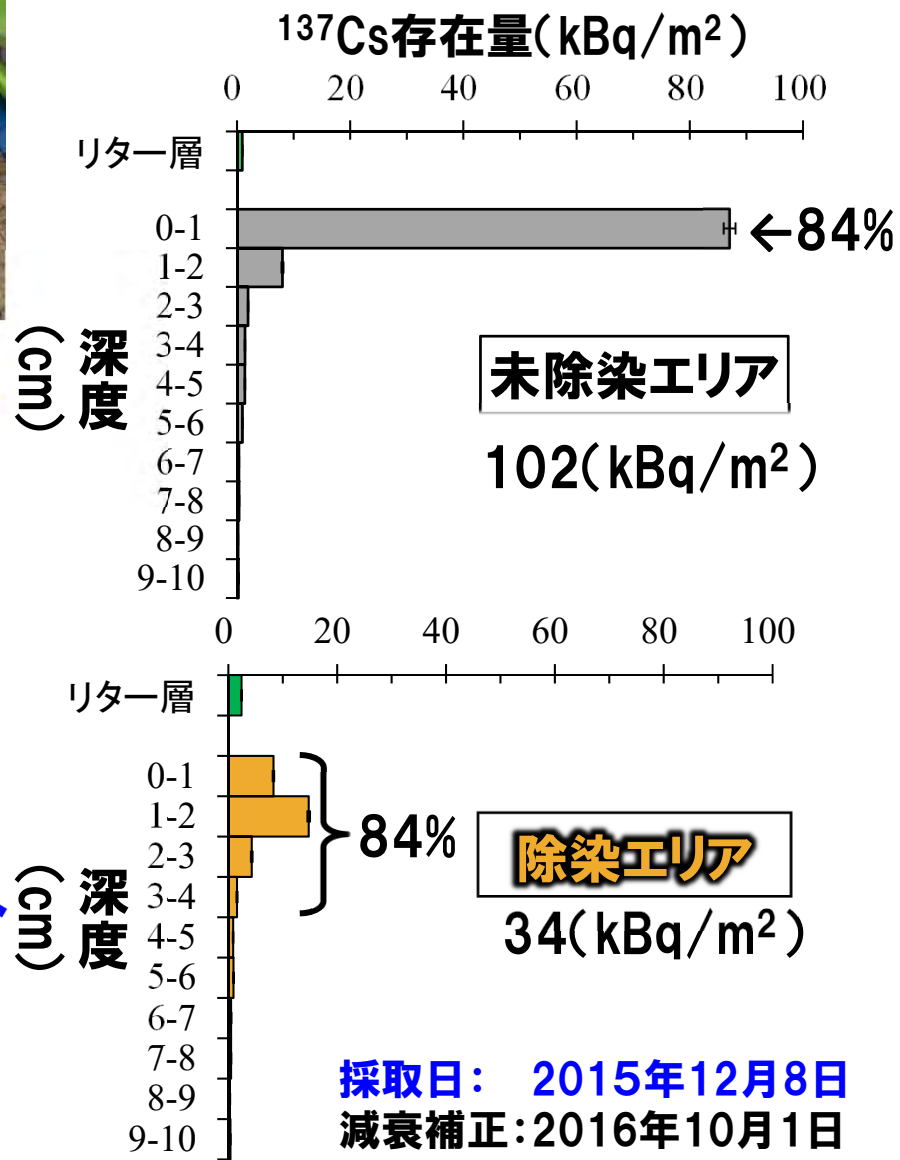
回収トレイ



**スプラッシュ
カップ**



スクレーパープレート土壌採取

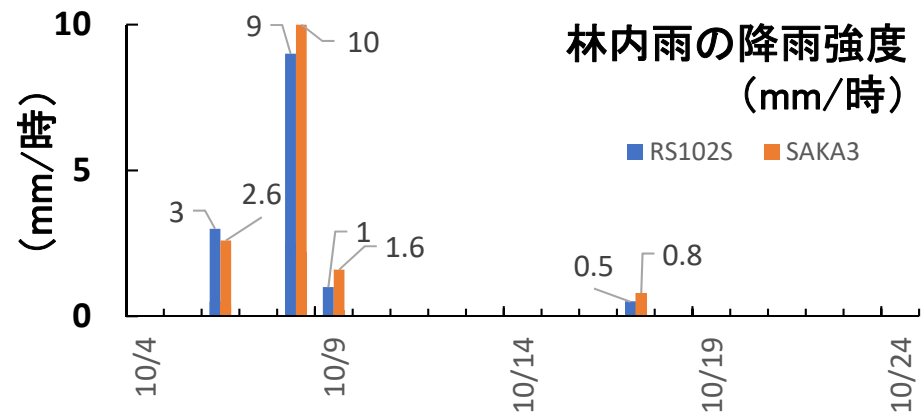


減衰補正:2016年10月1日

林床の状況		林床の被覆率	土壌の流出量	137Cs流出量	観測領域の137Cs存在量	137Cs流出率
除染エリア	下草除去 リター除去	5.1 %	21.2 g/m ²	710 Bq/m ²	33,929 Bq/m ²	2.1 %
	下草除去 リターあり	48.2 %	11.3 g/m ²	295 Bq/m ²		0.9 %
未除染エリア	下草あり リターあり	95.4 %	8.5 g/m ²	523 Bq/m ²	101,595 Bq/m ²	0.5 %

林内雨の降雨強度

- ✓ 10/6、8、9、17に降雨
- ✓ 10/8に最大約10 mm/時の降雨強度



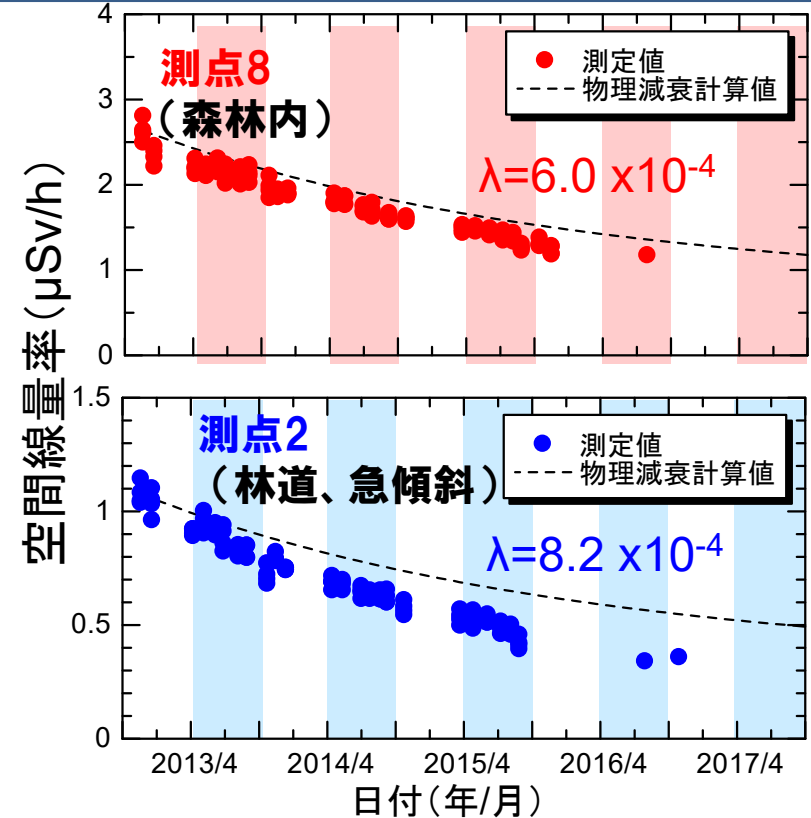
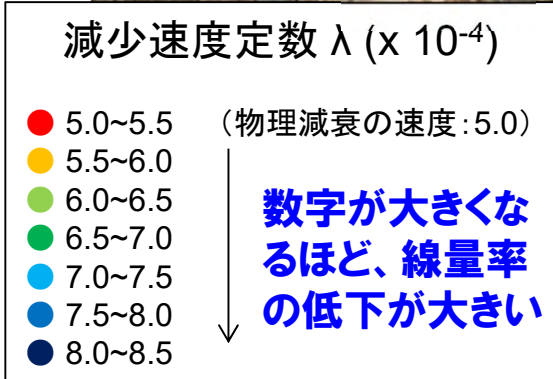
137Cs流出率

(下草除去+リター除去) > (下草除去+リターあり) > (下草・リターあり)

林床の被覆率が高い→流出率が小さい
 ※除染で表土が一部除去され、流出率の低下に寄与

空間線量率と減少速度定数の分布

- 2013年4月から2016年10月までの3年半の空間線量率測定結果を指数関数近似し、**減少速度定数(λ)**を解析評価。 $D = \alpha \times e^{-\lambda t}$ (D; 線量率、α; 測定開始時の線量率、e; 定数、t; 経過時間)



森林の存在と植生/地形の傾斜が空間線量率の変化に影響

- ✓ 標高の高い部分、植生のある緩傾斜の林道および森林内
⇒ 空間線量率が高く、減少速度が小さい (●、●、●)
- ✓ 標高の低い部分、植生のない急傾斜の林道
⇒ 空間線量率が低く、減少速度が大きい (●、●、●)

スギ立木の伐採調査(1/2)

①伐採木の選定と養生



②立木の伐採



③枝葉の採取



①伐採木の選定と養生



②立木の伐採

③枝葉の採取→粉碎し, 分析へ

④樹皮の採取→裁断し, 分析へ

⑤立木円板の採取
→みかん割り, 心材と辺材の分離, 分析へ

④樹皮の採取



樹皮の裁断



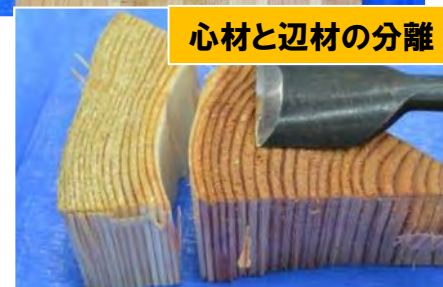
⑤立木円板の採取



立木円板のみかん割り



心材と辺材の分離

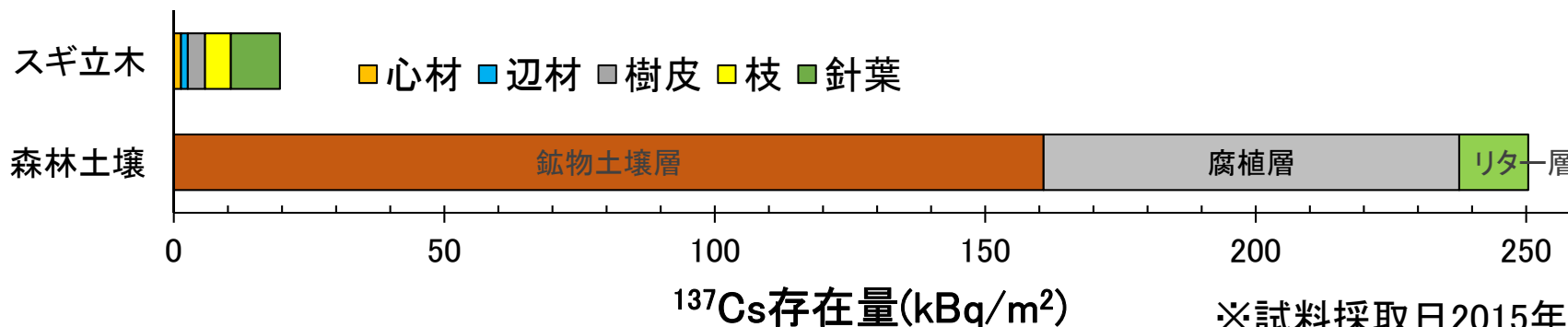
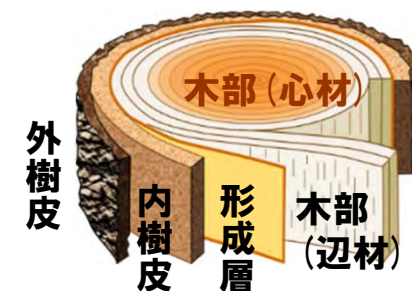




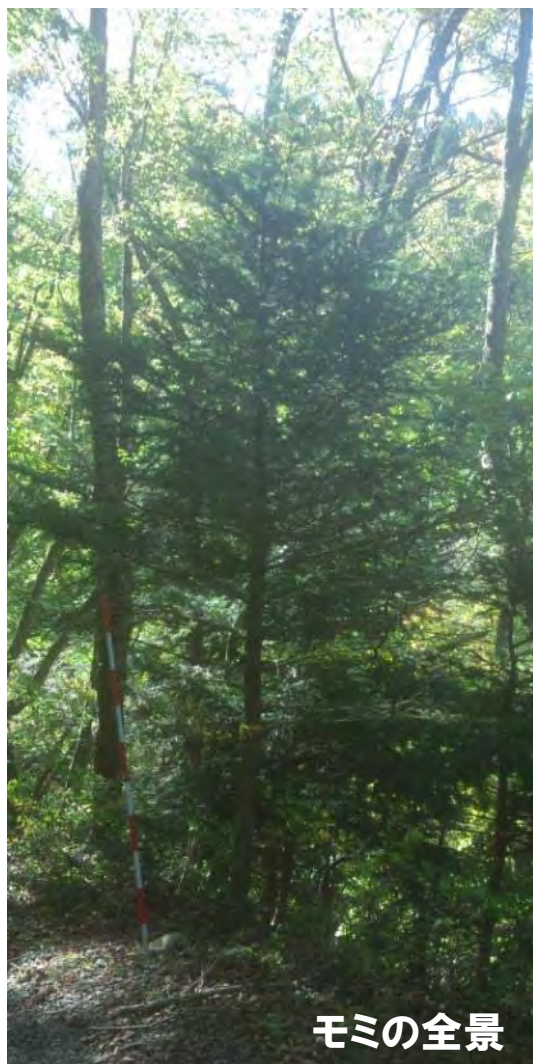
伐採地の状況

- スギ林分の毎木調査(立ち木密度、胸高直径)
- 頻度の高い胸高直径のスギを伐採し、試料を採取

- 地上部(スギ立木)と地下部(リター、土壌層)を比較すると、 ^{137}Cs は地下部で著しく多い
- 森林内の放射性セシウムは、地下部に大部分が存在(森林に存在する放射性セシウムの約9割)



※試料採取日2015年10月



モミの全景

本調査は、広島大学森林生態学
研究室との共同研究として実施



当年葉 : 当年(2016年)に展開した枝・葉
1年葉 : 1年前(2015年)に展開した枝・葉
○年葉 : ○年前に展開した枝・葉

<モミの特徴>

- 芽の痕跡と枝葉の配列から、葉の展開年を推定できる

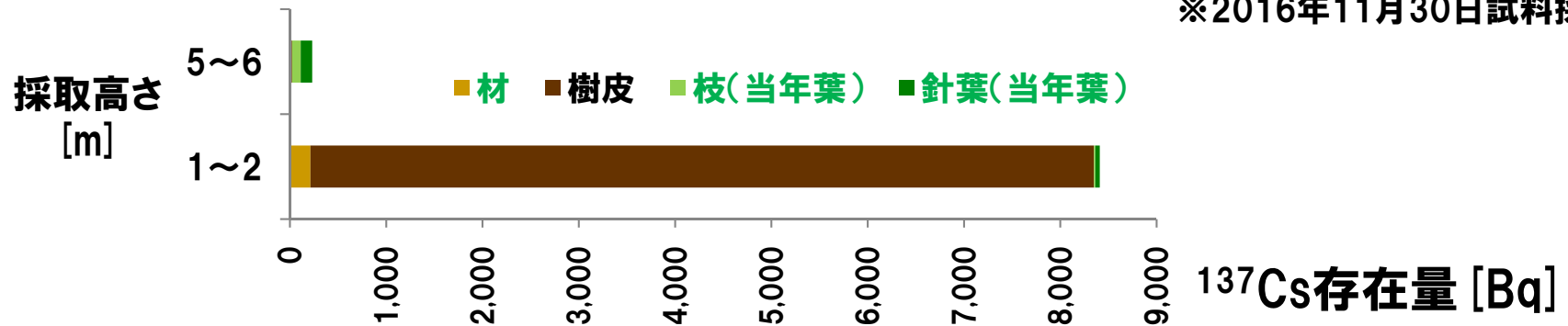
<調査方法>

- 低木層(高さ6m程度)のモミを採取
- 地面からの高さ1mごとに、樹皮、材、葉(※)を採取
※当年葉、1~5年葉(2011~2015年に展開した葉)、6年葉以前(2010年以前に展開した枝葉)に分けて採取
- 各部位の放射性セシウム濃度を測定

モミの放射性セシウム濃度(2/2)

採取高さ [m]	項目	樹皮	材	枝(当年葉)	針葉(当年葉)
5~6 m	Cs-137存在量 [Bq] ①×②	21.6	0.9	90.1	118.6
	Cs-137濃度 [Bq/kg] ①	1322	34	1567	1177
	乾燥重量 [kg] ②	0.02	0.03	0.06	0.10
1~2 m	Cs-137存在量 [Bq] ③×④	8134.9	214.1	13.5	47.4
	Cs-137濃度 [Bq/kg] ③	9841	75	934	734
	乾燥重量 [kg] ④	0.8	2.9	0.01	0.06

※2016年11月30日試料採取



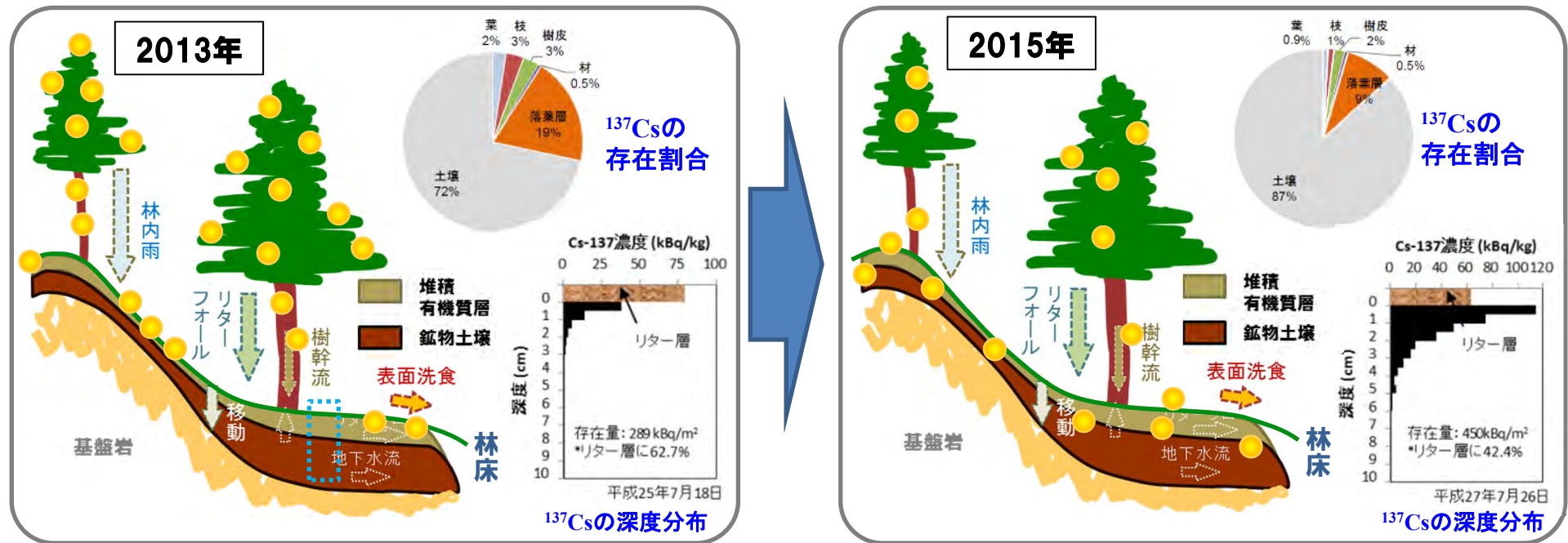
<¹³⁷Csの存在量>

➤ 先端部分(高さ5~6m): 樹皮 < 当年葉

⇒ 事故後に成長した枝の先端部分へ、放射性セシウムが移動している可能性

➤ 高さ1~2m: 樹皮 >> 材、枝葉

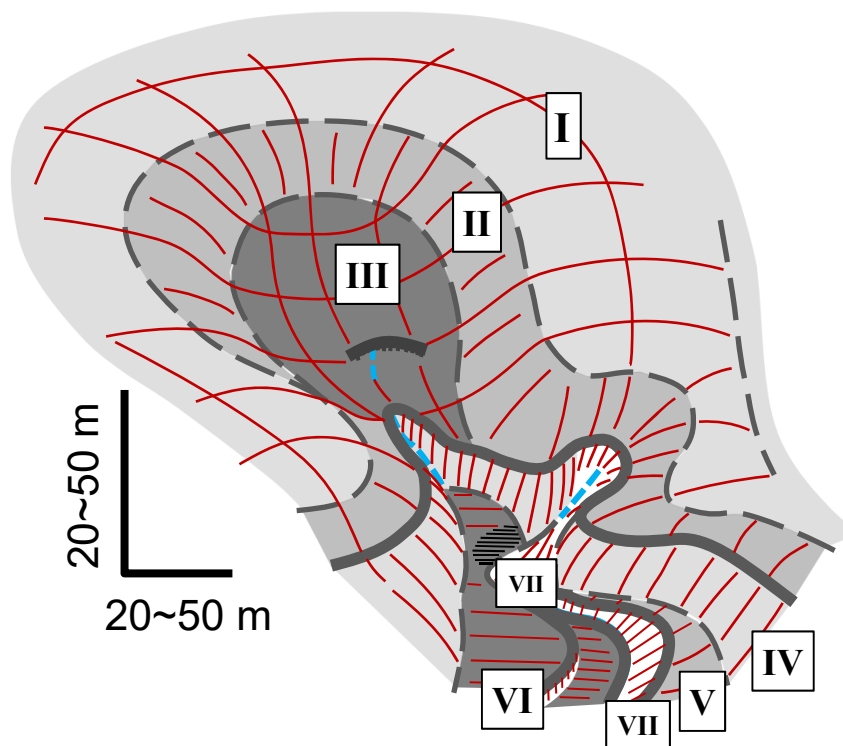
⇒ 事故時に樹皮へ放射性セシウムが沈着したことを示唆



- 林内雨と樹幹流の放射性セシウム量は減少傾向、ただし樹幹流は鈍化
- リターフォールの放射性セシウム量は横ばいか減少傾向
- 放射性Cs流出率は0.01~0.1%(ただし、除染地では増加) →シンクとして振る舞う傾向
- 森林内の放射性セシウムは、大部分が地下部(リター層、土壌層)に分布
- 土壌中の放射性Cs濃度は時間とともに増加、リター中の存在割合は時間とともに減少
→リターから土壌への移行が進行
- 深度方向への放射性セシウムの移動により、今後、森林からの放射性セシウム流出は減少していく見込み

- ・ 平成27年度森林内の放射性物質の分布状況調査結果について(林野庁, 平成28年3月25日)
- ・ 平成27年度原子力機構委託研究成果報告(筑波大学), Niizato et al. (2016), J. Environ. Radiact., vol.161, 11-21.

- **森林**: 森林斜面からの放射性セシウムの流出は著しく少ない。森林内に留まる傾向。林床が落葉落枝で被覆されていることがポイント。地上部(樹木)よりも地下部(リター層、土壤層)に大部分が分布



River investigation



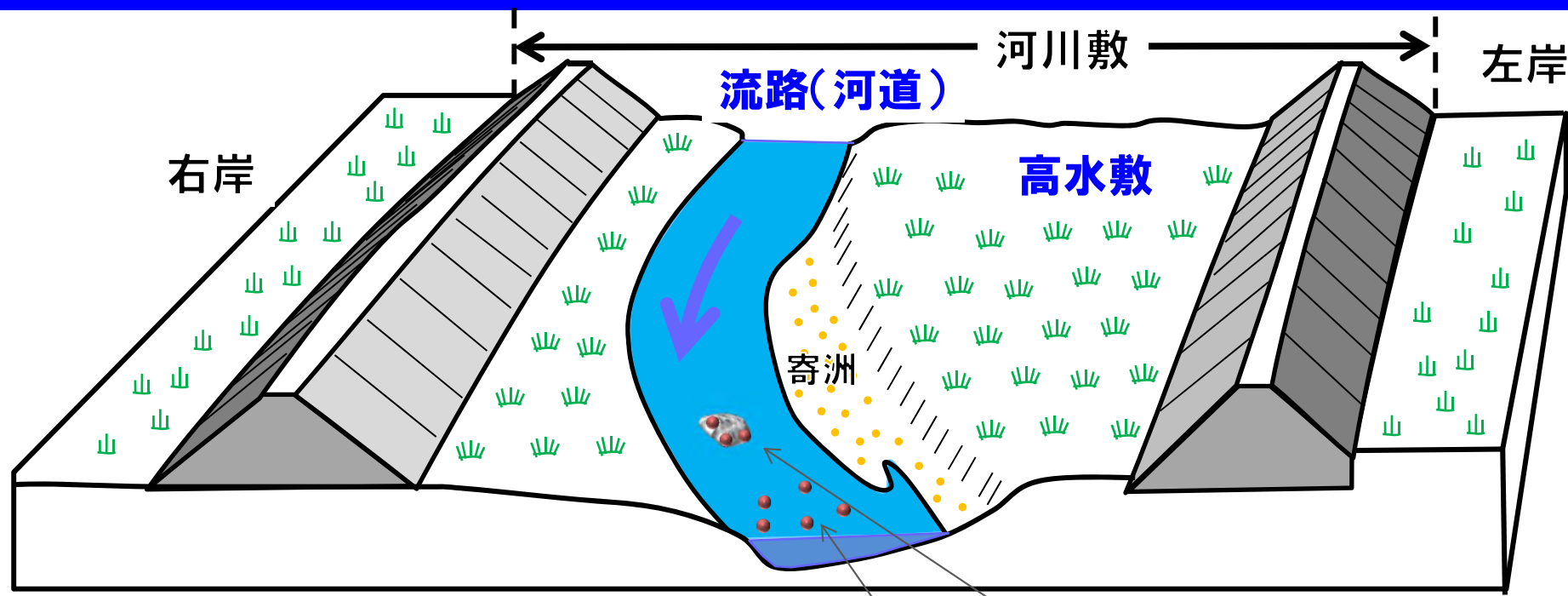
***Kuma River,
Okuma Town
(upstream)***



***Ukedo River, Namie Town
(middle stream)***



***Odaka River,
Minami-soma City
(downstream &
river mouth)***



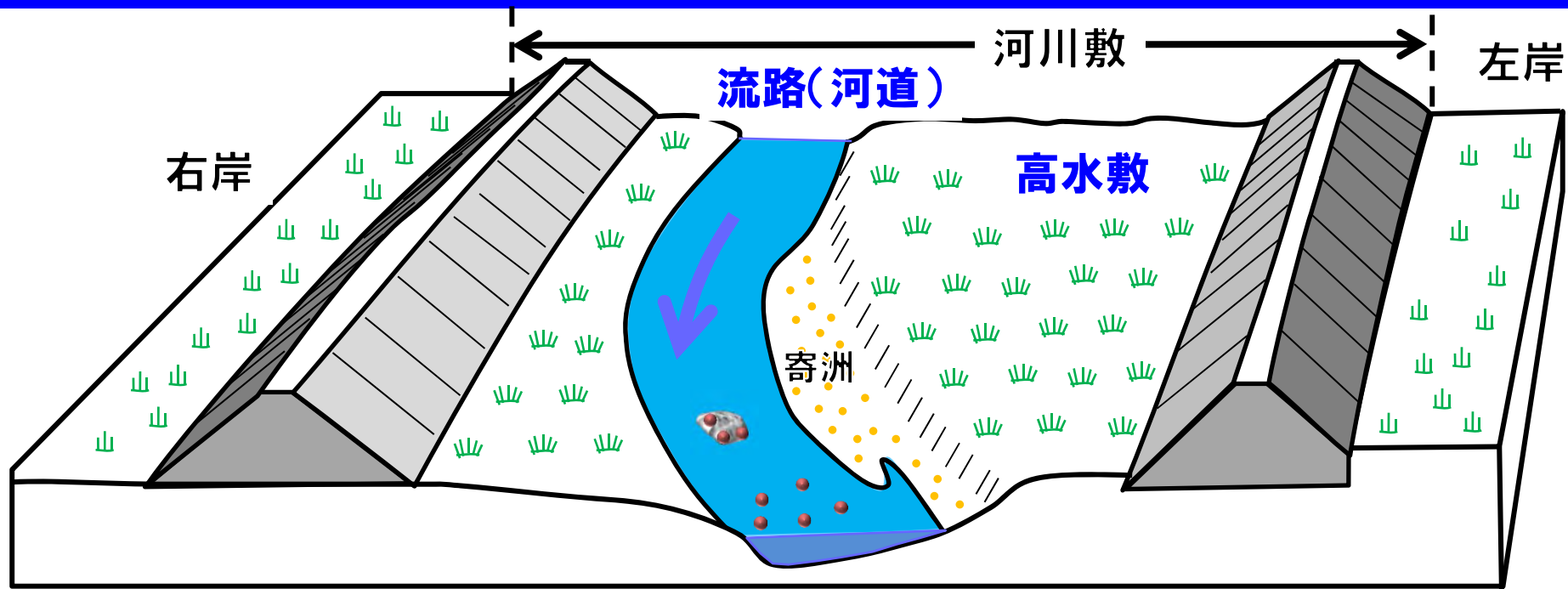
放射性セシウムの形態

懸濁態(粒子態): 川の濁りの元となる微粒子(浮遊懸濁物質)に吸着された状態

溶存態: イオンのように、水に溶けている状態

- 平水時(左)では陸だった高水敷が、高水時(右)では水に浸かっています。また、高水時には川の濁りも増えていることが分かります。(小高川)

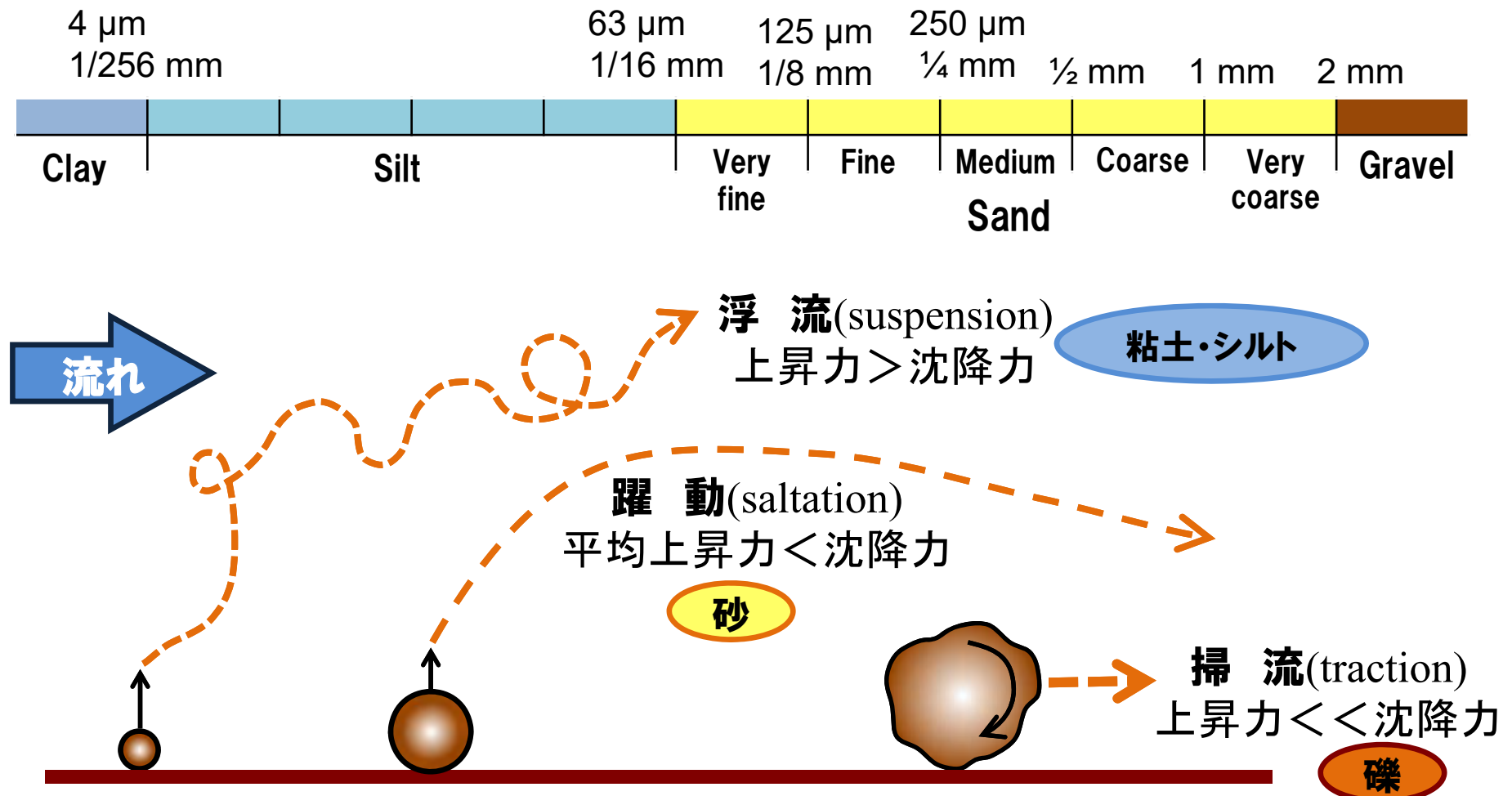
河川の地形(人工堤防がある場合)と放射性セシウムの挙動



堆積物粒子の運搬様式

□ 堆積物の粒子の大きさ(粒径)

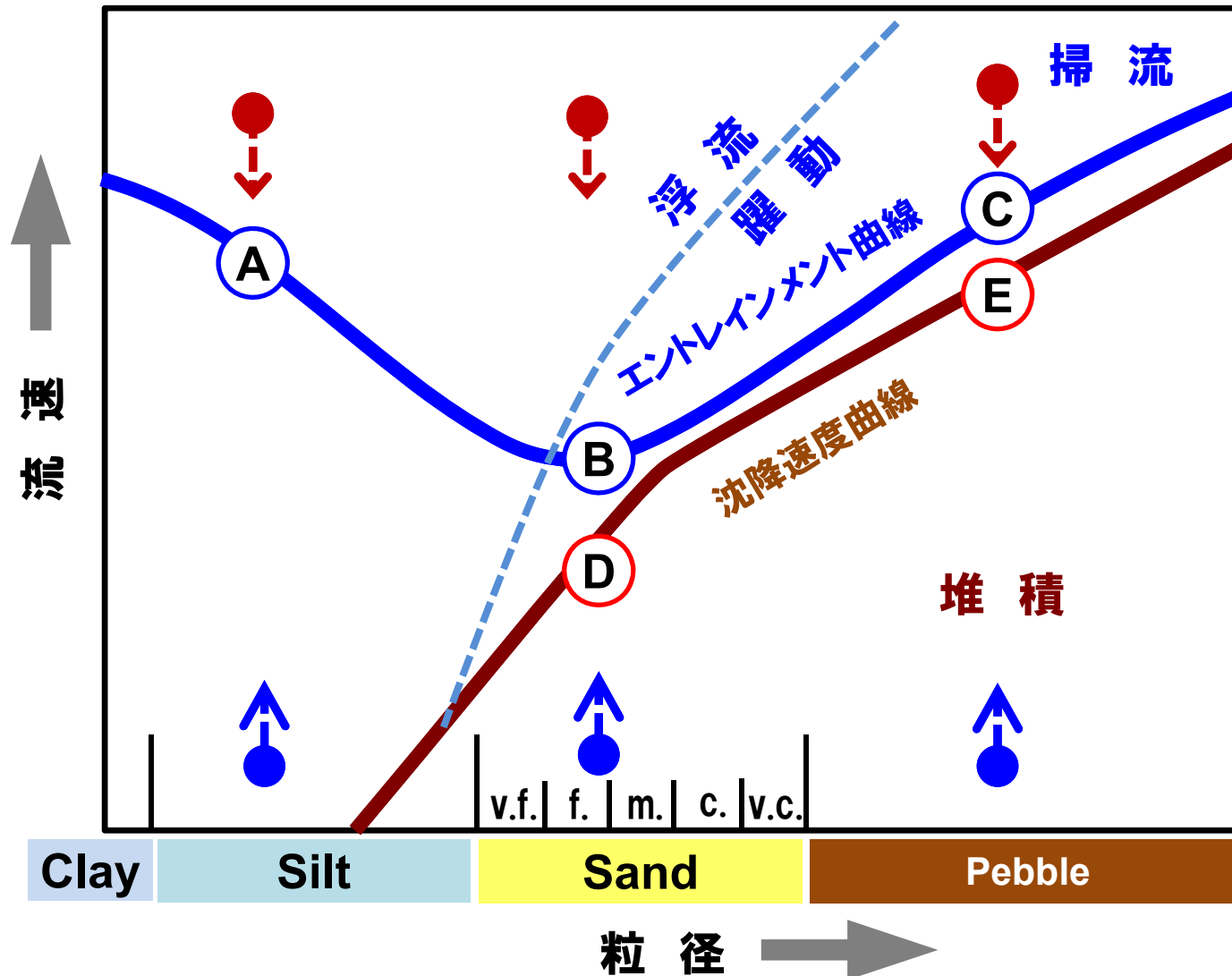
粒径により, 水流に対する振る舞いが異なる



粒子の移動を開始させる“流速(※)”と“粒径”の関係

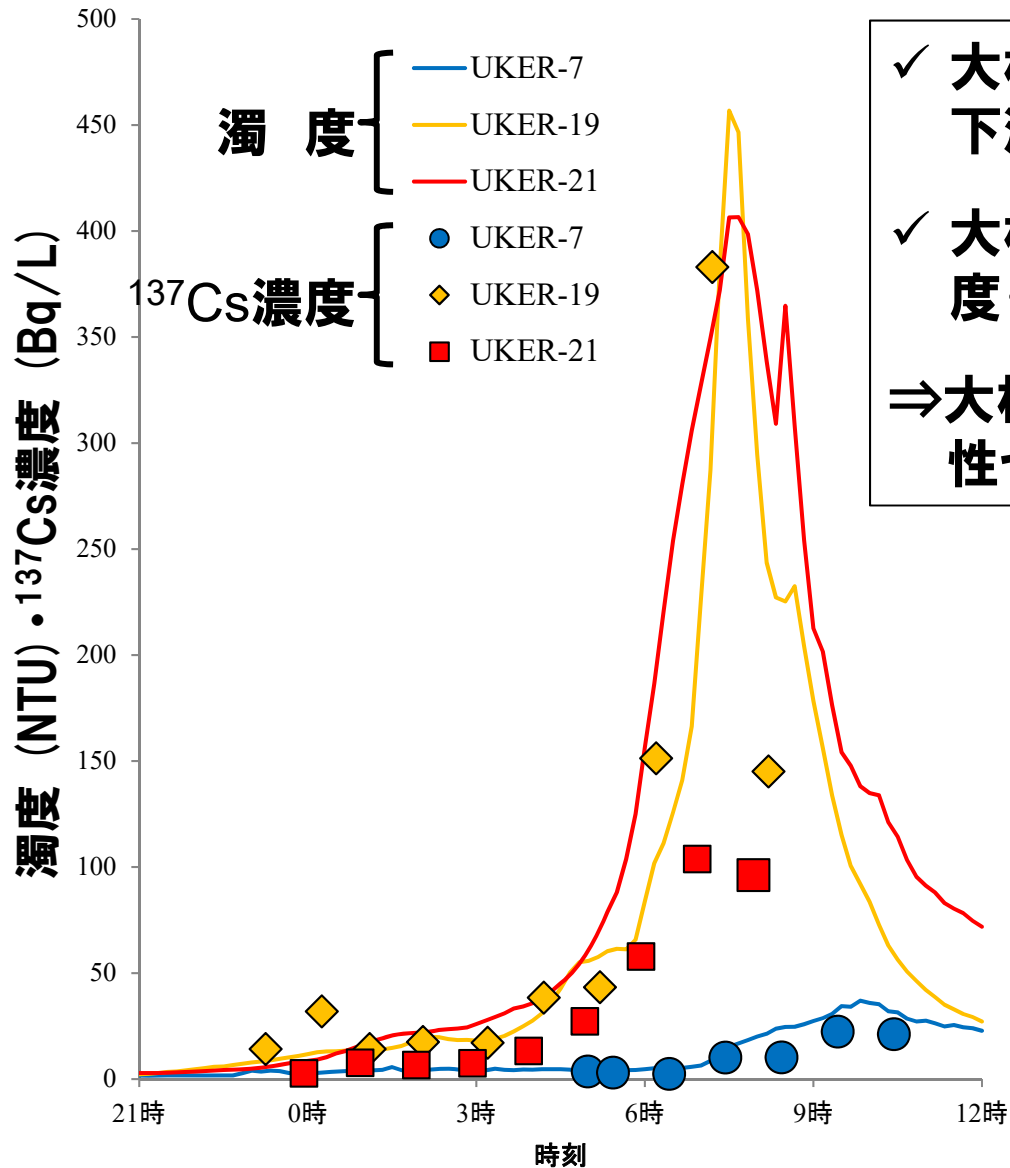
Hjulstrom - Sundborg ダイアグラム

(※) 移動限界流速(critical velocity)
or 限界流速(threshold velocity)

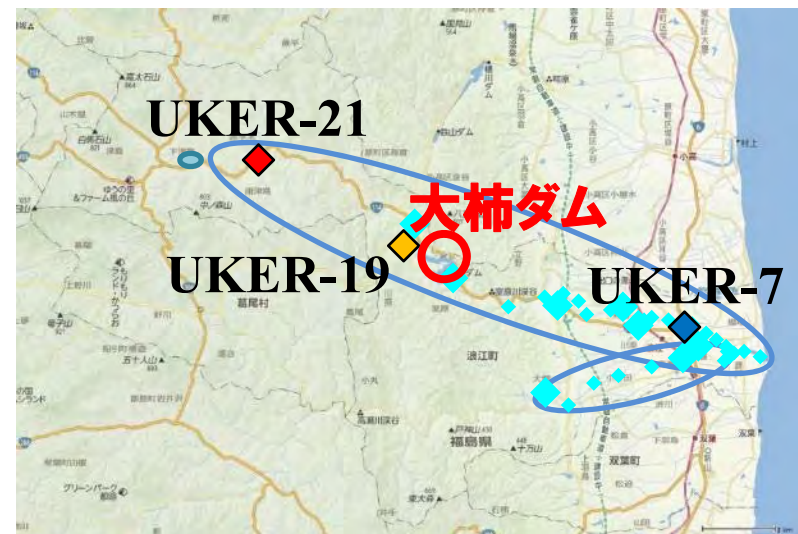


河川水の濁度と放射性セシウム濃度(請戸川)

2014年6月28～29日豪雨(津島観測点:99 mm)



- ✓ 大柿ダム上流(UKER-19, 21)に比べて下流(UKER-7)は2時間以上遅いピーク
 - ✓ 大柿ダム上流に比べて下流は土砂濃度・放射性セシウム濃度が一桁低い
- ⇒大柿ダムにより土壌粒子に吸着した放射性セシウムの移動が抑制



※懸濁態が容器底に沈んだ状態で放射能測定を行っているため、Cs濃度は高めの値になっています。

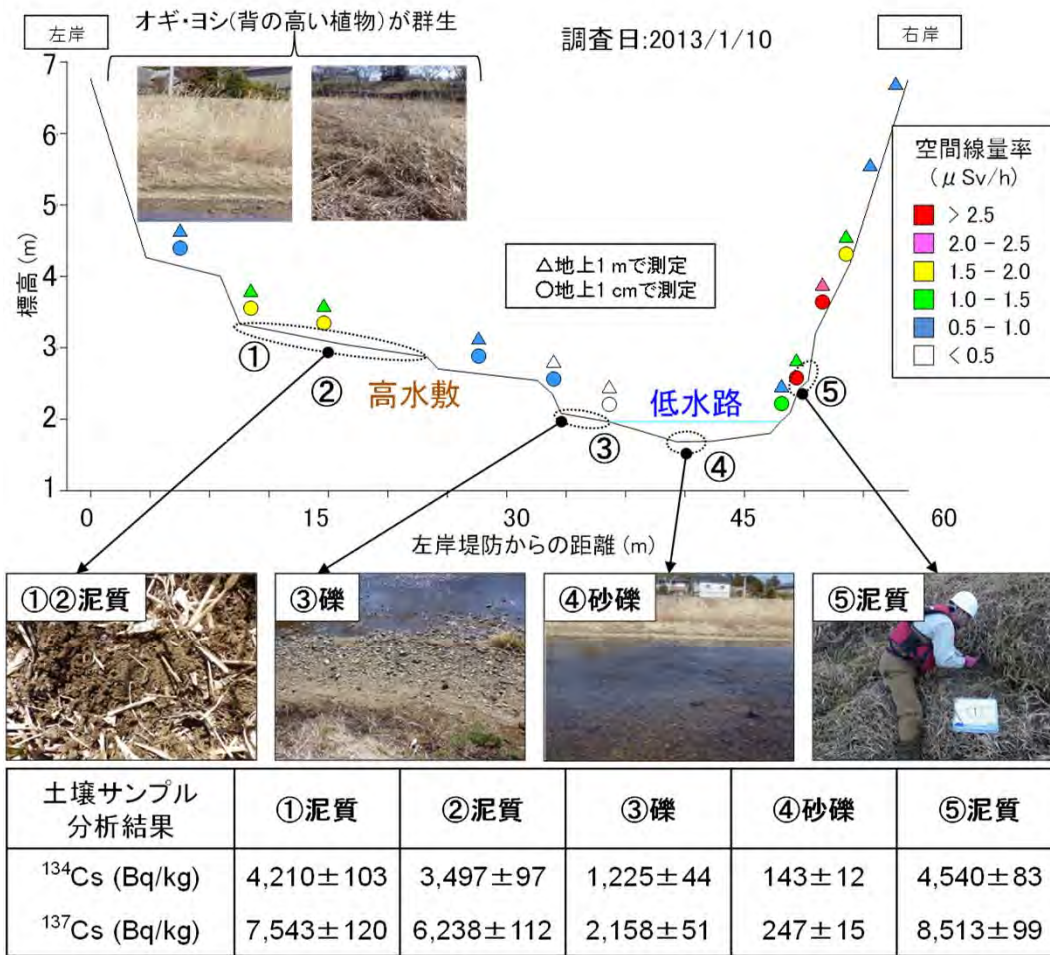


図1 空間線量率分布と土壌の堆積状況及び土壌サンプルの放射性セシウム濃度分析結果(小高川の河口から約4.5 kmの調査地点の例)

河川敷において、空間線量率は、堆積環境により一様ではなく不均質に分布していることが分かります。また、放射性セシウムは泥質(①②⑤)に多く含まれており、砂礫や礫(③④)には少ないことが分かります。

Saegusa et al., 2016, J. Environ. Radiact., vol.164, 36-46.

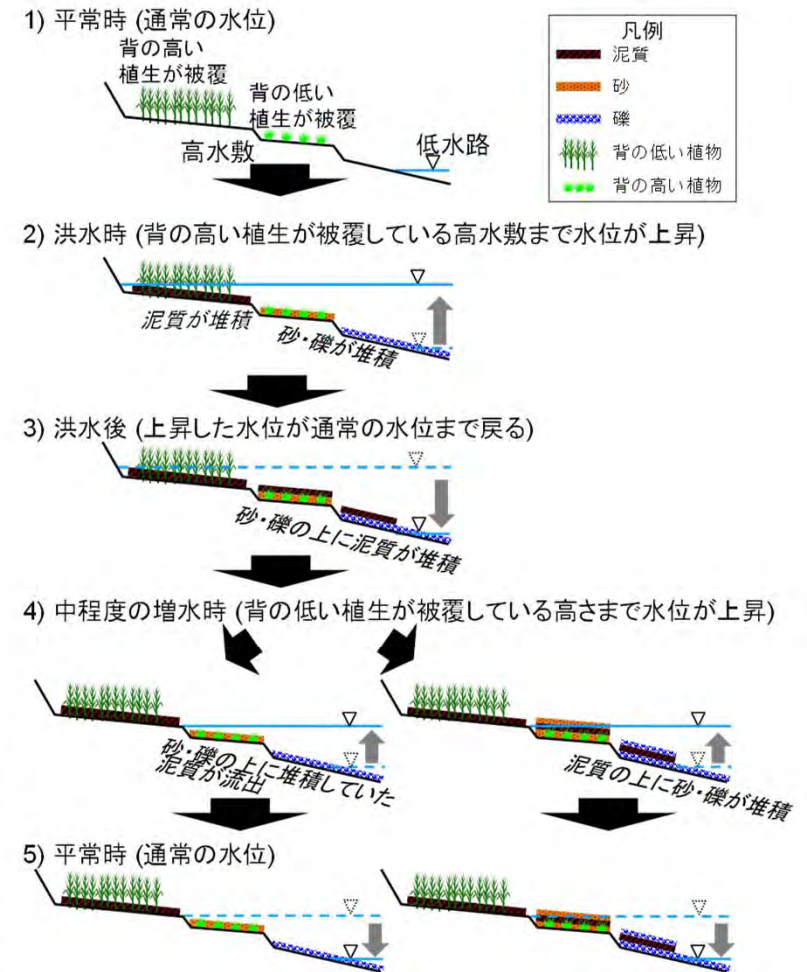
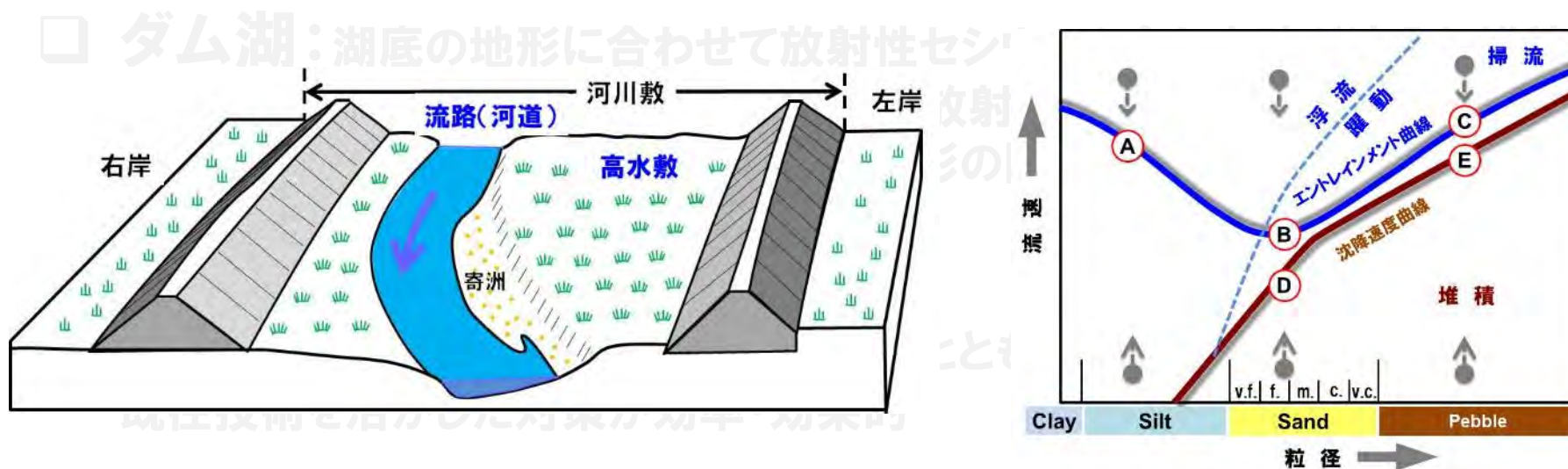


図2 放射性セシウムの堆積・輸送メカニズムの概念モデル

福島県が観測している降雨と河川水位のデータから、年に1回程度、台風時に高水敷まで到達するような水位上昇が発生しています。また中程度の増水についても年に10回程度発生していることが分かっています。

- **河川**：高水時に放射性セシウムの大部分が移動するものの、河川地形に応じて侵食・運搬・堆積の状況が異なる。土壌粒子の粒径、流速、河川敷と河川水位、上流部の放射性セシウム蓄積量との関係が重要



Dam lake investigation



Ogi dam lake, Kawauchi

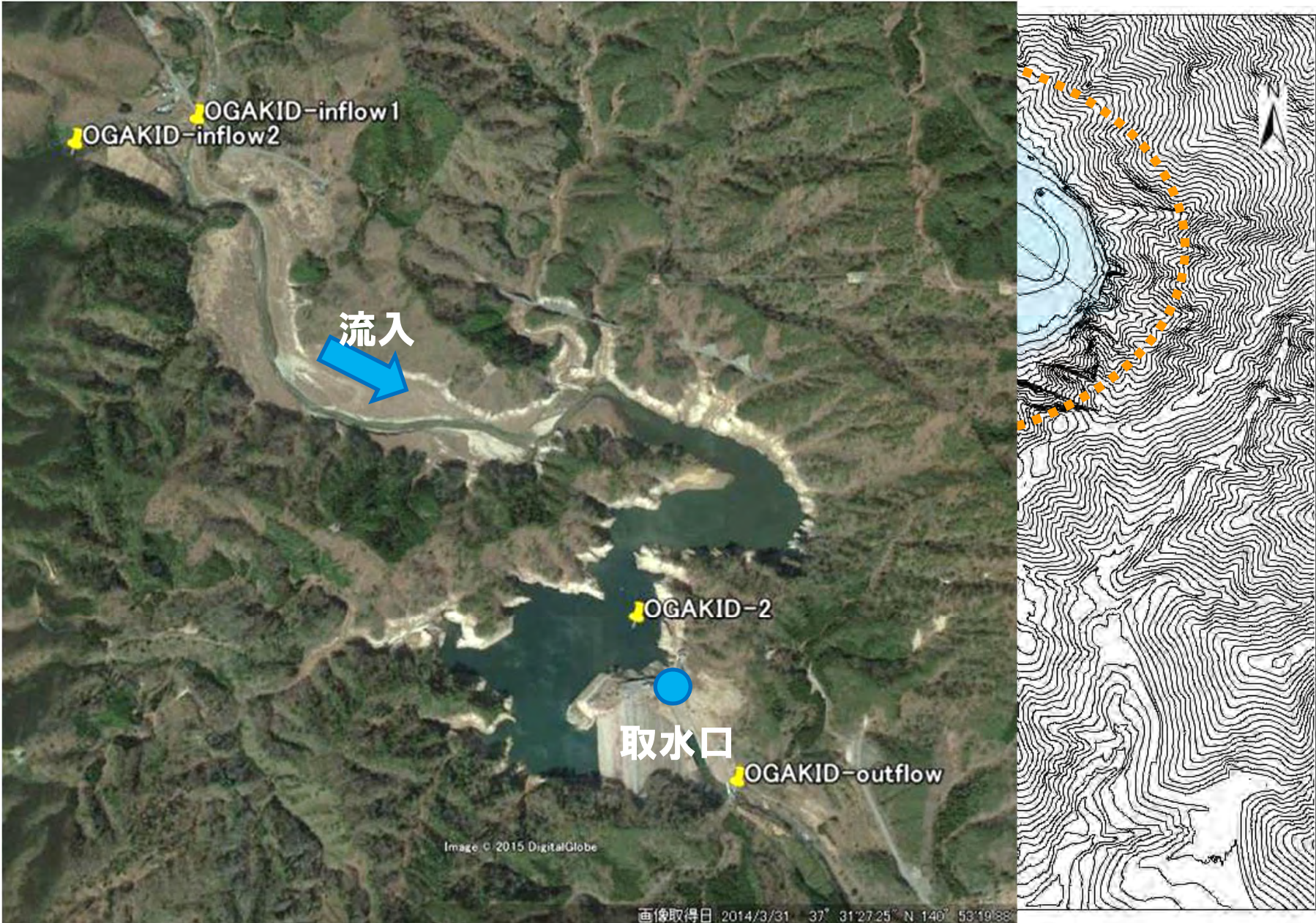


*Takikawa dam lake,
Tomioka Town*

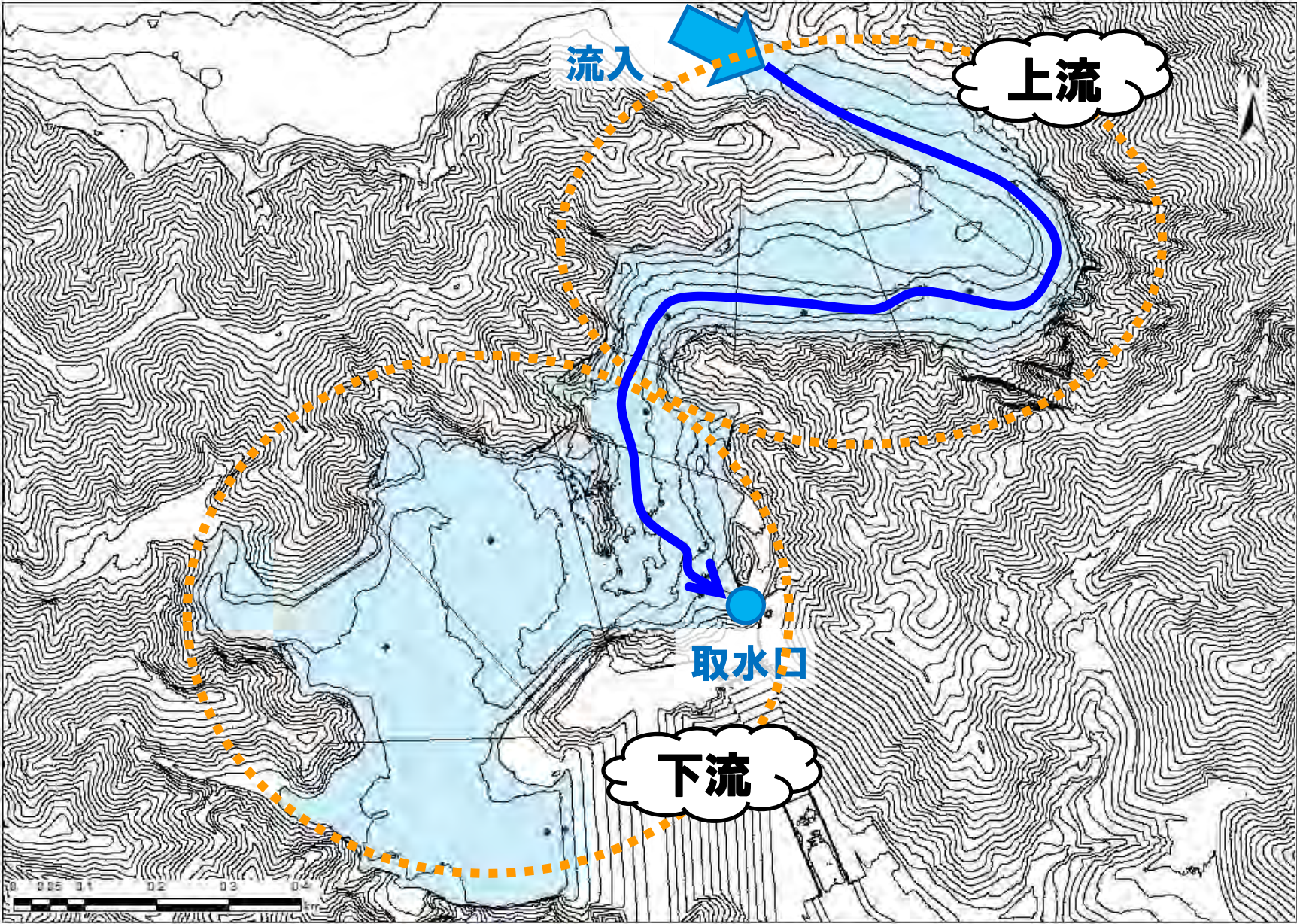


Ogaki dam lake, Namie Town

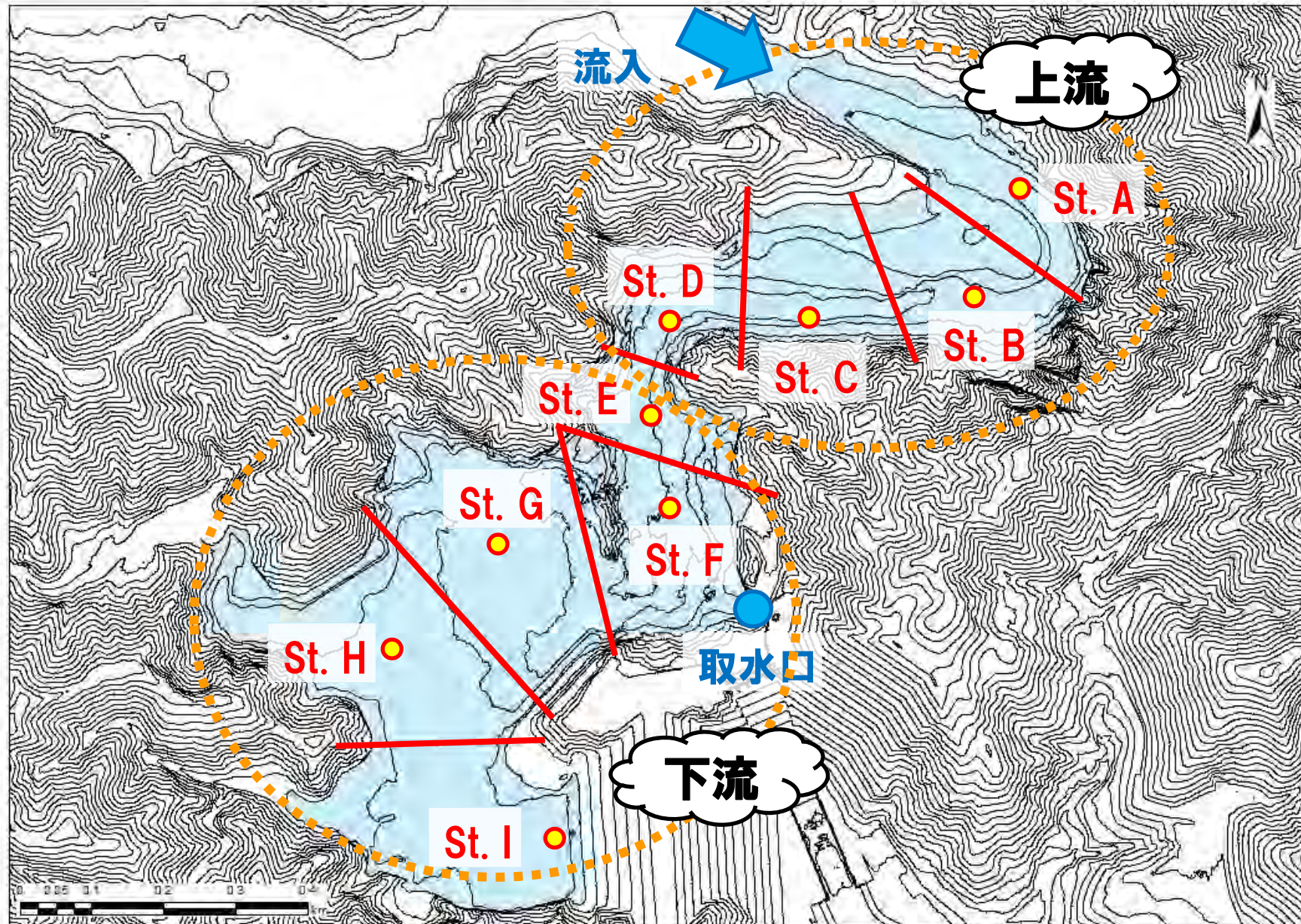
湖底地形と試料採取地点(大柿ダム湖の例)

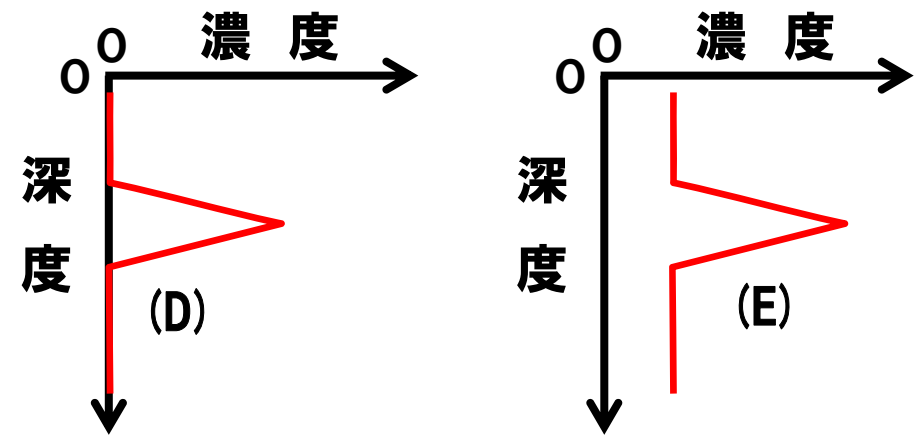
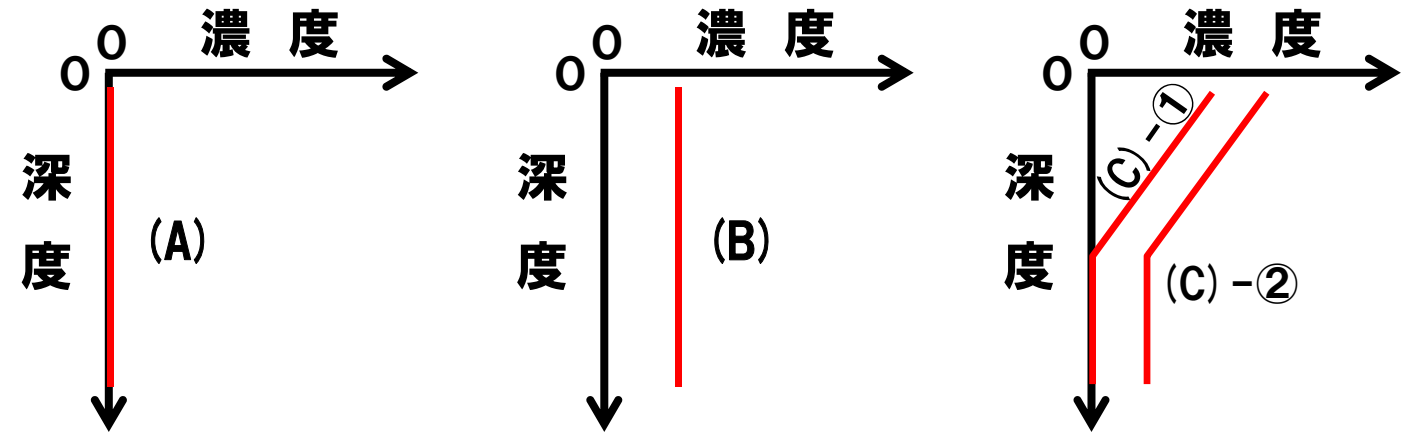


湖底地形と試料採取地点(大柿ダム湖の例)

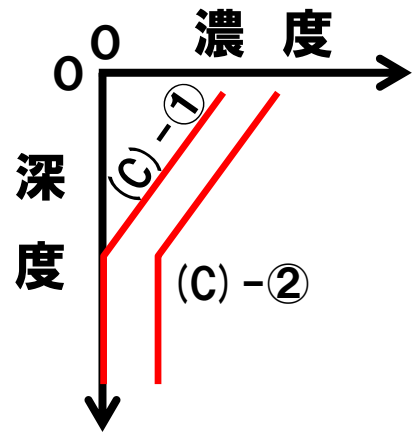


湖底地形と試料採取地点(大柿ダム湖の例)





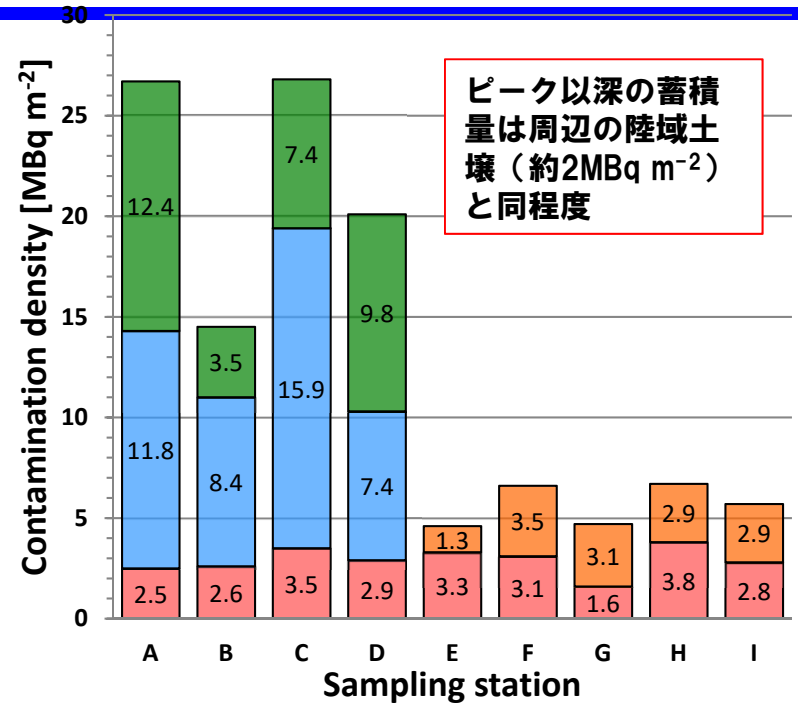
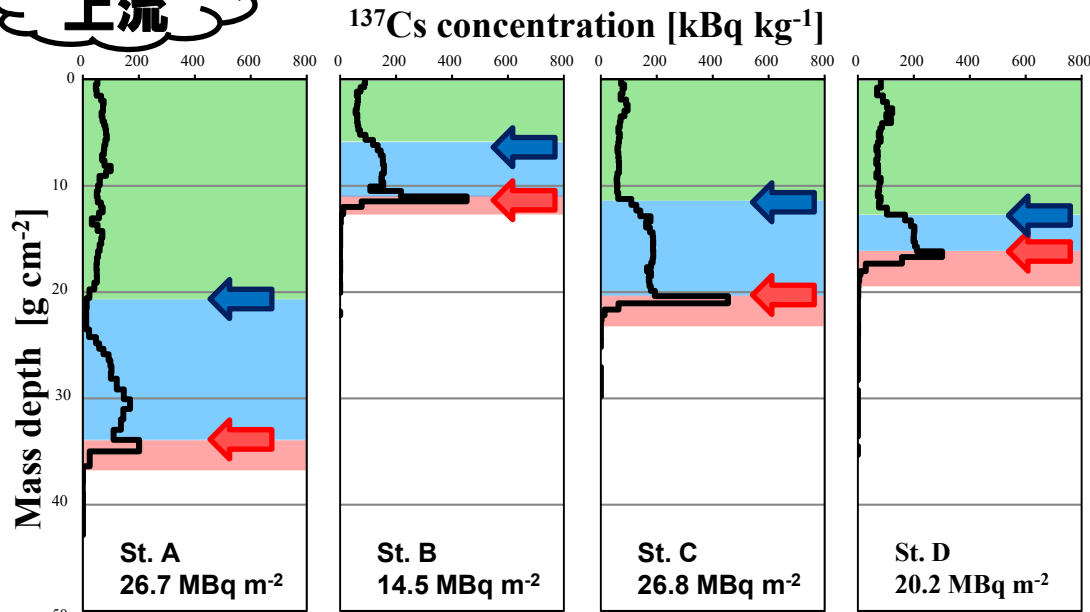
— 元素や物質の濃度



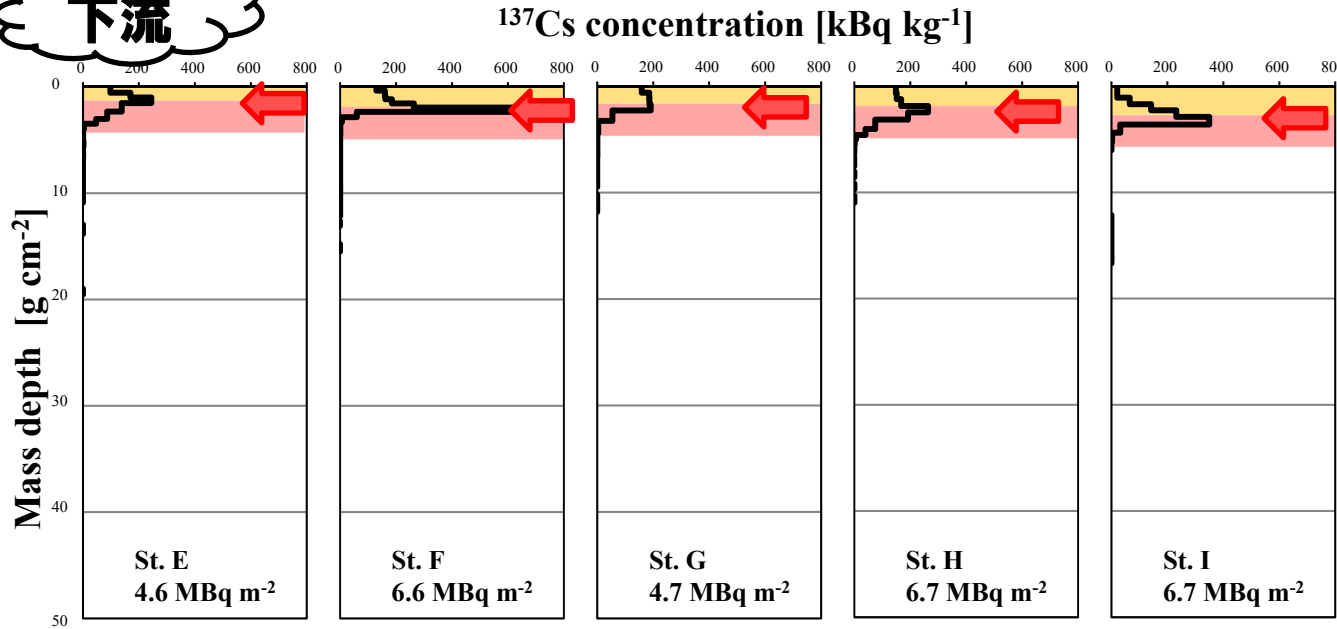
- (A) : 自然界に全く存在しない
- (B) : 定常的に含まれる
- (C) -①: 自然界に存在しないが、ある時期から人為的に生成され含まれ、その後も増加
- (C) -②: 定常的に含まれるが、自然環境の変化や人為的影響により、ある時期から増加し始める
- (D) : 自然界に存在しないが、ある期間のみ人為的に生成され、含まれた
- (E) : 定常的に含まれるが、自然環境の変化や人為的影響により、ある期間のみ生成され、含まれた

ダム湖底質における放射性Csの深度分布(大柿ダム湖)

上流



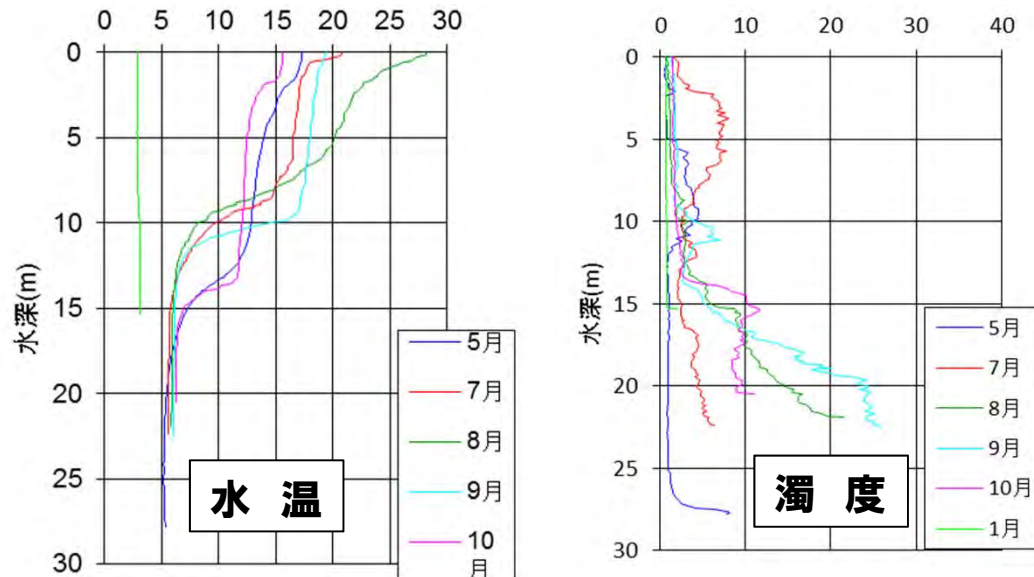
下流



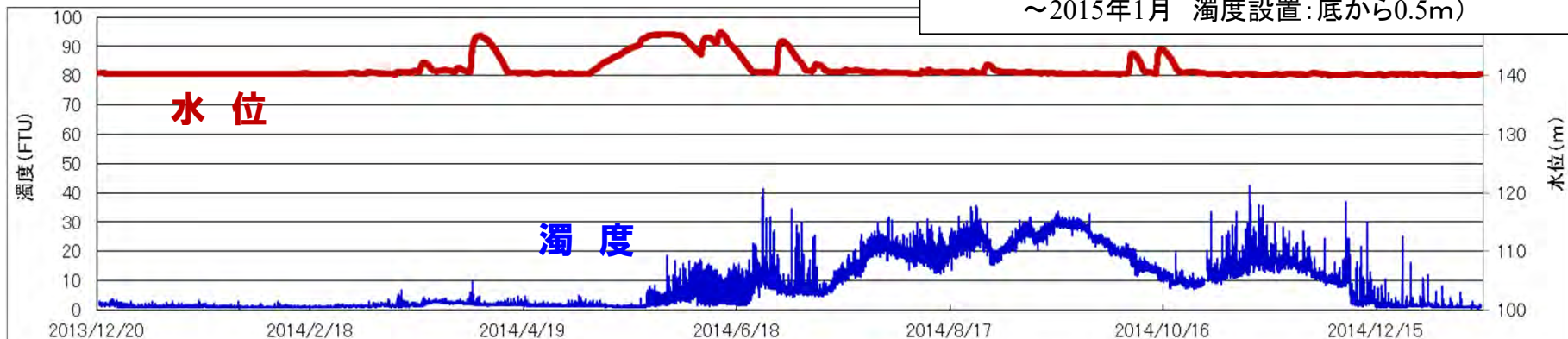
- 下部に¹³⁷Cs濃度の顕著なピークが認められる。
⇒事故初期(2011.3)
- 上流側では、¹³⁷Cs濃度の顕著な変化が認められる。この濃度変化が認められる層準には粗粒堆積物が挟在する。
⇒事故後の最も顕著な出水イベント時に形成(2011年9月台風15号)

平水時における濁度の推移(大柿ダム)

大柿ダム水質計測結果(St.2: 2014年5月-2015年1月)

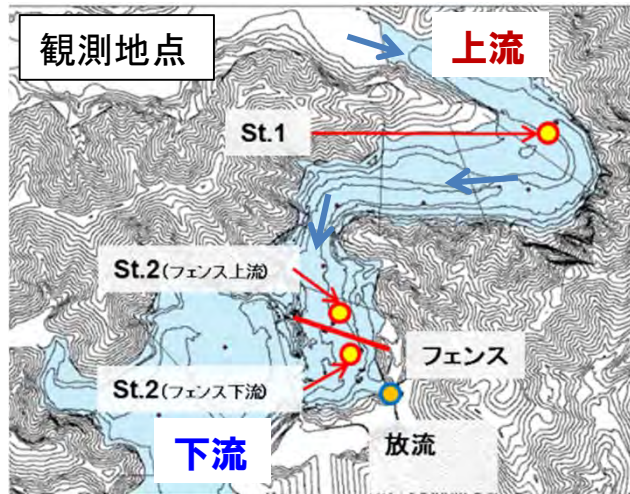


低層部における水位・濁度の経時変化(2013年12月
~2015年1月 濁度設置:底から0.5m)

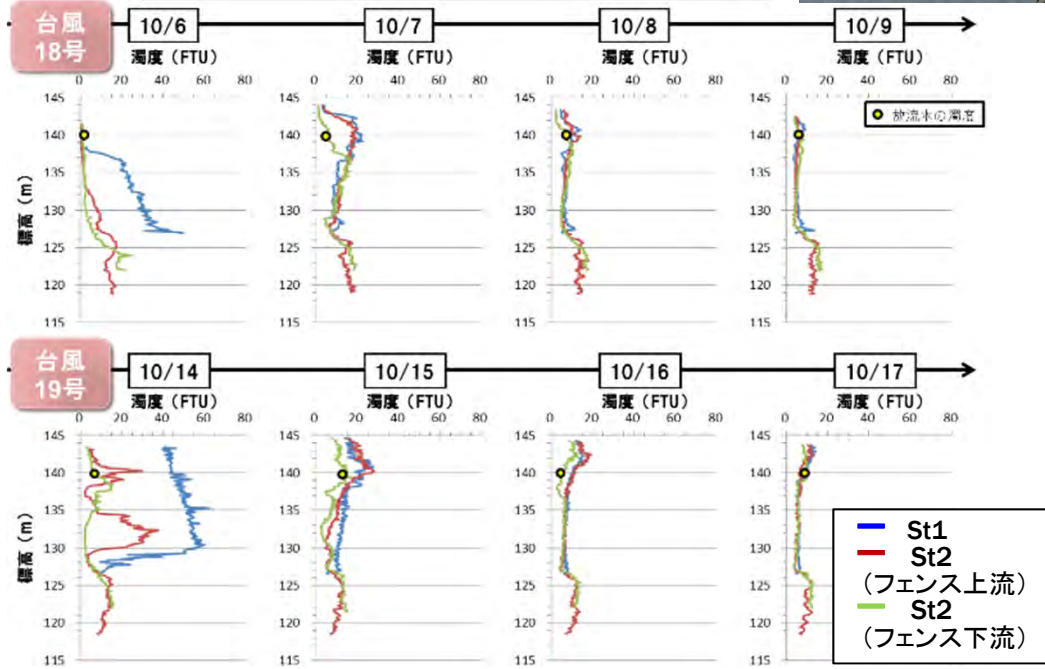


- 観測地点の水深が深いため夏季に強い水温躍層が形成される。
- 夏季(8,9月)における低層部の濁度は、10m以深から徐々に高くなる傾向を示した。
- 5月から11月までの低層部の濁度は継続的に高く、変動も大きく、長期的に濁水が滞留する環境が形成されていた。

高水時における濁度・流速の推移(大柿ダム湖)



高水時の濁度の鉛直分布



- ◆台風時の流速分布
 - 上流部: 深いところで流速は速い。
 - 下流部: 深いところで流速は遅い。
- ◆台風時の濁度分布(左図)
 - 上流部(青・赤線): 表面付近で濁度が上昇
 - 下流部(緑線): あまり上昇しない
 - 台風時でも湖底付近の流速は遅く、濁度の上昇はない
 - シルトフェンスによって、浮遊懸濁物質の移動が抑制されている可能性

コンテンツと簡単なまとめ

- **森 林**：森林斜面からの放射性セシウムの流出は著しく少ない。森林内に留まる傾向。林床が落葉落枝で被覆されていることがポイント。地上部(樹木)よりも地下部(リター層、土壌層)に大部分が分布

- **河 川**：高水時に放射性セシウムの大部分が移動するものの、河川地形に応じて侵食・運搬・堆積の状況が異なる。土壌粒子の粒径、流速、河川敷と河川水位、上流部の放射性セシウム蓄積量との関係が重要

- **ダム湖**：湖底の地形に合わせて放射性セシウムを含む土砂が流入し堆積する。ダム湖からの流出は少ない。湖水の放射性セシウム濃度は著しく低い。河川の流入口や放流口、濁度と湖底地形の関係がポイント

- **まとめ**：
 - ✓ 環境中での振る舞い、自然が本来持つ機能を理解し生かすこと
 - ✓ 既設の構造物の特性や既往技術を活かした対策を考え出すこと



環境動態研究等で得られた知見

帰還に向けた住民の方々の放射線や放射性物質への不安に答えるため、環境動態研究等で得られた科学的知見を階層Q&A形式で整理しました。

放射性物質と
空間線量率

被ばく線量
評価

環境動態
研究

ご覧になりたい情報を選択してください。

<http://fukushima.jaea.go.jp/QA/>

環境動態研究等で得られた知見を階層Q&A形式で整理

森林における放射性セシウムに関する知見の整理

森林用語解説
森林生態系への影響

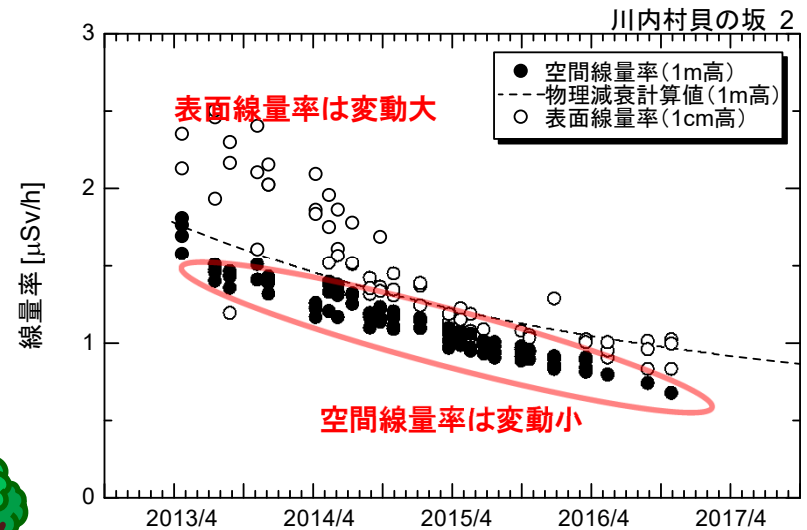
森林内外の移動

- Q3-1 放射性セシウムはどんな土地利用の場所に、どれくらい蓄積しているのか。
- Q3-2 放射性セシウムは、森林などからどれくらい放出されるのか。海にどれくらい放出されているのか。
- Q3-3 放射性セシウムは森林内のどこにどれくらい蓄積しているのか。時間とともにどう変わるのか。
- Q3-4 雨の日に空間線量率が上昇するのはなぜか。
- Q3-5 (①-④) 雨が降ると、森林から放射性セシウムは土砂とともに流出するのではないか。
- Q3-6 (①-④) 風が吹くと、森林から放射性セシウムが風に乗り飛散するのではないか。
- Q3-7 (①-④) 放射性セシウムが地表から地中、地下水へ移動するのではないか。
- Q3-8 (①-④) 森林内の放射性セシウムは、樹木から地表へどのように移動するのか。
- Q3-9 森林から放射性セシウムを含む花粉が飛散し、人体に影響を及ぼすのではないか。
- Q3-10 森林からの放射性セシウム流出によって、今まで汚染されていなかったところが汚染されるのではないか。
- Q3-11 樹木内の放射性セシウム濃度は時間とともにどう変化しているのか。徐々に根から吸収されるのではないか。
- Q3-12 森林内の空間線量率は、時間とともにどのように変化しているのか。
- Q3-13 樹木内の放射性セシウム濃度は、時間と共に増加し、材木にならないのではないか。
- Q3-14 将来、森林内の作業でどれくらい被ばくするのかわかるのか。それを低減する方法はあるのか。
- Q3-15 山地森林に沈着した放射性セシウム濃度は、樹高や場所によって変わるのか。
- Q3-16 現在、福島県内の野生キノコ、山菜の放射性セシウム濃度はどの程度か。

Q3-10 森林からの放射性セシウム流出によって、今まで汚染されていなかったところが汚染されるのではないか。

- 森林からの土砂や枝葉等の流出によって、表面線量率が一時的に高くなることはありますが、空間線量率の変動には影響しない程度です。

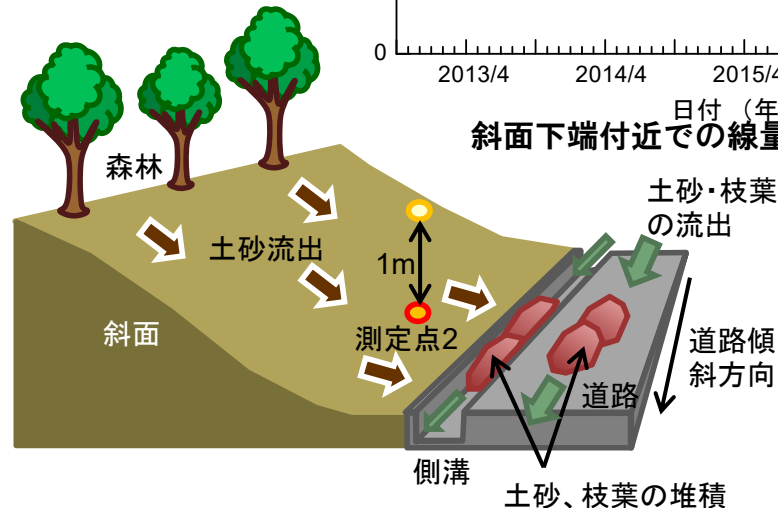
- 福島県川内村における調査事例では、側溝等に一時的に溜まった土砂や枝葉等に付着した放射性セシウムが原因の一つと考えられる表面線量率(1cm高)の変動が認められます。
- 一時的な表面線量率の変動があっても、空間線量率(1m高)の変動への影響は小さくなっています。
- 川内村、浪江町及び川俣町における調査事例では、空間線量率、表面線量率ともに、概ね物理減衰に相当する減少の傾向を示しています。



斜面下端付近での線量率の時間変化の例



線量率測定の様子 (川内村・貝の坂)



土砂移動、堆積状況、放射線影響のイメージ(推測)

ご静聴ありがとうございました

