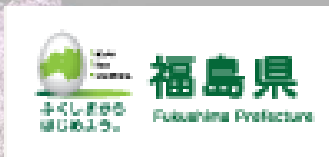


放射性セシウムの中環境中の動態： 観測と解析からわかってきたこと

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 福島研究開発拠点
福島環境安全センター

飯島 和毅

福島県の環境研究拠点：福島県環境創造センター(三春町) ²



放射線計測

各機関のモニタリング、
住民の被ばく予測への反映

除染・廃棄物

安心・安全な
生活環境の回復への反映

環境動態

環境放射線管理や
帰還計画策定へ反映

環境創造

地域環境の
将来の基盤づくり支援

環境回復・創造



福島環境回復は進みつつある

➤ **森林**に沈着した放射性セシウムの大部分は、そのまま**残されている**。



➤ **山菜、キノコ、淡水魚**の中には、**濃度が高いものがある**。

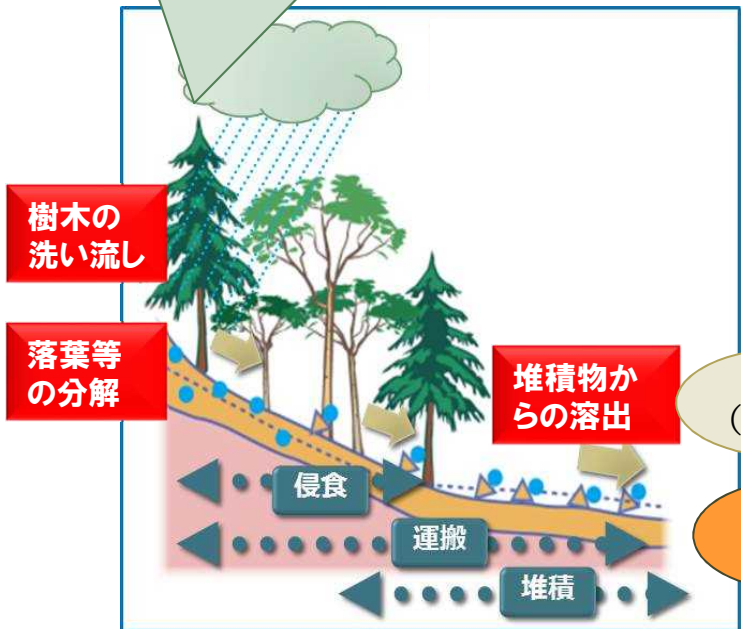


➤ 農地、住宅地、道路などの**生活圏は除染**されている。

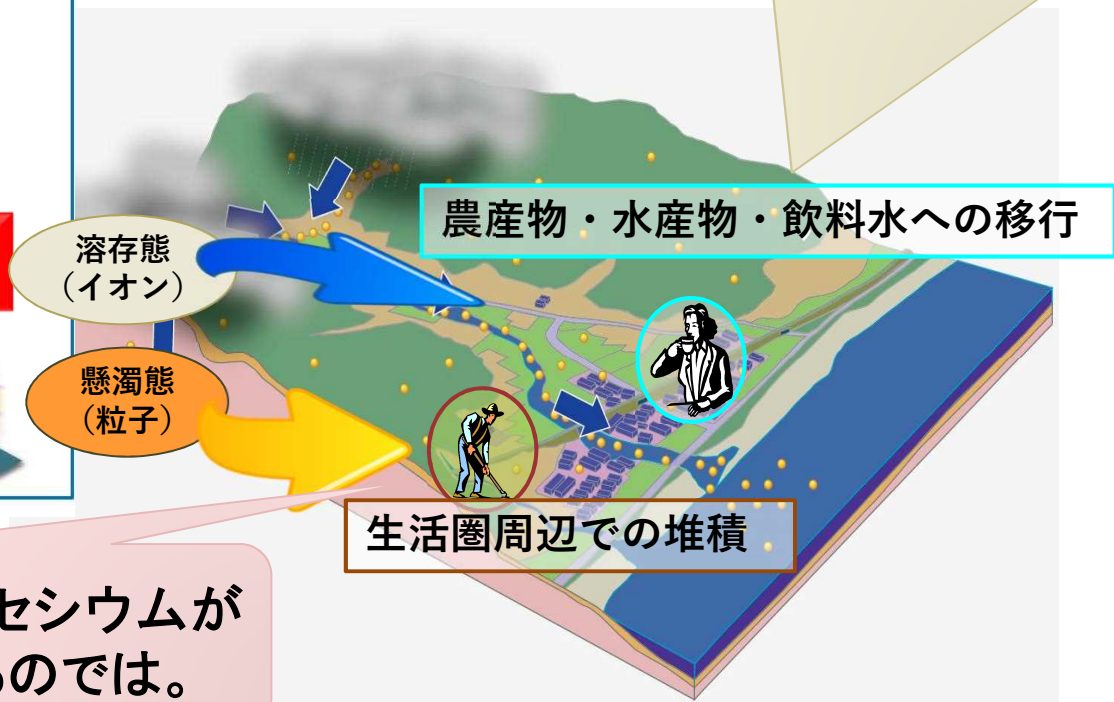


住民の方々はどんな情報を必要としているのか

- ▶ 森林に残る放射性セシウムには、どんな**潜在的なリスク**があるのか。



- ▶ 現在濃度が高い山菜、キノコ、淡水魚は、いつになったら**100 Bq/kgを下回る**のか。



- ▶ 森林から流出した放射性セシウムが**堆積し、線量率が増加**するのでは。

- ▶ 福島県内の農業・林業・水産業再開
- ▶ 住民の帰還

不安解消

観測とシミュレーションで分かったことを取りまとめ

- 森林に残る放射性セシウムには、どんな**潜在的なリスク**があるのか。

- 現在濃度が高い山菜、キノコ、淡水魚は、いつになったら**100 Bq/kgを下回る**のか。

森林、河川、ダム等における
継続的な放射性セシウム
濃度の観測

いろいろな気象条件や環境条件下での
放射性セシウムの動きを計算できる
コンピューターシミュレーション

観測やシミュレーションで分かったことを、異なる深さで解説
一問一答形式 → スライド形式 → 読み物形式 → 根拠論文

- 森林から流出した放射性セシウムが**堆積し、線量率が増加**するのでは。

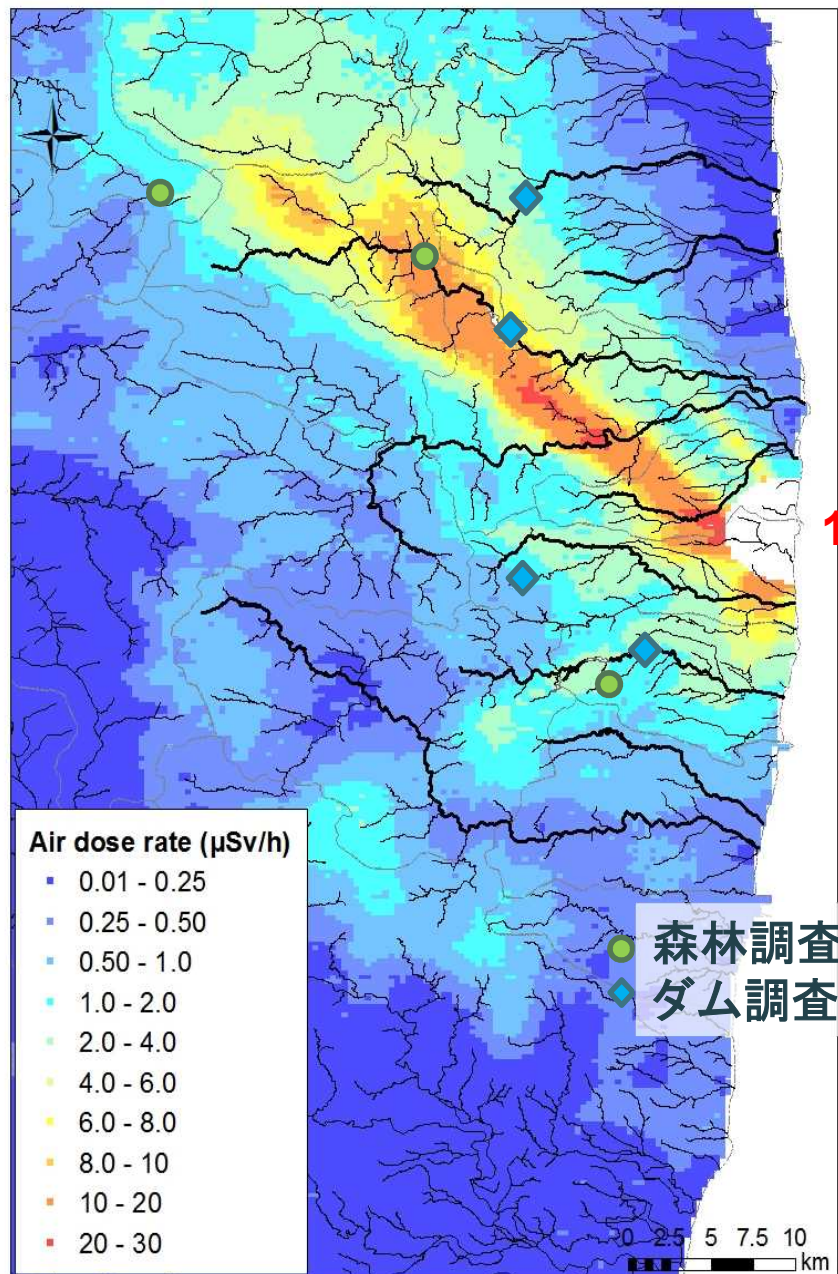
生活圏周辺での堆積

- 福島県内の農業・林業・水産業再開
- 住民の帰還

不安解消

- 放射性セシウム濃度の観測では...
 - 森林からの流出は？
 - 河川水中の濃度は？
 - 河川から海への流出は？

- さらに、解析を組み合わせると...
 - 放射性セシウムの流出源は？
 - どのようなプロセスで溶出しているのか？



太田川

小高川

請戸川・高瀬川

前田川

1F

熊川

富岡川

● 森林調査
◆ ダム調査

・複数の特徴の異なる森林、河川水系、ダム・ため池を**比較**調査。

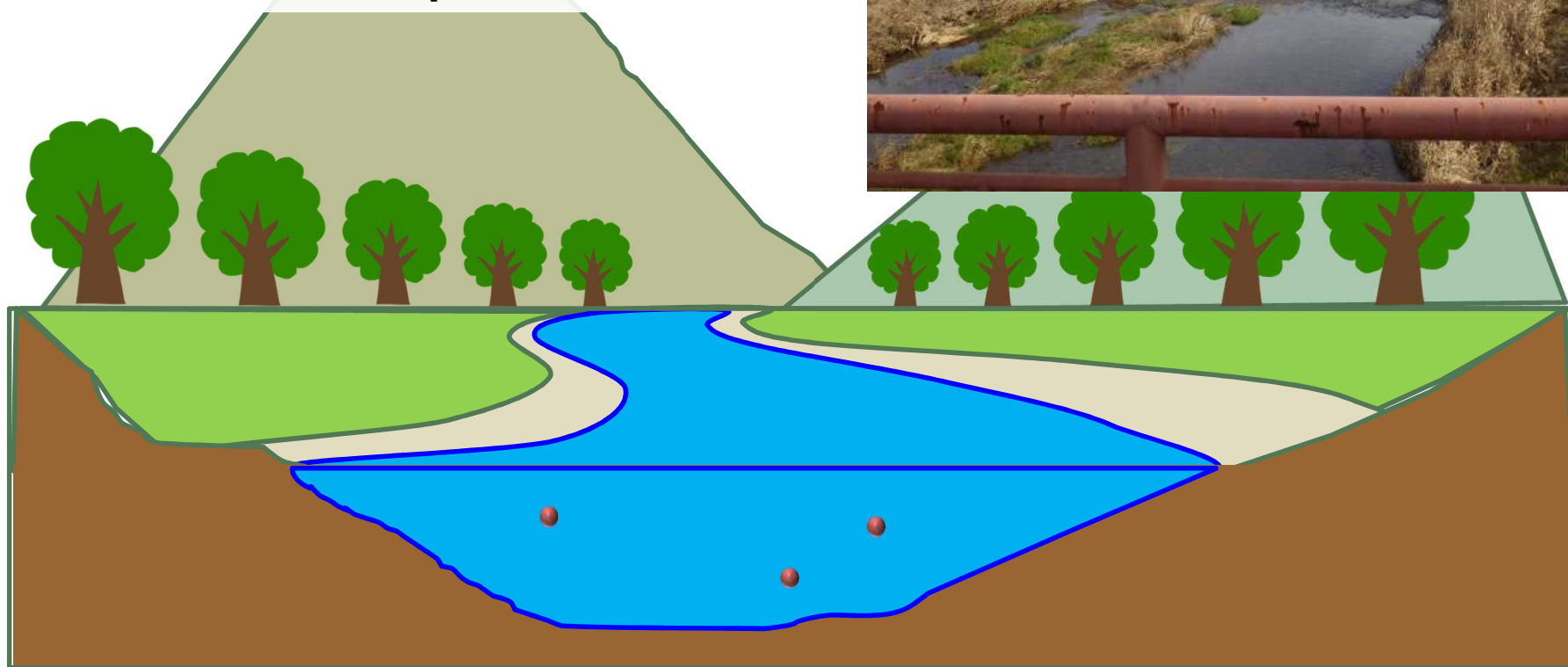
・森林から河川水系・河口域まで、**水系全体での挙動**を調査。

・**溶存態**、**懸濁態**のそれぞれの挙動や濃度の経時変化を調査。

平水時

溶存態

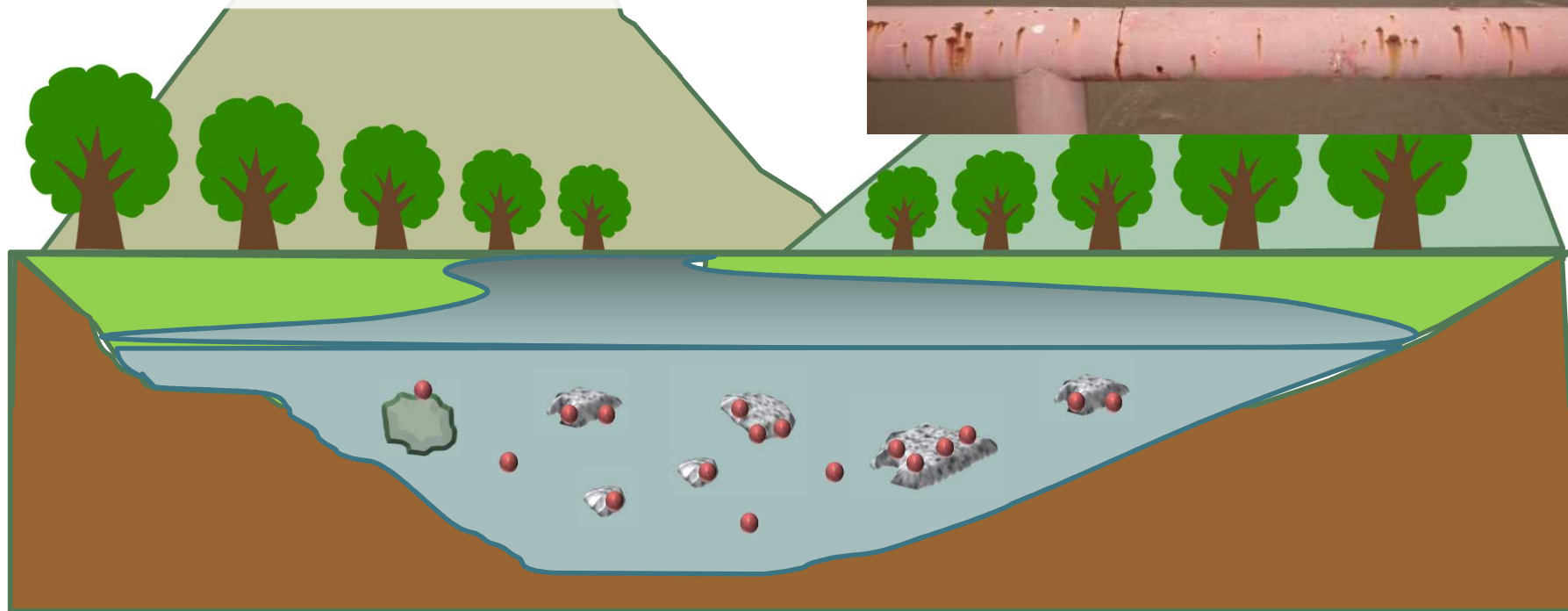
- イオンのように水に溶けている形態。
- 最も濃度が高い河川でも0.1 Bq/L程度と濃度は低く、存在する割合は小さい。
(飲料水基準： 10 Bq/L)



高水時

懸濁態

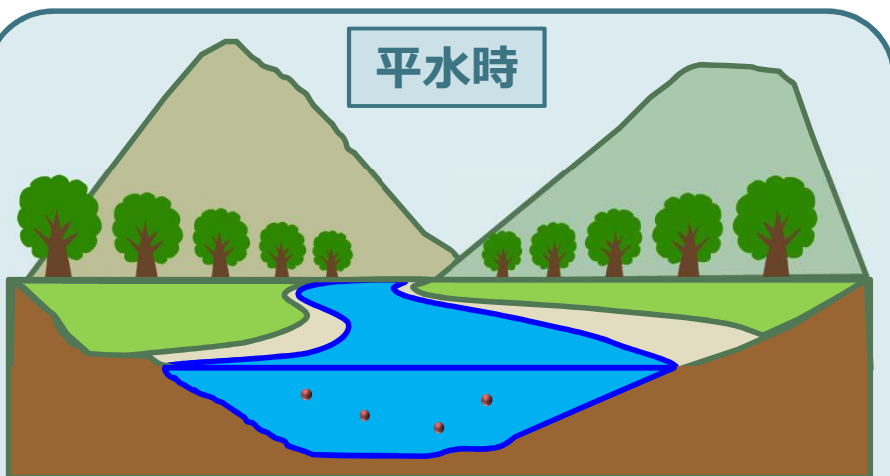
- 川の濁り成分（土砂粒子や植物片）にくっついている形態。
- 高水時には、土壌侵食や河川堆積物の再浮遊のため、水中濃度が急激に増える。
- 放射性セシウムの海への流出量を決める。



溶存態

- イオンのように水に溶けている形態。
- どの河川でも1 Bq/L未満と濃度は低く、存在する割合は小さい。
(飲料水基準： 10 Bq/L)

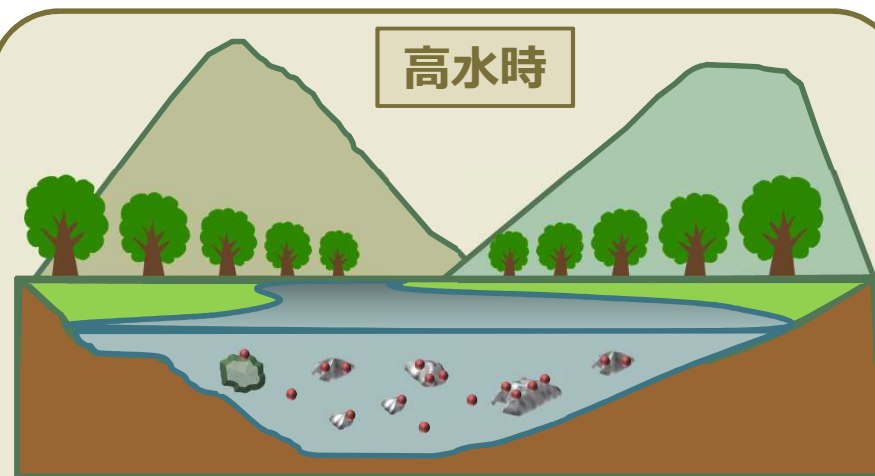
平水時



懸濁態

- 川の濁り成分（土砂粒子や植物片）にくっついていてる形態。
- 高水時には、土壌侵食や河川堆積物の再浮遊のため、水中濃度が急激に増える。
- 放射性セシウムの海への流出量を決める。

高水時



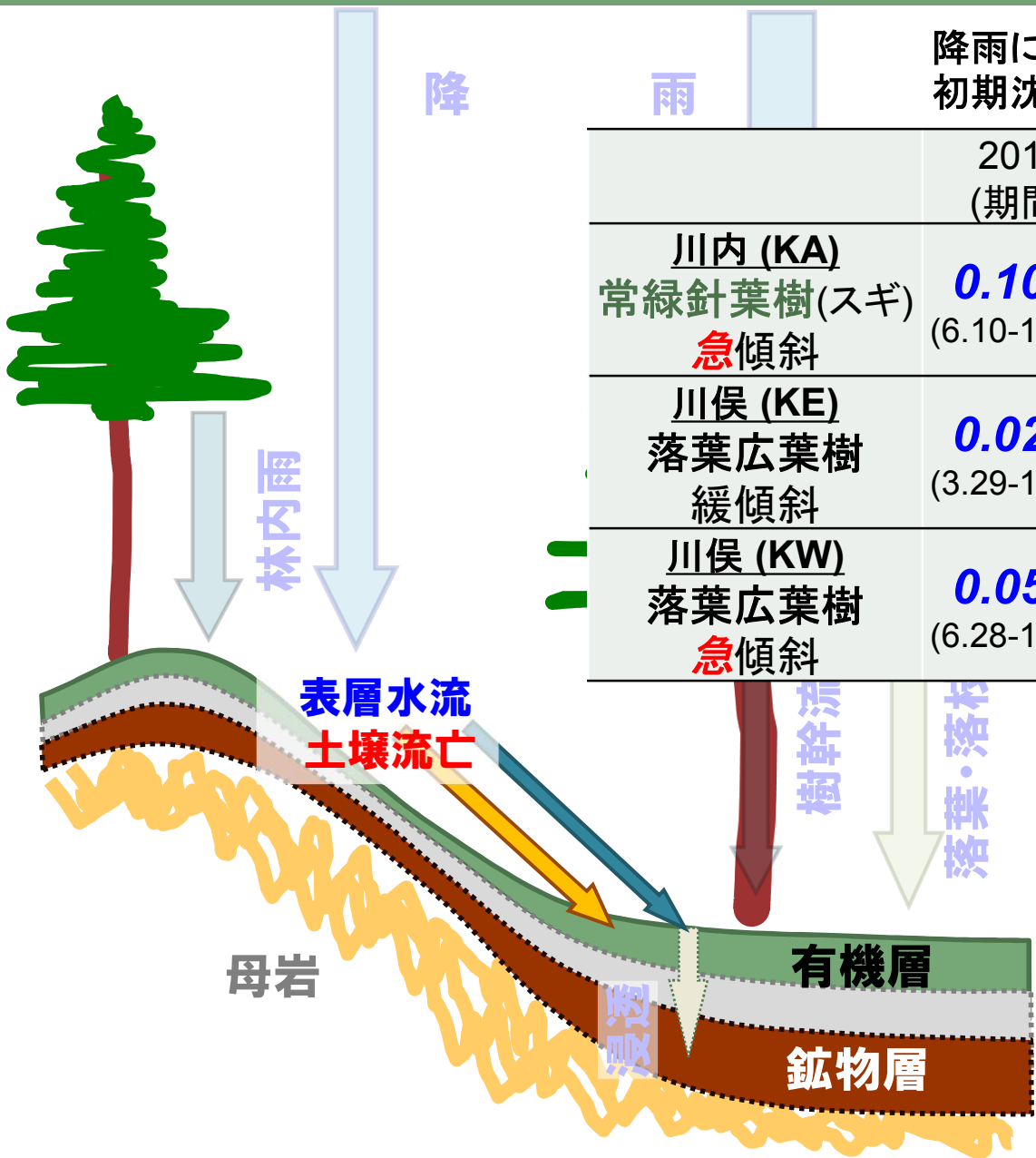
森林における放射性セシウム移動量の観測：観測プロット



森林における調査のポイント：

- 放射性セシウムは、森林から外にどれくらい流出するのか。
- 放射性セシウムは、森林表土の深さ方向にどのように移動するのか。

森林からの懸濁態の流出は極めて少ない



降雨による斜面からの放射性セシウムの初期沈着量に対する流出割合

	2013 (期間)	2014 (期間)	2015* (期間)	2016 (期間)
川内 (KA) 常緑針葉樹(スギ) 急傾斜	0.10% (6.10-11.18)	0.06% (4.11-10.8)	0.30% (6.24 - 10.28)	0.04% (6.16 - 11.28)
川俣 (KE) 落葉広葉樹 緩傾斜	0.02% (3.29-11.19)	0.10% (4.7-10.20)		0.01% (6.15 - 11.29)
川俣 (KW) 落葉広葉樹 急傾斜	0.05% (6.28-11.19)	0.11% (4.7-10.20)	0.23% (6.30 - 11.5)	0.02% (6.15 - 11.29)

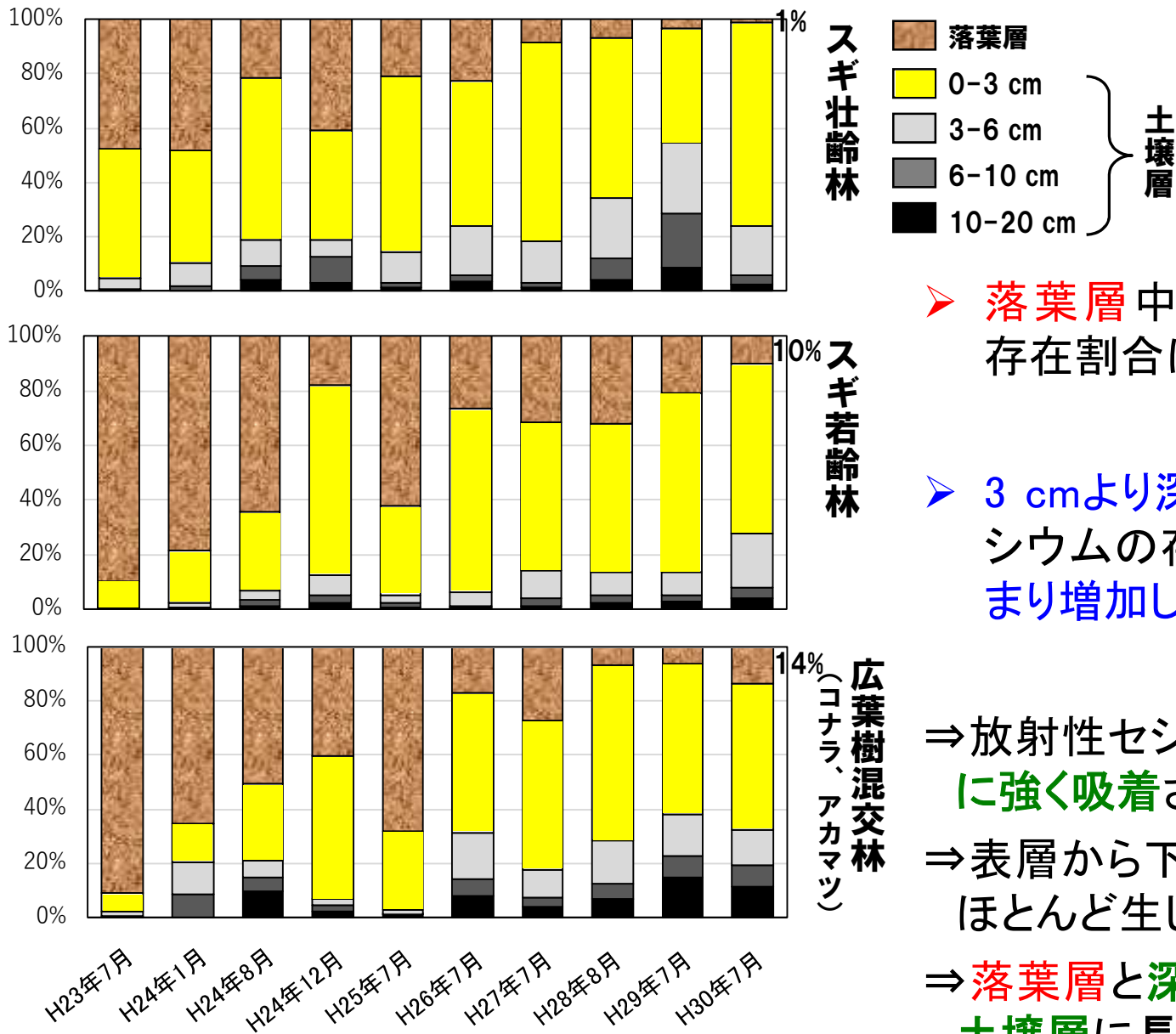
*New observation plot was set up.

樹種や傾斜によらず、いずれの森林においても、斜面上から下への移動は少ない。

表土深部方向への浸透は極めて遅い

セシウム137沈着量の割合

〔*地下のセシウム137総量に対する割合〕



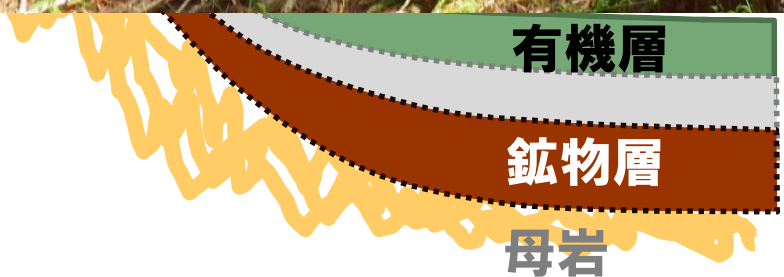
➤ 落葉層中のセシウムの存在割合は、減少傾向。

➤ 3 cmより深い土壌層のセシウムの存在割合は、あまり増加していない。

⇒放射性セシウムは土壌層に強く吸着される。

⇒表層から下層への移行はほとんど生じていない。

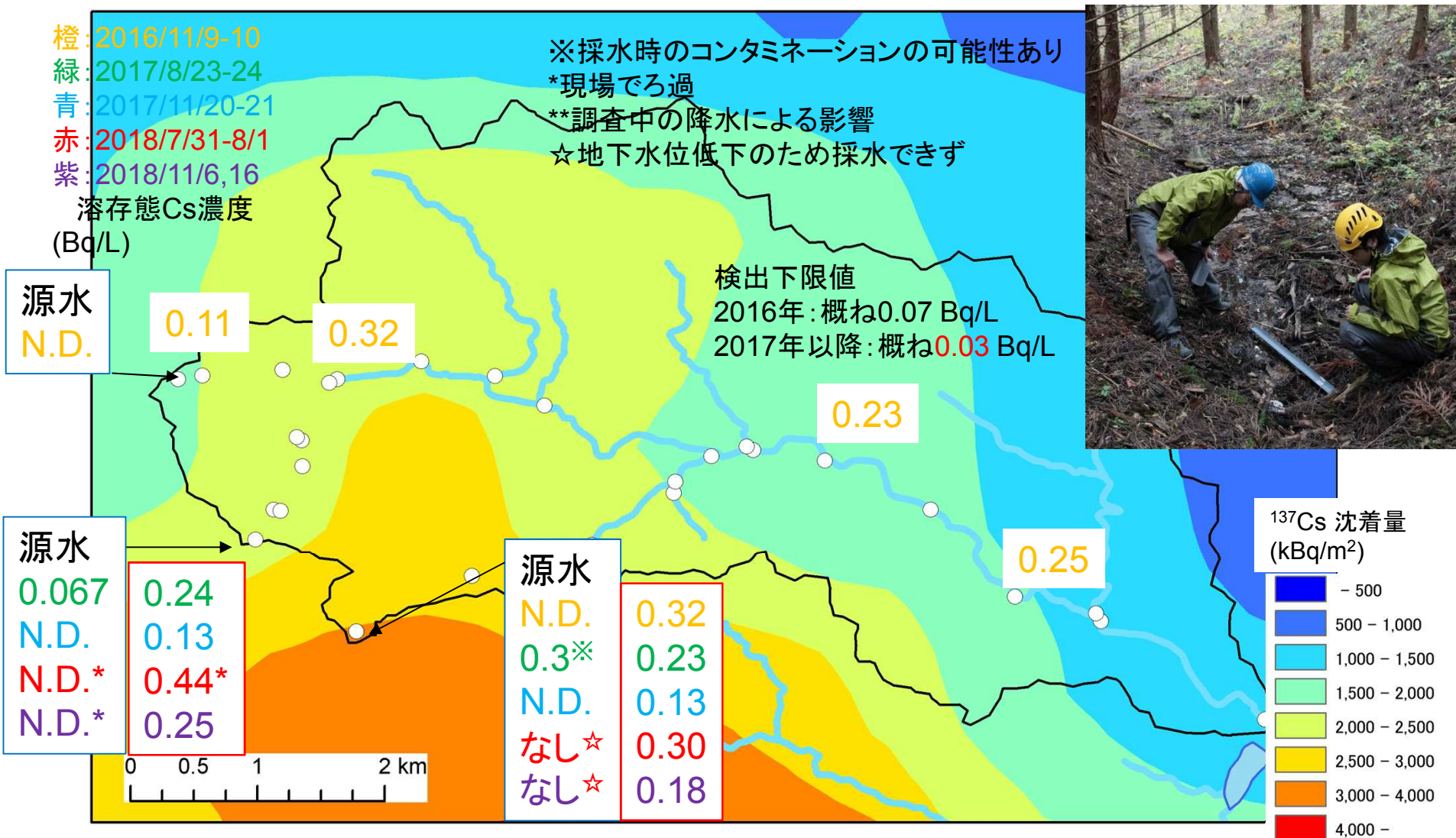
⇒落葉層と深さ3 cmまでの土壌層に長期間留まる。



放射性セシウムの大部分は、森林の表土に長期にわたり滞留する。



源流域の湧水点付近の溶存態セシウム濃度



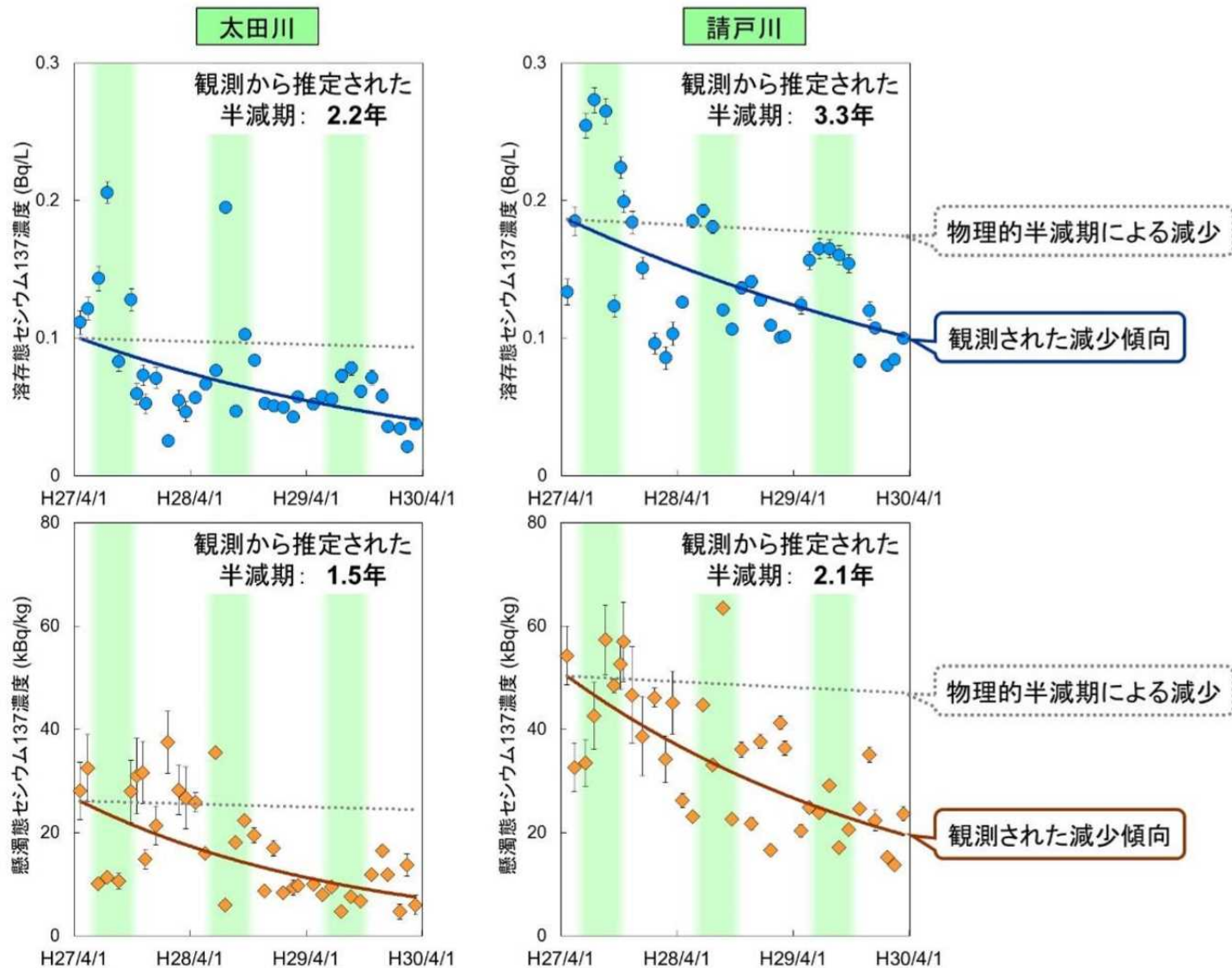
- 源水の溶存態は検出限界未満だが、数m流下後は検出。
- 湧水後に森林表土から溶存態セシウムが溶出している。

河川における放射性セシウム移動量の観測：自動観測装置 17



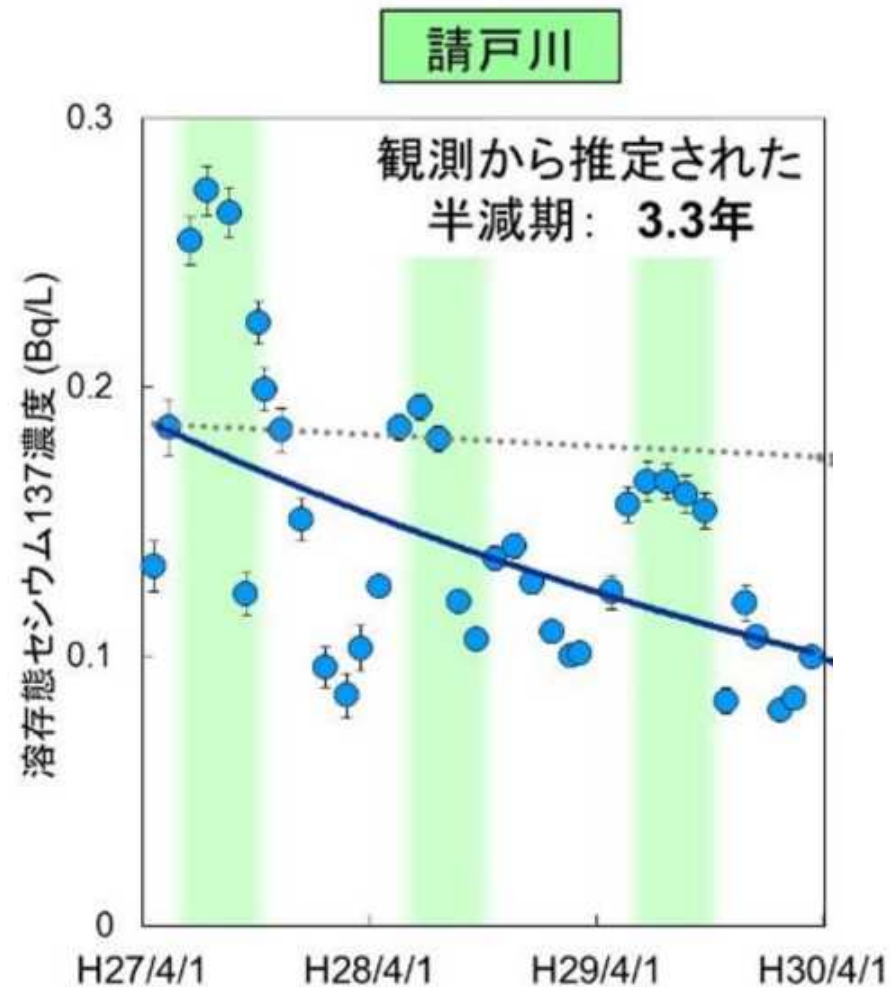
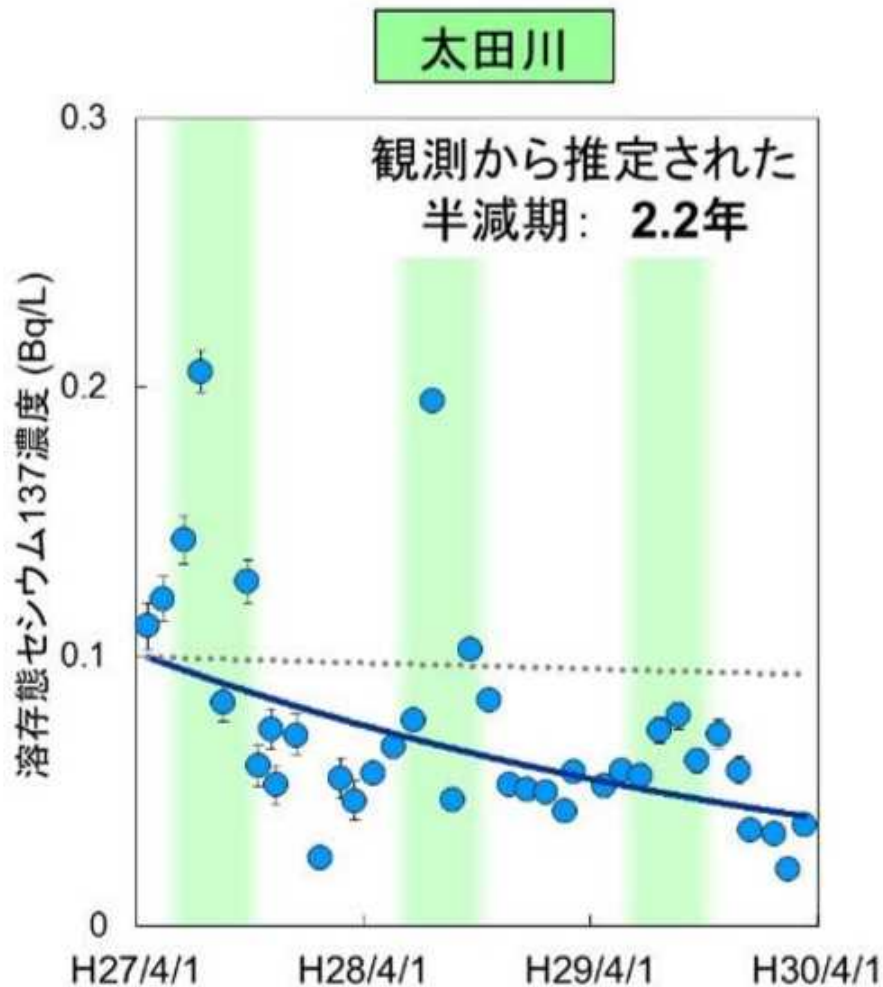
- 水位と濁度を24時間観測。
- 設定した条件になると、自動的に1 L採水(無線で信号を送って、任意のタイミングで採水することも可能)。

河川水中の濃度の減少は、放射性崩壊の速さより速い。

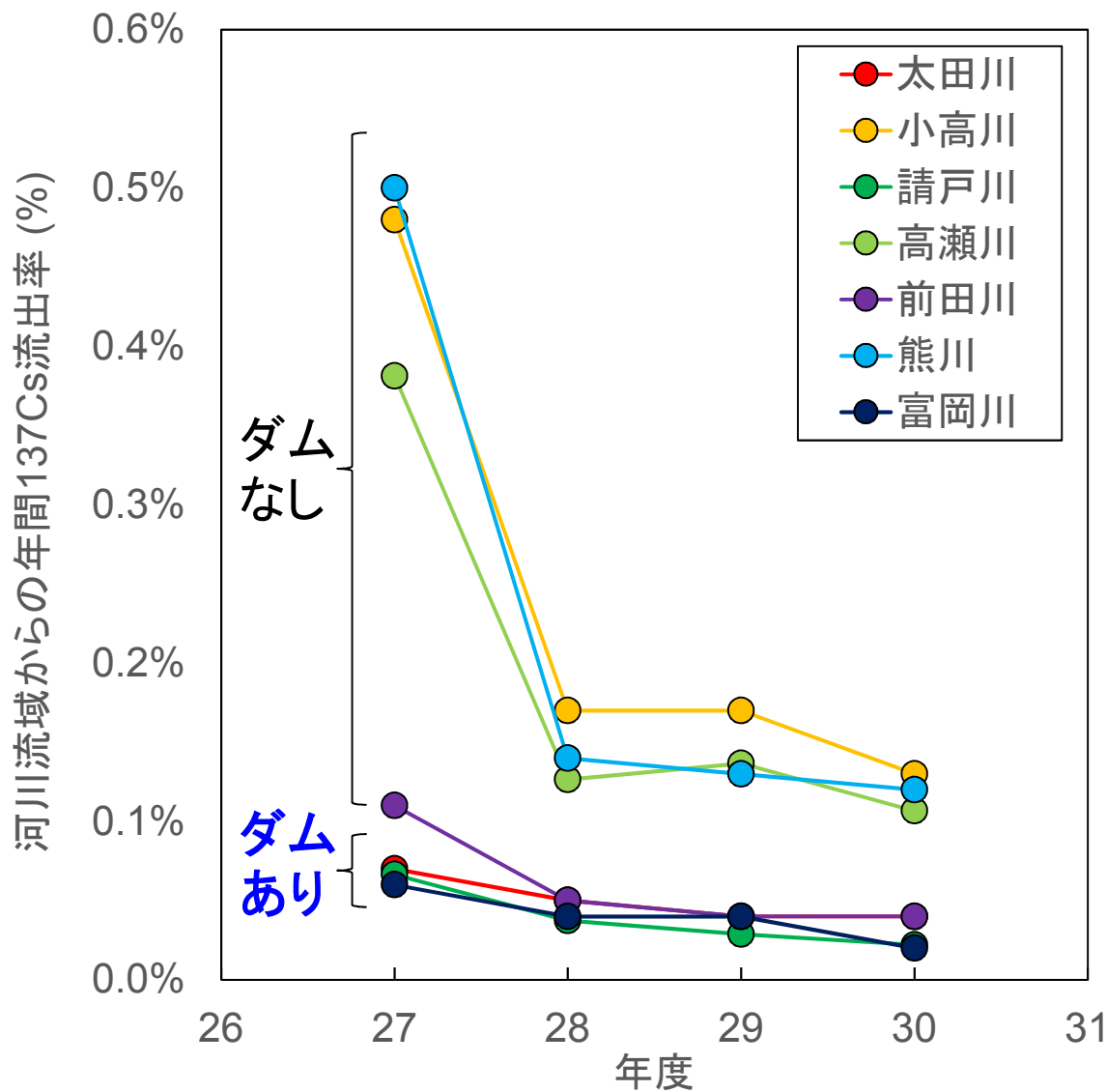


- 事故から7年経過した現在も、河川の放射性セシウム濃度は減少し続けている。
- その減少速度はセシウム137の物理的半減期による減少速度のおよそ10倍。

溶けている濃度は、飲料水基準より十分低い。



- どの河川でも1 Bq/L未満と、飲料水基準(10 Bq/L)に比べて十分低い。
- 濃度は、夏に高く、冬に低くなる、季節変動を示す。



➤ 流域からの放射性セシウムの年間流出率

○本流にダムのある河川：
流出量は**少ない**

○ダムのない河川：
流出量は**多い**

⇒ ダムによって懸濁態による流出が抑制。

➤ いずれの河川も、時間とともに流出率は低下。

観測結果のまとめ

- 放射性セシウム濃度の観測で分かったこと
 - 森林の表土に長期にわたり滞留する。
 - 森林からの懸濁態の流出は、極めて少ない。
 - 表土深部方向への浸透は、極めて遅い。
 - 河川水中の溶存態濃度は極めて低く、減少傾向。
 - 飲料水基準より十分低い。
 - 放射性崩壊の速さより速く減少する。
 - 森林表土からごく低い濃度の溶存態セシウムが溶出している。
 - 河川水中の懸濁態濃度は減少傾向。
 - 河川から海への流出は、土砂の流出とともに起こるため、大雨の有無や、ダムの有無で左右されるが、減少傾向。

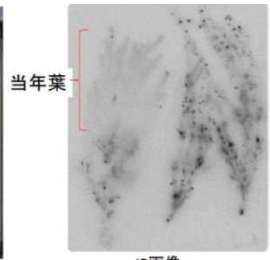
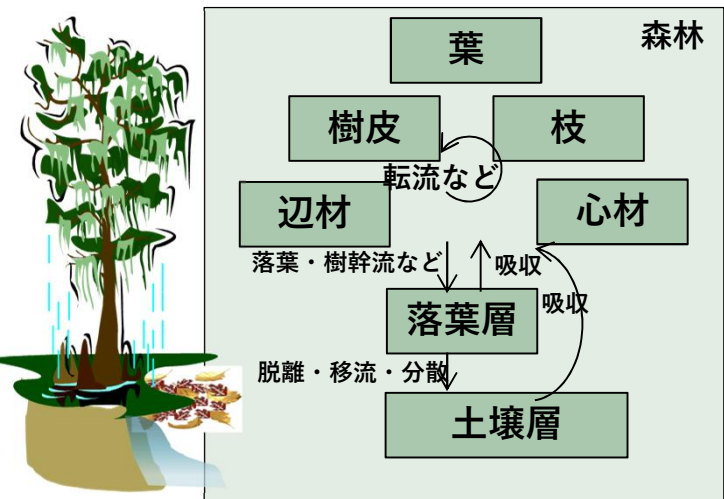
でも、なにか変な感じがしませんか？

- **なぜ懸濁態中の濃度は減少するのか？**
 - 森林からは1年間に少ししか流出してこないし、
 - まだまだたくさんの放射性セシウムが土壤に吸着されているので、
 - 急激に濃度が減ることはないような気がする...
- **なぜ溶存態の濃度は減少するのか？**
 - まだまだたくさんの放射性セシウムが森林土壤に吸着されていて、
 - 湧水点付近で溶けだしているのはごくわずかな濃度なので、
 - 急激に濃度が減ることはないような気がする...

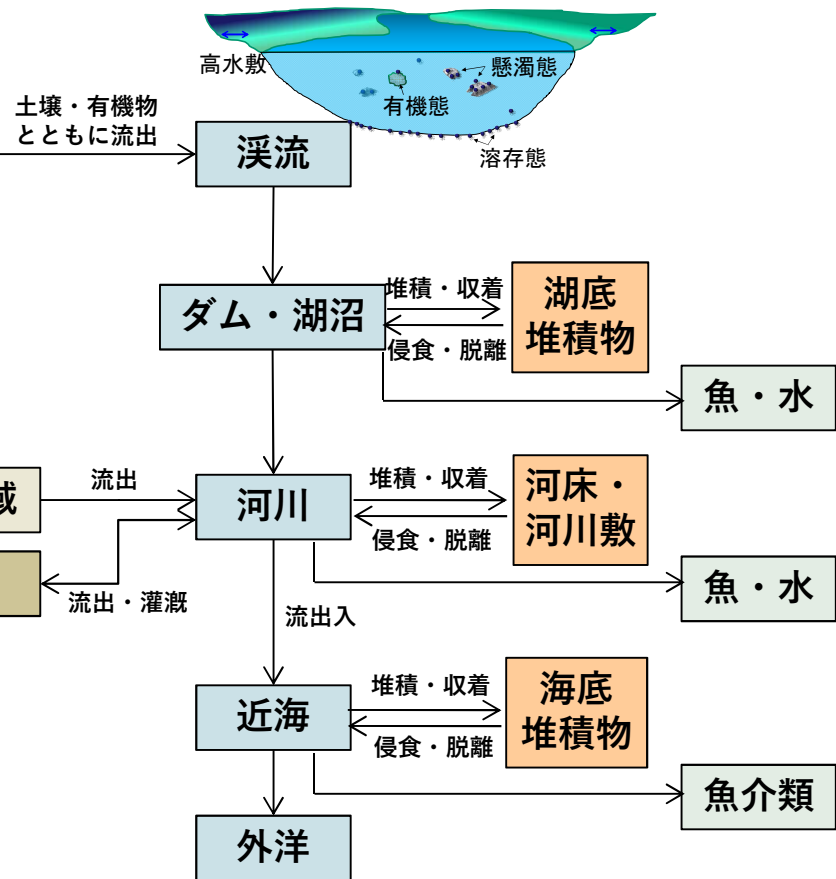


環境中の放射性セシウムの移行挙動を…

森林、河川、湖沼、近海における放射性セシウムの様々な移行挙動を調査してきた。

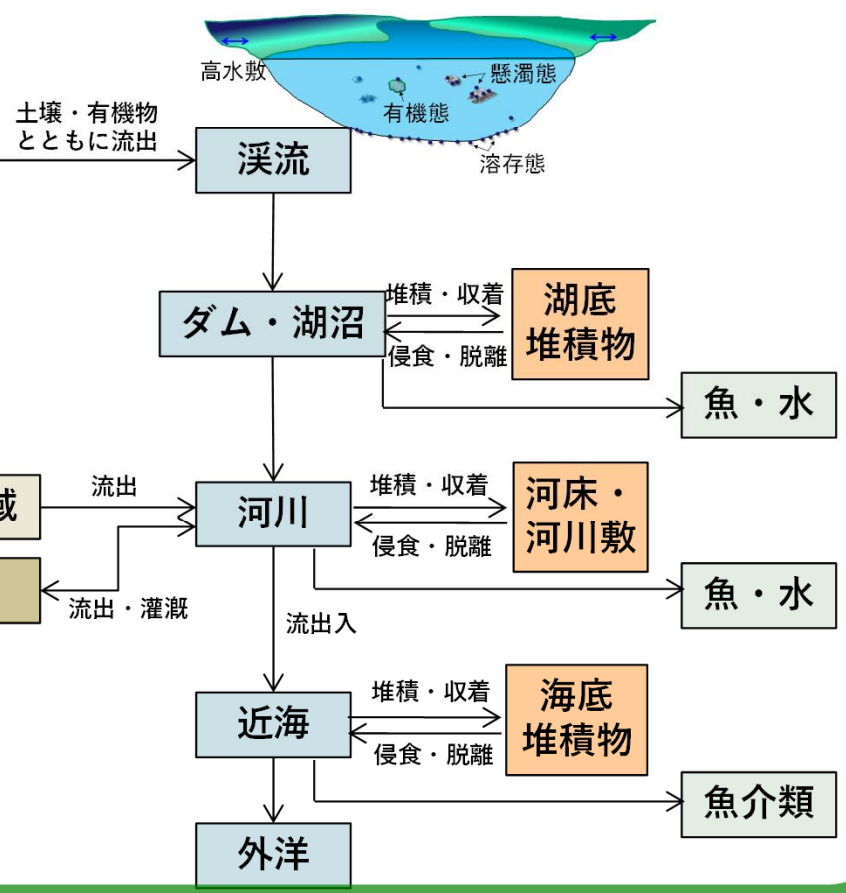
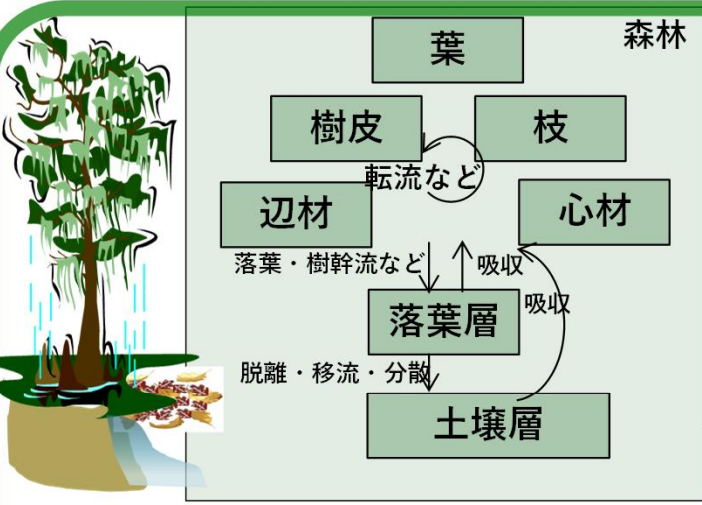


写真画像 IP画像
森林生態系内の分布状況の観察



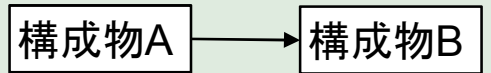
コンピューターシミュレーションで再現してみよう

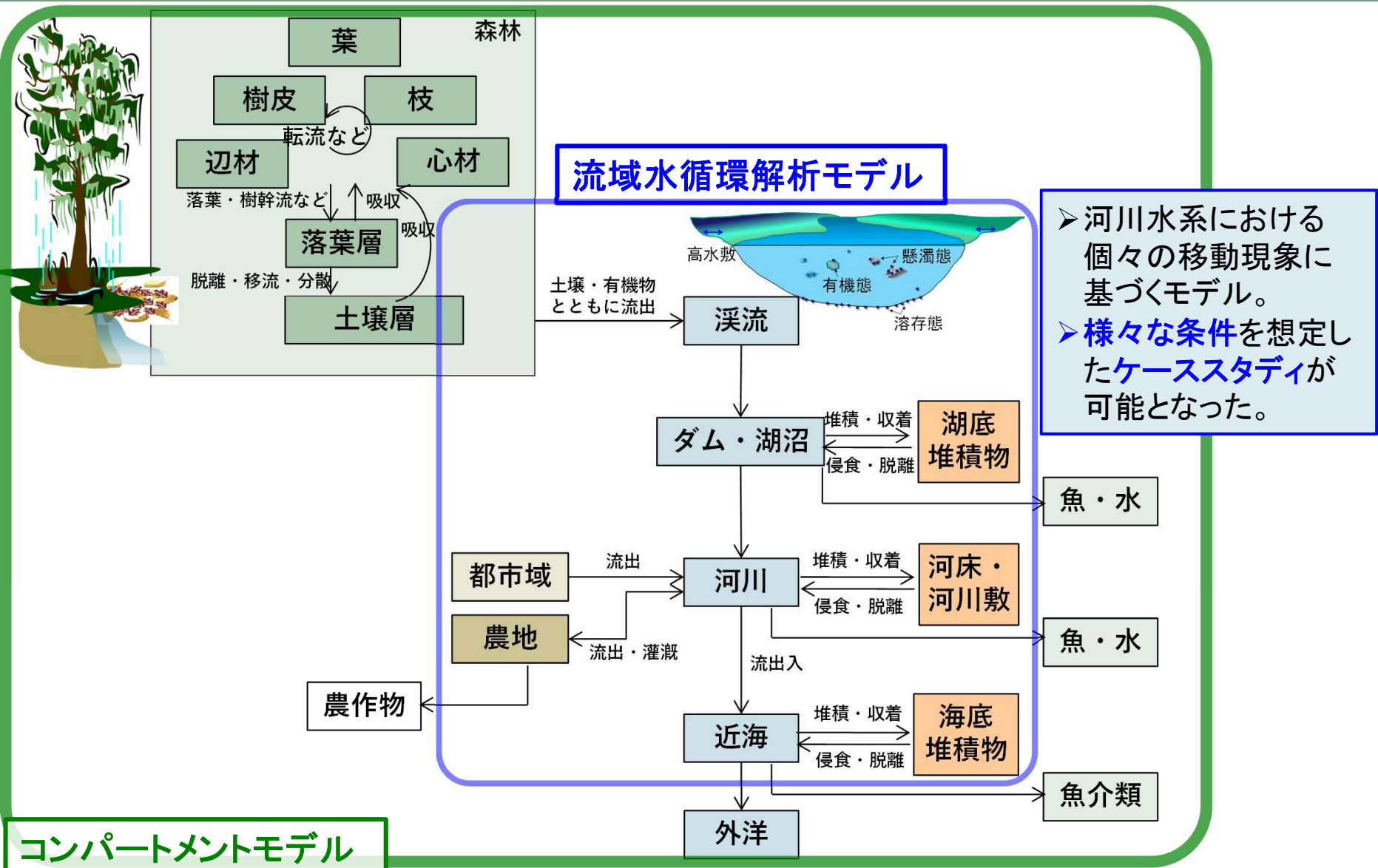
その結果に基づき、環境中の移行挙動を解析するシミュレーションツールを整備してきた。



コンパートメントモデル

- 森林を含む河川水系の様々な構成物間の移行挙動に基づくモデル。
- 水系全体の生態系における放射性セシウムの挙動推測が可能となった。



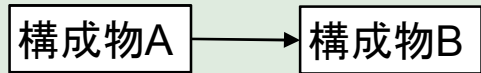


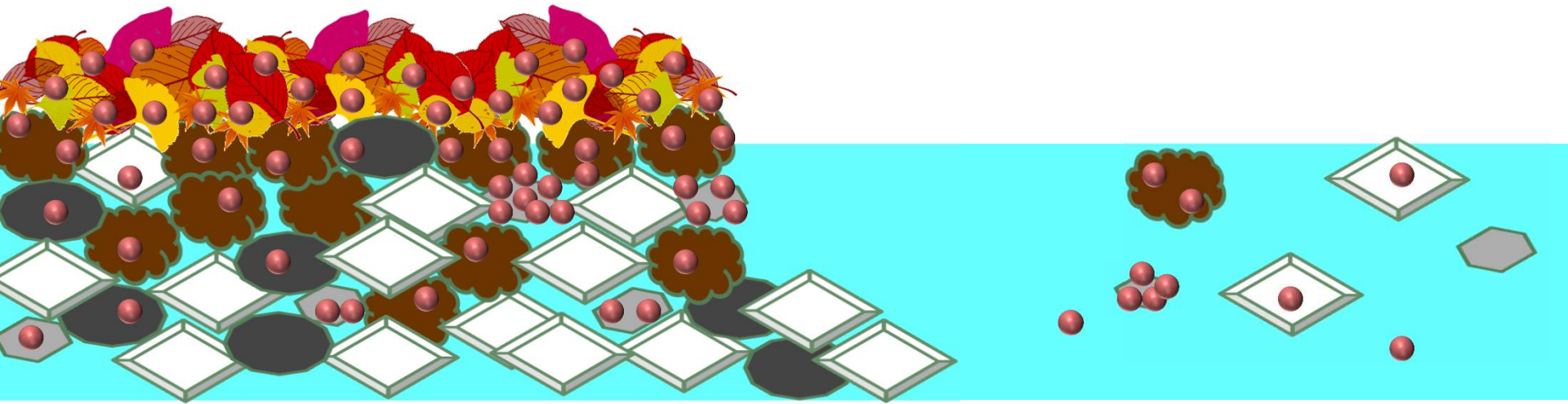
流域水循環解析モデル

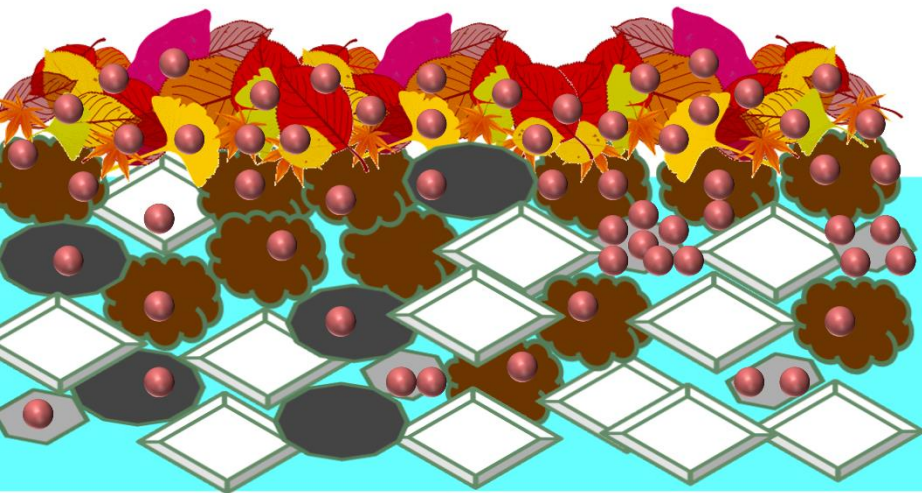
▶ 河川水系における個々の移動現象に基づくモデル。
 ▶ 様々な条件を想定したケーススタディが可能となった。

コンパートメントモデル

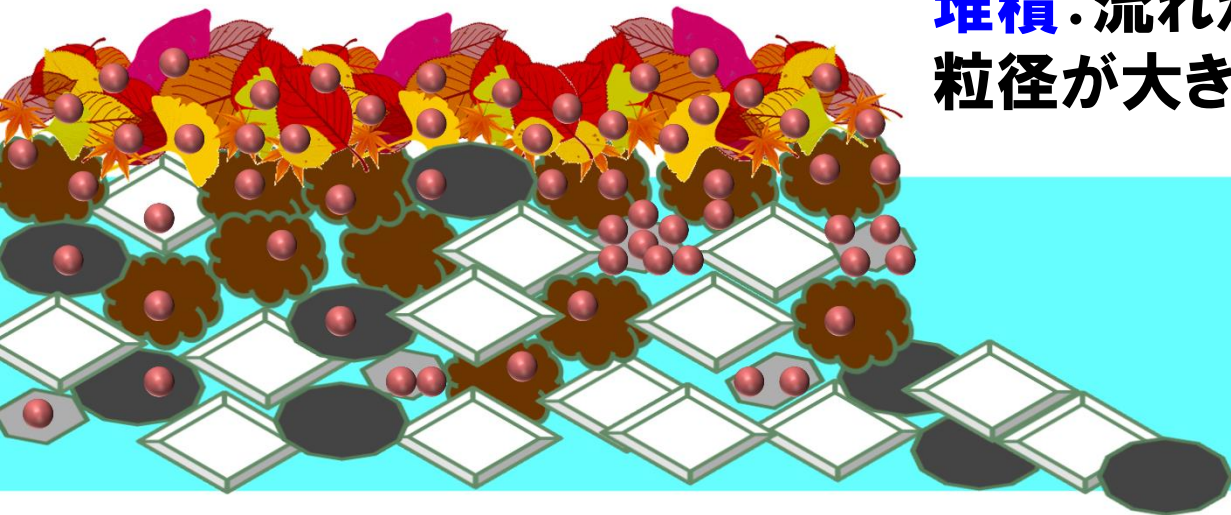
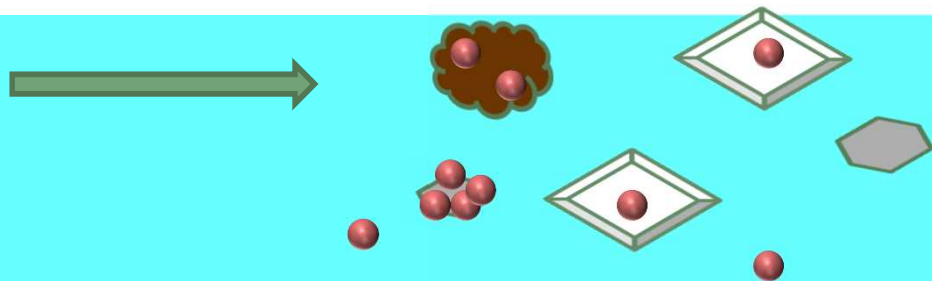
▶ 森林を含む河川水系の様々な構成物間の移行挙動に基づくモデル。
 ▶ 水系全体の生態系における放射性セシウムの挙動推測が可能となった。



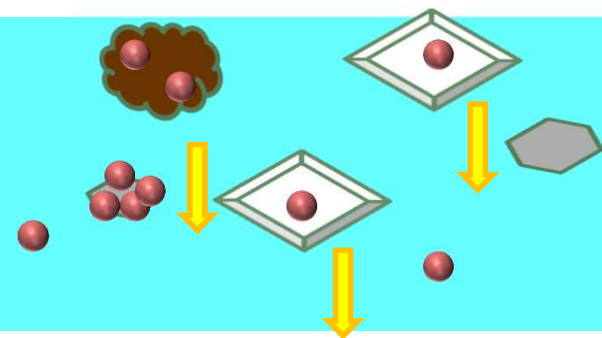




浸食: 流れが速いと起こる。
粒径が小さいものほど起こりやすい。



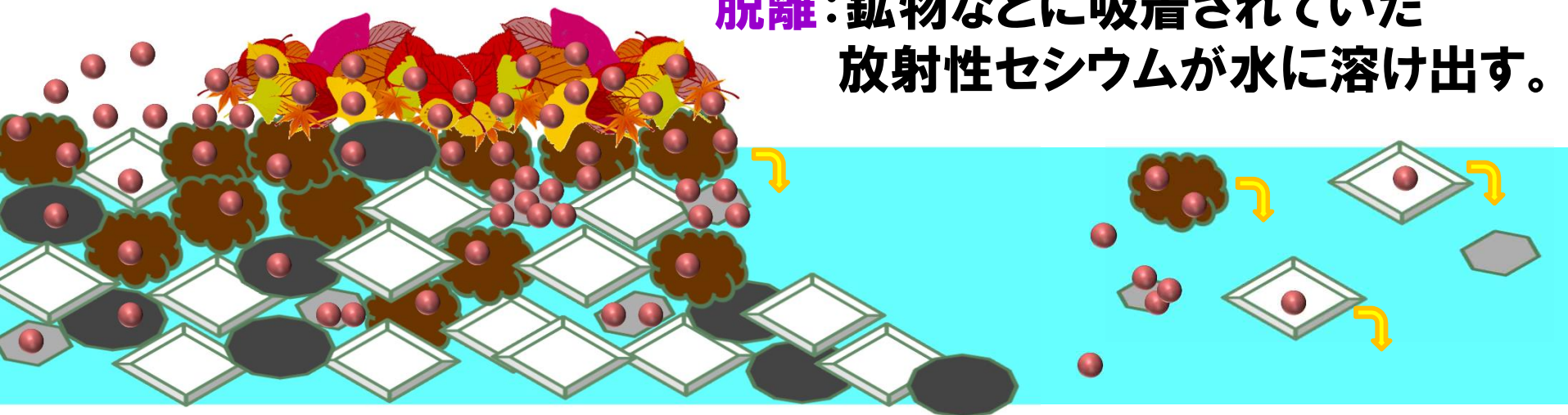
堆積: 流れが遅いと起こる。
粒径が大きいものほど起こりやすい。

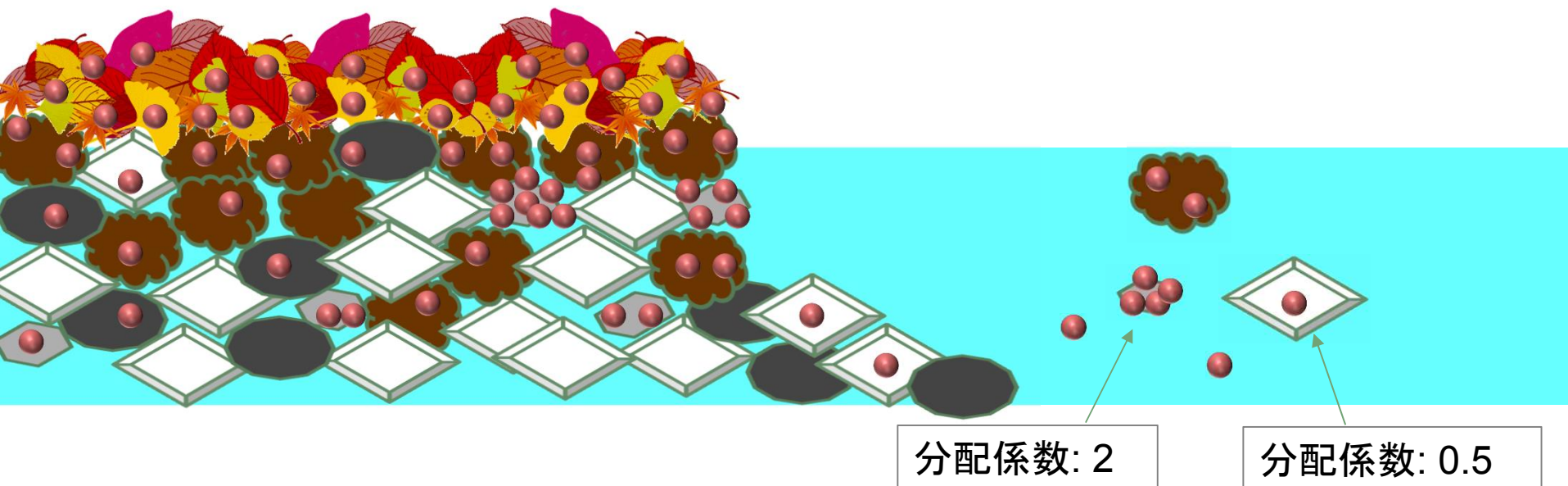


吸着：水に溶けている放射性セシウムが
鉱物などにくっつく。



脱離：鉱物などに吸着されていた
放射性セシウムが水に溶け出す。





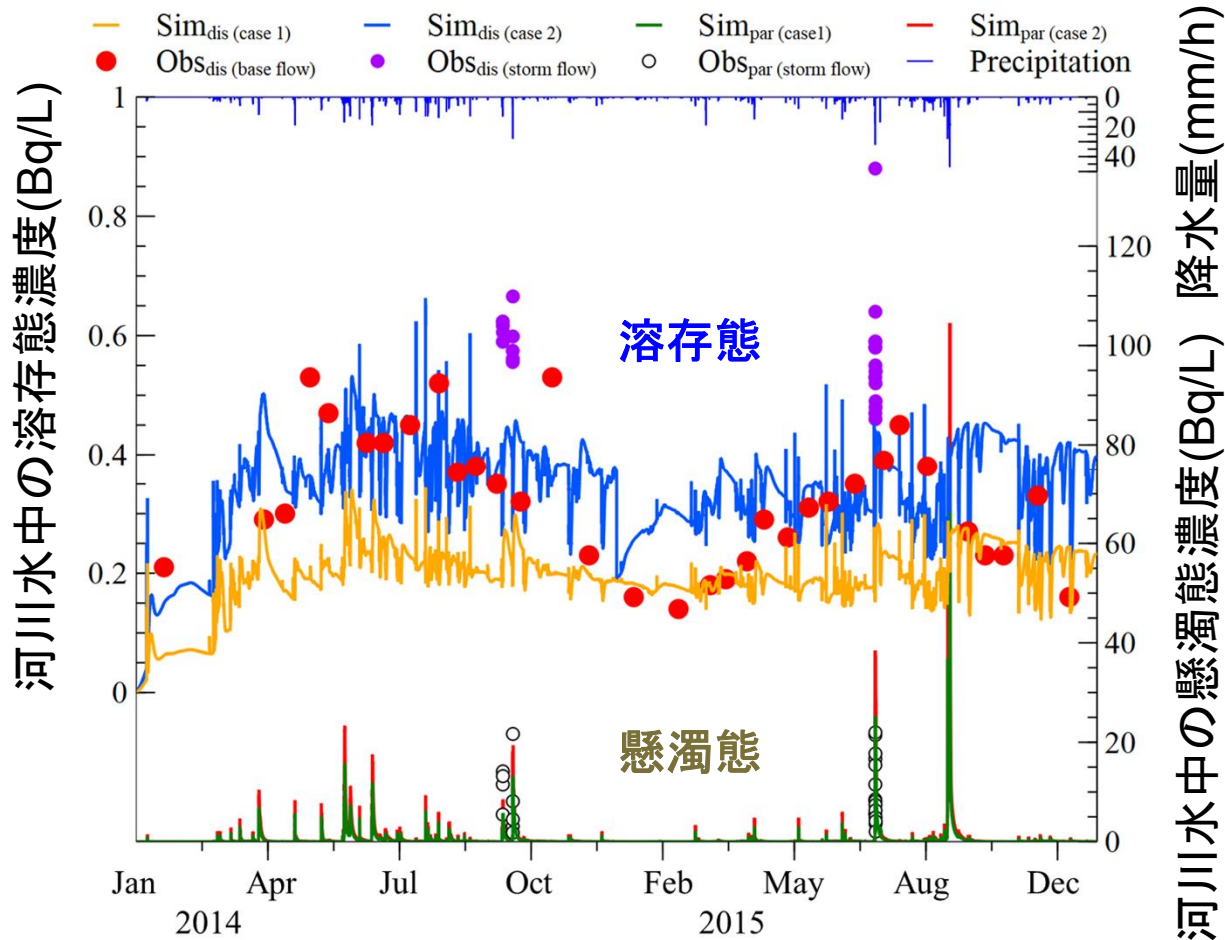
水の中に、**溶けているもの**と、それを吸着する**固体**があった時に、水の中に**溶けている濃度**と**固体に吸着された量**が、**ある割合 (分配係数)**になるように吸着・脱離が進むとする考え方。

$$\text{分配係数 (m}^3\text{/kg)} = \frac{\text{固体に吸着された量 (Bq/kg)}}{\text{溶けている濃度 (Bq/m}^3\text{)}}$$

分配係数が大きい固体: 吸着しやすい

分配係数が小さい固体: 吸着しにくい

河川水中のセシウム濃度の変動を再現できるか？

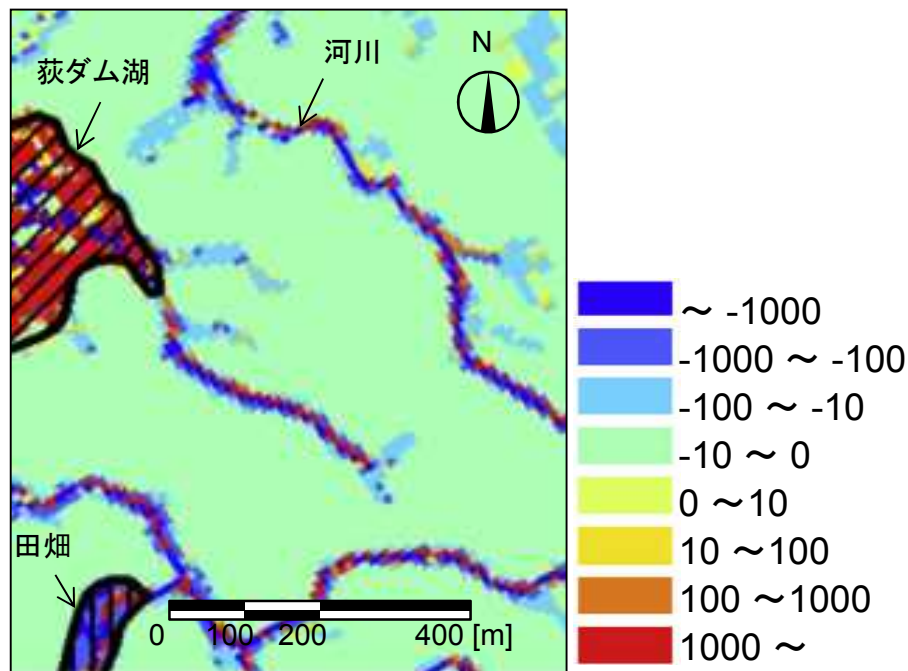


太田川上流域を対象とした解析結果

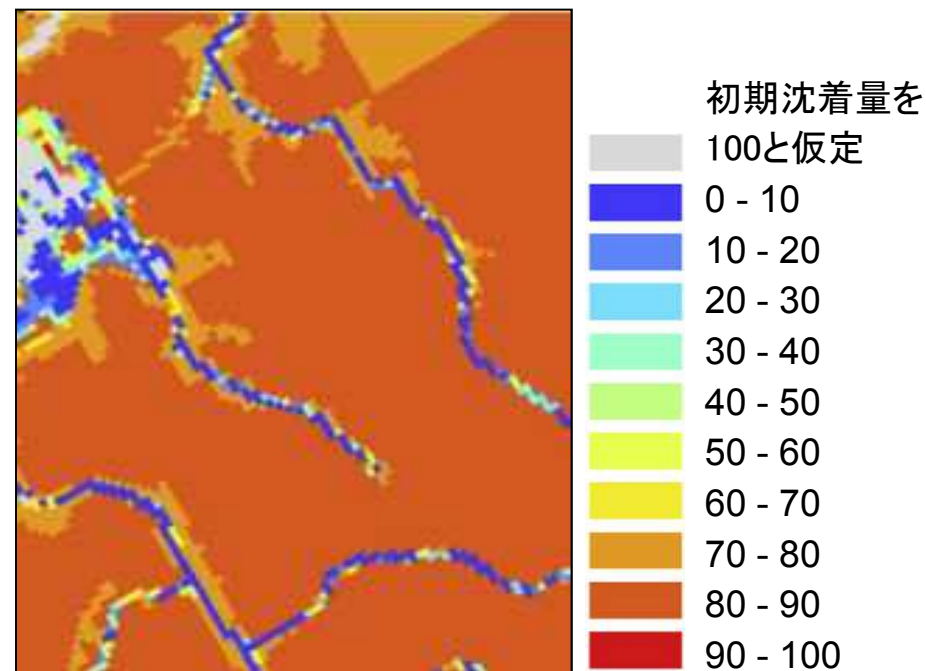
粒径毎の分配係数(m³/kg)

粒径 (μm)	Case 1	Case 2
1	200	200
10	200	200
100	200	50
300	200	50
1000	0	0
5000	0	0

- 懸濁態の濃度は、平水時・高水時ともある程度再現できた。
- 溶存態は、濃度レベルは再現できたが、季節変動(赤い丸:夏季に高く、冬季に低い濃度)と高水時の溶存態Cs濃度上昇(紫の丸)は再現できなかった。



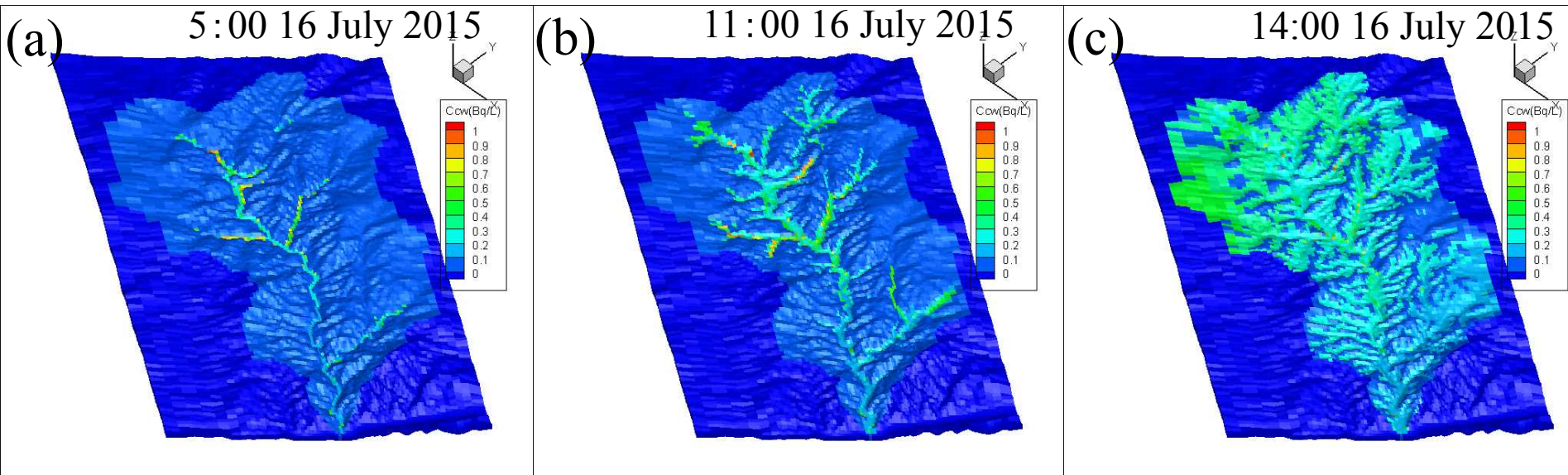
堆積(+)/侵食(-)比 [$g\ m^{-2}\ y^{-1}$]



地表深さ2cmまでの残存 ^{137}Cs 量の割合 [%]

- 解析結果では、森林全体からではなく、主に河川沿いから流出。
⇒ 流出しやすい場所では、放射性セシウムを吸着した土砂が減って放射性セシウムを吸着していない土砂が露出。
⇒ 河川に流出する懸濁態中の濃度が見かけ上減ってきたと推測。
【シミュレーションで想定したメカニズム(浸食・堆積)で再現可能】

溶存態はどこからどのように流出するのか



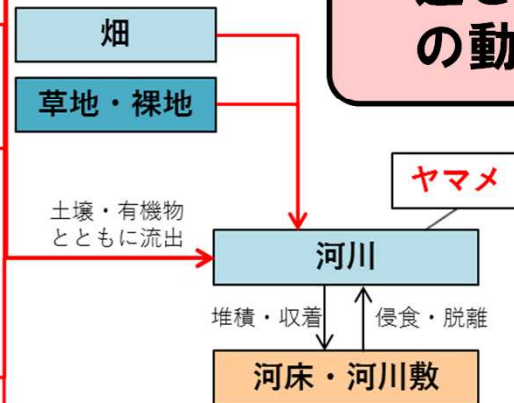
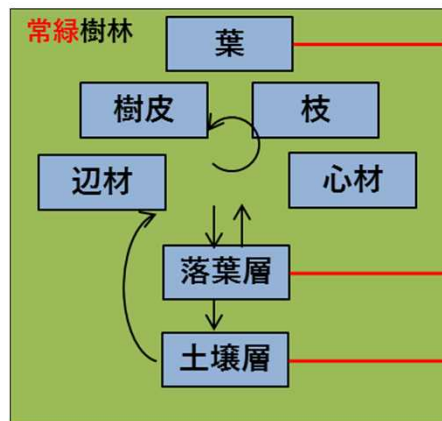
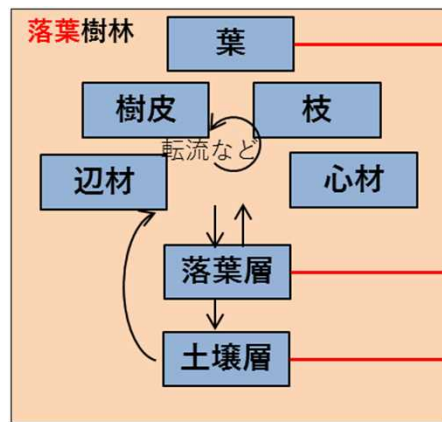
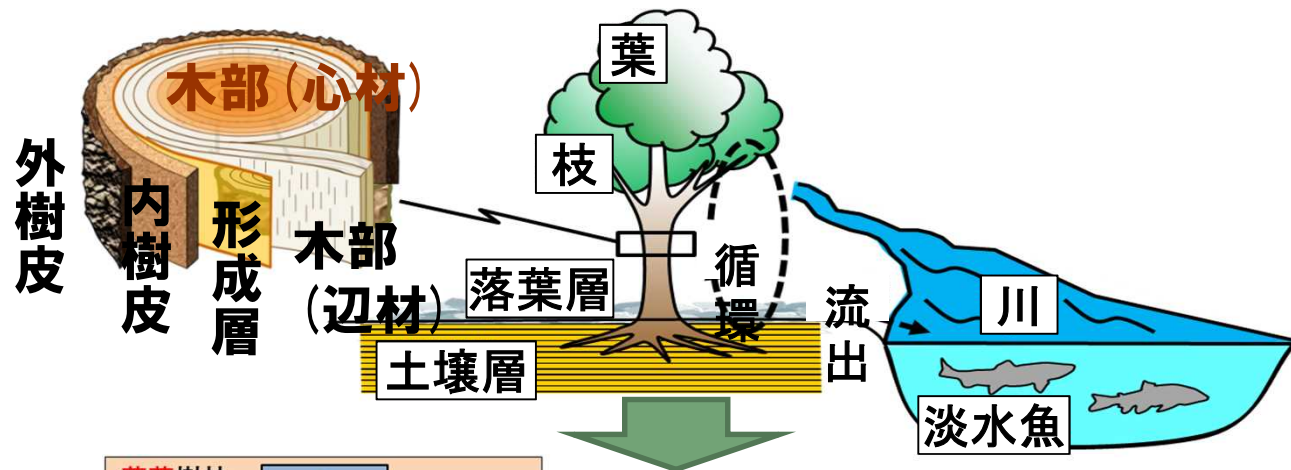
• 雨が続くと、通常の**河道の周囲(河畔帯)**や、**涸れ沢**からも溶出。

• 現在のモデルでは、放射性セシウムの溶出メカニズムとして、**土壌からの脱離(固液分配平衡)**のみを考慮。

⇒ これ以外の溶出メカニズム
(**落葉の分解など**)を考慮する必要がある。

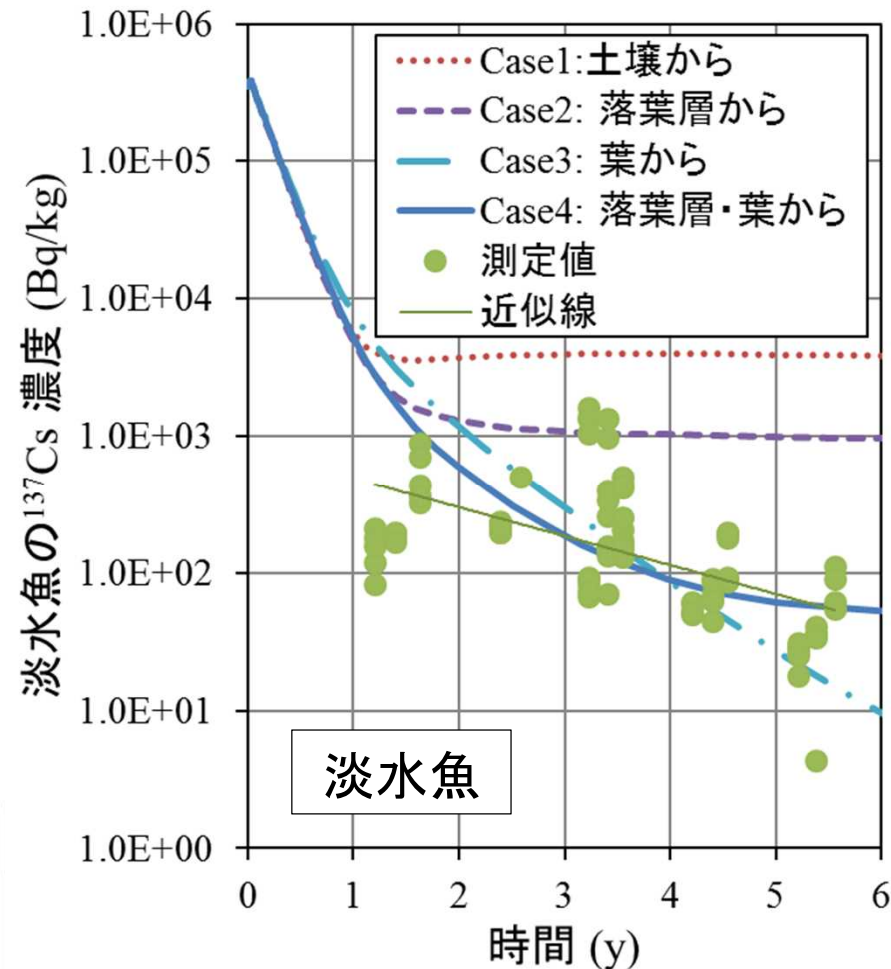
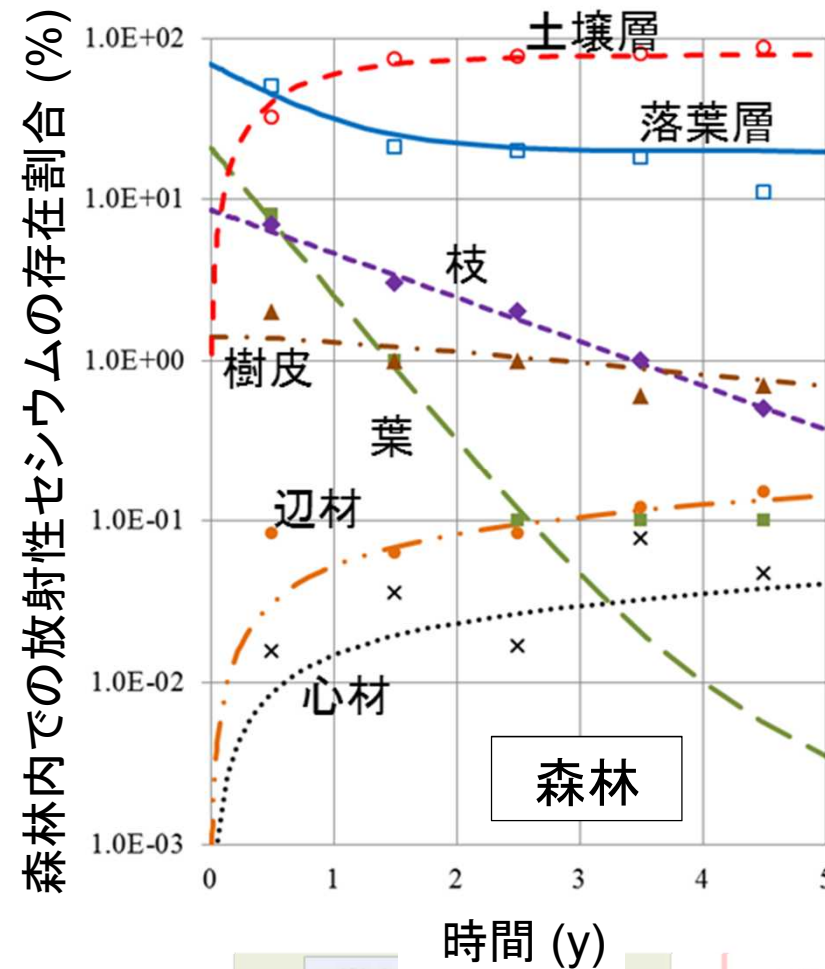


コンパートメントモデルではどんな現象を扱うのか



- 調査結果から、環境の構成物（コンパートメント）間での放射性セシウムのやりとりの速さを明らかにし、環境全体での動きをシミュレーション。

解析結果： 淡水魚中の放射性セシウムの起源の推定



● 森林内での放射性セシウムの存在量の時間変化を入力データとして、
 ● 河川水・淡水魚の濃度の時間変化をコンパートメントモデルで計算した。
 ⇒ 放射性セシウムの溶出源として、森林内の土壌だけでなく、落葉層や河川への落葉の直接流入も考慮したケースが、最もよく淡水魚の濃度変化を再現した。

本日の講演内容

- 放射性セシウム濃度の観測で分かったこと
 - 森林の表土に長期にわたり滞留する。
 - 河川水中の溶存態濃度は極めて低く、減少傾向。
 - 河川水中の懸濁態濃度は減少傾向。
 - さらに、解析を組み合わせることで、メカニズムを推定
 - 森林の大部分は放射性セシウムを吸着するフィルターとして機能。
 - 放射性セシウムの流出源は、
 - 平水時は、湧水点以降の河道。
 - 高水時は、河道周辺の河畔帯、涸れ沢も。
 - 土壌からの脱離だけでなく、落葉層の分解や、河川に直接落ちた落葉も影響している可能性。
- ⇒ 溶存態の溶出メカニズムを明らかにし、シミュレーションを改良。



- これらの調査研究で得られた**測定データ**、**科学的知見**、**解析事例**を、分かりやすい解説とともに取りまとめ、「**福島総合環境情報サイト**」としてホームページで公開している。

放射性物質モニタリングデータの情報公開サイト

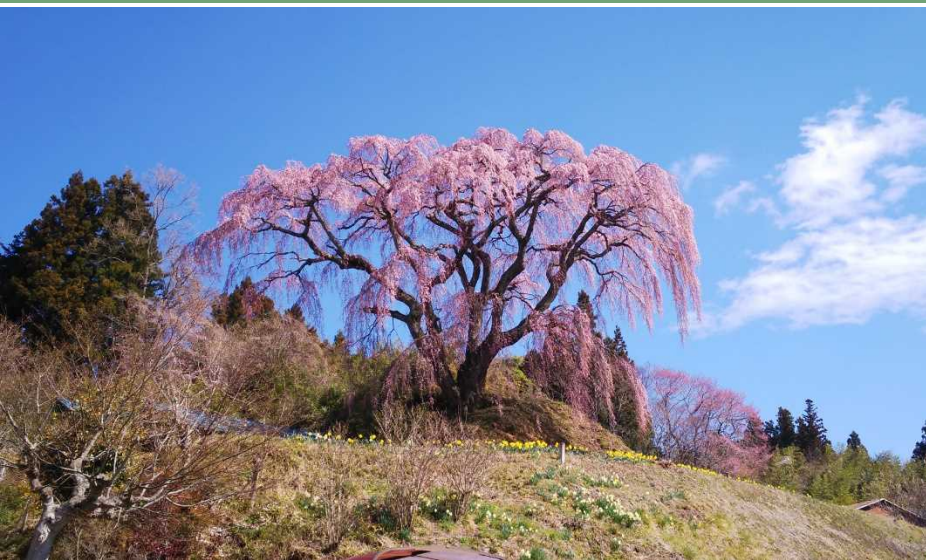
- これまでに得られた様々な**データ**を見ることができます。データをダウンロードして使ったり、グラフ化も可能です。

根拠情報Q&Aサイト

- 主に調査でわかったことをQ&A形式でまとめています。**簡単な説明から詳細な解説**まで取り揃えています。

解析事例サイト

- これまで蓄積してきたデータを使った**解析事例**と分かったことをまとめています。



ご清聴ありがとうございました。

