

森林に降ったセシウムのゆくえ

大手信人

京都大学・大学院情報学研究科・生物圏情報学講座

森林で生じていることを知る重要性

- 面積が広い
- 水源である
- 自然に近い生態系である



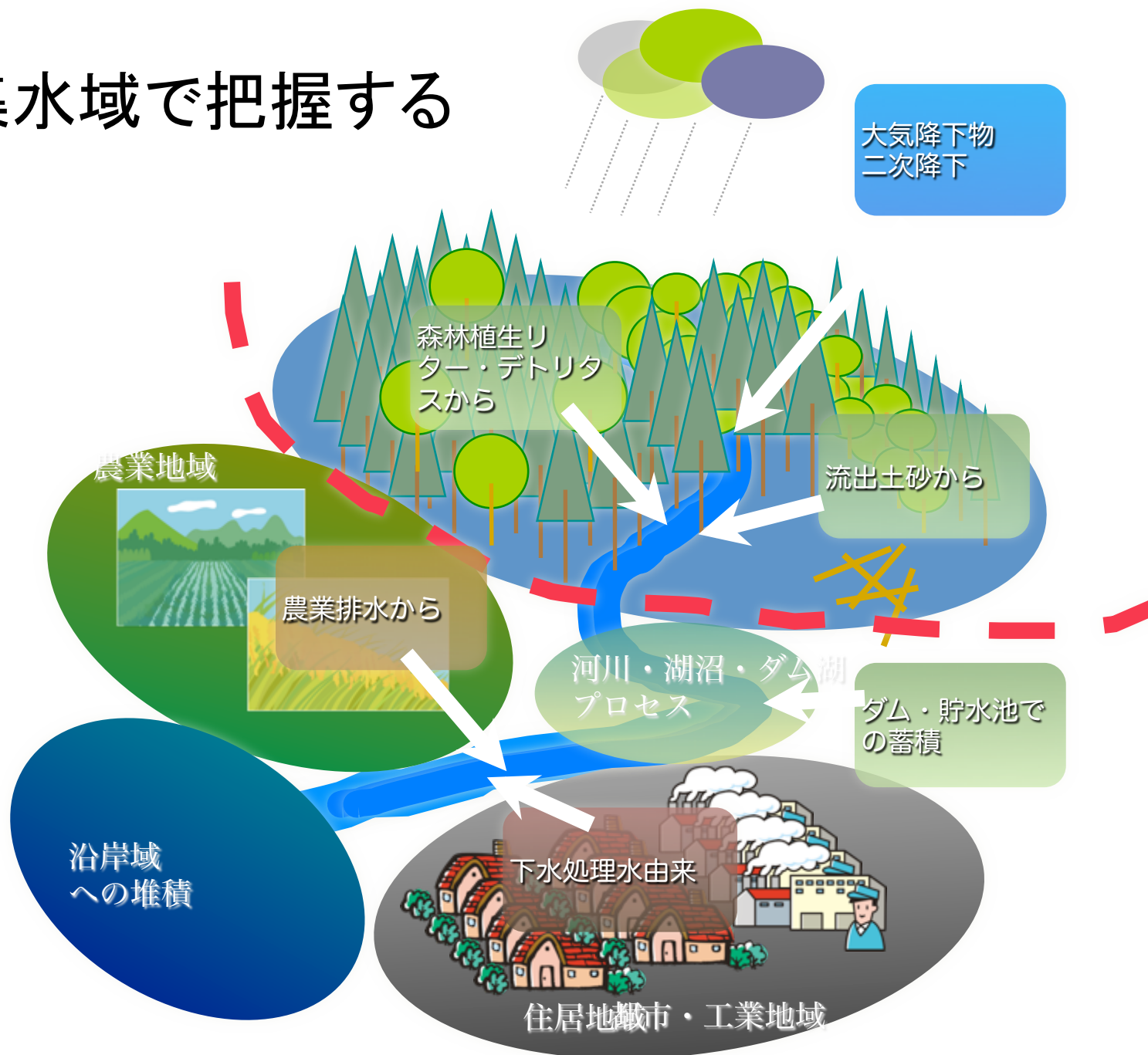


日本の国土の
68%は森林

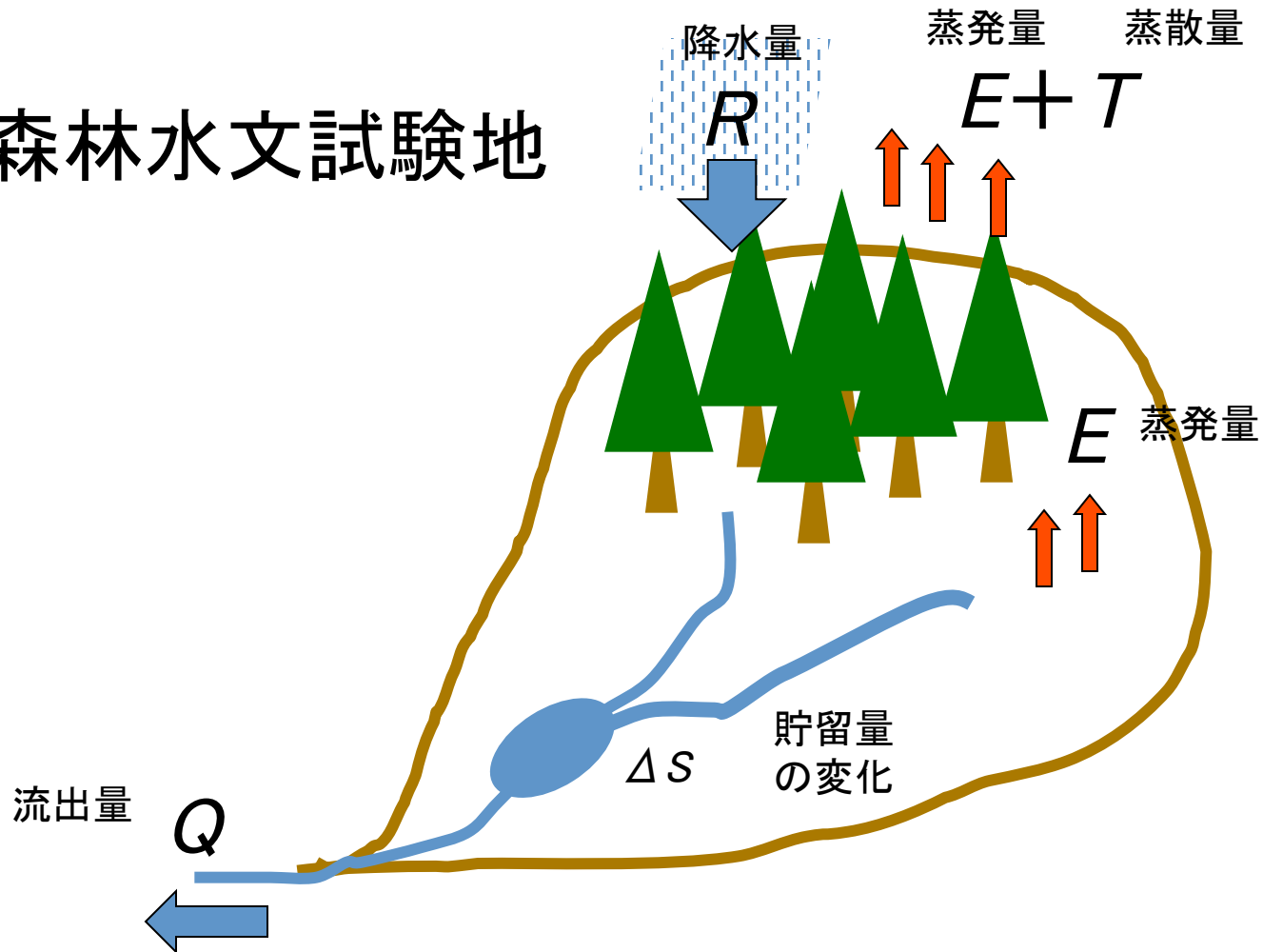
どのように調べていくか

- 「集水域」でみる
- 「水文学・物質循環論」的に考える
- 生き物への移行を調べる

集水域で把握する



森林水文試験地



$$R = E + T + Q + \Delta S$$

(1年の収支を考えると $\Delta S = 0$ とおくことができる)



湿润温带林：
(滋贺県桐生試験地)

降水量: 1,672mm
蒸発量: 740mm 44%
流出量: 936mm 56%





Sungai Lalang Forest Reserve treatment no.5: cut all dipterocarps with dbh > 65cm and all non-dipterocarps with dbh > 60 cm.
Photo: J. Blaser

熱帯雨林:

年降水量は3,000mm

を越える.

蒸発量は1,500～1,800mm

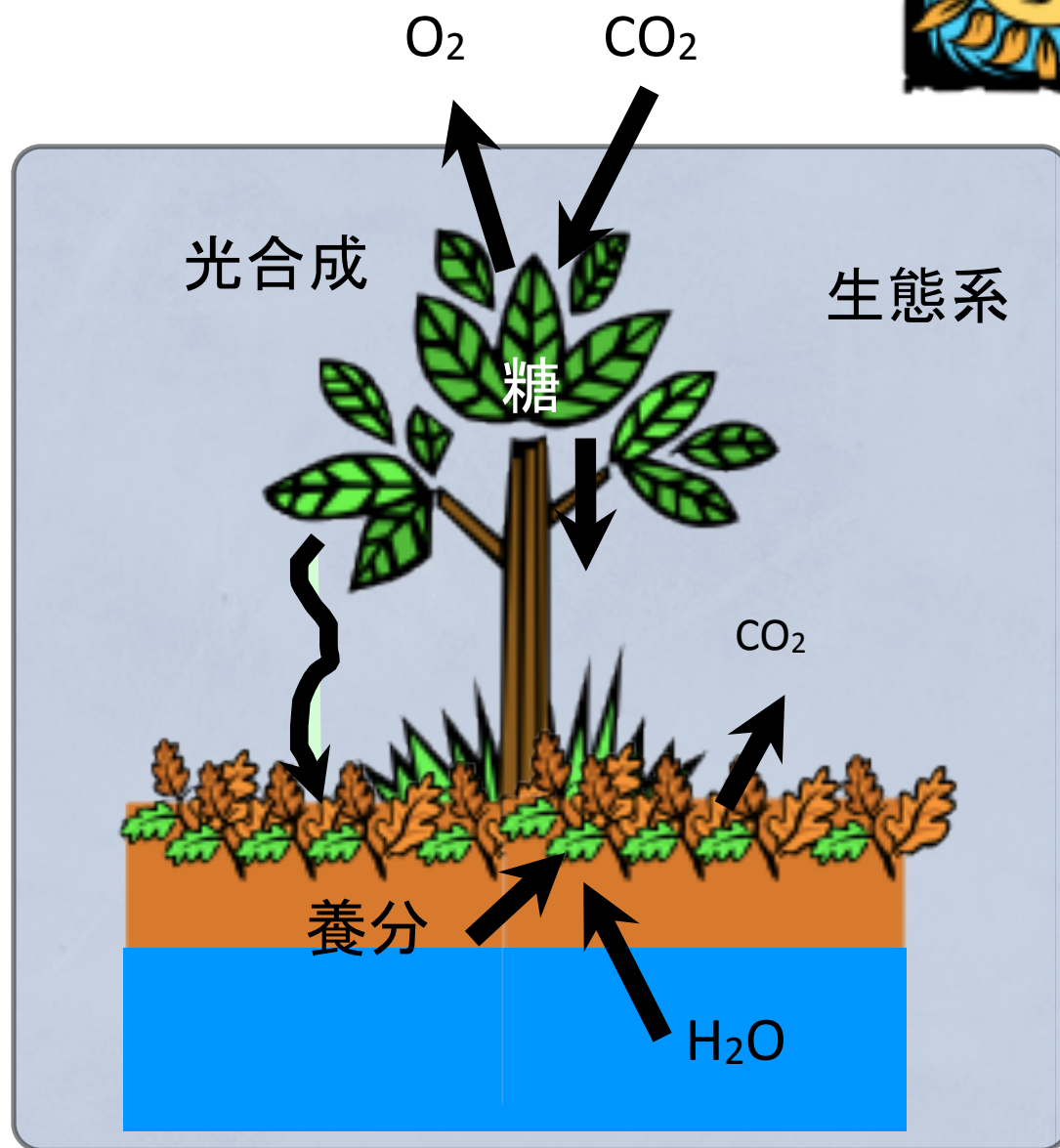
50～60 %

流出量は1,200～1,500mm

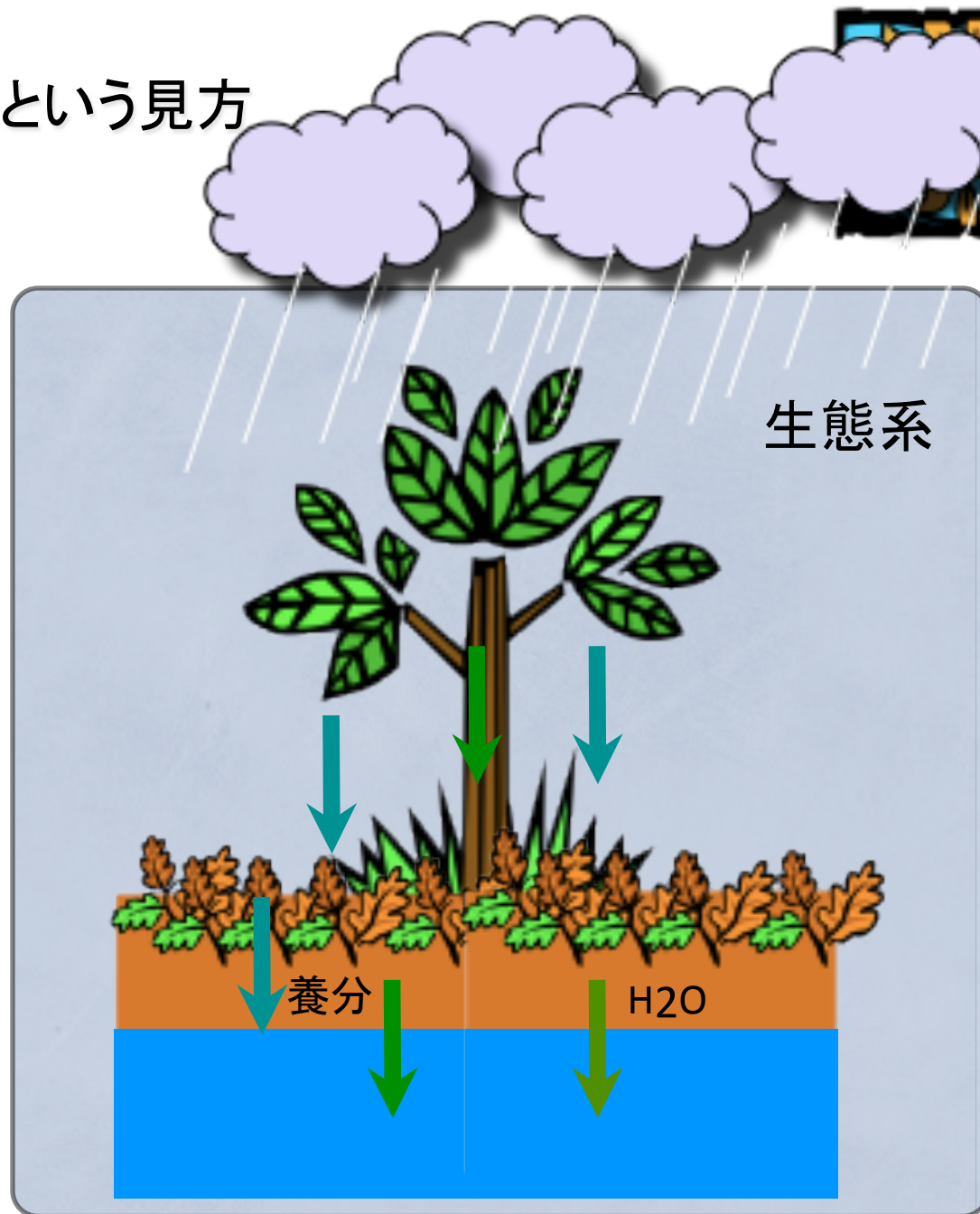
ぐらい.

* 雨も多いし, 日射量も多い.

物質循環という見方

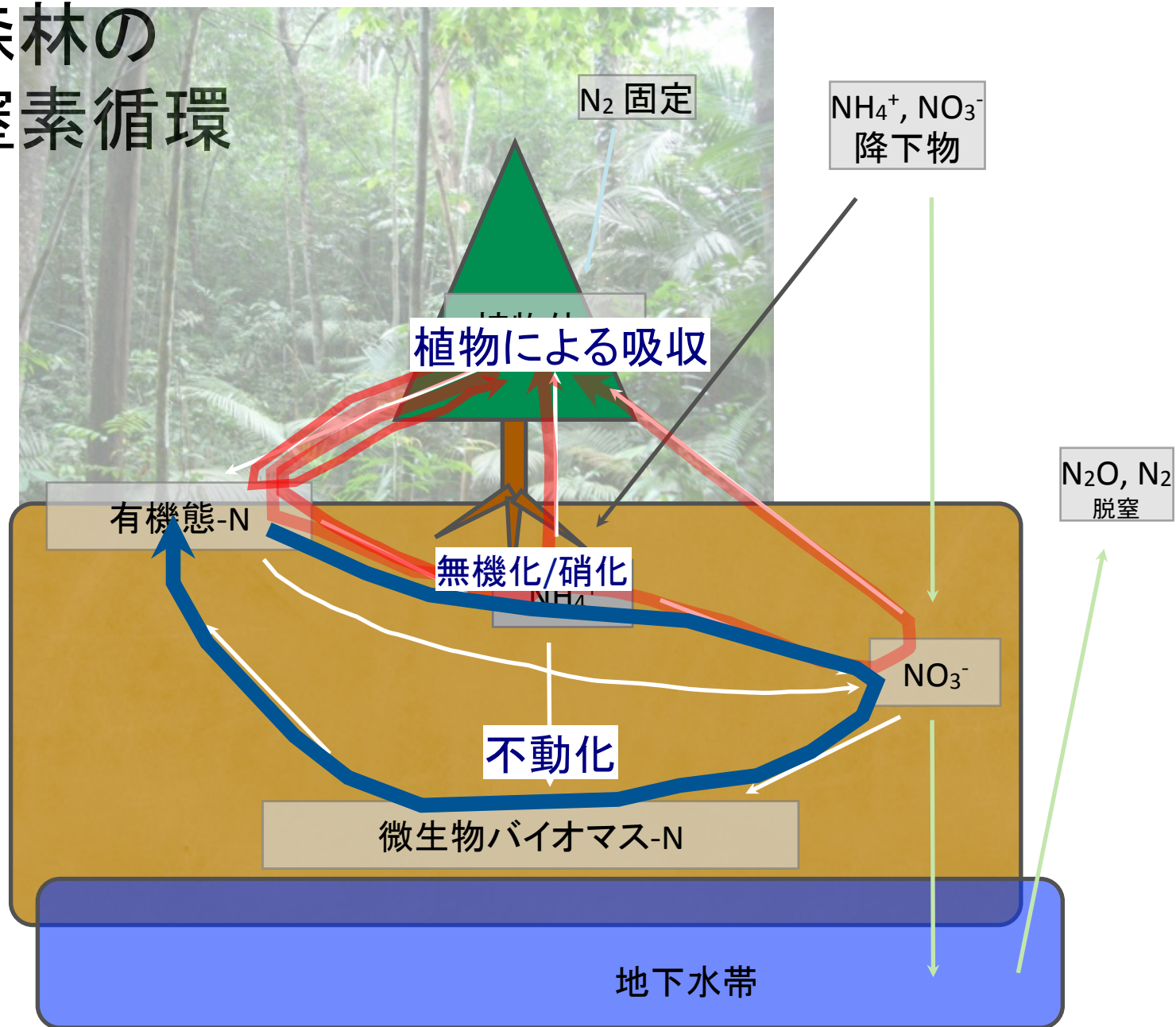


物質循環という見方

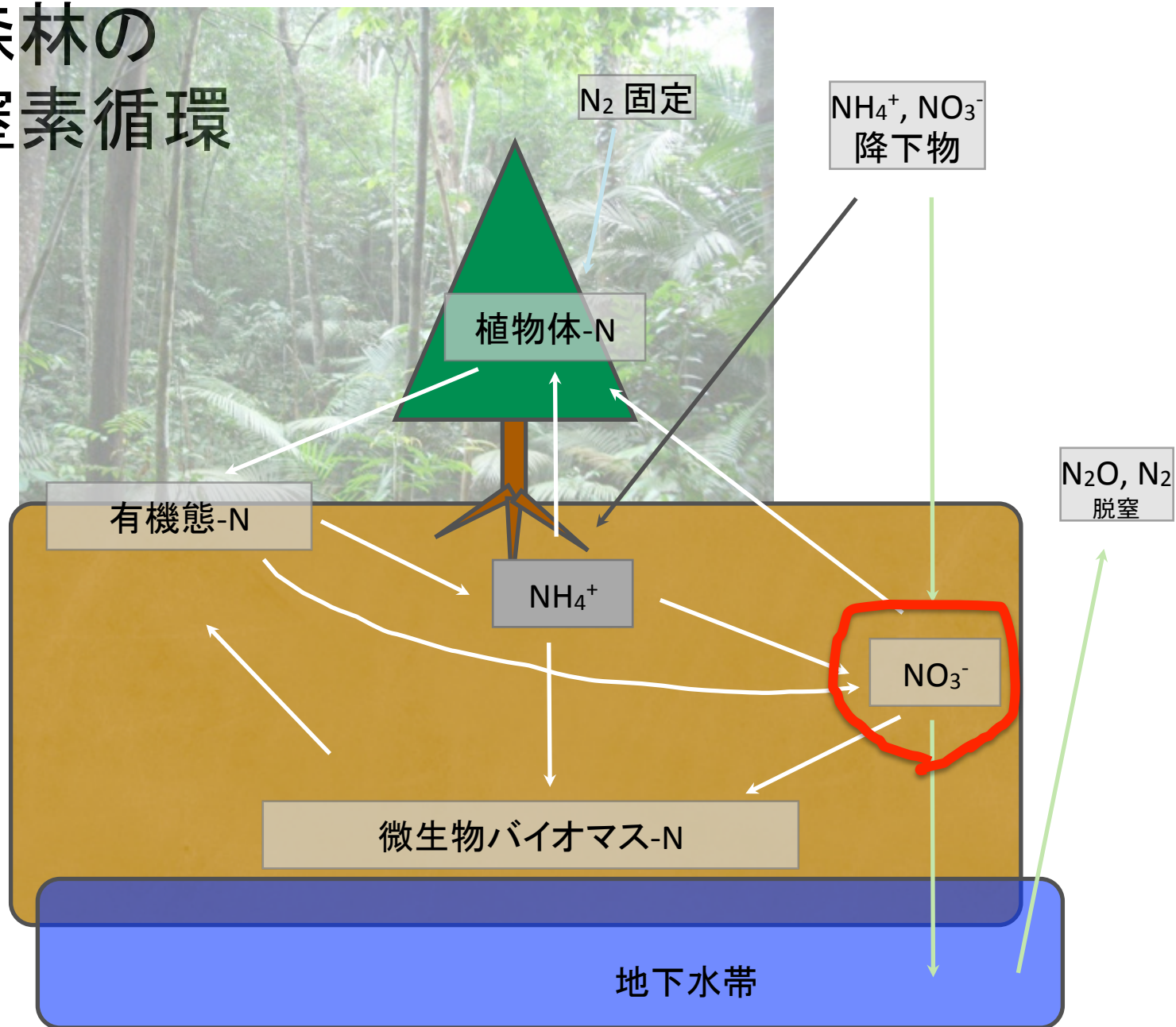


水とともにいろいろな物質が移動する

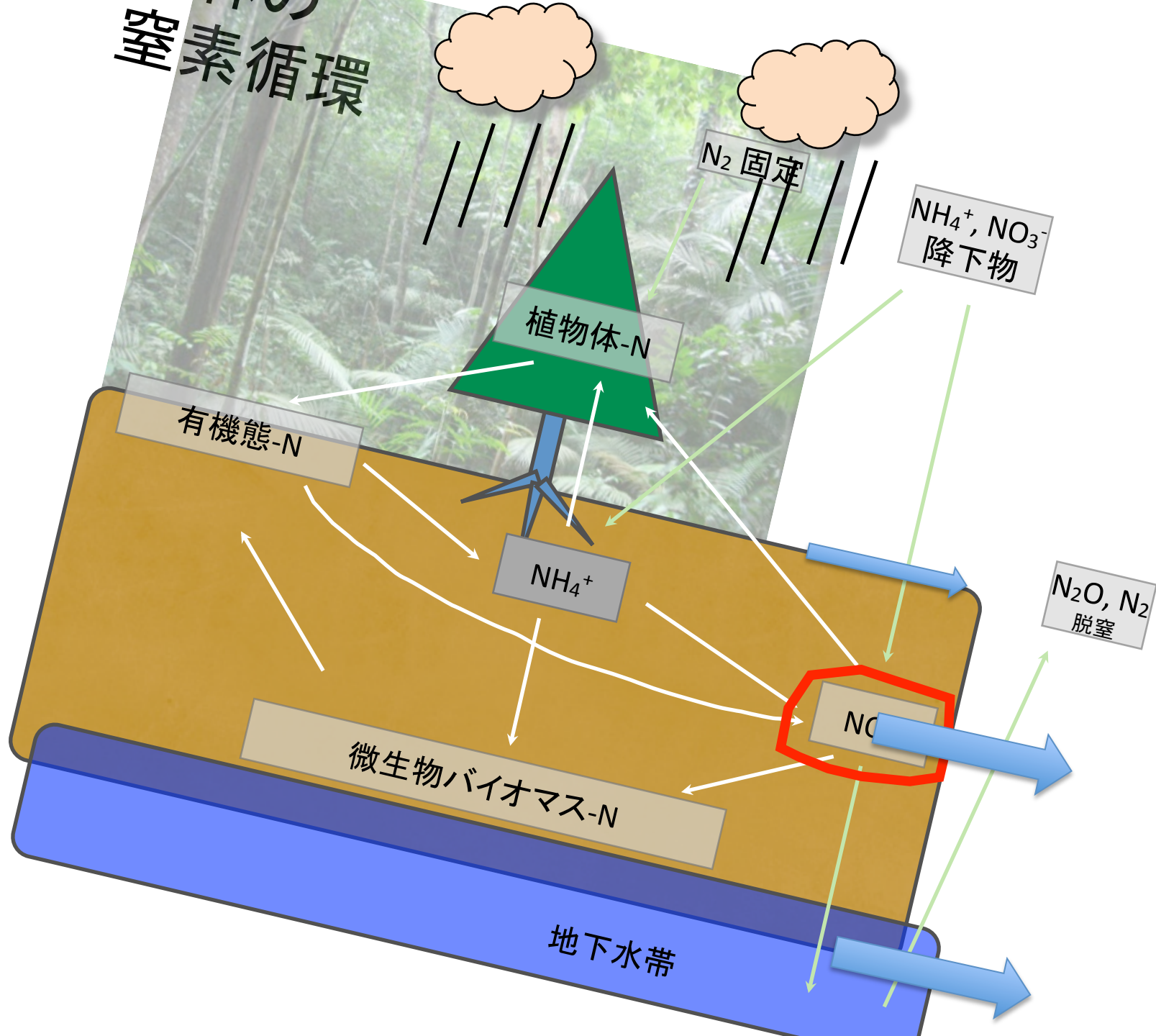
森林の窒素循環



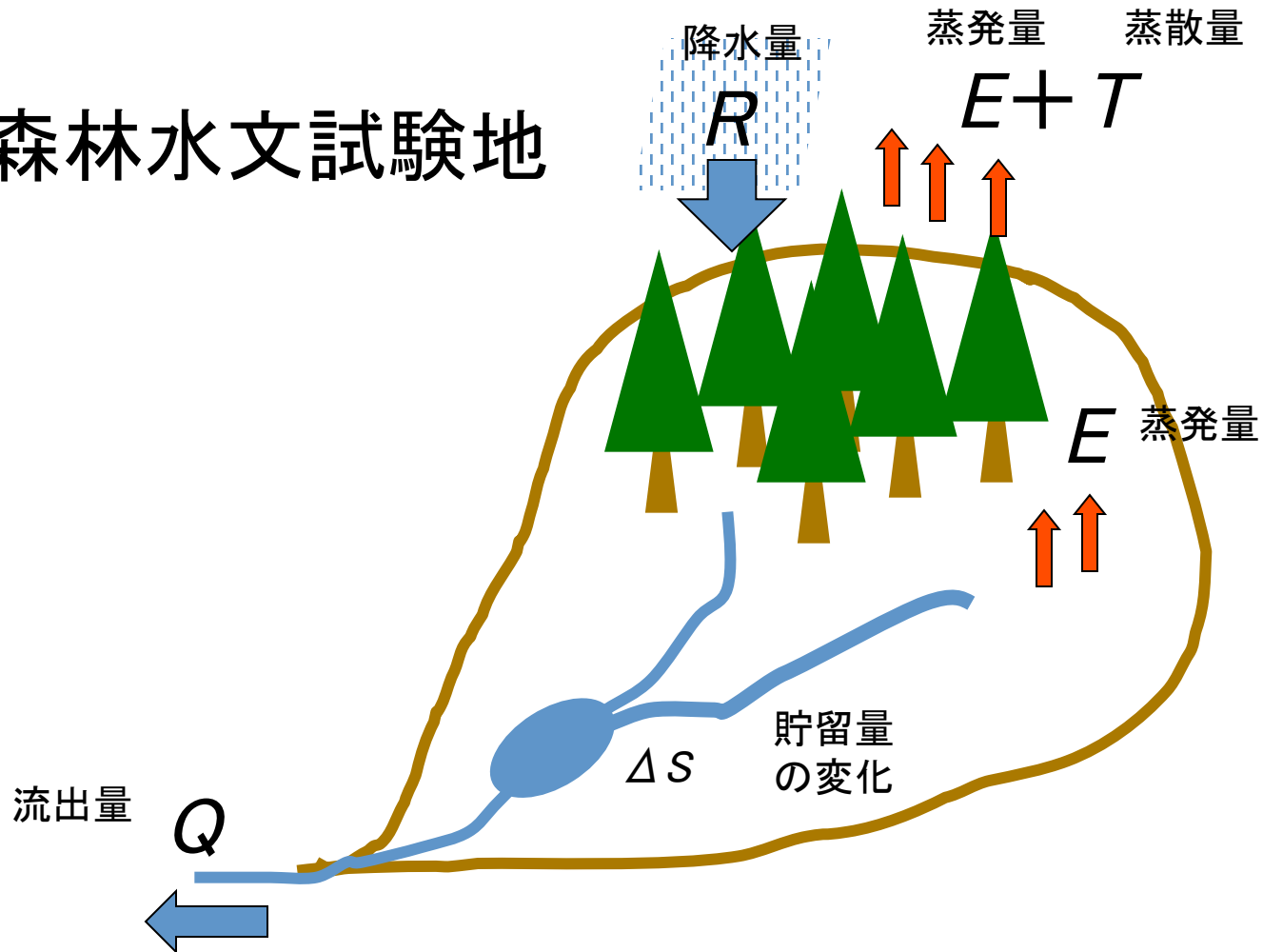
森林の窒素循環



窒素循環



森林水文試験地

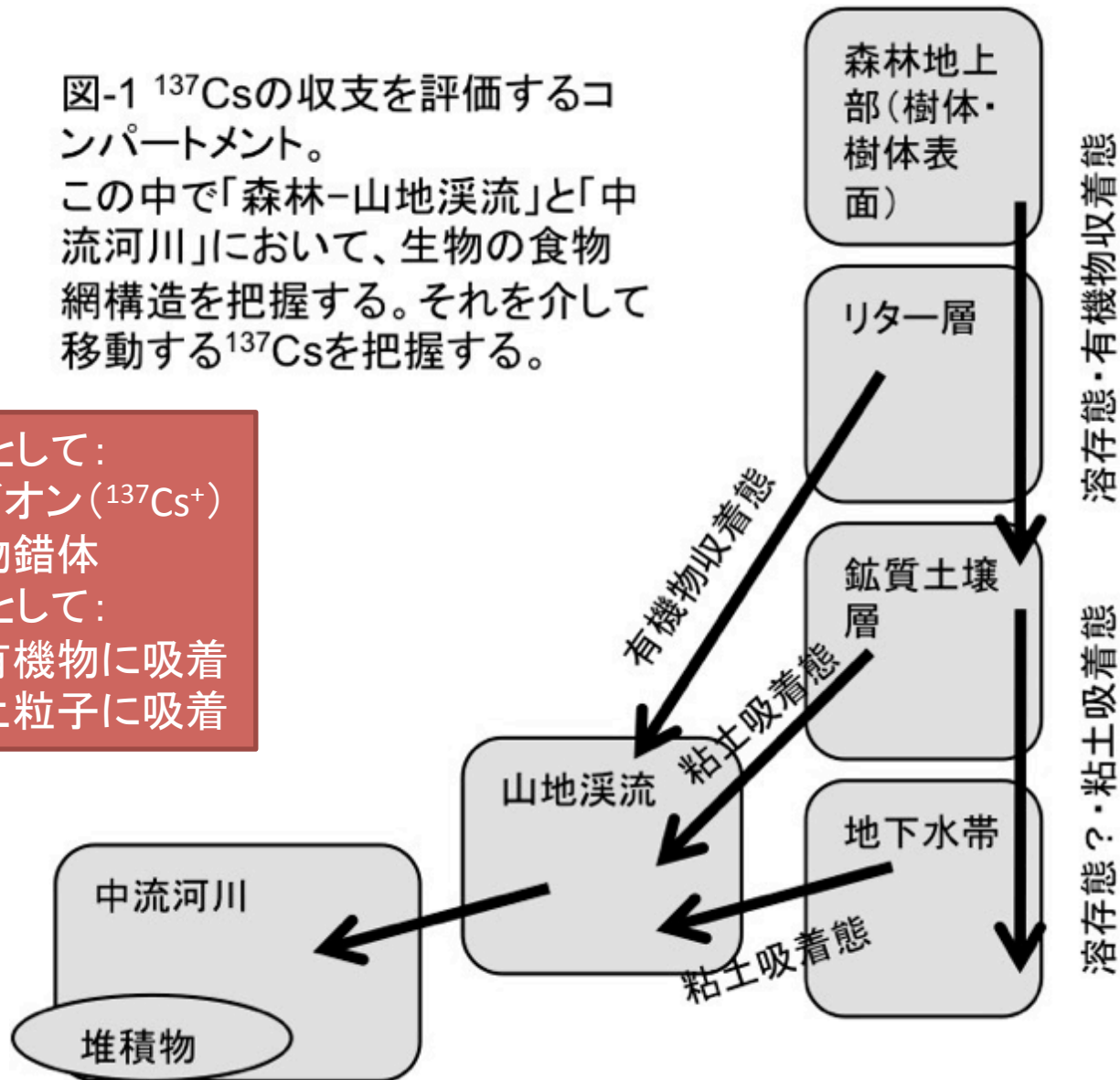


$$R = E + T + Q + \Delta S$$

(1年の収支を考えると $\Delta S = 0$ とおくことができる)

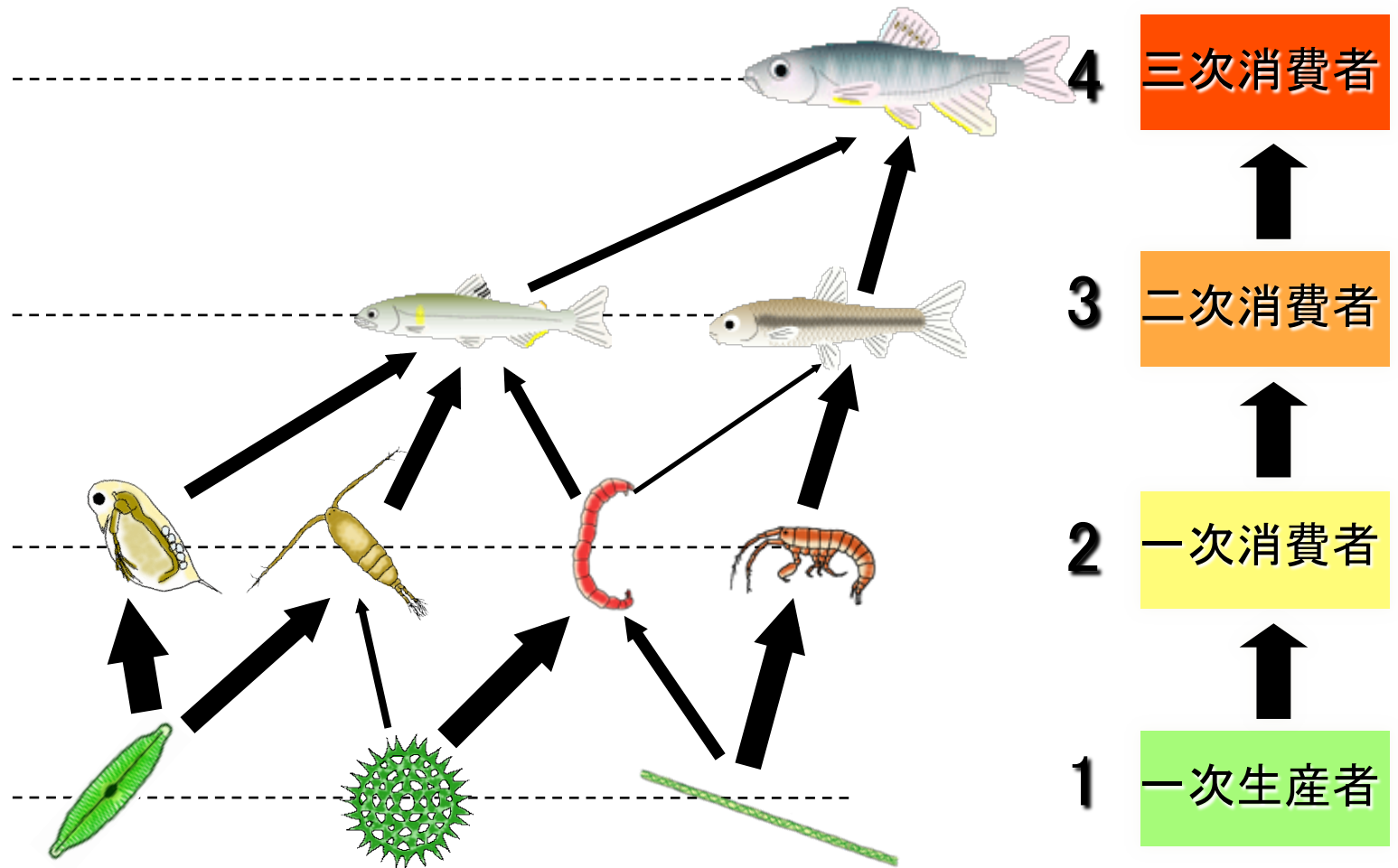
図-1 ^{137}Cs の収支を評価するコンパートメント。
この中で「森林-山地溪流」と「中流河川」において、生物の食物網構造を把握する。それを介して移動する ^{137}Cs を把握する。

溶存態として：
無機イオン($^{137}\text{Cs}^+$)
有機物錯体
懸濁態として：
浮遊有機物に吸着
浮遊土粒子に吸着

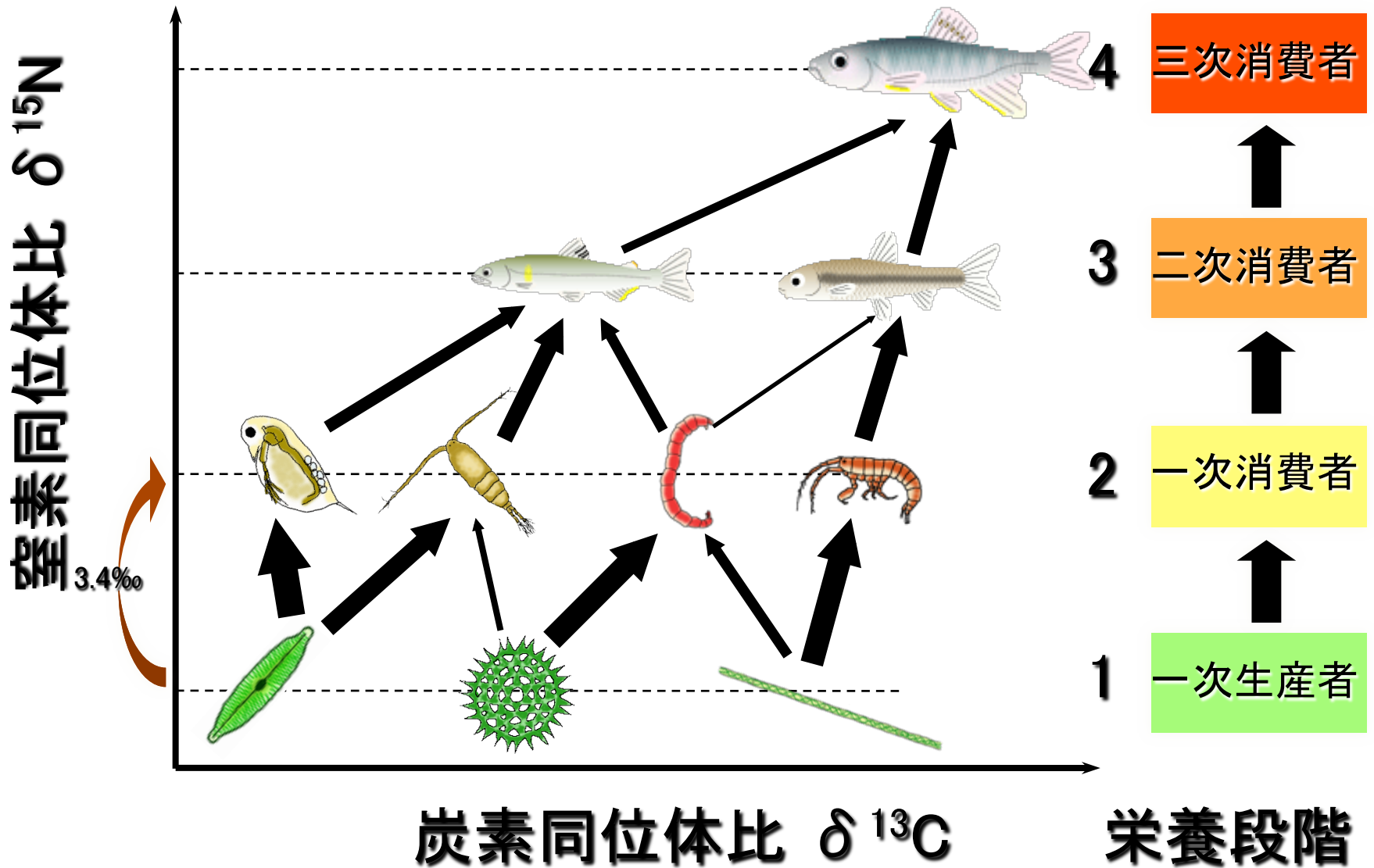


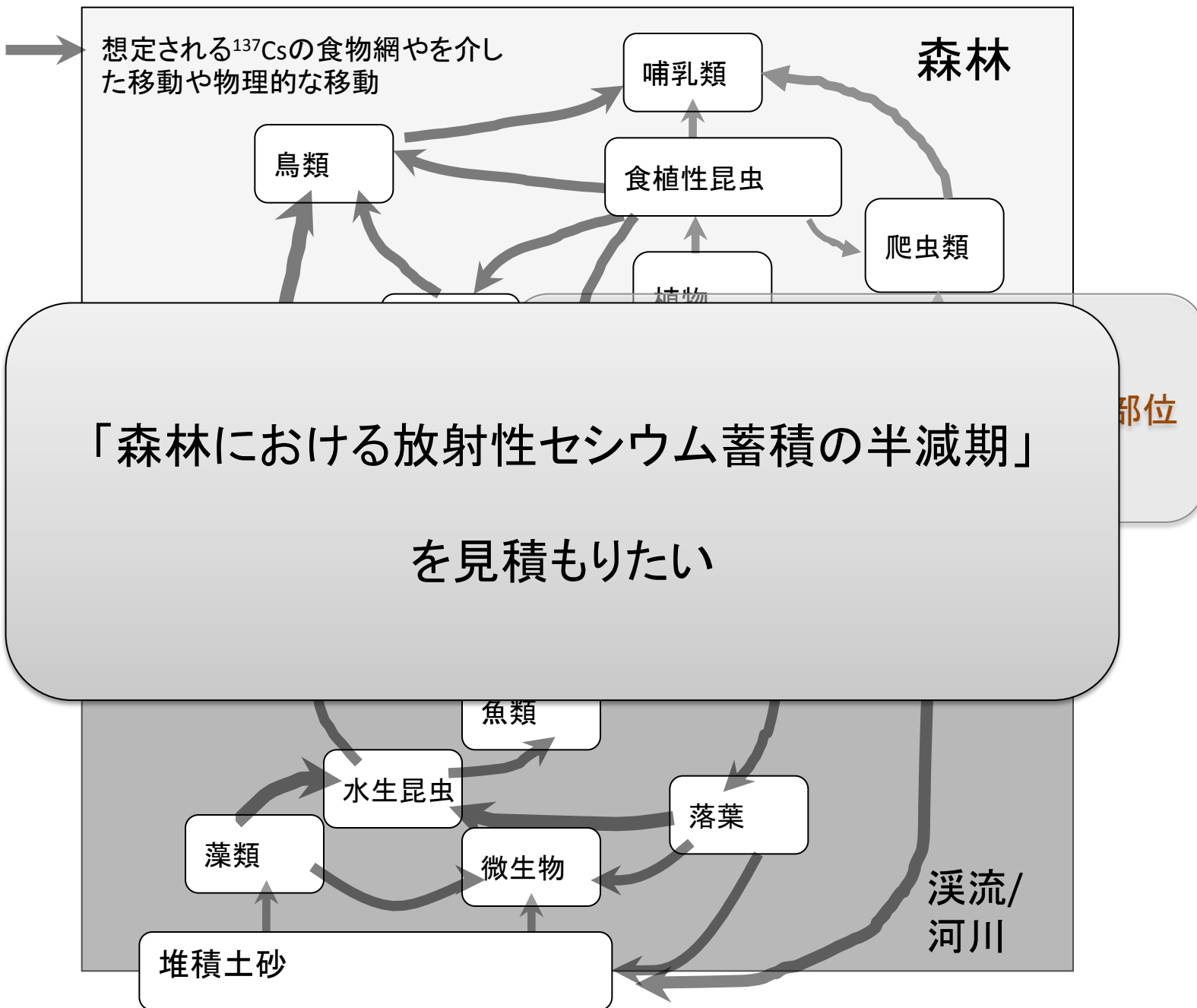
- 生き物の食物連鎖も考える

水生生態系の食物網

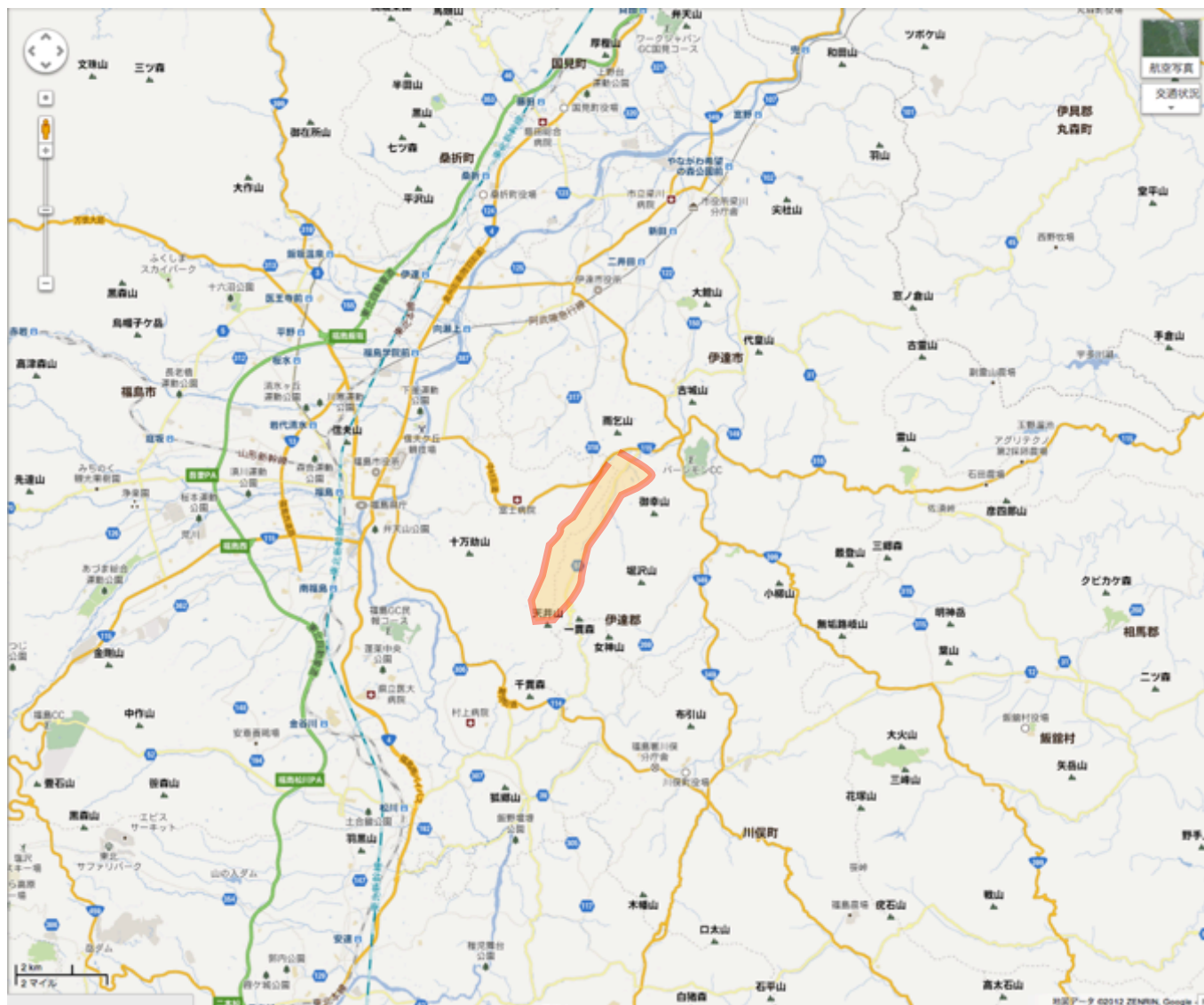


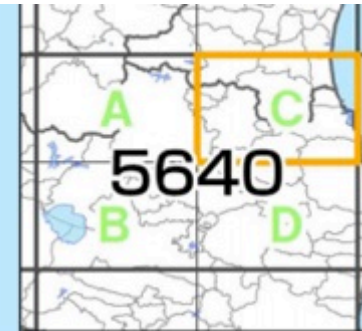
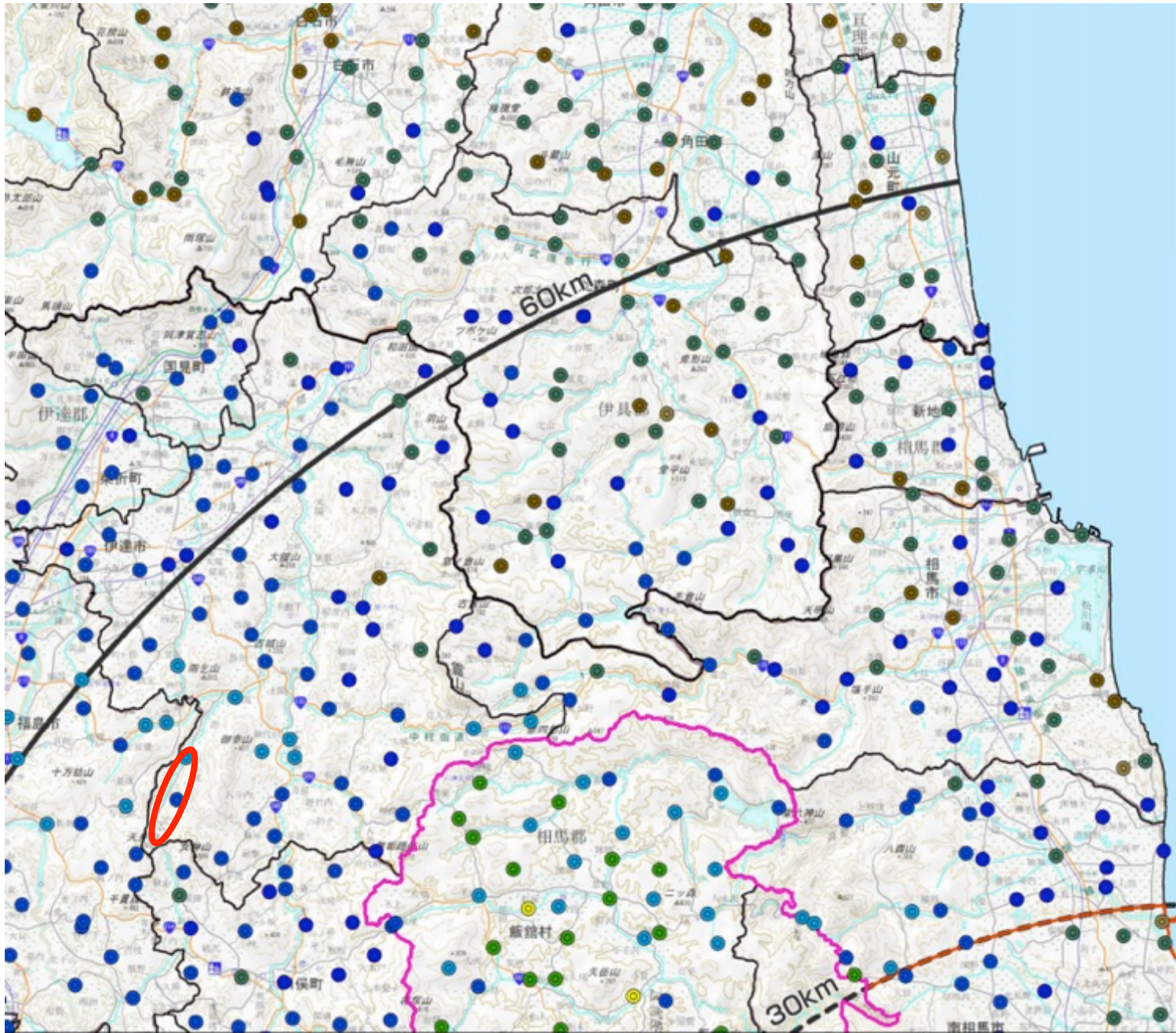
栄養段階を定量的に評価する





福島県伊達市霊山町上小国川集水域





5640 - C

文部科学省
MINISTRY OF EDUCATION,
CULTURE, SPORTS,
SCIENCE AND TECHNOLOGY

放射線量等分布マップ
- 土壌濃度マップ -

凡例

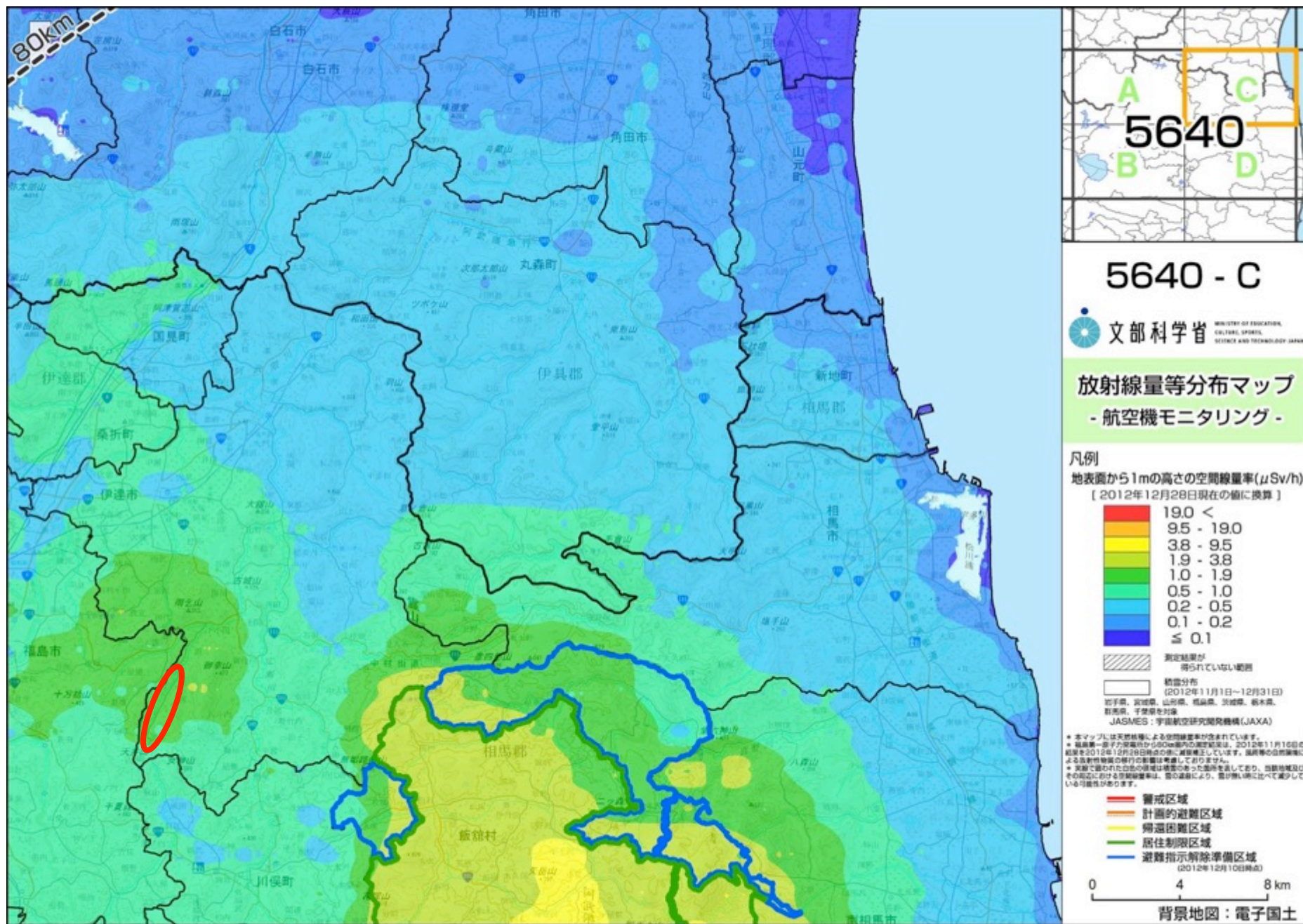
Cs - 137 の沈着量 (Bq / m²)
(6月14日時点)

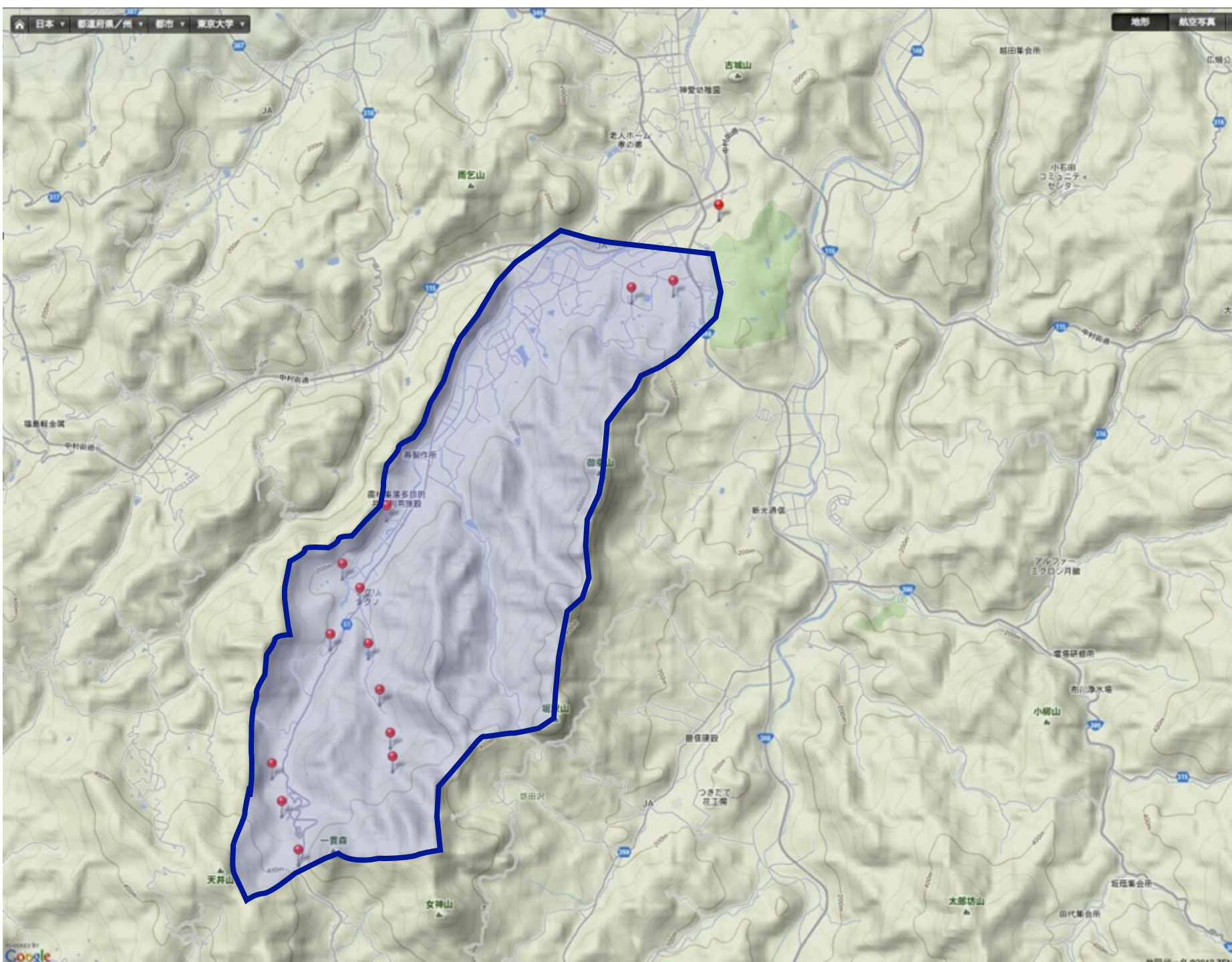
- 3000k <
- 1000k - 3000k
- 600k - 1000k
- 300k - 600k
- 100k - 300k
- 60k - 100k
- 30k - 60k
- 10k - 30k
- ≤ 10k

- 計画的避難区域
- 緊急時避難準備区域
(平成23年9月30日解除)

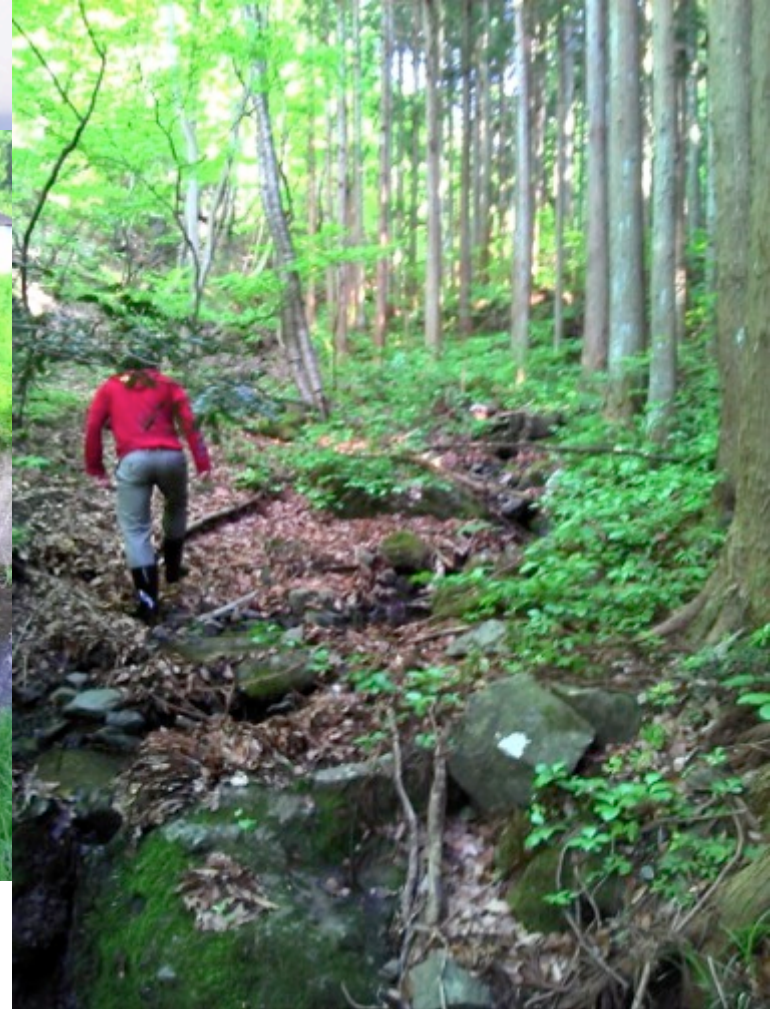
0 4 8 km

背景地図：電子国土





上小国





上小国川

阿武隈川水系広瀬川支流



森林集水域	0.189km ²
赤線中流域	5.11km ²
黒線支流域	2.40km ²
下流域	28.9km ²

● 流量(水位)観測地点

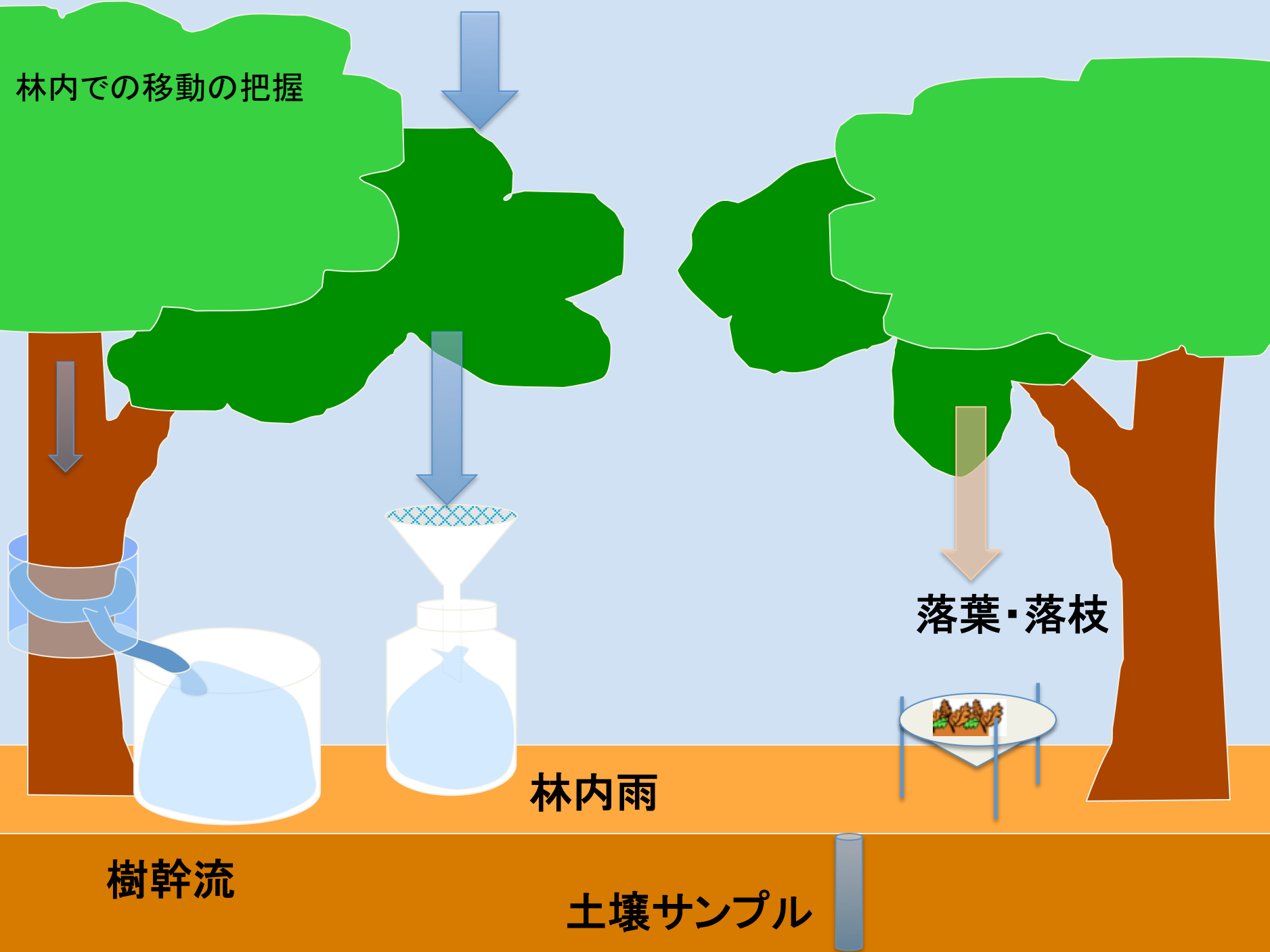
○ 採水地点

● 降水観測地

調査



林内での移動の把握



落葉・落枝

林内雨

樹幹流

土壌サンプル

森林内の様子

リタートラップ



量水堰



樹幹流
ボトル



これまでにさ れた森林での 調査

- 文科省・農水省科学技術戦略推進費「東京電力株式会社福島第一原子力発電所の事故に伴い放出された放射性物質の分布状況等に関する調査研究結果」(昨年度)

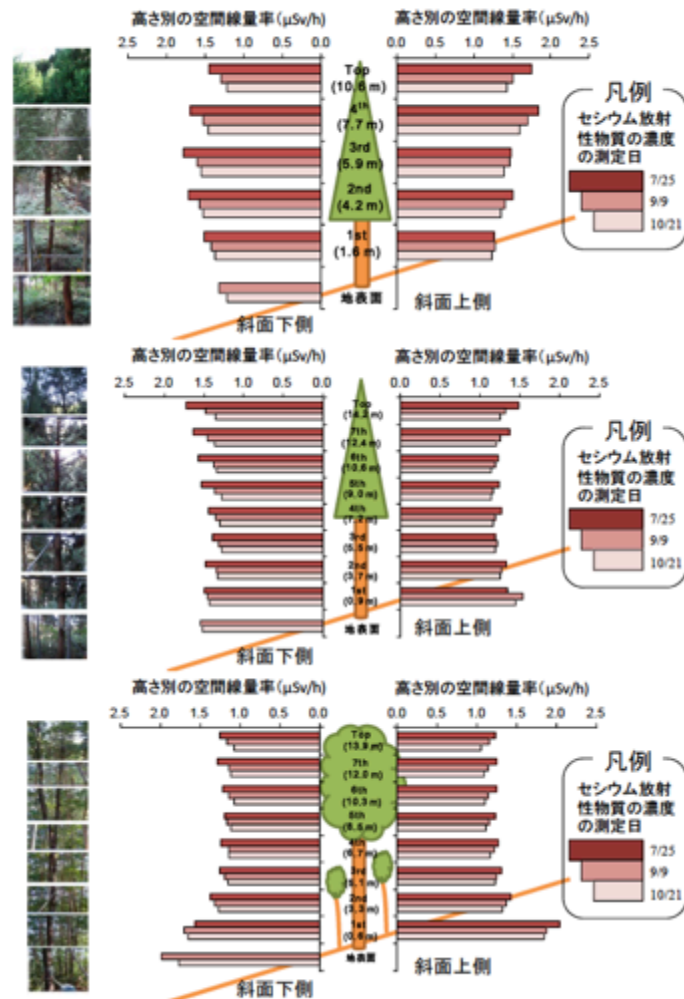
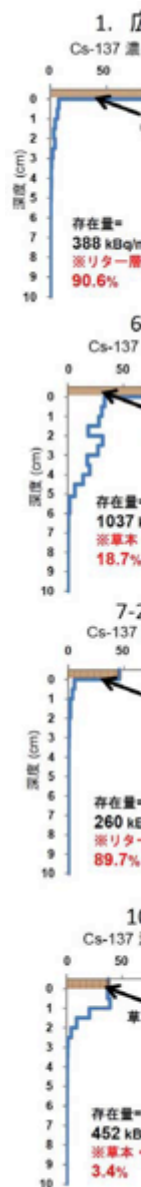


図 6-13 ポータブルゲルマニウム
半導体検出器による林内の空間線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
の垂直分布 (スギ若齢林 (上)、
スギ壮齢林 (中)、広葉樹混合林 (下))

その中でわかってきたこと

- 森林では：
 - 森林ではまだ十分に土壌に移行していない。リターにある（付着している）。
 - 常緑樹と落葉樹では、落葉・落枝の供給量や季節が違うから、それが地表への ^{137}Cs 沈着量の時間変化に影響する。
 - 土壌の深い所も調べられているが、ほとんど無い。
- 河川では：
 - 流域の土壌中の ^{137}Cs 濃度が高いと、河川水の濃度も高い。

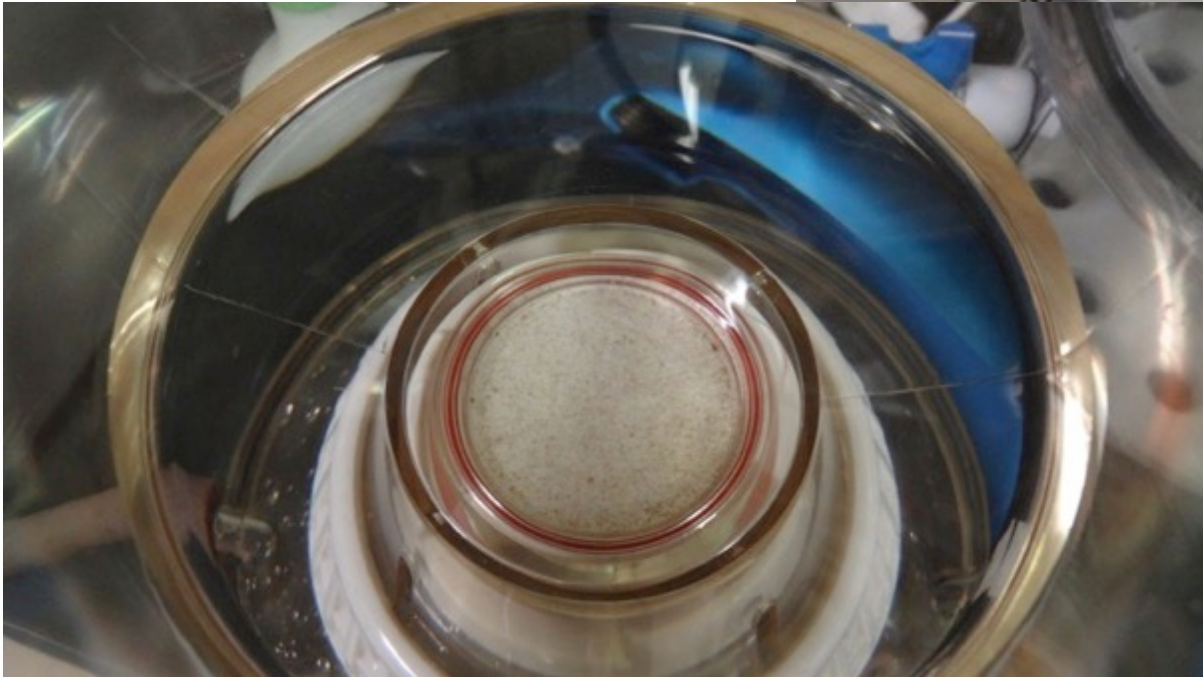
私たちの調査研究のターゲット

- 森林からの放射性物質の流出の仕組みを明らかにする。
 - 有機物(固相、粒子状、懸濁態、溶存態)との関わりを重視する
- 生き物への移行のメカニズムを明らかにする。
- システマティックにデータを整理して公開する。
- 予測をする。

速報

- 渓流水懸濁物質中の ^{137}Cs 濃度
- 森林、水田、溪流における生物の ^{137}Cs 濃度



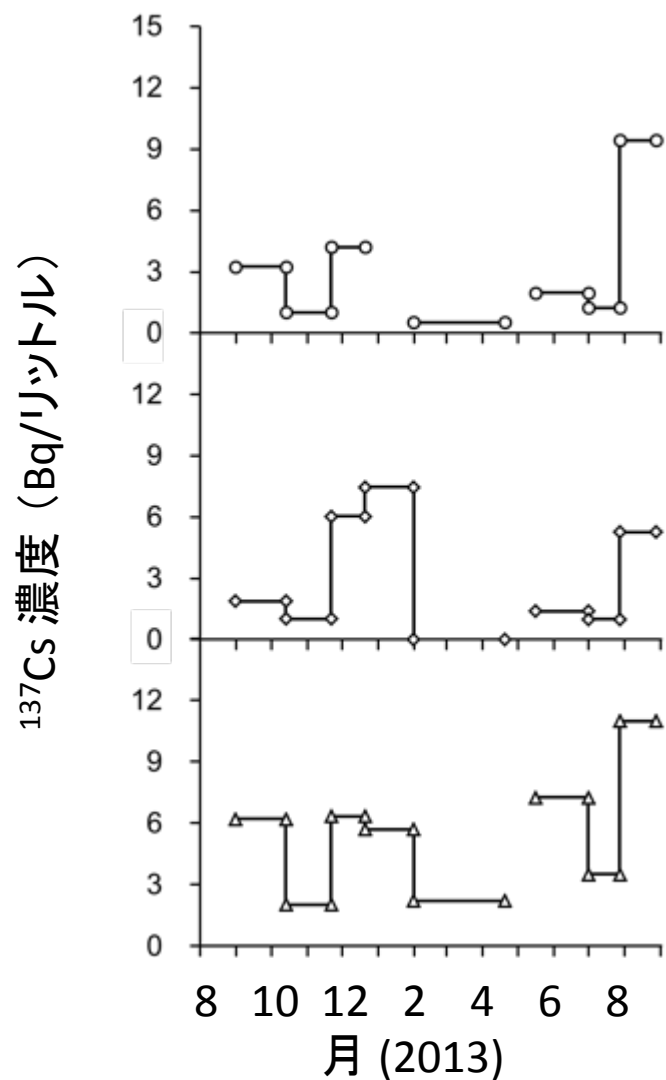


- 樹冠から林床へ

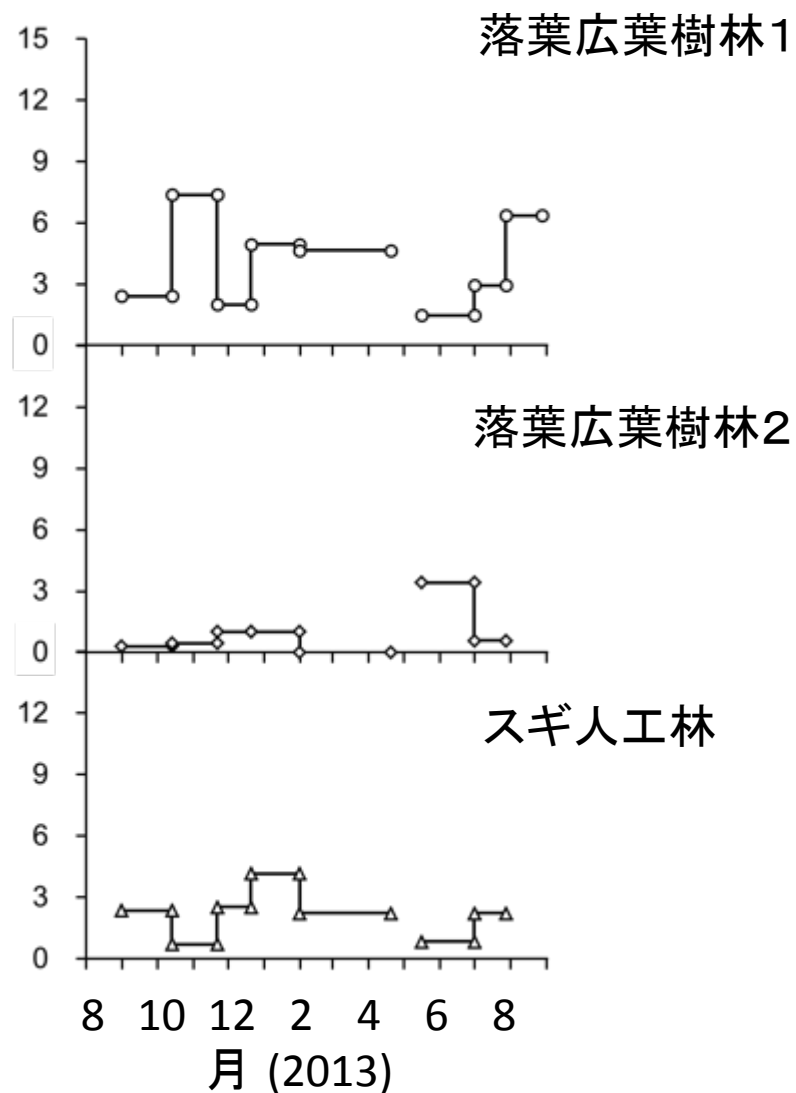
- 林内雨
- 樹幹流
- リターフール



林内雨

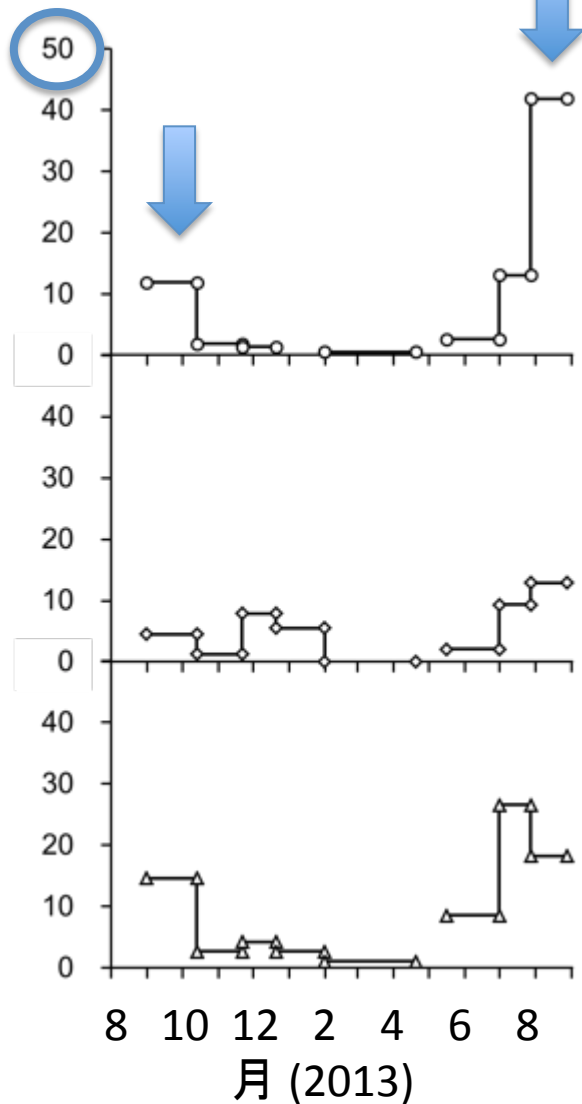


樹幹流

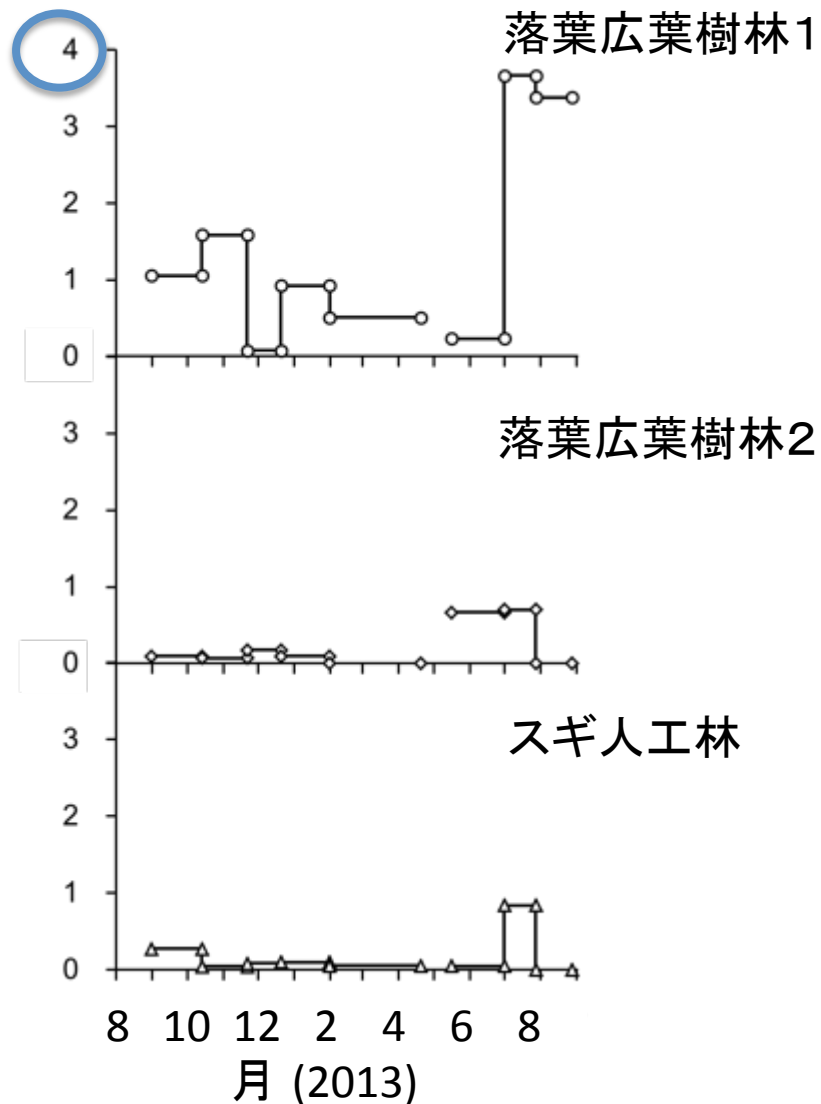


林内雨

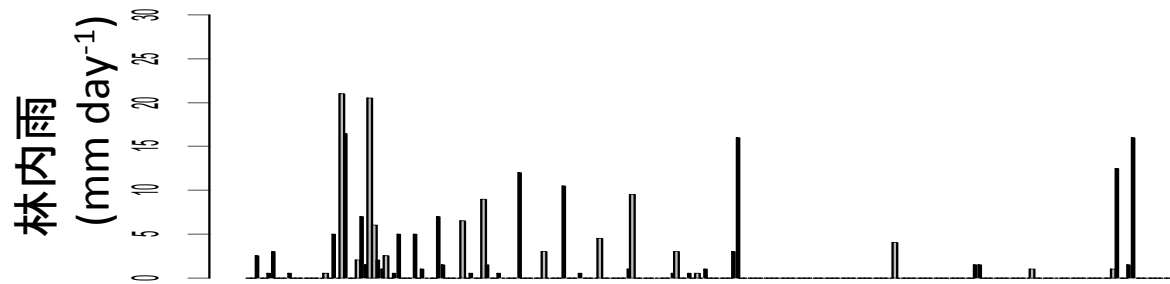
^{137}Cs 流下量 ($\text{Bq}/\text{m}^2/\text{日}$)



樹幹流

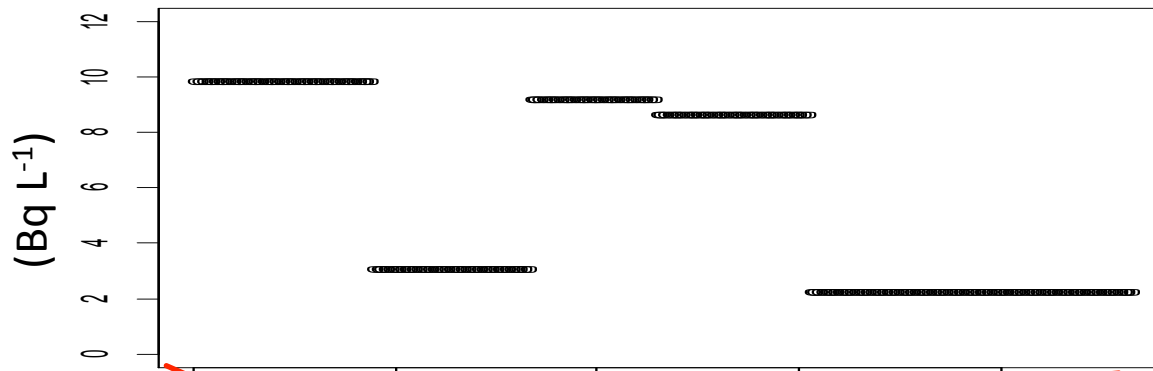


樹冠から林床へ：プロットBスギ人工林 12/8/31-13/4/19(232日間)



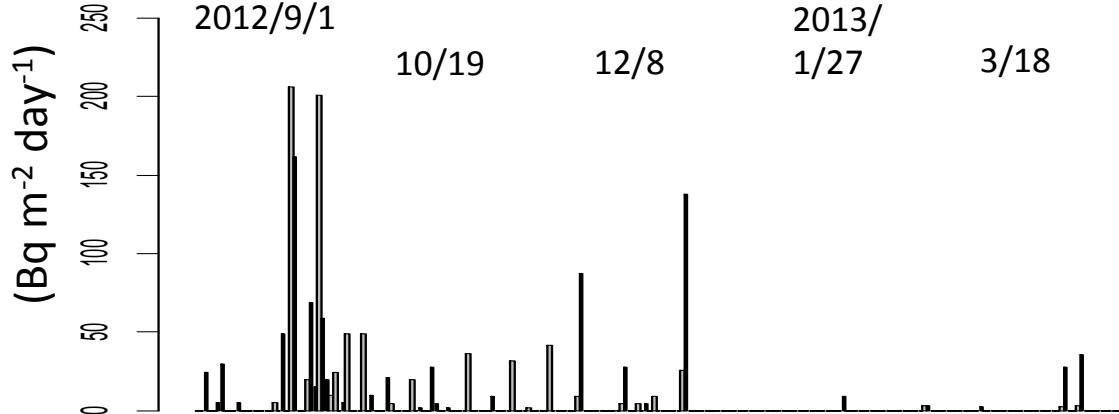
合計: 234.5mm

¹³⁷Cs + ¹³⁴Cs
濃度
(Bq L⁻¹)



2012/8/31

¹³⁷Cs + ¹³⁴Cs
流下量
(Bq m⁻² day⁻¹)



2012/9/1

10/19

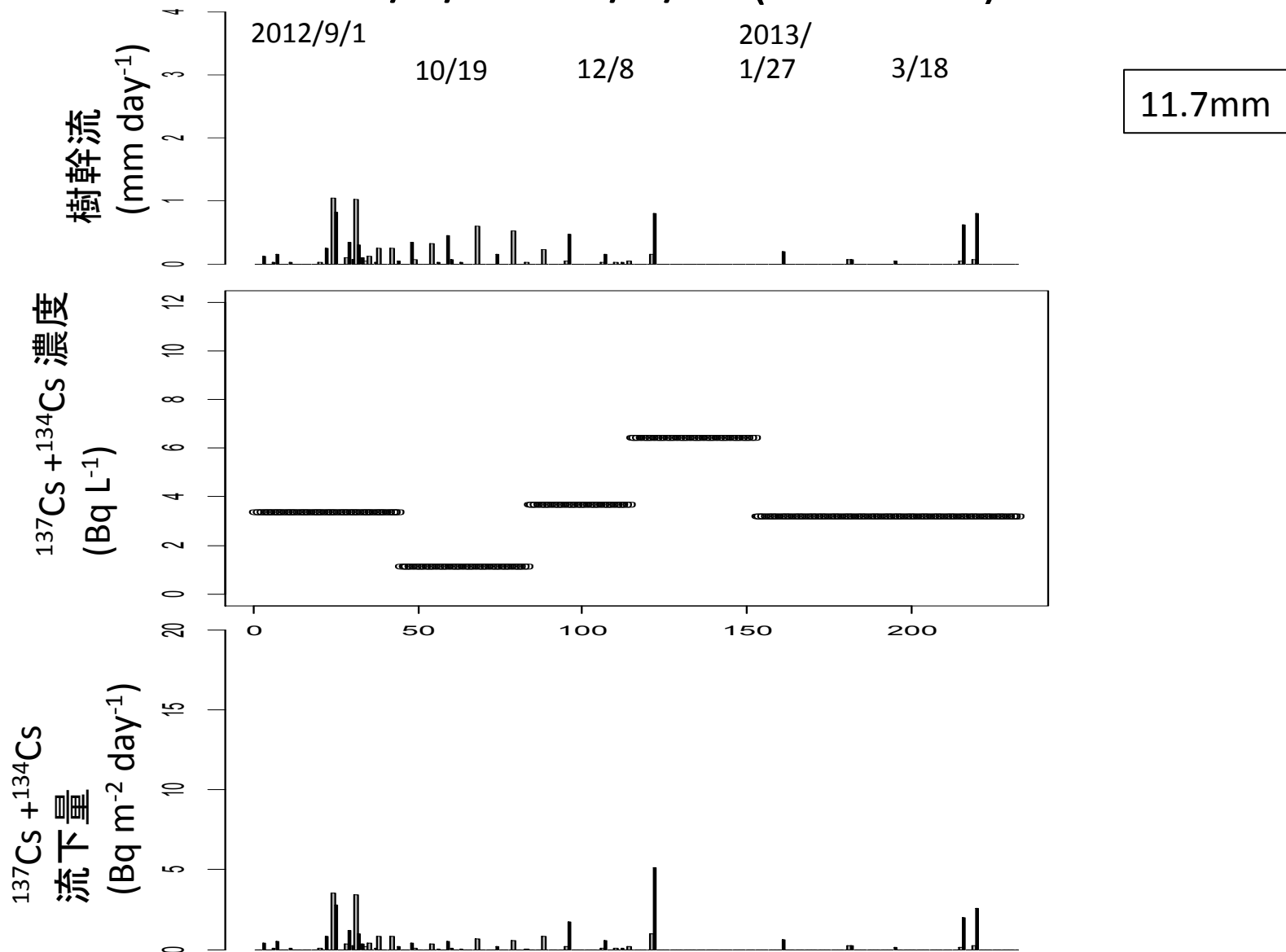
12/8

2013/
1/27

3/18

2013/4/19

樹冠から林床へ： プロットBスギ人工林 12/8/31-13/4/19(232日間)



樹冠から地表への供給量:

A: コナラ・アカマツ林

6.63 Bq m⁻² day⁻¹ (林内雨5.47, 樹幹流1.16)

B: スギ人工林

7.12 Bq m⁻² day⁻¹ (林内雨6.96, 樹幹流0.16)

C: コナラ・ケヤキ・アカマツ林

4.46 Bq m⁻² day⁻¹ (林内雨4.41, 樹幹流0.05)

落葉・落枝

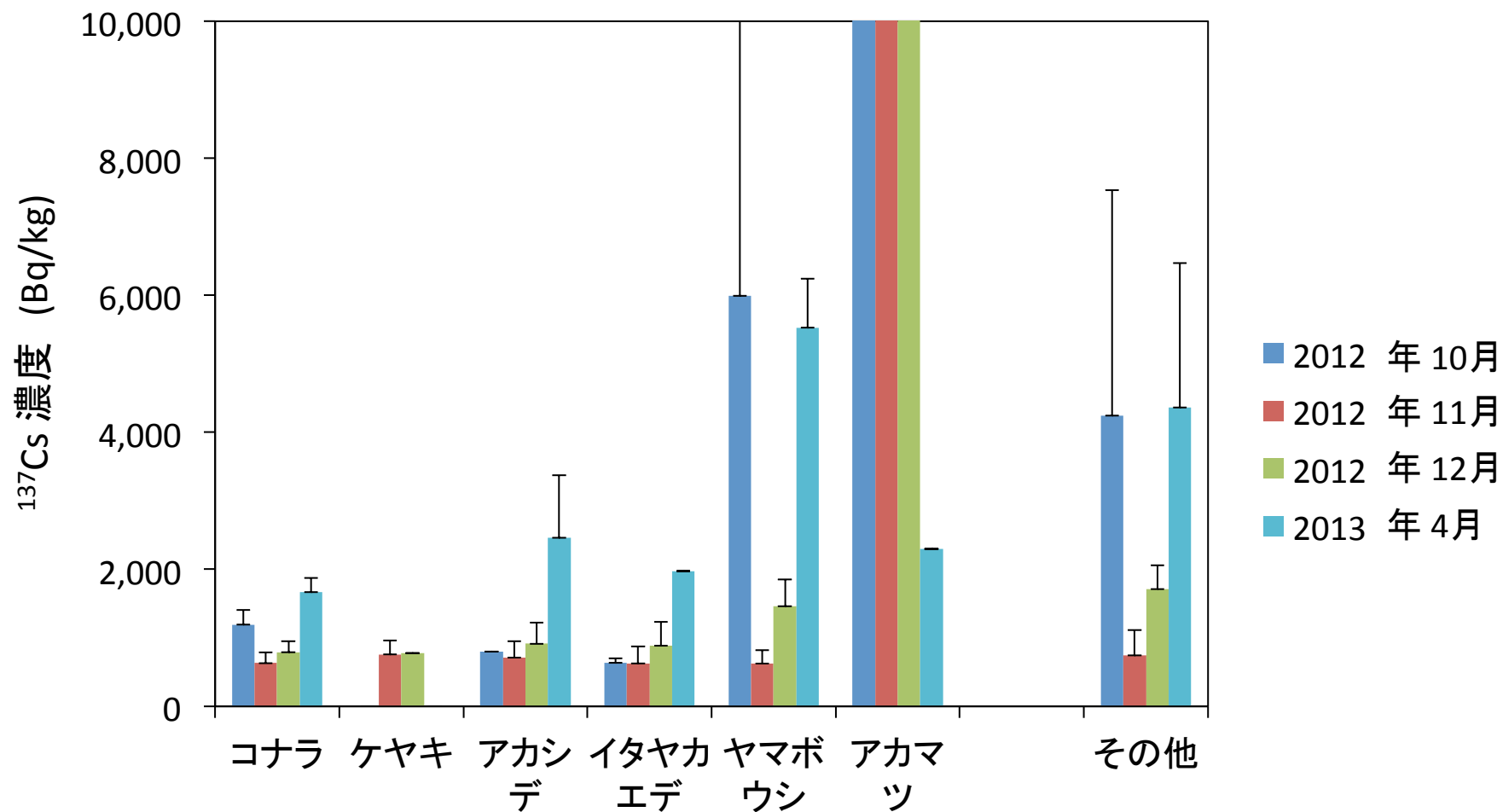
各プロットに受け口面積が1 m²のリタートラップを5個ずつ設置した。

樹種ごとに分けたリターを、NaI(Tl)シンチレーションカウンターで¹³⁷Cs濃度を測定した。

スギ人工林内のリタートラップ

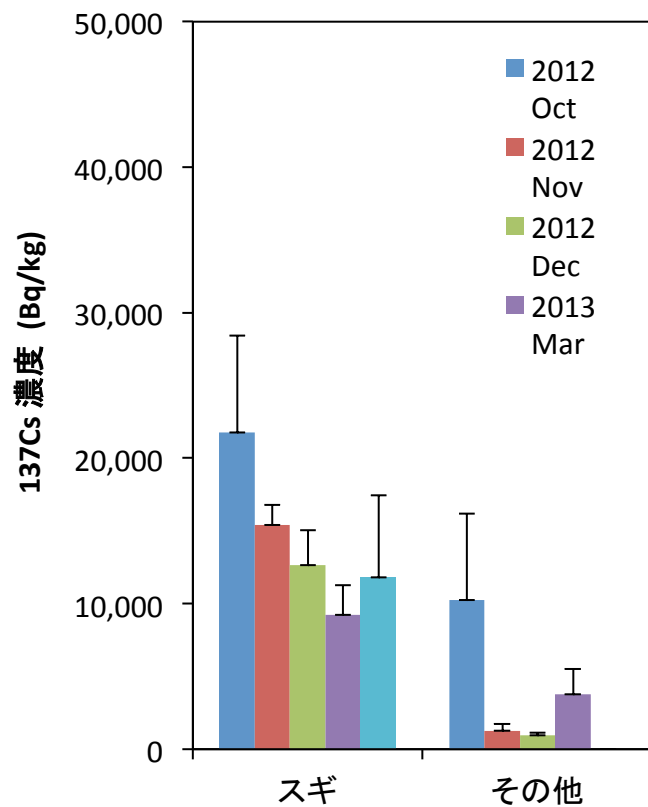


落葉・落枝 落葉広葉樹プロットA

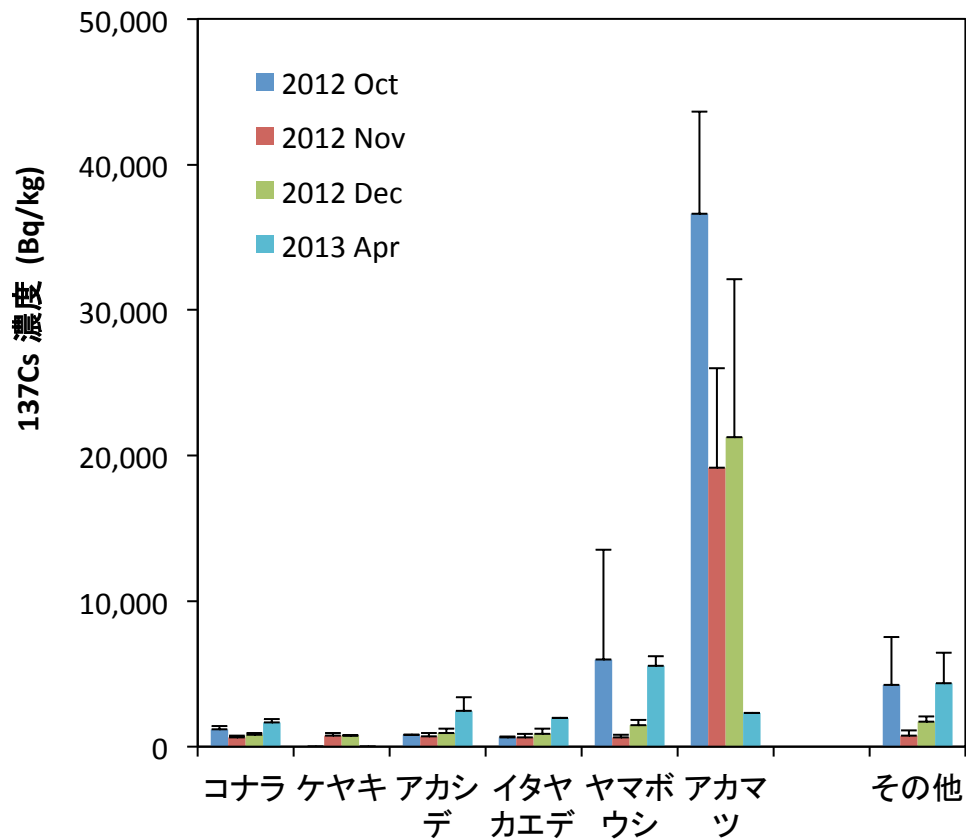


落葉・落枝

スギ



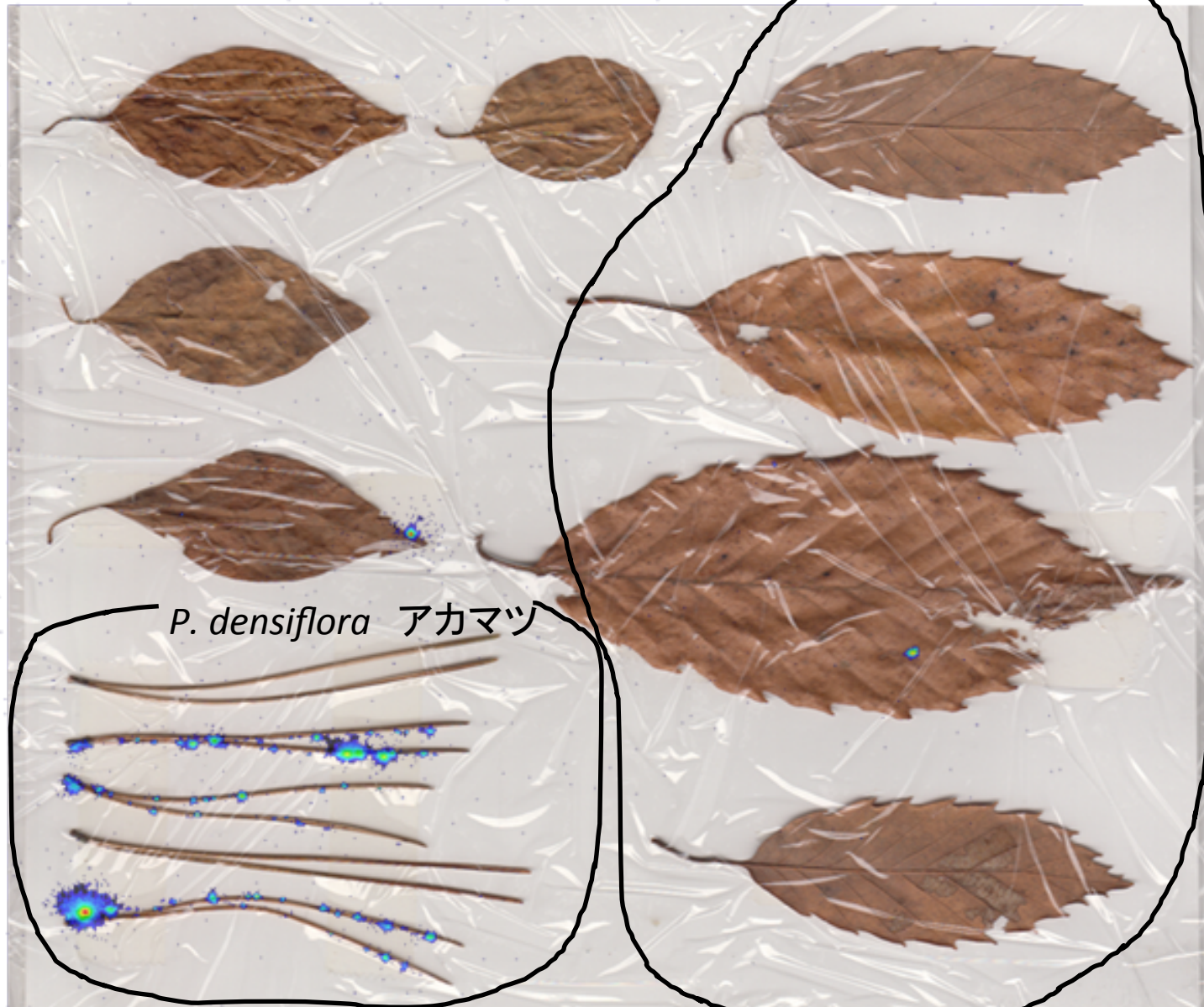
落葉広葉樹とアカマツ



イメージングプレート

L. praecox アブラチャン

Q. serrata コナラ



P. densiflora アカマツ

2012年
11月
回収分

落葉・落枝

- ・ ^{137}Cs 濃度は、落葉樹に比べて常緑樹（スギとアカマツ）で高かった
- ・常緑樹の ^{137}Cs 濃度は調査期間の経過とともに減少した

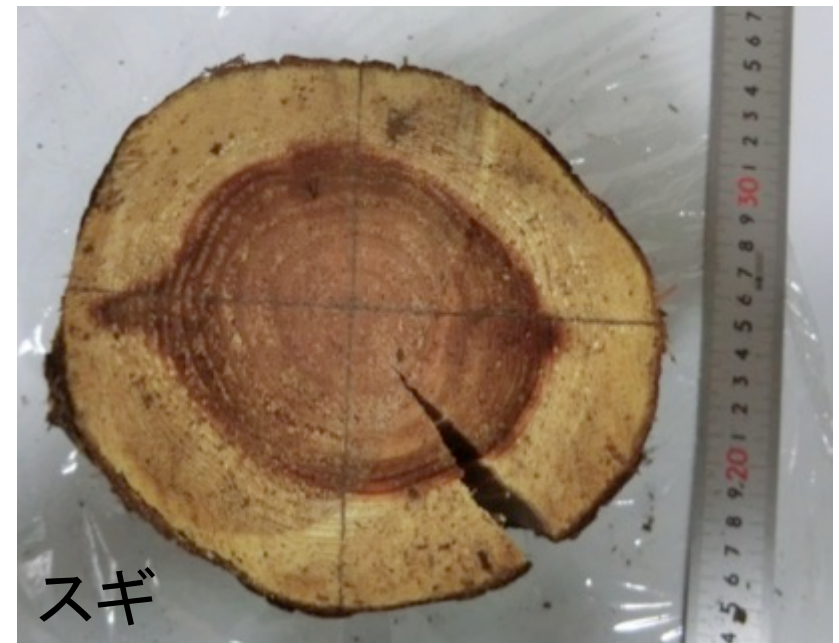
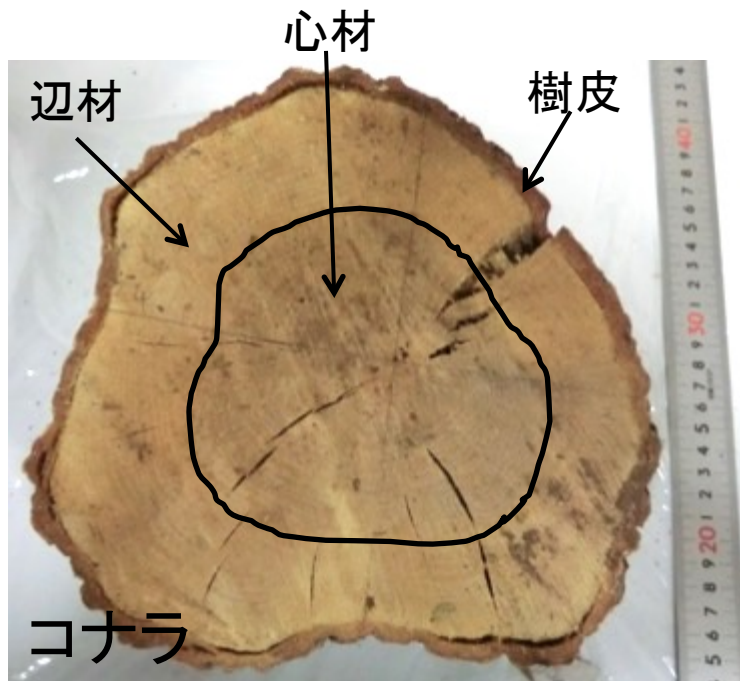
1. 常緑樹の樹冠に降下時に付着した ^{137}Cs は、落葉と葉の更新によって徐々に減少している。
2. 広葉樹の葉に1000 Bq/kg レベルの ^{137}Cs が検出されるのは、他の部位から転流してきていることを意味している。

木材の中の ^{137}Cs

コナラ3本とスギ1本を伐倒し、葉、枝、幹に分けた。

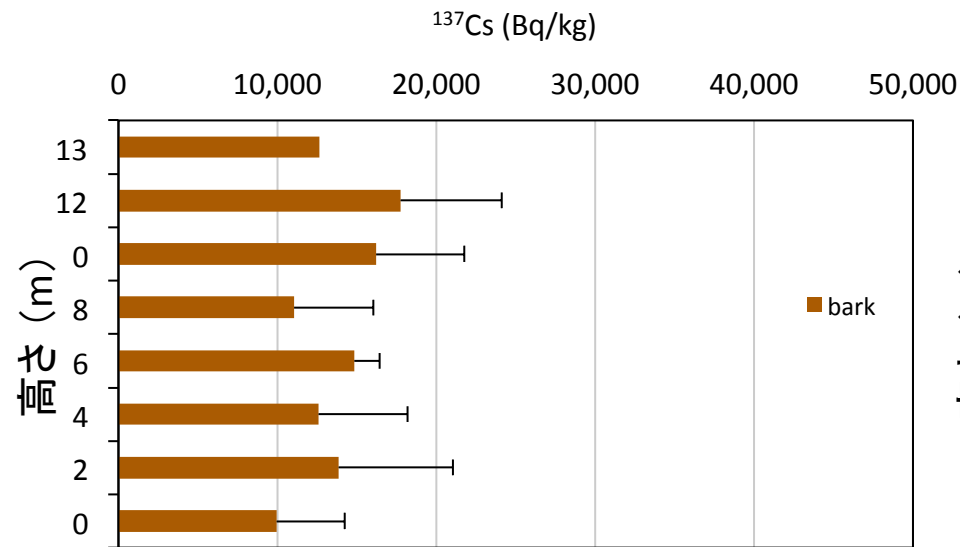
枝は太さごとに5-10 cm、1-5 cm、1 cm以下と分けた。

幹は、地際から2 mごとに切り出し、幹の一部を樹皮、辺材、心材に分け、ゲルマニウム半導体検出器で ^{137}Cs 濃度を測定した。

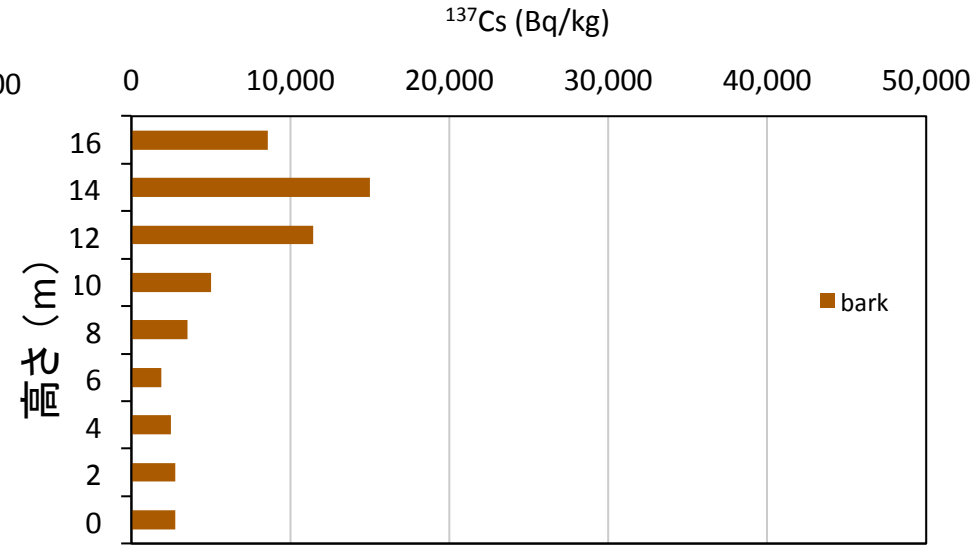


樹皮

コナラ
Q. serrata



スギ
C. japonica



コナラ *Q. serrata* 5,000 - 24,000 (Bq/kg)

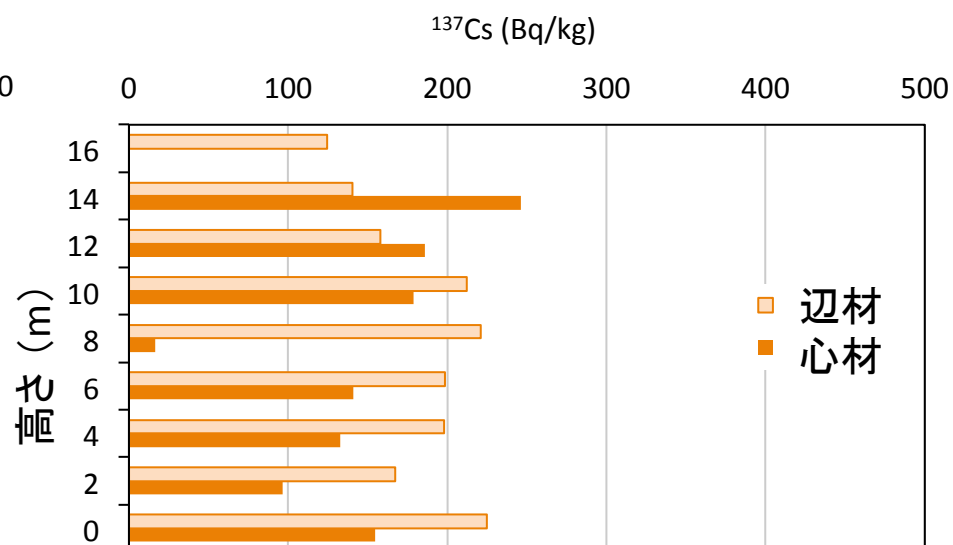
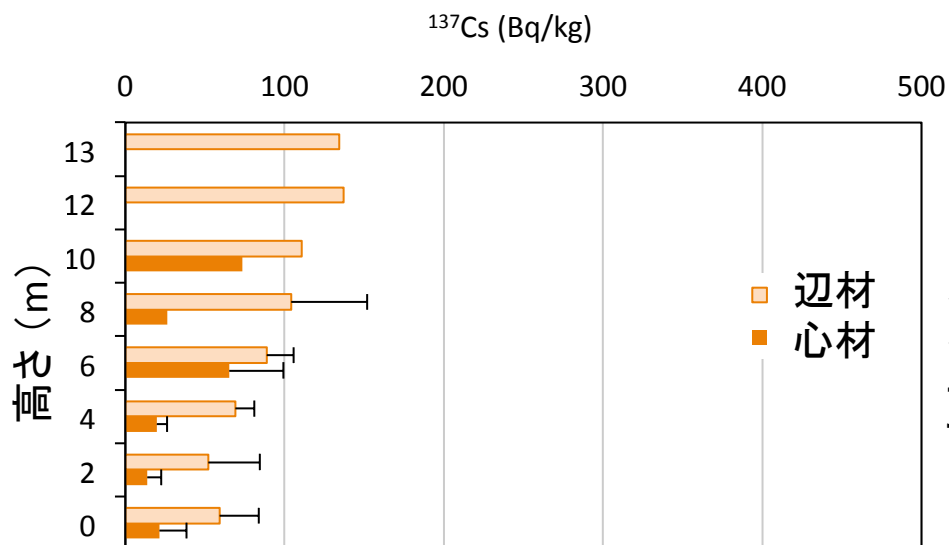
スギ *C. japonica* 2,500 - 15,000 (Bq/kg)

mean $\pm$ SD (n = 1 or 3)

辺材と心材

コナラ
Q. serrata

スギ
C. japonica

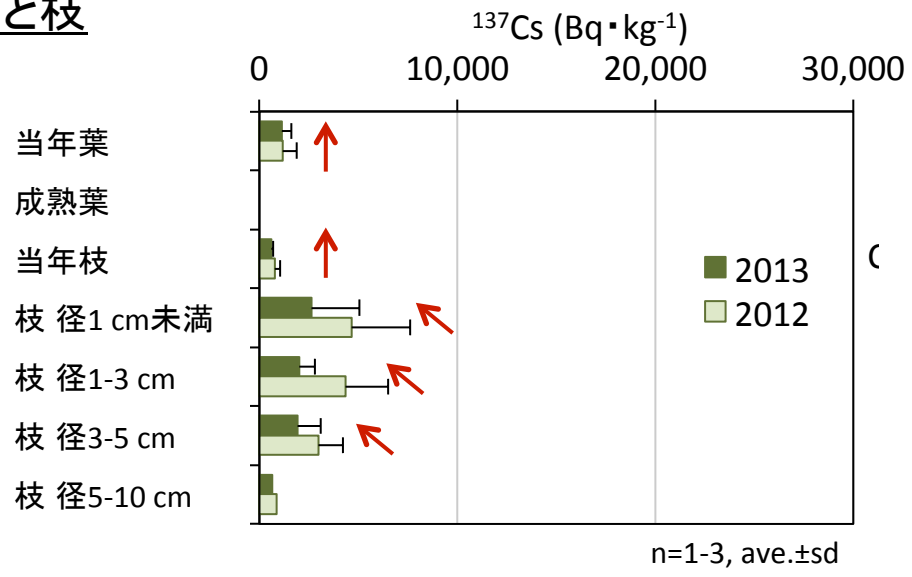


辺材	コナラ <i>Q. serrata</i>	50 - 140 (Bq/kg)	mean $\pm$ SD (n = 1- 3)
	スギ <i>C. japonica</i>	160 - 220 (Bq/kg)	
心材	コナラ <i>Q. serrata</i>	10 - 70 (Bq/kg)	mean $\pm$ SD (n = 1 or 3)
	スギ <i>C. japonica</i>	100 - 190 (Bq/kg)	

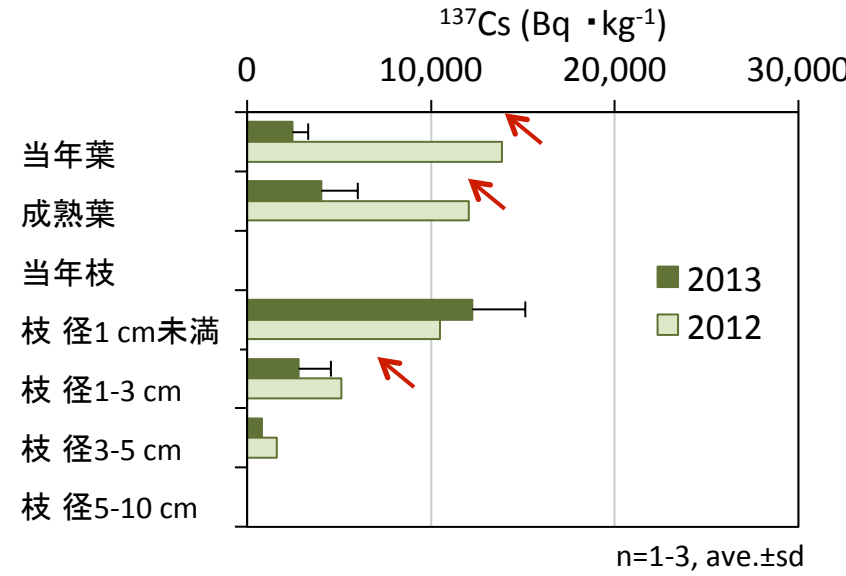
樹体内の¹³⁷Csの分布

落葉広葉樹 : コナラ

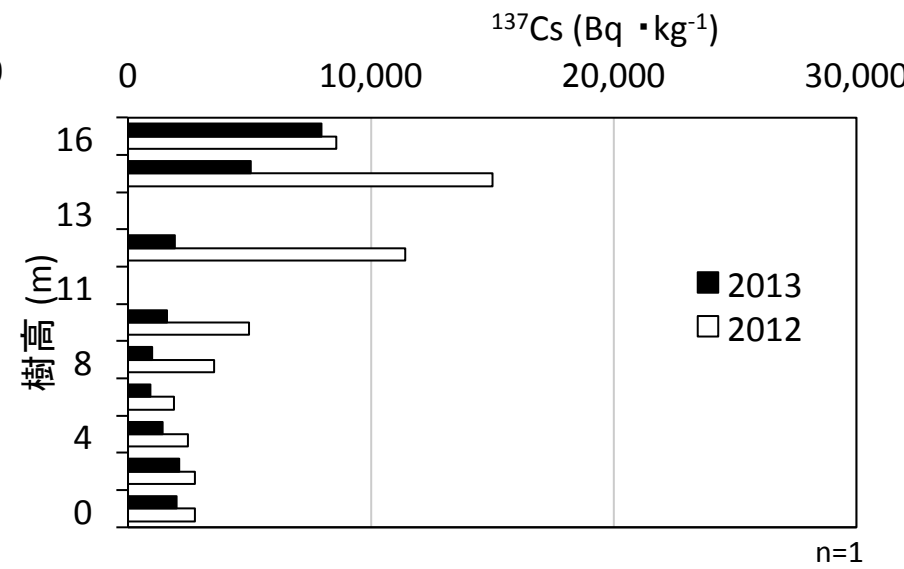
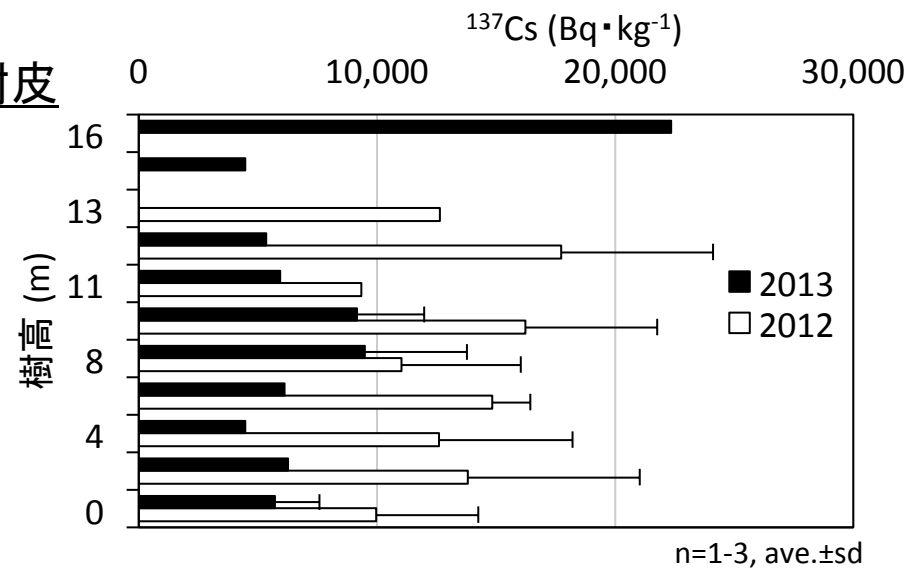
葉と枝



常緑針葉樹: スギ



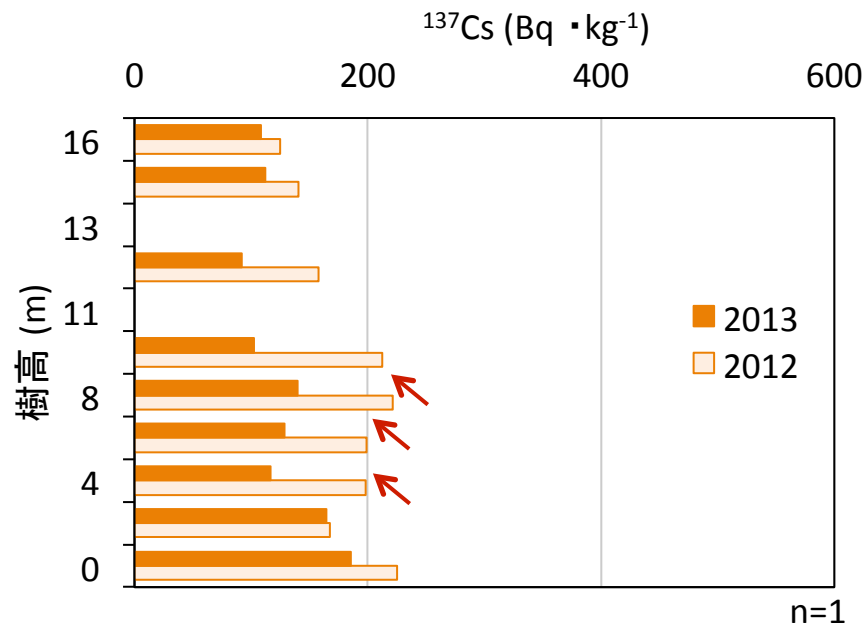
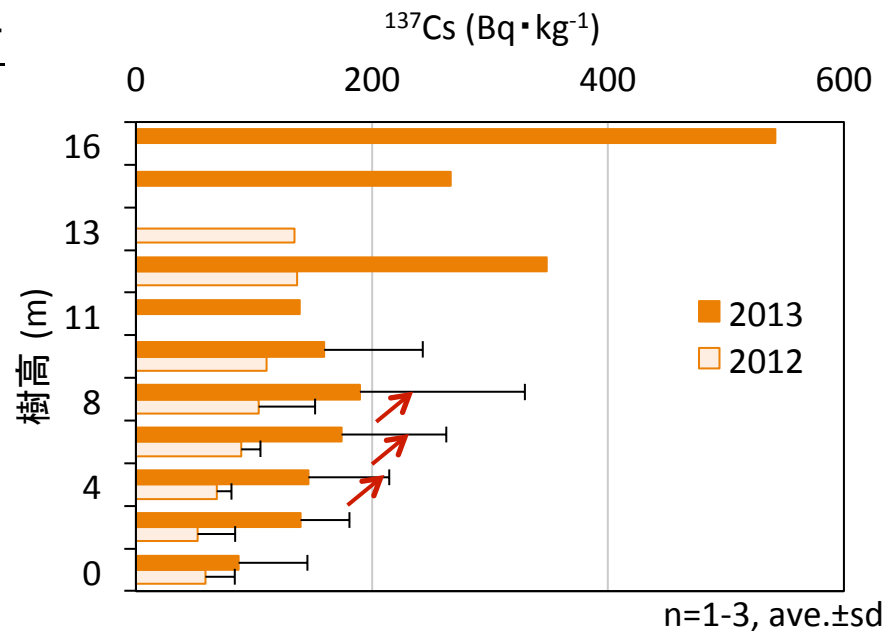
樹皮



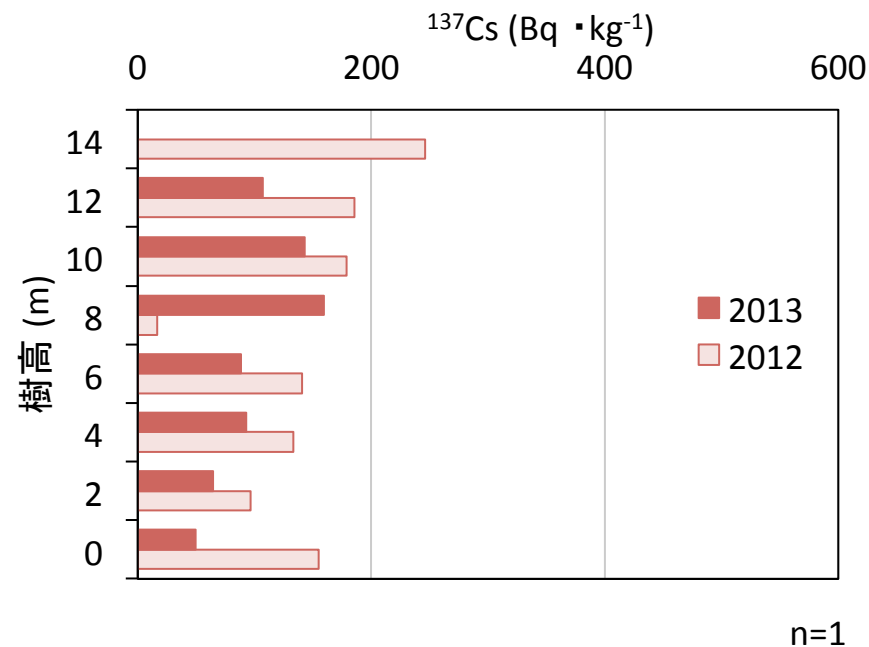
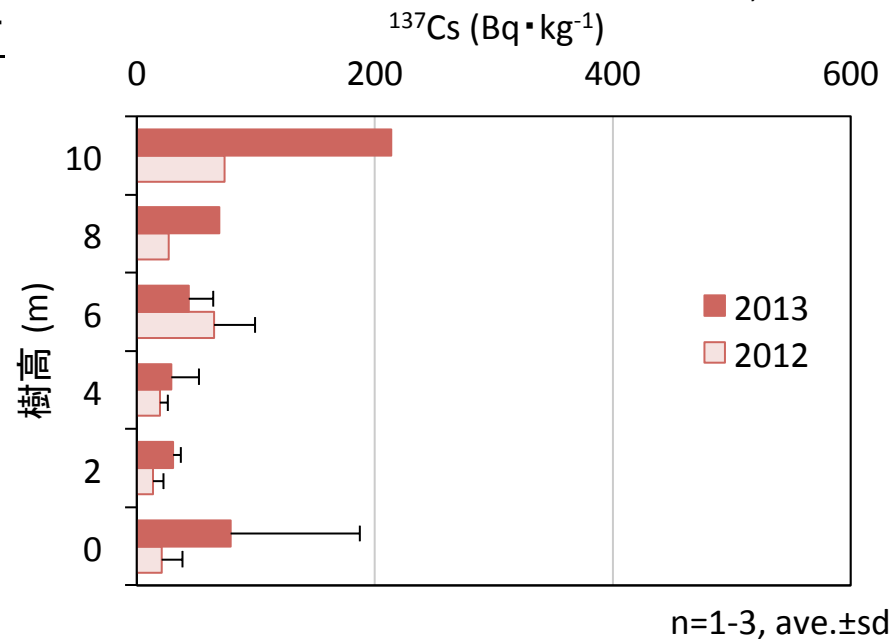
落葉広葉樹：コナラ

常緑針葉樹：スギ

辺材



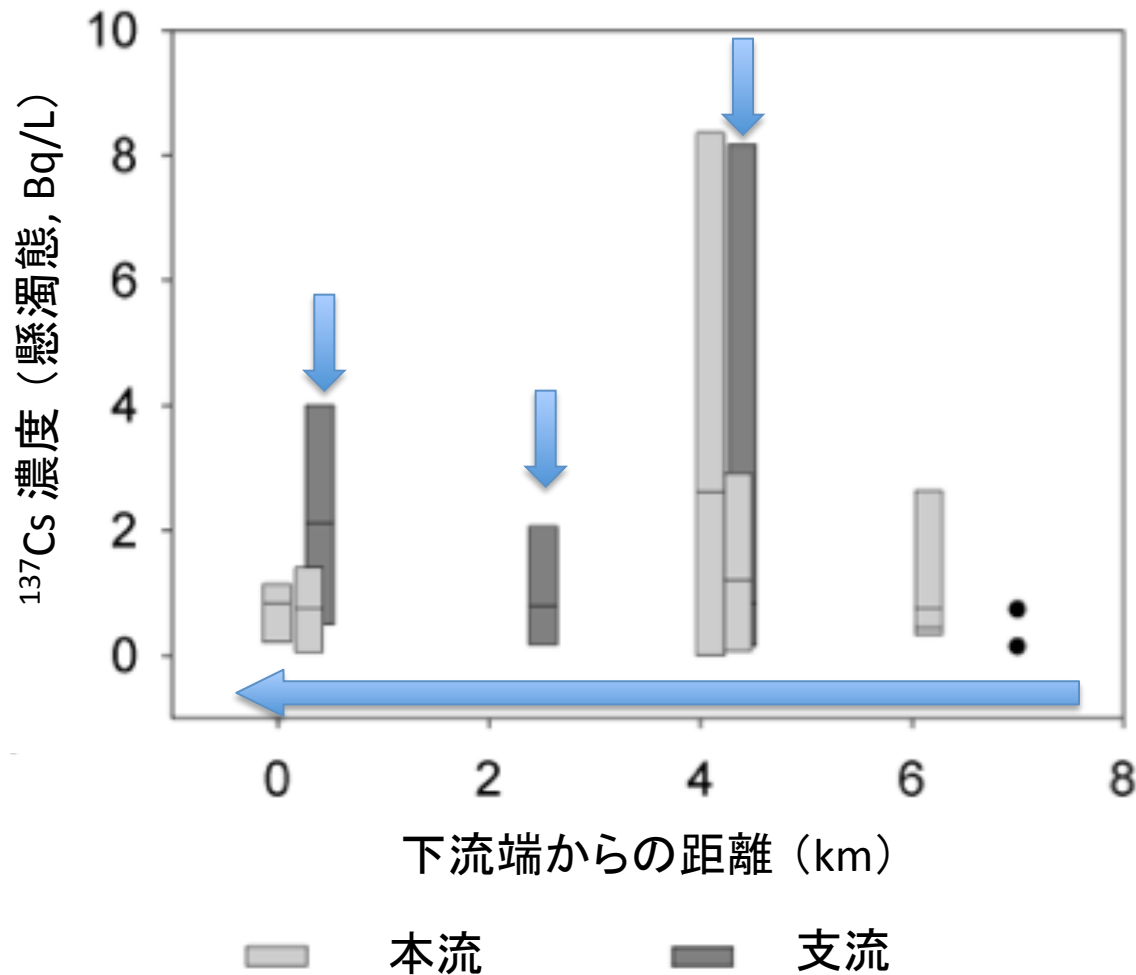
心材



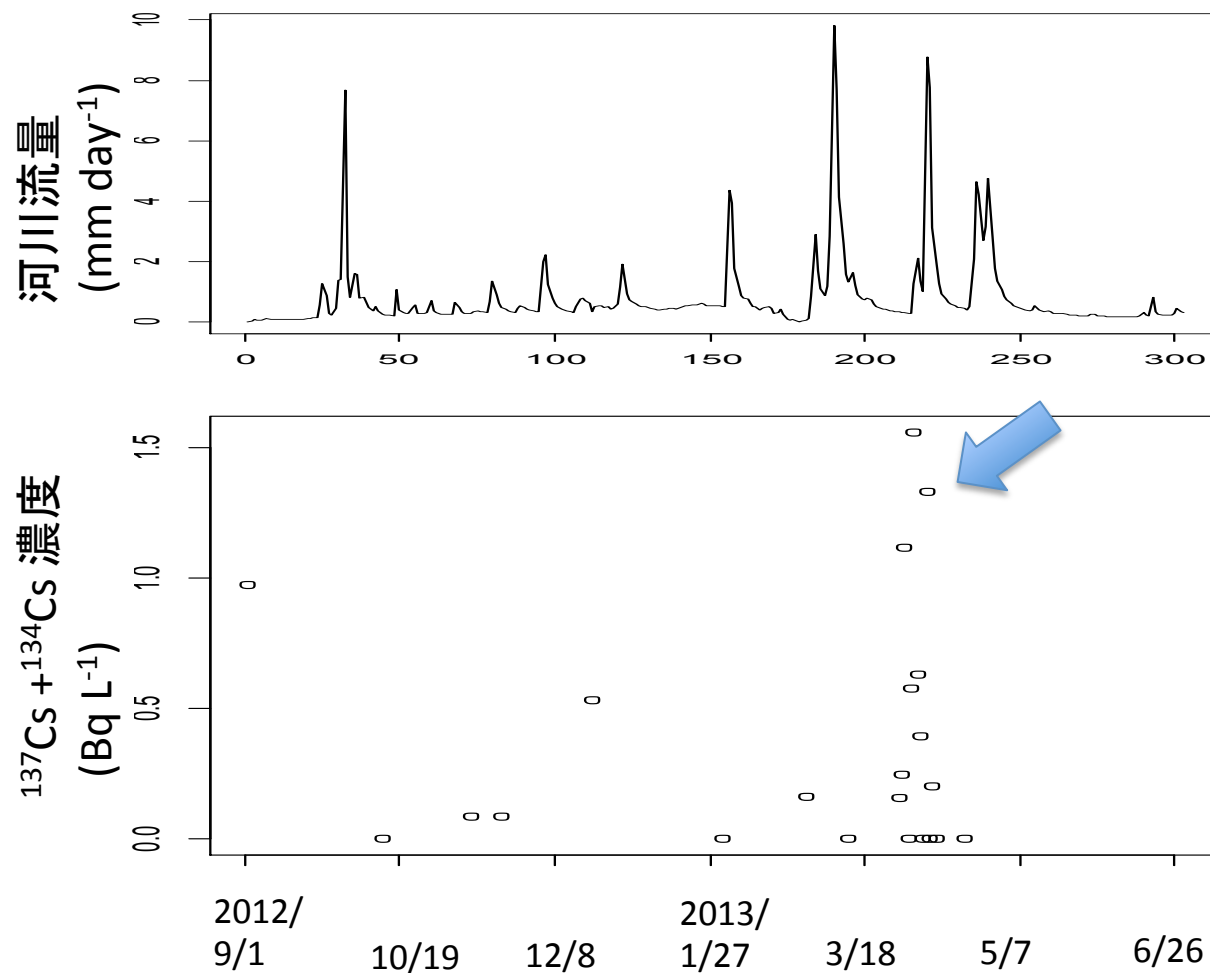
河川水の サンプリング



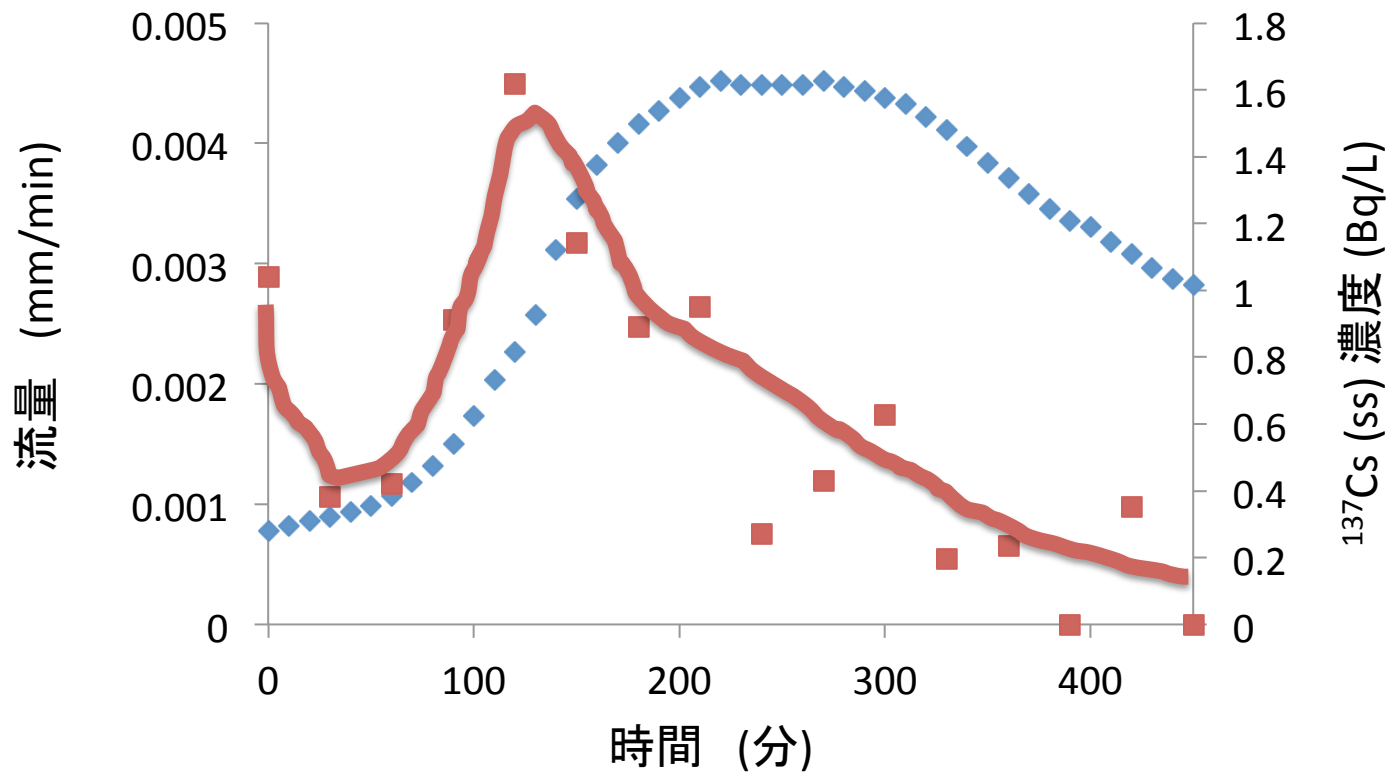
流量が少ないときの ^{137}Cs 濃度 (2012年6～11月)



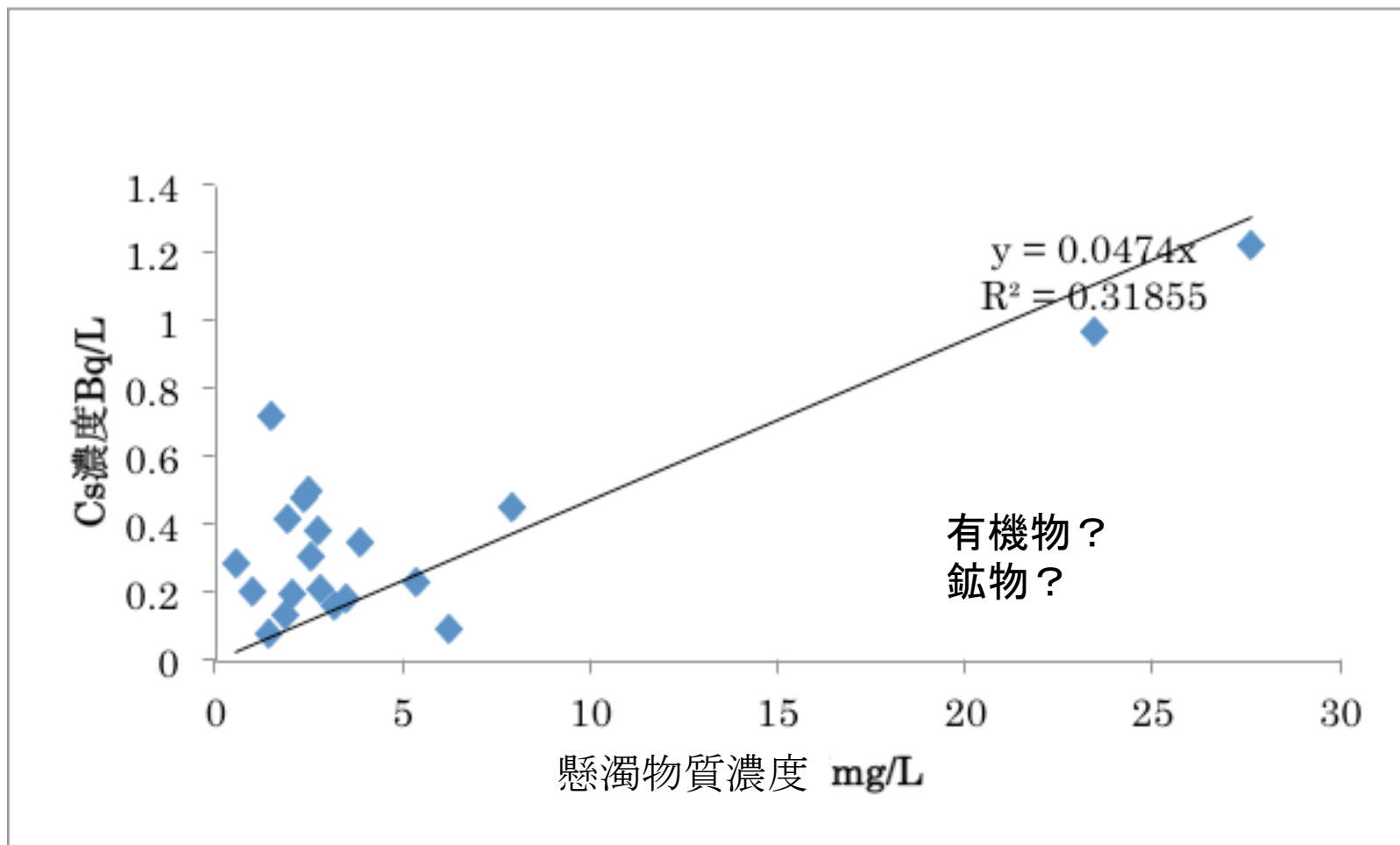
懸濁態Cs濃度の変動(森林19ha)



^{137}Cs 濃度は大雨で流量が
増加したときに高くなる



懸濁物質濃度と放射性Cs濃度との関係



溪流・河川を流れる¹³⁷Cs

- 森林から流出してくる放射性セシウムの主要な形態は懸濁態
- 平水時の溶存態の放射性セシウム濃度は0.2 Bq/L 以下
- 降雨イベントに反応して、流出Cs濃度は上昇する
- 集水域からの流出量(懸濁):
 $0.977 \text{ Bq m}^{-2}\text{day}^{-1}$
- 樹冠から地表への供給量(懸濁):
 $4.46 - 7.12 \text{ Bq m}^{-2}\text{day}^{-1}$

^{137}Cs
deposition



5640 - C

文部科学省
MINISTRY OF EDUCATION,
CULTURE, SPORTS,
SCIENCE AND TECHNOLOGY

放射線量等分布マップ
- 土壌濃度マップ -

$100,000 \sim 300,000 \text{ Bq/m}^2$

凡例

Cs - 137 の沈着量 (Bq/m^2)
(6月14日時点)

- 3000k <
- 1000k - 3000k
- 600k - 1000k
- 300k - 600k
- 100k - 300k
- 60k - 100k
- 30k - 60k
- 10k - 30k
- $\leq 10\text{k}$

計画的避難区域

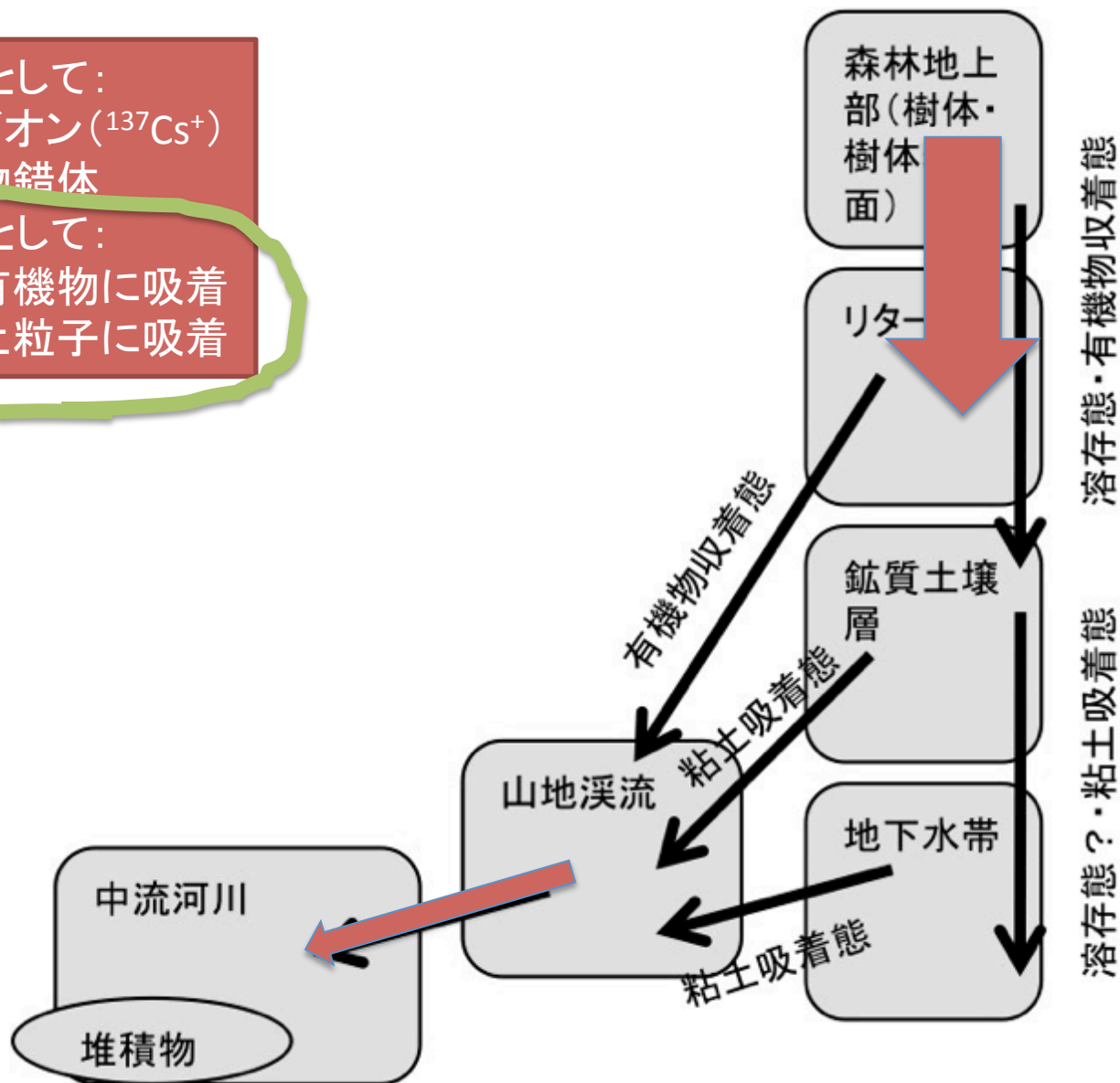
緊急時避難準備区域
(平成23年9月30日解除)

0 4 8 km

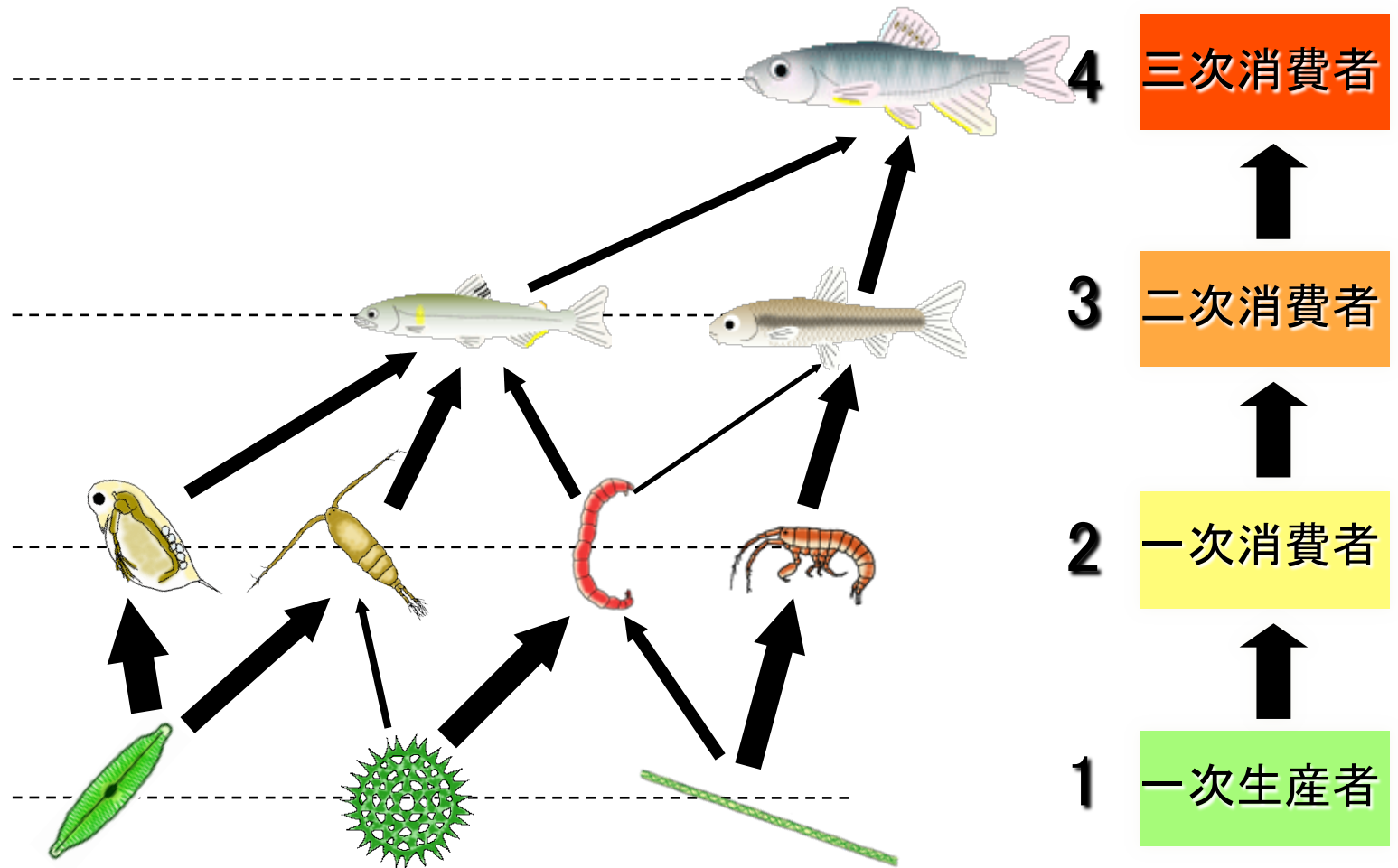
背景地図：電子国土

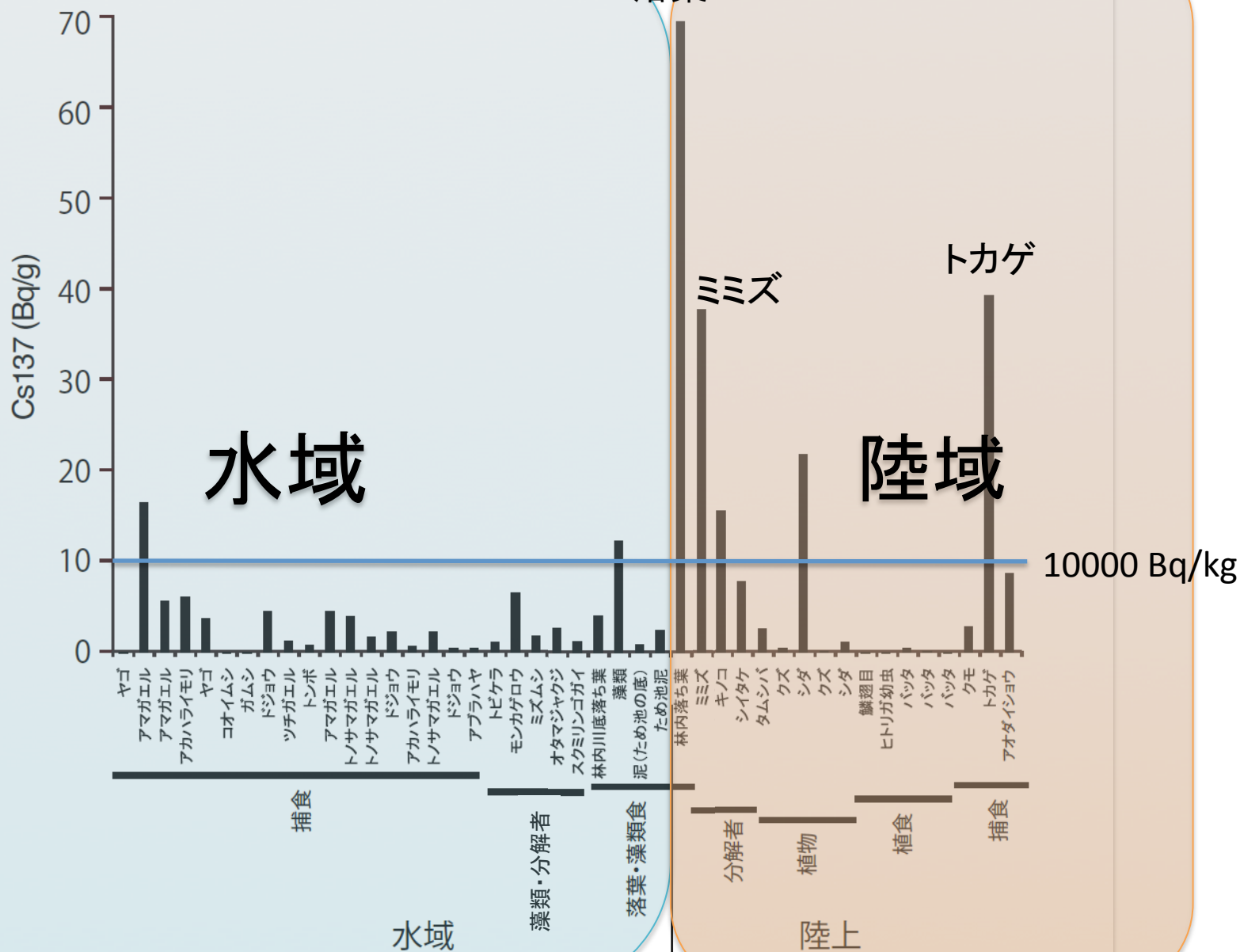
溶存態として：
無機イオン($^{137}\text{Cs}^+$)
有機物錯体

懸濁態として：
浮遊有機物に吸着
浮遊土粒子に吸着

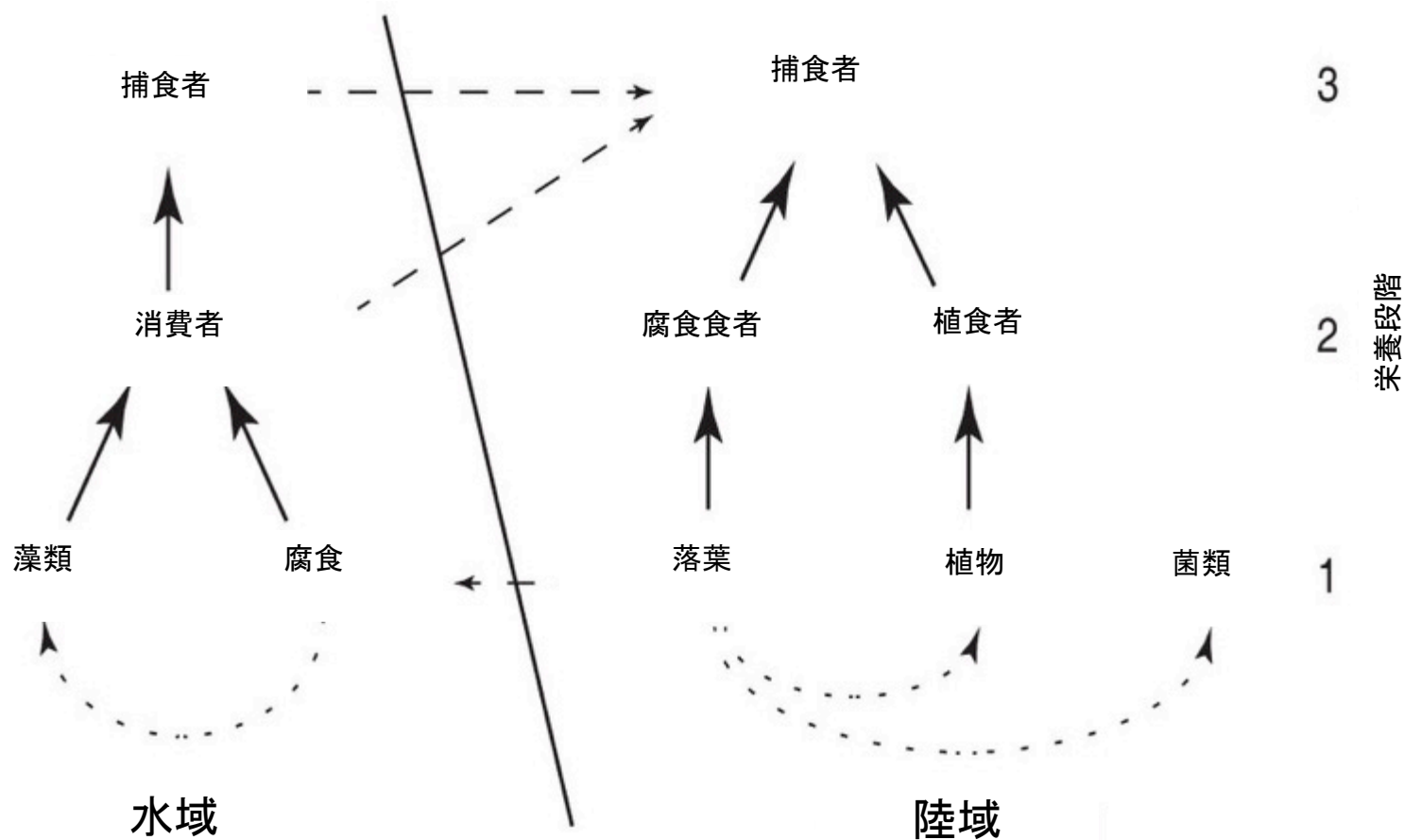


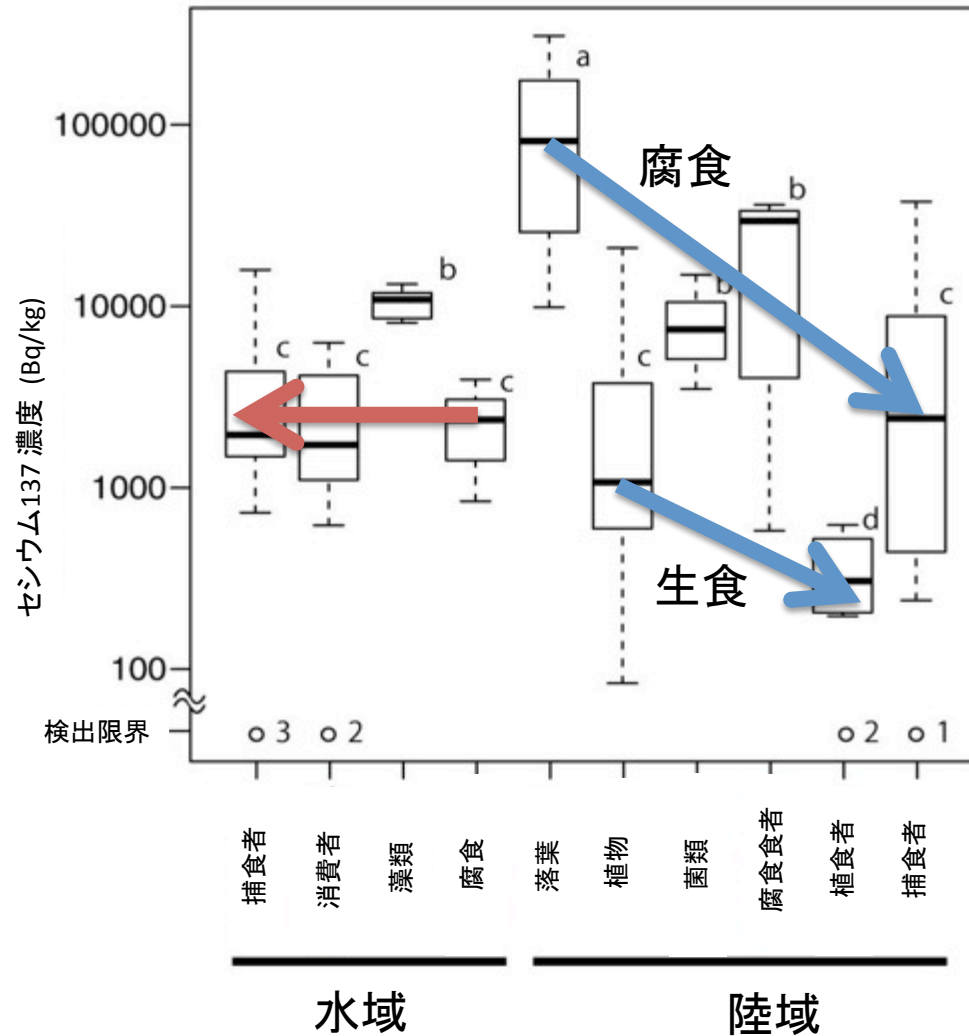
水生生態系の食物網





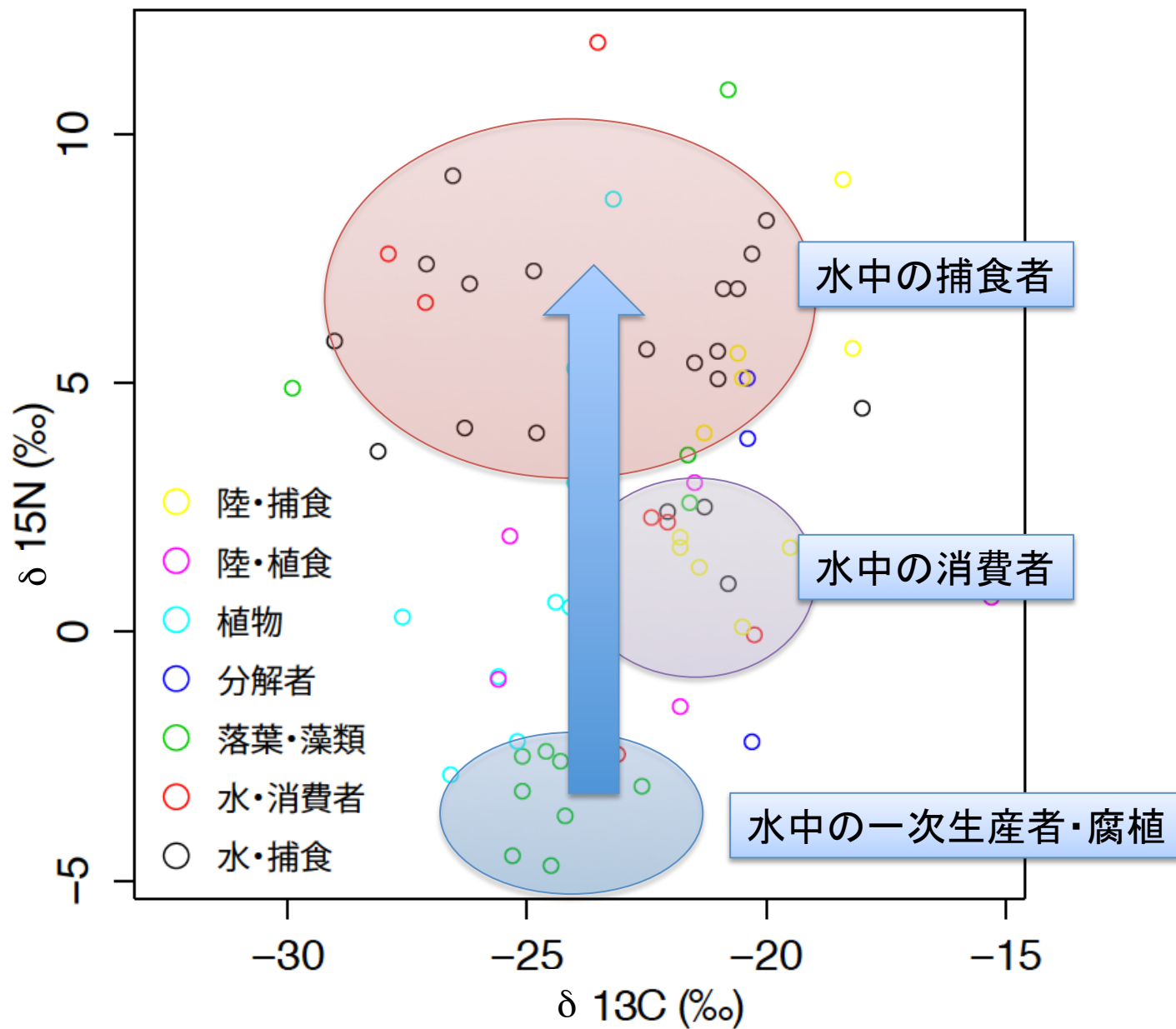
喰う喰われるの関係

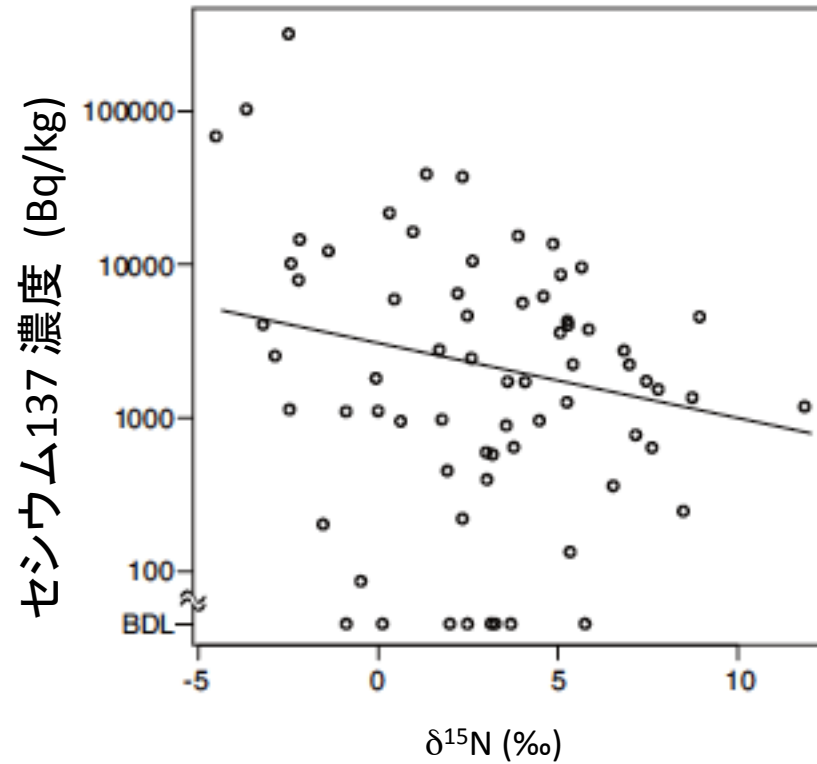




生食連鎖
よりも
腐食連鎖
の方が著しい
 ^{137}Cs 移動

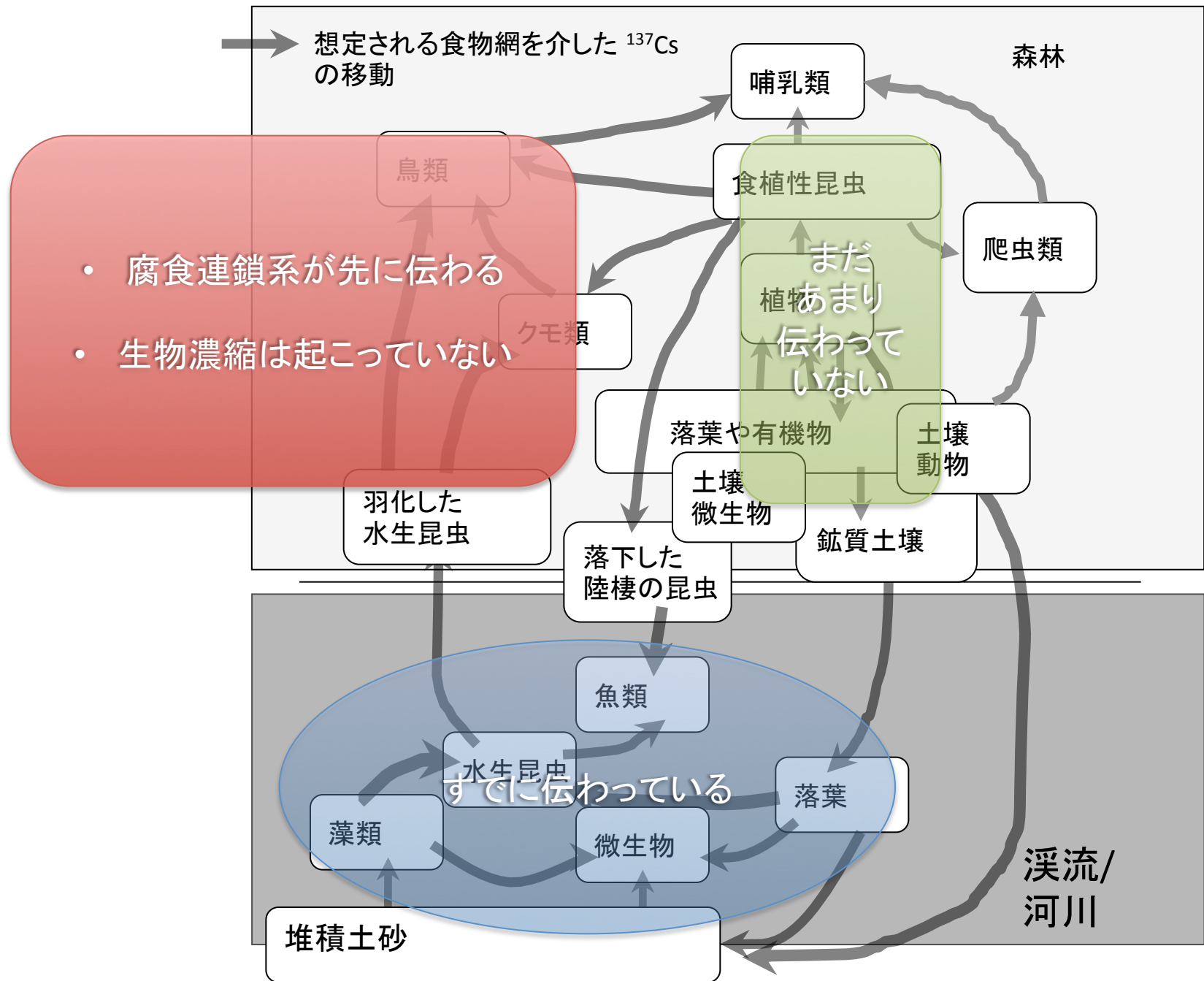
生物群集 の栄養段階 の分布





低い ← 栄養段階 → 高い

栄養段階が上がっても濃縮は見られない。



大事なこと

- 森林からは少しずつしか流出しない。
 - 数年のオーダーでは、降ったものは殆どが留まっているとみてよい。
 - 大雨の出水で大きく動く。
- むしろ、今はまだ森林内でダイナミックに移動している。
- 生物相の放射性セシウム濃度は高い。1,000～100,000 Bq/kg のレベル。
- いわゆる生物濃縮は生じていない。

当面の課題

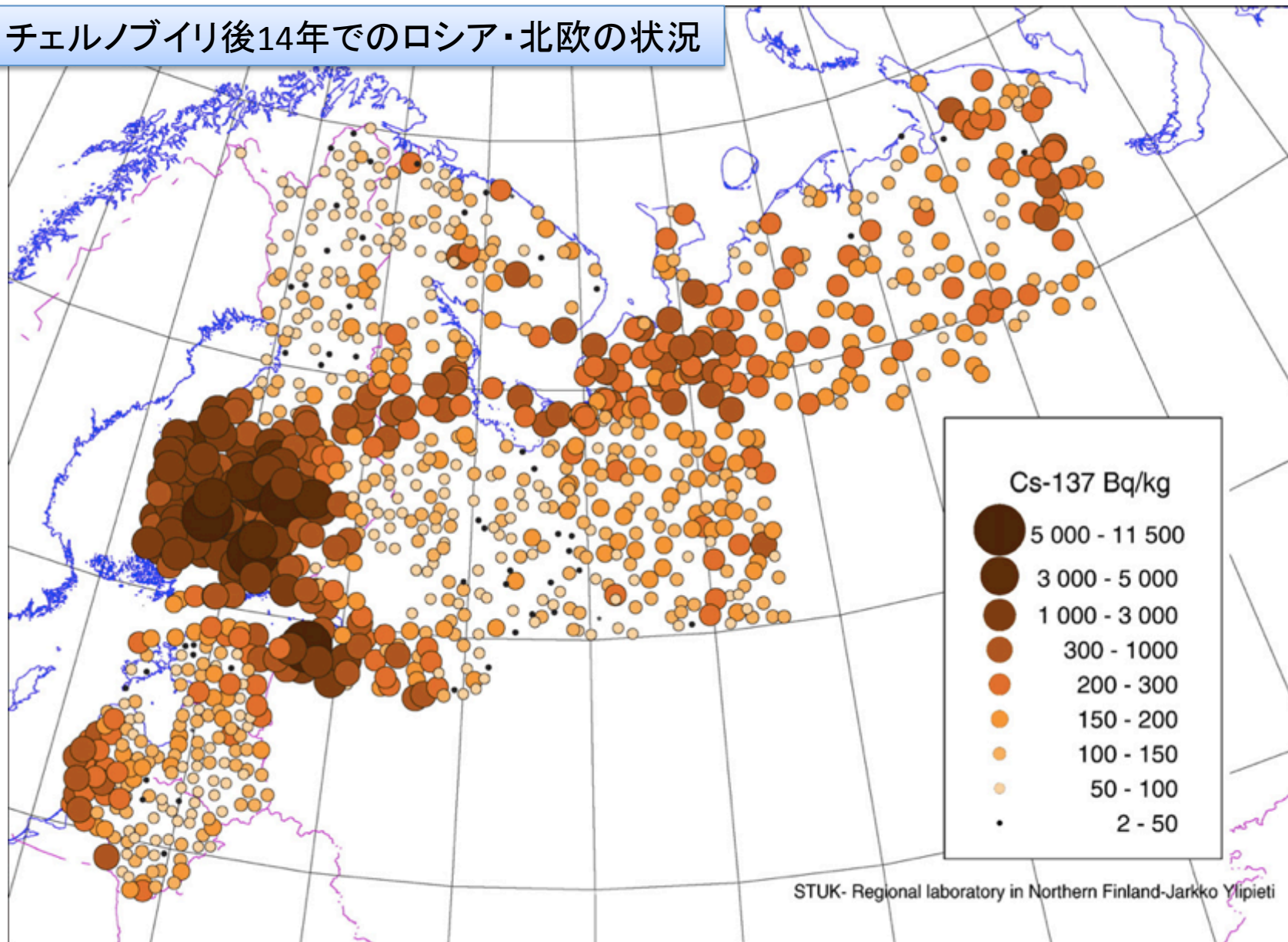
- 流下する有機物との吸着のメカニズム
- 落葉・落枝 — 土壌間の移行の速さ
- 植物体内での転流の実態とメカニズム
 - 樹皮からの移行
- 生物への移行経路
 - 食物網上の経路・濃縮の割合
 - 植物根系による吸収の仕組みと条件

チェルノブイリのその後



- フィンランドの森林研究者と共同研究を始めます。

チェルノブイリ後14年でのロシア・北欧の状況



0-3 cm humus in 2000

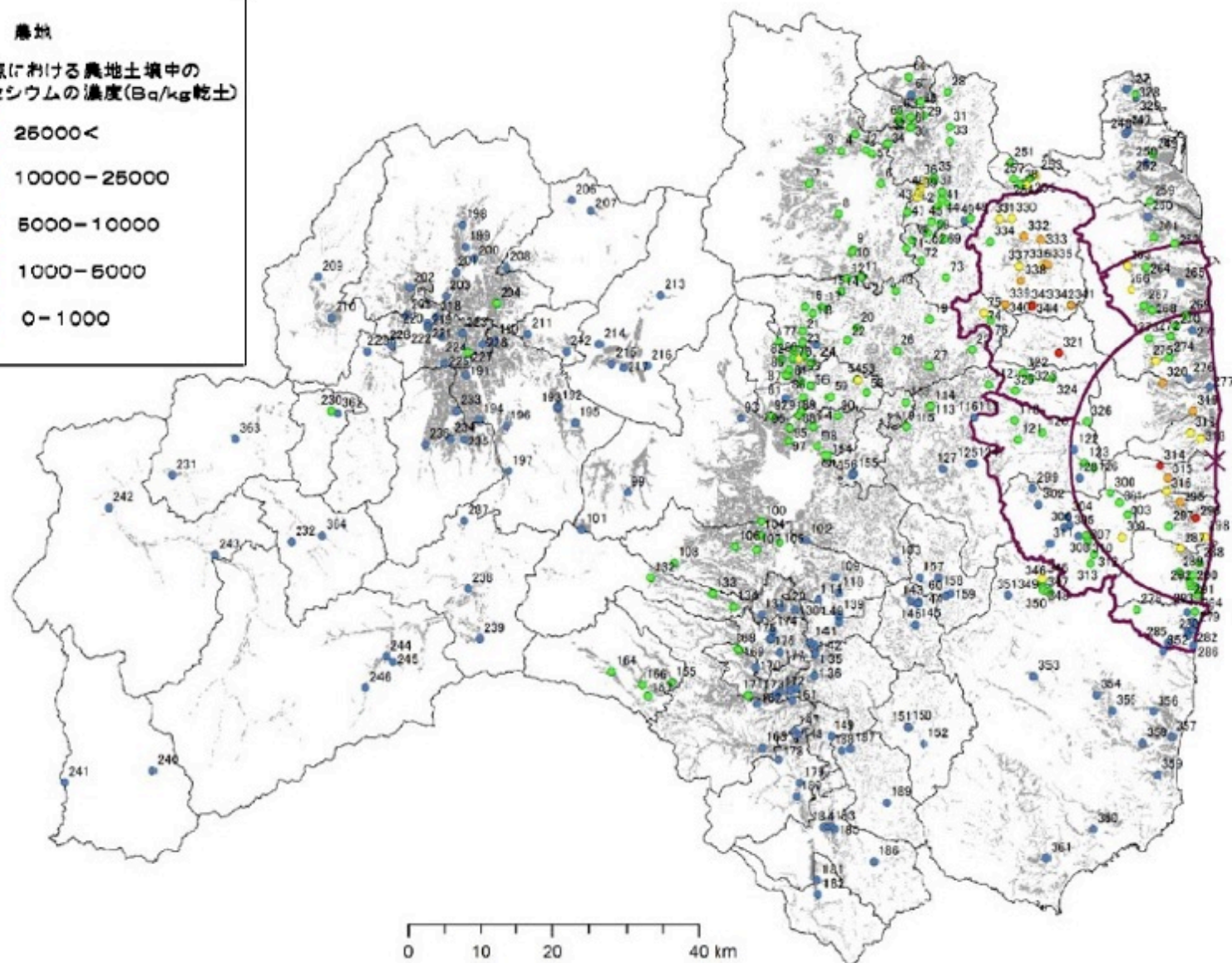
Ylipieti et al. STOTEN 2008



農地

調査地点における農地土壌中の
放射性セシウムの濃度(Bq/kg乾土)

- 25000<
- 10000-25000
- 5000-10000
- 1000-5000
- 0-1000



協力

- 渡辺長之助さん(小国地区)
- 根本圭介さん(東京大学)
- 中西友子さん(東京大学)
- 石井伸昌さん(放射医学総合研究所)
- 中村高志さん(山梨大学)
- 石井秀樹さん(福島大学)
- 堀田紀文さん(筑波大学)

研究グループ

- 西田継(山梨大学・衛生工学)
- 徳地直子(京都大学・森林生態学)
- 大橋瑞江(兵庫県立大学・森林生態学)
- 杉山裕子(兵庫県立大学・水域有機化学)
- 尾坂兼一(滋賀県立大学・生物地球科学)
- レーナ・フィナー(フィンランド森林研究所・森林生態学)

クイズ

- 森林に沈着した放射性Csがとても厄介なのはなぜか？2つの側面から論じてください。
 - 土粒子や有機物に吸着（収着）する
 - Cs^+ は、 K^+ イオンとよく似た挙動をとる