



福島県の森林小流域から流出する 放射性Csの特徴

西村 拓

東京大学大学院農学生命科学研究科

森林は除染しない(政府の方針)
とはいえ福島では、帰還後は森林に隣接した地域で人が暮らすことも多い。
注意すべきこと、気にしないことの線引きは必要。

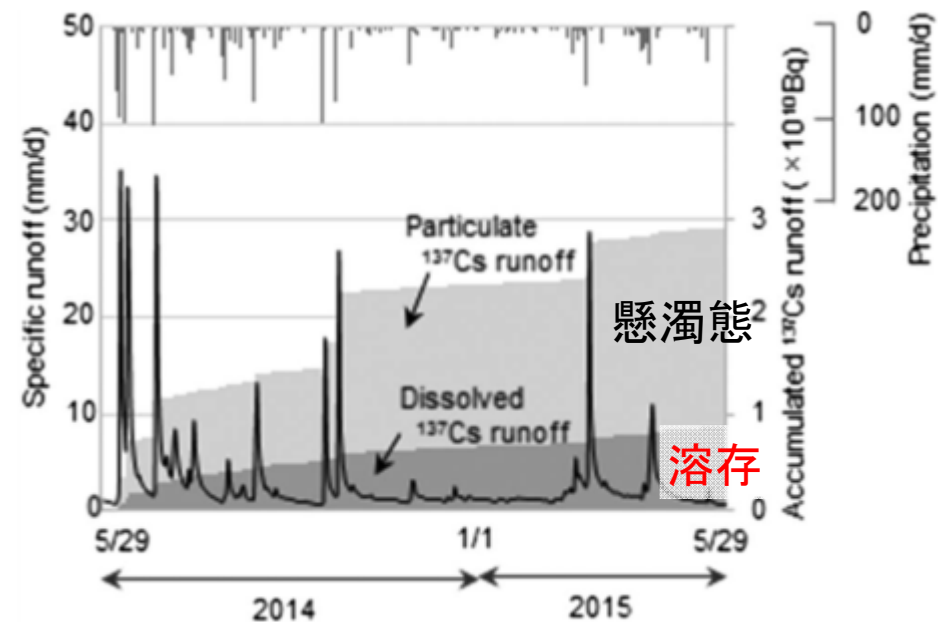
森林周辺の開拓農地・・・沢水で営農
沢水にはどの程度Csが含まれるのか？

1. 森林周辺の開拓農地に出てくる
沢水の観測
2. 流出するCs量のばらつきの原因
の検討 (Cs bearing micro-particle)
3. Cs はどこから出てくるのか？

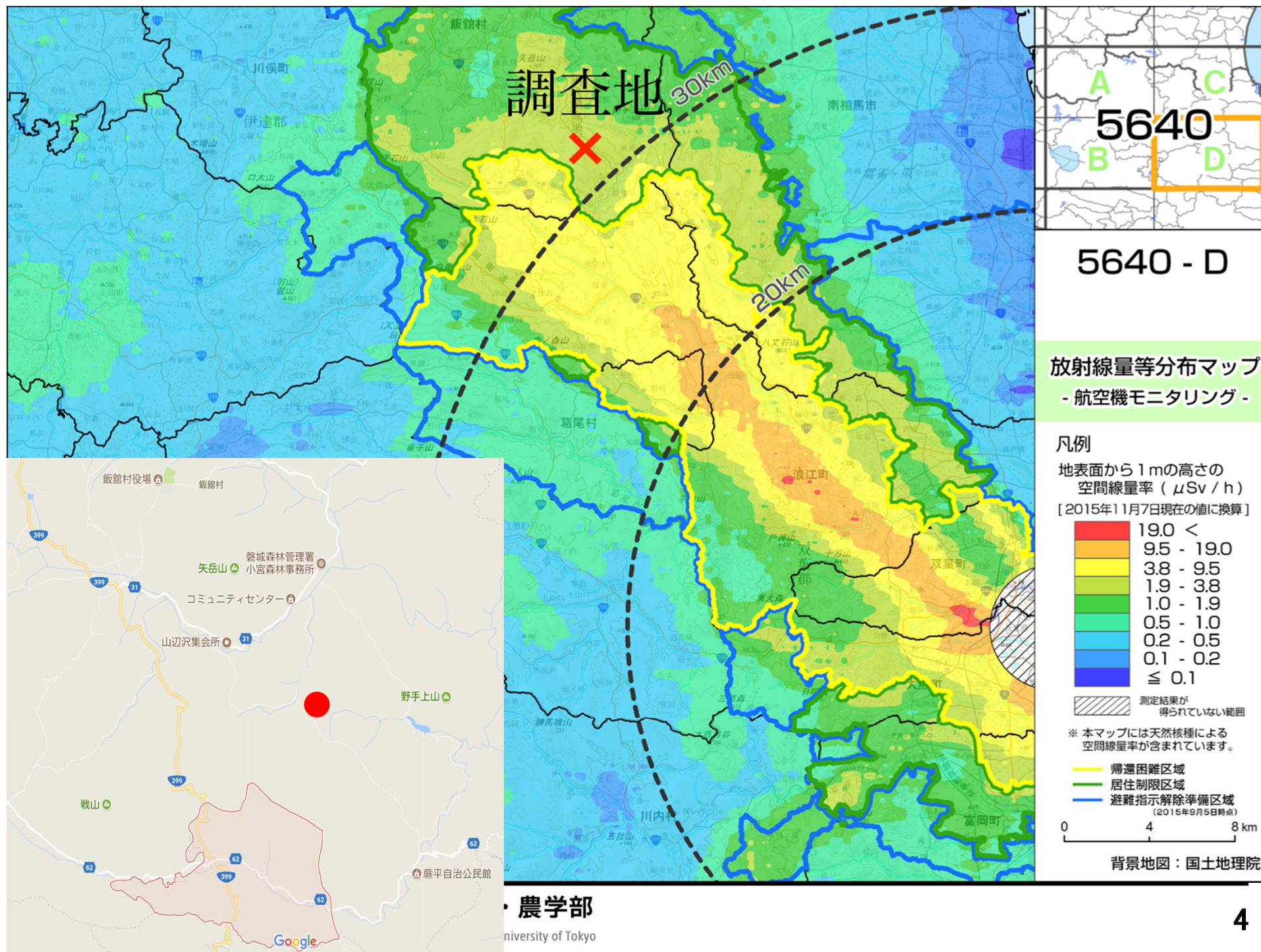


1. 森林周辺の開拓農地に出てくる沢水の観測

- 森林からの放射性Csの流出は少ない(沈着量の0.04%～0.12%)(Yamamoto他(2014), Yoshimura他(2015), Niizato他(2016))
- 森林からのCs流出において細粒分の寄与は農地や草地ほど大きくない(Yoshimura他, 2015)
- とはいえCs流出の大半は懸濁態(固体に吸着)(右図)
- 気温が高い方が溶存態Cs濃度が高い
- 人工降雨実験をすると, 森林土壌から出る地表面流出や土砂は少ない(大澤, 私信)



(Tsuji他, 2016)



流域面積は550,000 m² (55ha)

^{137}Cs の推定総降下量は1000 ~ 3000 kBq m⁻²

調査地点

3.8 $\mu\text{Sv/h}$

Google Earth

© 2017 ZENRIN

2004

画像取得日: 2014/4/1 37° 37'20.81" N 140° 46'39.83" E 標高 573 m 高度 172 km

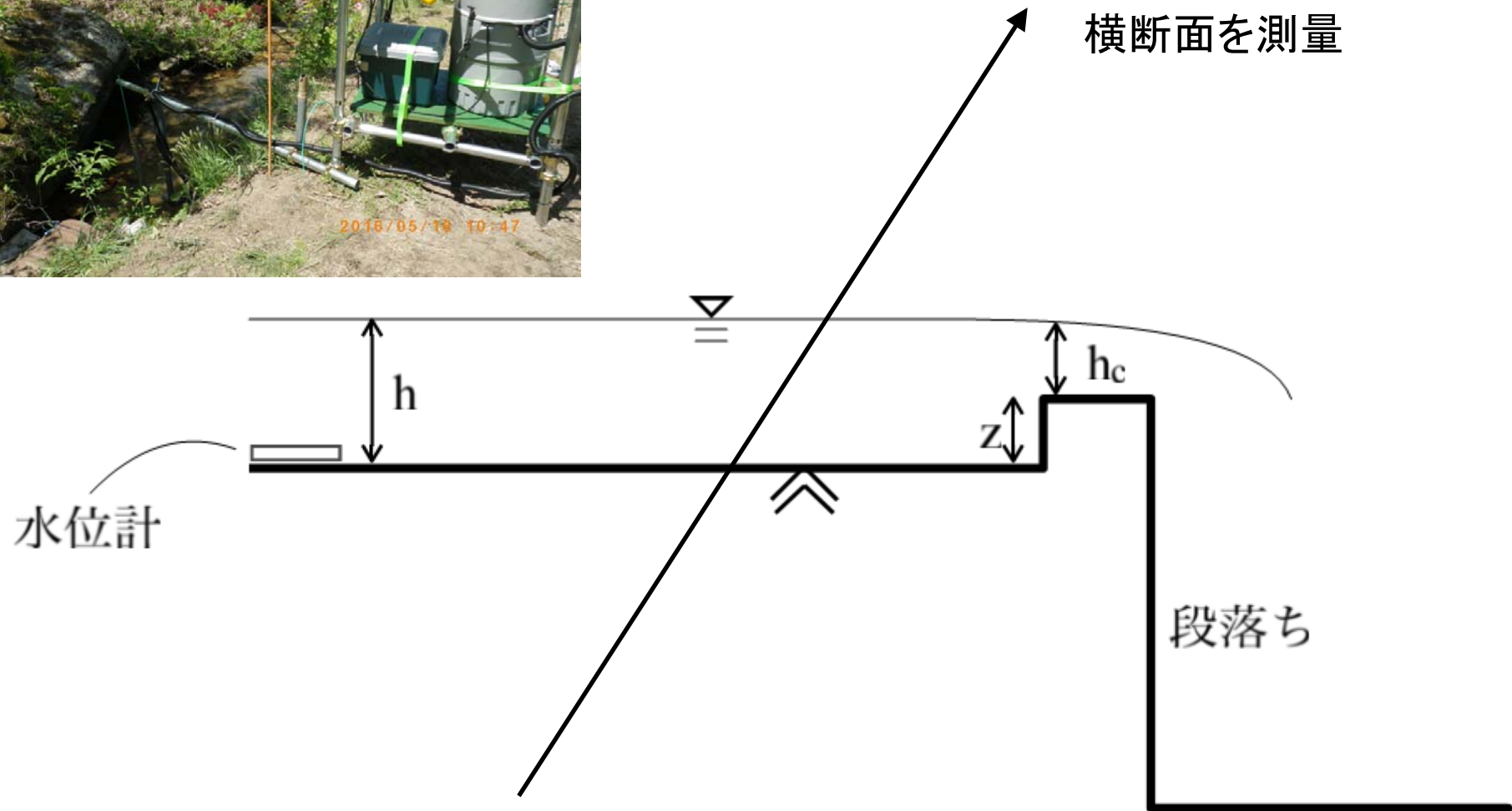




方法

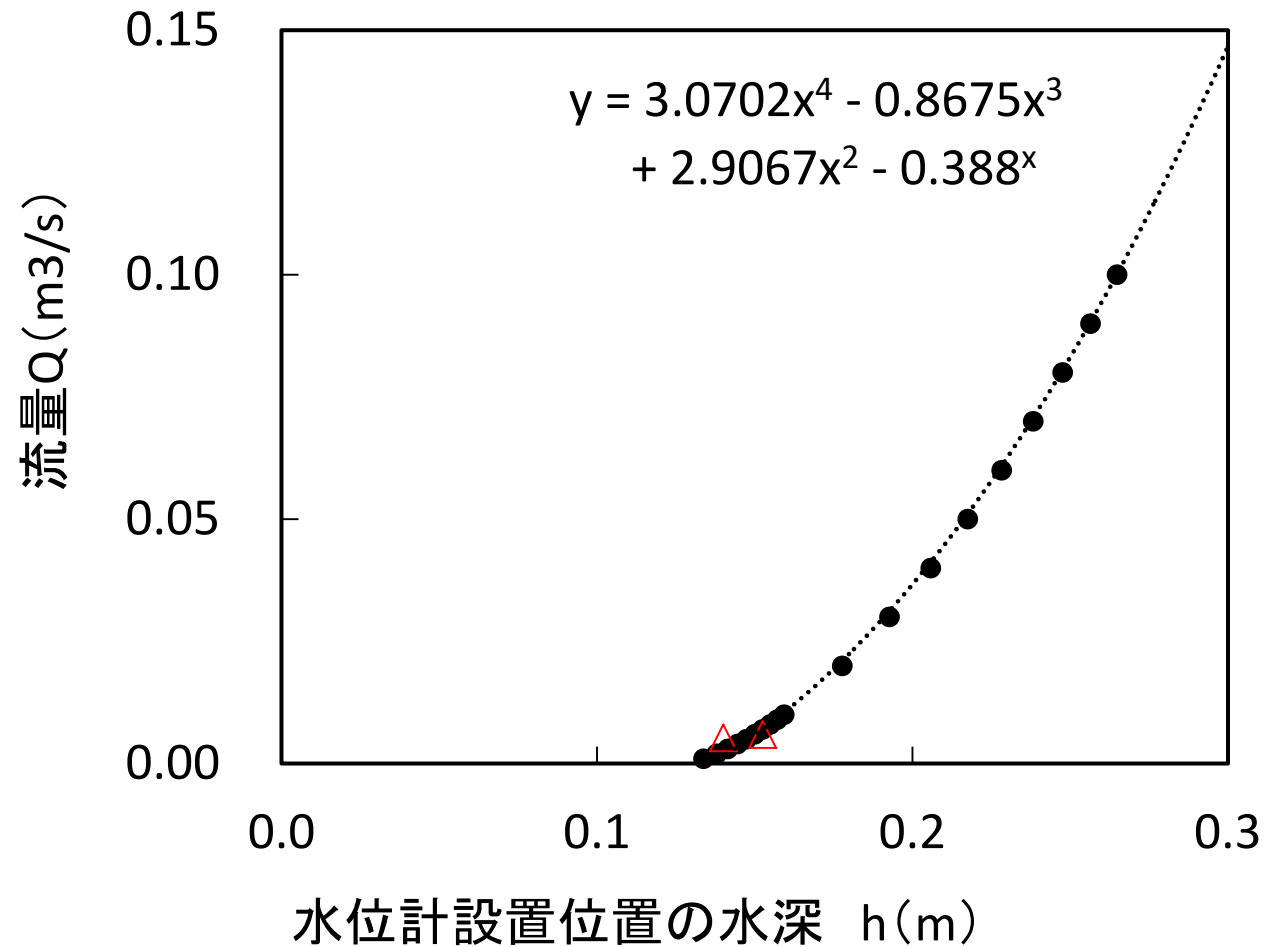
2016年6月から11月にかけて水位，濁度，降雨を連続モニタリング





段落ちに着目して水理学的に水面形(水深)と流量の関係を求めた

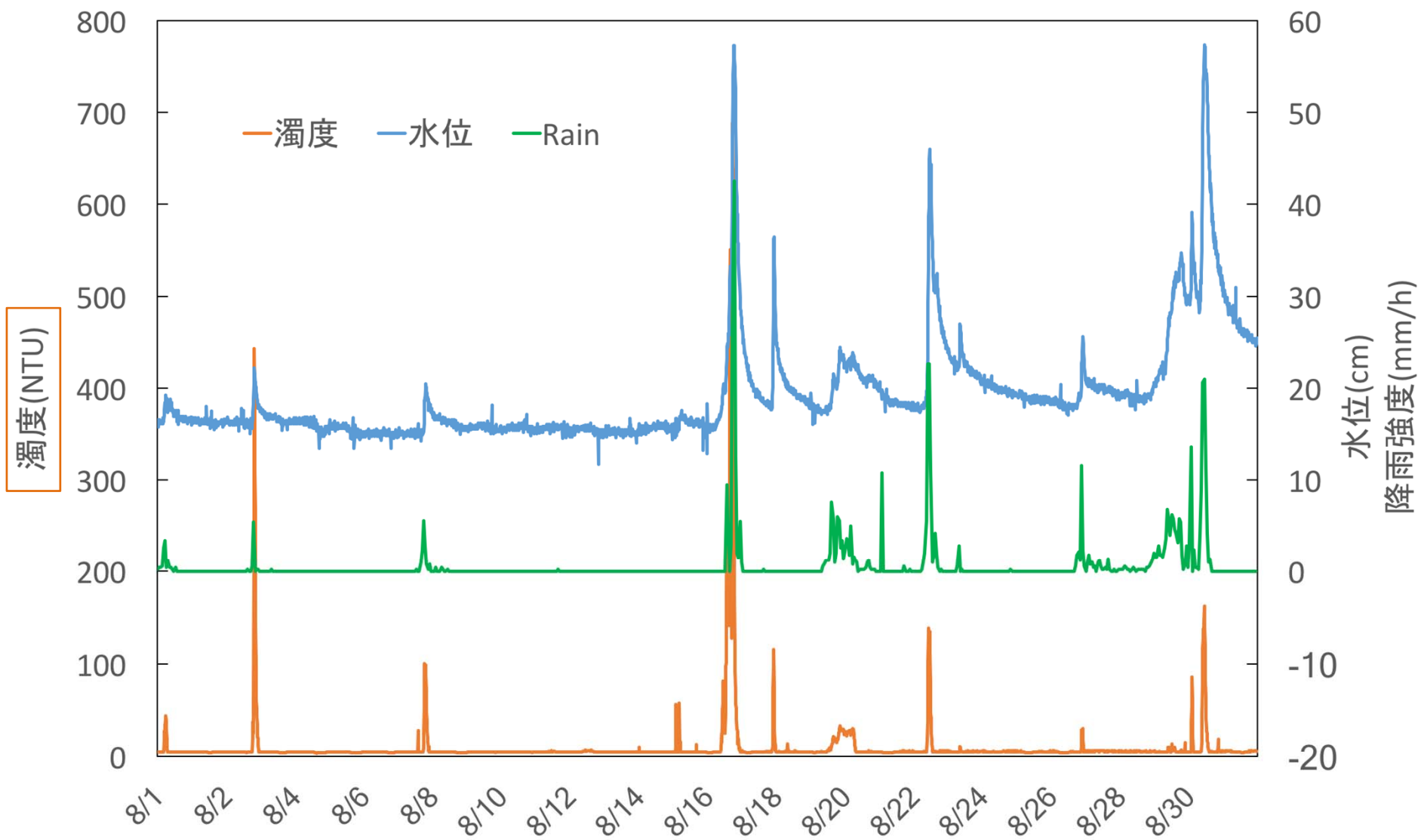
流量の推定

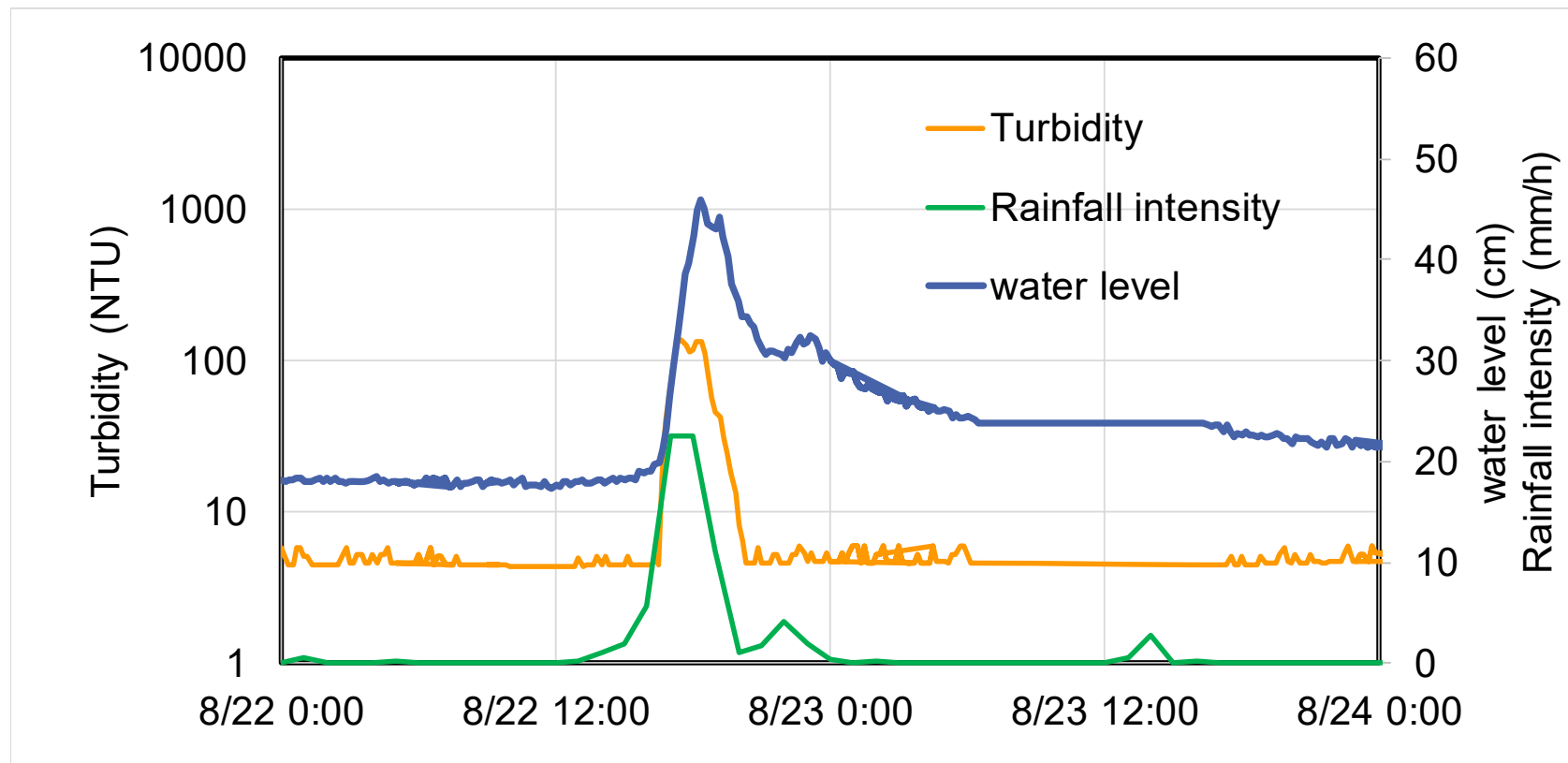


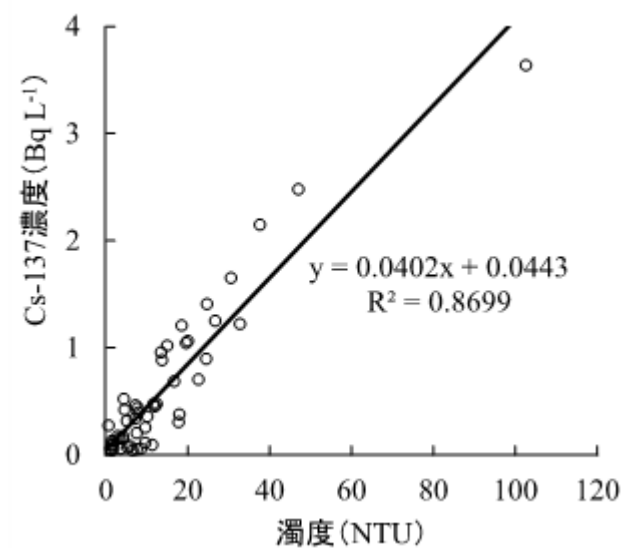
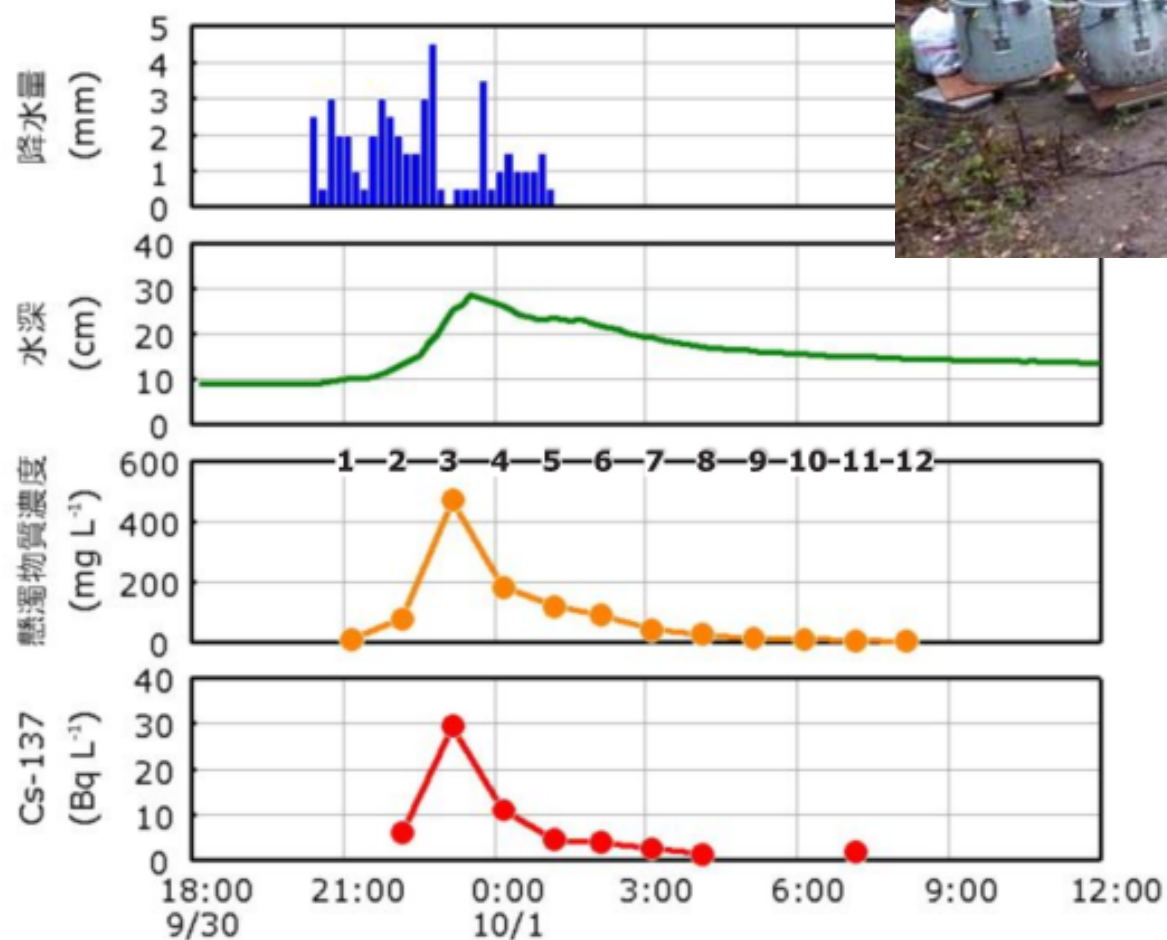
方法

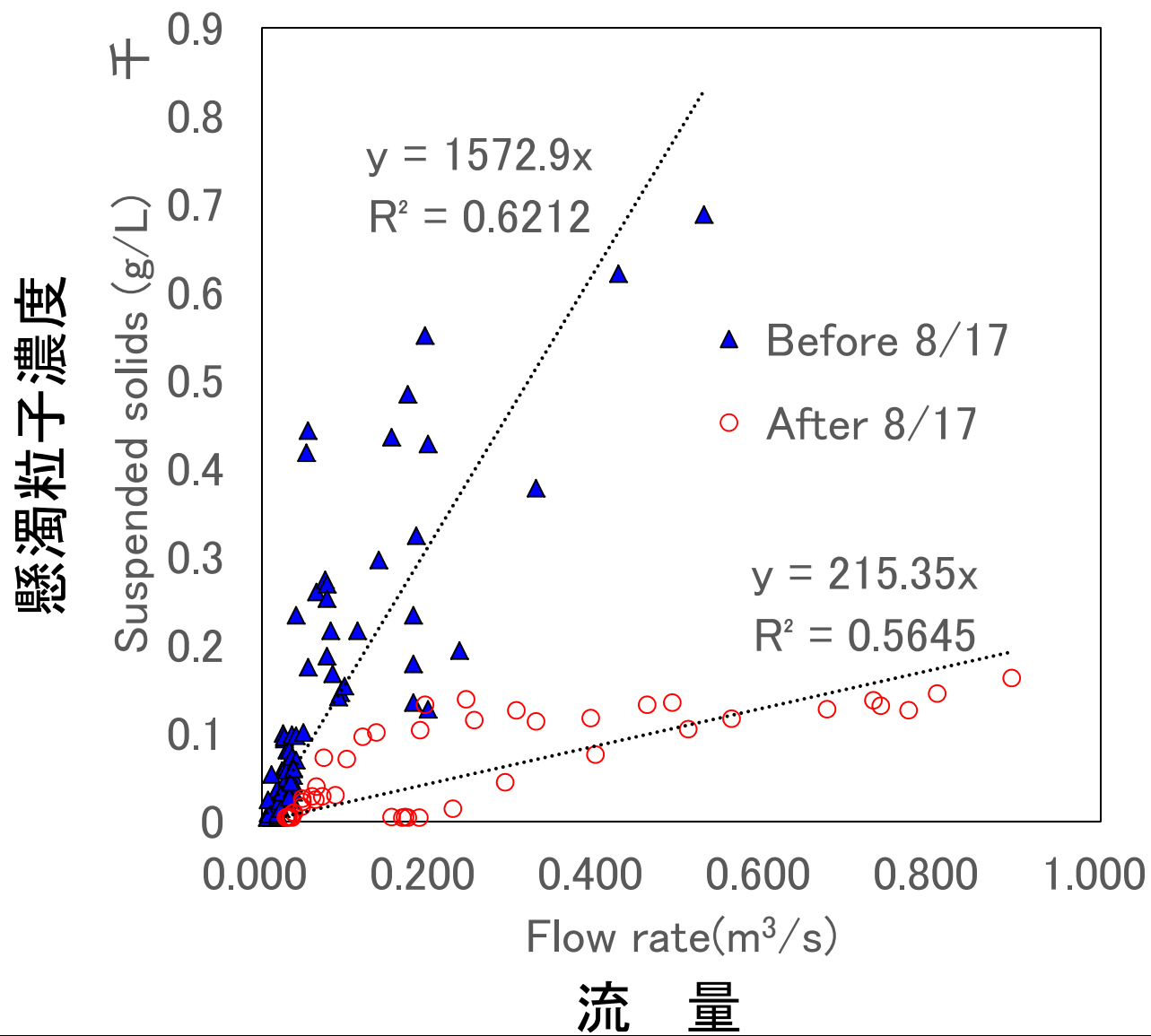
- ✓ 採水器を設置し、降雨時及び平水時に採水
- ✓ 採水した試料のSS濃度、懸濁態 ^{137}Cs 濃度、溶存態 ^{137}Cs 濃度を測定
- ✓ これらのデータを連続測定したデータと関連付けて期間中の ^{137}Cs 流出量を推定

*SS:Suspended Substanceの略で懸濁物質のこと









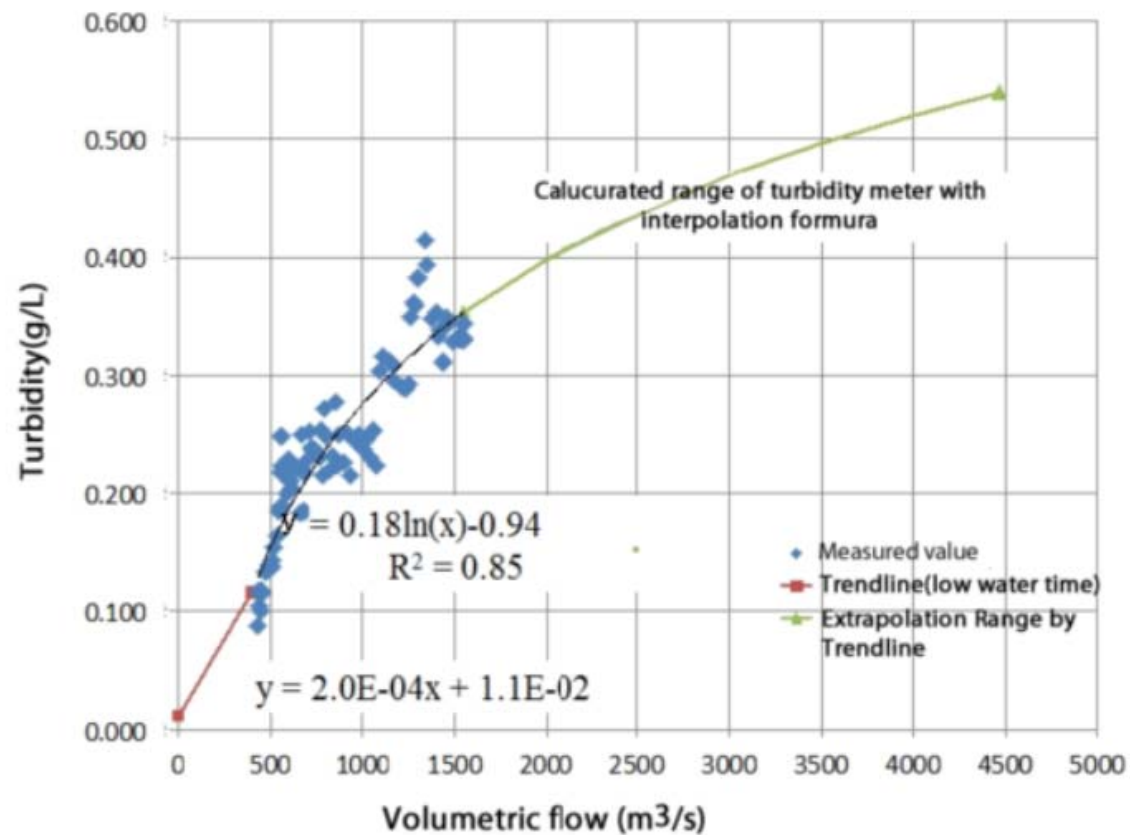
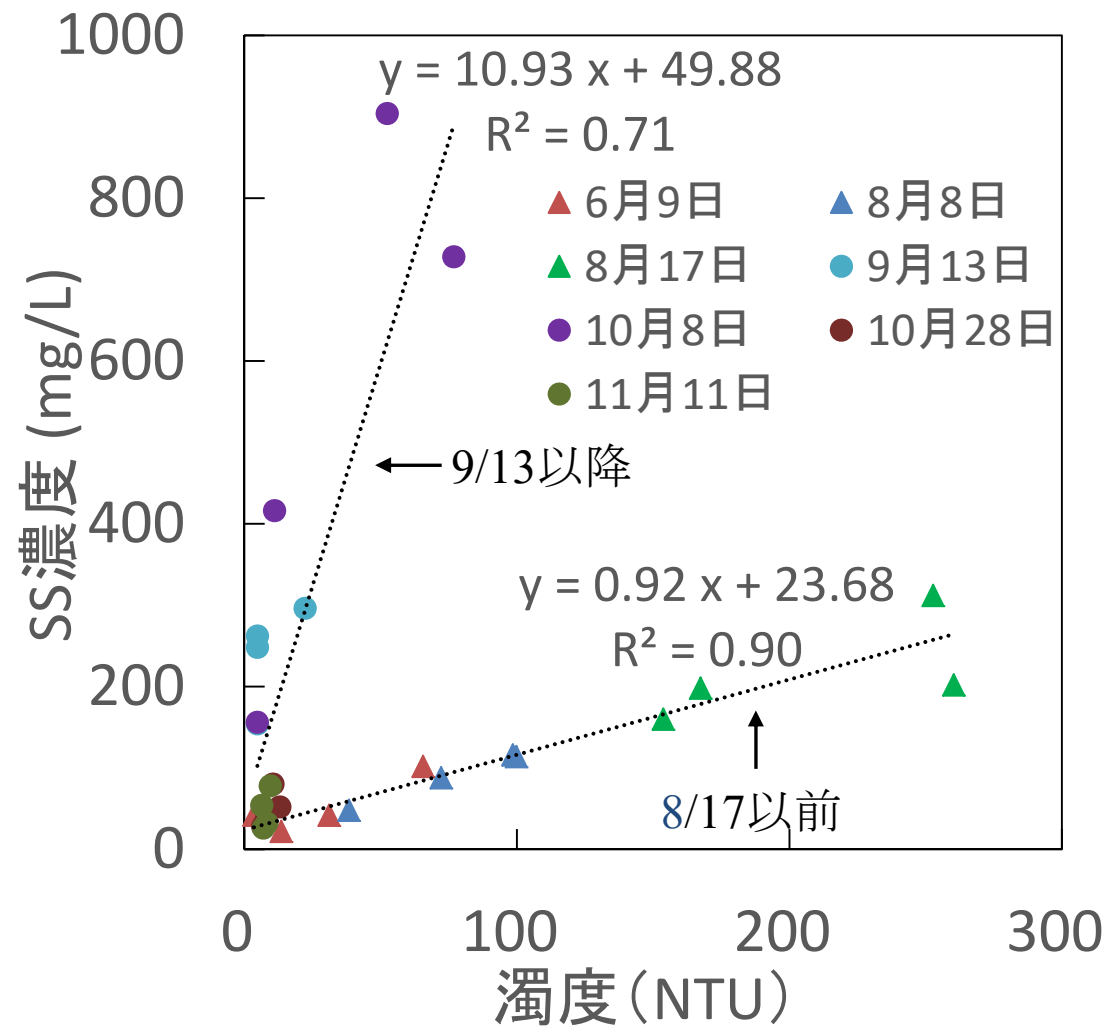


Figure 4 Exponential regression formula for turbidity and flow rate at the time of high water in Abukuma River and extrapolation items

京都大学防災研究所年報 56A H25.6

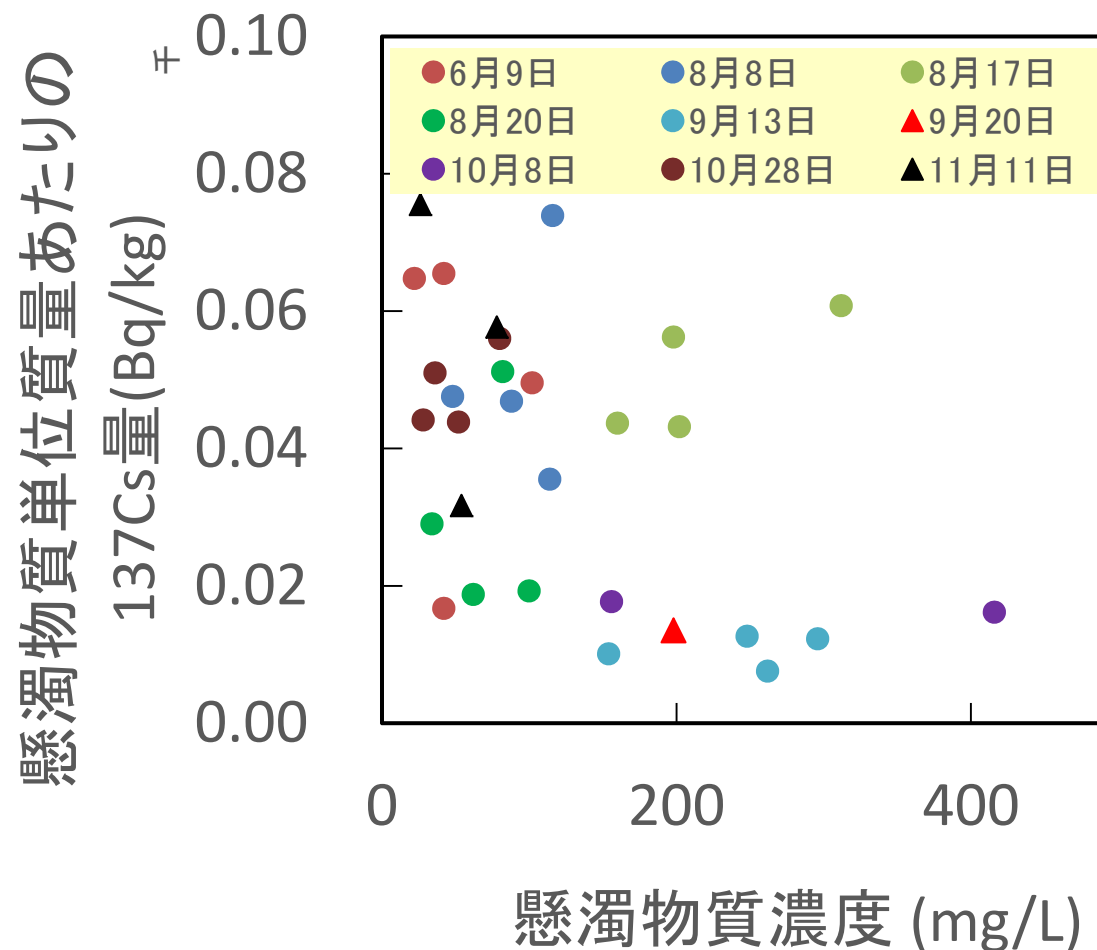
山敷ら 阿武隈川から海洋への浮遊土砂を通じた放射性物質の移行状況調査

濁度とSS濃度の関係



濁度とSS濃度には線形関係がある
8月17日に104.5 mm/dの大雨が発生
大雨前後で、傾きに大きな違いあり
濁度が高くなるようなSSが大雨で流れ切ったと考えられる

SS単位質量あたりの ^{137}Cs 濃度がばらつく



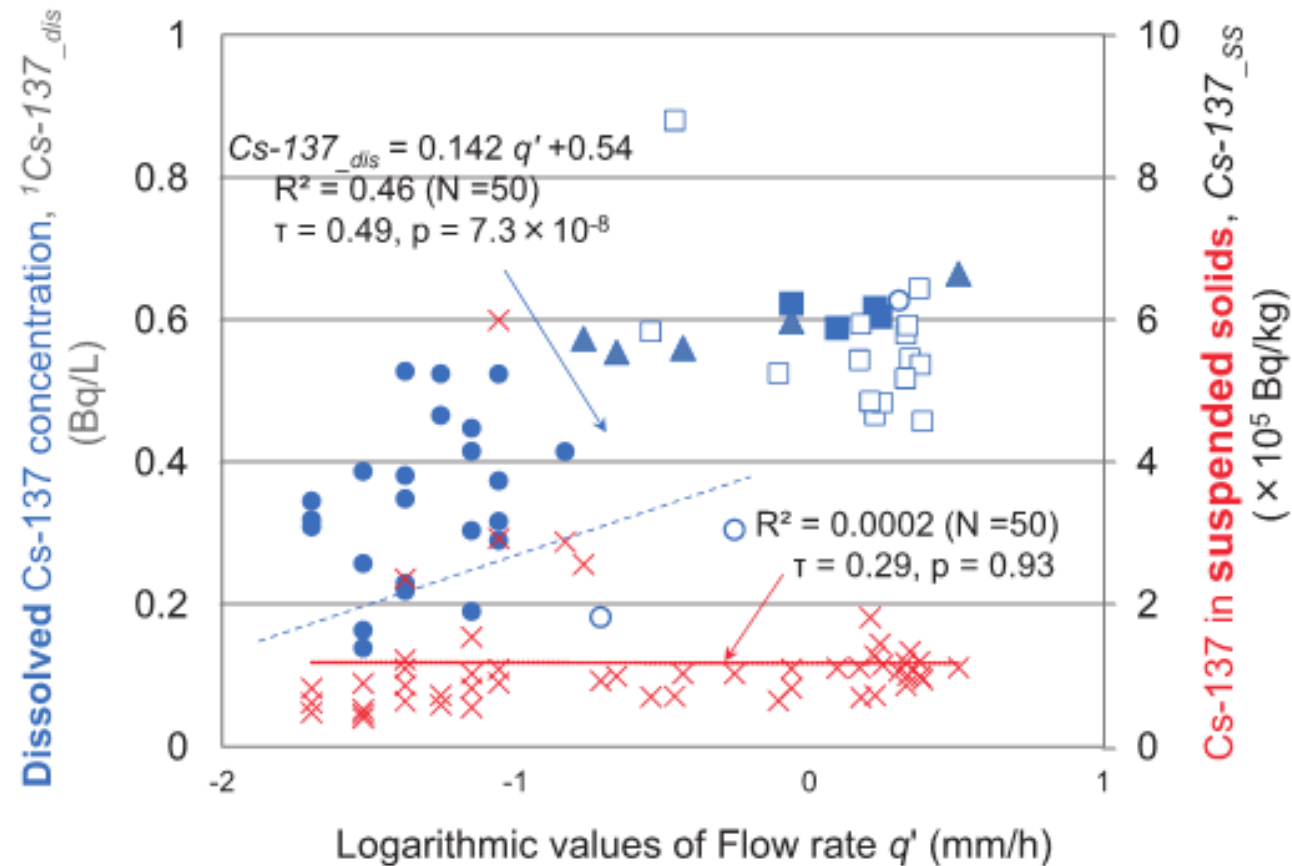
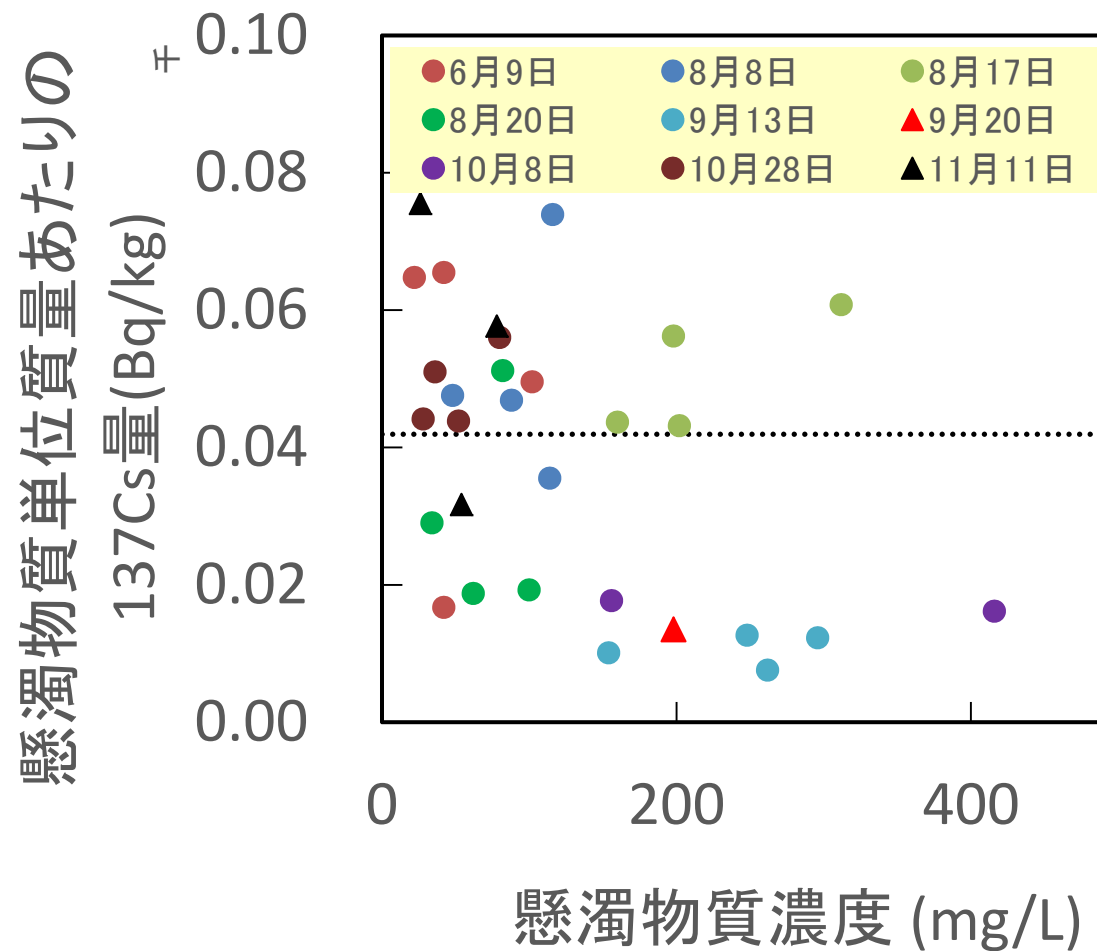


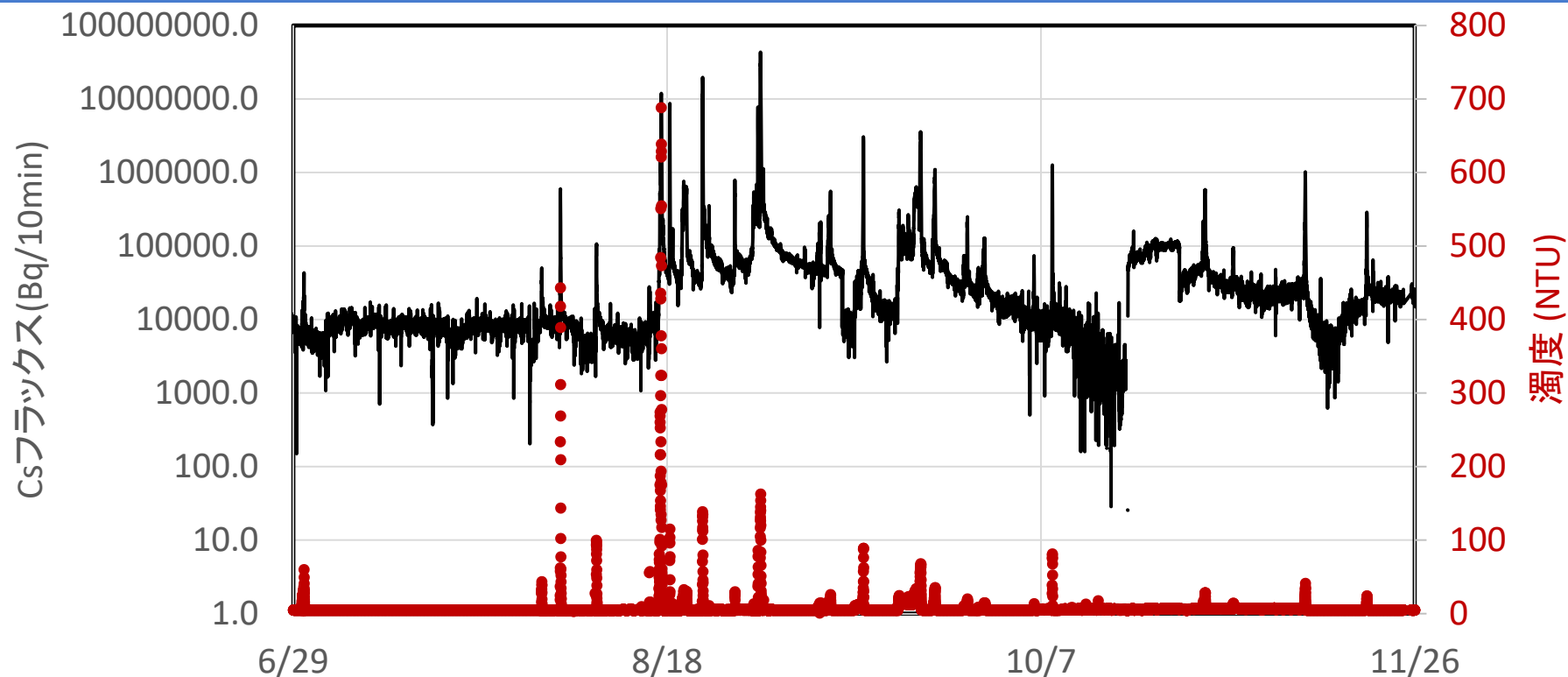
Fig. 2 Relationships between specific runoff rate (mm/h) and dissolved Cs-137 (Bq/L) or Cs-137 in suspended solids (Bq/kg) in the upstream part of the Ohta River.

Dissolved Cs-137 at ● base flow, ■ 6 October 2014, ▲ 14 October 2014, □ 16 July 2015, ○ other events, and × ^{137}Cs in SS

(Hayashi 2016)

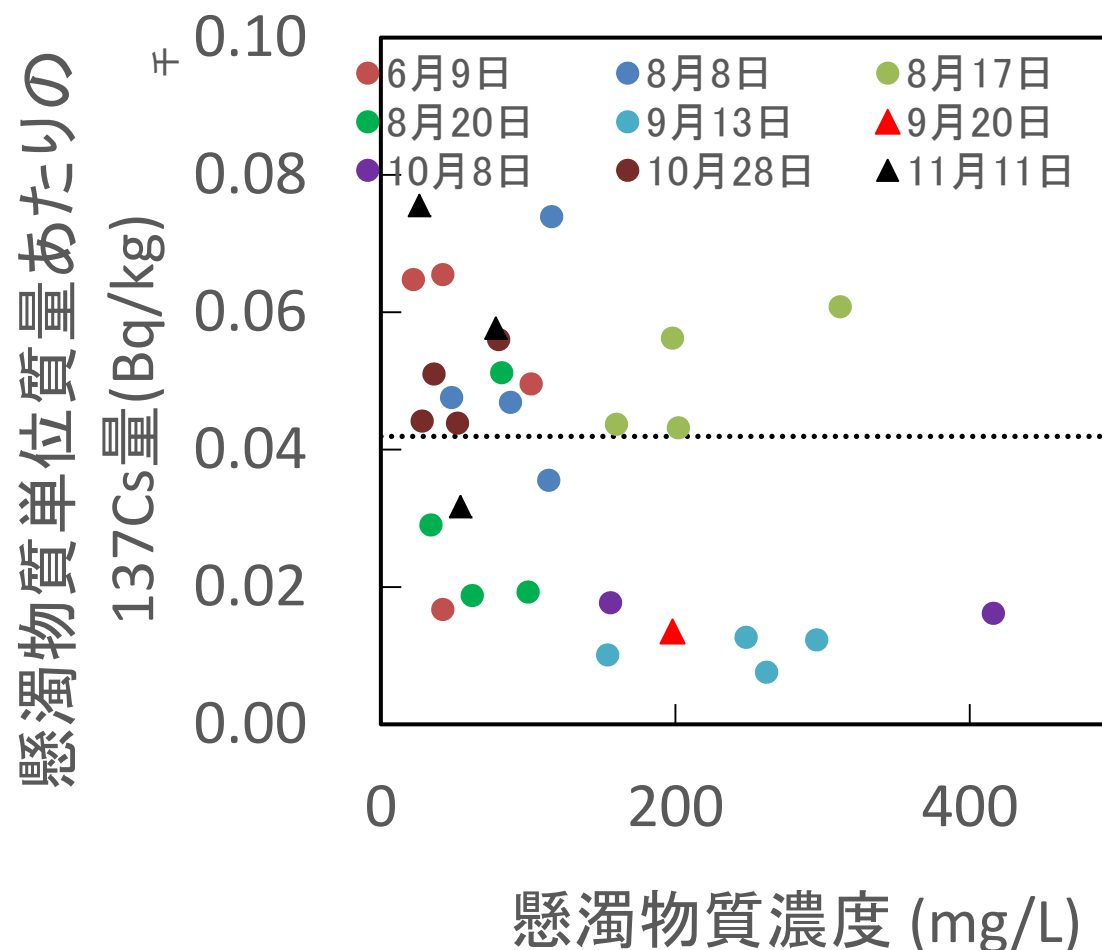
SS単位質量あたりの ^{137}Cs 濃度がばらつく





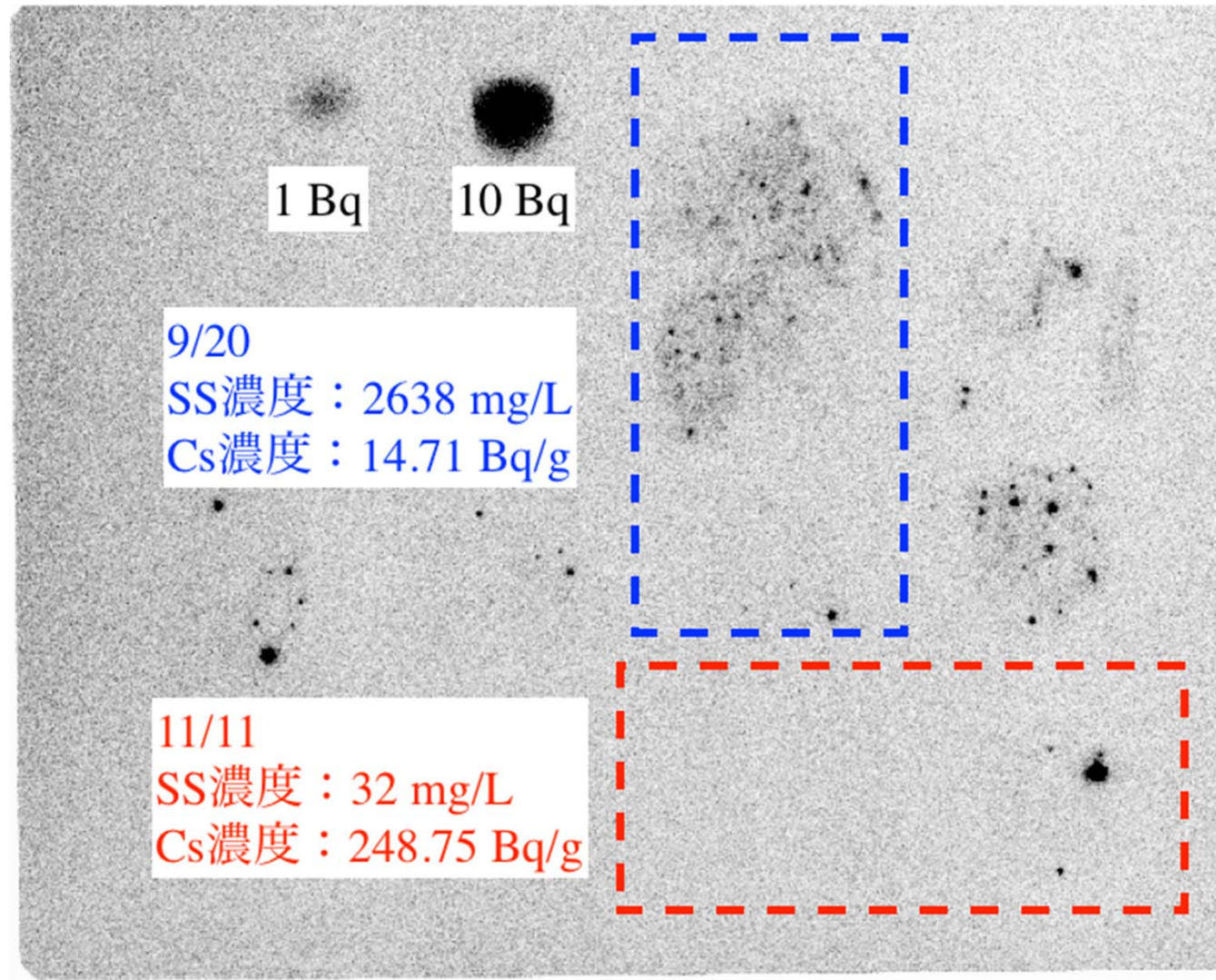
- ✓ 2016年6月から11月の総流出量は1743 MBq, 推定総降水量の0.11% から 0.32%
- ✓ 溶存態(平均50 Bq/m³)・・・溶存態の流出17.5 MBq
⇒流出のほとんどが懸濁態
- ✓ 農業用水としては, 濁ったときの対策を講じればどうにかなる

2. 流出するCs量のばらつきの原因の検討

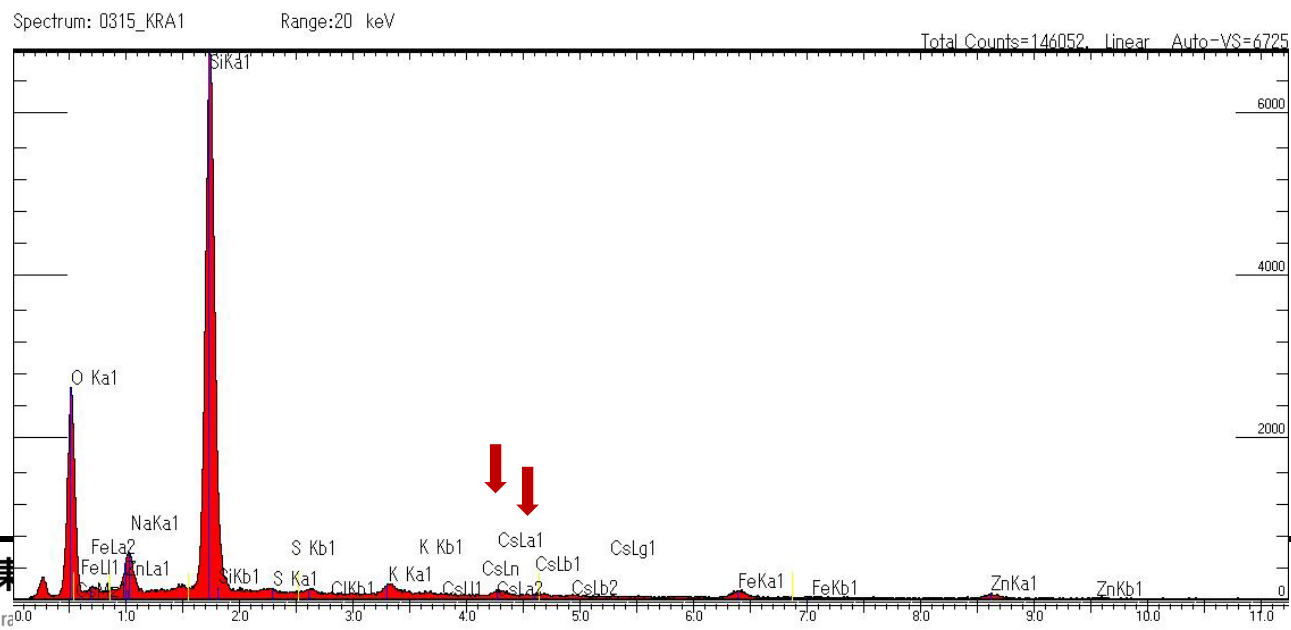
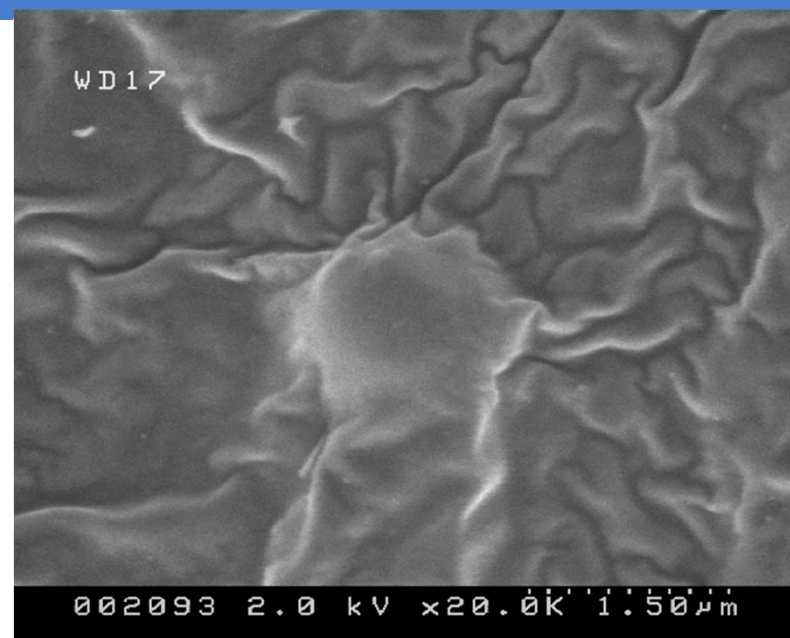


SS単位質量あたりの ^{137}Cs 濃度がばらつくのは何故？

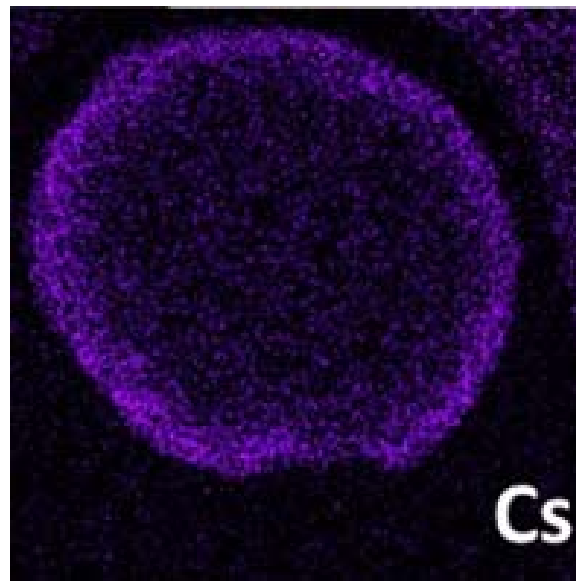
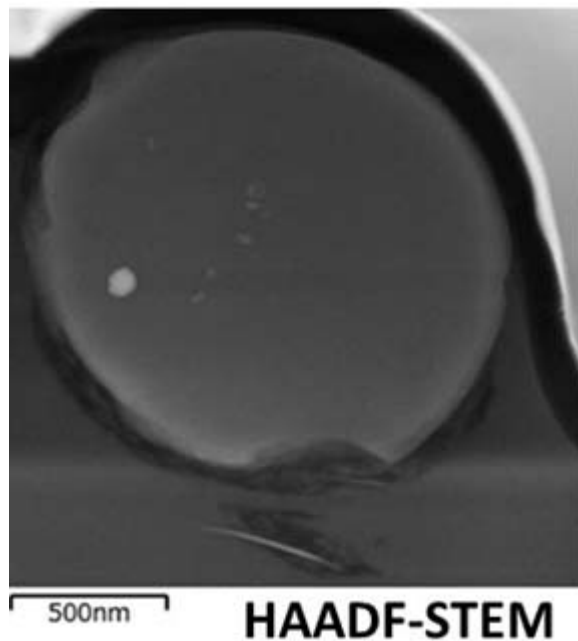
懸濁物質濃度と放射性Cs含量の不一致



河川水フィルタ残留試料_no. 2 (~0.28 Bq)



Si-Oからなる→ケイ酸ガラス系が主体
鉄(Fe), 亜鉛(Zn), スズ(Sn), カリウム(K)は満遍なく分布
Csは周縁のみに集中
下側にAl-有機物複合体が付着？
(理学系研究科小暮研の協力で撮影(JOEL-2800+EDS))



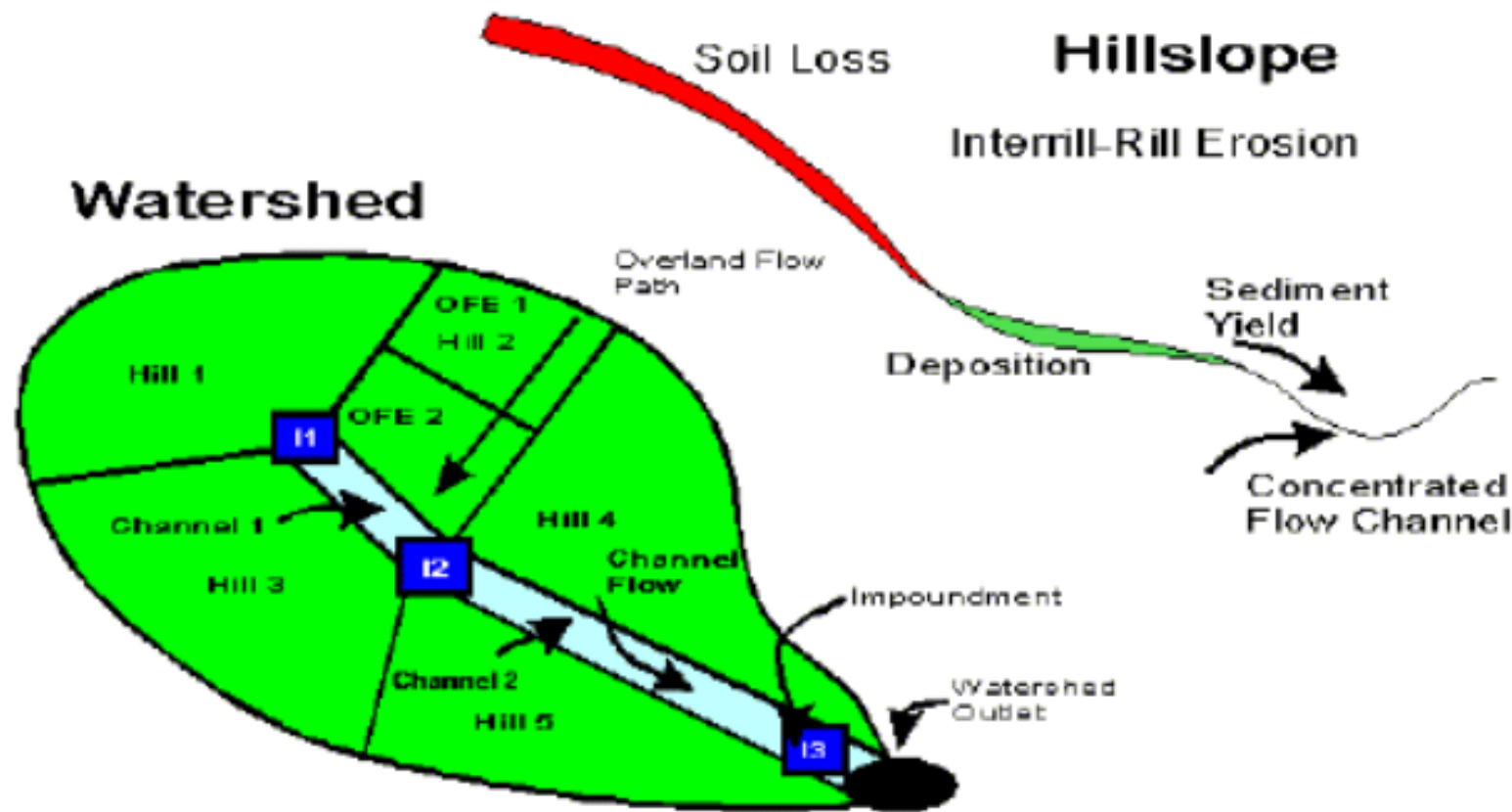
まとめ

1. 林床にリターの集積した森林小流域からのCs流出を観測した。
2. 流出の程度は、沈着量の0.11から0.32%と既往の研究と大差ない。また、流出Csの9割が懸濁態・・・**侵食量で評価できる？**
3. この小流域では、濁度がCs濃度を代表するという仮定には疑問が生じた。
4. 流出水試料中の懸濁物質の中にセシウムを含んだガラス質の球状の粒子が発見された。この粒子の有無で採取試料のCs含量の評価が大きく左右された。
5. 懸濁物質やセシウムボールの発生源(侵食発生個所)はどこなのか？

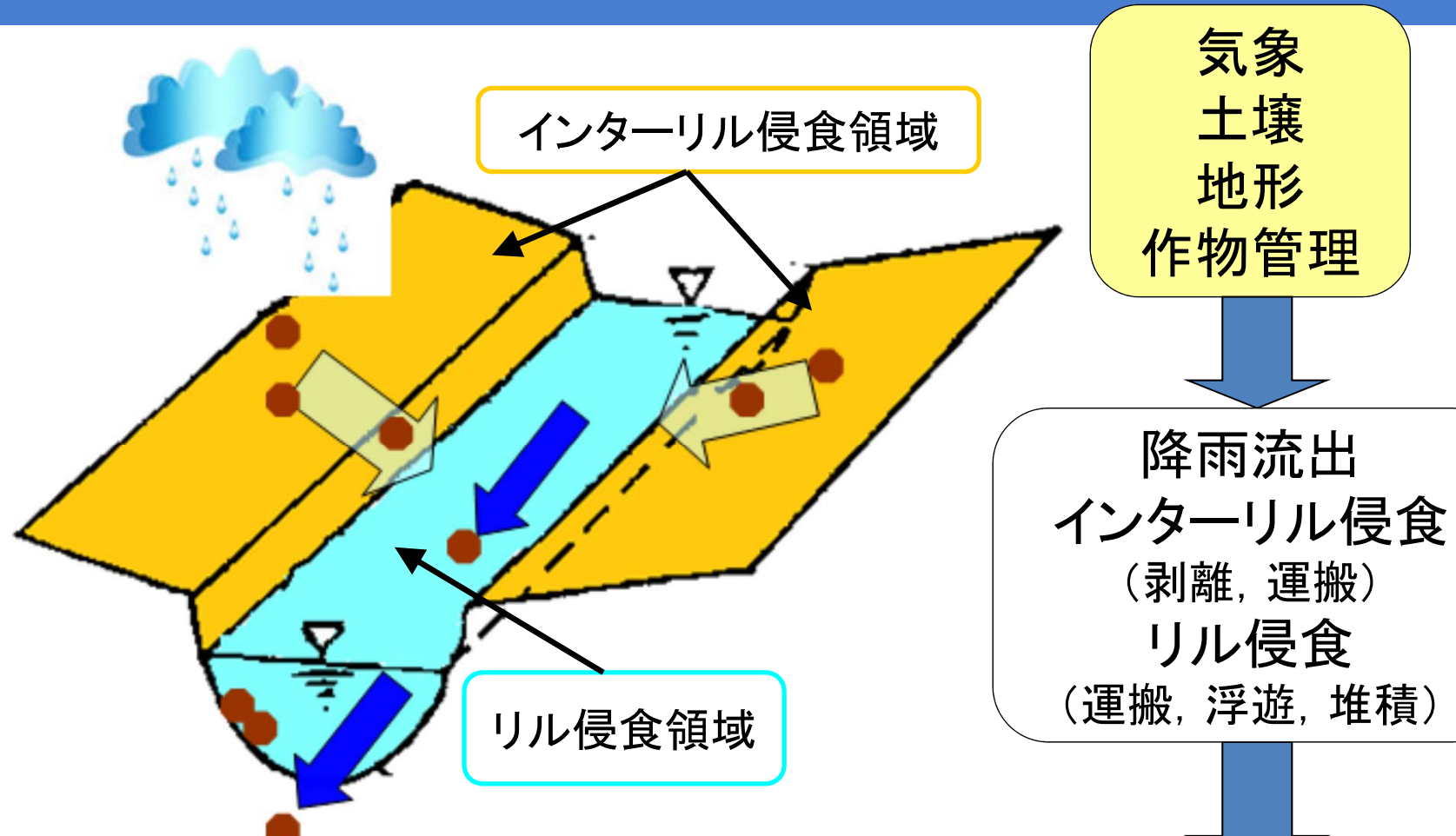
3. Cs はどこから出てくるのか？の推定 水食のシミュレーションで可能性を探る

Water Erosion Prediction Project (米国農務省, 侵食研究所)

よく用いられるUSLEは, 年間の流亡土量を予測する統計モデル
⇒ 降雨毎の侵食の議論には本質的に向かない
⇒ 素過程の組み合わせで構成するモデルWEPPを用いた



WEPP



項目	入力値
気象	降雨データ, 気温, 風向風速, 露点温度
土壌	土性, 有機物含有率, CEC, 透水係数
作物管理	品種, 被覆率

WEPP—Water Erosion Prediction Project

インターリル侵食

リル侵食以外の部分



リル侵食

表面流によって
地表面が削られ、できた溝

$$\frac{dG}{dx} = D_i + D_f$$

G : 単位幅あたりの土壌流亡量($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)

x : 流下方向距離(m)

D_i : インターリルからの流入量($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)

D_f : リル侵食量($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)

(Foster ら1995)

土砂の剥離

$$D_i = K_i I^2 S \quad (\text{実験式})$$

K_i : インターリル受食性($\text{kg} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-4}$)

I : 降雨強度($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

S : 傾斜に関わる係数

$$D_f = K_r (\tau_f - \tau_c) \left(1 - \frac{G}{T_c}\right)$$

K_r : リル受食性($\text{s} \cdot \text{m}^{-1}$)

τ_f : 掃流力(Pa)

τ_c : リルにおける土粒子の限界掃流力(Pa)

T_c : 運搬可能土砂量($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)

地表流の土砂輸送能

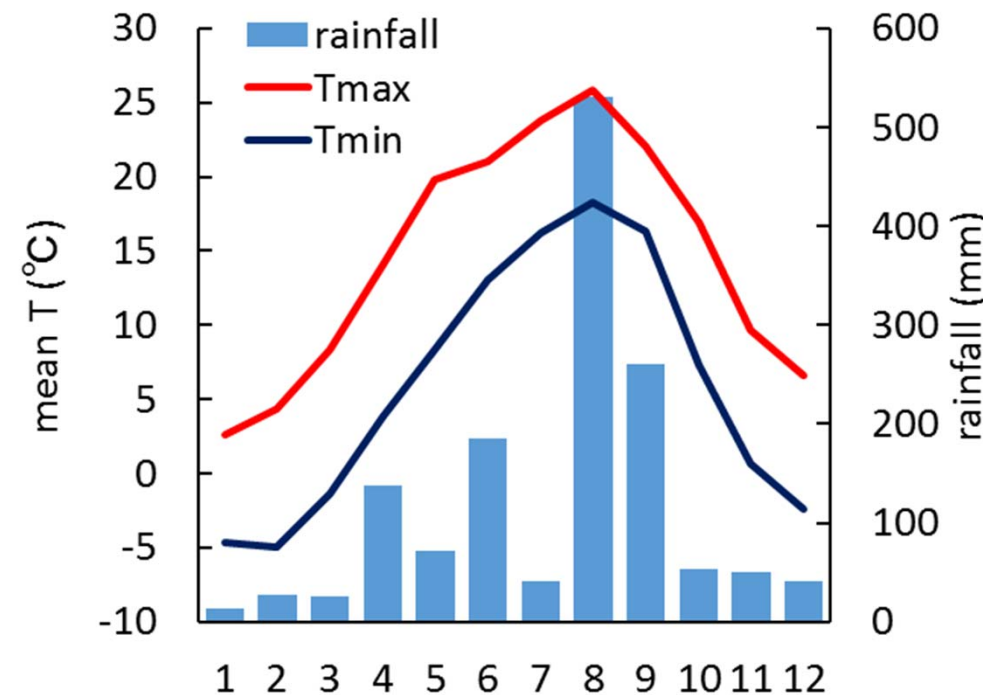
WEPPにおいて主要パラメータである K_i と K_r 、 τ_c はインターリル侵食とリル侵食のモデル実験を行い算出する。

観測値(流域末端気象計)

- 日最高最低気温
- 日降水量

統計値 (アメダス飯舘)

- 月平均日射
- 月平均露点



2016年の月平均気温と月降水量

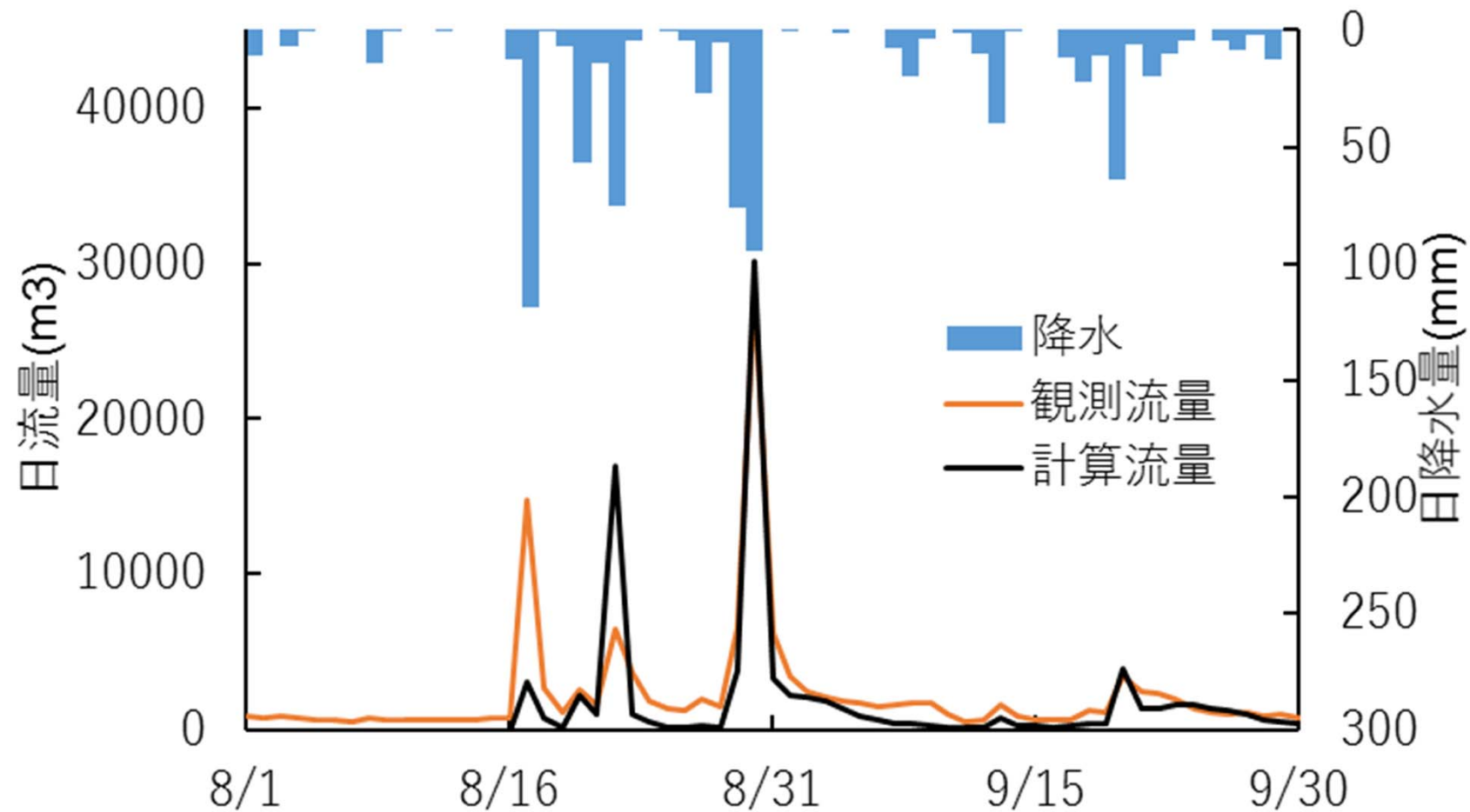
水移動パラメータ : 観測流量に合うようにフィッティング
侵食パラメータ : 黒ボク土実測値(小谷ら, 2007)

インターリル 受食係数	リル受食係数	限界掃流力	有効透水係数
$2.3 \times 10^6 \text{ kg s m}^{-4}$	$9.0 \times 10^{-5} \text{ s m}^{-1}$	0.26 N m^{-2}	30 mm h^{-1}

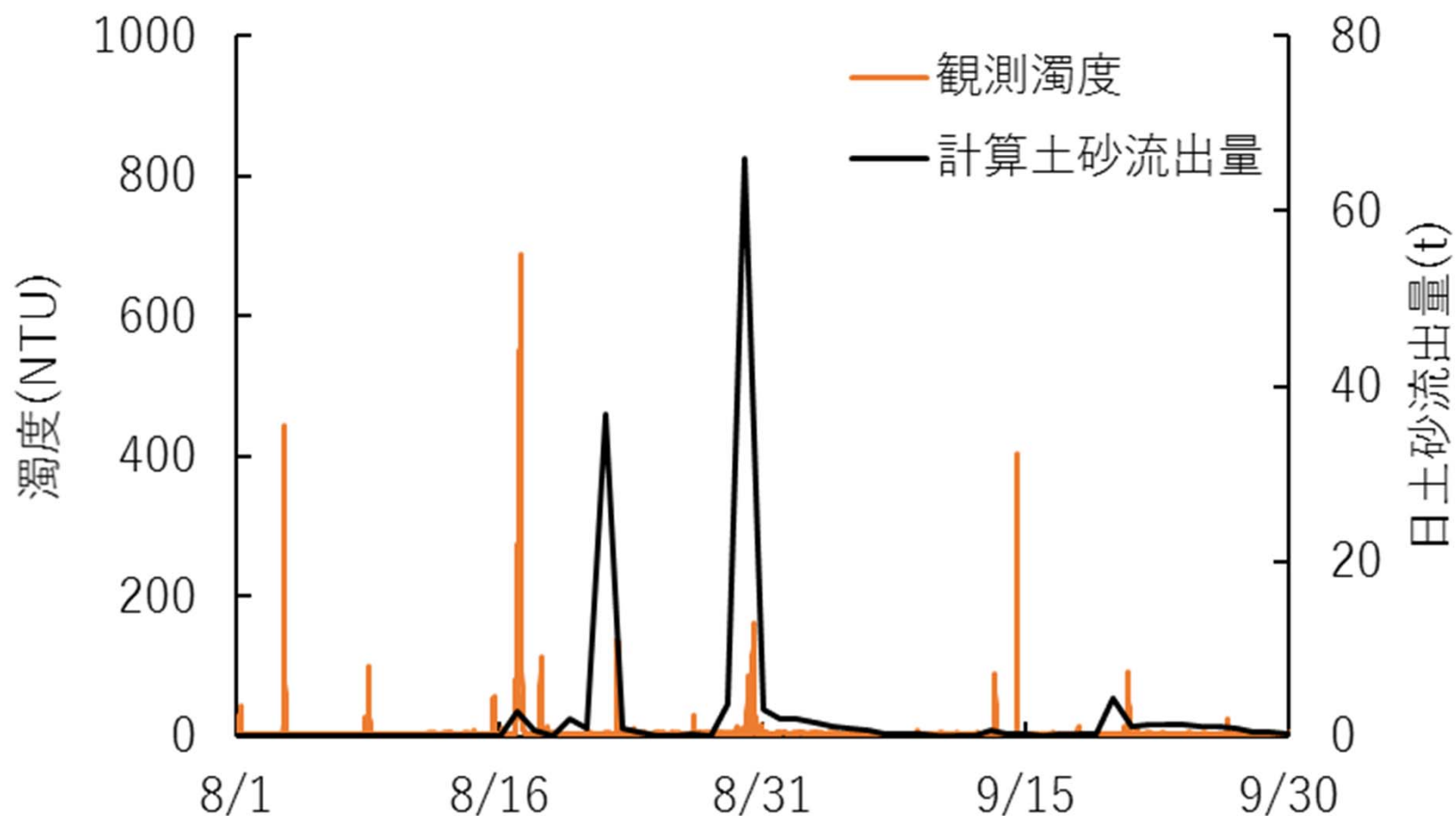
10mメッシュの数値標高モデル(DEM) 国土地理院発行

解析期間 2016年1月1日～2016年12月31日

日降水量および日観測・計算流量



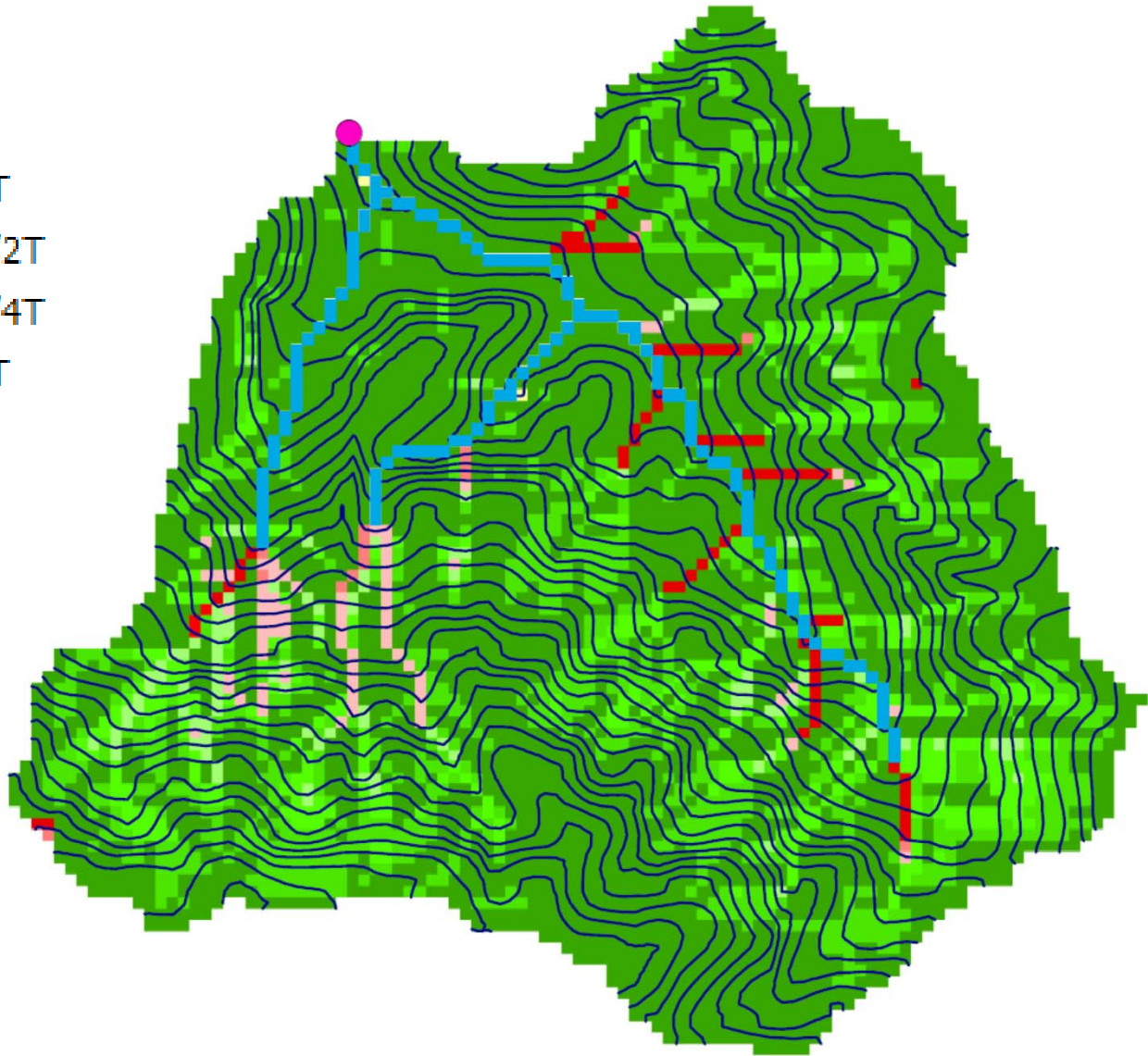
日計算流送土砂量と10分間隔の観測濁度



侵食箇所の推定

- Deposition < 1T
- $0T \leq \text{Soil Loss} < 1/4T$
- $1/4T \leq \text{Soil Loss} < 1/2T$
- $1/2T \leq \text{Soil Loss} < 3/4T$
- $3/4T \leq \text{Soil Loss} < 1T$
- $1T \leq \text{Soil Loss} < 2T$
- $2T \leq \text{Soil Loss} < 3T$
- $3T \leq \text{Soil Loss} < 4T$
- Soil Loss > 4T

(1T = 1 ton ha⁻¹ y⁻¹)



最後に

1. 今回対象とする小流域では、森林からの流出土砂は、限定された場所からのものである可能性がある。
2. (実踏で検証する必要があるが) そうであれば、放射性Csの森林からの流出は、徐々に減る(大半は森林内に存在する)
3. 侵食の機構が異なる場合は、また違う結果になる

謝辞

セシウムボールの電子顕微鏡写真ならびにEDSの測定には、東京大学理学系研究科の小暮敏博教授、奥村大河氏並びに東京大学微細構造解析プラットフォームに、Csの測定については、アイソトープ農学教育施設にご協力いただきました。