

放射性物質の移行メカニズム調査 (放射性物質の移行状況の詳細調査及びモデル化)



平成23年度科学技術戦略推進

資料第4-1-3号

放射性物質による環境汚染の調査・評価
福島 陸域・水域モニタリング大学連合チーム
FUKUSHIMA RADIATION MONITORING OF WATER, SOIL AND ENTRAINMENT

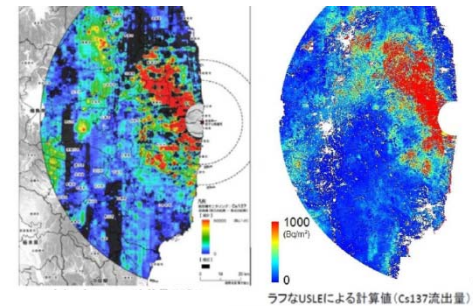
平成23年6月から福島第一原子力発電所周辺の環境(土壌、土中、地下水、河川、森林、海(河口近く))における放射性物質の動態挙動の把握に向けた移行状況調査を実施。平成24年度の調査では、引き続き、放射性物質の移行状況について継続的かつ詳細に調査を実施するとともに、**これらのモニタリングデータを基に、様々な自然環境中における、今後の放射性物質の移行状況についてモデリングを行う。**

筑波大・広島大・金沢大・名古屋大・東工大・北海道大・千葉大・大阪大・茨城大・福島大・気象研究所



モデル化

今後の放射性核種の地表面上での
流出をモデル化

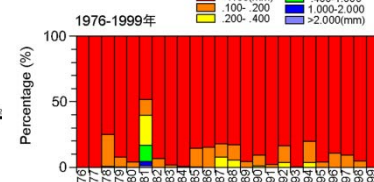


今後の河川への
放射性物質の
流出をモデル化

今後の河川内での
放射性物質の
流出をモデル化



河口から流出する浮遊砂の粒径別割合



平成24年度調査では、従来の川俣町山木屋地区に加え、計画的避難区域内の線量の高い地域(浪江町等)の中に1カ所、耕作地域(本宮市・二本松市)に観測地点を増設し、放射性物質の移行状況の更なる知見を得る。

図-1 阿武隈川流域(地点の具体名は図-2下段参照、表示の無いものは福島流量観測所、Lは八幡流量観測所)

本調査で作成するモデル化の全体像

4種類のモデルを開発することで、JAEAが開発する放射性物質の分布予測モデルの一般化を図る。

1. 放射性核種流出モデル（筑波大・恩田）

→各土地利用における土壌浸食量と核種移動量の関係のモデル化

2. 分布型USLEモデル（千葉大・近藤）

→USLEモデルを用いて様々な土地利用からの放射性物質の土壌浸食量をモデル化

3. 改良WEPモデル（東工大・木内）、 改良SWATモデル（農環研・谷山）

→様々な土地利用区画からの水系を通じた放射性物質の移行モデルの作成

4. 河川総放射エネルギー流出モデル（北海道大・清水）

→河川から海洋までの放射性物質の移行モデルの作成

【主な放射性物質の移行要因と考えられる要因(土壌侵食系、水系)による放射性物質の移行モデルの作成】

(土壌侵食系)

○土壌侵食モニタリング
→様々な土地利用・斜面長での土壌侵食量と放射性物質の流出量の算定

入力

①放射性核種流出モデル

→各土地利用における土壌侵食量と核種移動量の関係のモデル化

モデルの精度向上のため、必要に応じてモデルの入力値として反映



○地形情報
○植生状況
○気象情報
○田畑等を通じて放射性物質移行量確認

入力

②河川までの放射性物質移行モデル(分布型ULSEモデル)

→USLEモデルを用いて80km圏内での様々な土地利用からの放射性物質の土壌侵食量をモデル化

河川への土壌侵食に伴う放射性物質の流出量を入力

(水系)

○浮遊砂モニタリング
→河川中を浮遊砂として流出する放射性物質の移行量の確認、濁度、雨量との関係確認
○湧き水、地下水モニタリング
○河川水、河底土モニタリング
→河川水中の放射能濃度確認、分配係数確認
○田畑等を通じた放射性物質移行量確認

入力

③河川を通じた放射性物質移行モデル(改良WEPモデル、改良SWATモデル)

→様々な土地利用区画からの水系を通じた放射性物質の移行モデルの作成

モデルの精度向上のため、必要に応じてモデルの入力値として反映

○河川敷における無人ヘリモニタリング
→河川敷の放射性セシウム蓄積量の変化状況の詳細確認

モデル検証

④河川から海洋への放射性物質移行モデル(河川総放射流出モデル)

→河川から海洋までの放射性物質の移行モデルの作成

【その他の放射性物質の移行要因の確認】

(森林系)

○森林内モニタリング
→森林内の放射性物質の移行モデルの作成、系外への放射性物質の流出状況の確認
○花粉による放射性物質の拡散調査
→花粉を通じた放射性物質の移行状況の確認

(巻き上げ系)

○巻き上げモニタリング
→様々な土地利用からの放射性物質の飛散状況の確認

(湖沼・貯水池系)

○湖沼・貯水池モニタリング
→湖沼・貯水池内での放射性物質の移行状況確認、系外への流出状況の確認

H24年度調査における放射性物質移行の調査研究(その1)

平成24年度は、従来の川俣町山木屋地区に加え、計画的避難区域内の線量の高い地域(浪江町等)の中に1カ所、耕作地域(本宮市・二本松市)に観測地点を増設し、放射性物質の移行状況の更なる知見を得る。

二本松市・本宮市

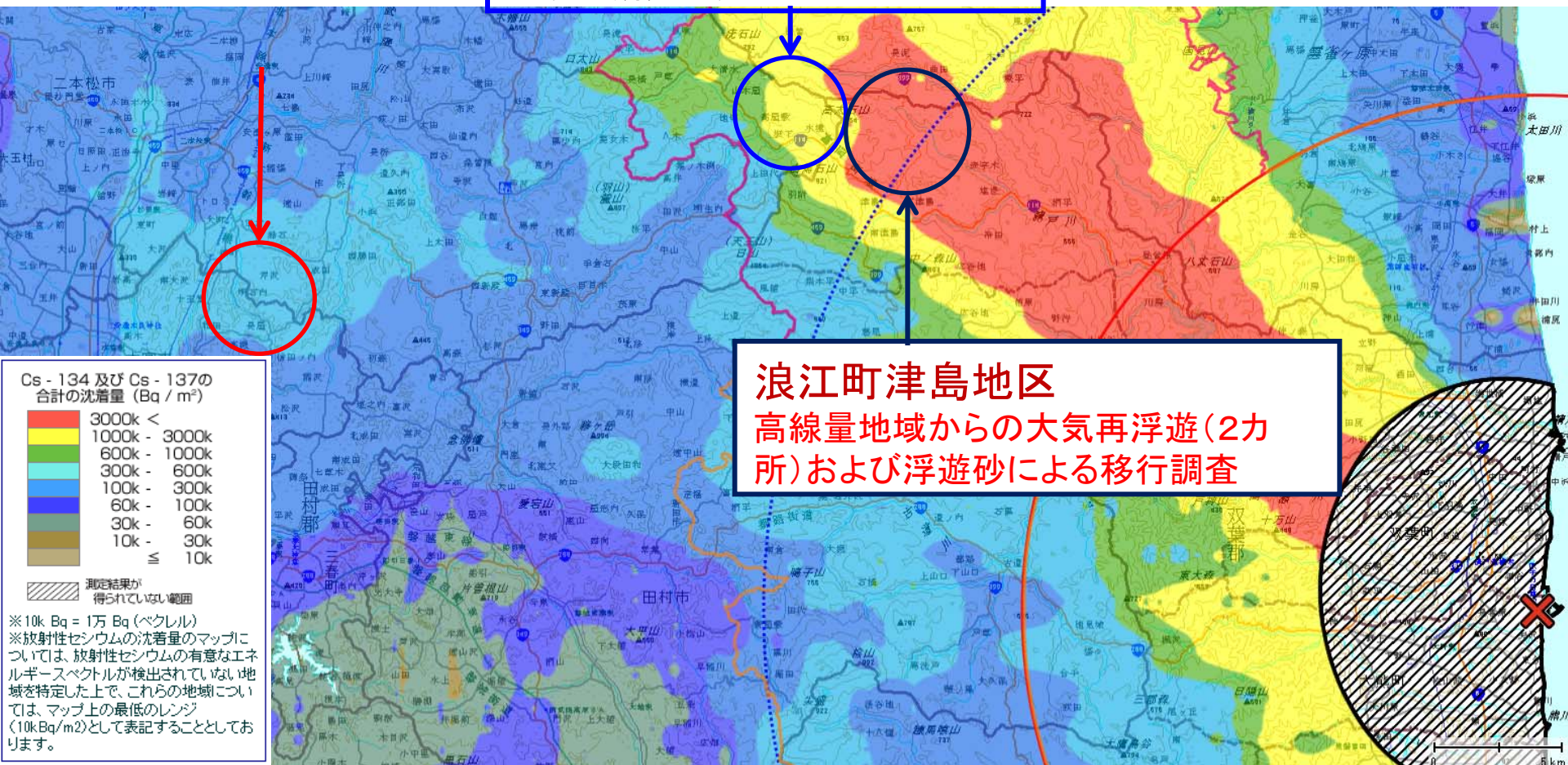
田畑での耕作作業に伴う大気再浮遊(2カ所)、プロットからの浮遊砂流出(2カ所)の調査

川俣町山木屋地区

大気再浮遊量の長期変化、森林からの再浮遊量の調査
森林流域からの浮遊土砂流出の調査(2カ所追加)

福島市、郡山市

都市域における、都市活動による大気再浮遊の調査



H24年度調査における放射性物質移行の調査研究(その2)

■放射性物質の移行研究（放射性物質の移行状況全体調査）

- 福島第一原発から80km圏内における放射性物質の移行モデルの精度向上のため、放射性物質の移行メカニズム調査で対象としたモデル地域以外の地域における放射性物質の移行状況についても確認。
- 具体的には、将来の放射性物質の沈着量に影響を与えることが想定される、放射性物質の土中移行、河川中移行、田畑等を通じた移行について、福島第一原発から80km圏内を対象に網羅的な調査を実施。

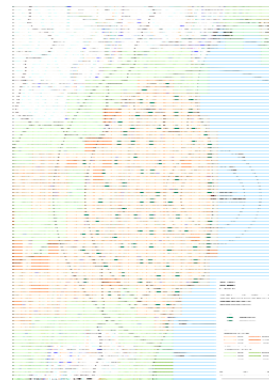
(調査項目)

①河川水中の放射性物質の放射能濃度の変化傾向の確認調査



- 調査箇所数：福島県内の56箇所
- 調査時期：台風期前後
- 調査項目：
 - ・河川水(56試料)：Cs134、137の放射能濃度
 - ・河底土(56試料中10試料)：Cs134、137、Sr90の放射能濃度
- これまでの調査結果と比較して、各調査箇所における河川水、河底土の放射能濃度の変化傾向を把握。

③土壌中の放射性セシウムの深度分布調査



- 調査箇所数：福島第一原発から80km圏内の84箇所
- 調査時期：台風期前後
- 調査項目：
 - ・土壌深さ方向のCs134、137の放射能濃度の分布状況の確認
- これまでの調査結果と比較して、各調査箇所におけるCs134、137の深度分布の変化状況を確認

②土砂流出に伴う、河川における放射性物質の移行状況調査



- 調査箇所数：福島県内の30箇所
- 調査時期：通年（定期観測）
- 調査項目：
 - ・河川中を流れる土砂(浮遊砂)（30箇所）：Cs134、137の放射能濃度
 - ・濁度測定
- これまでの調査結果と比較して、各調査箇所における浮遊砂中の放射能濃度の変化傾向を把握。
(また、濁度との関係性を把握することで出水時の影響も確認)

④農村地域の放射性セシウム動態調査



- 調査箇所数：福島県4箇所の農村地域（作付け地域、不作付け地域、灌漑・排水路貯水池）
- 調査時期：通年(定期観測)
- 調査項目：
 - ・農業用水路や農地に通じる河川における水量及び懸濁物質濃度、Cs134、Cs137の放射能濃度を測定
- これまでの調査結果を総合して、農村地域における流域スケールの放射性物質の移行モデルを作成

モデル1. 放射性核種流出モデル

～各土地利用における土壌侵食量と核種移動量の関係をモデル化する。～

土壌の侵食量と放射性物質の流出量の関係を求めるため、

- ①様々なプロットで土壌粒子の粒径毎の土壌流出量を測定
- ②粒径の違いに伴う放射性セシウムの放射能濃度の関係を測定
- ①、②の結果を基に、土壌流出量と放射性セシウムの流出量の関係をモデル化する。

Diffusion and Migration Model

$$C_u(t) \approx \frac{I(t)}{H} + \int_0^{t-1} \frac{I(t')e^{-R/H}}{\sqrt{D\pi(t-t')}} e^{-\gamma^2(t-t')/(4D) - \lambda(t-t')} dt'$$

$C_u(t)$: variation of the Cs-137 concentration in surface soil with time t
 $I(t)$: annual Cs-137 deposition flux at time t
 R : erosion rate
 H : relaxation depth
 D : the diffusion coefficient
 V : the downward migration rate of Cs-137 in the soil profile
 λ : decay constant

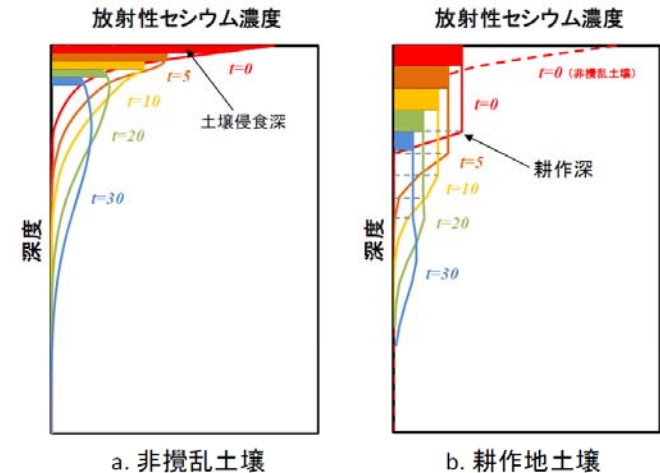
Improved Mass-Balance Model

$$\frac{dA(t)}{dt} = (1 - \Gamma)I(t) - \left(\lambda + P \frac{R}{d_m} \right) A(t)$$

$A(t)$: Cumulative Cs-137 activity per unit area
 R : erosion rate
 P : particle size correlation factor
 d_m : the average plough depth represented as a cumulative mass depth
 Γ : the proportion of the freshly deposited Cs-137 fallout removed by erosion before being mixed into the plough layer by cultivation
 λ : decay constant

粒径効果・斜面での土砂移動と土壌侵食量との
関連・スケール効果を統合した新たな放射性核
種流出モデルを開発

土壌中放射性セシウムの深度分布の経年変化モデル



参考文献

■ Diffusion and Migration Model for undisturbed soil (left figure)
He and Walling (1997)

The distribution of fallout Cs-137 and Pb-210 in undisturbed and cultivated soils. Applied Radiation and Isotopes, 48, 677-690.

■ Improved Mass-Balance Model for cultivated soil (right figure)
Walling and He (1999)

Improved models for estimating soil erosion rates from cesium-137 measurements. Journal of Environmental Quality, 28, 611-622.

移流拡散モデル (未攪乱地) 改良マスバランスモデル (耕作地)

参考: IAEA TEC DOC 1665

2. 分布型USLEモデル (千葉大近藤)
3. 改良WEPモデル (東工大・木内)
の基礎モデルとなる

モデル2. 分布型USLEモデル

○第2次分布状況調査までの結果ではモデルの方向性は妥当であることを確認。

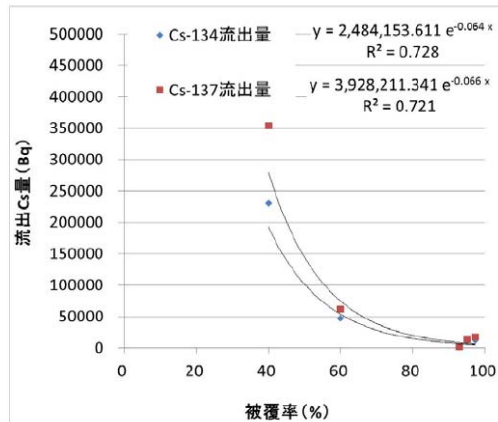


図:被覆率と放射性セシウムの沈着量の関係(平成23年8月時調査結果を活用)

R、K、L、C は山木屋地区における観測に基づき、下記の定数を与え、S および P を地理情報を用いてグリッドごとに計算した。

$$R=134.1\text{MJmmha}^{-1}\text{hr}^{-1}$$

$$K=0.01\text{thMJ}^{-1}\text{mm}^{-1}$$

$$L=1.0$$

$$C=1.0$$

第2次調査では、試験プロットの侵食量を被覆との関係ごとに整理し、侵食量をグリッドごとに計算

USLE計算式

USLE 式による侵食量(ton/ha/year)は次式で計算できる。

$$A=RKLS\text{C}P$$

ここで、

A : 年間土壌侵食量[ton ha⁻¹ year⁻¹]

R : 降雨流出の侵食力ファクタ(Erosivity factor)[MJ mm ha⁻¹ hour⁻¹ year⁻¹]

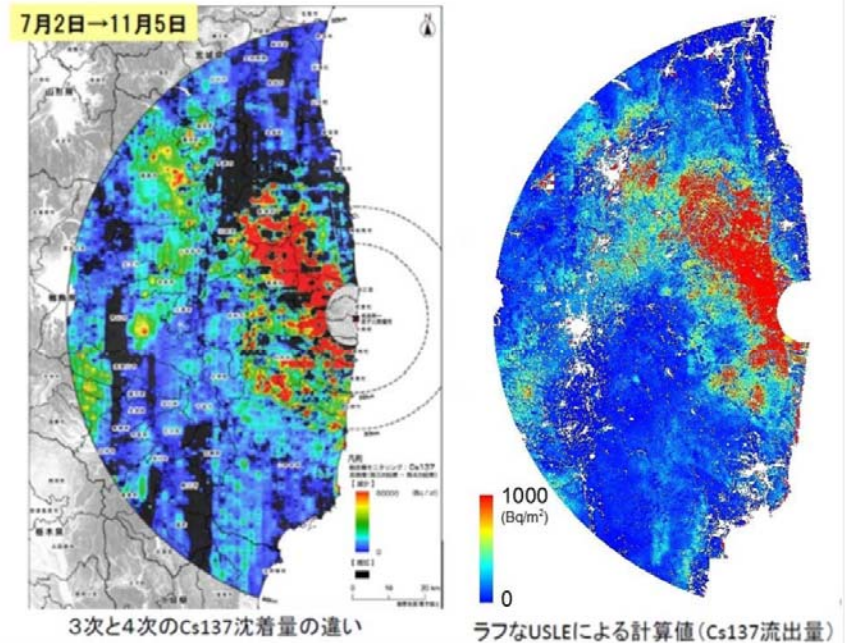
K : 土壌の侵食性ファクタ(Erodibility factor)[ton ha MJ⁻¹ mm⁻¹],

L : 斜面長ファクタ(Slope length factor)[無次元],

S : 斜面勾配ファクタ(Slope steepness factor)[無次元],

C : 被覆管理ファクタ(Cover management factor)[無次元],

P : 保全対策ファクタ(Conservation practice factor)[無次元]。



【航空機モニタリングの結果】

【第2次調査、分布型USLEモデル計算結果】

航空機モニタリングによるセシウムの沈着量の差分値とパターンは似通っているものの絶対値では1桁以上の違い→平成24年度調査では、細粒粒子の影響、耕作の効果に注目して再計算。

モデル2. 分布型USLEモデル

～USLEモデルを用いて様々な土地利用からの放射性物質の土壌侵食量をモデル化～

- USLE式はアメリカ農務省で開発され、広く国内でも一般的に用いられている侵食量推定モデルである。
- 圃場において決定された5つのファクタから経験的に侵食量を計算することができる。
- 流域をグリッドで分割し、各グリッドの土地利用に応じたファクタ群を地形等の地理情報に応じて計算すると、侵食量の分布図を作成することができる。

USLE計算式

USLE 式による侵食量(ton/ha/year)は次式で計算できる。

$$A=RKLS\text{C}P$$

ここで、

- A : 年間土壌侵食量[ton ha⁻¹ year⁻¹]
R : 降雨流出の侵食力ファクタ(Erosivity factor)[MJ mm ha⁻¹ hour⁻¹ year⁻¹]
K : 土壌の受食性ファクタ(Erodibility factor)[ton ha MJ⁻¹ mm⁻¹],
L : 斜面長ファクタ(Slope length factor)[無次元],
S : 斜面勾配ファクタ(Slope steepness factor)[無次元],
C : 被覆管理ファクタ(Cover management factor)[無次元],
P : 保全対策ファクタ(Conservation practice factor)[無次元]。

(使用データ)

- ・土壌侵食量A : モニタリング結果を活用
- ・降雨流出の侵食力ファクタR : アメダス等のデータを活用
- ・土壌の受食性ファクタK : 既存の表層土壌図のデータを活用
- ・斜面長ファクタL : 10mDEMデータを活用
- ・被覆管理ファクタ : 既存の土地利用図、リモートセンシングデータを活用
- ・保全対策ファクタ : 既存の土地利用図、農環研が作成する土地利用図を活用



モデル2. 分布型USLEモデル

【2011年度成果】

Grid地理情報入力

USLE式による
土砂生産量計算

航空機モニタリングデータ
による沈着量の入力

セシウム移行量計算

【2012年度目標】

放射性核種流出モ
デルによる再キャリ
ブレーション

土地被覆・
受食パラメータの整理

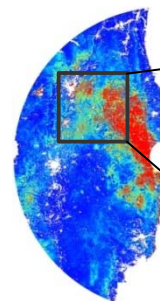
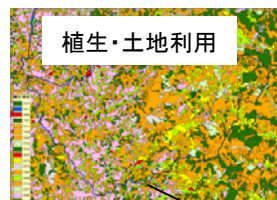
斜面下方への移行

河道モデルへ接続

斜面からの長期的な放射性核種の移行・減衰について解明

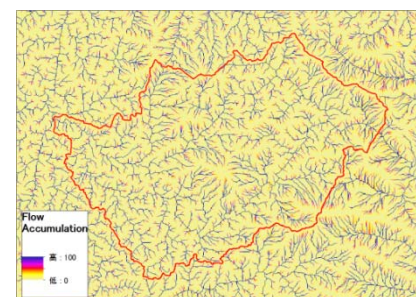
河川への土壌侵食に伴う放射性物質の移行状況を再現し、河川への放射性物質の移行状況をモデル化する際の条件として適用

【地理情報の整備】



【Cs移行量計算】

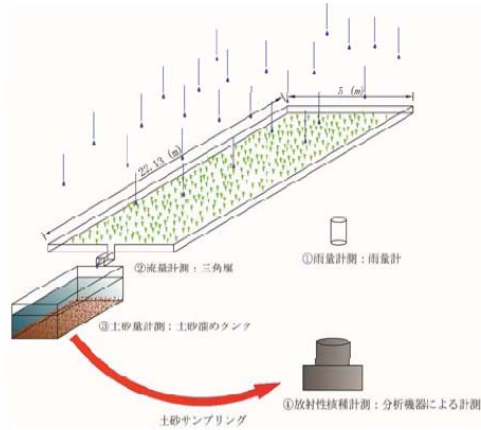
【斜面下方へ追跡】



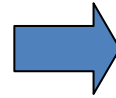
【河道モデルへ接続】

モデル1, 2のモデルの高度化のために必要なモニタリング(平成24年度調査)

1. USLE侵食量モニタリングの改良



- 各土地利用区画からの土壌流出量、雨量、土壌粒子ごとの放射性核種の放射能濃度を測定し、土地利用と放射性核種流出量の関係を確認。
- 昨年度の第2次分布状況調査では、表面被覆を変えた実験であったため、耕作の影響が考慮されていないこと、細粒土砂の補足が十分でないことのような課題を確認。
- 平成24年度調査では、耕作プロットを増設し、侵食量の状況について更に情報を得るとともに、新たに土砂収集システムを導入し、出水時の細粒土砂を捕獲することで、各プロットからの正確な放射性核種の流出量を算定。



土地利用区画ごとの土砂流出量(土砂侵食量A)と放射性セシウムの流出量の関係を確認

(土壌侵食プロット)

【観測プロット状況】

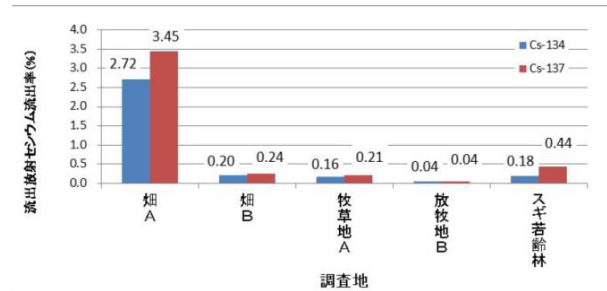
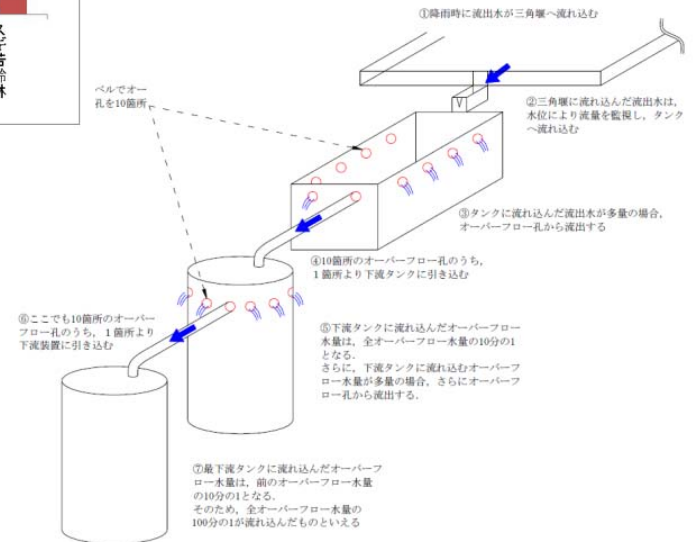


図 5.3.1-49 流出放射性核種流出率



**【平成24年度採取法】
細粒土砂も捕獲できるシステム**



モデル1, 2のモデルの高度化のために必要なモニタリング(平成24年度調査)

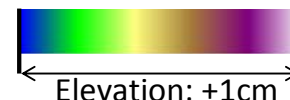
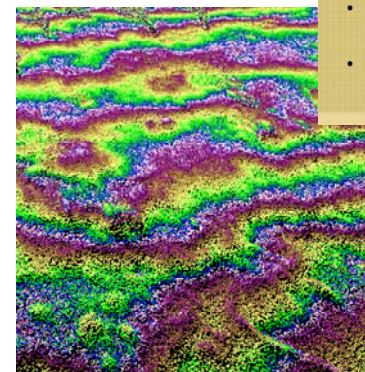
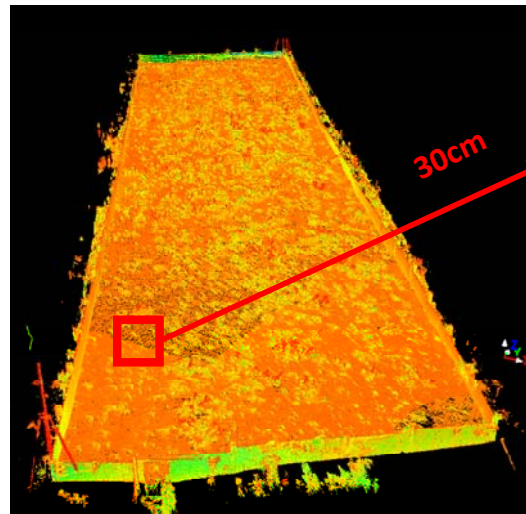
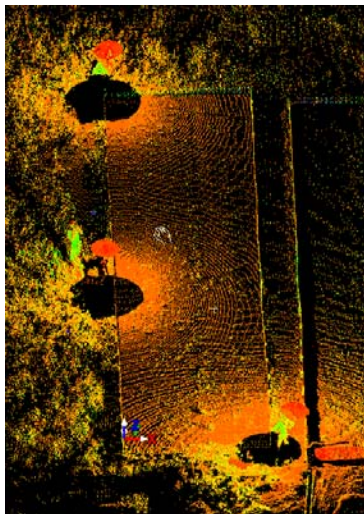
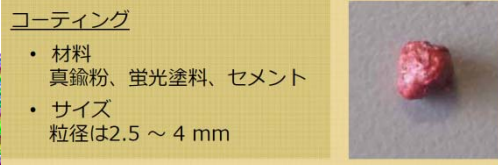
2. 地上レーザースキャナによる詳細侵食量モニタリング, ICタグを使った土砂移動量モニタリング

○地上レーザースキャナを用いて、狭い範囲内の土壌侵食・堆積量を観測し、斜面長と土壌侵食の関連について推定。また、ICタグを使用し、個別粒子の移動距離を観測し、土壌侵食量と土壌粒子移動の関係を取得。これらの結果を基に、一定期間における各土地利用区画における土壌移動量と土壌侵食量の関係を解明。また、土壌侵食量と放射性セシウム(Cs137)量との関連を解明。



USLE式 $A=RKLSCP$ の
A(土壌侵食量)と放射性セシウム放射能濃度の関係
を確認(狭い範囲での侵食状況と斜面長Lの影響を確認)

←一雨ごとに
タグの移動量
の測量。



←○幅30cm四方を
切り出した場合にお
ける詳細な表面地形
の測量例。

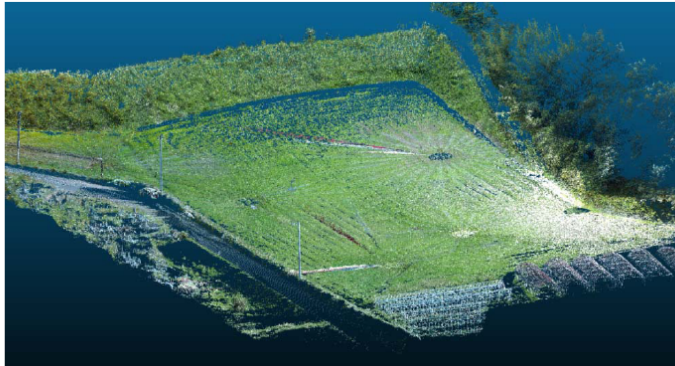
(図: 3点からの地上レーザースキャナの合成画像)

モデル1, 2のモデルの高度化のために必要なモニタリング(平成24年度調査)

3. 大型プロット侵食調査

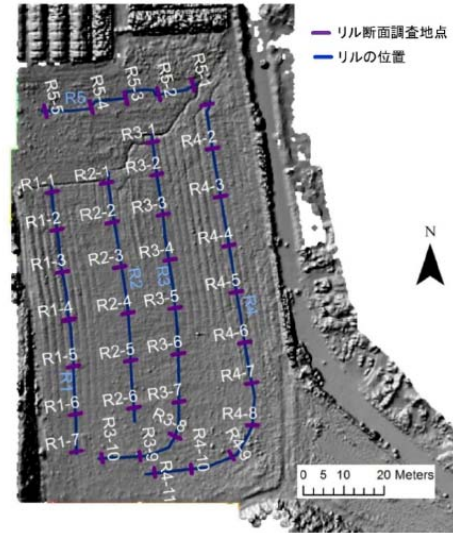
○斜面長の影響による土壌侵食量と放射性核種流出量の解明のため、異なる斜面長に区切った耕作放棄たばこ畑において、水流出量、土砂侵食量、放射性核種濃度を測定し、一定期間における斜面長と土砂侵食量および放射性核種(Cs137)量との関連の解明。

USLE式 $A=RKLSCP$ の
A(土壌侵食量)と放射性セシウム放射能濃度の関係
を確認(Lファクター; 斜面が長い場合の侵食状況を確認)



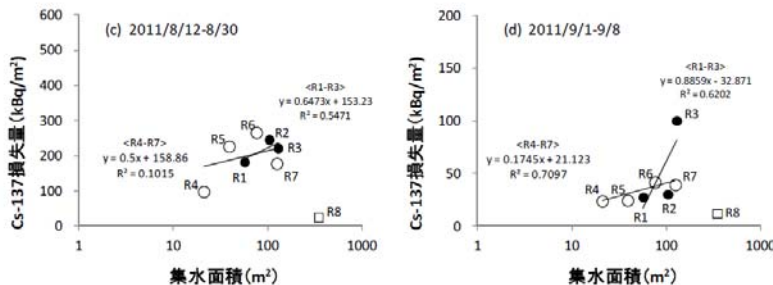
(図: 調査地; たばこ耕作放棄地)

上記の調査地点で、一雨ごとに、斜面長を変えた
区画より流量・土砂量・放射性核種濃度を測定



← 長大斜面における土壌侵食量の
レーザースキャナ測量による確認。

図: タバコ畑におけるリルの発達状況と断面調査地点



←これまでの調査から、集水面積(斜面長さ)と
各セシウム流失量との相関関係があることを確認。
斜面長さが増加すると、放射性核種流出量が増加していることを
確認。

2年目のデータを取得し、変化傾向を探る

(図: 各土砂トラップにおける集水面積と流域からのCs-137流失量の関係)
※4期間の土砂流失イベントについて評価

モデル1, 2のモデルの高度化のために必要なモニタリング(平成24年度調査)

4. 水田における放射性核種収支の調査(農環研・農工研・福島県農試と共同研究)

○これまでの調査以上に水田を介した放射性核種の収支を詳細に評価するため、水田の取水・出水口にて流入・出する水量、土砂量、放射性核種濃度(量)を測定し、水田における放射性核種の収支と、降雨や利水形態、代かきといった耕作イベントとの関係を確認。これにより、モデルの高度化に向け流出量の支配要因を評価・パラメーター化し、水田を介した放射性核種収支の推定に活用。



図 調査対象地マップ



図 本宮市サイト(降雨取水)の概観

放射性核種の収支は、その利水形態(用水路や降雨など)や、取水する水の核種濃度(上流域の汚染度)に左右される。そのため、利水形態や、取水する河川水の汚染レベルが異なる7地点の水田にて、放射性核種の収支を観測。

水田を介した放射性核種の収支と、利水形態や取水する水の汚染度の関係や、水田からの流出量と降雨や沈着量との関係の評価し、これらの要素をパラメーター化することで、流域の放射性核種動態モデルの精度向上を図る。

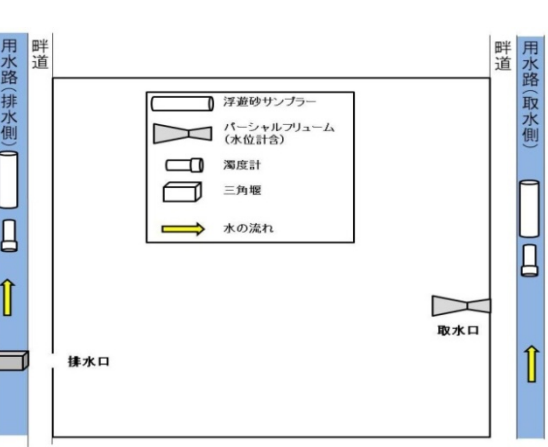


図 本宮市サイト(用水路取水)における機器設置概観

用水路から取水

取水側、流出側に浮遊砂サンプラー、濁度計、流量計測システムを設け、放射性核種の入・出量を観測。

代かきといった耕作イベントや降雨量、初期沈着量との関係解析により、流入・出量を決定する要素を評価・パラメーター化。

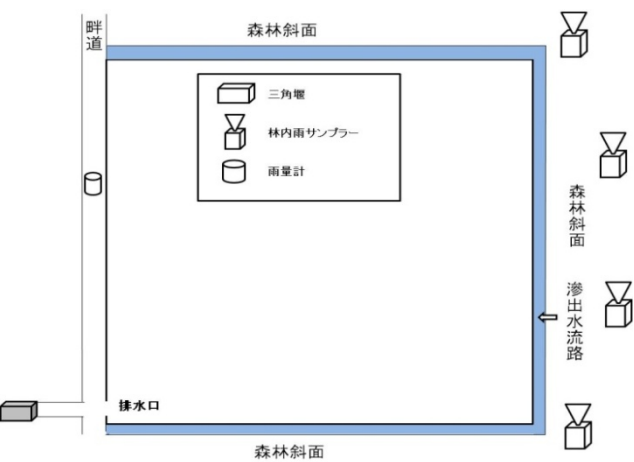


図 本宮市サイト(降雨取水)における機器設置概観

降雨が水源

林内雨サンプラーの他、流出側に浮遊砂サンプラー、濁度計、流量計測システムを設け、放射性核種の入・出量を観測。

流入・出量を決定する要素を評価・パラメーター化すると共に、他の水田と比較し、放射性核種の流入と利水形態の関係を解析。

モデル1, 2のモデルの高度化のために必要なモニタリング(平成24年度調査)

4. 水田における放射性核種収支の調査(農環研・中央農研・福島県農試と共同研究)

○水田を介した放射性核種の収支評価のため、水田の取水・出水口にて流入・出する水量、土砂量、放射性核種濃度(量)を観測・測定する。また、水田における放射性核種の収支と、降雨や利水形態、代かきといった耕作イベントとの関係を確認。これにより、モデルの高度化に向け流出量の支配要因を評価・パラメーター化し、水田を介した放射性核種収支の推定に活用。

表1 観測機器と観測項目

観測機器	観測項目
濁度計 (NUT-30000、高濁度測定用)	浮遊土砂濃度の観測
水位計、パーシャルフリューム (三角堰)	流量の観測
浮遊砂サンプラー	浮遊土砂のサンプリング (福島市、郡山市サイト)
林内雨サンプラー	林内雨の回収。 (二本松市サイト)
雨量計	雨量の計測

水田における流入・出水中の土砂量は、濁度計および流量観測システム(水位計、パーシャルフリューム)によりモニターする。また浮遊砂サンプラーにより流入・出水中の土砂を回収し、土砂中の放射性核種濃度を評価。これらを併せ、放射性核種の水田における流入・出量を評価する。また、降雨を取水しているサイトでは、林内雨サンプラーを設置し、降雨に伴う放射性核種の流入を評価。

(設置機器)



図 浮遊砂サンプラー(右図は側溝への設置例)



図 濁度計



図 水位計



図 林内雨サンプラー



図 雨量計



図 三角堰



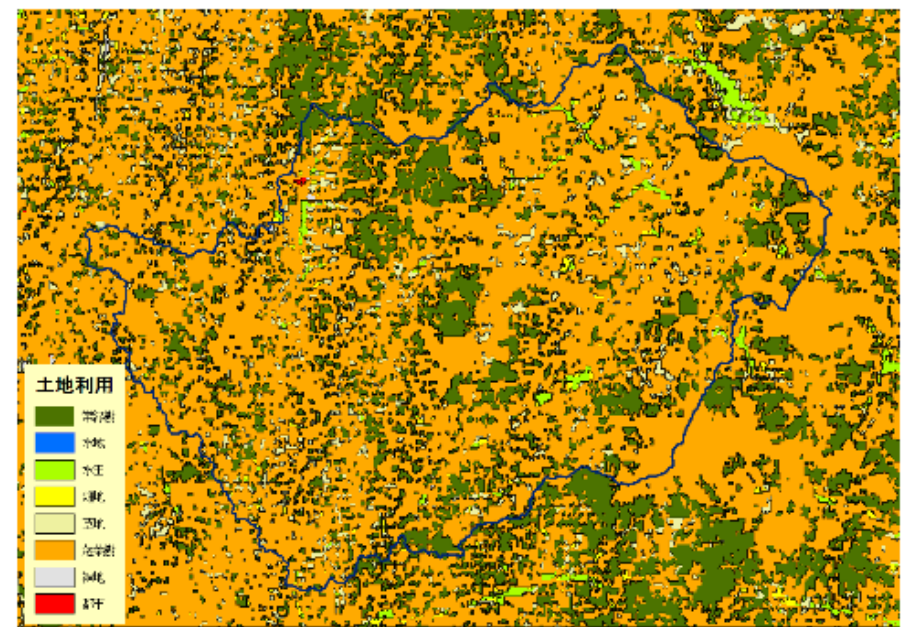
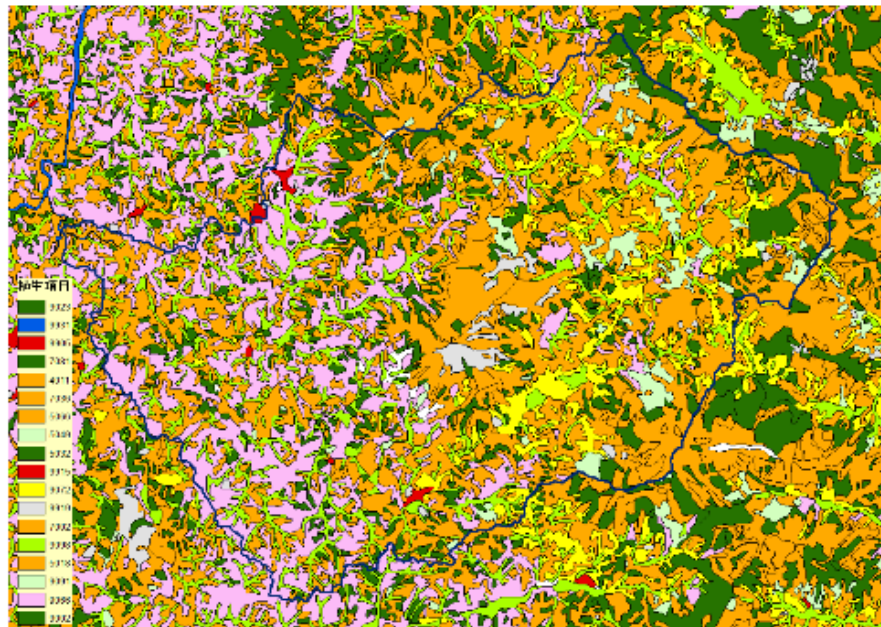
図 パーシャルフリューム

モデル1, 2の高度化のためにパラメータの設定

4. 土地利用図の検討

現在利用可能な高空間分解能土地利用図としてALOSデータから作成された土地利用図と環境省植生図を比較し、土地利用の地図化の精度について検討。(口太川流域)

※植生・土地利用図はUSLEモデルによる侵食量計算を分布化する際の精度に大きく影響を及ぼす。
水田、畑、牧草地等の重要土地利用項目が環境省植生図ではよく表現されていることから、平成24年度の調査では、環境省植生図を活用。



左) 環境省植生調査第2-5回植生調査重ね合わせ植生Shapeファイルを25m空間分解能にリサンプリングして作成 (凡例は群落コードで、ALOS植生図に合わせてある。ただし、ピンクは桑畑。

右) JAXA提供ALOS (だいち) 衛星AVNIR2から作成された土地利用図

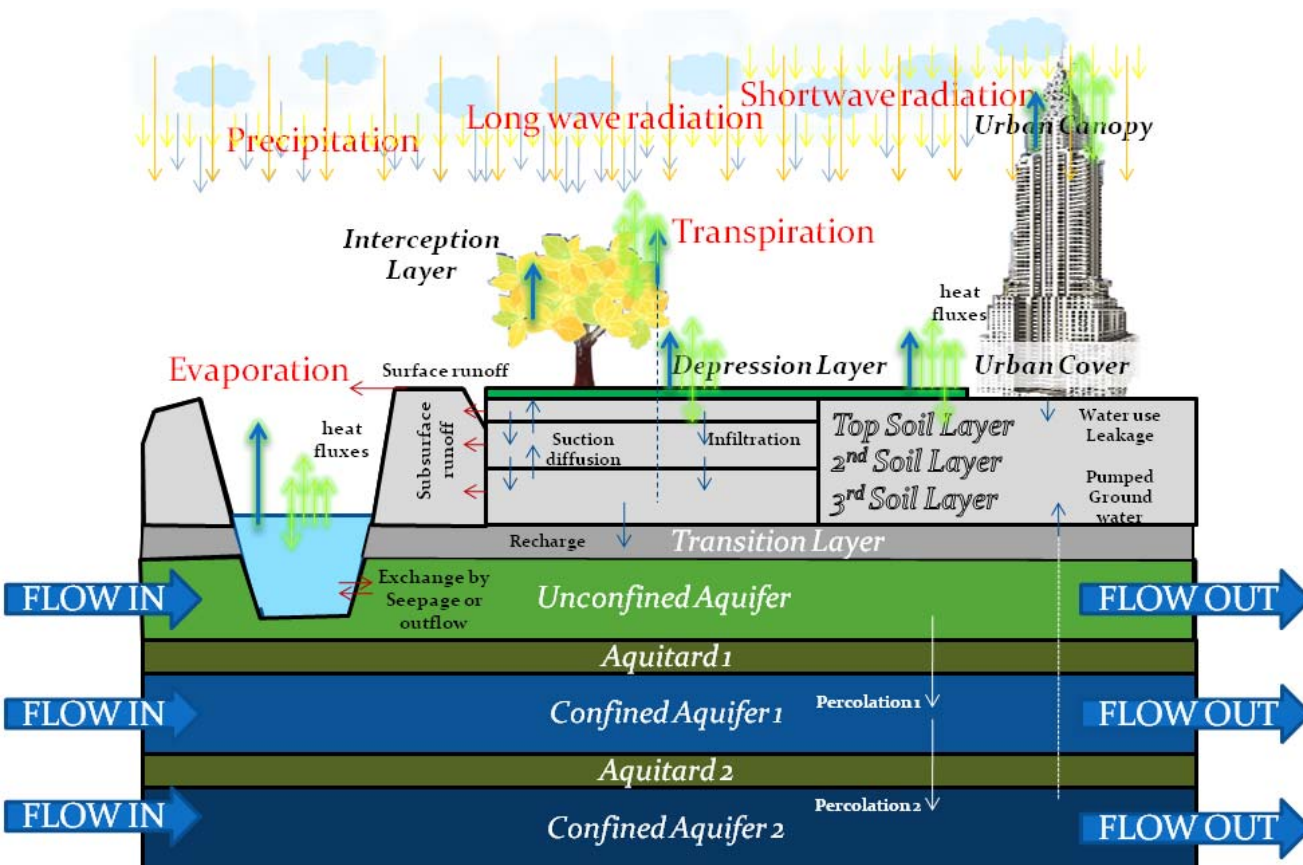
環境省植生調査図を今年度は使用。ただし、計画的避難区域等: 水田, 畑を草地として扱う。
農環研の解析データ可能ならば使用

モデル3(WEPモデル)東工大・木内

(Water and Energy Transfer Process Model)

○WEPモデルは国内外の流域で適用性検討が行われてきた分布物理型の水循環モデル。
今回は、様々な土地利用(森林・農地・都市等)を起源として土砂と放射性セシウムが表面流とともに輸送される過程を解析し、流域からの流出量、土砂濃度、放射性物質濃度を解析

(WEPモデルのイメージ)



モデルに組み込まれている
主な水文過程

- 降雪・融雪
- 蒸発散・窪地貯留
- 不飽和鉛直浸透
- 浸透超過・飽和超過
- 表面流・河道流
- 不圧・被圧地下水流動
- 中間流出・地下水流出
- 水田の灌漑排水・湛水
- ダムや流出抑制施設
- 生活系排水

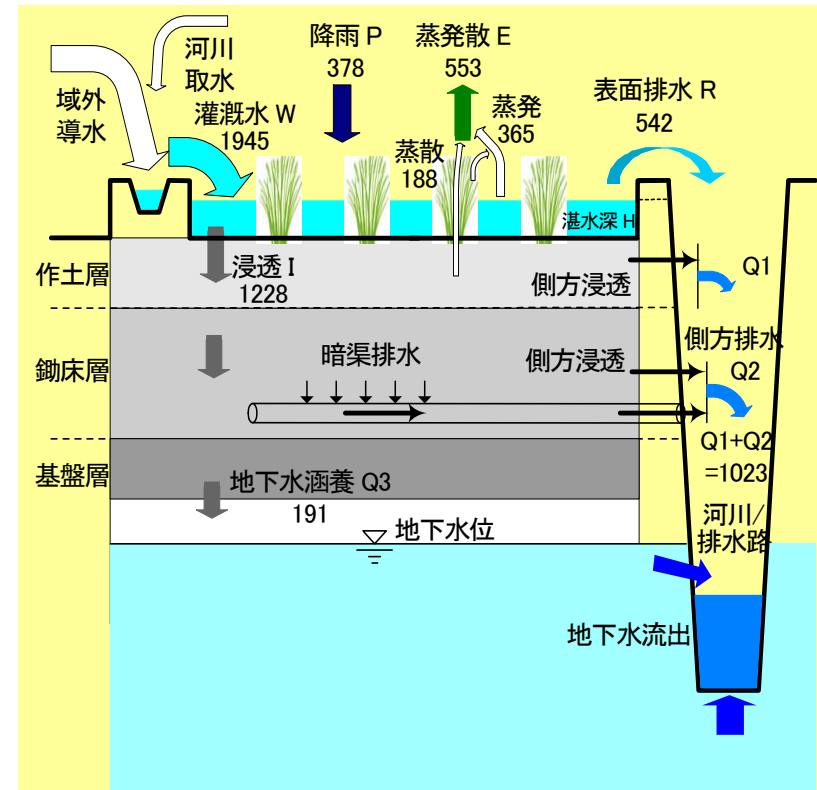
モデル3(WEPモデル)

○一般的な水文流出モデルでは、水田の灌漑・排水プロセスが考慮されていないため、福島県内のような水田が多い地域では不十分。

○一方、WEPモデルでは、水田での灌漑・排水プロセスが組み込まれているため、放射性セシウムの詳細な流出状況を再現可能であるが、現状のモデルでは、水溶性の物質しか考慮されていないため、本調査で取得される土砂の流入・流出についてモニタリングデータを用いて改良。

- ▶ 各メッシュ内の水田群を対象に、灌漑・排水・流出・蒸発散等の過程を計算できる
- ▶ 暗渠排水・側方浸透も考慮
- ▶ 水田表層土壌は3層に分割
- ▶ 基盤層の上面に難透水層を設定し、水田土壌内の水位変化や水分量を計算

(水田の水循環モデル)



■ 湛水層の連続式: $dH_s / dt = P + W - E_0 - R_0 - Q_0$

■ 作土層の連続式: $dS_1 / dt = Q_0 - E_1 - Q_1 - Q_{s1}$

■ 鋤床層の連続式: $dS_2 / dt = Q_1 - E_2 - Q_2 - Q_{s2} - Q_p$

■ 側方浸透排水: $Q_s = \alpha_L K_L (H_s + H_p)^2$
 $\alpha_L = (L/IA)[(H_s + H_p)^2 - H_y^2] / H_p^2$

■ 暗渠排水

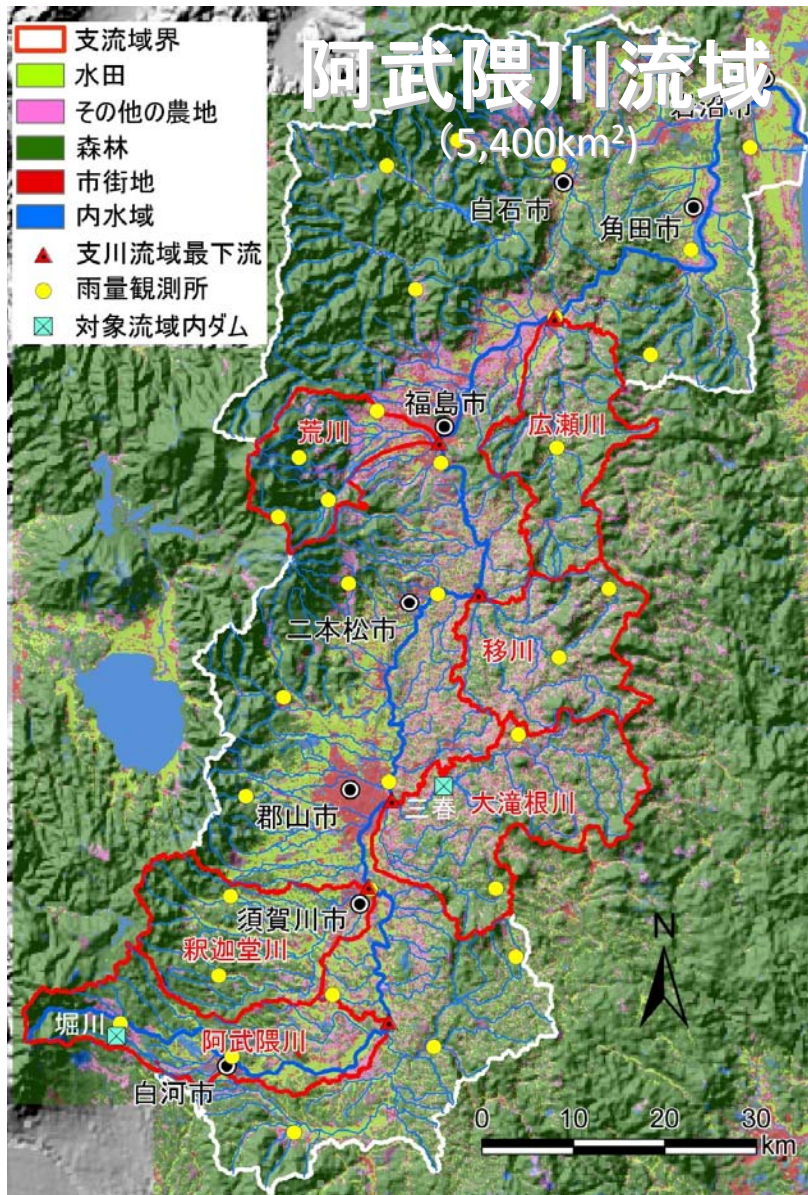
$Q_p = \min(K_2(\theta), \alpha_p \sqrt{H_s + H_p})$

■ 表面排水:

$Q_0 = \alpha_0 \sqrt{(H_s - H_{sm})}$

モデル3(WEPモデル)

～モデルの対象範囲としては、阿武隈川流域を対象～



【調査箇所(阿武隈川流域)の特徴】

●気候

- ・年降水量1100～1500mm
- ・降雪、融雪出水

●地形

- ・最大標高約2,800m
- ・急峻な奥羽山脈と準平原・阿武隈山地に挟まれた平野部

●地質

- ・火山噴出物と花崗岩が主体

●土地利用

- ・森林56%,水田16%,畑14%,建物用地等7%,その他7%

●河川

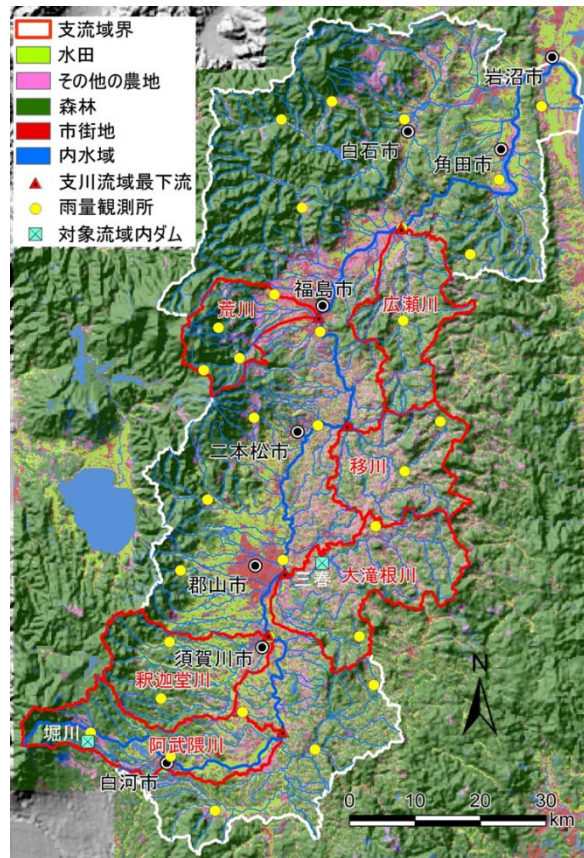
- ・多くの支川が串刺し状に本川に流入

●人間活動の影響

- ・流域内人口およそ150万人
- ・安積疏水等(域外からの導水)
- ・ため池及び国・県管理ダム多数

モデル3(WEPモデル)による支川流域の水循環解析事例(次頁に結果)

○洪水流出解析の精度向上のため、阿武隈川支川を対象にモデルパラメータ同定を実施。



流域	主たる土地利用	主たる表層地質
荒川	森林(65%)	第四紀／石英安山岩・火山碎屑物(68%)
釈迦堂川	水田(21%)	新第三紀・第四紀／軽石・礫(76%)
阿武隈川上流	水田 (19%)	第四紀／軽石・礫(61%)
移川	畑地 (29%)	花崗岩(90%)
広瀬川	森林(65%)	花崗岩(65%)
大滝根川	畑地(24%)	花崗岩(81%)

今回の解析条件

期間: 2011/1/1～2012/6/31

空間刻み: 500m正方格子

時間刻み: 1時間

(地表流・河道流10分)

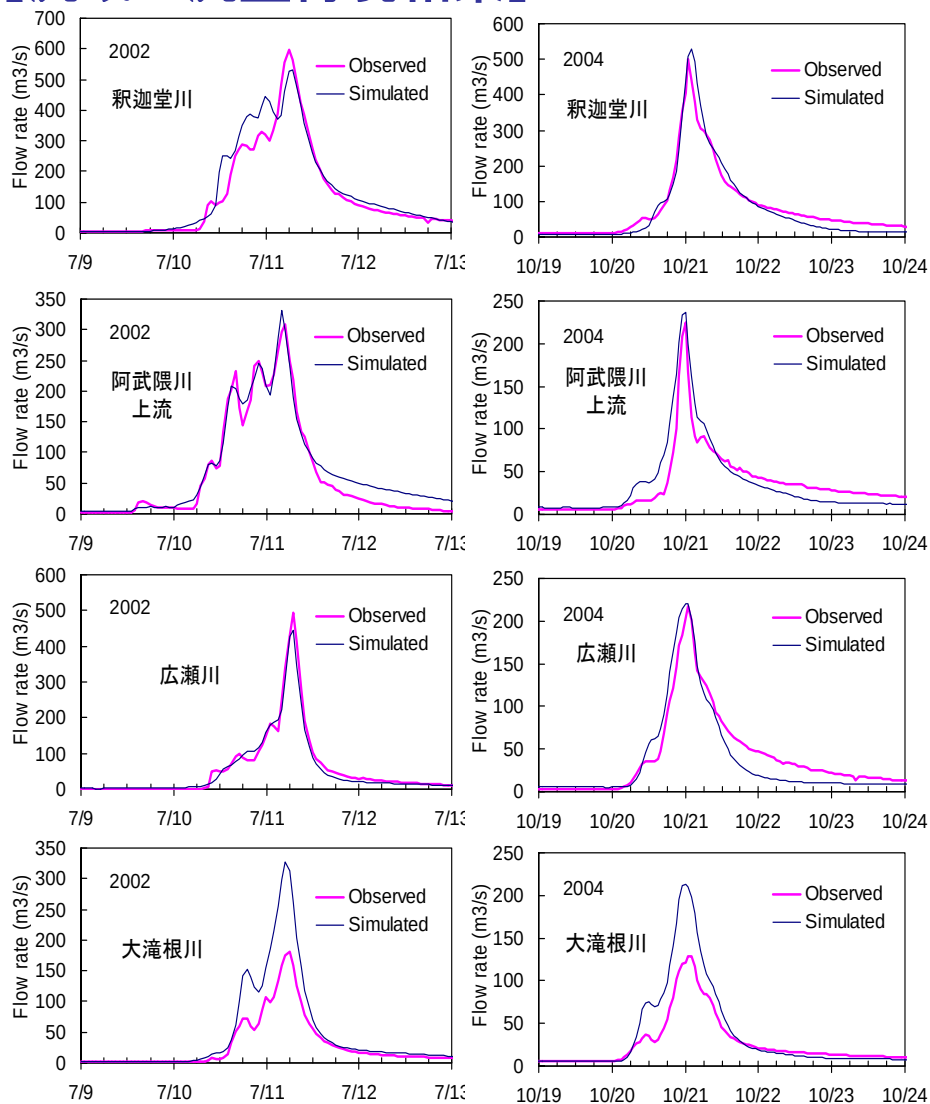
今回の解析手順

- ①土砂・放射性物質輸送モデル組み込み
- ②口太川流域でパラメータ同定
- ③浮遊土砂・放射性物質の流出・輸送計算
- ④解析精度評価とモデルへのフィードバック

モデル3(WEPモデル)による支川流域の水循環解析事例(結果)

○これまでの検討から、支川流域の土壌・地質等を考慮したパラメータ設定で河川流量を再現できることを確認済み。このため、2011年3月以降の流出再現が容易に可能であり、本モデルに土砂・放射性物質輸送モジュールを組み込むことで、これらの再現も可能となる。

【流域の流量再現結果】



【6流域の流量推定精度比較】

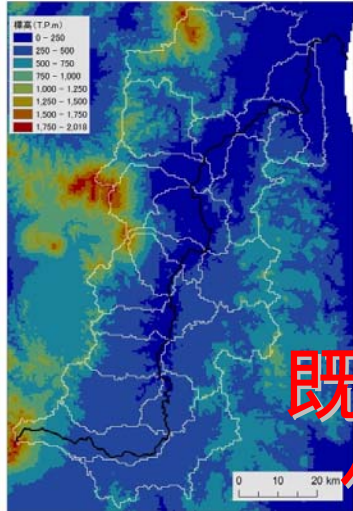
NSE: Nash係数、他の数値は
(解析値－実測値)／実測値(%)

流域	NSE (2004年)	ピーク流量		総流出量 (2004年)	平水流量 (2004年)
		2002/ 7/11	2004/ 10/21		
荒川	0.83	-24.8	-3.5	-10.5	-13.0
移川	0.82	-17.2	-11.3	-10.4	-13.1
釈迦堂川	0.81	-10.7	5.5	2.6	-3.7
阿武隈川上流	0.81	7.2	4.9	10.8	23.6
広瀬川	0.89	-10.2	1.5	12.1	55.6
大滝根川	0.11	81.5	65.4	23.6	6.4

モデル3(WEPモデル)

～モデルの作成に必要な主な流域情報は整備済み～

標高



人口



落水線



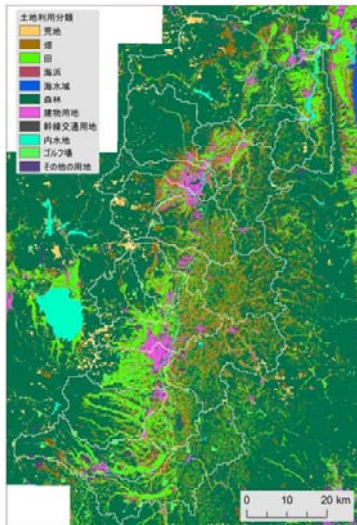
河道



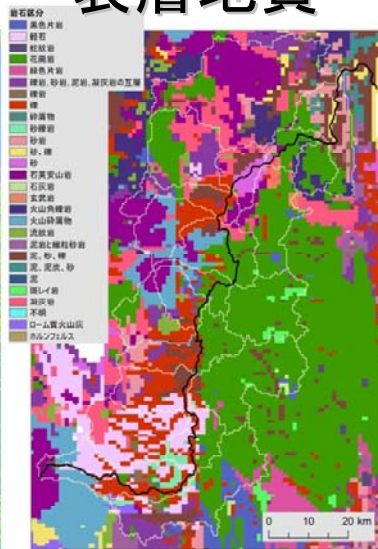
←各グリッドにおける
標高, 人口, 落水線
河道網, 土地利用,
表層地質, 降水量,
表層土壌データを
モデルの作成のため
の基礎情報として
活用。

既に収集・整備され、グリッド
化された流域の基本情報

土地利用



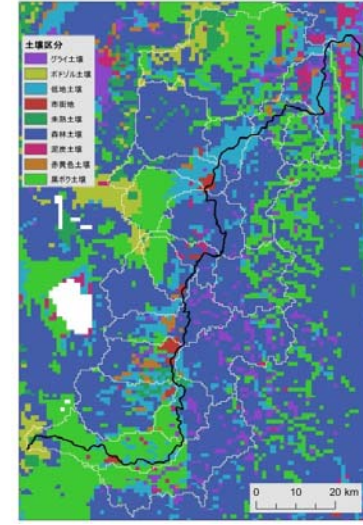
表層地質



降水量



表層土壌



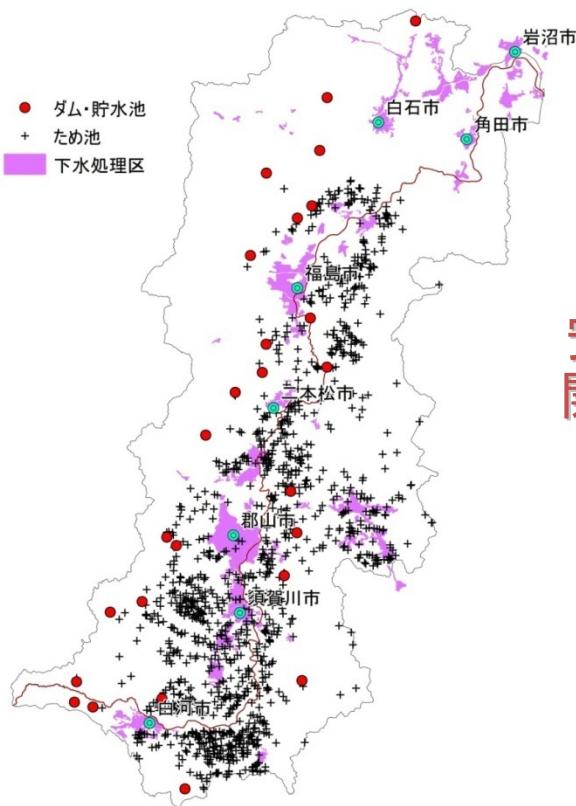
モデル3(WEPモデル)の作成のために収集・整備が必要な流域情報

○放射性セシウムの流出量の原単位設定とモデルへの組み込みのため、郡山・福島等の市街地から下水道を通じて雨天時に流出する放射性セシウムの物質量の把握が必要。(→既存のデータを収集し、モデルに反映)

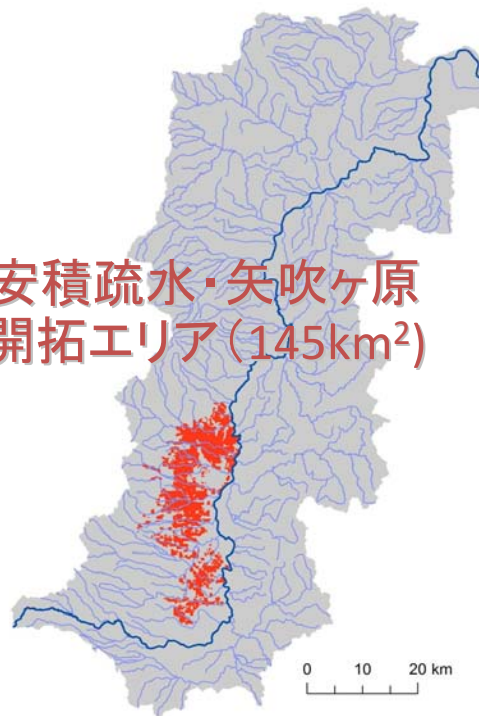
○また、阿武隈川流域内には多数のため池や貯水池があることから、放射性物質の滞留現象を考慮するには、ため池等を経由した時の放射性セシウムの流下量の変化の確認が必要。(データに基づき、今後モデルに考慮するか検討)

→これらの情報に基づき放射性セシウムの挙動をより良く理解し、WEPモデルの高精度化に貢献

(図: 下水道整備域およびため池・ダム・貯水池の分布
これらも雨天時の土砂流出挙動に影響する)



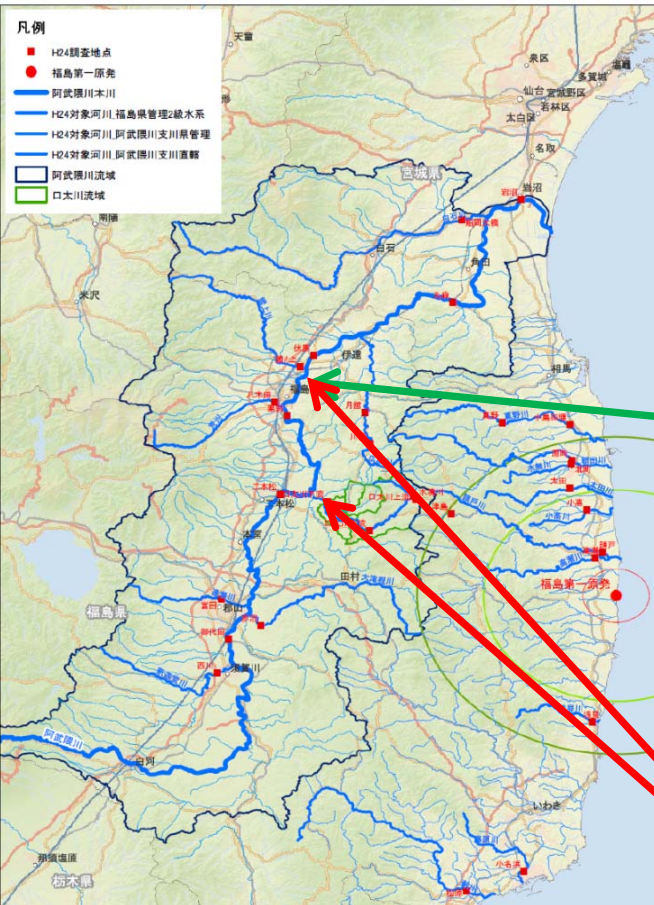
安積疏水・矢吹ヶ原
開拓エリア(145km²)



←図: 流域外からの導水による灌漑エリア
これらのエリアでは比較的
清浄な用水が灌漑されてい
る。一方で、沢水等を利用し
たエリアでは出水時の土砂
を含む流水を利用する場合
もある。

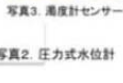
モデル2(分布型USLEモデル)、モデル3(WEPモデル)の作成に必要なモニタリング

分布型USLE, 改良WEPモデルの検証データ取得のため、以下のモニタリングを実施



【観測機器設置の概要】

- 浮遊砂サンプラー
- 圧力式水位計
- 濁度計
- 雨量計
- データロガー+太陽光パネル



30カ所における流量・濁度・浮遊砂のサンプリング→流量・濁度・浮遊砂の連続データをモデリング入力データとして活用

浮遊砂の鉱物組成(XRD)を調べることで浮遊砂の起源の推定
→モデル2、3のキャリブレーション

週1回の4000Lの水の連続遠心分離による浮遊砂サンプリング→得られた放射性核種濃度と有機物、鉱物との関係をモデル2、3の入力データとして活用 (福島大・難波)



写真 5.3.3-1 連続遠心装置(MAB 103B-24, Alfa Laval)

<概要>

LISST-StereoSide は、ポンプで汲み上げられた試料の粒径スペクトルを連続的に測定するフロースルー型の測定記録計です。浅い河川や湖沼での現場観測向けに設計されており、約 3,000mg/l の高濃度まで対応しています。また、調査船のフロースルーシステム等に組み込んで使用することも可能です。測定原理は水中設置型の LISST-100X と同様にレーザー回折の原理に基づいています。

ポンプアップされた試料は LISST-StereoSide 本体を通り、粒径分布と体積濃度を測定した後排出されます。測定されたデータはリアルタイムで処理され ASCII 形式で保存されるので、データの回収後に処理を行う必要はありません。



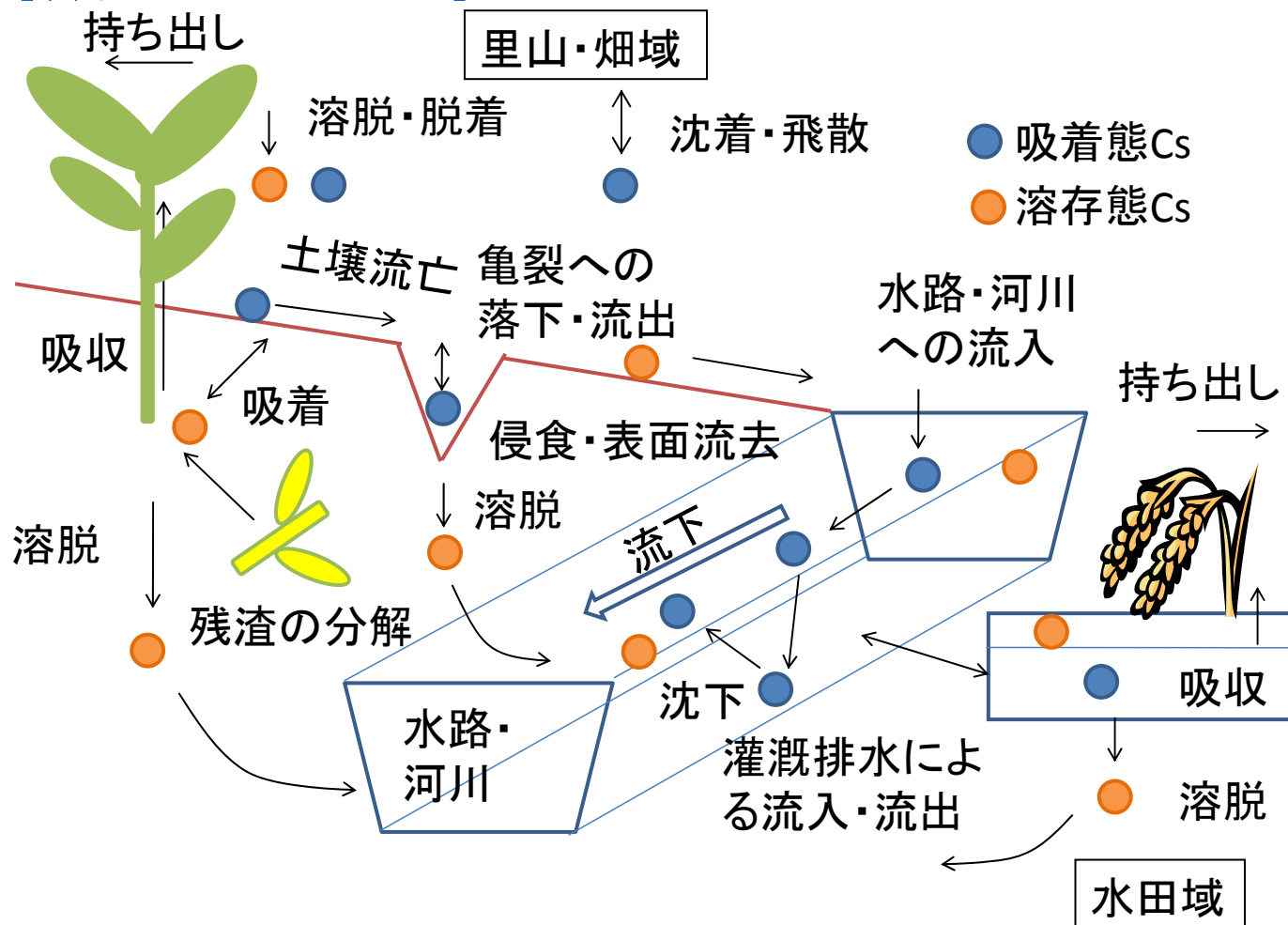
連続粒度分析装置による浮遊砂の粒径の連続モニタリング
→モデル2、3の妥当性検証データ(阿武隈川・黒岩, 口太川下流)

モデル3(SWATモデル)

～改良SWATモデルにおける農村域の放射性Csの動態～

○農地における放射性Cs濃度や空間線量率の予測のため、放射性Csを取り扱っていないSWATモデル(従来はリン動態を把握)を改良して、放射性Csの動態を把握することを目的。

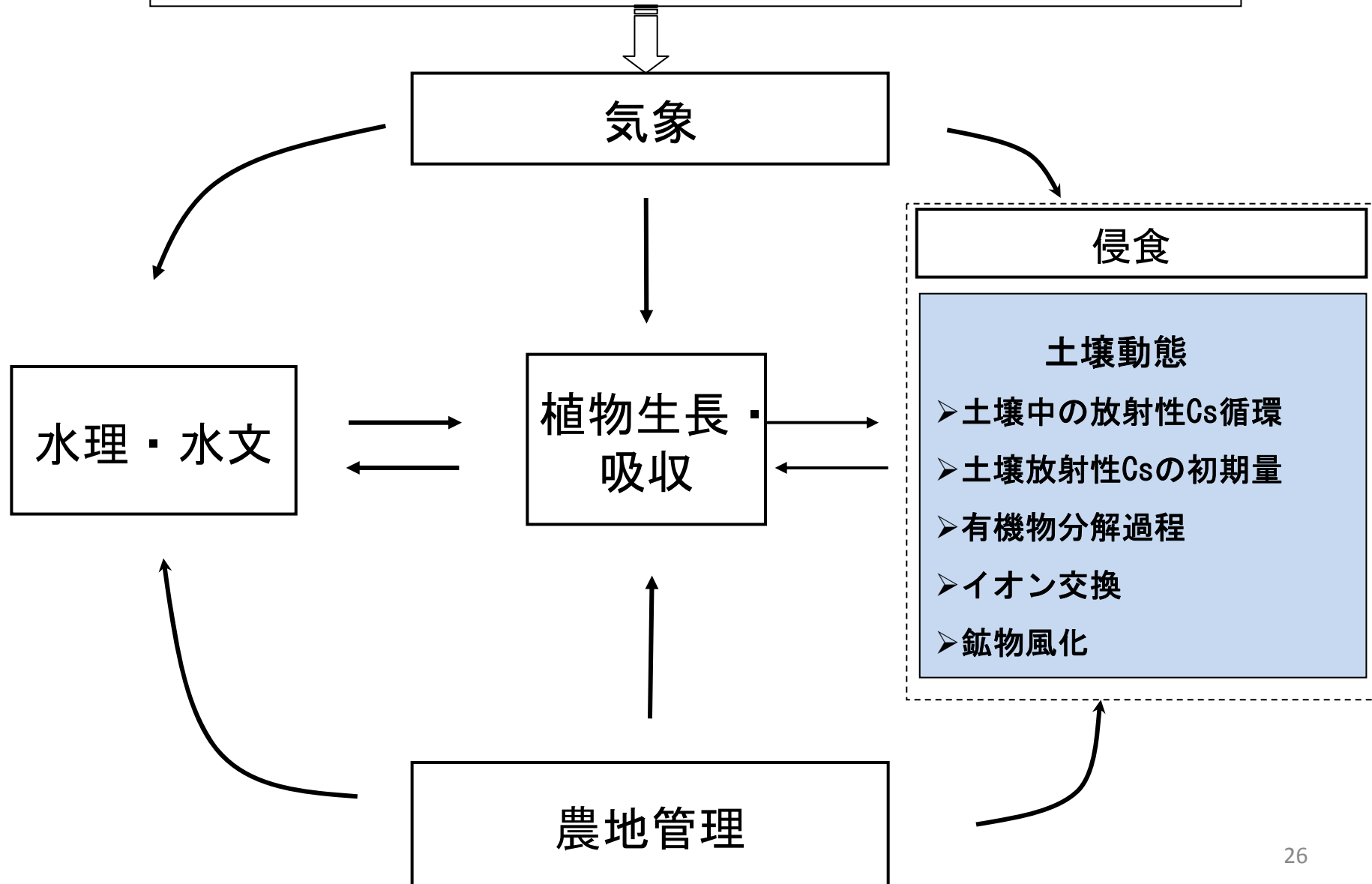
【改良SWATモデルのイメージ】



本調査では、農地における物質動態を予測するSWATモデルにおいて、左図のそれぞれの放射性Csの移行状況を結びつけて改良し、農地における放射性Csの動態挙動をモデル化する。

モデル3(SWATモデル)

現在想定している改良SWATモデルの構造



モデル3(SWATモデル)

放射性Csの動態に関する主な式(侵食、表面流去、水路の移動等は除く)

$$\text{初期Cs濃度: } \min CS_{act,ly} = CS_{solutionly} \cdot \frac{1-pai}{pai}$$

$$\text{初期腐植中Cs濃度: } orgCS_{humly} = \alpha \cdot orgC_{humly}$$

$$\text{初期新鮮有機物中有Cs濃度: } orgCS_{frsh,suf} = \beta \cdot rsd_{surf}$$

$$\text{溶存態Cs量} = CS_{solutionly} - \min CS_{act,ly} \cdot \left(\frac{1-pai}{pai} \right)$$

$$\text{溶脱Cs量: } CS_{perc} = \frac{CS_{solutionsurf} \cdot W_{perc,surf}}{10 \cdot \rho_b \cdot depth_{surf} \cdot k_{d,perc}}$$

$$\text{腐植からのCs分解量: } CS_{mina,ly} = \beta_{min} \cdot (\gamma_{tmp,ly} \cdot \gamma_{sw,ly})^{1/2} \cdot orgCS_{act,ly}$$

$$\text{新鮮有機物からのCs分解量: } CS_{dec,ly} = \delta_{ntr,ly} \cdot orgCS_{frsh,ly}$$

$$\text{作物生長: } \gamma_{reg} = 1 - \max(wstrs, tstrs, nstrs, pstrs)$$

$$\text{作物Cs吸収: } CS_{act} = \min[CS_{up,ly} + CS_{demand}, CS_{solutionly}]$$

SWATモデルのリン動態を記載。今後、カリウム用のモデル改良を経て、放射性Cs用を開発。

→これらの式を結びつけ、農地における放射性セシウムの動態挙動を数式化(モデル化)

モデル3(SWATモデル)

【モデルの作成に必要な情報】

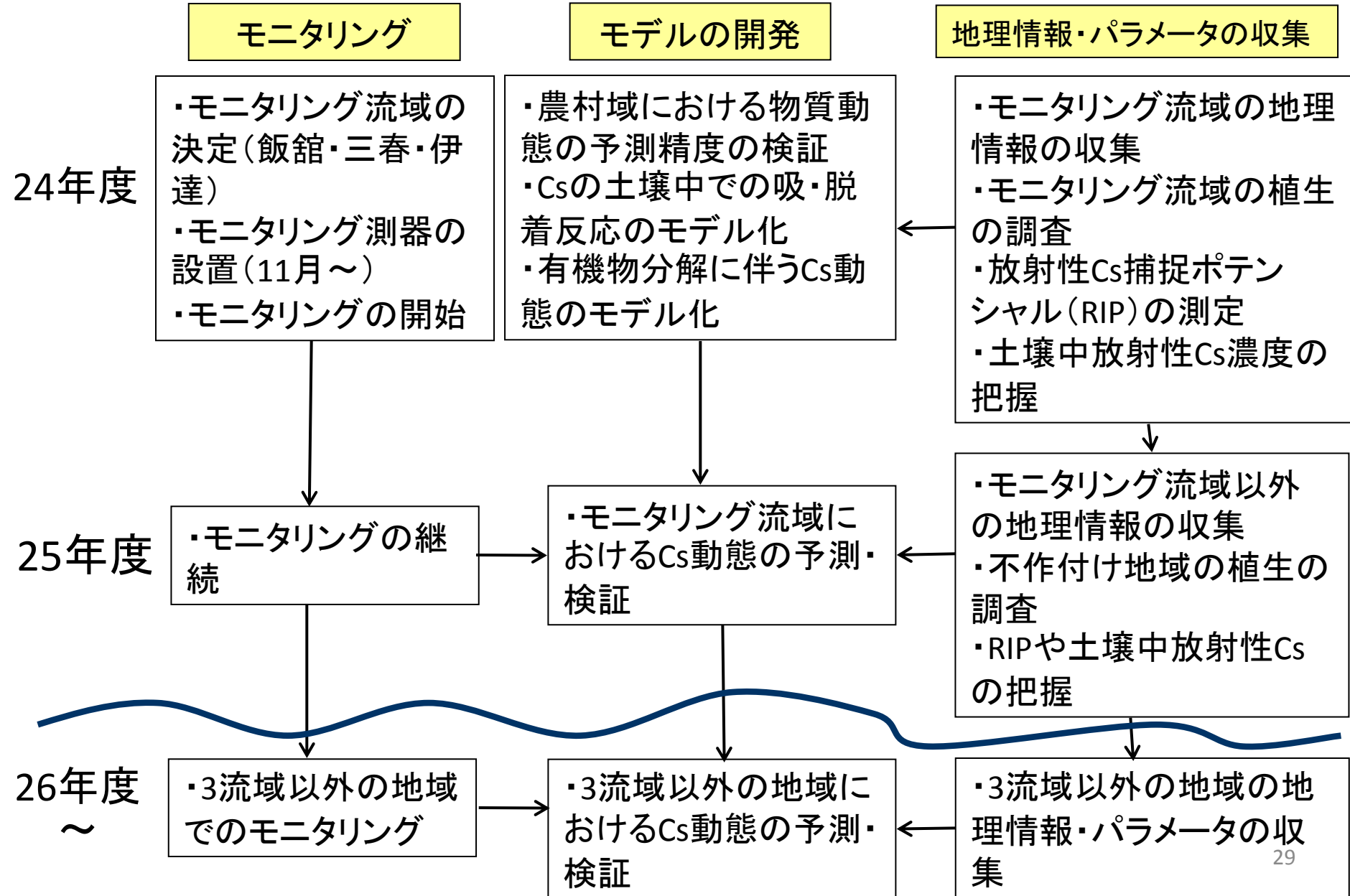
1. モデル作成に必要な地理情報

- ・気象データ(気温、降水量、日照時間、日射量):既存のアメダスメッシュ化システム、レーダーアメダス解析雨量を活用
- ・地形データ(標高):既存の10mメッシュデジタル標高図を活用
- ・土地利用データ(土地利用・植生):既存のデジタル航空写真または衛星データを活用
- ・農耕地土壌データ(有機物含量、CEC、粒径組成、飽和透水係数等):既存のデジタル農耕地土壌図属性データを活用
- ・不作付け地の植生データ:平成24年度の現地調査で取得
- ・農地管理データ(作物、播種・収穫期、収量、耕耘、肥料、有機物、水等):既存の全国農地炭素調査(アンケート調査)を活用
- ・灌漑水路網・水量:行政データを活用

2. モデルの作成に必要なモニタリングデータ

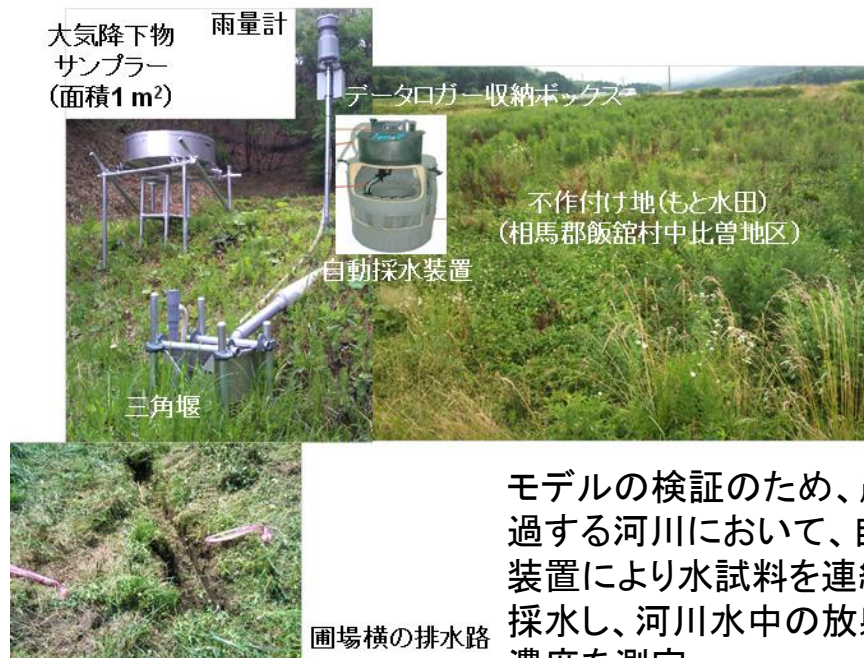
- ・放射性セシウムの移行モデルの初期値(土壌、植物):今回の調査で取得
- ・農地におけるCs分配係数や侵食に関するパラメータ等(普通畑、樹園地、草地、水田):今回の調査及びその他の調査で得られたデータを使用
- ・固液平衡パラメータ:今回の調査における放射性Cs捕捉ポテンシャルや分配係数等による取得
- ・その他の移行パラメータ(L-Q式等):今回の調査及び既存の研究成果を活用

モデル3(SWATモデル) 研究計画



モデル3(SWATモデル)の作成に必要な モニタリング、基礎情報の収集

- モデルによる動態予測を行うため、モデルの検証に必要な農業用水路に近い河川の流量、河川内の懸濁物質濃度および河川水中における放射性Cs濃度等のモニタリングを実施。
- また、モデルの作成に必要な基礎情報として、モニタリング流域の地理情報(気象、地形、土壌、土地利用等)を収集するほか、福島第一原発事故後の植生変動把握のため、モニタリング流域で現地調査を実施。さらに、土壌の分配係数把握のため、放射性Cs捕捉ポテンシャル(RIP)を測定。
- そのほか、初期条件把握のため、土壌中や植物の放射性Cs濃度を測定。



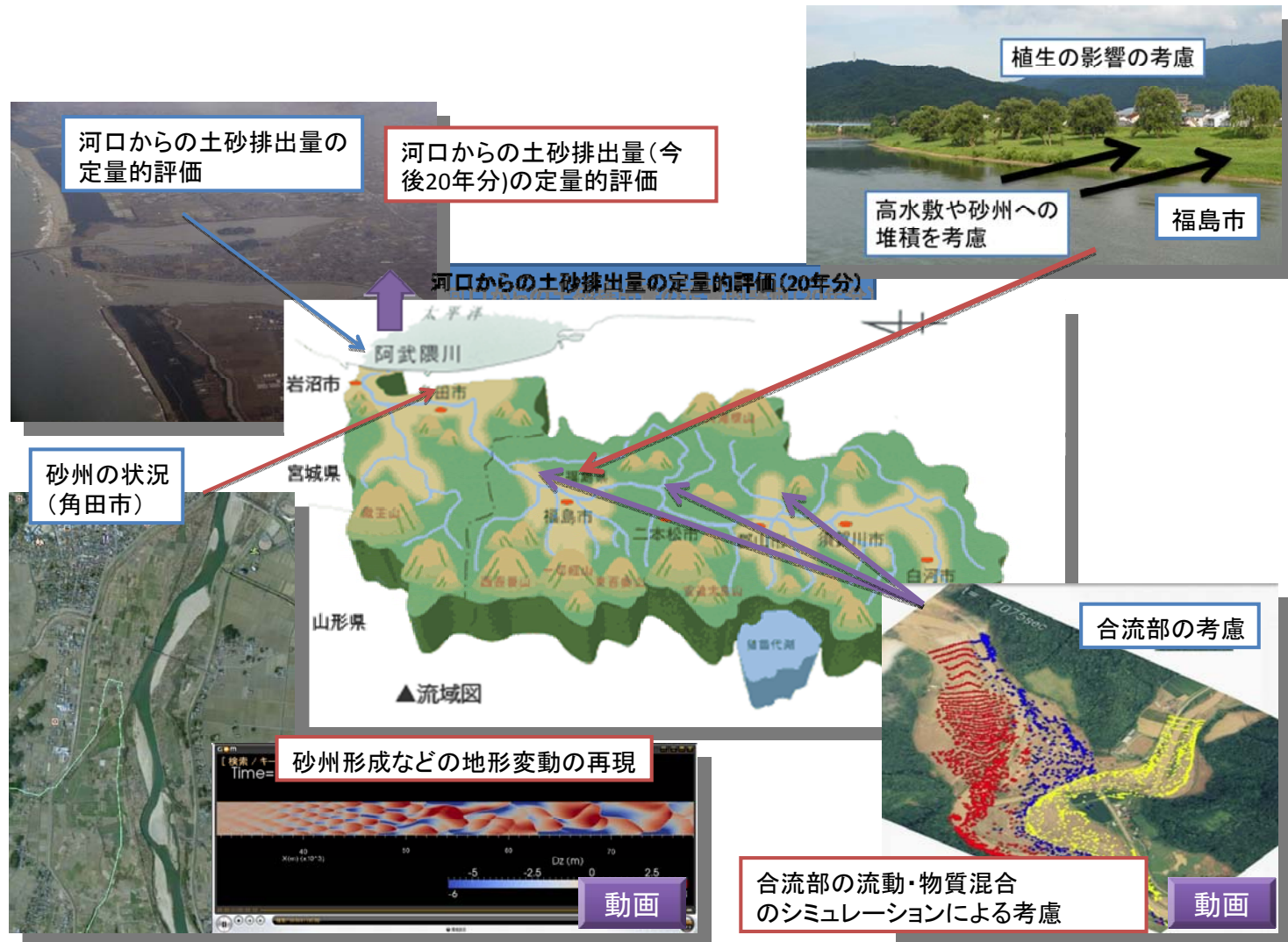
モデルの検証のため、農地を通過する河川において、自動採水装置により水試料を連続的に採水し、河川水中の放射性Cs濃度を測定。



図: モニタリング予定設備(飯舘村
中比曽地区の例)

モデル4.河川総流砂量流出モデル(北海道大)

○今後、30年間の河川を通じて海洋に流出する流出土砂の状況を予測するため、河川から海洋までの土砂輸送移行モデルを作成



モデル4.河川総流砂量流出モデル

○モデルの作成にあたっては、北海道石狩川を対象に作成した流砂量流出予測モデルをベースにし、阿武隈川の流出土砂量の予測を行う。

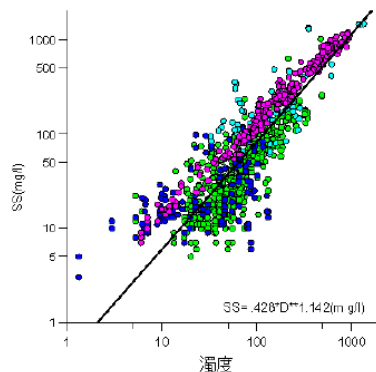
○モデルの作成手順としては、

- ①流量・河道データ(地形・河床材料)から掃流砂量、浮遊砂量および河床変動量を算定するモデルの構築
- ②上記モデルによる長期間の河床変動計算の実施と、河口からの流出土砂量の算定

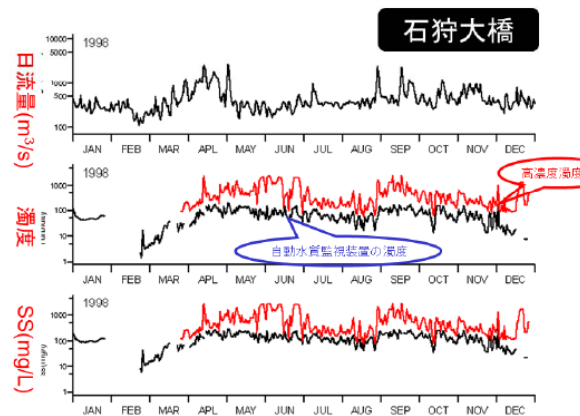
※現状では、国土交通省からの流量・水位・河道データ(地形・河床材料)待ちの状態

検討手順

1. 対象河川の選定
2. 流量、河道、河床材料、流砂量、濁度、SSデータなどの収集
3. (必要に応じて) 現地調査
4. SS-濁度の相関関係、流量-濁度の相関関係の検討
5. Washloadの算定
6. 河床変動計算による掃流砂、浮遊砂量の算定
7. 年間流出土砂の算定



SSと濁度の相関関係(石狩川の例)



流量とSS・濁度データ(石狩川の例)

図: 石狩川における計算例

流量・掃流砂・浮遊砂量
の算定



粒径組成分布より放射性
核種濃度の推定

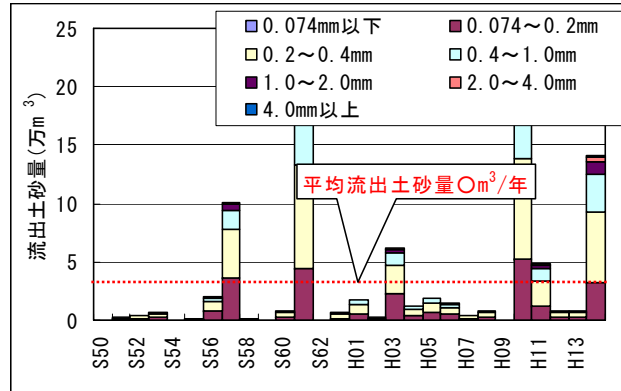


河川から海洋への
放射性核種流出量の推定
および将来予測

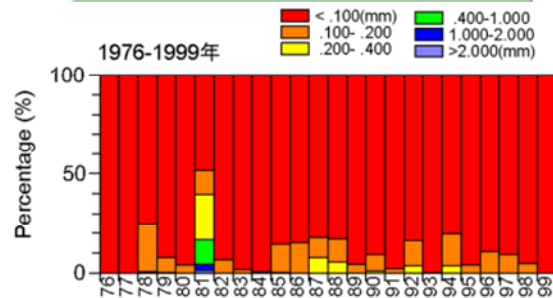
モデル4.河川総流砂量流出モデル

～河川での土砂流出量算定のイメージ～

(河床変動計算の実施により各年度の
粒径別の平均土砂流出量を推定)



河口から流出する浮遊砂の粒径別割合

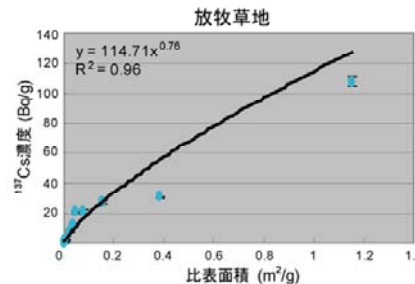
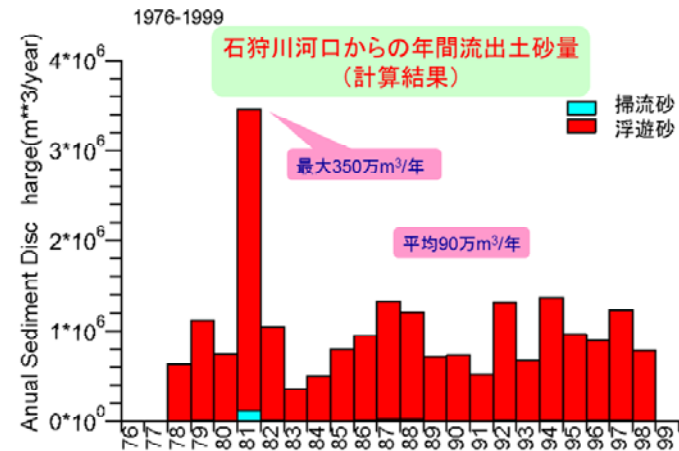


(河床変動計算の実施により各年度の
浮遊砂の粒径別の割合を確認)

(浮遊砂原位置濾過・放射性核種濃度計測
データにより粒径から推定した比表面積
あたりの放射能濃度の関係を作成)

(河床変動計算の実施により各年度の掃流砂、
浮遊砂の平均土砂流出量を推定)

イメージ図



粒度・放射性核種濃度の実測データ

河川から海洋への
放射性核種流出量
の将来予測