

# 流域内河川濁質流出のモデル化と 粒子フィルタによる濁度予測

○ 岐阜大学大学院自然科学技術研究科

元岐阜大学大学院生

(株)日水コン中央研究所

岐阜大学工学部社会基盤工学科

岐阜大学工学部社会基盤工学科

中澤 麗稀

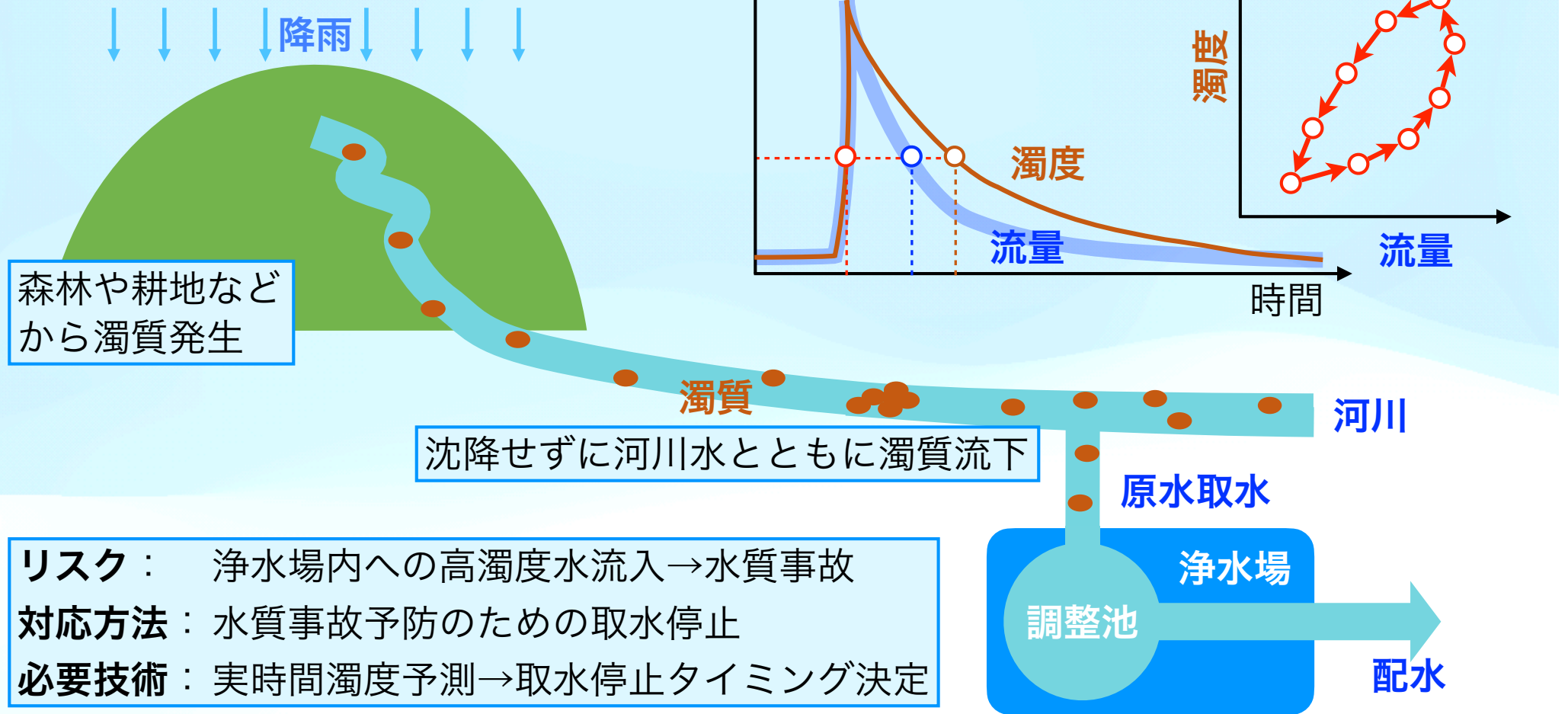
范 顔楊

川口 智也

吉村 英人

篠田 成郎

# 研究の背景と目的

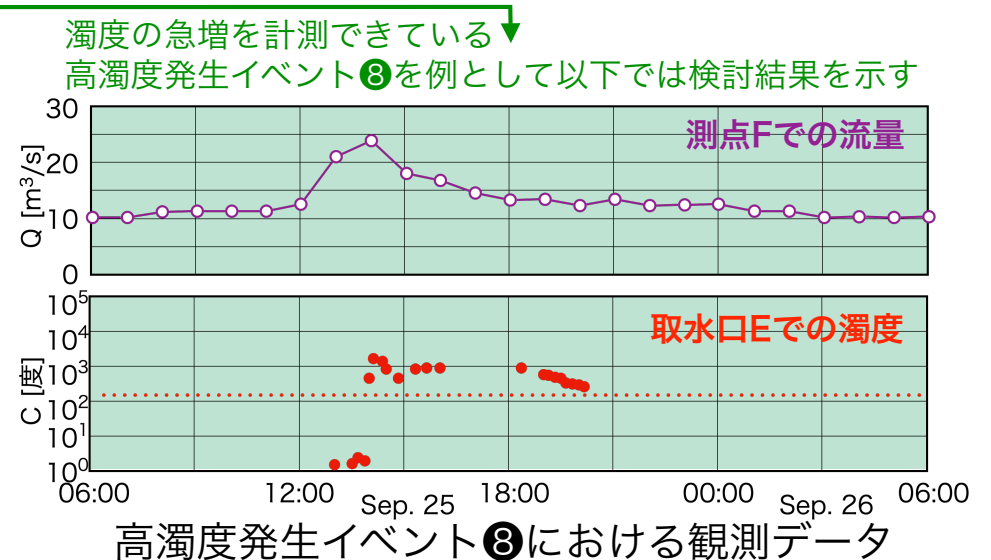
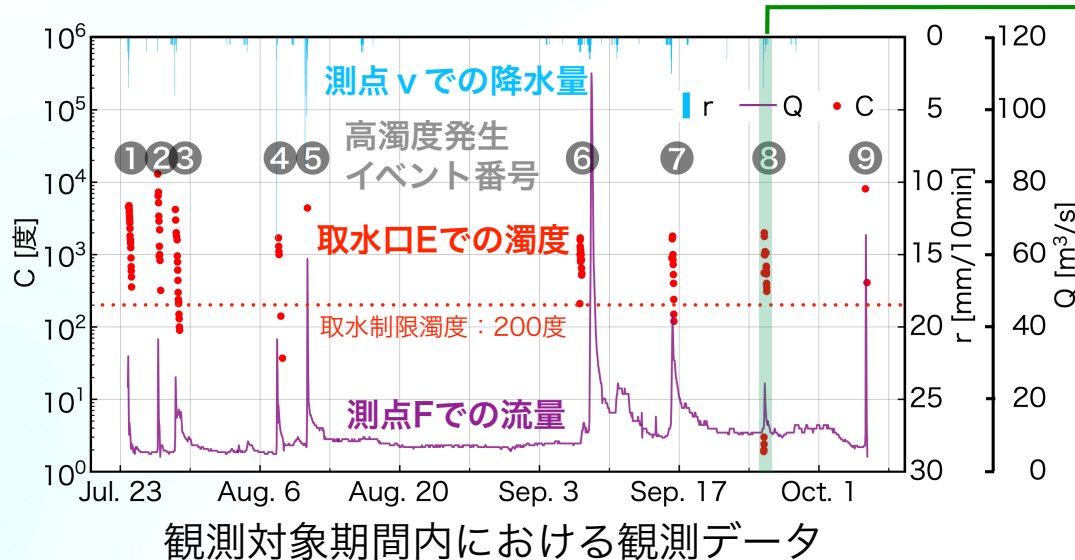
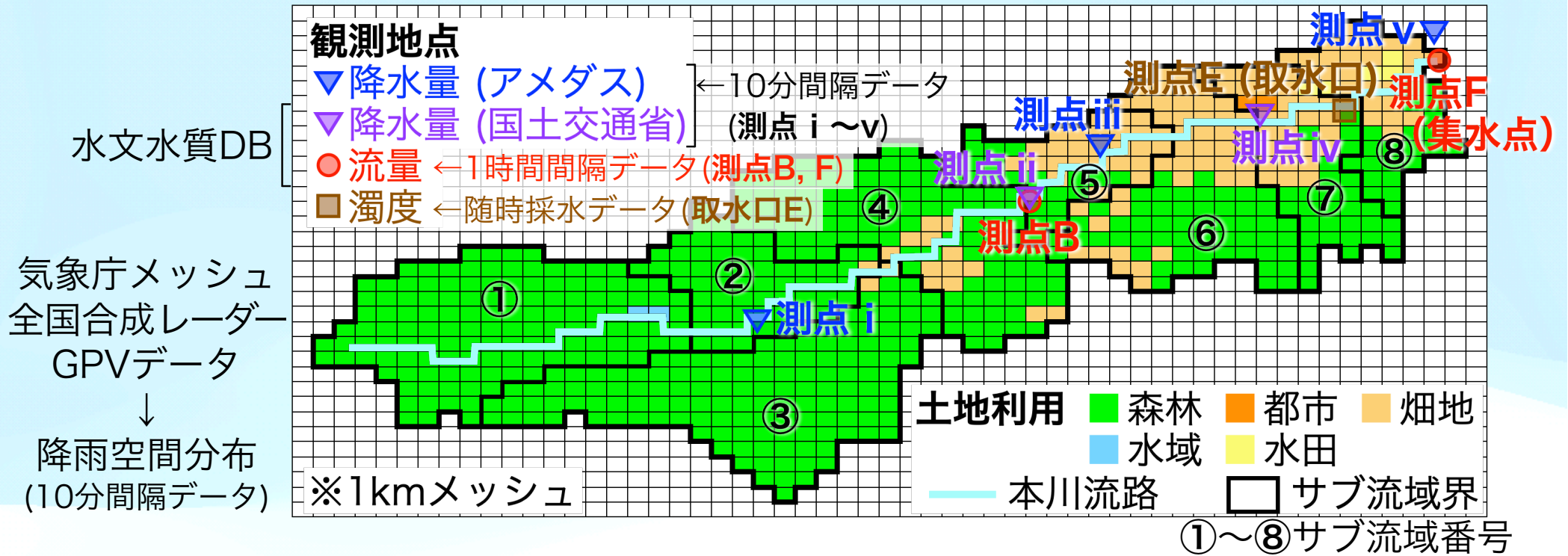


## 本研究の目的

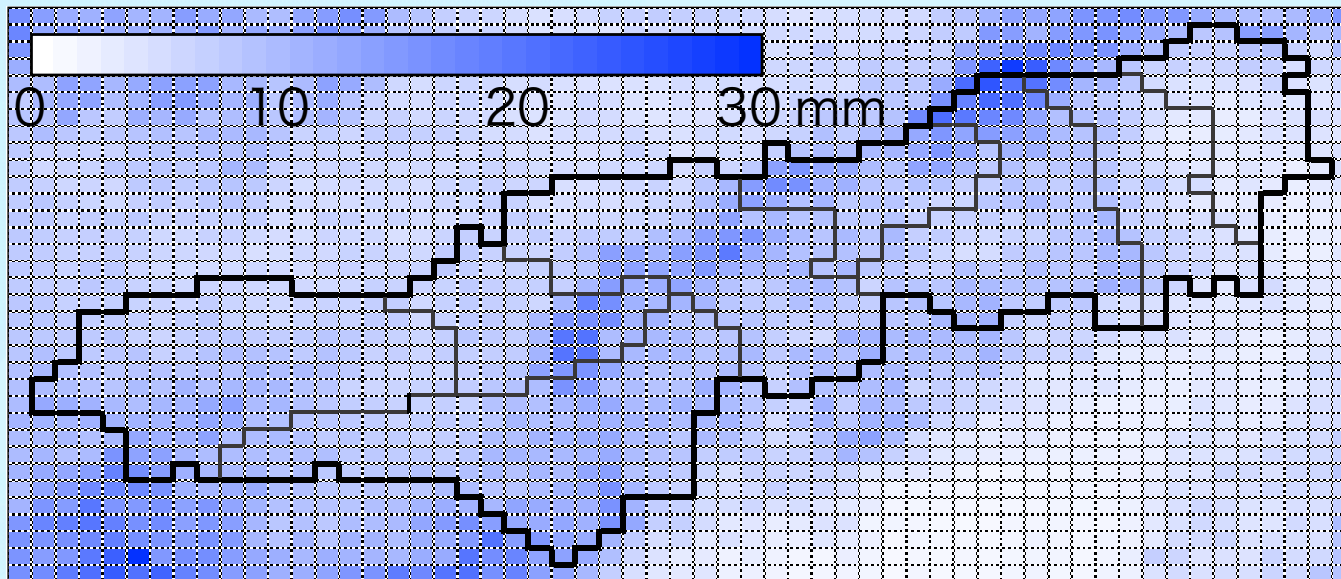
- ▷ 濁度時間変化のヒステリシスを評価できる新たな濁質流出モデルの提案
- ▷ 粒子フィルタを用いた河川水における高濁度発生の実時間予測

# 対象流域と観測データ

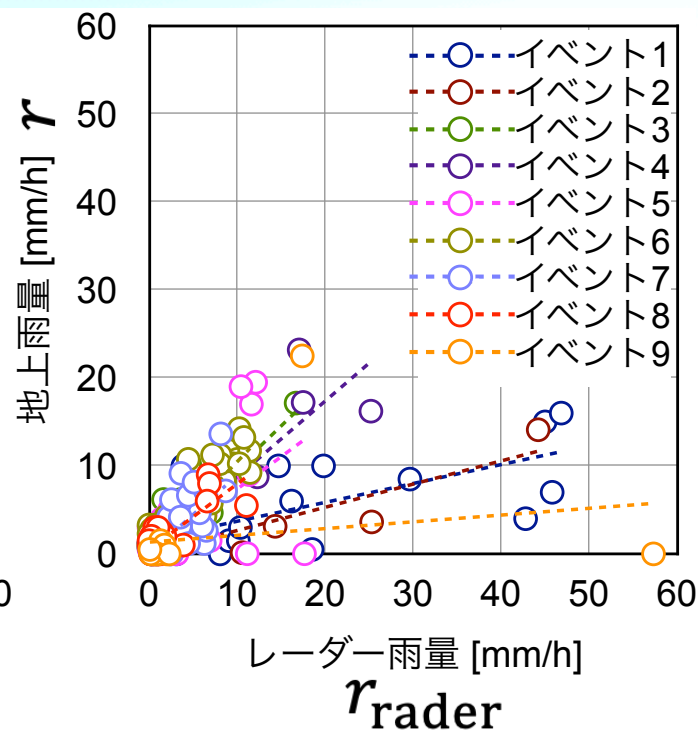
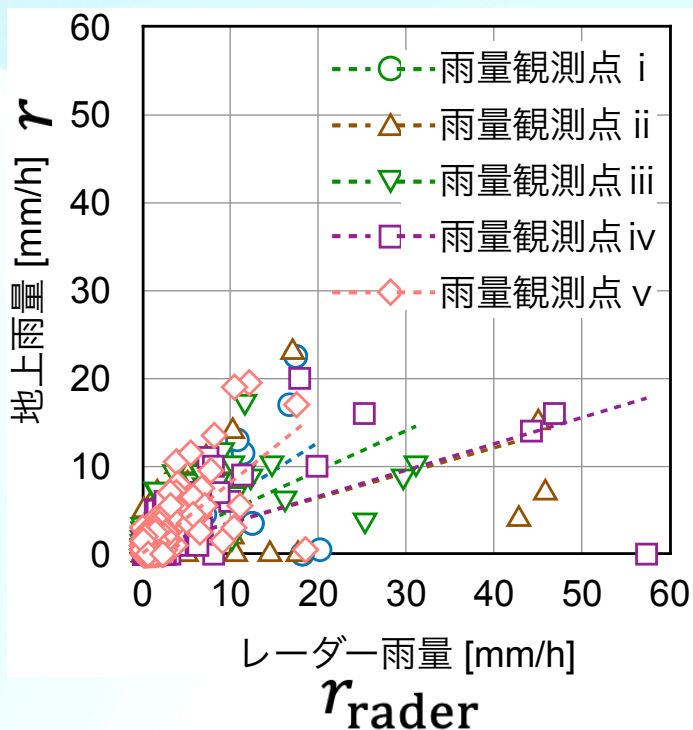
流域面積：718km<sup>2</sup>



# 降水量データ



高濁度発生イベント⑧における  
期間内レーダー雨量積算値の  
空間分布



$$r = k_r r_{\text{rader}}$$

レーダー雨量を地上雨量に換算  
するための補正係数

逐次データ同化における  
粒子化対象として検討

# ヒステリシスを考慮した濁質流出モデル

濁度  $C$  や負荷量  $L$  が流量  $Q$  のみによって決まるためヒステリシスを表現できない

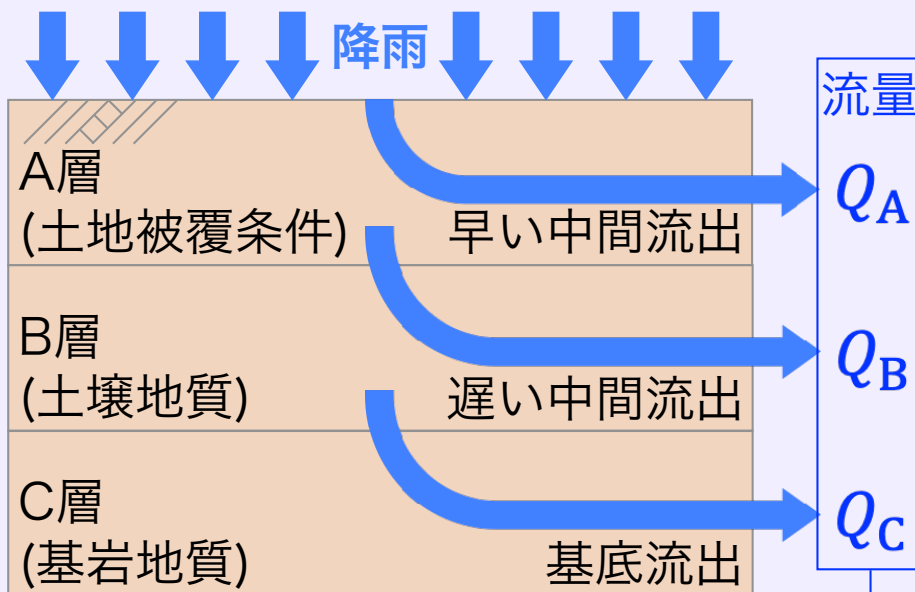


従来モデル (LQ式)

河川水中濁質負荷量  $L = \beta Q^\gamma$

濁度  $C = L/Q = \beta Q^{\gamma-1}$

本研究で用いるモデル



流出成分に応じた濁質流出としてヒステリシスを評価



濁質負荷量

濁質発生源

$L_A = \beta_A Q_A^{\gamma_A} = a_f \beta_{Af} Q_A^{\gamma_{Af}}$  畑地  
 $+ (1 - a_f) \beta_{Ae} Q_{Ae}^{\gamma_{Ae}}$  畑地以外

$L_B = \beta_B Q_B^{\gamma_B}$

↑  
主な濁質発生源が畑地であるため  
畑地とそれ以外に分けて評価

$L_C = \beta_C Q_C^{\gamma_C}$

河川流量  $Q = Q_A + Q_B + Q_C$

河川水中濁質負荷量  $L = L_A + L_B + L_C$

濁度  $C = L/Q$

# 解析の流れ

解析条件の設定

簡易的に空間分布を考慮

## サブ流域界の設定

サブ流域①～⑧に分割

地表面条件の空間分布を考慮

## 地表面条件データの整理

土地利用, 土壌区分, 表層地質

降水量の空間分布を考慮

## 降水量データの整理

地上降水量, レーダー降水量

簡易分布型流出モデル

## 降雨流出モデルへの 粒子フィルタの適用

(る波推定)

- ▷ A層水平方向流出係数を**粒子フィルタ**で評価
- ▷ 降水量の地上観測値とレーダー観測値との違いを**粒子フィルタ**で評価
- ▷ **粒子フィルタ**による逐次データ同化
- ▷ 流量の観測値とモデル計算値との比較

粒子化対象による  
データ同化性能の検討

## 濁質流出モデルへの 粒子フィルタの適用

(る波推定)

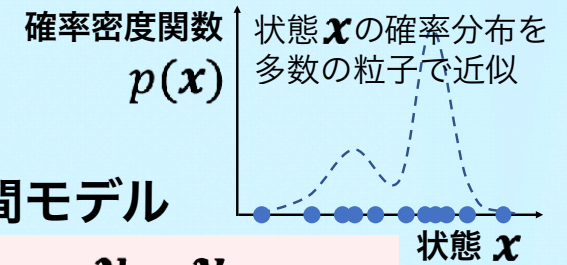
- ▷ 濁度観測値に関する観測ノイズを**粒子フィルタ**で評価
- ▷ 濁質流出パラメータに関するシステムノイズを**粒子フィルタ**で評価
- ▷ **粒子フィルタ**による逐次データ同化
- ▷ 濁度の観測値とモデル計算値との比較

## 濁質流出モデルへの 粒子フィルタの適用

(将来予測)

- ▷ 濁度観測値を利用した**粒子フィルタ**による逐次データ同化
- ▷ 濁質流出パラメータの時間変化値を用いた濁度の将来予測値と観測値との比較

# 粒子フィルタによるデータ同化



状態空間モデル

観測モデル  $y_t = h_t(x_t) + v_t$

状態  $x$  の時間発展 (↑)  $h_t$ : 状態  $x_t$  から観測値  $y_t$  への変換を表す関数

$v_t$ : 観測ノイズ (観測とモデルの誤差を確率分布として表現)

観測値  $y$

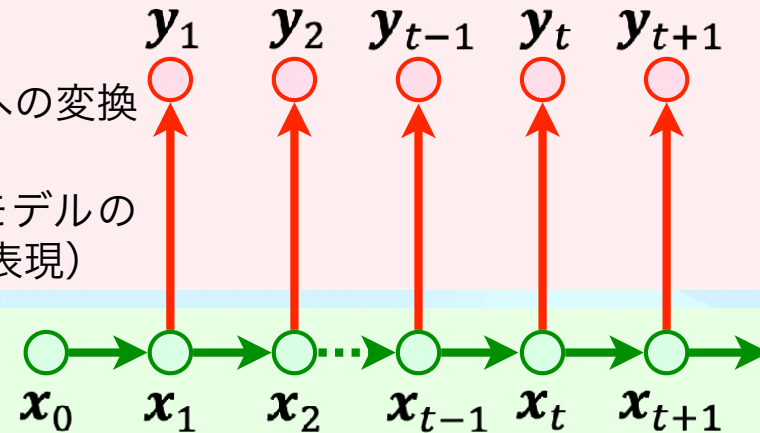
逆解析

状態  $x$  (観測不可)

システムモデル  $x_t = f_t(x_{t-1}) + u_t$

状態  $x$  と観測値  $y$  との関係 (→)  $f_t$ : 状態  $x_t$  の時間発展を表す関数

$u_t$ : システムノイズ (状態  $x_t$  に含まれる不確実性を確率分布として表現)



## 降雨流出モデル $h_Q(\cdot)$

観測モデル  $y_{Q,t} = h_Q \begin{pmatrix} k_{r,t} \\ \alpha_{AH,t} \end{pmatrix} + v_{Q,t}$

観測ノイズ  $v_{Q,t} \sim N(0, (0.1y_{Q,t})^2)$

システムモデル  $x_{Q,t} = \begin{pmatrix} k_{r,t} \\ \alpha_{AH,t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_{r,t-1} \\ \alpha_{AH,t-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} u_{k_{r,t}} \\ u_{\alpha_{AH,t}} \end{pmatrix}$

システムノイズ  $u_{k_{r,t}} \sim N(0, (0.1k_{r,t|t-1}^{(i)})^2)$

$u_{\alpha_{AH,t}} \sim N(0, (0.1\alpha_{AH,t|t-1}^{(i)})^2)$

## 濁質流出モデル $h_C(\cdot)$

観測モデル  $y_{C,t} = \log_{10} C_{obs,t} = h_C \begin{pmatrix} \beta_{Af,t} \\ \gamma_{Af,t} \end{pmatrix} + v_{C,t}$

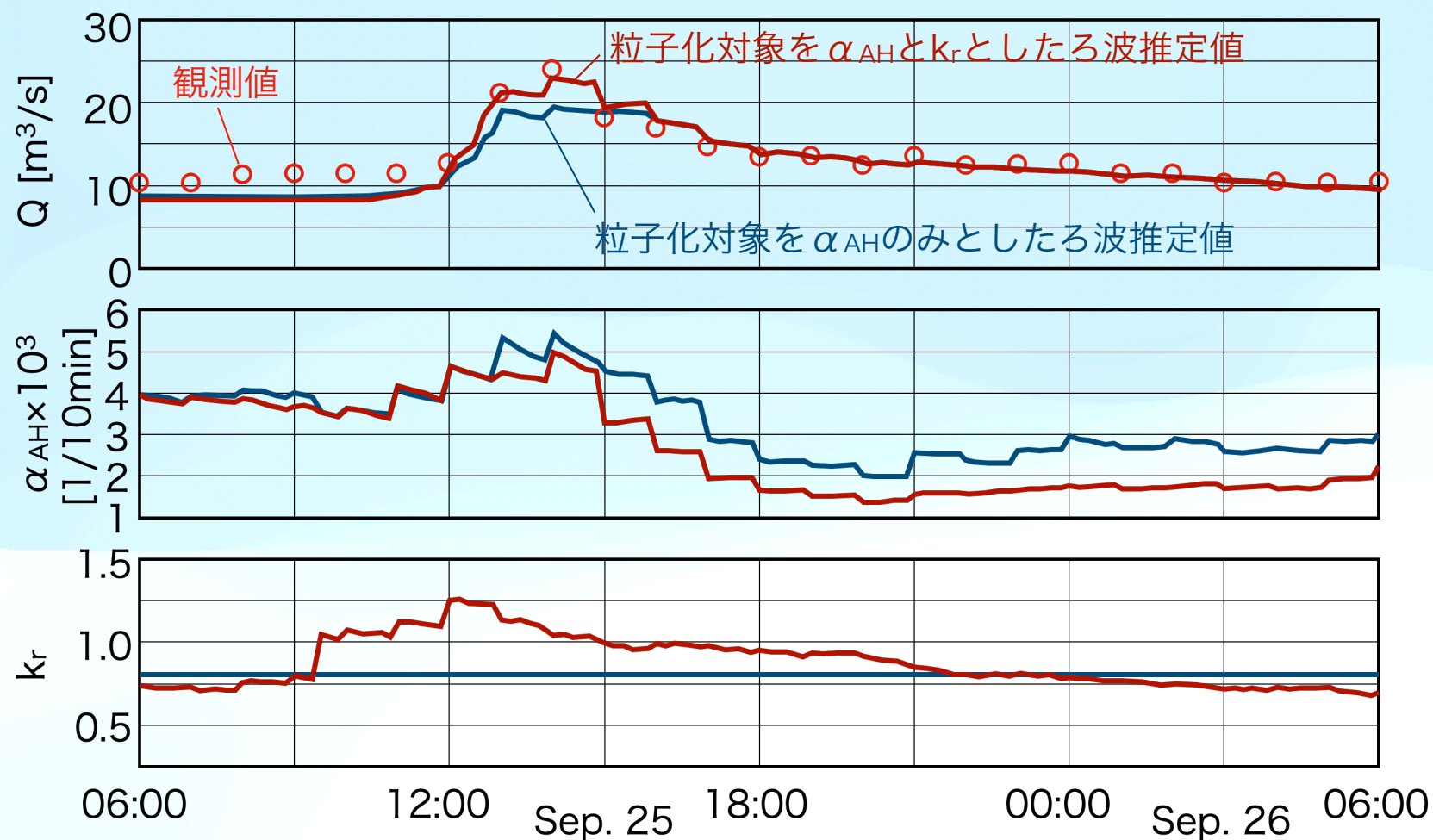
観測ノイズ  $v_{C,t} \sim N(0, \sigma_{C,t}^2)$

システムモデル  $x_{C,t} = \begin{pmatrix} \beta_{Af,t} \\ \gamma_{Af,t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \beta_{Af,t-1} \\ \gamma_{Af,t-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} u_{\beta_{Af,t}} \\ u_{\gamma_{Af,t}} \end{pmatrix}$

システムノイズ  $u_{\beta_{Ac,t}} \sim N(\mu_{\beta_{Af,t}}, \sigma_{\beta_{Af,t}}^2)$

$u_{\gamma_{Af,t}} \sim N(\mu_{\gamma_{Af,t}}, \sigma_{\gamma_{Af,t}}^2)$

# 降雨流出モデルへの粒子フィルタの適用

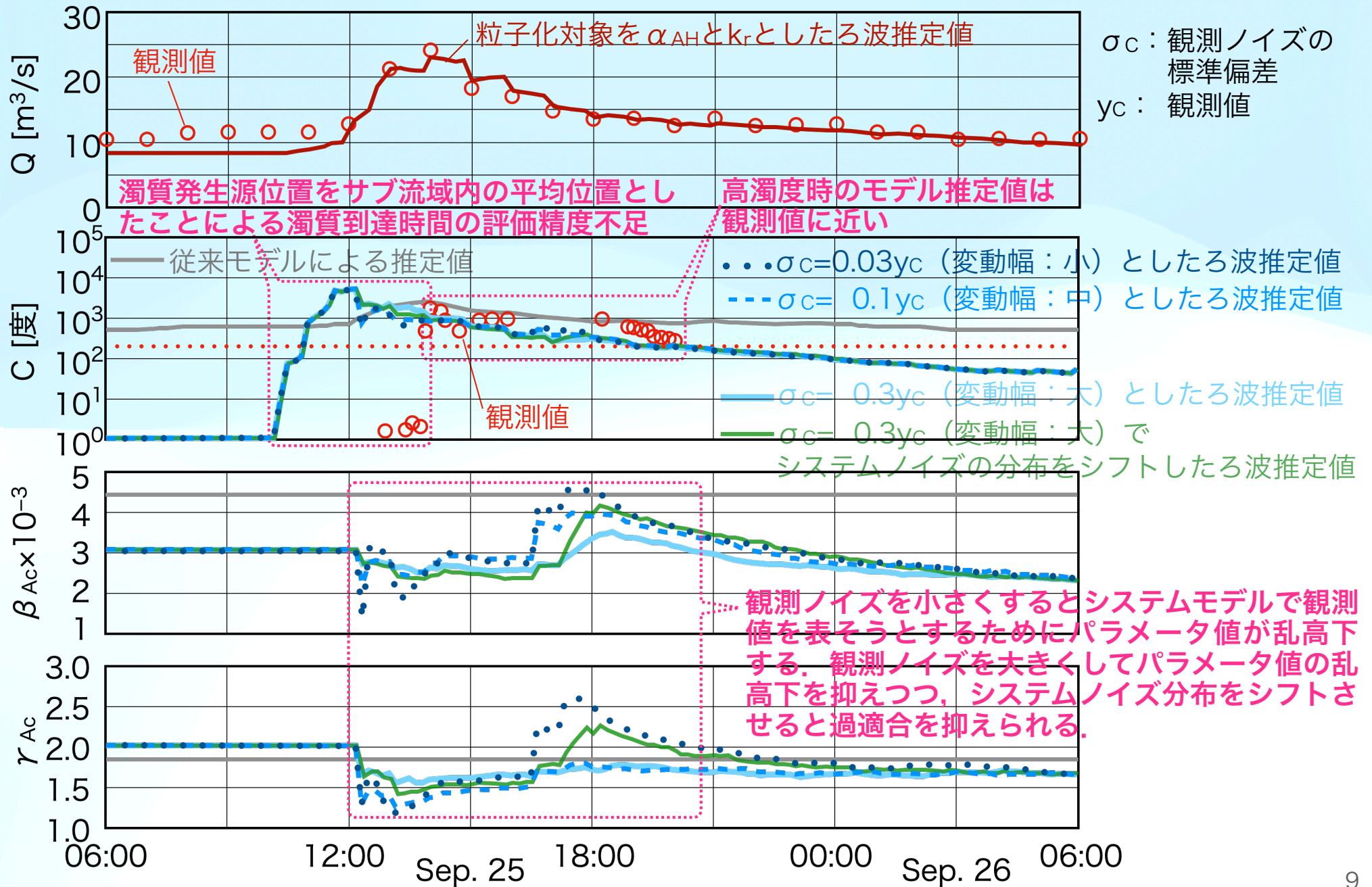


レーダー雨量の補正式  $r = k_r r_{\text{rader}}$

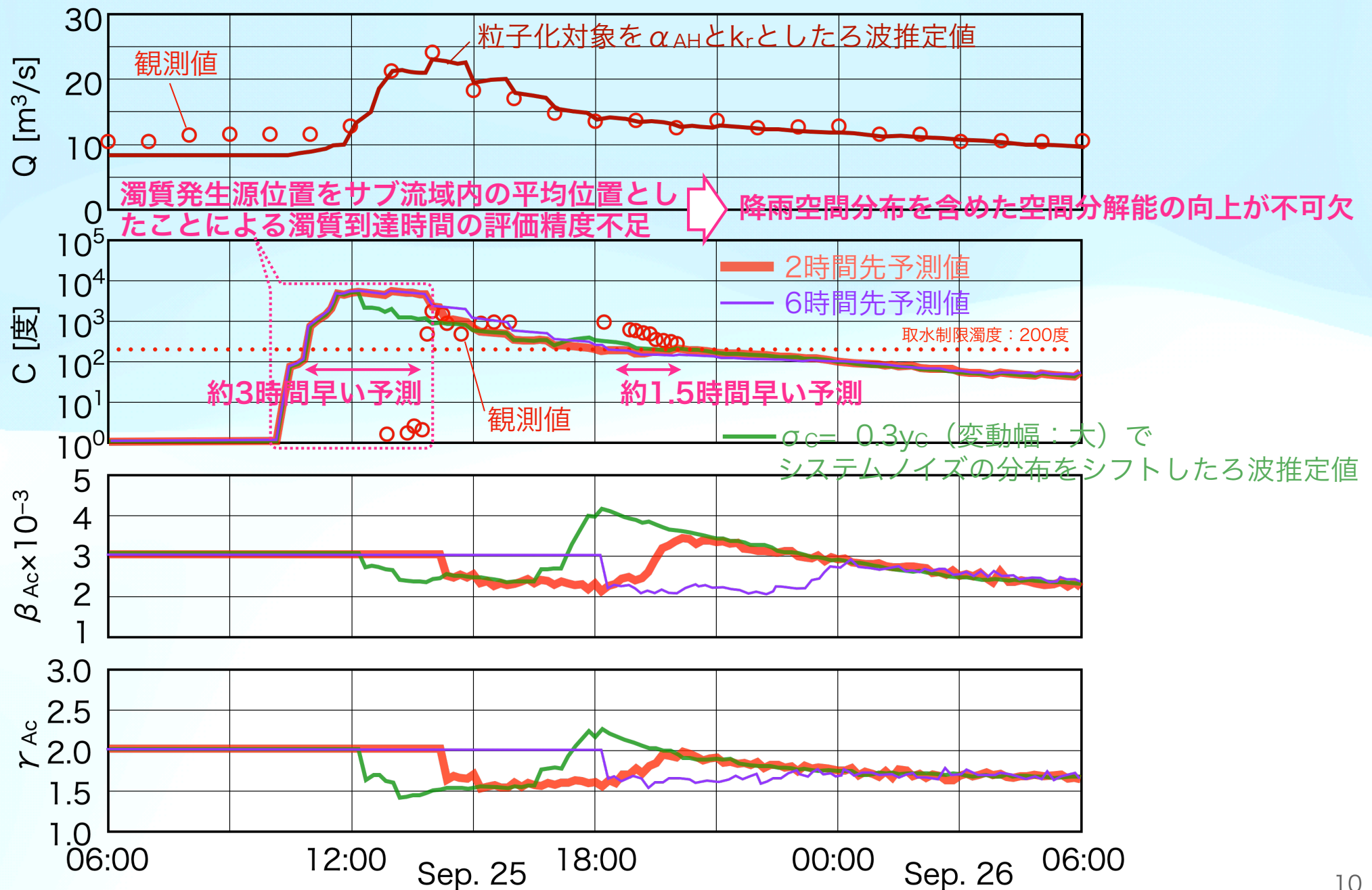
パラメータ $k_r$ でレーダー雨量を逐次補正することにより流量の推定精度が高まる



# 濁質流出モデルへの粒子フィルタの適用



# 濁質流出モデルによる濁度の将来予測



# まとめ

## 本研究の成果

- ▷ 降雨流出成分に応じた濁質流出を考えることにより、濁度時間変化のヒステリシスを評価できる新たな濁質流出モデルを構築し、その適用性を明らかにした。
- ▷ 粒子フィルタを用いることで、高濁度発生の実時間予測法を示すことができた。
- ▷ レーダー雨量を地上雨量に補正する方法としても粒子フィルタの有用性を示した。

## 本研究により期待される事項

- ▷ LQ式に基づく従来の濁度発生予測に比べて格段に精度の高い実時間予測を実現できる可能性がある。
- ▷ 浄水場では最低でも1時間前には高濁度発生を予測できる必要があり、これに応える手法となり得る。

## 残された課題

- ▷ 今回は降雨完全予測条件下での検討だったため、1～6時間先降雨予報値を用いた検討が必要である。
- ▷ 粒子化対象数の制約により、濁質発生源としての土地利用を1種類に限定したが、複数の土地利用種別からの濁質発生にも対応できる方法への拡張が必要である。
- ▷ 降雨空間分布を含めた解析の空間分布を向上させる必要がある。