

# 拡張カルマンフィルタタンクモデルを用いた マイクロ水力発電の取水量推定

工学部工学科電気電子工学コース

応用数学研究室 鎌田真孟

# 研究背景

- 再生可能エネルギーの中でもマイクロ水力発電  
→一般に出力100[kW]以下の水力発電と定義
- 自流式マイクロ水力発電に注目
- 特に小規模な砂防堰堤を利用してのマイクロ水力発電の可能性を検討.  
→追加設備を抑えられる点で有望
- 降雨から河川流出量を予想し，取水量(発電量)を推定することが課題.  
→降雨から取水量を推定できれば実用価値が高い

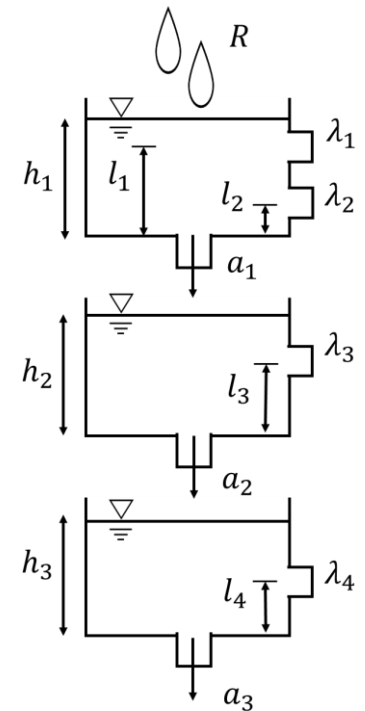


## 研究目的

小規模溪流を対象に，降雨データから流出量を予測することを目的としてタンクモデルを構築し，モデル誤差や観測誤差を考慮するためにカルマンフィルタを導入し，逐次推定を行うことで，降雨から河川流量および取水量を高精度に推定する手法の確立を目指す

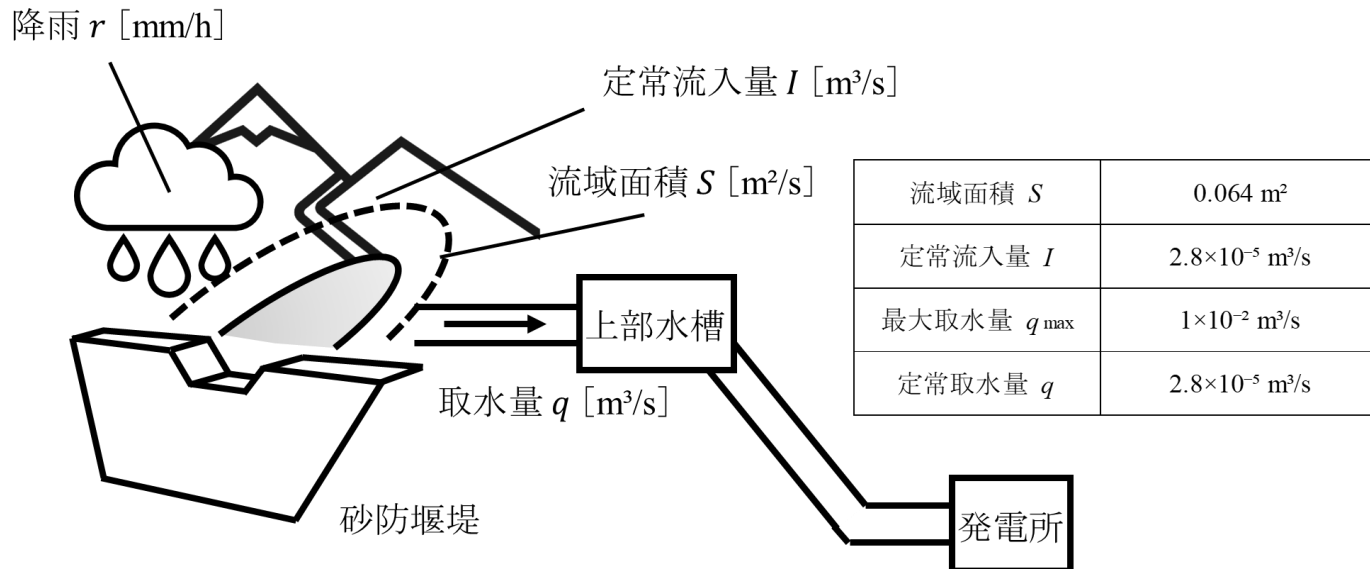
# タンクモデルとは

- タンクモデルへ降雨を入力することで，降雨から生じる河川流出や洪水をおおよそ予想することができる。
- タンクからの流出を河川流出とし，タンクを直列に配置することで異なる時定数の流出成分を表現できる。
- 表面流出・中間流出・地下水流出の三つの成分から構成された流出機構の物理的概念をうまく取り入れたモデルとして，流出解析研究のはやい時期から認められてきた。
- 実河川をタンクモデルに変換することで，降雨からの流出を予測

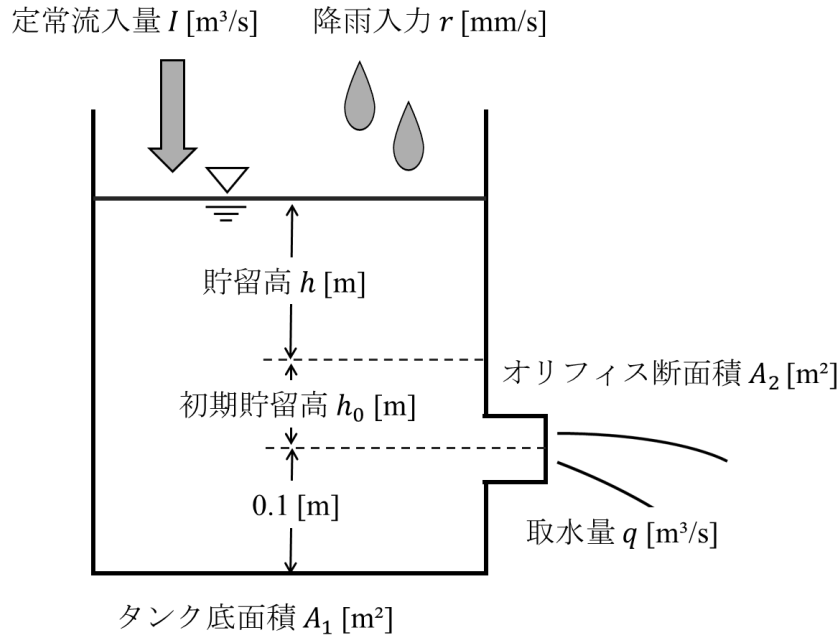


三段タンクモデル

# 想定したマイクロ水力発電モデル



# タンクモデルへの変換



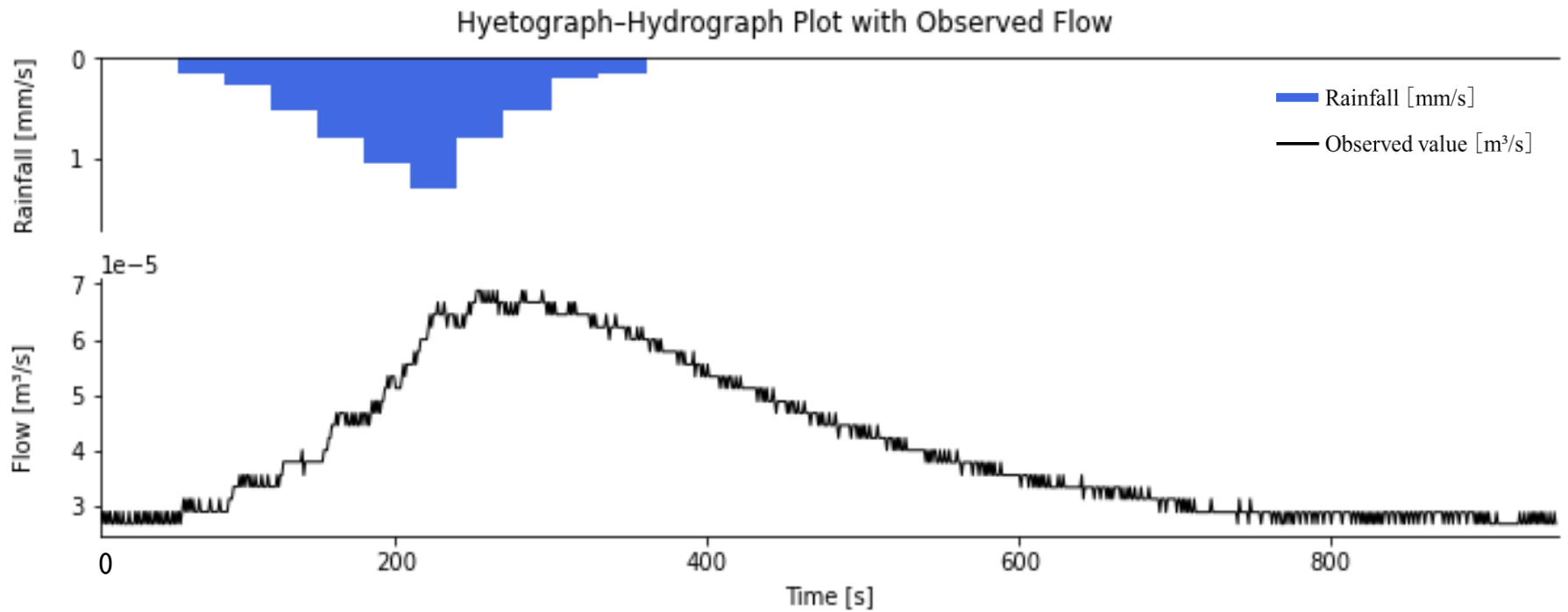
- 砂防堰堤は多くの場合溪流に建設されるのが一般的
- 溪流では降雨は短時間に流出するため、表面流出のみを表現し、この流出すべてを取水量とみなす
- モデルへの入力には降雨強度 [ $\text{mm}/\text{h}$ ] で与えられるが、ステップ時間を  $\Delta t = 1$  [ $\text{s}$ ] としたため、入力を1秒当たりの降雨強度 [ $\text{mm}/\text{s}$ ] へ換算

## 実験用タンクモデル



- 30秒間隔で水をタンクに手動で加え，これを降雨入力として模擬
- オリフィスからの流出をセンサで計測し記録
- 定常流入は水道からの直接注水で再現

# 実験から得られた時系列データ



実験結果のハイドロ-ハイエトグラフ

# 拡張カルマンフィルタ (EKF)

離散時間状態空間表現

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{f}(\mathbf{x}_k) + \mathbf{b}\xi_k$$

$$y_k = h(\mathbf{x}_k) + \epsilon_k$$

EKFアルゴリズム



〈予測ステップ〉

$$\hat{\mathbf{x}}_k^- = \mathbf{f}(\hat{\mathbf{x}}_{k-1})$$

$$\mathbf{F}_k = \left. \frac{\partial \mathbf{f}(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} \right|_{\mathbf{x}=\hat{\mathbf{x}}_{k-1}}, \quad \mathbf{H}_k^T = \left. \frac{\partial h(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} \right|_{\mathbf{x}=\hat{\mathbf{x}}_k^-}$$

$$\mathbf{P}_k^- = \mathbf{F}_{k-1} \mathbf{P}_{k-1} \mathbf{F}_{k-1}^T + \mathbf{Q} \mathbf{b} \mathbf{b}^T$$

〈更新ステップ〉

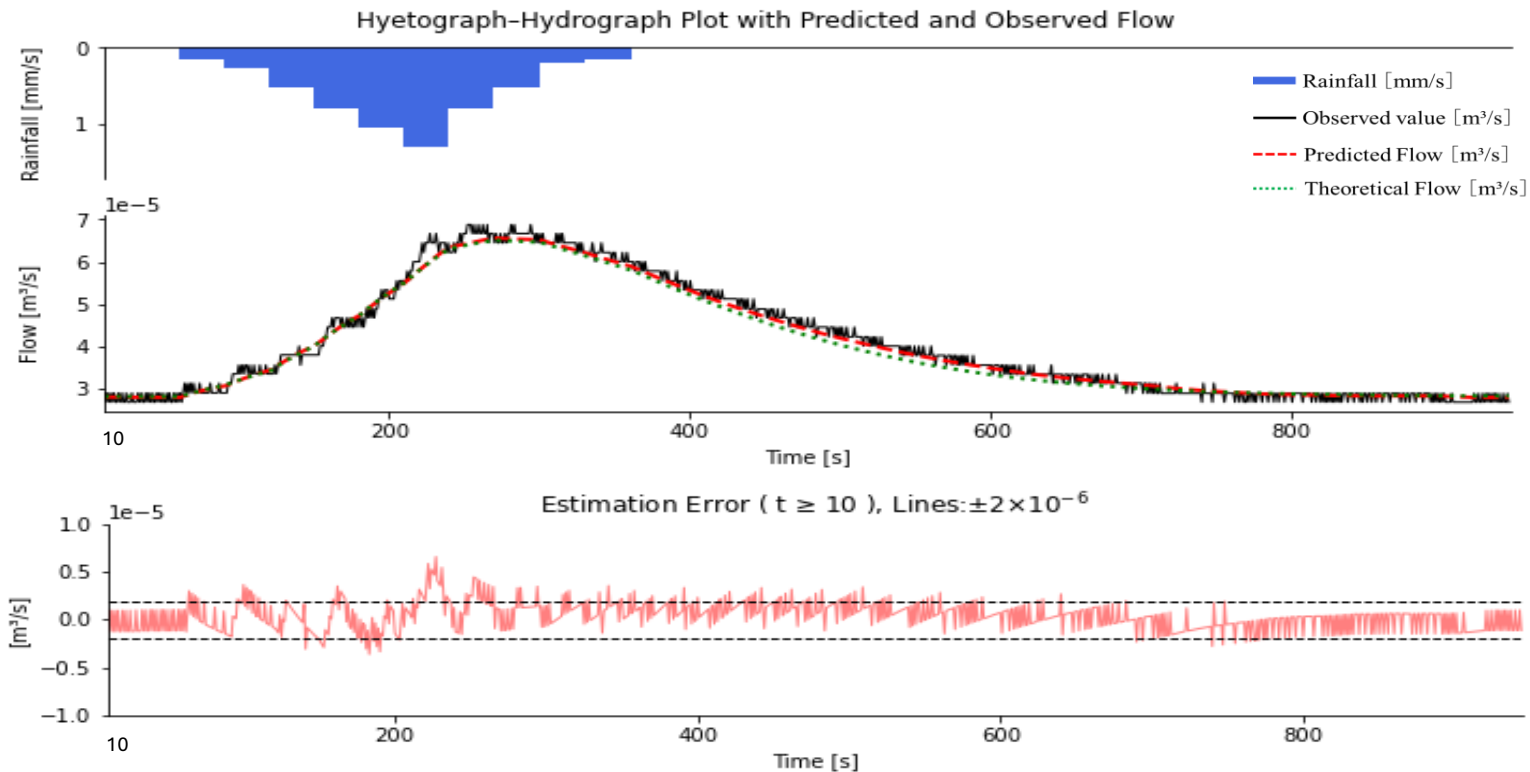
$$\mathbf{K}_k = \frac{\mathbf{P}_k^- \mathbf{H}_k}{\mathbf{H}_k^T \mathbf{P}_k^- \mathbf{H}_k + \mathbf{R}}$$

$$\hat{\mathbf{x}}_k = \hat{\mathbf{x}}_k^- + \mathbf{K}_k \{y_k - h(\hat{\mathbf{x}}_k^-)\}$$

$$\mathbf{P}_k = \{\mathbf{I} - \mathbf{K}_k \mathbf{H}_k^T\} \mathbf{P}_k^-$$

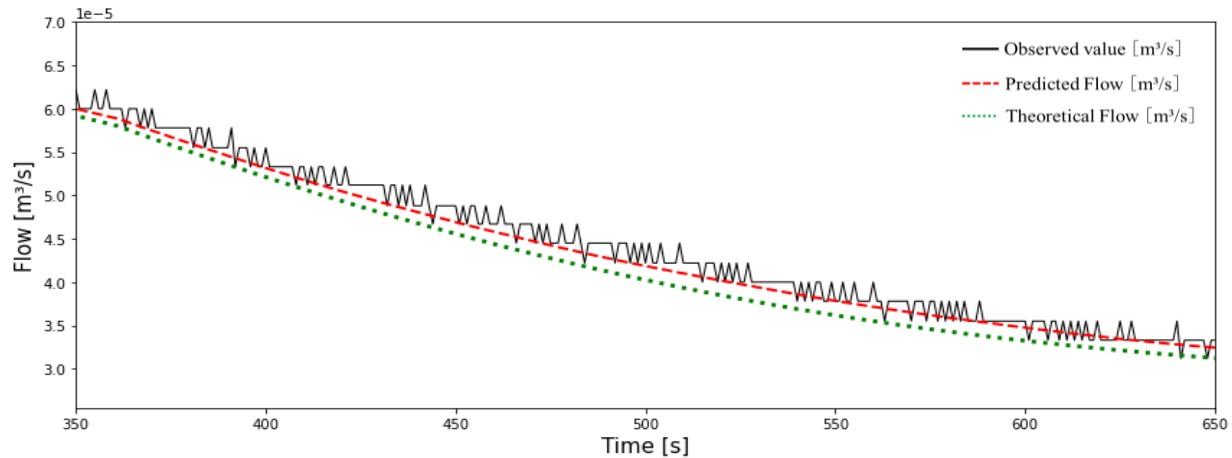
最も知られている非線形カルマンフィルタの一種。非線形関数を最新の推定値の近傍で線形化する。

# EKFによる1ステップ先取水量推定の結果



EKFによる取水量推定結果のハイδρο-ハイエトグラフと推定誤差

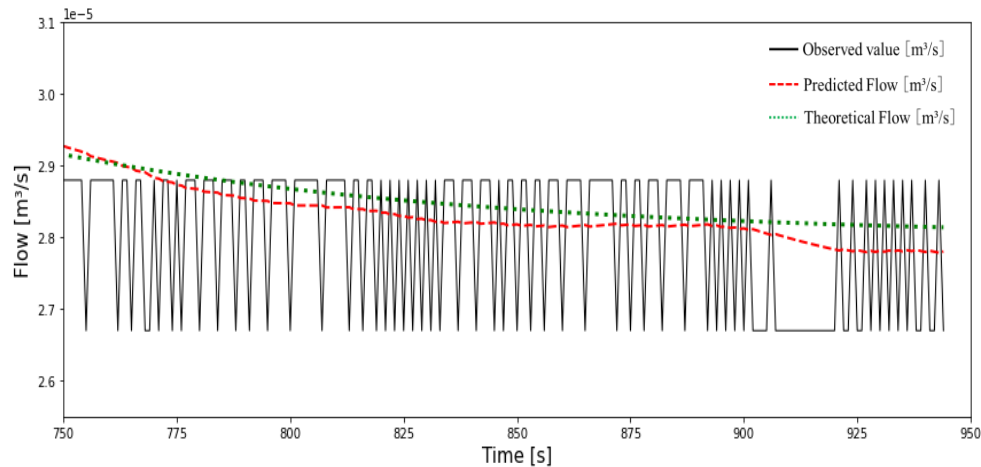
# EKFによる1ステップ先取水流量推定の結果



$k = 300 \sim 700$ 区間の拡大図

理論値は観測値から外れている部分が多いが、推定値は両者の中間付近を安定して通過しており、この誤差を縮小している

# EKFによる1ステップ先取水流量推定の結果



$k = 750$ 以降の拡大図

モデル誤差や観測誤差などを，EKFがシステム雑音および観測雑音として適切に補正し，観測値とモデルの双方を逐次的に統合することで，**単純な状態方程式からの理論値よりも高い予測精度を達成**しているといえる

## まとめと今後の課題

- EKFによる逐次推定により，理論値と観測値のいずれかに過度に依存することなく，安定した状態推定および取水量の予測が可能であることを確認できた
- 1時間先や翌日の取水量推定が可能．実際の自流水マイクロ水力発電モデルに対して，本研究のEKFタンクモデルを適用すれば，取水量を良好に推定できると考えられる
- 実システムへ今回のモデルをそのまま適用することは困難  
→短時間で流出が生じることを考慮し，表面流出および中間流出を表現するにとどめた，二段EKFタンクモデルでの取水量推定を行うことも検討
- 実際の流量データを用いて，EKFタンクモデルがどの程度で取水量を推定できるのかを検証することにより，さらなる精度向上を図ることが今後の課題

ご清聴ありがとうございました