

観測演算子を未知とする条件下での 深層学習を用いた データ同化手法の提案

- 秋田 康輔 (大阪大学大学院情報科学研究科 ; M2)
宮武 勇登 (大阪大学サイバーメディアセンター)
降籟 大介 (大阪大学サイバーメディアセンター)

本研究の動機・位置づけ

本研究は、気象予報などで応用されている「データ同化」の理論に関する内容です。深層学習を用いることで、通常は既知として考える観測演算子が未知であっても、適切な状態推定を可能にする新しい手法を提案します。

2021年11月13日

問題設定と背景 (観測演算子が未知である状態空間モデル)

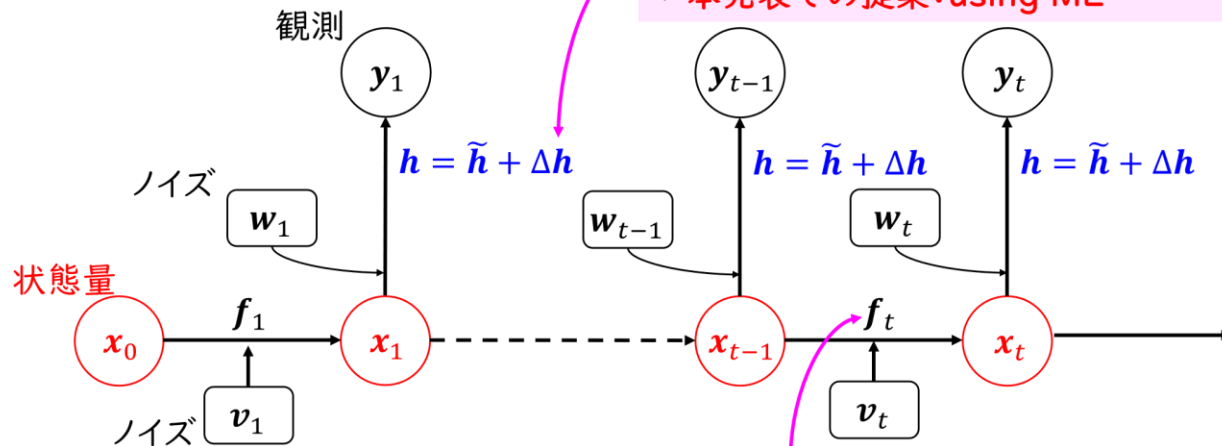
既知の時系列観測データ $y_t \in \mathbb{R}^l$ から, 未知の状態量 $x_t \in \mathbb{R}^k$ を推定するデータ同化問題を考えたいが, **観測演算子 h が未知**.

$$x_t = f_t(x_{t-1}) + v_t, \quad v_t \sim N(\mathbf{0}, Q_t) \quad \text{システムモデル}$$

$$y_t = h(x_t) + w_t \\ = \tilde{h}(x_t) + \Delta h(x_t) + w_t, \quad w_t \sim N(\mathbf{0}, R_t) \quad \text{観測モデル}$$

既知部分
(仮に与える) ずれ

観測演算子のずれ Δh を推測
 ▶ Hamilton et al. [2019]: not using ML
 ▶ 本発表での提案: using ML



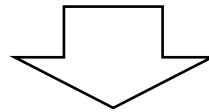
シミュレーション $f_t = \tilde{f}_t + \Delta f_t$ のずれ Δf_t を推測 (本発表では既知)
 ▶ Arcucci et al. [2021]: using ML

提案手法（動機・概略）

観測演算子の既知部分 \tilde{h} のみによってデータ同化推定可能

$$\text{仮の観測モデル } y_t \approx \tilde{h}(x_t) + w_t \rightarrow x_t^{\text{DA}}$$

適切な推定値とは限らない！



演算子 \tilde{h} と h とのずれ Δh を深層学習によって推測することで、
観測モデルを修正し、状態量 x_t の適切な推定値を得たい！

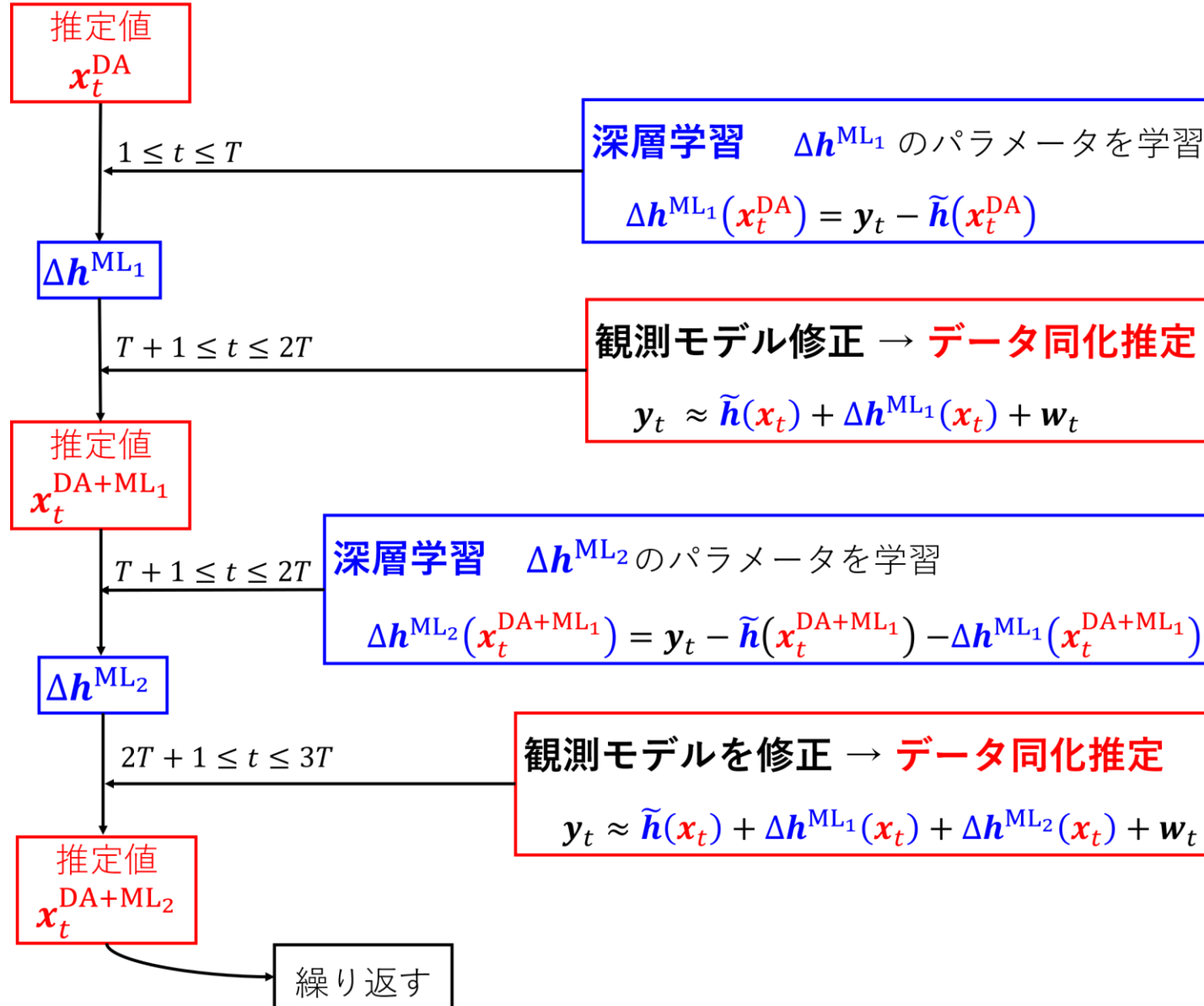
$$\Delta h(x_t) = h(x_t) - \tilde{h}(x_t)$$

に相当する量を学習



観測モデルを修正
+
データ同化推定

提案手法 (アルゴリズム)



数値実験例

ローレンツ63モデル

$$\begin{cases} \frac{dx}{d\tau} = -s(x - y) \\ \frac{dy}{d\tau} = rx - y - xz \\ \frac{dz}{d\tau} = xy - bz \end{cases}$$

真の演算子

$$h(x) = \begin{pmatrix} \sin x \\ y/2 \\ \cos z \end{pmatrix}$$

仮の演算子

$$\tilde{h}(x) = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

$$s = 10, r = 28, b = 8/3$$

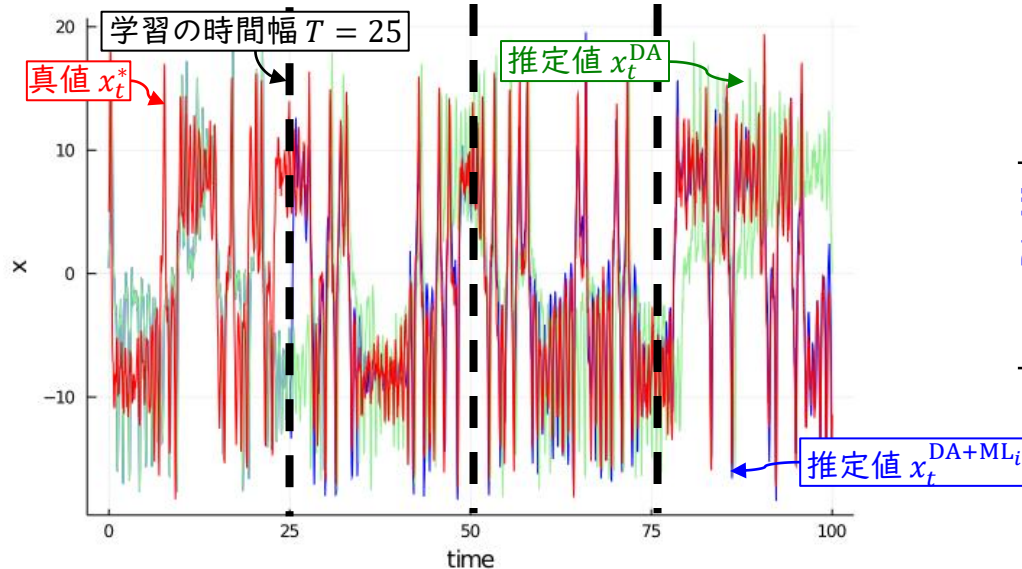
$$x_t := (x_t \ y_t \ z_t)^T := (x(\tau_t) \ y(\tau_t) \ z(\tau_t))^T$$

$$\tau_t = \tau_{t-1} + 0.05$$

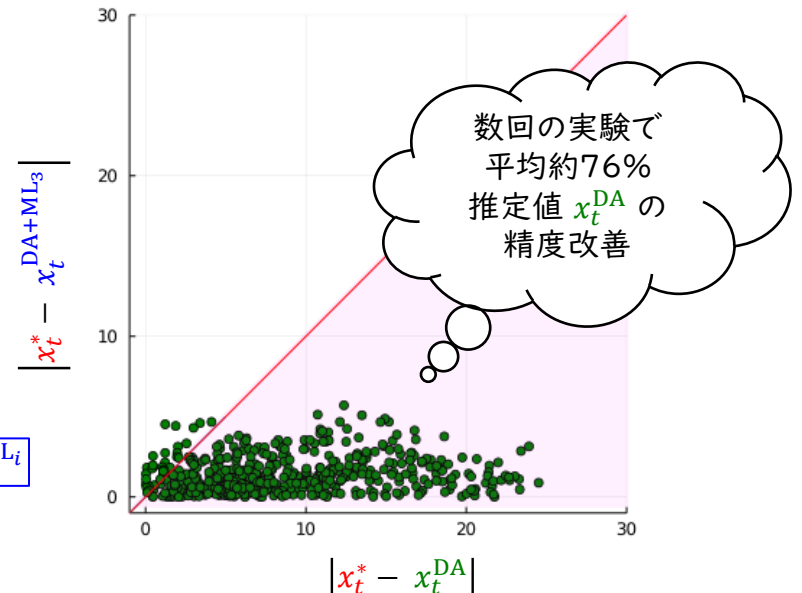
$$x_0 \sim N(y_0, 25I), \ v_t \sim N(\mathbf{0}, 0.8I), \ w_t \sim N(\mathbf{0}, 2I)$$

仮の観測モデル $y_t \approx x_t + w_t$ ($\tilde{h}(x) = x$)

による推定値と提案手法による推定値を比較!



状態量 x_t の推定結果を時系列で比較 (一例)



$|x_t^* - x_t^DA|$
75 < τ_t ≤ 100 の各観測点における x 成分の推定値の精度を比較