

# エージェントベースモデルにおけるオンライン推定法の評価

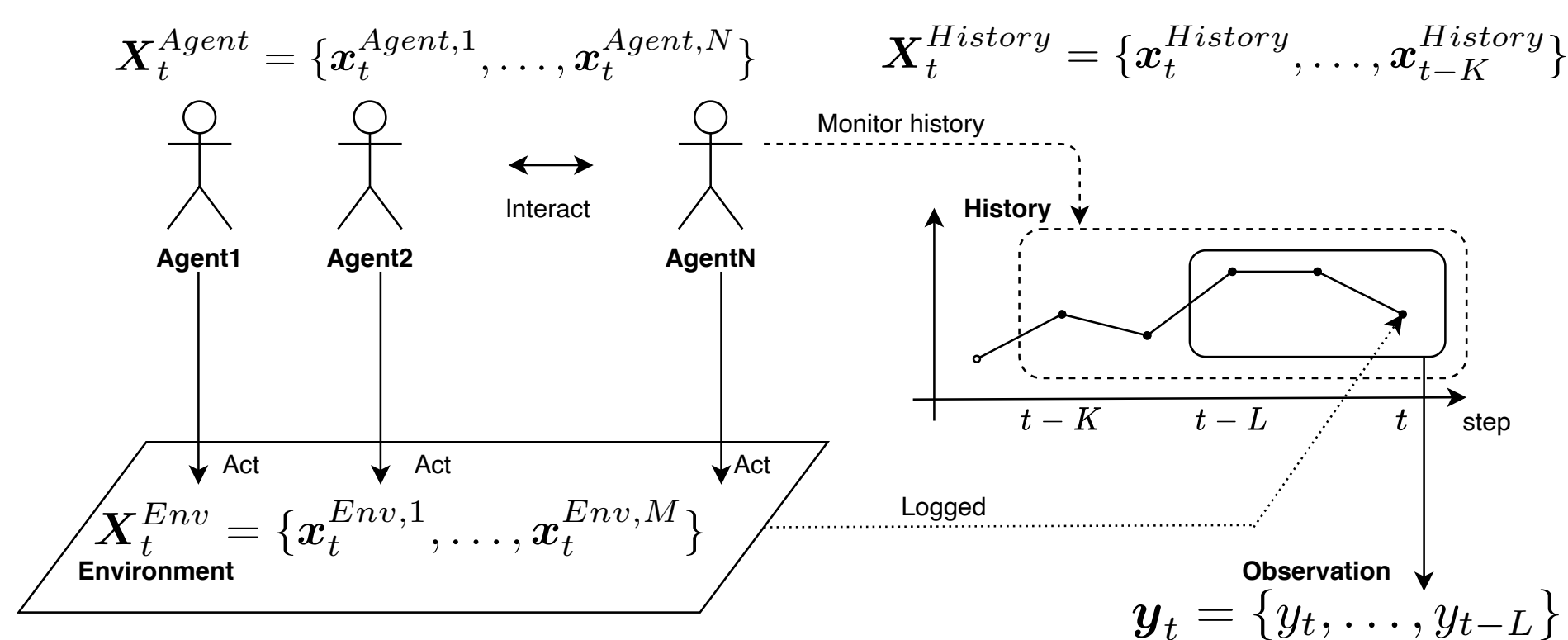
相澤 景 総合研究大学院大学 統計科学専攻 博士課程（3年次編入学）5年

## 1. はじめに

- エージェントベースモデル(ABM)は個体や環境間で相互作用する多数のオブジェクトからなる動的モデルであり、経済学などの多様な領域で使われつつある
- ABMではパラメータ推定のステップがしばし欠けており、方法論的課題が指摘されている。近年、SMD(Simulated Minimum Distance)法やベイズ推定法による推定に関連した研究が進められている。[1]
- 近年開発されるような大規模なABMは、計算負荷が大きいためオンラインでのパラメータ推定を適用するアプローチの確立が期待されている。[2]
- 本研究では、一般的なABMのパラメータに対するオンライン推定法を定式化し、適用結果を評価する。

## 2. 推定手法

- ABMを状態空間モデル表現として定式化
  - エージェントは環境上で動作（行動・相互作用）を行う
  - 環境はエージェントの動作によって状態が更新される
  - 環境の状態は集約されて系列データの履歴が記録される
  - エージェントは系列データの履歴を認知する場合がある
  - 系列データの履歴の一部は現実に観測される



- 上記の仮定から非線形・非ガウス状態空間モデルとして定式化

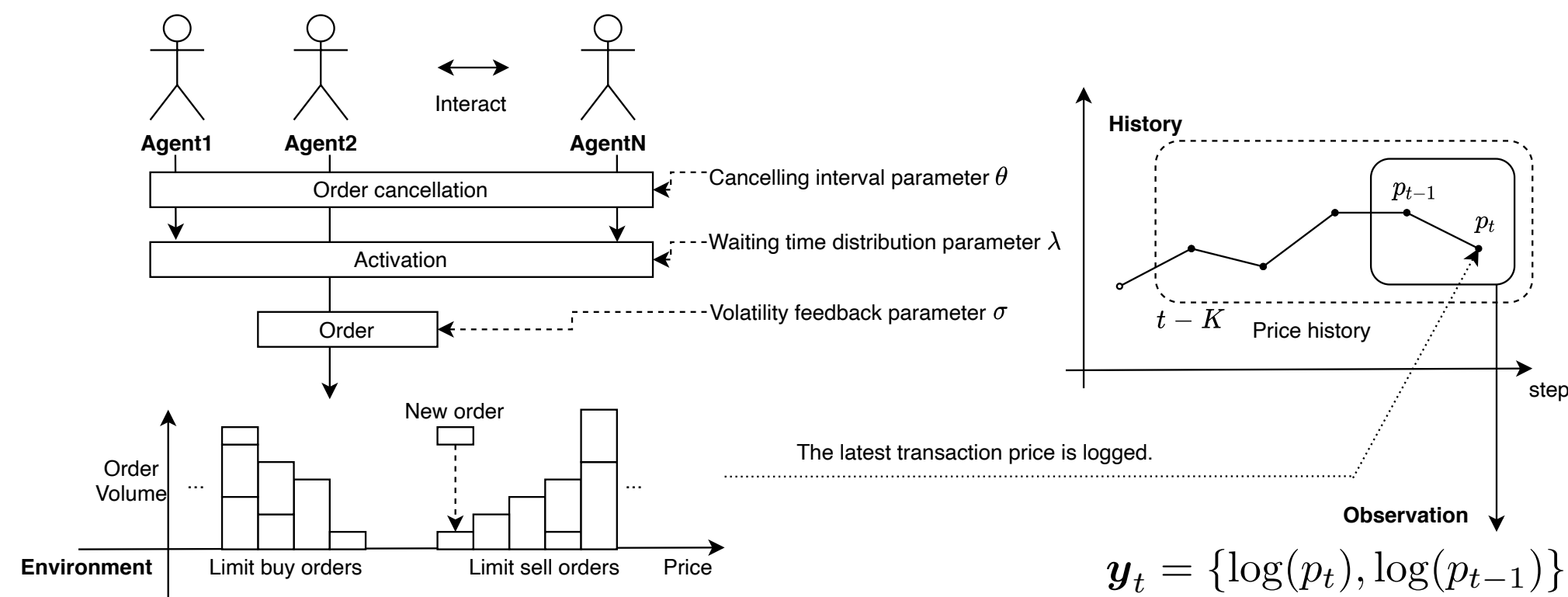
$$\begin{aligned} \mathbf{X}_t &= \{\mathbf{X}_t^{Agent}, \mathbf{X}_t^{Env}, \mathbf{X}_t^{History}\}, \\ \mathbf{X}_t &= \mathbf{f}_t(\mathbf{X}_{t-1}, \mathbf{v}_t | \boldsymbol{\theta}_{ABM}), \mathbf{v}_t \sim q(\mathbf{v}_t | \boldsymbol{\theta}_q), \\ \mathbf{y}_t &= \mathbf{h}_t(\mathbf{X}_t, \mathbf{w}_t), \mathbf{w}_t \sim r(\mathbf{w}_t | \boldsymbol{\theta}_r). \end{aligned}$$

- ABMパラメータのオンライン推定法
  - 状態ベクトルにABMのパラメータの $\boldsymbol{\theta}_{ABM}, \boldsymbol{\theta}_q$ を含めた拡大状態ベクトルとして再定義し、事後分布を推定
  - パラメータの $\boldsymbol{\theta}_{ABM}, \boldsymbol{\theta}_q$ は初期分布を仮定
  - 状態空間モデルに粒子フィルタを適用し推定を実施

$$\begin{aligned} \boldsymbol{\theta}_{ABM} &\sim s_1(\boldsymbol{\theta}_{ABM} | \boldsymbol{\theta}_{s_1}), \boldsymbol{\theta}_q \sim s_2(\boldsymbol{\theta}_q | \boldsymbol{\theta}_{s_2}), \\ \tilde{\mathbf{X}}_t &= \{\mathbf{X}_t^{Agent}, \mathbf{X}_t^{Env}, \mathbf{X}_t^{History}, \boldsymbol{\theta}_{ABM}, \boldsymbol{\theta}_q\}, \\ \tilde{\mathbf{X}}_t &= \tilde{\mathbf{f}}_t(\tilde{\mathbf{X}}_{t-1}, \mathbf{v}_t | \boldsymbol{\theta}_{ABM}), \mathbf{v}_t \sim q(\mathbf{v}_t | \boldsymbol{\theta}_q), \\ \mathbf{y}_t &= \tilde{\mathbf{h}}_t(\tilde{\mathbf{X}}_t, \mathbf{w}_t), \mathbf{w}_t \sim r(\mathbf{w}_t | \boldsymbol{\theta}_r). \end{aligned}$$

## 3. 双子実験

- 実験対象のABMと実験設定
  - 一般的なABMとして連続ダブルオークション市場モデル[3]で実験
  - リターン(価格の対数差分)の推移に関心があるモデルのため、当期(t)と前期(t-1)の対数価格を観測とする



- 推定対象パラメータ： $\boldsymbol{\theta}_{ABM} = \{\theta, \sigma\}, \boldsymbol{\theta}_q = \{\lambda\}$ .
- パラメータの真値・初期分布と観測モデルの仮定

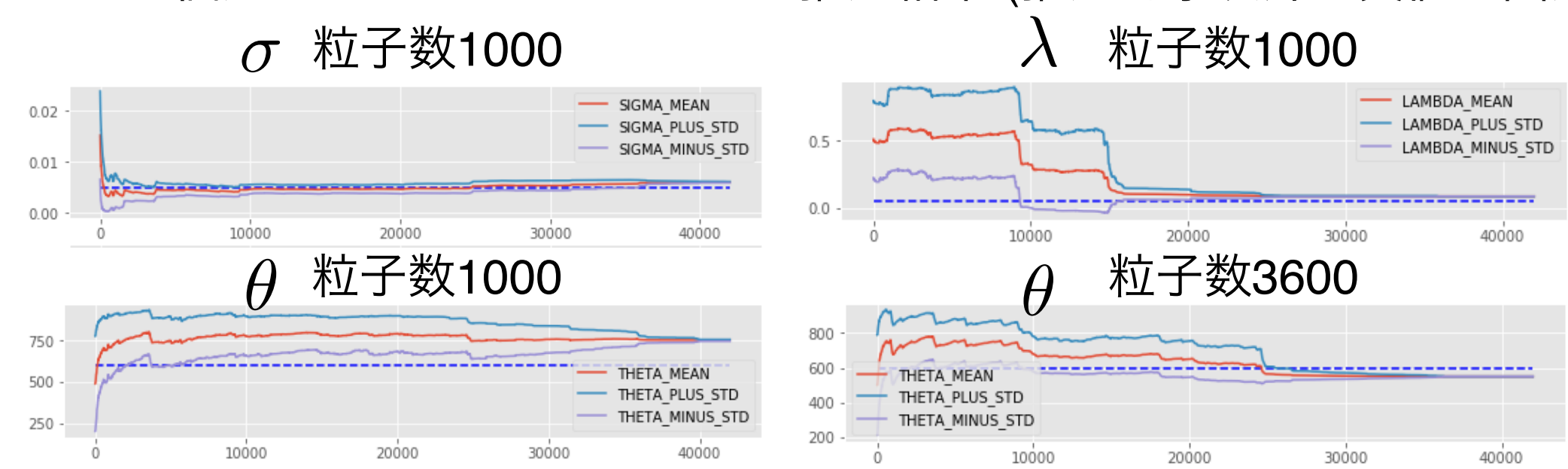
Parameter	True value	Initial distribution
$\theta$	600	$Uniform(1,1000)$
$\lambda$	0.05	$Uniform(0.01,1.0)$
$\sigma$	0.005	$Uniform(0.001,0.030)$

$$\begin{aligned} r(\mathbf{w} | \boldsymbol{\theta}_r) &= N(\mathbf{0}, \Sigma), \\ \Sigma &= \begin{pmatrix} 0.01^2 & 0.0 \\ 0.0 & 0.01^2 \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

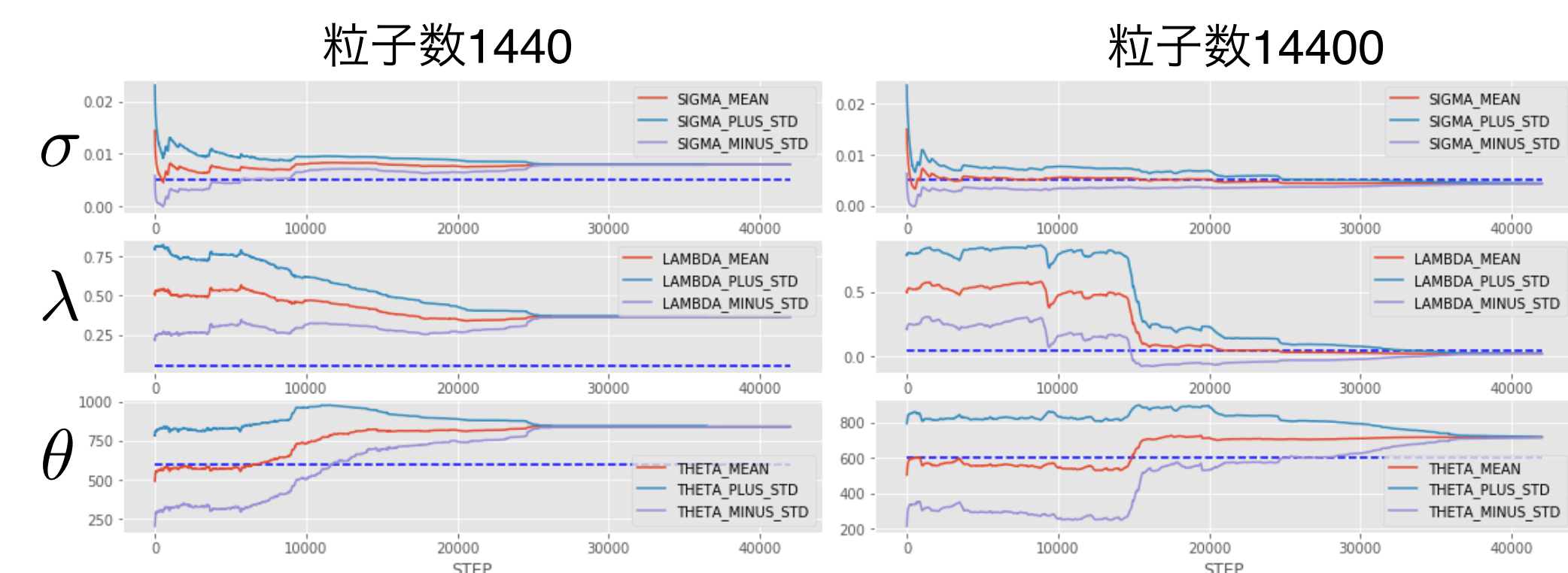
- 粒子数の差異による推定値（粒子平均と標準偏差）の推移を評価

### 実験結果

- 個別パラメータのオンライン推定結果 (推定対象以外は真値に固定)



- 3パラメータの同時オンライン推定結果



## 4. 結論

- ABMの状態空間モデルとオンライン推定法を定式化
- 適切な粒子数での $\boldsymbol{\theta}_{ABM}$ と $\boldsymbol{\theta}_q$ の推定可能性を確認
- 理論通り退化→ $\boldsymbol{\theta}_{ABM}$ と $\boldsymbol{\theta}_q$ のシステムモデルを検討

## 参考文献

- [1]Fagiolo, G., Guerini, M., Lamperti, F., Moneta, A., & Roventini, A. (2019). Validation of agent-based models in economics and finance. In *Computer Simulation Validation* (pp. 763-787). Springer, Cham.
- [2]Lux, T. (2018). Estimation of agent-based models using sequential Monte Carlo methods. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 91, 391-408.
- [3]Raberto, M., & Cincotti, S. (2005). Modeling and simulation of a double auction artificial financial market. *Physica A: Statistical Mechanics and its applications*, 355(1), 34-45.