

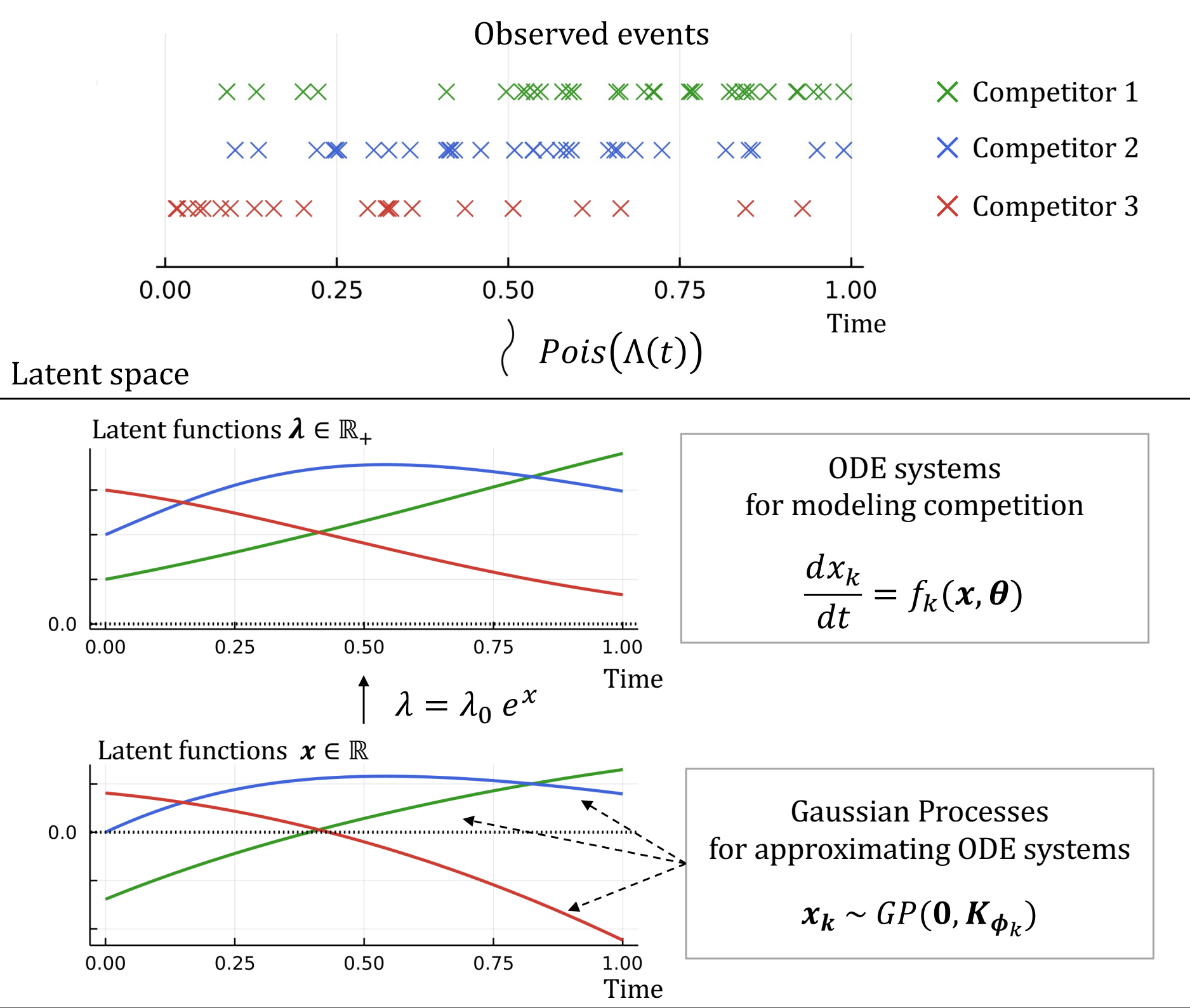
離散イベント時系列からの潜在的な競争の推定

宮澤 脩一

総合研究大学院大学 統計科学専攻 博士課程(5年一貫制)5年

1. 研究概要

複数の競争者のイベントデータの発生傾向から、競争関係を推定したい。そのために、競争をモデル化するODEシステムを仮定したイベント生成過程を提案し、MCMC推論によりイベントデータから競争関係を示すODEパラメータを推定する。 [1]



提案モデルのデータ生成過程

2. 関連研究

Lotka-Volterra競争方程式(数理生物学) K 種の生物種間の競争関係をモデル化する常微分方程式。 p_i : i 種の個体群数, r_i : i 種の内的自然増加率, η_i : i 種の環境収容力, a_{ij} : 競争係数。 i 種が j 種から受ける影響の強さ。

$$\frac{dp_i}{dt} = r_i p_i \left(1 - \frac{\sum_{j=1}^K a_{i,j} p_j}{\eta_i} \right)$$

適応的勾配マッチング [2] 計算時間がかかり大規模問題へ適用できない数値積分を回避可能なODEパラメータ推定手法。少数の点でODEの勾配とガウス過程の勾配を一致させることでODEの軌跡をガウス過程で近似する。

対数ガウスCox過程 [3] 時間によってイベント発生率が変化するイベントデータの生成過程。イベント発生率を示す強度関数をガウス過程を用いて推論する。

3. モデル

イベントデータ m の生成過程にLotka-Volterra競争方程式によってモデル化された競争システムを仮定

同時分布 $p(m, y, x, \sigma, \mu, \phi, \theta, \gamma) = p(m|y)p(y|x, \sigma, \mu, \phi)p(\sigma)p(x, \mu, \phi, \theta, \gamma)$

対数ガウスCox過程 適応的勾配マッチング

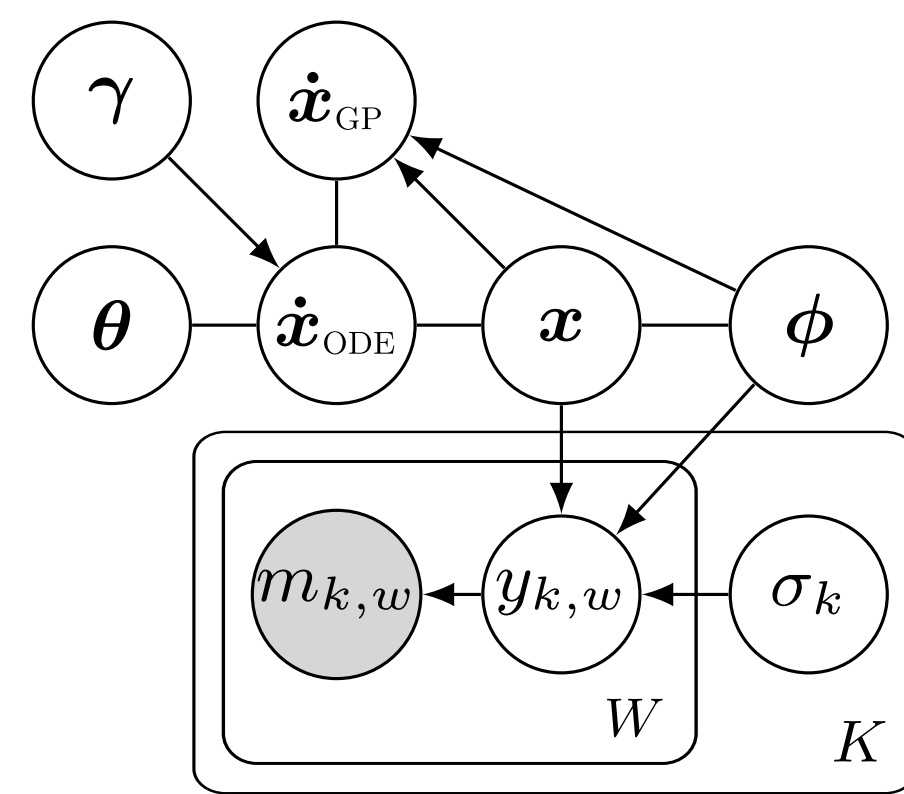
非正規化事後確率密度

$$Pois(m; y) N(y; x, \sigma, \mu, \phi) LN(\sigma) \times N(x; \mu, \phi) N(\mu) LN(\phi) \times LogitN(\theta) LN(\gamma) \times N(\dot{x}_{gp}; \dot{x}_{ode}, A + \gamma^2 I)$$

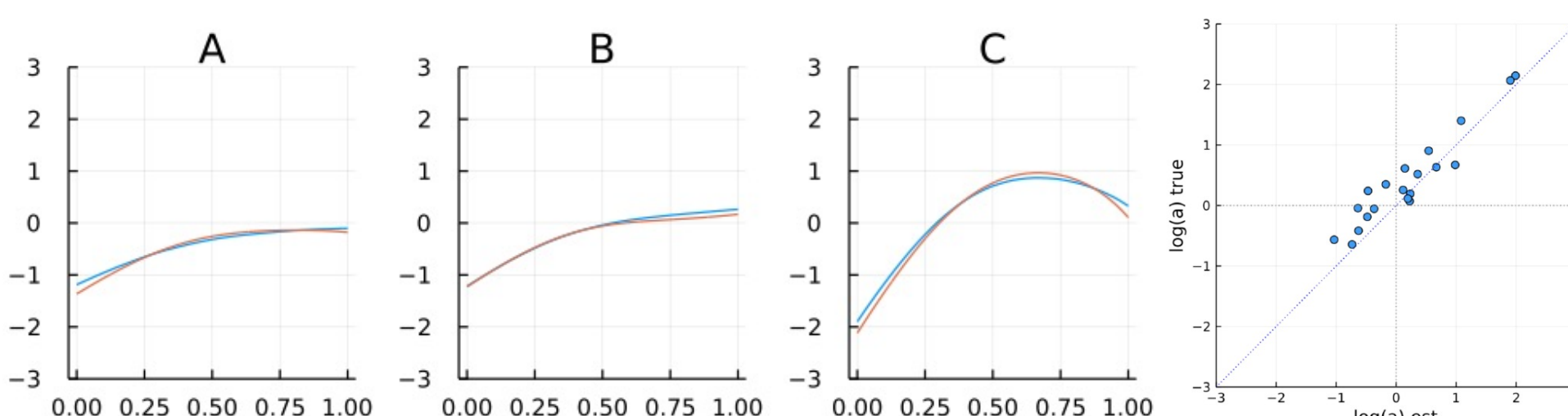
- y : 潜在関数の補完値
- x : 潜在関数値(誘導点)
- σ : ノイズstd
- μ : ガウス過程の平均
- ϕ : カーネルパラメータ
- θ : ODEパラメータ
- γ : ODE勾配のノイズstd

4. 推論

HMC法による近似推論を行う。また、非線形なODEシステムの影響で、事後分布は多峰形状となる可能性があるため、レプリカ交換モンテカルロ法によりサンプラーが局所的な溝に陥ることを防ぐ。



5. 数値実験



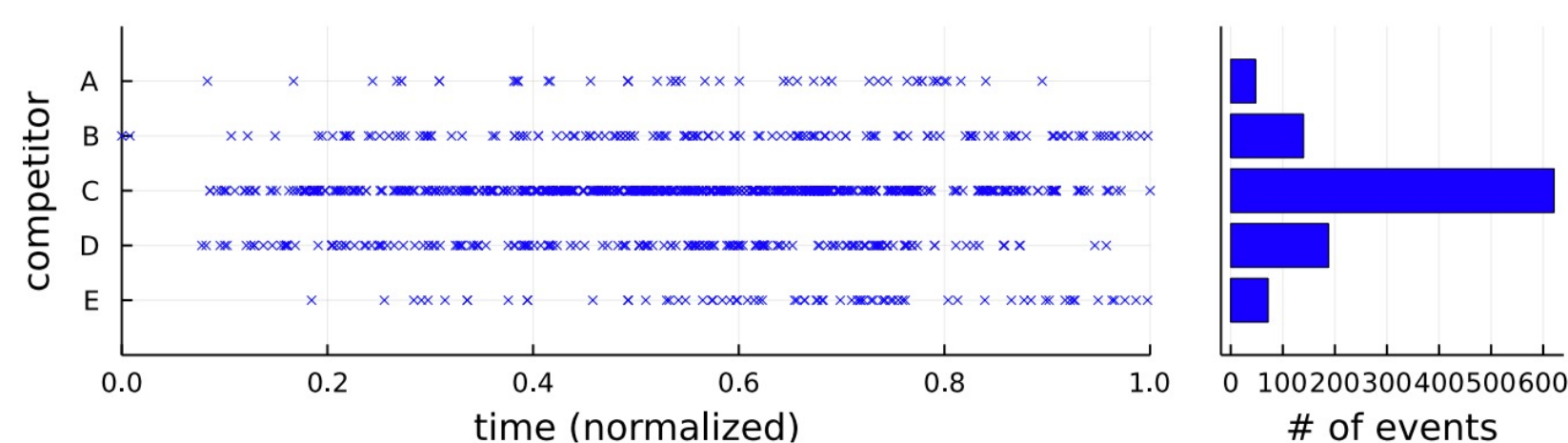
推論による真のパラメータの復元の様子

6. 特許分析

米国特許庁 (USPTO) の公開する特許データを用いて、産業界の特定の技術分野における企業間競争関係を推定する。

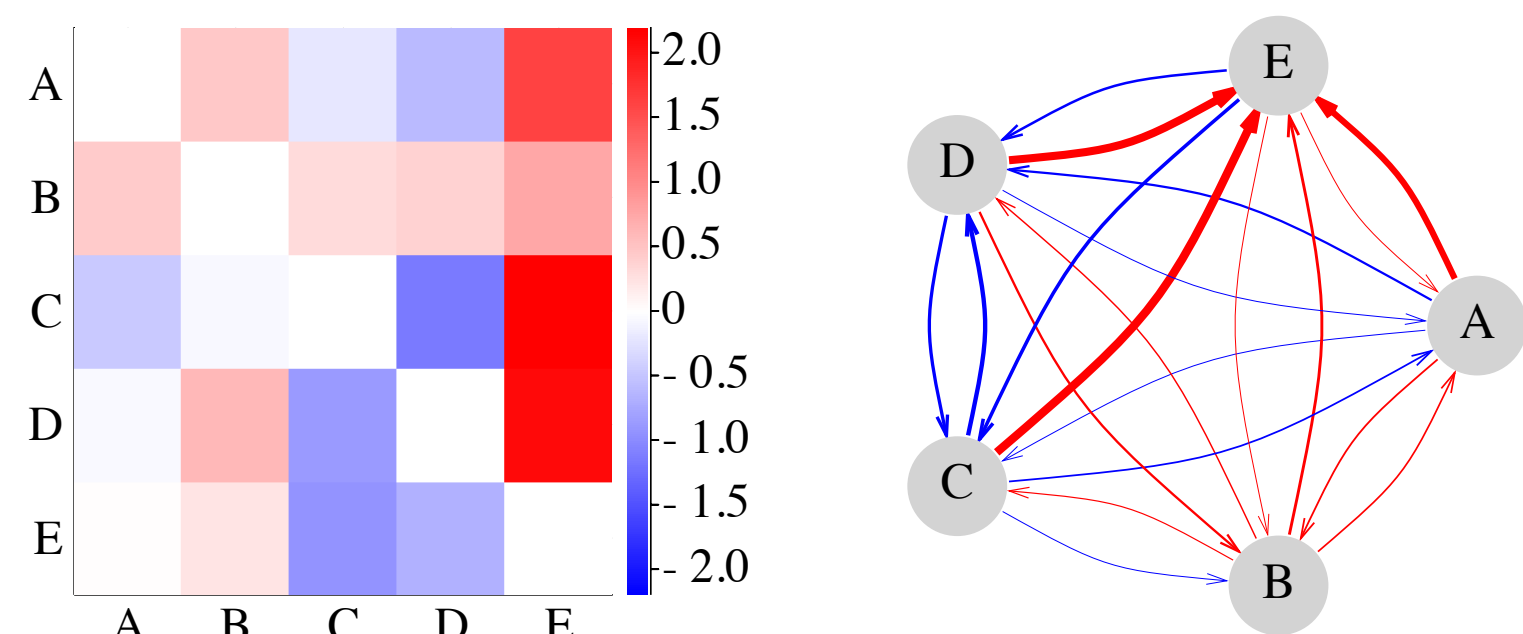
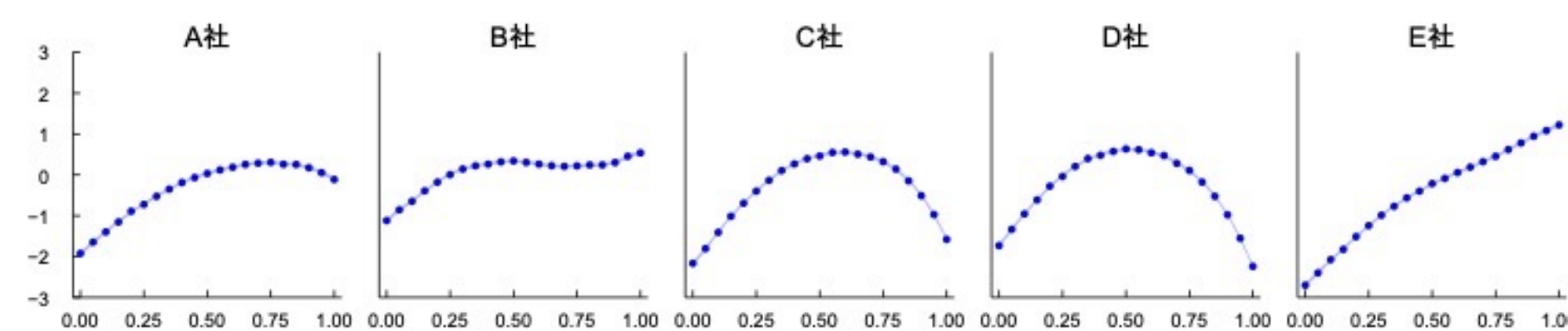
- 国際特許分類 (IPC) を用い、特許母集団を作成する。
- トピックモデルを用い、母集団内の技術的なトピックを推定後、特定のトピックに関連する出願イベント時系列データを作成する。

トピック	上位単語
1	content item file page web_page
2	word text sentence candidate model
3	message query entity natural_language node
4	user interface template provide field
5	text display image unit input



実験データ: 特許出願イベント時系列

- 細分化された技術テーマごとに企業間競争関係を推定する。



競争パラメータの推定結果

[1] 宮澤脩一, 持橋大地. “離散イベント時系列からの潜在的な競争の推定”, 人工知能学会全国大会第36回, June 2022.

[2] Dondelinger, F., Husmeier, D., Rogers, S., and Filippone, M.: ODE parameter inference using adaptive gradient matching with Gaussian processes, in AISTATS, pp. 216–228PMLR (2013)

[3] Møller, J., Syversveen, A. R., and Waagepetersen, R. P.: Log Gaussian Cox Processes, Scandinavian Journal of Statistics, Vol. 25, No. 3, pp. 451–482 (1998)