

時系列非補償型MIRTにおける潜在スキルの時系列推定

玉野 浩嗣

総合研究大学院大学 統計科学専攻 D5 (指導教員:持橋大地 准教授)

背景

- 多次元項目応答理論(MIRT [1])は、テストの正誤データから複数のスキル値を推定する統計モデル
- 関係スキルの和が高ければ正解できるとする補償型と、関係スキルがすべて一定以上で正解できるとする非補償型がある
- 補償型MIRTの時系列モデルは提案されている一方、非補償型の時系列モデルが研究されていない

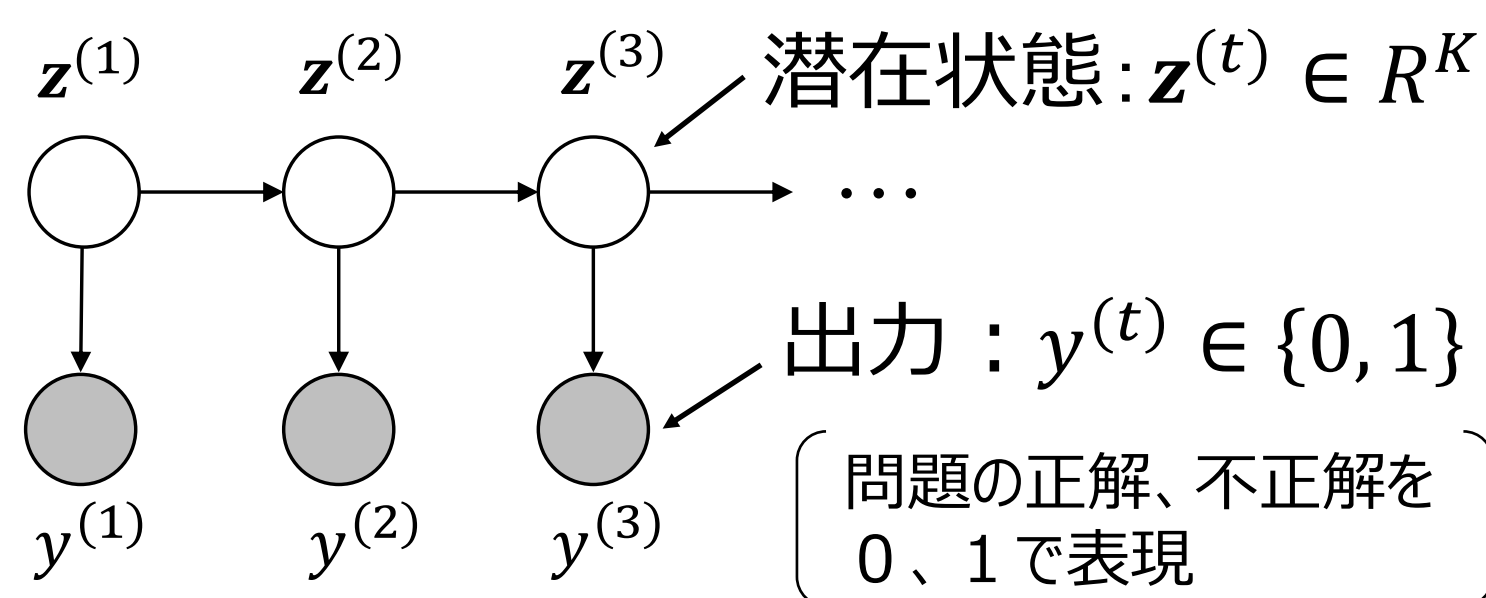
目的

- 非補償型の時系列MIRTモデルを開発することで、非補償型の仮定で生成されているデータを正確にスキルトレースできるようにする
- 非補償型と補償型のスキルトレースがどのように違うかを明らかにする

提案モデル

線形動的システム(LDS) + 非補償型の項目応答

学習はMCEM (詳細は[2])



初期状態

$$\mathbf{z}^{(1)} \sim N(\mu_0, P_0)$$

状態遷移

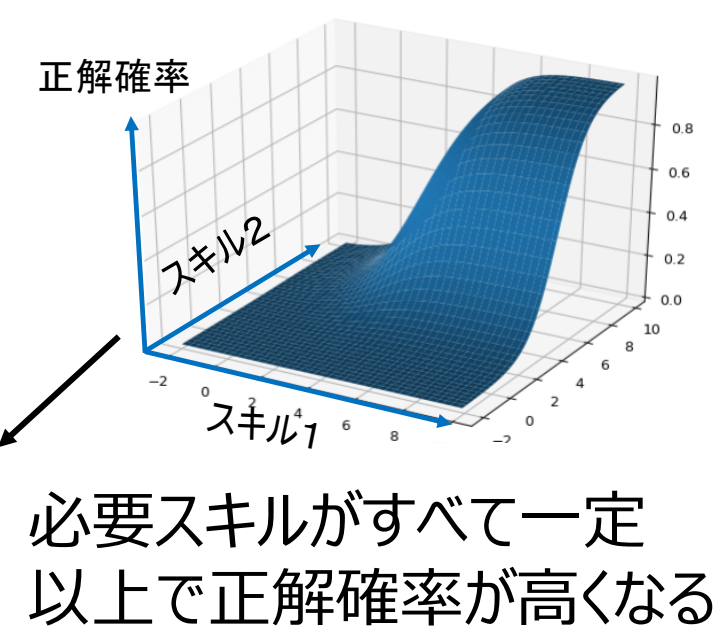
$$\mathbf{z}^{(t+1)} | \mathbf{z}^{(t)} \sim N(D_i \mathbf{z}^{(t)} + \beta_i, \Gamma_i)$$

出力

$$y^{(t)} | \mathbf{z}^{(t)} \sim \text{Bern}(p)$$

$$p = \prod_k \sigma(a_{i,k}(\mathbf{z}_k^{(t)} - b_{i,k}))^{Q_{i,k}}$$

非補償型の項目応答関数



実験結果

【スキル推定精度】

人工データ:

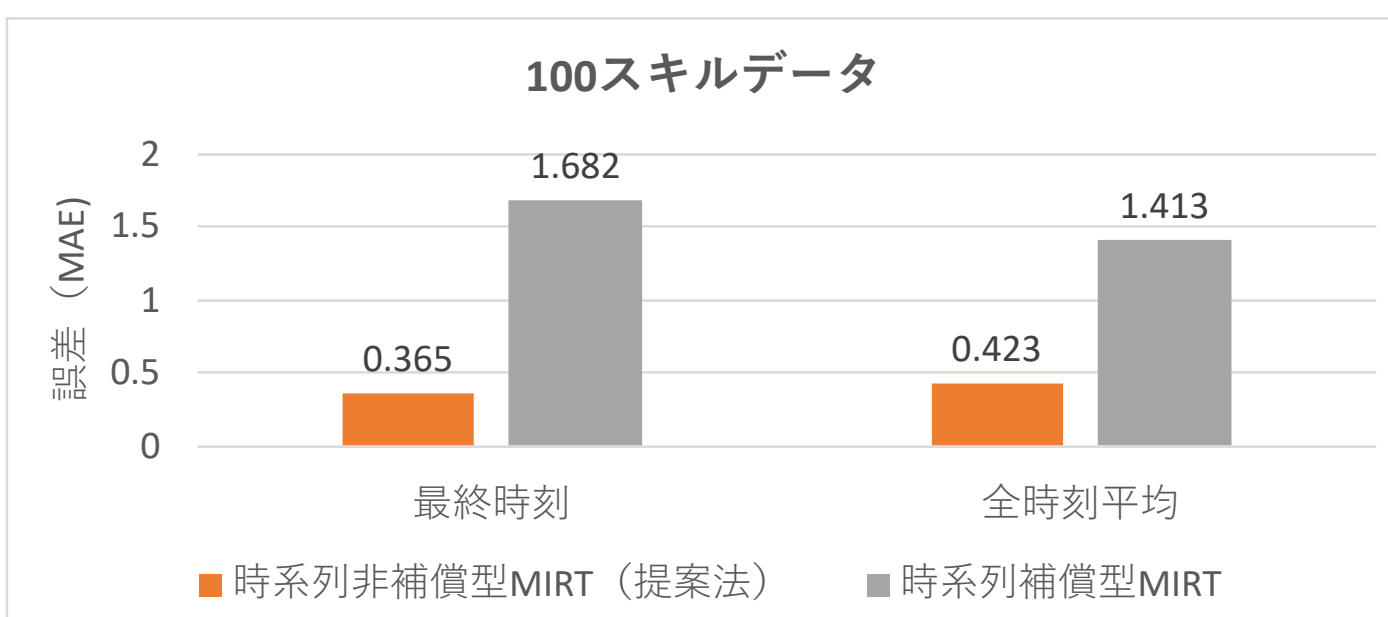
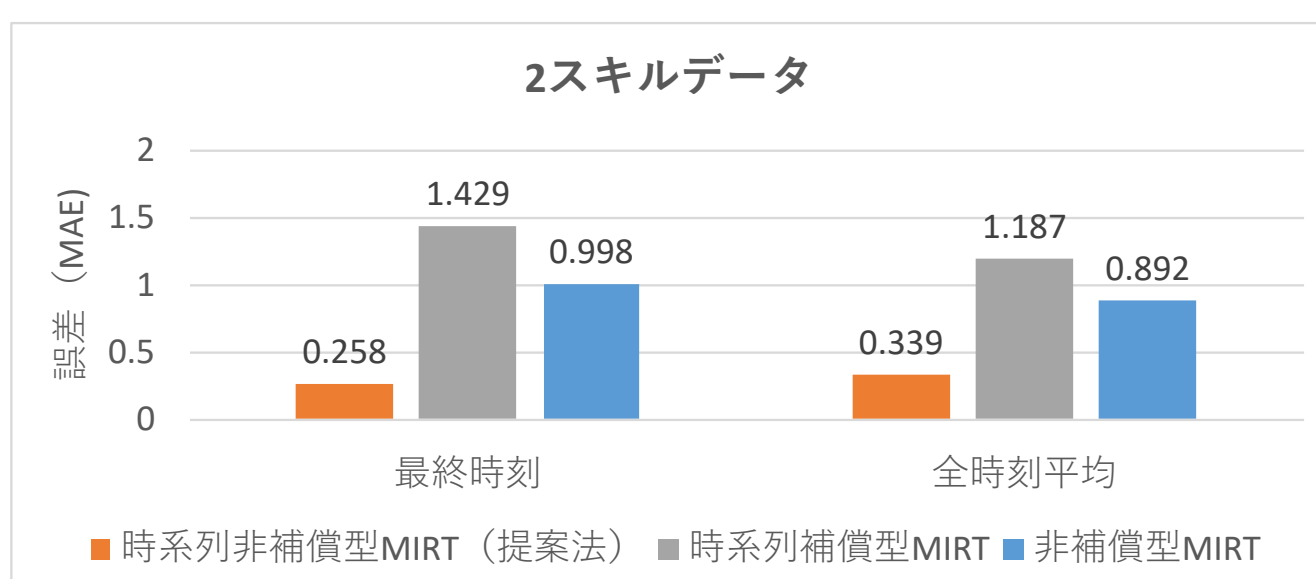
- 2スキル (ユーザ1,000人、問題45問)
- 100スキル (ユーザ3,000人、問題1000問)

推定手法:

- 時系列非補償型MIRT (提案法)
- 時系列補償型MIRT
 - 提案法の出力モデルを補償型に変更
- 非補償型MIRT (2スキルのみ)
 - 項目母数を推定⇒移動窓でスキル推定

結果:

- 提案手法が最も良く真のスキルを推定



【項目応答予測性能】

実データ:

ASSISTments2009-2010データ。
Webベースの学習システムで生徒が数学の問題を解いた時系列ログデータ

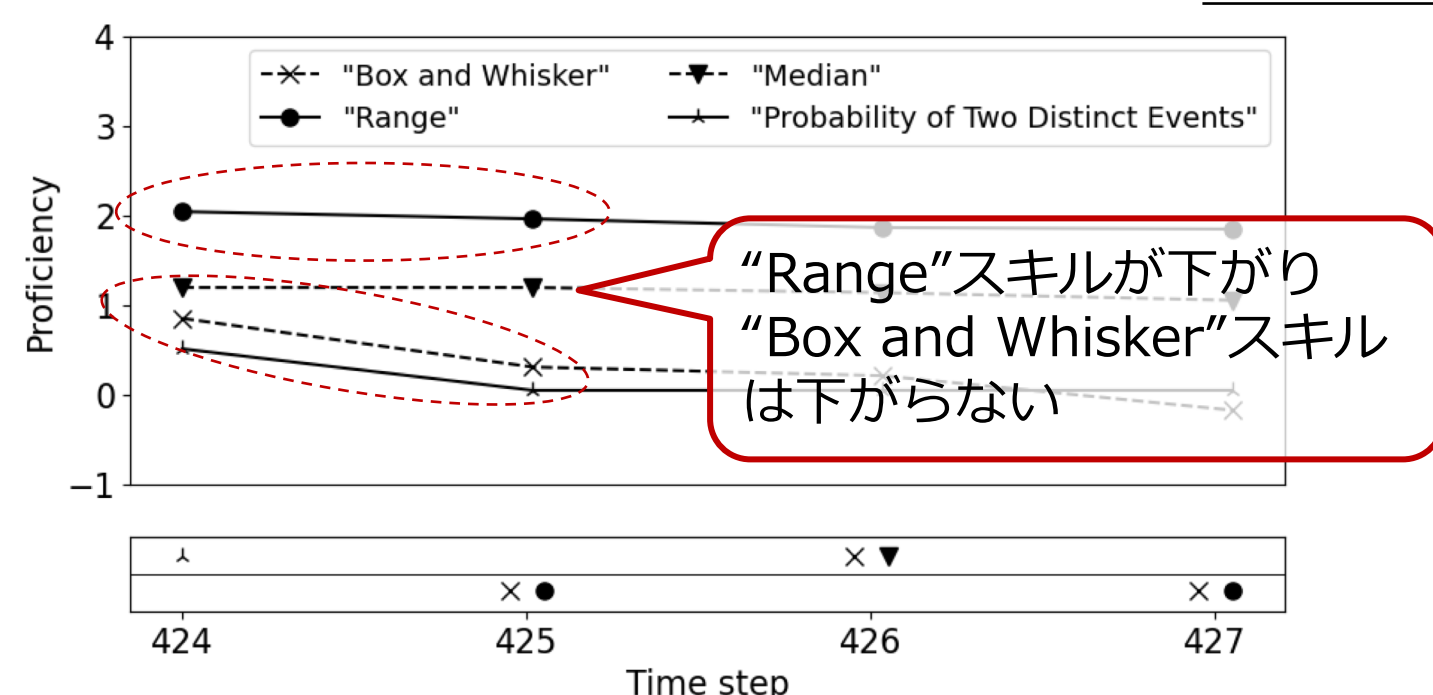
※APR: Average Precision

	提案法	補償型
AUC	0.762	0.760
APR(y=1)	0.842	0.838
APR(y=0)	0.637	0.635

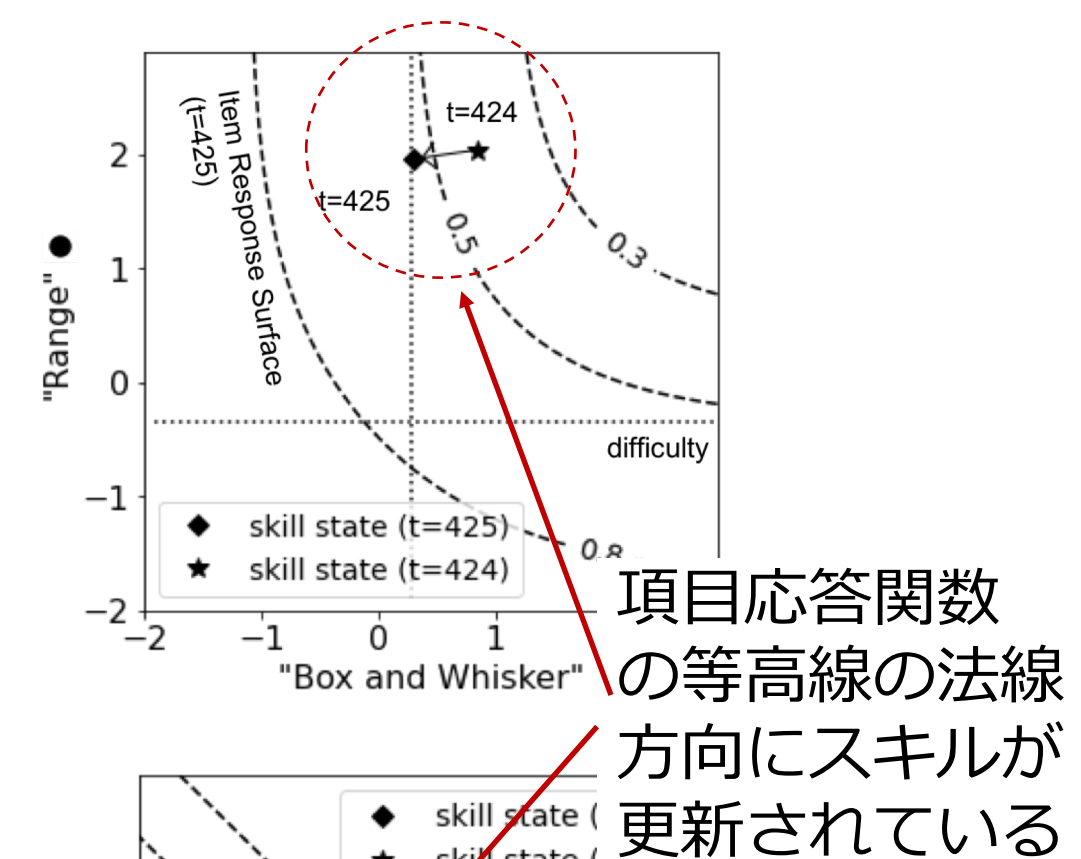
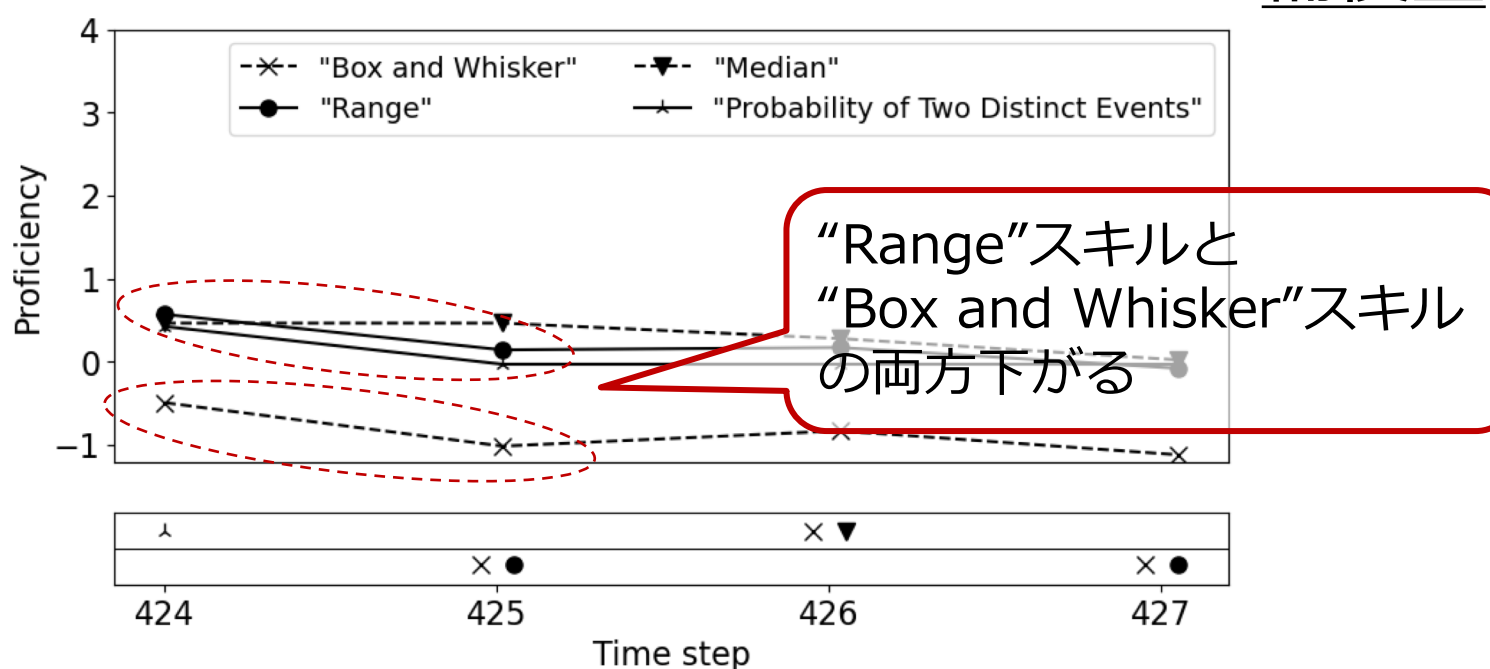
【スキルトレース】

ASSISTmentsデータを用いて、非補償型と補償型でのスキルトレースの違いを観察

非補償型



補償型



非補償型では、**原因と考えられるスキルを選択的に変化させる**のに対し、補償型では関連スキルすべてを変化させる

まとめ

- 非補償型の仮定で生成されているデータをリアルタイム時系列分析するために、線形動的システムと非補償型のMIRTを組み合わせた時系列非補償型MIRTモデルとその推論方法を開発
- 人工データにより、真のスキルを推定できることを確認
- 実データでのスキルトレース実験により、非補償型では原因と考えられるスキルを選択的に変化させる性質があることを発見

[1] Reckase, M. D. (2009). Multidimensional item response theory models. In Multidimensional item response theory (pp. 79-112).

[2] Tamano, H., & Mochihashi, D. (2023). Dynamical Non-compensatory Multidimensional IRT Model Using Variational Approximation. Psychometrika, 1-40.