

チームメンバー

- 客員研究員：高邊 賢史, 小淵 智之, 市川 佑馬, 吉野 元, 三村 和史, 高橋 昂, 唐木田 亮
- 研究パートタイマー：上村 京也, GU Xiaosi, 三嶋 真櫻

チーム概要

統計力学の方法論を基盤に、現代的な機械学習を構成する学習・推論・生成といった過程の本質的理解を目指す。特に、近似推論や高次元確率モデルに資する新たな理論とアルゴリズムを、平衡統計力学および動力的視点から構築することで、機械学習の根幹を支える数理の深化と発展に貢献する。

● 機械学習モデル

- ・ 高次元の状態空間
- ・ 複雑な確率分布構造
- ・ 大自由度の動力学

統計力学との類似性を活用し、高次元の確率分布や学習過程の本質的な構造を捉える

- ・ 有効な近似の導入と性能検証
- ・ マクロな統計的性質の理解
- ・ 高次元ダイナミクスの解析

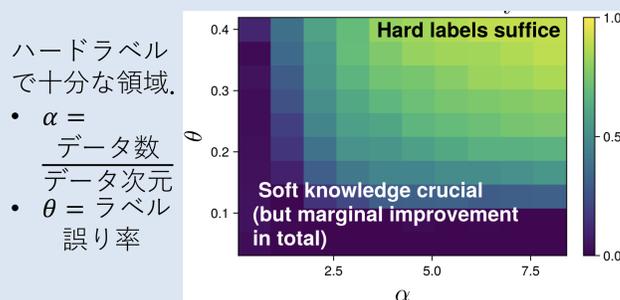
2025年度の研究

自己蒸留におけるノイズ除去効果

高波, 高橋, 坂田 [1]

自身の予測を用いてモデルを再学習させる自己蒸留は性能向上をもたらす
従来の仮説：ソフトラベルが有効

二値分類問題において、多段階自己蒸留の性能改善を理論的に検証した結果、主にノイズ除去効果が性能改善に寄与

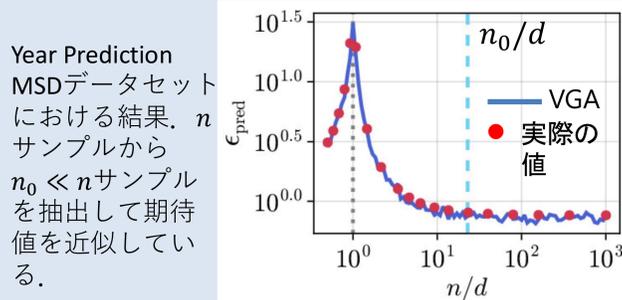


変分ガウス近似によるレプリカ解析の一般化

高橋 [2]

従来の統計力学的手法が扱うデータ生成分布は限られており、現実的な設定下での解析が難しい

「レプリカ法 + 変分ガウス近似」
データ平均を経験的な平均値で置き換える柔軟な解析を実現

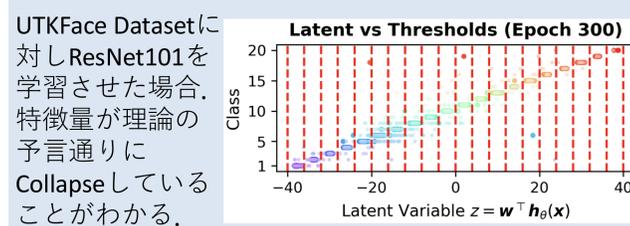


順序回帰における Neural Collapse

馬, 小淵, 田中 [3]

帰納バイアスを理解するうえでの Neural Collapseの重要性 ← 分類タスクを超えてその妥当性を検証したい。

「順序回帰(OR)でのUFM解析」
各データ点特徴量を無制約変数として扱うUFMによる理論解析
← ORにおいてもCollapseが起ることを証明。実験的にも実証。



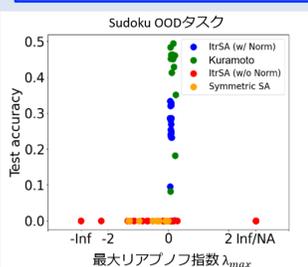
再帰型自己注意機構における推論の動力学解析

富張, 唐木田 [4]

テスト時推論が高い性能を発揮するメカニズムを理解したい。状態ダイナミクスに特有の性質は？

「リアプノフ関数の構成と線形安定性解析」

固定点に収束する系と振動を保つ系を構成し、実験的に比較。



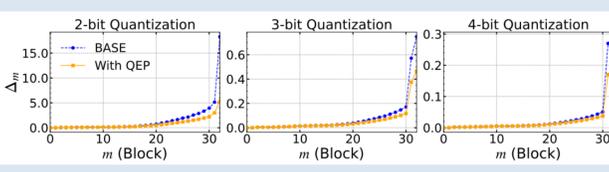
難しいタスクでは、固定点への収束を保証した系よりも、適切な正規化層のもとで振動を保つ系 (Kuramoto layer, ItrSA) が優れた性能を発揮すると判明。

基盤モデルに対する性能保証付き層別量子化手法開発

荒井, 市川 [5]

基盤モデルの多くは、大規模さゆえに層ごとに量子化を施し圧縮されている。しかし、層別量子化では層間の相互作用を十分に捉えられない。

「Quantization Error Propagation」
前の層の量子化誤差を伝搬し、量子化誤差を削減。既存手法よりも量子化誤差が理論的に小さくなることを証明
 $\|f(W) - f(\hat{W}_{QEP})\|_F \leq \|f(W) - f(\hat{W}_{BASE})\|_F$



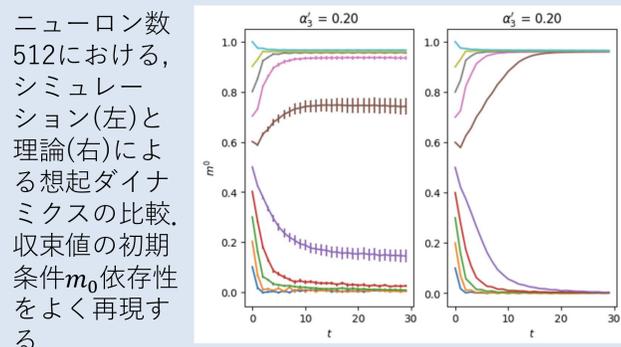
密連想記憶の動的解析

三村, 竹内, 住川, 樺島, Coolen [6]

多数の記憶パターンを安定状態として格納できる密連想記憶模型
動力的性質が十分に解析されていない

「生成汎関数法による動的解析」

収束時間, 引き込み領域を定量化



発表論文

- [1] Takanami, Takahashi and Sakata, NeurIPS 2025
 [2] Takahashi, J Phys Soc Jpn (2025) **Editors' choice**
 [3] Ma, Obuchi and Tanaka, NeurIPS 2025

- [4] Tomihari and Karakida, NeurIPS 2025
 [5] Arai and Ichikawa, NeurIPS 2025
 [6] Mimura, Takeuchi, Sumikawa, Kabashima and Coolen, ICLR 2026

- [7] Takanami, Takahashi and Kabashima, AISTATS 2026
 [8] Hayase, Collins and Karakida, AISTATS 2026
 [9] Kabashima and Mimura, J Stat Mech 2026