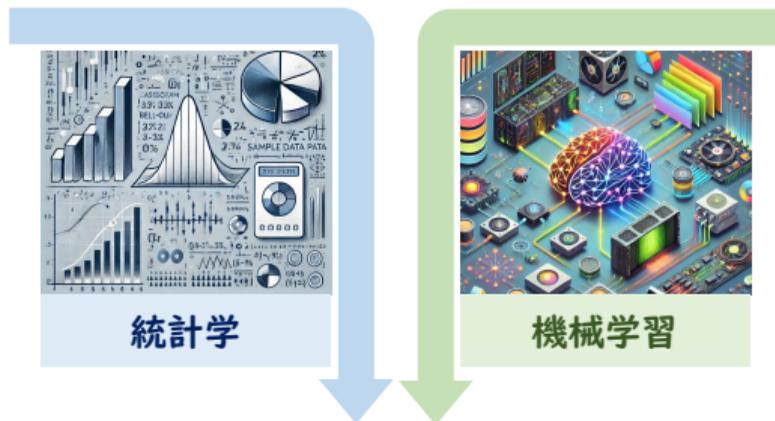


## 手法開発×理論解析×異分野連携

一貫した研究テーマは、「伝統的な統計手法の現代的なアップデート」です。



小サンプルでもきちんと動く & 機械学習の便利ツールに相乗りができる。

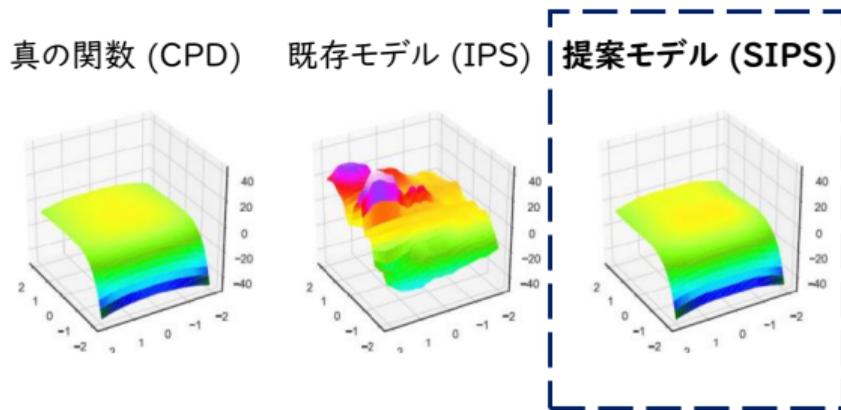
溝を埋め、統計学と機械学習手法研究の良い所を組み合わせます。



# ニューラル相関分析モデルの表現能力

- ▶ 素朴なニューラル相関分析モデル (IPS) が近似できる関数の限界を示した<sup>3</sup>.
- ▶ 表現能力がさらに高いモデル (SIPS) を具体的に構成し, 近似能力を証明した<sup>4</sup>:

$$\inf_{h_{\text{SIPS}}} \sup_{x, x'} |h_{\text{SIPS}}(x, x') - h_*^{(\text{CPD})}(x, x')| \rightarrow 0, \quad (\text{中間素子数} \rightarrow \infty).$$

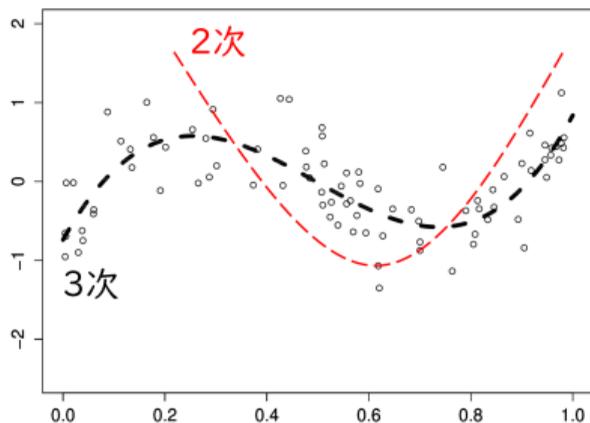


- ▶ 本質的には, 古典統計 (カーネル法) 周辺の知識を使っている.

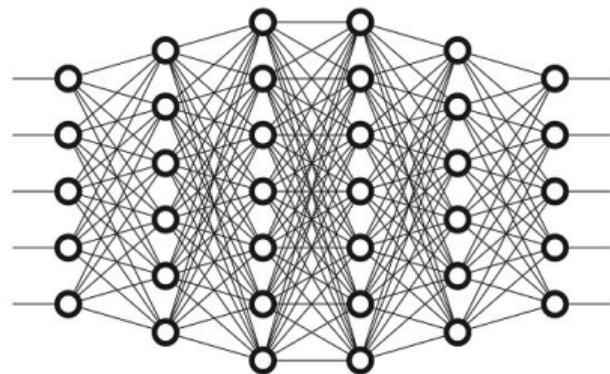
<sup>3</sup>Okuno and Shimodaira (ICML TADGM-workshop 2018)

<sup>4</sup>Okuno et al. (AISTATS2019); Kim, Okuno et al. (IJCAI2019)

## 予測モデルの選択：情報量規準



多項式モデルの選択 (AIC)



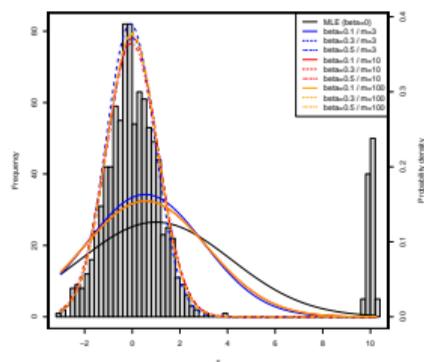
巨大モデル (ニューラルネットなど)

- ▶ 多項式モデル (2次, 3次など) を選択できる赤池情報量規準AIC (Akaike, 1974).
- ▶ 小規模だが特異モデルも選択できるよう拡張: WAIC (Watanabe, 2010).
- ▶ WAICが巨大モデルでも利用できることを証明し, 効率的な計算法を提案<sup>5</sup>.

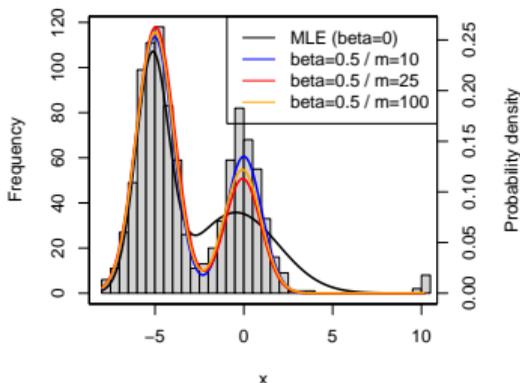
<sup>5</sup>Okuno and Yano (JCGS2023). 日本語での解説: <https://doi.org/10.51094/jxiv.537>

# 外れ値にロバストな推定

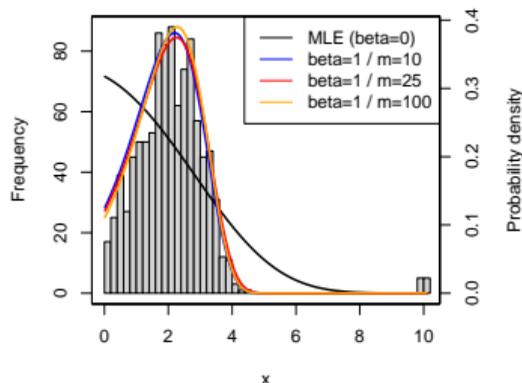
- ▶ 統計学での伝統的なロバスト推定法は、正規分布くらいでしか使えなかった。
- ▶ 任意の分布でロバスト推定する効率的な最適化法を提案し、収束を証明<sup>6</sup>。
- ▶ もちろんニューラルネットを基にした複雑なモデルでも使える。



(これまで) 正規分布



(提案法) 多峰や歪んだ分布など、任意の分布が推定できる。



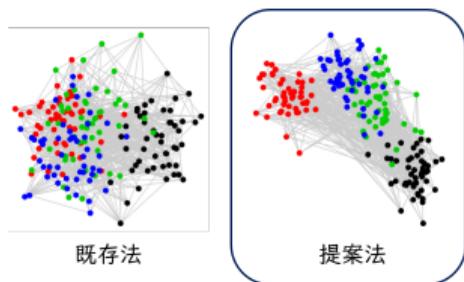
- ▶ 3次元の分布推定では、数値積分と比べて数万倍の高速化<sup>7</sup>。

<sup>6</sup>Okuno (AISM2024), 日本語での解説 : <https://doi.org/10.51094/jxiv.642>

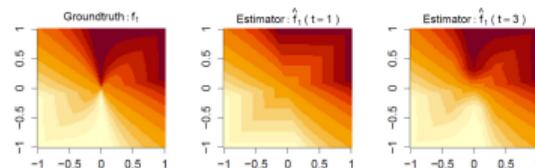
<sup>7</sup>sgdnpdパッケージ : <https://github.com/oknakfm/sgdnpd>

## その他の手法・理論研究

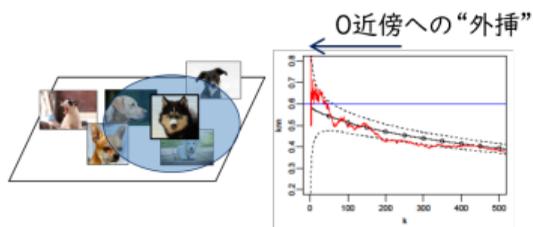
- ▶ ロバストな表現学習・可視化  
(Okuno et al., AISTATS2019')



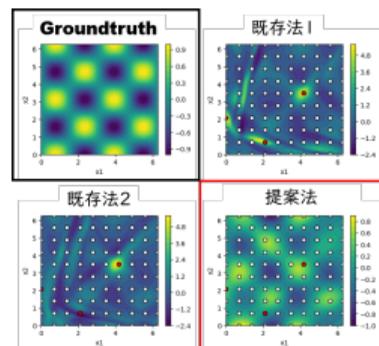
- ▶ 可逆関数推定のミニマックス最適性  
(Okuno and Imaizumi, EJS2024)



- ▶ 0近傍法によるバイアス補正と最適性  
(Okuno and Shimodaira, NeurIPS2020)

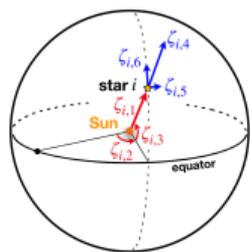


- ▶ ニューラルネットでのロバスト推定  
(Okuno and Yagishita, submitted)



# 科学者との共同研究：天文学

- ▶ どの天体が同じ銀河に起源を持つのか、クラスタリングしたい。
- ▶ これまでは、不確実な48天体を捨てて35天体のみ解析されていた (Roederer, ApJ2018)。



Position (relative to the Sun)

$\zeta_{i,1}$  Parallax =  $1/\text{Distance}$

$\zeta_{i,2}$  Azimuthal angle

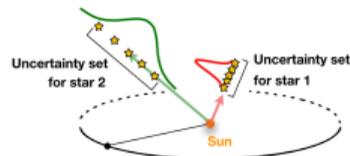
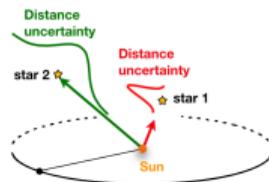
$\zeta_{i,3}$  Polar angle

Velocity (relative to the Sun)

$\zeta_{i,4} = d(1/\zeta_{i,1})/dt$

$\zeta_{i,5} = d\zeta_{i,2}/dt$

$\zeta_{i,6} = d\zeta_{i,3}/dt$

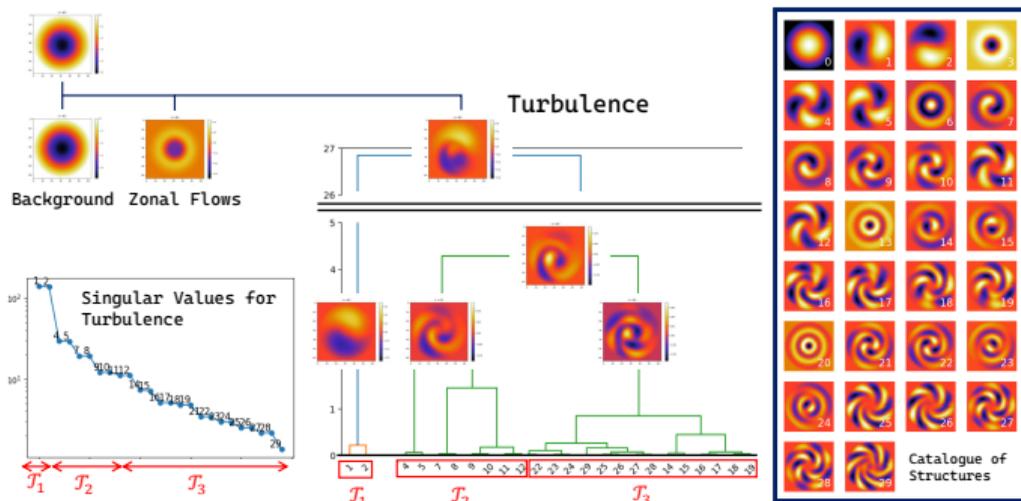


- ▶ 「天体ごとの不確実性」を捨てずに利用できるGOC法を提案。
- ▶ 不確実なものを含めた161天体のクラスタリングに成功<sup>8</sup>。

<sup>8</sup>Hattori, Okuno, and Roederer (Astrophysical Journal, 2023)

# 科学者との共同研究：プラズマ物理

- ▶ プラズマ乱流を，物理学者が理解しやすい粒度に「分解」する<sup>9</sup>.



- ▶ エネルギー密度の位相を考慮した，より複雑な乱流の分解<sup>10</sup>.
- ▶ 核融合研との戦略的研究プロジェクト (<https://statplasma.github.io>)

<sup>9</sup>Okuno, Kodahara, and Sasaki (Plasma and Fusion Research: Rapid Communications, 2024)

<sup>10</sup>Okuno and Sasaki (Physics of Plasmas, 2025)

## さらなる異分野融合研究に向けて

- ▶ 科学×データサイエンスは最近注目を集めています。



2024年11月の機械学習WS (IBIS, 総参加者数1000人超) の全体企画講演に招待されました。

- ▶ 今後も様々な分野との協働ができればと思います。