

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：14603

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25280083

研究課題名(和文) ノンパラメトリックベイズ法のセミパラメトリックモデルへの拡張とその応用

研究課題名(英文) Extension of nonparametric Bayesian methods to semiparametric models and its applications

研究代表者

池田 和司 (Ikeda, Kazushi)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：10262552

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：ノンパラメトリックベイズ法にセミパラメトリックモデルを組み合わせ、種々の実データに応用する研究を行った。その結果、セミパラメトリックモデルにおける推定関数法の最適な推定関数は情報幾何学によって与えられるが、本研究で扱ったデータには適用できないことがわかった。そこでCRPSやそれを拡張した評価方法を開発し、予想時間の長短に依存しないロバストな予測方法を開発し、その有効性をAMeDASデータによる風況予測問題で実証した。また、運転行動データ解析、姿勢・荷重データ、Webデータ、マウス行動データなどに、ノンパラメトリックベイズ法を中心とした機械学習手法を応用し、その有効性を確認した。

研究成果の概要(英文)：We tried to apply the semiparametric model to nonparametric Bayesian methods. However, we found that the estimation function method for the semiparametric model is not applicable to the wind data given by AMeDAS we treated in this study. Hence, we introduced CRPS or its extensions to the data, instead, and successfully predicted the wind speed for ten minutes to several hours horizons. In addition, we applied machine learning methods such as nonparametric Bayesian methods to driving data, motion capture data, web data, and mouse behavior data, and showed their effectiveness for modeling and prediction.

研究分野：機械学習

キーワード：ノンパラメトリックベイズ法 セミパラメトリックモデル 運転行動モデリング ヘビーテイル

### 1. 研究開始当初の背景

近年の機械学習では、パラメータ数がデータから自動的に定まるノンパラメトリックベイズ法が注目を浴びており、自然言語処理などのモデル化や時系列データのモデル化に利用されている。しかし、時系列データの状態遷移が確率モデルで表せない場合には、それらを攪乱パラメータとして扱うセミパラメトリックモデルを利用する必要がある。このモデルは機械学習分野において現在でも研究が進展しており、たとえば神経スパイクの統計的解析にも利用されている。したがって、ノンパラメトリックベイズ法をセミパラメトリックモデルに拡張する必要性が大きくなっている。

### 2. 研究の目的

従来のノンパラメトリックベイズ法で用いられているモデルにセミパラメトリックモデルで現れる攪乱パラメータを導入した上で、最適なパラメータ推定法の開発をめざす。また、ノンパラメトリックベイズ法やセミパラメトリックモデル、その組み合わせを運転行動モデリング、皮質脳波解析などの脳情報処理、システム生物学などの実データに応用する。

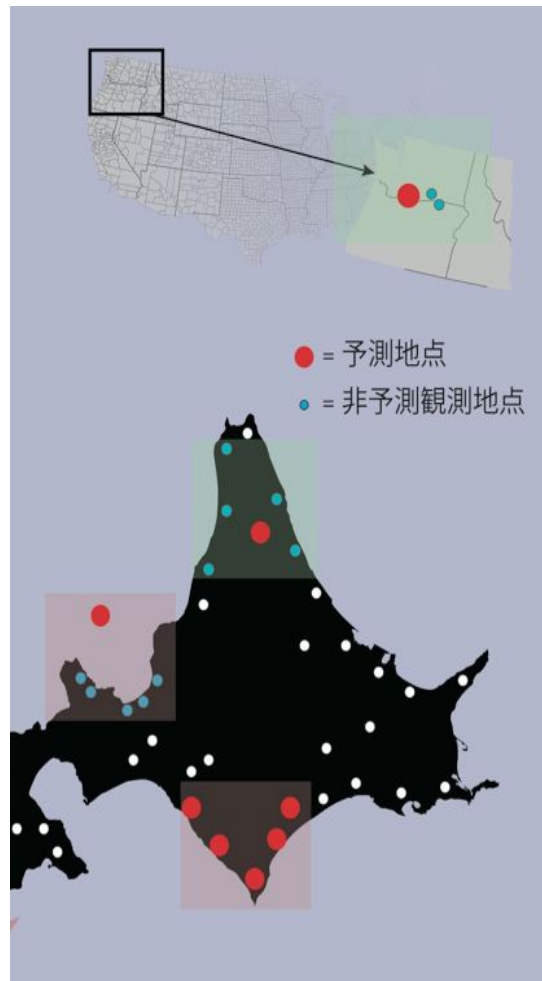
### 3. 研究の方法

(1) セミパラメトリックモデルにおける推定問題は推定関数法によって解かれ、最適な推定関数は情報幾何学によって与えられる。そこで本研究で扱う現象の数理モデルを構築し、情報幾何学を基礎としてパラメータの最適推定法を開発する。また、セミパラメトリックモデルに限らず、統計的学習理論の進展を目指す。

(2) 研究代表者および連携研究者が入手している運転行動データ解析、皮質脳波解析にノンパラメトリックベイズ法やセミパラメトリックモデル、あるいはその組み合わせを応用するとともに、生命学の実データ解析(細胞内酵素と神経突起長の関係抽出、細胞が発揮する力の推定)に応用する。

### 4. 研究成果

(1) ロバストな風況推定問題にセミパラメトリックモデルを応用することを試みた。風況はWeibull分布に従うことから情報幾何学による最適推定関数の導出を試みたが、Weibull分布は従来の方法では最適な推定関数が導けない分布であることがわかった。そこで推定関数法の利用は断念し、最尤推定などよりもロバストであることで知られるcontinuous ranked probability score (CRPS)を最小化する方法を採用した。その結果、提案手法は従来よりも高い精度で風況を推定することができた(雑誌論文1)。



これをさらに発展させ、ロバストな推定を可能にするための条件を導出し、その有効性を確認した。

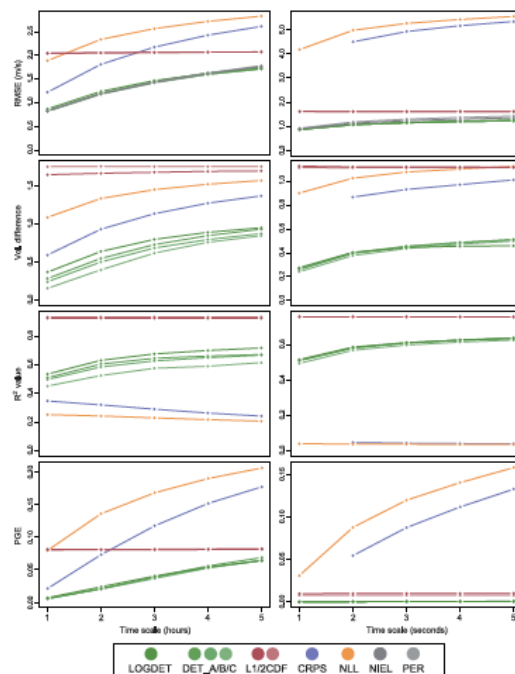


Fig. 2. Overall results for all time scales. Left is 1-5 h (AMeDAS), right is 1-5 s (Heliostat). Various greens are the proposed methods, reds are L1/L2CDF, orange is NLL, blue is CRPS, and greys are PER/NIEL.

これにより、予測時間の長短にかかわらずロバストに風況予測が可能になった(雑誌論文2)。

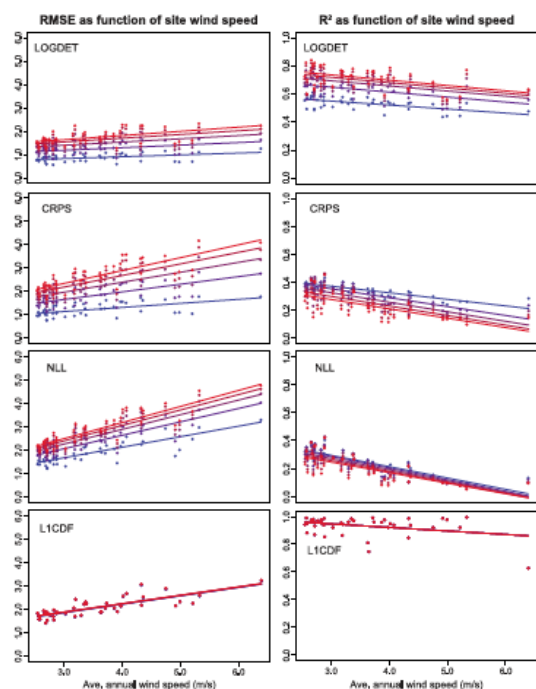


Fig. 3. All horizons, RMSE and  $R^2$  as function of wind speed. Blue-red gradient spans 1-5 hour (left) and second (right) time scales.

(2) 運転行動データ解析, 姿勢・荷重データ, Web データ, マウス行動データなどに, ノンパラメトリックベイズ法を中心とした機械学習手法を応用したところ, その有効性が確認された。たとえば, 運転行動データ解析においては, Beta Process Autoregressive Hidden Markov Model (BP-AR-HMM) を用いたところ, 他手法よりも精度よく運転行動を予測できることが確認された (雑誌投稿中)。

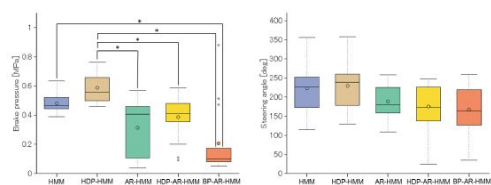
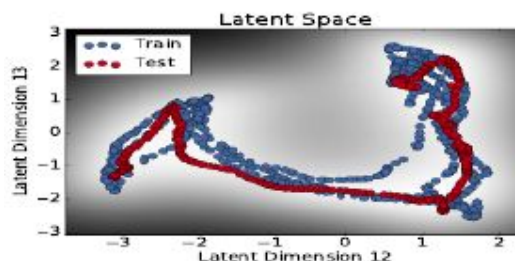


Fig. 10. MAEs of the models for brake pressures (left) and steering angles (right). Wilcoxon rank-sum test, Bonferroni corrected,  $p < 0.05$ .

また, 介護支援ロボティクスデータにおいては, Bayesian Gaussian Process Latent Variable Model (GPLVM) やその発展形により, 制御の制度を高めることができることがわかった (執筆中)。



## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 4 件)

1. M. Holland, K. Ikeda (2016): Minimum divergence estimation based on proper loss function, IEEE Trans. on Signal Processing, 64, 704-713. 査読あり

DOI: 10.1109/TSP.2015.2489608

2. T. Tamei, Y. Orito, T. Shibata, K. Ikeda (2015): Kinect-based posturography for in-home rehabilitation of balance disorders, APSIPA Trans. on Signal and Information Processing, 4, e17. 査読あり

DOI: 10.1017/ATSIP.2015.17

3. T. Konishi, T. Kubo, K. Watanabe, K. Ikeda (2015): Variational Bayesian inference algorithms for infinite relational model of network data, IEEE Trans. Neural Networks and Learning Systems, 26, 2176-2181. 査読あり

DOI: 10.1109/TNNLS.2014.2362012

4. M. Holland, K. Ikeda (2015): A probabilistic forecasting approach to wind turbine control, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, 8, 61-66. 査読あり

DOI: 10.9746/jcmsi.8.61

[学会発表](計 16 件)

1. T. Konishi, et al.: Extracting search query patterns via the pairwise coupled topic model, ACM WSDM, 2016.2.22, San Francisco (USA)

2. T. Tamei, et al.: In-home measurement system of user's motion and center of pressure, APSIPA-ASC2015, 2015.12.16, Hong Kong (China)

3. 古庄, 他: ディープニューラルネットワークの入力符号化能力の情報理論的評価, SSI2015, 2015.11.18, 函館アリーナ (北海道函館市)

4. 張, 他: ガウス過程識別器に基づく視線行動からの運転熟練者と非熟練者の識別, SSI2015, 函館アリーナ (北海道函館市)

5. L. Bryan, et al.: Kinematic and dynamic analysis of sit-to-stand transfer using hand-to-hand assistance by therapists of

different skill levels, SSI2015, 函館アリーナ (北海道函館市)

6. Y. Furusho, et al.: Information theoretical analysis of deep learning representations, ICONIP2016, 2015.11.9, Istanbul (Turkey)

7. M. Holland, K. Ikeda: Very short term predictive wind turbine control, SSI2014, 2014.11.21, 岡山大学(岡山県岡山市)

8. R. Hamada, et al.: Birdsong analysis using beta process hidden Markov model, MLSP2014, 2014.9.21, Reims (France)

9. M. Holland, K. Ikeda: Forecasting in wind energy applications with site-adaptive Weibull estimation, ICASSP2014, 2014.5.4, Florence (Italy)

10. M. Holland, et al.: 短期風速予測の確率モデル化および電力市場における風況予測に基づく意思決定, SIP シンポジウム 2013, 2013.11.19, 海峡メッセ下関 (山口県下関市)

11. 濱田, 他: 運転行動予測のための時系列確率モデル化手法比較, SIP シンポジウム 2013, 2013.11.19, 海峡メッセ下関 (山口県下関市)

12. M. Holland, K. Ikeda: A probabilistic forecasting approach to wind turbine control, SSI2013, 2013.11.18, ピアザ淡海 (滋賀県大津市)

13. 濱田, 他: 運転行動予測に向けた運転操作時系列データへのノンパラメトリックベイズ法の適用, SSI2013, 2013.11.18, ピアザ淡海 (滋賀県大津市)

14. 池田, 他: 多目的最適化におけるパレート集合再構成法の誤り確率解析, SSI2013, 2013.11.18, ピアザ淡海 (滋賀県大津市)

15. R. Hamada, et al.: A comparative study of time series modeling for driving behavior towards prediction, APSIPA-ASC2013, 2013.10.29, Kaohsiung (Taiwan)

16. R. Hamada, et al.: Applying Bayesian nonparametrics to non-homogeneous driving operation data towards prediction, EUSIPCO2013, 2013.9.9, Marrakech (Morocco)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

池田和司 (IKEDA, Kazushi)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・教授

研究者番号: 10262552

(2) 研究分担者

作村諭一 (SAKUMURA, Yuichi)

愛知県立大学・情報科学部・准教授

研究者番号: 50324968

(3) 連携研究者

久保孝富 (KUBO, Takatomi)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・特任准教授

研究者番号: 20631550

渡辺一帆 (WATANABE, Kazuho)

豊橋技術科学大学・工学研究科・講師

研究者番号: 10506744