

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：62603

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700152

研究課題名(和文) 確率過程に基づく統計的自然言語処理とその展開

研究課題名(英文) Advances in statistical natural language processing using stochastic processes

## 研究代表者

持橋 大地 (Mochihashi, Daichi)

統計数理研究所・大学共同利用機関等の部局等・准教授

研究者番号：80418508

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000円

研究成果の概要(和文)：確率過程に基づく統計的自然言語処理の展開について、音声認識における教師なし学習は本課題採択後にGlassら(ACL 2012)によって先行されたものの、音楽情報処理および音響処理においては新しいモデルを提案することができた。具体的には、音楽情報処理においては周波数の周期性に対するガウス過程を利用した非負行列分解を、および音響モデルにおいては自然音の重なりを重複クラスタリングするためのIBPに基づく手法を提案した。一方、統計的自然言語処理自体の研究としても、言語モデルのノンパラメトリックなトピック適応法を開発し、教師なし形態素解析においても隠れた品詞を同時に学習する方法を提案した。

研究成果の概要(英文)：While unsupervised speech recognition was superseded by Glass et al. (ACL 2012) as a statistical natural language processing research leveraging stochastic processes, we could show new models in music information processing and signal processing in this area. Specifically, we proposed a novel non-negative matrix factorization for music information processing utilizing periodic frequencies with Gaussian processes, and an unsupervised multi-labeling infinite HMM using Markov Indian buffet processes. In a statistical natural processing area, we could propose a novel language nonparametric Bayesian n-gram language models adapting to topical contexts, and an unsupervised morphological analysis with latent word classes.

研究分野：統計的自然言語処理

キーワード：統計的自然言語処理 ノンパラメトリックベイズ 統計的機械学習 ベイズ統計学

## 1. 研究開始当初の背景

統計的自然言語処理の分野において、確率過程を用いる研究はほとんどなく、適用が遅れていた。また、自然言語処理は記号処理の側面が強く、本来連続であるような意味処理、音響モデルやモダリティといった部分との統計的な連繋に対する十分なモデルは存在していなかった。

言語処理研究はこれまでのように言語の中で閉じるべきではなく、マルチモーダルセンサの発達やロボティクスの隆盛を背景に、他モダリティとの結合モデルが中長期的に不可欠であるとの認識の下に、本課題における研究を開始した。

## 2. 研究の目的

統計的自然言語処理の分野において、確率過程を用いる研究はほとんどなく、統計学における蓄積を背景に、確率過程の統計的自然言語処理および関連分野の研究への適用と発展を計ることが、本研究課題の目的であった。特に、(A)音声・音楽・音響分野との融合、および(B)会話等のモダリティ自然言語処理が大きな二つの柱である。

また、このために必要となるベイズ統計的機械学習において計算量を削減するための新たな仕組みを模索することも目的の一つであった。

## 3. 研究の方法

確率過程として、具体的にはこれまで研究を行ってきたディリクレ過程、Pitman-Yor 過程にはじまる離散確率分布を生成する確率過程の他に、ポアソン過程、ガンマ過程、そしてガウス過程などがそれぞれ重要であり、調査の上で言語処理および関連分野への適用を探った。

- (1) 当初の予定では、特に音声認識において、単語や音素への分割をはじめとする大量の中間教師データが必要とされていることから、最終的な書き起こしのみを必要とし、単語や音素を統計的に自動的に学習する教師なし音声認識を実現することを構想していた。
- (2) また、会話のタイミングなどの言語の時間的な要素に対して、非斉次なポアソン過程を適用することも構想していた。
- (3) 音声や音響モデルにおいては、その連続性からガウス過程が非常に有用なはずである。言語処理への適用も含めて、ガウス過程の可能性を探った。
- (4) データが大量になるにつれ、それらを必ずしも全て同等に用いて計算をする必要はなくなる。学習データを重要度に応じて確率的に重みづけ、確率的に一部のセットのみを使用することで学習を効率化する MCMC 法について構想した。

## 4. 研究成果

I. 教師なし音声認識においては、本課題採択後に Glass ら (ACL 2012) において先行されてしまったため、及び共同研究者が日本を離れたために、調査を打ち切った。ただし、彼らの手法はまだかなりナイーブな点を残しており、大きなインパクトとはならないが、研究の余地はあると考えている。

II. 音声および音響モデルにおける確率過程の適用については、多くの成果が生まれた。特に、音楽において基本周波数のもつ周期性を周期カーネルを用いたガウス過程でとらえた非負行列分解を提案し、ICML 2013 や ISMIR 2013 に採択された。

また、音声認識において共同研究を予定していた NTT CS 研の別の共同研究者と、歌声のモデル化について研究を進め、ガウス過程回帰の混合モデルを MKL の枠組みで行う方法を提案し、ICASSP 2014 に採択された。他にも、自然音に存在する複数の音イベントの重なりを、人手を介することなく教師なしで学習するための Markov Indian buffet process に基づく統計モデルを提案し、ICASSP 2013 に採択された。

III. 統計的自然言語処理の分野では、n グラム言語モデルをトピック適応させるための、階層 Pitman-Yor 過程に基づく新たな方法を提案した (EMNLP 2013)。また、教師なし形態素解析において隠れた品詞の推定も同時に行う方法を、デンソーIT ラボラトリーとの共同研究を通じて行った (NL 220、優秀発表賞)。ガウス過程をトピックモデルにおいて適用する研究を行い (NL 213)、潜在層が二値の従来手法と比べ、学習が圧倒的に容易であることを示したが、最高性能とはならなかったため、英語論文化には至っていない。

IV. 会話のモデル化の研究は本研究課題の中では手が付けられなかったが、ポアソン過程について調査したことで、国立国語研究所との共同研究が今後進められる端緒が得られた。モダリティ言語処理に関しては、本研究課題によるガウス過程の調査を通じてロボティクス分野との共同研究が始まり、ロボットの動作に応じて文を生成するための基礎研究など、研究が端緒に付き、進行中となったことも本課題の大きな成果と言える。

V. ベイズ学習における計算効率の改善については、ガウス過程と連続時間 Markov 過程を用いた方法、および Polya 木を用いた方法を HMM の計算量削減に検討したが、計算オーダーの線形な削減以外の大きなメリットが見えにくいこと、および十分に洗練された統計的議論には現在至っていないため、今後も研究を続けたいと考えている。

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)

[学会発表] (計 15 件)

1. 「隠れセミマルコフモデルに基づく品詞と単語の同時ベイズ学習」. 内海慶, 塚原裕史, 持橋大地. 情報処理学会研究報告 2015-NL-220(3), pp.1-8, 2015.
2. "Mixture of Gaussian process experts for predicting sung melodic contour with expressive dynamic fluctuations", Yasunori Ohishi, Daichi Mochihashi, Hirokazu Kameoka, Kunio Kashino. ICASSP 2014, pp.3714-3718, 2014.
3. 「ガウス過程に基づく連続空間トピックモデル」. 持橋大地, 吉井和佳, 後藤真孝. 情報処理学会研究報告 2013-NL-213(11),1-8, 2013.
4. "Improvements to the Bayesian Topic N-gram Models". Hiroshi Noji, Daichi Mochihashi, Yusuke Miyao. EMNLP 2013, pp.1180-1190, 2013.
5. "Beyond NMF: Time-Domain Audio Source Separation without Phase Reconstruction". Kazuyoshi Yoshii, Ryota Tomioka, Daichi Mochihashi, Masataka Goto. ISMIR 2013, pp.369-374, 2013. *Best Oral Presentation Award*.
6. "Infinite Positive Semidefinite Tensor Factorization for Source Separation of Mixture Signals". Kazuyoshi Yoshii, Ryota Tomioka, Daichi Mochihashi, Masataka Goto. ICML 2013, pp. 576-584, 2013.
7. "Bayesian Semi-supervised Audio Event Transcription based on Markov Indian buffet Process", Yasunori Ohishi, Daichi Mochihashi, Tomoko Matsui, Masahiro Nakano, Hirokazu Kameoka, Tomonori Izumitani, Kunio Kashino. ICASSP 2013, pp.3163-3167, 2013.
8. 「無限混合モデルを入れ子にした mIBP に基づく音響イベント検出」. 大石康智, 持橋大地, 松井知子, 中野允裕, 亀岡弘和, 泉谷知範, 柏野邦夫. 日本音響学会 2012 年秋季研究発表会, 1-P-22, pp. 775-778, 2012.
9. 「潜在トピックを考慮した Bayes n-gram 言語モデル」. 能地宏, 持橋大地, 石塚満. 情報処理学会研究報告 2012-NL-208, 2012.
10. Muhammad Attamimi, 中村友昭, 長井隆行, 持橋大地, 小林一郎, 麻生英樹. 「獲得した概念階層と語彙に基づく文生成」. 第 32 回日本ロボット学会学術講演会、九州産業大学、9 月 4-5 日, 2014.
11. 安東裕司, アッタミミ・ムハンマド, 中村友昭, 長井隆行, 持橋大地, 小林一郎, 麻生英樹. 「日常生活言語化のためのデータ取得システム」. 計測自動制御学会, 12 月, 2014.
12. 樺山絵里, 麻生英樹, 小林一郎, 持橋大地, Muhammad Attamimi, 中村友昭, 長井隆行. 「Zero-shot 学習した言語モデルによるテキスト生成結果の評価」. 第 21 回言語処理学会年次大会, 京都大学, 3 月, 2015.
13. 熊谷香織, 持橋大地, 小林一郎, 麻生英樹, Muhammad Attamimi, 中村友昭, 長井隆行. 「モンテカルロ木探索を用いた確率文脈自由文法に基づくテキスト生成」. 第 21 回言語処理学会年次大会, 京都大学, 3 月, 2015.
14. 恒川英里, 小林一郎, 麻生英樹, 長井隆行, 中村友昭, 持橋大地. 「画像認識に基づくロボットの行動を制御する強化学習の取組み」. 第 77 回情報処理学会全国大会, 京都大学, 3 月, 2015.
15. 濱園侑美, 小林一郎, 麻生英樹, 長井隆行, 中村友昭, 持橋大地. 「ロボットの調理動作学習へ向けた取組み」. 第 77 回情報処理学会全国大会, 京都大学, 3 月, 2015.

[図書・学会誌] (計 5 件)

1. 「自然言語処理と統計的グラウンディング・推論」. 持橋大地. 日本ロボット学会誌 Vol.33, No.2, 特集“データサイエンス研究のロボティクス応用にむけて”. Pp.77-81, 2015.
2. 「統計的自然言語処理と機械学習」. 持橋大地. 映像情報メディア学会誌 Vol. 69, No. 2, 特集 “メディア処理のための機械学習”, pp.131-135, 2015.
3. 『統計的学習の基礎—データマイニング・推論・予測—』 (“Elements of Statistical Learning”). Trevor Hastie, Robert Tibshirani, Jerome Friedman 著, 杉山将, 井手剛, 神尾敏弘, 栗田多喜夫, 前田英作監訳. 共立出版, 2014. 9 章「加法的モデル、木、および関連手法」の翻訳を担当.
4. 『応用数理ハンドブック』日本応用数理学会監修、薩摩順吉, 大石進一, 杉原正顕編, 朝倉書店, pp. 584-585, 2013. 「ベイズ推定」の項目を担当.

5. 「統計的自然言語処理と機械学習・統計学の未来」. 持橋大地. 人工知能学会誌 27 巻 3 号, 特集「ポスト経験主義の言語処理」, pp. 284-287, 2012.

[その他]

本研究課題を通じて得られたガウス過程に関する知見を基に、統計数理研究所 H26 年度公開講座「ガウス過程の基礎と応用」を開催した。講座のスライド資料を <http://www.ism.ac.jp/~daichi/lectures/H26-GaussianProcess/> において公開している。

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

持橋大地 (Daichi Mochihashi)  
統計数理研究所 数理・推論研究系 准教授  
研究者番号：80418508

### (2) 主な研究協力者

大石康智 (Yasunori Ohishi)  
NTT コミュニケーション科学基礎研究所  
吉井和佳 (Kazuyoshi Yoshii)  
産業技術総合研究所／京都大学  
内海慶 (Kei Uchiumi)  
塚原裕史 (Hiroshi Tsukahara)  
デンソーIT ラボラトリ  
能地宏 (Hiroshi Noji)  
NII／総合研究大学院大情報学専攻