

平成22年 6月 8日現在

研究種目：若手研究 (B)  
研究期間：2008 ～ 2009  
課題番号：20700181  
研究課題名 (和文) 階層ベイズ法による人間行動のモデリング  
研究課題名 (英文) Human behavior modeling with hierarchical Bayesian models  
研究代表者  
下坂 正倫 (SHIMOSAKA MASAMICHI)  
東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教  
研究者番号：40431796

研究成果の概要 (和文) : 本研究では多様な人間行動に含まれる潜在因子に着目した統計モデリング法に取り組んだ。本研究で構築した枠組みは、個別の行動データを別個にモデル化する従来のものとは異なり、複数人の行動データを俯瞰し、それらの関係性に着目して扱うものである。本研究ではディリクレ過程を利用しこの考えに沿った定式化を行い、実センサデータへの適用により枠組みの有効性を確認した。さらに、時々刻々と増加するセンサデータへの適用を踏まえた高速化アルゴリズムへ展開した。

研究成果の概要 (英文) : In this research, a statistical approach of human behavior modeling is proposed and verified. In this study, issues on automatic extraction of latent factors from human behavior data are focused. In contrast to the conventional human behavior modeling where behavior models are estimated independently from each individual, the proposed model, which is formulated with Dirichlet process priors, automatically couples similar human behavior and provides robust estimation from the coupled behavior data. Empirical evaluation using human behavior sensor data shows that our model improves better estimation accuracy.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：統計的情報処理, 機械学習, 行動モデリング

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 人間行動のモデル化の重要性

人間の行動を観察し、知識化し行動の予測につなげること、すなわち、人間行動のモデル化は、人間科学的興味だけでなく、近年の安心・安全を求める社会的要請と、ユービキタスなセンシング技術と情報処理技術の普及により極めて重要なものとなっている。

### (2) 既存の統計的モデリング手法の問題点

行動モデルの実現には、多数の人の平均的な振る舞いの抽出だけでなく、個々の状況に応じモデルを推定する、データドリブンなアプローチが必要とされ、国内外の研究で有効性が明らかになりつつある。産総研 西田・本村によるグラフィカルモデルによる方法はモデルの汎用性と解釈の容易さから有力なアプローチであり、研究代表者も統計的グラフィカルモデルの重要性を早くから認識し生活行動アノテーションを開発していた。しかしながら、我々の開発した手法のみならず従来の統計的行動モデリングは、個別の状況には高い精度を示すものの、モデリング対象の人・環境の変化に対し脆弱である。変化の適応にも多大なコストが必要となることがわかってきた。

### (3) 柔軟な行動モデリングのための考え方

これらの問題は全て、個別の状況に特化した統計推論を行うことに起因する(図1左)。多様な状況に柔軟に対応する行動モデリングには、個別の問題に別個に適合させる枠組みでは不十分であり、事前に取得したモデルを最大限に再利用することが求められる。そのためには、様々な状況を俯瞰することで各々の問題に潜む共通の因子を発見し、それらを再利用することが解決の鍵と考えられる(図1右)。

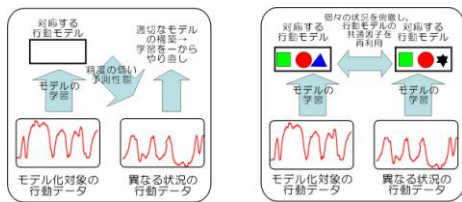


図1：従来の行動モデリング(左)と多様な状況に対応する行動モデリングの考え方(右)

## 2. 研究の目的

大量の行動データに潜む因子を自律的に発見し、発見した因子に基づき人間行動を表現する、新たな行動モデリング法を構築しその有効性を明らかにする。因子パターンから行動のプロファイルを実現する手法に展開する。以下の二項目の実施により、多様な状況に対応する行動モデリングに必要な技術課題を解決する。1つは大量データから人間行動をプロファイル化する階層ベイズモデルの構築であり、2つ目は生活行動データに対するプロファイル化階層ベイズモデルの検証である。

前者では、人間の行動データとその背景にある隠れた因子群を階層ベイズ的な観点で統一的にモデル化し適用可能性を示す。モデルを大量の行動データに適用する際の計算論的な技術課題を明らかにする。後者は、構築した手法を実データにより検証を行うものである。そのために必要な、生活行動データ蓄積・管理システムを拡充し検証する。

## 3. 研究の方法

### (1) 人間行動をプロファイル化する階層ベイズモデルのプロトタイプの実現

研究の前半では、多様な状況での人間行動データを、個別ではなく同時に扱うグラフィカルモデルを構築する。多様な状況に対しても動的に対応可能なベイズアプローチとして、ディリクレ過程に着目し定式化に着手する。これにより因子数を事前に設定することなくモデル化が可能と期待される。本研究では適用事例として、人の生活活動データを扱う。まずデータの活動量の時間帯に着目し、状況に応じたクラスター数が動的に変化するセンサパターンのクラスターリングアルゴリズムとして実現する。その関係性からプロファイルを行うアルゴリズムへ展開する。

### (2) 行動モデリング計算法の効率化・安定化・並列化

前述のプロトタイプ計算法はモデルの定式化の妥当性検証を目的とするため、計算処理の実装上の注意が必要である。研究期間の後半では、大量データからの行動モデリングを考慮し、計算の実質に不要な特性を明確にし、効率化と安定化を図る。階層ベイズ法では一般的にモン

テカルロ法によるシミュレーションが用いられるが、計算精度が高いものの代償として効率が悪い。それを補填する効率的な近似計算法を開発する。

### (3) 行動モデリングの実証プラットフォームの構築

開発する行動モデリング手法の検証のため、提案者により既に開発されている行動計測装置を発展し、実証プラットフォームとして構築する。既にある装置（圧力センサ、多眼カメラ）は、リファレンスデータとしてアノテーション作業に用いることとし、主に焦電センサを用い人間の活動量を計測する環境を構築する。設置場所の汎用性を高めるため、提案者により既に開発中の簡易なワイヤレス通信技術（ZigBee, Bluetooth）により統合するシステムをモジュールと共に開発する。取得した計測データへのアクセスを容易にするデータベースシステムを構築する。

## 4. 研究成果

### (1) 活動量センサの長期記録からのディリクレ拡張時変ポワソン過程に基づく生活パターンマイニング

どのような時間帯にどの程度の活動が観測されるかというマクロな観点で生活様式を把握するための行動モデリング法を構築した。特に、曜日等の社会的要因によって活動量や活動的な時間帯が変化することに着目している。長期間の活動量データから典型的な生活パターンを自動抽出するアルゴリズムである。ここでいう典型的な生活パターンとは「通院日」、「安息日」というように、ある種の定型的なイベントにより特徴付けられる生活のパターンを意味する。典型的なパターン数が人により異なるため、本研究では、必要十分な活動パターンの抽出を可能にする必要があるが、大規模データへの適用を念頭に、Dirichlet-ガンマ分布を事前分布とするヒストグラムデータに対する Poisson 過程を一日の活動パターンモデルとして採用し、Dirichlet 過程事前分布と統合することで、人の活動パターンの自動抽出を実現するものとなっている（図 2）。このモデル自体は個人における複数の生活因子を抽出することに相当するが、このモデルの階層化により複数人に共通する潜在パターン抽出が可能である。なお、行動モデリング手法のプロトタイプをベースに、人間行動のレスポンスを記述する回帰型の計算手法を構築した。これにより、生活パターンの推定だけで

なく適用可能な対象が行動予測などへ展開できることを確認した。

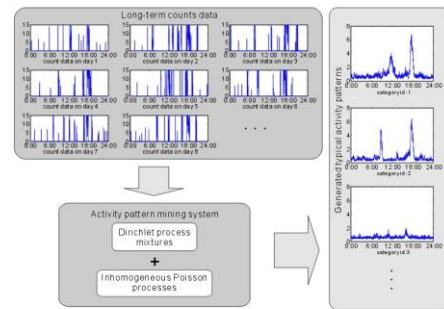


図 2: ディリクレ拡張時変ポワソン過程に基づく生活パターンマイニング法の概略図

構築した計算法と関連するものとして、一日の終わりと翌日の始まりが本質的に同一時間帯であることに着目し、繰り返し表現を前提とした von-Mises 分布を用いた手法やベータ混合分布を用いた方法、さらには対数 Gauss-Cox 過程は活動量モデリングとして古くから提案されているが、パラメータの推定の効率の悪さから、大規模なデータに適用することは困難であった。大規模なデータへの適用を可能とし、さらに、行動の潜在因子を自律的に抽出可能という点において構築したアルゴリズムのもつ価値は高く、パターン認識の国際会議（ICPR2010）において発表されることも決定している。

提案したアルゴリズムは安定して動作するアルゴリズムであるが、直感的に決定しづらいハイパラメータによりその性能が依存することもわかってきた。このことから今後の展望として、モデルのハイパラメータ最適化の自動化や関連して、学習における大域的最適性保証への取り組みが挙げられる。

### (2) 階層ベイズに基づく行動モデリングにおける学習の効率化

#### ① オンライン行動モデル学習の実現

事前に獲得した行動モデルを資産化し、新規の対象者へ高速にそして頑健にモデル化するために、効率的なオンライン学習を構築した。一般に、行動データが蓄積されるにしたがって、モデリングの計算コストが増大してしまうという問題が生じる。階層ベイズ法の枠組みに従い、予め学習し獲得したパラメータの事後分布を新規対象者に対する学習時には事前分布として利用する簡略化したアルゴリズムを構築した。具体的には、学習データ全てを保存するのではなく、

行動を表現する統計モデルにおける十分統計量のみに基づき、カテゴリ推定とパラメータ更新する手法を開発した。

②データ量子化に基づく学習の高速化

大量データからのモデリングを考慮し、計算の実質に不要な特性として、事前にデータを量子化しておくことで、カテゴリ割り当てなどの計算の効率性を大幅に高める手法を開発した。データの量子化に加え、頑健なランダムサンプリング手法の代替として変分近似アルゴリズムを適用する場合、一般的なランダムサンプリング法による実装と比べ、約千倍程度の速度で同程度の精度が得られることがわかった。

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1件)

- ① Masamichi Shimosaka, Taketoshi Mori, Akinori Fujii and Tomomasa Sato: Discriminative Data Visualization for Daily Behavior Modeling, Advanced Robotics, 査読有, Vol.23, No.4, pp.429 - 441, 2009.

[学会発表] (計5件)

- ① Masamichi Shimosaka, Taketoshi Mori and Tomomasa Sato: Robust indoor activity recognition via boosting. 19th International Conference on Pattern Recognition (ICPR2008), 2008年12月8日, Tampa, United States.
- ② Masamichi Shimosaka, Yuichi Sagawa, Taketoshi Mori and Tomomasa Sato: 3D Voxel Based Online Human Pose Estimation via Robust and Efficient Hashing. The 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2009), 2009年5月16日, 神戸市.
- ③ Masamichi Shimosaka, Yu Nejigane, Taketoshi Mori and Tomomasa Sato: Fast Online Action Recognition with Efficient Structured Boosting. The 2009 IEEE International Conference on Multimedia & Expo (ICME 2009), 2009年7月1日, New York City, United States.
- ④ 下坂 正倫, 佐藤 知正, 森 武俊: 活動量センサの長期記録からのディリクレ拡張時変ポワソン過程に基づく生活パターンマイニング. 第10回(社)計測自

動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2009), 2009年12月24日, 東京.

- ⑤ Masamichi Shimosaka, Takahito Ishino, Hiroshi Noguchi, Tomomasa Sato and Taketoshi Mori: Detecting human activity profiles with Dirichlet enhanced inhomogeneous Poisson processes, 20th International Conference on Pattern Recognition (ICPR 2010), 2010年8月(採録決定済), Istanbul, Turkey.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

下坂 正倫 (SHIMOSAKA MASAMICHI)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教

研究者番号: 40431796

(2) 研究分担者

( )

研究者番号:

(3) 連携研究者

( )

研究者番号: