

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月13日現在

機関番号： 30103
 研究種目： 基盤研究(C)
 研究期間： 2009～2012
 課題番号： 21500281
 研究課題名（和文） 空間系列的に得られる非正規非典型データのモデリングの研究
 研究課題名（英文） Statistical Modeling for Non-Typical and Non-Normal Data via Normal Mixture Model
 研究代表者
 中村永友（NAKAMURA NAGATOMO）
 札幌学院大学・経済学部・教授
 研究者番号： 70207900

研究成果の概要（和文）：

人工衛星で観測される磁気圏プラズマは、観測性能の向上によって、複数のプラズマ分布が観測されている。日々刻々と系列的に得られるデータを、数多く扱うための統計的なモデリングの必要性がある。究極的な研究目的はこのデータを統合的に分析することであるが、本研究では、統合的分析のなかで必要となる種々の統計的理論構築をした。

研究成果の概要（英文）：

The mixture distribution of magnetospheric plasma has been observed by satellites in accordance with the improvement of observation performance. There is a need for statistical modeling to handle many data transmitted in series day after day. Ultimate objective of the study is to propose an integrated analysis system. This study is theoretical constructions for various requirements among them.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野： 統計科学

科研費の分科・細目： 統計科学

キーワード： 時空間モデル, 欠測, 混合分布モデル, 非正規データ, 非典型データ

1. 研究開始当初の背景

人工衛星で観測される磁気圏プラズマの速度分布は3次元正規分布（Maxwell分布）で表現され、観測性能の向上により複数のプラズマ分布が観測される事例がでてきた。地球物理学の分野では、2成分以上が部分的に

重なる複雑な分布を分離することは困難な問題であった。データは日々刻々と衛星から送信され、系列的に数多くの観測例を扱うに至っては、この問題はより一層深刻であった。この問題に対して2001年に混合分布モデルによりプラズマ分布の分離に成功し（Ueno

& Nakamura, et al., 2001, JGR, 106, 25655- 25672), 当該分野に大きなインパクトを与え、現在この方法による分離は標準手法となった。これによる現象解明の研究は連携研究者のグループによって進められている。一方、欠損領域の存在に対してモデリングを行い(中村・上野他, 2005, 応用統計学, 34, 57-75:優秀論文賞受賞), 高い評価を得た。しかし 2001 年のデータ解析は、複雑な様相を呈するデータを簡素化して混合分布モデルをあてはめたものである。ラフな分離としてはそれで良かったが、時系列的な成分の動きを正確にとらえる必要性が出てきた。本研究課題と同種の研究事例はない。より正確な分析をするための種々の分析ツールを研究開発し、究極的には時空間統合モデルの構築が目的である。

2. 研究の目的

本研究は、時空間データであるプラズマ粒子速度データを統合的に分析することが目的で、これまでの分析で不自然であった成分分布の時間的「動き」を正確に把握し、物理的解釈をより明確にすることである。これまではラフな分離と欠測に関するモデリングができていた。更に分析を進めるために「モデル構築」と「データの正規化」に関して解決せねばならない様々な問題が存在している。分析全体の整合性を考慮し、様々なアプローチで各問題にあたり、最も効果的かつ物理的解釈が妥当なものを見つけ出す。最終的に「時空間モデル」として統合し、ラフなモデル(リアルタイム分析)から正確なパラメータ推定までの一連の分析の流れを確立する。このとき「現実問題の解決」と「理論」の間のバランスが重要な視点で、これを調整しながら統合モデルを構築し、究極的には人工衛星搭載可能な「実用ソフトウェア」開発が目標である。

中心的課題のモデル構築とデータの取り扱いの問題点を以下に指摘する。

2.1 モデル構築

データに内在する「分析のための困難さ」は以下の通りである。(1)データはプラズマが飛来する方向(角度)と径の長さを速度とする極座標形式で記録される。さらに極座標空間が多数のセルで分割(離散化)されていて、セル内のプラズマの頻度が観測される。分析するには物理的変換を伴うので、頻度ではなく頻度のような実数(擬頻度)となる。(2)データ空間内に非ノイズデータの存在がある。モデル化して処理する方が実用的なのか、データ正規化による処理が良いのか、現実的な判断を行う必要がある。(3)成分分布数の推定問題において複雑かつ多変量の混合分布モデルではブートストラップ法による情報

量規準 EIC が有効である(Nakamura & Konishi, to appear 2013)。しかし離散×擬頻度データに対して EIC が適用できないので、この問題解決が必要である。

次に、時間的推移のモデリングの問題点として、(4)系列的データのモデル化の多様性がある。混合分布モデルの系列的パラメータ推定のモデル化として確率過程、ベイズモデル等が考えられ、物理的解釈の容易性と実用化のバランスをとりながら考察を進める。そして(5)出現・消失する成分分布のモデル化の困難さがある。これは「識別可能性の問題」などの困難な問題を伴うため、アルゴリズムによるアプローチで解決を図る。とくに厄介なのが多次元方角データのモデリングとその混合分布モデルとその成分数推定である(離散擬頻度データに対するブートストラップバイアス補正の方法の確立とその漸近化が中心的な課題である)。

2.2 データの取り扱いの検討

データの正規化(分析しやすい形式への変換・加工)はモデリングとも相互に関わる問題である。対象のデータは、一言で言えば「非正規・非典型データ」、より詳しくは「離散×不連続×方角データ×擬頻度×非対称分布×ノイズ的データの存在×欠損領域×複数成分×大規模×時系列」という特徴を持っている。個々の特徴は何らかの正規化の変換を行えば従来の統計手法の適用は可能であるが、複数の特徴が混在したときの対処方法の提唱は、応用統計学・統計科学的に意義がある。従って物理解釈が可能であり、最終的なモデルを意識したデータ正規化を行うのが良いと考える。また大規模データセットであることは、モデル選択の観点から複雑なモデルが選ばれることを意味する。これは成分分布数の推定では深刻な問題である。

2.3 研究の特色と意義

学術的な特色・独創的な点は、統計学の分野において「大規模かつ非正規・非典型データの扱い」の解決と「混合分布モデルによる系列的・空間的分析モデリング」の提唱である。上述の問題点が複雑に絡み合うので、いかに解決するかという点が重要である。より具体的には、多変量の方角データや球面上のデータ解析の理論や例は現存しないし、さらに混合分布モデルを適用した例はなく、さらにそれを系列的に扱うモデルもない、また多変量混合分布の成分数を求めるための正確バイアスはブートストラップで推定可能であるが、バイアスの漸近評価はない。これらが成就すれば独創的かつ実用上非常に有意義である。

予想される結果としては、様々な問題点を解決してソフトウェアが実装されれば、プラ

ズマ粒子分布の時系列的な正確な動きの説明をより容易にすることができる。解析するデータは Geotail 衛星で観測され、日本では宇宙航空研究開発機構 (JAXA) や世界各国の研究機関で受信されているので、本研究の成果やその分析ソフトウェアが公表されれば、この分野において画期的なものとなる。また衛星から地上に送信できる情報量が限られていることから、精査したソフトウェアを衛星に搭載し、推定したモデルのパラメータのみを送信すれば、一種のデータ圧縮が実現され、これまで以上の高時間分解能データや付帯情報が得られることになる。この研究の究極的な位置付けとしてこのような展望がある。

研究の意義は、正攻法モデルに帰着させるためのデータ正則化の方法論の確立と時空間モデルの構築、さらに混合分布モデル成分数推定の (ブートストラップバイアス補正によらない) 即時推定ができれば人工衛星へのソフトウェア実装の道を拓き、これらが実現すれば統計科学と地球物理学へ大きな貢献となる。

またこの技術の工学分野への応用が考えられる。一例として、粒子フィルタを用いた移動体追尾の問題がある。この問題では物体を追尾する粒子が時系列的に発生し、物体の同定は比較的容易な問題であるが、物体数の推定のための技術は確立していない。この問題はまさしく本研究のサブセットとして捕らえることができる。また、海岸工学分野では風速分布解析におけるシミュレーション実験での応用などが考えられ、本研究の広がりにはこれらの分野にとどまらないであろう。

3. 研究の方法

分析対象のデータセットは「離散×不時間隔×方角データ×擬頻度×非対称分布×ノイズ的データの存在×欠損領域×複数成分×大規模×時系列」という複雑な様相のデータである。これを同時に扱う統計学の手法は存在しないので、いくつかの特性を組み合わせ、データの正則化とモデリングを行う。これらの基本的問題を順次解決し、データを系列的に扱うめどが立ったところで、フルモデル (時空間統合モデル) を構築し、それに基づいてソフトウェアの実装を行う。

非常に複雑な様相のデータに対する有効なモデリングと究極的にソフトウェアの実装を実現するために、まず混合分布の成分数を固定した上で、データの正則化のための方法論の検討を重点的に研究した。

データの持つ基礎的な特徴は離散型の角度データであり、〈角度情報, 速度, 頻度〉という形式をしている。しかし分析の際に頻度は座標に伴う物理量で変換するために、実

数値の「擬頻度」となり、これは方角データを基礎とする多変量データとなる。しかし、これまで提案されている方角データに関する分布理論は、基本的に超球面上 (円周上, 球面上...におけるもので、それを多変量 (たまねぎの皮のような状況) や混合分布モデルに拡張された理論はまだない。よって、新しい分布モデルを構築する必要がある。これは、物理的解釈がどうなるか未知な部分が多くあると思われるが、統計科学の発展に結びつく新たな理論となる可能性がある。またデータの並べ替えによる正則化とソフトウェア実装に関するグランドデザインの検討を行う (連携研究者上野氏との打合せ)。

以上が研究全体を俯瞰した計画であるが、このデータには以下に挙げる個別の研究課題がある。(1) 非ノイズデータへの対応, (2) 成分分布パラメータの系列的扱いの検討, (3) 大規模データと成分分布数推定に関する問題, (4) 成分数増減モデルの検討, (5) フルモデル (時空間統合モデル) の構築, (6) 衛星搭載ソフトウェアのための条件整備と提言, (7) 新たなデータセットへの対応。

以下にこれらについて説明する。

(1) 非ノイズデータへの対応

空間全体に広がる非ノイズデータがいくつものデータセットに散見される。この非ノイズデータをモデル化するか、データの正則化で処理するか、どちらかの方法が考えられる。モデル化の例として、混合分布モデルの1成分として空間全体への一様分布を仮定することや、すその重たい分布でモデリングなどが考えられる。正則化の例としては、オンライン分析の場合にプラズマ粒子の1カウントのデータを省くなど現実的な方法もある。

いずれの場合でも、データを分析して視覚化したときに「必要とされる情報は何か」という観点で、処理方法の選択肢を考慮していく必要がある。この部分は連携研究者と十分打ち合わせのうえ検討を進める。

(2) 成分分布パラメータの系列的扱いの検討

我々のこの分野における成果 (特に Ueno & Nakamura et al., 2001, 等) においては、衛星から時系列的に送信されてくる数多くのデータセットは、単位時間毎に1つひとつ独立に混合分布モデルをあてはめて分析を行ってきた。しかし、直前に得られた成分分布のパラメータ推定値情報を次のデータセットの分析に継承することができれば、非常に合理的である。この具体的アイデアは、成分パラメータの時系列的 (確率過程的) アプローチ、あるいはベイズアプローチが考えられ、この方法論がデータ解析上有用である。この案件について具体的な理論展開には至

っていないが、物理的にもプラズマ粒子の成分分布が大きな変位で移動する確率もかなり低く、パラメータ推定の計算量を減少させる可能性があるため、このモデリングはかなり現実的である。

(3) 大規模データと成分分布数推定に関する問題

一般論としてモデルが単純なときの大規模データは、ある場面では歓迎されることかもしれないが、混合分布モデルをあてはめて情報量規準で評価する場合は、データの複雑さを捕らえて、想定した成分数よりかなり多くを推定してしまう。1つのデータセット全てのデータを使った場合、対数尤度でモデルが選択されてしまう現象が起きる。データのサンプリングによりAICやBICでの推定はある程度対応できるが、離散データのままだではEIC（ブートストラップバイアス推定による情報量規準）は有効に働かない。不等間隔擬頻度データに対する平滑化ブートストラップ法の開発、サンプリング方法の検討、マルチスケール・ブートストラップなどによるリサンプリング手法によるこの問題へのアプローチ、などがこの問題解決にあたっての具体的検討課題となる。さらにバイアスのブートストラップによらない漸近評価が可能になれば、画期的なこととなり、計算時間が2桁のオーダーで短縮できる。また大規模データをそのまま扱うためのパラメータ推定法（罰金付き尤度など）や、正攻法のアプローチについて理論考察を進める。

(4) 成分数増減モデルの検討

前項目の延長線上の問題点として、成分分布が出現したり消失したりする状況をどのようにモデリングするかが必要な検討課題である。正攻法でこの問題に取り組んだ場合に、理論的問題としては、成分分布の「識別可能性の問題」という非常に重要かつ困難な問題に直面する。現在、関連する論文等にあたっているが具体的な理論による解決策は見出していない。しかし、実データの分析の時には何らかのアルゴリズムや制約条件を入れることで、解決できると考えている。「現実問題の解決」と「理論」の間のバランスをうまく調整しながら、実用ソフトウェアまでたどり着きたい。

(5) フルモデル（時空間統合モデル）の検討

最終的な着地点を見極めつつ、空間モデルと時系列モデルの統合モデルの検討を行う。そのためには時空間統合モデルのグランドデザインを考える必要がある。個々の手法を組み合わせる方法がまず考えられるが、現在の有力な候補として状態空間表現によるモデリングや関数データ解析による方法

があり、これによる枠組みの検討を始めているが、必ずしもこれにこだわるものではない。

(6) 衛星搭載ソフトウェアのための条件整備と提言

衛星から地上に送信できる情報量が限られていることから、精査したソフトウェアを衛星に搭載し、モデルのパラメータのみを送信すれば一種のデータ圧縮が実現され、これまで以上の高時間分解能データが得られることになる。今後同類の人工衛星が打ち上げられることを想定し、研究を進めていく。この研究の究極的な位置付けとしてこのような展望がある。そのためにはモデル統合が不可欠であり、「モデルの視点」と「データの正則化」のバランスをどうとるかという重要な検討課題を克服していく。

以上の研究課題を克服することによって、データ採取の周辺問題も明らかになってきた。今後の衛星の打ち上げも考慮し、事後分析の視点を入れた「実験計画」の提言が可能になると考える。

(7) 新たなデータセットへの対応

Geotail 衛星はプラズマ観測以外に他のミッションも担当していることやデータ蓄積容量が大きいとしないため、時間帯によりプラズマ粒子速度の3次元データが2次元に圧縮（周辺化）されて記録されている。このように2次元に縮約されたデータからの復元も統計科学として非常に面白い話題である。この検討課題も次に取り組みたいと考えている。

4. 研究成果

指摘した数々の問題のうち、以下の項目について成果を上げることができた。さらに連携研究者とは本研究課題の周辺研究となる成果があるので、以下に記載する。

4.1 相関構造を持つ多変量データの分布の裾における大量な欠測

多次元のデータに対して分布の裾の部分において欠測が生じている問題を扱った。各変量のある一定の値以上で欠測していて、同時にデータの個数も既知である。対象とする分布型は正規分布のような単峰で、その裾の部分のデータが欠測している。1つの変量が観測領域と欠測領域で分けられている。このような状況で、例えば d 次元であれば d^2 の領域に分けて尤度を構成し、EM法によって目的の未知パラメータを推定することができる。これはプラズマ粒子速度データの欠測に対するモデリングの基礎となる推定方式である。この方式を用いて、本研究課題とは異なるデータではあるが4基本味質のデータの解析を行い、成果を得た。

4.2 速度0付近のデータが著しく欠測している多変量データへの混合分布モデルのあてはめ

プラズマ粒子速度データでは、速度0付近のデータの観測が困難である。すなわち、プラズマ粒子の様々な速度をセンサーで観測したときに、速度の遅い粒子の観測が困難である。その領域を事実上の観測不能領域として、そこを欠測領域としてモデリングを行った。ある時点の観測データセットには、複数の方向から飛来するプラズマが観測されていて、これに対して欠測領域を含む混合分布モデルでモデリングを行った。

4.3 特定の領域が部分的に欠測している (partially missing at random) データに対する混合分布モデルのあてはめ

前節のモデリングでは、速度0付近の領域を完全な欠測領域としてモデリングしたが、わずかながらデータが観測されている。これをモデリングするために、この領域のみがランダムに欠測しているというモデリングを行った。この方法によって前節の方法より偏りのないパラメータ推定が可能になった。

4.4 時間打ち切りデータに対する混合分布モデルのあてはめ

前節の部分的な領域で欠測しているモデリングの応用として、ある試験の完成時間を記録したデータへの適用を行った。

記録されたデータは、ある限られた時間内に課す課題の完成時間を計測したもので、一定時間を超えた場合は不合格として記録される。しかしながら、ある事情によって時間を過ぎたデータが記録されている。さらに複峰の分布をしているため、混合分布モデルによるモデリングが不可欠であった。

4.5 多変量混合分布における成分数の推定

混合分布モデルを適用するとき、困難な問題として成分数の推定がある。プラズマ粒子速度データでは複数の成分を仮定して混合分布モデルを仮定するが、時間系列的に観測されるデータでは、ある成分が出現・消失している。このモデリングのためには成分数の推定が不可欠となる。そのために擬頻度データに対するブートストラップ法を用いた情報量規準を構成した。

4.6 関連研究 (層別に縮約されたデータに対する線形回帰モデルの推定)

データが区間ごとに観測されているが、実際に入手できるのはその区間の平均と分散の値として縮約されている。このデータに対して統計モデリングをするときに、共分散等の失われている情報を復元する方法を提示

した。これは人工衛星からの送信量に限りがあるために、ある種の圧縮されたデータを送信することを想定した、ある種のデータ復元法である。

4.7 関連研究 (焦点を持つ線形回帰モデルの推定, 原点を通る線形回帰モデルの漸近的性質)

共通の定点を通る複数の線形回帰モデルを提案し、各回帰直線が漸近的にデータセットの重心を通ることを示した。さらにこのモデルに対する新たな視点の決定係数などの統計量の提案をした。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 12 件)

- ① Genta UENO and Nagatomo NAKAMURA. Iterative algorithm for maximum likelihood estimation of observation error covariance matrix for ensemble-based filters, refereed, DOI: 10.1002/qj.2134, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society.
- ② Nagatomo NAKAMURA and Takahiro TSUCHIYA. A Model of Regression Lines through a Common Point: Estimation of the Focal Point in Wind-Blown Sand Phenomena, refereed, Vol. 40, 1017-1031, DOI: 10.1080/02664763.2013.772570, Journal of Applied Statistics, 2013.
- ③ 中村永友, 金子真紀子, 于秉柯. 欠測がある基本味質データの平均・相関構造の探索, 計量生物学, 査読有, Vol. 30(1), 55-67, 2009.
- ④ 土屋高宏, 中村永友. 変形バケットソートに現れる離散型確率分布と Eulerian 数, 統計数理, 査読有, Vol. 57(1), 159-178, 2009.
- ⑤ 中村永友, 土屋高宏. 時間打ち切りデータに対する混合分布モデル, 日本分類学会 第 30 回研究集会報告集, 同志社大学, 京都市, 2012.
- ⑥ 中村永友, 土屋高宏. 原点を通る線形回帰モデルと統計ソフトウェア, 情報科学 (札幌学院大学), Vol. 33, 27-38, 2013.
- ⑦ 土屋高宏, 中村永友. 欠番オイラリアン分布とその基本統計量, 情報科学 (札幌学院大学), Vol. 33, 39-46, 2013.
- ⑧ 石川咲絵, 中村永友, 土屋高宏. サポートベクターマシンにおける最適解の性質, 情報科学 (札幌学院大学), Vol. 32, 1-12, 2012.
- ⑨ 中村永友, 土屋高宏. 時間打ち切りデータへの混合分布モデルのあてはめ, 情報科学 (札幌学院大学), Vol. 31, 17-24, 2011.
- ⑩ 中村永友, 土屋高宏. 混合分布モデルのバイアス推定, 情報科学 (札幌学院大学),

Vol. 30, 15-26, 2010.

- ⑪ 屋内池匡俊, 中村永友, 土屋高宏. 多変量正規確率の効率的な数値計算法について, 情報科学(札幌学院大学), Vol. 30, 27-36, 2010.
- ⑫ Nagatomo NAKAMURA and Takahiro TSUCHIYA. The Linear Regression Model Through the Origin does not Always Passing Through the Centroid of the Data, 情報科学(札幌学院大学), Vol.29, 1-7, 2009.

[学会発表] (計 12 件)

- ① 土屋高宏, 中村永友. 変形バケツトソートとオイラリアン分布の性質について, BIC シンポジウム(九州大学 情報・統計科学研究会), 九州大学, 福岡市, 2012.
- ② 上野玄太, 中村永友. データ同化モデルにおける観測ノイズ分散共分散行列のベイズ推定法, 2012 年度統計関連学会連合大会(日本統計学会第 81 回大会, 応用統計学会年次大会, 日本計量生物学会年次大会), 北海道大学, 札幌市, 2012.09.
- ③ 中村永友, 土屋高宏. 緩やかな欠測領域をもつ測定データへの混合分布モデルの適用, 日本計算機統計学会 第 26 回大会, 高松市, 2012.
- ④ 中村永友, 土屋高宏. 時間打ち切りデータに対する混合分布モデル, 日本分類学会 第 30 回研究集会, 同志社大学, 京都市, 2012.
- ⑤ 上野玄太, 中村永友. データ同化モデルにおける観測ノイズ分散共分散行列の反復推定法, 2011 年度統計関連学会連合大会(日本統計学会第 80 回大会, 応用統計学会年次大会, 日本計量生物学会年次大会), 九州大学, 福岡市, 2011.
- ⑥ 中村永友, 石川千温, 渡邊慎哉, 小池英勝, 皆川雅章. 自動採点ツールによる教育効果の測定---演習履歴データの分析 2---, 教育システム情報学会 2010 年度第 6 回研究会, 九州工業大学情報工学部, 飯塚市, 2011.
- ⑦ 中村永友, 土屋高宏. 焦点回帰モデルの組織化, 2010 年度統計関連学会連合大会(日本統計学会第 79 回大会, 応用統計学会年次大会, 日本計量生物学会年次大会), 早稲田大学, 東京, 2010.
- ⑧ 土屋高宏, 中村永友. 層別された平均系列データに対する線形回帰モデル 2, 2010 年度統計関連学会連合大会(日本統計学会第 79 回大会, 応用統計学会年次大会, 日本計量生物学会年次大会), 早稲田大学, 東京, 2010.
- ⑨ 中村永友, 石川千温, 渡邊慎哉・小池英勝, 皆川雅章. 自動採点ツールによる教育効果の測定---演習履歴データの分析---, 教育システム情報学会 2010 年度第

3 回研究会, 香川大学生涯学習教育研究センター, 高松市, 2010.

- ⑩ 中村永友, 石川千温, 渡邊慎哉, 小池英勝. 札幌学院大学の情報リテラシー教育~自動採点ツールによる自学自習の醸成のために~(自動採点ツールを評価システムとする情報教育), 情報教育小研究会, 日本女子大学人間社会学部, 川崎市, 2010.
- ⑪ 中村永友, 土屋高宏. 混合分布モデルの精確バイアス, 2009 年度統計関連学会連合大会(日本統計学会第 78 回大会, 応用統計学会年次大会, 日本計量生物学会年次大会), 同志社大学. 京田辺市, 2009.
- ⑫ 土屋高宏, 中村永友. 層別された平均系列データに対する線形回帰モデル, 2009 年度統計関連学会連合大会(日本統計学会第 78 回大会, 応用統計学会年次大会, 日本計量生物学会年次大会), 同志社大学. 京田辺市, 2009.

[図書] (計 2 件)

- ① 中村永友, 山田智哉, 金明哲. 「Excel で学ぶ統計・データ解析入門」, 丸善, ISBN-10: 4621082973, ISBN-13: 978-4621082973, 2011.
- ② 中村永友, 「R によるデータサイエンス 2 『多次元データ解析法』」, 共立出版, ISBN-10:4320019229, ISBN-13:978-4320019225, 2009.

[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

<http://ext-web.edu.sgu.ac.jp/nagatomo/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 永友 (NAKAMURA NAGATOMO)

札幌学院大学・経済学部・教授

研究者番号: 70207900

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

土屋高宏 (TSUCHIYA TAKAHIRO)

城西大学・理学部・准教授

研究者番号: 60316677

上野玄太 (UENO GENTA)

統計数理研究所・モデリング研究系・准教授

研究者番号: 40370093