

平成 22 年 5 月 10 日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2009

課題番号：19300088

研究課題名（和文） 統計科学的方法による脳の連結性に対する総合的研究

研究課題名（英文） A unified study on brain connectivity using statistical methods

研究代表者

汪 金芳（Jinfang Wang）

千葉大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：10270414

研究成果の概要（和文）：統計的因果モデルを構築するための鍵となる条件付き独立性に関する記述を、ある種の代数的枠組み（ケーイン代数）で行えることを示した。ケーイン代数は、graphoid や separoid などと整合性を持つことを示した。また、ケーイン多項式を考案し、条件付き独立性の系から導かれる条件付き独立性を、ケーイン多項式を用いたアルゴリズムで導かれることを導出した。

研究成果の概要（英文）：Probabilistic conditional independence (PCI) is a key for building statistical causal models, and we established an algebraic framework called the cain algebra for dealing with PCI. It is shown that the cain algebra is consistent with both the graphoid and the separoid. Further, we defined a new type of polynomials called the cain polynomials and showed that statistical models defined in terms of cain polynomials may be derived using tools of the cain polynomials.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	3,100,000	930,000	4,030,000
2008 年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2009 年度	2,100,000	630,000	2,730,000
年度			
年度			
総計	7,700,000	2,310,000	10,010,000

研究分野：数理統計学

科研費の分科・細目：情報学・認知科学

キーワード：(1) cain algebra (2) cain polynomial (3) conditional independence (4) contingency table (5) graphical model (6) Stein's phenomenon (7) Markov base (8) shrinkage estimator

1. 研究開始当初の背景

脳機能の特化は、特定の皮質領域が特定の認知や運動機能のために用意されたもので、互いに大脳皮質内で解剖的に分離されていることを意味する。しかし、与えられた入力

課題を扱う局所的神経組織は、多くの神経細胞の関わり合った協調的な活動を起こし、神経回路の演算や次の組織への伝達情報の作成を行なう。したがって、脳機能的特化は機能的統合の中で理解しなければならない。そ

の逆も同じである。こうした脳機能の相互関係の解明に関する研究が、これからの脳科学とりわけ脳認知科学における最も関心の高い分野の1つである。

2. 研究の目的

本研究の主要な目的は、脳の連結性を解明するための、パネルデータに基づく統計的因果モデルの構築である。標準的認知実験による脳機能画像データの解析や問題点の整理を行い、またこれまでに機能的磁気共鳴画像データを解析するために用いられてきた標準的なツールである SMP 法(多変量解析法に基づく方法)について検討を行い、問題点を整理する。

3. 研究の方法

研究の過程で、ある種の多項式(ケーイン多項式)を用いることによって、統計的因果モデルを構築するための鍵となる条件付き独立性に関するアルゴリズムを構成できる可能性を発見した。SMP 法は従来の多変量解析法に基づく方法であるが、代数的アルゴリズムに基づくケーイン多項式の理論を用いることにより、自由度の高い複雑なモデル空間から自動的に最適な因果モデルを探索することが可能となる。ケーイン多項式の理論とそれに基づくアルゴリズムに関する研究を行った。このアルゴリズムの特徴は、まず、統計的因果モデルをいくつかの条件付き独立性で表し、次に、これらの条件付き独立性をケーイン多項方程式に変換する。さらに、ケーイン多項式の線形表現によって、様々な因果モデルを導くことができる。これらの結果は、自動的に最適因果モデルを発見するために重要な意義を持つと思われる。

4. 研究成果

(1) 統計的因果モデルを構築するための鍵となる条件付き独立性に関する記述を、ある種の代数的枠組み(ケーイン代数)で行えることを示した。ケーイン代数は、graphoid や separoid などと整合性を持つことを示した。また、ケーイン多項式を考案し、条件付き独立性の系から導かれる条件付き独立性を、ケーイン多項式を用いたアルゴリズムで導かれることを導出した。

(2) 統計的情報がいくつかの異なる場所において収集されるとき、これらの情報を統計的に統合し、関心のある対象に関する推測を行うことが重要である。例えば、2つのファイルに存在する確率変数に関する相関関係を調べるのがその例である。2つのファイルが統計的に照合可能かどうかの概念を定義し、照合可能なための様々な必要十分条件を導いた。

(3) ポアソン分解可能なグラフィカルモデルにおいて、最尤推定量を改良し、平均に関するベイズ許容推定量を提案した。

(4) ガウシアン・グラフィカルモデルにおいて、極小的な手法を提案し、反復 proportional scaling に関する推定を向上させた。

(5) 和が一定の2元部分表問題において、マルコフ基底に関するいくつかの結果を得た。

(6) 多面凸錐における平均の推測において、Stein 現象を指摘し、いくつかの結果を得た。また正規平均行列のベイズ推定量について考察を行い、許容性・ミニマクス性などに関する結果を得た。

(7) 分割表モデルの正確検定について研究を行った。離散共変量のロジスティック回帰モデルのマルコフ基底の構造は非常に複雑であることが知られている。マルコフ基底はすべてのファイバーを連結に結ぶ推移子の集合として定義されるが、実用上は与えられた標本が属するファイバーのみ連結に結ばれば十分であるので、マルコフ基底のすべての要素が必要とは限らない。ここでは各共変量ごとの標本数が正という実用的な仮定の下では、単純な構造の推移子のみからなる部分マルコフ基底によってすべてのファイバーが連結に結ばれることを示し、この事実を用いて正確検定アルゴリズムの導出を行った。

(8) 分散構造が未知のときの行列型正規分布の平均行列の推定問題において、2乗損失関数に対するある一般化ベイズ推定量のミニマクス性の証明に成功した。

(9) 楕円型分布族における、凸集合に制約されている平均ベクトルの推定問題を扱い、制約つき最尤推定量がその縮小型推定量によって改良されることを証明した。また、その改良のための条件を求めた。

(10) 複数の正規分布に関する分散パラメータ(精度パラメータ)の同時推定問題を2乗損失関数のもとで考え、縮小型および拡大型推定量がミニマクスになるための条件を求めた。また、ベイズ推定に関する事前分布の特徴付けに関する結果が得られ、この結果からいくつかの一般化ベイズ推定量を導出した。

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 33 件)

Jinfang Wang, A universal algebraic approach for conditional independence, Annals of the Institute of Statistical Mathematics, 査読有、2010、印刷中

Hisayuki Hara, Satoshi Aoki and Akimichi Takemura, Minimal and minimal invariant Markov bases of decomposable models for contingency tables, Bernoulli, 査読有、Vol.16、2010、208-233

Hisayuki Hara and Akimichi Takemura, A localization approach to improve iterative proportional scaling in Gaussian graphical models, Communications in Statistics - Theory and Methods, 査読有、2010、掲載確定

Hisayuki Hara and Akimichi Takemura, Connecting tables with zero-one entries by a subset of a Markov basis, Algebraic Methods in Statistics and Probability (II - Urbana Volume) in AMS Contemporary Mathematics, 査読有 2010、掲載確定

Hisayuki Hara, Akimichi Takemura and Ruriko Yoshida, On connectivity of fibers with positive marginals in multiple logistic regression, Journal of Multivariate Analysis, 査読有、Vol.101、2010、909-925

原 尚幸, 松本章邦, 統計科学におけるシミュレーション技術の現状と今後の展望、信頼性、査読有、31 巻、2010、244-249

杉浦大地, 松本章邦, 原尚幸, 縄田和満, 電力会社・ガス会社における気温リスクスワップの評価、日本保険・年金リスク学会論文誌、査読有、2010、掲載確定

福田一徳, 原尚幸, 縄田和満, 中国の輸出政策の変更と希土類の価格変化の関係について、Journal of the Mining and Materials Processing Institute of Japan, 査読有、2010、掲載確定

Tsukuma, H., Generalized Bayes minimax estimation of the normal mean matrix with unknown covariance matrix, Journal of Multivariate Analysis, 査読有、Vol.100、2009、2296-2304

Tsukuma, H., Shrinkage estimation in elliptically contoured distribution with restricted parameter space, Statistics & Decisions, 査読有、Vol. 27、2009、25-35

Tsukuma, H., Kubokawa, T., Minimax estimation of normal precisions via expansion estimators, Journal of Statistical Planning and Inference,

査読有、Vol.139、2009、295-309

Jinfang Wang and Ping Jing, Statistical Matching based on probabilistic conditional independence, Journal of the Japanese Society of Computational Statistics, 査読有、Vol.22、2009、43-56

Jinfang Wang, Computation of Conditional Independence Using Cain Polynomials, 数理解析研究所講究録、査読無、1603 巻、2008、120-129

Hisayuki Hara and Akimichi Takemura, Bayes admissible estimation of the means in Poisson decomposable graphical models, Journal of Statistical Planning and Inference, 査読有、Vol.139、2009、1297-1319

Hisayuki Hara, Akimichi Takemura and Ruriko Yoshida, Markov bases for two-way subtable sum problems, Journal of Pure and Applied Algebra, 査読有、Vol.213、2009、1507-1521

松本章邦, 原尚幸, 縄田和満, 原子力発電所内請負労働者の安全衛生教育訓練の評価、日本原子力学会和文論文誌、査読有、7 巻、2008、428-438

山田貴博, 原尚幸, 藤井孝蔵, 宮本良之, 山本正宣, シミュレーションが先導する未来社会、計算工学、査読有、13巻、2008、40-49

H. Tsukuma and T. Kubokawa, Stein's phenomenon in estimation of means restricted to a polyhedral convex cone, Journal of Multivariate Analysis, 査読有、Vol.99、2008、141-164

H. Tsukuma, Admissibility and minimaxity of Bayes estimators for a normal mean matrix, Journal of Multivariate Analysis, 査読有、Vol.99、2008、2251-2264

Wenwei Yu, Nonlinear Analysis of Bod

- y Response to Functional Electrical Stimulation on Hemiplegic Subjects, Journal of Engineering in Medicine, part H, 査読有、2009、掲載決定
- 21 Sakurai, H. and Taguri, M., Test of mean difference for paired longitudinal data based on circular block bootstrap, COMPSTAT2008 Proceedings in Computational Statistics (Physica-Verlag), 査読有、2008、679 687
- 22 Katsuyama H., Nishigaki, C. and Wang, J., The Effectiveness of English Teaching in Japanese Elementary Schools Measured by Proficiency Tests Administered to seventh Year Students, R ELC Journal, 査読有、2008、359 38
- 23 Wang, J., The cain algebra, the semi graphoid and the separoid, 数理解析研究所講究録, 1560, RIMS 共同研究「Statistical Decision for Multiple Comparison and Its Related Topics」, 査読無、1560巻、145 154
- 24 Hisayuki Hara and Akimichi Takemura, Improving on the maximum likelihood estimators of the means in Poisson decomposable graphical models, Journal of Multivariate Analysis, 査読有、Vol.98, 2007, 410 434
- 25 Akimichi Takemura and Hisayuki Hara, Conditions for swappability of records in a microdata set when some marginals are fixed, Computational Statistics, 査読有、Vol.22, 173 185
- 26 Kubokawa, T., Tsukuma, H., Estimation of parameters in a linear regression model under the Kullback-Leibler loss, Journal of Statistical Planning and Inference, 査読有、Vol.137, 24 87 2508
- 27 Tsukuma, H., Kubokawa, T., Methods for improvement in estimation of a normal mean matrix, Journal of Multivariate Analysis, 査読有、Vol98, 1592 1610
- 28 Tsukuma, H., Kubokawa, T., Simultaneous estimation of normal precision matrices, Journal of Statistical Studies, 査読有、Vol26, 2007, 119 138
- 29 R Acharya U, M.A. Rahman, Z. Aziz, T. P. Ha, Ng, E.Y.K, W. Yu, C. Law, T. Subramaniam, W.Y. Shuen, S. C. Fang, Computer-based Identification of Plantar Pressure in Diabetic Type 2 Subjects with and without Neuropathy, Journal of Mechanics in Medicine and Biology, 査読有、2008、363 375
- 30 Hashimoto, A., Miyano, H. and Taguri, M., Maximization of correlation under a quadratic constraint, Journal of the Japan Statistical Society, 査読有、Vol.37, 2007, 105 121
- 31 Sakurai, H. and Taguri, M., Test of mean difference for paired longitudinal data using circular block bootstrap, Bulletin of the 56th Session of the International Statistical Institute (provided by CD-ROM), 査読無、2007
- 32 Shojima, K., Otsu, T., Mayekawa, S., Taguri, M. & Yanai, H., Factor structure of the National Center Test 2005 by the full-information pseudo-ML method, Behaviormetrika, 査読有、Vol.34, 131 156
- 33 林篤裕, 伊藤圭, 田栗正章, 大学で実施されている入試研究の実態調査、大学入試研究ジャーナル, 査読有、18巻、147 153
- [学会発表](計27件)
- Jinfang Wang, An algebraic approach to probabilistic conditional independence, 1st IMS Asia Pacific Rim Meetings, 2009.6.29, Seoul National University, Korea
- Jinfang Wang, Rubin's Model for Causal Inference: a review, 京都大学数理解析研究所, 短期共同研究「Statistical Experiment and Its Related Topics」, 2010.3.9, 京都大学数理解析研究所
- Jinfang Wang, An universal algebraic approach for probabilistic conditional independence, 日本数学会 2010年度年会, 2010.3.25, 慶応大学

Hisayuki Hara and Akimichi Takemura, On connectivity of fibers with positive marginals in multiple logistic regression, 1st IMS Asia Pacific Rim Meetings, June 29, 2009, Seoul National University, Korea

原尚幸, 清智也, 竹村彰通, Hierarchical subspace models for contingency tables, 日本数学会秋季総合分科会, 2009年9月27日, 大阪大学
原尚幸, 竹村彰通, ロジスティック回帰モデルの正確検定とマルコフ基底, 統計学関連学会連合大会, 2009年9月8日, 同志社大学,

松本章邦, 原尚幸, 縄田和満, 天候デリバティブのための東京における降水量の統計的分析, 統計学関連学会連合大会, 2009年9月8日, 同志社大学

松本章邦, 原尚幸, 縄田和満, Occupational safety conditions and the use of contract workers: evidence from the nuclear power industry in Japan, 日本経済学会秋季大会, 2009年10月10日, 専修大学

Hisayuki Hara, Tomonari Sei and Akimichi Takemura, Hierarchical subspace models for contingency tables, 2010 Spring Southeastern Sectional Meeting of American Mathematical Society, 2010年3月28日, University of Kentucky

Jinfang Wang, Computation of conditional independence relations using chain polynomials, Compstat'2008, 2008.8.25, Port, Portugal

汪金芳, Rubin's Model for Causal

Inference: a review, 人工知能学会第72回 人工知能基本問題研究会, 2008.11.7, 電気通信大学

汪金芳, Failure of bootstrap in matched sampling, 日本統計学会春季集会, 2009.3.6, 統計数理研究所

Hisayuki Hara and Akimichi Takemura, Markov bases for two-way subtable sum problems, 7th World Congress in Probability and Statistics, 2008.7.15, National University of Singapore

原尚幸・竹村彰通・Ruriko Yoshida, Markov bases for two-way subtable sum problems, 統計関連学会連合大会, 2008.9.8, 慶応義塾大学

原尚幸・竹村彰通, A localization approach to improve iterative proportional scaling in Gaussian graphical models, 統計関連学会連合大会, 2008.9.9, 慶応義塾大学

Yasuko Matsui and Hisayuki Hara, An algorithm for enumerating all clique trees and perfect sequences of chordal graph, IASC2008, 2008.12.7, Pacifico Yokohama

Hisayuki Hara, A localization of iterative proportional scaling from a view point of decomposition of Gaussian graphical models, C ASTA2008, 2008.12.11, 京大会館

Akimichi Takemura and Hisayuki Hara, Some results on connectivity of fibers with a subset of a Markov basis, 1047th AMS Meeting, American Mathematical Society, 2009.3.28, University of Illinois at Urbana-Champaign

- 松本章邦・原尚幸・縄田和満、原子力発電所内請負労働者の安全衛生教育訓練、日本経済学会2008年度秋季大会、2008.9.14、近畿大学
- Wang, J., A universal algebraic approach to probabilistic conditional independence, 56th Session of the ISI, 2007年8月28日、Lisboa(リスボン)
- 21 汪金芳、Cain polynomials and conditional independence, 2007 年度統計関連学会連合大会、2007年9月7日、神戸大学
- 22 汪金芳、Cain 多項式による条件付き独立性の自動計算について、科研基盤(A)「計算代数統計学の展開」、2007年10月27日、ホテル日航豊橋
- 23 汪金芳、不確実区間と一般化尤度に基づく個票データの開示と解析、合同研究集会「官庁統計データの公開における諸問題の研究」、合同研究集会「官庁統計データの公開における諸問題の研究」、2007年11月17日、統計数理研究所
- 24 汪金芳、Computation of Conditional Independence Using Cain Polynomials, RIMS共同研究による研究会 "Statistical Analysis of Various Models", 2008年3月12日、京都大学数理解析研究所
- 25 原尚幸、竹村彰通、データスワップとマルコフ基底の関係、応用統計学会2007年度年会、2007年5月24日、東京工業大学
- 26 原尚幸、青木敏、竹村彰通、標本数2のファイバーの構造と分解可能モデルのマルコフ基底、2007年度統計学関連連合大会、2007年9月8日、神戸大学
- 27 松本章邦、原尚幸、縄田和満、財務データによる1990年代日本の雇用調整行動の検証、2007年度統計学関連連合大会、2007年9月8日、神戸大学

〔図書〕(計4件)

汪金芳、数理科学事典 第2版、「部門V 3.2 標本調査」、丸善、2009、1450

Alejandro Hernandez Arieta, Ryu Kato, Hiroshi Yokoi, Wenwei Yu, The Man-Machine Interaction: The influence of Artificial Intelligence on Rehabilitation Robotics, In M. Lungarella et al (Eds.), Artificial Intelligence in the 21st Century Designing the Future, Lecture Notes in Artificial Intelligence Selected Papers from Proc. of the 50th Anniversary Summit of AI, 2008, Springer-Verlag

Alejandro Hernandez Arieta, Ryu Kato, Hiroshi Yokoi, Wenwei Yu, Rolf Pfei

fer, Arai Tamio, Cross-Modal Interaction in the Brain: An f-MRI study of an Adaptable EMG Prosthetic Hand with Biofeedback. The Encyclopedia of Healthcare Information Systems Eds Wickramasinghe and Geisler, 2008, IGI, Hershey

田栗正章, 藤越康祝, 柳井晴夫, C・R・ラオ、やさしい統計入門 --- 視聴率調査から多変量解析まで、2007、講談社、286

6. 研究組織

(1) 研究代表者

汪金芳 (Jinfang Wang)
千葉大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号：10270414

(2) 研究分担者

原尚幸 (Hisayuki Hara)
東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教
研究者番号：40312988

津熊久幸 (Hisayuki Tsukuma)
東邦大学・医学部・講師
研究者番号：50424685

田栗正章 (Masaaki Taguri)
大学入試センター・副所長
研究者番号：10009607
(H19 H20：連携研究者)

俞文偉 (Wenwei Yu)
千葉大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：20312390
(H19 H20：連携研究者)