

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2009

課題番号：18500007

研究課題名（和文） 古典／量子情報系における十分性と指数型分布族の新たな展開

研究課題名（英文） New development of sufficiency and exponential families in classical and quantum information systems

研究代表者

長岡浩司 (NAGAOKA HIROSHI)

電気通信大学・大学院情報システム学研究科・教授

研究者番号：80192235

研究分野：数理工学

科研費の分科・細目：情報学・情報学基礎

キーワード：数理工学、情報理論、量子情報理論、情報幾何学、統計学

1. 研究計画の概要

統計量の十分性と指数型分布族という概念とそれらの間に成立する密接な関係は数理統計学における基本事項としてよく知られているが、その重要性は広く情報理論、情報幾何学、大偏差理論、統計力学などの諸分野と関わっている。本計画では、これらの概念をより広い視点から、あるいはより基礎的な視点から捉え直すことを試みる。具体的には、ユニバーサル・データ圧縮と十分統計量の関係、可逆なマルコフ写像や可逆な量子状態操作が規定する情報幾何学的構造、確率過程の成す空間、特にマルコフ連鎖の空間上の情報幾何構造、量子情報幾何学的観点に基づいた指数型分布族の量子版などの諸問題についての研究を通して、十分性と指数型分布族に関する新たな統一的知見を得ることを目指す。

2. 研究の進捗状況

与えられた情報源のクラスに対して、圧縮限界である（一般化された）エントロピーレートを一様に達成するユニバーサルデータ圧縮が可能であるための条件は、漸近的な意味で十分性とサイズの小ささを兼ね備えた統計量が存在するという条件と同値である。このような条件はまた、指数型分布族という概念を特徴づける際にも現れる。ただし、十分性もサイズの小ささの概念も、数学的条件の強弱については両者の問題で顕著な違いが見られる。ユニバーサルデータ圧縮では制約は弱く大きざっぱであり、その分適用範囲はきわめて広い。この緩い枠組みは、統計力学の

基礎などに関わる概念的問題を考察する上で有効であるとの見通しを得ることができた。一方、指数型分布族では制約が強く、それによって微分幾何（情報幾何）学的構造の導入などの強力な議論が可能になる。この観点は確率過程の空間や量子状態の空間上の情報幾何学を構築する上での指針となる。確率過程の空間についてはその詳細な構造がかなり明らかになってきており、概ね満足すべき成果が得られつつある。一方、量子状態空間については、量子仮説検定の漸近論および量子ボルツマンマシン（スピン系の一種とみなせる）の情報幾何構造に関して理論的成果が得られた。しかし十分性の議論と幾何構造の間にはなお大きな隔たりがあり、根本的な解決への見通しを得るには至っていない。

3. 現在までの達成度

おおむね順調に進展している。

（理由）

上述のように、本研究課題における問題意識のもとで十分性と指数型分布族に関するいくつかの基本的知見を得ることができた。

4. 今後の研究の推進方策

最後の1年であるから、これまでに得られた知見を理論的成果としてまとめ、論文や学会の場で発表していく。これと並行して、未解決の問題、特に量子状態空間の十分性と指数型分布族に関しては、これまでの考察にもとづいてひきつづき検討を行っていく。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

国内外の別：

〔雑誌論文〕(計3件)

〔その他〕

- (1) Y. Nihal and H. Nagaoka, Information geometrical approach to mean-field approximation for quantum Ising spin models, J. Phys. A: Math. Theor., 41, 065005, 2008, 査読有.
- (2) T. Ogawa and H. Nagaoka, Making good codes for classical-quantum channel coding via quantum hypothesis testing, IEEE Trans. Inform. Theory, 53, 2261-2266, 2007, 査読有.
- (3) H. Nagaoka and M. Hayashi, An Information-Spectrum Approach to Classical and Quantum Hypothesis Testing for Simple Hypotheses, IEEE Trans. Inform. Theory, 53, 534-549, 2007, 査読有.

〔学会発表〕(計5件)

- (1) 長岡浩司, 情報スペクトルを通してみた確率・情報・エントロピー, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2008年9月18日, 明治大学(生田).
- (2) 長岡浩司, 量子情報幾何学概論, 量子論の諸問題と今後の発展, 2008年3月21日, 筑波・高エネルギー加速器研究機構.
- (3) 長岡浩司, 統計力学と量子情報の数理, 日本物理学会, 2007年3月21日, 鹿児島大学.

〔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：