

令和 2 年 6 月 1 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)（特設分野研究）

研究期間：2016～2019

課題番号：16KT0017

研究課題名（和文）隠れマルコフ過程への情報幾何的アプローチ

研究課題名（英文）Information Geometrical Approach to Hidden Markov Process

研究代表者

林 正人（Hayashi, Masahito）

名古屋大学・多元数理科学研究科・教授

研究者番号：40342836

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,100,000円

研究成果の概要（和文）：隠れマルコフ過程では、可視変数と潜在変数があり、可視変数のみが観測できる。本研究では、可視変数についての $k$ 次までの記憶に基づく、可視変数についての $k$ 次確率遷移行列に注目した。そして、可視変数についての $k$ 次確率遷移行列から潜在変数と可視変数に関する遷移行列を推定する方法を与えた。具体的には、 $k$ 次確率遷移行列からなる空間の幾何構造に注目し、その幾何構造に関するemアルゴリズムを適用する方法を提案した。そして、その提案手法での推定誤差の漸近的振る舞いについて明らかにした。隠れマルコフ過程を確率遷移行列で表す際に現れる同値性問題について、節空間のレベルで同値性がどのように記述されるか明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

隠れマルコフ過程は様々な現象に現れる数理モデルである。そのため、このモデルについて、解析し、研究することは極めて重要である。例えば、脳磁気図検査(MEG)の観測データは隠れマルコフ過程とみなすことができる。なぜなら、脳内の電気的活動である神経内の電流はマルコフ過程とみなすことはできるが、脳磁気図検査(MEG)によって直接計測できる磁場は、この電流を反映した確率過程であるため、隠れマルコフ過程に従うことになる。

本研究ではこのようなモデルに対する隠れマルコフ過程の応用についても研究した。

研究成果の概要（英文）：Hidden Markovian process is composed of visible and hidden variables, and only visible variables can be observed. This study focused on the  $k$ -order transition matrix on visible variables, and derived the method to estimate the transition matrix on visible and hidden variables from the  $k$ -order transition matrix on visible variables. In this method, we applied em-algorithm with respect to the geometrical structure over the space composed of  $k$ -order transition matrix on visible and hidden variables. Then, we clarified the asymptotic behavior of the error of the proposed method. Further, we studied the equivalence problem at the level of the tangent space. That is, we derived the necessary and sufficient condition for the equivalence in the tangent space.

研究分野：確率過程

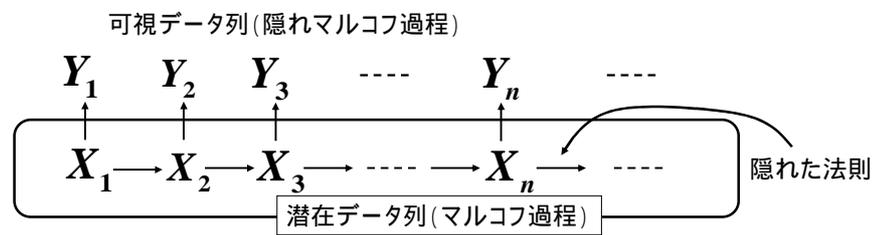
キーワード：隠れマルコフ過程 情報幾何 確率遷移行列 脳磁気図検査

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

#### 【隠れマルコフ過程解析の社会的要請】

我々が目にする多くの自然および社会現象では、我々が直接観測できる変数だけで閉じていることは稀であり、その背後にある潜在変数を考慮して初めて説明できることが多い。このような場合、潜在



—隠れマルコフの推定では可視データ列から隠れた構造を推測する—

変数は単純な法則に従うのに対し、可視変数は極めて複雑な振る舞いをする事が多い。データ系列のモデルのひとつにマルコフ過程が知られている。データが従う確率分布が1つ前のデータにのみに依存して決まるとき、そのデータ系列はマルコフ過程に従うという。そして、上述の潜在変数であるデータ系列がマルコフ過程に従い、可視変数であるデータが従う確率分布が潜在変数の値に依存して決まるとき、可視変数であるデータの系列は隠れマルコフ過程に従うという。隠れマルコフ過程は潜在変数のマルコフ過程を記述する確率遷移行列と、潜在変数に応じて決まる可視変数の確率を与えるもう1つの確率遷移行列を用いて記述される。

マルコフ過程は相対的に容易に解析できるが、隠れマルコフ過程の解析の困難さは良く知られており、十分に研究が進んでいないのが現状である。一方で、隠れマルコフ過程は、機械学習、経済時系列データ解析、音声認識、塩基配列やタンパク質配列の解析、自然言語処理における形態素解析、生命体の行動解析など様々な分野の基本的なツールとして活用され、幅広い応用範囲を持っている。これらの応用分野では、現状の不十分な隠れマルコフ過程の成果が解析アルゴリズムとして用いられており、得られたビックデータからの学習機能を向上させるため、その理論の進展は社会的に強く望まれている。

#### 【既存研究の問題点】

数理統計学では、データが独立同一分布に従って得られる場合には極めて精緻な理論が完成しており、推定量の誤差評価及び推定量の最適性に関してはクラメール・ラオ不等式に基づく精緻な議論が存在する。この場合、データ数が多い場合に、データ数に応じた誤差のばらつき度合いについての定量的な評価がほぼ可能となっている。また、どれくらいまでモデルを広く取るべきか分からない場合、得られたデータから適切なモデルを選択するための基準(モデル選択)についても十分な研究がなされている。しかしながら、隠れマルコフ過程の推定は、極めて広い領域で用いられているにもかかわらず、その理論解析は十分に進んでおらず、現状では、複数の推定アルゴリズムが提案されているに過ぎない。特に、独立同一分布の場合での解析と比較すると隠れマルコフ過程推定に関する解析は、極めて初歩的なレベルに留まっているといわざるを得ない。具体的には以下の問題点がある。

(1) 既存の隠れマルコフ過程推定(確率遷移行列の推定)のアルゴリズム(Baum-Welch アルゴリズムなど)については誤差評価がなされていない。また、その最適性に関する議論もなされていない。

(2) 既存のアルゴリズム(Baum-Welch アルゴリズムなど)では、データ数  $n$  に対して  $O(n)$  のオーダーの計算時間及び計算スペースが必要となる。そのため、データのばらつきが大きく、ビックデータを要する場合には適用できない。

(3) 潜在変数などが従う確率遷移行列を推定する場合、あらかじめどれだけの自由度を潜在変数に許すか決めておく必要がある。この問題は確率分布のモデル選択の隠れマルコフ版ともいえるべき問題であり、得られたデータから適切に必要な自由度を決める方法が必要とされている。隠れマルコフのモデル選択に関する先行研究は複数存在するが、精度が十分ではなく、上述の問題があるアルゴリズムをベースにしたモデル選択であるので改善する必要がある。

### 2. 研究の目的

本研究では、潜在変数及び可視変数が従う確率遷移行列が未知の場合に、得られた可視データ系列から潜在変数及び可視変数の確率遷移行列を推定する問題を扱う。この問題は隠れマルコフ過程推定と呼ばれ、数理統計学の立場では、確率分布の推定問題の一般化としてみなすことができる。なお、一旦、これらの確率遷移行列が明らかになると、Viterbi アルゴリズムなどにより、可視データから潜在データ列を推定することが可能である。

#### 【本研究で明らかにすること】

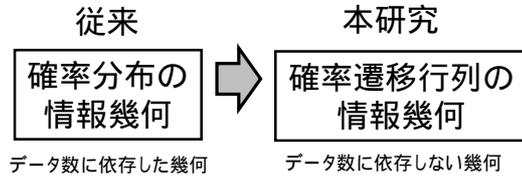
(1) 確率遷移行列の情報幾何を用いて、データ数が増えてもその計算量があまり増えない隠れマルコフ過程の確率遷移行列を推定するアルゴリズムを与える。

(2) 上記アルゴリズムの推定誤差の漸近評価を与える。具体的には、推定値の二乗誤差はデータ数  $n$  に反比例して減ると期待されるので、その係数を陽に求める。

(3) 制限された推定量のクラスの中で上記アルゴリズムの誤差に関する最適性を導出する。

(4) 上記のアルゴリズムをベースに、潜在変数の自由度を選択するためのモデル選択の基準を与える。

(5) 隠れマルコフ過程のデータ解析を現実の系へ応用する。

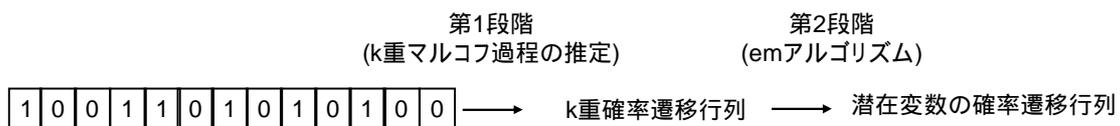


### 3. 研究の方法

従来のアルゴリズムでは、データ数に応じて計算量が増える問題があったが、これはデータ数に応じた相関を全て推定に用いたことが原因である。隠れマルコフ過程は  $n$  重マルコフ過程 ( $n$  個前までの記憶にだけ依存する確率過程) で近似的でき、その近似の精度は  $n$  を増やすことで向上させることができる。しかし、 $n$  を増やすことで近似するモデルが複雑になり、それを扱う計算量が爆発してしまう。多くの従来アルゴリズムでは、長さ  $n$  のデータの系列を扱う場合、実質的に途中で  $n$  重マルコフ過程を扱っており、結果的にアルゴリズムが大変複雑になってしまっている。このような問題が起きてしまった原因は、データの長さ  $n$  と推定の中で用いる多重マルコフ過程の長さを同一にしてしまったためである。また、多くの研究はこのような設定を採用しているため、推定量の範囲が広くなりすぎ、推定精度の評価や推定量の最適化などの精緻な議論の妨げになっている。

この問題を回避するため本研究では 2 段階の推定方法を用いる。この方法では、データの長さ  $n$  と推定で用いる可視変数の多重マルコフ過程の次数  $k$  を別の値とする。そして、第 1 段階では、得られたデータから可視変数の  $k$  重確率遷移行列を推定する。第 2 段階では得られた可視変数の  $k$  重確率遷移行列から、潜在変数の確率遷移行列を推定する。この段階では確率遷移行列の情報幾何構造を用いて定義される関数 (詳細は次ページ) の最小化を実現するものとして、アルゴリズムを与える。第 1 段階では、 $k$  個前の記憶に応じた標本平均を求めるだけで十分であるので、計算量はさほど大きくない。データ取得の段階で、 $k$  個前の記憶に応じた標本平均を用いるのであれば、記憶メモリのサイズはデータ数  $n$  に対して  $O(\log n)$  で十分である点も利点である。第 2 段階では、 $n$  はもはや現れないので、純粋に  $k$  にのみ依存した計算量になる。この方法により、計算量に依存したパラメータ  $k$  とデータ長  $n$  を独立に選ぶことができ、 $n$  が大きいビックデータに適用可能となる。

本研究では、隠れマルコフ過程の代わりに  $k$  重マルコフ過程を代用することを提案しているのではない。このアルゴリズムでは第 1 段階で得られた可視変数の  $k$  重確率遷移行列から真の潜在変数の確率遷移行列を推定する。そのため、その推定誤差の評価が必要となる。

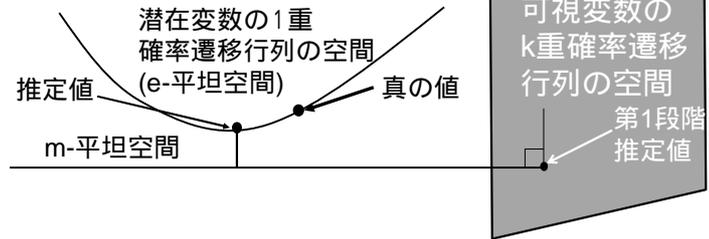


すなわち、途中で用いる可視変数の多重マルコフ過程の次数  $k$  及び潜在変数の次元を固定し、データ数  $n$  を増やした場合での推定誤差の漸近的な評価を行う。このために、先行研究で用いたピタゴラス型定理をはじめとする確率遷移行列の情報幾何的な議論及びマルコフ過程での確率変数の分散評価と幾何構造との関係を用いる。その性能を確率遷移行列版の Fisher 情報行列を用いて表す。この場合、潜在変数の確率遷移行列を適切にパラメトライズし、そのパラメータの下で平均 2 乗誤差の振る舞いを評価する。具体的には、二乗誤差は  $Ck/n$  の形で振舞うことが予想される。これにより、推定精度を保証するためには、どの程度の  $n$  及び  $k$  が必要であるか定量的に評価が可能となる。潜在変数の次元に対して  $k$  が小さすぎると、 $Ck$  は発散すると考えられるため、どれだけ  $k$  を準備すれば、十分であるか調べる。さらに、上述のように  $k$  重マルコフ過程の推定を経由する方法に制限した場合での提案手法の最適性を示す。

#### 4. 研究成果

**em アルゴリズム:**本研究では, 具体的に第 2 段階での最小化を与えるアルゴリズムを与えた. 具体的には右の図に与えるように, 潜在変数についての  $k$  重確率遷移行列の中で, 第 1 段階推定値から決まる  $m$ -平坦空間と潜在変数についての 1 重確率遷移行列のなす  $e$ -平坦空間との最近接点を推定値とする. (このように

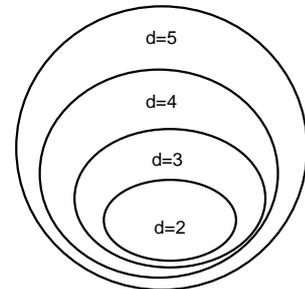
潜在変数の  $k$  重確率遷移行列の空間



に  $e$ -平坦空間,  $m$ -平坦空間が決まる幾何構造は双対平坦空間と呼ばれる.)  $em$  アルゴリズムでは, この最近接点を求めるのであるが,  $em$  アルゴリズムを走らせるための最小化関数を具体的に明らかにした. ここで, 既存の  $em$  アルゴリズムは, 確率分布のなす情報幾何構造に基づいたものであるため, そのまま適用することはできないことに注意する必要がある. 特に, 既存の方法では用いる確率分布の幾何構造がデータ数  $n$  に依存するため, その計算量もデータ数  $n$  に依存する. 本研究では, 確率遷移行列の情報幾何構造に注目し, その幾何構造に基づいて最小化する関数を具体的に与えた. なお, 方法では局所最適解に落ちる危険性を排除するため, 初期値を変えて複数回最小化を行う必要があるが, 計算量が  $n$  に依存しないので, さほど計算量は増えない. この最適化のポイントは  $n$  に関する非依存性である.

**漸近性能:**さらに, 上記の  $em$  アルゴリズムを用いた際の, 漸近的な誤差の挙動についても解析した. その結果, 射影的 Fisher 情報行列を用いて, 上記の推定の漸近的振る舞いが記述されることを明らかにした. すなわち, 推定値の二乗誤差はデータ数  $n$  に反比例して減るので, その係数を射影的 Fisher 情報行列を用いて陽に求めた. 同時に漸近正規性が成り立つことも明らかにした.

潜在変数の次元による階層構造



**モデル選択:**さらに, 潜在変数の次元の選択に関する問題に取り組む. この問題は隠れマルコフ過程版のモデル選択ともよべる問題であり, 得られたデータから適切に次元  $d$  を選ぶ必要がある. 特に次元を増やすと潜在変数の確率遷移行列が一意に定まらないので, モデル選択により適切な次元を選択する必要がある. 本研究では, カイ 2 乗検定の枠組みでとらえることにした. すなわち, 個々のモデルに対して, カイ 2 乗検定を適用させて, それぞれのモデルの妥当性を判断することで, モデルを選択する方法を提案した.

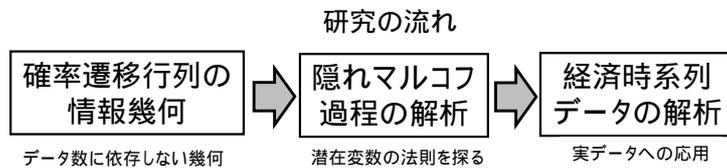
**同値性問題:**隠れマルコフ過程の場合, 異なる確率遷移行列であっても同じ統計的振る舞いをする場合がある. すなわち, 隠れ変数に関する確率遷移行列をパラメトライズした場合, 統計的振る舞いに反映されないパラメータが存在する. このため, 現実に現れる現象を適切に記述するには, 現実の現象に現れるパラメータだけを議論する枠組みが必要である. この問題は隠れマルコフ過程を記述する確率遷移行列に関する同値性問題とよばれる. この問題は, その重要性に関わらず, その難解さのために, あまり研究されてこなかった. 伊藤・甘利・小林による結果があるのみであった. しかし, この先行研究では, 2つの確率遷移行列の間の同値性関係を扱ったのみであり, 確率遷移行列を記述するパラメータを微小変化させたとき, どの方向の変化が, 現象の変化に現れないかについては議論していなかった. 隠れマルコフ過程をパラメトライズするには, この問題が大変重要であり, どの方向の微小変化が現象に現れないか明らかにする必要があるのである. この問題を接空間上での同値性問題として定式化し, 接空間のレベルでの同値性のため必要十分条件を明らかにした. これにより, どの方向のパラメータが現象の変化に現れないか判定可能となった. なお, 隠れマルコフ過程には様々なモデルがあるが, 隠れ変数から可視変数を与える過程が確率遷移行列で与えられるモデルの問題にこの問題が深刻であるため, このモデルの場合について, この問題を解決した.

#### 連続系への展開:

連続系への応用として, 隠れマルコフ過程の脳磁気図検査(MEG)への応用について研究した. 脳磁気図検査(MEG)とは脳内の電氣的活動によって生じる人間の頭の外の磁場を計測する方法である. 脳内の電氣的活動である神経内の電流はマルコフ過程とみなすことはできるが, 脳磁気図検査(MEG)によって直接計測できる磁場は, この電流を反映した確率過程であるため, 隠れマルコフ過程に従うことになる. 脳磁気図検査(MEG)の目的は, 計測された磁場から, 神経内の電流の振る舞いを推定することにある. 本研究では, 隠れマルコフ過程の手法を用いて, 測定値から神経内の電流の事後分布を与えることにある. 隠れ変数, 可視変数が離散となる場合での隠れマルコフ過程においては, 既存の forward-backward アルゴリズムの単純な適用により, 隠れ変数の事後分布を与えることが可能となる. しかし, 隠れ変数, 可視変数が連続となる系では, この方法をそのまま適用することはできない. 単純な方法としては, 隠れ変数, 可視変数を離散化して

適用する方法が考えられるが、この方法で、アルゴリズムはうまく動作する程度の離散化では、離散化の度合いが荒すぎて使い物にならない。したがって、本研究では多段

階に離散化する方法を考えた。すなわち、最初に最も荒いメッシュで離散化し、その離散化の下で、forward-backward アルゴリズムを適用する。次に、隠れ変数の推定値として得られた個々のメッシュだけを細分化するメッシュを考え、そのメッシュに対して、再度 forward-backward アルゴリズムを適用する。これを繰り返すことで、比較的少ない計算量で高い精度の数値結果が得られた。



## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計40件（うち査読付論文 38件 / うち国際共著 23件 / うちオープンアクセス 6件）

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Masahito Hayashi, Sai Vinjanampathy, and L C Kwek   | 4. 巻<br>52            |
| 2. 論文標題<br>Resolving unattainable Cramer-Rao bounds for quantum sensors   | 5. 発行年<br>2019年       |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics   | 6. 最初と最後の頁<br>15503   |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br><a href="https://doi.org/10.1088/1361-6455/aaf348">https://doi.org/10.1088/1361-6455/aaf348</a> | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>該当する          |
| 1. 著者名<br>Masahito Hayashi  | 4. 巻<br>65            |
| 2. 論文標題<br>Universal channel coding for general output alphabet   | 5. 発行年<br>2019年       |
| 3. 雑誌名<br>IEEE Transactions on Information Theory   | 6. 最初と最後の頁<br>302-321 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1109/TIT.2018.2877456  | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-             |
| 1. 著者名<br>Vzquez-Castro and Masahito Hayashi  | 4. 巻<br>14            |
| 2. 論文標題<br>Physical Layer Security for RF Satellite Channels in the Finite-Length Regime                                    | 5. 発行年<br>2018年       |
| 3. 雑誌名<br>IEEE Transactions on Information Forensics and Security   | 6. 最初と最後の頁<br>981-993 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1109/TIFS.2018.2868538   | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>該当する          |
| 1. 著者名<br>Masahito Hayashi and Yuuya Yoshida  | 4. 巻<br>51            |
| 2. 論文標題<br>Asymptotic and non-asymptotic analysis for a hidden Markovian process with a quantum hidden system               | 5. 発行年<br>2018年       |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical  | 6. 最初と最後の頁<br>335304  |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br><a href="https://doi.org/10.1088/1751-8121/aacde9">https://doi.org/10.1088/1751-8121/aacde9</a> | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>該当する          |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Yuxiang Yang, Ge Bai, Giulio Chiribella, and Masahito Hayashi | 4. 巻<br>64              |
| 2. 論文標題<br>Compression for quantum population coding                    | 5. 発行年<br>2018年         |
| 3. 雑誌名<br>IEEE Transactions on Information Theory                       | 6. 最初と最後の頁<br>4766-4783 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1109/TIT.2017.2788407                    | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難                                  | 国際共著<br>該当する            |

|  |                     |
|--|---------------------|
| 1. 著者名<br>Masahito Hayashi and Michal Hajdusek                         | 4. 巻<br>97          |
| 2. 論文標題<br>Self-guaranteed measurement-based blind quantum computation | 5. 発行年<br>2018年     |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review A  | 6. 最初と最後の頁<br>52308 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevA.97.052308                 | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難                                 | 国際共著<br>該当する        |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Vincent Y. F. Tan and Masahito Hayashi   | 4. 巻<br>64              |
| 2. 論文標題<br>Analysis of Remaining Uncertainties and Exponents under Various Conditional Renyi Entropies | 5. 発行年<br>2018年         |
| 3. 雑誌名<br>IEEE Transactions on Information Theory  | 6. 最初と最後の頁<br>3734-3755 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1109/TIT.2018.2792495   | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>該当する            |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Yuxiang Yang, Giulio Chiribella, and Masahito Hayashi   | 4. 巻<br>64              |
| 2. 論文標題<br>Quantum stopwatch: how to store time in a quantum memory   | 5. 発行年<br>2018年         |
| 3. 雑誌名<br>Proc. Royal Society A   | 6. 最初と最後の頁<br>4766-4783 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br><a href="https://doi.org/10.1098/rspa.2017.0773">https://doi.org/10.1098/rspa.2017.0773</a> | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>該当する            |

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1. 著者名<br>Tomoyuki Morimae, Yuki Takeuchi, and Masahito Hayashi | 4. 巻<br>96          |
| 2. 論文標題<br>Verification of hypergraph states                    | 5. 発行年<br>2017年     |
| 3. 雑誌名<br>PHYSICAL REVIEW A                                     | 6. 最初と最後の頁<br>62321 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevA.96.062321          | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難                          | 国際共著<br>-           |

|  |                     |
|--|---------------------|
| 1. 著者名<br>Masahito Hayashi and Huangjun Zhu                                  | 4. 巻<br>97          |
| 2. 論文標題<br>Secure uniform random-number extraction via incoherent strategies | 5. 発行年<br>2018年     |
| 3. 雑誌名<br>PHYSICAL REVIEW A  | 6. 最初と最後の頁<br>12302 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevA.97.012302                       | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難                                       | 国際共著<br>該当する        |

|  |                     |
|--|---------------------|
| 1. 著者名<br>Huangjun Zhu, Masahito Hayashi, and Lin Chen <sup>8</sup>                              | 4. 巻<br>97          |
| 2. 論文標題<br>Axiomatic and operational connections between the l1-norm of coherence and negativity | 5. 発行年<br>2018年     |
| 3. 雑誌名<br>PHYSICAL REVIEW A  | 6. 最初と最後の頁<br>22342 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevA.97.022342   | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>該当する        |

|  |                     |
|--|---------------------|
| 1. 著者名<br>Kosuke Ito and Masahito Hayashi  | 4. 巻<br>97          |
| 2. 論文標題<br>Optimal performance of generalized heat engines with finite-size baths of arbitrary multiple conserved quantities beyond independent-and-identical-distribution scaling | 5. 発行年<br>2018年     |
| 3. 雑誌名<br>PHYSICAL REVIEW E  | 6. 最初と最後の頁<br>12129 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevE.97.012129   | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>-           |

|  |                      |
|--|----------------------|
| 1. 著者名<br>Christoph Hirche, Masahito Hayashi, Emilio Bagan, and John Calsamiglia | 4. 巻<br>118          |
| 2. 論文標題<br>Discrimination Power of a Quantum Detector                            | 5. 発行年<br>2017年      |
| 3. 雑誌名<br>PHYSICAL REVIEW LETTERS  | 6. 最初と最後の頁<br>160502 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevLett.118.160502                       | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>該当する         |

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1. 著者名<br>Huangjun Zhu and Masahito Hayashi                                   | 4. 巻<br>120         |
| 2. 論文標題<br>Universally Fisher-Symmetric Informationally Complete Measurements | 5. 発行年<br>2018年     |
| 3. 雑誌名<br>PHYSICAL REVIEW LETTERS   | 6. 最初と最後の頁<br>30404 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevLett.120.030404                    | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>該当する        |

|   |                      |
|---|----------------------|
| 1. 著者名<br>Huangjun Zhu, Masahito Hayashi and Lin Chen   | 4. 巻<br>50           |
| 2. 論文標題<br>Coherence and entanglement measures based on Renyi relative entropies  | 5. 発行年<br>2017年      |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical  | 6. 最初と最後の頁<br>475303 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br><a href="https://doi.org/10.1088/1751-8121/aa8ffc">https://doi.org/10.1088/1751-8121/aa8ffc</a> | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>該当する         |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Wataru Kumagai and Masahito Hayashi   | 4. 巻<br>63              |
| 2. 論文標題<br>Second-Order Asymptotics of Conversions of Distributions and Entangled States Based on Rayleigh-Normal Probability Distributions | 5. 発行年<br>2017年         |
| 3. 雑誌名<br>IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION THEORY   | 6. 最初と最後の頁<br>1829-1857 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1109/TIT.2016.2645223  | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-               |

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Masahito Hayash and Vincent Y. F. Tan               | 4. 巻<br>64            |
| 2. 論文標題<br>Minimum Rates of Approximate Sufficient Statistics | 5. 発行年<br>2018年       |
| 3. 雑誌名<br>IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION THEORY             | 6. 最初と最後の頁<br>875-888 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1109/TIT.2017.2775612          | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難                        | 国際共著<br>該当する          |

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1. 著者名<br>Masaki Owari, Go Kato, and Masahito Hayashi   | 4. 巻<br>3           |
| 2. 論文標題<br>Single-shot secure quantum network coding on butterfly network with free public communication                    | 5. 発行年<br>2017年     |
| 3. 雑誌名<br>Quantum Science and Technology  | 6. 最初と最後の頁<br>14001 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br><a href="https://doi.org/10.1088/2058-9565/aa8ac4">https://doi.org/10.1088/2058-9565/aa8ac4</a> | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-           |

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Go Kato, Masaki Owari, and Masahito Hayashi   | 4. 巻<br>10681         |
| 2. 論文標題<br>Single-Shot Secure Quantum Network Coding for General Multiple Unicast Network with Free Public Communication            | 5. 発行年<br>2017年       |
| 3. 雑誌名<br>Lecture Notes in Computer Science   | 6. 最初と最後の頁<br>166-187 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br><a href="https://doi.org/10.1007/978-3-319-72089-0_10">https://doi.org/10.1007/978-3-319-72089-0_10</a> | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-             |

|   |                 |
|---|-----------------|
| 1. 著者名<br>Z. Yao, Z. Fan, M. Hayashi, and W. F. Eddy  | 4. 巻<br>-       |
| 2. 論文標題<br>Quantifying Time-Varying Sources in Magnetoencephalography -- A Discrete Approach                      | 5. 発行年<br>2020年 |
| 3. 雑誌名<br>Annals of Applied Statistics  | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br><a href="https://doi.org/10.1214/19-AOAS1321">https://doi.org/10.1214/19-AOAS1321</a> | 査読の有無<br>有      |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>該当する    |

|   |                    |
|---|--------------------|
| 1. 著者名<br>M. Hayashi  | 4. 巻<br>2          |
| 2. 論文標題<br>Local equivalence problem in hidden Markov model | 5. 発行年<br>2019年    |
| 3. 雑誌名<br>Information Geometry                              | 6. 最初と最後の頁<br>1-42 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/s41884-019-00016-z      | 査読の有無<br>有         |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難                      | 国際共著<br>-          |

|   |                 |
|---|-----------------|
| 1. 著者名<br>Y. Yoshida and M. Hayashi   | 4. 巻<br>-       |
| 2. 論文標題<br>Asymptotic properties for Markovian dynamics in quantum theory and general probabilistic theories                | 5. 発行年<br>2020年 |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical  | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br><a href="https://doi.org/10.1088/1751-8121/ab8599">https://doi.org/10.1088/1751-8121/ab8599</a> | 査読の有無<br>有      |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>-       |

|   |                 |
|---|-----------------|
| 1. 著者名<br>J. Suzuki, Y. Yang, and M. Hayashi  | 4. 巻<br>-       |
| 2. 論文標題<br>Quantum state estimation with nuisance parameters  | 5. 発行年<br>2020年 |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical  | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br><a href="https://doi.org/10.1088/1751-8121/ab8b78">https://doi.org/10.1088/1751-8121/ab8b78</a> | 査読の有無<br>有      |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>該当する    |

|   |                 |
|---|-----------------|
| 1. 著者名<br>S. Takabe, and T. Wadayama, and M. Hayashi  | 4. 巻<br>-       |
| 2. 論文標題<br>Asymptotic Behavior of Spatial Coupling LDPC Coding for Compute-and-Forward Two-Way Relaying | 5. 発行年<br>2020年 |
| 3. 雑誌名<br>IEEE Transactions on Communications   | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1109/TCOMM.2020.2987891  | 査読の有無<br>有      |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-       |

|  |                 |
|--|-----------------|
| 1. 著者名<br>M. Hayashi and S. Watanabe   | 4. 巻<br>22      |
| 2. 論文標題<br>Finite-Length Analyses for Source and Channel Coding on Markov Chains | 5. 発行年<br>2020年 |
| 3. 雑誌名<br>Entropy  | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.3390/e22040460                                    | 査読の有無<br>有      |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)   | 国際共著<br>-       |

|  |                      |
|--|----------------------|
| 1. 著者名<br>R. Takagi, K. Wang, and M. Hayashi   | 4. 巻<br>124          |
| 2. 論文標題<br>Application of the resource theory of channels to communication scenarios | 5. 発行年<br>2020年      |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review Letters  | 6. 最初と最後の頁<br>120502 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevLett.124.120502                           | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>該当する         |

|   |                 |
|---|-----------------|
| 1. 著者名<br>M. Hayashi and A. Vazquez-Castro                                | 4. 巻<br>-       |
| 2. 論文標題<br>Two-Way Physical Layer Security Protocol for Gaussian Channels | 5. 発行年<br>2020年 |
| 3. 雑誌名<br>IEEE Transactions on Communications                             | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1109/TCOMM.2020.2973618                    | 査読の有無<br>有      |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)                                    | 国際共著<br>該当する    |

|   |                           |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名<br>N. Cai and M. Hayashi   | 4. 巻<br>66                |
| 2. 論文標題<br>Secure Network Code for Adaptive and Active Attacks with No-Randomness in Intermediate Nodes | 5. 発行年<br>2020年           |
| 3. 雑誌名<br>IEEE Transactions on Information Theory   | 6. 最初と最後の頁<br>1428 - 1448 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1109/TIT.2019.2957078  | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>該当する              |

|   |                           |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名<br>M. Hayashi and A. Vazquez-Castro  | 4. 巻<br>15                |
| 2. 論文標題<br>Physical Layer Security Protocol for Poisson Channels for Passive Man-in-the-middle Attack | 5. 発行年<br>2020年           |
| 3. 雑誌名<br>IEEE Transactions on Information Forensics and Security                                     | 6. 最初と最後の頁<br>2295 - 2305 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1109/TIFS.2019.2963771   | 査読の有無<br>無                |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-                 |

|   |                           |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名<br>S. Song and M. Hayashi  | 4. 巻<br>66                |
| 2. 論文標題<br>Perfect Discrimination of Non-Orthogonal Separable Pure States on Bipartite System in General Probabilistic Theory | 5. 発行年<br>2019年           |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical  | 6. 最初と最後の頁<br>1178 - 1192 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1109/TIT.2019.2933422  | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-                 |

|   |                      |
|---|----------------------|
| 1. 著者名<br>H. Arai, Y. Yoshida, and M. Hayashi   | 4. 巻<br>52           |
| 2. 論文標題<br>Perfect Discrimination of Non-Orthogonal Separable Pure States on Bipartite System in General Probabilistic Theory | 5. 発行年<br>2019年      |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical  | 6. 最初と最後の頁<br>465304 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br><a href="https://doi.org/10.1088/1751-8121/ab4b64">https://doi.org/10.1088/1751-8121/ab4b64</a>   | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-            |

|  |                           |
|--|---------------------------|
| 1. 著者名<br>R. Yaguchi and M. Hayashi  | 4. 巻<br>65                |
| 2. 論文標題<br>Second Order Analysis for Joint Source-Channel Coding with General Channel and Markovian Source | 5. 発行年<br>2019年           |
| 3. 雑誌名<br>IEEE Transactions on Information Theory  | 6. 最初と最後の頁<br>5750 - 5770 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1109/TIT.2019.2917200   | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>-                 |

|  |                     |
|--|---------------------|
| 1. 著者名<br>Kun Wang and Masahito Hayashi                  | 4. 巻<br>100         |
| 2. 論文標題<br>Optimal verification of two-qubit pure states | 5. 発行年<br>2019年     |
| 3. 雑誌名<br>PHYSICAL REVIEW A                              | 6. 最初と最後の頁<br>32315 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevA.100.032315  | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難                   | 国際共著<br>該当する        |

|  |                     |
|--|---------------------|
| 1. 著者名<br>Huangjun Zhu and Masahito Hayashi  | 4. 巻<br>100         |
| 2. 論文標題<br>General framework for verifying pure quantum states in the adversarial scenario | 5. 発行年<br>2019年     |
| 3. 雑誌名<br>PHYSICAL REVIEW A  | 6. 最初と最後の頁<br>62335 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevA.100.062335                                    | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>該当する        |

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1. 著者名<br>Huangjun Zhu and Masahito Hayashi   | 4. 巻<br>99          |
| 2. 論文標題<br>Optimal verification and fidelity estimation of maximally entangled states | 5. 発行年<br>2019年     |
| 3. 雑誌名<br>PHYSICAL REVIEW A   | 6. 最初と最後の頁<br>52346 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevA.99.052346                                | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>該当する        |

|  |                      |
|--|----------------------|
| 1. 著者名<br>Huangjun Zhu and Masahito Hayashi  | 4. 巻<br>123          |
| 2. 論文標題<br>Efficient Verification of Pure Quantum States in the Adversarial Scenario | 5. 発行年<br>2019年      |
| 3. 雑誌名<br>PHYSICAL REVIEW LETTERS  | 6. 最初と最後の頁<br>260504 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevLett.123.260504                           | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>該当する         |

|  |                     |
|--|---------------------|
| 1. 著者名<br>Huangjun Zhu and Masahito Hayashi                  | 4. 巻<br>12          |
| 2. 論文標題<br>Efficient Verification of Hypergraph States       | 5. 発行年<br>2019年     |
| 3. 雑誌名<br>PHYSICAL REVIEW APPLIED                            | 6. 最初と最後の頁<br>54047 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevApplied.12.054047 | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難                       | 国際共著<br>該当する        |

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1. 著者名<br>Masahito Hayashi and Yuki Takeuchi  | 4. 巻<br>21          |
| 2. 論文標題<br>Verifying commuting quantum computations via fidelity estimation of weighted graph states                        | 5. 発行年<br>2019年     |
| 3. 雑誌名<br>New Journal of Physics  | 6. 最初と最後の頁<br>93060 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br><a href="https://doi.org/10.1088/1367-2630/ab3d88">https://doi.org/10.1088/1367-2630/ab3d88</a> | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>-           |

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1. 著者名<br>Yuki Takeuchi, Tomoyuki Morimae, and Masahito Hayashi   | 4. 巻<br>9           |
| 2. 論文標題<br>Quantum computational universality of hypergraph states with pauli-X and Z basis measurements                        | 5. 発行年<br>2019年     |
| 3. 雑誌名<br>Scientific Reports  | 6. 最初と最後の頁<br>13585 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br><a href="https://doi.org/10.1038/s41598-019-49968-3">https://doi.org/10.1038/s41598-019-49968-3</a> | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>-           |

|   |                 |
|---|-----------------|
| 1. 著者名<br>Daiki Suruga and Masahito Hayashi   | 4. 巻<br>-       |
| 2. 論文標題<br>LOCC estimator for pure state model in quantum parameter estimation with nuisance parameters | 5. 発行年<br>2020年 |
| 3. 雑誌名<br>数理解析研究所講究録  | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし  | 査読の有無<br>無      |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>-       |

[学会発表] 計62件(うち招待講演 19件/うち国際学会 50件)

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Masahito Hayashi  |
| 2. 発表標題<br>Secure physical layer network coding versus secure network coding |
| 3. 学会等名<br>IEEE Information Theory Workshop 2018 (招待講演) (国際学会)               |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Seunghoan Song and Masahito Hayashi                         |
| 2. 発表標題<br>Secure Quantum Network Code without Classical Communication |
| 3. 学会等名<br>IEEE Information Theory Workshop 2018 (国際学会)                |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Masahito Hayashi, Tadashi Wadayama, Angeles Vazquez-Castro |
| 2. 発表標題<br>Secure Computation-and-Forward with Linear Codes           |
| 3. 学会等名<br>IEEE Information Theory Workshop 2018 (国際学会)               |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Seunghoan Song and Masahito Hayashi  |
| 2. 発表標題<br>Quantum Network Code for Multiple-Unicast Network with Quantum Invertible Linear Operations            |
| 3. 学会等名<br>13th Conference on the Theory of Quantum Computation, Communication and Cryptography (TQC 2018) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Yuxiang Yang, Giulio Chiribella, and Masahito Hayashi                |
| 2. 発表標題<br>Compression for qubit clocks   |
| 3. 学会等名<br>IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT2018) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Masahito Hayashi and Takeshi Koshiha   |
| 2. 発表標題<br>Universal Construction of Cheater-Identifiable Secret Sharing Against Rushing Cheaters Based on Message Authentication |
| 3. 学会等名<br>IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT2018) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Anurag Anshu, Masahito Hayashi, and Naqeeb Ahmad Warsi                   |
| 2. 発表標題<br>Secure communication over fully quantum Gel'fand-Pinsker wiretap channel |
| 3. 学会等名<br>IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT2018) (国際学会)     |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Yuuya Yoshida and Masahito Hayashi                                   |
| 2. 発表標題<br>Asymptotically Decoupling and Mixing Properties in Quantum System    |
| 3. 学会等名<br>IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT2018) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>H. Zhu and M. Hayashi  |
| 2. 発表標題<br>Universally Fisher-symmetric informationally complete measurements |
| 3. 学会等名<br>18th Asian Quantum Information Science Conference (国際学会)           |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Yuxiang Yang, Giulio Chiribella, and Masahito Hayashi              |
| 2. 発表標題<br>Attaining the ultimate precision limit in quantum state estimation |
| 3. 学会等名<br>18th Asian Quantum Information Science Conference (国際学会)           |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Masahito Hayashi  |
| 2. 発表標題<br>Measurement-Based Quantum Computation and Its Verification                      |
| 3. 学会等名<br>Second Hong Kong-Shenzhen Workshop on Quantum Information Science (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Masahito Hayashi   |
| 2. 発表標題<br>Quantum stopwatch: How to store time in a quantum memory |
| 3. 学会等名<br>Wolfson - SUSTech meeting (招待講演) (国際学会)                  |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Masahito Hayashi   |
| 2. 発表標題<br>Verification of Measurement-Based Quantum Computation                |
| 3. 学会等名<br>AQIS2018 Kyoto satellite workshop on quantum computing (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Masahito Hayashi   |
| 2. 発表標題<br>Attaining the ultimate precision limit in quantum state estimation |
| 3. 学会等名<br>International Workshop on Quantum Tomography (IWQT) (招待講演) (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Masahito Hayashi   |
| 2. 発表標題<br>Attaining the ultimate precision limit in quantum state estimation       |
| 3. 学会等名<br>Hong Kong-Shenzhen Workshop on Quantum Information Science (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>吉田裕哉, 林 正人                       |
| 2. 発表標題<br>量子系におけるTP-CP写像の漸近的decouplingと混合性 |
| 3. 学会等名<br>第38回量子情報技術研究会 (QIT38)            |
| 4. 発表年<br>2018年                             |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Seunghoan Song and Masahito Hayashi                         |
| 2. 発表標題<br>Secure Quantum Network Code without Classical Communication |
| 3. 学会等名<br>第38回量子情報技術研究会 (QIT38)                                       |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>竹内勇貴, 森前智行, 林正人               |
| 2. 発表標題<br>パウリX, Z測定によるハイパーグラフ状態の量子計算万能性 |
| 3. 学会等名<br>第38回量子情報技術研究会 (QIT38)         |
| 4. 発表年<br>2018年                          |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Masahito Hayashi  |
| 2. 発表標題<br>Finite-length security analysis in quantum key distribution |
| 3. 学会等名<br>中国電子学会2019量子情報技術学术交流大会 (招待講演)                               |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Masahito Hayashi                                   |
| 2. 発表標題<br>Various security in quantum information            |
| 3. 学会等名<br>Nagoya-SUSTech Quantum Information Workshop (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Masahito Hayashi  |
| 2. 発表標題<br>Asymptotic decoupling property, mixing condition and Hidden Markovian Process in quantum system |
| 3. 学会等名<br>Mathematical Aspects in Current Quantum Information Theory (招待講演) (国際学会)                        |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Masahito Hayashi  |
| 2. 発表標題<br>Discrimination in general probability theory  |
| 3. 学会等名<br>Interactions between Noncommutative Analysis and Quantum Information Theory (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Masahito Hayashi  |
| 2. 発表標題<br>Semi-Finite Length Analysis for Secure Random Number Generation |
| 3. 学会等名<br>2019 IEEE International Symposium on Information Theory (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Masahito Hayashi   |
| 2. 発表標題<br>Secure list decoding   |
| 3. 学会等名<br>2019 IEEE International Symposium on Information Theory (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Yuuya Yoshida, Masahito Hayashi  |
| 2. 発表標題<br>Optimal Mechanism for Randomized Responses under Universally Composible Security Measure |
| 3. 学会等名<br>2019 IEEE International Symposium on Information Theory (国際学会)                           |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Seunghoan Song, Masahito Hayashi  |
| 2. 発表標題<br>Capacity of Quantum Private Information Retrieval with Multiple Servers |
| 3. 学会等名<br>2019 IEEE International Symposium on Information Theory (国際学会)          |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Zhigang Yao, Zengyan Fan, Masahito Hayashi, William Eddy                                    |
| 2. 発表標題<br>Quantifying Time-Varying Sources in Magnetoencephalography A Discrete Approach              |
| 3. 学会等名<br>The 3rd International Conference on Econometrics and Statistics (EcoSta 2019) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Angeles Vazquez-Castro, Masahito Hayashi  |
| 2. 発表標題<br>One-way and Two-way Physical Layer Security Protocols for the Gaussian Satellite Channel                        |
| 3. 学会等名<br>2019 IEEE International Conference on Communications (ICC): SAC Satellite and Space Communications Track (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Seunghoan Song, Masahito Hayashi  |
| 2. 発表標題<br>Capacity of Quantum Private Information Retrieval with Multiple Servers |
| 3. 学会等名<br>第40回量子情報技術研究会   |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>吉田裕哉, 林 正人                         |
| 2. 発表標題<br>量子dynamicsにおける漸近的decouplingの必要十分条件 |
| 3. 学会等名<br>第40回量子情報技術研究会                      |
| 4. 発表年<br>2019年                               |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>荒井 駿, 吉田 裕哉, 林 正人            |
| 2. 発表標題<br>一般確率論における非直交separable状態の完全識別 |
| 3. 学会等名<br>第40回量子情報技術研究会                |
| 4. 発表年<br>2019年                         |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>加藤豪, 尾張正樹, 林正人               |
| 2. 発表標題<br>セキュア量子ネットワーク符号               |
| 3. 学会等名<br>一般確率論における非直交separable状態の完全識別 |
| 4. 発表年<br>2019年                         |

|  |
|--|
| 1 . 発表者名<br>Masahito Hayashi, Masaki Owari, Go Kato and Ning Cai                 |
| 2 . 発表標題<br>Secrecy and Robustness for Active Attack in Secure Network Coding    |
| 3 . 学会等名<br>IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT2017) (国際学会) |
| 4 . 発表年<br>2017年   |

|  |
|--|
| 1 . 発表者名<br>M. Hayashi and V. Tan  |
| 2 . 発表標題<br>Minimum Rates of Approximate Sufficient Statistics                   |
| 3 . 学会等名<br>IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT2017) (国際学会) |
| 4 . 発表年<br>2017年   |

|  |
|--|
| 1 . 発表者名<br>M. Hayashi   |
| 2 . 発表標題<br>Secure wireless communication under spatial and local Gaussian noise assumptions |
| 3 . 学会等名<br>IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT2017) (国際学会)             |
| 4 . 発表年<br>2017年   |

|   |
|---|
| 1 . 発表者名<br>R. Yaguchi and M. Hayashi   |
| 2 . 発表標題<br>Second Order Analysis for Joint Source-Channel Coding with Markovian Source |
| 3 . 学会等名<br>IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT2017) (国際学会)        |
| 4 . 発表年<br>2017年  |

|  |
|--|
| 1 . 発表者名<br>Y. Yang, G. Bai, G. Chiribella, and M. Hayashi                       |
| 2 . 発表標題<br>Compression for quantum population coding                            |
| 3 . 学会等名<br>IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT2017) (国際学会) |
| 4 . 発表年<br>2017年   |

|  |
|--|
| 1 . 発表者名<br>Angeles Vazquez Castro and M. Hayashi                                |
| 2 . 発表標題<br>Information-theoretic physical layer security for satellite channels |
| 3 . 学会等名<br>2017 IEEE Aerospace Conference, Montana (国際学会)                       |
| 4 . 発表年<br>2017年   |

|   |
|---|
| 1 . 発表者名<br>Y. Yang, G. Bai, G. Chiribella, and M. Hayashi    |
| 2 . 発表標題<br>Compression for identically prepared qudit states |
| 3 . 学会等名<br>Quantum Information Processsing (QIP 2018) (国際学会) |
| 4 . 発表年<br>2018年  |

|   |
|---|
| 1 . 発表者名<br>M. Hayashi, M. Owari, G. Kato, and N. Cai   |
| 2 . 発表標題<br>Secrecy and Robustness for Active Attack in Secure Network Coding and its Application to Network Quantum Key Distribution |
| 3 . 学会等名<br>10th International Conference on Information Theoretic Security (ICITS2017) Workshop Track (国際学会)                         |
| 4 . 発表年<br>2017年  |

|   |
|---|
| 1 . 発表者名<br>A. Vazquez-Castro and M. Hayashi  |
| 2 . 発表標題<br>Information-theoretic Physical Layer Security for Satellite Channels                                |
| 3 . 学会等名<br>10th International Conference on Information Theoretic Security (ICITS2017) Workshop Track ( 国際学会 ) |
| 4 . 発表年<br>2017年  |

|  |
|--|
| 1 . 発表者名<br>Y. Yang, G. Bai, G. Chiribella, and M. Hayashi,                    |
| 2 . 発表標題<br>Compression for Quantum Population Coding                          |
| 3 . 学会等名<br>Asian Conference on Quantum Information Science (AQIS 17) ( 国際学会 ) |
| 4 . 発表年<br>2017年   |

|  |
|--|
| 1 . 発表者名<br>M. Hayashi   |
| 2 . 発表標題<br>Secure wireless communication and its application to satellite communication |
| 3 . 学会等名<br>Japan-Singapore Workshop on Coding and Information Theory ( 招待講演 ) ( 国際学会 )  |
| 4 . 発表年<br>2018年   |

|   |
|---|
| 1 . 発表者名<br>M. Hayashi  |
| 2 . 発表標題<br>Asymptotic decoupling property and mixing condition and Hidden Markovian Process in quantum system,       |
| 3 . 学会等名<br>Hong Kong Workshop on Quantum Information Foundations: Focus on Physics of the Observer ( 招待講演 ) ( 国際学会 ) |
| 4 . 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>M. Hayashi,   |
| 2. 発表標題<br>Asymptotic Analysis for Hidden Markovian Process with Quantum Hidden System |
| 3. 学会等名<br>2017 IEEE Information Theory Workshop (招待講演) (国際学会)                         |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>M. Hayashi  |
| 2. 発表標題<br>Role of Hypothesis Testing in Quantum Information Theory                |
| 3. 学会等名<br>Asian Conference on Quantum Information Science (AQIS 17) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Kosuke Ito, Masahito Hayashi   |
| 2. 発表標題<br>Optimal performance of generalized heat engines with finite-size baths of multiple conserved quantities beyond i.i.d. scaling, |
| 3. 学会等名<br>14th Granada Seminar on Quantum Systems in and out of Equilibrium: Fundamentals, dynamics and applications (国際学会)              |
| 4. 発表年<br>2017年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Kosuke Ito and Masahito Hayashi   |
| 2. 発表標題<br>Optimal performance of generalized heat engines with finite-size baths of arbitrary multiple conserved quantities beyond i.i.d. scaling |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会秋季大会  |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>M. Hayashi   |
| 2. 発表標題<br>Secure wireless communication under spatial and local Gaussian noise assumptions |
| 3. 学会等名<br>2016 Shannon Workshop (招待講演) (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2016年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>林正人   |
| 2. 発表標題<br>Information Geometry Approach to Parameter Estimation in Hidden Markov Models |
| 3. 学会等名<br>統計的モデリングと計算アルゴリズムの数理と展開 (招待講演)  |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|                                  |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名<br>林正人                   |
| 2. 発表標題<br>量子情報と有限長理論の今後の展望      |
| 3. 学会等名<br>量子情報と有限長理論の新展開 (招待講演) |
| 4. 発表年<br>2016年                  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>H.Zhu and M.Hayashi   |
| 2. 発表標題<br>Efficient Verification of Pure Quantum States in the Adversarial Scenario |
| 3. 学会等名<br>Quantum Information Processing 2020 (QIP) (国際学会)                          |
| 4. 発表年<br>2020年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>M. Hayashi  |
| 2. 発表標題<br>Verification of Graph state, Hypergraph state, and Weighted graph state |
| 3. 学会等名<br>Beyond iid Conference (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>M. Hayashi  |
| 2. 発表標題<br>Verification of commuting quantum computations via fidelity estimation of weighted graph states |
| 3. 学会等名<br>Quantum information and string theory 2019 (招待講演) (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>M. Hayashi  |
| 2. 発表標題<br>Verification of commuting quantum computations via fidelity estimation of weighted graph states |
| 3. 学会等名<br>Mini-Workshop on Quantum Verification (招待講演) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Y. Yoshida and M. Hayashi   |
| 2. 発表標題<br>Classical Mechanism is Optimal in Classical-Quantum Differentially Private Mechanisms |
| 3. 学会等名<br>IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT2020) (国際学会)                  |
| 4. 発表年<br>2020年  |

|  |
|--|
| 1 . 発表者名<br>S. Song and M.Hayashi  |
| 2 . 発表標題<br>Capacity of Quantum Private Information Retrieval with Colluding Servers |
| 3 . 学会等名<br>IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT2020) ( 国際学会 )   |
| 4 . 発表年<br>2020年   |

|   |
|---|
| 1 . 発表者名<br>K. Wang and M. Hayashi  |
| 2 . 発表標題<br>Permutation Enhances Classical Communication Assisted by Entangled States |
| 3 . 学会等名<br>IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT2020) ( 国際学会 )    |
| 4 . 発表年<br>2020年  |

|   |
|---|
| 1 . 発表者名<br>M.Hayashi and Y.Chen  |
| 2 . 発表標題<br>Secrecy and Error Exponents of k-Transmitter Multiple Access Wire-tap Channel |
| 3 . 学会等名<br>IEEE Information Theory Workshop (ITW2019) ( 国際学会 )                           |
| 4 . 発表年<br>2019年  |

|  |
|--|
| 1 . 発表者名<br>S. Song and M.Hayashi  |
| 2 . 発表標題<br>Capacity of Quantum Private Information Retrieval with Collusion of All But One of Servers |
| 3 . 学会等名<br>IEEE Information Theory Workshop (ITW2019) ( 国際学会 )  |
| 4 . 発表年<br>2019年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Seunghoan Song and Masahito Hayashi  |
| 2. 発表標題<br>Capacity of Quantum Private Information Retrieval with Collusion of All But One of Servers |
| 3. 学会等名<br>第41回量子情報技術研究会 (QIT41)  |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Seunghoan Song and Masahito Hayashi                                     |
| 2. 発表標題<br>Capacity of Quantum Private Information Retrieval with Multiple Servers |
| 3. 学会等名<br>19th Asian Quantum Information Science Conference (国際学会)                |
| 4. 発表年<br>2019年  |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|  | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号) | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号) | 備考 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|  |                           |                       |    |