

令和元年6月4日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K04983

研究課題名(和文) エンタングルメント量子チャネルの相互エントロピーと量子符号化定理の定式化の基礎付

研究課題名(英文) Mutual entropy of entanglement quantum channels and the basis of formulation of the quantum coding theorem

研究代表者

渡邊 昇 (Watanabe, Noboru)

東京理科大学・理工学部情報科学科・教授

研究者番号：70191781

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：情報理論は、現代の情報化社会を支える基礎理論の一つであり、確率論をベースに定められた一連の情報量により、可換系の情報伝送の効率が調べられている。特に、可換系のチャネル符号化定理の一般化研究が、力学的エントロピーにより行われている。この符号化定理は量子情報理論の重要課題である。本研究では、エンタングルメント性を持つ量子チャネルに対して伝送効率を調べ、量子系の平均相互エントロピーの定式化をもとに量子チャネル符号化の定理の定式化を目指す数的研究として、(1)エンタングルメント量子チャネル理論の定式化、(2)量子系の力学的エントロピー理論の展開、(3)量子符号化の定理の解決に向けた基礎研究を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

量子情報通信過程の数的研究では、量子確率論をベースとして、(1)量子符号化の定理、(2)量子エントロピー理論、(3)量子チャネル理論、などの様々な研究が行われている。本研究では、エンタングルメントチャネルと量子系の力学的エントロピー理論の研究を基に、量子符号化定理の証明を目指す課題の研究によって、エンタングルメント量子チャネルに対する量子系の平均相互エントロピーを定式化し、平均相互エントロピーの加法性が証明できる。さらには、エンタングルメント量子チャネルを考慮した量子符号化の定理の厳密な証明を行うための糸口が得られ、量子情報通信の理工学的な発展に役立つ理論の定式化が期待される。

研究成果の概要(英文)：Information theory is one of the basic theories that supports the modern information society, and the efficiency of information transmission in a commutative system is examined by a series of information amounts defined based on probability theory. In particular, a generalization study of the channel coding theorem for commutative systems is carried out by dynamical entropy. This coding theorem is an important issue in quantum information theory. In this research, we investigate transmission efficiency for quantum channels with entanglement, and as a mathematical study aiming at the formulation of quantum channel coding theorem based on the formulation of the average mutual entropy of quantum systems (1) We conducted basic research for formulation of entanglement quantum channel theory, (2) development of dynamic entropy theory of quantum systems, and (3) solution of quantum coding theorem.

研究分野：数物系科学

キーワード：量子情報理論 量子エントロピー 量子符号化定理 量子力学的エントロピー 量子チャネル エンタングルメント

1. 研究開始当初の背景

量子的な性質を持つ光子を信号に用いる光通信過程の研究は、1980年代頃に盛んに行われていたが、量子コンピューティングの研究が始められたことに伴い、現在では、量子情報という、数学・物理学・計算科学・情報科学・情報工学の複合領域にまたがる新たな分野が形成され世界的に研究が行われている。量子情報通信過程の数理的研究では、量子確率論をベースとして、(1) 量子符号化の定理、(2) 量子エントロピー理論、(3) 量子チャネル理論、などの様々な研究が行われている。

(1) エンタングルメント量子チャネル理論の定式化

近年、光を信号に用いる光通信過程が量子情報通信理論により議論され、様々な結果が得られている。特に、量子密度符号化や量子テレポーテーションなどの量子系に特有の量子エンタングルメントの性質を利用した量子チャネルに対する情報伝送の効率を調べる研究では、シャノン理論との相違点が指摘され、量子干渉性を含む通信過程の定式化の研究の必要性が叫ばれている。

(2) 量子系の力学的エントロピー理論の展開

量子チャネル符号化の定理の解決には、通常確率論をベースとして定式化されている力学的エントロピーや平均相互エントロピーの量子系への展開が不可欠であり、部分代数上の様々な力学的エントロピーや部分状態空間上の平均エントロピーと平均相互エントロピーが定式化されている。

(3) 量子符号化定理の定式化に向けて

未解決のままの量子符号化の定理については、(i) 情報源符号化の定理が、シューマッハー・ペッツ等によって部分的に議論されている。さらに、(ii) 量子情報通信理論の最も中心的な課題の一つである量子チャネル符号化の定理は、信号を誤りなく送信するための基準を与え、チャネルを設計する上で重要な役割を果たすものである。

2. 研究の目的

本研究では、エンタングルメントチャネルと量子系の力学的エントロピー理論の研究を基に、量子符号化定理の完全な証明を与えることを最終目標とし、その定式化に必要な数理的基礎をひとつひとつ積み上げていくことを目的とする。

3. 研究の方法

情報理論は可換系及び量子系の確率論を一つの基礎として構築されており、とくに量子情報通信理論の研究が、情報を核とした共通の土俵の上で進められている。本研究計画では、ヒルベルト空間論、作用素代数論、微分方程式などの既存の数学に情報理論や物理学における諸概念を取り入れて、以下の課題に取り組む：

(1) エンタングルメント量子チャネル理論の定式化、(2) 量子系の力学的エントロピー理論の展開、(3) 量子符号化の定理の解決に向けた基礎研究

4. 研究成果

本研究では、量子系のエントロピー理論と量子チャネル理論の研究を基に、量子チャネル符号化の定理の完全な証明を与えることを最終目標とし、その定式化に必要な数理的基礎をひとつひとつ積み上げていくことを目的とする。具体的には以下のような成果を得た。

(1) 量子系のチャネル符号化定理の定式化の基礎付け

チャネル符号化の定理は、エルゴード性を持つ通信過程における情報源のエントロピーがキャパシティ（通信路容量）より小さい場合には、受信メッセージから送信メッセージをいくらかでも高い精度で推定することができることを示している。現在、量子情報通信理論において、ショア、ベネット、ニールセン等によりコヒーレント・エントロピーやリンドブラット-ニールセンエントロピーなどの量子相互エントロピー型の複雑さの尺度を用いた量子チャネル符号化の定理の議論がなされている。しかしながら、これらの尺度が、負の値を取り、シャノンの基本不等式を満たさないといった情報通信の尺度として都合の良い性質を持つことが本研究代表者達によって指摘されている。本研究では、最も適切な量子相互エントロピー型の尺度を見極め、量子系のシャノン-ファインシュタインの定理（チャネル符号化の定理）の証明を行うための基礎付けを行った。

(2) 量子系の力学的エントロピーの定式化

通常の情報通信理論では、力学的エントロピー（KS（コロモゴロフ-シナイ）エントロピー）を用いて平均相互エントロピー（情報量）が定められ、それを基にして符号化の定理が一般化されている。このKSエントロピーを量子系に拡張しようとする試みは、コンヌ-ストルマー、エムシュ、コンヌ-ナーンフォッファ-チリング（CNT）、パーク、アリツキー-ファネス（AF）、大矢（Complexity）、アカルディ-大矢-渡邊（AOW）、コサコウスキー-大矢-渡邊（KOW）等によってなされている。この力学的エントロピーは、系の力学的発展に伴って変化した状態を持つ平均的な情報量を表している。本研究代表者達は、AOWエントロピー、KOWエントロピー及び情報力学の複雑さの概念を用いて量子平均エントロピーと量子平均相互エントロピーの定式化を行い、これらの相互関係について研究を行った。本研究では、量子系のチャネル符号化の定理の証明をするための基礎付けを行うために、KOWエントロピーをベースに新たな一般化AOWエントロピーを導入する。さらに、量子エンタングルメントの状態変化を取り込んだ量子平均相互エントロピーの定式化を行い、その性質を調べた。

(3) 量子エンタングルメントを含む量子チャネルの特徴付け

入出力系の間でエンタングルメントした2つの量子状態を用いた情報通信過程である量子テレポーテーションと量子密度符号化などは、完全正值性を持つ量子チャンネルで記述することができる。このチャンネルに対する量子相互エントロピーは、ウールマンが示した量子相対エントロピーの単調性により、入力系の量子状態の持つ量子エントロピーの値を超えることはできないことが厳密に示されている。しかしながら、入力状態と出力状態のテンソル積で与えられる分離状態と、入出力間のエンタングルド状態とを量子相対エントロピーを用いて比べると、その値は、最大で、入力状態の持つ量子エントロピーの2倍の値を取ることが知られている。本研究では、量子チャンネル符号化の定理を証明する上で、このエンタングルメント性を有する量子チャンネルの特徴を厳密に調べ、このような量子エンタングルメント性を含む量子チャンネルの定式化について研究を行った。

上記の研究成果によって、今後、量子エンタングルメントを含む量子チャンネルの数理的基礎付けと、その量子チャンネルに対する量子系の平均相互エントロピーを定式化し、平均相互エントロピーの加法性の証明と量子エンタングルメント性を持つ量子系のチャンネル符号化の定理の厳密な証明を行うための糸口が得られ、単に数学的理論の構築だけでなく、量子情報通信の物理工学的な発展に役立つ理論の定式化ができるものと期待する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計23件)

Farrukh Mukhamedov, Noboru Watanabe, 2018, On S-mixing entropy of quantum channels, Quantum Inf Process, Vol. 17, 148, 1-21, <https://doi.org/10.1007/s11128-018-1916-8> (査読有)

Yujiro Igari, Noboru Watanabe, On comparison of quantum mutual entropy type measures, The Proceedings of the 41th Symposium on Information Theory and its Applications SITA2018, Vol.41, pp.541-pp.543, 2018 (査読無)

Shun Kato and Noboru Watanabe, On construction of quantum teleportation using CP map and quantum orthogonal states general by coherent states, The Proceedings of the 41th Symposium on Information Theory and its Applications SITA2018, Vol.41, pp.544-pp.547, 2018 (査読無)

Yuka Matsubara, Noboru Watanabe, On construction of quantum teleportation by means of a beam splitter and quantum orthogonal states generated by coherent states, 信学技報, vol. 118, no. 139, IT2018-15, pp. 15-18, 2018 (査読無)

Mutsuki Imanishi, Noboru Watanabe, On comparison of quantum mutual entropy type measures for quantum optical channels, 信学技報, vol. 118, no. 139, IT2018-16, pp. 19-23, 2018 (査読無)

Noboru Watanabe, Masahiro Muto, 2017, Note on transmitted complexity for quantum dynamical systems, Philosophical Transactions Royal Society A 375: pp. 20160396-1-pp. 20160396-16, DOI: <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2016.0396>. (査読有)

Shun Kato, Noboru Watanabe, On construction of quantum teleportation by measuring of quantum orthogonal states generated by coherent states, 信学技報, vol. IEICE-117, no. 120, IT2017-16, pp. 1-6, 2017 (査読無)

Yujiro Igari, Noboru Watanabe, On comparison of quantum mutual entropy type measures, 信学技報, vol. 117, no. 120, IT2017-17, pp. 7-10, 2017 (査読無)

Makumi Makiwara, Noboru Watanabe, On Mathematical treatment of Information transmission for Gaussian Communication Process based on Quantum Communication Theory, The Proceedings of the 40th Symposium on Information Theory and its Applications SITA2017, Vol.40, pp.223-pp.228, 2017 (査読無)

Kyouhei Ohmura, Noboru Watanabe, Formulations of Quantum Dynamical Mutual Entropy based on AOW Entropy, The Proceedings of the 40th Symposium on Information Theory and its Applications SITA2017, Vol.40, pp.341-pp.346, 2017 (査読無)

Noboru Watanabe, 2016, Note on entropies for quantum dynamical systems, Philosophical Transactions Royal Society A 374: pp.20150240-1-pp.20150240-13, DOI: <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2015.0240>. (査読有)

Noboru Watanabe, 2016, On quantum dynamical entropy for open systems, International Journal of Quantum Information, 14, Issue 04, pp.1640005-1-pp.1640005-11, June 2016, DOI: <http://dx.doi.org/10.1142/S0219749916400050>. (査読有)

Takumi Makiwara, Noboru Watanabe, On Mathematical treatment of Information transmission for Gaussian Communication Process based on Quantum Communication Theory, 信学技法, Vol. IEICE-116, No.163, pp.7-11, 2016 (査読無)

Keita Kohira, Noboru Watanabe, On state change of 4BS gate with respect to superposition of quantum orthogonal states, The Proceedings of the 39th Symposium on Information Theory and its Applications SITA2016, Vol.39, pp.98-103, 2016 (査読無)

Masahiro Muto, Noboru Watanabe, On The Formulation of KOW Mutual Entropy, The Proceedings of the 39th Symposium on Information Theory and its Applications SITA2016,

- Vol.39, pp.488-pp.492, 2016 (査読無)
- Takahiro Obuchi, Takaya Suzuki and Noboru Watanabe, On state change of FTM gate by using qubit and its application, The Proceedings of the 39th Symposium on Information Theory and its Applications SITA2016, Vol.39, pp.104-pp.108, 2016 (査読無)
- Kyouhei Ohmura, Noboru Watanabe, Constructions Of Quantum Mean Entropy And Quantum Mean Mutual Entropy Through A Quantum Markov Chain, The Proceedings of the 39th Symposium on Information Theory and its Applications SITA2016, Vol.39, pp.493-pp.494, 2016 (査読無)
- Noboru Watanabe, A Note on Entropies for Compound Systems, OPEN SYSTEMS & INFORMATION DYNAMICS, Vol. 22, No.2, pp.1550001-1 - 1550001-21, DOI:10.1142/S1230161215500109, 2015 (査読有)
- Noboru Watanabe, On Entropy of Quantum Compound Systems, FOUNDATIONS OF PHYSICS, Vol. 45, No.10, pp.1311 - 1329, DOI:10.1007/s10701-015-9925-2, 2015 (査読有)
- K. Ohmura, Noboru Watanabe, Formulations of Quantum Mean Entropy and Quantum Mean Mutual Entropy and Their Numerical Computations, 信学技報, vol. 115, no. 137, IT2015-29, pp. 73-76, 2015. (査読無)
- 21 K. Kohira, Noboru Watanabe, On construction of quantum logical gates with a general beam splitting by Fichtner-Freudenberg expression, 信学技報, vol. 115, no. 137, IT2015-22, pp. 29-34, 2015. (査読無)
- 22 M. Muto, Noboru Watanabe, On construction of KOW entropy and its computation for generalized AOW entropy, 信学技報, vol. 115, no. 137, IT2015-28, pp. 67-72, 2015. (査読無)
- 23 T. Obuchi, H. Oki, Noboru Watanabe, On construction of FTM gate by using two orthogonal input states, 信学技報, vol. 115, no. 137, IT2015-23, pp. 35-40, 2015. (査読無)

〔学会発表〕(計40件)

Noboru Watanabe, On Complexities for Quantum Dynamical Systems, International conference devoted to quantum theory, experiment and technology Towards Ultimate Quantum Theory (UQT), Linnaeus University, Vaxjo, Sweden, 2018-06-11 ~ 06-14 (2018年6月11日 ~ 6月14日)。(国際会議, 招待講演)

Noboru Watanabe, A Note on Complexities for Quantum Dynamical Systems, The 50 Symposium on Mathematical Physics, Nicolaus Copernicus University, Torun, Poland, 2018-06-21 ~ 06-24 (2018年6月21日 ~ 6月24日)。(国際会議, 招待講演)

Noboru Watanabe, A Note on Complexities for Quantum Dynamical Systems, The QBIC Workshop 2018, Tokyo University of Science, 2018-10-3 ~ 10-5 (2018年10月3日 ~ 10月5日)。(国際会議, 招待講演)

Noboru Watanabe, On Complexity for Quantum Dynamical Systems, The 39th International Conference on Infinite Dimensional Analysis, Quantum Probability and Related Topics, Levico, Italy, 2018-10-15 ~ 10-19 (2018年10月15日 ~ 19日)。(国際会議, 招待講演)

Noboru Watanabe, On Entropies for Quantum Dynamical Systems, The International Conference on Modern Mathematical Physics, Skelov Mathematical Institute, Russia, 2018-11-12 ~ 11-16 (2018年11月12日 ~ 11月16日)。(国際会議, 招待講演)

Kyouhei Ohmura, Noboru Watanabe, Quantum Dynamical Mutual Entropy for Quantum Markovian Sources, The 18th Asian Quantum Information Science Conference (The AQIS'18 conference), Nagoya University, 2018-9-9 ~ 9-12 (2018年09月09日 ~ 09月12日)。(国際会議)

Kyouhei Ohmura, Noboru Watanabe, The Shannon's Fundamental Inequalities of Markovian Quantum Dynamical Mutual Entropy (poster), The QBIC Workshop 2018, Tokyo University of Science, 2018-10-3 ~ 10-5 (2018年10月3日 ~ 10月5日)。(国際会議)

Kyouhei Ohmura, Noboru Watanabe, A Formulation of Markovian Quantum Dynamical Mutual Entropy and Its Computations, The 39th International Conference on Infinite Dimensional Analysis, Quantum Probability and Related Topics, Levico, Italy, 2018-10-15 ~ 10-19 (2018年10月15日 ~ 10月19日)。(国際会議)

Yujiro Igari, Noboru Watanabe, On comparison of quantum mutual entropy type measures (poster), The QBIC Workshop 2018, Tokyo University of Science, 2018-10-3 ~ 10-5 (2018年10月3日 ~ 10月5日)。(国際会議)

Kato Shun, Noboru Watanabe, On Construction of Quantum Teleportation Using CP map and Quantum Orthogonal States General by Coherent States (poster), The QBIC Workshop 2018, Tokyo University of Science, 2018-10-3 ~ 10-5 (2018年10月3日 ~ 10月5日)。(国際会議)

Mutsuki Imanishi, Noboru Watanabe, On comparison of quantum mutual entropy type measures for quantum optical channels (poster), The QBIC Workshop 2018, Tokyo University of Science, 2018-10-3 ~ 10-5 (2018年10月3日 ~ 10月5日)。(国際会議)

Yuka Matsubara, Noboru Watanabe, On construction of quantum teleportation by means

- of a beam splitter and quantum orthogonal states generated by coherent states (poster), The QBIC Workshop 2018, Tokyo University of Science, 2018-10-3~10-5 (2018年10月3日~10月5日)。(国際会議)
- Noboru Watanabe, Note on Entropy for Quantum Dynamical Systems, International conference devoted to quantum theory, experiment and technology: Foundations of Quantum Mechanics and Technology (FQMT), Linnaeus University, Vaxjo, Sweden, 2017-06-12~06-15 (2017年6月12日~6月15日)。(国際会議, 招待講演)
- Noboru Watanabe, On transmitted complexity for quantum dynamical systems, The 49 Symposium on Mathematical Physics, Nicolaus Copernicus University, Torun, Poland, 2017-06-17~06-18 (2017年6月17日~6月18日)。(国際会議, 招待講演)
- Noboru Watanabe, On Mutual Entropy for Quantum Dynamical Systems, Quantum Probability Past, Present and Future, Indian Statistical Institute, Bangalore, India, 2017-08-10~08-12 (2017年8月10日~8月12日)。(国際会議, 招待講演)
- Noboru Watanabe, Note on Transmitted Complexity for Quantum Dynamical Systems, The 38th International Conference on Infinite Dimensional Analysis, Quantum Probability and Related Topics, QP38 at TUS on 2017, Tokyo University of Science, Noda, Japan, 2017-10-2~2017-10-6 (2017年10月2日~10月6日)。(国際会議, 招待講演)
- Takumi Makiwara, Noboru Watanabe, On Mathematical treatment of Information transmission for Gaussian Communication Process based on Quantum Communication Theory (poster presentation), The 38th International Conference on Infinite Dimensional Analysis, Quantum Probability and Related Topics, QP38 at TUS on 2017, Tokyo University of Science, Noda, Japan, 2017-10-2~2017-10-6 (2017年10月2日~10月6日)。(国際会議)
- Yujiro Igari, Noboru Watanabe, On comparison of quantum mutual entropy type measures (poster presentation), The 38th International Conference on Infinite Dimensional Analysis, Quantum Probability and Related Topics, QP38 at TUS on 2017, Tokyo University of Science, Noda, Japan, 2017-10-2~2017-10-6 (2017年10月2日~10月6日)。(国際会議)
- Shun Kato, Noboru Watanabe, On construction of quantum teleportation by measuring of quantum orthogonal states generated by coherent states, The 38th International Conference on Infinite Dimensional Analysis, Quantum Probability and Related Topics, QP38 at TUS on 2017, Tokyo University of Science, Noda, Japan, 2017-10-2~2017-10-6 (2017年10月2日~10月6日)。(国際会議)
- Kyouhei Ohmura, Noboru Watanabe, Formulations of Quantum Dynamical Mutual Entropy based on AOW Entropy, The 38th International Conference on Infinite Dimensional Analysis, Quantum Probability and Related Topics, QP38 at TUS on 2017, Tokyo University of Science, Noda, Japan, 2017-10-2~2017-10-6 (2017年10月2日~10月6日)。(国際会議)
- 21 Noboru Watanabe, Note on Dynamical Entropy for Compound Systems, The International conference devoted to quantum theory and experiment: Quantum and Beyond (QB), Linnaeus University, Vaxjo, Sweden, 2016-06-13~06-16 (2016年6月13日~6月16日)。(国際会議, 招待講演)
- 22 Noboru Watanabe, On Complexity for Quantum Open Systems, 48 Symposium on Mathematical Physics, Nicolaus Copernicus University, Torun, Poland, 2016-06-10~06-12 (2016年6月10日~6月12日)。(国際会議, 招待講演)
- 23 Noboru Watanabe, Note on Complexity for Quantum Open Systems, The 37th International Conference on Quantum Probability and Related Topics (QP37), International Islamic University, Kuantan, Malaysia, 2016-08-22~08-26 (2016年8月22日~8月26日)。(国際会議, 招待講演)
- 24 Noboru Watanabe, Note on Entropy for Quantum Open Systems, International Conference on New Trends in Mathematical and Theoretical Physics, Steklov Mathematical Institute, Moscow, Russia, 2016-10-3~10-7 (2016年10月3日~10月7日)。(国際会議, 招待講演)
- 25 Noboru Watanabe, Note on Entropies for Open Quantum Systems, The QBIC Workshop 2016, Tokyo University of Science, Noda, Japan, 2016-10-12~10-14 (2016年10月12日~10月14日)。(国際会議, 招待講演)
- 26 Noboru Watanabe, Note on Complexities for Quantum Open Systems, Myanmar-Japan Workshop, University of Yangon, Yangon, Myanmar, 2016-12-19~12-20 (2016年12月19日~12月20日)。(国際会議, 招待講演)
- 27 Keita Kohira, Noboru Watanabe, On state change of 4 Beam Splitter gate with respect to superposition of quantum orthogonal states (poster presentation), The QBIC Workshop 2016, Tokyo University of Science, Noda, Japan, 2016-10-12~10-14 (2016年10月12日~10月14日)。(国際会議)
- 28 Masahiro Muto, Noboru Watanabe, On a formulation of KOW mutual entropy (poster

- presentation), The QBIC Workshop 2016, Tokyo University of Science, Noda, Japan, 2016-10-12~10-14 (2016年10月12日~10月14日) (国際会議)
- 29 Takahiro Obuchi, Takaya Suzuki, Noboru Watanabe, On state change of FTM gate by using qubit and its application (poster presentation), The QBIC Workshop 2016, Tokyo University of Science, Noda, Japan, 2016-10-12~10-14 (2016年10月12日~10月14日) (国際会議)
 - 30 Takumi Makiwara, Noboru Watanabe, On mathematical treatment of information transmission for Gaussian communication process based on quantum communication theory (poster presentation), The QBIC Workshop 2016, Tokyo University of Science, Noda, Japan, 2016-10-12~10-14 (2016年10月12日~10月14日) (国際会議)
 - 31 Noboru Watanabe, Note on Dynamical Entropy for Compound Systems, The International Conference on Quantum Theory: from foundations to technologies ? QTFT, Linnaeus University, Vaxjo, Sweden, 2015-06-8~06-11 (2015年6月8日~6月11日)。(国際会議, 招待講演)
 - 32 Noboru Watanabe, Note on Dynamical Entropies for Compound Systems, 47 Symposium on Mathematical Physics, Nicolaus Copernicus University, Torun, Poland, 2015-06-19~06-21 (2015年6月19日~6月21日)。(国際会議, 招待講演)
 - 33 Noboru Watanabe, ON ENTROPY OF QUANTUM DYNAMICAL SYSTEMS, 8th International Conference on Science and Mathematics Education for Developing Countries 2015, 40th Anniversary Conference on White Noise Analysis, University of Yangon, Myanmar, 2015-12-15-12-17 (2015年12月15日~12月17日) (国際会議, 招待講演)
 - 34 Noboru Watanabe, Note on Entropies for Quantum Dynamical Systems, The QBIC Workshop 2015, Tokyo University of Science, Noda, Japan, 2015-10-17~10-19 (2015年10月17日~10月19日)。(国際会議, 招待講演)
 - 35 H. Ito, Noboru Watanabe, On Construction of Connected Channel and its Quantum Capacity, The QBIC Workshop 2015, Tokyo University of Science, Noda, Japan, 2015-10-17~10-19 (2015年10月17日~10月19日)。(国際会議)
 - 36 T. Suzuki, Noboru Watanabe, On state change of FTM gate by using the orthogonal states, The QBIC Workshop 2015, Tokyo University of Science, Noda, Japan, 2015-10-17~10-19 (2015年10月17日~10月19日)。(国際会議)
 - 37 K. Kohira, Noboru Watanabe, On construction of quantum logical gates with a general beam splitting by Fichtner-Freudenberg expression, The QBIC Workshop 2015, Tokyo University of Science, Noda, Japan, 2015-10-17~10-19 (2015年10月17日~10月19日)。(国際会議)
 - 38 M. Muto, Noboru Watanabe, On construction of KOW entropy and its computation for generalized AOW entropy, The QBIC Workshop 2015, Tokyo University of Science, Noda, Japan, 2015-10-17~10-19 (2015年10月17日~10月19日)。(国際会議)
 - 39 T. Obuchi, Noboru Watanabe, On construction of FTM gate by using two orthogonal input states, The QBIC Workshop 2015, Tokyo University of Science, Noda, Japan, 2015-10-17~10-19 (2015年10月17日~10月19日)。(国際会議)
 - 40 K. Ohmura, Noboru Watanabe, Formulations of Quantum Mean Entropy and Quantum Mean Mutual Entropy and Their Computations, The QBIC Workshop 2015, Tokyo University of Science, Noda, Japan, 2015-10-17~10-19 (2015年10月17日~10月19日)。(国際会議)

〔図書〕(計2件)

Noboru Watanabe, On Complexity for Open System Dynamics, Quantum Foundations, Probability and Information, Edited by Andrei Khrennikov, pp.61 - pp.88, Springer International Publishing AG, 2018, 295

Noboru Watanabe, Note on entropy-type complexity of communication processes", "WHITE NOISE ANALYSIS AND QUANTUM INFORMATION", Edited by L. Accardi, Louis H.Y. Chen, T. Hida, M. Ohya, Si Si, N. Watanabe, Lecture Notes Series, Institute for Mathematical Sciences, National University of Singapore, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. Vol.34, pp.215-pp.230, 2017, 230

〔その他〕

国際会議の主催(計3件)ホームページ等

The QBIC Workshop 2018, Tokyo University of Science, 2018-10-03~2018-10-05 .

<https://www.rs.noda.tus.ac.jp/qbic/QBICworkshop2018new.html>

The 38th International Conference on Infinite Dimensional Analysis, Quantum Probability and Related Topics, QP38 at TUS on 2017, Tokyo University of Science, Noda, Japan, 2017-10-2~2017-10-6.

<http://www.rs.noda.tus.ac.jp/qbic/QP38html/indexQP38.html>

The QBIC Workshop 2016, Tokyo University of Science, Noda, Japan, 2016-10-12~10-14 .

<http://www.rs.noda.tus.ac.jp/qbic/newpage2121n2016withBanquet.html>