

# 理論滞在型国際ワークショップ Computational Approaches to Quantum Many- Body Problems (CAQMP2019)

日時：7月16日から8月8日（ワークショップ）、7月22日、7月29日、8月5日（シンポジウム）

場所：物性研究所615（レクチャー）、物性研大講義室（シンポジウム）

URL: <https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/public/caqmp2019/>

アドバイザ：Ying-Jer Kao (National Taiwan University), Anders Sandvik (Boston University), Tao Xiang (Chinese Academy of Sciences)

プログラム委員：Kenji Harada (Kyoto University), Naoki Kawashima (ISSP) [chair], Yoshinobu Kuramashi (University of Tsukuba), Satoshi Morita (ISSP), Tomotoshi Nishino (Kobe University), Tsuyoshi Okubo (University of Tokyo), Tetsuya Sakurai (University of Tsukuba), Takafumi Suzuki (University of Hyogo), Synge Todo (University of Tokyo)

所内組織委員：森田悟史、三澤貴宏、本山裕一、山崎淳、吉見一慶、井戸康太、金子隆威、玉井敬一、川島直輝

本イベントは、理論系所員が輪番で組織委員を務める国際研究会であり、進展著しい分野をピックアップして、比較的少人数の研究者が通常の研究会よりも長い期間一か所に滞在することで議論を深め、期間中に共同研究を進めたり、そのきっかけを生み出すなどをシリーズの趣旨としている。2006年が第1回目で、2011年が震災で中止になつたため、今回が13回目であった。

筆者が組織委員となつて開催した2016年度(TNQMP2016)に引き続き、今回のテーマは、テンソルネットワークとその応用である。前回は方法論自体が物性研究コミュニティの多くの人にとって聞きなれないものであり、ごく基本的なところからのレクチャーを含んだサマースクール的な会合であったが、前回から今回までのあいだにテンソルネットワーク法の応用や情報科学との接点について多くの進展があったので、それを反映して、第1週は新しい数値計算手法、第2週はテンソルネットワーク法の進展、第3週は情報科学との接点、第4週は実験との比較対照計算にそれぞれ重点をおいてプログラムを作成した。会合のフォーマットとしては、今回も、前回同様、毎週月曜日に通常の研究会形式で30分トークからなるシンポジウムを開催し、火曜日から金曜日までは午前・午後に最大1コマづつのゆとりあるスケジュールで行った。

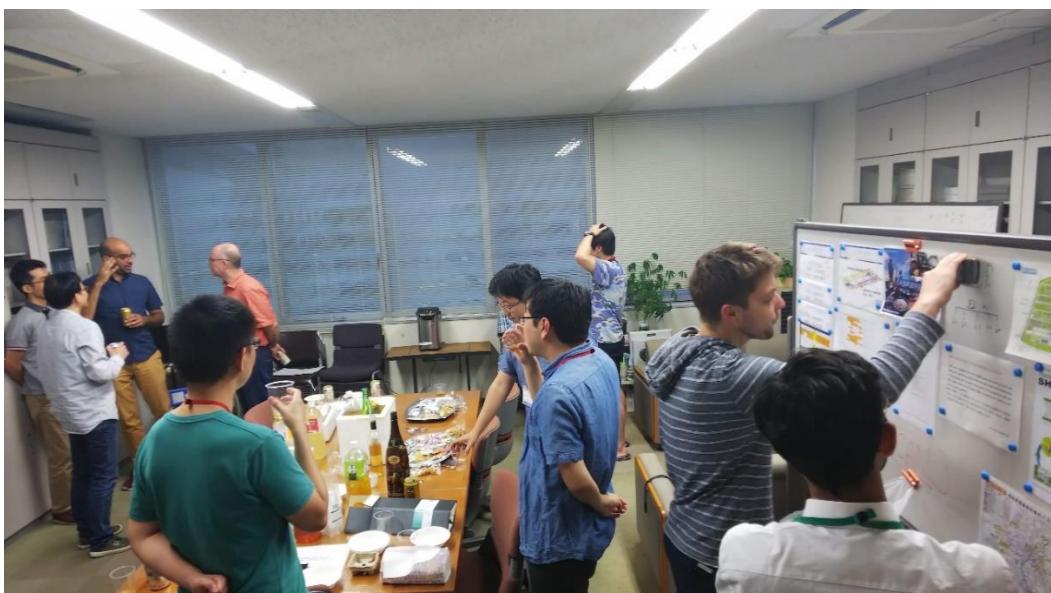
今回の会議で行われたレクチャー・講演の中から筆者個人の主観で印象に残ったものを簡単に振り返ってみる。1週目には、物性研外国人客員教授として長期間滞在されたこ

ともある Anders Sandvik (Boston) が様々な量子臨界現象のプロトタイプとして重要な脱閉じ込め転移に関する最新の研究動向についてレビューを行つた。また、テンソルネットワーク表示による繰り込み群の計算で標準的なHOTRG の開発者である Tao Xiang (CAS, Beijing) が3次元以上の高次元系におけるテンソルネットワーク繰り込み群や自動微分を応用した繰り込み群計算について解説を行つた。2週目には、Laurence Vanderstraeten (Ghent) がテンソルネットワーク表現に基づく高精度な変分法について最近の研究成果を紹介した。また、シンポジウムでは、藏増嘉伸(筑波大)が格子 QCD に向けたテンソルネットワークからのアプローチについて紹介し、Qibin Zhao(理研)が、機械学習におけるテンソルネットワークの利用の可能性について論じた。また、Hyun-Yong Lee (ISSP) がテンソルネットワーク表現を通じたキタエフモデルと古典統計力学モデルの関連についての成果を発表した。3週目は情報科学との接点に関する講演として Lei Wang (CAS, Beijing) が深層学習における自動微分の応用事例を紹介し、さらに、自動微分のテンソルネットワークへの応用に関する最近の研究成果について述べた。自動微分は近年とくに注目されている計算技術であり、今回の研究会をきっかけとして、日本でも物性科学への応用が始まるのではないかと期待している。4週目には、Cristian Batista (Tennessee) が三角格子反強磁性体  $Ba_3CoSb_2O_9$  を題材にして、1/S 展開や 1/N 展開法による動的構造因子の計算の最近の進展と新たに可能になった準粒子励起の特徴づけについて解説した。

レクチャー、シンポジウムを合わせて延べ参加者数は名簿に記名したものだけで、538名（うちレクチャーは380、シンポジウムは158）であった。今回行われた多くのレクチャーは、すべて録画し、YouTubeにアップロードした。（研究会ウェブサイトからリンクがはってあるので興味がある方は参照されたい。）前回TNQMP2016のときと同様、とくに若手研究者にとって良い刺激になったのではないかと思う。2016年の会議がきっかけとなって物性研のポスドクとなった Hyun-Yong Lee 氏が、この3年間で大変

良い成果を挙げられ、今回の研究会で重要なプレゼンテーションを行ったことなども、会議の成果といえるのではないかと思う。

この会議を開催するにあたって、光富さんはじめ理論部門秘書室スタッフの方々、国際交流室の石口さん、CCMS事務局スタッフの方々、物性研事務部の方々に大変お世話になった。深く感謝申し上げる。（川島記）



# CAQMP2019 Program

July 16

- 10:00 - 12:00      **Naoki Kawashima**  
*Introduction*  
15:00 - 16:00      **Mingpu Qin**  
*Study of 2D Hubbard model within the Simons Collaboration on the Many Electron Problem*

July 17

- |               |  |
|---------------|--|
| 10:00 - 11:00 | Kenji Harada<br><i>Tensor network technique for stochastic process</i>         |
| 15:00 - 17:00 | Anders W. Sandvik<br><i>Deconfined quantum criticality in the 2D J-Q model</i> |

July 18

- |               |   |
|---------------|---|
| 10:00 - 12:00 | <b>Ribhu Kaul</b><br><i>Field theories and QMC studies of spin systems</i>                      |
| 15:00 - 16:00 | <b>Satoshi Morita</b><br><i>Improvement of higher-order tensor renormalization group method</i> |

July 19

- |  |                   |
|--|-------------------|
| 10:00 - 12:00  | <b>Tao Xiang</b>  |
| <i>Overview on the Tensor Network Renormalization of (2+1)D Quantum Lattice Model</i>        |                   |
| 15:00 - 16:00  | <b>Ribhu Kaul</b> |
| <i>Designer Hamiltonians for quantum spin liquids and exotic valence bond ordered states</i> |                   |

July 22 (Monday Symposium 1)

- |  |                        |
|--|------------------------|
| 9:50 - 10:00   | Hatsumi Mori           |
| <i>Opening Address</i>   |                        |
| 10:00 - 10:30  | Anders W. Sandvik      |
| <i>Monte Carlo renormalization flows with dangerously irrelevant perturbations</i> |                        |
| 10:30 - 11:00  | Hidemaro Suwa          |
| <i>Finite-temperature self-consistent dynamical simulation</i>                     |                        |
| 11:00 - 11:30  | Tao Xiang              |
| <i>Tensor Network Renormalization of Quantum Spin Liquids</i>                      |                        |
| 11:30 - 12:00  | Tomotoshi Nishino      |
| <i>Phase Transition of the Classical Ising Model on the Sierpinski Carpet</i>      |                        |
| 13:00 - 13:30  | Laurens Vanderstraeten |
| <i>Variational tensor-network methods for problems in statistical mechanics</i>    |                        |
| 13:30 - 14:00  | Kenji Harada           |
| <i>Informational aspect of directed percolation problem</i>                        |                        |
| 14:00 - 14:30  | Mingpu Qin             |
| <i>A self-consistent constrained path auxiliary field Quantum Monte Carlo me</i>   |                        |

14:30 - 15:00	<b>Yoshinobu Kuramashi</b>
<i>Tensor Renormalization Group Approach to Scalar Field Theories in Particle Physics</i>	
15:30 - 16:00	<b>Shumpei Iino</b>
<i>Boundary tensor renormalization group</i>	
16:00 - 16:30	<b>Tokuro Shimokawa</b>
<i>Ripple state in the frustrated honeycomb-lattice antiferromagnet</i>	
16:30 - 17:00	<b>Akihisa Koga</b>
<i>Ground-state and finite-temperature properties in the generalized Kitaev model</i>	
17:00 - 17:30	<b>Shin Miyahara</b>
<i>Fractionally quantized Berry phases in spin systems</i>	
17:30 – 19:00	Poster session 1

---

### July 23

10:00 - 12:00	<b>Natalia Chepiga</b>
<i>Matrix Product States for frustrated spin chains, lattices with an extended Hilbert space and constrained models in 1D</i>	
15:00 - 16:00	<b>Wenan Guo</b>
<i>Engineering Surface Critical Behavior of (2+1)-Dimensional Quantum Critical Points</i>	

---

### July 24

10:00 - 12:00	<b>Tomotoshi Nishino</b>
<i>Optimization Schemes in TNS</i>	
15:00 - 16:00	<b>Guang-Ming Zhang</b>
<i>Gapless Coulomb state emerging from a self-dual topological tensor-network state</i>	

---

### July 25

10:00 - 12:00	<b>Laurens Vanderstraeten</b>
<i>Variational methods for tensor networks</i>	
15:00 - 16:00	<b>Hyun-Yong Lee</b>
<i>Gapless Kitaev Spin Liquid to Loop and String Gases through Tensor Networks</i>	

---

### July 26

10:00 - 12:00	<b>Masatoshi Imada</b>
<i>Variational Monte Carlo method and applications to strongly correlated systems</i>	
15:00 - 16:00	<b>Hai-Jun Liao</b>
<i>Differentiable Programming Tensor Networks</i>	

---

### July 29 (Monday Symposium 2)

9:30 - 10:00	<b>Lei Wang</b>
<i>Neural Canonical Transformations</i>	
10:00 - 10:30	<b>Akiko Masaki-Kato</b>
<i>Model Compression of Deep Neural Network</i>	
10:30 - 11:00	<b>Yusuke Nomura</b>
<i>Machine learning solvers for strongly-correlated systems</i>	



11:00 - 11:30	<b>Tetsuya Sakurai</b>	<i>Development of Efficient Algorithms for Higher Order Tensor Renormalization Group</i>
11:30 - 12:00	<b>Keiichi Tamai</b>	<i>Statistical Description of Spatially Extended Classical Systems: Semi-bottom-up Approach</i>
13:00 - 13:30	<b>Qibin Zhao</b>	<i>Tensor Network Representations in Machine Learning</i>
13:30 - 14:00	<b>Ning Zheng</b>	<i>Nonnegative Tensor Ring Decomposition with Graph Laplacian Regularization</i>
14:00 - 14:30	<b>Hiroshi Shinaoka</b>	<i>Tensor learning approach to sparse QMC sampling of two-particle Green's function in DMFT</i>
14:30 - 15:00	<b>Tota Nakamura</b>	<i>Gaussian kernel method as an improved estimator of magnetization curve and spin gap</i>
15:30 - 16:00	<b>Syuge Todo</b>	<i>Optical bistability in a low-photon-density regime</i>
16:00 - 16:30	<b>Jun Takahashi</b>	<i>Sign-problem free model for deconfined quantum criticality with plaquette VBS</i>
16:30 - 17:00	<b>Wen-Tao Xu</b>	<i>Tensor network state approach to quantum topological phase transitions and their criticalities of Z2 topologically ordered states</i>
17:00 - 17:30	<b>Hiroshi Ueda</b>	<i>Critical behavior of the two-dimensional dodecahedron model</i>
17:30 - 19:00		<i>Poster Session 2</i>

July 31

10:00 - 12:00	Lei Wang <i>Secrets of Deep Learning</i>
15:00 - 16:00	Natalia Chepiga <i>Floating phase versus chiral transition in 1D constrained models</i>

## August 5 (Monday Symposium 3)

9:30 - 10:00	<b>Cristian D. Batista</b>
<i>Vision Crystals in an Extended Kitaev Model on the Honeycomb Lattice</i>	
10:00 - 10:30	<b>Yoshi Kamiya</b>
<i>Non-semiclassical spin dynamics in the triangular lattice quantum antiferromagnet</i>	
10:30 - 11:00	<b>Ryui Kaneko</b>
<i>Probing the numerical accuracy of the tensor-network representation for the Kitaev spin liquid</i>	
11:00 - 11:30	<b>Chisa Hotta</b>
<i>Evaluating response functions from linear to nonlinear regime at finite temperature</i>	
11:30 - 12:00	<b>Takahiro Misawa</b>
<i>Development of open-source software packages for quantum lattice models and their applications to quantum spin liquids</i>	
13:00 - 13:30	<b>Zenji Hiroi</b>
<i>Dimensional reduction by geometrical frustration</i>	
13:30 - 14:00	<b>Tsuyoshi Okubo</b>

*Large spin fluctuation in the magnetization process of frustrated square lattice Heisenberg model*

14:00 - 14:30	<b>Hyun-Yong Lee</b>	<i>Abelian and Non-Abelian Chiral Spin Liquids in a Compact Tensor Network Representation</i>
14:30 - 15:00	<b>Masaki Oshikawa</b>	<i>Universal Gap Scaling in Finite Quantum Ising Chains</i>
15:30 - 16:00	<b>Satoru Nakatsuji</b>	<i>Quantum Metamagnetic Transition in a Spin Ice Systems —Spin-Orbital-Liquid?—</i>
16:00 - 16:30	<b>Takafumi Suzuki</b>	<i>Quantized excitation spectra in quasi-one-dimensional S=1 Spin chains</i>
16:30 - 17:00	<b>Ying-Jer Kao</b>	<i>Fate of two quantum spin liquids on the kagome lattice</i>
17:00 - 17:30	<b>Toru Sakai</b>	<i>Numerical Diagonalization Study on Frustrated Magnets</i>
17:30 – 19:00		Poster Session 3

---

### August 6

10:00 - 12:00	<b>Cristian D. Batista</b>	<i>Dynamical structure factor of the triangular Heisenberg model</i>
15:00 - 16:00	<b>Youhei Yamaji</b>	<i>Finite-temperature excitation spectra of spin-orbit coupled Mott insulators</i>

---

### August 7

10:00 - 12:00	<b>Masaki Oshikawa</b>	<i>Response of Quantum Many-body System to U(1) Gauge Field</i>
15:00 - 16:00	<b>Yoshi Kamiya</b>	<i>Quantum Monte Carlo simulation of interacting Majorana fermions on the square lattice in the strong coupling limit</i>

---

### August 8

10:00 - 12:00	<b>Tsuyoshi Okubo</b>	<i>Tensor network approach to two-dimensional frustrated spin systems</i>
15:00 - 16:00	<b>Ying-Jer Kao</b>	<i>Correlation functions and fixed points in quantum wire junctions: a tensor network approach</i>

---

### Poster Session 1 (July 22)

P-01	<b>Nisheeta Desai</b>	<i>Spin-S Designer Hamiltonians and Square Lattice Spin-1 Haldane Nematic</i>
P-02	<b>Jun Takahashi</b>	<i>Graph-theoretic approach for multiple discrete symmetry breakings</i>
P-03	<b>Bowen Zhao</b>	<i>Symmetry enhanced discontinuous phase transition in a two-dimensional quantum magnet</i>
P-04	<b>Hideaki Oba</b>	<i>Cost reduction of a swapping part of ATRG</i>



- P-06 **Shinichiro Akiyama**  
*Phase transition of four-dimensional Ising model with higher-order tensor renormalization group*

P-07 **Daiki Adachi**  
*Anisotropic Tensor Renormalization Group*

P-08 **Wangwei Lan**  
*Tensor Renormalization Group Centered About a Core Tensor*

Poster Session 2 (July 29)

- |      |   |
|------|---|
| P-01 | <b>Wen-Yuan Liu</b><br><i>Accurate finite PEPS algorithm and gapless spin liquid ground state of spin-1/2 J1-J2 Heisenberg model on square lattices</i> |
| P-02 | <b>Seishiro Ono</b><br><i>Toward data-driven investigation of bulk topological (crystalline) superconductors</i>  |
| P-03 | <b>Koki Kitai</b><br><i>Accelerating metamaterials design by quantum annealing</i>  |
| P-04 | <b>Chao Li</b><br><i>Topology Learning of Higher-order Tensor Network Decomposition via Genetic Algorithm</i>   |
| P-05 | <b>Vijay Chilkuri</b><br><i>Unitary Group Adapted Iterative Configuration Expansion Variational Ansatz: Implementation and Applications</i>             |
| P-06 | <b>Hiroki Oshiyama</b><br><i>Kibble-Zurek physics in the transverse Ising chain coupled to a bosonic bath</i>   |
| P-07 | <b>Yuichi Motoyama</b><br><i>Analytic continuation by combining the sparse modeling method with the Padé method</i>                                     |
| P-08 | <b>Kana Natauchi</b><br><i>Tensor renormalization group method with oblique projection for stochastic process</i>                                       |

## Poster Session 3 (August 5)

- P-02 **Tokuro Shimokawa**  
*Ground state and thermodynamic properties of the  $S=1/2$  bilayer breathing-kagome Heisenberg magnet*

P-03 **Seyed Reza Ghazanfari**  
*Topological phase transition in the field induced Kitaev model on the Kagome lattice*

P-04 **Kota Mitsumoto**  
*Simultaneous spin and orbital glass transitions in a model frustrated pyrochlore magnet without quenched disorder*

P-05 **Yuko Watanabe**  
*Quantum Fluctuations in the Neutral Ground State of TTF-CA:  
Resonating Hartree-Fock Approach beyond the Adiabatic Approximation*

P-06 **Takatoshi Fujita**  
*Development of Large-Scale GW+Bethe-Salpeter Equation Method for Organic Optoelectronic Materials*

P-07 **Fumitatsu Iwase**  
*Ab initio calculation of electric-field gradients in  $\text{CCl}_3\text{COHal}$  ( $\text{Hal}=\text{F}, \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$ )*

P-08 **Munehisa Matsumoto**  
*Scaling 4f-3d intermetallics*

P-09 **Yasuhiro Tada**  
*DMRG study of spinless fermions on  $\pi$ -flux square lattice*