理論滞在型国際ワークショップ

International Workshop on Tensor Networks and Quantum Many-Body Problems (TNQMP2016)

日時：6 月 27 日から 7 月 15 日（ワークショップ）、6 月 27 日、7 月 4 日、7 月 11 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: http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/public/tnqmp2016/

プログラム委員：川島直輝（物性研）、原田健自（京大）、橋本省二（KEK）、押川正毅（物性研）、藤堂眞治（東大）、柳井毅（分子研）
組　織　委　員：三澤貴宏（物性研）、森田悟史（物性研）、本山裕一（物性研）、大久保毅（物性研）、山崎淳（物性研）、吉見一慶（物性研）

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ること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ったため、今回が 10 回目であった。

今回のテーマは、近年進展著しいテンソルネットワークとその応用である。テンソルネットワーク自体は、とくに新しい概念ではなく、最もシンプルな例としては、イジングモデルなど格子上の離散自由度統計力学モデルはすべてそれ自体テンソルネットワークであることが挙げられる。テンソルネットワークが最近注目されるようになったのは、量子系への応用において、情報科学的観点あるいは繰り込み群の観点からテンソルやネットワーク自体の意味付けがなされてきたことと、計算手法としてみたときに有望そうであることが分かってきたことによる。最近では、フラストレート磁性体や、電子系のモデルなど、従来は厳密対角化などの大規模系には使えない手法以外に手がなかった様々な問題に対して、より高精度な結果を生み出し始めている。

今回の会議で行われたレクチャー・講演を簡単に振り返ってみる。まず、よく読まれているレビューなども執筆されている Román Orús 氏(Mainz)に、1 次元と 2 次元のテンソル積表現に基づいた初学者向けのレクチャーをしていただいたのをはじめ、この分野のパイオニアの一人である Glen Evenbly 氏(UC Irvine)にテンソルネットワーク表現に基づいた MERA などの繰り込み群の方法の解説をしていただいた。このほか、高柳匡氏（京大）による MERA 表現と AdS/CFT 対応に関する最近の展開、Frank Pollmann 氏(MPIPKS), Norbert Schuch 氏(MPQ)によるトポロジカルな性質がテンソルネットワークでどのように表現されるかの議論、この分野の草分けの一人である西野友年氏（神戸大）による古典系への応用、大規模な量子系計算を成功させている Philippe Corboz 氏(Amsterdam)や Tao Xiang 氏(CAS, Beijing)らによる最新の応用計算の紹介など、多くの興味深いレクチャーや講演があった。とりわけ内容が濃かった講演を一つ挙げるとすると、Frank Varstraete 氏(Vienna)による行列積状態と行列積演算子に関するものだろう。2 次元古典系や 1 次元量子系の厳密解によく登場するヤン・バクスター関係式とテンソル積状態の関連についての解説には多くの参加者が刺激を受けていたようである。

このワークショップシリーズでは、通常 1 日に 1、2 件あるレクチャーのほか、2、3 日間のシンポジウムを短期研究会として期間中に企画することが通例となっているが、今回は、それを分散して、毎週月曜日をシンポジウムの日とすることにした。これは、シンポジウムを全体の最後に固めてしまうと、最後まで参加者同士がお互いに何をやっているのかわからずじまいになってしまい、逆に、最初のほうにもってくると、後半に刺激が乏しくなるからである。シンポジウムだけ聞いて全体を把握したい多忙な参加者にとっては不便になるが、長期滞在してじっくり議論するのが本来の趣旨なので、そういう意味では良かったのではないかと考えている。

理論系の若手研究者の関心の高さを反映して、レクチャーは連日盛況であった。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、558名（うちレクチャーは 406、シンポジウムは 152）であった。このため、615 号室で行ったレクチャーでは、連日立ち見がでてしまい、参加者にはやや申し訳ない状況だった。大会議室で行うことも不可能ではなかったが、それでは逆に広すぎて、談論風発という雰囲気にはなりにくかっただろうと思う。無い物ねだりだが、セミナー室と大講義室の間くらいのサイズの部屋があると良いと改めて思った。今回行われた多くのレクチャーは、これからテンソルネットワークを利用した研究を始める研究者にとっては貴重な情報源となると思われたので、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。）開催から約半年経った本稿執筆時点（2016.12.23）で総視聴数は 1308 である。

国際研究会を組織することは、かなりの重労働であるが、研究上の多くの刺激が受けられるほか、若手研究者の進路を考える材料も与えてくれている。2006 年に筆者が世話人となったときには、筆者の研究室の大学院生と海外参加者の出会いが、学位取得後にポスドクとして海外で研究を進めるきっかけとなった。今回、そのようなことが起こるかどうかは、まだわからないが、韓国から参加していた Hyunyong Lee 氏が筆者の研究室に最近ポスドクとして着任したのも、今回の研究会がきっかけになっている。

この会議を開催するにあたって、光冨恵美子氏はじめ理論部門秘書室スタッフの方々、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）

PROGRAM

LECTURES

June 28 (Tue)	N. Kawashima (ISSP)	Introduction
	G. Evenbly (UC Irvine)	Lecture 1: Introduction to the MERA
June 29 (Wed)	M. C. Bañuls (MPQ)	Using TNS for Lattice Gauge Theories
	G. Evenbly (UC Irvine)	Lecture 2: Introduction to tensor network renormalization
June 30 (Thu)	R. Orús (Mainz)	Lecture 1: From qubits to entanglement, and then to Matrix Product States
	M. Oshikawa (ISSP)	Matrix-Product States and Symmetry-Protected Phases
July 1 (Fri)	T. Takayanagi (Kyoto)	Continuous MERA and Holography
	R. Orús (Mainz)	Lecture 2: Simulating 2d systems with PEPS
July 5 (Tue)	Ö. Legeza (Wigner RCP)	Tensor product methods and entanglement optimization for models with long range interactions
	F. Pollmann (MPIPKS)	Detecting topological orders from Matrix-Product State based simulations (1)
July 6 (Wed)	F. Verstraete (Vienna)	Matrix Product States and Matrix Product Operators (1)
	F. Pollmann (MPIPKS)	Detecting topological orders from Matrix-Product State based simulations (2)
July 7 (Thu)	F. Verstraete (Vienna)	Matrix Product States and Matrix Product Operators (2)
	N. Schuch (MPQ)	Topological order in Projected Entangled Pair States (1)
July 8 (Fri)	T. Nishino (Kobe)	Tensor Product States applied to Statistical Lattice Models
	N. Schuch	Topological order in Projected Entangled Pair States (2)
July 12 (Tue)	P. Corboz (Amsterdam)	Introduction to iPEPS (1)
	T. Xiang (CAS, Beijing)	Renormalization of Tensor Network Models (1)
July 13 (Wed)	P. Corboz (Amsterdam)	Introduction to iPEPS (2)
	T. Xiang	Renormalization of Tensor Network Models (2)
July 14 (Thu)	L. Tagliacozzo (U. Strathclyde)	Constructing lattice gauge theories with Tensor Networks
	Y. -J. Kao (NTU)	Programming tensor network algorithms
July 15 (Fri)	T. Tohyama (TUS)	Dynamical properties of strongly correlated electron systems studied by density-matrix renormalization group
	N. Kawashima (ISSP)	Closing

SYMPOSIUM I (June 27 (Mon))

10:00	N. Kawashima (ISSP)	Opening
10:15	G. Evenbly (UC Irvine)	Entanglement renormalization and wavelets
10:45	Z.-Y. Xie (RUC, Beijing)	Some Progress on Tensor Renormalization Group
11:15	M. C. Bañuls (MPQ)	Using TNS for Lattice Gauge Theories
11:45		Lunch
13:30	N. Nakatani (Hokkaido U.)	Matrix Product Multi-Linear Algebra Library
14:00	S. Morita (ISSP)	Parallel library for tensor network method (tentative)
14:30	M. T. Fishman(Caltech)	Compression of Correlation Matrices and an Efficient Method for Forming Matrix Product States of Fermionic Gaussian States

15:00		Coffee
15:30	I. P. McCulloch (Queensland)	Topological order and space group symmetry fractionalization in the frustrated J1-J2 Heisenberg model.
16:00	K. Harada (Kyoto)	Branching and tensor network
16:30	H. Ueda (AICS, RIKEN)	Real-space parallel infinite-size density matrix renormalization group
17:00	R. Orús (Mainz)	Kitaev honeycomb tensor networks: exact unitary circuits and applications

SYMPOSIUM II (July 4 (Mon))

10:00	H.-J. Liao (CAS, Beijing)	Heisenberg antiferromagnet on the Husimi lattice
10:30	T. Okubo (ISSP)	Magnetization process of kagome lattice Heisenberg antiferromagnets: 1/3 plateau state and effects of Dzyaloshinskii-Moriya interaction
11:00	H.-Y. Lee (SKKU)	Featureless Quantum Insulator on the Honeycomb Lattice and Square lattice
11:30	F. Verstraete (Vienna)	
12:00		Lunch
13:00	T. Takayanagi (Kyoto)	Boundary States in CFTs and Continuous MERA
13:30	S. Yang (Perimeter)	Tensor networks with loop optimization
14:00	T. Nishino (Kobe)	Mean-Field Behavior in Uniform Tensor Product State
14:30		Poster session
16:00	P.-C. Chen (NTHU)	Quantum critical spin-2 chain with emergent SU(3) symmetry
16:30	S. Mohri (ISSP)	"Order parameters" of bond-type symmetry protected topological phases in two dimensions
17:00	Ö. Legeza (Wigner RCP)	Tensor product methods and entanglement optimization for models with long range interactions

SYMPOSIUM III (July 11 (Mon))

10:00	M. Takigawa (ISSP)	Greetings
10:15	Y.-J. Kao (NTU)	Steady States of Infinite-Size Dissipative Quantum Chains via Imaginary Time Evolution
10:45	T. Xiang (CAS, Beijing)	Majorana Positivity and the Fermion Sign Problem of Quantum Monte Carlo Simulations
11:15	N. Schuch (MPQ)	Chiral Projected Entangled Pair States
11:45		Lunch
13:00	L. Tagliacozzo (U. Strathclyde)	Finite bond dimension effects in tensor network states
13:30	T. Yanai (IMS)	Molecular electronic structure theory based on ab initio density matrix renormalization group
14:00	T. Tohyama (TUS)	Density-matrix renormalization group study of Kitaev-Heisenberg models on honeycomb and triangular lattices
14:30		Coffee
15:00	F. Pollmann (MPIPKS)	Many-body localization: Entanglement and efficient numerical simulations
15:30	P. Corboz (AMsterdam)	Recent advances in simulating the 2D Hubbard and t-J models with iPEPS
16:30	H.-H. Zhao (ISSP)	Variational Monte Carlo Study of fermionic models with tensor networks
16:45	N. Kawashima (ISSP)	Closing