

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 10 日現在

機関番号：11301
 研究種目：基盤研究(C) (一般)
 研究期間：2013～2016
 課題番号：25400351
 研究課題名(和文) コーンおよびベリー位相の理論に基づく変分モンテカルロ法を用いたモット転移の研究

 研究課題名(英文) Variational Monte Carlo study of Mott transitions based on theories of Kohn and Berry phase

 研究代表者
 横山 寿敏 (Yokoyama, Hisatoshi)

 東北大学・理学研究科・助教

 研究者番号：60212304
 交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：電子相関による導体-絶縁体転移(モット転移)の幾つかの性質を、多体変分理論に基づく数値計算により調べた。長年不可能であった伝導性の指標であるドゥルード重みの計算を、コーンの方法に位相因子を導入することで理論的な解決に至った。この方法を局所カレントのある状態に適用し、交替磁束状態の安定性についての理論的矛盾を解決した。

モット絶縁体の局在長についてベリー位相の理論に基づく計算を行い、この方法でモット転移点の決定が可能であることを示した。また、ドーブされたモット絶縁体においてバンドくりこみ効果の計算を行い、反強磁性状態が著しく安定化することを示した。

研究成果の概要(英文)：Properties of conductor-insulator (Mott) transitions owing to electron correlation were studied, using numerical calculations based on a many-body variation theory. We theoretically resolved a long-standing problem of a useful index for conductivity, Drude weight, by combining Kohn's method with introduction of configuration-dependent phase factor into the wave function. This scheme was successfully applied to a local current state, and a theoretical contradiction in stability of the staggered flux state was resolved.

We also calculated localization length of Mott insulators on the basis of Berry-phase theory. As a result, it was shown that we can usefully determine Mott-transition points with this scheme. Furthermore, we performed a series of calculations by introducing band-renormalization effects for doped Mott insulators, and showed that antiferromagnetic states become extremely stable.

研究分野：物性理論

キーワード：モット転移 ドゥルード重み 位相因子 変分モンテカルロ法 交替磁束状態 擬ギャップ 局所環電流 反強磁性

1. 研究開始当初の背景

強い電子(粒子)間相互作用に起因する導体-絶縁体転移(モット転移)の物理(モット物理)は、最近以下のような物性の領域で実験的に大きな進展があり、新たな問題意識の下で再びその重要性が話題となっている。

i) 銅酸化物超伝導体の少量ドープ域(ドープされたモット絶縁体)での超伝導と常伝導状態の様々な異常な性質の発見。

ii) 有機超伝導体 κ -ET 塩での圧力による非磁性モット転移の観測。

iii) 光学格子上の冷却原子気体(フェルミオンおよびボソン)では、電場や磁場を制御することによりモット転移が観測される。その際、モット転移の本質であるダブロンとホロン(D-H)の束縛電子系での観測は難しい基礎物性が原子顕微鏡で観測された。

iv) 光励起により、モット絶縁体は金属化され、ピコ秒程度の短時間で絶縁体に緩和することが観測された。

こうした実験での新展開に対し、モット転移の理論に関しては、多体問題を取り扱う難しさのために、定性的理解に留まっているのが現状である。新たな方法を求め、定量的かつ明瞭な理解を得ることが緊要である。

2. 研究の目的

モット転移は、運動エネルギー(W :バンド幅)と相互作用エネルギー(U)の競合によって、通常 $U \sim W$ で起こる。従って U/W 値の 0 から ∞ までを、高い信頼性で定量的計算ができる方法が必要である。変分モンテカルロ(VMC)法は、動的平均場法と並んで、その数少ない例だが、幾つかの重要な未解決の問題があった。例えば以下の例が挙げられる。

1) 電気伝導性を量るドゥルーデ重みがモット絶縁体領域でも有限(つまり金属)となってしまうこと。ちなみにその他の関連する物理量はモット絶縁体を上手く記述できた。

2) モット絶縁体の絶縁性の強さを絶縁体側から定量的に示す指標(局在長)の計算が為されていない。

3) ドープされたモット絶縁体(銅酸化物など)で現れる擬ギャップ状態の有力な候補である(交替磁束などの)ループカレントを持つ状態の計算に対し、変分理論内で整合性がない結果が得られていた。

本研究では、これまでに培った VMC 法の経験を基にこれらを解決し、上述のモット物理に関する最近の実験のメカニズムを、物理的に理解することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では多体変分法に則ってこの問題を考え、変分期待値の計算には数値的に精確な評価が可能な VMC 法を用いる。この方法の核心は、考えている系の物理の本質を波動関数に盛り込むことであり、本研究では、まずパラメーター数を絞って本質を掴む変分パラメーターが何かを追求する。VMC 法は今

世紀に入って(万単位以上の)多パラメーターを安定的に最適化する方法が開発され、格段に精度の良い結果が得られるようになってきている。この方法で計算を行った結果が、上記核心を担う小数の変数の結果と定性的に同一であれば、本質的な変数が何かを確認でき、それによりメカニズムが掴める。

(a) 本研究では、まずモット物理の領域($U > W$)でドゥルーデ重みを正しく計算するための因子を見出す。その際コーンの方法を用いる。また、同様の因子がこの領域でカレントを持つ状態に対して不可欠であることを、交替磁束状態に対して立証する。さらに他のループカレント状態に適用して、その安定性について議論する。

(b) 次に、ベリー位相理論を用いて、モット領域における局在長の計算を行う。

(c) さらに、ドープされたモット絶縁体の領域で、様々な状態において、バンドくりこみ効果(BRE)が如何に効くかを考える。これまで、常磁性(正常)状態や反強磁性状態における BRE は技術上の問題で計算されなかったが、本研究ではそれを克服する。基底状態の精確な計算は、励起を考える際に不可欠である。

4. 研究成果

(1) ドゥルーデ重み D の計算

20 年余り前、コーンの方法を用いて多体変分法で D を計算した Millis-Coppersmith は、通常のダブロン-ホロン束縛を導入したのみの波動関数では、モット領域でも $D > 0$ となり、この点でモット転移が記述できないことを示した。多くの研究者がこの問題を解決できなかった。我々は試行錯誤の結果、パイエルズ位相としてカレントを持たせる場合、モット物理の領域では、波動関数に位相因子の補正が必要であることに気付いた。ホッピングする電子の周辺の電子配置に依存した D-H 束縛の効果も位相因子にも導入することにより、この 20 年来の問題を解決した。さらに多変数最適化により、このただ一つの位相変数が本質であることを確認した。

(2) ループカレント状態について

銅酸化物超伝導体の擬ギャップの候補である交替磁束状態は、 t - J 模型では正常状態より大きく安定化することが判っていたが、ハバード模型では様々な研究で安定化しないという結果であった。多体変分法での原因は、(1)と同様にモット領域でこの状態を考える際、波動関数に位相因子が欠落していたためであった(t - J 模型では交換稿は位相を変化させない)。適切に位相因子を導入することでこの問題は解決され、ホールドープ系銅酸化物の場合、相分離への不安定正もなく、交替磁束状態が正常状態より安定化することを示した。また C. Varma が提唱した別のループカレント状態は全く安定化しないこ

とが解った。局所電子配置に依存した位相因子は、強相関係のカレントを持つ状態には不可欠で、今後の様々な展開が予想される。

(3) 局在長 ξ の計算

ハーフフィルドのハバード模型に対して、ベリー位相を用いた ξ の計算を常磁性、反強磁性および d-波超伝導状態を用いて計算した。 U/t 値を ∞ から減少させると、後ろの二者での ξ はモット転移点で発散するように急激に増大するが、前者では弱相関領域でも $U/t > 0$ であればスレーター型絶縁体なので、 $U/t = 0$ に向かって発散するような結果が見られた。このように、モット絶縁体側からの局在長については予想通りの結果を得たが、この方法では ξ が求める際に、座標の平均値の逆数を用いるため、VMC 法の統計誤差により ξ が大きな場合は精確な結果を得ることが困難であり、今後の課題である。

(4) バンドくりこみ効果

これまで多体変分法を用いて常磁性（正常）状態や反強磁性状態のバンドくりこみ効果を調べる研究は皆無であった。主な理由は、有限系に対する変分の最適化で、エネルギー曲面の微分を用いる準ニュートン法や確率再配置法などが使えないためである。本研究では反強磁性状態に対しては、各パラメーターの線形最適化を丹念に忍耐強く繰り返すことで、最適化を成し遂げた。

ハバード模型に対する結果として、ネスティング条件を満たすようにバンドがくりこまれるために、反強磁性状態が著しく安定化することが解った。それにより、モット転移近傍の少量ドープ域の相図は、従来のもの（d-波超伝導が優勢）とは大きく異なり、反強磁性状態が広いパラメーター空間を占有することが解った。この実験と齟齬する結論は、動的平均場近似などの他の最近の信頼性のある方法の結果と整合しており、その原因の究明は重要な研究課題となっている。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 26 件）

以下、**全ての論文** [(1)-(26)] で査読有。

- (1) R. Sato, H. Yokoyama, Band-renormalization effects on antiferromagnetism and d-wave superconductivity in two-dimensional t-J model", J. Phys. Proc. Ser. (2017), 印刷中。
- (2) K. Kobayashi, H. Yokoyama, Interplay between staggered flux and d-wave superconducting states in Hubbard Model, J. Phys. Proc. Ser. (2017), 印刷中。
- (3) H. Yokoyama, R. Sato, K. Kobayashi, Effect of impurity potentials on

antiferromagnetism in two-dimensional Hubbard model, J. Phys. Proc. Ser. (2017), 印刷中。

(4) S. Tamura, H. Yokoyama, Variational Study of Magnetic Ordered State in d-p Model, Phys. Proc. 81, 5 (2016).

(5) Y. Toga, H. Yokoyama, Loop-Current and Antiferromagnetic States in Fermionic Hubbard Model with Staggered Flux at Half Filling", Phys. Proc. 81, 13 (2016).

(6) R. Sato, H. Yokoyama, Band-Renormalization Effect in Coexistent State of d-wave Superconducting and Antiferromagnetic Orders for Hubbard Model", Physica C 530, 5 (2016).

(7) K. Kobayashi, R. Sato, H. Yokoyama, Band-Renormalization Effect on Relationship between Superconductivity and Antiferromagnetism in t-J Model, Phys. Proc. 81, 1 (2016).

(8) H. Yokoyama, R. Sato, K. Kobayashi, "Predominance of Antiferromagnetism in Two-Dimensional Underdoped Hubbard Model, Phys. Proc. 81, 9 (2016).

(9) 横山 寿敏, 田村 駿, 榎 裕太, モット転移とその周辺の物理---多体変分法の視点から--- (その 2: 最終回), 固体物理 (アグネ技術センター) 51 (No. 4), 237 (2016).

(10) H. Yokoyama, S. Tamura, M. Ogata, Staggered Flux State in Two-Dimensional Hubbard models, J. Phys. Soc. Jpn. 85, 124707 (2016). DOI: 10.7566/JPSJ.85.124707.

(11) R. Sato, H. Yokoyama, Band-Renormalization Effect and Predominant Antiferromagnetism in Two-Dimensional Underdoped Hubbard Model, J. Phys. Soc. Jpn. 85, 074701 (2016). DOI: 10.7566/JPSJ.85.074701.

(12) 横山 寿敏, 田村 駿, 榎 裕太, モット転移とその周辺の物理---多体変分法の視点から--- (その 1), 固体物理 (アグネ技術センター) 51 (No. 3), 161 (2016).

(13) S. Tamura, H. Yokoyama, Stability of staggered flux state in d-p model studied using variational Monte Carlo method, Phys. Proc. 65, 1 (2015).

(14) K. Kobayashi, H. Yokoyama, Effects of weak intersite repulsion and negative diagonal transfer on superconductivity and antiferromagnetism in Hubbard model, Phys. Proc. 65, 9 (2015).

(15) Y. Toga, H. Yokoyama, Variational study on loop currents in Bose Hubbard model with staggered flux, Phys. Proc. 65, 29 (2015).

(16) H. Yokoyama, R. Sato, S. Tamura, M. Ogata, Effects of diagonal hopping on stability of antiferromagnetic state, Phys. Proc. 65, 17 (2015).

- (17) S. Tamura, H. Yokoyama, Drude and Superconducting Weights and Mott Transitions in Variation Theory, J. Phys. Soc. Jpn. 84, 064707 (2015). DOI: 10.7566/JPSJ.84.064707.
- (18) K. Kobayashi, H. Yokoyama, Band Renormalization Effect on Interplay between Antiferromagnetism and Superconductivity in Hubbard Model in Hubbard model, JPS Conf. Proc. 1, 012120 (2014). DOI: 10.7566/JSPSC.1.012120.
- (19) K. Kobayashi, H. Yokoyama, Coexistence and Mutual Exclusion of Superconductivity and Antiferromagnetism and Phase Separation in Hubbard Model, JPS Conf. Proc. 3 015012 (2014). DOI: 10.7566/JSPSC.3.015012.
- (20) S. Tamura, H. Yokoyama, Variational Approach to Localization Length for Two-Dimensional Hubbard Model, JPS Conf. Proc. 3, 013003 (2014). DOI: 10.7566/JSPSC.3.013003
- (21) T. Watanabe, H. Yokoyama, M. Ogata, Superconductivity and Non-Fermi-Liquid Metal in Carrier-Doped Triangular Hubbard Model, JPS Conf. Proc. 3, 013004 (2014). DOI: 10.7566/JSPSC.3.013004.
- (22) H. Yokoyama, S. Tamura, M. Ogata, Effect of Diagonal Hopping on Staggered Flux State in Square-Lattice Hubbard Model, JPS Conf. Proc. 3, 012029 (2014). DOI: 10.7566/JSPSC.3.012029.
- (24) K. Kobayashi, H. Yokoyama, Superconductivity and phase separation in extended Hubbard model, Phys. Proc. 58 22 (2014).
- (25) S. Tamura, H. Yokoyama: Spin-current state in anisotropic triangular Heisenberg model, Phys. Proc. 58 10 (2014).
- (26) H. Yokoyama, S. Tamura, T. Watanabe, K. Kobayashi, M. Ogata, Stability of staggered flux state for anisotropic triangular lattice, Phys. Proc. 58 14 (2014).

[学会発表] (計 51 件)

以下、学会、会議毎にまとめる。

- (1) 横山寿敏、佐藤諒、小林憲司、小形正男、ハバード模型における反強磁性状態に対する不純物ポテンシャルの影響、2017年3月18日、日本物理学会第72回年次大会、「大阪大学豊中キャンパス (大阪府豊中市)」。
- (2) 小林憲司、横山寿敏、交替磁束状態と d-波超伝導状態の共存・競合関係について II、2017年3月18日、日本物理学会第72回年次大会、「大阪大学豊中キャンパス (大阪府豊中市)」。
- (3) 佐藤諒、横山寿敏、t-J 模型における超伝導と反強磁性の競合に対するバンドくりこみ効果 II、2017年3月17日、日本物理

- 学会第72回年次大会、「大阪大学豊中キャンパス (大阪府豊中市)」。
- (4) R. Sato, H. Yokoyama, Band-Renormalization effects on antiferromagnetism and d-wave superconductivity in two-dimensional t-J model, 2016年12月15日、29th International Symposium on Superconductivity, 「東京国際フォーラム (東京都千代田区)」。
- (5) K. Kobayashi, H. Yokoyama, Interplay between staggered flux state and d-wave superconducting state in Hubbard model, 2016年12月13日、29th International Symposium on Superconductivity, 「東京国際フォーラム (東京都千代田区)」。
- (6) H. Yokoyama, R. Sato, K. Kobayashi, Effects of impurity potential on antiferromagnetic and d-wave superconducting states in Hubbard model, 2016年12月13日、29th International Symposium on Superconductivity, 「東京国際フォーラム (東京都千代田区)」。
- (7) 小形正男、横山寿敏、擬ギャップ状態候補としての t-J モデルにおける Flux 相、2016年9月14日、日本物理学会 2016年秋季大会、「金沢大学角間キャンパス (石川県金沢市)」。
- (8) 佐藤諒、横山寿敏、t-J モデルにおける相図とホールの役割、2016年9月14日、日本物理学会 2016年秋季大会、「金沢大学角間キャンパス (石川県金沢市)」。
- (9) 小林憲司、横山寿敏、小形正男、交替磁束状態と d-波超伝導状態の共存・競合関係について、2016年9月14日、日本物理学会 2016年秋季大会、「金沢大学角間キャンパス (石川県金沢市)」。
- (10) 横山寿敏、佐藤諒、小林憲司、乱れが反強磁性及び d-波超伝導状態に及ぼす効果について、2016年9月14日、日本物理学会 2016年秋季大会、「金沢大学角間キャンパス (石川県金沢市)」。
- (11) 佐藤諒、横山寿敏、t-J 模型における超伝導と反強磁性の競合に対するバンドくりこみ効果、2016年3月22日、日本物理学会第71回年次大会、「東北学院大学泉キャンパス (宮城県仙台市)」。
- (12) 田村駿、横山寿敏、変分モンテカルロ法による d-p 模型の磁気秩序状態 2、2016年3月22日、日本物理学会第71回年次大会、「東北学院大学泉キャンパス (宮城県仙台市)」。
- (13) 横山寿敏、佐藤諒、多体変分法を用いた強相関ハバード模型における励起状態の研究、2016年3月21日、日本物理学会第71回年次大会、「東北学院大学泉キャンパス (宮城県仙台市)」。
- (14) 小林憲司、佐藤諒、横山寿敏、強相関電子系における超伝導と反強磁性の競合関係の再考、2016年3月21日、日本物理学会第71回年次大会、「東北学院大学泉キャンパス (宮城県仙台市)」。

- ス (宮城県仙台市)。
- (15) R. Sato, H. Yokoyama, Stability of Coexistent state of d-Wave Pairing and Antiferromagnetic Orders in Cuprate Superconductor, 2015 年 11 月 18 日、28th International Symposium on Superconductivity 「船堀タワーホール (東京都江戸川区)」。
- (16) Y. Toga, H. Yokoyama, Variational Study on Loop Current in Fermionic Hubbard Model with Staggered Flux, 2015 年 11 月 18 日、28th International Symposium on Superconductivity 「船堀タワーホール (東京都江戸川区)」。
- (17) K. Kobayashi, R. Sato, H. Yokoyama, Band-Renormalization Effect on Relationship between Superconductivity and Antiferromagnetism in t-J-type Model, 2015 年 11 月 18 日、28th International Symposium on Superconductivity 「船堀タワーホール (東京都江戸川区)」。
- (18) S. Tamura, H. Yokoyama, Variational Study of Magnetic Ordered State in d-p Model, 2015 年 11 月 18 日、28th International Symposium on Superconductivity 「船堀タワーホール (東京都江戸川区)」。
- (19) H. Yokoyama, R. Sato, K. Kobayashi, Dominance of Antiferromagnetism in Two-Dimensional Underdoped Hubbard Model, 2015 年 11 月 18 日、28th International Symposium on Superconductivity 「船堀タワーホール (東京都江戸川区)」。
- (20) 佐藤諒、横山寿敏、銅酸化物高温超伝導体における反強磁性相と超伝導相の安定性 2、2015 年 9 月 19 日、日本物理学会 2015 年秋期大会、「関西大学千里山キャンパス (大阪府吹田市)」。
- (21) 横山寿敏、佐藤諒、小林憲司、2 次元ハバード ($t-t'-U$) 模型におけるバンドくりこみ効果、2015 年 9 月 19 日、日本物理学会 2015 年秋期大会、「関西大学千里山キャンパス (大阪府吹田市)」。
- (22) 田村駿、横山寿敏、変分モンテカルロ法による d-p 模型の磁気秩序状態、2015 年 9 月 17 日、日本物理学会 2015 年秋期大会、「関西大学千里山キャンパス (大阪府吹田市)」。
- (23) 佐藤諒、横山寿敏、銅酸化物高温超伝導体における反強磁性相と超伝導相の安定性、2015 年 3 月 24 日、日本物理学会第 70 回年次大会、「早稲田大学早稲田キャンパス (東京都新宿区)」。
- (24) 榎裕太、横山寿敏、人工磁束下における強相関電子系の局所カレント、2015 年 3 月 23 日、日本物理学会第 70 回年次大会、「早稲田大学早稲田キャンパス (東京都新宿区)」。
- (25) 横山寿敏、佐藤諒、小林憲司、2 次元ハバード ($t-t'-U$) 模型における相対的安定性と固有安定性、2015 年 3 月 22 日、日本物理学会第 70 回年次大会、「早稲田大学早稲田キャンパス (東京都新宿区)」。
- (26) 田村駿、横山寿敏、d-p 模型におけるループカレント状態の変分モンテカルロ法による解析、2015 年 3 月 22 日、日本物理学会第 70 回年次大会、「早稲田大学早稲田キャンパス (東京都新宿区)」。
- (27) S. Tamura, H. Yokoyama, Stability of Loop-Current State on d-p Model on the Basis of Variational Monte Carlo Calculations, 2014 年 11 月 27 日、27th International Symposium on Superconductivity、「船堀タワーホール (東京都江戸川区)」。
- (28) K. Kobayashi, H. Yokoyama, Effect of Intersite Correlations on Superconductivity in the Extended Hubbard Model, 2014 年 11 月 27 日、27th International Symposium on Superconductivity、「船堀タワーホール (東京都江戸川区)」。
- (29) Y. Toga, H. Tsuchiura, H. Yokoyama, Variational Study on Loop Currents in Bose Hubbard Model with Staggered Flux, 2014 年 11 月 27 日、27th International Symposium on Superconductivity、「船堀タワーホール (東京都江戸川区)」。
- (30) H. Yokoyama, S. Tamura, M. Ogata, Relation of Quasi-Fermi Surface of d-wave Superconductivity to Staggered Flux state, 2014 年 11 月 27 日、27th International Symposium on Superconductivity、「船堀タワーホール (東京都江戸川区)」。
- (31) 横山寿敏、田村駿、小形正男、d-波超伝導のバンドくりこみ効果と交替フラックス、2014 年 9 月 9 日、日本物理学会 2014 年秋季大会、「中部大学春日井キャンパス (愛知県春日井市)」。
- (32) 田村駿、横山寿敏、変分モンテカルロ法による d-p 模型におけるループカレント、2014 年 9 月 9 日、「中部大学春日井キャンパス (愛知県春日井市)」。
- (33) 小形正男、横山寿敏、電子ドープ系銅酸化物超伝導体の有効ハバードモデル、2014 年 9 月 7 日、「中部大学春日井キャンパス (愛知県春日井市)」。
- (34) M. Ogata, H. Yokoyama, S. Tamura, Crossover between BCS superconductor and doped Mott insulator in the two-dimensional Hubbard model, International Conference on Strongly Correlated Electron Systems '14, 2014 年 7 月 11 日、「Grenoble (France)」。
- (35) 榎裕太、土浦宏紀、横山寿敏、交替磁束中におけるボース・ハバード模型の局所カレント、2014 年 3 月 30 日、日本物理学会第 69 回年次大会、「東海大学湘南キャンパス (神奈川県平塚市)」。
- (36) 田村駿、横山寿敏、異方的三角格子ハイゼンベク模型におけるスピнкаレント状態 II、2014 年 3 月 28 日、日本物理学会第 69 回年次大会、「東海大学湘南キャンパス (神

奈川県平塚市)」。

(37) 横山寿敏、田村駿、小形正男、擬ギャップ相と交替フラックス状態、2014年3月28日、日本物理学会第69回年次大会、「東海大学湘南キャンパス(神奈川県平塚市)」。

(38) S. Tamura, H. Yokoyama, Spin-current state in anisotropic triangular Heisenberg model, 2013年11月20日、26th International Symposium on Superconductivity「船堀タワーホール(東京都江戸川区)」。

(39) H. Yokoyama, S. Tamura, K. Kobayashi, M. Ogata, Staggered flux state on anisotropic triangular lattice, 2013年11月20日、26th International Symposium on Superconductivity「船堀タワーホール(東京都江戸川区)」。

(40) K. Kobayashi, H. Yokoyama, Superconductivity and Mott correlation in the underdoped Hubbard Model, 2013年11月20日、26th International Symposium on Superconductivity「船堀タワーホール(東京都江戸川区)」。

(41) 渡邊努、横山寿敏、小形正男、キャリアドープした三角格子ハバード模型における非フェルミ液体と超伝導、2013年9月26日、日本物理学会2013年秋季大会、「徳島大学常三島キャンパス(徳島県徳島市)」。

(42) 横山寿敏、田村駿、小林憲司、小形正男、交替フラックス状態に対する対角ホッピングの効果、2013年9月26日、日本物理学会2013年秋季大会、「徳島大学常三島キャンパス(徳島県徳島市)」。

(43) 梅裕太、土浦宏紀、横山寿敏、ボース・ハバード模型における交替フラックス状態の解析、2013年9月26日、日本物理学会2013年秋季大会、「徳島大学常三島キャンパス(徳島県徳島市)」。

(44) 梅裕太、土浦宏紀、山下眞、横山寿敏、 $S=1$ ボース原子の多重遷移モット相における有効模型の解析、2013年9月25日、日本物理学会2013年秋季大会、「徳島大学常三島キャンパス(徳島県徳島市)」。

(45) 田村駿、横山寿敏、異方的三角格子ハイゼンバク模型におけるスピncalent状態、2013年9月25日、日本物理学会2013年秋季大会、「徳島大学常三島キャンパス(徳島県徳島市)」。

(46) S. Tamura, H. Yokoyama, Variational Approach to Localization Length for Two-Dimensional Hubbard Model, 2013年8月8日、International Conference on Strongly Correlated Electron Systems '13、「東京大学本郷キャンパス(東京都文京区)」。

(47) T. Watanabe, H. Yokoyama, M. Ogata, Superconductivity and Non-Fermi-Liquid Metal in Carrier-Doped Triangular Hubbard Model, 2013年8月8日、International Conference on Strongly Correlated Electron Systems '13、「東京大学本郷キャン

パス(東京都文京区)」。

(48) K. Kobayashi, H. Yokoyama, Properties of Doped Mott insulator and interplay between superconductivity and antiferromagnetism in Hubbard Model, 2013年8月7日、International Conference on Strongly Correlated Electron Systems '13、「東京大学本郷キャンパス(東京都文京区)」。

(49) Y. Toga, H. Tsuchiura, M. Yamashita, H. Yokoyama, Spin-Nematic and -Singlet States of Strongly Correlated Spin-1 Bosons in Magnetic Field, 2013年8月7日、International Conference on Strongly Correlated Electron Systems '13、「東京大学本郷キャンパス(東京都文京区)」。

(50) H. Yokoyama, S. Tamura, M. Ogata, Stability of staggered flux state in two-dimensional Hubbard model, 2013年8月6日、International Conference on Strongly Correlated Electron Systems '13、「東京大学本郷キャンパス(東京都文京区)」。

(51) K. Kobayashi, H. Yokoyama, Band renormalization effect on interplay between antiferromagnetism and superconductivity in Hubbard model, 12th Asia Pacific Physics Conference of AAPPS, 2013年7月15日、「幕張メッセ(千葉県千葉市)」。

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.cmpt.phys.tohoku.ac.jp/~yoko/yoko.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

横山 寿敏 (YOKOYAMA, Hisatoshi)
東北大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号：60212304

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者

小形 正男 (OGATA, Masao)
東京大学・大学院理学系研究科・教授
研究者番号：60185501

小林 憲司 (KOBAYASHI, Kenji)
千葉工業大学・工学部・教授
研究者番号：50225504

(4) 研究協力者

田村 駿 (TAMURA, Shun)
名古屋大学・大学院工学研究科・PD 研究員

佐藤 諒 (SATO, Ryo)
東北大学・大学院理学研究科・修士課程学生