

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23740260

研究課題名(和文)非平衡動的平均場理論による強相関系の非線形・非平衡状態の理論

研究課題名(英文) Nonlinear and nonequilibrium states in strongly correlated systems studied by nonequilibrium dynamical mean field theory

研究代表者

岡 隆史 (Oka, Takashi)

東京大学・工学(系)研究科(研究院)・講師

研究者番号：50421847

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：銅酸化物や有機導体に代表される強相関電子系は強相関デバイスとして今の半導体デバイスを置き換える可能性が議論されてる。本研究では、特に電場やレーザーによって誘起される非線形・非平衡現象の理論的な研究を行った。また、同時に、レーザーの磁場成分によって誘起されるスピンのダイナミクスにも着目した。これらの現象の基礎理論として、非平衡動的平均場理論の開発を行った。成果は原著論文9本(うち一本は総合報告)、日本語解説1本にまとめた。

研究成果の概要(英文)：Strongly correlated electron system, e.g., Hi Tc cuprates, organic compounds, are considered as next generation materials for device applications. In this research, I studied their nonequilibrium dynamics induced by electric fields and lasers theoretically. In addition, I have studied the spin dynamics also generated in these materials in strong external fields. I have, with my collaborators, extended the dynamical mean field theory to nonequilibrium, in order to pursue this goal. The results have been described in 9 original papers (1 is a review article), and 1 Japanese article.

研究分野：物理学

科研費の分科・細目：物性II

キーワード：強相関系 非平衡現象

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 実験技術の進歩に伴い、光誘起金属絶縁体転移、電場による絶縁破壊現象などの非平衡相転移が遷移金属酸化物や有機導体などの強相関電子系において注目を集めていた。これらの相転移は電子分布が温度分布とは異なる特異的なものとなるため、有限温度相転移とは異なる新しい相転移現象が生じる可能性がある。また、レーザー光などの刺激によって電気伝導特性を劇的に変化させられる可能性があり、応用上の観点からも大変興味を持たれている。

(2) 強相関電子系の非平衡系での理論研究は研究手法が限定されていることもあり、平衡系と比較すると進展は遅かった。

## 2. 研究の目的

銅酸化物などの強相関物質に強い電場をかけた時に誘起される非平衡状態についての基礎理論を構築することを目標とする。さらに金属絶縁体(モット)転移や超伝導・磁性転移を電場や強力なレーザー光によってコントロールする方法について考察し、非平衡相転移の一般論を拡張する。併せて新奇計算手法の開発として、我々が開発したハバードモデルに対する非平衡動的平均場理論をさらに発展させ、非平衡量子モンテカルロや実時間非(一)交差近似(NCA/OCA)等のソルバーとの融合を進めていく。

## 3. 研究の方法

非平衡動的平均場理論の手法開発に関して：非平衡動的平均場理論(DMFT)は強相関電子系の非平衡状態を研究する計算手法として現在最も有望な手法といえる。この手法を強相関電子系の基本モデルである Hubbard モデルに適用するためには非平衡アンダーソンモデルを解く必要がある。我々は新しい数値計算手法として実時間量子モンテカルロ法(QMC)および非交差近似(NCA)並びに一交差近似(OCA)を非平衡系へ拡張し、動的平均場理論と融合させていく。特に、現実の実験で興味を持たれる系と比較するためには、この計算手法をさらに拡張する。また、強相関絶縁体のスピン自由度の非平衡現象として、レーザーを使った反強磁性体の量子制御の理論研究を行う。

## 4. 研究成果

物性物理に現れる様々な非平衡相転移現象について新現象の発見と計算手法の開発を軸として研究を行っている。申請者の提案した光誘起トポロジカル相転移が世界的にも

広く認識され、例えば光学系を用いた実現が Nature 誌に掲載された (Rechtsman et al. Nature, 496, 196 (2013))。また、N.Gedik(MIT)によって固体物質を利用した実験が行われており、世界的にも注目を集めている。

本課題における研究成果としては以下がある。

(1) モット絶縁体の光励起現象 (Oka PRB 2012)、高温超伝導体の光誘起現象(投稿準備中)を行った。

(2) 量子磁性体の光誘起トポロジカル相転移(Takayoshi et al. arXiv:2013)、多層型高温超伝導体の転移温度(Nishiguchi et al. PRB2013)、乱れた系のレーザー光を用いた電気伝導の制御(Kitagawa et al. PRB 2012)についてまとめた。

(3) 光誘起電気伝導の研究：強力なレーザーを照射した電子系の電気伝導について調べた。系の電気伝導を正確に決めるためには電極との結合による緩和機構を考えた上で、大規模な系で計算を行う必要がある。この目的を達成するため「Floquet+Landauer の方法」という手法を開発し、グラフェンの光誘起伝導に応用した。研究成果は Kitagawa et al. Ann. Phys. (2012)として論文にまとめた。

(4) 強相関系の非平衡現象 1：レーザーを照射した相関電子系に現れる非平衡電子状態の解析を行った。結果は Oka PRB 86, 075148 (2012)にまとめた。

(5) また、非平衡動的平均場に関する総合報告(review記事)として、H. Aoki, N. Tsuji, M. Eckstein, M. Kollar, T. Oka, and P. Werner, “Nonequilibrium dynamical mean-field theory and its applications”, to appear in Review of Modern Physics 2014 を投稿し、既に掲載許可を得ており、2014 年度中に掲載予定である。

## 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 9 件)

H. Aoki, N. Tsuji, M. Eckstein, M. Kollar, T. Oka, and P. Werner, “Nonequilibrium dynamical mean-field theory and its applications”, to appear in Review of Modern Physics 2014. 査読あり

Y. Murakami, T. Oka, and H. Aoki, “Supersolid states in a spin system-phase diagram and collective

excitations”, Phys. Rev. B 88 224404 (2013). 査読あり

K. Hashimoto, and T. Oka, “Vacuum Instability in Electric Fields via AdS/CFT: Euler-Heisenberg Lagrangian and Planckian Thermalization”, JHEP10, 116 (2013). 査読あり

K. Nishiguchi, K. Kuroki, R. Arita, T. Oka, and H. Aoki, “Superconductivity assisted by interlayer pair hopping in multilayered cuprates”, Phys. Rev. B 88 014509 (2013). 査読あり

T. Oka, “Nonlinear doublon production in a Mott insulator: Landau-Dykhne method applied to an integrable model”, Phys. Rev. B 86 (2012).

T. Kitagawa, T. Oka, E. Demler, “Photo control of transport properties in a disordered wire: Average conductance, conductance statistics, and time-reversal symmetry”, Ann. Phys. 327, 1868 (2012).

N. Tsuji, T. Oka, H. Aoki, and P. Werner, “Repulsion-to-attraction transition in correlated electron systems triggered by a monocycle pulse”, Phys. Rev. B 85, 155124 (2012).

T. Kitagawa, T. Oka, A. Brataas, L. Fu, and E. Demler, “Transport properties of non-equilibrium systems under the application of light: Photo-induced quantum Hall insulators without Landau levels”, Phys. Rev. B 84, 235108 (2011).

K. Hashimoto, N. Iizuka, and T. Oka,

“Rapid Thermalization by Baryon Injection in Gauge/Gravity Duality”, Phys. Rev. D **84**, 066005 (2011).

{学会発表}(国際会議招待講演 計4件)  
Takashi Oka, “Floquet theory of photo-induced topological phase transitions”, International workshop for Young Researchers on Topological Quantum Phenomena in Condensed Matter with Broken Symmetries 2013,10/ 22-26 Okinawa, 2013.

Takashi Oka, “Floquet theory of photo-induced topological phase transitions”, CDSAGENDA Conference on “Ultrafast Dynamics of Correlated Materials”, Trieste Italy, 10/14-18 2013.

Takashi Oka, “Floquet theory of photo-induced topological phase transitions”, 7th ISSP international workshop and Symposium, Chiba, 6/3-21, 2013.

Takashi Oka, “Floquet theory of photo-induced topological phase transitions”, QS2C Theory Forum: International Symposium on “Strongly Correlated Quantum Science”, 1/26-29, Tokyo, 2013.

{図書}(計 0件)

{産業財産権}  
出願状況(計 0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計 0件)

名称:

発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等  
<http://cms.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~oka/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

岡 隆史 (Takashi Oka)  
東京大学・大学院工学系研究科・講師  
研究者番号：50421847