

課題名 (タイトル) :

CPU 及び GPGPU を用いた強相関格子系数値シミュレーションコードの開発とその応用

利用者氏名 : ○ 柚木清司 奥村雅彦 白川知功
段下一平 山際伸一 渡部洋
所属 : 和光研究所 基幹研究所 柚木計算物性物理研究室

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

磁性や超伝導などの奇妙かつ有用な性質を示す固体材料や一部の生体関連物質は、結晶格子を組む原子の間を強く相互作用しながら電子が飛び移るといふ強相関格子模型によって説明されると考えられている。しかし、この模型を理解するためには大規模な数値シミュレーションが必要であるのが現状である。そこで、本研究では RICC を用いて様々な数値シミュレーション技法を用いて強相関格子系に関する種々の問題に挑戦する。また、最近の動向である CPU+GPGPU スーパーコンピュータに適した CPU・GPGPU 並列化シミュレーションコードの開発に取り組み、更なる計算効率向上を目指す。本研究によって、これまで明らかにされてこなかった強相関格子系の物性が明らかにされるだけでなく、今後の主流となりうる CPU+GPGPU スーパーコンピュータに適したシミュレーションコード開発に関する経験を得ることができる。

2. 具体的な利用内容、計算方法

柚木は、量子モンテカルロ法を用いた遷移金属タンパク質の遷移金属イオンの電子状態の解明を目指し、今年度はそのもととなる不純物アンダーソン模型に対する量子モンテカルロ法のコード開発およびその性能の検証を行った。アルゴリズムは Hirsch-Fye 型の有限温度版を用いた。この方法では、磁性不純物イオンに結合した周りの電子系をバルクとして扱える利点がある。また、金属タンパク質の活性中心の有効模型導出のため、Gaussian を用いた電子状態計算を行った。

奥村はフラット MPI の並列化密度行列繰り込み群法について、並列化相関関数評価サブルーチンの開発と、それを用いた強相関光学格子系の計

算を行った。利用状況としては、主にフラット MPI で 128 コアを使用し、様々なパラメータで計算を行い、興味ある物性を表すようなパラメータを探した。今年度は特に光学格子梯子系における拡張長岡強磁性について調べ、実験における実現可能性を模索した。

次に、白川の研究について述べる。動的密度行列繰り込み群法は、密度行列繰り込み群法を用いて動的物理量、スペクトル関数など計算するための数値計算手法である。この計算手法では、通常密度行列繰り込み群法のアルゴリズムに加え、圧縮されたヒルベルト空間の中から、より良い励起状態を探索するために、変分関数を導入し、その最適化問題を解く事で、精度良くスペクトル関数を見積もる。この最適化問題は各エネルギー毎に別々に解く必要があるため、スペクトル全体の構造を計算するには非常に多くの計算機資源を要する。時間発展密度行列繰り込み群法は、 $t=0$ で励起した状態を時間発展させるための計算手法である。この計算手法では、時間発展演算子が複素ユニタリ行列で表現されるため、コードの複素数化が必要となる。そこで、本研究では、密度行列繰り込み群用にカスタマイズされた複素数ハミルトニアン演算ライブラリを構築する事を目指す。

次に、段下の研究について述べる。本研究では、time-evolving block decimation (TEBD) 法を用いて強相関格子模型の基底状態と実時間量子ダイナミクスを計算した。効率的に計算を実行するための主要な工夫として、以下の二つの改良をおこなった。(1) 自動並列化オプション及び OpenMP を用いて計算の核となるサブルーチンを並列化し、コア数 4-8 個程度の小規模な並列計算を行った。(2) 考えうる全ての保存量を計算に組み込むことで、取り扱う行列のサイズ

を劇的に小さくした。

渡部は、層状ペロブスカイト構造を有する 5d 遷移金属酸化物である Sr_2IrO_4 を記述する 3 軌道ハバード模型を構築し、変分モンテカルロ法を用いて基底状態の性質を解析した。スピン軌道相互作用を含んだ一体部分にグッツヴィラー因子と電荷に関するジャストロー因子を作用させた試行波動関数を用い、変分パラメータを最適化することで基底状態の波動関数を決定した。これには数十個のパラメータを同時に最適化する必要があるが、一般には困難であるが、stochastic reconfiguration という計算手法を用いてこれを可能にした。さらにこの波動関数を用いて軌道・スピン・電荷の構造因子、自発磁化などを計算することで電子状態を明らかにし、実験結果との比較を行いながら理論の妥当性を検証した。

3. 結果

柚木は量子モンテカルロ法のコード開発およびその性能検証を行い、その結果、軌道縮退がない単軌道模型に対するシミュレーションでは、期待された性能が出た。しかしながら、軌道縮退が存在する模型では、アルゴリズムが複雑になりまたあまり性能が上がらないことが判明した。さらに、ミオグロビンに対する有効模型の導出を行った。同時に、金属タンパク質活性中心周りの有効模型導出法も確立した。

奥村は上記の並列化密度行列繰り込み群法を用いて、光学格子梯子系における拡張長岡強磁性の発現条件について調べ、現在の実験技術では実現は困難であるが、近い将来実現可能であろうと予測される範囲内にあることを突き止めた。長岡強磁性は約 50 年前に長岡半太郎が理論的に予言した強相関由来の強磁性であったが、実現に必要な条件が困難なものであったため、これまで実験で確認された事はなかった。しかし、我々の研究により、近年発達の著しい光学格子系において、(拡張)長岡強磁性が実現する可能性があることが示された。今後の実験技術の発展が期待される。

次に、白川の研究について述べる。1 次元ジグザグ格子模型では、その構造的フラストレーションの結果、様々な異常物性を占めず状態が報告されている。例えば、スピン系の場合には、スピン

スパイラル相や、ネマティック相と言った異常なスピン状態が実現している事が報告されている。また、ハバード模型では近年、スピンボーズ金属相と言った新規量子相が実現するとの報告もされている。そこで、フラストレーションのあるジグザグ格子模型を、動的密度行列繰り込み群法を用いて調べる事で、これらの系の物理のさらなる深化を目指した。一般に、フラストレーション系では、種々の状態のエネルギー固有値が接近するため、Lanczos 法や Davidson 法など、いわゆる Krylov 部分空間を基本とする計算手法を用いて基底状態を求めるのは難しくなってくる。したがって、基底状態を求める際、Davidson 法を使用している密度行列繰り込み群法では、密度行列を生成するための基底状態の決定に時間を要する。さらに、精度を向上するためには、選択する状態数も大きくしなければならない。なぜなら、基底状態からの励起を考える動的密度行列繰り込み群法を行うためには、基底状態を十分精度良く求める必要があるからである。そこで、まずは基底状態の計算がどれくらいで収束するかを調べた。ラッティンジャー流体で記述できる 1 次元系の状態は、そのモード数に応じて、ノイマンエントロピーの振る舞いがユニバーサルに決まっているため、基底状態の収束性の確認にはノイマンエントロピーの収束を調べるのがよい。その結果、スピン系のスピンスパイラル相を調べるには、系のサイズ $L=256$ に対して状態数が 3000 程度、ハバード模型のスピンボーズ金属の場合は、系のサイズ $L=100$ に対して状態数 6000 程度必要である事がわかった。

また、時間発展密度行列繰り込み群法に関しては、複素行列の演算ライブラリを作成した。計算時間を確認するため、実数で表現可能なハミルトニアン行列との計算比較を行った結果、同じ精度を出すのに必要な時間は、状態数が大きくなった場合には、ほぼ 2 倍の計算時間となったため、ほぼ目的通りの結果が得られた。

次に、段下の研究結果について述べる。近年、冷却原子 (分子) 気体系において低次元ボーズ気体の非平衡量子ダイナミクスを調べる実験において高次元系では見られない特異な振る

舞いが実験で観測され注目を集めている。そのような実験を背景に、本研究では理論的に強相関ボース気体の非平衡量子ダイナミクスを調べた。特に、「対向流超流動及び二体対超流動」、「巨視的量子トンネル効果」、「可積分性とエルゴード性の関係」に注目し、以下の結果を得た。(1) 光格子に閉じ込められた二成分ボース気体において対向流超流動相と二体対超流動相という新奇な量子相の存在が予言されている。本研究では、これらの相を実験で特定するためにトランスポートを観測するのが非常に有用であることを指摘した。実際に、これらの対向流超流動相と二体対超流動相において流れを持つ状態を数値的に用意し、これらの相が非常に特徴的な輸送特性を示すことを示した。この結果は実験家がこれらの相を探索する際に非常に有用な指針となる。(2) 一次元光格子中の巨視的な数 ($\sim 100,000$) のボース粒子を厳密に記述するように、TEBD法を改良した。その手法を用いて、巨視的量子トンネル効果を記述するために非常に頻繁に用いられるインスタントン法の定量性を厳密な計算との比較により初めて示した。また、この研究は巨視的量子トンネル効果に密度行列繰込み群法を適用した初めての例であり、この意味で巨視的量子トンネル効果の研究の新たな可能性を切り拓いたと言える。(3) 上の(2)で導入した手法を用いて Fermi-Pasta-Ulam の再帰現象に対する量子揺らぎの効果を調べた。特に顕著な量子効果として、再帰現象に伴う振動が減衰することを見いだした。この減衰の原因としてソリトンの量子揺らぎによる崩壊を指摘した。

最後に渡部の行った計算の結果について述べる。始めに、電子間のクーロン相互作用 U/t とスピン軌道相互作用 $1/t$ をパラメータとした基底状態相図を得ることが出来た。その結果、スピン軌道相互作用がクーロン相互作用と協力的に働いて、新たなタイプのモット転移(金属-絶縁体転移)を引き起こすことがわかった。これにより、スピン軌道相互作用が大きい状況では電子間のクーロン相互作用が小さくても絶縁体になり得ることが示され、 Sr_2IrO_4 に対する実験結果とよ

く一致している。また、軌道由来の磁化の大きさがスピン由来の磁化の 5-6 倍という、従来の 3d 金属ではまず見られないような計算値が得られたが、これも実験結果とよく一致しており、我々の計算が定量的にも妥当であることを示している。このようにして我々は 5d 電子系 Sr_2IrO_4 の特異な性質を明らかにすることが出来た。この成果はスピン軌道相互作用によってもたらされる新たな物理を切り開く端緒となると期待される。

4. まとめ

今年度は、メンバー各人の持っている既存のプログラムで興味深い結果を出す事が出来た。一方で、CPU と GPU を用いた並列化されたアプリケーションの作成が本研究の大きな目標の 1 つであるが、こちらはあまり進展しなかった。しかし、現在、山際を中心として GPU コードの第一弾の作成が進められており、ほぼ完成している。今後は、これを皮切りに、本グループが用いている様々なプログラムの GPU 化を促進していく。

5. 今後の計画・展望

全体としては今後も各個人が用いているプログラムの並列化、GPU 化を促進していく。メンバーそれぞれが用いているプログラムが異なる事を活かし、将来的には並列化、GPU 化したプログラムを「並列化・GPU 化強相関格子系シミュレーター・コレクション」として公開する事も視野に入れていきたい。

次に、各人の研究について今後の計画、展望を述べる。この項目については次項も参照されたい。

奥村は、今年度開発した改良された並列化相関数評価サブルーチンを用いて、光学格子系における超伝導発現条件の探索や、光学格子系における新しい格子模型の構築に関する考察を行う。この計算結果を基に、高い精度で制御可能な高温超伝導体を光学格子系で実現させる事を目指す。これが可能になれば、今も謎が残る銅酸化物などにおける高温超伝導の発現機構の解明に大きく寄与することができると期待される。

白川の研究については、動的密度行列繰込み群法を用いてフラストレーション系や 2 次元系など、興味深い系の性質を調べるためには、基底状態部分の計算速度の向上も必要となってくる。

そこで、ハミルトニアン行列を状態ベクトルに演算する部分の並列化を行い、さらなる計算速度の向上を目指す必要が出てきた。また、GPGPU の導入による計算速度の改善も検討している。さらに、応用する系として、ジグザグ格子模型の他に、2次元系で実現すると期待されている超伝導と非常に近い性質を持つ、2本鎖梯子模型、鉄系超伝導の有効模型、5軌道アンダーソン模型なども検討している。

渡部は、スピン軌道相互作用によって顕在化するようになった軌道自由度を利用した、新たな超伝導状態を理論的に探索し、実験グループへの新規物質創成を提案する。また、同様に軌道自由度が重要とされている鉄系超伝導体の発現機構を明らかにする。これらを通じて多軌道系における超伝導機構の普遍的な理解を得ることを目標とする。

6. RICC の継続利用を希望の場合は、これまで利用した状況（どの程度研究が進んだか、研究においてどこまで計算出来て、何が出来ていないか）や、継続して利用する際に行う具体的な内容

柚木は、来年度は、不純物アンダーソン模型に対する量子モンテカルロ法として、連続時間法を用いたものを開発し、その性能を評価する予定である。また、満足できる性能が出た場合、実際に金属タンパク質活性中心の有効模型に対し適用し、遷移金属イオンのスピン状態および価数の温度依存性を調べる予定である。

奥村は、上述の通り、今年度、より高速化した並列化相関関数評価サブルーチンを開発した。このプログラムによって、これまで不可能だった規模の計算が可能になった。さらに、今年度は2体の相関関数のみを評価したが、高速化した事を活かして、4体の相関関数の評価に挑む予定である。また、現在はフラット MPI でプログラムを組んでいるが、来年度は MPI+OpenMP のハイブリッド並列化を進め、より大規模な計算に挑戦する予定である。

白川は、計算をする際には、8 core 占有の計算を行ったが、計算時間は基底状態のみで3日ほど費やしてしまった。従って、RICC を用いて動的物理量を十分な精度で求めるためには、基底状

態部分の計算速度の向上が必須となってくる。また、密度行列繰り込み群法では、ハミルトニアン行列と状態ベクトルの演算部分は、行列×行列積の和で書かれている。従って、この行列×行列積に関しては、GPGPU による最適化も十分な性能向上が得られる可能性がある。さらに、その和を取る為に並列化を行う事で、全体的な速度の向上を図る必要がある。また、今年度は計算手法の応用まで、十分な時間が費やせなかったため、来年度は応用にも力を入れたい。

次に、段下の研究について述べる。今年度の研究では、強相関格子模型の中でも、「一次元絶対零度」に限定しその基底状態と実時間ダイナミクスの解析を行った。簡易利用のものも含めると計算時間は 1,400,000 コア時間程度であり、当初の見積もりであった 1,152,000 コア時間をわずかに超えた。来年度以降の研究では「一次元有限温度」と「二次元絶対零度」の平衡状態と実時間ダイナミクスの解析ができるように計算コードを開発し、興味深い現象の説明と予言に利用する。これらの計算は「一次元絶対零度」の計算と比較して大きな計算機資源を必要とするので、来年度以降も継続して RICC を利用することを強く希望する。

最後に、渡部の研究に関して述べる。強いスピン軌道相互作用を有する多軌道系における金属-絶縁体転移に関しては、これまでに一定の成果を上げることが出来た。ただし、超伝導状態の解析に関してはより詳細で大規模な計算が必要になると考えられる。今後は並列化プログラミングを利用することで計算時間を短縮し、それらを可能にする予定である。

7. 一般利用で演算時間を使い切れなかった理由

奥村は上記のように自作のフラット MPI のプログラムを用いたが、大量のメモリを必要とし、計算時間を長時間必要とするプログラムであったため、upc において 128 コア並列で計算を行う予定であった。しかし、ジョブが一向に流れなかった。周囲からの情報により、mpc は比較的流れやすいという事が分かったため、メモリを節約するプログラムに改良し、mpc で流れるようにしたところ、ジョブが流れるようになった。このよう

平成 22 年度 RICC 利用報告書

に、プログラムを改良する時間が必要であったため、予定の演算時間を消費することができなかった。

白川は、8 core 占有の計算ジョブを投入したところ、1 週間以上待たされる事が多かったため、十分計算を行えなかった。

また、山際は、今年度、GPU クラスタ用のプログラムの作成を予定していたが、自前の GPU マシンを使い、今年度は単体の GPU 用のプログラムの完成までで終わった。現在 GPU クラスタ用のプログラムを作成中であるので、来年度は RICC の GPU クラスタを利用する予定である。しかし、計算自体は倍精度の計算であるため、RICC の GPU のアップグレードを希望する。

平成 22 年度 RICC 利用研究成果リスト

【論文、学会報告・雑誌などの論文発表】

1. Hiroshi Watanabe, Tomonori Shirakawa, and Seiji Yunoki,
“Microscopic Study of a Spin-Orbit-Induced Mott Insulator in Ir Oxides”,
Physical Review Letters **105**, 216410 (2010).
2. I. Danshita and A. Polkovnikov,
“Accurate numerical verification of the instanton method for macroscopic quantum tunneling”,
Physical Review B **82**, 094304 (2010).
3. I. Danshita and D. Yamamoto,
“Critical velocity of flowing supersolids of dipolar Bose gases in optical lattices”,
Physical Review A **82**, 013645 (2010).
4. Masahiko Okumura, Susumu Yamada, Masahiko Machida, Hideo Aoki,
“Phase-separated ferromagnetism in a spin-imbalanced system of Fermi atoms loaded in an optical
ladder: A density-matrix renormalization-group study”,
accepted for publication in Rapid Communication of Physical Review A.

【国際会議などの予稿集、proceeding】

1. D. Yamamoto and I. Danshita,
“Stability of superflow in supersolid phases of lattice bosons with dipole-dipole interaction”,
Journal of Physics: Conference Series **273**, 012020 (2011).
2. Hiroshi Watanabe, Tomonori Shirakawa, and Seiji Yunoki,
“Variational Monte Carlo study of two-dimensional strong spin-orbit coupling system: Novel Mott
insulating state in Ir oxide”,
to be appeared in Journal of Physics: Conference Series.
3. Tomonori Shirakawa, Hiroshi Watanabe, and Seiji Yunoki,
“Variational cluster approximation study of Mott transition with strong spin-orbit coupling”,
to be appeared in Journal of Physics: Conference Series.

【国際会議、学会などでの口頭発表】

1. Hiroshi Watanabe, Tomonori Shirakawa, and Seiji Yunoki,
“Microscopic study of spin-orbit-induced Mott insulator in Ir oxides”
New Developments in Spintronics, oral session, RIKEN, Wako, Japan, August 11, 2010.
2. Hiroshi Watanabe, Tomonori Shirakawa, and Seiji Yunoki,
“Microscopic study of spin-orbit-induced Mott insulator in Ir oxides”
New Developments in Spintronics, oral session, RIKEN, Wako, Japan, August 11, 2010.
3. Masahiko Okumura, Hiroaki Onishi, Susumu Yamada, and Masahiko Machida,
“Anomalous Non-equilibrium Transport in One-dimensional Quantum Nano Wire at Half-filling: Time
Dependent Density Matrix Renormalization Group Study”,
International Conference on Theoretical Physics Dubna-Nano2010, Dubna, Russia, 5-10 July 2010.
4. I. Danshita and A. Polkovnikov,

平成 22 年度 RICC 利用報告書

- ” Macroscopic quantum tunneling of supercurrents of ultracold atomic gases in a ring optical lattice” ,
The International Workshop “Ultracold Fermi Gas: Superfluidity and Strong-Correlation”, Tokyo, Japan,
May 2010 (招待講演).
5. Masahiko Okumura, Susumu Yamada, Masahiko Machida, Hideo Aoki,
“Itinerant Ferromagnetism of Strongly Correlated Fermi Atoms Loaded on an Optical Ladder” ,
The International Workshop “Ultracold Fermi Gas: Superfluidity and Strong-Correlation”, Tokyo, Japan,
13-15 May 2010 (招待講演).
6. 渡部洋, 白川知功, 柚木清司,
「Ir 酸化物におけるスピン軌道相互作用誘起モット転移」
日本物理学会 2010 年秋季大会, 大阪府立大学, 2010 年 9 月 23~26 日.
7. 白川知功, 渡部洋, 柚木清司,
“Ir 酸化物モット絶縁体の一粒子励起スペクトル” ,
日本物理学会 2010 年秋季大会, 大阪府立大学, 2010 年 9 月 23 日~26 日.
8. 段下 一平, A. Polkovnikov
「一次元ボース・ハバード系における超流動-絶縁体転移とインスタントンの関係」,
日本物理学会秋季大会, 大阪府立大学 (堺) , 2010 年 9 月 26 日.
9. 段下 一平,
「光格子中における一次元ボース気体の超流動」,
日本物理学会年次大会, 大阪府立大学 (堺)、2010 年 9 月 25 日 (招待講演).
10. 奥村雅彦, 山本篤史, 山田進, 町田昌彦, 柚木清司,
「フェルミ原子光学格子系非平衡ダイナミクスにおける相関効果」,
日本物理学会 2010 年秋季大会, 大阪府立大学, 2010 年 9 月 23 日-26 日.

【その他】

ポスター発表

1. Hiroshi Watanabe, Tomonori Shirakawa, and Seiji Yunoki,
“Spin-orbit-induced Mott insulator in 5d electron system” ,
The International Workshop on Neutron Applications on Strongly Correlated Electron Systems 2011
(NASCES11), IQBRC, Tokai, Japan, February 23-25, 2011.
2. Hiroshi Watanabe, Tomonori Shirakawa, and Seiji Yunoki,
“Theoretical study of a novel spin-orbit-induced Mott insulator in Ir oxides” ,
The 4th Indo-Japan Seminar, University of Tokyo, Japan, February 1-2, 2011.
3. I. Danshita and D. Yamamoto,
“Stability and critical velocity of dipolar bosons in a moving optical lattice” ,
ERATO Macroscopic Quantum Control Conference on Ultracold Atoms and Molecules, Tokyo, Japan, 24-26
January 2011.
4. Masahiko Okumura, Susumu Yamada, Masahiko Machida, and Hideo Aoki
“Itinerant ferromagnetism in strongly correlated cold fermionic atoms loaded on an optical ladder” ,
ERATO Macroscopic Quantum Control Conference on Ultracold Atoms and Molecules, Tokyo, Japan, 24-26
January 2011.
5. Tomonori Shirakawa and Eric Jeckelmann,

平成 22 年度 RICC 利用報告書

- “Variational cluster approximation combined with dynamical density-matrix renormalization group method” ,
New Development of Numerical Simulations in Low-Dimensional Quantum Systems: From Density Matrix Renormalization Group to Tensor Network Formulations, Kyoto, Japan, 27-29 October 2010.
6. I. Danshita, C. W. Clark, and A. Polkovnikov,
“Transport and macroscopic quantum tunneling of one-dimensional Bose gases in an optical lattice” ,
New Development of Numerical Simulations in Low-Dimensional Quantum Systems: From Density Matrix Renormalization Group to Tensor Network Formulations, Kyoto, Japan, 27-29 October 2010.
7. Masahiko Okumura, Susumu Yamada, Masahiko Machida, and Hideo Aoki,
“DMRG Studies for Itinerant Ferromagnetism in a Two-leg Optical Lattice System” ,
New Development of Numerical Simulations in Low-Dimensional Quantum Systems: From Density Matrix Renormalization Group to Tensor Network Formulations, Kyoto, Japan, 27-29, October 2010.
8. I. Danshita and A. Polkovnikov,
“Macroscopic quantum tunneling dynamics in one-dimensional Bose gases” ,
International Workshop on Density Matrix Renormalization Group and Other Advances in Numerical Renormalization Group, Beijing, China, 30 August 2010.
9. Masahiko Okumura, Susumu Yamada, Masahiko Machida, and Hideo Aoki,
“Itinerant Ferromagnetism in Cold Fermionic Atoms Loaded on a Two-leg Optical Ladder” ,
22nd International Conference on Atomic Physics, Cairns, Australia, 25-30 July 2010.
10. Hiroshi Watanabe, Tomonori Shirakawa, and Seiji Yunoki,
“Variational Monte Carlo study of two-dimensional strong spin-orbit coupling system: Novel Mott insulating state in Ir Oxide” ,
The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems, Santa Fe, New Mexico, USA, June 28-July 2, 2010.
11. Tomonori Shirakawa, Hiroshi Watanabe, and Seiji Yunoki,
“Variational cluster approximation study of Mott transition with strong spin-orbit coupling” ,
International Conference on Strongly Correlated Electron Systems, 2010, Santa Fe, June 27-July 2.
12. I. Danshita and A. Polkovnikov,
”Numerical verification of the instanton method on macroscopic quantum tunneling: phase slip dynamics”,
APCTP-KIAS Joint Workshop on Quantum Entanglement and Dynamics in Correlated Many-Body Systems, Pohang, Korea, 20 May 2010.
13. 渡部洋, 白川知功, 柚木清司,
「Ir 酸化物におけるスピン軌道相互作用誘起モット絶縁体の理論的研究」,
第 4 回物性科学領域横断研究会, 東京大学武田ホール, 2010 年 11 月 13 日~15 日.