

## VII-1. 凝縮系理論グループ

教授	有光 敏彦, 松本 秀樹
助教授	阿部 純義 (平成 19 年 2 月 28 日転出), 谷口 伸彦
助手	吉田 恭
研究科特別研究員	北島 佐知子 (平成 19 年 3 月 31 日転出)
大学院生	13 名
学群生 (卒業研究)	7 名

### 【1】非平衡流動系 (乱流) の統計物理

#### (1) Lagrange 繰り込み近似による電磁流体乱流の統計解析 (吉田, 有光) 論文 [2], 講演 [1, 6, 10]

乱流は、力学系の特徴として大自由度・非線形・非平衡であることが挙げられ、Hamilton 系の平衡系統計力学を適用することはできない。平衡系統計力学に対応するような乱流の統計理論は、未だ確立されていない。いくつかの近似理論が提案されているが、その中で Lagrange 繰り込み近似 (LRA) は Navier-Stokes (NS) 方程式から系統的に Lagrange 統計量について閉じた方程式を導く方法で、Kolmogorov のエネルギースペクトルを無次元比例定数まで含めて見積もり実験と良く一致しているなど、ある程度の成功を収めている。

本研究では、LRA を、太陽表面、太陽風、地球のコア、核融合炉などのプラズマの流体近似モデルとなる電磁流体 (MHD) の一様等方性乱流に適用し、全 (運動 + 磁場) エネルギーのスペクトル  $E(k)$  ( $k$  は波数) が  $k^{-3/2}$ 、残差 (運動 - 磁場) エネルギーのスペクトル  $E^R(k)$  が  $k^{-2}$  に従うことを示し、その比例定数まで見積もった。また、周期境界条件による一様等方性 MHD 乱流の直接数値シミュレーション (DNS) を行い、LRA 解析との比較を行った。その結果、 $E(k)$  の巾則は  $k^{-3/2}$  に近く、その比例定数まで LRA の見積もりと良く一致した。 $E^R(k)$  の巾則は  $k^{-2}$  に近く、これらも LRA と整合した。ただし、比例定数 (負の値を持つ) の絶対値は LRA の見積もりより 4 倍程度大きかった。

MHD 乱流において  $E(k)$  が NS に従う通常の流体と同様に  $k^{-5/3}$  に従うのか、または Alfvén 波の効果で  $k^{-3/2}$  に従うのかは、現在専門家の間で意見が分かれている問題であるが、本研究の結果は  $k^{-3/2}$  を支持しており、また比例定数が見積もられた点で進展である。今後更に大規模の DNS での検証により、この問題が解決されることが期待される。

#### (2) 量子流体乱流の数値シミュレーション (吉田, 有光) 論文 [1, 5], 講演 [3], 外部資金 [1]

液体ヘリウムの超流動状態や Bose-Einstein 凝縮体の流動などの量子流体の運動は、適切な近似のもと Gross-Pitaevskii (GP) 方程式により支配される。量子流体は、循環が量子化された渦糸が存在するなど、Navier-Stokes (NS) 方程式に従う古典流体とは異なる性質を有する。しかし、このような違いにも拘らず、近年の実験や数値シミュレーションにおいて、量子流体の乱流のエネルギースペクトルが古典流体の乱流のものに類似することが示唆されている。

本研究では、支配方程式の構造がどのようにエネルギースペクトルなどの乱流統計に影響を与えるのかを探る目的で、GP 方程式の数値シミュレーションを行い、エネルギースペクトルの解析を行った。得られた非圧縮成分運動エネルギースペクトルは、先行する数値シミュレーション研究の結果とは異なるものであり、また、先行研究では調べられていなかった相互作用エネルギースペクトルについては  $k^{-3/2}$  の巾則が観測された。 $k^{-3/2}$  の巾則は、非線形相互作用が弱いと仮定する弱乱流理論の結果と整合している。しかし、詳細なデータ解析の結果、本研究でシミュレートされた乱流は、弱乱流理論の前提を満たしていないことが

分かった。つまり、弱乱流理論に代わる理解が必要であることを意味している。現在、強乱流に基づく理論解析を検討中である。

### (3) マルティフラクタル PDF 解析 (有光, 吉田) 論文 [4], 著書 [1], 講演 [2, 4, 5, 9]

マルティフラクタル確率密度関数解析 (MPDFA) は、『間欠性の本質は、N-S 方程式のスケール不変性に起因する速度場の特異性が実空間にマルティフラクタル分布していることの現れである』との仮説に基づいて、古典乱流および量子乱流などで得られる裾の広い各種確率密度関数 (PDF) の高精度解析を可能にした理論体系である (著書 [1])。

MPDFA におけるズーム率が物理量の解析に頼りに依らない形で理論体系を再構成できることを示した。また、併せて、空間次元あるいはデータ次元の MPDFA への取り込み方についての他の理論との比較検討を行い、MPDFA の基礎をなすスケーリング関係を深く再検討することの提案をした。

2次元乱流の順カスケード領域におけるデータ (名古屋大学工学部, 金田・石原等による) を利用して抽出された渦度差 PDF を MPDFA により解析し、2次元乱流順カスケードの間欠性と特異性のマルティフラクタル分布との関連を調べた。Fig. 1 に、DNS の順カスケード領域で抽出された渦度差 PDF (黒点) の、

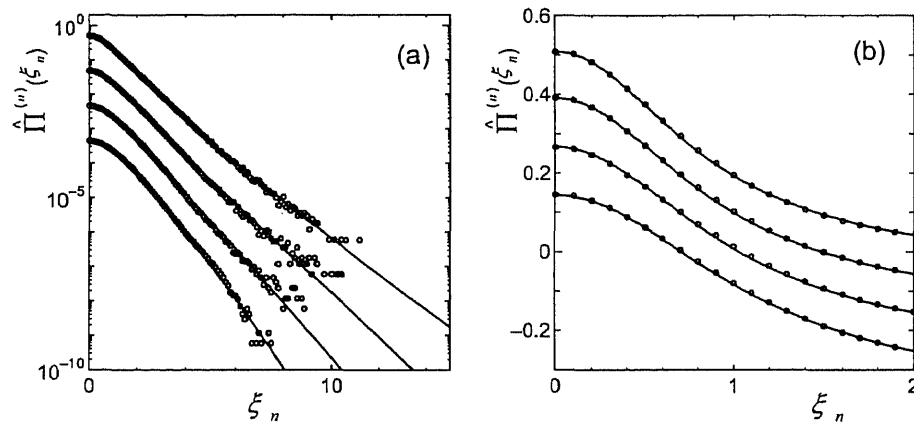


図 1: 2次元渦度差 PDF

MPDFA で得られた PDF (実線) での解析を載せた。図 (a) は縦軸を対数目盛でとっており、PDF の裾野を見易くしてある。この部分は、間欠性の起源である特異性のマルティフラクタル分布を反映している。図 (b) は縦軸を線型目盛でとり、PDF の中心部分を見易くした。この部分は、スケール不変性を破る散逸項の寄与を反映する。図中にある 4 つの PDF は、上から順に渦度差を得る 2 点間距離が長くなっている。解析の結果、2次元乱流順カスケード領域では、スケール不変性の存在することが分かった。

## 【2】量子情報物理

Non-Equilibrium Thermo Field Dynamics (NETFD) の体系 (1984) では非平衡量子散逸系が正準演算子形式 (量子力学や場の量子論と同じ) で扱え、散逸過程にある物理量を真空期待値として求められる。この体系は、量子系確率微分方程式 (量子確率 Liouville 方程式, 量子 Langevin 方程式) も取り入れる形で、一貫した正準演算子形式の体系として拡張定式化された (1990)。

NETFD の体系を駆使して、量子情報物理に関わる問題 (主に、量子コヒーレンスと散逸の関わるダイナミカルな問題) への応用を進めている。量子通信や量子計算を実現するためには量子もつれ状態 (量子エン

タングル状態)を駆使するが、それが散逸の影響で時間と共に如何に壊されるかを考慮に入れて、これまで開発された手法や概念を検討し直す必要がある。

### (1) 空間相関を考慮した環境下での量子誤り訂正 (院生: 林剛史, 有光, 北島) 論文 [3],

空間的相関を有するノイズの影響下にある量子ビット列の時間発展を NETFD の理論体系で解析, 既存の (独立ノイズ仮説に基づいた) 量子誤り訂正符号が, 空間的相関を有するノイズにより量子ビット列に生じる誤りをも訂正できることを示した。量子ブラウン運動の理論及びそれに基づく量子リウヴィユ方程式を利用して, 空間的相関を有するノイズ影響下にある量子ビット列の時間発展を記述する完全正值写像を求めた。NETFD の体系での写像演算子の具体的表式を利用して, 空間的相関を有するノイズにより量子ビット列に生じる誤りが, スタビライザー符号による通常の (すなわち, 無相関ノイズに対するのと全く同じ) 誤り訂正手続によって訂正されることを証明したものである。

### (2) 量子系のコヒーレンス消失過程と抑制機構 (北島, 有光) 論文 [6, 7], 講演 [7, 11]

量子系の基礎的問題の1つである量子コヒーレンス消失過程は, 量子情報通信においても重要な問題である。この問題を回避するメカニズムとして,  $\pi$ パルスを利用した方法による理論的研究を行った。とくに, 厳密に解ける Coleman-Hepp(CH) 模型を取り上げ, 纏れ合い状態の一方が一次的に配列されたスピンの相互作用によって被る影響を,  $\pi$ パルスを適切に印加することにより抑制可能であることを示した。また, その様子は纏れ合い状態のコヒーレンスを特徴付ける物理量の振る舞いからも明らかにされた。

### (3) 環境下における散逸効果と量子通信過程

量子通信過程において情報伝送を担う纏れ合い状態は, 環境からの影響を受ける。その結果, コヒーレンスが減少する。この環境下における散逸過程を Non-Equilibrium Thermo Field Dynamics (NETFD) の方法によって解析した。

#### 1. 制御ノットゲートにおける散逸過程 (北島, 有光) 講演 [8]

真空状態と単一光子状態をもとにハーフビームスプリッターによって纏れ合い状態を生成し, 制御光とともに Kerr 媒質を通過させ, 適切な処理を行えば制御ノットゲートを作ることができる。纏れ合い状態にある光が Kerr 媒質中を通過する際, 環境による散逸効果を受け, 演算結果は影響を受ける。この過程を, 系の時間発展を追うことによって論じた。環境の温度効果が弱い場合 ( $T = 0$ ) にも纏れ合い状態は影響を受けて, 量子状態の数は増加する。この結果, 制御ノットゲートとしての機能が劣化することを示した。

#### 2. 連続量量子テレポーテーション過程のダイナミクスと散逸過程 (有光, 北島, 吉田) 講演 [12]

スクイーズド光を用いた連続量量子テレポーテーションの研究が近年盛んに行われている。量子状態の伝送効率と, 環境からの散逸効果との関連を探るため, 2モードスクイーズド真空を生成する過程に及ぼす散逸効果の影響を詳細に調べた。まず, 理想的な過程における纏れ合い状態の生成と, ベル測定におけるスクイージングパラメーターとがどのような関係にあるかを明らかにした。さらに環境下で生成された纏れ合い状態を量子テレポーテーションに用いたとき, 散逸効果とスクイージングの強さを比較した。この結果から, コヒーレント状態の伝送効率をフィデリティによって評価できた。

### 【3】非加法的統計力学 (阿部) 論文 [10, 12]

時間平均の立場から非加法的統計力学を構成し、Tsallis エントロピー生成率に対する普遍的上限を導いた (論文 [10])。非加法的統計力学における温度の問題を論じた (論文 [12])。

### 【4】複雑系 (阿部) 論文 [8, 9]

Erdos-Renyi ランダムグラフ理論に揺らぎを導入して得られる複雑ネットワークの階層性と混合性を論じた (論文 [8])。地震のネットワークの階層性と混合性を論じた (論文 [9])。

### 【5】非平衡量子統計力学 (阿部) 論文 [11]

非平衡量子統計力学における隠れたゲージ理論構造を見出した。

## 【6】量子ドット系の電子相関と輸送現象

近年の微細加工技術の発展に伴い、半導体量子ドット系も多様化し、ナノ複合量子ドット系や、縦型量子ドット、並列2重量子ドット等が可能となった。これらの量子ドット系において、電子相関が量子輸送現象に果たす役割を継続的に調べている。

#### (1) ナノ量子複合系の Fano-近藤効果 (院生: 坂井, 院生: 浜谷, 谷口) 解説・紀要 [4], 講演 [18]

量子ドットがナノ構造に組み込まれる (図 2) と、連続/離散準位が混在し、クーロン閉塞領域のコンダクタンスピーク形状に Fano 効果が観測される。また量子ドット系では、低温領域で電子相関に起因する近藤効果が現れることが期待される。本年度は、ナノ量子複合系の低温領域におけるコンダクタンス挙動を理解のため、これら 2 つの複合的効果である Fano-近藤効果を調べることを目的とした。図 3 に、図 2(d) に対し、改良型運動方程式による自己無撞着近似法により量子ドット状態密度のゲート電圧依存性を計算した例を示す (近藤効果は  $\epsilon_d < 0$  で起こる)。Fano 効果が起こるネットワーク系では、リング側の結合強度  $W$ , 位相  $\phi$  を変化させることで、近藤温度領域以下でのコンダクタンス挙動を制御することができる。また、このような量子ドット系は、一般に巨大な熱起電力を持つことが知られているため、ナノ量子複合系の熱電特性と Fano-近藤効果の関連も現在研究中である。

#### (2) 軌道縮退量子ドット系の電子相関と量子輸送 (院生: 小口, 谷口) 講演 [19, 20]

縦型やカーボンナノチューブは一粒子軌道に準位縮退を持つ。このような軌道縮退量子ドット系の電子相関効果を、同軌道内に電子間相互作用  $U$ 、異軌道間に電子間相互作用  $V$  が働くモデルを使い、調べている。前年度の摂動計算によると近藤温度  $T_K$  より高い温度領域ではコンダクタンスは  $V < U$  の時に増大するという結果が得られた。これを踏まえ、本年度は近藤温度より低温領域での軌道間/軌道内電子間相互作用の影響を明らかにすることを目的とし、改良型運動方程式の自己無撞着近似を用いてコンダクタンスを評価した。得られた結果は以下の通りである。(1) コンダクタンスのゲート電圧  $\epsilon_d$  依存性を見ると、コンダクタンスは、共鳴準位付近  $\epsilon_d \approx 0$  では、 $V/U$  減少に従い、コンダクタンスは増大するが、奇数の谷間 ( $\epsilon_d < 0$ ) では、減少する (図 4 左)。(2) コンダクタンスの温度依存性を詳細に調べると、高温領域  $T \geq T_K$  では、 $V/U$  減少とともに増大する。これは、摂動計算やスケーリング解析により予想される振舞いと対応する。しかし、低温領域  $T \leq T_K$  では  $V/U$  減少とともにコンダクタンス減少に転じる。これは、軌道の対

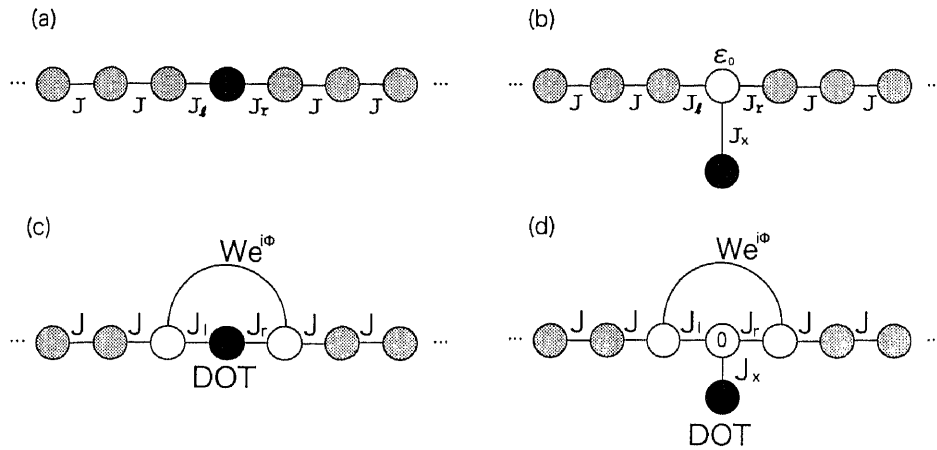


図 2: 考察したナノ量子複合系: (a) 単一量子ドット (SIAM), (b) T 字型系, (c) AB リング系, (d) T 字型+AB リング系. 黒丸は量子ドット.

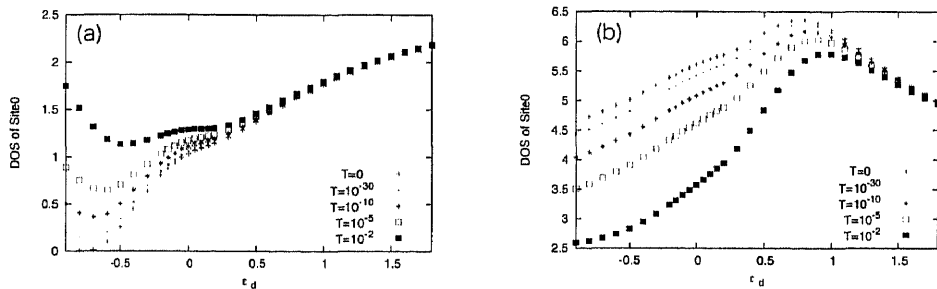


図 3: T 字型+AB リング系における量子ドットの状態密度のゲート電圧依存性と温度依存性. (a) 位相  $\phi = 0$ , (b) 位相  $\phi = \pi$

称性が失われるため、近藤効果が抑制されているためと考えられる (図 4 右)。

その他 卒業研究として [5] を行った。

## 【7】量子カオス系の有効場理論と等エネルギー面上の場の理論 (谷口) 講演 [13, 21, 22]

弾動的な量子カオス系の有効場理論として、等エネルギー面上の位相空間に場の理論を構築する必要性を認識し、その定式化を行っている。この枠組では、「量子カオス系・乱れた電子系の有効場理論」と強相関電子系で最近頻繁に用いられる「ゲージ場理論」や「ボゾン化法」との間に存在する密接な関係が明らかになる。カオスのハミルトン力学と量子多体系を結びつけるまったく新しい視点として期待している。

今年度は特に、粒子間の相互作用の効果について考察し、「等エネルギー面上の場の理論」を特徴づけるスペクトル代数が、相互作用の存在によりいかに繰り返されるかを調べた。得られた結果は、電子間相互作用があるときの一体 Green 関数の近似法として解釈することができ、動的平均場理論との関連も明らかに

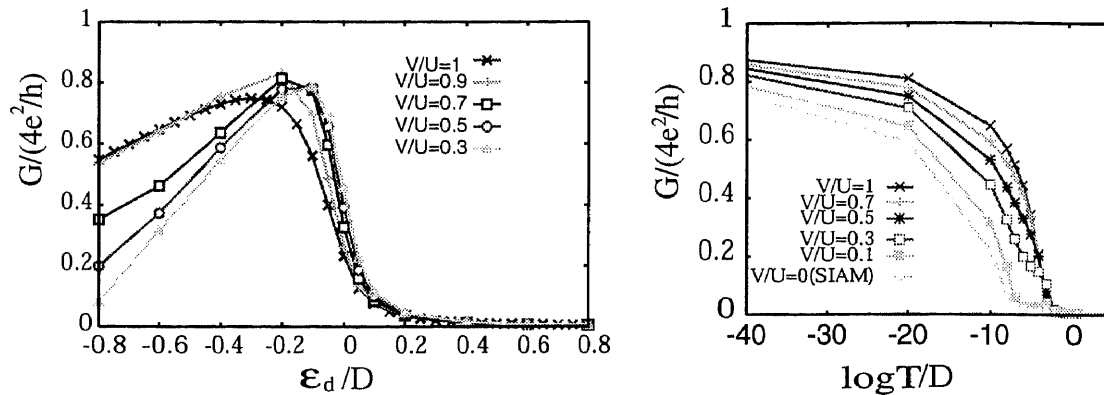


図 4: コンダクタンスのゲート電圧依存性と温度依存性。

なる。

## 【8】ボーズ・アインシュタイン凝縮 (BEC) の理論的研究

量子原子気体のボーズ・アインシュタイン凝縮は、フェルミ原子気体の超流動状態 (BCS 状態) が、フェッシュバハ共鳴を利用した引力機構による実現されたことにより、新たな局面を迎えたと言っても過言ではない。フェッシュバハ共鳴を利用した原子-原子散乱機構は、粒子間の相互作用を外部からコントロールするというこれまでに無かった側面を実現し、弱結合から強結合に到る相互作用の任意のパラメータ領域を得ることができる。それに加え、オプティカルトラップにより、人工的な格子に系を閉じ込め、理想化された固体状態に対応する状況を作り出すことが出来る。現象の緩和時間が ms のオーダーであることも非平衡現象の詳細を観測できる系となっている。これらの特徴的な性質により、山積する凝縮系の多体問題に新たな知見を与える実験系として注目されている。

本年度は、オプティカル格子内でのボーズ粒子・フェルミ粒子の状態について調べた。

### (1) 光学格子中のボーズ原子ガスと超流動-絶縁体転移 (松本、高橋 (院生)) 論文 [14, 16]、講演 [23, 24, 28]

光学格子中の原子ガスは、結晶中の粒子と同じ周期的な状況を作り出すことに加え、そのポテンシャルを自由にデザインできることや、フェッシュバハ共鳴を利用して相互作用の強さを調節できることから、強相関電子系など凝縮系物理の難問にあらたな情報を与えるものとして期待されている。中性ボーズ原子気体に対しては、レーザー強度の変化でポテンシャル強度を変化させ、超流動-絶縁体転移が実験的に実現されている。この現象をボーズ・ハバード模型を用いて、強結合極限から理論的に調べた。超流動-絶縁体転移近傍の超流動状態での励起スペクトルは、ギャプレスの励起スペクトルに加え、絶縁体的なギャップを有する励起スペクトルも残り、バンド構造に「局在、遍歴」の二重構造が見られることがわかった。また、量子補正を局所近似の範囲で取り入れた結果は、転移近傍で相関の強い粒子状態が形成され、それが超流動状態になるという結果を得た。

(2) 光学格子中のフェルミ原子ガス超流動の研究(松本) 論文 [18, 19, 20, 21]、講演 [25, 26, 27, 30, 31]

フェルミオン系の光学格子中の原子気体は、ハバード模型で解析することができる。そのため強相関電子系との対応を議論することができる。それに加え、トラップポテンシャルや相互作用を自由に調節することができるため、強相関電子系の理解を深める情報が得られると期待されている。斥力ハバード模型の半占有状態近傍では、トラップポテンシャル中心にモット絶縁体が形成され、その周辺にホールのドーピングされた領域が形成される。スピン揺らぎの強いモット相のまわりに稼動できる流動相を作ったことになり、モット相のスピン揺らぎを媒介として流動相粒子間に対生成ポテンシャルが働く可能性が考えられる。一次元の数値計算で対形成の傾向が見られることを示し、そのスピン揺らぎや対相関の性質を数値計算で明らかにした。また、引力ハバード模型では、格子点での対形成により、空間的変調が引き起こされること、例えば、二次元ではチェッカーボード型の密度変調が得られることを数値計算で示した。

## 【9】超伝導の理論的研究

(1) ジョセフソン渦糸格子とジョセフソンプラズマモード(松本、播磨谷(院生)) 論文 [15, 17]、講演 [29, 32]

高温超伝導体の電磁的性質は、多重ジョセフソン接合模型で説明できることが知られている。多重ジョセフソン接合に対する位相差、電磁場間の方程式を用いて、帯電効果と電磁誘導効果により、ジョセフソン渦糸状態の運動やそれと結合した電磁振動(ジョセフソンプラズマ)などがどのような性質を示すかを調べることができる。内部の電磁振動と外部の電磁振動の関係を調べるため、外部と内部の電磁場がカップルした方程式を導き、反射率を数値シミュレーションで求めた。ジョセフソンプラズマ振動数半分あたりに新たな吸収端が現れ、磁場とともに変化するという実験の傾向と一致する結果を得た。ジョセフソン渦糸が形成されたときのジョセフソンプラズマモードのバンド構造を求め、反射率との関係を議論した。

## 【10】研究・教育成果の社会への還元・奉仕活動

(1) 集中講義(有光)社会還元等 [1]

函館市立はこだて未来大学にて、集中講義を行った。

(2) 出前講義(有光)社会還元等 [2]

茨城県立竹園高等学校にて、出前講義を行った。

(3) 雑誌編集委員(有光)社会還元等 [3, 4]

日本応用物理学会欧文誌(JJAP)の編集委員(Ei)を務めた(社会還元等 [3])。

ウクライナ国科学アカデミー凝縮系物理学研究所出版の学術雑誌「Condensed Matter Physics」の編集委員を務めた(社会還元等 [4])。

(4) 物理チャレンジ・オリンピック委員会(有光)社会還元等 [5]

筑波大学を主会場とした「物理チャレンジ2007」開催(2007年7月29日~8月1日)に向けて、現地実行部会長として協力をしている。

## <論文>

- [1] K. Yoshida and T. Arimitsu: "Energy Spectra in Quantum Fluid Turbulence", *J. Low Temp. Phys.* **145** (2006) 219-230.
- [2] K. Yoshida and T. Arimitsu: "Inertial-subrange structure of isotropic incompressible magnetohydrodynamics turbulence in the Lagrangian renormalized approximation", *Physics of Fluids* **19** (2007) 045106.
- [3] T. Hayashi, T. Arimitsu, S. Kitajima and F. Shibata: "Stabilizer Code for Uncorrelated Errors Can Correct Spatially Correlated Ones", *J. Phys. A: Math. Theor.* **40** (2007) in press.
- [4] T. Arimitsu, N. Arimitsu, K. Yoshida and H. Mouri: "Multifractal PDF Analysis of Energy Dissipation Rates in Turbulence", *IUTUM 2006 Proceedings* (Springer, 2007) in press.
- [5] K. Yoshida and T. Arimitsu: "Numerical Simulation of Quantum Fluid Turbulence", *IUTUM 2006 Proceedings* (Springer, 2007) in press.
- [6] Masashi Ban, Sachiko Kitajima and Fumiaki Shibata: "Decoherence of quantum information of qubits by stochastic dephasing", *Phys. Lett. A* **349** (2006) 415-421.
- [7] Sachiko Kitajima, Masashi Ban, Toshihico Arimitsu and Fumiaki Shibata: "Rigorous quantum treatment of dynamical coherence recovery", *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **40** (2007) S239-S248.
- [8] S. Abe and S. Thurner, "Hierarchical and mixing properties of static complex networks emerging from fluctuating classical random graphs", *Int. J. Mod. Phys. C* **17** (2006) 1303.
- [9] S. Abe and N. Suzuki, "Complex earthquake networks: Hierarchical organization and assortative mixing", *Phys. Rev. E* **74** (2006) 026113.
- [10] S. Abe and Y. Nakada, "Temporal extensivity of Tsallis' entropy and the bound on entropy production rate", *Phys. Rev. E* **74** (2006) 021120.
- [11] S. Abe and S. Kaneko, "Geometric effect and gauge field in nonequilibrium quantum thermostatistics", *Phys. Lett. A* **357** (2006) 284.
- [12] S. Abe, "Temperature of nonextensive systems: Tsallis entropy as Clausius entropy", *Physica A* **368** (2006) 430.
- [13] N. Taniguchi, "Discrete levels as quantum anomalies: effective field theory of a chaotic billiard" *AIP Conf. Proc.* **850**, 1417-1418 (2006).
- [14] Y. Ohashi, M. Kitaura, and H. Matsumoto, "Itinerant-localized dual character of a strongly correlated Bose gas in an optical lattice", *Phys. Rev. A* **73**, 033617(1)-(5)(2006.3).
- [15] H. Matsumoto, "Electromagnetic Properties in the Multi-Josephson Model with a Josephson Vortex Lattice", *Physica C-Superconductivity and its applications* 437-438, 199-203 (2006.5).
- [16] H. Matsumoto, K. Takahashi, and Y. Ohashi, "Effect of Quantum Correction in the Bose Hubbard Model" *AIP Proceedings* **850**, 53-54 (2006.9).
- [17] Hideki Matsumoto, Yasuhiro Suzuki and Yoji Ohashi, "Reflectivity in the Multi-Josephson Junction Model with Josephson Vortex Lattice", *AIP Conference Proceedings* **850**, 925-926 (2006.9).



- [18] M. Machida, S. Yamada, Y. Ohashi, and H. Matsumoto, "Spin correlation and superfluidity of trapped fermi atoms on an optical lattice", AIP Proceedings **850**, 61-62 (2006.9).
- [19] M.Machida, S.Yamada, Y.Ohashi, H.Matsumoto, "Novel Pairing in the Hubbard Model with Confinement Potential", Physica C **445-448**, 90-93 (2006.10).
- [20] M. Machida, S. Yamada, Y. Ohashi, and H. Matsumoto, "On-site pairing and microscopic inhomogeneity in confined lattice fermion systems", Phys. Rev. A **74**, 053621(1)-(6) (2006.11).
- [21] S. Yamada, M. Machida, Y. Ohashi, and H. Hatsumoto, "Strong pairing and microscopic inhomogeneity of lattice fermion systems" has been accepted in Physica C (2007).

## <著書>

- [1] T. Arimitsu, N. Arimitsu, K. Yoshida, H. Mouri: "Multifractal PDF analysis for intermittent systems" (分担執筆); *Anomalous Fluctuation Phenomena in Complex Systems: Plasma Physics, Bio-Science and Econophysics*, Edited by C. Riccardi and H.E. Roman (Transworld Research Network, India, 2007) in press.

## <講演>

- [1] Kyo Yoshida: "Energy spectrum of isotropic magnetohydrodynamic turbulence in the Lagrangian renormalized approximation", Warwick Turbulence Symposium, International Workshop on *Non-equilibrium statistical mechanics and turbulence*", 2006年7月, University of Warwick, Coventry, England.
- [2] T. Arimitsu, N. Arimitsu, K. Yoshida and H. Mouri: "Multifractal PDF analysis of turbulence", Warwick Turbulence Symposium, International Workshop on *Non-equilibrium statistical mechanics and turbulence*", 2006年7月, University of Warwick, Coventry, England.
- [3] Kyo Yoshida and Toshihico Arimitsu: "Numerical Simulation of Quantum Fluid Turbulence", International Union of Theoretical and Applied Mechanics (IUTAM) Symposium 2006 NAGOYA, "Computational Physics and New Perspectives in Turbulence", 2006年11月, Nagoya University, Nagoya, Japan.
- [4] Toshihico Arimitsu, Naoko Arimitsu, Kyo Yoshida and Hideaki Mouri: "Multifractal PDF Analysis of Turbulence", International Union of Theoretical and Applied Mechanics (IUTAM) Symposium 2006 NAGOYA, "Computational Physics and New Perspectives in Turbulence", 2006年11月, Nagoya University, Nagoya, Japan.
- [5] 有光敏彦, 有光直子, 吉田 恭: 「間欠性の各種マルチフラクタル理論の比較」, 日本物理学会 2006年秋季大会, 2006年9月, 千葉大学
- [6] 吉田 恭, 有光敏彦: 「一様等方性電磁流体乱流のエネルギースペクトル」, 日本物理学会 2006年秋季大会, 2006年9月, 千葉大学
- [7] 北島佐知子, 番 雅司, 有光敏彦, 柴田文明: 「コヒーレンス消失と回復の理論的扱い」, 日本物理学会 2006年秋季大会, 2006年9月, 千葉大学

- [8] 北島佐知子, 有光敏彦:「散逸的 Kerr 媒質と量子纏れ合い状態のダイナミクス」, 日本物理学会 2006 年秋季大会, 2006 年 9 月, 千葉大学
- [9] 有光直子, 有光敏彦, 吉田 恭:「2 次元乱流順カスケードのマルチフラクタル PDF 解析」日本物理学会 2007 年春季大会, 2007 年 3 月, 鹿児島大学
- [10] 吉田 恭, 有光敏彦:「一様等方性電磁流体乱流の残差エネルギースペクトル」日本物理学会 2007 年春季大会, 2007 年 3 月, 鹿児島大学
- [11] 柴田文明, 北島佐知子, 有光敏彦, 番 雅司:「量子情報の非平衡ダイナミクス」日本物理学会 2007 年春季大会, 2007 年 3 月, 鹿児島大学
- [12] 有光敏彦, 北島佐知子, 吉田 恭:「環境下における連続量テレポーテーション」日本物理学会 2007 年春季大会, 2007 年 3 月, 鹿児島大学
- [13] (招待講義) S. Abe, (i) “Temporal Extensivity of Tsallis Entropy and Bound on Entropy Production Rate” and (ii) “q-Expectation Values in Nonextensive Statistical Mechanics”, Invited Lectures at School and Conference on Complex Systems and Nonextensive Statistical Mechanics (July 31-August 8, 2006, The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Trieste, Italy).
- [14] (招待講演) S. Abe, “Thermodynamics Based on Time Average and Temporal Extensivity of Entropy”, Invited Talk at The London Mathematical Society, Durham Symposium on Dynamical Systems and Statistical Mechanics (July 3-13, 2006, University of Durham, UK).
- [15] (招待講演) S. Abe, “A Novel Geometric Effect and Gauge-Theoretical Structure in Nonequilibrium Quantum Thermostatistics”, Invited Talk at The 8th International Symposium on Statistical Physics: StatPhys-Taiwan 2006 (June 21-26, 2006, Institute of Physics, Academia Sinica, Taipei, Taiwan).
- [16] (招待講演) S. Abe, “Fractional Diffusion, Quantum Subdynamics and Einstein’s 1905 Theory of Brownian Motion”, Invited Talk at The International Conference on the Frontiers of Nonlinear and Complex Systems (May 24-26, 2006, Hong Kong Baptist University, Hong Kong).
- [17] (招待講演) S. Abe, “Bit Cumulants, Multifractals and Escort Distributions”, Invited Talk at The 2nd International Workshop on Fisher Information (April 24-28, 2006, University of Arizona, Tucson, USA).
- [18] 坂井 範昭・谷口伸彦, 「ナノ量子複合系における Fano-Kondo 効果: 改良型 EOM による解析」, 日本物理学会講演 (2007 年 3 月)
- [19] 小口悠・谷口伸彦, 「軌道縮退量子ドット系のクーロン閉塞・近藤効果と電子相関の軌道依存性」, 日本物理学会講演 (2006 年 9 月)
- [20] 小口悠・谷口伸彦, 「ナノ量子複合系における Fano-Kondo 効果: 軌道縮退量子ドット系」, 日本物理学会講演 (2007 年 3 月)
- [21] N. Taniguchi, “Spectral quantum field theory of a quantum chaotic billiard: the phase-space bosonization and renormalization”, International Conference on Quantum Mechanics and Chaos, (大阪市立大学, 2006 年 9 月).
- [22] 谷口 伸彦 物理学セミナー「量子ドット系における量子カオス性と電子間相互作用」(筑波大学, 2006 年 10 月).

- [23] 高橋清志、松本秀樹、大橋 洋士, "ボーズ・ハバードモデルにおける超流動-モット絶縁体転移", 日本物理学会, 2006年3月 愛媛大学、松山大学.
- [24] 松本秀樹、高橋清志、大橋洋士, "ボーズ・アインシュタイン凝縮における量子補正", 基研研究会「熱場の量子論とその応用」、2006年8月23日-25日、京都大学基礎物理学研究所
- [25] 町田昌彦、山田進、大橋洋士、松本秀樹, "フェルミオン光学光子で普遍的に見られる非一様な基底状態", 日本物理学会, 2006年9月、千葉大学
- [26] S. Yamada, M. Machida, Y. Ohashi, H. Matsumoto, "Strong pairing and microscopic inhomogeneity of lattice fermion systems", (19th International Symposium on Superconductivity, Nagoya, Nov. 1, 2006)
- [27] M. Machida, Y. Ohashi, H. Matsumoto, and S. Yamada, "Systematic ground-state explanation for strongly-interacting fermions loaded on optical lattices." APS March Meeting, 2007.3. 5-9 Denver, Colorado, USA
- [28] 松本秀樹、大橋洋士、高橋清志, "ボーズ・ハバードモデルによる絶縁体-超流動転移の解析", 日本物理学会、2007年3月、鹿児島大学
- [29] 松本秀樹、大橋洋士、播磨谷智寛, "多重ジョセフソン接合模型におけるジョセフソン渦糸状態の反射率", 日本物理学会、2007年3月、鹿児島大学
- [30] 町田昌彦、山田進、大橋洋士、松本秀樹, "光学格子上フェルミ原子集団のMQT およびMQC", 日本物理学会、鹿児島大、2007年3月18日
- [31] 山田進、町田昌彦、松本秀樹、大橋洋士, "2次元DMRGを用いた2次元光学格子：斥力トラップハバードモデルの基本的性質", 日本物理学会、鹿児島大、2007年3月18日.
- [32] 松本秀樹, "多重ジョセフソン接合模型による高温超伝導内の電磁励起の解析", 先端研究拠点事業「ナノサイエンスと応用」第4回国内研究会2007年3月21-23、霧島、鹿児島.

## <社会還元等>

- [1] 有光敏彦：集中講義「複雑系科学特論（複雑系科学トピック）」、2006年9月、はこだて未来大学.
- [2] 有光敏彦：土曜講座「スーパーサイエンスセミナーI」、講義題目「乱流の織り成す不思議の世界 - 渦とフラクタル構造」、2006年10月、茨城県立竹園高等学校.
- [3] 有光敏彦：Japanese Journal of Applied Physics, 編集委員.
- [4] 有光敏彦：Condensed Matter Physics (The Institute for Condensed Matter Physics on the National Academy of Science of Ukraine), 編集委員.
- [5] 有光敏彦：物理チャレンジ・オリンピック日本委員会運営委員会委員、および、物理チャレンジ実行委員会副委員長、現地実行部会部会長.

## <卒業論文（学士）>

- [1] 筑波大学卒業論文：大日向正志「スクイーズド光を利用した量子テレポーテーション」(2007)2月.
- [2] 筑波大学卒業論文：藤井宏之「ぬれ転移の微視的理論」(2007)2月.

- [3] 筑波大学卒業論文：石井 究「超伝導におけるBCSとFFLO状態」(2007) 2月.
- [4] 筑波大学卒業論文：高橋広樹「ジョセフソン接合 qubit」(2007) 2月.
- [5] 筑波大学卒業論文：白岩 智「開いた量子ドットの電子状態：無分散アンダーソン模型による理論解析」(2007) 2月.
- [6] 筑波大学卒業論文：前田清隆「量子力学的演算子の自己随伴拡張理論」(2007) 2月.
- [7] 筑波大学卒業論文：荒井 均「作用・角変数を用いた統計力学の表現」(2007) 2月.

### <学位論文（修士）>

- [1] 筑波大学修士論文：平野 覚「渦糸モデルシミュレーションに基づく量子乱流素過程の解明」(2007) 2月.
- [2] 筑波大学修士論文：小松崎慎人「2次元乱流のマルチフラクタル解析」(2007) 2月.
- [3] 筑波大学修士論文：播磨谷智寛「銅酸化物高温超伝導体におけるジョセフソンプラズマ」(2007) 2月.
- [4] 筑波大学修士論文：坂井範昭「ナノ量子複合系におけるFano-Kondo効果の理論的解析」(2007) 2月.
- [5] 筑波大学修士論文：一刀祐一「原子-光子エンタングルメントとフロー方程式」(2007) 2月.

### <外部資金>

- [1] 科学研究費補助金若手研究(B) (平成17年度～平成18年度、研究代表者：吉田 恭)、課題番号17740246  
「大規模直接数値シミュレーションによる量子流体乱流の統計法則の研究」(平成17年度1,500千円、平成18年度1,400千円)
- [2] 科学研究費補助金基盤研究(C) (平成17年度～平成18年度、研究代表者：松本秀樹)、課題番号17540368  
「原子量子気体におけるBEC/BCS状態の理論的研究」(平成17年度2,200千円、平成18年度1,300千円)
- [3] 委託研究、科学技術振興機構CREST研究領域「マルチスケール・マルチフィジックス現象の統合シミュレーション」研究課題名「超伝導新規応用のためのマルチスケール・マルチフィジックスシミュレーションの基盤構築」(研究代表者：町田昌彦) 分担者：松本英樹 (平成18年度500千円)
- [4] 科学研究費補助金基盤研究(C) (平成18年度～平成19年度、研究代表者：山田進)、「原子量子気体に対する新規数値シミュレーション手法の研究開発」(平成18年度2,000千円) 分担者：松本英樹