

VI. 物性理論グループ

教授	宗田 敏雄、高田慧、久保 健、押山 淳、高山 一（併任）
助教授	有光 敏彦
講師	田上 由紀子、平島 大
助手	大橋 洋士
準研究員	斎藤 健、中村 統太（転出）
学振特別研究員	桃井 勉
大学院生	12 名

【1】 非平衡系の統計物理 （有光敏彦、斎藤健） [論文 1-3、講演 1,2,4,5,8,9,11,13-17、 紀要等 1,4,5,7-10]

「量子コヒーレンスと散逸」に関わる問題は、量子光学の分野ばかりでなく巨視的量子現象としてその重要性が認識され、近年広い分野でその研究が盛んになってきている。その多くの現象が「非平衡状態の量子性と散逸」にかかわる問題である。目下、特に「量子トンネル現象と散逸」に注目し、我々のグループで開発した Non-Equilibrium Thermo Field Dynamics (NETFD) を駆使して、散逸の起源を理解するための『統一的な視点』を探っている。NETFD は、非平衡開放系を扱う正準・演算子形式の場の量子論である。この体系は「量子揺らぎ」に加えて「熱揺らぎ」を場の量子論的に扱うもので、これにより散逸過程の関わる非平衡過渡現象が、「演算子代数とその表現空間の設定」という場の量子論における基本的立場によって扱えるようになった。例えば、動的な散逸過程が真空の属性の時間的変化として捕らえられ、系の熱平衡状態への時間発展も、ある種の粒子対の真空への凝縮として表現できるのである。『統一的な視点』とは、散逸現象を真空の属性として捉えようという新しい観点の意味である。その一環として、NETFD による量子系確率微分方程式の一貫した体系の確立に成功した。そこでは、揺動力演算子に対する Fock 空間を導入し、量子系に対する確率的 Liouville 方程式、Langevin 方程式がマスター方程式と一貫した正準演算子形式で定式化された。数学者によって進められている非可換伊藤公式の導出との関連を吟味した。従来物理屋によって為されている微視的モデルから Langevin 方程式を導出する手続きに、伊藤型の Langevin 方程式を導く処方が含まれていることを明らかにした。また、量子散逸系の問題が演算子代数で系統的に計算できることを、過渡的光吸収の問題を NETFD で扱うことにより示した。

【2】 散逸系のカオス（有光敏彦） [論文 4-6、講演 3,6,7,10,12,18、紀要等 2,3,6]

微分方程式で記述される力学系がカオスの挙動を示すとき、位相空間の流れ場は、流れがその法線方向に引き伸ばされ折り畳まれるような構造をもつ。この「引き伸ばし」と「折り畳み」がカオスの本質である。「引き伸ばし」はカオス軌道のもつ不安定性のあらわれであり、「折り畳み」はその安定性のあらわれである。この不安定性と安定性の微妙なバランスによって形成される、無数の不安定周期軌道の織り成す複雑な構造が、カオス軌道の示す特異な軌跡を演出している。我々は、ストレンジ・アトラクターを構成している不安定周期軌道の「シリーズ」を特定することにより、カオス軌道の特徴付けを進めている。それは、「テンプレート」を特定することにより可能となる。テンプレートとは、ストレンジ・アトラクターを構成しているあらゆる不安定周期軌道やそれらの間のトポロジカルな性質（ひねり具合や絡み方など）を表現するものである。『周期倍分岐の集積点の先に現れるカオス領域のトポロジカルな構造が、周期倍分岐軌道やそれらの間の

トポロジカルな性質で既に決定されている』という興味深い発見をした。その辺の事情を詳しく調べるために、微分方程式の非線形項を区分線形近似して解析的に扱うことにより、流れ場を視覚化し、テンプレートの生成がどのように実現されているかを明らかにした。さらに、実際の不安定周期軌道を記号力学の words により分類すると、テンプレート模型における admissible words と一致していることを発見した。

【3】 量子多体系における対象性の破れ（桃井）[論文 7、講演 19,20]

格子上で定義される量子スピン系や電子系等の（内部自由度が）連続対称性を持つモデルにおける、低温での量子揺らぎの振舞いとその現れる様子を厳密な手法を用いて調べた。まず連続対称性を持つ1次元量子スピン系や電子系の基底状態において量子揺らぎが存在するために（強磁性以外の）対称性の破れが起こらないことをほぼ厳密に示した。これによりこれまで”1次元系は量子揺らぎが強い”と信じられてきた事が数学的に基礎づけられた。さらに2次元、3次元格子上の連続対称性を持つ（強磁性体以外の）量子系においても基底状態に強い量子揺らぎが存在することを示し、このゆらぎの相関関数が $R^{-(d-1)}$ かそれよりもゆっくり減衰することを厳密に示した。この研究により量子揺らぎと対称性の破れとの間には密接な関係があることがわかった。この現象は量子力学の不確定性関係より導かれるもので、純粋な量子効果である。これらは、多くの一般的なモデルに当てはめることが出来る結果であり、このように基底状態の量子揺らぎが一般的なモデルについて厳密に議論できたのは、初めてである。

【4】 量子スピン系の理論的研究

（1） フラストレーションの強い量子スピン系（久保・中村）[論文 8-10、講演 21-24]

前年に引き続きフラストレーションの強い量子スピン系であるダイヤモンド鎖上の反強磁性体の基底状態および Δ 鎖上の反強磁性体の励起状態と有限温度の性質について調べた。これらの系では古典的基底状態が局所的に連続縮退をもっており、フロッピー系と呼ばれる。このため、量子的な揺らぎが非常に強く、クラスター構造をもつ基底状態や、局在した励起状態が現れる。（高野健一・豊田工業大学助教授、院生坂本晴美との共同研究）

（2） Δ -chain の研究（高田、中村） [論文 11]

フラストレーションのために古典的な基底状態が局所的な連続縮退をもつ系の典型的な例として Δ -chain は興味を集めてきた。この系の低励起状態は2種の domain wall (kink と antikink) から成っており、kink は excitation energy を持たずに局在していること、また antikink は有限の energy gap と mass を持つ自由な excitation であり、低励起状態は dispersionless で比熱が低温で異常な peak を持つこと、あることが既に理論的に解明されている。然し乍ら、また Δ -chain が適用されると考えられる $YCuO_{2.5}$ について、高温展開で決定された交換相互作用 J の値を用い energy gap を評価すると、NMRで定めた値の1/2程度しか与えられないことも示されている。我々は、小数系の対角化と変分計算を用いてフラストレーションを解消するようなダイマー型の格子変形に対する系の不安定性を明らかにした。また、上記の kink-antikink の励起が任意の変形に対して、常に bound state を形成し、変形と共に kink-antikink の平均距離が劇的に減少すると共に、その energy gap が急激に増加し、ダイマー型格子変形による相互作用 (λ) の6%の非対称変化で、gap が約2倍となることを示し $YCuO_{2.5}$ のNMRの実験を説明できることを明らかにした。又、変形のない場合 ($\lambda = 1$) から変形のある場合の gap の変化は $\lambda = 1$ 近傍で $1.44 \times |\lambda - 1|^{2/3}$ であり、これはある連続模型の厳密解から導かれることを明らかにした。

(3) $S = 1/2$ 梯子型反強磁性 XXZ 模型の理論的研究 (高田、中村) [論文 12]

近年、1次元 $S = 1/2$ 量子スピン系の中で、その基底状態が励起エネルギーギャップを持ちスピンの長距離秩序を持たない系が関心を持たれている。我々は、こうした模型の一つである XXZ 梯子模型の基底状態の相図とそのギャップを有する状態の性質を計算機を用いて密度行列繰り込み群の方法で調べた。相図について従来数値計算とボソン化による繰り込み群の結果と一致していなかったが、この研究により、ボソン化の方法による結果が定性的には正しいことを示した。またギャップを有する状態が $S=1$ のハルディン状態の特徴である $S=1/2$ edge 状態による基底状態の4重縮退が存在することを具体的に示した。この研究はの成島毅の修士論文となっている。(院生成島毅との共同研究)

【5】 強相関電子系の理論的研究

(1) 近藤半導体の研究 (平島) [論文 13,14 講演 25,26]

近藤半導体のギャップ形成メカニズムの解明を目指して、周期アンダーソンモデルの研究を行ってきた。手法としては、高次元極限で正確になる動的平均場理論を用いた。動的平均場理論によれば、格子上の電子系の問題は1不純物問題に帰着する。この不純物問題を量子モンテカルロ法を用いて厳密に解くことにより、局所的な相関を厳密に取り入れて格子上の電子系の問題を解くことができる。得られた結果から最大エントロピー法を用いてダイナミクスについての情報も得ることができる。1電子状態密度、スピン励起スペクトル、電荷励起スペクトルのギャップ構造などを調べて、実験結果と定性的に一致する結果を得た。さらに、帯磁率を計算し、実験で観測されている絶対零度における大きな常磁性帯磁率の値を得るためには、軌道縮退が重要であることを見出した。(院生武藤哲也との共同研究)

(2) 金属絶縁体転移の研究 (平島) [講演 27-30]

動的平均場理論を用いて、相関効果による金属絶縁体転移点近傍の電子状態を、特に電子数依存性に注目して研究した。いわゆる電荷移動型絶縁体(高温超伝導体の母物質もこの範疇に属する)の金属絶縁体転移点近傍での1電子状態密度(スペクトル)の電子数依存(ドーピング依存)を調べた。量子モンテカルロ法(+最大エントロピー法)、少数クラスター対角化法、および単一クラスター計算などの結果を比較することによって、絶縁体状態での局所単重項状態の存在、金属状態での遍歴成分の性格(局所的には絶縁体状態における局所単重項の性格をもつ)が明確になった。また、モット・ハバード型絶縁体について、多バンド(アニオンp軌道)の効果を調べた。(院生武藤哲也、高橋英昭との共同研究)

(3) 強相関電子系における摂動論の研究 (久保) [論文 15]

高温超伝導物質は電子間に強い相関が働いているが、その絶縁相におけるスピン相互作用はハイゼンベルク相互作用でよく記述されると信じられている。そこで我々は、ハイゼンベルク相互作用が電子の跳び移りを考慮したd p 模型から導けるかどうかを、摂動論を用いて調べた。その結果 La_2CuO_4 にあてはまると思われるパラメタの値の場合、摂動論の収束は非常に悪く Cu_2O_7 クラスタに対して14次元計算しても収束が得られなかった。この場合に何故ハイゼンベルク模型がよい記述になり得るのかは未解決の問題である。(ミシガン州立大学カプラン教授、マハンティ教授、院生スーイェンシェンとの共同研究)

(4) 金属強磁性の研究(久保)[論文準備中、講演 31]

金属強磁性は強相関電子系の引き起こす重要な現象であるがまだ十分な理論的基礎づけがなされていない。ごく最近、ハバード模型がある条件を満たす時、系の基底状態が強磁性状態を示すことが田崎らにより厳密に示された。しかし、これらの場合に系は絶縁体状態にあると考えられる。我々はある種の一次元のハバード模型について、電子数密度を変化させながら強磁性基底状態の出現条件を調べた。密度行列繰り込みの方法とよばれる数値的手法を用いて得られた結果は、絶縁体から電子数を減らして金属状態にした場合、むしろ強磁性が出現しやすくなる事を示している。(院生坂本晴美との共同研究)

【6】 高温超伝導体の研究

(1) 超伝導体中における Mid Gap State (大橋、高田) [論文 16、講演 32]

異方的、非等方的超伝導体中における束縛状態(Mid Gap State)発生に関する一般条件を理論的に解明、この束縛状態の波動関数の一般解を導出した。更に、界面における障壁等による束縛状態間の混成により、Mid Gap Stateが如何に消失するかを示し、今まで独立に議論されてきたMid Gap Stateが統一的に理解されることを明らかにした。

(2) 異方的超伝導における近接効果(大橋)[論文 17、講演 32-34]

d波対称性が期待される酸化物超伝導を念頭におき、d波超伝導(S)に正常金属(N)を接触させた場合の近接効果を、秩序パラメータの空間変化をも考慮して議論した。結果、接合面の向きによっては、d波超伝導の近接効果により、N側に対称性の異なるs波超伝導が誘起されることを示した。また、誘起される超伝導がd波超伝導と同じ位相を持つ事を示し、異なる対称性を持つ超伝導体間でも、ペアー振幅の変形により Josephson coupling が存在することを明らかにした。

(3) d波超伝導体中における不純物周囲の秩序パラメータの空間変化(大橋)[論文 3]

2次元d波超伝導体中における非磁性不純物効果を有限サイズの系において研究、不純物周囲の秩序パラメータの状況、不純物に局在した低励起状態の存在を解明した。特に後者に関し、局在状態が秩序パラメータのノード方向に広がっていることを示し、d波超伝導では不純物濃度が低くとも局在状態は干渉しあい、独立に扱えないことを明らかにした。この結果はNMRの実験結果とも一致するものである。(大阪大学基礎工学部三宅研究室との共同研究)

(4) 超伝導体中における集団励起、とくに Carlson-Goldman モードの研究(大橋、高田)

[論文準備中]

超伝導状態下において観測される Collective Mode (Carlson-Goldman Mode、Phason Mode) を、クーパーペア帯磁率を数値的に計算することで求めた。これにより、従来の近似理論の結果が定性的にも、定量的にも正しくないことを明らかにした。更に、不純物効果についても、今までの理論で脱落していた部分を正しく取り扱い、集団励起への影響を調べた。

(5) 自発表面電流に関する Bloch の定理の拡張に関する研究(大橋)[論文準備中]

Bloch の定理を超伝導系に拡張、近年、d波超伝導表面において存在の可能性が指摘されている自発表面電流が存在し得ない事を理論的に証明した。更に、この定理を自発磁場が存在する場合にも適用できるようにした。(日本学術振興会特別研究員、桃井勉氏との共同研究)

【7】 コンプレックス系の統計物理学的研究

(1) 3次元 $\pm J$ イジングスピングラスの‘グリフィス相’におけるスロー・ダイナミックス

(高山、福島、吉野、小森) [論文 19-21]

スピンの非指数関数型緩和過程（スロー・ダイナミックスとよぶ）はスピングラスに固有な現象の一つである。それは、‘グリフィス相’とよばれる温度領域、 $T_c < T < T_c^{\text{pure}}$ （但し、 T_c はスピングラス転移温度、 T_c^{pure} は対応する強磁性体のキュリー温度）、においても観測されている。我々は標記のスピングラス模型についてモンテカルロシミュレーションを行い、スピン緩和時間 τ の分布 $P(x)$ を解析した（但し $x = \ln \tau$ ）。各温度の $P(x)$ は、温度に依存する x のある値 x_c 近傍で特徴的なクロスオーバーを示す。 x_c が T_c に向かって臨界発散を示すことや $P(x)$ の振る舞いの解析から、 $P(x)$ の $x \lesssim x_c$ のブランチは T_c でのスピングラス転移に伴う通常の臨界緩和であり、一方、 $x \gtrsim x_c$ のブランチは、 T_c^{pure} でのグリフィス特異性に関連したスピングラスの反転に伴う遅い緩和（クラスター緩和とよぶ）であると結論した。我々は、このような $P(x)$ の2-ブランチ構造を3Dハイゼンベルグおよび2Dイジング $\pm J$ スピングラス模型においても既に検証しており、スピングラスの固有な、かつ、一般的な性質であると考えられる。

(2) ランダム媒質中に置かれた directed polymer (DPRM) のエイジング効果

(吉野) [論文 22,23]

DPRMは、スピングラスと同じようにランダムネスに起因する自明でない熱力学的及び動的性質を持った興味深い統計力学的模型である。我々は1+1次元のDPRMの緩和ダイナミックスについてモンテカルロシミュレーションによる研究を行なった。まず、ピン止め相と呼ばれる凍結相におけるダイナミックスの基本プロセスは多数の準安定状態を熱活性によって飛び移る過程であることを明らかにした。さらに高温からの急冷後の緩和過程（エイジング）に関する解析を行ない、スピングラスにおいて良く知られている「エイジング効果」の存在をDPRMにおいて初めて検証した。すなわち、急冷後の待ち時間を t_w とすると自己相関関数には、準平衡緩和（ $t < t_w$ ）から非平衡緩和（ $t > t_w$ ）へのクロスオーバーが現れることを見出した。ただし、応答関数には待ち時間依存性は認めらず、自己相関関数と応答関数を平衡状態において関係づける揺動散逸定理は $t > t_w$ の領域で破れていることがわかった。

さらに我々はこのようなエイジング効果のメカニズムに関する一つの現象論的描像を構築した。具体的には上記の準安定状態間を遷移する熱活性過程の階層性に注目し、ランダムネスを持った階層的位相空間に置ける拡散模型を構成し、解析した。その結果、上記のDPRMやスピングラスにおける自己相関関数の特徴的なクロスオーバーを再現することができた。

(3) 3次元 $\pm J$ イジングスピングラスの低温相の数値解析（福島、根本、高山）[論文 24,25]

スピングラスや他のコンプレックス系の低温相では、エネルギー障壁で互いに隔てられた局所的な最小状態が多数存在する。これが原因で、局所的更新による通常のモンテカルロ(MC)シミュレーションには‘hardly-relaxing’問題が生じる。我々は、この困難を克服する、新しいアルゴリズム—交換MC法—を提案し、標記の模型に適用することによってその有効性を検証した。

我々の方法は、対象とする系の多数の複製（レプリカ）からなる複合系を取り扱う。それぞれのレプリカに異なる温度の熱浴と接触させ、まず、通常のMCシミュレーションをレプリカごとに実行する。次に、各レプリカ間の状態を系全体のエネルギーを参照しながら交換を試行する。もちろんMC法の基本原理の一つである詳細釣り合いの条件は満たすように実行する。この交換によって、状態は高温から低温まで動くことになり、結果として、局所的な最小状態に留まり続けることを回避できる。

この交換MC法の有効性を調べるために、我々は3次元 $\pm J$ イジングスピングラス模型に適用した。主な結果は以下のとおりである。i) シミュレートした全温度を移動するために必要な時間(エルゴート時間)は、 $N = 12^3$ の系でおおよそ5,000MCステップになることがわかった。また、温度の数を \sqrt{N} に比例するようにとることで、原理的にはエルゴート時間は $O(N)$ にできる。ii) スピン自己相関関数は最低温でもエルゴート時間より短く、通常のMC法による緩和時間よりも十分短い。iii) 結果として、秩序変数の平衡分布関数を求めるために要するMCステップ数は通常の方法よりも圧倒的に短くてすむことがわかった。

(4) 3次元サイトランダムイジング模型の磁氣的性質 (福島、高山) [論文 26]

3次元(強磁性)サイトランダム模型は、2種類(A、B)の磁性イオンがランダムにばらまかれていて、最近接相互作用はB-Bイオン間だけ反強磁性的で、それ以外は強磁性的相互作用からなっている。この模型の磁氣的性質を上述の交換MC法を用いて調べた。Aイオンの濃度を c とすると、この模型は広い濃度領域で強磁性あるいは反強磁性の秩序が存在することがわかった。また、強磁性ボンドと反強磁性ボンドの割合は $c = 1/2$ に関して対称でないにもかかわらず、相図は対称であること、また、縮退している基底状態の間で配位が共通するスピンだけを抜き出してみると、その全スピン数に対する割合は $c = 0.55$ でさえ90%にもおよぶこと等を検証した。このスピנקラスタは有限の磁化をもつ一方で、スタッガード磁化はもたない。これらの結果は、この模型がスピングラス相も強磁性と反強磁性の共存相もないことを強く示唆する。

(5) リエントラントスピングラスの磁気応答 (高山) [論文 27]

リエントラントスピングラスに対する平均場イジング模型が示す、線形・非線形磁気応答をパリジのRSB(Replica-symmetry-breaking)法を用いて解析した。この平均場理論によると低温のRSBスピングラス相では多数の自由エネルギー最小状態(純状態)が存在する。我々は、その一つの純状態における磁気応答—実験的には、交流磁場に対する応答の周波数ゼロ極限に対応する—を評価する処方箋を提起し、いくつかの模型について具体的な計算を行った。リエントラント転移は、平均場理論ではレプリカ対称解からRSB解への転移として定式化されるが、この転移点において、一様外場に対する線形・非線形磁気応答は温度の関数としてカスプを示すが、発散的な特異性はないことが導かれた。これは、現実のスピングラス物質で観測されるリエントラント転移が平均場理論で記述できるかどうかを判定する基準となるものであり、重要な結果である。

【8】 第一原理からの全エネルギー・電子構造理論

平成7年9月より押山が着任し、標記研究テーマによる物性物理、物質科学の研究をスタートした。以下に上半期の成果も含めて報告する。

(1) 半導体エピタキシャル成長の機構 [論文 28-34、講演 54]

半導体デバイスの微細化に伴い、半導体成長という複雑な現象を量子論に基づき微視的に理解することが望まれてきた。そこで成長中にしばしば現れる予期せぬ小平面(ファセット)の成因について、密度汎関数法の局所密度近似による全エネルギー計算を行った。Si(100)面上の成長を例にとり、原子ステップの構造とテラスでの拡散機構を解明し、実験でしばしば観察される311ファセットは、ステップの集積によって現れることを示した。

また、格子不整合ヘテロ・エピタキシーの典型である、Si(100)面上のGeの成長に着目し、成長初期での表面Geのダイマー欠損の構造、欠損間の相互作用の性質を明らかにした。これに基づき、特徴的な島状成長の理由は、表面欠損のオーダリングによって生じた拡散係数の減少である

事を提唱した。

さらに実験グループとの協同により、Ge/Si(100)の界面に生じる 2×1 の長距離秩序の成因を調べた。一般にエナジェティクスとキネティクスの競合によって、成長中、成長後の薄膜のモフォロジーは決まるが、この界面長距離秩序は、Ge原子の析出しやすさ、というエナジェティクスが重要であることを示した。

(2) 半導体中点欠陥の微視的同定 [論文 35-39、講演 55,56]

不純物・点欠陥は半導体中に微量に含まれるだけだが、母体の電氣的、光学的性質を大きく左右することはよく知られており、その微視的同定が望まれる。局所密度近似による電子構造計算は、その同定について多くの重要な情報を提供する。Si 中の単原子空孔、複原子空孔の原子構造及び禁制帯付近の電子準位構造、また多原子空孔の安定空孔数 (いはば負のSiクラスターの魔法数)、などについての最近の我々の計算結果を国内外の会議においてレビューした。

また、微視的同定の重要なツールとしての陽電子消滅実験に着目し、電子と原子核さらに陽子との相互作用を自己無撞着に決定する、二成分密度汎関数法を開発した。それを用いて多原子空孔に捕らわれた陽電子の寿命を計算した。結果は、実験的に曖昧さなく同定されているデータをよく説明し、また同定されていないデータについての新しい解釈を提示した。

また、青色レーザーの新材料として最近注目を集めている GaN に注目し、局所密度近似計算により、Mg原子がアクセプターとして働くこと、水素原子はそれを不活性化することを示した。局所振動モードの計算も行い、従来実験的に水素原子関連の振動モードとされてきた、赤外吸収ピークの同定の問題点を指摘した。

<論文>

1. T. Arimitsu: (Invited paper) "A Canonical Formulation of Dissipative Quantum Systems – Non-Equilibrium Thermo Field Dynamics –", Condensed Matter Physics (Lviv, Ukraine) **4** 26-88 (1995).
2. T. Arimitsu : (Invited paper) "A Microscopic Derivation of Stochastic Differential Equations", Int. J. Mod. Phys. (1995) in press.
3. T. Arimitsu: (Invited paper) "Non-Equilibrium Thermo Field Dynamics – Quantum Stochastic Calculus –", Int. J. Mod. Phys. (1995) in press.
4. T. Arimitsu and T. Motoike: "Generalized Template for Period Doublings", Mod. Phys. Lett. **B9** 1123-1131 (1995).
5. T. Motoike and T. Arimitsu: "A Topological Investigation of Period-Doubling Bifurcations", Proceedings of International Conference on Dynamical Systems and Chaos Vol.2 (World Scientific, Singapore 1995) 258-261.
6. T. Arimitsu and T. Motoike: (Invited paper) "A Universality of Period Doubling Bifurcations", Physica **D84** 290-302 (1995).
7. T. Momoi: "Quantum fluctuations in quantum lattice-systems with continuous symmetry", J. Stat. Phys. **85** (1996) to be published.

8. Kenn Kubo and Tota Nakamura: "Strongly frustrated quantum spin systems", in "Computational Physics as a New Frontier in Condensed Matter Research", ed. H. Takayama et al., Physical Society of Japan, Tokyo 198-207 (1995).
9. Tota Nakamura and Kenn Kubo: "Elementary excitations in the Δ chain", Physical Review, B53 6393-6400 (1996).
10. Kenn Kubo and Ken-ichi Ohwi: "Existence of LRO in the Frustrated XXZ Model on the Square Lattice", Journal of Physical Society of Japan, 65 732-735 (1996).
11. Tota Nakamura and Satoshi Talada, "Relaxation of frustration and gap enhancement by the lattice distortion in the Δ chain" Physics Letters (1996).
12. T. Narushima, T. Nakamura and S. Takada: "Numerical Study on the Ground-State Phase Diagram of the S=1/2 XXZ Ladder Model", J. Phys. Soc. Jpn. 64 4322-4330 (1995).
13. T. Mutou and D.S. Hirashima: "Gap Formation in the Symmetric Anderson Model in Infinite Dimensions. II", J. Phys. Soc. Jpn. 64 4799 (1995).
14. T. Mutou and D.S. Hirashima: "Enhancement of the Magnetic Susceptibility of a Periodic Anderson Model.", J. Phys. Soc. Jpn. 65 369 (1996).
15. T.A. Kaplan, S.D. Mahanti, Yen-Sheng Su and K. Kubo: "On Perturbation Theory for the 3-Band Model of Cuprates", 論文投稿中
16. Y. Ohashi and S. Takada: "Unified Description of the Mid Gap State in Inhomogeneous Superconductors.", J. Phys. Soc. Jpn. 65 246-254 (1996).
17. Y. Ohashi: "Unusual Proximity Effect of d-Wave Superconductivity.", J. Phys. Soc. Jpn. 65 (1996) No.3 in press.
18. Y. Onishi, Y. Ohashi, Y. Shingaki and K. Miyake: "Resonance State Localized around Nonmagnetic Impurity with Unitarity Scattering in Two-Dimensional d-Wave Superconductor.", J. Phys. Soc. Jpn. 65 (1996) No.3 in press.
19. H. Takayama and T. Komori: to appear in Intern. J. Moder. Phys. C (Proc. of the US-Japan Bilateral Seminar on "New Trends in Computer Simulation of Spin Systems").
20. H. Takayama and H. Yoshino: J. Phys. Soc. Jpn. 64 2766 (1995).
21. T. Komori, K. Hukushima and H. Takayama: J. Phys. Soc. Jpn. 64 4418 (1995).
22. H. Yoshino: J. Phys. A: Math. Gen. 29 1421 (1996).
23. H. Yoshino: submitted to J. Phys. A: Math. Gen.
24. K. Hukushima and K. Nemoto: to appear in J. Phys. Soc. Jpn. 65 (1996).
25. K. Hukushima, H. Takayama and K. Nemoto: to appear in Intern. J. Moder. Phys. C (Proc. of the US-Japan Bilateral Seminar on "New Trends in Computer Simulation of Spin Systems").

26. K. Hukushima, Y. Nonomura, Y. Ozeki and H. Takayama: in preparation.
27. H. Takayama: to appear in J. Phys. Soc. Jpn. (1996) No.5.
28. A. Oshiyama, "Structures of Steps and Appearance of {311} facets on Si(100) Surfaces", Phys. Rev. Lett. **74** 130-133 (1995).
29. B. D. Yu and A. Oshiyama, "Structures and Reactions of Missing Dimers in Epitaxial Growth of Ge on Si(100)", Phys. Rev. B **52** 8337-8343 (1995).
30. N. Ikarashi, A. Oshiyama, A. Sakai, and T. Tatsumi, "Role of Surface Segregation in Si/Ge Interfacial Ordering: Interface Formation on a Monohydride Surface" Phys. Rev. B **51** 14786-14789 (1995).
31. N. Ikarashi, K. Akimoto, A. Oshiyama, and T. Tatsumi, "Si/Ge Ordered Interface: Structure and Formation Mechanism", Proc. 18th Int. Conf. Defects in Semiconductors (Sendai, 1995, Trans Tech) p511-p515.
32. A. Oshiyama and B. D. Yu, "Microscopic Surface Structures and Macroscopic Thin-Film Morphology", Thin Solid Films **272** 364-374 (1996).
33. 押山淳, "薄膜のモフォロジーと原子反応の素過程" 日本結晶成長学会誌、**23** p23-p29 (1996).
34. 押山淳, "解離吸着機構" 塚田捷編「表面における理論」(丸善、1995) p72-82.
35. A. Oshiyama, "Covalency, Elasticity and Electron Correlation in Si Vacancies", Appl. Surf. Sci. **85** 239-45 (1995).
36. M. Saito and A. Oshiyama, "Positron Lifetime in Si Multivacancies", Proc. 18th Int. Conf. Defects in Semiconductors (Sendai, 1995, Trans Tech) p1135-p1139.
37. M. Saito and A. Oshiyama, "Lifetimes of Positrons Trapped at Si Vacancies", Phys. Rev. B **53** 7810-7814 (1996).
38. Y. Okamoto, M. Saito, and A. Oshiyama, "First-principles Calculation on Hydrogen Passivation Mechanism in Mg Doped GaN", Proc. 18th Int. Conf. Defects in Semiconductors (Sendai, 1995, Trans Tech) p 981-p985.
39. Y. Okamoto, M. Saito, and A. Oshiyama, "First-principles Calculations on Mg Impurity and Mg-H Complex in GaN", Jpn. J. Appl. Phys. Lett. (1996) in press.

< 学位論文 >

博士論文

1. 斎藤健: A System of Quantum Stochastic Differential Equations in terms of Non-Equilibrium Thermo Field Dynamics
2. 福島孝治: Monte Carlo Study on Phase Transition of Ising Spin Glasses
3. 吉野 元: Aging Effect of Directed POLYmer in Random Media

修士論文

1. 坂本晴美： Hubbard model における強磁性 – 密度行列繰り込み群の方法による解析 –
2. 小森達雄： Slow Dynamics in Spin Glasses in “Griffiths Phase”

<講演>

1. T. Arimitsu: (招待講演) ”A Canonical Formalism of Dissipative Quantum Systems – Non-Equilibrium Thermo Field Dynamics –”, 1995 年 6 月, Institute for Condensed Matter Physics, Ukrainian National Academy of Sciences.
2. T. Arimitsu: ”A Canonical Theory for Dissipative Quantum Fields – Non-Equilibrium Thermo Field Dynamics –”, STATPHYS19, 1995 年 7 月, Xiamen, China.
3. T. Arimitsu: ”A Topological Characterization of Strange Attractors for Dissipative Systems”, STATPHYS19, 1995 年 7 月, Xiamen, China.
4. T. Arimitsu: (招待講演) ”Non-Equilibrium Thermo Field Dynamics – Quantum Stochastic Calculus –”, The 4th International Workshop on Thermal Field Theories and Their Applications, 1995 年 8 月, Dalian, China.
5. Arimitsu and T. Arimitsu: ”Applications of Non-Equilibrium Thermo Field Dynamics”, The 4th International Workshop on Thermal Field Theories and Their Applications, 1995 年 8 月, Dalian, China.
6. 山崎仁士, 有光敏彦: “散逸系カオス軌道のトポロジー III”, 日本物理学会秋の分科会, 1995 年 9 月 大阪府立大学.
7. 本池 巧, 有光敏彦: “区分線形系のカオス軌道のトポロジー”, 日本物理学会秋の分科会, 1995 年 9 月 大阪府立大学.
8. 斎藤 健, 有光敏彦: “揺動力演算子の表現空間と量子確率微分方程式”, 日本物理学会秋の分科会, 1995 年 9 月 大阪府立大学.
9. 有光敏彦, 今給黎 隆: “不安定粒子系と「散逸」”, 日本物理学会秋の分科会, 1995 年 9 月 大阪府立大学.
10. T. Arimitsu and H. Yamazaki: ”A Topological Characterization of Strange Attractors”, The 1st Tohwa University Statistical Physics Meeting, 1995 年 11 月 東和大学.
11. 斎藤 健, 有光敏彦: “量子確率微分方程式の体系 – 物理と数学の狭間”, 量子確率解析とその周辺, 1995 年 11 月 京都大学 数理解析研究所.
12. 本池 巧, 有光敏彦: “幾何学的に見た周期倍分岐”, 第 5 回非線型反応と共同現象シンポジウム, 1995 年 11 月 東京理科大学.
13. 斎藤 健, 有光敏彦: (招待講演) “非平衡 Thermo Field Dynamics による量子確率微分方程式の体系”, 第 4 回非平衡系の統計物理シンポジウム, 1995 年 12 月 筑波大学.
14. 今給黎 隆, 有光敏彦: “射影演算子法による正準形式量子 Langevin 方程式の導出”, 第 4 回非平衡系の統計物理シンポジウム, 1995 年 12 月 筑波大学.

15. 有光敏彦：“量子確率過程の物理と数理”，量子情報理論と開放系，1995年12月 京都大学数理解析研究所.
16. 有光敏彦，斎藤 健：“量子確率過程の微視的基礎付け”，日本物理学会春の年会，1995年3月 金沢大学.
17. 今給黎 隆，有光敏彦：“量子確率微分方程式（正準形式）の微視的導出”，日本物理学会春の年会，1995年3月 金沢大学.
18. 本池 巧，有光敏彦：“区分線形系のカオス軌道のトポロジー（II）” 日本物理学会春の年会，1995年3月 金沢大学.
19. T. Momoi: "Spectral properties of the one-dimensional Hubbard model", 19th Int. Conf. Statistical Physics, 1995年7月31日 Xiamen University, China.
20. 桃井勉：「Mermin-Wagner の定理の量子系基底状態への拡張」日本物理学会、秋の分科会、9月29日、大阪府立大学.
21. K. Kubo: "Existence of LRO in the Frustrated XXZ Model on the Square Lattice", 19th Int. Conf. Statistical Physics, 1995年8月3日 Xiamen University, China
22. 中村統太、久保健：「 Δ -chain の低励起状態と熱力学的振る舞い」日本物理学会、秋の分科会、9月27日、大阪府立大学
23. 高野健一、久保健、坂本晴美：「ダイヤモンド型鎖上のスピン系におけるクラスター構造の基底状態」日本物理学会、秋の分科会、9月27日、大阪府立大学
24. 久保健：「フラストレーションの非常に強いスピン系」物性研短期研究会、11月16日、東京大学物性研究所
25. 武藤哲也、平島 大：「対称周期アンダーソンモデルのギャップ形成」科研費重点領域研究“強相関伝導系の物理”研究会 1995年7月 東北大学
26. 武藤哲也、平島 大：「対称周期アンダーソンモデルのギャップ形成」日本物理学会分科会 1995年9月 大阪府立大学
27. 武藤哲也、平島 大：「 $d=\infty$ 2バンド Hubbard 模型の電子状態の電子数密度に対する変化」同上
28. 武藤哲也、平島 大：「2バンドハバードモデルにおける金属絶縁体転移 科研費重点領域研究“モット転移近傍の異常金属相”研究会 1995年10月 苗場
29. 武藤哲也、平島 大：「2バンド Mott-Hubbard 系の金属絶縁体転移」日本物理学会第51回年会 1996年3月 金沢大学
30. 高橋英昭、武藤哲也、平島 大：「金属絶縁体転移近傍の一電子スペクトル」同上
31. 坂本晴美、久保健：「Flat に近いバンドをもつ一次元ハバードモデルの密度行列繰り込み群による解析」日本物理学会、秋の分科会、9月29日、大阪府立大学
32. 大橋 洋士：「異方的超伝導における近接効果」研究会 “超伝導対称性と表面、界面、タンネリング” 1996年2月 名古屋大学

33. 大橋 洋士:「異方的超伝導における近接効果」 日本物理学会 1995年9月 大阪府立大
34. 大橋 洋士:「酸化物超伝導秩序パラメータの対称性を判定する新しい実験方法の理論的開発」 超伝導若手春の学校 1995年6月 浜松市商工会議所福利研修センター カリアック
35. 高山 一:「スピングラスのグリフィス相における Slow Dynamics」 基研研究会「秩序化における乱れと非線形」 1995年5月 基研
36. H. Takayama, T. Komori and K. Hukushima: "Slow Dynamics in Spin Glasses – Critical Dynamics versus Cluster Dynamics", Intern. Symp. *Hayashibara Forum '95) on Coherent Approaches to Fluctuations* 1995年7月 京都
37. H. Yoshino: "Aging Effect of Directed Polymer in Random Meida", 同上
38. H. Yoshino: "Aging Effect of Directed Polymer in Random Meida", The 19th IUAP International Conference on Statistical Physics 1996年8月 Xiamen (China).
39. 吉野 元:「ランダム媒質中に置かれた directed polymer のエイジング効果」 基研研究会「複合系」 1995年8月 京都大学 基研
40. T. Komori and H. Takayama: "Slow Dynamics in the 'Griffiths Phase' of the 3D $\pm J$ Ising Spin Glass", US-Japan Bilateral Seminar on *New Trends in Computer Simulation of Spin Systems* 1995年8月 Hawai (US).
41. K. Hukushima, H. Takayama and K. Nemoto: "Application of an Extended Ensemble Method to Spin Glasses", 同上
42. 高山 一:「ゲル電気泳動のモンテカルロシミュレーション」 重点研究「複雑液体」研究会 1995年9月 名古屋
43. 福島孝治、高山一、尾関之康、野々村禎彦:「3次元サイトランダム模型のモンテカルロ法における相図解析」 日本物理学会、1995年9月 大阪府立大学
44. 小森達雄、高山一:「3次元ランダムイジングスピン系の緩和」 同上
45. 吉野 元:「階層的位相空間における拡散問題とエイジング効果 I」 同上
46. 高山 一、小森達雄:「スピングラスのグリフィス相におけるスローダイナミックス」 物性研研究会「スピン系の相転移・協力現象の新展」 1995年11月 物性研
47. 福島孝治:「3次元 $\pm J$ イジング模型の相転移」 同上
48. K. Nemoto, H. Hukushima and H. Takayama: "Ordered Phase of the 3D $\pm J$ Ising Spin Glass Model", Intern. Workshop on *Physics in Frustrated Systems* 1995年12月 Saclay (France).
49. T. Komori and H. Takayama: "Slow Dynamics in the 'Griffiths Phase' of Spin Glasses", 同上

50. 吉野 元：「階層的位相空間における緩和ダイナミックス」 「非平衡系の物理シンポジウム」1995年12月 筑波大学
51. K. Hukushima, H. Takayama and K. Nemoto: "Application of the Exchange Monte Carlo Method to the 3D pmJ Ising Spin Glass", Intern. Workshop on Recent Developments in Computer Simulation Studies in Condensed Matter Physics 1996年3月 Athens (US).
52. 吉野 元：「階層的位相空間における拡散問題とエイジング効果 II」 日本物理学会 1996年3月 金沢大学
53. 福島孝治、野々村禎彦、尾関之康、高山一：「層状サイトランダム模型の相転移」 同上
54. 押山淳, "半導体表面反応の理論", 日本物理学会第51回年会半導体、表面・界面合同シンポジウム (金沢大学、1996年) .
55. 押山淳, "理論家の立場から", 日本物理学会第51回年会 格子欠陥シンポジウム (金沢大学、1996年春) .
56. A. Oshiyama, (invited) "Covalency, Elasticity and Electron Correlation in Si Vacancies" International Workshop on Slow-Positron Beam Technology for Solids and Surfaces (Makuhari, Japan 1995).

<紀要等>

1. 有光敏彦：「量子確率微分方程式の体系 - Non-Equilibrium Thermo Field Dynamics による」 量子情報理論と開放系 (1996) in press.
2. 本池 巧, 有光敏彦：「幾何学的に見た周期倍分岐」, 物性研究 (1996) in press.
3. 山崎仁士, 有光敏彦：「レーザー系におけるカオス軌道の幾何学的解析」, 物性研究 (1996) in press.
4. 有光敏彦：「量子性と散逸 -いくつかの新しい視点浴h」, 物性研究 (1996) in press.
5. 有光敏彦：「Quantum Stochastic Calculus と物理」, 数理研講究録 (1995) in press.
6. T. Arimitsu and H. Yamazaki: "A Topological Characterization of Strange Attractors", 物性研究 (1996) in press.
7. 斎藤 健, 有光敏彦：「量子確率微分方程式の体系 - 物理と数学の狭間」, 数理研講究録 (1996) in press.
8. 斎藤 健, 有光敏彦：「非平衡 Thermo Field Dynamics による量子確率微分方程式の体系」, 物性研究 (1996) in press.
9. 今給黎 隆, 有光敏彦：「射影演算子法による正準形式量子 Langevin 方程式の導出」, 物性研究 (1996) in press.
10. 有光敏彦：「量子確率過程の物理と数理」, 数理研講究録 (1996) in press.