

VI. 物性理論グループ

教授	有光 敏彦、押山 淳、高田 慧
助教授	白石 賢二 (2001年1月着任)、田上 由紀子、谷口 伸彦、平島 大
講師	大橋 洋士、岡田 晋 (2001年3月着任)
外国人教師	Petr Jizba
助手	郡司 茂樹 (7月転出)、桃井 勉、Oleksandr Kobryn
準研究員	田中 篤司 (10月転出)
学振ポスドク	Ji-wook Jeong (8月転出)、Sukmin Jeong (12月転出)
大学院生	10名
国費留学生	1名
研究生	1名

【1】 半導体表面・界面の科学

半導体表面での結晶成長 (エピタキシャル成長)、界面形成過程、表面欠陥の微視的同一、新機能構造の探索、などについて密度汎関数法計算を主たるアプローチとする研究が展開された。

(1) Si エピタキシャル成長の微視的機構 (S. Jeong、押山) [論文 [1, 2]、講演 [1, 2]]

結晶成長現象は太古の昔から人々を魅了してきた。一方、現在の半導体テクノロジーでは、実験室あるいは生産現場で多層膜を形成する技術 (エピタキシャル成長技術) が確立してきた。そのエピタキシャル成長における原子スケールの過程を明らかにし、ミクロな素過程とマクロなモルフォロジー (形態) の因果関係を、量子力学の第一原理からの理論計算によって明らかにする試みを我々は続けてきた (日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業「第一原理量子論的アプローチと微視的シミュレーション」プロジェクト)。特に Si(100) 表面での Si 原子、Ge 原子の吸着、拡散、結晶薄膜への取り込みに関しての、微視的機構を明らかにした。図1、図2は表面上原子ステップ近傍での飛来原子の拡散の様子である。こうした成果は、今年度のアジア太平洋物理学国際会議招待講演で発表された。また第13回結晶成長国際会議において基調講演が行われる。

(2) 半導体格子不整合エピタキシーの研究 (白石) [論文 [3, 4]、講演 [3]]

半導体格子不整合エピタキシーにおける転位形成と島形成の競合によって出現する多彩な成長モードに関して原子レベルの計算とマクロスコピックな現象論の両面から議論した。InAs/GaAs(110) 系

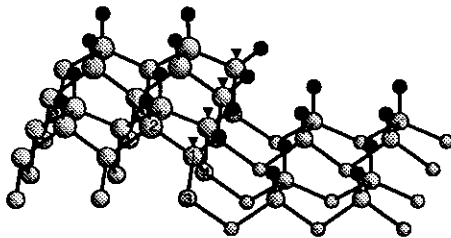


図1: 密度汎関数法計算で決定された、水素で覆われた Si(100) 面上2原子層ステップの原子構造。黒丸と影丸は水素と Si をそれぞれ表している。鎌はステップ端の Si 原子。

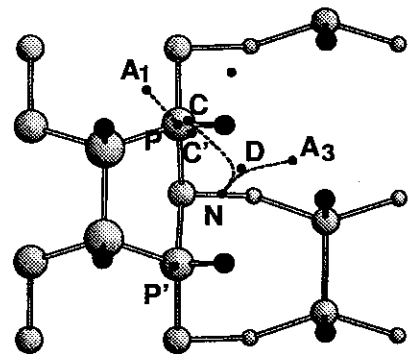


図2: 2原子層ステップ近傍での飛来原子の拡散経路。左側が上方テラス、点線が飛来原子の拡散経路を表す。黒丸、影丸は水素と Si。飛来原子は黒ドットで表される (準) 安定位置間を点線の経路で移動する。

においては界面に5配位のInボンドが出現しすることを第一原理計算によって明らかにし、さらにその形成エネルギー、有効弾性定数をマクロスコピックな現象論と比較することによって求めることに成功した。こうして求められたパラメータから予言される臨界膜厚は実験的に得られるものと定量的に一致する。

(3) Si 熱酸化過程の研究 (白石) [論文 [5, 6, 7, 8, 9, 10]、講演 [4]、受賞 [1]]

Siの酸化は半導体産業の根幹をなす物理現象であるが、そのミクロスコピックな描像は1965年にDealとGroveによってモデルが提案されて以来大きく変わることはなかった。Deal-Groveが提案した熱酸化モデルでは、O原子が酸化膜(SiO₂)表面から酸化膜中に侵入し、Si/SiO₂界面でSi-Siボンドの間にO原子が挿入されて $\text{Si} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SiO}_2$ なる反応をおこすことによって酸化が進行するというものである。ところが、このモデルには不備があり、大きくわけて次の5点の実験結果を説明できないことが指摘されていた。(1) 酸化初期における酸化速度の劇的な増加(初期増速酸化)。(2) 酸化速度の酸化温度依存性、(3) 酸化速度の酸素分圧依存性、(4) 酸化速度の基板面方位依存性、(5) Dry酸化とWet酸化における酸化速度の相違、の5点である。この5点の矛盾点は30年以上にわたって解明されてこなかったが、我々が第一原理計算に基づいて提案した「Si放出モデル」(酸化反応がおこると同時に界面から大量のSi原子酸化膜中にバックフローするモデル)に立脚した拡散方程式により、第1の問題である「初期増速拡散現象」を完全に説明できることが明らかになっている。本年度は、他の4点の問題について「Si放出モデル」に基づいた解析により検討を進めた。その結果、酸化速度の「温度依存性」、「酸素分圧依存性」、「基板面方位依存性」、「Dry酸化とWet酸化との相違」について実験で得られている酸化速度を殆ど完璧に再現できることを示した。

また、熱酸化現象が小さな島形成を伴う層状成長するという実験事実も定性的に説明できることも計算機シミュレーションによって明らかにした。今後は、「Si放出モデル」に基づいて欠陥の少ない酸化膜形成の指針を構築を目指す予定である。

(4) 表面欠陥構造の微視的同定 (岡野、押山) [論文 [11]]

表面の原子構造は物質内とは異なる様相を示し、その微視的同定は興味深い問題である。応用上極めて重要であるSi(100)面では、STM観察等の実験により、A、B、Cの3つの型の欠陥が知られている。今回、岡野(D5)は密度汎関数法計算により、このC型欠陥は、従来考えられてきたような原子欠損ではなく、表面雰囲気中に存在する微量な水分子の吸着形態であることを提唱した。計算されたSTMイメージは実験における特徴を良く説明する。

(5) Si(100)表面上の原子細線の電子状態 (岡田、押山)

[論文 [12, 13, 14]、講演 [5, 6, 7]]

半導体表面上に構築された原子細線の物性は半導体テクノロジーにおいて興味深いトピックである。ここでは、Si(100)表面上に構築されたGa原子細線の電子状態の計算を行い、その安定性を調べ、幾つかの準安定な構造があることを明らかにした。また、その構造の下でエネルギーバンドの計算を行い、幾つかの構造において平坦なバンドがフェルミレベル近傍に存在し強磁性的な状態が実現される事を示した。

【2】 半導体及びその酸化膜での原子構造と電子状態

半導体中での原子構造と電子状態、さらには原子拡散についての密度汎関数法計算が行われ、様々な実験結果が理論的に説明され、また新現象の予測が行われた。

(1) Si中の不純物拡散：ボロン (J-W. Jeong、押山) [論文 [15, 16]、講演 [8]]

半導体の代表であるSiに対するアクセプター原子の代表はボロンである。その拡散機構の解明と分布の制御は、デバイスのデザインにとって基本的に重要である。原子拡散の経路は、多原子系に

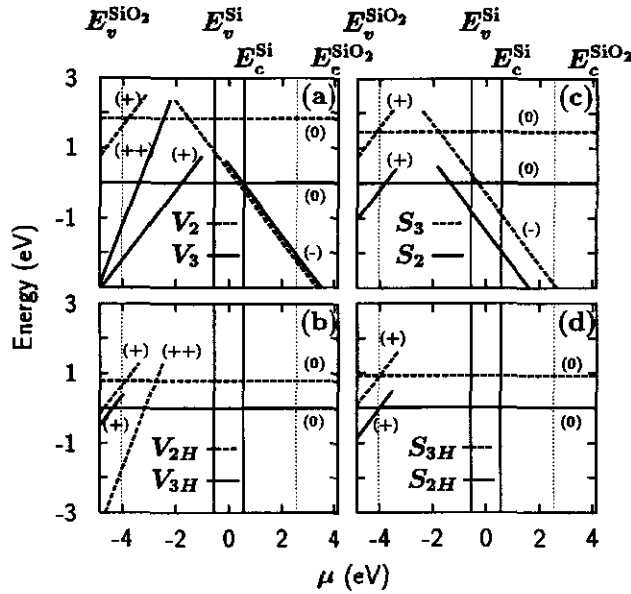


図 3: SiO₂ 中に窒素と水素が混入した場合のキャリア捕獲準位。計算で求められた様々な原子配置 (V₂ = 酸素空孔の安定形態で酸素が 2 配位のもの、V₃ = 酸素空孔の安定形態で酸素が 3 配位のもの、S₂ = 窒素が酸素を置換し 2 配位となったもの、S₃ = 窒素が酸素を置換し 3 配位となったもの、V_{2H}, V_{3H}, S_{2H}, S_{3H} = さらにそれらに水素が付着した構造) に対する、それらの構造の生成エネルギーが縦軸に記してある。横軸は電子の化学ポテンシャル、すなわちフェルミ準位である。E_v^{SiO₂}、E_c^{SiO₂}、E_v^{Si}、E_c^{Si} は SiO₂、Si それぞれの valence band top と conduction band bottom の位置を示している。生成エネルギーは、その構造の荷電状態に依存している。正の勾配の線、負の勾配の線、水平線が、それぞれ、+1 価の荷電状態、-1 価の荷電状態、中性荷電状態の生成エネルギーを示している。キャリア捕獲準位とは、荷電状態の変化を引き起こすような電子の化学ポテンシャルの値である。従って図の水平線と勾配線の交点が捕獲準位を表している。水素添加の構造では、交点が Si のバンドギャップ周辺から消失している、すなわち捕獲準位が消失していることが見てとれる。(Jeong and Oshiyama: Phys. Rev. Lett. 86 (2001) 3574)

おける全エネルギー表面 (断熱ポテンシャル面) での、谷間の探索によって得られる。計算の結果、ボロン原子は Si 中の Si 格子間原子と対を作って拡散していくことが見出された。またキャリアの捕獲により、荷電状態を変化させながら拡散すると、その活性化エネルギーは低下し、いわゆる再結合増速拡散現象が見られるはずであることを明らかにした。さらに、このボロン-Si 格子間原子の対は、負の電子相関の系であることが見出された。すなわち、荷電状態に依存して、周囲の格子緩和によるエネルギー利得が異なり、電子を 1 個捕獲するより、2 個捕獲した方がエネルギー的に安定になることがわかった。

(2) SiO₂ 中の深い電子準位の窒素による制御 (S. Jeong, 押山) [論文 [17], 講演 [9]]

Si は半導体テクノロジーを支えている物質であるが、その酸化膜 SiO₂ は良質の絶縁体という意味でテクノロジーにおける重要性は勝るとも劣らない。また共有結合性とイオン性が共存する興味深い物質でもある。近年のデバイスの薄膜化により、この SiO₂ の絶縁性にかげりが見えている。以前我々は SiO₂ 中の酸素空孔が電子トラップ準位を形成し、トラップ準位間のパーコレーションによりリーク電流が流れることを指摘した。今回新たな密度汎関数法計算により、微量の窒素原子と水素原子を導入すると、それらは酸素原子空孔に引き寄せられ、その結果、酸素空孔によるトラップ準位が消失することが見出された (図 3)。これは、窒素原子だけ或いは水素原子だけでは起こらず、窒素と水素の共存によって生じる効果であり、その化学的起源が解明された。窒素と水素によるリーク電流の癒し効果である。

(3) Si 結晶中の多原子空孔の安定性と那不純物による修飾 (秋山、押山) [論文 [18, 19]、講演 [10]、受賞 [2]]

物質中には必ず不完全性が存在し、その不完全性(例えば原子空孔なら母体原子の1000万分の1の濃度)が母体物質の物性に決定的な影響を及ぼす。その典型は半導体中の原子空孔であろう。秋山(D5)は、Si結晶中の多原子空孔の安定サイズ(魔法数)と微視的な原子構造を、密度汎関数法の局所密度近似、一般化勾配近似を用いて明らかにした。6原子空孔、10原子空孔が魔法数であり、緩和のパターンの特異性が解明された。また、半導体中に最もしばしば存在する水素原子(分子)あるいは酸素原子が、この安定多原子空孔(負のSiクラスター)に捕獲される可能性を検討し、そのエナジーティクスを明らかにした。また捕獲された分子、捕獲された原子と母体Si原子の振動モードを計算し、実験との比較の道を開いた。更に、原子空孔周囲で、電子スピンの偏極する可能性を、スピン密度汎関数法計算によって予言した。

この結果は、大阪で開かれた国際純粋応用物理学連合(IUPAP)主催、第25回半導体物理学国際会議において口頭発表され、秋山はこれにより、Young Author Best Paper Awardを授与された。

[3] カーボン・ナノチューブ及び関連物質の物性

1991年にNEC筑波研究所の飯島澄男によって発見されたカーボン・ナノチューブは、その構造特異性、予期せぬ豊かな物性、新機能の応用可能性のゆえに、全世界で爆発的に研究が進んでいる。本グループでも、その成長機構から新奇物性の探索に至るまでの様々なフェーズでの理論計算が進んでいる。

(1) カーボン・ナノチューブ生成機構 (北村、押山) [論文 [20, 21]、博士論文 [1]]

カーボン・ナノチューブは単壁チューブ(チューブ1本)、複壁チューブ(軸を共有する何本かの太さの異なるチューブ)、多数のチューブのバンドル、などの形態がある。単壁、複壁のチューブの生成機構は、未だに大きな謎であり、触媒機構、複壁での協奏的機構(Lip-Lip相互作用)などが提唱されている。北村(D5)は単壁チューブの生成に着目し、チューブ端での炭素原子の吸着・拡散、またチューブ壁を通る拡散過程などについて、詳細な密度汎関数法計算(局所密度近似)を行った。アームチェア型、ジグザグ型のチューブ端のそれぞれについて安定構造を求め、飛来炭素原子の吸着・拡散経路、チューブへの取り込み過程、対応する活性化エネルギーを求めた。拡散・取り込みのエネルギー障壁はどの経路の場合も1.7 eV以上あることがわかった。壁を伝う拡散の場合は、それよりも低い1.1 eV程度の活性化エネルギーで取り込まれることが判明した。チューブ生成の基本的な知見である

北村はこれを学位論文として纏め、理学博士の学位を授与された。

(2) ナノチューブにおける自由電子状態 (岡田、斎藤、押山) (論文 [22])

物が無い空間での1電子の固有状態は自由電子状態(平面波状態)である。もし内部に空間を有する物質があったとしたら、その空間に主なる振幅を持つ、自由電子状態に近い状態が固有状態となり得るであろう。しかも原子核からの引力ポテンシャルをその裾で感じることができれば、自由電子状態に近い束縛状態が可能となる。炭素ナノチューブは正にそうした内部空間を持つ物質である。岡田は、チューブのバンドル構造を考え、そこでのNearly-Free-Electron(殆ど自由電子)状態の存在を密度汎関数法の局所密度近似計算で明らかにした。

(3) 大きいフラーレンの重合相の可能性 (岡田、斎藤(東工大)) [論文 [23]]

C₆₀の単離以降、C₇₀やC₈₄といった大きなサイズを持つフラーレンの単離がなされてきている。その中で、最近になって単離がなされた、C₇₄とC₇₈フラーレンを用いた2次元炭素結合ネットワークの可能性の探索を行った。その結果これらのフラーレンを出発物質とするフラーレンポリマー相は

C₆₀ のポリマー相よりエネルギー的に安定であり、バンドギャップの増大など電子状態が大きく変化することが明らかになった。これらの、重合化による高いエネルギー的安定性と、電子構造の変化は C₇₄、C₇₈ の低い単離効率の原因であると考えられる。

(4) カーボン・ナノチューブ固体におけるチューブ配向効果 (岡田、押山、斎藤(東工大))
[論文 [24, 25]、講演 [11]]

密度汎関数法を用いて、炭素ナノチューブ固体の電子状態とエネルギー安定性を計算した。その結果、zigzag、armchair 型ナノチューブでは、隣り合うナノチューブ間の配向には周期性が存在することを明らかになった。また、armchair 型の最安定な配向は最も対称性の高い配向から僅かにずれた配向であり、その原因がフェルミレベルにおける状態密度の微小なギャップ、すなわち擬ギャップの大きさの配向依存性と言ったナノチューブ系の電子状態に大きく依存している事が明らかになった。他方、zigzag 型のチューブ固体では擬ギャップが存在しない事から微小な配向のずれは観測されない事が明らかになった。

(5) ナノスケールグラファイトの電子状態 (岡田、中田(青学大)、伊神(筑波大物質))
[論文 [26, 27, 28]、講演 [12, 13]]

有限幅を持つグラファイトでは zigzag 型の端形状持つ場合に限り、その端に局在した π 状態、エッジ状態が出現する事が、これまでの tight-binding 計算から示されている。ここでは、密度汎関数法を用いて、グラファイトリボンに対して、より精密な計算を行い、エッジ状態の振る舞いを明らかにした。その結果、エッジ状態は局所密度近似の範囲で安定に存在し、また、端の終端水素原子を取り去った、ダングリッド付きグラファイトリボンでも安定に存在する事を明らかにした。

(6) グラファイト状ヘテロシートにおける界面状態の予言と磁性 (岡田、中田(青学大)、伊神(筑波大物質)、押山) [論文 [29, 30, 31]、講演 [14, 15, 16, 17, 18]]

有限幅を持つグラファイトリボンでは端形状に依存して、新たな π 電子局在状態、すなわちエッジ状態が出現する。ここでは h-BN リボンでも同様の端に局在した電子状態が出現し、エッジ状態がグラファイト特有の表面状態ではなく、蜂の巣格子ネットワークに普遍的な状態であることを明らかにした。さらに、h-BN とグラファイトからなるヘテロシートにおいても、その界面において、エッジ状態の特性を持つ界面局在状態の出現の可能性を示した。さらに、一般の端形状をもつヘテロシートにおいては、グラファイト領域の形状、すなわちグラファイトの A,B 副格子間の差が存在する場合、その差に対応する平坦バンドがフェルミレベルに出現しスピンスピン分極が起こる事を示した。この結果は、平坦バンド強磁性が実現される現実系の探索に新たな指標を与えるものである。

(7) フラーレン内包カーボンナノチューブの安定性と電子状態 (岡田、押山、斎藤(東工大)、浜田(理科大)) [論文 [32, 33, 34]、講演 [19, 20, 21, 22]]

フラーレン、カーボンナノチューブはそれ自身を構成単位として固体相(凝集相)を形成する事が知られている。これらの固体相は構成単位の特性を強く反映しており、構成単位起因の興味深い物性が観測されることから、フラーレン、チューブ系は階層性を持つ系であるといえる。そこで、フラーレンとチューブが混在したネットワーク物質として注目を集めている、フラーレン内包カーボンナノチューブ(peapod= さやえんどう: 図 4) のエネルギー安定性と電子状態を明らかにした。その結果、C₆₀ はチューブに内包される事により約 0.5eV のエネルギーを得る事がわかり、実験で観測されている高い安定性の原因を明らかにした。また、電子状態はチューブ内の自由電子的状態(NFE)と C₆₀ の π 状態間の混成がおこり、チューブ上のみならず、C₆₀ 上にも電荷が存在する興味深い金属相になる事が明らかになった。

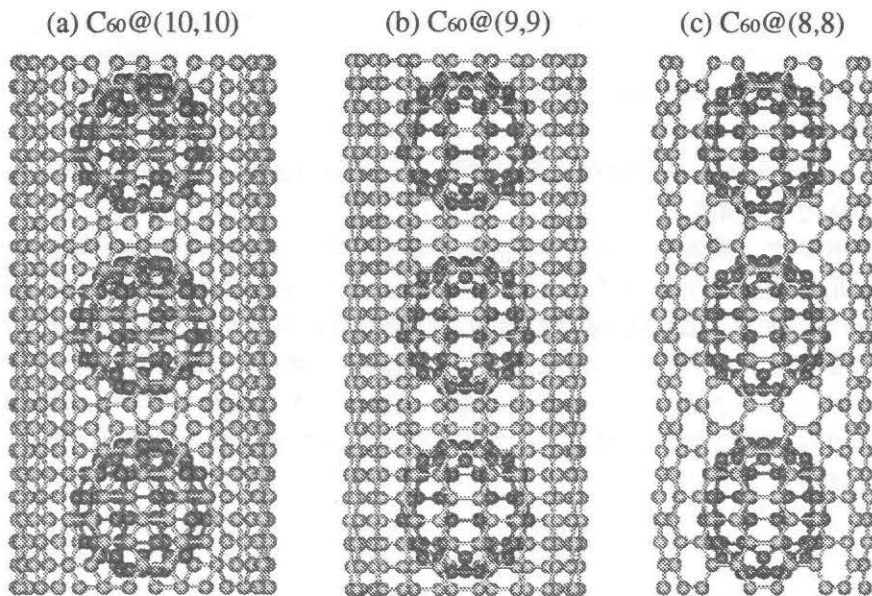


図 4: 炭素ナノチューブに C_{60} が挿入された物質 (しばしば炭素 peapod とよばれる) が合成された。密度汎関数法計算により、左端の太さのチューブが最も C_{60} を収容しやすいことがわかった。この物質は、炭素チューブの壁に振幅をもった電子状態と、チューブと C_{60} の間に振幅をもつ自由電子的状态の双方が共存する、擬 1 次元金属であることが示される。構造的異性により 1 次元に特有な金属・非金属転移が抑制されることが主張された。(Okada, Saito and Oshiyama: *Phys. Rev. Lett.*, **86**, 3835-3838 (2001).)

【4】 セラミックスの焼結に関する理論的研究 (田上) [論文 [53]]

セラミックスの主要な製造法の一つである焼結の理解において、初期焼結段階における粒界拡散と表面拡散により等大球状粒子間に形成されるネックの形状を調べることは基本的な問題である。(前回報告済)

【5】 電子相関・超伝導・磁性

電子相関に起因する超伝導性、磁性の問題は物性物理学の基本的問題であり、本グループでも活発な研究が続けられている。

(1) 酸化物高温超伝導 (d -wave 超伝導) における Carlson-Goldman mode の研究 (大橋、高田) [論文 [54]]

2次元 d -wave 超伝導における Goldstone mode = Carlson-Goldman (CG) mode = を研究、従来型 s -wave 超伝導の場合との差異を明らかにした:

- (a) d -wave 超伝導では s -wave の場合とは異なり、ノード近傍に準粒子が多数存在、それらが超伝導電子間に働く長距離クーロン相互作用を遮蔽するため、低温まで CG モードが位相揺らぎの相関関数のスペクトル中にピークとして現れることを見出した (s -wave ではこの機構が働かない為、転移温度直下でしか観測できない)。
- (b) 秩序パラメータのノードの効果は不純物散乱により抑制されるため、 d -wave 超伝導での CG モードは s -wave の場合とは逆にクリーンな系でしか観測できないことを理論的に明らかにした。

$d_{x^2-y^2}$ -wave 超伝導であると期待される銅酸化物高温超伝導はクリーンな系であると考えられており、本研究結果はこの系において CG モードが観測可能であることを示唆している。

(2) 酸化物高温超伝導における非磁性不純物効果の研究 (大橋) [論文 [55, 56, 57, 58]、講演 [51, 52]]

(a) 超伝導状態

Zn ドープした $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ 、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$ において中性子非弾性散乱、核磁気緩和で観測される、低エネルギーの反強磁性的スピン揺らぎの低温（超伝導転移温度以下）での増大の機構を研究、不純物散乱がユニタリティ極限にある場合は、その周囲に形成される低エネルギー束縛状態を加味することでこの現象を理論的に説明できることを示した。また、不純物周囲の束縛状態について、様々なタイプと束縛状態形成の関連性を近藤効果をも加味して研究した。[一部、院生 吉岡智樹氏との共同研究]

(b) 常伝導状態

非磁性不純物である Zn、Al、Li を常伝導状態の酸化物高温超伝導体にドーピングすると、一様帯磁率がキュリーワイス的溫度変化を示すことが磁化測定から明らかにされている。また、ナイトシフトの実験から、この溫度依存性は不純物近傍からもたらされていることが示され、非磁性不純物があたかも局在スピンを獲得したかのように見えると報告されている。この問題に対し、不純物近傍の帯磁率を理論的に研究、銅酸化物高温超伝導体のように反強磁性的スピン揺らぎの強い系では、局在モーメントの形成を仮定しなくても上述の現象が説明できることを明らかにした。すなわち、不純物の存在により、系の並進対称性が破れた結果、反強磁性帯磁率と一様帯磁率の間にある種のモード間結合が発生、前者の溫度変化が後者にもたらされ、あたかも局在スピンが存在するが如く不純物近傍では一様帯磁率が低温で増大するのである。

(3) 酸化物高温超伝導における c 軸電気抵抗の半導体的振る舞いの機構に対する研究（大橋）

[論文 [59]、修士論文 [1]、講演 [53]]

アンダードーピングの銅酸化物高温超伝導体常伝導相に見られる c 軸抵抗の半導体的溫度依存性について、 CuO_2 面内が金属的であることも矛盾しない新しい機構を提案した。この機構では CuO_2 面内の強い反強磁性的スピン揺らぎの効果により、フェルミ面の形状がより 2 次元性を発達させる方向に変形し、それにより、c 軸伝導に寄与するキャリア数が減少、c 軸抵抗が低温で増大する。一方、フェルミ面の繰り込みによっても面内のキャリア数は変化しないため、面内方向の電気抵抗は準粒子の寿命の溫度変化を反映し金属的振る舞いを示す。研究では、スピン揺らぎによるフェルミ面の変形を計算し、反強磁性的スピン揺らぎが強い系では、一般的に 2 次元性が発達する方向にフェルミ面が変形していくこと、及び、それにより、実際に c 軸抵抗が低温で増大することを示した。[院生 寺尾一氏との共同研究]

(4) 原子スケールの超伝導/磁性多層膜における π -phase の研究（大橋）

[論文 [60]、講演 [54]]

$\text{RuSr}_2\text{GdCu}_2\text{O}_8$ は 133[K] で RuO_2 層のスピンが反強磁性的に揃い、次いで 46[K] では CuO_2 層が超伝導に転移、この溫度以下で磁性層と超伝導層が原子スケールで積層した状態となる。そこで、この系に対し、隣接する超伝導層の位相が π だけずれる“ π -phase”の可能性を、実空間超伝導理論を用いて研究した。その結果、従来、磁性層の磁気構造が反強磁性的な場合は、磁性層のバンドがフラットである等の特殊な場合を除き、 π -phase は出現しないとされてきたのに反し、磁性層が超伝導層と同じバンド構造（フラットではない）をしていても、現実系で実現可能なパラメータ領域で π -phase が安定であることを見出した。これは位相が π ずれることで超伝導の pair-amplitude が磁性層でノードを作り、結果、超伝導が反強磁性を避けることで安定化していることに因る。また、 $\text{RuSr}_2\text{GdCu}_2\text{O}_8$ に対応するパラメータでの計算結果から、この系で π -phase が実現することは十分可能であることを示した。[院生 鐘ヶ江義晴氏との共同研究]

(5) Sr_2RuO_4 の超伝導（平島、久保） [論文 [61]、講演 [56]]

久保 (D 4) と平島は、 Sr_2RuO_4 における超伝導オーダーパラメータの対称性の同定を目指して、エネルギーギャップに線上のゼロ点をもつさまざまな超伝導状態における磁気侵入長の溫度変化を計算した。計算の結果がゲージ不変な形になるように RPA を用いて行った。計算の結果わかったこと

は、磁気侵入長（およびその他の輸送係数に関しても同様であるが）の温度依存性は、単にゼロ点の分布形状（ z 軸に平行か、垂直か）のみで決まるのではなく、ギャップゼロ点近傍での準粒子速度によって決定されることである。このため、きわめて特別な場合を除くと磁気侵入長（および他の輸送係数）の測定結果から直ちにオーダーパラメーターの対称性を特定することは難しい。

(6) 強磁性マンガン酸化物における軌道秩序状態（平島、久保） [講演 [57]]

久保と平島は、強磁性金属マンガン酸化物における複素軌道秩序状態の可能性を検討した。これらの物質では、相関効果が無視できないと考えられるので、相関効果を取り入れた計算を行うことが必要である。このため、自己無撞着2次摂動理論によって相関効果を取り入れ、正常状態の安定性を調べた。その結果、正常相から複素秩序相への転移は見出されなかった。しかし、1次転移的に複素秩序相へ転移する可能性もあり、現在、秩序状態も記述できるように理論を拡張して、さらに検討を進めている。

(7) 多体交換相互作用（平島、久保） [論文 [62, 63, 64], 講演 [55]]

平島、久保は、磁場中の2次元ウイグナー結晶中の多体スピン交換相互作用を計算した。2次元面に垂直に加えられた磁場は、アハラノフ・ボーム効果によって交換相互作用の符号を変化させ、きわめて複雑な相変化をもたらす得ることを示した（磁場が強磁性状態を不安定化する）。さらに、平島は、2層ウイグナー結晶の交換相互作用を計算し、層間距離がそれぞれの層の電子間距離より十分小さい場合には、磁気的な性質は1次元反強磁性ハイゼンベルグモデルでよく記述されることを示した。

(8) 金属強磁性の研究（桃井） [論文 [65, 66], 講演 [58, 59, 60, 61]]

遍歴電子系において、クーロン相互作用により金属強磁性がどのように起こるか調べた。金属強磁性を示す多くの系では軌道の縮退があり、強磁性の実現には軌道縮退の効果が重要と思われる。我々は、強磁性の出現における軌道縮退依存性及びフント結合の効果に注目し研究した。

- (a) 軌道縮退のあるハバードモデルを1次元と格子次元無限大の場合に調べ、軌道縮退の効果で強磁性が起こり得る事を示した。特に、電子密度が1以上 ($n > 1$) の時、金属強磁性は double exchange mechanism により引き起こされ、次元バンド構造等にあまり依らず安定に存在する。また、 $n < 1$ の場合、強磁性のは1次元においてのみあらわれる。（青山学院大 久保 健氏、日立マクセル 坂本晴美氏との共同研究）
- (b) 二重交換モデルの局在スピンの $S = 1/2$ の場合の基底状態を無限大次元において調べ基底状態の磁気相図を求めた。従来調べられてきた古典スピンの場合との比較を行い量子効果の影響を調べた。強磁性状態がスピンの量子性の影響を強く受けることが分った。（青山学院大 久保 健氏、TDK 長井健太郎氏との共同研究）

[6] 磁性・量子スピン系・量子融解

(1) 量子固体の磁性（桃井） [講演 [62, 63, 64, 65]]

固体ヘリウム3薄膜や、電子の2次元ウイグナー結晶等の2次元量子固体では、3個以上の粒子の交換により生じる多体スピン交換相互作用が強いことが近年明らかになって来た。これらの系の磁性における多体交換相互作用の効果を明らかにする為に、三角格子上の4体交換相互作用を持つ多体交換モデルを調べた。その結果、4体交換相互作用が強い時には、低温でスカラー型のカイラル秩序が形成され、それにともなう相転移が有限温度で起こり得ることを予言した。また、固体 ^3He 薄膜の低密度領域に相当すると思われる領域では、4体と2体の交換相互作用が強く競合していることを示し、この系に磁場をかけると磁化曲線の磁化1/2の位置にプラトーが現れる事を予言した。この1/2-プラトーの出現も、4体交換相互作用固有の現象である。（青山学院大 久保 健氏、日立マクセル 坂本晴美氏との共同研究）

3次元面心立方格子の固体ヘリウム3の磁性を記述するため多体交換モデルを用いスピン波速度を調

べた。その結果、磁場中で起こる U2D2 相から canted AF 相への転移において多体交換相互作用の効果でスピン波速度が遅くなる softening が起こることを確かめた。(東大理 福山 寛氏、東大物性研 石本英彦氏、大学院生 八幡和志氏との共同研究)

(2) 量子スピン系の理論的研究：磁化プラトー (桃井) [論文 [67, 68, 69, 70], 講演 [66, 67, 68, 69, 70, 71, 72]]

近年、様々なスピン系物質の磁化曲線に帯磁率がゼロの平坦な部分(プラトー)が実験により見つかっている。2(以上の)次元の系における磁化プラトーの出現は、これまで断片的にしか理解されておらず、統一的な理解は得られていなかった。我々は、これら磁化プラトーを量子多体現象としてとらえ統一的な理解を与えた。磁場中で磁性励起が粒子として動き回り、ある一定の粒子密度において粒子間の斥力相互作用により SDW の長距離秩序を作り、Insulator-Superfluid 転移を起こす。このように磁場によって引き起こされる転移が磁化曲線中のプラトーとして観測される。具体的に、三角格子上の多体交換模型(2次元固体 ^3He)、Shastry-Sutherland 格子 [$\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$]、1/5-depleted 正方格子 (CaV_4O_9) を議論し、磁化プラトーの出現を新たに予言し、いずれも Insulator-Superfluid 転移であることを示した。このうち、Shastry-Sutherland 格子について我々が予言した 1/3-プラトーは、すでに $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$ の実験で存在が確かめられた。(九大、戸塚圭介氏との共同研究)

(3) 2次元整合・非整合転移の研究：ストライプの量子融解転移 (桃井) [講演 [73, 74]]

周期的ポテンシャル中の2次元固体にみられる整合固体相から非整合固体相への量子相転移の振る舞いを理論的に調べた。粒子が整合固体を作る時に、粒子面密度を増やすと粒子密度が局所的に高いソリトンが巨視的な数現れ、非整合相へ転移する。ストライプ構造と蜂の巣構造両方のソリトン格子について量子揺らぎに対する安定性と量子融解の可能性を調べた。まず、ストライプ構造を持つソリトン格子は、ストライプ間隔が大きい時に量子揺らぎにより欠陥(dislocation)が現れ融解し、ソリトン流体となる事を明らかにした。この量子融解転移は3次元 XY 模型の転移と等価である。このソリトン流体相は、量子揺らぎの強さによらず整合固体相とストライプ秩序相の間に現れる。また、蜂の巣構造のソリトン格子についてもゼロ点エネルギーを評価した。これらの計算により、ストライプ相と蜂の巣相の1次転移境界を求めた。実験においても吸着粒子を変えることにより、ソリトンの量子揺らぎをコントロールする事が出来るため、実験による検証が待たれる。

【7】 メゾスコピック系・ランダム系。量子相転移

(1) 2次元ランダム系における波動関数のマルチフラクタル性と共形不変性 (谷口) [論文 [71], 講演 [76]]

乱れた電子系で見られる局在-非局在転移を記述する有効理論が、どのようなものであるかは、相互作用のない場合ですら、なお未解決の難しい問題である。特に物理的にも興味がある2次元系に限ると、平衡系においては共形場理論という大変強力なアプローチが存在している。しかし、乱れた系においては共形不変性の要請および妥当性は、それほど明らかなものではない。実際、局在-非局在相転移点の近傍では、波動関数が臨界的挙動を示し、波動関数強度や局所状態密度(LDOS) $\rho(r, E)$ にマルチフラクタル性が観測されているが、このような挙動は、以下のように一見、共形不変性とは両立し得ない挙動のように思える。これはマルチフラクタル性を示す LDOS のスケール次元 $\Delta(q) < 0$ を使ってマルチフラクタル性を

$$\langle (\rho(r, E))^q \rangle \sim L^{-\Delta(q)}$$

と特徴付けると、対応する物理量の2点(空間)相関が、期待される $r^{-2\Delta(q)}$ という巾的振舞いではなく、

$$\langle (\rho(r, E))^q (\rho(0, E))^q \rangle \sim \frac{1}{r^{2\Delta(q)}} \cdot \left(\frac{L}{r}\right)^{-\Delta(2q)}$$

という挙動を示すことが、様々な数値計算などから知られているからである。本研究では、上述の

「共形不変性とマルチフラクタル性を見掛け上の不適合」は、ランダム系の相転移で共形不変性が成立しないことを意味するわけではなく、ランダム系には非エルミート性に帰因した非自明の重み0のオペレータが存在し、その結果、上の2点相関関数は、実は4点関数のいろいろな極限を見ていることにより対応すると解釈できるという提案を行った。また以上の様な観点から、波動関数のマルチフラクタル性を記述する有効理論を考察し、 $SL(2,C)/SU(2)$ Wess-Zumino-Witten 模型との関連を調べた。

(2) 2次元ランダム系における非エルミート誘起非局在転移と局在状態 (谷口)

[論文 [72]]

相互作用の無視できる乱れた電子系は、2次元以下(時間反転対称性のある場合)では全ての状態が局在し、外部環境や電子間相互作用に起因する緩和効果(非エルミート性)は、非局在状態へのクロスオーバをもたらすと言うのが、旧来の局在現象に対する認識であった。しかし近年、局在状態に対する非エルミート性の効果はこの様な単純なものではないことが、高温超伝導体中の渦糸状態を動機づけとする研究から明らかになってきた。特に1次微分と結合する非エルミート項=虚ベクトルポテンシャルを十分大きくしてやると、たとえ1次元系であっても(クロスオーバではなく)非局在状態への相転移が誘起されることが示されてきた。しかし、2次元以上の高次元系においては上述の非エルミート非局在転移がどのような性質を持つかは、現在のところ解明されておらず、応用上の関心とともに興味を持たれている問題である。このような現状を踏まえ、以下の研究を行った。

- (a) 2次元ランダム系でおこる非エルミート非局在転移が、連続的(2次相転移)か不連続的(1次相転移)に関して、現在ははっきりした結論はでていない。そこで、我々は一定の虚ベクトルポテンシャルをもつ2次元タイトバインディング模型を数値的に調べることにより、非局在状態への相転移を詳しく調べた。その結果、有限サイズからくる効果を適切に補正してやると、バンド中心以外では転移は不連続に起こるようである、との結果をえた。ただし有限サイズ補正に関する信頼性を高めるには今後より一層野精査が必要である。一方、バンド中心においては、我々の現在の結果からでは、非局在状態への転移が不連続か否かに関しては結果を出すことが出来ない。バンド中心では連続的に非局在状態に相転移するという理論的提言があり、今後の課題である。
- (b) 従来、系の局在状態の様子や局在長は、輸送現象を通してのみ観測・評価されてきた。本研究では、上述した非エルミート性(虚ベクトルポテンシャル)に起因する非局在状態への転移を用いて、系の局在長が定性的のみならず、ある程度定量的に調べることが可能である、との提言を行った。状態密度にあらわれるゲージ変換の破綻を観測して局在長を評価する方法は、1次元系では試みられある程度の成功をおさめていたものの、2次元以上の系では状態密度の振舞の根本的に異なり、従来の方法を適用することはできなかつた。我々は、ゲージ変換の破綻として新しい基準を導入し、2次元系において局在長を定量的に調べることが可能であることを示した。

(3) モット絶縁体-超伝導転移と不純物効果 (谷口) [講演 [77, 78]]

$1T-TaS_2$ は、Nearly Commensurate CDW 相から Commensurate 相への CDW 転移に伴いモット転移が起こることで注目されている物質である。しかしながら、この物質系の低温電子物性に関し、モット転移という観点からの研究がそれほど行われているわけではない。本研究では、モット転移と転移後の低温電子物性を実験的理論的に詳しく調べるため、いろいろな輸送特性の系統的研究を行っている。育成時のアンブル内の過剰硫黄濃度 x_{ES} を変えることにより単結晶試料特性を様々に制御することができ、適当な x_{ES} に調節してやると局在-金属(もしくは超伝導)転移を起こすことが見いだされた。理論的には、この物質の特性を量子相転移の普遍スケーリング則の観点より解析を行った。また、局在を示す領域では低温領域($T \sim 0.3K$)で大きな正と負の磁気抵抗が混在する複雑な挙動を示す。負の磁気抵抗に関しては、mid-gap 状態を仮定すれば、その Zeemann 効果で説明が可能であるが、正の磁気抵抗の起源については現在検討中である。(広島大学工学部佐々木氏との共同研究)

【8】 非平衡散逸系の統計物理 (有光)

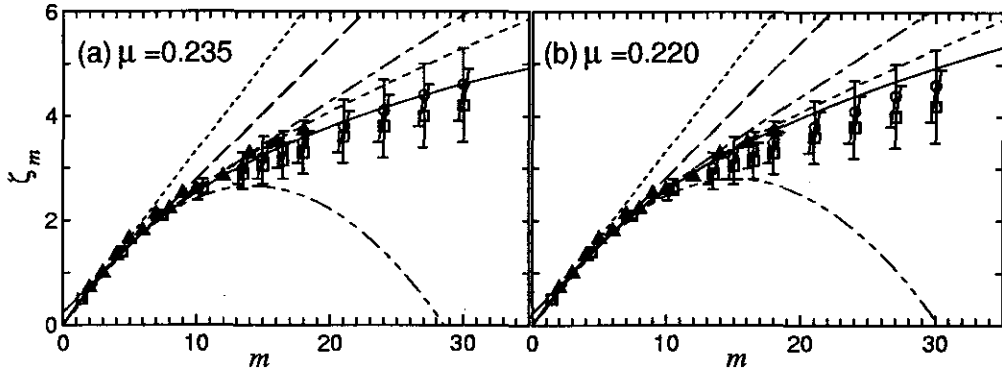


図 5: Scaling exponents ζ_m of velocity structure functions for (a) $\mu = 0.235$ and (b) $\mu = 0.220$. The present results are given by the solid curve. The solid triangles ($R_\lambda = 852$) are the experimental results of Anselmet et al., the squares ($R_\lambda = 50$, $Re = 10000$) and the circles ($R_\lambda = 110$, $Re = 32000$) are from Meneveau and Sreenivasan. Note that R_λ is the Taylor-scale Reynolds number. The results of the K41 model (independent of μ) are given by the dotted line, those of the β -model by the dashed line, those of the p-model by the dotted-dashed line, those of the log-Poisson model (independent of μ) by the short dashed curve, and those of the log-normal model by the two dotted-dashed curve.

(1) 非 Gibbs 統計による発達乱流の解析 [論文 [73, 74, 75, 76, 77]: 紀要 [1, 3, 5, 6, 7]: 講演 [79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 88, 89, 90, 91, 92]]

2つの条件(「確率の規格化」と「 α の分散値を一定にする」)の下に一般化されたエントロピー(Tsallis エントロピー, Renyi エントロピー)の極大値を与える分布関数を導出し, それをもって局所散逸に対する分布関数とした。分布関数が与えられると, それに対応するマルチフラクタル・スペクトル $f(\alpha)$ が分かるが, そこに現れるすべてのパラメータを, 間欠性指数 μ の実測値によりセルフ・コンシステントに決定することができる。そこには, いわゆるフィッティング・パラメータは存在しない。得られた確率密度関数から, 発達乱流の基礎となる統計は, 示量性 Boltzmann-Gibbs 統計ではなく非 Gibbs 統計であることが分かる。この分布関数を用いて, 網目の大きさが l_0 である格子の後方に発生した等方乱流における速度成分 u (たとえば, 流れの速度場 \vec{u} の x 成分) のゆらぎの時系列を理論的に解析した。Taylor の凍結仮説の下に, $\langle (\delta u(r))^m \rangle \propto r^{\zeta_m}$ で定義される m 次の速度相関関数に関するスケーリング指数 ζ_m を, マルチフラクタル・スペクトル $f(\alpha)$ を利用して求める。ただし, $\delta u(r) = |u(x+r) - u(x)|$ は, 距離 r 離れた2地点での同時刻における成分 u の差を表している。期待値 $\langle \dots \rangle$ は, 先に求めた確率密度関数による平均である。導出されたスケーリング指数 ζ_m は, すべての実験データを大変よく説明している。他の理論で得られた ζ_m の結果 (K41, 対数正規, β モデル, p モデル, 対数 Poisson) との比較からも, 本論文の結果が優れていることが分かる。なお, 解析的な表式を評価すると, $m \gg 1$ のとき, ζ_m に対数項が存在することも分かった。

(2) 非 Gibbs 統計による他の解析

乱流の解析をさらに拡充し, 重イオン衝突で生成されるクォーク・グルオン・プラズマの緩和現象記述を目指している。その際, ハゲドロンの統計理論を一般化して利用する。重イオン衝突実験が開始されている現時点で, 乱流系で成功を収めている新しい統計理論により測定結果解析を実現することの意義は, 他に比類がなく計り知れない [Jizba]。宇宙ストリング分布をこの理論により解析することも計画している [Jizba]。さらに, 銀河の相対速度分布の非 Gibbs 統計による解析の検討にも入った。

(3) NETFD とその応用 [紀要 [2]]

Non-Equilibrium Thermo Field Dynamics (NETFD) の体系では, 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。そこでは、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、一貫した正準演算子形式の体系として定式化されている。

量子系確率微分方程式の体系に、Fermi 粒子も取り込むことに成功した。その際、チルダ演算、熱真空の位相を、ゴースト粒子が一貫した形で扱えるように決定した。目下、投稿論文を執筆中である [Kobryn, 林]。

ところで、場の量子論では、真空と一粒子状態の安定性が大前提である。有限温度では、真空は安定であるが、一粒子状態は不安定となる。さらに、非平衡散逸系では、真空と一粒子状態が共に不安定になってしまう。つまり、NETFD では、従来の場の量子論での大前提（真空と一粒子状態の安定性）が拡張されているのである。そこでは、散逸時間発展が、ある種の粒子対の真空への凝縮の結果として記述される。これは、散逸あるいは熱現象が、まったく新しい概念（拡張された意味での自発的対称性の破れ）で捉えられる可能性を示している。

散逸系を演算子代数で扱う例題として、スクイーズド状態を生成する際に重要な過程である、パラメトリック励振を NETFD の演算子形式で解析的に扱った。このモデルでは、大域的ゲージ不変性が敗れており粒子数が保存しない。初期状態として大域的ゲージ不変性の真空を採用すると、真空が対称性を破る現象の時間発展を実際に追うことができる。その結果、熱的な時間発展を記述する粒子対（チルダ・非チルダ粒子対）に加えて、真空対称性の破れの時間発展を記述する粒子対（チルダ・チルダ粒子対、非チルダ・非チルダ粒子対）が出現する状況を定式化した。目下、投稿論文を執筆中である [林]。

「量子情報物理」の問題として、情報量や量子絡みの時間発展を、散逸効果を加味して正準演算子形式で解析的に扱った。目下、投稿論文を執筆中である [福田]。

(4) レオロジー [講演 [87]]

多くの物理ゲルの定常粘性率は、低いずり率において一定 (Maxwell 型) で、高いずり率に対してはゲルを構成するネットワーク破壊のため減少する。興味深いことに、多くの実験で「Maxwell 型から減少に転ずる辺りのずり率で定常粘性率にピークが現れること」が報告されている。田中・エドワーズの組替え網目理論 (transient network theory) を基礎にして、ネットワークを構成している高分子に乱雑飛行模型 (the random-flight model; 高分子の長さが有限であることを取り入れた模型) を採用すると、そのピークがうまく説明できる [講演 [87]]。今年度は、解離後の高分子鎖の緩和過程の解析に非 Gibbs 統計を採用し、アクティブ化直前の高分子鎖の統計分布が Gibbs 鎖からずれている現象を取り入れ、実験結果との一致がさらに良くなることを目指した。目下、投稿論文を準備中である [印出井]。

【9】 散逸系のカオス (有光) [紀要 [4]: 講演 [86]: 集中講義 [1]]

カオスの特徴であるストレンジ・アトラクタは、カオス領域のいたるところに内在する不安定周期軌道のまわりを、カオス軌道が次から次へとふらふら渡り歩くことにより描かれたものである。いわば、不安定周期軌道の群れが呈する輪郭を浮き彫りにしたものがストレンジ・アトラクタである。そこで、無数にある不安定周期軌道のトポロジーを利用してストレンジ・アトラクタの特徴づけをしようというのがこの研究の主題である。あえて言えば、この研究の目指しているものは、「カオス軌道の不安定周期軌道によるトポロジカル展開」とでもいえる新しい分野（「テンプレート解析」）の幕開けである。

軌道のトポロジカルな性質を抽出するためには、結び目、記号力学、テンプレートといった知識が必要になる。集中講義 [[1]] では、「カオスとトポロジー」本池巧、有光敏彦 (培風館, 1999) に従い、はじめにこれらの基礎知識を丁寧に紹介した後、我々の導入した「局所交差数」によるカオス軌道の解析方法を解説している。幅広いバックグラウンドを必要とする「超」境界領域に踏み込む訳で、各分野の成果を使える形で習得しておく必要がある。そこで、定理などの厳密な証明は必要最小限にとどめ、むしろそれを利用する立場での理解に重点を置いた。

周期倍分岐軌道のトポロジカルな性質 (各軌道の捻じれを表わす「局所交差数」、軌道間の絡みを

表わす「絡み数」など) を特徴付けるテンプレートには、可約と既約の二つのタイプがある。後者の場合について、バンド融合後のアトラクターの構造を特徴付けるテンプレートの存在を、非線型マシュー方程式の場合について調べた。その結果、不安定多様体の構造から推定したテンプレートが、周期倍分岐を特徴付けるテンプレートと一致することが分かった。さらに、実際の軌道の絡みを、得られたテンプレートと三乗写像 (the cubic map) における可能文字列 (the admissible words) で特徴付けられることが分かった。また、実際の軌道の時間発展より求めた文字列が、可能文字列とその大小関係も含めて一致することを確認した [紀要 [4] : 講演 [86]]。

【10】 非平衡系・輸送現象 (Kobryn)

(1) Classical systems

Investigation of transfer processes in dense weakly or fully ionized many-component gases is topical in view of construction and improvement of new gaseous lasers, plasm-chemical reactors for ozone synthesis, and air cleaning of both nitrogen and carbon oxides and chlorine compounds.

The Enskog-Landau kinetic equation was considered to describe non-equilibrium processes of a mixture of charged hard spheres. This equation has been obtained in my previous papers by means of the non-equilibrium statistical operator method. Its normal solution has been found in the first approximation using the standard Chapman-Enskog method. On the basis of the found solution the flows and transport coefficients have been calculated. All transport coefficients for multi-component mixture of spherical Coulomb particles are presented *analytically*. For dense systems, in which the usual Boltzmann equation does not work, this is done for the first time. Numerical calculations of thermal conductivity and thermal diffusion coefficient are performed for some specific mixtures of noble gases of high density. The calculations were compared with those ones for point-like neutral and charged particles [78, 79, 80].

To describe non-equilibrium processes in dense liquids, new kinetic equation for systems with a multi-step potential of interaction has been proposed. This potential consists of the hard sphere part and a set of attractive and repulsive walls. Such a model is the unification of many previous semi-phenomenological kinetic theories of dense gases and fluids. Normal solution to the new kinetic equation has been obtained, integral conservation laws in the first order on gradients of hydrodynamic parameters have been derived as well. The expressions for transport coefficients are calculated for the case of stationary process. All of them have analytical structure. For specific parameters of the multi-step potential of interaction the obtained results rearrange to those ones of previous kinetic theories by means of the standard Chapman-Enskog method. From that point of view, new theory can be considered as a generalized one which in some particular cases arrives at the results of previous ones and in such a way displays a connection between themselves. As a demonstration that proposed approach allows an accurate reproduction of experimental and MD data for transport coefficients in a wide density-temperature range, results of numerical computation for argon along a curve of saturation were compared with experimental data available and MD simulations. [81, 93].

(2) Quantum systems

In a dense high temperature quark-gluon plasma (QGP), which is characterized by strong interactions, kinetic and hydrodynamic processes are mutually connected and should be considered consistently. Such a description has been proposed on the basis of a non-equilibrium thermo field dynamics (NETFD) using the method of non-equilibrium statistical operator by D.N. Zubarev. With this, generalized relativistic quantum transport equations of the consistent description of the kinetics and hydrodynamics for QGP has been obtained. This system of equations is nonlinear and could be used to describe both strongly and weakly non-equilibrium states of a system. To be used, their structure needs a lot of transformations, especially for transport cores. This permits the investigations of weakly non-equilibrium processes and kinetic equations like the Boltzmann-Vlasov or Lenard-Balescu ones for diluted QGP. However, this is not a trivial problem.

The quantum stochastic differential equations within the NETFD have been studied in a unified manner for bosonic and fermionic systems by choosing a proper phase for fermion fields in connection with the

approach by C^* -algebra. Within this approach, the obsolete rule of double tilde operation $\tilde{\tilde{A}} = \sigma A$, $\sigma = +1$ for bosons and -1 for fermions, is replaced on $\tilde{A} = A$ for both boson and fermion type operators. With this, a general form for the generator of time translations for fermion system has been obtained and dissipative nature of open quantum fermion systems has been demonstrated. A connection with generating functional method, kinetic equations method and S -matrix has been studied.

The structure of the quantum phase space distributions from the point of view of the NETFD has been investigated. Whole the framework of NETFD was mapped to a c -number space by means of the generalized coherent state representation. Two types of generalized coherent states (GCS) were introduced: for bosons and for fermions, correspondingly. They are functions of complex variables in the first case and Grassmann variables in the second one. Some important properties of mapping operators as well as rules of correspondences between thermal states and their c -number functions representations were established. Whole the formalism is applied to obtain a complete picture about the structure of quantum stochastic dynamical equations and quantum stochastic Langevin equations of motion, both Ito and Stratonovich types, in a phase space. The developed formalism is found to be compatible with that one of the classical stochastic differential equations. At the same time the mapped framework in phase-space keeps the information about quantum effects.

【 1 1 】 統計力学・物性基礎論 (Jizba)

(1) Generalized Statistics

The past two decades have witnessed an explosion of activity and progress in both equilibrium and non-equilibrium statistical physics. The catalyst has been the massive infusion of ideas from information theory, theory of chaotic dynamical systems, theory of critical phenomena, and quantum field theory. These ideas include the generalized information measures, quasi-periodic attractors and strange attractors, fully developed turbulence, renormalization group, renormalization of large-scale dynamics, and attractive, albeit speculative, ideas about quark-gluon plasma formation and dynamics.

In the course of my stay at the University of Tsukuba I have proceeded in this line of development with a particular emphasize to topics related to the more quantitative aspects of Rényi's statistics and the non-extensive statistics of THC. Especially, I generalized Hagedorn's statistical theory of momentum spectra of particles produced in high-energy collisions utilizing both Rényi's and THC entropy. While for collider experiments (e.g., e^+e^- annihilation) the Hagedorn theory yields a good description for relatively small center of mass energies ($<10\text{GeV}$), it fails at large energies. For example, Hagedorn's approach predicts an exponential decay of differential cross sections for large transverse momenta, whereas in experiments one observes non-exponential behavior for large energies ($>10\text{GeV}$). For this reason one usually restricts to comparison of the experimental results at high energies to Monte Carlo simulations, which reasonably well reproduce the experimental data. But obviously, for a more fundamental understanding from a statistical physics of view there is a need to generalize Hagedorn's original ideas. One crucial points, namely the self-similarity of the high-energy scattering processes, already recognized by Hagedorn, was never quantitatively taken into account. From this point of view Rényi's statistics seems to be particularly suitable for generalization of the Hagedorn theory because of its build-in predisposition to describe self-similar systems. Such a generalization could in turn bring and enhancement in the predictability of momentum spectra of particles produced, for example, in cosmic ray experiments, in hadronic collisions or in collisions of nuclei. One can also speculate that some novel signatures of quark-gluon plasma (deconfined phase quarks and gluons created, for instance, in relativistic heavy ion collisions) could be predicted. Our present results will be published in [82] and were recently presented on the International Symposium on Non-equilibrium and Nonlinear Dynamics in Beijing, China.

Another interesting subject in this line of research which I was concentrated on has been the application of generalized statistics to cosmology and particularly to the cosmic strings physics. In cosmology, unified gauge theories of particle interactions allows for a sequence of phase transitions in the very early universe some of which may lead to defect formation via the so called Kibble-Zurek mechanism. Cosmic strings as the most pronounced example of such defects, could have important relevance on the large scale structure formation of the universe or on CMBR (cosmic microwave background radiation) anisotropies. In astro-

physics, for instance, cosmic strings play important rôle in dynamics of neutron stars and in the galaxy astrophysics. In usual cases when the grand canonical approach is applied it is argued that at the critical (phase transition) temperature at which strings tend to fragment into smallest allowed loops, while large loops become exponentially suppressed - i.e., at Hagedorn temperature, the correspondence between the canonical and microcanonical ensembles breaks down and the grand canonical partition function diverges. Various viewpoints with different remedies were proposed recently in the literature. On the other hand, it is well known that the distribution of string loops in the universe should be scale invariant. The latter suggests that Rényi's or THC statistics could be applied to construct the generalized grand canonical partition function for the string network. Our current results suggest that the new phase transition temperature should be lower than Hagedorn's one. This point will be presented on a shortcoming (July) conference "COSLAB" in London [83]. It would be definitely interesting to exploit this further and contrast our way with the conformal theory approach recently proposed by Mitchell and Turok.

(2) Topological Defects and QFT

In many different fields of physics topological defects formed at symmetry breaking phase transitions play an important rôle. Topological defects appear in many condensed-matter systems at low temperature; examples include vortices in rotating superfluid ^4He below the λ -point, a rich variety of defects in ^3He , quantized magnetic flux tubes (Abrikosov's vortices) in type-II superconductors, and disclination lines and other defects in liquid nematic crystals. Another, currently very attractive and widely studied area are nonlinear optical systems where the optical patterns/defects formation due to optical instabilities have found a deep analogy to the phase transitions in field theories. In cosmology, unified gauge theories of particle interactions allows for a sequence of phase transitions in the very early universe some of which may lead to defect formation with In astrophysics, defects play an important role in the dynamics of neutron stars and in the galaxy astrophysics.

The basic phenomenological picture of defect formation is presently understood via the Kibble-Zurek mechanism. The idea is that in many systems, when the phase transition associated with a symmetry breaking takes place, some regions of space may remain trapped in the initial symmetric phase. These regions are usually called *topological defects*.

The crux about topological defects is that they are experimentally detectable and thus provide an observational handle on the underlying microscopic dynamics of the phase transitions in which they are formed. In other words, a detection of the topological defects (both direct or indirect) should provide an important theoretical probe allowing to learn a new physics about the non-equilibrium evolution of the underlying quantum fields. It is thus of great importance, both for high-energy and condensed matter physicists, to understand in detail the underlying mechanisms of the dynamics of the phase transitions and to develop the appropriate field theoretical framework necessary to deal with the non-equilibrium aspects of symmetry breaking. Together with Dr. M. Blasone (IC, London) I have developed a new approach which combines a description of topological defect as condensates of quanta, together with the non-equilibrium dynamics of quantum fields, in the framework of the so called Closed-Time-Path (CTP) formalism, first introduced by Schwinger and Keldysh. We show in [84] that macroscopic (topological) objects arise naturally in the framework of Quantum Field Theory (QFT) as localized (inhomogeneous) condensates of quanta: the usual classical soliton solutions are then obtained in the Born approximation (i.e. the $\hbar \rightarrow 0$ limit) and in the heavy-mass (WKB or Gutzwiller) approximation. Recently I started to concentrate on a paradigmatic system, namely $\lambda\phi^4$ in 1 + 1 dimensions at finite temperature T . Whilst $T = 0$ case was investigated by Dr. Blasone (IC, London) and myself already in [84], the case of $T \neq 0$ poses an interesting challenge. The nature of the dynamics at finite temperature is far more complex and is closely connected with, the so called, infrared catastrophe which is seemingly inherent to finite temperature quantum field theories. Using the hard thermal loop resummation technique we investigated in [85] how the one and two point correlation functions behave in the infrared region and hence as the kink shape changes and eventually disappears at a "critical" value of T . In this connection it would be also interesting to extend this study to non-equilibrium

media where I expect to find the same qualitative behavior which was observed recently by Zurek et al. in numerical simulations on a similar system. One can go even further with the foregoing reasonings. For example, localized condensation of Cooper's pairs forms the superconducting (Abrikosov's) vortices in type-II superconductors or superfluid vortices in ^4He . Similarly, a non-homogeneous condensate of Goldstone particles in the abelian Yang-Mills theories is responsible for the Nielsen-Olesen vortices. Since this condensation is controlled by a shift of the Goldstone field, the method provides a powerful way of including (at an operatorial level) the initial conditions describing defects in systems under consideration. The Heisenberg field operators with such conditions reflect the full information about the defects, the quasiparticles/elementary excitations and their mutual interaction and thus correlation functions constructed out of those fields will bear an imprint of topological defects. So it would be definitely interesting to relate correlation functions for the system with and without vortices. This would allowed me to find the corrections to the correlation length (i.e. an effective distance at which particles involved mutually interact) in the case when topological defects are present. The extension of this study to the finite temperature case would be the next logical step in my investigation. Namely, the consideration of hydrostatic pressure or the propagation of second sound waves (if He II is in question) could be an interesting practical/theoretical probe allowing one to test the dynamics (and number) of topological defects.

(3) Dissipation and Quantization

I have started recently to work (together with Dr.M. Blasone and Prof.G. Vitiello) on a quantitative development of 't Hooft idea of deterministic quantization via information loss. In ref.[86] we have shown, that imposing 't Hooft's "adiabaticity" condition on the classical Bateman's dual system one ends up with a one-dimensional quantum oscillator. Moreover, in we showed [87], that the zero point energy finds its origin in the geometric phase of the classical system. It is the intrinsic non-local nature of geometric phases which takes naturally care of potential objections based, for example, on Bell's inequalities. Some of the results were recently presented on "XIII International Congress of Mathematical Physics" in London and on the "International conference on Quantum Mechanics; Quantum (Un)Speakables" in Vienna.

(4) Particle Oscillations

Particle mixing received recently a considerable attention in connection with the neutrino mass measurements (e.g., Kamiokande) and $2 - g$ experiments on B mesons in PEP2 (SLAC, USA) and at KEKB (KEK, Japan). In our recent paper [88] we present (Dr.M. Blasone, Prof.G. Vitiello and PJ) an analysis, both for bosons and fermions, of the structure of the currents for a system of two mixed fields. Our approach is based on QFT (and not on QM as it is more customary) and namely on the notion of non-equivalent Hilbert spaces theory. The latter allows us to obtain in a direct way the exact field theoretical oscillation formulas exhibiting corrections with respect to the usual ones.

< 論文 >

- [1] S. Jeong and A. Oshiyama: "Mechanisms of Epitaxial Growth on Si(100) Surfaces" *Proc. Asia Pacific Physics Conference*, (World Scientific, 2000) in press.
- [2] A. Oshiyama: "First-principles Calculations for Mechanisms of Semiconductor Epitaxila Growth" *Proc. ICCG-13 (a special issue in J. Crystal Growth)*, (2001) to be published.
- [3] K. Okajima, K. Takeda, N. Oyama, E. Ohta, K. Shiraishi, and T. Ohno, "Phenomenological Theory of Semiconductor Epitaxial Growth with Misfit-Dislocations" *Jpn. J. Appl. Phys.* 39, (2000) L917-L920.

- [4] 白石賢二、小山紀久、岡島康、武田京三郎、山口浩司、伊藤智徳、太田英二、大野隆央、”半導体格子不整合系におけるエピタキシャル成長の理論的研究 –マクロスコピックな成長過程とミクロスコピックな機構との関係–” 結晶成長学会誌, 27, (2000) 250-256.
- [5] M. Uematsu, H. Kageshima, K. Shiraishi, ”Unified Simulation of Silicon Oxidation Based on the Interfacial Silicon Emission Model” Jpn. J. Appl. Phys. 39, (2000) L699-L702.
- [6] M. Uematsu, H. Kageshima and K. Shiraishi, ”Simulation of High-Pressure Oxidation of Silicon Based on the Interfacial Silicon Emission Model” Jpn. J. Appl. Phys. 39, (2000) L952-954.
- [7] M. Uematsu, H. Kageshima and K. Shiraishi, ”Oxidation Simulation of (111) and (100) Silicon Substrates Based on the Interfacial Silicon Emission Model” Jpn. J. Appl. Phys. 39, (2000) L1135-L1137.
- [8] M. Uematsu, H. Kageshima and K. Shiraishi, ”Simulation of wet oxidation of silicon based on interfacial silicon emission model and comparison with dry oxidation” J. Appl. Phys. 89, (2001) 1948-1953.
- [9] K. Shiraishi, H. Kageshima and M. Uematsu, ”Phenomenological Theory on Si Layer-by-Layer Oxidation with Small Interfacial Islands” Jpn. J. Appl. Phys. 39, (2000) L1263-L1266.
- [10] K. Shiraisi, H. Kageshima, and M. Uematsu, ”Microscopic mechanism of Si oxidation” *Proc. 25th International Conference on the Physics of Semiconductors* (Osaka, 2000, Springer) pp309.
- [11] S. Okano and A. Oshiyama, ”A New Identification of C-Type Defects on Si(100) Surfaces” Surf. Sci. (2001), submitted.
- [12] S. Okada, A. Oshiyama, ”Ferromagnetic Electronic Structures of Ga Wires on Si (001) Surfaces”, Japanese J. Appl. Phys., 39, 4315-4317 (2000).
- [13] S. Okada, A. Oshiyama, ”Magnetic Ordering of Ga Wires on Si(100) Surfaces”, Phys. Rev. B, 62, R13286-R13289 (2000).
- [14] S. Okada and A. Oshiyama, ”Nano-scale ferromagnets on semiconductors: Ga adsorbates on Si (100) surfaces”, Proc. of 25th International Conference on Physics of Semiconductor, (Osaka, September 2000, Springer) pp301.
- [15] J.-W. Jeong and A. Oshiyama, ”Atomic and Electronic Structures of Boron Impurity and its Diffusion Mechanism” Phys. Rev. B (2001) submitted.
- [16] J.-W. Jeong and A. Oshiyama, ”Microscopic Mechanisms of Boron Diffusion in Crystalline Silicon” *Proc. 25th Int. Conf. Physics of Semiconductors* (Osaka, 2000, Springer) pp1381.
- [17] S. Jeong and A. Oshiyama, ”Atomic and Electronic Structures of N-incorporated Si Oxides” Phys. Rev. Lett. 86 (2001) 3574-3577.
- [18] T. Akiyama and A. Oshiyama, ”Stability and Vibrational Properties of Multivacancy-Oxygen Complexes in Crystalline Si” *Proc. 25th Int. Conf. Physics of Semiconductors* (Osaka, 2000, Springer) pp1425.
- [19] T. Akiyama and A. Oshiyama, ”First-principles Study of Multivacancy and Hydrogen Trapping in Silicon” J. Phys. Soc. Jpn. 70 (2001) 1801.
- [20] N. Kitamura and A. Oshiyama, ”Energetics of Carbon Nanotubes and Adatom Adsorption on Nanotube Edge” J. Phys. Soc. Jpn (2001) submitted.
- [21] N. Kitamura and A. Oshiyama, ”Open Edge Growth Mechanisms of Single Wall carbon Nanotubes” J. Phys. Soc. Jpn (2001) in press.
- [22] S. Okada, A. Oshiyama and S. Saito, ”Nearly-Free-electron States in Carbon-Nanotube Solids” Phys. Rev. B62 (2000) 7634-7638.
- [23] S. Okada and S. Saito, ”Stable Polymers of C₇₄ and C₇₈ Fullerenes”, Chem. Phys. Lett., 321, 156-162 (2000).
- [24] S. Okada, A. Oshiyama, and S. Saito, ”Pressure and orientation effect on the electronic structure of carbon nanotube bundles”, J. Phys. Soc. Japan, in press.
- [25] S. Okada, A. Oshiyama, and S. Saito, ”Energetics and Electronic Structure of Carbon Nanotube Solids”, Trans. Mat. Res. Soc. Japan, 25, 865-868 (2000).

- [26] K. Nakada, S. Okada, and M. Igami, "First-Principles Study on the π Electronic Structure of Nanographite", *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **340**, 389-394 (2000).
- [27] Y. Takagi, M. Fujita, K. Wakabayashi, M. Igami, S. Okada, K. Nakada, and K. Kusakabe, "The Hypergraphite: A possible extension of graphitic network", Submitted to *Phys. Rev. B*.
- [28] M. Igami, S. Okada, and K. Nakada, "Electronic and geometric structures of fluorine adsorbed graphene", *Synthetic Metal*, in press.
- [29] S. Okada, M. Igami, K. Nakada, and A. Oshiyama, "Border states in hetero-sheets with hexagonal symmetry", *Phys. Rev. B*, **62**, 9896-9899 (2000).
- [30] S. Okada and A. Oshiyama, "Magnetic Ordering in Hexagonally-Bonded Sheets with First-Row Elements", Submitted to *Phys. Rev. Lett.*
- [31] S. Okada and A. Oshiyama, "Electronic structure of BNC hexagonal heterosheet: New class of border localized states and ferromagnetism", Proceedings of the 3rd Japan-Korea Joint Workshop on First-Principles Electronic Structure Calculations, October, 2000, Tsukuba, 155-160.
- [32] S. Okada, S. Saito, and A. Oshiyama, "Energetics and Electronic Structures of Encapsulated C_{60} in a Carbon Nanotube", *Phys. Rev. Lett.*, **86**, 3835-3838 (2001).
- [33] S. Okada, S. Saito, and A. Oshiyama, "Electronic Structure and Energetics of Carbon Nanotubes Encapsulating C_{60} ", Proc. of International Symposium on Nanonetwork Materials: Fullerene, Nanotube, and Related System (January 2001, Kamakura) in press.
- [34] N. Hamada, M. Yamaji, S. Okada, and S. Saito, "Dielectric Functions of C_{60} -Encapsulating Carbon Nanotube", Proc. of International Symposium on Nanonetwork Materials: Fullerene, Nanotube, and Related System (January 2001, Kamakura) in press.
- [35] K. Shiraishi, M. Nagase, S. Horiguchi, H. Kageshima, M. Uematsu, Y. Takahashi, and K. Murase, "Designing of Silicon Effective Quantum Dots by Using Oxidation-Induced Strain: A Theoretical Approach" *Physica E* **7**, (2000) 337-341.
- [36] H. Kageshima, K. Shiraishi, H. Ikeda, S. Zaima, and Y. Yasuda, "Selectivity rule for O adsorption position on dihydride Si(100) surfaces" *Appl. Surf. Sci.* **159-160**, (2000) 14-18.
- [37] K. Sumitomo, K. Shiraishi, Y. Kobayashi, T. Ito and T. Ogino, "Surface segregation and interdiffusion of Ge on Si(001) studied by medium-energy ion scattering" *Thin Solid Films* **369**, (2000) 112-115.
- [38] A. Taguchi, K. Shiraishi and T. Ito, "Self-surfactant effect of As on a GaAs(111)A surface" *Appl. Surf. Sci.* **162-163**, (2000) 354-358.
- [39] A. Taguchi, K. Shiraishi, and T. Ito, "Stable Microstructures on a GaAs(111)A surface: the Smallest Unit for Epitaxial Growth" *Jpn. J. Appl. Phys.* **39**, (2000) 4270-4274.
- [40] S. Horiguchi, M. Nagase, K. Shiraishi, H. Kageshima, Y. Takahashi and K. Murase, "Mechanism of Potential Profile Formation in Silicon Single-Electron Transistors Fabricated Using Pattern-Dependent Oxidation" *Jpn. J. Appl. Phys.* **40**, (2001) L29-L32.
- [41] H. Tamura, K. Shiraishi, and H. Takayanagi, "Semiconductor Ferromagnetism in Quantum Dot Array" *phys. stat. sol. b* **224**, (2001) 723-725.
- [42] 影島博之、白石賢二、植松真司, "Si/SiO₂ 界面形成における歪みの役割" *表面科学* **21**, (2000) 361-366.
- [43] 住友弘二、小林慶裕、白石賢二、伊藤智徳、荻野俊郎, "Ge/Si セグレーションの中速イオン散乱による観察" *表面科学* **22**, (2001) 197-202.
- [44] S. Suzuki, S. Okada, and K. Nakao, "Theoretical Study on the Superconductivity Induced by the Dynamic Jahn-Teller Effect in Alkali-Metal-Doped C_{60} " *J. Phys. Soc. Japan*, **69**, 2615-2622 (2000).
- [45] S. Suzuki, M. Kushida, S. Amamiya, S. Okada, and K. Nakao, "Density Functional Study on Geometry and Electronic Structure of $Eu@C_{60}$ ", *Chem. Phys. Lett.*, **327**, 291-298 (2000).
- [46] Z. M. Li, Z. K. Tang, H. J. Liu, N. Wang, G. D. Li, C. T. Chan, R. Saito, and S. Okada, "Polarized Absorption Spectra of Single-Walled 4Å Carbon Nanotubes Aligned in Channels of AlPO₄₋₅ Single Crystal", Submitted to *Phys. Rev. Lett.*

- [47] S. Suzuki, S. Okada, and K. Nakao, "The role of pair-transfer interaction in alkali-metal-doped C₆₀, Synthetic Metal, in press.
- [48] S. Amamiya, S. Okada, S. Suzuki, and K. Nakao, "Relativistic Calculation on Electronic Structure of La@C₈₂ Molecule and Crystal", Synthetic Metal, in press.
- [49] S. Suzuki, M. Kushida, S. Amamiya, S. Okada, and K. Nakao,, "Antiferromagnetic coupling between the conduction electrons and the 4*f* electrons in Eu@C₆₀", Proc. of 25th International Conference on Physics of Semiconductor, September, 2000, Osaka, in press.
- [50] S. Amamiya, S. Okada, S. Suzuki, and K. Nakao, "Electronic structures of the C₈₂ and La@C₈₂ crystals by the relativistic LCAO method", Proc. of 25th International Conference on Physics of Semiconductor, September, 2000, Osaka, in press.
- [51] S. Suzuki, M. Kushida, S. Amamiya, S. Okada, and K. Nakao, "Electronic Structure of Eu@C₆₀", Proc. of International Symposium on Nanonetwork Materials: Fullerene, Nanotube, and Related Sysytem, January 2001, Kamakura, in press.
- [52] S. Suzuki, S. Okada, and K. Nakao, "Dynamic Jahn-Teller Mechanism of Superconductivity in Alkali-Metal-Doped C₆₀", Proc. of International Symposium on Nanonetwork Materials: Fullerene, Nanotube, and Related Sysytem, January 2001, Kamakura, in press.
- [53] Y. Tagami: "Precise Shape Function for Interparticle Necks Formed During Solid-State Sintering" in "Grain Boundary Engineering in Ceramics" (Ceramics Trans., Vol. 118) (2000) 145-153.
- [54] Y. Ohashi and S. Takada: Collective phase oscillation in two-dimensional *d*-wave superconductors. Phys. Rev. B **62** (2000) p.5971-5983.
- [55] T. Yoshioka and Y. Ohashi: Numerical Renormalization Group Studies on Single Impurity Anderson Model in Superconductivity: A Unified Treatment of Magnetic, Nonmagnetic Impurities, and Resonance Scattering. J. Phys. Soc. Jpn. **69** (2000) p.1812-1823.
- [56] Y. Ohashi: Nonmagnetic Impurity Effects on Spectrum of Antiferromagnetic Spin Fluctuations and Nuclear Spin-lattice Relaxation Rate in high-T_c superconductors. J. Phys. Soc. Jpn. **69** (2000) p.2977-2992.
- [57] Y. Ohashi: Nonmagnetic Impurity Effects on Antiferromagnetic Spin Fluctuations in high-T_c superconductors. Physica C (2001), in press.
- [58] Y. Ohashi: Local Enhancement of Spin Susceptibility around a Nonmagnetic Impurity in the Normal State of High-T_c Superconductors. J. Phys. Soc. Jpn. (2001), in press.
- [59] M. Terao and Y. Ohashi: Possible Mechanism of Semiconductive Temperature Dependence of C-Axis Resistivity in the Normal State of High-T_c Superconductors: Renormalization Effect of Fermi Surface by Antiferromagnetic Spin Fluctuations. J. Phys. Soc. Jpn. **70** (2001) p.233-240.
- [60] Y. Kanegae and Y. Ohashi Stability of π -phase in Supersconductor/Magnet-Multilayered Systems. J. Phys. Soc. Jpn. 投稿中.
- [61] K. Kubo and D. S. Hirashima, "Magnetic Penetration Depth in Quasi-Two-Dimensional Superconductors with Line Nodes.", J. Phys. Soc. Jpn. **69**, 3489 (2000).
- [62] D. S. Hirashima and K. Kubo, "Multiple-spin exchange in a two-dimensional Wigner crystal in a magnetic field.", Phys. Rev. B **63**, 125340 (2001).
- [63] D. S. Hirashima, K. Kubo and M. Katano, "Multiple-spin exchange in a two-dimensional Wigner Crystal", Physica E **10**, 117 (2001).
- [64] D. S. Hirashima, "Magnetism of a Bilayer Wigner Crystal.", J. Phys. Soc. Jpn. **70**, 931 (2001).
- [65] K. Nagai, T. Momoi and K. Kubo, "Magnetic Order in the Double-Exchange Model in Infinite Dimensions", J. Phys. Soc. Phys. **69** (2000) 1837-1844.
- [66] H. Sakamoto, T. Momoi, and K. Kubo, "Ferromagnetism in One-Dimensional Hubbard Model with Orbital Degeneracy", submitted to Phys. Rev. B.

- [67] T. Momoi and K. Totsuka, "Magnetization Plateaus as Insulator-Superfluid Transitions in Quantum Spin Systems", *Phys. Rev. B* **61** (2000) 3231-3234.
- [68] T. Momoi and K. Totsuka, "Magnetization Plateaus in Two-Dimensional Spin Systems", *Physica D* **284-288** (2000) 1461-1462.
- [69] T. Momoi and K. Totsuka, "Magnetization Plateaus of the Shastry-Sutherland lattice: SDW, Superfluid, and Bound States", *Phys. Rev. B* **62** (2000) 15067-15078.
- [70] T. Momoi and K. Totsuka, "Magnetization Plateaus on Two-Dimensional Frustrated Antiferromagnets", *Can. J. Phys.* (2001), in press.
- [71] M. J. Bhaseen, I. I. Kogan, O. A. Soloviev, N. Taniguchi and A. M. Tsvelik, "Towards a Field Theory of the Plateau Transitions in the Integer Quantum Hall Effect", *Nucl. Phys.* **580**, 688 (2000).
- [72] T. Kuwae and N. Taniguchi, "Two-dimensional Non-Hermitian Delocalization Transition as a Probe for the Localization Length", (submitted to *Phys. Rev. Lett.*, 2001).
- [73] T. Arimitsu and N. Arimitsu: Tsallis Statistics and Fully Developed Turbulence. *J. Phys A: Math and Gen.* **33** (2000) L235-L241 [CORRIGENDUM: **34** (2001) 673-674].
- [74] T. Arimitsu and N. Arimitsu: Tsallis 統計に基づく発達乱流の解析 (Analysis of Fully Developed Turbulence based on Tsallis Statistics) [in Japanese]. *ながれ* (Journal of Japan Society of Fluid Mechanics) **19** (2000) 346-349.
- [75] T. Arimitsu and N. Arimitsu: Analysis of Fully Developed Turbulence by a Generalized Statistics. *Prog. Theor. Phys.* **105** (2001) 355-360.
- [76] T. Arimitsu and N. Arimitsu: Tsallis Statistics and Turbulence. *Chaos, Solitons and Fractals* (2001) in press.
- [77] T. Arimitsu and N. Arimitsu: Analysis of Turbulence by Statistics based on Generalized Entropies. *Physica A* (2001) in press.
- [78] A.E. KOBRYN, M.V. TOKARCHUK, Y.A. HUMENYUK. Enskog-Landau kinetic equation for multicomponent mixture. Analytical calculation of transport coefficients. *European Phys. J. B*, 2000, vol. 13, No 3, p. 579-583.
- [79] M.V. TOKARCHUK, A.E. KOBRYN, Y.A. HUMENYUK. Transfer coefficients of dense gaseous mixtures of charged and non-charged particles. *J. Phys. Studies*, 2000, vol. 4, No 1, p. 23-36.
- [80] A.E. KOBRYN, M.V. TOKARCHUK, Y.A. HUMENYUK. Investigation of transfer coefficients for many-component dense systems of neutral and charged hard spheres. *J. Molecular Liquids* (in press).
- [81] M.V. TOKARCHUK, I.P. OMEL'YAN, A.E. KOBRYN. Kinetic equation for liquids with a multistep potential of interaction. Calculation of transport coefficients. *Phys. Rev. E*, 2000, vol. 62, No 6, p. 8021-8036.
- [82] T. Arimitsu and P. Jizba, (will be published) in "Proceedings of the International Symposium on Non-equilibrium and Nonlinear Dynamics in Nuclear and Other Finite Systems", May 21-25, Beijing, China;
- [83] Summer's COSLAB Workshop at Imperial College, London, July 5 - July 10;
- [84] M. Blasone and P. Jizba, in the proceedings of International School of Subnuclear Physics: 37th Course: Basics and Highlights of Fundamental Physics, Erice, Italy, 29 Aug - 7 Sep 1999. (World Scientific, London, 2000), pp.585;
- [85] M. Blasone and P. Jizba, Topological Defects as a condensation in QFT, preprint IC-12-01 (just about finishing, will be submitted to PRD);
- [86] M. Blasone, P. Jizba and G. Vitiello, Dissipation and Quantization, hep-th/0007138 (submitted to PLA);
- [87] M. Blasone and P. Jizba, Bateman's dual system revisited: I. Quantization, geometric phase and relation with the ground-state energy of the linear harmonic oscillator, quant-ph/0102128 (accepted to PRA).

[88] M. Blasone, P. Jizba and G. Vitiello, Current and Charges for Mixed Fields, hep-th/0103087 (submitted to PLA);

< 学位論文 (博士) >

- [1] 北村 直和: “Theoretical Study for Microscopic Mechanisms of carbon Nanotube Growth” (2001) 3 月.
- [2] 小林 (高橋) 英昭: Study of the Effective Interaction and Superfluidity in Two-Dimensional Liquid ^3He . (2000) 10 月、(論文博士)

< 学位論文 (修士) >

- [1] 寺尾 允一: 銅酸化物高温超伝導体の常伝導相における c 軸電気伝導の半導体的振る舞いに関する理論的研究. (2001) 3 月.

< 受賞 >

- [1] 白石 賢二 他 “Universal Theory of Si Oxidation Rate and Importance of Interfacial Si Emission” 応用物理学会 JJAP 論文賞.
- [2] 秋山 亨: “Stability and Vibrational Properties of Multivacancy-Oxygen Complexes in Crystalline Si” 第 25 回半導体物理学国際会議 Young Author Best Paper Award (Osaka, 2000).

< 紀要等 >

- [1] 有光敏彦, 有光直子: 「Tsallis 統計と乱流」九州大学応用力学研究所 研究集会報告 **11ME-S3** (2000) 76-81.
- [2] 遠藤幸夫, 有光敏彦: 「散逸のある Kerr 媒質による光子数の量子非破壊測定」京都大学数理解析研究所講究録 (RIMS Report, Kyoto), **1142** (2000) 154-166.
- [3] T. Arimitsu and N. Arimitsu: 「An Analysis of Fully Developed Turbulence in terms of Tsallis Statistics」物性研究 (2001) in press.
- [4] T. Motoike and T. Arimitsu: 「Chaos and Topology」物性研究 (2001) in press.
- [5] 一般化されたエントロピーによる発達乱流の解析. 第 11 回統計物理学研究会 研究報告集 (2001) 77-89. 有光敏彦, 有光直子.
- [6] 有光敏彦, 有光直子: 「Tsallis 統計と乱流」九州大学応用力学研究所 研究集会報告 (2001) in press.
- [7] T. Arimitsu and N. Arimitsu: 「Analysis of Turbulence by a Statistics based on Generalized Entropy」物性研究 (2001) in press.

< 講演 >

- [1] (招待講演) S. Jeong and A. Oshiyama: “Mechanisms of Epitaxial Growth on Si(100) Surfaces” Asia Pacific Physics Conference, (August 2000, Taipei).
- [2] (基調講演) A. Oshiyama: “First-principles Calculations for Mechanisms of Semiconductor Epitaxial Growth” 13-th Int. Conf. Crystal Growth (Kyoto, 2001).

- [3] (招待講演) K. Shiraishi, N. Oyama, K. Okajima, N. Miyagishima, K. Takeda, H. Yamaguchi, T. Ito, and T. Ohno, "Plastic versus elastic strain relaxation in heteroepitaxy of InAs/GaAs(110)" Workshop at Schloss Ringberg "Growth, electronic and optical properties of low-dimensional semiconductor quantum structures", Rottach-Egern, Germany, 7-10, February, 2001.
- [4] (招待講演) K. Shiraishi, H. Kageshima, and M. Uematsu, "Microscopic mechanism of Si oxidation" 25th International Conference on the Physics of Semiconductors (Osaka, 2000).
- [5] (招待講演) 岡田 晋, 押山 淳, "Si(100) 表面上の Ga 細線による磁性", スーパーコンピューターワークショップ 2000、(岡崎市分子科学研究所)、2000 年 3 月
- [6] S. Okada and A. Oshiyama, "Ga wires on Si (100) surfaces: A possible ferromagnet", 4th Symposium on Atom-scale Surface and Interface Dynamics, March 2000, Tsukuba.
- [7] S. Okada and A. Oshiyama, "Nano-scale ferromagnets on semiconductors: Ga adsorbates on Si (100) surfaces", 25th International Conference on Physics of Semiconductor, (September 2000, Osaka).
- [8] A. Oshiyama, "Microscopic Mechanisms of Boron Diffusion in Crystalline Silicon" 25th Int. Conf. on Physics of Semiconductors (Osaka, 2000).
- [9] A. Oshiyama and S. Jeong, "Modulation of Deep Level Structures in SiO₂ Upon Nitrogen Incorporation" 21th Int. Conf. on Defects in Semiconductors (Giessen, Germany, 2001).
- [10] T. Akiyama and A. Oshiyama, "Stability and Vibrational Properties of Multivacancy-Oxygen Complexes in Crystalline Si" 25th Int. Conf. Physics of Semiconductors (Osaka, 2000) pp1425.
- [11] (招待講演) 岡田 晋, "フラーレン、ナノチューブポリマー相の構造と電子状態", フラーレン科学における新機能探索の現状と展望、(岡崎コンファレンスセンター)、2000 年 11 月.
- [12] 岡田 晋, 伊神 正貫, 中田 恭子, 押山 淳, "グラファイトネットワークにおける表面状態-カーボンからヘテロ系まで", 日本物理学会 2000 年春の分科会、(大阪市, 関西大学)、2000 年 3 月.
- [13] 伊神 正貫, 岡田 晋, 中田 恭子, "フッ素化されたグラファイト表面の構造と電子状態", 日本物理学会 2000 年春の分科会、(大阪市, 関西大学)、2000 年 3 月.
- [14] 岡田 晋, 押山 淳, "BNC ヘテロシートにおける強磁性状態", 第 19 回フラーレン総合シンポジウム、(桐生市市民文化会館)、2000 年 7 月.
- [15] 岡田 晋, 押山 淳, "BN-グラファイト界面における強磁性状態", 日本物理学会第 55 回年会、(新潟大学)、2000 年 9 月.
- [16] S. Okada, Masatsura Igami, Kyoko Nakada, and A. Oshiyama, "Interface localized states on heterojunction of graphitic networks", American Physical Society, March Meeting (March, 2000, Mineapolice).
- [17] (招待講演) S. Okada and A. Oshiyama, "Electronic structure of BNC hexagonal heterosheet: New class of border localized states and ferromagnetism", The 3rd Japan-Korea Joint Workshop on First Principles Electronic Structure Calculations (October, 2000, Tsukuba).
- [18] S. Okada and A. Oshiyama, "Ferromagnetic Ordering on Border States of BNC Heterosheet", 5th Symposium on Atom-scale Surface and Interface Dynamics, (March, 2001, Tokyo).
- [19] 岡田 晋, 斎藤 晋, 押山 淳, 宮本 良之, "C₆₀ 内包ナノチューブのエネルギー論と電子状態", 第 20 回フラーレン総合シンポジウム、(岡崎市分子科学研究所)、2001 年 1 月.
- [20] 岡田 晋, 斎藤 晋, 押山 淳, "C₆₀ 内包ナノチューブのエネルギー論と電子状態", 日本物理学会第 56 回年会、(中央大学多摩校舎)、2001 年 3 月.
- [21] S. Okada, S. Saito, A. Oshiyama, and Y. Miyamoto, "Electronic Structure and Energetics of C₆₀ Encapsulating Carbon Nanotubes", Int. Symposium on Nanonetwork Materials (January, 2001, Kamakura).
- [22] S. Okada, S. Saito, and A. Oshiyama, "Energetics and Electronic Structure of Nanotube-Encapsulating C₆₀", American Physical Society, March Meeting (March, 2001, Seattle).
- [23] Akihito Taguchi, Kenji Shiraishi and Tomonori Ito, "First-principles study of Si incorporation process on GaAs(111)A surface" 11th International Conference on Molecular Beam Epitaxy (2000 年 9 月 10 日-15 日) Beijing

- [24] Tomonori Ito, Kenji Shiraishi and Akihito Taguchi, "A simple approach to structural stability of semiconductors and their interfaces" 11th International Conference on Molecular Beam Epitaxy (2000年9月10日-15日) Beijing
- [25] Norihisa Oyama, Koh Okajima, Eiji Ohta, Kyozauro Takeda, Kenji Shiraishi, Hiroshi Yamaguchi, Tomonori Ito and Takahisa Ohno, "First-principles and STM studies on misfit dislocations generated at InAs/GaAs(110) heterointerface" The 25th International Conference on the Physics of Semiconductors (2000年9月17日-22日) 大阪
- [26] Nori Miyagishima, Koh Okajima, Kyozauro Takeda, Norihisa Oyama, Takahisa Ohno, Kenji Shiraishi and Tomonori Ito "Theoretical study on epitaxial growth of lattice-mismatched semiconductor systems" 25th International Conference on the Physics of Semiconductors (2000年9月17日-22日) 大阪
- [27] Yoshihiro Kangawa and Tomonori Ito, "A new empirical interatomic potential for compound semiconductors and its application to thermodynamic stabilities" 27th International Symposium on Compound Semiconductors (2000年10月2日-5日) Monterey
- [28] Akihito Taguchi, Kenji Shiraishi, Yoshihiro Kangawa and Tomonori Ito, "Theoretical investigations of adatom adsorptions on the As-stabilized GaAs(111)A surface" International Symposium on Surface and Interface Properties of Different Symmetry Crossing-2000 (2000年10月17日-20日) 名古屋
- [29] Yoshihiro Kangawa, Tomonori Ito, Akihito Taguchi, Kenji Shiraishi and Tadashi Ohachi, "A new theoretical approach to adsorption-desorption behavior of Ga on GaAs surfaces" International Symposium on Surface and Interface Properties of Different Symmetry Crossing-2000 (2000年10月17日-20日) 名古屋
- [30] (招待講演) H. Tamura, K. Shiraishi, T. Kimura, and H. Takayanagi, "Artificial Crystals Designed in Semiconductor Dot Arrays" 4th International Workshop on Quantum Functional Devices (QFD 2000), Kanazawa, Japan, 15-17, November, 2000.
- [31] (招待講演) Tomonori Ito, Kenji Shiraishi and Akihito Taguchi, "Quantum mechanical approach for understanding the growth process of semiconductors" The 2000 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (2000年12月14日-12月19日) Honolulu
- [32] (招待講演) Y. Takahashi, Y. Ono, A. Fujiwara, K. Shiraishi, M. Nagase, S. Horiguchi, and K. Murase, "Advanced Techniques for Silicon Single-Electron Devices" International Conference on Experimental Implimentation of Quantum Computation (IQC01), Sydney, Australia, 16-19, January, 2001.
- [33] (招待講演) H. Takayanagi, H. Tamura, K. Shiraishi, and T. Kimura "Design of a semiconductor ferromagnet in artificial crystals" XXXVI Rencontres de Moriond "Electronic Correlations: from meso- to nano-physics", Les Arcs, France, 22-26, January, 2001.
- [34] 宮城島規, 岡島康, 武田京三郎, 小山紀久, 大野隆央, 白石賢二, 伊藤智徳, "半導体格子不整合系でのエピタキシー成長とミスフィット転位" 日本結晶成長学会第31回日本結晶成長国内会議 (2000年7月28日) 名古屋
- [35] 田口明仁, 白石賢二, 伊藤智徳, "GaAs(111)A 面上のエピタキシャル成長過程の理論的検討" 日本結晶成長学会第31回日本結晶成長国内会議 (2000年7月28日) 名古屋
- [36] 小山紀久, 岡島康, 武田京三郎, 白石賢二, 山口浩司, 伊藤智徳, 大野隆央, "InAs/GaAs ヘテロエピタキシーにおけるミスフィット転位形成と成長モードの関係" 2000年秋季第61回応用物理学会学術講演会 (2000年9月6日) 札幌
- [37] 宮城島規, 岡島康, 武田京三郎, 小山紀久, 大野隆央, 白石賢二, 伊藤智徳, "半導体ヘテロエピタキシャル成長におけるミスフィット転位とドット形成の役割" 2000年秋季第61回応用物理学会学術講演会 (2000年9月6日) 札幌
- [38] 伊藤智徳, 寒川義裕, 田口明仁, 白石賢二, "原子間ポテンシャルによる GaAs(111)A 表面上 Ga 原子の安定吸着機構の検討" 2000年秋季第61回応用物理学会学術講演会 (2000年9月6日) 札幌
- [39] 田口明仁, 白石賢二, 伊藤智徳, "GaAs(111)A As 安定化面上における Ga, As 原子吸着の理論的検討" 2000年秋季第61回応用物理学会学術講演会 (2000年9月6日) 札幌
- [40] 寒川義裕, 伊藤智徳, 田口明仁, 白石賢二, 大鉢忠, "GaAs-(411)A および (001)-(4x2) 表面上における吸着 Ga 原子の相対的安定性" 2000年秋季第61回応用物理学会学術講演会 (2000年9月6日) 札幌

- [41] (招待講演) 田村浩之、白石賢二、高柳英明、”量子ドット列を用いた物質設計” 日本物理学会第55回年次大会(2000年9月22日~25日)新潟
- [42] 伊藤智徳、寒川義裕、白石賢二、田口明仁、”Empirical potential-based approach for understanding epitaxial growth of semiconductors” 5th Symposium on Atomic-scale Surface and Interface Dynamics (2001年3月2日)東京
- [43] 白石賢二、岡島康、小山紀久、宮城島規、武田京三郎、白石賢二、伊藤智徳、山口浩司、大野隆央、”Macroscopic and microscopic theories of semiconductor epitaxial growth with misfit-dislocations” 5th Symposium on Atomic-scale Surface and Interface Dynamics (2001年3月2日)東京
- [44] 木村敬、田村博之、白石賢二、高柳英明、”カゴメ型量子ドット列における磁場効果” 日本物理学会第56回年次大会(2001年3月27日)八王子
- [45] 堀口誠二、田村浩之、永瀬雅夫、白石賢二、影島博之、高橋庸夫、”パターン依存酸化を用いて製作したSi SET 解析における実効ポテンシャル法の精度” 2001年春季第47回応用物理学関係連合講演会(2001年3月28日)東京
- [46] 植松真司、影島博之、白石賢二、”界面Si放出モデルに基づくドライとウェット酸化の比較” 2001年春季第47回応用物理学関係連合講演会(2001年3月28日)東京
- [47] 白石賢二、田村博之、木村敬、高柳英明、”量子ドット人工結晶による強磁性体” 2001年春季第47回応用物理学関係連合講演会(2001年3月30日)東京
- [48] 木村敬、田村博之、白石賢二、高柳英明、”カゴメ型量子ドット列における磁性および電気伝導の磁場制御” 2001年春季第47回応用物理学関係連合講演会(2001年3月30日)東京
- [49] 宮城島規、岡島康、信田拓哉、小山紀久、白石賢二、大野隆央、伊藤智徳、武田京三郎、”半導体エピタキシャル成長機構のエネルギー論” 2001年春季第47回応用物理学関係連合講演会(2001年3月31日)東京
- [50] 寒川義裕、伊藤智徳、田口明仁、白石賢二、大鉢忠”GaAs(211)A および(411)A 表面上におけるGa原子の安定吸着位置と相対的安定性” 2001年春季第47回応用物理学関係連合講演会(2001年3月31日)東京
- [51] 大橋洋士: 「Nonmagnetic Impurity Effects on Antiferromagnetic Spin Fluctuations in High- T_c Superconductivity」 13th International Symposium on Superconductivity (ISS2000) 2000年10月 Tokyo.
- [52] 大橋洋士: 「銅酸化物高温超伝導体常伝導相におけるスピン帯磁率に対する非磁性不純物効果」 日本物理学会 2001年3月中央大学.
- [53] 寺尾允一、大橋洋士: 「銅酸化物高温超伝導体におけるc軸伝導率の半導体的振る舞いの理論的研究 II」 日本物理学会 2000年9月新潟大学.
- [54] 鐘ヶ江義晴、大橋洋士: 「原子スケールの超伝導/磁性多層膜における π -phaseの安定性」 日本物理学会 2001年3月中央大学.
- [55] D. S. Hirashima, K Kubo and M. Katano, “Multiple-spin exchange in a two-dimensional Wigner crystal.”, International Conf. on Physics and Application of the Spin-Related Phenomena in Semiconductors, Sendai, Sept. 11-15, 2000.
- [56] 久保勝規、平島大、” Sr_2RuO_4 における磁気侵入長”, 日本物理学会年会、新潟大学、9月22日-25日、2000.
- [57] 久保勝規、平島大、”マンガン酸化物の強磁性相における軌道秩序”, 日本物理学会年会、中央大学、3月27日-30日、2001.
- [58] Harumi Sakamoto, Tsutomu Momoi, and Kenn Kubo, “Ferromagnetism in the 1D Hubbard model with orbital degeneracy”, 22nd Low Temperature Physics Conference (1999, August, Helsinki)
- [59] 長井健太郎、桃井勉、久保健: “無限次元における二重交換模型の相転移と基底状態”、平成11年9月、日本物理学会(岩手大学)
- [60] 坂本晴美、桃井勉、久保健: “2重縮退 Hubbard 模型における強磁性”、平成11年9月、日本物理学会(岩手大学)
- [61] 長井健太郎、久保健、桃井勉: “無限次元二重交換模型における局在スピンの量子効果”、平成12年9月、日本物理学会(新潟大学)

- [62] (招待講演) Kenn Kubo and Tsutomu Momoi, “Magnetic phases in a spin system with multiple-spin exchanges”, 22nd Low Temperature Physics Conference (1999, August, Helsinki)
- [63] 久保 健、桃井 勉: “4 スピン相互作用による 3 角格子 120 度構造の不安定化”, 平成 12 年 9 月、日本物理学会 (新潟大学)
- [64] Kenn Kubo and Tsutomu Momoi, “Classical ground states of a multiple-exchange spin model on the triangular lattice”, American Physical Society March Meeting (2001, March, Seattle)
- [65] 八幡和志、桃井 勉、石本英彦、福山 寛: “Bcc ヘリウム 3 の高磁場秩序相における反強磁性スピン波 (II) ”, 平成 13 年 3 月、日本物理学会 (中央大学) .
- [66] Tsutomu Momoi and Keisuke Totsuka, “Magnetization Plateaus in two-dimensional spin systems”, 22nd Low Temperature Physics Conference (1999, August, Helsinki)
- [67] 戸塚圭介、桃井 勉: “Insulator-conductor 転移としての 2 次元磁化プラトー”, 平成 11 年 9 月、日本物理学会 (岩手大学)
- [68] 戸塚圭介、桃井 勉: “2 次元スピン系の磁化プラトーにおける insulator-conductor 転移描像”, 物性研究会「低次元磁性体に見られる新しい量子現象」、平成 11 年 11 月
- [69] Tsutomu Momoi and Keisuke Totsuka, “Magnetization plateaus as insulator-superfluid transitions in quantum spin systems”, American Physical Society Meeting (2000, March, Minneapolis)
- [70] (招待講演) 戸塚圭介、桃井 勉: “2 次元スピンギャップ系 $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$ の磁性 (理論) ”, 平成 12 年 3 月、日本物理学会
- [71] Tsutomu Momoi and Keisuke Totsuka: “Magnetization Plateaus and bound states of the Shastry-Sutherland model for $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$ ”, Highly Frustrated Magnetism 2000 (2000, June, Tronto)
- [72] (招待講演) Tsutomu Momoi and Keisuke Totsuka: “Magnetization Plateaus in two-dimensional frustrated magnets”, Electron and spin properties of complex materials 2000 (2000, July, Washington DC)
- [73] 桃井 勉: “2 次元量子固体における整合・非整合転移”, 研究会「低次元ヘリウム 3 の新物性」 (平成 12 年、12 月、熱海)
- [74] 桃井 勉: “2 次元整合・非整合転移における量子揺らぎの効果”, 平成 13 年 3 月、日本物理学会 (中央大学)
- [75] 谷口伸彦, 「ランダム行列理論 — メゾスコピック系 周辺の話題」、研究集会「確率論の総合的研究: ランダム行列のその周辺」2000 年 9 月筑波大学.
- [76] 谷口伸彦, “Multifractal local density of states and conformal invariance”, 2001 年 3 月 日本物理学会年会 (中央大学).
- [77] 佐々木実, 吳光日, 磯部義興, 宮崎直樹, 根岸寛, 谷口伸彦, 木村敬, 「1T-TaS₂ におけるモットギャップ内構造形成と局在一超伝導転移」2001 年 3 月日本物理学会年会 (中央大学).
- [78] 宮崎直樹, 佐々木実, 根岸寛, 小矢野幹夫, 谷口伸彦, 木村敬, 「M_xTaS₂ (M: 3d 遷移金属) における特異な輸送現象と磁気転移」2001 年 3 月 日本物理学会年会 (中央大学).
- [79] T. Arimitsu and N. Arimitsu: 「Tsallis Statistics and Turbulence」International Workshop on Classical and Quantum Complexity and Nonextensive Thermodynamics, 2000 年 4 月, University of North Texas at Denton, U.S.A..
- [80] T. Arimitsu and N. Arimitsu: 「Analysis of Fully Developed Turbulence by a Non-Extensive Tsallis Statistics」Ilya Prigogine Center for Statistical Mechanics and Complex Systems, 2000 年 4 月, University of Texas at Austin, U.S.A..
- [81] (招待講演) 有光敏彦: 「ツァリス統計による乱流マルチフラクタルの解析」早稲田大学シンポジウム「複雑系: 理論と新技術 — 人文・社会科学, 工学, 自然科学の交流 — », 2000 年 5 月, 早稲田大学国際会議場 (井深ホール)
- [82] 有光敏彦, 有光直子: 「Analysis of Fully Developed Turbulence by the Non-Extensive Tsallis Statistics」2000 年 5 月, 早稲田大学 大場・中里研セミナー,
- [83] 有光敏彦, 有光直子: 「Analysis of Turbulence by a Statistics based on Non-Extensive Tsallis Entropy」Tsukuba Forum on “Clusters, Fine Particles, and Nanostructures”, 2000 年 6 月, 筑波大学 大学会館

- [84] 有光敏彦, 有光直子: 「Tsallis 統計に基づく発達乱流の解析」日本流体力学会年会 2000, 2000 年 7 月, 京都大学
- [85] 有光直子, 有光敏彦: 「マルチフラクタルと非 Gibbs 統計に基づいた発達乱流の解析 II」日本物理学会 第 55 回年次大会, 2000 年 9 月, 新潟大学
- [86] 本池 巧, 有光敏彦: 「クライシスの幾何学的な解析」日本物理学会 第 55 回年次大会, 2000 年 9 月, 新潟大学
- [87] 印出井 努, 有光敏彦: 「物理ゲルにおける Shear-Thickening 現象の解析 II」日本物理学会 第 55 回年次大会, 2000 年 9 月, 新潟大学
- [88] (招待講演) T. Arimitsu and N. Arimitsu: 「Analysis of Turbulence by a Statistics based on Non-Extensive Entropy」IUPAP International Conference on New Trends in the Fractal Aspects of Complex Systems (FACS 2000), 2000 年 10 月, Universidade Federal de Alagoas, Brazil
- [89] T. Arimitsu and N. Arimitsu: 「What is the Underlying Statistics Describing the Intermittency of Turbulence – Is it of extensive or of Non-Extensive –」Seminaro CMF, 2000 年 11 月, Centro Brasileiro de Pesquisas Fisicas (CBPF), Br azil
- [90] 有光敏彦, 有光直子: 「一般化されたエントロピーに基づく発達乱流の解析」応用力学研究所 研究集会「乱流現象解明における課題と将来展望」, 2000 年 12 月, 九州大学
- [91] (招待講演) T. Arimitsu and N. Arimitsu: 「Analysis of Turbulence by a Statistics based on Generalized Entropy」第 9 回「非平衡系の統計物理」シンポジウム, 2001 年 1 月, 筑波大学
- [92] 有光敏彦, 有光直子: 「一般化されたエントロピーによる発達乱流の解析」日本物理学会 第 56 回年次大会, 2001 年 3 月, 中央大学
- [93] M.V. TOKARCHUK, I.P. OMELIAN, A.E. KOBRYN. Kinetic equation for dense gases and fluids with a multistep potential of interaction. Materials submitted for Proceeding of the 9th Symposium on Non-Equilibrium Statistical Physics, January 9-11, 2001, Tsukuba, Japan.
- [94] P. Jizba, Hydrostatic Pressure of the $O(N)\phi^4$ Theory in the Large N Limit, will be published in the proceedings of the IX Symposium on Non-Equilibrium Statistical Physics, Tsukuba 2001.

< 集中講義 >

- [1] 有光敏彦: 「カオスとトポロジーについて」大学院集中講義, 2000 年 7 月, 中国 東北電力学院