

# 物性研だより

第32卷  
第3号

1992年9月

## 目 次

○ 物性研の30年間	守谷 亨	1
○ 物性研の内と外	菅 滋正	4
○ 物性研の将来計画に参加して	小松原武美	7
○ 第3回物性専門委員会（第15期）議事録		9
短期研究会報告		
○ 「物質科学の将来－物性物理とその隣接分野」		13
世話人	寺倉 清之, 福山 秀敏, 三浦 登, 村田 好正, 八木 健彦	
○ 「パーコレーションの理論と応用」		52
世話人	小田垣 孝, 宮島 佐介, 香取 真理	
物性研究所談話会		85
物性研将来計画討論会開催について		87
物性研創立35周年記念行事のお知らせ		88
物性研ニュース		
○ 東京大学物性研究所 客員部門教授・助教授公募		89
○ 東京大学物性研究所 助手公募		91
○ 1993年度日米科学協力事業「中性子散乱」研究計画の公募		93
○ 平成4年度全学一般教育ゼミナール「物性科学最先端」について		95
世話人	家 泰弘	
○ 人事異動		96
○ テクニカル・レポート 新刊リスト		97
編集後記		

東京大学物性研究所

## 物性研の30年間

守 谷 亨

1. 標記の題目で執筆するよう編集委員からお誘いを受けたとき実は些か戸惑いました。というのは、物性研を卒業してからほぼ1年半を経過し、回顧の方も卒業したつもりでいたからです。しかしながら、現在の最長滞在記録保持者として、やはりお応えすべきではないかと思い直して筆を取ることにしました。

私が物性研に赴任したのは1961年9月のこと、A棟がやっと半分できたところ、また六本木の街は開発以前でした。A棟の南側の窓から外を見ると、遠くに見えるNET（現在のテレビ朝日）の他にコンクリートの建物は見えず、緑豊かな住宅地が広がっていました。地下鉄も、高速道路も、高層ビル群もなく、昼食に外出してもほんの数軒の小さな店があるだけでした。その後の六本木のすさまじい変貌ぶりは御存知のとおりです。この間物性物理学とそれを取り巻く環境もこれに負けずに大きく変化したと思います。ここでは思い付くままにいくつかの話題を取り上げてみたいと思います。

2. 先ず第一に上げたいのは、この30年間のわが国の実験研究の発展ぶりです。創立時の物性研に課せられた任務の一つは、第2次大戦の敗戦後著しく立ち後れていたわが国の実験設備を国際水準に引き上げる為の拠点、そして機関車の役割を果たすことでした。物性グループのこの戦略は、わが国の高度経済成長にも助けられて見事に成功し、1970年代初期には物性研の設備は他に比べてさほど目立たなくなり、第2次計画として極限物性研究計画が構想されることになりました。実際1970年代には世界をリードする実験研究がわが国でも行われるようになりましたし、現在わが国の実験研究は、多くの分野で世界の第一線にあります。創立の頃は実験と理論の協力の必要性が強調され、磁気II、半導体、界面物性という3混成（小）部門が在りましたが（私も磁気II部門に属していました）、実験研究の進展と共にこの問題は解消し、理論家と実験家が広い範囲で甚だ自然に協力するようになりました。以上、30年前と比べてまことに今昔の感があります。

3. 物性理論の研究についても30年間の変貌ぶりには著しいものがあります。永年の懸案であった超伝導の機構が、BCS理論によって解き明かされたのは丁度物性研創立の頃ですが、私が赴任した1960年代初期には金属磁性の問題が一つの焦点となっていました。この課題の短期研究会が一年に3回開かれたこともあります。電子相関をどう取り扱うかが一つの要点で、既に存在していたいわゆるハーバードモデル、s-dモデル、そして新たに加わったアンダーソンモデル等を巡って旺んに研究が行われていたのですから、その意味では現在とよく似ています。但し、低次元系の問題はまだ殆ど取り上げられていませんでした。この方面の先駆者であるF. ダイソンは、自分は低次元系の研究を趣味としており、現実の3次元系の研究のためのウォーミングアップと考えている、と当時の Physics Today に書いています。実験研究の進展によって低次元系が現実のも

のとなつたのはもう少し先のことです。さてこの頃、超伝導の問題が解決して「固体物理は終わった、少なくとも理論家にとって」という外国の偉い先生の発言が紹介され、話題になりましたが、これは本人が固体物理から離れるという意思表示で、額面どおり深刻に受け取った人は余りいなかつたと思います。実際、電子相関に関連した問題一つを取ってみても、遷移金属磁性に関する従来の大問題に加えて、希薄磁性合金の問題が当時強い関心を集めましたし、その後、近藤効果、スピニラギ、金属・絶縁体（モット）転移、混合原子価と重い電子系、更に最近の高温超伝導という具合に、次々に新しい問題が注目を集め、今まで活発な研究が継続しています。そしてこの間の研究内容の変化を見るとやはり今昔の感を深くするものがありますが、ここではその他多くの物性理論の話題と共にこれ以上立ち入らないことにします。

ただ、電算機の目覚ましい発展には触れておきたいと思います。1960年代初期に理論研究室にあったのは現在の一番簡単な電卓よりも遙かに機能の劣る大型リレー計算機（60万円！）で、後に計算機室にPC-2というパラメトロンの計算機が入りましたが、これも現在の関数電卓より能力の低いものだったそうです。この30年間の計算能力の驚異的な進歩を定量的にどう表現すべきかよく判りませんが、最近の、計算物理学（物性研究における新展開）ニュースレターなどを見てても、まさに隔世の感を禁じ得ません。物性物理の分野でも今後コンピュータを活用した画期的な成果を期待できることでしょう。

4. 研究者と論文の数の著しい増大（2桁？）もこの30年間の大きな変化です。少なくとも世界中で出版されている論文の数は未だに増大している模様で、研究結果の情報伝達に問題が生じています。自分の専門に関係した論文ですら全てに眼を通すことは不可能とされ、重要な論文の引用洩れを恥としない風潮が見られます。そしてJ. P. S. J. やProgressのサーキュレーションが30年前より相対的に悪くなっているように見えるのは残念なことです。1960年代にはJ. P. S. J. やProgressに論文を発表しておけば、海外でも読まれているという安心感がありました。この情報伝達の混乱の傾向は無数に開かれる国際会議でかえって増幅され、情報交換のために研究者が忙しく飛び回り、プロシーディングスのために殆ど同一内容の論文を沢山書くという悪循環になっています。今や研究結果を効率良く伝える新しい方式が必要なことは確かでしょう。

一方、これとは逆の傾向として、世の中の人手不足が物理学の世界にも反映して来る恐れがあり、後継者の確保は今後の大問題になりそうです。自然科学の教育においては、大学院重視と共に高校からの教育を一貫して充実させることが大切ではないかと思います。

5. 昨年エディンバラで開かれた磁気国際会議（ICM'91）の日本人出席者の数は主催国のそれを上回りました。国際化のかけ声の下に、多くの人々が海外へ出かけ、また数においてはこれに及びませんが、外国からのお客もたくさん訪れるようになりました。この30年間の国際交流は人数において2桁の伸びを示しています。これに伴って研究者の欧米コンプレックスも、特に若い世代において、低下しているのは心強いことです。ところで、いかに国際交流が盛んになっても研究の

本拠地は常に重要な意味を持ち、そこで個性豊かな研究を行い、内外の研究成果に対して自らの適正な評価を示す（外国の評判に過度に頼らない）ことが国際化の出発点であろうと思います。現在の混乱した国際情勢を見るに付けてもこのことを痛感します。国際化と言う言葉はわが国特有のキャッチフレーズだという指摘もありますが、今後の健全な国際交流の発展を期待したいと思います。

6. この30年間の世の中の変化を考えれば、物性研究所の全国共同利用研としての在り方も当然変わるべきもので、将来計画を進めるに当たっては、従来の経緯や習慣に余りこだわらず、新しい時代に即した物性科学の共同利用研の在り方を検討することが肝要です。中性子や放射光のような大型施設の運営は共同利用研の任務でありましょうが、物性研究の特徴は、大小様々な測定手段を駆使して多角的に研究を進めることにあり、その意味では、大型施設も一研究手段に過ぎないという、他の分野、特にビッグサイエンスとは異なる点を共同利用の面でも強調する必要があります。単に大型施設の共同利用を進めるだけでなく、新しい時代の物性科学の総合研究所として、研究者及び研究情報の交流センターの機能を大幅に強化し、物性研究者の拠点としての役割を果たすべく、研究者、特に若い世代、のコンセンサスの下に発展することを期待します。

7. さて30年間物性研で過ごした私自身のことですが、サイエンスに関するることは退官記念講演でお話しましたし、物理学会誌5月号に関連記事が掲載されておりますので、ここでは触れません。振り返ってみれば、いろいろな意味で大変恵まれた環境で過ごした歳月であったと思います。但し最後の4年間は研究所長を仰せつかり、大学院改革、キャンパス移転問題、将来計画等で所員の皆様と共に悪戦苦闘？することになりました。国や大学の行政との接点では、物理とは全く異なる次元の思考が要求されます。移転問題では特に六本木キャンパスの異常地価をめぐる学内外の思惑が問題を異常に複雑なものにしました。また大学全体として来たるべき将来に備えるための長期キャンパス構想と、現実に対応を迫られている研究所の移転・将来計画の策定という、時間スケールの異なる二つの問題を調和させることの難しさも、この問題を複雑なものにしました。学術が巨大な広がりをもってそれぞれの分野で急速に進展している現代においては、大学内の性格の異なる諸分野、または部局活動、それぞれの円滑な発展を計ることが強く望されます。その意味で、大学としてのきめ細かい配慮に期待したいと思います。

最後に30年間研究の上、その他、で大変お世話になった物性研内外の沢山の方々、そして所長時代にご協力戴いた多くの所員の方々に感謝の意を表すると共に、引き続きよろしくお願ひして筆をおくことに致します。

## 物性研の内と外

大阪大学基礎工 菅 滋 正

早いもので物性研から大阪大学に移ってもうすぐ2年9ヶ月になる。物性研だよりの原稿依頼を引き受けてからも1年にもなるが不測の事態で学内で居室を転々とせざるを得ない状況下でとても余裕が無かったというのが実情である。

物性研には13年と7ヶ月間在籍させていただいた事になる。1976年着任時の所員で残っておられる方はわずかに4所員のみであることに今さらながら驚きを覚える。マックスプランク固体研究所、D E S Y と研究生活を送り帰国したばかりの当時最も若かった所員の眼には、芳田所長をはじめとする年輩の先生方の所員会における発言の重みがひしひしと感じられた。当時は物性研S O Rつまり軌道放射物性研究施設の専任所員は一人という状況であった（現在は部門も含めて4所員）。そこで施設の置かれている田無の東大原子核研究所のいろいろな委員会の委員をやらされた。核研では物性研とは対照的に全員参加型の議論が沸騰する事がしばしばであった。物性研と核研という共に東大の附置研究所でありながら運営の仕方だけでなく、その置かれた環境の全く異なる2研究所に身を置いたのは今考えても貴重な経験である。

着任後2、3年して三浦、石本、黒田所員らとはかり“若手所員の会”をスタートさせた。これは意外なことに物性研の研究室制度では研究室間の壁が厚く、特に若い所員や研究室にとって、横の協力関係が必要と考えたからである。スタート当初、若手の定義を40才を目安と考えた。これは所員の1/3に相当した。若手から見た将来計画、定員の最適配置などについて、企画委員会メンバーのシニア所員とは少し視点を変えた議論は実り多かった。さらに昼食を共にしながら順に各所員の研究紹介を持回りで話す機会ともなりこの会は長い間盛会であった。

大学の学部や大学院と異なり共同利用研の活性を維持するのは助手であり所員である。中でも研究所の将来に責任を負うという点で若手所員に期待される所が大である。だからこそ学問それ自身においても、また将来それぞれの物性科学の分野の代弁者であるという立場に期待される指導力においても大いに研鑽を積んでいただきたいものである。それが出来る場として物性研を考える時、これが固定したスタッフで占められる事は好ましくなく、かつてそうであったし現在もそうであるように出来るだけ多くの所員の流動が続く事が望まれる。この事は先に述べた研究所の将来へ責任を負うということと矛盾しているのではないかとの御指摘もある。しかし何も内部でなければ文字通り責任がとれないという訳ではなく、共同利用研の場合には外に出ていろいろな委員会や研究会等を通しての発言の機会もあり側面から研究所を支えるという事が可能である。

物性研に着任して3年ほどたってS O R - R I N G の運転と共同利用が軌道に乗ったので、大学院生を受け入れ指導する事とした。かつて在学した東大大学院工学系研究科物理工学専門課程を受け入れを打診したが三浦、竹内所員分以上に物性研に院生をまわすのは難しいとの事であった。そ

ここで理学系研究科物理学専門課程担当という事で院生を募集する事とした。菅研第一回生は辛氏（現物性研）であった。当時の施設は現在と違って専任スタッフは私と加速器担当の助手の北村氏（現高工研）のみであり、加速器の維持、性能向上、測定器立上げ、共同利用等々と、客員部門の多大な協力を仰いでもなお人手が無く、物性研究らしい研究はそれ迄は困難であった。辛氏とは殆どゼロからのスタートであったが、施設長（併）神前教授の支援もありM 2の頃にはデータを取る所までこぎつける事ができた。遷移金属ハライド、ペロブスカイトの3 p内殻吸収では静岡大山口豪氏との共同研究で大いに理論も勉強させていただいた。理学系研究科からはDrコースより坂本氏（現都立大）を受け入れ層状物質の光電子分光を行った。この頃には測定器には谷口助手（現広島大）、加速器には磯山助手（現分子研）とスタッフも入れかわり仕事も軌道に乗ってきた。特に谷口氏は半導体の光電子分光に並々ならぬ意欲を示し、当時神前研の院生だった井上氏（現大阪大産研）や施設教務職員であった藤沢氏、三国氏（現高工研）を含めた所内共同研究が花開いた。

また放射光ユーザー層の拡大という事で所外との共同研究を積極的に受け入れた。当時無機材研の藤森氏（現東大）、広島大の井上氏のグループ、東大の田中、北沢、内田氏のグループや国府田、十倉氏のグループ、さらに堂山、山本氏のグループなどである。現在これらのグループの活躍を見るにつけ、我々が共同利用研で果たした役割の足跡を見る思いがしている。兎に角少ないスタッフで共同利用の施設利用の世話も、共同研究も、さらに我々独自の研究もバランスを取ってやってこられたのは人の和があったからこそその思いが強い。いろいろなユーザーと接する事で私自身もそして多分スタッフ、院生の多くの人々も外では得難い人生勉強ができたと思う。

その後、物性研全体の所員構成が急激に変わる時期を迎える、所の大学院生定員の一部を概算要求により工学系研究科にまわすことにより物理工学専門課程から院生をとる事とした。この一回生（通算3人目の院生が山本氏（現日本総研）、続いて生天目氏（現東大理）、小川氏（現日立基礎研）、松原氏（現住友電工）と計6人の院生と研究を共にした。他に東理大の修士の野原氏も研究に参加した。研究の方向は次第に強相関電子系に向け、共鳴光電子分光や逆光電子分光などに力を入れた。この頃、石井施設長の尽力でビームライン計画が概算要求通り高エネルギー研フォトンファクトリーに2本の基幹チャネルと3つの実験ステーションの建設がスタートした。スタッフはこの建設計画に専念することになった。院生については研究者として扱う方針であったので修論、博論を考えて図面引きの段階での参加は見合せた。講義は本郷で、実験は田無で、建設は筑波でというのでは院生には負担が大き過ぎると判断してもいた（実際には私の場合にはこれに六本木の会議が加わっていたが）。25年前大学院に入ったばかりの時、恩師国府田隆夫先生より大学院生は一人前の研究者として扱うと言われた衝撃は今もって忘れられない。先生は研究（勉強）熱心であり、常に院生より一步先を歩きながら院生のやる気を引き出す最良の教育者であった。とても先生のレベルには達せないまでも、院生を大切にかつ厳しく指導する事を心がけてきた。気力が続く限りこの方針でやって行きたいと思っていた。その結果についてはいずれ総括する時も来よう。

2年半の滞独生活を除いて19年半の研究生活を東大で送り、その後阪大基礎工に3年弱居ることになるが、学部もまた樂しからずやである。まず講座当り毎年院生が4人ずつ、4年生が5～6人ずつ配属される。秋の大学院入試迄には歓迎コンパ、物性スポーツ大会、研究室夏季合宿などで素姓も明らかとなるので殆ど全員秋からは眼を輝かせて卒業研究にとりかかる。物性研在職中は優秀な助手候補者の推薦はありがたかった。今度は優秀な院生を育てて全国共同利用研の公募に送りたいと思う。最近3K嫌いの院生が全国的に増えていると言われているが、我が研究室からは3Kといえでも我れ行かんという院生を出したいものである。優秀な院生を取り能力を磨く東大型の指導では無く、成績は優秀ではなかったとしても情熱のある院生を取り、隠れた才能があるならばそれを引き出す指導をする事も教育者としての生き甲斐である。正直言って今のところ後者の生きざまを楽しんでいる所である。さて物性研の大学院制度はどうされるのであろうか？先端の装置を使って若手を教育し社会に送り出す事が主眼なのだろうか次世代の研究者の要請が主眼なのだろうか？独立専攻大学院を作るのかどうか？これらの問題は将来計画との関係でしか論じられまいがケーススタディはやるべき時期にあるように思われる。

今、物性研の将来計画が正念場にさしかかっているらしい。土地問題という困難な課題をかかえながらも数年にわたる議論の後に最終に近い案をまとめられた関係者の熱意に深く敬意を表したい。おそらくはこの規模の概算要求にとってこれで一段落という訳では無く、むしろ始まりに過ぎないと考えた方がよさそうである。その意味では全所員が一丸となって今後この計画の推進に向かって欲しいと思う。土地取得から建設、移転まで十年を下らないであろう歳月を研究と建設の二本立てで走るには全所員、職員が全力投球するしか方法は無いのではあるまいか。外の研究者が気持ち良く建設に協力出来る体制と雰囲気を作ることもこの概算要求の成功のためににはまた欠かすことができないであろう。この意味では物性研共同利用のありかたを見直すとしても将来計画実現時まで無理なく接続できる形態を慎重に選んでいただきたいと願っている。この将来計画の提案は物性研が今後とも我が国の物性研究のセンターとしての役割を果たし続けるとの決意の表明である。五十代、四十代、三十代の所員それぞれに将来計画への思いは異なるであろうが、世代を越えたそして個々の分野を越えた連帯感を共有できるかどうかが成否の鍵ではあるまいか。所員会、若手所員の会等々で大いに内容のある議論を進めていただきたいものである。

学部が夏季休暇に入った時筆をとり始めた。しかし今年の夏は多忙であった。今、盆を迎約束の締切日が来てしまった。やむなく乱筆乱文になった事を編集委員ならびに読者にお詫びしたい。

## 物性研の将来計画に参加して

東北大 理 小松原 武 美

全国共同利用研の物性研が都心の六本木から移転せざるを得ないことが囁かれて久しいが、現実味を帯びたのは東大の理学院構想が発足した昨年の秋頃であった。研究計画、人事体制、大学院教育や共同利用制度等昨今の動向に対し、物性研が共同利用研として「改革」されてほしいとの意見が多い。「されてほしい」とは他力本願的な言い方だが、物性研には東大の附置所としての自治権があり、物性研のあり方に対する外部の意見の壁となり得たのである。附置研的色彩が濃くなつた物性研に見切りを付け、21世紀に向けて東大以外に共同利用研を新設し、最先端の物性研究ができる所をもつた方がよいとの意見もあって、札幌の学会の時意見の交換があった。しかし、文部予算の現状から、共同利用研の新設の早期実現は無理であろうし、当面物性研を中心に全国共同利用の活性化を謀るのが現実的との意見が多く、所外の意見を反映させたいとの要請が入れられ、同所の将来計画委員会に外部委員として参加する機会を得た。

物性研の設立に至る経緯とその後の足跡の是非については多くの意見があり、その背景で物性研の将来計画を議論すべきであったが、概算要求の時期との兼ね合いもあり、各論的対応になった。主に意見を求められたのは、移転先、研究体制の再編成、人事登用、共同利用体制、大学院生等の後継者の育成等であった。

移転先については、東大の附置研としての立地条件と現実に研究できる広さの土地が必要であり、柏地区が候補地になりつつある。共同利用研が首都圏にある必要はないが、物性研に併設されることを前提とするなら選択は限られる。首都圏内の日帰り利用者には便利度は移動距離に反比例するが、研究所が点と見做せる遠方の共同利用者には、宿泊施設が完備されていれば柏でも、北海道の千歳でも問題はない。直轄研を志向するなら、交通の便だけで場所は関係ない。

研究体制については、各分野の研究者から集めたアンケートを参考にし、現在の5部門制から10研究センター制へ衣替えした計画が立案されている。当然のことながら、固体物性を網羅した広い分野に跨がっているが、物性評価部門を大幅に充実した計画である。基本的には物質開発面も充実されているが、共同利用の受益者的立場で見ると、限られた出張期間で計測研究は目的を達成できても、試行錯誤の結果が実となる場合が多い物質探索では、出先で短期間に研究した成功例は少ない。物質探索は国分寺構想がいい。棒ほど願って針ほど叶うのが予算折衝の常ならいざ知らず、膨大な建設、研究維持、管理費を必要とする研究計画であり、文部予算を鍋料理に例えるなら、他大学が箸もつつけない計画とならないよう期待したい。人員配置も、定員増なしに全商品を捌くのは無理である。他大学が既に実績を挙げている分野と物性研の守備範囲を明確にした目玉或いは特徴あるプロジェクト計画とか、中性子回折や軌道放射光施設等巨大施設を必要とする研究を中心に

した共同利用研への発展が説得力ある構想に思える。

人事問題については、物性研で培った最先端科学技術と頭脳を全国に浸透させることが、物性研究のピーク峰を際立たせると共に国内の水準を押し上げることになるとして、物性研との人事が円滑に交流されることが歓迎されていた。しかし、附置研的色彩が濃くなった昨今、内部昇格が多くなり、人事交流が硬直化していると指摘されている。これは偏に物性研だけの問題ではない。転勤が経済的に利せず、子弟の転校教育にも由としない？リフレッシュする風潮が日本の風土にないのか？研究者が保身的なのか？物性研の所員には任期がないが、助手には5年の任期がある。5年後の転出と他大学からの助手の採用が人事交流の公式ルートである。所員は所の将来計画を担うこともあるって、近未来に転出を目した研究生活を強いるのは酷であろう。所長は、私見として、所員の一部又はプロジェクト研究に期限制度を設けることは是非について述べられたが、硬直化のカンフル剤になることを期待したい。

共同利用体制は外部利用者の最も関心のあるところであるが、他大学の研究施設が拡充しつつある現状を認識し、何でも彼でも物性研の一極集中化した計画より、国分寺構想或いは拠点大学の研究施設を活用すべきとの指摘があり、従来の権利義務関係の施設利用から共同研究体制への脱皮も一つの方向であろう。

大学院生等の後継者の育成は、物性研に限らず研究教育者の確保の面からも重要な問題である。物性研が他大学並みに大学院の教育に関わるより、ポスドク級の或いは助手制度を廃止した（助）教授制度からの任用を志向した研修期間を設け、高度の研究者を育成してはとの提案もあった。しかし、若手研究者が民間企業に流出している現状では、絵に描いた餅になりそうで、学卒からの教育に積極的に携わることを奨めたい。しかし、学部生をもたないで入院生を他大学に委ねると、近隣の大学に多大の影響を及ぼす問題は派生する。

外部委員として参加して半年余り、物性研の計画が煮詰まったわけでもない。拠点大学構想、大学院再編成構想等、各大学の研究機関としての将来計画の策定に大忙しで、他大学のことまで手は回らないとは思うが、真に開かれた共同利用研の物性研の再出発の将来計画に多くの意見が反映されることを願いたい。

## 第3回物性専門委員会（第15期）議事録

1992年5月20日（木） 13:35～16:55

出席者 安藤 恒也, 石井武比古, 遠藤 康夫, 興地 斐男, 勝木 渥,  
川崎 恭治, 川村 清, 小林 俊一, 国府田隆夫, 近 桂一郎,  
竹内 伸, 張 紀久夫, 長岡 洋介, 中嶋 貞雄, 守谷 亨

[前回議事録の承認] 前回（第2回）議事録を一部字句修正のうえ承認した。

[新委員の紹介] 金森順次郎氏の辞任による後任として、前回就任依頼を決めた近桂一郎氏の紹介があった。

### [報告]

#### 1. 学術会議（中嶋）

- 2国間交流というものがかねてから実施されてきたが、本年度は相手国を米国一国にしづり、ワシントンDC、ヒューストン宇宙基地、ダラスSSCを訪問する計画が決まった。中嶋が4部の部会長としていくことになったが、ご希望があれば承っておきたい。
- ソ連科学者支援問題については、宅間宏氏が学術会議代表としてソ連に派遣され、モスクワを中心に研究機関を訪問し実情を調査してきた。
- 天文研連主催の公開シンポジウム「国際化時代の科学」を物研連も共催することにした。

#### 2. 物性グループ（長岡）

- 3月末の慶應における物理学会年会に際して物性委員会を開き物性研将来計画等について審議した。そのとき、物性委員会主催で5月22日に物性研将来計画問題懇談会を開くことを決めた。
- 現在物性グループの名簿を作成中である。
- 百人委員を送り出していく研究グループは事務局報を受け取るということだけの関係になるので、百人委員会に代えて、各研究グループからの代議員による委員会を作つはどうかということを検討中で、近く百人委員の意見を聴きたい。
- 以上の報告を了承したが、代議員制については、選挙を経ない代議員に代表者としての自覚をもってもらえるだろうかということも考えられるので、慎重にして欲しいという意見も出た。

#### 3. 物性研究所報告（竹内）

- 人事について  
昨年度3名の新所員が着任し、今年度はこれまでに助教授2名が着任した。客員部門は滞在期間半年の客員4名が決まった。また、2名の退職者と1名の転職者があった。

○ 柏キャンパスについて

東大内部では、柏キャンパス計画委員会においてキャンパス計画が検討され、さらに全面移転することが構想されている物性研究所、宇宙線研究所、また、一部移転を構想されているいくつかの部局の要望をまとめる作業が東京大学キャンパス計画室で進められることになった。柏キャンパス取得の手続きとしては、1) 留保地解除の申請、2) キャンパス取得の概算要求の2段階があり、そのための「東京大学キャンパス計画の概要」の承認を6月の評議会で行う予定である。

○ 物性研究所将来計画について

昨年秋から外部の3委員も加わり討議を行い、将来計画中間報告をまとめた。柏キャンパスへの移転を想定し、10のセンター群からなる新しい組織計画が盛り込まれるなど、前回より内容が詳細にわたっている。これは冊子にして、所外にも公表する。（議事5参照）

4. 基研報告（長岡）

- 4件の人事があった。また2名の所員を公募中である。
- 北白川と宇治に分かれている建物を統合しなくては理論研との合併の意味が半減するので概算要求を出したが、実現しなかった。来年度も出したいのでご協力をお願いする。（議事3参照）
- 大学院関係

とくに宇宙関係の後継者養成をしたい。現在は理学研究科の協力専攻だが、共同利用研としての独立専攻にするよう研究部員会からも要請されている。京大としては重点大学院化の話が進んでいるが、基研は従来型の大学院にしたい。

5. K E K S Rについて（石井）

- TRISTAN ringのSRへの転用のためのMR推進室ができ、教授3名助教授1名を決め準備が進行中。KEKSRの中に理論の研究室を作ることになり、現在人事選考中である。現場では磁石を高真空中に組み込んだウィグラーが開発され、SRを使ったMoessbauerの測定に成功した。

[議事]

1. 将来計画WGについて

これまで二つのWGが設置され委員長は決まっていたが、委員が決まっていなかったので、両WG委員長から以下の委員が推薦された。

物性将来計画WG 川村 清、小林 俊一、小松原 武美、安岡 弘志、深井 有  
大型計画WG 石井 武比古、遠藤 康夫、川村 清、小松原 武美

これについて、固体物理偏重ではないか、国分寺計画を受けて議論するには地方の委員が少なすぎないか、関西SRの共同利用の問題も生じるだろうからそれに対応できるように追加する必要がないか、等の意見が出され、上記委員を現段階では一応承認し、それらの意見を参考に両WG委員長において必要な修正をする事となった。

## 2. 物性研究所協議会委員の選出

無記名投票の結果次の5名を選出し、翌日の物研連本会議に推薦することになった。

興地 斐男、小林 俊一、遠藤 康夫、川村 清、張 紀久夫

## 3. 基研改築の促進に関する要望書について

- 長岡委員より次のような発言があった。「旧基研と旧広大理論研との合併によって、理論だけの研究所としては大型の10部門の研究所になったが、現在のように2ヶ所に分かれているは、統合の実が上がらない。学内的には1ヶ所に統合することの了解が得られ、平成4年度の概算要求を出したが認められなかった。一大学の一研究所の問題とも言えるが、湯川氏のノーベル賞授賞を契機に学術会議の支援のもとに作られた最初の共同利用研究所でもあり、学術会議から関係各方面へ要望書を出していただきたい。」
- 以上の発言に対して、要望書の文面および諸手続きに関するコメントが出た後、翌日の本会議に提案すること、要望書の文案については長岡委員が学術会議の関係方面と打ち合わせて作成することを一任することを決めた。

## 4. 大学共同利用機関の公私立大学大学院学生からの授業料の徴収について

- 川村委員より、次のような発言があり意見を交わした。「大学共同利用機関が大学院学生を受託学生として受け入れる場合、国立大学からの院生は無料で受け入れるが、公私立大学の院生からは授業料を徴収することになった。大学共同利用機関は国立大学と公私立大学に対して平等に門戸を開くべきであり、このような事態を早急に改善すべく物研連本会議に議論を要請したい。」

これに対し、以下のような意見が出た。

- 学生本人に授業料を請求するのは論外であるが、その大学に受託料を請求するべきではないか。
- 国立大学の院生の場合、授業料を当該大学で支払っており、それが国庫に納付されているのだから國への2重の支払をしなくてもよいという意味だろう。
- 研究所側でも、優秀な学生をあちこちの大学から受け入れることにメリットがあるはずで、学生側を受益者と一方的にみなすべきではない。
- 以上のような意見が出た後、問題提起という意味で翌日の物研連本会議で発言することを了承した。

## 5. 物性研将来計画について

- 竹内所長から次のような追加発言があった後、審議に移った。

「物理学会年会の際東京地区の私大関係者の会合に招かれ、将来計画について意見を交わした。その後、所員に負担をかけない方法で引き続き施設利用を続けさせて欲しいということを中心に記した要望書を受けた。また、物性委員会では、大型施設を物性研が持つのは管理運営上負担が多いすぎないかとの批判もあった。しかし、日本のSRは物性研で始まったという歴史がある、田無の施設は移転しなければならない。高輝度光源のユーザーは物性研究者が主体である、物性研

内部からもオン・サイトにあって欲しいという要望がある、という理由により、SORも将来計画に乗せてある。」

- 「今後受け身の施設利用を減らし、物性研主導の共同研究にウェートを移す」という中間報告案中の文言について、現状では施設利用も増えているのでそれを削ることには慎重でなくてはならない。
- 所員主導という意味でなく、各センターが共同研究を提案するというなら賛成である。
- すべての分野について施設利用を減らすのではなく、SOR、中性子は今後とも施設利用が中心となる。また、試料評価などの共通施設についてはむしろ施設利用の便を積極的に考慮することとしている。
- 物性資料室が移転に際してなくなってしまわないか。
- 極限物性は大事だが、共同利用研のユーザーを誘い込むようなものでなくてはならない。長い目でみると、ユーザーを誘い込むためには施設利用は大切である。
- 先端性、総合性、国際性ということを掲げているが、先端性は総合性を損なうこともある。  
—— センター間を結ぶ研究企画委員会が機能すれば両立すると思う。
- 東大は大学院重点化構想に則って柏キャンパス移転を打ち出しているようだが、物性研・宇宙線研はこの構想に沿って移転するとは思えない。柏移転の必要性に東大における基礎研究の充実を書き込んでおく必要はないか。  
—— 基礎研究充実はもちろん東大の文章に盛り込まれている。
- 大型施設についてはハードはよいが、ソフトを大学が抱え込んだときにいろいろな問題が出る。異質なもののが存在が他のものの障害とならなければよいが。

以上

## 物性研短期研究会報告

### 「物質科学の将来ー物性物理とその隣接分野」

世話人 寺 倉 清 之（代表）  
福 山 秀 敏  
三 浦 登  
村 田 好 正  
八 木 健 彦

上記研究会が6月9日(火)、10日(水)の1日半にわたり物性研究所で行われた。

物性物理は広く物質科学の基礎分野に関わるものとして位置づけられてきた。物質科学全体の絶えざる拡大と物性物理のカバーする領域の拡大とが相まって、物性物理はその隣接する分野との関係をますます緊密にしつつある。従って、物性物理の将来を語るには、物質科学全体の広がりを正しく認識することが肝要である。物性物理の将来をその隣接する分野から眺めることは、物性物理に新たなる研究のモティベーションを誘起すると共に、物質科学の包括的発展の道を拓くものと期待される。

本研究会はこうした考え方に基づいて企画されたものであり、物性物理とその隣接分野の協力と競合による新しい研究の方向を探ることを目的としている。

今回の研究会は物性研短期研究会としては異色のものであり、有意義な研究会として成り立つかどうかに一抹の不安があったが、具体的なプログラム作成の段階では既に非常に魅力あるものとなることを疑わなかった。実際、研究会がスタートしてみると、各講演者の方々の熱のこもった興味深い話しが続き、また、日頃は聞くことができないような話題に触れることができ、参加者の間では大変好評であった。講師の先生方は皆、大変お忙しい方々ばかりであったのに、よく準備されたお話しをしていただけたことに心から感謝する次第です。

以下にプログラムと各講演の要旨を記載する。ただし、ここでも今回は多少異色であり、2、3の講演については要旨というよりは解説記事を載せさせていただく。お忙しい方ばかりであったために、要旨が期日までにいただけなくて、止むを得ず載せていないものもあることをお断りしておく。また、国府田先生には特にお願いして、今回の研究会の印象記を書いていただきたい。松井先生の講演要旨と国府田先生の印象記には、「物性研に対する印象」ともいるべきものが含まれていることを敢えてつけ加えさせていただく。

なお、今回の研究会の内容をより正確に伝えるために各講演者にお願いして、関連の解説記事などをいただいたので、御要望に応じ、まとめたものをお配りできるようにしたいと考えている。御希望の方は寺倉迄御連絡いただきたい。

プログラム

日 時 : 平成4年6月9日 (13:20 — 17:50)

10日 (9:30 — 17:20)

場 所 : 東京大学物性研究所Q棟講義室

6月9日(火)

13:20-13:30 はじめに

13:30-14:10 有機物と無機物との境界領域における興味ある固体物性 加藤礼三(物性研)

14:10-14:50 物質設計と物性研究

坂東尚周(京大化研)

14:50-15:30 理学研究としての脳科学

坂本 元(電総研)

15:30-15:50 休憩

15:50-16:30 Complex Fluids-A New Dimension of Condensed Matter Physics

土井正男(名大工)

16:30-17:10 星間化学の現状と問題点 一特に星間塵に関連して—

斎藤修二(分子研)

17:10-17:50 極限条件実験室としての地球惑星vs地球惑星解明のための物性物理

—地球中心核の鉄の物性を例に—

熊澤峰夫(東大理)

6月10日(水)

9:30-10:10 中性子星と高密度核物質の諸相

玉垣良三(京大理)

10:10-10:50 素粒子・原子核と物性科学

山崎敏光(東大核研)

10:50-11:10 休憩

11:10-11:50 メソスコピックエレクトロニクスを支える材料科学

生駒俊明(東大生研)

11:50-12:30 固体電池と物性研究

工藤徹一(東大生研)

12:30-14:00 昼食

14:00-14:40 超高速・超並列光信号処理と新光物性

神谷武志(東大工)

14:40-15:20 液晶形成における官能基の役割

—分子形状は棒状、円盤状に限定されないこと—

松永義夫(熊本大理)

15:20-15:40 休憩

15:40-16:20 「一利用者としてみた共同研究所」(1972)から20年

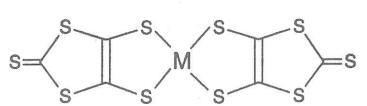
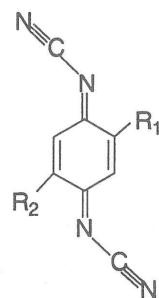
松井義人(岡山大)

16:20-17:20 free discussion

## 有機物と無機物との境界領域における興味ある固体物性

東大物性研 加藤 礼三

従来の物性物理の研究対象は無機物質が中心であったが、新物質から新しい物性現象（あるいは概念）を見出そうという意識に対応して、最近は有機物質に対する関心も高まりつつあるようである。しかしながら、「無機物的でないもの即有機物」ではない。有機物と無機物との境界領域には両者の性質が混在あるいは融合した化合物群が存在し、各々がユニークな固体物性（ここでは主に電気伝導現象をとりあげる）を示すことが知られている。それらの例として、①1,2-ジチオレン金属錯体M(dmit)<sub>2</sub>系と、② DCNQI-Cu系について説明する。これら二つの系の共通の特徴の一つは、「1次元的性格の強い電子構造を持つにもかかわらず金属状態を安定に保つ系がしばしば見られる」点にある。伝導現象の観点から見れば、有機物的性格を演出しているのはp<sub>π</sub>電子であり、一方無機物的性格はd（あるいはf）電子に依存している場合が多い。

M(dmit)<sub>2</sub> (M=Ni, Pd, Pt)R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>-DCNQI

1,2-ジチオレン金属錯体M(dmit)<sub>2</sub>は、πアクセプターとして働き（もっとも最近はドナーとして働くものも知られている）、伝導バンドを形成する分子軌道は配位子のp<sub>π</sub>軌道と中心金属のd軌道とからなる。現在6種類の超伝導体が知られている（いずれも圧力下で超伝導転移が起こる）。結晶内では、カラム構造をとる場合が多く、LUMOが電気伝導を担っている場合、カラム間の相互作用は比較的弱い。したがって、そのカラムのつくるバンドは1次元性が強い。しかし、単位格子に複数個のカラムがあるために複数の平面フェルミ面（の対）が存在し、单一の波数ベクトルではnestingが起こらないような電子構造となっている。

πアクセプターDCNQIの混合原子価銅錯体(R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>-DCNQI)<sub>2</sub>Cu (Cu<sup>+</sup> : Cu<sup>2+</sup> = 2 : 1)では、(1次元カラムを形成する)有機分子のp<sub>π</sub>伝導電子と(その1次元カラムを配

位結合を介して連結している) 銅の 3 d 軌道とが相互作用して、同様に複数の平面フェルミ面が存在する電子構造を持つと考えられる。この場合、銅の配位四面体の歪みによる d 準位の分裂が、電子構造に大きな影響を及ぼす。電気抵抗の温度依存性は、同じ結晶構造をとるにもかかわらず、置換基 R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> によって大きく異なり二つのグループに分類される。グループ 1 は極低温まで金属的であるのに対し、グループ 2 は比較的高温で金属から半導体への一次相転移を起こす。この転移では、DCNQ I のカラムに電荷密度波が発生すると同時に、Cu<sup>2+</sup> と Cu<sup>+</sup> とが空間的に秩序化すると考えられる。化学的あるいは物理的手法によって、グループ 1 からグループ 2 へ、あるいはその逆の方向に移行させることができる。最も興味深い点は、その移行の途中で、一度増大した抵抗が温度を更に下げる再び減少するというリエントラント現象が見られる領域が存在する点にある。この系では(1)絶縁化に伴って磁性イオンである Cu<sup>2+</sup> が出現し規則正しく配列すると、(2)銅の 3 d 軌道は本来局在性が強いが DCNQ I との配位結合を介して p π 伝導電子と相互作用することによって遍歴性を獲得している、という状況を考えると、このリエントラント領域の DCNQ I - Cu 系が「重い電子」系ではないかということが一つの可能性として浮かんでくる。

## 物質設計と物性研究

京都大学化学研究所 坂東尚周

### 1. はじめに

物性研究において対象とする物質の化学組織、結晶状態、形状（次元性）などはもちろん重要であるが、最近は設計された構造や物質を用いて原子層単位の物性情報を得ようとする動きが見られる。ここでは薄膜作製法を利用して酸化物超伝導体の単位胞層の薄膜の物性と超格子によって単位胞層間の相互作用を検討した結果を紹介する。

### 2. 1 単位胞層の超伝導性

BaTiO<sub>3</sub>, La<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub>(LCO), YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub>(YBCO)などペロブスカイト型酸化物の薄膜を反応性蒸着法を用いて作成すると单分子層単位で層状成長する<sup>1)</sup>。これが反射高速電子線回折 (RHEED) の鏡面反射強度の振動として現れ、RHEED 振動によって層厚を制御することが可能になった<sup>2)</sup>。

YBCOの单分子層は単位胞の厚さに相当する。YBCOは、例えば SrTiO<sub>3</sub> 基板結晶面にはその最表面の TiO<sub>2</sub> 原子面の上に BaO - CuO<sub>2</sub> - Y - CuO<sub>2</sub> - BaO - CuO<sub>x</sub> の順で積層した単位胞が層状成長する。最表面は CuO<sub>x</sub> 層であるが、YBCOではこの層は CuO<sub>2</sub> 層にキャリア（ホール）をドープする重要な役割をする。結晶中では CuO<sub>x</sub> は Cu - O - Cu という鎖状に連なった規則格子となり、T<sub>c</sub>=90K の高い転移温度を実現している。CuO<sub>x</sub> が表面または界面に存在する場合、この単位胞YBCOは超伝導になるのだろうか。単位胞層はこのような原子層単位での問題に直接答えてくれる試料である。

非超伝導体の (PrBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub>)PrBCO の上に YBCO を 1 単位胞層だけ積層し、その上に BaO, SrO,

MgO をつけた試料の電気抵抗の温度変化を調べた<sup>3)</sup>。BaO を積層すると見事に超伝導になり、またSrO層をカバーした試料では、金属的になり、超伝導になる兆候がみえる。MgO, CuO, La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, PrO<sub>x</sub>などの酸化物のカバーでは半導体であり、YBCO薄膜の最表面の1単位胞は超伝導になっていないことを示している。BaO 層を供給することでCuO<sub>x</sub>がキャリアをドープする能力が生じたことを意味する。当然のことのようだが、CuO鎖が形成されるためには、BaO層でそれを挟んだ構造が必要であったわけである。BaOを供給する方法はPrBCOをYBCOの上に積層してもよい。YBCOが超伝導になる最小単位は正確には1単位胞(6原子層)ではなくCuO<sub>2</sub>-Y-CuO<sub>2</sub>ブロックの上下にBaO-CuO<sub>x</sub>-BaO ブロックが積層した9原子層であろう。この試料を用いて2次元性超伝導に現れるKosterlitz-Thouless(KT) 転移が検討された。<sup>4)</sup>

### 3. 超格子による層間の相互作用

2次元性の極限である単位胞層はKT転移によってT<sub>c0</sub>=82KからT<sub>KT</sub>=30Kまでは超伝導状態であるが、磁束量子、反磁束量子が解離して電気抵抗を示す<sup>4)</sup>。2次元性が減少するとT<sub>KT</sub>は上昇する。したがって、YBCO層を例えればPrBCO層で分離して超伝導転移を調べればYBCO層間に相互作用が働いているか否かが明確になる。YBCO(m=1)/PrBCO(n)超格子でn=1, 2, 4を作つて転移を調べた結果n≥2では上に述べた1単位胞とほとんど同じT<sub>KT</sub>を示した<sup>4)</sup>。明らかにn≥2では相互作用はほとんど無視できると考えられる。n=1ではT<sub>KT</sub>はかなり上昇し24Åの距離では2枚のCuO<sub>2</sub>層間に相互作用が働いているように見える。

構造設計によって物性測定に適した試料を作り原子層単位で物性を理解しようとする研究手法は今後ますます重要性を増していくものと考えられる。

### 参考文献

- 1) T. Terashima et al., Phys. Rev. Lett. 65, 2684 (1990)
- 2) T. Terashima et al., Phys. Rev. Lett. 67, 1362 (1991)
- 3) T. Terashima et al., Proc. of the 1992 MRS Spring Meeting, San Francisco 印刷中
- 4) Y. Matsuda et al., 未発表

## 脳科学研究から心の理解へ

### — 愛は脳を活性化する —

電子技術総合研究所 超分子部 松本 元

心については、従来心理学・哲学・宗教が主として扱ってきた研究対象である。最近、脳科学の立場から心を理解しようという野心的試みがなされている [1-3] けれど、物質科学としての脳・神経研究から心の理解への切り口については未だ明かではない。ここではこの切り口を考察し、「人とは何か」についての仮設を提案し、この立場から心の理解のために脳の学習・記憶のメカニズム

の解明が極めて重要であることを述べたい。このことがわれわれを脳の学習・記憶研究にかりたて  
る一番大きな動機でもあり、「人に近いコンピュータ」の実現への近道もあると信じる。

学習・記憶が心の生理学的基礎を与えるものであることを示す為に、長期記憶の例を考える。長  
期記憶には次の4つの特徴がある。〔4〕とする。

- 1) 学習によって、外界の情報を脳内に固定化する（貯える）。
- 2) 貯える情報は5感からの感覚入力情報とこれに関する情動(emotion：好き嫌い恐ろしいう  
れしい……などの感情)情報が互いに連合した形で、また情報の時間順序とともに貯えられ、  
逆にこれらの連合性をもとに呼び出される。
- 3) 貯えた情動情報は意識下に蓄積する。
- 4) 長期記憶として貯えられた記憶は一生涯脳の痕跡として留まり消すことができない(non-  
erasable)。

以下でこれらの各項目について考察し、最後にこの4つの特徴がわれわれの心といかに直接関係  
するかについて述べる。

まず、(1)の学習によって外界から知識(情報)を獲得し記憶する、という点について考察しよう。  
学習の生理的基礎はシナプスの可塑性である。従って、ある情報が脳によって学習されるための基  
本的要件は、生物固体がその情報を強い刺激として受けとめることができるものである、といふこと  
であろう。この場合、情報を受けるものがある特定の可塑性シナプスを有する神経回路であるな  
らば、その神経回路にとっての強い刺激情報が回路を固定化する。ここでは、心の問題を念頭にお  
いての脳の学習を考えるので、生物固体にとっての強い刺激情報とは何か、を考える。勿論、まず  
第一に維持に関する情報は強い情報となる。脳は、生物固体が生存のための営みを実行するのを助  
けるために特殊化した器官である〔5〕、といえるほど、生命維持に関する情報は強い刺激として  
脳で受け取られる。われわれが、一度でも自動車と衝突するというような命を脅かす事件に遭遇  
するとこの事件は一生忘れられない記憶として脳に固定化されよう。勿論、食・飲・性などに関す  
る情報も生存の営みに關係した情報で、われわれにとって強い刺激となり得る。これらは、いわゆ  
る情動情報であり、人も動物も共有する脳内過程である〔6〕。人の脳では生命維持よりもさらに  
強い情報として、「自分が意義深い存在であるかどうか」の情報があろう〔4〕。すなわち、人と  
動物を区別する情動情報として、精神性に関する情報があり、「自分が意義深い存在であると、自  
分をとりまく他の人から思われているかどうか」を認識する脳内過程が人では遺伝的にそなわって  
いると考えられる。人間では、自己認識が完成する青年期、言いかえると自我に目覚める頃になると、  
自分のこの世における意義深さを判定できるので、この判定の結果がポジティブと思われるとき  
社会的な行動を起こすが、ネガティブと思うと反社会的行動(いわゆる非行)に走る、と考えら  
れる。人間と動物を分けるものは、高度な自己認識を行えるかという点と、「自分をとりまくいろ  
いろな社会の中で自分が意義深い存在であると思われているかどうか」の脳内情動過程を有するか

どうか、の2点に帰結する。人は2足歩行できることで、また言語を獲得したことで、動物と区別することもできよう。しかし、ここでは、上記2点すなわち、「自分が意義深い存在であるかどうかを自分をとりまく他の人が思ってくれるかどうか」を判定する脳内情動過程と自己認識のための脳内過程、をもとに進化の過程で遺伝的特性として獲得した動物として人を定義づけよう。「人とは何か」との問に対する答えとして、ここではこの様に人を定義する(4)。言いかえると、人らしい人とは自分の生命維持よりもさらに自己の精神性をより重視する人、ということになり、この精神性にかかわる情報を最も強い刺激として、受けとるように修養した人ということになろう。

次に、(2)の貯える情報は情動情報で必ず色付けされ連合されて記憶される、ということについて考察しよう。この点に関して、LeDoux達のネズミの古典的条件学習の脳内情報伝達路に関する実験がある[7-18]。ネズミに条件刺激としてブザー音を聴かせ、無条件刺激として足にショックを与える。この2つの組み合わせ刺激を数回繰り返すと学習(条件学習)が成立し、ブザー音だけで恐れによる逃避行動(血圧上昇と身体の硬化)を起こす。LeDouxたちは、ブザー音に対するネズミのこの不快情動行動の脳内情報伝達過程を、脳内の局所部位にマーカー(神経細胞を順行性に輸送されるWGA-HRP; Wheatgerm flutem conjugated Horseradish PeroxidaseとPHAL; phaselousや逆行性に輸送されるfluorogoldなど)を用いての聴覚入力→脳→運動出力への径路決定、脳のいろいろな局部の損傷を行っての動物行動観察、などによって詳しく研究した。この結果、聴覚入力は視床を通じて扁桃体に直接入力する径路と大脳皮質の聴覚野を介して直接あるいは間接的に海馬を通じて扁桃体に入力する2つの径路がある(図1)、ことを見いだした。そして、扁桃体中心核から出力し、血圧上昇などに関与する自律反応は外側視床下部を通して、自律神経系へ、また身体の硬化などに関与する反応は中心灰白質を介して運動系へ、それぞれ出力することが明かにされた。扁桃体や海馬などを含む辺縁系の最も重要な機能は、情動の発現とその行動的表現に関与するものであることは良く知られている[6]。そして情動情報の発現・処理・表現の過程で辺縁系がどのような処理を行い、この中で扁桃体や海馬などがどのような役割を担うのかが、だんだん解明されつつある[14-19]。いずれにしても、図1でみるとブザー音の聴覚情報は音の識別と共に扁桃体で情動と連合され出力される。LeDouxたちはまた大脳聴覚野を完全に破壊しても、ブザー音に対する不快情動学習が成立することをみた。この結果、情動学習行動へ至る情報処理過程は、扁桃体への直接入力により早いが情動認識としては質の低いレベルのもの、大脳皮質を介しよりシナプス段数を要するために遅いが認識のより高いレベルのものなど、から並列に構成されている(表1)ことが明らかにされた。そしてブザー音の条件刺激の反応が足へのショックの無条件刺激の反応と出会い情動記録として固定化される部位は扁桃体外側核であろうと推定している[13]。辺縁系にはすべての感覚入力がある[6]ので、LeDouxたちの聴覚入力についての脳内過程は視覚を始めとする他のすべての感覚情報についても同じように成り立つものと思われる。

(3)の脳内に貯えた情動情報は意識下に蓄積する、という点につき考察しよう。ここで意識下に貯

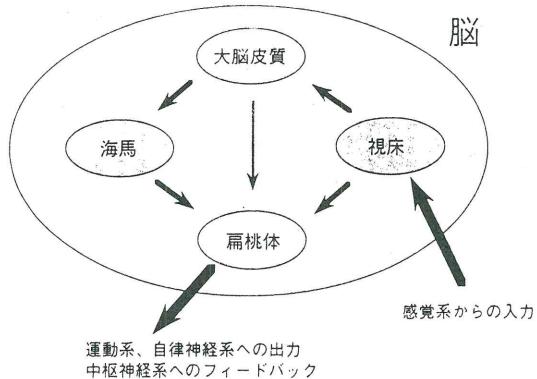


図1：感覚入力→脳→出力への情報伝達・処理経路

### 第1：扁桃体への感覚情報の2つの経路とその特徴

経 路	特 徴
視床-扁桃体	1) シナプス段階が少なく、従って処理時間が短い 2) 情報処理が粗い
大脳-扁桃体	1) シナプス段数が多く、従って処理時間が長い 2) 情報処理が緻密、精緻

えられた情報とは新皮質を介さないで読み出すことのできる記憶情報と定義する。LeDouxたちのネズミの条件学習によって形成された記憶は大脳皮質を介さず直接扁桃体中心核より出力されるので意識下に蓄積されている。情動性の特に強い刺激、とくに自己の存在意義にかかわる強い刺激は、視床から扁桃体への直接入力情報によって視床外側核ニューロンのシナプスがより強化されることで記憶が形成されるので、潜在意識として蓄積されることが多いと思われる。(4)の情動の長期記憶が消去できないことは、パブロフの古典的条件学習にもみられる〔20〕し、LeDouxたちもねずみの足ショックに対するブザー音の条件学習でも確認している。すなわち、パブロフは条件学習後、これを例え消去したように行動上みえたとしても自発的に条件反応が回復することを報告し、LeDouxたちは消去のために無条件刺激を与えず条件刺激だけを与え続けると、条件反応が徐々に低減していくが大脳皮質に損傷を与えたラットではこの緩和(低減)がみられないことを報告している。このことは、条件学習が消去がみられたとしても、それは行動上であって記憶の痕跡は相変わらず保持されている、ことを示していると考えられる。言いかえると、大脳によって記憶出力が再学習によって抑制を受けるようになるために行動としては条件反応があらわれないようにみえるが、記憶は相変

わらず消えずに残っている。「忘れる」というのは、ここでは記憶を消すという意味にならないのである。記憶を消すことはできないが、記憶している事象についての情動性を変えることはできる。例えば、忌まわしい失恋の思い出を自分にとって成長するのに役だった失恋という風に情動をマイナスからプラスにすることはできる。その技法が心理学のカウンセリング技法と言えよう。

これらの学習・記憶の特徴が人の個性をどの様に説明するかについて、具体的な例で示そう：極めて仲の良い若い夫婦がいて、その奥さんが旦那にお使いを頼んだ。旦那がお使いから戻って品物を奥さんに手渡しそこから離れようとしたところ、奥さんがなにげなく、「あなたおつりは？」ときた。これを聴いた途端旦那は烈火の如く怒り、我を忘れて奥さんを罵倒してしまった。奥さんは今まで旦那さんを温厚で良い人と思っていたのに、いきなりなにがなんだか判らないうちに悪口雑言をいわれて、それ以後旦那に不信感を抱いてしまった。それからこの夫婦の間柄は急速に冷えて離婚ということになり、家庭裁判所へ持ち込まれた。そこで、カウンセリングを受けたところ旦那さんは子供の頃お父さんに買い物を頼まれておつりをネコババしたという幼児体験のあることが発見された。すなわち、旦那さんは「お父さんにおつりを返さなければいけない」と思いつつ返さないで、精神性に関するネガティブな強い刺激として「おつり」という言葉と「自己嫌悪」などの感情を強く連合させ、潜在記憶下に蓄積してしまったのである。それは、もう遠い昔のこととして本人は意識の下にしまい込んでいたってそんな事件があったことさえカウンセラーとの長い対話の中でようやく思い出せる程度のものとなっていたが、記憶は消えずに残っていたのである。奥さんから昔どこか同じ状況を思わせる雰囲気の中で「あなたおつりは？」ときかれたとき、あたかも脳に強い電気ショックを受けたように〔1〕、「おつり」という言葉にまつわるあの忌まわしい精神的嫌悪の情が引きだされ、自分でも何がなんだか判らず奥さんを自分を卑下する人としてみえたに違いない。ふだん良くしてくれる奥さんがその時急に憎らしい存在に見えて罵倒し悪口雑言の限りをつくしてしまった、のではないか。これが、人の個性である、と言えるのではあるまいか。生まれてから今日に至るまでの多くの経験の中で強い情動経験にまつわる情報が脳内に蓄積され、それに基づいて無意識に判断し行動するのが人ではないだろうか。「私は何でこんなことで腹が立つんだろうか」、「私はなぜこの人が好きなのだろうか」などと不思議に思うときがある。それは、このような脳の記憶の仕組みによっていると考えられる。そして、一人一人の生まれ育ちの体験が異なるので個性も一人一人異なるのである。

生物は非線形非平衡形であり、脳もまたそうである〔21〕。脳の情動性に伴って、脳活動の活性が強く調節される。すなわち、ポジティブの情動情報を受けると、脳は活性化し、ネガティブの情動情報で不活性となる。もっと具体的には、「人は自分の存在が意義深いと思えたとき、脳が活性化し、いきいきと生きられる」のである。このことに直接関連するケースにかかる機会を得て、この仮定は一步実証の方向に向かったと思われる：1988年11月18日の夕方、つくば市のある高校一年生（当時）男子が帰宅途中自動車と衝突し、右頭蓋骨陥没、右大脳半球広範部（前頭葉・側頭葉

・頭頂葉)に急性硬膜下血腫・硬膜外血腫を起こし、さらに外傷によるクモ膜下出血、強い脳腫張により大脳半球の左方への扁位とこれに伴う釣ヘルニアを起こすなどによって、意識不明の重体となりました。右脳の広範囲な外減圧術を行うことにより、術後三日目のX線CTでは硬膜外水腫が残るが事故による脳の正中偏位はほぼ消失したが、右大脳半球(前頭葉・側頭葉・後頭葉)に脳座傷に伴う遅発性脳内血腫があり、脳室内血腫もみられた。脳外科の執刀医の先生が家族に対し、「手術としては現代医学の技術として最善をつくしうまく行ったが、植物人間となる可能性が非常に高い」と言われた程、手術時の状態はきわめて悪かった。しかし、ご家族の方は集中治療室(ICU)に隔離されたままにゆだねず、ベッドサイドに毎日の大半をともに過ごすようにしてこの子の存在を喜んで語りかけ愛撫をつづけ、まったく動かない手や足を何時間もさすり話しかける毎日でした。事故後約1ヶ月の12月24日に初めてこの子の左半身がピクリと少し動くのがみられ、力を得てこれをつづけ、翌年(1989)1月中旬に意識を取り戻した。この頃に於いては右大脳半球に脳萎縮がみられ従ってこのことが原因とみられる脳室系の拡大が生じている為、意識が戻ったときに於いても担当医は家族に「意識は戻ったが、左半身は絶対に動かないと思います」と告げた程だった。しかし、その後病院でのリハビリテーションやあたたかい看護のおかげで現在は、左半身もほぼ正常にまで動くまでに回復し学校にも復学して通常の社会生活を送っている。ジョギングや柔道などで身体を鍛え、自転車で走り回ったりスキーを楽しむなどの様子から、右脳に萎縮があり脳室系が拡大していることは行動上から伺い難い。これらの著しい回復は、ICU室にご家族が毎日長時間在って「この子の存在を喜ぶこと」で、いつもポジティブな強い刺激を加えつけた結果であると考えられる。それは、逆のこともみられたからである。1990年4月より高校1年生として2年遅れで復学し、夏休みに入る前、先生から「君は一生懸命頑張っている様子だが、右脳が大部分挫傷してみんなについてゆくのが大変そうだね。君のようなハンディキャップを負った子の為の学校もあるからそこへ転校することも考えた方が良いかも知れないよ」、という趣旨のことを言われた。この子は先生のこの忠告を自分の存在が否定されている、と捉えてしまった。その日の夕方家に帰ると、それまで行動上はほとんど正常に働いていた左の半身が動かなくなってしまったのである。自分の存在が尊敬する先生から意義深くないと思われて、脳の活動が著しく低下したものと思われる。そこで、この子が負った苦難やハンディキャップが、精神的に向上するためにどんな大切なものを話し合った。自分が苦難な悲しみにあうことは、苦難や悲しみにあった人達の気持ちを知るためにどんなに重要なことか、また人と人との絆を得るにはお互いに体験を共有して共鳴できる心を養うことが必要でこのことがわれわれが人に近づけることではないか、などを話あった。そして、このような体験のない人が相手を傷つけていると思われないで傷つけてしまうことがよくあるし、それを許さないと憎しみは際限のないことになるし脳の原理からいって最も傷つくのは自分自身であることも話した。このような趣旨を話しているうち、「何か判ったような気がする」と言ったとき、左半身がゆるんでまた元通り自由に動くようになったのである。この子の右脳の萎縮や脳室系の拡

大は相変わらず、従って、左半身の回復は術後に残った脳部位の機能再構成によっていると考えられる。情動情報が快か不快によって、脳の活性化が極めて微妙に調節されるのである。快のときはよく活性化されて、脳の構築は促進されて機能は向上する。不快のときはこの逆が起きる。すなわち、脳は意欲で動くコンピュータなのである。このことは極めて一般的であり、日常生活や社会生活の中にあって極めて有用な指導原理となる〔4〕。例えば、朝なかなか起きられない、ということをきく。これは今日これをしたいとう意欲がないからである。今日はこの事をやってみたいという意欲があれば、脳は活性化され必ずよい寝覚めを迎えるものである。

こうして、脳の学習・記憶の理解が「人とはなにか」に物質科学からアプローチする道である、と考えられる。そしてこの為の手法においても、ここでの考察は極めて有用である。脳の学習・記憶の解明を目標として研究を進めるとき、われわれ自身の独自性をいかすことが、研究社会にあってわれわれ研究グループの存在が意識深いものとなろう。もっと卑近な言葉でいうなら、われわれのグループも脳の学習・記憶の研究を進めているというのではわれわれが研究を行う意味はない。われわれのグループでなくてはできない脳の学習・記憶の研究を進めてこそ、脳の研究社会の中ではじめて存在が喜ばれるものとなり、われわれ自身も活性化しよう。その観点から、おそらく脳を研究する他所では行き難く且その開発によって脳研究が飛躍的な進歩をみるであろうと考え、脳活動の多点(256-16, 384点) 実時間光計測システムの開発を進め成功した〔22〕。脳から心への理解の研究と考察は、自分の脳の活性化のみならず自分たちの研究テーマの設定の指針、研究を含めた人生全般での困難や障壁などの克服について考えてくれるだけでなく、次の点についても極めて重要である。：

1. 脳というチューリングマシンとまったく原理が異なるが計算汎用性をもつと考えられる情報処理・学習記憶システムの理解。これは純粋な科学的興味であるが、情報工学の立場からこの理解は極めて有用であろう。それ故、この研究をバイオコンピューティングと呼ぶことができる。
2. 人を科学的に理解することで、科学技術の用い方が明かになり、人類が科学技術文明をはじめて開花することができよう。従来の科学は主として自然の中の死に物を対象に作られた自然哲学観より成っている。死に物は線形世界にあり、従って要素還元主義に則っている。これに対し、生き物は本質的に非線形である。現在の科学技術が問われている問題は死に物の論理に基づく科学によって人に良かれと開発された技術が、急激な自然破壊をもたらしひいては人の命をおびやかす。コンピュータはこのままでは人の精神性に悪い影響をもたらす〔23〕。自然や人の摂理を知ってこれらに適合する科学技術をどの様に進めるべきかを考えることが重要である。さらに人を知ることで人が構成する社会科学が扱ってきた研究の領野を自然科学の側から研究することで科学技術文明を創りあげようというのである。この為の糸口として、人の理解を目指す脳の学習・記憶の物質科学的研究はきわめて重要な意味をもつと考える。

### 引用文献

- 1) ウィルダー・ペンフィールド著, 塚田祐三／山河宏訳: 脳と心の正体 (法政大学出版局, 1987)
- 2) ロジャー・スペリー著, 須田勇・足立千鶴子共訳: 融合する心と脳, 科学と価値観の優先順位 (誠信書房, 1985)
- 3) ジョン・C・エックルス著, 伊藤正男訳, 脳の進化 (東京大学出版会, 1990)
- 4) Matsumoto, G:in preparation.
- 5) Bloom, F.E., Lazerson, A. and Hofstadter, L. : Brain, Mind and Behavior(W.H.Freeman and Co., San Francisco & New York, 1985)
- 6) 小野武年し・西条寿夫: 大脳辺縁系と情動, 感覚統合研究第8集 (協同医書出版) 1-55
- 7) LeDoux, J.E., Sakaguchi, A. and Reis, D.J. : J. Neuroscience 4 (1983) 683-698
- 8) LeDoux, J.E., Ruggiero, D.A. and Reiss, D.J. : J. Comparative Neurology 242(1985) 182-213
- 9) LeDoux, J.E., Sakaguchi, A. and Reiss, D.J. : Neuroscience 17 (1986) 615-627
- 10) Iwata, J., LeDoux, J. E., Meeley, M.P., Arneric. S. and Reiss. D.J. : Brain Research 383 (1986) 195-214
- 11) LeDoux, J.E., Iwata, J., Cicchetti, P. and Reiss, D.J. : J. Neuroscience 8 (1988) 2517-2529
- 12) LeDoux, J.E., Iwata, J., Cicchetti, P., Xagoraris, A. and Romanski, L.M. : J. Neuroscience 10 (1990) 1062-1069
- 13) Clugnet, M.-C. and LeDoux, J.E. : J. Neuroscience 10 (1990) 2818-2824
- 14) Ono, T., Fukuda, M., Nishino, H., Sasaki, K. and Muramoto, K. Brain Res. Bull. 11 (1983) 515-518
- 15) Ono, T., Tamura, R., Nishijo, H., Nakamura, K. and Tabuchi, E. : Physiol. Behav. 45 (1989) 411-421
- 16) Nishijo, H., Ono, T. and Nishino, H. : J. Neurosci. 8 (1988) 3556-3569
- 17) Nishijo, H., Ono, T. and Nishino, H. : J. Neurosci. 8 (1988) 3570-3583
- 18) Tamura, R., Ono, T., Fukuda, M. and Nakamura, K. : Neurosci. Lett. 109 (1990) 293-298
- 19) Larry R. Squire 著, 河内十郎訳: 記憶と脳, 心理学と神経科学の統合 (医学書院, 1989)
- 20) Pavlov, I. P. : Conditioned Reflex : An Investigation of the Physiological Activity of the Cerebral Cortex (Oxford University Press, London, 1927)
- 21) 松本 元: 神経興奮の生物物理-非線系非平衡系としての生物の体系的理をめざして (松

- 本元・大津展之編 脳のコンピュータ第3巻神経細胞が行う情報処理とそのメカニズム：培風館，1991) 1-38
- 22) Ichikawa, M., Iijima, T. and Matsumoto, G.: A Real-time 16, 384-site Optical System for the Measurement of Neuronal Activities in the Brain. to be submitted to J. Neuroscience Methods.
- 23) 松本元：新しい情報処理体系をめざして—バイオコンピュータの必要性とその実現への道（宇沢弘文・河合隼雄・藤沢令夫・渡辺慧編 岩波講座「転換期における人間 第一巻 生命とは」：岩波書店，1989）221-239

Complex Fluids  
— A New Dimension of Condensed Matter Physics —

名古屋大学工学部 応用物理 土 井 正 男

紐のように長い分子のつくる液体、直径 100mm の大きな粒子のつくる液体、分子が紐や、シートの形に会合してできた液体などは普通の液体に比べて弱い力で分子の集合状態が変化するため多様で複雑な応答を示します。このような液体は応用の上から重要であるだけでなく、非線形、非平衡の統計力学、パターン形成のダイナミックスなどに関連する新しい問題をたくさん提供してくれます。そのためこの液体に関する物理学者の関心が最近急速に高まり、Complex Fluids と総称されるようになりました。Complex Fluids は物性物理の新しいジャンルとして急速に発展しています。ここでは、高分子、ゲル、コロイドミセル、液晶、マイクロエマルションなどの中から最近の研究の中からいくつかの話題を紹介します。

星間化学の現状と問題点  
—特に星間塵に関連して—

分子研 斎 藤 修 二

星間分子 これまでに約90種の星間分子が電波望遠鏡により検出されている（表1）。それらは簡単な無機化合物や各種の有機化合物である。特に、全体の半分は、地上の実験室では寿命の短い分子はイオン、フリーラジカル、不安定分子である。これらの分子は、宇宙における物質の循環の要の所に存在し、その領域での物理過程、化学過程に関与している（図1）。

暗黒星雲 分子が存在する代表的な領域の一つに暗黒星雲がある。この領域は、温度が極端に低く（ $\sim 10\text{K}$ ），希薄（ $\sim 10^4\text{個}/\text{cm}^3$ ）であり、光の入らない、静かな領域である。このため、星間分子の生成、消滅の場として、多くの人々の研究の対象となり、それなりに理解の進んだ領域である。

イオン分子反応 極低温、希薄の条件で、また熱源を持たない暗黒星雲中では、我々が通常実験室で利用している熱反応、三体衝突反応、光反応は役に立たない。このような条件下で、唯一の速い気相反応は、活性化エネルギーが不要で、反応速度が温度に依存しないイオン分子反応である。反応は、100 MeV 以上の高エネルギーの宇宙線で開始する。雲の中心部まで侵入した宇宙線は、通過する際に周囲の分子（主にH<sub>2</sub> He）をイオン化する。生成する H<sub>2</sub><sup>+</sup>, H<sup>+</sup>, He<sup>+</sup>

Molecular ions:	HCO <sup>+</sup> , HCS <sup>+</sup> , HN <sub>2</sub> <sup>+</sup> , HCO <sub>2</sub> <sup>+</sup> , H <sub>2</sub> D <sup>++</sup> , H <sub>3</sub> CN <sup>+</sup> , H <sub>3</sub> O <sup>++</sup> , SO <sup>+</sup>
Free radicals:	OH, NO, NS, SO, CN, C <sub>2</sub> N, HCO, CCS, CH, C <sub>2</sub> H, C <sub>3</sub> H, C <sub>4</sub> H, C <sub>5</sub> H, C <sub>6</sub> H, CH <sub>2</sub> CN, CP, SiN
Inorganic molecules:	SiO, SiS, H <sub>2</sub> O, H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , HCl, PN, NaCl, KCl, AlF, AlCl, CS <sub>2</sub> , C <sub>4</sub> Si, HNO
Organic molecules	
alcohol, ether:	CH <sub>3</sub> OH, C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH, (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> O
aldehyde, ketone:	CO, C <sub>2</sub> O, H <sub>2</sub> CO, H <sub>2</sub> CCO, CH <sub>3</sub> CHO, (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO, HCCCHO
acid, ester	HCOOH, CH <sub>3</sub> OCHO
amine, imine:	HCONH <sub>2</sub> , NH <sub>2</sub> CN, CH <sub>2</sub> NH, CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>
cyanide, isocyanide:	HNC, HNC, CH <sub>3</sub> CN, CH <sub>2</sub> NC, C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CN, C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CN, HNCO
sulfur containing molecule:	CS, C <sub>2</sub> S, OCS, HNCs, H <sub>2</sub> CS, CH <sub>3</sub> SH
cyclic molecule:	C <sub>2</sub> Si, C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> , C <sub>3</sub> H
polyyne:	HC <sub>2</sub> CN, HC <sub>4</sub> CN, HC <sub>6</sub> CN, HC <sub>8</sub> CN, HC <sub>10</sub> CN, HCCN, CH <sub>3</sub> CCH, CH <sub>3</sub> C <sub>2</sub> H, CH <sub>3</sub> CCCN, CH <sub>2</sub> CC, CH <sub>2</sub> CCC, HCCN

\*Detection to be confirmed.

表1. 電波望遠鏡で発見された星間分子。

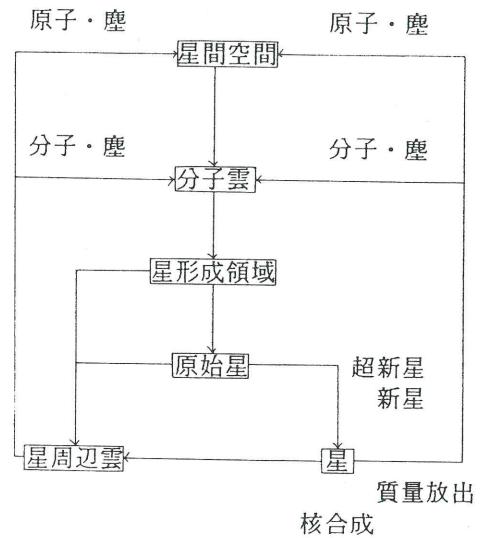


図1. 宇宙における物質の循環

イオンは水素引抜反応、プロトン移動反応、さらには、中性炭素固定反応、炭化水素縮合反応などにより、より複雑な分子イオンを生成し、最後に電子との中和反応により中性分子を与える。

イオン分子反応モデル 分子雲中の分子の生成消滅過程をイオン分子反応で組立てたモデルが提案され、分子の存在比のシミュレーションがおこなわれて来た。結果は、H, C, O原子を含む主要な分子の存在比はある程度説明できるが、大きめの有機分子や、N, S原子を含む分子の存在比は良く説明できない。イオン分子反応は、それまでに実験室でのデータが乏しかったため、各分子イオンが関与する反応経路、反応速度定数、再結合反応の分岐比、放射再結合反応の速度など、不明確な点が多い。このような点は、新たに実験室データが得られたり、量子化学計算などで予想されたりする度に、改良されてきた。しかし、ある一つの分子の存在比を良く説明できるように改良しても、それと関連する分子の存在比と同じように良く説明できるとは限らない。むしろ悪くなる場合が多い。このような状況を克服するために、実際の雲で起ると考えられる物理条件（温度、密度など）の変化、雲に付随する磁場の効果、あるいは雲の表面と内部の混合による効果などを考慮した改良モデルが提案されているが、主要な星間分子の存在比を統一的に説明できるモデルは得られ

ていない。

星間塵 この状況を打開する考え方として、星間塵の存在とその役割が注目され始めている。星間空間に固体の塵が存在することは、星の光の減光、赤化、偏光、あるいは、重い原子の宇宙存在度からの減少などから分っていた。また、星間塵が星間化学過程に寄与していることは、固体表面での水素分子の生成との関連において考えられて来た。しかし、これらの事実は、星間塵の組成や大きさなど、より固有の情報を与えず、星間塵の平均的な像を与えていたに過ぎない。塵の生成や存在比などについて、より詳しい、固有の情報が得られるようになったのは、最近の赤外領域での観測機器の進歩に負うところが大きい（表2）。

表2. 星間塵の主な成分

成 分	構 造	元素存在度	ス ペ ク ル
シリケート	無定形	100% Si, 20% O	10, 20 $\mu\text{m}$
グラファイト	結 晶	$\geq 25\%$ C	2200 Å
PAH <sup>a</sup>	分 子	1% C	3.3, 6.2, 7.7, 11.3 $\mu\text{m}$ 放射
無定形炭素	多結晶	5~10% C	7.6 吸收
氷マントル	無定形	$\sim 40\%$ C, O	3.1, 4.6, 6.0, 6.85 $\mu\text{m}$ 吸收
固体有機物	無定形	$\sim 24\%$ C	3.4, 6.0 $\mu\text{m}$ 吸收
マントル	ポリマー	6% O	

<sup>a</sup>多環芳香族炭化水素

星間塵反応 分子雲中に星間塵が存在する場合、分子は塵と衝突し、かなり高い確率で分子は塵に吸着する。密度  $10^4$  個/ $\text{cm}^3$  の雲の場合には、吸着寿命は  $3 \times 10^5$  年となる。この値は一般的な分子雲の寿命  $10^7$  年に比べて非常に短い。すなわち、塵本体や吸着成分を効率良く気相に返す過程が存在しないと、分子雲は  $\sim 10^5$  年で消滅してしまう。塵の蒸発過程については、原子-ラジカル反応の反応熱、宇宙線自身やそれによるイオン化過程につづいて発生する紫外線、塵どうしの衝突による機構などが提案されているが、いずれも実験的に確かめるには到ってない。実際には、分子雲は  $10^6$  年以上存在しているから、塵が星間の化学・物理過程に荷担していることは明白である。

最近、星形成が進みつつあるオリオン分子雲の高温領域で、宇宙存在度の数 100倍の濃度の D を含む  $\text{NH}_2\text{D}$ ,  $\text{CH}_3\text{OD}$ ,  $\text{HDO}$ ,  $\text{HDCO}$  が検出された。このような高濃度の化学濃縮は  $10\text{K}$  以下の極低温の条件でのみ実現することを考えると、これらの分子の検出は、極低温での反応を記憶した分子-気相、固相いずれにしても - が塵から蒸発し、それが周囲との化学平衡に達する前の姿を見ている可能性を示している。

以上、暗黒星雲での塵の役割としては、 $\text{H}_2$  の生成の場を与え、気相からの原子や分子の除去

(吸着)に関与していることは確かであるが、それ以上の詳細については、不確かな点があまりにも多い。しかし、最後に示したように、星間化学を気相反応と対等に扱っていることはまちがいないので、今後の解明に期待したいところである。

星間分子や星間化学の基礎的な事項についてはふれる余裕がなかったので、これまでの解説や総説を参照されたい。

1. 斎藤修二, 学術月報 43, 70 (1990)  
41, 43 (1988)
2. B. B. Turner, Space. Sci. Rev. 51, 235 (1989)

### 中性子星と高密度核物質の諸相

京大理 玉垣良三

1967年に最初のパルサーの発見とその源が回転する中性子星であると同定された時点から、理論的想像物であった中性子星が現実に存在する高密度物質の“Cosmic Laboratory”となり、宇宙物理的関心のみでなく極限状況の物質系としての研究対象となってきた。約四半世紀にわたる研究から多くの知見が得られたが、未解決の問題も多く、また新しい問題も生まれてくる状況にある。研究会では、<sup>3</sup>He系と対比して核物質の概観を述べ、核子超流動、π中間子凝縮及びその共存相の発現と中性子星現象との関連を述べた。次いで、高温核物質の問題を誕生間もない中性子星とその進化という視点から概観した。中性子星の中心領域にある極低温高密度ハドロン凝縮相の問題については、昨年6月にヘルシンキ工科大学であった小規模のシンポジウム「Superfluid <sup>3</sup>He in rotation」で話をした内容が、Physica B 178 (1992)<sup>1)</sup> に出たので、詳細はそれで代用させて頂く。また、近く我々の研究をまとめて Prog. Theor. Phys. の Supplement として出す予定である。<sup>2)</sup>

#### § 1. 核物質概観 — <sup>3</sup>He系と対比して—

原子核の数密度  $\rho_0$  (核密度と略称) は、約  $0.17 \text{ g/fm}^3$  ( $\text{fm} = 10^{-15} \text{ m}$ ) であり、このときの核子間平均距離  $\bar{r}$  は約  $1.8 \text{ fm}$  である。原子核の平均的な結合力を与える核力ポシャルは、中心斥力とまわりの引力よりなっている。斥力芯の半径を単位にした粒子間平均距離  $\bar{x}$  は、核密度  $\rho_0$  では (3 ~ 4) 倍になるが、密度が  $8 \rho_0$  位になると  $\bar{x} = (1.5 \sim 2)$  となり、<sup>3</sup>He系の状況に近くなってくる。量子効果は<sup>3</sup>He系以上に大きいので、高密度核物質は超流動、中間子凝縮など興味ある凝縮相を発現する素質をもっている。

今までの研究から、標準的と考えられる質量  $\simeq (1.4 \pm 0.2) M_\odot$  の中性子星の内部は図1に示すように、多層構造をしており、内部に向かって密度が高くなるにつれ、色々のハドロン凝縮相が発現する。

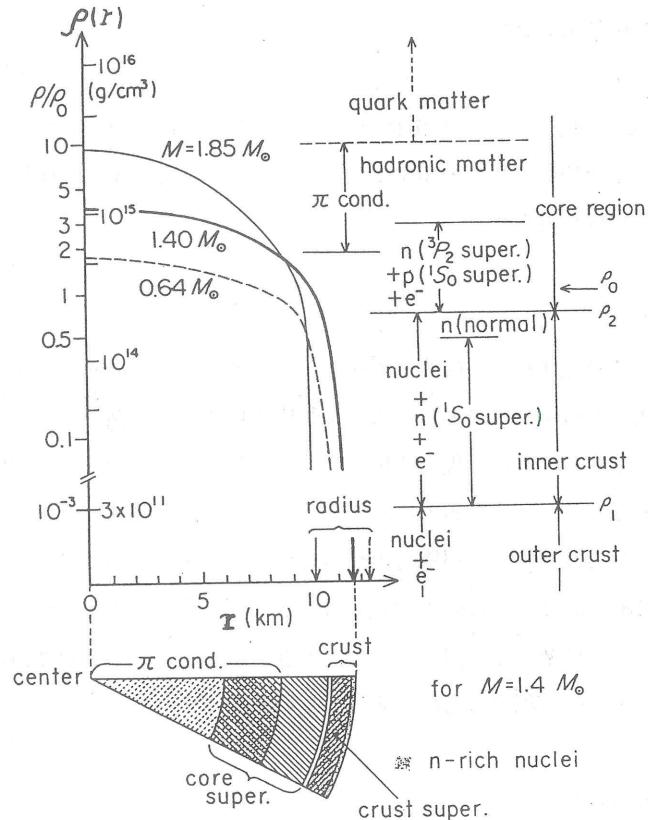


図1. 中性子星の密度分布（横軸は中心からの距離 $r$ 、縦軸は密度）と密度に対応した領域の組成を右側に示す。下側に中性子星の中心を通る切口を示す。 $\rho_1$  は星殻で中性子が原子核からこぼれ出す密度、 $\rho_2$  は原子核が融けて一様物質になる密度である。標準的な中性子星の質量は約 $1.4 M_\odot$  である。ここに示したのは、標準的と考えられる状態方程式を用いた結果である。

核力の研究では、核子間距離 $r$ を三つの領域に分けて考える：(I) ( $r \gtrsim 2$  fm)；主に1個の $\pi$ 中間子による力が働く、(II) ( $r \approx (1 \sim 2)$  fm)；複数の $\pi$ 中間子や重い中間子による力が働く、(III) ( $r \lesssim 1$  fm)；核子の内部構造が反映しクォーク力学によって記述される。この $r$ を核物質中の核子平均距離 $\bar{r}$ と対応させると、これは密度 $\rho$ も次の三つの領域を考えるのが自然となる。即ち、(I) 低密度領域 ( $\rho \lesssim 0.7 \rho_0$ )、(II) 中高密度領域 ( $0.7 \rho_0 \lesssim \rho \lesssim 数\rho_0$ )、(III) 超高密度 ( $\rho \gtrsim 数\rho_0$ )。中性子星は、典型的密度として $\rho_0$ を含み、表面の星殻に(I)を、中心部に(II)を含む。核力に依存することだが、多分(III)は存在しないと考えられている。

核物理が与えるのは、核力（広くは核相互作用）が一旦決まれば、1粒子当りのエネルギーより状態方程式を得て、これをもとに中性子星の巨視的構造を求め、密度領域毎に現れるハドロン相を示すことである。図1はその一例である。

### § 2. 中性子星内の核子超流体<sup>1)</sup>

流域（I）では、 $10^{-3} \rho_0 \lesssim \rho \lesssim \rho_0/2$  で中性子の  $^1S_0$  超流体が現れ、領域（II）では、 $0.7 \rho_0 \lesssim \rho \lesssim 3 \rho_0$  で中性子の  $^3P_2$  超流体と陽子の  $^1S_0$  超流体（超伝導体でもある）が共存する。これらは、中性子星の冷却やグリッヂ現象に強くかゝわり、逆に現象から中性子星中の超流体の存在と振舞についての知見が得られる。

### § 3. $\pi$ 中間子凝縮<sup>1)</sup>

1970 年代初めより研究された  $\pi$  中間子凝縮は、 $\pi$  - 核子間の  $P$  波相互作用の引力効果によるもので、有限運動量状態へのボース凝縮である。一時原子核にも  $\pi$  凝縮が現れているということすら言われたが、結局高密度の核物質で現れる相ということである。 $\pi$  凝縮は、凝縮波が  $P$  波であることと荷電が三つ ( $\pi^+$ ,  $\pi^0$ ,  $\pi^-$ ) があるので、多くのオーダー・パラメーターをもつ。主に研究されたのは、定在波の  $\pi^0$  凝縮（核子系が構造相転移を起し一次元的に局在したスピン構造をもつ）及び走向波の荷電  $\pi$  凝縮であり、両者の共存相も考察されている。重要な点は、中性子星の質量で中心領域の相が変ること、標準的な  $1.4 M_\odot$  より大きいか小さいかで  $\pi$  凝縮相の現れ方に大きい差が出ることである。これは、現象とも深く関係している。

### § 4. 超流動と $\pi$ 凝縮の共存<sup>1)</sup>

いくつかの  $\pi$  凝縮のタイプがあるが、超流動は  $\pi$  凝縮下で共存しうることが示された。これについては、中性子星の冷却の最近のデータとの対比で、興味ある課題が生まれている。

### § 5. 中性子星の現象と極低温ハドロン凝縮体

中性子星の内部温度は  $10^8$  K のオーダーであるが、これは中性子物質のフェルミ温度に比して 4 衡も小さいので、極低温である。中性子星の表面温度の観測データーの中に、ハドロン物質としては核子のみを考えた。標準的シナリオによる理論値の下限よりも低いもの（上限値で）があり、中性子星中に冷却を特に速める中間子凝縮相の存在する可能性が示された<sup>1)</sup>。第一候補は  $\pi$  凝縮で、最近は  $K$  中間子凝縮も検討されだしている。中性子星の回転が瞬間に速くなり、それが巨視的時間スケールで減衰する“グリッヂ現象”は、中性子星の中性子超流体と固体成分とのカップリングについての情報となり、最近の観測結果は新しい話題を提供している。<sup>1)</sup> また、異常に大きいエネルギー放出と特徴的な時間的变化を示すガンマ線バーストを、中性子星の中心部で  $\pi$  凝縮相を含む共存  $\pi$  凝縮相が一次相転移で発現したことに起因するという見方で説明する試みもなされている。

### § 6. 有限温度の中性子星物質

中性子星が生まれたての時は内部温度は $10^{11}$  Kオーダであり、これが中性微子放出で冷えていく。これに関連して、(i) 高温の中性子星物質の状態方程式は硬く中性子星は“太っている”し、陽子の混在度が大きくなること、(ii) 超新星SN1987A誕生で神岡等で観測された中性微子バーストの時間的様相を $\pi^0$ 凝縮を含む相への一次相転移に関連させて理解すること、(iii) 冷却により“太っていた”中性子星の半径が縮まり回転角速度が増大する様相及びサブミリ秒パルサーは $\pi$ 凝縮への証拠となる可能の指摘、など新しい試みが進展している。

### § 7. おわりに

極限的状況の物質系の研究という観点で中性子星は興味尽きない豊富さをもっている。それは高密度と言っても、相互作用が状態によって変る点を別にすれば、スケールをすると $^3\text{He}$ 系に近い物質とも言える。今迄物性研でも2度中性子星の物性の研究会があったが、日本では物性研究者は面白がるが手を下したことは、まずなかった。広義の物性物理の一環として、少数でよいが中性子星物性に積極的に手を下して下さる方の出ることを希望する。

### References

- 1) R. Tamagaki, *Physica* B178 (1992), 13.
- 2) R. Tamagaki, T. Takatsuka, T. Tatsumi, T. Kunihiro and T. Muto, *Prog. Theor. Phys. Supplement* (1992), to be published

研究会で話したことの詳細は、これに含まれる。なお、このsupplement volume の内容は、共著者である高塚龍之（岩手大）、異敏隆（京大理）、国広悌二（龍谷大）、武藤巧（京大理）及び京大理の大学院生（当時）であった田宮久一郎、古川博章、渡辺郁男の各氏との共同研究に基づいている。

### 素粒子・原子核と物性科学

..... 新しい研究手段の開拓を .....

東京大学原子核研究所 山崎敏光

原子核物理の方法論が物性科学にインパクトを与えた例はいろいろある。たとえば光電子分光は Kai Siegbahn先生のベータ線スペクトロメーターから始まつたし、最近の例では、マイクロクラスターがある。これは飛行時間測定というわれわれになじみの深い方法で一価の破片の質量分布をはかったところ、ちょうど原子核の質量数の程度のクラスターが沢山存在することがわかつたことから始まった。この開拓に大きな貢献をなしたRecknagel教授は、私の古いなじみの同業者である。

自然界に安定に存在しない粒子は、それぞれ独特の個性をもっているから、それを含む物質の創

成、それをプローブを使った物性の研究は、きわめて魅力ある新分野である。中性子は重い中性粒子で且つスピンをもつため、今日の物性科学で大きな役割を果たしている。ミュオンはスピンをもつ荷電粒子であるので、どちらかといえば能動的プローブといえよう。正ミュオンはトレーサースケールの軽い水素同位体とみなされ、内部場のゆらぎの検知に広く使われるようになった。高温超伝導体と関連して、磁気秩序、マクロ磁場分布の研究に威力を発揮している。遍歴電子磁性体MnSiにおいては、磁気的臨界発散の挙動のみならず、電気四重極相互作用の臨界挙動も $\mu$ SR法によってとらえられるようになった。正ミュオン量子拡散現象、すなわち100Kくらいで拡散率極小となったのち低温になるにつれて拡散が増大する現象は、一般にいろいろな物質中で起こっている。

負のミュオンは酸化物磁性体、超伝導体中の酸素に関して興味ある知見をもたらす。この手法は1975年にMnOにおいて始まったものであるが、最近実験手段が格段に発展した上、これらの物質への関心も復活し、新しい光があてられている。

反粒子（陽電子、反陽子）を用いる物性科学も面白い。陽電子消滅に関しては長い歴史があるが、反陽子は全く未開拓である。最近異常に長寿命の反陽子がヘリウム媒質中にできることが発見され、へんてこな原子／分子の研究が始まった。

これらエキゾチックな物性科学は将来ますます発展するであろう。ちょうどシンクロトロン放射光がフォトンによる科学を画期的に前進させたように、高強度・高輝度の不安定粒子ビーム群をつくり出すことが待望されている。大型ハドロン計画はこれを行なおうとするもので、そのR&Dの中でも新しい方法論に多くの進展がみられる。

### メソスコピック・エレクトロニクス研究の現状と将来展望

東京大学生産技術研究所 生駒俊明

#### 1 はじめに

半導体中の量子効果と呼ばれるものには色々なものがあるが、その主なものは量子サイズ効果である。その研究の源流を遡ると、1970年のL.EsakiおよびR.Tsuの人工超格子の提案にたどりつくと思われる。これとは別に低次元物性の研究は、自然界に存在する一次元伝導体や、インタカレーションを対象として進められてきた。Esakiらの人工超格子は、量子力学の世界で起こる様々な現象（量子現象）を、人工的に作った半導体のマイクロ構造によって実現してみせた点においてユニークであり、科学と技術の融合によって初めて成し得たものといえる。こうして量子効果を現実の半導体中で制御することが可能となり、この意味で人工超格子や量子井戸構造は、量子効果を利用した新しいデバイスへと発展する可能性を秘めており、そのため多くの研究者が参入した。現在半導体物性の研究者のうち半分以上が、この量子効果を研究しているといわれている。これらの研究はシリコンLSIで築かれた微細加工技術の助けを借りると同時に、原子層で制御することが

可能なエピタキシャル成長技術などを生み出し、半導体技術の進展へ大きな貢献をしている。又変調ドープ構造を利用した高移動度トランジスタや、量子井戸レーザは既に実用の域に入っている。

一方微小なデバイス構造中では、電子波の位相がある距離保存され、位相の情報がコンダクタンスに反映される。これはランダムなポテンシャル中の電子輸送現象として研究され、アンダーソンらにより理論的に詳しく解説され、実際的にはアモルファス半導体の極低温における伝導現象によって証明されたものである。このような、位相が保存される現象は、低次元系において顕著であり、人工的に作られたような、金属細線や半導体のミクロな構造中での電気伝導現象として研究されている。特に1954年には、ランダウアによって理論的な取り扱いが発表され、その考え方は1980年にになって、金属細線を用いて実験的に証明された。この系はメソスコピック系と呼ばれ、丁度ミクロな系とマクロな系の中間の領域に位置付けられている。人工超格子や量子井戸の研究は、変調ドープによる高移動度の実現、量子井戸を用いた種々の光機能デバイスへの応用などを経て、量子細線、量子箱などの低次元化へと進んでおり、前述の如く多くの研究者が研究に従事している。又新機能素子のプロジェクトとしても既に研究開発が進んでいる。

これに対し、メソスコピック系のエレクトロニクスは未知の部分が多く、物理的にもかなり不確定要素が入っているため、応用を含めこれから研究・開発されねばならない分野である。

量子サイズ効果とそのデバイス応用の可能性については、既に多くの解説や総合報告があるが、<sup>(1, 2)</sup> ここではメソスコピック系のエレクトロニクスとその材料的側面に重点をおいて、現状と将来展望を試みることとする。

## 2 メソスコピック・エレクトロニクス

### 2・1 メソスコピック・エレクトロニクスの特徴

ここでは先ず、メソスコピック・エレクトロニクスの定義と特徴について述べる。

“Mesoscopic”とは“Microscopic”と“Macroscopic”の間という意味であり、“Meso”はメッツォ・メプラナのメッツォと同じである。いわゆる“Micro”世界は原子や分子の世界で、量子力学で記述される観測量期待値が比較的簡単に実測される。例えば水素原子のエネルギー準位は、発光輝線として観測される。半導体の量子井戸中のエネルギー準位も有効質量近似を用いて簡単なシュレーディング方程式を解いて得られるが、実験的にも光吸収やルミネッセンスとしてその量子化されたエネルギー準位がはっきりと観測される。一方“Macro”世界は、量子力学的期待値に更に統計的なアンサンブル平均を取って記述される。現在の半導体デバイス（トランジスタなど）は、殆ど皆この領域に入る。二次元電子ガスについても、一方向はマイクロの領域で狭いポテンシャル井戸に閉じ込められた系として取り扱えるが、他の二次元方向には大きな自由度があり、マクロな系として取り扱える。変調ドープされた二次元系電子ガスの移動度は大きくなるが、そもそも移動度という概念は、マクロな系にのみ当てはまる。後述するように、メソスコピックな系では、コンダクタ

ンスは、電子波の反射係数、透過係数で表される（ランダウアー公式）。

メソスコピック領域の物性の最も重要な特徴は、“ゆらぎ”的存在である。マクロな意味で均一な半導体片でも、メソスコピックなスケールの領域では、不純物原子の数が部分部分によって異なると考えられる。同じプロセスで作られた微小なデバイスでも、デバイス中に含まれる電子の総数にはばらつきが生じる。例えば、ヘテロ接合界面の二次元電子ガスは10nm程度の領域に閉じ込められているが、電子ビームリソグラフィなどの微細加工技術により、 $50\text{nm} \times 1\text{ }\mu\text{m}$ の大きさのデバイスを作ったとすると、そのデバイス中の電子の総数は25～100個程度となる。従って、マクロな意味でどんなに均一に試料を作成しても、試料内でゆらぎやばらつきが生じてくることは、容易に想像されよう。このゆらぎは、又、次に述べる電子波の位相がある一定の距離、あるいは時間、保たれるこことによって、より本質的な現象となって現れる。

さて、メソスコピック領域の最大の特徴は、前述の電子波のコヒーレンス性にある。電子のもつエネルギーが一定（単色性）で、散乱が無ければ、電子波は、光波と同じように干渉効果を示すことは、真空中ではよく知られている。一方固体中でも、極低温においては非弾性散乱が抑制されるため、ある一定の距離は電子波の位相が保たれ、二つのパスを通ってきた電子波が一点で会する時干渉効果を示す。ランダムポテンシャル中では極低温において電子が局在するアンダーソン局在もその一つの表れである。一次元電導体ではこの局在が顕著となり、理論的には、（長い）一次元伝導体は、極低温において絶縁体となる。又電子波の可干渉性によって、どんなに均一に作成した試料でも、電子散乱体の配置によってそのコンダクタンスが異なってくる。これは後述するように磁気抵抗におけるコンダクタンスゆらぎ（Universal Conductance Fluctuation）として現れる。

更に三つ目の特徴は、散乱を制御された微小な半導体デバイス構造中では、電子がバリスティックに伝導することである。このような場合には、波としての性質と同時に、剛体球（ビリヤードボールのような）として取り扱うことができるようになる。この弾道的な電子（バリスティック・エレクトロン）は、将来の量子化機能素子への応用として、最も面白いものと思われる。

さて以上に述べた三つの特徴は、メソスコピック・エレクトロニクスを考える上で最も重要な現象であるが、これらの現象が顕著に観測されるのは、半導体では温度が10K以下の場合である。従って、これらの“量子化機能”は現在のところは極低温でのみ有効であり、デバイス応用を考えるときには、この点をブレークスルーする革新的研究開発が必要となろう。

## 2・2 何故“メソスコピック・エレクトロニクス”が今必要か

この問い合わせに対して、次の三点を指摘しよう。

A) 現在のシリコンLSIは、その微細化が益々進展し、256MビットDRAMでは、最小寸法が0.2ミクロン以下となってくる。このようなデバイスの微小化はどこまで可能であり、現在のトランジスタ動作の理論がどこまで有効に使えるのか、こういう疑問はLSI開発にたずさわる者が誰しも抱くものである。又この微小化の先には、どんな新しい現象、新しいデバイスがあるのか、大き

な興味がある。

このように、シリコンLSIの発展は、必然的にメソスコピック領域に入ってくる。従って、この領域の物性を理解し、シリコンLSIの発展を支える必要がある。又近い将来、高速のLSIは微細化するだけでなく、冷却することになる。従って前述したメソスコピックな現象は、より顕著になると予想される。

特に“ゆらぎ”は、デバイスの微小化に伴う必然的なものとなる。現在では、数千個の電子を利用して1と0の間でスイッチングを行なっているから、一つのデバイス内で平均化され、デバイス間のばらつきを極度に抑え（良好な均一性）で回路設計を行なっているが、デバイスの微細化に伴い、この考え方は成り立たなくなってくる。むしろ、デバイス間には、特性のばらつきがある（ある平均値の回りに、ある分散値をもった統計分布をしている）ものと考え、そのようなデバイスが、一つのICの中に1000万個以上入っていることを想定した、新しい回路設計のフィロソフィを導入する必要がある。即ち、平均化はデバイス内で行なわれるのではなく、デバイス間（即ち回路内）で行なわれ、システムとしてうまく動作するように考えるべきであろう。つまり、デバイスはファジイなものとなり、これをいかにうまく使いこなすかというソフト技術も開発するべきである。

B) メソスコピック領域の新しい物理現象を利用した新しいデバイスが実現されることとは、最も興味深く、かつ重要である。この思想から、既にいくつかのデバイス（例えば電子波干渉トランジスタ、電子波回折トランジスタなど）が提案されている。しかしながら、現在のところは現象が見つかったという段階で、デバイス化は今後に期待される。いまは、新しいデバイスの概念を提出していくことが重要であって、現在のシステムからはみ出したところに、新しいシステムまでも考えたデバイスを創り出していく必要があろう。それゆえ筆者は、メソスコピック・エレクトロニクスと呼び、単に物性のみでなく広くシステムエンジニアリングを含めて、この分野を発展させていく必要性を痛感している。又この意味から“機能”素子の概念は重要となる。

C) 第三の重要性は、メソスコピックの物性の研究が、材料技術や加工技術に、従来なかった、より高度なものを要求する点である。評価技術にしてもしかりである。従ってこのようなメソスコピック・エレクトロニクスの研究から生まれる技術は、現状の半導体技術として使えるし、又それらの発展に大きなインパクトを与えるものと期待している。例えばメソスコピック領域の材料は極めて純度の高いものである必要があるが、このような不純物の制御技術は、現在のLSIにも応用できる。又、STMのような原子レベルの観測技術も、メソスコピックな現象に応用され、更に大きな進展が期待される。

以上の三点において、メソスコピック・エレクトロニクスの重要性が顕著である。このようにしてみると、メソスコピック・エレクトロニクスは次の四本の柱からなっている。

- A. nanoscale physics
- B. nano-process and material technology

C. nano-characterization

D. novel devices

2・3 メソスコピックな物理現象 —— いくつかの例 ——

ここではメソスコピックな新しい物理現象について、いくつかの例を挙げて説明する。すべてを体系的に記述することは、紙面の都合で割愛し、参考文献に委ねることとする。<sup>(3)</sup>

2・3・1 特性長

先ずメソスコピック領域を特徴づける特性長(Characteristic Length)について述べる。これらは、電子波の波長、平均自由行程、位相干渉長、および熱拡散長である。

- (a) 電子波の波長 : 極低温で縮退している場合はフェルミエネルギーをもつ電子が主として伝導に寄与するので、フェルミ波長、 $\lambda_F$ である。 $\lambda_F$ は電子のもつ運動エネルギーによって変わるが10～50nmの範囲にある。この $\lambda_F$ は電子がポテンシャル中に閉じ込められた場合、エネルギーの不連続が顕著になり、外部から量子化された準位が観測されるか否かの目安を与える。これは又、電子波のモードが一つ一つ区別できるか否かの目安を与えるとも言える。最も厳密な意味での一次元伝導体を作るには、二方向ともこの $\lambda_F$ 程度の閉じ込めポテンシャルを作る必要がある。
- (b) 平均自由行程  $l_e$  : 電子が運動量を失うような散乱過程に対する平均自由行程で、極低温においては主として結晶欠陥や不純物による散乱によって決まる。従ってマクロな量である移動度と関係し、不純物濃度を極度に減らすと平均自由行程は大きくなる。従って試料依存性が非常に強いが、0.1～100 μm程度と考えてよい。この値は、伝導が拡散的 (diffusive) か、弾道的 (ballistic) かの境界を与える。
- (c) 位相干渉長  $L_\phi$  : 電子波の位相が保たれる距離で、主として非弾性散乱で決まると考えられている。この位相干渉長を決める要因については、目下研究が進行中であるが、比較的高温 (8 K以上) では、電子-電子散乱で決まる。値としては、0.1～3 μm位で、温度上昇とともに減少する。この値は、電子波の干渉効果が観測されるか否かを与えるもので、アンダーソン局在や、アハラノフ-ボーム効果に関係する。
- (d) 熱拡散長 (Thermal Diffusive Length) : これは、温度によるフェルミ面のぼけによるエネルギーの広がりによって、干渉が起こらなくなる目安を与えるもので、電子の拡散係数Dを用いて  $\sqrt{\frac{D \hbar}{k T}}$  で与えられる。

メソスコピックな現象は、デバイスの寸法と上記の四つの特性長との大小関係によって、観測され方が異なる。例えば、一次元伝導体の閉じ込めポテンシャルの寸法が、 $\lambda_F$ 程度であれば、エネルギー固有値に関しても散乱に関しても一次元的に取り扱うことができ、最も厳密な意味での一次元伝導体といえる。一方閉じ込めポテンシャルの寸法が $\lambda_F$ より大で $L_\phi$ より小さい場合は、エネルギー固有値としては、二次元電子ガスとして取り扱い、散乱に関しては一次元的に取り扱うことができる。従って電子輸送の面からは一次元伝導体と考えられ、擬一次元と呼ぶことがで

きる。現在迄に報告されているヘテロ接合を加工して作られた人工的一次元伝導体のほとんどは、後者に属するものである。さらにデバイス長が  $l_e$  より小さいと電子はパリスティックに伝導し、大きいと拡散時に伝導する。

### 2・3・2 電子波干渉効果

前述したように電子波は、ある一定の距離以内ではその位相を保って伝播する。従って電子波が二つのパスを通って伝播し、一点で会したとき干渉効果を引き起こす。丁度光波と同様である。この干渉効果を制御して電流を変調することが考えられる。即ち電子波の伝播する二つのパスの長さを変えたり<sup>(4)</sup>、磁場や電場を加え電子波の位相を変えたりする（アハラノフーボーム効果）ことによって、電流のスイッチ作用を起こさせるデバイスも提案されている<sup>(5)</sup>。物理的に興味あることは、同じ濃度の不純物を含むデバイスでも、不純物の配置によって、コンダクタンスが異なることがある。図1に示したように、二つのサンプル中で不純物の配置が異なっていると、電子の通るパスが異なる為、電流（即ちコンダクタンス）が異なる。これはマクロな量としての“平均値”を取って電流を決めることができなくなる為である。もちろん、非常に多くの電子が、非常に多くのパスを通って流れれば、平均値が意味をもち、マクロな量へつながって行く訳である。

このような、全く同じに作ったサンプルでもコンダクタンスが異なることを実際的に証明することは難しい。しかし電子のパスと電子波の干渉効果が電流を決めていることは、磁気抵抗の測定から証明されている。AlGaAs/GaAs量子細線の磁気抵抗は、ランダムなゆらぎを生ずる。このゆらぎは、ランダムに分布した散乱体（主として不純物）によって決まる電子波のパスにループができるおり、そこを貫く磁場によって電子波の位相が変化し、干渉効果が変わる為に生ずるものと解釈される。ゆらぎの大きさはサンプルによらず、ほぼ  $e^2/h$  の定数倍（次元性によって異なる）になっているので、“普遍的コンダクタンスゆらぎ Universal Conductance Fluctuation(UCF)”，と呼ばれている。このようにゆらぎが生ずることは、メソスコピックな現象の大きな特徴である。

更に電子波が相互干渉するため、ゼロ磁場におけるコンダクタンスが減少する。これはアンダーソン局在と呼ばれ、ランダムポテンシャル中の電子伝導の特徴となっている。この効果は一次元になると顕著になり、充分長い一次元伝導体はすべて絶縁体となる。これに磁場を加えると局在が解け、コンダクタンスが増加する。これは通常の古典的磁気抵抗の逆であり、アンダーソン局在（Anderson localization）の証明となるとともにこの大きさから、位相干渉長（Phase Coherence Length）を決めることができる。

### 2・3・3 弹道電子伝導（Ballistic Electron Transport）

前述したように、平均自由行程がデバイス寸法より大きい場合は、電子は真空中の如く、散乱を受けずに進行する。この為、従来のオームの法則は成り立たず、様々な新しい現象が観測されている。量子化コンダクタンス、電子のフォカシング、曲がり抵抗の発生、電子のレンズ効果などがそれである。その一つの量子化コンダクタンスについて説明すると、図2のようにヘテロウェハー上

に金属ゲートを作り、非常に短く狭い電子の狭隘路（チャネル）を設け、この間を通って流れる電流を観測すると図3のようになる。即ちこのチャネル中を電子が全く散乱を受けないで通る時に、チャネルの幅が狭く最低次のモードのみが許される場合には、コンダクタンスが  $2e^2/h$  の値となり、2次のモード、3次のモードまで許される場合には、この整数倍になる。

このようなパリスティック伝導領域では、電子を剛体球として取り扱って、コンダクタンスを求める、大雑把には実験データを説明できる。これは“ビリヤードモデル”と呼ばれており、電子が波としての性質が顕著となると同時に、粒子として取り扱うことも出来ることを証明している。丁度物理光学と幾何光学とが成立するのと同様である。

#### 2・3・4 ランダウアー公式

このようなメソスコピック領域でのコンダクタンスは、従来と全く異なり、むしろマイクロ波回路のコンダクタンスのような考え方で与えられる。すなわち最も簡単な、一端子の伝導体では、コンダクタンス  $G$  は次式のようになる。<sup>(6)</sup>

$$G = \frac{2e^2}{h} \frac{T}{R} N$$

ここで、 $e$  は電子の電荷、 $h$  はプランクの定数、 $T$  は透過係数、 $R$  は反射係数、 $N$  はチャネル数である。また多端子デバイスでは、マイクロ波回路と類似の S マトリクスで、電流電圧特性が表される。

### 3 これからの研究課題

このような新しいメソスコピックな物理現象を利用したデバイスとして、どのようなものがあるか考えてみよう。一次元細線を利用した従来の概念のトランジスタは、移動度が大きくなるから高速動作可能だという提案もあったが、これは必ずしも正しいとはいえない。何故なら、前述したように、一次元効果によって後方散乱を抑制できるような細線中では、従来のように、電荷（定数）×キャリア密度×移動度が電流を与えるという考えが成り立たなくなる。電流はランダウアー公式によって記述される。又移動度という物理量も意味を失う。そもそも一次元細線で移動度が高いという概念は、平均自由行程よりも充分長いサンプルについてのみ成立する。このように考えると、電子の流れを制御して電流を変化させるという考え方には成立せず、電子の波を利用して電流を変化させるという考え方をとるべきである。波を制御するには、干渉、回折、反射、散乱現象を利用する。このようにしてみると、電子波デバイスでは、図4に示したように、電子波のインジェクタ（従来型トランジスタのエミッタやソース）、電子波のエダクタ（コレクタ又はドレイン）、電子波の制御領域からなる。又デバイス全体が電子波の導波路からなるものとみなせる。丁度光波の導波路やマイクロ波の立体回路と同じようなコンセプトである。これを総称して電子導波路デバイスと呼ぶことができる。

一方パリスティックな電子を用いるデバイス・コンセプトは、図5に示したようになろう。これ

はほんの一例であるが、このデバイスは複数の入力と複数の出力を持ち、その間に存在する制御領域で、入力と出力の関係を制御しようとするものである。入出力としては量子ポイントコンタクトを用い、その中間に散乱なしに進行する電子ビームを制御する部分を設け、電子ビームのパスの切り替えを行う。丁度光集積回路の光波を用いたスイッチと類似のデバイスが考えられる。量子ポイントコンタクトは、そのスリット幅を調整すると電子流を制御できるので、重みづけもできる。従ってこのデバイスではニューロンの機能を模擬できるものと考えられる。このようなデバイスでは、ポイントコンタクトから放出された電子がどういうパスで進行するかを知らなければならない。又二つのビームの交差した点でどう相互作用するかなども興味ある研究課題である。更に電子波の方向性結合器やこれを用いたスイッチング素子なども考案され、一部で実験が行われている。このように新しい量子効果デバイスでは単に高速で、低消費電力のスイッチを目指すのではなく“機能”を重視した新しいデバイスコンセプトを創出する必要がある。

#### 4 あとがき

最近の技術進歩には目覚ましいものがあり、走査型トンネル顕微鏡（STM）や原子間力顕微鏡（AFM）は、固体を構成する原子1個を観測したり、移動・配列をすることを実現している。單原子エピタキシャル技術、超微細リソグラフィ技術、イオンビーム加工技術などとともにこれらはメソスコピックエレクトロニクスをきり拓く有力な手段となるであろう。

我々は、メソスコピック領域で有用な新しいデバイスを実現させることを目指しているが、それには、デバイスを作製する技術、デバイスの特性を測定し、パラメタを抽出する評価技術、システムとしてデバイスを集積化する技術などを並行して進める必要がある。当然のこととして、従来技術では制御しきれないパラメタがでてくるであろう。例えば、不純物配置の制御、ヘテロ界面の平坦度などである。1つの困難を解決する手段が見つかると、その技術を利用して、また新たなデバイスを考案する道が拓けるのである。メソスコピックデバイスを夢みて飽く無き挑戦を続けていきたい。

#### 参考文献

- 1) 例えば、江崎玲於奈 監修「超格子ヘテロ構造デバイス」  
工業調査会、(1988)
- 2) 荒川寿彦、生駒俊明、 “半導体量子効果デバイスの展望”  
電子情報通信学会論文誌C、J70-c p592 (1987)
- 3) 例えば、第3回東京大学フォーラム “メソスコピック・エレクトロニクス”  
平成2年3月、東京大学総合研究会
- 4) F. Sols, M. Macucci, U. Ravaioli and K. Hess

J. Appl. Phys. 66 p. 3892 (1989)

5) S. Datta, M. R. Melloh, S. Bandyopadhyay and R. Noven

Phys. Rev. Lett. 55, p. 2344 (1985)

6) R. Landauer: IBM J. Res. Dev. 1, p. 223 (1957)

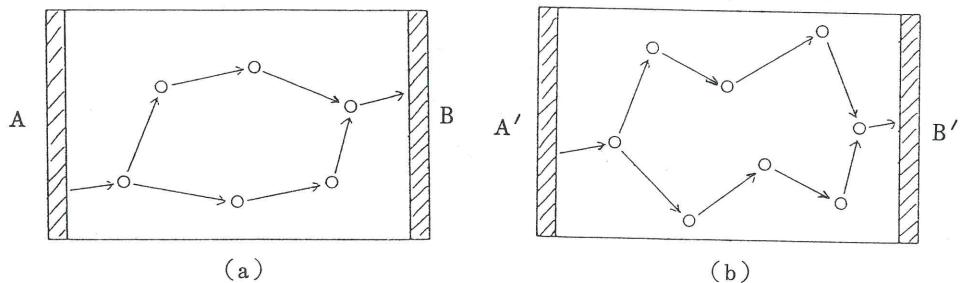


図1 メソスコピックデバイスの電子波干渉効果

2つの素子(a)および(b)で、不純物(○印)の位置が異なることによって、電子の伝播路(→)が変わりコンダクタンスに差異が現われる。

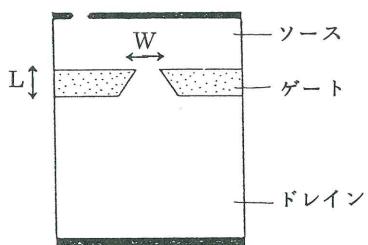


図2 量子ポイントコンタクトの構造  
(L: 1 μm, W: 250 nm)

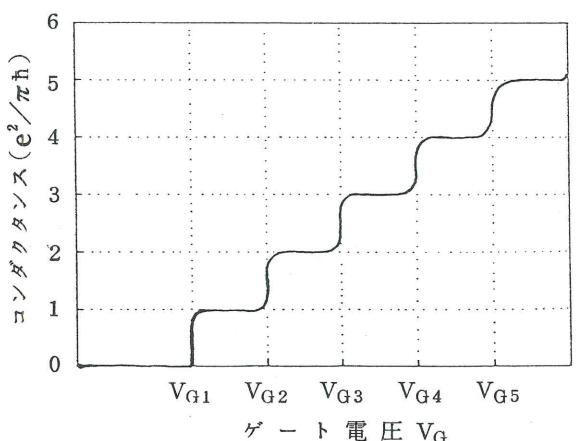
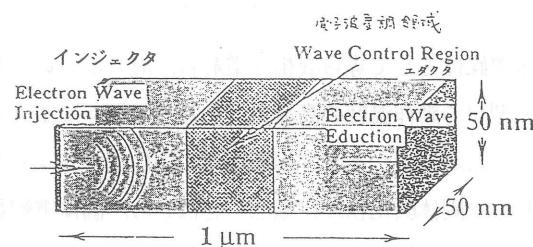


図3 点接触コンダクタンスのゲート電圧依存性

### Device Concept

#### (Coherent) Electron Wave Device



Electron Wave Guide  
+ Scattering Control Gate

図4 電子波デバイスの概念

### Ballistic Electron Device (Multi Terminal Device)

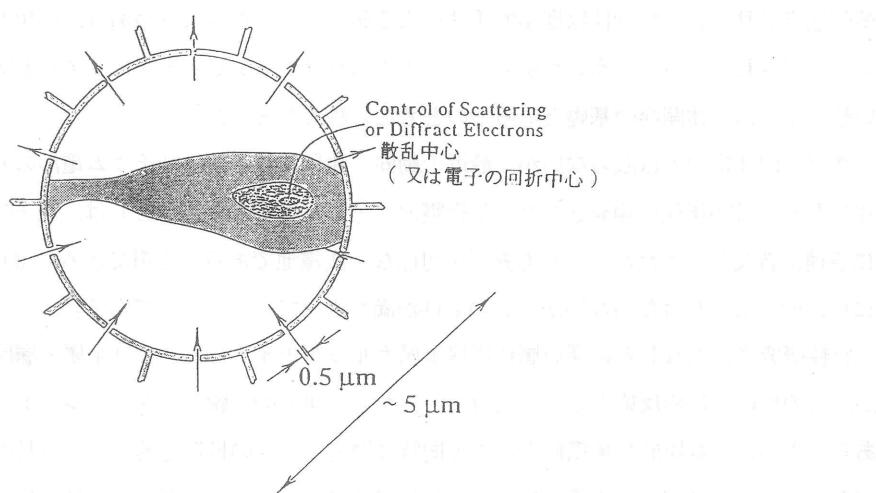


図5 バリスティックな電子を用いる複数の  
入出力端子をもつデバイスの概念

## 固体電池と物性研究

生産研 工藤徹一

半導体メモリや半導体レーザーに代表されるエレクトロニクス応用デバイスの進歩の速さには目を見張るものがある。これに対して電池のような“アイオニックス”応用デバイスは、そのイオンの動きのように、ゆっくりと進歩しているに過ぎず、現在、われわれの使っている電池の大半は前世紀の遺物と言ってよい。

この最大の原因是、イオン伝導媒体として専ら液相（電解質溶液）が用いられてきたことにより、小型化、集積化、あるいは、大型化や動作温度の高温化、と言った様々な工夫の余地が少なかったためではないかと考えられる。したがって、イオン伝導媒体の固体化がブレークスルーになるはずで、ムーンライト計画のS OF C（固体酸化物燃料電池）をはじめ、固体電解質を用いる電池の研究が活発になっている。これに伴って、物性物理学と電池の関係も一層深まりつつある。

固体のイオン輸送現象自体はかなり古くから物性研究の対象となっており、“超イオン伝導体”的代表  $\alpha$ -AgI の伝導機構を説明する構造モデルが提案されたのは1930年代である。以降、このモデルは、星埜、横田など多くの研究者により精密化され、現在ではほぼ完全な理解に至っている。このような研究の成果は新しい超イオン伝導体の発見を促し、RbAg<sub>4</sub>I<sub>5</sub>のように、室温においても電解質溶液並みの導電率を示す物質も得られている。しかし残念ながら、これらはいずれも分解電圧の低い銀あるいは銅イオン伝導体で、高起電力の電池を構成し得ないため、実用に供されないままになっている。

最近では、安定化ジルコニアや  $\beta$ -アルミナなど実用上重要な固体電解質についても、例えば、準弾性光散乱のような物性物理学的手法による研究が多くなされつつあり、応用サイドの研究者からも注目されている。こういう研究が、リチウムやプロトンなどをキャリアーとする利用価値の高い超イオン伝導体開発の基礎となるものと考えられるからである。

さて、固体電池とは限らないが、最近の動向で注目されるのはリチウム電池のリチャージャブル化である。1970年代に開発された3V級電池 ( $\ominus$ Li/(CF)<sub>n</sub> $\oplus$ など) は、電子機器の伸びとともに急速に普及してきたが、どれも充電不可能な一次電池である。充電できるには正負極の反応が共に可逆的でなければならないが、この要件が満たされていないからである。

物性研究者にもなじみの深い層状遷移金属カルコゲナイトはアルカリ金属と層間化合物をつくるが、この反応は電極反応としても進行し、しかも、可逆的に脱インタークレートすることが可能である。さらに、金属的な導電性を示すと同時に層間イオンの拡散も速いという特徴（混合伝導性）があるので、可逆電極（正極）材料の有力な候補になっており、混合伝導体電極と呼ばれている。カルコゲナイト以外に、CdCl<sub>2</sub>型層状CoO<sub>2</sub>や1次元トンネルをもつh-WO<sub>3</sub>などの酸化物もこの範疇に入る。また、負極の可逆性を改善するため黒鉛状炭素の使用が検討されており、最近Li-

G I C / CoO<sub>2</sub>系の二次電池が開発されている。

混合伝導体電極の反応は均一固相反応なので可逆性がよい反面、電位の組成依存性が大きいという欠点をもつ。また、インターラートされたイオンに規則状態が存在し、複雑な挙動を示すものもある。TiS<sub>2</sub>については、層間リチウムの2次元格子ガスモデルにより、組成と電位の関係が理論的立場から調べられている。充放電に伴う電位変動の小さい電極材料を探索する際に、こういう研究が有用な指針を提供するものと思われる。

講演では、電池と密接な関係にあるエレクトロクロミックデバイスについても触れたが、紙面の都合で省略させていただく。

### 超高速・超並列光信号処理と新光物性

東大工電子 神谷武志

はじめに—物理とエレクトロニクス

物性物理学の歴史とエレクトロニクスの歴史は交叉するところが大きい。その一つは半導体物理の進歩とトランジスタおよびダイオードの発明に始まる半導体集積エレクトロニクスの流れであり、またレーザーの発明をもたらした光物性の基礎研究と光・量子エレクトロニクスの応用の大発展が数えられる。現在光通信、光メモリーおよび光入出力装置の産業的成功によって光技術はエレクトロニクスを支える主要な柱の一つとなっている。

ただし情報処理に貢献しうる光の潜在的なポテンシャルはこれらにとどまらず、光が超高周波の電磁波であることに起因する超高速・超並列信号処理・伝送の可能性にチャレンジする時期が近づいていると考えられる。

### 超高速・超並列光電子工学の研究フロンティア

現在までにモードロックレーザとパルス圧縮法を組合せて6フェムト秒の光パルスが達成され、またピコ秒領域の超短パルスが引き起こす3次の非線形光学効果を巧みに用いた光ファイバソリトンパルスによる超長距離信号伝送の基本システム実験が最近成功したのをはじめ、自然放出と誘導放出の確率を人為的に制御可能なマイクロ共振器の量子電磁力学効果をもちいると超低消費電力の小型半導体レーザの作れる可能性が近年しめされ、光を主体とする超並列信号処理集積回路の可能性に期待がよせられるようになった。これらの未来志向テクノロジーには地道な不純物状態の測定、制御の研究や低次元電子状態を作り出す量子閉じ込め構造の作成技術および物性理論が重要な役割を演じている。但し現在までに達成された電子工学基礎研究のもとをたどると、1970年台ないし1980年台にその物理的基礎が種蒔かれた場合がおおい。

### 結びにかえて—物性物理学研究者への期待

これから先端化学技術はますます研究投資の規模が大きくなる傾向にあり、長期的には研究成果の人類福祉への還元が目指されることが求められる。ここにおいて既に分かっている物質や物理現象の組合せ、発展によって工業的なシステムを構築するにとどまらず、全く新しい物質、新しいデバイス原理に結び付く物性効果や、新しい理論の創出が先端的研究者に求められているが、この課題を担う主力として物性物理学研究者に期待するところ大であり、電子工学基礎と物性物理学の蜜月時代の再来を待望するものである。

### 液晶形成における官能基の役割

#### —分子形状は棒状、円盤状に限定されないこと—

熊本大理 松永義夫

表示に用いられている種類の液晶は、棒状分子から成り立ち、その長軸の配向秩序だけをもつ最も等方性液体に近いもので、ネマチック液晶と呼ばれる。その次に液体に近い種類として、スマクチックA液晶があり、分子は配向秩序に加えて層を構成している。この他に、円盤状分子から成り立つディスコチック液晶が知られている。

Onsagerの剛体棒状コロイド粒子の相互作用の理論(Ann. N.Y. Acad. Sci., 51, 627 (1949))に始まる排除体積に基づく液晶形成の解釈は、分子間の斥力にその根源を置く。例えば、Frenkelらはモンテカルロ法を用いて、ある程度大きな軸比をもつ回転楕円体は、密度に応じて等方性液体、ネマチック液晶、固体の相転移を、両端が半球となった円柱は同様にしてネマチック液晶、スマクチック液晶、固体の相転移を示すとの結論を得ている。(Mol. Phys., 60, 1 (1987))。

他方、MaierとSaupeによる液晶の平均場理論(Z. Naturforsch., 14a, 882 (1959), 15a, 287 (1960))は、分子形状に由来する分散力、即ち引力のみの異方性を考慮して、ネマチック液晶と等方性液体の自由エネルギーを取り扱うものである。さらに、液晶相に於けるアルキル鎖の立体配座の変動を取り入れて、透明点の偶奇効果を説明することも行われている。

斥力、引力いずれを考えるにせよ、理論で想定されている均質な棒状分子に近い液晶物質は、5個のベンゼン環を直列に結合したペンタフェニルであろう。その液晶相は400°C以上で出現する。ベンゼン環を結合するのに  $-\text{CH}=\text{N}-$ ,  $-\text{COO}-$ などの官能基を用いると、4個のベンゼン環で液晶相は得られる。さらに、分子の長軸方向に末端基と呼ぶ官能基を1個導入すると、3個のベンゼン環で、両端に末端基を導入すると2個のベンゼン環で液晶相は得られる。

今世紀始め、多くの液晶物質を作り出し、分子は細長い形状で液晶を形成することを帰納したVorländerらが扱った物質は、分子の両端に官能基をもつものであった。また今日、液晶表示に用いられる液晶物質はアルキル基 $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$ 、アルコキシル基 $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{O}$ 、シアノ基 $\text{CN}$ など2種の

末端基を用い、分子内の環を2個ないし3個に制限して、液晶の出現温度領域を室温に近付けたものである。この種の液晶物質を開発するに不可欠な官能基、即ち末端基と連結基（中央基とも言う）の選び方のガイドラインはGrayらによって提出されており、これに沿って多くの開発研究が行われてきた。

分子形状を限定しない研究は、前出のHalle大学のVorländerに始まる。1929年、棒状分子の中央に折れ曲がりを入れても液晶は形成されることを示したが、注目を集めないで終わった。1984年以降、同じHalle大学のDemusらは棒状分子の側面に大きな置換基を導入したり、分子の末端に広がりを持たせても、液晶が形成されることを示す例を報告している。近年は、このように変わった分子構造をもつ液晶物質に関する報告例が多い。環を全くもたない分子、ベンゼン環、シクロヘキサン環、あるいはトロポロン環を1個しかもたない分子、分子の中央部に四面体型の炭素原子を含む分子、折れ曲がった分子はその例である。また、2種の非液晶物質を混合して、分子間力を補強すると液晶を生じる例も増えつつある。このときの一成分化合物は、ニトロベンゼンの誘導体のようにガイドラインから外れたものでも良い。

ディスコチック液晶の分野では、筆者らによって円盤とは言えない形状のベンゼン誘導体が見いだされている。アルキル基とベンゼン環を接続するに  $-\text{NHC}\text{O}-$  を用いると、2本から6本の長いアルキル基に考えられる総ての配置をもつ誘導体で液晶が形成される。これは $-\text{NHC}\text{O}-$  基の間の水素結合が分子の積み重なりを助長するためであることが、最近のX線回折による研究によって明らかにされている。

以上、分子形状が、棒状、円盤状であると液晶が形成され易いことは事実であるが、現実の液晶状態の達成は官能基に負うところが大きいのみならず、その用い方次第では、分子形状を限定することなく、液晶状態を達成できることも、また事実である。

#### “一利用者としてみた共同利用研究所”から20年

岡山大地球内部研究センター 松井義人

この短期研究会では、研究所のあり方よりも、最近の物性科学的研究の最先端の話題が語られた。しかし、すぐれた研究は、それ相応の研究の場があつてはじめて可能なのであるから、この10年もっぱら研究所の“行政官”として働かされてきた者として、あえて物性研究所のあり方について私見を述べたい。ただし、1971年の臨時共同利用専門委員会で述べた意見<sup>1)</sup>は、“不吉”な予言を含んでいるけれど、今でも変えるつもりはない。

いや、事態は私の不吉な予言よりかなり深刻化しているようで、物性研における共同利用自身が危うくなりつつある徵候がある。本来、研究所は開かれているのがあたり前で、「非共同利用研」は異常なのである。私も20年前の物性研の共同利用体験の深い感動があればこそ、岡山大学温泉研

の廃止転換（1985）の際に、当局と所内を説得して「正規の」共同利用研（客員部門を含めて6部門）にしたのだった。ちなみに1991年度の地球内部研の共同利用は、正式の応募によるもの86名、のべ日数863日、（蛋白研方式による）非正規のもの159名、のべ日数850日に達している。「共同利用制」自身が行きづまつたわけではないことは明瞭である。

物性研究所のような第一世代の大研究所を、私のような小研究機関の者があげつらうのは僭越であるが、研究所の未来を左右する要因は必ずしも規模に依存しないようであるので、以下に普段考えている点を挙げてみよう。

1) 所員は、なぜ研究所であって学部ではないのかについて、常に明確に意識しているべきである。学部（ここでは私の出身に規定されて、理学部）では、「近過去密着型」の研究が「実績」をあげるためにも、学生を市場に出すにも、安全である。某大学化学教室の有機化学者たちは、毎週はじめにChem. Abstr. を探索し、今の仕事がまだよそではなされていないことを確認するのが常だそうであるが、これなどはその典型である。研究所ではそれと逆に、「遠過去密着・遠未来凝視型」の、危うくて学部では手のつけられない問題を設定するのが必然的である(BoltzmannからLandauまで、過去の巨人たちには、恐らく多数の重要な見落としがあるはずである。これらは問題の宝庫といえよう)。換言すれば、突拍子もない研究こそが研究所の生命である。

2) このことは、学部との折り合いがわるい方が本当の研究所だ、との意味を含んでいる。定員削減の結果、ネコの手も借りたい研究所にとって、より安易な道は学部・大学院とのより友好的な関係の構築で、この方が「建設的」に見えようが、これは最も危険な落とし穴と見なくてはならない。P D フェローシップの拡大こそが重要なのであって、「院生ほしさの大学付置研固執」は、危険この上ない自滅への道であろう。

3) 「共同利用研の理念」なるものは、上述のようにごくあたり前な、「研究所は誰にも開かれた学問的サロンである」ことに過ぎない。特にモデルとされたのはPrinceton大学のInst. for Adv. Studies であったが<sup>2)</sup>、これを日本に移すとたちまちにして変質してしまった。元来がソフトウェア（頭脳）の相互共同利用（つまり交流）だったのが、ハードウェアの一方的利用にすりかえられた。この変質は、修正されるどころか、ますます強度なものになりつつある（学術審議会“21世紀を展望した学術研究の総合的推進方策”，1992年7月の答申）。これは明白に、研究所のサービス機関化を意味している。ただし、この種の「共同利用」においても、所員の度量ないし学問に対する視野が広い場合、必ずしも一方的なサービス提供に終わらないことに注意すべきである。換言すれば、研究所が「たこつぼ」的な所員ばかりになった時、その研究所に未来はない。この意味においても共同利用研のスタッフには一種特別な、自己の業績だけでは計量できない、広く関連分野全般における潜在的リーダーとしての資質が要求される。このような人材は、外から見ても魅力的であるから、ハードウェアの利用とは別の次元で、共同利用の志望者を集めよう。現在の物性研が、この意味で魅力的な研究者の集団を形成しているだろうか

4) 第1世代の共同利用研が大学付置とされた理由は、当時の直轄研に見られた“お役人的”雰囲気を警戒した結果と<sup>2)</sup>、しっかりした事務機構をそなえた大きな大学付置の方が当面安全であるとする行政的判断<sup>3)</sup>に求めることができる。しかしこれまでの歩みを見ると、付置した大学の一部になり果てた結果になっていはしまいか。本来すべての大学の研究者たちの貴重な共有財であったはずの共同利用研が、特定の大学のコントロールの下に置かれている。（物性研の敷地問題では東大評議会、計算機問題では東大計算機センター、など）のを見ると、是非通りこして、やり切れない思いがする。

かつて物性研なしには考えられないほどその恩恵に浴し、物性研をひそかに心のふるさとと今でも思い込んでいる身として、もし物性研の未来が危ないともなれば、これほど辛いことはない。自称「所外応援団」のメンバーには、このような時にこそ何か行動を起こす義務があると思いつめて、あえて暴言を述べたてた。なにとぞ志を諒としてお許し願いたい。素直に考えれば、共同利用研に100%の「所外性」などはあってはならないわけでもあるから。

#### 参考文献

- 1) 松井義人 (1972) : 日本物理学会誌 27 [1], pp 3-5
- 2) 朝永振一郎 (1984) : “開かれた研究所と指導者たち”, 朝永振一郎著作集 第6巻, みすず書房
- 3) 茅 誠司 (1987) 物性研30年—回顧と展望-, 東京大学物性研究所

#### 短期研究会：“物質科学の将来－物性物理とその隣接分野－” 雜感

東大工 国府田 隆夫

1日半に亘る研究会プログラムの中で、2日目の午前中はよんどろいの所用のため出席できなかった。それでも、聞いた限りの講演と議論の雰囲気は、近来の研究会には珍しく、興味をそそられるものだった。その詳細は他に譲り、ここでは、わたくしがこの研究会に何を期待していたか、それが実際にどの様な形をとり、そこからどういう結論を得たかということを、素直に述べてみたい。当然、そこには主観的な要素も含まれ、また、かなり差し障りのある点もなしとしない。しかし、当たり障りのない事なら、今更、書くまでもないだろう。現在、我々は共通の問題として、「物質科学（あるいは物性研）の将来」という大きな問題に直面している。このような言挙げを試みた意中を汲み取って頂けることを願っている。

#### 1. 期待の第一：多様化時代の物質科学はどうあるべきか

今回の研究会の中心テーマは、最近の物性研短期研究会の中では、かなり異色なものだったといってよい。従来の多くの研究会は、程度の差はあっても、専門分野の“同業者”的な集まりで

あった。これに対して、この研究会では、積極的に“異業者”の間の交流を計ることが主な目的とされていた。別の言い方をすれば、そこには、多様化時代の到来を予想して、その中の「物質化学（および物性研）の将来」の役割を見定めようとする意図が伺われた。このような企画は、とかく時流に乗った際物と見なされがちである。その種の誇りを憚れずに企画を進めるには、かなり勇気がいっただろう。だが、そのような性質の研究会は、従来に増して、必要となっているというのが、わたくしの考えでもあった。実際、同じ考え方から山田安定（東大物性研）、鈴木哲郎（筑波大）の両氏と、「一次相転移に伴うメゾスコピック構造の形成とそのダイナミックス」という物性研短期研究会を一昨年9月に開いた。そこでも、今回の研究会と同じように磁性、金属、光物性、誘電体、液晶、有機化学などの多彩な分野の研究者が、横断的なテーマの議論を試みたのである。この種の学際的研究に関心が高まってきた背景には、広く科学や社会全般にわたって進んでいる「多様化」現象が関係しているように思われる。「多様化世界」という言葉は、F. ダイソンの近著〔1〕に付けられた標題でもある。（この本の原題は“*Infinite In All Directions*”であるが、その冒頭の章にある著者の講演(1985), “多様性を讃えて”（In Praise of Diversity）に因んで、訳者が日本語訳の標題としたものである。）この能説の理論物理学者によれば、超弦理論を単純化の極致としたとき、自然そのもののもつ豊かな多様性と無限の可能性は、遙々と数1000キロの距離を飛翔する本能を備えたオオカバマダラ蝶の変態に譬えられるだろうという。自然そのものがもつ多様性の魅力は、心ある物性物理学者の眼には、誰しも明らかであろう。最近、Physics Today誌に掲載されたP.W. Andersonの文章〔2〕，“Is Complexity Physics? Is It Science? What Is It?”はその奇矯な標題よりも、その趣旨によって多くの読者の共感を得た。“With the maturation of physics, a new and different set of paradigms began to develop that pointed the other way, toward developing complexity out of simplicity.”というこの文章中の言葉は、ダイソンが象徴的な例として引いた、夏空高く舞い上がり樹々を越えて北米大陸から遙かなメキシコに向かって飛び立ってゆくオオカバマダラ蝶のイメージとよく対応している。上記の例に限らず、視点の複眼化、専門領域の学際化は、科学のあらゆる面で今急速に進展している。多様化の動きは、科学のみならず世界的な規模で社会全般に見られるようと思われるが、科学に話を限れば、その影響は物質科学に最も顕著であろう。その影響が、この国の物性物理研究の拠点と自他ともに目されている物性研の在りようにどのような形で顕われているのか、また、研究所外部の多くの専門分野の研究者からの発言に対して、その内部からどのような反応があるのか。それを実際に確かめる機会を得ることが、この研究会に対する第一の期待と楽しみだった。

## 2. 期待の第二：内向型研究者と発信型研究者の問題

ところで、今回の研究会のような多分野間の交流の場では、その成否の鍵となる一つの問題がある。それは、物性研ばかりでなく、現在大きな転機を迎えている大学の在り方に關係した重要

な問題でもある。

一般に、大学や国公立研究機関に属する研究者は、放っておけばひとりでに同業者で集まる傾向がある。同じ専門用語が気軽に使える同士との会話を好み、他分野の人々には強い人見知りの反応を呈する。それを内向型研究者と呼ぶ。おそらく90%以上の研究者は、生来そのような傾向を多少とも持っているだろう。これに対して、他者にとって有用なメッセージを、理解可能な方法で積極的に発信することを自らの喜びとし、自発的にそれに努めるタイプの研究者を発信型研究者と呼ぶ。たとえ内向型研究者であっても、学部に在籍して学生の教育にいささかでも携わるならば、無理にでも発信型の能力を身に付けないと教師としての役目が勤まらない。しかば、研究所ではどうだろうか。5年前に、物性研の将来に関して「外部から見た物性研」という小文を「物性研30年－回顧と展望－」という小冊子に寄せた〔3〕。その中の研究所の活性化についてという項目で、現在のA棟ロビーやQ棟地下の生協食堂ではなく、所員の交流を目的としたしきるべき集会施設が欲しいという希望を書いた。物性研のような共同利用研こそ発信型研究者の存在が必要で、その活動により専門分野の壁を越えた研究を活性化しなければ、共同利用研としての機能が果たせない。そのための活動の場を整備する必要があるという趣旨だった。そのような発信型の研究者の影が薄い研究所は、遅かれ早かれ研究所全体としても内向的性格を強め、はては自閉的な徵候を呈し始める。よほど外圧が加わらない限り、自分にとって関心のない世界には“関係ない”という態度を取り、仲間内だけの殻に閉じ籠ることになる。そうなったら、研究所（同じことは学部や大学にもあてはまるが）という組織は、てんでんばらばらな研究者の閉鎖的集団に過ぎぬものとなり、もはやその存在意義を失ったという他ない状態となる。今回の研究会の機会に、物性研内外で活動している心ある発信型研究者の間で、どのような甲論乙駁がなされるか。それを見ることが、この研究会での第二の期待と楽しみであった。

### 3. 研究会の感想

個々の講演者が話された内容は別に紹介されているので、ここでは触れない。以下では、前記のような「期待と楽しみ」が実際にどのような形をとって現実のものとなったかを述べてみたい。初めにお断りしたように全ての講演を聞いた訳ではないが、それでも多様化時代の物質科学について、様々なメッセージの発信を印象付けられた講演がいくつかあった。しかし、参加者の議論も含めて、印象に残ったのはもっぱら物性研外部の研究者からの発信だった。ところで、今回のような性質の研究会で活躍する発信型研究者には、いくつかの共通した特徴がある。たとえば、(1)具体的な問題意識をもっていること、(2)他の分野の聴衆にも、“それなら自分なりにこんなアプローチができるなあ”というような問題意識を誘発させる間口の広さをもつこと、(3)聴衆に背を見せて話すのではなく、終始、対面して話し掛け、問い合わせる姿勢を保つこと、などであろう。さらに、ロビーや廊下などで誰彼となく話し掛けるということを加えてよい。（これらは、研究会の場だけでなく、多数の学部学生に講義する際の要訣もある。）今回の研究会で、そのよ

うな発信型の姿勢が特に印象に残ったのは、松本、松永、松井各氏の話だった。これは話術の巧拙の問題ではない。それぞれの話題に関して、それが、多様化しつつある物性科学の中で、どのような意義をもち、他の研究分野とどんな具合に関わりをもっているかを、是非参加者に伝えたいという熱意が込められていたからである。それは、今回の研究会での大きな収穫だった。ところで、この研究会の参加者が、多分、共通に感じていたに違いない不満は、折角の貴重な交流の機会に、物性研関係者の出席がはなはだ芳しくなかったことだったと思う。だが、それは予感されていたことでもあった。この三月、物性研では数少ない発信型研究者として活躍されていた山田 安定氏が、停年退官された。3月16日に開かれた山田、森垣両氏の退官記念講演を聞きに行ったとき、その席に物性研関係者の姿が予想外に少ないと見て正直のところ、“これは”という思いを禁じえなかったのである。それに多忙という理由もあるが、自分の専門に直接関係ないと思われる話題や行動には関心を払わず、各自の殻に閉じ籠もっている内向型の研究者が支配的となった物性研の現状を、これは反映しているのではなかろうか。

#### 4. 物性研は発信型の研究所になりうるか

前掲のAndersonの言葉ように、新しいパラダイムの創出に向けて内外の横断的な研究活動を開すべき共同利用研では、学部以上に発信型の人材を必要としている。物質科学は、他のどんな分野にも増して、打てば響くような連携プレイが必要とされる研究分野であろう。だが、実際には、前述のような多様化傾向とは裏腹に、物性研ばかりでなくこの国の物性物理の研究全般が、内向化の傾向を強めていると思われるふしがある。このことは、最近までの5年間に關係してきた物理学会誌の編集で感じた印象に拠るところが大きい。いうまでもなく、会誌の最大の使命は、多様化科学の全般的状況を様々な分野の会員に紹介し、横断的な研究の交流を活性化することにある。実際、そのような交流の話題には事欠かない。例えば、極限計測技術の進歩により、宇宙背景輻射スペクトルの測定が4桁の制度で可能になり〔4〕、宇宙物理学者がハイテク技術の専門家と眼を輝かせて語り合う時代になった。また、生物物理、地球物理、化学物理（高分子、液晶など）などの“物性物理の隣接分野”でも、発信型研究者の活動が目覚ましく、多様な記事が会誌の「交流」欄などを賑わせている。これらの分野の活況を示す魅力的な記事と比較して、固体物理関係の記事は一般に専門的色彩が強く、他分野の読者に訴える魅力が少ない。そのことが、しばしば、編集委員会での話題となってきた。固体物理では他分野に比べて成熟の程度が進み、交流を特に必要としない閉鎖社会となったのが、その原因なのだろうか。会誌編集委員としてかねて抱いていたそのような危惧の念は、今回の研究会の印象とも合致している。もしそうなら、ことはひとり物性研だけの問題に止まらない。上記のような物性研の現状は、ことによると、この国の物性物理全般にわたる自閉症的な状況の反映に過ぎないのかもしれない。どんな病気でも、それが正しく自覚されれば治癒の希望が持てる。まず実情を正しく認識することが、健康回復の第一歩であろう。今回の研究会には、全国各地（熊本、岡山、大阪、京都など）から熱心な

参加者があり、「物質科学の将来」という共通の問題に関して、それぞれ周到に用意された内容の講演がなされた。それは、ひとえに物性研という掛替えのない共同利用研究の場に対する多くの研究者の期待を反映したものだろう。そうした熱心な外部の人々が存在し、それに応えて努力する内部の人々がたとえ小数でもいる限り、将来に希望はある。物性研がどれだけ強力な「発信源」になるかによって、多様化時代を迎えることこの国の物質科学の展開の様相も変わってくるだろう。そのためには、「発信型研究所になりうるか」という設問ではなく、「どうしたら、そうなれるか」という問題意識に基づく模索がなされなければならないはずである。

(1992.6.18)

- [1] F. ダイソン; 「多様化世界」(訳／鎮目恭夫, みすず書房, 1990)
- [2] P.W. Anderson; Phys. Today, July 1991, p. 9.
- [3] 国府田隆夫; 「物性研30年—回顧と展望—」(東大物性研, 1987), p. 59.
- [4] J.C. Mather et al.; Astrophys. J. 354 (1990) L37. (佐藤勝彦氏の教示による)

## 物性研短期研究会

### 「パーコレーションの理論と応用」報告

#### 研究会の主旨

パーコレーションというパラダイムは、系の性質を決定づける何等かの要素のつながり方に注目して、その要素のつながり方の変化から不規則系の性質の特徴を理解しようというものであり、宇宙論から素粒子論に至るまで、あらゆるスケールの現象に適用されてきている。最近、混合系の物性やマイクロエマルジョンなど数多くの分野においてパーコレーションの考え方方が用いられるようになってきた。パーコレーションの基礎理論の研究、物性物理学及びその周辺領域における理論・実験両者に関わる応用などを中心とした研究発表を通して、パーコレーションの理論と応用に関する世界及び日本における研究の現状を把握し、パーコレーションに関する研究の将来を展望することを目的として研究会を開催した。

#### プログラム

期日：平成4年6月15～17日

場所：東京大学物性研究所講義室

6月15日（月）(13:00～17:45)

- (1) 13:00 事務連絡他
- (2) 13:10 Percolation; Now and Then ..... 小田垣孝（京工織大工芸）  
A. Puri (New Orleans Univ.)
- (3) 14:10 Rigorous Results in Percolation ..... 樋口保成（神戸大理）

\*\*\* Coffee Break (15:10～15:25) \*\*\*

- (4) 15:25 Critical Behaviour for Percolation ..... 原 隆（東工大理）
- (5) 16:20 Behavior of the supercritical phase  
of a continuum percolation model on  $\mathbb{R}^d$  ..... 種村秀紀（千葉大理）
- (6) 17:15 Convergence of the mean-field approximation  
in the site percolation problem.  
Application of the coherent-anomaly method to one-dimensional  
further neighbours percolation models ... A. Lipowski, M. Suzuki (東大理)

6月16日（火）（9:00～17:50）

- (1) 9:00 Percolationによる無限粒子系の相転移現象の解析 ..... 今野紀雄（室蘭工大）
- (2) 9:35 拡散を伴うコンタクト・プロセスの相図について ..... 香取真理（中央大理工）
- (3) 10:05 新しい型の秩序相・相転移における wall percolation ...上野陽太郎（東工大理工）

\* \* \* Coffee Break (10:35～10:50) \* \* \*

- (4) 10:50 連続体パーコレーションとトポロジー ..... 富田博之（京大教養）
- (5) 11:20 連続型パーコレーション問題（スイスチーズモデル）の臨界指数  
..... 丸山兼泰, 奥村浩一, 宮島佐介（中部大工）

\* \* \* 昼 食 (12:00～13:15) \* \* \*

- (6) 13:15 格子理論のすすめ－集団生物学と統計物理学－ ..... 松田博嗣（九大理工）
- (7) 14:15 薬物の生体内での動き ..... 長谷川高明（名大医）

\* \* \* Coffee Break (15:00～15:15) \* \* \*

- (8) 15:15 高分子のゲル化と粒子分散系の凝集過程における弾性パーコレーション  
..... 甘利武司, 大坪泰文, 金井宏行（千葉大工）
- (9) 16:00 P V A（ポリビニルアルコール）ゲル生成過程における  
網目構造と機械的性質 ..... 満田深雪（スズキKK技研）
- (10) 16:30 粉粒体における異径粒子の分離現象の分子動力学法による研究  
..... 大月俊也, 竹本能和, 林 秋久（福井大工）
- (11) 16:50 Numerical Computation for Flow through Porous Media  
..... 友枝謙二（大工大一般教育）, 三村昌泰（広島大理工）
- (12) 17:20 理想臨界パターンとパーコレーション ..... 小川 泰（筑波大物工）  
17:50 自由討論（研究会の将来計画）  
18:00 懇親会

6月17日（水）（9:00～16:40）

- (1) 9:00 Bi2223銅酸化物系における超伝導パーコレーション  
..... 君嶋義英（横浜国大工）, 大西 淳（住友重機）
- (2) 9:30 ヘテロ磁性体,  $\text{CoCl}_2\text{-GIC}$ のフラクタル構造とパーコレーション相転移  
..... 松浦基浩（京工織大電子情報）

\* \* \* Coffee Break (15:00～15:15) \* \* \*

- (3) 10:15 パーコレーション磁性体のスピンドイナミックス ..... 池田宏信 (高工研)  
(4) 10:45 金属-セラミックス焼結体におけるパーコレーション過程と伝導度の臨界挙動 ..... 吉田起国 (京大原工研)  
(5) 11:25 アモルファス半導体の電子速度の異常な分散とパーコレーション ..... 村山和郎 (日大文理)  
(6) 11:45 局在波動関数の漸近的性質 ..... 寺尾貴道, 矢久保考介, 中山恒義 (北大工)  
(7) 12:05 パーコレーション反強磁性体におけるスペクトル次元 ..... 矢久保考介, 寺尾貴道, 中山恒義 (北大工)

\* \* \* 昼 食 (12:25~13:25) \* \* \*

- (8) 13:25 Fundamental Properties of Powder and Size-Reduction of Solid  
in Fractal Nature ..... 落合 萌, 小棹理子, 小倉 浩 (湘北短大電子)  
..... 山崎義武 (九大情報工)  
(9) 13:55 Viscous Fingering と Fracturing の Coupling がつくるパターン形成  
..... 吉野 隆, 平田隆幸, 小川 泰 (筑波大物工)  
(10) 14:15 地震のパターン形成-破壊間の相互作用- ..... 平田隆幸 (筑波大物工)  
..... A. Posadas (Inst. Andaluz de Geofis.)  
(11) 14:35 パーコレーションのフラクタルモデル ..... 長谷 隆 (静岡大工短大)

\* \* \* Coffee Break (15:05~15:15) \* \* \*

- (12) 15:15 焼結のシミュレーションとパーコレーション ..... 貞岡久里, 高安秀樹 (神戸大理)  
(13) 15:35 Chemical Reaction on Sierpinsky Gasket  
..... A. Yu. Tretyakov, H. Takayasu (神戸大理)  
(14) 15:55 At the edge of a percolation system; Half space percolation  
..... A. Yu. Tretyakov, H. Takayasu (神戸大理)  
..... S. F. Burlatsky (MIT)  
(15) 16:15 衝突により作られる界面のフラクタル構造 ..... 宮島佐介, 西原 宏 (中部大工)  
  
(16) 16:35 閉会の辞 ..... 川崎辰夫 (京大教養)

## Percolation; Now and Then

京工織大工芸 小田垣 孝, New Orleans 大 A. Puri

導入から現在に至るパーコレーションに関する研究の発展を、三つのステージに分けて概観した。まず、1957年に導入されて以来60年代は、パーコレーションは主として幾何学的な問題として取扱われてきた。精力的な研究によってほとんど全ての格子に対する浸透閾値が求められると共に、応用上の必要性から分布に相関のある系やつながりを作る要素が自己増殖する系等一般化された過程が研究されている。70年代には、相転移に対する繰込み群の方法やスケーリング理論がパーコレーションにも適用されるようになって、興味は臨界指数やスケーリング則が中心となった。ここで開発されたクラスター分布に対する解析法は、広く応用されるに至っている。80年ごろには、パーコレートしたクラスターの構造がフラクタルの概念を用いて理解されるようになった。また、数学者による取組みも活発になり、2次元過程の厳密解を含む多くの結果が得られるようになった。（次の樋口氏の報告参照）スケーリング則から、ユニバーサリティーが期待されていたが、最近必ずしもスケーリングが成り立たないような過程があることが示され、今後の問題となっている。一方、1980年ごろから構造だけでなく、パーコレートする要素の動的過程としてパーコレーションを捉えると言う考え方方が盛んになってきた。当然、ダイナミックスが量子論的か古典論的かによって浸透がどのように異なるのかということに興味がもたらされた。浸透閾値は、量子過程の方がおよそ30~40%大きいと考えられている。磁場の効果、トンネリングの効果等も研究されている。岩石中の石油を水で追い出すという実用上の問題から、インベージョンパーコレーションという過程が提案され、両者の相互作用の影響、バイコンティニュアス相の構造等が注目されている。

最後にソフトパーコレーション<sup>1</sup>について述べた。通常の動的パーコレーションでは、二つの要素の距離  $r$  がある値  $r_0$  以下であればそれらの間につながりがあると考えるが、ソフトパーコレーションではそのつながりが  $(r_0 - r)^a$  に比例した確率で生じるとする。このとき、伝導度の臨界指数がそのべき  $a$  に依存することが予想されており、「最近の計算機実験<sup>2</sup>」もその予想をサポートする結果を与えている。

1. T. Odagaki, J. Phys. C 1, 1013 (1989).

2. A. Puri and T. Odagaki, in preparation.

## Rigorous results in Percolation

神戸大理 樋口保成

この報告では、 $d$  次元正方格子  $\mathbb{Z}^d$  上のパーコレーションについて現在までに得られている数学的な結果をまとめて紹介する。もちろん、ここに紹介できない重要な結果もたくさんあるが、本報

告では、いわゆる Bernoulli Bond percolation と呼ばれるもっとも単純なモデルについての結果に集中することにする。

$\mathbb{Z}^d$  のボンド  $b$  は、ランダムに確率  $p$  で open,  $1-p$  で closed の 2 つの状態を取るものとする。 $C_0$  で原点を含む open bonds の連結成分を表すことにすると、

$$\theta(p) = \text{Prob}_p\{|C_0| = \infty\}$$

とおくと、臨界確率  $p_c = p_c(d)$  を  $p < p_c$  のとき  $\theta(p) = 0$ ,  $p > p_c$  のとき  $\theta(p) > 0$  によって定義する。この  $p_c$  の値に関しては、T. E. Harris によって  $d=2$  のとき  $p_c(2) \geq \frac{1}{2}$  が 1960 年に証明されて以来、多くの人々が  $p_c = \frac{1}{2}$  を証明しようと努力したが、H. Kesten が証明に成功したのは、1980年のことであった。Kesten と同じ手法により J. Wiermann が 1981 年に、三角格子および蜂の巣格子における  $p_c$  の値が、それぞれ  $2 \sin \frac{\pi}{18}$  と  $1 - 2 \sin \frac{\pi}{18}$  であることを証明している。しかし、exact な値が得られたのはここまでである。

$p_c$  に関する少し一般的な結果としては、1981 年の L. Russo によるものがある。これは、site problem に関する結果である。彼は、平面格子の臨界確率  $p_c$  とその dual な格子の臨界確率  $p_c^*$  との間には

$$p_c + p_c^* = 1$$

と言う関係式が成り立つことを証明した。平面格子の bond problem が、いつでも別のグラフの site problem に書き換えられると、これは十分一般的な結果と言えよう。ちなみに、平面正方格子における site problem の臨界確率に関する現在得られているもっとも良い数学的な評価は、

$$p_c > 0.503478\dots$$

というものである。（右辺の値は、ある多項式の零点の値として得られる。）

高次元の話に移ろう。ここでは、スピン系の時のように転移が sharp であるか否かが長い間の問題であった。例えば、cluster distribution function に関しては、次のような結果が得られていた。

$$\text{Prob}_p\{|C_0| = n\} \geq \text{Const.} \times e^{-\alpha n^{(d-1)/d}} \quad \text{for } p > p_c,$$

(M. Aizenman, Delyon, F, and B. Souillard ; 1980) および、

$$\text{Prob}_p\{|C_0| \geq n\} \leq \sqrt{\frac{e}{n}} e^{-n/2\chi(p)^2} \quad \text{for } n \geq \chi(p)^2 \quad \text{if } \chi(p) < \infty$$

(M. Aizenman and C. M. Newman; 1984) ただし、 $\chi(p) = \langle |C_0| \rangle_p$  ( $|C_0|$  の期待値) とする。問題は  $p > p_c$  と  $\chi(p) < \infty$  との間に gap があるかどうかというのだ。平面の時とは違い、duality が使えないのがなかなか解決の糸口がつかめなかったが、van den Berg-Kesten の不等式 (J. van

den Berg and H. Kesten ; 1985 ) の登場により, みごとに転移が sharpであることが証明された。 (M. V. Menshikov ; 1986, および M. Aizenman and D. J. Barski ; 1987) これとほぼ時を同じくして, open bonds の連結成分のうち, サイズが無限に大きいものの個数は, ただ一つであることが示された。 (Aizenman, Kesten and Newman ; 1987)

$\chi(p) < \infty$  のとき、

$$\begin{aligned}\tau_p(0, x) &= \text{Prob}_p\{0 \sim x\} \\ &= \text{Prob}_p\{x \text{ は open path で原点とつながっている}\}\end{aligned}$$

もまたexponential に decayしており, 無限連結成分の一意性と FKG 不等式により, この量は  $p > p_c$  では下から  $\theta(p)^2$  で押さえられることがわかる。この時, これを truncate してやった量;

$$\tau_p^f(0, x) = \tau_p(0, x) - \theta(p)^2$$

は, 半空間  $\mathbf{Z}_+^d = \{x = (x^1, \dots, x^d) \in \mathbf{Z}^d; x^1 \leq 0\}$  に於ける percolation の臨界確率  $p_c^+$  について,  $p > p_c^+$  のとき exponential に decay する。 (J. T. Chayes, L. Chayes and Newman; 1987) この  $p_c^+$  が  $p_c$  と同じものであることがわかったのは最近のことである。 (G. Grimmett and J. M. Marstrand ; 1990)

#### References

- Aizenman, M. and Barski, D.J. : Communications in Mathematical Physics, 108 (1987).
- Aizenman, M., Delyon, F. and Souillard, B. : J. Statistical Physics, 23 (1980).
- Aizenman, M., Kesten, H. and Newman, C.M. : Communications in Mathematical Physics, 111 (1987).
- Aizenman, M. and Newman, C.M. : J. Statistical Physics, 36 (1984).
- van den Berg, J. and Kesten, H. : J. Applied Probability, 22 (1985).
- Chayes, J. T., Cayes, L. and Newman, C. M. : Annals of Probability, 15 (1987).
- Grimmett, G. : Percolation, Springer, 1989.
- Grimmett, G. and Marstrand, J. M. : Proceedings of the Royal Society of London, A, 430 (1990).
- Harris, T. E. : Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, 56 (1960).
- Kesten, H. : Communications in Mathematical Physics, 74 (1980).
- Menshikov, M. V. : Soviet Mathematics Doklady, 33 (1986).
- Russo, L. : Zeitschrift fur Wahrscheinlichkeitstheorie, 56 (1981).
- Wierman, J. C. : Advances in Applied Probability, 13 (1981).

## Critical Behaviour for Percolation

東工大理 原 隆

パーコレーションの臨界現象の基本的な部分（厳密なもの、厳密でないもの）について、かなりの主観を交えて review した。

まず、講演の前半では、物理学者によって信じられているパーコレーションの臨界現象の描像を概説した。特に、臨界点  $p_c$  近傍で以下のような巾乗則が成り立つと予想されていること、〔 $\chi$  はクラスターの大きさの平均、 $\theta$  は percolation density 〕

$$\chi(p) \approx (p_c - p)^{-\gamma}, \quad \theta(p) \approx (p - p_c)^\beta$$

及び、臨界指数  $\gamma, \beta$  などは、(1) universal であり、(2) scaling を満たし、(3)  $d < d_u (= 6)$  では hyperscaling をも満たす、と予想されていることを強調した。また、6 次元以上では臨界指数が平均場近似の予想値と等しくなると予想されている点にも触れた。

このような予想は（物理屋からの直観からいえば）ほとんど間違いないものと思われるが、一般的な次元においての厳密な証明はどうやって行つたらいいのか、残念ながら皆目見当もつかない。そこで講演の後半においては、現在、厳密な結果はどの程度得られているのか、概説した。

主なものを列挙すると、(1)  $\chi(p), \xi(p)$  [  $\xi$  は相関距離] の臨界点での発散、(2) 臨界指数が平均場近似の予想値で抑えられていること [mean-field bound と呼ぶ；例： $\gamma \geq 1, \beta \leq 1$ ]、(3) hyperscaling 則が成立すれば等号の成立する臨界指数の間の不等式 [例： $(d - 2 + \eta) \nu' \geq 2\beta$ ；これは臨界次元が 6 以上であることを示すのに使える]、(4) 臨界指数が平均場近似の予言と一致するための充分条件 [triangle condition, 及び系の次元が充分高いこと]、である。

厳密な結果は大変少なく、今後の研究のさらなる発展に期待して結びとした。

## Behavior of the supercritical phase of a continuum percolation model on $R^d$

千葉大理 種村秀紀

最近パーコレーション問題の解析に繰込みの手法を用いて様々な研究が Grimmett 達によって行われている。特に Grimmett-Marstrand(1)は、 $d$  次元正方格子  $Z^d$  上の Bernoulli site percolation model に対して supercritical での振舞を調べており、2 次元の場合、若しくは多次元では critical value より十分大きな所でのみ示されていた結果の多くが supercritical であれば成立することを示した。

繰込みの手法をより一般化する事により様々なパーコレーションモデルに対して Bernoulli site percolation model で得られた結果がそのまま成り立つと思われる。我々は、“Poisson blob model”

と呼ばれる  $d$  次元ユークリッド空間  $\mathbb{R}^d$  上のパーコレーションモデルについて supercritical での振舞の研究を行った。Bernoulli site percolation model では、 $\mathbb{Z}^d$  上の独立な occupied site からなるクラスターを考えるのに対して、Poisson blob model では、Poisson 分布に従って配置された半径  $r > 0$  の occupied ball からなるクラスターを考える。Poisson blob model に対しては繰込みの手法が適用できることを示すことができ、Bernoulli site percolation model に対して得られた supercritical での結果に対応した結果が成り立つことを示すことができる。

#### 参考文献

- (1) Grimmett, G. R., Marstrand, J. M., The supercritical phase of percolation is well behaved, Proc. R. Soc. Lond. A 430 (1990), 439-457

## CONVERGENCE OF THE MEAN-FIELD APPROXIMATION IN THE SITE PERCOLATION PROBLEM. APPLICATION OF THE COHERENT-ANOMALY METHOD TO ONE-DIMENSIONAL FURTHER NEIGHBOURS PERCOLATION MODELS

Adam Lipowski\* and Masuo Suzuki

Department of Physics, Faculty of Science, University of Tokyo

We study the mean-field approximation in the site-percolation problem. The formulation of our approximation does not refer to the Kasteleyn-Fortuin transformation into the Potts model. We propose instead a certain nonlinear equation to be satisfied by the percolation probability. Using the analog of the Simon-Lieb inequality (proved originally for ferromagnets), we show that when the size of clusters tends to infinity, the obtained series of the critical probabilities  $p_c$  is convergent toward the exact value  $p_c^*$ . This applies to any  $d$ -dimensional model.

The second part of our work is devoted to the exactly solvable<sup>1)</sup> 1-dimensional further neighbours percolation problem. The simplicity of this model and its rich critical behavior have inclined us to use it as a test for the coherent-anomaly method (CAM), which was proposed by one of us (M.S.)<sup>2)</sup>. Based on the results obtained by mean-field approximations, the CAM is a general method for studying phase transitions. The purpose of this work was to check some relations predicted by the CAM. These relations can be derived with the use of certain scaling assumptions and they are numerically well confirmed. In general, however, a more rigorous proof is required and it is still lacking.

In our model, the calculation of the critical coefficients (which diverge as predicted by the CAM) can be done exactly. The obtained asymptotic behaviour is exactly the same as the one predicted by the CAM. The more detailed version of our work will be published in the nearest future<sup>3)</sup>.

One of us (A.L.) would like to express his gratitude to the Inoue Foundation for granting him a scholarship. We acknowledge interesting discussions with Dr. M. Karori.

#### References

- \*Permanent address: Department of Physics, A. Mickiewicz University, Poznan, Poland
- (1) W. Klein, H. E. Stanley, S. Redner, and P. J. Reynolds: J. Phys. A11 (1978) L17.
  - (2) M. Suzuki: J. Phys. Soc. Japan 55 (1986) 4205.
  - (3) A. Lipowski and M. Suzuki: J. Stat. Phys. 69 (1992) (in press).

## Percolationによる無限粒子系の相転移現象の解析

室蘭工大 今野 紀雄

### (1) Oriented Site Percolation (OSP)

考える空間を  $V = \{(m, n) \in Z^2 : m + n \text{ is even}\}$  とし、各 site  $(m, n) \in V$  独立に、 $P((m, n) \text{ is open}) = p, P((m, n) \text{ is closed}) = 1 - p$  と定義する。また、浸透する方向を  $(m, n) \rightarrow (m + 1, n + 1), (m - 1, n + 1)$  に限定する。OSP の臨界確率  $p_c$  は次で定義される。 $p_c = \inf\{p : P(|\xi_n^o| > 0 \text{ for all } n) > 0\}$ 。但し、 $C_{(0,0)} = \{\mathbf{z} \in V : (0, 0) \rightarrow \mathbf{z}\}, \xi_n^o = \{m \in Z : (m, n) \in C_{(0,0)}\}$ 。この  $p_c$  に関して簡単な議論より次の bound を得ることが出来る。 $\frac{1}{2} \leq p_c \leq \frac{80}{81} \simeq 0.988$ 。尚この upper bound は、最近 Durrett (1992) により改良 ( $p_c < 0.819$ ) された。またこの臨界確率の予想値は Kinzel and Yeomans (1981) によると 0.706 である。

### (2) 1-Dependent Site Percolation (1-DSP)

上記の OSP に対して、 $\|(m, n)\|_V = (|m| + |n|)/2$  なるノルムを入れた Site Percolation を考え、 $\|\mathbf{x} - \mathbf{y}\|_V > 1$  なら  $\mathbf{x}$  と  $\mathbf{y}$  の事象は独立であるとしたものが 1-DSP である。このとき OSP の場合に用いたのと同様の Contour Argument により  $p_c \leq 1 - 3^{-36}$  を得る。

### (3) Contact Process (CP)

CP は無限粒子系の最も典型的なモデルの一つである。ここでは T.E.Harris (1978) による percolation 的な Graphical Representation (GR) を用いた一次元 CP の定義を紹介する。 $\{T_n^{(\mathbf{x}, \mathbf{y})}, n \geq 1\}$  を rate  $\lambda$  の Poisson process (但し  $\mathbf{x}$  と  $\mathbf{y}$  は最近接)、 $\{U_n^{\mathbf{x}}, n \geq 1\}$  を

rate 1 の Poisson process とする。時刻  $T_n^{(x,y)}$  で、 $x$  が occupied で  $y$  が vacant ならば、 $y$  も occupied にする。また、時刻  $U_n^x$  に  $\delta$  をおき、もし  $x$  で粒子が存在していたら消滅させる。 $\xi_t^A = \{y \in Z : \text{for some } x \in A, (x, 0) \rightarrow (y, t)\}$  としたとき、CP の臨界値は OSP の場合と同様に次で定義される、 $\lambda_c = \inf\{\lambda : P(|\xi_t^0| > 0 \text{ for all } t) > 0\}$ 。

#### (4) OSP と CP との関係

例えば次のような関係をもたせることが出来る。 $(m, n) \in V$  が open ということは、 $\Delta$  を時間間隔とし、(i) 場所  $m$  において、 $(n-1)\Delta$  と  $(n+1)\Delta$  の間に消滅を表す  $\delta$  が存在しない。(ii)  $n\Delta$  と  $(n+1)\Delta$  の間に  $m \rightarrow m \pm 1$  が存在する。

#### (5) 1-DSP と CP との関係

時間と空間を適当にスケール変換  $z_{m,n} = (aLm, Ln)$  することにより 1-DSP と CP をうまく関係付けることが可能な以下の  $\eta$ -system を構成することが出来る。(i)  $(m, n) \in V$  が open という事象と  $z_{m,n}$  の近傍である Good Event が CP の GR 上で起こるという事象が同値である。(ii)  $(m, n)$  が open か closed かは  $V$  のノルムで 1 より真に大きければ独立事象となる。(iii)  $L \nearrow \infty$  ならば  $P((m, n) \text{ is open}) \rightarrow 1$ 。(iv)  $V$  上で percolation が起こるならば、GR の CP において、原点の近傍から infinite path が存在する。

(6) 上記の関係 (4),(5) を用い、CP (さらに、ある場合には Diffusive CP) の相転移現象に対して解析を行うことが出来る。例えば、(4) の関係より CP の臨界値の upper bound を求めることが出来る。また、(5) より supercritical な場合に ( $\lambda > \lambda_c$ )、 $\xi_t^Z$  が定常状態に指数的に収束することが示される。但し、これらの方針が臨界値、臨界指数等の厳密 (rigorous) な値を求めようとするときどのくらい有効な方法なのか、現在の私には解らない。

#### References

- R.Durrett (1992) *J.Appl.Prob.* **29**, 11-20.
- W.Kinzel and J.Yeomans (1981) *J.Phys.A* **14**, L163-168.
- T.E.Harris (1978) *Ann.Prob.* **6**, 355-378.

註：この報告の内容のほとんどは R.Durrett (1988) *Lecture Notes on Particle Systems and Percolation*, Wadsworth Publishing Co, Pacific Grove, CA. の第 4,5,11 章に書かれてるので、さらに詳しく知りたい方はこの本を読まれることをお薦めします。

## 拡散をともなうコンタクト・プロセスの相図について

中央大理工 香 取 眞 理

コンタクト・プロセスは、伝染病伝播の簡単な数理モデルとして 1974 年に Harris によって提案された格子  $\mathbb{Z}^d$  上の連続時間マルコフ過程である。各格子点には高々一個の粒子しか存在できず、各粒子は rate 1 で消滅するか、その最近接格子点に（もしもそこが空孔ならば）rate  $\lambda$  で新しく粒子を生む。本講演では、このプロセスが拡散（各粒子がその最近接格子へ rate  $D$  でホッピングする）を伴った場合について報告した。

このプロセス (diffusive contact process — DCP) の生成作用素  $\Omega$  は次で与えられる。

$$\Omega f(\eta) = \sum_{x \in \mathbb{Z}^d} c(x, \eta) \{f(\eta_x) - f(\eta)\} + \sum_{x, y: \eta(x)=1, \eta(y)=0, |x-y|=1} D \{f(\eta_{xy}) - f(\eta)\},$$

但し、 $c(x, \eta) = \eta(x) + \lambda(1 - \eta(x)) \sum_{y: |x-y|=1} \eta(y)$ ,  $\lambda \geq 0$ ,  $D \geq 0$ , である。また  $\eta$  に対して、 $\eta_x$  は  $x$  での、 $\eta_{xy}$  は  $x$  と  $y$  での配置を入れ換えたものを表す。

DCP は attractive ので、各  $D$  に対して唯一の臨界値  $\lambda_c^{(d)}(D)$  を持つことが示せる。各  $D$  で、 $\lambda < \lambda_c^{(d)}(D)$  のときには任意の初期状態から始めて十分時間が経過すると粒子はすべて消滅してしまい (extinction)、 $\lambda > \lambda_c^{(d)}(D)$  のときには  $\delta_0$  (i.e.  $\eta \equiv 0$ ) 以外の任意の初期状態に対して  $t \rightarrow \infty$  でも粒子が残存する確率が正となる (survival)。臨界値  $\lambda_c^{(d)}(D)$  の  $D$  依存性が興味深い。

我々は duality や Holley-Liggett argument を用いて、臨界値に対して次のような上限と下限を得ることができた。

$$0 < \frac{(2d-1)D+1}{(2d-1)(2dD+1)} \leq \lambda_c^{(d)}(D) \leq \frac{1}{d} \{1 + \sqrt{1 + 2dD}\} < \infty.$$

臨界値  $\lambda_c^{(d)}(D)$  は  $D \rightarrow \infty$  で  $1/2d$  に漸近することが予想される。上記の下限はこのような振舞いを見せるが、上限の方は  $D \rightarrow \infty$  で  $\sqrt{D}$  に比例して発散してしまう。臨界値の  $D \gg 1$  での振舞いを調べるには別の手法が必要なようである。

(無限粒子系の数理に関して次の参考文献をあげておく、T.M.Liggett: *Interacting Particle Systems*, Springer-Verlag, New York, 1985.)

## 新しい型の秩序相・相転移における wall percolation

東工大理 上 野 陽太郎

### 1. 不完全秩序相 (Incompletely-Ordered Phase) について

IOP の存在が確認されているのは、現時点では 3 次元古典系のみであるが、多くのモデルがある<sup>1</sup>。基本的には共通の相互作用構造を持つので、以下 3 次元一般化 6 状態クロックモデルで考える<sup>2</sup>。クロックの状態  $\theta_i = \sigma_i \pi / 3$  ( $\sigma_i = 1, \dots, 6$ ) に対し、相互作用  $V(\sigma_i - \sigma_j)$  は  $\Delta\sigma = \sigma_i - \sigma_j$  として

$$V(\Delta\sigma) = \varepsilon_1 \delta_{|\Delta\sigma|, 1} + \varepsilon_2 \delta_{|\Delta\sigma|, 2} + \delta_{|\Delta\sigma|, 3} \quad (1)$$

で与えられる。簡単のため、 $\varepsilon_2 = 1$  として  $\varepsilon_1$  のみ変化させる ( $0 < \varepsilon < 1$ )。計算の結果、 $\varepsilon_1 < 0.45$  で中温相の IOP と低温相の完全秩序相 (COP) が存在する。

従来の秩序 COP はすべて、同等な成分中の 1 成分のみが支配する完全支配型であった。それに対して IOP では、隣合った 2 成分 (IOP(I)) あるいは 3 成分 (IOP(II)) が支配する連立型である。これらの結果は我々が開発したモンテカルロひねりの方法<sup>3</sup>によって得られた。系を  $\phi (= \pi/3, 2\pi/3, \pi)$  だけひねるのに必要な仕事は自由エネルギーの増加分  $\Delta F_L(T, \phi) \sim A(\phi)L^{\psi_s}$  で与えられ、秩序相は剛性指数の値  $\psi_s$  によって大別される。従来の秩序では、界面が定義される domain-wall 型の  $\psi_s = d - 1$  と連続的に変化する spin-wave 型の  $\psi_s = d - 2$  であった。しかるに、IOP では、 $d = 3$  では、秩序変数空間の次元数  $d_{op}$  に依存し、クロック  $d_{op} = 2$  では  $\psi_s \approx 1.2$ 、 $d_{op} = 3, 4$  では  $\psi_s \approx 1.8, 0.7$  の非整数となっている<sup>3,2</sup>。

## 2. IOP の幾何学的記述

剛性に表れた IOP の特徴は、当然秩序構造と関係がある。IOP(I) のスピン配置は、2 つの成分が互いに混じるマイクロエマルジョンにそっくりの bicontinuous な状態で、IOP(II) でも 3 成分が類似の構造をもっているようだ。この点を明らかにするために、フェロ Potts モデル ( $\varepsilon_1 = 1$ ) が  $q$  色のボンドパーコレーションモデルで表せる<sup>4</sup>ことに着目して、 $\varepsilon_1 < 1$  への拡張を行った。フェロ Potts が剛体的自由クラスターの集合であるが、このモデルでは隣合わせの色 ( $|\Delta\sigma| = 1$ ) のクラスター間に引力が働く。これによって生じる  $|\Delta\sigma| = 1$  のクラスター間の境界を wall と仮に呼ぼう。この結果  $\varepsilon_1 < 1$  では質的に新しいパーコレーション問題、即ち、クラスター及び wall の percolation の問題になることが判明した。それによって、IOP の新しい特徴は、相転移の対称性変化に関する問題への解決への道が開けた。結合ボンドの確率  $p_0$ 、wall ボンドの確率  $p_1$ 、空ボンドの確率  $p_v$  は

$$\exp -\beta V(\Delta\sigma) = N\{p_0\delta_{\Delta\sigma,0} + p_1\delta_{|\Delta\sigma|,1} + p_v\} \quad (2)$$

によって定義される ( $\beta = 1/T$ )。 $p_0 = (1 - e^{-\beta})/N$ ,  $p_1 = (e^{-k} - e^{-\beta})/N$ ,  $p_v = 1 - p_0 - p_1 = e^{-\beta}/N$ 。ここで  $K = \beta\varepsilon_1$ 。クラスターで表すために、ボンド変数 ( $n_{ij} = \text{link}, \text{wall}, \text{vacant}$ ) を導入する。即ち、

$$p_0\delta_{\Delta\sigma,0} + p_1\delta_{|\Delta\sigma|,1} + p_v = \sum_n [p_0\delta_{\Delta\sigma,0}\delta_{n,\ell} + p_1\delta_{|\Delta\sigma|,1}\delta_{n,w} + p_v\delta_{n,v}] \quad (3)$$

これを使って変形していくと、分配関数の異常部分は

$$Z_{\text{sing}} = \sum_{\sigma} \sum_{g_{\ell} \subseteq G_0(\sigma)} \left(\frac{p_0}{p_v}\right)^{\sum_{\mu \in g_{\ell}} V_{\mu}} \times \sum_{g_w \subseteq G_1(\sigma)} \left(\frac{p_1}{p_v}\right)^{\sum_{(\mu\nu) \in g_w} S_{\mu\nu}} \quad (4)$$

$G_0, G_1$  は各々  $\sigma = \{\sigma_i\}$  の  $|\Delta\sigma_{ij}| = 0$  と 1 よりなる格子グラフ。 $g_{\ell}, g_w$  は  $G_0$  と  $G_1$  を各々  $n_{ij} = \ell$  と  $v$  及び  $n_{ij} = w$  と  $v$  に分割したボンドグラフ。 $V_{\mu}$  は  $\mu$  番目のクラスターの体積（ボンド数単位）。 $S_{\mu\nu}$  はクラスター  $\mu\nu$  間の wall 面積（同単位）。COP は 1 成分クラスター percolation のみ、IOP(I) は 1 成分 ( $\sigma$  と  $\sigma+1$ ) の wall percolation、IOP(II) は隣合った 2 成分 ( $\sigma$  と  $\sigma+1, \sigma+1$  と  $\sigma+2$ ) の wall percolation を仮定し、 $p_0/p_v = e^{\beta} - 1$  と  $p_1/p_v = e^{\beta(1-\varepsilon_1)} - 1$

の  $T$  と  $\varepsilon_1$  に依存した大小関係を検討すると、モンテカルロで得た  $T - \varepsilon_1$  相図が説明できることが判明した。特に  $\varepsilon_1 = 0$  のときの臨界点は厳密に  $T_c = 1/\log 2 \simeq 1.44$  である可能性が大きい。また wall percolation によって秩序変数が定義できるため、特異な対称性不変の転移も説明できる。更にクラスターを使う数値計算のアルゴリズムも得られた。

### 3. Restcted Solid-On-Solid モデルにおける wall(あるいは step) percolation

結果だけ述べると、RSOS モデルは、上記の幾何学的記述が適用でき、 $p_v = 0$  となるので  $p_0$  と  $p_1$  のみの系となる。それから、flat 相は、step 曲線が閉じた状態で、rough 相は、step 曲線が開いて percolate し、可能なすべての step が等しい確率で存在する状態として特徴づけられる。小川ら<sup>5</sup>が  $T = 0$  の 3 角格子 Ising 反強磁性体で得たパターンはまさにそのような状態である。更に step 間の相互作用をもつ場合には Dis-Ordered Flat 相<sup>6</sup>が中間相に現れ、ある 1 成分の step( $h$  と  $h+1$  及び  $h+1$  と  $h$ ) が交互に percolate した状態となる。

### 4. まとめ

- (1) フェロ Potts を含む一般化クロックモデルはクラスター相互作用系に変換され、IOP はその相互作用が強い時に生じる wall percolation の幾何学的特徴を持つ状態である。
- (2) wall percolation は IOP の（非局所的）秩序変数であることが明らかになり、これによって新奇な相転移も含めた IOP の統一的な説明が可能になった。
- (3) RSOS モデルの rough 相は wall percolation の状態であり、DOF 相と共に IOP の 1 つと拡張して考えられることが判明した。

### 文献

- 1) 例えば、次の論文とその中の文献参照。Y. Ueno and K. Mitubo: Phys. Rev. B. **43** (1991) 8654.
- 2) Y. Ueno and K. Kasono, preprint.
- 3) Y. Ueno, G. Sun and I. Ono: J. Phys. Soc. Jpn. **58** (1989) 1162.
- 4) P. W. Kasteleyn and C. M. FOrtuin: J. Phys. Soc. Jpn. (Suppl.) **26** (1969) 11 ; C.-K. Hu: Phys. Rev. **B29** (1984) 5103.
- 5) T. Ogawa and Y. Nakajima: Prog. Theo. Phys. (Suppl.) **87** (1986) 90.
- 6) M. den Nijs and K. Rommelse: Phys. Rev. **B40** (1989) 4709.

## 連続体パーコレーションとトポロジー

京大教養 富田 博之

パーコレーション問題を空間のつながり方の問題であると考えるとき、もし通常のパーコレーション転移とは別のトポロジー変化が現れるならば、新たなパーコレーション転移とみなすべきである。ここでは、連続体について行なった富田・村上 (1988) の議論に加え、その格子問題への拡張を報告する。

連続体のパーコレーションは、格子問題ほど定義は普遍化しておらず、いろんなものが考察されているが、ここでは確率場から定義されるものを考える。すなわち、 $d$  次元ユークリッド空間  $\mathbb{R}^d$

における確率過程  $\{u(\mathbf{r})\}$  から、ランダムな多様体  $\mathcal{U} = \{\mathbf{r} \mid u(\mathbf{r}) < U\}$  とその表面  $\partial\mathcal{U} = \{\mathbf{r} \mid u(\mathbf{r}) = U\}$  を定義し、その統計的な幾何学的性質を求める。これは元来、相分離における界面の問題から興味が持たれたもので、 $\{u(\mathbf{r})\}$  は TDGL 場のようなものである。この場合、界面の面積とか界面上での曲率に関する各種の不变量の期待値などが必要になる。特に、多様体  $\mathcal{U}$  の大域的性質を特徴づけるオイラー数 (EC) は、この界面  $\partial\mathcal{U}$  上の全曲率 (ガウス曲率) の積分で与えられるから、確率場の一様性 (エルゴード性) が成り立っておれば、 $\{u, \nabla u, \partial_i \partial_j u\}$  で書かれる量の局所的な期待値で表すことができる。

正規確率場の場合には具体的な計算が可能である。正規確率場は相分離の問題では単なる線形場であるが、その界面の問題は必ずしもトリビアルではない。また、相関のある格子パーコレーション問題の極限は正規場に対応し、相関のある正規確率場から定義されるランダム多様体は、連続体パーコレーション問題の基本形と考えることができよう。この場合、初等的な多変量正規確率計算により、 $d$ -次元 EC は  $(d-1)$  次のエルミート多項式で与えられ、 $(d-1)$  回、符号の変化が起きることが示される。 $\phi = \text{Prob}[u(\mathbf{r}) < U]$  を「体積比」と呼ぶなら、これは体積比  $\phi$  の増加につれパーコレーション図形が孤立図形群から網目状連結図形、泡状連結図形、……と変化していくことに対応する。実際、最初に符号の変化が起きる  $\phi$  の値は、 $d = 1, 2, 3, \dots$  にたいして  $1.0, 0.5, 0.1586 \dots$  で、 $d = 1, 2$  はもちろん、 $d = 3$  の値も予想されているパーコレーション限界値 16% を与えている。さらに  $d = 3$  (正確には  $d > 2$ ) では、泡状連結図形への転移が現れる。これは  $\mathcal{U}$  を「海」とみなすとき「陸」のパーコレーション限界点に相当するが、あくまでも「海」に注目した場合でもトポロジー的な転移とみなすべきであり、電気伝導度ではない別の物理量 (例えばコヒーレントな平面波の透過性) の転移点になるかもしれない。

格子問題は元々離散空間を考えているためトポロジーとはなじみにくい。我々は当時「 $\mathbb{Z}^d$  上のトポロジー」なるものを考えて同様の計算を行なっていたのであるが、これは少なくとも  $d = 2$  では画像解析で用いられている「ディジタル幾何学」と完全に等価であることに気がついた。例えば  $d$ -次元 SC 格子のサイト問題の場合、確率  $p$  に対し (1 格子点あたりの) EC は  $2^d$ -次の  $p$  の多項式  $\sum_{k=0}^d (-1)^k (d! / k!(d-k)!) p^{2^k}$  で与えられる。( $d = 2$  では matching 格子法で使われている関数  $\phi(p)$  に等しい。) この場合、最低の零点は連続体の場合ほど良い  $p_C$  の近似値を与えないが、高次元で  $\approx 1/d$  は成り立っている。また、EC に  $(d-1)$  回の符号の変化が現れるることは連続体の場合と同じである。しかし、上の結果の重要性はこのこと自体よりも、図形の大域的性質を特徴づける EC に  $p$  の全域で何ら特異性が現れないことの方にあると言うべきかもしれない。

### 連続型パーコレーション問題（スイスチーズモデル）の臨界指数

中部大学 丸山兼泰 奥村浩一 宮島佐介

パーコレーション問題にたいして、今まで多くの理論、実験的取扱いは、連続型浸透問題についても、離散型浸透問題で十分近似できると判断して調べられていた。最近連続型浸透モデルと離散型浸透モデルは臨界指数が異なる可能性があると、1985年ハーバード大学のHalperin教授等の理論的な研究によって指摘された。離散型については非常に多くの研究があるが、ここでは、極めて研究の少ない連続型浸透問題を実験的に実現し、上記の予想を確認した。

2次元の連続型浸透実験は、長方形の電気伝導のある物質に穴をランダムにあけることにより実現され、一定の成果が出ている。残念ながら、電気伝導に対する離散型浸透と連続型浸透問題の臨界指数には差が2次元ではなく、3次元で初めて差が生じることが、理論的に予言されている。従って3次元の連続型の実験が要望されたが、bulkの電気伝導物質の中から周囲にdamageや変形を与えることなく順次小球をくり抜くことが難しく、実験的研究は不可能と思われていた。

3次元の実験装置はアクリルの筒の一端に電極板（銅）を付けた蓋で栓をし、他端には内部の容積を変えられる様に、前面に電極板を付けたピストンを取り付け、この中に約300個のゴムボールとその隙間に純水を入れ、両端の抵抗を測定する。ピストンは、自動車用のジョッキを用いて、内部の容積を変化させる。圧力を加える度にボールは変形して多角形に変化しボール間のすき間が減少する。水は筒の外へ自由に抜け出られるので、水の圧力は、大気圧と同じである。ボールのすき間の水の量と抵抗値を測定した結果、3次元の電気伝導度の臨界指数は2.4を得て、3次元離散型浸透の場合の1.9と明らかに異なることが確認できた。

### 格子理論のすすめ－集団生物学と統計物理学

九大理 松田博嗣

集団生物学は集団遺伝学、個体群生態学、疫学を三つの柱とする生物学の分野であるが、その理論は、要するに、複製により生まれ自己複製の単位となる複製子（Replicon, RP）を要素としてその集団の振舞いを導くもので、粒子を要素としてその集団である物質の性質を導く統計物理学と規を一にする。集団生物学ではRPの働きの時空相関はこれまで余り研究されなかった。しかし、最近の分子進化機構論や進化生態学の発展はこうした研究を要請していると、私は考える。特に進化と環境変動、社会行動、有性生殖、病原体などとの関連は大事であろう。

よく知られているように、Lotka-Volterra(LV)式は個体群動態論の基本として大きな役割を果たした。しかし、この式は種を要素とし、種個体数（または密度）を変数とする力学系であるので、1) 動態が個体の生存力、繁殖力、移動力、社会性などにどう依存するかを直接与えない。2) 相

互作用の到達距離は実効的には十分大きいとして空間構造が無視され、個体の形質差が環境差をもたらす可能性は取り入れられない。3) 侵入や絶滅時に重要な確率的效果が無視されている。そこで、われわれはLV式は巨視的な熱力学や流体力学の式に当たると捉え、個体ないしはRPを要素として、それから集団の性質を演えきする統計力学的集団生物学の建設を目指している。格子模型が多体問題の良い足掛かりとなったように、動的Ising模型の集団生物版としての格子模型は有用であろう。Markov格子模型については、すでに確率過程論としての入門書 'Interacting Particle Systems' ( T. M. Liggett, 1985 ) や、種々多くの研究があるが、これを特にInteracting Replicon Systemsとして見た場合には、系の時間発展を規定する力学変数Malthusiansの概念が導入され、それによって種の定常的共存条件とその進化的安定条件が与えられる。これを解くための手段として、切断近似など統計物理学的手法は有用と思われる。

こうした格子LV模型は結晶成長やDLAなど形態形成やその臨界現象、percolation問題とも関連をもつであろう。種々の分野の境界領域ないしは広い意味での統計物理学としてその発展を期待したい。

### 薬物の生体内での動き

名大医 長谷川 高 明

本研究会では、主に「薬物の吸収から薬効発現まで」、「キノロン系抗菌剤とテオフィリンとの薬物相互作用発現機序」及び「抗癌剤多剤耐性の解除」について報告した。

経口投与された薬物の消化管吸収の過程は、1) 医薬品からの薬物の放出、溶解、2) 溶解した薬物の消化管内移動、3) 薬物の消化管壁の透過、通過、4) 薬物の消化管壁毛細管血流による輸送、5) 肝初回通過からなり、薬物はこれらの過程を経てはじめて循環血流中に入り薬効を発揮する。従って、経口投与された薬物は、第一に胃腸管を通過し、腸管から吸収された後、門脈から肝臓へ輸送される。しかし、薬物は体循環に入るまでに二つの関所を通過する必要がある。一つは胃腸管で小腸粘膜内や腸内細菌の酵素による代謝過程で、もう一つは腸管での代謝を免れた薬物は肝臓内の酵素（肝チトクロームPなど）による代謝である。このように、体循環血流中に到達する前に、代謝を受けることを初回通過効果と呼び、この効果は、主に肝機能（高齢者、病態などでも変化する）、に依存し、薬物投与設計の調整や薬効に影響を及ぼす。初回通過効果を回避する投与法として舌下錠、バッカル錠、坐薬などがある。

テオフィリン (TH) とキノロン系抗菌剤 (エノキサシン、ENX) の薬物相互作用の機序を明らかにするために、THの体内動態ならびに代謝経路に及ぼすENXの影響についてラットを用いて薬物速度論的に検討し、以下の成績を得た。1) テオフィリンの蛋白結合率、腎排泄挙動（糸球体ろ過、尿細管分泌）及び分布容積の変化よりも肝代謝の拮抗的阻害が起因する。2) ENXは肝

薬物代謝酵素群としてP-448活性のみを特異的に低下させることが示唆された。3) エノキサシンの代謝物である4-オキソ体が脱メチル化代謝過程を競合的に阻害するとの報告があるが、我々の成績では4-オキソ体はTHの体内動態及び代謝に直接的な影響を及ぼさなかった。従って、4-オキソ体に代謝される過程で生成される中間体がTHの代謝を阻害し、中でも8位の水酸化(1,3-ジメチル尿酸生成)よりも3位の脱メチル化(1-メチル尿酸生成)過程をより選択的に阻害することが明らかになった。

癌細胞は、ある種の抗癌剤に対して耐性を獲得すると、同時に多剤耐性を獲得するが、この多剤耐性獲得機序の一つに癌細胞内で產生されるP糖蛋白の関与が示唆されている。我々は、多剤耐性白血病癌細胞(P-388/ADR)の培養系を用いて、P糖蛋白の能動輸送(P糖蛋白に結合した抗癌剤を細胞外へ汲み出す作用)を強力に阻害し、かつ低毒性を有する化合物(NA-382)を見いだした。この薬物は多剤耐性癌細胞に選択性を有し、取り込まれた抗癌剤の細胞外への汲み出しを顕著に阻害した。また、この薬物の抗癌剤多剤耐性解除はin vivoでも観察された。

### 高分子のゲル化と粒子分散系の凝集過程における弹性パーコレーション

千葉大工 甘利武司 大坪泰文 金井宏行

熱硬化性塗料であるアクリルウレタン系塗料の架橋硬化過程における動的粘弹性(貯蔵弾性率G'、損失弾性率G")と赤外吸収スペクトル(IR)を測定した。IR測定から反応の進行に伴う官能基数の減少を求め、これをボンドの形成と考え架橋硬化過程をボンドパーコレーションとして解析した。三次元網目構造が形成されると、系は低周波数において弹性応答を示す。高分子系におけるゲル化理論を基に、 $G'/G'' = 1$ となる点において分子量無限大の高分子鎖が形成されたと仮定し、この時の反応率から臨界ボンド確率を求め、スケーリング則を適用した。昇温速度や焼き付け温度により弹性挙動は異なるが、すべての系について臨界指数が1.8~1.9となった。架橋硬化過程においては、弹性的性質はスカラー的であると考えられる。一本の高分子鎖がいくつかの粒子表面に同時に吸着してコロイド分散系を凝集させる現象を架橋凝集という。分散粒子をサイト、高分子架橋をボンドとみなし、架橋凝集分散系における弹性発現をサイトボンドパーコレーション過程と考えパーコレーション相図を求めた。さらに、パーコレーションが起こった系の弹性挙動を解析したところ、サイトパーコレーション過程にはスケーリング則が適用でき、臨界指数が3.9と決定された。しかし、ボンドパーコレーション過程にはスケーリング則は適用できないことがわかった。架橋凝集系においては一本の高分子鎖が多数のボンドを形成しているので、ある確率でボンドが形成されているといっても、これらの連続した結合単位を切り離して考えることができない。長距離に及ぶ強い相互作用が存在すると、スケーリング則が成立しないように思える。二つの系についてその弹性挙動をパーコレーション過程として解析したが、異なった臨界指数が得られた。要素間の力の伝達挙動が異なることに起因するものと考えられる。

## PVA (ポリビニルアルコール) ゲル生成過程における網目構造と機械的性質

スズキKK技研 満田深雪

凍結解凍によって得られたPVAゲルは高強度・高弾性を有することが知られている。DMSO(ジメチルスルホキシド) / H<sub>2</sub>Oの混合溶媒でPVA 10%濃度のもののゲル化時間を調べたところ、エージング過程で得られるゲルはDMSO量が50~60%付近が最短時間であった。凍結解凍法とエージングによって得られたゲルの弾力性はエージングのほうが強かった。エージングよりも凍結解凍のほうがゲル化が速いが、その理由は次のように考えられる。低温-常温の間に繰り返しあくと、強制的にゆらぎの環境を作っていることになる。すなわち、PVA微結晶のまわりの水素結合とH<sub>2</sub>Oとが低温で固定され、結合を作り易くなるため、ゲル化が促進する。DMSOのみの系ではゲル化しないのは、疏水性相互作用が強いため、水素結合によるゲル化が妨げられるためであろう。

ゲル化にパーコレーションが適用できるのは次のような考え方からである。ゲル化は3次元空間の問題であるが、2次元で適用させたのがフローリーストックマイヤーのモデルである。すべてのサイトがモノマーで埋まっているとすると、最も接近した2つのサイトがつなげられる基本となるものが水素結合である。しかし、ハイドロゲルではモノマーやポリマーの間を埋めているのは溶媒分子である。空間占有の大きさは小さいが、混合溶媒の比率によってはある種の錯体を形成するので、特に溶媒の粘性が反映して、ゲル化の速度やできたゲルの強さが異なるということに対応すると考えられる。その際、溶媒のサイトがパーコレーションを進行させる要因となる。網目の状態は、均一なものより、不均一な状態のほうが弾力性は強いと考えられる。粘弾性のフォーケトモデルを個々の高分子鎖に適用させると、均一なほうがコイルバネのゆるんだ状態で、不均一なほうは凝集している部分がコイルバネに相当しているので弾力性を有するものと推定される。

## 粉粒体における異径粒子の分離現象の分子動力学法による研究

福井大工 大月俊也 竹本能和 林明久

粉粒体の分野において、同一粒子系の中に粒径の大きな粒子が存在するときに系全体を強制振動させると、異径粒子が浮上するということが知られている。粉粒体を摩擦を伴った剛体球系でモデル化し、2次元で分子動力学法を用いてシミュレーションすることによりこの現象を研究した。具体的には、N=80個の半径r、質量mの粒子系の中に半径R、質量Mの粒子を1つ入れ、下の壁を振幅A、周期Tの三角波で振動させた。r=1, m=1, 重力加速度g=1となる単位系をとってA=4.5, T=3.0, 系の幅L=13とし、横方向には周期的境界条件を使用した。また、反発係数e、摩擦係数μはそれぞれe=0.95, μ=0.05とし、主に半径比σ=R/r、質量密度比ρ=(M/R<sup>2</sup>)/(m/r<sup>2</sup>)を変えて計算した。

この結果、大きな粒子は  $\rho > 1$  で周りの粒子より密度が高い場合さえも浮上することが確認された。そして、このとき系が初期状態によらない定常状態に達することが明らかになった。図1はこの定常状態での異径粒子の高さ  $h$  を  $\rho$  の関数としてプロットしたものである。ここで、↑は初期に異径粒子を底に置いた場合、↓は表面に置いた場合を表し、両者はほぼ一致している。これより、 $\rho$  が大きなときは  $\sigma$  が小さく軽いもののほうが上になるが、 $\rho$  が小さなときは、逆に  $\sigma$  が大きく重い粒子のほうが上にくることが分かる。さらに、定常状態への過渡過程を指数型緩和現象とみなして最小自乗法により緩和時間  $\tau$  を求めた。図2に  $\tau$  の  $\sigma$  依存性を示す。 $\rho = 1$  で浮上する場合、 $\sigma$  が 1 に近づくと  $\tau$  は急激に増大するが、 $\rho = 5$  で沈降する場合は  $\tau$  は  $\sigma$  にはほとんど依存しない。また、同一粒子のみから成る系についてもシミュレーションを行い、垂直方向の粒子の密度分布や運動エネルギー（温度）分布などの物理量を測定した。その結果、底面付近に急激な温度勾配が存在することなどが分かった。

図1に示されるように、 $\rho$  の大小により  $h$  の  $\sigma$  依存性は逆転する。このような相転移的な現象の背景には何か質的に異なるメカニズムの間の競合があると考えられる。粉粒体系は本質的に非平衡であるが、通常の熱的相転移と同様、重い粒子を沈降させようとするエネルギー的な力と大きな粒子を浮上させようとするエントロピー的な力とが存在するとみなせる。そして、 $\rho$  が大きな場合はエネルギー効果が系を支配し、 $\rho$  が小さなときは逆にエントロピー効果が優勢となり、このことが上下関係の逆転を引き起こしていると考えられる。

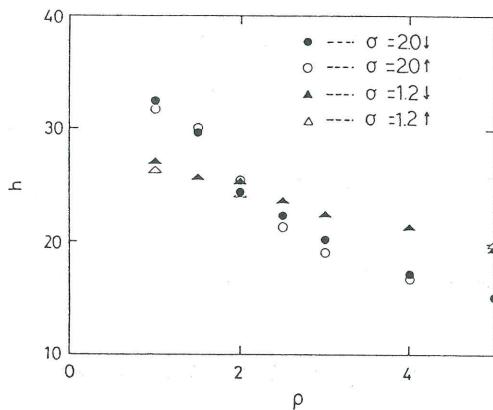


図1. 定常位置  $h$  の質量密度比  $\rho$  依存性

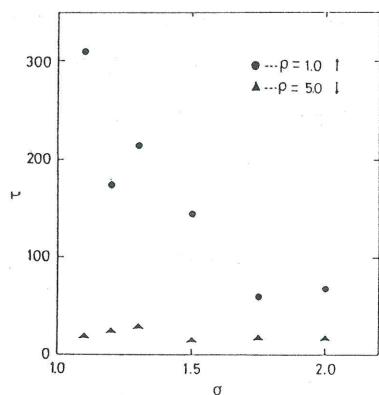


図2. 緩和時間  $\tau$  の半径比  $\sigma$  依存性

#### Numerical Computation for Flow through Porous Media

大工大一般教育 友枝謙二

広島大理 三村昌泰

流体の中でも多孔質媒体 (Porous Media)，例えば、地盤や岩盤のように非常に小さな穴が無数にある媒体を浸透していく石油や地下水の挙動に関する数値計算について述べる。流れの記述には

特徴的な実験則であるDarcy則(1856)がNavier-Stokes方程式に代わって用いられる。モデルとしては1流体が浸水すると同時に吸収(蒸発)される場合も考慮した1相問題

$$(1) \quad \rho_t = \Delta(\rho^m) - c\rho^s \quad (m > 1, c > 0, s > 0)$$

と、石油と水のように2つの混じらない流体についての2相問題

$$(2) \quad \begin{cases} S_t + \nabla \cdot [\vec{v} f(S)] + \nabla \cdot [(k_0(S)/\mu) f(S) \nabla p_c] = 0, \\ \nabla \cdot \vec{v} = 0, \quad \vec{v} = -[\lambda(S) \nabla p + (k_0(S)/\mu) \nabla p_c] \end{cases}$$

がある。 $\rho$ は密度、 $S$ は水の飽和度、 $1-S$ は石油の飽和度、 $p$ は水の圧力、 $p_c$ は界面張力、 $\mu$ は石油と水の粘性係数比をそれぞれ表す。

(1)では1次元流体を扱う。i)  $s \geq m > 1$  の時、有限区間に内に初期分布を与えて解の分布は  $t \rightarrow \infty$ においては  $\mathbb{R}^1$  全体に広がる。しかし ii)  $m > s \geq 1$  の時はある有限区間までしか広がらない。iii)  $m > 1 > s > 0$  の時は有限時間内に消滅 ( $\rho \equiv 0$ )。 $\rho > 0$  と  $\rho = 0$ との間に現れる界面を追跡する計算法を用いると、2つのピークを持つ初期分布では連結な流体の存在領域 ( $\rho \neq 0$ ) が2つの領域に分離する事があるという結果が得られた ([1], [2])。

(2)では、石油層の中で水の浸透経路が指状に成長していく現象 ‘fingering instability’ が知られている。2次元流体として扱い、 $p_c = \varepsilon(1-S)$ ,  $p(t, 0, y) = p^* = \text{定数}$  と置き次の計算結果が得られた([3])。i)  $\varepsilon = 0, \mu = 20, p^* > 0$  の時、界面にわずかな摂動を加えると fingering instability が発生。ii) i) で  $\varepsilon$  を十分大きくすると与えた摂動が消滅。iii)  $\varepsilon > 0, p^* < 0$  の時は界面の動きは停止し水は多孔質媒体全体には浸透出来ない。

文献 [1] Mimura, Nakaki, Tomoeda, Japan J. Appl. Math., 1(1984), 93-139.

[2] Nakaki, Hiroshima Math. J., 18(1988), 373-397.

[3] Nakaki, Hiroshima Math. J., 22(1992) to appear.

### 理想臨界パターンとパーコレーション

筑波大物工 小川泰

#### 1. 理想臨界パターン(1)

Ising模型の臨界点を代表できるような、有限のconfiguration patternを求める。大きさは、例えば  $400 \times 400$  とか  $1000 \times 1000$  などである。物理学としての臨界現象研究に重点はなく、直接目指しているのは、むしろ画像の特徴抽出である。モンテカルロ法で得られた画像に見えているものを虚心に見据える。臨界点の特徴は、画像のどこに反映しているか？ 臨界点の第一の特徴は、長距

離秩序の出現であり、対称性の破れである。臨界点では、大小さまざまな規模で、±2種のクラスターが互いに囲みあい、どちら向きの長距離秩序も発達の準備が整っている筈である。そのためには、どちら向きの長距離秩序もが利用できる「急所」が方々になければならない。もしこのような「急所」がすべて一方に加担すればそのクラスターはパーコレートするという状況が帶磁率の発散を導く筈である。少なくともこの性質は、臨界点を代表する「理想臨界パターン」にとって必要であると考える。また、くりこみ操作で不变なのは、アンサンブルとしてであろうが、「自分自身にくりこまれる」パターンであること、必要な資格と考えている。暫定的に「理想臨界パターン」が得られたとする。しかし、眺めているうちに、目が肥えて、気に入らなくなるに違いない。そのような感性的なものに客観的な表現を与え、「さらに理想的なもの」を得る努力をするような試みを行なっている。

## 2. ガラス転移とフラストレーション(2)

3角格子反強磁性Ising模型は、典型的なフラストレート系であり、基底状態が縮重している。1個の隣接格子点対が状態を交換しても、なお基底状態であるようなときにこの対を可動対として状態の交換を許すという運動法則を導入してこの系の位相空間を定義する。この系で+と-の数を調節したとき、液体状態とガラス状態の間に相当するような変化があるか？このことを問題にしたいのである。ここで考えられるパーコレーションは、可動対の空間配置のパーコレーション、可動対の状態交換によって生じる可動対を考慮してのパーコレーション、など、液体状態的である。われわれは、位相空間におけるある「盆地」から脱出できる道が通じているかという意味のパーコレーションを想定して一つの試みを行なった。配置の特徴を視覚的に際立たせる工夫についても、いろいろと行なっている。

- (1) T. Ogawa, M. Himeno and T. Hirata; Forma, 6, 129 (1991).
- (2) T. Ogawa and Y. Nakajima; Prog. Theor. Phys. Suppl. No. 80, 90 (1986).

## Bi2223 銅酸化物系における超伝導パーコレーション

横浜国大工 君嶋義英  
住友重機 大西淳

従来の高温超伝導酸化物のパーコレーション問題の実験的研究は、YBCO系、Bi2212系等に対して、ノーマルのAg、Au等をドープして、抵抗率の温度変化より超伝導（0抵抗）臨界濃度を決定する試み等が行なわれており、Pc～0.2程度の三次元的な数値が観測されている。

われわれは、銅酸化物系の焼成段階でのアニール時間により試料全体に対する超伝導部分の比率が大きく変化する特徴を利用し、磁化率と抵抗率の同時測定により温度を媒介変数として抵抗率の高温超伝導相濃度(Ps)依存性を実験的に求め各アニール時間で焼成された高温超伝導クラスター

に対する臨界濃度  $P_c$  及び臨界指数  $s$  を決めた。その結果は、超伝導クラスターの有効次元が約200時間の空気中アニールで二次元から三次元へ移行することを示唆している。(Y. Kimishima and J. Ohnishi: Physica C 185-189(1991)1831)

また、再粉碎過程を繰り返したAgドープ系については、( $\chi_{ZFC}/\chi_{FC}$ ) が  $P_s \sim 0.25$  にピークを示す。これは I G O (enclosed percolation) モデルにおける

$$[1 - (1 - p_s) P_n(p_s)] / p_s$$

(ここで  $P_n(p_s)$  は常伝導サイトのpercolation probability) の  $1 - P_c$  でのピークに対応すると思われる。これはまた、ドープ前のBi-2223系試料が二次元的な  $P_c \sim 0.8$  を示した結果ともほぼ一致する。

### ヘテロ磁性体, $\text{CoCl}_2-\text{GIC}$ のフラクタル構造とパーコレーション相転移

京工織大 電子情報 松浦 基浩

複合物理系の秩序化の研究は、ガラスやセラミックスの基礎的理理解につながる興味ある課題である。ここでは、本研究会の主題であるパーコレーションがセラミックス解明の一つのキーワードと考え、そのスピニ版と言えるヘテロ磁性体,  $\text{CoCl}_2-\text{GIC}$  (黒鉛層間化合物) の秩序過程<sup>1)</sup>を紹介した。

先ず、この系の特徴的な二段階逐次転移が層間物質面のクラスター分割というヘテロな格子構造<sup>2)</sup>の故に発現したクラスター内外の階層的秩序化現象であること<sup>3)</sup>、中間温度領域の純二次元(2D)秩序状態<sup>4)</sup>は異なるスケールで秩序と無秩序とが共存するヘテロな中間秩序相<sup>5)</sup>であることを示した。

次に、秩序化特性の類似からこれまでスピングラス転移と推測されてきた低温側の相転移が、非線型磁気応答,  $M(3\omega)$ <sup>6)</sup>の詳細な検討によって否定されることを示した。それにもかかわらず転移点上下で観測される、超低周波の磁気揺らぎの  $1/\omega$ -的スペクトル<sup>7)</sup>はクラスター間のネットワークがフラクタル構造になっていることを示唆しており、従って低温側の相転移はパーコレーション型と考えざるをえない<sup>8)</sup>ことを結論した。

本報告の内容は、村上洋一氏(東大)、萩原亮氏(京工織大)およびH. Zabel氏(Ruhr大)との共同研究の成果であり、詳細は以下の文献を参照されたい。

#### 参考文献

- 1) M. Matsuura et al: Synth. Met., 12(1985)427.
- 2) 松浦基浩:月間フィジクス, 7 (1986) 167.
- 3) Y. Murakami and M. Matsuura: J. Phys. Soc. Jpn., 57(1988)1056.
- 4) M. Matsuura and H. Zabel: J. Magn. Magn. Mater., 90-91(1990)260.

- 5) M. Matsuura, M. Hagiwara and H. Zabel: Memoir. KIT, 39(1991)31.
- 6) M. Matsuura and M. Hagiwara: J. Phys. Soc. Jpn., 59(1990)3819.
- 7) M. Matsuura et al: J. Phys. Soc. Jpn., 56(1986)2233.
- 8) M. Matsuura, Y. Murakami and M. Hagiwara: Physca A in Press.

### パーコレーション磁性体のスピンドイナミクス

高工研 池田 宏信

パーコレーション磁性体では、スピンの結合形態がフラクタル構造をとっている。パーコレーション濃度をもつ希釈反強磁性体における相転移現象及びスピンドイナミクスを、スピン間結合形態のフラクタル性の概念で新しい展開を試みるために、中性子散乱実験を行なっている。スピンの動的性質はイジング型とハイゼンベルグ型では異なっているので、それぞれの典型物質（2Dイジング型 $Rb_2Co/MgF_4$ ，3Dハイゼンベルグ型 $RbMn/MgF_3$ ）を用いた研究が進行中である。イジング系での、パーコレーション濃度を含む全濃度領域での磁気励起の問題、<sup>1)</sup>パーコレーション濃度での異常スピントラップ拡散の問題、<sup>2)</sup>また、秩序形成過程のキネティクスの実時間観測、<sup>3)</sup>及び、ハイゼンベルグ系での、パーコレーション濃度での異常スピントラップ拡散、<sup>4)</sup>スピントラップクロスオーバーの問題、<sup>5)</sup>等についての研究の現状について紹介した。詳しくは、以下の文献を参照して下さい。

- (1) H. Ikeda and K. Ohoyama: Phys. Rev. B 45 (1992) 7484.
- (2) G. Aeppli, H. J. Guggenheim and Y. J. Uemura: Phys. Rev. Lett. 52(1984)942.
- (3) H. Ikeda, Y. Endoh and S. Itoh: Phys. Rev. Lett. 63(1990)1266.
- (4) H. Ikeda, J. A. Fernandez-Baca and R. M. Nicklow: unpublished.
- (5) M. Takahashi and H. Ikeda: unpublished.

### 金属セラミックス焼結体におけるパーコレーション過程と伝導度の臨界挙動

京大原工研 吉田 起國

現実の物質で構成されるパーコレーション系は連続体であり、そのクラスターと物性の臨界挙動（特に指數のユニバーサリティなど）が、離散的な格子状パーコレーション系との程度一致するかについてはまだ明確にはされていない。本講演では、この問題に関し、 $Nb-Al_2O_3$ と高温超伝導酸化物-Agの2種類の焼結体についてクラスターの成長過程と伝導度や誘電率の臨界挙動を調べた結果を報告した。この $Nb-Al_2O_3$ 系ではランダム性の高い構造が実現しており、またNbの体積分率fの増大に伴いクラスターのパターンが反転する対称性が観測された。パーコレーション閾

値は  $f_c \approx 0.15$  で、伝導度  $\sigma$  の臨界指数は  $t \approx 2$  ( $f > f_c$ )、誘電率について  $s \approx 0.6$  ( $f < f_c$ ) と測定され、いずれも格子系の場合と良く一致する。このことは、クラスターは網目状に成長し、その網目構造が格子系の場合と極めて類似していることを示し、連続体でも格子系と同じパーコレーション過程が実現し得ることの実証になる。しかしながら、 $f_c < f \leq 1$  の全域で  $\sigma$  が单一の巾指数則に従うことが観測されたことはこの網目構造が  $f = 1$  まで持続されることを示唆し、 $f$  の高い所で期待されるセラミックス相の分散粒子構造（あるいは泡構造）への転移は検証されなかつた。高温超伝導酸化物（Bi系）-Ag系ではAgクラスターのパーコレーション転移は  $f_c \approx 0.27$  で起こり、それは3次元的であるにも関わらず、 $t \approx 1$  と著しく低い指数値を示した。伝導度のスケーリング関数を用いて、この臨界指数の低下は見かけ上のもので2相の常温伝導度比（Bi系/Ag）が有限で、この比が増大するほど顕著になることを示した。

### アモルファス半導体の電子速度の異常な分散とパーコレーション

日大文理 村山和郎

半導体のバンド端における電子のドリフト現象を調べる有力な方法の一つに電子の飛行実験 (time of flight experiment) がある。これは物質を一方が半透明電極の二つの電極で挟み適當な電圧をかける。そして、半透明電極を通して紫外パルス光を照射し、電子を半透明電極付近に誘起する。誘起された電子はかけられた電圧のため反対側の電極に向かってドリフトする。電子が物質中をドリフトしている間、外部回路に電子の速度に比例した電流が流れるのでオシロスコープを用いて電子のドリフトを観測することができる。

アモルファス半導体についてこのような実験をすると、パルス光照射直後から単調に減少する波形が観測される。両対数グラフ用紙を用いて、広い範囲にわたってこの波形を描き直すと、ある時刻で電流が緩やかな減少から急激な減少への変化が浮かび上がる。緩やかな減少と急激な減少はそれぞれ双曲線関数

$$i(t) \sim t^{-(1-\alpha_i)} ; \quad t < t_T \quad (1)$$
$$t^{-(1+\alpha_f)} ; \quad t > t_T$$

で記述できる。ここで、 $\alpha_i$ 、 $\alpha_f$  は分散パラメーターと呼ばれる。急激な減少は相当数の電子が反対側の電極にたどり着いたことを示唆している。ゆえに、 $t_T$  は電子が反対側の電極に到達するに必要な平均時間を意味し、飛行時間 (transit time) と呼ばれる。このような2つの双曲線型減衰関数で与えられる過渡電流の減衰は電子の速度が構造の乱れのため異常な分散を起こし、その結果、

### 平均速度が双曲線型減衰関数

$$v \sim t^{-(1-\alpha_i)} \quad (2)$$

に従って減衰するときに起こる。

アモルファス物質のバンドエッジは構造の乱れのため揺らいでいると考えられる。その結果、電子は非常に複雑な、迷宮のような、道筋にそって運動することを余儀なくされる。我々はこのような複雑な道筋をパーコレーション過程を利用して作成し、電子をランダム・ウォークさせ、モンテ・カルロ法を用いて、外部回路に流れる電流をシミュレートした。計算された電流の時間減衰は2つの双曲線関数（式（1））を用いて記述できた。これは、アモルファス半導体において物質に依らず観測される電子速度の異常な分散をパーコレーションを用いて理解することができることを示唆するものである。

### 局在波動関数の漸近的性質

北大工 寺尾貴道 矢久保考介 中山恒義

フラクトンと呼ばれる浸透網上の振動励起状態は、超局在性（指数関数的局在よりも強い局在）を示すということが以前から示唆されている。フラクトン波動関数  $\psi(r)$  の局在の強さを特徴付けるには、コアの部分 ( $r \ll \Lambda$ ,  $\Lambda$  は局在長) とテールの部分 ( $r \gg \Lambda$ ) に関して各々別の指数が必要であるが、後者の指数についてはよく知られていない。

我々はこの問題を明らかにするため、2次元ボンド浸透網上の局在電子状態及びフラクトン励起の局在波動関数の漸近的振舞いを、サウレス数の方法を用いて数値的に調べた。具体的には系の境界条件を周期境界条件から反周期境界条件に変えた場合のサウレス数、及び周期境界条件から自由境界条件へ変えた場合のサウレス数のシステム・サイズ依存性を各々計算することにより、局在波動関数のプロファイルを求めた。その結果、量子パーコレーション系における電子状態の波動関数は通常の指数関数的減衰を示すのに対し、フラクトン励起の平均波動関数は、 $\psi_{fr}(r) \sim \exp[-(r/\Lambda)^{1.26}]$  の形で超局在しており、浸透網上の電子状態とフラクトン励起では局在波動関数の空間的減衰の性質が異なることが分かった。

### パーコレーション反強磁性体におけるスペクトル次元

北大工 矢久保考介 寺尾貴道 中山恒義

パーコレーション反強磁性体には、系の自己相似性を反映したフラクトンと呼ばれる局在スピニ波励起が存在することが、スケーリング理論より予想されており、このような励起状態の状態密度

は  $D(\omega) \sim \omega^{\tilde{d}-1}$  ( $\tilde{d}$  はスペクトル次元) という振動数依存性に従うことが知られている。我々は、上記の予想を検証するために大規模な 2 次元サイト・パーコレーション上に構成された Heisenberg 反強磁性体（系のシステム・サイズは  $L \times L = 1100^2$ ）の、臨界濃度におけるスピン波状態密度を、Equation of motion method を用いて数値的に求めた。その結果、パーコレーション反強磁性体上には確かにスピン波フラクションが存在し、そのスペクトル次元の値は  $\tilde{d} = 0.99 \pm 0.01$  であるという結果を得た。このことは、反強磁性スピン波を支配する運動方程式は、拡散を記述するマスター方程式と対応付ける事ができないという事実を反映しており、反強磁性体スピン波フラクションのユニバーサリティー・クラスが振動励起や強磁性スピン波のフラクション ( $\tilde{d} \approx 4/3$ ) とは異なることを意味している。また、 $\tilde{d}$  に関する臨界指数  $\tau$  (垂直帯磁率の臨界指数) に対する Harris 等の予想は 2 次元浸透網において正しいことが示された。

### Fundamental Properties of Powder and Size-Reduction of Solid in Fractal Nature

湘北短大電子情報 落合 萌 小棹理子 小倉 浩  
九州工大情報工 山崎義武

#### 1. 序論

固体の粉碎に際して、粉碎生成物の粒度分布は Rosin-Rammler 則あるいはベキ則に従うことが実験により知られている<sup>1)</sup>。分布則は粉碎機の種類にはほとんどよらない。また、粉料のサイズにもよらないこともわかっている。Rosin-Rammler 則とベキ則との関係はどうなっているのだろうか。ベキ則が現れるには特性粒径がなければならない。

粉碎は極めて効率の低い作業である。粉碎に実際に用いられているエネルギーは粉碎機で消費されるそのわずか 1% にも満たないといわれる。碎成物の粒度分布や表面形状とのつながりは何なのだろうか。まず、粉碎のもっとも基本的なルールを見つけだすことにする。

#### 2. 粉碎過程のモデル<sup>2)</sup>

粉碎過程の微視的記述には確率過程論を援用しマスター方程式をたてることにする。マスター方程式の遷移確率に具体的な関数形を与えることにより解析的に解くことができる。粒径  $x$  のふるい下粒度分布を  $P(x, t)$  とし、 $S(a)$  を選択関数、 $B(a, x)$  を粒径  $a$  の単粒子が粉碎されて生ずるふるい下粒度分布とすれば、粒径  $x \sim x + dx$  に存在した碎成物が時刻  $t$  に変化する割合はマスター方程式

$$\frac{\partial}{\partial t} \left\{ \frac{\partial P(x, t)}{\partial x} dx \right\} = -S(x) \left\{ \frac{\partial P(x, t)}{\partial x} dx \right\} + \int_x^{x_m} \left\{ S(a) \frac{\partial P(a, t)}{\partial a} \cdot \frac{\partial B(a, x)}{\partial x} dx \right\} da \quad (1)$$

であたえられる。ここに  $S(x) = kx^n$ ,  $B(a, x) = (x/a)^m$  とし、今簡単のため  $m=n$  とすれば式(1)は解析的に解けて Rosin-Rammler 則

$$R(x, t) = \exp(-kx^n t) \quad (2)$$

を得る。ただし、 $R(x, t) = 1 - P(x, t)$ 、また碎料の分布は初期で鋭く  $R(x, 0) = 1$  とした。

### 3. 分布の自己相似性

ふるい下粒度分布  $P(x, t)$  は時刻  $t$  で  $kx_e^n t = 1$  によって決められる特性サイズ  $x_e$  を持つ。 $x \ll x_e$  とすれば(2)式より

$$P(x, t) \sim (x/x_e)^n \quad (3)$$

実験でベキ則が得られたのは  $x \ll x_e$  の範囲で観ていたことに他ならない。 $x_e$  は  $x$  をスケールするものさしの役割をはたしている。

### 4. 粉碎のエネルギー則

Pfeifer 等によれば粉体の表面はフラクタル的で、そのフラクタル次元を  $D$  とすれば、比表面積  $s$  は

$$s \sim x^{D-3} \quad (4)$$

であたえられる<sup>3)</sup>。ここでは粉碎に用いられたエネルギーは新生フラクタル比表面積の増加に比例すると考え、

$$ds \sim (s_0 - s) dE \quad (5)$$

$s_0$  は限界粒径  $x_0$  における比表面積で、 $s_0 \gg s$  の範囲では(4), (5)から

$$E \sim (x_2^{D-3} - x_1^{D-3}) \quad (6)$$

を得る。ただし  $x_2$  は粉碎後、 $x_1$  は粉碎前の粒径である。(5)式からただちにフラクタル Lewis 則が導け、(6)式から現象論に基づくエネルギー則、例えば  $D=2$  で Rittinger 則、 $D=2.5$  で Bond 則、 $D=3$  で Kick 則が得られる。Rittinger 則や Kick 則が多く支持を得られなかったのはそれらが  $D=2$  (2 次元表面) や  $D=3$  (体積) の場合に限定されたからであってフラクタル表面を考慮しなかったことによる。実際、元々これらの折衷案としてだされ、根拠が乏しいと言われた Bond 則が広く受け入れられていったのは、当時としては偶然であったとしても、そこにフラクタル的表面の効果が入っていたからに他ならない。このようにフラクタルの考え方を導入することによって、粉碎理論の最も基礎的な部分はよく整理できることがわかった。

### [参考文献]

1. L. Austin, in "Handbook of Powder Science and Technology", M. E. Fayed and L. Otten(eds.), Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1984.
2. M. Ochiai, R. Ozao, Y. Yamazaki, R. Otsuka and A. Holz: Proc. Inst. Stat. Math. 38(1990)257.
3. P. Pfeifer and D. Avnir: J. Chem. Phys., 79(1983)3558; D. Avnir, D. Farin and P. Pfeifer,

ibid., (1983)3566.

## Viscous Fingering と Fracturing の Coupling がつくるパターン形成

筑波大物理工学系 吉野隆 平田隆幸 小川泰

Viscous fingering と fracturing が coupling するような場におけるパターン形成を考える。間隔が  $b$  であるような平行平板で構成されるヘレショウーセルにおける viscous fingering は、permeability が  $b^2/12$  であるような permeable flow と等価である。また、fracturing は、地震などのモデルに percolation が使われるようやけに、percolation の問題と関係が深い。この 2 つの異なる percolation が関係した問題を統一的に眺めてみる方法として、ヘレ・ショウセルを用いて、粘弹性体に空気を注入する実験を行なった。粘弹性体には寒天を使用した。様々な寒天濃度において、注入した時に空気-粘弹性体の境界が形成するパターンを観察した。実験装置には、正方形のヘレ・ショウセルを用いる。実験の結果、生じたパターンは大きく 3 つのタイプに分類できることが解った。Viscous fingering は、寒天がほぼ粘性流体に近似できるときに見られるパターンで、粘性流体に空気を注入したときに見られる viscous fingering と同様のパターンである。Single-plane cracking は、寒天がほぼ弾性体に近似可能なときに見られる。引き裂きによって生じる 1 本の線（面）のみが見られる。Visco-elastic fingering は、寒天の濃度が 2 つのタイプの中間の時に、生じる新しいタイプのパターンである。Single-plane cracking のような鋭い先端と、流体としての性質のためと思われる大変形が特徴である。このパターンは、粘弹性体に見られるパターン形成が、粘性流体や弾性体におけるパターン形成とは、本質的に異なることを意味している。Visco-elastic fingering は、パターン形成の問題としてだけでなく、自然現象、工学などにおいて、粘弹性体の振舞いを考える上で非常に重要な概念となるものである。

## 地震のパターン形成 - 破壊間の相互作用 -

筑波大物工 平田 隆幸

Instituto Andaluz de Geofisica,

A. Posadas

破壊現象（地震）は、大塚（1971）の碁石モデル（uncorrelated percolation model）以来、percolation model とは深い関わりがある。最近注目を浴びている地震の Self-organized criticality モデルは、決定論セル・オートマタ モデルであり、ある領域で臨界応力に達するとその領域で解放された応力を近傍領域に均等に再分配する（Laplace equation と等価）モデルになっている。つまり、応力による相互作用モデルになっている。このモデルは、地震の第一次近似モデルとして

フラクタル構造を説明するのに成功した。ここでは、観測された地震の空間発生パターンを直接解析することにより、地震発生間の相互作用をだそうとする試みをおこなった。モデルとしては、確率セル・オートマタモデルを考えた。観測した地震発生データをcoarse grainingすることよりパターンとみなし、観測パターンからjoint probability distributionを計算し、モデルからconditional probability distributionを計算することによって，mutual informationによってモデルと観測パターンの距離（近さ）を定義することができる。モデルの最適化には、genetic algorithmをもちいた。現在のところ最近傍の相互作用だけを考えたモデルでは、地震パターンをうまく再現できないことが分かった。今後、モデルの拡張を考えて行きたいと思っている。

### パーコレーションのフラクタルモデル

静岡大工短大 長谷 隆

Percolation texture の幾何学的モデルを決定論的規則によって構成する。このdeterministic percolation モデルは実際のrandom percolationに非常に近いスケーリング性質を与えることができる。

このdeterministic percolation modelを使って、パーコレーションクラスター上でvibrational band structureを求め、フォノンからフラクトンへの、クロスオーバー現象などを取り扱うことができる。

パーコレーションクラスター上でホール効果を取り扱うためのself-dual fractal モデルを構成し、ホールコンダクタンスのスケーリング指数を導出した。またパーコレーションクラスター上の電流分布に及ぼすホール効果を計算し、ホール電流のマルチフラクタル構造を導出した。

### 焼結のシミュレーションとパーコレーション

神戸大理 貞岡久里 高安秀樹

製鉄の過程に、鉄鉱石の焼結という工程がある。これは、鉄鉱石（酸化鉄）とコークス（炭素）を混合し燃焼させ、酸化鉄を還元し凝結させるプロセスである。

今回、この焼結過程を2次元正方形site上でモデル化し、コンピュータ・シミュレーションを行なった。素過程は以下のとおりである。

- ・熱伝導（拡散）
- ・燃焼（温度と酸素の存在下で、炭素を消費し、熱を発生する。）
- ・酸素の供給（上部3siteから供給される。燃焼中、充填率が一定値以上、他からの酸素供給を受けていないsiteは他へ供給できない。）

・鉄の移動（融解した場合、下方 3 siteへ拡散）

その結果、鉄の移動により、燃焼過程は網目状の酸素の供給路を形成しながら下部へと進展することが認められた。更に、その網状パターンの形態は、炭素、鉄の存在比に依存していることが明らかになった。炭素比が大きいとき（図 1）は、高温になる領域が広く、鉄が一様に移動するため、網状構造は粗くなり、炭素比が小さくなると、（図 2）密な構造を形成するようになる。

この結果は炭素比を上げると逆に未燃焼部分が増加するという実験事実とよく一致している。

現在、工学的応用（燃焼、還元効率の改善）、定量的議論の為のモデルの改良、また、invasive percolation 的解釈等について、検討中である。

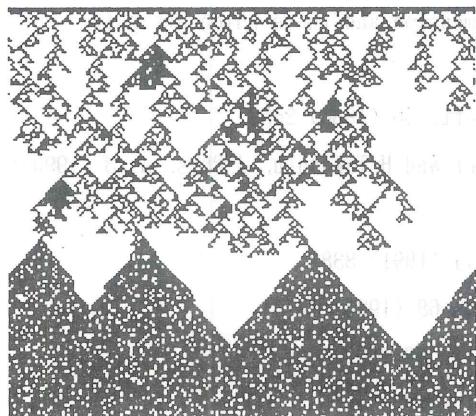


図 1

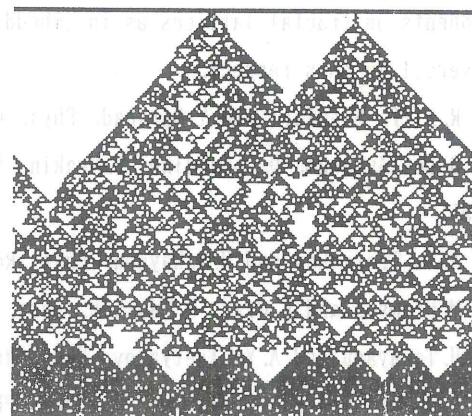


図 2

図中の黒い部分が酸素の供給されている部分。下部の無構造の部分は燃焼がまだ進行していない部分である。

## CHEMICAL REACTIONS ON SIERPINSKI GASKET

Y. HASEGAWA

A. Yu. Tretyakov and H. Takayasu

Department of Earth Sciences, Faculty of Science,

Kobe University, Rokko, Nada, Kobe 657, Japan

We study numerically two chemical reaction models on a Sierpinski gasket in a view to find out if any unique features will appear in comparison with the same models in 2 dimensions. We find that while in the case of monomer-dimer reaction model<sup>1, 2</sup> there is no significant difference<sup>3</sup>, the branching annihilating random walk model<sup>4</sup> on Sierpinski gasket leads to completely different behavior<sup>5</sup>.

In the case of monomer-dimer reaction model we find<sup>3</sup>, that the critical indexes on the

Sierpinski gasket, both for monomer and dimer stationary concentrations, are, within the calculation error, equal to the ones estimated by Meakin <sup>6</sup> for 2-dimension. In the case of branching annihilating random walk we have a completely different picture <sup>5</sup>: not only the critical indexes on Sierpinski gasket are definitely different from the ones in 2-dimension, but also the shape of the stationary concentration dependences on the control parameter clearly indicates that the behavior of the model on Sierpinski gasket differs from the behavior in 2-dimension.

We think that our results indicate to a possibility of a new kind of classification of second order phase transitions in lattice models: those which have the same critical exponents on fractal lattices as in embedding dimension and those which are not universal in this respect.

1. R. Ziff, E. Gulari and Y. Barshad, Phys. Rev. Lett. 56 (1986) 2553.
2. D. ben-Avraham, D. Considine, P. Meakin, S. Redner and H. Takayasu, J. Phys. A 23 (1990) 4297.
3. A. Yu. Tretyakov and H. Takayasu, Phys. Rev. A 44 (1991) 8388.
4. M. Bramson and L. Gray, Z. Wahrsch. verw. Gebiete 68 (1985) 447.
5. H. Takayasu and A. Yu. Tretyakov, Phys. Rev. Lett. 68 (20) 3060.
6. P. Meakin and D. J. Scalapino, J. Chem. Phys. 87 (1987) 731.

#### AT THE EDGE OF A PERCOLATION SYSTEM: HALF SPACE PERCOLATION

A. Yu. Tretyakov and H. Takayasu

Department of Earth Sciences, Faculty of Science, Kobe University,

S. F. Burlatsky

Department of Chemistry, Massachusetts Institute of Technology,

We approach the problem of connectivity of percolation network near the edge of the network both numerically and theoretically<sup>1</sup>. We show that at the percolation threshold the concentration of sites connected to the edge of the lattice can be evaluated using scaling considerations. A mean field theory is constructed for the concentration of sites connected to the edge of the lattice in the case when the concentration of nonempty sites is much less than the percolation threshold. We find numerically, that the critical exponent for the percolation probability for sites on the edge is much greater than the exponent in the bulk ( $\beta_{\text{edge}} = 0.42$ ).

1. A. Yu. Tretyakov, H. Takayasu and S. F. Burlatsky, Solid State Communications, 82 (1992) 513.

### 衝突により作られる界面のフラクタル構造

中部大 宮島佐介 西原宏

#### 1. スケーリング関数

イーデンモデルの成長表面は、2つの指標をもつスケーリング関数で特徴付けられる。横幅が $l$  のスタートラインから成長先端までの距離 $h_i$  のゆらぎ $\sigma$  は標準の手続き

$$\sigma(l) = \left\{ \sum_{i \in l} (h_i - \bar{h})^2 \right\}^{1/2}$$

で与えられる。ここで、 $i$  は幅 $l$  内で一様にとられた測定点の番号である。この $\sigma$  が

$$\sigma \sim l^\alpha f(h/l^{\alpha/\beta}),$$

と表されると指摘された。ただし、

$$f(x) \sim \begin{cases} x^\beta & (x \ll 1 \text{ のとき}) \\ \text{一定} & (x \gg 1 \text{ のとき}) \end{cases}$$

である。これらの式に現れる指標 $\alpha$  及び $\beta$  が表面のゆらぎの増大率を特徴付ける。

衝突に際し、 $\sigma$  の大きさが小さくなるが、同時にまた、スケーリング指標が変化するかどうかが興味あるところである。

#### 2. シミュレーション

衝突によって中央にできる境界の、成長の方向にとった座標 $h$  の期待値は、左右の成長先端が接触する直前における対向する点のほぼ中点である。この中点の座標の揺らぎの大きさは、対向する2点の座標に相関がなければそれらの点の座標の母集団の揺らぎ $\sqrt{2}$  分の1で、 $l$  に対する依存性は全く変わらない筈である。

現在、我々は $\alpha$  に対して、空間次元が2、および3のとき、それぞれ、0.44(0.5), 0.36(0.44)を得ている。( )内の数値は衝突前の成長先端(イーデンモデルそのもの)の数値である。ただし、3次元の数値はまだ十分 $h/l^{\alpha/\beta} \gg 1$  の条件を満たした結果ではなく、定性的な傾向を窺うことが許されるにすぎない。

#### 3. 浸透実験

以上に述べたような、1直線からのイーデンモデル的な成長は、身の回りにいろいろ見うけられる。例えば、直線状に植え付けたカビの成長フロント、拡散律速凝集、弾道軌道凝集、浸透問題等

である。

しかし、成長フロントの衝突問題となると、従来は注目されることがなかった。上記の実例のように身近な現象を取り上げて、衝突問題を実験的に観察するための実験を計画している。

その1つは矩型の濾紙のあい対する2辺からインクをしみ込ませる。その各先端はイーデンモデルに似た成長形態をしている。(本当にそうであるかどうかはこれから吟味されなければならない)。見ているうちに、各先端が中央で衝突を始める。このデータの上式に従った分析はこれから行なわれる。

## 物性研究所談話会

日 時 1992年8月24日（月） 午前10時30分～11時30分  
場 所 物性研究所 Q棟1階 講義室  
講 師 Russell J. Hemley  
(所属) (Geophysical Laboratory and Center for High-Pressure Carnegie Institution of Washington)  
題 目 "Solid Hydrogen at Ultrahigh Pressures"  
要 旨 :

Experimental study of solid hydrogen at ultrahigh pressures has advanced significantly in recent years as a result of developments in diamond-cell techniques. Single-crystal x-ray diffraction measurements at 50 GPa demonstrate that the crystal structure of the molecular solid remains hexagonal-close packed and provide an accurate determination of the equation of state to these pressures. Spectroscopic studies carried out at higher pressures have revealed a variety of new phenomena. Raman spectra show that major phase transition occurs at 150 GPa and 77K, which is characterized by a large discontinuity in the molecular vibron frequency. Studies of the temperature dependence show that the discontinuity terminates in a critical point. The results, together with low-frequency lattice-mode spectra, indicate that the transition is largely electronic, possibly involving closure of the indirect band gap or formation of a low-temperature excitonic state. The molecular bonds are stable to at least  $\sim$  250 GPa, but low-frequency Raman measurements provide evidence for new transformations at these pressures. Numerous studies have been conducted to ascertain effects of possible physical and chemical interactions between hydrogen samples and diamond, metal gasket, and ruby under these conditions. Finally, measurements of vibrational and electronic properties have been performed using newly developed synchrotron infrared techniques.

日 時 1992年8月24日（月） 午後4時～5時  
場 所 物性研究所 Q棟1階 講義室  
講 師 Dr. G. Abramovici  
(所属) (Universite Paris-Sud. Laboratoire de Physique des Solides)  
題 目 "Topological Defects in Quasicrystals"

要 旨 :

We will discuss the interest and use of a topological study of a quasicrystal. It is possible to define a defective state, but there is no canonical order parameter space. So I will introduce the surface  $\Sigma_a$ , which is similar to an atomic surface, and show that we can classify defects on this surface. Where are phasons in this classification ? We will speak about ‘disvections’ and try to understand the topological origin of phasons.

## 物性研将来計画討論会開催について

先月号「物性研だより」にも紹介いたしました、物性研将来計画について、以下のようなプログラムで討論会を開催いたします。ふるって参加して御議論ください。

### 物性研究所将来計画討論会

日 時： 平成4年9月29日（火）9：30～17：00

場 所： 物性研Q棟講義室

### プロ グ ラ ム

9：30～9：45 本会の趣旨及び背景説明 ..... 所 長

9：45～10：30 将来計画中間報告説明 ..... 安 岡

10：30～11：15 将来計画委員会外部委員の意見（各15分）

伊達、川村、小松原

11：15～11：35 質疑応答（20分）

11：35～11：55 極限物性研究計画の成果 ..... 村 田

（極限レーザー、表面物性、超低温物性、超強磁場）

11：55～12：15 質疑応答（20分）

[12：15～13：15 昼食]

13：15～14：25 研究センターの計画に関するコメントI（各10分）

新物質科学研究センター ..... 秋 光

量子物性研究センター ..... 川 路

表面・界面研究センター ..... 塚 田

多重極限研究センター ..... 天 谷

量子分光研究センター ..... 櫛 田

境界領域研究センター ..... 国府田

物性理論研究センター ..... 興 地

14：25～15：00 質疑応答（35分）

[15：00～15：15 休憩]

15：15～15：45 研究センターの計画に関するコメントII（各15分）

SOR分光研究センター ..... 菅

中性子散乱研究センター ..... 遠 藤

15：45～16：15 質疑応答（30分）

16：15～17：00 全体計画について（45分）

（共同利用、大学院教育、若手研究者の養成等）

## 物性研創立35周年記念行事のお知らせ

物性研究所は昭和32年4月に設立されたので、本年をもって創立35周年を迎えました。この記念すべき年を迎えるに当たり、当研究所では、過去35年の歴史を回顧・反省すると共に、将来への新たな飛躍と発展をめざして、35周年記念行事を開催することになりました。行事の内容は、記念シンポジウム、所内の公開、記念出版などあります。行事日程などは下記のとおりです。多数の方々の御参加を期待しております。

### ○ 行事日程

12月3日（木） 記念シンポジウム「物性科学の将来」

12月4日（金） }  
12月5日（土） } 所内一般公開

### ○ 記念出版 「物性科学辞典」

なお、詳細は追って通知いたします。

## 東京大学物性研究所客員部門教授・助教授の公募

本研究所客員部門において下記のとおり教授（併任）・助教授（併任）の公募をいたします。

### 1 公募人員

研究分野 A : 助教授	1名
研究分野 B : 助教授	1名
研究分野 C : 教 授	1名
研究分野 D : 助教授	1名
研究分野 E : 教授又は助教授	1名
研究分野 F : 助教授	1名
研究分野 G : 助教授	1名

### 2 期 間

A B F : 平成5年4月1日から平成5年9月30日までの半年間

C D G : 平成5年10月1日から平成6年3月31日までの半年間

E : 平成5年4月1日から平成6年3月31日までの1年間

### 3 研究分野

A : 極限物性部門レーザーグループと協力して、軟X線光学及び光学素子の研究を行う。

B : 極限物性部門表面物性グループと協力して、表面物性の研究を行う。

C : 極限物性部門超高压低温グループと協力して、高圧下の物性研究を行う。

D, E : S O R グループと協力して、高輝度放射光源の設計に関する基礎研究を行う。

F : 中性子回折物性部門グループと協力して、日本原子力研究所 J R R - 3 原子炉に設置した中性子散乱装置の技術開発研究を行う。

G : 新物質開発部門と協力して、強い電子相関に関連した物性を示す物質系の合成・構造・性質について研究を行う。

### 4 研究条件

(1) 研究室の供用、その他可能な範囲で研究上の便宜を計る。応募に際しては本研究所所員とあらかじめ連絡をとること。

(2) 研究費及び本研究所との間の往復の旅費、滞在費を支給する。

(3) なるべく多くの時間を本研究所における研究活動にあてること。

5 公募締切

平成4年12月14日（月）（必着）

6 提出書類

（ア）推薦の場合

○推薦書（本人の本研究所における研究計画に関する記述を含む）

○履歴書

○業績リスト（必ずタイプすること）ほか出来れば主要論文の別刷

（イ）応募の場合

○履歴書

○業績リスト（必ずタイプすること）ほか出来れば主要論文の別刷

○所属の長などによる本人についての意見書（宛先へ直送のこと）

○研究計画書（本研究所滞在可能期間の推定を含む）

7 宛先及び問い合わせ先

〒106 東京都港区六本木7丁目22番1号

東京大学物性研究所 総務課人事掛

電話 03(3478)6811 内線 5021, 5022

8 注意事項

客員の応募分野を明記し、教授又は助教授応募書類在中、或いは意見書在中の旨を表記し、  
書留郵便で送付すること。

9 選考方法

東京大学物性研究所人事選考協議会での審議に基づき、物性研究所教授会で決定する。

平成4年8月28日

東京大学物性研究所長

竹内伸

## 東京大学物性研究所の助手公募の通知

下記により助手の公募をいたします。適任者の推薦、希望者の応募をお願いいたします。

### 1 研究部門名等及び公募人員数

極限物性部門超低温物性 助手 1名

### 2 研究内容

本部門では、石本・久保田・河野所員を中心として超低温領域における物性研究を行っている。本公募の助手は主として河野所員と協力して、量子液体、量子固体とその表面・界面に固有な現象の研究を推進することが要請される。

超低温実験の経験は必ずしも問わないが、この分野の先端的領域の開拓に意欲ある人を希望する。

### 3 応募資格

修士課程修了、またはこれと同等以上の能力をもつ人。

### 4 任期

5年以内を原則とする

### 5 公募締切

平成4年10月30日（金）必着

### 6 就任時期

決定後なるべく早い時期を希望する。

### 7 提出書類

#### (イ) 推薦の場合

- 推薦書（健康に関する所見を含む）
- 履歴書（略歴で結構ですが、学位名・単位取得のみ・論文提出中等を明示のこと）
- 業績リスト（必ずタイプすること）
- 論文別刷

(口) 応募の場合

- 履歴書（学位名・単位取得のみ・論文提出中等を明示のこと）
- 業績リスト（必ずタイプすること）
- 論文別刷
- 所属の長または指導教官等の本人についての意見書（宛先へ直送のこと）
- 健康診断書

8 宛先

〒106 東京都港区六本木 7 丁目22番 1号

東京大学物性研究所 総務課人事掛

電話 03(3478)6811 内線 5021, 5022

9 注意事項

極限物性部門超低温物性助手応募書類在中、又は意見書在中の旨を朱書きし、書留で郵送のこと。

10 選考方法

東京大学物性研究所教授会で審査決定いたします。ただし、適任者のない場合は、決定を保留いたします。

平成4年7月29日

東京大学物性研究所長

竹内伸

## 1993年度日米科学協力事業「中性子散乱」研究計画の公募

1993年度の日米科学協力事業「中性子散乱」に関する日本側提案の研究計画を下記のとおり公募します。

本国際協力研究事業は、文部省特別事業として1981年から実施しています。事業の態様等について、申請に先立って下記関係委員会委員とお打合せの上申請くださるようお願ひいたします。

### 記

#### 1. 応募資格 :

全国国公私立大学、研究所所属の研究者（含大学院学生）

#### 2. 提案様式 :

所定の提案書（用紙は提出先に請求してください）とコピー2部

#### 3. 提案書送付先 :

〒106 東京都港区六本木7丁目22番1号

東京大学物性研究所 藤井保彦

#### 4. 応募締切 :

1992年10月30日（金）

#### 5. 課題の審査及び審査結果の通知

日米協力「中性子散乱」研究計画委員会及び日米合同研究委員会で審査され、結果は1993年3月頃通知します。

#### 6. 参考説明 :

- i. 採択された研究計画で派遣される人数は、オークリッジ国立研究所（ORNL）3～4名、ブルックヘブン国立研究所（BNL）4～5名程度となる見込みです。派遣期間は1～3か月程度です。
- ii. 本計画でできるだけ柔軟性、即応性を持たせるため、BNL実施計画のうち、1994年1月以降に実施を計画する分については、追加応募を受付ます。追加分の締切は1993年3月1日（月）とします。
- iii. この協力研究の実施方法について不明の点は、研究計画委員会委員長、各担当幹事、最寄りの委員にお問い合わせください。また、各設備に関しても上記の委員にお問い合わせください。
- iv. 現在BNLでは従来の装置に加えて、干渉計用光学ベンチ、表面反射分光装置を建設中であり、これらを利用した装置開発研究に御関心を持たれる方々の積極的な提案も期待します。
- v. 研究計画委員会の本年度の委員は次の8名です。

藤井保彦（東大物性研・委員長，ORNL担当幹事），河原崎修三（阪大理・ORNL担当幹事），遠藤康夫（東北大理・BNL担当幹事），船橋 達（原研），加倉井 和久（東大物性研・BNL担当幹事），藤井博信（広島大総科），池田宏信（高エネルギー研），山口泰男（東北大金研）

## 平成4年度全学一般教育ゼミナール「物性科学最先端」について

世話人 家 泰 弘

全学一般教育ゼミナールは、本学教養学部の1・2年生を対象に各学部・研究所の教官がそれぞれの専門分野について紹介するもので、バラエティに富んだ多数の講義・演習が行われています。

物性研も昭和49年度以来上記の題目のゼミナールを開催しており、今回が19回目ということになります。ここ数年は数名の講師が分担して物性科学の研究の最先端の話題を講義形式で紹介するという方式をとってきましたが、今回は新しい試みとして、少人数を対象としたゼミナールを開講することにしました。

本年は、以下の3つのゼミナールが予定されています。

「固体表面の物性」 担当： 村田 好正 所員

「超低温の世界」 担当： 久保田 実 所員

「物性物理ホットトピックス」 担当： 家 泰弘 所員

また一般教育ゼミナールとともに、学生が最先端の研究現場に触れる機会をつくるという趣旨で、物性研究所の実験室見学を毎年実施しておりますが、今年は物性研究所35周年の記念行事が12月に予定されているのでそれに合わせてこれを実施する予定です。

## 人 事 異 動

(退 職)

所 属	職 ・ 氏 名	発 令 日	異 動 内 容
極限物性部門 極限レーザー	助 手 遠 藤 彰	4. 8. 31	住友重機械工業株式会社 主任研究員へ
新物質開発部門	技 官 藤 原 陽 子	"	学習院大学理学部助手へ

(採用・転入)

所 属	職 ・ 氏 名	発 令 日	異 動 内 容
凝縮系物性部門	助 手 武 田 直 也	4. 8. 1	採 用
工作室	技 官 内 田 正 之	4. 9. 1	埼玉大学工学部より

## Technical Report of ISSP 新刊リスト

Ser. A

- No. 2551 NMR Study of the Spin Dynamics in  $Tl_2 Ba_2 CuO_y$  ( $T_c=85K$ ). by Shinsaku Kambe,  
Hiroshi Yasuoka, Akihiko Hayashi and Yutaka Ueda.
- No. 2552 NMR Study of Copper in [Ni/Cu] Magnetic Superlattices. by Atsushi Goto,  
Hiroshi Yasuoka, Hidefumi Yamamoto and Teruya Shinjo.
- No. 2553 Evidence for the Origin of Reconstruction of the Mo(001) Surface. by J. W. Chung,  
K. S. Shin, D. H. Baek, C. Y. Kim, H. W. Kim, S. K. Lee, C. Y. Park, S. C. Hong, T. Kinoshita,  
M. Watanabe, A. Kakizaki and T. Ishii.
- No. 2554 Phase Shift of Neutrons in Magnetic Domains Observed by Interferometry.  
by Shinichiro Nakatani, Hiroshi Tomimitsu, Toshio Takahashi and Seishi Kikuta.
- No. 2555 Desorption of Ions and Neutrals with  $>6eV$  Laser Light. by Yoshitada Murata,  
Katsuyuki Fukutani, Ander Peremans and Kazuhiko Mase.
- No. 2556 Anisotropy of  $Bi_2 Sr_2 CaCu_2 O_{8+y}$  Revisited. by Yasuhiro Iye, Isamu Oguro,  
Tsuyoshi Tamegai, W. R. Datars, Naofumi Motohira and Koichi Kitazawa.
- No. 2557 UPS Studies on Photodesorption of NO from Pt(001). by Moon Bong Song,  
Seigi Mizuno, Katsuyuki Fukutani and Yoshitada Murata.
- No. 2558 Measurement of Ultrafast Optical Pulses with Two-Photon Interference.  
by Y. Miyamoto, T. Kuga, M. Baba and M. Matsuoka
- No. 2559 Stable Molecular Metals Based on a Novel Unsymmetrical Diselenadithiafulvalene.  
by Shuji Aonuma, Yoshinori Okano, Hiroshi Sawa, Reizo Kato and Hayao Kobayashi.
- No. 2560 Flux and the Quantized Hall Conductance in Two-Dimensional Periodic Systems.  
by Mahito Kohmoto.

No. 2561 Auger Decay of Quasiparticle States: Calculation of Ni 3p Photoemission Spectrum in  $\text{NiCl}_2$ . by Kozo Okada, Akio Kotani, Haruhiko Ogasawara, Yasuhiro Seino and B.T. Thole.

No. 2562 Core-Level Spectroscopy in Transition Metal Compounds. by Akio Kotani and Kozo Okada.

No. 2563 Successive Phase Transitions of  $\text{R}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  ( $\text{R}=\text{Heavy Rare Earth}$ ) in Ultra High Magnetic Fields. by Hiroaki Kato, D.W. Lim, Motohiko Yamada, Giyuu Kido, Yasuaki Nakagawa, Hiroko Aruga Katori and Tsuneaki Goto.

No. 2564 High Pressure Studies on Electrical and Magnetic Properties of Ce-monopnictides, and Some Other Ce and U Compounds. by Nobuo Mori, Yasushi Okayama, Hiroki Takahashi, Yoshinori Haga and Takashi Suzuki.

## 編集後記

物性研だより9月号をお届けします。本号では、前所長の守谷先生から「物性研の30年間」について、また元所員の菅先生から「物性研の内と外」について原稿をいただきました。さらに、物性研究所将来計画委員会に所外委員として参加して下さった小松原先生から原稿をいただいている。お忙しい中を御執筆下さったこれらの先生方にお礼を申し上げます。

その他に、2つの短期研究会報告などが掲載されています。

次号の原稿の締切りは10月10日です。

小 谷 章 雄

高 橋 敏 男

