

物性研だより

第24卷
第5号
1985年1月

目 次

○中性子回折物性部門に着任して	吉沢英樹	1
○物性研に着任して	松岡正浩	3
○退官に当って	細谷資明	6
○物性研究の過去・現在・未来	中村勝弘	9
— 物性研について思う —		
○試料作成室の窓を透して見る物性研	青木眞人	12
研究室だより		
○石本研究室	石本英彦	15
物性研究所短期研究会報告		
○超微粒子の構造と電子状態		21
世話人	仁科雄一郎, 新井敏弘, 菅野暁, 小林俊一	
上田良二, 松尾進, 山本恵一		
物性研究所談話会		34
物性研ニュース		
○退官教授の記念講演会について		39
○昭和59年度後期短期研究会開催予定(追加)		41
○人事異動		41
○テクニカルレポート新刊リスト		41
編集後記		

東京大学物性研究所

ISSN 0385-9843

中性子回折物性部門に着任して

吉 沢 英 樹

本年5月より、私は中性子回折物性部門において所員として研究に従事させていただくことになりました。御承知のように本部門は現在2つの重要なプロジェクトを推進しています。ひとつは中性子散乱日米協力事業の大学側実施機関として、米国Brookhaven, Oak Ridge両国立研究所との協力研究の推進、とくにBrookhaven国立研究所には偏極中性子回折装置を高中性子束炉(HFBR)H4水平孔に建設中です。一方、国内においても日本原子力研究所の研究用3号炉(JRR-3)の改造に伴い、冷中性子源の設置、中性子導管の建設が予定され、物性研中性子回折部門も東海村に中性子回折物性研究施設をつくり常駐体制をとって8台近くの中性子分光器を新たに建造することになっています。

私自身は現在、日米協力事業に深く関わり、Brookhavenに明年度に継続予定で出張させていただいているので、当地の近況を報告して、依頼された抱負にかえさせていただきます。

中性子散乱の日米協力は昭和57年度にスタートし本年で3年目を迎えてます。私の滞在するBrookhavenにおける体制は、既存の装置による共同研究と新装置の建設の2本立て、それに対応して日本からの研究者も、6週間を原則とする短期visitorと1年以上の長期駐在者とのやはり2本立てです。

短期visitorは初年度年度末からほぼ途切れることなく順調に6週間ペースで続き、様々な分野にわたる実験が展開されてきました。今年度も含めてこれまでのところ主として日本でも中性子回折に携わる研究者が多かったので専門家同士で中性子回折の技術交流も含めてBrookhavenとの交流を深めるという側面が強かったように思われます。日米協力が日本の中性子回折研究者にさらに活躍する機会を生みだしていることは疑いありません。しかし、日米協力は10年近くにおよぶ長い協力事業であり、たとえ日本で中性子回折にふれたことのない研究者でも、各分野に造詣の深いBrookhavenの研究者との共同研究により、豊富なマシンタイムが使えることもあります。高度な中性子回折実験を行うことが可能ですので、中性子回折にじみの薄い研究者の方々もこれから多勢Brookhavenを訪ずれることになるだろうと思います。今年度は既に日米協力を利用して、中性子回折部門の学生ではありますが、大学院生を送る試みもなされています。

さて一方長期としては、初年度昭和57年度は今秋、物性研から転出された元屋清一郎氏がほぼ

1年滞在され日本側が建設予定の偏極中性子回折装置を担当されました。昨年度は装置の製作・組立て期にあたったためとくに長期滞在者はおかれませんでしたが、伊藤雄而助教授が秋に4ヶ月滞在されてその分をおぎなわれました。今年度は6月より私が常駐しておりますが、前期は主としてこちらの Instrumentation Divisionとの協力により Electronics 系統の製作・試験、本コンピュータとのインターフェース方式の決定、本コンピュータをシミュレートするマイコンによる分光器の駆動試験等が行われてきました。又、9月下旬に、いよいよ新装置据付け予定の高中性子束炉H 4 水平孔に配備されていた旧分光器群が撤去され、急ピッチで新装置据付け作業が開始されました。年内のうちに、空気浮上方式用専用床がしかれ新分光器の据付けが予定されており、本コンピュータの購入も12月納入を目指されています。一方、前出の Instrumentation Division により TOF 系統のエレクトロニクスの製作も進んでいます。年が明けて今年度末の3ヶ月は新装置の調整・運転試験等が続きます。明60年度は好調な短期 visitor の研究に、この新装置が加わって Brookhaven における日米協力研究もさらに充実したものになることでしょう。

このような日米協力事業といい、日本で着実に準備の進められている改造3号炉に伴う物性研
中性子回折物性研究施設設計画といい、中性子回折実験の機会が格段にふえ日本の中性子回折の一層の飛躍の期待される、この時期にその要とも言うべき物性研に研究活動の基盤を与えていただき、中性子回折を専門とする者として、これにまさる幸福はありません。微力ではありますが、最善を尽す所存でありますので、より一層のご指導・ご鞭撻を賜りますよう、紙面をかりてお願
い申し上げます。

物性研に着任して

極限レーザー 松岡正浩

はからずも13年ぶりに物性研に戻ることになり、去る7月から就任した。13年といつても物性研には17年の空白が実質的にはある。それは13年間の京大理学部在職の前に、矢島研助手を休職した4年間の米国滞在があったからである(本誌11巻3号参照)。今東京に戻って、京都と東京の生活実感や、京大と東大のそれぞれの意味でのスマートさと泥臭さ、大学の学部と研究所あるいは物理教室における物理学全般への関心と物性研における主として固体物理への集中的関心など色々な違いを感じている次第である。

さて、物性研助手当時には生れて間もなかった量子エレクトロニクスあるいはレーザー分光もその後様々な時代を経て来た。助手当時強いレーザーとしてはルビーレーザーが唯一のもので、後になって小さなガラスレーザーが使われるようになった。しかし、その頃は非線型光学現象に関しては発見の時代ということができ、米国からの雑誌には毎号のように新しい現象が報告されたものである。(一方日本では、ルビーレーザーのパワーが追いつかず、パワーが物を言う非線型光学現象の発見については常に後塵を拝した時代でもあった。)

13年前に京大に研究室を開いた頃になると、ちょうど波長可変の色素レーザーが普及しはじめ、これを気体原子の狭い吸収線に共鳴させると、小さな入力でも容易に大きな非線型効果が現れることが注目されるようになった。これを契機にして非線型コヒーレント過渡光学という新分野が現れることになった。それ以前の非線型光学では、光領域の電子遷移においてレーザー光のコヒーレンスによって強制的に作られたコヒーレンスは扱われていたが、短い光パルスによって共鳴的に励起された原子系が、自分のコヒーレンスを持続する状態はあまり注目されていなかった。

そこで私はまず気体原子を対象にして、非線型光学とコヒーレント過渡光学を結びつける研究から始めることにした。まず、二光子過程を中心に、二光子コヒーレンスの生成と緩和の直接観測、カスケード放出における協力現象(スーパーラディアンス)、あるいはこれらに関連して、気体中の二次高調波発生、ナトリウム分子のレーザー発振など、いずれも新しいタイプの現象の検証や理論の研究を行った。原子系のコヒーレンスの緩和すなわち位相緩和では、均一横緩和の測定が重要であるが、これにはやはりフォトンエコーが中心的測定法である。この頃までにエコー法の技術も発展して、いくつかの新しい型のエコー法が開発されていたが、我々は光領域のエコーとして、非線型光学における位相整合を積極的に利用したバックワードエコーを提案した。これを実証するために用いたのは“汎用原子”ナトリウムであったが、その後分子や固体中の不純物イオンにもこの方法を適用した。このようにして私は新しい型の光と物質の相互作用による現

象を考えたり、モデル実験をしたりして楽しい時代を過すことができた。（これにはまた良き協同者・学生諸氏に負うところが大きいことは勿論である。）ここで我々は物質の種類にはこだわらず、現象の新奇性を追いかけたのであった。E. L. Hahn と私は、このような自分達のことを “Phenomena Physicist” と呼んだものである。

しかし、私もまた固体の素励起や液体の分子など、凝縮系における電子とフォノンが強く結合した系にも興味を持っている。しかし、このような対象の大多数では位相およびエネルギー緩和時間はサブピコ秒からフェムト秒領域にあり、この極限的な短時間領域はレーザー分光学にとって未踏の領域となっている。幸い最近フェムト秒領域の分光に関して二つの道が開かれてきた。その一つは、光ファイバーとパルス圧縮法を組合せて、数10 fs から10 fs 台の光パルスを得ることができるようになったこと、その二は、パルス幅の逆数よりずっと広いスペクトル幅を持ついわゆるインコヒーレント光の短い相関時間を利用する分光法が開発されつつあることである。後者は物性研矢島教授によって最初に指摘され、京大の我々の研究室でもいくつかの試料でフェムト秒の分解能を持つフォトンエコーが可能であることを実証した方法である、これは日本で始められた独自の研究である。

さて、このような言わば準備期間の後に、いよいよ分光学の一つの極限としての凝縮系の超高速緩和の研究を始めようとした矢先に、今回の転任となった。私は物性研に来るに当たって、およそ次のような基本方針を考えている。

- (1) コヒーレント過渡分光を中心とした量子光学的手法を固体や液体分子などの凝縮系の分光に応用し、物質と光の相互作用の研究を行う。
- (2) 逆に、固体特有の素励起や超短時間の相互作用に基づく量子光学的新現象の領域を開拓する。
- (3) 超短パルスレーザーの広帯域化など、分光に必要なレーザーの開発を行う。
- (4) これらの研究のために、光物性分野をはじめ多くの分野の方々のご教示を乞い、できるだけ共同研究を盛んに行いたい。

まず、固体等の分光では、各種の不純物中心（色中心、束縛励起子など）や、固体（励起子や励起子分子、あるいはアモルファス半導体や混晶における局在状態など）における、サブピコ秒からフェムト秒領域の位相緩和ならびにエネルギー緩和に興味を持っている。これらに共通した問題は電子系とフォノンの強い相互作用である。さらに、局在状態と非局在状態が、孤立系をして対象にしてきた量子光学における不均一広がりと均一広がりという概念とどう結び付くのかという基本的問題もある。

しかし、今ここで述べたような実験は言うほど易しいものではない。これまで山の裾野を巡っていたとすれば、今度は岩壁を登るようなものであろう。短時間現象の測定そのものももちろん

困難である。しかしさるに、非線型相互作用を用いて均一横緩和の測定を純粋固体で行うと、非線型過程に必要な強い励起によって、高密度の電子とホールが励起され、強い電子間相互作用などが起るため、外場のない自由状態とはかけ離れた状態の測定になってしまう。如何に弱い光で非線型過程の測定を可能にするかという問題で私は目下苦しんでいるところである。

レーザーの開発としては、私は必ずしも短パルス発生の世界最高記録をねらうのではなく、実用的な範囲にとどめて、むしろ波長範囲を広げて、共同利用研としての責任を果すべく、利用者に使いやすいものを備えたい。本稿を書く数週間前には、最高記録として幅12 fs のパルス発生ができたというニュースが入ったが、これらの記録作りでは波長が通常極く狭い範囲に限られる。波長を拡大する意味から、インコヒーレント光源の確立も重要である。物性研究に必要な短波長レーザーの開発は極限レーザー部門の大出力ガラスレーザーグループと、大出力エキシマーレーザーグループで進められており、完成も近いが、私としてもこれらを支援したい。しかし、外から来て見て驚いたことは、これらの大型レーザーの建設が極限的少人数で行われていることである。人員の確保についても努力が必要であると思う。

今私は13年前に気体原子におけるコヒーレント分光を始めた時と同じように、期待と不安の交錯した気持でスタートラインに立っている。今度も我々の方法が通じるであろうか。自称 Phenomena Physicist も Solid State Physicist としての責任を負っている。

退官に当たって

細谷資明

私の年代は旧制中学に入学して間もなくの7月7日に日中戦争が始まり、ついで大東亜戦に拡大し、旧制高校と大学では勤労動員が大半で、誰しも食糧不足で苦しんだ頃であった。さらに大学入試の実施も空襲が始まりそうな情勢のために、書類審査となつた。それで小生などは既にその頃量子力学の本に出ていたのを借用して、"トンネル効果だ、トンネル効果だ"と喜んで騒いだのであった。三高の同学年で共通の友人を介して親しくしていた江崎君は東大へ入学して暫く大学へ出ていたが、間借りしていた赤門前の裏の方で早々と焼け出された。その頃は少しゆとりがあったと見えて運のよい彼は洋傘の特配を受けたが、京都が空襲されないことが誰の目にも明白になった時期には京都に帰っていた。

敗戦後江崎君が神戸の工場で菜葉服を着て働いているのを訪ねた。私の父の奮闘と幸運によつて、西隣以外の三方が焼けたのに、自宅は焼け残り、その庭に立つと海まで見渡せて昔の漁村だった神戸が偲ばれた。そんな拙宅に彼が訪ねて来た頃、誰が今日の日本の状態を想像できたであろうかと大変感慨深い。それより少し前、東大の安田講堂で終戦の詔勅を雜音のひどい古ぼけたラジオで聞いて、何とか列車に乗り友人と3人で関西へ帰った。この講堂には多分あと2回はいった。一度は1953年モットやフランク教授が来日して講演した時だったと思う。2回目は幸運にも物性研に助教授として採用されて英國留学から帰国した'58年の秋だった。三宅先生の指示で学長室の茅先生にご挨拶に伺った時、「立派な研究所を作りますから、しっかりやってくれえ」といわれたのを緊張して承った。その後暫く物性研は敷地問題が円滑に行かず、帰国後相当の期間は駒場旧理工研の南、帝都線の通っている直ぐ北側にあった木造の、たしか2階建てのバラック事務所を会議室にも使っていました。始めは正方形に並べた机を囲んで8人位で所員会が開かれていた。会議は大てい長引き時には午前から始めて昼食と夕食を含めて長時間にわたつたこともあった。今では最年長となった小生なども当時は一番の若輩だったから大変くたびれた。三宅先生にそう申し上げたら、「初めから終りまで一生懸命聴いてるからだよ。」といわれた。しかし、少人数の中の一番若輩とあっては、緊張しないでいいと言われても無理であった。それに比べると最近の所員会は大変整った書類が配布されるし、議事の中にはそれぞれの委員会や大部門で検討された結果出てくるものもあるので、大体スムーズに運ばれ、今昔の感に堪えない。

一つだけ今も気になっていることは全国共同利用研究所にいながら、他大学その他にとうとう転出しなかつたことである。実は一度年長であり研究上尊敬していた或る方から、教授として来ないかと言われたことがあった。この方はX線の分野で筆者とは違った面から違った方法で大変

立派な研究を進めている方であったから相補的に協力できてよいと考えられたに違いない。しかしその時は最悪の時であった。というのはその暫く前に筆者の一家総勢4人が、三宅先生のお宅での恒例の新年の集りに行くためにタクシーに乗っていた時、中位の十字路で出遭いがしらに巨大なコンクリートミクサーに衝突したのである。ミクサー側に守るべき一時停止の標識が立っていた。この時一番に病院にかけつけて下さったのは、井口洋夫先生であった。たまたまカー・ラジオで、この事故を知り、直ぐ病院にきて下さったのであった。ずっと後で手続きのために警察に行った時に聞かされた所では、7mほど対角線方向にタクシーがはね飛ばされ、斜め前方のコンクリート塀に激突して止まつたのであった。この二つの衝撃は一つとしてしか感じられなかつた。多分二つ目は相対にいって弱かったのだと思う。このため一家4人の中、家内と長男は重態、軽い方の筆者でさえ左側の肋骨3～4本が5～6ヶ所で折れ曲り、心臓が圧迫されて大変苦しかつた。一番小さかった長女は車から投げ出されて塀にぶつかって下の溝に落ちて泣いていた。私が何ヶ月もあとで漸く退院して、手続きのため警察署に行った時、担当官に「死亡事故になるかと思いました。」と言われた。確かに4人の中、2人は「よく助かった、奇跡的だ。」といわれた位の重傷であった。その後も頭を打った家族の目まいなどの後遺症が何年か続いた。そういう事情で転任の話はとても無理で自然と立消えになつた。この不幸に遭つたとき、関係の深い方でもお見舞いにきて下さつた方は少ないので、専門上それ程関係が深くなかった芳田・中嶋両先生が2人で一緒に病院までお見舞いに来て下さつたことには今でも感謝している。医者によると肋骨を折るのは大変苦しいものだそうで、死の深淵を垣間見た気持で、苦しみに漸く堪えている時には心の中が自然と透けて見えるような気がした。入院中三宅先生の奥様には色々とご親切なお心遣いを頂いたのに、充分お礼を申し上げる機会を得ない中におなくなりになったのは本当に申し訳なく、悲しいことである。

皮肉にもこの入院中にフィンランドのX線研究者の代表格の人から手紙が来て、「貴方かまたは同じようなX線分野の研究者を一人、半年か1年程度招きたいと言つてきた。怪我のことさえなければ、日本は暑い季節ではあり、半年位家内同伴で行くのに丁度良い話だったのだが、結局その頃共同利用で度々来ておられた商船大の十川さんに代わりに行って頂いた。

次にクロムの反強磁性磁区の大きいことを中性子トポグラフィで立証した仕事には大変思い出がある。以前、雑誌「固体物理」1973年9月号に書いたことであるが、或る時期にクロムの磁区の大きさについて、欧米の研究者が誤った仮定に基づいて推定したために磁区がひどく小さいと結論する誤った論文が数十篇も次々に出たことがある。筆者は新しい“方法”の開発が好きなので、直観的に“クロムの磁区がそんなに小さい筈はない、結晶が良ければきっと磁区は大きい。これは中性子トポグラフィを試みるのに絶好のテーマだ。”と考えた。確か近角先生のお口添えで、芳田所長のとき若干の予算を配分して頂き、詳細を手紙に書いて米国に注文して小さいクロ

ムの単結晶を3, 4個買った。しかしこれは結晶性が悪くて使いものにならなかった。所が皮肉にも後に便利屋的な商人が「どうせ皆融かしてメッキ用にするんですから。」といって只で数粒拾わせてくれた“IOCHROME”という商品名で Cr I₃から昇華法で作ったものが非常に良い結晶であった。これを用いた所、これまた皮肉にも中性子トポグラフィでなく“X線による反射トポグラフィ”で一足先きに磁区の大きいことが実証できてしまった。

しかしこの成功に力を得て、中性子の時間を星埜さんから確か30時間程もらって“物性的に有意義な最初の中性子トポグラフ”を各衛星反射について写すのに成功した。筆者は未だその時もタクシー事故による骨折から充分回復してはいなかったので安藤君のように30時間つきっきりとは行かず、24時間程で交代してもらったと記憶している。これは私としては快心の仕事で、我々の論文の発表後、Crの磁区が小さいという論文は見事に後を絶った。なおこの関係の解説は「物性」'72年11月号、「固体物理」'73年9月号、「日本結晶学会誌'73年第5号に出ていている。

この他まとめた仕事としては深町君らと長年にわたるSSDの利用がある。彼が最初にコンプトン散乱の迅速測定にSSDの利用を思いつき、幸いこれが東レ助成金で実行可能になった。その後今度は細谷がSSDを利用した白色X線による異常散乱の測定を思いつき、普通の封入管から出る白色X線を利用して、色々の新しい実験を試みた。このためだと思うが、放射光施設で使うべき各種高性能のX線検出器開発のための特定研究「物質のミクロ構造の動的解析」の総括をやらされ、準備1年・実施3年・まとめ1年という長い間、大変な重責かつ重労働であった。大部門でなくともせめて元の1部門つまり2研究室の規模であれば、ずっと円滑に実施できたろうと思われる。この関係の英文成果報告は個々の論文が多数発表されているが、それとは独立の形で、相当数の測定機器の説明ないし使用例に関する英文論文集も近い中に出る予定である。

今後もできる範囲で結晶学の普及とか啓蒙に関する仕事をしたいと思っている。物性研を去るに当たり、研究上色々の交流があった方々にはもちろん、図書室、事務部、工作室の方々にお礼申し上げたい。また図書に関連して、科学史専門の方々のお骨折りによって古い文献閲覧などでもお世話になれそうで大変有難いことと感謝している。

物性研究の過去・現在・未来

——物性研について思う——

福岡工大 中村勝弘

物性研の内外の人達によって回顧されている戦後の物性研究は、今日、その対象の広がりと研究方法の多様性において、これまでの物性物理の一元的価値観を大きく崩しつつある。完全結晶の固体物理は、その比重を著しく減じ、非晶質、液晶、界面（表面）等の理解が、物性研究の主題になりつつある。しかも、それらの物性を熱平衡状態だけでなく、平衡から大きく離れた非平衡定常状態、更には turbulent な状態において理解することが迫られている。物性研究のこのスペクトルの広がりは、そもそも、技術の高度化、多様化や極限状態の物性制御の進展により促されたものであろうが、ただそれだけではなく、自然現象の生きた理解をめざしたいという、我々人類の認識論的要求に根ざしていることも確かである。

対象を理解する理論的武器も又、再編成を迫られている。例えば、低次元系に限らず、又、平衡、非平衡を問わず一般に非線型振動を合理的に理解するには topological singularity の概念が不可欠であるし、非晶質（metallic glass や amorphous Si）の理解にはゲージ（場）理論が有効になりつつある。又、非晶質ではないが、磁性体の磁歪で結合した転位とブロッホ磁壁の共存系の動力学の記述に、Kaluza-Klein 理論すら導入されようとしている。又、別の分野の例として、異方的有効質量を持つ Si の中のドナーの不規則量子スペクトルの理解のために、再帰性のない古典カオス軌道をいかに量子化するかという問題があらわれ、記号力学を利用した半古典量子化法が開拓されている（現在、IBM の Gutzwiller が口火を切っている）。その他、数多くの意外な例を挙げることができるが、つまるところ、これまでの理論的武器は、そのままで、全く無力であり、新しい概念の創出や、場の理論、核物理学、シナジエティクスや情報科学等の分野の解析方法をとり入れて自己を著しく豊かにする必要が生じている。

このような時代にあって、我々、物性物理の研究者は、他の学問分野を絶えず学際分野として意識し、新奇な理論や実験に対して、絶えず好奇心に満ちた少年の如き感覚で臨んでいく必要がある。勿論、これは、流行を追いかけることは全く別のことである。そして、いつの時代でもそうであるが、今日の状況下でも、我々が、物理学の歴史において確かな足跡を残しうるすれば、新鮮なモデルで世界に先がけて最初に仕事をすることであろう。それは、未完成で素朴極まりないもので充分である。それが、理論不在の実験を説明し、何か一つでも新たに予言しうるならば、どのような非学問上の圧力も、その仕事の意義を無視できないはずである。 n ($n \geq 2$) 番手の研究が、いくら、理論を緻密化し、基礎づけをはかり、諸効果を取り入れ、補正をおこなったとしても、それは、物理学の歴史においては、コンマ以下の貢献しかなしえない。又、そ

いう作業にばかり専念しすぎると、負け犬の敗者復活戦のような印象を内外に与えるだけである。(勿論、これは、自分自身への戒めをも含めて述べている)。J. Hubbard 逝き、P. W. Anderson も J. R. Schrieffer もまもなく過去の人となりつつ(とはいっても、依然、人並はずれたactivity を持続しておられるが)ある今日、所属、年齢等を問わず、誰でも、素朴なしかし original な仕事により、歴史に足跡を残しうる。M. J. Feigenbaum しかり、又、R. B. Laughlin しかりである。

さて、以上の状況把握をふまえた場合、物性研究の National Center の 1 つとしての物性研は上に述べた物性物理の歴史の新局面に対応していくには、やや融通がきかないような印象をうける。そして、率直に言って雰囲気に熱気やロマンがあまり感じられない。これは一方では、個々のスタッフが過去の仕事に執着し、その延長線上で安全な相撲をとろうとする自己防衛的傾向が根強くあることによると思う。又、他方では、新しい学際分野の研究を貧欲に摂取し、未踏の分野で、自分が冒険=危険をおかして 1 番手としての研究をやってやろうという意欲にやや欠けることによると思う。 n ($n \geq 2$) 番手としての研究は、いくら見かけ上 active でもその仕事の集積は measure (測度) としては零になることを銘記せねばならない。

自己防衛的傾向が固定化すると、共同利用機関としての物性研の機能が充分に働かなくなるし、時代に敏感に反応して研究をする多種多様な所外物性研究者の広範で柔軟な共同利用が難しくなる。又、誰もがやっている分野に + α を添えるのではなく、断えず未踏の分野を切り開くべく頑張って頂かないと、物性研に来る研究者は、啓発されるものがあまりないという事態になる。スタッフ自身の為だけでなく、熱い期待の眼を注ぐ全国の物性研究者のためにも、研究精神は常に若く光り輝かせて欲しいと思う。

将来的な制度のあり方として、スタッフの任期性の徹底化がよく話題になるが、私自身も基本的に賛成である。permanent post はキャリアがあり指導力のあるスタッフに制限し、任期制部門や客員部門を大巾に拡大することは、物性研が文字通り物性研究の National Center としての生命を維持していくために、真剣な検討に値すると思う。当然、実験部門も例外ではない。

又、任期切れ助手が高齢化し、業績や activity において、世代交代した新所員と実質的に変わらぬ事態が生まれようとしている現在、所内における学部なみの身分制の存在は、「暗さ」以外の何物も産み出さない。所内の身分制を徐々に廃止し、研究員として統一していくことも、併せて考えた方が良いと思う。

物性研について、手きびしい批判をおこなった訳だけれども、物性研が活性化し、全国の研究者との生きた交流を実現し、物性物理の歴史の現局面に有効に対応していくためには、地方の研究者も又、active にならねばならない。教育や過重ノルマの大義名分において安易な研究態度に安住することを厳しく自己切開する必要がある(これは何百という O.D. や任期切れ助手の無言

の圧力の中ではなおさらのことである)。物性研の方々も、自然認識における法則性創造の感動を大切にしながら、ロマンを求め未踏の分野で独創性の高い研究をたゆまず行って頂くことを強く要望する。

編集委員の方から投稿を依頼されたのを機会に元客員(1983年度・理論部門)の一人として、気楽にそして思うままに書かせて頂きました。物性研内外の方々と共に感できる一節でも含まれていれば幸いです。

試料作成室の窓を透して見る物性研

青木真人

第二次大戦とその後に続く混乱に疲弊した国情のもと、世界の歩みから大きく取り残された日本の物性物理学者達が、その総意を挙げて創りあげた物性研究所は、その後20数年を経て、創設の目的の一般を果し、更に次の発展段階へと脱皮しつつある。新しく大部門制に組織の一部は変容し、着々と前進を始めている時、共同利用研究所として設立された物性研の中でも、特に共同利用的性格の強い共通実験室の現状を省みると、意義あることと考える。そもそも物性研の共通実験室は、研究所創設期に、ある実験装置に最もかかわりの深い、熱意ある所員達のコンセンサスのもとに、強いリーダーシップをもった所員との密接な関係に於て開設され、その後も指導運営されてきた。然し時の流れにつれて、かつての最新鋭機も陳腐化し、日本の高度成長の結果、物性研にある装置もそんなに稀少価値あるものではなくなった。しかのみならずこれら初期所員の停年による退職が近年相次ぎ、共通実験室の閉鎖、統合、再編等が実施され、研究開発部の構想のもとに共通測定系の実験室が幾つかすでに発足し、試料作成室と化学分析室とを発展的に解消して、物質開発室がまさに誕生しようとしている。この中嶋前所長の企画になる研究開発部の構想を、真に実りあるものとする為には、我々研究開発部に所属するスタッフ一同の自覚と奮励努力に期待されるところが大なること、又言をまたない。現況を概観して筆を進めるに従い、話がだんだん大風呂敷になってきたが、ここらで一転、試料作成室はどのように変身脱皮をとげたらよいのかを考えてみよう。

物質開発室の仕事の内容、範囲については、これまで何度も開かれた試料作成・分析合同委員会に於ても具体的には煮つまつた議論はされておらず、ひたすら責任所員の着任待ちという状態であるが、部屋運営の基本理念として、ての発足の前にはっきりさせておくべきことは、1) 総力をあげて新物質の開発にとり組む。2) 新物質開発を推進するとともに、共通試料室的サービスもおこなう。このどちらの道を歩むかということであろう。非難を覺悟の上で発言させて頂ければ、絶対に1)を撰択すべきである。新物質開発という仕事は、片手間にできるような、なまやさしいものではない。民間業界が、いかほどの予算と人材をつぎこんで取り組みはじめたかは、多言を要すまい。然し悲しいかな物性研究所は共同利用の研究所である。その看板は未だ掲げられている。それ故にサービス一切を拒むことは、自己撞着そのものである。研究もし、且サービスもするということが、如何に困難なことであるかは、当事者でなければ想像を絶することである。サービスは受け手にとっては当たり前と感ずることである。心中ありがとうと思つても、おおむねその場限りである。一方サービスに不満を覚える者は、声を大にしてその非をならす。そしてサ

ービス担当者には、殆んど弁解のチャンスは与えられない。胃がキリキリ痛む程に肚がたっても黙って耐えるしかない。私は自分のこのにがい体験を、これから物質開発室で働く若い人達に再び味わわせたいとは思わない。そこでひとつの提案であるが、物質開発室のスタッフは2年乃至3年の周期をもって、研究専念期間とサービス専従期間を交互に勤めるというのは不可能であろうか、検討に値するのではなかろうか。

次に一度たたんだ風呂敷をもう一度ひろげて、研究補助者と総称される人達の問題をとりあげたい。物性研創設期には、研究室の技官の人達も、又工場の技官の人達も、共通実験室の技官層も、皆等しく、意気に燃え使命感に燃えていたのを覚えている。それが20数年の経過とともに、沈滞の気漂う情景をそこそくに見受けるのはどうしてだろうか、原因はいろいろあろう。そして又最大の要因が当事者の自覚そのものにあるにはちがいないが、いろいろの情況がかさなりあい、その相乗効果が今日の姿であることも動かせない事実である。今こうして筆を進めるうちにふと脳裡をよぎる言葉がある。すなわち「人心をして倦まざらしむるを要す」これは五ヶ条の御誓文の中の一節であるが、人の上に立つ者の常に心がけるべきことがらであり、物性研歴代所長が少くとも此の点に関して怠慢であったと言っては言い過ぎであろうか。リーダたる現所長の目には恐らくとまったくことと思うが、12月4日の朝日新聞の経済欄の見出しをここに掲げてみたい。世界を相手に、生存競争に社運をかける企業経営者の姿勢には学ぶべきものがあると思う。すなわち「トップも現場と交流を」経済同友会、「企业文化確立」へ提言、という記事が載っている。この中に「現場の生の声を積極的に聞き、相互交流の意思疎通をはかれ」と呼びかけている云々とある。まさに味わうべき提言である。ところでトップに人を得るや否やということが如何に大切であるかは、言をまたないが、組織の機構も亦、その組織に所属する各個人の能力を發揮させるのにきわめて重要であるということを強調したい。一例を国鉄にとってみよう。戦前の国鉄技術者集団は、その末端に至る迄、国鉄マンたるのプライドと技術者としてのエリート意識をもっていた。列車の到着時刻を秒刻みに守った機関車の運転士にいたる迄、自己の職域に強烈な誇りと責任感をいだいていたのは何故であろうか、私は国鉄総裁に対する国鉄技師長を頂点とする技術者集団の組織にその原因を見るのである。ひるがえって研究所の組織をみると、所長に対する事務部長なる集団がある。勿論国鉄技師長が国鉄総裁の下にある如く、事務部長の上に研究所の行政の長としての所長があるわけであるが、物性研の事務官達は事務部長の下に強い連帶意識をもっており、そのことに安んじていることは、事務系職員の低い職組加入率をみてもうなづけることと思う。ここまで述べてくれば、私が何を提言したいかは、読者の皆さんにはおわかりのことと思う。物性研の研究補助者達は、組織上極めて孤立した状況にある。すなわち研究室に所属する技官は、入所してから退職する迄自分只一人であり、代々変わる所員と助手の下に不变の身分関係が続くというケースさえありうるのである。共通実験室に所属する者にとっても事情は似た

ようなものである。前所長の構想によれば、実態はさておき考え方としては、研究補助者は所長に直属し、事態に応じてそれぞれの部署に配置される集団と考えることであったよう私は理解している。このことは、研究補助者はその身分の変化にとぼしく、時として生ずる新任所員との人間関係の極めて微妙な場合に対処しているともとれるのである。勿論もっと積極的に人員配置の流動化が意図されていることでもあろうが、研究補助者問題を放置して、物性研究所の新段階への移行のみを考えることは、あまり賢明なやり方ではないと考えるのであるが如何なものであろうか。組織変更をするということは、数々の手順が必要であろうし、一朝一夕に実現するものとは思われないが、物性研究所技術者集団の職制上の組織化を是否検討していただきたい。

私が技術集団の組織化をお願いするのは、上述のような論旨に加えて、一研究室のような小集団に於て人間関係を互いの善意のみに依存することは、極めて不安定であり、ひとたび失われた信頼関係を修復するのは、大層むずかしいことと考えるからである。そして又、更に一步踏みこんで言えば、元来技術者と学者とは全く対等の立場に立つべきものであり、人間としての値うちは勿論のこと、頭脳的にみても、レオナルドダビンチの如き人はいざ知らず、脳細胞のどの部分がより発達したかということによって、前者の得手は後者の不得手、後者の得手は前者の不得手であるに過ぎないという認識を、互にもってほしいものであるということである。物性研の技術者が誇りを持って、その能力を100%發揮できるような環境を、その組織化を通して具現することは、研究者にとっても、メリットあることと思うのですが…………。

研究室だより

石本英彦

私が物性研に着任したのは約6年半程前、ちょうど5本柱といわれた将来計画の先兵としての超低温計画の予算が認められた時でした。当時の超低温グループには、菅原、大野、永野、生嶋所員と私の5人の所員がいましたが、大野先生と私はこの計画の中心である2段核断熱消磁による μK 領域の開拓という最も低い温度領域を担うことになりました。前人未踏の極限領域をめざした大型計画であり、その目標達成には、これ迄の様な小さな研究室単位の取り組みでは駄目だという判断から、大野・石本研は、完全に一体として運営し実質的な仕事も研究室という垣根をはずして行うことにしました。この様な体制はその後の大部門制への改組、大野先生の退官、小川先生の着任の後もそのまま受けつがれて今日に至っています。そして超低温計画は μK 温度の生成という目標は一応達成し、その温度域での物性測定へと重心を移しつつあります。この時点においてこれ迄の我々の超低温開拓のあゆみをふりかえってみるのも有意義かと思い筆を取った次第です。

私が着任した1978年春には、現在のL棟の青写真は既にできていたものの、その建設のめどはなく、サイクロトロン棟の一角で大野先生を中心として、旭助手(現理研)、篠原助手(現東海大)、小林技官(現放射線管理室)、今泉助手(故人)らが小規模な2段核断熱消磁のための準備を始めており、半年遅れて着任した西田助手もそれに参加することになりました。そのうちL棟の新設も認められ、大型装置の外回りの建設が始まりました。同時に小さな冷凍機による2段消磁のテスト実験も続けることにし、L棟工事中の仮住いとしてA棟の031号室を借りました。この小冷凍機の役割としては次の2つがあつたかと思います。1つは小さいながらも一通り2段消磁の経験をして大きな問題がないかどうかチェックすること、もう1つは1段目の寒剤を決定するためのテスト実験です。2段消磁の寒剤としては、いわゆる enhanced nuclear system であるプラセオジウム金属間化合物と銅の組合せを用いることに決めていたのですが、多量に作るプラセオジウム化合物としてできるだけ性能の良いものを選びたいと考えていたからです。これに関しては当時はまだ菅原先生がおられ、高柳さんや照井さんが PrCu_6 , PrNi_5 , PrIn_3 , PrPt_5 などの試料を作ってください、実際の消磁実験は我々が行っていました。これらの物質は、寒剤としてだけでなく、それ自身の核秩序も物理的に興味のある対象であり、幾つかの新しい知見も得ることができました。その1つは PrCu_6 の転移温度として 2.6 mK を得たこと、 PrIn_3 については、自身の核断熱消磁による到達温度がIn核の位置におけるEQQ相互作用によって決められていることなどがわかりました。このEQQ相互作用の符号を決めるため PrIn_3 の 1 mK 以下の比

熱の測定を西田助手が始めたのですが、これはまだ完結していない状態になっています。2段消磁に関して最も危ぐしていたのは1段目から2段目へのエントロピーの受け渡しの時間でしたが、 $\text{PrCu}_{7.2}$ 0.027 モルと Cu 0.016 モル (1.0 φ の銅線 1 本) という組合わせで実際やってみると許容範囲の時間に Cu を数 mK 迄冷却することができました。そこでついでのことにして2段目の Cu を消磁した所、何回かの挑戦の後 Cu 自身の消磁磁場中の温度ではあるものの、電子温度としては当時世界最低の $20 \mu\text{K}$ を $\text{Al}^{54} \text{MnNO}$ 温度計で測ることに成功しました。これが1979年の3月であったと思います。しかし電子温度に関しては、すぐその半年後位に西独のユーリッヒのグループが大規模な2段消磁装置を用いて、寒剤自身ではなく、Pt 試料を消磁磁石の外で約 $50 \mu\text{K}$ に冷凍することに成功し、我々の小規模な装置は hair pin refrigerator などと呼ばれることとなっていました。それでも金属試料など冷凍力をそれ程必要としない実験には十分使えるというので Au の超伝導探しをやることにしました。Au の T_c については $\text{Au}_{1-x} \text{In}_x$ の T_c 測定の外挿から $x = 0$ のとき $T_c = 0.2 \text{mK}$ という予想があり、ひょっとしたらという期待をもっていたのです。このため3重の μメタルを超伝導シールドで試料の位置における磁場は mG 以下に抑え、6N の Au 試料でトライしたのですが勝利の女神はほほえんでくれませんでした。その原因としては磁性不純物が考えられ、特に Au 中で近藤温度の低い Cr, Mn を 0.01 ppm 以下に抑えねばなりません。そこで化学分析の田村先生にお願いして、化学的手法で精製してもらったのですが、その後挑戦する機会のないままになっています。この様に超低温における物性測定においては、超高純度試料の開発という別のプロジェクトをたてねばならないと実感したものです。それと共に $100 \mu\text{K}$ 以下の試料温度の正確な決定が small machine では困難だということも判り、big machine の建設を急ぐ必要にせまられることとなりました。

1979年夏頃になると L 棟は竣工したものの big machine については、消磁用の大きな超伝導磁石のトラブルで計画が遅れています。この超伝導磁石は最初の計画では NbTi と Nb_3Sn の F 線を用いた大口径の 13 T の磁石でした。これは当時の超伝導磁石技術の最先端をねらったものであったため、これを受注した IGC 社が、製作に失敗することになり、1980年の春には、磁石系を大きく変更せねばならなくなりました。その結果、将来 13 T への改造はできるものの、8 T - 8 T の組合せとなりました。しかしその有効内径は約 190 φ と非常に大きくなり、2段消磁装置の寒剤も大きなものが収容できることになりました。と同時にその具体的設計にあたり、この machine の特長をどう出すか苦慮したものです。即ち物性測定のテーマを鋭くしづらりそれに最適のものを作るか、もっと一般的にどんなものでも冷やせる装置にするかの選択でした。もっと具体的に言えば、金属元素核の核秩序の実験を最初から取り上げるかどうかということでした。この核秩序については、ちょうど半年位前にヘルシンキ工科大のグループが Cu の核秩序を見い出したという報告があった頃であり、他の核種でその可能性を考えることになりました。周期率表

には多くの元素がある様に見えますが、核秩序の実験に適するものは多くありません。先ず E Q Q 相互作用によって秩序が起こっては困るので、核スピンが $\frac{1}{2}$ であり起伝導転移のないものが候補です。超伝導と核秩序が共存すると面白いのですが、超伝導体を核断熱消磁すると、侵入距離より内では転移と共に核偏極がこわれてしまいます。すると薄膜とか超微粉は別として、試料として適する核種は Cu と Pt 位になってしまいます。Pt は磁性不純物によって巨大モーメントをもつ金属であり、良い試料を得ることは容易ではありません。色々考えあぐねた末、核秩序は超低温において最終終着駅であり、将来やることはあるにしても、当面最初の計画通り Pr 金属間化合物と Cu の組合せの 2 段消磁冷凍機を作ることにしました。そこで、手元にある 1 台の 8 T 磁石を用い、Cu 65 モルの 1 段冷凍機を試作し、L 棟での振動、rf 電波の影響を調べることを始めました。この machine は実験空間に $200 \mu\text{K}$ をとり出すことができたのですが、その途中東京タワーからの rf が予想以上に悪さをすることが判り、計測系全体とクライオスタッフの上部をシールド室に収納することになりました。よく超低温の実験室はクライオスタッフごとシールド室に入れてしまう方式をとりますが、それに比べて比較的安価にしかも居住性のいいシールド室になったのではないかと思います。この時期は熱スイッチとか諸々のテスト実験の他、希釈冷凍機の長時間運転に伴う問題などほとんどあらゆるトラブルを経験することになりましたが、リークという低温実験で最もいやなトラブルは幸いにも出会わないですみました。

1982 年の春になると 2 台目の 8 T 磁石が納入され、大量の PrNi₅ も手元に入り、夏頃から本格的な 2 段消磁装置 (PrNi₅ 11 モル、Cu 40 モル) のテストが始まりました。このテストは順調に進み、色々な改善を加えながら、9 月末には $80 \mu\text{K}$ 、11 月末には $50 \mu\text{K}$ 、そして翌年 2 月には実験空間に $27 \mu\text{K}$ という温度を取り出すことに成功しました。この温度は、消磁磁石の外で測られた温度としては、現在でも世界最低のもので数週間 $100 \mu\text{K}$ 以下に居ることができます。こうして初期の目標の達成が大野先生の退官に間に合いほっとしたことでした。この実験空間における $27 \mu\text{K}$ という温度は何によって決ってしまっているのか、ちょっと触れて置きたいと思います。消磁用磁石の中心にある寒剤自身の電子温度は $5 \sim 6 \mu\text{K}$ と考えられ、磁石の中心と外との温度差 ΔT が現在の限界を決めてしまっています。この ΔT は thermal link の熱伝導と実験空間への熱流入 \dot{Q}_e に依っています。従ってさらに低い温度を得る方法は link である Cu の熱伝導率を良くするか、長さと断面積の比 ($\frac{l}{A}$) を小さくするか、 \dot{Q}_e を減らすかです。現在我々の抵抗比 (RRR) は実測 300 位であり、これをさらに大きくすることは可能ですが、逆に機械的強度とか eddy current で不利となるので最も望ましい方法は \dot{Q}_e を減らす工夫です。この \dot{Q}_e の性質は作られた machine によってまちまちです。我々の場合には、170 pW 程度であり、宇宙線による熱流入を差し引いても未だ正体のはっきりしないものが存在しています。この正体不明の \dot{Q}_e を小さくするには地味な努力が必要であり、一気に大きな改善をすることはそれほど容易ではありません。

せん。我々でも努力を傾ければ $20\text{ }\mu\text{K}$ を切ることは可能ではないかという感触はあります、 $10\text{ }\mu\text{K}$ となると何ともいえません。これは物性測定をやりながら少しづつ改善していけばよいと思っています。

さて超低温計画の残された目標は、新たに開拓された温度領域での物性測定であります。これに関してはよく他分野の人から、そんなに温度を低くして何か劇的な物理でもでてくるのかという質問をされます。中嶋先生もよく書かれている様に物性物理である以上原理的に新しい現象が見付かるとはありません。しかし温度は物性の最も基本的なパラメータであり、古来新しい温度域の開拓と共に常に物質の予想外の新生面が発見されております。超低温においても同様のことがないとはいえない。とは言え温度領域をmK以下に限ってみると考えられる大きな課題は多くはなく、我々が最も苦心している点であります。物性研の様な big machine の場合、費やす時間とコストを考えると出来るだけ大きなテーマが望ましいと思います。こうして hcp 固体ヘリウム 3 の核秩序と $^3\text{He} - ^4\text{He}$ 混合液の ^3He 超流動の探索という 2 つを先ず取りあげることにしましたが、どちらを先行させようかと思っていた所、大阪市大の信貴先生から固体の方をいっしょにやらないかという話がありました。大阪市大ではずっと bcc 相での磁化測定をやってきており、hcp 相において世界に先がけた結果を出せる見通しがあると考え、その申し入れを受けることにしました。と同時に困難な混合液の実験の準備も並行して進めることを決めました。そして約 2 年程前、新しく着任した高野助手と大阪市大の畠助手を中心として、 ^3He ガスの精製、そのガスハンドル系など固体の実験の準備を始め、翌 1983 年 4 月末には冷却実験がスタートしました。実際やってみると hcp 固体ヘリウム 3 試料は比較的容易に $50\mu\text{K}$ 位迄冷やすことができましたが、核秩序転移の発見には到りませんでした。いくつかのモル体積の試料の直流磁化を S QUID で測定した結果、正のワイズ温度 (θ) をもつキューリーワイス則に従うことが初めて実験的に確認できました。しかも θ の値は、高温域 ($\sim 0.1\text{ K}$) で NMR から求められている交換相互作用の強さと最近接ハイゼンベルグモデルから計算される値とよく一致しています。以上のことをから hcp 相の固体ヘリウム 3 では予想通り 3 体の交換相互作用が重要な役を演じていることがわかりました。これだけの結果を得るのに準備期間を入れると約 2 年の月日をしてしまいましたが、この間には超低温実験に固有のトラブルにも何回となく出会いました。その第一は地震、停電による実験の中斷です。固体ヘリウム 3 の場合、試料の熱平衡に達する時間は $T^{-4 \sim -5}$ に比例しているので、温度が $100\text{ }\mu\text{K}$ 以下ともなると、1つの温度のデータをとるのでさえ 10 時間とか 15 時間かかるようになります。従って全温度領域では 1 週間又はそれ以上の測定時間が必要になります。我々の machine はそれに十分耐える冷凍力をもっているのですが、測定中に震度 4 以上の地震があると試料の温度は完全に出発温度に戻ってしまいます。（震度 3 以下の場合は、一時的に温度上昇があるものの、ある程度再び温度は下がる）去年から今年にかけ関東地方はしばし

ば震度 4 クラスの地震におそれ、その度にふりだしに戻るという苦労をしました。この様な苦労は日本なら程度の差こそあれ超低温での測定につきまとうことでしょう。次に厄介だったのは SQUID を DC 的に使うときの安定性であります。我々の 2 段消磁装置では、試料は 1 段と 2 段用磁石の中間に置かれ、SQUID 素子との間を結ぶ NbTi の flux transformer は、6 ~ 8 T の高磁場を受けてしまいます。すると trap された磁束が時に動いたりしてエラー信号を出すことになります。特に 1 K 容器の動作条件に非常に敏感になります。この問題は実験開始前から予想され、ある程度の対策をしたのですが、根本的な解決策でなかったため今後解決しておくべき宿題となっています。最後に気になったのは、物性測定なんでもそうである様に試料自身です。

hcp 相の固体ヘリウム 3 のうち、できるだけ転移温度の高い、圧力の低い試料を作るには一度 bcc 相を経由しなければなりません。その際 bcc から hcp への転移が完全に起こっているかどうかを、超微粉の中に生成された試料に関してチェックするのは容易ではありません。磁化測定の結果からみると、bcc 相との境界に近い hcp 試料には bcc 相が一部残っている可能性があります。従って前述の実験結果はこれらの心配のない比較的モル体積が小さい試料のものであり、そのため転移温度も低く核秩序も発見できなかったのです。将来再び hcp 相の実験に挑戦する場合は、これらの問題点を克服してからにしたいと思っています。トラブルばかりでなく一つ思案ぬ収穫もありました。それは我々の 2 段消磁装置の 2 段目だけを用いた 1 段消磁でも hcp 試料を $70 \mu\text{K}$ 位迄冷凍できたことです。これは我々の machine が 1 段装置としても世界のトップにあることを示しています。1 段消磁モードでは到達温度は 2 段モードより高いものの、SQUID での測定が容易で信頼性が高く、今回でも我々のデータの信頼性を高めるのに大いに役立つたのです。以上 hcp 相の測定の他にモル体積 (V_m) の小さいこれ迄反強磁転移温度 (T_N) の測定されていない bcc 相の試料についても磁化の温度依存性と T_N の決定を行いました。その結果、 T_N が V_m の 1 つの巾乗で示されること ($T_N = 82 \mu\text{K} \sim 7 \text{ mK}$)、及び磁化の温度変化の形が V_m にあまり依らないことがわかりました。これは大阪市大グループの $300 \mu\text{K}$ 近く迄の結果がより低い温度でも得られたことになります。他の実験事実から bcc 相では 4 体及び 3 体の交換相互作用が働いていると考えられています。上の結果はそれらの相互作用の V_m 依存性が、かなり広い V_m の範囲で同じような V_m 依存性をもっていることを示唆しているといえますがむしろ意外な結果です。これらの一連の実験は 1984 年の 11 月には一段落を迎える、客員部門を利用した共同研究という一つの試みも終わりつつあります。十分な成果となったかどうかは別として、今後の物性研の共同利用のあり方を考えさせられた面もありました。現在は後まわしにしていた $^3\text{He} - ^4\text{He}$ 混合液の実験のため、冷凍機の改造を始めた所です。この実験は液と壁との温度差 (ΔT) をどれだけ小さくできるかが勝負です。と共に液自身の温度を $100 \mu\text{K}$ 近く或いはそれ以下で測ることも大きな問題です。このため不十分ながら予備実験をやってきました。近く全てのパーツを合わせ冷

却実験を始める予定です。恐らく試行錯誤が続くと思われますが、何とか液自身を前人未踏の $100\text{ }\mu\text{K}$ 以下に冷やしてみたいと思っています。

この様にして超低温における測定では、試料をどう冷やすかという問題から始まり、それに最適の測定、冷凍系を作らねばなりません。その為に論文にもならない準備実験を手間のかかる 1 K 以下でやる必要が起ります。この目的に合う様に、前に述べた hairpin 冷凍機は L 棟に再設置した際、 PrNi_5 0.2 モルをもつ簡単な冷凍機に改造しました。この machine は色々なテスト 実験の他 1 mK 近傍における 6 T 迄の磁場中の実験にも使うことができます。もっとも冷凍力が小さいので、冷やせるものにも限りがあり、これ迄はアモルファス $\text{Si}_{1-x}\text{Au}_x$ 、強誘電体の 1 K 以下の測定が行われました。 $\text{Si}_{1-x}\text{Au}_x$ は森垣研が長く手がけてきた系ですが、常温基板への蒸着にもかかわらず $x = 0.18 \sim 0.40$ 位の試料について 1 K 以下で超伝導転移が発見されました。これは主として西田助手、院生の古林君が電気抵抗、マイスナー効果、トンネル効果などの測定に力を注ぎ、アンダーソン局在の存在する系における超伝導として面白い結果になったものと思っています。強誘電体については三浦技官が旧中村研と協力して、 PbTiO_3 , LiNO_3 などの誘電率を 20 mK 位迄測り、二準位系に関して新しい知見を得つつあります。これらは我々のグループの side work であり簡単にふれるにとどめました。

以上我々のグループの約 6 年半にわたるあゆみをふり返ってみました。昨秋にはこの間苦労を共にしてきた西田助手が東工大に転出し、超低温計画出発当時のメンバーは技官も含めて全て交代し、今新しい陣容で今後の大きな成果をめざして努力しつつある所です。

物性研究所短期研究会報告

「超微粒子の構造と電子状態」

司話人

仁科 雄一郎 上田 良二
新井 敏弘 松尾 進
菅野 晓 山本 恵一
小林 俊一

出席者 約 60 名

プログラム

日 時 昭和59年11月19日（月）～20日（火）
場 所 東京大学物性研究所 Q棟1階講義室

11月19日（月）

司会 仁科 雄一郎（東北大・金研）

電子状態と構造安定性

- 超微粒子雑感 上田良二（名城大・理工）
- 13及び55粒子系のs-電子LCAOによる構造安定性 奈良重俊（新技術開発事業団、三菱中研）
- マイクロ・クラスターの形状と熱的ゆらぎ 石井 靖（東大・物性研）
- 金属微粒子における形状不規則性の電子状態に及ぼす影響 田中 繁（東大・物性研）

金属微粒子（I）

- アルカリ・クラスターの問題点 菅野 晓（東大・物性研）
- 金属微粒子（Mg, Ca, Be）の伝導電子スピニ共鳴 佐光三四郎（三重大・教育・物理）
- つながった金属微粒子とアンダーソン局在 ○小林俊一, 小森文夫, 大熊 哲（東大・理）
- 蒸着銀微粒子の光吸収 安濃英治（旭川医科大・物理）
- 貴金属超微粒子の構造とデバイ温度 大嶋建一, 原田仁平（名大・工）
- 少数原子より成る金属クラスターの電子状態についての問題点

○中村 孝, 館脇 洋（北大・触媒研）

金属微粒子（II）

- V₃Si微粒子の超伝導 ○松尾 進, 石政 勉, 深野泰茂（名大・教養・物理）
- 金属微粒子に吸着した³HeのNMR 斎藤慎八郎（東北大・金研）

○金属及び化合物クラスターの生成とTOF法による解析

斎藤称八（豊橋技術科学大），○美浜和弘（名大・工）

○担持超微粒子金属触媒の調整と吸着分子の状態

荒井弘道（九大・総合理工学研究科）

(17:05 終了)

11月20日（火）

半導体微粒子

○ドナー原子超微粒子の電子構造と物性

上村 洋（東大・理）

○CdS微粒子の発光過程

新井敏弘（筑波大・物理工）

○半導体クラスターの構造シミュレーション

大西楨平（日本電気・基礎研），○斎藤 晋（東大・物性研，日本電気・基礎研）

○半導体マイクロ・クラスターの構造

川村 清（広島大・理）

○Silicon微粒子の格子振動

○山本恵一（神戸大・工），岡田 正（津山高専）

○超微粒子の格子振動

田村 明（早大・理工）

○半導体微粒子のラマン散乱

○安倍弘哉，林 真至（京都工芸繊維大・工芸・電気工）

トピックス

○超微粒子とその表面の電子顕微鏡観察

飯島澄男（新技術開発事業団）

○NaCl中におけるCuCl微粒子の励起子

桐原俊夫，伊藤 正，○後藤武生（東北大・理）

○レーザー照射によるC，Si，SiCクラスターの生成と分解

○粕谷厚生，仁科雄一郎（東北大・金研）

○C₃²⁺とSi₃²⁺の分子構造と電子構造

○大野公男，竹下幸一（北大・理・化学）

○微粒子構造の力と応力による解析

里子允敏（分子研）

○SIMS(Secondary Ion Mass Spectroscopy)によるクラスターイオンの研究

○交久瀬五雄，市原敏雄，中伏広光（阪大理）

まとめ

久保亮五（慶應大・理工）

超微粒子雑感

名城大・理工 上田 良二

過去10年程目立った進歩のなかった微粒子の研究が、ここに来て長足の進歩を示していることを述べ、その一例として上田グループで行われた電顕による直径数百ÅのSi微結晶（但し表面は酸化しSiO₂になっている）に附着させた直径20Å位の金微粒子のコマ撮り写真^{*}や τ -Al₂O₃の原子サイズのステップ状の写真を紹介した。前者はAu微粒子が時間と共に単結晶→双晶→アイコサヘドロン→単結晶と秒単位で変化している事を明らかに示しており、電子線による熱でそ

の構造が変化するのではないかと結論した。後者の写真からは、世界で初めてその構造が決定できたとし、Al 原子が四面体と八面体位置を占めその間に酸素がつまる複雑な構造をとった模型を示した。最後に微粒子が、物性的興味の対象と同時に触媒等実用的意味に於ても重要であることを強調した。

* 後に、同じ実験の real-time VTR が飯島澄男（新技術開発事業団）によって発表された。

13及び55粒子系の s-電子 LCAOによる構造安定性

新技術開発事業団・三菱電機中研 奈良重俊

Ag, Au, Pd などの超微粒子は、作成法にも依存しているが、大きさが、粒径にして約数百オングストローム以下で、五角対称を含むような点群（従って32の結晶点群には属していない）の形を持つ場合のあることが観測されている。結晶学的には f.c.c. の内部構造を持つ（正）四面体の単結晶がいくつか組合わさり、結晶粒界（あるいは全体）にひずみを供った MTP（多重双晶粒子）として解釈されているが、こうしたモルフォロジーを帰結せしめるためには、核生成の際の embryo の形が重要な寄与を持つことが予想される。その大きさは粒径にして 10~20 Å, 数にして数十~数百個のクラスターから成ると思われる。Ag は 55 電子が価電子であり、その LCAO 法と、Recursion Method と呼ばれる方法を用いて、全体の凝集エネルギーの見積りや、局所状態密度の計算を通じて f.c.c. と正二十面体, h.c.p. などの構造安定性の知見を得ようとした試みを報告する。

マイクロクラスターの形状と熱的搖ぎ

東大・物性研 石井 靖

要旨：マイクロクラスター、或は超微粒子は固体と分子の中間に位置する系として、バルクの固体に比べてサイズが“小さい”という事がどんな物性に影響するか興味深い。我々は 4 原子クラスターの電子状態について電子のホッピング積分を変える事によりクラスターの幾何学的構造を表現し、原子内クーロン相互作用により電子相関を考慮する模型 (Hubbard 模型) を仮定し、これを厳密に解いて熱力学的性質を調べた。それによると 4 電子系 (中性クラスター) について (1) 電子の熱的励起が基底状態にみられる電子系の特徴的な構造を壊す事 (即ち固体でみられる電荷密度波の破壊、マグノン励起、及び金属一絶縁体転移) に相当する変化がみられるが、(2) 有限系であるが故の大振幅の熱的搖ぎの影響は構造の搖ぎにより顕著であり、非常に低温で構造に関する全自由度が励起される事、即ち“溶けやすい”事は特徴的である。

上記の要旨に補足して、基底状態^{*}(4 電子系)について説明しておく。基底状態では Jahn -

Teller 効果により歪んだ構造が安定であるが、電子状態を詳しく調べるとクーロン相互作用が弱い時は非一様な電荷分布を持つ状態（“電荷密度波”）が安定で、相互作用が強い時には電荷分布は一様で超交換相互作用でつながれたスピニ系として記述が適切な状態（“Mott絶縁体”）が安定である。このように固体でみられる性質（電荷密度波、或はMott絶縁体）との類推が可能である事は、基底状態のみならず有限温度の電子系についても同様である事は上述のとおりである。

* Y. Ishii and S. Sugano, J. Phys. Soc. Jpn. **53**, No. 11 (1984)

金属微粒子における形状不規則性の電子状態に及ぼす影響

東大・物性研 田 中 繁

金属微粒子を特徴づける不規則性は、大きく分けて3種類に分類できよう。(1)形状不規則性、(2)サイズのばらつき、(3)不純物。(3)の効果については、最近Efetovによって、電子系のスペクトルのゆらぎに対してランダム行列理論を適用することの正当性が証明されているが、(1)・(2)の効果については何もわかっていないのが現状と思われる。本研究では、主に(1)の効果がtight-binding Hamiltonianに従う spinless Fermion のスペクトルにいかなる影響を及ぼすか、という点について考察してみた。特に、“形”という ensemble に対して Fermi level 近傍での level 間隔の分布を調べた。その結果、ある程度形状に不規則性があればランダム行列理論の Gaussian Orthogonal Ensemble (GOE) のふるまいに一致することがわかった。また、サイズ $N \rightarrow \infty$ の極限では無限小の形状不規則性であっても GOE のふるまいが現れることが予想される、ということもわかった。

さらに “形” という ensemble についての統計のかわりに、1つのクラスター内でのさまざま levels についての統計を調べてみたところ、サイズ N が大きくなるに従って “ergodicity”的存在が認められた。この性質を用いると、(2)の効果についても GOE の適用が有効であることが予想される。

アルカリクラスターの問題点

東大・物性研 菅 野 晚

最近 Na クラスターに関する2つの重要な論文があらわれた。1つの論文は (W. D. Knight et al, Phys. Rev. Letters 52 (1984) 2141) 原子数が 100 ケ位迄のクラスターのマジック数に関するもので、実験で見られるマジック数は3次元井戸型ポテンシャルに近いポテンシャルを仮定した殻模型 (M. G. Mayer and J. H. D. Jensen, Elementary Theory of Nuclear Shell Structure (John Wiley & Sons, Inc. (1955) p. 53) で説明出来ることを示している。

もう 1 つの論文は (J. L. Martins et al, Phys. Rev. Letters 53 (1984) 655) 原子数が 8 ケ迄のクラスターに対しつじつまのあった局所スピン密度の計算を行い, 基底状態にある時の形とその電子構造を求めたものである。それによると, 電子はクラスター全体にひろがり, 球対称ポテンシャルから得られる軌道に, s 型, p 型の順序で収容されているように見える。この結果は殻模型と矛盾しない。

これら 2 つの論文が浮彫りにした問題点について私見を述べる。

金属微粒子 (Be, Mg, Ca) の伝導電子スピン共鳴

三重大学・教育 佐 光 三四郎

ガス蒸発法で作製した二価金属の Be, Mg, Ca の金属微粒子の伝導電子スピン共鳴 (CESR) を測定した。試料の平均サイズは Be, Mg, Ca の順にそれぞれ, 30 ~ 190 Å, 200 ~ 2500 Å, 300 ~ 2000 Å。CESR は, 9.1 GHz と 35 GHz で測定され, 測定温度領域は 9.1 GHz では 2.8 ~ 300 K で, 35 GHz では室温であった。いずれの金属試料でも粒径分布中の小さい粒子によると思われる line が測定された。特に Mg, Ca の場合, その line は低磁場側にスツをひく非対称波形をもち, bulk line 位置より低磁場側にあらわれた。また共通の性質として温度の減少とともに吸収強度の増加がみられ, 特に平均粒径の小さい Be の場合, 低温で吸収強度に極大点があらわれた。これ等の微粒子試料は, いずれも川畠の示した量子効果を起こす, 二つの量子条件をみたす粒子を含んでいたが, bulk g 値からの g シフトの向きや吸収強度の温度変化は川畠の示した量子効果による line の特徴と矛盾した。Be と Mg の場合は上記の line に重なって, bulk 的なパウリ常磁性を示す line が重なって測定された。

つながった金属微粒子とアンダーソン局在

東大・理 小林俊一, 小森文夫, 大熊 哲

不純な金属で起こる伝導電子の波動関数の局在の実験的研究は, 通常は不純物を多くいれたりアモルファスやグラニュラー構造にして局在を強めていく方法で研究されているが, 逆に, 完全に局在した波動関数を広げていく方法が微粒子を利用すると可能である。孤立した微粒子の中に局在した波動関数は, 微粒子を接近させ, 微粒子間に有限なトンネル確率を与えると周りの微粒子へ浸み出し広がっていく。広がりはトンネル確率を制御することによって自由に変えられる。

我々は, 島状蒸着の微粒子膜を少し酸化させ, その上にまた微粒子膜を作るという方法で, そのような試料を作り, 低温における電気伝導度の磁場依存性と温度依存性を測定し, 二次元的薄膜と三次元的厚膜についての弱局在効果と, 三次元的試料での金属・非金属転移を調べ, アンダーソン局在と電子間相互作用の微視的な理論とよく合うことを明らかにした。

蒸着銀微粒子の光吸収

光プラズマ共鳴吸収のサイズ効果と格子欠陥の影響について

旭川医科大学・物理 安濃英治

蒸着銀微粒子の光プラズマ共鳴吸収の半値幅へのサイズ効果を調べた。室温において直径約15 Å以下で古典的サイズ効果から予想される値よりも減少するのが認められた。エネルギーレベル間隔のサイズ依存と電子散乱によるレベルのぼやけの考察から、この減少は量子的サイズ効果によるものと考えた。電子間散乱によるぼやけが直径約20 Åのレベル間隔に等しいことと85Kまで温度を下げても半値幅に変化がなく電子間散乱の温度依存に基づく予想と一致することから、伝導帯は電子間散乱によるレベルのぼやけのために直径約20 Åまで連続であり、それ以下で量子的サイズ効果が現れると結論した。直径約30 Å以上では格子欠陥散乱の半値幅への寄与が大きいので電子の平均自由行路は表面散乱によるものより短くなる。格子欠陥が存在するとき粒子内部でも化学反応が起り平均自由行路はさらに短くなるので注意が必要である。

貴金属超微粒子の構造とデバイ温度

名大・工 大嶋建一, 原田仁平

不活性ガス中蒸発法を用いて、平均粒径 60 ~ 2000 Åを持つ貴金属 (Au, Ag, Cu) 微粒子結晶を作成し、X線デバイ・シェラー環の積分強度を液体窒素温度から室温までの範囲で測定した。各温度での温度因子 $B = 8\pi^2 \langle u^2 \rangle / \langle u^2 \rangle$ ($\langle u^2 \rangle$: 構成原子の平均二乗変位) を求め、その温度依存性の振舞から Einstein 近似および Debye 近似を用いて X 線特性温度 θ_p を求めた。その結果、粒径サイズ減少と共に θ_p が単調に減少していることが認められた。この温度依存性は微粒子結晶表面 1 ~ 2 層程度の熱振動が内部と異なると解釈出来る。この仮定の下で求められた表面の特性温度は L E E D の実験により得られている特性温度とよい一致を示す。また内部の特性温度も塊状結晶の X 線デバイ温度と良く一致する。

遷移金属の少数原子クラスターの電子状態に関連したひとつの問題

北大・触媒研 中村孝, 館脇洋

大型計算機の使用が一般化し、また同時に計算技術が進歩するに伴って、最近 5 年間ほどの間に、少数原子よりなる遷移金属クラスターの電子状態の非経験的 (ab initio) 理論計算にかなりの進展がみられた。この方面での重要な成果のひとつは、クラスターの d 電子イオン化に関して symmetry unrestricted の Hartree-Fock (HF) 計算、あるいは L D F 理論における Kohn-Sham (KS) 方程式に基づく同種の計算が行われ、結果として、イオン化により生成する d-hole が、core hole と同様な localized hole になることが示されたことである。hole の screening,

電子状態の relaxation といった現象にも関連するこの問題は、遷移金属クラスターのイオン化、したがってその光電子スペクトルの理解に重要であるので、まず我々の研究を含めて若干の成果を述べる。つぎに、LDL理論路線に乗る場合は、バルク金属のバンド構造に関する種々の計算と直接に結びつくが、KS方程式より得られる一電子エネルギー準位 ϵ_j に関係した transition state (TS) 計算とか self-interaction correction (SIC) といった問題との関連について述べる。最後にバルク遷移金属における d-hole localization についての最近の議論 [Egelhoff (1984, 実験), Norman (1984, 理論)] にも触れたい。

V₃Si微粒子の超伝導

名大・教養 松尾 進, 石政 勉, 深野泰茂

A-15型構造をもつV-Si合金微粒子をXeガス中蒸発法によって作成し、その超伝導遷移温度 (T_c) を測定した。微粒子の平均粒径は150 Åである。25.0 at % Si の組成をもつ微粒子の T_c は bulk のそれ(16.5 K)の $\frac{1}{2}$ 以下 (~6–7 K) に低下した。22.0 at % と 20.0 at % Si の組成をもつ微粒子の T_c は 2.0 K 以下である。このような大幅な T_c の低下は、微粒子においては結晶の並進対称性がうしなわれるために電子状態の縮退が解け、フェルミエネルギーにおける状態密度の鋭いピークの巾が広がって状態密度 $N(E_F)$ が低下することによって説明できる。

金属微粒子に吸着した ³He の NMR

東北大・金研 斎藤 慎八郎

銅微粒子（平均粒径 500 Å）をスポンジ状にパックし、条件を変えて水素還元した種々の試料に ³He を吸着させて、温度領域 0.1 ~ 2 K, 0.5 T 以下の磁場中で、⁶³Cu と ³He の cw-NMR と、pulse-NMR を測定した。得られた結果を簡約すると下記の通りである。

- (1) 微粒子中に含まれる酸素の量とともに ⁶³Cu, ³He 両者の NMR 線巾が増加する。⁶³Cu のナイトシフトは、酸素が多いと減少し、adsorbed ³He の liquid ³He からのシフトは増加する。
- (2) Adsorbed ³He のスピン格子緩和時間、 T_1 は複数の寄与から成るようにみえる。 T_1 は ~0.2 K で 100 ms のオーダーと短く、温度、T に逆比例して変わる。Log T_1 vs Log T の勾配は微粒子中の酸素に大きく依存する。
- (3) ³He adsorbed on Cu では ⁶³Cu 核の NMR レベルをパルス励起すると ³He 核磁化の増加をみることができる。

金属および化合物クラスターの生成とTOFによる解析

豊橋技科大 斎藤 弥八
名大・工 美浜 和弘

ノズル・ビーム法で、(1)金属クラスター [Pb_n ($n = 1, 2 \dots, 11$)], (2)アルカリ・ハライド・クラスター [MX^+ , M_2X^+ , $M_3X_2^+$, $M_4X_3^+$ ($M = Na, K$; $X = Cl$)], (3)金属カルコゲナイド・クラスター [MX^+ , M_2X^+ , $(MX)_2^+$, $M_2X_3^+$, M_3X^+ , $M_3X_2^+$, $(MX)_3^+$, $(MX)_4^+$ ($M = Pb$, $X = S, Se$)], (4)合金クラスター [Pb_nSn ($n = 1, 2 \dots, 7$), $PbAg$, $PbIn$] を生成し abundance を測定した。

担持超微粒子金属触媒の調製と吸着分子の状態

九大・総理工 荒井 弘道

金属の担持触媒は、いかに超微粒子を担体表面上に高分散にしかも粒子成長（シンタリング）をおこさない長寿命の触媒を調製するかが最も重要な課題である。先ず担体表面上の粒子の測定法について電子顕微法を中心に触れ、次に実際に粒子サイズをコントロールをするにはどのような調製法で行えれば良いか Pt/Al₂O₃, Pt/ゼオライトを中心に示す。担体表面上の金属粒子の移動と粒子成長の機構と高活性かつ長寿命の担持金属触媒との関連について検討する。金属の触媒活性点とはどんなサイトか、超微粒子との関係は、また担体との相互作用により超微粒子金属の活性はいかに変わるか等を考え、最後に粒子サイズと吸着分子の状態及び触媒作用について考察する。

ドナー原子超微粒子の電子構造と物性

東大・理 上村 洋

本講演では、6個のドナー原子からなる超微粒子について、竹森直と計算した多電子状態および磁化率と電子比熱の結果について報告する。この研究の動機は、シリコン中に燐をドープした不純物半導体のアンダーソン局在相の電子状態をシミュレートし、この相で見出される電子比熱と磁化率の特異な振舞いを説明することにある。シミュレーションは Si:P 系のアンダーソン局在絶縁相の不純物濃度 1.0, 1.5, 1.7, 2.0, $2.4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ に対応する濃度で 6 個のドナー原子を乱雑に配置して得られる 76 個のクラスターについて行った。電子の波動関数は、電子間相互作用を正確に計算するため、ガウス関数による。まずハートリー項を含んだ電子ハミルトニアンを適当に選び対角化して、ransformer 対角表現の基底を求める。次にこの基底を用いて 6 電子系のハミルトニアンの行列要素を計算する。得られた 400 次元の行列を対角化すれば、6 電子系のエネルギー準位が求まる。またこのエネルギー準位からクラスターの比熱および磁化率を計算できる。

得られた結果によれば、76個のクラスターのうち、その $\frac{3}{4}$ の基底状態はスピン一重項で、残りの $\frac{1}{4}$ は殆んどスピン三重項の常磁性状態であった。また76個のクラスターについて平均をとった比熱と磁化率は、シリコン伝導帯の谷が6つあることを考慮して、Si:Pの実験結果の特徴を実際に良く再現している。

[文 献]

T. Takemori and H. Kamimura, J. Phys. C **16** (1983) 5167–5187 : Adv. in Phys. **32** (1983) 715–751

CdS 微粒子の発光過程

筑波大・物理工 新井敏弘

ガス中蒸着法で製作した直径40~120 mmのCdS微粒子のルミネッセンスと光音響効果を測定し光音響効果から光吸収係数及び吸収光が微粒子内で熱に変換される効率Yを求め、粒径サイズによるこれらの量の変化を調べた。粒径10 nm位からエッジ・ルミネッセンスの強度は低下し、ピーク位置は単波長側にシフトするが、不純物発光には顕著な変化は認められなかった。又吸収係数も低エネルギー側に裾を引きその部分は間接遷移型になる。更にYも増加する。光吸収及び発光の変化はバンド・ギャップ間に発生した局在準位によるとしてその模型図を、又Yの増加は音子の非調和項の増加と関係することを推論した。

半導体クラスターの構造シミュレーション

日電・基礎研 大西楷平
東大・物性研, 日電・基礎研 斎藤晋

モデルポテンシャルを用いて、 sp^3 混成軌道状態をとるものと考えられるIV族原子のクラスターの安定構造に対するシミュレーションを行った。原子数は2~18個を対象とした。

その結果、次の様なことが得られた。

- sp^3 クラスターは、なるべく「環」をつくる様に成長する。
- 初期段階では層状に成長する。
- magic number は 6, 10, 14,

また、分子研里子氏によるLCAQ-X α -force 法による計算も行った。

半導体マイクロ・クラスターの構造

広島大・理 川村清

CとSiとを取り上げ、Cでは直線鎖状になりやすいがSiでは鎖状になりにくいことを述べ

た。特に直線 C₅ の時格子間隔はほぼ一様だが、バレンシーが原子毎に大きく異なることを示し C が奇数の時にこの現象が見られ、偶数の時にはあらわれない理由を述べた。又 Si 表面のダングリングボンドをもった 2 つの Si 原子のうち、一つが上方へ、一つが下方へシフトするいわゆる 2×1 再構成 (reconstruction) を 8 ケの Si に水素*を結合させた模型を用いて説明した。

* 水素は、このクラスターに結ぶ他の Si のかわりにつけている。

Silicon 微粒子の格子振動

神戸大・工 山本 恵一
津山工業高専 岡田 正

ラマン散乱測定を中心に、ガス中蒸発法で作成した Si 微粒子 (70~220 Å) の物性を研究した。まず、ラマンスペクトルは、粒子サイズの増加につれて、アモルファスライクなスペクトルから鋭い結晶ピークを持つスペクトルに変わり、ガウス分布をした幾つかのモードに分解できる。分解されたモードは、バルクの allowed-TO, アモルファスの TO- と LA-like なモードに加え、粒子サイズの増加と共に積分強度の減少する表面モードが存在することがわかった。一方、Si 微粒子と Si 薄膜中の Si 微結晶の違いを、特に熱アニールによるラマンスペクトルの変化を中心で報告する。Si 微粒子では、Si-O 結合による小さな変化が見られるだけであるが、Si 薄膜では、結晶化に伴う大きな変化が起こる。最後に、ラマンスペクトルを分解して得られた結晶成分とアモルファスライク成分との積分強度から、熱的結晶化過程が解析できることを示す。

超微粒子の格子振動

早大・理工 田村 明

弾性体近似に基づいて、球状超微粒子の格子振動を論ずる。スカラーおよびベクトルポテンシャルを同時に考慮して、2 種類の固有モード、スフェロイダル・モードとトーショナル・モードを導出する。系の離散性は角運動量と両モードの固有振動数に上限があるとして導入する。この固有振動数の分布から得られた振動数スペクトルは動力学的方法で求められている結果と一致する。また液体状態にある超微粒子の振動モードを、原子核理論の液滴模型を適用して論ずる。固有モードは表面変形モードと内部圧縮モードに着目する。上記と同様の方法で角運動量と固有振動数を制限して得られた振動数スペクトルは中性子非弾性散乱の実験結果と一致し、2 つのピークの由来を解釈できる。これらの方法は構成原子数が 1000 個以上の微粒子でも有効である。

半導体微粒子のラマン散乱

京都工織大・工芸 安部弘哉, 林 真至

Si, Ge, GaP微粒子のラマン散乱を粒子サイズを種々変化させて測定した。Si, Ge微粒子では、サイズが減少すると結晶成分が減少し、アモルファス的な成分が増加する。サイズが約80 Åになると完全にアモルファス的なスペクトルになる。しかし、高分解能電子顕微鏡の観察から、たとえラマンスペクトルがアモルファス的な粒子でも、粒子の構造は結晶であることがわかった。GaP微粒子でもSi, Ge微粒子と同様にサイズが小さくなるとアモルファス的なラマンスペクトルを示す。

微粒子をアニールした時のラマンスペクトルの変化から、かなり低いレーザーパワー、温度で粒子の接合成長が起きることがわかった。

このような現象が起きるのは、粒子振動の振巾が大きいことや、表面での電場の増強など、表面の影響が強く現れるためと考えられる。

超微粒子とその表面の電子顕微鏡観察

新技術開発事業団 飯 島 澄 男

粒径約50 Å以下の金属超微粒子の結晶外形および粒子の表面原子配列等の幾何学的構造に関する情報を得る手段として、高分解能電子顕微鏡を開発した。個々の粒子のゴニオメトリー、超高真空排気装置、清浄表面をもつ粒子の試料導入、VTRによる高分解能観察方法等の新しい手法が導入された。特に、Real Time-VTRによる観察法は、微粒子あるいは粒子表面付近の原子の時間的变化、カイネティックスに関する情報を提供するものである。観察例とし粒径15~50 ÅのAu粒子を電子線(120 kV, 200 A/cm²)の照射中に生ずる結晶外形の時間変化の様子を報告する。VTRの解析よりこれらの粒子には固体一液体の中間状態と考えられる“中間相”が見出された。また多重双晶の安定性の温度依存に関する新しい知見を得た。粒径90 ÅのAu cubooctahedronの表面ステップ、表面原子の駆歩運動をVTRに記録した。これより粒子表面に“原子雲状態”が存在することが明らかにされた。この実験結果は表面融解、表面ステップの運動等を原子のレベルで研究する全く新しい表面研究方法を提供するものである。

NaCl 中における CuCl 微粒子の励起子

東北大・理 桐原俊夫, 伊藤 正, 後藤武生

CuClを1 mol % dopeしたNaCl結晶を除冷すると、CuClが微粒子となって結晶中に折出する。この微粒子中にできる励起子は空間的束縛を受けてその形成エネルギーを変化させる。この変化の様子を、選択励起による自由励起子の発光を観測することによって明らかにした。即ち、

ある波長の光を結晶に入射させると、特定サイズの微結晶にそれと等しいエネルギーをもつ励起子が発生し、その励起子の消滅による発光のみが強く現れる現象を利用した。その他、2種の正孔の入れ換えを伴った自由励起子の発光もサイズ効果を起こすこと等が分った。

レーザー照射によるC, Si, SiCクラスターの生成と分解

東北大・金研 粕谷厚生, 仁科雄一郎

グラファイト, Si, SiC 表面をパルスレーザー光で強励起した際放出するイオンクラスターを飛行時間型質量分析計を用いて測定した。四重極質量分析計での測定結果と比較することよりいずれの試料についても観測されるイオンクラスターは化学的に不安定であり放出後直ちに分解することがわかった。分解時間はC, Si, SiCについてそれぞれ10, 1, 1 μ秒又はそれ以下と見積もられる。Siについてスペクトルの形状を詳細に分析することにより分解過程を解析し、その結果に基づき、レーザー衝撃照射により固体表面に生ずるイオンクラスターの生成及び放出機構並びに化学安定性について単純なモデル (Site Percolation)を用いて考察した。

C₃²⁺ と Si₃²⁺ の分子構造と電子構造

北大・理 竹下幸一, 大野公男

C₃²⁺ および Si₃²⁺ の分子構造を LCAO-SCF の近似の下で最適化した。基底関数は館脇らによる split valence 型に分極関数を加えたものを用いた。C₃²⁺ に対しては線形であることを仮定し、C-C の核間距離 1.47 Å をえた。Si₃²⁺ に対しては曲った形も考慮したが、平衡核配置は線形となり Si-Si の核間距離は 2.39 Å で C-C のそれよりも大分大きい。これらのエネルギーを、1 個の中性原子と 2 個の 1 価陽イオンからなる系と比較すると、C₃²⁺ は僅か 0.01 eV, Si₃²⁺ は 0.35 eV, いずれも高くでてくる。これらの数字は Si₃²⁺ の方がより不安定であることを示唆しているようであるが、この点を確認するにはポテンシャル障壁の高さを計算する必要があるが、まだ実行していない。分子内の電荷分布は両分子とも両端の原子が +1 に近い形式電荷を持ち、中央の原子は中性に近い。

超微粒子構造の力と応力による解析

分子研 里子允敏

液体のように超微粒子の安定構造も表面張力により解析されることがある。しかし、表面張力の定義や、それと電子状態との関係についてはあまり触れられなかった。しかも超微粒子では表面と内部の区別がつかない、そこで原子レベルでの応力テンソル $g_{\mu}^{ij} = \sum_{\tau} f_{\mu\tau}^i (R_{\mu}^j - R_{\tau}^j) / 2$ を導入し ($f_{\mu\tau}^i$ は $\mu-\tau$ 原子間に働く力の i 成分), 電子状態による g_{μ} の定性的な性質を調べた。

固体圧力や表面張力は g_μ の原子についての適当な和により求められる。2体力以外の効果を調べるために、直線3原子分子について両端の原子の g_μ は s^n 電子配置では $0 < n < n_{sc} \sim 1$ で負、 $n_{sc} < n < 2$ で正となるが、 p^n 電子配置では $0 < n < n_{pc} \sim 3.5$ 程度で正、 $n_{pc} < n < 6$ で負と正負の順序が逆となる。 d 電子では s 電子と同じ順となる。 g_μ が負であることは三角状に集ろうとし、正は逆に直線状に広がるストレスが働くことを意味する。 $s^{n_1} p^{n_2}$ 電子配置で $s-p$ 混成を考えると、 g は $n_1 = 2$ 、 $n_2 = 0$ 附近で増加し、 $n_1 = 2$ 、 $n_2 = 2$ 附近で減少することがわかる。これらの傾向は実際の3原子分子の形状とよく対応する。多原子クラスターの安定構造、ストレス分布を求めると、 s 電子の n の増加とともに、直線形状の混在の増加と表面原子 g_μ のプラス化が認められる。

SIMS (Secondary Ion Mass Spectroscopy)によるクラスターイオンの研究

阪大・理 交久瀬五雄、市原敏雄、仲伏広光

10 KeV Xe イオンによってスパッターアーされた $[(CsI)_n Cs]^+$ クラスターを $m/z = 90000$ まで測定した。ある特定の n のところ ($n = 13, 22, 37, 62, 87, 122, 171$) でクラスターは一辺が i, j, k 個の原子が並ぶ $NaCl$ 型立方体で安定な事がわかった。その他に $N = 72, 102, 144, 193$ が安定でこれは CsI 本来の結晶構造であると推定される。 $n = 200$ 以上では固体の性質に近づいてイオン強度の不規則な変化は見られなかった。クラスターのエネルギー分析からクラスターはスパッターアーされた後質量分析計内を飛行中に余分な内部エネルギーを CsI ユニットと共に放出し、より安定なクラスターになる事がわかった。

ま と め

慶應大・理工 久保亮五

微粒子の研究にマイクロ・クラスターが加わり、実験的にも理論的にもこの分野の研究の巾がひろがったように感じた。real-time VTR で見た、生物のように動き、変化する超微粒子は印象的だった。超微粒子の研究は、これから益々盛んになるものと思う。

物性研究所談話会

日 時 1984年10月15日（月）午後4時～5時
場 所 物性研究所旧棟1階講議室
講 師 Prof. A. J. Sievers
(所属) (Laboratory of Atomic and Solid State Physics and Materials
Science Center, Cornell University, USA)
題 目 Anomalous Far Infrared Absorption in Valence Fluctuation Compounds
要 旨：

CePd₃, Ce(Pd_{1-x}Ag_y)₃の示す非Drude的遠赤外吸収など、混合原子価合金の遠赤外スペクトルについての興味ある話題を話していただく予定です。

日 時 1984年10月22日（月）午後4時～5時
場 所 物性研究所旧棟1階講義室
講 師 Dr. K. C. Pandey
(所属) (IBM Watson Research Center)
題 目 Theory of Semiconductor-Surface Reconstruction
要 旨：

Pandey 氏はSi(111)表面の(2×1)構造について、従来のバックリングモデルとは質的に違ったπ-ボンド-チェインモデルを提唱し、Si表面物理にセンセーションをひき起こした。このモデルの是非については、なお実験的検証が行われているが、おおむね Pandey モデルが肯定されていると思われる。その後 Si(001)表面の(4×2)構造についても新しいモデルを提唱し、さらに最近は、Si(111)の(7×7)構造の理論を発展させている。これらの問題を総括的に話して頂く予定である。

日 時 1984年10月23日（火）午後4時～5時
場 所 物性研究所旧棟1階講義室
講 師 Prof. R. P. Huebener
(所属) (University of Tübingen, West Germany)
題 目 New Application of Low Temperature Scanning Electron Microscopy
in Solid State Physics

要　旨：

Scanning electron microscopy performed on objects cooled to liquid-helium temperatures provides various two-dimensional images of inhomogeneous sample properties. The voltage change caused by the electron beam in a current-biased specimen can serve for generating a two dimensional voltage image. Further, the phonons generated by the beam result in a two-dimensional phonon image. Applications of these ideas in the following areas are described: (1) spatial structures in superconducting tunnel junctions, and (2) anisotropic propagation of ballistic phonons (phonon focusing).

日　時　　1984年10月29日（月）午後4時～5時
場　所　　物性研究所旧棟1階講義室
講　師　　Dr. J. Leotin
(所属)　　(Service des Champs Magnétiques Intenses, INSA, Toulouse,
France)
題　目　　The Valence Band Parameters of Cadmium Antimonide
要　旨：

同氏らは最近Toulouse のパルス強磁場施設において、35 Tに及ぶパルス強磁場を用い、p-CdSbのサイクロトロン共鳴をはじめて観測した。本講演ではCdSbの電子帯構造の他、Toulouse の強磁場施設のactivityについても話していただく予定です。

日　時　　1984年10月30日（火）4時～5時
場　所　　物性研究所旧棟1階講義室
講　師　　Professor Jean-Louis JORDA
(所属)　　(Université de Genève)
題　目　　Equilibrium Phase Diagrams and Superconductivity
要　旨：

Without the knowledge of the type of formation and homogeneity range of the phases of interest, the complete understanding of any physical properties of metallic compounds cannot be achieved. A critical review of typical techniques used for the investigation of phase diagrams including sample preparations is given. The effects of composition and heat treatments on the superconducting

transition temperatures of particularly interesting superconductors such as A15, CeCu₂Si₂ and Chevrel phases will be also discussed.

日 時 1984年11月2日（金）4時～5時

場 所 物性研究所旧棟1階講義室

講 師 P. Grosse

(所属) (Technische Hochschule Aachen)

題 目 Submillimeter Spectroscopy and Dynamical Conductivity of
Semiconductors

要 旨：

1. The dielectric function of semiconductors as a sum of susceptibilities of bound and quasi-free electrons. Optical methods to measure the related structures on thick samples or on thin epitactic layers, resp.

2. The measured susceptibility of free carriers and the Drude-model.
Realistic models of the dynamical conductivity. Results of the "energy-loss" method: frequency-dependent scattering rate and the scattering potential.

3. Screening by plasmons and plasmon-phonon-polaritons. The efficiency of screening at low and high frequencies.

4. Peculiarities of magnetic semiconductors: defect centers contribute by free or bound electrons to the dielectric function, since the ionization energy depends on magnetic order. This phenomenon affects also the reststrahl-bands due to local field effects.

日 時 1984年11月5日（月）4時～5時

場 所 物性研究所旧棟1階講義室

講 師 M. Cardona

(所属) (Max-Planck Institut für Festkörperforschung, Stuttgart)

題 目 Electrons and Phonons in Heavily Doped Semiconductors

要 旨：

半導体のラマン散乱についての同教授のグループの最近の研究から、興味ある話題についてお話ししいただく予定です。

日 時 1984年11月21日（水）4時～5時
場 所 物性研究所旧棟1階講義室
講 師 Dr. A. P. Levanyuk
(所属) (Institute of Crystallography, Academy of Sciences of the USSR)
題 目 Defects and Structural Phase Transitions
要 旨：

A review is given on the recent results in the theory of structural phase transitions in systems with small concentration of frozen-in defects with the emphasis on the defect-induced corrections to the results of the Landau theory. Discussion is made on the phase-transition anomalies in thermodynamic quantities, kinetic coefficients, elastic and inelastic light scattering intensities for various systems and various types of defects.

日 時 1984年11月26日（月）4時～5時
場 所 物性研究所旧棟1階講義室
講 師 Professor M. Pollak
(所属) (University of California, Riverside)
題 目 Coulomb Interactions in Disordered Insulators
要 旨：

The most important effect of disorder on the electronic structure of solids is the existence of localized states (the Anderson localization). We focus on the disordered insulator, where the chemical potential lies within the localized states. In this situation Coulomb interactions between electrons can affect qualitatively various properties. Major effects of the interaction are to deplete the low energy one-electron excitation, to correlate the motion of electrons, and to produce extremely slow relaxation to thermodynamic equilibrium. The talk will be aimed at providing physical insight and at presenting experimental verification of the Coulomb effects.

日 時 1984年12月3日（月）4時～5時
場 所 物性研究所旧棟1階講義室
講 師 Dr. M. T. Hutchings

(所属) (HARWELL 原子力研究所)

題 目 Thermally Induced Anion Disorder in Fluorite Structured Compounds
—A Model Fast-Ion Conductor System

要 旨：

Most materials with the fluorite crystal structure exhibit a pronounced specific heat anomaly well below their melting temperature which is associated with the onset of a dynamic disorder of the anion sublattice. These materials provide a relatively simple system in which to investigate the phenomenon of fast-ion conduction, a phenomenon which also gives them some technological importance. In order to investigate the nature of the disorder and details of the conduction mechanism, neutron scattering measurements have been made on three halides: PbF₂, SrCl₂ and CaF₂. Coherent diffraction, quasi-elastic, and inelastic scattering data lead to a model of the dynamic disorder involving short-lived clusters of defective anions. Incoherent quasielastic scattering from SrCl₂ has also been investigated, and shows that the diffusion is dominated by a vacancy mechanism involving anion hops between regular lattice sites. Recently, measurement of coherent scattering from UO₂ and ThO₂ to 2930K has revealed similar behaviour in these oxides. This is of importance in reactor safety calculations.

日 時 1984年12月10日(月) 4時～5時

場 所 物性研究所旧棟1階講義室

講 師 宮沢 弘成 氏

(所属) (東京大学・理学部)

題 目 波動関数の多価性とAHARONOV-BOHM効果

要 旨：

磁界に触れずに、周囲のベクトルポテンシャルだけから磁束の存在を知ることができるか？このAB効果は、一部に、理論上存在すべきであり、実験的にも確かめられたと考えられているが、それは正しくない。量子力学からはAB効果を結論できず、むしろ効果が無い方が好ましいこと、実験はこれを裏づけるのにまだ不十分なことをのべるので、御批判をいただきたい。

本年3月東京大学物性研究所を御退官になる2人の先生の記念講演会を以下のとおり開催致しますので、御来聴下さいますよう御案内申し上げます。

また、講演会終了後、2人の先生を囲んでのささやかなパーティーを計画しておりますので、御参加頂ければ幸いです。

記念講演会

日 時 昭和60年3月16日(土) 10:00~12:40

場 所 東京大学生産技術研究所 第1会議室(3階)

所長あいさつ	10:00
田 村 正 平 「物性研における26年」	10:10
業績紹介 木 下 実	
休憩 11:20 ~	
細 谷 資 明 「結晶学への招待」	11:30
業績紹介 星 垒 祐 男	

記念パーティー

開宴時間 記念講演会終了後 13時頃から

場 所 物性研究所第1会議室(上記講演会会場のすぐ下です)

東京大学麻布キャンパス（物性研究所・生産技術研究所）

場所 東京都港区六本木7丁目22番1号

電話 03-478-6811



地下鉄（千代田線）

「乃木坂駅」下車 4分

地下鉄（日比谷線）

「六本木駅」下車 7分

都バス
⑦⑩田町駅東口
⑧⑯豊海水産埠頭 — 信濃町 — 渋 谷 駅
⑨⑯品川車庫 信濃町 四 谷 片 町

新宿駅西口
「防衛庁前」下車 3分

◎印 地下鉄出入口

物性研ニュース

昭和59年度後期短期研究会開催予定(追加)

研究会名 物性研「極限物性」の現状と将来
——研究構想と共同利用——

開催期日 昭和60年3月7日(木)

場 所 東京大学物性研究所旧棟講義室

提案者 伊達宗行(阪大・理) 三浦登(東大・物性研)
永野弘(東大・物性研) 村田好正(")
矢島達夫(") 秋本俊一(")

人 事 異 動

発令年月日	氏 名	異 動 事 項	現(旧)官職
59. 12. 1	矢持秀起	凝縮系物性部門斎藤研究室助手に採用	
"	長谷川泰正	理論部門福山研究室助手に採用	

Technical Report of ISSP 新刊リスト

Ser. A.

- No. 1481 Surface Ion Scattering and Anderson Localization in Si-MOS Inversion Layers. by Takayoshi Ono, Yasukage Oda, and Hiroshi Nagano.
- No. 1482 Cs on Si (111) 2x1: Si Surface State and Cs Valence State. by Hiroshi Tochihara, Masakazu Kubota, Masahiro Miyao, and Yoshitada Murata.
- No. 1483 Structure and Transitions of K Monolayers on Cu (001). by Tetsuya Aruga, Hiroshi Tochihara, and Yoshitada Murata.
- No. 1484 Static Compression of Wüstite ($Fe_{0.98}O$) to 120 GPa. by Takehiko Yagi, Toshihiro Suzuki, and Syun-iti Akimoto.
- No. 1485 ^{51}V and ^{133}Cs NMR Study of Quasi-One-Dimensional Triangular Lattice

Antiferromagnet CsVCl_3 .

No. 1486 Quantitative Aspects of the Theory of Weak Itinerant Ferromagnets. by
Yoshinori Takahashi and Tôru Moriya.

No. 1487 Effects of Thermal Fluctuation on Structures of Microclusters. by
Yasushi Ishii and Satoru Sugano.

編 集 後 記

新年おめでとうございます。

物性研の激しい世代交替は依然として続いており、本号に対しても新任及び退官予定の諸先生方から原稿を頂きました。所内外の方々から寄せられた物性研に対する卒直なご意見も傾聴すべきものと思います。暫く途絶えていた研究室よりも再開しました。

物性研の一つの新しい目玉である極限物性部門の建設も昭和 59 年度で一応終了することになり、今後の本格的活動が期待されています。このような新しい時勢に沿うように、この「物性研だより」もスタイルを変えていかねばならないのではないかとも思っています。ご意見をお待ちしています。

次号の〆切は 2 月 10 日です。

〒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

矢 島 達 夫

桜 井 利 夫

