

物性研だより

第7卷

第6号

1968年2月

目 次

物性研10周年に際して	三宅静雄	1
(10周年記念行事式典あいさつ)		
物性研究所10周年記念祝典祝辞	物小委委員長 伊藤順吉	4
物性研究所の大学院問題	菅原 忠	6
研究会報告		
「塩化タリウムの物性」	小林浩一	11
「半導体の不純物伝導(第2回)」	佐々木亘(電試) 田中昭二(東大工) 豊沢 豊 長谷川洋(京大理) 森垣和夫	14
「x線回折強度の精密測定と電子分布」 加藤範夫(名大工)		
研究室紹介	細谷資明	23
理 論 I	吉森昭夫	30
理 論 II	花村栄一	32
サ ロ ン		
アメリカでのショック	近角聰信	34

物性研ニュース

人事異動

テクニカルレポート新刊リスト

物性研 10 周年に際して

(10 周年記念行事式典あいさつ)

三宅 静雄

本日物性研究所 10 周年行事を取り行なうに当たりまして、日頃深くお世話になっております方をお招きし、式典を挙行するに致しましたところ、お忙しいにも拘りませず、このように多数御参列を頂きました事は衷心より嬉しく存じ、厚く御礼申し上げる次第でございます。

物性研究所は昭和 32 年 3 月 31 日に発足致しました。本年をもちまして 10 周年となりましたが 10 年という歳月は決して歴史を誇るに足るような長さではございません。にも拘らず、この記念行事を取り行なうことに致したのは、主として次の理由によるものでございます。

物性研は発足以来一応その完成を見るまでかなりの年月を要し、創設予算なども 38 年度まで続いたのであります。その間昭和 35 年に開所式を取り行ない、所内を披露したのでありますが、そのときは建物で申しますと、現在の 3 分の 1 ほどしか出来ておりませんでした。その後建物も完成し、設備、人員等も格段に充実増大したのであります。そのような一応完成という研究所の姿を一度はひろく皆様にご覧頂くということが望ましいにも拘らず、その機会にして今日に到ったのであります。その様な意味で、10 周年の機を利用し皆様に現状を御覧頂くことが有意義ではあるまいか、と考えた次第であります。

つぎに、物性研究所は元来多くの物性研究者の熱意が認められて出来たものであります、大きい期待と高い理想をもって発足致しました。その創立の精神を考えますとき、現状に安住することは許されず、つねに将来に向って目を開いているべき責任を感じているのでございます。従って 10 年という期間が一つの段落の時であって、将来の進路を見極めるためにも、現状を自分達もよく眺めることが有意義ではないか、という事を考えた次第であります。

物性研究所は東京大学の附置研究所であると同時に、全国共同利用研究所でございます。共同利用研究所と申しますと、外の方のお世話を忙殺されているのではないか、とのお尋ねをよく受けることがございますが、物性研究所は元来それとは違っております。設立趣意書にもはっきりとわれておりますが、物性研究所は、二つの使命を、同時に持っております。一つは、この研究所自体が物性分野の研究について集中的な研究を行ない、充実した業績をあげることであります。他の一つが、共同利用研究所として、全国の多くの研究者にお役に立つような事をする、と

いう事であります。これらは決して別々の事ではなく両者が総合して、物性研究所がこの研究分野に関して全国的意義をもつということになっているのであります、この二つは、物性研究所では両立しているのでございます。

では、それそれにつき、どれだけのことをやって来たか。研究所自体のあげました業績につきましては、むろんまだ十分誇るに足る段階とは申しませんが、実は本日の行事の記念と致しまして、皆様にすでに差し上げております「物性科学とは」という一冊の本を編纂致し、それにいろいろ詳しく書いてございますので省略致します。

一方、共同利用に関連する方面では、所外の研究者に来所して頂いて研究して頂く形の共同利用、あるいは研究会などの開催につき、いろいろのご意見、御批判を取り入れて、その実行方法を改善しつゝ、やっているわけあります、非常に満足とはいえなくとも、すでに、かなりの実績を積んできたということは、申し上げられるかと思います。

これらを総合して、物性研究所は、全国的に考へてもやはり作ってよかったですという事は、多くの方に認めて頂いていることではないかと存じます。しかし、これらのことだけで、物性研究所の使命を十分果しているということはできないのであります。物性研究所は、わが国の物性研究者の重要な紐帯となり、推進力となる、ということもまた設立の趣旨にございますが、この点に我々もつねに深い責任を感じております。しかしこれを十分果すということは、大変難しい問題であります。例えば、急速に進展しつつある重要研究分野の推進を、まず物性研究所が尽力せよという御要望も少からず出て参りますが、直ちに要望に沿うということは困難な場合が多いのであります。これらは同時に、物性研の将来をどういう風に進めていくかという事にも関連致します。私共は研究所にとってその設立趣旨が大変大事であると思っておりますが、それをさらにいかにして活かし伸して行くかについて苦慮している次第であります。

物性研究所の設立は文部省、大学当局、多くの研究者の方々などの深い御理解によりまして、大変順調に進行致しました。その間所内外に多くの苦心努力があったことは申し上げるまでもございませんが、その設立段階は一応終りまして、現在はレールのないところに差しかかっているわけであります。この時点での物性研究所将来の進路の取り方には、創設時に較べて別種の難しい点がございます。また一般論として共同利用研究所の大学内におけるあり方についての考え方も、現在なお十分定着しているとはいえないようと思われます。これらの問題に関し、私共が真剣に考え実行して参らねばならぬ問題が多々ございます。本日は、この席を借りまして、物性研究所に寄せられました、各関係方面的御理解御支援に厚く御礼申し上げると共に、今後の物性研究所の設立趣旨に沿うような進み方につきましても、今まで同様多大の御理解御支援御鞭撻を

頂けるよう心からお願い申し上げたいと思う次第であります。

本日の記念行事としましては、最初に申し上げましたよう、所の公開が一つの眼目であります
が、このほかに、さきほどもちょっと申し上げました「物性科学とは」を編纂いたしました。これ
れに力を注ぎましたので、他の点についてはごく簡単に致しております。しかし、この本が万人
向きというわけではございませんので、あるいは私共は皆様に何か失礼なことをしているのでは
ないかということをおそれております。また、本日の席におきましても何か失礼の段があるかと
も存じますが、そのようなことがございましたら、何卒お許し下さるようお願い申し上げます。

物性研究所 10周年記念祝典祝辞

物小委員長 伊藤順吉

本日は、物性研究所の開所10周年の記念祝典を行なわれるに際しまして、物性小委員会委員長として、お祝いの言葉を述べさせていただくことを光榮に存じます。物性小委員会は学術會議の連絡委員会の一つである物理学研究委員会の下部の小委員会であると同時に、あるいは物性物理学者のグループを代表するものでありますので、全国の物性研究者のお祝の言葉をかわって述べさせていただくことになり、この意味でも倍加した光榮を感じる次第であります。

私は、場合によっては、物性研の所員の方よりも、本日の祝典を喜ぶ者です。その理由を少し話させていただきたいと思います。

物性研の設立が企画された十数年前には、諸外国の戦後の花の咲いた物性研究に比して、わが国ではこの方面の実験的研究は大へん貧弱なものであります。物性研究に必要欠くべからざるヘリウム液化器も、東北大学に一基あるのみであり、全国の大学、研究機関には、大へん不満足な装置のみしかなく、実験の方面では諸外国に比して問題にならぬ状態でした。勿論、すべての有能な研究者に有効な設備投資をするのが望ましいことは当然ですが、当時のわが国の国情からして、たとえ少々のおくれが他にあっても、諸外国の有力な研究機関に比較しうる研究所を作つて、優秀なメンバーをそろえ、その協力によって綜合的に立派な成果をなるべく早く得るようにすることが最良の方法であるという結論によって、当研究所が作られたのです。それと同時に、他機関に属する研究者が、当研究所の設備を共同利用して、全国的にこの方面的研究のレベルを上げることをも考え、共同利用研究所として発足したのです。

私は物性研究者の一員として、この企画の最初から議論に加わっていました。この研究所が現在のような有力なスタッフを揃えることが出来たのも、この研究所が物性研究者の全員の意図の下で作られ、上記のような気持がすべての研究者の共通のものであったからであると思います。

私の祝辞のすぐ前に、東大総長が祝辞を述べられ、共同利用研究所と大学自治の間の問題点についてふれられましたけれども、われわれ物性研究者は、この研究所はわれわれのものであると思っています。従つて、この研究所が所期の目的に適合するように、立派に成長することは、われわれ全国の物性研究者の責任と考えています。

勿論、大学附置の共同利用研究所としての限界もあり、その他の点についても完全を期することは無理ですが、この研究所が研究のピークを作ることと、共同利用をするという、いわば互い

に反する二重性を持つにも拘らず、10年たった今日、立派に成長し、諸外国においても物性研究所の名前は広く知られ、ほつぼつ世界一流の仕事が出つつあると共に、全国の研究者に広く共同利用されていることは、本当に嬉しく思うことあります。ここに茅、武藤両先生を始め、三宅所長以下所員の各位に心からの感謝を表したいと思います。

このように、われわれ物性研究者が作り、共に協力して來たこの研究所の今日を見て、私はこの研究所が全国の物性研究者の物であるからこそ、無上の喜びを感じるものであるのです。この十年間に、この物性研を頂点にして、我が國の復興と共に、ようやく他大学の研究機関においても、物性の実験的研究が進んできました。十年を一区切りとすると、今までの十年はむしろ追いつくことにあったと思います。次の十年は大きい飛躍を試みる時期でしょう。願わくば所員各位の御活躍によって、二十周年あるいは三十周年記念の祝典には、世界の物性研のお祝をして、共に慶ぶことのできるように、心から望む次第であります。

いささか撫辞をつらね、祝辞といたします。

物性研究所の大学院問題

菅 原 忠

物性研究所は昨年創設 10 周年を迎えた。外国では一つの研究所は 10 年経つと古くなる（5 年という説もある）と云われているが、われわれも新しい充実を行なうべき時が来たことを痛感している。このような時期に研究所のかかえている種々の問題を再検討して見ることは有意義なことであろう。その一つに研究所が大きな関心を持って努力してきた大学院の問題がある。現在物性研究所には修士博士課程合わせて約 60 余名の東大大学院生諸君がそれぞれの指導教官のもとで研鑽を積んでおり、他に 1 年程度の短期間他大学より外来研究員の形で勉強に来ている院生諸君が約 10 名位滞在中である。このように創設当時には少かった若い年令層が研究所の空気に発刺さを加えていることはまことに喜ばしいことではあるが、その裏には今後解決されるべき問題が幾つかあることを見逃してはならない。そこで大学院担当委員の一人として、現状、従来の経過、問題点などを紹介し、今後皆さんに考えて頂くための材料を提供する心算で筆をとった。書くに当っては古くからの事情を知っておられる二三の所員の方に教えていただくなどしてなるべく客観的事実に重点を置いたが、筆者自身の意見もかなり入っている。従って、これは物性研究所としての公式な見解を表明したものでないことを先づお断りしておく。

1. 現 状

現状についてご存じない方が多いと思うのでその詳細を、ついでに大学院生として物性研究所属の教官の指導を受けたいときにはどうすれば良いかを先づお知らせしておく。

物性研究所の 20 部門（講座）の所員は何らかの形で東大の大学院に関係しているが、本年 1 月 1 日現在で 38 名の所員中 29 名が理学系物理学専門課程、7 名が化学専門課程、1 名が地球物理専門課程、2 名が工学系応用化学専門課程に属し学生を受入れている。1 月 1 日現在の学生总数は 64 名でその内訳は物理 19 名、化学 35 名、地球物理 1 名、工業化学 9 名、となっている。又修士と博士の別はそれぞれ 26 名、38 名である。この数字で見ると化学では教官数の割に学生が多く、平均して教官 1 名当り 5 名で、これに対し物理では 1 名当り約 0.5 名で大きな差がある。なお物理課程においての一つの特徴として他大学や専門課程以外から入学した博士課程の人が多いことがある。これは歓迎すべきことである。以上の他に他大学の大学院生で外来研究員として 1 年位勉強のため滞在中の人が約 10 名位いる。これは物性研究所にある特殊な装置を使用して研究を進める場合などに利用されており、このような希望に対し

ては、われわれは出来る限りの便宜をはかつてきた。物性研究所で勉強している東大の院生諸君にとって不便なことは講議を聞くために本郷まで出掛けなければならぬことである。以前は一寸した事務上のことも同様の不便があったが、今では事務部の協力によりある程度まで研究所の事務で用が足りるようになっている。

大学院に参加している以上所員はある程度本郷での講義を分担するのは義務である。例えば昭和42年度では物理課程で、固体物理学（山下所員）、電波分光学（阿部所員）、X線・電子線（細谷所員）、低温物理学（田沼、菅原所員）など、又化学関係では量子化学特論（長倉所員）他の講義を行なっている。講義はもちろん負担になるが、教官数が多いから頻度の点では余り問題がない。ただ本郷（又は駒場）へ出掛けてゆくので時間的にはロスとなっている。

次に大学院学生として物性研究所教官の指導を受けたい場合の方法について時々問合せがあるので、当面行なわれている形についてここでお答えしておく。東大の理学系研究科では例年9月に修士、2月末に博士の選考を行なっている。物理課程では修士の場合、A—本郷の物理教室他、B—物性研究所の二つの志望区分の何れにも共通の試験がある。採用人員は約45名でこのうちBを第1志望する人は約7名程度（42年度）まで物性研教官につくことが認められる。一方博士の場合は東大内部よりの志願者には修士論文を中心とする口頭学力試験東大外よりの志願者には上記の他に外国語（二国語）の筆記試験があり、採用人員は全体で約50名でこのうち物性研には約10名までが認められている。化学課程でも試験は大体同じ方法であるが物理と違って物性研究所に対する数の制限は原則としてない。このように専門課程によって数に制限をつけたり、つけなかつたりしていることは学生諸君にとって決して好ましいことではないが現状では致し方がない。

さて、このように物性研究所ではある程度大学院学生をとっているが、それはどんな思想によるかを明らかにしておく必要がある。と云うのは、共同利用研究所であるから何時でも外来研究員の受け入れが出来るような態勢が必要であり、大学院学生がいることはその余地をなくす怖れがある。又所員は研究のピークを出すことと外来研究員の世話を専念すべきであり、大学院教育（ことに修士）に当るべきでない。—などの意見が創設当時から物性研究者や一般の学者の間にあった。この問題については又あとでふれるが、このような立場を念頭におきつつもなおわれわれが大学院に関与することを考えているのは次のような理由による。もちろんこの点については所内でも意見分布があるので、平均的なものと見て頂きたい。

(1) 共同利用研究所として外来研究員の便宜を計ることはわれわれの義務であるが、一方固有の研究で実績をあげることも重要な任務(?)である。この固有の研究に大学院生が参加するこ

とは若い研究者の養成につながるであろう。又教官の層の厚さと設備の点から考えて充実した指導が出来るであろう。

- (2) すぐれた idea の研究がしばしば若い年令層から産まれることは昔から事実である。物性研究所にもこのような flexible な頭脳の年令層があった方が良いであろう。
- (3) 修士課程では講義に重点があるから大学院生をとるにも博士からにすべきであるとの意見があるが、もちろん博士に重点を置くことには賛成である。しかし、ことに実験の分野では装置の製作や基礎的なことまで含めると 3 年では 1 つの研究を仕上げるのに無理なことが多い。従って修士課程学生の採用も行なった方が良い。
- (4) 但し大学院生の採用に当って共同利用研究所としての適正規模の範囲を越えぬよう注意すべきである。適正規模については武藤前所長時代に企画委員会などで、部門（講座）内の指導やまとまりの点でそれぞれの人数には上限がなくてはならない、工作室や液化室などの共通施設の負担が過大にならぬようにするため所全体の研究者ならびに相当する人の数には制限が必要である。経費などの諸点から検討された。筆者の理解している所では、外来研究員等を含め 13 名（最高 15 名）以内が一部門の適正規模と判定された。一部門の職員は教授、助教授、助手、技官等合せても 6 名であるから、外来研究員 2 ~ 4 名（実績 2 名平均位）、大学院 3 ~ 4 名程度を収容できることになる。部門数が 20 あるから大学院生の総数は 80 名（多くても 100 名）以内が適正規模と云えるであろう。すると博士 50 名、修士 30 名として毎年の採用数は理学系・工学系を合せて博士 17 名、修士 15 名位までが適當であろう。この見地からすると 3 / 4 をしめる物理課程では、修士 10 名以内、博士 15 名以内となる。この適正規模の範囲内ならば共同利用の支障にはならず、指導も行きとどくものと思う。

2. これまでの経過

物性研究所でも若干の大学院生を受け入れたいと云う考えは創設当時から所員の間にあったと聞いている。東大では当時は今の理学系、工学系などの区分でなく数物系、化学系と云う横の関係を重視した、今より理想に近い状態であった。そのころ所の化学関係の所員は就任当初から大学院に関与し学生を採用することが出来たが、物理関係では教官の登録を含めて進捗しなかった。当時物小委その他所外からは共同利用研究所は大学院学生を持つべきでないという意見（前出）、広く全国の大学から学生をとれるように新しい大学院制度を考えるべきである。又大学院より Post doctoral fellowship を設けるべきであるなどの意見が出されていた。又所内でも種々の議論がでたが、現実的な立場から東大の大学院に関与し修士課程か

ら受入れたいと云う意見が支配的で上記の所外意見と対立し論戦があったが、結局物小委などで修士課程より採用しても差支えなかろうとの結論が出されたが、これには就職制限という条件がついた。そこで約10名程度の学生の増募を物理専門課程に要請し、これは数物系委員会を経て大学院協議会の討議に付されたが、専門課程内で解決するようにと差し戻された。当時東大内では大学院問題をも含めて共同利用研究所の取扱いをどうするかが議論されており、このことも上のような結果の一つの理由となったようである。このような複雑な情勢の中で当時の担当所員の苦労は並々ならぬものがあった。

こうして一旦振出しに戻って物理課程内の話合いが続けられ、先づ博士課程若干名を採用することとなつた。そのころ東大の大学院制度が大幅に変り、現在の学部単位の組織に改められた。一方若干の修士を採用する問題は難航を続けたが、漸く暫定的に少數の修士を採用することが課程内で承認され、昭和41年度から実施に移された。しかしこれは何処までも暫定案であつて、物理課程内では物性研とはなるべく別にかつ干渉し合わぬ方が良いという考えが強く、その線に沿つての具体案が小委員会で検討された。その結果、本郷の物理教室その他を主体とする第1コースと物性研を主体とする第2コースの2つのコースに分割する案が昨年まとまつたのであるが、この分割を必要とする積極的かつ学問上の根拠がないとの理由で保留となつてゐる。従つて現在では暫定案の状態であつて、理学部と教養の物理教室、原子核研究所その他が参加している物理専門課程の内で協力し、前述の通りの制限された数の修士・博士を採用している状態である。

こうして過去を振り返つて見ると、化学や工学の関係では学部教室との関係がかなり現実的な立場（原則的に対等）で考えられているのであるが物理関係では未だに理念の問題があつて基本的な方針が確立していないのは残念である。これには色々の理由があるが、少くとも一つの有機体である研究所でこのような不均衡があるので大学院の組織上止むを得ない所があるので困った問題である。このような暫定ルールの下ではあるが、学生諸君の勉学には支障がおこらぬようわれわれは努力している心算である。

3. 物性研の大学院の将来と問題点

既に述べたようにわれわれは適正規模の範囲で大学院学生をとり大学院教育に関与すべきであると考えている。このような見地から現実に大学院に關係しているものの未だに暫定的措置であることは、否定できない。そこでわれわれは将来どんな形態を望むかが問題になってくる。この問題については、今後に予想される大学院制度の抜本的改革を目標として論ずることは出来るが、それより現実的に近い将来のことを考えるのが先である。このときの条件は、(1) 東大

の大学院制度の枠内で可能な案を考えること。(2)前に述べた共同利用研究所の使命を考え、共同利用と両立させること。(3)東大以外の大学にも門戸を開くこと、などであろう。

問題を物性関係のみに限れば、物理課程自身が教官、学生の数の面で非常に膨大となっており、その上本郷、駒場、物性研、核研とキャンパスが分散しているので運営が難しくなりつつある。そこである程度サブコースとして分離する方が良いという議論(前出別コース案)が出てくる。物性研究所にしてみれば、研究所内で講義もやり独自に学生を受け入れるようになれば、われわれも学生諸君にとっても都合が良いことは明らかであるが、前述のようにキャンパス別分離案は学問的根拠が薄弱であって公的に認められるものではない。結局は物理課程内で実質的にこのような運営を行なえるようにしてもらう以外に差し当り方法は無さそうである。一方で化学と物理が一体となって物性課程とも云うべきものを作ったらどうかとの声が所外にあるが、これは研究所が独自に大学院を持つこととなって現在の大学院の理念を変えぬ限り実現不可能であろう。もちろん、単に物性研だけでなく広く理・工学部の物性関係の教官が集ってこのような課程を作れれば必ずしも現在の制度と反することは無いし、ある意味では一つの前進であろう。何れにせよこれならばと云う案は今のところ見当らない。

これに関連して短期間他大学よりの大学院生の留学をもっと盛にせよという声が所内にある。これは物性研の大学院教育の一つの形態として真剣に検討すべきことである。これは形式上指導教官と共に外来研究員として来所し研究するという取扱で従来より実施され、かなり実績があるが余り知られていない。しかし筆者は余り多人数になると好ましくないと考えている。

今一つの問題は、物性研究所の大学院問題は人事交流と深い関連をもっていることである。ここで大学院を終了した若い研究者が各地の大学や研究機関にポストを得て活動することは物性研の持つ人事交流の要となれと云う使命に沿うことと考える。ここで注意したいのは、物性研究所で大学院を送った人をその助手として採用する場合は慎重を要すると云う申合せがあることがある。これは人事交流の立場から結構なことであるが問題がない訳ではない。最近各大学で大学院が充実してくると共にその出身者を助手として採用する傾向が強められつつあるようで、人事交流と逆行している。物性研究所に対して上のような制限をつけた理由を今一度思いおこしてお互いに交流に協力し合うようにして頂くことを切に願っている。

いろいろ問題をあげて見ると物性研究所の大学院問題の根本的解決は大学院制度そのものの改変に期待する以外は妙案がなさそうである。

<研究会報告>

「塩化タリウムの物性」研究集会

物性研 小林 浩一

塩化タリウムの研究に直接たずさわっている者を主とした、非常に限られた範囲の集りであったから、会の規模は小さいものであったが、その内容は極めて具体的で、又充実したものであったように思われた。

塩化タリウムは、アルカリハライドや銀ハライドと共に、古くから興味のもたれている簡単なイオン結晶の一つで、 $CsCl$ 型の構造を持ち、その特徴の一つは、誘電率が異常に大きな事である。固体物理学の対象として、この物質の研究が始められたのは、1930年代であり、それ以来近年迄、細々とした研究が続けられて來た。所がごく最近になって、我国と米国とにおいて、この物質の電子過程の研究がにわかに盛んになり、この物質の興味ある性質が細々と明るみに出されつつあるのが現状で、これがこの研究集会が開かれる直前の状態であった。

この様な時期に、この会が開催された目的は大約二つあった。その一つは、各研究グループがその研究結果を持ちより、相互に討論することによって、塩化タリウムの電子過程、特にバンド構造が現在どこ迄わかり、又どの様な問題が残されているかという事を認識すると同時に、現在の段階で可能な限りのバンド構造の模様を書き、これによって将来の研究の足がかりを得ようとしたのであった。第二の点は、我国に於ける塩化タリウムの研究が、偶然の要素も手伝って各方面の実験グループにより、短期間に集中的に行なわれたことに関するものであった。イオン結晶の分野で、極めてせまい範囲の問題に、可成りの人数が集中的にとりくんだのは、これが恐らく最初の例であったろうと思われるから、この様なやり方で、どの様な成果が、どの様な速度で得られたであろうかという事を知る事にも興味があったのである。

会は昨年の11月13日の一日間だけで、当日は次のような話題の提供があった。

- | | |
|-------------------|----------|
| 1. 一般的な性質 | 小林(物性研) |
| 2. 光学的性質—可視紫外分光 | 中井(京大理) |
| 3. 光学的性質—S O R 分光 | 佐藤(東北大教) |
| 4. 光学的性質—二光子吸収 | 矢島(物性研) |
| 5. 輸送現象 | 小林(物性研) |

6. サイクロトロン共鳴

田 村(東大教)

7. 理論家より. I

菅 野(物性研)

II

豊 沢(物性研)

この物質の導電帯の底と結合帯の頂附近の様子は、これ等の話の内でも特に輸送現象とサイクロトロン共鳴の結果より、可成り明瞭になったと思われる。即ち、非常に純化された塩化タリウム試料を用いる事による、過渡電流磁気効果とサイクロトロン共鳴の観測の成功により、導電帯及び結合帯の極値附近では、エネルギー帯はあるいという事が見出されている。この様に、エネルギー帯の端が非常に簡単だと云うことは、二光子吸収の偏光方向による角度依存性の観測からも支持されている。尙、二光子吸収の角度依存性は井上等により理論的に予言されていたものであるが、それが実証されたのはこの測定がはじめてであり、その意味でも、この測定は高く評価されるものである。

以上の様な事実や、混合を含む光学的な測定より、塩化タリウムの結合帯及び導電帯の端は、 $k = 0$ にあって、その附近での等エネルギー面は球形であり、それ等はそれぞれ $T\ell^+ 6s$ 及び $6p_{\frac{1}{2}}$ の状態に対応するものであると云うことが明らかになった。この様に、この物質のバンド端の構造が、他のイオン結晶にくらべて非常に簡単なことがわかったので、これより、塩化タリウムが、ポーラロンやエキシトンの研究に極めて適したイオン結晶であると結論されよう。

この様に、我々のバンド端に関する知識は、可成り確実なものになったが、ここからエネルギーのはなれた所の様子は、依然として不明であるということははっきりした。S O Rによる軟X線領域或は真空紫外領域の光吸收スペクトルから、色々と示唆に富む面白そうな情報が得られており、ここに将来の大きな問題が横わっていると思われるが、それにも拘らず、確実なことは何一つわかっていないと云ってよい。例えば、光吸收に現れる二重構造から、結合帯の $T\ell^+ 6s$ の下に $C\ell^- 3p$ の状態が存在する事は確からしいが、 $C\ell^- 4s$ や $T\ell^+ 6p_{\frac{3}{2}}$ に対応する状態が、導電帯のどの辺にあるのか等、色々興味ある問題が残されている。又、二光子吸収で見られる 4.2 eV を境とした遷移の対称性の変化が、何によるものであるかと云う事も、今後の大きな問題として残されている。

次にこの研究集会でわかったことは、塩化タリウムの電子状態が、主に我国の研究者の努力により明らかにされつつあると云うことである。これは、我国で、種々の新しい実験方法による研究が意欲的に行なわれ、それ等が極めて短期間の間に集中的になされたおかげであると思われる。試みに、上記の研究がどの程度の速度でなされたかを見る為に、その行なわれた時期を書いて見

ると、結晶純化（1966～67）、SOR分光（1967）、二光子吸収（1966～67）、輸送現象（1966～67）、サイクロトロン共鳴（1967）の様であり、僅かほゞ1年の間に、多くの重要な研究が行なわれ、バンド構造の可成りの部分が明らかになった事がわかる。これは従来の我国や諸外国のイオン結晶の研究速度にくらべて非常に早く、又質的に従来のものよりぬきん出ている様に思われる。このことは、もし我国の中で数グループが、意識的に一つの物質や一つの現象に対して、同時にとりくみ、多少なりとも勢力的に研究を行なえば、我々は高いレベルの仕事を、諸外国を充分にうわまわるスピードで行なうことが可能であると云うことを示すものであろう。したがって、時には、この様に集中的なやり方で研究が行なわれるのもよいのではなかろうか、というのが、この研究集会から受けた印象の一つであった。

「半導体の不純物伝導（第2回）」

世話人 佐々木 宜（電 試）

田 中 昭 二（東大工）

豊 沢 豊（物性研）

長谷川 洋（京大理）

森 垣 和 夫（物性研）

不純物伝導の第1回の研究会が物性研で開かれてから、3年に近い月日がたった。その間、京都で半導体国際会議が開かれ、我が国で初めて開かれた会議の特色の1つともなった不純物伝導に関する session が独立にもたれた。又会議の開催の間に informal な集まりをもって特に不純物伝導に关心を持つ外国学者の参加も得て活発に議論されたことは未だ記憶に新しい。しかしながら多くの理論家、実験家の努力にもかかわらず、依然としてわからない問題が尚残されており、又第1回の研究会以後に登場した問題も多くある。このような観点からもう一度、不純物伝導に关心をもち、研究にたずさわる者が一堂に会して意見を述べ合い、議論するのも有意義であろうとの声が幾人かの人からもち上がった。幸い多くの研究者から関心がもたれ、研究会において話をしたいという人が世話人の予想以上に増え、学会のような研究発表会的なものにしないで、ゆっくりと深く問題を掘り下げて議論したいという世話人の考えも、ある程度変更せざるを得ない程、日程のつまつた研究会になってしまった。しかし結果的に見るとかなりつっ込んだ議論もなされ、未解決の問題においても解決の緒がある程度見られ、かなりの問題が次回の研究会にもちこされたものの問題整理という観点から大変有意義な研究会であった。この研究会の特色としては、不規則格子の電子状態、不純物帯に関する理論的研究が多くとり上げられ、多くの理論家、実験家の関心を呼んだ点であろう。今後ますます、この方面的研究が進み、実験との対比がより密接になされ得ることが期待される。

研究会は1月18日～20日の3日間、行なわれた。第1日は主として輸送現象の立場から見た仕事、第2日は午前が主として ESR による研究、午後は光学的研究、マイクロ波吸収、磁性半導体がとり上げられた。第3日は不純物伝導、不規則格子の電子状態に関する理論的研究である。以下プログラムと共にその概要を記す事にする。

ブ ロ グ ラ ム

1月18日(木) 午前9:30~

座長 植村泰忠

- 不純物伝導研究の現状 佐々木亘・山内睦子 (電試田無)
(Si, Geの高濃度型不純物伝導を主として)
(60分)
- 高濃度領域での不純物帯の有無について (30分) 黒沢達美 (中大理工)
- Undoped ZnSe の不純物伝導 (15分) 深井正一・福田洋二 (松下中研)
- 不純物伝導領域における CdSb の電流磁気効果 松波弘之・西原美一 (京大工)
(20分) 田中哲郎・鈴木 洋
- CdS の不純物伝導 (15分) 豊富誠三・昌子安子 (東大物性研)
森垣和夫
- InAs 表面での電気伝導 (10分) 川路紳治 (学習院大理)

午後2:00~

座長 川村肇

- InSb の抵抗異常その他 (30分) 田中昭二・内野倉国光 (東大工)
滝田宏樹
- 低温における n-InSb の伝導-磁場による変化 生駒英明 (東芝中研)
(30分)
- n-InSb の非線型伝導 -コルビノディスク- 宮沢久雄 (東芝中研)
(15分)
- GaAs の抵抗異常 (10分) 赤崎 勇 (松下東研)
- 強磁場における不純物帯 (20分) 長谷川洋・中村充伸 (京大理)
- Sb-Doped Ge の強磁場不純物伝導 (中間~
高濃度領域) (15分) 生源寺希三郎 (日立中研)
- 半導体・酸化物・金属トンネル接合 -Zero
Bias Anomalies (30分) 片山良史・小松原毅一 (日立中研)
- 半導体・金属トンネル接合の異常 (10分) 津田惟雄 (東大物性研)

1月19日(金) 午前9:30~

座長 渡辺 宏

- 不純物伝導領域の ESR (60分) 森垣和夫 (東大物性研)
前川 桃・植 寛素 (電試田無)
- 濃度に依存する Si のスピニ緩和 (30分) 杉原 硬 (松下無線研)

- p-doped Si のパルス法 ESR (15分) 平井 章・千葉明郎 (京大理)
 - Si のイオン化した不純物対における電子格子相互作用 (15分) 竹山協三 (東大工)
午後 2.00 ~
座長 渋谷元一
 - Ge-Sb の遠赤外における光伝導 (15分) 長坂啓吾・成田信一郎 (阪大基礎工)
 - 不純物ゲルマニウムの遠赤外吸収 (15分) 西田良男・堀井賢樹 (阪大基礎工)
 - GaSe の赤外吸収 (15分) 仁科雄一郎 (東北大金研)
 - サイクロトロン共鳴からみた D- の可能性 (15分) 黒田規敬 (関学大理)
 - Ge, Si における D- State とマイクロ波高調波発生 (15分) 邑瀬和生・大山忠司 (阪大理)
大塚エイ三
座長 神谷武志・吉崎亮三 (東大工)
 - Ge, Si の基礎吸収端 (30分) 田中昭二
 - 磁性半導体における不純物伝導 (60分) 新井敏弘・清水宏晏 (東教大光研)
 - 柳瀬 章・糟谷忠雄 (東北大理)
- 1月20日(土) 午前 9.30 ~
- ランダム系のホール係数 (60分) 座長 久保亮五
 - Hubbard Model の電気伝導 (15分) 松原武生・金吉敬人 (京大理)
 - 不純物帯と電子相関 (15分) 大畠永生・久保亮五 (東大理)
 - Hubbard 理論による D- バンドとその磁場効果 (15分) 菊地 実 (東芝中研)
 - 不純物半導体における金属-非金属転移のモデル (15分) 清水立生 (金沢大工)
- 午後 2.00 ~
- 不規則格子の電子状態の基礎的理論研究 (60分) 座長 松原武生
 - ランダム系電子状態に対する近似法 (15分) 松田博嗣 (京大基研)
 - 一次元「Yonezawa 型」不純物帯の解析性と sumrule について (15分) 米沢富美子 (京大基研)
 - Random Linear Lattice のエネルギー スペクトル (15分) 長谷川洋 (京大理)
 - 周期的境界条件と流れ (15分) 中井真蔵・小島英夫 (静岡大理)
 - 周期的境界条件と流れ (15分) 渋谷元一 (静岡大理)

o まとめ

佐々木 亘 (電試田無)

第1日。この日は輸送現象から見た不純物伝導についての多くの話があった。最初に佐々木、山内、権田、木下(電試田無)によって「不純物伝導の現状」が述べられた。電気試験所でのGe, Siについての実験を主に、2帯モデルで説明され得る結果(比抵抗、ホール係数)と純粋結晶の伝導帯構造を仮定して説明し得る現象(ピエゾ抵抗、de Haas-Shubnikov効果電子比熱)に整理され得るとの序についてで、抵抗の温度変化、帯磁率、中性子照射試料についての結果の3つの話がされた。抵抗の温度変化に山が見られ、その温度(T_M)がその試料の縮退温度(T_F)に関係している事から、この温度変化の振舞いには、フェルミ面のぼけが関係しているのではないかとの示唆がなされた。静的帯磁率(χ)は大体縮退電子ガス模型によるLandau-Peierls-Pauliの理論で説明されうるが、それから実験的に得た電子有効質量が濃度と共に変化し、ピエゾ抵抗効果から得られた結果と矛盾している。この問題は宿題として残された。又 χ のLPP値からの常磁性のずれが真の磁気抵抗効果に関係した局在モーメントの可能性が指摘された。中性子照射したGeについて比抵抗、ホール係数、移動度の測定の話があった。

上記の実験とも関連して、黒沢(中大理工)が不純物帯が存在するかどうかの問題を提出した。実験的に不純物帯を仮定しないで説明されうる現象とそうでないのとを分け、後者の現象即ちホール係数の温度変化に対する山、抵抗の温度変化を、散乱確率のエネルギー依存性から説明した。即ち、電子のド・ブロイ波長が不純物の平均距離より小さい所はエネルギーの増大と共に、散乱確率が減る。波長が平均距離より長い所はドナー密度の空間的揺動を感じて、レーリー散乱を受けるためエネルギー減少と共に逆に、散乱確率が減る。不純物帯を仮定しないでも上記の現象を説明し得るとした。不純物帯が形成されるかどうかは、物質によっても勿論異なるが、この研究会の議論の焦点の一つとして3日間を通じて色々な意見が出された。

第1日午前ではGe, Si以外にZnSe(深井、福田、(松下中研)), CdSb(松波、西原、田中、鈴木(京大工)), InAs(川路(学習院大理)), CdS(豊富、昌子、森垣(物性研))についての話があった。

ZnSeでは低濃度型と中間濃度型の不純物伝導が観測され、夫々 hopping 及びD-バンド・モデルの立場で解析がなされた。InAsでは、表面伝導で抵抗異常が見られ、s-d相互作用モデルでの説明が試みられた。d電子にあたるものとして表面でのタム準位のようなものに寄因していると考えられている。P型CdSb, n型CdSについて共に負の磁気抵抗効果が観測

され、局在モーメントを仮定した豊沢モデルでの説明が試みられた。P型 CdSb ではホール係数の顕著な磁場依存性が見出されて、不純物帯と価電子帯正孔の 2 キヤリア・モデルでの説明がなされた。

第 1 日午後は、田中、内野倉、滝田（東大工）による InSb の抵抗異常、マイクロ波超音波ホットエレクトロン効果についての話で始まった。InSb（過剰ドナー濃度 $1 \sim 2 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ ）で $1 \sim 4^\circ\text{K}$ にわたって大きい温度変化 $\rho \propto \log T$ が見出された。この抵抗異常を s-d 相互作用モデルから Hamann の式を使っての解析が試みられた。マイクロ波超音波を試料に入れることによって電気抵抗の減少が見出されているが、抵抗異常と関連して、何らかの原因でフェルミ面附近で異常な散乱が起っているとした。ホットエレクトロン効果は次の生駒、宮沢（東芝中研）の実験でも示されているが、田中は抵抗のある電場以上での急激な減少をビエゾ散乱で説明した。試料内で消費される power と電子温度との関係が Kogon の理論で、ビエゾ散乱を仮定する事によって説明される。この結果では、InSb の場合、不純物帯か又は伝導帯のいずれかで上記の現象が説明され得る点が強調された。次の生駒、宮沢らの実験では、比抵抗、ホール係数等の電場依存性から磁場のない場合も、InSb では、伝導帯から離れて不純物帯が形成されているとした。抵抗のある電場以上で見られる急激な減少をドナー電子の impact ionization によるとしたが、解釈の点で田中と異にしている。磁場のある場合、不純物準位の磁場による変化が求められ、Yafet, Keyes, Adams の理論と比較された。強磁場での不純物帯については長谷川、中村（京大理）によってその理論的研究が報告された。即ち強磁場における不純物帯の問題（これは本質的には 1 次元のランダム格子の問題である。）を米沢、松原のグリーン関数法で調べ、状態密度やキャリヤの freeze out 効果を論じた。InSb の実験と関連して赤崎（松下東研）から GaAs での低温で見みられる抵抗異常ホットエレクトロン効果のコメントがあった。磁場のある場合、伝導帯電子によるオーミックな伝導度への寄與について、生駒、宮沢の取扱いに対する山田（日立中研）のコメントがあつたり、この問題に関してはいくつかの活発な議論を呼んだ。Putley によるミリ波透過の実験の話も出たが、輸送現象以外の手段によって不純物帯の存在有無（特に磁場のない場合）が確かめられることが期待される。生源寺（日立中研）は中～高濃度域の Sb-doped Ge の電流磁界効果を 90 KG までの強磁界下で測定した結果を述べた。この実験では充分高い磁界の下では磁気抵抗効果の様相が変り、ホール係数等に複雑な濃度温度変化が現れることが明かにされ、更にこれらの結果を D-バンド、donor 対、孤立した donor の組合せによって解釈しようという試みが述べられた。

半導体の表面に $20 \sim 30 \text{ \AA}$ のうすい絶縁層を介して金属電極を配置したトンネルダイオードについては、いろいろな立場から関心がもたれている。片山、小松原（日立中研）は、このダイオードの 0 バイアス近くで見られる異常について紹報し、更に彼等自身の行なった InSb での実験を紹介した。特に $n \sim 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 程度の n 型試料で見られる一連の conductance 極大のピークは、特に不純物伝導に関係ない現象であるかもしれないが、興味を惹いた。0 バイアス近くでの異常に関してはこの他に津田（物性研）が P-doped Si ($\sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$) での実験結果を紹介し、特に $V_3\text{-Sn-Si}$ のダイオードの特性が Appelbaum のメカニズムによって理解できるという考え方を述べた。

第2日目午前は主として ESR による実験の話がいくつかあった。最初に森垣（物性研）、前川、植（電試田無）は、P-doped Si についての実験の話をした。特に 6 mm 波による ESR スペクトルの濃度、温度依存性に注目し、低濃度域で見られる background line の原因について論じた。その hfs の中心からの "ずれ" の濃度、温度、磁場依存性から、磁気中心としては不純物クラスターを考え、その間には強磁性的な交換相互作用が働いていると結論した。中間濃度域で、上記の低濃度型の共鳴線と高濃度型のものが共存している点に注目し、高濃度域で観測される共鳴線の原因となる磁気中心はクラスター的なものであろうとした。又高濃度域でのマイクロ波帯磁率異常、Sandfors らの NMR Knight shift の濃度依存性等から P-doped Si では $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上のドナー濃度で不純物帯が形成されるだろうと述べた。

杉原（松下無線研）は、同じく P-doped Si で見出されている濃度に依存したスピニ格子緩和について話した。補償されていない試料では、主として交換相互作用で結合した中性ドナー対がスピニ・エネルギーを格子に移す relaxing center の役目をしている。孤立したドナーと fast relaxing center としての中性ドナー対との間のエネルギー移動はスピニ拡散によってもたらされる。又少しでも補償された試料では、中性-イオン化ドナー対が fast relaxing center になる。このような観点から、Jerome の実験と大体よく合う計算値を得ている。この理論とも関連して、平井、千葉（京大理）は P-doped Si でのパルス法 ESR の実験を述べた。孤立したドナーと中心線を與えるドナー対の T_1 が $N_D = 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の試料では、同一である等興味ある結果を得ている。又スピニ・エコー減衰からスペクトル拡散について議論した。竹山（東大工）は田中らの Si のマイクロ波吸収の実験で登場した不純物対の問題をとりあげ、そこでの電子格子相互作用を断熱的に扱かうべきか、非断熱的にポーラロンで扱かうべきかを論じた。

第2日午後はマイクロ波から赤外にかけての光に対するレスポンスを扱った話と、磁性不純物伝導の話が紹介された。長坂、成田（阪大基礎工）、西田、堀居（阪大基礎工）は何れも Sb-doped Ge の遠赤外域での実験についてのべた。前者は光伝導を測り、低濃度試料での光伝導が、光によって励起された電子が更に熱的に伝導状態に励起されることをたしかめ、後者は光吸収を測り、そのスペクトルが不純物濃度を 10^{14} 台から $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ まで変えたときに変化してゆく様相を追った。吸収の実験では低濃度試料で吸収のない $6 - 8 \text{ meV}$ の波長域が、不純物濃度の増と共に暗くなるのが不純物帯の形成と関連するのではないかという見解がのべられ、又光伝導の実験に対しては光励起状態の寿命についての知見が望ましいという意見がのべられた。仁科（東北大金研）、黒田（関学大）は GaSe の 512 cm^{-1} に見られる吸収バンドが、結晶欠陥に局在する格子振動であることをたしかめ、若しこの欠陥による hop 不純物伝導があるならば、これに及ぼす局在振動励起の影響が観測される可能性があると指摘した。神谷、吉崎、田中（東大工）は Ge, Si に強いマイクロ波を当てたときに発生する三次五次の高調波が、特定の磁界下で発生する現象を調べ、その原因がサイクロトロン共鳴でもなくプラズマ効果でもなく、ドナー中心の或る準位によるものであることをたしかめ、これが D- 状態による可能性が大きいと考え、実在結晶内のドナーについて D- 状態を理論的に求める試みを述べた。これに対し邑瀬大山、大塚（阪大理）はサイクロトロン共鳴吸収巾から D- 状態の存否についての知見を得ようとしたが、結果はむしろ D- 状態は存在しないという立場が支持されると述べた。新井、清水（教育大光研）は Ge, Si の基礎吸収帯端が多量の不純物添加によってどう変化するかという問題について、今まで発表してきた実験的研究の総括を中心に述べた。最後に糟谷、柳瀬（東北大理）によって磁性半導体の不純物伝導に関するきわめて興味深い現象とその理論が紹介された。すなわち磁性絶縁結晶内に不純物状態ができると、不純物状態に捉えられた電子は周囲の磁性イオンと交換相互作用をもち、この相互作用が母体結晶の磁気的状態によって大きく変わるために、一つの試料で、温度や磁化に応じて全般的な不純物伝導から hop 伝導までの変化に富んだ現象が現れる。そのような結晶の例として Eu のカルコゲン化合物の伝導現象の解析が示され、まだ沢山あると思われるこの種の結晶の不純物伝導の研究が進められることが望ましいことが強調された。

第三日目は、不純物伝導におけるランダム格子、電子相関などの問題点について、理論家の話をを中心に討論が行なわれた。松原（京大理）は金属内のバンド電子や液体金属中の電子によるホール係数が、電子数の逆数という標準公式からどの程度ずれるかについての従来の理論及び実験的研究を紹介し、更に、不純物帯について松原金吉の行なっているホール係数の計算についての

報告を行なったが、ダンピングが小さいときは、ホール係数はフェルミ面附近の状況によってきまる。一般的の場合にはフェルミ面以下の状態も関係するような形の式になっているが、これはホール係数が本来 *dissipative* でなく *dispersive* な量であるためであろうという、久保（東大理）のコメントがあった。次いで大畠、久保（東大理）は、各ドナーに一つづつの電子がとらえられているという状況の下で、一個の電子空位がドナーからドナーへと *migrate* することによる非一体的電気伝導（各ドナーがスピン自由度をもつため）を、高温高振動数展開で求めた結果を報告した。続く三つの話は、活性化エネルギー ϵ_2 の D-バンドモデルについての肯定及び否定的立場からの報告であり、まづ菊地（東芝中研）は、電子相関とランダムな配置とをとり入れた D-バンドの状態密度を計算し、 ϵ_2 を実験と比較した。清水（金沢大工）は中性ドナー D とドナー負イオン D- との波動関数の拡がりの相異を考慮に入れて、磁場の下での D-バンドの状態密度をしらべ、又 D-バンドにゼーマン効果がないという考え方を正しくないことを指摘した。御子柴（電試田無）は D-バンドモデルに対し否定的見解をのべ、それに代るものとして、金属的領域と絶縁体的領域とが空間的に入りまじっているとする“不均質モデル”を提唱した。この後糟谷（東北大理）からコメントがあり、InSb の低温における抵抗増加は、接近したドナー対の最低準位に電子が二個落ちこんで伝導を妨げるためであるという、以前の見解を再び強調した。

午後はランダム格子の電子状態に関して松田等（京大基研）の行なっている基礎理論的研究の紹介から始まった。空間的周期性をもたぬ系での物理量に先づ *coarse graining* を施し、これを求めるのに、適当な長さの周期をもつ周期系での *ensemble average* をとるという方法（MAPS と略称）をのべ、一次元調和振動子系、三次元不純物帶の *tight binding model* などへそれを応用した結果を報告したが、特に波動関数の局在度に関する議論などは不純物伝導の立場からみて色々と興味がある。ついで米沢（京大基研）は、グリーン関数はクラスターには弱い、という巷説に答えるべく、米沢・松原のランダム格子のグリーン関数法の近似を高めクラスター効果まで含めるのに、自己エネルギーのグラフを各段階でどのようにまとめればよいかという話をした。それに関連して長谷川（京大理）は、このようなグリーン関数法で得られる解の、関数論的解析性を吟味し、たとえば不純物帶の準位総数が正しく normalize されていることなどを証明した。続いて小島・中井（静大理）は、原子を不等間隔で並べた一次元格子の電子エネルギースペクトルの計算結果を報告し、それに関連して渋谷（静大理）は、非周期系での周期的境界条件と流れの問題などをとり上げた。最後に佐々木（電試田無）は、研究会で話題になった幾つかの問題をとりあげ、夫々に対する異なる立場の比較など試みながら、

今後の問題点についての見解も述べ、三日間の研究会を閉じた。

(佐々木、豊沢、森垣)

「X線回折強度の精密測定と電子分布」

世話人 加藤範夫(名工大)

細谷資明(物性研)

昭和43年1月25、26、27日に表記の短期研究会が開催された。世話人が立案依頼した報告の他に若干の応募講演を加えて次のようなプログラムで行なわれた。本年6月下旬に英国で開かれる同じような題名の国際会議のため討論を盛んにしたいという趣旨で、参加者の募集はそれほど積極的に行なわなかった。その結果80人定員の講義室で狭すぎる程にはならず適当な規模であった。

1月25日(木) 午

午前 小さい単結晶の測定

荒木孝治(鉄興社中研)	単結晶自動回折計による測定法
森本信男(阪大産研)	等傾角法自動回折計の使用経験
植木龍夫(阪大工)	4軸型自動回折計の使用経験から
小山裕三(塩野義研)	線型回折計および4軸型自動回折計の使用経験

午後 粉末結晶の測定

細谷資明(物性研)	試料における問題点と金属に関する精密測定
山岸共栄(物性研)	測定装置における問題点
宇野良清・岡野忠弘(日大文理)	化合物に関する精密測定
雪野 健(無機材研)	Ga As の精密測定
長倉繁磨(東大工)	侵入型化合物の電子状態の電子回折による研究

1月26日(金)

午前

山下次郎・和光信也(物性研) バンド理論による電子分布の計算

和光信也(物性研) Ni, Cu などの電子分布の計算

鈴木 皇・広田 登(上智大理工) 結合電子による散乱強度

桜井敏雄・伊藤徹三(理研) 非球対称原子構造因子を用いた構造解析

午後 大きい単結晶による測定

加藤範夫(名工大) ペンデル縞による構造因子の測定

- 本間 茂(無機材研) 安阿彌繁(名大工) α 水晶の構造因子
片川 武・井村 敏(名大工) 低温におけるシリコンの構造因子
種村 栄(名工大) X線干渉法とベンデル縞を用いる方法
高良和武(東大工) 回折強度曲線の精密測定による構造因子の決定
菊田惺志(東大工) ロツキング・カーブによるシリコンの構造因子の測定
渡辺伝次郎(東北大理) 上田良二(名大理) 電子回折における2次反射消滅効果による構造因子の決定

1月27日(土)

午 前

- 梶原 仁(理研) デカボレン, $B_{10}H_{14}$, 結晶内電子密度分布の研究
藤原邦男(東大教養) 運動量空間における電子分布の陽電子消滅による測定
三宅静雄(物性研) 強度測定の諸方法の比較

25日午前は構造解析の研究者にとって大きな関心をもたれている自動回折計の session であった。最初予定されていた新関(通研)の概観的な話はやむを得ない事情でとりやめとなり、その代りに荒木が滯米中使用した Buerger 式の回折計についての経験を話した。主として結晶の角度調整上の注意、コリメーターの開き角の問題、バランスフィルター使用の重要性、多重反射に関する注意などを強調した。質疑応答の中には測定法そのものだけなく、フィルター入手先についての情報交換なども実験家にとって有益であった。

森本は同じ型の回折計について重複しないような注意を述べた。写真法を用いて良い結晶を選ぶことの重要性、基準となる反射をどの程度の頻度で測るか、スリット幅のきめ方、構造を解いた後では最小自乗法に加える反射の数は減らして、精度のよいものだけを使うことなどについて経験を話された。

植木は蛋白研で使用を開始した4軸型自動回折計についての経験を報告した。現在は古い計算機が不調のため off line の測定であるが、X線源の安定度、反射強度の再現性、 ω 走査と $\omega - 2\theta$ 走査による強度の比較に重点を置いて話した。今回発表されたテストデーターは MoK α で \pm フィルターだけ使用のものであったようである。同時に紹介された米国の例からみても、この種の装置で精度の高い測定を行なうことは中々難しいことであり、国内の開拓者としての苦心も多いことが痛感される。

小山は、以前に3年半位使用して17程の結晶を解析したHilger社の線型回折計の使用経験を先ず述べ、走査の仕方、小散乱角における死角領域、総合安定度などにつき説明した。次に計算機(PDP-8)で制御する同じくHilger社の千軸回折計の性能につき述べた。昨年12月18日より稼動し始めた許りであるが、必要があつて既に1つの結晶の3次元データは取り終ったということであった。その装置の特長である、"あそび"がないといわれるモワレによる角度制御の機構のことや、ゴニオヘッドはStohのがよいこと、入射ビームの一様性をみる4象限スプリッターのこと、またバランスフィルターが高角側でそれ程うまくバランスしていないのでSr-ZrのSrの代りにYを特注中であることなど荒木氏の話と関連することもあった。ともかく同等な反射の強度は3%以内で一致するということであった。

今後数年の中には急激に方々に自動回折計が購入され、結晶解析に余り経験のない研究者にもどんどん使われること、あたかも往年の粉末回折計の如くなりそうな形勢である。データー集めが少ないので早くできることは甚だ結構には違いないが、複雑高価な機器で、試料側の問題も含めて本当の精度を知らないで、みかけ上の精度を過信することにならないよう、今後とも結晶解析の専門家による地味な努力と啓蒙が非常に必要になるのではないかろうか。

25日午後は原子配置などのいわゆる構造は分っている簡単な物質の電子分布を研究するための粉末測定のSessionである。

細谷は前半試料側の問題点、特にその作成法、表面活性の問題、充填の方法と強度に対する影響、測定上の若干の注意について述べた。後半では種々の金属について米国、フィンランド、物性研などで行なわれた結果について比較した。特に米国でいい始めた固体効果による反射強度の減少はそれ程顕著でないことを報告した。この問題については翌日の理論家の計算に徴しても、大体はっきりしたと思われる。

山岸は測定精度を上げるために装置上問題となる点を説明した。線吸収係数、入射線を減衰させる因子、減衰させた入射線と回折線との強度比の3つにつき、現在物性研で行なっている方式を説明した。装置自体についてはX線源の安定度、測定回路の各部分の安定度、次には計数の統計的変動、更に近く改良しようとしている不感時間の問題について経験上から概括的な説明を行なった。

宇野は化合物について方々で行なわれた測定の特長を先ず述べた。端的にいえば、原子のvalenceをきめることを目的とした研究と、その点に余り問題のないイオン結晶の類の研究に分け、後者では一般に電子雲が第1近傍イオンのある方向では圧縮され、他の方向には拡張されているという結果を紹介した。第2にはデーター処理の方法として普通行なわれている最小自

乗法と、フィンランドの人達が主に使うフーリエ変換法（仮称）について説明し、その得失につき簡単なりマークをした。第3には絶対測定に関する経験、特にスリットの高さとか幅など幾何学的条件に対する好ましくない依存性が起る場合について報告したが、今後も検討される問題である。

雪野はGaAsについての最近の測定結果につき報告した。絶対測定の結果は大体 $Ga^{+}As^{-}$ の計算値とかなりよく合うが1、2差の多い反射もあったようである。かなり重い元素なので共有結合の影響を確認するのは中々難しいことであろう。

長倉は電子回折法がX線法より強度測定の精度が低いにもかかわらず、低角では原子の電荷状態に非常に敏感であることを説明し、 Fe_4N , Fe_2N , Mo_2C などについての測定結果を発表された。 Fe_4N についてはX線によるElliottの結果 N^{-3} に対し、 N^{-2} と出ている。この結果につき、磁性測定の結果などとも照合して、可能な状態に対する予備的な考察を行なった。

26日午前は前半は原子散乱因子の理論計算後半は結合電子に関連した問題が扱われた。

山下は金属内電子のエネルギー準位の計算が、アルカリ金属から始まって多価金属、貴金属、遷移金属と進んできた発展を紹介し、半導体では計算された状態密度が実験と比較されているが、金属では比較しうるような満足な測定がないことを説明した。次にX線の方で関心のある波動関数については状態密度程計算は行なわれていないが、大型計算機の発達とともに大規模な計算が可能になり、固体内部の波動関数、従って原子散乱因子の計算がかなり良い近似で行なわれるようになった事情を述べた。その時用いられるAPW法とグリーン関数法について、計算の基本的なやり方を説明し、イオン結晶・MgO・金属などについての現況を簡単に述べた。

和光はグリーン関数法を用いて、金属の原子散乱因子をバンド構造を考慮して計算する時の方の大略を説明し、Cu, Ni, Fe, Crについての計算結果を発表した。これらの計算はすでに発表されたものより更に精度を上げたもので、特にFeについては細谷らの実測値とますますよく合うことが判明した。そのくい違いは1%以下という反射も多い程で、むしろ粉末による測定の誤差から予想されるより合いすぎている感じさせた。ともかくこのような状況になってみると、実験をする側も計算をする側も非常に張り合いを感じるというわけである。

鈴木は予定した測定が間に合わなかったので、主としてMcWeenyによる結合電子散乱因子の計算法について説明し、ダイヤモンド、グラファイト、シリコン、シリウスなどについて、どの程度実測にかかるかという予想を述べ、次の話への序論とした。

桜井は精密な構造解析を行なう時に、一致しない部分は何でも原子の異方性 振動というパラ

メーターに押しこまれることを反省して、もともと原子散乱因子が散乱ベクトルに平行な時と垂直な時とで差がある場合の一般式を導出し、それをキンヒドロンなどの酸素原子の非球対称性に適用した結果について報告した。

26日午後は主として大きい単結晶による測定の session であった。

加藤は構造因子の測定方法を列挙して説明した後、ペンデル縞による方法の理論的基礎を解説し、実際に行なった Si および α -水晶についての測定について簡単に紹介し、次の 3 つの報告の序論とした。

本間はブラジル産の α -水晶の 4.6 の反射についてペンデル縞の方法で絶対測定した構造因子の値を報告した。その値はザカリアゼンが消衰効果の補正を行なった結果と相当よく一致している。

片川は井村の製作した低温用ラングカメラを使用して、ペンデル縞の方法で測定した低温 (45° K) でのシリコンの構造因子を求め、室温での値と比較し、デバイ温度が室温での 538° Kに対し、 45° Kでは 610° Kを得たと報告した。

種村は Bonse と Hart の用いたような X 線干渉計を作成し、それをペンデル縞を併用することにより、くさび結晶の頂角の測定を回避し、測定精度がなお一層高められることを説明し、実測例としてシリコンの値を示した。

以上のペンデル縞の方法は幾何学的な量の測定だけですむエレガントなもので、その精度は粉末法より 1 枠以上高い。

高良は主として完全結晶に近い試料からの回折強度曲線の幅を測って構造因子を求める実験について述べた。この実験のためには非常に平行度のよい X 線束を作ること、非常に精密な角度の測定をすることが必要で、そのための実験上の工夫について色々説明した。角度測定の精度は最近ますます改良され、標準偏差は実に 0.01 秒の枠にまで及んでいる。従って構造因子の値の測定も 1% を切っている。

菊田はシリコンについての実測の結果を報告した。なお実測値の精度を上げるために非対称反射を用いること、薄い結晶でみられるロッキング・カーブの副極大の間隔と結晶の厚さからも構造因子が出せることなどについても説明した。

渡辺は電子回折において電子の加速電圧が或る値になると動力学的效果のため、2 次反射が消えることを利用して構造因子の値を出せることを報告した。この場合は 1 次の反射の値だけが独立にきまるのでなく、2 次の反射の構造因子の値を使う必要があり、より厳密には多波の効果がはいるので、他の高次の反射の値も多少影響する。電子線に対する構造因子から X 線に対するも

のを出すわけであるが、2次反射消滅の電圧は1%位の誤差で測定され、結局の所1次反射の構造因子はかなりよい精度で求められると述べた。実測はFeの110、NiとAlの111であり、残念ながら他の反射の値は消滅電圧が高すぎて測定できる反射は少数に限られる。

27日は多少傾向の違う話としめくくりである。

梶原はベルリンで行なったデカボレンの精密な構造解析について述べた。この分子は帽子のような形をしたもので、ボロンの結合電子の分布が興味の中心であるが、それを出そうとする時に多数の難しい点があることを述べた。水素の影響が低角にひびくから、低角反射の精度を上げるため消衰効果をへらす必要がある。双晶のない試料が得がたく、双晶の%を測定して用いる。しかしまずいことにその影響が調べたい電子分布の所に偽の山を出してしまう。熱振動と結合電子との分離が難しい、それで低温でのデーター集めと、中性子回折で温度因子を求める必要がある。試料をガラスの毛細管に入れる必要があるので、それによる下地の散乱が出て、低角の強度を低く見積りがちになることなどを詳しく説明した。

藤原は実空間でなく運動量空間での電子分布を陽電子消滅法で測る実験について解説した。フェルミ面を従来のように輪切りにして測る方法に対し、その輪切りにした板を更に短冊形に切った部分の中味を求める実験の結果を報告した。この方法はたてよこのスリットを使うため、線源の強度が大きい必要がある。試料自身が強い線源となりうるので、Cuおよびその合金、特にCu-Al合金についての実験を取上げ、フェルミ面の形について従来よりずっと精密な情報が得られることを示した。特に最近は分解能を更に上げて、フェルミ面の直ぐ内側に僅かな曲線の異常を見出し、これは多体効果をいれると始めて説明できると報告した。

最後に三宅は研究会のしめくくりとして、構造因子を測定する諸方法の特長、精度などについて比較を行なった。特に今回余りふれられなかった、完全結晶からの回折強度を測定する Jennings らのCuについて実験などについてコメントした。次に粉末法では下地をさし引くことを考慮して統計誤差だけを見積っても、精度は相対測定で0.35%、絶対測定で0.45%程度が出るから、諸条件が良い時の限界が今の所この辺であろうと述べた。これに対しペンドル法では0.1%程度まで達することができる、また他の方法の大体の精度についても述べた。

今回の研究会の途中でもまた最後でも色々議論があったように、精度の落ちる粉末法は適用限界は広いのに対し、精度の高いペンドル法は対象が極く限られている。そして構造解析には依然として理想的完全結晶でもない、理想的モザイク結晶でもない、その途中の試料が普通であるという難問がある。しかし少數の結晶とはいえ、ペンドル法によって得られた精度のよい値と比較してみるとことによって、普通の構造解析の測定および消衰効果の補正などの良否を検べてみること

とができるということはやはり非常に重要なことであろう。ザカリアゼンの消衰効果補正の理論なども、ただパラメーターをふやして実測値と理論値を合わせるだけというわけではなかろうと思われる。次には粉末測定の精度も段々上って、理論計算の仮定などを批判することができる場合も出始めたことは喜ばしい。またそれは測定装置の性能向上の面から普通の構造解析の測定にも寄与することになろう。

研究会終了後数日という制約のため、一人で書くことになり、色々理解の浅い所や間違った所もあると思われるがお許し願いたい。

<研究室紹介>

理 論 I

吉 森 昭 夫

新任の所員は適当な時期に研究室紹介を書く慣例になっているようですが、一方以前の研究室だよりを見ますと、理論I部門として全体を芳田さんが紹介しておられます。そして現在も理論I部門は芳田教授のもとに助手の興地さん石井さん、桜井さんと一緒に私が一つのグループとして研究活動をしていますので、結局以下に記しますのは私から見た理論I部門の活動の側面ということになるかと思います。

理論Iにやって参りまして、最初はスピネル構造をもつ LiFe_5O_8 のOctahedral siteに入る Li^+ と Fe^{3+} イオンの配列の局所秩序によるX線散漫散乱の強度の計算を取上げました。前に Fe_3O_4 の Fe^{2+} と Fe^{3+} の配列の局所秩序を取扱ったのと同じ近似で計算を行ない、満足すべき結果を得ました。

ところで理論Iでの中心問題はなんといってもs-d相互作用による異常性についての研究になります。稀薄磁性合金の電気抵抗極小についての近藤理論に始る、金属中の1つの局在スピンとs-d交換相互作用をもつ伝導電子の系の示す異常性の問題は最近の固体電子論の最大の課題の一つと思われますが、理論Iでは先づ局在スピンの大きさの期待値の摂動計算が芳田さん、興地さんによってなされ、この結果からs-d相互作用が反強磁性的である場合にはこの系の基底状態は局在スピンがquenchされたsingletであろうという推論がなされました。そしてFermi準位から上にvirtualに励起された1つの電子と局在スピンとが結合してつくられるsingletの状態から出発して、電子-空孔対の効果を対数特異性を正しく考慮に入れて一般化された摂動の方法を用いて取入れて計算を行ない、このような多体的なsingletの束縛状態がこの系の基底状態であって、局在スピンによる縮重のある状態よりもその結合エネルギーだけ低いことを示す芳田理論が展開されました。この結論は更に興地さんによって高次まで近似を進めて確められました。

ここでこの研究に石井さんと私も加わり、この基底状態に対する弱い磁場の効果即ち0°Kでの帶磁率の計算がなされ、一般化された摂動展開の形で得られている束縛状態の解が閉じた形で求まることも見出されました。この閉じた解を用いて基底状態の性質がくわしく調べられて、大

まかにいって Fermi 準位から上に励起された 1 つの電子と局在スピンでつくられる singlet の最初の近似の状態が励起電子一空孔対の効果により安定化されながら、その状態の性質を保存しており、最初の近似で出来た局在スピンのまわりの異常な電子密度だけは電子一空孔対の効果で空間的に一様に拡がって消えていると結論されています。又有限の磁場でのこの基底状態の振舞いも調べられています。

このように、芳田理論により s - d 相互作用系の基底状態はかなりのことが明かになったように思われます。この s - d 相互作用系の異常性の問題は他にも種々の多体問題の手法を用いた理論が多くの人々によって展開されていますが、基底状態が局在スピンが quench された singlet であるという考えはほとんどの人によって信じられるようになったと思われます。

勿論この s - d の問題は、たとえば有限温度への拡張など未だやられなければならない課題をもっており、昨年 4 月に理論 I に加りせまいバンドでの強磁性スピン波の計算をひとまとめられた桜井さんも参加して、ここしばらくは理論 I 部門の中心問題として続けて取り上げられるものと思われます。

理 論 II

花 村 栄 一

理論II部門の現在の構成は、山下所員、花村所員、難波教務ですが、この四月一日からは、浅野摂郎氏と小林謙二氏が助手として、就任の予定です。他に大学院学生の五木田さんがおります。山下研究室では、遷移金属のバンド構造の計算が主題です。

また、難波さん、五木田さんは、遷移金属中の不純物の局在スピニについて研究しています。ここでは、理論IIのもう一つの研究グループの紹介を致します。

今迄は、よき指導者の下で、研究を進めて参りましたが、この四月から当研究所に赴任し、研究の独立と自由が与えられました。そこで、研究分野の選択とその遂行にあたって、責任を感じております。この研究室紹介の誌上を借りて、私がこれから数年の間、とりかゝる研究の問題点を紹介し、皆様の御意見を伺えたら幸と思っております。

固体物理に於ける華やかな主役は、電子(スピニ)であり、格子系はむしろ、背景の舞台装置か脇役位の役目しか与えられぬ様でした。所が最近、中性子線回析の実験の著しい進歩、遠赤外分光の開発、更にはレーザー光の開発によるラマン散乱やブリラン散乱の観測により、格子振動そのものの観測手段も整った様です。格子系の振動の様子を、調和振動から非調和効果に至るまで詳しく調べる理論的研究は近年活発に行なわれていますが、我々は格子系と電子系との相互作用の問題に興味をもつています。特に格子系と電子系とが密に結びついていて振動論では簡単に取扱えないような現象が面白く思われますので、そのような現象から興味ある問題を三つ程選びました。

[1] GeTe 及びそのSnTe との混晶は、高温側では、NaCl 型構造で半導体であるが、低温側では、菱面体形の結晶構造で半金属になる。菱面体構造になるとともに、Ge⁻ 又は Sn⁻ イオンと Te⁺ イオンが対を作る様に変位して、強誘電体構造を作る。しかし、半金属になるために、自由電子・自由正孔が、イオンが作る dipole moment を完全に遮蔽すると思われる。ここで、問題の第一は、どれ程の空間的尺度で、遮蔽するかという問題である。結晶の大きさの Domain を作り、その表面附近に、正負の伝導電荷が集まるか、あるいは、電子の波長程度の Domain を作り、電子と正孔のかなり規則的な構造を作るのだろうか？

第二は、半金属を作る時、T 点の価電子帯が Fermi 面上にとび出し、L 点の伝導帯が下って、

そこに電子が流れ込むと思われるが、この変化がイオンの変位にどの様に結びついているかを説明したい。

第三に、GeTeは転移温度740°Kで、SnTeは、相転移しない。その混晶は、GeTeの濃度に比例した転移温度を持つが、GeTeとSnTeの差を決めている原因はどこにあるのだろうか？

[2] バナジウム及びチタンの酸化物は、結晶の対称性の高い高温相の金属から、変位型相転移によって、結晶の対称性の低い低温相の半導体に転移する。その際、電気伝導度は、 VO_2 では、 10^7 程の変化が観測されている。この変位型相転移を惹き起す原動力は何であろうか？一種のヤーン・テラー効果と考えて、低温では、変位して内部エネルギーの低い半導体相が安定であるが、高温では、エントロピーの高い金属相が安定になると見える。その時、格子系はどのように不安定になって、変位型の相転移が起るのか？

電子系と格子系の相互作用をどのように記述したらよいか、更には、電子系のCorrelation energyの評価の問題を含み、難航しています。

[3] Hydrogen Halide結晶に関しては、結晶IIの星埜研究室で、実験が進められている。低温相で強誘電体である事が発見され、更に、構造の解析が、中性子線回折及びX線回折で進められている。HBr、HIでは、二つの回転転移を伴って、高温のf.c.cubic，中間のf.c.tetragonal，低温のf.c.orthorombicの三相が存在するが、分子の方向をも含めた配列に関しては確められていない。理論家としては、この二つの相転移を、水素結合力、双極子相互作用、分散力の絡み合いとして、理解し、分子の配列を予測する事が第一の仕事である。更に、相転移温度がHI, HBr, HClと系統的に変化する点、更には、HClでは一次転移が一つ、HBrとHIでは二次転移が二つ（又は三つ）起る点を解明したい。

以上問題を羅列致しましたが、この問題設定に対して、御批判又は御意見が伺えたら幸と存じます。

サ ロ ン

アメリカでのショック

近 角 聰 信

昨年(1967年)9月、ボストンで開かれた国際磁気会議に出席するために渡米した。

1960年IBM研究所に1年間滞在した時以来、7年目の渡米である。

この7年間に日本はいろいろな意味で生長した。方々の会社が基礎研究を旗印とする研究所を建てはじめ、いわゆる中央研究所ブームが生じたのもこの頃で、この7年間に幾多の俊英研究者を育て上げて成果を上げた。その後不景気の波が押よせると同時に、多くの研究所は基礎研究から応用研究へと切かえたとはいうものの、これもある意味で生長の一種と云えないこともない。

物性研究所もこの7年間に当初の設備計画を終え、世界でも珍しい物性研究中心の研究所として有名になった、国際会議などの機会に立てる外国人の科学者もお世辞ぬきに、その設備をほめ、かつ羨しがった。

日本の進歩はそればかりではない。1961年物性研に1年間滞在したGE研究所のGraham氏は、昨年春再び日本を訪れたが、彼は、各大学の建物が立派になったこと、設備が充実したこととに驚いていた。そして彼を出迎えてくれた教授連が、いずれも国産の新車で案内してくれたことも、彼には驚異であった。東京一大阪を3時間でつなぐ新幹線、東京都内を縦横に結ぶ地下鉄、ハイウェーなど、いずれもこの数年間に起きた革命であった。

従って7年前、未開国から文明国へ移住した筆者にとって、米国のすべてが驚異であり、羨望であったのと異って、今度の渡米には別に新しい収穫はあまり期待しなかった。

ボストン会議が1400名の科学者を含め、443篇にのぼる論文が発表され、盛会裡に終了した後、招きを受けるままにいくつかの大学、研究所を訪問した。そしてその間にいくつかの大きなショックを受けた。断っておくが、筆者は割合自信の強い方であるから、ちょっとやそっとのことではショックを感じないはずであるが、それにも拘らず、ショックだったのである。以下にその内容を御紹介しよう。

ボストン会議後、最初に訪れたのは、ニューヨーク・ロングアイランドにあるブルックヘブン国立研究所である。白根一ネーザンスを軸とする有能な研究者群と高中性子束密度の原子炉で有名な研究所であることは衆知の事実であるが、筆者を驚かせたのは、その研究テーマと研究費と

計算機とであった。

アルゴン・クリプトン・ヘリウムなど不活性ガスの固体のフォノンによる中性子散乱は理論とよく合うので、これらの単結晶を使っての散乱実験が行なわれている。既にクリプトンの実験は終り、当時は He_3 のクライオスタットを中性子ゴニオメーターの上にのせ、 He の固体単結晶の制作中であった。単結晶が出来てから、結晶軸を立てるため、複雑な装置全体が $20 \sim 30^\circ$ も傾けられるとのことであった。又、中性子の電気2重極モーメントの存在を確かめるための巨大な装置があったが、結果は否定的であったそうである。

このように、やりたいことは何でも実行してしまうという精神が、何故、我が国には乏しいのだろうかと考えてみると、理由が分った。白根氏の言によると、ブルツクヘブンの物理部で使っている研究費は研究者1人当たり年間5万ドルだそうである。例えば物性研の一部門あたり10人の研究者がいるとすると、部門あたり1億5千万円に相当する。これだけの研究費があれば思ったことは片はしから実行できる。これが年間わずかに上記の額の1~2%の200~300万円で研究しろということになると、「10年前に立てた初期の志に従い、そのまま研究を遂行すべし」といわれているのと何ら変わらない。

もう一つの驚きは、原子炉のまわりに並んだ7台ほどのゴニオ・メーターがすべて炉室内に設置された中型の計算機によって操作されていることである。この計算機は SDS (Science Data System) という会社の製作した、装置制御用のものである。各装置のカウンターの読み取りから、角度制御、データー解析まで一手に引き受けている。目下滞在中の山田 安定氏(阪大理)によると、「中性子線の強度が高いこと、SN比がよいことなどもありますが、それにも増して便利にできているために、1日で日本にいるときの1年分のデータがとれます。」ということであった。

IBMのThomas J. Watson 研究所(Yorktown Heights)でも電子計算機が威力を発揮していた。例えば低温比熱の測定で温度制御を電子計算機にさせ、比熱を5桁の精度で測定していた。一言で5桁というが、このような温度制御は並大ていのことではない。そんなに精度をあげて何の役に立つかと思われる人がいるかもしれない。筆者も最初そう思った。ところがその装置でとったデータを見せられて印象は一変してしまった。

その装置の結果は畳一畳敷ほどの大きさの紙に、計算機が直接に比熱-温度曲線としてプロットしてある。よく見る比熱曲線のようにTの増加とともに単調増加する曲線である。ところが、その紙をめくると2枚目に格子比熱の分を計算で差引いた差の温度依存性が拡大してプロットしてある。そこには1枚目のグラフには全く認められない見事な比熱の山が2つ現われているでは

ないか！。精度5桁の威力である。この試料はFe-Ni-Mnの合金で中村陽二氏（京大工）のものであったが、まだこの2つの山が何を意味するかは分らないとのことであった。

物性測定にはいろいろな極限条件がある。極低温、超高温、超高压、超強磁場等々。しかしここに見のがされていたものがある。超高精度！これは他の物理条件とは異質なものであるが、しかしこれによって今まで隠されていたものがぞくぞくと発見されるようにならないとは誰が云えよう。

IBMでは又、新しい磁化測定装置が動いていた。これはサーチコイルの中から磁化した試料を引きぬいて、磁束変化を測定する点、昔ながらの弾道検流計を使う方法に似ているが、ただ異なる点はデジタル電圧計を用いて電圧の時間積分をデジタルに読みとる点である。ここまで珍しいことではない。脇山徳雄君（現在東北大工）もグルノーブルで大学で、この方法で5桁の精度の測定をして来たし、わが部門の石川義和君も目下この方法を鋭意開発中である。問題はこの装置で測定されたデータは直ちにカードにパンチされ、これを計算機にかけると、磁化曲線や、 $1/\chi$ （磁化率の逆数）-T（温度）曲線を実際のグラフにプロットしてくれる。

昔、物理量をアナローグ的に測定すべきか、デジタルに測定すべきかという議論をしたときに、（その当時はデジタル・プロッターなどというしゃれたものはなかった）、アナローグ派の言い分の1つはX-Y記録計に画いたグラフはやはり直観的にすぐれているということであった。

しかし、デジタルにとったデータが見事なグラフとして得られるとなると、アナローグ派の敗北は決定的である。小生がその測定室を再度のぞいたとき、スケネクタディから南下して来た石川君が口角泡をとばしてその装置について議論しているのに出会ったのは、印象的であった。

次にはスケネクタディにあるGE研究所を訪問した。これが3度目の訪問である。ここで又、ショックを受けた。タイム・シェアリングの計算機についてである。案内してくれたグレアムは滞在2日の間に、いろいろな研究者と議論できるように配慮してくれたが、その予定の中に“ソーシン！お前が喜ぶにきまっているものがある”と云ってアレンジしてくれたのが、このシステムである。

案内してくれたのは、タイプライター2台がようやくおけるぐらいのせまい部屋である。グレアムは先ず計算機に電話をかけると云って電話機をはずし、小生の耳にあてた。「ピー」という音が聞える。「さあ計算機が待っている。電話だったらお前は何というか？」ときくので、「ハロー」というだろう。」というと、「その通り」と云ってそこのタイプライターに

「HELLO」

と打ち込む。すると向うから計算機は「只今何月何日の何時何分。どんなプログラムか?」などとタイプに打ち返えてくる。以下この調子で一問一答がくりかえされる。先ずできるだけ複雑な計算をさせようというわけで

$$x = 1.35 + 4.6^2 \times \frac{15}{35.7^{3.2}} \times \cos 0.37 \times \sin(2 \times 13) \times \log 12 \times e^{12}$$

という式を入れる。タイプするのは

$$x = 1.35 + 4.6 + 2 * (15 / 35.7 + 3.2) * \cos (0.37) * \sin (2 * 13) * \log (12) * \exp (12)$$

である。フォルトランより一段と簡単である。そしてxを計算せよと命ずると、計算機は直ちに

9 8 2.5 4 2

という答を出し、所要時間0秒と答える。つまり1秒以下で計算してしまったわけである。

次に指命したプログラムには条件が不足していた。すると、計算機は

W H A T ?

と聞きかえてくる。終了の命令を忘れると

N O E N D I N S T R U C T I O N

と打ってくる。プログラムを間違えると、おし黙ってしまう従来の計算機と比べると、わがままな箱入娘と有能な秘書ぐらいの差はある。

グレアムはこのほかC D G Iと打って既設のプログラムをよび出し、超伝導コイルに関する複雑な設計計算をさせたり、T I C - T A C - T O Eという五目ゲームのようなゲームを計算機としてみせたりした。ゲームが終ると、計算機は

I T S B E E N F U N , C A L L M E A G A I N S O M E T I M E

などと打ってくる。全く人間と同じである。いやそれ以上にものすごく有能な相談役である。このような相談役のあるなしで研究能率が全く異なるのは当然だろう。

ほかにもベル研究所や、イエール、ペーデュー、キャリテックなどの大学でも小さなショツクを少しづつ受けたが、これらは上述の計算機に関する大きなショツクに比べたら、語るに足らない小さなものである。

電子計算機の威力についてはいまさら論ずるまでもないが、これが人間や装置とon line

で直結され、質疑応答をくりかえせるようになると、その威力は全くはかりしれなくなる。一ということをさまざまと見せられたわけである。

我が国の電子計算機産業も決して遅れてはいない。しかし、計算機をより使いやすくする努力いわゆるソフトウエアに関してはかなり立おくれているようである。これに対して人々の反応はいろいろである。「人間だって愛想の悪い国だもの。計算機だって愛想が悪いのは仕方がないだろう。」と批判する人もいる。「何も装置まで計算機につながなくとも、測定結果は大して変わらないだろう。」と楽観する人もいる。

これらの反応はいずれも尤もところはある。「しかし」である。明治の初年、飛行機の発明に對して「人間は地上を歩いていけばよいのだ。」と反対した軍人がいた話は有名である。多分、on line で使える計算機は、従来の計算機に比べれば、自動車と飛行機ほどの差があるのであるまいか？

世界の情勢に遅れぬように物性実験の装置を直接計算機につなぐことを一刻も早く実行してみたいという筆者の気持は、上述のようなショックからひき起されたわけである。何とぞ「自動車ぐらいでがまんしておけよ」などと意地の悪いことを云わないようにしていただきたい。

<物性研ニュース>

人 事 異 動

鈴 木 増 雄 43. 2. 1付 東大理学部助手より

理論第3部門助教授に昇任

Series A

- No. 285. Akio Yoshimori: Closed Form Solution for the Collective Bound State Due to the s-d Exchange Interaction.
- No. 286. Hiroshi Kukimoto, Shigeo Shionoya, Takao Koda and Ryuichi Hioki: Infrared Absorption Due to Donor States in ZnS Crystals.
- No. 287. Note on the Kondo Effect of the Superconducting Dilute Alloy.
- No. 288. Kiyoshi Kawamura and Yoshihiro Kuroda: On the Electron-Phonon Interaction in Non-Magnetic Dilute Alloy.
- No. 289. Atsuko Ito, Masahide Suenaga and Kazuo Ôno: Mössbauer Study of Soluble Prussian blue, Insoluble Prussian blue and Turnbull's blue.
- No. 290. Tohru Azumi, Mitsuo Ito and Saburo Nagakura: Zeeman Effect of Phosphorescence.
II. Intensity Considerations on Pyrazine Crystal.
- No. 291. Jiro Yamashita, Hiroko Namba and Setsuro Asano: Stability of Non-Magnetic State in 3d Transition Metals.
- No. 292. Hitoshi Yasunaga: Photo-Magnetoresistance of Strontium Titanate.
- No. 293. Hitoshi Yasunaga: Photo-Hall Effect in Strontium Titanate.
- No. 294. Sadao Nakajima: On the Bound State of Conduction Electrons Coupled with a Localized Spin.

編 集 後 記

少し時期がづれましたが、物性研創立10周年記念式典の際の三宅所長のあいさつ、及び伊藤物小委委員長の祝辞の原稿を頂きました。

物性研大学院のことば案外知られていない面がありますので菅原さんに書いて頂きました。

編集係は前の号及びこの号については大野、吉森でしたが、吉森は今回で終りで、後任は現在交渉中です。

原稿送り先、御連絡先は次の通りです。

東京都港区六本木7丁目22番1号

東京大学物性研究所

大野和郎、吉森昭夫

