

# 物性研だより

第13卷  
第5号  
1974年1月

## 目 次

○ 所 感.....	山下次郎.....	1
○ 転任の辞.....	伴野雄三.....	4
○ 内と外から見た物性研.....	石井広湖.....	7
研究室だより		
○ 生嶋研究室.....	生嶋 明.....	11
短期研究会報告		
○ ヘリウムの物性 — 光散乱を中心 — .....	18	
世話人 碓井恒丸(名大・理)・伊達宗行(阪大・理)		
中島貞雄(物性研)・生嶋 明(物性研)		
○ 遷移金属化合物とくに酸化物の電子構造と物性.....	25	
世話人 飯田修一(東大・理)・可知祐次(京大・理)		
近桂一郎(早大・理工)・守谷 亨(物性研)		
物性研談話会.....	42	
物性小委員会報告.....	45	
物性研ニュース.....	47	
○ 助教授公募.....	47	
○ 短期研究会予告.....	48	
○ 人事異動.....	49	
○ テクニカルレポート新刊リスト.....	49	
○ 柿内教授退官記念講演会のお知らせ.....	50	
編集後記		

東京大学物性研究所

## 所 感

山 下 次 郎

物性研究所が創設されてからすでに十数年が経過した。われわれが置かれている環境はそう急激に変化しているようではないが、十数年間にはやはり相当変化している。

大学紛争以来、東京大学にも改革の気運が高まり、いくつかの改革案がつくられた。現実にはその改革案は殆んど実行に移されていないので、大学改革は掛け声だけに終ったよう見えるが、決してそうではない。大学の改革を必要とする深刻な事態は現実に存在しているから、改革は、ゆるい速度で進行するにもせよ、必ず行なわれるであろう。大学改革のなかで最も重要な問題は教養課程の問題であって、これは主として教育に関する問題であるが、いまひとつの問題は学部教官がどのようにして研究水準の高さを維持して、研究と教育との調和を計るかである。学問が高度に精密化した分野においては、大衆化された大学において教育に全力をそそぎながら、しかも高水準の研究活動を続けることは、よほど才能に恵まれた人材でないかぎり、非常に困難となったようと思われる。去る10月31日に学術審議会によって提出された第3次答申「学術振興に関する当面の基本的な施策について」はこの事態に対処するために、現在の学部教官団に対応する「ファカルティ」に附属研究施設を設け、学部教官がそこで充分に研究活動が行えるようにすることを提案している。

この提案がどのように生かされて行くにせよ、学部教官が学生教育に多くの勢力をさく必要性は今後増してゆくのみであろう。他方大学には附置研究所という学生教育の義務をもたない研究組織が存在している。大学における研究と教育のふたつが調和しているさいには、学部という組織と研究所という組織は互に独立に調和して存在可能であるが、学部において、研究と教育との調和が乱れてくるという事態となれば、「学部と研究所との間の関係はどうあるべきか」という問題が必然的に問わされることになる。

物性研究所のような共同利用研究所の場合には、これは一大学内の問題ではなく、全国の大学の物性物理学研究者の共通の問題となってくるわけである。物性研の共同利用の問題は所の創設以来現在まで、いわば流れのままに流れてきたような次第である。物性研の共同利用の活動は、数字に示される限り、年と共に増加しており、現在の物性研の能力から判断すると、飽和値に近づいているように見える。他方、「物性研における共同利用とはどうあるべきか」という問題もしばしば論ぜられてきたようと思う。けれども、大きな流れのなかでの将来への展望はまだ展開

されているとは思えない。

これに関連して物性研の大学院についてひとこととしておきたい。現在物性研の所員の大部分は東京大学の理系大学院の物理コースと化学コースとに属している。物理コースはAとBとのサブコースに分かれしており、Bコースとは物性研コースである。化学コースにはこのような形式上の区分はない。物性研における最近の院生の総数は60～70の程度である。

大学院の制度が近く改変され、新制度においては物性研究所のような研究所に独自の大学院課程を置くことが制度的に可能となるようである。われわれは、物性研究所に独自の大学院課程を置くことの現実的可能性を目下検討中である。この課程は全国的な視野に立って考えられなければならない。しかし、この点については今特に言うことはあるまい。この課程は例えば、「物性科学コース」ともよばれるべき内容をもち、物理グループと化学グループとが密接に結びついている点に総合的な特徴が現われると思う。物性研には電子工学とか、金属工学とか、物性科学の応用に関する学問の専門家は勿論いないけれども、このコースにはそのような分野の教官も若干名併任の形で参加していただければ、「物性科学コース」は裾野の広がったものになるであろう。

先に述べた学術審議会の答申は研究所の存在意義として『研究所設置の基本要件は、「ファカルティ」やその附属研究施設ではとうてい対応しえないような研究を行なう場の必要性ということである』と述べている。「とうてい対応しえない」とは何を意味するかが問題と思われるが、それは研究所を四つに区分している次の説明からある程度了解されるようにも思われる。

- ア. プロジェクト研究を主とする研究所
- イ. 大規模施設、設備を中心とする研究所
- ウ. 高等研究所
- エ. 総合研究所

特に(エ)についての説明を引用すると：「この型の研究所は、例えば「物性に関する研究」のように、多分野を包摂するかなり幅の広い領域に関し、独創性の高い、新しい研究開拓を主眼とする研究を行なうものであって、あわせて大学院以上の研究者養成ないしは大学教員の研修の場としての機能や研究員の形で研究者をプールする役割をも重視する、多目的型といつてよい研究所である。」

この基準を採用すると物性研究所は総合研究所に属することになると思われる。さて、上の分類で、ア、イ、ウが『とうてい対応しえない』性格のものであることは直ちに理解できる。(エ)がそうである理由は第一には、例えば「物性」というような、ある大きな研究分野のなかのいろいろな方面の研究者を集めているという点、すなわち専門研究者の層が厚い点が考えられる。これ

は物理教室、化学教室には望みえないことである。しかしだけ研究者を集めているだけでは仕方ないのであって、上の文章はさらに『独創性の高い、新しい研究開拓を主眼とする研究を行なう』ことを研究所の目的として述べている。すなわち、そのような研究を行なうことと「とうてい対応しえない」の内容として予想しているようである。もしそうだとすれば、審議会の答申は、総合研究所には非常に優秀で、かつ研究意欲に燃える研究者が集合しているべきであり、その研究に対しては予算の面、施設の面において充分の配慮がなさるべきことを主張していることになる。ただし、上の「独創性の高い……」は別に他から指摘されるまでもなく、物性研が最初から掲げていた二本の柱のひとつである。ここでは通常「研究において独自のピークを出す」といわれている。

しかし、この要請に満足に応えることは、現実の問題としては、容易ではないように思われる。第一に、物性研の創設された50年代の後半と73年の現在とでは物性研究の置かれている情況に大きな変化が起っているように思われる。現時点から過去を振りかえってみると、50年代の後半と60年代の前半とは固体物性物理学が非常に栄えた時代であったことが解る。実際、BCS理論が出現したのは1957年であり、近藤効果の理論の出現は1964年であるが、この間における固体物性物理学の進歩は目覚しかったのであり、しかもその時期はすでにほぼ終ったのである。勿論、解くべき問題があまりなくなったといっているのではない。解くべき問題はたくさん残っている。それにもかかわらず、目覚しい発展の一時期は終ったのである。現実の問題として、学術雑誌を眺めてみると、多くの人々がいわゆる広い意味での極限物性という領域に興味をもっていることが知れる。あるいは、完全結晶の問題を解くことによって得られた知識を拡張して、表面の性質とか、アモルファス半導体とかに問題を求めて行く研究者の多いことに気がつく。また、線形領域の問題の多くが解かれたから、非線形領域に研究者の興味が集中してくる様子もうかがわれる。これらの現象は、現在という時代は研究者が新しい領域を開拓しようとして模索している時期であることを示している。

とにかく、我々は今までにたくわえられてきた物性物理学の知識を用いて、より広い研究領域へと発展しようと試みている時代に出会っているようである。問題点は、どこから有望な展望が開けてくるのかが解らない点にある。ある時期には一分野で得られた知識が他領域の問題を解くにさいして、直接かつ容易に用いられ、よい成果が得られたのである。しかし、今日における事情はそれとは異なるようである。多くの場合、「焼きなおし」では成果が得られないようと思われる。このように我々はたしかに困難な時代に生きているのであり、この困難な時代に「独創性の高い、新しい研究開拓を主眼とする研究を行なう」ことは、眞の意味で非常に必要な

のではあるが、また容易ではないことを知るべきであろう。教育と研究とを充分に調和させることは学部教官にとって困難な課題であると先に述べたが、研究一本に徹してそこに見るべき成果を挙げることは研究所教官にとってまた困難な道であるといわなければならない。

## 転任の辞

上智大学理工学部 伴 野 雄 三

私は本郷の物理教室から物性研に就任したとき、心中ひそかに10年もたったらまた別のところへ移ろうと思っていました。その意味は一つの限定したテーマに全力投球できる期間は10年と思っていたからで、また10年もたら同じ場所で新しいプロジェクトに移ることも含めていました。そのような腰の浮いた心構えで就任することはたしかに軽薄のそしりを免れないし、また恐らくそのためには大きな仕事もできなかったのかも知れません。しかしその予期通り12年目で上智大に移り、さらに助手の永田氏をはじめ、院生、技官など大部分の人達の転出先が曲りなりにもきまつたことは、このような就職難の時代に奇蹟とも言いたい程幸運であったと思っています。私の転任を色々の面で援助して下さった所と上智大学の関係の方々に改めて感謝したいと思います。

転出先の上智大学は特色のある私学で、ある意味では大変居心地の良い点があります。勿論今のことろ研究の設備もないし、研究費も物性研にくらべればはるかに少ないので、これらの困難を克服して研究をやって行くのは今後とも努力を重ねなければならないことは自明なのですが、それでも何となく自由になったような気分を楽しんでいることも事実です。それは学生の教育にかけて著しい研究成果を挙げなくても大目に見てくれるような状態になったからではないのです。むしろ人間というものはアマノジャクなもので、研究費などで恵まれない環境におかれるとかえって闘志がわいてくるものもあります。この自由な気分は自分でもよく分らぬのですが、再び白紙から出発することの楽しさとでも云っておきましょう。

さて不思議なもので、物性研を一步出ると在職中は聞かされなかつた物性研に対する批判を耳にします。またそれが全部あたっているとは思えないのですが、私の考えていることを含めて二・三書きましょう。

これまでの物性研の使命は共同利用とピーク研究でした。共同利用について申せば、今までのようなやり方では自然に格差がつくような大学のグループがあることに今更気がつくのです。国立5大学ないし7大学は物性研の設立当時にくらべるとはるかに設備など充実し、講座研究費等を含めて物性研とは殆んど差がなくなったと思います。しかしそれ以外の多数の地方の国立大学や私学は依然として悪条件の中に居ます。その悪条件の一つは講義や演習実験の時間の多いことで、そのために物性研の門をたたくことが物理的に不可能になっています。このグループの人達の共同利用を促進するためにはかなり思い切った措置（それもこれらの大学側でのサバティカル制度などの）が必要でしょう。

それから共同利用研として当然人事交流の原則はあくまで守って行って欲しいと思います。私の行動の動機の半分がそれでした。

これまでの物性研のピーク研究はたしかに共同利用研としてユニークな行き方であり、ある程度目的を達してきたのだと思います。しかし今後どのようなピーク研究を行なうかについては色々な考え方があるでしょう。一つの考え方方はもはやピークなどといっている時代は過ぎたという考え方もありましょう。しかし物性研設立時代の我々一同の燃えるような期待を思い出してみると、この旗はまだおろして貰いたくないと思います。最近の所員会などでは核物性やS O Rなどの大型プロジェクトが議論の対象になることが多いのですが、これまでのピークは一見地味な地盤の上に育ってきたことも忘れてはならないことでしょう。のびのびとした研究の発展のために昔から常識とされているように自由な環境が必要です。この自由な環境という考え方をおし進め行けば、現在の部門の名称を特定部門を除いて全部無くしてしまうことが考えられます。私が所に就任したとき故武藤先生は私と親しく2時間の面接をして下さって、あくまで自由に研究すべきことを強調されましたが、私は小心者で公募の文章に最後まで束縛されたような気がします。自由な環境とは第1原理に基いた思考ができる意味で貴重なものだと思います。大型プロジェクトを担当する部門には当然何か名称が必要でしょうが、反面そこには一部の束縛があることも止むを得ません。

それから物性研の若い方と話をすると、もう固体物理にはやることがないのだという意味のことと言われます。このような発言にはたしかに一部の真実がこめられていると思います。

しかし物理学の大発展は思いがけないところから起ってくるもので、この点を深い静かな眼で洞察して居られる方々が居られるのです。たとえば戸田盛和先生の「境界領域ということ」を引

---

\* Butsuri 28巻6号

用したいと思います。その中で特に印象的のは Planck が学生の頃指導の先生から「物理学はもはや殆んど完成の域に達している。残っている問題といったら熱輻射と電子の問題くらいで、これも遠からず片づくにちがいない。これから物理を勉強しても、片隅のごみを整理する仕事が残っているくらいである。（後略）」といわれた話である。そして間もなく製鉄などの炉の技術と光に対する科学との境界領域から量子論が生れた。これは余りにも有名な話である。しかしそのためにかえってその現代的な意味を見失ってしまうのではないかと思う。戸田先生は現代は基礎科学が境界領域に浸透して行く時機という意味で境界領域の時代と名付けておられる。恐らくやがてはそのような境界領域の中から新しい発展が起ることを期待してよいのではないか。

それでは物性研で今後どのような研究を行なえばよいか。それに対する答えは簡単ではない。しかしとにかく物理の研究はもう終りだとは簡単に言い切れないことだけはたしかでしょう。一つの行き方として境界領域への浸透ではないにしても、もっと個々の物質に即した物理をやって行くことが考えられます。しかも応用まで含めた広い物理の立場をとるのです。江崎さんがやられたいいくつかの魅力ある研究はそのような興味で行なわれたのだと思います。応用物理の立場で行なう研究は低俗だと思うのは東洋的な主知主義の迷信です。むしろ研究を行なう立場が広ければ広い程、その成果は（基礎科学としての成果を含めて）より豊かであると思います。たしかにこれも言うは易く行なうは難いことで、広い見識をもった非凡の人にはしか実行できないのかも知れません。とにかく広い自由な意味での応用物理ということを提案したいのです。私自身も自分の課題として考えようと思っています。

昭和47年の夏頃から私は物性研を辞任して上智大学に移ることを考え始めました。その頃から時折所内外の方々に御相談申上げました。所外の方々は茅先生を含めて即座に賛成しあげまして下さいました。慎重に考え方と言わされた方すらも一人も居られなかつたのでした。ところが所内の方々となると全く別でした。極少數の方をのぞくと反対を含めたはっきりした意見を言って下さらなかつたのです。人間は大人になると、特に同僚に対しては個人としての自由な意見が言えなくなるものだと思っていました。その後上智大に移るまでの約一年間は、暗いトンネルの中を頑固に独りで歩いて行くような気がすることがありました。しかしその出口に近づくにつれて私は別の意味で思い違いをしていることを知りました。物性研内の人々がある時期から急に親しく語りかけてきました。所員会の送別会では答え切れない程の親しいお言葉を頂いたし、また二・三の人達が技官の北沢君のために尽力して下さったし、また転任してから所に顔を出すと門衛や事務室の方々が親しげに迎えて下さるし、等々で物性研は私の故郷のようなものです。とくに大

いに鍛えられた故郷でもあります。

この原稿を書き終えるころになって、ようやく、私が在職当時使っていた干涉型遠赤外分光計を上智大で借用することの許可が東大当局から得られる見透しがつきました。ご尽力して下さった所員会、事務部長、経理課長、会計主任、上智大学学務副学長、同管理課職員の方々に深く感謝致します。このような備品借用の先例を作ったことが今後の人事交流の促進のために多少なりとも役立てばよいがと思っています。

物性研の周辺には今後も出没する予定ですから、今後ともよろしく御願申上げます。

## 内と外から見た物性研

大阪市大理物理 石井廣湖

上記の表題で何か書けとの依頼を受けた。思いきってペンをとってみることにした。

私は助手として72年春迄6年間を物性研で過した。そして運よく現在のポジションにつくことができた。それからは、講義その他の教育、種々の会議、事務的な沢山の雑用等で、物性研とは比較にならぬ程忙しく、落着いた研究の時間を持ちにくい大学の物理教室へ毎日通っている。どこの大学でも程度の差はあれ、きっと同様に忙しいに違いない。そういった地上の世界からみれば、物性研の助手は天国のようなポジションに思えてくる。その天国に6年間も、大学院を中途退してからずっと居れたのだから、随分有難いことであった。物性研にいた頃のことを振り返って、そして外へ出てみて感じたことを、したためてみたいと思う。

大学院生から助手になってまず最初強い緊張感が体中にみなぎった。初めての就職故のそれではない、もっとずっと張りつめたものであった。最先端の研究をするグループの独特の雰囲気、そしてそのグループに最年少の兵隊として入りこんでしまったためである。最先端の研究の雰囲気。それは大学院の時の研究室にも同様にあった。しかし大学には、院生が修士1年から連続的に分布しているし、博士課程も中位になれば慣れも手伝ってピリピリ感じなくなるものである。私みたいな者で助手の職が務まるかしらと、本当に悩んだことがあった。閑居すれば不善をなしてしまうタイプの私には、物性研のこの雰囲気に飛びこんでしまったことは何よりの仕合せであった。研究室には所内の色々なグループの方がよく来られたし、共同利用研ということもあっ

て他からも沢山の方がみえた。刺激を受けるには十分である。更に物性研の助手には、特に私が理論の助手だったためかもしれないが、雑用というものがほとんど無かった。広い快適な研究室の机の前に朝来てすわって、仕事をやりさえすればよいわけである。このような状況が、物性研の助手は天国だと思われる由縁である。

助手も物性研の研究員でありながら、何故所員と呼ばれないのかと思ったこともあったが、最初の数年間私は物性研の位置とかあり方、研究体制、所員と助手との関係、任期制など深く考えたことがなかった。そのような意識に遅れていたわけだし、毎日のことに追われていたためでもあった。その頃は、先輩の助手の方々も任期を延長することもなく、他の機関へ移ってゆかれていた。4年目の頃、助手の中では大分古手になってきたこともあって、助手の親睦会である新竜土会（物性研の地名が当時は新竜土町だったから、あるいは所員のその会が竜土会と称していたから）の、世話人の1人に指名された。しばらく前は、年2回程助手が集ってビールを飲んで自己紹介をするような会だったけど、私の順番になった頃から、物性研の将来問題の検討が所内で盛んに行なわれるようになつた。新竜土会でも助手の総意を結集し、それを将来問題に反映させようというわけで大いに突き上げられた。「所員会に助手を参加させろ」、「オブザーバーの形の方が良い」、「そんな体制内に入らずあくまで外の立場から批判した方が良い」、「若手の研究を積極的に助成する予算のわくを設ける」、これは現在の部門制、研究室制にも関連した提案だが、又「所員にも任期をつけろ」といった様々な意見、更に「そんなことに時間をつぶしている間にも世界中の研究者は仕事をしている、そんな議論は止めて仕事をしよう」の意見迄様々で、まとまった意見を見付けるのは大変だった。親睦会としての新竜土会の限界でもあった。又助手層のスペクトルが大変幅広いことにも基因する。公募要領をみれば分るように修士課程修了以上ということで、そういった若い人から、博士課程を経て他所へ勤めてから移った人迄様々だし、助手になりたての人もいれば、永いこといて優れた業績をあげた人もいるからである。所長に何度も会っていただき、物性研将来問題懇談会というものにも有志の形で参加した。助手がこの懇談会にどれ程寄与したか分らないし、この会自体がどれだけ具体的な成果をもたらしたかについての評価もひと様々であろう。懇談会では、物性研の基本的方針としていわゆる「2本の柱」、即ち学問的ピークを出すことと、共同利用を推進することが確認され、研究グループのあり方、人事交流と客員部門、任期制、東大との関係などが議論されたと思う。

先にも書いたように物性研の助手は大変恵まれているし、所員は助手に比べて用事が多いといつても講義の負担は少ないし、整った環境で研究室を率いてゆく（今の制度では）だから、物性研は双方にとって天国のはずである。そうであってこそ、ピークを作り出して日本の学問の水

準を高めることも、全国の研究者の物性研を利用しての研究の徹底的遂行を物性研が積極的に援助すること（設立趣意書）も、可能なわけである。設立当初に比べて各研究機関の充実は著しいし、又研究のピークを出そうと努めるのは物性研の研究者と同様、どの研究者も望んで然るべきことで、物性研のようなものがあって格差をつけるのはけしからんという考え方もある。しかし研究機関は多様であった方が良いし、単なる連絡機関としてのセンターであるよりは、ピークを出そうと頑張っていることは、外から見たって頗もしいことに違いない。又共同利用で内に入る機会もあるわけである。優れた論文が、どれだけ沢山のテーマを世界の研究者に与えたかは、例を待つ迄もなく明らかである。大切なことは、「2本の柱」の使命をはたすように物性研を如何に運営していったら良いかということだと思う。新設された客員部門は、物性物理の流れの中で期限をつけて分野を選び出し、任期のあるスタッフがあたるわけで、新しい方向だと思う。この客員部門も先に制度を作つてから公募する形をとつたから素早くいくわけで、先に人がいて後から任期の制度を作るとなると簡単ではなくなる。「2本の柱」の精神からしても、一般の所員にもある種の人事の回転が制度として必要ではないだろうか。所員会で所員の任期をどうすべきかと考えても、自分自身のことだから大変複雑になってしまふと思う。ピークを出すことだって、いくら良い環境にいてもそう簡単に出来ることではないし、自分自身に問いかけてみれば、仕事の進展がぶればなおさらのこと、天国変じて地獄になりかねない。任期のある助手にしたって同じことで、天国でぼんやり遊んでいるわけにはいかない。

助手の任期が近づいて私も職を探すことになった。もっとも私が探すのは公募のピラを見付けるだけのこと、実際は所員の先生が探して下さるわけである。しかし良き時代とは違つていて、どこにも空きそうな所などはなく、1年間の任期延長願を認めてもらうことになった。任期が無ければこれ程あわてることはないのだけど、物理学誌がくればまずその欄を探し、公募があればどんな大学でどんな研究条件かもしかとは分らずに、研究計画、抱負などをその都度書いていくつか応募した。大学院の人やオーバードクターの人からは、「あいつが出たら俺が後を狙うのに」と思われているのではなかろうかと、被害妄想かもしれないが案しながら過しているのは苦しいものである。勿論職のない若手研究者からみれば贅沢なことかもしれない。ともかく理工系チームのしわ寄せを若手の層がまともにかぶっているわけだ。幸いその後私は、今の職につくことができた。

物性研の助手の任期のことも、「2本の柱」にもとづく所員の人事の問題にしても、現在の就職難を抜きにしては考えられない。就職難の打開策など私に分りはしないけど、それでも何んとかしなければ物性研だってある程度方向を変えしなければならないし、それ以上に日本の物理もそ

れを担ってゆく人材の点で、今迄とは変わっていってしまうだろう。私の提案は、それも出来るはずがないとも思えるが、各大学での人事交流を活発にすることである。人と職との絶対数の関係が変わなければ解決にはならないかも知れないが、各大学での人事が滞っては、各大学で動脈硬化が生ずるし、自分の所の学生だけをスタッフにしてゆけば近親結婚の弊害がでてくるに違いない。物性研の場合とは意味あいが異なるとしても、人事交流はやはり必要なのである。極端な場合には、全然勉強しなくとも講義をなんとかやっておればともかく勤まるようになっているのが今の大学の制度ではないだろうか。ともかくこの人事交流は一つの所でだけやれば不公平が生ずるから、何んとか一緒に始めなければならない。しかしこれを動くべき当人が大勢寄って決めるのだから、大変難しいことに違いない。一方動く方の立場からすれば、環境が变れば気が入れかわって緊張するし、大いに刺激を受けてきっとプラスになると思う。もっとも人事移動の裏付けには、生活面での保証（住宅の確保、給料面での配慮）が必要だ。現実はかなり冷淡で、勤続〇年を優遇する精神だから、私の所などずっといる方が国立から公立へ移ってきた場合よりも、号俸が上になっているし、宿舎の面でも国立に比べれば雲泥の差がある。勿論円滑な人事移動を行なうには、院生の人との共同研究をスタッフの移動でどうするかとか、実験家の場合の実験設備に対する予算面での配慮など、いくつかのことが考えられなければならないことは、言う迄もないことである。

物性研の助手の素適な研究環境と比べて、その出口がなんとも狭くなっているのは対照的である。現在のような深刻な就職難の時に、物性研の助手は任期のうえでどの程度の道義的責務を負わなければならないのだろうか。打開してゆかねばならぬ問題である。新竜土会では、どんなふうに取り組んでいるだろうか。

( 1973. 12. 4 )

## ~~~~~研究室だより~~~~~

### 生 嶋 研 究 室

生 嶋 明

時が経つのはまことに速いもので、私が物性研究所に大塚泰一郎氏の後任として参りましてから、すでに4年余となりました。就任してすぐに、この「物性研だより」にその御挨拶を書かせていただいたのですが、今度は、研究室紹介をせよとの御依頼を受け、果して4年前に申し上げたことがどの程度実を結んでいると皆様に考えていただけるかが心配になって来ました。しかし、これからお話しすることは、いわば実力精一杯というところなのでありますから、あえて恥めず臆せず筆を執ることにいたしました。

研究室を発足させるにあたって、私は液体および固体ヘリウムの物性に研究の目標を定めました。それは、御存知のように、ヘリウムが極めて興味深い性質を多々示す物質で、しかも第1級の理論的な研究が日本からもいくつも出ているにもからず、実験的な研究では我国はその当時はほとんど貢献していなかったことと、巨視的な量子系で液体という、ある意味では単純な舞台でいろいろと基本的な研究を展開してみようと考えたからです。ただし、物質の種類としてはいまのところ  $\text{He}^3$ ,  $\text{He}^4$  の2種類しか無いために、いわゆる銅鉄主義はほとんど全く通用せず、しかも電磁気的な応答も非常に求め難い相手なのですから、これは具体的テーマを本当に真剣に見定めないと早晚二進も三進も行かなくなるぞと、つまり早々と覚悟いたしました。

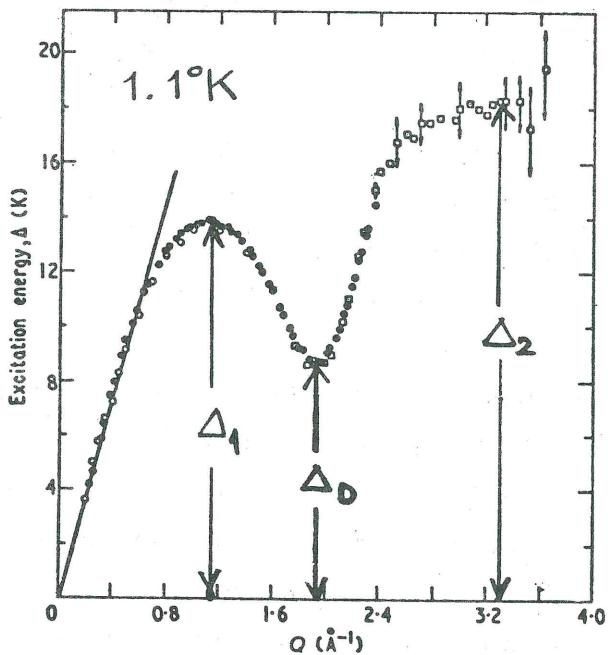
そこで、ヘリウムの研究という大枠の中で我々が立てる柱として考えたのが、ひとつは、巨視的な量子系での2次相転移の問題、他のひとつがこれをも含めてヘリウムの諸々の物性を決定している素励起の問題です。まず、前者は、液体ヘリウムが示す様々な2次相転移に伴う臨界揺動が量子揺動によってどう影響されるか、という発想です。ヘリウムには御存知のように通常の流体にも見られる気相液相転移の他に、超流動転移（いわゆるラムダ転移）が有って、しかも  $\text{He}^4$  に  $\text{He}^3$  を加えて行けば、特定の温度と  $\text{He}^3$  濃度でラムダ転移点が相分離曲線とぶつかるいわゆる tricritical point も有り、この種の研究の舞台には事欠きません。しかも同じ巨視的量子系である超伝導体と比較すると、ヘリウムでは秩序パラメーターの相関距離が数 $\text{\AA}$ と2桁程度あるいはさらに短かいために臨界現象が臨界温度の上下かなりの温度幅で顕著にあらわれる

という大きな利点があります。

一方、後者はヘリウム問題のもっとも基本的な事柄であるにもかからず、ごく最近まであまりつっこんだ議論が無かった問題です。ヘリウムの研究が始まってから約50年を経過した現在、なおこのような話をしているところに、何かこれまでのヘリウムの研究の持つのどかな感じさえ有るのですが、それはともかくとして、現在の知識のほとんどは、中性子の非弾性散乱によるもので、しかもほとんど  $\text{He}^4$  に限られていると云って良いでしょう。これは  $\text{He}^3$  が中性子の極めて良い吸収体であるためなのですが、我々は、 $\text{He}^3 - \text{He}^4$  系や  $\text{He}^3$  での素励起がどうなっているかを知らなければ、いろいろな議論をするときにたちまち困難に遭遇してしまいます。上記の系で、純粋な  $\text{He}^4$  で中性子散乱が見事に示してくれたようなフォノン・ロトンの構造（第1図）、あるいはさらに高エネルギー側の分岐の構造はどうなっているのか、これが非常に大切な問題であるわけです。

それともう1つ肝心な事は、現在のところは残念乍ら中性子散乱で求めた素励起の寿命が装置自体の持つエネルギー幅のためにあまり信用出来ないことです。つい最近も Passel 達が寿命の議論をし直して、結局  $2.7 \text{ \AA}^{-1}$  以下の運動量を持つ励起の寿命は装置自体の幅のために全く決め難いと云っているくらいです。そんなわけで、我々としては素励起についてどうしても知っておきたい事柄がまだいくつも出て来ているわけです。

以上お話した事柄を攻める実験手段に何を選ぶかと云う問題が当然次に有ります。これもいろいろと考えた挙句に光散乱と音波の実験をメインにして、これに大塚研究室からの文化遺産であるカロリメトリーをやや改良して役立たせることにしました。つまり、ヘリウムは超流動状態をとる、しかもきわめて“機械的な”系ですから通常の音波（第1音波）、第2音波などが有効な実験手段になることは無論なのですが、光学的な手段は、プリラン



第1図 超流動  $\text{He}^4$  の素励起分散  
( Cowley & Woods )

散乱によって特に高周波超音波の実験を行なうことに加えて、素励起の直接励起あるいは臨界振動の観測でもバラエティに富んだ実験手段になり得ると考えたわけです。カロリメトリーは、どんな問題でも比熱のデーターがほとんど常に必要なことを考えたためです。光散乱は私としては全く未経験な分野だったのですが、大林康二君という優れた実験家を助手に迎えてこの面を発展させることができたのは大変幸運でした。

さて、やや前置きめいたことが長くなってしましましたが、以下、これまでの研究の進展状況などを書いて見ようと思います。

まず、ラムダ転移について申しますと、これは何と云っても液体ヘリウムに特有な特異な相転移ですが、静的、動的両側面ともに、組織だった議論が出来るほどにはデーターが揃って居りませんでした。まずスタティックな物理量では、我々がスタートした時には、 $\text{He}^4$  で有名な W. Fairbank の比熱のデーターが有る他には、飽和蒸気圧下での超流動密度  $\rho_s$  と相関距離などが、臨界現象を議論出来るに足る精度を持ったデーターでしたし、一方、動的な物理量ではやはり飽和蒸気圧下の  $\text{He}^4$  で低周波の第 1 音波の吸収、熱伝導度、第 2 音波の吸収などである程度見るべき結果が有るだけでした。したがって、たとえば静的な臨界指数でスケーリング則がどの程度成立っているかあるいは破れているかを検討することもままならない状態であったわけですし、動的臨界現象の測定も、いま述べたようにいたって数が少ない上に精度に若干問題が有るものも有って、ラムダ転移の動的本性を云々出来る状況ではなかったのです。

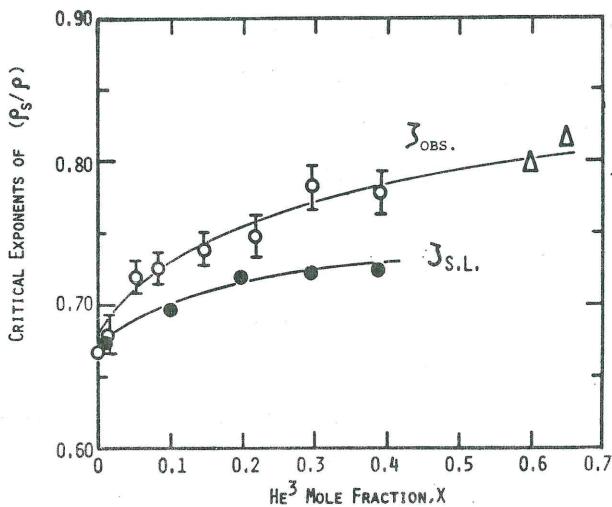
そこで私達の研究室では、ラムダ転移の臨界モードである第 2 音波を用いて、その速度から超流動密度を圧力および  $\text{He}^3$  濃度の関数として精密に求めることと減衰係数を測定することを意図しました。この実験は、照井義一君のドクターアルバイトといたしました。第 2 音波の実験は、いわば非常に古典的なものですが、最近はヒーターで熱波を発生させる代りに多孔質の薄膜をコンデンサーマイクロフォンよろしく励振して常流動成分のみの波を励起する方法が広く用いられるようになっています。私達もこれを採用しました。

さて、その結果は大層面白いことになりました。まず、 $\text{He}^4$  では超流動密度と全密度との比を  $\rho_s/\rho = k\epsilon^\zeta$  (ただし、 $\epsilon = 1 - T/T_\lambda$ ,  $T_\lambda$  はラムダ点) と書いたときの有効臨界指数  $\zeta$  が圧力とともに増加することがわかりました。臨界現象では臨界指数のスケーリング則の他に、その普遍性 (universality) が重要な概念であることは御存知の方も多いかと存じますが、この普遍性は、体系の対称性、次元、相互作用のポテンシャル・レンジが変わなければ臨界指数の値も変化しないという経験的な 1 つの信念です。したがって、上記の  $\zeta$  が圧力に依存するすれば、この信念に対する 1 つの反証になるわけです。私達はこの結果に刺激され、引続いて約 40% まで

$\text{He}^3$  を加えたいくつのかの  $\text{He}^3 - \text{He}^4$  混合液で、飽和蒸気圧下で、同様な測定を行なったところ、 $\zeta_{\text{obs}}$  はこの  $\text{He}^3$  濃度の範囲で約 15% も増加することを見出しました(第 2 図)。実は純粋な  $\text{He}^4$  で認めた  $\zeta$  の圧力依存性は比較的小さいために、高次の異常性をとり込んだ解析、たとえば  $\rho_s/p = k_1 \varepsilon^\zeta [1 + k_2 \varepsilon^x]$  として、 $k_1$ ,  $k_2$  に圧力依存性をすべて背負わせてしまい、普遍性を主張する立場が有ります。しかし、 $\text{He}^3$  濃度に依存する結果の方は、よほど無理なこと、たとえば  $T_\lambda$  を  $100 \mu\text{K}$  以上もずらせることがしなければとてもカバー出来ないのです。

現在、私達は普遍性を律する因子に「量子性」をつけ加えるべきではないかと考えています。ただ、こう

云ういまのところ概念的な話を何らかの形で具体化して行く前に、極めて重要なのは、ごく最近、鈴木増雄さんが提案しておられる“新しい普遍性”の検討だと考えます。これは、今まで臨界指数を定義するのに臨界温度  $T_c$  からの温度差を考えて来たのは誤りで、相関距離あるいはその逆数  $\kappa$  こそが温度変数として普遍的な意味を持つこと、したがって、 $T_c$  で定義される臨界指数 ( $\delta$ ,  $\eta$  など) を除き、普遍性は、 $\kappa$  の臨界指数  $\nu$  および  $\nu'$  で規格化された臨界指数、たとえば  $\beta/\nu'$ ,  $r/\nu$ ,  $r'/\nu'$  などではじめて成立するものであるとする主張です。これを検討あるいは検証するためには、したがって、相関距離を圧力と  $\text{He}^3$  濃度の関数として精密に測定してその臨界指数を決定しなければならないこととなります。この実験は  $1000 \text{ \AA}$  程度のスリットを用いてヘリウムの flow rate を測定する手段がおそらくはもっとも直接的で、しかし充分な精度を得るには相当な辛抱強さと種々の精密な制御にかなりの準備が必要だろうと思います。しかし、事は普遍性という相転移のもとも基本的な問題が関わったことですから、事情が許せば是非実行したいと考えています。



第 2 図  $\text{He}^3 - \text{He}^4$  混合系に於ける超流動密度の臨界指数。 $\Delta$  は Ahlers らの結果。

なお、ここでスケーリング則の検討も、もう1つの重要なポイントとなります。もしスケーリング則がラムダ転移でも成立つものなら、 $\zeta$ と $T < T_\lambda$ での比熱の臨界指数 $\alpha'$ の間に、

$$\zeta = (2 - \alpha')/3$$

が成立たねばなりません。第2図に $\zeta_{S,L}$ としたのはこの計算値で、 $\zeta$ の測定値との一致は全く良くない、つまり、スケーリング則は成立っていないことになりました。ただし、上の関係式を導くには、いくつかのスケーリング則を用いており、そのうちのどれが満足され、どれが駄目なのか、を見極めることは現在まだ出来て居ません。その意味でも、 $\nu, \nu'$ の測定、あるいはさらに他の臨界指数の決定が非常に望ましいことになります。

ラムダ転移の動的な側面の研究は、残念乍らまだほとんど進んでおりません。ポイントの1つは、秩序パラメーター（この場合は超流動凝縮体の波動関数）の臨界揺動の緩和時間を決めることに有ると思われます。この問題では、なるべく広い周波数範囲での超音波吸収の測定が力を發揮するのではないかと考え、DC1年の東崎健一君が精力的に実験を進めています。

さて、光散乱の方は助手の大林康二君が着任以来、着実に環境を整備して来ました。経済的事情は御多聞に洩れず私達の方も窮屈でしたから、特にヘリウムのように光学不活性な物質からの極く極く弱い散乱光を、フォトンの数として検出し測定する digital 計器は、当初からずい分自作もしました。前にも申しましたように、何分にも光測定は全く未経験の分野でしたので、私達はまず比較的散乱光の強いレーリー散乱で一勝負という方針を取り、 $\text{He}^4, \text{He}^3$  の気相液相転移点近傍での臨界光散乱の強度およびスペクトルを測定しました。物理的には、このような量子性の強い流体の状態方程式では対応状態の法則からのずれが認められるために、気相液相転移は臨界現象の普遍性を律する因子に「量子性」が重要かどうかを見る格好の舞台になること、さらに秩序パラメーターの振舞いを直視出来るということが、大切なポイントになります。この転移の秩序パラメーターは密度の平均値からのずれですが、光散乱ではその空間相関、時間相関および統計性を正面ダイレクトに検出することが出来ます。

さて、その測定結果ですが、臨界指数として $\tau, \tau', \nu, \nu', \eta$ が求められました。 $\text{He}^3$ の場合にはここでの結果は状態方程式から得られた $\tau, \tau'$ とよく一致していますが、 $\text{He}^4$ では光散乱が約10%大きな値を与えています。この違いが有意義なものかどうかは、やはり強度測定をしておられる東教大の檜原さんらとも何度も論議が有りましたが、ともかくもう一度測定し直して結着をつけるのが、最良の方策だと考えています。

光散乱による測定は動的臨界現象をきわめて正確におさえる点でも際立っています。この方面では川崎恭治さんが、有名なモード・モード結合理論を展開しておられます。私達の測定から定

めた相関々数の温度変化は、この理論でまことにきれいに説明されて、臨界指数  $\nu$ ,  $\nu'$  の値は  $\text{He}^3$  の場合強度から得られた値とよく一致しています。ここでは、また高周波での粘性係数も求められて、マクロな測定による値とよい一致が見られました。なお、これら一連の研究のうち、 $\text{He}^4$  におけるものの一部は、鹿児島誠一君（現在、電総研）のドクターアルバイトになりました。

光散乱は以上申上げた実験で大分自信をつけましたので、現在は前置きのところで申上げた素励起の問題にとり込んでいます。御存知の方々も多いと思いますが、1970年に日本で開かれた第12回低温物理学国際会議（LT12）の折に、M. I. T の Greytak（ついでながら、この人は Bardeen の娘婿）が、超流動  $\text{He}^4$  でのラマン散乱の実験結果を公表して、かなり話題になりました。このラマン散乱は、1つの入射フォトンがほとんど反射方向に走る2個のロトンを作り出す過程に対応していますが、Greytak は、この2つのロトンが結合状態を作っていることを示して注目された訳です。この実験は散乱光の強度がブリラン散乱の  $10^{-4}$  程度しかないことから、極微弱光検出の最高レベルの技術を駆使しなければいけない点でも注目を集めました。ただし、彼の結果をよく見ますと、ロトン間に引力が働いて結合状態が出来るという主な論拠は、ラマン散乱のピークが、中性子散乱から求めたロトンエネルギー  $\Delta_0$ （第1図）の丁度2倍よりわずかに低エネルギー側に見られることにあります。しかしそれならば、何故状態密度が極大となる  $2\Delta_0$  のところに、あるいは第1図の値を用いるならば、 $2\Delta_1$ ,  $2\Delta_2$  のところにも、ほとんど何の異常も認められないのは何故か。実は  $\text{He}^4$  に於けるラマン散乱に対しては、Iwamoto, Nakajima などの詳しい理論が有って、Greytak の結果にはどうもひっかかるものが有りました。彼はしかもロトンの寿命までをラマン散乱の幅から求めて、Landau-Khalatnikov の現象論とよく一致すると主張したのですが、ロトン・ロトン結合状態に対応する鋭いピークと素励起の分散が連續していることによる連続スペクトルとが重なっているものを或る不充分な分解能で1つのものと見てしまっては居まいかという疑問が出て来る訳です。

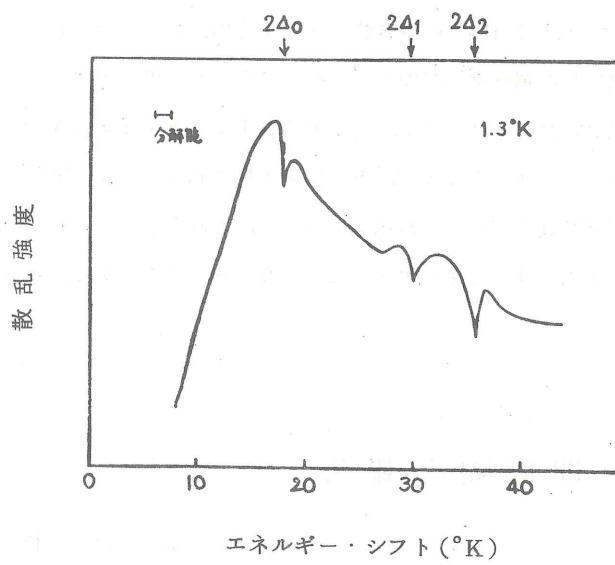
実は、以上述べたことは現時点での私達の意見なので、これから紹介させていただく結果を得るまではそれほど完全な見透しを立てていたわけではないことは白状しなければなりません。私達は、素励起に対する  $\text{He}^3$  不純物の効果をくわしく見るために、ともかくも、はじめは  $\text{He}^4$  で適当に温度を下げてラマン散乱が測定出来るというまで持つて行き、まずは Greytak のデータをトレースして見ようと考えたのです。しかし、測定をしてみると、大変 exciting な結果が出てきました。第3図にそれを示しますが、あきらかに  $2\Delta_0$ ,  $2\Delta_1$ ,  $2\Delta_2$  の位置に鋭い dips が認められ、しかも  $2\Delta_0$  よりわずかに低エネルギー側に大きなピークがあらわれました。

もしロトン間に斥力が働くならば、特徴的なピークが  $2\Delta_1$  と  $2\Delta_2$  より高エネルギー側に出来る筈で、私達はその辺りも詳細にデーターをとりました。その結果、少くとも定性的には 2 つのロトン間には引力が働くことを非常に直接的に結論することが出来たと考えています。私達はこれを「roton molecule」と仮りに名付けました。

Greytak はおそらく相当分解能の悪い状況で実験をしたと考えられます。

このラマン散乱の結果はかなり大きな意味を持っていると思います。その第 1 は  $\Delta_0$ ,  $\Delta_1$ ,  $\Delta_2$  などの素励起分散のパラメーターが  $\pm 0.5^{\circ}\text{K}$  より良い精度で、温度、圧力などの関数として求め得ることです。しかも重要なのは、この実験は  $\text{He}^3 - \text{He}^4$  混合系あるいは純粋な  $\text{He}^3$  でも行なえることで、中性子散乱の手の届かないところの事情がこれで非常にはっきりとして来ると思います。もう 1 つ重要なことは、繰り返しになりますが、ロトン・ロトンの結合状態とロトンの寿命に関する情報が直接に得られることです。 $\text{He}^3$  不純物がこの結合エネルギーおよび寿命にどう影響を与えるか、という  $\text{He}^3 - \text{He}^4$  混合系のいたって基本的な問題にもこれで切り込むことになりました。

ただし、大変残念なことに、私達には現在のところ本質的な困難がいくつかあります。その最たるもののは分光器の分解能が不充分なことです。ロトン・ロトンの結合エネルギーはおそらく  $0.1^{\circ}\text{K}$  程度だと思いますが、第 3 図を見ておわかりのように、現在の分解能は約  $1.5^{\circ}\text{K}$  がせいぜいなのです。これだけ具合良いとっかかりを把んだのですから、私達ではあえて申しませんが、少くとも日本でこの問題の旨味だけはきちんと片附けてしまいたいと考えて、最近は何やら落着かない心地で毎日を過しています。



第 3 図  $\text{He}_4$  でのラマン散乱

この素励起の問題を光で攻める場合には、より低温度域での光散乱技術も重要だと思われます。それはたとえば  $\text{He}^3$  の零音波を研究する場合にも有効でしょうし、最近の大きなトピックスである  $\text{He}^3$  の超流動の問題でも、物を云うことと思います。

研究室紹介ということで、大変手前勝手なことを多々書きつらねてしまつたことをお詫びいたします。これまでの4年間、実に様々な形で私達の研究を援助して下さった物性研究所内外の多くの方々に改めて心から御礼申上げます。これらの方々の御支持、御指導が有つてはじめて曲りなりにもここまで仕事が出来るようになったことを考えて、感謝の念に耐えません。

## 短期研究会報告

### 『ヘリウムの物性』

#### ——光散乱を中心にして——

48年10月26～27日 物性研講義室で開催

司話人 伊達宗行 碓井恒丸 中嶋貞雄 生嶋明

出席者 約70名

ヘリウムの実験的研究は、いわゆる銅鉄主義の通用しない、利にさとい人なら敬遠しがちな、分野なのであるが、敢えてそこに踏み込んでやろうという実験家が、LT-12の前後から、比較的若い層に現れてきた。これに理論家が加わって、ヘリウムの研究グループが日本にもでき上ったのであるが、未だ物理学界一般に認知されたという状態には立ち至っていない。ただ、このグループの結集当初から、物性研共同利用専門委員会は終始このグループの意図するところを理解され、短期研究会の形でグループ育成を援助してきた。これはグループのメンバーが等しく感謝しているところである。

今回の研究会は、中心テーマを光散乱にしほった。液体ヘリウムのミクロな研究手段として、光散乱は中性子散乱と並びかつこれを補う ( $\text{He}^3$  に中性子散乱は使えない) ものとなりつつあるからである。そんな最尖端の研究分野で、未熟な日本のヘリウム実験家に何ができるか、と思われるかもしれないが、実情はさほど悲観的ではない。この分野では MIT の Greytak

がこれまで独走してきたのであるが、日本の実験グループの中からも、それに追いつき、追い越すようなデーターがいまや生れようとしているのである。

しかし、一方からいと、この中心テーマでプログラム全体をおおいつくことができなかつたのも事実である。こういう層の薄さは、何もヘリウムの研究に限った話ではないのだが、この比較的規模の小さい研究グループにとっては、とりわけ痛手であり、研究者が比較的若手で研究予算にめぐまれていないこととあわせて、グループの将来は樂觀をゆるさない。

以下、研究会における報告、討論を要約する。詳しい報告は、近く『物性研究』に発表されるので、そちらを参照していただきたい。

(以上 中嶋貞雄)

## 第 1 日

午前 座長 生 嶋 明

### 『臨界現象 — 光散乱理論のレビュー』 川崎恭治

たとえば  $\text{He}^4$  のラムダ点上下において、光散乱によって、媒質の運動をあらわす normal mode が認められるが、丁度転移点ではそのピークが崩れて、流体力学が破れてしまう。では、それに代る法則は何か、が理論で解決すべき問題である。これに答えるために、稀薄気体を例にとって考えると、気体の平均自由行程が容器のサイズと同程度になるような充分な低密度では流体力学が成立せず、常に Boltzmann 方程式から出発しなければならない事情が生じる。臨界点近傍では相関距離  $\xi \sim |T - T_c|^{-\nu}$  ( $\nu \approx 2/3$ ) で発散するために、光の波長に対してやはりこれと類似の事情となり、Boltzmann 方程式に対応する Kinetic equation を探し出さねばならぬことになる。この方程式の変数としては、一般的には局所的な秩序パラメーターのみでは不充分で、これに流体力学的変数をプラスしたものを粗視変数としてとるべきであって、これで一般論を展開出来る。その結果をたとえば気相液相転移に於ける diffusive な運動に適用すれば、そこでのレーリー散乱のスペクトルを流体力学的領域と臨界領域にわたって与える、よく知られた表式が得られる。ただし、ラムダ転移では、第零近似を得るのに非線型微積分方程式を解かねばならず、且つ、line shape がローレンツ型にならないことが期待されて問題は一桁難しい。この点で理論実験両面からの解明を期待したい。

### 『ヘリウムの臨界光散乱（実験のレビュー）』 大林康二、生嶋 明

気相液相転移における臨界光散乱の測定では、その強度から臨界指数  $\tau, \tau', \nu, \nu', \eta$  と相

関距離の係数  $\xi_0$  を得、加えて、スペクトルでは流体力学領域と臨界領域にわたる搖ぎの相関を直接検討出来る大きな特徴が有る。これまで  $\text{He}^3$ ,  $\text{He}^4$  で結果が得られており、 $\text{He}^3$  では、 $r = 1.14 \pm 0.05$ ,  $\nu = 0.59 \pm 0.04$ ,  $\xi_0 = 4.6 \pm 1.9 \text{ \AA}$ ,  $r' = 1.15 \pm 0.05$ ,  $\nu' = 0.67 \pm 0.1$ ,  $\xi_0 = 4.0 \pm 3.0 \text{ \AA}$  となり、 $\eta$  は充分な精度で決定出来ない。またスペクトルは、Kawasaki の式をよく満足し、たとえば  $\xi_0 = 2.4 \pm 1.0 \text{ \AA}$ ,  $\nu = 0.58 \pm 0.05$  と求まり、且つ、高周波粘性係数  $\eta^* = 19 \pm 4 \mu\text{P}$  となった。これらから、 $\text{He}^3$  においても量子性の効果は実験誤差の範囲で認められていないと結論する。

これらに併せて、ラムダ点および tricritical point 近傍での実験結果についてもレビューを行なった。

#### 『 $\text{He}^3$ の光散乱』 富永 昭 檎原良正

$\text{He}^4$  の気相液相転移点近傍で、レーリー散乱強度を、散乱角  $90^\circ$  で測定し、 $r = 1.17 \pm 0.02$ ,  $\nu = 0.63^{+0.3}_{-0.2}$ ,  $r' \approx r$ ,  $\nu' \approx \nu$ を得た。この  $\eta$  および  $r'$  の値は物性研グループの結果より小さく、 $\text{He}^4$  で量子効果が期待出来るとした主張を批判する。

#### 『Tricritical point 近傍の臨界現象』 山崎義武 鈴木増雄

くりこみ群の1種である Callan-Symanzik の関係を用いて、2次相転移点と tricritical point 近傍に対する臨界指数の表式を得た。臨界指数は次元  $d$ , 内部自由度  $N$  およびボテンシャル・レンジの関数として書き下される。また、これによって、ヘリウムの場合、量子効果が効くなら  $N=2$ , 古典的ならば  $N=1$  であって、出来るだけ多くの詳しい実験結果が待遠しい。

#### 『コメント — 新しい普遍性』 鈴木増雄

従来、臨界指数は  $T_c$  よりの温度差に対する幕として定義されて来た。しかし臨界現象にとってもっとも基本的なものは相関距離あるいはその逆数であって、これによって臨界指数を定義し直せば、それこそが普遍性 ( universality ) を満たす筈であることを主張したい。すなわち、 $\hat{\gamma} = r/\nu$ ,  $\hat{r} = r/\nu'$ ,  $\hat{\beta} = \beta/\nu'$  etc. のように規格化された量が体系の細部によらず、次元、内部自由度、ボテンシャル・レンジにのみ依存するであろう。ただし、 $\eta$ ,  $\delta$  のように  $T_c$  で定義される指数はそれ自体が普遍である。また、自由エネルギーの指数  $\hat{\phi} = (2-\alpha)/\nu$ ,  $\hat{\phi}' = (2-\alpha')/\nu'$  は普遍であるが、比熱は自由エネルギーの2度の温度微分であるから、 $\alpha/\nu$ ,  $\alpha'/\nu'$  は必ずしも普遍ではない。なお、この“新普遍性”によってはじめて説明される具体例を挙げることも出来る。

午後 座長 中嶋 貞雄

『液体ヘリウムに於けるラマン散乱(レビュー)』 大見哲巨

液体  $\text{He}^4$ ,  $\text{He}^4-\text{He}^3$  系での最近までの実験および理論をレビューした。 $\text{He}^4$  での実験では 2 ロトンの相互作用を知るために、散乱光での depolarization と、2 ロトンの結合エネルギーの値が重要なポイントである。一方、混合系では、ロトン energy が約 30%まで  $\text{He}^3$  濃度にほとんど依存せず幅のみが増大する実験結果が現在注目されている。 $\text{He}^4$  に対しては、Iwamoto をはじめとしていくつかの理論が提出されている。混合系では未だ見るべき理論は無いようであるが、ロトン energy の振舞いは、密度変化による energy の上昇と、 $\text{He}^3$  との相互作用による energy 低下とが偶然打消し合っているためと想像する。この辺の事情は、圧力効果を見れば明らかになろう。第 4 音波による常流動密度の測定結果と矛盾する点も解決されなければならない。

『超流動ヘリウムのラマン散乱』 生嶋 明, 大林康二

我々は、 $\text{He}^4$  でのラマン散乱を精度を上げて行ない、Greytak らの有名な結果とかなり異なる結果を得た。得られたスペクトルは、分散曲線の極値を与える energies の 2 倍の位置で鋭い dips を持ち、またロトン energy  $A_0$  の 2 倍よりわずか低エネルギーのところに大きなピークが認められる。結論として、(1) 2 ロトン間には引力が働らき、結合状態を作ること、(2)  $1.3^\circ\text{K}$  で、 $2A_0 = 17.7 \pm 0.3^\circ\text{K}$ ,  $2A_1$  (分散曲線の極大) =  $28.7 \pm 0.5^\circ\text{K}$ ,  $2A_2$  (同 plateau) =  $35.2 \pm 0.5^\circ\text{K}$ , (3) 2 ロトンの結合エネルギー  $E_B$  は、 $0.27 < E_B < 1.08^\circ\text{K}$ , (4) Greytak らが与えた幅はおそらく factor 2 程度の過大評価。したがって、Landau-Khalatnikov の kinetic theory は再検討が必要。

(3) の点では高分解能の分光器が必要であることを痛感している。また、混合系の結果も再検討すべきであると強く考える。

『ロトンの線巾と結合エネルギー』 西山敏之

最近、BNL の Passell らは、中性子散乱によるロトンの線巾の実験を、精度を上げて行なった結果、従来よりはるかに狭い線巾が得られた。圧力  $1.03 \text{ atm.}$ ,  $T = 1.10^\circ\text{K}$  で、ロトン energy は  $8.6^\circ\text{K}$ , 線巾は波数  $Q < 2.7 \text{ \AA}^{-1}$  では装置巾  $0.59^\circ\text{K}$  より小さく、 $Q = 2.8 \text{ \AA}^{-1}$  以上ではじめて有意義な巾となる。ラマン散乱の実験も考慮し、ロトンの寿命は再考されるべきである。

(以上 生嶋 明)

## 第 2 日

午前 座長 恒 藤 敏 彦

### 『液体ヘリウムの転位模型』 鈴木秀次

融点においてヘリウムの平均原子間隔は約3%増すにすぎないので、液体ヘリウムは高密度転位が運動している固体というように描像する（格子定数約4 Åのbccを考える）。転位模型は液体原子の強い相関をもった集団運動を表示するものである。BoseおよびFermi統計の区別は、空格子点についておこる。空格子点と転位の相互作用を考えると、He<sup>4</sup>では低温で空格子点がBose凝縮し、転位はネット・ワークを作る。これがラムダ転移である。一方、He<sup>3</sup>の準粒子は空格子点であり、転位は正負のペアを形成して、ネット・ワークは作らない。超流動は、管壁にできた固体状のlayerにおけるmisfit dislocationの運動である。

### 『固体ヘリウム中の超音波伝播』 比企能夫

固体ヘリウム中のフォノンは非調和性が大きく、また、格子欠陥とくに転位との相互作用も特異性があると予想される。これらの点を超音波減衰の実験によって調べようと計画している。さしあたってはhcp He<sup>4</sup>の単結晶で測定する、音速、減衰の測定はパルス法でやる予定。転位をふくまぬ単結晶ができれば、音波減衰の周波数、温度依存性から、支配的なフォノン間相互作用について情報がえられる。またコントロールされた転位の導入により、転位が一定のすべり面、方向をもつかどうか、転位と熱フォノンとの相互作用、転位の運動にたいする抵抗力、空格子点、不純物としてのHe<sup>3</sup>の効果、などがわかる。

### 『He<sup>3</sup> - He<sup>4</sup>混合系のNMR』 平井 章、水崎隆雄

dilute He<sup>3</sup> - He<sup>4</sup>混合液におけるHe<sup>3</sup>スピン拡散係数を測定した。ラムダ点付近で異常なし。温度変化をロトンとの衝突として解析、ロトン・ミニマムΔを求める。1.65 Kで純He<sup>4</sup>の中性子散乱で見たΔに合せると、高温でもよく合う（濃度2.5%）。ラムダ点でfree induction decayの強さが変化するが、これはheat flush effectと考え、SQUID-NMR分光計でチェックの予定。He<sup>3</sup> - He<sup>4</sup>混合固体については、圧力変化を発振回路の容量変化 - 周波数変化に変換する圧力計がうまく動作している。また、NMR実験として、回転系におけるスピン・格子緩和時間T<sub>1ρ</sub>を測定（濃度5%、10 MHz）。vacancy diffusionとすると、vacancyの生成エネルギーは16 Kとなり、T<sub>1</sub>の測定とコンシスティントである。

午後 座長 碓井恒丸

『He II 中に於ける荷電粒子』 伊達宗行, 堀 秀信, 豊川和治, 市川 修, 脇島 修

最近 1 年間の主な実験結果は 1) He II 中の Hot filament によるプラス・イオンの生成と 2) Hot filament の過渡(とくに振動)現象である。1) は He II 中に W 線のカソード、円筒状プレートからなる 2 極管をおき、W 線を電流で赤熱させると、そのまわりにガスのさやができる。プレート・カソード間に順方向バイアスをかけると、W 線から出た熱電子が He II 中に入り、電子泡ができる。高温での I V 特性は 2 極管モデルで説明できるが、低温では渦環による束縛を考える必要があり、さらに強電場ではイオンが Landau の臨界速度まで加速されることを考えねばならぬ。プレート・カソード間に逆バイアスを加えると、ある臨界電圧以上で、ガスのさやに放電が起り、プラス・イオンによる電流が流れる。I V 特性の解析から、発生するプラス・イオンの濃度はマイナス・イオンの場合と同程度 ( $10^{10} \sim 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ ) である。このプラス・イオンを、別の 2 極管で作ったマイナス・イオンと衝突させれば、多量の中性励起原子が He II 中に作られ、分光測定が可能になる。2) は、2 極管に順方向の階段状バイアスを加え、電流が 2 極管モデルの定常値に達するまでの過渡現象を観測したものである。比較的高温では、constant mobility を仮定した数値計算と一応合うが、温度を下げるとき、電流は周期  $m \text{ sec}$  の振動的ふるまいを示す。これは、先頭を走る carrier がロトン生成によって減速し、bunching effect がおこるものと考えられる。

『超流動 He<sup>3</sup>』 宗田敏雄

液体 <sup>3</sup>He 中の有効原子間相互作用は、Fermi 面近くで D 波以上の成分が引力となり、Cooper pairing で超流動状態になりうることが、1960 年、Brueckner-Angerson-Morel-Soda, Emery-Sessler, Pitaevskii により予言された。1972 年、Cornell 大の Osheroff-Lee-Richardson は、Pomeranchuk 冷却法により、融解曲線上 2.65 mK (A 点) で 2 次相転移、2.00 mK (B 点) で 1 次相転移の起ることを発見。NMR の測定から、これが液相の転移であることを明らかにした。A 点と B 点の間の液相を A 相、B 点以下の液相を B 相と呼ぶ。後に CMN を利用した断熱消磁冷却により、Wheatley のグループが圧力 12~36 bar、温度 2.0~2.6 mK の領域の相図を明らかにした。比熱測定は、正常相 → A 相が分子場的 2 次相転移であることを示している。A 相は NMR のシフトがあり、帯磁率は正常値。NMR シフトは、triplet pairing の証拠であることが Leggett によって指摘された。B 相はシフトがなく、帯磁率は正常値の約半分。正常相 → A 相の転移点は磁場を加えると 2 つにスプリッ

トする。これは、A相が<sup>3</sup>PでS<sub>Z</sub>=±1のpairing(ESP)であるとして説明できる(Ambegaokar-Mermin)。更に磁場によって3つ目にわれることの理由は不明。零音波の測定によれば、減衰係数はA転移の直下でピークを示し、周波数が高いほど鋭い。これについては、Wölf, 真木の理論がある。超流動性については、Lounasmaaのグループが粘性を振動法で融解曲線に沿って測定、A点で減少はじめ、B相ではA点の10<sup>-3</sup>倍に落ちることを示した。またWheatleyらは熱流測定を行ない、2流体モデルでうまく説明できることを示した(なお、最近WheatleyらはA相でもB相でも第4音波が存在することを示した—中嶋付記)。A相でtriplet pairが実現する理由としてパラマグノン効果が重要であることは中嶋Anderson-Brinkmanが指摘、後者はさらに<sup>3</sup>PのうちでもESPが実現されることも、パラマグノンで説明できることを明かにした(単純なBCSモデルだと、<sup>3</sup>PならJ=L+S=0のBW pairが最も安定—中嶋付記)。また、有効交換相互作用をふくむモデル・ハミルトニヤンについて、NMRの精密な理論が真木-海老沢、高木によって与えられている。B相の正体については、宗田-山崎が<sup>1</sup>D pairであると提案している。一方、A相は<sup>3</sup>F pairであるとする。有効相互作用を適当にとってA点、B点の温度を合せ、NMRシフトや帯磁率がうまく説明できる。

『コメント』 黒田義浩

Anderson-Brinkmanのパラマグノン効果の理論は、RPAの範囲で、一般的な形で定式化できる。彼らの表式には誤りがあり、また彼らの無視した1粒子グリーン関数のエネルギー・くり込み因子が重要な役割を演ずる。詳しく解析してみると、彼らの結論とはちがって、まず<sup>3</sup>P-ESP状態への2次の相転移がおこり(A相)、さらに低温で<sup>3</sup>P-BW状態へ転移のおこる可能性が十分ある。つまり、B相はBW状態ということになる。パラマグノン効果が圧力に敏感であることを考えに入れると、Wheatleyらのえた相図が、この立場でうまく説明できるものと考えられる。

(以上 中嶋貞雄)

## 「遷移金属化合物，特に酸化物の電子構造と物性」

東 大 理 飯 田 修 一

この研究会は11月26～28日の3日間にわたって物性研で開かれた。世話人は飯田修一（東大理），可知祐次（京大理），近桂一郎（早大理），守谷亨（東大物性研）である。この会が開かれた事情については、遷移金属化合物、とくに酸化物の電子構造と物性は最近世界的に興味の中心となっており、V-O系；Ti-O系の金属-非金属遷移を中心とする電子構造の急変や、磁性半導体における磁気結合の起源、dバンドに伴う電子的性質等は、その完全解明の待たれる焦点となっている。本年度からわが国で、この問題に対し総合班が組織され実験的研究が始まられつつあるが、これに呼応して研究の現状を理論的並びに実験的に把握し、研究の方向を定めるための短期研究会を開くことは非常に有意義であると考えられた。従って、以上の方針のもとに今回の研究会は特に我が国で実験的研究を行なうについての指針を得ることに重点を置き、実験遂行に直接的に関係しない理論討議は別の機会とし、Physicsの理解とその不明点を明確にして、今後の研究によりその解明を計るよう留意した。この点については理論的研究の重要性を無視したかの如くに受け取られた理論的研究者の方もあったやに聞いているが、僅かの日時に限って行なわれる此の種の研究会で、会が散漫に流れることなく、有意義であるためのやむを得ないものと御了承戴きたい。世話人としての感想で言えば、そうした上でもなお議論の焦点が相当多岐に亘り、多少の散漫化が避けられなかったように感じている。しかし、たとえば第一日目の理論的講演等、数式の使用を最小限として、物理的内容の提起に重点をおいた、実験家にも十分理解できる良い内容のお話しがあり、会の目的としたところは可成り達成できたと感じている。

さて、プログラムは

11月26日（月）

1), 磁性化合物の金属-絶縁体転移と電子相関 — 遷移金属化合物を中心として

守 谷 亨 (物 性 研)

2), 磁性化合物の金属-絶縁体転移と電子相関 — 稀土類化合物を中心として

糟 谷 忠 雄 (東 北 大 理)

3 a ), V-O系酸化物の金属-絶縁体転移と構造変化 可 知 祐 次 (京 大 理)

3 b ), パナジン酸化物 ( $V_2O_3$ ,  $V_4O_7$ ,  $V_7O_{13}$ ) の NMR

小菅皓二 (京大理)

4), 遷移金属化合物での陽電子消滅

津田惟雄 (無機材研)

11月27日(火)

5),  $Fe^{2+}$  を含む磁性酸化物の巨大磁歪

片岡光生 (東北大金研)

6), マグネタイトの低温相

近角聰信 (物性研)

7), マグネタイトの「金属-絶縁体転移」

飯田修一 (東大理)

8), マグネタイトの低温変態

木野幸浩 (松下東研)

9), 規則型ペロブスカイト酸化物の磁性と伝導

野村昭一郎 (東工大工)

10),  $SrRuO_3$  などの磁性

宮原将平 (北大理)

11), 光吸収からみた  $CuFeS_2$  の電子構造

寺西暎夫 (NHK基礎研)

12), Mn-フェライト-マグネタイト系およびクロマイトの NMR

平井 章 (京大理)

13), 衝撃波超高压下における遷移金属酸化物の物性測定

庄野安彦 (東北大金研)

14),  $Mn^{2+}$  化合物中の直接交換相互作用

石川義和 (東北大理)

15),  $ZnCr_2Se_4$  : Mn の磁性と Mn-Cr, Cr-Cr 間相互作用

白鳥紀一 (阪大理)

11月28日(水)

自由討論会

Prepared talks

16), NiO 中の陽電子消滅

千葉利信 (無機材研)

17), 強磁性  $FeBO_3$  の光吸収の微細構造及びラマン散乱

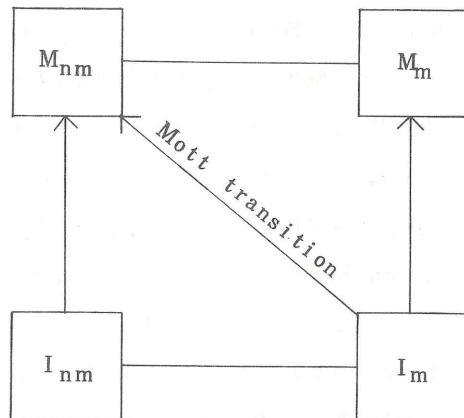
平野正浩 (電総研)

18), アルカリ土類フェライト, コバルタイトの磁性と伝導 渡辺 浩 (東北大金研)

である。ただし各講演には複数の研究者の名前の出ているものもあるが、ここでは講演者の名前だけを示す。

さて各論に入ると、各講演者に対し物性研より用として予めアブストラクトの提出をお願いしておいたのであるが、物性研よりの原稿締切日を遙かに過ぎても戴けない場合もあり、御講演を特にお願いしている事情のある場合などもあって、本稿ではアブストラクトを提出戴いた分についてのみ、原講演者のオリジナルで示すこととし、他については飯田が多少の説明を加える程度にして報告する。後者については文責は全く飯田にあることを御承知おき願いたい。

第1日目の第一セッションは守谷氏及び糟谷氏の理論的展望を中心とした討議であった。守谷氏は  $\text{ReO}_3$ ,  $\text{RuO}_2$ ,  $\text{CuS}_2$ ,  $\text{MoSe}_2$ ,  $\text{NiSe}_2$ ,  $\text{TiO}$ ,  $\text{VO}_2$ ,  $\text{Ti}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CrO}_2$ ,  $\text{CoS}_2$ ,  $\text{CoSe}$ ,  $\text{NiS}$ ,  $\text{V}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NiS}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnF}_2$  といった広汎な化合物と, intraatomic correlation energy  $U$  と, band width  $W$  の比  $U/W$  をパラメーターとして分類し, metal  $\leftrightarrow$  insulator の性格分類を半定性的に示した。更に Hartree-Fock 理論で取扱った場合の問題点等を論じて、スピンドラクチュエイションを考慮した approach の現状を説明したが、理論の現状としては、まだ実験結果を俟って説明ができるというような状態ということで、実験家を安心させるものであったように感じた。又実験家に対して系統だった実験の企画、遂行をという要望を出された。糟谷氏は大変基本的な第一原理よりの話を展開した。原子、分子といった根本要素より出発し、localization と magnetism の発生、消滅といった形で、金属、非金属転移を捕えようと云った形である。M を metal, I を insulator, m を magnetic, nm を nonmagnetic として、右の図式が示され、excitonic phase にもかなりの議論をさかれた。議論としては相当お話し的なものであったが、一つの面白い統一的物理像であろう。



以上お話としては色々面白く、完全に理解できた訳ではないけれども、われわれの対象に対する理論の現状を示すものとして講演の後活発に討論がなされた。しかし、それでは何の実験をすればよいかという点になると、明確な結論は存在していないようであって、理論と実験の十分な協力体制は、こうした研究会を一回持つ程度では、まだまだ困難であると感じた。

次のセッションはわが国が結晶化学的に世界の最前線にあると考えられる V-O 系を中心とする討論である。その内容は

### 3a), V-O 系の金属-絶縁体転移と構造変化 可知祐次（京大理）

$\text{V}_2\text{O}_3 - \text{VO}_2$  間には  $\text{V}_n\text{O}_{2n-1}$  ( $n = 3 \sim 9$ ) で表わされるマグネリ相とよばれる一連の化合物があるが、これらは金属絶縁体転移 (M-I 転移) を示したり、低温まで金属的 ( $\text{V}_7\text{O}_{13}$ )

であったりする。これらは

- (1) 金属相の $\chi$ は Curie-Weiss 型で局存モーメントを持つ。
- (2) M-I 転移と磁気転移が分離し低温ではすべて反強磁性 (Ground state) である。
- (3) 金属相の電子比熱 $\gamma$ が著しく大きい。

などの特性を持ち、電子相関が強く、転移は Mott 転移に近いものである。

これらは常温(金属相)で、酸素欠損原子面による積層欠陥の規則配列による反位相構造(ルチル格子を基礎とする)をもっているが、転移に際し、電荷の局在化とルチル格子のc軸に沿った原子列にイオンの pairing がおこる。

これは X-ray, NMR,  $\chi$ , resistivity の挙動に反映している。

3b), バナジン酸化物 ( $V_2O_3$ ,  $V_4O_7$ ,  $V_7O_{13}$ ) のNMR 小菅皓二(京大理)

バナジン酸化物には、金属-非金属転移 (M-NM) を示すことで有名な  $V_2O_3$ ,  $V_2O_4$  の他に  $V_nO_{2n-1}$  ( $n=3, 4, \dots, 9$ ) で表わされる一連の化合物があり、いろいろ興味深い物性を示す。ここでは、安岡氏により Bell Lab で行なわれた研究を中心として、 $V_2O_3$ ,  $V_4O_7$ ,  $V_7O_{13}$  のNMRの結果が紹介された。 $V_2O_3$  は  $170^{\circ}K$  で M-NM 転移を示し反強磁性となる。N-NM 転移点 ( $T_t$ ) 以上では、ナイト・シフトは大きな温度変化を示し、磁化率の測定と組合わせると、約  $2\mu_B$  の磁気モーメントをもつことが示された。しかしながら、圧力により  $T_t$  をヘリウム温度に下げて、NMRを測定した結果パラの位置に吸収がみえることから、ヘリウム温度でも磁気的配列を生じていないという実験結果は非常に奇妙ではある。 $V_4O_7$  は約  $250^{\circ}K$  に  $T_t$ 、約  $40^{\circ}K$  に  $T_N$  をもつ。 $T_t$  以上は 3 本の吸収、 $T_t$  と  $T_N$  の間では、 $V^{4+}-V^{4+}$  pair のものと思われる 1 本の吸収 (non-magnetic site),  $T_N$  以下では、 $V^{4+}-V^{4+}$  pair のものと思われる吸収 (内部磁場  $1.7\text{ kOe}$ )、約  $1\mu_B$  をもつと思われる site からの 2 本の吸収 (各々  $70.1\text{ kOe}$ ,  $78.4\text{ kOe}$ ) がみられた。 $T_t$  以上の 3 本の吸収はともに、 $S = \frac{1}{2}(d^1)$  と  $S = 1(d^2)$  の中間状態に対応するようにみえる。また、 $V_7O_{13}$  は、全温度領域で金属的であり、約  $50^{\circ}K$  で反強磁性になる。したがって、 $V_7O_{13}$  は反強磁性状態においても金属的な最初の酸化物と考えられる。 $T_N$  以上では 3 本の吸収がみえる。これらの吸収は  $V_4O_7$  の場合と同様、 $S = \frac{1}{2}$  と  $S = 1$  の中間状態に対応する。 $T_N$  以下では、NMR の signal は観測出来ていない。

このように、酸化バナジウムは非常にバラエティに富んだ変化を示すが、現存の理論ではどうてい説明出来るものではない。

4), 遷移金属化合物での陽電子消滅 津田惟雄・千葉利信・君塚 昇(無機材研), 野口正安(原研), 可知祐次, 小菅皓二(京大理)

$V_2O_3$ ,  $WO_3$ ,  $ReO_3$  等における陽電子消滅の実験により次のような事を見い出した。(1)消滅確率は金属-絶縁体転移でかわらない。即ち金属側で大きくならない。(2)多結晶  $WO_3$  と  $ReO_3$  の角度相関の形は殆んど同じで,  $ReO_3$  のそれがやや巾が広い。(1)については既に報告がある。

以上の事から, 酸化物では金属状態でも, 値電子の電子分布状態は絶縁体のそれと同様で, イオン結晶と考えるのが妥当で, その値数は化学的な値数であると思われる。さて, そのようなイオン結晶では, 酸素の 2s, 2p 電子の波動関数は陽イオンの値数により大いに影響され, 2s 電子は相当に外に拡がっているものと思われることを,  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_3$ ,  $WO_3$  による角度相関の結果から示めした。金属-絶縁体転移でも波動関数の僅かな変化を具体的に考慮に入れる必要があるのではないだろうか。

などである。討論は大変活発に行なわれ, 特に我が国で, 世界的にみて最高水準の結晶の得られる数少い例として, 結晶試料を送って戴いて協同研究する可能性等も論じられた。理論的研究は甚だナイーヴな状態にあり, 我が国の理論家の中心も, こうした具体的な結晶の問題に迄関心を持つ人の出ることが望まれる。

次のセッションは最近問題になって来た  $Fe_3O_4$  の電子相転移に関するものであって, 筆者の研究室では昨年来この問題を組織的に研究解明することを決意した事情もあって, もっとも活発に討議の行なわれたセッションの一つになった。まず  $Fe^{2+}$  の酸化物中の電子状態の理論に関するものとして片岡氏の講演があった。

5),  $Fe^{2+}$  を含む磁性酸化物の巨大磁歪 片岡光生(東北大金研)

$Fe_2TiO_4$  において見出されている, (i)巨大磁歪( $(c-a)/a = 7.5 \times 10^{-3}$  at 77 K), (ii)低温における異常に小さな( $C_{11} - C_{12}$ ) ( $\sim 1.8 \times 10^{11}$  dyne/cm<sup>2</sup>), (iii) 正で且つ大きい磁気異方性定数  $K_1$  ( $\sim 10^7$  erg/cc in  $Fe_{2.32}Ti_{0.68}O_4$ ) 等の異常性はスピネル構造の A 位置  $Fe^{2+}$  イオンの Jahn-Teller 効果と B 位置  $Fe^{2+}$  イオンのスピン-格子相互作用の双方を考慮することにより説明出来ることを示した。B 位置における dσ-軌道の trigonal

nal field による分裂が小さいことによる比較的大きなスピン-格子相互作用が A 位置の  $d\gamma$ -軌道での Jahn-Teller 歪の方向を決定していることの可能性を指摘し、この時 Jahn-Teller 歪そのものがあたかも巨大磁歪の如くふるまうことを示した。 $(C_{11}-C_{12})$  の温度変化が計算され、 $T_N$  以上での大きな softening はスピンの反強磁性的秩序によって隠された協力的 Jahn-Teller 効果によるものであることが示され、低温でこの値が小さいことの原因は A 位置の  $d\gamma$ -軌道に帰せられることが示された。磁気異方性エネルギーは Jahn-Teller 歪が B 位置に低対称の結晶場をひき起こすことにより生ずることが示された。また A 位置での電子状態のゆらぎは  $T_N$  以下で比熱に寄与することも指摘された。

この理論のあとで、 $\text{FeO}$  に存在すると指摘されている  $10^{-3}$  の磁歪現象との関連が問題になったが、議論が十分噛み合うところ迄ゆかなかった。後程示されるように  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  の問題点の一つはその distortion であって、octahedral site 中の  $\text{Fe}^{2+}$  の電子状態の理論的研究の進展が望まれた。

次の講演は近角氏による  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  の低温変態後の構造に関するものであって、同研究室の電子回折及び電子顕微鏡による研究は  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  の低温構造が Verwey order では説明できないことを示した幾つかの実験結果中重要な一つとなっているものである。

7), マグネタイトの低温相      近角聰信・千葉公二・松井正顕・秋光 純・東堂 栄(物性研,  
\* 日本ピクター)

マグネタイトが 119 K で変態を起し、結晶が cubic からより低い対称性へ変形することはよく知られた事実であるが、従来それは Verwey が提唱した B site での  $\text{Fe}^{2+}$  と  $\text{Fe}^{3+}$  が交互に c 面を占める規則配列で説明されて来た、変態に伴って比熱の鋭い peak, 電気抵抗, 自発磁化の不連続な跳びが現われる。磁化の跳びに関しては、変態に伴って非常に大きな異方性が現れ飽和が不完全になるためと考えられていたが、最近の我々の実験によると、少くとも <110> 方向は若干の磁化の跳びが残ると思われるふしがある。結晶の対称性に関しては、Rooksby と Calhoun が X 線による測定から前者は rhombohedral, 後者は orthorhombic 説をとつて争った末結局 Calhoun の説が通ったという歴史がある。また Verwey order からは中性子回折で (002) の反射が出ることが期待されるが Hamilton

によってそれが確かめられた。しかし最近になって、電子回折、中性子回折で  $c$  軸方向に unit cell を 2 倍にしたような構造を示す extra spot が発見され、また Mössbauer spectra で内部磁場の異常に小さな鉄イオンの存在が見つかるなど、Verwey order に修正を加えねばならないような事実が出て来た。我々は電子顕微鏡による双晶構造の観察から、結晶は orthorhombic ではなくて rhombohedral に極めて近い triclinic であると考え X 線によってもそれを確かめた。 $(100)$  面の薄片試料で見られた双晶構造の電子顕微鏡像では、 $c$  軸を共通にする二つの双晶群の接続がみられる。fig. 1 はそれを見やすくするために図式的に画いたもので、二つの  $c$  軸は直交しており双晶境界は  $c$  軸に平行か、直角か、 $45^\circ$  の三通りになっている。これは円錐形の矢印で示した rhombohedral distortion を考えると極めて無理なく説明することが出来る。field cool することにより  $c$  軸を一方向にそろえることが出来るが、それでも双晶はとれない。 $[001]$  方向に field cool した場合、それに対して平等な 4 つの  $<111>$  方向を rhombohedral axis とする相が出来るわけで、Calhoun のいうように  $[001]$  方向から  $(110)$  面内に  $40^\circ$  方向を傾けて field cool しても、 $(100)$

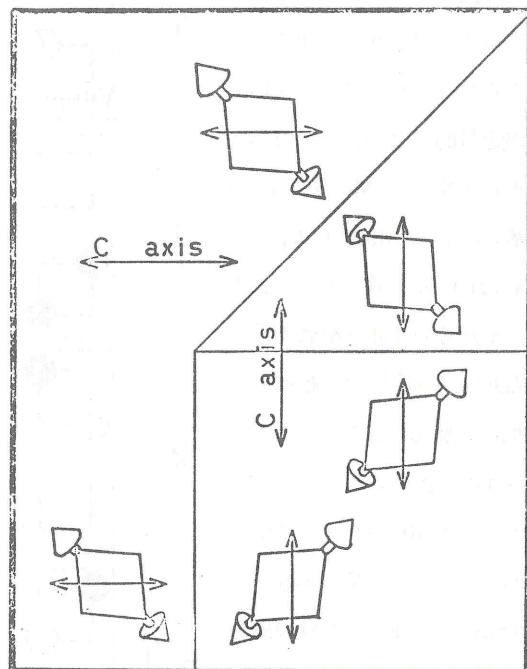


fig. 1

面内に rhombohedral axis をもった二つの相による双晶構造はとれない。このような双晶構造をもった結晶ではトルフを測っても平均化されて orthorhombic な性質しか示さない。我々は何とかして相を分離してトルクを測定することを考えている。

最後に最近我々が行なった偏極中性子回折の結果を報告する。我々は結晶が rhombohedral に極めて近いこと、cubic の 2 倍の周期構造を示すことの二つの事実から Verwey order を modify した或イオン配置を想定していたが、それから  $(200)$  の反射が出ることを予想して実験を行なった。 $(200)$  は Verwey order からは絶対に出ない反射である。実

験は結晶を [001] 方向に field cool し、(001) 面内に counter を回転させて測定した。structure factor は Hamilton の出した式を使って (400) 及び (220) の Polarization ratio が計算値と合うように, exponential extinction parameter と effeteive polarization をいろいろ変え best fit する値を探して extinction の補正を加えた。特に (200) についてはあらかじめ  $\frac{1}{2}$  contamination を測定して補正を加えた。Model I は初めに想定していたイオン配置であるが (200) が出るという点では定性的に合っているが定量的にはあっていない。そこで我々は Model I を基本にして Model II, Model III を作った。fig.2 にそれ等のイオン配置を示す。黒丸は  $\text{Fe}^{3+}$  でその他に一重丸、二重丸、三重丸、 $\times$  点といふいろ区別されているが、それ等は Model I では全て  $\text{Fe}^{2+}$  である。Verwey order は  $\text{Fe}^{2+}$  だけの層と  $\text{Fe}^{3+}$  だけの層の積み重ねで出来るが、Model I は Verwey order で 4 個の同種のイオンの中 1 個を他のイオンで置き換える、且つ Anderson の restriction と結晶が rhombohedral に近いということを考慮しながら順次置換を行なってゆくと出来上がる。Model II は Model I で出来た隣接  $\text{Fe}^{2+}$  の間で  $\frac{1}{2}$  個の電子を片方に移動させると出来上がる。

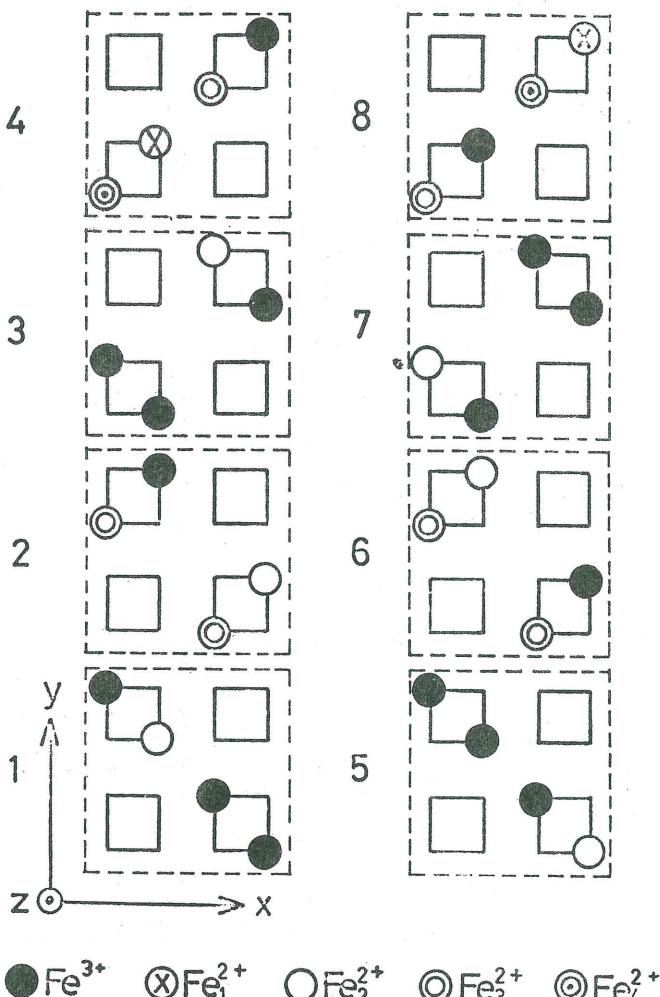


fig.2

従って、Model II では一重丸は  $\text{Fe}^{2.5+}$  となり、二重丸、三重丸、×点は  $\text{Fe}^{1.5+}$  となる。Model III では Model II で出来た c 面内で隣り合う  $\text{Fe}^{2.5+}$  と  $\text{Fe}^{1.5+}$  の間で  $\text{Fe}^{2.5+}$  から  $\text{Fe}^{1.5+}$  へ更に  $\frac{1}{2}$  個の電子を移動させる。但し pair は 4 カ所に出来るが、その中 2 カ所でだけ移動を行なう。従って Model III では初めあった  $\text{Fe}^{2+}$  が  $\text{Fe}^{1+}$ ,  $\text{Fe}^{1.5+}$ ,  $\text{Fe}^{2.5+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  と 4 種類に分れる。図中 × 点は  $\text{Fe}^{3+}$ , 三重丸は  $\text{Fe}^{1+}$  である。Model I, II では結晶はわずかに orthorhombic distortion が加わった rhombohedral になり、Model III では結晶は完全に rhombohedral になることが期待される。これは X 線の結果とよく一致する。ここで興味あることは結晶の deformation は rhombohedral であるが、イオン配置の対称性は rhombohedral ではないことである。Model II では 1.5 値の Fe イオンが出来ており、Hargrove 等が Mössbauer で見出した異常に内部磁場の小さい Fe イオンの存在と対応している。また Model III では 1 値と 1.5 値の Fe イオンが 1:3 の割で出来ており、Rubinstein が spin echo と Mössbauer から内部磁場の小さい Fe イオンが更に 2 種類に分れると結論していることうまく説明できそうである。

このモデルでは  $\text{Fe}^{1+}$  といった今迄酸化物で考えられたことのない価数を設定しなければならない点等に議論があり、それは特に強く主張する訳ではないこと、中性子回折の結果はこんなに色々解釈を変えることができるものであるということを初めて知ったとか笑い話もあり、一つの提案に過ぎないことになったと考える。

続いて筆者がその  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  の電子相転移の組織的研究の第一報に相当する最近の研究成果を述べた。

8), マグネタイトの「金属-絶縁体転移」 飯田修一・山本真伸・梅村鎮男・植木昭勝(東大理)

筆者の研究室では  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  に対する宮原義一君の研究や  $\text{V}_2\text{O}_5$  系の研究等、鉄族化合物の示す電子相関相転移の研究に深い興味を持っていたが、昨年来  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  の電子相転移を解明す

ることを決意した。その理由は

1), 最も卑近な鉄族化合物  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  に疑問の存在することは磁性物理学上看過出来ない重要な事項である。

2),  $\text{Fe}^{2+}$  は  $\text{Fe}^{3+} + \text{e}^-$  であり、もっとも理論的に取扱い易いイオンに属する。そして  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  の  $119^\circ\text{K}$  の電子相転移は急激な電気抵抗の上昇、結晶歪の発生等、V-O, Ti-O系等にみられる電子相転移と性格的に全く同じものを持ち、この解明により Mott transition 全体を解く鍵が得られる可能性がある。

3),  $\text{Co}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ ,  $\text{Mn}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4 - r\text{Fe}_2\text{O}_3$  等の研究を通じ、筆者の研究グループは豊富な実験成果があり、この問題の解明に正面攻撃を掛け得る世界的にも最適の研究グループと考えられる。

4),  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  は原料費の最も安い化合物であると共に、筆者のグループが維持している日本電気開発のハロゲン・ランプ使用光像式ゾーン純化単結晶作成炉により、最高質の単結晶が作成されることが判った。

などである。解明の意味は何も筆者のグループすべてを終えるという意味ではなく、世界的に判ったと皆が思う迄、少くともわれわれのグループは努力を続けるという意味である。

$\text{Fe}_3\text{O}_4$  の研究は既に何十年かの歴史のあるものであって、研究方針は従って機構の解明に向って、より高精度の、より注意した実験を遂行することである。まず自作の単結晶を  $1 \sim 5 \mu$  程度に粉粹した試料について、重量法により酸化の進行が調べられ、10日で 2% 程度  $r\text{Fe}_2\text{O}_3$  の方向に進む（酸化度だけの意）ことが判った。X線用の試料は、この種の粉末試料を真空水晶管中に 0.3% の酸素を取る鉄粉と共に封入し、 $1000^\circ\text{C}$  で anneal したもの用いた。この処理により、常温のX線ラインは非常にシャープになる。すべてのX線結果は常温で cubic な結晶は、液体窒素温度で rhombohedral になり、 $\langle 111 \rangle$  の一つの方向に 0.2% 伸びることで説明される。ただしたとえば {800} ラインは低温で常温より著しく拡がるから、0.03% 前後の更に附加的な distortion が存在することも確実である。strain gage を使用した低温での磁歪測定を (110) 面に行なった結果、上の rhombohedral distortion に加うるに、磁化  $\mathbf{M}$  の方向に 0.03% 伸びるとするモデルが提出された。〔この結果は、しかしその後の再実験によって未だ確証されるに至らず、 rhombohedral よりの結晶の変形は、未だ確定したと言えないことを附記する。〕又〔001〕方向の飽和磁化の精密測定が行われ、0.03% の精度で、磁化は変態点で変化しないことが確認された。このことは電子の有効磁子数と、磁気能率間の交換相互作用が、上の精度の範囲内で変

化していないことを示すもので, band picture による記述に有利な材料でないことは確かであろう。更に電気抵抗の測定により,  $119^\circ$  附近に  $10^2$  以上の鋭いジャンプが確認された。更に水晶管を合せることによって, 熱膨脹的に結晶の [111] 方向に tensile stress を加えて電気抵抗を測定する実験が遂行され,  $4^\circ/\text{min}$  程度の cooling 及び heating curve に, 変態の高温側に鋭い数回の電気抵抗値の oscillation を発見した。更に臨界現象測定用の特殊銅ブロック容器を使用して,  $0.2^\circ/\text{min}$  程度のより遅い cooling 及び heating の測定により, この振動は  $0.3^\circ\text{K}$  程度の巾の鋭い 2 倍以上の値を持つ A 型の電気抵抗のピークに変化し, reversible に観測された。この電気抵抗の新らしいピークの原因は今のところ不明であるが, critical phenomena の一種ではないかというモデルが提出された。即ち変態の高温側で short range が just nucleate して long range に変る直前で, 最初 random nucleus の発生と共に電気抵抗は増大するが, ある程度の成長と共に ordered phase の電気抵抗は減少し, 一方 nucleus 間の boundary には十分多数個の shallow level の electron が存在していて, tensile stress が一方に向かって与えられている時に限り, これらが cooperative に conduction に寄与するという考え方である。この multistep transformation の発見は, Bratell 等の不純物混合  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  の bifurcated nature と関連するかどうかは明確でないが, 温度範囲が後者は余りにも広いことが指摘される ( $10^\circ \sim 20^\circ$ )。電気抵抗以外にも変態点における物性変化の直接観測の実験はその後も進行して居り, 変態が single step でないことは明らかであって, stress 及び磁場の印加により, 自然状態では存在しない新らしい電子状態が  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  に create される可能性が出て来ていることが指摘された。同様の可能性は V-O 系, Ti-O 系にも予想されるのである。

統いて木野氏より  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  の低温での詳細な音速測定の結果が述べられた。

### 8), $\text{Fe}_3\text{O}_4$ の低温変態 木野幸浩 (松下技研)

$\text{Fe}_3\text{O}_4$  の比熱と音速の温度変化の測定結果の報告である。 $\text{Fe}_3\text{O}_4$  の試料は, 東大物性研近角先生より提供されたもので, 成分鉄の純度は 99.9 %, 質の非常によい単結晶である。比熱の測定は交流法で  $77^\circ\text{K}$  から室温までの温度範囲で測定した。比熱測定に使用した試料のサ

イズは、直径約 2mm  $\phi$  厚み 80  $\mu$  である。交流法での最適交流周波数は 3 ~ 4 サイクルであった。低温の結晶転移温度はヒステリシスをしめし、温度を上昇する時は 118.9°K、下降の時は 118.3°K であった。転移点及び近傍の比熱のピークの温度幅は非常にシャープで、その部分で約 1°K 以内、半幅値は 0.1 ~ 0.2°K であった。転移熱は  $5.25 \pm 1.0 \text{ cal}/\text{maJ}$  と推定できた。転移点での比熱のピークのシャープさは、今まで報告されている比熱のピークと比較すると大幅に異なっている。更にピークを観測中に突然の異常変化がある。これは試料が交流的に熱振動している振幅に乱れが発生しており、オッショグラフ上に観測できた。この乱れは、この転移が一次転移でおこっていることに起因していると思われ、今後の実験で明らかにされることが期待される。音速測定は位相差比較法でおこなった。トランスデューサーは 10 MHz 共振の Quartz 板に金メッキしたもので、試料への圧着はシリコンオイル SH-200 番ストローク 75 を使用した。 $\text{Fe}_3\text{O}_4$  の低温転移は比熱の測定結果からも明らかであるように 1 次転移で転移幅も非常にせまいので、ポンディングのオイルの選択は非常に重要であった。更に音速測定に注意すべきことは domain scattering の効果を除くために、10 K gauss 磁場中で次の条件のもとでおこなった。shear wave の音速については、

$$(\omega^2 - v^2 k^2) (\omega^2 - \omega_m^2) = \sigma \gamma H_i v^2 k^2$$

の coupled mode については、magnetization の方向と shear wave の分極方向が平行、

$$(\omega^2 - v^2 k^2) (\omega^2 - \omega_m^2) = 0$$

の uncoupled mode については、magnetization の方向と shear wave の分極方向が垂直の場合について測定した。上の式で  $\sigma$  は相互作用の強さを表わす量であり、 $\omega_m$  は spin-ware の周波数である。尚、 $v$  は音速で実際には phase velocity と group velocity は等しいとおいている。音速の温度変化は次のように現われた。cubic の弾性常数に関する縦波の  $C_{11}$  と横波の  $C_{11} - C_{12}$  に関する音速を除いて、他の音速はすべて室温から転移点に近づくにつれて減少、すなわち結晶が soft 化していることをしめた。中でも  $C_{44}$  に関する音速の変化の減少分は著しく大きく、室温を基準にすると転移点まで凡そ 11% 減少する。全ての音速は、転移点でジャンプして大きくなるように変化する。中でも  $C_{44}$  のジャンプはもっとも大きく、約 7% であった。この弾性常数  $C_{44}$  が soft になるのは、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$  の低温相が  $<111>$  軸を中心とする orthorhombic か trigonal か、あるいは今回の研究会で討論された rhombohedral の相への結晶転移をおこなうことと consistent である。現在までの音速の変化分を strain にあてはめて結

晶変態を定量的に説明することは未だ危険である。なぜならば、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$  の低温変態は磁場中で転移点を通過して冷却されると影響をしめすことと magneto-elastic coupling constant の温度依存性が未だよく解明されていないことなどの理由に因る。そのため今後の実験として、磁場の強さや方向依存性などの詳細な音速の変化の測定が必要であろう。

木野氏の報告の中にも、先の multistep transformation の trace に相当する結果がみられた。この報告により、先に Bratel 等の報告した比熱測定の bifurcated nature は、少くとも  $10^\circ\text{C}$  といった広い巾のものはないことが明らかになった訳である。

以下の講演についても多少の説明を加え乍ら、記載する予定でいたが、既に頁数が相当になり、又著者が十分覆っているとも言えない領域も含まれるので、各講演者のアブストラクトを掲載するだけに止めさせて戴く。

9), 規則型ペロプスカイト酸化物の磁性と伝導 野村昭一郎(東工大工)

規則型ペロプスカイト酸化物  $A_2(\text{BB}')\text{O}_6$  において、Bのみが磁性イオンであるときの磁気整列は長距離超交換相互作用によりおこり反強磁性体となる。相互作用の大きさは単純酸化物の  $1/10$  程度である。

B,  $\text{B}'$  が共に磁性イオンである場合にはフェリ磁性を示すものが多いが、 $\text{Sr}_2(\text{FeMo})\text{O}_6$ ,  $\text{Sr}_2(\text{FeRe})\text{O}_6$  などは金属的な導電性を示す。これらの物質においては、鉄イオンは  $\text{Fe}^{3+}$  の電子状態にあることは Mössbauer 効果の実験により確認することができる。金属的な導電性とフェリ磁性の共存は  $\text{Fe}^{3+}[(3d)^5] - \text{O}^{2-} - \text{Mo}^{5+}[(4d)^1]$ , または  $\text{Fe}^{3+}[(3d)^5] - \text{O}^{2-} - \text{Re}^{5+}[(5d)^2]$  により作られる  $\pi$ -バンドにより定性的に説明することが可能である。

$\text{Pb}(\text{Fe}_{2/3}\text{U}_{1/3})\text{O}_3$  は  $\text{Pb}([\overrightarrow{\text{Fe}}_{1/2}][\overleftarrow{\text{Fe}}_{1/6} + \text{U}_{1/3}])\text{O}_3$  のようなスピン配列をしたフェリ磁性体であるが、イオンの規則配列は完全でなく、Anti-phase domain の存在が期待される。X線の超格子回折線の強度分布、磁化曲線の磁場依存性から、domain の大きさは  $200\text{ \AA}$  程度と推定される。

12), マンガンフェライト系のNMRとFMR 平井 章(京大理), 渡部真行(大府大工), 久保武治(奈教大)

マンガンフェライト系は極めて複雑な系であるが,  $Mn^{2+}$ (A),  $Mn^{3+}$ (B) に対応する非常に強いNMR信号が検出されるので, これとFMRとを組み合せて,

- (1)  $Fe^{2+} \leftrightarrow Fe^{3+}$  の hopping の問題
- (2)  $Mn^{3+}$ (B) の動的な Jahn-Teller 効果  
を調べた。

12)', クロマイトのNMR 平井 章(京大理), 津田俊信(埼玉大教育), 阿部 久(名大教養)

クロマイトの低温におけるスピントリニティ構造は非常に複雑である。 $MnCr_2O_4$  と  $CoCr_2O_4$  につき,  $Co^{59}$ ,  $Mn^{55}$  及び  $Cr^{53}$  の共鳴周波数の外部磁場依存性を 50kOe迄詳しく測定し, それより得られる cone angle についての知見を議論した。

15),  $ZnCr_2Se_4$  の磁性とMn-Cr, Cr-Cr間交換相互作用 白鳥紀一(阪大理), 河西俊一・田崎 明(阪大基工)

cubic な正スピネル  $ZnCr_2Se_4$  は 20K 以下でスクリュー型スピントリニティ構造をとる。我々は以前この物質の磁気共鳴を観測し, 静磁気的測定と組合せて  $k=0$ ,  $\vec{k}_0$ ,  $2\vec{k}_0$  ( $\vec{k}_0$  はスクリュー構造を表わす波動ベクトル) での交換相互作用定数を決定した。Cr間相互作用はかなり遠隔的である。また, Zn を Mn で置換した系の結晶化学的, 磁気的測定によれば, A位置の Mn と B位置の Cr との間の交換相互作用は全体として強磁性的である。これはスピネル型絶縁体では極めて珍らしい例である。

我々は微量の不純物を含むスクリュー磁性体の磁性を調べることにより, パラメーター物理として Mn-Cr, Cr-Cr間の交換相互作用定数をなるべく定量的に決定することを当面の目標とする。そのためにはまず基底状態がどの様に変化するかを調べる必要がある。多結晶については磁気測定の他 J. Sakurai により 5, 10% Mn についての中性子回折が行なわれ, スクリューのピッチの濃度, 温度依存性が調べられている。現在種々の濃度の単結晶を作成中で, 0%, 2%についても磁化率とトルクの測定が行なわれた。

一方, Cr-Cr相互作用が Mn の置換によって影響を受けないと仮定し, Mn-Cr相互作用がそれに比べて小さいとして摂動で扱って, Mn の導入の効果を調べている。最終的な結果

はまだ得られていないが、今迄に得られた実験結果と比較すると、Mn の導入によって Cr-Cr 相互作用が変化し、また Mn-Cr 間の交換相互作用の距離依存性と Cr-Cr 間のそれとはかなり似ている様に思われる。もしも後者が本当であれば、陰イオンの価電子帯を通しての超交換相互作用というイメージと考えあわせて大変興味深い。

16), NiO 中の陽電子消滅 千葉利信・津田惟雄(無機材研), 野口正安(原研)

NiO 単結晶の角相関曲線が [100], [110], [111] の 3 方向について測定された。結果には最大 3% 程度の小さいが系統的な異方性が見られた。この異方性の傾向は、孤立 ion model で Ni の 3d 電子が  $(d\epsilon)^6 (dr)^2$  であるという事でかなり説明できる。しかし、波動関数の tail の振舞いを強く反映する小さい運動量の部分(角相関曲線の中心部)での異方性は、上の簡単な model から期待されるものとかなり違っている。この点に着目して  $d\epsilon$ ,  $dr$  の動径波動関数の拡がりの違い、酸素 ion との covalency 等を議論した。今後より系統的に研究を進めれば、陽電子消滅法は化合物中の電子状態の拡がり、異方性等を直接的に調べる測定手段として有効なものとなる事と思われる。

17), 弱強磁性体 FeBO<sub>3</sub> の光吸収の微細構造及びラマン散乱 対馬立郎・平野正浩・腰塚直己・奥田高士(電総研田無), 梅村 茂・宇田川真行(早大理工), 夏目雄平(東大理)

FeBO<sub>3</sub> は、カルサイト構造をもつ、ネール温度 348 K の弱強磁性体である。Fe<sup>3+</sup> イオンの  $^6A_{1g} \rightarrow ^4T_{1g}$  遷移中に、低温では 7 本程の吸収線があらわれる。これらの吸収線は、215 cm<sup>-1</sup> 程度の等エネルギー間隔で繰り返し、奇数番目の吸収線の強度が、偶数番目に比較して著しく強い特徴をもつ。又、In<sup>3+</sup> イオンをドープした試料(1 及び 2 atom%)では、各ライン共高エネルギー側にシフトするが、その間隔は不变である。一方、FeBO<sub>3</sub> のラマン散乱スペクトルには、5 本の格子振動によるラマン線と、537 cm<sup>-1</sup> にピークをもつ 2-マグノン励起によるラマン線がみられる。In<sup>3+</sup> イオンを 1.5 atom% ドープした試料では、フォノンのエネルギーは不变であるが、マグノンのエネルギーは 5 cm<sup>-1</sup> 程減少している。したがって吸収スペクトルでみられた微細構造は、多重フォノンサイドバンドと結論できる。ハミルトニアンとして、

$$H = H_0 + \{\partial V / \partial Q_u\}_{Q_u=0} \times Q_u + V_u^{\text{static}}$$

を考える。第二項は、奇数個数の異なる格子振動状態間の混入のみを生じ、したがって奇数番目の吸収線の強度に寄与する。又、第三項は、偶数番目の吸収線の強度に寄与する。第二項とし

て  $1100\text{ cm}^{-1}$ ，第三項は，それより1桁小さい値をとれば，実験結果と良い一致をみた。以上の解析結果は， $\text{Fe BO}_3$  中の 3d 電子が，格子と強く相互作用している事を示しており，この化合物がイオン結晶的である事を反映していると思われる。

18)，アルカリ土類フェライト，コバルタイトの磁性と伝導 渡辺 浩(東北大金研)

$\text{SrFeO}_3$ ,  $\text{SrCoO}_3$  のようなアルカリ土類を含むフェライト，コバルタイトは比抵抗が  $10^{-3} \sim 10^{-4}\Omega\text{ cm}$  の程度であり，酸化物としては伝導性のよいものである。種々の実験結果はこれらの物質はイオン結晶から逸脱した性質をもっていることを示す。

$\text{SrFeO}_3$  ペロプスカイト型結晶構造をもち，帯磁率の測定から  $130\text{ K}$  に  $T_N$  をもつ反強磁性体であることがわかる。この物質がもしイオン結晶であるなら Fe は  $\text{Fe}^{4+}$  ( $d^4$ ) の状態となり，強い Jahn-Teller 効果を示すはずであるが，実際にはそうでなく完全に立方晶である。中性子回折の結果によるとこのものの磁気構造は伝播ベクトルを [111] 方向にもつスクリュー構造である。Fe 原子は単純立方格子を組むから，等方的交換相互作用のみで磁気構造を考える限り，第4隣接原子間以上の遠距離相互作用がきいていなければスクリュー構造は実現しない。伝導性は  $\text{Fe}^{4+}$  が多い程よいので， $\text{Fe}_3\text{O}_4$  のような異原子価の混在によるのではなくて， $\text{Fe}^{4+}$  自身にその原因があるものと考えざるを得ない。

$\text{SrCoO}_3$  ペロプスカイト型のものと，積層構造においてそれと少し異なる六方晶  $\text{BaNiO}_3$  型のものとある。特に前者は伝導性がよく，強磁性である。しかしその強磁性モーメントは  $\text{Co}^{4+}$  としての high spin state から期待される  $5\mu_B$  よりは大変低く，むしろ low spin state の値の方に近い値を示す。またこの強磁性は単純ではなく，キューリー点までの温度にいたる間，ある温度範囲でメタ磁性的な様子を示す。しかし飽和値は  $\text{Co}^{4+}$  が多い程大きく，純粋な  $\text{Sr}^{2+}\text{Co}^{4+}\text{O}_3^{2-}$  の良伝導性と強磁性の同時共存が確実である。このような性質が d 電子のバンド性に関係があるものかどうかについてはなお他の物性の測定が必要であろうが， $\text{SrFeO}_3$  と考え合わせて高原子価の物質の特色が現われているものとして興味深い。

討論については，上に述べた prepared talk の他， $\text{Fe}^{2+}$  の電子状態その他活発な議論があったが，成果はここで述べることの出来る有形のものよりも，色々なスピリットのような無形のものが大きいと思うので，詳細を述べることは省略する。参加者はそれぞれの観点から，遷移金属化合物，特に酸化物の電子構造と物性の研究に関して，大きい意義を見出して帰られたも

のと思う。筆者から、最近米国この領域の研究が極めて組織化し、大型化して来ていること、例えばV-O系の研究にても Bell 研究所、Lincoln 研究所、IBM研究所等が、優秀な結晶作成技術者と効果的な装置を使用して極めて迅速に成果をあげていること、又大学関係でもMITやStaford 大学の Material Research Center 等、大変整備されて、隔差が再び拡がりつつあるのではないかという問題点が提起された。idea があれば確かに補う面はあるが、同一の idea で start すると勝負は最初から明らかであるし、又例えば良い結晶がなくては研究も idea も可能性がないといった点である。ある意味で物性研を造った時の状況に似ているのではないかというのが筆者の気持ちである。特に application が関係した基礎研究、例えば bubble domain technology に関係した基礎研究等は殆んど手も足も出ないのが現状である。理論で言っても IBMで Slonczewski 等が、磁壁の dynamics に関して hard bubble (Bloch wall と Néel wall の混合 wall, いわばスピンの“ねぢりん棒”が関係している。)を含めて、ある意味で画期的な進展があったが、我が国の理論屋さんで、この問題に興味を持っている人は殆んど居ない等といった状況が出現しているのである。しかしながら、参考集者の大部分自身が、こうした状況の存在に留意していなかったし、又貧乏に馴れざるを得ない日本の現状からして、有効な議論と結論は得られなかつたよう思う。最後に本研究会立案及び推進にあたり、筆者自身3週間程海外出張した事情等もあって、世話人の一人である近桂一郎氏に最も大きい負担が掛ったことをここに記載させて戴く。

## 物性研談話会

日 時 10月29日(月)午後2時～3時

場 所 物性研A棟2階輪講室

講 師 鈴木 増雄

題 目 臨界現象の最近の発展

近年、臨界現象の研究は実験、理論ともに目覚ましい発展をしている。この問題は何故多数の人の関心を集めているか。理論としてはこれはもっとも典型的な多体問題であり、未解決の難問の一つと考えられてきた。ところが、最近、Wilsonによって、くりこみ群の概念を物理的に応用することにより、少なくとも静的臨界現象の解決の糸口が与えられ、多くの拡張、発展がみられた。しかしながら動的臨界現象(即ち、輸送係数の異常性)に関しては、まだほとんどそうしたくり込みによる研究は進んでいない。どこにその困難があるのだろうか。こうした静的動的臨界現象の諸問題を scaling law と universality という二つの概念を中心に論じ、特に後者の破綻する実験的な例、理論的な例をあげ、新しい universality の概念の提唱にふれ、また動的な問題に対する新しい試みについても論じたい。

日 時 11月8日(木) 15:00～16:00

場 所 東京大学生産技術研究所第一会議室(3階)

講演者 Mössbauer

題 目 The High Flux Reactor in Grenoble and its Facilities

講演者略歴

氏は1958年所謂 Mössbauer 効果に関する論文を発表して一躍有名になり、1961年にはこの功績によって、ノーベル賞を受賞された。現在では Grenoble にある Institut Laue-Langevin の所長として活躍されている。この研究所では独、仏で共同開発された世界最大級の研究用原子炉が稼動し始め、各国の研究者も集って、中性子回折実験の activity が高められようとしている。

日 時 11月12日(月)午後4時～  
場 所 物性研A棟2階輪講室  
講 師 阿 部 英太郎  
題 目 磁気共鳴から見たアンモニウムハライド

アンモニウムハライドはアルカリハライドとともに最も簡単な化学式MXで代表される(X=C1, Br, I)が、通常の温度域ではCsCl型の結晶構造を持っている。その比熱は室温附近での△転移を示し、アンモニア基の秩序無秩序転移として、またNH<sub>4</sub>のいわば「内部自由度をもったIsing系」として把握される。分子的な自由度をともなり結晶の最も簡単な例として、比熱、熱膨脹、圧縮率や中性子回折、NMR、ESRなど多くの分野での研究が積み上げられてきた。今回はこれらをサーヴェイし、かつ最近の研究をつけ加える。

日 時 11月26日(月)午後4時～  
場 所 物性研A棟2階輪講室  
講 師 Professor F Lüty  
( Univ. of Utah, U.S.A. )  
題 目 "Polaron-Effects" in the Reorientational Motion  
of Paraelectric Crystal Defects.

Lüty教授はアルカリハライドの着色中心、特にF中心について、高い励起状態への光遷移、磁気光学効果(Raraday Rotation, Porett-Lüty効果など)の実験を通じてその電子構造の解明に著名な寄与をしてきました。

今回の講演はアルカリハライド中のParaelectric Impurity Center(KBr:Li<sup>+</sup>のようなOff-Center Ion, OH<sup>-</sup>のような双極子をもつ分子イオン)についてのものであります。このような不純物中心の外場のもとにおける配向回転の動向過程は、Tunneling過程でありますが、周囲の母体アルカリハライド格子と不純物イオンとの各種の相互作用が重要な因子となります。このような相互作用を Polaronとのアナロジーで記述することにより、多彩な実験結果を理解しようという内容であります。

日 時 12月10日(月)午後4時～5時

場 所 物性研A棟2階輪講室

講 師 箕 村 茂

題 目 非晶系の電子過程

要 旨 非晶系の電子過程に関して、最近われわれが行なった超高压力下の実験を報告する。

1. 超高压力下の非晶質半導体の金属転移。

200 kbar 領域の超高压力下において非晶質 Si, Ge, Ge-Si, Ge-Sn, InSb, Se は、非晶質半導体→非晶質金属(超伝導体)の一次転移を起す。この転移圧力は、結晶の  $\alpha$ -Sn →  $\beta$ -Sn 型転移にくらべて約 0.6 低い。その金属的伝導は、共有結合の解離による模型よりは、むしろ Mott 転移によると考えられる。

2. 超高压力下の液体アルカリ金属の s-d 転移。

100 kbar 領域の超高压力下において、液体 Cs, Rb は、著しい比抵抗の増加と熱電能の極大をしめす。これらは、s, p, d の位相のずれから理解される。このような連続的 s-d 電子的転移は、一方では融点極大に反映すると考えられる。

## 1974年1月～4月 物性研談話会プログラム

1月21日 I.A. Campbell (パリ大学固体物理研究室)

Hyperfine Field in Metals and the RKKY Polarization

1月28日 Gen Shirane 白根 元(ブルックヘブン国立研究所)

中性子散乱による物性研究の最近の話題

2月 4日 竹 内 伸

結晶塑性に及ぼす外場の影響

2月18日 星 塇 祐 男

CuCl, CuBr, AgI 等の格子振動と金属イオンの異常な挙動(中性子散乱による研究)

3月 4日 小 林 浩 一

光で見た“不純物状態から混晶へ”

3月18日 平川 金四郎

低次元磁性体の中性子散乱

4月15日 三浦 登

超強磁場の発生と物性研究への応用

## 物性小委員会報告

1973年9月22日(土) 13:00~18:00 於物性研ロビー

出席者 宮原, 中野, 森垣, 白鳥, 芳田, 鈴木, 森田, 伊達, 三輪, 近, 真隅,  
横田, 佐々木, 長岡, 豊沢, 目片,

### 報告

- 1) 物小委会会計報告と予算(森垣)
- 2) 特定研究「物性の制御」の今年度の審査

### 報告(豊沢)

豊沢委員より下記の報告があった。採択件数は約  $\frac{1}{5}$ , 金額は約  $\frac{1}{9}$ , 充足率は約 60% で、この率は大規模の 10 大学とその他の大学の間で顕著な差はみられなかった。今年度の方針は、(1)独創性と発展性を重視する。(2)研究条件の悪い所を優遇する。(3)件数を少くし充足率を上げる。(4)継続を本年度あらかじめ決めず来年度の委員会にまかせる。の四点であった。

上記の報告にたいし次のような質疑応答があった。文部省の方針は重点主義で、計画研究方式にしたい意向らしいが今後どうするつもりかという質問にたいしては少くとも二年度は公募にするという返事を文部省にしたし、審査員も物小委で推薦したいという回答があった。複数大学の協力研究は排除したわけではないが結果的に不採択になったこと、金額の決定は品目まで議論して決定したこと、全体として公表された趣旨に対応していること等が質問にたいして答えられた。

### 議題

- 1) 特定研究「物性の制御」の来年度審査員の選出  
「極低温」の時と異なり、対応するグループがないので、物小委から半数交代で選出すること

とに決定した。渡部（海外出張），松原（物理学会会長，第二段審査委員）を除いて投票の結果、本年度委員から豊沢，芳田，伊達，沢田の四氏を来年度委員に選出、新委員としては分野等を考えて可知、安達，森田，真隅，上田の五氏を選定、計9名を推選することとなった。

## 2) 物性研究の将来計画

物性研の将来計画として考えられている重イオン加速器および物性研と核研で話合われているS O R用ストレージリングの維持管理が問題となるので物性研所長である鈴木委員から下記のような説明があった。

現在物性研では5所員ポストが空席又はその予定になっていて転換期にさしかかっている。一つの新しい方向として5年前より検討してきたインピーム物性を13億4年計画で概算要求した。主な装置はタンデム型重イオン加速器で、 $^+H$ で18 MeV,  $^{+}C_1$ で40 MeVの加速粒子が得られる。核研の電子シンクロトロンに附設するS O R用ストレージリングは核研によって建設されたが、リングを物性研で維持管理するよう要請があり、検討中で2月迄に結論を出す予定である。分光器は单年度6千万円で物性研により設置、管理され、50年4月頃から物性測定に使用できる予定である。

森垣委員より、物性研が両方の計画に耐えうるかという検討が充分なされていないというコメントがあった。何を議論するのかという質問にたいして、委員長から加速器については議論が済んでいるが13億の計画を物小委が知らないのはおかしいし、推進者はこの計画にたいする支持を期待しておられること、S O Rの体制はこれから問題であるとの答があった。物小委ではインピーム物性計画の積極的な支持を決定はしていないが、何度かはすでに説明があつたこと、計画がサイクロトロンからタンデムに変わったのは理研における試験と国外事情の変化によるものであること等の説明があった。これに対して今までの経過から考えて加速器がNMR以上のものをつけ加えることができるかといった悲観的な意見と、この計画を推進しておられる方々の意欲を買ひ積極的に支持する意見とがあった。

S O Rは物性研に関係する研究者が少ないので、当面の管理運営以上の面倒を見ることは難しいという物性研側の説明にたいして、電子シンクロトロンまで物性研で管理すべきという意見が強く、施設を考えるという案も出された。

## 3) 森垣委員の辞任

森垣委員から物小委が行政的なことにともなって文部省の方針にひきづり込まれつつある現状を考えると、委員として活動することに疑問を感じること、今後は百人委員として外部で活動したいという辞任申出にたいする説明があった。物小委のあり方にたいする問題提起であり、

残ってやることに意味があるという意見が強かったが、心情的に理解できることもあるし、辞意が固ければやむを得ないということで辞任を承認した。事後の処理は委員長と幹事に一任された。

#### 4) 物性グループのあり方

三輪委員から以前とは物性物理の分野にも変化があり、いろいろ事情が変ってきたので物性グループのあり方をこの辺で物小委が中心になって議論すべきだという提案があった。今日は時間がないので、学会の前日に物小委以外の人も含めた非公式な集りをもつという方向で幹事が世話をすることになった。

#### 5) 次回予定

2月に次回物小委を開催する。

### 物性研ニュース

#### 東京大学物性研究所の助教授公募の通知

下記により助教授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) 研究分野および公募人員数

理論第3部門 助教授 1名

物性理論、特に分野を問いませんが、独創性と実行力のある人を期待します。

なお、現在理論所員は、菅野 晓、豊沢 豊、中嶋貞雄、花村栄一、守谷 亨、山下次郎、芳田 奎、吉森昭夫です。

##### (2) 公募〆切

昭和49年4月15日(月)

##### (3) 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)
- 主要業績リスト(必ずタイプすること)ほかに出来れば主な論文の別刷

###### (ロ) 応募の場合

- 履歴書

- 業績リスト（必ずタイプすること）および主な論文の別刷
- 所属の長または指導教授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

(4) 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

TEL (402) 6231, 6254

(5) 注意事項

公募書類在中または意見書在中の旨を表記し、書留で郵送のこと。

(6) 選定方法

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。

東京大学物性研究所長

山 下 次 郎

## 物 性 研 究 所 短 期 研 究 会

「中性子散乱による物性研究」開催のおしらせ

下記の要領で物性研短期研究会「中性子散乱による物性研究」を開催いたします。この分野に  
関心をもち討論して下さる方の御参加を希望いたします。

### 記

1. 開 催 日 昭和49年2月4日(月)～2月5日(火), 2日間
2. 場 所 物性研旧棟講義室
3. 会場の都合で人数を制限する場合も考えられますが、世話人に御一任願います。

世話人	浜 口 由 和	(原 研)
	国 富 信 彦	(阪 大)
	石 川 義 和	(東 北 大)
	星 梓 祯 男	(物 性 研)
○ 平 川 金四郎		(物 性 研)

## 人 事 異 動

理論第3部門 助教授 鈴木増雄 48. 11. 1 配置換

東大、理、助教授に

## Technical Report of ISSP 新刊リスト

### Ser. A

- No. 613 Kazuo Morigaki and Michie Onda: Spin-Dependent Conductivity of Phosphorus-Doped Silicon in the Intermediate Concentration Region.
- No. 614 Yosiko Sato, Yoshiaki Ida and Syun-iti Akimoto: Equation of State Determined with the Bridgman Anvil Type of High-Pressure Apparatus.
- No. 615 Katsuhiro Nakamura, Chikatoshi Satoko and Satoru Sugano: Coherent Radiation from Exchange-Coupled Two-Level Atoms.
- No. 616 Fumio Shishido: On the Possibility of the Resonance Tunneling by a Long Wavelength Bloch Wave Electron.
- No. 617 Osamu Shimomura, Shigeru Minomura, Nobuko Sakai, Katsuyuki Asaume, Kozaburo Tamura, Junichi Fukushima and Hirohisa Endo: Pressure-Induced Semiconductor-Metal Transitions in Amorphous Si and Ge.
- No. 618 Kazuhiko Tsuji, Hirohisa Endo and Shigeru Minomura: Pressure Dependence of the Structure Factors of Liquid Alkali Metals under High Pressure.
- No. 619 Ryuzo Oshima, Hirohisa Endo, Osamu Shimomura and Shigeru Minomura: Effect of Pressure on the Electron Transport Properties of Liquid Alkali Metals.
- No. 620 Takahiko Yagi and Syun-iti Akimoto: Electrical Conductivity Jump Produced by the  $\alpha$ - $\beta$ - $\delta$  Transformation in  $Mn_2GeO_4$ .

## 柿内教授退官記念講演会のお知らせ

1974年3月をもって柿内賢信教授は停年退官されます。

この機会に下記の要領で記念講演会を催しますので、どうぞ  
御来聴下さい。

なお、東京近辺の研究機関あてには適当な時期に改めてお知  
らせいたします。

### 記

題 目 液体および固体の中の水の分子

日 時 昭和49年3月22日(金)

午後2時から約1時間

場 所 東大生産研3階第一会議室

(物性研と同じ構内です)

(談話会幹事)

## 編 集 後 記

新たに所長に就任されてまだ日の浅い山下先生が、新たな年を迎えて最初にお届けする物性研だよりに所感を寄せて下さいました。また久しく止絶えていました「研究室だより」を今年から再開することに致しました。順序は不同になりますが、各研究室の近況を滞りなく紹介出来ますよう、今後の執筆者の方々に御協力をお願いします。

東京都港区六本木7丁目22番1号

東京大学物性研究所

小 谷 章 雄  
大 野 和 郎

次号の〆切は2月10日です。

