

物性研だより

第5卷

第3号

1965年8月

目 次

研究室だより

- 大塚研究室 大塚 泰一郎 1
- 理論 III 阿部 龍蔵 6
- 阪大基礎工学部物性関係研究室 伊藤 順吉 11

研究会報告

- 磁性半導体の伝導現象 平原栄治、山下次郎 16
- 半導体の不純物伝導 豊沢 豊 30
- 物性研究の将来計画シンポジウム 小野 周 41
- 磁性理論研究会 芳田 奎 48

サ ロ ン

- La Jollaのこと 松原 武生 50
- A fond farewell to Japan P. and B. Offenhartz 52

物性研ニュース

- 人事異動 53

- 東京大学物性研究所の教授・助教授公募 54
Technical Report of ISSP新刊リスト 57

東京大学物性研究所

研究室だより

大塚研究室

大塚 泰一郎

3年前に研究室を紹介した当時と現在の間には年月の示す以上の隔りを感じます。当時は現在実験室のある建物も九分通り完成という形で、四階の仮住いで高野技官とともに実験室の模型を作つて実験器具の配置などを考えていた頃です。その年の8月、会計検査が終つてすぐにがらんどうの部屋に移りました。青木助手が赴任してきたのもちょうどその時です。それから一年余、早く実験がしたいという気持にかられて設備を整え、基礎的な実験をする仕事にあけくれました。基礎的な実験というのは整えた諸設備を動かし、諸真空系を完全なものにし、私共がカーバーしたいと考えている温度領域内($0.1^{\circ}\text{K} \sim 20^{\circ}\text{K}$)の温度を自由に生成調節し、温度を確実に測ることです。そこで色々な仕事のかたわら青木は断熱消磁の実験を、高野は超小型カーボン抵抗の開発につとめました。

一方 Physicsについていえば、菅原さんが前号に書かれたように固体核部門としての方針を定り、私共は遷移金属を主として超伝導の面から追究することに目標を定め比熱測定を主たる武器として整えることに専念しました。固体物理の領域で戦後発達した色々スマートな技術に比し比熱測定は何となくじじむさい感じがしますが、試料の形状や状態に余り支配されずに適用でき、しかも单刀直入にエネルギー状態を反影してくれる点においてはすぐれた武器であり、DCアンプ、電子管式記録計、抵抗温度計の発達で10年以前と比べ精度も非常によいものとなってきました。勿論精度をあげる背景には先に述べました温度の測定を精度良く(0.1%以内)するという要求もあり真空技術、熱伝達や熱流入の除去等、極低温技術のほとんどあらゆる基礎的修練が必要であり、決して簡単なものではありません。ともあれ遷移金属合金や金属間化合物の超伝導が従来主として転移温度 T_c 測定のみから整理され議論されていた段階から一歩前進するのに最も basic で強力な手段であると考えたわけです。もっともそうこうしているうちにこゝ2、3年の間に外国でも比熱を測定する人がふえてきました。安閑としてはおれません。

比熱の第一号器が出来上りましたのは約1年半前ですが、ちょうどテストを開始して間もない頃に東大物理飯田研究室の大学院学生 佐藤武郎君が Co_2Si の超伝導を比熱を通して調べたいという希望で留学研究員として参りました。そして皆の努力で昨年の3月頃にはまともなデータ

がとれるようになり、夏頃から確実なものになってきました。確実といふのは銅やインヂュムを何回か測って精度に自身がもててきたこととトラブルの大半が克服されてヘリウムを汲めれば必ず実験が出来るといつてよい段階に達したことです。比熱のように実験時間が長くてデーターの出る割合の少い測定にはこのことは大切なことです。

そこで、ここ一年間で得られた成果と現状をお報せしたいと思います。遷移金属系の超伝導にはいわゆる Matthias rule というものがあり電子濃度が約 6 のところに T_c の谷があり、約 5 と 7 に最大ができるて両端は La を除いて非超伝導であることは周知のことと思います。 T_c はこのよう一見対称的にならぬですが、電子濃度（以後 e.c. とする）3 (Ti, Zr, Hf) 以下と約 8 (Ru, Os) 以上の領域にあるものと 3 ~ 8 の間にあるものでは様子が大分違います。e.c. 3 ~ 8 の間にある合金、金属間化合物（この場合の e.c. ははつきりしない時もあり一がいにいえませんが）では T_c が状態密度の増大に伴い増大しますが、3 以下、8 以上では逆傾向がみられます。現在のところ比熱測定の対象になっている試料のほとんどは e.c. 3 ~ 8 の間のものです。特に 2 年ほど前 Morin 達がデーターを BCS の関係で整理したとき、この領域にあるものの T_c がほとんど相互作用 V を一定として整理出来ることを数多くの試料の比熱測定から示しました。大体それでよいとは思いますが彼等のカバーした試料の数も多く個々の合金系を見ると多少とも個性が見えます。そこで私共は T_c が充分広範囲に変化し、完全固溶で Homogeneity の心配のない V-Cr 系について精しくやってみることを試みました。一つには不慣れな試料作製の経験をつむことと従来のデーターと比較できるという動機もあつたわけです。一つの系で T_c を精しく追った例としては Nb-Mo しか当時はなく、V-Cr はちょうど同じ e.c. 範囲の 3d 系です。Cr は Mo が超伝導であるのに對して磁性体であり、従来のデーターでみると T_c が Cr 添加とともに Nb に Mo を加えてゆくより 3 倍近い割合で直線的に下降するので何等かの違いが出てくるのではないかという期待もありましたが、Cr 10 at % で T_c が殆ど消失するという今までのデーターと相違して 10 % 以上では T_c も下降も飽和の傾向を示し、20 % 近く加えても 1K を少し切るぐらいのところにあることが分り、状態密度 N に對して NV をプロットすると Nb-Mo と大変よく似て Cr にゆくほど NV が少しふくらむ（V が 10 % のオーダーで大きくなつてゆく）ことが分りました。また比熱のとび ΔC に関する対応状態の関係 $\Delta C / r T_c$ (r : 電子比熱の係数) も $\Delta C / r T_c \cong 1.5$ で BCS の値 1.43 とほど一致するという平凡な結果がえられました。このような結果や他の結果を通じて私共は現在 e.c. 3 ~ 8 の間の遷移金属系は normal な BCS 型超伝導体でその超伝導

は主としてd-電子でおこっていると考えております。V-系に対する実験はもうすんでいるというわけではありません。もっとe.c.の高い方の元素(Fe、Co、Ni)をまぜてゆくとどうなるか、ぼつぼつやろうとしているところです。

金属間化合物の比熱は佐藤が Co_2Si の他に Ni_2Si と Y_2Ge 、 La_2Ge を測りました。まず Ni_2Si を断熱消磁法で約 0.1°K まで測定してみましたが超伝導になりません。このことは大よそ τ と Θ_D (デバイ温度)の値で理解できますが Co_2Si 自体の超伝導にはまだ問題が残されています。一方 Y_2Ge 、 La_2Ge については τ と T_c が逆傾向、すなわち先にのべたe.c. 3以下8以上の系列と同じ特徴をもっていることが分りましたが、同時に T_c における比熱のトビが異常に小さい($\Delta C/\tau T_c \cong 0.7$)ことが分りました。 $(\text{Co}_2\text{Si} \text{も } 0.9 \text{ で小さい方})$ 。

御存知の方も多いと思いますが、近年電子一フォノンの研究やクーロンの役割についての研究も進み、臨界磁場 H_c や ΔC 、それにトンネル効果の構造もギャップについてのBCSの積分方程式を通して説明しうることが明らかになってきました。つまりBCSの積分方程式そのものは正しく、問題は電子間相互作用を正しく考慮すればよいということになります。クーロンの役割はAnderson達が示したようにアイソトープ効果に反影され、Ru、Osの結果や最近のZrの結果からおしてその役割はe.c. 3以下8以上の領域で増大していくことが推測されます。これで τ と T_c が逆傾向になることも定性的には説明できましょう。しかし幾らクーロンを考慮しても一種類のバンドと電子一フォノンとクーロンを合せた一種類の相互作用しか考えない限りではBCS方程式の正当性を認める限り、対応状態の法則が異常にずれること、特に $\Delta C/\tau T_c$ が異常に小さい方にずれることは考えにくいと思います。(Strong couplingの時は逆にふえます。)私共は現在、このような異常を示すものはTwo band的性格を備えているものではないかと考え、近藤さんが前に出された理論などを検討しております。傾向としては説明できそうですがはつきりしたこととはいえません。これと同時に適当な合金系、金属間化合物についての系統的研究を計画しています。W-Pt、Y-Rh系がその一例です。
La自身も調べていますが今のところ余り異常はでていません。参考までにBucher達はMo、W、Nbと夫々Os(e.c. 8)、Ir(9)、Pt(10)を大体半々にいれた合金の $\Delta C/\tau T_c$ が夫々1.5、1.26、0.9と減少してゆく傾向にあることを認めていますが、上の問題と関連して興味のあることだと思います。ともあれ系統的な熱的測定の必要性を感じています。

予定の枚数もつきて来ましたので、ここ一年來とりあげてきたAIに遷移元素Ti、V、Cr、

Mn、Fe、Niを加えたときの T_c の変化についてのべたいと思います。こゝでの問題は測る ΔT_c が微少（0.01～0.1°K の程度）ということもありますが、より重要なのは均一な試料をつくることで、この点青木助手が大変苦労して漸くその成果が結ばれつつあります。 T_c を変化させる機構としてはギャップの異方性が消えてゆく Anderson mechanism、NやHD の変化と相互作用K (BCSのNV) の変化が考えられます。これらを分離しうるほど点をかせぐことは決して簡単ではありませんが、青木君の忍耐の甲斐あって最近意義のあると思われる傾向が掘めてきました。分離の方法等、精しいことは省きますが結論として Anderson 機構は Simple metal 不純物とほど同じ効果であること、NやHDの変化は問題にならないこと、Kの変化は小さくなる (T_c を下げる) 方向で MnでKの深い極少がみられることです。 Friedel流に考えるとちょうどこの辺が Virtual state の形成され出すところです。このことがどういう意義をもっているかについて今検討しております。この問題をとりあげた時には Matthias の Ti+Fe、Co、Ni の問題が頭の裏にありました。結果は Tiの場合とは逆に出てきています。

次に純粹な Nb の単結晶について行いました磁気熱量効果の測定を簡単に御紹介しておきたいと思います。試料の Nb は鈴木研究室で生嶋さん達が作られたもので超高真空焼純を行った非常に良いものです。生嶋さん達はこの試料について超音波吸収を行い重要な結果をえられましたので私共は熱的測定をする目的で拝借し、断熱状態にして磁場をかけてみましたところ、混合状態で完全といってよい可逆性を示す磁気熱量効果が現われるのを見出しました。そこで磁場中の比熱も平行して行い、えられた結果を解折してみると、磁場を常伝導状態から下げていったときに急に温度が変化し出す点が二次相転移点に相当することが証明できました。このことは Nb における上部臨界磁場 H_{c2} が不確定の要素なく高い精度で測りうることを意味します。そこで H_{c2} の温度変化を追い、更に H_{c2} 近傍の $\Delta T / \Delta H$ から比熱のトビを算出したところ、Maki-Tsuzuki の理論と定性的によく合うことが分りました。と同時に $K_1 = H_{c2} / \sqrt{2}H_c$ より求めた K_1 の 0°K における値が理論値よりも 40%ほど大きいことも分りました。従来の測定（電気抵抗や磁化曲線の外挿）ではこの程度のズレには余り意義を持つことができませんでしたが、Nb について得られた結果 ($K_1(0^\circ\text{K}) / K_1(T_c) = 1.76$) は 5%程度の誤差しか含んでいないと考えられますので、このズレは大いに問題にできると思います。現在得られ数値を確実にするために 1°K 以下の測定を行っており、さらに Nb-Ta、Mo-Re、Al (過冷却磁場) の測定も進めています。

最後に装置について一言しますと、 1°K 以上の比熱について自信がもてましたので今年中に温度領域を 0.1°K までのばす計画を進めています。測定装置に多少 electronics を使う予定で回路は今年から非常勤で来ております丸山君が最近完成しました。うまくゆくかどうかは分りませんがこの装置はトンネル効果の実験（二次微分までとる）にそのまま使えます。熱測定の重要性を強調してきましたが、私共はそれを basic なものと考えておりますが決して唯一のものと考えておりません。ここ一年半ほどねむっておりますマイクロ波の装置を動かしはじめようとしているのも比熱と complimentary な側面をさぐるためです。何はともあれ、皆の努力で三年前のがらんどの部屋も足のふみどころのないほどになり、研究活動も漸くフル廻転に近いものになってきました。

理 論 III

阿 部 龍 藏

理論III部門の誕生のいきさつおよび方針については、既に3年前本誌上で紹介がありますので（中嶋貞雄：第2巻第4号参照）、ここではその後の進展についてかきたいと思います。現在、この部門の構成メンバーである中嶋は Cavendish Laboratory に、また渡部は Univ. of Bruxelles に滞在中であります。今年の4月から松坂和子が所内の大塚研から配置転換して研究室の事務を処理しております。

この部門のモットーは「物理的多体問題」ですが、具体的な問題として、金属における多体効果、超伝導および超流動、ランダムな系、気体および固体プラズマの非線型現象、相転移等をとりあげております。以下、順次にこれらの問題に関して私たちの考えたことおよび宿題について述べることにいたします。

金属内の多体効果の問題を考えるにあたって、私たちは Landau の提唱した Fermi 流体の思想を意識的に身につけこの立場から問題を整理しようとしてきました。相互作用のある多体系なら当然外部からの摂動に対する系のレスポンスは、系のいろいろな型の素励起として理解されるもので、その素励起に粒子的描像があてはめられればいわゆる Quasiparticle で記述されることになります。このような見方の Quasiparticle は固体の問題では格子振動の場合の phonon がさきがけであったといえましょう。しかし、Fermi 流体の考え方の本質的なところは相互作用のきき方はけっして単純ではなく外部からの摂動がどんな種類であるかによって素励起の様相が異なる、いいかえれば Quasiparticle としてみる相手の特性がたとえば実験の種類によって異ってもよい筈だとするところにあります。

金属内伝導電子系はまさに Fermi 流体の好例であると思われます。Landau は簡単なフェルミ粒子系（jellium model）をとてパラメタ理論として、どのようなレスポンスに相互作用の効果のどの部分がどのような形で現われるかを整理しました。この考え方は多体系理論の究極的“るべき姿”をスケッチしていると思われます。このような立場をとれば金属内伝導電子系の問題のとらえ方としてより微視的な機構と Landau のパラメタがどう結びつけられるか、いいかえれば種々な型の相互作用のどのような効果が、実験的に観測される Quasi-particle の特性をきめているかを明らかにすることにあると云えます。

前回の研究室紹介では簡単なアルカリ金属の電子的性質をこのようなプログラムで考慮していることを簡単にふれましたが、その時以来の私たちの問題意識は次の三点にしほることがで
きると思います。

1) 伝導電子系がイオン周期ポテンシャルを受けているより実際的な系の場合へ Fermi 流体の理論を拡張すること。

2) Phonon を通じて相互作用をする電子系の Fermi 流体理論の定式化。

3) クーロン相互作用と電子—phonon 相互作用と共に考えた場合の Fermi 流体理論。

1) は前回にもふれました Li、Cs 等のやゝ複雑なアルカリ金属、Al、もっと一般的に多価金属の電子的性質を理解する上で本質的なことと思われます。問題それ自体をいくつかの段階に分けて考える努力を続けてきましたが究極的な Fermi 流体を作り上げることは残念ながら遠い目標です。2) は Eliashberg のアイデアを受けついで具体的な実験事実各々に電子—phonon 相互作用がどのように効いているかを明らかにする努力を続けてきました。他方やや一般化してこの系を記述する輸送方程式を導く問題もありますが、これには最近の Kadanoff—Baym の不可逆過程の統計力学の理論を適用してできるだけ一般的な議論を考えています。3) は 1)、2) とくらべてやや事例的な問題になると思います。電子—phonon 相互作用の理論をクーロン相互作用をあらわに考えて組立てることが狙いで原理的な問題としては従来とられて来た電子—phonon 相互作用の行列要素の基礎づけや、電子的 Quasiparticle と phonon とを分けてとらえることの妥当性等がありますが、具体的にはクーロン相互作用と電子—phonon 相互作用とからみ合う効果がどのような現象に強く効いているかを明らかにすることです。2)と3) は金属に限らず半導体やイオン結晶の非線型伝導現象を理解する上でも重要であることを期待しています。

超伝導現象に関係した問題では先ず第Ⅱ種超伝導体のいわゆる mixed state の物性を明らかにすることをとりあげました。所内の研究室と協力して mixed state における超音波吸収係数の磁場依存性の説明を試み、また mixed state での電子トンネル電流の特性を考えました。次に超伝導の機構それ自体の理論的な興味の問題として Cohen—Falicov 模型をとり上げて gapless super としての特性を議論しました。

このような Ginzburg—Landau 理論を手がかりとして種々の具体例を考察する問題の他に、昨年来私たちがとり上げた問題として超伝導体のダイナミカルなレスポンスを記述する理論を作り上げることができます。これは外国、国内とも幾人かの人がいわば GL 理論を時間を入れ

た形式で導く問題として考察しております。私たちの現在のところの手がかりは先にもふれた Kadanoff — Baym の理論ですが、簡単な超伝導ハミルトニアンをとれば Bogoliubov 粒子の従う輸送方程式を導くことは容易ですが、電子 — phonon 相互作用をあらわに入れられたハミルトニアンから出発する場合、また一般的に秩序パラメタそのものに対する方程式を導くことはかなり難しいことになりそうです。しかし極めて魅力ある問題ではあります。

前回の報告以来、私たちはランダムな系の統計現象をいくつかの角度から採り上げて来ました。第一は液体金属の問題ですが、私たちの狙いは電子的性質を通してみた場合イオン配置の randomness の度合がどのような形で反映しているか、有効イオンポテンシャルはどのような形でとらえればよいか、固相の場合との定性的定量的な差異はどのような原因によるか等を明らかにすることでした。電子の平均自由行程がイオンの短範囲規則度のめやすになる長さよりも充分長い場合を取り上げて、電子のエネルギースペクルトや状態密度を定性的に議論してみました。又 randomness の度合の温度変化の影響に関連して Na の Knight shift の一定体積下での温度変化を定量的に説明することを試みました。これ等はほんの入口で、平均自由行程が著しく短い液体金属や遷移金属液相の電子状態の問題、更に液体金属の凝縮相としての分子論的性質、特にダイナミカルな挙動たとえば拡散係数の線型な温度変化等を考察することがこれからとの問題です。

ランダム系の第二の問題として私たちが考察したのは磁気的不純物を含んだ体系の統計力学です。Ising あるいは Heisenberg スピンが格子点の上でランダムな分布をするときの熱的、磁気的な性質の研究ですが、この場合には通常の統計力学的な平均の他に、randomness に関する平均をとる必要があり問題はかなり複雑になります。私たちは Kubo のキュミュラント展開を使い Ising 系に対する一般的な定式化を試みました。スピン間の交換相互作用が強磁性的な場合には、完全な結晶からだんだんスピンを除いていくと、一つのスピンに働く平均的な交換力は弱くなりますからキューリー一点が低くなると期待されます。したがって、相互作用が短距離力のときには、スピンの濃度がある値より小さくなると、もはや Long range order ができなくなりキューリー一点は 0 になってしまふと予想されます。このような濃度は臨界濃度 P_c とよばれます。Ising 系で最近接相互作用の場合に、二、三の結晶系に対して P_c を計算してみました。また、Heisenberg スpinで Ruderman — Kittel — Yosida 型の相互作用を考慮して P_c があるかどうかを検討してみましたが、このときには s — d 相互作用のハミルトニアンから出発すべきであると思われます。その際、Kondo 効果がどのような形で現われる

か興味ある問題であり、さらに超伝導と強磁性共存の問題は一つの宿題であるといえましょう。非線型伝導現象で主としてとりあげたのはピエゾ半導体における電流飽和の現象であります。電子の移動速度が音速をこえると、電子系から phonon 系へエネルギーが流れ込み phonon の不安定性がおこります。超音波增幅が観測されているのは、このような不安定性が実際に起こっていることを物語っているものと思われます。phonon が沢山発生すれば、当然電子の散乱が大きくなり、したがって電気抵抗がふえると考えられます。CdS、ZnO等でみつかっている電流飽和はこのようにして定性的に理解できますが、私たちの考えたのはその定量化であります。超音波増幅の Hutson 達の理論に非線型な項をとり入れて、やや現象論的な考察をして、一応、実験結果を説明することができました。その際、非線型振動の理論が役に立ちましたが問題をより微視的な立場からとらえるのはこれから課題です。普通、伝導現象をとりあつかうのに Boltzmann 方程式を使いますが、不安定な系でそれをそのまま使うのは本当に正しいかには、いささか疑問が残ります。しかし、その点には目をつぶっても、まだ問題は面倒で電子—phonon、phonon—phonon の相互作用を考慮して方程式を解かねばいけません。今の感じでは両者のからみ合いがもっとも重要であると思われますが、その点に関してはなお考察の必要がありそうです。

不安定性を別にしても、ピエゾにおける電子—phonon 相互作用は金属とは違った意味で興味があります。例えばピエゾ・ポーラロンの問題をあげることができます。一般に、半導体やイオン結晶では金属に比して非常に大きな電場を外からかけることができますので、強電場内での電子の振舞いが重要になります。最初に述べた Quasiparticle 的な見方をすれば、ポーラロンは phonon の着物を着た電子とみなせますが、電場がかかっただときに、その着物がいかに変化するか、それが易動度にどのように反映するか、というような問題を考えてみたいと思っております。その第一歩として、金属でよく使われる Migdal 近似をピエゾの場合に検討するつもりであります。前にもふれた Kadanoff—Baym の方法が今の問題に役立つであろうと期待しています。

相転移は統計力学の分野で残された難しい問題の一つですが、私たちは手持ちの武器でやれる所までやりたいと思っております。最近、 T_c 近傍の物理量が精密に測定されるようになり例えば比熱はかなり一般的に対数発散をすることが分ってきました。よく知られているように 2 次元 Ising 系に対する Onsager の厳密解は同様な特異性を示します。また、最近、ソ連の一派がボース粒子の体系を取り扱い、点の近傍で比熱が対数発散することを導いております。彼

等の方法は非常に複雑ですが、結論は簡単で波数を q としたとき、Quasiparticleのエネルギーが $q^{\frac{2}{3}}$ に比例するということです。彼等の話しが本当かどうか、よく分りませんでしたので同じ方法を Ising 系に適用してみました。その結論は q に依存する帶磁率 $X(q)$ が $\left(T - T_c \right) + a q^{\frac{2}{3}})^{-1}$ に比例するということです。しかし、2次元の場合には今まで知られている厳密な結果を再現することができません。したがって、どこかに間違いがあるのは確かなのですが、どこに落し穴があるか、目下、探索中であります。

前回と同様にかなり気の多い紹介になつてしましましたが、読者の率直な批判や助言をいただけたら幸いであると思っております。なお、こゝ数ヶ月の間に京都から松原、山本、森、都築の各氏がおいでになり、有益なディスカッションをすることができました。この紙面を借りてあつく感謝の意を表したいと存じます。これからも、一緒にやってみようか、という方がおられましたら、どしどし御連絡下さるようお願ひいたします。

(1965 . 7 . 9 記)

阪大基礎工学部物性関係研究室

阪大基礎工学部 伊藤順吉

阪大基礎工学部は他の学部といさか変った形態をとっているので、その点をまず述べておこう。この学部は6学科より出来ているが（機械工学科、電気工学科、材料工学科、制御工学科、合成化学科、化学工学科）、これは学生の組織であって、教官は数理、機械、物理、化学の四つの教室に分かれている。そして、教育上は、すべての教室がすべての学科の学生の責任をもち（学科会議を組織している）、研究上は理工の協力を出来るだけ円滑にして、基礎工学部の設立の目的を達成し易いように、教室全体で有機的に行うようにしている。従って、[物性研]の対象になるグループは、主として物理教室に、一部は化学教室に属している。

以上のように、相互の協力を出来るだけ円滑にするような組織にしているので、実験装置も、責任はある研究室が持っているが、かなり広い範囲に共用されているのも多い。これは、限られた予算で最も有効に研究装置をととのえるという経済的な意味もふくまれている。今のところ、新しいスタッフによる研究は、ようやくスタートしたばかりであって、ぽつぽつ結果が出始めたところというべきであろう。新設学部の宿命で、一講座あたりの学生数が平均7名位であるので、とくに現在ではまだ全講座が充足されていないと重なって、学生の教育に大きい負担がかかっているが、若い研究者に対してはなるべくこれらのロードを軽くして、研究の能率増加をはかっている。いまのところ、理工関係の研究の相互関連はそう活潑ではないが、この学部の卒業生の大学院進学と相まって、次第に緊密化されて成果を生むものと期待している。

さて、物性関係と考えられる研究室および教官は大体次の如くである。

1.理論（永宮、中村、望月、恒藤〔在米、近く帰る予定〕）、2.磁気共鳴（伊藤、朝山）3.高圧物性（川井）、4.金属（藤田、生嶋）、5.半導体光物性（成田）、6.半導体工学（山口、浜川〔在米中〕）、7.磁気（田崎）、8.生物物性（小谷）、9.化学物性（坪村、又賀、木村、伊藤公）、

この各々のグループに助手及び大学院学生が所属している。

装置の主なものは、まず共通的ないみで試料調製室を作った、ここには、熔解炉、回転引上炉、超高真空蒸着装置、真空蒸着装置、高圧タンマン炉、浮遊帶炉、焼結炉などと、超音波カ

ツターノとの加工装置をそなえた、この室には助手1名を担当者としておき、全学部の共用に供している。その他、液体ヘリウムは理学部と基礎工学部との中間の地区に液化室を作り、中ノ島地区より全学共用の液化機を移転して、それを共同使用している。さらに、共通的な装置としては、3cm帯の高感度のESRが近く入荷する予定である。その他電子顕微鏡(4)(括弧内に記した数字は、前に記した研究グループの番号)、X線回折装置(4)、超伝導マグネット(2)、超高压発生装置[2,000トン及び500トンプレス、共に一軸単進型](3)、遠赤外分光器(5)、キャリー自記分光光度計(9)、生物用低温室(8)、6MHz大出力ESR(2,6)、大型マグネット(2,6,7)などは、それぞれの研究室で責任を持っているが、必要に応じて共用に使うことにしている。

研究テーマについても、勿論、各々の研究グループで独自に行っているものも多いが、その他に、理論の研究室を含めて、相互の協力によって行われているものもある。以下に各々の研究グループの行っている(または行うべく企画している)ものを簡単に述べておく。

1. 理論グループ

磁性関係としてはCr、稀土類金属などの金属磁性、 $MnBr_2$ 、 $\alpha Fe_2O_3-Cr_2O_3$ 混晶のスピニル構造、又強磁性体の部分磁化の運動などが研究されている。その他に、一次元電子系、分子結晶、 $NaNO_2$ などの理論、固体水素の圧力効果、超伝導、セラミックの理論なども研究されている。これらのうちのあるものは、理学部を含めて、実験グループの研究と密接にタイアップされているものが多く、あるいは実験の企画の指導原理を与えていているものもある。学部に区別なく、研究の上では連絡を密にして、理論、実験の全部を含んで、物性グループとして、理学部、基礎工学部の両方にまたがった談話会も行われており、永宮教授のグループはこれらの中心となって活躍している。

2. 磁気共鳴関係

現在行っているテーマとしては、強磁性合金(Fe、Co、Niを母体とするもの)のNMRを組織的にとり上げ、母体のFe、CoなどのNMRの不純物による変化、不純物それ自身のNMRを、測定しうるものすべてについて行うべく、研究継続中である。また、Pd、Ptを母体にして、少量のFe、Coなどを含むいわゆる巨大モーメント強磁性体のNMRを行っている。その他に、硬超伝導合金のNMRも二三について測定した。目下、主として金属及び合金の磁気共鳴をいろいろの条件で、出来るだけ多くの種類について行うべく、超伝導マグネット、6MHzESR、50MC/secのスピニエコー等を整備中である。それ以外に、高

圧のグループと協力して、主として油圧の範囲内での相転移を各種の方法で測定すべく（熱解析、誘電率、弾性常数、磁気共鳴など）、整備中である。また、レーザーの実験も小規模ながら行っている。

3. 高圧関係

出来るだけ高い圧力を固体圧縮の方法で出すことを目標に、一軸単進型で 500 トン及び 2,000 トンのプレスを整備した。一方では、高圧下の物性の測定を、他の研究グループとも協同の上で行うとともに、一方では、超高圧の発生の技術の開発につとめている。協同のものとしては、高圧下の（油圧を用いるものとして 2 に述べたもの以外に）光物性、X線結晶解折、磁気測定、磁気共鳴などの実験装置の試作を行っている。とくに、磁性体および半導体についての研究を意図している。一方、物性測定は二の次として、なるべく大きな体積に高圧を出すという技術の開発にも力を入れており、目下のところ 10 万気圧を少し越えた圧力が得られている。この方面では新物質を作ることが最初の仕事になるであろう。

前からの仕事の経緯として、高圧関係の他に岩石磁気の測定も行っている。

4. 金属関係

このグループとしては、一つは金属の結晶の不完全性の研究と、一つは伝導電子の状態の研究（両方がからみ合うところもあるが）を行っている。即ち、前者としては、合金の析出、凝固と格子欠陥の関係、極低温蒸着膜の物性、高速転位の摩擦などの実験と、転位、格子欠陥に関する理論的研究を行っている。これらの研究において、出来る限り多種類の物性の測定によって、物理的本質を正しく解明することが期待されている。一方、伝導電子の状態の研究は、主として超音波吸収の方法で行われており、出来るだけ純粋な Nb、Cr などの興味ある遷移金属を作つて、フェルミ面の決定、第二種の超伝導性の電子論的理解、Cr のスピニ構造についての基本的知識の集積などを目標としている。超伝導体の不純物効果も興味のある問題であろう。

5. 半導体関係

本グループにおいては、主として金属間化合物半導体の光物性の研究を行っている。即ち III-V、II-VI 化合物半導体を主な対象とし、とくに II-VI 化合物の単結晶（例えば、Zn、Cd などの S、Se、Te 化合物など）の高圧タンマン炉による製作をまず実験中である。これらの化合物のキャリヤーのインターバンド遷移のファラデー効果、振動的の磁気的吸收

などの測定、さらに、赤外および遠赤外領域における反射及び吸収の測定による質量決定、サイクロトロン吸収、電子フォノン相互作用の研究などを行っている。また、これらの金属間化合物の諸性質の圧力効果は面白い問題であるので、光物性測定専用の小型高圧装置も作りつつある。

6. 半導体工学関係

このグループはこれまでの長い期間にわたる半導体工学の研究の発展として、多くの応用物性の研究を行っている。その二三を挙げる。即ち、Si、Geなどの転位面の性質の研究から発展して、ヘテロジヤンクション、とくに、nSi—nGe、pSi—pGeなどの接合面の界面物性的研究を行っている。これらでは、キャリアーが主として majority carrier であるために、極めて早いスイッチ動作がえられる。また、Ge薄片の両面を適当に処理したときにあらわれる電流振動を解析し、さらに超高周波回路素子への発展をも考えている。

また、次の時代の電子工学に必要なものとして、微小回路素子の基礎としてタンタル酸化薄膜の研究、有機半導体の一つの例としてのDPPHの伝導機構の研究なども行っている。その他、半導体の工学的利用の基礎を物性的な研究方法で解明し、よりよい素子の製作に貢献するような仕事がいろいろ行われている。

7. 磁気関係

磁気関係としては、多人数で手広く仕事を行うのではなく、理論その他のグループとの緊密な連絡の下に、磁性として興味あるいくつかの問題を取り上げて研究している。即ち、Crの磁性、 Cr_2I_3 、 $-\text{Fe}_2\text{I}_3$ 系のスクリュー構造の研究など、とくに Crに関しては総合的に深く研究を進めつつある。その他に微小金属粉末（名大上田研究室との協同研究）の磁性については、NMR、ESRも併用してその本質を明らかにするつもりで研究している。また、磁性強誘電体も面白い問題で、スピント位置的なオーダーの共存する物質で実験している。また、生物物理的な磁性の研究も行う予定である。

8. 生物物理関係

基礎工学部では、近い将来に生物工学（広いいみの生物物理、即ち、生物の物性的な研究と高次の制御系としての生物機構の研究）の教室を作る予定で、とりあえずその中核として一部門だけ本年度に充当した。現在では、生物物性関係の研究が発足したところであるが、上記教室が作られた暁には、興味あるこの新しい分野に対する大きいグループが出来るもの

と期待されている。

9. 化学物性関係

化学物性関係としては、化学教室に主として光化学的な研究グループがある。即ち、一つは閃光法および低温凍結法による反応中間体の構造と物性の研究グループであり、もう一つは光パルス法などによる励起分子および不安定分子の電子的研究のグループである。

これらの分子の研究を多方面から行うために、分光器、E S R 装置、ルミネッセンス測定装置など各種の測定装置を整備し、化学反応の基礎となるべき知識を、物性的研究方法によって明らかにすることを目的としている。

短期研究会〔磁性半導体の伝導現象〕の報告

世話人 平原栄治・山下次郎

Ge や Si に匹敵するような、キレイな試料で精密な測定をしたい、との念願は磁性半導体研究者の常に抱いているものであるが、この念願は遷移元素化合物の結合性の本質を考えるとき容易には達せられない宿願であるかも知れない。他方、磁性半導体の本質の何たるやを考えず他見のみを事として、良き本質の開発をなおざりにしないことこそ大切であろう。琥珀が金剛石の透明さを願い、その色と模様の特質を消すようなことがあってはならない。

磁性半導体の研究の本質とは何であろう。それは磁性に関する電子 (m -電子) と伝導に関する電子 (c -電子) との相関を追うことと考えられるが、 m -電子のことを考えることなく c -電子のみ追うことは邪道であろう。

又、この分野の研究では他の分野のような実験の基準となるべきバンド構造の成果がない。従って怪しげな想定のバンド構造をもとに実験解釈が行われている現状である。

将来、電子計算機の駆使により、バンドの計算が可能となつた時、その資料となるべきいくつかの実験企画も考えられる。例えば低温の γ -比熱の測定による Fermi 面での状態数の知見、光吸収によるエネルギー帯の知見等は重要な実験研究となるであろう。それはそうとして、バンド構造の不明の現状で、実験進路の指針となり、考察の基準となるべきものを求めておくことも大切なことである。本研究会では、そのような基準となるべきものが在り得るか、若し在るとすれば、それは何であるかという、多少探索的意図も加味されて話題の二三が選ばれた。磁性半導体の中で Mooser-Pearson 則のような結合則は存在するのかどうか、バンド構造に代るべき考察の基準となるべき Brillouin Zone はどの様に考えられるか、最も信頼の置ける結晶構造の総合分析を行つて、この種化合物の結合性、伝導性、磁性の本質が抽出されるか等の討論が行われた。

これらの話題の結論はこの研究会で直ちに得られるべき性質のものではなく、将来吾々が眼を向けるべき研究テーマとして考えられるべきであろう。

本研究会は 5 月 27、28、29 日の 3 日間に亘りて開かれた。

1. 磁性半導体の結合則について

東北学院大 原田 隆史
東北大理 平原 栄治

遷移元素を含まない普通の半導体、例えば III_B 、 IV_B 、 V_B 、 VI_B 元素を含む半導体（Ge, InSb, ZnTe等）では所謂 Mooser—Pearson の法則がある。この法則は何が半導体を造り何が半導体を造らないかを判別する場合によく用いられている。遷移元素を含む磁性半導体ではこの法則は一般に適用されない。何故にこの経験則が磁性半導体に適用されないかの理由は、この種化合物の本質的特性に触れ、これを解明しなければ明らかにされない問題であるかも知れない。その本質的特性の一つと考えられるのは結合に与る電子が普通半導体のように原子的状態の電子構造より容易に推定出来ないことで、遷移元素特有の不完全d殻の存在のため又そのd殻がフェルミ準位の近傍に存在しているため、d殻電子も結合電子の中に混入しているという事実であろう。この事実に着目して磁性半導体の結合則とでも称せられるものが呈出された。今一般に $M_t X_s$ と云う化合物を考える。 t, s は夫々構成原子の数、この化合物をつくるとき遷移元素Mよりx個のd一電子が結合電子として出るとする。Mは今鉄族元素とすると4Sの2個の電子を加えてMよりは $(x+2)$ 個の電子が出る。Xは非遷移元素でXよりb個の結合電子が出るなれば、 $M_t \cdot X_s$ の全結合電子の数は $(x+2) \times t + b \times s$ である。若しX原子間にX—Xの如き結合がb個あるとすれば、下式の如き結合則が存在する。

$$(x+z)S + b \cdot s + PS = 2 \cdot C \cdot S$$

ここで右辺のCはX原子より出る軌道結合の手の数で diamond 構造 SP^3 —bond のときは $C=4$ 、 P^3 —bond、 $SP^3 d^2$ —bondは夫々 $C=3$ 及び6である。この式で $x=0$ 、 $C=4$ (SP^3 —bond)の場合が Mooser—Pearson の法則である。この結合則について種々の磁性化合物の結合のことが討論された。

2. 磁性半導体の結晶構造と結合性、伝導性について

東北学院大 原田 隆史
東北大理 平原 栄治

磁性化合物の結晶構造を概観してみると、B8₁型(NiAs型)を示す化合物は49種ある内、遷移元素を成分としないものはAuSnのみ、C₃8型(Cu₂Sb型)は14種の中Cu₂Sb

のみ、B₃1型(MnP—型)は20種の内GaAuのみ、C₂—型(Pyrite型)26個の中AuSb₂、その他Marcasite型の中の大部分というようにこの種化合物がある特定の結晶構造の中に集中している。これは注目すべきことである。結晶構造を今少し整理してみるとより、この種の化合物の本質が抽出されるのではないか。この立場より結晶構造の整理が考えられた。その第一の出発点はこの種化合物が半導性か金属性かを決める結晶構造因子は何であるかを考えてみてることで、金属イオンを非金属イオンで密に包囲することは金属一金属間の結合は弱められ半導性に導くであろうということである。そのため先ず非金属イオンによる立方稠密格子と六方稠密格子を二つの出発点とした。

この二つの基本的稠密格子を単位胞について考えると立方稠密格子には八面体配位の空格子点が13個、四面体配位の空格子点が8個ある。又、六方稠密格子では八面体配位の空格子が12個、四面体配位の空格子が24個ある。これらの空間子点に金属イオンを適当に入れることによりて上記の主要な化合物構造が系統的に導き出されることが判明した。即ち、

立方稠密格子よりNaCl型、Pyrite型、Marcasite型、Cu₂Sb型、Perovskite型、Spinel型を導出され、六方稠密格子よりNiAs型、MnP型、Ilmenite型、 α Al₂O₃型等が導出された。

二つの基本格子の各空格子とそれを埋める金属イオンとの関係を示す表が示された。この表が将来如何に活用されるか、又如何なる重要性を持つかは今後の問題となるが、この会で示された一つの活用は、金属イオンと非金属イオンとの配位数が幾何学的には明確化、系統化されその結合性を類型化することが出来、多くの化合物の結合性と伝導性とそれに関連する磁性とを整理することが示された。

3. 磁性化合物のBrillouin Zoneについて

東北大理 浅見勝彦、佐藤繁、松村好繁

この種化合物でBandの理論的計算の成果が得られるなれば現在不明確な論点が可成明確になることが期待される。NaCl型のTiO、VO等のBand計算は電子計算機の駆使により可成りの成果が報告されるようになったがNiAs型になると構造の複雑なためその成果の得られるのは未だのようである。この現状で、比較的議論の基準となるものとして、実験的データーより何等かの方法でBrillouin Zoneを求めることができれば討論の基準が得られよう。これはX—線回折線の強

度と、結晶構造との考察より可成りの成果が得られる。この試みを NiAs 型の V_B 族、W_B 族化合物について行った。

X一線回折線の強度より考えられる Zone boundary の種々のものが示され、現在の解析結果では NiAs 型では P³—bond の結合を考えるとき {102} 面で囲まれる Zone を Brillouin Zone とすれば、MnTc、CrTe の半導性や NiTc、CoTc の金属性等が説明されることが示された。この試みは現在予備的試行の段階にあり、将来、X一線回折用の試料の精密な成分分析等の結果と併せて出来るだけ正確な Brillouin Zone の探求を行うことが期待される。

4. NiAs 型磁性化合物のホール効果

静岡大・工 野 上 稔

一般に磁性体のホール効果は母体の磁化による異状ホール効果と外磁場のみによる正常ホール効果とに分離して考えられるが、この Lorentz 力による効果の外に、電子が外磁場の中で曲線運動をするときの角運動量モーメントと母体磁化スピンとの間にスピン—軌道相互作用を生じ、これによる異常効果を考慮しなければならないことが指摘された。これらの諸効果の分離のために精密な交流法によるホール効果の技術が述べられ、実例として CrTex の物質について強磁性領域での異常ホール係数と常磁性領域でのホール係数とが殆んど等しい特徴ある結果が示された。これは常磁性領域でも局在的スピンと伝導電子との相互作用を示す例として注目される。この現象は CrTex のみに限られる現象か一般的に存在する現象であるかは今後の研究に期待されるが、CrTex は非常に特異な性質を持ち、過剰 Te の物質では Cr の安定な空格子の存在することが他の測定より認められ、且つこの場合、Te²⁺、Te³⁺ の格子点が生じてその点での磁化スピンは反平行となっていることが磁化の測定より示されている。この様に一見フェリ磁性的物質中のホール係数が上記の如き特異性を示すなれば、CrTex についての詳細なる磁気構造の測定と相関させてのホール効果の研究が大切である。

5. CoTex の物性

東工大・応物 橋 本 巍 刃

NiAs 型 CoTe と CdI₂ 型 CoTe₂ とは CoTex の x を比較的連続的に変えることの出来る代表的 Berthollide 化合物である。Berthollide 化合物の物性は興味ある研究テーマである。今

回は $\text{CoTe}_{1.65}$ について抵抗、帯磁率、ホール効果等の測定結果が報告されたが、今後、 x の変化に対しての系統的研究が期待される。

第2日目(5月28日)は、Ti、Vの酸化物についての問題点が議論された。この種の物質は Band 的理論計算も二三報告され、興味ある相変態もあり、特に多くの格子欠陥があるにも拘らず安定な構造を持っていることが注目される。これらの問題を中心として以下の話題が呈供された。

1. VO_2 の 物 性

日立中央研 成田小二郎、楠本業、芦田佐吉、安達栄一、梅田淳一

日立グループは VO_2 についての多面的研究を行っている。 VO_2 は Morin transition のある物質として有名、即ち Cooling のときは $62^\circ\text{C} \sim 77^\circ\text{C}$ に亘りて、Heating の折は $52^\circ\text{C} \sim 67^\circ\text{C}$ に亘りて抵抗の大きな jump があり、高温相は Rutile 型で金属性、低温相は歪んで Rutile 型で 70°C に Néel 点をもつ反強磁性ではないかと考えられている。この転移の機構については磁気的なものではなく Goodenough 等の考えている結合性より来る第一次変態と考えられている。従って、その結合電子の振舞と転移との相関を観測することが重要なテーマと考えられる。

先づ X-線的構造の研究 では Heating のとき低温相は 69.5°C まで現われて いるが既に 54°C より高温相が現われ、Cooling のときは高温相は 67°C で消えるが既に 73°C より低温相が現われ始める。この際、構造不明の中間相が 73°C より 50°C に亘りて観測される。

又 NMR より得られた知見としては

転移点以上の温度での高温相は金属性であるので当然 Knight Shift が期待される V^{5+} の NMR による K.S (Knight Shift) を観測して -0.38% を得、negative K.S は 3d-電子による polarization と考えられるが、 V^{4+} の帯磁率よりの予想より -1.3% が期待され、実測がそれより小さいのは Van Vleck type の $+1.0\%$ のものが他の data より予想されるので大体観測値の説明ができる。尚、これは将来帯磁率の測定の精密解析をして K.S の各 Contributions を精密に分離することにより軌道電流、伝導電子の分極等の効果を正確に見積り VO_2 の結合性に対する知見を得ることが期待される。

又、転移点以下の低温相での NMR の line の観測より低温相は反強磁性的スピン構造のも

のないことが確認された。低温相の反強磁性については明確なる磁気的説明は得られない。又中性子回折の結果もスピンの ordering は観測されていない現状であるので上述の確認は一応自然のようである。尙、 line shape を 2 次の quadrupole 効果として解折して $\eta = 0.50$ $\nu_Q = 0.49 \text{ MC/S}$ 、 para magnetic shift $= + 0.28\%$ としてよく説明されることが示された。又、低温相と高温相での ν_Q の著しく変化することが示されたが、これは将来、単結晶につきその温度依存性の正確な測定をすることにより転移の際の V⁴⁺ イオンが感じる結晶場の変化の知見を得る良い手段と考えられる。又、低温相で negative K.S. の消失が観測される。これは Goodenough のいう V-V pair の Covalent bond の形成を支持することになる。

次に ESR の測定について述べると、77°Kにて 8 本の h.f.-structure ($V^{51} : I = \sqrt{2}$) が観測され、その他に大きな η の異方性をもつ single line の 2 種類が観測された。これは、Goodenough の V-V bond の生成説より考えるとき、この bond に 2 個の d-電子が反平行に入っているときには ESR は観測されないであろうという予測と反するものであり (single line のものは不純物のものと解されるが) 将来、尙精密なる h.f.-structure の研究が期待される。

更に 赤外吸収 による測定を行ひ低温相に於て 15 μ～30 μ の間に 5 本の peak を観測している。但し高温相では観測されない。この peak の内の 1 本は VO₂ の bonding band と antibonding band 間の吸収に対応するものであることが予測されるがまだ確証は得られていない。今後、非常にキレイな単結晶の製作により偏光赤外の反射及び吸収の測定を行うことによりその成果が期待されよう。

最後に Morin の data と比較される 抵抗の温度変化 が述べられた。Morin も VO₂ は single crystal を用いていることが報告されているが用いた試料があまりに小さいためその異方性は報告されていない。本研究では Morin transition の所で C 軸に平行に電流を流したときは 3～4 极の jump があり、C 軸に垂直の場合はやや小さく、2 极位の jump を観測している。これは Goodenough の C 軸方向の V-V pair interaction による contraction の考えを支持していると考えられる。尙、抵抗の温度変化が高温相(金属性)の直前で Morin の結果より鋭い変化をしていることも注目される。

2. V-酸化物における半導体一金属転移

東工大・応物 川久保 達之

V-酸化物にみられる半導体一金属転移を結晶歪みと関連させての1次元modelが論ぜられた。d電子1個を持つ陽イオンを1次元的に等間隔に並べるとその波動函数をBloch sumで近似し、電子の transfer energy が格子間隔のある critical value の前後で急激に増減するときには Goodenough のいう如くイオンは交互に pair をつくった方が安定で、そのとき 0°K で pair イオンのスピンは逆平行となって bonding state を占め、ΔEだけ上に Antibonding state が生じている。温度上昇と共に電子は antibonding state に励起され、イオン pair の状態は破られ転移が誘起されると考える。VO₂ では ΔE ~ kTc として 0.03 eV 位となるがこれは VO₂ の赤外吸収 3.5 μ (0.03 eV) の peak や比熱のデータ 750 Cal/mol (~ 0.033 eV) とも Consistent のように考えられる。これに対して槽谷氏の金属相に於ける correlation effect を入れるべきの comment もあつたが、この種化合物の転移機構の基本的 model としては注目されるものであろう。将来この骨組に種々の effect を組み入れてより正確な model の生れることが期待される。

3. Ti, V-酸化物の格子欠陥

東北大・金研 鈴木謙爾

TiO, VO は各の金属格子、酸素格子に夫々 1.5 % 位の空格子が存在するにも拘らず安定なしかも高い融点と硬度を持つことは早くより注目される。Bilz や Denker の band model を使っての半定量的説明がなされている。この格子欠陥を X 線回折による精密格子常数測定と密度の精密測定より計算し、得られた結果を帯磁率、knight shift、比抵抗等の測定結果と比較検討が行われた。試料は TiO_x, VO_x の x の値が Stoichiometric x = 0 を中心として 5 種類のものが製作されて研究された。

TiO_x は x の增加と共に Lattice constant 及び density は減少するに反して VO_x は x の増加と共に Lattice constant は増大するが density は減少する著しい特徴がある。

TiO_x, VO_x のいずれも x = 0 の stoichiometric の所での格子占有率は金属イオン、酸素イオン夫々 8.5 % であることが明確に示された。帯磁率の測定結果より 3 d の Curie law による part と temperature independent の part とに分けられこれを用いて VO_x の Knight shift

が positive で $x = 0$ の所で maximum を持つことが定性的に説明された。即ち $x = 0$ の stoichiometric では metal - metal 間の bond を 3 d 電子の spin 反平行のものが埋め negative K.S. への寄與が減少しているものと考えられる。TiO_x の抵抗は、 $x = 0$ のとき $\Delta\rho/\Delta T > 0$ となり、他の x の所では $\Delta\rho/\Delta T < 0$ となることが特徴で、これは K.S. の結果より予想される如く、 $x = 0$ で Ti - Ti 間の強い metallic bond の形成を示していると考えられる。VO_x の抵抗は $x = 0$ の近傍でも Morin の報告している著しい抵抗の jump が観測されていないことは将来に問題が残されよう。

安定な空格子の生成の説明として band model を使った Denker の説が述べられた。即ち TiO は結合電子 10 個あり、そのうち 8 個は bonding band に入り、残りの 2 個はその上に連続している antibonding band に入れば結合は弱くなるので、むしろ空格子を生成して電子数を減少しているという考え方である。これに対して山下氏の批判的討論が行われた。山下氏の空格子生成の説明は次項に述べられる。

4. TiO, VO 系の格子欠陥の問題点

東大・物性研 山 下 次 郎

前述した如く、磁性化合物の中では構造の簡単なるために TiO, VO の Band 計算は可成り成果が挙っている。特に TiO は Bilz, Denker 及び最近 A PW 法による Ern 等の報告がある。これらの理論は TiO(VO) の特性である伝導性、高い結合力、格子欠陥をその band 構造より説明することにある程度成功している。

これら band の計算では A PW 法より Green 函数の方法の有利なることを指摘し、更に A PW 法による Ern 等の結果について述べた。即ち、TiO では 2 p の localized band の上に d ps の混成 band が拡がっている。この band の一部分が電子で充たされ金属性伝導を示す。TiC, TiN, TiO の順で結合力（又は融点）は減少する。これは前 2 者では 2 p · 3 d の共有性が強く、後者の TiO ではこれを欠ぐためである。この 3 者にこの様な差はあるにしてもこれらが一般に硬度の高い性質を示すことは 3 d に s 又は p の混成による共有性の存在するためである。

又、格子欠陥の生成について定性的見通しとして、これら d 一電子を含む化合物の静電的結合力と Schottky 型欠陥生成のエネルギーの利得を推定することを示した。結合エネルギーとして Madelung エネルギー、クーロン反発エネルギーの外に band 形成によるエネルギーを考

慮すべきことを指摘したが、大雑波な見積として構造の同じd一殻を含まぬ化合物MgOとの比較を示し、金属イオン、酸素イオンが同時に結晶面に抜けて出る Schottky 型欠陥をつくる場合に MgO では全エネルギーは正となり他よりエネルギーの注入を必要とするが TiO では全エネルギーは負となり、エネルギー的に欠陥をつくる方が安定となることを示した。

5. V-酸化物のX線回折

Ti_2O_3 、 V_2O_3 、 Cr_2O_3 、 Fe_2O_3 等の電気的、磁気的性質を、これらの結晶に於ける cation-cation 間の距離と対応して関係づけた場合。

コランダム型構造に於いては、

cation-cation 間の距離が

$$R_c(3d) \approx [3.05 - 0.03(Z - Z_{Ti}) - 0.044(J(J+1))] \text{Å}$$

を境に、その性質が金属性の性質へ遷移するという事を Goodenough 一派は、実験式として提出し、事実、この式に反するものはない。

そして、この式を導いた考え方が正スピネル構造を有する MnV_2O_4 、 FeV_2O_4 、 MgV_2O_4 、 ZnV_2O_4 、 CoV_2O_4 等にも当てはまり、その裏づけとして、これらの Vanadium spinel の電気伝導を調べると、 $Rc \approx 2.97 \text{ Å}^\circ$ に近づくに従い、activation energy は急減に 0 に近づく事が分り、 V^{3+} の 2 個の 3d electron が conduction に主要な役割を果していると主張している。

そこで我々のグループでは、高圧を一つの手段として格子収縮させた際の $V^{3+}-V^{3+}$ の距離と Activation energy を測り、この考え方の是非を確めた。

圧力発生手段として Drickamer type 超高圧 X 線セルで 50 kb 近の X 線回折、電気抵抗セルで 500 kb 近の電気抵抗を測定した。

その結果は Goodenough の Prediction とは全く反して、 Rc の近くあると云われる、 CoV_2O_4 に於いては、Activation energy はむしろ格子収縮と共に増加した。X 線回折の結果、 CoV_2O_4 に於いては数 kb で $Rc \approx 2.98$ を越えて、収縮している事が分った。

単に Vanadium spinel に於いて Goodenough の云う conduction mechanism を否定するだけでなく、赤外吸収端の測定、核磁気の測定、単結晶による電気抵抗の測定から、conduction mechanism を明らかにしようとしている。

第3日(5月29日)はプログラムの編成上第1日に討論すべき事項と後半に稀土類化合物についての討論が行われた。

1. 磁性化合物の伝導現象の類型

東北大・理 鈴木 孝、三上 泰

磁性化合物の伝導現象は一見複雑多様な異常を示し、その異常の本質が磁気的なもの、化合物の構造変態に伴うもの等種々考えられている。この複雑な現象を一応現象論的見地より分類してみると将来の研究のためにも、又、この種化合物の新しい本質的なものの掘り出しにも役立つものと考えられる。分類は先づ大きく半導性のものと金属性のものに分けられ、その内で細かに異常特性が論ぜられた。

Ⓐ 半導性伝導現象のもの

(A. 1) 磁気変態に伴うもの

Irkhin は母体磁化により伝導帯が分裂することによるエネルギー準位の差と半導性活性化エネルギーの大小関係より磁気変態点による異常性の分類を試みて、二三のフェライトの例を挙げている。LaMnO₃ に二価金属元素の混入による伝導異常現象もこの型で説明出来る可能性があることが示された。この型の中には従来の Zener 型のもの Heikes 型のものが含まれる。

伝導電子の magnon 散乱が phonon 散乱と同一型式をもつことより、磁気変態の magnon 散乱に及ぼす効果と考えられるものとして MnTe の例が挙げられる。MnTe の磁気変態点の附近の異常についてはまだ疑点が多い。

(A. 2) 磁気的変態があるにも拘らず、抵抗の異常なきものとして Ni-Zn フェライト、Ni フェライト、CoO 等があるが、これらは magnon 散乱による易動率の変化が少く、伝導電子の温度効果にかくされるようなものであろう。

(A. 3) 結晶変形に伴う抵抗の異常と考えられるもの。これには結晶変形が磁気スピンの ordering と密接なる連関をする FeS の如きもの、磁気変態点と異った所で Jahn-Teller 変形による抵抗の異常を示す CrS の如きものにつきて論議された。

Ⓑ 金属性伝導現象を示すもの

(B. 1) 磁気変態に伴い抵抗の異常を示すもの

この中で強磁性化合物として Curie 温度で FeGe の如く $d\rho/dT$ の勾配の急なものと、

CrTe の如くそれゆるやかなものに特徴付けられる。後者は局在モーメントの s-d 相互作用に於ける Kasuya mechanism の振舞いであり、これは電子間の散乱に弾性的効果のみを考えたもので前者は非弾性的効果を考えることにより振舞を定性的に説明される。

次に、反強磁性化合物（この中には、フェリ磁性のものも含まれるが）では二つ、又はそれ以上の副格子間のスピン相互作用と格子イオン間の結合エネルギー（又は弾性エネルギー）の相関したものが多く、従って抵抗異常が格子常数と相関を持つ例が多い。CrSb に対する Dudkin の説明、Mn₂Sb、MnAs の Exchange inversion 等の例が示された。

(B. 2) 磁気変態点で著しい抵抗異常を示さないものの中に注目すべきものとして、Fe₂P (Ferro Tc=306°K) と ZrZn₂ (Ferro Tc=35°K) がある。これらの物質の飽和磁化より磁子数と常磁性領域より求めた有効磁子数の比が著しく大きい（前者は 5 倍、後者は 10 倍）ことより、これらの物質の Ferro の原因を伝導電子であると考えられていることは興味あることである。

(B. 3) 磁気変態のない常磁性化合物で抵抗の異常を示すものの例として、V₃Ga、V₃Sn、V₃Si について NMR の Knight Shift、 γ -比熱、熱起電力の測定結果が説明され、これらの結果より、状態数の高い d-band が Fermi level の近傍に存在することが考えられ、そのために抵抗の異常の示されることが述べられた。

(B. 4) 最後に speaker の研究している MnP の熱起電力抵抗等の異常について、その想定される d-band の構造を用いて説明がなされ、特に 50°K の所の抵抗異常はこの物質がこれより低温で、スピラルスピン構造を持つことより Overhauser 流の Spin Wave density の model により説明が与えられた。

2. 単結晶 Li_xNi_{1-x}O 及び異方性フェライト Ba₂Zn₂Fe₁₂O₂₂ 単結晶の電気的性質

東芝・中研 小出重直

(A) 先づ、Li を少量添加した NiO の単結晶についての抵抗の温度変化が述べられた。添加量 $x = 0 \sim 0.0065$ の範囲、単結晶試料が従来の焼結体試料と異なるのは NiO の Néel 点 (523°K) 附近の曲折以上の温度域の活性化エネルギー (ϵ_1) がそれ以下のもの (ϵ_2) より小さいこと、即ち $\epsilon_2 - \epsilon_1 > 0$ であること、 $x \approx 0$ のとき x の増加と共に ϵ_1 、 ϵ_2 、($\epsilon_2 - \epsilon_1$) 及び ρ は急に増加し、 $x = 0.015$ になると ϵ_1 は飽和値 0.14 eV となり（

$\epsilon_2 - \epsilon_1 \approx kT^*$ となる。 T^* は x の小さいときはほど T_n であり x が増すと少しづつ減少する。これらの現象を豊沢氏の Hopping model によりて解析することが示された。

(B) NiO では T_n の所で格子歪があり抵抗の異常が磁気的のものか、格子歪のためか不明であるので異方性フェライト $Ba_2 Zn_2 Fe_{12} O_{22}$ の単結晶について抵抗の温度変化、9 G のマイクロ波抵抗、及び熱起電力の測定を試みて、その成果は未だ不完全であるが、抵抗の異方性として、C 軸方向のものは C 軸に垂直のものの約 2.5 倍、($\epsilon_2 - \epsilon_1$) は大体 kT_c (T_c は Curie 点) の order となり、マイクロ波抵抗と直流抵抗の比は温度の降下と共に小さくなることを観測している。この解析は今後の問題として検討中であることが述べられた。

3. 鉄族硅化物の伝導

日電基研 朝鍋 静生、篠田大三郎

$CoSi$ に $FeSi$ 、 $MnSi$ 、 $CrSi$ 及び $NiSi$ を固溶させて固溶量の異なる多くの試料について、ホール効果、熱起電力を測定して、その結果を Collective band model の下で two bands を仮定して解析することにより、次の結果を得た。

1. two bands はエネルギー的に部分的重なりを持ち、上の band には Fermi 準位より下に電子を、下の band には Fermi 準位より上に正孔をもつが、夫々の数は固溶成分量で制御される。
2. その結果、 $CoSi$ に $FeSi$ 、 $MnSi$ 、 $CrSi$ を固溶するときは Fe 、 Mn 、 Cr 各々 1 atom 当り 1 個の正孔が生ずる。
3. $CoSi$ に $NiSi$ を固溶するときは、 Ni 1 atom 当り 1 個の電子が生ずる。

これは、磁気モーメントに関する Slater-Pauling curve に類似の関係を予想されるが鉄族元素の各について更に詳細なる測定が期待されると共にこれらの試料についての磁気的測定も併せ行うことによりてこれらの固溶体に合金の如き collective band model の適用の可否を確めることが重要興味ある問題であろう。

第 3 日 (29 日) 後半は前述の如く稀土類化合物の討論に当てられた。この分野は現在未開拓の分野が多く、見方によっては全く開拓の道がつけられていないとも考えられる。その意味で先づ古屋氏に現在までこの分野でどれだけの仕事がなされているかを Review してもらひその後、槽谷氏にこの方面の問題点を指摘していくことにした。

4. 稀土類化合物の実験的研究の現状

東北大・全研 古屋 広高

現在実験報告のある稀土類化合物として水素化物、ⅢB族、ⅣB族、VB族、VI B族及びVII B族との化合物についてその結晶構造が説明され、更に代表的化合物の試料製作法が説明された。これら化合物のうち、研究のかなり進められているのは NaCl 型のモノカルコーゲン化合物である。S-、Se-、及びTe- 化合物で、その格子常数が Sm、Eu、及び Yb は他の化合物と異っていて、これは 2 倍の絶縁体又は半導体をつくっているが、他の化合物は 5 d が伝導電子となって金属性を示すという特徴ある性質が紹介された。

就中、半導性 SmSe に金属性 NdSe を少量混して半導性より金属性への遷移の研究や SmS に GdS を少量入れて donor 型の不純物準位をつくりその挙動の研究等興味ある研究が紹介された。これら化合物の伝導電子の計算、Fermi level の温度変化の計算の際、自由エネルギーの計算をする場合 band 中のエネルギー準位を孤立稀土類原子の J.L. の量子常数を用いてスピン軌道相互作用のみより求められることは、d-電子遷移元素化合物には考えられない特徴である。カルコーゲン化合物のうち M_2X_3 、 M_3X_4 型組成化合物も研究が行われているが、モノカルコーゲン化合物程スッキリした成果は現在の所ない。

その他、ナイトライト化合物の一群についても興味ある結果が報告された。

5. 稀土類化合物の興味ある問題

東大・物性研 糟谷 忠雄

本題について、次のように問題点を大体 3 つに大別して述べられた。尚内容は d-遷移元素化合物にも存在する問題を含めて述べられた。

(a) 伝導に与かる電子 (c-電子) と、磁気に与る電子 (m-電子) に分類され、後者が略 Localized model の立場で扱えるもの。

これには先づ稀土類金属が考えられ、稀土類特有の spin ordering に関する S (Q) の分だけ c-電子の熱散乱は減少するが、他方これは effective potential と Fermi 面の性質を変化させ、伝導現象に大きな効果を及ぼすことが示された。次に半導体稀土類化合物として前の古屋氏の話の中にも述べられた如く EuS 、 EuSe 、 EuTe の如きのもの中に金属性化合物の GdS 、 GdSe 、 GdTe が混入するときの impurity state、impurity conduction と spin ordering との間にいろいろ興味ある関係のあることが示された。即ち、impurity Gd のま

わりに捕えられた電子と Gd とで molecule をつくり、Giant molecule effect の観測等について、又低温で Eu²⁺ と伝導電子との spin couple による Giant moment 等のことが述べられた。

(b) c-電子と m-電子に分離されるが後者にも band 的な性質の強いもの。（これは主に遷移金属（3d）についてのものであるが）

これは m-電子を単純な band electron として扱う方法について、一応 Mott 流の取扱いが考へられるが、その散乱の温度効果を s-d 相互作用の立場より考えるとき種々の欠点のあることが例証された。

(c) c-電子と m-電子との分離の出来ないもの

これは Spin ordering と伝導が最も強く couple したもので、3d-band が Fermi level を切るような化合物に於て、特に著しく、Overhauser 流の Spin wave density の取扱い等と関連して多く興味ある問題点が指摘された。

物性研短期研究会報告

「半導体の不純物伝導」

豊 沢 豊

上記の研究会が昭和40年6月23日から3日間にわたって行なわれた。

Ge, Siは、あらゆる固体の中で、最も素性のよくわかったものである。これらを中心に発展してきた半導体物理は、広汎な物性物理学の中でも最もよく耕された沃野であるといえよう。その中にとり残されてきた暗黒の部分が「不純物伝導」である。何事も明瞭にすっぱり割り切れる所を半導体物理の本命と考える立場からみると、不純物伝導はただ泥沼であり、半導体物理の特異点に過ぎないかも知れない。しかし不純物伝導における諸現象は、固体物理学において解決を迫られている幾つかの基本的問題を内蔵しているものと思われる。他方、この現象の舞台となる母体結晶と、素材となる（孤立）不純物準位に関する知見はかなりそろっているため、現象自体のダイナミカルな面をしらべるには好個の研究対象である。このような理由で、不純物伝導は多くの実験家、理論家の興味をよび、特に我が国での研究蓄積とポテンシャルティは極めて高いものであったといふことができよう。

しかし量的にみて、不純物伝導は、広大な半導体物理全体からみれば、やはりその一部分に過ぎない。対象を不純物伝導一本にしほることにより討論をより容易にしたい、というのが提案者達の意図であった。従って、半導体研究にたづさる重要な方々をすべてお招きすることは、最初から断念せざるを得なかった。しかし関心の深い方は意外に多く、参加者は平均50人程度、討論も活潑に行なわれ、数々の問題提起をふくんだ研究報告とあいまって、極めて密度の高い研究会であった。研究報告の詳細は予稿集に収められているが、ここでは、主として、参加されなかつた方々を念頭において、研究会の経過報告をさせて頂く。

第 1 日 目

- (1) 不純物伝導の概観；高濃度域の不純物伝導 — 佐々木亘、山内睦子、中村美津子、
佐野純子（電気試験所）

不純物伝導では、ドナー濃度従つて $r_s = r/a^*$ (r は一ドナー当りの体積をもつ球の半径、 a^* はドナー電子のボア半径) を広範囲にかえることができる。Mott のいう

insulator-metal transition ($r_s \sim 2.5$ で起る) に相当して、低濃度域と高濃度域では伝導の特性が異なるが、現象面からみて中間濃度域をも区別することが屢々便利である。ドナー配置の randomness は、理論的には扱いにくい点であるが、regular lattice ではあらわれない独自の効果を惹き起す可能性がある。

低濃度での伝導が、ドナーに局在した電子のフォノンを介しての hopping によることは確立された。伝導を論ずる場合、交流では donor pair model で本質的によいが、直流では電荷が試料の端から端まで到達するための network としての難しさが残っている。ドナー電子の軌道反磁性を差し引いたスピニ常磁性は、有限濃度では Curie 則より小さ目であるが、これは donor pair の統計的分布と、singlet-triplet splitting と kT のかね合いとから定性的に説明できる (Si)。ドナー電子の ESR には、濃度増加に伴ない、donor の pair, triplet, …… 等の cluster による hyperfine structure が観測され、遂には motional narrowing で一本になる。

中間濃度、中間温度域での伝導度: $\sigma = \sigma_0 \exp(-\epsilon_2/kT)$ にあらわれる活性化エネルギー ϵ_2 は、磁場によって増大し、正の磁気抵抗に寄与する。中間濃度での帯磁率は、Si の場合上記の pair model で説明できるが、Ge ではあまりうまくゆかない。Damon-Geritsen のデータで $X = C_1 + C_2/T$ において C_2 を求めると、 C_2 は濃度にそれ程強く依存せず metallic 領域の一歩前ではかえって減少函数となる。

高濃度域では不純物帯が伝導帯から独立しているか? ホール係数-温度曲線にあらわれる山は不純物帯の存在を示唆するが、電子比熱、帯磁率、ピエゾ抵抗などは、定性的には伝導帯 only で話がすみそう。観測される物理量により、不純物帯の存在に敏感なものと鈍感なものがあるという解釈もあるが、ホール係数の山は、電子分布が Boltzmann 型から Fermi 型に縮退することによってあらわれる可能性もあるのではないか、という疑問(宮沢)もある。

高濃度域での負磁気抵抗は、佐々木らの研究した n-Ge 以外にも、種々の半導体で観測され、正の磁気抵抗を示すものも、stress でバンドの縮退をとれば負となる。n-Ge の場合、磁場温度依存性の系統的研究から、たとえば種々の温度における $-d\rho/\rho$ 対 $H/(T-\theta)$ の曲線 ($\theta < 0$) が同一のブリュアン的曲線の上にのるなどの結果が得られ、局在磁気モーメントの嫌疑もいよいよ濃厚となったが、抵抗の $1nT$ 項が磁場の影響を受けないこと、熱電気効果が s-d の時程著しくないこと等、よくわからないこともある。佐々木は又、負磁気抵抗の係数の濃度依存性と、反磁性帯磁率のそれとの酷似を指摘したが、これが偶然でないとすれば、何を意味

するものであろうか。

- (2) Si 及び InSb の極低温電気伝導 — 田中昭二、小林嶺夫、片山良史、内之倉国光、神谷武志、小間篤(東大工)

n-type Si の低温度、microwave での電導度の研究から、ドナー対の演ずる役割をしらべた。二つのドナー対のポテンシャル差(近くの帶電アクセプターによる)を ΔV , transfer energy を W として、 $\Delta V > 2W$ のものを polar pair, $\Delta V < 2W$ のものを homopolar pair と呼ぶことにする。microwave をあてた時、後者では共鳴吸収が起つて飽和特性を示し、前者では hopping による緩和型吸収が起つて飽和特性を示さないことがわかった。又極めて近いドナー対は carrier に対して trap として働き、直流抵抗の ϵ_3 にも影響し得ることを指摘した。

田中らは更に、メーザー効果を利用して pair をしらべた。n-型の場合、簡単な水素分子イオン模型によると、磁場下では、bonding, anti-bonding とスピンの向きにより四つの順位に分裂するが、これを用いて、24Gc を pumping に使い、9Gc の吸収減少を磁場をかけて測定する。これから見積られたスピン反転の時間: $10^{-4} \sim 10^{-5}$ sec が孤立ドナーの緩和時間(10 sec、以上)よりはるかに小さいことは注目に値する。又線幅の原因を、周囲の pair 内の hopping による振動電場と結びつけて考えようとしている。p-型の場合、アクセプター対の準位構造は複雑だが、菊池・竹山らの計算と大体一致する所に、pumping による吸収減少があらわれている。

n-InSb での実験は、ドナー濃度 10^{14} cm^{-3} 以上の縮退型のものについて行なわれたが、抵抗は 4.2°K から 0.1°K に至る間に数倍にも増大し、 $\rho = a - b \log(T + T_0)$ の式によくのるという(n-Ge とは b の符号逆)。a, b, T_0 ($\sim 0.1^\circ\text{K}$ 程度) の濃度依存性もしらべられている。一方磁気抵抗も弱磁場では負であって、磁場・温度依存性などでも n-Ge とよく似ており、やはり局在スピンの存在を示唆している。s-d 散乱の理論で近藤の得た抵抗の $\log T$ 頃らしきものは、このように半導体でも観測例がふえつつあるが、若しそうなら、局在スピンの実体は何だろうか。

- (3) n-Ge 中間領域不純物伝導のマイクロ波特性 — 笠見昭信(東芝中研)

中間濃度領域で直流抵抗の温度・磁場依存性が $\rho(H, T) = \rho_0 \exp\{(\epsilon_2 + \gamma H^2)/kT\} = \rho(H=0) \exp(\gamma H^2/kT)$ とあらわされることは、山内等及び Sadasiv の測定により知

られているが、 ϵ_2 の起源をしらべるため、9000 Mc/sec のマイクロ波に対する交流抵抗をしらべた。Sb は $5.5 \times 10^{16}/\text{cc}$ 、補償度 K は ≤ 0.01 。実験の結果 $\epsilon_2(H=0)$ は交流と直流とで一致し、 ϵ_2 による伝導が hopping でないことを支持する。H 依存性は交流場のときも上式であらわされるが、 γ が直流の場合の 6 割程度であること、又 γ は $\propto 1/T$ に近いことがわかった。 ϵ_2 の磁場依存性の説明として提案されている軌道縮小理論、ゼーマン分裂によるキャリヤー数変化の理論の何れによっても γ の差異を理解することは困難と思われる。これを解決するため、交流場での γ の濃度・温度依存性を更に系統的にしらべることを目下計画中。

- (4) 強磁場での不純物伝導—生源寺希三郎(日立中研) 90 kGaussまでの強い定常磁場で、中間濃度域から高濃度域の始まりに至る Ge:Sb の不純物伝導をしらべた。(負磁気抵抗のあらわれる試料でも) H がやゝ強くなると $\rho = \rho_a \exp(aH^2)$ で増大し、更に強磁場では $\rho = \rho_b \exp(bH)$ となる。a, b 共 $\propto \frac{1}{T}$ である。又 metallic なものでも、H により始めて抵抗-温度曲線に活性化エネルギーがあらわれることがある。30~40 kGauss (H_c) 以上で先づ $\epsilon_I (\propto H - H_c)$ があらわれ、更に 50 kGauss 以上 2°K 以下で H にあまり依らず ϵ_{II} があらわれる。 ϵ_{II} は磁場によるドナー波動函数縮小により生じた ϵ_2 型ギャップであり、 ϵ_I と上記の $\exp(bH)$ 依存性とはゼーマン分裂と関係があろうと推定している。ホール係数の H 依存性もしらべられているが、今後更に系統的な測定と解析が行なわれるものと期待される。

- (5) n 型 Si の磁気抵抗効果 — 山内睦子(電気試験所) Si:P は、 $N_D = 3.8 \times 10^{18}/\text{cc}^*$ 以上で高濃度型の不純物伝導と負磁気抵抗を示すことを示した。
- 濃度依存性は Ge:Sb におけるそれと大体似ているが、負磁気抵抗 - $\Delta \rho$ の大きさが一桁小さいこと、 $-\Delta \rho \propto H^2$ の領域がもっと狭いこと、温度変化が 2°K 以下で小さくなる、などの点で異っている。 $-\Delta \rho$ の濃度依存性 (T, H は一定) は、Ge:Sb と同じ $\propto N_D^{-\frac{2}{3}}$ である。

* 上記 N_D の臨界値は、Rothe の $2.3 \times 10^{18}/\text{cc}$, Jerome 等(後の森垣氏の報告参照) の $2.5 \times 10^{18}/\text{cc}$ とくいちがっている。濃度は測定法により若干異なるので、異った人のデータを相互に比較するときは、consistent な注意が必要であろう。

第 2 日 目

(1) 磁気共鳴の立場からみた不純物伝導 — 森垣和夫(ソニー研究所)

不純物伝導の機構を解明する上で示唆的と思われるESR, NMRの多彩な実験を幾つか紹介した。

- (a) Si:Pについて。Sundfors, Holcombの、高濃度域($N_D \geq 3 \times 10^{18}/\text{cc}$)でのNMR。
 $3 \times 10^{19}/\text{cc}$ 以上ではSi²⁹のT₁とKnight shift Δνとは、夫々 $N_D^{-2/3}$, $N_D^{1/3}$ の濃度依存性を示し、又 $T_1 \propto T^{-1}$ で、parabolic bandにある相互作用のない電子と、核スピンとの間の、超微細相互作用で理解できる。Jeromeらは、 $2.5 \times 10^{18}/\text{cc}$ の試料で、二重共鳴法により、ドナーから種々の距離にあるSi²⁹核のT₁とΔνとが、Korringaの関係式： $T_1 (\Delta\nu)^2 \propto T^{-1}$ を満足していることを示し(従って電子はmetallicと考えられる)、又それらの分布から、ドナー近くでの電子波動函数は孤立したドナーのそれに近いことを結論している。又低濃度でのSi²⁹のT₁のK, H依存性を測定し、その結果が、電子スピン・核スピン双極子相互作用の電子hoppingによる変調と、スピン拡散とともにとづいて説明できることを示している。(ESRについては前川氏、及び井郷氏の報告参照。)
- (b) n-GeでのESR：低濃度域から中間濃度領域にわたり、線幅ΔHをしらべた(森垣・満間、Wilson)。Sbでドープした試料で、[111]に強いストレスをかけてvalley-orbit縮退をとり、伝導に関係した線幅をとり出す。ΔHのN_D, T依存性は、超微細構造がhoppingによりnarrowingを起したものとして、Anderson-Weissの式で理解できる。但し $8 \times 10^{16}/\text{cc}$ あたりから上ではこの式からずれ、交換相互作用によるnarrowingの無視できないことを示唆する。 $10^{17}/\text{cc}$ 以上では逆にΔHはN_Dと共に増加し始めるが、この機構は未だ明らかにされていない。Pでドープしたものでも大体同様の実験がなされている。高濃度域のESRについては、不純物帶の形成、負磁気抵抗との関連においても、今後なされるべきことが多く残っている。

(2) Siの不純物帶とESR—前川稠(電気試験所)

低濃度から高濃度域の始まりかけた所まで、ESRの線幅と強度の温度・濃度依存性をしらべた。線幅については上記Geの場合と似ており、強度の温度依存性は帯磁率のそれと同じく $T^{-(1-\alpha)}$ であらわされ、濃度変化は高濃度に近づくと $\propto N$ からずれる。最も注目すべき点はmetallicな濃度領域($\geq 3.4 \times 10^{18}/\text{cc}$)に入っても、g-値、線幅強度に不連続な変化が起らないことである。従ってこの濃度域で観測されているESRは、低・中間濃度

で観測されているものと同じく局在した電子のものと考えるのが自然であろう。この局在スピニンが、負の磁気抵抗の原因と考えられているものと同一のものかどうかをしらべるため、強いマイクロ波でスピニンを飽和させて負の磁気抵抗分が消失するかどうかを目下実験中である。

(3) P-doped Si のスピニン格子緩和に及ぼす補償の効果—井郷健夫(電気通信研究所)

$N_D = 5 \times 10^{15}/\text{cc} \sim 3 \times 10^{16}/\text{cc}$ 、 $K \equiv N_A/N_D = 0 \sim 0.8$ の試料で、電子スピニンの緩和時間 τ_s を測定した。 $1/\tau_s N_D$ は、Kの小さい領域で Kと共に増加し(領域 I と呼ぶ)、Kが大きくなると減少する(領域 II)。I では $1/\tau_s N_D$ は N_D に依存しないが、II では依存し、I、II を与える K の値は N_D が大きい程小さい。 $1/\tau_s$ の温度依存性は $\propto T^n(K)$ であらわされ、 $n(K)$ は N_D によらず Kと共に直線的に増加する(1~4)。測定には 9Gc と 24Gc とを用いたが磁場依存性は殆んどない。この緩和が、ドナー間のスピニン拡散と、アクセプタ一近傍のドナー対間の電子 hopping によるスピニン反転とともにとづくとすると、 $1/\tau_s$ の K-依存性は、簡単な考察から $\propto N_A/(N_D - N_A) = K/(1-K)$ となり、領域 I では実験の傾向と合う。なおこれに関して杉原の理論が紹介された。ドナー原子によるスピニン軌道相互作用により、ドナー波動函数に 3d 軌道と逆向きスピニンがまじり、これによってスピニン反転の hopping が起る。電子のフェルミ分布を仮定すると、 $1/\tau_s$ の K-依存性は実験とよく一致する。 N_D -、H-依存性も大体よいが T 依存性は一致があまり満足といえない。又領域 II で $1/\tau_s$ が Kと共に減少する事実は、別途に説明を要するだろう。

(4) 半導体における不純物磁気共鳴 — 康舜沢、富田和久(京大理)

二本の超微細線から成る P ドナーの ESR が、濃度増大と共に二つ、三つの cluster による satellite を次々と生み、これらがやがて narrowing を起して中央の一本になってゆく様子を、理論的にしらべてみる。先づ cluster の size (ドナーの個数) に関する統計的考察を行うと、中央の成分が実際より低くしかでて来ないが、これは統計のとり方にも問題があるかも知れない。次いでこの ESR のパターンを dynamical な立場から考え、二時間グリーン函数の方法を用いると、適当な近似で、孤立したドナーによる二本の line と、種々の cluster による satellite が narrow した結果としての中央の line とが得られる。この近似を先へ進めれば、原理的には幾らでも実際に近いパターンが得られるだろう。

(5) CdS の不純物伝導 — 豊富誠三、森垣和夫(ソニー研究所)

C1 でドープした n-CdS、ドナー電子の結合エネルギーは 30 meV 、 $a^* = 248 \text{ \AA}^\circ$ 、 $N_D = 5 \times 10^{18}/\text{cc} \sim 2 \times 10^{17}/\text{cc}$ で不純物伝導を観測した。ホール係数の山、中間濃度域での ϵ_2 や、高濃度域での負磁気抵抗、その立ち上りの係数の温度・濃度依存性、飽和値の濃度依存性、低温での抵抗の減少などが系統的にしらべられ、それらはすべて、定性的には n-Ge に酷似していることが確かめられた。metallic になる濃度は $N_c \sim 1 \times 10^{18}/\text{cc}$ で、上記の a^* から Mott 理論で見積った値: $1.5 \times 10^{18}/\text{cc}$ とよく一致する。なお C1 ドナーの ESR も濃度の函数として測られているが、Ge の場合と大体同じ傾向を示す。

(6) 佐々木等及び田中等の実験に関するコメント — 槙谷忠雄(東大物性研)

n-Ge、n-Si、n-InSb で観測された異常抵抗、負磁気抵抗を s-d モデルによらず説明しようという試み。濃度が増すにつれ、ドナーの cluster が形成されてくる。先づ single-band の n-InSb で pair (水素分子的)を考えると、基底及び励起状態は夫々 singlet 及び triplet である。後者は波動函数が拡がって伝導に寄与するが、低温では singlet に落ちて抵抗が増すことになる。又磁場をかけば triplet level はゼーマン効果により population が増す (\rightarrow 負の磁気抵抗)。many valley の縮退をもつ n-Ge、n-Si では、上記の singlet が更に小さく分裂し、この大小二種の分裂にもとづいた二段階説で、抵抗-温度曲線にあらわれる二つの山を説明することを考えてみたい。

第 3 日

(1) Impurity Conduction における Randomness と Correlation の問題 — 松原武生
(京大理)

Random lattice の問題に関しては、最近著しい発展をした一次元格子振動の研究から、幾つかの重要な教訓が得られる。質量の軽い不純物をまぜたとき、振動数スペクトルに不純物帯があらわれるが、Dean の計算によれば、これは、局所的な不純物の島 (cluster) によると思われる微細構造を示す。これは、スペクトル密度が恰度 0 になるいわゆる special frequency の存在と関連しており、そのことを指摘した松田博嗣氏(京大理)からもコメントが寄せられた。この他 Saxon-Hutner 定理なども重要だがこれらが三次元でどうなるかはよくわかっていない。

三次元 random lattice の電子状態： random に配列した δ - フェルミオン型ポテンシャルで、 main band の変化と impurity band とを同時に求めた米沢の計算を紹介し、又以前の松原・豊沢理論は、伝導に関与する状態は高い近似で扱っているが、上記の“島”的効果が落ちていることを指摘した。

電子間クーロン力による相関効果は、電子を局在させる傾向をもつ。Mott の提唱した金属 - 絶縁体相転移の問題を、二時間グリーン函数法で論じた Hubbard の最近の研究が紹介された。この方法を不純物帯の問題に適用してみると、いわゆる D⁻ バンドまでのギャップは観測された ϵ_2 より大きく出すぎるという。なお D⁻ バンドの磁場効果は興味ある問題と思われる。

(2) 中間濃度域不純物伝導の実験とモデル — 御子柴宣夫、山内睦子（電気試験所）

中間濃度、中間温度で抵抗は $\rho = \rho_\infty \exp(\epsilon_2/kT)$ であらわされるが、この ϵ_2 の正体は何か？実験結果を整理すると、 ϵ_2 は N 増大と共に減少して遂には 0 になる（→metallic 領域）。 $\rho_\infty \propto N^{-3.6}$ 。 ϵ_2 の方は K 依存性もある。磁場をかけたとき ρ_∞ は減少するが、 ϵ_2 は $\epsilon_2(0) + \gamma H^2$ の形で増大し、全体としての磁気抵抗は正になる。ホール係数は N 減少と共に $\propto N^{-1}$ よりも急激に増大し、又 T が上ると減少して、その温度勾配は抵抗にあらわれる ϵ_2 の $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ 程度、ホール係数は磁場依存性ももつ。温度一定にしたとき、ホール易動度と ϵ_2 の関係は、ドナーの種類、N, H によらず一本の曲線にのる。

ϵ_2 に関しては色々モデルが出されているが、こゝでは D⁻ バンド説に従って考えてみる。D⁻ とはドナーに二つの電子がとらえられている状態をさすが、これがバンドを作っているためのエネルギーの下りを、ドナー間の平均隣接距離での D⁻ 電子波動函数の重なりエネルギーから見積り、これを D⁻ 内電子間反発エネルギーから差引いて ϵ_2 を求めると、その N 依存性は大体実験と合う。 ϵ_2 の磁場依存性については、同じ D⁻ バンドモデルの枠内で、御子柴の軌道モデルと山内のスピニモデルとがある。 ϵ_2 の D⁻ バンドモデルは今の所一番有力なようだが、反対意見もある。

(3) s-d 相互作用の理論の現状 — 近藤淳（電気試験所）

不純物伝導の負磁気抵抗では、局在スピンの嫌疑が濃くなってきたが、それとは一応きりはなして、稀薄合金における s-d 相互作用理論の現状、特に近藤理論のその後の発展につ

いて報告した。s-d 散乱がダイナミカルであること、中間状態で Pauli 原理が成立つことを考慮すると、散乱確率の第二ボルン近似で $\log T$ の項があらわれるが、高次散乱項からは $\log T$ の高い巾が次々とあらわれる。この摂動展開を厳密に集めることを多くの人が試みているが未だ完全とはいえない。摂動展開でなくそれを求める一つの試みとして、近藤は Cooper 流の考えを用い、Fermi 面の中へ散乱されないことを織り込んだ effective な s-d 交換エネルギー J' で第一ボルン近似の計算を行い、抵抗 $\propto \left[\left(\log \frac{T}{T_c} \right)^2 + \left(\frac{\pi}{2} \right)^2 \right]^{-1}$ を得た。但し $T_c = \epsilon_F \exp(1/2J\rho)$ 。 $J < 0$ に従い、 T_c は極めて小又は大となり、実際上問題になる温度範囲では、 \log 的な単調減少（増加）函数になる。一方、二電子散乱を考慮すると別な効果があらわれる。これは見かけ上高次の効果だが、中間状態でエネルギーを保存する項の発散を防ぐため、 J^2 に比例した寿命を考慮すると、一次のボルン近似と同程度の量になり、電気抵抗に $T/(T+T_a)$ の項を寄与して、実験との一致が改善される。

又異常熱起電力は、s-d 散乱が total の散乱に占める割合に比例するので、不純物伝導の場合、n-Ge で熱起電力がそれ程大きくなることも理解できるし、又 $\log T$ 項の大きい InSb では大きいことを期待してもよからうとのべた。

(4) D-バンドに関するコメント — 黒沢達美（中大理工）

metallic な不純物帯を tight binding 法で扱い、電子の mean free path l_F を Rayleigh 散乱理論と類似の方法で計算すると、 l_F/r (r は平均隣接ドナー間距離) は濃度の増加函数となり、 $l_F/r \gtrsim 1$ が、観測される metallic 領域と一致する（これ以下では l_F 自身あまり意味がなくなり、hopping と区別できない）。電子が中性ドナーの上をわたり歩くとき、既にそこにある電子スピンとの間に Pauli 原理が働く。このため D-バンドは通常の一体的なバンドと本質的に異なる（或る意味でダイナミカルなバンド）。又この結果として、ドナーの cluster に強磁性的な ordering が起り（giant moment?）、又 cluster 間には反強磁性的な coupling が起ることも考えられようが、この辺は色々微妙な問題である。

(5) 局在スピンに関するコメント — 豊沢豊（東大物性研）

中間濃度から高濃度へうつるとき、電気伝導の性格は変るが、前川によれば ESR の実験にはこのような変化はみとめられない。これらを矛盾なく説明するために、負磁気抵抗の説明の際想定した局在スピンを、中間濃度域でのそれと本質的に同じものと考えたい。

山内らによれば、 ϵ_2 領域での $\rho = \rho_\infty \exp(-\epsilon_2/kT)$ の ρ_∞ が負磁気抵抗を示す（この領域では局在スピンと D⁻ バンドの伝導電子の共存を考えることはむしろやさしい）。この ρ_∞ の性格が、 ϵ_2 が消失して metallic になった後もそのまゝ保存されるものと考えられる。それ故、伝導にあづかる D⁻ バンドの下端が、濃度増加と共に、局在電子のフェルミ面に到達した後も、その下端はそのまゝ次第に下って局在スピンレベルを除々に侵蝕すると考える。取り残された低いレベルは勿論、侵蝕された部分も continuum の中にうもれた virtually localized spin として、若干のモーメントを保持することになろう（以前に考えたのは後者だけ）。metallic になる所で不連続があらわれるのは、勿論ドナーの random な配置のためである。なお、負磁気抵抗の実験から推定される、見掛け上巨大なモーメントは、やはり説明困難である。

(6) 不純物伝導が関与すると思われる一つの実験 — 大塚エイ三（阪大理）

$10^5 \sim 10^{16} / \text{cc}$ の In をドープした p-Ge に光をあてて cyclotron resonance を観測する。4.2°K では sharp な電子の共鳴ピークが幾つか（多谷間）あらわれるが、1.5°K ではこれらは全く消失して、そのかわり H に対して殆んど flat な signal があらわれる。1.5°K では、minority carrier である電子が何かに bound されてしまったと考えると、flat な signal は、正孔の低濃度での不純物伝導による交流場での loss — 田中らの実験で観測されているもの — かも知れない。この signal の正体をたしかめるため、更に系統的な実験を続けている。

(7) 不純物伝導のモデルハミルトニヤンに関するコメント — 長谷川洋（京大理）

$$\text{Hubbard 流のモデルハミルトニアン: } H = \sum_{m, l, \pm} V_{ml} a_{m\pm}^\dagger a_{l\pm} + \sum_m U n_{m+} n_{m-}$$

(V_{ml} は m , l -site 間の transfer energy, U は同じ site にある二電子の反発エネルギー、 \pm はスピン) を理論の基礎とすることについての理論家の見解（それが果して問題となっている概念 — D⁻ バンド、局在モーメント等々 — の本質を衝いたものであるかどうか）を伺いたい。この質問の意味する所は不純物伝導等という問題の性質上何を理論の出発点とするかを決めるのが非常に難かしいと思われるからである。

これに対する理論家の答えははっきりしたもののは得られなかったが、例えば糟谷氏は否定的（糟谷氏のコメント参照）な見解であり、又これを積極的に考察して来た人々もこれ

が現象のすべてを説明するに足るモデルだとは信じていないようであった。

この研究会では、多年にわたって蓄積されてきた系統的な研究も、又意欲的な新しい研究も報告され、極めて有意義であった。どちらかといえば実験家の話が多かったのであるが、理論家も皆極めて熱心に討論し、真剣に問題の核心をつきとめようとしていたように思う。未解決の問題も多々あり、見解の相違も無視できないものがあるが、不純物伝導の現象と機構に関する我々の理解が一段と深まつたことは確かであろう。次回は理論の話を中心にした研究会にして欲しいという希望も実験家から出されたが、是非実現したいものである。それには、関心をもつ理論家が現在の研究をもう一步前進させることが必要であろう。

(世話人：佐々木亘、田中昭二、長谷川洋、豊沢豊)

研究会報告

物性研究の将来計画

東大教養 小野周

去る7月19日、7月20日国立教育会館で物性物理学将来計画に関する研究会が開かれた。研究会は、学術会議の物理学研究連絡委員会が中心になって企画したものであって、とりあげられた問題は、物理学研究将来計画、物理学教室の拡充計画、物性物理学の将来、中性子線源の問題、強磁場、超高压、物性物理学を支える技術など多くの方面にわたって議論され、わたくしの感じをのべれば非常に有益であったと思う。

開会の辞を久保亮五物性小委員会委員長がのべられたあと、第一日目の午前中は主として学術会議で進行している将来計画に関する問題が論ぜられた。

以下、研究会でとり上げられたいいくつかの問題についてまとめてみる。

1. 学術会議の将来計画と物性研究の将来計画

物性小委員会は、1960年頃から、大学の物理学教室の拡充計画を中心とした将来計画を立案し、これが、物理学研究連絡委員会で大学における物理学研究の拡充という形でまとめられ、その後学術会議の長期研究調査委員会がこれをまとめ、昨年の春の総会に「大学における研究の強化」という形で提案したが、内容について会員の間から批判があったのでこれを提案することを見合せた。

その後長期委員会では、今年の秋、科学研究に関する第一次五ヶ年計画案(1966~1970)という形でまとめ、この中に大学の拡充案を入れることにして作業を進めている。長期委員会は、今年の春この計画案の草案をまとめ、これを同委員会の第三次中間報告という形で発表し、秋までに広く研究者の間で議論することを期待している。物性研究の将来計画が大学の拡充を中心としているので、この計画案は物性研究にとっても重要なものであるから、特に長期委員会委員長福島要一氏にきていただいて話をきいた。

福島氏、小野から説明のあった以上の中間報告にある案は大体において次のようなものである。

学術会議の長期委員会は第3期以来、検討してきた結果をまとめ、これを中間報告Ⅲという形でまとめた。この計画は、先に勧告した科学研究基本法の線に沿って科学者が自主的に

に長期計画を策定すべきであるという精神の線に沿って行なわれたものである。長期委員会は計画を三つの範疇に分けて考えた。

- i 経常的研究費の拡大でA大学における研究強化（第一要綱）、国立研究機関の経常的研究費の増額。
- ii 計画研究の研究費、ある目標をもって推進しようとする研究で、原子力、宇宙開発、海洋研究などの大きいプロジェクトを持つ研究、共同利用研究所などの大学附置研究所の新設・拡充など、一定の目標のもとに進められるもの。
- iii 流動的・弾力的な研究費、これに対しては年間300億円程度の科学基金というものを設けることを提案している。これは現在の科学基金を含むものであるが、研究の内容によって、できるだけ速かに支出する必要があるので、科学者の判断で支出すべきかどうかを決定しなければならない。したがって、この研究費の配分、点検に関して科学者の責任体制を確立しなければならない。また使途も自由なものでなければならない。
- iv 研究の共通基盤となるもの、大型電子計算機、図書館、資料センターなど、多くの研究分野に共通して研究の基盤となるもの、

長期委員会は上の四つのカテゴリーの経費を試算し、5年後における結果を次の表のようにまとめている。

項目	年間	備考
経常的研究費 A(大学)	1,200 億円	1) 人件費を含まない 2) 私大への補助を含む
B(国立研究機関)	400	人件費を含まない
計画研究	400	一部人件費を含む
科学基金	300	人件費にも支出できる。
共通基盤	100	一部人件費を含む
計	2,400	

この総額は大体現在の2倍強である。以上のうち、大学の経費は、一講座あたりの実質的研究費を450万（光熱費などは含む）としている。なお大学の経費は学部学生の教育に必要なものも含んでいる。病院関係は含まない。

また長期委員会はこのほか、新しい研究体制への第一歩として現在の研究連絡委員会、

特別委員会を拡充した総合研究会議を学術会議の中に設けることを提案している。これは総合研究機構などの新しい研究体制への第一歩とも考えられるものである。

以上の報告に対しての活潑な質問や討論があった。飯田修一氏から試算結果に関する議論があった。7月20日の午前飯田修一氏は「物性研究を支える技術」という題で話されたが、その中でも、研究体制、研究費の問題を論ぜられた。

大勢としてはこの長期委員会の案が、学術会議を通って、政府に勧告されることを望む空気が強かった。

2. 物性研究将来計画（アンケートの集計）

なお、物性研究の将来計画の具体的な内容としては、物性小委員会が物性研究者に送ったアンケートの集計結果の発表を飯田修一氏がされた。このアンケートでは、全国の100あまりの研究単位から回答がよせられていて、非常に貴重な資料であった。

なお、39年度に新しくおかれた設備名の一覧表もあって、本年度以降の研究計画の表もあり、物性研究者の要望なり、計画が非常によくわかるようになっている。

なお、回答をよせられた100あまりの研究室に対する合計額は、新設したい設備と経費については約6.8億（1965）必要な年間経常研究費（1965年）については2.4億となっている。

3. 物性研究所の現状と将来

物性研究所長三宅静雄氏から、物性研の現状と将来に関する説明があった。

物性研の目的は(1) 研究所自体、高度の成果を目標に自主的な研究を行うこと、(2) 全国共同利用研究所としての有効な使命を果すこととして、これにもとづいて、物性研の設備、人員、建築面積などについて説明があった。目的の(1) はよくいわれる「研究のピーク」をくるということに相当するものであろう。なお、創立以来の予算人員の変遷を表に示した説明があった。

三宅所長の説明では、現在では設備は相当のスタンダードであるが、物性研の考え方としては設備拡充を強化したいという意見であった。またその他、共通実験室の運営の合理化、共通実験室の運営の整備などの考え方のべられ、外部の意見をきいた上で方針をきめたいという説明であった。

また将来計画としては、物性分野の拡大に伴う部門増も考えられているが、現在まだ検討中の段階でどの部門を増強すべきかということについての結論はされていない。建物面積には新部門を増やすなくても問題がある。現在のところ客員研究部門（教授・助教授のない部門）2部門を要求することになっている。また物性研究において重点的意義を持つ大型施設の設置も将来の問題である。

研究分野は流動的に考え、固定する考えはない。現在4人の欠員を公募中である。

以上のような趣旨の三宅氏の説明に対し、森田章氏、神田英蔵氏、有山兼孝氏から意見をのべられた。

いくつかの問題はあったが、物性研における物性研究と各大学における物性研究をどう考えるかということについて議論があり、物性研は現在でも先に立って行くべきであるという意見と、物性研の研究も大学の研究と同列に考えるべきで、特別に考える必要はないという両方の意見があった。

また、物性研の設備の一部を各大学に保管転換し、それに見合ひ設備費を物性研究所の新しい研究の開設に使うようにしたらどうかという提案もあった。

4. 大学における物性の研究と教育

最近数年間、各大学の物理学関係の講座増、学科新設があり、新しく物性関係の講座が開設された。その現状について永宮健夫氏（阪大基礎工学部）、上田正康氏（東北大理学部第2物理）、辰本英二氏（広島大物理学部物性学科）から、それぞれ現状および計画に関する説明があった。大阪大学の場合には、民間からの寄附による基金もあり、新設講座については一講座あたり1000～1500万円程度の設備ができた。一方、基礎工学部（Engineering Science）の方についていろいろ議論があった。現在物理プロバーは7講座程度であるが、大体教育の面でも原子核を少し入れた物理である。大学院をどうするかということについて、理学部、工学部の大学院との関係がいろいろ考えられている。

東北大（8講座）、広島大（7講座）の新学科のうち、広島大の物性学科の一部は化学である。講座新設費は300～400万円程度で学生実験の設備をまかなく程度で、新設員、設備更新費などが、学術会議の中間報告の案の程度に増額されなければならない。広島大学の場合には、物理学、化学科との間で学生の教育をどうするか、カリキュラムをど

うするかといふ問題が検討されている。このほかの大学でも最近物理関係の学科が新設されたが、広島大、東北大などの場合と同じ事情にあるようである。

このあとで物性物理の将来に関するパネルディカッショ�이があり、年1日目の日程を終った。

5. 中性子線回折研究

2日目7月20日、石川義和氏から、日本における中性子線回折研究の現状に関するよ
うな報告があった。現在わが国には中性子線回折に用いられる原子炉として、原研JRR2、
関西原子炉KORはある。このほか、原研JRR3でも、東北大学、阪大共同で
refractometerをつくっている。非弾性散乱の実験をやるために熱中性子束が $10^{14}/\text{cm}^2$
sec はなければならないが、関西原子炉は 10^{13} 程度であるし、JRR2は最近故障し止
っている。修理の見通しがつくのも今年末頃になるものと考えられる。

日本における中性子線回折の研究はスタートがおくれていて大変やりにくい、外国では 10^{15}
程度のものができている。

中性子線回折による研究で取り上げられるものとして、複雑な構造の結晶などに関する
elastic coherent scattering, diffuse scatteringによる defect の研究、critical
scattering, inelastic scattering によるエネルギー分析の精密化、また中性子束が増し
て短時間の測定ができるようになれば、Transient structure の研究ができる。

このような研究を行うためには、有効中性子束を増すことが必要であるが、そのため
JMTRが動き出したときCP5の穴の一部があくのでこれを使う、現在の稼動率をあげるなど
が当面の問題である。

しかし、中性子回折の根本問題として中性子源として新しい炉の建設も考えられるが、そ
の建設費は少くとも 30~50 億の程度にはなる。これを関西原子炉、物性研におくことも考
えられるが、現在の原研の中に大学管理の炉をつくるという要求もある。現在の原研と大学
との協力体制に問題がある。原研の JMTR (材料試験炉) は中性子束は大きいが回折用の穴
がない、最初からだとつけられることはなかったが今からは無理である。

また Pulse neutron beam を用いることも大いに考える必要がある。この方が建設費は安
い、安定性に問題があり、この点日本では難点がある。

上のような石川氏の説明に関して広根徳太郎氏から、JRR3に関する補助説明があった。

大学の管理でおくことについては技術的に問題がある。

また学術会議の原子力特別委員会から、物性小委員会に、中性子線源に関して照会があつたか、これに關し、この日の議論をもとに、中性子源に關する要望をすることになった。

一つの問題は日本の原子炉はエネルギーの面だけから取り扱われていることが問題であることも指摘された。

6. 超 強 磁 場

神垣知夫氏から東北大学の強磁場発生装置の現状について説明があった。現状は下の表の通りである。

	東北大	MIT
電 力	2	8 MW
磁 場	100	250 KOe
空 間	5.6	3.8 cm
リップル	35	0.2 %

MITのものも同時に示した。

菅原忠氏、広根徳太郎氏、伊達宗行氏より物性研の強磁場の計画に関し次のような意見が出された。
OECD でも取り上げているので真剣に考えた方がよい。

50000~60000Gauss までは superconducting magnet ができる、物性研でやるならば unique なものがよい、 Pulse で 20 万 G くらいなら質がよいのでできるから pulse で考えたらどうか、この点については、今後関係者の間で検討が進められるものと思われる。

7. 超 高 圧

秋本俊一氏から、説明があったが、特に問題になるのは shock wave による 500 万気圧 (μ s の程度) であった。 static では現在 60 万気圧程度である、超高压は材料の問題であるが大型にするか小型にするかという問題がある。またタンクステンカーバイドのいれものがこわれるので維持費がかかる。高圧下の実験として、中性子線回折、Mössbauer効果などがある。

日本では shock wave による高圧研究はおくれている。高圧研究は設備 1 億円程度で維持費年間数千万円程度必要である。

なおこれに対して高圧研究所をつくる案、地質学者、地球物理学者が考へてゐる固体地学研究所、工学技術院の研究所などでも考へられてゐるという意見が出された。特に加工の問題などに關係するので、工学技術の面から考へる必要もある。

8. 物性研究を支える技術

飯田修一氏から物性研究を支える技術について、くわしい分析をした報告があった。

物性部門と他の分野の関係、開発研究との関係を検討しなければならない。研究の効果を高める方法、発表の priority の関係について議論、測定の自動化の問題が取りあつかわれた。

また、研究体制の問題も取り上げられた。

9. そ の 他

このほか 19 日に近角聰信氏の司会で物性研究の将来という主題でパネル・ディスカッションがあった（出席者 豊沢豊、久保亮五、後藤英一、伊藤順吉、佐々木亘、藤原邦男の諸氏）。

このパネル・ディスカッションの議論と 20 日の午後の討論を含めて、あった議論の中で、特にわたくしにとって問題になるように思われた問題がいくつかある。長期委員会の中間報告（Ⅲ）をどうするか。特にその中の科学基金をどうするか。また物性研究所は物性の将来計画の中でどう位置づけるか。物性研究でも一般的なレベルアップだけではなく、推進すべき重要な研究を考えるべきではないか、日本における中性子線回折の研究をどう進めるか、大学管理の原子炉をどうするか、関西原子炉と物性研究の関係、将来計画の入れものから中味まで、かなり充実した議論があった。

以上わたくしのメモをもとにしてわたくしなりにまとめ、くわしいところと簡単なところができる読者に対しても、発言された方にも申し訳ないことになったが、この点おゆるしを願いたい。

磁性理論研究会

芳田 奎

7月21日から24日迄物性研において磁性理論の研究会が開かれた。理論だけの研究会としては3年振りに開いたためもあり、イオン結晶から金属合金迄、取り上げられた問題の範囲はかなり広く、出席者の数も予想より多く、特に午前中は物性研1階の講義室をほど充たす程であった。

そもそもこの研究会で世話人側が最も期待をかけたのは出席者が互に private に接触し、問題の細部について意見を交換する機会を多く作りたいということであった。この主旨に沿って、毎日午前中に2つの講演を用意し、午後の前半には出席者から提供された話題について説明を行い、午後の後半を、それら話題について private に話し合う時間に当てた。午後の研究テーマとしては大体稀土類金属、化合物の磁性、遷移金属合金、スピニ系の統計理論の4つのグループに分け関連した研究についての話をきゝ討論を行った。

実際に行なわれた講演のプログラムを示すと次の通りである。

7月21日 午前

稀土類金属における Magnetization Process と Spin Wave

永宮健夫（阪大・基工）

Spin の pair correlation 富田和久（京大理）

7月22日 午前

$\text{CoCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ の磁性 小口武彦（都大理）

Ising spin 系の磁化過程 金森順次郎（阪大理）

7月23日 午前

Dilute Alloy の Spin Polarization 守谷亨（物性研）

強磁性の Band 理論の現状 志水正男（名大工）

7月24日 午前

s-d 相互作用による Dilute Alloy の異常現象

近藤淳（電試）

s-d 相互作用による Spin Polarization 芳田奎（物性研）

7月21日 午後

希土類金属

希土類金属磁性

糟谷忠雄（東北大理）

希土類稀薄合金の磁気能率

小出昭一郎（東大教）

金属の熱起電力

立木昌（阪大理）

化合物の磁性

醋酸銅の核磁気緩和

小幡行雄（原研）

Pyrite型化合物の磁性

安達健五（名大工）

7月22日 午後

化合物の磁性（続）

Magnetiteのorder-disorder

吉森昭夫（名大理）

Magnetiteの核磁気緩和

杉浦民房（名大理）

Co_3O_4 のNMR

井上通子（物性研）

守谷亨（物性研）

上村洸（東大理）

7月23日 午後

遷移金属合金

CsCl型金属間化合物の磁性

安達健五（名大工）

Spin-density-waveについて

望月和子（阪大基工）

Ni中の不純物momentの空間分布

三輪浩（物性研）

α -Mnの内部磁場

永井旺二郎（神大理）

Pd合金のd-holeの数

木村初男（名大工）

7月24日

スピニ系の統計理論

Heisenberg-modelと相転移

鈴木増雄（東大理）

Curie点近傍のanomaly

森肇（京大基研）

Niイオンのns-電子の交換偏極

小林正一（日大文理）

Ising模型のスピニ相関

小口武彦（都大理）

La Jolla のこと

松原武生(京大物理)

5月12日から約1ヶ月の間、客員研究員として芳田研、中島研でまたお世話になりました。「また」というのは5年程以前客員制度ができた時、最初の客員研究員に招いていただいたことがあるからです。その時も物性研だよりに何か書くように依頼されながら、とうとう責を果さなかったので、今度齊藤先生と豊沢先生からはさみ撃ちのように責められると、ちょっと断りきれなくなりました。実を申しますと、5年前に頼まれた時、長い長い感想を原稿紙に書き下したのですが——今でも何処か机の引出の底にあるはずです——いざ郵送という段になって、急にその内容がいやになり、とうとう発表しませんでした。しかし今から思うと発表しなくてよかったという気がします。5年間に物性研もすっかり整備されましたし、共同利用の方も軌道に乗りました。5年前に希望したことは大体みたされているか、状勢の変化で意味がなくなっているかのどちらかのようです。唯一つの例外は図書室で5年間に著しく整備されたという感じがしません。共同利用研究所の図書室としてどんな方針を持っておられるのか一度お聞きしたいものだと思います。

しかし今回はその他に別に書くことがありませんので、もう大分遠い思い出話になりますが、4月に1週間ばかり過したLa Jollaでの私事を書いてみます。

「転移点近傍における臨界現象」に関する Washington 会議出席、およびその前後のあわただしい旅行の疲れをいやして、一週間程のんびりするため、San Diego の空港についたのは4月13日の夕方でした。予定の飛行機に乗りおくれ、長距離電話でかろうじて連絡をつけておいたおかげで、La Jolla から Dr. Thompson が立派な車で出迎えに来てくれていました。Dr. Thompson は小生がオーストラリアで指導した学生です。聞けば大学から来客用の自動車を一週間借りたとのこと、早速彼の家の近くに予約してあったホテルに連れて行かれました。その夜は久し振りの再会を喜び合ってささやかなパーティになりました。

次の日午前 Prof. Suhl と会い La Jolla 滞在中の打合せをしました。イースタ休暇で余り人は残っていませんでしたが、折角だから何か話をしてくれとのことで15日の午後の seminar talk で impurity band conductionについて1時間ばかりしゃべらされました。Suhl とは仕事のことでの度々話し合いましたが、その合間に、今度主任になって二年間つとめなければならぬから、いそがしくなるだろうとこぼしたり、学生に与える手頃な問題がなく

て弱っている。何かやさしい問題はないだろうかと尋ねたりしていました。稀薄合金の「近藤効果」に熱中していて最近まとめ上げた論文の Preprint と Abrikosov の未発表の論文の英訳を特に秘書に言いつけて Copy をつくらせて小生にくれました。

Prof. Kohn とは seminar talk の午後はじめて会いました。カリフォルニアの何処かの山へスキーに行っていたとかで、真黒い顔をにこにこほころばせ、あのゆっくりした口調で話すところは京都で会った時とそのままでした。Suhl が少し顔がそろった機会に technical talk の集りを持とうと言い出し、Good Friday だというのに 4 月 16 日の金曜日午後 3 時全員集合のふれを出しました。若い人の中には、ぶつぶつ言っている人もいましたが、当日 10 人程がコロキウム室に集りなかなかにぎやかな討論になりました。各自が現在やっている仕事の問題点を話して議論し合うわけですが、またたく間に 2 時間はたってしまいました。Kohn がこれは全く conjecture だがと前おきして話したのは、彼の最近の iusulator \rightleftharpoons metal 転移の理論で、exciton の形成に対して不安定になる条件を調べているうちに iusulator と metal の間に "superinsulator" とも呼ぶべき別の相が現われそうなことがわかったそうです。多分 9 月彼が来日した際詳しい話をするとと思われます。

午後 5 時になって Kohn が予約があるから帰ると言い出して technical talk の集いはお開きになりました。Kohn が小生に「明日土曜日の昼食を一緒にしたいが暇があるか」と尋ねましたら、傍から Thompson が明日は朝から動物園へ連れてゆくつもりだとしゃべったので、皆がドット笑いました。結局 Thompson 宅へ Kohn 先生を昼食に招待し、Mrs Thompson が日本食を振舞うことで話がきまり、翌日のお昼は怪しげな「すし」のパーティになりました。その席で最近 Kohn が出席して来たというソ連のノボシビルスクにおける「多体問題」の会議の様子を話してもらいました。シベリヤ旅行談を面白く聞かせた後、印象に残ったソ連の学者の講演の二三を紹介してくれました。

結局 1 週間の予定を少し早めて月曜日に La Jolla を離れましたが、大学に出ていない時間は、大学の自動車を Thompson と乗り廻して、暖い南カリフォルニアの海岸を心ゆくまでさんのうしました。平年よりも寒くて桜も見られなかった Washington や、曇り勝ちで陰気だった Boston とは打って變った明るい太陽が一ぱいの La Jolla で旅のつかれもいえ、人々との旧交もあたため、心みちた氣持で日本へ帰れたのは大変幸せでした。

A fond farewell to Japan

To: The Letter from the Institute for Solid State Physics
From: Peter and Barbara Offenhartz

In just a few weeks, at the beginning of September, we shall be leaving Japan and returning to the United States. We leave with strongly mixed emotions: it will be wonderful to be home again, but sad to leave Japan behind. For our parents, it will be the first time they have seen our son John Ken, who was born in Tokyo last September. It will also be the first time in a year and a half that they have seen us or our four-year-old daughter Kathleen (they visited us when we were in Cambridge last year, so we have seen them once since we left the United States). We are especially looking forward to seeing them again, and also to seeing our many friends whom we left behind.

But even with the prospect of many enjoyable reunions with our friends and families, we leave Japan with regret. For Kathleen, it means not seeing her many kindergarten friends again, and she will especially miss our Japanese maid Chizuko-san. John Ken will also miss her very much, although for him, leaving Japan will not be so hard as he is still too young to notice much difference. Perhaps he will miss his daily ō-furo most of all.

For us, leaving Japan means leaving many friends behind, especially Professor Satoru Sugano, his assistant Mr. Shinada, Dr. Fumiko Nakazawa and her husband, and our friends in our English conversation classes. They have all been wonderfully kind to us, and we have learned a great deal from them about Japan and its customs. We leave here greatly in their debt; indeed, in the debt of all those at the Institute for Solid State Physics who helped make our stay so enjoyable.

More than anything else, however, leaving Japan means leaving a certain atmosphere of peacefulness and harmony. Tokyo may well be a huge and dirty city - any city of its size elsewhere in the world is at least as dirty, in its own way - but it is also a city of peaceful quiet gardens, beautiful homes, and soft-spoken people. Going outside of Tokyo of course means having even more of this atmosphere of restfulness. The Japanese people are fortunate in their history and culture, for it is this which gives them their unique union in national purposes and goals and desires, and allows them such an even-tempered present existence.

We shall miss seeing rice fields and volcanoes and sleeping on the tatami and eating ō-sushi. But we are also looking forward to American corn-on-the-cob, steak, wheat fields and the Rocky Mountains. More than all else, we are looking forward to the atmosphere of our own country, as restless and rough-hewn as it is. As much as we admire the peacefulness of Japan, we miss the restlessness of America, and as much as we will miss the soft-spoken people of Japan, we now miss having our own outspoken people to talk and argue and dispute with.

This is what we mean when we say we are leaving Japan with mixed emotions.

Peter O'D. Offenhartz Barbara H. Offenhartz

人 事 異 動

糟 谷 忠 夫	40. 7. 1 付	東北大理学部教授
伊 藤 公 一	40. 6. 1 付	阪大基礎工学部助教授
福 田 敦 夫	40. 6. 1 付	教育大(光研)より光物性部門助手に転任
鹿 取 謙 二	40. 7. 1 付	電波分光部門助手に採用
吉 原 経太郎	40. 7. 1 付	分子部門助手に採用

東京大学物性研究所の教授・助教授公募の通知

下記により教授・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します。
なお、外国におられる方でお心当たりの方がおられる場合はご連絡下さるようお願いします。

1. 研究分野および公募人員数

(1) 半導体部門 教授または助教授1名

(半導体の助教授には豊沢豊氏(理論)が在職中)

半導体物性の研究において新分野を開拓する意欲をもつ実験研究者を望む。

物質としては広義の半導体を対象とし、研究方向としてはたとえば輸送現象、Cyclotron resonance, ESRによる研究、光学的方法による研究(non-linear opticsなどを含む)などを考える。所内関連部門とも有機的に協力する事が望ましい。

2. 公募締切 昭和40年9月10日(金)

3. 提出書類

(1) 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(出来得れば重要な論文の別刷)

(2) 応募の場合

- 履歴書
- 業績リスト(重要な論文の別刷)
- 所属の長又は指導教授等の本人についての意見書(宛先へ直送)
- 健康診断書

4. 宛先

東京都港区麻布新竜土町10番地

東京大学物性研究所人事掛

Tel (402) 6254, 6255, 6258, 6259

5. 注意事項

(公募書類在中、又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にて審査決定いたします。ただし、適任者のないときは決定を保留いたします。

東京大学物性研究所長

三宅 静雄

東京大学物性研究所助教授公募の通知

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します。なお、
外国におられる方でお心当たりの方がおられる場合はご連絡下さるようお願いします。

1. 専攻分野および公募人員

- (1) 公募人員 助教授 1名
- (2) 専攻分野

分子性結晶に関する実験的研究に意欲を持つ研究者を望む。

(3) 物性研究所における主な関連部門

分子（教授に長倉三郎氏が在職中）および界面物性（助教授に井口洋夫氏、菅野暁氏が
在職中）

2. 公募締切 昭和40年9月10日（金）

3. 提出書類

(1) 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（出来得れば最重要な論文の別刷）

(2) 応募の場合

- 履歴書
- 業績リスト（最主要な論文の別刷）
- 所属の長又は指導教授等の本人についての意見書（宛先へ直送）
- 健康診断書

4. 宛先

東京都港区麻布新竜土町10番地

東京大学物性研究所人事掛

Tel (402) 6254、6255、6258、6259

5. 注意事項

（公募書類在中、又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にて審査決定いたします。ただし、適任者のないときは決定を
保留します。

東京大学物性研究所長

三宅 静雄

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します。なお、外国におられる方でお心当たりの方がおられる場合はご連絡下さるようお願いします。

1. 研究分野および公募人員数

(1) 理論第Ⅰ部門 助教授1名

(教授には芳田奎氏が在職中)

当部門では主に金属、イオン結晶の磁性を通して固体の理論的研究を行う固体物理の理論専攻者で、特に磁性理論に深い関心を持つ方を望む。

(2) 理論第Ⅱ部門 助教授1名

(教授には山下次郎氏が在職中)

当部門では固体の電子構造の理論的研究を行う。固体電子論を専攻し、上記の問題に興味を持つ方を望む。

2. 公募締切 昭和40年9月10日(金)

3. 提出書類

(1) 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(出来得れば重要な論文の別刷)

(2) 応募の場合

- 履歴書
- 業績リスト(重要な論文の別刷)
- 所属の長又は指導教授等の本人についての意見書(宛先へ直送)
- 健康診断書

4. 宛先

東京都港区麻布新竜土町10番地

東京大学物性研究所人事掛

Tel (402) 6254、6255、6258、6259

5. 注意事項

(公募書類在中、又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

三宅 静雄

Technical Report of ISSP 新刊リスト

Ser. A.

- No. 152 S. Akimoto, H. Fujisawa and T. Katsura: The Olivine-Spinel Transition in Fe_2SiO_4 and Ni_2SiO_4 .
- No. 153 Tôru Moriya: Spin Polarization in Dilute Magnetic Alloys -- with Particular Reference to Palladium Alloys --.
- No. 154 Ichiro Hanazaki and Saburo Nagakura: The Electronic Spectra and Electronic Structures of the Benzyl Cation and its Methyl Derivatives.
- No. 155 A. Hasegawa, S. Wakoh and J. Yamashita: Electrical Resistance of Nickel.
- No. 156 Y. Ishikawa, R. Tournier and J. Fillippi: Magnetic Properties of Cr Rich Fe-Cr Alloys at Low Temperatures.
- No. 157 S. Akimoto, T. Katsura, Y. Syono, H. Fujisawa and E. Komada: Polymorphic Transition of Pyroxenes, FeSiO_3 and CoSiO_3 at High Pressures and Temperatures.
- No. 158 Kei Yosida and Ayao Okiji: Spin Polarization of Conduction Electrons due to s-d Exchange Interaction.
- No. 159 H. Ohigashi, I. Shirotani, H. Inokuchi and S. Minomura: Effect of Pressure on Davydov Splitting of Tetracene Crystals.
- No. 160 Peter O'Donnell Offenhardtz: A Semi-empirical Treatment of Covalency in d^8 Transition Metal Fluorides.
- No. 161 A. Ikushima, M. Fujii and T. Suzuki: Ultrasonic Attenuation and Magnetic Properties of Superconducting Niobium in the Mixed State.
- No. 162 Kiiti Yuasa: Spin Density Waves in Many Electron System.

Ser. B

- No. 8 Sukeaki Hosoya and Seiya Satake: New Tables of the Parameters for Atomic Scattering Factors According to Forsyth-Wells Approximation, III.

NO.2

編 集 後 記

- 物性研だよりに御報筆下さった方には、その号の copy を御希望に応じ 10 部まで贈呈できることになりました。既に本号から実施致しておりますが、今後原稿をお寄せ頂く方は、希望部数を原稿に書きそえてお申し込み下さい。
(但し物性研の方は、研究会報告等の場合に限ります。)

原稿送り先、御連絡先は次の通りです。

東京都港区麻布新竜土町 10

東京大学物性研究所

図書委員長 長倉三郎

投稿原稿の〆切は 奇数月 10 日

偶数月 20 日

です。

