

# 物性研だより

第13卷  
第3号

1973年9月

## 目 次

○ SOR-RING建設の現状 .....	1
— 物性研究用 300 MeV 電子ストレージ・リングについて —	
東大・教養 佐々木泰三	
短期研究会報告	
○ 有機化合物のりん光状態.....	16
世話人 物性研 木下 実	
理研 林 久治	
○ 固体表面の電子状態と吸着.....	20
— 分子論的アプローチ —	
世話人 代表 川崎弘司(東理大・理工)	
○ 稀薄合金の磁性(理論) .....	33
世話人 桜井明夫(物性研)	
長岡洋介(名大・理)	
短期海外出張印象記	
○ 東独のレーザー国際会議に出席して.....	57
○ 西遊記.....	63
物性研談話会.....	67
物性研ニュース	
○ 人事異動.....	70
○ テクニカルレポート新刊リスト .....	70
編集後記	

東京大学物性研究所

## S O R - R I N G 建 設 の 現 状

— 物性研究用 300 MeV 電子ストレージ・  
リングについて —

東大教養・核研 佐々木 泰三

S O R - R I N G はシンクロトロン放射 ( S O R ) を利用する物性研究のために東大原子核研究所に建設中の電子 Storage Ring である。昭和 45 年度から予備実験と設計をはじめ、46～48 年度に核研の特別設備として予算がついて各部の製作を進めて来たが、今年はその最終年度に当り、予定通り年度内に組立を完了できる見込である。

S O R を利用する原子・分子・固体の分光学的研究はこの 10 年間世界各地で主に電子シンクロトロン ( E S ) を用いておこなわれてきた。ところが 1960 年代の後半から欧米各国では電子・陽電子の Storage Ring 建設の動きが活発になり、それについて S O R 研究施設を E S からリングの方に移す計画が相ついであらわれてきた。Storage Ring は物性研究の立場からみても、S O R の強度・安定性において E S よりはるかに有利であり、その他にも多くの利点がある。すでに 1968 年から Wisconsin 大学で 240 MeV の Storage Ring が物性専用機として米国内の各大学・研究所によって共同利用されていることはよく知られている通りである。今年米国の N S F は Stanford 大学の 2.2 GeV の装置 S P E A R の S O R 研究施設の予算をみとめたり、D E S Y ( Hamburg ) が建設中の 3 GeV マシン D O R I S は来年中に完成し、S O R 分光用の実験室もすでに出来上って移転準備がはじまっている。フランスでも Orsay にある 0.5 GeV の A C O ( 1967 年から運転 ) 、 1.8 GeV の D S I ( 建設中 ) に付設の S O R 施設 L U R E がすでに活動中である。現在我々が建設中の装置もこのようないき立ちおくれることなく、研究を質的に向上させることをめざして計画されたものである。以下の報告は 6 月 25 日に物性研の「 S O R 物性」コロキウムでの話の要旨で、今建設中の装置について主として利用者のために説明したいと思う。

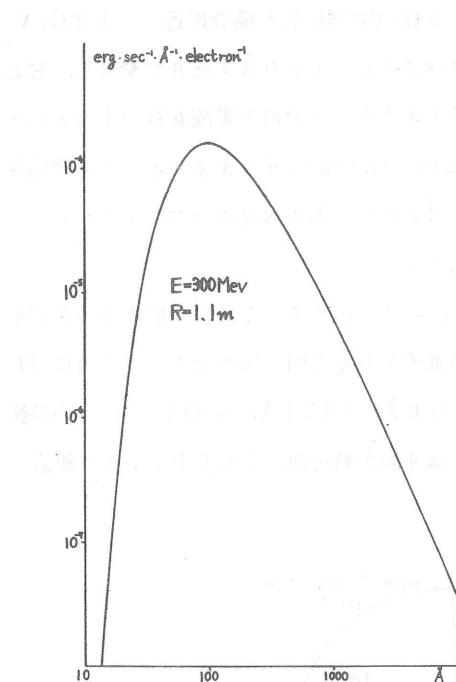
### § 1. S O R - R I N G の概要

装置の主なパラメタは第 1 表に示す通りである。

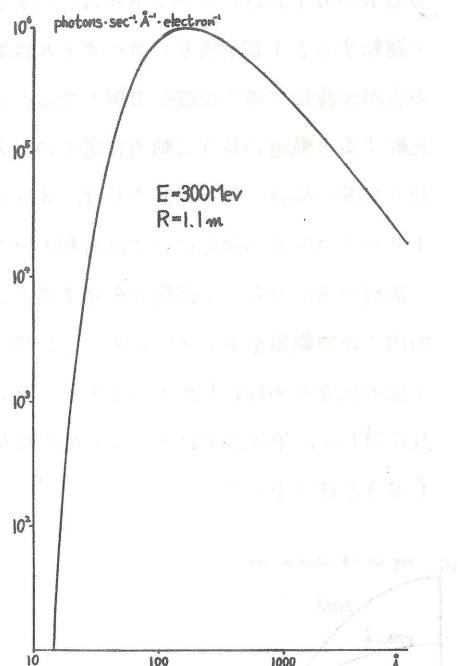
設計値 300 MeV,  $R = 1.1 \text{ m}$  に対する S O R のスペクトルが第 1 図、および第 2 図に示してある。第 1 図は半径 1.1 m の円軌道をまわる、300 MeV の電子 1 個が 1 秒間に放出する電磁波のエネルギーを波長の函数として波長巾 1 Å 当りで計算したものである。このスペク

第 1 表 S O R - R I N G の 主 な パ ラ メ タ

E <sub>max</sub> (Possible Extension)	300 MeV (400)
Stored Current	100 mA
No. of Particles	$3.6 \times 10^{10}$
Beam Life Time at Full Load	> 1 hr
Length of a Bending Magnet ( $L_B$ )	0.864 m
" a Quadrupole Magnet ( $L_Q$ )	0.200 m
" a Straight Section ( $L_S$ )	1.31 m
Orbit Length (L)	17.7 m
Focusing Structure	$\frac{B}{2} Q_F Q_D Q_F B \frac{0}{2}$
No. of Bending Magnets	8
No. of Quadrupole Magnets	12
Max. Guiding Field	9.09 kG
Field Index (n)	0.50
RF Voltage	7 kV
RF Frequency (Possible Change)	120.72 MHz (103.43)
Harmonic No. (" )	7(6)
Radiation Loss per Turn	0.625 keV
No. of Betatron Oscillation	$\begin{cases} 1.1 < \nu_x < 1.3 \\ 1.1 < \nu_z < 1.3 \end{cases}$
Total Pumping Speed	> 5000 l/sec.
Pressure in Donuts-without beam	> $5 \times 10^{-10}$ Torr
-with beam	< $1 \times 10^{-9}$ Torr
No. of UHV Pumps	
Sputter Ion Pumps	$4 \times 130$ l/sec
Ti Getter Pumps	$4 \times 1000$ l/sec
Built-in Pumps	> $8 \times 100$ l/sec



第 1 図



第 2 図

トルのピーク波長  $\lambda_p$  は

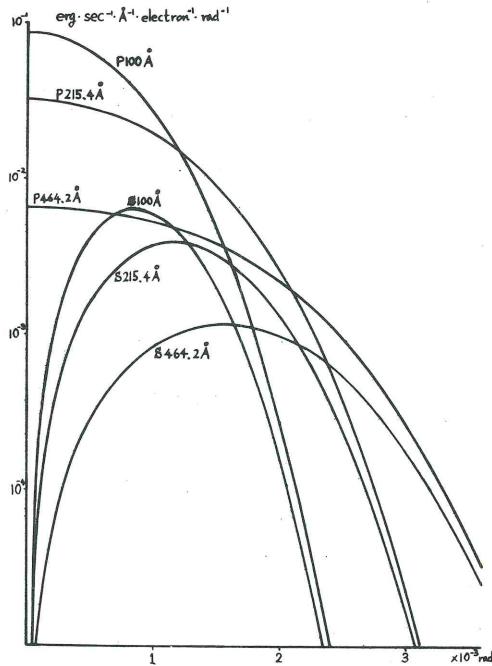
$$\lambda_p(\text{\AA}) = 2.35 \times \frac{R(\text{meter})}{E^3 (\text{GeV})}$$

であらわされ、この場合は  $96 \text{\AA}$  である。このピークの両側で、パワーが  $\lambda_p$  の値の  $1/10$  になる点を  $\lambda_l$ ,  $\lambda_u$  とするとこの表示では  $\lambda_l = 30 \text{\AA}$ ,  $\lambda_u = 630 \text{\AA}$  となり、これが利用可能なスペクトル領域の一応の目安を与える。同じ半径で  $E = 0.4 \text{ GeV}$  とすると  $\lambda_p$  は  $40 \text{\AA}$  となり、 $\lambda_u$  はほとんどわからず、 $\lambda_l$  は  $10 \text{\AA}$  付近までのびることになる。

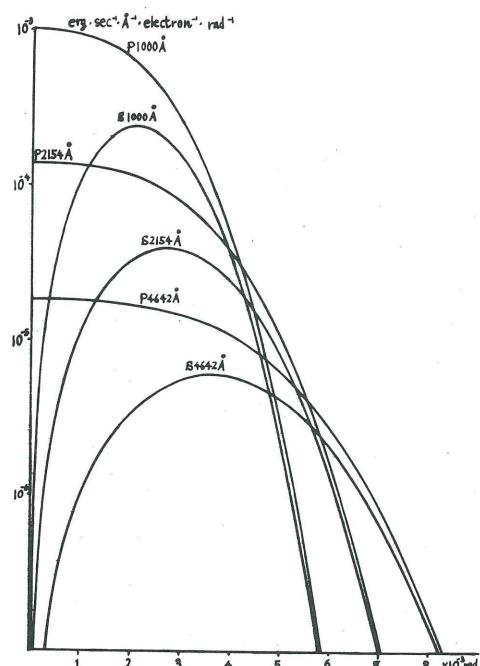
第 2 図は同じものをフォトン数であらわしたもので、 $\lambda_p$  は  $190 \text{\AA}$ ,  $\lambda_l \approx 40 \text{\AA}$ ,  $\lambda_u \approx 2600 \text{\AA}$  となる。パワー表示とフォトン数表示とどちらが実用上適当かは測定のやり方、実験の目的等によってちがうが、光電測定では大体後者のフォトン数表示で考えてよいであろう。従って S O R - R I N G が  $300 \text{ MeV}$  で運転される当面の計画では波長  $40 \sim 2000 \text{\AA}$  の領域すなわち凹面回折格子分光器がカバーする軟 X 線～極端紫外の全領域が対象になる。 $40 \text{\AA}$  以下の軟 X 線～硬 X 線の利用は現在核研にある E S 又は将来建設されるであろうより大きな加速器に期待せねばならない。核研の E S は  $E_{\max} = 1.3 \text{ GeV}$ ,  $R = 4 \text{ m}$  で、 $\lambda_p = 4.3 \text{\AA}$  である。

S O R - R I N G のスペクトルはこの E S を  $E = 0.5 \text{ GeV}$  で運転した場合に近く、 $1.2 \text{ GeV}$  で運転すると 1 電子当りのスペクトルは第 2 図のスペクトルと  $190 \text{ \AA}$ あたりで交叉し、E S の方が短波長で強く長波長で弱くなる。どちらも最大エネルギーで最大電流を保つものとして比較すると軌道の長さや軌道に電子のいる時間 (duty ratio), またエネルギーの時間的変化 (E S の場合) 等を考慮すれば、 $\lambda > 100 \text{ \AA}$  では S O R - R I N G の方がつよく、 $\lambda < 100 \text{ \AA}$  では E S が強度の点では有利ということが云える。

放射の角度分布および偏りを示すグラフを第 3 図、第 4 図に示す。これは 1 個の電子が水平面内の理想軌道を走っているものとして、観測者が電子を見る方向と水平面とのなす角に対して放射強度をあらわしたものである。第 3 図では  $100 \text{ \AA}$ ,  $215.4 \text{ \AA}$ ,  $464.2 \text{ \AA}$  の 3 つの波長に対して、第 4 図ではその 10 倍の波長に対して偏光面が軌道面に平行 (P) および垂直 (S) な成分を示す。



第 3 図



第 4 図

光がきわめて小さな角度に集中していることを理解するために、具体的な数字を用いて考えてみることにする。同分光器の入射スリットの高さを  $10 \text{ mm}$  とし、これが垂直方向にあるとする。これが光源から  $5 \text{ m}$  の距離におかれていると仮定すると光源の電子がこの開口部を見込

む角は 2 m radian, すなわち水平面から上下に各 1 m radian となる。第 3 図からわかるように、 $\lambda = 100 \text{ \AA}$  ではこの角度で放射の大部分が入ってしまう。この場合、P 成分と S 成分の比  $I_P/I_S \approx 13.4$  となり偏光度を

$$P = \frac{I_P - I_S}{I_P + I_S} \quad (1)$$

の形であらわすと 0.86 となる。 $\lambda = 1000 \text{ \AA}$  ではこの比は 0.93 となる。但し、実際の電子の軌道はベータトロン振動のため、水平面に対して傾いている場合があり、また電子ビームは空間的にひろがりがあるからこのような単純な計算で偏りをきめることはできないが、この近似がそれほど悪くないことは経験的に知られている。

以上が SOR-RING の SOR の大体の特徴であるが、ここでこのようなパラメタを選んだ根拠について簡単にふれておこう。

第一に  $\lambda > 600 \text{ \AA}$  ( $\hbar\omega < 20 \text{ eV}$ ) では SOR 以外の実験室用連続光源が偏光の問題を別にすれば利用可能だという点である。

第二に、 $\lambda < 300 \text{ \AA}$  では斜入射型の回折格子分光器が用いられるが、従来の ES による実験ではこの辺の軟 X 線領域で仕事をするにはエネルギーが高すぎて、高次回折光の分離にかなり苦労する。そこで  $\lambda < 100 \text{ \AA}$  の領域は ES を従来通り利用し、 $100 \sim 500 \text{ \AA}$  のあたりで最も使いやすい装置として Ring を考える、という線が出てきた。この領域はまだ今までの歴史的発展で、物理としても未開拓であり、興味ある多体効果や未だ十分解釈のつかない奇妙なスペクトルの多い領域であることがわかっている。

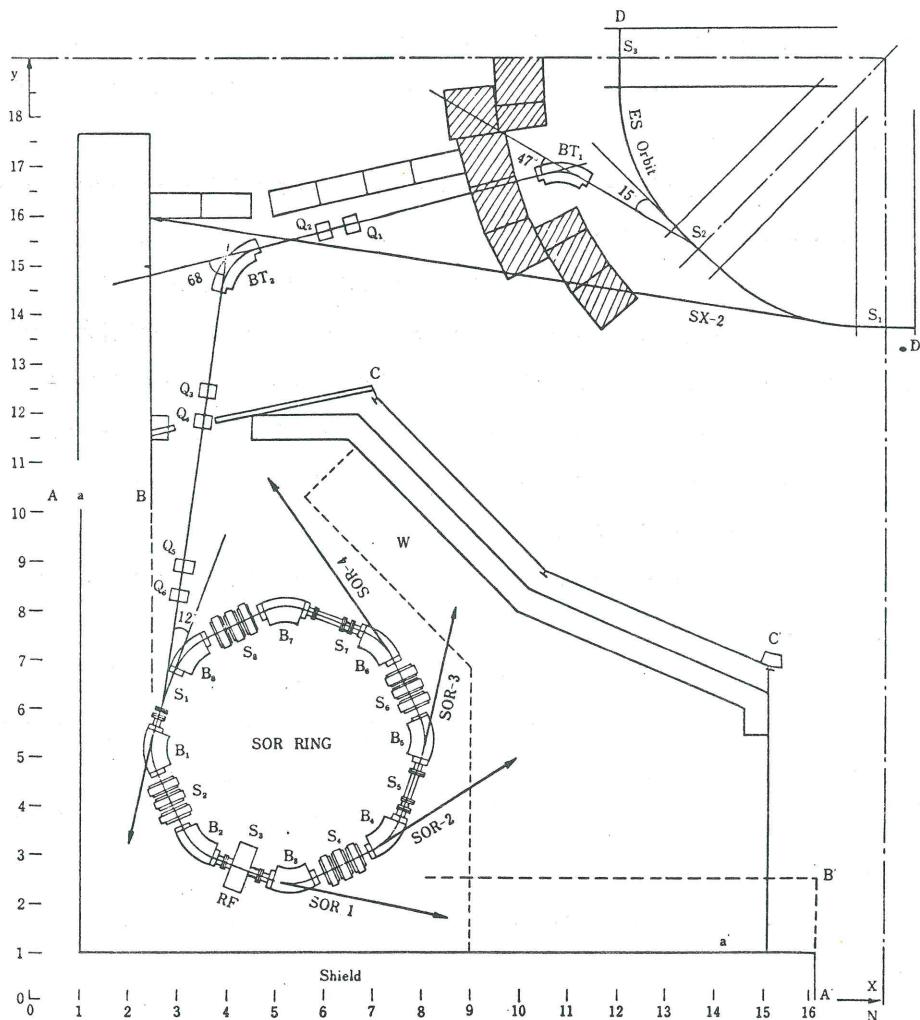
この辺にスペクトルのピーク  $\lambda_P$  をもって来ようすると R を 1 mあたりにおくとして、E は  $200 \sim 400 \text{ MeV}$  になるが、十分な安定性すなわち長いビームの寿命を得るにはエネルギーは少しでも大きいほうがよい。後述するように、もし真空度、電流、RF 加速の電圧等が同じなら寿命  $\tau$  は電子のエネルギー E の 3 乗に比例する。一方 E を大きくすると Ring の大きさと費用が増すことは明らかであって、予算と敷地の中におさまるかどうかを検討せねばならない。結局は  $300 \text{ MeV}$  という線はこの最後の要因できましたようなものであるが、R を当初の 1 m から 10% ふやして 1.1 m としたのはサイズをそれほど大きくせず、また電磁石をとりかえることなく将来  $400 \text{ MeV}$  あるいは  $450 \text{ MeV}$  まで E を上げる可能性を残すためであった。

## § 2. S O R - R I N G の構造と運転操作

次に S O R - R I N G の全体の構造を示すと第 5 図のようになる。この図の右上は E S の軌道、左下が S O R - R I N G である。以下で S O R - R I N G を構成する各部と運転の操作について、少しこまかく説明しよう。

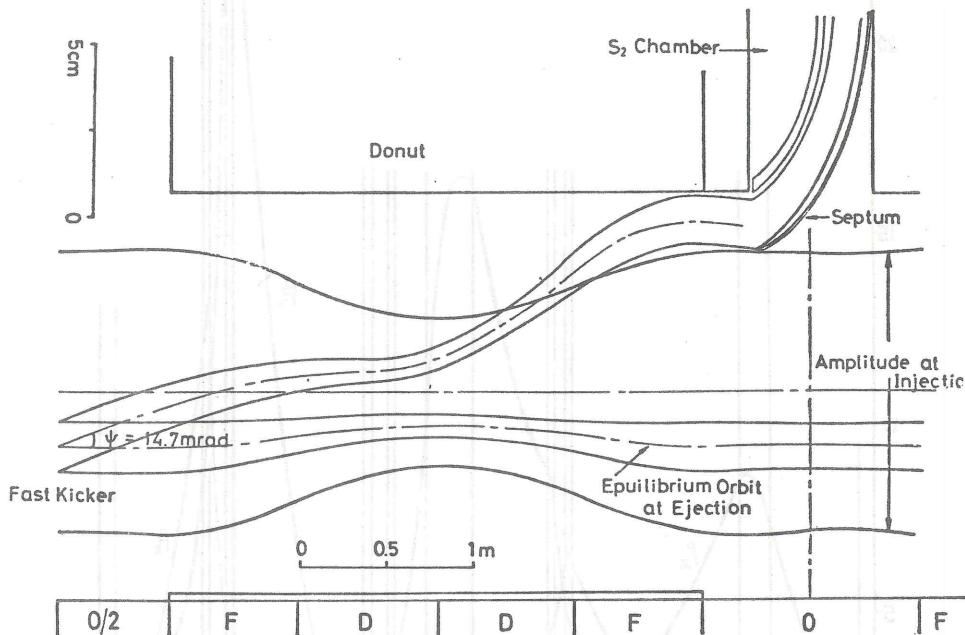
### (1) 電子ビームのとり出しと打ち込み

電子を E S から 300 MeV でとり出すためには、立上りと立下りが短く、適當な時間安定した Flat Top をもったパルス磁場を発生せねばならない。これは 300 MeV とい



第 5 図

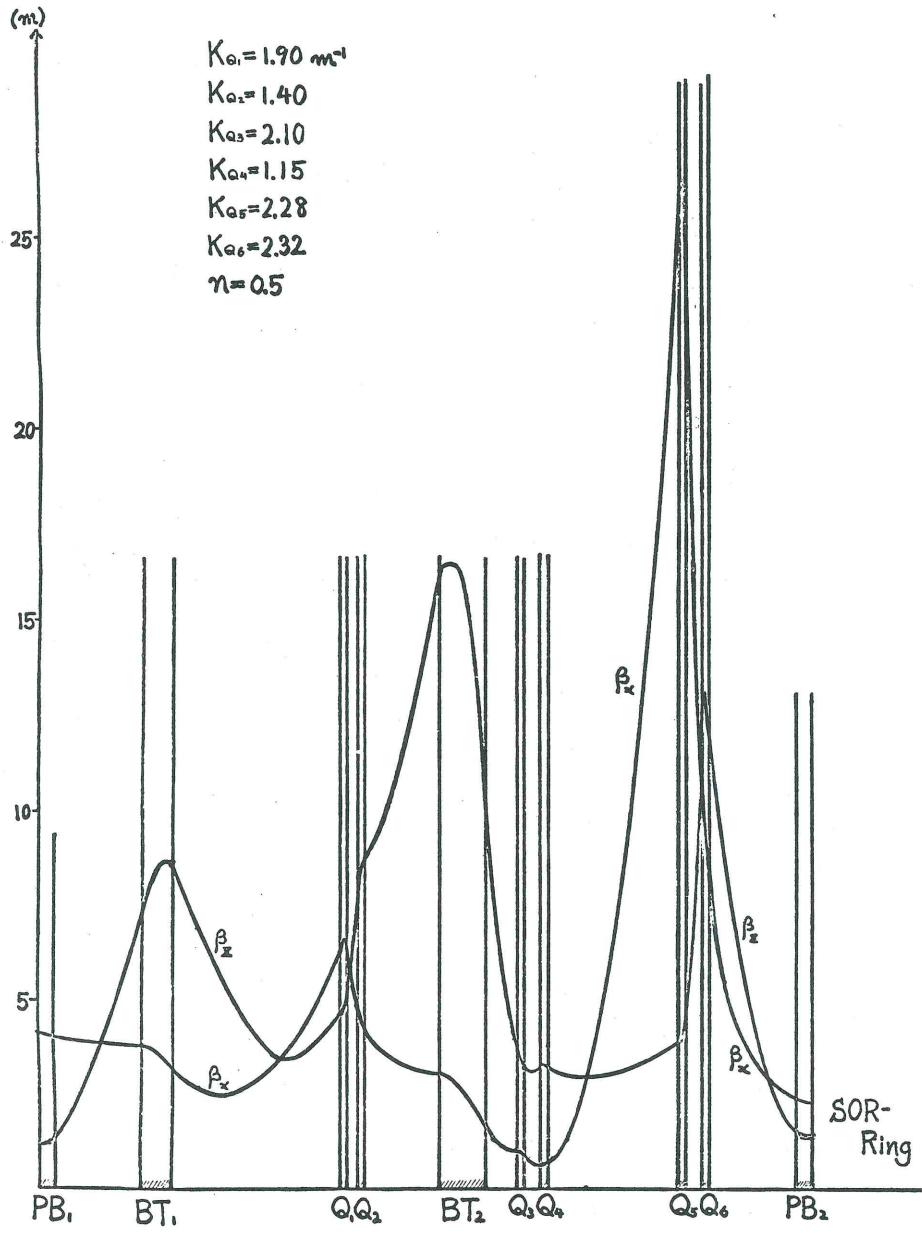
うエネルギーが E S では磁場の最大値に相当する平坦な場所でなく、立上りの途中にあるためである。E S では電子は軌道を  $107 \text{ n sec}$  で一周するが、bunch (ビームのかたまり) は 16 個あるので、 $6.7 \text{ n sec}$  每に 1 つの bunch がやって来る。とり出しの方法は先ず第 5 図の右上  $S_1$  (E S の直線部 No. 1) に Fast Kicker Magnet  $K_1$  をおいておき、E S のエネルギーが  $300 \text{ MeV}$  になった瞬間にトリガー・パルスを出して E S の高周波加速 (RF) をとめる。そこで電子の軌道は放射損失のため内側に収縮すると同時に加速が行なわれないため bunch がとける。そこで軌道が  $15 \text{ mm}$  内側へ寄ったとき  $K_1$  を働かせて第 6 図に示すようにビームを  $14.7 \text{ m radian}$  外側に振らせる。この遅延時間がどの位になるかは RF の切り方 (立ち下りの速さ) によるので実験的にきめる他ないが数  $10 \mu \text{ sec}$  と予想される。 $K_1$  はフェライトコアと 1 卷きのコイルで構成され、設計値では立上り時間  $\tau_r = 30 \text{ n sec}$ 、パルス巾  $\tau = 200 \text{ n sec}$ 、パルス高約  $30 \text{ kV}$  である。



第 6 図 取り出し時のビームの様子

第 6 図の外側に振り出されたビームは更に  $S_2$  で平衡軌道の外側におかれた  $P B_1$  (Pulsed Bending Magnet) で更に  $12.5^\circ$  けり出し、ドーナツから外へとり出す。以下はビーム輸送系で、第 5 図に示すように E S のコンクリート遮蔽の内側におかれた偏

光電磁石  $Bt_1$  で  $47^\circ$ , 更に次の  $Bt_2$  で  $68^\circ$  曲げて Ring の入射点  $S_1$  にビームを導く。ES を出てから SOR-RING に入るまでの輸送距離は約 20 cm あり, この間に  $Q_1 \sim Q_6$  という 3 組の 4 重極磁石がおかれる。この目的はとり出された状態で電子ビームには運動量の広がりがあり, そのため  $Bt_1$ ,  $Bt_2$  で色収差が生ずるので, これを収束さ



第7図 β-function of the transported beam

せてビーム損失を避けると共に、打込み点で R I N G 自体のパラメタに對して整合させるためのレンズ系である。ビーム輸送系の空間的な制限を考慮して設計されたこのレンズ系での収束と発散の様子を第 7 図に示す。ここで用いられている  $\beta$  ハンクはビームの水平方向 ( x ) と垂直方向 ( z ) に生ずるベータトロン振動の振幅と位相の両方に關係する量である。

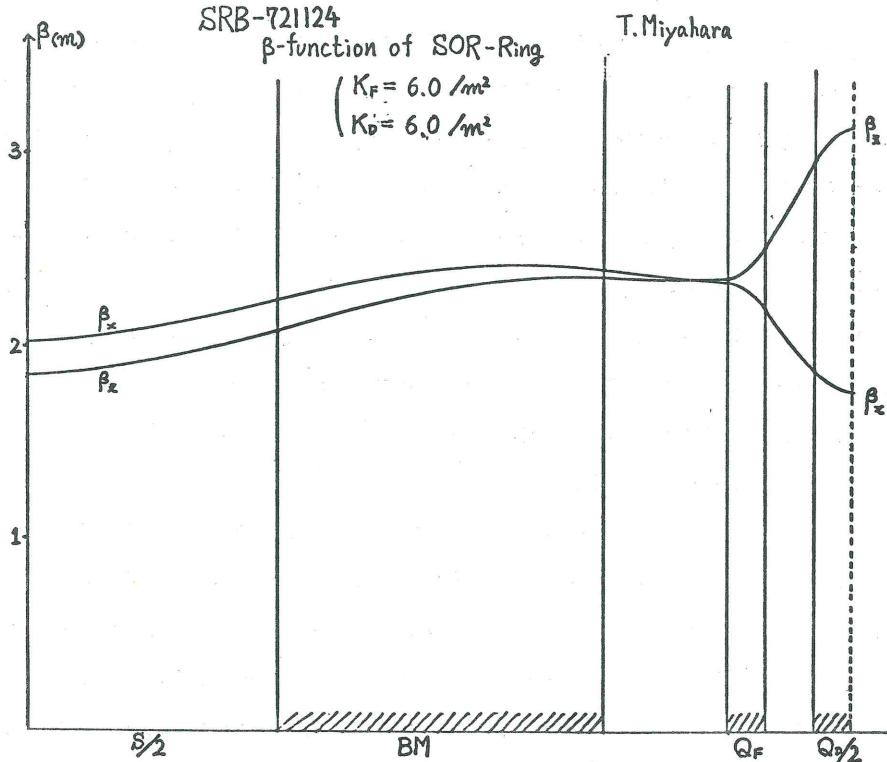
この部の写真系は E S および S O R - R I N G の両方とカプトン膜で仕切られ、通常の油拡散ポンプで排気される。

打ち込みは Multi-turn Injection とよばれる方法でおこなわれる。打ち込みのためのパルス電磁石  $PB_2$  が第 5 図の  $S_1$  に、軌道修正用の Perturbator  $K_2$  が  $S_5$  にあって、最初平衡軌道から約  $12^\circ$  の傾きで電子を入射して  $PB_2$  で一旦仮の軌道にのせ、 $K_2$  で修正して平衡軌道にのせる。

とり出し、打ち込みともにパルス磁場を操作しておこなうので、立ち上りの早い、しかも Flat Top をもった短い高圧パルスを発生してこれをあまり減衰させずに伝送し、しかも E S の運転に支障をきたすようなノイズを極力おさえる、というかなり厄介な技術的問題をふくんでいる。現在のところ  $20 \text{ kV}$  で立上り時間  $40 \text{ n sec}$ 、平坦部の変動  $2\%$  以内といふほぼ目標に近いパルスが得られているが、E S の現場でのノイズの遮蔽とか梅雨時にも良好なパルスの発生と伝送を保証できるか、といった宿題が残っている。

## (2) R I N G の構造

R I N G は第 5 図に示すように 8 個の偏向磁石 ( $B_1 \sim B_8$ ) と 8 個の直線部 ( $S_1 \sim S_8$ ) から成り、 $S_2 S_4 S_6 S_8$  に 4 組の 4 重極磁石 (Q) がある。Q の各組の構成は第 1 表に示したように  $Q_F Q_D Q_F$  (F: Focus, D: Defocus) の Triplet Lens になっていて、そのパラメタを加えることによって R I N G の  $\beta$ -tron 振動のパターンを制御することができる。R I N G の単位構造での  $\beta$ -tron 振動の設計値は第 8 図に示すようなものであるが、この曲線はごく大ざっぱない方をすれば、軌道の各位置での  $\beta$ -tron 振動によるビーム断面の大きさをきめる量だと考えてよい。この設計では B を通過する間は  $\beta$  の変化はあまりないので、とくに位置によってビーム断面(つまり光源)の大きさがかわるということはない。 $\beta$ -tron 振動は radiation damping によって  $50 \mu \text{ sec}$  位の間に減衰するのでこれが働くと結局ビーム・サイズは直径  $1.3 \text{ mm}$  位の円形になってしまことになるが、radiation 方向には電子のエネルギーのずれによる軌道のひろがりがどうしても残るので、Storage Ring のように長時間軌道をまわる電子ビームは特に細工をしなければ葉巻を横から見たような横長の断面になる。我々の場合ビーム断面は縦  $2 \text{ mm}$  橫  $7 \text{ mm}$  位にすることを



第8図 SRB-721124  
 $\beta$ -function of SOR-Ring

考えているが、そのためには  $x$  方向と  $z$  方向の  $\beta$ -tron 振動を結合させてこそ縦方向にひろげることが必要であろう。電子ビームの場合にはこの他に、Ion Trapping とよばれる効果があり、ビーム断面は計算より大きくなる傾向があると云われている。

さて話をもとへもどすと、残った4つの直線部  $S_1$   $S_3$   $S_5$   $S_7$  の機能は次の如くである。まずこの4カ所はいずれも Pumping Station であって、 $130 \text{ l/sec}$  の Sputter Ion Pump と  $1000 \text{ l/sec}$  の Sublimation Pump が配置される。とくに  $S_7$  は粗引き口を兼ねており、この他に油回転ポンプとメカニカル・ブースターがついている。更に  $S_1$  は入射部で  $PB_2$  があり、 $S_3$  は高周波加速部、 $S_5$  は  $K_2$  (perturbator magnet)， $S_7$  には  $\beta$ -tron 振動測定用モニターが入る。

SORダクトは  $B_3$   $B_4$   $B_5$   $B_6$  の4カ所にとりつけられ、第5図のようSOR 1~4と番号がついている。ダクトが見る光源位置はBの磁極の端から  $8^\circ$  中に入ったところで、光源からフランジ面まで  $90 \text{ cm}$  である。すなわち従来のESによるSOR実験とくらべてこの場合はるかに光源に近いところで測定する可能性がある。<sup>(注)</sup>

注) INS..... 10 m, DESY..... 40 m

4本のSORダクトのうち, SOR-1は鏡で上に向けてとり出し, 2階で瀬谷・波岡型の縦型分光器に入れて  $\lambda > 300 \text{ \AA}$  で仕事をする計画で, SOR-2は一番後方のスペースがひろく使いやすい場所で, 斜入射分光器を常置して軟X線実験 ( $\lambda < 300 \text{ \AA}$ ) にあて, 残る2つのダクトの中の一つは何もおかず機器較正あるいは強度の絶対測定を必要とする実験に開放し, その都度 Set-up をかえられるようにする予定である。

### § 3. ビームの寿命と電流

300 MeV で 100 mA ためれば現在の ES の最もよい条件のときよりもつよい光を  $\lambda > 100 \text{ \AA}$  で得られる, ということを前に述べた。それではもっと電流をふやして光をつよくしてはどうか, という考えも当然出るであろう。この限界は一応ビームの寿命とのかねあいできめた値であって, かえられないわけではない。しかし Storage Ring をつくる目的の一つが光源の安定性, 従って S/N 比を飛躍的に改善して精度のよい測定をやろうということにあるので, 強度がふえても寿命が短かくなつたのではこの利点は帳消しであろう。またあまり頻繁に ES からのとり出し打ち込みをやるのは ES の運転や利用者の実験を disturb するおそれもある。我々は第1表で  $\tau > 1 \text{ hr}$  と書いたがこれはこういう考慮からきめられたものである。時間の函数としての光の強度  $I(t)$  は当然軌道にたまつた電子数  $N(t)$  に比例するが, これは  $t = 0$  における強度  $I_0$ , 電子数  $N_0$  に對して

$$N(t) = \frac{N_0}{1 + N_0 \gamma t} \quad (2)$$

$$\gamma = \frac{4\pi r_0^2 c}{(\Delta E_{\max})^2 V} \quad (3)$$

という式に従う。但し  $r_0$  は電子の古典半径すなわち  $2.8 \times 10^{-13} \text{ cm}$ ,  $c$  は光速度,  $V$  はビームの体積,  $\Delta E_{\max}$  は加速電極が電子を bunch の中に維持しうるエネルギーの中心値からのぞれの最大値で, これは RF の電極に加えられるピーク電圧  $\tilde{V}$  に依存する。この減衰は指数函数よりもゆるやかなものになるが, 寿命  $\tau$  を指数的減衰の式  $I(t) = I_0 e^{-t/\tau}$  のように定義して  $I(t)$  が  $I_0$  の  $1/e$  になる時間とすると,  $\tau = 1 \text{ hr}$  ということは 30 秒で  $I = 0.99 I_0$  というへり方に相当する。現在の ES の強度の変動は最もよい条件でも 0.2 秒位の時定数で, ± 1 % であるから, これにくらべればはるかに高い安定性がえられると考えられる。先の  $N(t)$  の式はビームの損失の原因が bunch 内での電子間衝突のみによる場合 ( $\tau_{el}$ )

で、この他に残留気体分子との衝突による損失( $\tau_{\text{gas}}$ )があつて、この両者によつて寿命 $\tau$ は

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_{\text{gas}}} + \frac{1}{\tau_{\text{el}}} \quad (4)$$

となる。200～300 MeVでの $\tau_{\text{gas}}$ の値についてはすでに測定例があり、 $1 \times 10^{-9}$  Torrで約20 hrとされている。従つて $\tau$ の目標を1 hr程度におく場合、 $\tau_{\text{gas}}$ の項は無視できて、(4)式では

$$\tau = \tau_{\text{el}}$$

すなわち(2)式できまる $\tau_{\text{el}}$ が支配すると考えてよい。 $\tau_{\text{el}}$ の形は

$$\tau_{\text{el}} = \frac{1}{\gamma N_0} \propto \frac{\tilde{V}}{N_0} E^3 \quad (5)$$

となり、 $N_0/V$ すなわち bunch を形成する電子の密度に逆比例する。ビームの体積は第8図の $\beta$ 函数で一応きまつてくるから、結局寿命は電流に逆比例という関係にある。このようしたことから、両方ともよくばることは不可能であつて、我々の場合折合いは100 mAで1 hrという所でつけてある。もっともビーム体積のみつりにはある程度推定が入つていて、これは実際に測定してみないとわからない。ここで注意すべきことは(5)式の最後の表現で $\tau_{\text{el}}$ がエネルギーEの3乗に比例することで、わずかでもエネルギーを上げると寿命は大巾に改善される。また電流をふやさなくともエネルギーを上げると、スペクトルの短波長側の強度が著しくふえ、ピーク波長は短い方へ移るので、あらゆる点で有利である。第1表に示した数字は300 MeVでパンチ、サイズを $2 \times 7 \times 180$  mmとした場合の限界である。

#### § 4. 真空系の問題

前節で我々は $\tau_{\text{el}}(\sim 1 \text{ hr}) \ll \tau_{\text{gas}}(\sim 20 \text{ hr})$ と仮定したが、それを実現するためにはビームをためた状態で $1 \times 10^{-9}$  Torrの真空を維持しなければならない。Storage Ringでは色々な形でためたビームと残留気体イオンとの相互作用がある上、電子の場合にはSORもイタズラをするので、真空をよくしてやりすぎたということはないようである。電子のRingではSORがドーナツの外壁に当つて光電子を出し、これがまた壁から気体を脱着させてるので、ある程度以上ビームをためると急激に気圧の上昇がおこる。電子衝突による損失は(2)式からも明らかのように、 $N_0$ が減少すれば減衰率も減少し、損失機構自身でブレーキがかかるが、気体による損失にはそういう機構がないから一旦圧力が上がると真空ポンプが働いて放出気体を除去するよりはるかに早くビームは消えてしまう。まして直線部に配置した4台

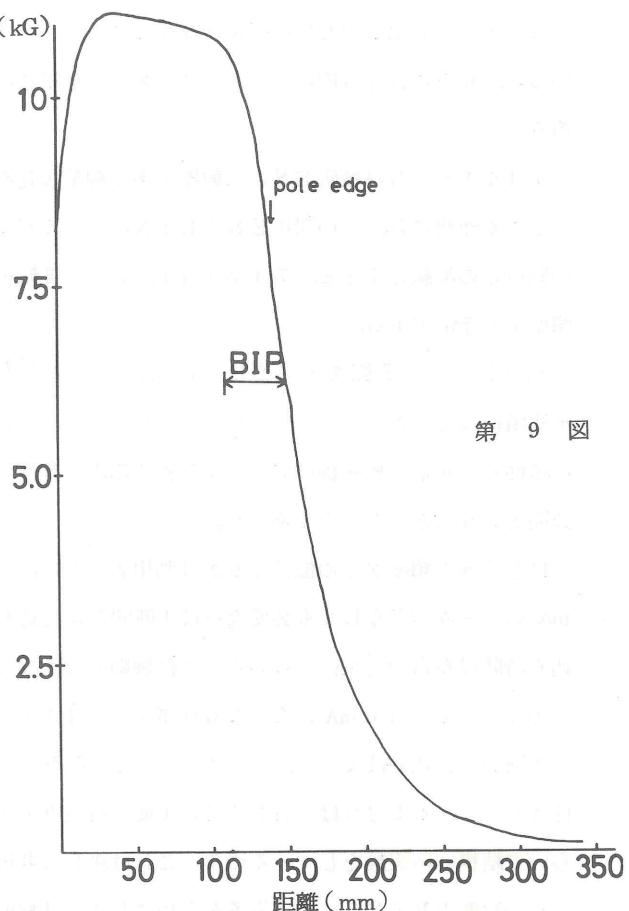
のポンプがコンダクタンスの低いドーナツを通して排気するわけであるから、曲線部で発生した気体はどうしても局所的な圧力上昇の原因になる。

そこで気体負荷をその発生した局所でポンプで引いてしまおうという考え方で提案された分布排気系あるいは組み込みポンプ(Built-in Pump)をNovosibirskの連中にからて我々も採用することにした。幸いStorage Ringの磁場はESとちがって定常磁場である。偏向磁場の漏洩磁場——といつても我々の場合5~9 kGあるが——を利用してペニング放電素子をドーナツ内に組み込み、これに~6 kVの電圧をかけて放電させるとふつうのSputter Ion Pumpと同様の排気作用を期待できる。このような排気系の予備実験の結果は好成績で、各偏向部あたり少くとも 100 l/sec 以上の排気速度は確実にえられ、直線部に配置した集中排気系とあわせて 5000 l/sec の総合排気速度がえられることはまちがいない。最終設計では予備実験の経験を生かしていくつかの改良点をもり込んだので、BIPだけで 2000 l/sec 程度の排気速度がえられるのではないかと期待している。

## § 5. 建設作業の現状と見とおし

48年8月現在、RINGの主要部である真空系と電磁石(BQ共)は完成し、それぞれ試験を終了した。第9図はB磁石の検査結果の1例で、中心附近で動径方向に測った磁束密度の分布である。n値を0.5と設計したので中心での値を1.1 kGとして軽い勾配がある。↓は磁極の端で、BIPと記入したのはくみ込みポンプの素子に入る位置を示す。

電磁石の組立はすでに終って、8~9月に微調整と総合試験を



第9図

おこなう予定である。真空系は4月に一旦搬入してリングを組立て、BIPを作動させずに排気試験をおこなった後解体した。電磁石の試験終了後、再び組立て、BIPの排気速度の測定の後、電磁石と共に総合試験を年内に終る予定である。

やや予定よりおくれているのがRF電極部の製作である。これは超高真空用セラミックと金属部の熔接に技術的困難があり、2回失敗したためであるが、技術的には問題は解決されたので、年内には完成する見込である。RFの空腔と発振器は核研ESが $E_{max} = 750 \text{ MeV}$ で運転していた頃のものをゆずりうけ、補修して使っているもので、パワーが稍不足しており、また部品の補給にも問題があるので、近い将来全面的に更新することを計画している。

当面はこのお古を上手につかって所期の性能を出そうと考えているが、検討の結果当初設計のharmonic No 8、周波数138MHzから、第1表にあるように7および120MHzに下げれば機能を低下させずにすみそうだ、という結論をえている。

ビームのとり出しのためのパルス発生テストはあと一息の性能改善をめざしてつづけられているが、年内にはES内にパルス・マグネットを組込んでとり出しの試験をはじめられるであろう。

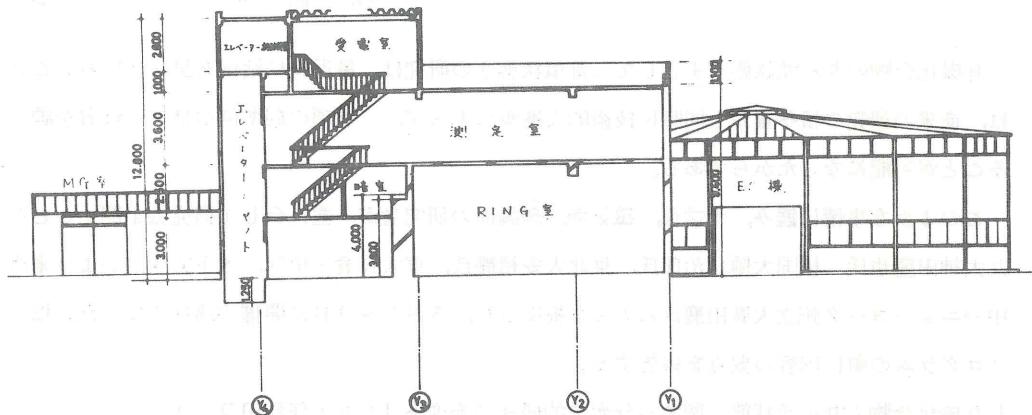
74年1～3月は核研ESの入射器である線型加速器の更新工事のためESの運転は停止することが予想され、その間にESとRINGをつなぐビーム輸送系の組立て、試験とRINGの制御系の配線をすませ、74年4月からESの運転再開をまってとり出し打ち込みの実験を開始する予定である。

利用者にいつ公開できるかはもちろんこれらの作業の進行状況によるが、順調にゆけば来年秋頃になるであろう。しかしビームがたまるようになっても、打込みの能率の改善・ビームの諸性質の測定・放射線に対する安全管理施設の整備等の作業もあるので、はじめの中は部分公開ということになるのであろう。

打ち込みの頻度がどの位になるかは利用者がどの位の光の強度で満足するかによる。100mAのビームがどうしても必要ならば1時間毎に打込むことになる。フル・ビームに対する打込み時間は寿命の $1/10$ ぐらいという経験則のようなものがあり、一応5～10分とみてよいであろう。もし10mAになっても仕事をつづけてよいというなら $\tau$ は10hrになり、朝夕に1回づつ打込めばよいし、ドーナツがうんと枯れてきて $10^{-10} \text{ Torr}$ 位になり、I=1mA位までへってもよければ3日か4日に1度の打込みでよい。Wisconsin大学では1mAぐらいで結構いい実験をしているので、これは決して非現実的な話ではない。

この程度のRINGは一旦電子をためてしまえば放射線の危険はほとんどなく、RINGの

周辺で作業してもよい。しかし打込み時は危険なので、R I N Gおよびピーム輸送系の付近からは立のいて、中2階の制御室またはロビイで待避することになる。第10図はS O R-R I N Gのある建物の断面図で、Y<sub>3</sub>-Y<sub>4</sub>間に中2階があり、半分が制御室、のこりがロビイと暗室になっている。



第10図 断面図

この他利用者にとって気になることの一つは超高真空のR I N Gと通常真空の分光器その他の測定器の接続の問題であろう。これについては $2 \times 10^{-6}$  Torr のチェンバーと $10^{-10}$  Torr 台とをつなぐ差動排気系の予備実験をおこなったが、その詳細は紙数もそろそろだいぶ超過したようなので省略する。<sup>3)</sup>

本文中で書いたことの出典を一々あげることも差ひかえるが、S O R-R I N Gそれ自体については下記を参照されればくわしいことがおわかりいただけると思う。

1. SOR-RING 記事 No. 1 第1号 (1971年1月)
2. SOR-RING 記事 No. 2 第2号 (1972年1月)
3. SOR-RING 記事 No. 3 第3号 (1973年7月)

## 短期研究会報告 「有機化合物のりん光状態」

司話人 物性研 木下 實  
理研 林久治

有機化合物のりん光状態（主として三重項状態）の研究は、最近特に活況を呈している。これは、従来の研究の積み重ねと同時に技術的な進歩によって、三重項の副準位の個々の性質を調べることが可能になったからである。

このような事情に鑑み、光学面、磁気面、理論面の研究者が一堂に会して研究会を開くことが、九大神田慶也氏、横国大樋口治郎氏、東北大安積徹氏、東大長倉三郎氏、木下実氏、および来所中のニューヨーク州立大廣田襄氏によって提案され、6月8～9日に開催の運びとなった。以下プログラムの順に内容の要点を報告する。

### 「有機化合物のりん光状態に関する分光学的研究のあゆみ」（九大理島田良一）

りん光現象の発見以来、今日に到るまでの分光学的研究を、自身の寄与を含めて概括され、いくつかの問題点として、内部重原子効果が振電相互作用にも効いてくること、三重項の副準位の帰属が一義的に決まらない例  $3_{n\pi}^*$  状態と  $3_{\pi\pi}^*$  状態が接近しているとき生じる種々の問題を指摘した。

### 「有機分子のT-S遷移と pseudo-Jahn-Teller 効果」（九大理小柳元彦）

有機化合物における pseudo-Jahn-Teller 効果を、 $\text{triplet} \leftarrow \text{singlet}$  遷移によって研究した結果の説明が行なわれた。関与する電子状態間のエネルギー差 ( $\Delta E$ ) により分類し、ベンゼン ( $\Delta E \sim 10^4 \text{ cm}^{-1}$ )、ピラジン ( $\Delta E \sim 10^3 \text{ cm}^{-1}$ )、ベンズアルデヒド ( $\Delta E \sim 10^2 \text{ cm}^{-1}$ ) を例として議論した。

### 「芳香族炭化水素の励起状態の幾何学的構造」（東北大理中島威）

励起状態において分子が歪む問題に関して、理論的な面からのアプローチの方法として、Static method と Dynamic method を挙げ、それぞれ例を挙げて検討した。

### 「三重項状態にある分子のMO計算」（阪市大理西本吉助）

三重項分子のMO計算を行なう場合、電子間反撥積分と2中心 core 積分の評価が問題であることを指摘し、種々の計算法の比較、パラメーターの取り方について検討した。特に、core 積分は分子構造と直接に関係していることから、磁気的方法による構造の決定、特に超

微細構造定数の測定結果の必要性を指摘した。

「三重項状態の構造とZFSパラメーター」(横国大樋口治郎)

三重項状態の構造に関して、電子間双極子相互作用によるZFS(zero-field splitting)パラメーターの計算から得られる情報について検討した。ZFSは一般に構造に対してもあまり敏感ではないが、 $|E/D|$ の実験値と計算値を比較することにより、カルベン類のn軌道を有する炭素原子上の軌道混成の様子、ジフェニルアセチレンの二つのベンゼン環の振れの角度について情報が得られることを示した。

「ZFSパラメーターに関する理論と計算」(九大理権藤恭彦)

種々の計算法により三重項状態の波動函数を求め、エネルギーとZFSパラメーターを計算した結果を比較し、SCF-CI法の結果がよい事を示した。しかし、西本・廣田両氏は、スピンドensityについてはSCF-CI法はよい結果を与せず、UHF法がよいという意見であった。また、権藤氏は励起三重項状態にあるベンゼンの構造に関しても付言した。

「カルボニル化合物の $n\pi^*$ および $\pi\pi^*$ 三重項状態間の相互作用とZFS」(理研林久治)

ベンゼンのカルボニル誘導体では、 $n\pi^*$ と $\pi\pi^*$ 三重項状態が近接して存在するので、両状態間の相互作用の影響が顕著に現われる。特に、ZFSに対して両状態間のスピンド軌道相互作用が大きく効いて来るので、その関係式を理論的に導出した。さらに、りん光の励起スペクトルの測定により、 $n\pi^*$ と $\pi\pi^*$ 型三重項状態のエネルギー準位を定め、ZFSとの対応から、スピンド結合定数の値を求めた。

「交互炭化水素の基底多重項状態」(阪大基礎工伊藤公一)

カルベン、ニトレンなど基底状態でスピンド多度(三重項、五重項、七重項)を示す化合物のESRによる研究を中心として、その性質、構造を議論した。吸収や発光に関する実験結果にも言及した。

「ESRとPMDRによる三重項分子の電子状態とDecayの過程の研究」(ニューヨーク州立大廣田襄)

ESRやPMDR(phosphorescence-Microwave Double Resonance)等の磁気的測定を通して励起三重項状態における波動函数の性質や分子の幾何学的構造について詳細な知見が得られることを強調し、その方向でENDOR、ELDORの手法を応用して詳しい実験データーを提供するとともに、その理論的解析を進めて行くことの重要性を指摘した。さらに、ベンゼンやピラジンを例にとり、励起分子の構造の歪みが、結晶場による影響とpseudo-Jahn-Teller効果によって惹き起されていることを示した。

「Intersystem crossing の選択則に関する」(東北大理安積徹)

項間交叉( Intersystem crossing )を起し得る摂動にスピン・軌道相互作用を考えるだけでは、いくつかの実験結果を説明しがたいことを示し、 El-Sayed の考え方に対する疑問を提起した。また、項間交叉過程の取扱いについて、種々の近似法を比較検討し、断熱近似からのずれを生じさせるものが有効ではないかと主張して、多くの議論を呼んだ。

「Intersystem crossing と vibronic interaction」(東大物性研西信之)

Auger 効果やスピン・格子緩和等はっきりした無放射遷移を例として、項間交叉遷移に対する理論を展開し、スピン・軌道相互作用が全く遷移を起し得ないとは考えられないが、低位電子状態に対しては、むしろ断熱近似からのずれに基づく寄与が大きいことを示した。

「光学的測定と磁気的測定の結合」(東大物性研木下実)

励起三重項状態の関与する現象の種々の光学的研究手段に対して、磁化率、磁気共鳴などの磁気的測定手段あるいは磁場の効果を組合せた場合、どのような新らしい実験方法が可能かということについてまとめ、現に両者の組合せとして具体的に成果の挙がっている PMDR という方法が生まれた背景、原理と装置、種々の実験方法、2~3 の実例について解説した。最後に氏の研究室で最近観測できるようになった PMDR のシグナルが披露された。

「電子衝撃による気相三重項状態の生成と動的挙動」(東大理朽津耕三)

電子衝撃・放電などによる metastable species の生成法とその物性測定法について紹介があったのち、 metastable species の検出と分類について解説がなされた。電子のエネルギー損失の測定法と装置について、多数の測定例を交えて紹介された。最近、氏の研究室で行なっている Ar\* と ClCN, BrCN などとの反応について、実験装置と結果を示した。

「レーザーによる励起三重項状態の研究」(東工大理田中郁三)

レーザーを用いることによって、励起状態にある不安定分子の動的挙動の研究は、 $10^{-12}$  秒の時間領域に発展し、いくつかの成果が得られていること、 $Sr \leftarrow S_1$ ,  $Tn \leftarrow T_1$  吸収スペクトルのような励起分子の吸収スペクトルの測定、二光子吸収、項間交叉の速度の研究が可能になったことについて、装置の説明や研究例の紹介を含めて解説がなされた。また、第一励起三重項状態と第二励起三重項状態との反応性の違いに関する研究方法について報告があった。

「電荷移動錯体の T-T 吸収」(東大物性研松本聰)

テトラシアノベンゼン(TCNB)とメチル置換ベンゼンとの間で生成する電荷移動(CT)錯体について、CT 錯体として初めて T-T 吸収が観測された。広範囲(5000~30000

$\text{cm}^{-1}$ ) にわたって観測される T-T 吸収が、電荷移動構造と電子受容体の局在励起構造の相互作用によって理解されることを示した。また、その最低励起三重状態における構造は、けい光状態とは異なって、むしろ基底状態の構造に近いのではないかと指摘した。

「電荷移動錯体の三重項状態」(阪大基礎工又賀昇、増原宏)

T C N B-トルエン錯体を例に挙げ、電荷移動錯体の三重項状態は、relax したけい光状態からの項間交叉で生成するのではなく、励起 Franck-Condon 状態から直接に起ること、またけい光状態とは電子構造のみならず分子構造も異なっていることを指摘した。また、けい光状態への移行に際しては、4.2 K でも構造変化を伴うことを示唆した。ピレンとジメチルアニリンの exciplex については、三重項状態、イオンそれぞれの収量の和が、溶媒の誘電率に依存しないことも報告された。

「電荷移動錯体混晶における T-T annihilation」(東大物性研八木幹雄)

T C N B-ビフェニル結晶において、C T 錯体として初めて遅延けい光が観測され、T-T annihilation によるものであることを明らかにした。同様な遅延けい光は T C N B-ナフタリン結晶に於ても観測される。また、T C N B-ビフェニル錯体結晶では、極低温に於て三重項副準位の間にスピン整列の現象が観測されたことを報告した。C T 錯体に於けるスピン整列の最初の例として注目された。

「三重項状態が関与する生物物理の問題」(名大理右衛門佐重雄)

光合成、視覚の問題を代表例として、生体内の反応に於ては、三重項状態が反応を開始する直前の状態として関与していることが多く、その研究の重要性を示唆した。また、クロロフィル分子の電子状態について調べた結果が報告され、中心の  $Mg^{2+}$  の電荷が中和するような電荷分布をしていると考えられることを指摘した。生体内の分子の電子状態、分子構造は、媒体を含めた一つの系として考慮されるべきであるとし、two state model による計算例を示した。

「問題点の整理と指摘」(九大理神田慶也)

2 日間の討論の結果をまとめ、自身の豊富な経験を交えて問題点を指摘した。まず一般的なこととして、matrix の選択を幅広く考えて欲しいという希望が述べられた。磁気共鳴に関しては、励起分子の電子構造、幾何学的構造との関係で、E の値の再検討、ENDOR 法による精密なデーターの提供が、これから課題である点を指摘した。また P M D R の実験が我が国でも行なえるようになったことに關連して、今後光学面の研究者と磁気面の研究者の協力が無駄なく行なわれるようとの希望が述べられた。技術的な問題としては、レーザーを用いる

実験は確立しつつあるが、電子衝撃による研究は直ちに取組む必要があると指摘された。最後に、今回の研究会で取上げられなかった問題として、最近盛んに研究されている *radiationless process* を調べるために *vapor phase* でのりん光測定、りん光の量子収量の正確な測定が是非とも必要であることが指摘された。

この分野の研究会は、我が国では初めてであったこともあって、プログラムが詰り過ぎて十分討論を煮詰め得なかった問題がいくつか残った。また、会場の都合もあって、積極的には宣伝しなかったので、一部の方に迷惑を掛けたり、討論の際にあの方に参加していただければよかったと思うこともあった。いずれも世話人の不手際で、お詫び申上げる。また、今回は反応性の問題は、時間の都合で意識的に除外したことを申し添えておく。

なお、これらの点も含めて、長倉氏から今後もそれぞれの問題に応じて、小グループで接触を保ち、研究会の成果を生かして行きたいとの希望が述べられた。これは約80名の参加者の気持を代表したものであり、研究会の趣旨でもあるので、積極的に取組んで行く予定である。

## 「固体表面の電子状態と吸着」 ——分子論的アプローチ——

世話人代表 東京理大 川崎弘司

金属や半導体などの表面現象の研究は清浄な表面の作成法、清浄表面を維持するために必要な超高真空技術の進歩に伴い、最近では各種の表面特有の微視的観測手段が開拓され表面について原子・分子的尺度でいろいろな情報がえられるようになってきた。

これまでに昇温脱離法、電子衝撃脱離法、低速電子回折、オージェ電子分光法、電界電子・イオン顕微鏡などによる研究の成果はめざましいものがある。さらに最近になって固体表面の電子状態の研究が電界放出電子のエネルギー分析、光電子分光法、イオン中和法その他の観測手段により盛んに行なわれ始めており、また固体表面の微視的理論の研究もようやく活発になりつつある。

このような現状に関連し、1974年3月には京都で固体表面の国際会議が開催され、我が国からも活発な参加が期待されている。我が国においても固体表面による電子・原子・イオンの散乱、金属・半導体表面の電子状態、吸着現象、吸着種の挙動などの研究が活発に行なわれ始めて

いる。これらのこととを配慮して表記の課題の研究会が物性研短期研究会として1973年7月2日～3日の2日間約120名参加をえて開かれた。理論と実験から各一つのレビューを中心にして23に及ぶ話題の提供があり活発な討論が行なわれ、この分野の研究が成長しつつある印象を受けた。

次にこの研究会で発表された講演の概要について報告する。

### I 理論関係（討論座長 阪大理金森順次郎）

研究会の冒頭を飾ったのは、戸谷（北大触研）による吸着の電子構造に関する理論のレビューであった。この方面のパイオニアならではの示唆に富み懇切な解説であって、その内容を簡単にまとめるのは難しいが、歴史的回顧にはじまり、吸着機構の電子論的解明についてのいくつかの試みと最近の実験について述べた。特に吸着母体のいくつかの原子と吸着原子とのクラスターを考えて、その電子構造を議論するとき、CND0法、EHMO法などの方法の違いによる結果の相違点、最近のBlyholderによるNiを吸着媒とするいくつかの計算などをくわしく紹介し、表面上の電子分布、吸着原子による電子のfield emissionの変化などについてクラスターによるアプローチがかなりよい答を与える場合があることを示した。

このレビューに引続いて、いくつかの理論計算の発表が行なわれ戸谷のレビューを基礎にし各理論発表者の提供した話題について活発な討論が行なわれた。大別して、第1は分子ないしクラスターの電子構造に対する理論の問題点、次に吸着原子間の相互作用の問題、さらにいわゆる物理吸着とよばれる弱い吸着（主として稀ガスの）、表面構造の変化などが主な問題であった。いずれも今の段階で決定的な結論がえられているものではなく、むしろ今後の吸着理論の発展を待望せるものであるが実験手段の発展によって、理論計算も足がかりをえて大いに発展することは疑いないように思われた。

次に発表題目、発表者とそのアブストラクトについて記す。

#### a. 最近の吸着理論（レビュー）戸谷富之（北大触研）

TammやShockleyが固体表面に局在するような電子準位（表面準位）の存在が可能なかつことを出したが、Pollardはこの表面準位が吸着にあづかるのであろうと指摘した。それ以後吸着の理論においては、表面準位の存在の条件を論ずる研究が中心課題になっていた。最近はW(100)面で、表面準位の存在がHeineらにより理論的に結論され、電子分光の実験からも確かめられ、吸着とのかかわりが問題になっている。

しかし一方ではBlyholder & Coulson, Bennettらによって、吸着には局在する

表面準位のみでなく、バンド軌道にある電子も吸着に寄与し、吸着には必ずしも表面準位の存在を必要としないことを示している。また最近の電子計算機の発達から、Extended Hückel Theory (EHT) とか、Complete Neglection of Differential Overlap (CNDO)などの方法で、吸着の計算も盛んである。これらはいづれも LCAO-MO の Hartree-Fock の近似で、マトリックス・エレメントに半経験的なパラメーターを導入したものである。Blyholder は CNDO 法により Ni の 6~13 個原子からなるクラスターの上に水素、一酸化炭素が吸着した場合の計算をしている。

EHT 法、CNDO 法などの計算結果から結論できることは、(i) 吸着にはバンド軌道もあづかるが、吸着によりバンド軌道の mixing がおこる。(ii) 吸着に際しての電荷の移動の大きいものでは、吸着原子をふくめて結晶全体の電子間、イオン間、電子—イオン間のクロトン反発、引力は考慮されなければならない。さらに(iii) 電子間の相関の考慮は、EHT、CNDO などの Hartree-Fock の近似では不充分であろう、などである。

以上の観点から吸着の多電子問題的アプローチが必要になる。戸谷は Configuration interaction (CI) 法により、Newns は合金における Anderson モデルで、また Schrieffer らはとくに吸着原子—金属間の反平行スピンの電子間の相間に着目して、吸着ボンドの本質を論じた。結論として現在吸着理論にとっての中心的原理は、LEED、昇温脱離スペクトル、吸着による電子エネルギースペクトルなどの実験を説明しうるために、吸着ボンドの本質を深めると共に、吸着原子間の相互作用を理論的に取扱っていくことであろう。

#### b. 理論関係話題

##### 1) 金属の電子状態とその物理吸着力 中村 孝(北大触研)

金属の示す物理吸着力 (Van der Waals 吸着力) については、理論的には 1930 年代の始め Lennard-Jones によって最初に論ぜられ、つぎに 1940 年代の始めに Bardeer, Margenau と Pollard, Prosen と Sachs らにより、さらに 1960 年代には Mavroyannis, McLachlan, Wojciechowski らによって量子力学的計算がなされた。今回はこれらの仕事の critical survey を行ない、そこに残された問題点を指摘し、最近の金属表面の電子状態の理論たとえば Kohn, Lang らの仕事と関係した議論を行なった。

##### 2) 分子軌道法の吸着への適用 伊藤洋行(北大触研)

最近半経験的分子軌道法を吸着に適用した例がいろいろ現われてきた。その適用の際金

属などの吸着媒は少数原子からなるクラスターでおきかえられている。このクラスターにガス吸着した系(表面化合物と呼ばれる)に、MO法が適用されている。ここでは一次元 $(Li)_n$ ( $n=1 \sim 6$ )系の一端に水素原子を吸着させた系でSCF-CNDO計算を行なった。その結果 $H-(Li)_n$ 系の電子数の偶奇により系の物理的特性( $H-(Li)_n$ 間の平衡核間距離, H原子のnet charge, H原子上に局在した状態の出現の可否)がことなることを見出した。また10原子からなる三次元結晶面上に、水素吸着させた場合H原子はpositiveである。これは電気陰性度の概念とことなる。またnon-SCF-EHMO法を一次元 $H-(Li)_n$ 系に適用した場合電子数の偶奇によらず同じ結果を与える。SCF法を表面化合物に適用した場合これまでの化学的直観とはことなった結果を与える場合がありそうだ。

3) 吸着原子間の相互作用について 六田嘉明(奈良教育大)

吸着原子間の相互作用として従来考えられてきたものに、dipole-dipole interactionおよび伝導電子を介したindirect interaction(Grimlyによる)がある。ここではもう一つの機構として被覆率の大きいところで重要なと思われる吸着原子間の一電子 hopping processと、吸着原子軌道同志のnonorthogonalityによって生ずる交換相互作用について考察した。特にW上の水素およびアルカリ原子について数値計算した。その結果からW(100)上のHでの二つの吸着状態 $\beta_2$ と $\beta_1$ の相異は、原子状および分子状の吸着によるのではなく、上記のような相互作用によると考えた。

4) Pairwise Potential Modelによる固体表面構造の決定法とその問題点

加藤 益(鳥取大工)

2個の原子を対として、いわゆる pairwise potential modelを仮定し、結晶がこのような対の集まりであると考えて表面の原子配列、表面エネルギー、吸着現象などを数値計算によって求める方法が以前から試みられているが、現在のところ実験事実との一致はそれほどよいとは云えない。

その主な原因の一つは、固体表面における電子のredistributionであろうと思われている。ここではNi, Feに関する計算結果を説明し、その問題点についてのべた。

## II 実験関係

表記のテーマに関連した実験的話題提供は全部で19であった。村田(学習院大理)の吸着現象の実験的アプローチに関する解説が氏の研究をふくめ大変よく現状をまとめられた形で述

べられた。このレビューの上に大局的には電子分光法に関するもの、赤外吸収、核磁気共鳴、電子スピン共鳴に関するもの、吸着現象（半導体表面もふくむ）に関するものの三つに分類される話題提供があり、活発な討論が行なわれた。

a. 吸着現象の実験的アプローチ（レビュー） 村田好正（学習院大現）、（討論座長 東大理 田丸謙二）

この研究会のテーマに従って、分子論的な観点から、討論への話題提供を行なった。吸着を分子論的にみた場合、結合状態は下地結晶表面の格子面に強く依存するので、単結晶で、格子面のはっきりした測定結果をとりあげた。

構造の面からは、低速電子回折（LEED）ということになるが、吸着によるスクリーン上の回折像の変化は、並進対称のみで、位置その他をきめることはできない。強度測定を行ない、動力学的理論に基づいた計算値と比較する必要がある。動力学的理論のうち、吸着層を問題にする場合には、Be the 流のバンド理論的取扱いより、多重散乱理論による方法の方がすぐれている。後者の方法で最近、Ni(100) 上に Na を  $\frac{1}{2}$  単原子層つけた  $c(2 \times 2)$  構造（Andersson & Pendry）、Ag(111) 上に I を  $\frac{1}{3}$  単原子層の  $(\sqrt{3} \times \sqrt{3})R30^\circ$  構造（Forstmann, Berndt & Büttner）の吸着原子の位置と下地結晶からの距離、吸着原子のイオン性をきめ、実測の強度曲線とよくあう計算結果を得ている。今後はこの種の定量化した LEED の利用が盛んになると思われる。

エネルギーの面からは、主に低中速電子のエネルギー分析による方法（いわゆる電子分光法）が用いられており、まだ少数ではあるが、吸着を分子論的にみた例が得られてきている。対象となるエネルギー準位として、内殻準位、結合準位、振動準位に分けることができる。内殻準位は X 線光電子分光（ESCA），オージュ電子分光（AES），電子のエネルギー損失スペクトル（LEES），軟 X 線の出現ポテンシャル（Appearance Potential Spectroscopy, APS）などがあり、結合状態のちがいによる化学シフトが観測できる。それぞれ特色はあるが、いずれも現在のところ吸着に関しては、下地金属の化学シフトのみが観測されていて、吸着状態を知るには吸着原子の化学シフトの観測が望ましい。結合準位については、AES での chemical effect が炭素からの Auger 電子などでは観測されている（Haas & Grant）が、吸着の結合状態を知るには、Auger 電子のスペクトルの計算値（村田）と比べてみると、100 MeV 程度の分解能の測定が望まれる。もっとも直接的なものとして、Ion-neutralization Spectroscopy（INS），LEES，光電子分光（PES），電界放出電子のエネルギー分布（FEED）などがある。INS で

は Ni(100) 等に O, S, Se が  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  単原子層吸着した p( $2\times 2$ ), c( $2\times 2$ ) 構造について測定されており (Hagstrum & Becker), O は負イオンとして吸着し, S, Se の場合, p( $2\times 2$ ) と c( $2\times 2$ ) とで結合状態が異なる。このことは Ni(100) への O の吸着の LEES でも観測され (大谷, 寺田, 村田), p( $2\times 2$ ), c( $2\times 2$ ) で異なる電子状態となっている。この結果は上述の INS, PES (Eastman & Cashion) の結果と一致しないが、この相違は LEES は INS に比べて分解能も高く、直接的なため、また PES の測定は多結晶を試料としているためと思われる。吸着量による吸着の結合状態が異なる現象は他にも見られ、FEED で W(100) への水素吸着による resonance tunneling (Plummer & Bell), もっと間接的ではあるが、Cu(111) での CO 吸着を多重反射を用いて、赤外吸収スペクトル (IR) による CO 伸縮振動のスペクトルのシフト (Pritchard) の観測がある。この観点からの吸着理論の発展が望まれる。振動準位については、上述の IR の他に LEES, FEED がある。LEES により W(100) での H<sub>2</sub> 吸着に 135, 70 MeV の損失極大が観測され (Propst & Piper), これは FEED の inelastic tunneling でも H, D について観測されている (Plummer & Bell)。すなわち解離吸着で、分子状吸着は  $\gamma$ -state ではじめてみられる。

Si(111) での酸素吸着では、LEES により 48, 95, 125 MeV に損失極大が観測され (Ibach), 従って Si—O—Si と吸着しているらしい。

b. 電子分光法に関する話題 (討論座長 東工大理 安盛岩雄)

ここでは次の 7 件の報告があった。

- 1) Ni(100) 面の酸素吸着の Ni-O 結合に関する電子状態 大谷俊介, 寺田啓子, 村田好正 (学習院大理)
- 2) AES, 仕事関数測定による Fe(100) の初期酸化の研究 上田一之 (阪大工)
- 3) オージェ電子の角度分布と吸着 松平他家夫, 渡辺稔, 恩地勝 (京大理)
- 4) オージェ電子分光法による MO 表面上の硫黄析出の機構——動的挙動からみた硫黄の表面状態 川合知二, 国松公夫, 近藤保, 大西孝治, 田丸謙二 (東大理)
- 5) Si(111) 面と気体分子との相互作用 西嶋光昭, 室谷利夫 (三菱電機中研)
- 6) Cu-Ni 合金清浄表面の電子状態と触媒作用 高須芳雄 (山口大工), 山科俊郎 (北大工)
- 7) 定量的オージェ電子分光法による合金表面組成の解釈 清水肇, 小野雅敏 (電総研)

この討論は、発表された 7 件の報告にもとづいて、それらについての質疑応答をふくめな

がら、オージェ電子分光(AES)による固体表面層の組成の解析を中心とし、これにいろいろな手段すなわち、LEED、エネルギー・ロス・スペクトル、光電子放出による仕事関数測定などを組合せた研究手段の有効さの検討と得られた結果の評価を行ないながらなされた。

まず金属表面上の吸着種の存在状態については、Fe(100)面を用いた大谷、寺田、村田(学習院大理)の研究が酸素について行なわれており、観測される2種のエネルギー・ロス・スペクトルの吸着の増加による位置変化 吸着層のc(2×2)構造の消長を手がかりとしてO-O相互作用をもつ吸着状態が推定されたのは手段の総合がより詳しい知見をもたらす例として評価された。固体構成物質とことなる分子種の表面存在状態で重要さがみとめられるのはbulkの固体中から拡散してくる硫黄であり、上田(阪大工)からFe(100)面上で600~650°Cで析出するSのAESと仕事関数の同時測定結果が報告された。析出硫黄の酸素との反応性は量が増すと低下する。この研究はMO多結晶内部から粒界を通って表面に拡散してくる硫黄の挙動と酸素による酸化反応をしらべた川合、国森、近藤、大西、田丸(東大理)のAESによる研究結果と種々の点で対応していることが討論を通じて明らかにされた。川合らの機構では、硫化物にちかい組成の硫黄表面層との酸素の反応は気体分子の直接衝突と、表面に吸着し酸化物層となって反応するものと2つの経路が存在し、析出条件、温度、表面被覆率により相対的に変化することがわかり、動的研究手法の利用が表面現象の研究に重要であることが指摘された。

これに関連して清浄な固体表面を得たいとき、つねに障害となるS、Cなどの析出物の除去の具体的処理条件について意見の交換が行なわれ、高温酸化還元処理やイオン衝撃の有効さ、単結晶試料を配向成長膜に変えることの可能性についてSiなどの実例の紹介がなされた。

討論のつぎの話題として新しい測定法の導入がどのような知見を加えることができるかが取上げられた。松平、渡辺、恩地(京大理)らのオージェ放出電子の角度分布測定とその解析によると、強度の $\cos^n\theta$ (n:1~2)依存性から電子放出の深さが推定でき、具体的にFe(100)面についてのFeおよびSのAESの結果、S量の増大につれてn→2へ変化し、吸着単原子層から厚さをもつ表面層への変化に対応していることが示される。この問題について等方的電子放出や一様励起の基本仮定の検討を進めることが望まれる。他の研究手法についての話題提供は、西嶋、室谷(三菱電機中研)による電子衝撃脱離(EID)であり、AESが表面数原子層の元素分析を可能とするのに対して、表面単分子層の組成の決

定に有効であるため、弱い化学吸着種や物理吸着種の研究に将来性が期待でき、AESの相補的研究手段となることが指摘された。この方法の他の特徴としては、W(100)面上のH<sup>+</sup>およびD<sup>+</sup>の脱離効率が10<sup>2</sup>程度ことなることからも明らかのように同位体効果がいちじるしく大であること、放出イオンの角度分布から結合の性質の知見が得られること、励起中性粒子測定の可能性などがあり、新手段としての発展が期待された。

討論における最後の話題は、オージュ電子分光法の固体表面組成の定量的研究についての可能性の検討であった。この問題については、Cu-Ni合金を対象とした清水、小野(電総研)による表面組成の検討と高須(山口大工)、山科(北大工)によるCu-Ni合金表面組成とH<sub>2</sub>-D<sub>2</sub>水素交換触媒作用との関連性の研究がありこれらを中心として討論が行なわれた。この種の合金による触媒作用については、S-金属によるd-電子帯空孔の充填が触媒活性の低下をもたらすことが推定されているが、種々の反応による実測結果は必ずしも明確でない。

清水らの研究により、加熱、酸化還元、Ar<sup>+</sup>衝撃などの処理は表面の合金組成をbulkの値から大きく変化させる場合があることが実証されたのは興味ある結果と云える。合金が完全な固溶体であるか不均一な混合相であるかの相違がAESにどのような影響をあたえるかは今後の研究課題であり、これはH<sub>2</sub>-D<sub>2</sub>交換活性Kmの対数がNi分率に比例するとの高須らの結果が、合金のどのような表面構造にもとづくかの手がかりをあたることにも関連するであろう。

以上の討論を通じてAESの有効性が種々の角度から検討され、実証されたが、結果の解釈に必要な基本仮定の検討や他の研究手段との総合的利用の必要が指摘された。

今後の話題として、清浄面のほか、表面強吸着物の組成、存在状態(とくに非周期的配列)をどのように解明してゆくかが重要となろう。

c. 赤外吸収、核磁気共鳴、電子スピン共鳴に関する話題(討論座長 京大理 恩地 勝)

ここでは4件の報告があった。それぞれ特徴のある内容であり、その概要について記す。

1) 銅表面上における一酸化炭素、ギ酸イオンの吸着状態 伊藤正時、末高治(東北大工)  
多重反射赤外分光法を用いて薄膜やパルキーな単結晶表面上の気体分子の吸着状態を研究した例は数少ないが、電子分光法やイオン散乱分光法による研究がまだ容易でない現状では貴重な資料を与えるものといえよう。

PritchardはCu(100),(110),(111)面上の吸着CO分子について、

LEED-IR(反射法)と仕事関数変化の測定とを組合せた実験から次のような興味あ

る結果をえている。すなわち、金属と炭素原子との結合には表面の銅原子の非局在バンド電子が主に関与し、局在した軌道電子は含まれていないと推論している。この研究では超高真空中で清浄化した銅単結晶面（清浄度についての評価は行なっていない）を用い、ギ酸イオン分子の吸着状態をIR反射法で調べた。その結果ギ酸イオン分子はその半面が平滑な銅表面に垂直に立って吸着していることが判明した。今後この種の研究をLEED-AES法によって評価した単結晶清浄面上での吸着状態に応用し、さらに確実な成果をうることが望まれよう。

2) 金属表面に吸着した水素のNMR 伊藤太郎（北大理）

化学的還元法によって作成した白金黒粉体試料（比表面積約 $6\text{ m}^2/\text{g}$ ）を高真空で排気脱ガスした後、表面に吸着した水素の共鳴吸収をNMR法で観測した。その結果室温で共鳴線巾は微分ピークーピークで約1ガウスであった。シフトは約-0.004%であった。銅に吸着した水素の場合には、ほとんどシフトが観測されていない。白金黒に吸着した水素がマイナスに大きくシフトしたことは白金への水素吸着に白金の5d電子が大きく寄与しているためと考えられる。この実験では白金黒の作成法したがって表面汚染の影響が問題となる。低圧の希ガス中の蒸発によって作成できる白金粉末などを用い試料の作成法によらない共通の結果をうることが重要であろう。また吸着状態と内部に吸収された状態とを区別することはかなり困難といえる。

3) 電子スピン共鳴による固体の表面電場の評価 霜越一夫、杉原 洋、安盛岩雄（東工大理）

固体表面の現象を説明する重要な要素の一つに表面電場がある。特に表面での分子の吸着や反応などが表面電場の強さと関係していることが予想される。これまで種々な方法で固体の表面電場が測定されているが、最近ESRにより推定する試みがなされている。簡単な原子や遊離基を表面に吸着させ、そのESRスペクトルを測定すると不活性マトリックス中にあるときと異なったスペクトルがえられる。このスペクトル変化の原因の一つとして表面電場によるStark効果を考慮すると都合よく説明できる場合がある。たとえば、シリカゲルに吸着した銀原子やゼオライトに吸着した $\text{ClO}_2^-$ 、 $\text{Cl}_2^-$ などがこれまでに解析されている。さらにこの方法によると、同じ固体表面でも異なった電場を与える吸着層は異なったESRスペクトルを与えるので定性的な吸着層の識別に利用することもできる。ここでは、ESRスペクトルのStark効果から表面電場の強さを推定する一般的原理たとえばスペクトルの等方的および異方的超微細分離巾について、理論計算（MO計算など）

と比較し表面電場の強さを求める方法を提出した。

次にゼオライト 13X の  $\text{Na}^+$  を  $\text{Ag}^+$  で置換してゆくと、もともと存在した 2 種の吸着席の一方の性質が変化し、スペクトルとして单一なものとなることを吸着  $\text{ClO}_3$  分子の ESR 測定で見出しその結果を紹介した。従来別の方法で判明しているアルカリハライド表面の電場の強さと ESR 法で求めた同じ表面の電場の強さとの比較検討が望まれるが、測定に適当な吸着系は数少ないので早急な比較は困難である。興味ある結果であるだけになるべく単純な表面についての比較検討が期待される。

4) ESR によるガス吸着状態の研究 溝川悠介、中村勝吾（阪大産研）

超高真空下で加熱脱ガスした  $\text{SnO}_2$  表面上に  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  分子を吸着させ、その吸着状態を ESR スペクトル法によって研究した。 $\text{SnO}_2$  (微結晶) は室温における  $\text{H}_2$  吸着によって電気伝導度が著しく増大するという性質をもっているのでその機構について興味が持たれている。その解明の一環として ESR 法を用いて、 $\text{SnO}_2$  表面上の  $\text{O}^-$ ,  $\text{O}_2^-$  吸着種を ESR スペクトルによって区別しうることを明らかにした。また液体窒素温度に冷却した  $\text{SnO}_2$  表面上においても吸着水素の ESR スペクトル強度は安定せず、2 時間後には著しく減衰することが見出されており、低温においても mobile で再結合が起こることを示しているようである。他の絶縁体、半導体表面にみられぬ特性として興味がある。

d. 吸着現象(半導体表面を含む)に関する話題 (討論座長 名工大 屋代雄三)

ここでは 8 件の報告があった。その内容は変化に富むものであるが興味のある表面現象や物性であった。

1) 分子線による吸着分子の動力学的研究 楠 熟(東北大科研), 友田真二(京大理)

K 原子線を雲母に照射し K の付着係数を研究した。見掛上の付着係数が K の表面被覆率により室温では最初減少するが再び増し一定値になる。この現象を定性的に説明するため、BET 吸着模型を一般化して吸着速度式を導き、付着係数 S を K の 2 種の表面滞在時間と関連させて定義した。この理論は蒸着(凝縮)の進行条件をも与え、既知の簡単な吸着速度式も包含し、一つの方法として興味がもたれる。

2) Field Emission Energy Distribution の金属表面の電子状態への応用

金鉢 佑(長崎造船大工)

FEED では、測定された total energy distribution (TED)  $J(\epsilon)$  と自由電子論による  $J_0(\epsilon)$  で enhancement factor  $R(\epsilon) = J(\epsilon)/J_0(\epsilon)$  を定

義する。ここで  $\epsilon$  は Fermi エネルギーから測られるエネルギーである。R( $\epsilon$ ) 曲線の形は非自由電子による諸因子、バンド構造、surface state を、吸着では resonance および inelastic tunneling を示す。W(100) の R( $\epsilon$ ) 曲線は  $\epsilon \approx -0.37, -0.78, -1.5 \text{ eV}$  にピークがあり、前後のピークは被ふく率  $\theta = \frac{1}{2}$  以下の CO, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, Kr, Xe の吸着で消えるが、中のピークは鈍感である。Forstman らは s-d 金属の混成ギャップに金属の surface state の存在を指摘した。Plummer らは前後のピークは surface state とし、Gadzuk は理論的にそれを証明した。W(111) の TED の高エネルギー側のそれは Boltzmann tail より高く、2 電子 tunneling で説明される。

吸着には新概念の resonance tunneling (金属表面に吸着した原子、分子の virtual energy level を通るトンネル) が出された。W 上の Ba やその他のガスの吸着の研究が行なわれており現状についての報告があった。本研究会にもっとも関係深いものとして戸谷、村田らのレビューの際にものべられた W(100) 上の H<sub>2</sub> の吸着状態についてもふれた。F E E D による表面の電子状態の研究は一つの特徴のあるものとして注目されるが我が国でもこの方面的研究の発展が望まれる。

### 3) W 単結晶面のガス吸着 宇佐美誠二(横浜国大工)

清浄な各種 W 単結晶面に化学吸着する 2 原子分子気体の表面電位は著しく格子面に依存する。金属表面に吸着する際、一般に負電位を示すことはガス分子構成原子の電気陰性度によって現象論的には理解される。しかし N<sub>2</sub>/W(100), H<sub>2</sub>/W(110) のように正電位を示す化学吸着もあってこれらは詳細な原子論的考察を必要とする。

振動容量法による表面電位測定では、対向電極間隔が小さく、内面に衝突し吸着されるガス量は、自由空間中の表面のそれとは異なる可能性がある。蜂の巣状の多くの小孔をもつ電極面で通常の板状電極と比較すると差異がみられてくる。

### 4) Ti および W 蒸着膜における CH<sub>4</sub> の CO による置換脱離 杉田利男、海老沢重雄(電総研)

室温と 77°K にて、Ti と W 蒸着膜における CH<sub>4</sub> - CO, CH<sub>4</sub> - NO の相互置換脱離を流量法による吸着量測定、オメガトロンによるガス組成分析、蒸着膜の電気抵抗測定を組合せて研究した。室温と 77°K のいずれの場合でも、前吸着 CH<sub>4</sub> は CO および NO により置換脱離されるが、前吸着 CO および NO は CH<sub>4</sub> で置換脱離されない。前吸着 CH<sub>4</sub> の CO あるいは NO による置換脱離の際、それぞれ M/e = 41 あるいは 43 に

相当するガスが気相にあらわれる。

5) 清浄鉄表面に対する窒素の吸着状態 豊島 勇(北大触研)

超高真空中にて、酸化還元( $750^{\circ}\text{C}$ )および高温脱ガス処理( $1200^{\circ}\text{C}$ )によりえられた清浄鉄表面上の $\text{N}_2$ の吸着状態を昇温脱離法で研究した。 $\text{N}_2$ は $78^{\circ}\text{K}$ で速かに吸着し、 $18\text{ L}$ で飽和に達する。脱離スペクトルから、 $78^{\circ}\text{K}$ では3種の吸着状態が存在する。脱離速度が最大となる温度は被ふく率に依存せず、 $110^{\circ}, 220^{\circ}, 480^{\circ}\text{K}$ であり、低温の2種は分子状吸着であるが、高温のものは明らかでない。

6) 金属表面における伝導電子散乱とガス吸着 渡辺正夫(北大触研)

伝導電子の表面散乱の主機構、すなわち表面凹凸による散乱、吸着原子による不純物散乱について、前者は Ziman-Soffer の理論、後者は Greene 理論により論じた。金属薄膜、細線に対する Boltzmann-Fuchs 式に上述の理論を適用し、Ni-H 系薄膜、Pt-H 系細線の吸着抵抗増加曲線を解析し、合理的な吸着水素の散乱断面積を得た。この断面積をガス状水素原子の散乱断面積と比較し、近似的に水素の吸着熱のよい結果を得ている。Ni-H、Pt-H 系における吸着ボンドの性質は d 電子一水素原子の相互作用でなく、伝導性 s 電子一水素原子の相互作用であるといふ。

7) セシウムを吸着させた Si 表面の電流磁気効果 川口洋一、川路紳治(学習院大)

エッチャード p-Si(100) 表面に Cs を吸着させ n 型反転層内の電子濃度を変え、電気抵抗と磁気抵抗を  $80\sim280^{\circ}\text{K}$  の範囲で測定した。磁気抵抗から易動度は、 $5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$  電子濃度以下では、電子濃度および温度に余り依存しないが、それ以上の濃度では濃度の増加と共に減少する。電気抵抗の温度変化は  $1/T$  に対し指數関数的抵抗増加を示す。上の結果と、易動度の電子濃度依存性からえた Cs 吸着前の表面準位濃度  $6 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$  とから、Fermi および Cs レベルを Cs 吸着量をパラメーターとして求めた。Cs 吸着量が  $1.2\sim1.4(\times 10^{13}) \text{ cm}^{-2}$  になると、Fermi レベルは  $0.25\sim0.05 \text{ eV}$  で、Cs レベルは  $0.25\sim0.001 \text{ eV}$  と伝導帯の底へ近づく。

8) II-VI、III-V 化合物結晶の極性と界面の電子状態 岡崎 進、日下征彦(岡山大)

II-VI(CdS)、III-V(GaP) 極性結晶の A(0001)面、B(0001̄)面および A(111)面、B(111̄)面はそれぞれ異種の原子からなる。それぞれの面上で Schottky diodes を超高真空中(金属蒸着中  $1 \times 10^{-8} \text{ Torr}$ )で作製しその障壁の高さを電流-電圧、容量-電圧の両特性から決定した。その結果を解析すると、A 面の表面状態密度が B 面より大きい。また障壁の高さ  $\phi_{ns}(\text{Cd面}) > \phi_{ns}(\text{S面})$ 、 $\phi_{ns}(\text{P面}) >$

$\phi_{ns}$ (Ga面)はdepletion層内のconverse piezo-effectと金属膜の応力により誘起されるものと考えられる。

以上各セッション共活発な討論や情報の交換がかわされ研究会は極めて有意義であったと思う。本報告は各セッションの討論座長の報告をもとに作成したもので座長の方々には大変御面倒をおかけしました。厚く御礼申し上げます。

最後に研究会開催の機会を与えられた東大物性研究所に感謝の意を表します。

また、この研究会の企画や実施上の面で終始いろいろと御世話になった川路紳治(学習院大理)氏に厚く感謝致します。

#### 世話人

川崎 弘司(代表 東理大理工)  
田丸 謙二(東 大 理)  
戸谷 富之(北 大 触 媒 研)  
村田 好正(学 習 院 大 理)

(文責 東理大理工 川崎 弘司)

## 稀薄合金の磁性（理論）

開催期日 昭和48年7月9日～11日

場所 物性研究所 講義室

参加人員 30～50名

世話人 長岡洋介  
桜井明夫

この研究会を開いたはじめの意図は、Kondo効果の理論にしづららず、広い範囲にわたって磁性稀薄合金の問題を考えることにあったが、聞いてみるとだいたいのところKondo効果の研究会になってしまった。これはどうやら世話人の顔ぶれのせいだったらしい。それはそれとして良かったかどうかは、研究会に出席された方、この報告を読まれた方に判断していただきたいと思う。

Kondo効果の研究会はすでに物性研で2回、基研で1回開かれている。前回までと比較すると、今回の特徴は、Kondo効果というものがだいたいわかるところまではわかり、わからないところは大変難しい問題であることがわかったという状況のもとで行なわれたことにあると思う。もちろん、わかったといっても、それは簡単な理想化された場合についてであって、実際問題としては、より複雑な状況下でKondo効果がどのように現れるか、あるいは現れないかという問題は残る。本質的に難かしい問題のアタックがそうやすやすとはいかないとなると、そういう比較的易しい問題からでもひとつひとつ解決していくかなくてはならない。この研究会で出た話も多くはそのような問題であった。そうはいっても、難かしい問題の方もほおっておくわけにはいかない。くりこみ群など新しい方法がその解決に用いられてきたが、そのような新しい方法の導入が新たにどれだけものごとを明かにしたかは、必ずしも明かではない。研究会では2日目が“難かしい”方の問題の討論に、1日目と3日目が“易しい”方の問題に当てられた。

プログラムはつきの通りであった。

### 第1日

- 1) 不純物対の Kondo 効果 佐藤紘為、長岡洋介(名大理)
- 2) 不純物対による s-d 系の基底状態 石井広湖(大阪市大理)
- 3) 縮退 d 軌道の問題 芳田 奎(物性研), 岡田 勇(横浜市大文理)
- 4) 縮退 d 軌道の問題(変分計算) 山田耕作(物性研)

- |                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| 5) 異方性エネルギーを考慮した s-d 系の基底状態           | 小川徹夫(物性研) |
| 6) amorphous ferromagnet の "Kondo 効果" | 本村良祐(名大理) |
| 7) AuCr の抵抗極小(実験)                     | 塩崎義弘(阪大理) |

第 2 日

- |                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| 8) くりこみ群と Kondo 効果                  | 眞木和美(東北大理) |
| 9) Next divergent 項の基底状態への寄与        | 桜井明夫(物性研)  |
| 10) s-d 理論における linked cluster 定理の適用 | 川村 清(広大理)  |
| 11) Wilson の理論                      | 芳田 奎(物性研)  |

第 3 日

- |   |                  |
|---|------------------|
| 12) 強磁性合金中の Mn 不純物のふるまい                                 | 三輪 浩(阪大理)        |
| 13) Cu-based Kondo alloys の dHVA 効果                     | 期波弘行(阪大理)        |
| 14) 超伝導体における Kondo 効果(実験, Review)                       | 菅原 忠(物性研)        |
| 15) 超伝導体中の nonmagnetic state と spin quenched state との相異 | 町田一成(教育大理)       |
| 16) 超伝導体に対する LSF の効果                                    | 石川正勝(名大理)        |
| 17) 超伝導体中の束縛状態の効果                                       | 浦田信夫, 眞木和美(東北大理) |

1) ~ 5) は種々の複雑な状況に芳田理論を拡張する問題で、やるべきことははっきりしているが、それぞれに数学的困難があり、すべてが明かになっているわけではない。これらの問題に共通した特徴は、束縛エネルギー  $T_K$  のほかにそれぞれの問題を特徴づけるエネルギーの次元をもつパラメータがあることで、そのパラメータの大小によって種々異なる状況が生じることになる。とくに 3), 4) の d 軌道の縮退の問題は現実の磁性不純物を総合的に理解する上には重要な点で 13) の議論もこれと密接な関連がある。

1) 2) は不純物の濃度が有限で、不純物スピン間に相関が生じた場合の問題と関連しているが、濃度がさらに濃くなって不純物スピン間に長距離秩序が出現したらどうなるかという問題が 6) 7) である。不純物の分布がランダムであれば、全体としては長距離秩序があっても、不純物のうちの何%かは長距離秩序には加わらずに比較的自由に運動している可能性がある。6) 7) で紹介された実験事実が Kondo 効果であるとすれば、このような自由なスピンがどの程度存在するかということに問題はしばられると思われる。12) はそのような不純物の存在の可能性を不純物の構造から論じている。

14) ~ 17) は超伝導体中の磁性不純物の問題である。超伝導体は不純物の磁気的性質に敏感に

反応するので、Kondo 効果の“実験室”としても重要である。14) では実験事実の検討から単純な nonmagnetic impurity と高い  $T_K$  をもつ不純物とでは超伝導体に対する効果が異なるのではないかとの考えが出された。超伝導体に対する不純物の効果は spin flip の散乱振巾  $\tau$  によって表わされるが、これは温度  $T$  および入射電子のエネルギー  $\epsilon$  の関数である。不純物の基底状態が singlet であれば、 $T = 0$ ,  $\epsilon = 0$  で  $\tau = 0$  となる。scaling factor  $T_S$  の存在を仮定すれば (Kondo 効果では  $T_S = T_K$ ),  $\tau$  は  $T/T_S$ ,  $\epsilon/T_S$  の関数となり、その関数形は singlet になる機構によってそれぞれ決っていると考えられる。不純物が non-magnetic であるあり方の差は数学的には  $\tau(T/T_S, \epsilon/T_S)$  の関数形として表わされるであろう。その差が超伝導体に対する効果の差として出てくる可能性が問題であろう。16) 17) はそれぞれの理論的根拠に基づいてとられた  $\tau$  の形を用いて超伝導に対する効果を論じたものであり、15) は  $\tau$  を決める試みである。

8) ~ 11) は基本問題解決のためのいろいろな試みである。8) ではくりこみ群を用いた Fowler-Zawadowsky と、Abrikosov-Migdal の仕事が review された。両者の差は FZ が Next divergent までとめたのに対し、AM は高次の項をすべてとり入れる必要があることを示したことがある。しかしこれらの理論を従来の Suhl-Nagaoka 理論との関係とくに  $T = 0$ ,  $\epsilon = 0$  で散乱が unitarity limit になるという SN 理論の結果との関係が明かでない。9) はくりこみ群の方法によって芳田理論に next divergent の寄与を取り入れ、それが小さな修正をもたらすにすぎないことを実際に確めた。直接 T 行列を求める理論では most divergent 項のみを集めた級数は発散して低エネルギーで意味をもたず、したがって next divergent で止めることも許されなかったが、一方芳田理論では常に関数の収束領域を用いるため most divergent で止めることが意味をもつのである。10) は芳田理論と consistent にグリーン関数(ないし T 行列)を求めようとする試みである。この取扱いで一重項、二重項状態というとき、不純物のまわりの局所的性質としてみるのでなければ意味がない。また、ここでは不純物スピンをスピン演算子のまま取扱っているが、Abrikosov 流の quasi-fermion として取扱う方法(中嶋のグリーン関数)との優劣も問題であろう。

11) は sd 系に対する Wilson の新理論の紹介であった。この理論は結果として、低温で有限の帶磁率と温度に比例する比熱を与えるものであり注目に値する。これらの値は、9) で得られた next divergent まで考慮した束縛エネルギーと対応しているようである。なお、これは未発表の仕事であり、間接的に手に入ったノートに基づくもの故、以降の記録からは除いた。一次元強結合の問題に帰着させて解くようであるが、肝心のところは未だ判らない。

Kondo 効果の問題を解決するということは、まず何より 1 個の単純な不純物について有限温度、有限エネルギーにおける性質を解明することである。しかし、そのような理想的な条件は実験的には実現できないのであるから、理論を実験と比較する上では、有限濃度、縮退 d 軌道、結晶場などの副次的効果を理論的に明かにしておく必要がある。13) におけるような半現象論的整理も重要である。これらの問題が今後も引き続き研究しなければならない課題である。

以下、各講演者からよせられた原稿を、プログラムに沿って掲載する。

1. 「磁性不純物対の Kondo 効果」 名大理 佐藤紘為、長岡洋介

磁性不純物の濃度を濃くしていったとき、不純物スピン間に相関が生じ、それが Kondo 効果にいろいろな影響をもたらすことは、実験的にも明かになってきている。Cu·Fe などでは不純物の対が形成され、それが低温の性質に重要な役割を果している。われわれは、不純分対による Kondo 効果を調べるために、 $md$  近似による摂動展開 ( Progr. Theor. Phys. 49 ( 1973 ), 1377.), 第 0 近似の芳田理論による束縛状態の計算 ( 同上, 50 ( 1973 ), No. 1 ) を行なった。しかし第 0 近似の結果は、1) 束縛エネルギーの指數がスピンの大きさに依存する。2) 二つのスピンが強く一重項に結合したときにも束縛状態が現れる。など第 0 近似特有の unphysical な性質をもっている。そこで近似を  $md$  近似の範囲で  $\infty$  次まで進める試みを行なった。まず、Yoshimori 方程式に現れる irreducible vertex を求めるために、parquet diagram を集めた Abrikosov の積分方程式をたてて解かなければならぬ。このとき “小さな量” として  $\omega$  ( ~ 束縛エネルギー )  $W$  ( スpin 間の交換相互作用、大きくも小さくなる ) があるので、 $\log |\omega|/D$ ,  $\log |W|/D$ ,  $\log |\omega/W|$  については  $md$  項をすべて集めるが、 $\omega \sim W$  のときにのみ発散する  $\log |\omega+W/\omega-W|$  はおとすことにより、積分方程式は解けて vertex を求めることができる。得られた Yoshimori 方程式を解くことは、現在計算が進行中である。

2. 「不純物スピン対による s-d 系の基底状態」 大阪市大理 石井廣湖

近藤効果の研究は従来主として、金属内孤立不純物スピンについてなされてきた。現実には低濃度でもなお局在スピン間の相関効果が現れる。ここでは局在スピン対による s-d 系の基底状態を芳田理論に基いて調べた。

局在スピン ( $S = 1/2$ , その隔り  $R$ ) 対の状態を三重項と一重項に、伝導電子をスピン対の

中点で部分波に、各々分ける。s-d相互作用をその表示で表わすと分かるように、局在スピンの三重項状態と偶(奇)状態の電子、及一重項状態と奇(偶)状態の電子で、二通りの対称性の異なる二重項束縛状態が0近似で得られる。各々の電子軌道は二つの局在スピンにまたがっており分子軌道的である。この二種類の二重項の軌道を用いると全体としての0近似の一重項状態が得られる。電子一空孔対励起をとり入れて近似を進めると、エネルギーのノーマル部分より局在スピン間のRKKY相互作用Wが導き出される。このWはスピン対の自由度を決める大切なパラメータである。W=0と置けば二重項状態に対する閉じた形を得ることができ、異なる対称性をもつ二つの解は共に、孤立不純物スピンの系と同じ束縛エネルギー、 $\tilde{E} = -D e^{N|J|\rho}$ をもつ。(0近似では束縛エネルギーには波動函数の位相からくるR依存性があった。)これらの二重項状態を合成して一重項束縛状態が形成されていると考えられる。一般にはWがありそれにより $\tilde{E}$ のR-依存性が生ずる。しかしWを含めてのmost div近似の計算には難しい問題があるようと思われる。

### 3. 「縮退d軌道の問題」 物性研 芳田 奎 横浜市大 岡田 勇

不純物スピンの軌道縮退を考慮に入れた場合の考察を要約して述べる。

軌道縮退を考慮したAndersonハミルトニアンから出発する。U→∞の極限での2次摂動により有効s-dハミルトニアンを導く、このハミルトニアンはs-dのスピンの交換のほか軌道の交換を含む。この有効ハミルトニアンに対して、その基底状態を調べる。

1) intra の exchange  $J_i = 0$  の場合には、一般のd-電子数  $n_d$  に対して、基底状態の波動関数、エネルギーが求められる。軌道とスピンが同時に quench されその結合エネルギー $\tilde{E}$ は

$$\tilde{E} = -D \exp \left[ -\frac{N}{(2\ell+1)|J|\rho} \right]$$

のように非常に大きくなる。これは軌道交換が大きく効いているためである。

2)  $J_i$  の効果を入れると問題は難しくなる。そこで、2次摂動の項では  $J_i$  を無視し、有効ハミルトニアンを Hund coupling の最低の多重項( $L=一定$ ,  $S=一定$ )の部分空間内で解く。この場合、half-filledの場合には丁度 s-d 交換相互作用で d 波を探ったのと同じ形で reduce される。結合エネルギーは

$$\tilde{E} = -D \exp \left[ -\frac{(2\ell+1)N}{|J|\rho} \right]$$

のように小さくなる。これはスピンのみの quenching による。

nd 一般の場合はなおむづかしい問題が残る。しかしここでは、近藤効果によってえられた基底状態では、Anderson の直交定理を用いて、電気抵抗値は常に非磁性状態の Hartree 近似でえられる値に等しくなることが極めて一般的に示すことができる。

4. 「軌道縮退を考慮した基底状態(変分計算)」 物性研 山田耕作

部分波展開した Hamiltonian

$$H = \sum_{km\sigma} \epsilon_k a_{km\sigma}^+ a_{km\sigma} + V \sum_{km\sigma} (a_{km\sigma}^+ a_{dm\sigma} + cc) \\ + E_d \tilde{n}_d + \frac{U}{2} (\tilde{n}_d^2 - \tilde{n}_d) - \frac{J_i}{2} (2\tilde{S}_d^2 + \frac{\tilde{n}_d^2}{2} - 2\tilde{n}_d)$$

に変分関数

$$\Phi = \sum_{n_d S_d} a_{n_d, S_d} \tilde{P}(n_d, S_d)^{2(\frac{2\ell+1}{2})} \Psi_{m\sigma}$$

を用いた計算を報告した。ここで  $\tilde{n}_d$ ,  $\tilde{S}_d$  は局在 d 軌道の全電子数  $n_d$  及び全スピン  $S_d$  の Operator,  $\tilde{P}$  はそれらが指定された状態への projection operator であり、係数  $a_{nd, Sd}$  は変分 parameter にする。 $\Psi_{m\sigma}$  は

$$H_{m\sigma} = \sum_k \epsilon_k n_{km\sigma} + \epsilon_d n_{dm\sigma} + v \sum_k (a_{km\sigma}^+ a_{dm\sigma} + cc)$$

の固有状態である。但し、フェルミ面での phase shift を軌道、スピン両角運動量が消える条件から指定する事により、 $\epsilon_d$  は変分 parameter  $v$  で表わされる。

以上の変分計算で結合エネルギーの d 電子数及び  $J_i$  による定性的な変化は議論できるが、変分計算である為の不充分さがある。

5. 「異方性エネルギーを考慮した場合の s - d 系の基底状態」 物性研 小川徹夫

Y-Ce 稀薄合金にみられるような、局在磁性不純物に結晶場などの異方性を持った力が働く場合の、この系の基底状態を芳田理論に従って求めた。

積分方程式は、異方性エネルギーに対しては近似をしないで、most divergent terms のみをとる範囲で求まり、異方性がない時、及び異方性が大きい時の両極限で正しい結果を与える。異方性エネルギーを含む項に対しても most divergent 近似を用いれば、これを解くことができて、波動関数及び束縛エネルギーを求める事ができる。

更に、基底状態に磁場をかけた時の平行及び垂直帶磁率をそれぞれ求め、その異方性を議論

した。異方性エネルギーの考えられ得る大きさに対して帶磁率は明きらかに異方性を示す。  
Y-Ce の実験では帶磁率は  $T = 0^{\circ}\text{K}$  では異方性がないように見え、一致しない。

6. 「非晶質強磁性体における “resistance minimum” と強磁性の共存の可能性に関する」

名大理 金吉敬人, 本村良祐

最近、非晶質物質 ( $\text{Fe}_{100-x} \text{Ni}_x$ )<sub>75</sub> P<sub>15</sub> C<sub>10</sub>,  $0 \leq x \leq 40$  で強磁性と電気抵抗極小の共存現象が報告されている。(R. Hasegawa, Phy. lett. 1973 42A 407 & to be published) Kondo の one impurity model に基づく理論によると、一般に結晶中では resistance minimum は強磁性と共存しないものと理解されている。従って上述の現象は Kondo の localized spin と conduction electron との散乱によるものでは無く resistance minimum の出現をなっているのは、非晶質強磁性体において特別な振舞をする “magnon” が Kondo の localized spin の代りをすると考えた。さらに Dr. Hasegawa の実験を正確にながめると単純に electron-magnon 散乱から resistance minimum が出現している様には思われない。それ故に magnon が系の中を伝播する過程で mean free path が極端に短くなる部分が存在(つまり Random Phase Model が適用される)する事が重要である。これらの重要性は実験的にも Dr. Hasegawa により主張されている。

ここでハミルトニアンは  $H = H_e + H_s + H_{sd}$ ,  $H_e$  は伝導電子の運動エネルギー  $H_s$  は局在スピン系を、 $H_{sd}$  は通常の伝導電子と局在スピン間の相互作用を表す。局在スピン系はスピン波表示で書かれ、伝導電子は “magnon” により散乱されると考える。Kondo の手法に習い 2-nd ポルン近似で遷移確率が求められる。但し R.P.M が成立する領域内で magnetic excitation が 1 つの格子点から他のそれへ incoherent IC transfer する事が重要である。又 disordered systems における “magnon” の state density の一般的性質(低エネルギー側で増大する)事実が  $\log T$  の出現に重要な働きをし Kondo に従って momentum summation を実行すれば  $\log T$  term が導かれる。

最後にここで我々及び Dr. Hasegawa が提案している様な model 以外にも electron-magnon による  $\ell_n T$  の出現の可能性が存在する様に思われるが、非晶質なる性質を考えると、このような model が最も良いと考えられる。

7. 「 $\text{Au}_{1-x}\text{Cr}_x$  ( $0.1 \leq x \leq 0.3$ ) 合金の抵抗極小」<sup>1)</sup> 阪大理 塩崎義弘

特徴をまとめると次の様になる。

- (i)  $X \geq 0.15$  の合金で抵抗極小が見られる。
- (ii)  $T_{\min}$  は 5 ~ 10 K で、Cr 濃度の高いものほど高温側にずれる。
- (iii) 実験誤差の範囲内で  $\rho = \rho_0 + A T^n - B \log T$  で表わす事ができる。
- (iv) 反強磁性長距離秩序(中性子回折)の見られる濃度・温度である。
- (v)  $\alpha = [\rho(T_0) - \rho(T_{\min})] / \rho(T_{\min}) \sim 1/5000$

$T_0$  ; 測定最低温度

○ CuMn 合金に対する予備実験

- (i) 広い濃度領域で極小が見られる。
- (ii) 60 at% Mn で  $\alpha \sim 1/250$ 。40, 80 at% Mn では、これより小さい。
- (iii) 磁気臨界濃度約 70 at% Mn であるから、磁気秩序度との直接的関係は薄い。

○ 関連性の考えられる他の合金での抵抗極小

Pd Cr<sup>2)</sup>: Cr 濃度 14 ~ 15 at%.  $T_{\min} = 2 \sim 3$  K.  $\alpha \sim 1/6000$ . 磁場効果なし。

Rh Fe<sup>3)</sup>: Fe 濃度 10 ~ 15 at%.  $T_{\min} = 20 \sim 30$  K.  $\alpha \sim 1/200$ .

Pt Ni<sup>4)</sup>: Ni 濃度 42 at% の臨界濃度近傍.  $T_{\min} = 2 \sim 3$  K. atomic order をさ  
せると消える。

比熱は,  $\gamma T + \beta T^3$  で表わされる。

Metalic Film<sup>5)</sup>: 低温蒸着(He 温度). Cu, Fe etc.

厚さ数 100 ~ 1000 Å.  $\alpha \sim 1 \text{ or } 2/1000$ .  $T_{\min} = 10 \sim 20$  K.

アニールすると消える。

#### 参考文献

- 1) Y. Shiozaki, Y. Nakai & N. Kunitomi  
Solid State Commun. 12 (1973) 429
- 2) W.M. Star et.al. Physica 59 (1972) 128
- 3) A.P. Murani & B.R. Coles J.Phys. C; Metal Phys Suppl. (1970)  
S159
- 4) A.I. Schindler & D.J. Gillespie  
Proc. of 12th Int. Conf. on Low Temp. Phys. Kyoto,

(1971) 277

5) V.M. Kuz'menko et.al. Zh. Eksp. Teor. Fiz. 58 (1970) 434

## 8. 「Kondo 効果に於けるクリコミ群の方法」 東北大理 真木和美

1° Kondo 問題で系の低温での振舞いを調べるには交換項  $J$  について最大発散項を集めるだけでは十分でないことはよく知られている。したがってより低次の発散項を系統的に処理する方法として、くりこみ群の方法が Fowler Zawadowski, Abrikosov-Migdal によって試みられたのは非常に自然な成ゆきである。実際この方法によれば、 $J$  についての任意次数の摂動項を input として、この摂動項と consistent なスケール不变性を持つ物理量を求めることができる。input として  $\Gamma^J = 1 + J \ln\left(\frac{D}{\omega}\right)$ ,  $\Gamma^J$  はスピン交換項 Vertex を用いるとスピン交換項に関しての不变結合常数は  $\Psi^J = (1 - J \ln\left(\frac{D}{\omega}\right))^{-1}$  となって Abrikosov の最大発散項を集めたものと一致する答えが得られる。さらに input として  $\Psi^J = d\Gamma^J = 1 + [J - \frac{J^2}{2}] \ln\frac{D}{\omega} + 0 (\ln\frac{D}{\omega})^2$  の  $J^2$  までの摂動項を用いると、これに対応したスケール不变  $\Psi^J$  は

$$\left( \frac{1}{y} - \frac{1}{J} + \frac{1}{2} \ln\left(\frac{y-2}{y} \frac{J}{J-2}\right) \right) = \ln\frac{\omega}{D} \quad (1)$$

$$y = J\Psi^J$$

の implicit な関係で与えられる (Fowler-Zawadowski)

上の  $J\Psi^J$  は  $\omega$  の減少とともに単調に増大し、特に  $\omega \sim 0$  では

$$J\Psi^J = 2 \left( 1 - \left(\frac{\omega}{D}\right)^2 \right)$$

$$D = D \sqrt{\frac{J}{2-J}} e^{-\frac{1}{J} + \frac{1}{2}} \quad (J = (\rho J)) \quad (2)$$

が得られる。

他方  $K\Psi^k = 1$  を用いると、この結果は低温での電気抵抗は

$$\frac{R(T)}{R(0)} = 1 - a \left( \frac{T}{T_K} \right)^2$$

を意味している。

しかし上の結果は  $T = 0$ ,  $\omega = 0$  でスピン交換散乱が消える (singlet 基底状態の仮定) と矛盾する。また Abrikosov-Migdal は input として  $J^3 \ln\frac{D}{\omega}$  の次数の項までとり

入れると、 $\omega = 0$  での  $J\psi^J$  は  $S$  に依存し、また  $J\psi^J \propto S^{-1}$  であることを指摘した。

2° このことは Kondo 問題が一般には strong coupling の問題で（すなわち  $J\psi_J|_{\omega=0} \cong 1$ ）， $\log$  発散項を  $J$  の巾に展開して求めている限り、 $T = 0$  の性質は議論できないことを意味していると考えられる。他方最近相転移の問題に於ける Wilson の方法に見られるように、くりこみ群の方法ともう一つの独立の仮定（例えば Wilson の理論の固定点仮定）を両立させることによってくりこみ群の方法は Kondo 問題に対する有力な方法になりうるのではないかと思われる。実際 Sakurai-Yoshimori は Fowler-Zawadowski の結果を Yoshimori 方程式に feed in することによって、興味ある結果を導びいている。もう一つの可能性はくりこまれた  $\Gamma^J$ ,  $\Gamma^K$  に対して unitarity 関係を導びくことによって分散関係を再定式化することである。この時には Born 項はもはや  $J$ ,  $K$  等の常数ではなく  $Jd(\omega)$ ,  $Kd(\omega)$  等のようになり、 $d(\omega)$  は又  $\psi^J(\omega)$ ,  $\psi^K(\omega)$  を用いて表現される。この関係は上の固定点仮定に置きかえられる関係が含まれているかもしれない。

#### 9. 「Next Divergent 項の基底状態への寄与」 物性研 桜井明夫

s-d 系の基底状態の理論を、Most Divergent から Next Divergent の近似まで拡張した試みについて解説した。一重項波動関数の振巾に対する永年積分方程式を、摂動論的に Next Divergent の項まで正しく導くことがまず必要であるが、その際 Fowler-Zawadowski 等によって用いられた「くりこみ群の方法」を援用した。積分核等を N.D. 項までを入力とした invariant coupling  $\phi(\omega)$  を使ってあらわし、今、必要な補正項を更に展開でとり出している。

N.D.までの理論は、この方程式を解くことにより束縛エネルギーとして  $\widetilde{E} = -D \exp \left( \frac{N}{J\rho} \left[ 1 + \frac{J\rho}{2N} \log \frac{J\rho}{2N} \right] \right)$  を弱結合極限で与える。補正項は  $J$  に関して singular ではあるが小さく、M.D., N.D. といった  $\log$  発散の次数による展開の正当性を裏付けている。なおこの  $\widetilde{E}$  の値は M.D. での値に  $(|J|\rho/2N)^{1/2}$  をかけたものになっている。

A. Sakurai and A. Yoshimori, Prog. Theor. Phys. 49 (1973), 1840

#### 10. 「電子 Green 関数について」 広大理 川村 清

s-d 系の基底状態が一重項であれば、スピンについて（ $S = 1/2$  のとき）二重の縮退を許す摂動計算は正しくない。この困難を回避する手法について、数年前に論じたが（文献 1, 以下 I と略記）その後分ったことを報告する。

I では, linked cluster 定理<sup>2)</sup>を使わなかったが, それを使うと, connected diagram のみを集めればよいことになる。その結果, I の saw-tooth line の寄与 [ (3. 12) の後の文章] は,  $\Gamma_{k\sigma} \exp[i\tilde{\omega}t''']$  etc. となる。ここに  $\tilde{\omega}$  は, 文献 2 で導入した  $G(t)$  の振動数である。この結果, Green 関数の表式にあらわれるのは  $\tilde{G}$  の振動数であり, 文献 2 の主張が裏づけられた。

I の最後に, この方法では, electron-hole symmetry がないと指摘しておいたが,  $\Gamma_{k\sigma}$  が  $\delta(\epsilon_k)$  に似た singular な関係なら, この対称性が回復される。更に, このとき, Green 関数の normal part と anomalous part とが同一の枠組みの中におさまるし, I の使いやすさが出て来た。具体的に物理量を計算した結果については, 他の機会にゆずる。

Hamiltonian の中にスピンが入っていて, そのスピンについて大きいカノニカル分布を使わないのであれば, 統計のとり方には注意が必要で, 不純物の付近に最低 1 個の電子があるという条件つきで電子数についての和を取らなくてはならない。この結果, I の方法を有限温度に拡長し, 有限温度での s-d 系の Green 関数を Yosida-model と consistent に計算できる道が開かれた。

1) Prog. Theor. Phys. 45 (1971), 1050

2) Prog. Theor. Phys. 49 (1973), 1821

## 12. 「強磁性合金中の Mn 不純物のふるまい」<sup>\*</sup> 阪大理 三輪 浩

Ni-Mn など Mn を含む強磁性合金は, 自発磁化の Slater-Pauling 曲線からのズレが顕著であり, また Mn モーメントの温度依存性などの異常も知られており, その説明としては, 例えば, Mn 原子と合金母体とは相互作用が強磁性的であり, Mn 同士は反強磁性的であることがあげられている。

隣接原子間の transfer のみを仮定した Hubbard 模型を HF 近似で扱かい, 直接の環境の影響をとり入れて中心原子の位置での状態密度を求める方法<sup>1)</sup>を Ni-Co 合金中の Mn 不純物に適用した。多くの場合に Mn モーメントが母体と平行になる解と, 反平行になる解の 2 つの HF 解が得られ, エネルギーの比較により, 隣接原子が全て Ni の場合には平行解が, 数

\* ) 阪大理 城 健男 との共同研究

1) 三輪 浩: 日本物理学会 27 回年会 (1972 年 10 月, 広島)

個(パラメータの選び方による)以上の Co で占められると反平行解がより安定である。2つの解は、Anderson-Wolff の問題での magnetic な解(強磁性体中では非対称)に相当し、特に Mn では環境に応じてエネルギー差(すなわち、有効内部磁場)が土数百度の範囲に分布していて、Mn を含む合金の特徴はこのことにより説明できると思われる。

2つの解がほとんど縮退している場合には Kondo 効果が問題になる。この模型で spin flip を論じる方式は未解決であるが、モーメントの分布が不純物の周囲へも拡がっていることから、 $T_K$  は極めて低いことも考えられる。

Fe 原子の場合にも通常 2つの解が求まるが、平行解が安定になる場合が多く、特別な環境のもとで両者のエネルギーが接近する。

13. 「鉄属不純物を含む銅合金のド・ハース—ファン・アルフェン効果」 阪大理 斯波弘行  
Cr, Mn, Fe, Co, Ni を希薄に含む Cu 合金の dHVA 効果の実験が最近なされている。  
dHVA 効果にはフェルミ面の局所的性質が反映するので、興味深い。上記の不純物は、その近藤温度を考慮すると、実験条件( $T = 1 - 2^{\circ}\text{K}$ ,  $H = 30 - 50 \text{ kG}$ )の下では、Cr, Mn は磁場方向に向いた大きい磁気モーメントをもち、Fe 以下は、小さいモーメントをもつていて、これが dHVA 効果に反映するはずである。実際、Friedel-Anderson モデルを使い、残留抵抗の実験値を利用して phase shift を決めるとき、他に任意に変えうるパラメータのない理論ができ、実験と比べるとかなりよい一致がえられる。今後、Au- 合金その他で不純物を系統的にかえた実験が望まれる。(話の詳細に興味をおもちの方には論文をお送りします。)

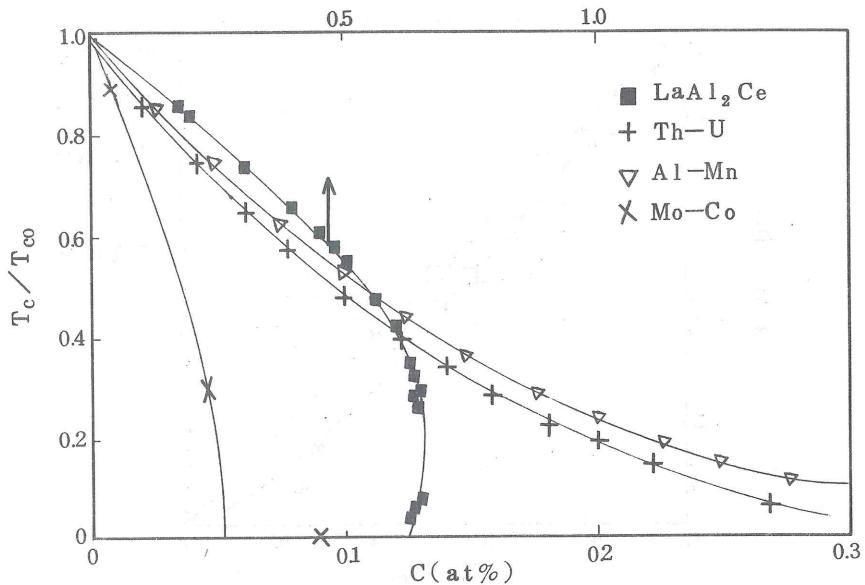
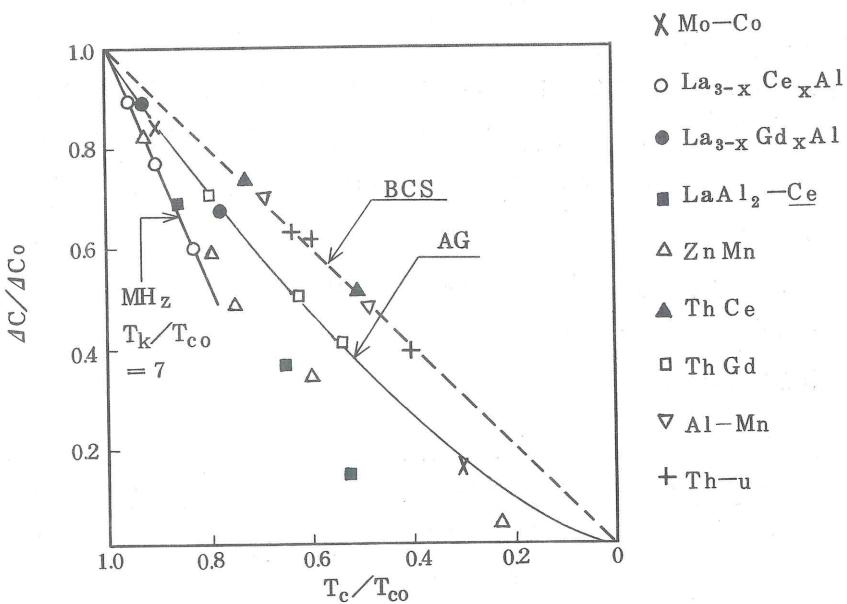
14. 「超伝導体における磁性不純物効果、とくに近藤効果について(実験の review)」

東大物性研 菅原 忠、高柳 滋

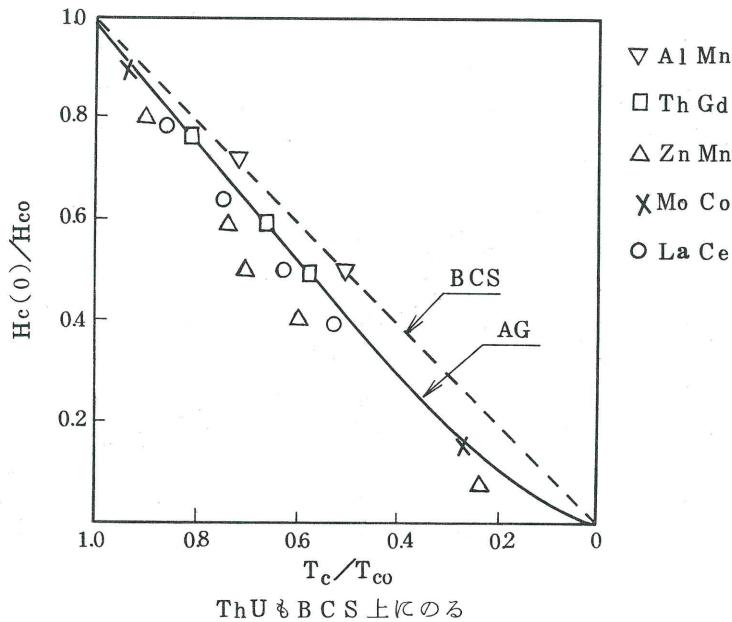
超伝導体中の磁性不純物の効果に関する最近の実験結果を整理し、とくに近藤効果を示す不純物の影響が次のように整理されることを指摘した。

近藤効果を示す磁性不純物の超伝導に対する効果は次の二つに区分される。

a) pair breaking のある場合(Mo-Co, Zn-Mn など):  $T_K/T_{c0}$  の値の如何にかかわらず  $T_c$  対 c(濃度)曲線は常に凸である(第1図)。比熱のとび  $\Delta C/\Delta C_0$ 、臨界磁場  $H_c(0)/H_{c0}(0)$  と  $T_c/T_{c0}$  との関係は  $T_K/T_{c0} \sim 1$  附近で Abrikosov-Gorkov 理論よりのずれが最大で  $T_K/T_{c0} > 1$ , < 1 では AG 理論の曲線に漸近する(第2図、第3図)。

第1図  $T_c$  対濃度 ( $\text{La Al}_2\text{-Ce}$  の濃度のスケールは上方のもの)

第 2 図



第 3 図

このカテゴリーのものは  $T_k/T_{co}$  が大きくても s-d exchange による pair breaking がある。

b) pair-breaking のない場合 ( Al-Mn, Th-U など ) :  $T_c$  対  $c$  曲線は上に凸である。  $\Delta C/\Delta C_0$ ,  $H_c(0)/H_{co}(0)$  と  $T_c/T_{co}$  の関係は BCS の対応状態原理をみたし, Kaiser の理論で説明される。つまり不純物は pair-weakening 効果しかもたない。a) のカテゴリーから  $T_k/T_{co}$  が大きくなるにつれて b) に徐々に移行することはないようである。  $T_k/T_{co}$  のある値から pair-breaking がなくなるか又は a) と b) は別個のカテゴリーかの何れかであろう。

### 1. 調査した合金系

$$J < 0$$

合 金	$T_{co}$	$T_k$	$T_k/T_{co}$
La-Ce	6.0 ( fcc )	} $\lesssim 0.1$	$\lesssim 0.015$
	4.9 ( hcp )		$\lesssim 0.02$
LaAl <sub>2</sub> -Ce	3.24	$\sim 0.1$	$\sim 0.03$
Mo-Fe	0.92	$\sim 0.1$	$\sim 0.11$

<u>La<sub>3</sub>In-Ce</u>	9.5	(≤1)	(~0.1)
<u>La<sub>3</sub>Al-Ce</u>	5.97	~1	~0.25
Zn-Mn	0.85	0.25	0.3
Zu-Fe	0.85	~0.25	~0.3
Mo-Co	0.92	50	55
Th-U	1.36	100	74
Al-Mn	1.18	530	450
Th-Ce	1.36	—	—
<hr/>			
J > 0			
Th-Gd	1.36		
LaAl <sub>2</sub> -Gd	3.24		
La <sub>3</sub> Al-Gd	5.97		

他の合金系の正常、超伝導状態の data は Rizzuto の総合報告<sup>2)</sup>にまとめられている。一般的に言うと磁性不純物は通常の超伝導体中に入りにくく理想的な合金系がほとんどない。母体が二元系（例えば Zn-Al, Mo-Re）の場合は不純物がどこに入るかが明白でないので問題がある。このような場合は対象としなかった。 $T_k/T_{co}$  の大小と超伝導の関係を問題とするならわれわれが研究している Mo-3d 金属系が最も適当と考えられる。

## 2. $T_c$ の濃度依存性

- a) La-Ce から Mo-Co までは上に凸である。これらは正常状態の性質から局在モーメントがある場合に属する。とくに LaAl<sub>2</sub>-Ce では Müller Hartmann-Zittartz 理論（1970）で  $T_k/T_{co} \sim 0.1$  位のときに期待される特異な濃度依存性を示すが、この場合高濃度まで超伝導の tail が存在するという証拠はないので  $T < T_k$  での MHZ 理論の結論は妥当でないようである。実験的にさらに確認する必要があるが Mo-Co が上に凸であることには注目に値する。
- b) Th-Ce, Al-Mn, Th-U の  $T_c$  vs c は上に凹である。Th-Ce は低温で非磁性であることは確かであるが Th-U は明白な近藤効果を示し、 $T_k/T_{co}$  は Mo-Co と近いのでこの両者の間の大きな差は理解しがたいように見える（後出）。Al-Mn の正常状態の抵抗や磁気的性質は  $T_k$  が高いと考えて説明できるようであるが  $T_c$  vs c は上に凹で、共鳴不純物状態に対する Kaiser の理論で説明できる。なお  $T_k$  が低くて上に凹の  $T_c$  を示すものも報告されているが試料の状態に疑問があり、信頼しうる

ものとは考えられない。

- c)  $J > 0$  の不純物の場合は上に凸であり、AG理論と合う。

### 3. 比熱のとび

- a) 局在モーメントが存在する La-Ce から Mo-Co までは  $\Delta C/\Delta C_0$  は AG 理論の曲線より左にある。それは Zn-Mn や La<sub>3</sub>Al-Ce のように  $T_k/T_{co} \sim 1$  のもので最大である。これらの事実は Müller-Hartmann らの理論(1972)とほぼ合っている。Mo-Co ( $T_k/T_{co} \sim 55$ ) では始んど AG の曲線に近い。これは重要な事実である。Müller-Hartmann らの理論では  $\Delta C/\Delta C_0$  対  $T_c/T_{co}$  の initial slope は  $T_k/T_{co} \rightarrow 0$ ,  $\rightarrow \infty$  の極限では AG 理論に一致することになっている。
- b) Th-U から Th-Ce までは図のように  $\Delta C/\Delta C_0 \propto T_c/T_{co}$  で BCS の対応状態原理をみたしている。つまりこれらでは pair-breaking effect が存在しない。ここでも Th-U が Mo-Co と  $T_k/T_{co}$  が近いのになぜ非磁性的なのが問題である。なお AG と BCS 曲線の中間のものはないようである。
- c) Th-Gd など  $J > 0$  の不純物を含むときは図のように AG 理論曲線になる。pair-breaking が存在。

### 4. 臨界磁場 $H_c(0)/H_{co}(0)$ (第3図)

$H_c(0)/H_{co}(0)$  対  $T_c/T_{co}$  の関係は  $\Delta C/\Delta C_0$  の場合と類似の関係が成立すると期待される。

- a) La-Ce から Mo-Co までは AG 理論の曲線(Dekker-Finnemore の計算<sup>54)</sup>より左方へくる。 $\Delta C/\Delta C_0$  の場合と同様に  $T_k/T_{co} \sim 1$  すれば最大で  $T_k/T_{co} \ll 1$ , 又は  $\gg 1$  では AG 曲線に近く。極限では AG 曲線と一致するようである。
- b) Th-U から Th-Ce までは BCS 曲線上にのり対応状態の原理が成立つ。つまり不純物は pair-breaking 作用を示さない。pair-breaking があれば BCS 的とはならない筈である。
- c) Th-Gd など  $J > 0$  の場合は AG 曲線になる。

### 5. 結論と問題点

- 1) 以上のように正常状態で明白な近藤効果を示す合金では pair-breaking が存在し, かつ  $\Delta C/\Delta C_0$  などで AG 理論よりのそれを示す。それは  $T_k/T_{co} \sim 1$  の近くで最大で  $T_k/T_{co} \ll 1$ ,  $\gg 1$  では AG 理論の値に漸近するようである。これが a) に属する。次に Al-Mn など b) タイプの合金は通常高い  $T_k$  をもっと考えられてゐるが pair-

breaking effect を示さない。第2図 B C S曲線と A G曲線の間の領域にくる合金の例がないことは興味のあることである。或は  $T_k/T_{co}$  のある値以上では pair-breaking effect を失って b) タイプとなるのかもしれない。

このような整理に対する唯一の例外は Th-U である。これの正常状態の性質は文献<sup>39)</sup>にあるように明白な近藤効果を示し、 $T_k \sim 100$  K となっているが超伝導から見ると b) に属している。しかし正常状態の data をよく調べると 2 K 以下では非磁性的と見られる事実がある。例えば抵抗は低温で  $T^2$  に比例して増加しているが 2 K 以下では一定となる。この原因として U が (5f)<sup>2</sup> の電子構造をもつと Pr<sup>3+</sup> と同じく結晶場分裂のため最低状態が一重項をとる可能性があることを指摘したい。これが事実なら Th-Pr など<sup>57)</sup> と同じく Th-U は上に凹の  $T_c$  vs c 曲線を示して良い。

2) 上記の結論と関連が深い実験として La-Ce の  $T_c$  の圧力効果の研究がある。第4図のように圧力が増大すると  $T_c$  の initial slope の値が大きく変化すると共に 30 Kbar 以上では小さくなり、 $T_c$  vs c 曲線が上に凹に変化する。これには二つの解釈ができる。つまり圧力と共に  $T_k$  がまし約 30 Kbar で  $T_k/T_{co}$  がある限界値になつて b) タイプとなると考えると、圧力によって Ce の電子状態が変化し 30 Kbar 以上では非磁性的となるとするのとの二つである。抵抗の圧力変化の実験では  $T_k$  の大幅な変化がないようであるので Maple らは後者の考え方を採用しているが、他に証拠が必要であろう。

## 6. その他の

近藤効果に関連して gap 中に有限の状態密度が存在することを示す実験が、La-Ce,<sup>11)12)</sup> Pb-Mn,<sup>1)</sup> Zn-Mn<sup>27)</sup> などについて報告されている。

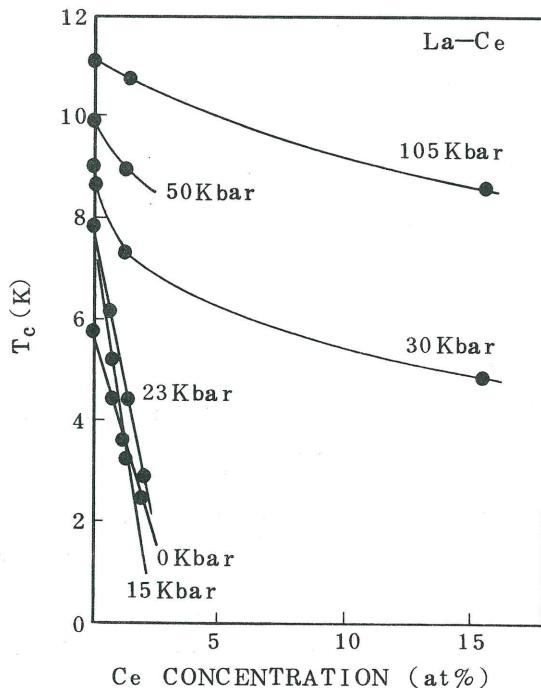
## 文 献

### A. 総合報告

- 1) M.B. Maple : Paramagnetic Impurities in Superconductors, to be published in Magnetism, Vol V (ed. Suhl)
- 2) C. Rizzuto : Formation of Localized Moments in Metals, to be published.

### B. Thesis

- 3) M.B. Maple : Thesis (1969) (La Al<sub>2</sub>-Ce, La Al<sub>2</sub>-Gd 他)



第 4 図

- 4) J.G. Huber : Thesis (1971) (Th-Ce, Th-U, Al-Mn 他)
- 5) K.S. Kim : Thesis (1971) (La-Ce, La-Gd, LaAl<sub>2</sub>-Ce の圧力効果)
- 6) C.A. Luengo : Thesis (1972) (Th-U, LaAl<sub>2</sub>-Ce, LaAl<sub>2</sub>-Gd の比熱)
- C. La-Ce
  - 7) T. Sugawara and H. Eguchi : J. Phys. Soc. Japan 23 956 (1967) ( $T_c$ )
  - 8) W. Gey and E. Umlauf : Z. Phys. 242 241 (1971) ( $T_c$ )
  - 9) E. Umlauf et al : J. Low Temp. Phys. 5 191 (1971) ( $H_{c2}$ )
  - 10) K.S. Kim and M.B. Maple : Phys. Rev. 2B 4696 (1970) ( $T_c$ , Rの圧力効果)
  - 11) A.S. Edelstein : Phys. Rev. Letters 19 1184 (1967) (トンネル効果)

12) N.V. Culbert and A.S. Edelstein : Solid State Comm. 8  
445 (1970) (比熱)

13) J. Floquet : Phys. Rev. Letters 27 515 (1971) ( $T_k$ )

14) T. Sugawara and H. Eguchi : J. Phys. Soc. Japan 21 725  
(1966) (R)

D. La Al<sub>2</sub>-Ce

15) G. Riblet and K. Winzer : Solid State Comm., 9 1663 (1971)  
( $T_c$ )

16) M.B. Maple et al : Solid State Comm, to be published ( $T_c$ )

17) M.B. Maple and T.F. Smith : Solid State Comm., 7 515  
(1969) ( $T_c$  の圧力効果)

18) M.B. Maple and Z. Fisk : Proc. LT 11 (1968) 1288 ( $\chi$ )

19) C.A. Luengo, M.B. Maple et al : Solid State Comm, to be  
published (比熱)

E. Mo-Fe

20) T.H. Geballe, B.T. Matthias, E. Corenzwit, and G.W. Hall :  
Phys. Rev. 129 1025 (1963) ( $T_c$ )

21) S. Takayanagi, M. Takano, and T. Sugawara : to be published  
( $T_c$ ,  $H_c$ )

22) M.P. Maley and R.D. Taylor : Phys. Rev. B1 4213 (1970)  
( $T_k$ )

23) T. Sugawara, M. Takano : to be published (R,  $T_k$ )

24) B.R. Coles : Phil. Mag. 8 335 (1963) (R)

F. La<sub>3</sub>In-Ce

25) M.B. Maple and K.S. Kim : Phys. Rev. Letters 23 118  
(1969) ( $T_c$ )

G. La<sub>3</sub>Al-Ce

26) T. Aoi and Y. Masuda : J. Phys. Soc. Japan 34 271 (1973)  
( $\Delta C$ ,  $T_c$ )

H. Zn-Mn (Zn-Fe)

- 27) F.W. Smith : J. Low Temp. Phys. 5 683 (1971) ( $H_c$ ,  $T_c$ )
- 28) G. Boato, G. Gallinaro, and C. Rizzuto : Phys. Rev. 148 353 (1966) ( $T_c$ ) (Zn-Fe他も含む)
- 29) P.J. Ford, C. Rizzuto, and E. Salamoni : Phys. Rev. B6 1851 (1972) (R) (Zn-Fe他)
- 30) A. Pilot, R. Vaccarone, C. Rizzuto : Phys. Letters 40A 405 (1972) (R)
- 31) R.S. Newrock, B. Serin, J. Vig, and G. Boato : J. Low Temp. Phys., 5 701 (1971) (R,  $\chi$ )
- 32) J.D. Marsh : Phys. Letters 33A 207 (1970) ( $T_k$ )
- 33) G. Boato and C. Rizzuto : Proc. LT 11, 1062 (1968) (Zn-Al-Mn系の  $T_c$ )

I. Mo-Co

- 34) S. Takayanagi, M. Takano, and T. Sugawara : to be published ( $T_c$ ,  $H_c$ )
- 35) H. Claus : Phys. Rev. B5 1134 (1972) (比熱)
- 36) A. Narath, K.C. Brog, W.H. Jones : Phys. Rev. B2 2618 (1970)
- 37) T. Sugawara, M. Takano : to be published (R,  $T_k$ )
- 38) J.G. Booth, K.C. Brog, and W.H. Jones : Proc. Phys. Soc. 92 1083 (1967) ( $\chi$ )

J. Th-U

- 39) M.B. Maple, J.G. Huber, B.R. Coles, and A.C. Lawson : J. Low Temp. Phys. 3 137 (1970) ( $T_c$ , R,  $\chi$ ,  $T_k$ )
- 40) J.G. Huber. and M.B. Maple : J. Low Temp. Phys. 3 537 (1970) (Al-Mnなどとの比較)
- 41) C.A. Luengo et al : Solid State Comm., 10 459 (1972) (比熱)

K. Al—Mn

- 42) J.G. Huber, M.B. Maple : Solid State Comm. 8 1987 (1970)  
(T<sub>c</sub>)
- 43) F.W. Smith : J. Low Temp. Phys. 6 435 (1972) (T<sub>c</sub>, H<sub>c</sub>)
- 44) E. Babic, P.J. Ford, C. Rizzuto, E. Salamoni : J. Low Temp.  
Phys. 8 219 (1972) (Al—Fe などの T<sub>c</sub>)
- 45) R. Aoki and T. Ohtsuka : J. Phys. Soc. Japan 23 955 (1966),  
26 651 (1967) (Al—3d系の T<sub>c</sub>,  $\chi$ , 比熱など)
- 46) A.D. Caplin and C. Rizzuto : Phys. Rev. Letters 21 746  
(1968) (R, T<sub>k</sub>)
- 47) F.T. Hedgecock and D.L. Li : Phys. Rev. B2 1342 (1970) ( $\chi$ )
- 48) H. Alloul and H. Launois : J. Appl. Phys. 41 923 (1970)  
(NMR)

L. Th—Ce

- 49) M.B. Maple, J.G. Huber, and K.S. Kim : Solid State Comm.,  
8 981 (1970) (T<sub>c</sub>)
- 50) J.G. Huber, M.B. Maple : J. Low Temp. Phys. 3 537 (1970)  
(T<sub>c</sub>)
- 51) D.T. Peterson, D.F. Page, R.B. Rump, and D.K. Finnemore :  
Phys. Rev. 153 701 (1967) (R)
- 52) C.W. Dempsey : unpublished (比熱)
- 53) I.E. Bates and M.M. Neumann : Proc. Phys. Soc. (London)  
72 345 (1958) ( $\chi$ )

M. そ の 他

- 54) W.R. Decker, D.K. Finnemore : Phys. Rev. 172 430 (1968)  
(Th—Gd  $\otimes$  T<sub>c</sub>, H<sub>c</sub>)
- 55) M.B. Maple : Phys. Letters 26A 513 (1968) (LaAl<sub>2</sub>—Gd  $\otimes$   
T<sub>c</sub>)
- 56) T. Mamiya et al : J. Phys. Soc. Japan 31 485 (1971)  
(La<sub>3</sub>Al—Gd  $\otimes$  T<sub>c</sub>)

57) E. Bucher et al : Helv. Phys. Acta 41 723 (1968) (Th-Pr  
などの  $T_c$  の結晶物分裂効果)

15. 「超伝導体中の Non-magnetic State と Spin-quenched State との相異」

教育大理 町田一成

或る物質の状態が non-magnetic なのかそれとも high  $T_k$  なのかという区分に関する議論は以前からあった。しかし normal state に於いては明確な区分けを持つ実験も理論もほとんどなかった。Sugawara のマトメによれば super ではその区分けが実験に出来るとのことである。この問題を如何に把え返すか?

望まれる理論は少くも次の条件を満足すべきである:

- (i) 一つのハミルtonianから出発してパラメータを変えることにより, non-mag と magnetic の二つの状態が統一的に記述できること。  
(例えは s-d exchange モデルではなく Anderson モデルのようなもの)
- (ii) Anderson モデルに立つならば  $U \rightarrow$  小では通常の H-F non-mag,  $U \rightarrow$  大で singlet ground state を実現するもの。

現在 Yoshimori 理論を超伝導に拡張し  $U$  の関数として order-parameter の depairing の様子を計算中である。

研究会の全般から感じたことは、モデルの現実化が進行する一方でこれからは、例えは Anderson モデルに盛り込まれた resonance orbital 概念の再検討といった基礎概念の検討に研究の方向があるよう思えた。

16. 「超伝導に対する L.S.F の効果」 名大理 石川正勝

1 個の磁気的不純物によって超伝導体のギャップの中にできる束縛状態を局在スピン揺動の立場で weak magnetic régime の側から調べた。R.R.P.A. で行なう場合、自己エネルギーを振動数で展開して代数方程式になおす仕方を C. Hargitai と G. Corradi が提案し、M.J. Zuckermann が  $T_c$  の下りの計算に用いているが、ここでもそのやり方にならった。Symmetric Anderson model をとり d-レベルの巾を  $\Gamma$ , L.S.F. の寿命を  $\frac{\hbar}{\Gamma_s}$  とし、L.S.F. によるくりこみ係数を  $Z$  とすれば、

$$(i) \text{ 束縛状態が浅い場合; } \omega_B \approx \pm A \left\{ 1 - 2Z^2 \left( \frac{A}{\Gamma} \right)^2 \left[ 1 + \frac{\phi}{Z} \right]^2 \right\}$$

$$\text{ここで, (a) } \Gamma_s > \frac{\Gamma}{Z} \gg \Delta \text{ のとき} \quad \phi = \frac{1}{gN_s(0)} \cdot \frac{\frac{\Gamma}{Z\Gamma_s}}{1 + \frac{\Gamma}{Z\Gamma_s}} \cdot Z$$

$$(b) \frac{\Gamma}{Z} \geq \omega_D \gg \Gamma_s \gg \Delta \text{ のとき} \quad \phi = \frac{\frac{U}{\pi\Gamma Z} \left( 1 + \frac{\Gamma}{\Gamma_s} gN_s(0) \ln \frac{2\Gamma_s}{\Delta} \right)}{1 + \frac{U}{\pi\Gamma Z} \left( 1 + \ln \frac{\Gamma}{Z\Gamma_s} \right)} \cdot Z$$

Uが大きくなるとZは急速に増大するのでH.F.の場合と比べて束縛状態は深くなる。

$$(ii) \text{ 束縛状態が深い場合} (\Gamma_s \sim \Delta); \quad \omega_B \simeq \pm \Delta \frac{\left| \frac{\Gamma}{\Delta} - \phi \right|}{Z + \frac{\Gamma}{\Delta}}$$

ここで  $\phi$  は  $\Delta \phi = U < C_{d\uparrow} C_{d\downarrow} > + (\hat{\Sigma}^{\text{LSF}} (i\omega_n = 0))_{11}$  で定義される量であるが,

$\phi$  の決定のし方などについて検討中である。

### 17. 「磁性不純物を含む超伝導体における輸送係数」 東北大理 浦田信夫（真木研）

Shiba の Classical spin 不純物に対する理論と Zittartz-Müller-Hartmann の Kondo 効果をとり入れた理論と比べるとグリーン関数を決める式は一つのパラメーターの値を除いて同じ形になる。このパラメーターは磁性不純物のために超伝導のエネルギーギャップ内にできる束縛状態の位置に關係するものである。ZM によるとこれは温度、不純物濃度によって變るのであるが、ここでは S の場合のように定数であるとして考えてみた。S の場合には實際の S J IC に対しては束縛状態はエネルギーギャップのエッヂ近くにしか生じないのであるが、これをパラメーターとしてギャップ内すべてを動かした。これは有限温度で計算しないとあまり意味がないと思われるが、計算が複雑なのでとりあえず絶対 0 度で、オーダー パラメーター、状態密度、核スピン緩和率、ペネトレイションデプス、電磁波の吸収率を求めた。

以上

## 東独のレーザー国際会議に出席して

矢島達夫

去る6月4日から9日迄、東独のドレスデンで“Laser und ihre Anwendungen（レーザーとその応用）”という名の国際会議が開かれ、私は東独科学アカデミーの招待を受けて、それに出席した。その帰途ヨーロッパ各国のレーザー関係の研究機関も幾つか訪問してきた。それらの印象記のようなものを御報告したい。

東独は、つい最近迄国交未回復国だったので入国もあまり簡単ではなく、日本にとっては比較的未知の国である。私はこの招待を受けたとき、会議自身に対する興味と同時に、このような国との学術交流という点に意義を感じ、できればいきたいと思った。幸にして、会議直前の5月15日に日本との国交が樹立したので、私は文部省から旅費を貰い、公務員として正式に出張することが出来た。

ドレスデンはベルリンの南方約150キロ、チェコとの国境に近い位置にある東独第3の都会である。かつてドイツの芸術文化的一大中心として栄えたが、第2次大戦における猛爆によって一夜にして徹底的に破壊され、その殆どが廃墟と化した。しかし、戦後東独政府とドレスデン市当局との文化復興に対する異常な熱意によって、歴史的遺産の多くが文字通り寸分違わぬ精確さで再現され、新しい文化都市として返り咲いている。現在のドレスデンは、このようにして復活した古都のおもかげと、まだ方々に残っている戦災の大きな傷跡、それに新しい都市計画に基く超近代的な街並みの三者が奇妙な対照をみせている誠に興味深い都市である。会議はその中心部にある市庁舎で行なわれた。

この会議の主催国は東独であるが、実際の運営は東独と緊密な関係にあるソ連との共同で進められた。3年毎に定期的に開かれるものの一環で、今度のは第2回目である。参加国数13、出席者総数約400名であったが、その大部分がソ連及び東欧圏諸国の研究者であり、西欧、アメリカその他の国からの参加者は一割弱、日本からは私一人であった。共産圏以外の参加者の大部分は招待者である。現在レーザー関係の国際会議は多数あるが、その主要なものはアメリカを主体とするものが多い。その意味でこの会議はかなり特異であり、日本にはあまり知られていない。主催者側の意図を聞いてみると、必ずしもアメリカと張合う積りではないようで、西側諸国からもできるだけ多くの人に参加して貰いたかったらしい。しかし、政治社会上の制約その他の理由からなかなか思うようにいかず、上記の結果になったようである。

以上のような特殊性から、会議全体の印象として、その内容はこの分野の最新最高のものを公平に網羅したものとはいひ難い不満足さがあった。しかし、ソ連を始め、西側諸国からは一流の人の参加がかなりあって充実した話をきくことができたこと、従来殆ど知られていない東欧圏のこの分野の研究開発に対する意欲や実体にふれ得したことなどは大きな収穫であったと思う。

このような地域的な特殊性とは別に、主催者が意図した内容的な特徴は次の如くである。現在、レーザー分野は著しく発達してしまったので、多くの会議は特殊なテーマを揚げたものや性格の偏ったものになってしまい、基礎から応用までを有機的に貫いて全貌を見渡せるようなものは殆どなくなった。この会議はその穴を埋めるようなものであること、そのために招待講演の比重を増して現状や将来の展望の話に重きをおくことを狙ったということである。主催者の意図が充分達成されたかどうかは多少疑問であるが、そのような性格の会議の存在意義は充分認められるものと思われる。

発表論文は、招待講演(45分)が18件、一般講演(15分)が64件、口頭発表されない応募論文(プログラム及び予稿集には出ている)が77件である。国別にみるとソ連77件、東独64件が大部分で、他の東欧圏10件、西側諸国9件という割合である。東独だけで64件といいのは、地元であるとはいっても、ちょっと予想外の activity を示すものであっていさか驚かされた。

会議の公用語はドイツ語、ロシア語、英語の三つであるが、ソ連人はロシア語、ドイツ人はドイツ語、その他の人は英語で発表するという結果になり、英語の割合が非常に少なかったのが難点であった。同時通訳はあったがロシア語、ドイツ語相互間だけで、英語と他国語間のものはなかった。理由をきいてみると、英語に堪能な同時通訳者がなかなか得難く、またソ連、ドイツ以外の参加者の割合がまだ少ないのでそこ迄サービスの手が廻らないということであった。しかし、この language barrier がこの会議をより国際的なものにするのに大きな障害であることは確かなので、今後、改善の努力をするということである。

以上のわけで講演内容を充分理解することができなくて残念であったが、スライド、予稿、個人的な接触などを補助にして不完全ながらもいろいろな information を得ることはできた。参加者は殆ど英会話は何とかできるので個人的な接触ではそれ程不便は感じなかった。

会議は正味4日半にわたって行なわれ、午前中は1会場で全部招待講演のみ、午後は2会場に分れて各 session の一般講演と、 session に附随した少数の招待講演が行なわれた。

招待講演のプログラムは以下の通りである。

1. N.G. Basov (ソ連) 電子線・放電励起による高気圧炭酸ガスレーザー

2. O.N. Krokhin (ソ連) レーザーによる高温プラズマの発生
3. N. Bloembergen (米) レーザーによる絶縁破壊
4. W. Kaiser (西独) 非定常ラマン効果
5. Ju. M. Popov (ソ連) 半導体レーザーのオプトエレクトロニクスへの応用
6. K. Gürs (西独) レーザー加工
7. K. Junge (東独) 光通信
8. V.S. Letokhov (ソ連) レーザー分光
9. G. Herziger (スイス) 短パルスレーザー加工
10. T. Yajima (日) 差周波光混合による遠赤外発生
11. H. Lenk (東独) ホログラフィーの現状と将来
12. J. Ducuing (仏) 複合分子の非線形光学特性
13. P.G. Krjukov et. al. (ソ連) 超短光パルス発生機構の研究
14. G. Wiederhold (東独) 気体レーザーの最近の発展
15. A.M. Bonch-Bruevich and S.E. Potapov (ソ連) Ndガラスレーザーの動特性
16. M. Schubert and B. Wilhelm (東独) 非線形散乱過程による分子及び固体の研究
17. A.A. Kaminski (ソ連) 固体レーザー用結晶
18. G. Richter (東独) ドップラー幅内の高分解能分光学

以上の他, D.J. Bradley (英, 色素レーザー), A.E. Siegman (米, モード同期) が予定されていたが会議直前に来られないことになり, 残念であった。

招待講演の内容は広い分野のレビューから, 最新の研究の成果の紹介に至るまで, その性格は様々であるが, 次のような話が私の印象に残った。1.は従来よりも約1桁高い50気圧のガス圧で電子線と直流放電の組合せで励起する炭酸ガスレーザーの話である。比較的小型の装置で短パルス(<10 ns), 超高出力の赤外光を発生するもので, すでに200ジュールの出力エネルギーが得られており, 近い将来1000 ジュールに達する見込である。元来核融合用として開発されたものであるが, 赤外域のピコ秒パルス, 可変波長光源としても有望である。3.では固体や液体の光破壊の機構に電子なだれ過程が重要な寄与をしていること, その際生ずるプラズマが光の自己集束, 自己位相変調その他非線形光学現象一般に大きな影響を及ぼすことが強調された。4.はピコ秒パルス励起による非定常ラマン効果を通じて液体分子の振動緩和を詳しく研究した話で

ある。縦緩和、横緩和の分離測定、分子内及び分子間の振動励起移動、分子の衝突機構についての新しい知見が発表された。8.は非線形分光を主体にした話であるが、中でもレーザー光と2線との二重共鳴による核分光学の話が新味があった。10.の話は、私の所での研究を中心としたレビューであるが、この問題についての関心が予想外に高いことを知って驚き、かつ嬉しかった。この分野の研究はここ半年位の間に主として米国で急激な発展をしているが、後から廻ったヨーロッパの研究機関でも、どこでも、その実験を始めていることを知って驚いた。12.は一群の有機化合物が特異な非線形光学常数をもつ話で、その中にミラー則から著しく外れたものがあること、それが電子的機構に基くにも拘らず非常に大きな非線形屈折率を示すことなどが注目に値する。13.は超短パルスの現在の最先端であるサブピコ秒領域( $\sim 10^{-13}$ 秒)の分解能をもつピコクロンを用いて超短パルスレーザー光の時間的構造を詳しく研究した話である。東独の人の話は、研究としてまだそれ程新しい内容は見受けられず、教育的な性格が強かったようであるが、非常に熱心で、よく勉強しているように感じられた。

一般講演は超短パルス、気体レーザー、固体レーザー、非線形光学、半導体レーザーと色素レーザー、ホログラフィー、分光学的応用、一般応用の8 sessionに分れて2会場で発表された。その約40%が東独からの話であるが、その分布から特に非線形光学とホログラフィーの研究が盛んであることがうかがわれた。個々の内容の紹介は省略するが、予稿集(但し殆どロシア語とドイツ語)があるので関心のある方にはお見せしたい。

会議終了後、東ベルリンにある Zentralinstitut für Optik und Spektroskopie を訪問した。東独にはソ連と同様、科学アカデミー所属の研究所が沢山あるが、ここはその一つである。今度の会議はそこの主要スタッフが総出で運営。世話役を務めたのであった。総員約300名でその殆どがレーザーに関係した仕事をしており、基礎から応用にわたる幅広い研究が行なわれている。東独全体としてはレーザー関係の研究機関も研究者もそれ程多くはないが、このようなセンターがあって集中的に研究が行なわれていることは注目に値する。300名の中、一人前の研究者は約80名で他に技術補助者が比較的多数いるのが特長である。これは国内外を含めて実験設備の購入が思うようにできないので、装置の製作、保守のために止むを得ず多くの人手がいるのだとのことである。しかし、一面からみれば、これは研究所内で技術的な自立態勢ができていることを示すもので、我々からみれば新しい分野の実験研究をするのに大きなメリットであるように思えた。事実、所内の実験設備、試作設備は想像以上に完備しており、レーザー関係の技術レベルは相当高いように思われた。私の見た範囲では特にピコ秒パルスレーザーとその分光学的応用、パラメトリック発振その他非線形光学効果による可変波長コヒーレント光源の

開発、非線形光学結晶の育成などに力を入れていた。測定器はソ連及び東欧製が多く、レーザーは殆ど自家製であった。光学関係の機器は伝統を誇る国内のカール・イエナ社が一手に引受けている感じであった。研究内容はそれ程目新しいものはまだ見当らなかったが、基礎的な態勢をがっちり固めている感じで、その潜在能力は注目すべきものと思われる。

東ベルリンは東独の首都として近年再開発の大工事が進み、面目を一新している。昔の旅行者からよく聞かされたような、繁栄の西ベルリンから一歩東ベルリンへ入ると、至る所がれきの山で戦災の傷跡を深く広くとどめている、といった感じは殆どなかった。少くとも市中心部における立派さは西ベルリンに勝るとも劣らないよう見えた。消費物資は西側にくらべてまだ極端に少いので決して豊かとはいえないが、私の見た東独全般を通じて清潔な洗練されたムードがただよっていて気持がよかった。私の接した人々は皆親切で誠実で好感がもてたし、社会的にも一応安定して、人々は国の復興に意欲をもやしているように見えた。しかし、一方において東西ドイツの分割に伴う複雑な政治社会状勢を反映して、やはり一種の暗いかけがただよっていることも実感として受けとめられた。ベルリンの壁は依然として厚く厳重で、一向に緩和される気配がなく、ある人は絶望的だといって歎いていた。肉親や親しい人達が壁で引きさかれたままの悲劇は依然として続いているらしい。研究者の一部は、西側との人的、物的及び情報的交流が非常に不自由で研究に支障があることを訴えていた。また子弟の高等教育に関して政治的配慮に基く著しい不自由や不合理があるという話も聞かされた。これらの苦難をのりこえて東独の科学者達が今後どのように独自の科学を発展させていくかは興味深い問題であろう。

東独では10日間の滞在の間、遂に日本人には一人も会わなかった。レーザー関係の科学者で、会議や研究所へ来たのは私が初めてだというわけか、至れりつくせりのサービスをうけて歓待され、恐縮する程であった。

東独を去った後、筆者に関心の深い非線形光学、超短光パルスの分野で主導的な研究を行なっているヨーロッパ各国の以下の研究機関を訪れた。(1)ミュンヘン工科大学物理教室のKaiser教授の研究室 (2)シュトットガルト大学理論物理研究所のHaken教授の研究室 (3)パリ大学光学研究所のDucuing教授の量子光学研究室 (4)ベルファスト大学(北アイルランド)物理教室のBradley教授の研究室 (5)レベデフ物理学研究所(ソ連)。

これらの中で研究組織と規模の点で特に興味深いのは(4)と(5)である。Bradley教授のグループは色素レーザー、ピコ秒パルスレーザーの研究で名高いが、教室員の約半数(～40名)のメンバーが一丸となってレーザー物理全般にわたる組織的な研究を行なっている。結晶作り以外はすべて自給自足できるようにレーザーの試作態勢が完備している。かくして北アイルランドとい

う僻地にありながら世界的なピークをつくっている。

モスクワのレペデフ研究所は2度目の訪問で、前回（9年前）とは面目を一新していた。前回の時にも量子エレクトニクスの研究者が200名いると聞いて驚いたものだが、現在は2人のノーベル受賞者 Basov, Prokhorov のもとに900名が量子エレクトロニクス固有の仕事をしているとのことである。これは同研究所の約  $1/3$  にあたるが、レーザーを単に光源として利用する研究グループはこの外にあるのである。一人あたりの効率はともかくとしても、その力の入れ方には全く驚かざるを得ない。

これらの中で行なわれている個々の研究についてふれることは省略するが、それらに共通してみられた特徴的な傾向と、それを日本の現状と比べてみた感想を最後に述べたいと思う。

東独も含めて、上記の実験研究機関のいずれにおいても、新しいレーザーの基礎的な開発からそれを利用する各種の研究までが一貫して行なわれ、物理と技術の緊密な融合とバランスのもとに高いレベルの基礎的研究が行なわれている。私の目にふれた主要なレーザーは殆ど高級な自家製であったが、これは市販品ではできない最先端のことをしようと思えば当然の結果である。また、それを容易にする態勢が設備、人の両面でよく整っていることはうらやましい限りであった。ヨーロッパは決してレーザー研究の中心ではないこと、上記の訪問機関がいずれも物理関係の研究機関であることを考え合わせると、これは非常に注目すべきことである。

日本ではレーザー関係の研究人口は決して少くないが、外国で開発された技術の追試や改良をやる人と、でき上った技術や製品をただ利用する人が大部分である。しかも、この両者の分極傾向が甚だしく、新しい分野を開くための真に新しい技術開発の基礎研究に真正面から専心して取組む人は極めて少い。これには個人の努力だけではどうにもならない根の深い要素がいろいろあることも事実である。しかし、その原因をよく探求して、この盲点を埋めるような対策を積極的に講ずることが、この分野で世界に伍していくために不可欠であると思う。そして、これは大学やそれに近い性格をもった基礎研究機関では非やらねばならないことである。

物性研究の分野でも、レーザーに限らず、近年新しい技術を基盤とした各種の研究プロジェクトの企画、実施が盛に行なわれているが、そのいずれにおいても多かれ少かれ、上記と似たような事情があるよう思う。日本の物性研究の将来を考えるとき、物性そのものの新しいビジョンと共に、実験面では、従来の技術導入型から脱却して、技術先導型の姿勢を積極的にもつことが重要ではないかと思う。

海外出張報告の場を借りて、日頃の考え方の一端をも述べさせて頂いた。御批判や御意見を頂ければ幸である。

## 西遊記

永野 弘

中国科学技術協会から招待を受けて、6月8日東京を発ち、香港経由で北京を訪ね、約3週間中国に滞在した。この時の様子を簡単に報告しようと思う。兎に角中国は広い国であるし、面積×6000年の歴史という四次元の空間を考えると世界で最も大きいわけで、簡単に紹介することは先ず不可能なことである。

香港の対岸、九龍から汽車（ディーゼル）で深圳（しんせん）に行き、ここで中国に入る。かんかんと照りつける中を国境にある鉄橋を渡ると、警備の解放軍の少年兵が殆んど無表情に立っている。入国手続きをすますと廣東地区科学技術局の通訳が待っていてくれて、税関も特に検査されずに通過し、控室に案内された。英語と漢字をちゃんと混ぜて話をして汽車の出発時刻まで待つ。

一日一本の列車が深圳から廣州に向けて出る。この列車はディーゼルで新幹線よりも幾らか大きい感じがする。ゆったりとしている上、冷房がよく効いている。走りはじめると女の子が客に蓋のついた大きな茶碗にお茶を一杯について皆にくばってくれる。お茶の葉が一つまみ程、底に沈んでいて、お湯をのむと何回もこの上面にヤカンからお湯をさしてくれる。

約2時間、廣州の駅に着くとやはり廣東省科学技術局の人が何人か出迎へてくれ、宿舎に向う。自動車で宿舎に向う途中、どの信号も青で nonstopなので、よく見ると交差点の所に、交通巡査が居て、自動車が来ると青にしてくれるようである。

道の両側の並木はユーカリのような感じの背の高い木が植っていて、日影をつくり非常に気持がよい。

都合で廣州に2晩泊ったが、この間、人民公社や陶磁器の工場に案内された。多分通常の見学コースなのではないかと思うが、自動車で一時間半程走ると、佛山という町（鎮）に工場があり、いろいろの芸術陶磁器をつくっている。主なものは化学薬品用の容器の生産のようである。

次に人民公社に案内される。生産隊といって150軒ぐらいの家がかたまっており、ここで豚や鶏を飼い、米や野菜をつくっている。そこに行くと子供達が皆拍手して迎えてくれて、一軒の家に案内され、又、お茶を飲みながら色々と生産隊の現状について説明を聞く。豚は沢山いるが全く臭くない。蠅は時々一匹二匹見るが殆んど見掛けない。昔の中国を知らないからよく判らないが話によると蠅や虫、南京虫が多かったと聞いているが、これらの害虫駆除は徹底して行なわ

れたのだろう。我国でも養豚場の悪臭公害が叫ばれているが自然の浄化作用の未だ効果的なこの国は我が国と大分違うような感じがする。

田舎は見渡す限り金色に稻穂が実り、この辺りは3毛作だそうで、食糧は現在は豊富で余裕があると説明している。このような風景は我国では殆んど見られなくなってしまったが、所々の田で30人程がかり入れに働いている。

中山大学を訪ねると、南国的な大木の影になった応接室に案内され、文化大革命以後の教育について説明された。最初通訳が話をしてくれていたが、そのうち物理系主任という60才ぐらいの人が流暢なしかも非常に上品な日本語で話をしてくれ、以前京都大学の荒勝先生の所に居られたとかでもし先生が御健在ならよろしく伝へて欲しいと申されていた。ラジオエレクトニクス、レーザー、トランジスターの3種目を主として約60人の学生をそれぞれの分野に分けて教育しておりスピッティングダイオードなどを生産している。レーザー（激光器）はHe-NeやCO<sub>2</sub>のレーザーやホログラフィー、レーザーテレビの研究をしている。

広州の飛行場から北京に飛び、途中杭州に一旦着陸したが、飛行場に戦闘機が待機しており、写真は何を写してもよいが、このような軍事関係は遠慮してくれということである。

何の検査もなく飛行機に乗ったので、多分中国にはハイジャックはないのだろうと思う。パイロットは仲々上手で離着陸は極めて静かであった。中国語と英語の機内放送はどちらも分らないままで北京に着くと、科学院の物理研究所の洪先生が迎へてくれた。ホテルまでの道はやはり並木が美しく、植林事業は1949年の解放後、最も熱心な事業のようである。

物理研究所は研究員凡そ600人を擁する研究所で、プラズマ、低温、超高压、音、結晶成長と構造、磁性、レーザーなどをやっている。この他、工作工場、計算機等がある。所長は71才の老人で1935～38年頃までYale大学に留学していたといふ磁性をやっている人である。

敷地は北京の西北に位置し、広い地域を占めているので建物から建物までは自動車を使う具合である。プラズマはピンチで中性子を発生させる実験をしており、レーザーやX-rayを用いて、プラズマの圧縮されてゆく過程を写真にとって説明してくれた。

超高压は大分以前につくったといふ四面体のアンビルで、ダイヤモンドの径0.5mm程度のものをつくっており、透明のダイヤの生成条件を決めている所であった。この他、爆圧による粉ダイヤは別の所で生産しているといふ。磁性はフェライトのドメインを偏光顕微鏡で見せ、おもにメモリーの研究をしており、またガーネットの単結晶を製造している。結晶の製作ではLi<sub>2</sub>IO<sub>3</sub>なる強誘電体の大きい結晶をいくつもつくっており、これはレーザーのfrequency Doublerに

用いるのだそうである。

結晶構造は有名なウシ・インシュリンの構造解析で、別な医化学研究所と計算機研究所と協同でやっているもので、 $1.8\text{ \AA}$  の X-ray を使用して、写真の黑白と構造とを対応させている。このインシュリンの合成は上海の工業技術展示場でも合成プロセスを示していた。

レーザーは Ne-He のプログラムによるデータ処理が主な仕事のようである。

低温は SQUID による弱い磁場変化の測定や  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  の固体拡散によるテープの製作を試みている。ヘリウム液化機は研究所内の工場でつくったというものが 2 台あった。

音はビジブルスピーチの研究を主としている。

北京には約 11 日間滞在したが、この間 3 日間いろいろの話をすることとなり、あと 1 日は 15 ~ 16 人の人と討論という予定であった。しかし、時間が不足だということで更に 1 日追加され、北京で 5 日間、上海で 2 日間話をすることになった。話の内容は He 液化機や冷凍機  $\text{He}^3-\text{He}^4$  稀釈冷凍機のこと、我が国における超電導の応用と線材の安定化などでそのあと超電導磁石とか送電、発電機などの大型装置やメーターやパラメ通信用小型装置用の冷却システムなどの話をすることになり、膨張エンジンやタービンの寸法、クリアランス、熱交換器の計算法や製作法、ガスペアリングや焼結銅粉の熱交換、蓄冷器の充填物など随分細かい質問をされた。

これまで低温は余りやっていなかったらしく、それは He を空气中から採取しているといった理由からかもしれないが、現在は天然ガスから分離しているので、そろそろ大型の低温研究をしようという所のよう感じられた。

物理研究所の他に北京大学と清华大学に案内されたが、清华大学は解放後、ミッション系から工業大学に変わり、10 階建の本館は広い敷地の真中にそびえている。小坂徳三郎氏が自民党を代表して我が国の科学技術書 1 万部を寄附したとかで、特別なコーナーをつくって整理している最中であったが、このようなことは学生に日本語を勉強するようにする最もよい方法であり、そうすれば相互の理解も増すのではなかろうか。

清华大学は文化大革命の盛んだった所で、労農兵から来た学生と教師と学校の他の職員の三結合によって学校が工場を運営するという方針の強く出されている所で、精密機械工場では外部の機械工場の密接に生産面でつながっており、NC Machine や IC を製造する機械などを見せてくれた。丁度、学生は稻かりに出かけており、何か我々の戦争中の時に似てるような気がして来ないでもない。社会と大学は遊離しない。人民の為に、労働人民の為に刻苦奮闘するなどという言葉は、小説で読む限りでは明治維新の時の國の為（國民の為）と云うことと似ているし、リ

ンカーンの人民のためにと云う言葉とも通じる所があるようと思われる。

生産が最もよい教材であるといってエレクトロニックスなどでは Dual Beam のオシロスコープを月産 20 台ほど生産している。これは大学が工場の技術部門を受け持っている感じで、その長所短所は別として、兎に角従来の大学(4~6 年)を 3 年に短縮して技術者を早く養成することが国家的急務なのであろう。又、そのやり方については悪い時には革命的に別な方法を採用するようであるから傍から見て固定的に考えることはなさそうである。

機械工業は文化革命後非常に力を入れているようで、自動車も 70~90 HP のものは走っており、60 トンのダンプまで製作している。唯々、機械についても電子部品についても信頼性とか均一性という概念は未だ一般化していないような感じがする。

こんなことを書いても、広州を出る日に水素爆弾が爆発しているから特殊な分野は非常に進んでいることは勿論である。

北京の最後の日、八達嶺に万里の長城を見に出かけた。八達嶺を訪ねざるは好漢に非ずという毛主席の言葉があるそうで、北京を訪ねる人は大抵訪ねるようである。自動車で北に向い、ネバダの山のような岩山が見えてくると尾根に石垣がずっとある。近づくと非常に高く、セメントの代りに糊を用いたと云う城壁が、延々とつづいている。

田中首相はずっと先の望楼まで行かれたというのでそこま、39°C の暑さの中を急な坂や階段を登って行ったが、蒙古の方から吹きよせる風は冷たく望楼の日影に入った時はほっと一息つく有様だった。中国の歴史をよく知っていたらいろいろのものを見たときさらによく分るのでないかと思われる。

## 物性研談話会

日 時 7月2日(月) 午後4時~

場 所 A棟2階輪講室

講 師 田沼 静一

題 目 伝導電子系の量子輸送、多体的現象に関する実験と話題

(1) ここで電子の量子輸送とは緩和過程が量子効果によって重要度を失うような輸送現象を意味している。われわれはそのような場合に相当すると考えられる効果をビスマスの縦磁気抵抗効果においてえた。

(2) 電子系の多体効果は多種多様であるが、ここで一・二の話題について紹介する。その一つは半金属(電子・正孔が補償)のエキシトン相転移である。強磁場、圧力、温度といった環境パラメーターの調整によってエキシトニック相が出現したと考えられる evidence が抵抗、超音波吸収においてあるが、われわれは電子・正孔密度の変化をアルフェン波の伝播速度の異常から見出すことを試みている。

もう一つはグラファイトの反磁性共鳴における新しい構造で、これは正孔と、電子の正孔的曲率部のフェルミ流体的効果によって生ずると解釈されたが、その構造の温度保存についての実験結果について紹介する。

日 時 7月4日(水) 午後2時~

場 所 物性研Q棟講義室

① Professor G. Dresselhaus  
Lincoln Laboratory,  
Massachusetts Institute of Technology  
"Band Structure of Solids" 1 hr.

② Professor M.S. Dresselhaus  
Department of Electrical Engineering,  
Massachusetts Institute of Technology  
"Magneto-Optics of Semimetals" 1 hr.

- ① G. Dresselhaus 教授は固体のバンド構造の理論的研究などに多くのユニークな寄与をしておられる。今回の講演はバンド構造の理論的アプローチの一般論と、さらにフェルミエネルギーが小さいため定量的な計算のむづかしい半金属についての方法論を展開される。
- ② M. D. Dresselhaus 教授（夫人）は結晶の磁気光学的研究の第一人者の一人であるが、今回の講演は伝導電子をふくむ結晶として敏感なるまいを示す半金属について実験研究との解析によるバンド構造の解明に関するものである。

日 時 7月9日（月） 午後4時～

場 所 A棟2階輪講室

講 師 伴 野 雄 三

題 目 磁性体の格子振動

我々の研究室の周辺でこれまでに行なってきた研究と、国内外の最近の興味ある研究とをまとめて話す予定です。

#### 磁性体の格子振動を

- 1) 磁性と直接の関係のないもの
- 2) 磁性と関係して観測されるもの

とに大別します。

#### 1) については

磁性と直接関係はなくても、磁性結晶の性質を理解するのに役立ちます。その例として  
スピネル結晶のヤーン テラー歪と格子振動,  
 $K_2NiF_4$  などの不純物モード,

#### 2) については

反強磁性体の(1フォノン)+(2マグノン)の赤外吸収,

$KNiF_3$ ,  $Cl^- : MnF_4$  の  $T_n$  での格子振動のシフト,

$FeCl_2 \cdot 2H_2O$  のマグノン・フォノン相互作用,

$CdCr_2S_4$  と  $CdCr_2Se_4$  等の  $T_c$  でのラマン線の変化

などについて話す予定です。

日 時 7月30日(月) 午後2時～3時30分  
場 所 物性研A棟6階輪講室 (614号室)  
講 師 Professor P. Pincus  
University of California, Los Angeles  
題 目 Electron Correlations in the Organic  
Charge Transfer Salts

The systematics in the physical properties of the quasi-ionic TCNQ based salts will be reviewed. These properties will be discussed within the context of the Hubbard model. Some possible improvements of the simplest model will be suggested.

### 1973年9月～12月物性研談話会プログラム

- 9月 3日 H. Fritzsch (シカゴ大学)  
Localized States and Mobility Edges in Amorphous Semiconductors
- 9月 17日 E. Fawcett (トロント大学)  
Polarization Domains in Antiferromagnetic Chrominm
- 10月 1日 矢島達夫  
非線型光学効果による赤外、遠赤外コヒーレント光の発生
- 10月 15日 吉森昭夫  
近藤効果で何がわからないか？
- 10月 29日 鈴木増雄  
臨界現象の最近の発展
- 11月 12日 阿部英太郎  
磁気共鳴から見たアンモニウムハライド

11月26日 F. Lüttý (ユタ大学)

色中心転換の動的過程

12月10日 箕 村 茂

非晶系の電子過程

物性研ニュース

人 事 移 動

無機物性部門 助 手 島 正 子 48. 6. 30 辞 職 西独 マックスプランク研究所

テクニカルレポート新刊リスト

Ser. A

- No. 596 Jiro Yamashita and Setsuro Asano: Electrical Resistivity of Transition Metals. I.
- No. 597 Tsuyoshi Yamaguchi and Kuniro Tsushima: Magnetic Symmetry of Rare-Earth Orthochromites and Orthoferrites.
- No. 598 Hidetaro Abe, Minoru Imaizumi and Kazuo Ôno: ESR Studies on the Yield of Peroxy Radicals in PTEE Irradiated by Deuterons.
- No. 599 Akio Kotani: Commensurate-Incommensurate Transitions of the Spin Density Wave in Chromium Alloys.
- No. 600 Tomohei Sasada: Emission and Resonance Trapping of Photon by Two-Level Atomic Systems.
- No. 601 Yasuo Oka, Takashi Kushida, Toshiaki Murahashi and Takao Koda: Resonance Raman Scattering in Cuprous Halides.
- No. 602 Yuji Ito and Jun Akimitsu: Localized Moment in  $\text{Ni}_{0.95}\text{Cr}_{0.05}$  Alloy.

## 編 集 後 記

残暑お見舞申し上げます。

久しぶりに物性研だよりの編集をしました。原稿をお願いした方が暑い折にもかかわらず真面目に〆切日を守って下さいましたこと大変感謝しています。

東京都港区六本木7丁目22番1号

東京大学物性研究所

大野和郎  
小谷章雄

次号の〆切は10月10日です。

