イギリスの磁性研究

志水正男

こんど名古屋で物性研究の編集を引受けるということで柏村物性研究地方編集委員の厳命で、丁度イギリスから帰られた志水さんのところへお話を聞きに行きました。で早速、

吉森； 志水さんは１９６３年９月からこの６月帰られるまで、１年９ケ月イギリスにおられたわけですが……

志水； 最初の一年、London の Imperial College で Wohlfarth といつしよに仕事をし、その次の７ケ月は Harwell で、最後の２ケ月を Cambridge ですごし、帰りは３週間アメリカをまわつて帰りました。

Transition Metal についての Mott の Model

吉森； いろいろの土産話を聞かせていただくわけですが、Mott 先生のお話からよろしければ始めて頂けますか。

志水； Mott はもともと、強磁性 band model を一番最初に出した人ですがその後、Stoner が現象論をやつた。両者競争のような形でやつていたらしいのです。お互いに仲もよくなかつたらしいですね。途中で、Mott は Weiss, de Marco の実験などが出て、それに動かされて、localized model を出したことがあるんです。Fe は exchange splitting がかなり大きく、それが 1.6 ev 位ある。それが丁度飽和磁化が 2 Bohr magneton だということから各 atom の上で２個の spin がそろつていると考え、Curie 点では、atom の上での２つの spin がそろつているのはそのままで、atom 同志の moment がお互いに、random になるというようにして、Curie 点を説明して、Curie 点以上でも、２つの spin は parallel になつていると考えているわけです。

吉森； それは比熱のデータの解析から出したエントロピーの値が spin の大

きさが1としたのに近いということと consistent なわけですね。

志水； そうです。それも勿論Mott は知つていて、言つているわけです。比熱のデーターは、δ-phase の高温のところは、外そうしてやつているのでColes などの意見によると、あまり正確ではないじやないかというわけです。それでexchange splitting は 1.5～2 ev 位で大きいのに、Curie 温度は1000度位になる。これはMott の model で説明がつくということに、Mott は強い自信をもつているようです。しかし band model でも、exchan-splitting は大きいけれども、大きいmagnetic energy の得がKinetic energy の大きな term で cancell されて、低いCurie 温度になるということで、説明がつくわけです。なかなかMott はそれを理解しなくて、Nott-ingham Conference のあいまに、どうして band model で低いT_cが出るんだと、つかまつてきかれ、よくそれを説明したのですが。

吉森； density of states curve に2つコブがあつてFe の場合に、谷の底にFermi energy があるというお話はいかがでしようか。

志水； Mott は、Fermi level は minimum のところにひつかかつているべきだと、理由ははつきりしないけれども、そう思つているらしいです。

吉森； それは一体近似にした時の、state density のそういう様子と、Mott の各atom で2つspin が parallel になつている model はどういう風に結びついているわけですか。

志水； それは、上の山の面積が全体として、atom 当り大体2になつているわけです。その中が全部parallel に一重に占められているとすれば、loca-lized model と同等なわけです。しかし実際は、para の状態を考えると全然違うわけです。純粋な band model なら、spin $\frac{1}{2}$の electron が丁度同じFermi level まで占めているのですけれども、Mott の場合はそうでなくて、2つのelectron が atom の上で parallel になつていて、どつちがいいかというと、区別するのは、paramagnetic な neutron scattering というわけなんですが、残念ながらFe が変態するということと、Curie 点が高いということで、非常に実験が難かしく、むしろNi 位でやつたらよかろうと思うのですが。

吉森； 志水さんは、Fe でも hand でいいと思つておられるわけですね。

志水正男

志水； ええ、一応いろんなデータはreasonable に説明できると思うのですがCurie 点附近の帯磁率とか、critical phenomena とか、spin wave を除いてはいろんなデーターは、ほとんどconsistent です。勿論定量的には満足でないですけれど。比熱から解析して出したエントロピーのeffective spin value が1位になつているというのは、何もlocalized model でなくてもband model でも、おそらくそれ位になるだろうと思います。状態密度が複雑な場合には、電子比熱そのものが複雑に変化するわけで、ましてやmagnetic な比熱というものも複雑に変化するわけで、その計算を実際やろうということを、Wohlfarth は計画しているわけです。それをやつてみて、大体実験のどれ位のところにいくかというわけですが、多分僕の予想では、似たようなところにゆくだろうと思うのです。

それは比熱そのものが、つまりpara state の電子比熱は、そんなに実験とは、はなれていないわけですから。ただ問題は、Stoner の始めた単純なband model では、fluctuation がは入つていないので、Curie 点附近では、非常に悪いということは ほとんど皆よく知つている事実ですから、それを無視してまで、適用はできないわけです。そのT_C におけるentropy というのは、やつぱり大きな相関がほとんど効いてくるわけですからね。そういうのを取り入れるやり方は、localized model の方が取り入れやすいというわけですが、band model でも取り入れられると思うのですが。

吉森； Mott はそうすると、今でも必ずしも、どのtransition metal に対しても、band model でいいと考えているわけではないのですね。Fe の場合はlocalizid model というように。

志水； Fe の場合は、localized model でいいと考えているようですが、そんなに強くは考えていないように思うのですが。僕はband model でもeffective には、実際に一つのenergy の高いband に、大体2 electron/atom が一重に占めているから、それはeffective には、ほとんどlocalized model と equivalent なわけですね。そこまではいいんですが、ただCurie 点以上でどうなるかというわけです。Mott の model を非常によく信頼しているのは、アメリカのイリノイにいるBeck なんですが、Curie 点附近になつてくるとlong-range order がないですから、非常にsoft-range な

correlation が重要で、effective に Curie 点附近あるいは以上で、localized model になつているんじやないかというわけです。ですから比熱の band model は信頼するけれども、帯磁率の温度変化は、localized model の方がよろしい、という説もあります。

Mott 先生のお話

吉森； Mott 先生の近況を物理に限らず話して頂けますか。

志水； 物理では、liquid metal の Hall 効果ですか、これは確か中嶋さんから、阿部さんへの手紙になつて、物性研究に発表された中にあると思いますが。もう一つ他には、noble metal に、いろんな他の metal を入れた時の Hall 効果の temperature-dependence , Concentration-dependence に興味をもつています。例えば Ag の場合に Brillouin Zone に Fermi surface が touch しているのですが、touch する neck のところはまあ hole-like, belly のところは electron-like のふるまいをしているわけです。そして、一つの s-band の中なんですが、neck と belly をあたかも hole と electron の 2-band model のように考える話で、これは非常に面白い考え方だと思うんですが、そしてしかも、impurity が入つてくると、neck の電子が主に散乱されて、conduction にきかなくなる。そして belly のところの electron が主に conduction に寄与する。

そういうことで、例えば Ag に valence のちがう Cd, In, Sn, Sb といのを順番に入れていつた時に、valence の違いが大きくなつてくると、Hall 係数が free electron value に近ずいてくるというような事実を説明しようというわけです。hole で大きく Hall effect を cancel していたことが効かなくなつて、electron の方だけが効いてくるというわけですね。結果としては、結局 relaxation time の Fermi Surface 上での anisotropy を考えていることになつていると思うのです。

それから Mott は忙がしくて、よくいろんな所、フランスへ行つたり、オランダへ行つたり、スイスへ行つたりで、たいてい、イースターの休みとか、夏休みには一回位出かけるようですね。Mott は金森さんのやられたような

transition metal に impurity を入れた時の localizid state の問題あるいは moment の分布なんかを出そうというようなことを、スイスからきた学生にやらせようとしていたのですが、Mott 自身はあまり直接には指導しなくて、ただ大まかな問題点を与えて、その指導は Cambridge に来ている人とか、Hubbard なんかに頼んでやつているわけです。

Mott のことは"物性"に少しは書いておいたんですが。小さい自動車を乗り回していましてね。或朝僕が Cavendish 研究所に行きますと、入口のところで car を止めまして、good morning といわれました。自動車を運転しているのを見せたかつたのだと思いました。あの大きな身体で、小さい car を運転しているわけです。

Hubbard

吉森； 話は違いますけれども、Hubbard はどんな人ですか。

志水； Hubbard は Imperial College を卒業して多分 Raimes の弟子だと思います。Raimes は、多体問題の introduction のような本を出版しておりますが、Hubbard は Imperial College を今までに卒業した中で一番優秀な学生だということをよく聞くのですが、小柄ででつぷりと肥つていて discussion などするのにとても勢がいい人です。Harwell では、僕は彼の隣りの部屋に居たのですが、時間的にきつちりとやる人で、朝は、他の人よりとくに早いということはないのですが、昼飯は１２時１０分前に必ず行くし、昼休みには近所の丘まで皆と天気がよければ散歩に出かけ、tea time が３時半頃からあつたと思いますが、その時間には必ずぴつたりときて tea をのみ帰るのは、大体４時半頃には、ほとんどきまつて帰ります。現在彼は、いろいろなことをやつており、Green function の講義をずつと Harwell の中で theoretical physics division 向けにやつていました。

現在は band の計算をやつていて、まず手始めに Cu や Ni の band の計算を、Green function method の改良した方法でやつております。これは、いろんな一連の correlation の論文がずつと出て、それから transition metal についての論文がいくつかあるわけですが、結局 band のいろんな知識と具体的な数値なんかがわからないといけないというわけでやつているらし

いんです。今までそういうことをあの人はやつたことがないので、初めてなんですが、実際電子計算機にかけていて、プログラミングなども自分でやつていました。

Hubbard に一つ非常に変つたクセがあつて、学会にほとんど行かないんですね。招待されても行かないのです。従つて Nottingham Conference にも来ない。いろんな固体物理関係の学会が、イギリスの中にあつても来ないわけです。それで全然来ないのかと思つたら、この間 Cambridge Conference には来ました。Mott にはかなり心酔しているんではないかと思います。

その他、electron-phonon interaction は直接やつていないのですが興味をもつていますし、localized moment の分布なんかにも興味をもつています。最近面白いのは、Hubbard の理論で、d-band の底に correlation の為に、localized, bound state が出来るという話があるわけですが、これは exciton じやないけれども、それが実際 noble metal や、Ni, Pd など、Pt はまだですが、photo-electron emission のデータで、d-band の下の方に相当するところに比較的 sharp な吸収が observe されています。主にやつたのは、アメリカの Stanford の Spinor という人ですが、それが Hubbard のいつているようなものかもしれないんですが、Phillips がそれに対して、大まかな説明をしています。

吉森； photo-electron emission で出てきた electron の energy を測り、その energy に相当する intensity を調べれば、その electron がたたき出されたところの state density がわかるわけですね。それでその結果は、transition metal の場合には必ずしも簡単な band model では解釈できないわけですね。noble metal では大体 band でいいわけですか。

志水； noble metal では大体計算した band の state density で説明がつくわけですが、やはり d-band の energy の底の方に小さな resonance peak、むしろ resonance absorption といつた方がいいかもしれませんが、それが observe されています。それが特に d-band に孔のあいた transition metal では、それが強く出るわけです。

それは Hubbard の言つたことと関連があるんじやないかと思うのですが、Phillips は、それははつきりと exciton ではないといつているんです。

志水正男

exciton だといつた人はCohen だけですが、optical な吸収で異常なものがalkali metal なんかであるのを、最近Cohen は前のモデルを撤回して、exciton だという話をやつていたですが、それをPhillips は信用していないようです。これは非常に難かしい問題ですね。

電子ガス

吉森； 電子ガスの計算が方々でやられているということですが、それについて

志水； イギリスではあまり聞かなかつたのですが、アメリカでは可成り盛んにやつていますね。イギリスではHerring が Cambridge で $\chi(q)$ のことを話していました。彼は自分のところで $\chi(q)$ の計算をやらせているが、仲々計算がめんどうで、$\chi(0)$ が外の計算とあわないと云つていました。Herring が最近出した厚い綜合報告の中で、電子ガスの帯磁率のことをとりあげて、色々な論文の批判したり、自分の意見を書いたりしていますね。

Brooks が Nottingham で報告しているのですが 湯川型のポテンシャルで、screening の程度を変えて——実はその決め方が問題なのですが——電子ガスの ferro になる条件を議論しています。screening が零になれば勿論普通の Bloch の結果（Hartree-Fock なら）になるわけですね。ともかく電子ガスでも ferro になることがあるというわけです。つまり電子が全部平行になるとか、或は部分的に平行になるとかで screening が変ること、或は密度によつて ferro が出るかどうかという問題ですが、Green 函数を使つた話です。

吉森； 三沢さんも電子ガスの計算をされているということですね。

志水； 三沢さんの話では dynamical screening を入れたということです。propogator に出てくる matrix element を effective な screening されたものを入れると、ferro になることがあるということらしいですが、僕が前にやつたところでは、電子ガスはそれだけでは絶対に ferro にならぬという感じだつたのですが.——勿論Bohm-Pines の立場での話ですが——もし screening が任意に選べるというのであれば、ferro のような状態をつくることは可能かもしれません。screening というものは、当然電子ガスそれ自

身から決まるものである筈で、勝手に選べるものではないですね。

こういう話は前にもWigner とかPeierls とかが、そういう結論を既に出しているわけで、何も新しいものではなく、唯どうしてferro が出るのかその理由がもう少しはつきり——はつきりしているかもしれませんが——してくれが面白いと思うのですがね。

Cambridge Conference (1)

吉森； Cambridge Conference のお話しをして下さい。

志水； それはNottingham Conference の前から、Mott が Wohlfarth 等と相談して transition metal 関係のConference を Cambridge でやつたらどうかという話があつたらしく、又その当時既に何人かの人をCambridge に呼ぶという計画があつたのですね。それでそれとかみ合せてやろうということになつたわけですね。１９６４年のNottingham Conference の頃には可成り明確になつて来て１９６５年の春にしようということになつたらしいです。これはそれ程international ではないけれど、又主に理論家の中心にしたものですね。そしてこれはMott が個人的に組織したものでprivate conference と呼ばれていたわけで、Band Structure and Ferromagnetism of Transition Metals という名前でした。Mott 1人がsecretary を使つて殆んど全部やつたらしく、program を組んだのもおそらくMott じやないかと思います。

Friedel と Blandin がフランスから来る筈だつたのが都合が悪くなつて来なく、Strasbourg の Gautier や Friedel School の人が３～４人来ていました。アメリカからは丁度、Cambridge に来たHerring，それからローマに丁度来ていた M.H. Cohen，そしてHarwell にいたYafet 更にやはりCambridge にいた超伝導をやつているKadanoff もう一人超伝導やelectron-phonon をやつている名前を忘れましたが、若い優秀な人が来ていましそれから日本からは中嶋さんと僕が参加したわけです。フランスからNoziérsが来ていました。彼は講義をしていました。

吉森； Conference のプログラムは大体でんなでしたか。

志水； 先づMott が開会のあいさつをして。それからHerring が review

をしたのですが、それは先程言つたようにNottingham Conference と大体同じ内容でした。そこで彼はδ－函数型の相互作用の入つたOne band model について分つていることを5つばかりあげていましたが、第1にferro. の状態はBlock function の行列式であらわされるということ、第2にelectron と hole とで対称に議論できるということ、第3にもし電子数とhole 数の積がatom 数より非常に小さいときはhard cores の Fermi gas の問題と同じになるということ、第4に電子数とhole 数が等しいときには完全なferro は決して最低にならないということ、第5はThouless がコメントしてつけくわえたものですが、もしatom 上の反平行スピン電子間の相互作用が∞で、電子の数がatom の数に近いときはground state は ferro になるということでした。

吉森； それから何を話しましたか。

志水； そうですね、s－d interaction のようなindirect exchange は小さいということとか、僕がestimate したのが最小だと云つていましたが、correlation もそんなに大きくないということやstrong s－d hybridization のこと、electron-phonon interaction で band が広がるとか、spin-orbit interaction も重要だということも強調していました。結局ferro の原因はd電子間のexchange interaction が一番本質的あるという訳です。Herring は一貫してずつたband model でやつていますからband model でいいという事を強調していました。

一番面白かつたのは M.H. Cohen が simple cubic structure の金属でtight binding で band を作つてそうしてδ函数型の相互作用を入れて色々な、para とかferro とかspin density wave とかferri という新しいものまで考えてその間にphase diagram まで書いたことです。

吉森； Single band ですか。

志水； そうsingle band です。simple cubic lattice の density of states を計算するわけです。それで電子数を変えたりinteraction の定数をかえたりしていわゆるphase diagram を書く訳です。電子計算機を使つて計算した非常に複雑なdiagram をたくさんスライドで見せていました。

吉森； parameter は二つですが。電子数と、interaction と band の

parameter の比みたいなものとですね。それを色々変えると常磁性，強磁性 spin density wave それから ferri の状態がそれぞれ安定に存在する領域があるという訳ですか。

志水； ただ spin density wave の状態はかなり狭い領域にしか出て来なかつたように思います。

吉森； Hartree-Fock 近似ですか。

志水； そうだと思います。

吉森； ferri の状態とはどういうものですか。

志水； それは simple な ferro が sinusoidal に modulate されている状態でたしかにそれは現象論からいつても安定に存在するのです。いろいろ面白かつたのですが何しろ大変な計算で結局は periodic table で transition metal の group の中で右上の方が ferro になる傾向が強いということを説明できるといつていたと思います。それから Gautier が Fe の中に Co，Mn，Cr，V 等を入れた時に低温で r の値の変化が正になつたり負になつたりするのを Friedel 理論で定性的に合うと説明していたのが面白かつたと思います。

Cambridge Conference (2)

吉森； 志水さんはどんな話を……。

志水； 僕は Cr の色々な磁気的性質の熱力学的な関係をつける現象論を話しました。それは Harwell でも Cambridge でも考えていたことです。

吉森； 現象論というのは……

志水； その前に普通の ferro の出現の条件を Stoner の現象論よりもう少し一般的な立場で考えてみた訳です。Stoner は分子場を仮定しているわけですがもし exchange energy が magnetization の函数として与えられる場合には分子場というものは自然に入つてくるということとか、ferro の条件なんかをもう少し任意の band ではつきりさせるということをやつた訳ですが sinusoidal case では結局 modulation が安定に存在している訳でしかもその modulation は simple な antiferro を modulate している訳ですね。

simple な antiferro は安定か不安定か分らないのですが、Cr の anti-ferro の状態がもしそうだと考えられるならばFermi level に gap が出来てそこの density of states が小さくなつているだろうというのが昔からある Slater 流の考え方でLomer なんかもそういつているのですが、実際に Cr の E－k curve を吟味してみると下るのか上るのか一寸分らない。いわゆる一次元の時には確かに下るのですが、三次元では予測できないのです。simple antiferro の density of states が解つたとして、それが安定か不安定か解らないのですが それがmodulate されると考えてその時に energy を得しなくてはいけない。その為には exchange stiffness con-stant が負であれば恐らく modulate されればされる程 energy は下る訳ですから、それで安定化する。

そういう考え方で出してみますと確かに exchange stiffness constant を負にしておけばsimple antiferro は不安定でも modulation の為の energy の低下によつて安定な解が出てきます。その安定な解について帯磁率率，比熱 sinusoidal modulation の amplitude とか、wave vector なんかも温度の函数として書ける訳です。結局は band model で単純な anti-ferro の density of states というものは分りませんからその温度変化について定量的なことはいえないのですが、それらの間の色々な関係例えば Néel 点とその点における比熱の跳びみたいなものの間に関係がついてその関係を実験と較べてみると非常によく成り立つているということがいえるのです。

sinusoidal spin density wave の理論というのは二三ある訳ですがそういう model と実験の間の gap はかなりある。そういう sinusoidal spin density wave がどういう比熱をもつかどんな性質を示すかということは今の所計算はなかつたと思うのですがそういうものをしたというだけです。定性的には殆んどうまく行きます。

Cr の話になりますが、最近Arrott が最も pure で最も perfect に近い結晶について実験をやつたら Néel 点で今迄 second kind transition だといわれていたのに反して first kind transition で spin density wave の amplitude が Néel 点の上で急に変るそうです。もしその結果が本当だとすると非常に困るわけですが。帯磁率の異方性についても Arrott の求めてい

るのは他の人達の結果と矛盾しているように思えるのでどちらが本当か一寸困るのですけど。Cr は帯磁率が温度とともに2000°Kぐらいまではどんどん上つて行くので、そういうのはnormal な磁性とは違いますから、ferro の場合でいえば、first kind transition が起りやすい条件は確かにあるのです。

吉森； Cambridge Conference では他にどんな話がありましたか。

志水； Harwell の Collins が T_c 以上の paramagnetic scattering の話をして、Curie 温度のなるべく低い Fe 65％，Ni 35％で実験するとeffective magnetic moment が 1.5 μ_B になつてその値は温度に殆んど依存しないのです。1.5 μ_B という値はspin に直せば0.75 ですから band model での値0.5 と locarized model でFe が主にきいているとした値1との中間の値0.75 で、どちらがどうだともいえないのです。Band model でもlocalized model でもどちらでも説明つくだろうとCollins は云つていました。ただNi－Fe は二種類の moment があるわけですから話は一寸複雑で、むしろpure な Ni でやつたらどうかという意見が理論家から出ました。多分それでやるでしょう。

中嶋さんは Kondo's anomaly の話をやられたのですがElliott の所もまつたく同じ計算をしていて同じ所でうまく行かないそうです。

Wohlfarth

吉森； Wohlfarth の話を。

志水； Wohlfarth は彼の先生の Stoner に非常に心酔していました。面白い冗談もいつて僕が英国の生活を本当に有効に面白く暮せたのはまつたくあの人のお蔭げだと感謝しています。一寸せつかちでひきずりまわされて困ることもあるのですけれど、きちようめんな人です。

丁度僕がいる間に theory of magnetism の full professor に昇進する話が出て、Imperial College が Mott と Stoner に referee としての意見を聞いてreferee が良いといつたという話を伝えられgood news だといつて喜んでいました。その Inaugural lecture の時にはまず立食式のパーテイをやつてその後Jones が chairman で Stoner が紹介して

志水正男

Wohlfarth 自身が1時間ばかり今迄の仕事を全部話しました。聴衆はイギリス中のかなり沢山の研究者を招待していました。この lecture は出版されております。

吉森； Wohlfarth の所の member は？。

志水； 物性理論は数学教室にあつて Jones が head で Wohlfarth がその次で Raimes とか Ham とかで Edwards も最近きました。そんなに大きな group ではなく Ph D をめざす大学院学生を一年おきに先生一人に対して一人とるぐらいですね。

Wohlfarth は rigid band model の一番の信奉者でして本当に信じているのです。そう云つても impurity が入れば screening の影響などを考えねばいけないのではないかといつて彼を説得して最近は少し軟化したと思うのですが。それでもまだ Pd の中に Fe を入れた話もみんな band model でやれると考えています。一つ信じたらそれを徹底的にどこまでもやろうというのでしょう。彼は Rayne 達が Pd の中に Fe を入れた時の比熱の data を band model で説明しようという訳です。最近 Pd の d-hole の数が 0.36 になるということが Chicago で de Haas-van Alphen 効果からわかり、Pt でもそれ位の値になるようです。

Cambridge Conference で Harwell の Low は色々な impurity を transition metal の中に入れた時の moment の分布を neutron diffraction で測つていて、Al を Fe や Ni の中に入れた時、Al の atom の上に moment がないとか Al のまわりの Fe の moment は変化しないが Ni の場合はかなり変わるといつたようなことを色々話していました。

Cavendish の Watts という人が Cr と Rh での de Haas-van Alphen effect の結果を話して、Cr では4つのきれいに週期的に変る periods を見つけているのですが、それを Fermi surface とどのように identify するかはまだ分つていません。Rh の結果は band の計算と対照してかなりよい一致が得られています。でも Shoenberg の意見では band の計算でも Ni とか Cu の band の計算を参考にしてやつているからまだ決定的とはいえなくて、自分はまだ完全に信用していないということでした。

Cr の 実 験

吉森； Cr の実験の話に移つて……。

志水； Harwell の Forsyth と Nathans と Cambridge の Brown とが共同研究で polarized neutron を使つて色々うまい方法を考えて neutron diffraction の実験をして各 satellite の intensity を測つています。その結論は……。

吉森； その結論は Néel 点より下、低温の転移点より上の phase では transverse の sinusoidal という結論ですが。

志水； ええ。それともう一つ大きな結論は field cooling した時にその field に垂直に moment が向いている domain が出来やすいということです。さつき云つた Arrott 等の実験ではそれが逆になつています。Forsyth 達の実験は Watts が de Haas-van Alphen effect でやつた field cooling の結果と consistent ですが Watts は更に q-vector は field に平行であるという結論も出しています。Forsyth 達の sample は Bacon が neutron diffraction の実験をしたのと同じ sample を使つているのです。

Neutron diffraction はオーストラリアでもやつていてその結論はちよつ奇妙だと Lomer は気にしていましたが詳しい内容は知りません。ジユネーブの Muller という人が sinusoidal 或いは antiferro になるような Cr の合金の r の値を低温で測つています。その時 r の値が normal な Cr の合金に比べて小さくなるので、これは非常に面白い。

Lomer の所では Cr では orbital para が圧倒的に効いているというので g-factor を static に測ることを計画しているのですがまだ meter は一向にふれないそうです。ねらい所はよいのですが、非常に難かしい実験なのでしよう。そういう意味で Lomer の所は Cr のことをよく考えているのですが Cr の実験を他にやらないのかとたずねると自分の所ではアメリカやオーストラリア程よい sample が作れないのでやらないという話でした。むしろ悪い sample でも g を測ることをねらつているようです。

Watts は de Haas-van Alphen effect で period は測つているのですが、その結果変化から推定できる effective mass を測つていないのです。

ですからFermi surface がどれくらいの大きさかということ即ち電子とかhole の pockets の大体のvolume が推定できないのです。それをやると云つていましたが、Northwesterm の Marcus の所でもやつていますからそちらが早いかも知れません.

アメリカでのお話

吉森； 今、Northwestern の話が出ましたが、三週間でアメリカをずいぶん廻られたというのですがその話を……。

志水； アメリカの大学や研究所でtransition metal のことをやつている所に行つて議論したり、見たりしたのですが、イギリスに比べてアメリカは非常にactive ですね。さつきも云つたように理論家はelectron gas の磁性の問題をかなりやつています。

Bell で Jaccarino に α-Mn の NMRの話を聞いたのですがそれによると α-Mn はpure metal であるにもかかわらずlocalizid moment と itinerant moment が共存しているmodel でうまく説明できるということでした。

志水； Clogston がWとTa の5d族でelectron-phonon interaction の r への影響を考慮して得た結果がband の計算で出したdensity of statesとぴつたりと一致することを見せてくれたのです。WとTa というのは超伝導になりますからそのTc からBCS理論によつてelectron-phonon interaction の係数が分りますね。その係数をestimate すると r に対するelectron-phonon interaction の寄与が分る訳で、observe された r からその寄与を取り除くと生のdensity of states の値が分る訳です。それとband model で計算した値をWの所で合せてみますとTa の所でもぴつたり合うのです。非常に見事な一致だつたと思います。

吉森； band の計算は誰のですか。

志水； MacMillan だつたと思います。Fermi level はTa の場合にdensity of states の peak の所に来るのですが、その時にはelectron-phonon interaction の影響が0.6で、Wの場合にはそのminimum の所に来るのですがその時には0.2となつて、electron-phonon interaction

の影響はdensity of statesのpeakの所で大きく、その底では小さいという結論です。Andersonはmore than half.ではd-bandの中の方だとwave functionがかなりlocalizeしていてlatticeとのinteractionはあまり強くないだろうという考え方からelectron-phonon interactionの影響はあまりないだろうと云つていましたが、かなりきいていることは確かでしよう。こういう方法では超伝導であるものについてはすべてやれる訳で、もうbandの計算もかなり終りの方に来たのではないかという気がしました。

AndersonはHe^3の比熱の実験を自分自身ででもやつているらしいですが、それが温度を下げるとTlogTの項が現れるということでした。

吉森；　温度はどの位ですか。

志水；　0.01°Kくらいだつたと思います。ただ低温の方ではTlogTからもずれているのです。例えばCp/TをlogTでplotすると中途の所でlinearで更に低温にくるとぐつと上つてそのままです。測定があまり確かでないとか…。

おわりに

吉森；　そろそろ時間もきましたのでイギリスの一般的な印象を…。

志水；　非常に雑用は少なく休みものんびり取れて、待遇は良いしそれぞれいい仕事をしているという感じです。アメリカは非常にactiveでその点日本はややアメリカに似ているのでしようね。

あまり他人のやつたようなことでないoriginalな所をねらつて皆やつているような傾向がイギリスは特に強いと思うのです。一寸面白い理論なんか出ても見向きもせず、ものになるまでやつているのは非常によいと思うのですが。それから自分のやつたことに関して徹底的にやつているのでそれに関した文献を非常によく調べています。日本の仕事なんかもよく知つています。

文責（服部　真澄，山田　一雄，柏村　昌平，吉森　昭夫）