

# 物性研だより

第34巻  
第5号

1995年1月

## 目 次

「SOR-RINGの20年」 .....	石井武比古 .....	1
物性研に着任して .....	松下 裕秀 .....	20
第9回物性専門委員会（第15期）議事録 .....		22
物性研短期研究会報告		
○ 「新しいスピルパイエルス物質CuGeO <sub>3</sub> の物性」 .....		26
世話人 本河 光博、内野倉 國光、秋本 純、今田 正俊		
物性研究所談話会 .....		47
物性研ニュース		
○ 外部評価実施計画 .....	竹内 伸 .....	50
○ 退官記念講演会 .....		51
○ 人事異動 .....		53
○ テクニカル・レポート 新刊リスト .....		54
編集後記		

東京大学物性研究所

ISSN 0385-9843

# 「SOR-RING の20年」

石井 武比古

## 1. まえおき

東京大学物性研究所が放射光を用いた物性研究を行うための施設をもち、それを共同利用実験に提供し、数多くの成果を挙げてきたことはよく知られたことである。そこではSOR-RINGが使われている。これからするお話は、SOR-RINGがどのように運転され、どのように利用され、そこからどのような学術的に価値のある成果が生まれたかを解説するものではない。SOR-RINGがいつ、誰によって、どのようにして作られたのか、その性能を誰がどのように向上させたのかを紹介するものである。言うまでもないことだが、そこに登場する固有名詞を紹介するのが目的ではなく、SOR-RINGが物語の主人公である。固有名詞はそこに現われる文章の単なる主語に過ぎない。関係各位には、名前を勝手に引用して御迷惑をおかけすることになるが、私の意のあるところをご理解いただき、御容赦いただきたく、お願い申し上げる次第である。

## 2. SOR-RING

SOR-RINGの20年を回顧してみて、多くのことが忘却の彼方にあることを思い知らされた。人間が物を忘れてしまうことは、素晴らしいことであるが、残念なことでもある。古い記録などをたどりながら、

「ああ、あの時はこんなことをしたんだっけ」

などと思うのである。

“SOR-RING”とは、物性研究所軌道放射物性研究施設に設置されている0.38 GeV 電子ストリージングに付けられた名前である。船に“クインエリザベス”や“富士”というように名前が与えられ、人口衛星が“スプートニク”や“きく”のような名前をもらうのと同様に、多くの加速器には固有の名前が与えられている。“SOR-RING”もそのような固有名詞である。これは、英語を母国語とする人達にはなじみにくいらしく、SOR ringというようにRINGを普通名詞と考えてしまう。

実はSOR-RINGにはじめて電子が蓄積されてから、1994年末で20年が過ぎようとしている。1994年の12月14日に、それを記念し、合わせて、軌道放射物性研究施設（以下SOR施設と呼ぶことにする）の20周年記念式典を行うことにしている。その時に、物性研究所短期研究会を開いて、これまでの研究の発展を総括し、将来に向かって飛躍をはかろうとしている。SOR-RINGからの研究成果、運転時間の変遷、申請課題の採択率の変遷、採択課題の内容の分布等々の学術的側面は研究会報告集の中に印刷される筈である。

“物性研だより”の編集者は、この時期に「SOR-RING、その20年の歩みと現状」という一文

を書くように、と仰せられた。はじめ何も考えずに、二つ返事でOKを出した。しかし、この標題では、学術的紹介のみに終始しそうで、短期研究会報告とかなり重なる。そこで、編集者の武居先生のところに出向いて、

「よた話書いてもいいですか」

と言ってみた。先生は、

「いいですとも。望むところです。」

と言って下さった。

そうは言っても、話のはじめに、SOR-RINGの何たるかを紹介しないわけにはいかない。だから、放射光の専門家と御用とお急ぎの方は以下を飛ばして、次節から読み始めていただきたい。SOR-RINGは我が国で初めて建設されたストーリジリングであり、はじめから光源専用のリングとして設計されたものとしては、世界でも最初のものである。電子ストーリジリングは、あらかじめ高いエネルギーに加速された電子を閉じた軌道に閉じ込めておく装置である。電子は超高真空中に排気されたチェンバー内を運動する。電子の運動方向を曲げる偏向電磁石と、電子ビームが広がらないように適当に収束させる四極電磁石を多数配置する。これらの磁石の磁極の間を真空チェンバーが通っている。ほぼ光の速さに等しい速さで運動する電子が偏向電磁石の作る磁場の中でその軌道が曲げられるときに発射する制動放射が放射光である。電子は、放射光を発してエネルギーを失い、その軌道が収縮するので、失ったエネルギーを補給するために、高周波電場によって加速する。ストーリジリングには、そのための高周波空洞が置かれている。そのほかに、電子軌道を補正するための諸々の磁石や電子ビームの位置を測るモニターなどが入っている。

SOR-RINGに入射される電子は原子核研究所の1.3 GeV 電子シンクロトロン(ES)からもらっている。この1.3 GeVのESには、電子の取り出しのために、速い蹴り出し磁石とパルス偏向磁石が組み込まれていて、ESの中で加速された電子のエネルギーが308 MeVになった瞬間に電子が取り出されるようになっている。取り出された電子は2個の偏向磁石と四極磁石をもつビーム輸送系を通して、かなり離れたところにあるSOR-RINGに打ち込まれる。この打ち込みのために、SOR-RINGには、ESに組み込まれているのと同じ速い蹴り出し磁石とパルス偏向磁石が入っている。それらはESの中のものと同期して作動する。

SOR-RINGには5本のビームラインがある。光源用ストーリジリングでは、ビームラインと言えば、リングから分光器まで光を通過させる経路のことを指す。普通はBLと書き、その後にラインの番号を付して表示する。BL-1には、瀬谷一波岡型分光器が設置されていて、ここでは、光エネルギー領域4~40 eVで、光吸収・反射スペクトルの測定ができる。この実験ステーションは実験棟の2階にある。BL-2には、変形ローランドマウント分光器と、2段円筒鏡型の電子エネルギー分析器をもつ光電子分光実験装置がある。光エネルギー領域30~150 eVにおいて光電子分光実験ができる。BL-3は自由ポートで、利用者が実験装置を持ち込んで測定を行う。現在は、

光刺激脱離の実験が行われている。BL-4には、平面回折格子分光器と2段円筒鏡型電子エネルギー分析器をもつ光電子分光実験装置がある。現在は、光電子分光実験装置を取り外して、大阪大学基礎工学部の菅研究室のグループが2次元の光電子回折分光装置を持ち込み、固体表面の観測を行っている。BL-5には、変形ワズワース分光器があり、生体物質に対する照射効果の実験が行われている。

### 3. 作業グループ発足以前のこと

SOR-RINGの建設に至る経緯がどんなものであったか、詳しいことは私にはわからない。よく知っているのは高エネルギー物理学研究所(KEK)名誉教授の佐々木泰三先生であるが、佐々木先生は、これまでいくつかの解説を書かれていて、そこにその当時のことの記述がある。勿論、私がこれから述べるような、独断と偏見にもとづく“差し障りのある”話ではない。私が詳しいことを知らないのは、私がSOR-RING建設にはじめから関与していた訳ではなかったからである。今なら到底考えられないことだが、SOR-RINGは、利用者グループの有志から成る“SOR-RING建設作業グループ”なる素人集団によって作られたのである。

作業グループのメンバーは、表Iのようなものであった。時期によって若干の人員の変更があった。KEKの宮原教授や北村教授が大学院生であったことがSOR-RINGの20年余の歴史を感じさせてくれる。彼等は、この建設の仕事をテーマにして、修士論文や博士論文を書いたのである。当時、原子核研究所では、放射光(当時はSORといていた)利用者のことをSXグループと呼んでいた。SXとは軟X線(soft x-rays)のことである。表Iにある核研ESマシングループとは、原子核研究所高エネルギー部の加速器グループのことである。悲しいことに、指導者の山口省太郎先生は既に故人となられた。

私がこの道に入ったのは1968年4月のことで、それまでは、アルカリハライドの着色中心やレーザーを用いた銅ハライドの発光の研究をしていた。私が放射光の研究を始めたのは、それに興味があったからではなく、助教授になって移っていった先で、放射光による分光研究をやっていたからに過ぎない。しかし、それまでに、放射光による分光研究の話聞いたことはあった。

「このごろソールというのが面白いそや。行ってみよか」

という恩師の誘いで、学会の特別講演を聴講にいった。この光を使うと今迄わからなかったことがわかるようになるという言葉で、講演者は、それが如何に画期的なことなのかを熱っぽく話していた。その後、小さなセミナーでも話をきく機会があった。

「えっ、それじゃレーザー光より桁違い強い光ということですか」。

私はこんな質問をしたのを記憶している。

「本当かなあ？」

というのが私の感想であった。その道に入ってわかったことなのだが、それはやっぱり嘘なので

あって、輝度を無視した話であった。別のある学会の後で、先生が、

「あの話は何や。具体性が全くないやないか」

と言われた。示されたスペクトルのどの部分から物理的に新しいどのような情報が出ていると主張するのか、全くわからないというのである。それに、ソールだの、バブだの、SXだの、ESだの、デージーだの、アドーネだのディレイドオンセットだの、クーバーミニナムだのと耳慣れない言葉が説明なしにやたらに現われた。後になって、それも無理のない話であったことを身をもって知った。話をよくわかってもらうためには長い前置きをしなければならず、それをしているうちに制限時間がきてしまうのである。私自身、“バブ”とはVUVのことである、と知ったのは“ソール”をやるようになってしばらく経ってからであった。その他にも、1編の論文を書くのにどうしてあのように多数の共著者がいるのか、という素朴な疑問があった。

そのようにして、“インソール”とかいう、何やら訳のわからぬ連中が面白がってやっている“ソール”とかいう研究は、伝統的な光物性の研究者達にはなじみにくいものになりつつあった。そういう時に、私はその道に入っていったのである。私を採用してくださった佐川敬教授は、私がイオン結晶の光電導の実験をやっていたという理由で、光電子分光の研究を始めさせるべく、私を助教授に雇ったのである。私は、当時、自分が年増の助手であり、現状を抜け出すことができるなら、あとはどうでもよいと思っていたから、自分が光電子分光には全くの素人であったことなど、全然意に介していなかった。そのようにして、私も放射光の分光実験に参画するようになったのである。

#### 4. SOR-RINGの建設

しばらくして私が聞かされたことは、放射光の光源としては、ESは特性が良くないので、もっと質の良い光を生み出す、“ストレージリング”というものを建設しなければならない、そのために作業グループを作って準備作業を進めている、ということであった。そのメンバーの1人に大学院生の松川徳雄君（現鳴門教育大学助教授）がいたのだが、彼が修士論文のデータを取るために仙台に戻ったので、代わりに私が作業グループに参加することになった。だから、私が来た時には、話は既に進んでいたのである。

1963年以来、INS-SORグループは、原子核研究所において放射光による分光研究を推進してきた。INSはInstitute for Nuclear Studyの略で原子核研究所のことである。SORはSynchrotron Orbital Radiationの略で、シンクロトロン軌道放射という日本語を直訳した和製英語である。ストレージリングの建設の必要性は、既に、1965年頃から叫ばれており、研究者の有志の方々が集まって、小規模のセミナー等をしながらか、勉強を重ねていたようである。私は、後年、その人達が残っていた青焼きプリントを見つけて、その当時の人々の熱心さに感激したのを覚えている。今の若い人達は、ゼロックス型のプリント機械出現以前に人々が何を使っていたのか御存



知だろうか。今から思うと、青焼きは手間がかかる代物だが、当時はそれでも結構便利だったのである。今日、予算が認められるかどうかわからないのに、多くの若い研究者が、新しい高輝度リングの建設準備作業を熱心に推し進めている姿を見ると、SOR-RING建設前夜の熱気もかくばかりであったか、と想像してしまうのである。

1970年度には、文部省留置金816万円の予算が認められた。この予算が認められたことが、リング建設のための予備実験と建設作業を一気に加速させた。次いで、1971年度から、SOR-RINGの建設を含めた特別設備費と特別事業費の概算要求6,200万円が認められた。だから、1973年度までに、SOR-RINGに使われた建設費は約7,000万円ということになる。このほかに、1970年度に三菱財団より科学助成金として200万円、同じく1971年度に440万円が与えられている。これらは電子ビーム輸送系の建設に使われた。後に高周波加速空洞の更新に科学研究費一般研究Aの3,000万円があてられたので、これまでに挙げた数値を加算しただけで、10,656万円であり、20年の歳月がいかに物価を上昇させたかがわかる。当時作業グループの人達の一部は地方から出かけてきていた。そのための旅費・滞在費にも使えるように、文部省科学研究費総合研究Bとして1970年度に139万円、1971年度に108万円が認められている。また、測定系建設準備も含めて1972年度と1973年度に科学研究費総合研究Aが認められている。そのほかに、物性研究所の共同利用と原子核研究所の共同利用のお金もいただいていた。ちなみに、物性研究所は、共同研究という形で、1970年度から1977年度に至る8年間、INS-SORグループの人達を支援した。中井祥夫、佐川敬、佐々木泰三の各先生方が申請代表者になっていた。物性研究所が放射光分光という新研究分野の勃興に対処するのにどのような考えをもっていたのかを知るには、1987年に守谷所長のもとで物性研究所が出版した“物性研30年-回顧と展望-”の中で第三代所長三宅静雄先生が書いておられる。三宅先生のほかにも、第四代以下の鈴木・山下・芳田・中嶋・豊沢の各所長が放射光分光研究を支援することに腐心されたことを何らかの形で述べている。1972年度からは物性研究所に客員部門(固体物性部門)が置かれ、教授と助教授各1名、常任の助手2名がついた。最初の5年間は放射光関係の研究にあてられた。1973年1月より1975年4月の期間に佐川敬教授と加藤利三助教授(現京都大学理学部教授)が、1975年5月から1977年12月の期間に佐々木泰三教授(当時東京大学・教養学部)と助教授の石井が勤務した。これはSOR-RINGとその測定系の建設にとって、固定的なスタッフを得たという点で極めて多大な貢献となった。

以上をまとめると、SOR-RINGの建設にかかわる経費の出所については、大雑把にみて、次のことが言える。

リング本体等の建設費：文部省特別設備費・特別事業費(含留置金)

三菱科学研究財団助成金

文部省科学研究費一般A

測定器建設費：文部省特別設備費

建設協力旅費等：物性研共同研究

文部省科学研究費総合研究A、B

物性研究所客員部門

これらの予算を要求した機関部局は、東京大学原子核研究所、東京大学教養学部、東京大学物性研究所、東北大学理学部ということになる。このように、SOR-RINGとその測定系の建設に、原子核研究所と物性研究所という二大共同利用研究所が深くかかわっていたことは興味深いことである。原子核素粒子物理学研究者が物性研究に強い興味をもち、物性研究者が本来原子核素粒子研究の手段であった加速器の建設を積極的に支援したものであり、当時の両研究所の所員とその周辺の研究者グループの先見性、スケールの大きさ、心の広さなどを思わざるを得ないのである。また、物性研究所の客員部門は最初このようにして発足したものであること、物性研共同研究がこのように利用されたことがあったことなど、今の若い人達に知っていただきたいのである。

SOR-RINGを格納する建物の建設費は、478㎡に対し、4,590万円程度だったと思う。原子核研究所が、営繕費か何かの費目で、何かの予算の中にもぐりこませてくれたのである。この建物は1972年8月に着工し、1973年3月に竣工した。建設作業にも、作業グループ一同、大いに苦勞して、参加した。少々誇張して言えば、当時着任したばかりの物性研究所の二人の助手佐藤繁氏(現東北大学理学部教授) および渡辺誠氏(現東北大学科学計測研究所教授)の大奮闘がなかったら、あの建物は出来上がっていなかったろう。

SOR-RING建設の作業がどのようにすすめられたかについては、学術的な側面は、“SOR-RING Report”として、No. 1からNo. 7までにまとめられている。No. 1が1971年1月に出され、No. 7が1977年3月に出されている。また、Particle AcceleratorとJJAPに2編の論文が出版されている。それらは、宮原恒昱氏が学位論文として東京大学理学系研究科に提出したものと、北村英男氏が京都大学理学研究科に提出したものに基礎を置いている。SOR-RINGの建設に参加した二人の学生が、そのことの学術的側面を評価されて理学博士の学位を得たことは、この作業に参加した研究者一同の誇りとするところである。ご両人が、現在、世界的に知られた研究者であり、かつ、この研究分野のリーダーであることを思うと、感慨無量である。

SOR-RING Reportには、佐々木泰三先生の筆になる「あとがき」が記されている。当時の様子を知るために、その中から興味ある二・三の文章を抜粋してみたい。

「昭和48年度は特別設備費によるSOR-RING建設の最終年度にあたり、各部の設計・製作試験がほぼ終了したので、SOR-RING Reportは年度内にNo. 3とNo. 4を発行してそれらの報告をもちこむ予定であった。このNo. 4はNo. 3の後書きで予告した内容のうち主としてリング偏向電磁石の設計・製作に関するものを中心に編集したが、48年度後半からの“物価狂騰”のため予定した出版費ではその半分しか入れることができず、また積み残しを生じたので、49年度にもNo. 5を発行してその残りを収める予定である」。(No. 4, 1974, 3. 15)

いわゆる狂乱物価は、1973年秋のオイルショックを契機として、SOR-RING建設中に起こった。我が国の物価は、この時、離散的にジャンプした。SOR-RINGの建設費が三菱財団からの研究助成金を含めて8,000万円弱であったのに、測定系の一部を製作する経費が6,000万円、高周波加速空洞の更新経費が3,000万円と高くなっているのは、部分的には、この物価上昇を反映したものである。その頃、某メーカーの工場が爆発して、或種の石油製品が不足した。SOR-RINGの電磁石の冷却水系には、エスロンパイプを使用することになっていたが、それが入手不可能になった。このため、SOR-RINGの完成には半年の遅れが生じた。真空チェンバーの絶縁用に使用したカプトンフィルムは佐々木先生が、知人を介して、東レより無償で入手した。巷では、トイレットペーパーや洗剤が店頭より消えた。現在の大学院生や助手の諸君が小学生や幼稚園児であった頃、私達は苦勞して新光源の建設などをしていた。その頃、彼等の母親達が目を血走らせて、トイレットペーパーや洗剤を買いに走ったことが思い出される。私には、先頃の米買い騒動がこれに似ているように思えて、面白い。

「SOR-RINGは完成した。

昭和49年度はリング各部の試験をすべて終了した後、ビーム輸送系を組み立て、ビーム転送試験をおこなった結果、リングのすべての部分は正常に動作し、リングに300MeV-360MeVの電子を貯めることを確認した。(中略)

最初の試験は、装置の各部が正常に機能するかどうか、また、打ち込み時の放射線レベルがリング棟内外でどのようになるかを調べるため、とりあえず不十分な真空 ( $1 \times 10^{-7}$  Torr程度) ではじめられた。入射開始と共に真空は悪化し、 $1 \times 10^{-6}$  Torr となった。この真空での decay rate は  $10^{-2} \text{ sec}^{-1}$  と推定されるが、それにも拘らず、開始後数時間のパラメタ調整後ビームはたまりはじめた。ビームのたまる気配を感じると、Control Roomのくらやみの中でオシロスコープの周辺は異様な興奮につつまれ、ビーム転送スイッチを切って光を見るため一斉にリング室へ走る時はまさに先陣争いになった。最初の光、それは今まで見慣れたESのSORに比べれば淡い蛍の光にも似た心細いものではあったが、まぎれもなく空間の1点にとどまって、まばたきもせず輝いており、この5年間われわれがそのために働いてきた希望の灯として十分に明るいものであった。ESマシニンググループの顧問団も作業グループもかわるがわるSORダクトをのぞきみて、手をとり肩をたたきあってこの待ちに待った瞬間の喜びをわかち合った。勇躍して再び入射を試み、貯えた2回目のビームは眼を射るばかりの強烈なもので、北村はこの日の作業日誌に“ギンギンガラガラSORが光る”と書き付けた。後にデータを整理したところ、このとき貯えたのは0.4mA、寿命は約2分であった。(No.5, 1975.3.24)

ES内の電流は、21.2Hzでオン・オフしただけでなく、電子ビームが不安定で揺らいでおり、光はチラチラと速い時間でまばたくように見える。佐々木先生の“まばたきもせず”という表現は、我々の見たストーリジリングからの光の様子を表現して、誠に適切である。現在のSOR-RING



では、運転エネルギーが500MeV、最大蓄積電流が500mA、運転時の蓄積電流が200-100mA、電子ビームの寿命は約6時間ほどである。そして電子ビームエネルギーが380MeVの時の電子ビームの寿命は約10時間である。入射をはじめの日であった12月14日の夕刻、皆さんが準備作業に熱中していた頃、私は最終の電車で仙台に帰った。翌日講義があったのである。後で聞いたところでは、なかなか電子が貯まる様子もないまま入射を試みている最中に、佐藤繁さんか誰かが、

「もしかして、ビームは貯まっているんじゃないかな」

と言ったのが、かの先陣争いの発端になったとか。仙台に帰って、夜中の2時頃、電話のベルでたたき起こされた。電話の向こう側には興奮した声が次々に現われた。冷静だったのは山口省太郎先生で、下戸の先生がやおらシャンパンを取り出したそうである。先生は、はじめから電子が貯まることを、見越しておられたのであった。

SOR-RINGの成功をもたらしたものは最初の予算獲得のために努力された原子核研究所所長武田暁先生（現東北学院大学工学部教授）はじめ多くの研究者の支援にあったことは言うまでもないことであるが、とくに原子核研究所の協力は大変な力となった。現場から眺めると、故山口省太郎先生と山川達也先生（現東北大学原子核理学研究施設教授）の献身的支援とご指導なしにはあの成功はおぼつかなかったと言ってもよいであろう。私も私の同僚もこのことに対し常に感謝の念でいっぱいである。佐藤、石井、山川の3名は、電磁石の製作を担当したので、製作を依頼した住友特殊金属の山崎工場には、何度か一緒に足を運んだ。住友特殊金属はSOR-RING本体の電磁石系を3150万円で請け負ってくれた。このことにも我々は大変感謝している。時の営業部長の大村氏はよく、

「こういうものはモニュメントですよ。商売を考えるとはけません」

と言っておられた。それでも、ある時、

「わしゃ、辞表ふところに入れて、この仕事してるんでっせ」

ときた。山川先生は、

「何を言っているんですか。大住特金がこれっぽちの金でガタガタする訳ないじゃないですか。辞表なんてことをいっちゃいけませんよ」

と一喝した。ずっと後になって、SOR-RINGが完成してから、私は当時の日口課長にこっそり尋ねた。

「どのくらい赤だったんですか」

「まあ、トントンというところですかね」

「やっぱり。商人は、損だ損だと蔵が建ち、ってことですか」

このことは、その後、私の信念に近いものになった。

SOR-RINGの測定系の建設は、物性研究所客員部門の佐川敬・加藤利三両先生を中心に編成されたSOR測定系作業グループによってすすめられた。この作業グループのメンバーは別表IIに

まとめてある。この作業においては、差圧排気系、BL-1の瀬谷浪岡分光器の設計製作、BL-2の、変形ローランドマウント型分光器と光電子分光測定系の設計製作等がなされた。この作業グループは“SOR 測定系レポート”を“文部省科学研究費総合研究Aシンクロトン軌道放射を利用する物性研究資料”としてまとめ、印刷している。その第1部に、物性研究所の豊沢豊、菅野暁、神前熙先生が“SORによる物性研究の展望”について書いておられる。それを読むと、当時、この分野の第一人者達が、放射光を用いた分光研究によって何がわかるのか、何をわからせたいのか、を考えていたか知ることができて興味深い。

SOR-RINGのビームラインは、原則として、1本当たり1実験ステーションというように設計されていた。ビームラインが短いので、実験ステーションで真空の大きなリークがあると、SOR-RING本体の真空中に重大な悪影響を与えるであろう、という考えのもとに、差圧排気系が取り付けられた。その設計製作を担当したのは佐藤繁さんであった。彼は、SOR-RING本体の建設においては電磁石屋であったが、この差圧排気系の製作が縁で、ファトンファクトリー(PF)に移ってから、ビームライン技術の専門家になった。その後彼が手掛けたSiC鏡は世界的に有名になった。

分光器を作ったのは、菅原英直氏(現群馬大学教育学部教授)と加藤利三氏である。菅原氏は幾何学の優れた素質をもち、変形ローランドマウント型の分光器の機構を何の参考文献を見ることもなく、独自に考案した。だからあの縦分散型斜入射分光器は、長らく菅原マウントと呼ばれていた。彼はそのほかにもPFリングやSOR-RINGの分光系の設計製作にその実力をいかんなく発揮した。加藤氏は、今日平面回折格子分光器として世界中を席捲しているPGM分光器の原形となる放射光用の平面回折格子分光器を設計したことで知られている。この二人のチームは強力で、彼等の設計した縦分散型瀬谷波岡型分光器はその後製作された同型の分光器のモデルになっている。ここで製作された分光器は、その後に順調に稼働し、今なおSOR-RINGビームラインの主力機器として活躍している。

BL-2に設置された光電子分光測定系の設計製作は石井が担当した。はじめ東北大学の大学院生で現在弘前大学理学部助教授の匂坂康男氏と二人でこつこつやっていたが、匂坂君が京都大学理学部の助手になって、困ってしまった。そこで、匂坂君の同級生で、当時、宮城教育大学助手であった現在物性研究所助教授の柿崎明人氏に来てもらった。そこから筑波大学物質工学系を経て再び物性研究所に至るコンビが出来上がったのである。この光電子分光測定系建設は、結構難航して、完成までに時間がかかった。そこに強力な助っ人が現われた。表面物性部門の村田好正教授である。村田さんが現われた時は、大変印象深かった。今でもあの童顔である。語り口調はやわらかで、腰が低く、それによく体が動いた。腰に手拭いぶら下げて、よく手が動いた。私は昔から態度がデカかったし、

「あれやれ、これやれ」、

となかば命令口調だったに違いない。今思うと赤面のいたりである。その後、村田研究室から大学院生の村上君（現日電アネルパ）がきた。彼は手先が器用で、酒が入らなければ大変おとなしく、よく働いた。柿崎・村上コンビもよく呼吸が合っていた。長いことかかって、最初にデータが出てきた時、柿崎君が大きな奇声を発した。信じられぬことだが、かなり離れた2階の実験室まで声がとどいて、2階で作業していた連中が事故発生と思い込んで飛んできた。

これらのほかに、佐々木先生のグループが名古屋大学プラズマ研究所の経費で作ったボタール分光器がBL-4に据え付けられた。この分光系は、佐々木先生のアイディアにもとづいて、佐々木先生はじめ当時はまだ名古屋大学プラズマ研究所で客員教授の佐々木先生の助手をしていた菅原氏らが努力して完成させた反射鏡システムにより、SOR-RINGに接続することができた。そこでは原子分子の光電子分光の実験が行われ、PFリングが稼働をはじめるまで、衝突後相互作用の実験をはじめ、興味ある数多くのデータが出てきた。

## 5. SOR-RINGのその後

SOR-RINGは1974年の末に一応完成し、電子ビームの貯蔵に成功したものの、電子ビームの寿命は短く、蓄積電流も小さく、そのままでは到底実用に供せられる代物ではなかった。その第1の原因が高周波加速空洞にあることは明らかであった。最初に用いられた高周波加速空洞はESからのお古で、はじめから、SOR-RINGに適合するように設計されていたわけではなかった。建設予算の不足がそうさせたのである。作業グループはその欠点を熟知していたから、SOR-RINGの建設作業中から、新しく設計された高周波加速空洞と発振器のための予算要求をしていた。幸いなことに、佐々木先生を代表とする1974年度科学研究費一般Aが認められ、大阪府立大学の三谷七郎助教（現在は退官しておられる）、石黒英治助手（現助教）、原子核研究所の福島敏孝技官（現在住友重機）らの努力により、新しい高周波加速空洞とその発振器は製作された。1975年中に調整と試験運転を終了し、1976年3月より新しい高周波加速空洞を用いたSOR-RINGの運転がはじめられた。この間、1975年4月から1976年3月までSOR-RINGの運転は停止されたままであった。詳しいことは省略するが、その原因の主要な部分に経費不足があったことを申し添えたい。いろいろ理由があったのであろうが、要するに、そういうことも起こり得ることを知っておく必要があると思う。

SOR-RING設計時の目標値として、電子エネルギーが300MeV、蓄積電流が100mA、寿命が63分ということであったが、当初この値ははるか彼方の理想の値に見えた。この難問に挑戦していったのが、SOR施設のメンバーであった。

SOR-RINGの建設が始められた頃、SOR-RINGが完成してからその管理運営を誰がやるのか、という問題が浮上していた。原子核研究所側では、SOR-RINGを使ってやる実験は物性研究なのだから物性研究所が面倒見るべきである、という声が大きくなった。物性研究所は1972年4

月に客員部門をスタートさせ、さらに1975年4月に軌道放射物性研究施設を設置し、同年5月、神前熙教授が初代施設長に就任した。そして、同年10月にSOR-RINGとその実験棟は物性研究所に移管された。翌年の1976年5月に軌道放射物性研究施設固有のスタッフとして、菅滋正助教授が着任した。当時、まだ、客員部門がSOR-RINGとその周辺機器の管理をしていたので、新任の若い菅所員は鬼軍曹（つまり私のことである！）のしごきといじめに遭った。舅、小舅もいた。思えば長い付き合いである。作業グループのメンバーは、北村氏を除いて、その後、岡崎に筑波にと去っていったが、菅氏のもとに編成された現場の若いチームは徐々にその力を発揮していった。そして、間もなく、SOR-RINGとそのビームラインは共同実験に開放された。

SOR-RINGの性能を向上させた立役者は、何と言っても北村氏である。今日では、北村教授といえば挿入型光源の... ということになるが、彼はSOR 施設の初代技官となった現KEK技術部長の三国晃氏と共に、施設の発足当時に指摘された諸々の技術上の問題点を克服して、1977年末には電子ビームのエネルギーを380MeVに引き上げ、蓄積電流を100mAに上昇させ、電子ビームの寿命を70分にまでに延ばし、設計目標値を軽くオーバーする性能をもたらした。性能向上のために、何が決定的に重要であったのかは、私には、今以てよくわからない。高周波加速空洞を更新したことは自明の要因であるが、そのほかに、入射に適する動作点（四極電磁石などの磁場強度、高周波加速の周波数など）を系統的に探査していったこと、アルゴンイオンによるスパッタリングの技術を導入し、真空チャンバー内の脱ガスを促進したこと、また延べ運転時間数の上昇と共に真空チャンバーが真真空的に枯れてきたこと（放射光による光刺激脱ガスによって真空度が高くなる）等々が挙げられる。今日、SOR-RINGに実験に来る人、来たことのある人なら誰でも知っていることだが、電子ビーム入射時に、まず、

「3分後にSOR-RINGにビームを打ち込みます」

というアナウンスがあり、全員が実験室を退去した後、実験室入口のドアが閉じられ、

「SOR-RINGにビームを打ち込みます」

というナウンスがあり、入射が始まる。実はこの手順を考案したのが北村氏で、以来20年間このワンパターンが続いているのである。ご存じのように、1980年4月から軌道放射物性研究部門（SOR 部門）ができた。現岡崎共同研究機構の内田章技術課長が、短期間ではあるが、助手でいたのはその頃であったと思う。

北村組は、単にSOR-RINGの性能を向上させただけでなく、RFロックアウト法によって、SOR-RINGの単バンチ運転を可能にした。一般にストリージングの中には、電子が団子のような塊になって運動しており、SOR-RINGの中にはそのような塊（バンチ）が7個存在する。はじめから1個のバンチのみを貯め込むようにすることも原理的には可能であるが、そのためには入射器である原子核研究所のESにも手を入れなくてはならない。RFロックアウトは、電子ビームに適当な高周波電場を与えて、共鳴振動を起こさせ、バンチを次々と平衡軌道からはづしてしまう

方法である。RFノックアウト法による単バンチモード運転は、その後、技官で現KEK 技官部の浅岡聖二掛長に受け継がれ、実用に供された。これにより、東京工業大学理学部の旗野嘉彦教授や立教大学理学部の窪田信三教授のパルス放射光を用いた分光測定が可能になった。そのほかに、蓄積電流をモニタするのに、安定表面をもつ金属面からの光電子の強度を利用する方法を確立した。非常に低い蓄積電流のときに、電子が1個1個死んでいくのに対応して光電流が階段状に減衰するのを観測し、蓄積電流値を校正した。当時の私の目で、蓄積電子数が10個になった時の放射光を肉眼によって検知することができたのを記憶している。

1980年9月にSOR 部門に宮原義一助教授（現原子力研究所 SPring 8 建設共同チーム）が着任した。北村氏がKEK に去って、助手として現大阪大学産業科学研究所教授の磯山悟朗氏と現米国LBL 研究員の西村弘志氏が、技官として浅岡氏が、後に渡辺香史君（後に物故した）が来て、マシングループの体制が確立した。神前研究室の曾田一雄助手（現名古屋大学工学部助教授）もかけもちでマシングループに加わった。彼等はそれまで運転者の腕に頼っていた入射の方法を、できるだけビーム位置等をモニタして、効率良く入射することを試みた。しかし、それが成功したとは思われなかった。新しいより良い動作点を探すためのマシンスタディも行われた。入射時の電子エネルギーを308MeVから380MeVに上昇させる作業は、最初は完全に手動で行われていたが、これを機械的に半自動化した。更にその後、大熊春夫助手（現理化学研究所 SP ring 8建設共同チーム）久谷昌之技官（現東洋精機製作所）の時に、コンピューターによる完全自動化に成功した。

SOR-RINGの性能を向上させる目的で行われたことは、Landau空洞の導入とイオン除去電極の導入、電子ビームの位置モニタの設置、主高周波加速空洞からの反射電波を押さえるためのサーキュレータの設置等々である。これらを実施するには、予算の面からの制約、場合によっては、リングの真空を破らねばならぬ等の作業日程の制約等のため、仕事の進行は遅々としたものであった。しかし、関係者一同の努力は大変なもので、SOR-RINGの性能は少しずつ向上していった。SOR-RINGの運転がルーティン化して、共同利用実験がよく行われるようになると、より高性能化を目指して新たな問題が目につくようになった。それは電子ビームの不安定の問題である。リングの中で電子ビームは平衡軌道のまわりを振動しており、それが電子ビームの断面積つまりビームサイズをきめる。ビームサイズは、光の輝度を決定する最も重要な要因である。電子ビームにはいろいろの原因によって更に余分の振動や揺らぎが付加され、電子ビームが不安定になる。電子ビームが不安定になると、ビームサイズが大きくなり、輝度が著しく低下するのみでなく、実験ステーションで受け取る光の輝度が揺らぐので、測定精度が悪化する。Landau空洞は、電子軌道上の一部に主高周波加速空洞とは別に、高周波電極を挿入し、その電場による摂動によって、バンチ間相互作用によってもたらされる縦振動型の不安定性を抑制するという目的をもつものである。この空洞は低蓄積電流域では動作することが認められたが、実際に使われる高い電流値では動作しないことがわかった。そうすると、Landau空洞の存在そのものが電子ビームに悪影響を及ぼすのみ



であるので、試作された Landau 空洞は、後年、撤去された。

真空チェンバー内では、残留気体中の分子が放射光によってイオン化され正に帯電する。それらが電子に引きつけられ、電子がイオンの雲を引きずって運動することになる。それが電子ビームを不安定にする。これはイオントラッピングと呼ばれる現象であるが、それを除去する一つの方法として考案されたのが、イオン除去電極で、平板電極を電子軌道の近所におくことにより、イオンをそちらに引き寄せて取り除こうとするものである。導入されたイオン除去電極も、若干の効果は認められたが、実用には至らなかった。また、リングのどの位置を電子が運動しているのかを知るとは電子ビームの状態を知る上で大変重要である。これは真空チェンバー内にピックアップ用の電極を置いて静電的に行われる。この頃設置された電子ビームの位置モニタシステムも電子の軌道をきちんと決定できるほどのパフォーマンスをもつに至らなかった。このようにして、SOR-RINGに対するマシンスタディと性能向上のための作業は試行錯誤を繰り返しながらゆっくりしたペースで進んだ。

この間に生まれた一つの特筆すべき成果は我が国ではじめてアンジュレータの実験が成功したことである。すでにPFに移っていた佐々木泰三先生をリーダーとするPF実験グループは、北村英男氏の設計した永久磁石のアンジュレータの試作品をSOR-RINGに持ち込んで、SOR-RINGのスタッフと共同でこの実験に参加して、テストを行った。結果は大成功であり、その成果を基礎にしてPFに永久磁石を用いたアンジュレータが次々に作られて行った。

一方、北村氏がSOR施設に在職中の頃から、神前施設長は、SOR施設の将来計画の立案を行っていた。そして、宮原義一氏が着任した翌年の1981年に新しいストーリジリングの建設を含む将来計画を公表した。その後、この話は紆余曲折を経て、現在の物性研究所高輝度光源計画につながっていった。このため、SOR-RINGマシングループのスタッフは将来計画のためのストーリジリングの設計の作業にも忙殺されることになった。この状態は今も続いている。後述するように、将来計画のすったもんだの中で、物性研究所はKEKのPFリングの中に、SOR施設固有のビームラインをもつことになり、その一つの光源としてアンジュレータが作られた。PFの北村氏のグループとSOR-RINGのマシングループ、特に、助手の磯山悟朗氏とその後助手になった大熊春夫氏等が共同で開発したリボルバー・アンジュレータは後に世界の標準的アンジュレータとして、いくつかの放射光研究施設で採用された。この開発研究の作業は容易なものではなかった。とくに、設計作業の中心になって活躍した磯山氏の努力は大変なもので、心身共に疲労困憊その極みに達したこともあった。磯山氏は高輝度光源の設計にも努力し、光源の特性のシミュレーションなど精力的にこなした。現在、提案されているものは、基本的にはこの設計の延長上にあると言ってよいだろう。これらの作業は、大熊氏が引き継いだ。彼はセンスが良く、なんでもスマートにこなした。とくに、リボルバー・アンジュレータの立ち上げは大熊氏が手がけたので、重大なトラブルが発生すると、今でも、はるか姫路の地から呼び出される。

このようなSOR-RINGの性能向上と将来計画が進行する間、1992年10月、KEKからPFリングの基本設計を担当した、神谷幸秀氏が教授として着任した。助手は、現在、小関忠君と高木宏君に代わり、技官として篠江憲治、工藤博文の両君が勤務している。彼等は従来の高輝度光源計画のうち、光源のデザインをかなり思いきって変更し、電子エネルギー2 GeVの極低エミッタリングの設計をし、現在、高周波加速空洞の試作等の必要なR&Dの作業を行っている。そのかわり、SOR-RINGのマシスタディを徹底して行っている。最近実行された作業は、ビーム位置モニタを設置したこと、新たに設計されたイオン除去電極を導入したこと、新しい動作点の探査を行い、動作点を従来の和共鳴点の近傍より差共鳴点の近傍に移したこと、分布排気ポンプの効果を詳しく検査したこと、ビームエネルギーを上昇させたこと、等々である。それらの総合的結果として、先にも述べた通り、現在エネルギー500 MeV、ビーム電流200 mAで寿命350分であり、エネルギー380 MeV、ビーム電流200 mAでは700分の性能を達成している。また、ビームの不安定性について、その原因の探求が行われ、意外な事実を種々と見いだしているが、それらはまだ公表出来る段階にはない。

このグループの自慢の結果は、新しく開発された、ビーム位置モニターでビームの位置を $\pm 2.0 \mu\text{m}$ の精度で決められるようにしたことである。さらに、それを位置調整電磁石にフィードバックし、電子ビームの不安定が起これば時には、ビーム位置は $\pm 0.1 \mu\text{m}$ の精度で固定できるようになった。この位置モニターとフィードバックシステムは来るべき高輝度光源において極めて重要な役割をもつであろうと確信する。神谷グループは、そのほかにも、SOR-RINGが建設されて以来、はじめて、COD(閉軌道のゆがみ)の測定を行った。そして、閉軌道を設計された軌道に戻した。このため、各実験ステーションでは、光学系を調整し直す必要が生じ、かなりの大仕事になった。また、日常的な電子ビームのSOR-RINGへの打ち込み作業もマシングループの指導のもとで、技術補佐員の原洋子さんが行うようになった。

神谷グループの仕事は、いわゆるプロフェッショナルのする仕事である。ある時、私は神谷氏に言った。

「おい、神谷さん。田舎の診療所もいいもんだろ。大病院ばかりが能じゃねえよナ」。

「そうですね。どんな小さいリングでも、楽しめるんですよ。楽しみを見つけられなきゃ、プロじゃないです」

私は神谷氏を大病院の胸部外科担当の部長から過疎地の診療所にやってきた医師になぞらえたのである。心臓移植などの派手な仕事をし、専門知識と技術を磨く日々の生活から、あそこの家の嫁さんが産気づいたとか、こちらの婆さんが足の骨折ったとか、毎日々々がそういう仕事に追われる。私は小規模加速器には、加速器科学の神髄が詰まっていると信じている。神谷氏はあっさりとそれを認めた。

## 6. その後のビームライン

SOR-RINGが完成した時、実験ステーションを2基作ったことは既に述べた。この段階でBL-3、BL-4、BL-5の5本のビームラインは実験装置で埋められてはいなかった。BL-4が、後に、佐々木先生らのグループによって、気体の分光研究用として整備されたことも既に述べた。SOR施設が設置されたとき、施設長がその運営を諮問するため、軌道放射物性研究施設運営委員会が置かれた。何回目かの委員会の席上、SOR施設のメンバーのための専用ビームラインを作ることが話題になった。それまでは、SOR施設のスタッフメンバーと言えども、一般の利用者と同様に、規定に従った手続きをして、SOR施設運営委員会の審査を経てビームタイムが決められていた。いかに職務とは言え、単に共同利用実験の世話をするのみでは、研究の実績は上がらないし、つまらないだろう。それに、そういうことをしているだけでは、スタッフメンバーの腕は磨けないし、最先端の学問的知識も身に着かないのではないか。これではスタッフメンバーの士気にも悪影響をおよぼす、と言うのである。私はこのような意見に必ずしも賛成ではないのであるが、とにかく、スタッフメンバーが自由に使えるビームラインを1本所有すべし、ということになった。これにはそれまで照射効果の実験に使われていたBL-3が当てられることになった。

BL-3には、SOR施設が村田研究室と組んで、固体表面研究用の角度分解光電子分光の実験装置が設置された。当時村田研究室の技官で、現在、菅研究室の助教授である大門寛氏がこの実験装置を用いて、光電子回折の実験を行った。ここでの自慢は、平面回折格子分光器で、真空チェンバーの中味を物性研究所の工作室で製作したという、自作のものであった。入射スリットを用いず、入射光が平行光線（光源が無限遠方にある）であることを仮定するこの分光器を、光源からの距離の短い光学系に使用することは、たとえ平行光線に近い放射光を用いる場合であっても、無理があった。そのために、関係者は対策に苦勞したようである。

SOR-RINGが共同利用実験に提供されるようになって間もなく、東京大学教養学部の伊藤隆教授から、佐々木先生を介して、生体物質に対する紫外線の照射効果の実験をするためのビームラインを作りたい旨の話がきた。SOR施設の菅氏が窓口になってこの話がすすめられ、BL-3に、この実験ステーションが作られた。後に、BL-3がSOR施設専用実験ステーションになったので、生物グループの実験ステーションはBL-5に移された。BL-5のビームラインには、伊藤教授らが獲得した予算を使って、伊藤グループによって製作された分光器を含む光学系が据え付けられた。このビームラインには、変形ワーズワースマウント分光器が設置されている。変形ワーズワースマウント分光器は、直入射分光器の一種で、入射光が平行光束であることを仮定する。この分光器は、既にBL-1<sup>1)</sup>において使用されていたものと同じ型のものであった。

BL-5では、その後、生体物質への照射効果を研究するグループによって、今日にいたるまで、活発な研究が続けられている。伊藤教授が退官されてからは、生物グループの世話は立教大学理学部の檜枝光太郎教授や国際基督教大学の高倉かほる講師らに引き継がれた。このビームラインを使

用する研究者達は、彼等の実験室で試料を準備し、BL-5に持参して照射を行い、照射した試料を研究室に持ち帰って、クロマトグラフィーとかESRとかの手段を使って照射効果を調べている。伊藤教授にはいろいろなことを教えていただいた。細菌が細胞に悪さをする過程についての話、男と女の血液の相性の話等々である。ある時伊藤先生がおしゃった。

「石井さん、物理の人は論文書くのが下手ですね。英語の文章がまずいですヨ」。

「そうかも知れませんね」。

「物理の人はね、石井さん、数式を使ったり、数理的な思考をしたりするから、言葉だけで事象をきちんと説明する必要がないのかも知れない。私は文章だけが頼りですからね。下手くそに書いたら、他人にわかってもらえないんですよ」。

成程、成程、成程、である。結局、物理の人間は頭を使うことが少ないのではないかと、言われたような気がした。この話をした時、私達に酒が入っていたのは勿論である。

先の話で出てきたBL-1'とはBL-1の差圧排気系の直後で光のはね上げ鏡の後にあるポートのことである。そこには、鏡にあたらなくて通過する光を取り出すためのビームラインが接続されていた。神前研究室の近藤泰洋助手(現東北大学工学部助教授)、大学院生の柳原美廣君(現東北大学科学計測研究所助教授)、井上恒一君(現大阪大学産業科学研究所助教授)らがアルカリハライドの発光スペクトルや希ガス固体の発光スペクトルを測定するのに使ったものである。今は全く使用されていない。

ところで、SOR-RINGに最初に設置されたBL-1とBL-2の実験ステーションは、その後、菅氏のグループによって整備された。BL-1は、瀬谷一波岡型分光器という確立されたシステムを採用したので、基本的に光学系を改良する余地はなかった。ただ、細かい点で使い勝手を良くするための作業は必要であり、また、光学素子の交換、真空排気系の保守等々、常に気を配っている必要があった。この地味な作業は技官の藤沢正美君によってなされてきた。今日この実験ステーションが快調に動いているのは、藤沢君の努力の賜物である。

BL-2の変形ローランド型分光器もまた、基本的に改良の余地のない装置であった。こちらでも、光学素子の交換とか、排気系の保守等の作業があったほかは、差圧排気系のバルブなどに小さな変更を加えたのみであった。しかし光電子分光実験装置は、その後、大幅な改造が行われた。菅氏は最初に作られた自家製の2段円筒鏡型の電子エネルギー分析器をより機能性に優れた、Varian社製の2段円筒鏡型の電子エネルギー分析器に代えた。このエネルギー分析器は、部分的には角度分解計測ができるようにするために、中間スリットに回転機構をもたせ、かつ、オージェ電子分光のための電子銃をもつ汎用性の高いものである。そのために、電子エネルギー分析器を収納するアナライザー槽も作り替えた。この実験ステーションは、菅氏とコンビを組んだ助手の現広島大学理学部教授谷口雅樹氏によって、ハードウェアの面で使い易くなるように、改善されていた。この菅-谷口チームの細心の努力によって、やがて、このビームラインは非常に使い勝手の良

い完成度の高い光電子分光測定系になっていった。彼らが次々に行った改良の第一は、試料を試料準備槽から測定室に送り込む試料転送機構をペローズによって真空中に封入される形のものにかえたことである。これにより試料転送時の真空度の悪化がなくなった。また、試料準備槽の上部にエアロックシステムと試料庫を設けて、一度に多数の試料を保存し、真空を破らずに試料を交換できるようにした。これにより試料交換に要する時間が著しく短縮されただけでなく、実験の質が良くなった。さらに、試料ホルダーのシステムをVarian社製のものに交換した。このために、試料ホルダーの上下駆動機構を作った。試料ホルダーのシステムはX-Y移動、上下移動、両軸まわりの回転を可能にし、そのために、試料の交換と位置合わせが容易に行えるようになった。真空度も良くなり $10^{-11}$  Torr 台の圧力下での測定がルーティンになった。磯山悟朗氏をして、

「先生、こんなデカイマルチャンなんて、今どき博物館にしかありませんよ。原子核実験の方じゃ、とうの昔に死んじゃってますよ、

と言わしめたマルチチャンネル計数システム一式はパーソナルコンピュータシステムに交換された。それもずいぶん昔話のように思える。

計測の方法を整備したのは谷口氏の後にBL-2の担当になった助手の曾田一雄氏である。曾田氏は最後に残されたソフトウェアの改善を行った。彼の書いたプログラムにより、電子エネルギー分析器の電子透過率のエネルギー依存性も取り入れたエネルギー分布曲線を作れるようになった。曾田氏は、このプログラムを完成させるのに、何度も何度も光電子スペクトルを測定して必要なデータを得、長い時間をかけて仕上げた。また、定始状態スペクトル(CIS)の測定を自動化し、共鳴光電子分光実験の効率を極めて高くした。今では、これらの曾田プログラムは、他の施設のビームラインでも使われていると聞いている。分光器の中に組み込んで鏡から放出される光電子を用いて入射強度をモニタするシステムは、大阪府立大学工学部の塘研究室(現会田研究室)に負うところが大きい。

現在の測定系スタッフは辛埴助教授、手塚泰久助手、藤沢正美技官である。彼らはBL-2においても良い仕事をしている。変形ローランドマウント分光器のスリット系を改良し、この実験ステーションで測定されるスペクトルの分解能をかなり高めた。

BL-4の佐々木先生の変形ポダール型分光器では、原子分子の光電離等の実験が精力的に行われていたが、筑波のPFが発足してから、分光器やこれを管理してきた三国技官共々筑波に移っていった。後にわかったことであるが、統計的に見て、この時にSOR施設からのアウトプットは一時的に離散的に低下した。その後、BL-4には、BL-3にあった平面回折格子分光器と光電子分光実験システムを移した。この分光器にはいろいろ不具合があり、谷口氏や藤沢君氏が思い切った改善を試みたが、今以て使い勝手が悪い。しかし、光電子分光測定系は、理学部の藤森研究室の協力もあって、辛所員のグループが遂に稼働状態にした。そこからはcBNの内殻励起に関する非常に興味あるデータがでてきた。それでも、現在は、その測定システムをはずして、菅研究室



が光電子回折の実験をしていることは既に述べた。BL-3では、柿崎所員が、BL-1'にあった変形ワーズワースマウント分光器と筑波からもってきた光電子分光測定系を使って、液体金属の光電子分光実験を大変苦労しながら行ったことがあったが、今では、オープンポートにしている。東北大学電気通信研究所宮本研究室御用達のビームラインと言う観を呈している。

最後に、SOR-RINGの共同利用実験への提供とPFビームラインの建設、そして将来計画の仕事を可能にするために、SOR施設と部門の職員達が行ってきた見えざる重要な貢献について述べておきたい。共同利用実験者がいるかぎり、施設に備えられている実験ステーションは常にベストコンディションに保っておかねばならない。つい先日まで、1日3回の電子ビームの打ち込み作業はマシングループも測定器グループも行ってた。また、共同利用実験を訪れる人達の事務的な世話も彼らの役目であった。要するに、外から来る研究者にそのような便宜一切を提供していたのである。従って、SOR施設のような小さな施設に属する職員に課せられた“duty”はかなり大きく、常に、不定期に、動員された。私はその中でとくに渡辺香史技官（故人）、篠江憲治技官、藤沢正美技官、森多美子助手の貢献を上げておきたい。かれらは日夜これらの仕事のすべてに没頭した。そのほかにも小林洋子さんの献身的な仕事も忘れてはなるまい。

## 7. SOR-RINGからのアウトプット

SOR-RINGにはこれまで多くの共同利用実験者が訪れた。ここからは、新物質についての光学的キャラクタリゼーション、強相関電子系の電子状態解析、固体表面・界面の電子状態解析等、その時々々の先端のトピックスが研究対象になってきた。固体の極紫外域での吸収反射分光、光電子分光、生体物質の照射効果の研究が3本柱であった。既に述べたように、それらの詳細は、本誌の他の号に現われるであろうから、それらのをここで紹介することはしない。現在、柿崎明人所員、木下豊彦助手（現在分子科学研究所助教授）、原沢あゆみ技官をはじめ、共同作業に参加した多くの人達の汗の結晶として完成し、我が国での最先端のデータを生産している筑波分室についても同様である。辛グループのはじめた軟X線VUV蛍光実験もまた最先端のものであるが、同様に割愛させていただく。

最後に原稿準備に絶大な協力をして下さった森多美子、山田祐子のお二人に感謝する。

(1994年11月10日記)

表I SOR-RING作業グループ

(註) 所属は当時のもの

氏 名	所 属	担 当
佐々木 泰 三	東大教養・核研	責任者・真空
渡 辺 誠	東大物性研	B T・安全
佐 藤 繁	東大物性研	電磁石
宮 原 恒 昱	東大教養	軌道計算・B T
北 村 英 男	京大理・東大核研	B T・真空
石 井 武比古	東北大理	電磁石
山 口 重 雄	都立大理	制御
三 谷 七 郎	大阪市立大原研	R T
石 黒 英 治	大阪市立大工	R F
菅 原 英 直	東北大理	真空
永 倉 一 郎	群馬大教養	真空
井 口 裕 夫	教育大光研	真空
遠 藤 真 広	放医研 (東大教養)	真空
杉 浦 孝 雄	東大教養	真空
芝 口 孝 雄	教育大光研	真空
松 川 徳 雄	東北大理	電磁石

核 研 E S マ シ ン グ ル ー プ

氏 名	所 属	担 当
山 口 省 太 郎	東大・核研	全 般
山 川 達 也	東大・核研	電磁石・制御・B T
片 山 武 司	東大・核研	軌道計算・B T
福 島 敏 男	東大・核研	R F
辻 川 浩	東大・核研	真空

表II SOR測定系作業グループ

氏 名	所 属	氏 名	所 属
佐 川 敬	東大物性研 (客員部門)	神 前 熙	東大物性研
加 藤 利 三	東大物性研 (客員部門)	井 口 洋 夫	東大物性研
渡 辺 誠	東大物性研 (客員部門)	豊 沢 豊	東大物性研
佐 藤 繁	東大物性研 (客員部門)	菅 野 暁	東大物性研
石 井 武比古	東北大理	近 藤 泰 洋	東大物性研
菅 原 英 直	東北大理	波 岡 武 年	教育大光研
匂 坂 康 男	東北大理	中 村 正 年	教育大理
永 倉 一 郎	群馬大教養	小 塩 高 文	大阪市立原子力
山 口 重 雄	都立大理	石 黒 英 治	大阪市立工
佐々木 泰 三	東大教養	中 井 祥 夫	京大理

## 物性研に着任して

松下 裕 秀

平成6年7月16日付けで、名古屋大学工学部から附属中性子散乱研究施設に着任しました。御存知のように、この施設は平成5年4月にスタートし茨城県の東海村に昨年新しく研究・宿泊棟が完成して動き出していますので、私の主たる勤務地は当地です。したがって、六本木の本部や研究棟には今のところ所員会を含め月に2、3日程度しか顔を出すことができず、所の現状をよく把握できないばかりか、職員の皆さんの顔さえもなかなか覚わらない状況が続く、やや歯がゆい思いをして居ります。尚、今年度いっぱい大学院生の研究指導等のため名古屋大学との併任を仰せ付けていますので、東海と六本木、名古屋の間を行ったり来たりの生活が続きます。

さて、私は高分子物理化学を専門としていますが、今まで在籍していた名古屋大学工学部合成化学・物質化学科の1つの研究室（永沢満・野田一郎教授）で、学生・職員として20年近く過ごして来た典型的な“世間知らず”な人間であります。専門をもう少し詳しく言うと、共重合体やポリマーブレンド等、高分子多相系の凝集状態の分子論ということになりますでしょうか。この研究を強力に推進させるためには、重要なポイントが2つあるように思えます。ここでは、それらとこれまでの私の研究の進め方、そして現在の立場との間の相互の関係を述べることで、自己紹介に替えさせて頂きたいと思えます。

1つは試料作りです。高分子物質は一般に分子量分布を持ちますし、共重合体になるとこれに組成の分布も加わって問題が複雑になるので、物性分子論研究のために“使いものになる試料”を手にするのは容易ではありません。また逆に言えば良い試料を手に入れば、面白い研究に続く道が拓けます。これまで私はこの試料作りに大きなエネルギーを注ぎ込んで来ましたが、今後もこの姿勢は続けるつもりで居ります。

もう1つは凝集集中の分子の姿を観るための中性子散乱実験です。私の中性子との出会いは比較的早く、博士課程の学生時代、1981年の秋です。その頃、日本にはまだ強い線源を持った中性子散乱施設はなく、海外に出かけなければやりたい実験が進みませんでした。当時の指導教官であった永沢満先生が先見の明と度胸がある方だったので幸いして、“散乱”というものをろくに知らない私を、米国の国立標準局(National Bureau of Standards (NBS), 現 NIST) に送り出して下さいました。最初は溶液中の高分子鎖の形態の研究から入りましたが、やがて凝集系に興味が移ってきました。何度かNISTに通って成果も出始めましたが、そのうちに原研3号炉改造(しかも冷中性子源付)の話が耳に入ってくるようになり、そして間もなく(間違いなく多くの人の莫大な努力の結果)現実になりました。私も伊藤雄而先生が中心になって開発した小角散乱装置(SANS-U)の装置グループ(IMT)に入れて頂き、それまでの経験をもとに開発に際して意見を出したりもしました。続いてユーザーとして東海村へ通っている間に気がつけば装置責任者になっていたという

次第です。

こちらに移ってみると、意外なことに形の上で私の研究室に所属することになった今井正幸助手を除けば、中性子散乱グループはもちろんのこと、物性研究所にも、そしてこの10月より担当させていただくことになった、大学院理学系研究科化学専攻の先生方の中にも高分子を専門としている方がほとんどいらっしゃいません。これには当初戸惑いを感じましたが、現在では周囲の方々に“こんな研究分野もありますよ”ということを知って頂くと同時に、皆さんの研究の動向や面白さを知って自分の幅を広げる良い機会であると考えています。

中性子散乱研究施設で装置責任者として約5ヶ月間動めてみて、全国共同利用研の意義の大きさと仕事の大変さを既に実感していますが、やはりここでも多種多様なサイエンスの情報が得られ、これをできる限り身に付けようとどん欲に毎日を過ごしています。しかし、忙しさに紛れて自分本来の仕事を忘れる訳にはいきません。今後は今までの路線は続けながらも、複合系合成高分子が非平衡条件下で起こす自己組織化、すなわちパターン形成のメカニズムを追うことに仕事の中心を移していきたいと考えています。それにつけても、私は基本的には化学の実験屋ですので、実験室がないことには新しい仕事を生み出す術がありません。残念ながら東海村の研究施設には、現地の事情にて当分の間実験室ができる目処が立っていません。従って、試料の準備は当面六本木地区でするより他ありません。そこで赴任当初からの希望を聞き入れて頂き、A棟地階の化学処理室の一部を少し改装して、試料準備の基本となる化学の合成実験をすべく準備を進めて居ります。そのうちにその部屋の前をお通りになる場合、時には“鼻なれない”臭いがするかもしれませんが、どうかお許し下さるようこの誌面を借りて前もってお詫びしておきたいと思います。

このように共同利用研の一員としての任務と、自分自身の研究を推進し発展させていく責務とがありますが、いずれにしろ六本木地区、東海地区の事務部や研究スタッフの方々の多大なお力を借りなければならぬと思います。何分、色々な事情に不慣れのため特にここ暫くは皆様に御迷惑をおかけすると思いますが、職務を全うするべく最大限の努力をする所存ですので、何卒ご容赦くださると同時にご支援くださいますよう心から御願い申し上げます。以上簡単ではありますが自己紹介を兼ね着任の挨拶とさせていただきます。

## 第9回物性専門委員会（第15期）議事録

日時 1994年6月23日（木） 13:00～17:00

出席者 石井武比古 遠藤 康夫 興地 斐男 勝木 渥 川村 清  
国府田隆夫 小林 俊一 小松原武美 竹内 伸 張 紀久夫  
長岡 洋介 中嶋 貞雄 藤田 敏三 目方 守 安岡 弘志

[前回議事録の承認] 前回（第8回）議事録を承認した。

[報告]

### 1. 学会会議報告（中嶋）

○物研連報告「日本の物理学の展望」が出来上がった。

○第118総会は5月に開かれた。第4部関係では「数理科学の新しい方式の国際研究所」の設立の提言がとりつとられたのでそれが提案される。総会で満場一致で可決されれば政府へ建議される。その他、女性研究者をふやすべきだということや、公的機関の情報公開が議論されるだろう。

○内規の改正が議論されている。

研連メンバーの任期を3期9年までとすることが決まった。ただし、例外として

(1) 会員

(2) 国際学術団体の執行委員

（例、IUPAP各コミッションメンバー）

(3) 余人をもって代え難い者

については研連から会長に申し出ることによってこれを超えることができる。ただし、第16期は過渡期に当たるので柔軟に対応する。

○科研費の新項目を募集中である。

○化研連からサイエンスミュージアム設立の要望がでた。物研連も共同で提案することになった。これについては、物研連の会議を開いているひまがなかったので、アンケートで委員の意見を聞いたところ、60%の回答があり、全員が可であった。

○申し送り事項（第4部）

科学教育の振興策、研連の再編成とくに地球科学などの定員見直しを申し送る。

○各専門委員会で第15期の研連活動をまとめて、学会誌などに報告してほしい。

○IUPAPの強化について物研連からも提案してほしい。

○国際学術協力についても具体的案をとりまとめてほしい。

○日本におけるpure physicsとapplied physicsの関係を改善する方策を考えてほしい。



たとえば、第16期に物研連メンバーとして応用物理学会からの推薦委員も入れるようにしてはどうだろうか。

## 2. 物性研究所報告（竹内）

- 人事 新所長として竹内伸が再選された（2月）。新所員として上田（理論）、高木（凝縮系）、松下（中性子）の3名が決まった。所内昇格が3名あった。理論部門所員の人事が進行中である。伊藤氏（中性子）が山梨大に転出する。
- 予算・設備 平成6年にスーパーコンピュータを導入し、来年1月から稼働する予定である。東海村の研究員宿泊設備は9月頃から使用できる。平成7年度の概算要求としては、柏キャンパスへの移転を前提とした全面改組計画、液化器更新を要求する。
- 改組計画に関する冊子が6月に出来上がった。内容は前とほとんど同様であるが、組織の形態を変えた。すなわち、8部門を4大部門に再編成した。大部門の内部の分野変更は、学内措置だけでやれるので、概算要求を伴わないですむ。  
（問）物理学史教育資料の保管場所は確保されているか。  
（答）物性情報センターの中にスペースを作る。

## 3. 基礎物理学研究所報告（長岡）

- 建物 埋蔵文化財調査が終わり来月末から建設を開始する。来年6月に竣工し、宇治との合流が実現する。なお、古い建物は残り、湯川記念館として保存する方針である。
- 設備の充実 コンピュータ（レンタル料2億円/年）を平成7年度概算要求1位で要求する。事務再編による他に職員1名増を要求する。部門増の要求は平成6年には認められなかったが、今後も要求を続ける。時限付き部門増は避けたいので、大部門化（3～4大部門）をはかり、時限をなくすという方法で2部門の純増をはかり、平成8年度には実現したい。

## 4. 物性グループ（長岡）

物研連と同じ任期なので、このたび新選挙方法により100人委員（定員365人）の選出をおわり、100人委員の投票により物性委員20名を選出した。有効票214票であった。上位7～8人を物研連委員として推薦する。

### [議 事]

#### 1. 物性研究拠点整備計画（長岡）

- 九州の年会で検討会を開いたところ、50名の参加を得た。批判がかなりあったので、改訂案を各大学に再配布した。多くの反響があり、あらためて、WGの委員（安岡、家、深井、小松原）

と共に再執筆した。したがって、前回案からかなり大幅な変更を加えた。

- あらたに強調した点は、物性研究では、個々の研究者の創意・工夫が重要であり、そのためには基盤全体のレベルアップが必要なのであって、中型設備のレベルアップはその補助と位置づけるということであった。
- 中型設備について個々の大学名を挙げるのは計画をしていて名前が挙げられていないグループにとってマイナスとなる場合もあるという批判もあり、中型設備に重点をおき、大学名は削除した。全体の予算規模は5年間で300億円程度とした。さらに、改訂案に対する意見として、後継者養成の視点を加えるべきである。小型設備は順番に整備するという点を強調しない方がよい、物性評価施設は各大学におくべきで物性研の名を挙げて強調すべきでない、などの意見もあり、それらを取り入れた。

以上の報告に基づき議論に移った。

○Q：大学名は落としてあるのに予算規模の根拠があるか。

A：ベースになる論理はある。

- 大学名を落としたために生々しさが消え、具体的インパクトが弱くなった。補強する方策はないものだろうか。
- 物性研設立当時は、物理と化学が共存していたのに、この文案には化学分野に対する目配りが不足していないか。
- 化学、素粒子、原子核に対して物性物理としての団結を示す必要があるのではないか。
- 人の流れについての視点が欠けている。
- これを文部省が取り上げたときに備えて、各大学で内部資料を用意しておくことが重要だ。
- 基盤整備費の基盤として科研費で調査した東大理学部長の膨大な資料はある。
- 具体名が欠けたために概算要求としては後退した形になっている。
- 具体的に概算要求を出すときに、この計画に沿っていることを明記して出せるだろうか。
- 大学としての概算要求の枠組からは別のものとして出す必要がある。
- これを具体的に概算要求するときの唯一の可能な方法は物性研からの要求として出すことである。
- 新しい方式の研究所あるいは研究組織としての位置づけが必要である。
- 実現の方策について危惧の念が多かったが、これについては文部省との交渉過程で考えて行く。

以上の議論の後、今後の取り扱いについて

1. 明日の物研連の了承の下に、対外報告書として出していく
2. 次期へ引き継ぐ
3. 物性研日より、物性事務局報として半公開することにより今期としての報告をまとめて、対外報告書としては次期に引き継ぐ。

の3つの方法を検討し、第3案を進めることにした。その際、実現への方策も十分次期に議論してもらうことを期待したいという意見が出た。

## 2. 大型設備計画（石井）

将来計画を含む報告書を執筆中である。放射光については石井が、中性子については遠藤が作業を進めている、という報告に続き、次のような議論があった。

○Q：中性子は高エネルギー研究所での充実を期待するのか。

A：どこでもよいが直轄研が望ましい。

○放射光についてはPFRINGの高輝度化が完成した後も役割分担をして使うことになろう。

○TRISTAN用アキュムレータの放射光利用も議論したい。

## 3. 物性研協議会委員選挙

任期は平成6年9月1日～平成8年8月31日で任期開始時に60才以下である者を選出する、という方針のもとに無記名投票を行い、次の5名を選出した。翌日の物研連本会議に提案し、承認された。

斯波 弘行、川村 清、遠藤 康夫、張 紀久夫、興地 斐男

以 上

## 物性研短期研究会報告

### 新しいスピンプイエルス物質CuGeO<sub>3</sub>の物性

世話人 東北大・金研 本河光博  
東大・工 内野倉國光  
青山大・理工 秋光純  
東大・物性研 今田正俊

スピンプイエルス転移は古くて新しい問題である。S=1/2の一次元スピン系において、ある転移温度以下でベアリングを起こして一重項状態におちいるというこの現象は、10数年前にTTF-Cu(or Au)-BDTやMEM-(TCNQ)<sub>2</sub>などの有機物で発見され、当時重要な問題としてアメリカやヨーロッパで精力的に研究された。しかしベアリングに関する基本的なことは理解されたものの、構造が複雑であることや試料がもろいなどの欠点があり、ベアリングを起こす過程でのダイナミクスや磁場中での振る舞いなど十分調べられないまま今日に至った。ごく最近内野倉らによって発見されたCuGeO<sub>3</sub>は無機物であり、構造が比較的単純で丈夫なことから、スピンプイエル転移の問題を詳しく調べるのに非常に適していると思われ、わが国が中心となって、中性子散乱、ラマン散乱、磁気測定、ESR、NMRなどの研究が一気に進んだ。その結果、転移の起動力であるフォノンのダイナミクスをはじめ、いろいろのことが実験的にも理論的にも理解されるようになった。この研究会に於いてこれらの問題を総合的に討論し、深い理解を得ることができたのは大きな収穫であった。なお研究会は大変盛況で聴衆が部屋に入りきれないほどであった。プログラムと要旨は以下の通りである。

### プログラム

11月1日	13:00~17:40	
13:00	挨拶	本河光博(東北大・金研)
13:05	CuGeO <sub>3</sub> のスピンプイエルス転移	内野倉國光(東大・工)
13:40	What is Spin-Peierls Transition?	福山秀敏(東大・理)
13:30	有機物におけるスピンプイエルス転移	十倉好紀(東大・理)
15:20	SrCuO系のスピングャップについて	T.M.Rice (E.T.H)
16:00	休憩	
16:20	電子回折法によるCuGeO <sub>3</sub> のスピンプイエルス転移の研究	寺内正己(東北大・科研)

16 : 40	中性子散乱によるCuGeO <sub>3</sub> の研究	西 正和 (東大・物性研)
17 : 00	コメント	秋光 純 (青学大・理工)
17 : 20	高分解能中性子散乱による格子異常の研究	新井正敏 (神戸大・理)
17 : 40	MEM(TCNQ) <sub>2</sub> におけるスピンパイエルス 転移の動的振る舞い	長坂啓吾 (東京理科大)
18 : 00	懇親会	
11月2日 9 : 10~17 : 15		
9 : 10	M相の置換効果 ; Cu <sub>1-x</sub> Zn <sub>x</sub> GeO <sub>3</sub> の磁化曲線	長谷正司 (東大・工)
9 : 30	1次元量子スピン系の不純物効果	網代芳民 (福井大・工)
9 : 50	CuGeO <sub>3</sub> のフォノンラマン散乱	宇田川眞行 (広島大・総科)
10 : 10	CuGeO <sub>3</sub> のラマン散乱	水貝俊治 (阪大・理)
10 : 30	CuGeO <sub>3</sub> のラマン散乱と磁気励起	黒江晴彦 (上智大・理工)
		関根智幸
10 : 50	休憩	
11 : 10	スピンパイエルス状態と反強磁性状態の競合の理論	加藤信行 (東大・物性研)
		今田正俊
11 : 30	1次元交代ボンド量子スピン系-量子モンテカルロ法 による研究	岡部 豊 (都立大・理)
11 : 50	コメント	利根川孝 (神戸大・理)
12 : 00	昼食	
13 : 30	サブミリ波ESRによるg値の観測とその解析	太田 仁 (神戸大・理)
13 : 50	CuGeO <sub>3</sub> の磁気測定とESR	堀 秀信 (北陸先端大)
14 : 10	CuGeO <sub>3</sub> のNQR	菊池 淳 (東大・物性研)
		安岡弘志
14 : 30	CuGeO <sub>3</sub> のNMRとNQR	伊藤正行 (千葉大・理)
14 : 50	休憩	
15 : 10	CuGeO <sub>3</sub> の磁場中比熱	幸田章宏 (阪大・基礎工)
		天谷喜一
15 : 30	高圧下におけるCuGeO <sub>3</sub> の交流帯磁率	高橋博樹 (東大・物性研)
15 : 50	CuGeO <sub>3</sub> の周辺物質CaCuGe <sub>2</sub> O <sub>6</sub> の磁性	笹子佳孝 (東大・工)
16 : 10	ファラデー回転によるCuGeO <sub>3</sub> の飽和磁化曲線の測定	野尻浩之 (東大・物性研)
16 : 30	CuGeO <sub>3</sub> の光学反射と電子状態	寺崎一郎 (超電導工学研)



16 : 50	CuGeO <sub>3</sub> のFIR - ESR における温度依存性	安達信泰 (名工大・工)
17 : 10	まとめ	本河光博 (東北大・金研)
17 : 15	終了	

### CuGeO<sub>3</sub>のスピンプイエルス転移

東大・工 内野倉 國 光

CuGeO<sub>3</sub>のスピンプイエルス(SP)転移の発見から最近の研究の発展に至るまでをレビューした。SP転移の説明から始まり、CuGeO<sub>3</sub>の結晶構造、帯磁率の温度変化のデータ、比熱、転移温度の磁場依存性からこの相転移がスピンプイエルス転移であるとの結論に至った経過を論じた。さらに中性子散乱による磁気励起の観測、回折実験による超格子構造の確認と中性子線回折による低温相の格子変位の確定について話した。スピン一次元軸(c軸)に垂直な方向(b軸)の音響モードの分散の異常とb-軸長の転移点での変化について、SP転移との関連について、必ずしも理解されていない。SP転移の他の実験による確認、例えばNQRの縦緩和時間の温度変化、ラマン散乱での転移点以下の新しいピーク(低周波の3つは磁気励起であり残りはΓ点に折り返されたモードである)を紹介した。CuGeO<sub>3</sub>が無機SP系であることに伴い、従来の有機SP系と異なりスピンを担うイオン(Cu)が他の元素で置換し得ることの重要性が強調された。CuのZn置換による転移温度の低下とスピングラス(SG)相の出現を紹介した。またSP相の存在が最近のμSRの実験で確認されたことを報告した。Mg置換(Znの質量はCuとほぼ等しいが、Mgの質量は約1/2.6である)の場合は転移温度の低下がZnの場合に比べずっと緩やかでありさらにSG相が出現しないこと、それがMg置換ではスピンス系だけでなく、格子も変化するためであることを報告した。低温高磁場での磁性相(M相)を観測しg値を考慮すれば有機SP系で言われていた磁気相図の普遍性がCuGeO<sub>3</sub>を含めて成立すること、また置換した場合の高磁場での研究が行われていることを報告した。CuGeO<sub>3</sub>の周辺物質としてはCaCuGe<sub>2</sub>O<sub>6</sub>がスピン一重項の基底状態を持っていることを見つけたことを報告した。最後にCuGeO<sub>3</sub>は単に従来の有機SP物質のリストに単に1つの新しい物質を加えただけでなく新しい物理を切り開く可能性を持っていることを指摘した。

### What is Spin-Peierls Transition?

H. Fukuyama(Tokyo Univ. - Hongo)

Spin - Peierls transition is very simple as a phenomenon ; the dimerization of spin chains, but the microscopic physics behind this phenomenon is profound ; the manifestation of quantum fluctuations of Heisenberg S=1/2 antiferromagnets with a competition in actual

systems between the lattice displacement leading to the singlet ground state and the magnetic Neel ordering. The presence of such interesting physics associated with Spin - Peierls transition is clearly seen once the spins are represented as spinless fermions via the Jordan - Wigner transformation. The resultant problem is seen as that of the Tomonaga - Luttinger liquid coupled to lattice distortions, whose essence is further clarified in terms of the phase Hamiltonian\*. In this talk a review is first given on this transition in the Heisenberg systems including,

- 1) Quantum fluctuations in 1d Heisenberg antiferromagnets with  $S=1/2$
- 2) Anisotropy and spatial extent of exchange interactions
- 3) Fluctuations of lattice displacement
- 4) Interchain exchange interaction and competition with the Neel ordering
- 5) External magnetic fields
- 6) Relationship to Haldane gap with  $S=1$

Obviously the renewed interest in this phenomenon is due to the potentially new physical possibilities associated with the doping, which results in the change from the Spin - Peierls to the Peierls transition. Several problems in this direction will be discussed.

\*H.Fukuyama and S.Inagaki ; *Theory of the Spin-Peierls Transition in Quasi - One - Dimensional Systems in Magnetic Properties of Low Dimensional Systems* ed. by L.M.Falikov and J.L.Moran - Lopez(Springer, 1986)

### 有機物質のスピンパイエルズ転移

東大・理 十 倉 好 紀

有機物質系での典型的なスピンパイエルズ系、TTF - CuBDT、MEM(TCNQ)<sub>2</sub>および関連物質、で以前におこなわれた研究結果のレビューをおこなった。また、これに加えて、広い意味でのスピンパイエルズ転移を示す多くの有機結晶について、その特徴を述べた。まず、有機分子での  $s=1/2$  スピンの成因と、種々の結晶格子系、たとえば(1)分離積層型電荷移動錯体、(2)イオン性交互積層型(DA型)電荷移動錯体、(3)2量体型積層電荷移動錯体、の各場合について、交換相互作用の特徴について述べた。特に、DA型結晶では、スピンパイエルズ転移によって、積層鎖の反転対称が破れ、強誘電性が生じることを実例を交えて説明した。また、これらのドメインウォールは、パイエルズ相でのソリトンに他ならないが、そのダイナミックスが、伝導度および誘電率の周波数依存性に反映されることを示した。

また、スピンパイエルズ相での、キャリアドーピングの例として、K - TCNQ 結晶での光キャ

リヤー注入効果について述べた。光ドーピングによって、キャリアまわりのパイエルス歪は著しく減少することが観測されている。今後、スピンパイエルス相、あるいは一般的に、非対角的電子-格子相互作用をもつハバード系でのフィリング制御（キャリアドーピング）に伴う電子相の特徴の解明が有機系でも中心的な課題となろう。

### 電子回折法によるCuGeO<sub>3</sub>のスピン-パイエルス転移の研究

東北大・科研 寺内正己  
上村理  
田中通義  
青学大・理工 秋光純

無機化合物としては初めてのスピン-パイエルス物質CuGeO<sub>3</sub>では磁性を担うCu<sup>2+</sup>イオンがc軸方向に約2.9 Å間隔で配列しており、c軸方向に擬一次元スピン系が形成されている。当初、この物質ではスピン-パイエルス転移に伴うはずのc軸方向の格子変形が観測されず、b軸方向の格子系の異常が報告されていた。われわれは、スピン-パイエルス転移にともなう結晶構造の変化を電子回折法および収束電子回折法を用いて調べた。

転移温度( $T_{sp}=14\text{K}$ )より少し上の25Kでは、電子回折図形中にスピン-パイエルス転移の前駆現象と考えられるような散漫散乱は観察されず、空間群は室温と同じ $Pbmm$ であった。 $T_{sp}$ より下の10Kでは、 $[100]$ 入射の電子回折図形中に弱い超格子反射( $(h/2)k(l/2)(h,k,l:odd)$ )と基本格子反射を通るc\*軸に平行な強い散漫散乱を見いだした。(1)超格子反射: 超格子反射の指数から、単位胞の大きさが $a' \approx 2a$ ,  $b' \approx b$ ,  $c' \approx 2c$ となっていることがわかった。これは、格子変形(格子のdimerization)が生じたためと考えられる。超格子反射と基本格子反射の示す消滅則から、B底心格子であることがわかった。さらに、 $k=even$ の超格子反射強度がほとんど観察されないことを考慮すると、Cu<sup>2+</sup>イオンが磁氣的結合が最も強いc軸方向に変位した場合には空間群は $Bbcm$ となり、格子異常の報告されているb軸方向に変位した場合は $Bbmm$ となることを明らかにした。後に中性子回折で詳しい構造解析が行われ、Cu<sup>2+</sup>イオンの変位方向はc軸方向で空間群は $Bbcm$ と報告されている。(2)散漫散乱: 強い散漫散乱強度が観察されたことは $T_{sp}$ 以下に何らかの相転移の存在を示唆している。また、散漫散乱強度はb\*軸上で弱くなっており超格子反射の位置には全く観察されないことから、この格子振動は横波の性質をもち、Cu原子以外のO原子やGe原子の関与した格子振動モードであることがわかった。

中性子散乱によるCuGeO<sub>3</sub>の研究

東大・物性研 西 正 和

FZ法によって作られた1cm程の大型単結晶を用いた中性子散乱の実験は、原研改三号炉の三軸装置ISSP-PONTAにおいて主に行ないました。

スピン・パイエルズ転移温度 $T_{sp}(14K)$ 以下において測定した磁気分散曲線より、その一次元性を考慮して、CuO<sub>2</sub>鎖方向の $J_c=10.4meV(120K)$ 及び鎖間 $T_a \sim 1/10 \times J_c$ ,  $J_a \sim -\frac{1}{100} \times J_c$ と決定しました。励起エネルギー最小の $\Gamma$ 点(0, 1, 1/2)においてスピン・パイエルズ・ギャップの温度変化を求め、ギャップ・エネルギー $2.1meV(24.5K)$ と帯磁率より決定された値と一致しました。これらより、交番変数 $\delta=0.12$ 、交換相互作用比 $J_2/J_1=0.78$ と決められました。一方、臨界散乱実験よりc軸方向とb軸方向の相関距離を求め、その比 $\xi_c/\xi_b=12/4.1=2.9$ はX線より得られた値3.1と大変よく一致し、 $J_c$ と $J_b$ の式から得られる値12とは大きく異なっています。それ故磁気 $\Gamma$ 点近くの散漫散乱は反強磁性転移点近くでみられるものと異なって、構造相転移によるゆらぎを反映した磁気散乱であり、c軸方向の短距離秩序内では、銅原子の二量体化によるスピン一重項が既に形成されていると思われます。これらの事実は帯磁率がボナー・フィッシャー曲線に一致しない理由を説明します。次に高圧力下においてスピン・パイエルズ・ギャップ $\Delta_{sp}$ を測定したところほぼ圧力に比例して上昇し、1.8GPaで4.1meVと約2倍になります。このことは $T_{sp}$ の圧力依存性と定性的に一致します。鎖内の交換相互作用は逆に減少し、約3/4となり、スピン・格子の結合定数が増大するか又は二量体化の特性周波数のソフトニングが圧力印下で起こっていると思われます。格子定数の変化は三次元に近づいているのに、 $T_{sp}$ や $\Delta_{sp}$ が上昇することは大変不思議です。これからの課題は構造相転移に結びついたフォノンのソフトニングを観測することです。

## コ メ ン ト

青学大・理工 秋 光 純

3つの、ほぼ独立なテーマについて話をした。

- 1) singlet-triplet transition in CuGeO<sub>3</sub> スピン・パイエルズ系CuGeO<sub>3</sub>の基底状態が一重項状態であることはよく知られているが、その励起状態が三重項状態であることを、初めて直接的に証明した。実験は、中性子散乱法によって求められ一重項状態を示す一本の散乱強度が磁場下で三本に別れることを示した。これら三本に分裂した散乱強度はそれぞれ $\langle M_{\parallel}M_{\parallel} \rangle$ と $\langle M_{\perp}M_{\perp} \rangle$ ( $\parallel$ と $\perp$ はそれぞれ磁場に平行な成分と垂直な成分)を表しており、偏極中性子散乱を用いることにより、このことを直接検証した。
- 2) CuGeO<sub>3</sub>の実験上の未解決な問題点を指摘した。それらのうち、主なものを列挙すると

①M相の状態

②高压下でスピン・パイエルズ温度 $T_{sp}$ が上昇するのはなぜか。

③どのような磁氣的相互作用によりスピン・パイエルズ相が実現しているのか？

特にb軸の役割は何か？

④現在のところ、中性子散乱ではソフト・モード・臨界散乱が $(1/2 \ 1 \ 1/2)$ の点で観測されていないが本当か？

⑤Geサイトにドーピングする事は可能か？

3) ⑤の点に関してGe<sup>4+</sup>サイトにV<sup>5+</sup>をドーブした予備的な結果について報告した。

Ge<sub>1-x</sub>V<sub>x</sub>CuCO<sub>3</sub>についてx=0.05, 0.08についてX線的に单相の試料を得て、その磁化曲線の結果を示した。

又この生成の過程で強磁性を示す物質を発見したことを報告した。

### 高分解能中性子散乱によるCuGeO<sub>3</sub>の研究

神戸大・理	新井正敏
	藤田全基
	生方克典
	太田仁
東北大・金研	本河光博
青学大・理工	秋光純
	藤田治

高分解能中性子散乱による粉末試料の回折実験による構造の温度変化及び、非弾性散乱実験によるフォノンの測定を行ったので、報告する。

実験に使用した装置はラザフォードアップルトン研究所のHRPD、及びMARI分光器である。HRPDは分解能が $\Delta d/d \sim 0.0005$ である。またMARIは $\Delta E/E \sim 0.01$ でいずれの装置も、カバーしている運動量、エネルギーのそれぞれの範囲で世界最高の性能を有している。粉末試料の回折パターンをリートフェルト解析を行って得られたa、b、c軸の格子定数の温度変化は次の通りであった。a軸は温度の降下に従って、短くなり、 $T_{sp}(14K)$ 以下では急激に増加する。b軸は温度の降下と共に大きく減少し、室温と $T_{sp}$ とでは約8%も短くなる。更に $T_{sp}$ 以下で急激に減少している。この様子はすでにLorenzo [1]により確認されている。一方c軸は大変特異な温度変化を示しており、温度の降下と共に、増加する、また $T_{sp}$ 以下では非常に微少ではあるが、減少することが確認できた。また $(h/2, k, l/2)$ なる新たな超格子を示す微少なブラッグ散乱が $T_{sp}$ 以下で確認できたことを合わせ、CuGeO<sub>3</sub>の $T_{sp}$ 以下の磁氣的性質はよく知られたスピナー



パイアレス転移で説明できることが結論づけられる。

一方、フォノンの状態密度は温度とともに非常に大きく変化し、低エネルギー領域のみならず、100meVを越える高エネルギー領域においても、 $T_{sp}$ よりはるか高温の室温から異常が生じていることが、観測できた。このフォノンの異常は回折パターンの室温からの大きな変化に伴うものであるが、構造の異常がまず先行して、スピン・パイアレス転移が生ずるのに都合の良い環境を作り出していることがうかがえる。今後の問題として、このような格子異常がどのような機構により生じているかを知ることと合わせ、その磁性への（非常にブロードな磁化率）影響を研究する必要がある。

[1] J.E.Lorenzo et al., submitted to Phys. Rev. B

[2] Pouget et al., Phys. Rev. Lett. 72(1994)4037

### MEM(TCNQ)<sub>2</sub>におけるスピン・パイエルス転移の動的振る舞い

東京理科大・理 長坂啓吾

338K以上では、MEM(TCNQ)<sub>2</sub>の2枚のTCNQには4個電子状態があり、そこに1個のMEM分子から1個の電子が供給され、伝導帯は1/4 満たされている。この物質は金属である。しかしながら、電子相関が大きいので事実上伝導帯は1/2 電子で満たされている場合と同様にブリルアン領域の境界のフォノンと相互作用して、338Kでパイエルス転移（金属-絶縁体転移）を起こし、電気抵抗値は約4桁変化する。さらに温度を低下させると、スピン・パイエルス転移を起こして磁性を失うことは研究されていた。

我々は、(1)遠赤外光の透過測定を行い、吸収スペクトルを得た。同時に(2)剛体近似を用いて格子振動解析を行い格子振動数とその運動モードを算出した。実験と解析の良い一致を見た。一方、交換エネルギーは51K(73cm<sup>-1</sup>)であり、スピン1重項を作り、エネルギー低下を起こすためにはフォノンは最低エネルギーでTCNQの重なり方向に垂直な振動モードであろうことが格子振動解析の結果から予測され、(3)30cm<sup>-1</sup>以下の領域の分光に集中し、スピン・パイエルス転移に伴うソフトモード・フォノンと折り返しフォノンを見つけた。最低の振動数のフォノンの振動モードはVisserなどによるTCNQ分子の移動方向とほとんど一致していた。(4)この方向の格子振動は19Kで復原力を失い自由分子運動になり、 $T > 19K$ での逆格子ベクトルに関するBraggの条件を満たす最低の波数ベクトルはスピン・パイエルス転移を引き起こす振動の位相関係を示唆している。さらに低温にすると、新たな安定位置を中心に復元力を生じ格子振動を始める。4.2Kで8.5、19.5、24.5cm<sup>-1</sup>の格子振動の中心振動数、線幅、振動子強度の温度変化の特徴が述べられた。(5)2-マグノン吸収の測定が成され、マグノンのスペクトルが得られた。

本研究に用いられた試料は松下技研の村上、吉村両氏により提供されたものであり、この研究は、

本間、太田、田中らによる研究結果である。

### M相の置換効果； $\text{Cu}_{1-x}\text{Zn}_x\text{GeO}_3$ の磁化曲線

東大・工 長 谷 正 司

スピン・パイエルス系において、低温・高磁場で出現するM相については、まだ完全には理解されていない。そこで我々は、M相の情報を得るため、M相における不純物効果の研究を行なった。スピン・パイエルス転移を示す、低Zn量の多結晶 $\text{Cu}_{1-x}\text{Zn}_x\text{GeO}_3$ ( $x=0, 0.005, 0.010, 0.020$ )の磁化の磁場依存性を測定した。各組成の試料において、スピン・パイエルス転移温度 $T_{\text{sp}}(0)$ よりも低温で、D相とM相の間の相転移(DM相転移)を示す、磁化の急激な増加が観測された。磁化の温度依存性は、高磁場領域ではほとんど見られない。また、組成依存性については、Zn量の増加に伴って磁化は大きくなるが、相対変化は高磁場領域の方がずっと小さい。DM相転移の臨界磁場( $H_c$ )は、低温では温度非依存で、Zn量の増加に伴って小さくなる。これは、磁気励起スペクトルのエネルギーギャップが小さくなるためである。 $gH_c/2T_{\text{sp}}(0)$ は、 $H_c$ とは逆で、Zn量の増加に伴って大きくなる。つまり、 $H_c$ は $T_{\text{sp}}(0)$ 程には強い組成依存性を示さない。低温での磁化の主要成分は、D相では、Zn置換によって一重項になれないスピンの磁性、M相では、ソリトンの磁性である。両者とも近似的に $S=1/2$ の孤立スピンであると考えられるで、実験結果から、密度を求めることが出来る。D相では、この密度はほぼ $x$ に等しい。また、M相で新たに生じるソリトンの密度はZn量に依らないことが分った。ソリトン密度は系全体の格子変形で決るもので、少量の不純物による局所的な歪には、あまり影響されないためだと考えられる。実験結果と理論曲線の比較から、鎖内の交換相互作用の大きさは、約140Kと見積られる。これは他の方法で決めた値とほぼ等しい。

### 1次元量子スピン系における不純物効果

—Haldane系とSpin - Peierls系—

福井大・応物 網 代 芳 民

最近活発に研究されている $S=1$ 一次反強磁性体のHaldane状態と $S=1/2$ 一次元反強磁性体のSpin - Peierls(SP)状態は互いに密接に関係した一次元量子スピン系の基底状態である。これらの状態は、共に非磁性一重項基底状態であり、励起状態との間に有限のエネルギーギャップが存在するが、その物理的な起源は全く異なっている。整数スピン鎖に特有なHaldane状態は相関距離が極めて短い無秩序相であるのに対して、SP状態は一次元スピン系と三次元フォノン系からなる複合系において生じるSP移転の結果現れる。これらの物理的起源の違いを明らかにするために、両

者の希釈系について強磁場磁化過程の実験を行い、Haldane系とSP系における対照的な不純物効果の観測結果を報告した。

系統的に不純物効果を調べるためには、任意の濃度の非磁性不純物が置換可能な試料が必要である。Haldane系としては $Ni_{1-x}Zn_xC_2O_4 \cdot 2DMFz$  ( $0 < x < 0.2$ )、SP系としては $Cu_{1-x}Mg_xGeO_3$  ( $0 < x < 0.1$ ) について、1.7Kにおいて40Tまでの磁場中で磁化過程を測定した。両系の磁化曲線 $M(x, H)$ は系統的に変化し、純粋系( $x=0$ )の磁化は共通した特徴を持っている。すなわち10T近傍の臨界磁場 $H_c$ で特徴的な磁化の折れが観測される。 $H_c$ 以下では基底一重項状態を反映して磁化の増加は極めて小さく、 $H_c$ 以上では有限エネルギーギャップを持つ励起磁気状態を反映して磁化が急激に増加している。しかし、両系の不純物効果は全く異なる。すなわち、Haldane系の不純物効果は穏やかで、 $x=0$ の特徴的な磁化の折れは $x=0.2$ の濃厚不純物試料においても認められ、臨界磁場もほとんど移動しない。これに対してSP系への影響は大きく、特徴的なSP挙動は $x=0.04$ 試料において既にほとんど完全に消失し、臨界磁場も消える。これらの結果について物理的な考察を行った。

本研究は、福井大学工学部応用物理学科 浅野貴行、増井史則、筑波大、物理学系 菊池彦光君、物性研究所 後藤恒昭教授、香取浩子さんとの協同研究であり、科研費の補助を受けて実施された。

### CuGeO<sub>3</sub>のフォノンラマン散乱

広島大・総科 宇田川 眞行

室温で観測される12本の格子振動のうち、5本のフォノンのエネルギーが低温で増大する。この原因を明らかにするためにGF行列法による基準振動解析を行った。3本の振動はGe-O鎖の相対振動、他の2本はGeとも結合しているCuO<sub>6</sub>八面体の酸素のc-軸方向へ変位する振動であることが分かった。さらに、基準振動解析よりCuGeO<sub>3</sub>ではGe-Oの相互作用が一番強いために、格子はGe-O鎖で安定化されている。この結果は、CuGeO<sub>3</sub>のスピン・パイエルズ相転移に対して、Ge-O鎖の動的性質が重要である事を示している。 $T < T_{sp}$ 以下では、(c, c)スペクトルに5本(27, 107, 230, 370, 820  $cm^{-1}$ )、(b, c)スペクトルに2本(370, 820  $cm^{-1}$ )の新たなモードが出現する。370と820  $cm^{-1}$ のモードは、Hirotaらによる $T < T_{sp}$ での格子変形と基準振動解析の結果を考慮すると、O-Ge-Oの対称伸縮振動が酸素の歪みによって生じたと結論できる。低エネルギーに出現する27, 107, 230  $cm^{-1}$ のモードは、その線幅がフォノンのもものと比べて広いこと、及び、西らによって測定された磁気励起エネルギーのほぼ2倍であることから、磁気励起スペクトルであると結論した。しかし、磁気励起スペクトルに対するCuGeO<sub>3</sub>の次元性が不明瞭であるために、従来の反強磁性体における2-マグノンの散乱機構で評価した。その結果、27と250  $cm^{-1}$ はマグノン間の相互作用を取り入れたモデルで説明可能のようであるが、107  $cm^{-1}$ は全く説明できない。こ

れは、スピン・パイエルス系における磁気励起が、スピン1重項から3重項への遷移であるために、スピン・パイエルス系においては新たな散乱機構を導入する必要があることを示している。

### CuGeO<sub>3</sub>のラマン散乱

阪大・理 水 貝 俊 治

CuGeO<sub>3</sub>のスピン・パイエルス転移を調べるためにラマン散乱の実験を行った。転移温度 T<sub>sp</sub>(14K)以下で(cc)偏光のみ30、60、105、228、370、819 cm<sup>-1</sup>に新しいピークが現れる。これらのピークは(0, 0, π/c)のゾーン端のモードがc軸方向の2量体化によってΓ点に折り返されてラマン活性になったものであると考えられる。5 KからT<sub>sp</sub>に温度を上げていくと30cm<sup>-1</sup>ピークのエネルギーと強度は低下し、T<sub>sp</sub>以上では幅の広いピークが現れ高エネルギー側にシフトし300Kで34cm<sup>-1</sup>に達する。T<sub>sp</sub>以上では本来観測されないこのゾーン端のモードが観測されるのは、有機系と同様に300Kですでに強い2量体化ゆらぎが存在するためであると考えられる。60 cm<sup>-1</sup>の幅の広いピークはユニークでT<sub>sp</sub>を越えて60K以上まで強度を保っている。

### CuGeO<sub>3</sub>のラマン散乱と磁気励起

上智大・理工 黒 江 晴 彦

関 根 智 幸

CuGeO<sub>3</sub>はT<sub>sp</sub>=14Kでスピンパイエルス転移を起こす。我々はラマン散乱測定を行い、スピンパイエルス相(6 K)で新たに5本のピークを30、105、228、370、818 cm<sup>-1</sup>に観測した[1]。これらのピークの中で興味深いのは低周波数側の3本のピークで、それぞれ次の様な特徴を持つ。

- ・ 30cm<sup>-1</sup>ピーク強い温度依存性を持ち、その周波数をNishi et al. [2]の求めたスピンパイエルスギャップと比較すると全温度領域でほぼ2倍の位置にある(若干ピークが低波数側にでる)。
- ・ 105 cm<sup>-1</sup>ピーク周波数はb\*方向のzone boundaryでの磁気励起エネルギーの2倍とほぼ同じである。
- ・ 228cm<sup>-1</sup>ピーク周波数はc\*方向のzone boundaryでの磁気励起エネルギーの2倍とほぼ同じである。

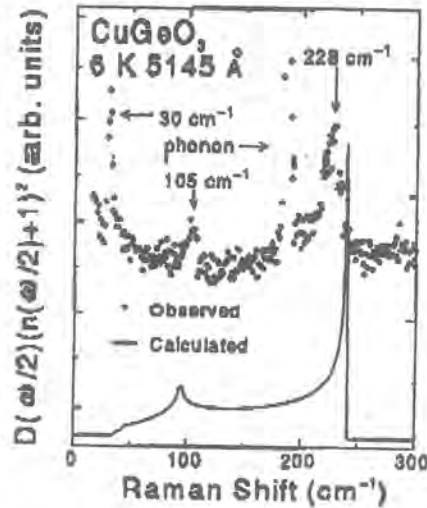
そこで我々は磁気励起スペクトルの状態密度が2次ラマン散乱により観測されていると推測し、Nishi et al. が実験的に求めた分散関係から状態密度を求めてラマンスペクトルと比較した。計算結果では図に示すとおり105、228 cm<sup>-1</sup>ピークは再現されたが30cm<sup>-1</sup>ではM<sub>0</sub>特異点が導かれる。そこでmagnetic exciton間に相互作用があるとしてRuvalds et al. [3]の方法を用いてスペクト

ルの計算を行った。その結果引力相互作用により束縛状態が $M_0$  特異点よりも若干低エネルギー側に形成されることが分かった。

370, 818  $\text{cm}^{-1}$  のピークは格子の倍周期化による phonon の折り返しモードと推測される。

参考文献

- [1] H.Kuroe et al., in press in Phys. Rev. B.
- [2] M.Nishi et al., Phys. Rev. B50, 6508 (1994).
- [3] J.Ruvalds et al., Phys. Rev. B2, 1172(1970).



図：6 Kでのラマンスペクトルと計算で求めた状態密度の比較

鎖間相互作用を持つダイマー化した $S=1/2$  反強磁性ハイゼンベルグ鎖の相図

東大・物性研 加藤 信行  
今田 正俊

$\text{CuGeO}_3$ は、転移温度 $T_c$ 以下では、Cuは $c$ 軸方向にダイマー化している。一方、中性子散乱の実験から、 $c$ 軸のスピンの交換相互作用を $J_c$ とすると、 $b$ 軸、 $a$ 軸は、それぞれ $J_b \sim 0.1J_c$ ,  $J_a \sim 0.01J_c$ という報告があり、鎖間相互作用が重要であることが指摘されている。

そこで我々は、鎖方向はダイマー変数 $\delta$ で特徴づけられるダイマー化したスピンの交換相互作用が働き、鎖間方向には相互作用 $J'$ が働く正方格子反強磁性ハイゼンベルグモデルを、量子モンテカルロ法を用いて、基底状態を解析した。物理量は、全スピンの $z$ 成分 $S_z$ での最低エネルギー $E(S_z)$ 、スピン構造因子 $S(Q)$ 、反強磁性スピン帯磁率 $X(Q)$ を計算した。 $\delta$ と $J'$ の2つの変数に対して、スピンギャップ相を生成させる $\delta$ と、反強磁性長距離秩序相を助長する $J'$ の競合という形で、基底状態の相図を得て、相境界を見積もった。その転移点 $\delta_c$ を具体的に見積もる時は、有限サイズスケール法を使用した。相転移点上では、系の大きさ $L$ の計算では $S(Q) \sim L^{2-z-\eta}$ ,  $x(Q) \sim$



$L^{2-\eta}$ のように、また相関長は $\sim(\delta - \delta_c)^{-\nu}$ のように振る舞うことから、動的臨界指数 $z$ が1.0、スピン相関臨界指数 $\eta$ が0.0、相関長臨界指数 $\nu$ が1.0と見積もられた。ダイマー鎖モデルでの $\nu$ は2/3である。また、スピンギャップ相での磁化曲線を $E(S_z)$ から解析すると、 $M \sim (H - H_c)$ なる振る舞いがみられ、1次元での $\sim(H - H_c)^{1/2}$ と異なる。これは、ユニヴァサリティーの次元による相違に起因すると思われる。

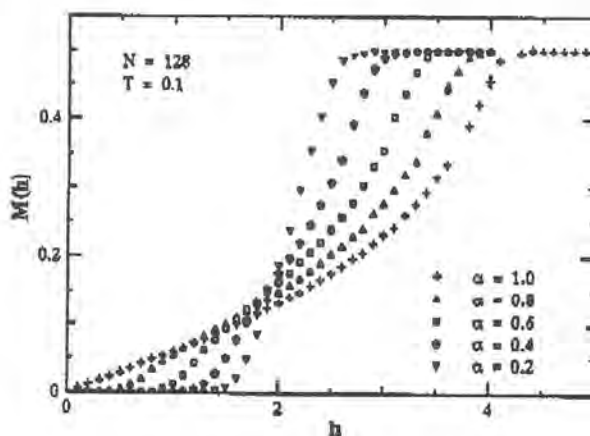
我々のモデルは、 $J' = 0$ でダイマー鎖モデル、 $\delta \rightarrow \infty$ で $S = 1$ 鎖モデル、 $\delta = 1$ で梯子モデルを内在し、スピンギャップ相内で、これらのモデルが $J'$ と $\delta$ の変数で連続的に移行でき、スピンギャップの起源がダイマーに由来するという統一的理解を得た。また、第一励起状態の振る舞いも定性的に同じであり、これは、その他の物質、NENP,  $(VO)_2P_2O_7$ ,  $SrCu_2O_3$ などの磁氣的性質が定性的に類似していることを反映させている。

### 1次元交代ボンド量子スピン系 - 量子モンテカルロ法による研究

都立大・理 岡部 豊  
甲斐成樹

1次元 $S=1/2$ 交代ボンド量子スピン系の熱力学的性質を量子モンテカルロ法を用いて調べた。主な測定量は、エネルギー、比熱、帯磁率、エネルギーギャップ、磁化過程、相関関数などである。交代ボンドの強さの比 $\alpha = J_2/J_1$ を変化させ、帯磁率の温度変化、磁化曲線を調べた。

図1に交代反強磁性ハイゼンベルグ鎖の磁化の磁場依存性を示す。ここで、系のサイズは128で温度は $T=0.1$ で固定してあり、 $J_1$ を単位にプロットしてある。 $\alpha$ が0より大きくなるとギャップが生成されるため、ある大きさの磁場がかからないと磁化が生じない。このギャップは、total  $S_z$ を固定して基底状態エネルギーを計算して求めたギャップとconsistentである。



本研究では、特にボンド配列に不整列のある場合に、帯磁率の温度変化、磁化過程に様々なふるまいが現れることを示した。磁化過程は、階段状の変化をするが、ダイマー化せず余ったスピンの役割により説明される。また、擬1次元系では、低次元量子ゆらぎにより転移温度以上で格子ひずみは起こっているがその配列に不整列が残っているという描像で、CuGeO<sub>3</sub>系の帯磁率の温度依存性が説明できる可能性を示した。

#### コメント —— CuGeO<sub>3</sub> の高温帯磁率 ——

神戸大・理 利根川 孝

スピンパイエルス転移を示す物質CuGeO<sub>3</sub>の磁性を理解する上で、従来から知られているスピンパイエルス転移を示す擬1次元有機化合物の転移点以上の帯磁率の温度変化曲線が1次元S=1/2ハイゼンベルグ模型の帯磁率の温度変化曲線(いわゆるBonner-Fisher曲線)と良く一致するのに対して、CuGeO<sub>3</sub>のそれが異なった振舞いを示すことが1つの問題点になっている。

この問題点の解決に向けての研究が岡部氏(都立大理)等によってなされているが、我々は上記の模型における交換相互作用定数 $J$ ( $J$ の定義は $H=J \sum_i \vec{S}_i \cdot \vec{S}_{i+1}$ )に温度変化を許して、CuGeO<sub>3</sub>の帯磁率の温度変化曲線とBonner-Fisher曲線とを一致させることを試みた。この計算には、長谷氏(東大工)より提供いただいた1次元方向(c-軸方向)の帯磁率の実験結果と高橋氏(東大物性研)より提供いただいた1次元S=1/2ハイゼンベルグ模型の帯磁率の温度変化曲線に対する最近の新しい計算結果とを用い、また、Cu<sup>2+</sup>のc-軸方向のg-値としては、太田氏(神戸大理)等によるT=80Kでの実験値 $g_{\parallel c}=2.15$ を用いた。

この結果によれば、転移点以上で $J$ の値は温度の上昇とともにゆるやかに増加し、転移点直上で $J \sim 140\text{K}$ 、 $T \sim 300\text{K}$ で $J \sim 235\text{K}$ となる。一方、最近の新井氏(神戸大理)等による中性子散乱実験によれば、c-軸の格子定数は温度の上昇とともに減少する。我々の結果は定性的にはこの実験結果とコンシステントである。

#### サブミリ波ESR によるg 値の観測とその解析

神戸大・理 太田 仁

我々は90から383GHzの周波数範囲で30Tまでのパルス強磁場を使ってCuGeO<sub>3</sub>単結晶のサブミリ波ESRを1.8から265Kの温度領域で観測した。その結果U相からSP相への線幅と強度の温度変化は有機物のスピンパイエルス系と定性的に類似していることを見出した。また強度の温度変化の周波数依存性からギャップの磁場依存性を見積もった。この結果は長谷らによる帯磁率から求められたゼロ磁場におけるギャップの大きさと、磁化測定による転移磁場とコンシステントなもので

あった。また我々の測定は370GHz帯がSP相とM相のちょうど境界にあるところに特徴があり、非常に狭い磁場範囲ではあるがSP相からの共鳴とM相からの共鳴が共存する領域があることが明らかになった。またこれらの測定からU相、SP相及びM相におけるg値がすべて異なるという予想外の結果が得られた。その結果をまとめると、U相(80K)では $g_a=2.15$ ,  $g_b=2.26$ ,  $g_c=2.06$ , SP相(4.2K)では $g_a=2.13$ ,  $g_b=2.27$ ,  $g_c=2.03$ 、またM相では $g_a=2.15$ ,  $g_b=2.20$ ,  $g_c=2.08$ であった。g値の温度変化の詳細な測定は、そのgシフトが転移温度以下で連続的であることが明らかとなり、スピンパイエルズ転移に伴う格子ひずみとの関連が予想される。またこのgシフトはその変化の大きさや方向がかなり異方的であるのでその解析からSP相やM相の格子ひずみの情報が得られるのではないかと期待され現在その解析が進行中である。また格子ひずみに伴うフォノンの変化を観測するため遠赤外透過測定を30から250  $\text{cm}^{-1}$ の範囲でSP相とU相についておこなったが、このエネルギー領域では遠赤外分光には顕著な変化は見られなかった。

#### CuGeO<sub>3</sub> の磁気測定とESR

北陸先端技大	堀	秀信
	古	沢昌宏
鳴門教育大	本	田亮
阪大	水	貝俊治
	金	道浩一

この物質のスピンパイエルズ転移はそれほど一次元性が良くない物質で起こることとダイマーの形成方向が鎖方向と一致しない所に特徴があるといわれている。この今までと異なる性質の結晶で転移が起こる起源を調べるため、磁化過程の観測による転移と交換相互作用の大きさの評価、ESRによる次元性と温度変化の評価を行なった。

この物質のスピンパイエルズ転移点直上での磁化測定により、相互作用の大きさが120から150K位であることが評価でき、これを基にESRによる評価を行なった。また、Exchange Narrowingの温度変化がHe温度から室温にかけて数百倍変化することから交換相互作用が温度変化していること、その温度特性からこの物質は磁氣的に一次元的であることが結論された。但し一次元スピン系としての半値幅の角度変化、g-shift等の特徴はほとんど見い出されなかった。又スペクトル強度の温度変化から、転移温度以下でESRが観測にかかる励起のActivation Energyが25Kであることがわかったがこれは交換相互作用に比べずいぶん小さく、また数本のサテライトも観測され、それらの起源が何かという新たな問題が生じた。このスペクトルの起源はHaldane問題における不純物効果と類似のチェーンの端の効果かもしれない。

CuGeO<sub>3</sub> の NQR

東大・物性研 菊池 淳  
安岡 弘志

CuGeO<sub>3</sub>におけるCu核のNQR周波数 $\nu_{\text{NQR}}$ 、核スピン格子緩和率 $1/T_1$ の温度依存性をNQR法によって測定した。<sup>63</sup>Cu核のNQR信号は34.2MHz付近に観測された。dimerizationの起こる $T_{\text{sp}} \sim 14\text{K}$ で $\nu_{\text{NQR}}$ に異常はみられず、格子変形はかなり小さいことが示唆される。点電荷モデルによる解析からCu原子の変位 $\Delta d$ の上限は0.04Åと見積もられるが、これは構造解析から決定された $\Delta d \sim 0.01\text{Å}$ と矛盾しない。これに対し $1/T_1$ は $T_{\text{sp}}$ 以下で急激に減少し、励起スペクトルに有限のギャップが開くことを明確に示している。 $T_{\text{sp}}$ 以下の温度依存性はかなり広い温度範囲にわたってべき乗的( $\sim T^{5.5}$ )であり、従来の有機スピンパイエルス系でみられた指数関数型とは異なる振る舞いを示すことが分かった。 $T_{\text{sp}}$ 以上では温度と共に徐々に増大するが、その特徴として、(i)絶対零度における外挿値が有限に残る、(ii)有限温度における微分係数 $d(1/T_1)/dT$ が1よりも大きい(つまり下に凸である)、の2点が挙げられる。これらの点は一次元 $S=1/2$ 反強磁性ハイゼンベルグ鎖に特徴的な振る舞いと考えられる。pseudo-fermion表示の平均場近似の結果を用いて絶対零度における緩和率を評価すると $J/K \approx 120\text{K}$ に対して $1/T_1 \sim 700\text{sec}^{-1}$ となるが、これは実験値 $1/T_1 \sim 600\text{sec}^{-1}$ をほぼ再現する。しかしながら有限温度において平均場近似は下に凸な振る舞いは再現するものの( $1/T_1 = a + bT^2$ )その温度依存性は弱く、定量的には満足な結果を与えない。有限温度を含めて定量的に実験と比較できる理論が望まれる。

CuGeO<sub>3</sub> の NMR と NQR

千葉大・理 伊藤 正行

CuGeO<sub>3</sub>の粉末多結晶試料(酸素のNMRについては、<sup>17</sup>Oに一部エンリッチした試料)を用いたNMRとNQRの実験から、微視的な磁気的性質について報告した。NMRによって観測することができたCu、O(1)、O(2)すべてのサイトのナイトシフトは、スピンパイエルス転移点 $T_{\text{sp}}$ 以下で、スピン帯磁率が減少することに対応した温度変化を示した。また、銅のナイトシフトは、Cu-O(1)結合軸をほぼ対称軸に持つと考えられる一軸性の異方性を示した。銅サイトの軌道帯磁率と電子スピンに関する超微細相互作用は、そのようなCuO<sub>6</sub>の八面体からなる正方対称の結晶場中のCu<sup>2+</sup>の電子状態に基づいて理解できた。超微細相互作用については、高温超伝導銅酸化物で見られたようなスーパートランスファーの機構は、Cu-O(2)-Cu結合角が90°に近い場合CuGeO<sub>3</sub>では重要でない。また、銅の3d軌道と混成した酸素の2s軌道による、酸素サイトでの正の等方的な超微細相互作用定数の解析から、O(2)サイトの2s軌道の占有率が、約1.7%とかな

り大きいことを見いだした。さらに、Cu核の核スピン格子緩和率 $1/T_1$ について、 $S=1/2$ の1次元ハイゼンベルグ反強磁性体のスピンドイナミクスの観点から議論した。 $T_{sp}$ 以上で見られた下に凸の温度変化は、ハイゼンベルグハミルトニアンをフェルミオン表示して取り扱った核磁気緩和の理論に基づいた解析では説明できず、最近進展した動的相関関数の理論に基づいて理解できる可能性があることを指摘した。一方、 $T_{sp}$ 以下の温度域では、磁気励起スペクトルにギャップが開くために、温度のべき乗に比例する温度変化が $T_{sp}$ 直下から観測された。しかし、交番化した2つの交換相互作用を持つハイゼンベルグハミルトニアンを2バンドのフェルミオンとして扱う理論では、この温度変化を説明できないことを示した。

### CuGeO<sub>3</sub> の磁場中比熱

阪大・基礎工 幸田章宏  
小林達生  
天谷喜一

スピンパイエルス物質CuGeO<sub>3</sub>の単結晶の比熱を $H \leq 13$ Tの磁場中に於いて測定した。

ゼロ磁場 $T=14.6$ Kでスピンパイエルス転移に伴う比熱のピークが観測された。このピークは印加外部磁場の増大とともに低温側へシフトし、磁場中に転移点に異方性が見られた。磁場温度相図をESR測定(H. Ohta *et al.*)から得られている $g$ 値の異方性より規格化すると従来から知られているものに一致していることがわかった。

また $b$ 軸方向で試料を断熱状態にして磁場をかけていくと、 $H \sim 12.5$ T付近でSP相からM相への転移によると思われる温度ピークが観測された。このピーク自体の原因については明らかではないが、この断熱実験から今回の $b$ 軸方向 $H=13$ Tの測定に見られる比熱異常はM相からU相への転移であると結論される。

磁気比熱の解析に当たっては、仮に格子から $\infty T^3$ の寄与があるとして転移点以上を一次元Heisenberg型反強磁性体の計算結果(T. de Neef)に合うように見積もった。

その結果、磁気比熱の温度依存性に関してはゼロ磁場でエネルギーギャップを反映した指数関数的な振る舞いが見られ、磁場をかけるにつれ、べき関数的な振る舞いに移っていくことがわかった。強磁場中でスピンパイエルス転移点以下、広い範囲に於いて $\infty T^3$ の温度依存性が見られる。この理由はわかっていない。 $H=13$ Tでは $b$ 軸方向でM相、 $c$ 軸方向でSP相における比熱の結果であるが、両者に明らかな違いはなく、磁場中比熱が等方的であることを示している。



### 高圧下におけるCuGeO<sub>3</sub>の交流帯磁率

東大・物性研 高橋 博 樹  
 毛利 信 男  
 青学大・理工 藤田 治  
 秋 光 純

約14Kでスピンパイエルズ転移を起こすことが報告されているCuGeO<sub>3</sub>について我々は静水圧下で帯磁率測定することによりこのスピンパイエルズ転移温度(T<sub>sp</sub>)の圧力効果を測定したので報告する。CuGeO<sub>3</sub>以前には有機物質でのみスピンパイエルズ転移が報告されており、圧力効果に関してはTTF-CuBDT、(TMTTF)<sub>2</sub>PF<sub>6</sub>、(TMDTDSF)<sub>2</sub>PF<sub>6</sub>ではT<sub>sp</sub>は圧力で減少しMEM-(TCNQ)<sub>2</sub>では増加することが報告されている。高圧発生法は以下に示す3つの手段を用いた。(1)クランプ型ピストンシリンダーセル；磁気天秤を用いてTSPおよび帯磁率の絶対値も評価した。(P<1.2GPa)(2)定荷重型ピストンシリンダーセル；AC法で帯磁率を測定しT<sub>sp</sub>の圧力効果を測定(P<1.2GPa)(3)キュービックアンビルセル；AC法で帯磁率を測定したが試料容積が小さすぎてT<sub>sp</sub>は測定できなかった。(P<8GPa)。結果は(1)、(2)からT<sub>sp</sub>は1.2GPaまで+4.8K/GPaでリニアに増加することがわかった。また(1)から帯磁率を単純なキュリーワイス側から解析したところ圧力に対してキュリー定数が減少することが観測され、キュリーワイス的な磁気相互作用は圧力で減少することがわかった。(3)からはT<sub>sp</sub>は感度の上で測定できなかったものの4.5GPa以上の圧力下で約11Kに強磁性転移にともなう帯磁率の飛びが観測された。AdamsらによるとCuGeO<sub>3</sub>の高圧X線測定から室温、約7GPaで構造相転移が報告されており今回測定された強磁性信号との関係が示唆される。

### CuGeO<sub>3</sub>の周辺物質CaCuGe<sub>2</sub>O<sub>6</sub>の磁性

東大・工 笹子佳孝

無機物で初めてスピン・パイエルズ転移が発見された銅酸化物CuGeO<sub>3</sub>には、数多くのGe, Si系の周辺物質が存在する。これらの周辺物質の幾つかは磁性イオンを含んでいて、それぞれの物質のもつ結晶構造に応じて、磁性イオンが担う局在スピン間には一次元的なものから三次元的なものまで様々な交換相互作用が働くことが予想される。我々はこれらの周辺物質の中で、比較的結晶構造が簡単な物質CaCuGe<sub>2</sub>O<sub>6</sub>を選び磁氣的性質を調べることにした。この物質ではCuGeO<sub>3</sub>と同様にCu<sup>2+</sup>イオンがスピンS=1/2を担っていると考えられる。またCuサイトをNi<sup>2+</sup>やCo<sup>2+</sup>などのスピンの大きさが異なる磁性イオンで置き換えた物質もCuのものと同様結晶構造で存在している。スピンの大きさの違いによる磁気磁氣的性質の違いについて調べる目的でこれらNi(S=1)、

Co( $S=3/2$ )のものについても磁氣的性質を調べた。実験は粉末の試料を用いて、4.2Kから300Kまでの帯磁率と4.2Kにおける40Tまでの高磁場磁化測定を行なった。CuのものについてはESRのスペクトルから $g$ 値を求めた( $g=2.07$ )。帯磁率については、Cuのものは40K付近に低次元系に特徴的なbroadな極大値が存在し、それ以下の温度で0に向って落ち込んでいくふるまいが見られた。この物質のスピン系が非磁性的の基底状態と有限のエネルギーギャップをもっていることがわかる。一方Ni, CoのものはCuのものとはほとんど結晶構造が同じであるにも関わらず、共に20K付近で三次元的なNeel orderを生じてしまう。高磁場磁化測定では、Cuのものは30T以上で磁化が急激に大きくなるふるまいが見られエネルギーギャップの存在がはっきりと見てとれる。Niのものは弱い異方性をもつ反強磁性体に特徴的なNeel相からspin flop相を経て常磁性相へ転移していくふるまい、Coのものは異方性が強い場合に見られるNeel相から直接常磁性相へ転移するふるまいが見られた。実験結果の解析からCuのものの磁氣的性質は近似的には反強磁性dimerの集まりとして理解できるがdimer間の相互作用は決して無視できないことがわかった。三つの物質の内Cuのものだけが顕著な量子性を示すことは注目に値する。

#### ファラデー回転によるCuGeO<sub>3</sub>の飽和磁化曲線の測定

東大・物性研 野尻浩之

CuGeO<sub>3</sub>のファラデー回転を電磁濃縮法を用いた超強磁場下で500Tまで測定し、飽和磁化曲線を得た。測定は514.5nm, 1152nmの二つ波長で行い、飽和磁場値として253Tを得た。これをBonner & Fisherの $S=1/2$ 一次元ハイゼンベルグ反強磁性体についての数値計算の結果と比較することにより交換相互作用定数を $J=-183\text{K}$ と決定した。ただしハミルトニアンは $H=-\sum_{ij} J_{ij} S_i S_j$ である。CuGeO<sub>3</sub>は無機物でスピンパイエルス転移を起こす初めての物質として注目され多くの研究がなされているが、帯磁率の温度変化、磁化測定、中性子散乱から評価される交換相互作用の値は互いに一致せず、その値は未確定であった。我々は、飽和磁化曲線の測定が交換相互作用の評価に重要であると考え、ファラデー回転の測定を行なった。1152nmの波長では回転角を磁場に対してプロットし、Bonner & Fisherの数値計算と比較したところ良い一致をみた。一方514.5nmでは回転角は通常の磁化の一次に比例する項のほかに高次の項の寄与を持っていることが判った。これはこのエネルギー近傍に回転に寄与する吸収があることと関連しているとおもわれる。また、回転が飽和する磁場は二つの波長で良い一致をみた。磁化曲線には50-70Tの領域にごくわずかであるが非線形なプラトーがみられ、一巻きコイル法によりヒステリシスを測定するとこのあたりから低い磁場では数テスラのヒステリシスが存在することが判った。これはスピンパイエルス系のM相の性質に関連した異常だとおもわれる。12T付近に見られるU相からM相への転移に伴う磁化のとびは、従来ごく小さいヒステリシスしか報告されていないが、今回磁場掃引速度を10~60T/msと速

くして測定したところ4-10Tの大きなヒステリシスを観測し、この転移が一次転移であることが明確になった。

### CuGeO<sub>3</sub>の光学反射と電子状態

超電導工学研 寺崎 一郎

現在のところ、銅酸化物CuGeO<sub>3</sub>は無機化合物のなかでスピンパイエルス(SP)転移を示す唯一の系である。この系ではCu<sup>2+</sup>に局在したS=1/2量子スピンのSP転移を担っており、同様にCu<sup>2+</sup>に起因する量子スピンの重要な役割を演じていると思われる高温超伝導体の物性との比較は興味深い。(1)高温超伝導体とCuGeO<sub>3</sub>の電子状態はどこが異なるのであろうか?(2)CuGeO<sub>3</sub>にキャリア注入は可能であろうか?(3)他の銅酸化物と比べて、CuGeO<sub>3</sub>の電子状態の特徴は何であらうか?などの観点から、我々はCuGeO<sub>3</sub>の光学反射率を測定することにより、その電子状態の特徴を研究してきた。

図1にCuGeO<sub>3</sub>の電荷移動(CT)励起を示す。図1(a)は測定された反射率(黒丸)、図1(b)はKramers-Kronig変換によって得られた誘電関数(黒丸、白丸)である。この系のCTエネルギー(O2pとCu3dのupper Hubbard bandのエネルギーギャップ)は約1.25eVであり、高温超伝導母物質のそれより0.5eV程度低い。図中の実線、点線はLorentz振動子によるフィッティングの結果である。反射率、誘電関数ともに実験データはLorentz振動子で良く近似されることがわかる。得られたパラメタからCu3dとO2pとの混成エネルギー(バンド幅に比例する量)を評価すると、CuGeO<sub>3</sub>のバンド幅はLa<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub>の40%程度であることがわかった。このことはCuGeO<sub>3</sub>にキャリアを注入することが難しいことを示唆している。

この幅の狭いバンドはバンド計算からも示唆されており、X線光電子分光(XPS)の測定によっても観測されている。図2にXPSによる価電子帯の光電子スペクトルを示す。高温超伝導体のそ

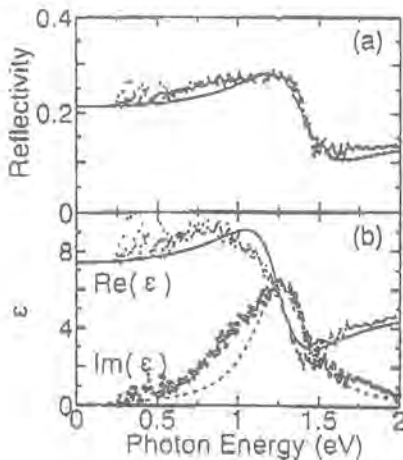


図1

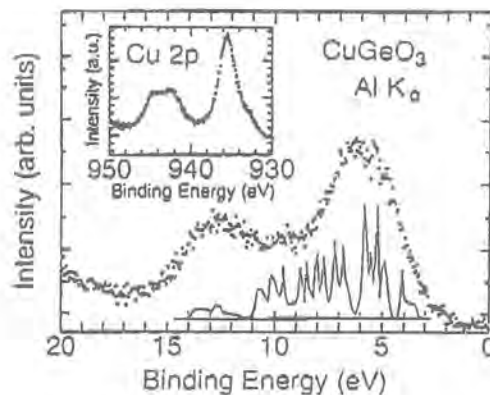


図2

れと異なり、6 eV付近に極大を持った状態密度が観測されている。図中に示した実線はバンド計算の結果 [Phys. Rev. B49(1994)14050] を -4eVずらしたものであり、実験結果と定性的に良く一致している。挿入図はCu $2p_{3/2}$  コアレベルのスペクトルであり、Cuが2価で存在することを直接的に示す証拠である。

### CuGeO<sub>3</sub>のFIR-ESRにおける温度依存性

名古屋工業大 安達 信 泰  
東北大・金研 濱本 輝 文  
金材技研 木戸 義 勇  
東大・工 長谷 正 司  
内野倉 國 光

スピンパイエルス物質であるCuGeO<sub>3</sub>について、M相における電子スピン共鳴(ESR)の温度依存性を調べた。M相のESRの観測は、周波数が525GHz、585GHzおよび761GHzのレーザーを用い、パルス磁石(8 msec., 40T)と組み合わせて行った。測定試料はself-flux法で作製したものをを用いた。温度は5Kから80Kにかけて測定した。

H // a 軸に対して各周波数に対して一本の共鳴線が得られ、それより求められたg値は周波数に依存せず $2.17 \pm 0.05$ となり、また、測定温度範囲では変化がほとんどみられなかった。マイクロ波による低磁場でのESRでは共鳴線の強度がスピンパイエルス転移温度前後で大きく変化することとは対照的に、強磁場での共鳴線の強度は温度によらずほぼ一定であり、半値幅は約0.2-0.4Tになった。

得られた共鳴線の形を解析するため、 $[I(H_0)/I(H)]$ を縦軸に $[(H_0 - H)/\Delta H_{1/2}]^2$ を横軸にプロットしたところ、80Kのスペクトルに関しては直線的であり、ローレンツ型の特徴を示した。一方、5Kのスペクトルに関しては、直線から上にずれをみる。その中間の温度依存性を合わせて考えると、80Kから5Kにかけて、ローレンツ型からガウス型の共鳴吸収曲線に徐々に変化する傾向が認められた。80Kのスペクトルは交換相互作用による尖鋭化を受けていると思われる。しかし、双極子幅が-0.3Tで交換相互作用Jが100K程度であるとすると交換相互作用による尖鋭化では $\Delta H \sim 0.01T$ と見積もられる。この点の不一致に関しては、g値に異方性があることから異方的交換相互作用を考慮した解析が今後必要と思われる。5Kの共鳴線がガウス型になることに関しては次のように類推している。M相では周期的に格子間隔が変化している相が不整合につながっているという描像にたつと、不均一な交換磁場をスピンが受けることからガウス型共鳴線が得られる。中間温度の共鳴線の形状変化からは、U相からM相にかけての臨界点は観測されなかった。

## 物性研究所談話会

日 時 1994年11月21日(月) 午後1時30分～2時30分

場 所 物性研究所旧棟1階講義室

講 師 高木英典 所員

(所属) 東京大学物性研究所凝縮系物性部門

題 目 高温超伝導酸化物の輸送現象

要 旨

高温超伝導体の輸送現象に、幅広い温度領域にわたって観測される温度 $T$ に比例した電気抵抗、Luttinger 総和則と一見矛盾したホール効果などの多くの異常が観測されることはよく知られている。

最近の幅広い温度領域および正孔濃度にわたるデータの蓄積により、電子相図上でこれらの電荷の輸送現象に現れる異常の位置付けがはっきりし、磁性—例えばスピンギャップ—との対応を含めたより広い立場からの議論がなされるようになってきた。これらについてまとめてお話したい。

日 時 1994年11月29日(火) 午後4時00分～5時00分

場 所 物性研究所旧棟1階講義室

講 師 Dr. J. - F. Roch

(所属) Institut d'Optique

Orsay, France

題 目 Quantum Nondemolition Measurement  
and Quantum Noise Reduction Experiments

要 旨

オルセの理論および応用光学研究所におけるDr. Grangier グループの最近の研究から、特に光の量子非破壊測定、冷却原子を用いた非線型光学と量子雑音の削減、ダイオードレーザーにおける量子雑音の削減の実験について述べる。

日 時 1994年12月9日(金) 午後4時00分～5時00分

場 所 物性研究所旧棟1階講義室

講 師 Professor G. MOUROU

(所属) Director of the NSF Center for Ultrafast Optical Science  
University of Michigan MIUSA

題 目 Optics in the single cycle regime and its applications

## 要 旨

Since recently, it is possible to produce pulses composed of only few optical cycles. It is also possible to amplify these pulses to extremely high peak power levels corresponding to tens of Terawatts( $10^{12}$ W). with compact lasers systems., Once focused intensities well in the  $10^{18-10} 19\text{W}/\text{cm}^2$  can be produced. At these formidable intensity levels, laser-matter interaction is novel, dominated by extreme large light pressures and the relativistic motion of the electrons. Broadly speaking these pulses are used to investigate physical phenomena in an extremely broad regime, i.e, from the meV all the way to the TeV. The practical applications of these pulses are also extremely divers. In communication they are making Gbit to 100Gbit rates possible and ultimately control channel capacity. In high speed electronics they are now the best way to characterize devices and circuits at the 100GHz to THz level. Recently, it was also discovered that the damage threshold of materials becomes very accurate for ultrashort pulses leading to ablation with sub-diffraction spot size features. Also the self-channeling of these pulses over very long distances accompanied by long ionization channels in air has been observed with the potential application of triggering lightning. The interaction of these pulses with gases or solids can produce short coherent or incoherent radiations in the X-ray regime. Finally the ponderomotive forces associated to these extreme intensities can be used to trigger thermonuclear reactions or to accelerate particles with field gradients as high as 20GeV/m that is, a thousand times greater than what can be achieved with conventional technology.

After the description of the generation, manipulation and amplification of these ultrashort pulses I will move to their applications. In the low peak power regime I will give examples in solid state physics where fundamental mechanisms governing the electron transport in semiconductors and superconductors are studied. Also I will describe the unique role of these pulses in high speed electronics where electrical signals can be resolved with picosecond and submicron resolutions. The novel application of these pulses in micro machining with sub-diffraction resolution will also be mentioned. I will then give an overview of the ultra high peak power applications where these pulses plays and will play an important role in the generation of incoherent or



coherent radiation i.e., harmonics, X-ray laser, but also in unsuspected fields, like particle accelerators, thermonuclear fusion and nonlinear Quantum Electro-Dynamics.

日 時 1994年12月12日(月) 午後1時30分~2時30分

場 所 物性研究所Q棟1階講義室

講 師 Prof. D.D.Sarma

(所屬) Indian Institute of Science

題 目 Metal-Insulator Transition in 3d Transition Metal  
Perovskite Oxides

要 旨

3d transition metal perovskite oxides of the general formula  $\text{LaMO}_3$  ( $M=\text{Ti}-\text{Ni}$ ) form in closely related crystal structures with very similar interatomic distances. However, these compounds as well as various substituted compounds derived from these have a wide variety of physical and chemical properties. In particular, these exhibit many interesting electronic and magnetic properties. Metal-insulator transition in these systems have been actively investigated in recent times. In order to discuss the microscopic origin of such phenomena, we first discuss the results of a mean field treatment of a multiband Hubbard model providing a description of the insulating and metallic states in such oxides. Electron spectroscopic investigations of metal-insulator transitions in four systems,  $\text{LnNiO}_3$  ( $\text{Ln}=\text{rare earth}$ ),  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$ ,  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  and  $\text{LaNi}_{1-x}\text{M}_x\text{O}_3$  ( $M=\text{Mn, Fe or Co}$ ) will then be discussed. It will be shown that the origin of the metal-insulator transition in each case is very different from those in the others.

## 物性研究所の外部評価の実施について

すでに本誌にも度々報告しているように、物性研究所は、近い将来、東京大学が取得を予定している柏新キャンパスに移転して、全面的な拡充・改組を行い、いわゆる第3世代の物性研究所の実現を指向している。この転機に当たり、主として外国で活躍する第一線の物性研究者による外部評価を実施することにした。評価の目的は、現在の物性研究所のactivityを国際的レベルで評価してもらうと共に、将来計画の内容についてさまざまな観点からadviceを受けることにある。評価を主として外国の研究者に依頼するのは以下の理由による。第3世代の物性研は物性基礎科学の分野での世界のCOEを形成し、我が国の共同利用研から国際的な共同研究所への脱皮を目指しているため、評価には国際的視野が要求されること、「物性研究所改組計画」（平成6年6月刊行）の中でも述べられているように、将来計画についてはすでに我が国の物性研究者から過去数年間にわたり広く意見を徴しながら慎重に策定して来たこと、また、物性研協議会および共同利用施設専門委員会において、それぞれ年2回定期的に、国内の外部研究者からは御意見を頂く機会をもって来たことなどである。

依頼した評価委員は以下の6名である。

評価委員長 Prof. M.S. Dresselhaus (MIT, U.S.A.)

評価委員 Prof. L. Esaki (The University of Tsukuba, Japan)

同 Prof. Y. Petroff (ESRF, France)

同 Prof. T. M. Rice (ETH Zürich, Switzerland)

同 Dr. G. Shirane (Brookhaven National Laboratory, U. S. A.)

同 Prof. K. von Klitzing (MPI Stuttgart, Germany)

評価の実施内容は以下のことを予定している。まず、物性研の歴史、研究体制、運営、予算等に関する概要、過去および現在の研究活動状況、将来計画の内容等に関する英文の調査報告書を作成し、前もって評価委員に送付して読んで頂く。これらの予備知識を基に、平成7年7月5、6、7日の3日間、物性研において評価委員会を開催し、研究者とのinterview、施設見学等を行って頂く。その後、これらの作業結果を基にして評価委員に評価報告書をまとめて頂く。評価に当たっては、各評価委員にそれぞれの専門分野のみの評価をお願いするのではなく、すべての評価委員に研究所全体に関する総合的な評価をお願いする。

なお、評価報告書の内容は本誌にも公表する予定である。

竹内 伸

本年3月東京大学物性研究所をご退官される先生の記念講演会を下記のとおり開催いたしますので、ご来聴くださいますようご案内申し上げます。

また、講演会終了後、先生を囲んでの記念パーティーを計画しておりますので、ご参加頂ければ幸いです。

物性研究所

---

## 退官記念講演会

日 時 平成7年3月20日(月) 13:00~  
場 所 東京大学生産技術研究所 第1会議室(3階)

- 所 長 挨拶
- 石 井 武比古 「放射光閑話」  
業績紹介 柿 崎 明 人
- 木 下 実 「有機磁性とのつき合い」  
業績紹介 加 藤 礼 三
- 松 岡 正 浩 「非線型光学から量子光学へ」  
業績紹介 渡 部 俊 太 郎

---

## 記念パーティー

開宴時間 記念講演会終了後(17時00分頃から)  
場 所 物性研究所第1会議室(2階 上記講演会会場の真下です)

### 東京大学麻布キャンパス（物性研究所・生産技術研究所）

場所 東京都港区六本木7丁目22番1号

電話 (03)3478-6811



地下鉄（千代田線） 「乃木坂駅」下車 4分

地下鉄（日比谷線） 「六本木駅」下車 7分

◎印 地下鉄出入口

## 人 事 異 動

研 究 部

(併任等)

所 属	職 ・ 氏 名	発 令 日	異 動 内 容 等
理 論 部 門	教 授 寺 倉 清 之	6. 12. 1	併任解除
”	教 授 高 山 一	6. 12. 1	併 任 (7.3.31 まで) 本務：筑波大学教授物理学系

## Technical Reports of ISSP 新刊リスト

### Ser. A

- No. 2871 Two-color Phase Control in Tunneling Ionization and Harmonic Generation by a Strong Laser Field and its Third Harmonic, by Shuntaro Watanabe, Kiminori Kondo, Yasuo Nabekawa, Akito Sagisaka, and Youhei Kobayashi.
- No. 2872 Correlation Functions of Spin-1  $XXZ$  chain in a Magnetic Field, by Makoto Yajima and Minoru Takahashi.
- No. 2873 Quantum Heisenberg Ferromagnetics with Long-Range Interactions, by Hiroki Nakano and Minoru Takahashi.
- No. 2874 Dissociation of Flux Line in Unconventional Superconductor, by Michael Zhitomirsky.
- No. 2875 Bulk Versus Edge Transport in Quantum Hall Regime, by Tsuneya Ando.
- No. 2876 Carbon Nanotubes: Dirac Electron at Cylindrical Surface, by Hiroshi Ajiki and Tsuneya Ando.
- No. 2877 Carrier Concentration Dependence of the Pseudo Spin Gap Behavior in  $\text{LaBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ , by Atsushi Goto, Hiroshi Yasuoka, Kenji Otzsch and Yutaka Ueda.
- No. 2878 Two-Dimensional Ferromagnetic Intermolecular Interactions in Crystals of the  $p$ -Cyanophenyl Nitronyl Nitroxide Radical, by Yuko Hosokoshi, Masafumi Tamura, Hiroshi Sawa, Reizo Kato and Minoru Kinoshita.
- No. 2879 Elementary Excitations and Phase Transitions in Two-Dimensional  $^4\text{He}$  and Thin  $^4\text{He}$  Films, by M. Saarela, B. E. Clements, E. Krotscheck and F. V. Kusmartsev.
- No. 2880 Aharonov-Bohm Effect in Luttinger Liquid and Beyond, by F. V. Kusmartsev.
- No. 2881 NMR Studies of Magnetic Multilayers, by Hiroshi Yasuoka and Atsushi Goto.
- No. 2882 Remarkable Difference in the Effects of Nonmagnetic Impurities on the Haldane and Spin-Peierls Systems, by Yoshitami Ajiro, Takayuki Asano, Fuminori Masui, Mamoru Mekata, Hiroko Aruga-Katori, Tsuneaki Goto and Hikomitu Kikuchi.
- No. 2883 Critical Properties of Metal-Insulator Transition in Low Dimensions, by Masatoshi Imada.
- No. 2884 Electronic Structure of  $\text{CeB}_6$  Studied by  $3d$  XPS and High-Resolution  $4d$ - $4f$  Resonant Photoemission, by Akito Kakizaki, Ayumi Harasawa, Takehiko Ishii, Takayuki Kashiwakura, Atsushi Kamata and Satoru Kunii.
- No. 2885 Charge Transfer Controlled Phase Transition in a Molecular Conductor,  $(\text{DMe-DCNQI})_2\text{Cu}$  - Doping Effect - by Hiroshi Sawa, Masafumi Tamura, Shuji Aonuma, Minoru Kinoshita and Reizo Kato.



- No. 2886 Structural Aspects of  $C_{82}$  and  $C_{76}$  Crystals Studied by X-Ray Diffraction, by Hajime Kawada, Yasuhiko Fujii, Hironori Nakao, Youichi Murakami, Tetsu Watanuki, Hiroyoshi Suematsu, Kouichi Kikuchi, Youji Achiba and Isao Ikemoto.
- No. 2887 Hybridization Effects on Conduction-Electron Polarization and Two-Ion Coupling in  $\text{PrCu}_2\text{Si}_2$ , by Tetsuo Ohama, Hiroshi Yasuoka and E. V. Sampathkumaran.
- No. 2888 Crystal Growth Model for Molecular Beam Epitaxy: Role of Kinks on Crystal Growth, by Akitoshi Ishizaka and Yoshitada Murata.
- No. 2889 NMR Study of Anomalous CDW Behaviors in a Layered Copper Sulfide,  $\text{K}_3\text{Cu}_8\text{S}_6$ , by Atsushi Goto, Hiroshi Yasuoka, Masahito Isobe, Akihiko Hayashi and Yutaka Ueda.
- No. 2890 New Heavy-Electron System  $\text{Ce}_3\text{Pd}_{20}\text{Si}_6$ , by Naoya Takeda, Jiro Kitagawa and Masayasu Ishikawa.
- No. 2891 Fermi Surface and Absence of Additional Mass Enhancement near the Insulating Phase in  $(\text{DMe-DCNQI})_2\text{Cu}$ , by S. Uji, T. Terashima, H. Aoki, R. Kato, H. Sawa, S. Aonuma, M. Tamura and M. Kinoshita.
- No. 2892 NMR and Magnetic Susceptibility in Superconducting and Antiferromagnetic Ga-based Cuprates  $\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Sr}_2\text{Cu}_2\text{GaO}_7$  ( $0 < x < 0.3$ ), by A. I. Rykov, Y. Ueda, A. Goto and H. Yasuoka.
- No. 2893 Core-Level Spectroscopy in Early Transition Metal Compounds, by A. Kotani, T. Uozumi, K. Okada and J. C. Parlebas.
- No. 2894 The Anderson Impurity Model for Solids, by Akio Kotani.
- No. 2895 Electronic Surface and Bulk Contributions to Core-Level XPS, XAS and BIS in  $\text{CePd}_7$  Compounds, by Y. Iwamoto, M. Nakazawa, A. Kotani and J. C. Parlebas.
- No. 2896 Photoemission Study of the Spectral Function of  $\text{V}_2\text{O}_3$  in Relation to the Recent Quantum Monte Carlo Study, by Shik Shin, Yasuhisa Tezuka, Toyohiko Kinoshita, Takehiko Ishii, Takayuki Kashiwakura, Masanori Takahashi and Yoshiyuki Suda.
- No. 2897 Spin and Charge Differentiation in Doped  $\text{CuO}_2$  Plans Observed by the Cu NMR/NQR Spectra, by Hiroshi Yasuoka.
- No. 2898 Computer Simulation of Dislocations and Plastic Deformation in a Model Decagonal Quasicrystal, by Tetsushoku Tei-Ohkawa, Keiichi Edagawa and Shin Takeuchi.
- No. 2899 Lattice Distortion of Metallic Carbon Nanotubes Induced Magnetic Fields, by Hiroshi Ajiki and Tsuneya Ando.
- No. 2900 Diffusion of Electrons in Random Magnetic Fields, by Tohru Kawarabayashi and Tomi Ohtsuki.
- No. 2901 Structural Aspect of Dense Solid Halogens under High Pressure Studied by X-Ray Diffraction - Molecular Dissociation and Metallization - by Hiroshi Fujihisa, Yasuhiko Fujii, Kenichi Takemura and Osamu Shimomura.

- No. 2902 Theory of Many-body Effects in Valence, Core-Level and Isochromat Spectroscopies along the 3d-Transition Metal Series of Oxides, by J. C. Parlebas, M. A. Khan, T. Uozumi, K. Okada and A. Kotani.
- No. 2903 Effects of Configuration-Dependent Hybridization on Core-Level Photoemission Spectra, by Kozo Okada and Akio Kotani.
- No. 2904 Spectral Correlations in Two-Matrix Models, by Yshai Avishai, Yasuhiro Hatugai and Mahito Kohmoto.
- No. 2905 Enhanced Magnetic Susceptibility of  $(DI-DCNQI)_2Cu$ , by Masafumi Tamura, Yoshiaki Kashimura, Hiroshi Sawa, Shuji Aonuma, Reizo Kato and Minoru Kinoshita.
- No. 2906 Magnetic and Transport Properties of the Kondo Lattice Model with Ferromagnetic Exchange Coupling, by Nobuo Furukawa.
- No. 2907 Anomalous Pressure-Temperature Phase Diagram of the Molecular Conductor,  $(DI-DCNQI)_2Cu$  ( $DI-DCNQI=2,5$ -Diiodo- $N,N'$ -dicyanoquinonediimine), by Yoshiaki Kashimura, Hiroshi Sawa, Shuji Aonuma, Reizo Kato, Hiroki Takahashi and Nobuo Mori.
- No. 2908 Photoemission Study of Ce/Ni(110) System, by Tetsuo Okane, Mitsuki Yamada, Shoji Suzuki, Shigeru Sato, Toyohiko Kinoshita, Akito Kakizaki, Takehiko Ishii, Junji Yuhara, Masahiko Katoh and Kenji Morita.
- No. 2909 Nuclear Spin-Lattice Relaxation and Antiferromagnetic Spin Correlations in Superconducting Thiospinel  $Cu_{1.5}Co_{1.5}S_4$ , by Y. Furukawa, S. Wada, K. Miyatani, T. Tanaka, M. Fukuguchi and M. Ishikawa.
- No. 2910 Beam Position Control of SOR-RING, by Hirofumi Kudo, Toshiya Nagatsuka, Kenji Shinoe, Hiroyuki Takaki, Tadashi Koseki, Norio Nakamura and Yukihide Kamiya.
- No. 2911 A Damped-Structure Cavity for a High-Brilliant VUV and SX Storage Ring, by Tadashi Koseki, Masaaki Izawa and Yukihide Kamiya.
- No. 2912 Effect of Pressure on the Magnetic Susceptibility in Spin-Peierls Cuprate,  $CuGeO_3$ , by Hiroki Takahashi, Nobuo Mori, Osamu Fujita, Jun Akimitsu and Takehiko Matsumoto.
- No. 2913 Characteristics of a SiC Microwave Absorber for Damped Cavity, by Masaaki Izawa, Tadashi Koseki, Yukihide Kamiya and Takanori Toyomasu.
- No. 2914 Chemical Pressure Effect by Selective Deuteration in Molecular-Based Conductor,  $(DMe-DCNQI)_2Cu$ , by Shuji Aonuma, Hiroshi Sawa, and Reizo Kato.

## 編 集 後 記

「物性研だより」第34巻第5号をおとどけます。

今号の目玉は何ととっても石井先生に書いていただいた「SOR-RINGの20年」です。SOR-RINGの設立およびその後の運営を支えてこられた多くの方々のご苦勞が、具体的な出来事を交え、先生の肉声で語られており、ずっしりと読みごたえのある一文です。松下先生には着任のご挨拶、ご研究の紹介を書いていただきました。その他、物性研短期研究会の報告等、今号はかなり盛りたくさん内容になっております。

なお、次号の締め切りは2月10日です。

所属、住所変更の場合等は事務部共同利用掛まで連絡願います。

遠 藤 彰  
武 居 文 彦

