

# 物性研だより

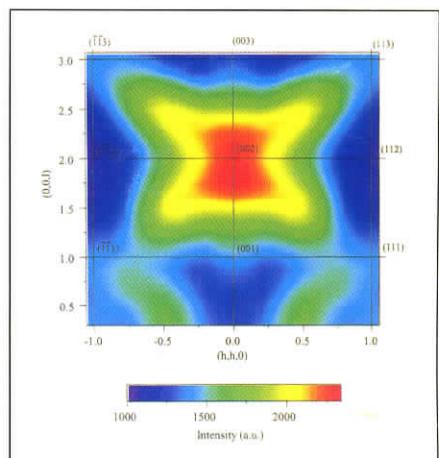
第41巻  
第3号

2001年9月

- 目 次
- 1 再び物性研で働くことになって 柿崎 明人
  - 3 研究会シリーズ「物質探索と物性研究」の講評にお応えして
  - 5 物性研究所研究会シリーズ「物性研究の展望」報告
    - 「中性子散乱と物性科学」
  - 81 物性研究所談話会
  - 物性研ニュース
  - 84 ○東京大学物性研究所の客員教授（助教授）公募の御案内
  - 86 ○人事異動
  - 87 ○2002年度日米協力「中性子散乱」研究計画の公募
  - 88 ○テクニカルレポート 新刊リスト

## 編集後記

ハイドロクロア半強磁性体 $Tb_2Ti_2O_7$ の  
示す中性子磁気散漫散乱  
(名大・佐藤グループ)



東京大学物性研究所

ISSN 0385-9843



# 再び物性研で働くことになって

軌道放射物性研究施設 柿崎明人

去る5月1日付けで着任し、かつて12年間お世話になり充実した時間を過ごした物性研で再び働くことになりました。4年前に物性研を離れるときは、将来この新しい建物から毎日柏の葉公園を眺めて生活するとは正直いって考えていました。最初は荒れ地に聳える監獄かエイリアンの住処の宇宙船のように見えたこの建物が、住めば都というのか楽天的すぎる性格のためか、しだいに自分の家のように思えてくるのは不思議です。最近は、隣の建物の工事の進み具合が気になる毎日です。

私はこれまで、放射光を利用する光電子分光を主な実験手段とし、研究テーマとして遷移金属や希土類金属とその化合物の物性と電子状態をとり上げてきました。対象とする物質群と実験の手法は、利用する放射光施設や職場が変わることを機会に新しい展開をくり返し、物構研での4年間はスピン角度分解光電子分光実験によって表面特有の磁性を調べることを目指しておりました。低次元性と再構成構造によって起きるバルクとは異なる磁気異方性、強磁性相転移、界面磁気秩序などの性質と電子状態の関係を調べることは、表面磁性の起源を明らかにする上で大切なだけでなく、超格子・多層膜など磁気機能素子開発のための基礎研究としても重要だからです。これからはレーザー分子線エピタキシー、走査トンネル顕微鏡、光電子顕微鏡などを用いた表面の作成、構造の評価も考えながら、できるだけ早く研究室を立ち上げ、分野の発展に寄与していくたいと考えております。これは私が物性研で果たすべき責任の一つです。一方、表面には、関連するさまざまな研究を総合することによって初めてその全体像が明らかになる側面もあります。実際、金属強磁性体や磁性薄膜の表面研究には、磁性、メゾスコピック系、強相関電子系の物性など多くの研究分野の知識と実験手段が必要で、いろいろな分野の方との研究協力も重要です。新進気鋭とはいえない私にとって、これから新しい環境でいろいろな刺激が受けられることは、研究を続ける上で大きなチャンスをいただいたと考えており、ぜひとも有効に活かしたいと思っています。

もう一つの責任は、神谷先生の後任として高輝度光源計画を推進することです。1997年5月まで軌道放射物性研究施設(SOR施設)の一員として計画に参画していた私にとって、この4年間の進展と計画を取り巻く環境の変化には本当に驚いています。1997年までは、柏キャンパスに高輝度光源として2.0GeVの電子蓄積リングを建設する予定だった計画が、1998年にはVUV専用の1.0GeV光源を実現可能な第1期計画として設置するものに変更となり、1999年からは現在の1.6GeVのVUV・軟X線高輝度光源(SuperSOR)計画となりました。この間、光源加速器、ビームライン・分光光学系、実験設備のR&Dは、計画の変遷、国内外の状況を反映させながら絶えすことなく続けられてきました。いまでは、高輝度光源の建設に十分なノウハウを蓄積して、計画がいつスタートしても適応できる状態にあります。計画に対する物性研究所を挙げての支援活動も4年前とは比較にならないほど活発で、柏新キャンパスでの高輝度光源計

画に対する期待がこれまでになく大きくなっていることを実感します。一方、計画実現に向けたSuperSOR利用者懇談会の活動はますます充実し、さまざまな切り口で放射光科学の重要性と将来を考えるセミナーが開催され、講習会や一万人署名など、アイデアあふれる活動と支援には本当に頭が下がります。それだけ大きな期待をSuperSOR計画とSOR施設は背負っているといえます。それにきちんと応えることが私に与えられたミッションであり、計画実現を推進する当事者の一人としての責任も大きいと思っております。

着任して以来4ヶ月が経ちましたが、私自身が計画の現状を再確認する間もないほど、すさまじいスピードで事態は進展しています。文部省と科学技術庁が統合改組したのを機会に、本年3月文部科学省が我が国の放射光光源建設計画についてヒヤリングを行い、文部省学術審議会で取り上げた東大、東北大の建設計画をもとにした統合計画案を作る作業（極紫外・軟X線高輝度光源検討会議）が5月からスタートしました。会議はこれまで4回開催され、両大学の建設計画と世界の現状分析をもとに、我が国でこれから建設すべき高輝度光源と設置形態についての議論がなされています。しかし、まだ統合計画について合意が得られるには到っていません。また、日本放射光学会も文部科学省の動きに呼応して、将来計画特別委員会を設け、我が国の放射光施設のグランドデザインの構築を計画しています。こちらも3ヶ月で5回のハイペースで活発に議論され、上記の検討会議に合わせて極紫外・軟X線高輝度光源に関する議論をまとめた中間報告を出す予定です。いづれの会議でも、極紫外・軟X線領域の高輝度光源の重要性と全国共同利用施設の整備の必要性が指摘されるとともに、コミュニティがまとまって高輝度光源の建設・整備を行い、この研究分野の新しい発展をはかっていくことが期待されています。学内外の多くのユーザーに支援され、綿密に検討されたSuperSORがその中核にあることは間違ひありません。

これまでの議論のなかで、計画に対して「挿入光源の数が十分なのか」、「実験設備が建設直後から成果をあげられるものなのか」、「加速器が将来の発展に対応できるのか」、「利用体制の整備は十分か」などの問い合わせもされています。SuperSOR計画に対して周囲から期待を込めて寄せられる多くの意見や質問は、問題に対して真正面から向き合い、深く考えて初めて有効な答えが得られるものばかりです。計画を推進している人間がどれだけ真剣に取り組んでいるかが問われている気がします。完成後のSuperSORが放射光実験施設として多くの人に支えられ、有効に利用されて広範な分野で研究成果をだしていくためには、それまでの経緯や既存の考えにとらわれずに、施設とユーザーが連携して改善すべき点は改善していく姿勢も大切であると思っております。「放射光は物質科学研究に不可欠な手段」であり、その「利用範囲は大変広範」です。諸外国では、すでに建設された極紫外・軟X線高輝度光源を利用した研究成果が数多くあり、挿入光源の利用法や放射光を使った物質科学研究の質も大きく変化しようとしております。私も含め、放射光科学あるいは物質科学に関係する人々の「学問・研究に対する真剣さ」が、SuperSOR計画の成功やこの分野の発展の一つのカギを握っていると思っています。幸い物性研の中には、明確な利用研究計画を持って支援してくださっている研究者が沢山おり、大変心強く感じております。

SuperSORという物性研究のための少し大きめの装置づくりと、それを利用した物性研究がこれから私の主な仕事になります。とくに前者は所内外の多くの方の協力が必要です。皆様のご支援とご指導をよろしくお願ひいたします。

# 研究会シリーズ「物質探索と物性研究」の講評にお応えして

## 講評に対するお応え

新物質科学研究部門  
物質設計評価施設・合成評価部

研究会シリーズの一環として新物質科学研究部門と物質設計評価施設・合成評価部が主催した研究会「物質探索と物性研究」（平成 13 年 3 月 8-10 日）に出席し、お忙しいなか貴重な講評を寄せていただいた北沢、大貫、三宅、鹿野田先生にまず厚く御礼申し上げる。

新物質科学部門は先端技術による物性測定と物質合成を基礎とした物質科学の総合的研究を推進することを目標に平成 8 年の改組において発足した。一方、物質設計評価施設は、理論的な物質設計と実験による合成・評価の有機的な連携を目指して設置されたが、実験系研究室の目標とするところは新物質部門と共通するところが多く、今回研究会を合同で主催した。個々の研究室は基本的に、比較的小規模のグループが独自の発想に基づいて新しい研究の芽を育てるという、以前の凝縮系物性部門のスタイルを受け継いでいるが、物質設計評価施設の場合はさらに合成・評価に関する基本的実験設備を整え所内外のユーザーに提供するという任務も負っている。柏移転後一年余りを経過し、新しく整備された装置を使った実験に忙しい日々を送っていた我々にとって、今回寄せられた講評は長期的な将来の展望を考える上で有用な材料となり、またこのような問題について所員が集まり真剣に意見を交える貴重な機会を与えてくれた。

当部門・施設はここ数年所員の入れ替わりが多く、講評の対象となった 8 研究室のうち、5 研究室が過去 5 年以内に設立されている。ほとんどの研究室がいわゆる強相関電子系を対象とした研究を行っているが、それぞれの研究室が自分の得意とする実験手法を駆使して得た最近の研究成果に対し、評価委員の先生方からはある程度の評価が頂けたと感じている。その上で、今後の研究活動を考える上での重要な批評と提言をいくつか頂いた。それらをまとめると以下のようになるであろう。

- 1) 既知の分野を更に精緻に完成するような研究成果は評価されるが、反面、荒削りながら新しい分野を切り開くような研究、また応用に繋がるような研究が欠けている。
- 2) 個々の研究室は高い成果を挙げているのに、強相関系の分野全体から見ると当部門・施設の存在感が薄い。
- 3) 研究分野が強相関電子系に偏りすぎている。将来はもっと多様性を持たせるべきである。
- 4) 研究成果をもっと広く世にアピールすべきである。
- 5) 研究活動に対する批評ではないが、研究者がますます多忙になる中、十分な研究時間を確保することが困難になっている状況に対する憂慮の念が、複数の講評委員の方から寄せられている。

1) に関しては新物質、特に物性測定を主とする研究室に関しては指摘のとおりだと思う。一方、新物質合成に関しては、新しい分野の芽となる成果も出つつあり、将来の発展をもう少し待ちたい。研究グループが小規模なこと、比較的早期に成果が求められる一般的な状況を考えると、未開拓の分野に着手しにくい、また 5) と関連するが、研究時間の圧迫がリスクの多い新しいテーマに挑戦することを難しくしている、という事情があるが所詮は言い訳になってしまう。しかし、「新しい分野を切り開く」のは容易ではなく自覚すればできるというものでもない。応用研究については、物性研でこれを積極的に推進すること求められているとは考えていないが、大学の研究機関を取り巻く社会的環境の変化や将来の研究資金配分の傾向を考えると、応用を無視した物質科学は成り立たなくなるかもしれない。新領域研究科との交流を緊密にする、あるいは企業の研究者を招いて講演してもらうといった試みを通して、物性研の研究がどのような応用に繋がりうるかを知る努力をすべきかもしれない。

2)については、真剣に置けとめる必要があるであろう。これだけ多様な強相関の研究が行われていながら、研究室間にあまり連携がなかったことが原因の一つと考えられる。また4)とも関連するが、物性研での研究成果のアピールが足りないこともあるだろう。強相関電子系の物性を解明するさまざまな実験手段のエキスパートがそろっている当部門・施設の特徴を生かした連携を強め、部門・施設全体で大きな成果をあげるような努力をすべきであろう。最近このような共同研究の芽が実際に見られるようになってきていると思う。

3)に関しては、現時点では必ずしも否定的な面だけでなく、上に述べたようにグループとしての強みを發揮する上で好都合な面もある。過去数年の当部門・施設の所員人事に際しての構想は、物質科学の基本的な実験手段をカバーすることであって、強相関を皆がテーマとすることを意図したわけではない。むしろ強相関電子系の物理・化学が最近非常に重要で刺激的であった事実を反映していると思う。しかし長期的には次のテーマを模索すべき時期にきており、新たな研究分野の人材の流入が部門・施設全体を活性化させるように図る必要があるだろう。ただ具体的に何が強相関の「次」にくるかを今予想するのは難しい。

4)の提言はもっともあるが、当部門・施設だけに限られた問題ではなく、共同利用を含めた研究成果を如何に世の中にアピールしていくか、物性研全体として検討中である。ホームページをもっと効果的に使うことなどが考えられるが、次の5)の問題とも関係して、そのために研究者の負担を増大させるような事態は避けたい。

5)研究者に課せられる任務がどんどん増えて、研究時間が圧迫されているという状況は、我々だけで解決できることではないが、研究の質を左右する死活問題であると思う。多くの所員が多大な時間を学術経営に費やす状況は、客観的に見ても人材の無駄遣いであると思うが、事務職員が短期間で部局を移動する現状では、部局の状況に即した学術経営の専門家が育つことは難しく、現状を改善する名案はなかなか思い浮かばない。今後、情報公開や社会に対する説明責任を求める動きに伴い研究者の任務が増え、加えて柏キャンパスでは事務部の合同化による実質的な人員削減が進めば、事態はますます悪化することが予想される。我々としては、できるだけ無駄を避け、少しでも多くの時間を研究に向ける努力をするしかないかも知れない。独法人になれば事態は改善するのであろうか。

以上、講評で提起された問題に対し、あまり的を得ていないところがあるかもしれないが、関係所員が集まって議論した内容をまとめてみた。新物質科学部門、物質設計評価施設とともに、柏移転に伴って実験装置面では飛躍的に充実したことは事実であるが、大型装置を中心とする物性研の他の部門とは異なり、他大学ではまかなえない装置を備えているわけではない。装置のハードウェアを提供するという古いタイプの共同利用の機能が重要な意義をもたない現在、新物質開発と精密物性測定による物性現象の本質の解明という2つの側面から、新たな研究分野・手法の展開を模索することを含めて、将来の物性研究の方向を所内外に発信していくことが、当部門・施設の使命であろうと考えている。

## 研究会シリーズ「物性研究の展望」

# 「中性子散乱と物性科学」

日時 平成13年6月13(水)～15日(金)

場所 東京大学物性研究所大講義室(柏キャンパス)

物性研究所は一昨年度より、研究所を構成する5研究部門と3研究施設の各々につき、スタッフの研究業績、全国共同利用の成果、今後の研究計画(将来計画)について外部からの講評(評価)を頂くとともに、ホットトピックスを中心に議論を行う伝統的な物性研短期研究会をミックスした、研究会シリーズ「物性研究の展望」を実施してきた。このシリーズ最後の研究会は、サブタイトルを「中性子散乱と物性科学」と題して、附属中性子散乱研究施設を対象として行われた。中性子散乱の研究内容は広範な分野にわたるので、各分野を代表する9名の講評者をお願いしたが、当研究施設ならびに物性研究所への熱い思いのこもった貴重な御意見を頂いた(後述)。

本施設は10年の期限付きで平成5年度(1993年4月)に茨城県東海村に設置されたので本年度は第1期の9年目に当たる。平成15年度(2003年4月)からの第2期目を目前にして、第1期に果たした施設の役割を総括し、新たな意気込みで第2期を迎えるべく、全国の研究者の忌憚のないご意見を頂くこともこの研究会の大きな目的であった。したがって、この研究会開催に当たり、施設として次の2つの資料集を作成し、事前に講評者に配付し参考として頂くとともに、IIについては研究会冒頭で施設長が詳しい説明を行った。

### 資料 I. 教官業績リスト

現所員3名(藤井、吉澤、柴山)、元所員2名(加倉井、松下)、および現助手6名(大原、中島、武末、長尾、阿曾、西)につき、略歴、論文リスト(国際会議招待講演等含む)、業績概要(研究活動、外部研究資金獲得実績、受賞記録等)、学内外の活動記録等をまとめた128頁の資料。

### 資料 II. 全国共同利用実績

1. 日本の中性子源・施設の歴史的変遷
2. 東大物性研中性子関連教官(図1)と大学院生数の変遷
3. 施設運営委員会、中性子散乱実験審査委員会の役割と委員一覧
4. 中性子散乱研究施設の任務
  - ・JRR-3M原子炉による中性子散乱全国共同利用
  - ・日米協力「中性子散乱」(旧文部省-米国エネルギー省)
  - ・スタッフ固有の研究活動
  - ・国内外の中性子コミュニティーへの貢献
5. 実験課題公募・審査の流れと原子炉運転スケジュール
6. 年度別申請課題数・共同利用者数(図2)

## 年度別 申請課題数・共同利用者数

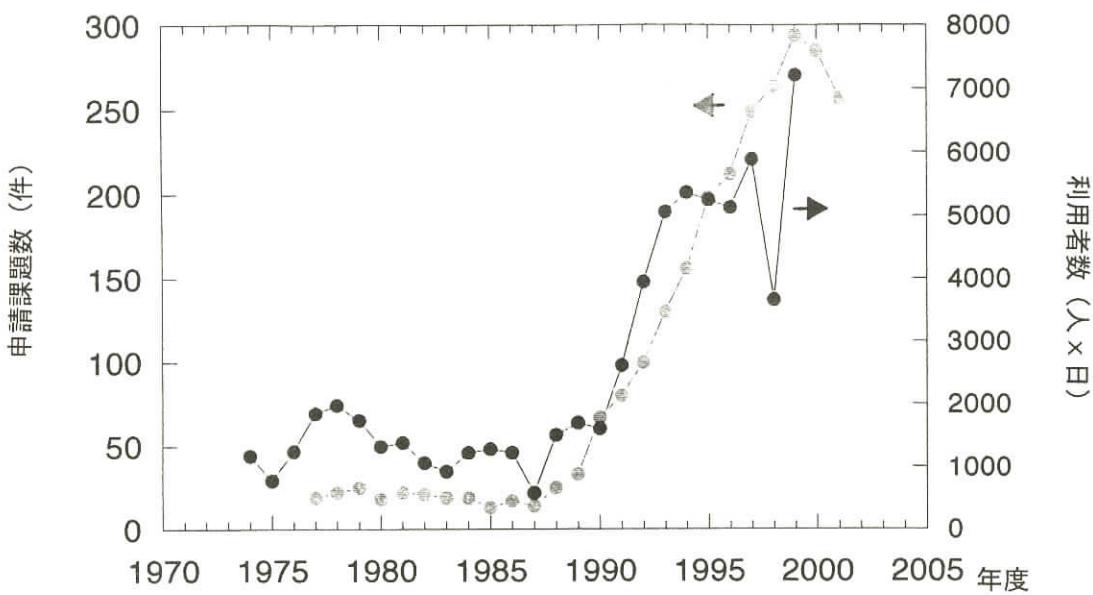
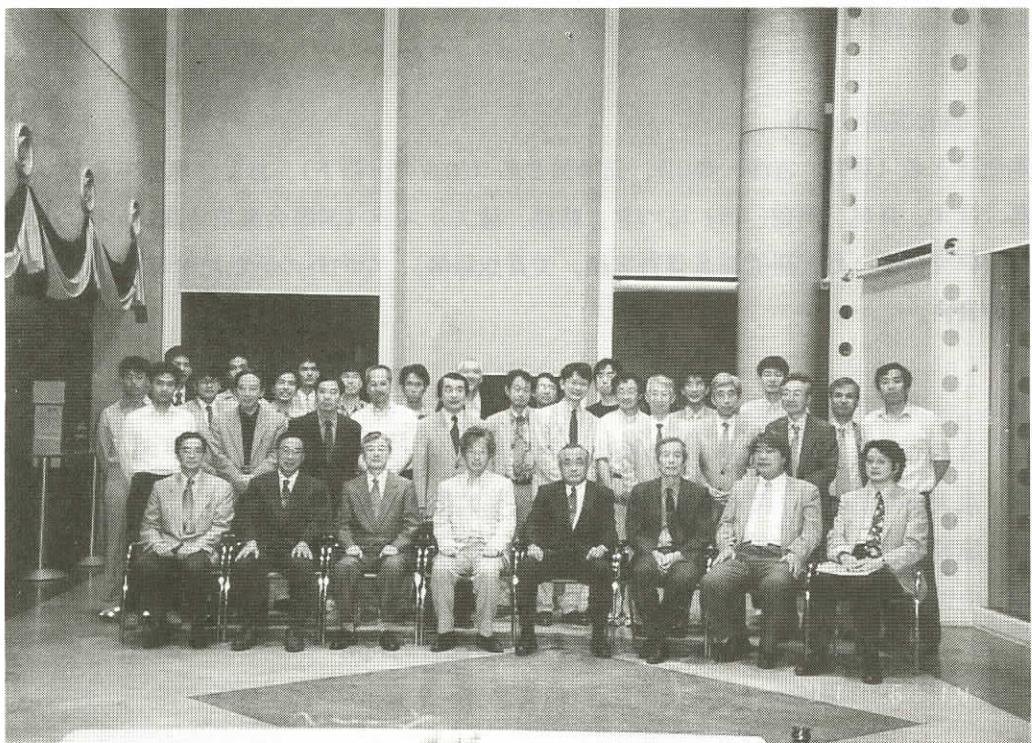


図2 年度別申請課題数・共同利用者数



懇親会にて

7. 実験装置台数の変遷
8. 装置運転・維持・管理体制と予算（維持費、旅費）の変遷
9. 年度別発表論文数と全論文リスト
10. 年度別博士学位取得者数と全リスト
11. 装置別代表的研究成果ハイライト
12. 装置別受賞・国際会議招待講演・新聞報道等

たいへんお忙しいところ貴重な時間を割いて3日間の研究会にご出席下さり講評して頂いた9名の先生方に厚くお礼申し上げるとともに、資料集作成にご協力頂いた装置責任者・共同利用者の方々、また研究会に参加し熱心に討論いただいた方々に感謝いたします。

なお、講評者のご意見に対する回答は、次号「物性研だより」（11月号）に掲載する予定です。

（藤井保彦、吉澤英樹、柴山充弘）

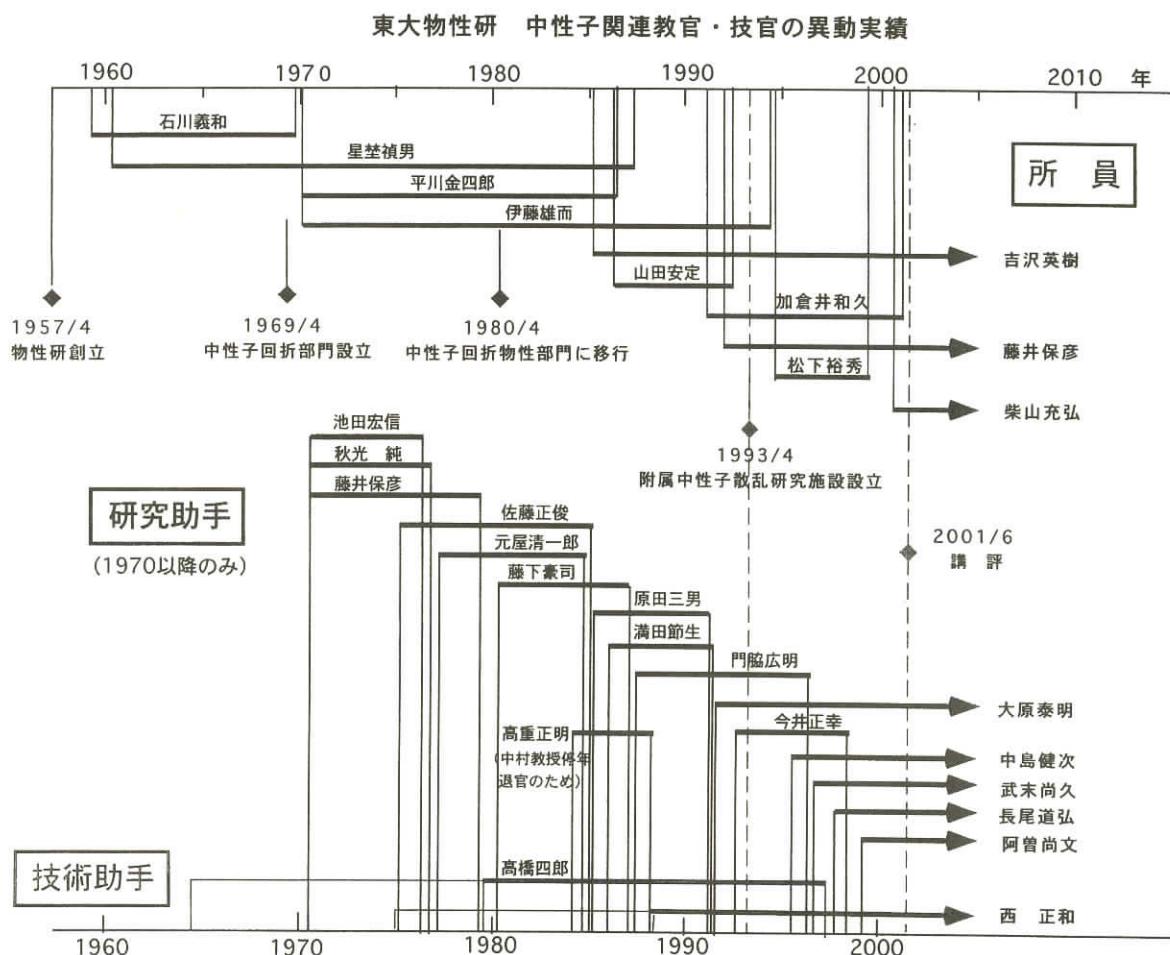


図1 東大物性研 中性子関連教官・技官の異動実績

## プログラム

6月13日(水)

	施設の概要報告	(座長 柴山充弘)
13:30-13:40	福山秀敏	物性研 所長挨拶
13:40-14:20	藤井保彦	物性研 施設の概要報告
	構造	(座長 池田 進)
14:20-14:50	山田安定	早大 スピナー電荷間相互作用の性質と中性子散漫散乱
14:50-15:10	増山博行	山口大 $A_2BX_4$ 型誘電体のソフトモードと構造相転移
	休憩	
15:30-15:50	佐藤 卓	金材技研 中性子散乱で見る準結晶の磁性
15:50-16:15	野田幸男*	東北大 単結晶構造解析による磁気相転移と構造相転移の研究
16:15-16:35	三沢正勝	新潟大 複雑溶液における多様な構造形成とその分子論的起因
16:35-17:00	梶谷 剛*	東北大 AGNES を用いた低エネルギーギャップの測定
17:20-19:00	ポスターセッション	

6月14日(木)

	ソフトマター	(座長 太田隆夫)
9:00-9:30	橋本竹治	京大 中性子散乱による高分子多相系の階層性に関する研究
9:30-9:55	柴山充弘*	物性研 高分子ゲルの小角中性子散乱
9:55-10:15	松下裕秀	名大 拘束空間内におけるブロック・グラフト共重合体のかたち と界面
10:15-10:35	金谷利治	京大 高分子ガラスの異常緩和と不均一性
	休憩	
		(座長 片岡幹雄)
10:55-11:15	今井正幸	お茶大 高分子鎖を閉じ込めたマイクロエマルションの挙動
11:15-11:40	瀬戸秀紀*	広島大 中性子スピニエコーによる膜系のダイナミックス
11:40-12:00	平井光博	群馬大 生体脂質、水和、ダイナミックス
12:00-12:20	佐藤 衛	横浜市大 中性子溶液散乱でみる巨大ウイルス粒子の内部構造
	昼食	

	強相関電子系（1）	(座長 佐藤正俊)
13:30-14:00	遠藤康夫 金研	高温超伝導銅酸化物
14:00-14:30	秋光 純 青学大	偏極中性子を用いた軌道整列の研究
14:30-14:55	廣田和馬* 東北大	層状 Mn ペロブスカイト酸化物における電荷・ спин・軌道自由度の相転移
14:55-15:20	吉沢英樹* 物性研	Mn 酸化物、Ni 酸化物における電荷・軌道秩序

休憩

		(座長 山田和芳)
15:40-16:00	神木正史 都立大	f 電子系少数キャリアー物質の物理
16:00-16:25	河原崎修三* 阪大	重い電子系のスピニラギと長距離磁気秩序
16:25-16:45	目時直人 原研	ウラン金属間化合物における特異な磁気構造と磁気励起
16:45-17:05	門脇広明 都立大	重い電子系の中性子散乱：近藤半導体、非フェルミ液体、磁気構造

17:30-19:00 懇親会

6月15日（金）

	強相関電子系（2）	(座長 神木正史)
9:00-9:30	佐藤正俊 名大	高温超伝導体の擬ギャップ研究
9:30-9:50	山田和芳 京大	2-1-4系銅酸化物超伝導体の磁性と超伝導（仮題）
9:50-10:15	大山研司* 金研	中性子回折でみた希土類正方晶化合物 $RB_2C_2$ での四極子秩序
10:15-10:40	山口泰男* 金研	単結晶を用いた構造相転移の研究

休憩

		(座長 伊藤晋一)
11:00-11:25	加倉井和久* 原研	擬低次元磁性物質の中性子散乱研究
11:25-11:50	藤井保彦* 物性研	中性子と X 線の相補的利用によるスピニ・電荷・格子系の研究
11:50-12:10	田中秀数 東工大	量子スピン系 $TlCuCl_3$ と $KCuCl_3$ の磁気励起と磁場誘起相転移

昼食

			(座長 加倉井和久)
13:30-13:50	伊藤晋一	K E N S	パーコレーション磁性体の臨界現象
13:50-14:15	蒲沢 和也*	早大	フラストレーション系 $ZnFe_2O_4$ の中性子磁気散乱
			基礎物理 (座長 加倉井和久)
14:15-14:35	阿知波紀郎	九大	冷中性子スピン干渉による磁気膜トンネル位相・時間の観測
14:35-15:00	田崎誠司*	京大	C3-1-2 ビームポートの改造と中性子スピン干渉計の開発と応用
			休憩
			全体セッション (座長 遠藤康夫)
15:20-16:00			将来計画
16:00-16:30			講評・コメント等
16:30-16:40	藤井保彦	物性研	閉会の辞

(注) 講演者欄の \* 印は、装置責任者

### ポスターセッション

1	社本真一	東北大学院工	・ AGNES による 2 重ハニカム格子超伝導体のフォノン状態密度
2	富吉昇一	愛媛大学工	・ 2p 電子系反強磁性体 TPV の弱強磁性とスピン構造
3	薦岡孝則	広大教育	・ $Nd_7Ni_3$ の磁場、圧力下における中性子回折
4	薦岡孝則	広大教育	・ 希土類化合物 $Tb_7Rh_3$ の磁気構造
5	伊藤厚子	理化学研	・ 異方性競合系 $Fe_{0.5}Co_{0.5}TiO_3$ の磁場中における磁気秩序
6	小野俊雄	東工大院理工	・ Heisenberg 極限の三角格子反強磁性体 $CsMn(Br_xI_{1-x})_3$ の相転移と臨界現象
7	外館良衛	お茶大理	・ 規則型複合ペロブスカイト酸化物の構造と磁性
8	栗栖牧生	北陸先端大	・ $HoNiSn$ の中性子回折
9	大原泰明	東大物性研	・ $Nd_2Mo_2O_7$ の chiral 磁気構造
10	中村裕之	京大院工	・ 三角格子硫化物 $BaVS_3$ の中性子散乱
11	西 正和	東大物性研	・ 中性子散乱によるスピン・パイエルス物質 $CuGeO_3$ の研究
12	大沢 明	東工大院理工	・ スピンギャップ系物質 $TlCuCl_3$ の磁気励起
13	阿曾尚文	東大物性研	・ 二次元スピンギャップ系 $SrCu_2(BO_3)_2$ の磁気励起の中性子散乱研究
14	金子耕士	東北大金研	・ 正方晶 $TbB_2C_2$ における磁場誘起反強四極子秩序

15	梶本亮一	お茶大理	• $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$ 、 $\text{Pr}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{MnO}_3$ における電荷・軌道秩序
16	木村宏之	東北大多元研	• $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_{1-y}\text{Zn}_y\text{CuO}_4$ の静的磁気相関と低エネルギー磁気励起
17	永井 聰	東大物性研	• $\text{NaV}_2\text{O}_5$ の中性子磁気散乱研究
18	永井 聰	東大物性研	• $\beta\text{-Na}_{0.33}\text{V}_2\text{O}_5$ の磁気構造
19	中嶋健次	東大物性研	• ホールドープした二次元遷移金属反強磁性体の磁気励起
20	山室 修	阪大院理	• 分子性配向ガラスの低エネルギー励起
21	長尾道弘	東大物性研	• 三元系マイクロエマルジョンの圧力誘起構造相転移
22	大石 修	分子研分子集団	• リエントラント液晶の相転移と構造
23	川端庸平	広大総合科学	• 中性子スピニエコー法を用いた三元系マイクロエマルジョンにおける温度、圧力効果の研究
24	高原周一	岡山理大	• MCM-41 メソ孔内におけるアセトニトリル分子のダイナミクス
25	武田隆義	広大総合科学	• Neutron Spin Echo Investigations on Dynamics in Ternary C12E5/n-octane/ $\text{D}_2\text{O}$ and DPPC/ $\text{D}_2\text{O}/\text{CaCl}_2$ Amphiphilic Systems
26	神保雄次	山形大院理工	• 液晶性高分子からなる物理ゲルの秩序構造
27	田中敬二	九大工物質科工	• 中性子反射率測定に基づくポリスチレン二層膜界面での分子鎖拡散挙動評価
28	松本幸三	京大院工	• 含ケイ素両親媒性ブロック共重合体が形成する自己組織体の構造解析
29	高田慎一	京都工織大纖維	• 温度敏感型ゲルの臨界架橋密度の調製温度依存性
30	岡部哲士	東大物性研	• 刺激応答性高分子の構造解析とダイナミクス
31	古屋元史	名大院工	• ABA型ブロック共重合体のループ／ブリッジが界面構造に及ぼす影響
32	山内一浩	京大院工	• ABC トリブロックコポリマーの構造形成と相転移
33	高橋 浩	群馬大工	• 中性子散乱で探る糖と生体膜モデル系の相互作用
34	嶺脇広二	都立大院理	• 非イオン界面活性剤-水系がつくるラメラ相の構造に対するずり流動場の効果
35	今井正幸	お茶大理	• 界面活性剤／水系の秩序メゾ構造に及ぼす流動場の影響
36	北口雅暉	京大院理	• Jamin 型多層膜冷中性子干渉計の開発と基礎物理への応用
37	川端庸平	広大総合科学	• 中性子スピニエコ一分光器の測定システムの開発
38	武田隆義	広大総合科学	• Development of spin flippers with steady current for a TOF-NSE spectrometer at a pulsed spallation neutron source
39	加倉井和久	原研先端基礎	• Thermal Neutron Spin Echo Option on ISSP-PONTA
40	加倉井和久	原研先端基礎	• Installation of the Velocity Selector as Higher Order Thermal Neutron Filter
41	武末尚久	東大物性研	• X線散漫散乱定量解析による局所原子変位の実空間表現 Disordered Perovskiteへの応用
42	日高昌則	九大理	• 垂直型中性子ワイセンベルグカメラの開発研究

- 43 日高昌則 九大理      •層状化合物  $\text{Cs}_{0.5}\text{Rb}_{0.5}\text{VF}_4$  の準反強磁性構造の緩和機構  
 44 日高昌則 九大理      •スピネル化合物  $\text{Zn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{Cr}_2\text{Se}_4$  の反強磁性転移

## スピノン／電荷相互作用と中性子散漫散乱

早大理工総研 山田安定

スピノンフラストレーション系  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  と電荷・スピノンフラストレーション系  $\text{LuFe}_2\text{O}_4$  について、スピノン間、電荷間相互作用の性質を中性子散漫散乱から詳細に解析し、それぞれ従来の常識を破る新しい知見を得た。

### (1) $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$

この物質はスピネル構造をもち、磁性イオン  $\text{Fe}^{3+}$  は正8面体位置 (B-site) を占めるので、corner-shared tetrahedra の network を形成する。もし、最近接スピノン間の相互作用が反強磁性的であるとすると強いフラストレーションがおこり、基底状態が一義的にきまらない。事実この物質は極低温まで長距離秩序をつくらず、これは正しくフラストレーション効果によると思われて来た。

我々は、最近行われた  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  の中性子散乱実験の結果をイジングスピノンモデルで詳しく解析し、予想と反して次のような結論を得た。

- (i). 第1 Brillouin zone 内の強度分布に関する実験結果は最近接相互作用が  $J_1 < 0$  (強磁性的)、第2近接  $J_2 \sim 0$ 、第3近接  $J_3 > 0$  (反強磁性的) として説明できる。
- (ii). 広い逆格子空間内での散漫散乱強度の‘消滅則’は、最低エネルギーをもつスピノン密度波ゆらぎが‘音響波’の特徴 ( $q \rightarrow 0$  で副格子間のスピノンの位相がそろう) をもつとして説明される。
- (iii). 散乱ピーク位置の温度依存性は、第1近接相互作用が、直接交換、超交換相互作用の競合によって、特に低温で殆んど cancel out されているとして説明される。

### (2) $\text{LuFe}_2\text{O}_4$

この物質は hexagonal 層状構造をもち、Fe-site は2次元六方格子 A, B, C が AB · BC · CA の順で C 軸方向に double layer で積層している。Fe の平均価数は  $\text{Fe}^{2.5}$  であるので  $\text{Fe}^{2+} : \text{Fe}^{3+} = 50 : 50$  の混合原子価系である。低温では一定の電荷秩序構造に相転移するが、我々はこの相転移近傍で中性子散漫散乱を詳しく測定し、次の結論を得た。

- (i). 面内電荷秩序は、電荷間の長距離クーロン (斥力) 相互作用できる。
- (ii). 面間相互作用について、隣接 double layer 間に属する電荷間の相互作用が引力相互作用であると考えると散漫散乱の際立った特徴が説明できる。

イオン結晶中である特定の距離にある電荷間の相互作用が引力であることが実験的に確証された

のは、これが最初の例であると思われる。

## A<sub>2</sub>BX<sub>4</sub>型誘電体のソフトモードと構造相転移

山口大 増山博行

Rb<sub>2</sub>BX<sub>4</sub> (B=Zn,Co; X=Cl,Br) は K<sub>2</sub>SeO<sub>4</sub> と同様の不整合相を持つ結晶であるが、後者と異なり不整合転移に伴うソフトモードは観測されていない。また、低温で超構造へ転移する。我々の研究グループは JRR3M が共同利用に供された直後から 4 G(TAS)あるいは C1-1(HER)を用い、各装置維持グループの支援を得て、Rb<sub>2</sub>ZnCl<sub>4</sub> および Rb<sub>2</sub>ZnBr<sub>4</sub> の衛星反射とソフトフォノンの測定（さらに、Br 塩については高圧下での高次整合構造の観測）を行った。その結果、不整合相転移に関するソフトモードは over damped であり、quasi-elastic scattering としてのみ観測されるが、整合相に転移後の低温ではハード化した位相モードと振幅モードが K<sub>2</sub>SeO<sub>4</sub> と同様に観測できた。また、低温の超格子出現に際しては S 点のモードの明瞭なソフト化が測定できた。特に Rb<sub>2</sub>ZnBr<sub>4</sub> の低温中間相は超格子反射に余分な消滅則が認められ、3 次元空間群の対称性に余分の対称性を追加することが必要である。

ところで不整合相を説明するには ANNNI モデルのように第 2 隣接層間の相互作用が要るがこれは optical mode に限ってのことと、K<sub>2</sub>SeO<sub>4</sub> のように acoustic branch とつながったソフトブランチを記述するには第 3 隣接層間相互作用が不可欠と考えられてきた。しかし、現実の結晶構造を検討すると副格子モデルを構築することができ、第 2 隣接層間までの相互作用で acoustic branch を extend した optical mode のソフト化を記述できる。A<sub>2</sub>BX<sub>4</sub> 型誘電体は BX<sub>4</sub> 四面体と A イオンの幾何学的配置と相互作用が不整合構造の出現や低温での逐次転移を容易にしているものと考えられる。

## 中性子散乱で見る準結晶の磁性

物質材料研究機構 佐藤 卓

準結晶とは、周期的な原子配列を持つ結晶ともランダムな原子配列を持つガラスとも異なり、準周期的な原子配列を持つと考えられる物質である。なかでも最近発見された Zn-Mg-RE 系正 20 面体準結晶(RE: 希土類原子)は磁性原子(RE)を含むため、準周期構造中のスピニ集団の挙動を調べることが出来る系として興味深い。この系の帶磁率の温度変化は典型的なスピングラス的挙動を示す。しかし、準周期スピニ系の最低温状態がランダム系のそれと全く同じとは考えにくい。そこでこれらの違いを明らかにするべく、中性子散乱実験を行いミクロなスピニ配列およびスピニ運動を調べた。

実験は、RE = Ho および Tb について、単結晶および多結晶を用いて行った。弾性散乱実験の結果から、これらの系では最低温 (T = 1.5K) でも長距離秩序が観測されないこと、しかしながら、準結晶の対称性を反映した強い磁気散漫散乱が観測されることを見出した。詳しい解析から、この磁気散漫散乱は 6 次元変調ベクトル  $Q = (3/4, 0, 0, 1/2, 3/4, 1/2)$  を持ち、相関距離がおおよそ 20 Å の短距離磁気相関に対応することが分かった。磁気相関が 6 次元変調ベクトルで表されることは、準周期

構造が 6 次元空間中の超立方格子の 3 次元への射影として定義されることに対応しているであろう。

一方、RE = Tb 多結晶試料を用いた非弾性散乱実験からは、最低温で  $E = 2\text{meV}$  程度の強く局在した磁気励起モードを観測した。このモードの強度は  $T < 12\text{ K}$  の範囲では温度をあげるにつれて増加し、その増加量はボーズ因子で良く表される。このことは、このモードが結晶場分裂によるものではなく、何らかの collective な物であることを予想させる。

## FONDER を使用した単結晶構造解析による磁気相転移と構造相転移の研究

東北大学多元物質科学研究所  
野田幸男

原研改造 3 号炉ガイドホールの T22 ポートに設置された FONDER は、2000 年 11 月末に完成して共同利用に使用されたところである。完全に動きだしてからの課題公募は 2001 年秋からとなるが、2000 年度に採択された課題による暫定的な実験結果と IMT の活動を報告する。

FONDER は中性子用単結晶 4 軸回折計であり、(1)H や O などの軽い原子を含んだ物質の精密構造解析、(2)構造相転移に伴う構造変化の精密な測定、(3)複雑な磁気構造の決定、を目的として建設された。装置の主要な部分は科研費(責任者：野田)で作られたが、非常に費用のかかる石床やモノクロメータシールドなどの付帯施設は物性研により作成された。この装置の特徴として、短い波長の中性子を使い小さな単結晶での構造解析を様々な極端条件で行えることである。そのために、シリコン単結晶(422 面)を縦横集光して  $2\text{cm} \times 1\text{cm}$  のビームを作成した。モノクロメータ角は  $90^\circ$  で波長は  $1.57\text{\AA}$  である。この集光により、ガイドホールでありながら  $2\text{mm}$  角の結晶でも実験可能となった。 $1\text{cm}$  角の中性子の輝度として、パイロリティックグラファイトの(002)による波長  $2.4\text{\AA}$  の場合と同程度のものが得られた。4 軸回折装置のアタッチメントとして、低温用クライオオスタット( $7.2\text{K}$ )と高温用電気炉を用意している。

今までの半年程度で行われた研究を以下に示す。

- ・  $\text{YMn}_2\text{O}_5$  の長周期磁気秩序と強誘電相転移 [早稲田大学近グループ(籠宮)]
- ・ PtMn 合金の磁気短距離秩序 [筑波大大嶋グループ]
- ・  $\text{MnF}_2$  の核と磁気構造解析 [東北大学野田グループ]
- ・ 水素結合物質の構造解析 [東北大学野田グループ]
- ・ 有機物の構造解析 [東工大大橋グループ]
- ・  $\text{CuGeO}_3$  の散漫散乱と短距離相関 [物性研武末グループ]

すでに、いくつかのものは論文として投稿されている。

構造解析の精度として、格子定数は  $0.003\text{\AA}$  程度、角度として  $0.02^\circ$  程度は絶対値として得られることが分かった。 $\text{MnF}_2$  の核と磁気構造解析は、信頼度因子 (R-factor) として 3% 程度が得られており、磁気構造解析からスピンを担っている d 電子の密度分布まで高精度に得られることが分かった。また、H 原子を含む有機物の誘電体( $\text{MeHPLN:C}_{14}\text{O}_2\text{H}_{10}$ )の構造解析から水素の核密度分布を MEM

法で精密にしてX線回折から求めた電子密度分布と比較し、水素原子の原子核と電子雲の中心がずれていることを発見した。その他、 $\text{YMn}_2\text{O}_5$ の非常に不思議な強誘電相転移と磁気相転移の関係が「磁気的な不整合—整合—長周期整合相」の逐次相転移であることが新しく分かるなどの成果をあげている。改造3号炉には唯一であるこの4軸回折装置を使った本格的な研究が今後期待される。

### 複雑溶液における多様な構造形成とその分子論的起因

新潟大理 三沢正勝

水溶液では、疎水性水和、イオン水和、水素結合による水和の微妙な釣り合いで複雑多様な構造が形成される。その一例として、1-プロパノール水溶液(アルコール:水=1:5、モル比)がある。本系は要素は単純であるが塩の添加により再帰型の塩誘起相分離現象を示す。この現象を微視的に理解し、その分子論的起因を明らかにする目的で、KCl無添加溶液、相分離を引き起こす量のKClを添加した溶液(過臨界KCl溶液)、ならびに亜臨界KCl組成の溶液について、濃度ゆらぎの温度変化を中性子小角散乱により調べた。散乱強度  $I(Q)$  を  $Q \rightarrow 0$  へ外挿した値から濃度ゆらぎ  $N\langle(\Delta C)^2\rangle$  の温度変化を求めた。80°Cにおいても、無秩序混合状態に比べ1桁高い濃度ゆらぎが存在している。KCl無添加溶液を含む全ての溶液において、濃度ゆらぎの空間構造は次元1.9のフラクタルとして解析された。一方、フラクタル構造の相関長(持続長) $\xi$ は、溶液と温度とに強く依存し、過臨界KCl溶液では相分離温度に向かって発散的に増大する。この挙動は、上部・下部一相領域で同一である。なお、計算機を用いたモデル計算により、これらの濃度ゆらぎが1-プロパノールに富んだ領域(クラスター)と水分子に富んだ領域の共存として理解される。中性子準弾性散乱から、本溶液中の水分子の運動性はバルク水のそれに比べ1/2程度に低下していることが分かった。

これらの解析をもとに、クラスター間にはKCl濃度ならびに温度に依存した実効的相互作用が働くとして、クラスターの凝集を相互作用のあるパーコレーション過程として解析した。配位数4のベーテ格子に対して計算された平均クラスターサイズは、本3溶液における $\xi$ の実験値の温度変化ならびに塩濃度依存性の特徴を定性的によく再現する。

### AGNESを用いた低エネルギーギャップの測定

東北大学大学院工学研究科応用物理学専攻  
梶谷 剛

AGNES(C3-1-1)はTOF型冷中性子分光器だが、エネルギー分解能が24μeV(Micaモノクロメータの場合)から120μeV(PGモノクロメータの場合)と高く、しかも、中程度の波数領域(1.4Å⁻¹から2.7Å⁻¹まで入射中性子の波長によって変る)に渡る低エネルギー励起を研究することのできる装置である。現在の所、本装置には200本の<sup>3</sup>He中性子検出器が装備され、開き角1°のコリメータを6000から12000rpmの回転速度で回転させるチョッパーが使われている。この装置で測定できる励起は入射中性子のエネルギーロス側ではΔE=3.5meV、逆のエネルギーゲイン側では

$\Delta E=60\text{meV}$  程度になる。エネルギー分解能はエネルギーロス側ではほぼ上記の値だが、ゲイン側ではエネルギーが大きい程、分解能が悪くなる。粉末試料の非干渉性散乱強度による非弾性散乱強度測定を行うと phonon の状態密度を測定することができる。特に、ゲイン側の非弾性散乱強度が重要になる。超伝導物質や熱電変換半導体、あるいは不均一な液体の研究にとって、このゲイン側の非弾性散乱強度測定は重要である。 AGNES の基本的な設計指針は、ILL で液体の準弾性散乱測定等に用いられている IN6 分光器と同じであり、最も効率の良い物理測定は溶液中の水分子や水素を含む分子の拡散ないし、回転挙動に関連した準弾性散乱強度測定である。

本装置を用いた共同利用ユーザの研究テーマには、この準弾性散乱強度測定が最も多い。不均一溶液中の Boson peak の温度依存性も共同利用研究のテーマに選ばれている。本年度に採択されている研究課題数は 16 課題だが、その中で 11 課題が準弾性散乱測定と溶液の Boson peak 測定に関連している。液相・固相相転移や結晶の構造相転移等に関連した phonon の状態密度測定も 3 課題承認されている。

本講演では単結晶試料を用いて測定された次の 3 種類の低エネルギー励起の測定例について報告している。

### 1. (Fe,Mn)<sub>3</sub>Si の Magnon gap

Fe<sub>3</sub>Si は室温では典型的な D03 構造の強磁性相だが、FeI 位置を Mn で順次置換すると常磁性を示すようになる。しかし、Fe<sub>1.6</sub>Mn<sub>1.4</sub>Si 組成付近ではキューリー温度が約 120K になり、60K 以下では Canted spin 相になる。この相の magnon branch の  $\Gamma$  点における gap が 0.22meV であることを AGNES を用いて決定できた。この値は本報告者らによる Laser 光を用いた 5 パス式の Brillouin 散乱測定による magnon gap の値 0.17meV とほぼ一致した。

### 2. NDMAZ の Haldane gap

NDMAZ ( $\text{Ni}(\text{dmpn})_2\text{Ni}_2\text{ClO}_4$ , dmpn= $\text{C}_5\text{H}_{14}\text{N}_2$ (2,2-dimethyl-1,3-propanodiamin)) はほぼ理想的な 1 次元反強磁性金属錯体であり、S=1 の Ni イオンが N<sub>3</sub> イオンを介して 1 次元鎖を形成しており、Haldane gap 系の典型物質とされる NENP が Ni イオンと CO<sub>2</sub> イオンとの 1 次元鎖からなる点に対応している。NDMAZ は名古屋大学の山下らの合成したものである。直径が最大 8 mm 程の NDMAZ 単結晶を溶液から成長させ、5 個ほどの結晶を結晶軸を揃えて非弾性散乱実験に用いた。測定された gap は 4.3K 以下で現れ、10K 以上で消失した。予想どおり、gap の値は NENP よりもやや小さい 1.75meV (20.3K) であり、 $\Delta x$   $y$  の励起モードに対応していると考えられる。

### 3. La<sub>1-x</sub>Ca<sub>x</sub>MnO<sub>3</sub> の FI 相の低エネルギーMagnon branch の gap

La<sub>1-x</sub>Ca<sub>x</sub>MnO<sub>3</sub>  $x=0.08\text{-}0.25$  単結晶試料を用いて、キューリー温度以下に現れる低エネルギー magnon branch の  $\Gamma$  点付近の gap を測定している。試料は低温で強磁性絶縁相になっていると考えられていたが、実際には x の増加に伴って、反強磁性秩序に強磁性秩序が加わってくる Canted spin 領域であることが粉末中性子回折実験等から分かってきている。冷中性子散乱測定により、Moussa 等によって  $x=0.05$  と  $0.08$  試料で見出されている低エネルギー magnon mode の gap はこの Ca 濃度領域にも存在していることが分かったが、 $x=0.08, 0.15$  および  $0.20$  試料では gap の値はそれぞれ、 $1.20, 0.95$  および  $0.85\text{meV}$  だった。

## SMALL-ANGLE NEUTRON SCATTERING STUDIES OF SPATIO-TEMPORAL EVOLUTION OF HIERARCHICAL STRUCTURES IN PHASE-SEPARATING MOLECULAR MIXTURES

T. HASHIMOTO

Department of Polymer Chemistry, Graduate School of Engineering, Kyoto University

We overview time evolution of phase-separating structure in binary mixtures as observed for a wide range of wave number  $q$  for Fourier modes by a combined technique of time-resolved small-angle neutron scattering (SANS) and light scattering as well as laser-scanning confocal microscopy. The binary mixtures to be discussed here are those in which two components are symmetric, having nearly identical molecular volumes and dynamical properties, and nearly equal volume fraction. Such mixtures undergo phase separation via spinodal decomposition (SD). By taking an advantage of using polymers as component molecules we could elucidate time evolution of hierarchical structures comprised of global structure, interface structure, and local composition fluctuations within separated two phases in the order of increasing  $q$ . The global structure is highlighted to have a periodic co-continuous two-phase structures as a structure universal to symmetric polymer mixtures and simple-liquid mixtures. It is characterized by a sponge-like structure with a hyperbolic interface having negative Gaussian curvature  $K$  and zero area-averaged mean curvature  $\langle H \rangle$ . The sponge-like structure is found to be theoretically predicted well by using computer simulations based on a time-dependent Ginzburg-Landau model.

An analysis of the interface structure by SANS unveiled “interphase scattering” at a large  $q$  range and at a late stage SD that originates from composition fluctuations within “interphase” (interfacial region with a finite interfacial thickness). This interphase scattering found for the first time gives the scattering excess to the Ornstein-Zernike scattering arising from the local composition fluctuations within the two phases and is remarkably unveiled as the scattering from the interface which obeys the Porod law becomes negligibly small with time in the  $q$ -range of the observation.

We shall briefly discuss some unique features brought by a dynamical asymmetry in the component molecules which involves a stress-diffusion coupling. It is striking to note that in such binary systems viscoelasticity plays an important role on phase-separation process.

### Acknowledgements

We gratefully acknowledge contributions of Drs. H. Jinnai, T. Koga and M. Takenaka to this work.

高分子ゲルの中性子散乱

東大物性研 柴山充弘

東大物性研の小角中性子散乱装置(SANS-U)は1991年からの一般利用開始以来、高分子、複雑液体、

生体関連物質の研究などで大きな成果を挙げてきた。そのうち、高分子系の申請は全申請件数の約1/5を占め、論文発表などによる研究成果の公表などにおいても共同利用研としての活動に十分に寄与している。SANS-Uは高分子ゲルの構造研究にも大きく貢献してきた。そのうち、我々の研究グループの成果として、(1) 高分子ゲルの体積相転移における構造変化、(2) 弱荷電温度敏感型高分子ゲルの散乱強度反転、および(3) 両親媒性高分子水溶液の2つの構造転移について報告した。

(1)においては、熱敏感型高分子ゲルに荷電基を導入することで体積相転移が不連続化することの理由を構造の立場から解明した。すなわち、温度上昇とともに、高分子網目が収縮する際に、非荷電の収縮部と荷電の膨潤部からなるミクロ相分離が形成され、30~50nm程度の周期構造が発現することを初めて見いだし、これが不連続体積相転移を左右することを示した。(2)では弱荷電温度敏感型高分子ゲルの散乱強度が温度、架橋導入率、および荷電導入率の複雑な関数であり、通常は架橋導入率の増加に伴い散乱強度が増加するが、高温(貧溶媒系)では逆に架橋導入率の増加に伴って、散乱強度が減少する「強度反転」が起こることを小角中性子散乱および動的光散乱により研究し、その理論的説明を行った。これは、高分子ゲルに存在する共通の性質として、「通常の高分子系に見られる熱ゆらぎに起因した散乱に加え、架橋導入に伴う構造不均一性に由来する静的散乱が存在すること」を実証する研究例として重要な位置を占めるものである。(3)では分子量分布が非常に狭い両親媒性高分子が水溶液中でわずか5°Cの間に均一溶液からミセル構造、超格子構造へと可逆的に変化することを示し、それらの構造解析について報告した。これは高分子・水系における疎水性相互作用の重要性およびその性質解明に格好のモデル系であり、今後の研究が期待されるものである。

### 拘束空間内におけるブロック・グラフト共重合体のかたちと界面

名古屋大学工学研究科 松下裕秀

異種高分子成分を共有結合でつないだブロック・グラフト共重合体は凝集系では自己組織化してミクロ相分離構造を形成する。この構造中には界面が形成され、分子は拘束空間内で歪みを受けている。本研究では異種分子の結合様式が分子の形態や界面に及ぼす効果を調べた。比べた試料は(a) P-S-P二成分三元、(b) I-S-P三成分三元及び(c) S-I環状ブロック共重合体の三種である。(試料コードのPはpoly 2-vinylpyridineを、Sはpolystyreneを、Iはpolyisopreneを表わしている。)3種類の試料のSブロックに注目すると(a)ではループ型又はブリッジ型の形態を、(b)ではブリッジ型のみを、そして(c)ではループ型のみを持つことがわかる。

モルフォロジー観察の結果(a)については、二元ブロック共重合体と比べてモルフォロジー転移の相図が少し異なること、その違いは中性子散乱から求めたS鎖の形態の組成依存性で説明できること、そしてS鎖は歪みの程度は違っても常に非摂動鎖の体積を保存していること、等を明らかにした。

(b)に関しては広い組成領域で三相共連続ジャイロイド構造を呈することが最大の特徴である。(c)では末端のない分子の特徴を反映させて、界面と垂直な方向への分子の伸びが抑制されていることが初めて明らかとなった。

## 高分子ガラスの異常緩和と不均一性

京大化研 金谷利治

ガラス転移は高分子のみならず、金属、無機、有機分子でも観測される普遍的現象である。ガラス転移では構造の不連続な変化がないにも拘らず、緩和時間は10桁以上も変化し、通常の液体では見られない異常な緩和挙動が観測される。最近の精力的な研究により、これら異常緩和の原因、ガラス転移における運動の凍結の原因、さらにガラス状態の異常ダイナミクスの原因が系の動的不均一性によると考えられるようになってきた。

本研究では、ガラス状態における不均一性を評価するため、種々の非晶高分子について、非干渉性中性子弹性散乱強度の散乱ベクトル  $Q$  依存性におけるガウス近似の破れを実測し、いわゆる非ガウスパラメーターを評価した。ガラス状態における動的不均一性の原因として、局在モード(ボソンピーク)と extended mode の共存を考え、非ガウスパラメーターの温度依存性を計算した。その結果は実測値をよく再現し、ガラス状態の異常ダイナミクスが系の不均一性に由来することが強く示唆された。さらに、ボソンピークが非晶高分子の3~4個のモノマーに局在したモードであることが明らかになった。

## 高分子鎖を閉じ込めたマイクロエマルションの挙動

お茶の水女子大学理学部 中谷香織・今井正幸

親水基と疎水基と共有結合により強制的に結合させた界面活性剤分子は、その両親媒性的性質により水・油混合溶媒中で水相・油相の界面に凝縮し様々な自己組織化構造を形成する。この水・油・界面活性剤三元系のなかでも自己組織化構造がメゾスケールで熱力学的に安定な状態をマイクロエマルションと呼び、各成分の濃度を制御することにより油相中に界面活性剤分子膜に包まれた水相が10nm程度の球状(ドロプレット状)に分散した構造を作ることができる。このマイクロエマルションドロプレットを用いると、同じくメゾスケールの特徴的長さを有する高分子鎖をメゾ空間内に閉じ込めることができると、同じくメゾスケールのコントラスト変化法と組み合わせることにより、従来殆ど行われていなかった拘束高分子鎖の挙動や膜+高分子鎖複合系の挙動を実験的に確かめることができた。本研究会では、この拘束された高分子鎖+膜複合系の挙動のなかでも、一つのドロプレット中に一本の高分子鎖を閉じ込めた系の分子膜の静的および動的挙動を中性子小角散乱(SANS)および中性子スピニエコー(NSE)法により追跡した結果を報告した。

中性子小角散乱の実験から、高分子鎖を内包することによりマイクロエマルションドロプレットは、そのサイズの分布(多分散性)が増大すると共に、平均サイズも増大することが明らかになった。この高分子鎖を閉じ込めたドロプレットサイズと高分子鎖の回転半径の間に実験から得られた関係は膜の弾性エネルギーと高分子鎖が閉じ込められたことによるエントロピーロスのバランスを考慮したモデルでおおよそ説明がされた。また NSE から得られた緩和曲線は高分子鎖を閉じ込めた場合と

閉じ込めていない場合と殆ど差が見られなかった。この結果は、閉じ込められた高分子鎖のドロップレット内での存在確率分布が膜の近傍で急激に小さくなっている（depletion zone の形成）為であると考えており、現在実験と理論計算の両方から研究を進めている。

## 中性子スピニエコー法による膜系のダイナミクス

広島大学総合科学部 濑戸秀紀

中性子スピニエコー法は、中性子非弾性/準弾性散乱の方法としては最も高いエネルギー分解能を持つ。これは磁場中の中性子スピニンの歳差運動を用いることにより、エネルギー分解能と波長分解能を分離して、中性子強度をあまり落とさずにエネルギー分解能を上げることができるからである。Mezei が提案し 1970 年代に主に ILL で開発されたこの方法は、高分子の reptation 運動などのスローダイナミクスの解明の役に立ってきた。原研 3 号炉に設置されている物性研の NSE 装置 ISSP-NSE は、実用化された NSE 装置としては世界で 3 台目のものであり、97 年より共同利用に供せられて毎年 10 課題前後が採択されている。これまでには主に高分子系や界面活性剤系、生体系などソフトマターを対象にした実験が多かったが、近年は液体系や液体金属など新たなテーマの申請も増えてきている。中性子強度が弱い、あるいは測定レンジが狭いと言う弱点はあるが、ビームラインの移動ができれば解決できるし、またそれにより世界と対等に戦える装置になり得ると思われる。

マイクロエマルション系の界面活性剤膜のダイナミクスについての研究は、この装置を使った代表的な研究例である。Takeda らは温度により bicontinuous と lamellar 間のセミミクロ構造相転移を起こすことが知られているマイクロエマルション系 ( $C_{12}E_5$  約 20% を等量の  $D_2O$ 、重水素化オクタンと混合した系) のダイナミクスの変化について NSE を用いて調べた。そしてこの実験結果が膜の運動状態を記述する Zilman and Granek の理論により説明できることを示し、得られた膜の曲げ弾性係数が温度のみにより、bicontinuous や lamellar 等のセミミクロ構造にはよらないことを示した。また Kawabata らはイオン性界面活性剤 AOT と  $D_2O$ 、デカンの系のダイナミクスの温度、圧力による変化について調べ、その構造変化の要因についての知見を得た。非磁性の圧力セルを開発して行った高圧力下での NSE 実験は世界で初めての試みであり、NSE の新たな可能性を示したものであると言える。

## 中性子溶液散乱法によるカイコ細胞質多角体病ウイルスの構造解析

横浜市立大学大学院総合理学研究科 佐藤 衛

細胞質多角体病ウイルス (CPV) は、Reoviridae ファミリーに属するウイルスで、消化管の大部分を占める中腸組織の細胞質で増殖して、多角体に包埋される。その中で、カイコ細胞質多角体病ウ

イルス（BmCPV）は、粒子量 108（沈降定数：420～440S）の巨大粒子で、複数の二重鎖 RNA と分子量 30K のタンパク質（polyhedrin）、および RNA ポリメラーゼから構成されている。BmCPV を電子顕微鏡で観察すると、直径 650 Å の正二十面体状の粒子が、各頂点にある突起部分で中腸細胞に接着している様子が観察され、その突起を通してウイルスのコア物質が宿主細胞内に注進入することが指摘されている。そこで、我々は、コントラスト変調法を利用した中性子溶液散乱法で BmCPV の内部構造を解析した。

中性子溶液散乱実験は、日本原子力研究所改造 3 号炉（JRR-3M）冷中性子導管に設置されている二次元位置測定小角散乱装置（SANS-U）で行ない、波長 : 7 Å、試料—検出器間距離 : 12 m & 4 m で中性子溶液散乱強度を測定した。試料溶液は、コントラスト変調法による解析を行なうために、ウイルス濃度を 4mg/ml で一定として溶媒の D<sub>2</sub>O 濃度が異なる 0%, 50%, 75%, 100% の 4 種類のウイルス溶液を調製した。

まず、D<sub>2</sub>O 濃度 0%, 75%, 100% の試料溶液で測定した中性子溶液散乱強度データからギニエプロットで慣性半径を計算し、そのコントラスト依存性を見積もった。その結果、BmCPV 粒子は、その重心からほぼ等方的に散乱密度が分布し、かつ、コア一部分の散乱密度が表層部分に比べて有意に高いことが示された。そこで、散乱強度データから構造構造の散乱振幅を求め、フーリエ変換して BmCPV 粒子の重心からの一次元の散乱密度分布を計算した。その結果、タンパク質分子はウイルス粒子内部で同心円状に分布した二重殻構造をとって存在し、その内側に二重鎖 RNA が存在することが示された。さらに、半径 350 Å 以上の領域にも新たに散乱密度が有意に認められ、散乱強度データをフーリエ変換して得られる一次元の距離分布関数からその新たな領域の詳しい構造情報を得た。その結果、先に示された二重鎖 RNA およびタンパク質の構造領域以外に、それらに比べて散乱密度が非常に低い（が有意である）領域が直径 700 Å から 1400 Å にわたって存在することがわかった。これは、電子顕微鏡での観察で示唆された正二十面体状の各頂点からの突起（Spike）に相当し、その突起の存在が改めて確認された。

### 生体脂質、水和、ダイナミックス

群馬大学工学部 平井光博

最近、スフィンゴ糖脂質（GSL）を介したシグナル伝達機構が注目されている。すなわち、生体膜表面において GSL とコレステロールが集合して「ラフト」と呼ばれるダイナミックな構造的ユニット（ミクロドメイン）を形成し、そこに様々なシグナル伝達分子が会合していることから、ミクロドメインのシグナル伝達機構における役割について活発な研究が進められている。GSL の主要な成分であるガングリオンドは親水性糖鎖頭部にシアル酸残基を有し、糖鎖の多様性に起因する多様な分子群を形成してそれ自体、分子認識、細胞の分化・発生、免疫機能の制御等に関与していることが多数の生理学的・免疫学的研究により示唆されている。しかし、そのような研究と比較して、ガングリオンドの生体膜構造に与える影響に関する基本な知見は乏しく、GSL ミクロドメインを介したシグナル伝達の特異性の分子機構を含む生物学的機能は構造物性的観点からは不明のままである。

そこで、中性子小角散乱（溶媒コントラスト法および逆コントラスト法）、中性子準弾性散乱、放射光X線小角散乱やモデル解析などを利用して、各種ガングリオシドミセル系、ガングリオシド／コレステロール混合ミセル系ならびにガングリオシド／リン脂質混合ベシクル系の、外部環境変化にともなう膜構造の構造応答（ミクロ相分離、相転移、膜界面構造・電荷分布の変化、動的な膜構造の揺らぎと低エネルギーダイナミックスの変化）に関して研究を行い、下記のような結果を報告した。1) ガングリオシドミセルでは、昇温に伴う糖鎖頭部領域の収縮、有効電荷の変化、脱水和が起きる[1]。また、このような糖鎖頭部の変化は、ミセルの変形運動を抑制する[2]。2) ガングリオシドミセルと表面化学修飾モデル蛋白質との相互作用（複合体形成）は、ガングリオシド糖鎖の組み合わせに依存する[3]。3) ガングリオシド／コレステロール混合ミセル系では、コレステロールがガングリオシド分子のセラミド領域にスペーサーとして位置して糖鎖間相互作用（水素結合形成）や熱履歴を変化させ、その変化には糖鎖依存性が現われる[4]。4) ガングリオシド／リン脂質混合ベシクル系では、ガングリオシド分子の非対称分布により低いモル分率から膜曲率に大きな変化が現われる[5]。これらの結果は、細胞膜表面に存在するガングリオシドが外部環境の変化に構造応答して、生体膜の界面構造、水和状態、表面電荷分布に局部的な変動や揺らぎを生じさせることを示唆し、さらに、単に膜の流動性や形態の変化のみならず、蛋白質や高分子の膜界面への吸着・結合・間入、境界脂質で安定化された膜蛋白質の膜内充填状態や機能構造、膜蛋白質間相互作用などの変化を誘導する可能性も示唆している。

現在、より生体膜に近いガングリオシド／コレステロール／リン脂質混合系を対象に研究を行っており、膜間相互作用及び膜・蛋白質間相互作用に与える効果などを構造物性的観点から明らかにすることで、生体膜表面における様々な機能発現の機構に迫りたいと考えている。特に、ミクロドメイン形成にともなう膜構造の中・長距離の構造揺らぎとダイナミックスの空間的・時間的な広がりの変化や、ミクロドメインを介した膜間および膜・蛋白質（リガンド）の相互作用を測定するためには、中性子小角散乱法と中性子準弾性散乱法が有効であり、それらを利用した成果を大いに期待している。

[1] M. Hirai, et al., *Physica B*, 1995, 213&214, 748; *Biophys. J.*, 1996, 70, 1761; *J. Phys. Chem.*, 1996, 100, 11675; *J. Chem. Soc. Faraday Trans.*, 1996, 92, 4533; *Thermochimica Acta*, 1998, 308, 93.

[2] M. Hirai, et al., *J. Phys. Soc. JPN*, 2001, 70, 417.

[3] M. Hirai, et al., *J. Phys. Chem. B*, 1999, 103, 10136; *Biophys. J.*, 1998, 74, 3010.

[4] M. Hirai, et al., *Physica B*, 1995, 213&214, 751; *Prog. Col. Polym. Sci.*, 1997, 106, 232; *Biophys. J.*, 1998, 74, 1380.

[5] M. Hirai, et al., *J. Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 2001, in press. M. Hirai, et al., *J. Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 2001, in press.

## SPIN DYNAMICS IN CORRELATED ELECTRON SYSTEMS

東北大學 金属材料研究所 遠藤康夫

中性子散乱を駆使して遷移金属酸化物を中心とした所謂強相関電子系スピンドイナミックスの最近の話題を纏めた。我々が最近実験して来た話題の中から3つ選んで、その部分の共通点を探った。時間の関係で2つしか話せなかった。最初は強磁性金属のMnペロブスカイトのスピンドイナミックスを取りあげたが、強磁性スピノ波で良く記述出来る。しかも最近接局在スピノ間に働く相互作用をパラメーターに取って少なくとも小さいモーメンタムでのスピノ波分散曲線が再現出来ることが一般的に成り立ち、キュリー温度と stiffness 係数の比例関係が証明された。強磁性転移温度近傍のスピンドイナミックスもエネルギー零に山を造るローレンチアンで表される。モーメンタム依存性から強結合のスピノ系で成立するスケーリング則が適用出来る。Mn強磁性金属スピンドイナミックスは全ての温度範囲でスピノが局在し、伝導電子と2重交換相互作用が働く単純なZener近似がよいことになる。これを含めてキュリー温度が3桁近く変わる実例の強磁性金属物質の低温のスピノ波や高温のスピノ振動を決めている所謂 stiffness 係数とキュリー温度の比を比較して整理した。するとこの比は1~3倍程度に全て落ち着くことが判った。強磁性を決めているのは従って最近接相互作用であると大胆に決めつけられ、2重交換相互作用が強磁性の起因であると大胆に近似出来る。超交換相互作用はスピノ波の異方性などから実験的にハッキリ示すことが出来、2重交換相互作用系と区別出来る。

高温超伝導銅酸化物に代表される反強磁性金属では、最近スピノ密度波が基底状態になる特別の濃度のホールドーピングの物質でスピノ密度波から励起する低エネルギーモードと高エネルギーに広がるモードが重なることが実験的に明らかにされた。温度やホール濃度変化の実験から低エネルギーモードはスピノ密度波が安定な時だけに存在する。これは例えばCrのスピノ密度波の状態のスピノ励起に共通する現象である。所謂オーバードーピングの領域では高エネルギーに広がるスピノ励起はドープ量に依らず一定で、そのスペクトルが広がりつつ弱くなる特徴を持つ。つまりこのスピンドイナミックスの成分は比較的温度にもドープ量にも鈍感である。ここからは金属とオーバードープ領域の超伝導相は相分離あるいは相共存を示唆する。このような相分離のあるいは相共存を示唆する現象は超伝導と反強磁性金属との共存を含めて、金属反強磁性の特異な電荷とスピノの分離を証明するものであるかどうか興味深い。

尚この研究は京大化研（山田グループ）東北大理学部（廣田グループ）と我々の東北大金研グループとの共同研究である。他にブルックヘブン国立研究所（Dr. Shirane）、マサチューセッツ工科大（Prof. Birgenau group）とも協力して來た。又科研費重点領域研究や戦略研究から支援を得た。

### 偏極中性子回折法を用いた軌道整列の研究

青山学院大学理工学部 秋光 純

我々は、最近3d電子系および4f電子系についてその軌道整列の研究を行っている。この方法は、

X線の共鳴散乱法による軌道整列の決定法と相補的な関係にあり、我々の方法は軌道整列の形状を直接観測できるという利点がある。一方この方法では、スピンに伴う波動関数の形状を観測しているので、強磁性体（場合によっては反強磁性体）しか観測できないという欠点がある。我々はこの方法を用いて  $\text{YTiO}_3$  および Mn 化合物の軌道整列の確認に成功したが、今回、1)  $\text{Lu}_2\text{V}_2\text{O}_7$ 、2)  $\text{CeB}_6$  の軌道整列の確認を行ったのでそれについて報告する。

### 1) $\text{Lu}_2\text{V}_2\text{O}_7$

この物質はパイロクロア型構造を持つ強磁性体であり、強磁性の原因が軌道整列によると考えられている物質である。我々は種々の波動関数を仮定し実験値と比較し波動関数の決定を行ったが、その結果、 $a_{1g}$  を基底状態にもつ波動関数が全て  $\langle 111 \rangle$  方向に向いているという特殊な軌道整列を確認した。

### 2) $\text{CeB}_6$

本物質はいわゆる II 相で四重極秩序があると考えられている物質である。今回、 $\langle 110 \rangle$  方向に磁場をかけて四重極秩序の観測を試みたが、MEM による解析より全く予想外の結果が得られた。すなわち、強磁性の磁気モーメントは単に Ce 上にあるのみではなく、B と B の中間領域にあることが判明した。

## 層状 Mn ペロフスカイト酸化物 $\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$ における 電荷・スピン・軌道自由度の相転移

東北大學大学院理学研究科 廣田和馬

$\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$  は、 $\text{MnO}_2$  層が二重に積み重なった層状ペロフスカイト型構造をもつ。ホール濃度  $x=0.40$  付近では、 $T_c=140\text{K}$  の直上で磁場によって電気抵抗が急激に減少する超巨大磁気抵抗効果が観測され、その減少率が極めて高いことから近年注目を集めている。我々は、 $\text{Mn}^{3+}$  イオンのもつ  $e_g$  軌道の自由度がこの系の物性に果たす役割について、電荷・スピン・格子の自由度との関連を考慮しながら、系統的な研究を行っている。とくに  $x=0.30$  から  $x=0.50$  までの広い濃度範囲においては、単結晶と粉末試料を用いた中性子散乱実験をおこない、結晶構造・磁気構造・スピンダイナミクスに関する濃度相図を完成させた。

その結果、ホール濃度とともに  $e_g$  軌道が  $3z^2-r^2$  から  $x^2-y^2$  的に変化し、層状強磁性から A 型反強磁性（面内強磁性、面間反強磁性）へと基底状態が変わっていくことを明らかにした。

我々は最近、 $x=0.50$  以上のホール濃度では A 型反強磁性状態とは全く異なる CE 型電荷・反強磁性秩序状態が共存していることを発見した。CE 型秩序状態では、 $\text{Mn}^{3+}$  と  $\text{Mn}^{4+}$  が互い違いに規則的に整列し、さらに  $\text{Mn}^{3+}$  のもつ  $e_g$  軌道自由度 ( $3x^2-r^2/3y^2-r^2$ ) が特定の秩序構造をもつことによってジグザグ上の強磁性鎖が  $\text{MnO}_2$  面上に縞状に走っている。この A 型秩序状態と CE 型秩序状態が一つの系の上でどのように共存しているかを研究するために、 $x=0.50, 0.525, 0.55, 0.575, 0.60$  の単結晶を育成し、電気抵抗・磁化測定および中性子回折実験を行った。その結果、CE 型秩序状態は  $x=0.525$  でも

つとも顕著に現れた。秩序変数の温度変化から、まず  $T_{Co}=220K$  で CE 型電荷秩序、つぎに  $T_A=205K$  で A 型反強磁性秩序、そして  $T_{CE}=145K$  で CE 型反強磁性秩序が出現することが分かった。特徴的なのは、降温過程では CE 型磁気秩序の出現によって A 型磁気秩序が抑圧されるのに対し、昇温過程では逆の関係になっていることである。このような CE 型秩序と A 型秩序の競合関係は、ホール濃度を変化させた場合にも大きく変わり、 $x=0.525$  からホール濃度を増やすと A 型秩序が優勢となり CE 型秩序は減少する。このとき 2 つの秩序変数の和がほぼ一定に保たれることから、2 つの状態は相分離状態を起こし、空間的にその領域を奪い合っていることが分かる。

このような相分離状態の研究は高分子などの複雑液体の分野で盛んに研究されており、小角散乱をはじめとして中性子散乱分野でも様々な実験・解析技術が開発されている。今後はそのような手法を固体物理にも積極的に導入し、単位胞を基準とした均一系の物理から、より広い空間を単位とする不均一系の物理へと研究を拡張していく必要があると考えている。

### ペロブスカイト型 Mn 酸化物における電荷・軌道秩序

物性研 吉沢英樹

ここ数年来の集中的な研究により巨大磁気抵抗を示す物理的機構は古くから知られている 2 重交換相互作用による強磁性金属状態と、ペロブスカイト型 Mn 酸化物に特徴的な CE 型と呼ばれる軌道・電荷・ спин秩序を示す絶縁体状態との間の競合にあると考えられるようになってきた。すなわち CE 型秩序を示す絶縁体状態や、強磁性金属相直上の常磁性絶縁体相に置いて磁場を印加すると系内に 2 重交換相互作用に媒介された強磁性金属相がマイクロドメインとして次第に析出する。この状態はこれら 2 相間の相分離という概念で理解され、磁場の印加とともに次第に領域を拡大する強磁性金属状態が最終的にパーコレートしたときに金属へ転移する。しかしながらペロブスカイト型 Mn 酸化物にも 1 電子バンド幅の多様性から相図上に CE 型秩序絶縁体相を示さない物質群もあり、そのような系でも例えば 2 次元系の  $La_{2-2x}Sr_{1+2x}Mn_2O_7$  では典型的な巨大磁気抵抗効果が観測され、CE 型秩序絶縁体相のみで巨大磁気抵抗効果がすべて理解できると考えるのは早計のようである。

このような観点から、我々は CE 型秩序絶縁体相を示さないか、示しても相図上のごく狭い領域に限られる Mn 酸化物も系統的に研究してきた。これらの系の特徴は一言で言って一電子バンド幅が広いことであり CE 型秩序絶縁体相を示す系にくらべて一般的によりよい電気伝導を示す。我々の研究結果によれば、これらの系と CE 型秩序絶縁体相を示す系とのもっとも顕著な相違点は CE 型秩序絶縁体相を示す系における  $Mn^{3+}$  イオンのとる軌道状態が  $d(3z^2-r^2)$  であるのに対して、電気伝導度のより大きな系では  $Mn^{3+}$  イオンのとる軌道状態が  $d(x^2-y^2)$  であることである。すなわち巨大磁気抵抗を示す Mn 酸化物の物理は一電子バンド幅の大小によって  $d(3z^2-r^2)$  軌道の物理と  $d(x^2-y^2)$  軌道の物理の物理に分けられるのである。 $d(x^2-y^2)$  軌道系の振舞いにはその軌道状態を反映して金属的な反強磁性相が出現したり、輸送現象やスピニ相間に 2 次元的な異方性が観測されたりする。また、ごく最近では 2 次元の  $La_{2-2x}Sr_{1+2x}Mn_2O_7$  系において本来であれば金属となる A 型反強磁性相にストライプ的な電荷秩序が内在していることが発見され、このストライプ秩序の存在が電気伝導を絶縁体的にしている

ことが示された。ストライプ秩序の物理を考える上で高温超伝導銅酸化物で見られるストライプ秩序との類似点や相互の関連を明らかにすることは、これから的研究の重要な課題である。

## f 電子系少數キャリアー物質の物理

東京都立大学大学院理学研究科 神木正史

f 電子系物質のうちで、少數キャリアー系としての特徴が最も端的に現れた系として、Ce-モノブニクタイト ( $\text{CeX}$ : X=P,As,Bi,Sb) を取り上げる。この系は、その結晶構造が NaCl 型と単純であるにもかかわらず、極めて異方的で特異な磁気構造と異常な伝導現象を示す。中でも、 $\text{CeSb}$  の磁気相図が、多くの磁性体の中でも極めて特異なものである事が、十数年前からよく知られていた [1]。この最も興味深い特徴は、この物質の磁気秩序相では、結晶場の励起状態  $\Gamma_8$  に近い状態にある Ce イオンの強磁性層が、基底状態  $\Gamma_7$  にある常磁性 Ce の層を 1 ないし 2 層はさんで長周期積層磁気構造を作り、磁場下あるいは高圧下でいわゆる"悪魔の階段"に似た相図を示すことである。これに対し、最近になって、すべての Ce-モノブニクタイトが、系のキャリアー数が極めて少ない ( $10^{-3} \sim 10^{-2}$  / Ce) にもかかわらず、重い電子系のような伝導現象異常を示すこと、さらに、我々の中性子回折による長期にわたる研究の結果、磁気的に単純と思われていた  $\text{CeP}$  と  $\text{CeAs}$  も、磁場下・圧力下で、 $\Gamma_8$  Ce 層と  $\Gamma_7$  Ce 層からなる多数の長周期積層磁気構造を系統的に示すことが明らかになった [2]。 $\text{CeSb}$  および  $\text{CeBi}$  の実験結果と合わせて、これらの実験結果を総合すると、Ce-モノブニクタイト系の基本的性質が、共通の物理的土台の上で、一つのパラメータを用いて記述できる可能性がある。この共通の物理的土台とは、比較的シンプルな半金属バンド構造と、これに起因した極めて少數の真性キャリアーの存在、および、非線型な強い p-f 混成効果であることは明らかである。これに対し、系の物性をコントロールするパラメータは、実験的には、この様な特徴を代表する系（例えば  $\text{CeAs}$ ）に対する圧力と考えられるが、dHvA 効果などから推定した  $\text{CeAs}$ ,  $\text{CeP}$ ,  $\text{CeSb}$ ,  $\text{CeBi}$  のキャリアー数と、これらの物質の磁気相図との対応を見ると、キャリアー数がより本質的なパラメータであることが明らかである。このようなキャリアー数の増大に伴ない、系の磁気的性質が段階的に質的に異なる状態に移ること、及び、空間的に（2次元的に）局在し強く偏極した  $\Gamma_8$  Ce 層が常に主要な役割を果たしている事実は、この系における多彩な物理現象の原因が、キャリアーが少數であることによる局在化効果と、非線型な p-f 混成効果により生じた、強い磁気ポーラロン効果によるとする見方を強く支持している。

[1] J. Rossat-Mignod et al., J. Magn. Magn. Matter. 52(1985)1111.

[2] M. Kohgi et al., Physica B. 281&282 (2000) 417.

## 重い電子系のスピン揺らぎと長距離磁気秩序

大阪大学理学研究科 河原崎修三

重い電子系では、系の特徴的なエネルギーのスケールが、d電子系と比べて一桁から二桁程度小さい。このため、励起エネルギーのレンジが冷中性子分光器の領域にうまく収まり、高エネルギー三軸分光器 HER の格好の研究対象となる。また、同じ理由で、通常の実験可能レンジの圧力や磁場などの外力が、強い非線形効果をもち、クロスオーバー現象や磁気不安定化現象を引き起こす。我々はまず、標準的フェルミ液体物質とされる  $\text{CeRu}_2\text{Si}_2$  について、従来報告されていたものとは異なる新しい常磁性揺らぎを発見すると共に、Brillouin zone 全域のほぼ完全な磁気励起の観測データを得、非局所帶磁率  $\chi(q)$  の全体像を明らかにした。現在このデータを直接用いて、この物質とこの物質をベースとしたいくつかの物質の磁気的性質を、守谷・滝本の SCR 理論によって再現する試みを行っている。また、10 Tesla までの強磁場中での磁気揺らぎの測定を行い、この物質の metamagnetic crossover 現象に付随する磁場誘起強磁性相関 ( $\Gamma$  点を頂点とする  $\chi(q)$  のピーク) が観測され、準粒子バンドの camel back 構造をもとにした理論との対応を議論している。 $\text{CeRu}_2\text{Si}_2$  は、Ce、Ru、Si のそれぞれ La、Rh および Ge による置換によって長距離秩序を発生する。これらの長距離秩序は  $\text{CeRu}_2\text{Si}_2$  で観測される強い常磁性揺らぎから発達したものである。とくに Rh 置換によって生じる格子不整合磁気秩序相は、重い電子系で、はじめて実験的にスピン密度波状態（凍結した純サイン波縦揺らぎ）であることを確認した。これらの秩序の圧力、磁場、化学組成による変化を詳しく調べると、長距離秩序の regime (高調波成分の存在や転移温度とモーメントサイズの関係、転移比熱の形など) に、局在/RKKY-regime と考えられるものと、遍歴/準粒子 regime 型と考えられるものとの明らかな差が見られ、その間のクロスオーバー現象がみられる。我々は、この二つの異なる regime の存在とそのクロスオーバーが、重い電子系の、いわゆる「小さなモーメント、大きなモーメント」の問題、さらに非フェルミ液体現象の現れ方にも直接関係していると考え、これらの観測を更に広げ、整理することで、重い電子系の長距離秩序に関するこれら重要な問題をまとめて理解できる可能性を探っている。小さなモーメント秩序は  $\text{URu}_2\text{Si}_2$  にもみられる。しかし、この場合は、その大きな転移比熱などから、明らかに隠れたオーダーパラメータの秩序、恐らく四重極転移の存在が予想される。最初に行った静水圧の実験で、反強磁性が静水圧によって強められる現象が観測され、四重極基底状態と反強磁性基底状態の圧力による交替の可能性が示唆された。さらに、最近行った一軸圧力の実験では c 軸方向 (反強磁性モーメントの方向) の応力は効果が無いのに比し、a 軸応力は静水圧より遙かに強く反強磁性モーメントを誘起することが分かった。さらに詳しい一軸応力実験 (応力方向、応力に関するヒステリシス実験など) により、この物質の小さなモーメント秩序の起源が明らかになるとを考えている。

## ウラン金属間化合物 $U_3Pd_{20}Si_6$ における特異な磁気構造と磁気励起

日本原子力研究所 先端基礎研究センター 目時直人

ウラン金属間化合物における 5f 電子は、局在系から遍歴系に至るまでバラエティーに富んだ物性を示す。ところが多くの場合、パウリ常磁性や重い電子系、そしてバンド磁性のような遍歴的状態が実現されている。一方で非常に数は少ないながらも局在系が存在することも確かである。最近発見された局在 5f 電子系  $U_3Pd_{20}Si_6$  の磁気構造と磁気励起についての研究結果について報告する。実験は原研三号炉において、先端基礎センターが所有する三軸型分光器 TAS-1, TAS-2, LTAS に、原研が独自に開発した中性子散乱実験用液体ヘリウムフリー 10T マグネット及び希釈冷凍機を組みあわせて実験を行った。この物質においてウラン原子は 8c 及び 4a サイトに位置し、19K 及び 2K においてそれぞれ独立に反強磁性及び強磁性秩序を示す。基底状態において、それぞれのスピンが colinear な磁気構造が安定であることを明らかにした。この磁気構造が安定になるためにはハイゼンベルグ交換相互作用だけでは不十分であり、高次の交換相互作用が必要である事を明らかにした。特に 5f 電子については、高次の相互作用が重要であることが考えられる。中性子非弾性散乱実験によって、結晶場励起を観察した。ウラン金属間化合物で結晶場励起が観察されることは非常にまれであり、この物質の 5f 電子の局在的性格を示す直接的な証明であるといえる。また低エネルギーに明瞭なスピン波も観察された。反強磁性ゾーン中心の極近傍には、準弾性散乱的なコンポーネントが存在する。現在のところその起源は明らかではないが、重い電子系で観察されているような準粒子や、強磁性及び反強磁性の共存の結果生ずる強磁性秩序のフラストレーションにともなうダイナミカルな結合の可能性が考えられる。

## 重い電子系のスピン揺動：フェルミ液体、非フェルミ液体

都立大理 門脇広明

重い電子系の性質は、f 電子も含めた準粒子が形成されるというフェルミ液体論により説明することが可能であると考えられている。そのなかで Moriya & Takimoto (J. Phys. Soc. Jpn. 64 (1995) 960) による現象論的なフェルミ液体論 (SCR 理論) は、重い電子系の比熱、帶磁率、電気抵抗、中性子非弾性散乱の実験結果を半定量的に説明できる理論であることが知られている。特に、非フェルミ液体の振舞を示す重い電子系をも説明するひとつの有効なフェルミ液体論であると考えられている。しかし定量的には問題があり、理論と実験に 3 倍もの不一致がある例も知られている。我々は、この問題を解決するために、重い電子系の代表例である  $CeRu_2Si_2$  を用いて、SCR 理論の定量性を追求している。SCR 理論では磁気励起スペクトルを低温ですべて測定すれば、他の温度の励起スペクトル、比熱等の他の物理量を計算することができるという枠組みになっているため、中性子散乱による研究に適している。 $CeRu_2Si_2$  の第一ブリュアンゾーン全体にわたって中性子非弾性散乱スペクトルを測定し、SCR 理論の提示する関数形で実験を再現できるかどうか、自己無撞着条件により温度変

化を再現できるかどうかを調べた。その結果、静的&動的帶磁率については、温度変化も含めてかなり定量性の良い実験と理論の一一致が得られることが判明した。

非フェルミ液体の性質を示す重い電子系の多くは、反強磁性相の近傍に位置するため、反強磁性磁気揺動が低温での非フェルミ液体的な温度変化の原因であると考えられている。CeNi<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub>は加圧、原子置換等をしなくても非フェルミ液体的振舞を示す稀な例である。この系の磁気揺動のエネルギースケールは4 meV程度の大きなものしか観測されていなかったので、謎とされていた。最近、Niの同位体を用いた単結晶サンプルを用いて、低エネルギー領域の磁気励起を詳しく調べたところ非フェルミ液体の振舞いに対応すると考えられる1 meV以下のエネルギースケールの反強磁性磁気揺動が存在することを見出した。

### 高温超伝導体の擬ギャップ研究

名大・理・物理 佐藤正俊

銅酸化物の異常物性や高温超伝導発現は、その電子やスピントリ起スペクトルに現れる擬ギャップの考察抜きには語れない。この擬ギャップ形成プロセスの理解を中心的な課題に据えて中性子非弾性散乱研究を進めてきた。その成果の概要を特に YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>x</sub>の磁気励起や B<sub>2u</sub>対称フォノンの研究、さらにはスピングャップを有する低次元量子スピン系 CaV<sub>4</sub>O<sub>9</sub>や CuNb<sub>2</sub>O<sub>6</sub>の磁気励起に関する実験結果をもとに紹介した。このとき擬ギャップは結局超伝導電子対の precursor として理解できるが、これは電子の反強磁性相関が感知しうるほどに成長した温度 ( $T_0$ ) 辺りから徐々に成長しはじめ、スピングャップ温度とよく呼ばれる温度 ( $T_{SG}$ ) 辺りで反強磁性相関を dominate する。この描像を基盤にして全体の超伝導発現メカニズムを正しく描くことができる。

最近ではこの擬ギャップ形成もしくは超伝導発現に“ストライプ”と呼ばれる電荷秩序形成を主メカニズムとしたものが重要な役割を果すとの考えも出ているが、我々の行った YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>x</sub>系の磁気励起スペクトル  $\chi(q, \omega)$  ( $q, \omega$ はそれぞれ波数ベクトルおよびエネルギー) の( $q, \omega$ )空間における分布およびその温度依存性は、d-p モデル等のバンド理論に交換相互作用  $J$ を導入したものでよく記述されることに注意したい。逆に電荷秩序に誘起された、本質的には局在的で、しかも反強磁性相関を持つスピン系を扱う“ストライプ”モデルでは必ずしもそれらの記述がうまくいかない。d-p モデルを用いた最近の理論が、我々の実験的相図をよく再現でき、その一重項対形成の描像もよく対応していることをも考えれば、高温超伝導発現に“ストライプ”形成の考慮は、本質的なところで必要がないと思われる。

## 2-1-4 型銅酸化物超伝導体における中性子散乱研究：現在、過去、未来

京都大学 化学研究所 山田和芳

主に東北大学の遠藤グループを中心とした我々のグループは、高温超伝導体が発見されてまもなく、いわゆる 2 - 1 - 4 型銅酸化物超伝導体およびその関連物質を、改 3 号炉を主に利用し研究してきた。その得られた最も大きな「成果」は、この物質群の研究で、9名（物理 7 名、金研 2 名）の博士を産み、彼らの多くが燃尽きることなく現在も最前線の研究に従事していることと、この物質群の研究に新しい研究者を引込む原動力を生み出したことである。

今後の 10 年間のこの分野の研究方向を予想することは難しいが、個人的にはいくつかあると思っている。一つの典型は新奇なものを探し、それらを渡り歩く方向、もう一つの典型は類似の系に留まり新しい方向性を捜すこと。後者の場合には、試料も含めた実験手段の改良で、新しい現象を見る必要がある。いずれの方向も一步誤ると、銅鉄主義に陥ったり、重箱の隅をつつく危険性はある。

そんな中で、もし後者の方向をとるなら、強相関電子系の相図の中でいろいろな形で見られる、電子不均一現象を追いかけるのも面白いかもしれない。ただしこの種の研究には、我々の未熟さ（例えば試料調整や、中性子実験の分解能の甘さ）による不均一が必ずつきまとひ、本質がなかなか見えないことも予想される。電子相分離、特に早い時間スケールで変化する相分離の研究手段として中性子散乱がどのように利用できるかどうか？これからの大きな課題だと思う。空間スケールと時間スケールは電子系とは大きく異なるが、相分離現象が主役を占めているソフトマターの研究手法、物の考え方方が参考になるかも知れない。

高温超伝導体が発見される前だったかも知れない、磁性の分野では本質的に重要なテーマがなくなつたという人達がおられた。そんな中で「面白い問題がこんなにゴロゴロ転がっているのに、そんなことを言うのはその面白さを感じられない人だ」と言っておられた、故池田宏信先生の言葉を思い出す。

最後に、この 10 年間の我々の研究を支えてくれた改 3 号炉の偉大さに感謝すると共に、この研究炉の運転と共同利用に携ってこられた関係者の方々に厚くお礼を申し上げます。

### 正方晶回折でみた希土類正方晶 $RB_2C_2$ での四極子秩序

東北大金研、原研<sup>A</sup>、大山研司、山内宏樹、小野寺秀也、  
金子耕士、東方綾、片野進<sup>A</sup>、佐藤真直<sup>A</sup>、山口泰男

$RB_2C_2$  は、正方晶希土類化合物としては初めて反強四極子(AFQ)秩序が見いだされた系として、最近活発に研究が行われている。 $RB_2C_2$  での AFQ 秩序の大きな特徴は、

1 : 結晶場から予想される厳密な基底状態が 2 重項あるいは 1 重項であるにもかかわらず、四極子秩序が実現している。

2 :  $DyB_2C_2$  での転移点( $T_Q=24.7K$ )が、これまでに分かっている AFQ 秩序物質に比べ 1 衍高い。

3 :  $HoB_2C_2$  では、AFQ 秩序が磁気転移点以下で起きている。の 3 点である。この系の AFQ 秩序の

存在を証明するに至る過程で、我々が行った中性子回折実験が決定的な役割を果たした。

まず、我々は、金研中性子粉末回折装置 HERMES を用いて、DyB<sub>2</sub>C<sub>2</sub>での基底状態での磁気相互作用だけでは理解できない特異な磁気構造を明らかにし、DyB<sub>2</sub>C<sub>2</sub>の基底状態が AFQ 秩序と磁気秩序の共存競合相である事を示した。さらに、原研 TAS2 を用いて単結晶 DyB<sub>2</sub>C<sub>2</sub>での磁場中中性子回折実験を行い、磁気転移点 ( $T_N=15.3\text{K}$ ) 直上の常磁性状態で、磁場に誘起された反強磁性ブレーカーの観測に成功した。これは、 $T_N < T < T_Q$  の領域で、常磁性状態にもかかわらず磁気モーメントを固定する効果、すなわち AFQ 秩序の存在を直接意味している。さらに我々は、HERMES を用いて行った HoB<sub>2</sub>C<sub>2</sub>での粉末回折実験によって、HoB<sub>2</sub>C<sub>2</sub>の基底状態で、DyB<sub>2</sub>C<sub>2</sub>と同様、AFQ 秩序の影響を強く受けた特徴的磁気構造が実現している事、 $T_Q$  直上で短距離磁気秩序相が存在している事を明らかにした。この実験により、磁気転移温度以下で実現する四極子転移の存在が初めて確認された。多くの場合、4f 状態の電気四極子モーメントを直接観測する事は非常に困難であるので、磁気モーメントの配列を通して 4f 状態の情報を得る事ができる中性子回折は、四重極秩序の研究に今後も重要な役割を果たすと考えている。

### 単結晶を用いた構造相転移の研究

東北大金研 山口泰男

単結晶中性子回折装置 KSD の研究成果の一部および装置の改造計画について発表した。

#### 1) HoB<sub>2</sub>C<sub>2</sub> の IV 相の磁気構造について

反強四極子相互作用の強い系である RB<sub>2</sub>C<sub>2</sub> についての研究のうちから、HoB<sub>2</sub>C<sub>2</sub> をとりあげる。HoB<sub>2</sub>C<sub>2</sub> では、 $T_N=5.9\text{K}$  で磁気秩序構造ができるのであるが、さらに低温  $T_Q=4.5\text{K}$  で反強四極子秩序の加わった別の磁気構造に転移する。この  $T_N$  と  $T_Q$  ではさまれた磁気秩序相は IV 相と呼ばれ、(Ce,La)B<sub>6</sub> 系で注目を集めている IV 相と類似の振る舞いをすることからも興味を持たれている。単結晶試料についての中性子回折から IV 相の磁気構造は、c 面内反強磁性、c 面間強磁性結合のものが [668] 方向に伝搬ベクトルを持つ長周期構造をとること、サテライト反射になった磁気反射をつなぐ方向に散漫散乱がひろがっていることが判明した。この散乱の正確な形は 3 次元のメッシュスキャンでしかとらえられない。

#### 2) Ce(Zn,Ga) の構造相転移について

この系では Ga を増していくと近藤効果が強くなることを見いだしたのであるが、ここでは磁気相転移に伴って立方晶から正方晶へと対称性が低下した場合のデータの取り込みについての問題点を指摘した。結晶の対称性の低下によって単結晶はいくつかの小結晶に分かれ、ブレーカー反射は分裂することはよく知られているが、この分裂は 3 次元的に起こるため、通常の回折装置では完全には捕まえきれないことを CeZn を実例として示した。

#### 3) KSD の改造計画について

KSD は今まで単結晶試料や粉末試料について、主として構造解析分野で活躍してきたのであるが、粉末試料専用装置として HERMES が軌道に乗り、単結晶試料の構造解析用として FONDER が設置

されるにおよび、KSD の改造計画が検討されている。現有の装置とのバランスを考慮し、KSD は上記 1) 2) に述べたような分裂したブレッジ反射や散漫散乱を迅速・正確に捕まえられるように 2 次元位置敏感計数管を備えるとともに、強磁場、極低温、高圧等の極端条件下での構造相転移を研究できるように耐荷重の大きな試料テーブルを備えた装置とすることを提案し出席者の賛同を得た。

### 擬低次元磁性物質の中性子散乱研究

原研先端基礎研究センター 加倉井和久

東京大学物性研究所中性子散乱研究施設が設置、稼動している三軸分光器 PONTA で実施された数々の低次元磁性物質の中性子散乱研究の中から、ハルデーン物質  $\text{Y}_2\text{BaNiO}_5$  及びスピニ・パイエルス物質  $\text{CuGeO}_3$  に関する実験を紹介した。両物質ともに低温でスピニ・ギャップをしめすシングレット基底状態系であり、この実験はそのトリプレット励起状態の本質を非弾性中性子磁気散乱により明らかにしたものである。その際に活用された中性子磁気散乱の選択則、偏極中性子散乱手法を解説し、PONTA における偏極中性子散乱モードの現状も紹介した。

### 中性子・放射光X線散乱の相補的利用によるスピニ・電荷・格子結合系の研究 - $\text{NaV}_2\text{O}_5$ を中心として -

東大物性研 藤井保彦

$\text{NaV}_2\text{O}_5$  は室温で当初 2 種類の V サイト、 $\text{V}^{4+}(S=1/2)$  と  $\text{V}^{5+}(S=0)$  があり、 $T_c=35\text{K}$  以下でスピニ・パイエルス状態が実現していると思われていた [1,2]。しかしその後  $T > T_c$  では  $\text{V}^{+4.5}$  の電荷無秩序状態であり、スピニ構造的には quarter-filled spin ladder 系であること、 $T_c$  ではスピニギャップ形成[2,3]・原子変位[4]・電荷秩序[5]が同時に起こる珍しい物質であることが明らかになった。我々は、中性子散乱により磁気励起、X線散乱により原子変位、また放射光 X 線による V 原子の吸収端を利用した異常散乱により電荷秩序を決定し、この物質の全容を明らかにした(常圧)[5]。

一方、この物質の低温・高圧下での放射光 X 線散乱実験により[6]、原子変位変調波数(電荷秩序と結合した)が ANNNI モデルで予言される“悪魔の花”的振舞いを示し、系統的な高次整合相が出現することを観測した[7]。これは競合する相互作用によるフラストレーションに起因するものであるが、 $\text{NaV}_2\text{O}_5$  における微視的相互作用に興味が持たれる。

- [1] M. Isobe and Y. Ueda, JPSJ 65 (1996) 1178.
- [2] Y. Fujii et al., JPSJ 66 (1997) 326.
- [3] T. Yoshihama et al., JPSJ 67 (1998) 744; Physica B241-243 (1998) 543; JPCS 60 (1999) 1099; Physica B281-282 (2000) 654.
- [4] H. Nakao et al., JPCS 60 (1999) 1101.

- [5] H. Nakao et al., PRL 85 (2000) 4349.
- [6] K. Ohwada et al., JPSJ 68 (1999) 3286; JPSJ 69 (2000) 639.
- [7] K. Ohwada et al., to be published in PRL (2001).

## 量子スピン系 $TlCuCl_3$ と $KCuCl_3$ の磁気励起と磁場誘起相転移

東京工業大学理物理学研究科 田中秀数

近年磁気的基底状態が励起ギャップをもつ1重項状態であるスピンギャップ系の研究が盛んである。特に磁気励起と磁場誘起相転移は磁性の重要な中心課題の1つになっている。表題の  $TlCuCl_3$  と  $KCuCl_3$  もスピンギャップ系で、化学的ダイマー  $Cu_2Cl_6$  が鎖上に積相した構造をもつ物質である。このギャップの起源は化学的ダイマー  $Cu_2Cl_6$  内の強い反強磁性交換相互作用である。これら2つの物質の磁気励起を中性子非弾性散乱で調べた。得られた分散関係は通常の反強磁性体のものとはかなり異なったものである。この特徴的な分散関係を有効ダイマー相互作用近似と最近 Hannover 大の Mikeska グループの開発したクラスター展開の方法で解析した。実験結果は非常によく再現され、交換相互作用のネットワークが解明された。その結果、両物質共に反強磁性ダイマーが3次元的に結合した系であることが分かった。2つの物質の違いは、 $KCuCl_3$  が弱く結合したダイマー系であるのに対して、 $TlCuCl_3$  は強く結合したダイマー系であることである。 $TlCuCl_3$  ではギャップの大きさが 0.65meV とあまり大きくないので、6T 程度の磁場でギャップを潰すことができる。これによって生ずる磁気秩序を磁場中中性子散乱で観測した。この磁場誘起相転移をマグノンのボース・アインシュタイン凝縮として記述する理論が最近出されているので、実験結果と理論の比較検討を行う。

## パーコレーション磁性体の臨界現象

高エネルギー加速器研究機構 伊藤晋一

反強磁性体  $Rb_2CoF_4$  は二次元イジングモデルでよく記述されることが知られていて、動的臨界現象も実験的に確認されている。磁性原子 Co を非磁性原子 Mg でランダムに希釈した系  $Rb_2Co_cMg_{1-c}F_4$ において、磁性濃度  $c$  がパーコレーション濃度 ( $c_p=0.593$ ) 付近の系で、動的臨界現象を中性子非弾性散乱で調べた。この系は、ネール温度の濃度依存性が、パーコレーションの理論でよく説明でき、また、 $c_p$  に極めて近い  $c=0.6$  の系の(100)磁気格子点における中性子弹性散乱は散乱関数  $I(q)=q^{\alpha}$  に従い、 $\alpha$  はフラクタル次元に一致することが知られている。臨界現象においては、静的な性質はこれまでによく研究されている。 $c=0.7$  では、静的相關関数の関数形及び温度変化を記述する臨界指数は一様系 ( $Rb_2CoF_4$ ) での値に一致することが報告されている。また、 $c < c_p$  では、逆相關長が、磁性濃度  $c$  できるだけ幾何学的逆相關長と温度変化する一次元系逆相關長 ( $\exp(-2v_p J/T)$ ,  $v_p=1.33$ 、 $J$  は交換相互作用) の和とで表わされることが知られている。このことは、 $c=c_p$  では (幾何学的逆相關長が 0)、

パーコレーションネットワークの複雑な原子のつながりのうち、唯一  $c=0.58$  の系での測定があり、動的臨界指数が一様系より大きくなることが報告されている。

$c=0.6$  及び  $0.65$  の系については、C1-1 ビーム孔に設置された三軸型分光器で、二軸モードにより (100) 磁気格子点近傍の静的相關関数の温度変化を調べた。また  $c=0.6, 0.65, 0.7$  については、KENS の LAM80ET 及び ISIS の IRIS (いずれも数  $\mu\text{eV}$  のエネルギー分解能をもつ中性子非弾性散乱装置) を用いて(100)でのエネルギースペクトルの温度変化を測定した。これらの実験から逆相関長  $\kappa(T)$  及び減衰定数  $\Gamma(T)$  を求めた。まず、 $\kappa$  及び  $\Gamma$  を換算温度のべき乗でフィットしたところ、よくフィットできたが、べきの値は  $c$  が  $c_p$  に近づくにつれて二次元イジングモデルから大きく離れることがわかった。 $\kappa$  も  $\Gamma$  も換算温度のべき乗で表わされることから動的臨界指数が定数として得られる。

イジング型のパーコレーション系でのスピントピカル特性は、パーコレーションネットワークの一様でない幾何学構造のために、複雑に絡み合った原子集団を磁壁を通過するときのそのスピントピカル特性は、パーコレーションの理論でよく記述できることを明らかにした。動的臨界指数の温度変化を確認するためには、磁性濃度がより  $c_p$  に近い試料により、より高いエネルギー分解能の中性子非弾性散乱実験を行う必要がある。

### フラストレーション系 $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$ の中性子磁気散乱

早大理工 蒲沢和也、角田頼彦、近桂一郎

正スピネルの  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  は A サイトに  $\text{Zn}^{2+}$ 、B サイトに  $\text{Fe}^{3+}$  が位置し、磁性イオンの  $\text{Fe}^{3+}$  だけを取り出すと四面体の頂点が 3 次元的に連なったネットワークを構成している。四面体をひとかたまりと見ると、fcc 構造である。この四面体のネットワーク構造はパイロクロアーや C15 型ラーベス相化合物の  $\text{Y}(\text{Sc})\text{Mn}_2$  と全く同じである。Néel 温度が約 10K の反強磁性体と考えられているため、最近接間が反強磁性で、強いフラストレーションが生じていると考えられていた。単結晶を用いて中性子散乱で磁気的な振る舞いを調べると、fcc の第一ブリルアンゾーンの境界に沿う磁気散漫散乱が現れる。これは、第 3 近接間の fcc に配置している  $\text{Fe}^{3+}$  が反強磁性的に配置していることを意味し、これはまた四面体に配置することからフラストレートして揺らいでいると考えられる。また、最近接の B-site 間は強磁性的であることを示すピークを直接確認している。 $\langle 100 \rangle, \langle 111 \rangle$  軸に沿った  $\Delta E$ (Energy Transfer)=0meV での Constant E - Scan では、核散乱の位置に幅の広いピークが存在する。しかし、A-site だけが寄与する  $\langle 110 \rangle$  軸方向の 220 核散乱の位置では、この幅の広いピークは存在していない。温度変化、磁気形状因子等を考慮すると、これは B-site の磁気的な寄与によるものと言える。

すなわち  $ZnFe_2O_4$  では最近接  $Fe^{3+}$ - $Fe^{3+}$  間  $90^\circ$  相互作用が強磁性的であることを意味する。相関距離は 30K で最近接を少し越える程度である。動的な性質は、非弾性散乱で調べたところ、散漫散乱の位置では、 $\Delta E=0\text{meV}$  を中心とした準弾性的なもので、スピン相関の緩和時間は  $T=7\text{K}$  で  $\sim 10^{-12}\text{ sec}$  以下である。更に、散漫散乱がほとんど観測されない  $<001>$  方向の第2ブリルアンゾーン内でエネルギースペクトルを調べたところ、 $\Delta E=2\text{meV}$  を中心とした半値幅が約 1meV の、広い非弾性散乱が観測された。これは、逆格子空間の位置にあまり依存しておらず、一様に存在している。四面体を構成している個々の  $Fe^{3+}$  自身も揺らいでいるものと考えている。

### 冷中性子スピン干渉による磁気膜トンネル位相・時間の観測

九大理 阿知波紀郎、京大原子炉 海老沢徹、  
田崎誠司、日野正裕、河合武、山崎大

京都大学原子炉実験所海老沢徹らにより、JRR3M に冷中性子導管 C 3 - 1 - 2 が設置され、中性子反射率計、中性子スピン干渉計による研究が 1996 年ごろより開始された。中性子スピンエコー原理を用いた中性子スピン干渉計を用いて、磁気膜トンネル位相[1]、[2]磁気スpinsプリッターによる中性子スピンプリセッション[3]、磁気共鳴スピンフリッパーを用いた中性子時間ビートの観測[4]等が世界に先駆けて行われた。我々が一般化した中性子スピン干渉法は、従来の空間分波の中性子干渉計ではかならずしもなく、中性子スピンの固有状態分波や固有エネルギー状態分波を実現し、中性子スピンプリセッションの観測や、中性子時間ビートの観測により、分波状態で種々の場と相互作用した中性子波動関数の位相差を求める手法である。たとえば、磁気膜多重連結量子トンネル井戸に束縛された↑スピン中性子のトンネル位相は、連結量子井戸数に比例して、加算的であるが、束縛准位トンネル確率は、量子井戸の連結数によらず一定になるなど、興味深い実験事実が得られた。これらは、1 次元箱形磁気ポテンシャルモデルによるシュレーディンガー解による中性子スピン位相差シミュレーションや、トンネル確率と良い一致を示した。一方中性子時間ビートの周波数を 4 KHz まであげることに成功し、1マイクロ秒の精度で中性子の飛行時間を測定出来た。従って、磁気多層膜や磁気結晶での回折時間をこの精度で測定出来る技術が確立した[5,6]。中性子波動関数の位相と粒子飛行時間の関係は、トンネル状態では、いまだ未解決の基礎量子力学問題である。

- [1] M.Hino, N.Achiwa, S.Tasaki,T.Ebisawa, T.Kawai, T.Akiyoshi and D.Yamazaki, Phys. Rev. A59(1999) 2261.
- [2] M.Hino, N.Achiwa, S.Tasaki,T.Ebisawa, T.Kawai, and D.Yamazaki, Phys. Rev. A61(2000) 013607.
- [3] T.Ebisawa, S.Tasaki, T.Kawai, M.Hino, T.Akiyoshi, N.Achiwa, Y.Otake, and T.Akiyoshi, Phys.Rev.A57(1998)4720.
- [4] T.Ebisawa, D.Yamazaki, S.Tasaki, T.Kawai, M.Hino, N.Achiwa, and Y.Otake, J.Phys.Soc.Jpn. 67(1998) 1569.
- [5] T.Ebisawa, S.Tasaki, D.Yamazaki, N.Achiwa, G.Shirozu, T.Kanaya, N.Torikai,

M.Hino, T.Kawai, K.Soyama, J.Phys.Soc.Jpn. 70(2001)Suppl.A 442.

[6]N.Achiwa, G.Shirozu, T.Ebisawa, M.Hino, S.Tasaki, T.Kawai, and D.Yamazaki, J.Phys.Soc.Jpn. 70(2001)Suppl.A 436.

### C3-1-2 ビームポートの改造と中性子スピンドル干涉計の開発と応用

京大炉 田崎誠司

C3-1-2 ビームポートでは、従来多層膜4回反射モノクロメータを用いて  $12.6\text{\AA}$ (3.5%分解能)のビームを取り出して、Mach-Zhender(MZ)型多層膜中性子干渉計、中性子反射率計、および中性子スピンドル干涉計の利用が行われてきた。MZ型多層膜中性子干渉計は従来のシリコン干渉計の装置サイズおよび中性子波長の限界を、長波長中性子を用いることによって打破しようとする試みである。中性子反射率計は、国内で定常的に利用できる数少ない反射率計の一つとして、多層膜中性子反射鏡のおよび高分子薄膜の物性測定に利用してきた。中性子スピンドル干涉計は、中性子を空間的でなくスピンドル状態で分離して干渉現象を測定するもので、従来の空間分波を行う干渉計で厳しく要求される空間位置精度の条件が極めてゆるく、干渉現象の測定が極めて容易に行われる。スピンドル干涉計は、基礎物理関係への応用ばかりでなく、「新しい中性子スピンドルエコ一分光器」への応用も開けており、統合計画を目指して力点を置いた開発が望まれる。

今回、C3-1-2 ビームポートが原研によって改造され、MINE ビームラインとして  $9.9\text{\AA}$  以上の「白色」ビームが得られるようになり、それに伴ってビーム強度も増大した。MINE 装置グループとしては、この機会に装置の利用効率を上げるべく、「白色」ビームの中途で単色( $12.5\text{\AA}$  5.1% 波長分解能)ビームを取り出す事で両ビームとも利用できるようにした。

「白色」ビームライン(MINE-1)では、ビーム強度を生かして主に「新しい中性子スピンドルエコ一分光器」の開発を目指す。「単色」ビームライン(MINE-2)では、中性子反射率計および中性子スピンドル干涉計をそれぞれ常設し、互いの配置を崩すことなく交互にビームを利用して、一層の効率的実験を目指す。

### AGNESによる2重ハニカム格子超伝導体のフォノン状態密度

東北大工, 広大工<sup>A</sup> 社本真一, 加藤洋一, 飯澤慶吾,  
小岩崎剛<sup>A</sup>, 安川雅啓<sup>A</sup>, 山中昭司<sup>A</sup>, 梶谷剛

2重ハニカム格子超伝導体である  $\text{Li}_x\text{ZrNBr}$  および  $\text{Na}_x\text{HfNCl}$  のフォノン状態密度(GPDOS)を、TOF型冷中性子分光器 AGNES を用いて調べた。AGNESの入射中性子のエネルギーは、4.59 meVであることから、測定は 270 K 付近で行い、強度の高いエネルギーイン側のデータを用いて、解析を行った。その結果、 $\text{Li}_x\text{ZrNBr}$  系では、Li インターカレーションにより、GPDOS は、6 から 14 meV で上昇し、20 meV 付近で減少した。これは 18 から 15 meV へのフォノンのソフト化を示している。またこの  $\text{Li}_x\text{ZrNBr}$  系のインターカレーション

ンでは GPDOS のエネルギー積分の強度は、変化しなかったものの、 $\text{Na}_x\text{HfNCl}$  系のインターカレーションでは  $x$  の増加と共に、積分強度が上昇した。このことは、インターカレーションの溶媒であるテトラハイドロフランが Na と共に部分的にインターカレートしている可能性を示している。観測された低エネルギーフォノンモードやデバイ温度と、超伝導転移温度との関係も合わせて議論した。

## 2p 電子系反強磁性体 TPV の弱強磁性とスピン構造

<sup>1</sup> 愛媛大学工学部、<sup>2</sup> 愛媛大学理学部、<sup>3</sup> 京大化研  
富吉昇一<sup>1</sup>、東 長雄<sup>2</sup>、山田和芳<sup>3</sup>

有機磁性体はスピン密度が低く、水素によるバックグランドが高く、また、大きな単結晶が出来にくい等の理由によりこれまでに中性子回折によるスピン構造の研究は殆ど行われていない。我々は有機磁性体 TPV (2,4,6-triphenylverdazyl) について単結晶を用いたスピン構造の研究を行った。TPV はネール温度 1.78K の反強磁性体であり、S=1/2 の一次元的 Heisenberg 磁性体である。その分子式は  $C_{20}N_4H_{17}$  であり、中心の verdazyl 基を 3 つの phenyl 基が取り囲む構造で、不対電子は主に中心の verdazyl 基の 4 ヶの N 原子に集中している。結晶構造は単位胞に 4 ヶの分子を持つ斜方晶で、c-軸方向に延びるチェーン構造である。

中性子回折は 24mg の TPV の単結晶を用いて原研 JRR-3M の TOPAN を用いて行った。磁気反射は核反射に重なり強度が非常に弱いが、(101) 反射が比較的強い磁気反射強度を持つこと、他の磁気反射は非常に弱いこと等が明らかになった。(101) 反射について 2.5K と 1.4K で測定した強度差より磁気ピークを求めた結果、線幅は核反射とほぼ同じであり、磁気的オーダーは 3 次元的であることが明らかになった。また、(101) の温度変化より求めたネール温度は 1.78K であり、帶磁率の測定結果と一致する。中性子回折実験により決定したスピン構造は c-軸方向に延びるチェーン内ではスピンは反強磁性的にカップルし、スピンの向きは b-軸方向である。また、チェーン間のカップリングは隣の a-軸方向は反強磁性的、隣の b-軸方向は強磁性的であることが明らかになった。この解析では verdazyl 環の 4 ヶの N 原子がそれぞれ  $1/4 \mu_B$  づつの磁気モーメントを持つとしたが、これらは偏極中性子を用いたスピン密度分布の測定より決定する必要がある。磁気モーメントは 0K 外挿で  $0.81 \pm 0.3 \mu_B$  であり期待される  $1 \mu_B$  より若干低い値を示した。これは低次元性を反映しているのかもしれないがこの点を議論するにはより精度の高い測定を必要とする。ネール温度以下で弱強磁性が発生し有機物としてははじめての弱強磁性の発見になったが、その原因としては Dzyaloshinski-Moriya 相互作用が最も可能性がある。しかし、有機物では意外に多くの弱強磁性が見つかっており、何か別の新しいメカニズムがあるのかもしれない。

## Neutron Diffraction Studies for the Magnetic Structures of Nd<sub>7</sub>Ni<sub>3</sub> under External Magnetic Fields and Hydrostatic Pressures

T. Tsutaoka, T. Tokunaga, Y. Andoh<sup>1</sup>, S. Kawano<sup>2</sup>, M. Kurisu<sup>3</sup> and G. Nakamoto<sup>3</sup>

Graduate School of Education, Hiroshima University

<sup>1</sup>Faculty of Education and Regional Sciences, Tottori University

<sup>2</sup>Research Reactor Institute, Kyoto University

<sup>3</sup>Japan Advanced Institute of Science and Technology

Neutron diffraction studies on the hexagonal Nd<sub>7</sub>Ni<sub>3</sub> have been performed under external magnetic field up to 5 T and hydrostatic pressure up to 1.5 GPa. The Nd<sub>7</sub>Ni<sub>3</sub> possesses ferromagnetic state below 7.8 K with small resultant magnetization along the *c*-axis. Magnetic structure is conical with the propagation vector  $\mathbf{Q} = (0 \ 0 \ 1/3)$ . The spin reorientation takes place at  $T_R = 7.8$  K and the easy direction of magnetization lies in the *c*-plane. Above  $T_R$ , an antiferromagnetic state exists up to  $T_N = 25$  K. The magnetic structure changes from commensurate helix to incommensurate one with increasing temperature. At 4.2 K, two metamagnetic transitions in the basal plane were observed at  $H_C = 1.2$  and 2.1 T. The magnetic structure changes from conical to fan and induced ferromagnetic under external magnetic field along the *b*- or *a*-axis. The *H-T* phase diagram has been constructed for both the basal plane and along the *c*-axis from magnetization and neutron diffraction measurements. The antiferromagnetic phase is sensitive to the pressure. The  $T_N$  decreases with increasing pressure and the antiferromagnetic phase vanishes at about 0.8 GPa. The *P-T* phase diagram has also been made from electrical resistivity and neutron diffraction measurements. Magnetic structure does not change drastically under pressure.

## Magnetic Structures of Tb<sub>7</sub>Rh<sub>3</sub>

T. Tsutaoka, T. Tokunaga, Y. Andoh<sup>1</sup>, S. Kawano<sup>2</sup>, M. Kurisu<sup>3</sup> and G. Nakamoto<sup>3</sup>

Graduate School of Education, Hiroshima University

<sup>1</sup>Faculty of Education and Regional Sciences, Tottori University

<sup>2</sup>Research Reactor Institute, Kyoto University

<sup>3</sup>Japan Advanced Institute of Science and Technology

Neutron diffraction studies on the hexagonal Tb<sub>7</sub>Rh<sub>3</sub> have been performed from 1.5 K to 110 K. Tb<sub>7</sub>Rh<sub>3</sub> shows the reentrant magnetism containing antiferromagnetic ( $T_f = 27$  K), ferrimagnetic ( $T_C = 73$  K) and another antiferromagnetic phase ( $T_N = 91$  K). The magnetic structure is helical at 1.5 K with propagation vector  $\mathbf{Q} = (0 \ 0 \ 1/3)$ . In the ferrimagnetic phase, conical magnetic

structure with a basal plane helix can be considered. A kind of modification of the magnetic structure occurs at around 50 K, though pronounced anomaly can not be detected by the magnetic measurements. Propagation vector does not change with temperature from 1.5 K to  $T_N$ .

### 異方性競合系 $\text{Fe}_{0.50}\text{Co}_{0.50}\text{TiO}_3$ の磁場中における磁気的秩序

<sup>a</sup>理化学研究所、<sup>b</sup>お茶の水大、<sup>c</sup>東大物性研  
伊藤厚子<sup>a</sup>、打越千恵子<sup>b\*</sup>、深谷敦子<sup>a\*\*</sup>、  
里岡純子<sup>a</sup>、中島健次<sup>c</sup>、加倉井和久<sup>c\*\*\*</sup>

異方性が互いに直行する磁性物質の混晶（異方性競合系）においては、中間濃度領域において、スピニがどちらの方向からも傾いた、OAF 相（オブリーク相）が出現する。スピニ容易軸が c 軸方向である  $\text{FeTiO}_3$  と、c 面内である  $\text{CoTiO}_3$  との混晶  $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}\text{TiO}_3$  は、代表的な異方性競合系の 1 つであり、 $0.5 \leq x \leq 0.65$  において、OAF 相が出現する。異方性競合系の問題は、解決されたと考えられていたが、最近、この物質において、磁場中で奇妙な履歴現象が現れることが明らかになった。この系の磁場中におけるスピニの挙動を調べるために、磁場中での異常な振舞いが顕著に観測される  $x=0.50$  について、5G および T1·1 において、中性子散乱測定を行った。磁場は b 軸に平行に印加し、(10 -0.5) および (00 1.5) における Bragg 散乱強度を測定した。その結果、ZFC の条件下で観測される異常な振舞いは、磁気モーメントが c 軸方向から c 面内にやや倒れると同時に、スピニフロップによる c 面内での回転が起こることによると考えられる。一方、FC の条件下では、低温においても、スピニ状態はスピニフロップ相にとどまり、ZFC で観測される異常は現れない。この現象は、異方性エネルギーとゼーマンエネルギーの微妙なバランスと、スピニの c 軸方向成分と c 面内成分の結合により起こると推定される。

現所属：\*IHI、\*\*Columbia Univ.、\*\*\*原研先端基礎研究センター

### Heisenberg 極限の三角格子反強磁性体 $\text{CsMn}(\text{Br}_x\text{I}_{1-x})_3$ の相転移と臨界現象

小野俊雄（東工大理）、加藤徹也（千葉大教育）、田中秀数（東工大理）、  
中島健次（東大物性研）、加倉井和久（原研）

六方晶三角格子反強磁性体の  $\text{CsMnI}_3$  と  $\text{CsMnBr}_3$  は、それぞれ容易軸型および容易面型の磁気異方性を持つ。この両者の混晶系では、組成比を調節することでマクロな磁気異方性をコントロールできる。我々は同混晶系に於いて  $x=0.19$  の試料については、異方性がほぼ消失することを見出したため、中性子の弾性散乱により磁気構造と臨界指数を調べた。異方性のない場合、ゼロ磁場での相転移の際に、臨界現象が chiral Heisenberg universality class に属することが期待される。

磁気構造については散乱ベクトル  $\mathbf{Q}=(1/3, 1/3, 1)$  で磁気プラグのピークが現れ、本混晶系でも 3 倍周期の磁気構造が実現していることを確認した。また、 $120^\circ$  構造をなしているスピニを含むような"スピニ面"を考え、スピニ面の傾きに自由度を持たせて磁気構造因子を求めるとき、スピニ面が c-面から  $53^\circ$  傾いた時に、実験の結果と最も近くなることが分かった。ちなみにスピニ面の傾きがランダ

ムな場合、c-面からの傾きが、平均して約 55° となる。このことからも、混晶の異方性が小さくなっていることが分かる。

また、副格子磁化に対する臨界指数  $\beta$  を見積もったところ、 $\beta = 0.28 \pm 0.02$  と求まった。これは chiral Heisenberg universality class について予測されている値  $\beta = 0.30 \pm 0.02$  と一致する結果が得られた。

## 規則型複合ペロブスカイト酸化物の構造と磁性

お茶の水大理物理 外館良衛

$A_2 BB' O_6$  という分子式で表現される表記の酸化物の一群は、強相関系として眺めたときに興味深い特徴が存在する。我々が注目しているのは、 $Ba_2 NiW_6$  と  $Ba_2 CuW_6$  に代表される磁性イオンが面心格子を組んでいる系で、スピニ間に働く反強磁性的相互作用が幾何学的に強くフラストレートしている可能性がある。3d の局在スピニ間の相互作用は、混成した  $Ni(Cu)3d - 02p - W5d$  軌道を通して働くものと思われるが、このような特異な構造と電子状態の特徴が、局在スピニのミクロなダイナミクスを通して観測されることが期待される。この研究の出発点として ISSP の 4G-TAS で行った  $Ba_2 NiW_6$  と  $Sr_2 NiW_6$  における低温でのスピニ波励起の測定結果、および二次元系  $Ba_2 CuW_6$  における興味深い状況を紹介した。そして常磁性状態でのスピニダイナミクスを中性子散乱により調べることの重要性を指摘する。

### Incommensurate Magnetic Structure of HoNiSn

M. Kurisu, G. Nakamoto, Y. Andoh<sup>1</sup>, T. Tsutaoka<sup>2</sup>, and S. Kawano<sup>3</sup>

Japan Advanced Institute of Science and Technology

<sup>1</sup>Faculty of Education and Regional Sciences, Tottori University

<sup>2</sup>Graduate School of Education, Hiroshima University

<sup>3</sup>Research Reactor Institute, Kyoto University

Neutron diffraction experiments have been performed on powder and single crystalline samples of orthorhombic HoNiSn compound to determine its magnetic structure. Magnetic Bragg reflections are indexed by  $(h \pm Q_1, k \pm Q_2, 0)$  with  $Q_1 = 0.661$  and  $Q_2 = 0.341$  for  $h + k = \text{even}$  in the  $a^* - b^*$  reciprocal plane. The absence of the higher order satellites has been confirmed. No magnetic reflection is observed in the  $a^* - c^*$  plane. It is noted that the components of the wave vector to represent the magnetic modulation in HoNiSn are almost the same as those of DyNiSn. The Rietveld profile fitting of the powder diffraction pattern indicates a flat spiral magnetic structure with  $\mathbf{Q} = (0.635, 0.331, 0)$ . A possible origin of the difference in  $\mathbf{Q}$  vector between the single and polycrystalline samples is discussed.

## Nd<sub>2</sub>Mo<sub>2</sub>O<sub>7</sub> の "chiral" 磁気構造

東大物性研、東大物工<sup>A</sup>

大原泰明、望月秀紀、中島健次、吉沢英樹、田口康二郎<sup>A</sup>、十倉好紀<sup>A</sup>

Nd<sub>2</sub>Mo<sub>2</sub>O<sub>7</sub> はパイロクロア構造をもつ磁性体である。磁性イオン Nd<sup>3+</sup>、Mo<sup>4+</sup> はともに“頂角を共有している四面体構造”を形成する。この物質は Mo<sup>4+</sup> 間の二重交換相互作用により強磁性を示す。しかしながら、最近 Nd<sub>2</sub>Mo<sub>2</sub>O<sub>7</sub> は chirality による異常ホール効果を持つ可能性が指摘されている。そこで中性子回折により、実際この物質が "chiral" 磁気構造をもつかどうかを調べた。chirality を持つためには磁気構造が 1) 非直線的な立体的な構造、かつ 2) その構造に向きが定まっている(右巻き、左巻き)必要がある。非直線的な立体的な構造を持っていることはマクロな磁化(強磁性成分)の垂直な面上の磁気成分に対応する強度が(002)に 30K 以下で出現することにより明らかになった。さらに、z 軸方向に磁場をかけたときこの強度が消失することにより、磁気構造に向きがあることがわかった。以上の実験結果より、Nd<sub>2</sub>Mo<sub>2</sub>O<sub>7</sub> は 30K 以下で "chiral" 磁気構造をとることが明らかになった。

## 三角格子硫化物 BaVS<sub>3</sub> の中性子散乱

京大工 中村裕之、志賀正幸  
東大物性研 西正和  
原研先端研 加倉井和久

BaVS<sub>3</sub> は六方晶ペロブスカイト化合物で、磁性を担う V 原子は c 軸方向に一次元鎖、c 面内で三角格子を形成する。S = 1/2 の磁性体と考えられている。およそ 70 K で金属絶縁体転移を示し、硫化物としては比較的古くから研究されている物質の一つであるが、金属絶縁体転移の起源は依然として不明であり、研究者の注目を集めている。我々は東大物性研の PONTA-5G および HER-C1-1 を用いて、BaVS<sub>3</sub> の磁気相関等を調べた。本研究は現在も進行中で、結論を出せる段階ではないが、これまで得られた実験結果は、過去に文献に報告されていたものとかなり異なることがわかつってきた。その結果、これまでに提唱された物理描像にも様々な修正が必要になってきている。たとえば、この物質は c 軸方向に一次元的な反強磁性相関があると予測されていたが、PONTA による実験で、一次元性はむしろ薄く、c 面内の反強磁性相関が重要であることがわかった。最も基本的な修正点としては、磁気的基底状態がある。過去の中性子回折実験では磁気 Bragg ピークは観測されないと報告されていたが、C1-1 の実験で、磁気ピークが見つかり、基底状態が反強磁性的な長距離磁気秩序であることが明らかになった。変調ベクトルは形式的には (0.226, 0.226, 0) と求まり(六方晶の指数)、いわゆる 120 度構造に incommensurate の変調を加えたものと解釈できる。なお、モーメントの大きさは 0.5 M<sub>B</sub>/V 程度である。さらに興味深いことは、磁気秩序が金属絶縁体転移温度 70 K もかなり低い温度の 30 K 以下で現れることであり、70 K と 30 K の間のスピンの状態に興味が持たれる。その温度域では非弾性の磁気散乱が観測され、何らかのスピン液体的状態となっている可能

性がある。以上はいずれも粉末を用いた実験であるため、情報量に限界がある。現在、針状単結晶を多数集めた実験を計画している。

### 無機スピノン・パイエルス物質 CuGeO<sub>3</sub>の中性子非弾性散乱研究

東大物性研、都立大理<sup>A</sup>、原研先端研<sup>B</sup>、青学理工<sup>C</sup>  
西正和、門脇広明<sup>A</sup>、藤井保彦、加倉井和久<sup>B</sup>、片野進<sup>B</sup>、秋光純<sup>C</sup>

1993 年に長谷等により無機スピノン・パイエルス物質 CuGeO<sub>3</sub>が発見されただちに ISSP-PONTA 三軸型分光器を用いた中性子非弾性散乱実験により磁気分散やスピノン・パイエルス・ギャップの温度変化、圧力変化、ゼーマン分裂の様子を観測しスピノン・パイエルス相の磁気的性質を明らかにした。

最近スピノン・パイエルス転移に関与すると思われるフォノンの測定を行ない強度の温度変化に異常を見い出した。

有機スピノン・パイエルス物質の場合を参考にするとスピノン・パイエルス・ギャップと同じ程度またはより小さなエネルギーを持ったフォノンに異常が観測されるはずである。CuGeO<sub>3</sub>の場合スピノン・パイエルス・ギャップが 2meV であり、結晶格子の二量体化に伴うフォノンのエネルギーも同程度以下と予想される。我々は冷中性子三軸型分光器 ISSP-HER を用いて b\* 方向に伝播する光学フォノン分枝がゾーンセンターで約 1meV と大変低いエネルギーを持つことを明らかにした。このフォノンモードに着目し温度変化を測定したところ、フォノンピークの中心エネルギーはほとんど変化しないものの、ピーク強度はボーズ因子から期待される温度変化にくらべて約 60K から急激に減少することが判った。解釈として、b 軸方向に CuO<sub>2</sub> 鎮の酸素原子の twisting に伴う極小ポテンシャルが存在していて、その二つのポテンシャル間の存在確率が等価でなくなる温度(低温相の短距離秩序が出現し始める温度)が約 60K と推定される。このフォノンモードがスピノン・パイエルス転移に関与するモードならば構造相転移はフォノンのソフト化を伴った変位型ではなくて、むしろ秩序無秩序型の相転移だと考えられる。

### スピノンギャップ系物質 TlCuCl<sub>3</sub> の磁気励起

東工大理、千葉大教物<sup>A</sup>、東大物性研<sup>B</sup>、Univ. Hannover<sup>C</sup>  
大沢 明、加藤 徹也<sup>A</sup>、田中 秀数、加倉井 和久<sup>B</sup>、  
M. Muller<sup>C</sup>、H.-J. Mikeska<sup>C</sup>

TlCuCl<sub>3</sub> はエネルギーギャップ  $\Delta = 7.5\text{K}$  を持つスピノンギャップ物質である。結晶構造の特徴としては磁性イオンである Cu<sup>2+</sup> イオンが化学的ダイマー Cu<sub>2</sub>Cl<sub>6</sub> を形成し、それが a 軸方向に積層し二重鎖を形成していることが挙げられる。また二重鎖内の交換相互作用だけを見てみるとスピノンラダーに対角的な相互作用を入れた形で表される。このスピノンギャップの起源を調べるために、我々は中性子非弾性散乱の測定を行った。その結果磁気励起を一つ観測し、分散関係を決定した。分散を見ると我々が結

晶構造から予想したようなa軸方向に特別強い分散は見られず、むしろ劈開面である(1,0,\$\bar{2}\$)面内が強く、それに垂直な方向が弱いという結果が得られた。我々はこの分散について化学的ダイマー-Cu<sub>2</sub>Cl<sub>6</sub>内のダイマー内相互作用に対して他の三次元的に考えられる相互作用を摂動の形で取り込む、いわゆるクラスター展開の手法でJ'/Jの6次まで分散関係を求めてフィッティングを試みた結果、実験結果と良い一致を得、各交換相互作用を見積もった。この結果、スピニギャップの起源は化学的ダイマー-Cu<sub>2</sub>Cl<sub>6</sub>の反強磁性ダイマーであり、ダイマー間相互作用としてはa軸方向の相互作用はある程度強いが、フラストレーションの効果によってダイマーのホッピングとしては弱められ、むしろ(1,0,\$\bar{2}\$)面内のホッピングは相互作用にフラストレーションがほとんどないために強くなっていることがわかった。

### 二次元スピニギャップ系 SrCu<sub>2</sub>(B0<sub>3</sub>)<sub>2</sub>の磁気励起の中性子散乱研究

阿曾尚文、温井克行、西正和、加倉井和久（東大物性研中性子）  
陰山洋、鬼塚賢三、上田寛（東大物性研）、門脇広明（東京都立大理），  
Olivier Cpas, Timothy Ziman (Institut Laue Langevin),  
Louis-Pierre Regnault (DRFMC/SPSMS, CEA-Grenoble),  
Jean-Paul Boucher (Universite J. Fourier Grenoble I)

SrCu<sub>2</sub>(B0<sub>3</sub>)<sub>2</sub> は、スピニ 1/2 を持つ Cu<sup>2+</sup>がダイマーを形成し、隣り合うダイマーが直交する Shastry-Sutherland モデルが実現する系として近年実験・理論ともに精力的に研究されている。私達は、スピニ系の励起状態を調べるために中性子散乱による研究を進めている。3meV付近の磁気励起は、一重項三重項遷移に相当し波数依存性がほとんどない。これは宮原・上田によって提案された三重項励起が動きにくいことが実現していると考えられる。また、わずかな分裂はジアロシンスキーワ守谷相互作用によって説明される。さらに高エネルギー側に存在する磁気励起は、2個以上の三重項励起が同時に発生する励起と考えられ、理論によれば波数依存性があるとの指摘があったが、実験では同様に波数依存性はなかった。これらも、ダイマーが直交性による何らかの制限で三重項励起が強くフラストレートした結果であると考えられる。

### 正方晶TbB<sub>2</sub>C<sub>2</sub>における磁場誘起反強四極子秩序

東北大金研, 原研先端研 金子耕士, 片野進, 松田雅昌,  
大山研司, 小野寺秀也, 山口泰男

CeB<sub>6</sub>, TmTe, PrPb<sub>3</sub> など電子系での反強四極子秩序は、磁性と複雑に絡みあい特異な振る舞いを示す事から、非常に興味深い近年の固体物理分野における主要な課題の一つである。これらの物質での四極子転移温度  $T_q$  は 3 K 程度と低温に限られていたのに対し、我々は、DyB<sub>2</sub>C<sub>2</sub> が一桁近く高い  $T_q = 24.7$  K

で反強四極子秩序転移を示す事を見出した。加えて、同じ $\text{RB}_2\text{C}_2$  系( $\text{R}=\text{希土類}$ )に属する $\text{HoB}_2\text{C}_2$  においても反強四極子秩序転移の存在を確認した。これは正方晶希土類化合物としては反強四極子秩序を示す初めての例であり、 $\text{RB}_2\text{C}_2$  系は近年注目を集めている。その中の一つである $\text{TbB}_2\text{C}_2$  については、これまでの我々の研究で $T_N = 21.7 \text{ K}$  の反強磁性体で、無磁場下では反強四極子秩序は存在しない事を明らかにした。一方、磁場中の挙動については、磁化過程が $\text{DyB}_2\text{C}_2$ 、 $\text{HoB}_2\text{C}_2$ と酷似している点、また反強磁性体としては極めて特異な磁気相図である点から、磁場誘起による反強四極子秩序の実現が予想されている。そこで $\text{TbB}_2\text{C}_2$  における磁場誘起反強四極子秩序を確認するために、単結晶を用いた磁場中中性子回折実験を行い、磁場中での磁気構造を調べた。 $\text{DyB}_2\text{C}_2$ 、 $\text{HoB}_2\text{C}_2$ の基底状態下では、反強四極子秩序と反強磁性秩序との共存、競合により特異な磁気構造が現れる。これらの磁気構造は $(1,0,0)$  と $(1,0,1/2)$  の 2 つの磁気反射の共存により特徴づけられる。 $\text{TbB}_2\text{C}_2$  においては、無磁場下では $(1,0,1/2)$  反射が存在するものの、 $(1,0,0)$  反射は存在しない。本実験において、 $[1\ 0\ 0]$  方向に磁場を印加していく事で、 $0.2 \text{ T}$  程度の弱磁場領域から $(1,0,1/2)$  反射が消えることなく、 $(1,0,0)$  反射が現れる事を確認した。これにより $\text{TbB}_2\text{C}_2$  では、磁場下において、 $\text{DyB}_2\text{C}_2$ 、 $\text{HoB}_2\text{C}_2$ の基底状態で見られる特異な磁気構造と類似した磁気構造をもつことを明らかにした。以上の結果は、 $\text{TbB}_2\text{C}_2$ において、これまでに例のない、磁場誘起による反強四極子秩序が実現している事が強く支持している。

### $\text{La}_{2x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$ , $\text{Pr}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{MnO}_3$ における電荷・軌道秩序

梶本亮一 (お茶大理), 吉沢英樹 (東大物性研), 田邊隆哉 (東大工),  
勝藤拓郎 (東大工), 富岡泰秀 (JRCAT), 十倉好紀 (東大工, JRCAT)

$\text{La}_{2x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$ におけるストライプ的電荷・スピニン秩序および、 $\text{Pr}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{MnO}_3$ におけるCE型電荷・軌道秩序の秩序過程について、中性子回折実験により詳細に調べた。

$\text{La}_{2x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$ のストライプ相では電荷とスピニンはそれぞれ  $\mathbf{g}_2 \varepsilon = (2\varepsilon, 0, 0)$ ,  $\mathbf{g} \varepsilon = (\varepsilon, 0, 0)$  の波数ベクトルで特徴付けられる非整合な秩序状態を形成する。ストライプ秩序の incommensurability  $\varepsilon$  とホール濃度  $n_h = x + 2\delta$  ( $\delta$ : 過剰酸素) の間にはほぼ  $\varepsilon \sim n_h$  の関係が成り立つが、有限な温度変化を示す。その変化の仕方は  $n_h = 1/3$  あるいは  $\varepsilon = 1/3$  を中心に対称である: ストライプ秩序の転移温度直下では  $\varepsilon$  は  $n_h$  の値よりも  $1/3$  の方へずれた値を取る。しかし温度を下げると  $\varepsilon$  はホール濃度で決定される値に近づいてゆき、磁気転移温度より低温のある温度以下で一定となる。この  $\varepsilon$  の変化は系のキャリア数の変化を通してストライプの安定性やトランスポートに影響を及ぼす。

$\text{Pr}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{MnO}_3$ における CE 型軌道秩序は 50%のホール濃度を反映してその波数ベクトルは  $\mathbf{q}_{00} = (0, 1/2, 0)$  の整合値を取る。しかし、電荷・軌道秩序転移温度近傍の温度で、軌道秩序の融解による非整合な波数ベクトルへの転移が生じる。この転移はトランスポートや結晶構造に大きな異常を引き起こし、その影響は電荷秩序の融解に伴うものよりも大きい。

## La<sub>2-x</sub>S<sub>x</sub>Cu<sub>1-y</sub>Zn<sub>y</sub>O<sub>4</sub>の静的磁気相関と低エネルギー磁気励起

木村宏之、古府麻衣子<sup>1</sup>、松本祐一<sup>1</sup>、廣田和馬<sup>1</sup>  
東北大多元研、<sup>1</sup>東北大理

高温超伝導体のCuを僅か数%のZnで置換すると、超伝導が抑制される。S=0のZnは、CuO<sub>2</sub>面内で非磁性不純物として振る舞う。これまでの中性子散乱によるLa<sub>2-x</sub>S<sub>x</sub>Cu<sub>1-y</sub>Zn<sub>y</sub>O<sub>4</sub>(LSCZO)研究の結果、Cu<sup>2+</sup>スピニの静的磁気相関の発達と超伝導抑制との間に、密接な関係があることが明らかにされた。しかしその関係について、系統的・定量的な議論に耐え得る結果はまだ得られていない。そこで本研究では、ホール濃度xを最適ドープ量0.15に固定し、Zn置換量を系統的に変化させた試料について中性子散乱を行って、静的磁気相関の発達と超伝導抑制について、定量的な解答を得ることを試みた。

測定を行ったのはZn濃度y=0.01試料である。超伝導転移温度Tcは27Kであり、y=0の文献値38Kよりも低く、超伝導が抑制されていることを示している。この試料について中性子弹性散乱実験を行ったが、磁気弹性散乱については観測されず、このZn濃度では静的な磁気相関は安定化しないことが明らかになった。更に、低エネルギー領域の磁気励起を観測するために非弹性散乱を行った。その結果、T=10Kで、3~4meVの磁気励起が観測された。y=0の場合、このエネルギー領域の磁気励起は抑制され、スピニギャップが存在している。ギャップはTc付近から開きはじめることから、超伝導の出現と密接な関係にあることは明らかである。y=0.01試料におけるスピニギャップの消失は、超伝導の抑制に大きな寄与をしている可能性があり。極めて重要な結果である。今後は、磁気励起の低エネルギー領域の構造がZn濃度に対してどのように変化していくか、また、どの程度のZn濃度で静的磁気相関が発達するのかについて系統的な研究を行って、超伝導抑制のメカニズムの解明を目指したい。

## $\alpha'$ -NaV<sub>2</sub>O<sub>5</sub>の中性子磁気散乱研究

東大物性研中性子散乱研究施設<sup>1</sup>、同 物質設計評価施設<sup>2</sup>  
吉浜知之<sup>1, #</sup>、西正和<sup>1</sup>、阿曾尚文<sup>1</sup>、中島健次<sup>1</sup>、  
加倉井和久<sup>1, ##</sup>、藤井保彦<sup>1</sup>、永井聰<sup>1</sup>、磯部正彦<sup>2</sup>、上田寛<sup>2</sup>

$\alpha'$ -NaV<sub>2</sub>O<sub>5</sub>は、Tc=35 K 以下で格子歪とともに非磁性状態へと転移することが 1996 年に見出され、この転移は、V<sup>4+</sup>(S=1/2)一次元鎖における spin-Peierls 転移であると説明された。我々はこの物質の非磁性状態における微視的機構に関する情報を得るために、原研改 3 号炉に設置された熱中性子三軸分光器 ISSP PONTA において中性子非弹性散乱測定を行った。結果を纏めると以下の通りである。

- (i)一次元方向には、9.8 meV のギャップを持つ急峻な反強磁性磁気分散が存在し、相互作用の大きさは低温帶磁率から評価された値(440 K)と矛盾しない。
- (ii)ギャップが形成されている一次元反強磁性ゾーン中心上( $k=0.5r.l.u.$ )に、二本の三重項励起モードが存在する。分散のエネルギー差は最大で 2.6 meV であり、この物質のよい一次元性を反映している。更に、この方向には 3 r.l.u. の強度変調が観測される。

(iii)  $k=1.0$  r.l.u.においても、 $k=0.5$ r.l.u.と同じくギャップを持つ三重項励起が観測される。これらの結果は、電荷秩序した  $V^{4+}(S=1/2)$ 一次元鎖における spin-Peierls 状態としては説明出来ず、妹尾・福山によって理論的に提唱された zig-zag 状電荷配列モデルによって説明される。

現在の所属：# 原研先端基礎研究センターウラン NMR 研究グループ、## 同スピニーグラ子相  
関中性子散乱研究グループ

### ホールドープした二次元遷移金属反強磁性体の磁気励起

東京大学物性研究所 中島健次、澤田貴文、吉澤英樹  
東北大学大学院理学研究科物理学専攻 飯浜康行  
東北大学金属材料研究所 遠藤康夫  
日本原子力研究所先端基礎研究センター 加倉井和久

遷移金属酸化物は、ホールドープにより複雑で豊かな物性を示し、近年集中的な研究の対象となっている。その中で、二次元遷移金属反強磁性体である  $La_2MO_4$ ( $M=3d$  金属)は、遷移金属の異なる多くの系が知られ、Cu、Ni、Co、Mn 系で電荷秩序相が確認されており、遷移金属酸化物におけるホールドープの効果を系統的に研究するのに適した系である。我々は、この  $La_2MO_4$  の、特に、Ni、Mn、Co 系について中性子散乱実験により磁気励起を調べ、ホールドープがこの系の性質に及ぼす効果を、スピンドイナミクスの観点から実験的に明らかにしようと試みている。過剰酸素ドープした  $La_2NiO_4$  では、電荷秩序が起きない低濃度の系では、ホールドープにより実効的な相互作用がドープしていない系の約 2/3 ( $La_2NiO_{4.02}$ )、あるいは、1/5 ( $La_2NiO_{4.11}$ )程度まで小さくなつた新たな分散が生じる。この新しい励起は、高いエネルギーで強度を減じ、20meV 程度で観測されなくなる。代わりに高いエネルギー領域では  $La_2NiO_{4.00}$  で存在していた元々のスピンド波分散がブロードになりながらも観測され、この系のスピンド波励起の様相は、エネルギー領域で大きく変化する極めて複雑なものになっている。電荷がストライプを形成する高過剰酸素濃度の系、あるいは、Sr ドープした  $La_{2-x}Sr_xNiO_4$  では、やはり低エネルギー側では、インコメンシュレートなゾーン中心から立ち上がる相互作用が再規格化されたスピンド波分散が観測されるが、それも高いエネルギー領域に移ると強度を大きく減ずる。これより上のエネルギー領域の励起の詳細については、Cu 系との関連から強い興味が持たれるが、現在、観測困難な領域の磁気励起について中性子非弾性散乱実験で捉えることを試みている最中である。一方、 $La_{1-x}Sr_{1+x}MnO_4$  は、 $x=0.5$  近傍で  $Mn^{3+}$ 、 $Mn^{4+}$  がチエッカーボード状に配列する電荷秩序が存在することが知られている。 $x=0.4$  の  $La_{0.6}Sr_{1.4}MnO_4$  における  $Mn^{3+}$ 、 $Mn^{4+}$  スピンドの低エネルギー領域の磁気励起は、ドープされていない  $La_2MO_4$  やストライプ相の  $La_2NiO_4$  同様二次元的な性質を示す。実験から見積もられる  $Mn^{3+}$  スピンドの実効的相互作用の大きさは 2meV 程度であり、これは、 $La_2CuO_4$ 、 $La_2NiO_4$ 、 $La_2CoO_4$  より予測されるドープされていない  $LaSrMnO_4$  内の  $Mn^{3+}$  スピンドの相互作用の大きさ約 7~8meV に比較すると、極めて小さい。エネルギー遷移の高いところで強度が急激に低下する点も含めて、ホールドープした  $La_2NiO_4$  の低エネルギー側の励起と同様の振る舞いと言える。 $La_2CoO_4$  は、この系もまたハーフドープの  $La_{1.5}Sr_{0.5}CoO_4$  ないし  $La_2CoO_{4.25}$  で、 $Co^{2+}$ 、 $Co^{3+}$

がチェックカード状に配列する電荷秩序状態を持つ。我々は、酸素ドープした  $\text{La}_2\text{CoO}_{4.24}$  の試料についてスピノ波励起の測定を行うことを計画しており、予備実験を開始している。

## 分子性配向ガラスの低エネルギー励起

阪大院理, 千葉工大<sup>A</sup> 山室 修, 山崎 浩崇,  
間所 靖, 松尾 隆祐, 筑紫 格<sup>A</sup>

分子重心は結晶のように三次元秩序をもつが、分子配向は液体のように乱れた中間相を「配向無秩序結晶」またはその可塑性から「柔粘性結晶」と呼ぶ。まれにこの配向無秩序が低温で秩序化を起こさず凍結することがあるが、その状態が「配向ガラス」である。本研究では、配向ガラスの中性子散乱と低温熱容量の測定から、「構造ガラス」（通常のガラス）の未解決課題である「ボゾンピーク」と「速いθ緩和」を研究した。配向のみが乱れた系を扱うことによって、ボゾンピークと速いθ緩和のメカニズムに分子の回転自由度がどのように関与しているかを調べるのが本研究の目的である。

中性子散乱測定には物性研のAGNES分光器（エネルギー分解能: 0.12 meV）と高エネ機構のLAM-80ET分光器（0.015 meV）を、熱容量測定には大阪大学の我々の研究室の断熱型熱量計（熱容量精度0.05 %）を用いた。測定した試料はCyclooctanol, 1,2-Difluorotetrachloroethane, 2,3-Dimethylbutaneの3種類の配向ガラスと3-Methylpentaneの構造ガラスである。3-Methylpentaneは2,3-Dimethylbutaneの構造異性体であり、配向ガラスと構造ガラスの比較を行うのに適している。

測定した全ての配向ガラスにおいて、1.5–2.5 meV付近にボゾンピークが観測された。また、熱容量測定でも対応する温度域に過剰熱容量が観測された。これらのデータをソフトポテンシャルモデルを用いて解析した結果、ピークエネルギーの分子量依存性およびピーク強度は炭化水素の構造ガラスとほぼ同様であることが分かった。更に、測定した全ての配向ガラスにおいて、ガラス転移温度付近から高温側で準弾性散乱が観測された。準弾性散乱スペクトルから感受率虚部の周波数依存性を計算したところ、構造ガラスと同様に1 THz程度の緩和時間をもつ速いθ緩和が存在することが分かった。緩和時間の温度依存性や運動量ベクトル依存性は、構造ガラスにおける速いθ緩和と同様に、ほとんど観測されなかった。

以上のように、配向ガラスのボゾンピークと速いθ緩和は構造ガラスのそれらとほとんど同様であり、これらの現象が分子の回転自由度に関わっていることが本実験により明らかとなった。この結果は今後のガラスのダイナミクスの研究に大きな影響を与えるものと考えられる。

## 三元系マイクロエマルジョンの圧力誘起構造相転移

長尾道弘、瀬戸秀紀\*、川端庸平\*\*、武田隆義\*

東京大学物性研究所附属中性子散乱研究施設

\*広島大学総合科学部

\*\*広島大学大学院生物圈科学研究所

陰イオン性界面活性剤AOT (Aerosol-OT; dioctyl sulfosuccinate sodium salt)、水、油の三元系は室温付近で安定なマイクロエマルジョンを形成することが知られている。水と油の体積が等しく、AOTが約20%混合された溶液は室温で濃厚油中水滴構造を形成している。マイクロエマルジョンの構造形成要因はまだ完全に理解されておらず、現在世界的に活発な研究が行われている。本研究では、この系を対象に、静的あるいは動的構造の様子をX線、中性子小角散乱あるいは中性子スピニコー法を用いて調べた。

加圧あるいは昇温によって、いずれの場合も、濃厚水滴構造からラメラ構造への構造相転移が観測された。このことは、昇温、加圧いずれの場合も、AOT膜の自発曲率が負（水を囲む）から0（平坦な膜）へと変化していることを示している。さらに昇温過程では、自発曲率が正（油を囲む）へと変化する様子も観測された。これらの相転移過程は、非常によく似ているが、高温及び高圧領域での振る舞いに違いが見られる。その違いは、膜の弾性率の変化や加圧による水滴間の引力ポテンシャルの増加などによって確認された。

圧力上昇によって変化する自発曲率は、AOTの疎水鎖の充填によって引き起こされるため、ある有限のサイズ以上には小さくなれない。従って、高温で観測されるような自発曲率が正の状態は見られないとして解釈することができた。

## リエントラント液晶の相転移と構造

分子科学研究所 大石 修

通常、液晶はその相変化において温度を高温側から下げていくにつれ、配向秩序を持たない等方相（液体）から分子の向きのみがそろった一軸性配向のネマティック相、そして分子の向きとともに層構造を形成するスマクティック相を経て固相に至る。一方、リエントラント液晶はその温度変化において、等方相-ネマティック相-スマクティック相-リエントラントネマティック相-(スマクティック相)-固相、といったスマクティック相の低温側にもう一度ネマティック相が出現するという特異的な相変化を示す。我々はこの相変化のメカニズムを調べるために、過去の研究において、分子軌道計算による原子の電荷計算、X線構造解析による層間距離測定、PFG-NMRによる拡散係数測定を行い、これらの実験結果により、相変化は温度によって運動が大きく変化するアルキル鎖同士の相互作用と芳香環上の極性基の電荷反発エネルギーの競合によって生じるというモデルを示すことが出来た。

今回、相変化に大きく関与していると推測されるアルキル鎖の運動と層構造の変化を調べるために、

## アルキル鎖を重水素化したリエントラント液晶

4-cyanobenzoyloxy- [4-octylbenzoyloxy] -p-phenylene (d17-CBOBP)を合成し重水素の中性子小角散乱を測定した。装置はSUNS-Uを用い、0.7nm の波長で実験を行った。測定は固体状態で測定した後、低温側のスマクティック相(392.7K)から2.5Kおきに高温側のネマティック相(463.4K)まで温度上昇させながら行った。

散乱ベクトル( $q$ )の値から算出した層間隔とスペクトルのピーク強度(線幅)から導かれるアルキル鎖の運動の温度変化より、各相の分子構造及びその構造を形成する上でのアルキル鎖や極性基の役割を以下のようにモデル化することができた。

- 1) ネマティック相及びスマクティックAd相ではアルキル鎖の自由運動とシアノ基の電荷反発により分子自体が大きく運動している構造をとっている。そしてネマティック相では温度が高いぶん分子の並進運動が激しいために層構造をとれない状態となっている。
- 2) リエントラントネマティック相では中性子小核散乱のスペクトル上に複数のピークが現れる事から、異なった運動状態の分子が平衡で存在する事により層構造が乱れる事が示唆される。これはアルキル鎖の運動エネルギーがボルツマン分布に従うためであり、激しく運動している分子と制限された運動の分子が平衡で存在するためと考えられる。
- 3) スマクティックA1相ではアルキル鎖同士の相互作用エネルギーの方がシアノ基の電荷反発に勝る構造であり、アルキル鎖同士が重なった分だけ層間隔が短くなった構造をとる。
- 4) 固相では総てのアルキル基が同じ方向に配置した二分子層を作っており、この構造はアルキル基同士の相互作用とシアノ基同士の電荷で安定化している。
- 5) スマクティックA1-固相の相転移点付近に見られる過冷却は、転移温度を境として大きく変化するアルキル基の運動モードの変化とシアノ基同士の相互作用の結果として説明できる。固相においてシアノ基同士が安定的に存在できる運動領域はごく限られており、エントロピー的には非常に不安定である。そのため固相からスマクティックA1相への変化では相転移温度を境にアルキル鎖の運動範囲の拡大に伴いシアノ基同士の安定領域から分子全体が移動する。この状態では分子はシアノ基の電荷反発を伴い相変化が一気に起こる。一方で、スマクティックA1相から固相に相変化する場合には液晶分子はシアノ基の電荷反発によるエネルギーの壁を越えてシアノ基同士が安定する限られた領域におさまらなければならず、その敷居値を越えるエネルギーの分だけ分子運動が小さくならなければならない。そのため温度が相転移点よりもさらに低下する必要がある。

## 中性子スピニエコー法を用いた3元系マイクロエマルジョンにおける温度、 圧力効果の研究

<sup>1</sup> 広大生物圈科学研究所、<sup>2</sup> 東大物性研、<sup>3</sup> 広大総合科

川端庸平<sup>1</sup>、長尾道弘<sup>2</sup>、瀬戸秀紀<sup>3</sup>、武田隆義<sup>3</sup>

水と油は混ざり合うことはできないが、界面活性剤を混ぜることによって、水と油の界面張力が著しく低下し、一様に混ざり合ったマイクロエマルジョンが形成される。マイクロエマルジョンは組成や温度、圧力などを変えることによって、様々なメゾスコピック構造をとり、自己組織化、秩序形成

の観点から物性研究の恰好の対象となっている。中性子スピニエコー法（NSE）は、このような構造形成要因を探るのに重要とされる界面活性剤膜の揺らぎを観測することができるため、近年盛んに研究されている分光法である。我々は、マイクロエマルジョンにおける温度、圧力によって誘発される相転移のメカニズムを解明するために、NSE を用いた動的構造解析を行った。その結果、小角散乱では温度上昇でも圧力上昇でも同じような相転移が観測されたが、NSE によって得られる界面活性剤膜の曲げ弾性率が、温度上昇では小さくなり、圧力上昇では大きくなることが分かった。このことから、温度と圧力では同じ相転移が引き起こされるが、そのメカニズムは全く異なっているものであることが分かった。

### MCM-41メソ孔内におけるアセトニトリル分子のダイナミクス

(岡山理大理) 高原周一, 手塚信也, 橋高茂治

(岡山大理) 森俊謙, 黒田泰重 (福岡大理) 山口敏男

我々は制限空間内における液体のダイナミクスに興味を持っており、これまでにMCM-41メソ孔内の水およびメタノール分子のダイナミクスを中性子準弾性散乱測定により調べてきた。その結果、これらの系では室温付近においてはメソ孔内の分子運動はバルク中のそれに比べ遅くなることがわかった。今回はMCM-41メソ孔内のアセトニトリルのダイナミクスを中性子準弾性散乱測定により調べた。アセトニトリルは水およびメタノールとは異なり、分子間で水素結合を形成しない。この違いが制限空間内でのダイナミクスにどのように影響するか興味深い。実験は日本原子力研究所のTOF型中性子分光計AGNES ( $\lambda=4.2\text{\AA}$ ) を用いて100–300 Kの温度範囲で行った。得られたスペクトルをアセトニトリル分子が並進・3回軸の回転・3回軸周りの回転を行っているというモデルを使って解析し、それぞれの運動の拡散係数・緩和時間等を決定した。その結果、メソ孔内のアセトニトリル分子はバルク中の分子と比べると若干運動性が低下している（特に並進拡散）ことがわかった。しかし、メタノールの場合と比較すると、運動性の低下は小さかった。これは、アセトニトリルの分子運動の協同性がメタノールに比べ低いことを示唆する結果である。

### Neutron Spin Echo Investigations on Dynamics in Ternary $\text{C}_{12}\text{E}_5/\text{n-octane}/\text{D}_2\text{O}$ and DPPC/ $\text{D}_2\text{O}/\text{CaCl}_2$ Amphiphilic Systems

広大総合科、広大生物圈<sup>A</sup>、中央大理工<sup>B</sup>、東大物性研<sup>C</sup>  
武田隆義、川端庸平<sup>A</sup>、瀬戸秀紀、好村滋洋<sup>B</sup>、長尾道弘<sup>C</sup>

水/油/両親媒子から成る三元系液体は水と油は界面活性剤の膜によって隔てられ、その組成や温度により、液滴型あるいは双連結型マイクロエマルジョンの不規則相や、立方相、六方相、ラメラ相等の規則相が形成される。これらの構造形成の基礎となるセミミクロな相互作用定数を決定し、構造形

成機構を明らかにするために、原研 JRR-3M の C2-2 ポートに設置された東大物性研の中性子スピニエコーパー光器(NSE)<sup>1)</sup> を用いて NSE 実験を行っている。非イオン性界面活性剤 C<sub>12</sub>E<sub>5</sub> - n-octane - 水系の場合、オクタンと水の体積比が 1、C<sub>12</sub>E<sub>5</sub> の体積分率が 0.2 のとき、双連結型マイクロエマルジョンの低温相(LTM)および高温相(HTM)が現われ、その間にはラメラ相(MTL)が現われる。これらの相での NSE 実験結果は波状運動を記述する Zilman らの理論<sup>2)</sup>を支持しており、この理論を用いて膜の波状運動や構造形成を支配する膜の曲げの弾性率を求めることができた<sup>3)</sup>。CaCl<sub>2</sub>を微量加えたリソ脂質 DPPC]水-CaCl<sub>2</sub>系では、水の濃度を変化させるとラメラ構造の膜間隔周期  $d$  が 60 から千 Å まで変化する。膜間の相互作用を分離するために  $d > 300\text{Å}$  の試料についての NSE 実験を行った。Zilman らの界面膜の波状ゆらぎのダイナミクスの理論では緩和速度の膜の曲げ弾性率への異常な依存性を与えるが、曲げ弾性率が 1 枠大きい脂質 2 重層膜系でも Zilman らの理論が成り立つことを示し、界面膜の曲げ弾性率を求め、膜のダイナミクスを調べた<sup>4)</sup>。

- 1) T. Takeda et al: J. Phys. Soc. Jpn. 65 (1996) Suppl. A 189.
- 2) A. G. Zilman & R. Granek: Phys. Rev. Letters 77 (1996) 4788.
- 3) T. Takeda et al: J. Phys. Chem. Solids 60 (1999) 1375.
- 4) T. Takeda et al: J. Phys. Soc. Jpn. 70 (2001) Suppl. A 323.

## 液晶性高分子からなる物理ゲルの秩序構造

山形大院理工 神保雄次・松木俊之・和泉義信

剛直な電解質高分子多糖類であるジェランガムは、高濃度になると複屈折性を示す物理ゲルを形成する。これまでの小角X線散乱実験(SAXS)によると、架橋領域と非架橋領域がラメラ状に配置するゲルの構造モデルが提案されている。本研究では、コントラスト変調法を用いた中性子小角散乱実験(SANS-U)により架橋領域の高分子濃度評価と、超小角中性子散乱実験(ULS)により大きな空間スケールで眺めたゲル構造を調べ、ジェランガムのゲル構造モデルの精密化と階層性について議論する。

測定試料には重量平均分子量2.17×105のNa型ジェランガムを選び、溶媒には重水／軽水混合溶媒を用いた。ゲルは高分子の重量分率wp = 0.08 ~ 0.2の範囲で調製され、熱履歴消去の後1週間熟成された。

ジェランガムの濃度wp = 0.08におけるSANS-U散乱プロファイルには、同濃度におけるSAXSプロファイルとほぼ同じ位置にラメラ構造を反映するピークが出現した。混合溶媒中の重水分率を変化させると、重水：軽水=3 : 2 の時にラメラ由来の散乱が消出し、ジェランガムの架橋領域と非架橋領域の散乱長密度がマッチングした。H-D交換反応後の組成変化を考慮し、Naイオンがすべて架橋領域に凝集していると仮定すれば、架橋領域のwpは0.57、架橋領域の体積分率は0.011と見積もれる。この濃度は、広角X線回折実験より見積もった架橋領域内の局所濃度と矛盾しない。

一方、ULS散乱プロファイルには測定濃度範囲においてべき乗則が成立し、ジェランガムのゲル構造はフラクタル性を持つ事が示唆された。フラクタル構造はULSからSANS-Uの広い空間スケール(300 Å ~ 6 μm)にわたり保持されていた。フラクタル指数はジェランガム濃度に殆ど依らず2.4であ

り、架橋richドメインと架橋poorドメインが複雑に入り組んでいる構造モデルが推察される。

ジェランガムの階層構造発現について現段階では次の様に考えている。高温のゾル状態にある水溶液を冷却すると、近接ジェランガム分子鎖間でランダムな部分ヘリックス鎖が形成され、この時点でゲル化する。続いて、ヘリックスの周りへNaイオンが凝集し、結果としてヘリックス部分が更に凝集する。一方、非架橋領域では静電反発が強く働き、両方の効果で局所的なラメラ構造が発現される。ラメラ構造を取る微小ドメイン同士は更に凝集成長し、最終的にフラクタル構造が発現される。

### 中性子反射率測定に基づくポリスチレン二層膜界面での分子鎖拡散挙動評価

(九大院工) 川口大輔、<sup>○</sup>田中敬二、梶山千里\*

(九大有機基礎研) 高原 淳

(京大原子炉) 田崎誠司

高分子固体表面の分子鎖熱運動性は膜内部と比較して著しく活性化している。高分子固体表面を貼り合わせた界面における拡散挙動の詳細な解析は分子鎖熱運動性が活性化されている深さに関する重要な知見を与える。本研究では、[ポリスチレン(hPS)/重水素化ポリスチレン(dPS)]二層膜を調製し、種々の熱処理条件における界面での高分子鎖（セグメント）の拡散挙動を評価した。試料として単分散の hPS および dPS を用い、シリコン基板上に(hPS/dPS)二層膜を調製した。熱処理過程に伴う二層膜界面の拡がりは動的二次イオン質量分析(DSIMS)および中性子反射率(NR)測定に基づき評価した。

熱処理温度( $T_{\text{ann}}$ ) > バルクのガラス転移温度( $T_g^b$ )の場合、界面厚は熱処理時間の  $1/2$  乗に比例して増加した。この結果は平均変位が熱処理時間の平方根に比例する Fick の法則とよく一致している。一方、表面のガラス転移温度( $T_g^s$ ) <  $T_{\text{ann}}$  <  $T_g^b$  の場合、界面厚は熱処理時間の  $1/2$  乗に比例して増加した後、一定値に到達した。この結果は、二層膜界面に存在するセグメントが  $T_g$  の低下した表面層を拡散した後、 $T_g$  が熱処理温度よりも高いバルク領域に到達し、膜厚方向の拡散が抑制されたことを示している。また試料は二枚の膜の空気面を貼り合わせて調製しているため、界面の厚みの  $1/2$  が分子鎖熱運動性の活性化された表面深さに対応する。数平均分子量(Mn)が 29k の PS 膜の場合には、表面から約 5 nm 程度の深さ範囲で分子鎖熱運動性が活性化されていた。また、この深さ範囲は分子量の増加とともに減少することが明らかとなった。

### 含ケイ素両親媒性ブロック共重合体が形成する自己組織体の構造解析

京都大学大学院工学研究科 水野歌子、<sup>○</sup>松本幸三、松岡秀樹

両親媒性ポリマーは、選択溶媒中で集合し、ナノスケールの組織体を形成することから注目されている。この組織体の構造は、高分子の持つ幾何学的形状、濃度、周囲の温度や添加剤の有無等、様々な因子に支配されている。一方、ケイ素を含む4員環状化合物シラシクロブタンは、リビング的に開環重合でき、得られるポリマーは熱的に安定で高い疎水性と柔軟性を持つことから両親媒性ポリマー

の諸物性の調査に非常に有用であると考えられる。本研究では、ケイ素上にメチル基、エチル基、ブチル基を有するポリシラシクロブタン(polySB)を疎水部、ポリメタクリル酸2-ヒドロキシエチル(polyHEMA)を親水部とした両親媒性ブロックコポリマーpoly(SB-*b*HEMA)で様々な親水・疎水鎖長を有するものを合成し、ケイ素上の置換基や親水・疎水鎖長比がポリマーミセルの構造に与える影響を、小角X線散乱(SAXS)測定、小角中性子散乱(SANS)測定により調査した。

poly(SB-*b*HEMA)の溶液のSAXS測定により、いずれのポリマーも疎水部をコア、親水部をシェルとするコアーシェル球状ミセルを形成していることがわかった。理論散乱曲線を用いたフィッティングの結果、疎水部のモル分率が増加するか、或いはケイ素上の置換基が大きくなるに従って、ミセルのコア半径が大きくなり、会合数が増加することが明らかとなった。また、メチル基置換poly(SB-*b*HEMA)に関して、13、25、50°Cの各温度でSANS測定を行ったところ、温度により全く異なる散乱プロファイルが得られた。即ち、50°Cでは、球状ミセル、25°Cでは球状ミセルとディスク状ミセルの共存、13°Cではディスク状ミセルの形成を示唆する散乱曲線が得られた。メチル基置換polySBは、25°C付近に結晶の融点を持つことから、溶液温度の低下に伴い、ミセルコアの結晶化が起こりミセルが球状からディスク状へ形態転移を起こしたものと考えられる。

### 温度敏感型ゲルの臨界架橋密度の調製温度依存性

京都工織大 高田慎一、則末智久  
東大物性研 柴山充弘

高分子ゲルは、高分子溶液とは異なり、架橋によって構造が凍結されている。言い換えれば、架橋により構造が記憶されていることに等しい。そのため構造凍結時の調製条件が、ゲルの構造を決める重要な問題である。そこで我々は、小角中性子散乱測定法を用いて、良く知られた温度敏感型のN-イソプロピルアクリルアミドゲルの架橋密度の調製温度( $T_{\text{prep}}$ )依存性の研究を行うことで、調製条件がどのように構造に反映されるのかを検証した。得られた散乱関数を、ゲルの調製条件を考慮に入れたパニコフ・ラビン理論より解析した結果、高温調製( $T_{\text{prep}} = 27^\circ\text{C}$ )試料では、比較的少ない架橋剤濃度で臨界架橋密度( $N_{\text{cst}}$ )に到達することがわかった。一方低温調製( $T_{\text{prep}} = 10^\circ\text{C}$ )では、均一に架橋点が分布するため  $N_{\text{cst}}$ に達するには、高温調製の試料に比べて約1.5倍以上の架橋剤濃度が必要であることが、理論的に予測でき、また実験的にも妥当な値であることがわかった。

## 刺激応答性高分子の構造解析とダイナミクス

東大院新領域 岡部哲士

京都工繊大繊維 増井直樹、高田慎一

物性研 柴山充弘

阪大院理 杉原伸治、青島貞人

近年、疎水性及び親水性を示す2種のビニルエーテルを、ブロック共重合し得られたジブロックコポリマー水溶液が20°C付近でゲル化することが報告された。この現象は感熱型粘度調節剤、フローコントローラーなどへの応用の可能性があり注目されている。しかしそのゲル化のメカニズムの詳細については、明らかとなっていない。

本研究では、小角中性子散乱(SANS)および動的光散乱(DLS)を用いて、その構造とダイナミクスを解析することで、ゲル化のメカニズムの解明を試みた。SANS測定により温度及び濃度依存性を調べた結果、低濃度の試料では、温度上昇にともない球状ドメインからの散乱ピークが観測されたが、ポリマー濃度20wt%の試料では、約20°Cで、さらに小角側( $q = 0.01\text{\AA}^{-1}$ 付近)にピークが出現した。このピークは超格子構造(ミクロ相分離構造)に起因するものであると考えられ、またこの試料がゲル化していることから、超格子構造形成がゲル化の要因であると推察される。同様にDLS測定を行った結果、ゾル-ゲル転移が約20°C付近の非常に狭い温度範囲(20~21°C)で起こることがわかった。このようなシャープな構造転移はvan der Waals相互作用系では見られず、疎水性相互作用系の特徴であると考えられる。

## ABA型三元ブロック共重合体のループ/ブリッジが界面構造におよぼす影響

名大院工 古屋元史, KENS:鳥飼直也,

名大院工:高野敦志・松下裕秀,

ラザフォード研(英): S. Langridge, J. Penford

ミクロ相分離構造中でABA型三元ブロック共重合体の中央(B)ブロック鎖はAB型二元ブロック共重合体とは異なるループ型またはブリッジ型の分子形態を示す。本研究では、スチレン-d<sub>8</sub>(D)と2-ビニルピリジン(P)から成る三元ブロック共重合体から薄膜中にラメラ構造を作り出し、三元ブロック共重合体の中央ブロック鎖の分子形態の違いが界面構造およびミクロドメイン構造におよぼす影響について、ブロック共重合体DP, PDP, DPDの界面構造を中性子反射率法を用いて詳細に調べることにより検討した。溶液からスピノコート法によりSi基板上に薄膜を作ると基板表面にはP層が、空気面にはS層が来ることがわかっており、PDP, DPDは分子形態の違いがこの両表面にもっとも顕著に現れる。得られた鏡面反射率プロファイルからフィッティングにより界面厚を見積ったところ、分子形態に関わらず全てのブロック共重合体において界面厚は約3nmで、それほど変化しないことが分かった。これは強偏析下のミクロ層分離界面の共通の特徴である。

## ABC トリブロックコポリマーの相転移と構造形成

京大院工 山内一浩、長谷川博一、橋本竹治、長尾道弘

3成分トリブロック共重合体は共重合組成に依存し、2成分ジブロック共重合体とは比較にならぬいほど極めて多彩で複雑なナノメートルスケールの構造を形成することがこれまでに分かっているが、複雑であるが故その相転移並びに相分離構造形成過程の解明は全くなされていない。本研究ではポリイソプレン(PI)-重水素化ポリスチレン(DPS)-ポリビニルメチルエーテル(PVME)トリブロック共重合体(数平均分子量: $3.2 \times 10^4$ 、重量組成比 15%:74%:11%)を試料として用い、温度変化による小角中性子散乱(SANS)および小角X線散乱(SAXS)測定から試料の相転移及び、構造形成過程の追跡を行った。本試料は SANS 測定と SAXS 測定において各成分間のコントラストが異なるため、両散乱測定より異なった相補的知見を得ることができ、複雑な相転移過程の解析には非常に有利である。なお、試料中の PI 成分は DPS 成分あるいは PVME 成分と室温で非相溶、高温で相溶の UCST 型、DPS 成分は PVME 成分と低温で相溶、高温で非相溶の LCST 型の相図を持つ。つまり UCST 型と LCST 型の相図を併せ持つ非常に特殊なブロック共重合体でありその相転移は興味深い。

両散乱測定結果から本試料においては周期構造のサイズを表すプラッギングスペーシング  $D(D=2\pi/q)$  が温度変化に伴い特異な挙動を示すことがわかった。室温から  $140^\circ\text{C}$  までは両測定より求めた  $D$  の値はよく一致したが、 $140^\circ\text{C}$  以上において、SANS より求めた  $D$  は急激に減少し、SAXS より求めた  $D$  は急激に増加した。室温から  $140^\circ\text{C}$  の温度域においては、DPS,PVME 混合相が形成するマトリクス空間中で PI 成分が球状ミクロ相分離構造を形成し、その PI 球は格子を組まずランダムに存在していることが透過型電子顕微鏡観察よりわかった。よって散乱測定より求まる  $D$  は PI 球間距離を示している。 $140^\circ\text{C}$  以上において、 $D$  の挙動に変化が現れたが、これは LCST 型の相図を持つ、DPS,PVME 混合相が相分離し、新たに PVME 成分が形成する球状構造が試料中に出現したことに他ならない。PI 球、PVME 球の 2種の球が出現したこと、球自体の数が増加した結果、SANS 測定ではその球間距離、つまり  $D$  が減少した。一方、SAXS 測定においては DPS,PVME 間のコントラスト差がないため、新たな PVME 球の出現を認識できない。よって SAXS 測定より求まる  $D$  は  $140^\circ\text{C}$  以下の場合と同様 PI 球のみの球間距離であり、SANS 測定と異なる結果が得られた。さらに、この PVME 成分の構造形成は非常に緩やかに進行することがわかった。これは PVME 成分と DPS 成分の相分離過程が DPS-*b*-PVME 2成分系の場合と異なるからである。2成分系の場合、その相分離は高分子鎖が自由に動くことの出来る自由空間において起こるが、本試料においては、DPS-*b*-PVME 2成分系に、3成分目の PI 成分が連結しているため、PI 成分の形成する相構造の影響で、分子鎖の動きが制限され、結果、DPS,PVME 成分の相分離を束縛していると考えられる。

## 中性子散乱で探る糖と生体膜モデル系の相互作用

群馬大学・工学部・共通講座・工学基礎II（物理学）  
高橋 浩

二糖（トレハロース）や糖アルコール（ソルビトール）は、凍結・乾燥から生体組織や細胞を守る機能を持つ。実際、耐寒性を備えた生物において、体液中の糖・糖アルコール濃度が低温になるに従い上昇することが知られている。この糖・糖アルコールの保護機能に関連して、糖および糖アルコールは水の構造を安定化して、その結果、脂質などの生体高分子と水の接触面の面積（界面面積）を減少させるという仮説が提案されている[1]。

上記の仮説を検討することを目的として、リン脂質より構成される生体膜モデル系に対して中性子小角散乱実験を行った。その結果、短鎖リン脂質から成るミセル系[2]においても、アルキルリン脂質を含む膜系[3]においても、トレハロースまたはソルビトールの存在は、水と脂質界面の面積を減少させることが明らかになった。つまり、上記仮説を支持する構造的な直接証拠を得ることが出来た。これらの結果と蛋白質の低温変性抑制の関連を現在考察中である。

- [1] R. Koynova et al., *Biochim. Biophys. Acta* 980 (1989) 377-380.
- [2] H. Takahashi et al., *Progr. Colloid Polym. Sci.* 106 (1997) 223-227.
- [3] H. Takahashi, *J. Phys. Soc. Jpn.* 70 (2001) Suppl. 411-413.

## 非イオン界面活性剤・水系がつくるラメラ相の構造に対するずり流動場の効果

嶺脇広二（東京都立大）・加藤 直（東京都立大）  
今井正幸（お茶の水女子大）・高橋良彰（名古屋大学）

ここ数年、界面活性剤・水系において形成されるラメラ相の構造や配向に及ぼすずり流動場の効果が、中性子小角散乱(SANS)・光散乱・NMR・顕微鏡観察などの手法を用いて調べられており、ずり速度が $1\text{-}1000\text{ s}^{-1}$ の範囲内の特定のずり速度領域において、onion phaseと呼ばれる多重層ベシクルの充填構造が形成されることや、ずり速度に応じて配向方向が変化することが報告されている。われわれは、非イオン界面活性剤C<sub>16</sub>E<sub>7</sub>・水系においてこれまで報告されているより低いずり速度領域(0.01-100 s<sup>-1</sup>)でSANSの測定を行った。

実験は、東京大学物性研究所附属中性子散乱研究施設のSANS-Uにおいて行った。C<sub>16</sub>E<sub>7</sub>の重量濃度が48.0 wt %と55.0 wt %の試料を用い、70°Cで測定を行った。測定は中性子ビームを速度勾配の方向及び流動方向に平行に入射させて行い、膜の法線ベクトルが、(1)流動方向にも速度勾配の方向にも垂直、(2)流動方向に平行、(3)速度勾配の方向に平行の3種類の配向に対して回折ピークを観測した。

48.0 wt %の試料では、ずり速度が $1\text{ s}^{-1}$ 以下で上記3種類の方向にあらわれる回折ピークの強度はいずれも減少した。このことはずり流動による膜の配向の変化のみでは説明することができず、ラメラ相のドメインが崩壊しているものと考えられる。さらに、ずり速度がおよそ $1\text{ s}^{-1}$ で、ピーク位置から

求めた面間隔は静止状態の値7.2 nmから5.1 nmに急激に減少した。同様の結果は55.0 wt %においても得られ、面間隔が6.5 nmから5.1 nmに減少した。これらの結果は、ずり流動場により減少した直後の面間隔が静止状態の面間隔に依存しないことを意味しており、興味深い。一方、以前行った静止状態におけるX線小角散乱(SAXS)曲線の解析から得られた膜の厚さはおよそ5.2 nmであり、ずり流動場中で減少したときの面間隔にはほぼ等しい。SAXS曲線の解析から求めた面間隔の揺らぎの根2乗平均値はおよそ1 nmであることから、静止状態では面間隔のゆらぎ(膜の波打ち運動によるものと考えられる)によって7.2 nmの面間隔が維持されていると解釈できる。これらのことから  $w \cdot u_{\text{diss}} \cdot u$  ずり流動場の効果によって面間隔の揺らぎが抑制されたものと考えられる。

### 界面活性剤／水系の秩序メゾ構造に及ぼす流動場の影響

お茶の水女子大学理学部 今井正幸

ソフトマテリアルのなかでも、界面活性剤・ブロックコポリマーなどは互いに性質の異なる2つの分子を共有結合で強制的に結合させた構造を有しており、お互いに非相溶な性質から様々な秩序メゾ構造を形成することが知られている。そのような秩序メゾ構造は空間的に強い異方性を有する1次元のシリンドー構造、2次元のラメラ構造、または等方的な立方格子を持つ3次元ネットワーク構造(gyroid)等が知られており、これら秩序構造が空間的に異方性のある外場と相互作用することによりどのような影響を受けるのかと言う問題は、秩序メゾ構造の安定性を考える上で重要である。本報告では、異方的外場である流動場下でのラメラ構造、gyroid構造および、ラメラ-gyroid転移の安定性を中性子小角散乱法により調べた。

界面活性剤／水系のラメラ構造は、界面活性剤の作る2分子膜が水中で波状に揺らいでいる構造を有しているが、この状態にずり流動を加えると、ずり速度が0.1/s付近で波状の揺らぎが押さえられ膜の硬化現象が観察される。これにより、系の動的非対称性が増大し、分子膜はparallel配向(flow-vorticity面に平行)を始める。この0.1/sというずり速度はこの界面活性剤／水系の秩序メゾ相の安定性を議論するときに特徴的な値であり、このずり速度を境にして、これより低ずり速度側ではgyroid相は安定であるが、高ずり速度側ではgyroid相は不安定になり、ラメラ構造へと相転移する。また、ラメラ-gyroid転移もこのずり速度を境に阻害されることが示された。この実験事実は、界面活性剤／水系の秩序メゾ構造に10 s程度の非常に遅い特徴的な緩和が存在していることを示しており、現在その緩和モードの起源について検討中である。

### Jamin型多層膜冷中性子干渉計の開発と基礎物理への応用

北口雅暁（京大理）、舟橋春彦（京大理）、日野正裕（京大炉）

エタロンを用いた冷中性子干渉計を開発した。中性子干渉実験は基礎物理学にとって重要であり、長

波長化、大型化を可能にした多層膜冷中性子干渉計[1] はスピン干渉法の形で興味深い成果を挙げている[2]。しかしここれまでの冷中性子干渉計の二経路は空間的にほとんど分離しておらず、応用において制限がある。我々が開発した干渉計はスピン干渉計[3] の応用で、幾何光学の観点では Jamin 型干渉計と等価なものである。干渉計は偏極装置、スピンフリッパー、偏極分析装置と、経路分離装置からなる。経路分離装置は二つのエタロンで構成されている。一つ目のエタロンによる反射で入射中性子は空間的に分割され二つ目での反射で二経路が再び重ねあわされる。エタロンは主にレーザー光学で用いられる素子で、二つの高精度平面が平行に向かい合ったものである。この面に中性子ミラーを形成することでこれまでの冷中性子干渉計の経路分離装置よりも大きな空間的分離を得ることができる。実験は日本原子力研究所改 3 号炉冷中性子ビームライン C3-1-2 MINE (波長12.6Å、半値全幅3.5%) にて行った。ギャップ20μmのエタロンを用い、コントラスト  $3.5 \pm 0.7\%$  の干渉縞を観測した。一つのエタロン上の不必要的誘電体多層膜の存在がコントラストを低下させたと考えられ、誘電体多層膜のないエタロンを用いる研究を現在進めている。またギャップを 1mm にまで拡大することを計画している。この結果は、経路が空間的に大きく分離した冷中性子干渉計の開発の可能性を開くものである。空間的分離の拡大は、重力による量子力学的効果や AC効果、Scalar-AB効果の測定といった、干渉計による高感度測定やこれまで不可能だった全く新しい実験を可能にする。

- [1] H. Funahashi et al. , Phys. Rev. A54(1996)649
- [2] Y. Otake et al. , Proc. Int. Symp. Foundations of Quantum Mechanics (ISQM-Tokyo '98) pp.323-326
- [3] T. Ebisawa et al. , Phys. Rev. A57(1998)4720

### 中性子スピンエコー分光器 (ISSP-NSE) の測定システムの開発

<sup>1</sup> 広大生物圏科学研究所、<sup>2</sup> 東大物性研、<sup>3</sup> KEK、<sup>4</sup> 広大総合科  
川端庸平<sup>1</sup>、長尾道弘<sup>2</sup>、佐藤節夫<sup>3</sup>、瀬戸秀紀<sup>4</sup>、武田隆義<sup>4</sup>

原研 3 号炉、C2-2 ポートに設置されている中性子スピンエコー分光器は、中性子強度が弱く、サンプルの測定には長い時間が必要であった。この問題を解決するため、中性子を効率よく検出できる 2 次元位置敏感中性子検出器を導入した。また、サンプルでの散乱角  $2\theta$  を自動で変えるシステムや、分光器の上を移動する大型クレーンを感じし、測定を一時的に停止するシステムを加えた。その結果、中性子強度が～3 倍程度になり、サンプルの一つのコンディションでの測定を完全に自動で行うことができるようになった。1 次元位置敏感中性子検出器を用いた以前のシステムで 1 週間ほど必要とした測定が、新しいシステムでは 4 日程で測定できるようになった。また、2 次元検出器の導入に伴い、2 次元データの位置毎の情報を自動的に解析するシステムを開発した。これにより、NSE で得られる中間相関関数が一つの散乱角でいくつかの波数  $Q [\text{\AA}^{-1}]$  について求められるようになり、大面積のアナライザーミラーを導入した場合、さらに測定効率を向上できることが分かった。

## Development of spin flippers with steady current for a TOF-NSE spectrometer at a pulsed spallation neutron source

Takayoshi Takeda<sup>1</sup>, Hideki Seto<sup>1</sup>, and Youhei Kawabata<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Integrated Arts and Sciences and <sup>2</sup>Graduate School of Bio-Sphere Science,  
Hiroshima University, Higashi-Hiroshima 739-8521, Japan

We designed  $\pi$  and  $\pi/2$  flippers for a TOF-NSE spectrometer at a pulsed spallation neutron source. The flippers operate with steady current for a white neutron beam. The  $\pi$  flipper consists of a compact modified current sheet and Helmholtz coils. The current sheet produces magnetic fields  $B_s$  parallel to the sheet surface without magnetic fields perpendicular to the sheet surface at the surface of the sheet for the neutron beam cross section. The correction field from Helmholtz coils  $B_c$  cancel out the perpendicular component of the magnetic field from the precession coils  $B_0$  at the current sheet. The direction of the magnetic field  $B = B_s + B_0 + B_c$  in which neutrons travel rotates slowly and the neutron spin follows the change of  $B$  adiabatically outside the current sheet. Crossing the current sheet, the direction of  $B$  reverses suddenly without the change in the neutron spin direction. As a result, the above coil system operates as a  $\pi$  flipper without tuning independently of the neutron wavelength. The  $\pi/2$  flipper consists of a rectangular coil and Helmholtz coils. The rectangular coil produces magnetic fields  $B_r$  perpendicular to the magnetic field from the precession coils  $B_0$ . The correction field from Helmholtz coils  $B_c$  cancel out  $B_0$  at the right-side current sheet of the rectangular coil. Crossing the current sheet, the direction of the magnetic field  $B = B_r + B_0 + B_c$  turns by  $\pi/2$  suddenly without the change in the neutron spin direction. As a result, the this coil system operates as a  $\pi/2$  flipper without tuning independently of the neutron wavelength.

A performance test of the new-type  $\pi$  flipper with compact modified current sheet was carried out using ISSP-NSE at C2-2 port of JRR-3M, JAERI. The performance of the new type  $\pi$  flipper was comparable to that of the Mezei-type.

### ISSP-PONTA における熱中性子スピニエコー・オプション

K. Kakurai<sup>(1)</sup>, M. Nishi<sup>(2)</sup>, K. Nakajima<sup>(2)</sup>, T. Sakaguchi<sup>(2)</sup>, Y. Kawamura<sup>(2)</sup>,

S. Watanabe<sup>(2)</sup>, C.M.E. Zeyen<sup>(3)</sup>, M. Berneron<sup>(3)</sup>, K. Sasaki<sup>(4)</sup> and Y. Endoh<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> ASRC, JAERI, <sup>(2)</sup> NSL, ISSP, Univ. of Tokyo, <sup>(3)</sup> ILL, Grenoble, France,

<sup>(4)</sup> TOKIN, Sendai, <sup>(5)</sup> IMR, Tohoku Univ.

東京大学物性研究所中性子散乱研究施設がフランスの Institut Laue Langevin と東北大学理学部と共同で開発した PONTA の熱中性子スピニエコー・オプションを紹介した。Zeyen 氏が考案した  $\cos^2$  の磁場分布を持つ常伝導歳差運動コイルを搭載する PONTA の熱中性子スピニエコー・オプションは広い  $Q$ -領域で (max.  $Q \sim 4 \text{ \AA}^{-1}$ ) 準弾性散乱の数 10 から 150 picosec の時間領域におけるダイナミックスの研究に非常に適している。散漫散乱のダイナミックスの研究例として  $\text{KDCO}_3$  における秩序—無秩序送転移における初めての動的格子歪みの揺らぎの観測を紹介した。その他に最近の共同研究の中から熱中性子スピニエコー・オプションを使用した例を紹介した。

## 速度選別機型高次波フィルターの開発

H. Okumura<sup>(1)</sup>, K. Nukui<sup>(2)</sup>, M. Nishi<sup>(3)</sup>, K. Nakajima<sup>(3)</sup>,

N. Aso<sup>(3)</sup>, S. Watanabe<sup>(3)</sup>, Y. Kawamura<sup>(3)</sup>, K. Suzuki<sup>(4)</sup>,

H. Betzold<sup>(5)</sup>, M. Sato<sup>(6,8)</sup> and K. Kakurai<sup>(7,8)</sup>

<sup>(1)</sup> Quantum Design, Japan, <sup>(2)</sup> Fuji Film, <sup>(3)</sup> NSL, ISSP, Univ. of

Tokyo, <sup>(4)</sup> Hitachi Denki Industries Ltd., <sup>(5)</sup> Dornier

Satellitensysteme GmbH, Friedrichshafen, Germany, <sup>(6)</sup>

Physics Department, Nagoya University, <sup>(7)</sup> ASRC, JAERI, <sup>(8)</sup>

CREST, JST

ドイツ・ドルニエ社と提供して熱中性子用速度選別機型高次波フィルターの設計を行い、製作された装置を ISSP-PONTA に設置し、性能テストを実施した結果を報告した。従来のグラファイト・フィルターが使用される 13.7meV 及び 30.5meV での性能は  $\lambda/2$  の除去率に関しては両波長でグラファイト・フィルターの値を上回ること、透過率に関しては 13.7meV で同等、30.5meV では上回ることが確認された。またこの速度選別機の運転回転数領域が 1.1Å から 2.8Å の波長領域をカバーすることも確認され、当初のデザイン設定値が実現されたことが実証された。

## X 線散漫散乱定量解析による局所原子変位の実空間表現

### — Disordered Perovskite への応用 —

東大物性研 武末尚久

結晶中の原子、イオン電荷や電子スピンの配列秩序の無秩序化は、その物質が本来持つであろう物理的性質に大きな変化をもたらす。そのメカニズム解明の糸口は、結晶中の局所構造定量解析により与えられる可能性がある。この研究は、1950 年代から単純な結晶構造を持つ 2 元系、3 元系合金の短範囲秩序配列に関するものとして始まり、nonstoichiometric oxide におけるイオンや原子空孔の局所配列、bcc ならびに fcc 合金の変位型相転移等に適応してきた。現在では誘電体や強相関電子系の分野に適応できるのではないかと期待している。本研究では、前者の分野から比較的単純な構造をもつリラクサー強誘電体を一例としてとりあげて、局所原子変位の解析を行った。

ペロフスキット強誘電体の一種であるリラクサーは、通常の  $ABO_3$  単純ペロフスキット誘電体の B サイトイオンを価数の異なる 2 種類のイオンで置換した構造を持つ。それら 2 種類のイオンは無秩序に B サイトを占める、または  $<111>$  方向に 1:1 の短距離秩序配列をとると知られている。本物質の特徴は、顕著な誘電分散と散漫な常誘電・強誘電転移挙動で、そのメカニズムは 1950 年代から誘電体の研究領域において研究対象としてとりあげられ、その謎は B サイトイオンの配列様式にあると予想されたが、近年まで不明な点が多くかった。

Bサイトイオンの無秩序化は、電荷不均衡による静電歪みとイオンサイズの違いによる歪みを結晶中にもたらす。これら歪みは結晶の常誘電対称性を局所的に破壊し、分極領域を生成する。この分極の空間揺らぎは転移挙動を散漫にし、交流電場下で電気分極間のフラストレーション、すなわち誘電分散を起こすであろう。しかしながら局所分極領域の存在を実証した例がこれまでにあまりないというのが現状である。そこで本研究では代表的なリラクサーである  $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$  (PMN と呼ばれる) を例にとり、X線散漫散乱の局所構造解析により局所分極領域を観測し、局所構造の対称性、相関長とその温度依存を調べた。

### 液体テルル-セレン混合系の半導体-金属転移領域におけるダイナミクス異常

千葉文野、大政義典、川北至信<sup>(A)</sup>、八尾誠

京大・大学院理学研究科物理、  
九大・大学院理学研究科凝縮系科学<sup>(A)</sup>

カルコゲン族に属するテルルとセレンは、結晶では共に2配位共有結合で結ばれた螺旋鎖構造を有する半導体であるが、融解に際しセレンが半導体的性質を保持するのに対してテルルは金属に転移する。液体テルル-セレン混合系では、温度上昇に伴い半導体から金属に転移し、転移温度はセレン濃度と共に上昇する。これまでの静的構造および振動状態密度に関する研究より、カルコゲンは液体においても2配位鎖状構造を有し、金属化に伴い長短2種類の共有結合が出現することが知られている。

我々は Rutherford Appleton Laboratory の中性子散乱装置 MARI を用いて、液体  $\text{Te}_{50}\text{Se}_{50}$  について 427C(半導体相)、627C(中間)、827C(金属相)にて測定を行った。また JRR-3M の装置 AGNES を用いて温度を 500°C に固定して液体 Te(金属相)、液体  $\text{Te}_{40}\text{Se}_{60}$ (半導体相)の測定を行った。非弾性散乱に関しては、半導体相で鎖状分子の変角、伸縮に対応するピークの観測に成功し、金属相では両モードの区別が不明瞭となることを観測した。これは、金属相において分子間(鎖間)の相関が顕著となり分子運動が複雑化しているためと考えられる。また、準弾性散乱に関しては、静的構造因子の第一極小位置付近( $2 \sim 3.5 \text{ Å}^{-1}$ )において、金属化に伴いピーク幅が顕著に増大することを観測した。この系においては静的構造因子の第一ピーク( $2 \text{ Å}^{-1}$ 付近)には分子間(鎖間)相関の寄与が、また第二ピーク( $3.5 \text{ Å}^{-1}$ 付近)には分子内(鎖内)相関の寄与が比較的大きいことが示されており、この観測結果は、金属化に伴い分子鎖を構成する結合の切り替わりが活発化している可能性を示唆するものである。

### 垂直型中性子ワイセンベルグカメラの開発研究

日高昌則<sup>1</sup>、吉村倫拓<sup>1</sup>、江島慎治<sup>1</sup>、秋山博臣<sup>2</sup>、

藤井弘也<sup>3</sup>、渡邊聰<sup>4</sup>、川村義久<sup>4</sup>、吉澤英樹<sup>4</sup>

九州大学大学院理学研究院<sup>1</sup>、宮崎大学教育文化学部<sup>2</sup>、

大分大学教育福祉科学部<sup>3</sup>、東大物性研中性子散乱研究施設<sup>4</sup>

中性子線を試料に入射することに得られる種々の結晶学的、磁気的な中性子回折パターン（基本反射、整合－不整合超格子反射、衛星反射群、散漫散乱等）の逆格子空間での特異的分布、形状を肉視的に観測するために、これまで中性子回折カメラ法の開発研究を行ってきた。このカメラ用いるシート状の2次元中性子検出器系として、 $\text{BaSO}_4:\text{Eu},\text{Cl}$  の示す熱蛍光を利用した ( $\text{BaSO}_4:\text{Eu},\text{Cl} + {}^{10}\text{B}_2\text{O}_3$ ) 複合化合物を基にした2次元検出器・T L Sを試作研究してきた。T L Sは定量的な中性子検出として ${}^{10}\text{B}$ の( $n, \alpha$ )核反応から作成される $\alpha$ 線を  $\text{BaSO}_4:\text{Eu},\text{Cl}$  の熱蛍光の励起エネルギーとして用いている。これまでに明らかになったT L Sの広域ダイナミックレンジ ( $10^8$ ) および耐環性（温度、湿度、外光、外力）は中性子回折カメラ用の2次元検出器としての有効である事を確認した。現在、中性子捕獲効率を向上させるために新しい複合化合物 ( $\text{BaSO}_4:\text{Eu},\text{Cl} + {}^6\text{LiF}$ ) によるT L Sを開発中である。これと並行して、新村ら（原研・先端基礎研）により実用化が成功されたイメージングプレイト・I Pを用いて中性子ワイセンベルグカメラ試作機による種々の回折実験を行ってきたが、I Pの2次元中性子検出器としての機能が極めて高いことが確認された。今後、I PとT L Sとを併用して、中性子回折カメラの有効性を確立していく。

### 層状化合物 $\text{Cs}_{0.5}\text{Rb}_{0.5}\text{VF}_4$ の準反強磁性構造の緩和機構

日高昌則<sup>1</sup>, 吉村倫拓<sup>1</sup>, 秋山博臣<sup>2</sup>, 渡邊 聰<sup>3</sup>

九州大学大学院理学研究院<sup>1</sup>

宮崎大学教育文化学部<sup>2</sup>

東大物性研中性子散乱研究施設<sup>3</sup>

$\text{Cs}_{0.5}\text{Rb}_{0.5}\text{VF}_4$  は正方晶系の TlAlF<sub>4</sub>型を理想構造( $a_p \times a_p \times c_p$ )として、主に C 軸に沿った VF<sub>6</sub> 八面体の2次元ネットワークとこれらのネットワーク間に挿入された Cs、Rb イオン群から構成される。 RbVF<sub>4</sub>、CsVF<sub>4</sub> 化合物と同様に、 $\text{Cs}_{0.5}\text{Rb}_{0.5}\text{VF}_4$  は VF<sub>6</sub> 八面体の主軸周りの tilting による構造相転移を約 125K, 370K に示す。室温での結晶構造は斜方晶系、空間群 Pmmm、格子定数  $A = 2a_p = 7.650\text{\AA}$ 、 $B = 2b_p = 7.658\text{\AA}$ 、 $C = 6.468\text{\AA}$  である。しかし、これらの化合物では構造相転移機構、転移温度は異なるが、最低温度相は同じ空間群 P2<sub>1</sub>2<sub>1</sub>2 を示す。これまでの中性子回折、SQUID による磁化率測定により、RbVF<sub>4</sub>、CsVF<sub>4</sub> は約 43K に反強磁性転移を示すことが明らかになった。同様な中性子回折を混晶系  $\text{Cs}_{0.5}\text{Rb}_{0.5}\text{VF}_4$  で行った結果、約 35K で反強磁性転移が生じることを見いだした。この磁気構造は C 軸方向に V<sup>3+</sup> の磁気モーメントが配列した G 型で、磁気構造単位胞は  $2a_p \times 2b_p \times 2c_p$  である。

$\text{Cs}_{0.5}\text{Rb}_{0.5}\text{VF}_4$  を 50K から 3T 磁場中冷却を行った後、外部磁場 3 T に保ったままで 2.5K で中性子回折より磁気構造を調べると、C 型反強磁性構造 ( $2a_p \times 2b_p \times c_p$ ) に変化していた。3T 磁場中冷却後、各種の外部磁場 (0.5T, 1.0T, 1.5T) で磁気反射 ( $1/2, 1/2, 0$ )<sub>p</sub>、( $1/2, 1/2, 1/2$ )<sub>p</sub> の強度の温度依存性測定した。これらの測定結果より、normal から quasi 磁気状態への準安定な磁気構造相転移の存在と、quasi 磁気状態が約 35K 近傍で臨界現象を示すことが明らかになった。

## スピネル化合物 $Zn_{1-x}Cu_xCr_2Se_4$ の反強磁性転移

日高昌則<sup>1</sup>, 常葉信生<sup>1</sup>, Tin Tin Wai<sup>1</sup>, 藤井弘也<sup>2</sup>, 大山研司<sup>3</sup>

九州大学大学院理学研究院<sup>1</sup>

大分大学教育福祉科学部<sup>2</sup>

東北大金研<sup>3</sup>

$Zn_{1-x}Cu_xCr_2Se_4$  の磁気構造が中性子粉末回折および SQUID による磁化率測定により調べられた。従来の研究によると、 $ZnCr_2Se_4$  は約 20K で（反強磁性－常磁性）転移を示す半導体で、 $CuCr_2Se_4$  は約 420K で（強磁性－常磁性）転移を示す金属である。また、この混晶系  $Zn_{1-x}Cu_xCr_2Se_4$  では  $x < 0.10$  で 20~25K 以下で反強磁性、半導体、 $x > 0.10$  で 390K~420K 以下で強磁性、金属となり、 $x \sim 0.10$  領域で電子的にも磁気的にも急激な物理量の変化がある事が報告されている。しかし、中性子粉末回折により、 $0.0 \leq x \leq 0.30$  の領域では 20K~24K 近傍に（反強磁性－常磁性）転移を示す半導体であることが明らかになった。また、反強磁性領域では  $(h \pm q, k, l)$ ;  $q = 0.470$  の磁気反射が観測された。磁化率測定により 20K 近傍の反強磁性転移と 400K 近傍での強磁性転移が観測された。従って、 $0.15 \leq x \leq 0.30$  のスピネルは、低温側から反強磁性－強磁性－常磁性の磁気構造相を示す金属である事が明らかになった。

## 全体討論

座長：遠藤康夫（東北大金研）

1. はじめに座長の遠藤氏より、「我が国の中性子散乱研究の歴史において、現在は第 2 世代から第 3 世代への移行期に当たるので、今後のパルス中性子源と原子炉中性子源の利用の在り方を中心に議論してほしい」との発言があった。

2. 続いて藤井氏（東大物性研）が、物性研中性子散乱研究施設の 8 年間の活動を振り返り、問題点を列挙し、今後の在り方についての考え方を述べ、議論の糸口を作った。

まず「施設の憂鬱」と称して次の問題点を指摘した。

### (1) マンパワー不足

共同利用施設にあっては、装置 1 台当たりの職員数（教官＋技官）が共同利用サービスの目安となるが、それを国際的に比較してみると次のようになる：

施設名(国名)	装置台数	職員数/台	備考
ISIS (英)	17	5.24	世界最強パルス中性子源
ILL (仏)	35	5.97	世界最大原子炉中性子源
NIST (米)	22	4.43	原子炉
LUJAN (米)	7	4.14	パルス
IPNS (米)	13	3.92	パルス
物性研中性子 (日本)	8.5	1.42 1.92	物性研職員のみ、原子炉 他大学の装置責任者も入れて

このように圧倒的にマンパワーが不足しており、特に技官数（現在3名）の不足を助手（6名）が補い、それを所員（助教授、教授）が補う体制を余儀無くされている。これは国内の他の中性子施設や放射光施設でもよく似た状況にあり、我が国の大型研究施設運営の根本的な欠陥であり、欧米と対等に競争する場合の致命的な問題点である。国際的な常識としては、3名/台を最低としていて、アジア地区で建設中の中性子研究施設（韓国、オーストラリア）でも3~3.5の国際基準を目指している。

#### (2) 装置維持費

大型実験設備の維持費が建設費の8~10%あれば、装置の改良を含めてその時々の要請に応えてアップグレードし、最適な状態に維持できる。しかし、年ごとに減少した旧文部省基準は現在では4%、しかも設置後11年以降は1%（平成13年度より）、15年以降は0である。当施設の設備建設費総額は1,185,096千円であるが、施設設置後3年度間(H5-7)の維持費は約75,000千円（それでも設備費の6.3%）あったものの、H8-9は69,000千円（5.8%）、H10-12は53,000千円（4.5%）、そして今年度H13には建設後11年目に入る装置もあることから41,000千円（3.5%）に減額になり、施設運営に重大な支障を生じている。

【注】本研究会後の7月の物性研所員会において、昨年度並みの維持費を保証するための所内予備費（約11,000千円）配分が決定したことを報告しておく。

#### (3) 共同利用旅費

共同利用者のための旅費は、大学が原研施設利用をするために設けられた東大原子力研究総合センター（略して原総センター）からの1,760万円と物性研からの450万円（いずれもH12年度実績）である。現在一課題当たり最大2名の旅費を支給する（3名以上分はそのグループでの自弁）ことにしているが、それでもJRR-3M原子炉年間7サイクル運転中（1サイクル=25日間連続運転、年間175日運転）、約5.5サイクルで旅費を使い果たしてしまい、残り1.5サイクル分については、当該グループの自弁（科研費、委任経理金など）に頼らざるを得ないのが現状である。

#### (4) その他

大学側（旧文部省）が原研（旧科学技術庁）の施設を利用する場合は、原総センターが原研と各種契約を結び、施設使用料を支払うとともに、共同利用に要する諸経費（旅費など）を管理（毎年の概算要求、予算執行）している。この方式は「開放研方式」と呼ばれ、昭和30年代からよく機能してきており、東大物性研、東北大などがJRR-3Mに設置している中性子散乱装置の中性子ビーム利用料金（年額約1.5億円）は、原総センターから支払われている一方、これらの装置の建設費、維持費

はそれぞれ装置所有の機関が別途貯っていることは余り知られていない。しかし、平成2年（1990）からのJRR-3Mを利用する共同利用が拡大するとともに次のような問題点も出てきている。

- I. 原総センターの取り扱う原研施設共同利用は、国公立大学の教官・院生に限られているため、国公立研究機関や工業高等専門学校の研究者・教官は除外されている。もちろん、企業の研究者や外国の研究者から課題申請もできない。しかし、JRR-3Mは今や国際的に4指に入る国際公共財的な中性子源であり、旅費は自弁であっても優れた研究課題の提案者が実施できる国際的な基準作りのためには、新たな利用形態を必要としている。
- II. 研究の進展に応じて、装置のスクラップ・ビルト、移設、新設を進めることが必要となるが、装置に関する費用は物性研で、中性子ビーム利用料金や共同利用旅費の概算要求は原総センターで行う必要がある。原総センターではこのような事情を理解し、現在の枠内で最大限の取扱いをし便宜を計ってくれているので、その点に関しては感謝している。しかし、今後国際的な研究センターとして研究の動向に俊敏に対応するためには新たな仕組みを必要としている。

しかし一方藤井氏は、長期的かつグローバルな視点に立てば、現在の我が國の中性子散乱分野は、絶好の機会に遭遇しており「バラ色の将来に向けて」と題して次の構想を述べた。

#### （5）JRR-3Mの改良と装置群の再配置

1990年に稼動を開始したJRR-3Mは国際的な中性子源であるが、最近原研ではさらにその性能をアップするべく、中性子導管のスパーミラー化、冷中性子源改良などに取りかかっている。この機会を利用して中性子供給側と利用側で利用効率を高めるために何をすべきかを徹底的に議論し提言する作業ワーキンググループが原研に設置され、原研・大学双方からメンバーが出て、組織の壁を越えて装置の統廃合や再配置を含めて検討を開始している。

#### （6）一大国際研究センターへの飛躍

原子炉中性子源JRR-3Mと統合計画でのパルス中性子源JSNS（Japan Spallation Neutron Source仮称）が、同じ敷地内に設置されるという研究環境を最大限生かし、両中性子源の利用を一体的に取り扱う国際的にユニークな「一大国際研究センター」を設立できる夢がある。そのためには、統合計画を共同で推進する高エ機構と原研、それに現在JRR-3Mの大学側全国共同利用の責任機関である当物性研をはじめとする諸機関が、組織の壁を越えて新しい共同利用体制、運営体制を構築する必要がある。

### 3. 自由討論

- 続いて出席者から次のような意見や要望が出されたが、大部分は上記（6）に関するものであった。
- 統合計画（中性子施設）についての私案だが、技術センター、研究センター、利用調整センターからなる運営組織はどうか。装置1台に最低3人のスタッフ、中性子だけで150人規模のスタッフが必要であろう。
  - 組織論となると難しいが、原研とKEKは協力してやっていくべきである。
  - 両機関とも統一した目的で計画を進めるべきである。
  - 人員の要求はむずかしくても、提案すべきである。
  - 「国際化」がキーワードであり、共同利用研究のやり方を国際化することが国際貢献となる。
  - 理念だけでも、統一組織を作るべきである。ユーザーの意見や提案の受け入れ組織が見えないと、装置開発の意気が萎える。

○JSNS の分光器は順位をつけて、設計・製作を年次ごとに行っていくことになろう。

○学術会議物研連でも運営体制に関する議論を行っており、今年の 11 月頃までに報告をまとめるので、意見を聞かせてほしい。

#### 4. 講評・コメント

最後に全体ディスカッションに参加されていた講評者の方々から、次のような簡単なコメントを頂いた（敬称略）。

（三沢）ハードマターは超精密科学の様相を呈してきた。ソフトマターはこれからますます発展していく勢いを感じる。

（池田）きれいにまとまっている研究が多い。「荒々しさ」も必要ではないか。

（橋本）定員削減を一律にやるのはおかしい。中性子散乱研究施設のような共同利用研究施設の定員はむしろ増やすべきである。高いレベルの研究を行うことが、結果的に高い経済効果を生むはずである。

（片岡）ハードマターの研究については、門外漢ではあるが、最先端の研究がおこなわれていることが良くわかる。ソフトマターについても飛躍的に進んでいる。自分の専門である生物分野のみが昔ながらの研究形態のままであるという印象を持った。ビームの充足率が低い。底辺を広げるというミッションもあるが、トップを目指す、いい研究を育てるにも必要ではないか。外国の施設のほうがすぐにビームの確保ができ、結果を出せた経験がある。

（太田）「人と研究」については成功していると思うし、国際的に通用する研究が行われている。他分野と比較して、教授 1 人と助手 1 人でソフトマター研究を行っていくのは大変である。物性研に対する要望として、ソフトマターの理論家を採用し、実験・理論が協力できる体制を作れないものか。

最後に参加者から次のような意見があった。

○ビームタイム配分については片岡氏と同意見である。総花的なマシンタイム配分を行っていないか。まとまった研究に偏りすぎ、挑戦的な研究が少なくなった。研究に荒々しさが必要である。統合計画については、各自が将来計画を既に自分の中に作ってシミュレーションをしていなければならない筈である。トップダウンで降りてくるのを待っていたのでは生きた組織はできない。

以上

# 「中性子散乱と物性科学」講評

## 講 評

青山学院大学理工学部 秋光 純

### (1) 当施設の教官

### (2) 中性子散乱全国共同利用の研究成果

両者について、まとめて述べる。中性子散乱研究が成果をあげる為には、①物理的着想が良い多くの人をかかえていること、②良い試料が得られること、③装置が常に整備されていること、の3つの条件が必要である。幸いなことに、日本は①・②・③とも非常に良い条件にあり、まさに世界のトップレベルを走っていると言っても過言ではない。ただ1つ筆者が強く危惧していることは、次の世代を担うべき30代前半の助手クラスの人からビックリするような面白い仕事が出てこないことがある。この年代の方々の申請書を読んでも、あまり感激しないことが多い。この年代の人は将来の就職の事を考え、「論文になりそうな事しかしない」ことは良くわかるが、もう少しアンビシャスになって良いのではないかと思われる。あまりにも重箱の隅をつくようなテーマに対しては、筆者は時々、「平安末期の和歌の世界だ」というジョークを言うこと正在しているが、そのように言われないように、特に、若い人に奮起を促したい。

### (3) 全国共同利用の仕組み

共同利用の仕組みについては、(藤井施設長の気配りが功を奏しているのであろうが) 大変うまく運用されており、特に言うことは無い。言わずものことであるが、大きな発見があったり、緊急性の高い研究の場合は、柔軟に対処していただけたら、と思う。

### (4) 将来計画

中性子回折散乱の将来計画については、現段階でとやかく言うべきことではないが、1つ（若干奇抜な案ではあるが）注文をつけたい。中性子回折部門の大きな役割の1つとして、後進の育成という問題がある。実際、今活躍している多くの専門家は、B.N.L.なり日本で中性子を心ゆくまで（嫌になるほど？）使ってきた人が多い。しかし、今のような状況では、若手の人はせいぜい4～5日程度の細切れの時間しか与えられていなくて、失敗も許されない状況であろう。これでは、中性子回折の専門家が育つわけが無い。これをなんとか打開する必要がある。

そこで筆者の提案であるが、若手の人のための専用の分光器を作ってはどうであろうか。これは、一見夢物語のようであるが、なんとか物性研で実現してくださることを希望したい。

## 物性研中性子散乱研究施設に望むこと

東北大学金属材料研究所 遠藤康夫

物性研究所の中性子散乱研究施設（以下施設と省略）が、管理する装置の数に対して、外部の支援を含めても僅かに 1.9 人/装置という驚くべき少人数のスタッフで共同利用の運営調整から始まって、共同利用の全てのサービスと装置の維持、そしてもちろん研究活動の全てをこなしておられるという超人的な日常生活には高く敬意を表すると共に、とうに限界を超えていることを危惧する程である。私は一昨年迄東北大理学部に属し、JRR3M 原子炉の 6 G ビーム孔に我々の研究と教育を目的とした東北大中性子分光装置を物性研とは別に設置してもらった。中性子という類い希なる鋭い武器を如何に切れ味鋭く使うかを考えさせてもらうわがままを許して頂いてきた。最近共同利用者の立場に移つて感じることは、施設が共同利用研究所の役割について所内外から只の一つも非難を浴びることなくやって来られたのは一重に施設が、極めてバランスの取れた研究者集団であることの証であり、あらためて驚いてもいる。

しかし、日本の中性子散乱研究が世界の超一流の研究所と肩を並べて、将来更なる飛躍をする為にどうすれば良いかを見てみる。物性研はアメリカの大学と同じように、所員（教授、助教授）が研究室を構成し小さな単位で研究を行うスタイルを伝統的に取ってきており、中性子散乱施設のような大部門でも例外ではない。この形態の功罪について考えてみたい。所の内外の研究者との協力によって、各所員の独立性を保ちながら、平均点の高い研究が出来ることは功の部分である。これは所員各々の研究能力の資質の高さの証明でもあり、評価出来る。今の中性子散乱施設の体制では不可能に近い要求であることを百も承知の上で、中性子散乱技術の開発や中性子散乱研究者の育成、中性子散乱将来計画に対しては、施設の寄与が未だ十分でないことは極めて残念ではあるが、罪の部分であると言えよう。中性子散乱の研究のやり方として既に確立した実験法を駆使して研究成果を出すの中性子散乱測定技術の開発によって常に新しい独創的な研究を行う道があると考える。次世代への発展を期待すると、特に後者の研究スタイルは施設を中心に行われることが望ましく、研究者の養成などを深刻に考えるとその意味で将来今の研究スタイルを脱皮して、後者のスタイルを取り入れて難題を解決していく道を模索する必要があろう。中性子散乱技術開発、若手研究者の人事交流や養成などの点で日本の中性子散乱研究が特に欧州に比べて劣っているのは、施設を中心とした本格的な中性子散乱研究システムが育っていないことに原因があると見ている。

次に、この 10 年間は中性子散乱研究が「強相関物理」研究領域で重要な寄与をしてきたことはよく知られた事実であり、今回も多くの研究発表があった。日本の基幹研究センターである施設がもつと踏み込んでこの分野の先導を取ってもよかつたのではないか。見方によつてはこのような競争の激しい分野からは一步引いて競争の少ないところで成果を上げたいという態度が潜在していたのではないかとも思われる。この事実をして、施設の研究成果が重量感に欠けるという指摘もされるのではないかであろうか。つまり研究成果においては全ての点できれいにまとまり過ぎているきらいが不満として残るというのは言い過ぎかも知れないが・・・。しかし近年、低次元性、強相関性を示す酸化物や高分子分野等において野心的な研究に着手しておられる新しい胎動には注目すべきものがあり、今後豊富な物性研のスタッフと協力されて、より一層重厚な成果がでることを期待する。

最後に日本の中性子散乱研究が大強度陽子加速器計画のスタートと共に新しい世代に突入したこの時期に、施設が将来計画に深くコミットして、物性研全体の将来計画も含めて、日本の中性子散乱研究のイニシアティブをとってもらいたいことを願って講評に替えたい。

### 中性子散乱研究施設・講評

東北大学金属材料研究所 前川禎通

物性研短期研究会「中性子散乱と物性科学」に出席して物性研中性子散乱研究施設について何か意見を言うように、とのお誘いを受け、軽い気持ちで引き受けさせていただきました。磁性に基盤を置く物性理論屋にとって、中性子散乱のデータは最も重要なもので、長年、中性子散乱の実験の方々とは直接的間接的に共同研究をさせていただきました。そのため、最近の中性子散乱に関する実験をまとめて聞ける良い機会であると考えたからです。しかし、非常に残念ながら、私の所属する研究所の会議と日程が重なってしまい、研究会の初日しか出席できませんでした。従って、以下では私が日頃中性子散乱実験について感じていることを中心に述べさせていただきたいと思います。

私は 1969 年に学部を卒業して大学院に進みましたが、その頃は「科学の花咲くカリフォルニア」という本が話題になるほど、アメリカが全てにおいてまぶしく輝いている時代でした。そのアメリカ（多分ブルックヘブンだったと思います）に中性子散乱の実験家が次々出かけて行き、新しい実験データを持って帰って帰ってこられました。研究者の卵であった私は、この新しいデータとともに、このように世界的に活躍しておられる研究者の方々を遠くから畏敬の念を持って眺めていました。この中性子散乱実験グループの国際化の伝統は引き継がれ、今日では世界中から研究者が来日する時代になっています。幸いにもその中の何名かは仙台まで足を運んでディスカッションに来られ、私達理論屋も大いに恩恵を受けています。

さて、当研究会では短い時間でしたが、物性研の中性子散乱研究施設のあり方についていろいろお聞きする事ができました。先ず驚いたのは、物性研の外部の方が内部の方と共同で装置を立ち上げ、その責任者として共同利用に参画しておられることです。このような共同利用が大変有効に機能していることは、他の共同利用研究所の一員として大いに参考になりました。

現在、私が取り組んでいる遷移金属酸化物の研究分野では、新しい物質、良質の結晶の多くが日本のオリジナルであると言えます。そして、その中性子散乱に関する実験データのほとんどは日本の研究者が関与していると言っても過言でないと思います。これはまさに物性研を核とした日本の中性子散乱実験グループの成果であり、今後ともこの体制を続けていただきたいものです。

ところで最近、パルス中性子施設の建設が決まり、高エネ機構と原研を中心として新しい体制作りが始まられたと聞いています。このような施設の建設は研究者にとって大変すばらしいことですが、それが大学の研究者の意見を十分に反映したものでなければ、これまでの共同利用の流れにプラスしないのではないかでしょうか。現在、原研の先端基礎研究センターではすばらしい中性子散乱実験施設が稼働しています。できればこの施設も一緒になって中性子散乱実験を進めていただければ、ますま

すグループとしての発展が期待できると思います。外国では中性子散乱実験施設の閉鎖が相次いでいます。その中にあって、日本では世界最高のパルス中性子施設の建設が決まったことは、グループにとって大きな発展への一步だと思います。是非、世界の牽引車として新しい方向を打ち出していくことを期待しています。

### 講評

名古屋大学大学院理学研究科 佐藤正俊

物性科学研究に中性子散乱を利用しているものとして、物性研の中性子散乱施設が今日果たしている役割等について、簡単に述べさせていただきます。

物性研グループは東海村の日本原子力研究所が所有する原子炉（JRR-3M）にスペクトロメーターを持ち、その原子炉の出力（20 MW）を基準に比較すれば、世界の何処にも劣らぬ性能を發揮して実験を進めています。これは JRR-3M の立ち上げ時に装置の性能向上に努力したスタッフの方々の努力に負うところが大きいと思います。また、それ以後も新たな装置の立ち上げならびに付属機器の増強の努力が物性研スタッフを含めた多くの者によってなされてきましたことにもあります。実際に海外と太刀打ちできるデータが JRR-3M で得られるということが当初、夢のようでした。このことが、利用の件数が大幅に増え、共同利用研としての役割を十分に果たす一因になっています。中性子散乱実験がどこでも簡単に出来るものでない以上、物性研の他の多くの共同利用装置ともその性格が異なります。すなわち、ひろくその装置が利用できるような体制が完備していなければなりませんし、緊急の利用要請にも応え得るものになっていかなければなりません。現在、広く中性子散乱が利用されている背景には、公平な課題採択制度の採用、その他優れた制度の確立があり、その意味で果たした役割の評価も忘れてはいけないように思います。今後、パルス中性子源が東海に設置されることになっていますが、この精神はどの機関においても受け継がれるべきものです。国際競争力なども、ひとつにはこのような体制のもとに強化されるものです。

私は常々、物性研スタッフに対して、“共同利用のサービスを忘れて自分の研究に打ち込み、他の競争を優先してよい時代がきている、また、それが使命でもある”と言っていますが、装置の特殊性のために、中性子分野にはこれが当てはまらず、サービスの役割が必ずついてまわります。しかし、物性研スタッフ自身の研究 activity も重要です。この activity があってこそ、中性子科学の屋台骨を支えながら、広い範囲の人々にその有用性を示していくからです。そのためにはスペクトロメーターを物性研のスタッフがある程度自由に使える時間も作らねばなりません。その時間と共同利用の時間配分はおおむね適切であるように思います。

外国の類似諸機関に比べ、技官を含めたスタッフの数が極端に少ない環境下でサービスと自身の研究の双方をきちんと進めることは大変です。この点の制約がとれれば国内共同利用のみならず、世界の各地からの使用希望が多数舞い込むようになり、国際化へのルートも確かなものになると思いますが、現在はこの制約のもとで activity を落とさずよく奮闘しているというのが実状に見えます。も

とより、中性子散乱とは実験手法で分類したときの一分野です。この手段はある学問分野で“無”から“有”が生まれつつあるとき、それを確実に引き出すときに力を発揮することが多いものです。この力（設備）の常備（いわば“獲物”が飛び出してきたときにそれを捕獲するための銛の準備）が第一義的に重要ですが、“獲物”を見つけ出す目を養うことも同様に大切です。現有スタッフ数（もちろん、スタッフ数が増えるほうが望ましい）という制約内で考えれば、その観点からはバランスがとれた人員配置になっているようです。学問分野も、強相関電子系、低次元スピン系を中心に、他の固体物質系やソフトマテリアルまでにひろがっており、日本の中性子研究の得意分野が強相関電子系や、磁性等の物性科学にあることを考えれば reasonable だと思います。ただ、（生体物質等に関しては門外漢ですのであまり自信はないのですが、）その分野での利用者の多くが水素と重水素の組成比を変えたコントラスト法によって物体の大まかな形状（影法師）を探る実験をしていることは、我々の分野の感覚では、なんとなく、痒いところまで手が届かないデータを取っているように見えます。複雑な生体物質などの構造の解析の例もあると聞いていますが、これから技術的発展を含めた展開を望みたくなるのは、固体物性分野を研究するものの的はずれな感想でしょうか。

銛の完備や“獲物”を見つけ出すための目の重要性を書きましたが、物質科学研究でもうひとつ大切なことは“農耕”により作物を育てることです。新物質の開発や新たな現象の発見はこの“農耕”によってなされる可能性が高いといえます。物性研の場合、物質設計・評価施設があり、中性子施設のスタッフとの連携もスムースのようですから、ある意味で完全な形になっており、特にスタッフ数の制限のもとでは“農耕”まで守備範囲に入れる必要はないと思いますが、その楽しみや苦しみもまた格別のものですし、重要な基盤をなすものですから、それを体験せずに済んでしまうとすれば、それはむしろ不幸なことかも知れません。

採用された助手の出身機関が偏っていないのも人事交流の面では好感がもてますが、物性研で教育をうけたものにとってはつらいことかもしれません。また、特に助手層にとって、サービスの duty を果たしながらの大変な時期ですが、今後は中性子散乱手段の有用性がますます認識されるでしょうから、活躍のチャンスも広がるでしょう。共同研究のチャンスも生かしながら、できれば学位論文のテーマを大きく超えるべくひろい視野で実績をあげ、全国に散らばり“農耕”・“狩漁”的の面の区別なく、もしくは少なくとも一方の面からこの分野を支え、その存在をアピールしていただきたいと思います。このことが JRR-3M の中性子スペクトロメーター活用の中心である物性研の貢献をさらに裏打ちすることになるのだと思います。

#### 講評

新潟大学理学部 三沢正勝

「中性子散乱と物性科学」研究会では、構造、ソフトマター、強相関電子系、基礎物理について、物性研中性子施設を中心になされてきた最先端の研究発表がポスターを含め多数あり、同施設がJRR-3Mの稼動（あるいはそれ以前から）とともに主導してきた研究の成果が顕著に示された。特に、

磁性・強相関電子系は多くの発表があり、我が國の中性子散乱研究の伝統に裏打ちされた重厚な印象を強く受けた。反面、今やこの分野は十分成熟し超精密科学の域に達してきているのではとの印象を専門外の筆者は受けた。一方、ソフトマター研究は対象が幅広く荒削りな反面、中性子散乱の活躍の場がまだまだ開けそうで、これから的发展が大いに期待されるとの強い印象を持った。いずれにしても、物性研中性子施設が主導してきたサイエンスの方向が実りある成果を確実にあげていることを実感した。

中性子課題申請が年々増加しつつ広い学問分野に拡大傾向にあることは、物性研所員の外部へ向けた情報発信が適切になされているとともに、中性子散乱が全国の広い意味の物性研究者にとってますます重要な実験手段となっていることの証拠であり、存在意義をあらためて確認できた。また、日米協力による国外研究者との研究交流も活発で最先端の研究と高い研究レベルの維持に重要な役割を果たしていると感じた。

全国共同利用機関の宿命とはいえ、職員が、多くの共同利用装置を維持管理し全国の種々の研究者の共同利用の要望に応えつつ、自らの研究も高レベルに保つことを両立させていることは敬服に値する。諸外国の同様な施設にくらべ職員数が桁違いに少ない状況は、我が國の共同利用機関の共通の問題であるが、長い眼で見た改善が是非とも望まれる。慢性的職員数の不足にも関わらず共同利用体制が円滑に実施できているのは職員の献身的な努力があることに違いないが、その一方で他大学からの装置責任者としての協力があつてのことでもある。職員数に抜本的改善がはかられるまでは当分この体制が維持されると考えられるが、これらの人々がそれぞれの大学で正当な評価を得られるよう支援体制を整えることも重要ではないであろうか。独立行政法人化等、大学の状況も激しく変化しそうな状況もあり気になるところである。もっとも、筆者は現実になにか問題があるのかどうかは把握していない。過去に、高工研 KENS に所属していた時の経験から、そのような気がするというだけである。

人事交流は、定期的計画的になされているようで、適切に行われていると判断される。このまま人事交流が活発に行われ、大学と共同利用機関の両方を経験される研究者が多数育つことは、両者にとって重要なことと考える。

装置維持費がここ数年で皆無に等しい程に減少するとの予測は深刻である。中性子散乱は現代の自然科学において不可欠の研究手段であることは、今回の研究会発表や諸外国の動向を見てもあきらかである。施設が時限を迎えるにあたり是非とも新たな体制で再出発できることを願っている。また、近い将来に次期パルス中性子源が同じ敷地内に存在することになるので、そのメリットを最大限に活かし、諸外国に比べ格段に少ない職員を両施設で有機的に組織し、我が國の中性子散乱の処点としますます発展されることを期待する。

いわゆる地方大学（何をもって地方大学というかは別にして）に身をおくと、最先端の装置を使える全国共同利用研の存在の有り難みを痛切に感じる。研究環境に必ずしも十分には恵まれていない多くの研究者の研究支援、および大学院生への教育支援の面からも、全国共同利用研究処点としてのこれまで以上の活躍を期待する。

## 東大物性研究所付属中性子散乱研究施設に関する意見

高エネルギー加速器研究機構 池田 進

東大物性研究所付属中性子散乱研究施設が、日本の中性子散乱研究の中心となり、研究活動、国際協力、共同利用、中性子コミュニティー等の他方面にわたり、その任務を十分に果し中性子散乱研究向上に貢献していることは、疑いのない事実であります。ただ、些細な部分で、多少感じたことがありますので、以下に申し述べさせていただきます。

### (1) 課題審査プロセスについて

日本原子力研究所の原子炉を利用するユーザーにとって、その利用プロセス、特に課題審査プロセスは非常に複雑なものと写っていた。その原因は、東大物性研、東大原総センター、原研、東北大と独立した課題申請窓口が複数個あったからである。本施設は、この改革の中心となり、関連する組織と協議し、合同審査会を設置してプロセスを改良、一元化されたプロセスを構築することに成功している。これは、日本の中性子散乱研究者にとって朗報であり、大きな成功である。しかしながら、真に、原子炉利用の活力をあげるためには、全体的にそして効果的に装置配置計画等を検討できるシステムがなければならない。この面でも、将来、原研、東北大、東大、それぞれの組織改編を含めた抜本的な改革を期待している。

### (2) IMT グループについて

東北大学所有実験装置、京都大学所有実験装置、物性研所有装置と所属の異なる装置を、効率的に、そして総合的に維持運営することを目指し、IMT グループシステムが導入されている。このシステムは、広く研究者の装置維持への参加を促し、全体の装置群が良好に維持される原因となっている。外国の中性子実験施設では実験装置 1 台当たり平均 4 人の研究所員をあてている。これに比べて、本施設の 1 台当たりの所員数は 1, 4 人であり、極めて少ない。外部 IMT 代表者を入れて約 2 人／台となり、外部 IMT グループ員全員を考慮して、やっと外国の平均的レベルに達しているのである。施設職員の少ない現状では、IMT グループは、施設運営の基幹であり、中性子科学発展の基礎でもあるといつても過言ではない。このような現状に鑑み、少なくとも、外部 IMT 代表者が所員と同等に振る舞えるように何らかの措置を講ずるべきである。また、IMT グループ員の所属する組織と本施設は IMT グループに関するアンブレラ協定を締結し、若い研究者が IMT グループ員として安心して参加できる環境を作っていくことも必要であろう。

昨今の研究者をとりまく環境は決して甘くはない。研究者が IMT グループとして、長く組織の存在する地域を出て働くためには、所属する組織の十分な理解が不可欠となってきている。どうやって組織の了解をとるか。ボランティアの精神だけではうまくいかないように思う。そこには、やはりギブアンドテイクの考えが底流から沸き出してくるように思う。この問題を解決する一法は、IMT グループを当該装置を使ったプロジェクト研究グループとし、研究成果を得るのに十分な実験日数を提供し、IMT グループが十分な研究成果をえることができるようになることである。研究の一環として当該装置の整備するのである。

### (3) 装置開発について

原研 JR3M は世界の 5 指にはいる原子炉である。そこに、物性研所有装置として 8 台の中性子実験

装置が設置されている。それぞれ高性能を有しているが、この施設のオリジナルといった装置がないように思う。もう少し、冒険もいいのではないかと思う。

#### (4) 外国からの利用について

日本は、アジアーオセアニアの中性子散乱研究のメッカである。これを考える時、アジアーオセアニアからの課題申請が少ないよう思う。課題申請が出来やすいようなシステム（旅費、滞在費、宿舎等の準備）の構築を目指すべきである。

### 研究会シリーズ「中性子散乱と物性科学」講評

研究と教育、国民に対するより高い還元を目指して

京都大学大学院工学研究科 橋本竹治

我国に中性子散乱施設が設置され、中性子散乱研究を通して、物性研並びに共同利用に参加する全国の大学の教育と研究が、豊かに展開されている。このことは、我国のみならず世界の文化の向上に貢献するとともに、莫大なる国費の投資に対する国への確かな還元を果たしているものと認識することができる。得られた成果としては、偉大なる研究成果の達成という直接的成果の他、全国の数多くの大学の教官と学生の教育・研究を通した交流や啓蒙という目に見えない間接的成果の大きさも、決して見逃すことはできない。後者こそが同研究施設が果たす国の文化事業への大きな貢献と考えるべきであり、我国の大学教官の質の向上、研究の基盤・底辺の拡大、人材の養成につながるものと考えられる。今日における同施設及び同施設の全国共同利用の成功は、ひとえに、施設の教官、IMT 装置責任者（施設の教官以外の大学の教官）並びにユーザーの努力に負うところが大きい。特に施設教官の絶間ない努力・献身の賜物であることを忘れてはならない。

然しながら「国へのより高い還元」を考える時、以下の深刻な問題に直面せざるを得ない。本中性子散乱研究施設に於いて、装置 1 台当たりに配置されている教官・技官の数は極めて少なく、欧米のそれの約 4 分の 1 である。このことが共同利用支援のための教官の負担を過剰に大きくし、教官自らの研究の妨げとなっているのが現状である。施設の教官が自らの研究の達成の為により自由な時間を得ることが、同教官の研究・教育レベルの向上をもたらし、ひいては共同利用体制の更なる向上に至るものと確信する。国を挙げての定員削減の嵐の中とはいえ、施設定員の僅かな増員（少なくとも欧米諸国の定員に匹敵するレベルへの増員）は、「国への還元」の効率の飛躍的向上をもたらすものであり、是非とも断行されるべきである。

以下、ソフトマター（特に高分子）を中心に講評を述べる。

#### (1) 中性子散乱研究施設の教官の研究業績と関連コミュニティへの貢献

(a) 1993 年中性子散乱施設の発足後、現在に至る約 8 年の間に、中性子散乱装置の立ち上げ、共同利用体制の確立、共同利用の実施に併行して、各教官自らの研究を立派に遂行されている。この

ことは、ソフトマターに関して言えば、関連教官の松下、今井、長尾、柴山各氏らの業績リストから十分確認できる。

(b) 松下氏は、特に三元三成分ブロック共重合体の秩序構造と分子鎖形態に関して、今井氏は、ミセル系の秩序相の間の相転移(構造相転移)（特にラメラ・ギロイド相転移並びにそれらに及ぼすズリ流動の効果）に関して、長尾氏は、ミセル系の相転移に関する臨界現象及びその圧力効果に関して、柴山氏は、ゲルの相転移並びにミクロ相分離、ゾル・ゲル転移に関して、各々優れた研究業績を残され、我国のみならず世界のソフトマター研究に対して大きなインパクトを与えたものと考える。また、各教官は各々の分野を通して、中性子散乱コミュニティーの発展に大いに貢献されたものと考える。

## (2) 中性子散乱全国共同利用の研究成果

(a) (IMT代表者瀬戸氏(広島大)は、中性子スピニエコー法(NSE)を用いた二分子膜系のダイナミックスに関して、優秀な研究業績をあげるとともに、特徴のあるNSE装置の立ち上げにより、我国に於けるソフトマターのダイナミックスに関する研究を可能にし、当該分野の発展に寄与した。

(b) 中性子散乱研究全体の申請件数の中で、ソフトマター研究に関する申請件数の割合は、25%～30%であり、活発で好ましい傾向にある。然しながら、この割合は今後、ますます増加するものと期待する。

(c) “Activity Report 2000”によれば、1999年の中性子散乱全国共同利用の結果生まれたソフトマターに関する発表論文の総件数は約30件であり、ソフトマター以外の分野の発表論文を含む全発表論文数の25%を占める。また全国共同利用に関連した博士学位論文数は、全体で73件、ソフトマター関連では最初の報告が8件とやや少なかったが、その後の再調査では24件(全体の約1/3)と確認された。これらもソフトマター研究の相対的なactivityの高さを示すものとして望ましい傾向を示す。実際の関連発表論文数、関連学位論文数は、もっと存在するはずと期待される。従ってユーザーはもう少し真面目に関連発表論文並びに関連博士学位論文を共同利用施設に報告する義務がある。このことをユーザー側の反省点としたい。

(d) このような活発なソフトマターの研究状況にあっても、21世紀の科学の中で占めるソフトマターの研究の重要性及び欧米諸国との激しい競争を考慮した時、あまり楽観は許されない。特に生命科学、環境に応答し得る夢の材料の開発を積極的に取り入れることをも考慮した更なる研究の質の向上が望まれる。それには、次項に挙げる「共同利用の仕組み」の改善が望まれる。

## (3) 全国共同利用の仕組み

(a) 現在までの施設教官の良好な研究業績は、各教官個人の犠牲的ともいえる異常な努力に負うところが大きい。然しながら、ソフトマター部門の更なる飛躍のためには、施設運営体制そのものの改善を怠ってはならない。その一つとしてソフトマター関連教官自らの研究体制に対するより強力な支援が必要である。そのためには装置の維持管理を助ける技官、ポストドクトラル研究員の増員等が必要不可欠である。ソフトマター関連教官の支援のための他の一つの策として、物性研内部にソフトマターに関する理論家を配置し、施設教官との協同研究を可能とする研究体制の構築を提案したい。

(b) 現時点までにソフトマター研究に供されている装置は、(i)SANS-U, (ii)ULS(Ultra-SANS, 超小角散乱), (iii)NSE(Neutron Spin Echo), (iv)AGNES(Angle Focusing Cold Neutron Spectrometer)等であり、主にSANS-Uが主体となる。これらの性能、運転状況は、おおむね良好である。然しながらこれら各装置の性能は、米国NIST、仏国ILL、独国ユーリッヒ等に存在する世界のトップの各装置と比較した時、未だ劣ることは認めざるを得ない。この点に関して、我が国は将来どのような対策を探るべきか、今後も引き続き考慮する必要がある。

(c) 全国共同利用体制、特にビームタイムの審査については、おおむねNSPACを通して適確、適正に運営されていると考えられる。

(d) 以下に問題点を指摘したい。

(イ) 装置の老朽化(SANS-U)

検出器、ビームストップ等駆動部モーター、インターフェースボードと関連ソフトウェア等における装置の老朽化が指摘されている。これら装置の改善・性能保持のための十分な経費支援が常に必要である。

(ロ) 慢性的なビームタイムの不足(SANS-U)

採択件数/申請件数は8.9%と高いものの、配分日数/申請日数は3.5%と低い。21世紀の物性科学研究の中で、ソフトマター研究の比重が大きいことを考えると、何らかの解決策が強く望まれる。一つの有効な解決策として小角散乱装置の増設と、それに伴う定員増が考えられる。

(ハ) NSE装置

ソフトマターのダイナミックスに関する研究は、極めて重要である。従って、本研究を可能にするNSE装置の需要は今後益々高まると考えられる。本中性子散乱研究室に設置されたNSE装置は、ビーム強度が弱いこと、波長選択が困難であること等の線源に由来する弱点にもかかわらず、設計者の工夫により装置そのものの性能は欧米諸国のそれにひけを取らないと考えられる。然しながら現状では、ビーム強度の弱さのため、研究効率は低いといわざるを得ない。21世紀の研究に於いて、本装置の果たす役割の大きさを考えるとき、ビーム強度の増強は極めて重要である。

(ニ) 装置の維持管理、共同利用研究支援体制における人手不足、

全国共同利用に参加している大学の数、教官、研究者及び学生の数は、莫大であり、かつ我が国共同利用者の研究に関するアクティビティは、一般に極めて高い。従ってより高いレベルの支援体制を可能にする教官・技官等人員の増員は、極めて効率の高い経済支援と考えられる。また物性研以外の教官が務める装置責任者の確保・増員もぜひ必要である。

また上記(ロ)、(ハ)の問題点の軽減にあたり以下のユーザー側の協力も必要である。

(ホ) ユーザー側の協力

① ユーザー側は、光散乱、X線散乱等中性子散乱と相補的な関係にある実験手法を用いて、ユーザーの研究課題について十分な予備研究を行い、中性子散乱実験のビームタイムを最大効率で利用するように心がけるべきである。また、どうしても中性子散乱でなければ出来ない研究に、ぎりぎりまで絞り込むべきである。このような予備実験そのものも、中性子散乱施設内で実行可能な体制を確立することも、将来構想の一つと考えられる。このためにも施設に於ける優秀な教官の人員増は必要不可

欠と考えられる。この事はまた、施設のユーザーへのサービス体制の更なる向上に連なるものと期待できる。

② 上記予備実験に必要な装置を持ち合わせていないユーザ又は中性子散乱実験の経験の少ないユーザーには、そうでないユーザーとの共同研究を勧めるべきである。施設側教官又は IMT 装置管理者はこの共同研究を積極的に支援・奨励し、自らの施設共同利用へのサービスに供する時間を軽減できなかろうか。

③ ユーザーは、温度、圧力、濃度、試料の種類等を変えて実験をするとき、設定条件変化に伴うビームタイムの時間的ロスを最大限に短縮する必要がある。この為にユーザー側で、持ち込み装置について最大限の工夫をする。施設側教官又は IMT 装置責任者はそのように指導し、必要であればユーザーのビームタイム有効利用に関して判定、採点し、その結果を NSPAC に報告し、マシンタイムの割り当て時間の参考にすべきである。

#### (4) 将来計画

##### (a) 原子炉を利用した中性子散乱装置の稼動計画

入射ビームのパワーの更なる向上、ビームラインの幾分の増加等たゆまない努力が注入され、大変好ましい状況下にある。

##### (b) 2005 年からのスペレーションソースの運転開始

我が国が世界に誇る中性子源として、次世代の研究に夢を与える文化事業として大いに期待したい。この世界一の中性子散乱施設を中心として、物理学、化学、材料科学、医学、生物学、工学、産業・工業への応用研究等一大研究センター群の確立、更には国の内外に開かれた学術センターとしての役割と機能を大いに期待したい。莫大なる国の予算を使用し、建設される施設、装置の全国共同利用を通じた国民への研究・教育・文化への還元、世界の学術文化への貢献を最大効率で果たす為にも、可能な in house staff の確保に必要な人件費を惜しんではならない。文化事業の根幹を支えるのは施設ではなくて人である。

#### 講評

広島大学大学院理学研究科 太田隆夫

私はソフトマター関係を中心に報告します。

#### (1) 中性子散乱研究施設の教官の研究業績と関連コミュニティへの貢献

ソフトマターを専門とする教官が着任した 1994 年以降、中性子散乱施設におけるこの分野の研究は飛躍的に活発になってきている。これまでの教官（教授のべ 2 名と助手のべ 2 名）による、高分子共重合体、高分子ゲル、水・界面活性剤、マイクロエマルジョンなどの研究は、国際的にみて第 1 線級のものであり、中性子散乱施設が日本におけるソフトマターの実験的研究の中核にまで発展して

きている。

研究業績のみならず、この間、装置の維持・管理、また、共同利用者に対する協力体制を向上させるなど、中性子散乱研究を活性化させるための努力を恒常的に行っている。

### (2) 全国共同利用の研究成果

今回の研究会でのソフトマター分野の研究発表をみると、どれも世界に通用する優れた成果である。ただし、中性子スピニエコー装置は、強度が弱すぎる問題をかかえている。このことを解決する方策をすみやかに実行する必要がある。

この分野の中性子散乱研究は、今後、生命系や生体物質にますます関わり、拡大して行こうとしているのが世界的趨勢である。このような情勢に、教授1名、助手1名のスタッフで対応するのは無理があるのではないか。少なくとももう一人、教官を補充する必要があると思われる。

研究会で講演を聞いていると、強相関電子系などでは、物性研の理論家と密接な協力関係で研究を強力に進展させているようである。ソフトマター分野でも、実験結果を討論し、理論的予言や解析が受け持てる活発な若手理論家が所員として物性研にいることが望ましい。

### (3) 全国共同利用の仕組

共同利用では、ソフトマター分野に限らず、すべての分野で優れた新規参入者を鼓舞するよう努め、また、課題採択のプロセスはできるだけ透明性を高めるよう努力していることがうかがえる。ただし、装置管理者へのマシンタイムの配分などについては、その理由を一般ユーザへ説明する配慮がこれからも必要であろう。

## 講評

奈良先端科学技術大学院大学物質創成科学研究科 片岡幹雄

中性子散乱が、強相関電子系からソフトマター、生物までの広い分野において、強力で有効な測定手段としての地位を築き上げたことを、あらためて認識させてくれた研究会であった。ポスターセッションを含めて、報告された研究の一つ一つは、きわめてレベルが高く、物性研の中性子散乱研究施設がそれぞれの分野に対してはたしてきた役割の大きさを如実に示すものであったと思う。分光器の維持管理、共同利用研究者の円滑な実験のための援助など、本来の研究以外の業務を抱えながらも、教員の研究アクティビティーは高く、それぞれの分野で、重要な研究成果を上げてきていることがうかがえた。物性研附属中性子散乱研究施設が、ソフトマターを専門とする教員を受け入れた英断を高く評価したい。実現は困難かもしれないが、ソフトマターを専門とする研究グループが物性研本所にも生まれれば、中性子散乱施設のソフトマターグループがより生きることになり、この分野の発展に物性研は今まで以上に寄与することになるだろうと思った。

ソフトマターや強相関電子系、構造物性などの分野では多数の興味深い研究が報告されたのに対し、私の専門である生物関係の報告がポスターを含めて3件しかなかったのは、これまでに生物分野で採択された課題の数を考えると、あまりに少なく、寂しい思いがした。また、報告された個々の研究は

それぞれにおもしろく、研究結果はよくまとまっていたものの、ゲノムプロジェクトに代表される現在の生物科学においては、必ずしも中心的課題とはいえないものであった。物性研中性子散乱施設が、生物分野の研究に対して、寛大であり、その実施のために最大限の努力をされているということは、課題審査などを通して充分に理解しているつもりである。これまで中性子散乱施設が払ってきた努力に対して、生物分野の利用者は、どの程度成果を出して、期待にこたえてきているのだろう、という素朴な疑問が湧き、生物分野の課題採択をお願いしてきた者の一人として、生物分野の研究の質を高めなければいけないという責任を強く感じざるをえなかった。バイオは、21世紀のキーワードの一つであり、バイオ研究にはお金が落ちるという神話もある。大型設備を維持していくために、“中性子は生物研究に重要な寄与をなす”という作文は認めるとしても、一方で、中性子は本当に生物分野で中心的なツールの一つになりうるのか、という本質的な問い合わせて、真摯に答える時期がきているのではないだろうか。中性子を使ったという目新しさで勝負できるほど、世の中は甘くない。20年前に許された論理は、今では通用しない。柴山所員が、高分子分野においては、もはや小角散乱の解析から得られる慣性半径や原点散乱強度だけで議論していくよい時代ではなく、多方面からの新しい解析法や測定法が必要になると力説されていたが、これは生物分野の研究にもあてはまる。生物、特に構造生物の分野は、高分解能構造を多数、短期間に求められる構造ゲノム科学の時代に入っている。コントラスト変調により2成分系のうちの1成分の情報を取り出す、という論理だけでは、中性子を使うメリットは少ない。生物科学の中心的な課題に対して、中性子をどのように利用して、生物屋も納得する本質的な情報を得るのか、生物分野の共同利用研究者は真剣に考えた上で、課題申請をしなくてはならない。

物性研中性子散乱研究施設には、中性子散乱研究において、“トップを形成する”及び“裾野を広げる”という二つの使命が科せられているように思う。ある研究分野でトップを形成しようとすると、その分野にある程度の研究者人口が必要になってくる。そのためにも、“裾野を広げる”という視点は重要である。藤井施設長が示された申請課題数の急激な増加は、裾野が広がってきたことによると考えてもよいであろう。それに伴い、要求ビームタイムも、割り当て可能なビームタイムの2倍から4倍になっている。一方、課題採択率は必ずしも低くはなく、70%程度に達しているように思われる。これらから単純に計算すると、ビームタイムの充足率（要求ビームタイム／実施ビームタイム）は50%から70%に押さえられているのではないかと推測される。確かに、課題審査委員として審査するときは、“1年間ビームタイムがないのは困るだろう”という情が働き、広く浅いビームタイム割り当てや課題採択に傾いてしまう。しかし、ある分野でトップの研究を生み出そうとするならば、その可能性のある研究に優先的にビームタイムを与える必要があるだろう。課題審査の採点による傾斜配分制が取り入れられてはいるが、もう少しビームタイムの充足率を上げる方策を考える必要があるのではないだろうか。また、成果としての発表論文リストには、論文情報だけでなく、その論文の元になった申請課題番号と使用した分光器、何年にわたって何日のビームタイムが与えられたのか、平均のビームタイム充足率はどの程度か、といった情報も含むべきであろうと感じた。

生物分野では、裾野を広げるという視点から、中性子散乱の非専門家に対して、かなりのビームタイムが与えられてきている。しかし、そのようなユーザーが中性子のヘビーユーザーとして定着してきたわけではなく、かならずしも裾野が広がってきているとはいえない。生物分野で成果が出にくいくのには、研究の特殊性もあるかもしれないが、一方で充分なビームタイムが与えられていない点にも

原因がありそうである。論文にならなかつたあるいはなっていない申請課題については、ビームタイム不足のためなのか、中性子では無理なテーマであったのか、など原因を探り、今後の参考にする必要があるかもしれない。

中性子コミュニティーでは、統合計画に大いなる期待がもたれている。中性子散乱研究施設がこの将来計画で中心的な役割を果たすことは、中性子コミュニティーとしては当然のこととして捉えられている。研究会では、この観点から、さまざまな議論がなされた。一方で、物性研として、この統合計画にどのように関わっていくのか、という視点からの紹介が不足していたように思う。そもそも、中性子散乱グループと物性研の他グループとの間の研究上の関わりを今回の研究会からは窺い知ることはできなかった。他グループからの中性子共同利用申請はどのくらいあるのだろうか。統合計画への関わりは物性研の将来計画とも関係しているはずである。物性研の深い理解と協力のもとで、中性子散乱研究施設が統合計画の推進に中心的な役割を果たしていくことを期待したい。

# 物性研究所談話会

日時：2001年7月9日(月) 午後4時～5時30分

場所：物性研究所6階 615号室

講師：Prof. L. Eaves

(School of Physics and Astronomy, University of Nottingham, Nottingham, UK)

題目：Magnetic Fields for Tunnelling Spectroscopy of Self - Assembled Quantum

Dots: Wavefunction Mapping and Addressing the Dots with Electrostatic Gates

要旨：

This talk describes an experimental study of the distribution of the probability density of the electron wave function in InAs/GaAs self - assembled quantum dots(QDs). The carrier wave function is probed using magneto - tunnelling spectroscopy, which has previously proved to be a powerful technique for mapping out the energy dispersion curves of bound states in quantum wells[2] and the wave functions of confined states in quantum wires.

The structure used is a double-barrier GaAs/(AlGa)As resonant tunnelling diode (RTDs)in which a layer of InAs QDs is incorporated in the centre of the GaAs quantum well. We observe features in the low - temperature current - voltage characteristics, I(V), of the diode, corresponding to carrier tunnelling into 0-dimensional states of individual QDs. As discussed below, three successive features correspond to tunnelling through dot states displaying the symmetry of the ground state and first and second excited state, respectively.

We investigate the magnetic field dependence of the current resonances associated with the dot states. In the experiment, carriers tunnel through a barrier into the dots in the presence of a magnetic field, B, perpendicular to the current, I. If x and z indicate the directions of B and I, respectively, then when carriers move from the emitter into the dot, they acquire an in - plane momentum  $\Delta k_y = eB\Delta s/\hbar$  due to the action of the Lorentz force, where  $\Delta s$  is the effective distance tunnnled along z. This has pronounced effects on the tunnelling process. The intensity of the current resonances changes with increasing B and we relate this variation to the square of the Fourier transform of the electron probability density. The I(B)plots provide a means of probing the characteristic form of the wave function probability density of the electron confined in the dot as a function of  $k_y$  and hence of the corresponding spatial coordinate, y. By rotating the magnetic field in the growth plane, (x,y), we derive full two - dimensional maps of the electron wave function probability densities. These reveal clearly the elliptical symmetry of the dot ground state (000), and the characteristic lobes of the higher energy states(100)and(200).

The talk then discusses our magneto-tunnelling spectroscopy measurements of the shape and size of the wave function of an electron confined in QDs grown on a (100)- and (311)B-oriented GaAs substrate. We show that the electron wave function has a biaxial symmetry in the growth plane and that the dots are ordered along defined crystallographic directions.

Finally, it is shown that magneto-tunnelling spectroscopy on RTDs which incorporate planar gate electrodes provides a means of identifying and measuring the energy levels and wave functions of an individual dot.

日時：2001年7月11日(水) 午後4時～5時30分

場所：物性研究所6階 615号室

講師：秋永 広幸 氏

(所属) (JRCAT - AIST)

題目：Ferromagnetic-metal/semiconductor hybrid nanostructures: Toward high-sensitive magnetic-field sensors

要旨：

Our recent progress to develop new materials for ultra-high-sensitive magnetic-field sensors will be shown. (1) Magnetoresistive switch effect We have developed a new material, consisting of nanoscale ferromagnetic-metal clusters that are grown on GaAs, showing magnetic-field-sensitive current-voltage characteristics. When a constant voltage, above the threshold value, is applied to the film, more than 10000 change in the current, which we term magnetoresistive switch effect, appears under a relatively low magnetic-field even at room temperature. (2) Half-metallic zinc-blende CrAs The half-metallic zinc-blende CrAs has been designed by ab-initio calculations based on LSDA. The previously nonexistent zinc-blende CrAs thin films have been grown on GaAs(001)substrates by MBE.

日時：2001年7月17日(火) 午後2時～3時30分

場所：物性研究所6階 615号室

講師：小笠原寛人 氏

(所属) (理化学研究所)

題目：「高輝度放射光を用いた水（吸着分子、氷、液体）の研究」

“Water(adsorbate, ice and liquid) studied with X-ray Spectroscopy”

要旨：

I will show how we can use the X-ray Emission Spectroscopy and X-ray Absorption Spectroscopy to obtain atom specific information about the electronic states. We have studied solid, liquid and adsorbed water. It will be demonstrated how we can learn about the changes in chemical bonding of water due to hydrogen bonding and how it is related to the structure.

日時：2001年7月18日(水) 午後1時30分～3時

場所：物性研究所6階 615号室

講師：Dr. Seung-Hun Lee

(Center for Neutron Research, NIST, USA)

題目：Neutron scattering studies of frustrated antiferromagnets

要旨：

We review magnetic neutron scattering experiments on geometrically frustrated antiferromagnets with emphasis on spinel systems, insulating  $ZnCr_2O_4$  and  $ZnV_2O_4$ , and metallic  $LiV_2O_4$ . A spinel,  $AB_2O_4$ , in which the octahedral B site forms a network of corner-sharing tetrahedra, offers the possibility of qualitatively new states of matter. Unlike other geometrically frustrated systems most of which feature spin-glass-like behaviors, the insulating spinel has a long-range ordered phase at low temperatures. In  $ZnCr_2O_4$ , there is a spin-Peierls like transition to Néel order on a distorted lattice. Both the Néel and the spin liquid phase have strong dynamical spin fluctuations at the Brillouin zone boundaries. Even though their characteristic energies are different, the structure factor associated with spin fluctuations in the two phases have the same wave vector dependence. In  $ZnV_2O_4$ , the lattice distortion precedes the magnetic order.

The metallic  $LiV_2O_4$  exhibits the largest Sommerfeld constant ever recorded in a d-electron system. Our neutron scattering experiments reveal features both of a strongly correlated metal and of frustrated magnetism: for instance, short range spin correlations below the Curie-Weiss temperature, and the spin relaxation rate with a residual value as  $T > 0$  and with linear dependence with temperature. We discuss our results with recent theories for  $LiV_2O_4$ .

We also discuss the goals for future experimental research in the field of geometrical frustration.

# 東京大学物性研究所の客員教授(助教授)公募のご案内

本研究所において、テーマ（分野）「限定型」及びテーマ（分野）自体を提案いただく「提案型」の客員教授（助教授）を下記のとおり公募します。

## I. 公募の区分

### 1. 「限定型」

#### (1) テーマ（分野）

- a : 異方的超伝導の理論
- b : スピングラスを中心とする複雑系の理論的研究
- c : 強相関電子系についての理論的研究
- d : 水素結合分子の結晶成長と凝集体表面の化学
- e : 回転クライオスタッフを用いた量子液体の研究
- f : 多重極限環境下での比熱測定法の開発研究
- g : 超強磁場における希薄磁性半導体の磁気光学の研究
- h : 高輝度極紫外・軟X線を利用した物性研究
- i : 中性子散乱によるソフトマターの研究

#### (2) 公募人員

- |         |    |         |    |         |    |
|---------|----|---------|----|---------|----|
| a : 教授  | 1名 | d : 助教授 | 1名 | g : 助教授 | 1名 |
| b : 助教授 | 1名 | e : 教授  | 1名 | h : 助教授 | 1名 |
| c : 助教授 | 1名 | f : 助教授 | 1名 | i : 教授  | 1名 |

#### (3) 期間

- b d e g : 平成14年4月1日～平成14年9月30日（前期）
- a c f h : 平成14年10月1日～平成15年3月31日（後期）
- i : 平成14年4月1日～平成15年3月31日（通年）

#### (4) 研究条件

- ① 研究室の共用、その他可能な範囲で研究上の便宜を計る。
- ② 研究費及び本研究所との間の往復旅費、滞在費を支給する。
- ③ なるべく多くの時間を本研究所における研究活動にあてること。

## 2. 「提案型」

#### (1) テーマ（分野）

応募者自らテーマ（分野）を提案

#### (2) 公募人員 教授または助教授 1～2名

#### (3) 期間 通年：平成14年4月1日～平成15年3月31日

半期：平成14年4月1日～平成14年9月30日

または

平成14年10月1日～平成15年3月31日

(4) 研究条件

- ① 研究室の共用、その他可能な範囲で研究上の便宜を計る。
- ② 研究費として通年で最大300万円（理論150万円）、及び本研究所との間の往復旅費、滞在費を支給する。
- ③ 滞在日数は半期で1ヶ月以上をめどとする。

II. 公募締切

平成13年12月20日(木) (必着)

III. 提出書類

(イ) 推薦の場合 :

- 推薦書（本人の本研究所における研究計画に関する記述を含む）
- 履歴書
- 業績リスト（必ずタイプすること）ほか出来れば主要論文の別刷

(ロ) 応募の場合

- 履歴書
  - 業績リスト（必ずタイプすること）ほか出来れば主要論文の別刷
  - 所属の長などによる本人についての意見書（書類提出先へ直送）
  - 研究計画書（本研究所滞在可能期間の推定を含む）
- (ハ) 「提案型」の場合は、上記(イ)又は(ロ)の他に、次の資料が必要です。
- テーマ（分野）及び具体的研究計画
  - 通年か半期の別
  - 物性研における研究関連部門（複数も可）
  - 予定滞在日数
  - 必要研究経費（概算）

IV. 書類提出先及び問い合わせ先

〒277-8581 千葉県柏市柏の葉5-1-5

東京大学柏地区庶務課人事掛

電話 0471-36-3205

e-mail : jinji-kakari@issp.u-tokyo.ac.jp

V. 注意事項

- (1) 応募に際しては本研究所所員とあらかじめ連絡をとること。
- (2) 封筒に「客員教授（助教授）応募書類在中」或いは「意見書在中」と朱書きで明記のうえ、書留で郵送のこと。

VI. 選考方法

東京大学物性研究所人事選考協議会での審議に基づき、物性研究所教授会で決定する。

平成13年10月1日

東京大学物性研究所長

福山秀敏

# 人 事 異 動

人事異動

## 【研究部門等】

○ 平成13年9月1日付け

(採用)

氏 名	所 属	職 名	異 動 内 容
森 初 果	新物質科学研究所	助教授	(財)国際超伝導産業技術研究センター

# 2002年度日米協力「中性子散乱」研究計画の公募

2002年度の日米科学技術協力事業「中性子散乱」に関する日本側提案の研究計画を下記のとおり公募します。本国際協力研究事業は、文部省特別事業として1981年から実施しています。申請に先立って、下記関係委員会委員とお打ち合わせの上、申請くださるようお願ひいたします。

## 記

1. 応 募 資 格：全国国公私立大学、研究所所属の研究者
2. 提 案 様 式：所定の提案書とコピー2部（用紙は提出先に請求してください）
3. 提案書類送付先：  
〒319-1106 茨城県那珂郡東海村白方106-1  
東京大学物性研究所附属中性子散乱研究施設  
藤井保彦  
電話 029(287)8901, FAX 029(283)3922
4. 応 募 締 切：2001年11月30日(金)までに必着
5. 課題の審査及び審査結果の通知：  
日米協力「中性子散乱」研究計画委員会及び日米合同研究委員会で審査され、結果は2002年3月頃通知します。
6. 参 考 説 明：
  - i 採択された研究計画で派遣される人数は、オークリッジ国立研究所(ORNL)4名、ブルックヘブン国立研究所(BNL)8名程度となる見込みです。派遣期間は4～6週間程度です。(含大学院博士課程学生)
  - ii BNLの高中性子束原子炉HFBRは永久停止することに決定し、ここに設置している物性研所有の分光器はORNLに移設中ですが、2002年度はORNLやNIST(National Institute of Standard and Technology, 米国商務省管轄の20MW原子炉)を利用したBNL研究者との共同研究を実施しているので、例年通りBNL向けの研究課題を受け付けます。ただし、状況の変化が予想されるので、申請前に委員長(藤井保彦；3. 書類送付先と同一)に問い合わせてください。
  - iii この協力研究の実施方法について不明な点は、研究計画委員会委員長、各担当幹事、最寄りの委員にお問い合わせください。また、各設備に関しても上記の委員にお問い合わせください。
  - iv 研究計画委員会の本年度の委員は次の8名です。

藤井保彦(東大物性研・委員長)	片野進(原研)
遠藤康夫(東北大金研・BNL担当幹事)	柴山充弘(東大物性研)
吉澤英樹(東大物性研・ORNL担当幹事)	松岡秀樹(京大工)
新井正敏(高エネルギー加速器研究機構)	山田和芳(京大化研)

# Technical Report of ISSP 新刊リスト

## Ser. A

- No. 3608 Conductance of Carbon Nanotube Junctions in Magnetic Fields, by Hajime Matsumura and Tsuneya Ando.
- No. 3609 Site-Dilution-Induced Antiferromagnetic Long-Range Order in Two-Dimensional Spin-Gapped Heisenberg Antiferromagnet, by Chitoshi Yasuda, Synge Todo, Munehisa Matsumoto, and Hajime Takayama.
- No. 3610 Angular Position of Nodes in the Superconducting Gap of Quasi-2D Heavy-Fermion Superconductor  $CeCoIn_5$ , by Koichi Izawa, Hidemasa Yamaguchi, Yuji Matsuda, Hiroaki Shishido, Rikio Settai and Yoshichika Onuki.
- No. 3611 X-Ray Magnetic Circular Dichroism at Rare-Earth  $L_{2,3}$  Edges in  $RE_2Fe_{14}B$  Compounds ( $RE=La, Pr, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Ym, Yb$ , and  $Lu$ ), by K. Fukui, H. Ogasawara, A. Kotani, I. Harada, H. Maruyama, N. Kawamura, K. Kobayashi, J. Chaboy and A. Marcelli.
- No. 3612 Evidences of the Quadrupolar Ordering in  $DyPd_3S_4$ , by E. Matsuoka, J. Kitagawa, K. Ohoyama, H. Yoshizawa and M. Ishikawa.
- No. 3613 Darwin's Theory for the Grazing Incidence Geometry, by W. Yashiro, Y. Ito, M. Takahashi and T. Takahashi.
- No. 3614 Direct Evidence for an Itinerant Magnetite Above and Below the Verwey Transition Temperature, by Y. Q. Cai, K. Nakatsujii, S. Ohno, T. Iimori, M. Yamada and F. Komori.
- No. 3615 Conductance of Carbon Nanotubes with a Stone-Wales Defect, by Hajime Matsumura and Tsuneya Ando.
- No. 3616 Inter-Conduction Band Electron Relaxation Dynamics in 6H-SiC, by T. Tomita, S. Saito, T. Suemoto, H. Harima and S. Nakashima.
- No. 3617 Changes of Electronic Structure Across the Insulator-to-Metal Transition of Quasi-Two-Dimensional Na-Intercalated  $\beta$ -HfNCl Studied by Photoemission and X-Ray Absorption, by T. Yokoya, Y. Ishiwata, S. Shin, S. Shamoto, K. Iizawa, T. Kajitani, I. Hase and T. Takahashi.
- No. 3618 Electron-Phonon Coupling Induced Pseudogap and the Superconducting Transition in  $Ba_{0.67}K_{0.33}BiO_3$ , by Aahish Chainani, Takayoshi Yokoya, Takayuki Kiss, Shik Shin, Taichiro Nishio and Hiromoto Uwe.

- No. 3619** Electronic Structure and Superconducting Gap of Silicon Clathrate  $Ba_8Si_{46}$  Studied with Ultrahigh-Resolution Photoemission Spectroscopy, by T. Yokoya, A. Fukushima, T. Kiss, K. Kobayashi, S. Shin, K. Moriguchi, A. Shintani, H. Fukuoka and S. Yamanaka.
- No. 3620** Resonance Raman Study and Spectroscopic Evidence for the Origin of Anomalous Features in Underdoped Bi2212, by L. H. Machtoub, T. Suemoto, J. Shimoyama and K. Kishio.
- No. 3621** Application of Berezinskii's Diagram Method to Bond Disordered System with the Dimerization and the Staggered Field, by Tomokazu Matsuo and Hidetoshi Fukuyama.
- No. 3622** Filling-Control Metal-Insulator Transition in the Hubbard Model Studied by the Operator Projection Method, by Shigeki Onoda and Masatoshi Imada.
- No. 3623** On the Possible Ferromagnetism in Divalent Boride-Systems, by Chisa Hotta, Hidetoshi Fukuyama and Masao Ogata.

## 編 集 後 記

今年の夏は7月は大変に暑くてどうなるかと思いましたが、8月は台風が来たり、雨が降ったりして平均すれば普通の夏で終わったようです。今年は実験装置等も本格的に稼働しているので電力の制限容量は大丈夫だったのでしょうか。コンピューターウイルスのメールも盛んに舞込んでいますが当方もかなり時間を使わされました。秋にはI S S Pシンポジウム、物性研究所の一般公開も予定されています。

この第3号は、中性子研究会の報告および講評、新物質科学部門への講評へのお応え等でかなり厚いものになりました。また柿崎先生の新任の挨拶もいただきました。次号の締め切りは10月10日です。

所属または住所変更の場合等は事務部共同利用掛までお願いします。

高 橋 實



