

# 物性研だより

第25卷  
第5号

1986年1月

## 目 次

○ 物性研に着任して	高田康民	1
○ 物性研滞在中に感じたこと	相原正樹	3
○ 内と外から見た物性研	西田信彦	6
物性研短期研究会報告		8
○ 表面物性の現状と将来		8
世話人	村田好正, 市ノ川竹男, 井野正三	
	金森順次郎, 田丸謙二, 八木克道	
	吉森昭夫	
○ 固体の流動と微細構造の形成—結晶から地球へ—		20
世話人	唐戸俊一郎, 鳥海光弘, 竹内伸	
	秋本俊一	
物性研究所談話会		35
物性研ニュース		39
○ 退官教授の記念講演会について		39
○ 人事異動		41
○ テクニカルリポート新刊リスト		41
編集後記		

東京大学物性研究所

ISSN 0385-9843

## 物性研に着任して

高田康民

7月1日付で理論部門に着任して以来、早くも5ヶ月がたちました。かつて、中嶋先生が使われていた部屋を引き継いでおりますが、これには、ある種の感慨があります。中嶋先生は全く覚えていらっしゃらないでしょうが、私が初めて物性研のこの部屋を訪れたのは、大学院2年生になったばかりの頃でした。緊張に頬をこわばらせながら、中嶋先生に、超伝導の勉強を始めるにあたり、どのあたりから、手をつければよいかをお尋ねしたところ、R. D. Parks の分厚い2巻になっている「Superconductivity」の本の中のいくつかの章を選ばれた事を、今更のように思い出します。それにしても、その中嶋先生の後の部屋を使わせていただく事だけでも、私には、分不相応に思われ、任に耐え得るかどうか、甚だ、心もとないのではございますが、今後、出来る限りの努力は惜しまない所存ですので、宜しくお願ひします。

さて、私がアメリカに滞在しておりました4年余りの間に、物性研は、大きく変わったと伝え聞いていました。実際、今度、帰って来てみると、私が東大理学部物理の助手をしていた頃の物性研とは、少し違う感じは、否めませんでした。ただし、その違いが、物性研自身の変化の為か、或いは、私自身が変わった為にそう見えるのかは、明らかではありません。そこで、ここでは、物性研をこれまで2年間滞在していたカリフォルニア大学サンタバーバラ校にある理論物理学研究所（ITPと略称されている。）と対比させて考え、感じるところを記したいと思います。まず、相似点としては、この両者は、共に、形式上は大学附置であるが、その本来の目的は全国の研究者の共同利用施設である事である。そして、年に何度となく、種々の研究会の会場となります。しかし、その運営、形態などは、いろいろと違うところがあります。その中で私が特に違うと感じるのは、次の2点です。ひとつは、ITPでは、常時40ないし50名の物理学者がいますが、その内訳は、パーマネントの所員は9名（このうち、ITPに実際のオフィスがあるのは5名で、残りは隣の物理学部のビルにオフィスがある。）に過ぎず、この他、任期のある助手が10名程度（多くは2年の任期で、短い人は1年、長い人でも5年まで）であって、残りは全て、数か月から半年、ごく例外的に1年間滞在するだけの、いわば客員から成っている。これらの客員の人々は、もちろん、他の大学にパーマネントの職を持っており、殆んどの場合、その道の大家達である。尚、客員の選考にあたっては、所長を中心として、所内外の協議会の人々の討論を中心として、まず、その年度の中心テーマを3つか4つ決め、そのテーマにふさわしい人物を選ぶ事によって、なされている。いずれにしても、客員の所員がマジョリティを形成するので、所内の雰囲気が、約半年の半減期をもって、がらりと変わりますが、いつも所内の空気が活性化されていた事は、確かな様に見うけました。

ふたつめの違いは、 ITP では、その名の示す通り、実験家の方は、おられません。従って、実験の話は、物理学部にいって聞くか、時折、セミナーに呼ばれる実験家の人々から聞く事になりますが、実験家との不斷の接触が、一般的にいってない事は、確かです。しかし、そのかわりに、素粒子論、宇宙物理、原子核理論など、理論物理の他の分野の人々と一緒に過ごす事になるので、それらの分野での最新の話を聞く機会に恵まれます。一方、物性研では、実験の研究室がマジョリティであり、各実験家の能力や、その実験設備については、諸外国にひけをとらないばかりか、これだけ物性の多様な分野に亘って最先端の装置が揃っている研究所は、稀だと思います。

もちろん、これらの違いは、いわば、選択の違いであって、どちらの方が優れているとは、一概に言えない問題であります。実際、ITP にパートナーや、助手としておられる人々にとっては、半年ごとに、雰囲気が変わられたのでは、落ちついで研究できないと嘆く人も多いであろうし、また、客員でこられた方々の色々な世話を、事務の人々だけには、任せきれないところがあるので、その面での負担もある。一方、あるテーマについての専門家が、同時に集まってくれるので、その分野の現在の問題点は何か、どのような方向から、それを克服しようとしているかなどの最先端の情報を手軽に知る事が出来るのは、とても便利である。また、物性物理の目的は、新しい概念の発見、及びそれを実現する対象の発見であるという立場から見ると、実験家との不斷のコンタクトがない事は、明らかに大きな欠点であるが、一方、理論物理の他の分野の動きを知り、それから計算手法（これは理論家にとって、いわば「実験装置」とも言うべきものである。）の最新化の知恵を得たり、また、新しい概念のヒントなり、応用なりを得る事も、重要であろう。

私自身は、これらの違いを持つ 2 つの研究所に続けて所属できる事を、大変、幸運と思っています。そして、それぞれの研究所の持つ長所を生かしていきたいと考えています。具体的には、ITP では、多体問題の計算の色々な手法を勉強する機会があったので、それを実際の物質に応用していく仕事を中心にしようと思っていますが、それ以上の具体的なところについては、まだまだ、流動的であります。今後 1 ~ 2 年は、出来るだけインプットを多くして、将来の方向をじっくり考えて行く事が、いわば、主な課題という事も出来ますが、とりあえずは、以前から研究してきた超伝導の問題を中心の課題にして、理論、実験を含めて、考え直していきたいと思っています。この他、現在興味を持っている事は、表面物理や、化学物理の問題です。なかでも、時間に依存する問題（反応の問題）をどう取り扱うかを中心に考えたいと思っています。ただし、具体的にどのような方向から、これらの問題を取り組むかは、まだまだ、今後の問題であります。所内、所外を問わず、皆様方には、これらの問題の御討論をも含めて、色々とお世話になる機会が多いと思われますが。どうぞ、宜しくお願ひします。

## 物性研滞在中に感じたこと

山口大教養 相 原 正 樹

此の度、客員部門の担当ということで、本年度前期の半年間物性研に滞在しましたが、“物性研だより”の編集委員より客員所員としての率直な意見をというご要望ですので種々感じたままに雑感を書かせて頂く事にします。これまでにも、物性研には施設利用や嘱託研究員として短期間の滞在は何回かありましたが、今回の長期の滞在では（と言っても、あっという間の事でしたが）、講義やその他学生相手のいろんな雑用（？）に煩わされる事のないのは何にも増して大変有難い事でした。今はそのつけが回ってきて、全く首の回らない状態ですが、年間を通じてみれば効率の点で結局大幅な黒字になっていると思います。物性研に長く居られる人は普段あまり意識する事は無いでしょうが、私の様な地方大学のしかも教養部に所属している者にとっては、物理の事だけを考えていられる時間が長く取れるという事は単なる延べ時間ということだけでなく、思考が中断されないという点でとても有難い事に思えます。

その他にも、物性研という所はとにかくいろんな点で大変恵まれていると思います。特に、居ながらにして第一線の（特に国外の）研究者の話を聞く機会が豊富にあるという事はいまさら言うまでもないでしょうが、やはり、なんとも羨ましいかぎりです。自分の専門に属する事はいろんな機会に同業者達と議論出来るのでまあ良いのですが、興味は有るがなかなか丁寧に論文を読む暇がないという事柄については、耳学問は便利で助かるものです。ただ、あまり耳から入る結論的情報が多く過ぎても、判かった様な気になっていまい、自分でじっくり基本的な点から考える事を無意識のうちに怠るという事も人によっては有るのでないかとも思います。これは多分、地方大学に居る者のやっかみでしょう。

ところで、今度の滞在での具体的な成果ですが（と言っても、中途半端な形で山口に戻らなければならなかった事が何とも心残りですが）、特に極限レーザ部門の諸氏と多く接觸する時間を持てた事は大変楽しく有意義だったと、少なくとも私はそう思います。私は実験家との付き合いは少ない方ではないと思いますが、しかし理論屋にとってはついつい注意が散漫になる実験技術上の事柄、具体的には超短パルス レーザを用いた実験に伴う諸問題に関する認識を更に深めたということは貴重な経験だったと思います。物性研の超短パルスによる研究は、装置の立派さもさることながら、その発想のユニークさで今後の更なる進展が大いに期待されますので、これからも一理論屋として密接な協力関係を保っていこうと考えています。

ただ、物性研がいくら恵まれているといっても、やや気になる点も無いではありません。或いは、部外者の事情を知らないためのたわごとかもしれませんし、物性研の内部すでに十分議論された事

でもあります。率直な意見をということで書かせて頂きます。というのは、物性研には大学院生が大変少ないという事です。なんだそんな事か、とおっしゃるかもしれません、これは軽視出来ない問題と感じています。大学の研究所として、例えば私が大学院時代に所属していた東北大電気通信研究所では数十人の学生を抱えている研究室はごく普通で、西沢研究室などでは研究室に入りきれなくて廊下に机が並んでいた記憶が有ります。まあこんなのは必ずしも良い例とは限らず、一般的に言えば頭数だけそろえてもしかたがないかもしれません、あまりに少ないので大学院時代という大切な時期に同年代の人と席を伴にしながらお互いに刺激になって成長するという機会に恵まれ難くなりますし、実験の研究室にとっては殆ど死活問題になる場合もあるのではないか。この事は、何人かの所員の方々ともお話しした事がありますが、結局、本郷の学部学生が物性研の教官に接触する機会が少なく馴染が薄いという事が原因の様です。私も第一要因はそうだと思いますが、その他にも次の様な事は考えられないでしょうか。それは、物性研の助手は内部からは採用しないということが原因になっている可能性はないだろうかという事です。つまり、本郷の院生は本郷と物性研のいずれかの助手になれる可能性があるのに、物性研の院生は明らかに不利な立場にあるわけです。せっかく研究に興味を持ってそれを継続したいと思っても、その可能性が零ならば特に優秀な学部学生が二の足を踏むのも無理からぬ事かとも思います。これから他の大学も同様の方針を採用して人事の交流がもっと盛んになれば問題は無くなるのでしょうか。しかし現状では、助手の内部採用禁止規定は共同利用研究所の理念としては立派で理解できるのですが、自分で自分の首を締める様な事になっていなければ良いかと思うのは取越苦労でしょうか？物性研の助手は所員ではなく任期五年という内部規程があり、助教授への内部昇格も現在でも認められた例は無い様なので、それで共同利用研究所としても十分ではないでしょうか。勝手な事を書いてしまいましたが、一部外者の見当外れの意見として聞き流して頂ければ幸いです。

話は変りますが、物性研では大型計算機を快適に利用させてもらいました。バッチ処理の継続中は、夜間や日曜祝祭日も利用でき、また、物性研固有の便利なコマンドも種々用意されており、大変便利で使い易いシステムになっていると思います。また、使用料は格安で、例えば二十万円も計算料があれば少なく見積っても本郷で（スーパー・コンピューターが有効なプログラムは別として）百万円以上の計算が出来る事は利用されている方は御存じだと思います。しかし、計算料があまり安いせいか、数値計算の高速化にあまり注意を払っておられない方も時々見掛けました。例えば、意外に御存じ無い方が多い様ですが、数値積分に関しては名古屋大学が現在最も進んでおり、NUMPAC（名古屋大学の数値計算ライブラリー）のサブルーチンのAQNDやAQIOS等を使うと数倍の高速化になる場合がしばしば有ります。特に、振動の激しい関数については最近開発されたAQIOSにより一桁以上計算料が節約される事を請合います。やや細かい話になってしましましたが、計算機の話ついでに紹介しますが、もっと一般的で数値計算をされない方でも有用なものに、物理学関係のデータベ

ースを含んでいる九州大学のAIRシステムがあります。本郷と九大の両方に課題申請を出しておけば本郷経由で利用出来ます。京大にも有りますが、件数が少ないので九大をお勧めします。ただ、項目による検索だけでなく著者による検索もでき、他人の業績リストが簡単に作成出来ますので、あまり凝らないようにご利用ください。

何か余計な事ばかり書いてしまって、編集委員の方の意図とは掛け離れてしまい、おしかりを被りそうですが何か別の機会にもう少し気のきいた事を書くということでお許しください。

最後になってしましましたが、物性研滞在中は豊沢所長を初め、理論部門、極限レーザ部門、及び計算機室の方々には大変お世話になりました。また、何かにつけて便宜を計って頂いた事務部の方々にも厚くお札申し上げます。有難う御座いました。

## 内と外から見た物性研

東工大理 西 田 信 彦

物性研究所から、東工大理学部に移り、丁度一年になる。最初は、六本木にありながらも静かな物性研とは異なり、構内に人（学生）が大勢いるので趣きが全く違い目をまわしていたが、最近は慣れてきた。現在、物理学科で低温物理実験室をつくり、物性実験を始めようと準備に日を送っている。物性研の外で物性実験を始めてみると、物性研の各施設 ヘリウム液化室、機械工作、ガラス工作、ストックルーム等、長年の人々の努力の結果、研究活動が実に行ないやすく整備され、こんなに良い研究環境にいたのかと改めて痛感される。一年という期間は、研究活動中心の研究所から、教育活動中心の大学へという環境変化に慣れる過渡期で、落ちついて物事を考えるには短い気がするが、物性研から転出した助手は、物性研をユーザーとして見るという立場で「内と外から見た物性研」といった題で物性研だよりに何か書くことになっている。物性研究所で属していた部門は、物性研究所が極限物性を看板に推進している、いわゆる五つの柱なる計画中、最初にスタートした超低温物性部門であった。そこで、 $100\mu\text{K}$ 以下の温度領域の超低温開発及び物性実験を行なっていた。極限物性研究は、従来の一人で装置をあやつり、実験データーを取得するという物性実験の方式よりは、大型化している。そのような分野での実験装置の共同利用について、核断熱消磁冷却装置を例に感想を述べる。

超低温計画は、長期の検討の後、7年ほど前に本格的にスタートし、ほぼ予定通りに進行。二段核断熱消磁冷却器は、4年間ほどかかって建設され、世界記録  $27\mu\text{K}$  の低温を達成、 $100\mu\text{K}$ 以下の低温を定常的に生成するようになり、最初の物性実験として、大阪市大の信貴グループと共同で、hep 固体  $\text{He}^3$  の核磁性研究にまず使われ、現在、 $\text{He}^3 - \text{He}^4$  稀薄溶液の秩序相実現のために使用されている。

極限条件物性実験は、若干大型化したが、それでも、大型加速器を用いる素粒子実験のように、加速器の建設、維持のスタッフと、そのユーザーとしての物理実験グループと分かれねばならないほどは大きくない。また、極端条件下の物性実験は、極端条件下の物性がわかっていないので、その条件づくりつまりは装置運転自体が物性研究であるという性格を有し、素粒子実験、SOR 等のように装置運転と物理実験と単純にわけられない。大がかりでないといっても、超低温実験でいえば、例えば hep 固体  $\text{He}^3$  を  $100\mu\text{K}$ 以下の温度まで冷却し、帯磁率の温度依存性をとるのに、一つのデーターあたり三週間強、一連のデーターを取るには、一年以上の年月を要した。したがって実験を行うには、数人からなる（超低温実験は、多分4人位）グループで行う必要があり、年のオーダーの期間連續してそれにかかりきらねばならない。上記のことは、実験計画、準備期間を除いた話で、測定系が順調に働きデーター取得が、定常的に行なえる状況になった後、年のオーダーの時間が必要であるとい

うことである。ゆえに、装置利用の効率という面だけから考えると、人員4～5名からなるグループが、最低2グループあり異なる実験テーマを持ち、一方がデーター取得中に、他のグループは実験の準備を行なうという形で、一、二年交代で冷却器を使用するというのが最適である。もちろん、テーマが、金と労力をかけて大型装置を運転するに足るだけの重要な研究であることはもちろんあるが。物性研の人員という面から考えると、2グループを構成しうるほどの人数はいない。冷却器自身は、時間的余裕をもっていると考えられる。その場合、どのような共同利用が考えられるであろうか。

前述した、大阪市大信貴グループの場合は、核断熱消磁による低温実験を行なっており温度領域で300～400μK程度までの測定があり、その測定温度領域をさらに100μK以下までに拡張するというものであり、信貴研の助手が、月のオーダーで、何回か、物性研に常駐し、物性研スタッフと協力し実験が進められ、成功のうちに終了した。しかし、実験が一年以上の長期にわたると、本拠地での研究教育活動とのバランスをうまくとるという問題も生じるようである。このように、物性研スタッフのグループの一員として参加する以外に、実験のプロポーザルを行い、4～5人からなるグループが、物性研に1年ほど常駐して、装置の運転を含めて実験研究を行なう、その間に、物性研グループは、次の実験の準備を行うという形もありうる。高エネルギー加速器や、フォトンファクトリーを、実験グループを作つて利用するというのと似た形式である。この場合、国内留学とか出向とかいう形で、本拠地での仕事は、免除されるような形にならないといけないので、多くの問題がある。このように、超低温実験の場合は、実験が非常に長期にわたるので共同利用はなかなか難しいなという感じがする。

物性研の極端条件下の物性実験大型装置の共同利用の場合、形は異なるだろうが、超低温実験の非常に長期にわたる実験時間といったのに類した問題がきっとあるのではないか。何か、新しい形の研研所の共同利用の仕方があればと感じられる。

話が、研究所の共同利用という方向に進んでしまい、一般に共同利用については、以前から議論百出の問題で、結論めいたこともなく終る。物性研を外から見て、以前所属した超低温装置を共同利用しようとしたら、色々問題があるなと感じたことを書き連ねてみた。

## 物性研究所短期研究会報告

### 「表面物性の現状と将来」

司話人 村田好正, 市ノ川竹男, 井野正三  
金森順次郎, 田丸謙二, 八木克道  
吉森昭夫

我国における表面物性の研究は盛んになりつつあり、すぐれた内容の研究成果も多く出てきている。一方、表面物性研究は、世界的にみても、静的なものから動的なものへと質的転換をはかりながら大きく発展しようとしている段階である。また、表面を新物質作成の場としてとらえ、デザインした表面を作り、その構造、物性、反応性をしらべるという新しい芽も出はじめている。このような時期に物性理論、物性実験の研究者から触媒作用の基礎研究者までの幅広い層の人達が参加し、一緒に討論し、このような雰囲気から、すぐれた内容の研究を生みだすもとにしたく、この研究会を計画した。また物性研究所の表面物性の研究設備の建設もほぼ完了したので、この機会にそれらを紹介し、今後の共同研究のトリガーにする。テーマは絵花的ではなくかなりしづつたものになっている。

### プログラム

日 時 昭和60年10月25日(金)～10月26日(土)

場 所 東京大学物性研究所 旧棟1階議義室

10月25日(金) 9:00～17:00

座長 八木克道(東工大理)

はじめに

村田好正(物性研)

マイクロプローブRHEED法による結晶表面観察

市川昌和・土井隆久(日立中研)

走査型LEED顕微鏡

市ノ川竹男(早大理工)

座長 市川禎宏(東北大金研)

RHEED-AESによる表面の構造解析

一宮彪彦(名大工)

RHEED X線分光による表面研究

井野正三(東大理)

LEEDによる表面構造解析

河津 璞・坂間 弘(東大工)

座長 恩地 勝(京大理)

軟X線定在波法—表面・界面構造解析手段としての可能性

太田俊明(高エ研)・北島義

典・黒田晴雄(東大理)・高橋

敏男・菊田惺志(東大工)

核反応を用いた吸着水素の定量

藤本文範（東大教養）

表面プローブとしての陽電子

谷川庄一郎（筑波大物質）

電子線の偏極とその測定ならびにその応用

座長 西嶋光昭（京大理）

超薄膜の量子サイズ効果

早川和延・小池和幸（日立基研）

物性研 表面物性研究設備の紹介

岩崎 裕（阪大産研）

引き続き希望者は見学

10月 26日(土) 9:00～16:30

座長 菅野 晴（物性研）

表面1次元性金属の相転移

有賀哲也・田畠 健・村田好正

Si(111)7×7, Ge(111)2×8表面再配列構造——

高柳邦夫・谷城康真（東工大理）

dimer chain と adatom cluster

格子ガスモデルと相転移

金森順次郎（阪大理）

座長 興地斐男（阪大工）

昇温脱離の理論

吉森昭夫（阪大基礎工）

電子遷移を伴う動的過程

塙田 捷・島 信幸・常行真司

遷移金属と窒素との化学反応

座長 中村勝吾（物性研, 阪大産研）

極低温における表面研究

田丸謙二（東理大理）

界面2次元電子系の電気伝導における量子効果

川路紳治・若林淳一（学習院大理）

パネル討論会 「表面物性の将来」

川口洋一（学習院女子短大）

司会 佐川 敬（東北大理）

パネラー 潮田資勝（東北大通研）

菊田惺志（東大工）

田中虔一（物性研）

寺倉清之（物性研）

西川 治（東工大総合理工）

## はじめに

物性研 村田好正

研究会のテーマは大変一般性のあるものですが、内容はかなり片寄っています。初日は電子線をプローブとした実験が主ですが、我国で新しい芽が出かかっている表面評価法を取り上げました。2日目は表面新物質相に関する分野を主に取り上げています。もし現在我国で表面物性に関してすぐれた成果が上がっている研究を総括的に取り上げたならば、ずい分違ったプログラムになることをお断りします。

## マイクロプローブ RHEED 法による結晶表面観察

日立中研 市川 昌和、土井 隆久

細束電子ビームを使用する反射高速電子回折（マイクロプローブ RHEED）法の構成と特徴、及び結晶表面の観察結果について報告する。本方法では、試料上でビームを 20nm 程度に絞り、SEM 像で分析点を選ぶ。この分析点からの反射回折図形を螢光板上で観察して、この点の結晶性を評価する。さらに回折図形中の特定の回折スポットを信号とした SEM 像、すなわち暗視野像を得る。この像により、特定の結晶構造、方位を持つ 2 次元領域を知る。また一つの回折スポット強度の一部を信号とした暗視野像を得ることもできる。相反則から、この方法は入射電子ビームの回折条件を精密に設定することに相当し、表面の方位変化に対して極めて感度が高くなる。この方法によって、結晶表面上の単原子層ステップや転位を観察することができる。

本方法を使用して、Si(111) 清浄表面、Si(111)-Au、Si(111)-Al 表面を観察した。Si 表面上には、ある特定の方向にそろった単原子層ステップが多数存在していることが観察された。この表面上に金を蒸着したときこれらのステップに影響され、3種類の 5×1 構造のドメインの内、ある特定のドメインのみが選択的に成長することが観察された。Al の成長も単原子層ステップの影響を受けることが観察された。

本方法では、オージュ電子分光法により同一点を同時に元素分析できる。これは、結晶成長、表面拡散、析出、触媒活性等の表面現象を調べる上で、本方法が一つの有力な方法であることを示している。

## 走査型 LEED 顕微鏡

早大理工 市ノ川 竹男

超高真空の走査型電子顕微鏡を 100eV から数 keV の低エネルギーで操作し、LEED 図形と走査像を関係づける研究を行った。数百 Å の領域の任意の場所の顕微回折図形や、任意の回折斑点による暗視野像を撮影することができる。従って、表面のミクロな結晶構造、方位、欠陥に対する情報がえ

られる。入射プローブが  $100\text{\AA}$  程度のマイクロプローブになると、その電流は  $10^{-10}\text{A}$  以下になり、LEED 図形を直接スクリーンで観測できない。阻止電位グリッド、チャネルプレート、位置敏感検出器を組合せた検出系を用い、パルスで LEED 図形をオシロスコープ上に表示する。電子回路でウインドーをつくり、任意の回折斑点を選び、その信号で暗視野像をつくる。像の空間分解能は入射エネルギー  $1\text{keV}$  で  $100\text{\AA}$ 、 $250\text{eV}$  で  $500\text{\AA}$  である。入射角は高エネルギー電子回折と異り、殆んど表面に垂直で観測できるので、顕微回折やマイクロ・オージェ電子分光の空間分解能は数百  $\text{\AA}$  である。低エネルギーのため電子分光のエネルギー分解能も高い。

この装置の応用として、(1) Si 多結晶体の微小グレンの方位決定と方位の異なるグレンの暗視野像、(2) Si(111)-Au 上のアイランドの挙動とその組成、結晶状態、(3) Si(111)-Au の下地の超周期構造のドメイン、(4) 高温アニールした Si(111)  $7 \times 7$  表面のステップ構造の 2 次電子像と暗視野像の比較などの結果を報告した。この方法の今後の改良点および将来の展望などについてもふれた。

### RHEED-AES による表面の構造解析

名大工 一宮 彪彦

この方法は反射高速電子回折 (RHEED) とオージェ電子分光法 (AES) を組合せ、RHEED 電子によるオージェ電子強度の測定から表面構造解析を行う方法である。高速電子線が結晶表面にある特定な回折条件で入射すると表面波共鳴を起こす。この時、結晶中に入射した電子は表面に平行な原子列に沿って、高い電子密度で局在する。この高密度の電子流の中に原子が位置する時、オージェ電子信号強度が大きくなることが予想される。特に 2 種類以上の元素が表面原子層を構成している場合、原子位置と電子流との関係から、オージェ電子信号強度の入射方向依存性が異なってくる。したがって、オージェ強度の RHEED 条件依存性をしらべることにより、原子の相対的位置を決定出来ると考えられる。以上の考え方により、真空劈開した MgO(100) 表面および Si(111) $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$  Ag 表面について、この方法の有効性を検討した。MgO については、Mg(KLL), O(KLL), Mg(LVV) 信号強度の電子線入射方向依存性を測定し、RHEED 動力学的理論に基く電子流密度の計算と比較した結果、原子位置での電子流密度の入射方向依存性と非常によい一致を示した。これを基礎にして、Si(111) $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$  Ag 表面に対して、Si, Ag 原子位置の決定を試みている。この方法を精密化するとともに、RHEED 強度測定による構造解析を併用することにより、将来、表面研究の有力な方法となると考えられる。

### RHEED X 線分光 (-TRAXS) による表面研究

東大理 井野 正三

RHEED の観察中には表面より X 線が放射されるが、我々はこの放射 X 線について、電子線のエネ

ルギー依存性、視射角依存性、またX線の取出角依存性などの研究を行なった。その結果、X線の取出角 $\theta_t$ を変えると表面から放射されるX線の検出感度が著しく変化し、 $\theta_t$ がX線の全反射の角 $\theta_0$ に近いときに表面原子の検出感度が最も増大する現象を見出した。

例えばSi(111)表面にAgを1原子層( $1.2\text{ \AA}$ )吸着させた表面から放射されるX線のスペクトルをみると、 $\theta_t$ が約 $1.0^\circ$ 以上のときは下地のSiの特性X線 $K\alpha$ 線に比べてAgの特性X線 $L\alpha\beta$ は $1/20$ 程度(これでも普通のXMAに比べればはるかに大きい)であるが、 $\theta_t$ が $1.0^\circ$ より小さくなるとAg $L\alpha\beta$ のピークが急激に増大し、 $\theta_t \approx \theta_0$ のときは $SiK\alpha\beta$ に匹敵する程強く検出される。このように全反射現象を利用し最適の条件を選べば、表面元素分析法で最も感度が高いといわれているオージェ電子分光と同程度またはこれを凌ぐ程になることが明らかとなった。これは新しい表面元素分析法でありRHEED-TRAXS(Total Reflection Angle X-ray Spectroscopy)と名づけ特許も出題中である。このように表面元素の検出感度が高いということは、表面の元素分析以外にも、表面の原子構造の解析や電子構造の研究にも新しい道が開ける。我々はこの現象を利用した種々の新しい表面研究方法の開発を目的とした研究(特別推進研究)を開始した。

## LEEDによる表面構造解析

東大工 河津 章、坂間 弘

低速電子の回折強度の動力学的解析は、表面構造の決定手段としてきわめて有力である。

最近の計算機の発達により、取扱い可能な表面構造の範囲も拡大し、半導体表面に金属原子を吸着させたときに、しばしば出現する $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 構造についても充分な計算が可能となった。

本報告においては、主として、Si(111)表面上に $1/3$ 原子層のGaを吸着させたときに出る $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 構造に関するLEEDの動力学的解析結果について示す。

計算の対象とした構造は、Gaが(i)hollow site, (ii)valley site, (iii)Si原子の形成するクラスター(milk stool)上へ吸着した場合、および(iv)第1層のSi原子の $1/3$ をGa原子で置換した場合で、各々につき構造パラメーターを広く変化させて調べた。

計算の結果、Gaがvalley siteへ吸着したときに、実験値と計算値の一一致がきわめてよく、Si(111) $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -Gaの表面構造は、valley siteへGaが吸着したものと判定された。この構造の特徴は、Ga原子と第2層のSi原子が適当な距離を保つために、表面原子のかなり大きな変位がおこり、大きな歪が存在することである。この歪エネルギーは、Gaと4個のSi原子の結合によるエネルギー低下と打消しあい、全体として安定になっているものと思われる。

Si(111) $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -Alに対する我々の計算結果は、やはりvalley siteへの吸着の可能性の大きいことを示しており、この系に対するNorthrupのエネルギー計算の結果と一致している。

## 軟X線定在波法—表面・界面構造解析手段としての可能性

高工研 太田 俊明

東大理 北島 義典・黒田 晴雄

東大工 高橋 敏男・菊田 惇志

シンクロトロン放射を光源にした表面・界面の構造解析の手段として、X線定在波法は注目を集めている。これは、平行性の高い単色の硬X線を単結晶試料に入射し、Bragg条件下で試料を微少回転させ、定在波によって励起された原子からの蛍光X線、または、光電子収量を測定するものである。これに対して、我々は、軟X線領域においても定在波が観測されること、試料を微少回転させることなく、入射X線を掃引させる方法によって実験できることを見出した。その予備的な応用として、Si(111)の(7×7)超格子構造表面、及び、Si(111)-W系についてこの方法を用いた。実験は、PF-BL11Bの軟X線二結晶分光器を用い、InSb(111)を分光結晶とし、試料に対してビームを直入射の状態で、Bragg条件を満足させ、定在波のプロファイルを、SiKLL電子( $E_{kin} \sim 1570\text{eV}$ )と、SiLVVオーボン電子( $E_{kin} \sim 87\text{eV}$ )の2種類で測定した。前者は約 $25\text{\AA}$ の脱出深度で比較的バルクの構造を反映しているのに対し、後者は $5\text{\AA}$ の脱出深度であり、表面数層の構造を反映している。両者のプロファイルには顕著な違いがあり、表面層が少し縮んでいるものと推定される。Si(111)-W系でも、WのLMMオーボン電子からの定在波を併せて測定することにより、表面にシリサイドが形成され、W層とSi層はバルクのSi層から離れていることがわかった。

## 核反応を用いた吸着水素の定量

東大教養 藤 本文範

表面物理において、超高真空中残留ガスとして存在する水素は、触媒化学、半導体等の応用面で重要な問題となっており、又結晶表面構造の再配列を起こす最も基本的な吸着系としても興味ある対象になっている。しかし水素の吸着量の直接定量となると、その手段は極めて限られたものとなる。ここに紹介する $^1\text{H}$ ( $^{15}\text{N}, \alpha \gamma$ ) $^{12}\text{C}$ 共鳴核反応を利用した定量法は、実験室系で $6.385\text{MeV}$ の $^{15}\text{N}$ イオンがHと核反応を起こして放出する $4.43\text{MeV}$ の $\gamma$ 線を検出し、 $^{15}\text{N}$ イオン線量当たりの $\gamma$ 線収量から水素の量を求めるものであり、検出感度が高く共鳴エネルギー幅が狭い事、核反応が水素の化学結合状態に依らない事、及び吸着系を非破壊の状態で、検出器を真空槽外に置いて測定出来る点で結晶表面の吸着水素の定量法として優れた特徴を持つ。

実験を行なう為、我々は既に試料調整系、LEED、AES系、ガス導入系を備えた超高真空中槽を作成し、東京大学 5MVタンデム型静電加速器のビームポートに差動排気を介して接続してある。この核反応法を用いる事で、表面の被覆率に対する吸着確率の測定、又吸着脱離の平衡状態にある系において、温度変化に伴う水素量の変化の測定等が可能であり、その検出限界は0.1原子層程度である。

これ迄に予備実験として我々の行なったタンゲステンの多結晶フィルムの表面に吸着した水素量の測定結果からも、それが裏付けられている。

### 表面プローブとしての陽電子

筑波大物質 谷川 庄一郎

陽電子-固体表面相互作用の理解が、近年、急速に進展し、陽電子を利用した本格的な表面研究が開始されている。ここでは、新しい表面プローブとしての陽電子について、その個性と可能性を述べたい。表面プローブとしての陽電子の特徴としては、その表面過程の多彩さが第一に挙げられる。表面に入射した陽電子の一部は、弾性的に散乱され、LEPD (Low Energy Positron Diffraction) を起す。また、試料表面層での電子遷移、プラズモン励起などを引き起し、そのエネルギーの一部を失って戻ってくる陽電子のエネルギー分布は、PELS (Positron Energy Loss Spectroscopy) を与える。また、熱化の完了しない陽電子の一部は、基底状態のポジトロニウム (Ps)，励起状態のPs ( $Ps^*$ )，負のPsイオン ( $Ps^-$ ) 等の自由粒子として飛び出す。また、試料中で熱化され、十分に拡散できる陽電子の一部は、表面イメージポテンシャルの井戸中に束縛され、表面状態の陽電子となる。これは、表面ポテンシャルの2次元性を反映し、2次元のエネルギーバンドを形成する。表面や表面近傍に格子欠陥が存在すると、陽電子はこれにトラップされ、表面への拡散から離脱する。これらの相互作用は、LEPD, PELSでは、陽電子の検出により、それ以外の過程は、消滅 $\gamma$ 線の検出により、精度良く測定できる。電子やイオンによる表面解析法との比較において表面プローブとしての陽電子の個性と可能性については、講演に譲る。

### 電子線の偏極と測定ならびに応用

日立基礎研 早川 和延，小池 和幸

真空中に放出された電子のスピン偏極状態の測定法には、

- 1) 分析する電子のエネルギーを100 keV程度まで再加速して、高速のMott散乱を利用する方法、
- 2) 100 eV程度のエネルギー領域で重原子の蒸気(例 Hg)による散乱強度の非対称性を利用するか、またはタンゲステンの単結晶による回折強度の非対称性を利用する方法、
- 3) 100 eV程度のエネルギー領域で、Au薄膜への吸収電流値を利用する方法がある。

いずれの方法も分析する電子と標的原子との間のスピノー軌道相互作用を利用していている。

2), 3) の方法は電子を再加速する必要がなく、100 kVの高電圧上に信号測定用の電子回路を置く必要がないなど、1) に比べて利点が多い。しかし、パルス測定には適さないので、副次的な測定手段と考えられる。

われわれは1) の方式に走査型電子顕微鏡を組合せて、強磁性体の磁区を観察する方法を開発した。

強磁性体表面に 10keV 程度の電子線を照射した時に発生する 2 次電子を, Mott 検出器でスピニ分析する。偏極度の測定値  $(N_R - N_L) / (N_R + N_L)$  を CRT の輝度変調信号に使うと, 磁区像が得られる。

この方法の特徴は磁化の方向が測定できること, 輝度信号の性質から表面の幾何形状の効果を逃れることができる。現在の分解能は約  $2000\text{ \AA}^\circ$ 。

### 超薄膜の量子サイズ効果

阪大産研 岩崎 裕

基板の上に層状に成長した薄膜に電子を入射すると, 電子は, 膜の表面と膜と基板との界面の 2 面で反射される。薄膜の厚さが電子の波長程度の大きさだと, この二つの反射波が干渉により強め合ったり弱め合い, 電子の薄膜透過率は小さくなったり大きくなる。これは, 電子の吸収電流対入射エネルギー曲線(電子透過スペクトル)に振動構造として現れる。前方散乱と後方散乱しか起こらない, 0 ~ 20eV の低速電子を用いるので, 問題を 1 次元モデルで取り扱え, また, 可干渉性を乱す散乱に対する平均自由行程は長く,  $150\text{ \AA}^\circ$  程度の厚い膜に対しても, 表面だけではなく基板との界面まで通しての膜の性質を調べることが出来る。

ごく最近, 筆者ら(H. Iwasaki, B. T. Jonker, R. L. Park)は, Ni(001)上の Cu(001)膜の成長について研究し, 量子サイズ効果の構造が膜の層数に 1 対 1 に対応していることを実験的に示し, その結果を理論的に詳細に再現することにも成功した。この方法では, 多数の膜厚に対する結果を小数のパラメーターを用いてフィットするので解析の信頼性が非常に高い。まとめると, 次の様な超薄膜に関する情報が得られる。

- 1) 層状成長の層数(0 ~ 数十分子層)
- 2) 層間間隔(0.2%の精度)
- 3) 薄膜の成長様式 - 層状成長(濡れる)か  
島状成長(濡れない)か
- 4) 表面, 界面の急峻さなどの完全性
- 5) ホットエレクトロンの伝導特性や平均自由行程

### 表面一次元性金属の相転移

物性研 有賀 哲也, 田畠 健, 村田 好正

Si(001)  $2 \times 1$  表面に飽和吸着したアルカリ金属は, 下地の異方的な表面構造のため一次元原子鎖を形成する。EELSにより求めたプラズモンの分散関係は, このアルカリ金属原子鎖が擬一次元伝導性を有することを示している。

最近, 超高真空中, 10 ~ 1000K の範囲で温度制御可能な装置を作成し, LEEDにより Peierls

転移の観測を試みている。Si(001)–Csにおいては、 $T_C \sim 50\text{K}$ を境にIV曲線が変化するのが観察された。 $T < T_C$ でのIV曲線は、単なるDebye-Waller因子では説明できない不規則な変化をしており、何らかの構造変化が起きていると思われる。現在、動力学的理論に基く構造解析を進めている。

### **Si(111) 7×7, Ge(111) 2×8 再配列構造 —dimer chain と adatom cluster**

東工大理 高柳 邦夫, 谷城 康真

Si(111)表面の7×7再配列構造について、薄い試料を透過した電子線によって7×7表面の透過回折图形を得、その強度の解析から dimer, adatom, stacking fault から成るDASモデルを得た。透過回折では、表面層の下にあるバルク Si 結晶での電子線の動力学的效果はほぼ無視できるため、得られた回折強度を運動学的に解析することができる。この点が、動力学的效果を考慮しなければならないLEEDやRHEED法に比べて、TEDの利点である。最近、DASモデルを支持するSTM, X-ray, RBSの結果が報告されている。さて、DAS構造が安定である理由は、表面のdangling bondを減ずることであるが、これにはadatom cluster (DASモデルのadatomとそれに結合したstacking fault層内の三つの原子から成り、二つの向きをもつ)と共に、dimerが重要な役割をもつ。DAS構造はdimer chainが交叉してできる構造で、wallで区切られたdomainにはadatom クラスターが2×2に配置していると考えられる。この考えを一般化してdimer chainをつくるwallを考えると、三つの型がある。これらのwall配置からn×n(n:odd)と2×m(m:even)構造が求められる。2×8構造は直線的なwall Iと2倍周期でzig-zagしたwall IIIが交互に入った構造となる。dimer結合に伴うwallの歪みエネルギーは、Si(111) 7×7–Ge, Si(111) 5×5–Ge, Ge(111) 2×8, Si(111) 7×7 の安定性に重要な役割をもつ。

### **格子ガス模型と相転移—(7×7)etc—**

阪大理 金 森 順次郎

Si, Ge および関連した系の(111)表面の再構成を、高柳氏達が提唱されたDAS模型に基づいて議論し、以前の単純な3角格子模型に基づく議論に原子構造の詳細を取り入れる。その主旨は以下の3点である。1) DAS模型がある条件の下での合理的な原子配列であることを、整合欠陥(斯波氏の命名)の配列の一般的な考察と蜂の巣格子についての以前の解析から結論する。(7×7)のDAS模型のstacking fault層(第2層)の原子配列は、蜂の巣格子でのH系列と呼ばれる基底状態の一つであること、(2×8)について新しく提案する原子配列(高柳氏も同じ模型を考えられた)は同じくT系列に属すること、それらの出現の機構は、整合欠陥が単純には平行に並べないためであることを示

した。2) DAS 模型が以前の解析で導入した仮定やその際見出された難点について合理的な説明を与えることを結論した。3 角格子上の格子ガス模型では近距離の粒子間相互作用だけでは(7×7)を安定化しないという難点が、DAS 模型では(2×8)での整合欠陥のエネルギーが(7×7)の場合よりも高いことから解決される。3 体相互作用の必然性も説明される。3) Ge での(2×8) 状態が floating phase に転移する可能性と一般に高温の(1×1)の状態では adatoms の無秩序のため整合欠陥のエネルギーが相対的に高くなりその数が減少する可能性を考察した。関連する電子線散漫散乱の実験にも言及した。

### 昇温脱離の理論

阪大基礎工 吉森 昭夫, 竹内 淳, 渡辺 佳英

昇温脱離に対する吸着原子・分子(簡単に吸着子と呼ぶ)間の相互作用の効果はかなり古くから議論されているが、最も基本的な出発点は Cordoba と Luque が議論した全系に対するマスター方程式である。(彼らは heterogeneous な場合に興味があり、平均場近似を用いているに過ぎない)。j 番目の吸着席の占有数を  $n(j)$  で定義する ( $n(j)=1, 0$ )。全系の吸着席のある状態( $n(j)$  のセット { $n(j)$ }) が指定されて定まる) が時間  $t$  に起こる確率を  $p(\{n(j)\}; t)$  で表わすと、マスター方程式はその時間変化を記述し、一般に昇温脱離の素過程による変化と吸着席間の拡散の素過程による変化による項からなる。もし通常用いられる程度の昇温速度であれば拡散の過程の方が脱離の過程よりも遙かに早く起こり、吸着表面系は熱平衡状態にあると考えることができる。その時には被覆度  $\theta$  ( $\theta = \sum n(j)p(\{n(j)\}; t)$  (和は総ての  $n(j)$  のセットについてとる)) の時間変化は一般にある与えられた被覆度での吸着席のクラスターの吸着子配列の確率と単位時間当たりの脱離確率の積で表わされる。1 次元吸着系では厳密な積分結果が得られるが、2 次元系ではその配列の確率に対して近似計算を用いねばならぬ。1 次元系に対して興味ある結果が得られている。

### 電子遷移を伴う動的過程

東大理 塚田 捷, 島 信幸, 常行 真司

(1) 低速イオン散乱における中性化希ガスイオンの再イオン化と、(2) アルカリ吸着層の絶縁体-金属転移について、最近の理論研究をもとに考察する。(1)については、希ガス原子と標的原子との組み合せによって、再イオン化が起る場合と起らない場合があることが、最近、青野・左右田らによって発見された。我々はそのメカニズムを明らかにするために、いろいろな標的原子-希ガス系の電子状態を ab-initio CI 法によって計算し、衝突域におけるポテンシャル面の交叉の詳細を研究した。顕著な交叉が起るためには、核間距離の減少とともに、希ガスの HOMO 単位が、標的原子の内殻軌道との反結合相互作用によって、急激に押し上げられることが必要であることを明らかにした。このことか

ら、周期律表上での再イオン化過程の出現分布を充分によく説明することができる。

(2)については、村田・有賀らは Cu(100)-K吸着面では、 $\theta = 0.17 \sim 0.28$  の領域で LEED パターンが halo を示し、2次元液体-気体の共存域になることを発見していた。我々は吸着層のバンドへの電子の流入と、吸着子間の双極子-双極子相互作用を含めた現象論的な模型から、この系の自由エネルギーを計算し、実際に、この  $\theta$  領域でカリウム吸着層が、上記の1次相転移をすることを示した。この相転移は、構造相転移と金属-絶縁体転移とが、同時に起るものである。

### 遷移金属と窒素との化学反応

東理大理 田 丸 謙 二

白金はアンモニアの分解にはよい触媒になるが、N<sub>2</sub>を化学吸着しないのでアンモニアの合成はしないということになっている。

アンモニアの分解反応を各種遷移金属の上で進めるとその反応速度(V)は次のように表わされる。

$$1) \quad V = k (\text{P}_{\text{NH}_3}^2 / \text{P}_{\text{H}_2}^3)^{\alpha} \quad \text{Temkin-Pyzhev の式}$$

$$2) \quad V = k' \frac{\text{P}_{\text{NH}_3}}{1 + b \text{P}_{\text{NH}_3}}$$

1) 式は多くの遷移金属(Ruのstep-siteも含む)の上で認められ、2)式はタンクスデン、モリブデン、ルテニウムのterraceなどで観測される。

白金の場合は高温で2)式、低温で1)式になっている。これらの挙動を統一的に説明する新しい理論を提唱し、速度的挙動を説明すると共に白金の上の窒素分子の挙動を、アンモニア分解の挙動から求められることが判明した。それによると N<sub>2</sub> の白金上の吸着熱は小さく、吸着の活性化エネルギーは高いことが定量的に求められた。これが、これまで N<sub>2</sub> が白金上に化学吸着することがなかった原因と見做された。

### 極低温における表面研究

\*物性研、阪大理 村田 好正、\*菅 宏

金属単結晶表面への化学吸着の吸着熱は結晶面、吸着量依存性がある。しかし吸着等温線を用いた平衡系の間接的な測定を除いて単結晶表面での吸着熱の測定は行われていない。吸着熱は吸着過程を考えるうえで基本的な物理量であり、理論と対比しうる吸着熱の測定が望まれる。

極低温(～1 K)に金属単結晶を冷却すると、格子比熱が T<sup>3</sup> に比例して小さくなることから、また  $\Delta T/T$  の分母が減少することから、わずかな吸着量変化に対しても精度よく吸着熱が測定できる可能性が高い。1 cm<sup>2</sup> × 0.1 cm の Ni 単結晶上への水素の初期吸着を考えると、吸着量が単原子層飽和吸着量の 0.1% の量だけ増加すると、1 K では 0.1 K の温度上昇になる。超音速ノズルビームを用いたバル

ス分子線で、小さな窓から吸着分子を結晶に当てるにより実験は可能になる。この測定に附隨して熱的非平衡状態での表面現象の研究も可能になる。

## 半導体界面 2 次元原子系の電気伝導における量子効果

学習院大理, \* 学習院女子短大 川路紳治, 若林淳一, \* 川口洋一

シリコンMOS 界面反転層, GaAs / Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As ヘテロ接合界面反転層などに形成される 2 次元電子系の特徴は、電気伝導に現れる量子力学的效果によって示される。こゝでいう量子力学的效果とは、1 体問題としては電子波動関数のコヒーレンスにもとづく現象であり、多体問題としてはパウリ原理にもとづく現象である。

伝導電子波動関数の散乱後の干渉効果は弱局在状態を生じ、外部磁場により干渉状態が破られることがから負の磁気抵抗効果が現れる。負磁気抵抗の解析から、伝導電子の非弾性散乱時間をしらべることが可能となった。

強磁場下の 2 次元電子系のホール伝導率は、 $\sigma_{xy} = -\nu e^2/h$  に量子化される。量子数  $\nu$  が整数で与えられる整数量子ホール効果は、1 体問題における波動関数の位相のコヒーレンスにより解釈される。 $\nu = p/q$  ( $p$ : 整数,  $q$ : 奇整数) で示される分数量子ホール効果は、電子・電子クーロン相互作用が電子・不純物相互作用に比べて大きな系で観測され、 $q$  が奇整数であることは多電子系波動関数がパウリ原理をみたすことに原因がある。

これらの現象の研究によって、伝導電子系における量子力学的效果の探求を進めたい。

## 物性研究所短期研究会報告

### 「固体の流動と微細構造の形成 — 結晶から地球へ — 」

世話人 唐戸俊一郎, 鳥海 光弘, 竹内 伸  
秋本 俊一

本研究会では固体の塑性流動とそれに伴なう微細構造の形成が様々な物質で、様々な空間・時間スケールで議論された。参加した人々の専門分野も金属物理、セラミックス材料科学、氷物理、地球科学と多岐にわたっている。講演の内容は、1. 塑性変形・拡散のメカニズム 2. 流動に伴なう微細構造形成の物理 3. 自然界での固体の流動、に分類できる。

まず1には、転位スペリによるクリープの現象論（及川）、転位と溶質原子・点欠陥の相互作用（吉永、北村、岡村、唐戸）、拡散のメカニズム（安藤、森岡）、再結晶（酒井）などが含まれる。転位と溶質原子の相互作用の多様性について吉永が論じ、鉱物中でのCottrell霧囲気の発見を北村が報告した。多田は応力下で固体が液に溶解することによる物質輸送のメカニズムを論じた。酒井は金属における再結晶メカニズムを論じたが、鉱物の場合との違いは印象的である。

2に属するものとして、まず石田が結晶粒界の移動メカニズムを原子的スケールで論じた。松尾は結晶内スペリや再結晶による金属中の結晶方位の選択配向について論じた。藤村と増田は塑性流動、再結晶による結晶方位選択配向を、それぞれマントル鉱物、石英の場合について述べた。嶋本は塑性不安定現象と変形組織との関連を論じ、地球深部での地震の発生機構にもふれた。

3には氷河や地殻、マントルの流動に関する話題が含まれる。若浜と前・東は氷河の流動についてのべた。前・東は高圧下での氷の変形実験結果を報告し、氷床の流動メカニズムを論じた。高木、越谷、小坂、具足島、鳥海、石井、滝沢らは地殻内部での塑性変形のメカニズムと変形の歴史を岩石の微細構造の解析からひもとく試みを述べた。松本・鳥海は同様な試みを上部マントルについて行なった。物質科学的手法が地球科学に導入され、地球深部の変形のようすが明らかにされつつあるのは注目すべきことである。

本研究会を通して異なった分野の研究者の間で率直な意見の交換が行なわれ、和やかななかにも熱気のある集まりとなった。会の準備をお手伝いいただいた物性研の方々に厚く感謝いたします。

（世話人代表 東大海洋研、唐戸俊一郎）

### プログラム

日 時 昭和60年11月5日(火)～11月6日(水)

場 所 東京大学物性研究所旧棟1階講議室

11月5日(火) 9:30～17:00

固溶体合金の高温変形	吉永日出男（九大大学院総合理工）
かんらん石中のCottrell霧囲気	北村 雅夫（京大理）
酸化物中の酸素の拡散	安藤 健（九大工）
かんらん石中の陽イオン拡散	森岡 正名（東大 RI センター）
結晶粒界のmobility	石田 洋一（東大生産研）
金属と岩石の集合組織	松尾 宗次（新日鉄第一研）
shear zone の形成 – mylonite の微細構造 –	高木 秀雄（早大教育）
マントル鉱物の選択配向	藤村 彰夫（名大理）
雪氷の流動	若浜 五郎（北大低温研）
氷床の流動	前 晋爾・東 信彦（北大工）
pressure solution について	多田 隆治（東大理）
shear zone の strain partition と mylonite の組織	越谷 信（東北大理）

11月6日(水) 9:30 ~ 17:00

酸化物の高温変形	岡本 泰則（京都工織大）
長時間クリープ曲線の推定	及川 洪（東北大工）
石英の塑性変形	増田 俊明（静大理）
かんらん石の塑性変形、拡散、結晶粒成長 – 水の効果 –	唐戸俊一郎（東大洋洋研）
岩塩のせん断変形組織 – 塑性不安定現象との関連において –	嶋本 利彦（広大理）
岩石の流動変形過程における微少破断形成の意義 – 大陸性地殻内変形の特徴 –	小坂 和夫（日大文理）
広域变成岩の有限歪解析	具足島良英（筑波大地球）
広域变成（流動）岩の微細構造	鳥海 光弘（東大理）
広域变成岩の大規模流動と TEM survey	滝沢 茂（筑波大地球）
金属の動的再結晶	酒井 拓（電通大）
応力下の再結晶 – スレートへき開とその組織 –	石井 和彦（東北大理）
上部マントルの流動 – かんらん石の転位構造と組織 –	松本 和彦（愛媛大理）
	鳥海 光弘（東大理）

## 固溶体合金の高温変形

九大総理工 吉 永 日出男

固溶硬化の大きい合金の高温変形挙動は純金属と著しく異なる。Al-Mg合金がよく研究されているが、MgはAlより原子半径が約10%異なるので、サイズ効果による転位との相互作用が大きく、また、積層欠陥エネルギーが大きいために転位の拡張を考えなくてもよいという取扱上の利点もあるからである。この合金の単結晶の臨界剪断応力の温度依存性は低温域、中温域、高温域の三つの温度域で異なるが、いずれの温度域においても固溶体硬化が大きい。中温域ではPortevin-LeChatelet効果が現れ、高温域では高温降伏現象と名付けられた加工軟化現象が現れる。

高温域でのひずみ速度急変試験、焼なましによる降伏応力の復旧過程などから、加工軟化現象は転位密度の増加によって起こることが明らかである。このことはまた、運動転位の溶質引きずり抵抗が大きいことを示している。

理論的に検討すると、溶質原子の拡散速度と転位の運動速度との相対的大さによって、低温域、中温域、高温域の特徴が導かれる。また、ひずみ速度を速くすることは温度を低くすることに相当し、遅くすることは温度を高くすることに相当することも導かれる。

最近の及川等の定常クリープ速度と応力の関係を求めた結果は、大略は以上の考え方で理解できるが、詳細な点に関してはまだ問題点が残されている。また、溶質雰囲気以外の抵抗である内部応力の起源についても未だ結着していない。

## かんらん石中のCottrell雰囲気

京大理 北 村 雅 夫

固溶体結晶中では転位のまわりに溶質原子が濃集する(Cottrell雰囲気)。刃状転位では静水圧変化による濃集(寸法効果)が、らせん転位では剪断応力による濃集(剛性率効果)が生じる。このCottrell雰囲気は理論的、あるいは変形条件の固溶体組成依存性などから研究されているが、どの物質についても直接的に分析されていないものであった。

最近、私共の研究室で、100nmスケールで化学分析が行なえる分析電子顕微鏡を用いてCottrell雰囲気の分析に成功した。研究に用いた物質は、主要マントル構成鉱物のかんらん石 $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$ である。天然・合成かんらん石のいずれにおいても、刃状転位の周囲に溶質原子の濃集が認められた。しかし、剛性率効果によるらせん転位への濃集は認められなかった。

かんらん石のCottrell雰囲気の存在から、従来考えられていたマントルなどでの変形条件などをこの雰囲気の効果を入れて再考しなければならないことになる。さらに変形体の鉱物組成に転位密度が影響すると考えられる。

## 酸化物中の酸素の拡散

九大工、(協)大学院総合理工 安藤 健

酸化物中の原子の拡散については、金属と比較して不明な点が数多く残されている。その第一の原因是、拡散に与かる点欠陥の濃度が一般の酸化物において極めて低いことである。第二は酸化物イオンについて特にそうであるが、拡散係数の測定方法が困難であることである。

MgOやAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>などの酸化物の格子欠陥はショットキー型で、その生成エネルギーは高く、熱的に生成される点欠陥濃度は低い。そのため他の原因からなる欠陥、すなわち不純物、粒界、転位、雰囲気の影響が支配的となりやすい。MgOにおいて、Mgイオンの拡散係数は固溶している高原子価不純物の影響を受けている。これに対して酸化物イオンの拡散係数は粒界、転位の影響を受けやすい。単結晶を用い、注意深く表面仕上げを行ったMgO中の酸化物イオンの自己拡散係数は、熱履歴、純度の影響を受けないことが明らかとなった。このことは、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>についても同じであり、これらの系において酸化物イオンの自己拡散係数は不純物鈍感(*impurity insensitive*)であることを示した。

不純物鈍感であることをFe<sup>3+</sup>を固溶したMgO単結晶を用いて示した。すなわち導入されたMgイオンの空孔は酸化物イオンの拡散に何ら影響を与えなかった。これらの結果を説明する一つの機構として、酸化物イオンの拡散は空孔対機構、すなわちMgイオン空孔と酸化物イオン空孔の会合体を介して起っているとする考えを紹介した。

## かんらん石中の陽イオン拡散

東大RIセンター 森岡正名

天然で見出される造岩鉱物の多くはイオン結晶とみなす事が出来る。この造岩鉱物が平衡下でマグマより晶出する際の元素イオンの挙動は、晶出する結晶の構造で決る配位数に従って変化する特定の大きさを持った球体の充填として取扱う事が出来る。又、結晶化後、結晶格子内に固定されたイオンも周囲の温度、圧力、化学組成等の変化に伴い新たな平衡状態へと拡散により移動する事が知られている。しかしながら充填された球体イオンの拡散しやすさとその大きさとの関係は未だ明確ではない。本研究ではこの関係を実験的に明らかにする為、異なる大きさを持ついくつかの陽イオンの拡散速度がかんらん石構造を持つ溶媒の中でどの様に異なるかをMg及びMn-かんらん石について測定した。結果二価陽イオンの同一溶媒中の拡散速度の相対的な関係は溶媒にかかわりなく70pm位の大きさを持つNi, Mgイオンで極少を示し、イオンが大きくなるに従って増加し、Feイオンで最大になり更にイオンが大きくなると減少すると云うものであった。これ等の結果は、かんらん石構造では溶媒にかかわりなく拡散球体の大きさの差に伴う二つの効果を組合せる事により説明する事が出来た。一つは、かんらん石中の二価陽イオンに適した席の大きさが70pm(Ni, Mg)でありこれより大きな(小さ

な) イオンが置換すると格子をゆがめ欠陥密度が増加し拡散しやすくなる。他は、更に大きなイオン (Mn, Ca, …) は格子との立体障害の為欠陥密度の増加にもかかわらず減少すると云うものである。

### 結晶粒界のモビリティ

東大生産研 石 田 洋 一

結晶粒界の原子構造は粒界の厚さという概念で整理すると 3 種類の可能性がある。第 1 は厚い構造で結晶粒界に沿って非晶質な原子層のある場合、第 2 は薄い構造で配列こそ結晶内部のそれと異ってはいるが、個々の原子の居るべき位置が決っている場合、第 3 は厚さゼロの構造で界面には線状の格子欠陥の網目があるにすぎない場合である。最近の高分解能電子顕微鏡観察は結晶粒界が、そのいずれでもありうること。金属、半導体、セラミックスと材料によって決るのではなく、結晶粒界の化学組成と、どのようにしてこれが生成したかによることを示した。結晶粒界の移動度は、原子構造のちがいに強く影響される。とくに第 2 のタイプの規則粒界は応力下で特定の割合で粒界すべりと移動とをもたらす。粒界拡散を含めて相互に活性化する機構を含んでいるため、どれかひとつが活性化されると、その他の性質も活性化される傾向をもつ。この効果はかなり著しいもので、粒界のモビリティが数ヶタ上昇するという結果になる。地下深くで行なわれている変成岩の流動の際には粒界の移動は著しく加速されるものと予想される。

### 金属と岩石の集合組織

新日本製鉄・第一技術研究所 松 尾 宗 次

工業材料や岩石を構成する結晶は成長や塑性変形に異方性があり、外力や熱の作用に対して結晶方位分布の統計的偏りが生じて、優先方位(選択配向)をもった集合組織ができる。したがって集合組織を解析すると、たとえば岩石の変形作用のように過去に加えられた外力の状態、温度履歴およびその時の塑性変形挙動、結晶成長の様子を推定できる。このように集合組織には履歴書としての使い方がある。

一方集合組織の発達した材料では、その異方性を活用することにより、機能・性能の向上を実現でき、単結晶のような極限材料にせまる特性が得られる。とくに鉄鋼材料では集合組織制御による材料開発が進み、自動車用深絞り用薄鋼板や高磁束密度一方向性電磁鋼板など優れた製品が実用化されている。これは凝固、相変態、塑性変形、一次・二次再結晶の際の優先方位形成に関する解明が進み、その制御が可能となってきたためである。

また最近、集合組織解析法が進歩し、優先方位の定量的情報が得られるようになってきている。そのため集合組織形成機構の理解が深まり、それにともない塑性変形、相変態、再結晶挙動に関してもより精密な解析が進められている。

## Shear zone の形成—mylonite の微細構造—

早大教育 高木秀雄

筆者は、天然の岩石の変形に関する研究の対象として、長野県高遠地域及び三重県粥見地域の中央構造線沿いに分布する mylonite を取り扱って来た。mylonite の原岩は片麻状トーナル岩で、大局的には中央構造線に近づくにつれ各鉱物の細粒化が進んでいる。mylonite 化(細粒化)の程度を判断する上で最も sensitive な鉱物は石英であり、両地域とも、中央構造線より 1500 m 付近より石英の細粒化(多結晶化)が始まり、800 m 以内では 0.1 mm 以下にまで減少している。

一般に、天然では mylonite の形成後に応力が開放された後でも、高温の状態が持続し、多少なりとも annealing を受けた可能性が高い。また、粒界に存在する不純物による結晶成長抑制も無視できないので、単純に再結晶石英の粒径から flow stress を見積もるのは危険である。しかしながら、粒径の地域的な変化をおさえることによって、剪断帯(即ち断層の地下深部形態)の姿勢を明確にすることができる。例えば粥見地域では、中央構造線沿いの他に、その北方 3 ~ 5 km 離れた所に、雁行状に配列したもう一つの剪断帯が存在する。

mylonite 形成時の塑性流動は、結晶内の転位の移動と、粒界拡散現象の両者が影響を及ぼし合っている。石英の動的再結晶作用は前者の例であり、pressure shadow や基質部の細粒鉱物集合組織( $Qz + Pl + Kf + Bt$ )の形成は後者の例であると考えられる。また、ミルメカイト化も mylonite の組織の形成に重要な役割を演じている。

## マントル鉱物の選択配向

名大理 藤村彰夫

上部マントルを構成する主要な鉱物( $\alpha-(Mg,Fe)_2SiO_4$  とその  $\beta$  相と  $\gamma$  相)は著しく異方的である為に、地球深部ではその場の応力分布を反映した結晶格子選択配向を持ち、その選択配向は地震波の速度異方性として観測可能な量であると期待できる。従って、(1) これら鉱物の選択配向と応力の関係と、(2) 観測された速度異方性のデータは、地球のテクトニクスを解明するために必要な最も重要な基礎的情報である。しかし、高压相鉱物の(1)についての研究は極めて少ない。

$\alpha$  相の応力場での再結晶では、結晶軸  $b$  が最大主応力軸方向に配向する事が従来の変形実験による研究等から知られている。そして、液相と共に存する固体の  $\alpha$  相では、結晶軸  $b$  が液-固境界面に垂直に配向する事が知られていたが、最近結晶軸  $a$  が液-固境界面に配向するタイプの選択配向が存在する事が超高压実験(7 GPa, 2200°C)の結果、明らかになった。これら 2 つの選択配向タイプについての詳細は、将来の研究課題である。 $\beta$  相については、超高压装置と工夫をこらした圧力セルを用いて、応力下で  $Mn_2GeO_4$  の再結晶実験がなされている。それより、圧縮と引っ張りで異なる選択配向が存在するという予備的結果が得られている。 $\gamma$  相は、マントルの条件下で結晶軸  $a$  を圧縮軸と引っ

張り軸に平行に配向するタイプの選択配向（ $\gamma$ 相は立方晶系）を持つと、アノログ物質を用いた変形実験より、推論されている。

### 雪氷の流動—特に氷河サージについて—

北大低温研 若 浜 五 郎

氷は典型的な粘弹性物質にあげられる。これは、氷がその結晶底面で辺りを起し易いことに加え、自然界の氷（雪）がその融点  $0^{\circ}\text{C}$  ないしその直下の温度にあるために粘性的性質を強く示すのである（融点を基準にすると  $-10^{\circ}\text{C}$  は  $263/273 \approx 0.9634$ ）。積雪や氷河はその好例で、重力のもとに水あめのようにゆっくり流れる。但し氷はニュートン粘性体ではなく、 $\dot{\epsilon} = k\sigma^n$  なる流動則に従って流れる（ $\dot{\epsilon}$ ；歪速度、 $\sigma$ ；応力、 $n \approx 3$ ）。氷河の流速は、地形、氷河の規模、温度等により、また、氷河の各部でも異なるが、年に  $50 \sim 200 \text{ m}$  の程度である。

ところが、氷河が突然、半年に数 km も流動・前進することがある。これが氷河サージである。數十年間、末端が後退し不活発な氷河が、ある日突如として活動を開始する。上流部の表面が数十 m 沈下し、逆に下流部は数十 m も隆起し、同時に到る所に割目が走り、遂には氷河全体が崩壊状態になる。末端は 1 日に数十 m、半年～1 年に数 km～10 km も前進してしまう。

サージは数十年の周期で起るのが特徴である。例えばアラスカの Variegated 氷河は約 20 年の周期で起る。サージの起因は未だ不明な点が多いが、氷河底面の水の量と分布が最も重要な因子と考えられている。そこで、次回のサージが 1984 年と予測されていた同氷河では 1970 年代以来 ワシントン大学等によってサージ前の氷河状態が詳しく調べられ、また、ボーリング孔内の水位変動が測定されてきた。1984 年に予想通りサージが起り、それが氷河の底の水の挙動と密接な関係のあることが立証された。サージは底なだれ、山くずれ、土石流、地震などとの類似性、共通性が多い点でも興味深い。

### 氷床の流動—氷床流動の観測と高圧下の実験—

北大工 前 晋爾・東 信彦

南極氷床は基盤の上に平均二千米の厚さの氷がのっており氷は自重によって内陸部から沿岸部へ流動している。この南極大陸は南極横断山脈によって西南極と東南極に分けられるが、西南極は基盤が海面下にあり不安定であるのに対して、東南極は基盤高度は平均海拔千米と高く氷床が安定に存在していると考えられてきた。ところが最近、日本南極観測隊による氷床流動の観測によって、東南極の白瀬氷河流域の氷床が急速に動きつつあることがしだいに明らかとなって来た。この原因として、氷床深部の岩盤付近では高温高圧のために氷が圧力融解を起こし、それによって岩盤との間で底面すべりを起こしていることがいくつかの観測事実から予想されるが、たとえ完全に圧力融解を起こしていないに

しても高温高圧下の融点付近の氷の塑性を明らかにすることは極めて重要な問題である。このような目的で我々は高圧タンク内で単結晶氷、人工多結晶氷、氷床深部コアーア氷を試料として一軸圧縮を行い、それぞれの塑性に対する静水圧の効果を調べて来た。その結果、氷単結晶では静水圧が高くなるほど硬化するのに対して人工多結晶では静水圧が高くなるほど軟化することが明らかとなった。またコアーア氷の実験では高温高圧下では再結晶によって集合組織が変形しやすい単極大型から変形しにくいダイヤモンド型に変化するために、コアーア氷が硬化することが明らかとなった。今後高圧融点直下での氷の塑性を調べる予定である。

### Halite を用いた pressure solution の実験

東大理地質 多田 隆治

堆積物の統成過程で起こる Pressure Solution (PS) の機構を調べる為 halite の単結晶を用いた PS 実験を行なった。halite に飽和した水溶液で満たされ 50 °C に保たれ密閉された容器中に、(100) 面を良く磨いた halite の単結晶を置き、刃巾 0.26mm の石英ナイフを垂直にあてて 4.5 ~ 15 MPa で加圧した。実験後、PS による溝が形成されたが、それは、両わきにある subgroove と中央の ridge からなった。溝が深くなる速さは初期の応力によらず 3 μm / day 前後だった。興味深いのは、実際にナイフを支える ridge の巾が初期応力により変化し、ridge での実際の応力が常に 18 MPa になるように制御されている点である。PS contact を詳しく観察した結果、次のような結論が得られた。

- 1) PS は、粒子同士の接面で起こる塑性変形と接面の縁で生じる自由面溶解（弾性歪み、転位による自由エネルギー上昇による）の複合機構である。
- 2) 粒子の縁で起こる自由面溶解により接面面積が減少し、それにより接面応力が上昇してついには ridge 部での塑性変形を引き起す。
- 3) 塑性変形によって横に押し出された物質は、細粒化による表面エネルギーの増加や転位エネルギーの増加により急速に溶解する。

この機構は、従来一般に考えられていた、粒子表面の水薄膜を媒体とする粒界拡散クリープ型の機構とは大きく異なる。この機構は、恐らく比較的孔隙率の高い堆積岩における圧密機構として重要であろう。

### Shear zone の strain partition と mylonite の組織

東北大理 越谷 信

マイロナイト中の石英の変形メカニズムと歪量・変形条件（温度・歪速度）について若干検討した。試料は阿武隈山地東縁の畠川破碎帶の花崗岩を原岩とするマイロナイトを対象とした。

このマイロナイトの石英粒子の c 軸 fabric を測定したところ, type I crossed-girdle パターンと type II crossed-girdle パターンに大別される。type I のパターンを示すものの試料は個々の石英粒子の aspect ratio は大きく, type II のパターンを示すものの試料は aspect ratio が小さい。さらに, 粒界の形態や波状消光の特徴を比べると, type I のパターンの試料は Masuda & Fujimura (1981) の S-type に, type II のパターンの試料は P-type に対比される。このことは type I のパターンが低温高歪速度条件下で形成され, type II のパターンが高温低歪速度条件下で形成されるといわれていることによく符合する。

さらに, これらの試料の示す c 軸 fabric や組織と石英の集合体の aspect ratio や個々の石英粒子の粒径との関係をみると, 同じ温度歪条件下では集合体の aspect ratio が大きいほど粒径は減少する。一方, 集合体の aspect ratio が同じなら, より高温低歪速度で粒径が減少する。石英の集合体の aspect ratio と個々の石英粒子の粒径がそれぞれ歪量, 再結晶度の指標であるとすれば, 石英粒子の再結晶化は歪量が大きくなるほど, または, より高温低歪速度になるほど進行するといえる。

### 酸化物の高温変形—フェライトの場合—

京工織大 岡本 泰則

工業的に重要なスピネルフェライト ( $Mn-Zn$  フェライト)を中心には、 $1000 \sim 1400^{\circ}\text{C}$ , 比較的低応力下での変形挙動を紹介した。曲げ変形試験で拡散クリーブ域と power-law クリーブ域が観測され, 前者から酸素粒界拡散, 後者から酸素格子拡散に関する情報が得られる。一般の酸化物では, 格子中で遅い拡散種酸素は粒界で速く拡散するため小粒径多結晶において陽イオンの粒界拡散が変形を律速する。粒径や温度の増大に伴ない陽イオン格子, 酸素粒界, 酸素格子と律速過程が変化するが, フェライトでもこの傾向が見られる。六方晶 Ba フェライト (マグネットラムバイト型)では C 面すべりが関与し, 機構は单一でなくなる (一軸圧縮変形の流動応力は小さく, 圧縮軸に垂直に C 面配向する傾向がある)。不純物の効果の一例として  $Mn-Zn$  フェライトに  $\text{CaO}$  を添加 (0.056 wt %) した系では酸素格子拡散が促進し, クリーブ速度が増す (~20 倍)。 $Mn-Zn$  フェライトの単結晶でも曲げ変形で, 大粒子の多結晶同様 power law クリーブ ( $n=3$ ) が見られ, 得られた酸素格子拡散係数も多結晶とよく一致する。圧縮変形では, 降伏応力, 流動応力 (定常域) が得られ, エッチ・ピット法で転位の観察も可能である。容易すべり系は  $\{110\} <110>$  で, 定比組成の  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  の  $\{111\} <110>$  と異なる。スピネル構造は融点や剛性率からの予想に比べて降伏応力は高く, 特に多結晶では導入転位はすべりで抜け難く, (粒界破壊を生じない応力下では) 上昇によって抜ける。

## 長時間クリープ曲線の推定

東北大工 及 川 洪

金属材料の耐クリープ性は通常つぎの2通りの手法で評価されている。すなわち、使用者は破断時間を中心として材料を評価し、基礎研究を行う者は定常クリープ速度に注目して種々の議論を行なっている。しかし、これらの評価法は材料の耐クリープ性の一面のみに注目しているものである。材料の高温変形挙動の全体像について検討するためには、まず第一にクリープ曲線そのものが記述でき、その結果から長時間の挙動を推定することが望まれる。

最近クリープ曲線を加工硬化成分と変形弱化成分の単純な和として、4箇のパラメータを用いて表示する手法が提案されている。Evans-Wilshire (1982) によると  $\epsilon = \theta_1 \{ 1 - \exp(-\theta_2 t) \} + \theta_3 \{ \exp(\theta_4 t) - 1 \}$  あるいはその改良型である Maruyama-Oikawa (1985) によると  $\epsilon = \epsilon_0 + A \{ 1 - \exp(\alpha t) \} + B \{ \exp(\alpha t) - 1 \}$  によって、フェライト系耐熱鋼のクリープ曲線は極めて良く記述できる。また高応力データから低応力長時間データもかなりの精度で予測できることも判明している。さらにステンレス鋼、ニッケル基耐熱合金、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  などへの適用も試みられている。ただし、各パラメータの物理的意味またそれらの温度、応力依存性などについてはまだ良くは検討されていない。さらに、一次クリープが通常型以外の型をとる場合の処理なども今後の問題として残されている。

## 石英の塑性変形

静大理 増田俊明

塑性変形をした石英集合体の組織について検討した。天然で塑性変形した組織には二つのタイプのものがある。一つは等粒な多角形状で波動消光の著しくない粒子から成るもの (Pタイプと呼ぶ)、もう一つは偏平な波動消光の著しい粒子が特徴的なもの (Sタイプと呼ぶ) である。このような二つのタイプの組織の形成条件及び形成過程を調べるために、高温高圧圧縮変形実験を行ない、実験的に天然のものと似た組織をつくった。その結果 Pタイプは高温-低歪速度で、一方の Sタイプは低温-高歪速度で形成されることがわかった。また Sタイプの偏平な粒子の長軸は圧縮軸と直交していることがわかった。

圧縮変形実験では主応力軸と主歪軸が常に一定方向なので、形成された組織の応力と歪への依存性を分離して考えることができないので、分離を可能にするような実験方法を考案し、これを用いて実験を行なった。その結果、Pタイプの組織は応力 ( $\sigma_1$ ) に垂直にやや偏平化した粒子ができる場合と、応力にも歪にも無関係な粒子から成る場合があること、また、Sタイプの偏平な粒子の長軸は、変形の最後の数10%歪の歪橈円の長軸方向にならんでいることがわかった。

## かんらん石の塑性・拡散・結晶粒成長：水の効果

東大洋研 唐戸俊一郎

地球内部には少量ではあるが水が存在し、鉱物の塑性や拡散に大きな影響を与えている。かんらん石( $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$ )の塑性が水の存在によって促進されることは1970年頃に示唆されていた。しかし、実験された系の熱力学的状態やクリープ強度の測定に大きな問題があり、ここ数年、水の効果の存在を疑問視する声が大きくなっている。本研究ではホットプレス法で合成した試料を用い、実験系の熱力学的状態を詳しく吟味することにより、水又は水素のフュガシティの増大が、転位の運動によるクリープ、拡散クリープ、結晶粒成長のいづれをも促進することを明らかにした。赤外線吸収スペクトルをしらべると、水はかんらん石中に、 $1300^\circ\text{C}$ 、 $300\text{ MPa}$ の条件下で数百 ppm溶けこむことがわかった。この溶けこんだ水がかんらん石中の空孔濃度をふやし、拡散と粒界移動度を速くするものと考えられる。この水が転位クリープをなぜ促進するのかはよくわかっていない。かんらん石中の転位スペリは強固な Si-O結合ではなく Mg(Fe)-O結合のみを切ることを考えると、Mg サイトの空孔と結合した OHイオンが Mg-O結合を弱くすることにより転位スペリを促進するというモデルが考えられる。本研究結果は、水が上部マントルの塑性流動を促進することを決定づけたもので、マントルの塑性は温度、応力のみでなく水(水素)のフュガシティにもよることになる。

## 岩塩の剪断変形組織

### — 塑性不安定現象との関連において —

広大理地鉱 嶋本利彦

ほとんどの大地震は地震帯の最深部付近で発生して浅所に伝播してゆく。沈み込みプレート境界に沿うスラスト型大地震は $30 \sim 50\text{ km}$ の深さで発生することが多く、これよりやや浅い所で形成された高圧型変成岩の変形組織を観察する限り、それらの地震の震源付近において卓越する変形は延性的であると考えざるを得ない。従って、大地震の発生のプロセスを理解するためには、地下深部における断層の力学的性質を調べる必要がある。この研究では、アノログ物質として薄い岩塩層を室温下で剪断変形させ、地震性の断層運動がどのような変形領域で起こるかを調べた。実験の結果、岩塩は $30 \sim 50\text{ MPa}$ 以上の圧力下では面構造の形成を伴なうような見かけ上延性的変形をすること、しかしこの均一な延性的変形は臨界剪断歪が達せられると不均一変形に移行すること、この臨界歪は圧力の増加とともに大きくなること、不均一変形の集中している部分はぜい性的変形に特徴的な Riedel shears に似たパターンを示すこと、地震性の断層運動は不均一変形が起り、しかも変形集中域が比較的直線的で単純なパターンを示す時にのみ認められること、などが判明した。実験結果をさらに解析して、ぜい性から延性に至る全部の領域における断層の構成方程式を決定し、プレート境界全体の運動を解析するのが今後の課題である。

## 岩石の流動変形過程における微少破断形成の意義

### — 大陸性地殻内変形の特徴 —

日大文理 小坂和夫

岩石は地下深所で流動する。上部マントルでの流動がその好例だ。岩石は地下浅所～地表付近で破壊する。ある種の活断層・地震断層の露頭での現われがその好例だ。岩石は“中程度の深さ”で流動もし破壊もする。現在の日本列島の地下数km～20数kmの深さがその様な場に当たる。そこで流動は長年の精密な測量によって知られる地殻変動の一部に関係しているのであろう。そこで破壊は毎日の様に微小地震活動として観測されている。日本列島区の少なからぬ部分は地質時代においてもその様な場にあった。日本列島の各地に分布している変形岩を見てみるとそのことがわかる。変形岩の薄片を偏光顕微鏡で観察してみると、再結晶や回復に起因する流動組織と相伴なって微少破断が形成されている例が実に多いからだ。従来、欧米における変形岩の研究は、主に流動変形岩に対して行なわれてきた。流動変形岩はその組織が“美しく”，物性論的なアプローチが比較的し易いという側面の他に、欧米の造山帯には流動変形岩が広く分布しているという地域的特性があったためと思われる。岩石の流動変形過程における微少破断形成の意義は、日本列島での測量・微小地震観測データと、岩石変形実験結果や“破断を伴なう流動変形岩”的研究とを総合することによって、今後解明されて行くことが望まれる。日本列島はそのためのベスト・フィールドであるのだから。

## 広域変成岩の有限歪解析

筑波大地球 具足島良英

広域変成岩の研究は、地殻中下部の状況ばかりでなく過去の広域テクトニクスを知る上で大変重要である。これまでこの種の研究は変成岩岩石学（鉱物組合せや元素分配より温度や圧力条件を解析する分野）が主流をなしていた。しかしながら最近の研究によって、広域変成帶は大規模に応力、歪を受け、大きく変位した地域であることがわかつってきた。したがって、今後変成岩の研究にはダイナミック条件の推定が不可欠である。変成岩の微細構造はこの点で貴重なダイナミック条件を提供してくれる。

今回、三波川変成帶と領家変成帶の中間域に位置していたとされる筑波変成帶において、変成岩の微細構造を調べ、周辺のテクトニクスを推定したので報道する。

筑波変成岩は泥質砂質片岩が火成岩の貫入を受け非常に静的な場（接触変成作用）で形成されたと考えられていた。しかしながら、これまで堆積構造とされていた面構造に沿って、扁平な形をした白雲母スポット、黒雲母スポット、さらに変形レキを発見できた。これらの微細構造について、必ずしもその形成メカニズムあるいは変形メカニズムが解明されてはいないが、明らかに応力が加わり歪を受けていることは確かである。そこで、いくつかの仮定を設けて、これら微細構造から当地域及びそ

の周辺のダイナミック条件を量と方向とに分けて考察した。その結果、三波川、領家中間域（古領家帶）は、一軸圧縮型の高応力高歪帶であったと推定される。また微細構造のもつ方向状態より、相当の隆起帶であったことも想定される。したがって、当中間帶に三波川帶や領家帶とは異なるナッペテクトニクスなどを考える必要がある。

### 広域変成岩の微細構造

東大理 鳥 海 光 弘

広域変成作用は通常プレート境界の付加帶の下部で起る。付加帶は wet でかつ石英と斜長石を主とする岩石で第 1 近似的に取り扱いする。周囲は dry な斜長石と wet なかんらん石で近似的に扱える岩石であるため付加帶下部のみが相対的 less viscous な岩石でつまっていることになる。このような境界条件に加えて、付加帶下部の沈み込むプレートという条件を加えれば、広域変成帶は、その周囲の geometry にコントロールされた流動を起こしたものと考えられる。

日本の広域変成帶は多くの地域で温度構造が詳細に研究されている。さらに多くの地域で石英からなる岩石の歪みが与えられ、温度分布に一致した塑性歪み量の分布が与えられている。そこで歪み量の変化（温度の変化を含む）に対応した石英粒子の形態の変化を研究した。結果は低歪みでは歪み量に対応した石英粒子の歪みが得られるが、高歪み状態では石英粒子の軸比は歪みが増加しても一定のままにとどまる場合と、低歪みから石英粒子の形が一定のままにとどまる場合とがあった。前者は動的再結晶が変形に大きく寄与してはいない場合で、後者では逆に動的再結晶が大きく変形に寄与していると推定される。両者の違いは主に温度と差応力のちがいによると考えられる。

### 金属における動的再結晶

電通大機械 酒 井 拓

金属材料の約  $0.5 T_m$  (融点) 以上の高温変形中に生ずる動的再結晶は、一般に積層欠陥エネルギーが小さく回復を起こしにくい材料で生ずる。動的再結晶に伴う変形挙動の特徴を概説し、かつその機構について検討を加える。

- 1) 応力-ひずみ曲線は低ひずみ域で 1 つの明瞭なピークを示し軟化するか、規則的な振動を示した後、高ひずみで定常状態変形を示す。結晶粒組織はピークひずみの 50 ~ 70 % から変化を始め、高ひずみで試験条件 ( $T$ ,  $\dot{\epsilon}$ ) により決まるある一定の組織を生ずる。
- 2) 応力-ひずみ曲線が单一ピークか多重ピークを示す臨界条件は、初期結晶粒径  $D_0$  と高ひずみの動的再結晶粒径  $D_s$  の間に、 $D_0 = 2D_s$  が成立するときであることを実証し、それを基に、あらゆる動的再結晶挙動を説明できる組織-機構領域図を提案する。
- 3) 組織-機構領域図の物理的背景は、変形前の組織で決まる再結晶核密度  $N_0$  と高ひずみの動的再

結晶核密度  $N_s$  の大小関係に伴い、再結晶過程が核形成支配から成長支配へ変化すること、そして再結晶が全領域で同時に進行するか、または場所により異なり不均質に生ずるかの違いが生ずることに関連することを結論する。

4) 動的再結晶粒内の転位下部組織の観察結果についても説明する。

### 応力下の再結晶ースレートへき開とその組織

東北大理 石井和彦

スレートへき開は、chlorite や mica の定向配列による面構造である。また、chlorite や mica の並びかえは、再結晶や結晶成長を伴って起こっている。スレートへき開形成や変成作用による chlorite や mica の挙動を明らかにするため、南部北上山地を例に、特に、粒度変化について検討した。

chlorite や mica の定向配列は、多くの場合、斜方対称を示す。しかしいくつかの試料では、mica に限り、層理面の影響により単斜対称になる。変成度と定向配列の程度との間に、特に相関はないが、定向配列の非常に良いものは、変成度の高いものに限られる。

変成度が上がるにつれ、mica, chlorite 共に粗粒化する。しかし、この粗粒化は、mica と chlorite では異なる現象に対応している。mica の場合、 $2\mu\text{m}$ 以下の粒子が結晶成長して粗粒化するのに対し、chlorite の場合、再結晶や結晶成長によって、新しく chlorite ができるこにより粗粒化している。

また、定向配列の程度に対して、mica は特に粒度変化を示さないのに対し、chlorite は、定向配列の良いものほど、粗粒な粒子の量比がふえている。

このように chlorite と mica は、変成・変形に対し異なる挙動を示す。また、chlorite については、その定向性をもった結晶成長が、スレートへき開形成に重要な役割を果したと考えられる。

### 上部マントルの流動 — かんらん石の転位構造と組織 —

愛媛大理 松本和彦、東大理 鳥海光弘

上部マントルの主要構成鉱物であるかんらん石の変形実験の結果、微細組織（転位密度  $\rho$ 、亜結晶粒径  $d_s$ 、再結晶粒径  $d_g$ ）を用いた差応力計が開発された。鳥海他（1980）によると  $\rho$  は変形初期の遷移クリープの初期から、 $d_s$  は後期から、 $d_g$  は定常クリープになってから応力計として適応可能になる。又、彼らによって提唱された  $\rho$  と  $d_g$  に関する定常曲線の考え方を  $\rho$  と  $d_s$ 、 $d_s$  と  $d_g$  の関係にも応用すると、どの応力計が適応可能か知る事ができる。

そこで、西南日本の火山岩中に捕獲されているかんらん岩を構成するかんらん石の  $\rho$ 、 $d_s$ 、 $d_g$  を測定し、定常曲線からのずれを検討した。その結果、西南日本の全ロカリティーで  $\rho$  と  $d_g$  の関係は定

常曲線から  $\rho$  の増加する方向へずれ、付加応力が存在している事がわかった。一方、 $d_s$  が付加応力に対し応答しているか否かに着目すると、応答している地域（高島、黒瀬、浜田、隱岐）と応答していない地域（野山岳、吉備高原、津山）に分類することができた。又、 $d_s$  が付加応力に対し応答している地域では、 $\rho$  と  $d_s$  の関係が定常曲線から  $\rho$  の減少する方向へずれている。これは高温のマグマに捕獲された際の回復によって説明できる。また、 $\rho$  で示される付加応力は南海トラフに向かって大きくなり、 $d_g$  で示される定常流動応力もトラフに向かって大きくなる傾向がある。

## 物性研究所談話会

日 時 1985年10月28日(月) 4時~5時

場 所 物性研究所 旧棟1階 講義室

講 師 家 泰 弘 氏

(所属) (物性研)

題 目 Holes in Semiconductor Heterostructures

要 旨 :

半導体ヘテロ界面の2次元電子系の研究は(整数および分数)量子ホール効果の発見や高易動度素子(HEMTなど)の発明を契機として急速な進展を見た。これに比べ2次元正孔ガスについての研究は多少遅れていた感があるが、最近の研究で電子ガスの場合とはまた趣きを異にする面白い側面があることがわかつってきた。価電子帯サブバンド構造の複雑さ、分数量子ホール効果の電子・正孔対称性などはその例である。ここでは講演者がIBM江崎グループで行なった実験の結果を中心にお話しする。

日 時 1985年11月6日(水) 4時~5時

場 所 物性研究所 A棟2階 輪講室

講 師 Dr. Peter Kes

(所属) (Kammerlingh Onnes Lab.

ライデン大学、オランダ)

題 目 Two-Dimensional Collective Flux Pinning

要 旨 :

薄膜第2種超伝導体における磁束の集団ピン止めとflux line latticeの転位、plastic deformation, phase transitionについての最近の実験結果をお話していただく。

日 時 1985年11月7日(木) 4時~5時

場 所 物性研究所 旧棟1階 講義室

講 師 Dr. Ernst Helmut Brandt

(所属) (Max-Planck-Institut für Metallforschung  
Stuttgart, West Germany)

題 目 Computer Simulations of Defects in Amorphous  
Metals ..... Their Stability and Definition

要　　旨：

今回、学振の招きで福岡での超伝導体における磁束のピニングに関する学会のために来日されるのを機会にこのテーマでお話し頂く予定です。

日　　時　　1985年11月11日(月) 4時～5時

場　　所　　物性研究所 旧棟1階 講義室

講　　師　　中　村　勝　吾　氏

(所属)　　(大阪大学産業科学研究所)

題　　目　　シリコン表面の吸着二次元相の構造と電子状態——電子エネルギー損失分光法による——

要　　旨：

角度分解電子エネルギー損失分光法(AR-EELS)によって求められる一電子遷移、およびプラズモン励起に基づく損失スペクトルの分散から表面のAu, Ge, Agを蒸着したSi表面超構造の研究に利用した最近の成果を紹介する。

日　　時　　1985年11月25日(月) 4時～4時30分

場　　所　　物性研究所 旧棟1階 講義室

講　　師　　森　垣　和　夫　氏

(所属)　　(物性研)

題　　目　　水素化アモルファスシリコンにおけるギャップ状態と再結合過程

要　　旨：

水素化アモルファスシリコン(a-Si:H)は、現在基礎、応用両面から注目され、詳しく研究されているアモルファス半導体の典型的な物質である。しかし、バンドギャップ内に存在する局在状態(ギャップ状態)並びに再結合過程については、不明な点が多い。ここでは、われわれの研究室で最近行った研究の内、今までのモデルを修正する結果(伝導帯底電子の時間分解ODMR)と三重項励起子再結合について話す予定である。

日　　時　　1985年11月25日(月) 4時30分～5時

場　　所　　物性研究所 旧棟1階 講義室

講　　師　　永　長　直　人　氏

(所属)　　(物性研 理論部門)

題　　目　　中性-イオン性転移とソリトン構造

要　旨：

交互積層型電荷移動錯体 TTF-Chloranil で見出された中性-イオン性転移は、相転移近傍における各種物理量の特異な振舞から、多くの注目を集めている。これらの現象は、一次元鎖上の中性相とイオン性相との界面( neutral-ionic domain wall )が主役を演じている事が明らかになってきた。その際、励起子描像の破れ、ソリトンによる電気伝導、ソリトンと相転移の関係など新しい側面が浮んできた。以上について報告する。

日　時　　1985年12月2日(月) 4時～5時

場　所　　物性研究所 旧棟1階 講義室

講　師　　Dr. D. H. Auston

(AT&T Bell Laboratories, U. S. A.)

題　目　　Coherent Time-Domain Far-Infrared Spectroscopy with  
Femtosecond Pulses

要　旨：

Auston 氏は Bell 研究所においてピコ・フェムト秒領域のレーザー・分光学・非線形光学・電子工学等、超高速現象の技術と物理全般に渡る研究開発において主導的役割を果したメンバーの一人として著名な方です。今回来日されるのを機会に、この方面の最近の研究について話して頂くことになりました。

日　時　　1985年12月9日(月) 4時～5時

場　所　　物性研究所 旧棟1階 講義室

講　師　　Professor B. K. Chakraverty

(所属)　　(Laboratoire d'Etudes des Propriétés Electroniques des Solides,  
CNRS, Grenoble, France)

題　目　　Consequence of Concentration Fluctuation  
on State of Electrons in a Solid

要　旨：

Concentration fluctuation of impurities in a solid have drastic consequences on its electronic properties. It will be shown that in amorphous hydrogenated solid, local fluctuation of hydrogen concentration leads to metastable states within the energy gap. These fluctuation induced gap states (FIGS) may be responsible for the Staebler-Wronski effect in  $\alpha$ -Si. In one

dimensional systems carrying charge-density wave, the effect of local fluctuation in the impurity concentration drastically alters the amplitude and phase fluctuation and leads to new states of metastable solitons.

日 時 1985 年 12 月 16 日 (月) 4 時～5 時  
場 所 物性研究所 旧棟 1 階 講義室  
講 師 Prof. M. Whangbo  
( 所属 ) (North Carolina Univ. )  
題 目 Electronic Structures of Various  
BEDT-TTF Salts

要 旨 :

Whangbo 氏は低次元導体でのバンド構造に関する研究で知られており、第 24 回岡崎コンファレンス (12 月 12 日 - 14 日) に出席される予定です。その帰途、講演をお願いしました。

本年3月東京大学物性研究所を御退官になる3人の先生の記念講演会を以下のとおり開催致しますので、御来聴下さいますよう御案内申し上げます。

また、講演会終了後、3人の先生を囲んでのささやかなパーティーを計画しておりますので、御参加頂ければ幸いです。

---

## 記念講演会

日 時 昭和61年3月15日(土) 13:00 ~ 17:00

場 所 東京大学生産技術研究所 第1会議室(3階)

所長あいさつ	13:00
秋 本 俊 一 「固体物理と固体地球科学をつないで25年」	13:10
業績紹介 毛 利 信 男	
休憩	14:20 ~
永 野 弘 「極低温における話題」	14:30
業績紹介 小 川 信 二	
休憩	15:40 ~
平 川 金四郎 「磁性研究30年の道程」	15:50
業績紹介 伊 藤 雄 而	

---

## 記念パーティー

開宴時間 記念講演会終了後 17時30分頃から

場 所 物性研究所第1会議室(上記講演会会場のすぐ下です)

### 東京大学麻布キャンパス（物性研究所・生産技術研究所）

場所 東京都港区六本木 7 丁目 22 番 1 号

電話 03-478-6811



地下鉄（千代田線）

「乃木坂駅」下車 4 分

地下鉄（日比谷線）

「六本木駅」下車 7 分

都バス  
⑦⑨田町駅東口  
⑧⑩豊海水産埠頭 — 信濃町 — 渋谷駅  
⑨品川車庫 信濃町 四谷片町 新宿駅西口  
「防衛庁前」下車 3 分

◎印 地下鉄出入口

## 物性研ニュース

### 人 事 異 動

発令年月日	氏 名	異 動 事 項	現(旧)官職
60.12.1	石 田 浩	採 用	理論部門助手

### Technical Report of ISSP 新刊リスト

- No.1582 LCAO-X $\alpha$ -Force Study on Stable Structures of Si<sub>6</sub> and Si<sub>10</sub> Clusters.  
by Susumu Saito, Shūhei Ohnishi, Chikatoshi Satoko and Satoru Sugano.
- No.1583 Organic Radical Clusters with Ferromagnetic Intermolecular Interactions. by Kunio Awaga, Tadashi Sugano and Minoru Kinoshita.
- No.1584 Core-Level Phtoemission Spectra from Cs Monolayers on Si(111)2×1.  
by Hiroshi Tochihara, Masakazu Kubota and Yoshitada Murata.
- No.1585 Electronic Structures and Surface Magnetism of Cr (100) at Finite Temperatures. by Hideo Hasegawa.
- No.1586 An Atomistic Study of the GaAs-Pd Interface. by Akiko Kobayashi, Toshio Sakurai, Tomihiro Hashizume and Toyo Sakato.
- No.1587 Effects of Electron Correlation and Geometrical Structure on Stability of Metal Clusters. by Yasushi Ishii, Shūhei Ohnishi and Satoru Sugano.
- No.1588 Pulse Field Evapolation of III-V Semiconductors: -Comparison of Voltage Pulse and Laser Pulse Modes-. by Tomihiro Hashizume, Yukio Hasegawa, Akiko Kobayashi and Toshio Sakurai.
- No.1589 Theory of Neutral-Ionic Transition in Organic Crystals. I. -Monte Carlo Simulation of Modified Hubbard Model-. by Naoto Nagaosa and Jun-ichi Takimoto.
- No.1590 Observation of Non-Motional Narrowing Effect in Second-Order Optical Process in Cd<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>Te. by Arao Nakamura, Masato Shimura, Masamitsu Hirai, Masaki Aihara and Shin-ichi Nakashima.

- No.1591 Neutron Scattering Study of Magnetic Excitations in a One-dimentional Heisenberg Antiferromagnet CsVCl<sub>3</sub>. by Hiroaki Kadowaki, Koji Ubukoshi and Kinshiro Hirakawa.
- No.1592 Surface Segregation of Ni-Cu Binary Alloys Studied by an Atom-Probe. by Toshio Sakurai, Tomihiro Hashizume, Akiko Kobayashi, Akira Sakai, Shin-ichi Hyodo, Young Kuk and Howard W. Pickering.
- No.1593 Decay of the Nuclear Magnetization in the Randomly Diluted Antiferromagnets Fe<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>F<sub>2</sub> and Mn<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>F<sub>2</sub>. by Masayuki Itoh, Hiroshi Yasuoka, Allan R. King and Vincent Jaccarino.
- No.1594 Surface Tension of Liquid <sup>3</sup>He and <sup>4</sup>He near T<sub>c</sub>. by Masaaki Iino, Masaru Suzuki and Akira J. Ikushima.
- No.1595 Order-Disorder Transition on Si(001):c(4×2)-(2×1). by Takeshi Tabata, Tetsuya Aruga and Yoshitada Murata.
- No.1596 Photoemission Study of CeCu<sub>6</sub>. by Kazuo Soda, Tamiko Mori, Masaki Taniguchi, Seiji Asaoka, Kenzo Naito, Yoshichika Ōnuki, Takemi Komatsubara, Tsuneaki Miyahara, Shigeru Sato and Takehiko Ishii.
- No.1597 A Quasicrystalline Structure in Two Dimensions : Structural and Physical Properties. by Kazumasa Shinjo, Tomohei Sasada and Satoru Sugano.
- No.1598 Tunneling Dynamics of Photo-Generated Carriers in Semiconductor Superlattices. by Yasuaki Masumoto, Seigo Tarucha and Hiroshi Okamoto.
- No.1599 Absorption Saturation of Excitons in GaAs-AlAs Multi-Quantum-Well Structures. by Yasuaki Masumoto, Seigo Tarucha and Hiroshi Okamoto.

## 編 集 後 記

新年おめでとうございます。この号には3つの寄稿を頂きました。年末の忙しい時期に書いていただき、ありがとうございました。物性研に対する要望、意見など、今年も皆様からの投稿をお待ちしています。

次号の原稿の締切りは2月10日です。

〒106 東京都港区六本木7丁目22番1号

東京大学物性研究所

高野 安正

高橋 實

