

# 日本物理学会誌

- アボガドロ数への挑戦
- 小特集：スタートした新英文誌 PTEP

## BUTSURI

第67巻 第7号(通巻 749号) ISSN 0029-0181

昭和30年 6月13日 第3種郵便物認可

平成24年 7月5日発行 毎月5日発行

### 2012 VOL. 67 NO. 7

# 7



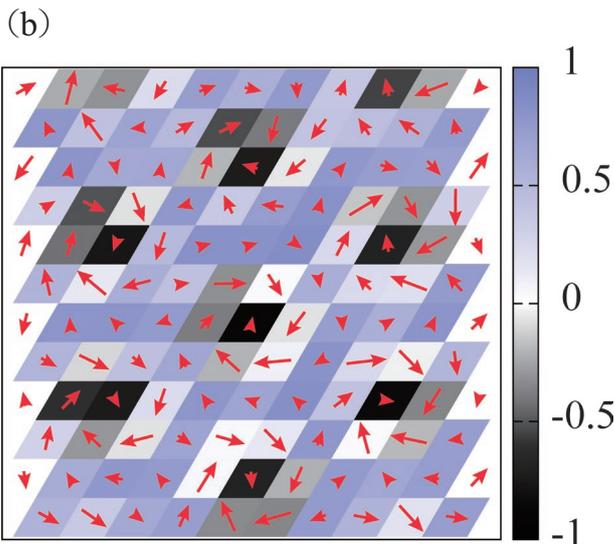
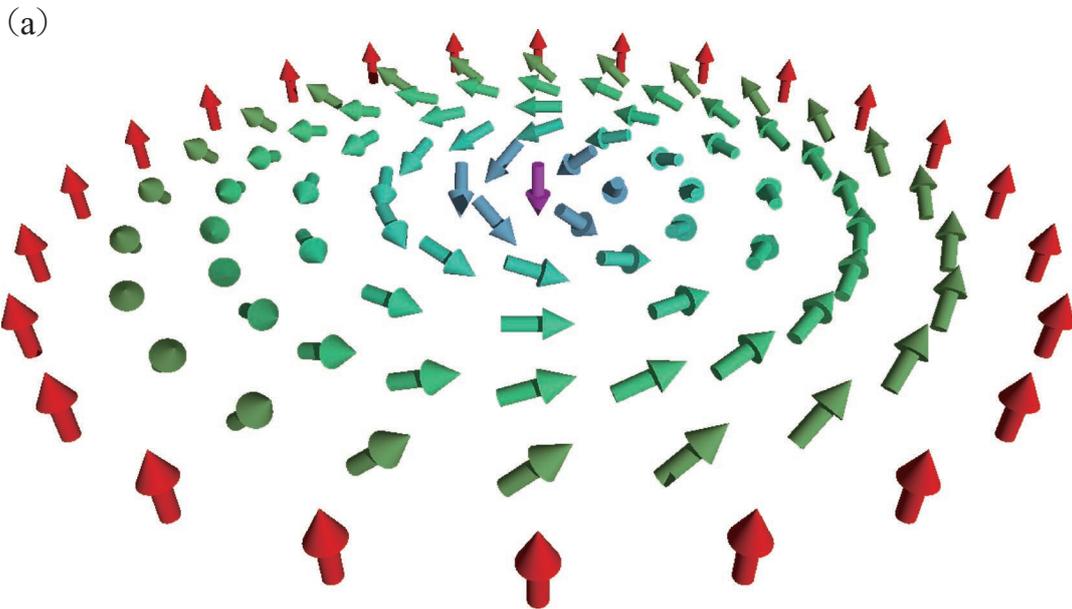
口絵：今月号の記事から		475
巻頭言	男女共同参画推進委員長として思うこと	嘉規香織 477
解説	アボガドロ数への挑戦	伊藤伸泰 478
小特集：スタートした新英文誌 PTEP		
	はじめに	瀧川 仁 488
	PTEPの発刊にあたって	長島順清 488
	新英文誌 PTEPの目指すもの	坂井典佑 489
	PTEPへの期待	野崎光昭 491
	Progress of Theoretical Physics を振り返る 早川尚男, 九後太一, 川上則雄	493
最近の研究から	フラストレート磁性体における多重 $Q$ 秩序とスカーミオン格子状態 	
	大久保 毅, 川村 光	500
	強相関電子系分子性導体のモット-アンダーソン転移 	佐々木孝彦 504
JPSJの最近の注目論文から	3月の編集委員会より	川畑有郷 509
学会報告	第67回年次大会シンポジウムの報告	領域委員会 512
新著紹介		523
会員の声	■公立小学校での放射線教育：副読本『放射線について考えてみよう』について ■何を今更 Legendre	525
掲示板	■人事公募 ■学術的会合 ■その他	527
行事予定		535
会告	■2012年秋季大会の宿泊・交通等の案内 ■大会の宿泊手配業務等の業者依頼について(お知らせ) ■2012年秋季大会会場における託児室の設置について ■2012年秋季大会の参加登録・講演概要集購入のご案内(講演申込者以外の方への案内です) ■第53回(平成24年度)東レ科学技術賞, 同・東レ科学技術研究助成, 第44回(2012年度)内藤記念科学振興賞, 第33回女性科学者に明るい未来をの会「猿橋賞」及び第4回(平成24年度)中谷賞の各受賞(研究助成は受領)候補者の推薦(賞は他薦, 研究助成はご本人の申請)について(募集) ■2012年6月1日付新入会者	538
本会関係欧文誌目次		544

**表紙の説明** プロGRESSの愛称で親しまれてきた英文誌 Progress of Theoretical Physics (1946年創刊) が実験分野を含めた Progress of Theoretical and Experimental Physics (PTEP) へと衣替えをして本年新たな船出をする。表紙にはプロGRESSから世に出た歴史的な論文のいくつか [超多時間理論 (朝永振一郎), 温度グリーン関数の定式化 (松原武生), 電気抵抗極小の理論 (近藤 淳), CP対称性の破れに関する理論 (小林 誠, 益川敏英): なお詳細は本誌小特集記事を参照] を並べて, その輝かしい伝統がPETPに継承されることへの願いを表した。

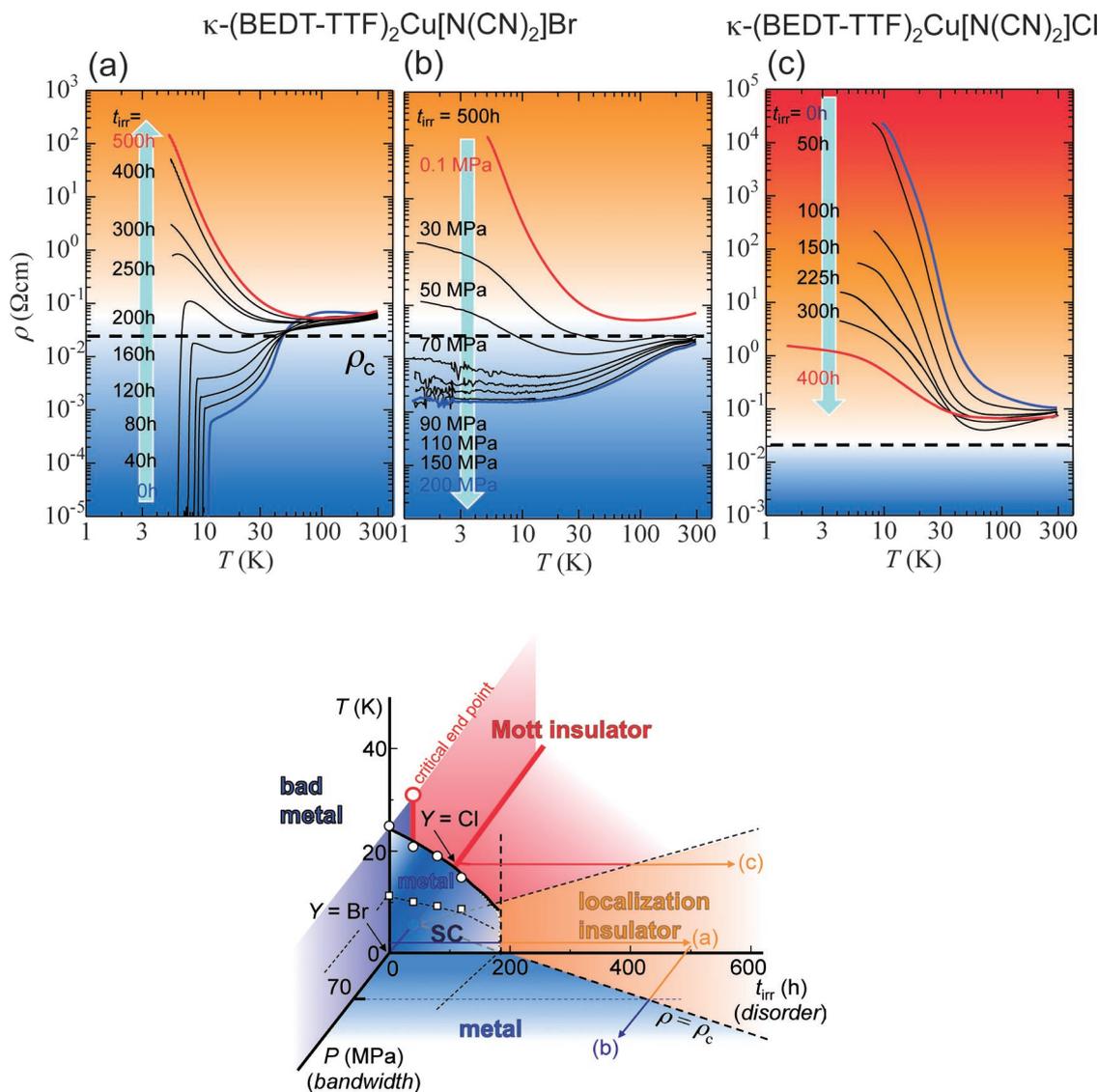
<b>Graphic Page</b>		475
<b>Editorial</b>		
<i>Thoughts of a Chairperson of Gender Equality Promotion Committee</i>	Kaori Kaki	477
<hr/>		
<b>Reviews</b>		
<i>The Avogadro Challenge</i>	Nobuyasu Ito	478
<b>The Launch of PTEP</b>		
<i>Preface</i>	Masashi Takigawa	488
<i>Welcome to New Publication of PTEP: From Experimentalist's Viewpoint</i>	Yorikiyo Nagashima	488
<i>Aims of New Physics Journal PTEP</i>	Norisuke Sakai	489
<i>In Anticipation of the Successful Launch of PTEP</i>	Mitsuaki Nozaki	491
<i>Historical Overview of Progress of Theoretical Physics</i>	Hisao Hayakawa, Taichi Kugo and Norio Kawakami	493
<b>Current Topics</b>		
<i>Multiple-Q Ordering and Topological Excitations of Frustrated Magnets</i>	Tsuyoshi Okubo and Hikaru Kawamura	500
<i>Mott-Anderson Transition in Strongly Correlated Electrons of Molecular Conductors</i>	Takahiko Sasaki	504
<hr/>		
<b>JPSJ Selected Papers in the Latest Issue</b>	Arisato Kawabata	509
<b>Report on JPS Meeting</b>		
<i>Report on Symposiums in the 67th Annual Meeting</i>	Division Committee	512
<b>Book Reviews</b>		523
<b>Letters and Comments</b>		525
<hr/>		
<b>Notice Board</b>		527
<hr/>		
<b>JPS Announcements</b>		538

最近の研究から 「フラストレート磁性体における多重  $Q$  秩序とスカーミオン格子状態」 p.500

相互作用にフラストレーションの存在する磁性体では、しばしば、新奇な秩序状態が実現する。本記事で取り上げる二次元三角格子ハイゼンベルグ反強磁性体では、強い次近接以上の相互作用により、格子に非整合なヘリカル構造を取り、磁場中で多彩な多重  $Q$  秩序を形成する。中でも、triple- $q$  状態は、トポロジカル励起である“スカーミオン”(図 (a)) が、三角格子状に整列した“スカーミオン格子状態”(b) になっている。この triple- $q$  状態では、反スカーミオン格子も可能であり、スカーミオン格子と反スカーミオン格子がドメイン状に混ざった、新しい相の存在も示唆される。



(a) はスカーミオン励起の模式図。  
(b) は triple- $q$  状態のスピンのスナップショット。磁場に平行なスピン成分を色で、磁場に垂直なスピン成分を矢印で表現しており、スカーミオン格子が実現していることが分かる。



電気伝導に対する乱れの効果は、アンダーソン局在として研究されてきた。一方、金属–モット絶縁体転移を示す強相関電子系に対する乱れの影響は、乱れを導入制御する難しさから実験的な検証が遅れている。本記事では、モット転移近傍の強相関電子系分子性導体にエックス線を照射することで分子欠陥を導入し、このときに現れる局在絶縁体化について紹介する。上図は、モット転移点に近い分子性有機超伝導体が、(a) エックス線照射により生じる分子欠陥導入によって局在絶縁体化する様子、および、(b) この局在絶縁体状態に圧力を加えると再び金属化する様子を示している。一方、より強相関側の分子性モット絶縁体は、(c) エックス線を照射すると (a) と同様な乱れによる局在絶縁体状態になる。下図は、本実験結果を踏まえて提案された乱れに対応する座標軸を加えたバンド幅制御型モット転移の電子相図である。局在絶縁体状態はモット転移点に近づくほど少ない乱れで現れる。

## 男女共同参画推進委員長として思うこと

嘉規香織 (男女共同参画推進委員長)

理不尽でないのと、物理的に無理でなければ、頼まれたことはできるだけ引き受けることにしていた。そうして頼まれたのが、男女共同参画推進委員長だったが、それまで全く意識してこなかったことだったので、勉強するつもりでも引き受けることにした。何とか恙無く委員の任期を終える頃になり、今度は物理学会の一般社団法人への移行に際する委員長の任期の問題で、同じ委員会の委員長を頼まれ、これも引き受けてしまった。

これまで男女共同参画推進ということ意識してこなくて済んだのは、ひとえに環境のせいだと思っている。昭和40年代から母が仕事を持っていた共働き家庭に育ったので、女性が職業を持つことは当たり前のことであった。加えて、時間が母より自由になる父が父兄参観等に来たりして、父親が子育て・教育にかかわるのも当たり前であった。物理学を学ぶために進学した大学では、1学年の定員が50名規模の物理学科に常勤の女性教員が3名おり、その中には教授もおられた。他に技官1名と学科事務室の職員が女性であった。クラスの女子学生は3名だったが、多い年で5~6名、少ない年で1~2名、平均して3名程度だったと記憶している。この女子学生の割合は、今でもほとんど変わっていないというのが実感であるが、教員に対する女性の割合に関しては、当時は全く気付かなかったけれども、非常に高い値である。大学院に進学しても、研究室には必ず同級生か先輩に1名女性がおり、女子学生一人で苦勞するという様なことは無かった。幸運にも就職できた地方国立大学では、物理学科には女性教員は当時居なかったが、過去にはおられたということであったし、何より、理学部の他学科(数学、化学、生物学、地学)には1名の女性教員がおられた(数学

科では2名)。これは当時の国立大学理学部の平均からすると、女性教員の割合が高かったはずである。

私自身の経験の逆の、当時の多数派の場合のことを考えると、それはそれではないかと思えるのである。例えば男子学生で、母親が専業主婦で、女子学生も非常に少なく、まして女性の教員が居ないところで大学・大学院生活(理工系)を送ったとしたら、理工系では女性が学生にも教員にも居ないのが当たり前ということになり、男女共同参画なんて言われても、実感なんて湧かないという具合である。加えて、何故ポジティブアクションが必要になるのかとさえ思うかもしれない。

環境だけが意識を規定すると言うつもりはないが、大事な要因の1つとして考えていく必要があると思っている。家庭環境については、内閣府男女共同参画室のHPに公開されている男女共同参画推進白書(平成23年版)の第1-2-18図「共働き世帯数の推移」を見ると、昭和55(1980)年に約36%だった雇用者における共働き世帯の割合は、平成3~8年の50%を経て、平成22(2010)年では56%と、女性も働く共働きは、雇用者の家庭では当たり前になりつつある。大学等の状況を見るために、同じ白書の第1-8-11図「大学教員における分野別女性教員割合」と平成19年版の同様の図から数値を読み取ると、理学部、工学部、農学部順に、教授では、4.3%(2006年)から4.1%(2010年)、1.7%から2.7%、1.8%から2.7%の変化がある。次いで准教授では、8.3%から8.9%、5.3%から7.2%、6.8%から8.5%へ、講師では、16.3%から18.5%、9.4%から12.2%、11.1%から18.0%へ変化している。助教に関しては、助手からの名称変更の際の移行が1対1対応ではないらしく、

2006年の助手の19.7%、9.7%、16.7%がそれぞれ、2010年の助教の15.9%、10.5%、14.3%、助手の55.1%、20.7%、74.3%への変化になっている(出典:文部科学省の「学校基本調査」(平成18,22年度))。職階が上がるにつれて数値が激減していることは、男女共同参画全体の問題となっており、ポジティブアクション等の施策で解決を図ろうというのが昨今の流れである。残念ながら理学部の変化は、工学部や農学部と比べると遅れている様に見える。(2010年の助手だけ著しく数値が大きいの、これはこれで問題がありそうであるが。)

共働き世帯の推移を見ても、この30年で大きく変化しており、そうした変化は社会のあらゆるところで起きている。もはや30年前の多数派の当たり前は、当たり前ではなくなったのである。こうした変化は女性だけの問題ではなく、両性を巻き込んだ社会全体の変化であり、これまで男女共同参画推進として行われてきた、参画の遅れていた女性の側に対する援助的な政策だけでは不十分である。男性も女性も共に気持ちよく仕事(研究)ができる職場環境を構築することが、男女共同参画の目指すところではないかと思っている。そのために制度を整え、その制度がうまく活用される環境をつくり、時にはポジティブアクションの様な施策も利用して、変化に対して適応するべく取り組んでいるのが、現在の私たちのしていることだと思っている。社会の変化に伴って生じた個人の生き方の多様性が受け入れられる環境を、人員削減が行われる職場で実現するのは易しくないタスクであるが、知恵を絞って実現に向けて努力を続けて行く先に、望んでいる未来があると信じている。

(2012年4月13日原稿受付)

# アボガドロ数への挑戦

伊藤 伸泰 (東京大学大学院工学系研究科 113-8656 東京都文京区本郷7-3-1 )

物理学が無限大の代名詞として扱ってきたアボガドロ数に、計算機の発達により手が届きはじめています。1秒間に1京演算以上を実行するという10 PFLOPS以上の性能を持つ計算機によってです。こうした「アボガドロ級」計算機を活用すれば、ナノスケールからマクロスケールまでをこれまで以上にしっかりとつなぐことができると期待される。比較的簡単な分子模型を多数集めた系の計算機シミュレーションによる研究の結果、熱平衡状態および線形非平衡現象の実現と解析は軌道にのり、さらに1,000<sup>3</sup>個程度の系を念頭に非線形非平衡現象へと進んでいる。非線形非平衡状態を解明し飼いつづけた次に期待されているのは、生物のような自律的に機能するシステムをナノスケールの計算で得られた知見に基づいて解明し自在に作り出す技術を確立することである。そのためにはアボガドロ級の計算機で実現する10,000<sup>3</sup>個程度の系のシミュレーションが強力な手段となる。この可能性を検討する「アボガドロ数への挑戦」が、現在、進行中である。

## 1. アボガドロ級計算機の時代へ

20世紀の中ごろから成長を続けている計算機は、科学技術のみならず社会、ひいては個人の意識や世界観にまで大きな変革をもたらし続けているといっても過言ではない。計算機とは関係なからうと思われていたさまざまな問題が、計算機の扱いうる情報の量が問題に応じた閾値を超えたのちには、計算機の応用分野の1つとして新しい発展を続け目覚ましい成果を上げ始めたという事例は数知れない。

物量が増えると新しい展開がもたらされるということは計算機に限ったことではない。蒸気機関ほかの動力装置の出力が18世紀から続けてきた幾何級数的な成長により、産業革命や社会の変革、そして現代物理学をもたらしたわけである。研究者は研究活動に際して、こうした将来の成長を念頭に、増えた物量によりどのような可能性が拓かれるかを予想した上で、人類の幸福の増進を実現しようとするわけである。

蒸気機関ほかの動力装置の出力は、18世紀初頭の西暦1700年頃には人馬の出力を少し超えた1 kW程度であったが、100万 kW級の発電所の出現から分かるように1970年頃には1 GW程度にまでなった。百万倍になるのに270年程かかったわけである。この成長のスピードは13年間に2倍程度だったわけである。しかし計算機の成長のスピードは動力装置の比ではない。

計算機の性能には処理速度・記憶容量・信頼性などさまざまな側面があり、処理速度1つとっても命令実行速度・浮動小数点演算速度と多様ではあるが、簡単のため1つの問題に投入された処理の量でその成長の一面を見てみよう。ここではイジング模型を使おう。イジング模型に対し、長い間にわたって精力的な計算機シミュレーションが続けられている。個々の研究の成果論文からその研究に延べ何個のイジングスピンを更新したかを読み取り、各時点での大規模シミュレーションでの更新量をその時代の計算機の性能と思うわけである。イジングスピンの1個の更新は1から数回程度の演算処理で十分であるため、更新された延べ数は、おおざっぱではあるが、1つの研究課題に投じること

ができた演算数と考えることができよう。

1970年のある論文<sup>1)</sup>からは延べ10<sup>8</sup>個程度のイジングスピンを更新したことが読み取れる。その23年後の別の論文<sup>2)</sup>では延べ10<sup>15</sup>個程度であった。よってこの間に1千万倍成長したことになる。この2例に限らず、各時点での代表的な大規模シミュレーションで更新されたイジングスピンの延べ数を図1に示す。この図から、20世紀の後半を通して4年で10倍程度の幾何級数的な成長が続いていたことが分かる(「1990年時点での外挿」と記した直線)。この成長は、いわゆる「ムーアの法則」<sup>3)</sup>とも整合する。ムーアの法則とは計算機の性能向上は1年半(18か月)で2倍であるというものである。すなわち計算機の成長に合わせて計算物理学も成長し続けてきたことが分かる。

1990年時点でこの成長を外挿したところ、2030年前後には計算機はアボガドロ数に手が届くと予想された。<sup>4)</sup>その当時、ムーアの法則が今後40年以上も続くと期待することは妥当かとの立場から、この予想は最大限に楽観的な

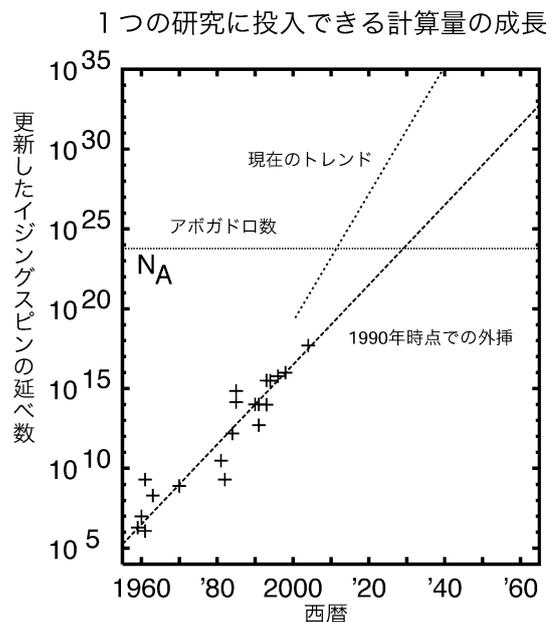


図1 計算物理学の成長と今後の展望。

見解とみなされていたと思う。しかし現実はこの最も楽観的な予想ですら、悲観論であったかのような成長が続いている。2002年に実現した地球シミュレータ<sup>5)</sup>という計算機以来、計算機の演算速度はムーアの法則をはるかに上回る成長が続いている。<sup>6)</sup> 地球シミュレータは40 TFLOPS (毎秒40兆演算)であり、2008年には毎秒1,000兆演算の計算機が現れ、2011年に実現した「京」計算機は毎秒1京回を実現し、さらに高速化し続けている。この成長は図1中に現在のトレンドとして示した。毎秒1京 ( $10^{16}$ ) 演算すなわち毎秒演算の計算機を、計算機の標準的な寿命である2年 ( $6.3 \times 10^7$  秒) 使うと、延べ演算数は  $6 \times 10^{23}$  すなわちアボガドロ数回を超える。1990年時点での予想よりも20年早く実現するわけである。

こうした急成長は、主に通信技術などの計算機の周辺技術の成長によりもたらされた。ムーアの法則は計算機のコア部であるCPU・主記憶部分の性能向上の成長率についてであるが、20世紀の終わりの1990年代以降、個々の計算機をつなぐ通信ネットワークの技術はムーアの法則をはるかに超えるスピードで成長し始めた。1つの通信路で転送できる情報は9か月間で倍増し、磁気ディスク装置の容量は1年間で倍増したとの報告もある。<sup>7)</sup>

こうした通信技術の成長により、個々の計算機をネットワークで結び1つの計算機として機能させる並列計算機が実用化され、成長しているわけである。1つの並列計算機を構成する計算機の数も幾何級数的に増加し続けている。上述の地球シミュレータは5,120個の計算機をつないで実現されたものであったが、京計算機では10万台程度となる。

アボガドロ数は巨視的な大きさの物質に含まれる分子の数を象徴する数である。従来の科学ではアボガドロ数は巨大であり事実上、無限大の代名詞であった。しかし京速級およびその先の計算機は、これを1つの有限の数とみなして活用することを可能にする。これが京速級計算機の物量もたらす質的進歩の中で最大のものの1つと私は考えている。この意味で京速級以降の計算機を「アボガドロ級」と呼ぶことにしたい。

多数の原子・分子の集団を制御し活用しようとする研究は精力的に続けられており、はかり知れない成果を世に送り出してきた。この延長上で巨視的な物質のふるまいを原子・分子に基づいて制御し活用する技術にとって、京速級以降の計算機は強力な道具となると期待される。シリコンほかの原子を、原子スケールで設計し制御することにより黒光りするシリコン結晶上に計算機CPUをつくり高機能を実現したように、さまざまな物質の多様な可能性を極限まで追求する道を開くに違いない。素材やデバイスから機械・社会基盤・生命・医療、果ては惑星環境問題にまでわたってどのような可能性が期待されるかは、ナノテクノロジーあるいはナノマシンの文脈ですでに議論が始まって久しい。手堅い製品開発からSF・夢物語までにぎやかではあるが、本稿で議論したいのはその最初の一步たる基礎

である。すなわちそもそも巨視的な物質の性質は微視的な分子運動とどのように関係しているのか、という問題である。

微視的な運動から巨視的な現象を説明しようというこの野望こそが、統計力学の目標である。統計力学が熱平衡状態と熱力学系とは大きな成功を収めていることは周知の通りである。とはいえ統計力学の最大の課題は非平衡状態の解明であり、熱力学として確立していた熱平衡状態の再現は途上の一里塚である。分子運動論やボルツマン方程式などが統計力学の出発点であることから、非平衡状態が研究の中核であったことが窺える。熱平衡状態から非平衡状態に向かう最初の一步は線形非平衡輸送現象であり、精力的かつ息の長い研究の結果、アインシュタインの関係式・オンサーガーの相反関係・久保理論ほかの現象論的な扱いは成功を収め、物性から地球物理まで応用も活発となった。しかしながら巨視的な現象の分子の微視的運動だけからの再現は、分子シミュレーションによる計算物理学の発展を待たなくてはならなかった。

以下本解説では分子運動に基づいた物質の巨視的なふるまいの解明に関わる進展を紹介し、現状と展望とを示したい。

## 2. 熱平衡状態

分子動力学シミュレーションは1950年代後半にはじまり、その当初より非平衡現象の解明を目的としていた。<sup>16)</sup> 分子運動から巨視的な現象を目指す試みは、対象とする現象を再現する必要最小限の分子模型を使うところからはじまる。流体・固体の性質であれば剛体球や弾性球、気液両相が問題となる問題ではレナード・ジョーンズ粒子といった簡単な分子模型を使い、できるだけ多くの分子からなる系を解析することになる。こうした分子模型からなる系は、まず熱平衡状態に至る。その様子を見てみよう。

簡単のために2次元で考えよう。正方形の容器の内部に  $N$  個の剛体円盤粒子 (分子) を閉じ込めた系を考える。粒子間はもちろん、容器の壁とも完全弾性衝突を繰り返すとする。また粒子の回転自由度は考えないとする。容器の辺に沿って  $x$  軸、 $y$  軸を取り、粒子  $i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, N$ ) の座標を  $\mathbf{r}_i = (x_i, y_i)$ 、速度を  $\mathbf{v}_i = (v_{x,i}, v_{y,i})$  で表す。

$N = 1$ 、すなわち1粒子の場合には粒子間の衝突はなく、粒子は容器の壁と衝突を繰り返す。この時、速度分布はいつまでも初期条件に依存し続け、普遍的特徴はみられない。初速度  $(v_{x,i}, v_{y,i})$  に対して  $(\pm v_{x,i}, \pm v_{y,i})$  (複合任意) の4種類のいずれかしかとらず、衝突時間よりも十分長い時間で平均すると、いずれの速度である確率も  $1/4$  となる。

一方、空間分布はどんな初期条件からでも、ビリヤード系の理論として知られているように確率1で系内に一様に分布することが確認される。初期速度の成分  $v_{x,i}, v_{y,i}$  の比が有理数の場合には周期運動になり一様分布しないのであるが、有理数比になる確率は0だからである。適当な初期位置、

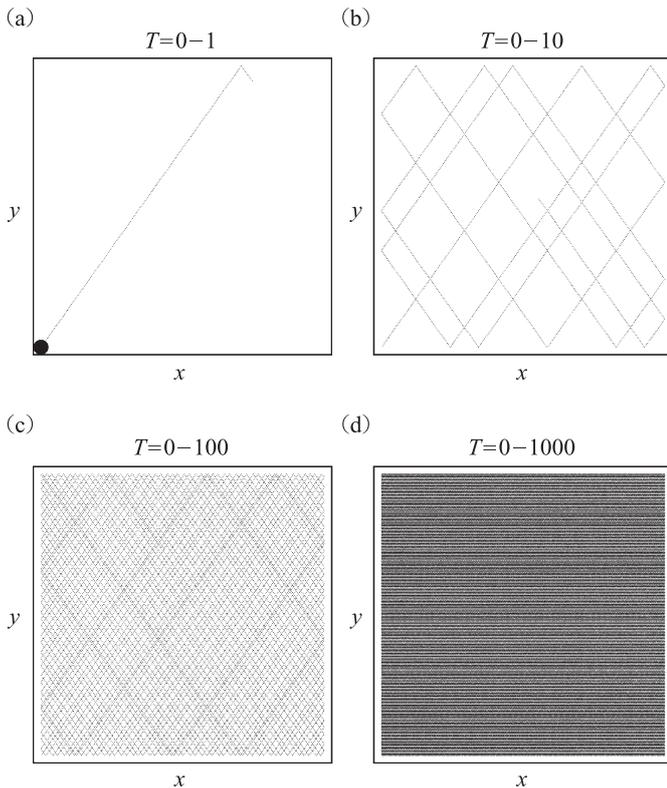


図2 正方形容器の中の、剛体円盤粒子1つの運動。適当に選んだ初期位置から適当な初速度で等速直線運動を続け、壁にぶつかると完全弾性衝突をしてはね返される。(a)時刻 $T=0$ から1までの時間の粒子の中心の軌跡。(b)時刻 $T=0$ から10まで、(c)時刻 $T=0$ から100まで、(d)時刻 $T=0$ から1,000まで。衝突時間よりも長い時間にわたって観察すると、粒子は存在することができる領域に一樣に分布することが確認される。

初速度からの運動を図2に示す。この図では粒子が壁と衝突する時間をだいたい1としている。10回程度衝突するとまあまあ一樣に分布していると考えて良いことが分かる。

同様のシミュレーションから、2粒子以上( $N \geq 2$ )の場合にはミクロカノニカル分布となることが確認できる。図3に数種類の粒子数 $N$ の系の場合、各粒子の速度の大きさ $|v_i|$ を衝突時間よりも十分長い時間にわたって観測して得られた分布関数を示す。この図では各粒子の質量 $m$ を質量の単位ととり1、また $N$ 個の粒子の持つ全運動エネルギー $E$ が粒子数に比例した値 $Ne$ とし、各粒子の平均運動エネルギー $e$ を1とした。粒子数をあまり大きくすると粒子は流体から固体に相転移してしまうが、ここでは $N$ は粒子が流体相に留まる程度にとどめて考えている。粒子数が少ない $N=2, 3$ の場合は、マクスウェル分布からのずれが大きい、 $N$ が大きい極限でマクスウェル分布すなわちカノニカル分布が実現していることがわかる。 $N$ がそれほど大きくなると、たとえば $N=5$ 程度以上ではマクスウェル分布で良く近似されている。

この分布関数は $N$ によっていて奇妙に見えるかもしれないが、ミクロカノニカル分布に他ならない。ミクロカノニカル分布では速度分布は速度空間中の等エネルギー集合上で一樣になる。等エネルギー集合は

$N$ 個の剛体円盤系での1粒子の速さの分布関数

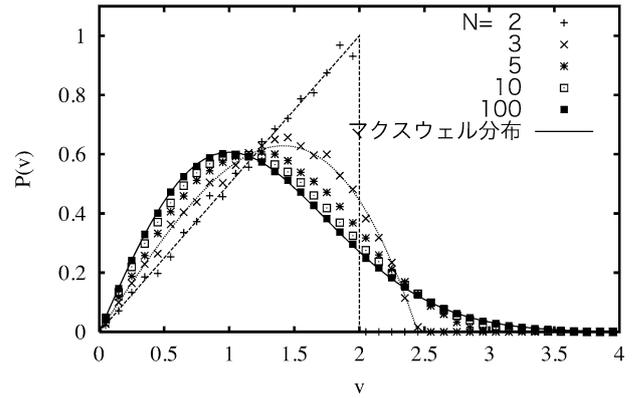


図3  $N$ 個の剛体円盤粒子の系の中の各粒子の速さ $|v_i|$ の分布関数。 $20 \times 20$ の正方形容器の中の運動を粒子間衝突時間よりも十分長い時間にわたってシミュレートし、求めた結果を描いた。各粒子の質量 $m=1$ 、系内の粒子数が $N=2, 3, 5, 10, 100$ の結果である。 $N=2$ および3の場合については、ミクロカノニカル分布から導かれる分布関数も描いてあり、実際の運動をシミュレートして得られた結果と良く一致していることが分かる。この一致は $N=5, 10, 100$ の場合にも確認される。またマクスウェル分布(ボルツマン分布、あるいはカノニカル分布とも)を実線で描いてある。

$$\frac{m}{2}(v_{x1}^2 + v_{y1}^2 + v_{x2}^2 + v_{y2}^2 + \dots + v_{xN}^2 + v_{yN}^2) = E = Ne \quad (1)$$

を満たす点の集合なので、 $2N$ 次元中の半径 $\sqrt{2Em}$ の球面となる。この分布を、1つの粒子の速さ $v=|v|$ を指定したときの分布、すなわち1粒子の速さの分布関数に書き換えると、

$$P_N(v) = \begin{cases} C_N \cdot v \left(1 - \frac{mv^2}{2Ne}\right)^{N-2} & (v \leq \sqrt{2Nem}) \text{ の場合} \\ 0 & (v > \sqrt{2Nem}) \text{ の場合} \end{cases} \quad (2)$$

となる。ここで $C_N$ は規格化定数である。例えば $m=1$ 、 $e=1$ とすると $N=2$ の場合には $P_2(v) = v/2 (v < 2)$ 、 $N=3$ の場合には $P_3(v) = 2v(1-v^2/6)/3 (v < \sqrt{6})$ であるが、これらのグラフも図3に描いてある。また $N$ を無限大とする極限でマクスウェル分布

$$P_\infty(v) = C_\infty v e^{-mv^2/2e} \quad (3)$$

となり、カノニカル分布に帰着する。<sup>\*1</sup>この例は2次元系なので、ボルツマン定数を $k_B$ 、絶対温度を $T$ として $e=k_B T$ である(エネルギー等分配則)。

以上、簡単な例ではあるが、簡単ゆえに分子運動から統計力学的な状態が現れるさまを明確に見ることができた。衝突時間よりも長い時間で見ると、分子数にかかわらず統計力学的な状態が実現し、熱平衡状態が実現するわけである。 $N$ を無限大にしなくとも、5から10ぐらいでこの分布関数の形はほとんどマクスウェル分布に見えるので、5個から10個程度からなる部分は局所熱平衡状態を実現すると期待してよい。剛体円盤(絨)粒子以外の系では、分布関数の解析的な扱いは困難であるが、似たふるまいをする。剛体ポテンシャルの場合よりも相互作用の到達範囲が広い

<sup>\*1</sup>  $d$ 次元( $d \geq 2$ )の場合も同様の議論から求められる。この場合は1自由度あたりの平均運動エネルギーを一定にして考えると扱いやすい。

と、局所熱平衡状態を実現する大きさも剛体の場合よりも大きくなるが、短距離相互作用の場合にはいずれにせよ $10^3$ 程度も用意すれば $N$ 無限大の熱力学でほとんど記述されるのである。こうしたことから簡単な分子模型を用いた場合に $10^3$ 程度が局所熱平衡状態の大きさとなることが結論される。

ミクロカノニカル分布である式(2)より、分子数が有限の場合にはボルツマン分布からずれた分布で記述される。この分布は、各分子の分布関数はエネルギーの上限値を持った代数的な関数で、レニ・ツァリス分布と呼ばれる関数<sup>9,10)</sup>であり、有効な自由度が少数である系の熱力学的ふるまいをよく記述する。例えばポリマー・タンパク質分子のような巨大分子の中には、実効的な自由度が小さく、ボルツマン分布からずれてレニ・ツァリス分布が観察される例も報告されている。<sup>11)</sup>

このことから、自由度が少数の系を熱浴とした場合のゆらぎは、レニ・ツァリス分布を導く情報量基準(エントロピー)として知られているレニ(・ツァリス)エントロピーで記述されることが期待される。そして熱浴自由度が大きくなる(とはいっても5ないし10程度以上ではあるが)とボルツマン(・シャノン)エントロピーで良く近似されるわけである。よって、局所熱平衡状態もこの程度の分子数が入る空間的スケール・複数回の分子間衝突が生じる時間スケールで実現すると考えてよいわけである。具体的には、分子間隔がナノメートル前後で熱速度数百メートル/秒の小さい分子の常温常圧の物質では、数ナノメートル数ピコ秒が局所平衡のスケールとなるわけである。

このスケールは相関している距離が大きくなる臨界点の近くや緩和が遅いガラスやポリマーといった問題では、もちろんはるかに大きくなる。微視的な熱平衡構造が大きなスケールに成長し複雑な相に至る問題は大変興味深いだが、他に多くの教科書・解説もあり、またかつて著者自身既に本誌上ほかで解説し、<sup>12,13)</sup> 総合報告<sup>14)</sup>もあるのでここでは省く。以下では気体や単純な液体といった基本的な状態にある分子を考え、非平衡状態へと進もう。

ミクロスケールでの可逆な分子運動とマクロスケールでの非可逆な現象とがどう結びついているのか、熱平衡分布はどのようにして実現し、どのような意味を持つのか、ということは統計力学の黎明期からの懸案である。統計力学を勉強する者が最初に感じるであろうこのハードルは、計算機シミュレーションにより直接、自在に調べることができるようになった今日では自然と解決しているわけである。必要ならば計算機シミュレーションで検証しながら、シミュレーションの限界を超える理論を構築し活用するという自然で健全な研究の発展が実現したわけである。

### 3. 線形非平衡状態

熱平衡状態から少しずれた状態は線形非平衡状態と呼ばれる。温度差や電位差ほかの外からの力によって平衡状態

から離れ、平衡状態では平均的には存在しない物質や物理量の流れが生じている状態である。平衡状態から引き離す外力に比例した(線形な)大きさの流れが生じている現象を線形非平衡現象、その状態を線形非平衡状態と呼ぶ。

温度差に比例した熱が流れるというフーリエの法則、電位差に比例した電流が流れるというオームの法則、変形速度に比例した摩擦力が生じるニュートン流体(ナビエ・ストークス方程式で記述される流体)が身近な例である。外力のもとで外力とは異なる物理量が流れることも珍しくない。例えば温度差に比例した電位差が生じるゼーベック効果とその逆のペルチェ効果や、温度差に比例した化学ポテンシャル差を生じるソーレ効果やその逆のデュフォー効果である。

以下では線形非平衡状態の典型として、最も身近で基本的な現象である熱伝導を考えよう。良く知られているように、熱は輻射・対流・伝導の3種類の伝わり方をし、最後の伝導は、温度勾配に比例した勾配の低い方へ熱が伝わるというフーリエの法則に従う伝わり方である。物質中の各点 $r$ の温度を $T(r)$ 、熱伝導率を $\lambda$ とすると、熱流 $J = -\lambda \text{grad } T(r)$ となるわけである。

巨視的な物質では実験的に確認されるこのフーリエ則も、系が小さくなるとどこかで破綻するはずである。1つの分子しかない、あるいは分子間衝突が無視できるような物質の場合、分子が高温の部分にいるときにはその温度の熱速度で運動を続け、低温の部分に至ると高温の熱速度の運動エネルギーを伝えるだけとなる。また逆に低温の部分にいた分子が高温部分に至ると、低温での運動エネルギーを伝えるだけである。高温・低温部分以外ではそもそも熱平衡状態ではなく、温度も定義されない。分子が伝える熱(エネルギー)は、輻射と同様に高温部分と低温部分との配置と温度とにより可逆運動から決まる。これは極端な例ではあるが、局所熱平衡程度の大きさがあればフーリエ則に従うだろうか? まだ小さすぎるであろうか? これを見るために、局所熱平衡程度以上のナノスケールから巨視スケールに至る系に対し、熱伝導を計算機シミュレーションで調べてみよう。相互作用をする最も簡単な分子模型である、回転しない剛体球を使おう。剛体はポテンシャルにエネルギースケールがない。相互作用しないポテンシャルが0の部分と、ポテンシャルが無限大で重ならない部分だけなので、重心運動からくる理想気体の自由エネルギーと温度に依存しない相互作用部分の自由エネルギーとの和が、この系を記述する自由エネルギーとなる。半径が同じ剛体球からなる系は熱平衡状態で、密度が高くなると相互作用部分が流体相から結晶相に1次転移する(アルダー転移)。<sup>15-17)</sup> 温度を変えると系の動的なふるまいの時間スケールが変化しただけである。時間スケールは温度の1/2乗に反比例する、すなわち温度を4倍にすると時間スケールは1/2になって変化の速さは倍になるわけである。

このような剛体粒子を図4に示すような横長の直方体の

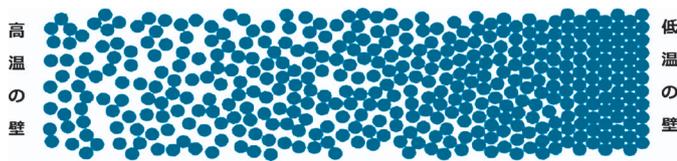


図4 熱伝導シミュレーションのための模型。横長の直方体の中に剛体球を入れ、左右の壁は異なる温度に保たれた「熱壁」である。上下方向には周期境界条件を課す。左右の熱壁との衝突以外はすべて完全弾性衝突を繰り返す。

系に入れた系を考える。この図は2次元であるが、実際には奥行きもある3次元の系も同様に考える。この系の左右の壁は互いに異なる温度を指定してある。粒子が左右の壁に衝突すると、衝突前の速度は忘れ、壁の温度の熱平衡分布に従って新しい速度をランダムに割り当てられる。これにより左右の端付近の粒子を異なる温度に保つ。上下(3次元の場合は前後)には周期境界条件を課してあり、粒子間は完全弾性衝突をするものとする。

このような系を適当な初期配置・初期速度からシミュレーションを続けると定常状態に至り、系内に温度や密度が自律的に分布した状態となる。温度が低い部分は高い部分よりも密度が高くなることになる。固化する密度よりも高い部分は固体に、低い部分は流体となる様子が観察される。系内が単一の相の場合、その温度分布は高温側から低温側まで直線的となり、ほぼ一定の勾配を持つ。熱伝導率が一定の場合のフーリエ則から期待される分布である。

固相と流体相とが系内で相転移が生じて固体と流体の界面ができると、そこを境に温度勾配が変わることもみられる。各相では熱伝導率はほぼ一定であるが、固相と流体相とは異なることによる。というのも、熱流一定の定常状態では温度勾配は熱伝導率の逆数に比例するためである。

系内を流れるエネルギー流を計算し、実現した温度勾配で除すると熱伝導率が評価できる。図5に流体単相の場合の熱伝導率を示す。系内の平均粒子密度を一定に保ったまま系の熱流方向の長さを変え、熱伝導率の大きさ依存性を図示したものである。<sup>18,19)</sup> これらに示した系の長さ(大きさ)は、粒子半径の数十倍までである。分子の大きさとして半径を例えば0.3ナノメートルとすると、数ナノメートルから十数ナノメートル程度である。

この図からまず、熱伝導率は系の大きさに依存していることが分かる。図5(a)に示した3次元では粒子半径の150倍から200倍ぐらい(横軸のスケールで15から20ぐらい)よりも大きいスケールでは一定値であるが、それより小さいところでは小さくなっている。これらの結果から、大きさ $L$ の系の熱伝導率は

$$\lambda(L) = \lambda(L = \infty) - \frac{c}{\sqrt{L+a}} \quad (a, c > 0) \quad (4)$$

という形で良く記述されることが分かる。すなわち、微視的なスケールと巨視的なスケールとの間には明確な境目はなく、大きさの $(-1/2)$ 乗程度で徐々に移ってゆき、分子

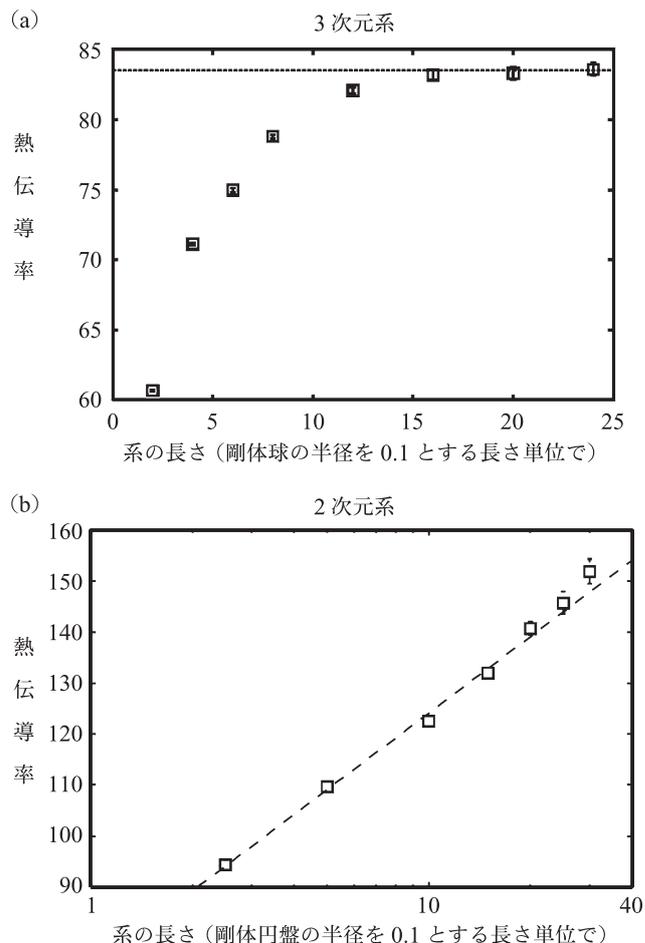


図5 流体相での熱伝導率の大きさ依存性を示す(文献19より引用)。長さは剛体粒子の半径を0.1とする単位を取った。固体への転移密度よりも20%程度低い密度である。詳細は文献19を参照されたい。(a) 3次元系の場合。(b) 2次元系の場合を横軸を対数スケールで描いた。

の大きさあるいは分子の平均自由行程の数百倍程度のところでの大きい巨視的な値に落ち着くと見なせることが分かる。逆にマクロな物質を小さくしてゆくと、このスケールぐらいまではマクロな物質と同じような熱伝導率も示し続けるが、これよりも小さくなると徐々に小さくなり、ミクロな可逆的な運動を示すようになる。熱伝導率はフーリエ熱伝導に伴って生じる非可逆性(エントロピー生成速度)の度合いを表す量であるので、可逆力学で支配されているミクロの極限ではなくなるわけである。

図5(b)に示した2次元系の場合には、熱伝導率の大きさ依存性は

$$\lambda(L) = c \log L \quad (5)$$

と発散してゆくことが見て取れる。1次元ではさらに強く、 $L^{1/3}$ 程度で発散していることも同様にして分かる。この結果は奇異に思われるかもしれないが、低次元の物質で熱伝導率などの線形非平衡状態の応答係数が3次元のものにはない異常性を持つことがカーボンナノチューブなどについて実験的に知られていることを考えれば、それほど妙な結論ではないだろう。このような大きさ依存性は剛体粒子に

限らない。レナード・ジョーンズ粒子系ほかでも、また流体相に限らず固相でも、同様の非平衡動力学シミュレーションにより確認されている。<sup>22,23)</sup>

フーリエ熱伝導を分子運動に基づいて再現するという非平衡統計力学の懸案はこのようにして解決したわけである。そこで非平衡状態の普遍性を求め、実現したフーリエ熱伝導現象の分析が進められた。分子運動による熱エネルギーの伝搬に、一般に次の3種類の機構が考えられる。第1に分子の運動による運動エネルギーの移流である。分子の速度を $v$ とすると、運動エネルギーは $mv^2/2$  ( $m$ は分子の質量)なので、 $mv^2 \cdot v/2$ で表される熱エネルギーの流れが生じる。これを $j_k$ としよう。第2に分子の運動による相互作用ポテンシャルエネルギーの移流、 $j_U$ がある。そしてもう1つ、分子の衝突に際して作用する力がなす仕事として移動することによる伝搬もある。これを $j_F$ としよう。これら3つを合わせた

$$\mathbf{j} = \mathbf{j}_k + \mathbf{j}_U + \mathbf{j}_F \quad (6)$$

が、熱エネルギーの流れのミクロな力学に基づいた表現である。マクロにみると、 $j_k$ と $j_U$ との和が流れに伴う内部エネルギー $E$ の移流に相当する。速度 $v$ で流れている部分の熱流は $E\mathbf{v}$ である。レナード・ジョーンズ粒子を使ったフーリエ熱伝導の非平衡分子動力学シミュレーションから、流体ではこのうち運動エネルギーの移流 $j_k$ が平均の熱流に最も寄与していることが分かり、<sup>24)</sup> また各粒子(分子)の持つ $\mathbf{j}$ の分布関数も明らかとなった。そして非平衡状態の分布関数は、温度などの熱力学量が分子運動の向きに依存した分布であることも明らかとなった。<sup>25,26)</sup> こうした結果は線形応答仮説の根拠を与え、さらに精密に表現したものと考えられ、非平衡統計力学の研究に指針を与える成果といえよう。

さらにミクロとマクロとの関係が大きさや次元性と密接に関係していることも確認された。1次元・2次元では輸送係数が発散する異常が現れる。自然なマクロな極限が存在する3次元系の場合でも、ミクロな可逆運動とマクロな不可逆現象との間には明確な境目となるスケールはなく、大きさの平方根の逆数に依存して移ってゆくのである。このようなスケール依存性・異常が見られた理由を考えよう。外力に対する線形な応答を一般的に仮定して出発する線形応答理論から、熱伝導係数や電気伝導率など、外力により生じる物理量の流れがどれだけ生じるかを示す輸送係数は、対応する物理量の時間相関関数であることが分かる。<sup>20,21)</sup> 熱伝導率 $\lambda$ は熱流 $J(t)$ の相関関数 $C(\tau)$ を使って

$$\lambda = \frac{1}{Vk_B T^2} \int_0^\infty C(\tau) d\tau, \quad (7)$$

となる。グリーン・久保公式と呼ばれる、熱伝導係数の分子運動に基づいた表式である。ここで $V, T, k_B$ は系の体積、温度、ボルツマン定数で、 $C(t) = \langle J(0)J(t) \rangle$ は時刻 $t=0$ の熱流 $J(0)$ と $t$ での $J(t)$ との積を、 $J(0)$ について熱平衡分布

に従ってアンサンブル平均をとったものである。 $\langle J(0) \rangle = 0$ なので、これは $J$ の時間相関関数である。

熱平衡状態では熱流の平均値 $\langle J \rangle$ は0であるが、 $J$ 自身は0の周りでゆらいている。このゆらぎの緩和関数が $\langle J(0)J(t) \rangle$ であるが、この手の緩和関数は緩和時間ぐらいの後に平衡値、すなわち0に至るという指数関数的な $ae^{-t/\tau}$ なるふるまいをすと思いがちだが、かならずしもそうではない。運動に際して保存する量の緩和は、指数関数よりもずっと遅いのが普通である。保存量は消えてなくなったり湧いて出たりはしない。平衡値との過不足分を周りとり取りした結果として緩和するのである。

このやり取りは分子運動スケールでは拡散的であろう。この拡散定数を $D$ とすると、時間 $t$ の間に最初の過不足は大きさ $\sqrt{2Dt}$ の領域に拡散するであろう。系が $d$ 次元であれば、体積が $(\sqrt{2Dt})^d$ の領域に薄まるわけである。よって、緩和は

$$\frac{1}{(\sqrt{2Dt})^d} \sim \frac{1}{t^{d/2}} \quad (8)$$

とゆっくりとしたものになるのである。これが緩和関数の、いわゆる「長い尻尾 long-time tail」(以下、LTTと略する)と呼ばれているものである。<sup>27-30)</sup> 2次元より低い次元( $d < 2$ )では、低次元ならではの異常が現れ、この緩和は $1/t^{2d/(d+2)}$ となることが予想されている。<sup>31)</sup>  $d=1$ の1次元では、 $1/t^{2/3}$ となることになる。

熱流 $J$ 自身は必ずしも保存量ではないが、式(6)でみた熱流への3種類の寄与のうち、内部エネルギーの移流を表す2つはエネルギーと運動量の積であり、どちらも保存量であるため、相関関数はLTTを持つことになる。これをグリーン・久保公式(7)に従って積分して熱伝導率を評価しようとする、1次元系、2次元系では積分

$$\int_0^\infty \frac{1}{t^{2/3}} dt, \quad \int_0^\infty \frac{1}{t^{1/2}} dt \quad (9)$$

が発散し、熱伝導率も発散する。3次元系では、

$$\int_0^\infty \frac{1}{t^{3/2}} dt \quad (10)$$

は収束する。大きさ $L$ の有限系では積分の上限として $\infty$ の代わりに、音速など典型的な速さを $c$ として $L/c$ で打ち切ると、熱伝導率 $\lambda$ は

$$\lambda \sim L^{1/3} \text{ (1次元系)}, \quad \log L \text{ (2次元系)}, \\ \lambda(L=\infty) - \frac{c}{\sqrt{L}} \text{ (3次元系)} \quad (11)$$

が得られ、シミュレーションにより得られた大きさ依存性を再現する。

結晶の場合も3次元ではフーリエ熱伝導が確認されている。<sup>32)</sup> 流体では数百でマクロとなったが、結晶では数千ぐらゐを要する点が特徴である。また線形輸送特性の形状と次元性についての理論も耕され始めている。<sup>33)</sup>

冒頭の節で紹介したように、こうした線形非平衡現象が分子運動とどのように結びついているのかを解明すること

は、統計物理学の黎明期から20世紀を通して非平衡統計物理学の中心課題であり活発な研究が続けられてきた。そしてこの研究は上に紹介したような計算機シミュレーションにより自在に再現でき始めたことにより、完成の域に達したと考えられる。上で紹介したフーリエ熱伝導を突破口とし、オームの法則<sup>34)</sup> 流体の線形粘性<sup>35)</sup> 熱拡散効果<sup>36)</sup> といったさまざまな線形非平衡現象や、反応拡散流れ系の示す多様なふるまい<sup>37)</sup> も非平衡分子動力学シミュレーションによる解析が行われている。

#### 4. 熱機関の効率と出力

冒頭にもふれたように、動力機関の成長により産業革命が生じ、また現代の科学技術が成長した。特に熱統計力学は、流体物理学とともに動力機関の技術と密接に関わっている。カルノー機関から生まれたエントロピーから熱力学が生まれ、その力学的解釈から分子・原子論および統計力学が生まれた。

温度が異なる2つの熱源から得られる仕事は、高温熱源(温度  $T_H$ ) から低温熱源(温度  $T_L$ ) へ移った熱エネルギーの  $(1 - T_L/T_H)$  倍を越えないという熱力学第二法則は、熱機関を考える際の大きな指針となっている。この、いわゆるカルノー効率  $\eta_C = 1 - T_L/T_H$  を実現する準静的カルノー機関は、最もエネルギー効率の高い熱機関と考えられる。しかし準静的すなわち無限にゆっくり動作するため、1サイクルに要する時間も無限に長く、出力(単位時間あたりの仕事)は0である。出力0の機関は動力機関としては実用にならない。実用機関は、熱効率の高さも重要ではあるが、機関の単位体積・単位重量あたりの出力が最大となるように設計することが望ましい。

0ではなく有限の出力を持つ熱機関の効率はどうか、カルノー効率を実現するにはどうすれば良いかという問題は、熱統計力学の基本的な課題の1つと考えられる。カルノーの時代以降長い間、この問題は熱機関の改良を試み続ける機械工学的な研究開発を中心に進展し、また近年になって熱電素子ほかを通して材料科学や、運動タンパク分子ほかを通して分子生物学も成果を上げている。この間、熱統計力学側からの研究成果は補助的なものに甘んじていたが、今世紀に入って進展がみられた。

まず、線形非平衡状態で動作するなどの一定の制限の下で、熱機関の最大出力時の効率は  $\eta_{CA} = 1 - \sqrt{T_L/T_H}$  となることが明らかとなった。<sup>38-40)</sup> この  $\eta_{CA}$  は、カルゾン・アルボン効率と呼ばれているもので、経験的に提唱されていたものである。<sup>41)</sup>

次に計算機シミュレーションにより分子運動に基づいて熱機関の動作を再現することに成功したことである。<sup>42,43)</sup> こうしたシミュレーションにより、ナノスケールからメソスケールでの熱機関の動作と特性とが解明されつつある。現実の熱機関は次節で紹介するような非線形非平衡領域で動作するものが多い。こうした計算機シミュレーションに

よる非線形非平衡現象の解析も進んでおり、熱機関に関係する気液相転移や乱流、衝撃波の分子運動に基づいた再現にも成功している。

熱機関から生まれた熱統計力学が、200年近くかけてようやく現実の熱機関を視野に入れることができはじめているように思われる。そして近い将来、技術開発を先導するようになることを期待している。

#### 5. 非線形非平衡状態へ

平衡状態から引き離す外力に対して線形にはふるまわない状態は、非線形非平衡状態とひとくくりにして呼ばれる。非線形非平衡状態の身近な例はスイッチである。スイッチの入り切りはごくわずかな力で実現するが、入り切りかで結果は大きく異なる。逆に非線形に応答する物質はスイッチデバイスとしての活用を考えるわけである。計算機をはじめとする情報処理装置はスイッチデバイスを組み合わせて実現されているわけであるから、<sup>44)</sup> 非線形非平衡物理・物性物理の最大の応用の1つは高性能計算機ということもできる。計算機自身は入力に対してきわめて非線形な出力を自在に生み出す非線形非平衡物質であり、スイッチデバイスほかの素子を複数組み合わせて作り上げたこうしたシステムを分子運動に基づいて設計・作成することがナノテクノロジーの目標であろう。そしてこの目標の実現可能性を演出してきた統計物理学は、こうした自律的なシステムの記述・解析の実現を軌道に乗せた段階で大きな目標を達成するものと考えられる。

物質に作用させる外力を大きくしてゆくと、相転移・相分離<sup>45,46)</sup> や渦運動<sup>35)</sup> の形成といった空間・時間的な不均一性の形成とともに線形非平衡状態を超えた非線形な応答を示し、非線形非平衡状態が実現する。破壊現象<sup>6,47-50)</sup> や乱流<sup>51)</sup> がその典型である。そしてその応用として、気液相分離を活用した熱流の整流デバイスやスイッチも提案されている。<sup>52,53)</sup>

こうした非線形現象を捉えるためには、線形非平衡現象を実現するよりも大きい系を扱う必要がある。簡単な分子模型を使った最も本質的な場合も、前節でみたように線形非平衡現象には分子間スケールの100倍程度の大きさが必要なので、例えばその10倍の1,000程度が非線形現象のための1つの目安となろう。

そしてそのさらに10倍の10,000程度(3次元であれば

表1 分子運動から複雑な物質・システムまでの階層の概略。分子間の距離を1 nmとして大きさの目安も示した。

分子数	大きさ	現象論や例	必要な計算性能
数個~ $10^3$	10 nm	熱平衡状態, 素材	MB・MFLOPS
~ $10^3$	100 nm	線形非熱平衡状態, 受動デバイス, 層流	GB・GFLOPS
~ $1,000^3$	1 $\mu$ m	非線形非平衡状態, 能動デバイス, 乱流	TB・TFLOPS
~ $10,000^3$	10 $\mu$ m	複雑なシステム, 細胞・プラント	PB・PFLOPS

10,000<sup>3</sup>) が、分子からみた自律的なシステムを実現するスケールと期待される。表1にここまでで紹介したスケールをまとめて示す。非線形の1,000<sup>3</sup>、システムの10,000<sup>3</sup>は少々大雑把ではあるが、相当する自然現象と期待される生物の基本要素である細胞が概して数 $\mu\text{m}$ と同程度であることから、それほど的外れでもないのではないか。運動・変形し増殖してゆくバクテリアを分子運動に基づいた模型で再現する可能性が拓かれるわけである。そのような巧みな分子モデルを構築することにより、10,000<sup>3</sup>程度の分子の運動の中に「生命」や「魂」が宿るまでを理論的に解明できる可能性がある。そしてこのスケールの分子集団を自在に操ることが物質科学としての統計物理学の1つのゴールと考えられよう。

以上よりミクロな分子から目指すマクロな系は、必ずしもアボガドロ数個(大体 $(8 \times 10^7)^3$ )程度必要とは限らないと予想される。10,000<sup>3</sup>分子で十分「マクロ」な現象の解明が期待される。冒頭に記したようなアボガドロ数回程度の計算を10,000<sup>3</sup>= $10^{12}$ 分子のそれぞれに対する $10^{12}$ 回の演算として活用できるわけである。

簡単な古典的分子模型を使った標準的な分子動力学シミュレーションでは、1つの分子の状態を次の時間刻みに更新するのに要する演算は数百から数千回である。1対の分子間に作用する力を計算するのに数十回程度で1つの分子は数十個の分子と相互作用しているというのが典型的であるからである。密度が低い系では分子はほとんど相互作用していないこともあり、もっと少ない演算回数で更新できる場合もある。複雑な相互作用や長距離相互作用を考えれば、もっと演算が必要なこともある。

1分子の状態を表現するためには、数十バイトで十分である。球対称ポテンシャルのもとで粒子の回転を無視できれば、3次元の座標と運動量の6成分で良い。しかしシミュレーションに際しては、各粒子あたりに力や近接粒子の表も用意すると効率的なので、数百バイト程度は必要となる。

ここでは簡単のため、1分子あたり1,000バイト・1,000演算で更新できるとしよう。その場合に必要となる計算機の性能も表1に示してある。例えば10,000<sup>3</sup>=1T(テラ、 $10^{12}$ )粒子ならば、1PB(ペタバイト、 $10^{15}$ バイト)の記憶容量、毎秒1ステップの速さで状態を更新するためには1PFLOPS(ペタフロップス、毎秒 $10^{15}$ 回の浮動小数点数の乗算・加減算)の演算性能を持つ計算機で実現できることになる。あるいは0.1PB・10PFLOPSの計算機では、 $10^{11}$ 粒子からなる系を1年間に $3 \times 10^9$ ステップ更新できることになる。

分子間の衝突に要する時間がピコ秒( $10^{-12}$ 秒)以下であることを考えると、 $10^9$ ステップではミリ秒にも達しない。一方、ターゲットとする細胞の活動などのように、秒からキロ秒での現象を解明するにはうまく粗視化したモデルが必要である。ということは、こうした研究からは粗視化モデルを構築するための知見が期待できるというわけである。

## 6. さらなる展望：多様な世界へ

以上、分子運動から出発し自律したシステムの性質・挙動を分子運動に基づいた解明がアボガドロ級計算機により可能となるという見通しを論じた。計算機があるスケールの問題の解析に必要な性能に到達してからその問題が解明され自在に操れるようになるまでには、20年程度を要する。計算機がMFLOPSに到達し熱平衡状態を解明することが可能となったのは1960年代初めだが、熱力学的な相や相転移のシミュレーションによる解析が軌道に乗ったのは1980年代であった。計算機がGFLOPSに到達し線形非平衡状態を解明することが可能となったのは1980年代前半だが、熱伝導などの解析が軌道に乗ったのは2000年以降のこの10年間である。そして現在、非線形非平衡状態の解析を軌道に乗せるべく研究が続けられているが、TFLOPS級の計算機が現れたのは1990年代終わりである。そして現在現れつつあるアボガドロ級の計算機で、自律システムの解析が軌道に乗るのは2030年頃となる。

計算機の性能も技術的にはまだまだ成長を続けており、2020年までにはトップエンドはEFLOPS(エクサフロップス= $10^{18}$ FLOPS)を超え、アボガドロ級計算機は小規模なシステムへ、ノートパソコンはTFLOPS級になると期待される。現在の小規模システムはTFLOPS級で、これは10年前はトップエンドの性能であった。ノートパソコンはGFLOPS級で、これは25年前のトップエンドの性能である。ついであるが今日の携帯電話は数百MIPS程度の性能を持ち、これは30年前のトップエンドの性能に匹敵する。今では計算機は科学技術研究の中核をなす道具である。トップエンドの「スーパー」コンピュータで実現したものは10年から20年の時間差をおいて社会のすみずみに浸透することになる。逆に考えると、トップエンドの計算機は未来へ行くタイムマシンのようなものともいえよう。このため、より高性能の計算機をより効果的に活用することは、科学技術社会における競争力の源泉であり、安全保障上の要でさえある。

短距離相互作用する古典力学的な分子模型(あるいは分子にこだわらず離散要素と括げてよい)を多数集めた系には、本稿で議論したようにミクロからマクロまで多様な現象を記述することができるという特長がある。さらにこれからの計算機で際立つ、計算手法上の利点もある。それは大規模な並列処理が容易であるということである。アボガドロ級計算機が既に10万程度の並列処理を想定しており、続くEFLOPS級ではさらに桁違いの並列化が必要となる。ここで考えている分子動力学シミュレーションでは、素朴に物理領域を分割して各並列プロセスに適切に割り当てるだけで効果的に並列化できるのである。境界から相互作用する距離程度にいる分子の情報をすぐ隣のプロセスに渡すだけでよいからである。OSなどのシミュレーションプロセス以外からの干渉による各プロセスの足並みの乱れを除けば、並列化による効率の低下はほとんどない。現在

のスーパーコンピュータでは、弾性球やレナード・ジョーンズ粒子といった基本的な分子模型を使うと、10 GFLOPS 強の CPU コアあたり毎秒  $1 \sim 20 \times 10^6$  粒子程度を更新することができる。また  $10^4$  並列程度までは、効率よく並列化することも確認されている。<sup>54)</sup> 今後、 $10^5 \sim 10^6$  並列からそれ以上でのシミュレーションにも期待が持てる。

さてアボガドロ級の計算機による研究が軌道にのり、ナノテクノロジーも花開き、種々のシステムをナノスケールから効率的に実現することが可能となったとしよう。その世界は、多様なシステム、それも個々が自律的に機能する複雑なものの共生により維持されている世界となろう。すると人間はこういう世界を効率的に管理運営する必要に迫られる。こうした技術が社会に浸透するためには、複雑多様な集団がカオスとならず有効に機能し続けるように導く管理技術も開発する必要があるわけである。

こうした問題の解決への第一歩は、多様性を生み出し維持し続けるメカニズムは何か、という問題の解明と思われる。<sup>55,56)</sup> 理論科学の立場から言い換えると、多様性を生み出し維持し続ける系、すなわち「多様系」模型の整理・分類が第一歩と思われるのである。「多様性」という言葉はよく耳にするが、そもそも「いろいろ異なるさま。異なるものの多いさま」<sup>57)</sup> である。ではまったくランダムにいろいろなものを詰めたおもちゃ箱の多様性と生物の多様性とはどう違うのか、同じなのか？

この視点から熱平衡状態をみると、2種類の多様性がよく知られていることに気がつく。1つは無秩序相（高温相）、すなわち各点・各自由度が全くランダムにふるまうことにより生じる多様性である。もう1つは臨界状態、すなわちあらゆるスケールでさまざまな状態がゆらぎとして現れることにより生じる多様性である。もちろん自由度・相互作用により無秩序相にも臨界状態にもいろいろな種類があるが、大雑把に言ってこの2種類である。前者は自明な多様性なので、ことさらに多様と表現するよりは、単に乱雑というに尽きる。後者はベキ分布・ベキ緩和で特徴付けられ、系全体が強く相関し始めるときに生じることから、乱雑を超えた性質が見られると考えられるような多様性を特徴付けようとする際にまず考える多様性である。「カオス」現象ではベキ関数で特徴付けられる性質が多いため、臨界状態の描像は非線形力学系へと飛び火し、多様化のメカニズムの研究が進められてきた。

しかし現象論的には、乱雑というほど無相関ではないが、ベキ的な臨界状態ではちょっと相関が強すぎるというものもあるように思われる。例えば生態系である。人間も含めて生物個体の時間スケールでは生態系を作ったり新しい生物を生み出したりすることはできないが、生物集団の時間スケールよりも十分に長い時間スケールではさまざまな生物種が生まれ消えているように見え、乱雑な多様性と思いたくなる。一方、生態系は食物連鎖ほかで生物種が互いに依存しあっている上、外来種や環境開発の結果、生態系

の劇的な変化が生じた事例を見聞すると、乱雑よりも強い相関・相互依存を持っているように見える。しかし、臨界的である、すなわちごくわずかな偶発事象により大局が劇的に変わるというカオス力学系のいわゆる「バタフライ効果」<sup>\*2</sup> が具現していると信じられるほどグローバル化してはいないとも思われる。

この第一歩ははじまったばかりであるが、これまでに引き延ばされた指数関数 (stretched exponential function) で特徴づけられる一群の多様系が、生態系進化やコンビニエンスストアの商品を記述するらしいということが明らかとなった。<sup>58-61)</sup> 少なくとも生物進化を手本に多様なシステムが織りなす社会を論ずる出発点は既に用意されたことは心強い。

## 参考文献

- 1) R. Friedberg and J. E. Cameron: J. Chem. Phys. **52** (1970) 6049.
- 2) N. Ito: Physica A **196** (1993) 591.
- 3) G. E. Moore: Electronics **38** (1965) 8.
- 4) N. Ito: 東京大学大学院理学研究科博士論文 (1990).
- 5) Annual Report of the Earth Simulator Center April 2002–March 2003 (The Earth Simulator Center, Japan Marine Science and Technology Center): <http://www.jamstec.go.jp/esc/publication/annual/annual2002/index.html>
- 6) S. Yukawa and N. Ito: Prog. Theor. Phys. Suppl. No. 178 (2009) 24. この論文の図1に示した今世紀中の計算物理学の成長トレンドは、本解説の図1のそれよりも少しゆるく示している。しかし、現在の計算機の性能を鑑みて本解説時点では、より急な成長を期待している。
- 7) I. Foster: Physics Today **55** (2002) 35.
- 8) B. J. Alder and T. E. Wainwright: J. Chem. Phys. **27** (1957) 1208.
- 9) C. Tsallis: J. Stat. Phys. **52** (1988) 497.
- 10) N. Ito and C. Tsallis: Nuovo Cimento **11** (1989) 907.
- 11) W.-J. Ma and C.-K. Hu: J. Phys. Soc. Jpn. **79** (2010) 024005 および 024006.
- 12) 伊藤伸泰, 尾関之康, 野々村禎彦: 日本物理学会誌 **54** (1999) 336.
- 13) 伊藤伸泰, 尾関之康: 固体物理 **36** (2001) 839.
- 14) Y. Ozeki and N. Ito: J. Phys. A **40** (2007) R149.
- 15) W. W. Wood and J. D. Jacobson: J. Chem. Phys. **27** (1957) 1207.
- 16) B. J. Alder and T. E. Wainwright: J. Chem. Phys. **27** (1957) 1208.
- 17) T. Nogawa, N. Ito and H. Watanabe: Phys. Rev. E **82** (2010) 021201.
- 18) T. Shimada, T. Murakami, S. Yukawa, K. Saito and N. Ito: J. Phys. Soc. Jpn. **69** (2000) 3150.
- 19) T. Murakami, T. Shimiada, S. Yukawa and N. Ito: J. Phys. Soc. Jpn. **72** (2003) 1049.
- 20) R. Kubo: J. Phys. Soc. Jpn. **12** (1957) 570.
- 21) R. Kubo, M. Yokota and S. Nakajima: J. Phys. Soc. Jpn. **12** (1957) 1203.
- 22) F. Ogushi, S. Yukawa and N. Ito: J. Phys. Soc. Jpn. **74** (2005) 827.
- 23) F. Ogushi: 東京大学大学院工学系研究科博士論文 (2008).
- 24) F. Ogushi, T. Shimada, S. Yukawa and N. Ito: Prog. Theor. Phys. Suppl. No. 178 (2009) 92.
- 25) S. Yukawa, T. Shimada, F. Ogushi and N. Ito: J. Phys. Soc. Jpn. **78** (2009) 023002.
- 26) T. Shimada, F. Ogushi, S. Yukawa and N. Ito: Prog. Theor. Phys. Suppl. No. 178 (2009) 100.
- 27) B. J. Alder and T. E. Wainwright: Phys. Rev. Lett. **18** (1967) 988.
- 28) B. J. Alder and T. E. Wainwright: Phys. Rev. A **1** (1970) 18.
- 29) Y. Pomeau and P. Résibois: Phys. Rep. **19** (1970) 64.
- 30) M. H. Ernst and E. H. Hauge: Phys. Lett. A **34** (1971) 419.
- 31) O. Narayan and S. Ramaswamy: Phys. Rev. Lett. **89** (2002) 200601.
- 32) K. Saito and A. Dhar: Phys. Rev. Lett. **104** (2010) 040601.
- 33) T. H. Nishino: Prog. Theor. Phys. **118** (2007) 657.
- 34) T. Yuge, A. Shimizu and N. Ito: J. Phys. Soc. Jpn. **74** (2005) 1895.
- 35) T. Ishiwata, T. Murakami, S. Yukawa and N. Ito: Int. J. Mod. Phys. C **15** (2004) 1413.

\*2 もともとはローレンツアトラクタの形状が蝶に似ていることから。

36) A. Kamimura and N. Ito: J. Phys. Soc. Jpn. **77** (2008) 125001.  
 37) A. Kamimura, H. J. Herrmann and N. Ito: Phys. Rev. E **80** (2009) 061132.  
 38) C. Van den Broeck: Phys. Rev. Lett. **95** (2005) 190602.  
 39) B. Jimenez de Cisneros and A. Calvo Hernandez: Phys. Rev. Lett. **98** (2007) 130602.  
 40) M. Esposito, R. Kawai, K. Lindenberg and C. Van den Broeck: Phys. Rev. Lett. **105** (2010) 150603.  
 41) F. Curzon and B. Ahlborn: Am. J. Phys. **43** (1975) 22.  
 42) T. Akiyama: 東京大学大学院工学系研究科修士論文 (2008).  
 43) Y. Izumida and K. Okuda: Europhys. Lett. **83** (2008) 60003.  
 44) 中島 章, 榛澤正男: 電信電話學會雑誌 No. 165 (1937) 1087.  
 45) H. Okumura and N. Ito: Phys. Rev. E **67** (2003) 045301(R).  
 46) H. Watanabe, M. Suzuki and N. Ito: Phys. Rev. E **82** (2010) 051604.  
 47) N. Yoshioka, F. Kun and N. Ito: Phys. Rev. Lett. **101** (2008) 145502.  
 48) N. Yoshioka, F. Kun and N. Ito: Phys. Rev. E **82** (2010) 055102(R).  
 49) H. Inaoka, S. Yukawa and N. Ito: Physica A **389** (2010) 2500.  
 50) H. Inaoka, S. Yukawa and N. Ito: Physica A **391** (2012) 423.  
 51) S. Matsumoto: 東京大学大学院工学系研究科修士論文 (2012).  
 52) T. Komatsu and N. Ito: Phys. Rev. E **81** (2010) 010103(R).  
 53) T. Komatsu and N. Ito: Phys. Rev. E **83** (2011) 012104.  
 54) H. Watanabe, M. Suzuki and N. Ito: Prog. Theor. Phys. **126** (2011) 203.  
 55) 長谷川晃編: 『複雑系の秩序と構造』国際高等研究所報告書 101 (2001).  
 56) 吉田善章編: 『多様性の起源と維持のメカニズム』国際高等研究所報告書 401 (2004).  
 57) 『広辞苑第六版』(岩波書店).  
 58) Y. Murase, T. Shimada and N. Ito: New J. Phys. **12** (2010) 063021.  
 59) Y. Murase, T. Shimada, N. Ito and P. A. Rikvold: J. Theor. Biol. **264** (2010) 663.  
 60) Y. Murase, T. Shimada, N. Ito and P. A. Rikvold: Phys. Rev. E **81** (2010) 041908.  
 61) T. Mizuno and M. Takayasu: Prog. Theor. Phys. Suppl. No. 179 (2009) 71.

著者紹介



伊藤伸泰氏: 統計物理学, 計算科学および計算機科学が専門.

(2010年11月11日原稿受付)

The Avogadro Challenge

Nobuyasu Ito

abstract: The Avogadro number, which had been considered as a synonym of infinity, is now becoming a big, but finite and reachable number using high-performance computers realizing now. For example, the K computer in Kobe recorded faster than 10 PFLOPS ( $10^{16}$  arithmetic operations per second), therefore 1 mol operations are achieved if one use it for two years, one of big challenges of such “Avogadro-scale” computer will naturally be in a statistical physics: a challenge to connect nanoscopic molecules and macroscopic phenomena. Using simple molecular models, equilibrium and linear nonequilibrium phenomena have been reproduced by molecular dynamics simulations. Studies on nonlinear nonequilibrium phenomena have started using systems of sizes of around  $1,000^3$  now, aiming at reproduction of complex autonomous systems like life using  $10,000^3$  systems.

物理教育 第60巻 第2号(2012) 目次

研究報告

コンデンサーを用いた電束電流の測定と教材化……………横田穰一

IH 調理器を使った理科学習 ……………沖花 彰

論説: 光の3原色と黒体輻射……………室谷 心

研究短報: レンズを通る光と像に関する ICT 教材の開発

……………白石一雄, 定本嘉郎

私の工夫: 学生チームによる科学啓蒙・地域連携活動とその

教育効果……………長谷川誠

私の実践: 小学校教員研修での「ものづくり」~光通信と

電磁誘導~……………平島由美子

談話室

セシウム 137 による内部被ばくについて……………三門正吾

MIT OCW の授業での利用……………小室孝志

ワンポイント

月の重力加速度について……………真鍋和朗

放射性物質の廃棄について……………真鍋和朗

クリップモーターの工夫……………平島由美子

生物学的半減期……………編集委員会, A

実効半減期……………編集委員会, A

実効半減期の数値例……………編集委員会, A

学会報告: 平成24年度大学入試センター試験 物理I及び

理科総合A問題に対する意見……………入試検討委員会

《新潟支部特集》

中学・高校のつながりを意識した理科教育……………丸山 敬

サイエンス・リーダーズ・キャンプに参加して……………吉楽高夫

理科の発展に大きく関与する「理セン」……………永井 哲

SPPでの電磁気分野の学習について……………梅田智子

簡単な消費電力量の算出で行うエネルギー学習……………大野成康

生徒に実感を持たせるための電磁気分野の教材2種~ガラス

容器スピーカーとエレキギター~……………長谷川雅一

# 小特集：スタートした新英文誌 PTEP

## はじめに

瀧川 仁 (刊行委員長 東京大学物性研究所 277-8581 柏市柏の葉5-1-5)

1946年の創刊以来、日本の理論物理学の発展の舞台となってきた Progress of Theoretical Physics (PTP) が、Progress of Theoretical and Experimental Physics (PTEP) と名前を変え、装いを新たに再生することになった。ここに至った経緯については、2010年の物理学会誌 11, 12月号の小特集「物理学英文誌刊行の新体制 I, II」に詳しく紹介されている。物理学会ではその後、PTEPを完全なオープン・アクセス・電子ジャーナルとして刊行することと、制作とオンライン公開について Oxford University Press と提携することを決定した。物理学会にとって初めての海外出版機関との本格的な提携となる。

PTEPは素粒子・原子核・宇宙・ビーム物理などを主たる分野として想定しているが、物性分野の論文が多い物理学会のもう一つの学術誌 JPSJ とは大きく異なる刊行体制のもとで出発する。また未確定の要素も多い。例えば、高エネルギー分野の論文のオープン・アクセス化を一気に目指す SCOAP<sup>3</sup> 計画の成否は、PTEPの将来にも大きく影響する。ともあれ、関連する研究者の大きな期待を背負って目前に迫った PTEP の船出を記念して、この小特集が企画された。

最初の3稿では、PTEPの立ち上げに関わった方々に抱負を語っていただいた。長島順清氏は、素核宇宙ビームの実験論文の編集を JPSJ/PTP 共通で行ってきた合同編集部の代表で、PTEP 創刊を記念する特集号の総括責任者でもある。坂井典佑氏は初代編集委員長として現在 PTEP の編集体制の整備に尽力されている。野崎光昭氏は SCOAP<sup>3</sup> への対応をはじめ、高エネルギー・コミュニティを代表して新学術誌の検討に関わってこられた。最後の記事では、半世紀以上にわたって PTP が果たした役割を振り返り、PTP 編集委員長早川尚男氏による歴史的な総括に続き、九後太一氏、川上則雄氏によって素粒子理論、物性理論それぞれにおける記念碑的な論文が紹介されている。

物性実験を専門とする筆者にとっても、関連する研究分野のコミュニティの熱い期待を感じながら、多くの方々に支えられて、刊行委員長として PTEP 刊行の計画に携わってこられたことは、大変有意義な経験であった。この小特集に寄稿して下さった方々を含め、これまでお世話になった多くの関係者に感謝の意を表します。

(2012年4月23日原稿受付)

## PTEPの発刊にあたって

長島 順清 ◇

PTEP (Progress of Theoretical and Experimental Physics) の発刊によりようやく日本でも素粒子・原子核・宇宙・ビームの各分野における実験研究の発信の場が設けられることになった。大変めでたいことである。しかし、実験物理に身を置いた私としては、理論の論文刊行誌 PTP (Progress of Theoretical Physics) は60年以上も前から存在していたのに、なぜもっと早く実現できなかったのであろうかという疑問と同時になぜ自分たちでやれなかったかという反省の念を起さずにはいられない。

論文誌に掲載される論文の質の高さによりその評価が決まる。それでは雑誌を作ってもそれに見合う質の高い実験論文が期待できなかったのであろうか？ 実際には30年以上も前から世界の注目する実験論文が日本から続々と生まれていたことは周知の事実である。ではなぜか？ 詰まるところ論文誌を我々自身の手で発行することの意義と使命感の欠如を問うことになる。

資源に乏しく老大国になりつつある日本の生きる道は科学技術立国を目指した知的産業振興にありとは識者の一致するところである。大局的に考えれば学術誌発行は情報発信基地を築くための先遣隊と心得るべきであろう。PTEP 発刊の使命の第一義はここにある。もっと狭い立場から考えると、我々自身が成し遂げた学問の成果は自らの手で発信したいという素朴な願いがある。さらにいうならば基礎科学の内容と意義を広く国民に知らせるという義務をかなえる道でもある。義務と言うよりはもう少し切実な動機かもしれない。

理論と違って実験は考えるだけではできない。金を使う経済活動でもあるが、金を出す理由には二通りある。必要だからという理由と面白いからという理由である。面白いという言い方は少しくだけ過ぎかもしれない。要は衣食住以外の人間として生きるための社会・文化活動を行うことへの動機付けである。後者はある程度ゆとりがないとでき

ない。実験科学の隆盛は個人能力だけでなく国力の充実と関係している所以はここにある。‘CPの破れ’を研究したいから予算をつけてくれと申請したとき、予想される素朴な反応はそれが何の役に立つのですかという疑問であろう。基礎科学は国家百年の計に必要なとは私たちがよく使うフレーズであるが、直接に役に立つとは決していえないところがある。基礎科学の動機は知的好奇心を満たすことであり、そもその起源は王侯貴族の趣味にあったということは忘れてはいけない。財布のひもが民意にあずけられた今、巨額の資金の正当化には国民の知的好奇心が唯一のよりどころである。知的好奇心を喚起するには、我々のなすべきことの面白さを知って貰わなければならないというのが、我々という小乗の立場から見たもっとも切実な動機といえる。

しかし、雑誌の刊行は使命感だけではやっていけない。論文誌の発展と維持には質の高い論文を定常的に集積することが必須である。功成り名を遂げた成功者には、売れない雑誌にも使命感で投稿する余裕があるかもしれないが、研究者の根幹を構成する中堅若手の研究者を引きつけるには、投稿したいという意欲を喚起するだけの雑誌の魅力が必要であり、そのためには工夫が必要である。

PTEPはPTPの後継誌という位置づけであるが、創刊を機に実験関係にも守備範囲を広げる。オンラインのみの電子ジャーナルであり、しかも誰でもがアクセスできるオープン方式という新しい方式を採用する。したがって維持費は投稿者負担となるが、研究者個人に負わせたのでは誰も投稿したがるまいであろう。しっかりした支援体制が必要となる。幸い物理学会とKEKや理研の理解を得て、出だしのめどはついたようであるが、新しい試みであることは間違いないし、物理学そのものが大きな変革を迎えている

時期でもある。なにしろ、一つの論文に数百名を超える研究者が名を連ねる時代である。研究者としてのアイデンティティが問われているこのときにあたり、新規刊行のリスクは決して小さくはないことも心にとめ置く必要があるだろう。

PTPは湯川博士の創始以来70年近い歴史を持つ。したがって理論の論文の質に関してはある程度予想がつけられるが、実験関係論文には実績がない。このため、早期に良質の論文を引き寄せる方策をいくつか試みる。PTEP創刊にあたっては、まず実験物理と計算機科学の特集号を2012年に不定期に刊行し、定期刊行は2013年から行うという方針をとった。また、電子ジャーナルの実際の製作とオンライン公開はOxford University Pressに委嘱して発刊の効率化と広い購読層の開拓をはかることにした。特集号のテーマは、多少の変動はあるにせよ、概略

- 1) 素粒子原子核宇宙における計算機科学
- 2) J-PARCの研究
- 3) 理研の研究
- 4) 高エネルギー実験
- 5) 非加速器物理学

などが検討されており、今のところ全て招待論文で構成する予定である。

しかし、初期段階では投稿者の自発的投稿に頼るだけでは多分不十分であろう。そのため実験論文招致を目指す企画委員会を編集委員会とは別途に立ち上げることにした。さらには日本人研究者には、使命感を持って意図的にPTEPに投稿するという姿勢を、少なくとも初期段階では心構えとして持っていただきたいと考える。そのため、皆様のご協力とご支援をお願い申し上げる次第である。

(2012年3月18日原稿受付)

## 新英文誌PTEPの目指すもの

坂井典佑 (東京女子大学数理科学科 167-8585 東京都杉並区善福寺2-6-1 )

### 1. PTEPの四つの柱

2013年から新学術誌Progress of Theoretical and Experimental Physics (PTEP) が刊行されます。私はこの新学術誌PTEPの初代編集委員長のご指名を受けました。本稿では、PTEPの目標について、私見を述べさせていただきます。

この学術誌は、次の4つのポイントを柱としています。第1に、この学術誌は、1946年の創刊以来、我が国の物理学の情報発信の中核のひとつとなっているProgress of Theoretical Physics (PTP) の後を引き継ぐ学術誌です。第2に、PTEPは理論だけでなく、実験分野の論文発表のための学術誌として新たな発展を期しています。PTPはノーベル賞論文を始め、長い伝統と多くの実績を有する学術誌ですが、

これまでは事実上、理論論文のための学術誌でした。我が国の素粒子・原子核・宇宙・ビーム物理・測定器・加速器などの実験分野は大きな発展を遂げ、我が国から世界に向けて学術情報の発信を行う必要性が高まっています。もしもひとつだけあげるとすれば、実験分野の学術論文のための新たな学術誌刊行ということが、新学術誌が必要となった最大の理由と言えるでしょう。第3に、PTEPは世界的にも新しい試みである、完全なオープンアクセス・ジャーナルとして出発します。PTEPは高い質の世界的な情報発信の舞台となることを目指さねばなりません。いつでも、誰でも、世界のどこからでも、無料で電子媒体としてダウンロードできるという完全なオープンアクセス・システム

は、学術情報のサーキュレーションを画期的に良くするという意味で、大きな助けになることでしょう。第4に、PTEPの刊行主体は日本物理学会となります。PTPの刊行は今まで理論物理学刊行会が行っており、日本物理学会はその背後に居ただけでしたが、今後は経営・財政・編集のすべてにわたって日本物理学会が責任を負うこととなります。この体制がオープンアクセスを初めとする新たな刊行形態を支え、発展させるために重要な役割を果たすことが期待されます。

以上に述べた目標は、簡単に達成されるものではありません。今後も引き続き関係者の多くの努力が必要ですが、何よりも我が国内外の物理学研究者とそのコミュニティの有形無形の支えが最も重要な要素ではないかと感じます。

以下では、上にまとめた新学術誌の目指すところを個別にもう少し詳しく見ていきたいと思います。

## 2. PTPの後継誌として

輝かしい実績をあげてきたPTPは、2012年に最後の巻を発行し、PTEPに引き継ぐために論文募集を停止する予定です。最近では小林・益川のPTP掲載論文がノーベル賞を受賞したことが記憶に新しいことと思います。それ以外にも、創刊以来のPTPの各号を見ますと、多くの優れた論文が掲載され、ひとつの歴史を作ってきたことが感じられます。具体的な学術的内容については、本特集の他の記事に譲ることにして、ここでは、こうした学術的内容を支えるために必要な要素を考えてみましょう。

1990年代以後のインターネットとプレプリント・アーカイブの発達によって、学術出版の状況と研究環境は大きく変化しました。<sup>1)</sup> 今日では日常的な研究活動のために閲覧する論文は、プレプリント・アーカイブからダウンロードして読むことが普通でしょう。この傾向は、理論、特に素粒子理論の研究者の間で著しくなっています。分野によって多少の差がありますが、どの分野でも、最新の研究結果は出版論文よりも、プレプリントで読むというのが、実際の状況に近いと思われます。一人一人の研究者が論文の真偽と質の高さを判断できることは、研究者として不可欠なことです。しかし、それを前提にしても、学術誌が不要であると考える人は少数派でしょう。インターネット社会の中で(多くの誤った)情報が氾濫すればするほど、peer-reviewによって質の高さを保証された学術誌の重要性はいよいよ高まるとも言えます。

学術誌の質の高さを保証するために最も肝心なのは、優れたpeer-reviewシステムです。インターネット時代でも、学術誌の存在意義を保証するには、peer-reviewに参加し、活動してくれる研究者がどれだけいるかが決定的役割を果たします。その意味で、学術誌は研究者コミュニティによって支えられて初めて成り立ちます。今までPTPのために、多くの研究者がrefereeとして、また編集者としてpeer-reviewの質の確保に努力して下さいました。今後も、学会

員の皆様の協力を得て、さらにこのシステムを発展させ、改善していく必要があります。それだけではなく、世界の情報発信の重要な一翼となるためには、国際化時代を迎えて、より多くの質の高い外国からの投稿、特にアジア・オセアニア地域からの学術情報発信により多く寄与する必要があります。そのためにも、今まで以上に多くの外国在住の方をPTEPの編集委員として迎えるように努力したいというのが、PTEP編集委員会の方針のひとつです。もちろん、PTEPのために真剣に努力して下さい方を海外から得ることは簡単ではありません。しかし、世界的広がりや質を突き詰めるものとするために、今後も努力していくべき目標です。

## 3. 実験物理学分野

PTPの長い伝統とは別に、実験分野の学術発信の舞台を用意することは長い間の大きな課題でした。現在は、LHCやJ-PARCのような重要な実験施設が我が国内外で稼働を始め、新たな実験データが次々と出てくることが期待されています。この時期に当たり、実験分野を含む学術誌としてPTEPが新たに出発することは大きな意義があるでしょう。この状況を先取りして、実験分野の研究者を中心に、PTEP準備号の企画が進行しており、2012年中に刊行の予定です。この時期はPTPも平行して刊行され、ふたつの雑誌が短期間ですが、並び立ちます。2013年からはPTPに代わって、PTEPが正式に刊行され、実験と理論とが車の両輪として並び立つ学術誌となります。素核宇宙の実験分野を含む本格的な英文学術誌は、我が国としては新しい試みです。これを契機に、ビーム物理・測定器・加速器物理などの分野における研究成果を十分にPTEPに反映させることも、編集方針のひとつです。

学術誌への投稿は、強制的なものではなく、著者個人の判断によって行われます。その中で、PTEPという新しい試みがPTP以上に多くの方々から支持されて発展することを祈っています。PTEP準備号に結集した実験物理学の研究者を中心とする皆様の意気込みが今後も持続し、さらに多くの優れた論文を呼び込むように正のフィードバックがかかることを目標にしていきたいものです。そのためにも、今後も種々の機会に招待論文や特集号といった仕組みを活用して、PTEPの活性化を図ることを編集委員会としても考えています。また、PTEPが成功するためには、peer-reviewをはじめとする、多くの研究者の協力と努力が極めて重要です。ぜひとも学会員の皆様のご協力をお願いしたいと思います。

## 4. オープンアクセス・ジャーナル

海外の学術誌に投稿する研究者は我が国にも多くいます。その際にしばしば言われるのは、サーキュレーションの問題でした。PTEPは世界的にもまだ新しい試みである、完全なオープンアクセスのシステムを掲げています。これに

よって、サーキュレーションの点で、最も先進的な状況が提供できるようになります。研究論文が世界のどの研究者にも開かれたものであるべきだというのは、特に高エネルギー実験のように、多大の研究費と多数の研究者の努力によって成り立っている分野で極めて強い希望となっています。よりよく読まれる結果、より良い論文が多く集まるといふ正のフィードバックをもたらしることができるように、このオープンアクセスという新しい方式を十分に活用したいものです。その一方で、理論研究者の多くが望むように、投稿料が実質的に無料になるようであれば、厳しい国際競争の中で、多くの理論研究者の優れた論文を投稿してもらうことはできません。<sup>2)</sup> このふたつの要素を両立させることがPTEPの大きな課題であり、実現可能と考えています。

幸い、多くの方の努力によって、来年度からは、オープンアクセス学術誌に特化した学術誌支援の公的な仕組みが、新たに発足します。関係者の努力によって、KEK、理研といった大規模研究機関からの財政援助の枠組みも実体化しました。さらに、最終的には、物理学会が刊行主体になることによって、必要となれば、一時的であっても財政的に支えることが決意されていると考えます。

一方、今までは実験関係の論文は物理学会のもうひとつの重要な学術誌である Journal of Physical Society of Japan (JPSJ) が受け皿となってきました。実際には大多数の論

文が海外の雑誌に投稿されていた状況を改め、今後はぜひPTEPに投稿を促す運動が我々のコミュニティが必要であると考えます。今後、物理学会が主体的に関わることによって、ふたつの学術誌が互いに補完的、有機的に関わり合って共に成長していくことができるように努めたいと考えています。

我々を取り巻く環境を見ると、まだまだ不確定な要素が多くあります。オープンアクセスは世界の学術出版の趨勢であると考えられますが、それがどのような形に落ち着くのか、まだ見通しは立てられません。たとえば、セルンを中心として推進されている SCOAP<sup>3</sup>の計画が実際に動き出すのか、また、その中でPTEPはどのような役割を持つことができるのか、まだ不確定です。<sup>1)</sup> しかし、学術誌の充実と新たな出発のために、今は絶好の機会であり、待たなしの状況でもあります。現在の不確定性を克服して、我が国の学術出版に新たな機会を提供することになればこれに勝る喜びはありません。このために、ぜひ皆様のご意見や知恵を頂いて、努力を結集したいものと考えています。

#### 参考文献

- 1) 植田憲一：日本物理学会誌 **65** (2010) 961.
- 2) 杉本茂樹：日本物理学会誌 **65** (2010) 863.

(2012年2月10日原稿受付)

## PTEPへの期待

### 野崎光昭

〈高エネルギー加速器研究機構共通基盤研究施設 305-0801 つくば市大穂1-1〉

#### 日本発の学術誌は必要か？

会誌の読者には言うまでもないことであろうが、物理学はグローバルな学問であり、研究成果はどの国・地域から発行される学術誌に掲載されようとその価値に変わりはない。日本人研究者によって日本で行われた研究であっても、日本の学術誌に論文を投稿しなければならない必然性はなく、論文の評価を高めるために、できるだけ権威ある学術誌、世界中の多くの研究者に読まれる学術誌に投稿する、というのは自然な流れである。外国人研究者との共同研究、外国の研究施設を利用した研究が日常的となっている素粒子・原子核・宇宙線の実験研究においては尚更であり、この分野の論文はこれまでJPSJまたはPTPにほとんど投稿されてこなかった。筆者自身、国際共同実験への関わりが長く、日本の学術誌への投稿は極めて少なく、JPSJやPTPの編集へも関わってこなかった。その私が会誌の読者にPTEPへの投稿を期待して本記事を書くなど笑止千万かも知れない。しかし、あえて日本発の学術誌を育てることの意義について私なりに感じていることを述べたい。

#### 論文の評価を誰にゆだねるのか？

高エネルギー物理学研究所が設立された40年ほど前を振り返ると、筆者の専門分野である素粒子実験では、日本はまだまだ発展途上国であった。国内の加速器は世界の最先端からはほど遠く、この分野の発展に貢献してきた先達が、外国の実験に個人または小規模なグループとして参加し、実績を積み上げていた時代である。またこれらの経験を元に国内に自前の研究施設を建設して欧米に追いつくべく奮闘していた時代でもある。そしてそれらの研究成果は欧米学術誌に投稿され、研究の評価は先進国である欧米の高エネルギーコミュニティに委ねられていたといえる。筆者は当時の学術誌の状況には不案内ではあるが、当時既にノーベル賞等の世界的な評価を得ていた理論研究コミュニティが独自の学術誌PTPを刊行していたのと対照的に、実験分野では成果発信を担う日本の学術誌を育てる環境が整っていなかった。

その後、トリスタン加速器は電子・陽電子衝突において、短期間ではあったがエネルギーフロンティアに立ち、続く

KEKB 加速器では世界最高のルミノシティを実現し、Belle 実験は小林・益川理論を検証した。神岡の地下施設においては、Kamiokande 実験とそれに次ぐ Super-Kamiokande 実験、更には KamLAND 実験とニュートリノ研究で世界を牽引してきた。長基線ニュートリノ実験でも 12 GeV 陽子シンクロトロンでの K2K 実験、更には J-PARC での T2K 実験が世界の最先端でしのぎを削っている。そしてこれらの実験には、アジアはもとより、欧米からも多数の研究者が参加している。

このような変遷により何が変わったのか？ 世界の高エネルギーコミュニティの中で日本の影響力が格段に高まったことが実感できる。国際会議のニュートリノや B 中間子のセッションは日本発の成果抜きには成り立たないし、若手研究者が重要な講演を行う例も枚挙に暇がない。数多くの博士論文がこれらの研究を基に生み出され、若手研究者が育っていった結果、日本のコミュニティ全体の研究水準が向上した。良い意味での「学術的権威」が日本のコミュニティに芽生える素地が整ってきた。欧米に比べて研究者の絶対数は依然として少ないものの、研究の価値を正しく評価できる研究者層が十分に厚くなり、いまや研究の評価を外国の研究者に委ねる必要はなくなった。必要がないというより、論文の評価者として世界で最もふさわしい人材・人材群が、外国にではなく、日本にいるというケースも少なくない。

外国の学術誌の編集委員やレフリーを務めるなどにより、個人レベルで世界のコミュニティに貢献している研究者も少なからずいるが、日本発の学術誌を育てることを通して、より組織だった貢献をすべき時が来たのではないだろうか。そのためには日本の研究コミュニティを構成するひとりひとりの研究者が、ある時は論文の投稿者として、またある時は編集者やレフリーとして、PTEP を魅力ある雑誌に育てることに尽力して欲しいと願う。

### そもそも学術誌は必要か？

PTEP 刊行に至る検討段階において、「研究という観点だけ考慮すればアーカイブだけで十分である」という声をしばしば聞いた。プレプリント (arXiv) が普及している中で、いったい誰が従来の学術誌を必要としているのか？ ピアレビューなどしなくてもネット上で切磋琢磨されることによって論文の質が保証される、という考え方もある。一方で、従来のピアレビューに立脚した「学術的権威」が必要であると考えられる研究者も多い。専門家集団の中で論文を評価する場合は論文そのものを議論すれば良いのだが、大学のような非専門家が多数を占める集団の中で、ある論文またはその論文の執筆者の価値を理解してもらうためには、「学術的権威」のある学術誌への論文掲載が評価基準となることは致し方ない面もある。しかし、そのままでは新興学術誌を育てることはできない。コミュニティ全体で論文の質と学術誌の質は同一ではないということ、論文の評価

は論文そのもので行い掲載誌では評価しない、という価値観を共有し、他分野の研究者にも納得してもらう努力が必要である。

### ビジネスモデル

多くの読者の関心事であろう PTEP の財政面についてもひと言申し上げたい。PTEP はオープンアクセスジャーナルであり、ネットに繋がるすべての人が読むことができるため、図書館の購読料という従来の収入源が無くなる。PTEP では掲載料収入が基本となるが、素核分野の論文を掲載する既刊学術誌の多くが掲載料無料という現状で掲載料を徴収すれば、良い論文は集まらなると懸念される。大型予算を獲得している実験グループにとって掲載料の負担は大きな問題ではないはずであるが、小規模の実験グループ及び多くの理論研究については、希望すれば掲載料が免除される仕組みを構築しなければならない。そのために必要な財政支援を KEK や理研等の大規模研究機関から得る準備が進められている。

一方、PTEP の動きとは独立に、学術誌高騰への対策として SCOAP<sup>3</sup> (Sponsoring Consortium for Open Access Publishing in Particle Physics) という活動が 2007 年頃から CERN を中心に展開されてきた。高エネルギー分野において世界規模のコンソーシアムを形成して商業出版社に対抗しようというものである。SCOAP<sup>3</sup> が実施する入札で選定した出版社 (複数) に、高エネルギー関連の学術誌に図書館が支払っている購読料を「リダイレクト」するのである。

SCOAP<sup>3</sup> 及び学術誌のオープンアクセス化については刊行委員会で議論され、報告書にまとめられている。2011 年 8 月には学術情報基盤整備を担う国立情報学研究所、大学図書館の連合体である国公私立大学図書館協力委員会、高エネルギーコミュニティを代表して高エネルギー加速器研究機構の三者が SCOAP<sup>3</sup> への関心表明 (Expression of Interest) を行い、国立情報学研究所が日本の窓口となって準備委員会での議論に参加している。欧州の商業誌や米国物理学会の学術誌等と並んで PTEP も候補雑誌のひとつとして取り上げられている。PTEP が SCOAP<sup>3</sup> から出版経費支援を受ける学術誌として認定されれば、ビジネスモデルは大きく変わることになる。

ただし、SCOAP<sup>3</sup> の対象は今のところ「高エネルギー」関連の論文に限られている。「高エネルギー」の定義が必ずしも明確になっているわけではないが、PTEP に投稿される他の分野の論文については、引き続き掲載料支援の仕組みを継続しなければならない。例えば、財政支援の裾野を広げるために大規模研究機関からの支援に加えて大規模研究大学が所属研究者の掲載料を援助する (購読料から掲載料へのリダイレクション) 等が考えられるが、研究コミュニティの理解と尽力が必要である。

## 最後に

日本の素粒子コミュニティは、研究面では世界の一翼を担うことができるまでに成長したと自負するが、出版をはじめとする研究情報基盤の整備に関してはまだまだ世界をリードするというにはほど遠い状態である。研究者が愛用している arXiv の整備・運用にしても分担金を出さずだけあって実質的な作業はしていないし、文献検索システム

INSPIRE への協力は求められてはいるものの対応はできていない。一人で何役もこなさなくてはならない日本の研究体制の貧弱さが主たる原因であり、研究者だけで解決できる問題ではないが、最先端の研究を支えるには様々な支援スタッフが必要であることを我々が訴え続ける必要があるのではないだろうか。

(2012年4月5日原稿受付)

# Progress of Theoretical Physics を振り返る

早川尚男 <京都大学基礎物理学研究所 606-8502 京都市左京区北白川追分町 >

九後太一 <京都大学基礎物理学研究所 606-8502 京都市左京区北白川追分町 >

川上則雄 <京都大学大学院理学研究科 606-8502 京都市左京区北白川追分町 >

## 1. はじめに

本小特集は Progress of Theoretical and Experimental Physics (PTEP) の発刊に伴うものであるが、それは同時に Progress of Theoretical Physics (PTP) の終刊も意味する。この PTP の終刊に際して、その歴史を振り返る事が求められている。本稿では、PTP が何故 Journal of Physical Society of Japan (JPSJ) とほぼ同時期に独立に発刊されたのかという歴史的経緯を振り返り、次いで PTP の黄金期を飾った歴史的に評価の高い論文の幾つかの内容と歴史的背景とその意義を簡単に紹介する。

## 2. PTP の発刊について

良く知られているように戦前には現在の数学と物理学を統括した日本数学物理学会があった。もっとも数物学会は天文学や地球物理学までもカバーしていたようであり、その分野の幅広さは現在の物理学会のそれとは比較にならない。その数物学会の分離・独立は戦中から検討され、戦後間もなくの 1945 年 12 月 15 日の総会での分離・独立が決まった。戦前は数物学会の機関誌 Proceedings of the Physico-Mathematical Society of Japan があり、戦後の独立に伴い学会のジャーナルが必要となった。そうした情勢を受けて JPSJ と PTP が発刊されていった。それでは物理学会で一誌を刊行するのではなく、2つの雑誌が並行して刊行された事情を見ていこう。

望月<sup>2)</sup>によると『物理学会設立後間もなく湯川秀樹先生から戦時中から蓄積された素粒子論関係の論文を出版したいが物理学会でこれを引受けてもらえないかとの打診があった。(中略)当時設立後間もない学会として財力もなく、また当時のすごいインフレーションの進行しているさ中で Journal を出版するのに大変な苦心をしていた状態であったので委員会としても甚だ残念ながらこれを辞退せざるを得なかった。』と述べている。

もっとも PTP 関係者の座談会「プロGRESSの25年を回顧して」<sup>3)</sup>での湯川によると、その事情はもう少し複雑であり『戦争中から数学物理学会の欧文誌を京都で出版する計画が進行中で、特に「昭和20年に入ってから空襲が激化し、東京でそういう学術雑誌の出版を実現することが殆ど不可能になったので関西で印刷をしてくれないかという依頼を受けた』であり、それを受けて『そこで秋田屋という大阪の本屋の出張所が京大のそばにありまして、そこに話を持ちかけたところ、何とか一つやってみようということになり、計画が着々と進行しつつあったところで、終戦になった、という訳です。』とのことであった。湯川のコメントからすると物理学会の欧文誌の JPSJ も京都で発行する計画があったことになるが、それを裏付ける発言を小谷正雄が行っている。しかし 1946 年 4 月 28 日の物理学会設立総会の委員会記録には(今後発刊する) JPSJ の方は岩波書店か日立製作所の印刷所に頼んで東京で発行できる見込みができた、とされており、学会欧文誌の京都での発行は沙汰やみになった。その一方で、京都でいち早く戦中の成果を集めてすぐにでも印刷できる状態にあった素粒子論関係の論文の JPSJ での出版は諦めざるを得なかった事が、その後の奇妙な二つの雑誌の共存を強いる事になった。

PTP が秋田屋から発刊されたのは秋田屋が印刷に必要な紙を確保していたからだそうだ。京都に出張所を作ったのも、その紙のストックを利用して出版界に大々的に進出しようとする戦略の一環であったようである。こうした経緯で PTP は JPSJ より若干早く 1946 年 7 月には PTP の第 1 巻第 1 号が発刊されており、その劈頭を荒木源太郎の“Magnetic Moment and Virtual Dissociation of Nuclear Particle”という論文が飾っている。因みに後にノーベル賞受賞に繋がった朝永振一郎の論文“On a Relativistically Invariant Formulation of the Quantum Theory of Wave Fields”<sup>1)</sup>は第 1 巻第 2 号の 8, 9 月合併号の最初の論文(通算 4 つ目)として印刷

されている。最初のPTPは500部印刷されたようである。この数字は現在の標準からしても相当多い部数と言えるであろう。

しかし、望月<sup>2)</sup>によると『1949年(或いは1948年)に至って秋田屋書店が解散することになり、Progressの編集当事者は素粒子論懇談会にも諮って発行主体を日本物理学会として欲しい旨学会に申入れがあった。その結果、当時用紙の配給制を受ける申請者として、また文部省の補助金を受けるための申請者として、さらにはProgressが公的な出版物であることが望ましいという事情からこのような申入れとなったようである。物理学会の委員会<sup>\*1</sup>でこの問題を検討した結果(1)物理学会が名目上の発行者となる、(2)会計報告は年度末に特別会計として物理学会会計に繰り入れる、(3)編集、出版、頒布等の実務は旧当事者が行う、(4)会員中の希望者に有料配付する、ということになりVol. 4 No. 1から実施することにした。』とある。このような情勢下でPTPの定期刊行を続けることは困難をきわめた。<sup>4)</sup> 財政的な基盤を固めるために文部省から補助を得るとともに、湯川の依頼によって個人的な寄付も寄せられた。また出版事業の重要性を理解し、国策パルプ社はかなりの期間用紙を無償で供与した。

秋田屋書店が戦後数年で京都出張所を閉鎖したことによってPTPの順調な発行は早くも暗礁に乗り上げたが、それを機に物理学会が完全に発行主体とならなかったのは後から見れば惜しい機会であったかもしれない。ともかく発行主体として「理論物理学刊行会」を発足させ、後に京都大学の任意団体の一つに登録されて、湯川研究室の部屋を使いつつ上記のように物理学会会計の一環として発行していく体制が出来上がった。その後、間もなく基研が発足すると同時に湯川記念館内に「理論物理学刊行会」を移し、PTPの発行に関して物理学会からは独立会計の現在まで続く体制が出来上がったと言える。

また編集体制の整備は1954年に基研教授となった木庭二郎を中心に進められた。基研所員を中心とし近傍の大学の人たちの協力を得て編集委員会を作り、編集会議を開いてレフェリーを決め、レフェリーの報告に基づいて掲載の可否を決める、という編集体制はこのとき作られ、基本的にウェブ投稿システムの導入された2008年まで継続した。<sup>4)</sup>

### 3. 論文数の推移

基研発足後に編集体制が整備され、日本経済も安定成長を続ける中、暫くは順調にPTPへの論文投稿数及び掲載論文数が増え続けた。上述の71年のプログレスの座談会<sup>3)</sup>では、湯川らの主だった編集委員はそのことを歓迎している風もなく、むしろページ数の増加に伴う事業費の増大や論文数増加に伴う質の低下を憂えていたが、投稿論文数が増え続ける事を疑う様子はなかった。その背景には1ドル

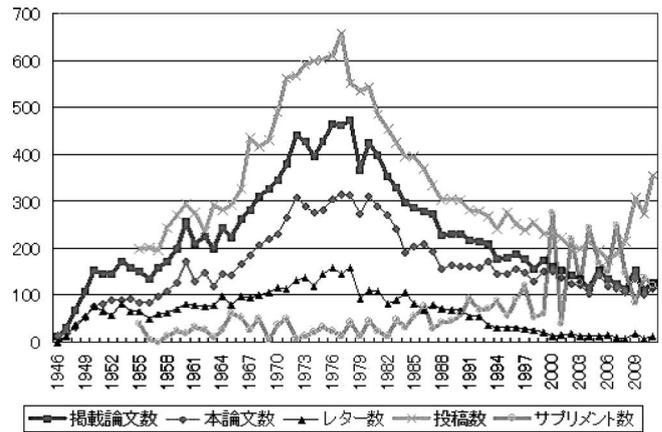


図1 PTPの掲載論文数、投稿数の推移。サブリメントの論文数は振動しながら増加。本誌の論文数は1970年代後半をピークに激減している。投稿数はほぼ論文数に比例しているが、ウェブ投稿システムを導入した2008年以降投稿の増加が著しい。しかし掲載論文数の増加には繋がっていない。

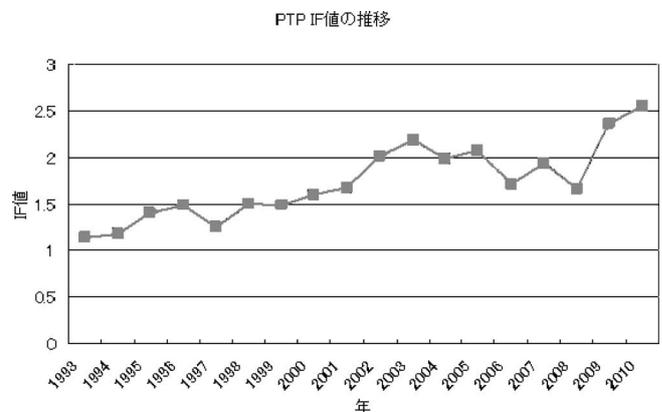


図2 PTPのインパクト・ファクターの推移(1993年以降)。

=360円の時代には、投稿費のかかる海外誌に投稿するだけの経済的余裕がなかったこともある。

しかし日本の経済成長に伴い、1971年12月のスミソニアン協定の結果1ドル=308円に決められ、その後1973年2月には変動相場制に移行するに及び、情勢が一変した。実際、円高基調が続き、1978年末の1ドル=180円突破や1995年の1ドル=80円突破等の円高がしばしばニュースの話題になり、現在のように1ドル=100円以下という交換レートが長く続く状態では、掲載料の高い海外誌への投稿に抵抗を感じなくなった。さらに投稿料フリーの商業誌の発刊が相次ぎ、Physical Reviewまで投稿料を取らなくなった現状では国内の研究者がPTPに投稿するメリットを見出すのは困難になっていった。

このような情勢の中、PTPへの投稿数は1977年の657、掲載論文数は翌年の471をピークに減少し始め、2010年には掲載論文数が102になる等、論文誌の維持もままならないようになっていった。論文投稿数そのものは2008年のウェブ投稿システムの導入以降かなり増えて、底だった2006年の176に比べると2011年は356とほぼ倍増した。しかし掲載論文数の増加には繋がらず、リジェクト率が半数を超える質の低下を招いている。こうした掲載論文数の

\*1 このことは1949年5月14日の会議で議論された様子が窺える。

減少は、多くの優れた研究成果が海外の雑誌に流れるようになったためばかりでなく、かつて近藤効果の論文が発表された伝統のある物性関係の論文の多くがJPSJに投稿されるようになったためでもある。当該分野の掲載論文数が減少すれば、その分野の専門家がPTP掲載の論文を読む機会が失われ、ますます投稿されなくなるという悪循環に陥ったように思う。

しかしながら、インパクトファクター (IF) は1993年の1.14から一貫して上昇を続け、21世紀になって頭打ちになったものの、2010年のIFは過去最高の2.553を記録した。このIFの値は他誌に見劣りするものではなく、決してPTP掲載論文の質が低いことを示す証拠になっているだろう。このIFの増加は現在PTPを支えているコアな投稿者の研究の質が高い事も示している。

#### 4. PTEPに向けての動き

PTPが京都ローカルの理論物理学刊行会単独での出版では早晚立ち行かなくなるのは誰の目にも明らかであろう。まして掲載論文数が顕著に落ち出して論文のプレステージが失われていく中で、有効な手立ても打てないままに消長していくのは往時を知る者には忍びないものがあるであろう。一方で物理学会が発行するJPSJも長年にわたるPTPとの奇妙な棲み分けの結果、傍から見ると物性分野に特化したジャーナルになってしまったようであり、物理学会会員に供与すべき素粒子・原子核・宇宙関係の論文誌を持っていなかったに等しい。こうした情勢を鑑みてPTP側が物理学会側に、長年の懸案であったPTPとJPSJ両学術誌の統合と発行の一本化を要請するようになったのは自然の成り行きである。2004年にPTP側が実際にJPSJとの統合を物理学会に持ちかけた背景はこのようなものであったが、その話し合いは統合誌の名前の問題他で暗礁に乗り上げた。また、その後も水面下での統合の動きがあったが不調に終わった。

こうした情勢を打開すべく、PTP側は2008年末にJPSJとPTPの二誌の統合を目指した要望書を物理学会理事会に提出した。そこで新たなキーポイントとなったのは「素粒子・原子核実験の投稿論文はほとんど全てが海外誌に投稿され」ている事実であった。近年のわが国のその分野の実験の成果は世界をリードするものになっているのに、未だにその受け皿がわが国の学術誌に無いのである。つまり学会が統合誌を作る事で素粒子・原子核実験等の新たな分野の投稿論文を取りこむチャンスがあるということであった。また従来の提案に比べて統合への道筋が明らかであり、それを受け学会理事会の何人かとPTP側の何人かが議論を重ねて提言書を作った。<sup>5)</sup>

その後の動きは既に会員に明らかにされている。<sup>6)</sup> 紆余曲折を経て、PTPは2012年末を以て刊行を終了し、その後は新たに発刊されたProgress of Theoretical and Experimental Physics (PTEP) に引き継がれる、またJPSJと統一

した名称は用いず、両雑誌とも物理学会によって運営される。PTEP本誌の発刊は2013年冒頭からであるが、2012年中に幾つの特集号を先行発刊する、等の事が決まった。これらの動きは、日本の各所で起こっている事と同様な戦後体制再構築の改革である。PTPの発展的解消とPTEPの物理学会からの発刊を決めた事は望ましい解決法が実現できたと言う意味で政局の混乱よりましと思われるが、実際にPTEPを刊行する際には様々な困難があることが予想される。物理学会会員の支持によって刊行が成功する事を願いたい。

#### 5. ハイライト：素粒子論関係

上でも触れたように、PTP発刊の原動力になったものは、わが国の戦中の素粒子論関係の大きな成果を一日も早く海外に紹介するチャンネルを作らねばならないということであった。ここでは先ず、PTPのホームページに公開しているハイライト論文の素粒子論関係のいくつかを紹介するが、これを辿って見ると、PTPの発展が素粒子論の展開と軌を一にしていることがわかる。また、ノーベル賞こそ受賞しなかった坂田昌一のPTPと素粒子論への寄与が大変大きかったことに気づき、驚くのである。<sup>\*2)</sup>

##### 5.1 朝永のくりこみ理論

第1巻第2号の最初に掲載された朝永の論文“On a Relativistically Invariant Formulation of the Quantum Theory of Wave Fields”は、超多時間理論とも呼ばれる、明白にローレンツ共変な場の理論の定式化を与えたものである。くりこみ理論の建設には、「明白な共変性」という技術的な基礎が不可欠であり(今日でも「明白な共変性」なしにはくりこみ可能性は証明できない)、この超多時間理論がその後の朝永およびその協力者たちのくりこみ理論の展開の出発点となった。木庭二郎ら朝永スクールのくりこみ理論の一連の論文も、第2巻以降続々と掲載された。

このPTP創刊号の2冊は世界の主立った研究者に送られ、コーネル大学のH. Betheにも一部が届いた。それを手渡されたF. J. Dysonは彼の自伝的回想に次のような感動的文章を書いている。<sup>8)</sup>

『その1948年の春、もう一つ忘れぬ事件が起った。

ベーテが日本から小さな小包を受け取った。中には新たに京都で発行され始めた物理学雑誌“Progress of Theoretical Physics”の最初の二号が入っていた。それらは茶色っぽい粗末な紙に英文で印刷され、全部で六篇の短い論文が載っていた。二号の最初の論文は「波動場の量子論の相対論的に不変な定式化について」と題された、東京文理科大学のS. トモナガによるものであった。……

そこには、シュウィンガーの理論の中心的アイデアが、……簡単且つ明瞭に述べてあった。……戦争による破壊と混乱の真只中にあり、世界の他の場所から全く孤立してい

<sup>\*2)</sup> この節の坂田に関する事項を書くに当たっては、最近刊行された西谷正氏による伝記<sup>7)</sup>を大いに参考にさせていただいた。

ながらも、トモナガは日本において、……新しい量子電気力学を独力で推し進め、その基礎を築いていた。

……トモナガは、最初の本質的な一步を踏み出していた。そして、1948年の春、東京の灰と瓦礫の中に坐りながら、あの感動的な小さな小包を私たちに送ってくれた。それは深淵からの声として私たちに届いたのであった。』

これからもわかるように、DysonはPTPを通じて、朝永がSchwingerやFeynmanと独立にくりこみ理論を展開していたことを知った。彼がフェアーにも“The Radiation Theory of Tomonaga, Schwinger and Feynman”<sup>9)</sup>というタイトルで「量子電気力学のくりこみ統一理論」をPhysical Reviewに書いたこともあって、朝永のくりこみ理論への寄与が広く世界的に認識される所となり、1965年の朝永-Schwinger-Feynmanのノーベル賞受賞につながった。PTPは、戦時中のわが国の成果を早く世界に知らせるという使命を果たした訳であるが、逆に、このような朝永の偉大な成果を創刊号に掲載したことによって、いち早く世界的な雑誌としての認知を受けることができたのである。

第1巻は都合4号まで、総計12論文で150ページの小さなものであったが、その掉尾を飾った論文として、坂田昌一-井上 健の二中間子論の論文“On the Correlations between Mesons and Yukawa Particles”<sup>10)</sup>が掲載されていたことも忘れてはならない。この仕事も、オリジナルには坂田が1942年に谷川安孝、井上、中村誠太郎とともに提唱したアイデアに基づくもので、論文の脚注にも、1943年9月(理研で)開催の中間子討論会以前に書かれた、とある。坂田-井上のこの掲載論文は、1937年に宇宙線で見つかった粒子は、(強い相互作用をしないスピン1/2の)今日言うミュー粒子であり、湯川の予言したパイ中間子が崩壊してできたものであると、正しく予言するものであった。この二中間子論の正式な英文論文としての発表が、PTP第1巻で1946年の刊行であったことは、1947年にパイ中間子が発見されそのミュー粒子への崩壊まで確認されたことを考えれば、PTPの創刊が果たした役割の大きさを思わずにはいられない。

## 5.2 中野-西島-Gell-Mann 関係式から坂田模型へ

1950年代に入って、加速器実験で次々と新しい素粒子が発見される状況に至り、その粒子達を整理して理解する現象論が必要とされた。その中から、1953年には大阪市大にいた中野董夫と西島和彦がPTPに“Charge Independence for V-particles”<sup>11)</sup>という2ページのレター論文を発表した。強い相互作用や電磁相互作用では保存し弱い相互作用でのみ壊れる、新しい保存量—今日言うストレンジネス—の存在を初めて指摘したものである。この量子数の導入によって混沌とした新粒子達が非常にすっきりと理解できるようになった。この論文の脚注にGell-Mannが同様な理論を作っていると滞米中の南部陽一郎からの手紙で聞いたとある。それゆえ、ストレンジネス発見の功績を中野-西島-Gell-Mannに帰するのは正しいとしても、保存量の関係式を一般に言われるようにGell-Mann-Nishijima relationと

呼んで中野を外すのは明らかにおかしい。

当時、坂田が教授をしていた名古屋大学のE研と呼ばれていた素粒子論研究室で未だ大学院生であった田中 正は、この中野-西島-Gell-Mannのストレンジネス量子数に相当する性質を核子と反核子だけを構成子とするFermi-Yang模型で力学的に理解しようと奮闘していた。FermiとYangは、 $\pi$ 中間子を核子と反核子とから成る束縛状態だとする模型を1949年に提出していたのである。1955年の9月後半のある日、11月末に基研で開催予定の新粒子と場の理論に関する研究会に向けて、準備のための研究室発表会がE研で行われた。田中はなかなかうまく行かない彼の研究経過を報告した。発表会終了後、この報告を巡って、坂田、山田英二、亀淵 迪、田中、松本賢一らの研究室メンバーが夜遅くまで徹底的に議論をし、最後に山田が、「ストレンジネスをダイナミカルに出すのは無理で、何かそれを担う実体の導入が必要だ」と総括して解散した。翌朝、坂田は研究室に現れるや、彼の得た素晴らしいアイデアをメンバーに披露した：中間子を作る構成子として、FermiとYangの核子—陽子( $P$ )と中性子( $N$ )—の他に、ストレンジネスを担う実体として $\Lambda$ 粒子を導入すれば全てうまくいく！

かくして坂田模型が誕生した。この模型は坂田自身がすぐに秋の物理学会に飛び入りで発表した。11月末から12月にかけての基研の研究会では、坂田の短い話の後、田中がFermi-Yang模型から坂田模型まで説明する長い発表を行った。

いくらかの経緯があって、坂田模型の論文が実際に書かれるのは1年後となった。その論文“On a Composite Model for the New Particles”<sup>12)</sup>は、坂田の単著で実質2ページのレター論文としてPTPに発表された。その間に田中、松本、牧 二郎それぞれによりなされた関連する複合模型の論文<sup>13)</sup>が同じ号に掲載されている。

この坂田模型は、その後、池田峰夫-小川修三-大貫義郎<sup>14)</sup>によるSU(3)対称性の導入から、Gell-MannとZweigのクォーク模型にまでつながるハドロンの複合模型の出発点となる。

## 5.3 四元模型から小林-益川論文へ

1962年になって、電子とミュー粒子のそれぞれに付随するニュートリノが別物であることがブルックヘブンの実験で確認された。それに先立ち、坂田模型の基本構成子 $\{P, N, \Lambda\}$ を、レプトン $\{e, \mu, \nu\}$ と強い相互作用を担うB物質 $B^+$ との束縛状態、 $\{(vB^+), (eB^+), (\mu B^+)\}$ 、と考えるいわゆる名古屋模型が提唱されていたが、それとの整合性が問題になった。京都グループ(片山、松本、田中、山田)<sup>15)</sup>と名古屋グループ(牧、中川、坂田)<sup>16)</sup>とが、それぞれ、基本粒子に、陽子 $P$ 以外にもう一つ正電荷を持つ粒子 $P'$ を加えて、レプトンとバリオン間の対応を回復する四元模型を提唱することになる。

この名古屋グループの論文“Remarks on the Unified Model of Elementary Particles”<sup>16)</sup>は、同時に、二つのニュート

リノに質量を想定して、その間の混合を議論しニュートリノ振動を予言した。このレプトン側の混合角の導入は、ハドロン(クォーク)側の混合を議論したCabibboよりも早いものであったことに注意したい。また予言されたニュートリノ振動は、1998年に大気ニュートリノの振動がスーパーカミオカンデで確認され、以来レプトン側の $3\times 3$ 混合行列は、Maki-Nakagawa-Sakata (MNS) 行列と呼ばれることになった。

1964年には牧や原 康夫は、四元模型をバリオンより下の基本構成子レベルの模型へと深化させる。この四番目の基本構成子は後にチャーム・クォークと呼ばれるが、1971年には、名古屋の丹生 潔の原子核乾板実験グループが宇宙線中に新粒子の崩壊の軌跡を写真乾板でとらえ、PTPに“A Possible Decay in Flight of a New Type Particle”<sup>17)</sup>と題して発表した。この新粒子がチャーム・クォークを含む粒子であるとの解釈は広島大学の小川修三のグループが与えた。<sup>18)</sup> この丹生論文が明らかな例であるが、PTPはTheoretical Physicsを名乗ってはいるが、創刊の早い時期から理論と密接な関係を持つ実験の論文は掲載するという方針だったのである。

この丹生グループの発見は世界的にはなかなか認知されなかったが、四元模型の名古屋大学では1971年には第四番目のクォークが見つかったとの認識が流布していた。こういう中でE研を卒業した益川敏英と小林 誠は、1973年に“CP-Violation in the Renormalizable Theory of Weak Interaction”<sup>19)</sup>をPTPに発表するが、そこではWeinberg-Salamの電弱相互作用の理論の枠内でCPの破れを説明するには、最も自然な可能性として、クォークが三代、すなわち6種類存在せねばならないことを指摘した。当時の常識ではクォークは3種類しか存在しなかったが、二世四元模型が前提の益川や小林にとって三世六元模型へ飛躍する心理的障壁はかなり軽減されていたものと想像される。この小林-益川論文は、CP対称性の破れの起源のみならず、6種のクォークの存在まで予言したことになり、それが全て実験的に確認されるにおよび2008年にノーベル賞を受賞することになる。PTPにとっては、朝永論文以来の二つ目のノーベル賞論文となった。

## 6. ハイライト：物性論文

物性物理分野においてもPTPには、新しい分野を創生するような重要な論文が掲載されてきた。ここでは、記念碑的な論文をいくつか紹介する。

### 6.1 1次元フェルミ系の朝永モデル

1950年、朝永による“Remarks on Bloch's Method of Sound Wave Applied to Many-Fermion Problems”がPTPに掲載された。<sup>20)</sup> この論文では、1次元方向に運動するフェルミ粒子系の多体問題が扱われている。フェルミ多体系の運動が1次元方向のみに拘束されたら何が起こるであろうか？フェルミ統計性は？朝永の論文は、このような基本的な

問いを投げかけたものである。その後、Luttingerの理論<sup>21)</sup>をはじめとする多くの理論研究や実験研究を通して、「朝永-Luttinger液体」と呼ばれる1次元フェルミ系(物性では主に電子系)の普遍概念が確立された。朝永の時代には数理的な模型という感もあった1次元系が、近年の微細加工技術の進歩により半導体ナノ量子系で実現することができるようになった。また、カーボンナノチューブ、有機伝導体、銅酸化物伝導体なども朝永-Luttinger液体の典型例となっている。さらには、レーザー冷却原子においても理想的な1次元系が実現されており、今後とも、活発な研究舞台を提供すると期待される。

朝永の論文の重要な点は、1次元フェルミ系の普遍的な性質を記述する枠組みを与えたことである。3次元で相互作用するフェルミ系の低温・低エネルギーの普遍的な性質はランダウの「フェルミ液体」で記述される。自由なフェルミガスに比べ相互作用による繰り込み効果を受けるものの、電子は依然として「フェルミ粒子の特性を保持する」というものである。一方で、1次元電子系では量子ゆらぎが大きくなり、フェルミ粒子の本来の性質が失われてしまう。その結果、量子ゆらぎの大きな「量子液体」すなわち「朝永-Luttinger液体」が実現する。ここでは、朝永の提唱したボソン型の集団励起が「基本粒子」となる。1950年の朝永の先駆的な研究が、その後の半世紀にわたる精神的な研究によって物性物理の一大分野へと発展してきた。

また、朝永-Luttinger液体は異分野交流の舞台も提供してきた。特に、素粒子の弦理論との数理的関わりは興味深い。極微の世界では、素粒子は1次元的な拮がりを持つ「ひも」にみえるというのが弦理論であるが、この「ひも」と1次元電子系が同一の理論の枠組みで記述できるという点が面白い。特に弦理論の基礎として発展してきた共形場の理論を用いると、朝永-Luttinger液体の普遍的な性質を時空 $1+1$ 次元の臨界現象という観点から記述することができる。

### 6.2 松原グリーン関数

場の理論におけるグリーン関数の方法は、物理学の種々の分野で成功を収めてきた。特に、松原により導入された温度グリーン関数は多体問題の取り扱いに著しい進歩をもたらした。この原著論文が1955年にPTPに発表された“A New Approach to Quantum-Statistical Mechanics”である。<sup>22)</sup>これは、しばしば松原グリーン関数とも呼ばれ、熱平衡だけでなく非平衡に関する有用な知見をもたらす方法である。

松原グリーン関数は、統計力学の分配関数および種々の相関関数の系統的な計算方法を与える。このポイントは、統計平均に現れるボルツマン因子 $e^{-\beta E}$ が、量子力学の時間発展因子 $e^{iHt}$ において、実時間 $t$ を「虚時間 $i\beta$ 」に読み替えたものに対応している事実に着目したことにある。したがって、領域 $[0, \beta]$ で定義された虚時間 $\tau$ を用いてグリーン関数の定式化を行えば、通常の実時間グリーン関数に倣って理論を展開できる。もちろん、虚時間を扱うので、そのフーリエ変換の周波数はとびとびの値を持つ虚数となる

(松原周波数).

松原グリーン関数を用いると、有限温度での量子多体系を系統的に扱うことができる。中でも、グリーン関数を粒子間の相互作用で展開するファインマンダイアグラムの方法が極めて有効となる。系の応答関数などを計算する際には、最終的に実時間グリーン関数の情報が必要となるが、これは虚時間形式ですべての計算を行ったあとに、解析接続で実時間形式へと戻ればよい。松原グリーン関数は、量子多体系の理解に大きな進歩をもたらしたが、特に、超伝導や磁性などの相転移現象を含む成果は著しい。このような研究の初期の駆動力になったのは、松原理論の重要性にいち早く気づき集中的に研究を進めたアプリコソフらのランダウスケールの面々である。これらの成果は著名なAGDの教科書に詳述されている。<sup>23)</sup> 松原グリーン関数は、今や場の理論や統計力学には欠かせない基礎理論となっている。

このような柔軟な発想はどのような環境で生まれたのか気になる場所である。少し余談になるが、5年ほど前に直接ご本人から松原グリーン関数誕生のいきさつを聞くことができた(湯川・朝永生誕百周年記念での食事会)。松原先生が京都大学基礎物理学研究所に在任中に、素粒子物理なども広く視野に入れながら新しいテーマを模索しているときに、この発想に辿り着かれたそうである。基礎物理学研究所の分野の垣根を越えた環境・雰囲気柔軟な発想を刺激したのではないかと推察される。

### 6.3 近藤効果

現在、強相関電子系は物性物理の一大分野となっているが、この中核を成すものが近藤効果であるといっても過言ではない。近藤効果は、金属中に混入した希薄な磁性不純物が引き起こす抵抗極小の現象である。これは、温度低下とともに電気抵抗が減少するという一般的な性質とは異なり、抵抗が低温で増加するという異常である。この異常現象は実験的に1930年代から知られていたが、その本質は長い間未解決のままであった。1964年に、“Resistance Minimum in Dilute Alloys”というタイトルで近藤の論文がPTPに掲載された。<sup>24)</sup> この論文では、磁性不純物による伝導電子の散乱が交換相互作用の2次摂動で扱われ、抵抗極小がうまく説明された。しかしながら、この計算は低温での物理量の発散という困難を伴った。この困難の起源が局在スピンの起因する多体効果(あるいは電子相関)であることが示され、近藤効果が多体問題の本質にふれるものであることが広く認識された。

近藤の論文の後、理論物理の数々の方法が駆使され、多体問題としての本質が明らかにされてきた。この研究には日本から多大な寄与があり、1970年代の芳田・山田の「局所フェルミ液体の微視的理論」の論文<sup>25)</sup>等を含め、多くの重要な論文がPTPに掲載されたことは特筆に値する。近藤効果では、不純物スピンと伝導電子間の相互作用が温度低下とともに弱結合から強結合領域にくりこまれる。この

くりこみフローはWilsonのくりこみ群を用いれば近似なしに正確に記述できる。<sup>26)</sup> その後、ペーテ仮説による厳密解<sup>27)</sup>も得られた。物理学の英知を集結してその全貌が明らかにされた稀有な多体問題となっている。

近藤効果は多体効果の最も基礎的な問題として確立されており、多くの研究分野の源となっている。例えば、希土類化合物での「重い電子」の形成には近藤効果が本質となっている。最近では、量子ドットや表面吸着子などにおいても近藤効果が観測され、ナノ系の多体効果の研究にも欠かせない概念となった。このように近藤の論文は「抵抗極小現象を解決した」というより、多体問題の礎を築いた記念碑的な論文であると言える。

### 6.4 森の射影演算子法

“Transport, Collective Motion, and Brownian Motion”という森の論文が1965年にPTPに発表された。<sup>28)</sup> この論文で導入された「森の射影演算子法」はある階層の基礎方程式をより微視的な階層から導出する強力な理論手法である。例えばブラウン運動などの巨視的な現象はランジュバン方程式等の確率的な方程式で記述される一方でより微視的には決定論的なニュートン方程式やハイゼンベルグ方程式などで記述される。森は射影演算子法を使うことで微視的な決定論的方程式が一般化ランジュバン方程式に書き換えられることを示した。一般化ランジュバン方程式はメモリーカーネルを含み、それは射影された変数の時間相関関数で表される。この相関関数に対してマルコフ近似を用いると、一般化ランジュバン方程式が通常のランジュバン方程式に帰着することも森が示した。このように森は、可逆な運動方程式から不可逆なマクロ方程式を導出する一般の処方箋を示し、異なる階層の記述を系統的に結び付ける道を拓いたといえる。

同年、森はこの相関関数を具体的に計算するため連分展開の手法を開発し、同じくPTPに“A Continued-Fraction Representation of Time-Correlation Functions”と題して発表している。<sup>28)</sup> この2つの論文の合計被引用数は、Web of Scienceによると4,600以上にも上り、その後の研究を大きく刺激した。

射影演算子の方法は、森理論に先立つものとして中嶋貞雄<sup>29)</sup>やZwanzig<sup>30)</sup>によるものがNakajima-Zwanzigの方法として良く知られている。Nakajima-Zwanzigの方法は密度行列的または分布関数の時間発展に射影演算子法を適用したものであり、量子力学の言葉を借りるとシュレディンガー描像に基づく記述法である。一方、森理論は観測量に直接射影法を適用し、その時間発展を追うという意味でハイゼンベルク描像に基づく記述法である。両者は等価であるが、上に記したように森の方法が特に多くの文献で用いられている背景には、運動方程式が直接不可逆系のマクロな記述に用いられるランジュバン方程式に書き換えられるという物理像の明解さと、単なる形式論に留まらず具体的に相関関数を計算する道筋を示したという応用上の有用性にある

のではなからうか。森理論は川崎のモード結合理論<sup>31)</sup>をはじめ、後の非平衡現象の研究に大きな影響を与えている。

## 7. おわりに

このように見てくると、改めてPTPの輝かしい歴史とその果たして来た役割の大きさが再認識される。今PTPの歴史に幕をおろし、その継続誌としてPTEPを物理学会の雑誌として刊行するという決断をした我々の責任の重さを痛感する次第である。ここは是が非でもPTEPがPTPの業績を質においても量においても凌駕するよう今後あらゆる面で努力する必要がある。物理学会の会員の皆様の理解とともに、「自信作はPTEPへ!」とのスローガンのもと活発なPTEPへの投稿をお願いしたい。

最後になったが、このPTPからPTEPへの移行に際していろいろご尽力いただいた多くの方々に感謝したいと思う。特にこの2年間文字通り身を挺して計画を推し進めていただいた瀧川 仁刊行委員会委員長に感謝したい。

また、この66年間PTPの発行を支えてきていただいた理論物理学刊行会の歴代の職員の方々、特に今の職員の方々のみ名前を記せば、畑恵利子、有末秀子、野坂京子、非常勤の岡本 薫、矢澤洋子の皆さんには、誌面の編集・校正から、論文受理・審査事務、販売、投稿・販売促進、科研費申請、経理・経営問題まで、あらゆる仕事をしてくださった。殊にこの10数年は、TeX投稿からWeb投稿審査システムなどのオンライン化や、科研費申請のために印刷発注の入札義務化など、新しい動きへ対応するための業務が大変であったが、それも職員の方々の積極的対応と協力とで乗り切ることができた。これらの方々に深く謝意を表したい。

## 参考文献

- 1) S. Tomonaga: Prog. Theor. Phys. **1** (1946) 27.
- 2) 望月誠一: 日本物理学会誌 **30** (1975) 95—40年のおもいでI.
- 3) 井上 健, 小林 稔, 小谷正雄, 寺本 英, 湯川秀樹, 牧 二郎: 日本物理学会誌 **26** (1971) 512.
- 4) 長岡洋介, 登谷美穂子: 「基礎物理学研究所の歴史」<http://www.yukawa.kyoto-u.ac.jp/PDF/history2.pdf>
- 5) PTP・JPSJ統合問題検討協議会: 「PTP統合問題に関する報告書」<http://www.jps.or.jp/outline/ptp/houkoku.pdf>; このファイルおよび関連の資料は会員専用ページに置いてあります。会員専用ページに入るには学会誌

- に記載の毎月変わるユーザ名とパスワードが必要です。
- 6) 瀧川 仁, 九後太一, 川畑有郷: 日本物理学会誌 **65** (2010) 969.
  - 7) 西谷 正: 『坂田昌一の生涯—科学と平和の創造—』(鳥影社, 2011).
  - 8) F. J. Dyson: *Disturbing the Universe* (Macmillan, 1981), ここで引用したのは亀淵 迪(筑波大学名誉教授)による和訳.
  - 9) F. J. Dyson: Phys. Rev. **75** (1949) 486.
  - 10) S. Sakata and T. Inoue: Prog. Theor. Phys. **1** (1946) 143.
  - 11) T. Nakano and K. Nishijima: Prog. Theor. Phys. **10** (1953) 581.
  - 12) S. Sakata: Prog. Theor. Phys. **16** (1956) 686.
  - 13) S. Tanaka: Prog. Theor. Phys. **16** (1956) 625; *ibid.* (1956) 631; K.-I. Matumoto: *ibid.* **16** (1956) 583; Z. Maki: *ibid.* **16** (1956) 667.
  - 14) M. Ikeda, S. Ogawa and Y. Ohnuki: Prog. Theor. Phys. **22** (1959) 715; *ibid.* **23** (1960) 1073.
  - 15) Y. Katayama, K.-I. Matumoto, S. Tanaka and E. Yamada: Prog. Theor. Phys. **28** (1962) 675.
  - 16) Z. Maki, M. Nakagawa and S. Sakata: Prog. Theor. Phys. **28** (1962) 870.
  - 17) K. Niu, E. Mikumo and Y. Maeda: Prog. Theor. Phys. **46** (1971) 644.
  - 18) T. Hayashi, E.-I. Kawai, M. Matsuda, S. Ogawa and S. Shige-eda: Prog. Theor. Phys. **47** (1972) 280.
  - 19) M. Kobayashi and T. Maskawa: Prog. Theor. Phys. **16** (1956) 625.
  - 20) S. Tomonaga: Prog. Theor. Phys. **5** (1950) 544.
  - 21) J. M. Luttinger: J. Math. Phys. **4** (1963) 1154.
  - 22) T. Matsubara: Prog. Theor. Phys. **14** (1955) 351.
  - 23) A. A. Abrikosov, L. P. Gor'kov and I. E. Dzyaloshinskii: *Quantum Field Theoretical Methods in Statistical Physics* (Pergamon, New York, 1965).
  - 24) J. Kondo: Prog. Theor. Phys. **32** (1964) 37.
  - 25) K. Yosida and K. Yamada: Prog. Theor. Phys. **46** (1970) 244; *ibid.* **53** (1975) 1286; K. Yamada: Prog. Theor. Phys. **53** (1975) 970; *ibid.* **54** (1975) 316.
  - 26) K. G. Wilson: Rev. Mod. Phys. **47** (1975) 773.
  - 27) N. Andrei: Phys. Rev. Lett. **45** (1980) 379; P. B. Wiegmann: J. Phys. C **14** (1981) 1463.
  - 28) H. Mori: Prog. Theor. Phys. **33** (1965) 423; 被引用回数3112. 連分数展開による射影演算子の計算法の論文H. Mori: Prog. Theor. Phys. **34** (1965) 399も被引用回数1500.
  - 29) S. Nakajima: Prog. Theor. Phys. **20** (1958) 948.
  - 30) R. Zwanzig: J. Chem. Phys. **33** (1960) 1338.
  - 31) K. Kawasaki: Ann. Phys. **61** (1970) 1.

(2012年4月3日原稿受付)

## Historical Overview of Progress of Theoretical Physics

Hisao Hayakawa, Taichi Kugo and Norio Kawakami

abstract: We briefly review the birth of the Progress of Theoretical Physics (PTP) and its relationship with Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ). We also trace the development of PTP and the route to rebirth as Progress of Theoretical and Experimental Physics (PTEP). Furthermore, we introduce some milestone papers of PTP in both fields of particle physics and condensed matter physics.

# フラストレート磁性体における多重 $Q$ 秩序とスカーミオン格子状態

大久保 毅\* (大阪大学大学院理学研究科 560-0043 豊中市待兼山町1-1 )  
 川村 光 (大阪大学大学院理学研究科 560-0043 豊中市待兼山町1-1 )

相互作用に競合が存在するフラストレート磁性体では、しばしば、新奇な磁気構造が実現する。我々は、フラストレート系の典型例である三角格子上の古典ハイゼンベルグ反強磁性体の磁場中秩序化を理論的に解析し、次近接以降の相互作用が強い状況では、複数の波数秩序が共存する多重 $Q$ 秩序状態が有限温度・有限磁場で安定化されることを明らかにした。特に、中程度の磁場で出現する triple- $q$  状態では、立体的な構造を持ったハイゼンベルグ・スピン系がスピン空間で織りなすトポロジカル励起である“スカーミオン”が三角格子を形成した“スカーミオン格子”が実現している。

## 1. はじめに

フラストレーションとは、系が複数の最適化条件を同時に満たすことができず、『こちらを立てればあちらが立たず』になっている状況を指す。フラストレーションの物性物理における典型的な舞台の一つは磁性体であり、近年、フラストレート磁性体における新奇秩序・ダイナミクスの研究が活発に展開されている。<sup>1)</sup>

フラストレーションは、しばしば、全てのスピンの平行・反平行に揃っているような通常の強磁性・反強磁性秩序とは異なった、隣り合うスピンの互いに傾いた磁気秩序を引き起こす。例えば、三角形上で反強磁性相互作用するベクトルスピン系では、幾何学的な要請から全てのボンドで同時にスピンを反平行にすることができず、お互い  $120^\circ$  ずつ傾いた構造が基底状態になる (図1(a))。

このような三角形を敷き詰めた二次元三角格子 (図1(b)) 上の古典ハイゼンベルグ反強磁性体はフラストレート磁性体の典型例であり、最近接相互作用のみが存在する場合の基底状態は、先ほどの  $120^\circ$  ずつ傾いたスピン構造を周期的に並べた、いわゆる  $120^\circ$  構造である。一方で、強い二次近接、三次近接相互作用が存在する場合には、 $120^\circ$  構造ではなく、格子に非整合な周期でスピンの回転が行くスパイラル構造の基底状態が実現する (図1(b))。このような状況は、例えば  $\text{NiGa}_2\text{S}_4$ <sup>2-4)</sup> や  $\text{NiBr}_2$ <sup>5,6)</sup> において実現している。 $\text{NiGa}_2\text{S}_4$  では、反強磁性的な第三近接相

互作用  $J_3$  と強磁性的な最近接相互作用  $J_1$  の大きさの比は、およそ  $|J_3|/J_1 \sim 5$  程度と報告されている。<sup>2-4)</sup>

対称性の観点から見た際の、格子に非整合なスパイラル構造と  $120^\circ$  構造との最大の違いは、三角格子の三重回転対称性を反映して、前者はスパイラルを特徴付ける波数ベクトルの方向の選び方に関して三重に縮退している点にある (図1(c) の  $q_i^*$  ( $i=1, 2, 3$ ))。通常、二次元のハイゼンベルグスピン系では、スピンの連続対称性を破る磁气的な長距離秩序は有限温度では生じないが、<sup>7)</sup> このような基底状態の離散対称性を破るような相転移は、有限温度で実現し得る。実際、三次近接相互作用を持つ  $J_1$ - $J_3$  モデルの零磁場での秩序化では、この格子の三重回転対称性を破る一次相転移が起きることが報告されている。<sup>8-10)</sup>

このような基底状態の縮重は、複数の波数の秩序が共存した“多重 $Q$ 秩序”という興味深い秩序状態の源にもなる。一般には、多重 $Q$ 秩序状態ではスピンの長さ  $|\mathbf{S}_i|$  が格子点  $i$  毎に異なる値となるため、古典スピン系の基底状態にはなり得ない。しかし、熱揺らぎの効果で、多重 $Q$ 秩序が有限温度で安定化される可能性がある。ただし、先述の  $J_1$ - $J_3$  モデルの零磁場での秩序化では、三重回転対称性を破る相転移に伴う低温相は単一の波数のみで特徴付けられる single- $q$  状態であり、<sup>8-10)</sup> 多重 $Q$ 秩序状態は見つかっていない。

我々は、最近、このような格子に非整合な基底状態を持つ三角格子ハイゼンベルグ反強磁性体に磁場を印加することにより、有限温度で多重 $Q$ 秩序状態が実現し得ることを理論的に見出したので、多重 $Q$ 秩序状態の出現条件とそれが示す興味深い性質について、特に系のトポロジカル励起との関連に着目しつつ、紹介したい。

## 2. 磁場中三角格子ハイゼンベルグ反強磁性体の秩序化

以下では、二次近接または三次近接相互作用を持つ二次元三角格子古典ハイゼンベルグ模型

$$\mathcal{H} = -J_1 \sum_{\langle i,j \rangle} \mathbf{S}_i \cdot \mathbf{S}_j - J_{2,3} \sum_{\langle\langle i,j \rangle\rangle} \mathbf{S}_i \cdot \mathbf{S}_j - H \sum_i S_{i,z} \quad (1)$$

を考える。ここで、 $\mathbf{S}_i$  は大きさ 1 の古典ハイゼンベルグスピン  $\mathbf{S}_i = (S_{i,x}, S_{i,y}, S_{i,z})$  であり、 $\sum_{\langle i,j \rangle}$  は最近接での、 $\sum_{\langle\langle i,j \rangle\rangle}$

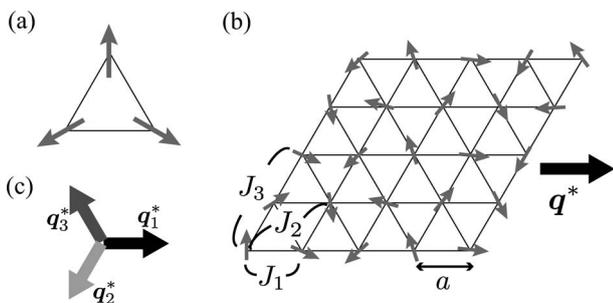


図1 (a) 三角形上の古典ハイゼンベルグスピンの  $120^\circ$  構造。 (b) 三角格子と格子に非整合なスパイラル状態の模式図。 (c) 三重に縮退したスパイラルを特徴付ける波数ベクトル  $q_i^*$  ( $i=1, 2, 3$ )。

\* 現所属：東京大学物性研究所

は次近接または三次近接格子点对での和を表す(図1(b)). 零磁場 ( $H=0$ ) では, 非整合スパイラルの基底状態は,  $J_2=0$  の  $J_1$ - $J_3$  モデルでは, 強磁性的最近接相互作用 ( $J_1>0$ ) と反強磁性的第三近接相互作用 ( $J_3<0$ ) の組み合わせで  $J_1/|J_3|<4$  を満たす場合に,  $J_3=0$  の  $J_1$ - $J_2$  モデルでは, 反強磁性的二次近接相互作用 ( $J_2<0$ ) で  $-1<J_1/|J_2|<3$  を満たす場合に, それぞれ実現する.

まず, このモデルに平均場近似を適用した解析結果について述べよう.  $\pm \mathbf{q}_i^*$  のフーリエ成分に対応するオーダーパラメータと  $\mathbf{q}=\mathbf{0}$  の一様磁化成分に関して四次まで展開した平均場近似の自由エネルギーを導出し, その準安定状態を探索する.<sup>12)</sup> その結果, 磁場中での秩序状態の候補として, 以下の三つがあることが明らかとなった.

(i) **single- $q$  状態**: 磁場に垂直なスピンの  $xy$  成分が三組の波数  $\pm \mathbf{q}_i^*$  のうちの任意の一組で特徴付けられるスパイラルを形成, 磁場に平行な  $z$  成分は外部磁場で誘起された一様磁化を持つような, いわゆるアンブレラ構造. この構造は, 磁場中基底状態にもなっている.

(ii) **double- $q$  状態**:  $xy$  成分は三組の波数のうちの任意の二組の波数 (例えば,  $\pm \mathbf{q}_1^*$  と  $\pm \mathbf{q}_2^*$ ) からなるスパイラルを重ね合わせた double- $q$  構造を形成,  $z$  成分はこの二組以外の残りの波数 ( $\pm \mathbf{q}_3^*$ ) で特徴付けられるスピン密度波に磁場による一様成分を重ね合わせたものになっている.

(iii) **triple- $q$  状態**:  $\mathbf{q}_1^*, \mathbf{q}_2^*, \mathbf{q}_3^*$  で特徴付けられる三つのスパイラル構造と磁場による一様成分の重ね合わせの状態. 前述の single- $q$  状態や double- $q$  状態と異なり, この triple- $q$  状態でのスパイラル構造は磁場軸を含む面内にスパイラル面を持っており, 各スパイラル面がお互いに  $120^\circ$  ずつ傾いた構造になっている.  $xy$  面内で互いに  $120^\circ$  ずつ傾いた単位ベクトル  $\mathbf{e}_i$  ( $i=1, 2, 3, \sum_i \mathbf{e}_i = \mathbf{0}$ ) を用いると, この triple- $q$  状態のスピン構造は

$$\begin{aligned} \mathbf{S}_{i,xy} &= I_{xy} \sum_{j=1}^3 \sin(\mathbf{q}_j^* \cdot \mathbf{r}_i + \theta_j) \mathbf{e}_j, \\ S_{i,z} &= I_z \sum_{j=1}^3 \cos(\mathbf{q}_j^* \cdot \mathbf{r}_i + \theta_j) + m_z, \end{aligned} \quad (2)$$

と表せる. ここで,  $I_{xy}$ ,  $I_z$  および,  $m_z$  は温度と磁場に依存する量であり, スパイラルの位相  $\theta_i$  ( $i=1, 2, 3$ ) は,  $\cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) = -1$  を満たす.

興味深いことに, ここで現れた triple- $q$  状態は, スカームイオンと呼ばれるトポロジカル励起が, 下地の三角格子と一般には非整合な三角格子を形成し整理した, “スカームイオン格子” 状態<sup>14-22)</sup> になっている. (2)式の位相因子  $\theta_i$  ( $i=1\sim 3$ ) は, 拘束条件を考えると二個の独立な自由度を持つが,  $\theta_i$  を動かすことは, このスカームイオン格子を二次元面内で並進させることに対応している. スカームイオンは, 図2のように, 強磁性的に揃った外周から中心に位置する逆向きのスピン状態に向けてスピンの渦巻き状に連続変形していくような, 立体的なスピン構造であり, トポロジカルに安定な励起 (テクスチャ) である. 言い換えると,

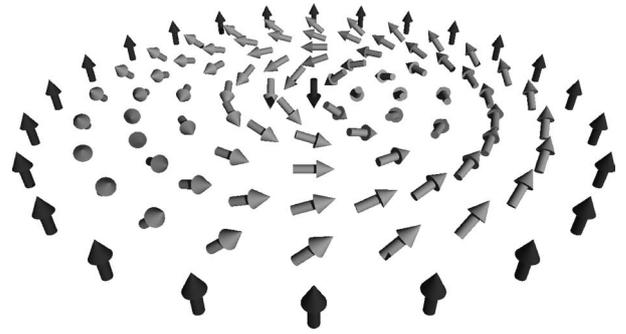


図2 スカームイオンの模式図. (フルカラー口絵参照.)

スピン系が, 三成分ハイゼンベルグ・スピン空間に対応した単位球面をラップした状態であり, 立体角  $4\pi$  を単位に  $\pm 1, \pm 2 \dots$  に量子化されている.

スピンの立体構造を特徴付けるスカラー・スピンカイラリティ  $\mathbf{S}_i \cdot (\mathbf{S}_j \times \mathbf{S}_k)$  が, 三個のスピン  $\mathbf{S}_i, \mathbf{S}_j, \mathbf{S}_k$  が球面上を張る (向き付けの) 面積に対応した量であることに注意すれば, スカームイオンをスカラーカイラリティが形成するトポロジカル量子化された励起とみなすこともできる. スカームイオンは, スカラーカイラリティの符号に対応した正負の符号により, それぞれ, スカームイオン, 反スカームイオンと呼ばれる. 本モデルでは, スカームイオンと反スカームイオンは完全に同一のエネルギーを持ち, triple- $q$  相でスカームイオン格子, 反スカームイオン格子のどちらかが形成されるかは偶然的に決まる (自発的対称性の破れ). なお, スカラーカイラリティは, 金属においては異常ホール効果を生み出すことが近年の研究から判ってきており,<sup>13)</sup> 系全体でスカラーカイラリティが有限に残るスカームイオン格子相においても, 興味深い伝導現象が期待できる.

類似のスカームイオン格子状態は, 近年, MnSi や  $\text{Fe}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{Si}$ , FeGe 等の B20 構造を持つ物質において弱磁場中で見い出され, 注目を集めている.<sup>18-21)</sup> これらの物質は, 反対称なジャロシンスキー・守谷相互作用 (DM 相互作用) を持つ強磁性体であり, この反対称的 DM 相互作用がスカームイオン格子の実現に本質的とされている. これに対し, 今回のフラストレーション誘起の triple- $q$  相では, 対称的な交換相互作用により, トポロジカル励起の秩序構造が安定化している. 起源となる交換相互作用の高い対称性から, スカームイオン・反スカームイオンの双方の格子が可能になっており, これは, スカームイオン格子のみが可能な DM 系との大きな違いである (前者では式(2)における  $\mathbf{e}_i$  は対応するスパイラルの波数ベクトル  $\mathbf{q}_i$  とは無関係に任意に選ぶことができるのに対し, 後者では  $\mathbf{e}_i$  は  $\mathbf{q}_i$  と垂直な方向に向く必要があるのが, その理由である).

実は, このようなスカームイオン格子を含む多重  $Q$  秩序は, 平均場近似の範囲では準安定状態にとどまり, 自由エネルギー最低の真の安定状態にはならない (真の安定状態は, 平均場の範囲では, 常に single- $q$  状態である). そこで, 平均場近似では無視されている揺らぎの効果を取り入れ, 近

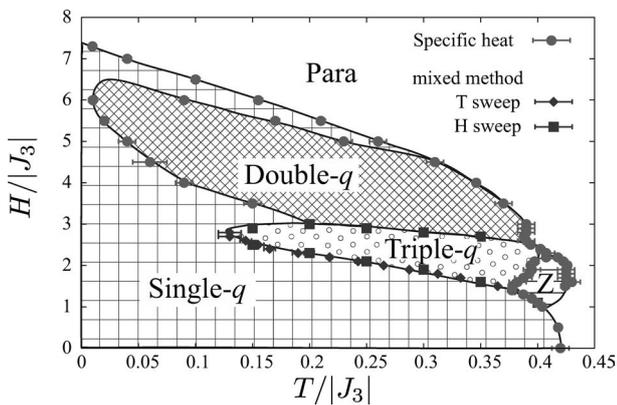


図3 モンテカルロシミュレーションにより得られた、 $J_1/J_3 = -1/3$  の場合の  $J_1$ - $J_3$  モデルの温度・磁場相図 (文献12より一部改変して転載)。

似の無い状況での秩序化の様相を調べるために、モンテカルロシミュレーションを用いた解析を行った。図3に、 $J_1$ - $J_3$  モデルにおける  $J_1/J_3 = -1/3$  の場合の温度・磁場相図を示す。通常の single- $q$  状態に加え、中・高磁場領域で double- $q$  状態と triple- $q$  状態が実現しており、揺らぎにより多重  $Q$  秩序が安定化したことが分かる。低温極限では常に single- $q$  状態が安定であり、これは、 $|S_i| = 1$  の条件を満たすためだと考えられる。高磁場では、double- $q$  相とパラ相との間に single- $q$  相が切れ込んでいる。また、triple- $q$  相の高温側に、平均場近似では出て来なかった新しい相“Z相”が現れているのも大きな特徴である。後述するように、このZ相も、triple- $q$  相と同様、スカーミオン由来の相である。定性的に類似の相図は  $J_1$ - $J_2$  モデルでも得られており、<sup>12)</sup> 多重  $Q$  状態が磁場中で安定化する相図は、三重に縮退した非整合スパイラルを基底状態に持つ三角格子ハイゼンベルグモデルに共通の性質であることが示唆される。

図4には、single- $q$ , double- $q$ , triple- $q$  各相でのスピン構造因子を示した。各相では、不整合の波数位置に、平均場近似のスピン構造から期待されるピークが出現しており、特に triple- $q$  相でのピーク波数はスカーミオン格子の周期にちょうど対応している。構造因子には鋭いピークが現れているが、 $q = 0$  の一様成分を除き、これらは真のブラッグピークでは無いことに注意する必要がある。今のモデルは二次元のハイゼンベルグモデルなので、マーミン・ワグナーの定理より、連続対称性を破る長距離秩序は有限温度では存在せず、観測される鋭いピークは、磁場軸 ( $z$  軸) 回りのスピン回転あるいはスカーミオン格子の並進に伴う  $U(1)$  対称性由来の準長距離秩序形成による準ブラッグピーク (quasi Bragg peak) である。

以下では、スカーミオンに密接に関係している triple- $q$  相と Z 相について、より詳しく見てみよう。図5(a), (c) に、triple- $q$  相での典型的なスピン配位のスナップショットを示した。図中濃淡で示したスピンの  $z$  成分では、磁場と逆に向いた黒色の部分が三角格子状のパターンを作っている。一方、図中矢印で示した  $xy$  成分は、この黒色のコアの周

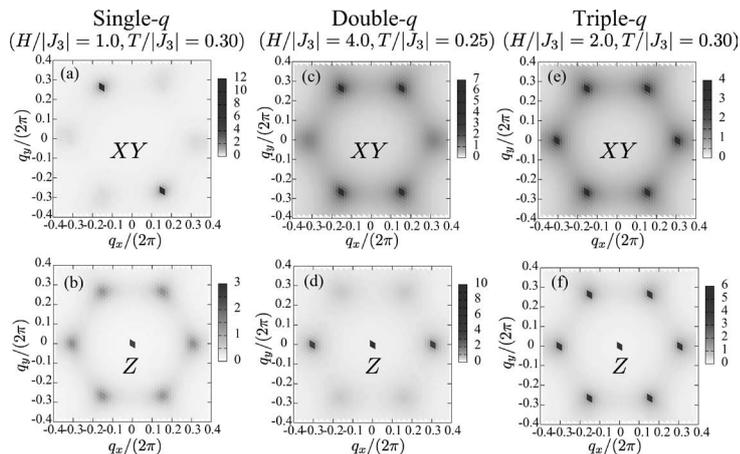


図4 モンテカルロシミュレーションにより得られた、 $J_1$ - $J_3$  モデルの single- $q$  (左), double- $q$  (中央), triple- $q$  (右) 各相での、スピン構造因子の波数空間における強度プロット。上段は磁場に垂直な  $xy$  成分、下段は磁場に平行な  $z$  成分を表す (文献12より一部改変して転載)。

### Triple- $q$ ( $H/|J_3| = 2.0, T/|J_3| = 0.30$ )

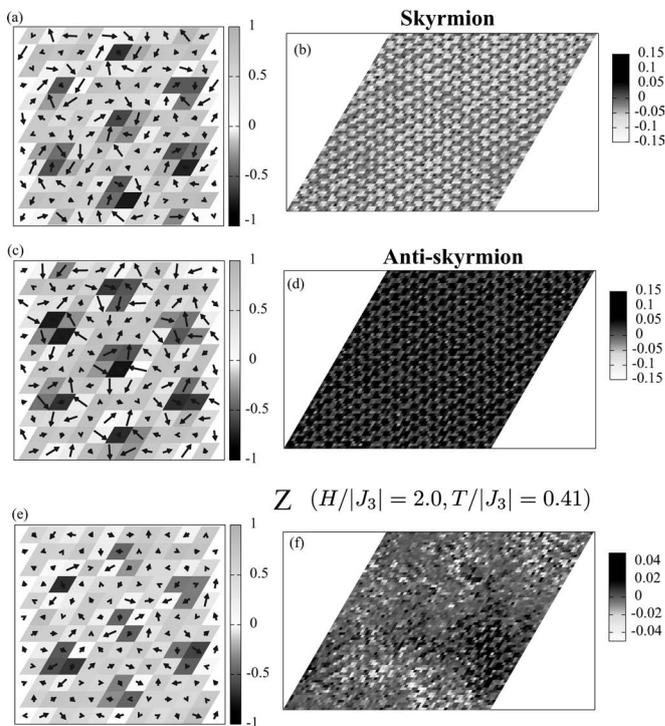


図5 triple- $q$  相 (a-d) および Z 相 (e, f) での、実空間でのスピン配位のスナップショット (左), およびスカーミオン密度の強度分布 (右). triple- $q$  相では、上段は、スカーミオン格子、中段は反スカーミオン格子に対応する。スナップショットでは、濃淡は  $z$  成分を表し、矢印は  $xy$  成分を表す。熱揺らぎのノイズを減らすため、10モンテカルロステップで短時間平均している (文献12より一部改変して転載)。

りに渦 (a), または反渦 (c) を作っている。このスピン配位はまさに、平均場近似から予想されたスカーミオン格子 (a), および反スカーミオン格子 (c) である。図5(b), (d) には、対応するスカーミオン密度の実空間パターンを示した (局所的スカーミオン密度として、各三角形上の三つのスピンの球面での張る球面の符号付き面積を用いた<sup>23)</sup>). 系全体にわたって、スカーミオン (b), ないしは反スカーミオン (d) が三角格子状のパターンを形成してい

ることが判る。前述のように、このモデルの triple- $q$  相では、スカーミオン格子、反スカーミオン格子どちらも可能で、どちらが実現するかは自発的対称性の破れの結果、偶発的に決まる。

温度・磁場相図で triple- $q$  相の少し高温側に位置する  $Z$  相での典型的なスピン配置のスナップショットを図 5(e) に示す。スピンの  $z$  成分が triple- $q$  相と同様の三角格子状のパターンを作るのに対して、 $xy$  成分はかなり乱れており、常磁性的な無秩序状態に留まっている。この結果は、 $Z$  相では、磁場に平行な  $z$  成分は triple- $q$  相と同様の準長距離秩序を持つのにに対し、磁場に垂直な  $xy$  成分は相関長が有限の短距離秩序しか持たないことを示唆している。図 5(f) に示した  $Z$  相でのスカーミオン密度の実空間パターンからは、スカーミオン格子と反スカーミオン格子がドメイン構造を形成していることが見てとれる。スカーミオンの観点からは、 $Z$  相は、スカーミオンのコアは準長距離秩序を持って整列しているもののスカーミオンの符号は短距離秩序に留まっているような、スカーミオン格子と反スカーミオン格子のドメイン的混合状態である。

最後に、本研究で見つかったフラストレートした交換相互作用由来のスカーミオン格子相と、これまでに報告されていた、 $\text{MnSi}$ 、 $\text{Fe}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{Si}$ 、 $\text{FeGe}$  等の DM 相互作用系でのスカーミオン格子相との違いについて、議論しておこう。これら二つの系でのスカーミオン格子には、大きく二つの違いが存在している。一つ目の違いは、スカーミオン格子の密度(格子定数)である。本研究のスカーミオン格子は DM 相互作用系のものに比べずっと密度が高く、その格子定数は数格子程度になる。他方、DM 相互作用系では、DM 相互作用の大きさが主となる交換相互作用の大きさに比べてずっと小さいことを反映して、格子定数は数十格子以上と大きくなる。スカーミオンによる異常ホール効果の大きさは、スカーミオン密度に比例するため、<sup>13)</sup> 今回のモデルの機構による triple- $q$  状態が金属で実現すれば、より大きな異常ホール伝導度が観測されると期待される。

二つ目の大きな違いは、スカーミオン格子と反スカーミオン格子を結びつける、磁場軸を含む面に関する  $Z_2$  鏡映対称性の有無である。DM 相互作用系では、この  $Z_2$  対称性はエネルギー的に破れているのに対して、今回のモデルでは、この  $Z_2$  対称性は保持されており、triple- $q$  相では、この対称性が自発的に破れている。ハミルトニアンがこの  $Z_2$  対称性を保持しているがゆえに、triple- $q$  相ではスカーミオン格子と反スカーミオン格子双方が可能だったし、またスカーミオン格子と反スカーミオン格子の混合ドメイン状態である新しい  $Z$  相も実現可能になった。

三角格子反磁性体における基底状態の縮重と多重  $Q$  秩序の可能性については、磁気双極子相互作用を持つ  $XY$  スピン系に関して、過去、ス波・鈴木によって議論された。<sup>24,25)</sup> この系でも、反強磁性的な最近接相互作用に弱い双極子相互作用が加わることで、格子に非整合な三重

に縮退した秩序状態が実現するが、その秩序はスパイラル構造ではなく、双極子相互作用の対称性を反映して一方に偏極したスピン密度波になっている。また、 $XY$  異方性の存在により、これらの系で議論されている多重  $Q$  秩序状態は平面的な構造で、スカーミオンにはなっていない。今回議論した磁場中のフラストレートしたハイゼンベルグ反強磁性モデルでは、非平面的なスパイラル構造も含んだ多様なスピン構造が実現することが明らかになり、スカーミオンというトポロジカル励起との関連も浮かび上がってきた点が、新しい発展だろう。

### 3. まとめ

二次元幾何学的フラストレート磁性体である三角格子ハイゼンベルグ反強磁性体の磁場中での秩序化について平均場近似とモンテカルロシミュレーションを用いて解析した。その結果、強い次近接・三次近接の相互作用が存在し、零磁場での基底状態が格子に非整合なスパイラル状態になる場合には、有限温度・磁場中で、複数の波数モードが共存する多重  $Q$  秩序状態が安定化することが分かった。特に、中程度の磁場領域で実現する triple- $q$  状態は、ハイゼンベルグスピン系のトポロジカル励起であるスカーミオンが三角格子状に整列したスカーミオン格子状態であることが明らかになった。また、スカーミオン格子と反スカーミオン格子の混合ドメイン状態である  $Z$  相が存在し得ることも示された。フラストレーションを起源とする、このようなトポロジカル励起(テクスチャ)由来の秩序構造の出現は、フラストレート磁性体のみならず、物性物理全般にわたって新たな知見をもたらすのではないかと期待される。

この研究は、鄭成琪氏との共同研究であり、有益な議論をして頂いた、十倉好紀、有馬孝尚、小野瀬佳文、小野田繁樹、各氏に深く感謝します。本研究は文科省特定領域研究「フラストレーションが創る新しい物性」(No. 19052006, 19052007) の援助を受けて行われました。

### 参考文献

- 1) 最近のレビューとして、*Introduction to Frustrated Magnetism*, ed. C. Lacroix, et al. (Springer, Berlin, 2011); Special Topics on Novel States of Matter Induced by Frustration, ed. H. Kawamura: J. Phys. Soc. Jpn. **79** (2010) 011001-011012; Special Issue of Geometrically Frustrated Magnetism, ed. J. Gardner: J. Phys. Condens. Matt. **23** No. 16 (2011).
- 2) S. Nakatsuji, et al.: Science **309** (2005) 1697.
- 3) C. Stock, et al.: Phys. Rev. Lett. **105** (2010) 037402.
- 4) S. Nakatsuji, Y. Nambu and S. Onoda: J. Phys. Soc. Jpn. **79** (2010) 011003.
- 5) P. Day, et al.: J. Phys. C **9** (1976) 2481.
- 6) L. P. Régnault, et al.: J. Physique **43** (1982) 1283.
- 7) N. D. Mermin and H. Wagner: Phys. Rev. Lett. **17** (1966) 1133.
- 8) R. Tamura and N. Kawashima: J. Phys. Soc. Jpn. **77** (2008) 103002.
- 9) R. Tamura and N. Kawashima: J. Phys. Soc. Jpn. **80** (2011) 074008.
- 10) E. M. Stoudenmire, S. Trebst and L. Balents: Phys. Rev. B **79** (2009) 214436.
- 11) J. N. Reimers, A. J. Berlinsky and A.-C. Shi: Phys. Rev. B **43** (1991) 865.
- 12) T. Okubo, S. Chung and H. Kawamura: Phys. Rev. Lett. **108** (2012) 017206. および、Online Supplemental Material.
- 13) N. Nagaosa, et al.: Rev. Mod. Phys. **82** (2010) 1539.
- 14) A. N. Bogdanov and D. A. Yablonskii: Sov. Phys. JETP **68** (1989) 101.

- 15) U. K. Rößler, A. N. Bogdanov and C. Pfleiderer: *Nature* **442** (2006) 797.
- 16) S. D. Yi, S. Onoda, N. Nagaosa and J. H. Han: *Phys. Rev. B* **80** (2009) 054416.
- 17) D. Solenov, D. Mozyrsky and I. Martin: *Phys. Rev. Lett.* **108** (2012) 096403.
- 18) S. Mühlbauer, *et al.*: *Science* **323** (2009) 915.
- 19) W. Münzer, *et al.*: *Phys. Rev. B* **81** (2010) 041203(R).
- 20) X. Z. Yu, *et al.*: *Nature* **465** (2010) 901.
- 21) X. Z. Yu, *et al.*: *Nature Mater.* **10** (2011) 106.
- 22) S. Heinze, *et al.*: *Nature Phys.* **7** (2011) 713.
- 23) B. Berg and M. Lüscher: *Nuclear Phys. B* **190** (1981) 412.
- 24) H. Shiba and N. Suzuki: *J. Phys. Soc. Jpn.* **51** (1982) 3488.
- 25) H. Shiba and N. Suzuki: *J. Phys. Soc. Jpn.* **52** (1983) 1382.

(2012年3月2日原稿受付)

## Multiple-*Q* Ordering and Topological Excitations of Frustrated Magnets

Tsuyoshi Okubo and Hikaru Kawamura

abstract: In frustrated magnets, novel spin structures are often stabilized due to the competing interactions. We theoretically investigate the ordering of the frustrated triangular-lattice Heisenberg antiferromagnet with strong further-neighbor interactions. Several types of multiple-*q* state, including the skyrmion-lattice state, is observed in addition to the standard single-*q* state.

## 最近の研究から

# 強相関電子系分子性導体のモット-アンダーソン転移

佐々木孝彦 (東北大学金属材料研究所 980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1)

分子性導体にエックス線照射を行うと、結晶内部に分子欠陥が生成され伝導電子系に対する乱れを導入することができる。最近、バンド幅制御型金属-モット絶縁体転移の舞台となるダイマーモット型分子性導体 $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu[N(CN)<sub>2</sub>]Y (Y=Br, Cl) にエックス線を照射すると、それぞれ超伝導/金属またはモット絶縁体から乱れによる絶縁体状態-アンダーソン局在による絶縁体化が生じることを見出した。モット転移近傍の分子性導体において電子相関と乱れが協奏して現れるモット-アンダーソン転移について紹介する。

## 1. はじめに

現実にある物質や材料を対象とする物性物理学の実験研究では、不純物や欠陥などの乱れが全くない理想的な完全試料を手に入れることは不可能である。このため、物質探索や試料合成を行う研究者はできるだけ不純物や欠陥が少ない試料を作製しその評価を行うことに多大な努力を払っている。しかし、それでも現実の試料には不純物などによる乱れが有限に存在してしまう。また、物性測定においては実験データの解析や解釈を行うときに、物質固有の本質的な振る舞いと不純物などによる外因的な影響をどのように見極め、またどの程度まで取り入れるかは常に頭を悩ます問題である。たとえば、銅酸化物高温超伝導体に代表される遷移金属酸化物で行われる元素部分置換や酸素欠損による伝導キャリアの生成、金属化の過程では、同時に内在的な乱れが発生することを避けることができない。

一方、脇役であった乱れが電子状態そのものを本質的に変化させる主役となることがある。その最も典型的な現象は、伝導電子が乱れにより局在化することで引き起こされる金属-絶縁体転移、アンダーソン局在、である。<sup>1)</sup> アンダーソン局在は、系の乱れが十分に大きいときには1電子波動関数が局在化して絶対零度では電子の拡散が不可能になる現象である。P. W. アンダーソンが1958年に提唱して

以来、半世紀にわたって盛んに研究されてきた。<sup>1)</sup> このような乱れが主役のアンダーソン局在に対して、電子間のクーロン相互作用が主役となる金属-絶縁体転移の代表がモット転移である。<sup>2)</sup> モット絶縁体は銅酸化物高温超伝導体の発見以来、その母物質状態として強相関電子系研究の主役である。<sup>3)</sup> 本稿で対象とする分子性導体も後述べるように電子相関によるモット転移を起こし、強相関電子系の一つとして盛んに研究されている物質群である。<sup>4,5)</sup> この金属-絶縁体転移を引き起こす2つの主役である電子相関と乱れが同時に、また拮抗して現れるのがモット-アンダーソン転移である。これまでその代表としてSi:Pなどの不純物半導体を中心に実験、理論の両面で詳細な研究が行われてきた。<sup>6)</sup> 一方最近では、前述の遷移金属酸化物におけるキャリアドーピングと乱れの問題に触発された強相関電子系を念頭に置いた理論研究が多くなされている。(文献1, 7-9中の参考文献を参照。)しかし実験的には、現実に我々が手にする物質・材料試料において乱れとキャリア数やバンド幅などの電子状態を変化させるパラメーターを独立にコントロールすることは難しい課題である。例えば、アンダーソン局在研究で用いられた半導体試料における不純物ドーピングや補償制御の精度の問題やモット転移研究における遷移金属酸化物での元素置換に関わる不均一性問

題などである。このようなキャリア注入に付随する意図しない乱れはできるだけ抑制したい。

本稿では、バンド幅制御型の金属-モット絶縁体転移を示す分子性導体に乱れを導入することで発現する金属-アンダーソン局在-モット絶縁体転移の実験検証と乱れを考慮した電子相図について紹介する。<sup>10-14)</sup> この研究の特徴は、分子性導体に対するエックス線照射による分子欠陥生成という乱れ導入手法を開発することにより伝導電子に対する乱れの系統的な導入が可能となった点である。これにより圧力印加により変調できる電子相関の強さと乱れを独立にコントロールできるようになった。

## 2. 分子性導体に現れる強相関電子状態

本稿で対象とする分子性導体  $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu[N(CN)<sub>2</sub>]Y (Y=Br, Cl) は、図1(a) に示すように炭素や硫黄、水素という軽元素でできた低分子BEDT-TTFを構成要素としてできている。この分子内外に広がった分子軌道の重なりにより2次元的な伝導バンドを形成している。<sup>15)</sup> このときの伝導キャリアは、2つのBEDT-TTF分子あたり1つの電子がアニオン分子Cu[N(CN)<sub>2</sub>]Yに電荷移動することによりBEDT-TTF分子あたり0.5個のホールと

して生じる。つまり1分子を1サイトとする強結合バンド肖像では1/4充填バンドによる金属となる。ところが、本稿で対象とする $\kappa$ 型と呼ばれるBEDT-TTF分子の配列様式を持つ系では、BEDT-TTF分子が2量体(分子ダイマー、図1(a)のBEDT-TTF分子層内で点線楕円に囲まれている2分子)を組むため、ダイマー1個あたりホール1個がいると見なすことができる。このとき、元の2分子の分子軌道は、ダイマー化により結合軌道と反結合軌道に縮退が解け、エネルギーの高い側にある反結合軌道にホールが1個できることになる。ダイマー間のトランスファーエネルギー $t$ により結合、反結合軌道はそれぞれバンド(バンド幅 $W \sim 4t$ )を作るが $t$ が小さく2つのバンドの重なりがない状態では、反結合軌道は1/2充填バンド状態となる。<sup>4)</sup> さらに、ダイマー上のクーロン斥力エネルギー $U_{\text{dimer}}$ とバンド幅 $W$ はどちらも0.4-0.5 eV程度であり拮抗した値となっている。クーロン斥力エネルギーは遷移金属酸化物などに比べて1桁程度小さいが、拮抗した狭いバンド幅のために強相関電子系となる資格を持っているのである。また、分子間の結合が弱いために、外部からの圧力や分子の化学修飾などにより比較的容易に分子間の距離を変えることができ $W$ を実験的にコントロールすることができる。この物質系では図1(c)に示すように、アニオン分子中のBrをClに置き換える化学的圧力効果により、超伝導体からモット絶縁体にすることができ、逆にY=Clのモット絶縁体状態に数10 MPa程度の弱い圧力(物理的圧力)を印加することで、モット絶縁体-金属転移を経て金属/超伝導体化することができる。このように $\kappa$ 型BEDT-TTF系分子性導体は典型的なバンド幅制御型のモット転移物質群として精力的な研究が行われてきた。

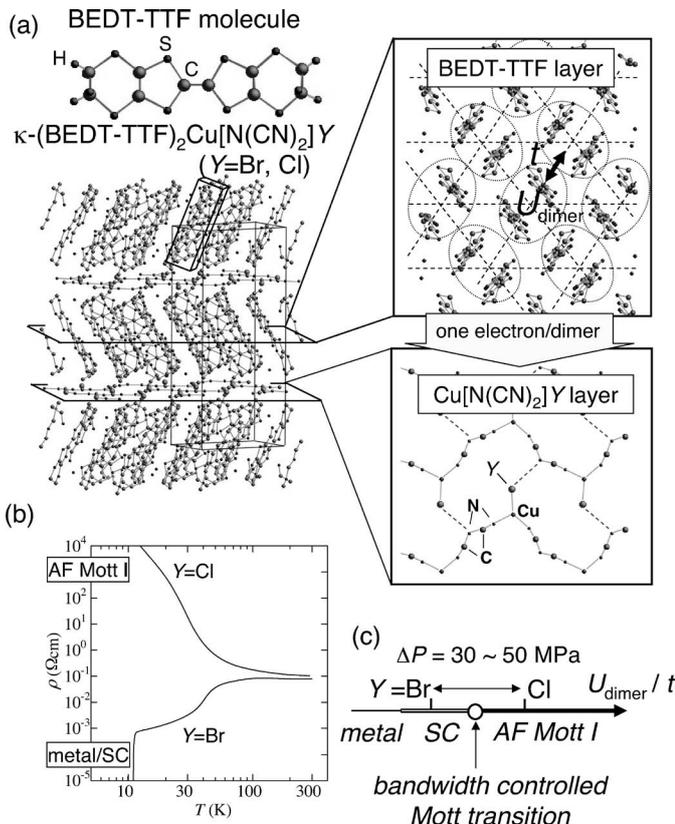


図1 (a) BEDT-TTF分子と $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu[N(CN)<sub>2</sub>]Yの結晶構造。BEDT-TTF分子層では、BEDT-TTF分子ダイマー(点線楕円に囲まれた分子2量体)が $\kappa$ 型と呼ばれる交互に積み重なる配列構造をしている。(b) Y=Br(超伝導体)とY=Cl(反強磁性モット絶縁体)の電気抵抗率の温度依存性。(c) バンド幅制御によるモット転移の概念相図。横軸の電子相関の強さは、ダイマーサイトのクーロン斥力エネルギー $U_{\text{dimer}}$ に対するダイマー間トランスファーエネルギー $t$ をパラメーターとして物理的、化学的圧力によって変化させることができる。

## 3. エックス線照射による分子欠陥の導入

このような分子性導体や有機物質に対するエックス線照射の影響は、比較的古くから調べられている。<sup>16)</sup> エックス線や電子線の照射による結晶中の分子欠陥に対する電荷密度波やスピン密度波のスライディング現象、電気伝導における不純物散乱、超伝導の抑制効果<sup>17)</sup>などが研究されてきた。しかし、エックス線や電子線の照射によって結晶内の分子や、分子格子が実際にどのように変化し、また欠陥化しているのかは不明な点が多い。無機物質の場合には、照射部位において原子が平均位置からずれてアモルファス構造的になることで格子欠陥が作られる。一方、分子性物質の場合は分子内の結合が切れたり分解したり、また一部がガス化して減損する場合もあると考えられている。このため無機物質の場合は適当な熱処理(アニーリング)により照射欠陥を修復することが可能であるが、分子性物質の照射欠陥は永久的に残ることが多い。

$\kappa$ 型BEDT-TTF系分子性導体の場合、エックス線による照射欠陥は、電気伝導を担うBEDT-TTF分子よりも、アニオン分子中の-CN結合部分に多く生じていることが赤外

分子振動実験の結果から分かってきた。<sup>14)</sup> おそらくアニオン分子中のCuが最もエネルギーを吸収し、配位している-CNに影響が及ぶためと推測される。また、モット転移から金属側に離れた姉妹物質である超伝導体 $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu(NCS)<sub>2</sub>に対するエックス線照射効果をドハースファンアルフェン効果測定により調べた結果から、フェルミ面の大きさ(キャリア数)、有効質量の変化はほぼ無く、散乱時間のみが大きく減少していることが分かった。<sup>18)</sup> これらの結果は、エックス線照射による分子欠陥は、主としてアニオン層に生成され、欠陥周辺でのポテンシャル変調をBEDT-TTF分子層の伝導キャリアが乱れとして感じていることを示している。このように、エックス線照射という手法を用いることで、乱れを照射時間という実験パラメーターとして導入が可能となった。この手法の利点は、同一の試料に対して、非可逆的ではあるが連続的に乱れを導入することができることである。さらに、分子性導体において乱れの研究を行う利点は、もともとの単結晶試料の純度、品質が高い点である。これは、溶液からの電気的酸化による単結晶作製や低い育成温度、ゆっくりとした成長速度などの分子性導体の特徴的な結晶育成手法によるためである。得られた単結晶試料の純良性は、金属的となるほとんどの分子性導体で、明瞭なドハース効果が低温磁場中での磁気抵抗や磁化に現れ、比較的容易にフェルミ面が観測、決定できることに現れている。もともとが純良な系であることは、意図的に導入する乱れを議論する上で大変重要なことである。

#### 4. 乱れによる局在絶縁体化と加圧による金属化

図2に、バンド幅の広い側に位置する超伝導体 $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu[N(CN)<sub>2</sub>]Brとバンド幅が狭いモット絶縁体 $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu[N(CN)<sub>2</sub>]Clに白色エックス線(タングステン管球40 kV, 20 mA)を照射したときの電気抵抗率の温度依存性を示す。<sup>10)</sup> いずれの電気抵抗率も直流4端子法により層状結晶構造を反映した平板状単結晶の伝導面内方向に測定したものである。エックス線照射は室温で行い、表記している時間 $t_{irr}$ は、同一試料に対する積算した照射時

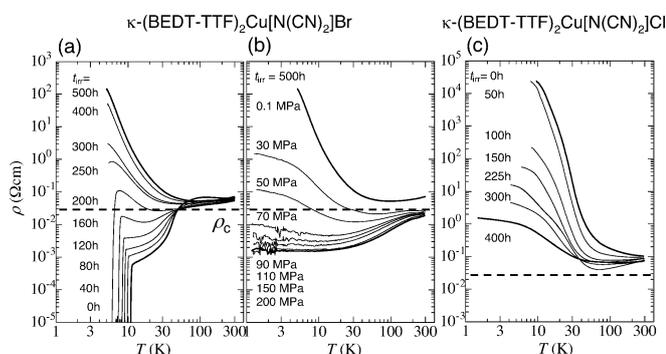


図2  $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu[N(CN)<sub>2</sub>]Yの伝導面内方向の電気抵抗率の温度依存性。(a) 超伝導体Y=Brへのエックス線照射効果。(b) 500時間エックス線照射したY=Brへの静水圧力印加効果。<sup>10)</sup> (c) モット絶縁体Y=Clへのエックス線照射効果。<sup>13)</sup> エックス線は室温で照射し、照射時間 $t_{irr}$ は積算した照射時間である。(フルカラー口絵参照)

間である。未照射の $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu[N(CN)<sub>2</sub>]Brは、転移温度が約11 Kの超伝導体である。室温でエックス線を照射すると超伝導転移温度は徐々に低下するとともに抵抗率は増加し、照射時間が約150時間になるとほとんど温度依存性を示さない非金属的な振る舞いをする。さらに照射時間を増やすと低温で絶縁体的な温度依存性を示すようになり、500時間照射後には、照射前に比べて低温で6桁以上の抵抗増加を示す。次に、図2(b)に示すように500時間照射後の試料に静水圧力を加えると抵抗は減少し、約70 MPa以上を印加すると再び金属的な温度依存性を示すようになる。ただし、1.5 Kまでの実験温度の範囲では超伝導は示さなかった。

このエックス線照射による絶縁体化は分子欠陥の導入による乱れに起因するアンダーソン局在によるものと考えられる。このことは低温での電気抵抗の温度依存性が、 $\rho(T) \propto \exp[(T_0/T)^n]$ で良く表され可変領域ホッピング伝導に寄っていることにも表れている。<sup>2)</sup> このとき、 $n$ は1/2が最も実験を良く再現する。 $n$ の値は1/4, 1/3でそれぞれ3次元、2次元の場合に対応し、 $n=1/2$ は1次元に対応するのであるが、電子間に長距離クーロン斥力相互作用が強く働く場合にも $n=1/2$ を取る事が知られている。<sup>19)</sup> はじめに述べたようにこの超伝導体はモット転移のごく近傍に位置しており、電子相関が強い状況にある。このため観測された $n=1/2$ の振る舞いは強いクーロン斥力相互作用によるためであろう。また、最近、品岡-今田は、モット転移近傍での乱れた系においてはソフトハードギャップ状態と呼ぶギャップレスの電子局在状態が現れることを指摘した。彼らの示した解析的な抵抗の温度依存性によっても、実験データを良く再現できる。<sup>7,20)</sup> 可変領域ホッピング伝導の式での $T_0$ は、局在長 $\xi$ と $k_B T_0 = e^2 / \kappa \xi$ の関係がある。 $\kappa$ は誘電率でおよそ10-100の程度であるとする500時間照射試料の局在長は0.2-2 nmとなり、およそBEDT-TTF分子間距離から数単位格子程度の長さに対応しホッピング伝導の

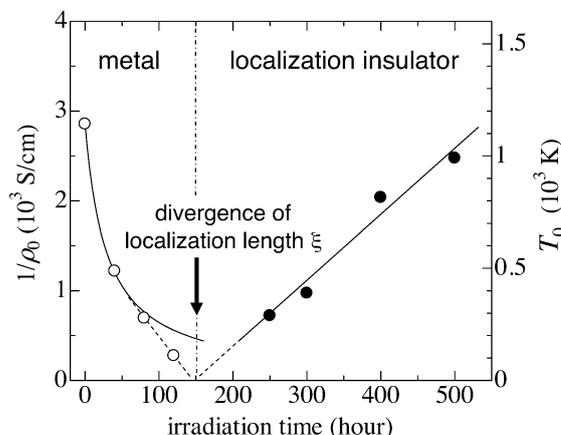


図3 エックス線照射した $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu[N(CN)<sub>2</sub>]Brの残留抵抗率 $\rho_0$ と可変領域ホッピング伝導の特性温度 $T_0$ の照射時間依存性。<sup>10)</sup> 150時間照射に対応する乱れで平均自由行程がゼロに、局在長 $\xi(\propto T_0)$ が無限大になること、つまり局在絶縁体転移することを示している。

肖像と良く符合する。図3に  $T_0(\propto 1/\xi)$  の照射時間依存性を低照射量で見られる金属の温度依存性から見積もられる残留抵抗率  $\rho_0$  とともに示す。照射量が増加すると残留抵抗が大きくなりその逆数、つまり散乱時間や平均自由行程は、150時間照射に向かって減少していく。一方、高照射量側からは、 $T_0$  が150時間照射に向かって小さくなる。このことは150時間照射に向かって、金属伝導側では平均自由行程がゼロに向かい、一方で局在絶縁体側では局在長が発散、無限大に向かうことを示している。つまり、照射量が150時間に相当する乱れのとくに、強相関電子系金属-アンダーソンの局在絶縁体転移が起きているのである。また、この転移はおおよそ  $\rho_c = 20\text{--}30\text{ m}\Omega\text{cm}$  で生じている。この電気抵抗率の大きさは、BEDT-TTF分子1層当たりの電気伝導度 ( $\sim 130\text{ k}\Omega$ ) に換算すると、2次元での最小金属伝導度 ( $\sigma_{\min} = 0.1e^2/h = 2.4 \times 10^{-5}\text{ S}$ ,  $1/\sigma_{\min} = 40\text{ k}\Omega$ ) と、大まかな計算、対比ではあるが近い値になっている。このしきい値的な抵抗率は、圧力印加による再金属化にも表れている。圧力の印加は、結晶体積を収縮させ分子間の距離を短くする。このとき分子間の軌道の重なりは大きくなり、バンド幅を広げることになる。一方で、分子欠陥の数、すなわち乱れの大きさは、圧力によっては変わらないであろう。つまり、圧力をかけてバンド幅を広げ電子相関の強さを相対的に弱めることで、局在絶縁体状態はしきい値  $\rho_c$  を経て、再度金属化したのである。また別の見方をすると、エックス線照射による絶縁体化が分子や結晶を全く破壊してしまったために起こったのではなく、電子相関と乱れによる電子局在により生じていることをこの圧力効果は実験的に示している。

さて、ここまでは金属/超伝導体に乱れを導入すると、アンダーソン局在的な絶縁体状態になることを示してきた。この現象は、クーロン斥力相互作用の強弱にもよるが、局在的な移動度端を伴ったソフトクーロン(ハバード)ギャップがフェルミレベル近傍の状態密度に現れたとして理解できる。<sup>7, 19, 20</sup> それでは、すでにギャップが開いているモット絶縁体に乱れを導入するとどうなるのであろう。モット絶縁体  $\kappa\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{Cu}[\text{N}(\text{CN})_2]\text{Cl}$  に対して同様にエックス線照射による乱れを導入すると、図2(c)に示すように電気抵抗は、照射時間が長くなるにつれて小さくなり、その温度依存性も熱活性化型からホッピング的な振る舞いに変化する。この変化は、低温での絶縁体状態がモット絶縁体からアンダーソンの局在絶縁体に変化したことを示唆している。しかし、アンダーソンの局在絶縁体になるということは、モット絶縁体とは異なり、ギャップが閉じてフェルミレベルに状態が存在することを意味する。このことを確認するために、遠赤外反射分光測定を行うことで、エックス線照射による光学伝導度スペクトルの変化を求めた。<sup>11</sup> 光学伝導度スペクトルには、遍歴的な伝導電子によるドルーデ応答、ハバードバンドまたダイマーバンド間でのバンド間遷移、前述の分子欠陥部位を推測するのに用い

た分子振動など、電子-格子状態に関する豊富な情報が含まれている。<sup>21</sup> 未照射のモット絶縁体  $\kappa\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{Cu}[\text{N}(\text{CN})_2]\text{Cl}$  の光学スペクトル測定から、50 K以下で約0.1 eV以下に光学ギャップが現れ、同時に約0.3 eVにあるハバードバンド間遷移が増強されてモット絶縁体状態になることが知られている。エックス線照射を行うと、ハバードバンド間遷移から、ギャップを埋めるようにスペクトルウエイトが低エネルギー領域に移動することが観測され、ソフトギャップ的なスペクトル構造を持つようになった。この光学伝導度の結果は、電気抵抗の振る舞いがモットギャップによる熱活性化型から局在的なホッピング伝導に変化したこととよく一致し、乱れによるモット-アンダーソン転移が生じていることを示している。

## 5. 乱れを含む電子相図とまとめ

ここまで、エックス線照射により系統的に分子欠陥を導入した強相関電子系分子性導体  $\kappa\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{Cu}[\text{N}(\text{CN})_2]Y$  ( $Y = \text{Br, Cl}$ ) の電気抵抗測定による超伝導/金属-アンダーソン局在的な絶縁体-モット絶縁体転移について紹介してきた。これまでの結果をもとにして、通常の圧力-温度相図<sup>4, 5</sup>に乱れに対応するエックス線照射時間の軸を加えて拡張した電子相図を図4に示す。すでに図1(c)に示したようなバンド幅に対してモット転移が生じる相図は、図4では  $T = 0\text{ K}$ ,  $t_{\text{irr}} = 0\text{ h}$  のときの圧力依存性(電子相関の強さ  $(U_{\text{dimer}}/t)$ )に対応している。ここではエックス線照射時間 ( $t_{\text{irr}}$ ) の原点では、乱れをゼロとしているが、実際には  $t_{\text{irr}} = 0$  の結晶中にも有限の乱れは存在している。

電子相関の強度を表すバンド幅(圧力)の軸上で  $Y = \text{Br}$  は、モット転移点(○点)よりも金属側(高圧側)に、 $Y = \text{Cl}$  はモット絶縁体側(低圧側)に位置している。エックス線照射をしていないとき  $Y = \text{Br}$  は約25 Kで「悪い金属(bad metal)」と呼ばれるインコヒーレントな伝導状態から電気抵抗が  $T^2$  依存性を示すフェルミ液体的金属状態に移り変

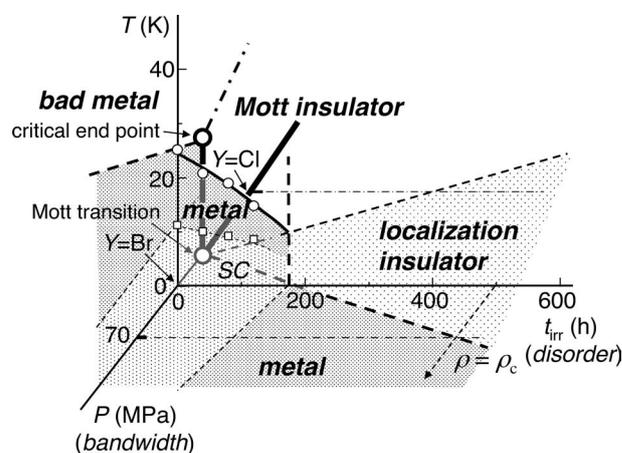


図4 エックス線照射時間(乱れ)-圧力(バンド幅)-温度に対する  $\kappa\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{Cu}[\text{N}(\text{CN})_2]Y$  の電子相図の概略図。<sup>10, 14</sup> 圧力に対する超伝導相の振る舞いは定性的に描かれている。(フルカラー口絵参照)

わる。そして約 11 K で超伝導になる。乱れを導入していくと、次第にフェルミ液体的金属の領域は超伝導とともに抑制され 150–200 時間照射で局在絶縁体になる。<sup>14)</sup> このとき金属状態と局在絶縁体状態を分けるのはしきい値的な電気抵抗率  $\rho_c$  である。圧力を印加して再び金属化するときや  $Y=Cl$  でのモット絶縁体から局在絶縁体への変化も含めて、乱れ・バンド幅制御による局在絶縁体化は  $\rho_c$  が一つの基準値になっている。この基準値  $\rho_c$  をもとに相図中のアンダーソン局在的な絶縁体領域の現れ方を推測すると、モット転移点から乱れの増加に対して放射状に広がっていることが分かる。この相図から示唆される重要な点は、金属側、モット絶縁体側の両方向からモット転移点に近づけば近づくほど、少ない乱れで局在絶縁体化することが予想されることである。このとき、モット転移は不連続な 1 次転移であり、アンダーソン転移は連続転移であるため、この 2 つの異なる連続性が現実には有限の乱れが存在する物質でどのようにつながり、その近傍での特異性がどのような振る舞いとして現れるかは大変興味ある問題である。乱れを考慮した理論計算では、ある程度の乱れまではモット転移における不連続性を保持することが示されている（例えば文献 9 など）。一方で、金属相–アンダーソン局在絶縁体相–モット絶縁体相の間の接続の仕方には多くの異なる様相が報告されている（文献 7, 9 中の参考文献を参照）。最近、イリジウム酸化物  $Ba_2IrO_4$  においても同様なモット–アンダーソン局在の様相を示す結果が報告され、特にその金属–局在絶縁体転移点に近い金属側で非フェルミ液体的な振る舞いが見られている。<sup>22)</sup> 今後、よりモット転移点の近傍に迫った領域での研究が幅広い強相関電子系物質群において行われることで、電子相関と乱れが協奏する電子状態と相転移現象の本質に迫れるものと期待している。また、本稿で紹介した分子性导体では、特に、 $T=0\text{ K}$  でのモット転移点や有限温度での量子臨界点（モット転移終点）近傍における乱れを含む状況での電気伝導度の連続性、有限温度スケール解析の可否やそこでの臨界指数の振る舞いに興味を持たれ今後の重要な研究課題である。

ここで紹介した研究は、米山直樹、小林典男、佐野康一郎、大泉元、菅原洋紀各氏との共同研究であり、M. Lang, J. Müller, J. Andras, 品岡寛、今田正俊、中村敏和、宮川和也、鹿野田一司、西尾豊、薬師久弥、岩井伸一郎、石原純夫各氏には有益な議論をしていただきました。

## 参考文献

- 1) *50 Years of Anderson Localization*, ed. E. Abrahams (World Scientific, 2010).
- 2) N. F. Mott: *Metal-Insulator Transitions, 2nd edition* (Taylor and Francis, London, 1990).
- 3) M. Imada, A. Fujimori and Y. Tokura: *Rev. Mod. Phys.* **70** (1998) 1039.
- 4) 鹿野田一司: *日本物理学会誌* **54** (1999) 107.
- 5) K. Kanoda: *J. Phys. Soc. Jpn.* **75** (2006) 051007.
- 6) 伊藤公平, 渡部道生, 大塚洋一: *日本物理学会誌* **57** (2002) 813.
- 7) H. Shinaoka and M. Imada: *J. Phys. Soc. Jpn.* **78** (2009) 094708.
- 8) M. M. Radonjić, D. Tanasković, V. Dobrosavljević and K. Haule: *Phys. Rev. B* **81** (2010) 075118.
- 9) A. Farhoodfar, R. J. Gooding and W. A. Atkinson: *Phys. Rev. B* **84** (2011) 205125.
- 10) K. Sano, T. Sasaki, N. Yoneyama and N. Kobayashi: *Phys. Rev. Lett.* **104** (2010) 217003.
- 11) T. Sasaki, N. Yoneyama, Y. Nakamura, N. Kobayashi, Y. Ikemoto, T. Moriwaki and H. Kimura: *Phys. Rev. Lett.* **101** (2008) 206403.
- 12) N. Yoneyama, K. Furukawa, T. Nakamura, T. Sasaki and N. Kobayashi: *J. Phys. Soc. Jpn.* **79** (2010) 063706.
- 13) T. Sasaki, H. Oizumi, N. Yoneyama, N. Kobayashi and N. Toyota: *J. Phys. Soc. Jpn.* **76** (2007) 123701.
- 14) T. Sasaki, K. Sano, H. Sugawara, N. Yoneyama and N. Kobayashi: *Phys. Status Solidi B* **249** (2012) 947.
- 15) N. Toyota, M. Lang and J. Müller: *Low-Dimensional Molecular Metals* (Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2007).
- 16) L. Zuppiroli: *Radiat. Eff.* **62** (1982) 53.
- 17) J. G. Analytis, A. Ardavan, S. J. Blundell, R. L. Owen, E. F. Garman, C. Jaynes and B. J. Powell: *Phys. Rev. Lett.* **96** (2006) 177002.
- 18) T. Sasaki, H. Oizumi, Y. Honda, N. Yoneyama and N. Kobayashi: *J. Phys. Soc. Jpn.* **80** (2011) 104703.
- 19) A. L. Efros and B. I. Shklovskii: *J. Phys. C: Solid State Phys.* **8** (1975) L49.
- 20) H. Shinaoka and M. Imada: *Phys. Rev. Lett.* **102** (2009) 016404.
- 21) M. Dressel and N. Drichiko: *Chem. Rev.* **104** (2004) 5689.
- 22) H. Okabe, N. Takeshita, M. Isobe, E. Takayama-Muromachi, T. Muranaka and J. Akimitsu: *Phys. Rev. B* **84** (2011) 115127.

(2012年2月23日原稿受付)

## Mott-Anderson Transition in Strongly Correlated Electrons of Molecular Conductors

Takahiko Sasaki

abstract: X-ray irradiation to molecular conductors introduces molecular defects inside the crystal. Recently, we found that disorder induced by X-ray irradiation to the dimer-Mott type molecular conductor  $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu[N(CN)<sub>2</sub>]Y (Y=Br, Cl) causes an electron localization state, that is, Anderson localization state due to randomness, from the superconducting state (Y=Br) and the Mott insulating state (Y=Cl). In this article, we show the Mott-Anderson transition of correlated electrons with randomness in the  $\kappa$ -type BEDT-TTF based molecular conductors which possess the typical bandwidth controlled Mott transition.

川畑有郷 (JPSJ編集委員長)

日本物理学会が発行している Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ) の論文で2012年2月と3月の編集委員会の間に掲載可となったものの中から編集委員会が選んだ“Papers of Editors' Choice”(JPSJ注目論文)を以下に紹介します。

この紹介記事は国内の新聞社の科学部、科学雑誌の編集部に電子メールで送っている「紹介文」をこの欄のために少し書き直したものです。専門外の読者を想定し、「何が問題で、何が明らかになったのか」を中心にした読み物であるので、参考文献などはなるべく省いています。なお、図に関しては、原図はカラーのものでもモノクロで印刷しているので不鮮明になる場合がありますが、その場合は、物理学会のホームページの「JPSJ注目論文」にカラー版を載せていますので、そちらをご覧ください。

もっと詳しく知りたいと思う読者は、末尾に挙げる論文掲載誌と電子版のURL、または、JPSJのホームページの「Editors' Choice」の欄から掲載論文を見ることができます(2010年8月号以降に掲載されたものは、掲載から約1年間は無料公開)。

JPSJ編集委員会では物理学のあらゆる分野の興味ある優れた論文を「注目論文」としてこの欄で紹介したいと思っています。物理学会会員からのJPSJへの自信作の投稿を期待します。

### 初めて観測された有機ディラック電子系の比熱

2010年にノーベル物理学賞を受賞したA. K. Geimらがグラフェンの作製に成功して以来、世界中でグラフェンに関する精力的研究が続いている。これはグラフェンの非常に高い移動度や熱伝導度等を利用したエレクトロニクス分野への応用の期待に加え、グラフェンにおける電子系が“質量ゼロのディラック電子”として記述され、凝縮系物理学の分野に新たな舞台を提供したためである。この性質はグラフェンのバンド構造が特異な線形分散(ディラックコーン)をもつことに起因しており、理論・実験ともに通常の2次元系とは異なる新奇な結果が報告されている。熱物性に関するその特異な状態密度を反映した振る舞いが期待されるが、グラフェンは単一原子層で形成されているため実験的研究は非常に困難であり、特に比熱に関しては現在までに実験の報告は存在しない。

一方、近年名古屋大学のグループによって擬2次元の層状物質である有機伝導体 $\alpha$ -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ においても圧力下で異方的なディラックコーンの存在が指摘され、現在も実験、理論の両方面から検証が進んでいる。重要なことは、この系ではバルク結晶の状態でもディラック電子系が実現しており、グラフェンでは非常に測定困難な比熱測定を比較的容易に行うことが可能な点である。しかしながら本物質では圧力下でのみディラック電子系が形成されるため、実験は圧力下で行う必要がある。圧力下の比熱測定では、与えた熱が試料だけでなく圧力媒体の一部にも伝わるため、測定結果には一般に大きなバックグラウンド(BG)が含まれ、特に大きな結晶を得るのが難しい有機伝導体の分野ではほとんど報告例がない。感度の高い交流法を用いた場合でもBGの大きさはヒーター-試料-温度計の接触具合や試料・圧力媒体の熱伝導率等によって変化するため、一般的な標準試料を用いても同一のBGにはならず、試料のみ

の寄与を抽出することは難しい。

最近、東京大学物性研究所の研究グループは、単結晶試料を割って同じ環境下で交流測定を繰り返すことによってほぼ同一のBGを実現し、2つの測定結果を差し引くことで $\alpha$ -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ の圧力下比熱を得た。これによりディラック電子系特有の比熱の温度依存性と磁場下での振る舞いが初めて実験的に確認され、この成果は日本物理学会が発行する英文誌 Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ) の2012年4月号に掲載された。

図1はディラック電子系が実現する高圧下15kbarの測定結果で、低温での比熱の温度依存性が $C \propto T^{1.8}$ となることを示している。これは線形分散を仮定した場合に期待される比熱の温度依存性( $\propto T^2$ )と良く一致している。また、グラフェンでは電子相関の影響により低温での比熱が対数的に抑制されるという理論的予測があるが、今回の測定範囲内ではそのような傾向は観測されていない(図1挿入図)。高圧下での比熱の磁場依存性は、はじめ磁場ととも

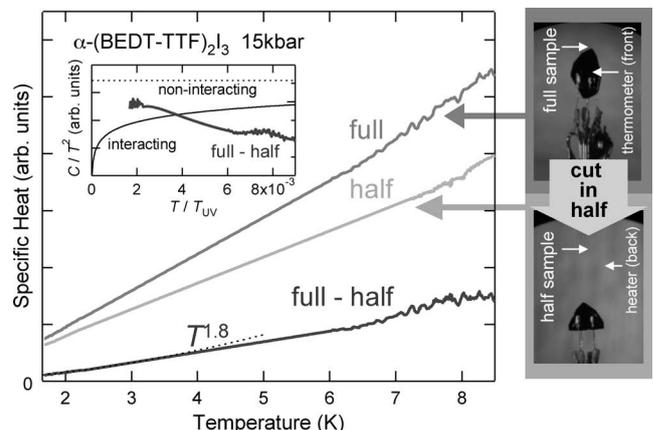


図1  $\alpha$ -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ の圧力下15kbarでの比熱の温度依存性。

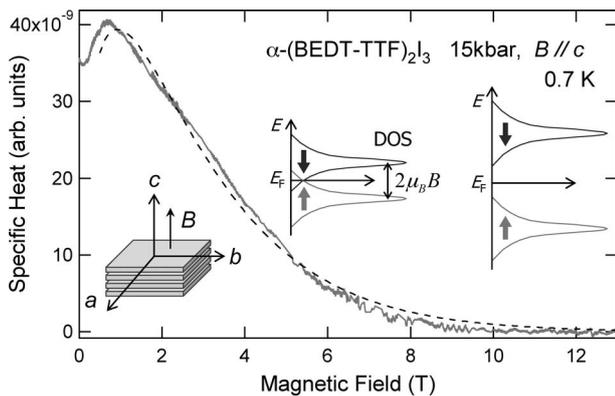


図2  $\alpha$ -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ の圧力下15 kbarでの比熱の磁場依存性.

に増加した後減少に転じ、その後飽和する様子が観測された(図2)。比熱はフェルミエネルギー  $E_F$  での状態密度(DOS)を反映するが、この振る舞いは以下のように解釈することができる。ディラック電子系では磁場を印加すると通常の2次元系とまったく異なるランダウ準位(LL)が形成され、特にランダウ指数  $N=0$  のLL(ゼロモード)が磁場強度によらず常に  $E_F$  に現れる。 $\alpha$ -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ では0.2 T以上の垂直磁場下で  $E_F$  にゼロモードのみが存在する量子極限に達することが報告されている。ゼロモードのDOSはLLの縮重度を反映し、磁場に比例して増大する。一方、それぞれのLLはゼーマン効果によって磁場とともに上向きスピン、下向きスピンによる寄与が分離する(スピン分離)。これによりスピン分離の幅がゼロモードの幅よりも広がる高磁場では  $E_F$  でのDOSが減少し、さらに2つの重なりがなくなる高磁場領域ではゼロに向かうことが予想される(図2挿入図)。今回観測された比熱はこのようなゼロモードのDOSを反映していると考えられ、すでに報告されている磁気抵抗の振る舞いとも非常によく対応している。また、スピン分離した後の磁場依存性はゼロモードの形状を直接反映していると考えられるが、今回のデータはゼロモードの幅の磁場依存性( $\propto B^{1/2}$ )を考慮するとガウシアンで非常に良く再現できている(図2破線)。本研究によりディラック電子系の熱力学的性質の一端が実験的に明らかにされるとともに小さな単結晶の圧力下比熱測定が可能になり、今後の研究の展開が期待される。

論文掲載誌：J. Phys. Soc. Jpn. **81** (2012) No. 4, p. 043601.  
 電子版：http://jpsj.ipap.jp/link?JPSJ/81/043601 (3月5日公開済)

〈情報提供：鴻池貴子(東京大学物性研究所)  
 長田俊人(東京大学物性研究所)〉

### 磁性と「重い電子」は共存するか？ 極低温・高圧力下の電子の状態の直接観測

原子の構成要素のうち、電子の質量(静止質量)は、陽子や中性子の質量に比べて約1/1,800である。しかしながら、ネオジム磁石のような強い磁石の原料として知られる

希土類元素(レアアース)を用いて合金を作ると、その中を流れる伝導電子の質量(有効質量)が陽子や中性子の質量程度にまで増える現象が知られており、このような物質は「重い電子」系物質と呼ばれ盛んに研究が進められている。これらの強い磁石の性質である磁性と重い電子の伝導性のどちらも共通に、4f電子という希土類元素の持つ特殊な電子が重要な役目を果たしている。

この4f電子が生み出す2面性である重い電子と磁性がどのような条件下で現れるか、また、どのように移り変わるか、これまでに数多くの研究がなされてきた。その結果、伝導電子と4f電子の混成(c-f混成)の大小がこのような希土類化合物の2面性の移り変わりに関わっていることが分かってきた。その混成強度を横軸、温度を縦軸にとると、ドニアック相図と呼ばれる1つの普遍的な相図で表される(図1)。ドニアック相図では、混成強度を強くしていくと、磁性が絶対零度で消える点があり、量子臨界点と呼ばれている。この量子臨界点の近傍では、従来の理論では説明できない超伝導など、これまでに解明されていない物理現象が現れるため、現在盛んに研究が行われている。その物理現象が現れる時の電子の状態を知ることは、量子臨界点での物理現象の理解のために重要である。

これまで、量子臨界点やその近くの磁性が現れる場合の電子の状態については、主に2つの考え方が提唱されてきた。1つは、重い電子を形成したまま磁性を持つという考え(スピン密度波模型)、もう1つは磁性が現れるところでは重い電子は消えるという考え(近藤崩壊模型)である(図1)。現在、このどちらが実際に現れるか、活発な議論がなされている。

混成強度を外部から加えた圧力で変化させると、磁性が現れる状態から磁性が現れない重い電子状態まで変化する物質の1つにインジウム化セリウム(CeIn $_3$ )がある。この物質は、大気圧では磁性を持った状態であるが、臨界圧力(2万6千気圧)に達すると絶対温度0.2ケルビン以下で超伝導が出現し、更に高い圧力では重い電子で磁性を持たない状態になることが知られている。

最近、自然科学研究機構分子科学研究所のメンバーを中心とする研究グループは、インジウム化セリウムの重い電子を生み出す電子の状態が反強磁性相内でも存在し、スピン密度波模型と呼ばれる理論で説明できることを明らかにした。この成果は、日本物理学会が発行する英文誌Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)の2012年4月号に掲載された。

実験は、-267°C(6ケルビン)の温度下と高圧力という複合環境下において電子の状態を決定できる低温高圧下テラヘルツ反射分光法という手法を、分子科学研究所・極端紫外光研究施設(UVSOR-II)のシンクロトロン光を組み合わせることで行われた。テラヘルツ帯は光と電波の狭間の領域であり、これまで強い光源がなかったために、「テラヘルツギャップ」と呼ばれていた領域である。UVSOR-II

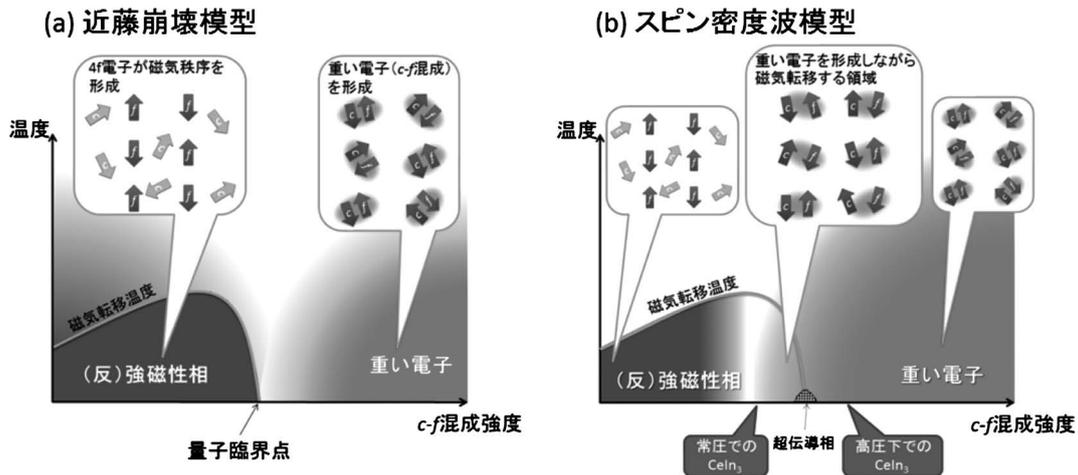


図1 重い電子系希土類化合物の磁性を持った状態〔(反)強磁性相〕と重い電子状態の関係を示したドニアック相図。(a)は近藤崩壊模型での描像、(b)はスピン密度波模型での描像。近藤崩壊模型では重い電子系の起源である伝導電子(c)と4f電子の混成(c-f混成)が磁性の現れる(反)強磁性相で消えるのに対し、スピン密度波模型では、c-f混成が(反)強磁性相でも残っているところに違いがある。今回測定したインジウム化セリウムは、スピン密度波模型に合うと考えられる。

からのシンクロトロン光は、そのギャップを埋める強力な光源であり、この光を使うことではじめて低温・高圧下テラヘルツ反射分光が可能になったものである。

その結果、重い電子の存在を裏付けるc-f混成は、磁性を持った状態からすでに現れており、c-f混成の大きさは、圧力とともに連続的に増加することを観測した。このことは、圧力によって重い電子が成長することを直接観測したものである。また、c-f混成が磁性を持った状態ですでに観測されることから、磁性のある状態ですでに重い電子が存在することを見出した。以上の結果は、インジウム化セリウムの電子の状態は、近藤崩壊模型ではなくスピン密度波模型で説明できることを示している。

この結果で、インジウム化セリウムの超伝導の元になる電子の状態は、スピン密度波模型で説明できることがわかった。このことから、インジウム化セリウムの超伝導を生み出す電子構造が明らかになり、この物質の超伝導の理解に1歩近づいたことになる。このような1歩1歩の積み重ねを進めて行くことで、将来は夢の室温超伝導が実現できるかもしれない。

論文掲載誌：J. Phys. Soc. Jpn. 81 (2012) No. 4, p. 043703.  
電子版：<http://jpsj.ipap.jp/link?JPSJ/81/043703> (3月22日公開済)

〈情報提供：木村真一(自然科学研究機構分子科学研究所)〉

## 応用物理 第81巻 第7号(2012年7月号) 予定目次

特集：次世代エネルギー再考

巻頭言：震災後に考える日本のエネルギービジョン；日本のエネルギー政策は今後どのような方向に向かうべきか  
.....中井徳太郎  
総合報告：再生可能エネルギー利用技術の発展と今後の展望  
.....柏木孝夫  
解説  
エネルギーストレージの最先端技術.....田路和幸  
スマートグリッドの最新動向.....横山明彦  
燃料電池開発の現状と今後の展望.....内田裕之、他  
最近の展望  
北杜サイトにおける太陽光発電システムの評価.....工藤 満

メタンハイドレート資源の開発；開発の経緯と現状および今後の課題.....成田英夫  
ホーム・エネルギー・マネジメント・システムの現状と今後の展開.....馬場 朗  
宇宙太陽発電所SPSとマイクロ波送電.....篠原真毅  
研究紹介：量子ドット太陽電池研究の展開.....荒川泰彦、他  
特別記事〈応用物理学会業績賞受賞者随想〉  
半導体と磁性体に橋を架ける.....大野英男  
結晶成長を学問として.....西永 頌  
基礎講座：光ディスクの動作原理と高密度化技術.....大野鋭二

## 第67回年次大会シンポジウムの報告

### 領域委員会

#### 物理と社会「福島原発事故と物理学者の社会的責任」

吉野太郎 (関学大総合政策)

[A] 趣旨説明 (吉野太郎: 関学大総合政策), 原発事故と情報発信 (奥村晴彦: 三重大教育), 原発事故のリスクを考える (押川正毅: 東大物性研), 原発の減らし方, 再稼働のさせ方 (橘川武郎: 一橋大商), 美浜の会の活動から見える原発の安全神話 (小山英之: 美浜の会), 講演者による補足と講演者間の応答 (奥村氏, 押川氏, 橘川氏, 小山氏), 全体討論 (司会: 座長)

[B] 吉野は, 事故が原発震災であったこと, 1980年代には学会内で原発についての賛成派・反対派を交えた議論が実っていたことを指摘し, 多岐にわたる問題が現在進行形で議論が必要であるとした。奥村氏は, 放射線情報を整理し発信した立場から, 命に関わるデータが自動解析しづらい形式で提供されていることに対し修正の提案を行ったこと, ミスも含めオリジナルデータをアーカイブしておくことの必要性を訴えた。押川氏は, 事故後からの関わりから, 物理学者が楽観側にぶれた情報を出したとする問題を分析し, 放射線問題などへの専門家発言の過ちは「ダメ科学」であり, 物理学者は権威に縛られず本質をつかむべきとした。橘川氏は, 推進派にはリアリティ・反対派にはポジティブな対案が欠如しているとし, エネルギー政策には原発再稼働を新安全基準で行い同時にたむ現実性, 焦点は火力政策にあるとする総合性, 国際性をと論じた。小山氏は, 原発・核燃料サイクルは事故前からたそがれていたこと, 1号機屋内の当日17:50時点の放射能充満からメルトダウンが示唆されること, 大飯3.4号機は活断層連動を考えると現基準で再稼働すべきでないとした。全体討論では, 自由な情報発信か物理学者のユニークボイスか, 再稼働しないことの経済性, 物理学者の責任と考えて行動したのか等, 論点は多岐にわたった。参加者増のため会場を変更し150名強の参加を得た。

#### 物理と社会「ワークライフバランス—物理研究者の場合」

笹尾真実子 (同志社大学)

[A] はじめに (笹尾真実子: 同志社大学), 企業のワークライフバランス支援: 働き方の改革 (佐藤博樹: 東大大院), 大規模アンケート調査にみるワークライフバランス (江尻晶: 東京大学), 在職場時間とワークライフバランス—大学教員の場合 (加賀山智子: 阪大), 研究成果データベースと出勤簿システムの分析について (澤田美智子: 産総研), 在職場時間とワークライフバランス—研究所研究者の場合 (村上泉: 核融合研), 討論 (ディスカッションリーダー: 嘉規香織: 静岡大)

[B] 物理学関連の研究者は時間管理を自分で行き「研究

第一」に最適化する結果, 仕事時間が長くなるものと考えられてきた。しかし, 実態は少し複雑である。チームでの研究, 「雑用」時間の肥大化, 場所を問わずどこでも「仕事」ができるネット社会化等が, 仕事時間が長くなる傾向に拍車をかけている。

このシンポジウムでは, 大規模アンケート結果の分析結果と研究所や大学のアンケート結果が報告され, 学会員や大学教員の長い仕事時間の実態が浮かび上がった。佐藤教授による招待講演では, ワークライフバランスは働き方の改革であり, 企業においては各社員が高い水準の仕事意欲を持続すること, その取り組みは, (1) 制度とその利用, (2) 個人の「時間制限」に対応した仕事管理・働き方の実現, (3) 多様な価値観, ライフスタイルを受容できる職場作りの, 3層構造が必要である等の紹介があった。澤田氏により報告された産総研の取り組みでは, かけた時間の長さではなく, 時間あたりの研究成果を評価する考え方, 「お互いさま」の精神で必要な人が必要な時に休暇を取る考え方が紹介された。本シンポジウムは, 物理学学会男女共同参画推進委員会の企画である。

#### 物理と社会「科学者の役割とは何か: 不確実性の中での科学と社会」

佐野雅己 (東大理)

[A] 趣旨説明 (佐野雅己: 東大理), 科学者の社会的責任の現代的課題 (藤垣裕子: 東大総合), 科学裁判における科学者の役割: 専門家証人として考えたこと (本堂毅: 東大理), 医学と倫理と法 (米村滋人: 東大法学), 社会が知りたい科学: 科学の不定性 (平田光司: 総研大先導), 社会の意思決定と専門家 (尾内隆之: 流経大法), パネルディスカッション (司会, 小林泰三: 九大基盤セ)

[B] 現実社会では, 科学的知見の不確実性の中で意思決定を行わねばならない状況が少なくない。しかるに, 科学と社会が相互作用する状況下で科学者が果たすべき役割は, 科学界に閉じた議論では明らかにできない。そこで, 本シンポジウムでは, 本会会員 (本堂, 平田) に加え, 科学技術社会論 (藤垣), 医学・法学 (米村), 政治学 (尾内) の一線活躍する専門家をシンポジストに招き, 多様な論点から議論を行った。

講演では, 科学的中立性・客観性, 科学者の責任論の類型, Organized knowledge と Unique (Unified) voice の対比, 典型例としての法廷での科学的議論の制度的問題, 非専門家の科学観と科学教育の問題, 科学的不確実性から必然的に生ずる「科学の論理」と「法の論理」の齟齬, 科学の不定性 (不確実性) の階層, リスク評価とリスク管理の区別, 専門家の「踏み越え」, 社会的意思決定の「妥当性」と「正統性」など, この問題群の把握と理解に不可欠な概念や課

題が明らかにされた。パネルディスカッションでは会場参加者とともに、専門家の Unique (Unified) Voice に関わる問題群などが複数の専門的観点と科学者の多様な視点から活発に議論され、科学者が議論を深めるべき課題・論点が明らかになったとの声が多く寄せられた。

より詳しい報告は <http://www.sci.tohoku.ac.jp/hondou/> を参照されたい。

## 物理と社会「福島原発事故から1年：これまでとこれから (One year from the Fukushima nuclear disaster; Past and Future)」

理事会企画 (世話人：北本俊二 (立教大理))

[A] はじめに (Opening Remark) (倉本義夫：東北大院理)，原子力と物理学者 (Nuclear Energy and Physicists) (山崎敏光：東大名誉教授)，福島原発のその後と除染 (Decontamination of Radiative Waste from Fukushima Nuclear Plant) (田中俊一：放射線安全フォーラム副理事長)，土壤汚染調査の結果報告 (New Contamination Map of Radiative Waste) (藤原守：阪大核物理セ)，How physicists can contribute to public policy debates (Frank von Hippel: Princeton Univ.)，新エネルギー再考 (Reconsideration of New Energy) (神本正行：弘前大北日本新エネルギー研究所)，終わりに (Closing Remark) (家泰弘：東大物性研)

[B] 上述のプログラムの通り進み、これまで行ってきた事故に関連する活動の報告とともに、関連科学とエネルギー問題について科学者としてどう取り組んでいくべきか、考えるきっかけになる議論を行うことができた。参加人数はおおよそ400名であった。

## 素粒子実験領域「ニュートリノフロンティアの展望」

山本和弘 (阪市大)

[A] はじめに (中家剛：京大)，ニュートリノ物理フロンティアの展望 (鈴木厚人：高エネ機構)，ニュートリノの理論研究の展望 (佐藤文：埼玉大)，J-PARC ニュートリノビームの展望 (西川公一郎：高エネ機構素核研)，J-PARC ニュートリノビームと大型液体アルゴン検出器によるニュートリノ研究 (中平武：高エネ機構素核研 T2K グループ)，大型水チェレンコフ検出器によるニュートリノ研究の展望 (横山将志：東大)，二重ベータ崩壊探索によるニュートリノ研究の展望 (清水格：東北大ニュートリノ科学研セ)，超高エネルギーニュートリノ研究の展望 (石原安野：千葉大)，宇宙観測によるニュートリノ研究の展望 (市来浄與：名大)

[B] 本シンポジウムは、昨年6月にT2K実験がニュートリノ振動による電子型ニュートリノ出現現象の兆候を世界で初めて観測したと発表したことを契機として、ニュートリノ振動をはじめとしてこれから大きな成果が期待されているニュートリノ物理の様々な研究に関する今後の展望を広く共有することを目的として開催された。自身も

KamLAND実験によりニュートリノ物理に多大な成果をもつ高エネルギー加速器研究機構長の講演に始まり、理論的な側面からの研究、加速器ニュートリノによるニュートリノ振動の研究、ニュートリノ欠損二重ベータ崩壊の探索、超高エネルギーニュートリノによるニュートリノ研究および宇宙物理、さらには宇宙観測によるニュートリノ質量への制限と、幅広い分野にわたって第一線で活躍する若手を中心とした講演が行われ、引き続き活発な議論が行われた。ニュートリノ研究に対する関連分野からの関心の高さを反映して、576人収容の大教室が埋まるほどの盛況であり、講演・質疑ともにたいへんに盛り上がりを見せ、非常に有意義なシンポジウムであった。

## 素粒子実験領域「Japan-Korea Joint Symposium: Physics at LHC」

山本和弘 (阪市大)

[A] Introduction (蔵重久弥：神戸大)，Recent results from ATLAS (増淵達也：東大素粒子物理国際研究セ)，Recent results from CMS (Choi Suyong: Korea Univ.)，What the LHC tells us on Higgs/SUSY? (Choi Kiwoon: KAIST)，What the LHC tells us on Extra dimension? (Park Seong Chan: Chonnam National Univ.)，Flavor Physics Measurements at LHC (Tatsuya Nakada: Lausanne EPFL)，What the LHC tells us on Top and heavier quarks? (横谷洋：National Taiwan Univ.)

[B] 2011年はLHCが順調に稼働し、世界最高である重心系エネルギー7 TeVでの衝突で、各実験あたり積分ルミノシティ  $5 \text{ fb}^{-1}$  のデータを記録した。標準理論の枠内で唯一未発見のヒッグス粒子に対して発見の期待が高まるとともに、超対称性粒子や余剰次元に起因するKK粒子など標準理論を超える新粒子の徴候等、その結果はこれまでの素粒子物理像を大きく変える可能性を秘め、現在の素粒子物理でのホットトピックスになっている。LHC実験の中で、日韓の実験研究者はそれぞれATLASとCMS実験に参加しており、双方の実験グループから標準模型の検証、ヒッグス及び超対称性その他の新粒子・新現象探索に関する最新結果の報告があった。また、これらの結果が、超対称性模型や余剰次元模型に与える制限に関する講演及び議論がなされた。引き続きフレーバー物理の観点からのLHCの成果のレビューも行われ、 $B$ 粒子の研究に特化したLHCb実験からの最新結果の報告があった。また、トップ及び“第4世代”に関する理論的な議論もなされた。

## 理論核物理領域、素粒子論領域、領域1、領域6「多様な物質に現れる量子渦のダイナミクス」

板倉数記 (KEK)

[A] 趣旨説明 (新田宗土：慶応大日吉物理)，超伝導体・フェルミ系超流動体における量子渦 (加藤雄介：東大教養)，超流動体における量子渦の内部構造とマヨラナフェルミオン (水島健：岡山大)，BECにおける量子渦および量子乱流 (小林未知数：東大総合文化・基礎科学科)，超

伝導渦糸状態の相図(池田隆介:京大理), 強磁場中性子星の熱的進化(安武伸俊:INFN), カラー超伝導における渦(仲野英司:高知大理), トポロジカル絶縁体・超伝導体の渦と非可換統計(佐藤昌利:東大物性研), マヨラナ渦とディラック渦における非可換統計(安井繁宏:KEK素核研)

[B] 対称性の自発的破れは, 自然界の様々な階層に現れる普遍的現象だが, それに付随する超伝導・超流動, さらにそこに現れる量子渦の構造・動力学も普遍的に理解されるべきものである。しかし, 様々な系に出現する量子渦は, 異なる分野で個別に研究されているのが現状である。このシンポジウムでは, 渦を研究している様々な分野の研究者たちを集め, それぞれの系で出現する渦の性質や力学を解説してもらうことで, それらの共通点, 相違点などを浮き彫りにすることを目指した。講演には, 超伝導体, ボーズ・フェルミ原子系の超流動, 中性子星物質, 高密度クォーク物質などに現れる量子渦を取り上げた。講演者は他分野の聴衆を意識して分かりやすく話すだけでなく, 最先端の内容にまで踏み込んでくれた。最終日の午前中のシンポジウムであるにもかかわらず, 聴衆は非常に多く, 盛況かつ好評であった。物性の講演では素粒子・原子核分野から, 逆に素粒子・原子核の講演では物性分野からの質問があり, 異分野間の交流ができていた。最後に, 中性子星内部の渦の話に依頼していた柴崎徳明氏(立教大)が学会開催直前になって出席が困難になったために, 安武伸俊氏(INFN)による講演に変更したが, 急な依頼にもかかわらず安武氏は趣旨を理解し, 大変よい講演をしていただいた。

#### 理論核物理領域「テンソル力による核子多体系の構造とそのダイナミクス」 板倉数記(KEK)

[A] 軽い核におけるテンソル相関の重要性とその効果(堀内渉:理研仁科セ), 第一原理核反応計算と4核子系への適用(青山茂義:新潟情報セ), カイラル有効理論と少数系の物理(鎌田裕之:九工大), 格子QCDによるテンソル力と短距離斥力(村野啓子:理研仁科セ), テンソル最適化シェルモデルによるs-pシェル核構造(明孝之:大阪工大), テンソル力のために拡張したブリュクナーハートレーフォック理論(小川洋子:阪大核物セ),  $N=Z$ 核のM1遷移強度と基底状態のテンソル力(民井淳:阪大核物セ), 不安定核のスピ軌道スプリッティング(上坂友洋:理研仁科セ)

[B] 現象論的な核力の特徴はパイ中間子が引き起こす中間領域での強いテンソル力と核子のクォーク構造が引き起こす強い斥力である。本シンポジウムでは, これらの要素を取り込んだ計算によって明らかになってきた, 原子核構造・反応の新しい側面が議論された。

前半では,  ${}^4\text{He}$ までの原子核に対する理論計算の報告があった。強いテンソル力が高い運動量成分を持ち, 殻構造に大きな影響を与えるので, そのエネルギー, 励起状態,

構造因子など実験との対応を得るのに重要である。反応ではテンソル力がチャンネル結合をひき起こす。一方で, テンソル力に加えて3体力は3体の物理量に大きく影響しているとの報告があった。格子QCD理論計算では, 斥力芯を持つ現象論的核力を定性的に再現しているという現状が報告された。後半は比較的重い原子核でのテンソル力が議論された。テンソル力は,  ${}^{11}\text{Li}$ のハロー構造, LiやHeのアイソトープのスペクトルに重要な働きをすることが報告された。テンソル力の取扱い法としてブリュクナー理論を超える方法の報告があった。実験でM1励起から和則を使って得られた基底状態の物理量は, 通常の殻模型では再現できないとの報告があった。そして, テンソル力による構造の変化が和則の物理量を再現することが示された。今後の実験の方向についても議論された。テンソル力の理論計算の精度向上と呼応して, 実験の成果や計画が出てきている感がある。

約80名ほどの聴衆からは様々な角度から質問やコメントがあり, 実質的な議論ができ, 成果の多いシンポジウムであったと言える。

#### 実験核物理, 理論核物理「反応断面積による不安定核のハロー・スキン構造研究の新展開」

関口仁子(東北大院理)

[A] はじめに(趣旨説明)(山口貴之:埼玉大理), 中性子ハローと荷電変化反応(王恵仁:阪大RCNP), RIBFにおける相互作用断面積測定(大坪隆:新潟大理), 反応断面積のグラウバー理論による解析と課題(鈴木宣之:新潟大理), 低エネルギーE1強度で見る中性子スキン(稲倉恒法:理研仁科セ), 陽子弾性散乱で見る核子密度分布(銭廣十三:理研仁科セ), 微視的枠組みによる不安定核構造および反応の研究(八尋正信:九大院理), 反応断面積による核構造研究~HIMACでの研究成果とこれから~(福田光順:阪大院理), 反応断面積の偶奇効果と対相関(萩野浩一:東北大院理)

[B] 本シンポジウムは, 不安定核のもつハローやスキンという特異な構造を解明する上で有力な反応断面積について, 理論, 実験の両面から現状と将来を俯瞰することを目的とした。特に最近RIBFで発見されたNe同位体のハロー構造について, グラウバー模型(鈴木)と微視的模型(八尋)に基づく反応断面積の理論解析, および変形や反ハロー効果(萩野)が議論された。さらにピグミー共鳴断面積(稲倉)とスキン厚との関係が紹介された。実験では, RIBF(大坪)とHIMAC(福田)に於ける反応断面積測定のレビュー, 荷電変化断面積による陽子分布決定(王), 不安定核の陽子弾性散乱実験(銭廣)について興味深い講演があった。

## 実験核物理, 理論核物理, 宇宙線・宇宙物理, 領域1「実験と観測で解き明かす中性子星の核物質」

佐藤 進 (原子力機構先端基礎セ)

[A] はじめに (田村裕和: 東北大), 中性子星と状態方程式 (大西明: 京大基研), ストレンジネス核物理と中性子星コア (高橋俊行: KEK), Lattice QCD によるバリオン間相互作用と中性子星 (根村英克: 筑波大), 高エネルギー重イオン反応による高密度物質の研究 (坂口貴男: BNL), 中性子星表面でのパスタ原子核 (飯田圭: 高知大), 中性子過剰核を用いた中性子星核物質の研究 (中村隆司: 東工大), 冷却原子系を用いた希薄中性子物質の研究 (堀越宗一: 東大), X線衛星による中性子星の観測 (高橋忠幸: JAXA)

[B] 中性子星内部の物質を解明するため, 多分野の連携研究が進んでいる. J-PARCでのストレンジネス核物理の実験, 理研RIBFでの中性子過剰核の実験, 極低温原子系の実験などを, ASTRO-H等のX線天文観測と組み合わせ, 理論研究を通して統合することで, 中性子星の中心から表面までの広範囲の核物質全体を支配する状態方程式を決定し, 中性子星の内部構造とそこに現れる様々な未知の物質を解明することが期待できる.

田村氏の趣旨説明のあと, 大西氏が核理論の立場から中性子星核物質の理解の現状と最近発見された重い質量の中性子星の問題について講演した. 次に, 中性子星内核のストレンジネスが現れると考えられる高密度核物質について, 高橋俊行氏がストレンジネス核物理の実験の立場から, 根村氏がLattice QCDによる理論の立場から, ストレンジネスを含むバリオン間相互作用の研究の現状と見通しを報告した. 坂口氏は, RHIC等の高エネルギー重イオン衝突実験から得られる高密度核物質の知見について講演した.

後半は, 中性子星外核から表面の物質について議論された. 飯田氏が表面に存在するとされるパスタ状核物質について講演, 中村氏は中性子過剰核を用いた実験による中性子過剰核物質の低密度から高密度の性質の研究について報告した. 堀越氏はレーザー冷却された原子系を用いた実験から希薄中性子物質を調べる研究について講演した. 最後に高橋忠幸氏が, X線衛星による観測から中性子星の半径を精度よく測り, 状態方程式を厳しく制限する計画を報告した.

広い分野から約160名の参加者が集まり, 分野を横断する質問や議論が活発に行われた. この分野横断型の研究の流れが今後さらに発展することが期待されるシンポジウムとなった.

## 実験核物理, 理論核物理, 領域1「反陽子ヘリウム原子の20年 (20 Years of Antiprotonic Helium Atoms)」

佐藤 進 (原子力機構先端基礎セ)

[A] はじめに (早野龍五: 東大理), 反陽子ヘリウム原子のレーザー分光の発展 (堀正樹: マックスプランク量子

光学研), Antiprotonic helium transition frequencies toward better than 10 digit precision (V. I. Korobov: Dubna), 反陽子ヘリウム原子と三体精密計算 (木野康志: 東大理), 反陽子ヘリウム原子の低温化学反応 (山崎敏光: 学士院), 反水素原子の生成・操作と分光 (山崎泰規: 理研)

[B] 本シンポジウムは, 反陽子ヘリウム原子が発見されて20年を迎えるにあたり, 反陽子ヘリウム原子研究が開拓した反物質研究のこれまでの状況と, 今後の発展可能性を俯瞰することを目指して企画された. 早野がシンポジウムの趣旨説明と発見当初の状況, 堀がレーザー分光実験の詳細と基礎物理定数決定に大きく貢献できるようになった最近の発展, Korobovと木野が高精度三体理論計算の状況と今後の精度向上の可能性, 山崎(敏)が反陽子ヘリウム原子を用いた低温化学反応研究への展開, そして山崎(泰)が最近成果が出始めた反水素原子の生成と分光の状況と将来の可能性について講演を行い, 活発な質疑応答があった. 参加者は約70名であった.

## 宇宙線・宇宙物理領域, 素粒子論領域「加速膨張を続ける宇宙論」

早田次郎 (京大院理)

[A] 宇宙の加速膨張とは (須藤靖: 東大院理物理), 超新星観測によるダークエネルギー研究 (土居守: 東大院理天文), ダークエネルギーか修正重力理論か (小林努: 京大), バリオン音響振動で探るダークエネルギー (松原隆彦: 名大院理), すばるSuMIReプロジェクトで探るダークエネルギー (高田昌広: IPMU)

[B] 昨年, ノーベル賞の対象となった加速膨張宇宙が本シンポジウムのテーマであった. まず, 須藤氏によって宇宙の加速度を観測することの意義が明解に解説され, 続く講演への導入がなされた. 続いて, 土居氏によって超新星観測によるダークエネルギー研究の現状が解説された. 小林氏は, ダークエネルギーではなく重力理論の変更による加速膨張宇宙の説明の可能性に関して詳細な議論を行った. 松原氏はバリオン音響振動による加速膨張宇宙の観測可能性について解説した. 高田氏は重力レンズ効果を通してダークエネルギーへ如何に迫るのかを, SuMIReプロジェクトの展望をまじえて分かりやすく解説した.

それぞれの講演後の議論も活発に行われた. 本シンポジウムでは, 宇宙のエネルギー密度のおよそ7割が未知の異常な物質で構成されていること, そしてその研究が物理学の進歩にとって重要な鍵となることが浮き彫りにされた. 今後の物理学の展開にとって非常に有意義なシンポジウムとなった. また, 当日は300名を超える聴衆が参加し, ダークエネルギーへの関心の高さが伺えた.

## 宇宙線・宇宙物理領域「高エネルギー天体物理・宇宙線の将来計画」

早田次郎 (京大院理)

[A] TAの現状と将来 (佐川宏行: 東大宇宙線研TAグループ), JEM-EUSO (戎崎俊一: 理研), IceCube 拡張計画

(吉田滋：千葉大理), Tibet ASy 現状と将来 (大西宗博：東大宇宙線研 Tibet グループ), CTA 計画 (手嶋政廣：東大宇宙線研  $\gamma$  線グループ)

[B] まず佐川氏が、米国ユタ州で行われている最高エネルギー宇宙線観測実験, TA 実験の最近の成果および将来計画について、2月の国際シンポジウム UHECR2012の成果を含めて報告した。次に戎崎氏が、国際宇宙ステーションに超広視野望遠鏡を装着して最高エネルギー宇宙線を観測する JEM-EUSO 計画のこれまでの経緯, 設計・開発の現状, 今後の予定について報告した。そして吉田氏が南極における IceCube 実験の現状と拡張計画 ARA について報告した。休憩を挟んで大西氏が中国チベット自治区羊八井高原にて TeV 以上のエネルギー領域で宇宙放射線を観測している Tibet ASy グループの最近の成果と Tibet MD・YAC 計画について報告した。最後に手嶋氏が、ガンマ線天文学の現状と、従来の装置と比べ感度を 10 倍向上し、より広いエネルギー領域でガンマ線天文学を飛躍的に発展させる次世代高エネルギーガンマ線天文台 CTA のコンセプト、開発研究の現状について報告した。

#### ビーム物理領域「次世代放射光源への期待」

西内満美子 (原子力機構)

[A] はじめに (濱広幸：東北大), 次世代 ERL 光源のための 500 kV 光陰極電子銃開発 (西森信行：原子力機構), ERL 用超伝導加速空洞の開発 (阪井寛：高エネ機構加速器), 次世代リング型放射光光源における利用研究の展望 (足立伸一：高エネ機構物構研), UVSOR における次世代低エネルギー放射光源への取り組み (加藤政博：分子研), NewSUBARU における次世代低エネルギー放射光源への取り組み (庄司善彦：兵庫県立大)

[B] 昨年 X 線自由電子レーザー SACLA が発振し、超短パルス高輝度 X 線源の一般供給が開始される中、その性質を利用して初めて可能になる様々な応用が急速に拡大している。このような状況の中、新しい次世代放射光光源が世界中で建設、計画されている。本シンポジウムではそのひとつであるエネルギー回収型リニアック (ERL) の基盤技術、及びその新しい応用研究と、世界で建設が進められる小型リング型放射光光源に関し、期待できる学術や将来展望をそれぞれの専門家からご講演を頂いた。最初の 2 件の講演は、現在 KEK に於いて建設が進められているコンパクト ERL の基盤技術である、大電圧光陰極電子銃と超伝導加速空洞の開発についてであった。それぞれが世界最高性能を達成し、2012 年度末からのビーム運転に向け、技術開発に順調に取り組んでいることが報告された。また利用・応用の観点では、短パルス性を利用した化学反応の直接観測などにより、人工光合成などの産業応用に直結できる可能性が示された。小型リングに関しては、それぞれの特徴をさらに活かせるような改造が行われようとしている。さらにレーザーサイミングによる準単色 (狭帯域) 化や

高調波 THz コヒーレント放射光の生成の実現、またレーザーコンプトンを用いたガンマ線の利用を促進していることが報告された。

#### 領域 1 「放射線が生体に与える影響—原子分子から生物まで—」 間嶋拓也 (京大院工)

[A] はじめに (間嶋拓也：京大院工), 低エネルギー電子付着による分子解離とアニオン生成 (高柳敏幸：埼大院理工), ブラッグピーク領域の炭素線衝撃による水蒸気からの二次電子放出とトラック構造解析 (大澤大輔：京大 RI セ), 極端環境下の水の放射線分解 (勝村庸介：東大院工), 放射線によるゲノム DNA 損傷の初期過程と生体修復 (横谷明德：原子力機構先端基礎研セ), 放射線によって誘発される適応応答とバイスタンダー応答 (松本秀樹：福井大高エネ研), 放射線病理学：内部被ばく発がんから放射線耐性まで (福本学：東北大加齢研)

[B] 福島原発事故の影響により、低線量リスクの評価が大きな社会問題となっている。放射線と生体の相互作用は、初期の電離・励起などの物理的な過程から始まり、化学的、生物学的な過程へと階層的に引き継がれる。本シンポジウムでは、メカニズムの全体を俯瞰する目的で、放射線化学および生物の研究者もお招きした。放射線過程の進行を追うように、原子分子・放射線物理・化学・生物・病理学の順にプログラムを組んだ。本テーマの関心の広さを示すように、領域外からも多くご参加いただき、聴講者数は 100 数十名であった。低エネルギー電子が生体分子の解離に実は非常に重要であるという最近の発見や、水中での原子衝突過程、およびその後のラジカル反応の追跡、内殻電離に誘起される DNA クラスタ損傷のメカニズム研究、バイスタンダー効果という細胞レベルでの新しいメカニズムの発見、さらには内部被ばくが生体システムの中でどう顕在化するのかなど、それぞれの分野で詳細な過程の解明が進められている様子が伝えられた。一方でそれと同時に、全体像は依然として姿が見えていないということも、多くの聴講者が実感できたのも大きな収穫であったと言える。まだパズルのピースを集めている段階であり、それらをつなぎあわせ全体の絵を完成させるのが、今後の大きなテーマであると感じた。放射線影響の研究は難しい、という講演者の言葉が印象的であった。

#### 領域 2, ビーム物理領域, 理論核物理領域, 実験核物理領域「極限高強度場の科学 (Extremely-High Field Science)」

西村博明 (阪大レーザー研)

[A] 趣旨説明/Opening address (西村博明：阪大レーザー研), 宇宙における高温、高密度、強磁場の現象/Phenomena of high temperature, high density, and strong magnetic fields in the universe (郡和範：高エネ研), 高強度場を利用した AXION の観測実験について/Observation experiment of AXION by the use of extremely high fields (小川泉：福井大

工), 極限高強度場による粒子と光子の加速/Particle and Photon Acceleration via Extremely-High Fields (Bulanov Sergei: 原子力機構), 原子核衝突におけるカイラル磁場効果/Chiral magnetic field effect in nuclear collisions (福嶋健二: 慶應理工), 欧州における極限高強度レーザー ELI計画/Extreme Light Infrastructure (ELI) project in EU (Mourou Gerard: IZEST, Ecole Polytechnique), 激光エクサによる高強度場プラズマ物理/Extremely high field physics with Gekko EXA laser (村上匡且: 阪大レーザー研), まとめ/Summary (板倉数記: 高エネ研)

[B] 非線形量子電磁力学 (nonlinear QED), クォーク・グルーオンプラズマ, カイラル磁場効果, レーザー加速, 逆コンプトン単色ガンマ線発生といった極限高強度場の最近の話題を中心に, 素粒子, 原子核物理, 宇宙, 量子ビーム, 相対論プラズマといった学際性ある分野横断的な議論の場を設け, 今後の研究の方向性, 超大型レーザーによる地上実験の可能性などについて議論した. 参加者は約 110 名を得た.

#### 領域2「高温プラズマにおける高Z多価イオンの分光と原子構造に関する研究の新展開」 門信一郎 (東大院工)

[A] 趣旨説明 (門信一郎: 東大院工), 高Z多価イオン研究の重要性とLHDにおける可視分光 (森田繁: 核融合研高密度プラズマ物理研究系), 磁場閉じ込めプラズマにおける高Z多価イオンの観測 (蓮尾昌裕: 京大工), EBITにおける高Z多価イオンの生成と分光 (中村信行: 電通大レーザー研), 高Z多価イオンの原子構造理論 (小池文博: 北里大医), 高Z多価イオンのモデリングの現状 (佐々木明: 原子力機構関西光科学研), タングステンイオンのモデリング (村上泉: 核融合研核融合システム研究系)

[B] 現在フランスに建設中の国際熱核融合実験炉 (ITER) のダイバータ部材料として採用が決定されたタングステンについて, 各国のトカマク型実験装置でプラズマへの影響が調べられつつある. 一方, 高温プラズマにおけるタングステン等の高Z元素のスペクトル構造や放射機構は未開拓であり, プラズマ診断や原子物理の観点からも興味ある研究対象となっている. シンポジウムでは高Z多価イオン研究の重要性, 可視領域で放射される磁気双極子禁制線を利用したプラズマ診断の可能性, 高Z多価イオンのLHD (ヘリカル型), JT-60U (トカマク型) 及びEBIT (電子ビームイオントラップ) におけるEUV分光, 高Z多価イオンの原子構造研究において新たに展開される原子物理, 高Z多価イオンの二電子性再結合や準位占有密度のモデリングの発展等について講演と議論を行い, 分野を横断した連携の必要性和有効性が認識された.

#### 領域3, 領域4, 領域8「スピン変換の物理とその関連現象 Physics of spin conversion and related phenomena」

大谷義近 (東大物性研)

[A] はじめに Introduction (大谷義近: 東大物性研), スピン流電流変換メカニズムに対する理論的知見 Mechanism of spin-charge conversion (theory) (多々良源: 首都大東京), 電氣的・力学的手法を用いたシリコンへのスピン注入 Electrical and Dynamical Spin Injection in Si (白石誠司: 阪大基礎工), 量子ドットにおける単一光子から単一電子スピンへの変換 Conversion from single photons to single electron spins in quantum dots (大岩顕: 東大物工), Electrical and thermal spintronics in silicon (R. Jansen: 産総研), スピン流の熱・音響効果 (実験) Thermal and acoustic effects in spin current (Experiment) (齊藤英治: 東北大金研量子表面), Angular momentum transmutation in magnetic nanostructures (Theory) (G. Bauer: 東北大金研金属物性論)

[B] 上述のプログラムの通り, 2名の外国人研究者を含む7名の講師により, 電子スピン, 光子, 音子の間で引き起こされるスピン角運動量変換物性に関して興味深い講演と活発な議論が行われた. 参加者は250名以上に及び500人程度収容の会場のほぼすべての机に2人以上の人が座っていた. 会場の大きさは, 丁度よい状態であった.

#### 領域5「偏光特性を最大限に活用した放射光分光の新展開」

中島伸夫 (広島大院理)

[A] はじめに (趣旨説明) (中島伸夫: 広島大院理), VUV~軟X線領域の自然円二色性 (中川和道: 神戸大院人間発達環境学), VUV領域の高分解能角度分解光電子分光の偏光依存性 (岩澤英明: 広島大放射光), 硬X線励起光電子スペクトル線二色性から分かる電子状態 (関山明: 阪大院基礎工), 二色性で見える対称性と秩序 (小口多美夫: 阪大産研), 共鳴X線発光分光における偏光依存性とその活用 (魚住孝幸: 大阪府大院工), 円偏光によるマルチフェロイクの研究: 現状と将来 (有馬孝尚: 東大新領域・理研放射光), キラル磁性体の物性, 構造: 物質科学からの提案 (井上克也: 広島大院理)

[B] 放射光の偏光は, 黎明期から最も良く知られている特性の一つである. 各種検出器の性能向上等により, これまで曖昧に議論されてきた電子状態について, 詳細な情報が引き出せるようになってきた. 前半はVUV・軟X線・硬X線領域の偏光利用測定について, 3人の講演者に最新の実験結果とともに解説して頂いた. 過度に放射光ユーザーに寄った内容ではなく, 領域5を中心とする物理学会会員を広く啓蒙して頂けるご講演であった. 後半はまず, 偏光特性を新たに活用したスペクトル測定について2名の講演者から理論的考察 (E1-E2交差項による二色性, 発光分光における偏光特性) を解説して頂いた. これらは測定方法の工夫によって検証が可能であると思われる. 次に, 新規偏光特性として, カイラル対称性 (スピンもしくは構造)

を持つ物質について、マルチフェロイク物質に関する現状と将来展望、らせん磁性体を中心とした物質科学からの提案を、それぞれご講演頂いた。従来型の測定を中心とした前半のご講演と、新たな測定原理・物質を活用した後半のご講演により、放射光の偏光特性を活用した広がりのある研究展開を俯瞰できたことは、本シンポジウムの大きな意義と考えられる。会場は、概ね予想通りの120~150名程度の参加があり、長机に対して1人ないしは2人置きに着席するほどのにぎわいであった。

#### 領域5「凝縮系における超高速現象とコヒーレント物質制御への展開；光化学反応から光誘起相転移まで」

三沢和彦（東京農工大院工）

[A] はじめに 超高速現象とコヒーレント制御（三沢和彦：東京農工大院工）、光化学反応の超高速ダイナミクス（鈴木俊法：京大理）、コヒーレントフォノン制御が拓く物性制御（長谷宗明：筑波大物工）、時間依存密度汎関数理論によるコヒーレントフォノンの記述（矢花一浩：筑波大物理）、強相関電子系における光誘起相転移（岩井伸一郎：東北大理）、光誘起相転移における多電子フォノン相関の理論（米満賢治：分子研）、テラヘルツ波パルスによる磁性体の超高速スピン応答と制御（中嶋誠：東大物性研）、まとめ 理論研究の立場から（石田邦夫：東芝研究開発セ）

[B] 本シンポジウムは、有機分子の光異性化などに代表される光誘起構造変化のコヒーレント制御について、現実の物質系に即して系統的に理解することを目的とした。各々の講演では、電子のデコヒーレンス、振動モードのカップリングと非調和性、非断熱遷移といったコヒーレント制御の理解に不可欠な物理的要素を、実験的にはどこまで観測できるようになったか、また、理論的にはどこまで扱えるようになったかを議論した。当日はのべ200名近い聴衆を集め、立ち見が出るほど盛況であった。講演終了後も会場のいたるところで議論が続くなど、目的を充分達成した意義深いシンポジウムであった。

#### 領域6、領域8「奇周波数クーパー対の物理」

浅野泰寛（北大工）

[A] はじめに（浅野泰寛：北大工）、不均一超伝導系における奇周波数クーパー対とアンドレーエフ束縛状態（田仲由喜夫：名大工）、スピン3重項超伝導体接合における奇周波数クーパー対（柏谷聡：産総研）、超流動ヘリウム3・エアロジェル系における実験の現状（石川修六：大阪市大理）、超伝導体/強磁性体接合における奇周波数クーパー対（赤崎達志：NTT物性科学基礎研）、量子臨界ゆらぎによる奇周波数超伝導の理論（伏屋雄紀：阪大基礎工）、量子臨界点由来の新奇超伝導相の核磁気共鳴法による研究（川崎慎司：岡山大理）、奇周波数磁気秩序（倉本義夫：東北大理）

[B] まず田仲が、奇周波数クーパー対が空間的に不均一な超伝導系においてあまねく存在すること、アンドレーエフ束縛準位やマヨラナフェルミオンを含んだ広い概念であることを議論した。前半は超伝導・超流動接合系に現れる奇周波数クーパー対の実験結果を議論した。柏谷はスピン3重項超伝導体であるルテニウム酸化物のトンネルスペクトルから、石川はエアロジェル中のヘリウム3における磁化率の温度依存性から、赤崎は磁性半導体を用いた超伝導接合の輸送特性から、それぞれ奇周波数クーパー対の存在を示唆する実験結果を報告した。後半は奇周波数超伝導秩序に関して議論した。伏屋は電磁気学的に安定な奇周波数超伝導秩序を導く理論を解説した。伏屋の理論をうけて川崎は、重い電子系の超伝導体でギャップレスに見える実験結果を報告した。最後に倉本が、奇周波数秩序は超伝導に限らず複合的な磁気秩序を理解する際に重要な概念であることを示した。

各講演の後、活発な質疑討論がなされ、常に150名程度の聴衆が常に参加し立ち見ができるなど聴衆の関心の高さが伺えた。

#### 領域6「構造研究の新展開—極端条件と不規則系」

乾 雅祝（広島大院総合科学）

[A] はじめに（乾雅祝：広大院総合科）、極限環境発生 の最前線（大石泰生：高輝度光科学研究セ）、複雑さを極める元素高压相の構造（竹村謙一：物材機構）、石英ガラスの100 GPa 領域までの構造変化（船守展正：東大院理）、高温高压下の水の第一原理シミュレーション（池田隆司：原子力機構シミュレーションG）、高強度中性子全散乱法による不規則系構造研究の最前線（大友季哉：高エネ機構物構研）、J-PARC 超高压中性子回折装置 PLANET の概要（服部高典：原子力機構高密度G）

[B] シンポジウムは平成24年3月25日13時30分からBH会場において開催された。提案者の乾が趣旨と経緯について説明したのち、前半はダイヤモンドアンビル高压発生技術を用いた最新の研究成果として、大石氏は地球内核の超高温超高压下の鉄の構造、竹村氏は超高压下に出現する変調構造などの複雑構造、船守氏は超高压下の石英ガラスの構造やガラス中へのHe溶解に関する研究について講演した。休憩の後、池田氏はシミュレーションに基づく超高压下の水の研究の成果と課題、特に中性子散乱データの重要性について論じた。大友氏と服部氏はJ-PARCに建設された中性子散乱装置の性能や震災後の現状について報告し、希望に満ちた不規則系構造研究のごく近い将来像が描写された。約70名がこれらの講演を聴講し、講演の後は活発な質疑応答が行われた。

#### 領域6「魅惑の固体—準結晶—」 野澤和生（中大理工）

[A] はじめに（野澤和生：中大理工）、安定な準結晶の歩み（蔡安邦：東北大多元研）、準結晶の構造（高倉洋礼：

北大院工), 準結晶の物理—実験的側面から—(佐藤卓, 東大物性研), 準結晶の物理—理論的側面から—(堂寺知成: 近大理工)

[B] 2011年のノーベル化学賞は「準結晶の発見」という業績に対して Daniel Shechtman 博士に授与された。本シンポジウムはこの機会に現時点までの理解を整理・共有し、一方で準結晶研究の魅力を分野外に発信する目的で企画された。まず蔡氏によって、多様な安定相準結晶の発見の歴史と、それらによってもたらされてきた構造や安定性についての理解など、準結晶の存在が確立され理解されてきた過程について分野全体にわたる総合的な講演が行われた。次に高倉氏により準結晶の構造とそれを理解するための基本的事項の解説がなされた。後半は、まず佐藤氏によって準結晶の物性実験についての広範なレビューがなされた。最後に堂寺氏により準結晶特有の自由度であるフェイゾンを中心に、理論的側面からの解説と高分子からなる準結晶などの最新の話の紹介がなされた。参加者はおよそ100名程度で推移した。分野内の研究者や過去に準結晶を研究していた顔ぶれに加えて、分野外からは特に若手の参加者が目立ち、準結晶の作製から構造、物性などいずれのテーマについても活発な質疑応答が行われた。参加者も質問者も大半は分野外の研究者であり、ノーベル賞受賞を機に準結晶に対する関心が高まりつつあることが窺えた。

#### 領域7「有機電荷移動錯体の特異な電荷応答と相転移」

鹿野田一司(東大物工超伝導量子物性工学)

[A] はじめに(鹿野田一司: 東大物工超伝導量子物性工学), 強誘電性有機電荷移動錯体の開発(堀内佐智雄: 産総研), 光誘起相転移における電荷と分子の超高速ダイナミクス(岡本博: 東大新領域), レーザー光電子分光で観る有機導体のバンド描像と相転移(石坂香子: 東大物工物性物理学), 外場応答型電荷秩序系物質の開発(森初果: 東大物性研), 分子ダイマーに内在する電荷自由度と誘電応答(佐々木孝彦: 東北大金研), 放射光による電荷分布解析(澤博: 名大工), 電荷秩序系の誘電応答と光学応答~有機物と酸化物~(石原純夫: 東大理)

[B] 最近、分子に局在あるいは局在しつつある電荷に基づく誘電性や光応答の研究が活発に行われ、新規強誘電体の開発、電荷揺らぎに起因する異常誘電応答の観測、光誘起相転移における電荷と分子のダイナミクスの検出等が相次ぎ、さらに、これらの研究の基盤となる光を用いた実空間/運動量空間および時間軸での実験手法も日進月歩の感がある。本シンポジウムでは、誘電応答・光応答をキーワードに、研究の現状を概観した。誘電物性については、水素結合、分子軌道間電荷移動、および電荷秩序に起因する新規な誘電物性が議論され(堀内, 森, 佐々木, 石原), 光を使った研究として、中性-イオン性転移系の光励起後の電荷/分子振動/格子振動のダイナミクス(岡本), レーザー光電子分光による疑1次元電荷密度波系の特異な分散構

造(石坂), 放射光を用いた分子軌道電荷密度の決定(澤)等の最新の成果が報告された。分子軌道を舞台として電荷の不安定性が引き起こす誘電現象の新規性と、それを探る道具立てとしての光の有用性が両輪となって、この分野がさらに発展することを予感させるシンポジウムであった。

#### 領域8, 領域3, 領域4, 領域7, 領域9, 領域10「物理学における新・元素戦略」

高田昌樹(理研・JASRI/SPring-8)

[A] はじめに(趣旨説明): 新元素戦略が拓くサイエンスと物理学会の役割—京, J-PARC, SPring-8/SACLA 大型研究基盤ツールとの協奏的研究—(高田昌樹: 理研・JASRI/SPring-8), 熱伝導変換, スピントロニクス, 超伝導材料創成における元素戦略(高木英典: 東大院理), 元素戦略から考える希土類磁石の技術課題(宝野和博: 物材機構), ナノサイエンス/グリーンケミストリーにおける元素戦略的展開: 新触媒開発, 固体電解質の開発(北川宏: 京大理), 元素戦略が拓く先進構造材料—組織制御と特性向上—(津崎兼彰: 物材機構元素戦略材料セ), 元素戦略における計算物質科学の役割(常行真司: 東大院理), まとめ: 基礎学理と応用技術をつなぐ新しい元素戦略(細野秀雄: 東工大応セラ研)

[B] 元素に焦点を当てサイエンスに基づき新たな物質材料科学の基盤を築く戦略「元素戦略」の拠点形成型プロジェクトが始まる中で、物理学会に求められる、「基礎研究への深化」と「実用機能の追求」とを融合する研究分野を構築するための役割について、他学会からの講演者も引き議論した。高田による、元素戦略が、京, J-PARC, SPring-8/SACLA 等の先端研究基盤を活用し“curiosity-driven”と“targeted”研究の共創的融合の場となるとの趣旨説明に続き、高木が“物理屋の見る元素戦略の切り口”について、自身の熱電材料、スピンホール効果等の研究を例に持論を展開した。金属学会からは、宝野がNd系磁石の組織制御による保磁力向上のための元素戦略的思想について、化学会からは、北川が“ナノ物質”及び“ナノ融合”が元素戦略となり得ることを、新触媒、固体電解質の開発研究を基に詳解した。津崎は元素戦略に求める構造材強度向上の課題解決を物理学の観点から取り組むことへの期待を述べ、常行は計算物質科学イニシアティブ(CMSI)が、磁性材料、構造材料、電子材料など幅広い研究分野の研究者と議論を重ねた結果見えてきた、「京」の登場がもたらす、第一原理計算(電子状態計算)等の計算科学の元素戦略における新たな役割と課題について詳解した。最後に、応用物理学会から細野が、最近、先端ディスプレイに実用化が開始されたIGZO-TFT開発における課題解決の経験を例に、新しい元素戦略が材料創成の基礎研究にパラダイムシフトをもたらすと、シンポジウムをまとめた。

また、会場に来席された文科省ナノテク材料室の坂本室長から、元素戦略を取り巻く国際情勢と研究開発推進にお

ける物理学会への期待についてコメントがあった。今回は元素戦略の概要と展望を概観するシンポジウムであったが、今後、「元素戦略」というテーマは、領域と関連した課題の絞りこみにより、アップデートでフォーカスした議論を行うためのシンポジウムへと企画が展開されることが望まれる。

#### 領域8, 領域3, 領域7「新物質が切り拓く次世代の強相関物性科学」

有馬孝尚(東大新領域)

[A] はじめに(有馬孝尚: 東大新領域), 砒素の化学結合の形成・切断による電子状態制御—鉄系超伝導を超えて—(野原実: 岡山大自然), 強相関金属における原子価数とその揺らぎ—新しい量子臨界現象—(中辻知: 東大物性研), 相関電子系に現れる高次・複合自由度—新しい量子状態—(求幸年: 東大工), スピン分子—フラストレート格子における特異な磁気励起—(富安啓輔: 東北大理), 新しい配位構造が拓く物性科学—鉄系・チタン系酸化物の化学—(陰山洋: 京大工), 金属錯体における次元性制御—新規機能を目指して—(宮坂等: 金沢大自然), 計算機ナノマテリアルデザイン—太陽電池・熱電材料のデザイン・実証から高温超伝導探索まで—(吉田博: 阪大基礎工)

[B] 本シンポジウムは、物質合成や計算物理学を含めた物質開発の現状を紹介することにより、強相関物質科学の今後の飛躍的な発展を図ることを目的として企画された。砒化物、酸化物、有機金属錯体のそれぞれの新物質開発についての講演は、化学になじみのない聴衆にも理解できるように工夫されていた。計算物理に関する講演では、精密なモデル計算や、局所密度近似を超えるバンド計算が、物性の理解だけではなく、物性開拓にも大いに役立つことが実感できた。また、物性実験の2件の報告は、最新の測定手法の新物質への適用が物理概念の構築に繋がることを示した。300人収容の大きな会場にもかかわらず立ち見が出る盛況ぶりであり、新物質・新物性開拓への注目の高さが再確認できた。

#### 領域8「鉄系超伝導研究の進展」—超伝導研究の新段階をめざして—

福山秀敏(東理大総合研究機構)

[A] はじめに(福山秀敏: 東理大総合研究機構), 新物質とエピタキシャル薄膜:(細野秀雄: 東工大フロティア研究機構), 鉄系超伝導体薄膜の成長と評価(生田博志: 名大工), 鉄系超伝導体におけるバンド構造・スピン揺らぎ・超伝導の相関関係(黒木和彦: 電通大電気通信), 鉄系超伝導体の電荷ダイナミクス(永崎洋: 産総研), 鉄系超伝導体の不純物効果, 中性子散乱(佐藤正俊: 総合科学研究機構東海事業センター), 鉄系超伝導体の弾性的性質(吉澤正人: 岩手大工), 超伝導発現機構, 構造相転移, 電子ネマティック秩序: 軌道揺らぎ理論による統一的理解(紺谷浩: 名大理), 電子相関と軌道-格子結合の協力効果(柳有起(大野義章氏の代理): 新潟大理)

[B] 鉄系の超伝導研究が3年余を経過して新ステージに入っているのを機に計画された。テーマは、(I) 物質の創成の進展と(II) 超伝導発現機構における軌道揺らぎ理論の紹介が中心であった。特に、「 $T_c$ への非磁性不純物の効果」の研究結果に端を発した軌道揺らぎ理論は、spin fluctuation 機構以外の新機構の存在に迫るもので、「多軌道系」の電子相関効果, 軌道-格子結合の拮抗・協力現象という、超伝導研究の根幹に関わり、固体電子論の新しい地平を広げるものになっている。会場は600名収容の大きなものあったにも拘らずほぼ満員であった。まず、提案者による全体の概要説明のあと、細野氏は、Ln1111系(Ln=ランタニド元素)の $O^{2-}$ サイトを $H^-$ で部分置換した系の相関や $Ba_{1-x}K_xFe_2As_2$ と $Ba_{1-x}La_xFe_2As_2$ の $T_c$ の比較によって、spin fluctuation 以外が関わる機構の存在可能性に言及し、生田氏は、緻密な工夫に基づく薄膜作成の経緯を紹介した。ついで、黒木氏は、世界をリードしてきた超伝導対称性の物質依存性に関し spin fluctuation 機構に基づく理論研究の成果を、永崎氏は、光学伝導度の特徴と超伝導発現との関連を議論した。佐藤氏は、spin fluctuation 以外の機構が高い $T_c$ の系に存在することを指摘するものとなった「 $T_c$ への非磁性不純物の効果」の系統的研究の経過を自らの中性子磁気非弾性散乱・NMRの結果も踏まえて紹介した。吉澤氏は、 $Ba_{1-x}K_xFe_2As_2$ 系を中心にした超音波測定結果が、軌道揺らぎの理論から期待される振る舞いでよく理解できることを示した。紺谷氏は、軌道揺らぎから期待される効果が高い $T_c$ をもたらし得ることを系統的に示した。柳氏(大野氏の代理)は、強相関電子系の軌道揺らぎがもたらす高温超伝導の可能性を、基礎的な立場に基づき議論した。以上の講演と会場からの活発な質疑応答は、超伝導研究が固体電子論進展を支える大きな柱であることを強く印象づけるものであった。

#### 領域9, 領域5「放射光光電子分光による最先端表面研究」

坂本一之(千葉大院融合)

[A] はじめに(坂本一之: 千葉大院融合ナノ), 高機能・高効率スピン角度分解光電子分光が開くスピン電子物性研究の新時代(奥田太一: 広大HiSOR先端計測), 元素ごとの構造解析ができる微小領域高エネルギー分解能二次元光電子分光装置の開発(松田博之: 奈良先端物質創成), 時間分解軟X線光電子分光法による表面ダイナミクス研究の展開(山本達: 東大物性研軌道放射), 3次元走査型光電子顕微鏡(堀場弘司: 東大院工応化), in-situ放射光光電子分光による強相関酸化物の表面・界面研究(組頭広志, 組頭広志), 偏光依存角度分解光電子分光による精密電子構造解析(島田賢也: 広大HiSOR固体物性)

[B] 本シンポジウムは、固体表面の詳細な電子状態・電子構造の情報を得ることを可能とした最近の光電子分光研究にスポットをあて、従来の光電子分光分析器の使用法を超えた測定方法や、全く新しいタイプの分析器・光電子検

出器の開発, 光サイズのナノメール化などのトピックスを6つご紹介いただくことにより, 放射光を用いた固体表面研究の新しい展開に発展することを期待して開催いたしました。同じ時間帯に光電子分光のセッションが領域9と5であったため人の出入りが多かったが, のべ200人近くの聴衆が集まり, 時間を大幅に超える活発な質疑応答などから, 当初の目的を達成した成功したシンポジウムであったと確信する。

## 領域10, 領域9「エネルギー・環境材料の機能と格子欠陥」

大野 裕 (東北大金研結晶欠陥物性学)

[A] 原子力材料の機能評価—理論的アプローチ—(加治芳行: JAEA), 原子力材料の欠陥分布と機能—3次元APと陽電子消滅—(永井康介: 東北大金研材料放射工学), エネルギー・環境材料と格子欠陥—分光TEMによる展開—(武藤俊介: 名大院工), リチウムイオン電池材料中のリチウム拡散— $\mu$ SRによる評価—(杉山純: 豊田中研), 太陽電池材料中の鉄不純物—メスbauer分光による評価—(吉田豊: 静岡理工科大), 触媒・電池機能の理論とナノ界面評価(香山正憲: 産総研ユビキタス), 触媒機能のナノ評価—TEMその場観察による展開—(竹田精治: 阪大産研)

[B] エネルギー・環境に関連する実用の原子力・電池・触媒材料の多くは, 原子配列・組成・モフォロジーがナノメーターオーダーで3次元的に変調した, 多種多様な“格子欠陥”を内包した構造を持ち, それら欠陥が実用機能を担うと信じられている。材料開発・改良には欠陥機能の積極的な活用が不可欠であるが, 構造の複雑さゆえに欠陥機能の物理は必ずしも正しく理解されていない。本シンポジウムでは, 電子・陽電子・ミュオン・フォトン(光・X線・ $\gamma$ 線)などの量子プローブによるナノ機能その場評価法やアトムプローブに代表されるナノ構造3次元評価法, また大規模な第一原理計算による理論的アプローチなど, ユニークな構造・機能評価法を駆使してエネルギー・環境材料の欠陥機能を原子・電子レベルで評価する最近の成果が議論された。延べ100人程度の参加者の多くは普段は参加が見受けられない分野外の研究者で, 今後の発展を期待させた。

## 領域11, 領域12「化学反応や生体高分子の構造変化における状態変化の起源を探る」

小松崎民樹(北大電子研), 戸田幹人(奈良女子大理)

[A] 主旨説明(小松崎民樹: 北大電子研), 力学と統計力学のはざま—生体高分子における情報伝達・エネルギー輸送・変換の素過程に潜む不可思議—(奈良重俊: 岡山大自然), DNAとタンパク質の複合体における緩和の問題(嶋本伸雄: 京産大総合生命), 微小系における情報処理の熱力学(沙川貴大: 京大基研), 細胞内輸送現象におけるベキ法則と応答理論(秋元琢磨: 慶大自然科学教育セ), 生体分子におけるパスサーチ・パスサンプリング(藤崎弘

士: 日本医科大物理), 複雑分子システムにおける集団運動の発生機構と幾何学的効果(柳尾朋洋: 早大基幹理), 非線形格子振動子系における周期運動からの緩和(奥島輝昭: 立命館大理工)

[B] 生体分子の機能発現では, 分子の個性・少数性が重要となるマイクロな化学反応・構造変化に始まり, 熱揺らぎを伴うメソスコピックな非平衡性から, さらにマクロレベルで創発する機能まで, 異なる複数の時空間スケールの現象が相互に動的に関係している。このような複数の階層に渡る現象は, スケール分離を前提とした従来の統計的アプローチの枠組みの外にある。本シンポジウムでは, 従来の統計的反応論を越えた新たな反応動力学の発展に依拠し, 揺らぎの中における分子機能発現の「頑健性」を解明するために, 「化学物理」, 「(一分子計測などの)生物物理」, 「非平衡物理」における近年の理論・実験研究の成果を広く結集し集中的に議論することを目指した。聴衆も広い分野から200名近い参加者が集まり, 分野の垣根を越えた活発な議論を行うことができた。

## 領域11「地形のパターンとダイナミクス」

水口 毅(阪府大工)

[A] はじめに(水口毅: 阪府大工), 地質構造形成モデリングで観察される断層と斜面地形の発達(山田泰広: 京大工), 千代川(せんだいがわ)流域流砂系の下流に位置する鳥取砂丘—ダイナミクスの個性と普遍性—(小玉芳敬: 鳥取大地域環境), モデルによる砂丘研究とその意義(西森拓: 広島大理), Explaining geophysical patterns in the lab: columnar joints, polygonal terrain, and patterned ground. (Lucas Goehring: MPI), マグマの移動が作り出す様々な形: アナログ実験によるアプローチ(隅田育郎: 金沢大理工), 微小重力下の粒子流動: 小惑星イトカワの地形形成(宮本英昭: 東大総合研究博物館)

[B] 近年の観測機器の発達に伴い, 地球の内外で新たなパターンが観測されています。それらの形成には極めて長い時間が必要なため, 形成過程を直接観測することは困難であり, その成因を明らかにすることは容易ではありません。しかし, パターンはダイナミクスの痕跡であり, そこに残された情報は形成機構解明の糸口であると考えられます。これは一種の逆問題ですが, その解決のための手段として, 観測・理論・数値計算以外にアナログ縮小実験により類似の過程を実験室の時空間スケールで再現し, 実物と比較することなどが考えられます。本シンポジウムでは様々な地形の専門家に最新の研究結果を解説してもらい, 有益な議論がかわされました。なお, プログラムの題目は英文併記でした。

## 領域 11「室内実験とシミュレーションから地震の複雑性に どこまで迫れるか? : 2011 年 3 月 11 日以降」

波多野恭弘 (東大地震研)

[A] はじめに (波多野恭弘: 東大地震研), 地震のスケールリングと不均質性 (井出哲: 東大理), 地震の統計モデル, その臨界性と固有性 (川村光: 阪大理), 摩擦, 破壊, 地震 (大槻道夫: 青学大理工), 実験室と金鉱山のスケールでとらえる地震破壊 (川方裕則: 立命大理工), ソフトマターのすべり摩擦における Gutenberg-Richter 則と巨大地震 (山口哲生: 九大工)

[B] 地震学は GPS や InSAR など新しい観測手法の発展に伴い新奇な現象が多数発見されている. その一方「なぜ」の部分やや置き去りにになっている印象を受ける. たとえば従来の地震学のスタンダードであったアスペリティモデ

ルに従えば, 起こりうる地震の規模とおおよその周期は分かっているはずであった. だが東北地方太平洋沖地震は全く想定されておらず, これをもって「地震学の敗北」と言った研究者が複数いるほどである. やや大きさではあるが, 地震学は依拠していた支配的モデルを失い混迷の最中にあるように見える. そのような状況を踏まえ, 物理学と地震学が協同して新たなアイデアを生み出すために本シンポジウムは開催された. 日本の地震学における中核的研究者である井出哲氏と川方裕則氏を迎え, 地震観測から見出される自己相似性とそれに基づくモデル研究や室内実験の意義・地震の本性について, 物理分野研究者と議論を深めることができた.

(2012 年 4 月 23 日原稿受付)

## 日本物理学会誌 第 67 巻 第 8 号 (2012 年 8 月号) 予定目次

口絵: 今月号の記事から

巻頭言

PTEP の創刊 ..... 瀧川 仁

解説

格子欠陥により安定化する結晶: ホウ素元素固体 ..... 荻津 格

最近の研究から

かに星雲から観測されたガンマ線フレア ..... 田中孝明, 内山泰伸  
連星中性子星合体からの重力波及びニュートリノ放射

..... 木内健太, 関口雄一郎

ソフトマターにおける溶媒和効果 ..... 岡本隆一, 小貫 明  
強磁性金属絶縁体転移—スピン自由度が関係しないパイエルス

転移— ..... 上田 寛, 中尾朗子, 中尾裕則, 太田幸則

異波長二光子分光による反陽子ヘリウムの精密原子分光  
..... 堀 正樹, 早野龍五

密度汎関数理論の発展—拡張された制限つき探索理論

..... 樋口克彦, 樋口雅彦

JPSJ の最近の注目論文から 4 月の編集委員会より

..... 安藤恒也

学界ニュース

第 102 回日本学士院賞: 梶田隆章氏 ..... 荒船次郎

第 102 回日本学士院賞: 高柳邦夫氏 ..... 飯島澄男

第 52 回東レ科学技術賞: 山崎泰規氏 ..... 山崎敏光

ラ・トッカータ

ロスアラモス国立研究所滞在記—新しいプルトニウム科学の

幕開け— ..... 安岡弘志

新著紹介

## 『大学の物理教育』誌定期購読のすすめ

『大学の物理教育』は, 年 3 回 (3 月, 7 月, 11 月) 発行で年間購読料 (個人) は 1,000 円です. 購読ご希望の方は, お電話 (03-3816-6201) または Fax (03-3816-6208) でご連絡下さい.

また, 本誌ホームページの URL は次の通りですので, どうぞご覧下さい.

<http://www.jps.or.jp/book/kyoikushi/>

『大学の物理教育』編集委員会

## Vol. 18-1 (3 月 15 日発行) 目次

放射線の科学教育を考える ..... 赤羽 明

講義室

金星太陽面通過の科学—ハレーが考えたこと ..... 岡崎 隆

地震と津波—物理教育の立場から ..... 高木隆司

中学校理科での「原子力」の扱い方についての考察

—英国の『21 世紀科学』第 1 版などを参考に— ..... 笠 潤平

帯電した平板導体上の電荷分布 ..... 谷林 衛, 牧原義一

教育報告

日本代表選手と引率役員の両面から見た国際物理オリンピック

..... 西口大貴

海外の動向

ヨーロッパの物理教育の多様性 ..... 吉永契一朗

図書室

『測り方の科学史 I 地球から宇宙へ』 ..... 大井みさほ

教育に関する一言 ..... 澤田信一, 鈴木 勝, 梶具博義,

鶴岡靖彦, 浅井朋彦, 山田吉英, 原田 勲, 岸本 功

開催情報

寄贈書リスト

編集後記

鹿兒島誠一

## 自然現象と物理法則のあいだ；物理の本質は公式だけではわからない

丸善，東京，2011，vi+134p，21×15 cm，本体1,600円 [学部・一般向]

ISBN 978-4-621-08330-7



本書は、物理をある程度習った高校生または学部学生を対象とした“読み物”である。と言うのも、本書の内容は科学雑誌“パリティ”に連載された(2009年4月～2010年3月)内容を加筆・修正したものである。とは言え、そこには通常的基础物理の教科書に欠落している自然現象の抽象化と数理的簡単化、モデル化の過程が、様々な例を用いて平易な言葉で記されている。同著者によるいくつかの教科書と同じように、基礎的な事項が丁寧に分かり易く説明されている所に本書の特徴がある。物理の教科書の中には、完全性・内容の充実度を追う余り、そこに書かれている物理法則等の意味・成り立ち、他の物理分野との関係が初学者にとってブラックボックス化しているものが少なくない。物理とは「物のことわり」の学問であるから、そこで扱われる「法則」は基本的であり厳密なものばかりであるかと言うと、もちろんそうではない。第1章で議論される「クーロンの法則」、「フックの法則」、「摩擦の法則」の比較は、初学者にとって、物理の教科書に出てくる「法則」にも様々な厳密さ・成り立ち・意味が有ることを明快に示している。また、「フックの法則」に代表される調和振動子が、例えば時計の正確さを決めている

為ヶ井 強 (東大院工)

こと、またそのずれに当たる非線形性が物質の熱膨張の原因となることを簡単な考察から明快に示している。本書では、力学、熱力学、電磁気学、量子論、相対論とほぼ全ての物理の基礎分野を僅か130ページの中に納めている。しかし、そのスタイルはユニークであり、例えば、「ヤモリとコウモリはなぜぶら下がれる？」と言うタイトルを用いて、ニュートン力学から量子論への橋渡しをする点等は、朝永先生もび

っくりする量子論への導入であろう。

さて、ここまで書いて、本新著紹介の意味について考えてみる。明らかに本書が対象としている読者は物理学雑誌の読者ではない。したがって、上記の紹介がこれらの対象に触れることはほとんどないであろう。しかし、基礎に重きを置く大学物理教育と物理の最先端を紹介する科学雑誌への執筆の両方に長年携わってきた著者が、その間の溝を難しい数学を駆使せず埋めた初学者向けの本啓蒙書は、長年物理を研究してきた本会誌読者にとっても物理に対する新たな視点を与えるものとして役立つのではないだろうか？ 少なくとも、今後の初等物理教育の大いなる参考となることは間違いない。

(2012年3月15日原稿受付)

郡 宏，森田善久

## 生物リズムと力学系

共立出版，東京，2010，xi+171p，22×16 cm，本体2,800円 (シリーズ・現象を解明する数学) [大学院・学部向]

ISBN 978-4-320-11000-7



本書はリミットサイクル振動の位相記述に関して、物理学者である郡氏と、数学者である森田氏が共同執筆された入門的教科書である。リミットサイクル振動は、本書の題名にもある生物リズム、例えば心臓の拍動や概日リズム、歩行やホタルの発光、あるいは神経系の振動的活動といった生物の示すリズム現象のみならず、電気回路やレーザー、化学反応など広く非平衡開放系に見られる自律的なリズム振動である。

青木高明 (香川大教育)

これらの生物・化学・工学システムでは、多振動子間の相互作用による集団同期現象が観察されるが、リミットサイクル振動は一般に非線形微分方程式で記述されるため、多くの場合その解析的取り扱いには困難である。本書では、この集団同期現象の解析に有効な理論的アプローチとして知られる位相記述法を取り上げ、力学系の初歩から位相記述の導入、位相方程式による集団同期現象の解析までを解説している。

本書の特徴は物理学者と数学者の両名がそれぞれの専門的立場を活かした解説にある。序章では物理学者である郡氏が、生物リズムの具体例を多数紹介しながら、これらの現象を記述するための数理モデルの導入を行う。これを受け、次章では数学者である森田氏により数理モデルに関する力学理論入門が解説される。同様に、3章で位相記述法による同期現象の解析が説明された後、4章では位相記述法の数学的基礎付けが解説されている。学際的な

研究分野において、このようなそれぞれの専門性を活かした教科書の共同執筆は興味深い試みであり、著者らも述べるように研究現場の雰囲気を感じる一助になるかと思う。

また各章毎に補足の項目があり、より専門的な参考書の紹介と、関連研究や最近の動向に関する重要文献がまとめられている。これは興味を持った読者が、本書の内容を越えて学んでいくためのガイドラインとして非常に有効である。また、さらなる情報収集の仕方や計算機シミュレーション等についても触れられており、入門的教科書と

して有用であろう。

記述も図を活用しつつ丁寧に説明されている。ただ一部、位相記述について、ある変数が時間変数であるか、それとも位相変数であるか、説明が不十分と思われる点もあった。初学者として混乱しやすいところでもあり、一部の証明に関わる箇所もあるため、詳しい説明が加わるとさらに読みやすくなるかと思う。

ともあれ近年、工学や生物分野など、物理学以外の分野においても位相記述を用いたリズム現象の解析は広く盛んになってきている。本書は、その位相

記述に関する数学的基礎付けを、力学系の基本から学ぶ上で適した入門的教科書である。

(2012年3月9日原稿受付)

本欄では物理に関する新著を中心に、隠れた良書や学会員にとって有意義な本などを紹介していきます。紹介書籍の表紙画像につきましては、出版社の許可を得られたもののみ掲載しております。

## 図書リスト

### 最近の寄贈書

- A. Altland and B. Simons 著, 新井正男, 井上純一, 鈴浦秀勝, 田中秋広, 谷口伸彦訳: 凝縮系物理における場の理論(上)  
吉岡書店, 京都, 2009, ix + 260p, 21 × 15 cm, 本体 4,200 円  
ISBN 978-4-8427-0352-7
- A. Altland and B. Simons 著, 新井正男, 井上純一, 鈴浦秀勝, 田中秋広, 谷口伸彦訳: 凝縮系物理における場の理論(中)  
吉岡書店, 京都, 2010, 288p, 21 × 15 cm, 本体 4,200 円  
ISBN 978-4-8427-0354-1
- A. Altland and B. Simons 著, 新井正男, 井上純一, 鈴浦秀勝, 田中秋広, 谷口伸彦訳: 凝縮系物理における場の理論(下)  
吉岡書店, 京都, 2010, 274p, 21 × 15 cm, 本体 4,200 円  
ISBN 978-4-8427-0356-5
- C. Carson: Heisenberg in the Atomic Age; Science and the Public Sphere  
Cambridge Univ. Press, New York, 2010, xvi + 541p, 24 × 16 cm, \$92.00  
ISBN 978-0-521-82170-4
- A. Kamenev: Field Theory of Non-Equilibrium Systems  
Cambridge Univ. Press, New York, 2011, xiv + 341p, 25 × 18 cm, \$80.00  
ISBN 978-0-521-76082-9
- M. Shifman: Advanced Topics in Quantum Field Theory; A Lecture Course  
Cambridge Univ. Press, New York, 2012,

- xvii + 622p, 25 × 19 cm, \$80.00  
ISBN 978-0-521-19084-8
- F. Tanaka: Polymer Physics; Applications to Molecular Association and Thermoreversible Gelation  
Cambridge Univ. Press, New York, 2011, xv + 387p, 26 × 18 cm, \$130.00  
ISBN 978-0-521-86429-9
- H. M. Wiseman and G. J. Milburn: Quantum Measurement and Control  
Cambridge Univ. Press, New York, 2010, xvi + 460p, 26 × 18 cm, \$86.00  
ISBN 978-0-521-80442-4
- 太田浩一: 電磁気学の基礎 I  
東京大学出版会, 東京, 2012, ix + 346p, 22 × 16 cm, 本体 3,500 円  
ISBN 978-4-13-062613-2
- 太田浩一: 電磁気学の基礎 II  
東京大学出版会, 東京, 2012, ix + 337p, 22 × 16 cm, 本体 3,500 円  
ISBN 978-4-13-062614-9
- 久我隆弘: “測る”を究めろ! ; 物理学実験攻略法  
丸善, 東京, 2012, ix + 218p, 21 × 15 cm, 本体 2,200 円  
ISBN 978-4-621-08514-1
- 西條敏美: 測り方の科学史 II ; 原子から素粒子へ  
恒星社厚生閣, 東京, 2012, x + 175p, 22 × 16 cm, 本体 3,200 円  
ISBN 978-4-7699-1270-5
- 示野信一: 演習形式で学ぶリー群・リー環  
サイエンス社, 東京, 2012, iii + 177p, 26 × 18 cm, 本体 2,381 円 (SGC ライブラ

- リ-88)  
ISSN 4910054700329
- J. R. シュリーファー, 樺沢宇紀訳: シュリーファー 超伝導の理論  
丸善プラネット, 東京, 2010, v + 263p, 21 × 15 cm, 本体 5,500 円  
ISBN 978-4-86345-062-2
- 菅野礼司, 南原律子: 物理学とは何かを理解するために; 基礎概念の発展を追って  
吉岡書店, 京都, 2012, x + 187p, 21 × 15 cm, 本体 2,000 円  
ISBN 978-4-8427-0359-6
- 住 明正, 露木 義, 河宮未知生, 木本昌秀: 計算科学 5 ; 計算と地球環境  
岩波書店, 東京, 2012, x + 228p, 22 × 16 cm, 本体 3,500 円 (岩波講座)  
ISBN 978-4-00-011305-2
- 高橋篤史: 弦理論の代数的基礎; 環・加群・圏から位相的弦理論, ミラー対称性へ  
サイエンス社, 東京, 2012, iv + 200p, 26 × 18 cm, 本体 2,476 円 (SGC ライブラリ-89)  
ISSN 4910054700428
- 竹谷純一監修: 有機デバイスのための塗布技術  
シーエムシー出版, 東京, 2012, IV + 238p, 26 × 19 cm, 本体 64,000 円  
ISBN 978-4-7813-0554-7
- 野本陽代: ベテルギウスの超新星爆発; 加速膨張する宇宙の発見  
幻冬舎, 東京, 2011, 221p, 18 × 11 cm, 本体 780 円  
ISBN 978-4-344-98239-0



## 公立小学校での放射線教育：副読本『放射線について考えてみよう』について

国府田隆夫◇

この4月から全国の公立小中高校で放射線教育が始められることになりました。新聞記事<sup>1)</sup>でそのことを知って自宅近くの区立小学校関係者に事情を尋ねてみました。区教育委員会からの委嘱でこの小学校の学校評議員を以前から務めているのです。数日後に学校から『小学生のための放射線副読本：放射線について考えてみよう』と題されたA4版20ページならずの冊子（児童用と教師用解説編）が届きました。奥付には文部科学省、平成23年10月発行とあります。早速、それに目を通してみました。公正な眼で見てもかなり問題があると思います。要点を資料にまとめて二月の学校運営協議会（年2回）で報告しました。問題点を物理学会会員の方々にも知っていただきたいと思えます。以下がその概要です。なお、小学校だけでなく中学、高校向けにも同様の「放射線教育」副読本があるようですが、それはまだ見ていません。<sup>\*</sup>

### 問題点Ⅰ：放射線の飛跡

副読本の3ページ、本文に入るまえに、ドライアイスを利用した簡易霧箱で撮った飛跡らしい写真があり、「これは、何を写していると思う？」と大きく書かれています。その上に「放射線って、何だろう？」という表題がありますから、児童たちは「これが放射線なのか」と思うでしょうが、その実体を理解することは不可能です。実験の仕方が教師用解説編（p.14）に書いてありますが、理系出身の教員が少ない小学校で、実際にこのような演示実験をすることはとても無理でしょう。子どもたち自身が自分で見て考える余地を与えようとしない、このような“上から目線”的発想は、公教育の理念にそぐわないことでしょう。

<sup>\*</sup> 本稿執筆後に次の記事が目にとまりました：小寺隆幸：『フクシマ以後を生きる子どもたちの現実と遊離した文部科学省の放射線副読本』、科学・社会・人間119号（2012年1号）。『副読本』全般と高校用副読本について参考になる内容です。上記記事の掲載号の入手については同誌事務局（習志野市津田沼5-2-14：白鳥紀一方）にお問い合わせください。

### 問題点Ⅱ：放射線が人体に及ぼす二通りの可能性、「確定的影響」と「確率的影響」

教師用解説編、参考資料（p.19）に、「しきい値のある影響」と「しきい値がないと仮定する影響」という説明があります。前者は「確定的影響」、後者は「確率的影響」と名付けられています。人体に対する放射線の影響には性質の異なった二種類の影響があるということです。その説明の冒頭に次の説明が書かれています。“しきい値”とは放射線を受けた時に症状が現れる最小の放射線量のことをいう。例えば250ミリグレイを超えると人によっては白血球が減少し、それ以下では白血球の減少は見受けられない。しきい値を超えてその影響が確実に現れる影響が「しきい値のある影響」（確定的影響）である。”ここでは「しきい値」という一般的な概念が存在するということが前提とされています。しかし、“人によって”その影響が異なるなら、この概念そのものが一般性を失います。『しきい値』が実際に存在するかどうかは未解決の問題とされるべきでしょう。事実、上記に続く「国際放射線防護委員会（ICRP）の役割」の項には、同委員会の次の勧告が記されています。“放射線による人体への影響を「確定的影響」と「確率的影響」とに分けてそれぞれに考え、放射線障害を防止するため線量限度値を勧告している。”「しきい値」の有無は不確かだから、「確定的影響」と「確率的影響」とを分けてそれぞれ独立に考えるのが適切ということでしょう。なお、この「しきい値」の問題については、最近の本欄に互いに反対の意見が掲載されました。<sup>2,3)</sup> 文献3の終わりに次の付記が編集委員長名で記されています。“被ばく線量のしきい値の有無はいまだ結論の出ない、物理学の専門領域を超えた問題であるため、本欄においてこの問題の正否に直接かかわる議論はこれで打ち切りとします。”妥当な判断だと思います。なお、教師用解説の同じページには、「放射線の規制値」、「集団実効線量について」という解説が述べてありますが専門的過ぎて理解困難です。以上、公立小学校の教育現場で使われる「放射線副読本」としては問題がある内容と言わざるをえません。

### 問題点Ⅲ：「リスク・ベネフィット」の問題

教師用解説の最後（p.20）に「放射線のリスクとベネフィット」という標題で次のように書かれています。“世の中のものには、プラスの面とマイナスの面がある。プ

ラスの面をベネフィット（便益）といい、マイナスの面をリスクという。（中略）ベネフィットは大きければ大きいほど良く、リスクは小さければ小さいほど良い。しかしながら、人がベネフィットを得るために何らかのものを利用しようとする限り、幾らかのリスクは避けられず、それを完全に無くすることは決してできない。さらにいえばリスクを完全に無くしてベネフィットだけを得ることは不可能である。”われわれが常々利用している医療行為や、航空機などの高速交通手段その他の公共の便益に関しては、そのとおりでしょう。しかしそれはリスクの当事者と、ベネフィットの受益者と同じ場合に限ってのことです。両者が異なる場合には、上記の論理自体が成立しないことは明らかです。いま問題としている原子力エネルギー利用技術（原発）に対して、このようなリスク・ベネフィット論を適用することはまったく当を得ていません。それは公共の倫理に反することでしょう。

### 問題点Ⅳ：放射能被害に対する防災という考え方

副読本（児童用）の最後は、「放射線から身を守るには？」と「事故が起こったときの心構え」という項目で締め括られています。想定されている事故とは「放射線を利用している施設の事故」と明記されていて、「事故から身を守る方法」、「放射性物質から身を守る方法」（p.15）と「退避・事故が起こったときの心構え」（p.16）についての具体的な解説と指示が述べられています。しかし、たとえば首都圏の3,000万人が避難しなければならない事故とはいったいどんな事態なのか、この副読本の執筆者たちは考えてみたことがあるのでしょうか？ チェルノブイリ事故を遥かに超える破局的事態を意味することは言を俟たないでしょう。そのような悲劇的狀況を想定した「心構え」や「対策」を全国の小学校児童たちに上意下達的に説こうとするこの「放射線教育」推進者の真意（心意）は想像外というほかありません。すくなくとも小学校の児童たちに対しては、無用の混乱と怯えを与えるだけではないでしょうか？

なぜこのような理不尽な論理や“教育”があたりまえのように通用するのでしょうか？ その誤りを正すのが原子力エネルギー利用技術の発展にもっとも関わりの深い物理学者たちの、市民としての責務だろうと思います。なお市民的教養としての物理教育に関する意見を最近の本誌に書きました。<sup>4)</sup> あわせてご参照下さい。

参考文献

- 1) たとえば, 毎日新聞 2011 年 12 月 8 日, 夕刊第 1 面.
- 2) 山田耕作: 日本物理学会誌 66 (2011) 790.
- 3) 稲村 卓: 日本物理学会誌 66 (2011) 863.
- 4) 国府田隆夫: 日本物理学会誌 67 (2012) 409. (2012 年 3 月 23 日原稿受付)

何を今更 Legendre

森本安夫\*◇

量子力学に現れる離散的な固有値が微分方程式の解の存在条件として決定されるのを知るのは量子力学を初めて学ぶ者にとって新鮮な感動である。ところが最近量子力学の教育に当たっている先生から Hermite の多項式や Laguerre の多項式についてはよく分かるのだが Legendre の球関数の固有値の話がスッキリしないと言う話を聞くことがあった。気になっていろんな教科書を当たってみたが確かにキチンと説明している教科書は少ないようである。もちろん群論によればスッキリと導けることは分っているのだが, 初学者のレベルで説明しようと思うと Hermite の多項式や Laguerre の多項式でのような級数解での議論が望ましい。そのような説明をしている教科書は筆者の知る範囲では一つだけである。それは次のものである。

寺澤寛一: 『自然科学者のための数学概論 (応用編)』(岩波書店, 1961).  
残念なことにこの本は絶版になっている。下手をするとこの方法での説明は後代に伝わらなくなるのではないかと心配になってきた。そこで老婆心ながらこの件の簡単な紹介をしておこうと思った次第である。

話は水素原子の  $\theta$  方向の微分方程式である。  $x = \cos \theta$  と変数変換して得られる良くご存知の次式である。

$$\frac{d}{dx} \left[ (1-x^2) \frac{dP}{dx} \right] + \left( \lambda - \frac{m^2}{1-x^2} \right) P = 0$$

物理的に意味のある  $P(x)$  ( $P(\cos \theta)$ ) が存在するためには  $\lambda$  が如何なる値でならないか? 証明したいことは  $\lambda = \ell(\ell+1)$  としたとき,  $\ell = 0, 1, 2, \dots$  でないと有限な解は

存在しないということだ。そこでとりあえず  $\lambda = \ell(\ell+1)$  置いておこう。  $\ell$  が整数かどうかはこの段階では分からない。また  $m$  は絶対値で表れるので  $m \geq 0$  としてある。このままではいくら睨めっこしたところで簡単には解は出てこない(ことはない)のだが膨大な計算が必要となる。そこで  $P(x)$  に  $P(x) = (1-x^2)^{m/2} u(x)$  なる変数変換を行う。更に  $x$  に対しては  $z = 1/2(1-x)$  なる変換を行うと上の方程式は次のように変換される。

$$z(1-z) \frac{d^2 u}{dz^2} + [m+1-2(m+1)z] \frac{du}{dz} + (\ell-m)(\ell+m+1)u = 0$$

ただし独立変数の変域は  $x = \cos \theta$  なので  $-1 \leq x \leq 1$  に対して  $0 \leq z \leq 1$  となる。  $(1-x^2)^{m/2}$  は  $-1 \leq x \leq 1$  の範囲で有限であるから  $u$  の存在についてだけ考えればよい。これは物理数学では定番の Gauß の超幾何微分方程式である。その解は大抵の物理数学の教科書に記述してあるので説明は省こう。解は当然のことながら 2 個あって次の通りである。

$$u_1 = F(\ell+m+1, -\ell+m, m+1; z),$$

$$u_2 = z^{-m} F(\ell+1, \ell, 1-m; z)$$

$u_2$  は  $z=0$  ( $x=1$ ) での発散を示すので  $u_1$  のみを採用する。くどくなるが説明の都合上, 解,  $u_1$  を示しておこう。

$$u_1 = F(\ell+m+1, -\ell+m, m+1; z)$$

$$= \sum_0^{\infty} \{(\ell+m+1)(\ell+m+2) \dots$$

$$(\ell+m+k)(-\ell+m)(-\ell+m+1) \dots$$

$$(-\ell+m+k-1)\} /$$

$$\{k!(m+1)(m+2) \dots (m+k)\} z^k$$

これが収束する(解が存在する)条件を探すため,  $z^k$  と  $z^{k-1}$  の項の比を求めてみると,

$$\frac{k \text{ 次の項}}{k-1 \text{ 次の項}} = \frac{(k+\ell+m)(k-\ell+m-1)}{k(k+m)} z$$

$$\rightarrow \frac{k-1}{k} z \text{ as } k \rightarrow \infty$$

となる。従って  $0 \leq z < 1$ , すなわち,  $-1 < x \leq 1$  では収束してくれるが,  $\theta = \pi$  ( $x = -1$ ), すなわち,  $z = 1$  では対数的に発散する。解が存在するためにはどこかで項は 0 にならなければならない。  $m \geq 0$  としてるので  $k+\ell+m > 0$ 。従って  $k-\ell+m-1$

が 0 にならねばならない。その  $k$  の値を  $k'$  とすると

$$k' - \ell + m - 1 = 0,$$

すなわち

$$\ell = k' + m - 1$$

である。  $k' = 0$  というのではないのでこれより無事,  $\ell = 0, 1, 2, \dots$  でなければならないことが証明された。つまり  $\lambda = \ell(\ell+1)$ ,  $\ell = 0, 1, 2, \dots$  である。これでメダシ, メダシである。

以上で説明したことは寺澤先生の教科書の内容の一部(51-54 頁)を詳細に紹介したに過ぎない。“何でこんなご苦労なことを?” というのがあらかたの感想であろう。しかし, よく出回っている教科書にはこの事実は説明されていないのがほとんどである。ということはそれらの教科書を使って教育を受けた人はそれを知らずにきている可能性が大きいのではあるまいか。実際最初から  $\lambda = \ell(\ell+1)$ ,  $\ell = 0, 1, 2, \dots$  を設定してある場合がほとんどであった。それを心配しての本小文である。それにしても  $\lambda = \ell(\ell+1)$ ,  $\ell = 0, 1, 2, \dots$  を初等的に理解するのに, 超幾何関数の理論が必要とは, 全くしんどい話である。

ただし球関数を取り扱うのに超幾何関数を用いる方法が解説してある教科書は寺澤先生のもの以外にもある。それは以下の数学公式集である。

森口繁一, 宇田川銈久, 一松 信: 『数学公式 III』(岩波書店, 1989).

ただここでの表現から本小文に解説しているような議論を導くのはかなり難しいだろうと思われる。

(2012 年 3 月 16 日原稿受付)

会員の声 投稿規定 (3,000 字以内)

- 1) 広く会員にとって関心があると思われる話題についての個人的な意見や感想を述べた投書を掲載する。
- 2) 採否は編集委員長の判断による。その内容に関する責任は投稿者が負う。
- 3) 毎月 15 日までに投稿された原稿は原則として翌々月号掲載とする。

\* 明治鍼灸大学名誉教授

## 掲示板

毎月1日締切(17:00必着)、翌月号掲載。但し1月号、2月号は前々月の20日締切。修正等をお願いする場合があります。締切日よりなるべくお早目にお申込み下さい。書式は<http://www.jps.or.jp/book/keijiban.html>にありますので、それに従ってお申込み下さい。webからのお申込みができない場合は、e-mail: [keijiban@jps.or.jp](mailto:keijiban@jps.or.jp)へお送り下さい。必ず Fax 03-3816-6208へも原稿をお送り下さい。Faxがありませんと、掲載できない場合がございます。HP掲載をご希望される場合は、上記URLの「2. ホームページ掲載」をご参照下さい。本欄の各項目の内容につきましては、本会は関与致しかねますのでご了解下さい。

## 人事公募

### 人事公募の標準書式(1件500字以内)

1. 公募人員(職名、人数) 2. 所属部門、講座、研究室等 3. 専門分野、仕事の内容(1行17字で7行以内) 4. 着任時期(西暦年月日) 5. 任期 6. 応募資格 7. 提出書類(書類名の前に○印をつけ簡潔に、1行17字で6行以内) 8. 公募締切(西暦年月日、曜日) 9. ①書類送付先(郵便番号、住所、所属、担当者名) ②問合せ先(郵便番号、住所、所属、担当者名、電話、Fax、e-mail等、必要と思われるもの。①と同じ場合は省略) 10. その他(1行17字で5行以内)

### ■神戸市立工業高等専門学校教員

1. 准教授、講師又は助教1名
2. 一般科・理科(物理)
3. 物理全般、担当予定科目:理科(物理)、主として1~3年の物理の講義と実験。
4. 2013年4月1日
6. 採用予定日迄に博士号を有する方、又は同等の研究業績を有する方で、高専の教育及び学術研究に熱意のある方。高等学校教諭免許状を有することが望ましい。
7. ○履歴書及び教育研究業績書(指定様式を本校HPより取得) ○主要論文3編以内の別刷又はコピー ○推薦書(推薦書がない場合は、照会可能者の氏名、所属、連絡先、応募者との関係) ○今迄の研究内容(A4、1枚) ○今後

の研究計画(A4、2枚) ○高専における教育に対する抱負(600字以内)

8. 2012年7月20日(金)必着
9. ①651-2194神戸市西区学園東町8-3神戸市立工業高等専門学校事務室庶務係  
②一般科・理科 大多喜重明 電話078-795-3282 [phys2013@kobe-kosen.ac.jp](mailto:phys2013@kobe-kosen.ac.jp)
10. 封筒に「一般科(理科)教員応募」と朱書き簡易書留で送付。応募書類原則不返却。詳細は <http://www.kobe-kosen.ac.jp> 参照。

### ■大阪府立大学テニユア・トラック教員

1. 特別講師2名
2. 21世紀科学研究機構ナノ科学・材料研究センター(学術研究院第4学群戦略的研究部門)
3. ナノ科学、ナノ材料に関わる幅広い研究分野から最先端研究に関する応募を想定。実験研究、理論研究は不問。
4. 2013年4月1日
5. 5年
6. 着任時点での博士号取得者。大学における助教、博士研究員、又は同等職歴3年以上、学位取得後10年以内。公募締切時点で40歳未満。
7. ○履歴書 ○研究業績リスト ○今迄の研究概要 ○今後の研究計画等 ○推薦書(意見書)5通は推薦者から直送 ○全て英語で作成
8. 2012年7月27日(金)
9. ①599-8531堺市中区学園町1-1 大阪府立大学総務部総務人事課  
②HPの公募問合せ欄、総務部総務人事課 [jinjij2013@21c.osakafu-u.ac.jp](mailto:jinjij2013@21c.osakafu-u.ac.jp)
10. Word又はPDFで作成した応募資料をHPの応募欄より提出すると共に原本を書留送付。詳細は<http://www.nanosq.21c.osakafu-u.ac.jp/>参照。

### ■九州大学大学院理学研究院教授

1. 教授1名
2. 物理学部門基礎粒子系物理学講座実験核物理グループ
3. 実験核物理学。大学院、学部の教育も担当。
4. 2013年1月1日以降早期
5. なし
7. ○履歴書 ○研究歴 ○業績リスト ○主要論文別刷5編以内 ○着任後の教育・研究計画書 ○照会可能者2名の氏名、連絡先 ○着任可能時期
8. 2012年7月27日(金)

9. 812-8581福岡市東区箱崎6-10-1九州大学大学院理学研究院物理学部門野呂哲夫 電話092-642-2544 [noro@phys.kyushu-u.ac.jp](mailto:noro@phys.kyushu-u.ac.jp)
10. 本部門及び本公募詳細については<http://www.phys.kyushu-u.ac.jp>及びその各種情報(教員募集)欄を参照。

### ■名古屋大学大学院工学研究科教員

1. 准教授又は講師1名
2. 量子工学専攻ナノ構造解析学研究グループ
3. 顕微鏡法を駆使した、ナノスケール物質や表面ナノ構造の物性評価と新機能の探索に関する実験的研究を推進できる方。上記の大学院専攻及び工学部物理工学科応用物理学コースの教育研究を担当。
4. 決定後早期
5. なし
6. 博士号及び上記の分野において優れた研究業績を有する方
7. ○印刷物と電子媒体(PDFを記録したCD-R)で提出 ○履歴書(写真貼付) ○研究業績リスト(査読付学術論文、総説・解説、著書、国際会議プロシーディングス、招待講演、受賞等に分類、主要論文5編に○印) ○主要論文別刷5編 ○今迄の研究概要(約2,000字) ○今後の研究計画と教育についての抱負(約2,000字) ○外部資金等の獲得状況とその他特記事項 ○照会可能者2名の氏名、連絡先
8. 2012年7月27日(金)消印有効
9. ①464-8603名古屋千種区不老町名古屋大学大学院工学研究科量子工学専攻 齋藤弥八  
②同研究科マテリアル理工学専攻 澤博 [hiroshi.sawa@cc.nagoya-u.ac.jp](mailto:hiroshi.sawa@cc.nagoya-u.ac.jp)
10. 封筒に「量子工学専攻教員応募書類在中」と朱書き簡易書留で送付。

### ■北海道大学大学院工学研究院応用物理学部門助教

[1]

1. 助教1名
2. 量子物性工学分野数理物理工学研究室
3. 応用物理学・物理学(理論)。広い意味での複雑系における古典的・量子力学的物理現象の普遍的性質に関する研究や、その応用的研究等。
4. 2012年11月1日
5. 5年、審査により1回(5年)再任可。
6. 着任時点で博士号又はPh.D.取得者。
7. ○履歴書(写真貼付) ○研究業績

○教育実績 ○最近5年間の主要論文5編の写し各1部 ○今迄の研究内容と今後の研究計画(約2,000字) ○教育に対する抱負(約1,000字) ○照会可能者2名の氏名, 所属, 連絡先 ○履歴書, 研究業績, 教育実績に関しては <http://www.eng.hokudai.ac.jp/faculty/recruit> より所定の書式をダウンロード.

- 2012年7月31日(火)必着
- ①060-8628 札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学工学系事務部総務課人事担当 電話011-706-6156
- ②工学研究院応用物理学部門 矢久保考介 電話011-706-6621 yakubo eng.hokudai.ac.jp
- 封筒に「応用物理学部門教員公募24-05」と朱書き書留で送付. 応募書類原則不返却.

## 【II】

- 助教1名
- 凝縮系物理工学分野ソフトマター工学研究室
- ソフトマター物理学(実験). 応用物理学専攻の演習科目及び応用理工学学科・応用物理学コースの科目を分担.
- 4, 5, 6, 7, 8, 9①は【I】に同じ.
- ②工学研究院応用物理学部門 折原宏 電話011-706-6639 orihara eng.hokudai.ac.jp
- 封筒に「応用物理学部門教員公募24-04」と朱書き書留で送付. 応募書類原則不返却.

## ■一関工業高等専門学校教員

- 准教授又は講師1名
- 一般教科自然科学系
- 専門分野: 物理学(物理, 物理教育等). 担当科目: 物理, 応用物理, 数学(微積分)
- 2012年10月1日以降早期
- 博士号取得者又は着任時迄に取得確実な方. 高等専門学校における教育, 研究及び学生指導に熱意のあり, 物理教育等基礎教育に情熱を注げる方. 心身ともに健康である方.
- 履歴書(市販の用紙に本人自筆, 写真貼付, 資格欄に学位等を明記, e-mail付記) ○研究業績一覧表(著書・学術論文・口頭発表等含む. 指定様式) ○主要論文別刷5編以内(コピー可) ○教育経験歴(社内教育等含む) ○高等専門学校における教育・学生指導に対する抱負(約1,500字) ○推薦書(自薦の場合は, 照会可能者2名の氏名, 所属, 連絡先等明記)

○学位証明書又は学位記写し

- 2012年7月31日(火)必着
- ①021-8511 一関市萩荘字高梨 一関工業高等専門学校総務課人事給与係
- ②教育・研究関連: 梅野善雄 電話0191-24-4797 Fax0191-24-2146 umesan ichinoseki.ac.jp, その他事務関連: 総務課人事給与係 電話0191-24-4705 Fax 0191-24-2146 s-jinji ichinoseki.ac.jp
- 封筒に「一般教科自然科学系(物理)教員応募書類在中」と朱書き簡易書留で送付. 応募書類原則不返却. 詳細は <http://www.ichinoseki.ac.jp/> 参照. 本校では採用に際して男女共同参画を推進している. 応募者の個人情報, 一関工業高等専門学校の本採用目的の為に利用し, 第三者に提供又は公表しない.

## ■大阪大学レーザーエネルギー学研究センター講師

- 講師1名
- パワーフォトンクス研究部門
- 高繰り返し・高パルスエネルギーのレーザーや超短パルス高ピーク出力レーザーの開発と応用に関する研究. ベタワットレーザーの性能・機能を向上させる業務. レーザーシステム構築及びその応用等の光科学に関する研究経験を有し, 新たな発想に基づいて高出力レーザー技術の開発を行い, 基礎科学や核融合に有用な大型レーザー装置の設計・建設を意欲的に牽引する方を希望.
- 決定後早期
- 5年(満了後再任することあり)
- 博士号取得者
- 履歴書(写真貼付) ○業績リスト(原著論文, 解説, 著書, 特許, 学会発表等) ○主要論文別刷3編(コピー可) ○今迄の研究概要(A4, 約2枚) ○着任後の研究計画(A4, 約2枚) ○2名の方からの推薦状(推薦者の連絡先明記)
- 2012年7月31日(火)必着
- ①565-0871 吹田市山田丘2-6 大阪大学レーザーエネルギー学研究センター 崎地 宏
- ②宮永憲明 電話06-6879-8771 miyanaga ile.osaka-u.ac.jp
- 選考方法は書類審査及び面接. 詳細は, 本センターHPの公募欄を参照.

## ■京都大学基礎物理学研究所教員

### 【I】

- 特定准教授1名
- 宇宙物理学(理論). 専門分野の研究を行うと共に, 滞在型プログラム実行委員会に参加し, 専門分野を通じてプログラム運営に積極的な役割を果たす.
- 2012年11月1日以降早期
- 着任後5年間, 評価により最大2年間延長可能
- 履歴書 ○発表論文及び業績のリスト(主要論文5点以内に印) ○研究歴(研究成果の説明) ○就任後の研究計画 ○着任可能時期 ○主要論文(発表論文リストで印を付けた論文のpdfまたはアーカイブ番号を指定) ○他薦の場合は推薦書
- 2012年7月31日(火)必着
- ① tokuap13 yukawa.kyoto-u.ac.jp (推薦書のみ郵送可: 606-8502京都市左京区北白川追分町 京都大学基礎物理学研究所 九後太一)
- ②藤田裕子 電話075-753-7009 fujita yukawa.kyoto-u.ac.jp
- e-mailの件名は「特定准教授応募」と記載. 詳細は <http://www.yukawa.kyoto-u.ac.jp/contents/info/detail.php?NID=161> 参照.

### 【II】

- 准教授1名
- クォーク・ハドロン科学
- 2013年4月1日以降早期
- 5年~10年
- 7, 9②は【I】に同じ.
- 2012年9月30日(日)必着
- ①qh-prof yukawa.kyoto-u.ac.jp (推薦書のみ郵送可: 606-8502京都市左京区北白川追分町 京都大学基礎物理学研究所 九後太一)
- e-mailの件名は「クォーク・ハドロン科学准教授応募」と記載. 詳細は <http://www.yukawa.kyoto-u.ac.jp/contents/info/detail.php?NID=160> 参照.

## ■群馬工業高等専門学校教員

- 助教又は講師1名
- 電子メディア工学科
- 通信工学関連分野. 専攻科, 電子メディア工学科等における通信工学, 自動制御, 工学実験及び卒業研究・専攻科特別研究等を担当.
- 2012年9月10日以降早期
- なし
- 博士号を有し, 教育・研究・学生指導及び各種校務に熱意をもって当たれる

方

- 履歴書(写真貼付, e-mail 記入) ○研究業績一覧(査読付論文, 国際会議発表, 著書, その他に分類) ○主要論文別刷3編以内(コピー可) ○今迄の研究概要(A4, 約1,000字, 1部) ○着任後の教育・研究に関する抱負(A4, 約2,000字, 1部) ○推薦書1通(あることが望ましい)
- 2012年8月3日(金)必着
- ①371-8530前橋市鳥羽町580 群馬工業高等専門学校総務課人事・労務係 電話027-254-9010 jinji jim.gunma-ct.ac.jp <http://www.gunma-ct.ac.jp/>  
②電子メディア工学科 渡辺直寛 電話 027-254-9165 watanabe elc.gunma-ct.ac.jp
- 封筒に「電子メディア工学科教員応募書類」と朱書きし簡易書留で送付。提出書類不返却。

#### ■鳥根大学大学院総合理工学研究科教員

[I]

- 教授1名
- 物理・材料科学領域
- 素粒子理論(宇宙論・量子基礎論等関連分野含む)
- 2013年4月1日
- なし
- 博士号取得者。物質科学科(物理分野)の学部教育に理解のある方。計算機環境のメンテナンスに協力して頂ける方。
- 履歴書(写真貼付) ○研究業績リスト(原著論文, プロシーディングス, 総説, 学会発表を区別, 外部資金獲得状況含む) ○主要論文別刷3編以内(コピー可) ○研究概要と着任後の研究計画(合計約2,000字) ○教育に関する実績と今後の教育に関する抱負(合計約2,000字) ○推薦書1通(自薦不可)と推薦者と異なる照会可能者1名の氏名と連絡先
- 2012年8月20日(月)必着
- ①690-8504松江市西川津町1060 鳥根大学大学院総合理工学研究科物理・材料科学領域 藤原賢二  
②同上 電話0852-32-6393 fujiwara riko.shimane-u.ac.jp
- 封筒に「物理・材料科学領域素粒子教員応募書類」に朱書きし簡易書留で送付。応募書類原則不返却。

[II]

- 教授又は准教授又は講師1名
- 2, 4, 5, 8, 9は[I]に同じ。
- 広い意味の物性理論

- 博士号取得者。新しい領域の開拓に意欲があり, 新たな手法の開発に積極的な方。計算機環境のメンテナンスに協力して頂ける方。
- 履歴書(写真貼付) ○研究業績リスト(原著論文, プロシーディングス, 総説, 学会発表を区別, 外部資金獲得状況含む) ○主要論文別刷3編以内(コピー可) ○研究概要と着任後の研究計画(合計約2,000字) ○教育に関する実績と今後の教育に関する抱負(合計約2,000字) ○推薦書1通(自薦不可)と推薦者と異なる照会可能者1名の氏名と連絡先 ○希望する職種(教授/准教授/講師)
- 封筒に「物理・材料科学領域物性理論教員応募書類」に朱書きし簡易書留で送付。応募書類原則不返却。

#### ■北海道大学電子科学研究所教授

- 教授1名
- 生命科学研究部門
- 生命を動的なシステムとして捉え, 生命の階層性と機能, 形, 頑健性等の創発に関する原理の解明を目的とする, 分子細胞生理学, 脳神経科学, 発生生物学, 生物物理学等の分野に立脚した実験科学的学際研究。生命現象の制御や, 生命現象に伴う高効率エネルギー変換・情報変換, 原理解明の為に最先端計測技術開発等を含む。電子科学研究所の教員と広く共同研究を行い, 将来的にはライフイノベーションに繋がることが望ましい。
- 2013年1月1日以降早期
- 履歴書 ○業績リスト ○今迄の研究概要 ○研究計画・教育に対する抱負 ○研究助成金取得状況 ○照会可能者2名の氏名・連絡先 ○主要論文別刷10編
- 2012年8月24日(金)消印有効
- ①001-0021札幌市北区北21条西10丁目 北海道大学北キャンパス合同事務部総務担当気付 電子科学研究所生命科学部研究部門教授選考委員会  
②電子科学研究所 中村貴義 電話 011-706-9417 tnaka es.hokudai.ac.jp
- 封筒に応募書類に朱書きし書留送付。詳細は必ず<http://www.es.hokudai.ac.jp>参照。

#### ■立教大学理学部物理学教員

[I]

- 教授又は准教授1名
- 宇宙地球系物理学研究室

- 高エネルギー宇宙物理学の装置開発を含む観測的研究。物理学専門科目, 物理学専攻専門科目, 理学部共通科目, 全学共通カリキュラム科目の授業を担当。卒業研究, 大学院生の研究指導。
- 2013年4月1日
- なし, 定年65歳
- 博士号取得者。研究教育に熱意を持ち, 指導力を発揮できる研究者で, 且つ研究教育の成果を広く社会に提供する意思を持ち, 学科, 学部, 大学の運営に積極的に参加する意思を持つ方。
- 履歴書(電話, e-mail 明記) ○業績リスト(査読論文, その他に分類) ○主要論文別刷5編以内(コピー可) ○競争的資金導入実績 ○研究に関する業績の概要と計画(約2,000字) ○教育に関する経験と抱負(約2,000字) ○照会可能者2名の氏名, 所属, 連絡先(電話, e-mail等)
- 2012年8月31日(金)必着
- ①171-8501東京都豊島区西池袋3-34-1 立教大学理学部物理学 北本俊二  
②同上 電話03-3985-2419 kitamoto rikkyo.ac.jp
- 封筒に「宇宙地球系教授准教授応募書類」に朱書きし簡易書留で送付。応募書類原則不返却。必要に応じ面接を行う。提出された個人情報教員任用業務, 連絡, 手続きの為のものであり, 他の目的に使用することはしない。

[II]

- 助教1名
- 2, 4, 7, 8, 9は[I]に同じ。
- 高エネルギー宇宙物理学の装置開発を含む観測的研究。物理学専門科目の授業を担当。
- 1年毎に更新, 5年迄
- 博士号取得者。上記専門分野において, 飛翔体からの観測や観測機器開発を通して研究を進めている方で, 基本的な物理実験技術を教えることができ, コンピュータやプログラミング言語の知識を有する方。
- 封筒に「宇宙地球系助教応募書類」に朱書きし簡易書留で送付。応募書類原則不返却。必要に応じ面接を行う。提出された個人情報は教員任用業務, 連絡, 手続きの為のものであり, 他の目的に使用することはしない。

[III]

- 助教1名
- 理論物理学研究室
- 理論物理学における素粒子物理学分野。

物理学科専門科目。

- 4, 9①は [I] に同じ。
5. 1年, 但し4回を限度とし更新可
6. 博士号取得者(2013年4月1日迄の取得見込者含)
7. ○履歴書(連絡先, e-mail等明記) ○研究業績リスト(査読誌, その他に分類) ○主要論文別刷5編以内(コピー可) ○研究業績概要(約1,500字) ○今後の研究計画と教育に対する抱負(約1,500字) ○照会可能者2名の所属, 連絡先(電話, e-mail等)
8. 2012年8月20日(月)必着
9. ②理学部物理学 田中秀和 tanakah rikkyo.ac.jp
10. 封筒に「応募書類(理論物理学素粒子)在中」と朱書し簡易書留で送付。応募書類原則不返却。必要に応じ面接を行う。提出された個人情報(教員任用業務, 連絡, 手続きの為のものであり, 他の目的に使用することはしない。

#### [IV]

1. 助教1名
- 2, 5, 6, 7, 8は [III] に同じ。
3. 理論物理学における宇宙物理学分野。物理学科専門科目。
- 4, 9①は [I] に同じ。
9. ②理学部物理学 原田知広 harada rikkyo.ac.jp
10. 封筒に「応募書類(理論物理学宇宙)在中」と朱書し簡易書留で送付。応募書類原則不返却。必要に応じ面接を行う。提出された個人情報(教員任用業務, 連絡, 手続きの為のものであり, 他の目的に使用することはしない。

#### ■名古屋大学大学院理学系研究科物理学教室准教授

1. 准教授1名
2. 素粒子宇宙物理学専攻素粒子物性研究室
3. 実験素粒子物理学。特に低速中性子を用いた素粒子実験。意欲的に取り組む方であれば、現在の専門分野不問。
4. 採用決定後早期
5. なし
7. ○履歴書 ○研究歴 ○研究計画及び教育に対する抱負 ○業績リスト ○主要論文5編(各2部, コピー可) ○推薦書又は意見書
8. 2012年8月31日(金)17時必着
9. ①464-8602名古屋千種区不老町名古屋大学大学院理学系研究科物理学教室 神山 勉  
②物理学教室 清水裕彦 hirohiko.

shimizu nagoya-u.jp

10. 封筒に「素粒子物性研究室准教授応募書類在中」と朱書し書留で送付。提出書類不返却。物理学教室の選考基準については<http://www.phys.nagoya-u.ac.jp/scholar/pub.html>参照。

#### ■京都大学大学院理学研究科化学教室教授

※本公募は4月号掲載時、項目6に誤記がありました。本会事務局の編集上の誤りをお詫びするとともに再掲載致します。

1. 教授1名
2. 理論化学大講座(林 重彦准教授, 山本武志助教)
3. 電子状態を中心とした基礎理論化学。大学院, 学部及び基礎教育を担当。
4. 決定後早期
5. なし
6. 博士号取得者
7. ○履歴書(上部余白欄に「理論化学大講座教授応募」と明記, 各項目は年月日まで記載) ○研究業績リスト ○主要論文別刷10編(コピー可) ○「今迄の研究内容の概要」と「今後の研究計画と教育に対する抱負」(各約2,000字) ○照会可能者2名の氏名, 連絡先 ○以上全て各2部
8. 2012年8月31日(金)必着
9. ①606-8502 京都市左京区北白川追分町 京都大学大学院理学研究科化学専攻 北川 宏  
②同上 電話075-753-3999 shunin kuchem.kyoto-u.ac.jp <http://www.kuchem.kyoto-u.ac.jp/organization/koubo.html>
10. 封筒に「理論化学大講座教授応募」と明記。応募書類不返却。当学は男女共同参画を推進している。

#### ■東京大学大学院理学系研究科物理学専攻教授

1. 教授1名
2. 素粒子物理学講座
3. 素粒子物理学実験
4. 2013年4月1日以降早期
5. なし
6. 特になし
7. ○履歴書 ○業績リスト ○研究業績概要 ○研究計画及び教育に関する抱負 ○主要論文別刷5編(各5部, コピー可)
8. 2012年8月31日(金)必着
9. ①113-0033東京都文京区本郷7-3-1 東京大学大学院理学系研究科物理学専攻 宮下精二  
②物理学教室事務 電話03-5841-4242

10. 封筒に「素粒子物理学実験教授応募書類在中」と朱書し簡易書留で送付。

#### ■福岡大学理学部教員

##### [I]

1. 教授又は准教授1名
2. 物理科学科
3. 宇宙, 天体に関する物理学を専門とする研究, 物理科学科・大学院応用物理学専攻の専門教育, 他学部の学生に対する物理学の基礎教育を担当。文系学部の学生に対する教養教育も担当できる方が望ましい。
4. 2013年4月1日
5. なし
6. 博士号取得者。独立して研究室を運営でき, 教育に熱心な方。
7. ○履歴書 ○今迄の研究概要 ○主要論文別刷 ○研究業績一覧 ○教育業績一覧 ○今後の研究計画と抱負 ○今後の教育活動の抱負 ○照会可能者2名の氏名, 連絡先 ○応募票 ○応募書類詳細は下記HPを確認
8. 2012年8月31日(金)必着
9. 814-0180福岡市城南区七隈8-19-1 福岡大学理学部物理科学科 香野淳 電話092-871-6631 akohno cis.fukuoka-u.ac.jp
10. 封筒に「教員応募書類在中(宇宙・天体)と朱書し簡易書留等で送付。応募書類原則不返却。詳細は<http://www.cis.fukuoka-u.ac.jp/~mterada/koubo/koubo.html>参照。

##### [II]

1. 教授又は准教授1名
- 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9は [I] に同じ。
3. 物性基礎論(主として理論的な研究を行う方)。同分野の研究, 物理科学科・大学院応用物理学専攻の専門教育, 他学部の学生に対する物理学の基礎教育を担当。文系学部の学生に対する教養教育も担当できる方が望ましい。
10. 封筒に「教員応募書類在中(物性)」と朱書し, 簡易書留等で送付。応募書類原則不返却。詳細は<http://www.cis.fukuoka-u.ac.jp/~mterada/koubo/koubo.html>参照。

#### ■弘前大学大学院准教授

1. 准教授1名
2. 理工学研究科(理工学部物理科学科併任)
3. 物性理論物理学。学部と大学院の物理教育・研究を行う。
4. 2013年1月1日以降早期

5. なし
6. 博士号取得者, 教育経験のある方
7. ○履歴書(写真貼付) ○業績リスト(研究論文, 著書, 解説等, 主要論文5編に印) ○主要論文別刷5編(コピー可) ○研究業績概要(A4, 約1枚) ○外部資金獲得状況 ○着任後の研究計画と教育の抱負(A4, 約1枚) ○照会可能者2名の氏名, 連絡先(住所, 電話, e-mail)
8. 2012年8月31日(金)必着
9. ①036-8561 弘前市文京町3 弘前大学大学院理工学研究科准教授選考委員会 加藤博雄  
②電話0172-39-3654 hiroo cc. hirosaki-u.ac.jp
10. できるだけe-mailで問合せのこと。封筒に「准教授応募書類在中」と朱書き簡易書留で送付。応募書類不返却。書類選考後面接を行う。

#### ■ウィズウィグ社テクニカルアドバイザー

1. テクニカルアドバイザー1名
2. データベース事業部
3. 化学を中心とする広い自然科学分野の学術内容を理解し, 適切な助言ができる方。材料化学, 物性科学, 生物化学, 工業化学及び関連分野のいずれかに精通しており, 化学分野に限らず, 幅広い技術分野に対応でき, 総合的な判断力ができる方, 英文作成力のある方歓迎。査読付主著英語論文を發表されており, 技術ドイツ語の読解力を持っていればなお好適。業務には翻訳者及びクライアントとのコーディネーション業務も含む。
4. できるだけ早期
6. 修士号又はそれ以上の学位を有していることが望ましい
7. ○履歴書・経歴書 ○もしあれば査読付主著英語論文1編のコピー
8. 2012年8月31日(金)消印有効
9. 104-0032 東京都中央区八丁堀2-13-4 第三長岡ビル8F (株)ウィズウィグ 堀江 修 電話03-5566-1669 Fax 03-5566-4808 horieo wysiwyg.co.jp

#### ■東京工業大学大学院理工学研究科教授

1. 教授1名
2. 統計固体物理学講座
3. 物性実験
4. 決定後早期
5. なし
6. 博士号取得者
7. ○履歴書 ○研究歴(研究内容の概要

- 含む, A4, 2枚) ○研究計画書(A4, 2枚) ○業績リスト(主要論文5編に印) ○主要論文別刷5編以内 ○照会可能者2名の氏名, 連絡先(e-mail) ○推薦書をつけてもよい
8. 2012年9月14日(金)必着
9. ①152-8551 東京都目黒区大岡山2-12-1 東京工業大学大学院理工学研究科物性物理学専攻 吉野淳二  
②同専攻 奥田雄一 電話03-5734-2458 okuda ap.titech.ac.jp
10. 封筒に「統計固体物理学講座教授応募書類在中」と朱書き簡易書留で送付。応募書類原則不返却。

#### ■東京理科大学理学部第一部教員

1. 准教授又は講師1名
2. 物理学科実験系
3. 量子光学, 量子情報科学に関する実験的研究
4. 2013年4月1日
5. 定年迄
6. 博士号取得者。私学教育の現状を理解し, 学部と大学院の教育並びに研究に熱意を持って取り組める方。
7. ○履歴書(写真, 教育経験, 在外経歴明記) ○学位記の写し ○業績リスト(受賞, 招待講演, 外部資金取得状況含む。一般口頭発表除く) ○主要論文別刷5編各2部 ○過去の研究概要, 着任後の研究計画, 着任後の教育指導方針(各1,000字以内) ○推薦書1通と照会可能者1名の連絡先
8. 2012年9月14日(金)
9. ①162-8601 東京都新宿区神楽坂1-3 東京理科大学理学部第一部物理学科 渡辺一之  
②電話03-5228-8221 kazuyuki rs. kagu.tus.ac.jp
10. 封筒に「理学部物理学科教員応募書類在中」と朱書き書留等で送付。応募書類不返却。問合せは件名をKOUBOとする。

#### ■大阪大学大学院理学研究科准教授

1. 准教授1名
2. 物理学専攻基礎物理学講座
3. 素粒子理論, 研究と教育。
4. 決定後早期
5. なし
6. 博士号取得者
7. ○履歴書(可能な着任時期も明記) ○研究業績概要 ○研究計画と教育に関する抱負 ○業績リスト ○主要論文約5編の別刷又はコピー ○意見書

- 又は推薦書3通以上(内1通以上は外国在住の研究者からが望ましい)
8. 2012年9月19日(水)必着
9. ①560-0043 豊中市待兼山町1-1 大阪大学大学院理学研究科物理学専攻 久野良孝 aprofkoubo phys.sci.osaka-u.ac.jp  
②細谷 裕 hosotani phys.sci.osaka-u.ac.jp
10. 封筒に「素粒子理論准教授公募関係」と朱書き簡易書留で送付。意見書・推薦書以外の応募書類一式はpdfにしてCD-ROMに保存したものを併せて提出。意見書・推薦書は直接専攻長宛に電子メール又は郵送で送付。応募書類不返却。本学は男女共同参画を推進している。詳細は専攻HP参照。

#### ■東京大学物性研究所助教

1. 助教1名
2. 附属国際超強磁場科学研究施設徳永研究室
3. 金道研究室メンバーと協力しながら, 非破壊型パルスマグネットを用いた磁性体及び超伝導体の研究を行う。強磁場経験は不問だが, 基礎的な実験技術に習熟し装置開発のできる方が望ましい。非破壊型パルスマグネットを用いた世界一の研究環境を実現する意欲を持ち, 共同利用支援にも積極的に関わる方希望。
4. 決定後早期
5. 5年, 1回を限度に再任可。
6. 修士課程修了又は同等以上の能力
7. ○履歴書(略歴可) ○業績リスト(重要論文に○印) ○主要論文別刷約3編(コピー可) ○研究業績概要(約2,000字) ○研究計画書(約2,000字) ○推薦の場合は推薦書, 応募の場合は所属長・指導教員等による意見書(作成者から直送)
8. 2012年9月28日(金)
9. ①277-8581 柏市柏の葉5-1-5 東京大学物性研究所総務係 電話04-7136-3207  
②国際超強磁場科学研究施設 徳永将史 電話04-7136-5322 tokunaga issp.u-tokyo.ac.jp
10. 封筒に「国際超強磁場科学研究施設(徳永研究室)助教応募書類在中」又は「意見書在中」と朱書き郵便の場合は書留で送付。応募書類等不返却。履歴書は本応募に限り使用し, 個人情報に正当な理由なく第三者への開示, 譲渡及び貸与は一切しない。

## ■東北大学大学院工学研究科応用物理学専攻助教

1. 助教1名
2. 応用材料物理学講座機能結晶学分野
3. 熱電変換材料や太陽光発電材料に関する実験
4. 決定後早期
5. 7年(再任可3年)
6. 博士号取得者、又は着任時迄に取得確実な方
7. ○履歴書(写真貼付) ○研究業績リスト(研究論文、解説、特許、受賞、学会講演等) ○主要論文別刷3編以内(各論文について約500字の概要) ○今迄の研究の概要(2,000字以内) ○着任後の教育・研究に関する抱負(約1,000字) ○照会可能者1名の氏名、連絡先
8. 2012年9月28日(金)
9. ①980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-05 東北大学大学院工学研究科応用物理学専攻 工藤成史  
②宮崎 讓 電話022-795-7970 miya crystal.apph.tohoku.ac.jp
10. 封筒に「教員応募書類在中」と朱書き簡易書留で送付。応募書類原則不返却。

## ■名古屋工業大学大学院工学研究科助教

1. 助教1名
2. 機能工学専攻エレクトロニクス分野、工学部第一部電気電子工学科及び第二部電気情報工学科
3. 強相関電子系分野。新たな熱電・磁性・超伝導材料等の物質合成と電子物性評価を行うことを求める。電子材料開発やデバイスへの展開に強い意欲を持つと共に基礎に踏み込んだ研究を行う人材を求む。
4. 2013年4月1日
5. 5年、任期解除有
6. 着任時点での博士号取得者(Ph.D含)。大学及び大学院で教育・研究指導を行う能力があり、特に共通教育の物理学の担当に熱意と責任を持てる方
7. ○履歴書 ○研究業績一覧 ○その他業績 ○主要論文別刷 ○今迄の研究の概要と今後の研究に関する抱負 ○教育に関する抱負 ○照会可能者2名
8. 2012年9月30日(日)必着
9. 466-8555 名古屋市昭和区御器所町名古屋工業大学機能工学専攻 大原繁男 ohara.shigeo nitech.ac.jp
10. 封筒に「教員(助教)応募書類在中」と朱書き簡易書留で送付。詳細は必ず

<http://www.nitech.ac.jp/intro/saiyo/1542.html> 参照。

## ■宇都宮大学大学院工学研究科准教授

1. 准教授1名
2. 情報システム科学専攻応用数学研究室
3. 応用数学又は数理物理学。基盤教育及び工学部における数学領域の基礎教育を担当し、学部と大学院での上記専門分野の教育と研究指導を行い、活発な研究活動と共に学内の管理運営に寄与できる方。
4. 2013年4月1日
5. なし
6. 博士号取得者
7. ○履歴書 ○業績目録 ○主要著書・論文別刷5編以内 ○研究業績概要(A4, 1枚, 約2,000字) ○教育に関する抱負(A4, 1枚, 約2,000字) ○推薦書1通 ○照会可能者2名(推薦人含む)の氏名、連絡先
8. 2012年10月15日(月)必着
9. 321-8585 宇都宮市陽東7-1-2 宇都宮大学工学部情報工科学科長室 電話028-689-6265 secretar is.utsunomiya-u.ac.jp
10. 封筒に「情報システム科学専攻准教授応募書類在中」と朱書き簡易書留で送付。応募書類不返却。記入必要事項等詳細は <http://www.utsunomiya-u.ac.jp/kyouin-koubou/index.html> 参照。

## 学術的会合

### 学術的会合の標準様式(1件500字以内)

掲載されている例を参考にして、次の項目中、必要なものを簡潔に作成して下さい:  
○会合名 ○主催 ○日時(西暦年月日、曜日) ○場所(会場名の後に括弧して郵便番号、住所、電話) ○内容(1行18字で12行以内) ○定員 ○参加費(物理学会員、学生の参加費) ○申込締切(講演、参加、抄録、原稿提出の別を明記) ○連絡先(郵便番号、住所、所属、担当者名、電話、Fax、e-mail等) ○その他(1行18字で5行以内)

### ■サマー・サイエンスキャンプ2012

主催 科学技術振興機構  
日時 2012年7月23日(月)～8月26日(日)の内、2泊3日～5泊6日  
場所 大学、公的研究機関、民間企業等63会場。詳細はWeb参照。  
内容 先進的な研究テーマに取り組んでいる日本各地の大学・公的研究機関、民間

企業等で、第一線の研究者、技術者等から本格的な講義、実験、実習を受けることができる、高校生のための科学技術体験合宿プログラム。

定員 会場毎8～40名(計989名)

参加費 2,000円(食費の一部に充当、交通費は自己負担)

申込 <http://rikai.jst.go.jp/sciencecamp/camp/> より募集要項・参加申込書入手、必要事項を記入の上、事務局宛郵送。

連絡先 102-0091 東京都千代田区北の丸公園2-1 日本科学技術振興財団振興事業部内 サイエンスキャンプ本部事務局 電話 03-3212-2454 Fax 03-3212-0014 camp jsf.or.jp

その他 応募資格は高等学校、中等教育学校後期課程又は高等専門学校(1～3学年)等に在籍する生徒。

### ■市民講座「やさしい表面科学 低炭素社会とまざつ」

主催 日本表面科学会中部支部

協賛 日本物理学会

日時 2012年7月28日(土)13:00～17:05

場所 名城大学名駅サテライト(452-0002 名古屋市中村区名駅3-26-8 名古屋駅前桜通ビル13階)

内容 低炭素社会の実現に向けた超低摩擦研究の最前線と、いかに摩擦の低減が社会に貢献できるかを紹介する市民講座

定員 100名

参加費 無料

申込 e-mailにて連絡先迄。「やさしい表面科学 申し込み」と明記し、参加人数、氏名、所属(学校名、職業)、連絡先を記入。

聴講申込締切 2012年7月23日(月)

連絡先 470-0195 日進市岩崎町阿良池12 愛知学院大学 城 貞晴 電話0561-73-1111(内線3143) sadaharu dpc.agu.ac.jp [http://www.sssj.org/cyubu/Shimin\\_Kouza/shimin\\_chubu\\_2012.html](http://www.sssj.org/cyubu/Shimin_Kouza/shimin_chubu_2012.html)

### ■科研費新学術領域研究「半導体における動的相関電子系の光科学」公開フォーラム—光科学の新しい可能性に挑戦する—

主催 科研費新学術領域研究「動的相関光科学」総括班

日時 2012年8月6日(月)

場所 東京大学小柴ホール(113-0033 東京都文京区本郷7-3-1)

内容 山本喜久(国立情報学研究所) 励起子ポラリトンの量子凝縮と超流動、五神真(東大) 極低温励起子気体のボース・アインシュタイン凝縮転移、上田正仁

〈東大〉マックスウェルの悪魔と情報熱力学、安藤恒也(東工大)カーボンナノチューブの励起子、秋山英文(東大物性研)低次元半導体レーザーの非線型光学利得、小川哲生(阪大)半導体励起状態はどこまで分かったか?、田中耕一郎(京大)半導体におけるテラヘルツ非線型伝導、金光義彦(京大)半導体のマルチエキシトン生成と太陽電池、十倉好紀(東大)巨大ラッシュバ分裂半導体の光応答

定員 150名

参加費 無料

申込 事前申込制。

参加申込締切 定員になり次第

連絡先 科研費新学術領域研究「半導体における動的相関電子系の光科学」事務局  
dyce issp.u-tokyo.ac.jp

その他 詳細は <http://www.dyce-opt.org/activity/international/forum.html> 参照。

### ■平成24年度未踏科学サマー道場「材料科学・生命科学を変革するソフトマテリアル、その研究の最前線」

主催 未踏科学技術協会

後援 日本物理学会、他

日時 2012年8月16日(木)~18日(土)

場所 湘南国際村センター (240-0198 神奈川県三浦郡葉山町上山口1560-39 電話046-855-1800)

内容 ソフトマテリアルの応用と最新事情

定員 80名

参加費 企業40,000円、大学・公的研究機関20,000円、学生5,000円

参加申込締切 定員になり次第

ポスター発表申込締切 2012年7月20日(金)

連絡先 105-0003 東京都港区西新橋1-5-10 未踏科学技術協会サマー道場事務局

大貫 電話 03-3503-4681 Fax 03-3597-0535 mitohsci2012 snnt.or.jp <http://www.snnt.or.jp>

その他 詳細は [http://www.snnt.or.jp/summer/prg/prog\\_11.php](http://www.snnt.or.jp/summer/prg/prog_11.php) 参照。

### ■国際シンポジウム「科学の不定性と社会〜いま、法廷では..?〜」

主催 JST/RISTEX プロジェクト「不確実な科学的状況での法的意思決定」科学グループ

後援 日本物理学会

日時 2012年8月26日(日)

場所 一橋記念講堂(101-0003 東京都千代田区一ツ橋2-1-2 電話03-4212-6321)

内容 科学技術が関わる意思決定では、社会的文脈と科学的不定性の階層に整合した議論が求められる。その為、社会的文

脈での科学的不定性の分類と、それに応じた制度設計が必要になる。いわゆる科学裁判は、制度(議論の手続き)が判断の合理性に与える影響を顕著に観察出来るという点で、科学コミュニケーションの立場からも興味深い対象である。本シンポジウムでは日本の裁判での科学的知見、特に不定性の取り扱いを制度面から取り上げ、不定性分類(Stirling)の試みや海外の法廷における取り組み(McClellan)などとも比較することにより、解決すべき課題と方策を議論する。これにより、法廷は無論、社会的意思決定一般での科学的知見の活用についても、新しい視点から問題提起する。

定員 500名

参加費 無料

連絡先 東北大理 大石・本堂 電話022-795-5823 sy826 mail.sci.tohoku.ac.jp <http://www.sci.tohoku.ac.jp/hondou/0826/>

### ■第69回熱測定講習会「初心者のための熱分析の基礎と応用」

主催 日本熱測定学会

日時 2012年8月30日(木)~31日(金)

場所 京都府立大学(606-8522 京都市左京区下鴨半木町1-5)

内容 講義(8/30): 化学熱力学の基礎/高分子の熱分析-DSCの基礎と応用/無機系材料の熱分析-DSCの応用とTG(-DTA)の活用/医薬品の熱分析/生体分子の熱分析-蛋白質溶液用DSCとITCの活用。実習(8/31): (A)~(D)から3課題選択。内2課題に取り組める(調整は主催者に一任)。(A) 高分子の熱分析、(B) 医薬品の熱分析、(C) 無機系材料の熱分析、(D) 生体分子の熱分析。

定員 8/30: 約60名、8/31: 約40名

参加費 (テキスト、消費税含) 全日程: 30,000円、学生7,000円。講義のみ16,000円、学生4,500円。実習のみ16,000円。

申込 所定の申込書(日本熱測定学会HPからダウンロード可)に記入後、郵送かFAX送付(電話不可)

参加申込締切 定員到達次第

連絡先 101-0032 東京都千代田区岩本町1-6-7 宮澤ビル601 日本熱測定学会事務局 電話03-5821-7120 Fax 03-5821-7439 netsu mbd.nifty.com <http://www.netsu.org>

その他 参加費の払戻はしない。個別相談の質問は、別紙(様式任意)に記し申込書と共に送付。実習参加者は講義への参加を推奨。

### ■第2回「超低速ミュオン顕微鏡が拓く物質・生命・素粒子科学のフロンティア」領域会議

主催 科研費新学術領域研究「超低速ミュオン顕微鏡が拓く物質・生命・素粒子科学のフロンティア」総括班

日時 2012年8月30日(木)~9月1日(土)

場所 北海道大学理学部大講堂(060-0810 札幌市北区北10条西8丁目)

内容 超低速ミュオン顕微鏡は、物質の表面近傍から内部にわたる現象の走査的な観測により、表面とバルクの関係性、界面が作り出す諸現象、生命科学、更には標準理論を越える素粒子物理のフロンティア等広い科学分野の研究に貢献する画期的なツールである。超低速ミュオン顕微鏡により行われる科学研究を分野を越えて検討し、その可能性を議論する。領域外からの参加も歓迎。

定員 なし

参加費 無料

参加申込締切 2012年7月31日(火)

連絡先 400-8511 甲府市武田4-3-11 山梨大学大学院医学工学総合研究部鳥養研究室「超低速ミュオン顕微鏡が拓く物質・生命・素粒子科学のフロンティア」領域事務局 slowmuon yamanashi.ac.jp [http://slowmuon.jp/second\\_annual\\_meeting.html](http://slowmuon.jp/second_annual_meeting.html)

その他 領域会議に先立ち8月29日(水)に初心者を対象としたプレスクールを開催。詳細はHP参照。

### ■第15回XAFS討論会

主催 日本XAFS研究会

協賛 日本物理学会

日時 2012年9月10日(月)~12日(水)

場所 白兔会館(680-0833 鳥取市末広温泉町556 電話0857-23-1021)

内容 X線吸収微細構造(XAFS)及び関連現象に関する理論、解析方法、実験技術、基礎及び応用に関する発表、招待講演、懇親会

参加費 3,000円、学生1,000円

講演申込 e-mailで1) 題目、2) 発表者氏名、3) 所属、4) 200字程度の概要、5) 希望発表形式、6) 申込者連絡先を明記の上、連絡先迄

講演申込締切 2012年7月16日(月)

連絡先 680-8552 鳥取市湖山町南4-101 鳥取大学大学院工学研究科 奥村 和 電話0857-31-5257 Fax 0857-31-5684 okmr chem.tottori-u.ac.jp <http://www.katalab.org/JXAFS15/index.html>

### ■第3回社会人のための表面科学ワークショップ

主催 日本表面科学会  
協賛 日本物理学会  
日時 2012年9月20日(木)~21日(金)  
場所 早稲田大学国際会議場(169-0051 東京都新宿区西早稲田1-20-14 電話03-5286-1755)  
内容 第1日: 表面科学概論, 表面の構造, 表面の電子状態I, 表面の電子状態II, 演習I. 第2日: 電子論と吸着モデル, 分子の表面拡散と脱離, 表面における吸着・脱離平衡, 演習II, 表面の電子状態と触媒活性.  
定員 100名  
参加費 30,000円, 学生9,000円  
参加申込締切 2012年9月14日(金)  
連絡先 113-0033 東京都文京区本郷2-40-13 本郷コーポレーション402 日本表面科学会 電話03-3812-0266 Fax 03-3812-2897 shomu sssj.org <http://www.sssj.org>

### ■第22回格子欠陥フォーラム・励起ナノプロセス研究会合同シンポジウム「材料科学のための欠陥制御・評価」

主催 日本物理学会領域10格子欠陥・ナノ構造分科, 応用物理学会励起ナノプロセス研究会  
日時 2012年9月21日(金)13:30~22日(土)夕方  
場所 マホロバ・マイズ三浦(238-0101 三浦市南下浦町上宮田3231 電話0120-046-889)  
内容 本研究会では, 新規ナノ材料の創生や半導体デバイスの高品質・高性能化や超微細化等「材料科学のための欠陥制御・評価」に関して, 最前線で活躍する異分野の研究者が一堂に会して, 意見交換を通じて基礎研究の充実と応用研究の推進につなげる場とする.

定員 60名  
参加費 20,000円(宿泊・食事代含む. 予算状況により学生は減額の可能性有)  
参加申込締切 2012年8月31日(金), 定員になり次第締切  
連絡先 560-0043 豊中市待兼山町1-1 大阪大学大学院理学研究科物理学専攻核物質学グループ 電話/Fax 06-6850-6734 mihara vg.phys.sci.osaka-u.ac.jp <http://div.jps.or.jp/r10/LatticeDefect/index.html>

### ■Conference on Computational Physics 2012

主催 国際純粋応用物理学会連合, 他

共催 日本物理学会  
日時 2012年10月14日(日)~18日(木)  
場所 ニチイ学館神戸ポートアイランドセンター(650-0047 神戸市中央区港島南町7-1-5 電話078-304-5991)  
内容 純粋物理学, 応用物理学, 物理学を基礎とした化学, 生物学, 工学, 気象学等関連学術分野, 及び物理の産業応用に関する計算科学・技術の国際会議. 欧州, 米国, アジアと毎年移動しながら開催. 新しい試みとして, 計算科学の横糸である計算手法による学際的なセッションとbio-computing等分野別セッションのハイブリッド形式で学際的な交流も図る. 11月からの「京」コンピュータの一般利用開始を祝賀することも目的とする.

定員 500名  
参加費 30,000円, 学生20,000円  
講演申込, 概要提出締切 2012年8月31日(金)  
参加登録締切 早割: 2012年7月31日(火) 最終: 9月10日(月)  
Proceedings論文締切 2012年11月19日(月)  
連絡先 565-0871 吹田市山田丘2-6 大阪大学レーザーエネルギー学研究所 高部英明 電話06-6879-8731 Fax 06-6879-8719 ccp2012 ile.osaka-u.ac.jp <http://www.ile.osaka-u.ac.jp/CCP2012/>

### その他

#### 助成公募の標準様式(1件500字以内)

○名称 ○対象(1行18字で7行以内)  
○助成内容 ○応募方法(1行18字で4行以内) ○応募締切(西暦年月日, 曜日)  
○詳細問合せ先(郵便番号, 住所, 所属, 担当者名, 電話, Fax, e-mail等)

その他 ○標題 ○内容 ○連絡先

#### ■2012年度仁科記念賞候補者推薦依頼

対象 広い意味の原子物理学及びその応用に関し, 優れた研究業績をあげた比較若い研究者を表彰.  
顕彰 賞状, 賞牌及び副賞(50万円/件)を贈呈  
推薦方法 以下の書類各1部をe-mail又は郵送にて送付. 書類の形式は電子ファイル(Word(拡張子.doc)又はpdfファイル)が望ましい. ○仁科記念賞推薦票(A4, 1枚, 様式自由, 本財団HPに様式有): 候補者氏名(英文表記付す)・年齢・所属・職・連絡先(勤務先電話・e-mail等), 業績題目(和文・英文), 業績要旨(約10~20行), 推薦者氏名・所属・職・連

絡先(自宅又は勤務先所在地・電話・Fax・e-mail), 候補者と推薦者との関係 ○推薦理由書(A4, 約2~3枚, 参考となる論文リスト含む, 共同研究の場合は各候補者の役割分担), 略歴(推薦者が分かる範囲にて可) ○特に対象となる業績の論文5編以内

推薦締切 2012年8月31日(金)

送付先 113-8941 東京都文京区本駒込2-28-45 仁科記念財団 電話03-3942-1718 nishina-koubo nishina-mf.or.jp  
その他 詳細は <http://www.nishina-mf.or.jp> 参照.

#### ■高エネルギー加速器科学研究奨励会「西川賞・小柴賞・諏訪賞・熊谷賞」候補者募集

対象 西川賞: 高エネルギー加速器及び加速器利用に関する実験装置の研究において, 独創性に優れ, 且つ論文発表され, 国際的にも評価の高い業績を上げた, 原則として50歳以下(応募締切時)の単数又は複数の研究者・技術者. 小柴賞: 素粒子研究の為に粒子検出装置の開発研究において, 独創性に優れ, 国際的にも評価の高い業績を上げた, 原則として50歳以下(応募締切時)の単数又は複数の研究者・技術者. 諏訪賞: 高エネルギー加速器科学の発展上, 長期にわたる貢献等特に顕著な業績があったと認められる研究者・技術者・研究グループ. 熊谷賞: 研究開発, 施設建設等長年の活動を通じて, 高エネルギー加速器や加速器装置の産業応用に顕著な貢献が認められる加速器関係者.

賞の内容 表彰盾, 賞金30万円(各賞1件当たり). 表彰件数: 各賞合計で年5件以内

応募方法 以下の書類を提出. ○推薦書(<http://www.heas.jp/award/suisensyo.doc>の様式に従う) ○選考資料(研究業績に関する発表論文3編以内のコピー各2部)  
応募締切 2012年10月5日(金)  
書類提出・問合せ先 305-0801 つくば市大穂1-1 高エネルギー加速器研究機構内 高エネルギー加速器科学研究奨励会 電話/Fax 029-879-0471 info heas.jp <http://www.heas.jp/>

■会員専用ページ：ユーザ名とパスワード

本会 web site (<http://www.jps.or.jp/>) の会員専用ページには、各種変更届、刊行委員会報告、過去の大会プログラム等の情報を掲載しています。アクセスするためのユーザ名とパスワード(今月と来月

分)は次の通りです。(英数字は半角入力, 大文字小文字は区別されます。)

7月 ユーザ名 : 12Jul  
パスワード: Wilson826  
8月 ユーザ名 : 12Aug  
パスワード: Zernike800

## 行事予定

[詳しくは表中の右欄記載の会誌各巻号の揭示板欄(\*印は会告欄)をご参照下さい.]

開催月日	名 称	開催地	会誌巻号または世話人
2012年			
7/4~6	The 4th Int. Workshop on the Dual Nature of f-electrons	姫路市(兵庫)	67-3
7/6	日本真空学会関西支部&日本表面科学会関西支部合同セミナー2012 生物に学ぶさまざまな機能一環境に調和した自然界の知恵一	神戸市	67-5
7/10~12	第53回表面科学基礎講座	東京	67-5
7/19	日本磁気学会第185回研究会「日本磁気学会と元素戦略」	東京	67-6
7/21~23	第10回ESR夏の学校	仙台市	67-5
7/23~8/26	サマー・サイエンスキャンプ2012	日本各地	67-7
7/28	市民講座「やさしい表面科学 低炭素社会とまさつ」	名古屋市	67-7
8/1~4	非平衡系の物理一その普遍的理解を目指して一	京都市	67-6
8/3	第40回薄膜・表面物理セミナー(2012)半導体SiCの基礎と応用(省エネ・低炭素社会を目指したパワーデバイス開発の将来)	東京	67-5
8/6	科研費新学術領域研究「半導体における動的相関電子系の光科学」公開フォーラム一光科学の新しい可能性に挑戦する一	東京	67-7
8/6~8	第18回(2012年)結晶工学スクール	東京	67-6
8/6~10	第57回物性若手夏の学校	岐阜市	67-5
8/16~18	平成24年度未踏科学サマー道場「材料科学・生命科学を変革するソフトマテリアル, その研究の最前線」	葉山町(神奈川)	67-7
8/20~25	The 20th Int. IUPAP Conf. on Few-Body Problems in Physics	福岡市	67-3
8/26	国際シンポジウム「科学の不定性と社会~いま, 法廷では..?~」	東京	67-7
8/26~31	第21回ヤーン・テラー効果に関する国際会議	つくば市(茨城)	67-3
8/30~31	第69回熱測定講習会「初心者のための熱分析の基礎と応用」	京都市	67-7
8/30~9/1	第2回「超低速ミュオン顕微鏡が拓く物質・生命・素粒子科学のフロンティア」領域会議	札幌市	67-7
9/3~7	19th WIEN2k WORKSHOP	東京	67-3
9/3~7	第21回コンピューターショナル・マテリアルズ・デザイン(CMD)ワークショップ	豊中市(大阪)	67-6
9/4~5	第28回分析電子顕微鏡討論会	千葉市	67-6
9/5~8	フレキシブル・プリンテッド・エレクトロニクス国際会議2012(ICFPE2012)	東京	67-2
9/7~9	Summer School 数理物理2012「結び目の数理と物理」	東京	67-5
9/10~12	第15回XAFS討論会	鳥取市	67-7
9/10~13	Principles and Application of Control for Quantum Systems	東京	67-6
9/11~14	日本物理学会2012年秋季大会(京産大)(素粒子, 核物理, 宇宙線, 宇宙物理)	京都市	日本物理学会
9/18~21	日本物理学会2012年秋季大会(横浜国大)(主として物性)	横浜市	日本物理学会
9/20~21	第3回社会人のための表面科学ベーシック講座	東京	67-7
9/21~22	第22回格子欠陥フォーラム・励起ナノプロセス研究会合同シンポジウム「材料科学のための欠陥制御・評価」	三浦市(神奈川)	67-7
9/23~28	IUMRS-ICEM2012シンポジウムD-5「先進計算材料科学・工学 Advanced Computational Materials Science and Engineering」	横浜市	67-3
9/24~28	14th Int. Conf. on Vibrations at Surfaces	神戸市	67-3
10/14~18	Conf. on Computational Physics 2012	神戸市	67-7
10/21~25	第25回固体内原子衝突に関する国際会議	京都市	66-10
12/3~5	第25回国際超電導シンポジウム(ISS2012)	東京	67-6
12/3~8	The 4th Int. Symp. on Slow Dynamics in Complex Systems一頑張ろう東北一	仙台市	67-5

開催月日	名 称	開 催 地	会誌巻号または世話人
2013年 3/26~29	日本物理学会第68回年次大会(広島大)	東広島市(広島)	日本物理学会
9/20~23	日本物理学会2013年秋季大会(高知大)(素粒子,核物理,宇宙線,宇宙物理)	高知市	日本物理学会
9/25~28	日本物理学会2013年秋季大会(徳島大)(主として物性)	徳島市	日本物理学会

## 編集後記

昨年の10月より新著紹介委員を勤めさせていただいておりますが、何の因果か今年の4月より新著紹介小委員会の委員長を引き受けることとなりました。4月の編集会議にはじめて出席し「編集委員会はこんな雰囲気なのか」と眺めていたところ、さっそく編集後記を執筆しろとのこと。編集委員としてはまだ何も仕事をしていませんので、新著紹介欄のことを少し書きたいと思います。

新著紹介欄では、最近出版された本の紹介を行っていますが、どのような本を紹介すべきか、小委員会では議論になります。むろん真剣な議論なのですが、なぜか途中から「硬派な本」vs.「軟派な本」という議論になりました。硬派な本とは物理の専門書や教科書のこと、軟派な本とは啓蒙書や文系の本のことです。何で「硬派」か「軟派」になってしまったかよくわからないのですが、言いやすいので途中からこんな表現になってしまったようです。むろん、どちらの種類の本も大切だとは思いますが、新著紹介欄で物理学会員に面白い本を紹介するのが使命であることを考えると、「硬派な本」はある割合以上必要なのかな、と思っています。

それでも私は「軟派な本」に少々個人的な思い入れをもっています。例えば、私が大学院生時代に出会った本川達雄著『ゾウの時間・ネズミの時間』は大変に印象に残る著作でした。生物学的時間と物理的サイズの関係を論じた啓蒙書で、伝統的な物理学とは趣きを異にしていますが、大変感

銘を受けました。同じく大学院生時代に出会った山本義隆著『重力と力学的世界；古典としての古典力学』は、大学院時代に物理を続けようかどうか迷っていた私にとって、大変に影響を受けた著作です。ちなみにこの山本義隆さんの本のあとがきには「物性研究所の図書館に図書を借りたのだが、よくわからない理由によって拒否された」云々といった恨み言が記されているのですが、実はその当の物性研究所図書館にこの『重力と力学的世界』がおいてあったので、苦笑しました。当時の六本木の物性研図書館は、生産研究所の石造りの建物の一角にあり、趣のある図書館でした。今では一部を除いて取り壊されてしまっていて、当時の面影はほとんど残っていません。

ところで最近、そのような啓蒙書を読む時間がとれなくなってきました。本屋に立ち寄ると、楽しそうな本の表紙がいろいろと目にはいつてくるのですが、読む時間がとれそうにないと思って買うのをあきらめていました。しかし、新著紹介委員を引き受けてから、よい啓蒙書を探索する仕事ができってしまった(?)ので、また再び最近の啓蒙書に注目するようになっていきます。なるべく啓蒙書を読みたいので、トイレに小さな本棚を置いて本をそこに置いておくことにしました。こうすると、はじめから通して読むことはできないのですが、適当な場所を拾い読みすることができます。これでいままでもよりはずっと啓蒙書に触れる機会が増えました。新著紹介委員の仕事を引き受けて少しはいいことがあったのかな、と思います。

そういえば、編集会議でも「専門分野外の人にも研究を分かってもらえるようにすること」が会誌の重要な役割であることが盛んに強調されていました。分野外の人にも分かるという点では、啓蒙書の存在も重要ではないかなと思うのですが、いかがでしょうか。今後も新著紹介小委員会で「硬派な本」に混じって、分野外の人にも手に取れるような「軟派な本」をうまく紹介していけたらと思います。1年間どうぞよろしくお願いいたします。

加藤岳生 <

### 編集委員

旭 耕一郎(委員長), 宮下 精二,  
有田亮太郎, 板橋 健太, 伊藤 克司,  
遠藤 仁, 小川 了, 北島 昌史,  
小島智恵子, 佐藤 丈, 佐藤 実,  
島野 亮, 鈴木 陽子, 竹内 幸子,  
田中 秋広, 谷本 久典, 田村 忠久,  
樽家 篤史, 西野 晃徳, 長谷川太郎,  
平山 博之, 藤谷 洋平, 藤山 茂樹,  
古川はづき, 古川 勝, 宮本 良之,  
加藤 岳生

### (支部委員)

朝日 孝尚, 石井 史之, 奥西 巧一,  
岸田 英夫, 久保木一浩, 酒井 彰,  
仲野 英司, 野村 清英, 松井 広志,  
水野 義之

### 新著紹介小委員会委員

加藤 岳生(委員長), 雨宮 高久,  
木村 元, 榊田 創, 柴田 絢也,  
竹延 大志, 多田 司, 多田 朋史,  
中川 賢一, 村山 能宏, 森川 雅博,  
矢向謙太郎, 吉越 貴紀, 渡邊 紳一

Nonequilibrium Molecular Dynamics Simulation of Interacting Many Electrons Scattered by Lattice Vibrations..... Fan LEE, Tatsuro YUGE, and Akira SHIMIZU

Microscopic Derivation of Ginzburg-Landau Equations for Coexistent States of Superconductivity and Magnetism ..... Kazuhiro KUBOKI and Keiji YANO

Recombination Dynamics of High-Density Photocarriers in Type-II Ge/Si Quantum Dots ..... Takeshi TAYAGAKI, Kei UEDA, Susumu FUKATSU, and Yoshihiko KANEMITSU

Au Spin Polarization Induced in an Fe/Au(001) Multilayer with Interlayer Exchange Coupling from the X-ray Energy Dependence of Resonant X-ray Magnetic Scattering at the Au  $L_3$  Absorption Edge..... Nobuyoshi HOSOITO, Kenji KODAMA, and Ryuichiro YAMAGISHI

Paramagnetic Phase of a Heavy-Fermion Compound, CeFePO, Probed by  $^{57}\text{Fe}$  Mössbauer Spectroscopy ..... Tetsuro NAKAMURA, Takashi YAMAMOTO, Masanori MATOBA, Yasuaki EINAGA, and Yoichi KAMIHARA

Electric and Magnetic Properties of bcc Fe Based Multicomponent Alloys ..... Krystyna PERZYŃSKA, Krzysztof SZYMAŃSKI, Maria BIERNACKA, Anna GO, Wojciech OLSZEWSKI, Dariusz OLESZAK, Katarzyna REŃKO, Janusz WALISZEWSKI, Piotr ZALESKI, and Ludwik DOBRZYŃSKI

Effects of Pressure on Two-Dimensional Networked Single-Molecule Magnets Exhibiting AC-Field-Switchable Magnetic Properties ..... Masaki MITO, Masashi OGAWA, Hiroyuki DEGUCHI, Masahiro YAMASHITA, and Hitoshi MIYASAKA

Quantum Spin Pumping Mediated by Magnon ..... Kouki NAKATA

Variational Monte Carlo Study of Spin-Gapped Normal State and BCS-BEC Crossover in Two-Dimensional Attractive Hubbard Model ... Shun TAMURA and Hisatoshi YOKOYAMA

Curvature Effects on Magnetoelectronic Properties of Nanographene Ribbons..... Chiun-Yan LIN, Szu-Chao CHEN, Jhao-Ying WU, and Ming-Fa LIN

**SHORT NOTES**

A Kinetic Study on the Response of the Relaxation Time of the  $\alpha$  Process to Quick Temperature Change around the Glass Transition ..... Akihiro HARADA, Takashi OIKAWA, Haruhiko YAO, Koji FUKAO, and Yasuo SARUYAMA

Measurements and Phase-Shift Analysis of the Differential Cross Sections for the Elastic Scattering in  $\text{C}^{2+}$ -He System at  $E_{\text{cm}} = 2.8\text{eV}$ ..... Yoh ITOH

**PROGRESS OF THEORETICAL PHYSICS**

**Vol. 127, No. 6, June 2012**

**Papers**

*General and Mathematical Physics*

Time-Reversal Symmetry in Non-Hermitian Systems ..... Masatoshi Sato, Kazuki Hasebe, Kenta Esaki and Mahito Kohmoto

Does CHSH Inequality Test the Model of Local Hidden Variables? ..... Kazuo Fujikawa

Conditional Measurement in Noncontextual Hidden-Variable Models ..... Kazuo Fujikawa

Quantum Computational Riemannian and Sub-Riemannian Geodesics ..... Kosuke Shizume, Takao Nakajima, Ryo Nakayama and Yutaka Takahashi

*Particles and Fields*

The Chiral Heat Effect ..... Taro Kimura and Tatsuma Nishioka

*Nuclear Physics*

Tensor Optimized Few-Body Model for s-Shell Nuclei ..... Kaori Horii, Hiroshi Toki, Takayuki Myo and Kiyomi Ikeda

The Complex Energy Method Applied to the Nd Scattering with a Model Three-Body Force ..... Aye Mya Phyu, Hiroyuki Kamada, Jacek Golak, Htun Htun Oo, Henryk Witała and Walter Glöckle

*Astrophysics and Cosmology*

Constraining Galileon Gravity from Observational Data with Growth Rate ..... Koichi Hirano, Zen Komiya and Hisato Shirai

On the Physical Interpretation of  $\delta = 2$  Tomimatsu-Sato Solution ..... Vladimir S. Manko

Regularization of Kerr-NUT Spacetimes and Their Thermodynamical Quantities ..... Gamal G. L. Nashed

*Experimental Physics*

Symplectic Expression for Chromatic Aberrations ..... Yuji Seimiya, Kazuhiro Ohmi, Demin Zhou, John W. Flanagan and Yukiyoshi Ohnishi

**Letters**

Quadrupole Excitation of Tin Isotopes in Extended Random-Phase Approximation ..... Mitsuru Tohyama

**Errata**

Formulation of Complex Action Theory (Vol. 126, p. 1021) ..... Keiichi Nagao and Holger Bech Nielsen

Non-Abelian Gauge Field Localized on Walls with Four-Dimensional World Volume (Vol. 124, p. 71) ..... Kazutoshi Ohta and Norisuke Sakai