

Title	高温超伝導の父、K. Alex Müller教授80歳の誕生日を祝して開かれた国際会議DELFS III
Author(s)	安藤, 陽一
Citation	大阪大学低温センターだより. 142 p.22-p.24
Issue Date	2008-04
oaire:version	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/11639
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

高温超伝導の父、K. Alex Müller教授 80歳の誕生日を祝して開かれた国際会議DELFS III

産業科学研究所 安藤 陽一（内線8440）

K. Alex Müller教授は1986年に共同研究者のJ. Georg Bednorz博士と共に層状銅酸化物が高温超伝導を示すことを発見し、翌年のノーベル物理学賞を受賞した。その後Müller教授はチューリヒ大学において今日まで20年以上、独自の立場から高温超伝導の研究を続けており、高温超伝導の父として尊敬を集めている。そのMüller教授が2007年4月に80歳の誕生日を迎えたのを祝して、5月23日から26日にかけて米国ニューヨーク州のロングアイランドにあるPort Jeffersonという小さな町でアットホームな雰囲気国際会議が開かれた。

会議のタイトルは「Dynamic Energy Landscapes in Functional Systems (DELFS) III」という、具体的に何がテーマなのか俄かには判り難いものだったが、これはMüller教授の研究ポリシーに由来する。つまり、Müller教授は高温超伝導研究の初期の頃から一貫して銅酸化物中での本質的な相分離（電子と格子歪の自己組織化）とそれに伴うエネルギー階層の複雑化が高温超伝導現象の背景にあると提唱しており、これを理解するためには生物物理学のように複雑なエネルギー階層を扱う学問との交流が必要だと考えて小規模な国際会議を組織した。その会議シリーズの3回目を記念イベントとしたのが今回の会議である。（恥ずかしながら筆者はこの会議に出るまで、「エネルギーランドスケープ」がタンパク質などの動的性質を理解する上で重要な概念であることを知らなかった。）日本からはMüller教授と親しい研究者が筆者を含めて3人招待されて参加した。実は筆者はこの年の4月から阪大に移ったばかりであり、研究室の立ち上げで金欠症なので初めは招待を断るつもりだったが、主催者から「Alex specifically requested that you be invited.」と言われてしまい、大変お世話になっているMüller教授のためにロックインアンプ1/2個分の予算を使って参加してきた次第である。

ところが会議が始まってみると、肝心のMüller教授が健康上の理由で急に来られなくなった、とのこと。結局主賓が欠けた会議となったが、Müller教授の人徳と交友範囲の広さを反映して、John Goodenough（金森 グッドイナフ則で有名）、Alan Heeger（導電性ポリマーでノーベル賞受賞）、Neil Ashcroft（固体物理の教科書で有名）、Hans Frauenfelder（生物物理学の元締めの存在）、Peter Wolynes（タンパク質のフォールディング理論で有名）など、高温超伝導とは離れた分野から“大物”物理学者が参加し、彼らが奥の深い質問で質疑応答を盛り上げてくれたので、会議自体

は非常に面白いものになった。

会議の内容の具体的な紹介に入る前に、高温超伝導の研究分野における社会学について少し解説しておきたい。現在のところ、分野のマジョリティは「スピン派」である。このスピン派の中にも強結合派（強い電子相関のためにRVB理論などで記述されるエキゾチックな電子状態が実現していると考えられる流派）と弱結合派（フェルミ液体に摂動としてのスピン揺らぎを入れれば肝心の物理は記述できると考える流派）があって論争しているが、高温超伝導体の中には均一な電子状態が存在している点では基本的に共通している。（ただし強結合派の中には強い電子相関の帰結として電荷ストライプのような不均一な電子状態ができると考える人もいる。）このスピン派に対して、結晶格子の自由度の重要性を考える「フォノン派」はマイノリティとなっている。単純なBCS的役割のフォノンでは高温超伝導が出ないことは明らかなので、フォノン派の人は通常、電荷と格子の強い結合の結果バイポーラロンや電荷ストライプなどの“空間的不均一性”が生じ、これが高温超伝導の舞台を提供していると考えられる。高温超伝導の本質を均一と見るか不均一と見るか、スピン派とフォノン派では基本的な出発点が異なるので議論も噛み合わないことが多く、会議やワークショップなども往々にして別個に開かれている。さらにスピン派とフォノン派のどちらにも属さない、電荷揺らぎなどの重要性を考える人たちもいるが、やはりマイノリティである。ただ高温超伝導のメカニズムは多数決で決まるわけではなく、どの理論が真理に最も近いかは最終的に実験が決めるものであることは言うまでもない。なお筆者は個人的には、スピン・フォノン・電荷揺らぎの3つすべてが重要で、これらが空間的不均一性を引き起こしつつ協奏的に高温超伝導を実現しているのではないか、という感触を持っている。（だから高温超伝導は難しい！）

さて、上記の分類で行くと今回の会議はフォノン派の会議ということになるが、議論の中心はフォノンではなく、高温超伝導体における不均一性および複雑なエネルギー階層構造の方であった。（実際、筆者は特にフォノン派に属しているわけではないにもかかわらず招待され、銅酸化物の輸送特性からわかる複雑なエネルギー階層構造に関する講演をした。）さらに今回の会議では高温超伝導に関する講演は毎日午前中のみで、午後にはタンパク質、DNA、ガラス、衝撃圧縮金属、プルトニウムなどの複雑な系におけるエネルギー階層構造や不均一性に関する幅広いテーマの講演が行われた。このテーマの拡がりにもかかわらず会議の参加者が「相分離」することはなく、とても充実した議論が展開された。例えばタンパク質における「エネルギーランドスケープ」がNMRによって測定でき、この情報がタンパク質のフォールディングなどの動的性質を理解する上で鍵になる、というのは筆者にとって新鮮な知識であり、このエネルギーランドスケープと高温超伝導体の複雑なエネルギー階層構造との類似点に関する議論をFrauenfelderやWolynesなどの大御所から聞くのは大きな知的刺激になった。高温超伝導体のような複雑な系における物理現象を理解するには、関連を持つ他の系についての知的見聞を広めて多角的な視野を持つことは大変有益であり、Müller教授が企図した会議の趣旨は十分実現していたと思う。

Müller教授は会議に出席すると必ず最前列に陣取って当を得た質問をするが、今回はそのように議論を引っ張るMüller教授がいなかった代わりにコーネル大学のAshcroft教授が大いに議論を盛り上げていた。Ashcroft教授自身は銅酸化物における不均一性の重要性についてはニュートラルな立

場に立っており、(固体物理学の有名な教科書の著者に相応しく)一般的な固体物理学の常識を踏まえて論点を明確にするような質問をほとんどのすべての講演に対して発していたので、聞いていて大変参考になった。またAshcroft教授は会議の冒頭で行った基調講演の中で高温超伝導研究の重要課題をいくつか挙げ、銅酸化物の常伝導輸送特性を理解すること、特に通常の準粒子描像を銅酸化物に適用してよいのかどうかを明らかにすることの重要性を強調していたが、これは輸送特性の測定を専門とする筆者にとって意を強くするものであった。

筆者は会議の期間中にAshcroft教授と銅酸化物の常伝導輸送特性に関して何度か議論したが、教授が基調講演で準粒子描像の妥当性の検証を強調した背景には、最近の高温超伝導研究における重要な進展である、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.5}$ におけるシュブニコフ・ドハース振動の観測 [N. Doiron-Leyraud et al., Nature 447, 565 (2007)] がある。この実験は、キャリア濃度が少ない「不足ドープ領域」と呼ばれる組成にある高温超伝導体に61 Tの強磁場をかけて“超伝導を壊したとき”のホール抵抗を測定し、低温で量子振動が現れるのを観測したものである。これまで不足ドープ領域にある銅酸化物の常伝導状態では通常のフェルミ液体に伴う準粒子は存在せず、「非フェルミ液体」として振舞う異常な金属状態が実現していると考えられてきた。これに対して量子振動の観測は通常のフェルミ面の存在を示唆するので、もしこれが実際に常伝導状態の電子に起因するものであれば従来のコンセンサスを覆すことになる。しかしながら、この実験が行われた磁場領域ではまだ超伝導が完全に壊れていない(磁場が超伝導を部分的に壊して量子化磁束の形で侵入した状態になっている)ので、量子振動を起こしている準粒子が超伝導状態に特有のものである可能性もあり、まだ結論は流動的である。つまりこの量子振動の実験は「不足ドープ領域の常伝導状態で準粒子描像が成立するか」という基本的問題に対する答えを与えていないので、Ashcroft教授がこの方面の研究の重要性を強調したのは実に時宜を得ている。(今後、筆者のグループでもこの問題を追究していく予定である。)

最後に、今回の会議で特に印象に残った高温超伝導に関する講演を一つ簡単に紹介したい。それはローレンスバークレー国立研究所のV. Kresinが講演したナノクラスターにおける高温超伝導の話である。金属クラスターでは粒径を小さくすると量子効果でエネルギー準位の離散化が起こり(久保効果) T_c が下がるというのが常識だが、Kresinによると、クラスター中の電子数が“魔法数”(例えば168)になるナノクラスターでは形状が真球形になるために電子状態が縮退し、状態密度に大きなピークが現れるため高い T_c が期待できる、とのことである。彼の計算では電子数が168となる Al_{56} で $T_c = 150$ Kである。もしこうしたナノクラスター間をクーパー対がトンネルできるように基板上に一列に並べられれば、高温で巨視的な超伝導電流を観測できるかもしれない、という興味をそそる提案をしていた。バルク物質で170 Kを超える高温超伝導体の探索が手詰まり状態にある現在、室温超伝導実現のためにはこのような意表をつくアプローチも必要かもしれない。

(ちょうど本稿を執筆している最中に、東工大の細野教授らが鉄のオキシニクタイト化合物で32 Kの高温超伝導を発見、というニュースが飛び込んできた。この物質系から銅酸化物を越える T_c をもつ物質が見つかる可能性もある。今後の進展に要注目である。)