

§ 6 . 仁科記念財団の活動

—1998年度—

1. 仁科記念賞

本年度は下記3件3氏の研究に対して贈呈しました。

研究題目 梯子型物質における超伝導の発見

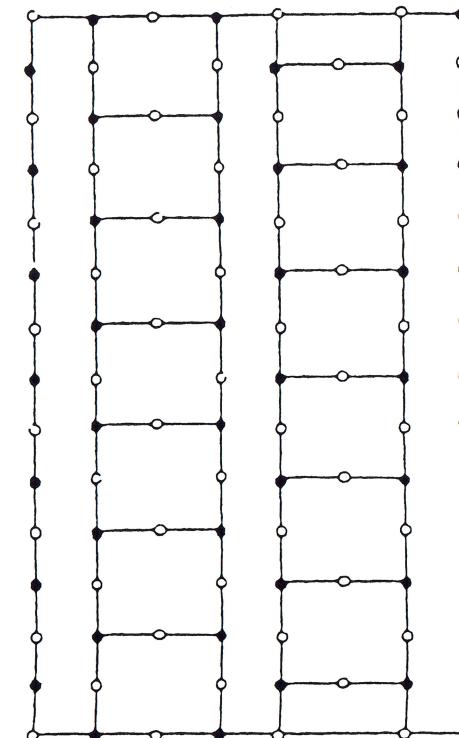
受賞者 青山学院大学理工学部 秋光 純 教授

業績の概要

1986年の高温超伝導体の発見以来、銅酸化物の構造、物性について未曾有の集中的研究がなされ、高温超伝導発現の必須の物質条件が確立された。すなわち、銅原子と酸素原子がつくる2次元面(CuO_2 面)にキャリヤー(電荷担体)を導入すれば、ほとんど例外無しに、適当なキャリヤー濃度で高温超伝導が発現する。この簡単な物質則の導出の過程で、多くの超伝導物質の発見・開発競争があったが、秋光教授は当初よりこのような高温超伝導物質開発研究においても重要な役割を果たしてきた。一方で、この物質則の理論的背景、すなわち高温超伝導の機構理論が盛んに研究され、(まだその詳細については決着が着いていないものの)基本的には強い電子間のクーロン相互作用(強い電子相関と呼ばれる)や反強磁性スピン揺動が重要であることはほぼコンセンサスが得られるに至っている。このような高温超伝導機構理論の立場からは、上記のような CuO_2 2次元面を持たない系での超伝導の実証が待たれており、その過程で、この理論の検証物質として提案されたのがいわゆる梯子型物質(銅原子の骨格が梯子型、次ページ参照)である。高温超伝導体と同様に、電子相関効果に起因する強い反強磁性相互作用が原因となるが、高温超伝導体とは全く異なる銅一酸素の配置(トポロジー)で超伝導が起こりうることが、スイスETHのT.M.Rice教授他によって理論的に予言され、世界的な関心を集めている。

秋光教授は注意深く、系統的な物質合成条件の探索と高圧測定技術を用いた巧み

な電子次元性の制御により、ついに1996年に、梯子型物質の一つである銅酸化物、 $(\text{Sr}, \text{Ca})_{14}\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ において、超伝導(3GPa下で臨界温度12K)を発見し、この理論的予測を実証した。この物質は梯子型の2重鎖構造を有し、 CuO_2 面とは異なる構造を持つが、同じく Cu-O 系であるために、超交換相互作用強度(反強磁性の強さ)や母体物質での電子相関強度など、高温超伝導体との共通点も多く、その超伝導状態には現在多大の関心が寄せられている。また、この系が母体絶縁体中では、電子が強相関効果のために格子点に局在して、局在スピンとなるが、このスピン梯子は量子力学的な効果により見かけ上スピン自由度が死んだ状態(スピンギャップを有する状態)となる。秋光教授の発見した超伝導は、同じくスピンギャップ状態を経て超伝導を示す高温超伝導機構とも深く関連すると考えられている。



超伝導が発見された梯子型物質の構造。黒丸：銅原子、白丸：酸素原子

秋光教授は高温超伝導物質研究の初期から、多くの新しい構造を持つ超伝導体を発見したことによく知られており、たとえば、Bi系と総称される銅酸化物高温超伝導体の最初の基本項物質やT*相と呼ばれる単層 CuO₂面の基本構造や炭酸基を含む100K級超伝導体を発見している。今回の梯子型物質での超伝導の発見も、他の多くの競合グループとの先陣争いの末のものであるが、従来の業績にも増して、物性物理学の分野に大きなインパクトを与えていている。

研究題目 原子波ホログラフィーの開拓

受賞者 電気通信大学レーザー極限技術研究センター 清水富士夫 教授

業績の概要

量子力学では、ミクロの粒子は波動性と粒子性の二重性を持っている。したがって、多数の素粒子から構成されている原子も波動性を示すはずである。しかし、質量の大きい常温の原子の波長（ド・ブロイ波長）は非常に短いので、その波動性を検証するのは極めて難しい。しかし、原子は内部エネルギー構造を持つ点で素粒子には見られない特徴を持っている。その内部状態を使った操作の一つが、レーザーによる原子の冷却である。冷凍機を使った場合と違って、気体のままでマイクロケルビン（百万分の一度）以下の低温にまで原子を冷却する（原子の熱運動エネルギーを下げる）ことができる。したがって、原子波の波長を光の波長のように長くして、いろいろな基礎研究、応用研究が可能となる。その極限的な応用がボーズ・アインシュタイン凝縮気体の生成で、これは光のレーザーに当たる状態を原子波で作り出すことにあたる。原子のレーザーによる冷却は科学技術のいろいろな分野に大きなインパクトを与えることを考えると、この領域の開拓者の中から選ばれた三人が昨年度のノーベル物理学賞の受賞者となったのも当然ということができよう。

清水富士夫教授は、世界的に見ても、この領域の主要な開拓者の中でも際立った業績を上げた一人である。先ず第一の業績は、比較的大きな内部エネルギーを持つ上に数十秒と非常に長い寿命を持つ準安定状態の希ガス原子をレーザー冷却する事を最初に思いついて実行したことである。希ガス準安定状態の持つ高い内部エネル

ギーを使えば、一個一個の原子を漏らさず検出することができる。検出されるときは一個の粒子となるが、たくさんの粒子を検出した点を重ね合わせると、波動としての干渉や結像の様子が現れる。これは量子力学的観測の基礎概念を直接に目で見ることを可能にしたもので、準安定状態の希ガス原子を使った清水教授の業績である。

このような希ガス原子の特質を利用して二重スリットの干渉実験（図1）（光の場合のヤングの実験）やレンズに相当するマイクロ波電界を使った原子波による結像など応用的にも興味ある一連の実験の成功を経て、清水教授は最も新しい光学的結像法であるホログラフィーの原子波への応用に成功することとなったのである。

光波のホログラフィーはレーザー光の干渉を使って作るのが一般的であるが、光波の振舞はマックスウェルの方程式で正しく記述できるので、計算機を使ったホログラムを作ることも可能である。原子は光と違って透明な媒質を持たないので、原子波の干渉でホログラムを作ることは難しいが、波動方程式を計算機で解いて、ホログラムを作ることは可能である。計算機で作ったホログラムを原子波で再現すれば、思いのままの像が作れるはずである。清水教授は、NEC基礎研究所の協力を得て計算機ホログラムを作り、レーザー冷却した極低温の準安定状態ネオン原子によ

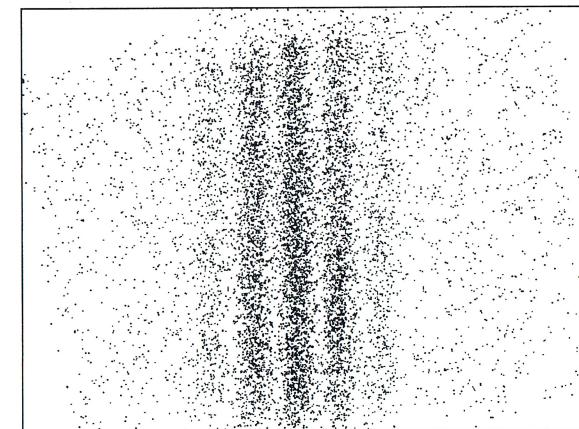


図1 ネオン原子波がスリット幅 2 μm, スリット間隔 6 μm を通過したときの干渉パターン。一つ一つの点は検出された原子。

るホログラフィー結像に成功した。希ガス原子準安定状態のレーザー冷却の実験から原子波ホログラフィーの成功に至る長く困難な道程は、清水教授が常に詳細な点に至るまで実験上直接のリーダーシップを発揮したからこそ乗り越えることができたのである。

原子波光学、特に原子波ホログラフィーの成功は、実用的な基礎技術として将来の応用が期待される。光学機械が光波の干渉や結像を行うのと同じ操作を原子波に対して行う装置が開発されれば、基板の上に直接原子を配列させてマイクロ・チップを作り、集積度を飛躍的に高める可能性が期待される。

また、その実験手法は量子力学の基礎原理の実証を可能にし、学術的に大きな意義を持つ。原子の様な複合体も含めて、粒子はボーズ粒子とフェルミ粒子とに分類される。光や多くのアルカリ原子や準安定状態の希ガス原子はボーズ粒子に属し、同じ空間を同時に占める事ができる。光子でそのような状態を実現するのがレーザーで、多くの光子が共通の共振モードを占めてコヒーレント状態を作っている。原子でこのような状態を実現したものがボーズ・アインシュタイン凝縮気体である。このような事が可能となるための学術的な基礎は、2個の粒子が同時に同じ空間を占めることができるか否かという問題に帰結する。その実験的な証明は、2個の原子が近接して見出される確立が大きいことを示す事によって行われる。清水教授は、原子波ホログラフィー技術を発展させて、二原子相関の実験にも成功し、学術的に極めて高い評価を得ることとなった。

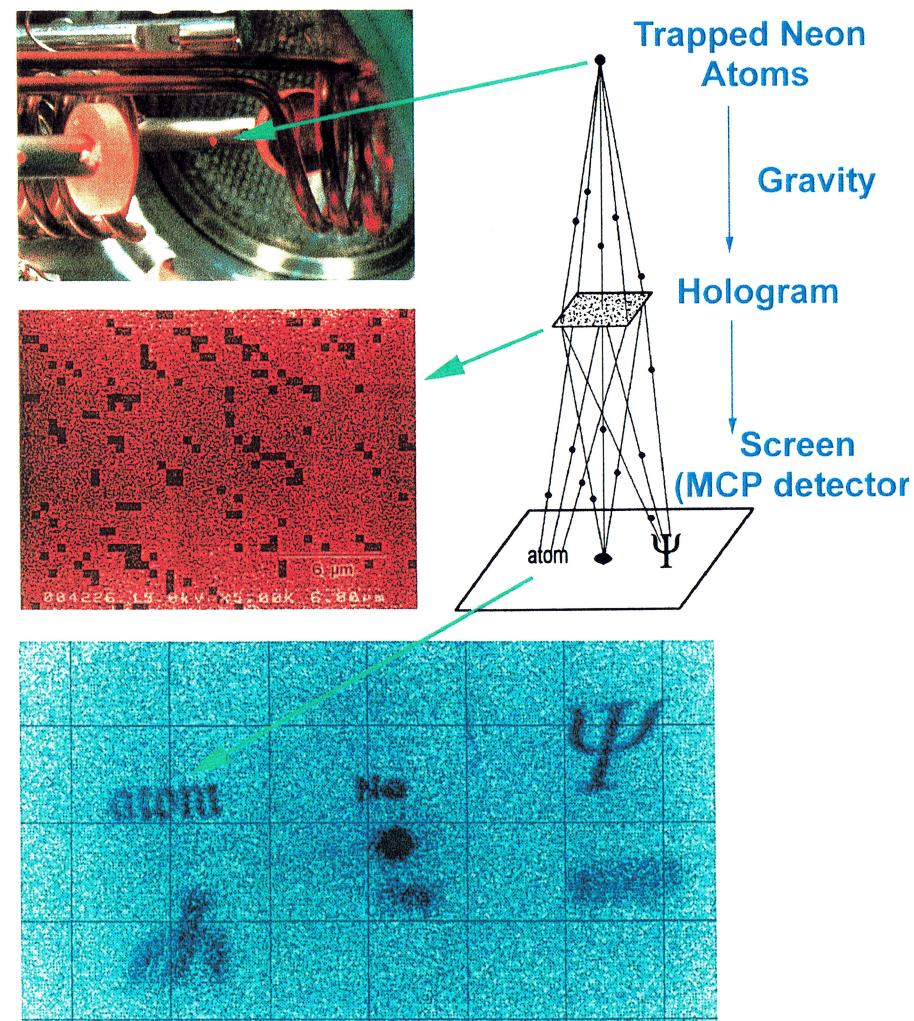


図2 原子波ホログラフィー実験の概念図と原子波による再生像

14

研究題目 トップクオーク発見に対する貢献

受賞者 筑波大学物理学系名誉教授 近藤 都登 氏

業績の概要

物質の基本的な構成要素と考えられている粒子にはクオーク、レプトン、ゲージ粒子、ヒッグス粒子等がある。このうちクオークと呼ばれているものには原子核の中にある陽子や中性子を構成している u-クオークと d-クオークをはじめとして、K 中間子や Λ , Σ , Ξ 粒子などの不安定粒子の中にある s-クオーク、また J/ Ψ 粒子の構成要素で1974年に発見されてノーベル賞の対象になった c-クオーク、さらには現在 CP 対称性の破れが顕著に見えると思われて重要な研究対象になっている B 粒子の構成要素である b-クオーク、そして今回の受賞の対象となった t-クオークがある。三世代合計 6 個のクオークでこれ以上はないというふうに思われている。

1977年 b-クオークが発見されて以来 t-クオークの存在は殆ど確実視され、日本のトリスタンをはじめヨーロッパやアメリカでその発見をめざしていくつかの加速器が建設され多大な努力がはらわれて来たが、ついに1994年になってアメリカのフェルミ研究所のテヴァトロンコライダーという衝突型加速器に設けられた CDF 測定器を用いて t-クオークが発見されるに至った。この粒子の最大の特徴はその巨大な質量にある。エネルギー換算で179ギガ電子ボルト(その次に重い b-クオークは 5 ギガ電子ボルト)という値は初期の予想を超えるものであったが、超対称性理論に基づく推定とは大変良く一致する値である。

CDF コラボレーショングループは巨大な組織で日本、イタリア、アメリカをはじめとする多くの国々から500名以上の研究者が参加し、100億円以上の巨額な経費を用いて建設された測定器を用いて10数年にわたって研究を続けている。日本グループも筑波大、KEK 等から多くの研究者が参加し、日米協力事業の一環として1979年の CDF グループ結成時から最重要メンバーのひとつとして研究に参加している。測定器の分担としては超伝導磁石や電磁カロリメーター等の重要な部分を担当している。近藤都登氏は一貫して日本グループのリーダーとして測定器建設からデータの解析に至るまで実際にたゞさわり t-クオークの発見という歴史的な業績を上げるのに多大の貢献をしたものである。

2. 仁科記念講演会

本年度は次の記念講演会を開催しました。

P. G. de Gennes 教授、(1991年ノーベル物理学賞受賞者、パリ工業物理化学大学) を招聘して、下記の講演会を開催。

題 目 From Rice to Snow
日 時 1998年4月3日（金） 午後3時半より
場 所 東京大学理学部化学教室 5階講堂
東大理学部物理学教室と共同主催

題 目 Artificial Muscle
日 時 1998年4月6日（月） 午後3時半より
場 所 名古屋大学ベンチャービジネスホール
名古屋大学工学部と共同主催

Professor Sir H. W. Kroto (1996年ノーベル化学賞受賞者、サセックス大学) を招聘して、下記の講演会を開催。

題 目 Science—A Round Peg in a Square World
日 時 1998年10月30日（金） 午後4時より
場 所 東京大学物理学教室1220号室
東大理学部物理学教室と共同主催

日 時 1998年11月5日（木） 午後3時より
場 所 京都大学理学部2号館102号室
京大理学部化学教室および物理学教室と共同主催

第44回定期講演会

日 時 1998年12月12日（土） 午後2時～5時
挨拶 仁科記念財団理事長 西島 和彦