

# 量子クラスターで読み解く物質の階層構造

Clustering as a window on the hierarchical structure of quantum systems

## 領域ニュース

vol.1.2018/12/28 発行



### 新学術領域「量子クラスターで読み解く物質の階層構造」発足にあたって



領域代表者 中村隆司（東京工業大学・理学院・教授）

「階層構造」は自然界にありふれています。宇宙に目を向けると、惑星・恒星、惑星系（太陽系）、銀河、銀河群という階層が、我々人間のような生物には、細胞、組織、器官、個体という階層が、そして、物質にはクォーク、ハドロン（核子）、原子核、原子、分子という階層があります。我々が開始する新学術領域研究「量子クラスターで読み解く物質の階層構造」では、このクォークから分子に至る物質の階層構造を貫く共通法則・普遍性を見出すこと、それとともに、普遍性からのずれとして現れる各階層の多様性とそのメカニズムを明らかにすることを目指しています。

「物質の階層構造」というと壮大すぎて、なかなかつかみどころがないように聞こえますが、我々はこれを「クラスター」というキーワードをもとに解読しようとしています。例えば、原子核は陽子・中性子を単位としてできていますが、この陽子、中性子もクォークでできた複合粒子であり、したがって原子核を複合粒子の塊「クラスター」が単位となった上位階層の粒子と考えることができるのです。つまり、クラスター形成そのものが、「階層構造」の形成ということになります。

本領域研究で重要視している一つの観点は、通常の5つの階層（クォーク、ハドロン、原子核、原子、分子）の狭間にある、セミ階層とも呼ぶべき中間的な階層とそこに出現する「クラスター」です。5つの階層間には大きなギャップがありますので、その解読はなかなか難しいのですが、セミ階層をたどることによって階層間の関係を、より段階的に調べられます。例えば、炭素 12 原子核 ( $^{12}\text{C}$ ) は陽子 6 個、中性子 6 個が固く束縛してできていますが、この  $^{12}\text{C}$  を超高励起状態にすると最終的にはバラバラの 6 個の陽子と 6 個の中性子でできたハドロンガスになります。つまり原子核の階層がハドロンの階層に行きつくわけです。しかし、励起エネルギーを絶妙にコントロールすると、 $^{12}\text{C}$  を 3 つの  $\alpha$  粒子から成る状態（ホイル状態と呼ばれる）に転化することができます。つまり  $\alpha$  粒子を単位としてできた「 $\alpha$  クラスター原子核」ができるのです。これが、セミ階層の一例です。こうしたセミ階層はクォーク階層とハドロン階層の間や原子階層と分子階層の間にも現れ、ラムダ 1405 粒子 ( $\Lambda(1405)$ ) のようなハドロン分子的な粒子や冷却原子の実験で現れるフェッシュバツハ分子が、それぞれのセミ階層の例となります。我々の第一のターゲットはこのセミ階層の探求で、これをクォークから分子に至るあらゆる階層の間隙をねらって研究を行います。

さて、これまで、物質を構成する量子力学的粒子の研究は、それぞれの階層毎に独立に行われてきました。クォーク、ハドロンでは CERN や KEK (superKEKB, J-PARC) が、原子核では理研 RIBF、阪大 RCNP が世界のセンターとなって研究を引っ張っています。また、最近進展が著しい冷却原子の実験では、原子でできたボーズ粒子、フェルミ粒子の集団を普遍的な量子力学的粒子系として取り扱うことができ、その相互作用や相を緻密に制御できることから、ハドロンや原子核など階層を超えた粒子やクラスターの性質を調べる「量子シミュレーター」となりえます。さらに、最近、京などのスーパーコンピュータの理論計算技術の進展によって、より基本的な階層から上の階層を研究できるようになってきました。例えばクォークレベルから 2 つ上の階層である原子核を理解することが、まだまだ限定的であるものの可能になってきました。ここに示した加速器実験、冷却原子実験、理論研究において我が国は世界のトップレベルにあります。本領域研究は、階層間の壁を破り、それぞれの分野ですでに世界トップに位置する我が国の研究を結集することによって、それぞれの階層の間隙にあるセミ階層を探り新たな

な粒子の探索やその解明を進めます。そして、「クラスター」「セミ階層」を鍵に「階層構造」を解説していきます。

本領域では、階層を超えて研究を進めていくため、多くの研究会・スクールを企画する予定です。本領域全体の研究会やスクールその他、「国際レクチャーシリーズ」と呼ばれる集中講義や「物質階層を横断する会」と呼ばれるワークショップがすでに始まっています。「国際レクチャーシリーズ」は一回あたり一人の講師（ほとんど海外から）をお招きして集中講義をしていただきます。専門外の分野を深く知る絶好の機会となります。一方の「物質階層を横断する会」は限定したテーマ・トピックに対し時間を度外視して徹底的に議論をする会となっています。特定の分野を深く掘り下げる旬のトピックの他、異分野間を繋ぐような普遍的なテーマも設定して、深く議論を交わし、新しい共同研究の芽を生み出す予定です。こうした会には本領域研究に興味を持たれる多くの研究者の方の参加を歓迎いたします。

なお、本領域では、若手研究者・学生を積極的にプロモートし、研究会での発表を促すとともに、上記のさまざまな活動への参加を支援しています。今後は、物質（量子世界）の階層構造研究の面白さを広めるため、アウトリーチ活動も展開する予定です。

現在、本領域に参加している各研究者は本格的に研究に取りかかっており、一部の分野ではすでに成果も出始めています。また、各研究会・レクチャー、ワークショップで新しい研究の芽を発掘し、今後の研究の展開を図っています。来年度からは公募研究も加わり、当領域研究の幅がさらに広がることでしょう。これからの我々の活動にぜひ注視していただければ幸いです。

## お知らせ

- 領域ホームページ <http://be.nucl.ap.titech.ac.jp/cluster/>
- 本新学術領域のキックオフミーティングを開催しました。日程：2018年11月19、20日、場所東京工業大学大岡山キャンパス  
<http://be.nucl.ap.titech.ac.jp/cluster/symposium/kickoff/>
- 「レクチャーシリーズ」を開催しています。
  - ・ 第一回：Jaume Carbonne 氏(オルセー研究所), “The Few-Nucleon System: From Yukawa to LQCD”, 日程：2018年11月28-30日、場所：九州大学 済  
<http://be.nucl.ap.titech.ac.jp/cluster/symposium/2.html>
  - ・ 第二回：Pascal Naidon 氏 (理化学研究所), “Universal Clusters and Efimov Physics”, 日程：2019年1月8日、場所：理化学研究所  
<http://be.nucl.ap.titech.ac.jp/cluster/symposium/5.html>
  - ・ 第三回：Takamasa Momose (The Univ. of British Columbia), セミナー “反水素原子の高分解能分光とCPT対称性”(2019年2月19日)、講義 “極低温分子・クラスターの分光とダイナミクス”(2月20日)、場所：京都大学  
<http://be.nucl.ap.titech.ac.jp/cluster/symposium/87.html>
  - ・ 第四回：Evgeny Epelbaum 氏 (Ruhr-Universität Bochum), Chiral Effective Field Theory に関するセミナー・講義、日程：2019年3月19—25日、場所：東北大、京大、理研 (詳細は以下をご覧ください)  
<http://be.nucl.ap.titech.ac.jp/cluster/symposium/4.html>
- 「物質階層を横断する会」を開催しています。
  - ・ 第一回： $\Xi N$ 相互作用とその実験について  
Convener 肥山詠美子、日程2018年10月15日(月)、場所：京大基研 済  
<http://be.nucl.ap.titech.ac.jp/cluster/symposium/1.html>
  - ・ 第二回： $\Sigma$ -p 散乱実験の現状および $\Sigma N$ 相互作用に関連した話題  
Convener 三輪浩司、日程2018年12月4日(火)、場所：理化学研究所 済  
<http://be.nucl.ap.titech.ac.jp/cluster/symposium/3.html>
- 新学術領域「量子クラスターで読み解く物質の階層構造」スクールを開催します。  
日程：2019年3月7日—9日、大阪大学吹田キャンパス内  
詳細は以下のホームページをご覧ください。関心のある研究者の方、学生の参加を歓迎いたします。  
<http://be.nucl.ap.titech.ac.jp/cluster/symposium/86.html>