

【新学術領域研究（研究領域提案型）】 理工系



研究領域名 量子クラスターで読み解く物質の階層構造

東京工業大学・理学院・教授 **なかむら たかし**
中村 隆司

研究課題番号：18H05400 研究者番号：50272456

【本領域の目的】

クォーク、ハドロン、原子核、原子、分子という微視的物質世界の階層構造形成の謎に挑む。そのため、本領域は、我が国が世界をリードするハドロン物理学、原子核物理学、原子物理学、分子科学分野の研究者の力を結集し、従来あった階層間の分野の壁を超えた連携研究を実現するものである。異なる階層間に現れる多彩な新奇クラスター現象を通して、スケールが何桁も異なる物質層を支配する量子多体系の法則を見いだすとともに、お互いの違いとそのためにも生じる多様性も理解する。こうして、物質の階層構造の起源に迫る新しい融合分野を創成する。

【本領域の内容】

物質世界は、図1(左)に示すクォーク、ハドロン、原子核、原子、分子という階層構造を持つ。各階層は、基本単位となる「構成粒子」とその間の「力」で特徴付けられる。ここで構成粒子が複合粒子の場合が「クラスター」である。例えば、原子核は核子というクラスターを構成粒子とし、核力で結び付く。最近、この従来型階層の境界領域・中間領域にある「サブ階層(セミ階層)」と「新奇量子クラスター」(図1(右))が注目を集めるようになった。こうしたクラスターは、階層を超えた普遍性を持ち、階層構造を解く鍵になるとも考えられている。本領域では、この新奇クラスターに着目して、物質の階層構造の統一的理解を目指すものである。図2のように、A, B, C 班は、主として実験的研究によって新奇クラスターとその間の力を明らかにし、各サブ階層の研究を進める。加えて、冷却原子系のC班は、階層を貫く普遍性の解明につながる量子シミュレータを実現させる。一方でD班は階層をつなぐ理論研究

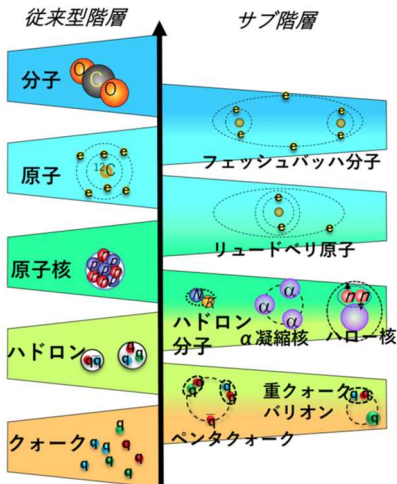


図1 左) 従来型物質階層と、右) 新奇クラスターで構成されるサブ階層の模式図

階層をつなぎ、階層を超える普遍性を探る

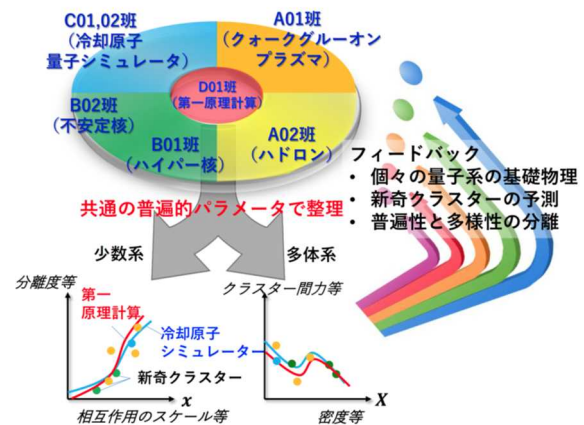


図2：本領域研究のイメージ図

を進める。こうして得た階層を超える普遍的性質と、そのずれから判明する各階層の個性を解明し、階層構造を俯瞰的に理解する。

【期待される成果と意義】

まず、実験的な成果として各階層を特徴付けるサブ階層(新奇クラスター)の存在の確立が期待される。その上で、各サブ階層を支配する「力」についての理解が進む。実験成果と相まって、厳密少数多体系計算や第一原理計算に基づく理論解析が重要であり、その進展が期待される。さらに、重要な成果として、冷却原子系を用いた量子シミュレータの実現がある。クォーク、ハドロン、原子核層のサブ階層の量子系では複数のサブ階層構造が混在、結合した特異状態が形成されるが、これをパラメータの制御できる冷却原子系実験(量子シミュレータ)で実現することで現象の統一的理解が進む。その結果として階層を超えた普遍的現象・法則の発見へとつながる。クラスターを鍵に定量的な階層構造の研究が開拓され、クォークから原子、分子まで広範囲のスケールを俯瞰的に研究する分野融合が加速される。

【キーワード】

クラスター：階層構造のユニットとなる複合粒子系
サブ階層：従来型物質階層の中間・境界に位置する階層で、弱束縛性、強い対相関、混合配位など階層を超える特徴を持つ。セミ階層は同義
量子シミュレータ：冷却原子系の実験で実現が期待される量子クラスター現象のシミュレータ

【研究期間と研究経費】

平成30年度-34年度
1,169,700千円

【ホームページ等】

<http://be.nucl.ap.titech.ac.jp/cluster/nakamura@phys.titech.ac.jp>



Title of Project : Clustering as a window on the hierarchical structure of quantum systems

Takashi Nakamura
(Department of Physics, School of Science, Tokyo Institute of Technology)

Research Project Number : 18H05400 Researcher Number : 50272456

【Purpose of the Research Project】

We aim to understand the formation mechanism of the hierarchical structure of quantum particles, from quarks to molecules (Fig.1). For this purpose, we integrate our research activities on hadron, nuclear, atomic physics, and molecular science, where Japan has played leading roles, and establish a research consortium to fill the large gaps among the conventional research fields. A variety of novel clustering phenomena will be primary targets of the research, which will clarify not only universal phenomena and physical laws, but also characteristic features of each hierarchy. We thus open a new research field to investigate the origin of hierarchies of matter.

【Content of the Research Project】

The quantum world has a hierarchical structure, from quarks to molecules (Fig.1). Each hierarchy is characterized by its unit particles and interactions between them. The unit particle, composed of lighter particles, is called a cluster. Recently, as shown in Fig.1, “Semi-hierarchy” lying between the conventional hierarchies, and its constituents, novel clusters, have drawn much attention. Such clusters may have universality across different hierarchies, and thus can provide a key to understand the hierarchical structure. As shown in Fig.2, Groups A,B,C will investigate clusters and interactions between them in each hierarchy. Group C, in addition, will explore quantum simulators to understand the clustering phenomena more generally. Group D will develop relevant theories. With this combined expertise, we expect to understand the underlying mechanism of the hierarchical structure.

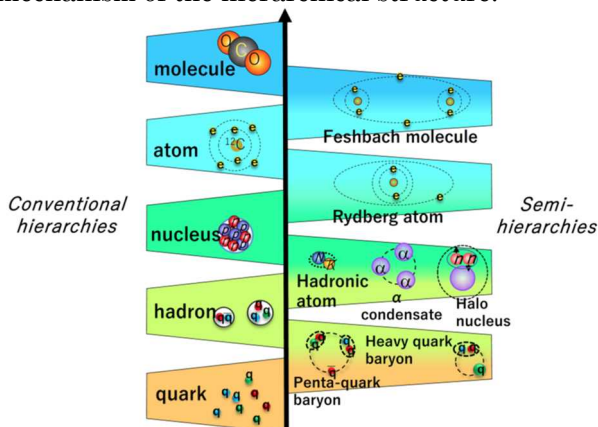


Fig.1 Hierarchical structure of matter

Connecting Hierarchies

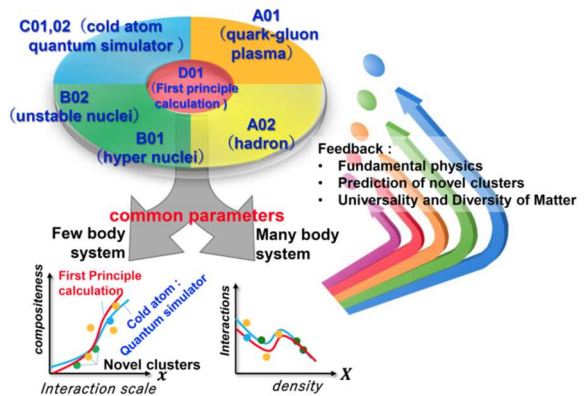


Fig.2 Scheme of this project

【Expected Research Achievements and Scientific Significance】

Novel clusters in semi-hierarchies will be observed and established. In addition, the interactions between the novel clusters will be investigated. Theories will play important roles in understanding the interactions from first principles. Quantum simulators using ultra-cold atom experiments will be one of the significant achievements. A semi-hierarchy with mixed configurations can be analyzed by quantum simulators, which will allow us to understand the phenomena in a more unified way. We thus expect to find physics phenomena and laws universally applicable to multiple hierarchies. In this way, we will open a new research field connecting the multiple hierarchies, from quarks to molecules, through the study of clustering phenomena.

【Key Words】

Cluster: A unit particle of the respective hierarchy, composed of lighter particles.

Semi-hierarchy: A hierarchy between two conventional hierarchies, often characterized by weakly (un)bound systems, strong pairing, mixed configurations, showing some universal features.

Quantum simulator: Simulators of quantum clusters to be realized by ultra-cold atom experiments.

【Term of Project】 FY2018-2022

【Budget Allocation】 1,169,700 Thousand Yen

【Homepage Address and Other Contact Information】

<http://be.nucl.ap.titech.ac.jp/cluster/>
nakamura@phys.titech.ac.jp