

## 平成26年度 新学術領域研究（研究領域提案型）事後評価結果（所見）

### 研究領域名

多彩なフレーバーで探る新しいハドロン存在形態の包括的研究

### 研究期間

平成21年度～平成25年度

### 領域代表者

飯嶋 徹（名古屋大学・現象解析センター・教授）

### 研究領域の概要

原子核を構成する陽子・中性子やパイ中間子はハドロンと呼ばれ、前者はクォーク3個、後者はクォーク2個が強い力で結合していると考えられている。しかし、その力の強さのために、量子色力学による方程式は書いてもハドロンの成り立ちは未だ十分理解されていない。そのため、「4個以上のクォークでできたハドロンは存在するのか？」や、「ハドロンの質量はどのように生成されたのか？」といった基本的な疑問が未解決のままである。この領域では、Bファクトリー、SPring-8、J-PARCにおける加速器実験を中心に、4個以上のクォークでできた「エキゾチックなハドロン」や、原子核中でのクォークの質量変化に関する研究を進める。豊富なデータをもとに、素粒子や原子核物理学の研究者が結集して上記の根源的問題の解明を目指す。

### 領域代表者からの報告

#### 1. 研究領域の目的及び意義

本領域では、これまで独立に研究を進めてきた素粒子・原子核分野の実験研究者と理論研究者が結集し、クォークと反クォークから成るメソンやクォーク3個からなるバリオンとしては理解できないエキゾチックハドロンの成り立ちと、物質中でハドロン質量が変化する機構を実験的に確立し、QCDの動力学によってクォークからハドロンが形成される機構の解明を目指す。より具体的には、Bファクトリー、Spring-8、J-PARCにおける実験計画研究を組織して、テトラクォークやペンタクォークなどの新しいハドロンの探索とその諸性質の測定を進めるとともに、原子核中でのハドロンの質量変化を詳細に測定する。さらに素粒子・原子核分野の連携による検出器開発を進め、将来の高輝度実験への発展を目指す。理論研究においても両分野の手法を融合して、実験研究結果を統一的な視点で捉え、クォークの閉じ込めやハドロンの質量生成といった根源的問題の解明につなげる。

本領域の研究により、ペンタクォークやテトラクォーク状態が確立しその構造が明らかになれば、これまでのクォーク模型に基盤をおいたメソンとバリオンの描像を超える全く新しい物質の存在形態が確立することとなる。そして、本領域の研究を引き金に高輝度Bファクトリー、LEPS2、J-PARCにおける実験研究が進展すれば、クォークの閉じ込めと質量生成機構の解明にむけた研究が飛躍的に進む。このことによって、素粒子と核物理学の間に新たな学問領域が創出できる。

#### 2. 研究の進展状況及び成果の概要

本領域の研究期間中に、B ファクトリー実験において 11 種類もの新しいハドロン粒子が見つかり、エキゾチック状態の候補が以前に見つかったものも含めて 20 種類に達した。特に、ボトム・反ボトムクォーク対を含む  $Z_b(10610)$  と  $Z_b(10650)$  の発見は特筆すべき成果であり、理論研究によって、各々  $B\text{-}B^*$  と  $B^*\text{-}B^*$  の分子状態と解釈できることが確実となった。ボトム領域とチャーム領域のスペクトラムの比較や、 $X(3872)$  に関する理論的考察から、これらもまた  $D\text{-}D^*$  の分子状態である可能性が高まった。本領域開始以前には混沌としていた XYZ 粒子の解釈に対して、まさに「多彩なフレーバー」によりエキゾチック状態の本質を系統的に探る本領域のアプローチで切り込むことができたと考える。こうした B ファクトリーにおける重クォーク (c,b クォーク) 領域を中心とした成果に加え、Spring-8 や J-PARC においても軽クォーク (u,d,s クォーク) 領域での新しいデータが得られ、多彩なフレーバー自由度を駆使した新しいハドロン物理学が開拓できたと考える。

また、本領域を契機として素粒子-原子核両分野の研究者の本格的な連携が始まった。特に、核物理研究者の B ファクトリー実験データ解析への参入、スーパーB ファクトリー実験用に開発した TOP 検出器等の技術の LEPS/LEPS2 や J-PARC 実験への応用、さらに理論面では、「素核宇宙融合」領域との共催で開催した「クロスオーバー研究会」を契機とする現象論と格子 QCD 計算との連携、若手スクールの開催による人材育成など、具体性を持った本格的な連携が進んだ。

## 審査部会における所見

A (研究領域の設定目的に照らして、期待どおりの成果があった)

### 1. 総合所見

本研究領域は、素粒子・原子核分野の研究者がエキゾチックハドロンの発見とその理解に向けて分野横断的な協力組織を編成し、当初の目的に対して期待どおりの成果を得た。新しい視点に基づくデータ解析法による新ハドロンの発見・性質解明を軸に、理論研究や検出器開発など多岐にわたって多くの成果を得、若手育成にも大きく貢献した。本研究で発見され、その状態が解明された「新しいハドロン」に関して、理論的な裏付けやさらなる実験的研究など、今後の発展に期待する。

### 2. 評価の着目点ごとの所見

#### (1) 研究領域の設定目的の達成度

素粒子物理と原子核物理という異なる分野の研究者が共同で研究を行い、新しい手法による物理解析や検出器開発など、当該領域の研究が大きく進展、研究領域の設定目的を期待通り達成した。

#### (2) 研究成果

研究期間中に 11 個の新ハドロンを発見した。これらはハドロンが 2 つまたは 3 つのクォークからなるという従来の理解では説明できないいわゆるエキゾチックハドロンであり、ハドロンの形成機構の見直しを迫る成果である。新たに発見されたハドロンの理解を目指して理論面の発展も見られた。さらに踏み込んだ実験研究のための先端技術を用いた検出器の開発にも成功している。

#### (3) 研究組織

素粒子物理と原子核物理の研究者が共同研究を進めたことが、Belle 実験におけるハドロン物理研究を推

進する大きな原動力となるなど、効率的な組織運営を行った。また、震災による装置開発の遅れを公募研究で補うなど、研究領域として機能的な運営が行われた。

#### (4)研究費の使用

特に問題はなかった。

#### (5)当該学問分野、関連学問分野への貢献度

本研究領域における多数のエキゾチックハドロンは、中間子が分子様構造をとった状態である可能性が高く、ハドロンが従来考えられていたよりはるかに豊富な系であることを明らかにしている。本研究領域で発見された新共鳴状態のみから、全体を包括する規則性や法則を見出すには到っていないが、今後この領域が端緒を付けた方向性をさらに追求することにより、ハドロンの形成機構の理解に向けたブレークスルーが生まれる可能性があり、一つの有力な研究スタイルを確立した。中間子分子状態が存在するとすれば、それは原子核の $\alpha$ 粒子クラスター状態とも類似しており、クォーク、核子、原子という異なる階層の少数多体系に現われる普遍的存在形態として、今後分野を超えたさらなる研究の発展を期待する。

#### (6)若手研究者育成への貢献度

若手スクールなどの人材育成がうまく機能し、56名の修士・26名の博士が輩出されことは大きな成果である。また、若手研究者の活躍も目覚ましかった。