



平成 24 年 7 月 19 日

極低温の世界でスカーミオンの存在を提唱

＜概要＞岡山大学大学院自然科学研究科先端基礎科学専攻、川上拓人大学院生（物性理論）、水島健助教（同）、町田一成特命教授（同）と慶應義塾大学自然科学研究教育センター・新田宗土准教授（素粒子論）らの研究グループは、スカーミオンと呼ばれる素粒子の理解に不可欠な構造を現実世界に安定に作り出すことを世界で初めて提唱した。スカーミオンは、本来、陽子や中性子のような核子と呼ばれる粒子を理解するために導入された数学的概念だが、その性質は未だ謎が多い。この成果により、巨大な実験施設を用いずとも素粒子理論の検証が可能になると期待される。この成果は米国物理学会速報誌 *Physical Review Letters* 誌のオンライン版に掲載された。

成果概要：スカーミオン^{注1}と呼ばれる素粒子理論に不可欠なトポロジカル構造^{注2}を数ナノケルビン程度まで冷却された原子気体において安定に作り出すことを世界で初めて提唱しました。身の回りにある物質は全て素粒子と呼ばれる基本的な粒子によって構成されています。湯川秀樹博士や南部陽一郎・シカゴ大名誉教授らによって、物質の構成要素である原子核は、核子とよばれる陽子や中性子とそれらを糊付けする中間子^{注3}でできていることがわかりました。スカーミオンとは、イギリスの理論物理学者スカームが、丁度半世紀前に、この中間子と核子を統一的に理解するために導入した数学的概念です。彼の試み自体は未だに成功していませんが、スカーミオンというアイデアそのものは、多くの科学者を魅了し、宇宙の仕組みや新奇な物質の側面を理解するためのツールとして現代物理学に欠かせない重要な概念となっています。未だに不明な点が多いスカーミオンの性質を暴くべく、これまでも、スカーミオンを現実世界に作り出す理論的提案が数多くされてきました。特に、空間次元の低いおもちゃのスカーミオンは様々な物質で作られていましたが、現在に至るまで誰も、本来の3次元のスカーミオンを安定に作り出す提案をできていませんでした。

そこで、超伝導等の物性研究を専門とする岡山大学の研究グループは、素粒子論の専門家である慶應義塾大学の新田准教授と共同で、極低温の原子気体において安定にスカーミオンを作りだせることを初めて提唱しました。この実現には非可換ゲージ場^{注4}と呼ばれる素粒子論の最も重要な基本概念である「場」の存在が不可欠です。数ナノケルビンまで冷却された原子集団はボース・アインシュタイン凝縮^{注5}を起こして、巨大な一つの「波」として振る舞います。この「波」にレーザーを照射することで非可換ゲージ場を生み出し、スカーミオンを現実世界に作る提案をしました。この成果により、従来は巨大加速器を必



PRESS RELEASE

要とした素粒子理論の検証が将来的には小さな実験室で可能になると期待されます。

<お問い合わせ先>

岡山大学大学院自然科学研究科

先端基礎科学専攻・助教・水島健

(電話番号) 086-251-7815 (メール) mizushima@mp.okayama-u.ac.jp

発表雑誌：

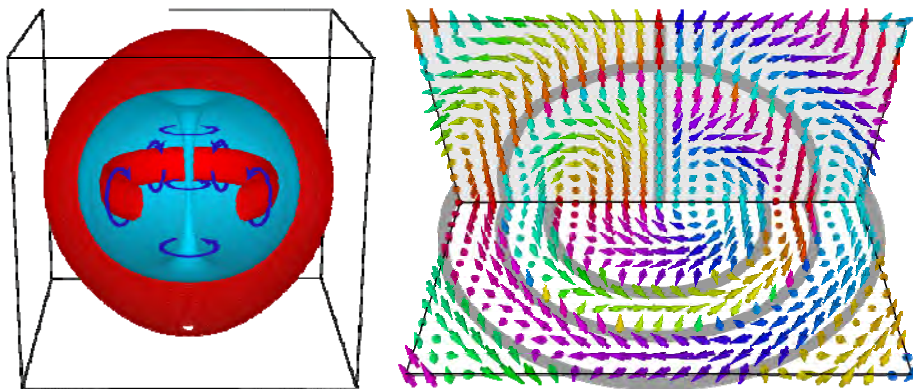
雑誌名：Physical Review Letters 誌 オンライン版（2012年7月2日掲載）

タイトル：Stable Skyrmions in SU(2) Gauged Bose-Einstein Condensates

著者：Takuto Kawakami, Takeshi Mizushima, Muneto Nitta, Kazushige Machida

注1) スカーミオン

理論計算によって得られた安定なスカーミオンの構造。2種類の異なる性質を持つ原子が絡まってスカーミオンを構成します。右図は Physical Review Letters 誌の109巻の表紙に採用されました。



注2) トポロジカル構造：トポロジー（または位相幾何学）とは、数学の幾何学の一分野で、ものの大きさや角度を無視して、つながり方だけを抽出した幾何学、別名「やわらかい幾何学」です。トポロジーによれば、ドーナツとマグカップは滑らかな変形で穴を開けることなく移りあうので、同じものとみなされます。トポロジーは現代物理学を理解する上での重要なキーワードとなっています。

注3) 中間子：湯川秀樹博士の中間子論によって導入された粒子。後に南部陽一郎・シカゴ大名誉教授によって、中間子はカイラル対称性と呼ばれる、素粒子の一種であるクォークのある種の対称性が破れた際に現れる粒子（南部ゴールドストーン粒子）として定式化されました。



PRESS RELEASE

注 4) 非可換ゲージ場：ゲージ場の概念は、数学者ワイルによって、アインシュタインの一般相対論を拡張するために、20 世紀初頭に考案されました。当時は、電気や磁気を現す「可換」ゲージ場しか見つかっていませんでした。1970 年代に入り、ヤンとミルズらと内山龍雄博士が独立に「非可換」ゲージ場を理論的に考案し、素粒子物理学の基礎理論となりました。クォーク間に働く「強い相互作用」や、原子核内で粒子の崩壊を引き起こす「弱い相互作用」はすべて、非可換ゲージ場に基づいています。ここ数年、この非可換ゲージ場を、冷却原子気体を用いて人工的に作り出す方法が発見されました。

注 5) ボース・アインシュタイン凝縮：1920 年代にインドの理論物理学者ボースから受け取った手紙をきっかけとして、アインシュタインが予言した量子現象。量子力学によると原子等の粒子は「波」として振る舞いますが、極低温ではその個々の波が増幅し合い、粒子集団は一つの巨大な「波」として振る舞います。この量子現象は 1995 年にナノケルビンまで冷やされた原子気体で実験的に確認され、2001 年にその発見に貢献した 3 人のアメリカの物理学者にノーベル物理学賞が贈られました。