

受賞対象者：田中 純貴

対象論文：

Formation of α clusters in dilute neutron-rich matter

Science 371 (6526), 260-264 (2021)

受賞理由：

原子核は、陽子と中性子(核子)で構成され、陽子、中性子それぞれに一体型の引力ポテンシャル(核力場)が形成される。核力場の中の低いエネルギー準位を核子が順次専有し(殻模型)、陽子・中性子がそれぞれの最外殻準位を完全に占めた状態(2重閉殻)が「安定の谷」近傍で丸い形状を取る。この原子核形状は、閉殻から離れたり、励起状態を取ることで様々に変化する。一方、陽子2個と中性子2個のヘリウム4原子核(α)は、核子あたりの束縛エネルギーが特異的に大きく、高い中心密度を持つ。このため、中重核では原子核中に α が準粒子(クラスター)として形成される。他方、中性子過剰核では、原子核表面に余剰「中性子スキン」や大きく広がった「中性子ハロー」が形成される。

田中氏は、原子核表面の中性子過剰・低密度核物質内でのクラスター形成機構を調べるため、錫原子核の一連の同位体標的に陽子を照射し($p, p\alpha$)反応の励起エネルギースペクトルを前方の陽子・ α それぞれに特化したダブルアームスペクトロメータで系統的に観測した。この結果、アルファが極めて低い励起エネルギーで原子核表面から乖離するという現象を発見した。また、原子核表面で α クラスターがどのように発現するかという理論計算と比較し、中性子数が大きくなるに従って α 乖離の反応断面積が小さくなる依存性が見事に再現されることを確認した。これは、原子核表面には従来の中性子スキン・ハローだけでなく、 α もクラスターとして実在し、原子核表面の中性子分布と共存・競合していることを初めて示す成果であり、原子核の対称エネルギー項など原子核の俯瞰的理解に大きく貢献するものである。

田中氏はこの成果を基盤にして、原子核表面で α だけでなく重陽子、ヘリウム3などの粒子相関がどのように生まれるかに関する、より詳細な実験研究の実現を目指している。

2021年10月21日

原子核談話会若手賞選考委員会

受賞対象者：早川修平

対象論文：

Observation of Coulomb-assisted nuclear bound state of $\Xi^- - {}^{14}\text{N}$ system

Phys. Rev. Lett. 126, 062501 (2021)

受賞理由：

通常の原子核は軽いアップ、ダウクォークだけから構成されているが、次に重いストレンジクォークを加えると、ハイペロン（ストレンジクォークを持ったバリオン）を構成要素とする原子核（ハイパー核）が出現する。ハイパー核の研究は中性子星の構造とも絡んだ重要な問題を含んでおり、ストレンジクォーク1個を含むラムダ核、シグマ核の実験的や、対応する理論的研究が1980年代から行われてきた。最近、ストレンジクォークを2個含むダブルハイパー核の研究が可能になってきたが、ストレンジクォークを2個含む Ξ バリオンが原子核に束縛するかは長年の疑問となっていた。

早川氏は負電荷 K 中間子をダイヤモンド標的と反応させ、正電荷 K 中間子と負電荷 Ξ 粒子の対を作り出し、その Ξ 粒子を原子核乾板（エマルジョン）に導いて、エマルジョン中で起こる反応を観測した。このエマルジョン撮像解析から Ξ 粒子の静止吸収反応を解析し、最終的に2つの Λ ハイパー核を形成した事象を選択することで、 $\Xi^- - {}^{14}\text{N}$ 束縛状態が生成されたことを発見した。これは強い相互作用にクーロン力が協働して束縛した状態で、不定性なく束縛エネルギーが決定された初めての Ξ 核現象として世界的に注目された。また、静止吸収からの脱励起過程で、 Ξ 粒子が2つの Λ 粒子に分かれることなく p 軌道にまで到達したと考えられるため、その遷移強度が小さいことを表している。

早川氏は現在、2つの s クォークを持った2核子系： H ダイバリオン（ $\Lambda\Lambda$ や $p\Xi^-$ 等と結合する状態）の探査実験に取り組んでいる。この研究は、大型TPCを用いて反応粒子群の詳細研究を可能とするもので、J-PARCでのハドロン実験の可能性をエマルジョンとは違う形で拓げるものとして期待されている。

2021年10月21日

原子核談話会若手賞選考委員会

受賞対象者：山我 拓巳

対象論文：

Observation of a $\bar{K}NN$ bound state in the ${}^3\text{He}(K^-, \Lambda p)n$ reaction

PHYSICAL REVIEW C 102, 044002 (2020)

" K^-pp ", a \bar{K} -meson nuclear bound state, observed in ${}^3\text{He}(K^-, \Lambda p)n$ reactions

Physics Letters B 789 (2019) 620–625

受賞理由：

通常の原子核は、本質的に複数の核子(陽子あるいは中性子)が引力場で結合した束縛状態である。原子核内の中間子は、核子間で放出・吸収される「仮想粒子」として、この引力場を形成する役割を担っているにすぎない。一方、真空中では、中間子も固有質量を持ち実際に観測される「実粒子」として振る舞うため、核子に加え中間子も実粒子的な構成要素となった原子核(中間子原子核)も存在する可能性がある。この新奇な原子核は、長年、様々な方法で探索されてきたにもかかわらず、これまでその存在の明白な証拠はなかった。一方で、 $\Lambda(1405)$ 共鳴はDalitz等によって反 K 中間子と核子の「ハドロンの分子的な状態」である可能性が1960年代に指摘され、その描像は最近の格子QCD計算によって補強された。

山我氏は負電荷 K 中間子とヘリウム3原子核を反応させることで、ストレンジクォークを持った反 K 中間子が原子核に吸収される以前に、中間子のままで複数の核子と束縛する「中間子と原子核の分子的な状態」を形成するか研究した。実験の結果、この反応の Λpn 終状態事象に着目した Λp 不変質量分光で、束縛エネルギー閾値下に反 K 中間子と核子2つから成る束縛状態の存在を示す信号が観測された。また山我氏は、 Λp 不変質量スペクトルが、閾値の上の分布も含めて、反 K 中間子の多核子吸収反応で統一的に理解できることを示した。これは、複数の核子と反 K 中間子が結合した全く新しい量子状態を作ることを明確に示した初の成果である。

山我氏は、この状態の荷電対称性を検証し、スピン・パリティを決定することで、その基礎的量子情報を確立し、反 K 中間子を新たな原子核プローブとする研究の実現に取り組んでいる。

2021年10月21日

原子核談話会若手賞選考委員会