

# 炭素 12 原子核の新しい励起状態を発見 — 生命誕生の謎にせまる —

## 1. 発見の概要

東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター、大阪大学核物理研究センター、京都大学大学院理学研究科、甲南大学、米国ノートルダム大学からなる研究チームは、**宇宙における元素合成過程に重要な役割を果たす炭素 12 原子核の新しい励起状態を発見**しました。今回の発見により、**宇宙における元素合成過程の解明が進むと共に、生命誕生の謎に迫ることが期待できます。**

## 2. 発見の詳細

人体や地球など宇宙を構成するすべての元素はビッグバン後に合成されました。ビッグバン直後に水素とヘリウムが合成され、その後、水素とヘリウムからなるガス雲が重力によって収縮して恒星が誕生しました。生命誕生には炭素や酸素は必要不可欠ですが、炭素や酸素は、恒星誕生後に、恒星内部の核融合反応（注1）で合成されたというのが通説です。しかし、現在もなお、恒星内部における核融合反応については謎が多く、その機構解明には原子核構造の研究が重要な役割を果たすと期待されています。

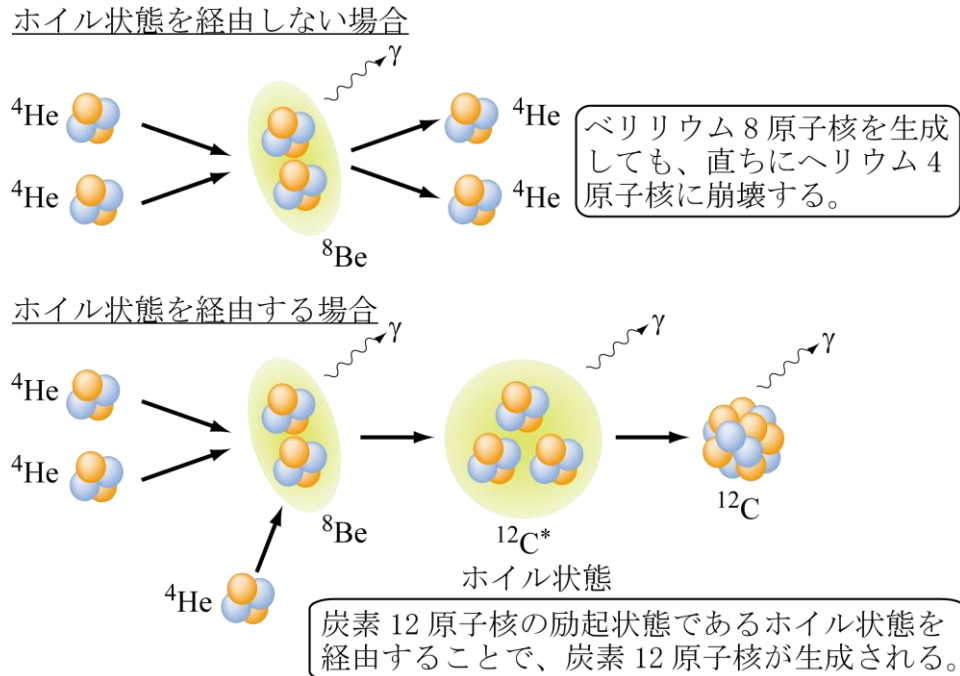


図 1: ホイル状態と炭素 12 原子核の合成

炭素 12 原子核には、「ホイル状態（注 2）」と呼ばれる炭素より重い元素の合成過程で非常に重要な役割を果たす励起状態の存在が約 50 年前から知られています（図 1）。このホイル状態がどのような構造をもつ状態なのかという問題は、長年の謎として残され、実験と理論の両面から精力的な研究が続けられています。

3 つのヘリウム 4 原子核から成り立つとする理論模型（アルファ・クラスター模型：注 3）によると、ホイル状態は通常の原子核に比べて 1/5 から 1/6 程度の密度しか持たない希薄な状態だと予想されています。通常の原子核はその種類によらずほぼ一定の密度を持つことが知られており、アルファ・クラスター模型が予言するホイル状態の性質は驚きを持って受け止められ、その実験的検証が求められていました。

さらに、アルファ・クラスター模型は、ホイル状態より高い励起エネルギーに別の回転励起状態があることを予言していました。もし、この励起状態が存在すれば、炭素より重い元素を合成する速度が著しく増大し、宇宙の歴史や生命誕生の歴史のシナリオに大きな影響を与えると考えられています（図 2）。これまでこの未発見の新しい励起状態の存在を実験的に確認することはできませんでした。

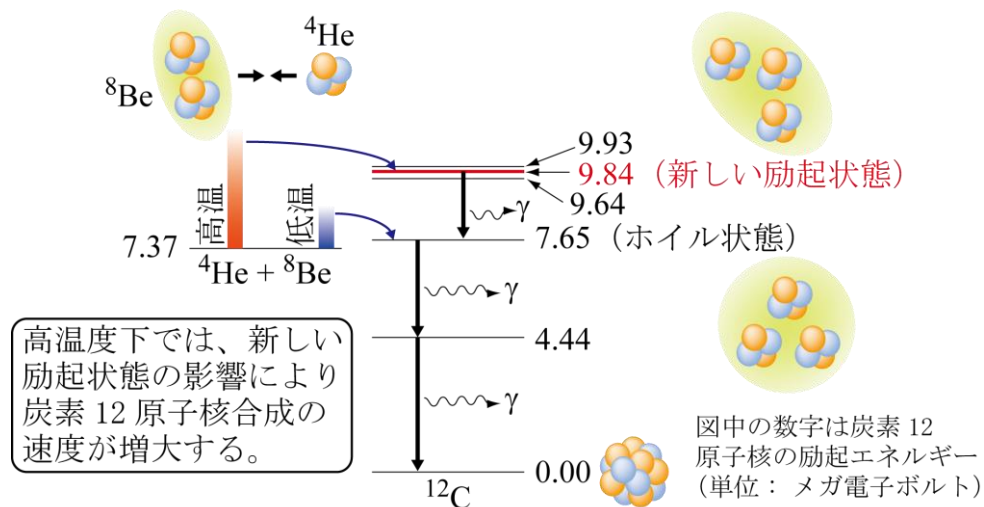


図 2: 新しい励起状態と炭素 12 原子核の合成

この新しい励起状態の存在を実験的に検証することは、元素合成過程を解明する上で必要不可欠とされるだけでなく、アルファ・クラスター模型の妥当性を検証することに繋がり、ホイル状態の特異な構造を理論的に解明する足掛かりを与えます。

今回、大阪大学核物理研究センターのリングサイクロトロン施設において、世界最高性能を誇る磁気スペクトロメータ「グランドライデン」（注 4）を用いて原子核散乱の超精密測定を行い、世界で初めて炭素 12 原子核における新しい励起状態の存在を確認することに成功しました。この発見を通じて、宇宙における元素合成過程の解明が進むと共に、ホイル状態の構造について新しい知見を得られると期待されます。また、多量の炭素を利用した生命体進化の謎の解明にヒントを与えるでしょう。

なお、この成果は、2011 年 11 月 14 日に米国物理学会刊行の学術雑誌「Physical Review C」において公開されるとともに、米国物理学会が刊行する学術雑誌に掲載された論文の中から、特に重要な論文をピックアップして紹介する「Physics Viewpoint」<http://physics.aps.org/articles/v4/94> において紹介されました。

### 3. 発見により期待される成果

この新しい励起状態の存在を実験的に確認したことで、**宇宙における元素合成過程の解明が進むと共に、長年にわたって研究されてきたホイル状態の特異な構造を解明する足掛かりを与えます。**我々、人体の構成物は水、多量の炭素をもとにした有機体、骨などです。**宇宙での炭素の作られる度合いによって生命体の進化は異なるので、生命誕生の謎に迫ることが期待できます。**

## 4. キーワード

### 注1: 核融合反応:

二つ以上の原子核が融合して、より重い原子核を合成する反応。核融合反応に伴って放出されるエネルギーは恒星のエネルギー源となっています。たとえば、太陽の内部では、4つの陽子（水素1原子核）が順次、核融合反応を起こしてヘリウム4原子核を合成することによって太陽エネルギーを発生させています。

### 注2: ホイル状態 (図1)

生命に不可欠な炭素12原子核が、どのような核融合反応を経由して合成されるのかは、かつて、物理学上の大きな謎でした。寿命の末期を迎えた恒星の内部には多くのヘリウム4原子核が存在していますが、このヘリウム4原子核から炭素12原子核が合成される過程は全く理解されていませんでした。

2つのヘリウム4原子核が核融合反応を起こすとベリリウム8原子核が合成されます。ベリリウム8原子核は不安定で寿命が非常に短いため、生成されても、別のヘリウム4原子核と核融合反応を起こして炭素12原子核を生成する前に、もとのヘリウム4原子核に崩壊してしまうと考えられていました。1953年、英国のフレッド・ホイル博士は、地球では炭素を含む有機生命体が生まれ、人間が存在している事実から考えれば、ベリリウム8原子核とヘリウム4原子核の核融合反応を促進するような未知の励起状態が炭素12核原子核に必ず存在するはずだと予言しました。ホイル博士の予言したこの状態の存在は、後に実験的に証明され、初めて炭素よりも重い元素が合成されるシナリオが明らかにされました。炭素12原子核の合成に重要な役割を果たすこの状態はホイル状態と呼ばれることとなりました。

さらに、ホイル博士の共同研究者であったウィリアム・ファウラー博士は、ホイル状態を経由する炭素12原子核合成の過程を証明し、1983年、「宇宙における化学元素の生成にとって重要な原子核反応に関する理論的および実験的研究」の功績によりノーベル物理学賞を受賞しました。

### 注3: アルファ・クラスター模型

ヘリウム4原子核のことを特にアルファ粒子と呼びます。このアルファ粒子を基本的な構成単位として原子核の構造を記述する模型がアルファ・クラスター模型であり、ホイル状態の励起エネルギーや励起強度などの性質を良く説明できる模型として知られています。

### 注4: 磁気スペクトロメータ「グランドライデン」

原子核散乱において発生する荷電粒子を磁場中に入射させて分析し、荷電粒子のエネルギー・放出角度を測定する大型実験装置を磁気スペクトロメータと呼びます。大阪大学核物理研究センターでは、世界最高性能を誇る磁気スペクトロメータ「グランドライデン」を建設し、原子核散乱の超精密測定の実験的研究で世界をリードしています。

## 5. 本件に関する照会先

東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター 助教 伊藤正俊

電話: 022-795-7796 FAX: 022-795-7797

e-mail: itoh@cyclic.tohoku.ac.jp

大阪大学核物理研究センター准教授 藤原守

電話: 06-6879-8914 FAX: 06-6879-8899

e-mail: fujiwara@rcnp.osaka-u.ac.jp

京都大学大学院理学研究科 准教授 川畑貴裕

電話: 075-753-3832 FAX: 075-753-3838

e-mail: kawabata@scphys.kyoto-u.ac.jp