



国立大学法人  
大阪教育大学



名古屋大学  
NAGOYA UNIVERSITY



名寄市  
なよろ市立天文台



京都産業大学

自然科学研究機構 国立天文台  
国立大学法人 大阪教育大学  
国立大学法人 名古屋大学  
名寄市 なよろ市立天文台  
学校法人 京都産業大学

## 宇宙における爆発的リチウム生成の初観測に成功 ～新星爆発は宇宙のリチウム合成工場だった～

国立天文台、大阪教育大学、名古屋大学、京都産業大学などの研究者からなる研究チームは、2013年8月に現れた新星をすばる望遠鏡で観測し、3番目に軽い元素であるリチウムがこの新星で大量に生成されていることを突き止めました。リチウムはビッグバン時に生成されるとともに、恒星のなかや新星、超新星、星間空間などさまざまな場所で作られると推定されており、宇宙における元素の起源や物質進化を探る試金石となる元素ですが、リチウムを生成・放出している天体が直接的に観測されたのは今回が初めてです。新星爆発が現在の宇宙におけるリチウムの主要な起源であることが明らかになったことにより、宇宙の物質進化の理解が大きく進むことが期待されます。

この研究成果は、平成27年2月19日（英国時間）に英国科学雑誌「Nature」に掲載されます。

## 【ポイント】

- リチウムを生成・放出している天体(新星<sup>\*1</sup>)を世界で初めて直接的に観測した。
- 新星爆発が現在の宇宙におけるリチウムの主要な起源であることを明らかにした。
- 今後、宇宙の物質進化の理解が大きく進展することが期待される。

## 【背景】

ビッグバン直後の宇宙には、水素とヘリウム以外の重元素がほとんど存在していませんでした。私たちが構成する炭素や酸素、あるいは鉄などの金属元素がどのようにつくられてきたのか解明することは、天文学の大きな課題のひとつです。重元素はたいてい星の内部や超新星爆発で合成され、宇宙空間に放出され、それがまた新たに生まれてくる星の材料になっていきます。

水素・ヘリウムに次いで三番目に軽い元素であるリチウム<sup>\*2</sup>はパソコンやスマートフォン、エコカーなどのバッテリーにもよく使われ日頃耳にすることも多い元素です。このリチウムは星以外にも様々な天体や現象で生成されると考えられています。そのひとつがビッグバン時の元素合成で、水素・ヘリウムとならんで少量のリチウムが生成されることがわかっています。また、宇宙線(非常に高速に飛びまわる原子核)が星間物質と反応し、炭素や酸素などが壊れることによりリチウムがつくられることもわかっています。そして、太陽程度の質量の小さな星のなかでつくられるもの、あるいは超新星爆発の際につくられるものもあると考えられています。これに加えて、新星爆発も有力なリチウムの起源になりうると考えられています。

リチウムの生成はさまざまな天体や現象に関わっているため、「リチウムがわかれば宇宙がわかる」といっても過言ではなく、多くの研究者がこの元素の研究に取り組んでいます。銀河系内のさまざまな星のリチウム量の測定などから、どのようなプロセスでどの程度のリチウムが作られるのか調べられており、最近では新星爆発が重要なリチウムの起源であると推定されるようになってきました。しかし、リチウムが生成される証拠を観測で直接確認できた例は、これまでありませんでした。

## 【研究の内容】

2013年の8月14日、日本のアマチュア天文家板垣公一さんが、天の川の縁にある小さな星座いるか座に突如現れた明るい新星を発見しました。Nova Delphini 2013 (=V339 Del) と名付けられたこの天体は、発見の約二日後に最大光度約 4.3 等の明るさにまで達し、肉眼で確認できる明るい新星となりました。研究チームはこの新星に着目し、すばる望遠鏡<sup>\*3</sup>の高分散分光器(HDS)<sup>\*4</sup>を用いて詳しく観測し、新星爆発によって放出された物質(ガス)の成分を精密に調査しました。

すばる望遠鏡でこの新星の最初の観測が行われたのは爆発から38日経った2013年9月下旬でした。研究チームは高分散分光器 HDS を用いて、新星が最大光度から約3等暗くなったこの時期に、四回にわたり爆発によって放出された物質の成分を詳細に調査しました。そのなかでひときわ強い吸収線が紫外線の領域(波長 313 ナノメートル付近)に発見されました。水素やカルシウムなどの吸収線との比較から、この吸収線が4番目に軽い元素ベリリウム(Be)の同位体 <sup>7</sup>Be の吸収線であることが判明したのです。また、<sup>7</sup>Be が秒速 1000 キロメートルの爆風に吹き飛ばされている状態にあることも分かりました<sup>\*5</sup>。

観測された <sup>7</sup>Be は、伴星から流入してきたガス中のヘリウム同位体 <sup>3</sup>He と、白色矮星表面に豊富にある <sup>4</sup>He が高温状態で反応することで生成されたと考えられます。さらに <sup>7</sup>Be は 53 日の半減期で <sup>7</sup>Li にかわることが知られています。つまり、爆発後 50 日以内のいるか座の新星における <sup>7</sup>Be の発見は、リチウムの「もと」になる <sup>7</sup>Be が新星爆発で生成される現場をとらえたものなのです<sup>\*6</sup>。しかも、見つかった <sup>7</sup>Be は高速で周囲に吹き飛ばされている状態なので、ここから作られるリチウムは高温環境で壊れることもなく星間空間

に飛散し、次の世代の星を作る材料となるのです。

また研究チームは、吸収線の強さから  ${}^7\text{Be}$  の量、すなわち星間空間に放出されるリチウムの量を計算しました。その結果、放出物質中にはカルシウムに匹敵する量の  ${}^7\text{Be}$  が含まれていることがわかりました。これは宇宙全体では微量元素といえるリチウムとしては破格の量であり、従来の新星爆発の理論からの予測値と比べても6倍以上にも及ぶものとなります。

#### 【成果の意義】

重元素が増えてきた現在の銀河系でもリチウムの量が急速に増大しているなど、宇宙(銀河系)のリチウムには寿命の長い低質量星起源の成分があることは以前から推測されていました。新星爆発はそのような低質量星(特に ${}^7\text{Be}$ の材料となる ${}^3\text{He}$ を多く含む伴星)が進化してできる天体であるため、有力な候補の一つとして挙げられていましたが、証拠が今までありませんでした。それが今回の観測によって強固な裏付けを得ることが出来たのです。これによって、天文学者が今まで推測していたビックバンから現在までに至る物質進化モデル<sup>\*7</sup>が大枠で正しいことが示されました。

さらに、今回の観測では新星でのリチウムの生成量がこれまでの理論予測よりも多いようであるということもわかりました。今回観測したいるか座の新星は古典新星のなかでも比較的ありふれた性質を示すものです。他の新星でも今回と同様なリチウムの生成が起きているとしたら、新星爆発は銀河系のなかで非常に効率よくリチウムを作っているリチウム工場だという可能性が高くなります。今後さらに多くの新星爆発を今回のように適切なタイミングで観測することによって、今まで大きな謎であった宇宙のリチウム進化の姿を明らかにできるものと期待されます。

## 【補足説明】

### ※ 1: 新星爆発

新星爆発(古典新星)は白色矮星(図 1 中央右側)と伴星(同左:太陽のような主系列星もしくはそこから進化した赤色巨星)からなる連星系で起こる爆発現象だと考えられています。この二つの星の距離が非常に近い場合(近接連星と呼びます)、伴星表面にあるガスが白色矮星に向かって流れ込み、降着円盤を形成しながら白色矮星の表面に降り積もるようになります。この降り積もったガスの層が次第に厚くなってくると温度と密度が上昇し、核融合が発生します。星の内部では核融合反応によって中心部で発生したエネルギーは周囲のガスが膨張することにも使われるため安定した核融合となりますが、白色矮星表面の薄いガス層ではそうはいきません。核融合は一気に暴走し、発生したエネルギーによって白色矮星の表面に薄く降り積もったガス層が吹き飛ばされる爆発現象を起こすと考えられています。

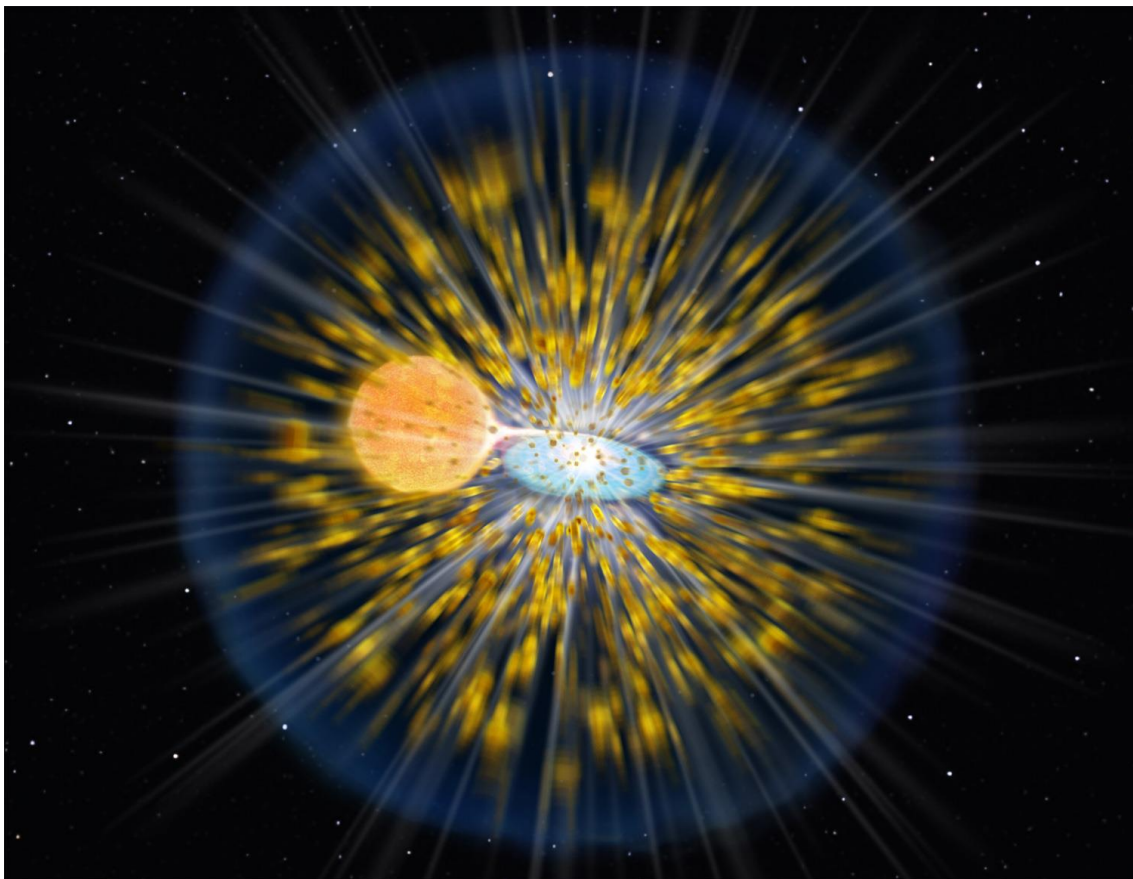


図 1: 新星爆発の想像図(クレジット: 国立天文台)

### ※ 2: リチウム

リチウムには ${}^6\text{Li}$ と ${}^7\text{Li}$ の2つの同位体があり、太陽系では ${}^7\text{Li}$ が約92パーセントを占めています。このプレスリリース文でのリチウムは ${}^7\text{Li}$ のことを指します。

### ※ 3: すばる望遠鏡

すばる望遠鏡は、国立天文台ハワイ観測所が運用する世界最大級の口径 8.2 メートルを誇る光学赤外望遠鏡です。ハワイ島のマウナケア山頂(標高 4,200 メートル)にあります。

※ 4: 高分散分光器(HDS)

すばる望遠鏡の観測装置のひとつで、可視光の波長域では 10 万分の1の波長差を識別できる分光器です。

※ 5: ベリウム7( ${}^7\text{Be}$ )の検出

図2のスペクトルは HDS で撮られた爆発後 47 日のものです。縦軸は光の強さ(並べて表示するため定数を加えています)、横軸は各吸収線の静止状態での波長から計算した視線速度(単位キロメートル毎秒)を表します。いずれの吸収線も秒速-1268, -1103 キロメートルというふたつの速度成分を持っていることがわかります。また、発見されたベリウムの吸収線は自然界に存在する  ${}^9\text{Be}$ (緑線で表示)ではなく、速度の一致の様子から放射性同位体の  ${}^7\text{Be}$  であることがはっきりとわかります。

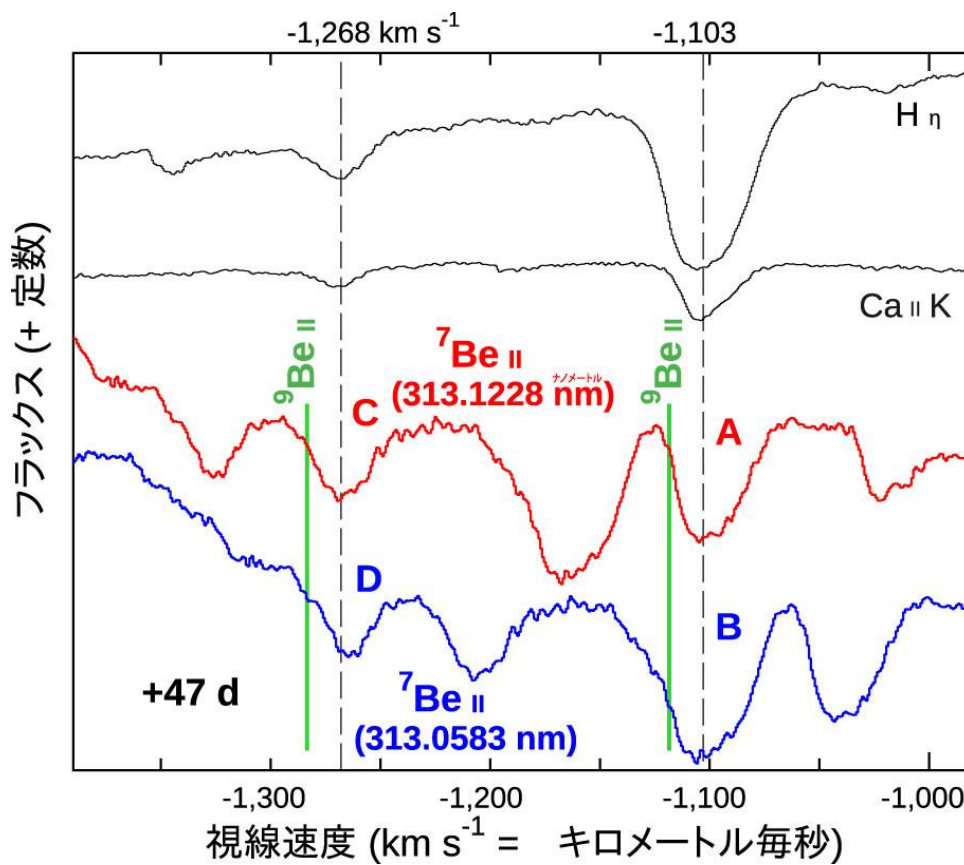


図 2: 水素( $\text{H } \eta$ )および一階電離したカルシウム( $\text{Ca II K}$ )とベリウム( ${}^7\text{Be}$ )の二重線(赤および青)の吸収線の比較

※ 6: 新星爆発時の核反応による  ${}^7\text{Li}$  生成過程

新星爆発時に図3の左側青い矢印で示した反応により  ${}^3\text{He}$  と  ${}^4\text{He}$  から一気に  ${}^7\text{Be}$  が合成されます。その後、爆発により吹き飛ばされたガス塊の中でゆっくりと緑の矢印で示した  ${}^7\text{Li}$  への変化(電子捕獲反応)が起きます。

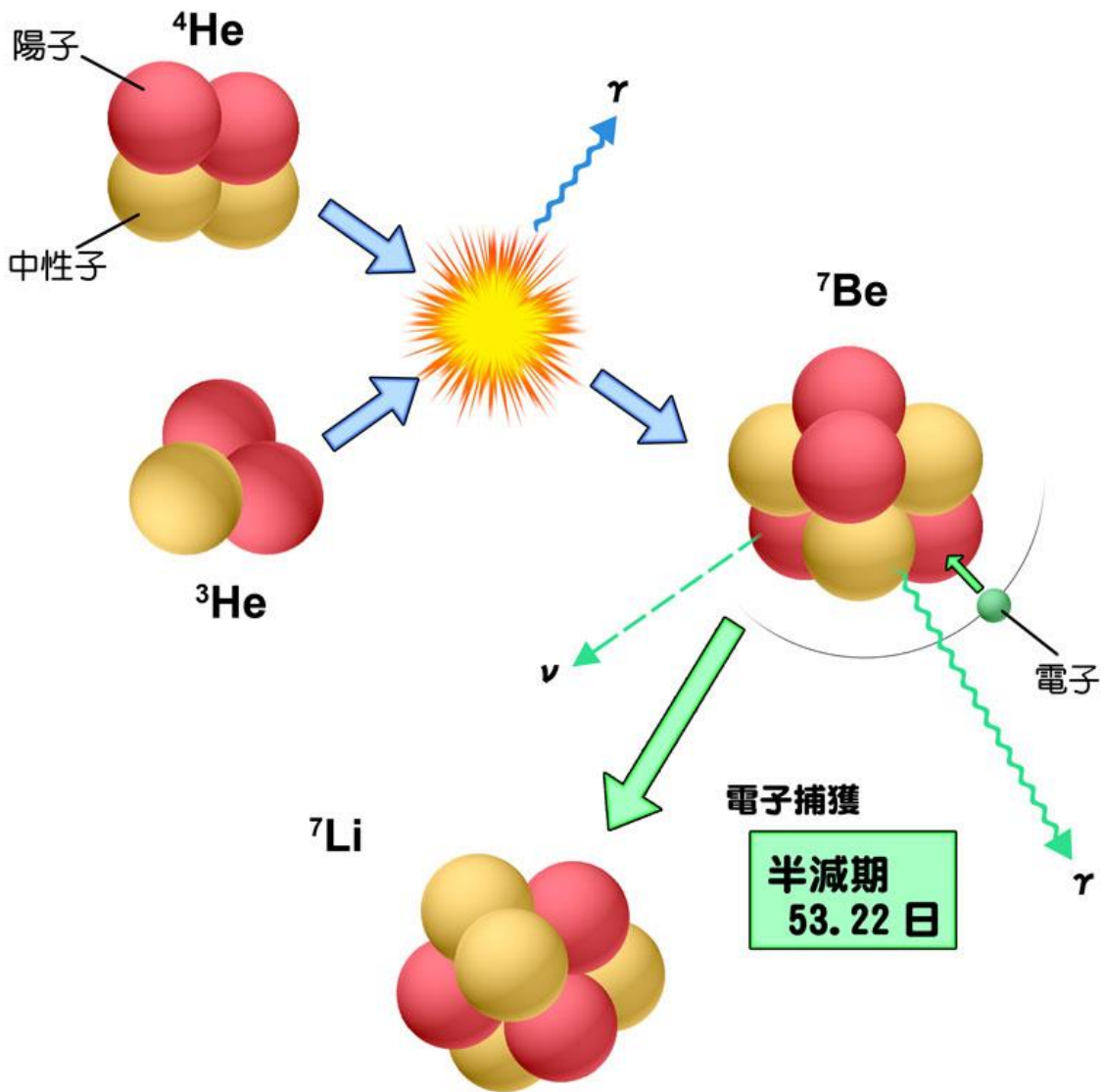


図3: 新星爆発時における  ${}^7\text{Be}$  そして  ${}^7\text{Li}$  を生成する核反応



※ 7:物質進化モデル

宇宙におけるリチウムの起源を探るために、天の川銀河などにおける様々な星のリチウム組成が調べられてきました。図4にはその結果を示しています。図の中で、重元素量の低い星は宇宙の比較的初期に生まれた星で、こういう星のリチウムは主にビッグバン時に生成されたものと考えられます。ただし、その量は標準的なビッグバン元素合成モデルからの予測よりも2, 3倍小さいという問題が指摘されており、議論を呼んでいます。一方、重元素量の多い星はビッグバンから何十億年もたってから誕生してきた星と考えられ、こういう星ではリチウムがかなり増加していることがわかります。このような増加を作り出すのは、超新星や星間物質におけるリチウム生成だけではなく、質量の小さな星や新星爆発でのリチウム生成が重要であると考えられるのです。

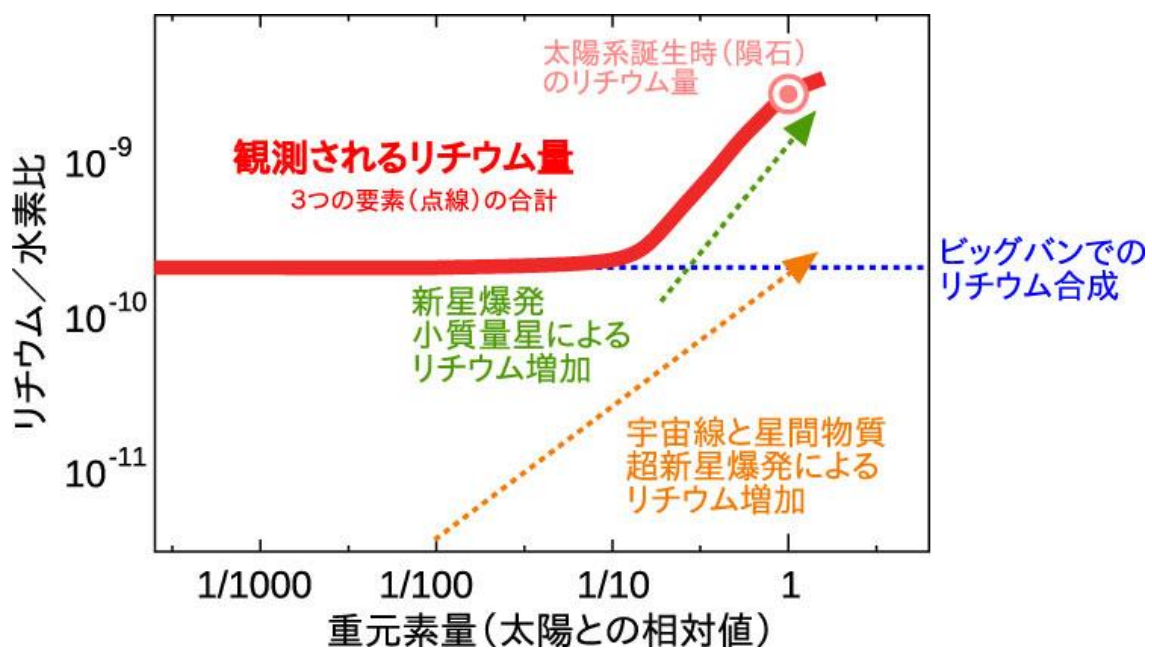


図4:リチウム量の進化の模式図

【論文名および著者名】

“Explosive lithium production in the classical nova V339 Del (Nova Delphini 2013)”

(古典新星いるか座 V339 における爆発的リチウム生成)

Akito Tajitsu, Kozo Sadakane, Hiroyuki Naito, Akira Arai & Wako Aoki

- ・田実晃人(国立天文台ハワイ観測所)
- ・定金晃三(大阪教育大学)
- ・内藤博之(名古屋大学/なよろ市立天文台)
- ・新井彰(京都産業大学/兵庫県立大学)
- ・青木和光(国立天文台)