

# 「すざく」衛星がとらえた炭素の合成と放出の現場 ～星の内部の錬金術が見えた～

国分 紀秀 (物理学専攻 助手), 村島 未生 (天文学専攻修了\*)

2005年7月10日に誕生したX線衛星「すざく」(本誌2005年9月号参照)は、搭載装置の1つが機能を失ったものの、X線CCDカメラや硬X線検出器は無事に稼働を続けており、2006年3月末までに100個を超す天体の初期観測を完了した。得られた多くの科学的成果の中でもハイライトの1つとして、星の内部で炭素が合成された現場を初めて直接的に捉えることに成功した。

水素やヘリウムなど、宇宙の「最初の3分間」に作られた軽元素を除けば、カール・セーガンが「われわれは星屑でできている」と述べたように、この世の元素はみな星の内部の核反応で作られた。なかでも炭素は、宇宙で4番目に数多く存在する元素であり、多様な化合物(有機物)を形成して生命の基本素材となるので、どのように合成されたかを知るとはとくに重要である。

太陽のような恒星は一生の大部分の間、水素をヘリウムに変換する核反応で輝くが、晩年に赤色巨星へと進化すると、その内部では図1のように、3つのヘリウム原子核から核融合により1個の炭素原子核が作られる。これは現代天文学の基本概念であるが、老いた星の奥深くで

進行するこの「錬金術」の現場や、作られた炭素が宇宙空間へ運ばれる様子は、直接に観測することは容易ではなかった。

そこでわれわれは「すざく」を用いて2005年9月、「はくちょう座」にある惑星状星雲の1つ、BD+30°3639を観測した。これらの天体は惑星に似た姿に見えるためこの名前で呼ばれるが、実際には惑星とはまったく無関係な天体であって、年老いた星で外層部分と中心部が分離し、外層が宇宙空間へ拡散していくとき、それを透かして星の中心部が見えてきたものである。星からの物質の流れは徐々に速度を上げ、以前に放出した物質を押しよけて美しいリング状の星雲を作るとともに、さらに速くなると衝撃波が生じて放出した物質を数百万度の高温に加熱するため、軟X線を放射するようになる。

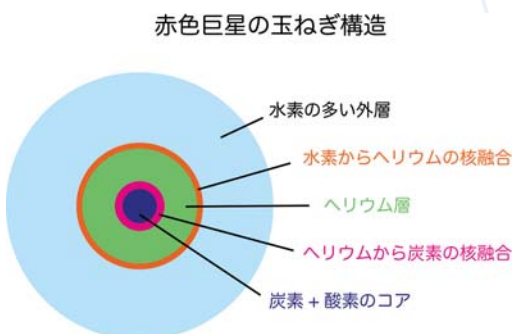
「すざく」のCCDカメラでBD+30°3639のX線スペクトルを測定したところ、図2のように、電離したネオンや酸素の特性X線に加え、エネルギー0.37キロ電子ボルトに強い信号が受かった。これは、高電離して電子が1つだけ残っ

た炭素イオンに特有なものである。このような低エネルギーでは星間吸収が強く、X線CCDのエネルギー分解能も不足なため、従来の衛星観測では炭素の輝線をきちんと分離できなかった。「すざく」の優れた性能の賜物である。

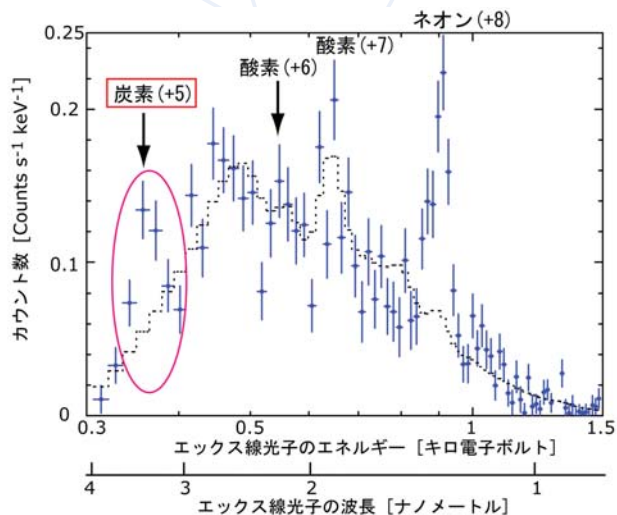
スペクトルを詳しいモデル計算と比較した結果、X線放射ガスの温度は230万度で、炭素イオン数は酸素イオン数の約40倍も存在することが判明した。宇宙の平均では、炭素原子は酸素原子の約半数であるから、異常に多量の炭素が含まれていることになる。これは図1で、ヘリウム層の下部で合成された炭素がまき上げられ、ヘリウムとともに放出されつつある結果と解釈できる。

この成果は村島の博士論文の主要部となり、衛星が打ち上げられてわずか半年で学位が誕生するという快挙となった。また2006年3月28日、和歌山市で開催された日本天文学会の春季年会において記者発表を行なった。投稿論文は現在執筆中である。

\* 2006年3月23日付で博士学位を取得



■ 図1: 赤色巨星に進化した星の内部における、元素合成の概念図



■ 図2: 「すざく」CCDカメラで取得した、BD+30°3639からのX線スペクトル

# 日本海にメタンブルームと メタンハイドレートを発見

松本 良 (地球惑星科学専攻 教授)

メタンハイドレートとは水分子が作るケージ構造の中にメタン分子が取り込まれた固体物質で、天然では、温度が低く圧力の高い深海堆積物や永久凍土域に分布することが知られている。メタンハイドレートは、それ自体の体積の160倍のメタンガスを取り込むことができるため、地球の表層付近には膨大な量のメタン(炭素)がメタンハイドレートの形で存在していると考えられる。メタンハイドレートは天然ガス資源として注目され、資源エネルギー庁による開発計画も始まっているが、わずかな温度と圧力の変化で分解し大量のメタンガスを放出するメタンハイドレートは、地球環境の変動要因としてもきわめて重要である。

日本海東縁、上越市沖海底の小さな高まり(海脚)上には、直径が数百メートル、深さ数十メートルという巨大な凹地(ポックマーク)が複数存在する。この凹地は海底からのガス噴出に由来するのではないかと、だとすれば、周辺の表層堆積物中にはメタンハイドレートが存在するはずである、と予想し、2004年の夏、この海域で総合的メタンハイドレート調

査を行った。私たちが最初に驚かせたのは計量魚探記録に表れたガスの柱(ブルーム)である(図1)。ブルームは高さ500~600m、海底から海面下200~300m付近にまで達する巨大なもので、10平方キロメートル程度の調査海域内の数十箇所を確認された。ピストンコアにより30箇所海底の泥の回収を行ったところ、海底付近の堆積物中には塊状のメタンハイドレートが密集して存在することが分かった(図2)。

これらの成果を踏まえ、2005年には海洋研究開発機構の無人潜水艇(ROV)ハイパードルフィンによる海底観察を行い、メタンブルーム付近の海底にメタンハイドレートが露出して分布するのを発見した。メタンガスの炭素同位体組成(-40パーミル程度)から、これらメタンハイドレートのメタンは、地下数km以深で生成された熱分解起源ガスに起源をもつことも明らかになった。海洋のメタンハイドレートは、多くの場合、微生物起源メタンから成り、海底から数十~数百メートルの堆積物中に存在するのに対し、日本海東縁の海底メタン

ハイドレートは、深部ガス起源のハイドレートが海底近くに密集して産するという点で、これまで知られているものと異なる。地球環境への影響という側面からも、エネルギー資源という視点からも注目すべき発見である。

今回の調査結果から、いくつか重要な課題が抽出できる。(1)いかなる地質条件が、大深部から大量の熱分解メタンを海底付近にまで運搬しているのか(地質モデル)、(2)メタンブルームのメタンは大気メタン濃度を変化させ得るのか(影響評価)、(3)巨大凹地の形成時期とメタン活動との関係(急激な分解?)、(4)海底付近に密集するメタンハイドレートの資源的価値(資源評価)である。調査後の試料の分析と解析により、異常に大きなメタンフラックスが日本海の形成史と無関係ではないこと、メタンハイドレートの安定性が氷期-間氷期変動と関係するらしいことなど、新しい事実が明らかにされつつある。

本研究は、2005年の米国地球物理学連合秋の例会などで報告されている。

(2006年2月20日プレスリリース)

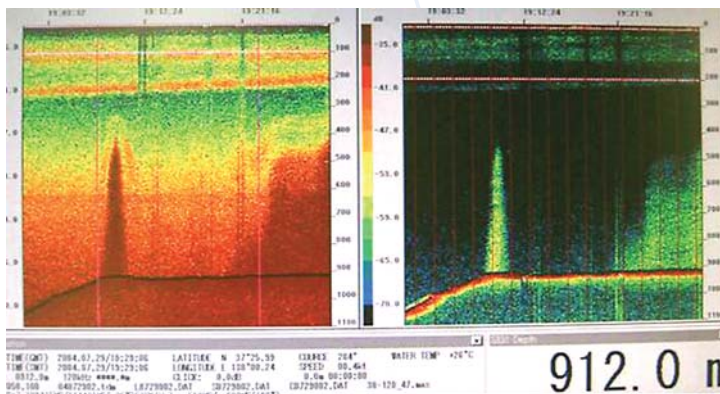


図1: 計量魚探で発見した巨大なメタンブルーム。高さ約600mで、910mの海底から水深250m付近にまで達する



図2: ピストンコアで回収された熱分解ガス起源の海底メタンハイドレート。コアの直径は7cm