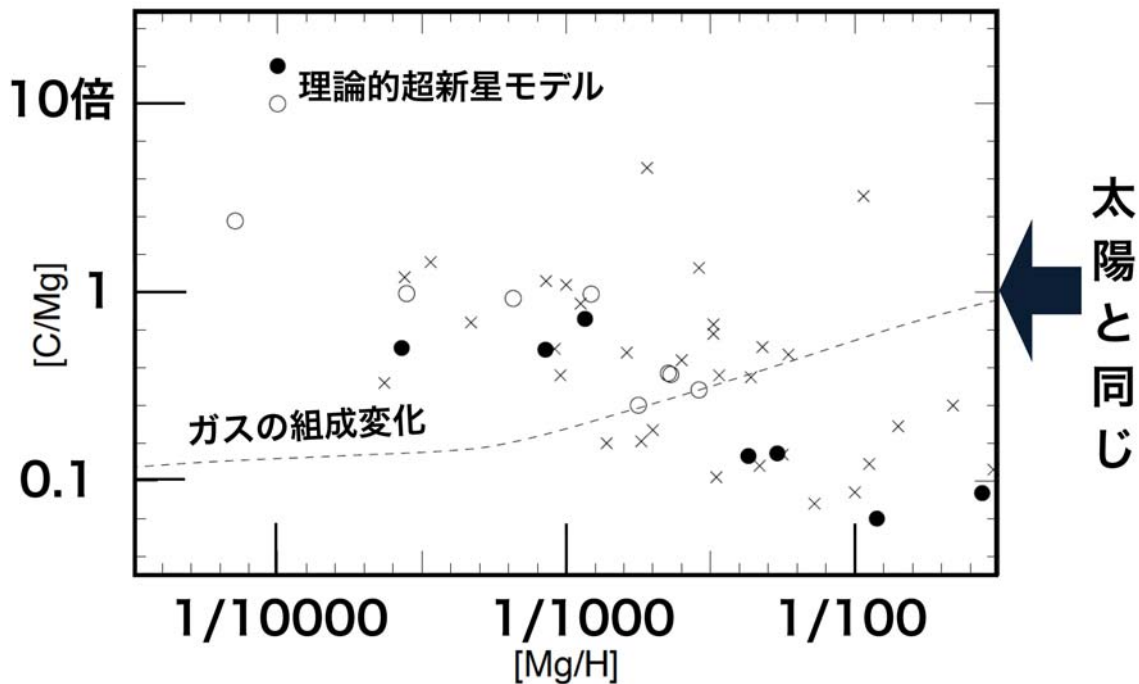




長老の星が語る宇宙錬金術

理学系研究科 附属ビッグバン宇宙国際研究センター 准教授 茂山 俊和



図：炭素とマグネシウムの組成比（縦軸）とマグネシウムと水素の組成比（横軸）。×が観測された星表面の値。○と●は超新星の理論的モデルが予想する、超新星爆発の結果放出された元素が爆発によって掃き集めたガスと混ざった後の組成比。爆発した星の質量によって異なる値を示す。それぞれの軸の目盛りの数字は太陽系での組成比との比を示している。

宇宙の過去を知ることは「私たちはどうして存在するのか」という疑問の答えを知ることにつながる。この講演では、私たちが日常触れている、あるいは私たち自身の体を構成している物質の起源に関する研究の一端を紹介する。

宇宙は137億年前にビッグバンで始まり、膨張を続けている。その結果として、宇宙が熱かった最初の数分間に水素、ヘリウム、リチウムが合成された。しかし、我々に身近な元素である炭素、窒素、酸素、…、鉄、…、銀、金、鉛、ウランなどはこの時には合成されなかった。こ

れらの元素は星の中の核融合反応によって長い時間をかけて合成される。宇宙での錬金術は恒星（以下、星＝恒星＝自ら輝く星）の中で行われる。

それでは、どんな星でどんな元素が合成され供給されるのか。星の進化の数値計算から、かなりのことがわかっている。単独の星は生まれたときの質量によって、その運命がほぼ決まる。太陽の10倍以上の質量（太陽の質量＝ 1.989×10^{30} kg）の星は最後に超新星爆発を起こす。そして、核融合によって合成された元素を宇宙

空間に放出する。超新星爆発がどのように起こるのか、その詳細が解明されていないため爆発時に合成される鉄属元素とより重い（原子番号が大きい）元素の合成量を理論的に予測することは現時点では不可能である。しかし、このような超新星爆発の際に中心領域で中性子が豊富に存在する状況が実現すると予想されるので、原子核が中性子を次々と吸収することで鉄より重い元素（Ag, Pt, Au, U などの中性子捕獲元素）が合成されると期待されている。一方、爆発前に合成された酸素やマグネシウムなどの軽い（原子番号が小さい）元素の合成量は定量的に予測できる。星の準静的進化モデルの精度が高いためだ。

このような理論を補強するには星が放射する光を分光観測して、スペクトルを分析する。スペクトルとは光の波長毎（あるいは色別）に分けた明るさである。虹は太陽からの光のスペクトルである。スペクトルの所々には暗い線がある。この線が出る場所（波長）は元素によって決まっている。その暗さから元素組成がわかる。これはその星が生まれたときのガスの組成を示している。

太陽のように銀河が形成されてから時間が経って生まれた星の元素組成は過去に様々な星が合成放出したものの混ぜ合わせである。銀河誕生直後に生まれ、今も輝いている年老いた星なら単一の超新星爆発で放出した元素の情報を他の星から放出された元素と混ざることなく持っていることが期待される。年老いた星は銀河系ハローにある。炭素より重い元素の量が少ないことで銀河誕生直後に生まれたことがわかる。質量が太陽の 80% 以下の星は寿命が 140 億年以上なので、現在まで生き残れる。このような星のスペクトルを観測し導き出した元素組成と

理論的に導き出した個々の超新星が掃き集めたガスの中の元素組成を比べてみると軽い元素（H, C, Mg）については両者がよく一致することが示された（図）。つまり、これらの星は単一の超新星の影響のみを受けたと考えられる。さらに、超新星に掃き集められたガスから次の世代の星が誕生したことを示している。

逆に、古い星の観測から求められた恒星表面の元素組成をもとに超新星からの元素供給量を推定することもできる。例えば、中性子捕獲元素について推定してみると、太陽質量の 20 倍の質量を持った星が主な供給源で、他の星はほとんど中性子捕獲元素を合成していないという結論が得られた。これはお隣の銀河である大マゼラン雲に 1987 年に出現した超新星が太陽質量の 20 倍の質量を持った星を親星とし、大量のバリウム（中性子捕獲元素の 1 つ）が見つかったこととも符合する。

私たちが日常的に接しているものを構成する元素は、恒星の中心部の高温領域で起こる核融合反応を経て作られた。その多くは超新星爆発によって星間空間に放出された。その元素を含んだガスから次の世代の星が生まれ、質量の小さい星は長生きして私たちに宇宙の過去について語りかけ、質量の大きい星は元素を供給する。この繰り返しの結果、太陽系の元素組成が出来上がった。