

理学博士杉本大一郎氏及び理学博士野本憲一氏の「星の進化と

超新星の理論」(共同研究) に対する授賞審査要旨

現在の太陽の中心領域では、Hの核融合反応(核燃焼)が進行しているが、将来、この領域のHはすべてHeに転化し、さらに高温になるとHeの核燃焼が起こって、C・Oより成る中心核(core)が形成される。一九六〇年代になって、質量が十分大きい星では、さらにCの核燃焼が始まってO・Ne・Mgの中心核、ついでSiの中心核、最後にFeの中心核が形成されるが、この途中または最後の段階で超新星としての爆発が起こるものと考えられるようになった。以上のような種々の進化段階にある星は、化学組成の異なった多層構造をもち、核燃焼が星の中心や層の境界領域で進行し、また、対流による組成の混合などが起こるために、種々の質量の星の一生の進化を計算することは極めて困難であった。

この困難の一つが核燃焼の強い温度依存性にあると考えられていたのに対して、杉本氏は、まず一九七〇年に、熱の流れの時間尺度が星の内部深層と外層とで何桁も違う点に根本原因があることをつきとめ、これを解決する計算方式を案出した(論文1)。その翌年、杉本氏は、当時大学院学生であった野本氏と約一〇年にわたる共同研究を始め、次に述べるような大きな成果を収めることになった。

両氏は、まず、計算方式を星の爆発を含む動力学的な場合に拡張するとともに、各核燃焼の反応率を組み入れるこ

とによって、超新星爆発までの進化を計算することが可能になった(論文2)。ついで、化学組成の分布が急激に変化する領域や、不安定な核燃焼が起こっている領域については、組成分布の変化に伴って移動する座標系を導入することによって、計算の困難を克服し、また、これによって、質量付着がある場合の進化も計算できるようになった。このようにして、杉本・野本の両氏は、種々の質量の星の一生の進化を追跡できる、数値的に極めて安定かつ強力な計算方式を完成し、世界中で両氏だけが計算可能であるという状況が一〇年余り続くことになった。

杉本・野本の両氏は、この方式を用いて数多くの進化過程を解明したが、その一つは、Cの不安定燃焼に起因する、いわゆるI型超新星の理論である。この超新星の起因が、Cの燃焼の爆轟 (detonation) であると考えられていたのに対して、杉本・野本の両氏は、対流発生によって燃焼波が伝播する爆燃 (deflagration) であることを見出した(論文4、5)。第二の成果は、O・Ne・Mgの中心核が形成された段階において、Mgの電子捕獲が引金となる超新星現象の解明であって、このような爆発を起こす星の質量は、太陽質量の八倍から一二倍の間にあることを見出している(論文6)。その他の成果として、杉本氏は、白色矮星や中性子星の表面に質量付着がある場合、不安定な核燃焼や、またその繰返しが起こりうることを見出し、これを新星爆発や中性子星のX線バーストの説明に適用した(論文7、8)。このような質量付着の起こりうる場としては、連星系が考えられる。杉本氏は、近接連星の二つの星が、相互の質量交換によって、質量を大きく変える場合の進化の様子を明らかにした(論文9)。

杉本・野本の両氏は、一九八〇年頃に共同研究をほぼ終了し、その後は個別に研究を進めた。一方、杉本氏は、星の進化が自己重力系の熱力学的過程であるという観点に立って、一般の自己重力系における非線形・非平衡の進化過

程を定式化し、これを球状星団に適用して、その形態進化の理論を作り上げた(論文3)。さらに、最近では、このような星団や銀河の進化の研究を進めるために、重力計算専用的高速計算機を開発した。他方、野本氏は、前に述べた星の進化の計算方式を活用して、これまで観測された種々の型の超新星を説明する理論を作り上げた。とくに、超新星 1987A が出現するに及んで、次に述べるように、超新星の理論を飛躍的に発展させた。

野本氏は、まず、超新星爆発の直前の段階にある星の内部構造の標準モデルを作成し、これをもとにして、星の内部における元素合成の過程を明らかにした(論文10、11)。折しも、マゼラン星雲に超新星 1987A が出現し、野本氏は、その爆発過程を詳しく計算した。その結果を、観測された可視光・赤外線・X線・ガンマ線の時間的变化と比較することによって、星の内部で合成された各種の元素が混合しながら外部へ放出される過程を明らかにした(論文12、13)。とくに、光度の時間変化については、内部で合成された  $^{56}\text{Ni}$  が混合しながら表面に運ばれて、半減期七七日をもって  $^{56}\text{Fe}$  に崩壊するのが主なエネルギー源であること、さらに、爆発直後の五〇日間は光度がほぼ一定であったことは、内部方向へのHの混合の結果であることを明らかにした。さらに、野本氏は、最近数多く観測されるようになった、種々の型の超新星の観測データと理論を結びつけ、連星系における星の進化とも関連をつけながら、超新星の型を爆発機構の違いによって分類して、超新星理論を集大成した(論文14)。

杉本・野本の両氏は、それぞれ単独に、一九八一年と一九八九年に仁科記念賞を受けている。また、杉本氏は、一九八三年にゲッチェンゲン・アカデミーからガウス教授の称号を授与されている。

杉本氏と野本氏は、それぞれ、一〇〇編余の発表論文があるが、表題の研究に関する主要な論文を次に掲げる。

- 1) On the Numerical Stability of Computation of Stellar Evolution, D. Sugimoto, Astrophysical Journal, 159 (1970), 619-627.
- 2) Stable Numerical Method in Computation of Stellar Evolution, D. Sugimoto, K. Nomoto, and Y. Eriguchi, Progress of Theoretical Physics, Supplement No. 70 (1981), 115-131.
- 3) Gravo-thermal Aspects in Evolution of the Stars and the Universe, D. Sugimoto, Y. Eriguchi, and I. Hachisu, Progress of Theoretical Physics, Supplement No. 70 (1981), 154-180.
- 4) Carbon Deflagration Supernova, an Alternative to Carbon Detonation, K. Nomoto, D. Sugimoto, and S. Neo, Astrophysics and Space Science, 39 (1976) L37-L42.
- 5) Presupernova Models and Supernova, D. Sugimoto and K. Nomoto, Space Science Reviews, 25 (1980), 155-227.
- 6) Supernova Triggered by Electron Captures, S. Miyaji, K. Nomoto, K. Yokoi, and D. Sugimoto, Publications of the Astronomical Society of Japan, 32 (1980), 303-329.
- 7) A General Theory for Thermal Pulses of Finite Amplitude in Nuclear Shell-Burning, D. Sugimoto and M. Y. Fujimoto, Publications of the Astronomical Society of Japan, 30 (1978), 467-482.
- 8) An Indication for Ejection of Hydrogen-Rich Envelope from X-Ray Burster MXXB1636-53, D. Sugimoto, T. Ebisuzaki and T. Hanawa, Publications of the Astronomical Society of Japan, 36 (1984), 839-844.
- 9) Evolutionary Models of Early-Type Contact Binary SV Centauri, Y. Nakamura, H. Saio, and D. Sugimoto, Publications of the Astronomical Society of Japan, 31 (1978), 649-655.
- 10) Accreting White Dwarf Models for Type I Supernovae III, Carbon Deflagration Supernovae, K. Nomoto,

- F. K. Thielmann, and K. Yoko, *Astrophysical Journal*, 286 (1984), 644-658.
- 11) Explosive Nucleosynthesis in Supernova 1987A, M. Hashimoto, K. Nomoto, and T. Shigeyama, *Astronomy and Astrophysics*, 210 (1989), L5-L8.
  - 12) Light-Curve Models for Supernova SN1987A in the Large Magellanic Cloud, T. Shigeyama, K. Nomoto, M. Hashimoto, and D. Sugimoto, *Nature*, 328 (1987), 320-323.
  - 13) Gamma-Rays, X-Rays and Optical Light from the Cobalt and the Neutron Star in 1987A, S. Kumagai, T. Shigeyama, K. Nomoto, M. Ito, J. Nishimura, and T. Tsuruta, *Astrophysical Journal*, 345 (1989), 412-422.
  - 14) Origin of Type Ib-Ic-IIb-III Supernovae and the Common Envelope Evolution of Close Binaries, K. Nomoto, to appear in IAU Symposium, 165 (1995), Compact Stars in Binaries, ed. by E. P. J. van den Heuvel (Kluwer).