

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2013

課題番号：22540246

研究課題名(和文)電子捕獲型超新星の親星モデルの構築

研究課題名(英文)Construction of progenitor models for electron capture supernovae

研究代表者

梅田 秀之(UMEDA, Hideyuki)

東京大学・理学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60447357

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：電子捕獲型超新星とは重力崩壊型の超新星のうち最も質量が軽い星の爆発である。一般に星の数は軽い星ほど多いため、この型の超新星が実在するのであれば超新星の光度曲線などの観測にも、元素の起源に関しても重要なはずであるが、これまでそれらの研究対象としてあまり考えられて来なかった。その主な理由の一つは、より重い鉄の核を形成するものとその進化過程が大きく異なり複雑なため親星の計算がほとんどなされていなかった事があげられる。今回我々はほぼ30年ぶりにその進化計算を更新された物理を用いて計算することができた。この親星モデルを爆発させることにより、今後この超新星に関する理解が深まることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：Electron capture supernovae (ECSNe) are considered to be the lightest supernovae among the core-collapse SNe. In general stellar number increases for less massive stars. Therefore ECSNe should be important for the study of SN light curves and the origin of elements. However they have not been considered much in the study of these fields. One of the main reasons for this situation is that their progenitor models have rarely been calculated previously. This is because the physical processes during the stellar evolution is quite different from more massive Fe-core forming stars, and are very complicated.

In this study we successfully calculated progenitor models for ECSNe with up-dated input physics after about 30 years since the previous calculation. With applying these progenitor models for explosion simulations, we expect that our understanding about ECSNe will improve in near future.

研究分野：数物

科研費の分科・細目：天文学

キーワード：理論天文学 超新星 親星

1. 研究開始当初の背景

最近、約 8 ~ 10 Msun (太陽質量) の初期質量を持つ星の爆発である、電子捕獲型超新星が注目を集めているが、その理由の一つは、第一原理から計算したニュートリノ駆動型の超新星爆発シミュレーションにおいて、この型の超新星が爆発に成功した唯一の例 (例、Kitaura 他 2006) となっている事がある。この型の超新星の特徴は爆発エネルギーや放出される ^{56}Ni の量が通常の超新星より 1 桁程度少ない事であり、そのため暗い超新星として観測されるはずである。実際に観測されている暗い超新星の中の幾つかのもの (SN2008S や SN1997D) や、かに星雲を残した歴史的な超新星 SN1054 はこの型に属するのではないかと考えられていることが、注目を集めているもう一つの主な理由である。このように電子捕獲型超新星の研究は非常に重要であるが、爆発直前の親星モデルが野本 (1984) のモデル 1 例しか存在しないのが現状であり、上記の爆発シミュレーションの結果を違う親星のモデルを用いて検証することや、初期質量の違いが爆発に及ぼす影響などについても検証を行うことができない状況となっている。また当時と比べると光の吸収係数や電子捕獲率、ニュートリノ放出率などの理論計算に進展があったため、それらを更新する必要がある。

2. 研究の目的

太陽の約 8 ~ 10 倍の初期質量を持つ星は、それより重い星と異なり中心に鉄核を作らず O-Ne-Mg の核を形成するが、それは進化の末期に電子捕獲により崩壊し超新星爆発を起こすと考えられている。このような電子捕獲型超新星の研究は非常に重要であるが、爆発直前の親星モデルは 20 年以上更新されていない。本研究では、これら太陽の 8 ~ 10 倍の質量を持つ大質量星の進化計算を最新の物理を考慮して詳しく行い、超新星爆発直前の更新されたモデルを構築する。これによって、このような超新星が本当に存在するのか、どのように爆発するのか、爆発時にどのような元素が合成されるのかという研究に繋げることを目的とする。

3. 研究の方法

本研究で計算する約 8 ~ 10 Msun の質量を持つ星の進化は非常に複雑であり、その計算には幾つかの困難を伴う。しかし電子捕獲型 (あるいはニュートリノ駆動型) 超新星の爆発機構と元素合成を明らかにするためにはこの計算を遂行することを避けては通れない。本研究で用いるコードは幾らかのチューニングと改良が必要であるとはいえ、基本的には我々がこれまでに超新星親星モデルの構築に用いてきたものと同じである。それを用いドレッジアップ、熱的パルスなど不安定で困難な計算を時間の許す限り根気よくやりとげる必要がある。しかし熱的パルスの計

算などを全て詳細に追うのは時間的に不可能であると予想できる。その場合は適宜、先行研究などで用いられている近似法を用いて計算を行う。ある物理量に他の先行研究などと同じ近似法を用いたとしても、進化の過程は複雑なため他のグループとは独立で意義のある結果を得ることが出来る。

4. 研究成果

本研究課題の最大の目的であった電子捕獲型超新星の親星の計算を完了させ、その結果を "Evolution of Progenitors for Electron Capture Supernovae" というタイトルで査読誌 *The Astrophysical Journal*, Volume 771, Issue 1, article id. 28, 13 pp. (2013) に出版した。この結果は 30 年以上にわたって更新が行われていなかった電子捕獲型超新星の親星のモデルを更新したもので、このモデルをその型の超新星爆発に応用する事によって電子捕獲型超新星に対する理解が進展することが期待できる。

更にこの親星モデルを用いて詳細なニュートリノ輸送計算を含む第一原理的な輻射流体力学計算を行うための共同研究を開始し、テスト計算を行いながら計算に必要な更新点を洗い出した。その結果明らかとなった必要な更新点は、状態方程式の拡張、爆発中の電子捕獲や核燃焼を計算し発生する熱量を詳細に計算することと、爆発的核燃焼波の進行を計算することである。そのうち状態方程式の拡張を完了した。具体的には元の計算コードに含まれていなかった低密度部分の状態方程式を導入し、それを高密度部分と滑らかにつなぐ作業を行った。これによって一定の計算結果が得られるようになり、今後の研究を進める上での足がかりを作る事ができた

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 13 件)

Yoshida, T.; Okita, S.; 梅田秀之、Type Ic core-collapse supernova explosions evolved from very massive stars, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 438, 2014, 3119-3127、査読有 DOI: 10.1093/mnras/stt2427

Takahashi, K.; Yoshida, T.; 梅田秀之、Evolution of Progenitors for Electron Capture Supernovae, *The Astrophysical Journal*, 771, 2013, id. 28, 13 pp、査読有 DOI: 10.1088/0004-637X/771/1/28

Nakazato, K.; Sumiyoshi, K.; Suzuki, H.; Totani, T.; 梅田秀之; Yamada, S.、Supernova Neutrino Light Curves and Spectra for Various Progenitor Stars: From Core Collapse to Proto-neutron Star

Cooling、The Astrophysical Journal Supplement、205、2013、id. 2、17 pp、
査読有

DOI: 10.1088/0067-0049/205/1/2

梅田秀之; Yoshida, T.; Takahashi, K.,
Massive star evolution and
nucleosynthesis: Lower end of Fe
core-collapse supernova progenitors and
remnant neutron star mass distribution,
Progress of Theoretical and
Experimental Physics、2012、id.01A302、
査読有

DOI: 10.1093/ptep/pts017

Sonoi, Takafumi; 梅田秀之、Vibrational
instability of Population III very
massive main-sequence stars due to the
-mechanism、Monthly Notices of the
Royal Astronomical Society: Letters、421、
2012、L34-L38、査読有

DOI: 10.1111/j.1745-3933.2011.01201.x

Falless, D. W.; Nozawa, T.; Nomoto, K.;
梅田秀之; Maeda, K.; Kozasa, T.; Lazzati,
D., On the effects of microphysical grain
properties on the yields of carbonaceous
dust from Type II supernovae、Monthly
Notices of the Royal Astronomical
Society、418、2011、571-582、査読有

DOI: 10.1111/j.1365-2966.2011.19506.x

Kobayashi, C.; Izutani, N.; Karakas, A.
I.; Yoshida, T.; Yong, D.; 梅田秀之、
Evolution of Fluorine in the Galaxy with
the -process、The Astrophysical
Journal、739、2011、id. L57、4 pp.、査
読有

DOI: 10.1088/2041-8205/739/2/L57

Kobayashi, C.; Karakas, A. I.; 梅田秀
之、The evolution of isotope ratios in
the Milky Way Galaxy、Monthly Notices of
the Royal Astronomical Society、414、
2011、3231-3250、査読有

DOI: 10.1111/j.1365-2966.2011.18621.x

Hirano, S.; 梅田秀之; Yoshida, N.,
Evolution of Primordial Stars Powered by
Dark Matter Annihilation up to the
Main-sequence Stage、The Astrophysical
Journal、736、2011、id. 58、10 pp.、査
読有

DOI: 10.1088/0004-637X/736/1/58

Nozawa, T.; Maeda, K.; Kozasa, T.;
Tanaka, M.; Nomoto, K.; 梅田秀之、
Formation of Dust in the Ejecta of Type
Ia Supernovae、The Astrophysical Journal、
736、2011、id. 45、13 pp.、査読有

DOI: 10.1088/0004-637X/736/1/45

Yamasawa, D.; Habe, A.; Kozasa, T.;
Nozawa, T.; Hirashita, H.; 梅田秀之;
Nomoto, K., The Role of Dust in the Early
Universe. I. Protogalaxy Evolution、The
Astrophysical Journal、735、2011、id. 44、
14 pp.、査読有

DOI:10.1088/0004-637X/735/1/44

Yoshida, T.; 梅田秀之、A progenitor for
the extremely luminous Type Ic supernova
2007bi、Monthly Notices of the Royal
Astronomical Society: Letters、412、2011、
L78-L82、査読有

DOI:10.1111/j.1745-3933.2011.01008.x

Kuroda, T.; 梅田秀之、
Three-dimensional
Magnetohydrodynamical Simulations of
Gravitational Collapse of a 15 M sun Star、
The Astrophysical Journal Supplement、
191、2010、439-466、査読有

DOI:10.1088/0067-0049/191/2/439

[学会発表](計 37 件)

高橋 亘; 梅田秀之; 吉田敬、自転する初
代星の元素合成計算、日本天文学会 2014
年春季年会、2014/03/19-22、国際基督教
大学(東京都)

高橋 亘; 梅田秀之; 吉田敬、初代星進化
に自転運動が与える影響、日本天文学会
2013 年秋季年会、2013/09/10-12、東北大
学(宮城県)

高橋 亘; 梅田秀之; 吉田敬、Evolution
of stars just below the critical mass for
iron core formation、Death of Massive
Stars: Supernovae & Gamma-Ray Bursts、
IAU Symposium 279、2012/03/12-16、日光
(栃木県)

吉田敬; 梅田秀之; 大北晨平; 高橋 亘、
Mass and Metallicity Dependence of
Massive Star Evolution、Formations of
Compact Objects: from the cradle to the
grave、2012/03/7-9、早稲田大学(東京都)

高橋 亘; 梅田秀之; 吉田敬、9-11Msun の
恒星のコア進化、研究会「太陽物理学と恒
星物理学の相互交流と将来的展望」、
2011/12/26-28、東京大学(東京都)

梅田秀之、大質量星の回転星モデルと連
星系モデルの区別について / ダークスタ
ー、第2回「クォーク力学・原子核構造に
基づく爆発的天体現象と元素合成」研究会、
2010/05/31-06/01、東京大学(東京都)

梅田秀之、On the progenitors of GRBs、
Deciphering the Ancient Universe with
Gamma-Ray Bursts、2010/04/19-23、京都
(京都府)

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:

国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梅田 秀之 (UMEDA, Hideyuki)

東京大学・大学院理学系研究科・准教授

研究者番号：60447357

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：