

# 光赤天連「将来計画検討書」における恒星物理

橋本 修 (ぐんま天文台)

## 1 「2020年代の光赤外天文学」検討報告書

光学赤外線天文連絡会(光赤天連)では、2016年8月に「2020年代の光赤外線天文学」検討報告書を発行した。近未来に発展を目指すべき天文学の研究を洗い出し、その具体的な方向性を明確にするとともにTMTや大型赤外線衛星などの次世代の大規模観測装置の推進を図ることが主要な目的である

2013年より光赤天連より委嘱を受け、この検討報告書における「恒星物理・超新星・晩期型星」の分野の編集委員・部門長を務めてきた立場から、恒星物理の分野における提言の概要を報告する。報告書はインターネットで公開されているので、光赤天連のホームページ

[http://gopira.jp/future\\_report2/gopira\\_report\\_2020s.pdf](http://gopira.jp/future_report2/gopira_report_2020s.pdf)

から文書入手して、御覧になっていただきたい。恒星物理に留まらず、様々な分野の提言や、将来計画の概要がそこには記載されている。

提言の作成にあたっては、2020年代に実現させようとしている近未来の様々な観測装置を用いて実際の研究を主導する立場になるであろう、現在の気鋭の研究者が中心となって様々な議論と検討を行い、原稿の執筆を行った。検討班は15人<sup>1</sup>で構成され、国立天文台の田中雅臣氏が班長を務めている。筆者以外の全員が志願して集まってくれた精鋭である。班員の公募は、2014年春に光赤天連や日本天文学会のメーリングリストなどを通じて広く行われ、班員の募集と同時に実作業を開始している。検討の過程では、班員のみならず、太陽物理などの周辺分野の関連研究者も参加する小規模な研究会を複数回実施している。検討班での作業は、細分化した様々な専門領域にまたがる新たな交流の場を提供し、それぞれの研究分野を深化させる機会ともなった。

このような過程を経て、検討班では、2020年代の恒星物理の中心課題は質量放出と連星進化の理解に基づく元素の起源の探求であると報告書の中で提言するに至っている。

## 2 2020年代の恒星物理

恒星は星間物質を取り込むことで誕生し、内部の核融合反応を通じて重元素の割合を増加させ、質量放出によってその物質を宇宙空間に供給している。図1に見られるように、このようなプロセスの積み重ねにより、誕生の時点でほとんど水素とヘリウムしか存在しなかった我々の宇宙は、今日のように多彩な元素が存在する世界となっている。

恒星内部の物質が星間空間に供給される現象が質量放出であり、宇宙の物質進化を理解するうえの鍵となる現象である。程度の違いこそあれ、すべての質量の星のほぼすべての進化段階で質量放出現象は発生している。また、連星系の進化の中で生じる質量放出も少くないため、質量放出と連星進化の理解が物質進化

<sup>1</sup>青木 和光 (国立天文台 / 銀河系・居所銀河群班兼任), 板 由房 (東北大学), 植田 稔也 (University of Denver), 大仲 圭一 (Universidad Católica del Norte), 左近 樹 (東京大学 / 星間物質班兼任), 須田 拓馬 (東京大学) 田中 雅臣 (国立天文台 / 班長), 富永 望 (甲南大学), 野沢 貴也 (国立天文台), 橋本 修 (ぐんま天文台 / 編集委員), 松永 典之 (東京大学), 森谷 友由希 (東京大学), 守屋 堯 (国立天文台), 諸隈 智貴 (東京大学), 山口 正輝 (東京大学)

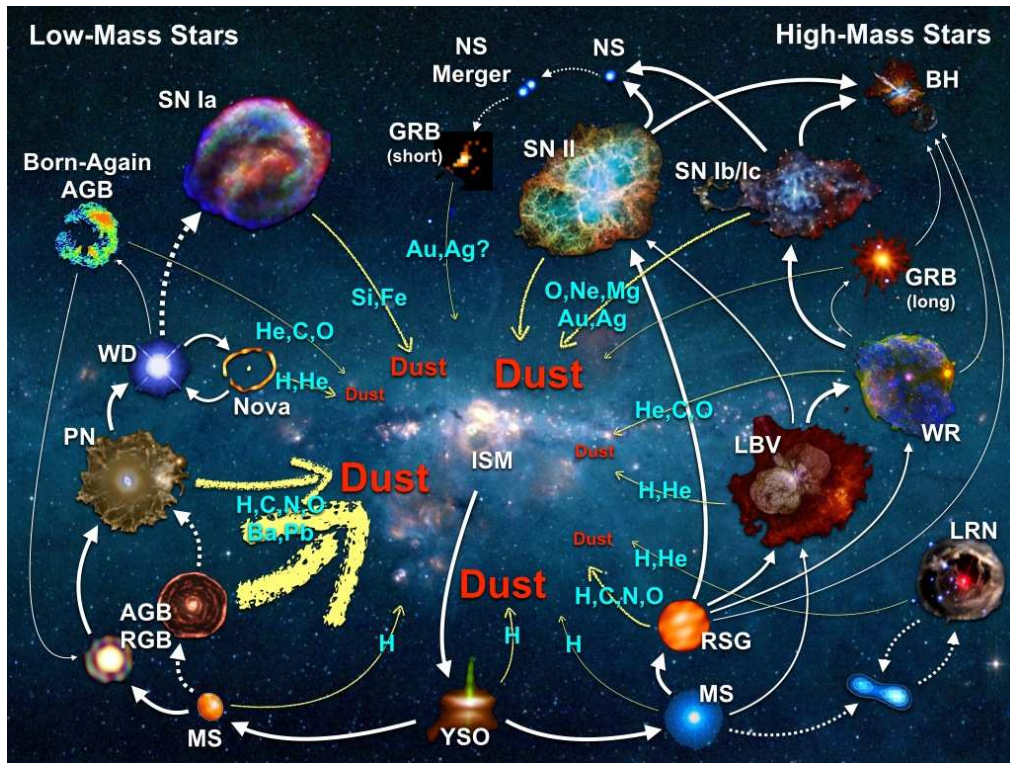


図 1: 宇宙の物質循環の模式図。左側が中・小質量星 (約 8 太陽質量以下)、右側が大質量星 (約 8 太陽質量以上) の進化を表している。進化過程を示す実線は単独星の進化を、破線は連星の進化をそれぞれ示し、枝分かれする進化の相対的な割合が線の太さで表現されている。ISM(星間物質) に向けられた矢印は、それぞれの天体からのダストの供給で、太さがダストの相対的な供給量を示している。また、それに沿って示された元素記号は、それぞれの進化過程で放出される特筆される元素を例示したものである。原図は色刷で、デンバー大学の植田稔也氏が中心としてまとめた傑作である。検討班が創り出した力作であると自負している。是非 pdf ファイルにあるカラー版を御覧になっていただきたい。

の本質的な理解をその根底で支えることになる。そこで、2020 年代には、質量放出と連星進化の理解に基づく元素の起源の理解を追求が最重要の課題となる (図 2) ものと展望する。2020 年代に期待される様々な観測装置とそれに支えられた研究環境は、このような研究に極めて有効な手段となるはずである。検討班で提案された具体的な研究課題と、そこに必要となる主な望遠鏡や装置の例を示すと末尾の表 1 のようになる。

なお、2020 年代には、Gaia 衛星 (Perryman et al. 2001) による画期的な観測成果が得られていることも恒星物理の研究にとっては大きな福音であることに注目しておく必要がある。およそ 10kpc の距離に至る範囲の 1000 万個におよぶ恒星の正確な距離が測定され、様々な種族や種類の恒星に対して HR 図上の精密な位置が決定される。精密な恒星物理の研究を遂行するうえで、距離の不定性が深刻な障害となっている場合は少ない。それが取り除かれるのである。恒星物理の研究にとって、革命的な時代がやって来る。それが 2020 年代なのである。

### 3 質量放出の理解

最も期待できる研究のひとつが、赤色巨星や超巨星の可視・近赤外線域での非常に高い空間分解能での観測である。30m を越える大型望遠鏡や干渉計を用いて、加速が起きている現場を空間的に分解し、そこで

## 2020年代の恒星研究: 三本の柱

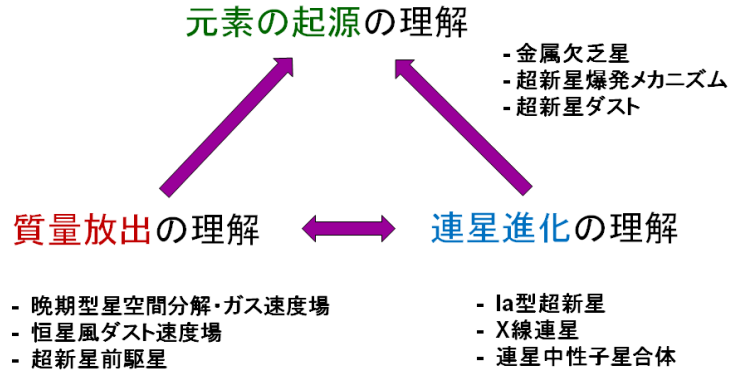


図 2: 2020 年代の恒星研究: 三本の柱

の物理と時間発展とを直接的に計測する。これまで難しかった、質量放出とそのほかの現象とを明確に分離して観測できることになり、質量放出現象の理解は飛躍的に発展する。高い波長分解能での分光観測がそこでも有効であるが、偏光観測を活用すれば、星周ダストとガスを分離したより詳細な加速機構に迫ることも可能である。

質量放出メカニズムを独立した現象として理解することが可能になれば、それまで分離することが困難であった様々な現象の詳細や進化過程なども、それぞれ独立の現象として探求することが可能となる。恒星物理における多方面の理解が芽づる式に発展することになる。赤色巨星や超巨星のより詳細な進化の描像が得られるとともに、そこで形成されるダストの性質や元素の供給の様子もより明確に解明されるはずである。赤色巨星や超巨星の質量放出は星間への重元素やダストの最大級の供給源であり、宇宙における元素の起源の理解は飛躍的に進展する。

## 4 連星進化の理解

赤色超巨星の中には、連星進化の過程で共通外層段階となっているものもあると考えられている。共通外層段階の研究は連星進化の理解の鍵を握っており、2020年代に大きな発展が期待される分野である。衛星による高精度の位置観測や8m級の望遠鏡も活用した時系列の追跡観測は、連星系の軌道や動的な現象を解明するための決定的な情報を与えてくれるはずである。大規模なサーベイと大型望遠鏡による多天体分光観測からは、これまで理論のうえだけで議論されていた、TZO様天体と呼ばれる中性子の縮退核を持つ未知の共通外層天体 (Thorne & Żytkow 1975) の存在が確認される可能性も小さくない。

連星進化のなかで発生するIa型超新星爆発についても、大型望遠鏡による先駆天体と伴星の同定や、近赤外線衛星による広視野観測から得られる高い赤方偏移での金属量依存性の特定などによって、その全体像が初めて明らかになると見込まれている。Ia型超新星は宇宙論的な距離の指標であり、暗黒エネルギーを蓄えた宇宙全体の理解にも大きな貢献をすることになる。連星中性子星やブラックホールの合体では、重力波の受信が可能 (Abbott et al. 2016) な時代が到来してきた。大規模な重力波観測装置を含めた広範なマルチメッセンジャー観測が実施されることによって、前人未到の領域が開かれる期待も大きい。

## 5 元素の起源の理解

宇宙論的な視点での物質進化では、初期宇宙の重元素とダストの供給源である重力崩壊型超新星の研究も大きく発展するはずである。30m級の望遠鏡による詳細な爆発形状の観測や、様々な望遠鏡を機動的に活用した継続観測からは、今日でも謎に包まれたままとなっている爆発メカニズムの本質に迫ることが可能になる。高感度の赤外線衛星による波長5 – 100 $\mu\text{m}$ での観測が実現すれば、ダストの供給過程の実態が直接的な放出物質の検知によって明らかにされることになる。また、大規模な分光サーベイによる超金属欠乏星の探査と、30m級望遠鏡を用いた高分散分光観測からは、宇宙最初期の星々の特性と超新星爆発による元素供給の様子が明らかにされるはずである。

表 1. 必要とする望遠鏡、装置のまとめ

| テーマ                | 望遠鏡 (波長)                          | 観測の詳細、必要な装置の性能   |
|--------------------|-----------------------------------|--|
| 質量放出の理解            |                                   |  |
| 恒星風速度場の決定          | 30m 地上望遠鏡<br>地上長基線 (>100 m) 干渉計   | 高空間分解能 (< 20mas)、高分散分光 ( $R \geq 10^4$ )<br>高空間分解能 (< 5mas)、高分散分光 ( $R \geq 10^4$ )  |
| ダスト流速の決定           | 30m 地上望遠鏡                         | 高分散 ( $R \sim 10^{5-6}$ ) 偏光分光   |
| 星周殻ガス・ダスト同時観測      | >10m 地上望遠鏡                        | 広視野 (数十秒角) 面分光 ( $R \sim 1000$ )   |
| 超新星親星の質量放出         | 8m 地上望遠鏡                          | 広視野撮像モニタリング  |
| 連星進化の理解            |                                   |  |
| X線連星系の伴星同定と軌道要素の決定 | 8m 地上望遠鏡<br>位置天文衛星                | 高分散分光 ( $R \sim 100,000$ )<br>リレー観測<br>astrometry                                    |
| TZO 様天体の探査         | 8m 地上望遠鏡                          | 広視野多天体分光 ( $R \sim 3000$ )   |
| Ia 型超新星親星の解明       | 広視野赤外線衛星<br>30m 地上望遠鏡             | 広視野撮像 (突発天体探査)<br>中分散分光 ( $R > 10,000$ )   |
| 連星中性子星合体の同定        | 8m 地上望遠鏡<br>広視野赤外線衛星<br>30m 地上望遠鏡 | 広視野撮像 (突発天体探査)<br>広視野撮像 (突発天体探査)<br>低分散分光 ( $R \sim 1000$ )                          |
| 元素の起源の理解           |                                   |  |
| 超新星爆発メカニズムの解明      | 1m 地上望遠鏡<br>8m 地上望遠鏡<br>30m 地上望遠鏡 | 広視野撮像 (突発天体探査)<br>低分散分光 ( $R \sim 1000$ )<br>高空間分解撮像、低分散分光                           |
| 超新星爆発ダスト観測         | 30m 地上望遠鏡<br>近赤外線衛星<br>中間・遠赤外線衛星  | 低分散分光 ( $R \sim 1000$ )<br>近赤外撮像、低分散分光 ( $R \sim 1000$ )<br>撮像、低分散分光 ( $R \sim 20$ ) |
| 第一世代星の探査           | 30m 地上望遠鏡<br>2-8m 地上望遠鏡           | 高分散分光 ( $R \sim 60,000$ )<br>多天体高分散分光 ( $R \sim 5000 - 30000$ )                      |

## References

- Abbott, B. P. et al. 2016, Pys. Rev. Lett. 116, 061102  
 Perryman, M. A. C. et al. 2001, A&A 369, 339  
 Thorne, K. S. & Żytkow, A. N. 1975, ApJ 199, L19