

理学博士辻 隆君の「低温度星外層の理論的研究」

に対する授賞審査要旨

低温度星というのはその有効温度が大体 $1,500^{\circ}\text{K}$ から $4,500^{\circ}\text{K}$ にわたる恒星である。これらの星は恒星スペクトル分類上三つのグループに分岐し、M型 (TiO 分子線が著しい)、S型 (ZrO 分子線が著しい)、R-N型 (或はC型) (C_2 , CN 等の分子線が著しいので炭素星とも呼ばれる) となっている。

辻君はこれらの星の化学組成、物理的特性を明らかにすることにより恒星進化の観測的裏づけを行うことを意図し、低温度星における分子組成、分子吸収係数、大気構造の基礎的問題を解明し、さらにこれらに基づく低温度星スペクトルの定量解析手法を確立した。これらの業績により同君は低温度星外層の理論的分野において著しい貢献をなし、世界の研究者にこの方面の研究への指針を与えた。以下、同君の研究を具体的に述べたい。

一、低温度星大気における分子組成

低温度星大気の大部分のガスは原子やイオンではなく分子の形で存在する。したがって解離平衡に基づく分子組成の正確な決定が大気構造の決定の第一歩として重要である。一九三〇年代に始めて二原子分子の解離平衡が取り扱われそれによって三分岐がある程度解明されたがそれ以来研究の進展はなかった。辻君は始めてこれを拡張して多原子分子が低温度星でどのような役割を果すかを明らかにするために H, C, N, O よりなる多くの多原子分子について

実験データの検討から出発し $H:C:N:O$ のいろいろな相対比を仮定して数十個の多原子分子の解離平衡を計算した。^(9,5) 更に、比量の少ない元素を含む三六個の元素の組み合わせよりなる数百個の分子について計算を拡張した。⁽²²⁾ その結果、比較的低温において多くの多原子分子が多量に存在し、これら低温度星大気における化学組成は二原子分子より多原子分子によって支配されることを明らかにした。特に低温度の炭素星では HCN , C_2H_2 , C_2H 等又ミリ波マイクロ波の観測から低温度星のまわりの分子雲中にも種々の多原子分子が発見されたが、これ等は辻君の計算が正しかったことをまさしく証明したもので、その後多くの研究者が辻君の得た結果を彼等の研究の基礎資料として引用するに至った。その中には辻君の研究を不滅の業績であると絶讃している人もいる。

二、分子吸収係数と低温度星大気モデル

低温度星の大気構造を研究するためには大気の吸収係数を求めることが必要である。そのため辻君は H_2O , OH , C_2 , CN , CO 等の分子吸収を計算した。^(10,14) これらの分子吸収のため低温度星の大気は著しく非灰色となり、⁽²⁰⁾ 輻射平衡にあるモデル大気の計算は困難となる。同君は非灰色の場合も適用される新しい計算方法を開発し、輻射流束の輻射平衡からのずれを直接、温度勾配の補正に結びつけて逐次近似を行うという新しい方法を用いた。⁽⁷⁾ 具体的にはM型星の非灰色大気モデルを、先に求めた分子吸収係数を用いて計算し、特に赤外輻射の観測結果とよく合うことを見出した。^(11,15) 又M型矮星において強い赤外分子吸収のためその輻射エネルギー分布が青色領域で強い輻射過剰となることを明らかにした。⁽¹⁷⁾ このように非灰色大気モデルの具体的な計算を行い、低温度星大気構造を解明する先駆者としての基礎を確立したことは、又この方面の発展に著しい寄与をしたものである。

三、超巨星、赤色巨星の有効温度スケール

辻君は前に述べたモデル大気計算をM型超巨星ベテルギウスについて行い、その輻射エネルギー分布の解析から有効温度を求めた。その結果はマイケルソン干渉計による視直径の実測値に基づく実験的な有効温度とよく一致するがスペクトル干渉計による視直径測定に基づく有効温度より少し低いことが判った。^(26・27)この不一致の原因はスペクトル干渉計による実測が、この星の周辺に存在するダストによる光の散乱により超巨星が見掛け上大きく見えるため、これに基づく有効温度は実際よりも低く見積られる可能性があることを明らかにした。^(33・34)

辻君は更に多くのM型巨星についてもモデル大気計算を行った。そして観測されたエネルギー分布をよく説明できることを明らかにした。⁽³¹⁾この解析によって決定されたこれらの星の有効温度は視直径の実測に基づく値とよく一致することが示されたが、視直径の実測の困難さに伴う不確実性を補い、全く独立した方法でM型赤色巨星の有効温度スケールを確立したものである。^(24・36)

又、多数のN型赤色巨星については3.5 μ m 附近の、分子吸収効果の比較的少ない波長領域でモデル大気計算^(21・23)に基づき有効温度を求めた。これらの有効温度スケールが従来行われているC分類とは逆相関を示すことが明らかにされた。⁽³⁷⁾又この有効温度に基づくHR図表の検討から炭素星形成に関する今までの理論的モデルに問題があることを示唆した。⁽³⁸⁾

四、低温度星スペクトルの定量解析

辻君は自ら観測したM、S、C型星のスペクトルのデータを解析し、それに基づいて自己の理論の検討と発展に努

力した。例えばこれらのスペクトルを成長曲線の方法で解析し、M型星S型星の TiO/ZrO の強度比から O/C の比量の違いを明らかにし、^(1,2)S型変光星の中には外層が多重層構造を示すものがあること、⁽¹⁹⁾又炭素星については $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ の比量とそのエネルギー源の問題に関連があることを明らかにした。⁽³⁰⁾

辻君はモデル大気(35)の計算を軌道に乗せてから低温度星スペクトルの定量解析方法の確立を試みた。例えば赤色超巨星ベテルギウスの赤外スペクトル中の CO , CN , OH 分子スペクトルの定量解析の場合、分子分光データの不確実性という困難な問題がある。そのため太陽スペクトル中の分子 CO の回転振動遷移の解析による分子分光データの校正を行った。^(28, 29)

又、赤色巨星に関して輻射エネルギー分布及び視直径の観測結果の解析から連続スペクトル形成領域についての大気構造のモデルを検討し、更にスペクトル形成の大気構造も化学組成の影響を直接受けない H_2 分子スペクトルの解析から確かめることができた。即ち、フリーエ変換分光器で得られたM型巨星スペクトルの H_2 四重極遷移によるスペクトル線を系統的に調べてモデル大気に基づく理論値と比較したのである。⁽⁴⁰⁾

以上述べたように辻君の低温度星外層の広汎な理論的研究は同じ分野の世界の研究者たちの注目を集め、このため辻君は屢々外国の研究機関から招待され単独に或いは協力者を得て研究業績を著しくあげることができた。アメリカのカリフォルニア工科大学、キットピーク国立天文台の夫々客員研究員、フランスのCNRS、パリ天文台の夫々研究員、西ドイツのハイデルベルグ大学客員教授としていずれも長期間の滞在ができたことは同君の研究の進展に大きなプラスになった。辻君が現在低温度星外層の理論的研究における世界の第一人者であると云って過言ではないであろう。

1. The Spectral Analysis of Two S-Type Stars HD 216672 and HD 22649 in the Infrared Region. *Proc. Japan Acad.*, **38** (1962), 217.
2. Spectrophotometric Study of Two S-Type Stars HD 216672 and HD 22649 in the Infrared Region. *Publ. Astron. Soc. Japan*, **14** (1962), 222.
3. Abundance of Molecules in Stellar Atmospheres. *Proc. Japan Acad.*, **40** (1964), 99.
4. On the Chemical Abundance of Some Elements in Y Canum Venaticorum (with Y. Fujita). *Proc. Japan Acad.*, **40** (1964), 404.
5. Molecular Abundance in Stellar Atmospheres. *Ann. Tokyo Astron. Obs.*, 2nd Ser., **9** (1964), 1.
6. Infrared Spectroscopic Observations of Cool Stars from Outside the Earth's Atmosphere (with Y. Fujita and Y. Yamashita). *Proc. Japan Acad.*, **40** (1964), 664.
7. Non-Grey Model Atmospheres in Radiative Equilibrium. *Publ. Astron. Soc. Japan*, **17** (1965), 152.
8. Spectrophotometry of Y Canum Venaticorum (with Y. Fujita). *Publ. Dominion Astrophys. Obs.*, **12** (1965), 339.
9. Comparative Study of the Spectra of Some M-, S-, and C-type Stars (with Y. Fujita, Y. Yamashita, F. Kamijo, and K. Utsumi). *Publ. Dominion Astrophys. Obs.*, **12** (1965), 293.
10. Some Problems on the Atmospheric Structures of Late-Type Stars. *Proc. Japan Acad.*, **42** (1966), 258.
11. The Model Atmospheres of M-type Stars. *Proc. Japan Acad.*, **42** (1966), 771.

12. The Carbon Isotope Ratio in Some Cool Carbon Stars (with Y. Fujita and H. Maehara). *Proc. Japan Acad.*, **42** (1966), 765.
13. Some Problems Related to the Chemical Abundance of Cool Stars (with Y. Fujita). *Proceedings of I.A.U. Symposium No. 26 on "Abundance Determinations in Stellar Spectra"* (1966), p. 307.
14. The Atmospheric Structure of Late-Type Stars I. Physical Properties of Cool Gaseous Mixtures and the Effect of Molecular Line Absorption on Stellar Opacities. *Publ. Astron. Soc. Japan*, **18** (1966), 127.
15. Model Atmosphere Approach in Late-Type Stars. *Proceedings of the Colloquium on Late-Type Stars* ed. M. Hack (1967), p. 260.
16. Abundance Ratio of ^{12}C to ^{13}C in Some Cool Carbon Stars (with Y. Fujita and H. Maehara). *Proceedings of the Colloquium on Late-Type Stars* ed. by M. Hack (1967), p. 75.
17. Model Atmospheres of M-dwarf Stars. *Proceedings of the Symposium on Low-Luminosity Stars* ed. S. S. Kumar (1969), p. 457.
18. The Carbon Isotope Ratio in Some Cool Carbon Stars II (with Y. Fujita and H. Maehara). *Proc. Japan Acad.*, **45** (1969), 484.
19. Atmospheric Structure, Mass-Loss, and Chemical Composition in R Andromedae and R Cygni. *Publ. Astron. Soc. Japan*, **23** (1971), 275.
20. Effect of Molecular Line Absorption on Stellar Opacities. *Publ. Astron. Soc. Japan*, **23** (1971), 553.
21. Opacity Probability Distribution Function for Application to Non-Grey Model Atmospheres of

- Late-Type Stars (with F. Querci and M. Querci). Proceedings of 17th Liège Symposium on Astronomical Spectra in the Infrared and Microwave Region (1972), p. 179.
22. Molecular Abundance in Stellar Atmospheres II. *Astron. Astrophys.*, **23** (1973), 411.
 23. Model Atmospheres for C-type Stars (with F. Querci and M. Querci). *Astron. Astrophys.*, **31**(1974), 265.
 24. Effective Temperature Scale of Red Giant Stars. *Proc. Japan Acad.*, **52** (1976), 183.
 25. The Abundance Ratio of ^{12}C to ^{13}C in Carbon Stars (with Y. Fujita). *Proc. Japan Acad.*, **52** (1976), 296.
 26. Atmospheres of Red Supergiant Stars I: Model Atmospheres Based on Band-Model Opacity. *Publ. Astron. Soc. Japan*, **28** (1976), 543.
 27. Atmospheres of Red Supergiant Stars II: The M2 Supergiant Star Betelgeuse. *Publ. Astron. Soc. Japan*, **28** (1976), 567.
 28. "Hot" Bands of CO and the Effect of Vibration-Rotation Interaction on the Solar CO Spectrum. *J. Quantit. Spectros. Radiat. Transfer*, **17** (1977), 179.
 29. Solar CO Spectrum as a Probe of Atmospheric Structure and Carbon Abundance. *Publ. Astron. Soc. Japan*, **29** (1977), 497.
 30. The $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ Ratio in Carbon Stars (with Y. Fujita). *Publ. Astron. Soc. Japan*, **29** (1977), 711.
 31. Spectral Energy Distributions and Effective Temperature Scale of M-Giant Stars. *Astron. Astrophys.*, **62** (1978), 29.
 32. A Possible Identification of H_2O Thermal Emission in the Infrared Spectra of Late-Type Stars.

- Astron. Astrophys. Letters, **68** (1978), L23.
33. Atmospheres of Red Supergiant Stars III: Light Scattering in the Circumstellar Dust Shell and Its Effect upon the Stellar Interferometry. Publ. Astron. Soc. Japan, **30** (1978), 435.
 34. A Probe of Optically Thin Dust Shells around Late-Type Stars. Publ. Astron. Soc. Japan, **31** (1979), 43.
 35. Quantitative Analyses of the Spectra of Cool Stars. New Zealand J. Sciences (=Proceedings of the First Asian South-Pacific Regional Meeting in Astron.), **22** (1979), 415.
 36. Spectral Energy Distribution and Effective Temperature Scale of M-Giant Stars II: Application of the Infrared Flux Method. Astron. Astrophys., **99** (1981), 48.
 37. Intrinsic Properties of Carbon Stars I: Effective Temperature Scale of N-Type Carbon Stars. J. Astrophys. Astron., **2** (1981), 95.
 38. Intrinsic Properties of Carbon Stars II: Spectra, Colours, and HR-Diagram of Cool Carbon Stars. J. Astrophys. Astron., **2** (1981), 253.
 39. PDS マイクロデソントマトーの性能試験 (野口 猛, 宮内良子と共著) 東京天文台報, **19** (1981), 452.
 40. Molecular Hydrogen Lines in the Infrared Spectra of M-Giant Stars. Astron. Astrophys., **122** (1983), 314.
 41. The Effects of Spherical Extension upon the Photospheric Structure and Spectrum of Red Giants: Comparison of M and C Stars (with M. Scholz). Astron. Astrophys., in press (1983).
 42. フーリエ分光装置 (田中 済, 小平桂一, 渡辺鉄哉, 尾中敏と共著) 東京天文台報, **20** (1983), 183.
 43. Infrared Opacities of Polyatomic Molecules in Carbon-Rich Atmospheres. Astron. Astrophys., submitted (1983).