

# 共生星

前原 英夫\*

## 1. はじめに

「共生星」といってもご存知ない読者が多いことでしょう。それは現在まで100あまり知られている風変りな星たちのことです。「理科年表」の変光星の欄にも載っていない少数グループの星について云々しなくても思うかも知れません。しかし、奇病について研究することによって、一般的に健康について新しい知見を与えるのと似たアプローチだと思って下さい。

まず「共生星」という名前の由来からお話しましょう。この名は英語の“symbiotic star”の直訳です。symbiotic の名詞形は symbiosis ですが、辞書には「共生」、「共同生活」という訳が載っています。「共生」というのは「異種の生物がたがいに利益を得て共同生活を営むこと」で、例えばヤドカリとイソギンチャクのような関係のことです。symbiotic star という名はメリルによって1930年代に命名されましたが、星が共生しているかに見える状況をよく表現しています。「共存星」という名もありますが、この方が日本語としてわかりやすいかも知れません。

では、どういう星が共生星と呼ばれているのでしょうか。メリルの定義によると、そのスペクトルが酸化チタンの吸収と1階電離ヘリウムの輝線を含んでいることです。前者は3000度くらいのM型星に強く現われる分子吸収帯で、後者はO型星・B型星といった数万度を超える高温の星で観測されるスペクトル線です。この2つの温度は、通常観測される星の表面の温度としては最低と最高というほど離れています。なぜでしょうか。それぞれの温度の2つの星からなる連星だと思いたくなります。そういう連星は例えばケフェウス座VV星のように実在しますが、スペクトルの様子は共生星とは相違しています。何といたっても高温の成分が強い輝線で現われているからです。

こういう星の正体はいったい何なのでしょう。実は皆を十分納得させる説明はまだ与えられていません。観測事実を追いつながら、どんなモデルが提唱されているか見てみましょう。

## 2. 共生星のメンバー

メリルに引き続いて多くの研究者がこの風変りな星に興味を持ち、主に可視域のスペクトルをもとに研究を行

ってきました。時とともに数が増え現在100あまりのメンバーが知られていますが、その光度やスペクトルの様子は単一のそろったものではありません。星ごとの差がかなりありますが、時間的な変化も大きいのです。そこで少しきちんとした定義をする必要にせまられ、近年ボヤルチュクやアレンは新しい定義を試みています。

ここではアレンの定義にしたがって説明しましょう。まず、当然のことながら天体が恒星状に見えること、そして低温度成分としてはG型、K型またはM型の星に相当する吸収のあることとします。輝線としては1階電離ヘリウム（電離ポテンシャル 55 eV）またはそれ以上の高励起のものが存在すること、特に低温度成分が現われていないときは6階電離鉄（電離ポテンシャル 100 eV）またはそれ以上の高励起の輝線が観測されることとしました。

ここで電離ポテンシャルを特定するのは少し細かすぎるとも思えますが、これを外すと例えば水素の輝線の強いミラ型変光星なども共生星の範ちゅうに含まれてしまいます。つまり逆にいうと、輝線の励起が下がればミラ型変光星と区別がつかなくなります。実際、過去にミラ型変光星であったものが爆発を起こし共生星の仲間入りをした例もあります。ついでにいいますと、連続放射を弱くすると惑星状星雲のスペクトルに似てきますし、変光の大きいものは新星に類似した光度変化を示します。

表1に代表的な共生星のメンバーを挙げておきます。ここで「吸収」の欄は低温度成分のスペクトル型を示しますが、添字の“V”は変化が大きいという意味です。「赤外の型」の“S”および“D”については後ほど触

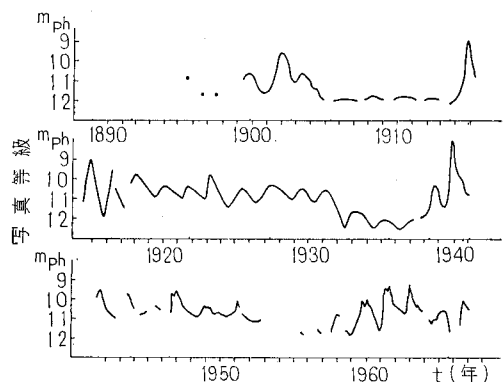


図1 アンドロメダ座Z星の光度変化

\* 東京天文台 Hideo Maehara: Symbiotic Stars

表 1 代表的な共生星

星 の 名	赤 経 (1950 年分点)	赤 緯	実視等級	周 期 (日)	吸 収	赤外の型
ペルセウス座 AX	1 <sup>h</sup> 33 <sup>m</sup> 1	+54°00'	10.8~12.5	685	M <sub>v</sub>	S
うみへび座 RW	13 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup> 5	-25°07'	10.0~11.2	370	M	S
かんむり座 T	15 <sup>h</sup> 57 <sup>m</sup> 4	+26°04'	2.0~10.8	29000	M <sub>v</sub>	S
はくちよう座 BF	19 <sup>h</sup> 21 <sup>m</sup> 9	+29°35'	9.3~13.4	750	M	S
はくちよう座 V1016	19 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup> 3	+39°41'	11.3~17.5	—	M	D
ペガサス座 AG	21 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup> 6	+12°33'	6.0~ 9.4	820	M <sub>v</sub>	S
アンドロメダ座 Z	23 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup> 3	+48°33'	8.0~12.4	—	M <sub>v</sub>	S
はくちよう座 CH	19 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup> 2	+50°08'	7.4~ 9.1	5750	M	S

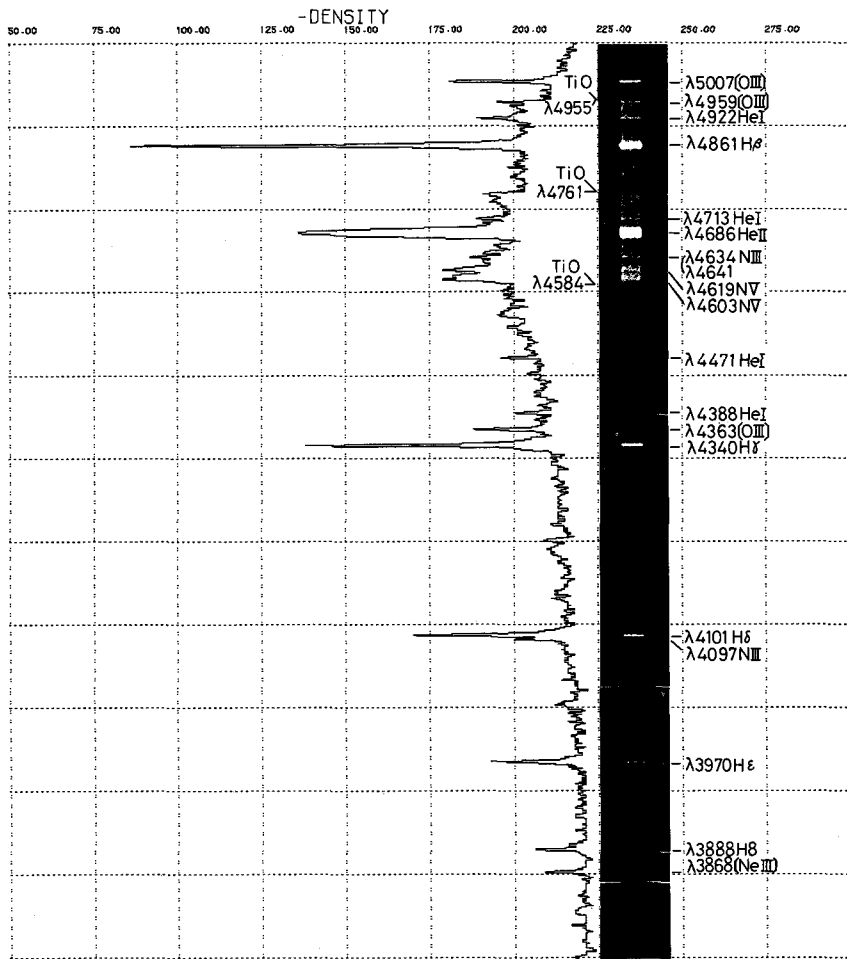


図 2 可視域のスペクトル

岡山天体物理観測所でえられた「ペガサス座 AG 星」のスペクトル。91 cm 望遠鏡のカセレン分光器で撮影した写真乾板 Z1355 とそのトレース。主な輝線にはその波長 (オングストローム単位), 元素と電離状態を示した。

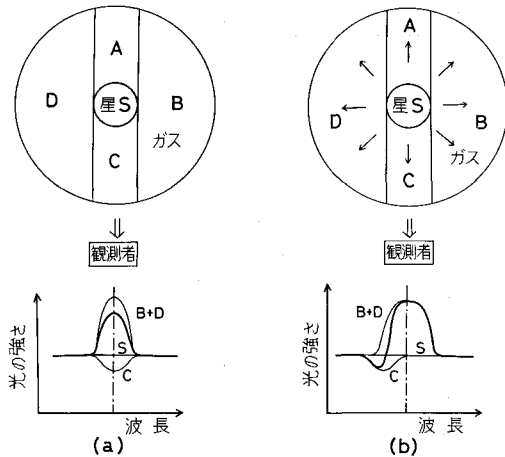


図3 輝線スペクトルの概念図

- (a) ガスが静止している場合  
 (b) ガスが周囲に流れ出している場合(「白鳥座P星」型のスペクトル線)

れます。「実視等級」の欄からもわかるように、これらの星は数等級の変光を示しかつ周期性がよくないので、実視観測などによりその変光を追いかけるのも大変興味深いことです。例として「アンドロメダ座Z星」の長期間にわたる写真等級の変化を図1に示します。ここに挙げた星のうちで、「かんむり座T星」は再帰新星に、「白鳥座V1016星」は非常に変光の遅い新星に分類されていますが、共生星のメンバーに含まれます。また、「白鳥座CH星」は輝線の励起がやや低目ですが、変光の様子など共生星に入れてよい資格を持っています。共生星の銀河系内の分布を調べると、古い円盤種族であることがわかります。

### 3. 可視光の観測

ここまで少しづつ観測の話が出てきましたが、少し実例をお目にかけてみましょう。図2は岡山天体物理観測所でえたペガサス座AG星のスペクトルです。この星は比較的明るく変光幅も小さく、私たちにとって観測しやすい天体です。何と云っても、水素・ヘリウム・酸素・鉄といった元素の輝線が強いのが目立ちます。弱いながらもはっきりした連続光があり、それに酸化チタンの吸収帯が重なっているのが見られます。

一般に共生星の輝線は連続放射と比較すると非常に強く、等価幅にして1000オングストロームを超えるようなものまであります。中でも、中性水素のバルマー系列線、1階電離ヘリウムの4686オングストローム線、2階電離酸素の4363, 4959, 5007オングストローム線などが特に強くなります。ここであげた酸素のスペクトル線はすべて禁制線であり、通常の星の大気より稀薄なガ

スから放射されることがわかっています。こういった輝線の強度比を調べてやることによって、稀薄なガスすなわち星雲の電子密度や温度について情報がえられます。

ここで輝線が生じる理由について考えてみましょう。太陽のスペクトルを調べるとわかりますが、通常の星のスペクトルでは連続光に重なって、光が弱いので黒く見える線すなわち吸収線があちこちにありま。そして、逆に連続光より強い光の線となる輝線は普通では観測されません。ところが、オリオン星雲などのように、稀薄なガスが星から照らされて光ると、星のスペクトルで吸収線となるところが反対に輝線として観測されます。星の周囲にガスが広がっている場合を、図3を見ながら考えてみます。

中心に星Sがあり、それを包むように広がった稀薄なガスがあるとします。領域Aは星に隠されて観測者からは見えません。領域BとDからは輝線を生じますが、領域Cは背後に星Sの連続光があるため吸収として観測されます。全体を合せると星Sの連続光に輝線が重なった格好になります。さらに、このガスが星から周囲に向かって流れている場合には、領域B、DとCとでは視線速度に差が生じ、(b)に示すような輝線と吸収線の重なった「白鳥座P星」型のスペクトルを示します。

このような場合他にも、例えば太陽のフレアのように星の表面に高温の部分が生じ、そこからの放射が十分に強ければやはり輝線として観測されます。これで、後のモデルの説明で使われる概念について一応触れましたが、より正確な取り扱いには放射輸達の式を考慮しないとはいけません。こういうことを書いたものにウンゼルトの“Physik der Sternatmosphären (「星の大気の物理」)”という名著があり、筆者が大学院生のころ皆で輪講したりして勉強したものです。

本論に戻りましょう。高分散のスペクトル観測を行うと、その星の視線速度がえられます。「ペガサス座AG星」では、視線速度やスペクトル線の強度が約820日という周期で変動しています。ハッチングスたちはこれを連星の軌道運動として解釈し、低温度星(M型星)と高温度星のパラメーターと周囲のガスの流れを説明するモデルを作りました。輝線によって幅がかなり相違するのは(図2)放射される場所のちがいによるとします。

### 4. 他の波長域の観測

共生星には高温と低温の成分があるといいましたが、こういうことをより詳しく調べるには可視光を含めて広い波長域の観測を行う必要があります。

#### (1) 赤外と電波

低温度成分の情報をえるには、赤外や電波といった長い波長域を観測します。アレンたちは波長1ミクロンか

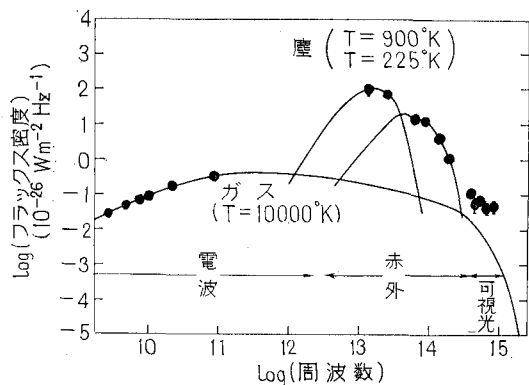


図4 連続放射の波長分布

白鳥座 V1016 星 (D型) の連続放射. 横軸は周波数, 縦軸は放射のエネルギー. 黒丸は観測値, 実線はモデル計算.

ら 10 ミクロンの赤外でほとんどすべての共生星の測光を行い, 共生星が2つのグループに分類されることを発見しました. 表1に与えられている“S”と“D”がそれです. 「S型」はM型星やミラ型変光星に類似した色を示しますが, 「D型」は星の連続放射に1000度より低い物質(塵)からの放射が加わっています. 「白鳥座 V1016 星」の連続放射の波長分布を図4に示します. 共生星全体の4分の3がS型, 残りがD型に分類されていますが, 以下に他の観測との関連を見てみましょう.

電波の連続放射はS型の共生星からは受かりませんが, D型の星の半数から受かっています. そして, D型の星の周囲には半径の2乗に反比例するような密度分布をした塵やガスが広がっていることがわかります. また, 可視域の変光との相関もあります. 通常変光を示し数年ごとに新星類似の小爆発を起すのはS型に属しますが, 変光の少ないものはD型に属します. また, 非常に変光の遅い新星「白鳥座 V1016 星」などもD型に分類されています. この分類は共生星の本質的なグループ分けと思われていますが, モデルとの関係は後でお話します.

(2) 紫外とX線

高温成分の情報は紫外やX線の波長域に多く含まれています. 3000 オングストロームより短波長の電磁波は地球大気によって吸収されてしまいますから, 大気外からの観測が必要となります. これまでにあまり多くの観測が行われてはいませんが, 例えば「うみへび座 RW 星」を IUE 衛星によって観測した結果, 紫外域に多数の輝線と10万度近い高温度の連続放射が受かりました. また, 「ペガサス座 AG 星」では輝線が「白鳥座 P 星」型の輪郭(前出)を示し, 高温星からの急速なガスの流出と考えられる現象が観測されました.

ところで, GX1+4 という強いX線源がありますが,

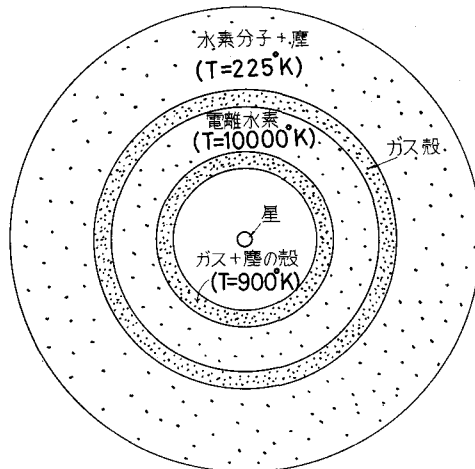


図5 共生星の単独星モデル

星は「白鳥座 V1016 星」. 図4の放射分布の計算を行ったモデル. 中心星は太陽の0.6倍の大きさで10万度の温度. ガス殻は7千天文単位, 最外層は40万天文単位の広がりがある.

これを光で同定してみたところ共生星と思われるスペクトルを示すことがわかりました. X線源といえば中性子星あるいはブラックホールと低温度星とからなる連星といわれていますから, この星も恐らくそれに類似したものであろうと思われまます. まるで, 東京で知り合った友人と話したら自分と同郷の出身だったというような感じにさせられます.

5. モデル

以上で観測事実をざっと紹介しましたが, どういう星ならばこれらを説明できるか考えてみましょう. くり返しますが, これほど強い輝線が存在することが通常の星との大きな相違です. これまでに提唱されたモデルはたくさんありますが, 単独星と連星とに大別されます. それぞれの検討をしてみます.

(1) 単独星モデル

共生星は単独の星であるとする考えがあります. もちろん, 何の変哲もない単独星では説明できないことは明らかです. 低温度星の大気中にホット・スポットつまり高温の領域が生じ, そこから輝線が放射されるとする考えがあります. スポットが生じる原因としては強い磁場や衝撃波のようなものが考えられます. しかし, 元来不安定なスポットから放射されるに足らず輝線が一定なこと, 大きなエネルギー補給が必要なことなどから, このモデルは受け入れ難いようです.

同じく単独星モデルでもクォックらはもう少し別のモデルを唱えています(図5). M型巨星は通常大量のガスや塵を周囲に放出していることが知られています. こ

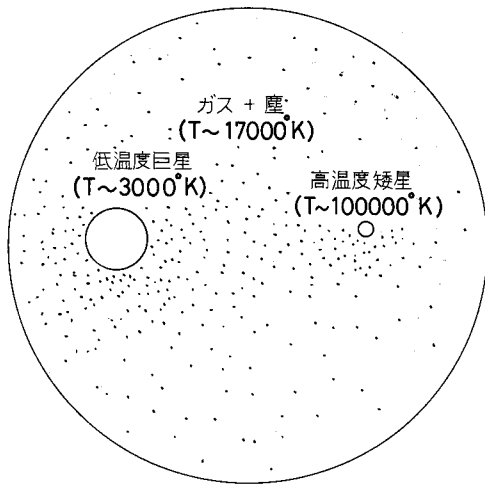


図6 共生星の連星モデル

太陽の大きさにくらべて、低温度星は約100倍、高温度星は約0.5倍、温度はそれぞれ3千度と10万度。高温度星の輻射により励起された星雲（ガス+塵）は500天文単位くらいの広がりがある。

の状態が続くと、ついには星の高温の芯まで見えてくるほどになり、周囲にまき散らされた物質は惑星状星雲になるといわれています。彼らはM型巨星から惑星状星雲の誕生する過程が共生星として見えるのだと主張します。例えば、「白鳥座 V1016 星」は数百年に1度爆発をくり返しながら外層がはぎ取られているところで、低温度成分は周囲に広がったガスと塵から、高温度成分は星の高温の芯とその輻射によって励起されている部分に対応がつけられます。

このモデルで多くの観測事実を説明できますし、また変光の遅い新星は単独星と解釈されることなどを考え合わせると、これでよさそうにも思われます。しかしながら、ここまでにお話ししましたが、共生星の中には連星とすると都合のよい事実があります。すなわち、連星の軌道運動と思われる視線速度の周期的変動があり、「くじゃく座 AR 星」では食が観測されるということです。それから、爆発を起して共生星になってからも、赤外で見ると元のミラ型変光星と同じ周期で変光している星も知られています。このような星に対して単独星モデルを適用するのは難しいでしょう。

## (2) 連星モデル

では連星モデルに基いて説明をするとどうなるでしょうか。概念図を図6に示しますが、最近はこちらのモデルを推す研究者が多いようです。このモデルでも周囲の空間を埋めているガスや塵は低温度巨星から放出されたものとしませんが、低温度巨星・光度の低い高温度星・星雲という3成分から成り立っているわけです。高温度星

としては白色矮星などが考えられますが、強い輝線はこの高温星の輻射によって励起されたガスが周囲から放射されるとします。

パチンスキーらはこのモデルに基いて、高温度矮星への物質の付着を議論しました。縮退した矮星はそれ自身では核反応によるエネルギーを発生できませんが、水素に富んだ物質を付着することでその水素を燃やし明るく輝くことが可能です。付着率が比較的大きいと定期的に燃えますが、付着率の変化により高温度星の半径や温度が大きく左右されます。より少ない付着率の場合は間歇的に燃え、変光の遅い新星や再帰新星のような振舞を示します。そういえば、付着率大のものがS型、付着率小のものがD型に相当するようで、連星の分離の大きいほうがD型ということになるのかも知れません。

共生星の連続輻射・輝線・吸収帯およびその時間変化は、連星モデルのパラメーターを組み合わせることによってかなりよく説明できます。しかし、単独星モデルより自由度が増えているため、説明をしやすいことも事実です。ですから、連星モデルに軍配を上げるには、低温度巨星が実在するというのを確かにする必要があるわけです。現状では個々の天体について広い波長域での観測がまだまだ不足しています。共生星の多様さからいっても、結着を見るまでにはまだしばらくの時間が必要でしょう。

## 6. おわりに

以上で共生星とはどんなものであるかお話ししました。突っこんだ議論をあまり紹介できず残念ですが、こういう変りダネの星が実在し、それを研究する人たちがいるということ知っていただけたかと思います。本文中では主要な業績をあげた外国の研究者を数人引用しましたが、日本でも筆者を含めて数人の研究者が共生星に関心を持っています。主に岡山天体物理観測所の188cm、91cm望遠鏡を用い、「白鳥座 V1329 星」、「白鳥座 CH 星」などをターゲットとして地道な分光観測を行っています。このような活動的な星に対しては、長い期間にわたるモニター観測が重要で、かつ暗いフェイズまで追いかけて行きたくなります。そのような欲求を満すには日本の望遠鏡の数と口径は十分ではありません。より高性能の光学望遠鏡を早く持ちたいというのが、現在の私たちの切実な願いであります。