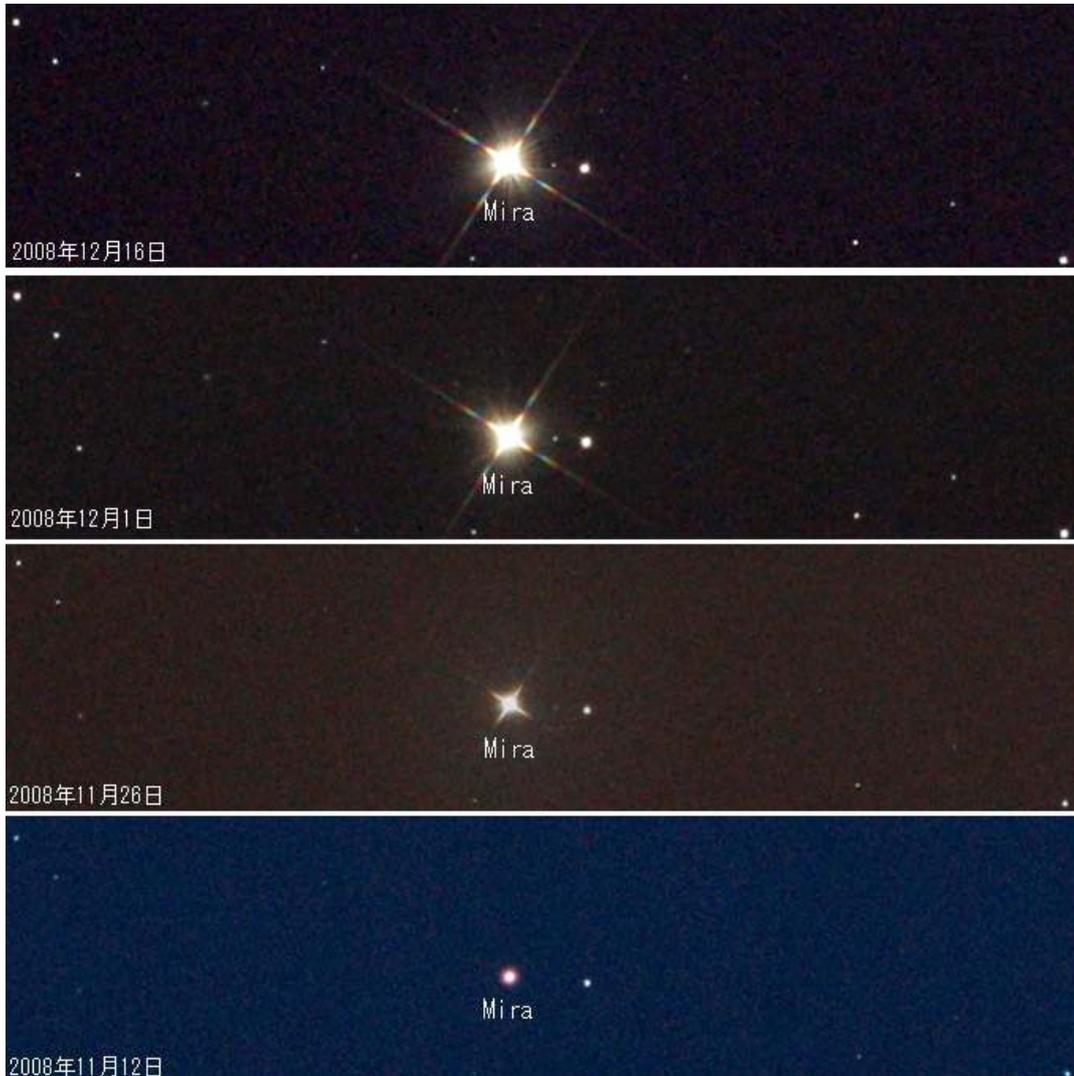


クリスマスにミラを見ようキャンペーン2009

# ミラ観測ハンドブック



2008年11月～12月のミラの変光

日本変光星研究会

このハンドブックは1998年からミラキャンペーンを担当されていた、ダイニックアストロパーク天究館の高橋進氏が執筆されたものを、渡辺誠が図や写真の一部を少し入れ替えて、文章を少し短くするなどの修正を行ったものです。

## 1. ミラを観てみませんか

### ミラとは

秋の空にくじら座という大きな星座があります。そのクジラの胸に光る星がミラです。英語で「不思議な」というのを「ミラクル(miracle)」と言いますが、これと同じく、ミラというのは不思議な星という意味で名付けられたのです。何が不思議かというと明るさが変わるからです。ミラは、明るいときは2等星。これは北の空に輝く北極星と同じ明るさです。ところが暗くなると9等星という肉眼ではまるで見えない、望遠鏡を使ってやっと見えるくらいの明るさになるのです。こんなに明るさを変える星と言うのは本当に不思議な（ミラクルな）星ですね。

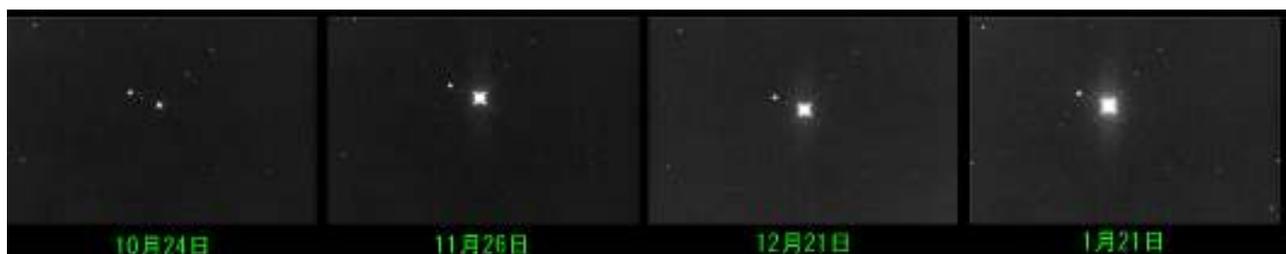
なお「ミラ」は固有名と言って、いわゆるニックネームのようなものです。天文学的にはくじら座オミクロン星（ $\omicron$  Cet）と言います。ミラキャンペーンでも最終的に観測報告として受け付けてデータとして活用するときにはミラではなく、「CETomicron」としています。でも、ミラのほうが親しみがありませんね。ということで、このハンドブックでは「ミラ」としてお話を進めさせていただきます。



2007年2月に2.0等に達したミラ



くじら座



ミラの変光

## くじら座とその神話

昔々、エチオピアという国がありました。その国の王様はケフェウス、王妃はカシオペアといました。その二人にはアンドロメダ姫という美しい姫がいました。このアンドロメダ姫はとても美しい人でした。母親のカシオペア王妃は「アンドロメダ姫ほど美しい娘はこの世にはいない。いえいえ、この世どころか、天の上の神々や海にすむ妖精たちだってアンドロメダ姫にはかなわないわ。」と言ってしまったのです。



鎖につながれた

アンドロメダ姫

これを聞いて怒ったのは海の神のポセイドンです。というのは海に住む妖精たちというのはポセイドンの孫たちで、この世で一番の美しい娘たちとして有名だったからです。「カシオペアをこらしめよう」ポセイドンはそう言うので海底の宮殿で飼っていた、化けクジラのティアマトをエチオピアの海岸につかわしました。ティアマトとは大きなクジラの体に恐ろしいカギづめのついた前足を持ち、大きな口で水を吸ったり吐いたりすると海に大津波が起きるといふ怪物です。ティアマトはエチオピアの海岸で津波を起こして家押し流したり、海岸の人や動物たちを捕まえて食べてしまったりと暴れ回ったのでした。

驚いた国王のケフェウスは、海の神ポセイドンにどうしたら怒りを静めてくれるのかと伺いをたてました。その答えは「アンドロメダ姫をティアマトの生にえに差し出さなさい」という恐ろしいものでした。これを聞いたケフェウスは顔をふるわせて嘆き悲しみました。アンドロメダ姫は国が助かるならば、と自ら生贄として海岸の岩に縛り付けられました。

海岸で大暴れしていたティアマトはアンドロメダ姫を見つけると大きな口を開けて襲いかかりました。その時です！ 天から真っ白な羽根の生えた馬ペガサスに乗った勇士ペルセウスが舞い降り、ティアマトの前に立ちはだかりました。ペルセウスはアンドロメダ姫を今にも食べようとしているティアマトを見て、急いで舞い降りたのでした。

突然に現れたペルセウスに対し、ティアマトはペルセウスを叩きつぶそうとしました。ペルセウスは逆にティアマトの首を刀で斬りつけます。ところが、ティアマトはびくともしません。刀を跳ね返してペルセウスを押しつぶそうとしました。「ペルセウス危ない！」、その時、ペルセウスは腰の袋に入れていたメドゥーサの首をティアマトに突き出しました。メドゥーサの首は、これを見ると恐ろしさのあまりに、岩になってしまうというものでした。ティアマトはメドゥーサの顔を見た途端、あっという間に大きな岩になり、そして、ブクブクと海の中に沈んでいってしまったのでした。

ペルセウスに退治された化けクジラ、ティアマトは、その後、かわいそうに思った海の神ポセイドンが大神ゼウスに頼んで天にあげ、くじら座となったそうです。



## ベツレヘムの星



この星にはもう一つの言い伝えがあります。それはこの星こそがクリスマスの星なのではないかというお話です。これは今から2000年くらい昔のお話です。ナザレという町にマリアという名前の女の人が住んでいました。ある日ガブリエルという天使がそのマリアを訪れて言いました。「天の神様は神の御子をお授けになるのにあなたを選ばれました。あなたはもうすぐ赤ん坊を生みますが、その子は神の子です。赤ん坊が生まれたらイエスという名前を付けて下さい。」その言葉を聞いてしばらくするとマリアはお腹がふくらんできたのに気づきました。神の子をお腹に授かったのです。



キリストを拝む博士

マリアのお腹がずいぶんと大きくなった頃、マリアと夫のヨセフは用事でベツレヘムという所へ行くことになりました。身重のマリアはロバに乗り、ヨセフはそれを引いて歩きました。そうしてずいぶんと歩いてようやく二人がベツレヘムに着いた頃にはマリアはずいぶんと疲れていました。

とりあえず泊まる場所を探そうと二人は宿屋を訪ねてみましたが、どこも一杯で断られてしまいました。それでも困り果てた二人の様子を見て親切な宿屋のおかみさんが言いました。「それではお困りでしょう。そうだ、部屋はみんなふさがっているけれど厩なら寝ることができるわ。ロバや牛がいる小屋だけど綺麗にしてあるし充分暖かいわ」こうしてヨセフとマリアは厩に泊まることになりました。そしてその夜マリアは可愛い男の子を産んだのでした。マリアは天使ガブリエルの言葉を思い出してこの子にイエスという名を付けたのでした。

その夜の事です。ベツレヘムの近くの草原で羊の番をしていた羊飼いたの前に天使が現れて言いました。「あなた達にすばらしい知らせを持ってきました。今日ベツレヘムに救い主イエス・キリストがお生まれになりました。かいは桶の中で産着にくるまれて寝ている赤ん坊を拝みに行きなさい。私は空に星を掛け、あなた達の行く手を照らしてあげましょう。」その時夜空に一つの明るい星が輝き、羊飼いたちをベツレヘムへと案内したのでした。羊飼いたちは厩のイエスを見ると、ひざまづいて神様を誉め称えました。

それから何日かして東の国から3人の博士がやってきました。この博士達も光り輝く星に導かれて遠いところから旅をしてきたのです。3人の博士はそれぞれにたくさんのお土産を持って赤ん坊のイエスに捧げたのでした。

羊飼いや3人の博士達は厩のイエスを探し当てた時とても喜びました。それ以来人々はイエスの誕生日を心に留めて、この日12月25日をクリスマスと呼び、イエス

に贈り物を捧げた3人の博士にならって周りの人にプレゼントをあげるようになったのだそうです。そして羊飼いを導いた星を幸せを呼ぶ星、またベツレヘムの星と呼んでクリスマスツリーのてっぺんに飾っているのです。

さて、この3人の博士や羊飼いをイエスのところへ導いた星についてはいろいろな説があります。「ハレー彗星のことだろう」とか「木星や土星が集まって輝いたんだろう」とかいろいろとされています。そうした説の中の一つに「明るくなったミラがイエスの居場所を指し示したのではないか」と言うのがあります。ミラが明るくなった時の等級はその時々で様々で、中には一等星と同じくらいの明るさになることもあります。そんなに明るくなったミラを見て3人の博士や羊飼いはその方向に救い主のイエスがいると思ったのではないのでしょうか。



さて、このベツレヘムの星とも思われるミラ、今年は12月に一番明るくなり、その後ゆっくりと暗くなっていっています。この機会にぜひ一度ミラを観て見ませんか。そしてその明るさを知らせて下さい。みんなでこの星が明るさを変えていく様子を楽しもうではありませんか。

## 2. ミラの発見

1596年と言うと今から400年あまり前のオランダでのお話です。教会の牧師でファブリチウスという男の人がいました。ファブリチウスは昼間は教会で牧師として人々にキリストの話をし、夜になると毎晩外に出ては星を観察していました。そして星々の様子を熱心に観察していましたが、その一方でその星の様子から星占いをするのも得意でした。ファブリチウスの占いはよく当たるといっているので有名で、占ってもらおうとわざわざ遠くからやってくる人もいたくらいでした。

そんなファブリチウスが8月13日の明け方に水星を観察しようと東の空を観ていました。するとそこに見慣れない一つの星が光っています。「おかしいなあ。今までこんな所に星は無かったはずだぞ。」頭をかしげながら彼はその星の位置と明るさをノートに書き込みました。それからファブリチウスは毎晩夜空にこの星を見続けました。しかし一月あまり後にはこの星はだんだんと暗くなり、やがて見えなくなってしまいました。「うーん、不思議な星もあるものだなあ」そう言いながらもしばらくするとファブリチウスはこの星のことをすっかり忘れてしまいました。

ところがそれから13年もたった1609年の2月の事です。ファブリチウスが星を観察していると、また見慣れない星が光っています。「おやおや、こんなところに星が光っている。まてよ、この場所は前に変な星が光っていた所だぞ」急いで昔の観察ノートを探してきて見るとまさしく13年前に星が観られたところと同じ場所

です。「なんて事だろう。同じところでまた星が急に出てくるなんて！」ファブリチウスはびっくり仰天してその事を天文台に報告しました。今日ではこんな風に明るくなったり暗くなったりと明るさを変化させる星は変光星と言ってたくさん知られています。そんな変光星の第一号がこのくじら座の星でした。

さて、こうして一躍有名になったファブリチウスですが、ある時「たまには自分のことを占ってみよう」と占うと、なんと5月9日に死んでしまうと出たのでした。「これは恐ろしい事だ。そうだ、その日は一日家の中にいて外には出ないでおこう。」そうしてその日はじっと家の中でそれまで観察した星の記録を整理することにしました。

実はこの占いをこんなに怖がったのには訳があったのです。そのころファブリチウスのいる地方では農民が飼っているガチョウが何者かに盗まれると言う事件が続いていました。そこで農民達は誰が犯人なのか占ってほしいとファブリチウスに頼んできました。そして今度の日曜日にその占いの結果を発表する事になっていたのです。もしかして犯人がその発表を邪魔しに来ないかと心配したのでした。

そうして一日部屋の中で過ごしていたのですが、夜になり、どうしても星が見たかっただけでしょうかファブリチウスが家から一歩外へ出たその時です。何者かが後ろから突然に襲いかかり、ファブリチウスはその53年の生涯を終えたのでした。

ところで、このファブリチウスによるミラの「発見」ですが、すでにおわかりの通りこれはただ「見つけた」と言うことではありません。今わかっている限りでもっとも古いミラの記録は紀元前134年のヒッパルコスによる観測です。また1070年には中国で、1592年には韓国でも観測されています。しかし1596年と1609年の2度の極大を観測して、ミラが明るくなったり暗くなったりを繰り返す変光星であることを発見したのがファブリチウスなのです。なお、ミラがおよそ300日ほどで周期的に変光する事を発見したのはオランダのホルワルダです。彼はファブリチウスによる発見を知らずに1638年にミラを発見しました。発見後にミラは極大を迎えやがてまた暗くなっていったのですが、翌年にまた明るくなって来たのを見つけたのです。彼はいろいろな文献を調べると、ファブリチウスやバイエルなどがそれぞれに発見しているのを知ったのです。これらの観測を合わせていくとミラは300日あまりの周期で変光していることがわかったのです。こうした発見の様子を知って、1648年にドイツのヘベリウスは「驚き」というラテン語をこの星に付けて「ミラ」と呼んだのでした。ミラの発見はこのように多くの人によってなされたのです。



ヘベリウス  
（「現代天文学講座・天文学人名辞典」恒星社より）

### 3. なぜ明るさが変わるのだろう

では、どうしてミラはその明るさを変えるのでしょうか。

夜空にはたくさんの明るさを変える星(変光星)が知られていますが、その原因は様々です。二つの星がお互いを隠し合っ暗くなる星(食変光星)や、表面からスミのようなガスを吹き出しそれに隠れて暗くなる星(爆発型変光星)、二つのくっつき合った星の片方からもう片方にガスが流れ込み、そのガスの落下によって突然明るくなる星(激変星)などいろいろあります。ミラの場合はその大きさが膨らんだり縮んだりを繰り返して明るさが変わると言われています。こうした星は脈動型変光星と言われます。

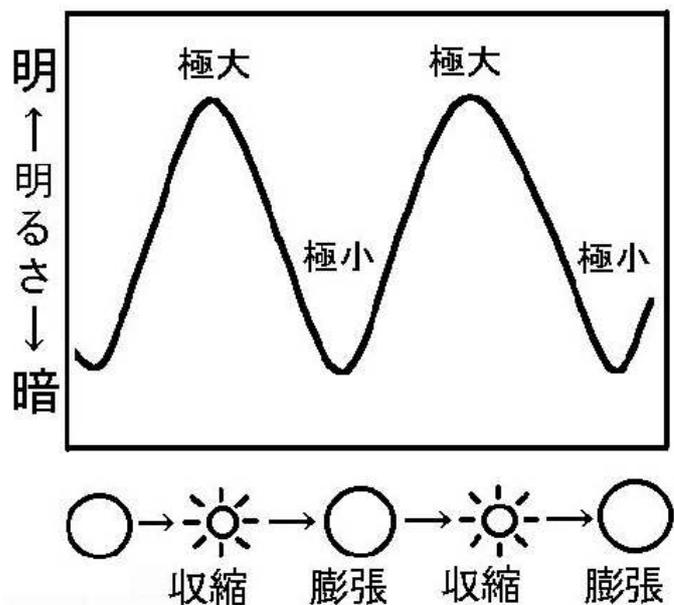
このように大きくなったり小さくなったりするのはミラという星が年老いた星だからです。恒星は年をとるにつれて中心部の温度が高くなり、その直径はどんどん大きくなっていきます。ミラの場合その直径は太陽の500倍ほどにもなると言われています。ところがそんなに大きくなるとだんだん不安定になり大きくなったり小さくなったりを繰り返すようになるのです。

ただし明るさの変化と大きさの変化は私たちが思うのとは逆に起きていま

す。ちょっと変に思われるかもしれませんが、大きい時が暗く、小さい時は明るいのです。これは星の温度に関係があります。まず星が小さいときは、ぎゅっと押し固められると中の温度は高くなります。高い温度になると光が強くなり明るく見えていきます。ところが温度が高くなると中から外に向かう圧力が大きくなり今度はどんどん大きくなろうとします。こうして膨張していくと恒星内部の密度が低くなり、今度は温度が下がります。温度が下がるとそこから出る光も弱くなり、ミラは暗くなってしまいます。ところが温度が下がると外へ向かっての圧力が弱くなり、今度は収縮していきます・・・とこんな風なことを繰り返して膨張したり収縮したりしているのです。大きくなったときが暗くて小さくなったときが明るい、ちょ

爆発変光星	恒星表面から物質が噴出する事などにより明るさが変わる星
脈動変光星	恒星の膨張・収縮により表面温度の変化などが起こり明るさが変わる星
回轉變光星	回転により表面輝度や形が変わり明るさが変わる星
激変変光星	近接連星系で物質の流出入が原因で明るさが変わる星
食変光星	連星系で星が隠し合うことにより明るさが変わる星
その他	その他いろいろな原因で明るさが変わる星

【変光星の種類】

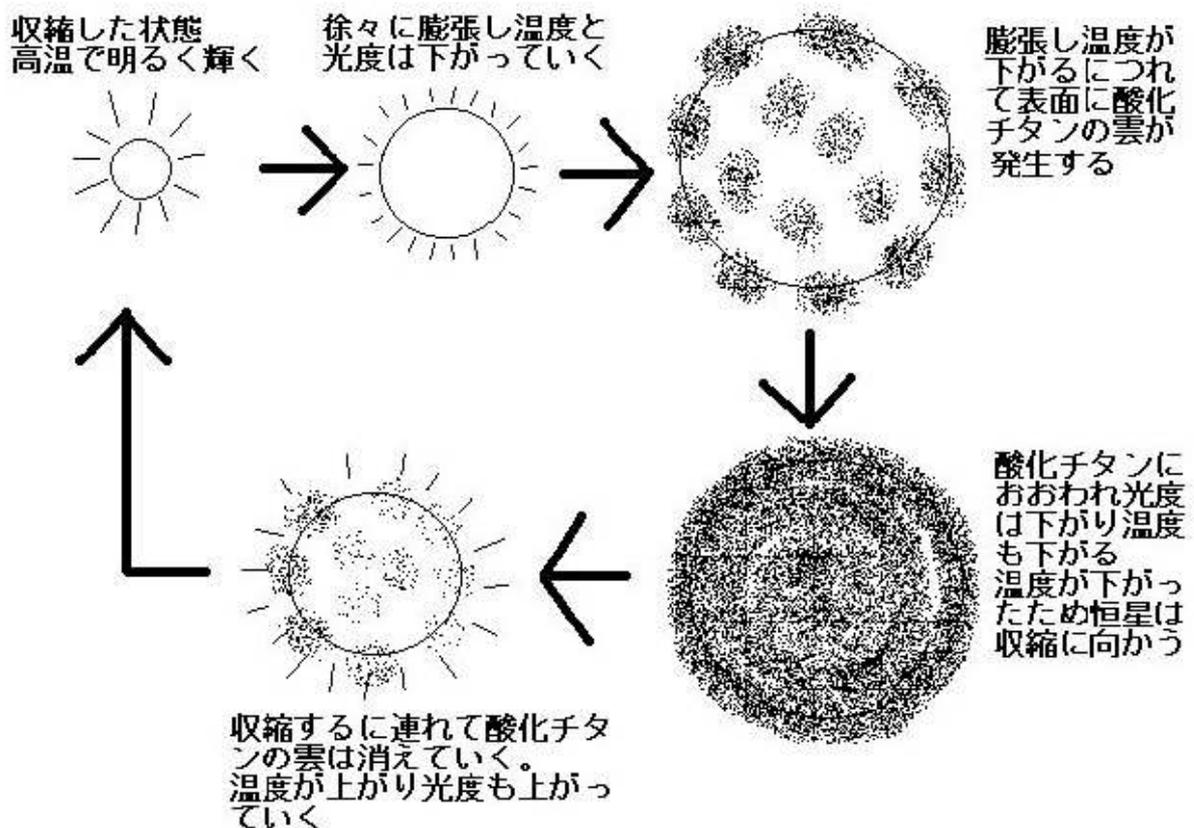


【ミラの膨張・収縮による明るさの変化】

っと変な感じかもしれませんが脈動による変光はこのようにして起きているのです。

これでミラの変光の仕組みはすべてわかったかと思えたのですが、理論的に計算していくと脈動による温度の変化でミラの変光を説明するのは難しくなっていました。と言うのは脈動だけではミラは3等級ほどしか変光しないことがわかったのです。何か他の原因があると思われます。そこでハーバード・スミソニアン天体物理センターのマーク・J・レイドとジョシュア・E・ゴールドストーンは次のような説を唱えました。

ミラが膨張し表面の温度が低くなった時、その表面で酸化チタンやその他の酸化金属が濃いガスとなってミラ全体をおおうのです。これによりミラの表面はさらに低温になりその温度は1400度ほどにもなってしまいます。こうしてミラは極大の時と比べて7等も暗くなってしまうのだそうです。



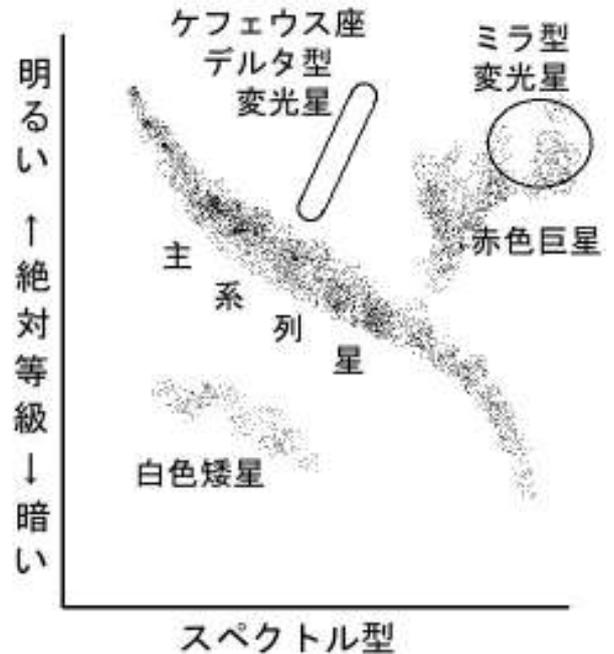
【ミラの変光の仕組み】

## 4. なぜ明るさが変わるのだろう（その2）

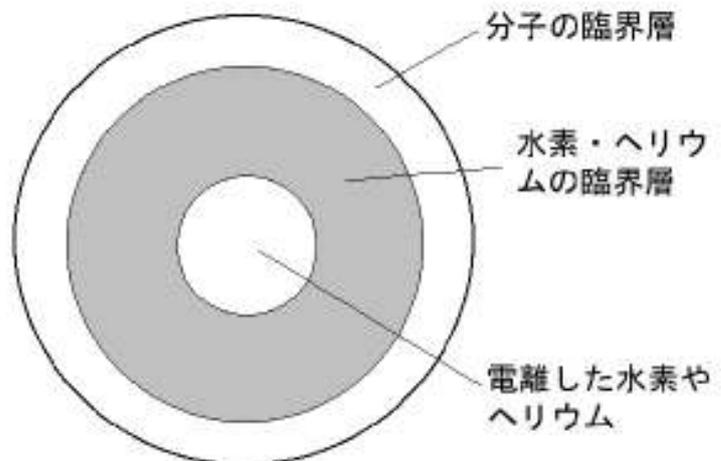
ミラのような脈動変光星は膨張したり収縮したりすることによって表面温度が変化し、それによって明るさが変わることがわかりました。それではなぜそのような膨張や収縮が持続的に続くのでしょうか。

よく星の進化について書いてある本に、星は年老いてくると不安定になり膨張や収縮を起こすと書いてあったりします。そうだとすればHR図（ヘルツプシュリング・ラッセル図。星の絶対等級とスペクトル型を図にしたもの）の主系列星より右上の部分はすべて変光星になりそうなものです。しかし実際にHR図上で変光星が集中するのは、主に赤色巨星や赤色超巨星の存在するHR図でも右上の部分と、ケフェウス座デルタ型星やこと座RR型星などが並ぶケファイド不安定帯と呼ばれる帯状の部分との2ヶ所です。この2ヶ所のところでは脈動を継続させる何かがあるようです。

これについてはよくκメカニズムということが言われます。一般的に恒星の表面が何かのきっかけで脈動を起こしたとしてもやがて脈動は減衰していってしまいます。ところで星の内部構造を見てみると、星の表面のあたりでは温度が少し低く水素やヘリウムは電子と原子核がくっついていて中性な状態にあります。そしてそこよりずっと中の方では高温のために電子と原子核が分離した（電離した）状態になります。この二つの状態の間には完全には電離していない部分電離の層があります。このような状態の層を臨界面層と呼んでいます。臨界面層は星の中心部から外への熱の伝わりを邪魔する性質があります。そのため臨界面層の所に熱がため込まれていきます。いわばバネが縮んだ状態で力がため込まれるような感じになります。これがある程度まで行くと耐えきれなくなって大きな力でドーンと膨張することになります。この働きが脈動を増幅させると考えられます。ケファイド不安定帯の星では水素やヘリウムの臨界面層がこのバネの役割をしているのです。一方赤色巨星や赤色超巨星にあるミラ型変光星などでは2原子・3原子の



【HR図と変光星】



【ケフェウス座デルタ型変光星の内部構造】

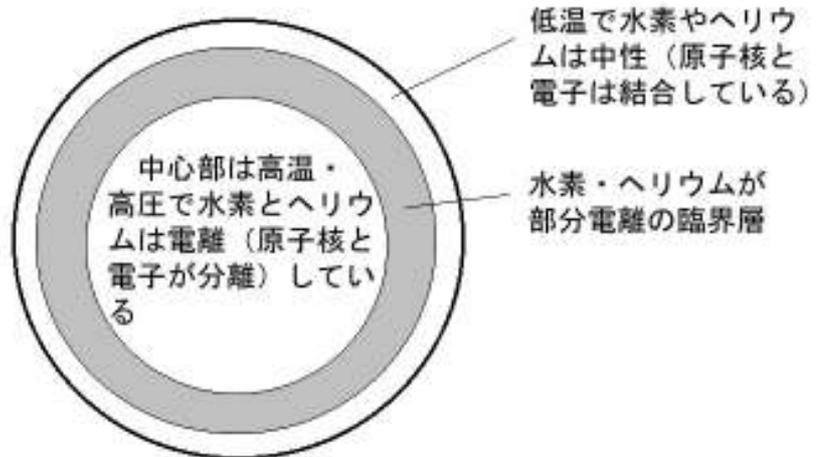
分子の臨界層がこのバネになっているのではないかと見られています。これがκメカニズムという話です。

ところがその後の研究からミラ型のような低温の星では臨界層が大変に厚く幅の広いものになってしまい、その中で対流が起きてしまうこと

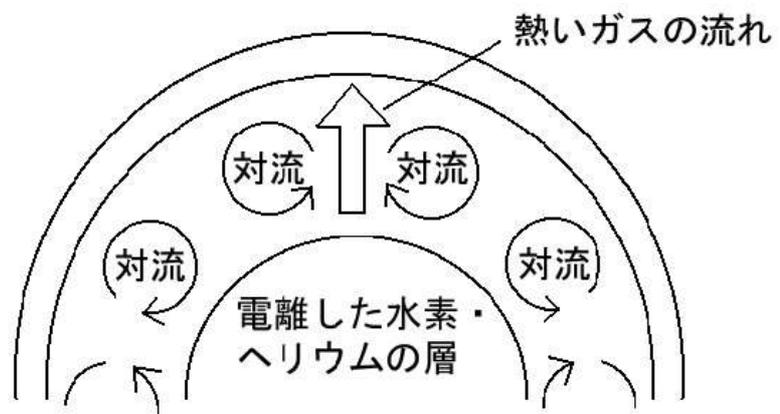
がわかりました。対流による循環運動は熱を外へ向けて逃がしてしまいます。このままでは臨界層はバネになりません。そこで考えられたのは対流と脈動が共振（波が重なり合って強くなること）するというアイデアです。

ミラ型変光星というとは数百日の周期で膨張と収縮を繰り返します。一方臨界層の中の対流で暑いガスが臨界層の下から上まで到達するには1千日あまりの日数がかかるかと思われます。もしここでガスが到達するのにかかる時間が脈動の周期の整数倍になった場合には、お互いの運動が高め合って脈動が増幅されるのではないかとされるわけですね。こうした条件が満たされてミラの変光は継続しているのでしょうか。まだまだはっきりとした結論が出たわけではありませんが、これからの研究でさらに明らかにされていくことと思います。またそうした研究を進めるためにも長年の観測が必要になるとも言えるでしょう。

このお話は東北大学の竹内峯先生がミラキャンペーン2002の報告書に寄稿していただいた「ミラの変光のなぞ」をもとにして書かせていただきました。興味を持たれた方にはぜひこの報告書もご覧ください。

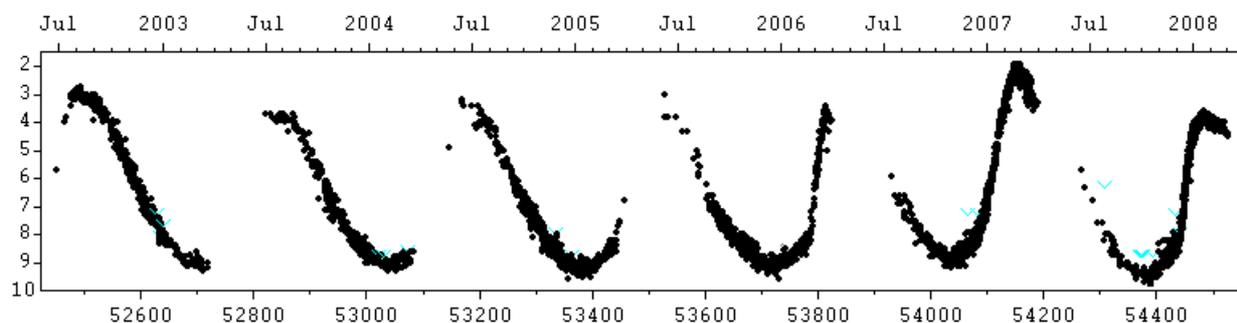


【ミラ型変光星の内部構造】



臨界層で起きた対流によって熱いガスの流れが作られる。この流れと星の脈動が共振すると脈動が増幅され、持続的な変光が見られる。

## 5. ミラの光度曲線



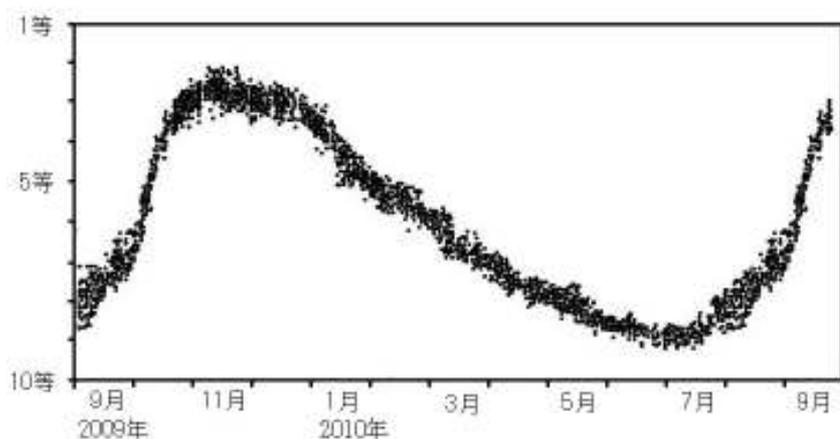
上の図はVSOLJ（日本変光星観測者連盟）による2002年から2008年にかけてのミラの光度曲線です。この図からミラがおよそ1年くらいの周期で明るくなったり暗くなったりを繰り返しているのがよく分かります。周期はおよそ331日ですが、多少は長かったり短かったりする事があります。長いときには360日くらいに、一方短い方では300日ということもあります。331日というのはあくまで平均の周期と言うことになります。

また明るさですが、暗いときの光度（極小光度）はそんなに大きくは変わりません。だいたい8.5等から10等の間です。ただし明るいときの光度（極大光度）はその時々で大きく変化します。2007年初めの極大も大変に明るい極大で、およそ2.0等にまでなり、話題になりました。一方で暗い極大では5等級で肉眼ではかなり見づらい時もありました。1998年の極大の時がちょうどそんな暗い極大でした。

このようにミラの光度曲線はその時々でかなりいろいろと変わることが分かります。このように毎回変わる光度曲線がミラ観測の魅力とも言えるでしょう。

## 6. 今年のミラの光度変化の予報

それでは今年のミラキャンペーンでミラはどのような光度変化を見せてくれるのでしょうか。9月末現在では極小からやや明るくなった状態で、10月からは急速に明るくなっていくものと思われれます。以下の図はあくまで目安ですが、予想される光度変化です。実際の変光は多くの皆さんの観測によって明らかにしていきたいと思ひます。



【ミラキャンペーンで予想される光度曲線】

## 7. さあ、ミラを観てみよう

ミラの観測は決して難しいものではありません。まずこのパンフレットに付いている星図を元にしてミラを探してみてください。今年は9月におよそ9等台半ばの極小になりました。ミラキャンペーンが始まる11月からだんだん明るくなり、12月に極大になると思われます。キャンペーン初めのころは、肉眼では見ることはできないと思われ、望遠鏡や双眼鏡などの使用をお願いします。なお望遠鏡を使っても見えないこともあるかと思えます。その場合は「見えない」というのがその時の観測データになります。その時にくじら座の辺りで何等星まで見えていたかも記録しておいて下さい。例えば星図の7.0等星まで見えていてミラは見えなければ、そのときの観測記録は「7.0等以下」となります。見えないと言うのも立派な観測ですから、きちんと記録に付けていただきたいと思います。

望遠鏡の視野にミラが見えたら実際にそれをどうやって見積もるかですが、星図の等級と見比べながら、ミラよりほんの少し明るい星とほんの少し暗い星とで比べてみます。例えば6.5等星より少し暗いけれど7.0等星よりはかなり明るいとします。その場合6.5等星と7.0等星の明るさの差を10等分してミラがその間のどれくらいの明るさかを見積もるのです。6.5等星より3暗くて7.0等星より7明るければ記録用紙に「(6.5) 3 ミラ 7 (7.0)」と書きます。そしてこれを計算するとミラの等級は6.65等級、四捨五入で6.7等になります。眼視の観測精度はおおよそ0.1等と言われますので、観測報告は小数点以下1位まででお願いします。

観測された結果はできればその都度に観測日時と等級を下記の報告先にお知らせいただけるとありがたいですが、何日分かをまとめて送っていただいても結構です。お送りいただいたデータは他の方のデータと合わせて光度曲線にし、ホームページで公開するとともに、希望者の方にははがきで返送する予定です。データの数が増えるほど光度曲線もきれいに描けますので、少しでも多くの観測をお願いします。ただし一人の方が一晩に何度も観られてもミラの場合は明るさの変化はあまり期待できません。目測は一晩に1回を目安にしてください。

観測報告はEメール、ハガキ、FAXで、観測者氏名と観測時刻、結果を書いていただくだけで結構です。Eメールの場合はmawatanabe@mvd.biglobe.ne.jpにメールをお願いします。

なお「クリスマスにミラを見ようキャンペーン」は12月31日までです。観測された結果は1月15日までに報告をお願いします。1月末頃までに集計し報告書として参加されたみなさんにお送りしたいと思っています。どうぞよろしく願いいたします。

問い合わせ・観測結果報告先：

日本変光星研究会 富山事務局

〒930-0832 富山市中富居15-35 渡辺誠方 FAX 076-451-30644

E-Mail adress: mawatanabe@mvd.biglobe.ne.jp

## 8. 参考文献

藤井旭「チロの星空カレンダー・12月の星『クリスマスの星』」ポプラ社

金井三男「新説!クリスマスの星はミラだった」

スカイウォッチャー1989年11月号

岡崎彰「奇妙な42の星たち」誠文堂新光社

林完次「おはなし星座館・秋」ぎょうせい

藤井旭「星座ガイドブック・秋冬編」誠文堂新光社

R.バーナムJr (斉田博訳)「星百科大事典」地人書館

パトリック・ムーア(岡崎彰・吉岡一男訳)「星・物語～100億光年かなたから」丸善

下保茂「天体観測シリーズ11、変光星の観測」恒星社厚生閣

村山定男・藤井旭「星座への招待」河出書房新社

"How Miras Vary" SKY & TELESCOPE NOVEMBER 2001

変光星観測におすすめの本

日本変光星研究会編「天体観測の教科書 変光星観測編」

誠文堂新光社 ¥2,310