

# 高分散分光が見せる化学特異星の素顔

西村 昌能

〈京都府立洛東高校 〒607-8017 京都市山科区安朱川向町 10〉

e-mail: mnisimura@kcat.zaq.ne.jp

加藤 賢一

〈大阪市立科学館 〒530-0005 大阪市北区中之島 4-2-1〉

e-mail: kato@sci-museum.jp

定金 晃三

〈大阪教育大学 〒582-8582 大阪府柏原市旭ヶ丘 4〉

e-mail: sadakane@cc.osaka-kyoiku.ac.jp

B型からA型の主系列星領域に20%以上にもものぼる化学特異星（CP星）があります。この星々の研究が始まって60年たち、その素顔がかなり明らかになってきました。磁変星と水銀・マンガン星（HgMn星）を例にとって、高分散分光学が見せてくれたCP星の横顔を紹介します。

## 1. はじめに

世界各国にある中口径望遠鏡に同架された高分散分光器によって得られたハイクオリティーなスペクトルの研究から、謎の多かった化学特異星（CP星）の素顔がかなり明らかになってきました。岡山天体物理観測所（OAO）のHIDESは国内で稼働する分光器のなかで最高の分解能を誇り、口径188cm望遠鏡自身も現在、最大の集光力を持っています。私たちはこの分光器を利用させていただいて、一層、CP星に肉薄したいと考えています。ここではCP星の中でも数キロガウスから数十キロガウスにも上る強い磁場を持つ磁変星とHgMn星に焦点を当て、化学組成比研究の最近の動向やそれらが提示する問題を紹介したいと思います。

## 2. CP星とPrestonの分類

B型からA型の主系列星の中に、化学組成比が「正常（もしくは標準）の星」と比べ「異常な星」がかなりの数、存在します。これを化学特異星

（Chemically Peculiar Stars）と言い、CP星と略しています。このようなCP星は、対応する主系列星の実に20%を占めていると言われていました。これらの星々はA型星を中心に見られるため、Ap星（A型特異星）とも呼ばれることがあります。Ap星はA型星のうち、特定の吸収線に強すぎるとか弱すぎるといった「異常性」が見られるものを指しています。実は、中性ヘリウムの吸収線、たとえば、HeI 4471 Å線が見えるか、見えないかでB型星とA型星を区別していますが、CP星は一般にHeの吸収線が弱いのでA型に分類される傾向がありました。しかし、測光観測から求めた表面温度はB型のものが多く、中にはヘリウムが過剰だったり、不足していてもHeの吸収線が見えるほど温度の高い星もありますので、これらをBp星と分類するようになりました。

さて、何ををもって「正常」な化学組成比と定義するか、議論のあるところですが、通常、太陽の化学組成比を「正常（標準）」としています。太陽類似の恒星の化学組成比の問題は6月号の竹田洋一

表1 CP星の分類 (Preston<sup>3)</sup>と Wolff<sup>4)</sup>から)

	表面温度 (K)	磁場	自転速度	連星率	化学組成比
Am 星 (CP1)	7000 ~ 10000	無	小	多	Ca, Sc 弱 Fe 族強 重元素強
Si 星 (CP2)	10000 ~ 12000	強	小	希	He 弱 Si 強 RE 強
SrCrEu 星 (CP2)	8000 ~ 12000	強	小	希	He 弱 Cr 強 RE 強 Fe 強
HgMn 星 (CP3)	10000 ~ 15000	弱	小	正常	Hg, Mn 強
弱 He 星 (CP4)	14000 ~ 21000	強	小	不明	He, C 弱 P, K 強
強 He 星	21000 ~ 30000	有	小	不明	He = H O, N 強
$\lambda$ Boo 型	9000	不明	正常	不明	He 弱 Si, Ca, Mg 弱 Fe 弱

さんの稿<sup>1)</sup>にあります。A型星周辺でも、たとえば、標準星「ベガ」の金属量が太陽値の半分しかないという Sadakane, Nishimura<sup>2)</sup>の発見が口火を切った一連の研究で明らかのように、見かけ上正常なA型星でも化学組成比のばらつきが大きいので、注意が必要です。

Preston<sup>3)</sup>は詳細な化学組成比の研究結果を加味して、分光学的にAp星と分類された星をCP星として再定義し、CP1：A型金属線星 (Am星)、CP2：磁変星、CP3：HgMn星、CP4：弱He星、の4つに分類しました。表1に現在の標準的なCP星の分類を示しておきました。Prestonの定義の拡張版となっています。

### 3. 磁変星およびその周辺の恒星

表1を見ると、強い磁場 (~数キロガウス) を持つものと持たないものがあります。私たちはこの中の磁場を帯びた磁変星 (CP2星) に大きな興味を持っています。

磁変星の特徴を詳しく見ると、

- 1) 表面温度は7500K ~ 12000Kで、主系列星。
- 2) 磁場は一般に双極子磁場で1000ガウスから数万ガウスまで—ゼーマン効果により、吸収線が肥大していたり、スプリットしていたりしています。双極子磁場というのは太陽黒点のような磁場ではない、ということです。最近では四重極子

磁場や八重極子磁場が双極子磁場に混じっているという報告も出ています。今後、この方面の精密な研究が進むことでしょう。

- 3) 自転速度は大変小さく、正常のA型星が100km/s以上なのに対し数km/sから大きいものでも高々数10km/s—そのため、吸収線はシャープです。
  - 4) 色指数が周期的に変化します。数日の周期から100日を越す長周期変光するものも観測されています。変光の具合が、波長域で全く逆位相になるものがあります。この変光周期は磁場強度の変化の周期と一致することが多く、そのためこの周期は自転周期ではないかと考えられます。
  - 5) 特定の元素の吸収線が強かったり、弱かったりします—そのため、スペクトル分類ではAp(Si-Cr-Eu)というように特徴的な元素の吸収線が見えるかどうかを添え字で表しています。この強度は変光周期に一致することがはっきりしていて、4)の変光周期との関係から双極磁場の軸と恒星の自転軸が地球の様に傾いていて、恒星表面の磁場構造に特定の元素が結びついているという斜回転モデル (oblique rotator model) がこの恒星のもっともらしいモデルと考えられています。自転軸と磁極軸の傾きが90°にもなる星もあります。
- 以上のような点から、CP2星はmCP星 (mag-

netic CP 星) とか, 磁変星 (magnetic variable star) とも呼ばれています. 単に magnetic stars と書かれることもあります.

磁変星の中には, さらに表面温度が低温 (7000K ~) で, しかも数分の周期の非動径振動をする roAp 星 (rapidly oscillating Ap stars) があり, また中には 1000 日以上もの変光周期を持つ長周期磁変星などがあります.

B5 型から A2 型の主系列星の実に 6% 程度はこの磁変星と言われています. これは大変大きい値ですし, これほどの割合ならば「異常」ではなく, 恒星進化の中の一般的現象と考えるべきかも知れません.

### 3.1. 最近の分光学的研究の動向

冷戦の終結と共に, ヨーロッパを舞台にしてロシア・ウクライナ・東欧の研究者の活躍が目立つようになりました. 南米チリの欧州南天文台 (ESO), フランスのオート・プロヴァンス天文台, カナリア諸島の La Palma 等にある中口径 (2 ~ 4 m クラス) の望遠鏡に分解能数万以上の高分散分光器がセットされ, CP 星研究に活躍しています.

CP 星は B 型から A 型に普通に見られる主系列星だと述べました. ということは, 我々の近傍にも存在し, 明るい恒星である可能性があるということです. 事実, 磁変星のプロトタイプであるりょうけん座  $\alpha^2$  星は 3 等星ですし, 6 等以上の恒星も多数あります. これ位の明るさなら中小口径の望遠鏡でも十分観測可能で, 中には 1 m クラスの望遠鏡で確かな成果を上げている例もあります. この意味で 8 m クラスのジャイアントと棲み分けていると言えます.

### 3.2. 奇妙な星 プルツブルスキー星と roAp 星の研究

人名がついているのは変わり者の証拠です. Przybylski's star = HD 101065 は, 1961 年, プルツブルスキーが最初にスペクトルの異常を報告した星

で, 中性鉄の吸収線がなく, 一回電離した希土類元素起源のたいへん強い吸収線がたくさん見え, また未同定の吸収線がたくさんあることから, どのように解釈して良いか長い間分かりませんでした. 最近になって, アメリカの Cowley 氏とウィーン大学の Weiss 氏を中心とするグループによって詳しい解析が行われ<sup>5)</sup>, この研究から表面温度が 6600K, 表面重力加速度 ( $\log g$ ) が 4.2 というかなり低温の CP2 星であることが判明し, 弱いながらも中性鉄の吸収線が見えていて, 鉄族元素は太陽値の 10% くらいしか存在しないことが分かりました. ところが, コバルトは太陽値の 30 倍, 希土類元素は太陽値の 1000 倍から数 1000 倍という高濃度ということです. 希土類元素では 2 回電離したイオンの吸収線がたくさん見られ, そのうち, Pr, Nd, Er (原子番号がそれぞれ, 59, 60, 68) は 1 回電離したイオンの吸収線から求めた組成比より一桁以上大きいそうです. さらに, 水素のバルマー線のコア (中心部) が異常に深いコア-ウィング異常という現象が見られます. これらの研究結果は, Weiss 氏らウィーン大学とロシアの Ryabchikova 氏のグループによって 1990 年代後半から研究されていた roAp 星の研究結果と, ほぼ一致するものでした. なお, Przybylski's star は 1978 年に非動径振動が発見された最初の roAp 星でした.

### 3.3. 日本の星—大沢スター

この CP2 星業界には日本人の名前のついた恒星もあります. それが大沢スター (Osawa's star) です. この星の名前の由来のご本人である大沢清輝先生は元東京天文台長で, 初期の岡山天体物理観測所で Ap 星の研究をされていました. その成果の一つがカシオペア座にある HD 221568 (V436 Cas) の発見でした. この星の明るさは 7.6 等星で A0p (Sr-Cr-Eu) 星と分類され, 159 日の長周期で色指数が変光するりょうけん座  $\alpha^2$  星型磁変星でした. この恒星の詳しい研究史は大沢先生のご著書<sup>6)</sup>に記されています.

この恒星の化学組成比は1967年、小平桂一先生（現総合研究大学院大学学長）によって詳しく調べられました<sup>7)</sup>。小平先生は岡山天体物理観測所188cm望遠鏡のクーデ分光器のC4やC10乾板で観測され、成長曲線法で解析されました。特に、変光の位相 $P=0.30$ のブルーフェーズで、太陽と比較してFe, Cr, Mgでそれぞれ10倍超過、Sr, Zrで20倍の超過、Ceで100倍、Prで4000倍、SmとGdで6000倍、Ndで1600倍の超過を示されました。このように、特に1回電離の希土類元素(REE)が太陽値に比べ大きな組成比を示していることが明らかになりました。この研究では主にC4乾板が使われましたが、分解能もSN比も大変悪い中、手作業で解析されたのですから、大変なご苦労があったと推察されます。

ところで、私たちはこの大沢スターの化学組成比を改めて調べてみることにしました。現在はすばる望遠鏡の時代です。スペクトルデータはすばる望遠鏡に同架された高分散分光器HDSの試験観測期間に得られたものを利用させていただきました。データの諸元は、波長域：3840 Åから5070 Å、分解能：45000、SN比：150以上、観測時刻：2000年8月13日11時、変光の位相 $P=0.24$ と、小平先生が研究されたブルーフェーズとほぼ同じです。大気パラメータはStepień氏とMuthsam氏<sup>8)</sup>が提案した表面温度10300K、表面重力加速度3.7を採用し、Kurucz氏のATLAS9モデル大気を使用しています。このモデル大気コードは今や恒星分光では世界標準のものです。

化学組成比の決定は竹田洋一氏<sup>9)</sup>のスペクトル解析ツールSPTOOLを利用して行いました。磁変星では吸収線にゼーマン分岐が観察されたり、吸収線が強くなったりします。この様子をシミュレートして調べました。

原子線データ（イオン種、波長、励起温

度、遷移確率、減衰常数、線の項など）はVALDデータベース<sup>10)</sup>を基本とし、最新のデータを補いました。VALDという原子線データベースはウィーン大学のグループが作り上げたもので、ヨーロッパの多くの研究者が利用しています。

大沢スターの磁場について調べてみると、600 Gaussから数千Gauss程度と文献によりばらつきがあり、はっきりしません。そこで、まず、同じマルチプレットで遷移確率がほぼ同じで、しかも磁場の影響の受け方が異なる2対の吸収線の強度比を調べる方法を検討しました。ところが、吸収線周辺にあまりにもたくさんの吸収線があって、とても正確にその強さを測定することができないと判断されたのでこの方法を放棄し、磁場の強さを考慮してシミュレートした吸収線輪郭と観測された吸収線のプロファイルの比較から磁場の強さを求めることにしました。そこで、最初に、磁場の影響を受けにくいFeII 4508 Åの吸収線（NULL-Line）からFeの組成比を決定しました。結果は太陽の

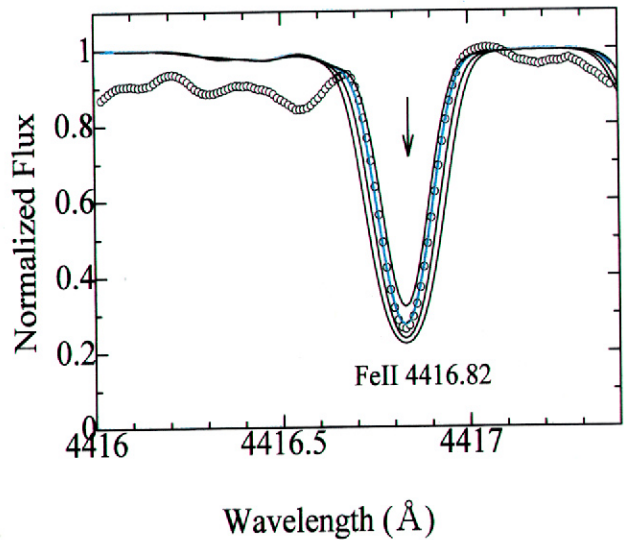


図1：HD 221568（大沢スター）に見られる一回電離鉄（FeII 4416.82）の吸収線。白丸は観測（すばる望遠鏡/HDS）で得られたスペクトル。実線は上から1キロガウス、2キロガウス（青線）、3キロガウス、4キロガウスを仮定したときに予想されるスペクトル。この場合、微視的乱流速度を0 km/sとしました。この吸収線からは、鉄の組成比は太陽値の14倍と求まりました。

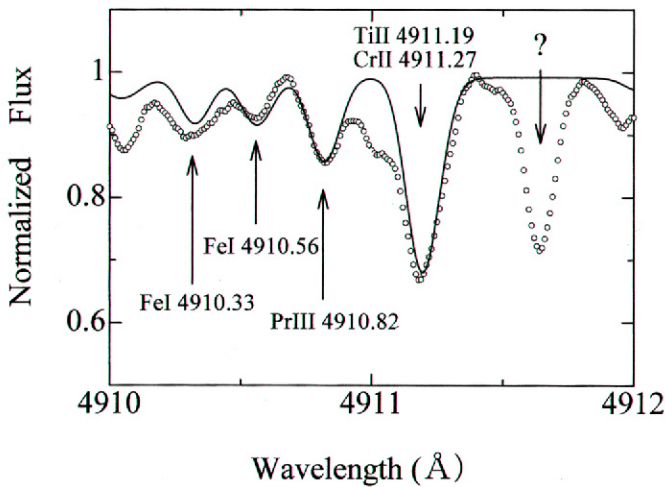


図2：HD 221568（大沢スター）の観測（白丸）と合成スペクトル。磁場の強さは2キロガウス，微視的乱流速度は0 km/s としました。各元素の組成比はそれぞれ太陽値に比べて，鉄で10倍，クロムが67倍，チタンが5倍，プラセオジウム(Pr)が4300倍で良くフィットしそうです。

12.6倍でした。次にこの値を利用して，磁場の影響を受けやすい（ゼーマン分岐が大きい）線について磁場強度を0キロガウスから4キロガウスまで変えてスペクトルを合成してみました。そして，2キロガウスが最適値と判断しました。

以上の結果に基づき，他の吸収線に汚染されていないクリーンな吸収線を解析したところ，次のことが分かりました<sup>11)</sup>（図2）。

- 1) Heは太陽値の10分の1程度，
- 2) 塩素が太陽値のおよそ1000倍，
- 3) 鉄族元素は過剰。鉄は約10倍，コバルトは太陽値の1000倍，
- 4) Sr, Y, Zrの過剰は100倍から1000倍，
- 5) 希土類元素は過剰。特にPrIII, NdIII, DyIIIの吸収線が強く，太陽値の10000倍程度。

roAp星に見られるような希土類の1回電離と2回電離のイオンから求めた組成比の大きな違いは見つかりませんでした。ただ，この恒星もコバルトの存在量が他の鉄族元素より大きいこと，塩素量

も大きいこと，希土類元素がかなりの超過を示すことが明らかになりました。

### 3.4. コバルト過剰星

大沢スターはコバルト過剰星であることが分かりました。私たちは，大沢スターの研究に先立っていくつかのコバルト過剰星の研究を行っています。まず，著者の一人定金はHR 1094というコバルト過剰星の研究を行いました<sup>12)</sup>。この恒星は表面温度12000Kの主系列星で，コバルトや塩素が多く，また，白金や水銀などのHgMn星に見られる元素も多いという点で興味深い星でした。

当時，HR 1094以外にもコバルト過剰星がもう一つ知られていました。それがHR 5049（HD 116458）です。5.7等星で，A0(Si-Eu-Cr)と分類され，126日の周期を持つ分光連星です。変光周期が149日というこの星は天の南極近くにあり，北半球から観測することはできません。そこで，

磁場測定のため撮影されていたスペクトルをESOのMathys氏から提供していただきました。最初は，口径3.6mの望遠鏡にゼーマンアナライザーを取り付けたCASPECという分光器のデータでした。分解能は16000，SN比は150程度で，磁場観測のため左右の円偏光に分けて撮られていました。測光データからこの恒星の表面温度は11000K，表面重力加速度は4.0であることが分かりました。それを使ってモデル大気を構築し，化学組成比を求めると，Feが太陽値の30倍，コバルトが10000倍などと，いくつかの元素で太陽値に比べ過剰という結果になりました<sup>13)</sup>。その後，ESOの新技术望遠鏡（NTT）に同架された高分散エシェル分光器（EMMI）で得られた分解能70000～80000，SN比150以上のものを利用して解析を続けています。このHR 5049は磁場の強さが4.7キロガウスもありますので，いくつかの吸収線ではゼーマン分岐がはっ

きり見えています。

図3に、磁場に敏感な FeII 6149 Å線付近を示しておきました。このように、磁場を考慮してスペクトルフィッティングをしてみても、やはり、塩素が太陽値の100倍以上、鉄が数倍、そしてコバルトが数1000倍、希土類元素では2回電離した吸収線が観測され、太陽値の10000倍程度の値を示しています。それに、中性ヘリウムの吸収線が見えず、11000Kの表面温度では太陽値の1000分の1、最近、Hipparcos衛星の視差データから求められた表面温度(10300K)と表面重力加速度(3.8)でモデル大気を構築しても100分の1という値になります。HR 5049の他にもヘリ

ウム量が太陽値の1000分の1というCP2星が見つかっています。どうやら、ヘリウムの定量が大事になってきているようです。

### 3.5. CP2星の謎のギャップは2回電離希土類吸収線の林か

希土類の1回電離イオンの電離ポテンシャルはおおよそ10~12eVですから水素(13.6eV)とほぼ同じで、ちょうど10000K程度でよく電離します。そのため、この温度あたりのCP2星では1回電離イオンより2回電離イオンの吸収線が強くなります。ところが、たとえば、Pr(原子番号59)などでは、2回電離したイオンはすぐに1回電離イオンに転換する性質があるため実験的に遷移確率を測定するのは難しく、定量するまでに至りませんでした。しかし、最近、ベルギーのBiémont氏らのグループが、レーザーを利用した実験値と理論計算から求めた中性から数回電離の希土類元素の遷移確

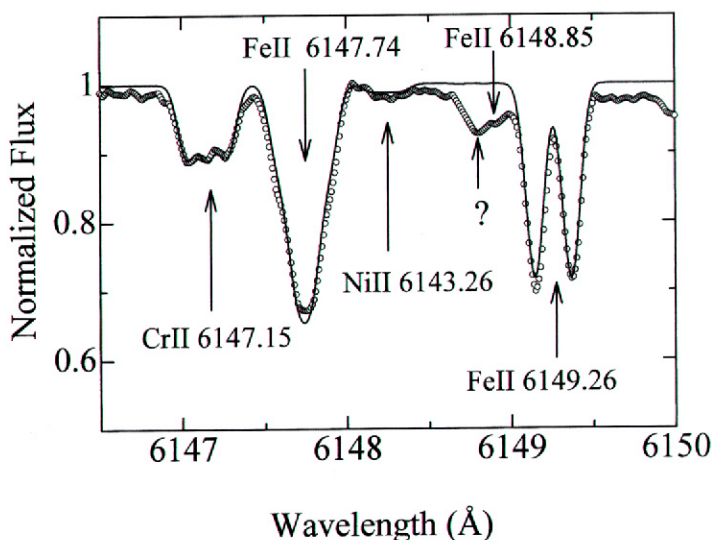


図3：HR 5049のスペクトル。白丸は観測スペクトル(ESO EMMI)、実線は磁場の強さを4.7キロガスとした時の合成スペクトル。一回電離鉄(FeII 6149.26)はゼーマン効果により2本に分岐しています。モデル大気の有効温度を11000K、表面重力加速度(log g)を4.0としたとき、鉄の組成比は太陽値の10倍、クロムは166倍となり、10300K、3.8での値は鉄が7.4倍、クロムが120倍となりました。

率を出版し始めました<sup>14)</sup>。また、ほぼ同時に別のグループも2回電離した希土類の遷移確率を発表しましたが、両者はほぼ同じ値なので安心して利用できそうです。

HR 5049のスペクトルを調べていますと、5200 Å辺りに多数の同定できない非常に強い吸収線群が見えます。そのうちいくつかはNdやDy、Prなどの2回電離したスペクトル線と判明しました。この吸収線群のため、低分散ではスペクトルの連続部が凹んで見えます。4200 Å、6300 Å付近にも同様の凹みがあります。これを発見されたのは小平先生でした<sup>15)</sup>。この現象は2回電離した希土類の吸収線によるものではないかとWahlgren氏のグループは提案しています<sup>16)</sup>が、私たちの研究もこれを支持しています。しかし、まだまだ未同定線がたくさん残っています。このBiémont氏らのプロジェクトの進展を待つばかりです。

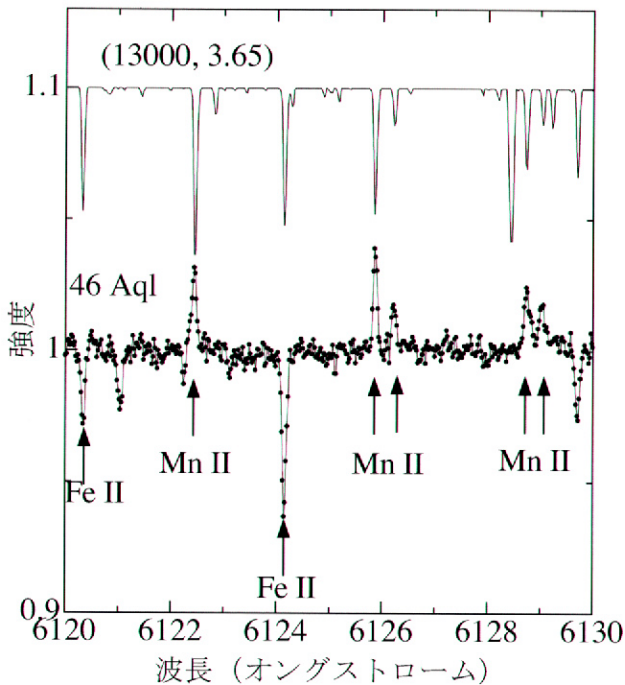


図4：わし座46番星 (HD 186122) に見られる一回電離マンガン (Mn II) の輝線。細実線は、有効温度 13,000 K, 表面重力加速度 ( $\log g$ ) 3.65 の大気モデルで予想されるスペクトル。一回電離鉄 (Fe II) の線は予想通り吸収線になっていますが、Mn II の線は全部輝線として見えています。すばる望遠鏡 (HDS) で得られたデータです。

### 3.6. HgMn 星 (CP3 星) に金属線の輝線が

従来から良く研究されてきた明るい恒星を高分散スペクトルで調べたところ、とんでもないものが見えてきました。HgMn 星に Xe, Mn, Ti などの弱い輝線が見つかったのです。事の始まりは、CP4 星 (弱ヘリウム星) のケンタウルス座 3 番星 A (HD 120709, スペクトル型 B5III-IV) の赤波長域で MnII, PII, HgII の輝線が弱いながらも観測されたことです<sup>17)</sup>。同時に、MnII の輝線は HgMn 星 (CP3 星) のわし座 46 番星 (B9III) でも見られました。そこで、筆者の一人定金はすばる望遠鏡 HDS の試験期間にこのわし座 46 番星の観測を行い、MnII のほかに TiII の輝線を確認しました<sup>18)</sup> (図 4)。

輝線とは、全く、思いもよらないものでした。いったい、どのような理屈で輝線が見えるのでしょうか

か？ 輝線を見せる吸収線は 8.0eV 以上の高励起線で、同じ元素の低励起線では普通の吸収線になっています。Sigut 氏<sup>19)</sup> は、大気上層にマンガンが濃集したところがあれば non-LTE (非局所的熱平衡) 効果で MnII の輝線が生じうることを示しました。たぶん、他の輝線も同様に説明できそうです。このわし座 46 番星は通常の HgMn 星に比べおかしげなことが多く、見えないはずの XeII や AsII の吸収線が見えたり、見えるはずの吸収線が見えません。たとえば、中性ヘリウムは太陽値にくらべ 60 分の 1 以下、炭素、窒素、酸素やネオンも少なく、珪素や硫黄の吸収線もたいへん弱いという異常性を示しています<sup>18)</sup>。

Whalgren 氏と Hurbrig 氏は、ESO の 1.5m の FEROS 分光器 (分解能 48000, 波長域 5000 ~ 9200 Å) でケンタウルス座 3 番星 A を詳しく観測し、FeII, PII, TiII, CrII, MnII, NiII, CoII, CaII, CuII, HgII で輝線を見い出しました<sup>20)</sup>。彼らはまた、12 個の HgMn 星を観測して次のように結論づけました<sup>21)</sup>。

- 1) 表面温度 10000K ~ 14500K の範囲では、輝線の有無と表面温度と間に相関は見い出せない、
- 2) 大気中に過剰な元素は輝線になる。また、輝線の強さはその遷移確率に比例する、
- 3) 水銀の同位体とその輝線の関係は明らかでない。たくさんの HgMn 星を調べたら、輝線は HgMn 星に普通に見られる現象になるかもしれません。

### 4. 組成比異常の起源について

この難物天体 CP 星の異常な組成比の起源については Michaud 氏の拡散説が一番有力です。1970 年、Michaud 氏<sup>22)</sup> は、「対流や乱流などのない静かな大気では、質量の大きな元素は内部に向かって沈んでいく。しかし、適当な吸収線を持つ元素であれば、内部からの光圧を受けることができ大気

上部に浮上する」という拡散理論を提案しました。そして、Am 星の化学組成比を説明することに成功しました。CP2 星では、磁場が強いため、完全電離している大気の乱流は押さえられ、「静かな大気」は実現されていると仮定してもよさそうです。現在、この拡散説の研究はゼーマン分岐を考慮した計算を Alecian 氏と Stift 氏<sup>23)</sup> が発表したことで、次の段階に入りました。彼らによると、表面温度 12000K、表面重力加速度 4.0 の大気で数キロガウスの磁場でゼーマン分岐が非飽和な場合、いくつかの元素種でかなり拡散加速が増幅されうること、また、それは磁場の強さと向きに大きく依存するということです。さらに、磁場の傾きが鉛直線と 60° の時に最大 30 倍まで増幅されることを示しました。ということは、磁極と 60° の位置に元素の多い所（元素大陸）が見られることを意味します。

拡散説の他に今までいくつか説が提案されています。それらをまとめると、

- (1) 磁場による降着 (Havnes, Conti 1971) — 近くの超新星爆発により生まれた重元素で汚染された星間物質が恒星の紫外線によって電離され、恒星磁場に沿って表面に降着する、
  - (2) 惑星間塵 (彗星様) による降着 (Krishna Kumar et al. 1989),
  - (3) 連星系での質量交換 (van den Heuvel 1967, 1968),
  - (4) 近接連星系が合併して形成された水素不足星 (Bidelman 2002).
- まさに、百家争鳴の様相です。

## 5. 恒星進化の中の CP2 星

CP 星の起源の問題は、恒星進化の中で考えるべきだと言いましたが、ここで CP2 星の進化をたどってみましょう。

磁場の起源は星間雲にあった磁力線であろうと言われています。化石磁場と言われているものですが、この磁力線がどのように恒星に取り込まれているのか、未だ、はっきり分っていません。星間雲に

磁場が存在していることは、星間空間の偏光観測から間違いありません。ところで、原始星から主系列星になる直前に Herbig Ae/Be 星という若い星々 (HES) が存在します。これらには弱いながらも磁場が観測され、双極磁場に沿うジェット流もあるようです。ですから、これらの中に CP2 星の卵が見つかるのではないかとされています。

最近、Pöhlrl<sup>24)</sup> は 4 つの若い散開星団にある 13 個の CP2 星の表面温度と光度を見積もり、理論的な進化経路と比較して年齢と質量を求め、“CP2 症状” は主系列滞在時間の 30% を経過するまでに発症することを示しました。

さて、恒星の光球に浮上した元素種は、どこへ行くのでしょうか？ それらは CP2 星の進化の途中で放出されることとなります。その際、磁場の圧力が恒星風の圧力より強ければ電離した原子は恒星周辺に閉じこめられ、ドーナツ状に分布するはずですが、このドーナツは恒星磁場に結びついていますから、恒星の自転に伴って回転しているというイメージが描けます。このドーナツ内のイオンがぶつかり合って X 線を放射し、磁力線に沿って走る電子が非熱的な電波を放射している可能性があります<sup>25)</sup>。

また、主系列段階を終えると巨星になりますが、磁場の強い巨星のことはよく分かりません。その後、白色矮星となりますが、ここにはたいへん強い磁場を持つ magnetic WD といわれる白色矮星がたくさんあります。これらは磁変星のなれの果てなのでしょうか？ 謎は深まるばかりです。

## 6. 私たちの野望

この稿が出版される頃、私たちは OAO での観測を終えています。観測にあたり、私たちは次のような目標を設定しました。

- (1) 2 回電離した希土類元素の系統的な定量的結果はどうでしょうか？ 表面温度や表面重力加速度、磁場の強さとの関係は見つからないでしょうか？



- +++++
- (2) コバルトと塩素の量はどのようにでしょうか？ 希土類元素との関係は？
- (3) ヘリウムの定量、本当に大きな不足なのでしょうか？ 輝線となって、吸収線を埋めていないのでしょうか？
- (4) HgMn 星で見られた CrII, MnII の高励起線の輝線が CP2 星で見えるのでしょうか？ ひよっとするとコバルトの輝線が見える星があるかもしれません。
- (5) 若い CP2 星と古い CP2 星の化学組成比の違いはどのようにになっているのでしょうか？
- このような課題を調べることで化学組成比と表面温度、重力加速度、磁場の強さなどの物理量との比較を行い、磁変星の進化についてまだほぐれていない糸を解きたいと考えています。このため、OAO の HIDES にはしばらくお世話になりたいと思っています。

私たちのこれらの研究のいくつかは、すばる望遠鏡グループのご協力で行っています。この場をお借りして、感謝の意を表したいと思います。

### 参考文献

- 1) 竹田洋一 2003, 「天文月報」 96, 6
- 2) Sadakane K., Nishimura M., 1981, PASJ 33,189
- 3) Preston G. W., 1974, Ann. Rev. Astron. Astrophys 12, 257
- 4) Wolff S. C., 1983, THE A-STARS: PROBLEMS AND PERSPECTIVES, NASA SP-463
- 5) Cowley C. R., Ryabchikova T., Kupka F., Bord D. J., Mathys G., Bidelman W.P., 2000, MNRAS 317, 299
- 6) 大沢清輝, 1984, 「星の色」(地人選書 6)
- 7) Kodaira K., 1967, Ann. Tokyo Astron. Obs. Ser. II 10, 157
- 8) Stępień K., Muthsam H., 1987, A&A 185,225
- 9) Takeda Y., 1995, PASJ 47,287
- 10) Kupka F., Piskunov N., Ryabchikova T. A., Stemples H. C., & Weiss W.W., 1999, A&AS 138, 119
- 11) 西村昌能 他 2002, 日本天文学会 2002 年秋季年会講演予稿集 N55b
- 12) Sadakane K., 1992, PASJ 44, 125
- 13) Nishimura M., 1998, PASJ 50, 285
- 14) Biémont E., Palmeri P., Quinet P. 2002, <http://www.umh.ac.be/~astro/dream.shtml>
- 15) Kodaira K. 1969, ApJ 157, L59
- 16) Wahlgren G. M., Bord D. J., Cowley C. R., 2001, APS Conference Series, eds. Mathys G. et al. 248, 361
- 17) Sigut T. A. A., Landstreet J. D., Shorlin S. L. S., 2000, ApJ 530, L89
- 18) Sadakane K., et al., 2001, PASJ 53, 1223
- 19) Sigut T. A. A., 2001, ApJ 546, L115
- 20) Wahlgren G. M., Hurbig S., 2001, APS Conference Series eds. Mathys G. et al. 248, 365
- 21) Wahlgren G. M., Hurbig S., 2001, APS Conference Series eds. Mathys G. et al. 248, 369
- 22) Michaud G., 1970, ApJ 160,641
- 23) Alecian G., Stift M. J., 2002, A&A 387,271
- 24) Pöhl H., Maitzen H. M., Paunzen E., 2003, A&A in press (astro-ph/0303189v1)
- 25) Montmerle T., 2001, Science 293, 2409

### The Spectral Features and the Chemical Abundances of CP2 and HgMn Stars Derived from High Dispersion Spectra

Masayoshi NISHIMURA

Rakutou High School

Yamashina-ku, Kyoto, 601-8017

Ken-ichi KATO

Osaka Science Museum

Nakanoshima, Kita-ku, Osaka, 530-0005

Kozo SADAKANE

Osaka Kyoiku University

Asahigaoka, Kashiwara, Osaka, 582-8582

Abstract: The complex spectral features and the results of recent studies for chemically peculiar (CP) stars are reviewed with the emphasis on the magnetic peculiar and mercury-manganese stars. We stress that modern analyses using high dispersion spectrographs including HDS (High Dispersion Spectrograph) at the Subaru telescope (NAOJ) and recent atomic data have revealed the presence of emission lines of some metals on mercury-manganese stars and the complex spectra on magnetic CP stars to be partly due to the absorption lines of second ionized rare earths.