約50年ぶり！白色矮星シリウスBが見ごろ

今村　和義　K. Imamura
（徳島県　阿南市）

1. はじめに

冬の夜空でひときわ目につくおおいぬ座のシリウス。言わずと知れた夜間全天で最も明るいこの恒星（約-1.4等）は、図1のように約8.4等の伴星シリウスB（白色矮星）を従える実視連星の一つである（軌道周期は約50年）。シリウスBについては、一般向けの藤井旭氏の数多の著書をはじめ、児童用の天文図鑑などでも紹介されていることがあるため、その存在は玄人のみならず、ライトな天文ファンの間でも広く知られているのではないだろうか。

しかし、シリウスBを眼視で観察することはそれほど容易ではない。主星と伴星の明暗差が大きいことに加え、両星の離角、シーイング、望遠鏡の性能など、様々な要因が観察を難しくさせている。もちろん観察条件が整えば、主星（シリウスA）のまばゆい輝きのすぐそばに、シリウスBの微かな光点が見えてくる。主星と伴星の離角については、2021年より最大離角（約11.3秒角）を迎え、2024年頃までこの状態が続く。今期を逃せば次回はまた約50年後になってしまう。

本寄稿では白色矮星の性質ならびにシリウスBの発見や謎を概観するとともに、私が行ったシリウスBの位置推算、現在準備中の「シリウスBチャレンジ」という観察・撮影キャンペーンの構想についてご紹介する。

2. シリウスBについて

2.1　白色矮星とは

シリウスBは恒星の分類において“白色矮星（white dwarf）”という種類に属する天体である。その性質は太陽など他の一般的な恒星とは大きく異なる。半径は地球程度と大変小さいにも関わらず、質量は太陽程度に達するため、平均密度は太陽の十数万倍という、とてつもなく高密度な天体である。そのため、白色矮星の表面においては1ccの水が1トンに達するような強力な重力が働いている。

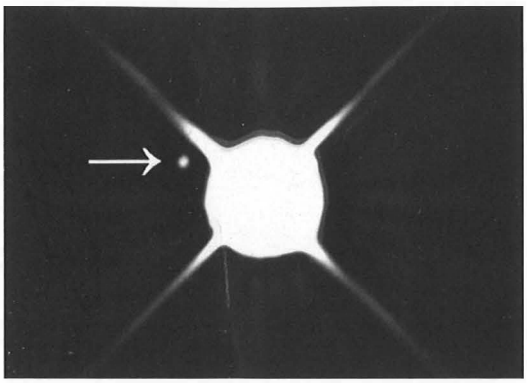

図1：シリウスBの姿（2021年1月31日撮影）。口径113cm 反射望遠鏡 + ZWO ASI290MC.

このような特異な性質を持つ天体の正体は、太陽質量の約8倍以下の恒星の成れの果て（核燃焼を終えた姿）、言い換えれば星の燃えカスである（星の進化については尾崎洋二博士の名著「星はなぜ輝くのか」を参照されたい[1]）。ただ燃えカスといえども表面温度は太陽よりはるかに高い1万K（ケルビン）を超え、核融合反応を行っていたときのいわば余熱で白色矮星は輝き続けている。

ちなみに、白色矮星は新星爆発や矮新星アウトバーストといった近接連星系の活動現象に深く関連している。そのため当会の新天体捜索家ならびに変光星観測家の方々にとっても馴染み深い天体ではないだろうか。

2.2　シリウスBの発見と謎

シリウスBは1844年頃に、ドイツの天文学者 F.W. ベッセルによって、その存在が予言された。ベッセルははくちょう座61番星という星で、恒星の距離を初めて測定した人物でもある。当時彼はケーニヒスベルグ天文台でシリウスの精密な位置観測を行っていた。そして先人の観測結果と併せると、シリウスは約50年周期でふらふらと蛇行するような固有運動をしていることが明らかになった[2]。この発見からベッセルは、シリウスにはまだ見ぬ“伴星”の存在があり、連星として共通重心を公転運動するため、ふらつきが観測されると考察した。この考えに基づきベッセルはシリウスの伴星捜索を行ったが、残念ながら当時は発見するには至らなかった。なお後述するシリウスBの位置推算の結果、1840年代の離角は最小に近く（2.5～4.3秒角）、観察が非常に難しい時期だったのではないかと考えられる。

その後、シリウスBの存在を初めて確認したのは、アメリカの望遠鏡製作者A. G. クラークであった[3]。1862年、彼は完成したばかりの口径47cm屈折望遠鏡（当時世界最大級の屈折式）のテスト観測をシリウスで行ったところ、ベッセルが予言した位置に、微かに輝く伴星の姿を見ることができた（最初はゴーストだと思ったようだ）。このとき離角は約10秒角に達しており、ベッセルの捜索時期と比べれば、離角面でも発見しやすかったのではないかと考えられる。

シリウスBの発見後、20世紀初頭に少しずつ白色矮星の観測・研究が進む中で、天文学者の間では新たな謎が突きつけられた。ケプラーの法則に従い、この連星の質量を求めると、主星は太陽の2倍程度、伴星（シリウスB）は太陽と同程度になる。さらに1924年頃、天文学の権威イギリスの

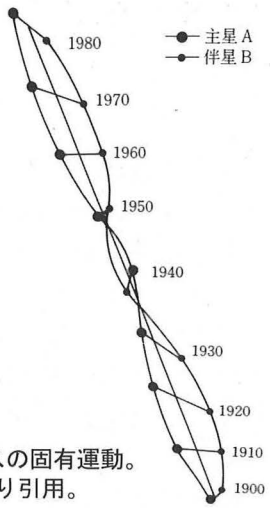

図2: シリウスの固有運動。[1] より引用。

A. エディントンによって提唱された恒星の「質量—光度関係」に従えば、伴星の光度は主星の16分の1程度になるはずだが、実際のところ光度は主星の約1万分の1と異常に暗い。

一方、恒星の光度（L）はその表面積と表面温度（T）から求めることができる（$L=4\pi R^2\sigma T^4$）。1915年W. S. アダムスの報告（分光観測）によれば[4]、シリウスの主星と伴星のスペクトル型はともにA型で、表面温度が同程度と当時知られていた。この結果に従えば、伴星の表面積が求まり、半径（R）は主星の100分の1（地球の約2倍）程度まで小さくなくてはならない。つまり光度が極端に暗いことは星のサイズが非常に小さければ自然に説明することができた。

ところが、これほど小さな天体にも関わらず、質量が太陽程度もあるとすると、平均密度は太陽の十数万倍にも膨れ上がることになる。当時、このような未知なる高密度天体（白色矮星）がどのようなメカニズムで存在しているのかなど、様々な天文学者の興味を惹いた。その結果、星の内部構造や星の進化など、現代における天体物理学の礎が築きあげられていった。白色矮星の研究史については、先人たち（西村昌能博士、岡崎彰博士）による素晴らしい日本

語レビュー［5, 6, 7］があるため、ここでは割愛するが、ご興味のある方はそちらもぜひ併せてご覧頂きたい。

3. シリウスＢの位置推算

3.1　なぜ自分で計算を行ったのか？

シリウスＢの位置推算を自分で行うにあたり、そのいきさつについて述べておく。私は大学院時代（計５年間）、岡山理科大学天文台において、新星や矮新星の観測（分光や測光）に明け暮れていた。そのためか、白色矮星にはどこか愛着がある。2016 年度より阿南市科学センターに就職してからは、天文の教育・普及に一層力を入れるようになり、四国最大の天体望遠鏡（口径 113cm F9.7 反射）を使った観望会では、ときおり連星や変光星の知識などを織り交ぜながら、解説を行うことがあった。

そのような中、阿南市に赴任して一年目が終わる頃（2017 年１月後半）、観望会中に雲が多かったのでふとシリウスを導入した。視野中心に見えるよう微調整を行っていたところ、シリウスのすぐ近くに微かに光る見慣れない星が見えたのであった。このとき初めてシリウスＢを自分の目で確認することができ、後日写真撮影を行い「阿南市科学センター / 天文館 Blog」にシリウスＢに関する記事を書くに至った。なおシリウスＢの最大離角になる年について、藤井旭氏の天文年鑑や、海外の Web サイトを中心に情報収集を行ったが、資料によって最大となる離角の年に数年の違いがあり、一方で数年の期間で表記しているものもあった。どの情報を採用すべきか悩んだ結果、このときは藤井氏の「2022 年が最大離角」を採用しブログ記事を書いたが、多少心残りではあった。

それから数年後（2021 年１月頃より）、ふと近年主流になっている惑星撮影（動画データから高 S/N の静止画を得る手法）と同じように、シリウスＢを撮ったらどうなるだろうかと思い、試しに撮影したものが図１である。これは先に触れた口径 113cm 反射望遠鏡（f=11,007mm）と ZWO ASI290MC（CMOS カメラ）にて直焦点撮影したものである。近年の惑星撮影ではスタンダードになっている、自動スタックソフト AutoStakkert!3 や RegiStax6 のウェーブレット処理を用いたところ、思いのほかシリウスＢの写りを鮮明に仕上げることができた。

そこで 2021 年２月にこの写真（図 1）を使って再びブログ記事を書き、日本公開天文台協会（JAPOS）のメーリングリストに写真の紹介や、他館でのシリウスＢの撮影状況、観望会での観察状況など、情報共有を目的とした内容で１通のメールを書いた。このとき、かねてより心残りだったシリウスＢの最大離角の年が資料によって異なるため、離角について年ごとに過去から未来に渡ってまとめられた表を誰かご存知ないかと尋ねてみた。これに対し、佐賀市星空学習館の早水勉氏よりお返事を頂き、佐賀で撮影されたシリウスＢの画像に加え、なんとご自身で年ごとに計算されたシリウスＢの位置（離角，位置角）の表と軌道図を情報提供頂いたのであった。

前置きが長くなったが、この早水氏の計算に大きな刺激を受け、自分でも計算してみたいと考え、プログラムを書いて位置推算を行った。その結果、資料によって最大離角が異なることについても簡単な所感を得たので、次節で触れたい。

3.2　計算と結果について

シリウスのような実視連星の位置推算については、昭和 40 年出版の「恒星の世界」内にある石田五郎博士が執筆された“実視連星系”の章（pp. 221-231）が詳しい［8］。任意の時刻 t における角距離（離角）ρ、及び位置角 θ を求めるには、以下の数式を

解くことで求められる：

式（2）はケプラー方程式を解く必要が

$$n = \frac{360°}{P} \tag{1}$$

$$M = n(t - T) = E - e\sin E \tag{2}$$

$$r = a(1 - e\cos E) \tag{3}$$

$$\tan\frac{1}{2}v = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}}\tan\frac{1}{2}E \tag{4}$$

$$\tan(\theta - \Omega) = \pm\tan(v + \omega)\cos i \tag{5}$$

$$\rho = r\cos(v + \omega)\sec(\theta - \Omega) \tag{6}$$

あり、長沢工博士の著書「天体の位置計算（増補版）」などが参考になる[9]。今回使用したシリウスの軌道要素は表1の通りである。なお計算に用いたプログラミング言語は“R”である。作成したソースコードについては今回省略する。

計算の結果、図3（2000年～2049年）のようにシリウスBの軌道を描くことができた。計算上、シリウスBの離角が最大となるのは、2023年の 11.31秒角であった。しかしながら、地上からの観察・写真撮影を前提とするならば、有効数字は少数第一位で十分と考えられるため、最大となる離角は11.3秒角となり、2021年～2024年の期間が最も観察しやすい時期と考えられる。ちなにみ、国内外においてシリウスBの最大離角が資料によって数年異なること、あるいは○○年～××年と期間で表記されていたのは、単純なことではあるが、以下大きく2つの理由が考えられるだろう：

(1) 計算に用いる軌道要素の違い

(2) 有効数字の取り扱い方の違い

（要求される計算精度によってはケプラー方程式の解き方の違いも影響するであろう。）

今回の位置推算では、計算期間を幅広くとり、1840年～2049年でも計算を行った。図3のような軌道図はWeb上や出版物でよく見かけるが、過去から未来にかけてシリウスBの離角変化がまとめられた表は、少なくとも国内ではすぐに見当たらない。本寄稿ではデータ量が多いため掲載できないが、先に紹介したブログにおいて公開している。

表1：計算に用いたシリウスの軌道要素［10］。記号の意味は以下のとおり。P：軌道周期、T：近星点通過時刻、e：離心率、a：軌道長半径、i：軌道傾斜角、ω：近星点経度、Ω：昇交点位置角。

P (年)	50.052
T	1894.164
e	0.5923
a (")	7.501
i (°)	136.62
ω (°)	148.07
Ω (°)	44.86

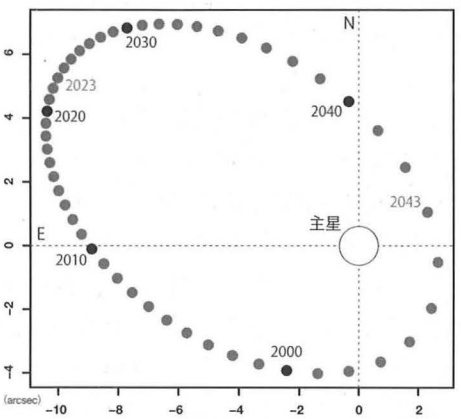

図3：計算された2000年～2049年までのシリウスBの軌道（上が北）。

4. キャンペーン『シリウスBチャレンジ』の構想

約50年振りに見ごろを迎えているシリウスBについて、2021年末の冬に向けて一般向けに観察・撮影キャンペーンの実施を構想している。まだラフプランであるが、箇条書きで主な内容を記す：

① 2021～2024年の期間シリウスBの観察・

撮影のキャンペーンを実施（Webページを作成）。

②観察と撮影（写真データ）の報告フォームをそれぞれWeb上に準備。

③観察報告は見えた・見えなかったによらず報告（望遠鏡や観察地などの情報も入力）。

④撮影報告は画像をWebフォームで送ってもらい、ギャラリーを作成しWeb上で公開。

⑤名刺サイズの「シリウスBチャレンジ」カードを製作する（一年目に3000枚？）。

⑥観察にチャレンジした来館者にカードを配布する（見えた・見えなかかったによらず）。

⑦カードには観察報告用のWebページに飛べるQRコードを記載しておく。

⑧公開天文台に対し観察面での協力館を募る。協力館には150枚程度カードを送付する。

⑨公開天文台からもシリウスBの画像を募る。

本構想については、2020年12月頃の木星・土星の超接近にあわせて行われたキャンペーン「惑星で星空視力大実験！」に着想を得ている。もちろん木星・土星のときのような盛り上がりは期待できないが、キャンペーンを実施できる期間が長いことに加え、全国に点在する公開天文台の協力も得られれば、広範に教育・普及の効果が期待でき、加えて報告フォームより統計的なデータが得られるのではないかと考えている。

一方で見ごろとはいえ、シリウスBの観察はやはり難しい側面がある。天文台職員が確認できても、一般来館者にはわからないことも多いだろう。しかし、シリウスBや白色矮星がどのような天体なのかを知ってもらうチャンスでもあり、天文で飯を食う一人として解説のしがいがある。曖昧な表現にはなるが、一般の方々がシリウスBを見ようとする行為（チャレンジ）じたいに意味や面白さを見出せるのではないだろうか。

ここまでは、主に公開天文台で観察することを前提にしているが、腕に自信のある玄人の皆様にもぜひお手持ちの機材で観察・撮影にチャレンジして頂きたい。キャンペーンのWebページには、観察のポイントや星図も掲載したいと考えている。私個人の場合、自宅からセレストロンC8（口径20 cm F10）にて、バローレンズ（3倍）と17mmのアイピースを使い、約350倍でシリウスBを十分確認することができた。

まだ構想段階なので、どこまでやれるかはわからないが、可能な限り実現していきたい。万が一キャンペーンが頓挫したとしても、この寄稿がきっかけで、一人でも多くシリウスBの観察・撮影を行う人が現れてくれれば幸いである。

5. 参考文献

[1] 尾崎洋二，2002,『星はなぜ輝くのか』，朝日選書

[2]Bessel, F. W., 1844, MNRAS, 6, 136

[3]Bond, G., 1862, AN, 57, 131

[4]Adams, W. S., 1915, PASP, 27, 236

[5] 西村昌能，2007,『白色矮星の発見』，天文教育 84号（Vol.19, No.1）

[6] 西村昌能，2007,『白色矮星の観測史』，天文教育 85号（Vol.19, No.2）

[7] 岡崎彰，2007,『白色矮星の正体』，天文教育 86号（Vol.19, No.3）

[8] 藤田由雄，1965,『恒星の世界』，恒星社厚生閣

[9] 長沢工，1985,『天体の位置計算 増補版』，地人書館

[10]Benest, D. & Duvent, J. L., 1995, A&A, 299, 621