

恒星分光の開幕期 その3

小暮智一（元京都大学）

4. William Huggins (1824-1910)

(前号からの続き)

4.3 天体分光の発展

1863年から始まった分光観測は天文台内の分光実験と共に、その後の Huggins の生涯の仕事となる。ここでは主として 1864 年以降の分光観測の話題をとりあげよう。

1870 年には王立天文協会から 15 インチ (38cm) 屈折鏡と 18 インチ (46cm) 反射鏡がタルスヒル天文台に貸与され、ドームも 3.6 m から 5.5 m に拡張された。2つの望遠鏡は一つの赤道儀に交換装備できる。共に分光器を装着して、タルスヒル天文台は分光観測に専念することになった。とくに 18 インチ鏡に取り付けられた紫外用分光器は光学系にクォーツなど紫外透過材をもちい、波長域を 3200 Å まで広げた画期的なものであった。これによって当時他に例のない紫外分光を可能にしたのである。また、写真技術の改良、とくに Margaret と結婚してからは Margaret との協力によって写真観測の態勢が整う。こうした分光技術、写真技術によって支えられた Huggins の天体分光の仕事のなかには新星の観測、ドップラー効果検出の試み、WR 星の分光などが含まれている。

(a) 新星の分光観測

1866 年、Huggins は史上初の新星分光観測に取り組む。この年の 5 月 16 日、アイルランド西部の Tuam に住む J. Birmingham 氏から 1 通の速報が届いた。5 月 12 日にかんむり座 ι CrB 星の近くに 2 等級で輝く新しい星が出現したという報せである。同じ日に Mr. Baxendell という人からも 15 日には新

星は β Ser (3.7 等) とほぼ同じ明るさであるとの連絡があった。Huggins は早速、16 - 19 日の 4 晩、続けてこの星に望遠鏡を向けた。すでに 4.3 - 4.5 等に減光していたが、初日のスペクトルを Miller と一緒に検討したとき、この星の異常さに気づき翌日には王立協会に報告している [43]。彼らが注目したのはその複合性で、principal spectrum とよぶ吸収線スペクトルと bright lines とよぶ輝線スペクトルとの合成である。前者は太陽に似た光球と大気存在を示し、後者は希薄な高温ガス体を起源としている。輝線は 5 本でそのうち 3 本は $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$ 線と見られたので、それを確かめるために 17 日の夜、誘導スパークで生成した水素輝線を星と同時に測定して確認している。また、輝線の強度が吸収線スペクトルに比較してきわめて強いことから、輝線を放射するガスの温度が星本体より高いためであろうと推測している。実際、この星の吸収線スペクトルは赤色の α Ori、 β Peg と似ており、水素の吸収線は見られない。Huggins は星によって化学組成が異なるとまだ考えていたが、新星が合成スペクトルを示すことから、星の構造や新星のスペクトル変化に水素が重要な役割を果しているのではないかと示唆している。Huggins のスケッチしたスペクトルを図 9 に示そう。星の光球スペクトルと重なって強い輝線の存在が顕著である。

また、17 日にはグリニジ天文台においてこの星の精密な位置が測定され、T CrB (9.5 等) が新星の爆発前の星であることが同定された。この星が爆発的に 7 等程度増光したのである。こうして T CrB は最初に分光観測された新

星となったが、この星は回帰新星の1つで1946年にも爆発を起こしている。

Diagram of the Spectrum of Absorption and the Spectrum of Bright Lines forming the Compound Spectrum of the temporarily Bright Star near Corona Borealis.

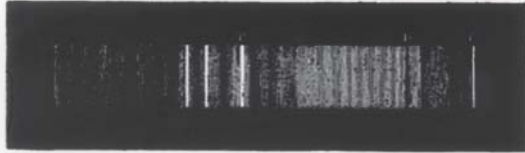


図9 新星 T CrB のスペクトルのスケッチ [43]。顕著な輝線は中央左から [OIII] λ 5007, 4959 Å、 $H\beta$ 、右端に $H\gamma$ 、また、左端に $H\alpha$ 線が弱い輝線として見えている。

その後、1892年2月におうし座に新星 (T Aur) が現れたが、このときは Huggins のほかにハイデルベルグの M. Wolf、ポツダムの H. C. Vogel、ハーバードの E. Pickering、キール大学の R. Schumacher らが同時に観測報告を *Astronomische Nachrichten*, **129**, p. 107-116 に揃って掲載しているのは壮観である。M. Wolf と Schumacher は測光観測の結果であったが、Vogel と Pickering は共に分光観測の報告であった。この新星に対し Huggins 夫妻は2月2日に写真分光を行い、顕著な輝線と紫側に伸びる吸収線スペクトルを見出している[44]。

夫妻の観測でとくに目立ったのは水素輝線 C($H\alpha$)、F($H\beta$)、G($H\gamma$) が強く、また、紫側に吸収線を伴うこと (いまで言えば P Cyg 型輪郭) である。これらの線について、夫妻は輝線波長を実験室の波長に比較し、輝線部分は赤側にずれて地球からの後退を示し、吸収線部分は紫側にずれて地球への接近運動を示すと述べて大気運動の理解に一步迫っている。また、 $H\beta$ 線の赤側に2本の輝線を見出し、星雲線 ([OIII] λ 5007, 4959 Å) の可能性も検討しているが、オリオン星雲に顕著な紫外星雲線 ([OII] λ 3772 Å) が見られないこ

とから星雲線であるかどうかの結論は留保している。また、背景の吸収線スペクトルは C 線から 3200 Å まで撮影されており、紫外域スペクトルは白色星の吸収線を伴っているが、白色星に見られない H, K (CaII) 線が存在することからスペクトルの複合性を指摘している。

なお、この新星は1892年から1894年初めにかけて数多くの眼視および写真観測が行われている。リック、プルコバ天文台から1892年9月に新星の周りに星雲が検出されたという報告が伝えられたが、それに対しては賛否両論がでた。ケンブリッジ天文台の Newall(1892) と Roberts(1893) は点源を支持している[45][46]。Newall は眼視観測であったが、「新星に焦点を合わせると、周辺の星がぼやけ、周辺の星に焦点を合わせると新星がぼやける」と述べ、その理由として、新星の光はほとんど明るい輝線に由来し、周辺の星の連続光とは異なっているためとして、屈折望遠鏡の色収差をあげている。それに対し、Vogel(1894) は Fraunhofer 流色消しレンズの15インチ (38cm) 鏡で観測したので星の周りの星雲像は望遠鏡の収差によるものではないと星雲説を支持している[47]。これらの論争に続いて Huggins 夫妻は1894年1月にあらたに写真撮影を行い、星像を周辺の星と比較し、新星の点源を支持している[48]。この時代は色収差と写真感度の問題が入り混じって星像の精度が大きな論点だったのである。

(b) Doppler 効果と星・星雲の視線速度の測定

運動する光源から放射される光の波長は観測者に対する視線速度によって赤または青側に変移する Doppler 効果は1842年 Christian Doppler (1803-1853) によって指摘された。チェコ王立ボヘミア科学協会において

「Concerning the coloured light of double stars and of some other heavenly bodies」と題して行われた講演がその発端である。しかし、Doppler の時代には光速度がまだ知られていなかったため Doppler は変移量を過大評価し、連星系の軌道運動が変移を反映して色を変えると考えていた。光の速度はその後、Armand H. Fizeau (1849) と Jean B. L. Foucault (1862) の測定によって、ようやく約 30 万キロメートル/秒という現代値に近い値が得られたのである。

Huggins が星の視線運動に関心をもつようになった由来には Belkora によると次のエピソードがある[33]。18 世紀に Edmond Halley が星の固有運動を発見したことから、Huggins は星が天球上を横に動くなら視線方向にも運動があるのではないかと考え、それは星のスペクトルにどのように現われるのかを知りたいと思っていた。たまたま友人の William Miller の勤務するロンドンの King's College には彼の同僚として、電磁気学で知られた James Clerk Maxwell のいることを知り、Miller を通して Maxwell と知り合いになった。1867 年頃である。Maxwell は Huggins の質問に対し、Doppler 効果の測定法を丁寧に教えてくれた。Huggins は早速地球の公転運動によってスペクトル線がどの程度変移するか計算してみたが、それは彼の分光器にとって測定困難な微量であった。しかし、それでも Huggins はあきらめなかった。星の中には Bessel の高速度星の様に大きな固有運動を示す星があるから、視線速度の大きい星もあるに違いないと考えて、分光に乗り出すことにした。スペクトル分散をあげるためにプリズムを 1 個増やし、また、明るい星は近傍星だから視線速度も大きいであろうと考えてシリウスを狙うことにした。そのために彼のとった方法は星のスペクトルの両側に比較スペクトルが直接焦点面に現われるように分光

器を改良することであった。(この方法は 1920 年代に Hubble によって写真分光に採用され、系外銀河の視線速度の測定に威力を発揮した。)

こうして Huggins(1868) はシリウスの F ($H\beta$) 線の位置を比較スペクトルと比較し、それが 1.09 \AA だけ長波長側に変移していることを認めた[41]。これは地球の公転運動を補正すると日心視線速度 $+47.3 \text{ km s}^{-1}$ に相当する。この値は現在の -8 km s^{-1} に比べて誤差が大きいが当時の眼視観測による測定精度ではやむをえない範囲であった。Huggins は結果に満足しているようではないが論文の末尾には Maxwell に対する謝辞が付されている。Huggins は視線速度測定のパイオニアとして大きく評価されているが、Huggins を引き継いだのは後に述べる Vogel である (第 5 節参照)。

(c) WR 星の分光観測

Huggins (1890) は当時話題になっていた WR 星についても分光観測を行っている。WR 星とはパリ天文台の Wolf と Rayet (1866) によって発見された奇妙な輝線星である[49]。Wolf ら 2 人はパリ天文台の 40cm 反射鏡ニュートン焦点に取り付けたプリズム分光器ではくちょう座を観測中に、可視域から紫外域にかけて幅広い顕著な輝線バンドを示す 3 個の星を発見した。それは BD 星表であらわされた次の 3 星である。なお、HD 番号、V 等級、現行の分光型も参考までに添えておこう：

1. BD+35°4001 HD191765 V = 8.8m WN6
2. BD+35°4013 HD191203 8.5m WC8
3. BD+36°3956 HD192641 8.2m WC7

Wolf らの記述によると、最も美しいスペクトルを示したのは星 2 である。この星は 4 本の幅広い顕著な輝線を示す。1, 3 星も類似の輝線を示すが星によって輝線の位置や明るさに違いがある。Wolf と Rayet はどのような人

だったのか、どのような動機ではくちょう座の微光星に望遠鏡を向けたのか、はっきりしないが Wolf については 1868 年 8 月の皆既日食の際、分光観測を行ったという記録がある。また、Rayet はその後、パリを離れてマルセイユやボルドーの天文台に移ったといわれている。2 人とも WR 星という名前を残しながら歴史の舞台から隠れてしまった人である。

これらの星は発見以来、観測者の興味を引き、Vogel(1874)に続いて Huggins 夫妻(1890)も分光観測を行っている。Vogel によって初めて波長が測定され、星 1 と 2, 3 との違いもはっきりしてきた[50]。輝線といっても幅が広いので彼らは輝線の赤端、紫端などを測定している。Vogel, Huggins らのスケッチによると星 1 は 469 nm 付近に緩やかなピークをもって 466 - 471 nm まで広がる輝線を示し、星 2, 3 は 465 nm 付近にピーク、464 - 466.5 nm まで広がる輝線を示す。星 2 は星 1 と同じ波長域に弱い輝線も示している。両者ともスケッチの波長幅が小さいのではっきりしないところもあるが、星 1 の輝線は HeII 468.6 nm, 星 2, 3 の輝線は CIII, CIV のブレンド (465 nm) であろう。Huggins 夫妻は幅広い輝線は何らかの分子によるのではないかと想定して、炭化水素分子などの可能性を検討しているがどれもうまく行かないと嘆いている。結局、この時代には Huggins 夫妻を含めて誰も原子、分子の組成同定に成功しなかった。

WR 星は HD カタログでは Oa (CII 465 nm), Ob (HeII 468.6 nm), Oc (NII 4631-41) など明るい輝線によって分類されているが、多くの輝線については未同定のままであった。これらの輝線の中には紫側に吸収成分をもつ P Cyg 型輪郭を示すものがあり、幅広い輝線は広がった膨張大気で形成されることが理解さ

れるには Beals (1929)まで待たなければならなかった[51]。

WR 星は大質量星の進化後期にある星として注目されるようになるのは、さらに 1950 年代以後である。Wolf と Rayet はこれらの 3 星はくちょう座の狭い天域に存在することから全天では多数存在するのではないかと推測しているが、銀河系内の WR 星は現在でも 300 星ほどしか検出されていない。2 人の発見は貴重な観測であった。

4.4 Margaret との出会いと天体写真分光へ

1875 年 9 月 8 日、Huggins はアイルランドのダブリンに近い田舎町 Monkstown の教会で Margaret Lindsey Murray との結婚式を挙げた。ときに Huggins は 51 歳、Margaret (1848 - 1912) は 27 歳であった。

Margaret は少女時代、祖父の薫陶で星座に親しみ、望遠鏡で太陽黒点を観測したり、分光器を自作してブラウンホーフエル線を観察したり、また、新興の写真撮影に興味を持ったり、当時としては珍しい科学少女であった。その後、彼女は日曜学校の教師をしながら、物理、化学の実験を重ね、なかでも、写真技術の改良には大きな関心を寄せていた。また、天文アマチュアとして、ロンドンに住む William Huggins は彼女の憧れの的であった。Margaret が Huggins と最初に出会ったのはロンドンで開かれた音楽サロンの会場だったという。音楽は 2 人の共通の趣味となった。後年、2 人はタルスヒルでバイオリンの合奏など、音楽を楽しんだようである。一方、Huggins も彼女の地元であるアイルランドのダブリンにはよく出かけた。ここには望遠鏡メーカーの Howard Grubb の工房があり、王立天文協会がタルスヒル天文台のために望遠鏡の貸与を決めた際、望遠鏡の製作は Grubb に任されたので、Huggins は調節や検査など

でよくダブリンに滞在する機会があった。Margaret と Huggins のなかを取り持ったのは Howard Grubb である。そういうわけで結婚式はアイルランドでおこなわれたのであった。

Margaret はタルスヒルに移り住むが、Huggins 邸は狭い前庭と広い裏庭を持つレンガ積みの殺風景な家であった。Margaret は持ち前の絵画や彫刻、園芸などの才能で家の内外をすっかり快適な住宅に変えてしまった。とくに裏庭のガーデニングに凝って、友人に「エデンの庭のように心地よい庭園に変えてみました」などと書き送ったりしている。

タルスヒルに落ち着くと Margaret は早速、これまでの経験を活かして写真技術の開発に取り組む。実は Huggins も写真観測の重要性を認識しており、初期の 1863 年にもシリウスに対してコロディオオン乾板による分光観測を試みている。しかし、このときは感度が低く、望遠鏡の駆動、大気ゆらぎの効果のためスペクトル線は検出できなかった。Margaret に課せられた大きな課題はゼラチン乾式乾板の導入と星の分光写真用カメラの小型化とであった。これによってはじめて天体の長時間露出が可能となった。Margaret は有能な観測助手であったばかりでなく、独自の技術的見解を持っていたので、夫妻はときには技術上の問題で意見の対立を見ることもあったが、Margaret との共同作業によってタルスヒルでの分光写真観測は順調に進み、恒星やコメットの分光資料が蓄積されていった。

夫妻の分光観測は相変わらず恒星が主体であったが、そのほかにも太陽コロナ、惑星（火星、木星、土星、天王星）などが含まれている。特に 1881 年に 20 年ぶりに現われた明るい彗星 (1881b, Tebbutt's comet) に対し、夫妻は分光写真観測をおこなって、フラウンホーフェル線を伴う連続スペクトルの上に CaII H 線より紫側に炭素起源の明るい 3 本のバン



図 10 Margaret Huggins の肖像[32]。タルスヒル天文台において、William Huggins 撮影。

ドを検出している。

Huggins の論文は結婚後も単独名で発表されることが多かったが、1890 年頃から William and Lady Huggins の連名が多くなる。こうして Margaret の業績も大きく評価されるようになった[52]。ここで、Margaret の親しい友人であり、19 世紀天文学の紹介に大きく寄与した Agnes Mary Clarke (第 1 節参照) について一言触れておきたい。

Clarke (1842 – 1907) は Edward Holden (Lick 天文台)、Norman Lockyer (私立天文台、Nature 創刊)、Edward Pickering (Harvard 大学天文台)、David Gill (Cape 天文台)、Margaret Huggins らの協力の下に Edinburgh Review 誌への天文速報の連載記事を書き続け、「恒星の世界」(1890)、「19 世紀の一般天文学史」(1902)、「天体物理学の諸問題」(1903)などの大著を公刊している[53]。こうした功績によって Clarke は Margaret Huggins と並んで 1903 年に王立天文協会の

名誉会員に推薦されているが、女性が会員になるのは Caroline Herschel 以来の例外的待遇であった。当時、王立天文協会の会員は男性で占められ、女性は誰でも公開講演会に出席できるわけではなかった。Clarke が執筆活動のために講演会に出席できるようになったのは天文協会の特別の計らいであった。

19世紀後半の女性の社会的地位ははなはだ低いものであった。例えば、グリニジ天文台で測定、計算作業に従事する職員は computer と呼ばれ、中学卒業程度の低賃金であり、また男性に限られていた。1880年代の一時期、Clarke は女性としては始めてグリニジに勤めるよう勧められたことがあった。口径 60 cm の Lassell 望遠鏡を自由に使って観測してよいという魅力的な面もあったが、実情は女性であるため臨時職員にとどまり、待遇は computer 並であった。もちろん、Clarke は申し出を断っている。Clarke は生涯を著作にささげ、その内容は一般向けとなっているが、精密かつ斬新な記述は天文研究者にとっても大きな情報源であり、研究者必読の書となっていた。その死を悼んで Margaret Huggins は次のように述べている [32]。

「彼女は天文学の進歩に大きく貢献したばかりでなく、友愛と協力をひろく推進した。彼女の生涯は金色に輝くばかりであった (golden, indeed!).」

ここでひとこと、lady computer について述べておこう。1890年代前半にグリニジ天文台では2人の lady computer が働いていた。どちらも若いキャリアウーマンであった。一人は Alice Everett で、アストログラフ部門でスカイマッピング (Carte du Ciel) プログラムに参加していた。もう一人は Annie Russell で、ヘリオグラフ部門に属し E.W. Maunder を支えながら写真ヘリオグラフプロ

グラムに参加していた。プログラム観測のほかには自前の観測も可能であり、その結果を王立天文協会に報告を送る権利もあった。専門職として恵まれた環境のように見えたが、臨時職員であり、低賃金であるという身分上の不満は抑え切れなかった。Alice Everett は 1895年10月にポツダム天文台に初の女性スタッフとして赴任し、同じ月に Annie Russell は Maunder と結婚してグリニジに留まる。この結婚は2人にとって大きな成功をもたらしたが、夫妻については第8節 (G. Airy) で触れよう。

4.5 恒星分光アトラスの出版と Huggins の晩年

Huggins と Margaret の、18インチ (46cm) 鏡設置以来の恒星分光の成果は 1899年に “An Atlas of Representative Stellar Spectra from λ 4670 to λ 3300 Å” の出版となって結実した [54]。これは古典的装丁の美しい A3判のアトラスで、スペクトル写真も鮮明である。Margaret は絵の才能を活かし、各章の初めを美しい挿絵で飾っている。日本では九州大学図書館に桑木文庫の貴重書として残されている。このアトラスは本文8章と12葉の図版とからできている。はじめの2章にはタルスヒル天文台開設以来の詳しい歴史と観測結果の文献がまとめられているが、ここには Huggins 夫妻の長年にわたる研究への思いがこめられている。続いて第3章は分光写真の方法、第4章はタルスヒルで用いられた分光器の説明に当てられる。

第5章では図版に示された恒星スペクトルの特性と系列化について議論している。夫妻はスペクトルを主として水素のバルマー線と CaII K線の強度変化に着目して配列している。白色星から赤色星へと進むとバルマー線の吸収線強度は次第に弱くなるが、CaII K線は反

対に次第に強度を増し、同時に金属線も姿を現して顕著になっていく。また、バルマー吸収線が星によって、線幅が狭く高準位線まで識別できるもの、中間のもの、幅が広く数本で重なり合ってしまうものの3段階に分けられることも示したが、これは紫外分光によって初めて可能になった分光特性であり、後年の光度階級の判別を示唆するものとなっている。

第6章では前章の議論を踏まえて約50星に対する分光分類、化学組成および星の進化が論じられている。Hugginsらは当初は化学組成の違いによって異なる進化を示すと考えていたが、このアトラスでは進化はLaneの法則に従っている[55]。それによると準定常的に重力収縮を続けるガス球は収縮と共に表面温度を増加させるが、この増加は放射によるエネルギー損失が卓越してくると、必然的に温度低下に移行する。従って、星は白色星として誕生し、太陽型を経てオレンジから赤色星へと進むことになる。これは当時の主流となっていたHelmholtzの収縮論の立場に立つものであった。これによって星表面の化学組成も変わっていくのである。なお、ひとこと付け加えると、歴史的に見てHelmholtzの収縮論といわれるのはHelmholtzの提唱ではない。最初に提唱したのはスコットランドの物理学者J. J. Waterston (1811 – 1883)であった。彼は1845年に太陽の収縮進化説をまとめてRoyal Society of Londonに投稿したが、この論文は長い間印刷されず、後になって同協会のアーカイブ資料の中から発見されたという経緯がある。その後、Waterstonは東インド会社の航海技師としてインドに赴任していたが、1853年にロンドンで開かれた公開講座で自分のアイデアを紹介している。Herman L. F. von Helmholtz(1821 – 1894)はドイツで生理学や解剖学の教授であったが生理学の立場から1847年にエネルギー保存

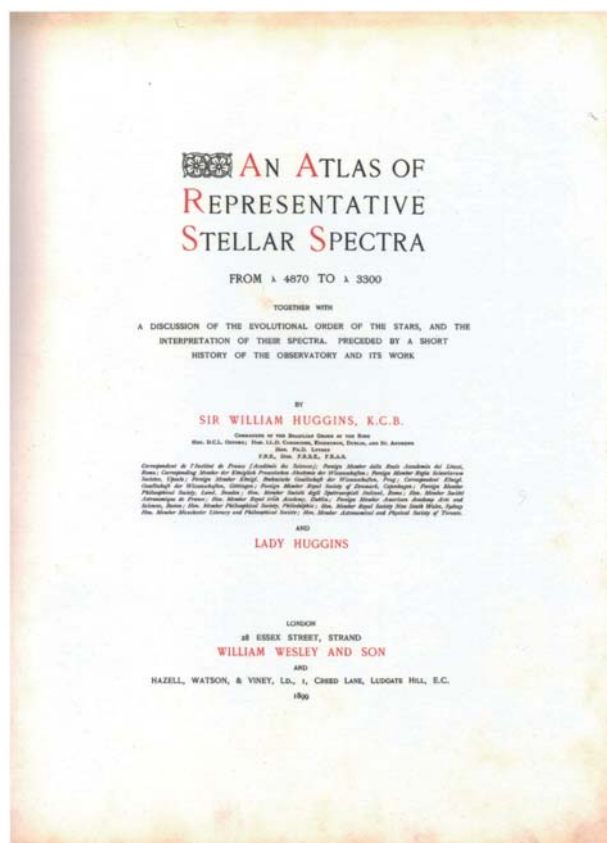


図11 分光アトラスの表紙[53]

の法則を提唱している。たまたまWaterstonの講演を聴いた彼は1854年に別の一般講演で太陽の収縮進化説を紹介し、太陽が地球軌道サイズから現在のサイズまで収縮するのに2500万年要したと述べたことから、この説がHelmholtzの収縮論として流布するようになったといわれている。

話は少し脱線したが、アトラスの第7章はタルスヒルで撮影された古いスペクトル乾板に記録に当てられ、第8章は特殊な星、トラペジウム星、P Cyg, β Lyr, Novaなどのほか、オリオン星雲についても詳しいスペクトルの説明がある。こうしてこのアトラスはHuggins夫妻の生涯の活動を表す記念的著作だったのである。

タルスヒル天文台の観測活動はMargaretの協力にもかかわらず、1880年代後半から停滞気味になる。その原因の一つはロンドンに

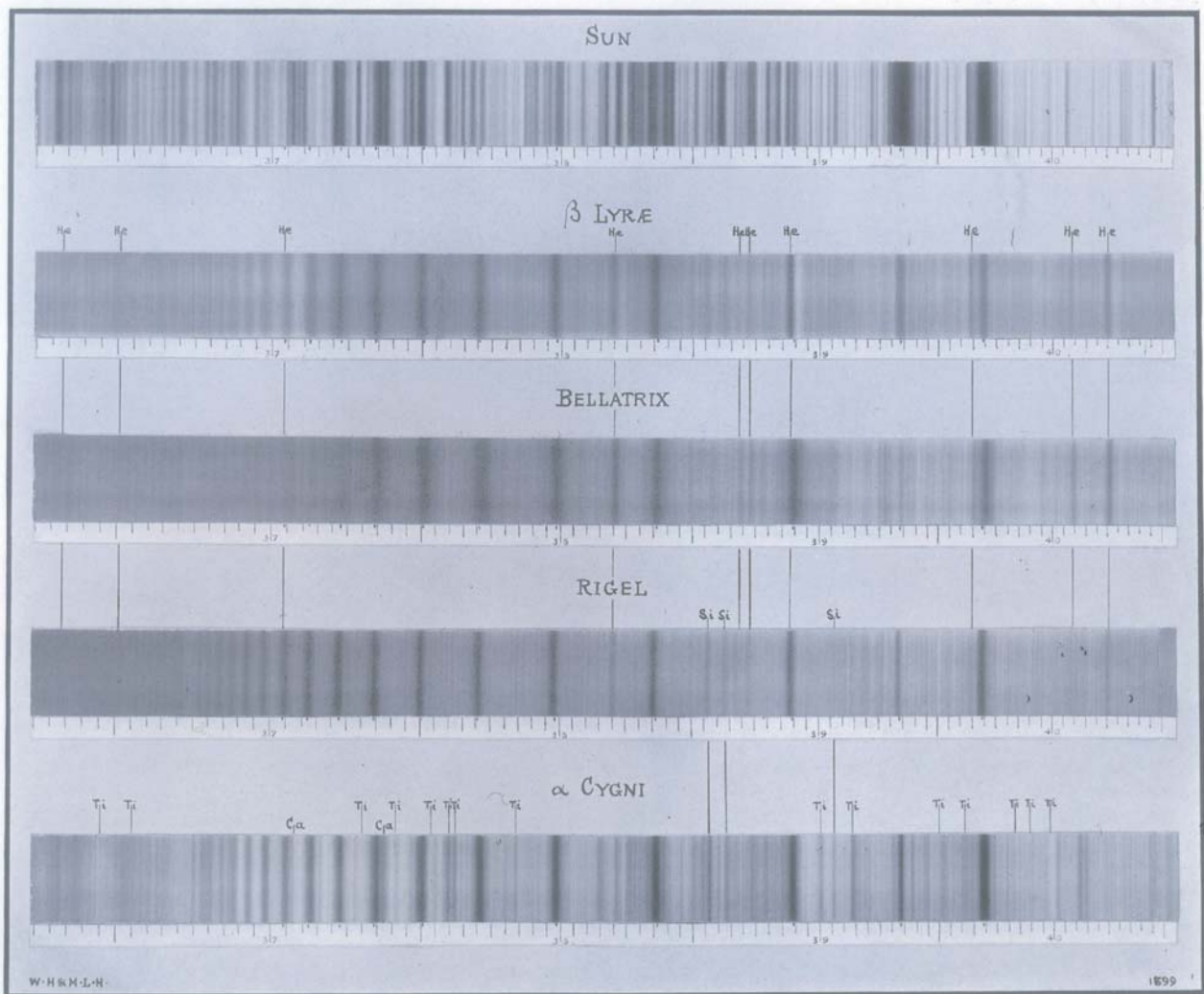


図 12 分光アトラスの例[54]

おける気候の変動にあった。Huggins がタルスヒルに住み始めた 1850 年代から 1870 年代のロンドンには、卓越風が南西の風でロンドン市内の大気塵の影響も少なく、観測条件も良好であった。しかし、1880 年代以降は卓越風が次第に北西から北向きに変わり、大気塵の影響を直接受けるようになった、と夫妻はアトラスの中で述懐している。

1899 年にアトラスを出版して以来、タルスヒルでは天文台内の実験室での原子スペクトル線の同定や、相対強度の測定など室内での仕事が主体になってくる。1900 年代になっても Huggins は毎年のように MNRAS 誌に台

長報告を掲載しているが、ほとんどは小さな記事である。そのなかで興味を引くのは 1903 から 1907 年にかけて行ったラジュウム（ラジウム）のスペクトル解析である。おそらく、1898 年のキュリー夫妻によるラジウム発見と夫妻のロンドン訪問（1903）がきっかけとなったのであろう。しかし、短い台長報告ではラジウム解析の内容までは触れていない。没年の年に書かれた最後の台長報告（1910）ではタルスヒル天文台の望遠鏡と観測設備はすべて前年にケンブリッジ大学天文台に寄贈され、そのために新しいドームが建設されたと述べている[56]。ただし、物理実験施設はそのままタル

スヒルに残されたと記しているが、それは Margaret のためであることは言うまでもない。

ケンブリッジに置かれた諸設備はハギンスドームとして長く保存されていたが、1950年代になって敷地が手狭になったとの理由で解体され、スクラップにされてしまった。そのうち分光器などはケンブリッジ大学付属のホイップル博物館に保存されていると聞いたので、ロンドンに旅行した折に博物館に問い合わせたが、Huggins 関係の機器は現在にも保存されていないという返事であった。

[次回は、Secchi(1818-1878)のお話から始まります。お楽しみに！]

文献

- [32](再掲) McKenner-Lawlor, Susan M. P. 2003, *Whatever Shines Should Be Observed*, Kluwer Academic Publisher, Chapter 5. Margaret Lindsay Huggins (1848 – 1915), *Pioneering Astrophysicist*. (ハギンス夫人の伝記)
- [33](再掲) Belkora, Leila 2003, *Minding the Heavens – The Story of our Discovery of the Milky Way*, Institute of Physics Publishing, Chapter 6. William Huggins: *Pioneer of the New Astronomy*, p. 165 - 205 (ウイリアム・ハギンスの伝記)
- [41](再掲) Huggins, W. 1868, *Phil. Trans. R. S. London*, **158**, 529 – 564, Further observations on the spectra of some of the stars and nebulae, with an attempt to determine there from whether these bodies are moving towards or from the Earth. (文献[2], p.402 参照)
- [43] Huggins, W. 1866, *MNRAS*, **26**, 275 –277, *On a New Star*. (初の新星分光の報告、図9のスペクトルは同誌 p.297)
- [44] Huggins, W. & Mrs. Huggins 1892, *AN*, **129**, 107, *Über den neuen Stern in Auriga*; Huggins, W. 1892, *AN*, **132**, 143, *Note on the spectrum of Nova Aurigae*.
- [45] Newall, H. F. 1892, *Nature*, **46**, 489, *The Nova Aurigae*.
- [46] Roberts, I. 1893, *MN*, **53**, 123 – 124, *Nova Aurigae*.
- [47] Vogel, H. C. 1894, *AN* **134**, 93 – 96, *Ueber die Bemerkungen des Herrn Belopolsky in Nr. 3184 der AN, betreffend den neuen Stern in Fuhrmann*.
- [48] Huggins, W. 1894, *AN*, **134**, 309, *On the visual appearance of Nova (T) Aurigae*.
- [49] Wolf, C. & Rayet, G. 1866, *Comptes Rendus*, **65**, 292–296, *Spectroscopie stellaire*.
- [50] Vogel, H. C. 1874, *AN* **84**, 113 – 124, *Spectralanalytische Mitteilungen*. (WR 星分光)
- [51] Beals, C. S. 1929, *MNRAS*, **90**, 202 – 212, *On the nature of Wolf-Rayet emission*.
- [52] Whiting, Sara F. 1915, *ApJ*, **42**, 1 – 3, *Lady Huggins* (悼辞)
- [53] Clarke, Agnes M. 1902, *A Popular History of Astronomy during the Nineteenth Century*, Sattre Press; 同 1903, *Problems in Astrophysics*, Adam and C. Black.
- [54] Huggins, W. and Huggins, M. L. 1899, *An Atlas of Representative Stellar Spectra, from λ 4870 to λ 3300*, William Wesley and Son.
- [55] Lane, J. H., 1869, *Amer. J. Sci*, 2nd Ser. **50**, 57 – 74. (収縮による恒星進化)
- [56] Huggins, W. 1910, *MNRAS*, **70**, 331, *Report of his Observatory*.