

連載

恒星天文学の源流【6】

恒星分光の開幕期 その6

小暮智一（元京都大学）

7. Giovanni Batista Donati (1826 - 1873)

7.1 Donati 彗星

1858年6月2日夜、フィレンツェ天文台の小型望遠鏡でしし座付近を探索していた Donati は一つの彗星を発見した[110]。明るさは very faint とだけ記されているが、Donati 彗星と呼ばれるようになったこの彗星は急速に明るさを増し、8月中旬には肉眼で見えるようになった。10月5日、近日点の5日後、彗星は牛飼座アークトゥルスのごく近傍を通過し、明るさに差がなかったことから、彗星核の明るさはほぼ0等級であった。尾の長さも 60° に達しているが、たまたまこの日にイギリスの画家ターナーがこの彗星を描いているのでそれを図22に示そう。その後、この彗星の尾は3つに分裂し世界中の話題をさらった。



図22 イギリスの画家William Turnerによって1858年10月5日に描かれた Donati 彗星 [111]

Donati は全部で6個の彗星を発見しており、それぞれについて軌道を丹念に追跡しているが、早くから分光観測の必要性を感じて

準備に取り掛かり、1864年には彗星の分光観測を行っている。1863年に恒星分光の観測結果を報告しているが、その動機は恐らく本来の彗星分光にあったのではないかと推測される。彼の生涯の仕事は彗星の観測にあった。1858年の Donati 彗星は日本でも観測記録がある。安政5年7月29日に「北之方彗星現われ候」（大場氏聞書）、8月1日に「是日以降彗星現る」（災害誌、加賀藩資料）から8月14日の「東之方ほうき星之如き怪星出候」（応響雑記）まで6件の出現記録が加賀藩の資料に見られる（富山市科学博物館ホームページ）。彗星は凶兆として恐れられたが、それは古いヨーロッパでも同じである。15世紀ごろのカトリックでは彗星は「怒れる神が投げ出した火球である」として、疫病や戦争や革命などの予兆として恐れられていたし、プロテスタントでも変わりなかった。しかし、19世紀中葉となるとそのような恐怖感は無くなり、ヨーロッパでは珍しい天界のショーとして眺められるようになっていた[111]。

7.2 生い立ちと生涯

1826年12月、Giovanni Batista Donati はフィレンツェに近いピサの町で生まれた。幼年の時期については良く知られていないが、ピサの大学を卒業してからフィレンツェに出て、フィレンツェ物理学および自然史博物館の附属天文台に職を得る。当時、博物館の館長は Amici であった。Donati は Amici の指導で光学技術を学ぶ。

ここで Giovanni Batista Amici (1786 - 1863) について一言触れておこう [112]。

Amici はボローニャ大学の建築学科卒業後、近くの Modena 大学で数学や光学の講義を担当する。1811年に彼の製作した反射望遠鏡は高い評価を受け、イタリア博覧会に出品して金賞を得ている。その後も多くの光学器械（望遠鏡、顕微鏡、レンズなど）の製作に当たっていたが、1831年にトスカナ大公 Leopold 2世によって、フィレンツェ物理学および自然史博物館の館長と、同時にピサ大学の併任教授に任ぜられ、家族や職人と共にフィレンツェに移り住んでいる。この頃、彼は偏光顕微鏡を発明し、併行して2台の屈折望遠鏡も製作している。1号機は口径 28 cm, 焦点距離 5.2 m (1841年)、2号機は口径 23 cm, 焦点距離 3.18 m (1845年)とともにフィレンツェの博物館で用いられた。Amici は顕微鏡の製作と、それをを用いた生物学の研究も行っており、1840年代から1850年代にかけて、蘭などの植物の受精や、植物の病原菌などの顕微鏡的研究の成果を相次いでイタリア科学会議で報告している。1855年にはパリで開かれた万国博覧会には独自に開発した顕微鏡を出品して注目を集めた。Amici の光学機器の製作技術は当時、広く知られており、Donai だけでなく、Secchi, Rutherford にも大きな影響を与えている。

Donati は1852年に研修員としてフィレンツェ天文台に移り、この時期から彗星の探索が始まる。彼は1854年から1864年までに6個の新しい彗星を発見しているが、そのうちの1つが上に述べた1858年の Donati 彗星である。しかし、Donati は単に彗星の発見と軌道追跡に留まらず、その本性の解明に進むために写真と分光観測を意図するようになった。写真については、当時はまだコロディオン型の湿式写真の時代であったが、アメリカの Harvard 大学天文台の G. P. Bond は Donati からの連絡を受けて1858年9月28日に Donati 彗星の写真撮影を行った。こ

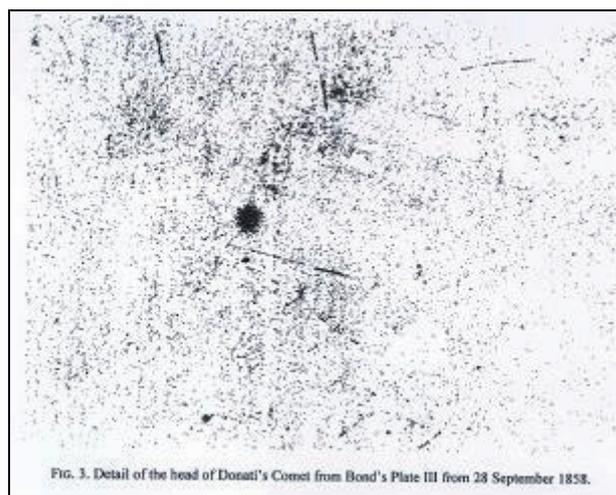


図23 Donati 彗星 (Bondの写真撮影, 1858年9月28日) [113]

のとき乾板に写されたのは天空に尾を引く見事な彗星ではなく、図23に見るように数秒角の広がりをもつ明るい核部分に過ぎなかった [113]。

1864年、Donati はフィレンツェ天文台台長になる。彗星の探査は続けていたが、この時期、太陽面現象にも興味を示していくつかの記事を *Astronomical Register* 誌に寄稿している。そのなかには黒点の解釈について当時の混乱振りが見られるのですこし紹介してみよう [114]。当時は黒点とは太陽大気に浮かぶ雲と考えられていた。

第1の解釈は Galileo と Kirchhoff によるもので、黒点暗部は第一次に形成された高密度の雲、半暗部は2次的形成による低密度の雲と考える。

第2の解釈は Secchi によるもので、半暗部における細い放射状の模様注目する。これは明るい太陽面から流れ出したガスでそれが中央部に集まって黒点を形成する。

そして第3の解釈は Donati によるもので、Secchi とは反対に黒点は1次的に太陽大気に形成された雲である。その中心部はちょうど地球大気の雨雲のように雲の中心部のガスが太陽面に降り注ぐ。太陽面に達した高密度

の部分黒点暗部である。周辺の雲はまだ上空にあり、太陽面に向かって落下中の状態が放射状の模様を作り出す。

Donati のこの論文は星やコメットの研究者が太陽大気について混乱していたことを物語っている。

台長になってから Donati は新しい天文台の建設に意欲を燃やしている。場所はフィレンツェの南郊外、Arcetriの丘である。天文台から 100メートルという近くにガリレイ・ガリレオの生家があり、ガリレオはこの地に幽閉され1642年に没している。Donati の努力が報いられて 1872年に新天文台は完成し、10月27日に開所式を迎えた。この式での挨拶で Donati はガリレオを Great Galileoと讃え、新しい天文台が Galileoの精神を引き継ぐものであると強調している[115]。これが最後の文献となり、まもなく Donati は悲劇的な最期を遂げる。彼はウィーンで開かれていた国際気象学会に出席中にコレラに冒され、苦難の末、ようやくフィレンツェに戻ってきたが、辿り付いてその数時間後、家族や友人に看取られながら亡くなったという。1873年9月10日で享年 47才の若さであった。

Donati の天文台は現在イタリア国立天体物理学研究所所属 Arcetri Astrophysical Observatoryと呼ばれ、現在も星間物質、星形成域、系外銀河、太陽、理論天文学の研究が活発に行われている(<http://www.arcetri.astro.it/>)。

7.3 恒星と彗星の分光観測

Donati は研究生活の大半を彗星観測に当てているが、早くから分光にも関心を抱いていた。1857年から 1860年ごろにかけて師の Amiciから星のスペクトル線を観測する装置を作ってはどうかという提案を受けた。当時 Amici はFraunhoferの太陽と星のスペクト

ル研究に興味を抱き、Donati に星の分光を勧めていたのである。それに対し、Donati は



図24 Donati 肖像 (Website: The Internet Encyclopedia of Science より転載)

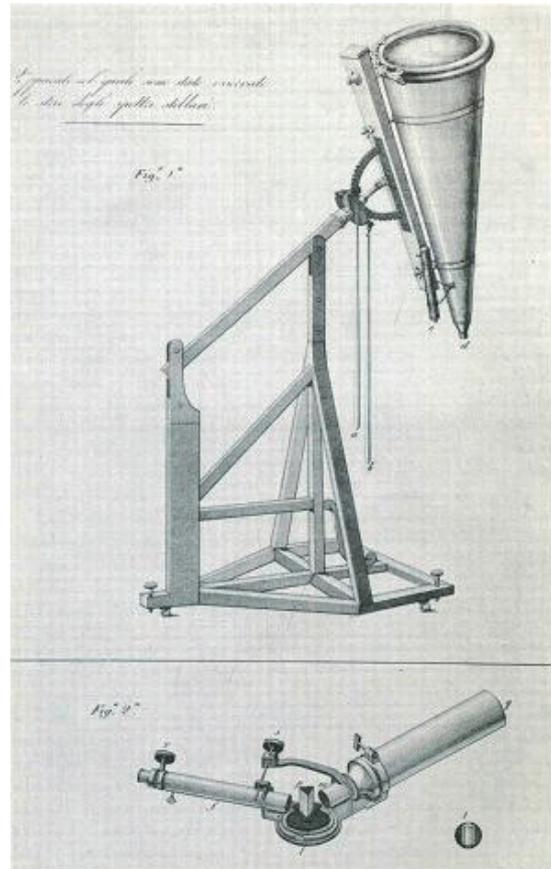


図25 Donatiの用いた望遠鏡と分光器[117]

2つの問題点を挙げていた[116]。

第1は星の光は微弱なので大きな集光力を必要とすること、

第2は星の光は点源であるからスペクトルには何らかの幅付けを必要とすること。

Amici はこれらの問題点の解決策として Direct vision prism とよぶ新しいタイプの望遠鏡と分光器のセットを製作した。口径 41 cm, 焦点距離 158 cm で焦点付近にコリメータを置いてプリズム分光器に接続した。スペクトルの幅付けはシリンダーレンズを用いている。このときの望遠鏡と分光器を図25に示す。この望遠鏡を用いて Donati は明るい星の分光観測を開始した。

Donati の恒星分光の最初の論文は Annals of the Museum of Florence (1862) に掲載されたが、その論文は S. M. Drach によって MNRAS 誌 に紹介され、それが Donati (1863) として引用されるようになっている [118]。この経緯を見ると Donati は他の4人より1年早く恒星分光に着手している。また彼は1860年にはすでに Kirchhoff の論文を読んでおり、恒星分光の重要性を認識していた。

Amici の望遠鏡と分光器は 1860年には出来上がったので、Donati はおそらくその年から分光観測を始めていたのであろう。Donati は明るい恒星 15個を選んで観測を始めた。スペクトルの認識できる主なスペクトル線を赤側から $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ と名づけた。線の位置は分光器の焦点部にマイクロメータを置き、日中に記録しておいた太陽の Fraunhofer 線の位置 (マイクロメータの回転角で表す) と比較するという方法で測定した。このときのスペクトル線の位置を図26に示そう。ただし、この図は Drach が原論文 (イタリア語) を英訳して配置しなおしたものである。

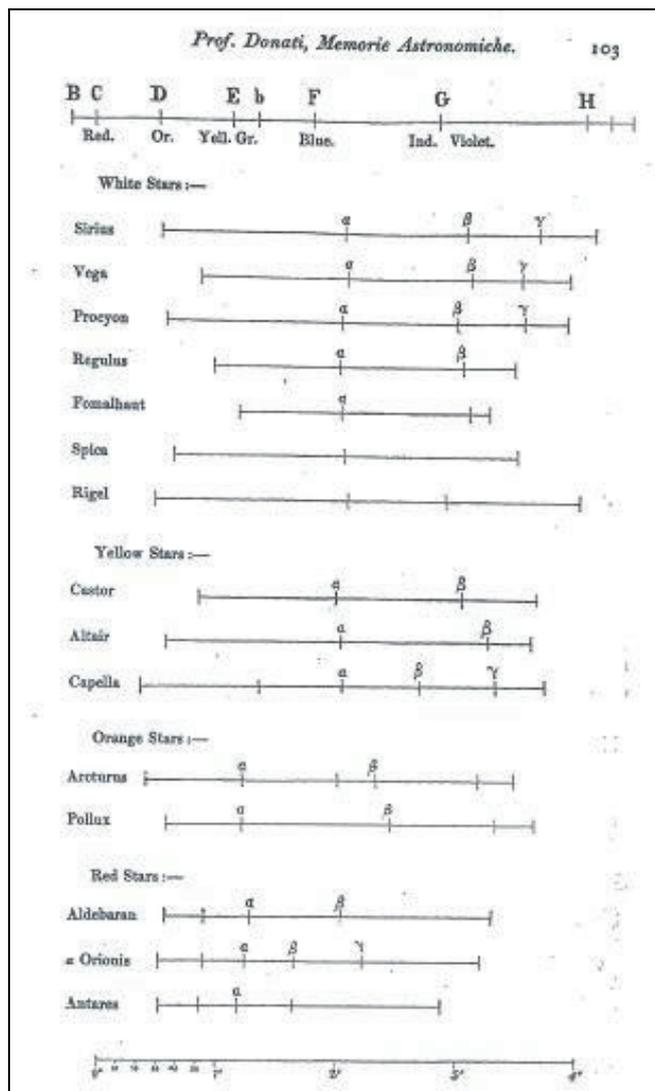


図26 星のスペクトル線の位置 [118]

上端に対応する Fraunhofer 線、下端にマイクロメータの屈折角の値を示す。

この図について Donati は次の点を指摘している。

(i) 星は色によって白色、黄色、オレンジ色、赤色と分類できる。

(ii) スペクトル線の現れ方は星の色と関係がある。例えば黄色星では3星の紫端が揃って赤端が揃わないのに対し、赤色星では反対に赤色端が揃っている。

これは今では星のエネルギー分布と肉眼の感度特性から容易に理解できるが Donati はそれを星の特性と考えていた。

しかし、Donati にとって深刻な問題は図 26 に見られるように主なスペクトル線の位置が Fraunhofer線と一致していないところにある。これはマイクロメータによる屈折角の測定の不確かさに起因する。図 26 の位置は多数回の平均を取ったものである。各星の α 線は F 線 (H β) であると仮定して Fraunhofer 線との屈折角の差を計算しているが、角度の不安定さは残り、Donati はそれを地球大気の揺らぎによるのではないかと考えた。それを検証するために赤緯の異なる 15 星に対し、地平高度の違いによるスペクトル線の屈折角の変化や、観測地点 (Cambridge, Florence, Cape) の緯度による屈折角の変動の比較などを試みている。これはスペクトル線に対するシンチレーション効果の初めての系統的測定になっているが、そうした、努力にも関わらずスペクトル線の同定には成功していない。Donati の仕事について Agnes M. Clarke (1902) は「19世紀の天文学史」のなかで次のように述べている：

「Donati は 1860年から(分光観測に向かって) 努力を傾けたがほとんど成果は得られなかった。これは観測器の不完全さが彼の要求に応えなかったためである。彼の失敗は他の人の成功への序曲となっている。」

一方、Donati は死去 (1873) の翌年春、ロンドンの王立天文協会の年次総会で悼辞を贈られているが[119]、その中で彼の恒星分光については

「恒星スペクトル観測の経験は Donati を地球大気のシンチレーションに関する研究へと向かわせた。彼はシンチレーションの概念を明確にすると共に、その発生機構についても明確な説明を与えた。」と前向きに評価されている。

Donati は星の分光観測では芳しい成果が

得られなかったため、その後は恒星分光から遠ざかったが、彼自身の分野である彗星については分光観測に成功している。Donati (1864)は同じ望遠鏡-分光器系で 1864年に出現した彗星 (C/1864 II)の観測をおこない、そのスペクトルに3本の明るいバンドを検出した[120]。これは明らかに太陽のスペクトルとは異なっている。この観測について Clarke (1902) は次のように評価している。

「彗星の分光に最初の成功を収めたのは Donati (1864)である。(中略) 彗星の光はそのほとんどが太陽からの反射光であると是まで考えられていた。(Donati の観測によって) 彗星は自分で輝く、大きく広がったガス体であることが判明した。次の段階は輝くガスとはどんなガスなのかを決定することであるが、それは 1868年に Huggins によって解明された。」

Donati の観測は定性的なものであったが、彗星分光の第一歩を踏み出したところに大きな意義をもっている。

不思議なのは Amici の製作した望遠鏡や分光器は Rutherfurd, Secchi では成功しているのに、地元の Donati の場合だけ、なぜ成功しなかったのであろうか。その辺は文献では探れない事情があったのではないかと想像するばかりであるが、Donati には同情にたえない。

8. George Airy (1801 -1892)

8.1 グリニジ天文台とAiry

Greenwich天文台はロンドンシティの東南、グリニジ公園の小高い丘の上にある。いまは地下鉄高架のグリニジ駅から歩いてすぐに公園の入り口にでる。

この天文台は 1675年に国王チャールスII世によって建設され、海上における経度の決

定と保時観測を主目的として発足した。英国の中枢天文台として、台長は王室天文官 (Royal Astronomer) として国王を補佐する唯一人の官位である。初代台長は John Flamsteed (1646 - 1719) で、経度決定のために精密な恒星の位置観測の必要性を進言し、それ以来、グリニジ天文台は位置天文学の中心となり、歴代の台長の任務もそれを遂行するためであった。1836年、第6代台長 John Pond (1767 - 1836) が病を得て急逝すると、第7代台長として George Airyが35才の若さで Cambridge天文台から抜擢された。Airyは持ち前の光学理論、機器製作技術、それに行政的手腕をもってグリニジ天文台を大きく改革し、本来の位置天文学、太陽系天文学のほかに多くの新しい部門を立ち上げ、就任以来46年にわたってイギリスにおける天文学の発展と機器開発に大きく貢献した。

伝統的天文学を引き継ぐAiryがなぜ1863年に恒星分光の幕開けに登場したのであろうか。時代の要請という点も大きいですが、Airyの広い識見もそれを支えている。この節では恒星分光開幕期におけるグリニジ天文台の状況について考えて見たい。

なお、グリニジ天文台はロンドン市街の工業化と拡大によって観測環境が悪化し、20世紀に入ると天文台は徐々にその機能を地方に移す。1924年には鉄道が近くまで延びてきて地磁気や気象観測に障害が生じたため、第一陣の疎開が行われた。1939年第2次世界大戦が勃発すると主な機能は西部のBath、北部のBradfordなどに移される。戦後は1947年にロンドンの70km西南のHearstmonceuxへの移転が決まり、1957年に体制が整う。

グリニジにある旧天文台は1998年に閉鎖され、丘の麓にある海事博物館の分館として市民に開放されている。台内には昔をしのぶ経緯儀、六分儀、小型望遠鏡などが陳列されているが、何ととっても呼び物は正門を入っ

てすぐに横たわる原初子午線であろう。東西両半球にまたがって記念写真を撮る人の姿が絶えない。



図27 George Airyの肖像[121]

8.2 生い立ちと生涯

Airyには息子の Wilfrid Airy (1896)の編集したG. B. Airy自伝がある[122]。この自伝は Airy 親子の合作といえるもので、父 Georgeのメモや書簡、文書などをもとに息子が編集したものである。自伝は400頁の膨大なもので、私生活、行政的記録、研究記録が綿密に書き込まれている。論文リストも示されているが、掲載誌の巻号頁が示されていないのが惜まれる。Airyにはその他、回顧録 (Turner 1892, Maunder 1900) もある [123] [124]。

Airyはイングランド東北部NorthumberlandのAlnwickで1801年7月に、代々の資産家で郡の集税官にもなった父William Airyと、農家生まれのやさしい母Ann Airyの長男として生まれた。小学校、中学校時代にすでに語学、文学、数学にその才能を示す。天文学に興味を持つようになった契機は、父がロンドンへ

の出張の折に、土産に貰った一對の地球儀と天球儀であるという。とくに天球儀上にちりばめられた明るい星々が天文知識の原点になったと回顧している。その頃、彼が中心に取り組んでいたのは力学的装置の模型作りであった。中学を卒業した頃、家の財政が傾いてきたのでAiryは給費生として1819年にケンブリッジ大学に入学する。天文への興味も進み、光学装置の実験なども行っている。特に彼の考案した色消しアイピースと顕微鏡は外部からも注目を受けた。1823年に優秀な成績で卒業すると、王立天文協会の創立者の1人である Sir James Southに招かれてロンドンに移り、初めて実地天文学の世界に入る。

1824年にRicharda Smithと結婚するが、それにはDerbyshireへの徒歩旅行に出かけたさいRichardaと出会って互に一目ぼれになったというロマンスがある。後年、自伝でも「二人の眼が合うと、私の運命が決まったように感じた。二人は1つにならなければならないという思いに抵抗できなかった」と述べている。Richardaの父は最初 Airy に資産のないことから結婚を拒んだが、Airy がケンブリッジ大学に職を得たことで承諾したという話もある。1826年にケンブリッジ大学ではじめ数学教授 (Lucassian Professor) となり、1828年に天文学教授 (Plumian Professor) に移ってケンブリッジ天文台台長を兼任する。因みにケンブリッジでは担当領域ごとに教授の名称が異なる。天文関係ではPlumian と Lowndean の2つがあり、Airy と同時代には William Lax が Lowndean の職にあった。Plumianはのちに A. Eddington, F. Hoyle, M. Rees らが就任した職である。なお、Lucassian には1980年からStephen Hawkingが就任している。

AiryがPlumian と天文台長を勤めた7年間は彼にとっても実り多い時期であった。こ

の間、子午儀による観測を行いながら、光学理論を研究し、こんにち、Airy diskと呼ばれる星像の回折模様の発見なども行っている [125][126]。

1835年、王室天文官 (Astronomer Royal) に就任し、46年間勤める。この間、1837年にはビクトリア女王が即位し、栄光のビクトリア時代が始まる。これはAiryにとって追い風であった。Airyは視野の広い研究者であったばかりでなく、すぐれた行政的手腕を持っていた。彼はビクトリア時代の繁栄をバックとして天文台の改革に乗り出し、観測体制を拡大、組織化して、多くの観測をルーチン化し、「天文台をファクトリーに変えた」と言われるほど近代化を進めた。観測設備の整備も大きな課題で主なものに月観測用経緯儀 (1847) (Airy設計)、大型天頂儀 (口径20.3 cm, $f = 3.5$ m) (1848)、13 inch (33 cm) 屈折赤道儀 (South-East equatorial) (1859) などがある。なお、1893年にはイギリス最大の28 inch (71 cm) 屈折赤道儀が設置されているが、これは Airy 退官後である。

組織の拡大として、彼は伝統的な3部門 (保時、子午線観測、経緯儀) のほかに、新しい5部門: 「地磁気と気象」、「ヘリオグラフ」、「分光」、「アストログラフ」、および「2重星」を新設している。これらは彼のすぐれた実行能力によるものであるが、それには強い性格も必要であった。そのため、「エネミー」も少なくなかったし、それにまつわる逸話も多いが Airy は王室天文官としてそれらを乗り切って、天文台の近代化に取り組んだ。最後の数年間は月の運動理論の研究に打ち込んでいたが 1881年に退官し、グリニッジ公園近傍の自宅で静かに余生を送り、1892年1月に他界した。享年 91才。

8.3 恒星と太陽の分光観測

Airy は1863年の王立協会の会合の席上で、グリニジ天文台において自ら設計した恒星用分光器の光学系と試験観測の結果を口頭で報告している[127]。これは Airy のこれまでの経歴からすると大変に唐突の感がある。自伝でも分光観測に乗り出した動機や分光器製作過程などについては何も述べていない。

試験観測は33 cm 屈折望遠鏡に装着されたプリズム分光器で行われた。スペクトル線の位置はマイクロメータで読み取り、太陽の Fraunhofer 線と比較している。この望遠鏡による当時の観測の様相を図 28 に示そう。図29 は Airy が助手の Carpenter と共同で作成したスケッチを示している。

このスケッチについて Airy の与えたコメントは次のように簡単なものである。

「このスケッチはスペクトル線の位置を示すために描かれたもので、それぞれの線の特徴や相対強度などについては触れていない。星のスペクトル線は太陽のH線に似て輪郭がかすんでいる (nebulous)。図の最初の4星ではスペクトル線はその赤端とは反対側がよりぼやけているように見える。」

これで終わっており、スペクトル線の同定や星の分類なども行っていない。このときの Airy の目的は恒星の分光ではなく、分光器の設計製作にあった。ケンブリッジ天文台長だった頃に培った光学理論に基づけば分光器の製作は難しい問題ではなかったであろう。

このとき同時に製作された小型分光器を用いて、Airyは助手のGlaisher (1863) に太陽スペクトルの気球観測を行わせている[128]。まず、地上において太陽スペクトルが赤端のB線から紫端のG線まで見えていることを確認した後、気球は上昇を始め、4.5 マイル (7200 m) の上空まで達している。Glaisher はほぼ 1 マイルごとにスペクトルの見え方

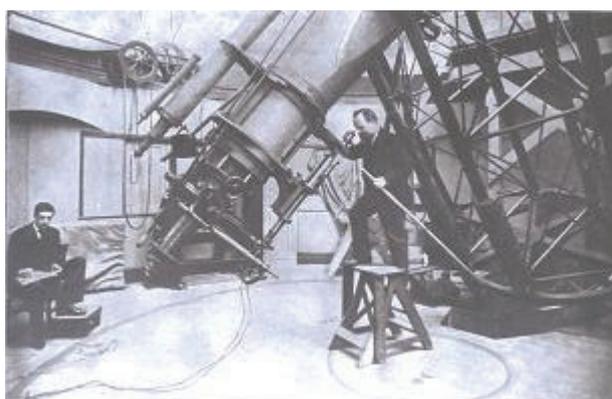


図28 South-East Equatorial 望遠鏡と分光観測の様子。 分光器を覗き込んでいるのは E. W. Maunder [124]。

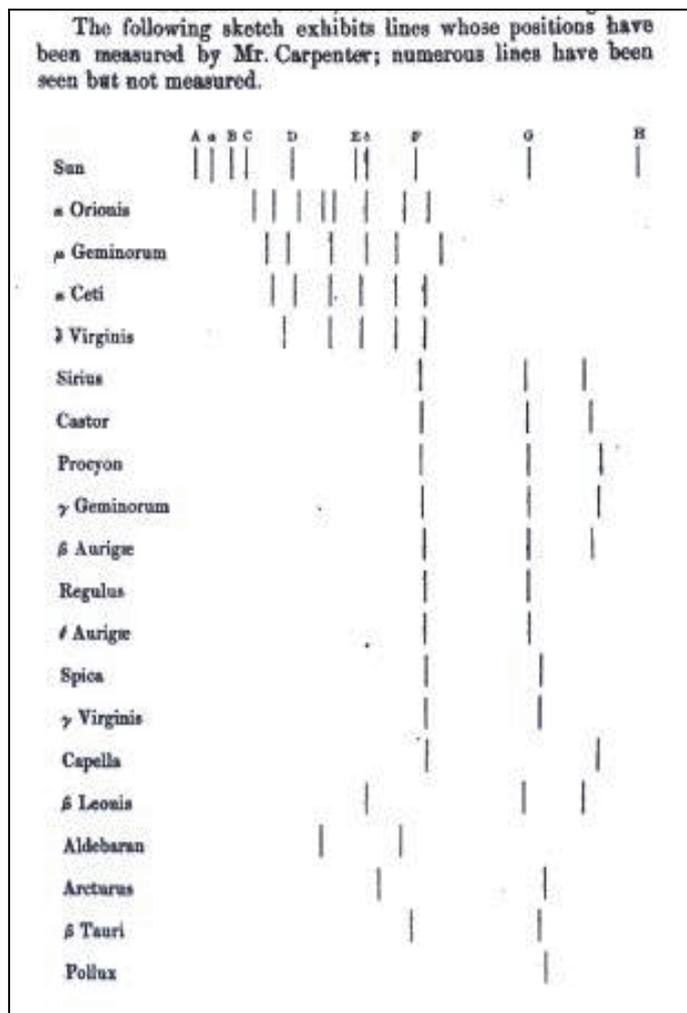


図29 Airyの観測による恒星のスペクトル線スケッチ [127]

を記述しているが、1マイルを越すと赤と紫の両端からスペクトルが薄れて見えにくくなり、3マイルでは D線から E線までがようやく見え、4.5 マイルではスペクトルには何も見えなかったというのである。気球の放球は3月31日午後4時15分、太陽高度は60°であった。Glaisherはスペクトルが高さと共に短くなっていく原因として光量の不足をあげており、最高点では太陽高度はすでに低かったと述べている。Airyの意図は太陽スペクトルに対する大気の影響を見るためであったと思われるが、上昇速度が遅かったため太陽が傾きすぎた。放球は午前中に行うべきだと反省しているが、Glaisherはその後再実験を行っていないし、Airyもそれについて何も述べていない。一つのエピソードに終わっている。

Airyは1863年以後、分光観測に関する論文を書いていないが、しかし、星の分光から離れたわけではない。それとは反対にグリニジ天文台内に太陽写真部と共に分光部を設置して恒星分光の推進を図っている。その事情についてはMaunder (1900)の著「グリニジ王立天文台、その歴史と仕事」の中で詳しく述べられている[124]。Maunderは太陽黒点数が長期間減少した「マウンダーミニマム」の発見で知られているが、この書ではグリニジ天文台の歴史も詳しく紹介している。また、歴史的に貴重な写真も多く載せられている。

この書でAiryについて、彼は早くから勃興しつつあった Huggins や Rutherford に代表される「新天文学」の動向にも深い注意を払っていたが、職務として力を尽くしたのは位置天文学とそこから派生する恒星天文学の測定学であるとして次のように述べている。

「グリニジ天文台はその(新天文学の)活動には実際上参加していない。Airyは天文台の本来の目的の遂行に意を注いでおり、・・・、この新しい科学は彼の任務外

と考えていた。」

従って、1863年の段階ではAiryの関心はむしろ分光器という機器にあった。しかし、その態度が変わるのは分光観測によって視線速度の測定が可能になったからである。伝統的天文学の一分野として、恒星の精密な位置と固有運動の測定がある。固有運動は天球上の星の2次元運動であるから、もし、視線方向の速度が測定できれば星の3次元空間運動を知ることができる。これは伝統的天文学にとっても重要な資料である。しかも、その原理は明快である。Doppler効果によるスペクトル線の変移を測定すればよい。問題は測定精度である。こうして1875年に分光部が設置され、視線速度測定の作業グループが立ち上がった。この時期にAiryは楽観的な見解を持っていた。彼は1876年に出された台長報告のなかで書いている[129]。

「月のスペクトル中のF線(486 nm)と観測室内の水素線(H β)との波長のずれを16個のスペクトルについて測定し、その平均をとったところ、その差は有意に2 mile /s以下であった。線のずれを接近、後退運動と見なすと、多くの星々に見られる傾向と一致する。この結果は最近、星々の運動に関するHuggins氏の精密な観測の結論を支持するものである。」

こうしてAiryは視線速度の測定に乗り出したのである。作業グループが最初に用いた望遠鏡はGreat Equatorialと呼ばれる12.75インチ(32 cm)屈折望遠鏡であった。しかし、星について有意な視線速度の精度が得られなかったため、Airyはすでに退官していたが1891年に観測はいったん中止された。その後、Thompson photographic refractorと呼ばれる28インチ(71 cm)鏡に切り替えられたが、それでも予定した精度

には達しなかった。この望遠鏡はドイツ式架台に乗っており、駆動に問題があるのではないかと検討された。しかし、問題は依然として残っており、1900年になって Maunder (1900)はついに

「しかしながら、現在（1900年8月）になっても正常な観測は始まっていない。」と述べてグリニジにおける視線速度観測の現状を嘆いている[124]。Potsdam や Meudon 天文台などではすでに着実な成果が得られている時代に入っていたのである。ただし、グリニジでの分光観測が不調だったのは視線速度の観測についてであって、恒星の分光観測は Maunder によって引き継がれる。それについて触れておこう。

8.4 Maunderと分光観測

Edward Walter Maunder (1836 - 1928) はロンドンのメソヂスト教団伝道師の末子として生まれ、ロンドンキングスカレッジで経済学を学ぶ。中退して銀行に勤務するが、1873年にグリニジ天文台の助手として採用される。彼がどのようにして天文学に近づいたかは明らかでない。いずれにしても、かなりの観測実績が評価されたのであろう。



図30 Maunderの肖像 (Wikipedia より転載)

1890年に Annie S. D. Russell (1868 - 1947) が lady computer として分光部に勤務を始め、Maunder の助手として、すぐれた才能を発揮する (第4.4節参照、5月号)。Annie はアイルランド生まれで、ベルファーストの女子高校卒業後、ケンブリッジ大学(ガートンカレッジ) で数学を学び、数学部門の年間トップ賞を受賞している。1895年に2人は結婚し、生涯にわたって天文学の研究、普及の良き伴侶となる。

グリニジ天文台における Edward W. Maunder の分光観測には次のようなものがある。

(1) 視線速度の観測と測定

上述したようにグリニジにおける視線速度の測定は成功していないが、Maunder は何回がこの観測に挑戦している。その1つに太陽向点の問題がある。William Herschel は固有運動の統計から太陽はヘラクレス座の一点に向かって運動していることを発見したが、Maunder (1885)はそれを視線運動の統計から導くことを考え、向点方向と反対方向にある多数の星の視線速度を測定した[130]。向点方向の星は全体的に接近運動を示し、反対方向の星は遠ざかる運動を示すはずである。しかし、測定値には誤差が大きく、Maunder は結局、向点を確認することが出来なかった。そこで彼は誤差の原因について、スペクトル線の幅(白色星の水素線は幅が広い)、機械的原因、大気安定性(シンチレーション)など広い面から検討し、これらを改善すれば高い精度の測定が可能であると将来への期待を述べている。

(2) 天体の分類

Maunder (1888)は天体の分類に関する Norman Lockyer (1836 - 1920) の講演を聴いて感銘し、自分の観測と交えてその概要を紹介している[131]。本稿では触れなかったが、Lockyer も優れたアマチュア出身の天文家

で、日食のスペクトルからヘリウムを発見したことで知られているが、恒星についても多くの分光観測を行っている。この講演における Lockyer の基本的なアイデアは天体の進化は「流星体」の集合から始まり、誕生した星は温度上昇期と下降期に別れ、最後は冷却して惑星として終わるというものである。天体を7種類のグループに分けているが、それは Maunder の紹介によると次のようになっている。

グループ I スペクトルは輝線が顕著である。構成する「流星体」はまだ希薄に分布している。星雲、彗星、輝線星の一部がこれに含まれる。

グループ II 星は輝線と吸収線を混在するが、まだ、星となり切っていない。「流星体」は充分コンパクトに凝集している。Secchi のタイプ III、または、Vogel の IIIa がこれに対応する。

グループ III 吸収線が顕著で温度上昇期にある星である。スペクトルは次第にシンプルになって行く。 α Cyg が代表星で Secchi の II型、Vogel の IIa型にあたる。

グループ IV 最もシンプルなスペクトルを示す星。Secchi の I 型、または Vogel の Ia 型にあたる。シリウスとベガが代表星で、温度の最高点に達した星と考えられる。

グループ V グループ III に対応するが、温度下降期にある星で、スペクトルは次第に複雑になり、H, K 線が強くなる。太陽やアルクツルスがこれに属する。グループ III と V の違いは吸収線の幅が III では狭く、V では広いところにある。

グループ VI 炭素の吸収線が顕著な赤い星で、Secchi の IV型、Vogel の IIIb 型に対応する。

グループ VII 輝きが消失して惑星段階になった星。

この分類に対し、Maunder は基本的には賛成しているが、「流星体」理論にはまだ分光学的な実証性が欠けているとして、特に初期の段階の天体分光に興味を抱いている。

(3) 輝線星の分光観測

Maunder は Lockyer の進化論に刺激を受け、1899年から 1892年にかけて相次いで輝線天体の分光観測に挑んでいる。1889年の観測では γ Cas, β Lyr, P Cyg, o Cet (極大光度期)、彗星などが含まれており、Maunder は P Cyg 星の初の分光観測者となっている [132]。ただし、このときの観測では H β 輝線を認めているが、輝線の両側はぼやけているとだけ記述しており、紫側に吸収線を伴った P Cyg型輪郭の指摘にまでは至っていない。その後、オリオン星雲、惑星状星雲、新星などの分光を続けているが、1890年代後半からは太陽観測に専念するようになる。

なお、P Cyg 型輪郭はすでに Huggins によって新星のスペクトル中に発見されているが(第4.3(a)節、5月号)、P Cygについては Keeler (1893) が最初である [133]。Bélopolsky (1899, 1900)は P Cyg の可視域輝線について、詳しい輪郭の測定を行っているが大気構造との関係までは触れていない [134][135]。この点でも Huggins の物理的な理解が際立っている。

(4) 太陽観測

Maunderは1894年頃にマウンダーミニマムと呼ばれる黒点消滅期(1645・1715年)の存在を初めて指摘したが、当時は何の反響もなかったという。Maunder 夫妻は太陽の黒点、コロナを中心に写真観測を続け、何度か日食観測にも2人で参加している。Annie はコロナの写真撮影を試みており、1898年のインドと1901年のモーリシャスでの皆既日食でコロナの長時間露出(20・120秒)の撮影を行い、視野 40°, 16 cm角の乾板上に始め

て外部コロナの撮影に成功した[136]。インドでは太陽中心から月半径の13倍の距離まで広がった外部コロナの撮影に成功し、モーリシャスでは外部コロナの中に巨大なプロミネンスと共に東西に延びる長い棒状の構造を検出している。こうした太陽の写真観測の成果が認められ、1916年には女性として初めて王立天文協会の正会員となっている。なお、Edward Maunder は王立天文協会の閉鎖的な組織には批判的で、1890年に英国天文協会(British Astronomical Association = BAA)を設立している。これは女性を含め天文愛好者は誰でも入会できる開かれた組織で、その運営には Annie も長期間参加している。BAA は現在では国際的にも広まったアマチュア団体となっている。

こうして、Maunder は Airy の志を継いで分光観測における良き後継者となり、グリニジ天文台における恒星分光の基礎を築いた。

9. まとめ

これまで、開幕期から19世紀末までの恒星分光の進展を、1863年の開幕に参加した5人の天文家の生涯と天文学を中心に眺めてきた。5人のうち、生涯、分光観測を継続したのは Huggins と Secchi である。

William Huggins は Margaret 夫人とともに恒星および星雲のスペクトルの元素同定に基づく物理的解析の基礎を築いた点で、5人の中でも第一人者としてあげることができる。

夫妻の著した Atlas of Representative Stellar Spectra は夫妻の研究生活の足跡と共に19世紀後半の分光観測および写真技術の進展を示すものとして優れた遺産となっている。

Angelo Secchi は恒星スペクトルの多様性に魅せられ、生涯をその分類に捧げた人として特筆される。分光技術では Huggins に一

歩譲ったものの、分光サーベイと分類法の改良で、その精神は Vogel から後の Pickering を中心とする Harvard 大学天文台へと引き継がれていく。

残りの3人はそれぞれ本領とする別の分野を持ちながら、恒星分光の一端に貢献している。

Lewis M. Rutherford の本領は技術である。高精度の写真撮影技術、望遠鏡の製作、グレーティングの製作など、これらは Rees, Gould との協力によって活かされている。恒星分光に一時期興味をもって取り組み、スペクトルの多様性に魅せられているが、長続きしなかった。技術開発と写真観測に興味に移っていたからである。

Giovanni B. Donati の本領はやはり彗星観測にある。彼は早くから彗星と恒星の分光の重要性を認識し、それに取り組んでいるが、残念ながら Amici による新型の望遠鏡—分光器系は所期の性能を出せなかった。しかし、彗星の分光では太陽と異なったバンドスペクトルと見出し、彗星の光が太陽反射光でなく、自ら光ることを初めて示すなどの成果も得ている。分光ではむしろ大気シンチレーションの系統的研究で評価されている。

George Airy は何といても伝統的天文学の中枢に生きた人である。本領は光学理論と技術力に裏付けられた位置天文学観測であったが、「新天文学」の重要性も充分認識していた。分光部の設置から星の視線速度の観測に意欲を燃やしたが、成功に結びつかなかった。しかし、Maunder という良き後継者を得てグリニジ天文台における分光観測は発展した。

Donati や Airy の分光観測の例を見ると、19世紀において星の分光がいかに困難であったか、それに比して Huggins, Secchi, Vogel の技術がいかに高かったかが実感される。これら先人の努力によって天体分光学は開幕し、Agnes M. Clarke (1902)によれば「天

体の本性を探る科学が誕生した」のである。彼女はさらに19世紀後半を「天文学者は物理学者になり、物理学者は何がしか天文学者になった時代」と表現し、「新しい科学はあらしさや、相互矛盾や、不完全さを持っているが、同時に若さの可能性をもっている」とその将来性に期待している。最後に Agnes に敬意を表して図 31 にその肖像を付しておきたい。



図 31 Agnes Mary Clarkeの肖像[4]

文 献

- [4](再掲) Brück, Mary, 2002, *Agnes Mary Clarke and the Rise of Astrophysics*, Cambridge Univ. Press (天文月報 97 巻 p.43, 2004 に書評あり)
- [110] Donati, G. B. 1858, MNRAS, 18, 271, Discovery of Comet V., 1858.
- [111] Olson, R. J. M. & Pasachoff, J. M. 1998, *Fire in the Sky*, Cambridge Univ. Press (Chapter 5. Donati's Comet, The Watershed)
- [112] *Biography* 2006, Giovanni Batista Amici (<http://gbamici.sns.it/eng/biografia.htm>)
- [113] Pasachoff, J. M., Olson, R. J.M. and Hazen, M. L. 1996, *Journ. of the History of Astronomy*, 27, 129 – 145, The earliest comet photographs: Underwood, Bond, and Donati 1858.
- [114] Donati, G. B. 1868, *Astronomical Register*, 6, 234 – 236, On the physical nature of the Sun.
- [115] Donati, G. B. 1873, *Astronomical Register*, 11, 41 – 43, Words pronounced by Professor G.B. Donati.
- [116] Donati, G. B. 1862, *Nuovo Cimento*, 15, 296 – 302, On the lines in stellar spectra (in Italian)
- [117] Heanshaw, J. B. 1986, *The Analysis of Starlight - One Hundred and Fifty Years of Astronomical Spectroscopy*, Cambridge Univ. Press, Chapter 4. Stellar spectroscopy: a new beginning, p. 52 – 54
- [118] Donati, G. B. 1863, MNRAS, 23, 100 – 107, On the striae of stellar spectra, from the *Memorie Astronomiche*.
- [119] 追悼文 MNRAS, 34, 153, 1874, Associates deceased – Prof. G. B. Donati.
- [120] Donati, G. B. 1864, AN, 62, 375 – 378, Schreiben des Herrn Prof. Donati, Directors der Sternwarte in Florenz, an den Herausgeber (彗星の分光観測)
- [121] NNDB (Notable Name Database), George Biddell Airy, p. 1 – 3 (Biography) (<http://www.nndb.com/people/760/000096478/>)
- [122] Airy, W. 1896, *Autobiography of Sir George Biddell Airy*, Edited by Wilfrid Airy (2007, Biblio Bazaar 社から復刻版)、eBook は次の web でアクセスできる。 (<http://www.gutenberg.org/files/10655/10>)

- 655-8.txt)
- [123] Turner, H. H. 1892, AN, 129, 33 – 38, Sir George Biddell Airy (追悼文)
- [124] Maunder, E. W. 1900, The Royal Observatory, Greenwich: A Glance at its History and Work, pp. 320, The Religious Tract Society. (Maunder からリンクでフルテキストにアクセスできる。)
- [125] Airy, G. B. 1831, Trans. Cambridge Phil. Soc., 5, 283 – 291. On the nature of the light in the two rays produced by the double refraction of quartz. (回折理論)
- [126] Airy, G. B. 1834, Mathematical Tracts, 2nd edition, pp.321f., On the diffraction of an object-glass with circular aperture. (Trans. Camb. Phil. Soc.) (エアリーディスク)
- [127] Airy, G.B. 1863, MNRAS, 23, 188 - 190, On an apparatus prepared at the Royal Observatory, Greenwich, for the observation of the spectra of stars. (恒星分光)
- [128] Glaisher, J. 1863, MNRAS, 23, 190 – 191, Lines in the Solar spectrum, as observed in the balloon ascent, 31st March last.
- [129] Airy, G. B. 1876, Astr. Register, 14, 158 – 163, The Royal Observatory (ステータスレポート)
- [130] Maunder, E. W. 1885, The Obs. 8, 162 – 170, The motion of stars in the line of sight.
- [131] Maunder, E. W. 1888, The Obs. 11, 263 – 267, The classification of the heavenly bodies (天体の分類)
- [132] Maunder, E. W. 1889, MNRAS, 49, 300 – 307, Spectroscopic observations of sundry stars and comets, made at the Royal Observatory, Greenwich, chiefly in the years 1887 and 1888. (恒星分光)
- [133] Keeler, J. E. 1893, Astron. And Astro-Phys., 12, 361 – 362, Note on the spectrum of P Cygni.
- [134] BÉLOPOLSKY, A. 1899, ApJ, 10, 319 – 320, Note on the spectrum P Cygni
- [135] BÉLOPOLSKY, A. 1900, AN, 151, 37 – 40, Ueber das Spectrum von P Cygni.
- [136] Maunder, Annie S. D. 1902, MNRAS, 62, 57, Preliminary note on observations of the total eclipse of 1901 May 18, made at Pamplemousses, Mauritius. (コロナ写真)

小暮智一 (元京都大学)