

連載

恒星天文学の源流【4】

恒星分光の開幕期 その4

小暮智一（元京都大学）

5. Pietro Angelo Secchi (1818 - 1878)

5.1 生い立ちと生涯

1848年10月24日、イギリスのリバプール港から1隻の帆船がアメリカに向けて出帆した。乗船したのはローマ・イエズス会の司祭 Angelo Secchi とその仲間である。故郷のイタリアを追放され、アメリカに永住の地を求めるためであった。

Pietro Angelo Secchi は1818年にボローニャに近い Reggio で指物師の息子として生まれた。父母は慈愛溢れ、家はまづまづの暮らしであったらしい。16才で地元のイエズス教会付属の中学を卒業後、ローマに出て最初はローマ・カレッジで古典学を学ぶ。しかし、ローマ滞在中に科学への関心が高まって数学、物理学を学んだ。その成果が認められ、ロレットのイエズス カレッジ (Jesuit College) で4年間、数学、物理学のチューターを務め、物理学教授に抜擢された。しかし、1844年秋からは Passaglia 教授らの指導の下に神学の勉強を始め、1847年に法王庁から司祭に任じられている。ここでひとこと、彼の属していたイエズス会について触れておこう。この会は16世紀の宗教改革の際、カトリック教会の内部改革として創立された修道会でローマ法王への絶対忠誠と広範な海外布教を特色とする。フランシスコ・ザビエルも創始者の一人で16世紀半ばに日本にも布教に来ている。この会のなかでも過激なのはウルトラモンタリスト（法王至上主義者）と呼ばれたが、彼らは1847年にスイスで反乱を起こし、カルビン派の軍隊によって壊滅された。その余波は1848年にローマに及び、民衆の蜂起によって法王はナポリ近郊に追放され、イエズス

教会に属していた法王庁の司祭は Secchi を含め全員がイタリアを追放される。彼らは各地に分散するが Secchi は S. J. de Vico 神父に率いられてパリからロンドンに渡る。de Vico は天文学者でもあり、いくつかの彗星を発見している。Secchi は de Vico から天文学を学んだ。しかし、de Vico はロンドンでチブスに罹病し、ついに他界する。その葬儀には John Herschel も参列し天文学への功績を讃えて弔辞を捧げている。Secchi はその年の秋、20人の仲間と共にアメリカに渡るようになったのである。

アメリカではワシントンに近い Georgetown に移った。ここにはイエズス会の James Curley 神父のもとでジョウジタウンカレッジと付属天文台が設立されており、Secchi は神父の勧めで物理学担当の教授となる。その頃、US 海軍天文台の海洋気象学、測地学、天文学の教授 F. M. Maury と知己になり、彼との交流の中で天文学への関心が深まる。Secchi はこの地で物理学者として過ごしたいと考えていたようであるが、ローマからの報せによって、彼の人生はまた一変する。ローマ法王を追放した反乱はフランス軍の介入によって1849年に鎮圧され、ローマは平安に戻った。法王もローマに戻り、Secchi にローマカレッジ天文台長として帰国するようという要請を送って来たのである。これは故 S. J. de Vico から法王に出されていた推薦状によるとされている。

それ以後、同天文台長として1878年2月に胃がんで倒れるまで多面的な天文活動続けた。Secchi には遺著として Les Etoiles（星界）がある[57]。



図 13 Angelo Secchi の肖像 (1878 年撮影)
(Wikipedia より転載)

なお、生涯については署名の入った文献として Pohle (1904) と Angot (1905) がある [58][59]。どちらも同時代人の回想録として生い立ちや人柄から Secchi の仕事ぶりまでを良くまとめている。また、バチカン天文台の McCarthy (1950) は恒星分光の観点からその生涯を回顧している [60]。

5.2 ローマ・カレッジ天文台（バチカン天文台）と望遠鏡

バチカン天文台は 1582 年創立の世界で最も古い天文台の 1 つである。1774 年にローマ・カレッジから赴任した C. Clavius 神父によって改造、拡張され、それ以後 ローマ・カレッジ天文台と呼ばれるようになる（慣例上、現行のバチカン天文台と呼ばれることもある）。1850 年にローマ・カレッジ天文台長に就任した Secchi の最初の仕事は騒乱後の天文台の改築で、新しいドームはセント・イグナティウス教会の高い塔屋上に置かれた。天文台は 1852 年に完成し、Fraunhofer 7.5 cm 屈折鏡のほかに、新しくミュンヘンの Merz 工房製作の屈折赤道儀（口径 25 cm, 焦点距

離 435 cm）と精巧な恒星時計が設置された。Secchi の天体観測の多くはこの 25 cm 望遠鏡で行われた。なお、この天文台には法王の援助によって地磁気、気象観測所が併設されたが、特に Secchi によって考案された気圧、気温、風向、雨量を自動的に記録する装置は高い評価を受けている。この観測装置は 1867 年のパリ万国博覧会に出品され、Secchi はときのフランス皇帝ナポレオン 3 世から表彰を受けた [61]。また、この装置の姉妹機はフィリッピンのマニラ天文台にも設置されたが、第 2 次大戦のときに破壊されたとのことである [60]。



図 14 ローマ・カレッジ天文台 (1774 - 1878)
この建物は Secchi による改築後と思われる [62]

バチカン天文台はローマ市街光を避けるため、1930 年代にローマから東南 25 km の法王庁の離宮のある Castel Gandolfo に移された。ここはアルバノ火口湖の縁に立つ景勝地である。湖を望む 2 つのドームには 50 cm 光電用、40 cm 写真用の反射望遠鏡が設置され、J. Junkes 神父のグループが恒星の写真測光を進めていた。また、1961 年にはシュミット望遠鏡（主鏡口径 93 cm, 補正版口径 64 cm, 焦点距離 240 cm, 対物レンズ装備）が設置された。筆者の訪れた 1967 年には Martin McCarthy 神父を中心に対物プリズムによる赤

色巨星と早期型輝線星のサーベイが精力的に進められていた。しかし、1980年代に入ってローマ市街光による観測条件の悪化はさらに進み、パチカン天文台の中心機能はここに残されたが、観測の拠点はアリゾナのツーソンに移された。アリゾナ大学天文台との協力の下に VORG (Vatican Observatory Research Group) を組織し、現在、アリゾナの Mt. Graham に VATT (Vatican Advanced Technological Telescope) の設置計画が進んでいる[62]。

5.3 初期の観測活動

Secchi がローマ・カレッジ天文台長に就任しての最初の仕事は天文台の改修であったが、この天文台における天体観測は 1850 年、木星の掩蔽観測 から始まる。このときは 7.5 cm Fraunhofer 屈折望遠鏡が用いられた。それ以後 1850 年代はコメット（位置、運動）と土星リングの非均質性の観測などが中心になっているが、この時期に少し変わった観測としてフーコー振り子の追実験がある。Leon Foucault は 1851 年 1 月 8 日にパリのパンテオンで公開実験を行い、振り子の振動面の回転から地球の自転を証明した。この実験結果は論文として公表されなかったが、ヨーロッパ各地で大きな反響を呼んだ。地球物理に興味を持っていた Secchi は直ちに追実験を試みた。振り子は長さ 31 m、重さ 28 kg の球で、彼は精密な回転角を測定し、回転速度が地球自転の理論と一致することから、Foucault の実験の正しさを認めている[63]。この論文の同じページにはロンドン大学の J. Drew が考案したという振り子の原理の簡単な図解法も紹介されている。地球回転の直接的な証明が得られたとして当時の社会に与えた衝撃は大きかった。なお、脱線するがフーコーの生涯をえがいた A.D.アクゼル著、水谷淳訳「フーコーの振り子」(早川書房)はた

いへん興味深いので一読を勧めたい。

1852 年の台長報告によると、ローマで観測された 8 月 8 日の日食観測の際、Secchi は 6.5 cm 屈折鏡を用いたダグレオタイプ(湿式)の写真撮影を行い、太陽面を通過する月の縁が鮮明であることを指摘している[64]。低い写真感度で鮮明な画像はまだ、難しい時代であった。

また、1860 年 7 月 18 日のスペインの北部を通過した皆既日食を観測し、彩層から立ち上がるプロミネンスの写真撮影に成功している[65]。この観測で Secchi はコロナのスケッチを残しているが、彼の興味が彩層と内部コロナに集中していたので、残念ながらコロナ外縁で生じたコロナのトランジェント現象を見落としている。J. A. Eddy は 1973 年 6 月に NASA Skylab に搭載したコロナグラフで太陽コロナを観測した。そのとき北東部に巨大なコロナ流が現われ、見かけの速度 450 km s^{-1} で膨張し、約 30 分続いたのを撮影した。実は、ほぼ、これと同じ現象が 100 年前の 1860 年のスペインの日食の時にも G. Tempel によってスケッチされている。同時刻に Secchi もコロナをスケッチしているが、内部コロナに限られていたためスケッチはコロナ流に及んでいない。Eddy はこれを残念に思うと述べて Tempel と Secchi のスケッチを並べて紹介している[66]。

Secchi は 2 重星の軌道運動にも興味を持っており、Merz の 24 cm 屈折鏡による観測を 1856 年 3 月から始めている。その第 1 報は 1857 年に 2 年間にわたる ω Leo, γ Cor, γ Lib を含む 6 星について 2 重星の位置角と分離角の測定値が示されている[67]。その後、1861 年には 1321 個の連星について軌道運動の観測をおこない、F. G. W. Struve, J. H. Mädler らの古いカタログと比較して軌道運動の確実なもの、可能なもの、認められない

ものと分類している[68]。評伝者の Pohle (1904)によると Secchi は 10,000 個に及ぶ二重星のカatalogをローマ・カレッジの紀要として公刊したことになるが、1870 年代以降 J. Herschel を引き継いだ S. W. Burnham の長期間 (1873–1891) にわたる観測とは独立に行われたようである[58]。

5.4 1863 年：恒星分光の始まり

Secchi が恒星分光に注目するようになったきっかけは、パリの科学アカデミーが発行する *Comptes Rendus* 誌上で、パリ天文台の Jules Janssen が小型直視分光器を製作した、という報告を見たときであった。Janssen (1824–1907) は太陽スペクトルの草分けで、初めて日食外の彩層スペクトルの観測を行ったことで知られており、後にパリ天文台にムードン天体物理部 (1875) を創立した人である。Secchi は Janssen の報告に基づいて Merz 望遠鏡(口径 25 cm) に装備する分光器の製作をフィレンツェの G. B. Amici に依頼した。分光器は 1862 年の暮れに出来上がってローマに送られてきた。ちょうどそのとき Janssen も自分の分光器を携えてローマに滞在していたので、Secchi はその協力によって分光器を屈折鏡に取り付けた。試験観測の結果は上々で彼は「非常に良い (*très bien*)」と満ち足りている[69]。

試験観測の最初の星は α Ori であった。そのときの印象を「この星のスペクトルは私を驚かせ、注目させた。」と述べている。D 線(λ 5889 Å)のまわりに多数の暗線(discontinuity)が見られたが、その多くは太陽スペクトルとは異なっていた。次の星はアルデバランである。D 線はより鮮明になり、やはり多くの暗線が見られた。また、白色星としてシリウスやリーゲルなどには D 線は見られず、F 線($H\beta$)が顕著であると述べ、全

体として恒星のスペクトルに大きなバリエーションのあることに強い印象を受けている[69]。また、パリの科学アカデミーで行った報告のなかで彼は次のように意気込みを述べている[70]。

「天体スペクトルの研究には 2 つの意義がある。1 つは天体(恒星)の大気存在とその本性を知ること、第 2 は宇宙における興味深い秩序についてのいくつかの疑問に答えられるようになること、その中でも重要な疑問は星々の運動に関係している。」ここにすでに恒星大気と宇宙の構造への関心が表れている。

5.5 Secchi の分光観測

Secchi は 1863 年以降も太陽系天体の観測を継続しているが、それと平行して多数の星について分光観測を行っている。彼は分散を変えた 4 種類の分光器を製作し、目的に応じて使用しているが、その中には対物プリズムを Merz 望遠鏡に装着したものがあり、多数の星に対するサーベイ分光では主にこの対物プリズム(頂角 12°)が用いられた。この場合、スペクトルの幅付けにはアイピース近傍に取り付けたシリンダーレンズを用いている。

観測は眼視観測で視野に現われるマイクロメータの目盛によってスペクトル線のスケッチと同定を行った。波長はまだ測定されず、スペクトル線は太陽スペクトルとの比較によって同定された。彼がスケッチしたスペクトルの例を図 15 に示そう。折りこまれたスケッチの原因は α Ori では 38 cm という長いものである。

α Ori のスペクトルについては Secchi と Huggins の間で MNRAS 誌上での論争があった。Secchi (1866)は図 15 のように α Ori のスペクトルをスケッチし、顕著な線またはバンドに $\alpha, \beta, \gamma, \dots, \mu$ などと名前をつ

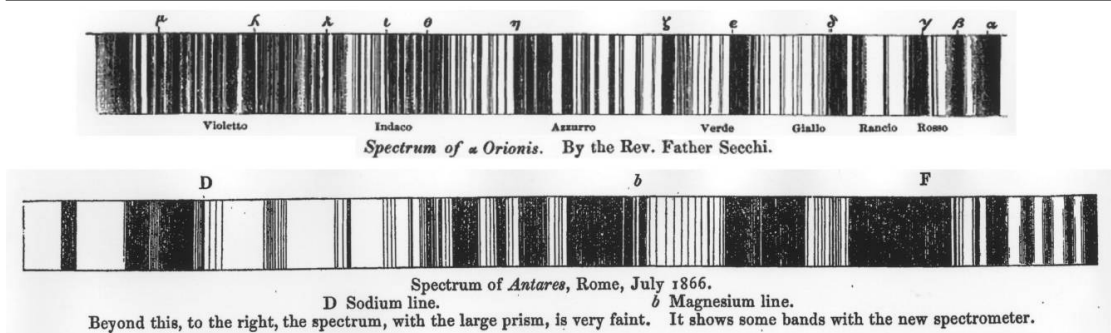


図 15 Secchi によるスペクトルのスケッチの例

(上) α Ori (δ が Na D 589、 η が Mg 518 nm) [71]、(下) α Sco (D: Na D, δ : Mg 518, F: H 468nm) [72]。
 α Ori では右が赤、左が紫側、 α Sco では左が赤側になっている。なお、同定は太陽スペクトルとの比較による。波長はまだ測定されていない。

け、基準点として δ 線は Na、 η 線は Mg と同定している [71]。また、いくつかのバンドについて Huggins のスケッチと異なることからスペクトルに変動があったのではないかと推測した。これに対する Huggins と Miller からの反論が同じ MNRAS 誌に併載されているが、この反論はかなり手厳しいものとなっている。Huggins らは Secchi 論文に観測法についての記述が少ないことをあげ、スペクトルの現われ方は分光器のタイプや分散などによるので簡単には比較できないとしている。その上で Secchi の指摘したスペクトルバンドには変動が見られないこと、 δ 線、 η 線の同定にも同意できないこと、などを挙げている。この反論に対し、Secchi (1866) は観測法をより詳しく述べると共に、スペクトルの現

われ方が分光器や測定法によることは認めているが、測定は他の人のチェックを得て個人差のないようにしているので、自分の測定結果を見直す必要がないと反論している [73]。当時は波長測定の精度が低く、眼視観測ではマイクロメータの読み値で線同定などを行い、それをスケッチしているため、上のような議論も起こったのである。

Secchi は 1863 年の論文ではスペクトルを赤色星と白色星の 2 種類に分けているが、1866 年には 209 星を表 2a のように 3 種に分類している [71]。

その後、Secchi は観測星の数を増やすと共に、新しい 2 つのクラスを導入している (表 2b)。

表 2a Secchi (1866) による分光分類 [71]

クラス	色	スペクトルの特徴	代表星	星数
Class I	白、青	水素吸収線が顕著	Sirius, Vega	95
Class II	黄色	多数の Fraunhofer 線	太陽、 α Aur	94
Class III	橙、赤	多くの分子バンド	α Ori, α Sco	20

表 2b Secchi (1868, 1877)による分光分類 (つづき)

クラス	色	スペクトルの特徴	星の例	星数	文献
Class IV	微光赤色	3本の輝線バンド (炭素星)	L1256, U Hya	17	[74][75]
Class V	白	水素輝線を示す (現早期型輝線星)	γ Cas, β Lyr	---	[60][76]

Class IV には Secchi も強い印象を受けたようで、スペクトルのスケッチを残している [77]。それを図 16 に示そう。この図の星番号は Schjellerup (1866)の赤色星カタログによるもので、参考までに HD 番号などを表 3 に示す [78]。

次に輝線星については Secchi の分類には多少の混乱と迷いが見られる。表 2a に示した分類の中に、Class I に ζ Tau (現 Be)、Class II に Mira (o Cet, 現 M6e)、Class III に γ Cas (現 Be) と β Lyr (現特異 Be 星) などが見られる。翌年には Secchi (1867) は γ Cas の輝線に注目し、Class III ではおかしいと気づいている。その後、多くの観測を重ねながら表 2b のように V 型として白色の輝線星にまとめられるのは 1877 年になってからである [76][79]。しかし、それでも Mira や R Gem のような晩期型輝線星の分類には問題が残っていた。

星の視線速度について、Secchi (1866)は Huggins & Miller (1864)とは独立に「もし、高い精度でスペクトル線の位置を測定できるなら Doppler 効果による視線速度の測定も可能である。」と述べているが、実際には測定にまでは至っていない [82]。Secchi の関心は恒星スペクトルの分類と星の空間運動に向けられていたが、波長測定精度の限界を感じていたのであろう。それでも Secchi は視線速度の

重要性を指摘した先駆者の 1 人に数えられている。

Secchi は観測結果をまとめて 1867 年にパリの Gathier-Villar 社から分光カタログ 2 巻 (Catalogo delle stelle di cui se determinato to spettrre luminoso) をイタリア語で公刊している。原書が見られないので星数やスペクトルの記述などは分からないが、分類は出版年度から見て Class I – III の 3 クラスであろう。続いて翌年には赤色星カタログとして 52 個の星について赤経、赤緯、等級のほかスペクトルの特徴を記述している。この段階では分光型は 4 クラスになっている [74]。

Secchi は 4000 個以上の星について分光分類を行ったとされているが、それは Comptes Rendus 誌を中心に多年にわたって公刊された論文を網羅するもので、生涯の最後の恒星分光の論文 (Secchi 1875)では「恒星スペクトルの新しい観測について」と題して 500 個の星を分光観測し、そのうち 400 個について分類を行ったと述べている [83]。

分光に対しては Huggins の方が一枚上手で、Secchi は 6 才年下の Huggins に丁寧に質問したりしているが、Huggins はかなり遠慮なく Secchi の仕事を批判したり、コメントを加えたりしている。二人が直接会って直接議論したことがあるかどうかは関心がもたれるが、この点について確かな記録は残っていない。

表 3 代表的な IV 型星[77]

Schj. No.	Secchi's class	----- 対応データ (McCarthy 1994)[80]-----			
		HD	Sp (HD)	Sp (Yam)	Name
No. 132	IV	92055	Nb	C 6,3	U Hya
No. 152	IV	110914	Nb	C 5.5 J	Y CVn
No. 229	IV	183556	Nb	C 7,3	UX Dra
No. 273	III	223075	Na	C 7.2	TX Psc

注： Schj は Schjellerup カタログ番号[78]、Sp(Yam)は Yamashita (1972)の分類[81].

ここで、Class IV の星について少し触れておこう。彼は図 16 に示した星 No. 152 について次のような記述を与えている。

「No. 152：最も美しい星の1つである。そのスペクトルはまさしく IV 型である。スペクトルの明るいバンドはきわめて明白で、バンド間の黒い部分と奇妙なコントラストを示している。まことに特異な星だ。しかも、星の色は生き生きとしたルビーレッドなのだ。」

美しいスペクトルに見入って感嘆している Secchi の姿が思い浮かぶようである。

Secchi は IV 型として Schjellerup のカタログ[78]から 17 星を選んでいるが、全体について次のように述べている[77]：

「これらの星は同じように赤色であるが Class III と比較して Class IV は明らかに別種のタイプである。これらの星 (のスペクトル) は炭素の蒸気のスペクトルに著しく似ている。ただし“反転”したものであるが。これから、Class IV の星の吸収バンドは炭素分子の吸収によって形成されたと結論できる。」

この結論から McCarthy (1994)は「Angelo Secchi と炭素星の発見」と題するレビューの中で Class IV 星の分光観測の歴史的経過を紹介し、[Secchi は炭素星の発見者である。

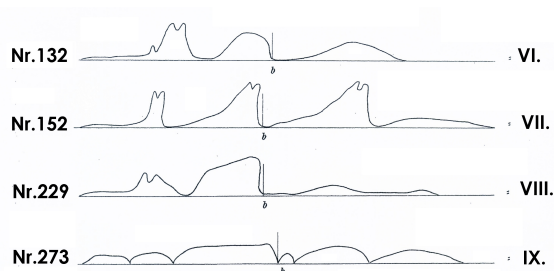


図 16 典型的な Class IV スペクトルにたいする Secchi のスケッチ[77] 星の番号は Schjellerup (1866) の赤色星カタログによる (表 3)。No. 273 は比較のために示した。Secchi は輝線バンドを赤側から黄色帯、緑色帯、青色帯と呼んでいる。図中 b は MgI 518 nm に当たる。

しかし、その発見が確認されるまでに 1868 年から 125 年の歳月が必要であった」と述べている[80]。実際、Secchi に続く時代、Class IV はむしろ特異な星として注目されていた。

Yerkes 天文台の G. E. Hale も Class IV に興味を持ち 40 インチ屈折鏡に取り付けた分光器で数個の星について観測を行っている[84][85]。特に図 16 の No. 152 に対して写真分光をおこない、 $\lambda 5593$, $\lambda 5693$ に強い輝線の存在からこれらを Wolf-Rayet 星の特徴と考え、「結論は時期尚早かも知れないが、この型は WR 星と関連しているのではないか」、

「IV 星は銀河面またはその近傍に分布し、WR 星以外はそのような分布を示さない」と述べて WR 星の可能性を示唆している。

Secchi (1869) は 1867-1868 年に観測した赤色星 115 星のリストの中には Wolf 氏の観測した白鳥座の 3 星も含まれているが、この論文ではそれらに対して

「これらの星にとくに異常は認められない、淡い輝線も存在するが大気シンチレーションかもしれない。」

と述べて特別の関心は示していない[77]。ところが、同じ年に出されたフランス科学アカデミーへの報告では

「これら Wolf 氏の星はすべて青色部に美しく、強い輝線を示し、オレンジ帯にも輝線が見えている。これらの星は IV 型の星の中で炭素を示す一群かもしれない。」

とのべており、判断が揺れる中で炭素星の可能性を示唆している[86]。現在、炭素星と WR 星とはまったく別の星であるが、進化の進んだ状態にある星としての共通点はある。違いは星の質量である。

炭素星は HD 分類では R - N となっており、炭素のスワンバンドの存在で識別される。

そのうち、Secchi が発見したのは晩期の N 型星である。N 型星は C_2 , CH , CN , C_3 などの炭素分子が顕著であり、Secchi の発見に因んで「古典的炭素星」とも呼ばれている。質量は $3 M_{\odot}$ 以下の赤色巨星で AGB (漸近巨星分枝) の段階にある星と考えられている。また、この段階に達するには数 10 億年以上の時間が必要である。

一方、WR 星は大質量星 ($20 - 60 M_{\odot}$) の最後の段階にある星で超新星爆発へと向かう途次にある。最後の段階といっても質量が大きいので進化の速度は速く、年令も数千万年以下である。そのため WR 星は若い星形成領域に分布する。従って、炭素星とは銀河系内の分布も異なるが、もちろん、Secchi の時代

にはそこまで話は進んでいなかった。

Huggins と同じように Secchi も早い時期から星雲のスペクトルに注目している[87]。最初に観測したのはオリオン星雲であった。そのときの報告文とスケッチを図 17 に示そう。彼も Huggins と同様に 3 本の輝線を認め、赤側から a, c, b と名づけている。輝線の相対強度は $a > b > c$ である。これは Huggins 惑星状星雲について推定した強度比 $a > c > b$ と異なっている。これについて Huggins (1865) は a (窒素)、c (未同定)、b (水素) と指摘しただけで、強度比に対してはコメントしていない。この時期に Huggins はまだ a 線を窒素起源と考えていたようである。また、星雲に見られる 3 本の輝線といえば、2 回電離酸素の禁制線 $[OIII] \lambda 5007$, $\lambda 4959 \text{ \AA}$ と水素の $H\beta$ 線 ($\lambda 4861 \text{ \AA}$) のはずであるが、図 17 を見ると a, c 線が接近しすぎている。Secchi が $[OIII] \lambda 4959 \text{ \AA}$ を認識していたかどうかは疑わしい。それについて Huggins も何も言っていないが、彼の場合は図 9 (「天文教育」2009 年 5 月号) に見るように、3 本の輝線はほぼ正しい位置にスケッチされている。

因みに 2 回電離酸素の禁制線 $[OIII] \lambda 5007$, $\lambda 4959 \text{ \AA}$ の強度比は準安定状態からの遷移確率の比で決まり、星雲のガス密度が臨界密度 (10^5 個/ cm^3 程度) より小さければ $a : c = 2.91$ になっている。一方、 $H\beta \lambda 4861 \text{ \AA}$ は電離水素からの再結合線であるから、その強度は星雲のガス密度と視線上のガスの総量に依存するから、星雲によって禁制線との比は異なる。もちろん、これは後の話である。

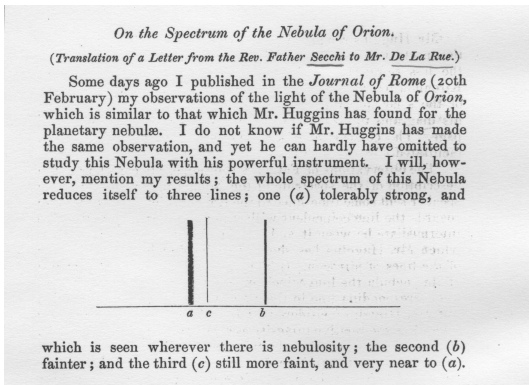


図17 オリオン星雲の輝線スペクトルの観測報告とスケッチ[87]

5.6 Secchi の宗教思想と晩年

Secchi はすぐれた天文学者として恒星分光に大きく貢献しているが、同時にイエズス教会の司祭として強い宗教的信念を持っていた。彼は自然界のすべての過程は「運動のエネルギー」に起因すると述べて、「運動論的原子論」という、一見、唯物論的な立場をとっているが、彼はそれを霊性や知性にまで拡張し、自然界、人間界の根源には神の創造行為があるとしてキリスト教的立場を擁護している[58]。

1870年に北部イタリア王国の軍隊がローマを占領し、イタリア中部に広がっていた法王領を併合してイタリアを統一するという情勢が生じた。その結果、法王領はローマ市内の一部に限定され、イタリア王国と法王庁は国交断絶という状態になった。この断絶が解けたのは1929年になってからで、その後カステルガンドルフォに法王の離宮が認められ、天文台が移転されるようになったのはようやく1930年代に入ってからである。1870年の事件のとき、イタリア国王はSecchiを自国に招き入れようとして、大きな天文台を建設してそれを彼に任せるがどうかなど、いろいろ誘惑を試みたことがある。このときもSecchiは法王への忠誠を崩さず、節を曲げなかったため、イタリア王も最後にはあきらめたとい

うエピソードがある。こうしてSecchiはその後もバチカン天文台長としての任務を続けたが1878年、病を得て死去した。享年60才であつた。

5.7 Vogel による分光分類の発展

恒星分光の歴史の中で、Hermann C. Vogel (1841–1907) は2つの点でHugginsとSecchiを引き継いでいる。1つは分光分類の改良、2つ目は恒星の視線速度の測定である。Vogelについて少し触れておきたい[88]。

VogelはLeipzigの裕福な大家族の末っ子として生まれた。Jena大学で天文学を学び1868年に恒星および星雲の位置測定学で学位を得ている。1870年、北ドイツのキールに近いBothkampにC. von Bülowによって建設された個人天文台の台長を委嘱され4年間、ここで観測にあたる。望遠鏡は11インチ(28cm)屈折鏡で、この間、彼は3つの仕事を成し遂げている。

第1は写真技術の改良で乾式写真乾板による太陽の撮影に成功

第2は分光観測によるDoppler速度の測定。太陽赤道面の両端の視線速度の測定から太陽自転速度を導き、黒点の移動から予測されていた自転周期を裏付けた。また、明るい星の視線速度の測定精度を信頼できる値まで高めた[89]

第3はSecchiによる恒星の分光分類を改良した[90]。このとき提案された分類を表にして表4に示そう。

この分類は多少細分化しているが基本的姿勢はSecchiと変わらない。IcやIIbのように輝線星を別立てにしたのが目に付く。1895年になってVogelはさらにこの分類を改定しているが、それはNorman Lockyer (1868)によって太陽彩層に発見されたヘリウム線に基づいている[91]。彼はオリオンの3

表4 Vogel (1874)による Secchi の分類の改良[90]

Vogel の Class	Secchi の Class	代表星	MK 分類
Ia	I	Sirius, Vega	A
Ib	I (Orion)	β γ δ ϵ Ori	O, B
Ic	I (後に V)	γ Cas, β Lyr	Be
IIa	II	Capella, Arcturus, Aldebaran	F5 – K5
IIb	--	T CrB, WR, R Gem	Nova, WR, Mira
IIIa	III	α Her, α Ori, β Peg	M
IIIb	IV	Schjellerup 78, 152, 273	Carbon 星

つ星を始めとする白色星のなかにヘリウム吸収線を同定し、I 型の星を次のように改定している[92]。

Ia 型はヘリウム線を示さない。水素線が弱まると金属線が強くなるという傾向からこの型は Ia1, Ia2, Ia3 に細分される。(現在の A0 から A9 へ)

Ib 型はヘリウム線が現われる。その中で λ 4026 Å λ 4472, λ 5016, λ 5876 (D3) が顕著である。(現行の O, B 星)

Ic 型は Ic1, Ic2 に分けられる。Ic1 は輝線が水素にのみ現われるが (γ Cas)、Ic2 では水素のほかヘリウムを輝線として示す(β Lyr)。

こうして Vogel と Wilsing (1899)はこの改定分類に従って主に I 型の星を含む 528 星のカタログをまとめている[93]。

話を 1874 年に戻すと、この年、Vogel はベルリン天文台に移る。ここは F. J. Galle が海王星を発見したところである。一方、ポツダム天文台では G. Spörer が太陽観測を行っていた。Spörer は太陽黒点の移動から黒点の発生地帯が中緯度から赤道方向に移動する「バターフライ図」の発見で知られている。その

頃、プロシヤ皇帝フリードリヒは Kirchhoff 顕彰のため、両者を統合して Potsdam に新しい天文台を建設する考えを持っていた。その設立計画を任されたのが Vogel と Spörer であった。2 人は協力して太陽と星の物理過程の解明を目指す天文台を構想した。そのため Vogel はヨーロッパ各地とくにイギリス本土の視察に回っている。

こうして、天文台は Potsdam 天体物理天文台として 1882 年に開設され、Vogel が初代台長に就任する。主要機器は 13 インチ (30 cm)、8 インチ (20 cm) 屈折望遠鏡とともに写真装置と分光器が取り付けられ、太陽、月、惑星から星、星雲、彗星など多様な天体観測に用いられた。天文台は皇帝からかなりの財政的支援を受けたので Vogel は次の 2 つのプロジェクトを立ち上げた。

1) 恒星の視線速度の系統的測定に関する作業チーム

2) 口径 80 cm (31.5 インチ) 屈折望遠鏡建設計画の推進チーム

このうち第 1 については写真分光による解析が進み、そのまとめが MNRAS に掲載されている[94]。リストは 51 星を含み、測定精度は 2.7 km s^{-1} に達し、Huggins の 10 倍の精



図18 Hermann C. Vogel 肖像 (Wikipedia より転載)

度をもっていた。なお、Vogel は視線速度のことを「視線上における固有運動」などと呼んでいるのも面白い。第2の80 cm 望遠鏡は1890年に建設が始まり、1899年に完成する[95]。これはパリ天文台(ムードン)の80 cm 鏡と並んで欧州最大の屈折望遠鏡である。

Vogel は生涯最後の年まで台長を勤めるが、晩年は体調を崩し、オルガン演奏など音楽を楽しむことが多かったという。1907年8月病状が悪化して不帰の人となった。

Potsdam 天体物理天文台は1992年に再編成され、現在の Astrophysical Institute Potsdam へと発展する(<http://www.aip.de/>)。

文 献

- [57] Secchi, P. A., *Les Etoiles*, 2 volumes, Alacan, Paris, 1895, pp.438 (著書)
- [58] Pohle, J. 1904, *Catholic Encyclopedia*, Volume 13, Angelo Secchi. (回想録)
<http://www.newadvent.org/cathen/13669a.htm> p.1-4
- [59] Angot, A. 1905, *Dictionnaire Biographique, Imago Mundi*, Pietro Angelo Secchi. (回想録)
<http://www.cosmovisions.com/Secchi.htm> p. 1-6
- [60] McCarthy, M. F. 1950, *Popular Astronomy*, 58, 153-168, Fr. Secchi and stellar spectra.
- [61] Obituary 1879, *MNRAS*, **39**, 238, Angelo Secchi. (王立天文協会会長による追悼記)
- [62] *History of the Vatican Observatory*
http://vaticanobservatory.org/History_p1.html p. 1-5
- [63] Secchi, A. 1851, *MNRAS*, **11**, 199, On M. Foucault's pendulum experiment. (フーコー振り子追実験)
- [64] Secchi, A. 1852, *AN*, **33**, 139-141,

- Schreiben des Herrn Secchi der Sternwarte Collegio Romano an den Herausgeber.* (初期の日食写真観測に関する台長報告)
- [65] Secchi, A. 1861, *AN*, **54**, 35, *Observations de l'éclipse du 18 Juillet 1860.* (日食写真観測)
- [66] Eddy, J. A. 1974, *A & A*, **34**, 235 – 240, *A nineteenth-century coronal transition.*
- [67] Secchi, A. and Winnecke, A. 1857, *AN*, **45**, 251, *Doppelsterunmessungen von Herrn Prof. Secchi, mitgetheilt von Herrn Dr. Winnecke.* (2重星の観測)
- [68] Secchi, A. 1861, *MNRAS*, **21**, 83, *Catalogo di 1321 stelle doppie misurate col grande equatoriale de Merz.* (2重星のカタログ)
- [69] Secchi, A. 1863, *AN*, **59**, 193 – 196, *Schreiben des Herrn Prof. Secchi an den Herausgeber.* (恒星分光観測第1報)
- [70] Secchi, A. 1863, *Comptes Rendus*, **57**, 71-75, *Note sur les specters prismatiques des corps célestes.* (科学アカデミーへの恒星

分光の報告)

- [71] Secchi, A. 1866, MNRAS, **26**, 214, Spectrum of α Orionis. (page 215-217 に Huggins and Miller のコメントあり)
- [72] Secchi, A. 1866, MNRAS, **26**, 308, On the spectrum of Antares.
- [73] Secchi, A. 1866, MNRAS, **26**, 274 - 275, Spectrum of α Orionis.
- [74] Secchi, A. 1868, MNRAS, **28**, 196.
- [75] Secchi, A. 1868, C.R., **67**, 373 -376, Sur les specters stellaires. (Class IV)
- [76] Secchi, A. 1877, Die Sterne, Brockhaus Leipzig, p.70 (Class V)
- [77] Secchi, A. 1869, AN, **73**, 129-138, Catalogue des étoiles colorées dont on observe le spectre prismatique à l'observatoire du Collège Romain dans 1867 et 1868.
- [78] Schjellerup H. K. F. K. 1866, AN, **67**, 97, Catalog der rothen, isolirten Sterne, welche bis zum Jahre 1866 bekannt geworden sind. (赤色星のカタログ)
- [79] Hearnshaw, J.B. 1986, The Analysis of Starlight - One Hundred and Fifty Years of Astronomical Spectroscopy, Cambridge Univ. Press, Chapter 4, A. Secchi and spectral classification, p. 57-66, p.82 (Table 4.1)
- [80] McCarthy, M. F. 1994, in The MK Process at 50 years, ASP Conf. Ser. Vol. 60, 224 - 232, Angelo Secchi and the discovery of carbon stars.(炭素星発見史)
- [81] Yamashita, Y. 1972, Ann. Tokyo Astron. Obs., Second Ser., Vol. 13, 169-217, The C-classification of the spectra of carbon stars. (炭素星分光分類)
- [82] Secchi, A. 1866, C.R., **63**, 621-634, Nouvelles recherches sur l'analyse spectrale de la lumière des étoiles. (分類数を 2 から 3 へ)
- [83] Secchi, A. 1875, Ast. Register, **13**, 208
- [84] Hale, G. E. 1898, ApJ, **8**, 237-241, On

- the spectra of stars of Secchi's fourth type.
- [85] Hale, G. E. and Ellerman, F. 1899, ApJ, **10**, 87-112, On the spectra of stars of Secchi's fourth type, I.
- [86] Secchi, A. 1869, Comptes Rendus, **69**, 39-41, Sur les specters des trois étoiles de Wolf, et sur l'analyse comparative de la lumière du bord solaire et des taches.
- [87] Secchi, A. 1865, MNRAS, **25**, 153-154, On the spectrum of the nebula of Orion. (page 154 に Huggins and Miller のコメント).
- [88] Frost, E. B. 1908, ApJ, **27**, 1-11, Hermann Carl Vogel.(ボーゲルの伝記)
- [89] Vogel, H. C. 1873, AN, **82**, 292-298, Versuche die Bewegung von Sternen durch spectroscopische Beobachtungen zu ermitteln. (星の視線速度)
- [90] Vogel, H. C. 1874, AN, **84**, 113-124, Spectralanalytische Mittheilungen. (分光分類)
- [91] Lockyer, N. 1868, Proc. Roy. Soc. London, **17**, 131.(ヘリウム発見)
- [92] Vogel, H. C. 1895, ApJ, **2**, 333-346, On the occurrence in stellar spectra of the lines of Clèveite gas, and on the classification of stars of the first spectral type. (Clèveite gas = Helium gas, I 型星の改定分類)
- [93] Vogel, H. C. and Wilsing, J. 1899, Publ. des Astrophys. Obs. zu Potsdam: **12**, Bd.1, Untersuchungen über die Spectra von 528 Sternen. (I 型星の分光カタログ)
- [94] Vogel, H. C., 1892, MNRAS, **52**, 541-544, List of the proper motions in the line of sight of fifty-one stars. (視線速度の測定)
- [95] Vogel, H. C. 1900, ApJ, **11**, 393-399, Description of the spectrographs for the great refractor at Potsdam.

小暮智一 (元京都大学)