

連載

恒星天文学の源流【1】

恒星分光の開幕期 その1

小暮智一（元京都大学）

1. はじめに

1.1 1863年という年

恒星の分光観測が国内でひろく行われるようになったのは天体スペクトル研究会が発足した頃（1994）からであろうか。今では公共天文台や各地の施設でごく自然に行われるようになり、望遠鏡の大型化と共に、分光観測の内容も見違えるような発展を見せている。「天文教育」誌にも多くの貴重な報告が寄せられるようになった。

ここでは恒星分光の開幕を告げる先駆者たちについて少し紹介してみたい。その開幕を告げたのは1863年という年である。

日本では文久3年、明治まであと5年という時期であった。イギリスではビクトリア時代の安定した繁栄期であり、1863年にはロンドンに世界初の地下鉄が開通している。ヨーロッパ大陸では1848年の革命の余波がまだ収まっていない時期であった。フランスは第2帝政の時代であったが、1863年の立法議会の選挙では反政府派の「自由連合」が進出し、共和制への動きが始まっていた。ドイツはプロシヤ王国で1860年代ビスマルク執政のもと軍制改革が進み、近隣諸国との緊張下にあったが、一方、民権運動も勢いを増していた。イタリアでは1861年にイタリア王国が北部に建設され、統一国家への道が進み始めていた。また、アメリカでは1861年から始まった南北戦争が1863年にほぼ終結し、ボストン、ニューヨークなど東部では安定を取り戻していた。

この年にヨーロッパとアメリカで次の5人が相次いで初めての恒星スペクトルの観測結果を公表し、天文学における新しい時代の到

来を告げた。

Huggins, William (1824 - 1910)

(39才) (タルスヒル天文台、ロンドン)

Secchi, Pietro Angelo (1818 - 1878)

(45才) (バチカン天文台)

Donati, Giovanni Battista (1826 - 1873)

(37才) (フィレンツェ天文台)

Rutherford, Lewis Morris (1816 - 1892)

(47才) (私設天文台、ニューヨーク)

Airy, George (1801 - 1891)

(62才) (グリニジ天文台)

カッコ内はそれぞれ生没年、1863年における年齢、所属天文台をあらわす。同じ年に5人によってそれぞれ最初の論文が公刊されるというのは偶然かもしれないが、恒星分光への機運がそれだけ熟していたのである。

当時、天体分光は「新天文学」と呼ばれ、伝統的な天文学（位置天文、天体力学、太陽系天体）に対し新しい分野として登場した。それを中心になって推進に当たった人にアマチュア天文家が多いことも注目される。彼らは高い観測技術で新しい分野を切り開いた。上の5人の中ではHugginsとRutherfordがその代表であるが、それ以外にもJoseph Norman Lockyer（太陽分光）、Henry Draper（ガラス面反射鏡と写真技術）なども知られている。また、一方では伝統天文学の中核といわれるグリニジ天文台長まで含まれており、5人の顔ぶれは多彩である。また、1863年以降は若い人が続々分光に参入しているし、開幕には参加したがその後の展開はないという人もあって発展過程も多様である。

ここでは文献サーチに基づいて、なるべく原典に当たりながら、先駆者たちの生涯と天

文学をたどって見ることにした。はじめに恒星分光の夜明けを告げた Fraunhofer と Kirchhoff を取り上げ、その後、1863 年に恒星分光の最初の論文を公刊した上述の 5 人の天文家について順次、その足跡をたどって見たい。科学的業績については引用文献も参考資料として付しておいたが、これも文献で辿るという趣旨からである。文献を気にせずに一連の物語として読んでいただければ幸いである。

はじめに文献天文学として私のとった文献サーチ法の紹介から入ることにする。

1.2 参考書と文献サーチについて

恒星分光学の歴史を概観するには J. B. Hearnshaw (1986) が優れている [1]。Hearnshaw はニュージーランドのカンタベリー大学の天文学教授であるが、1981 年に 1 年間ドイツに滞在し、ヨーロッパ各地の研究所、大学を訪ねて古い文献を掘り起こして恒星分光学史をまとめた。この書には貴重な文献も含まれており、150 年間の分光学史が手際よくまとめられている。また、Agnes M. Clarke (1842 - 1907) はロンドン在住の科学エッセイストであったが、同時代人として 19 世紀の天文学の発展を詳細に記録し、「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 [2][3]。前者は天文学全般、後者は太陽物理学、恒星物理学の 2 部からなるが、両者とも臨場感のある記述で引用文献も充実している。Clarke 女史は私の敬愛する歴史家の一人である。女史の生涯と仕事については Brück (2002) によるすぐれた伝記がある [4]。

天文一般ではあるが興味深い歴史書として Leverington (1995) がある [5]。この書は「1890 年から現在まで」という副題が付いているがそれぞれの章ごとに「初期の研究」という節

があり、問題ごとに 19 世紀の発展を概観しているの読みやすい。19 世紀から 20 世紀にかけての発展に興味を持つ人には格好な読み物である。個別の文献は引用されていないが、巻末に参考書が多数紹介されている。

恒星分光観測に不可欠な望遠鏡、分光器、マイクロメータなどの歴史については King (1955) の概観が優れている [6]。この書では機器製作者の横顔やエピソード、機器の性能評価などが平易に語られている。引用文献も揃っている。

また、ビクトリア時代 (1820 - 1920) のアマチュア天文家については A. Chapman (1998) が興味深い歴史を伝えている [7]。その中で「新天文学」に当てられた 1 章では Huggins のほか、この分野で活躍した多くのアマチュア天文家も紹介されている。

Hearnshaw と Clarke の書は科学的業績の紹介として優れているが、登場人物の生涯と人柄がどんなものであったのかまでは触れていない。Huggins には Belkora (2003) による伝記 [8] があり、Airy (1896) には子息との合作による自叙伝 [9] がある。まとまった伝記のない人についてはおもに同時代人による追悼録や回想録などを参照した。最近のウェブサイトはかなり充実していて 19 世紀の人物までかなり詳しい記述が見られ、時には論文リストを添えた回想録もある。ただし、同時代人の回顧であっても人によって食い違いの見られるのも当然であり、人の一生を追うことの難しさを感じた。また、話しが長くなりすぎることもあるので、経歴などは適当に省略した。

天文学の業績は出来る限り元の文献に当たることを心がけ、ADS サーチを中心にした。最近 ADS が利用しやすくなり、広い年代にわたってかなり広く文献にアクセスできるようになったが、古い文献についてはまだ問

題も多い。ここでは ADS の効用と限界についてまとめて見よう。

ADS (NASA Astrophysics Data System) は NASA が中心となり、世界各地の天文台が協力して築き上げた文献データベースで、すでに 500 万件を超える文献が収録され、文献サーチに大きな効果を発揮している (Eichhorn et al. 2007) [10][11]。

周知のことと思うが ADS の利用法をまとめておこう。まず、ウェブサイトで ADS abstract service という検索から入って ADS Astronomy Query Form というページを開く。ここで著者名、キーワード、サーチ期間など必要項目を入れて Send Query をクリックすると、検索結果としてサーチ総数と各サーチの内容が次のように表示される。

左側に Bibcode (Year, Journal, Vol. page), Author(s)

右側に Score, Date, List of Links (1 行目), 論文タイトル (2 行目)

ここで List of Links は A, F, G, X, U などいくつかの記号で示される。A は abstract、F は full paper (PDF format)、G も full paper (Scanned image) で、F, G から目指す文献にたどり着ける。最近注目されるのは Link X である。これは ADS の古い version では "Data from Planetary Nebula database available" となっていたが、ADS サービスが 2006 年 9 月に新しい Open URL linking を装備し、このときに新しい link X が導入された。X では arXiv e-print が現われ、プレプリントの形であるが新しい文献のフルテキストにアクセス出来る。Link F, G では ApJ, A&A, MNRAS など主要雑誌の最近の論文 (full paper) にはアクセス出来なかったが Link X によって ADS の効用は大きく増加し、書齋での文献天文学も幅が広がった。

一方、ADS は 19 世紀の古い文献のデータベース化を進めているが、まだ充分ではない:

(i) ADS の未対象雑誌、American Journal of Science and Arts (Rutherford の場合), Denkschriften der München Akademie der Wissenschaften (Fraunhofer の場合), Comptes Rendus (Secchi の場合)などは初めからサーチできない。ただし、対象雑誌でも欠落している文献もあるので油断は出来ない。

なお、Comptes Rendus 誌は Gallica (Bibliothèque nationale de France digital library) からリンク (Recherche → Periodiques → Sciences → Comptes Rendus hebdomadaires des seances de l'Académie des sciences) によって 1835 年以降のフルテキストにアクセスできる。

(ii) 利用が登録者に限られる場合 (書齋からの登録は困難)。Proceedings of the Royal Society of London, Philosophical Transaction of the Royal Society of London (Huggins の場合) などは研究機関から登録できる場合もある。また、文献データベースには JSTOR という機関があり広い分野で 19 世紀からの膨大な文献を集積しているが、有料で手続きが煩瑣のためか、京都大学でも限られた分野の、それも 20 世紀以降にしか登録していない (天文関係も多少含まれているがこれらは ADS でもアクセスできる)。

(iii) 雑誌以外の Proceedings や Monograph など、例えば Monatsberichte Berliner Akademie (Kirchhoff の場合) は内容のサーチはできない。著者がわかっている場合、文献の表題だけ示されることが多く、図書では書名、出版社だけ判る場合がある。

これらも大学など公共図書館を利用すればサーチの幅が広がるのは当然である。京都大学を例にとると、1990 年代初期に一つの転機があった。Proceedings of the Royal Society of London (Proc. R. S. London), Philosophical Transaction of the Royal Society of London (Phil. Trans. R. S.

London) など、科学一般についての雑誌は理学部の各教室でそれぞれ独立に購入していたが、各教室とも図書室の予算や本棚のスペースにゆとりがなくなったため、例えば Proc. R. S. London は物理学教室、Phil. Trans. R. S. London と Nature は地質学鉱物学教室というようにどこか一つの教室で初期からの古い分を保存することになった。多少不便になったがやむをえないであろう。なお、Nuovo Cimento は 1847 年ごろに創刊されているが、理学部で 19 世紀に遡れるのは物理学教室の所蔵する Nuovo Cimento, Ser. 4 (Societe italiana de fisica), 1895 - 1900 のみである。天文関係では宇宙物理学教室には Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS) が Vol. 21 (1860) から現在まで、Astronomische Nachrichten (AN) が Vol. 1 (1823) から Vol. 329 (2008) まで数回の欠番があるが揃っている。この AN 誌の初期の分はドイツが第一次大戦で敗れたとき日本政府に送られた賠償の一部であるという秘話をご存知の方はいるであろうか。日本は連合国側について参戦し、中国のチンタオでドイツ軍と戦ったのである。その他、創刊号からあるのは Publication of the Lick Observatory of the University of California, Vol. 1 (1887), Pub. Ast. Soc. Pacific, Vol. 1 (1889), ApJ, Vol. 1 (1895) などである。残念ながらどれも少々欠番がある。また、1849 年に創刊された Astronomical Journal は長い休刊期のあと再開された Vol. 7 (1888) 以降が揃っている。宇宙物理学教室のホームページの図書室から検索に入ると欠番も分かり便利である。

次にインターネット Web site の利用と有効性についてひとこと述べよう。人名または事項から検索から入ると多数の結果項目が現われるが、はじめに目に付くのは Wikipedia であろう。簡潔で要を得た説明文も多いが文献

資料としては不十分である。しかし、そこからのリンクによって原資料に近づけることもある。先に述べたようにリンク先としては同時代人による回想録や、原論文のリストを示した追悼録などは有用である。Wikipedia にとらわれず、検索項目を丹念に見ることも新しい文献の発見につながる。設問を変えていろいろの角度から検索に当たるのも有益である。それにしても 19 世紀の資料を掘り起こすのはかなり時間がかかるので自称文献天文学を楽しむのは老年の特権かもしれない。

なお、Eichhorn からも述べているように、ADS は過去に向かっても開拓中なので、サーチの幅は絶えず広がっている。

2. Joseph von Fraunhofer (1787 - 1826)

ミュンヘン市役所前のマリエン広場は大きな人形仕掛けの時計のまわりに大道芸人がパフォーマンスを繰り広げ、人々が群がっている。9 月末にワイン祭りが始まると広場はいっそう賑やかになる。この広場から狭い通りに入ってすぐ、ザンクト・ヤコビ広場の一角にミュンヘン市立博物館がある。「写真の歴史」部門の一室には Fraunhofer の工房が復元され、工具や測定器、作りかけの望遠鏡などが雑多に置かれている。その脇には 39 才で夭折した彼のデスマスクが置かれてある。静かに眠るようなデスマスクは印象的である。

Fraunhofer はミュンヘン近郷の Straubing にガラス研磨師の末子として生まれ、10 才で母を、続いて翌年に父を失った。そのため、はじめ木工所で旋盤工の徒弟として住み込むが、もともと虚弱な体質であった彼はハードな仕事に耐えられず、ミュンヘンに移ってガラス工場の徒弟となる。もちろん住み込みの徒弟は無給である。ここで 6 年過ごす、こ



図1 Fraunhofer 肖像[1]

この親方も非情で Fraunhofer が日曜学校に通うことも、夜間に部屋の明かりを灯すことさえ禁じていたという。1801年7月、親方の家が崩壊するという事件が起きた。家の下敷きになった Fraunhofer は辛うじて助け出されるが、この事件が契機になって彼のその後の人生を変えた2人の人物に出会う。1人は政治家・企業家であるウッツシュナイダー(J. von Utzschneider)、もう1人はバイエルンの王子で将来バイエルン国王になるルードイヒ・マクシミリアン(Ludwig Maximilian 1)である。王子は Fraunhofer に資金を与え、徒弟を続ける中で彼自身の裁断機や研磨機を購入するようにはからった。国王になってからもマクシミリアン1世は Fraunhofer の仕事に理解を示し多くの支援を行っている。また、ウッツシュナイダーは事件の少し前から政治から手を引き、精密機械と光学機器の企業に専念する。Fraunhofer は数年間ガラス研磨や光学機器の研修を続け、1806年(19才)でウッツシュナイダーの工場働くように

なる。

1807年にウッツシュナイダーが同業の2人と共同してベネディクトボイレン光学工場(Benediktbeuren glass melting factory)を設立すると、Fraunhofer もそれに従い、新しい工場で精密機器用のガラスの開発に当たる。彼はそこで気泡や石目をもたない高品質のクラウンおよびフリントガラスを製造したが、さらにガラスの組み合わせによる色消しレンズの製作にも成功した。彼はこれらのレンズを用いて当時としては比類のない高性能の望遠鏡や光学機器を生み出した。1809年にはウッツシュナイダーと共にベネディクトボイレン光学工場の共同経営者になり、彼が望遠鏡を初めとする光学機器製作の担当者となる。この光学工場には1811年当時48人の人々が働いていたという[6]。

初期の注文主の中には当時ゲッチンゲン天文台長になったばかりのガウス(C. F. Gauss)もいる。ガウスは新天文台建設のためにヘリオメータ(接眼部に取り付けるマイクロメータ)の製作を発注している。新天文台は小惑星の観測を主目的とし、ガウスは軌道決定のために精密なマイクロメータを必要としていた。1810年以降、Fraunhofer は天体および地上望遠鏡、顕微鏡、光学部品の製作に多忙な日々を送ることになった。

Fraunhofer の事業は順調に進んでいたが、その中でも彼はなお種々のガラス材料にたいし、精密な屈折率と分散度の測定実験を繰り返していた。そうした日々の中で、ある日、彼は太陽光をプリズムに通してみようと思いついた。1813年のある日、口径25mmの小型望遠鏡の対物レンズの前に頂角60°のプリズム置き、そこに太陽光を導いて見た。アイピースを通して彼が見たものは何であったか。そのときの情景を彼は次のように記している(Fraunhofer 1814) [1]。

「私は太陽光の色彩像(colour-image, ス

ペクトルのこと) がランプ光の色彩像と似ているかどうか試して見ようと思った。ところが、予想に反して、数え切れない強弱多数の線が色彩像を垂直に横切るように現われていた。これらの線は色彩像のほかの部分より暗く、中にはほとんど暗黒に近い線まであった。」

これが Fraunhofer 線の誕生である。彼はそのうち、顕著な 10 本の線に対し、赤側から順に

A, a, B, C, D, E, b, F, G, H

と名づけた。H は肉眼ではもっとも紫側にあり、また、もっとも暗黒に近い強い暗線であった。彼はこの結果をミュンヘン科学アカデミーの紀要に報告しているが[12]、そのなかでスペクトル線のスケッチに眼視測定による連続光分布を添えた図を添付している。それを図 2 に示そう。これは 1860 年代以降のスペクトル研究の原点となった貴重なスケッチである。

また、Fraunhofer は 1817 年には口径 4 インチ (10 cm) の望遠鏡に頂角 $37^{\circ} 40'$ の対物プリズムを装着し、金星、シリウスや明るい 1 等星の分光観測を行っている。金星スペクトルが太陽に類似していることは納得し

ているが、シリウスや他の恒星が太陽とまったく異なったスペクトル線を示すことに驚きを示し、次のように述べている。

「シリウスのスペクトルには確かに太陽と異なった 3 本の幅広いスペクトルバンドが現われている。1 本はグリーン帯に、2 本は青色帯である。他の 1 等星にも多くのバンドが見られるが、星ごとに異なっているように見える。」

その後、Fraunhofer は改良した分光器で太陽スペクトルの観測を続け、B 線と H 線との間に 574 本の弱い暗線の存在を認めている[13]。太陽のスペクトル線についてはすでにイギリスの化学者・鉱物学者 William H. Wollaston (1802) によって発見されていた[14]。彼は 5 本の暗線を見出し A, B, ..., E と命名しているが、発見の重要性は認識せず、むしろ、分光装置にスリットを置いたことの意味を強調している。この論文は当時評価されず、彼自身も太陽分光から離れてしまった。しかし、彼の実験は分光学におけるスリット使用の始まりとしてその重要さは失われていない。なお、Fraunhofer は Wollaston とは独立にスペクトル暗線を再発見したとされている。

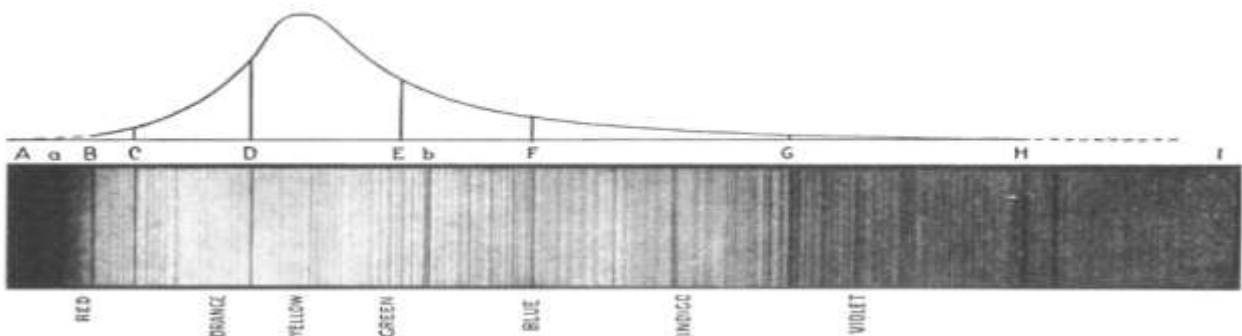


図 2 Fraunhofer による太陽スペクトルの連続光と暗線のスケッチ [6]

プリズム分光器では波長分散が一様でないため、吸収線の波長測定は困難を伴う。それ

を避けるため、Fraunhofer は 1821 年にグレーティングによる太陽スペクトル線の波長測定を試みた[15][16]。グレーティングによって光が分散することはすでに Thomas Young (1802)によって知られていたが[17]、これを光の波長測定に用いたのは Fraunhofer が最初である。彼は対物レンズの前に微細な平行ワイヤーをおいて光を分散させた。ワイヤーの数は知られていないが D 線の波長測定には十分な精度であったという。こんにち、平面波によって生じる回折現象は Fraunhofer 回折と呼ばれ、球面波によって生じる Fresnel 回折と共に光学の基礎過程となっているのは周知の通りである。

当時、波長測定はマイクロメータの読み値によっており、波長のあらわし方は統一されていなかった。因みに、スウェーデンの Ångström が溝数 200 mm^{-1} の反射型グレーティングを用いて太陽スペクトルの波長を測定し、波長を 10^{-8} cm の単位 (Å) であらわして、太陽スペクトル アトラスを公刊したのは 1868 年になってからである[18]。

Fraunhofer は 1822 年、エルランゲン大学から名誉学位を贈られ、1823 年にはミュンヘン市からミュンヘン物理博物館の館長に任命されている。また、バイエルン国王から王室教授の称号を得ており、実際にバイエルン大学で講義も行っている[19]。

1810 年以降、Fraunhofer は大型の屈折望遠鏡の製作に取り組んでいるが、主なものは次の 3 つである。

(a) ドルパット ロシア王立天文台 (Dorpat, 現 Tartu 天文台) 1815 年にロシア皇帝が Fraunhofer の光学工場を訪問して発注した 9 インチ (23 cm) 屈折鏡で 1824 年にファーストライトを迎えた。これはフリードリッヒ・ストルーフェ (Friedrich George Wilhelm Struve) が 1838 年に Vega の視差を測定したときに使用した望遠鏡として知られている。

なお、この天文台は現在 Old Tartu Observatory として博物館になっており、その中にはこの Fraunhofer 屈折鏡のほかに Herschel 反射鏡 (1806)、Repsold 天頂儀 (1897)、8 インチ Zeiss 屈折鏡 (1911) などが展示されている。古天文台は Struve 測地学アークと共に 2005 年に世界遺産にも登録された。因みに Struve 測地学アークは Struve が地球のサイズと形状を測定するために 1816–1855 年にかけて北はノルウェー北端から南はウクライナまで 2820km の経度線を三角測量した事業を記念するメモリアルの配列で 10 カ国の参加する国際的な文化遺産になっている (Old Tartu Observatory : http://www.obs.ee/index_eng.html)。

(b) ミュンヘン王立天文台 1825 年に発注された 10.5 インチ (27 cm) 屈折鏡で、彼の死後 1835 年に完成する。この望遠鏡は当時、最高の性能を誇り 1969 年まで現役として使用されていた。王立天文台は 1805 年にマクシミリアン 1 世の命によりバイエルン科学アカデミーがミュンヘン郊外に創設したもので、1820 年代の一時期、Fraunhofer も台長を勤めていたという。現在、この天文台はミュンヘンの Ludwig-Maximilian University (LMU) 付属の天文学・天体物理学研究所となり、有効口径 9 m をもつ HET (Hobby-Eberly Telescope) の建設に参加 (テキサス大学、スタンフォード大学など 5 大学協同) するなど、恒星物理学、銀河物理学、プラズマ天体物理学などの分野で活発な研究活動が続いている。HET はアメリカの McDonald 天文台に 1997 年に設置され、1999 年から観測が始まっている (Hobby-Eberly Telescope ホームページ)。

(c) ベルリン王立天文台 Dorpat 王立天文台の 9 インチ望遠鏡の姉妹機。Fraunhofer の死後、後継者によって再現されたものである。この望遠鏡はガレ (J. G. Galle) が 1846

年に海王星の発見に使ったという謂れがあり、現在はミュンヘン市内のイザール河の中洲に建つドイツ博物館の Fraunhofer 室と呼ばれる展示室の中央に置かれている(図3)。その周囲には彼の製作した小型の望遠鏡や分光器なども展示されている(ドイツ博物館図録 *Astronomie im Deutschen Museum*)。

これらの中で Fraunhofer がもっとも意欲を注いだのは (a) である。この望遠鏡については光学系、マイクロメータなどの詳しい製作過程を *Astronomische Nachrichten* 誌 (AN) に報告している[20][21]。



図3 ドイツ博物館に展示された Fraunhofer 製作で Galle が海王星発見に使ったという、口径9インチ屈折望遠鏡(ドイツ博物館図録より転載)

彼は分光器、屈折望遠鏡鏡などの製作とともに、土星、木星のテスト観測を行うなどハードな生活を続けたが、元来頑健でなかった彼は次第に病気がちとなり、ついに結核に犯されて 1826 年に 39 才で夭折した。Fraunhofer は南ミュンヘンの墓地に埋葬され、墓碑には望遠鏡の図柄と共に「星に近づいた人」(*Approximavit sidera*) と賛辞が刻

まれている。

なお、Fraunhofer の論文著作集は 1888 年に E. Lommel によって編集出版されているが[22]、その内容は次の5章に分けられている[19]：

- I 異なったガラス材料の色分散と屈折率特性
- II 新しい光学機器の開発
- III 大型屈折望遠鏡の製作
- IV 光の理論
- V 太陽、月、惑星および恒星のスペクトル吸収線

Fraunhofer の生涯は Goranova[19] と Plicht[23]によくまとめられている。

【次回は Gustav Kirchhoff のお話からの続きとなります。】

参考・引用文献

- [1] Hearnshaw, J. B., 1986, *The Analysis of Starlight - One Hundred and Fifty Years of Astronomical Spectroscopy*, Cambridge Univ. Press (引用文献が充実している)
- [2] Clarke, Agnes Mary 1902, *A Popular History of Astronomy during the Nineteenth Century*, 4th edition, A. and C. Black, London (復刻版あり、Sattre Press, 2003). *Popular history* とあるが、内容は高度で多数の引用文献を含む。
- [3] Clarke, Agnes Mary 1903, *Problems in Astrophysics*, Adam & Charles Black, London (引用文献多い、宇宙物理学教室所蔵)
- [4] 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)
- [5] Leverington, D. 1995, *A History of Astronomy from 1890 to the Present*, Springer.
- [6] King, H. C. 1955, *The History of the*

- Telescope, Dover Publication, Inn.
- [7] Chapman, A. 1998, *The Victorian Amateur Astronomer - Independent Astronomical research in Britain 1820 - 1920*, John Wiley & Sons
(邦訳: 角田玉青他訳、「ビクトリア時代のアマチュア天文家 - 19世紀イギリスの天文趣味と天文研究」産業図書, 2006)
- [8] 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 (W. Hugginsの伝記)
- [9] Airy, W. 1896, *Autobiography of Sir George Biddell Airy*, Edited by Wilfrid Airy (2007, Biblio Bazaar 社から復刻版)
- [10] Eichhorn, G., Accomazzi, A., Grant, C.S. et al. (2007), *ASP Conf. Ser. Vol. 377*, 36 - Connectivity in the astronomy digital library.
- [11] Eichhorn, G., Accomazzi, A., Grant, C.S. et al. (2007), *ASP Conf. Ser. Vol. 377*, 93-96, Full text searching in the Astrophysics Data System.
- [12] Fraunhofer, J. v. 1817, *Denkschriften der Münich Akademie der Wissenschaften*, 5, 193
- [13] Fraunhofer, J. v. 1821, *Denkschriften der Münich Akad. der Wisse*, 8, 1
- [14] Wollaston, W. H. 1802, *Phil. Trans. R. S. London*, 92, 356, A method of examining refractive and dispersive powers by prismatic reflection.
- [15] Fraunhofer, J. v. 1821, *Denkschriften der Münich Akad der Wiss*, 8, 28-34
- [16] Fraunhofer, J. v. 1823, *AN*, 1, 295, Aus einem Briefe des Herren Professor Fraunhofer an den Herausgeber.
- [17] Young, Thomas 1802, *Phil. Trans. R. S. London*, 92, 35 - 37
- [18] Ångström, A. J. 1868, *Réchercher sur le spectre normale du Solaire*, Publ. W. Schultz.
- [19] Goranova, Yuliana 2004, *Joseph von Fraunhofer*(スライド形式の伝記)
<http://www.usm.uni-muenchen.de/people/yulia/talks-posters/>
- [20] Fraunhofer, J. v. 1826, *AN*, 4, 17-23, Über die Construction des so eben vollendet grossen Refractors.
- [21] Struve, Otto W. v. and Fraunhofer, J. v. 1826, *AN*, 4, 35-37, Nachricht von der Ankunft und Aufstellung des Refractors von Fraunhofer auf der Sternwarte der Kaiserlichen Universität zu Dorpat.
- [22] Fraunhofer, J. v., 1888, "Gesammelte Schrifterr", Verlag der Koniglich Akademie, München(Collected Papers edited by E. Lommel).
- [23] Plicht, C. Fraunhofer, Joseph von (1787-1826) (伝記)
<http://www.plicht.de/chris/35Fraunh.htm>

小暮智一 (元京都大学)