

星図星表めぐり (18)

太陽スペクトル図表

守山史生*

太陽の分光観測において、星の観測における星図・星表の役割を果すのが wavelengths table と photometric atlas (仮にそれぞれをスペクトル線同定表及びスペクトル図鑑と訳しておく) である。19 世紀末における H.R. Rowland の先駆的な仕事以来、現在までに数多くの同定表・図鑑が出版されたが、それらのうちの代表的な幾つかについて簡単な紹介を試みたい。なおこの種の仕事を網羅的に解説するものではないことを始めにおことわりしておく。

太陽スペクトル線同定表として忘れることのできないのは、既にふれた

(1) Preliminary Table of Solar Spectrum Wavelengths

H.R. Rowland.

Astrophysical Journal, 1~6 (1895~1897)

であろう。

ジョン・ホプキンス大学のローランドは、太陽スペクトルと種々な元素のアークスペクトルを丁寧と比較し、波長 2975 Å~7330 Å の範囲に含まれる約 2 万本の吸収線の起源をしらべた結果を *Astrophysical Journal* の創刊号から第 6 巻にかけて、18 回にわたって発表した。これがローランド・テーブルとして著名なものである。(図 1)

ローランドの同定表には、吸収線の波長・同定された物質名・眼で評価した強度(明瞭に識別できるスペクトル線の中で最も弱いものを 1, H 線や K 線の強度を 1000 とする尺度で表わしている。1 以下のかすかな線に対しては、見難さの程度に比例して 0 から 0000 迄の 4 段階の評価を与えてある)が記載されている。この表の中で同定された吸収線の数に総数の約 30%, また太陽大気中に存在が確かめられた元素の種類は 39 であった。

20 世紀に入って、原子物理学と分光学はめざましい発展をとげ、それに伴って太陽の分光観測法も大幅に向上した。これらの新しい知識と技術を基にしてウィルソン山天文台では、太陽スペクトルの観測と実験室におけるアークスペクトルの研究を進め、太陽吸収線の波長及び同定を再吟味し、その結果をローランド表の改訂版として

(2) Revision of Rowland's Preliminary Table of

Solar Spectrum Wavelengths with an Extension to the Present Limit of the Infrared

C. F. S. John, C. E. Moore L.M. Ware, F.F. Adams, H.D. Babcock.

Carnegie Institution of Washington Publication No. 396 (1928)

にまとめた。この表には、太陽の光球スペクトルの吸収線の波長・同定された原子(或いは分子)名・強度(ローランド表において 00, 000, 0000 と記されていたものを -1, -2, -3 とした以外、ローランド表と同じ値を採用している)の他に、黒点のスペクトル中に見られる吸収線の強度、実験室でそのスペクトル線をつくる時の環境(温度、圧力)の分類、その吸収線の遷移にあずかる下の準位の励起ポテンシャル等の新しい資料が附加されている。2 万本を越える吸収線のうち、57% まで同定がすすみ、57 種類の元素が太陽大気中に存在することが確かめられた。またこの頃になると近赤外域の写真観測が可能になり、ローランド表の長波長側の極限を延長して 7300 Å~10200 Å の範囲の吸収線 1800 本のリストが、附表に補充されている。

本格的なスペクトル図鑑の第 1 号としては、ユトレヒト・アトラスの名で知られている。

(3) Photometric Atlas of the Solar Spectrum from λ 3612 to λ 8871 with an Appendix from λ 3332 to λ 3637.

M. Minnaert, G.F.W. Mulders, J. Houtgast Sterrewacht Sonneborgh, Utrecht (1940)

があげられる。これは 1936 年から 37 年にかけて、ウ

Wave-length	Substance	Intensity and Character	Wave-length	Substance	Intensity and Character
3722.071	Fe	3	3729.096	Ni	1 d?
3722.174		2	3729.214		000 N
3722.200		00	3729.481		0
3722.377		I	3729.666		00
3722.518		0 N	3729.865		000
3722.639	Ni	3	3729.952	Ti	3
(3722.692) s		10	3730.154		00
3722.720	Ti-Fe	6	3730.283		00
3722.899		0	3730.450		I
3722.987		000	3730.534	Fe	3
3723.319		000	3730.625	Co	2
3723.425		00	3730.732		00
3723.533		00	3730.898	Ni	I

図 1 ローランド・テーブル

* 東京天文台 Fumio Moriyama

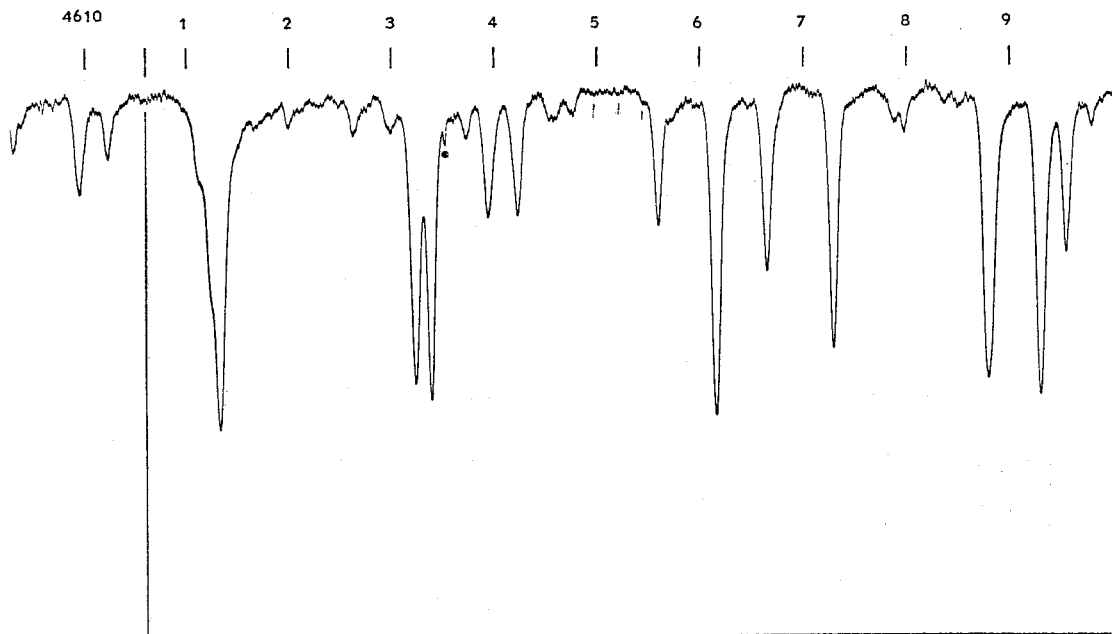


図 2 ユトレヒト・アトラス

ウィルソン山天文台の 150 ft 塔望遠鏡で撮影した太陽光球中心の可視-近赤外域スペクトル乾板と、ユトレヒト天文台の太陽望遠鏡を用いて観測した近紫外域の太陽全面光のスペクトル乾板を、ユトレヒト天文台で測光した結果の複製である。標題に示されている波長域のスペクトル強度分布が、約 18 Å づつの範囲に分けて、1 頁に 2 枚づつ 1 mm 方眼を背景に印刷されている。(図 2)

スペクトル図の縦軸は、連続光背景のレベルを 100 (10 cm) にとり放射強度に比例した直線的尺度で、また横軸の波長はおよそ 2 cm/Å で目盛られている。したがって、等積幅 1 Å はほぼ 2000 mm² に相当し、背景の 1 mm 方眼を利用して簡単に等積幅の見当をつけることができる。1 Å の長さの正確な値は各スペクトル図の左下に、測定に使用したスペクトル写真の番号と共に記されている。

第 2 次世界大戦が終って間もない 1947 年、H.D. Babcock と C.E. Moore は、パサデナのヘール太陽観測所とウィルソン山天文台で実施した光球及び黒点の分光観測をもとにして、近赤外から赤外域の吸収線の同定表を作製した。

(4) Solar Spectrum, λ 6600 to λ 13495

H.D. Babcock, C.E. Moore.

Carnegie Institution of Washington Publication. No. 579 (1940)

がそれである。ここには 6600 Å から 13495 Å までの範囲の吸収線について、波長・強度 (光球及び黒点暗部のスペクトルについて、ローランド表にならった尺度で評

価してある)。同定・励起ポテンシャルが記載されている。St. John 達の Revision of Rowland's Table (2) では、7330 Å から 10216 Å 迄の範囲の約 1800 本の吸収線のうち 1100 本の起源が記されていたが、(4) では 7400 本の吸収線のうち 51% は地球大気線、38% が太陽のスペクトル線で残りの 11% は起源が不明とされている。そして太陽のスペクトル線のうち半数以上は同定されているが、約 1300 本は未同定である。

Babcock Moore の表 (4) が Revision of Rowland's Table (2) を赤外域に拡張したものとすれば、ユトレヒトアトラスの赤外域拡張版が、次にのべるミシガン・アトラス

(5) Photometric Atlas of the Near Infrared Solar Spectrum λ 8465 to 25242.

O.C. Mohler, A.K. Pierce, R.R. McMath,
L. Goldberg.

University of Michigan Press (1950)

である。

これは、ユトレヒト・アトラスと約 300 Å 重複する 8465 Å から、長波長側に水蒸気の強い吸収帯のある 25242 Å までの範囲を、当時新しく開発された PbS の光導電素子を用いて、太陽光球中心のスペクトルを光電測光した結果の複製である。観測は 1949 年の夏、ウィルソン山天文台のスノー望遠鏡を用いて行なわれた。全部で 234 枚のスペクトル分布図が 1 頁に 2 枚づつ、波長の増える順に、端が約 8 Å づつ重なり合って収められている。また各スペクトル図のなかでいちばん顕著な吸収

線 3 本をえらんでそれらの波長が示されている。

赤外域の分光観測には、地球大気中の水蒸気分子等による吸収が大きな障害になるので、出来るだけ空気の稀薄な場所で観測することが望ましい。Babcock-Moore の表 (4) やミシガン・アトラスを更に長波長側に拡張しようとする場合には、この事は特に重要である。

リエージュ大学の Migeotte 達は 1951 年スイスのエングブラウヨッホにあるスフィンクス天文台(海拔 3580m) - ミシガン・アトラスや Babcock-Moore 表の基礎をなす観測が行われたウィルソン山天文台の高度は 1742m であったに於て、波長 2.8μ 以遠の赤外域の太陽光球中心スペクトルを観測した。測定はサーモ・カップルを用いた光電測光によって実施され、結果は次の 2 巻にまとめて出版された。

- (6) The Solar Spectrum from 2.8 to 23.7 microns
Part I. Photometric Atlas
Part II. Measurement and Identification
M. Migeotte, L. Neven, J. Swenson
Mémoires de la Société Royale des Sciences de Liège Special Volume. No. 1 & No. 2.
(No. 1 が Part I, No. 2 が Part II でそれぞれ 1956 年及び 1957 年に出版された)

ミシガン・アトラスの長波長極限 2.52μ から 2.8μ までの間と、 23.75μ 以遠は強い水蒸気の吸収帯によって太陽の輻射はさえぎられてしまうが、この 2 つの吸収帯にはさまれた範囲を詳しくしらべたのが Migeotte 達の仕事で、 $2.8\mu \sim 23.7\mu$ を 118 個の波長域に分けた 123 枚のスペクトル強度分布図 (5 個の波長域では観測条件の異なる 2 つの場合のスペクトルが含まれている) が Part I に収められている。スペクトル図のなかで吸収線の位置には縦軸に平行な短い直線が印がつけられ、波長順に 10 本目ごとに番号がつけられている。

Part II は Part I に含まれる吸収線について波長測定及び同定を行なった結果である。Part I のスペクトル図に対応する 118 個の波長域にわけて、吸収線の波長・波数・同定 (太陽に起源をもつスペクトル線には ⊙ の印が附せられている) 基底状態より測った下の準位のエネルギー (波数で表わしてある) が記載されている。約 3600 本の吸収線のうち 90% 近くが同定されていて、地球大気線が約 2000 本 (水蒸気 ≈ 1400 本, 炭酸ガス ≈ 500 本), 太陽吸収線は原子線約 60 本, 分子線約 500 本となっている。

以上の (5), (6) はユトレヒト・アトラスを長い波長の方に拡張していった仕事であるが、一方短波長側に眼をむけると、ユトレヒト・アトラスの波長に記載されている近紫外域の観測は可視域の観測にくらべて分解能が劣っていたので、それを改良する試みがゲッティンゲン大学の手によって行われ、

- (7) Photometric Atlas of the Near Ultraviolet Solar Spectrum, 2988 Å-3629 Å

Brückner

Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Göttingen: Mathematisch-Physikalische Klasse Sonderband 5.

として出版された。この図鑑には 1959 年から 60 年にかけてゲッティンゲンの太陽望遠鏡で観測した近紫外域スペクトル写真の測光結果が印刷されている。各頁には光球中心 ($\sin\theta=0$) と周辺部 ($\sin\theta=0.98$) の約 14 Å の範囲のスペクトルが収められている。

2900 Å より波長の短い領域の太陽スペクトル観測は、地上では全く不可能で、飛翔体を利用して大気圏外でなければならぬ。ロケットによる太陽紫外域スペクトルの測定は 1946 年に始めて成功したが、スペクトル図鑑の作製は 1957 年 8 月アメリカ・ニューメキシコ州ハロマン空軍基地より打上げたエアロビーロケットが撮影したスペクトル写真をもとに行なわれた。

- (8) A Preliminary Photometric Atlas of the Solar Ultraviolet Spectrum from 1800 to 2965 Angstroms.

H.C. McAllister

University of Colorado (1960)

この図鑑には、標題の波長域を 56 に分割して写真濃度を測定した結果が収められ、輝線には波長・同定などの簡単な資料が付けられている。

ユトレヒト・アトラスに準拠した新しい太陽スペクトル線同定表の作成は 1948 年チューリッヒの国際天文連合総会における提案にもとづいて Moore Minnaert Houtgast の手ですすめられ 1966 年

- (9) The Solar Spectrum 2935 Å to 8770 Å. Second Revision of Rowland's Preliminary Table of Solar Spectrum Wavelengths.

C.E. Moore, M.G.J. Minnaert, J. Houtgast
National Bureau of Standards Monograph 61

という形で出版された。

この表では、吸収線の強度の表現法をそれまでの眼による評価から、定量的な等積幅 (dI 単位は mA) 及び換算幅 ($dI/\lambda \times 10^6$) に改めると共に、黒点スペクトル中のその吸収線の様子、原子線については下の準位の励起ポテンシャルと Multiplet No. [可視域のスペクトル線は C.E. Moore: A Multiplet Table of Astrophysical Interest, *Contribution from the Princeton University Observatory*, No. 20 (1945) に、また近紫外域のスペクトル線は C.E. Moore: An Ultraviolet Multiplet Table, *Circ. Nat. Bur. Std.* 488, Sec. 1~5 (1950~1962) に記

The Solar Spectrum--Continued

Wave-length (Å)	Equivalent Width $\Delta\lambda$ (mÅ)	Reduced Width $\Delta\lambda/\lambda$ (F)	Spot	Solar Identifi- cation	Low E P or Rot. Line	RMT No. or Vib. Band	Notes	Wave-length (Å)	Equivalent Width $\Delta\lambda$ (mÅ)	Reduced Width $\Delta\lambda/\lambda$ (F)	Spot	Solar Identifi- cation	Low E P or Rot. Line	RMT No. or Vib. Band	Notes
3075.455r	39	22.6						3079.979r	111	36.2		OH— Fe I	Q 2	0,0	1
3075.595r	78	49.0						3080.116r	73	23.9		Fe I			
3075.733r	436	141.7		Fe I	0.96	28		3080.245r	37	12.2		OH	R 2	0,0	1
3075.895r	51	33.6		Zn I (V I)	0.00 1.19	1 57		3080.368r	31	12.3		V I—	1.18	57	
3075.998r	57	35.4		V II	1.80	34		3080.422r	46	14.9		Fe II	4.08	108	
3076.265r	40	13.2						3080.595r	45	14.6					
3076.435r	51	16.6		Fe II	5.87	181		3080.757r	130	33.4		Ni I	0.21	26	
3076.585r	16	5.2		Cr I?	2.54	55		3080.877r	65	27.8					

図 3 Moore 達の The Solar Spectrum 2935 Å to 2770 Å

載されている番号], 分子線に対しては rotation branch と量子数・vibration band 等が記されている。そして総数約 24000 本のスペクトル線のうち 73% が同定され、63 種類の元素の存在が確かめられた。(図 3)

ゲッチンゲン・アトラス (7) の完成によって、(3), (5) (6) と合せ、地上で観測できる全波長域のほぼ均質な太陽スペクトル図鑑が出来上がったことになるが、それらの中心であるユトレヒト・アトラスは第 2 次世界大戦前の観測に基づくもので、その後における太陽の分光観測の向上は非常に著しいものがある。特に大型・高効率の回折格子の開発と光電測光技術の進歩はめざましく、このような情勢を背景にして、精度の更に高いスペクトル図鑑をつくる試みがリエージュ大学で精力的に進められた。先ずその第 1 号として、近赤外域に感度をもつ光電増管を用いてミシガン・アトラスの改訂を試みた結果が

(10) Photometric Atlas of the Solar Spectrum from λ 7498 to λ 12016

L. Delbouille, G. Roland

Memoires de la Societe Royales des Sciences de Liege, Special Volume No. 4 (1963)

である。観測は 1959 年から 60 年にかけて、ユングフラウヨッホのスフィンクス天文台で行われ、その際得られた光電測光記録が 165 枚の図版として収められている。

この仕事にひきついて、ユトレヒト・アトラスの改訂版を目指す観測が同じスフィンクス天文台で実施され 3000 Å から 10000 Å までの範囲の太陽スペクトルの光電走査記録が

(11) Photometric Atlas of the Solar Spectrum from λ 3000 to λ 10000

L. Delbouille, L. Neven, G. Roland.

Special Vol. Ed. by the "Institut d'Astrophysique de l'Université de Liège" (1973)

として出版された。この図鑑は、ユトレヒト・アトラスがほぼ 40 cm × 30 cm 程度の大きさであったのにくらべ約 60 cm × 40 cm と 2 倍くらい大きく、10 Å の範囲のスペクトル強度分布が 1 Å/5 mm の尺度で 1 頁に 2 枚ずつ各々 1 Å 重複しながら印刷されている。弱い吸収線の密集している波長域では、縦軸のフルスケールを強度 0 ~ 100% で記録した普通の図の他に、80 ~ 100% の範囲を拡大して弱い吸収線の測定に便利な図も付け加えられている。(図 4)

以上の他に最近出版されたスペクトル図表としては、

(12) An Atlas of Infrared Spectra of the Solar Photosphere and of Sunspot Umbrae in the Spectral Intervals, 4040 cm⁻¹-5095 cm⁻¹, 5550 cm⁻¹-6700 cm⁻¹, 7400 cm⁻¹-8790 cm⁻¹

D.N.B. Hall

Kitt Peak National Observatory

があげられる。これはキット・ピーク天文台の McMath 塔望遠鏡で行なった空間的にもスペクトル的にも非常に分解能の高い赤外域 (11380 Å ~ 24750 Å) 観測結果の集成で、光球中心 (*I_p*) 及び黒点暗部 (*I_u*) のスペクトル強度分布と、それらの比 *I_u/I_p* が波数順に収められている。スペクトル図に向き合った頁には、同じ波長範囲に含まれる太陽吸収線の波数・波長・同定及び同定された線に対する励起エネルギーが記され、スペクトル図鑑と同定表の 2 者の役割を兼ねている。

なお特殊な表としては、彩層の輝線スペクトル同定表がある。古いところでは、D.H. Menzel が 1898 年より 1908 年にいたる 4 回の日食観測でリック天文台が撮影した閃光スペクトルを測定して出版した

(13) A Study of the Solar Chromosphere

D.H. Menzel

Publications of the Lick Observatory vol. 17 (1931)

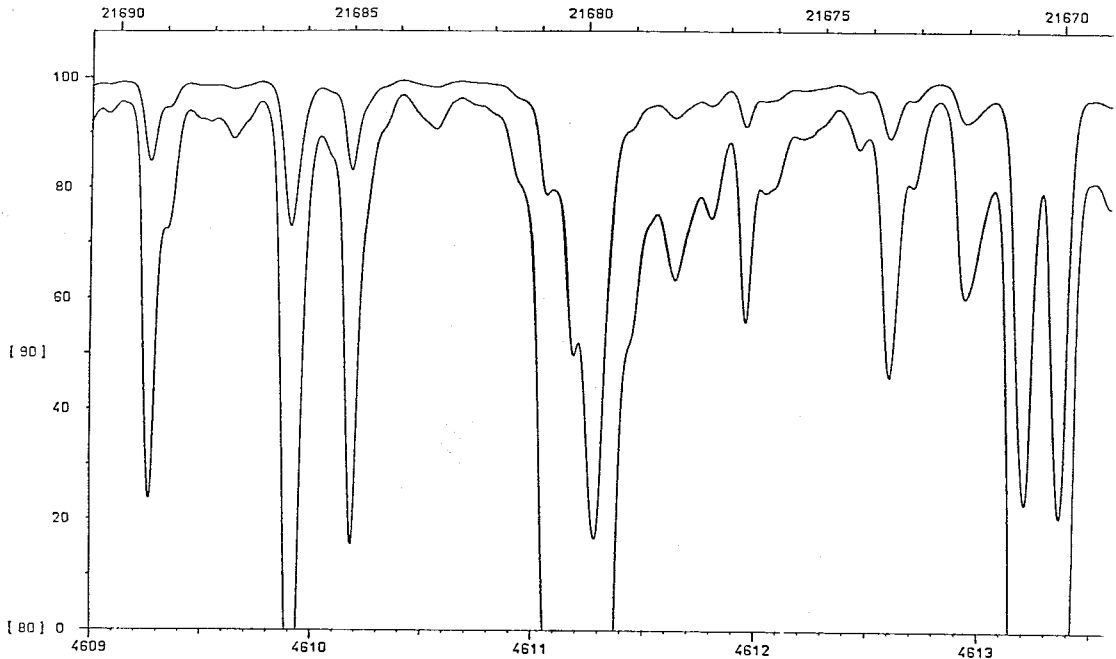


図 4 Photometric Atlas of the Solar Spectrum λ 3000 to 10000

が有名である。ここでは、波長 3229 Å から 5328 Å までの範囲の 3000 本以上の彩層輝線の波長・強度・同定された元素名、輝線のみえる高さなどが、その輝線に最も近い太陽吸収線の波長と共に収められている。この種の表の新しいものとしては、

- (14) The Chromospheric Spectrum at the 1962 Eclipse.

R.B. Dunn, J.W. Evans, J.T. Jefferies, F.Q. Orall, O.R. White, J.B. Zirker.

Astrophysical Journal Supplement Series
Vol. 15, No. 139 (1968)

が最も包括的であろう。1962 年 2 月ニューギニアのラエに遠征したアメリカ High Altitude Observatory, Sacramento Peak Observatory, National Bureau of Standards の合同観測隊が撮影した閃光スペクトルの測

定結果で、3300 Å~9100 Å の輝線約 3000 本について、波長・同定された元素名・高さに対する輝線強度の変化などの情報が詳細な表にまとめられている。

また日食外で観測した彩層輝線の表には、

- (15) The Chromospheric Spectrum Outside of Eclipse $\lambda\lambda$ 3040 to 9266 Å.

A.K. Pierce.

Astrophysical Journal Supplement Series
Vol. 17, No. 150 (1968)

がある。これには 1963 年から 66 年の間にキットピーク天文台の McMatch Tower で観測した 3046 Å より 9266 Å までの範囲の輝線約 11000 本の同定表で、輝線の波長・強度（眼による評価）・同定・Multiplet No. が記載されている。

学会だより

松永賞受賞候補者推薦について

松永記念科学振興財団より、下記要項にしたがって、松永賞受賞候補者を推薦されたい旨の依頼が学会あてにありました。適当な方がありましたら、6月20日までに学会庶務理事あてに御連絡下さいますようお願い致します。

記（昭和50年度松永賞贈呈実施要項抜萃）

1. 本年度の当財団の科学研究に対する褒賞「松永賞」は、自然科学（理学・工学系）の分野における基礎的研究で、学術上業績が顕著であると認められるものを対象とするが、個人的研究でも、共同研究でもさしつかえない。
2. 「松永賞」の対象者は大学に在職し、昭和5年12月1日以降誕生の少壮有為な科学者中から求める。
3. 「松永賞」は1口100万円とし、本年度は3名以内を予定する。