

スペクトル型の表とスペクトル線の表

山下 泰 正*

1. スペクトル型のカタログ

恒星スペクトルにおける各スペクトル線の強度や見え方は主に恒星大気の種類、表面重力、化学組成によって決まる。なかでも温度による依存性が最も著しい。恒星スペクトルの温度による一次元分類がハーバート分類、温度と表面重力による二次元分類がモルガン・キナン(MK)分類あるいはヤーキス分類である。そして大気内の化学組成に異常のある星は特異星と呼ばれる。

ハーバート分類の集大成は有名なヘンリー・ドレーパー(HD)星表でその正確な標題は

A.J. Cannon and E.C. Pickering, The Henry Draper Catalogue, *Annals of the Astronomical Observatory of Harvard College*, **91-99** (1918-1924).

文獻の書き方は著者名、標題、雑誌名、巻、頁、年号の順だが、この場合全巻星表だから頁数は省略してある。ドレーパー(1837-1882)はアメリカにおける最初の恒星スペクトル観測者(理化学辞典:岩波)で、ドレーパー博士夫妻を記念してこう名付けられたという。ピッカリングは当時のハーバード天文台長だが、この記念すべき大事業の完結を待たずに1919年に亡くなっている。観測は対物プリズムの方法で行われた。北天についてはハーバード天文台の8インチ望遠鏡に頂角13度のプリズム(約 160 \AA mm^{-1})を付けて約700枚の乾板を撮影、南天についてはペルーのアレキパにあったハーバード出張所の同口径望遠鏡に5度のプリズム(約 400 \AA mm^{-1})を付けて約1400枚の乾板を撮影した。さらに特定天域の微光星を対象とした大口径望遠鏡による観測、また明るい星のための高分散(最高約 10 \AA mm^{-1})の観測もなされている。

HD星表には全天で約10等より明るい225,300個の恒星の位置、等級、スペクトル型が記載されている。スペクトル分類はキャノン女史1人の眼と手によって行われた。同星表の序文によると実際の分類の仕事は1911年10月2日に始められ、1915年9月30日にその大部分を完了したという。1日平均約200個の星の分類をした勘定になり、そのスピード、正確さについては敬服というよりむしろ驚異である。

* 東京天文台
Y. Yamashita: On the Tables of Spectral Types and Spectral Lines

ハーバート分類の初期の段階では天体スペクトルをA, B, ..., Rと分類したが、その後整理統合されさらに温度の系列に並べてO, B, A, F, G, K, Mとなり、各型が細分類されて現在に至っている。ピッカリングはO, B, Aの温度系列がA, B, C順と違ってしまったことを非常に苦しめていた節がある。S型は1922年メリルによって導入されたものでHD星表にはPecすなわち特異星と書いてある。

HD星表の続刊

A.J. Cannon, The Henry Draper Extension, *Annals of the Astronomical Observatory of Harvard College*, **100** (1925-1936)

はHDEの略称と呼ばれ、特定天域における46,850個の微光天体のスペクトル型が記載されている。

ピッカリング台長が近い将来にやり直す必要がない完成された星表を作るのだと宣言し、永久保存に耐えるようにと紙質まで吟味して細心の注意を払って出版されたこのHD星表は半世紀を経た今も立派に生きており、全天のある等級より明るい星すべてを網羅しているという完全性、同一基準で分類が行われているという均質性においてHD星表以上のものは未だない。

完全性を重視すると対物プリズムによらねばならない。最近多くの大型シュミット望遠鏡が建設され、それらに対物プリズムを付けて特定天域例えば銀河面に沿って特定の天体例えば炭素星を暗いところまで調べ上げるといふ仕事が進んでいる。低温度星についての例を挙げると、

B.E. Westerlund, A Catalogue of Carbon Stars in the Southern Milky Way, *Astronomy and Astrophysics, Supplement*, **4**, 51 (1971).

南天の銀河面に沿っての調査で発見された赤外等級12.5等(実視等級約16等)より明るい炭素星1124個が記載されている。観測は写真赤外域で 2100 \AA mm^{-1} という低分散で行われた。この程度の分散でもCN帯ははっきり区別でき、また低分散のため暗い星まで観測できる。これが低分散の特長である。

D.J. MacConnell, R.L. Frye, and A.R. Upgren, The Absolute Magnitude of the Barium Stars, *Astronomical Journal*, **77**, 384 (1972).

ミシガン大学の南天調査で発見された205個のバリウム

HD	DM	RA	DEC	Mag	Sp	Rev.	Pl. No.	HD	DM	RA	DEC	Mag	Sp	Rev.	Pl. No.		
1	1599	00	+67 17	7.7	K0	3	379991	51	1668	05	-3	32 59	10.3	9.5	Go	3	41657b
2	3742	00	+57 13	8.6	F5	3	372411	52	16923	0.3	-34 4	9.0	10.4	G5	3	41667b	
3	4536	00	+44 40	8.1	G5	3	370971	53	19426	0.5	-57 31	7.38	7.4	AO	6	06 41828b	
4	5950	00	+29 45	8.4	K0	3	371521	54	1717	0.8	-60 23	8.4	9.9	K0	2	14335b	
5	4823	00	+1 49	9.0	G5	3	141511	55	15972	0.3	-68 23	8.7	9.7	K0	5	24 1822ab	
6	4525	00	-1 4	6.28	F5	5	171211	56	795	0.4	-1 50	31 8.0	8.9	AO	1	38964i	
7	6099	00	-2 25	9.0	K0	3	139211	57	855	0.1	-1 7	25 0.4	0.5	AO	3	02 38964i	
8	6013	00	-4 29	10.0	G0	2	141371	58	1395	0.1	-1 51	37 7.38	8.5	K0	4	02 372411	
9	6521	00	-21 11	0.2	K0	3	245661	59	4110	0.4	-10 5	8.4	9.8	G5	2	13993b	
10	15579	00	-43 8	8.8	K0	3	143711	60	5941	0.4	-11 13	8.6	9.6	K0	1	38131i	
11	7715	00	-60 17	8.7	K0	3	14182b	61	6094	0.4	-2 23	8.6	9.6	K0	2	14156b	
12	7716	00	-60 23	8.1	G5	3	489591	62	6242	0.4	-8 13	7.20	8.38	K5	2	06 17221b	
13	1083	00	-80 25	10.4	G5	3	38135b	63	6227	0.4	-10 10	7.11	7.52	F5	8	16 14137b	

HD 星表の第 1 頁

星が記載されている。それまでに知られていたバリウム星の数は全天で 35 個だから、108 Åmm⁻¹ という高分散対物プリズムの偉力がわかるであろう。ただし高分散のため暗い方の限界はほぼ HD 星表と同じところに止まっている。

ミシガン大学の南天調査はシュミット望遠鏡に頂角の大きい高分散対物プリズムをつけたことが特長である。これらの乾板を用いて HD 星表の星を MK スペクトル型に再分類する仕事が始められているという。これが完成すると HD 星表作製以来の大事業になるであろう。対物プリズムによるスペクトル調査は北天よりむしろ南天の方がはるかに進んでいるという事実は注目に値する。

MK 分類の与えられた星の表には次のものがある。

C. Jaschek, H. Conde, and A.C. de Sierra, Catalogue of Stellar Spectra Classified in the Morgan-Keenan System, Astronomical Observatory of National University of La Plata (1964).

これは天文学の主な雑誌に発表された分類を編集したもので、約 20,000 星について 20,857 個の MK スペクトル型とその文献とが記載されている。さらに 50 個の星団、アソシエーション、および 19 の特殊天域における微光天体のスペクトル型について文献表が挙げられている。

P.M. Kennedy and W. Buscombe, MK Spectral Classifications (1963-1973), Northwestern University (1974).

上記ヤシエクの表への補追として編集されたもので、約 18,000 個の MK スペクトル型が記載されている。

MK 分類の標準星については

HD or D	1960		m	Sp	Bibliography	HD or D	1960		m	Sp	Bibliography
	a	b					a	b			
	Oh						Oh				
26	00.2	+08°14	8.2	G4V?p	62 (G4pP : 63)	704	06.3	-32°58	8.3	A3V	705 710
				K0IIIp	253	720	06.4	-28 21	5.6	K5III	645
28	00.2	-06 16	4.7	K0III	652 sb	725	06.5	+56 43	7.1	F0Ib-F0P	51
				K1III	53 106 645 705 714					F5Ib-II	384 469
				B5Vn	705 710					F6Ia	671
+63°2105	00.2	+63 15	9.8	A7II	671	737	06.6	+26 58	8.1	F5V	38
55	00.3	-68 23	8.7	K5V	705 713	739	06.6	-35 42	5.2	F4V	645
73	00.5	+42 50	8.6	B1,5IV	531	+62°16	06.7	+62 24	9.6	B2V	558
+60°2668	00.8	+60 19	9.0	B1III	251 257 687	787	07.1	-18 30	5.5	K5III	53 106 714
105	00.8	-42 19	7.8	G0V	457 705 714	+59°12	07.4	+59 41	10.9	G0II	671
108	00.9	+63 07	7.4	G6F	532 v	826	07.6	+71 32	10.0	W02	578
				O8fp	48 76 135 139 141	829	07.6	+37 09	6.6	B2V	130 598
					251 257 687 729	834	07.6	-27 25	7.8	K0V	457 705 714

ヤシエク・カタログの第 1 頁

W.W. Morgan and P.C. Keenan, Spectral Classification, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, **11**, 29 (1973)

に最新のリストが与えられている。

特異星のカタログについては全てを述べることはとてもできないが、筆者の目にふれたものを挙げると、上記以外に

Ch. Bertaud et M. Floquet, Nouveau catalogue des étoiles A à spectre particulier (Ap) et à raies métalliques (Am), *Astronomy and Astrophysics, Supplement*, **16**, 71 (1974).

A型特異星 (Ap) および金属線星 (Am) の表で、世界中の天文台で現在までになされた観測を編集したものである。1238 個の星についてスペクトル型、スペクトルの特長、文献などが記載されている。

W.P. Bidelman, Catalogue and Bibliography of Emission-Line Stars of Types Later than B, *Astrophysical Journal, Supplement*, No. 7 (1957).

これも編集で 1114 個の水素輝線を示す星、および 426 個の電離カルシウム輝線を示す星が文献と共に記載されている。これらの星は大部分いろんな種類の変光星である。

L.R. Wackerling, A Catalogue of Early-Type Stars Whose Spectra Have Shown Emission Lines, *Memoir of the Royal Astronomical Society*, **73**, 153 (1970). 5326 個の輝線をもつ早期型星が記載されている。

P.C. Keenan, A Catalogue of Spectra of Mira Variables of Types Me and Se, *Astrophysical Journal, Supplement*, No. 118 (1966).

1915 年から 1965 年までの 50 年間にリック、ウィルソン山、パロマーなど 7 天文台で撮られた 253 個のミラ型変光星の約 1000 枚のスペクトルをキナンが測定、分類したものである。この改訂版は

P.C. Keenan, R.F. Garrison, and A.J. Deutsch, Revised Catalogue of Mira Variables of Types Me and Se, *Astrophysical Journal, Supplement*, No. 262 (1974)

に与えられている。

A. Uesugi and I. Fukuda, A Catalogue of Rotational Velocities of the Stars, *Contributions from Institution of Astrophysics and Kwasan Observatory, University of Kyoto*, No. 189 (1970).

3951星の自転速度が文献とともに記載されている。星の自転速度はスペクトル線の幅からドップラー効果によって測定される。

2. スペクトル線の同定表

天体スペクトルに現れるスペクトル線がどの原子または分子の線であるかを定めることを同定という。1814年にフラウンホーファーが吸収線を発見して以来、太陽スペクトルは最もよく調べられており、太陽はその他の星のスペクトル解析の手本である。歴史的に有名なのは

H.R. Rowland, Preliminary Table of Solar Spectrum Wavelengths, I-XVIII, *Astrophysical Journal*, 1-6 (1895-1897).

ジョンズ・ホプキンス大学でローランドが自ら考案した凹面格子を用いて太陽スペクトルを写真観測し、吸収線の波長の測定と元素の同定を行ったものである。 $\lambda\lambda 2975-7331$ の波長域における約 20,000本の線の波長と同定が記載されている。39元素の存在が確かめられているが、約70パーセントの線が未同定で残っている。同定のためには地上での分光実験が並行して進められなければならないので長年月を要する。そういう意味で予備的 (preliminary) という標題がつけられている。太陽スペクトルについての最新の同定表は

C.E. Moore, M.G.J. Minnaert, and J. Houtgast, The Solar Spectrum 2935Å to 8770Å, Second Revision of Rowland's Preliminary Table of Solar Spectrum Wavelengths, *NBS Monograph* 61 (1966).

約 24,000本の線が記載されている。73%の線が同定済みで63元素の存在が確かめられている。太陽のようによく研究された天体でも27パーセントの線が未同定で残っているのは注意を要する。

太陽以外の星のスペクトル同定については全てを述べることができないが、高温星では線の数少なく同定はそれ程困難ではない。低温星の例を1つだけ挙げると

D.N. Davis, The Spectrum of β Pegasi, *Astrophysical Journal*, 106, 28 (1947).

ペガサス座ベータ星 (M2 II-III) の $\lambda\lambda 3400-8839$ の波長域における約 10,000本の線の波長、強度、同定が記載されている。同定は90パーセント程度完全で、16種の分子を含む45の元素の存在が確かめられている。

各種天体のスペクトルに現れる輝線の同定をまとめたものに

A.B. Meinel, A.F. Aveni, and M.W. Stockton, Catalogue of Emission Lines in Astronomical Objects, 2nd edition, Optical Science Center and Steward Observatory, University of Arizona (1969)

がある。約6000本の輝線の同定と天体の種別毎の強度が記載されている。約 10パーセントの線が未同定として残されている。

P.W. Merrill, Lines of the Chemical Elements in Astronomical Spectra, *Carnegie Institution of Washington Publication* 610 (1956)

には各元素のどのような線がどのような種類の天体にどのように現れるかが興味深くまとめられている。

3. 原子線の表

スペクトル線の同定を行うには波長と相対強度を考慮しなければならない。原子線の波長表として重要な文献には次のものがある。

C.E. Moore, A Multiplet Table of Astrophysical Interest, *Contributions from the Princeton University Observatory*, No. 20 (1945).

$\lambda\lambda 2951-13164$ の波長域における85元素の196個の異なる電離状態から生ずる23,200本の許容線と2,550本の禁制線の波長および項が記載されている。

G.R. Harrison, MIT Wavelength Tables, John Wiley & Sons, Inc., New York (1939).

マサチューセツ工科大学におけるアーク、スパーク、気体放電による実験値で、 $\lambda\lambda 2,000-10,000$ の波長における87元素の109,275本の原子線の波長と強さが記載されている。

原子線の強さ、すなわち遷移確率あるいは gf 値の表として最も信頼できるものは

W.L. Wiese, M.W. Smith, and B.M. Glennon, Atomic Transition Probabilities, Vol. I, Hydrogen through Neon, *NSRDS-NBS* 4, National Bureau of Standards (1966).

W.L. Wiese, M.W. Smith, and B.M. Miles, Atomic Transition Probabilities, Vol. II, Sodium through Calcium, *NSRDS-NBS* 22, National Bureau of Standards (1969).

第1巻には原子番号順に水素からネオンまで種々の電離状態から生ずる約4000本の線について、第2巻にはナトリウムからカルシウムまでの約5000本の線について gf 値が与えられている。スカンジウムより重い原子については問題があってまだ出版されていないと思われるので、個々の文献にあたる他ない。

分子線の波長表については、あまりに専門的になるので、省略する。