

# 疑似等価幅によるM型サブタイプ と有効温度の推定

part 2     $R \sim 1000$ の場合

藤井 貢 (FKO)

2023/12/25

以前R~500分光器による同様の疑似等価幅測定を行ったが、  
(<https://otobs.org/FBO/mutter/Msub.pdf>)

**疑似等価幅値は分光器の分解能に左右されることが判明した。**

今回R~1000の分光器(NLS)を製作したので、改めてM型星を  
観測し直し、そのサブタイプと有効温度推定を行った。

スペクトルは40cmSCT+NLS(R~1000)を用い、分光標準星  
による波長感度較正を行った。

また地球大気吸収バンドの補正も行った。

1例として図1に15 Triの地球大気補正前と補正後のスペクトル  
を示す。

また測定した疑似等価幅のew1~ew8の積分波長範囲を示す。

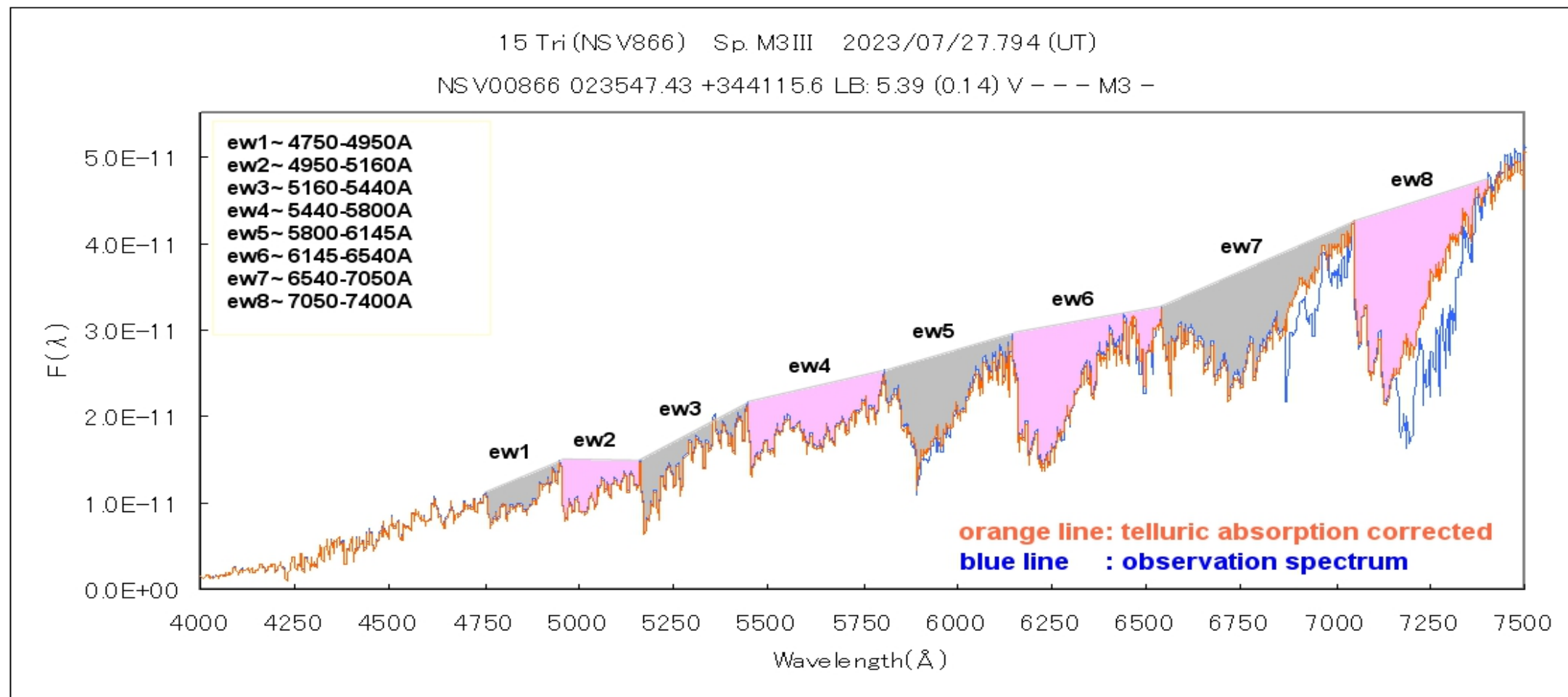


図1 地球大気補正後のスペクトル(橙色)を用いて、ew1~ew8の8箇所の疑似等価幅を測定する。

訂正 : <https://otobs.org/FBO/mutter/Msub.pdf> の図1で示した地球大気補正後のスペクトル図はミスしていた。  
分光標準星の連続光規格化スペクトルでオブジェクトスペクトルを割り算すべきところを掛け算したグラフ  
だった・・・。  
なお測定した疑似等価幅値は割り算したものを用いているので問題なし。

スペクトル型は <a href="http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/">http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/</a> を参照。変光範囲はVSXを参照。																			
No.	star	Mag	Range	Sp. Type	M=subtype	ew1	ew2	ew3	ew4	ew5	ew6	ew7	ew8	ew1+8 total	YMD(UT)				
1	OO Cam	5.15-5.27 hp		M0Ie C	0.0	29.2	34.9	43.5	52.4	37.8	61.4	52.0	55.9	367	2023/02/06 388				
2	μ UMa	3.03-3.10 v		M0III B	0.0	29.5	36.0	39.1	53.3	42.9	56.7	51.5	55.9	364	2022/12/11 805				
3	o Aur	4.71-4.75 v		M0III B	0.0	31.8	39.9	40.6	62.6	48.7	71.6	66.1	62.7	424	2023/02/14 500				
4	o Cet			M0III B	0.0	31.3	39.9	44.2	54.8	45.4	64.7	42.1	66.4	389	2023/06/27 782				
5	o Gem	4.04-4.09 v		M0III B	0.0	27.7	34.5	31.2	52.4	40.1	59.7	57.7	51.3	355	2023/02/14 502				
6	75 Leo			M0III B	0.0	30.4	40.1	31.5	54.3	44.2	63.8	57.4	53.9	376	2023/02/07 765				
7	V459 Per	7.9-8.8 v		M0.5Iab C	0.3	34.4	44.9	51.2	59.4	57.0	66.0	57.0	58.1	407	2023/02/06 435				
8	V1128 Cas	6.51-6.74 v		M0.5Iab C	0.5	36.4	42.8	53.6	62.0	50.6	75.0	64.5	70.1	455	2023/02/06 435				
9	V466 Cas	6.56-6.72 v		M0.5Ib C	0.5	34.5	39.6	47.7	62.2	48.5	72.3	60.3	67.2	432	2023/02/06 412				
10	SAC1 1826	6.34-6.60 v		M0.5Ib-II C	0.5	33.9	37.9	46.9	59.2	46.2	68.8	57.4	62.1	412	2023/02/06 423				
11	δ Oph	2.72-2.75 v		M0.5III B	0.5	30.6	39.0	38.8	53.6	44.7	66.0	55.3	63.2	390	2023/03/13 791				
12	κ Ser	4.12-4.21 v		M0.5Iab B	0.5	28.6	36.6	31.8	46.9	44.3	57.2	44.6	53.3	346	2023/03/13 793				
13	α Vul	4.39-4.46 v		M0.5Ib C	0.5	30.6	40.4	31.9	59.2	43.2	59.2	47.8	56.4	391	2023/02/18 858				
14	NR Vul	8.75-9.82 v		M1 Ia C	1.0	38.9	44.6	64.9	63.1	40.4	69.1	61.0	65.7	448	2023/04/22 798				
15	FZ Per	7.5-8.4 v		M1 Iab C	1.0	37.8	43.7	54.6	67.4	51.5	75.5	66.2	70.0	467	2023/02/08 446				
16	PR Per	7.7-8.2 v		M1 -Iab-Ib B	1.0	38.9	44.3	56.9	68.0	52.2	74.1	71.2	68.8	474	2023/02/08 462				
17	HD49331	5.04-5.16 v		M1-Ib-IIa B	1.0	34.4	40.1	49.5	63.2	44.8	64.8	64.2	66.0	427	2023/02/14 497				
18	τ Eri	4.38-4.44 v		M1III C	1.0	33.0	42.3	42.4	57.3	49.5	71.7	69.2	64.5	428	2023/10/01 770				
19	σ Vir			M1III B	1.0	34.3	43.8	42.4	62.1	52.5	59.8	66.9	64.5	428	2023/02/07 776				
20	ES Leo	5.46-5.56 hp		M1III B	1.0	37.6	46.3	43.7	66.3	58.8	63.9	76.8	73.3	467	2023/02/07 781				
21	75 Cyg	5.11 v		M1Iab B	1.0	32.5	40.8	37.2	56.4	47.9	68.3	59.1	60.9	403	2023/04/15 817				
22	V562 Aur	7.09-7.73 v		M1.5Ib C	1.5	40.6	47.7	59.5	68.8	53.2	73.7	72.8	73.1	489	2023/02/14 512				
23	φ Aps	4.3-4.31 hp		M1.5II C	1.5	34.5	44.9	42.0	69.2	59.3	86.2	74.5	79.9	474	2023/07/23 790				
24	OF Boo	6.2-6.53 v		M1.5II B	1.5	36.8	46.2	42.3	66.2	59.1	77.7	74.5	71.1	474	2023/02/04 866				
25	μ CrB	5.14(0.915) v		M1.5Ib B	1.5	30.8	38.9	36.4	56.7	45.8	65.8	59.7	57.2	391	2023/02/07 784				
26	μ Cep	3.43-5.1 v		M2 -Ia B	2.0	44.6	56.2	74.3	79.8	69.0	89.0	112.0	97.7	623	2023/03/28 813				
27	ST Cep	7.8-8.6 v		M2Ia-Iab B	2.0	51.3	61.2	70.4	82.2	77.9	97.9	113.0	102.0	656	2023/04/30 806				
28	T Per	6.3-6.6 v		M2Iab C	2.0	40.4	46.7	59.5	76.1	57.9	76.5	74.7	77.1	504	2023/02/08 479				
29	NO Aur	6.05-6.50 v		M2Iab C	2.0	40.0	45.7	55.9	67.9	55.7	76.7	75.9	76.5	494	2023/02/14 428				
30	V407 Pup	6.69-7.78 v		M2+Iab B	2.0	59.3	69.7	81.9	94.6	79.4	97.1	124.0	113.0	719	2023/02/16 534				
31	UW Aql	8.57-9.30 v		M2+Iab C	2.0	47.2	55.1	69.9	78.1	68.1	92.1	104.0	98.6	603	2023/05/09 750				
32	V566 And	6.74-6.93 hp		M2Ib B	2.0	40.4	48.5	58.7	73.4	65.7	68.8	73.5	87.3	516	2023/07/20 798				
33	V419 Cep	6.44-6.69 hp		M2Ib C	2.0	46.4	53.6	69.0	87.1	67.1	97.1	93.9	89.0	590	2023/04/26 806				
34	BE Cam	4.35-4.52 v		M2II B	2.0	43.8	50.0	51.7	76.8	74.7	96.9	96.5	90.7	581	2023/06/11 792				
35	FZ Vir	6.61-6.98 v		M2III C	2.0	56.6	66.0	67.9	100.0	95.9	115.0	129.0	112.0	742	2023/02/07 795				
36	HD87661	8.24-8.32 hp		M2III C	2.0	48.1	57.5	54.7	89.1	86.4	101.0	106.0	104.0	649	2023/04/03 529				
37	87 Vir	5.44(0.8) v		M2III B	2.0	35.5	46.8	39.1	61.5	58.1	74.4	71.8	71.8	458	2023/03/26 679				
38	V528 Lyr	6.93 v (0.16) hp		M2III C	2.0	48.0	55.5	49.7	72.0	66.6	86.5	89.1	82.7	535	2023/03/19 850				
39	V771 Mon	8.15-8.28 hp		M2III C	2.0	46.5	55.5	53.1	82.5	80.1	102.0	107.0	77.0	624	2023/02/28 460				
40	IQ UMa	4.69-4.75 hp		M2III B	2.0	35.6	43.1	44.4	69.5	59.3	78.4	76.8	71.9	479	2023/02/04 785				
41	TT Crv	6.47-6.57 v		M2III C	2.0	53.5	63.2	62.8	94.5	90.8	111.0	123.0	112.0	711	2023/02/11 786				
42	HD83839	7.18-7.27 hp		M2III C	2.0	36.6	45.4	41.2	64.3	60.9	81.3	78.8	77.5	486	2023/03/28 506				
43	HD87955	7.68(0.021) v		M2III C	2.0	42.4	55.1	46.0	70.0	76.0	97.5	103.0	93.7	584	2023/04/03 435				
44	η Gem	3.1-3.7 v		M2IIIa C	2.0	44.8	53.1	59.5	89.9	77.2	96.0	106.0	96.0	620	2023/02/14 497				
45	ET Vir	4.8-5 v		M2IIIa B	2.0	32.6	44.6	42.4	58.6	50.9	84.7	78.4	69.8	462	2023/05/16 558				
46	σ Lib	3.2-3.46 v		M2.5III B	2.5	47.8	59.9	56.9	81.4	79.7	103.0	109.0	105.0	643	2023/07/11 465				
47	V1472 Aql	6.32-6.51 v		M2.5III C	2.5	38.8	46.3	44.5	64.5	60.2	85.4	92.1	81.7	514	2023/04/26 812				
48	EV Leo	7.83-7.77 hp		M2.5III C	2.5	39.2	50.0	46.2	65.1	65.7	89.1	90.3	81.5	528	2023/04/03 491				
49	WM Psc	5.97-6.11 v		M2.5II C	2.5	43.7	54.1	54.8	78.4	75.3	94.4	100.0	96.7	600	2023/07/27 731				
50	PZ Cas	8.2-10.2 v		M3Ia C	3.0	60.5	67.6	82.6	87.2	81.4	101.0	126.0	113.0	719	2023/06/03 784				
51	PZ Cas	8.2-10.2 v		M3Ia C	3.0	60.4	67.6	77.3	82.6	79.8	101.0	131.0	116.0	716	2023/07/05 779				
52	AD Per	7.7-8.4 v		M3Iab C	3.0	50.5	58.1	70.4	83.0	71.8	95.1	107.3	97.4	634	2023/02/08 482				
53	V441 Per	8.19-8.88 v		M3Iab C	3.0	55.4	63.3	72.6	92.3	84.2	105.2	120.3	110.5	704	2023/02/08 501				
54	TZ Cas	8.7-10.0 v		M3Iab C	3.0	58.7	64.6	75.7	94.0	80.5	94.4	119.0	100.6	684	2023/05/23 766				
55	TZ Cas	8.7-10.0 v		M3Iab C	3.0	62.7	69.1	76.1	87.4	86.4	106.0	129.0	115.0	732	2023/07/05 791				
56	τ Aur	4.24-4.34 v		M3Ib C	3.0	59.5	67.8	71.8	99.5	101.0	115.0	131.0	121.0	767	2023/03/13 448				
57	χ Aqr	4.75-5.10 v		M3III C	3.0	71.2	78.0	76.7	114.0	114.0	127.0	150.0	141.0	872	2023/07/25 763				
58	ψ Peg	4.63-4.89 v		M3III B	3.0	46.5	55.0	53.3	87.6	82.0	102.0	109.0	107.0	642	2023/07/25 786				
59	FZ Vir	6.37-6.52 v		M3III C	3.0	57.8	66.8	66.4	104.0	98.4	119.0	141.0	116.0	773	2023/02/07 805				
60	TV Psc	4.65-5.42 v		M3III C	3.0	60.5	71.8	66.8	102.0	104.0	122.0	138.0	128.0	763	2023/07/25 763				
61	YY Psc	4.31-4.41 v		M3III B	3.0	54.9	64.1	62.9	91.3	92.9	124.0	138.0	124.0	752	2023/07/23 797				
62	HD88419	6.8(0.15) v		M3III C	3.0	53.5	63.8	63.0	93.7	91.7	110.0	122.0	111.0	709	2023/04/07 482				
63	V394 Aur	6.00-6.11 v		M3IIIa C	3.0	49.0	57.0	56.9	87.8	84.4	101.0	111.0	99.9	647	2023/03/13 455				
64	W Boo	4.62-4.93 v		M3-II B	3.0	44.9	55.0	54.1	82.2	78.8	96.4	106.0	91.8	608	2023/02/04 872				
65	z Leo	5.9-11.5 v		M3III-TV C	3.0	52.9	64.0	62.7	86.8	94.6	117.0	132.0	105.0	715	2023/04/03 502				
66	RS Per	7.82-9.0 v		M3.5IabFe-1 C	3.5	70.4	79.2	90.8	106.0	95.9	113.0	151.0	130.0	838	2023/02/14 458				
67	V973 Cyg	6.10-6.77 v		M3.5III B	3.5	50.8	62.0	56.8	87.0	90.0	107.0	118.0	104.0	676	2023/04/21 733				
68	BI Cyg	8.86-10.00 v		M4Iab C	4.0	69.9	77.0	87.3	97.0	93.6	116.0	144.0	124.0	809	2023/06/16 756				
69	δ 2 Lyr	4.13-4.41 v		M4I B	4.0	70.4	80.0	87.1	117.0	107.0	121.0	147.0	136.0	868	2023/04/02 833				
70	FD Leo	6.74-6.96 v		M4III C	4.0	62.1	72.0	71.3	107.0	109.0	119.0	146.0	129.0	898	2022/12/08 860				
71	EL Psc	5.26-5.50 v		M4III B	4.0	63.2	71.4	73.6	111.0	105.0	121.0	138.0	134.0	817	2023/07/25 780				
72	HM UMa	6.86-6.98 hp		M4III C	4.0	64.4	73.4	74.6	110.0	108.0	124.0	153.0	131.0	838	2023/02/04 789				
73	IZ Aqr	6.23-6.47 hp		M4III C	4.0	84.7	93.5	99.4	122.0	121.0	180.0	166.0	167.0	1034	2023/07/25 743				
74	LP Aur	6.30-6.84 hp		M4III C	4.0	79.3	89.7	89.9	123.0	125.0	141.0	178.0	154.0	980	2023/07/25 746				
75	RV LMi	5.96-6.96 v		M4III B	4.0	107.0	113.0	124.0	145.0	139.0	145.0	191.0	183.0	1139	2023/04/03 444				
76	V1293 Aql	6.45-6.81 v		M4III C	4.0	64.8	73.9	80.7	104.0	91.9	112.0	134.0	125.0	795	2023/04/22 804				
77	ρ Per	3.3-4 v		M4+IIa B	4.0	70.5	82.7	82.2	118.0	114.0	125.0	160.0	138.0	890	2023/03/13 429				
78	BY Boo	4.98-5.33 v		M4.5III B	4.5	72.4	81.3	87.3	120.0										

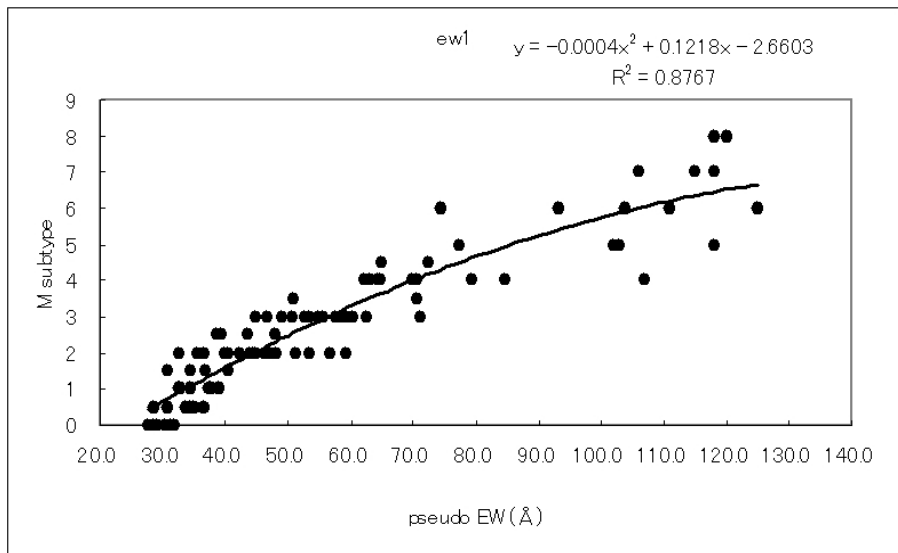
M型サブタイプ	サンプル数
M0	6
M0.5	7
M1	8
M1.5	4
M2	20
M2.5	4
M3	14
M3.5	2
M4	10
M4.5	2
M5	4
M6	6
M7	3
M8	2

表2 サブタイプ別サンプル数

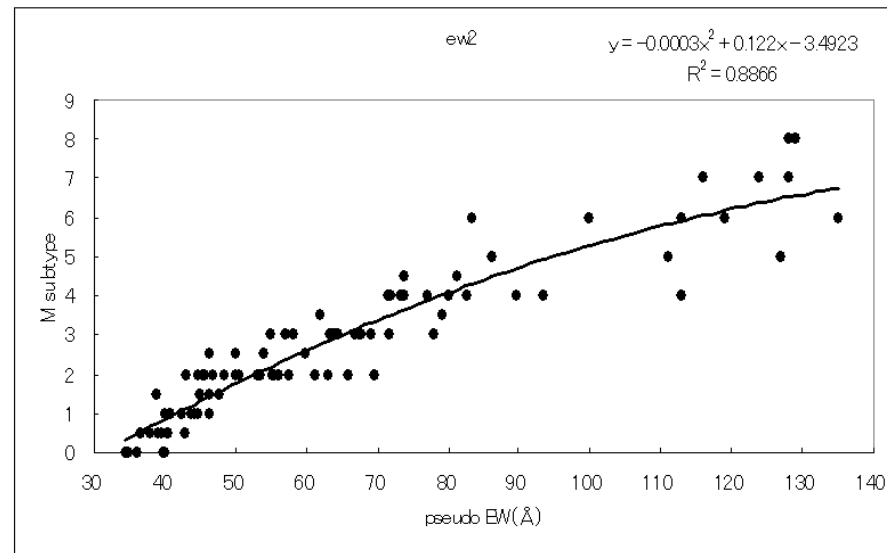
光度階級	サンプル数
Ia	3
Ia-Iab	1
Iab	11
Iab-Ib	1
Iab-Fe-1	1
Ib	4
Ib-IIa	1
Ib-II	1
IIb	1
II	3
IIIa	4
IIIab	2
IIIb	2
III	55
IIIv	1
III-IV	1

表3 光度階級別サブタイプ数

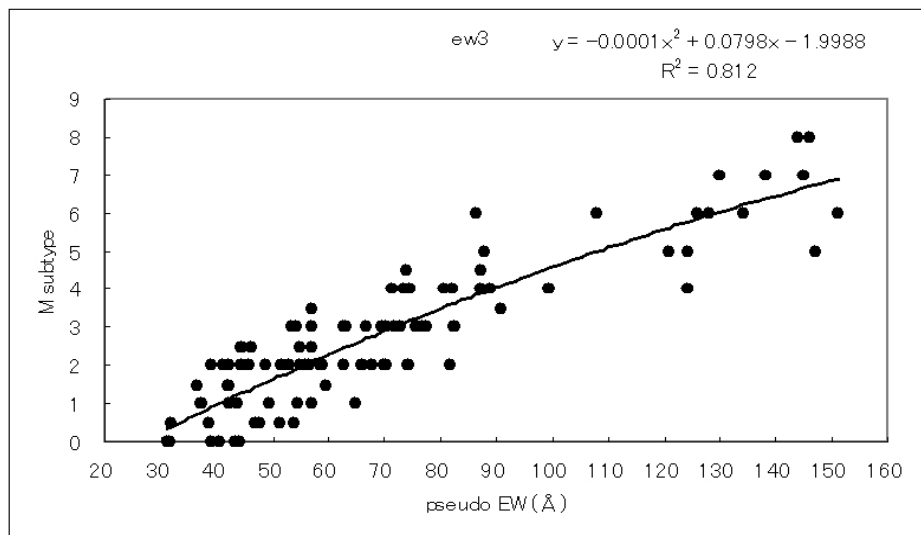
以下の図2にew1～ew8の疑似等価幅 vs サブタイプグラフと2次近似式を示す。  
また図3にew1～ew8の疑似等価幅合計 vs サブタイプグラフと2次近似式を示す。



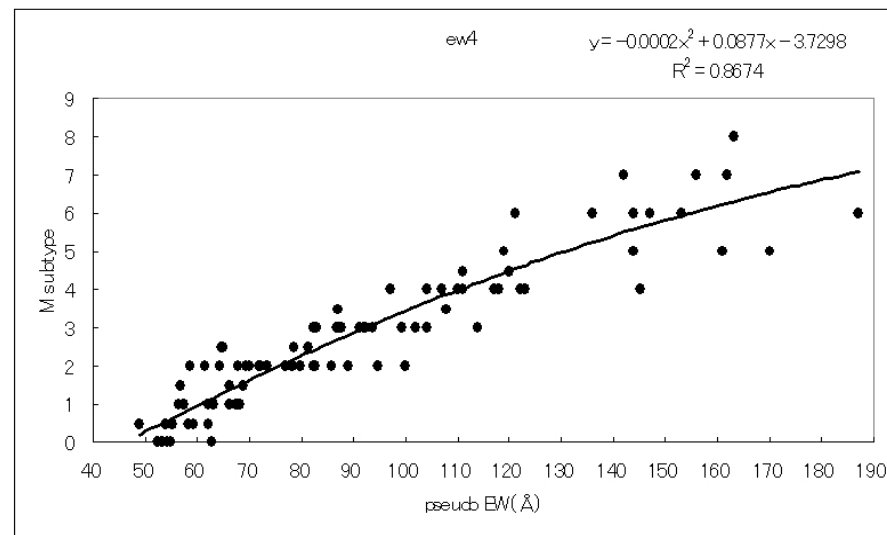
ew1: 4945-5150A



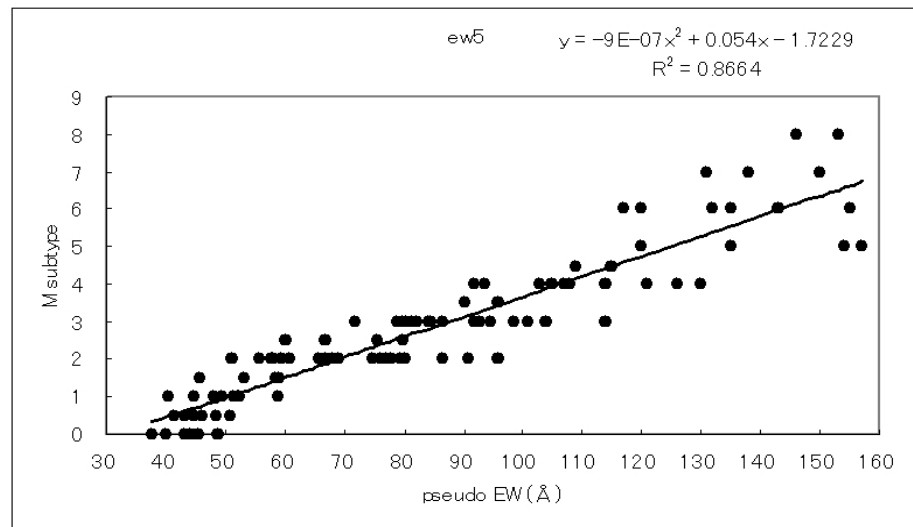
ew2: 5150-5435A



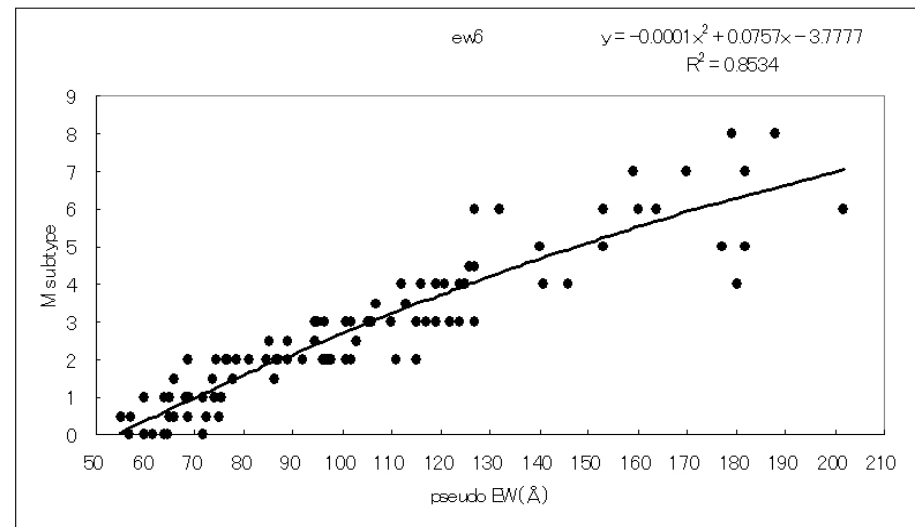
ew3: 5435-5800A



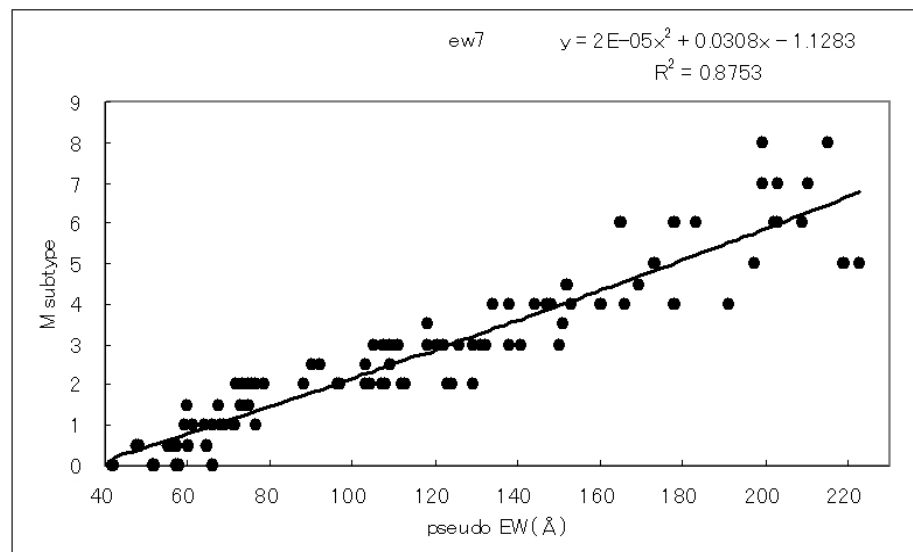
ew4: 5800-6100A



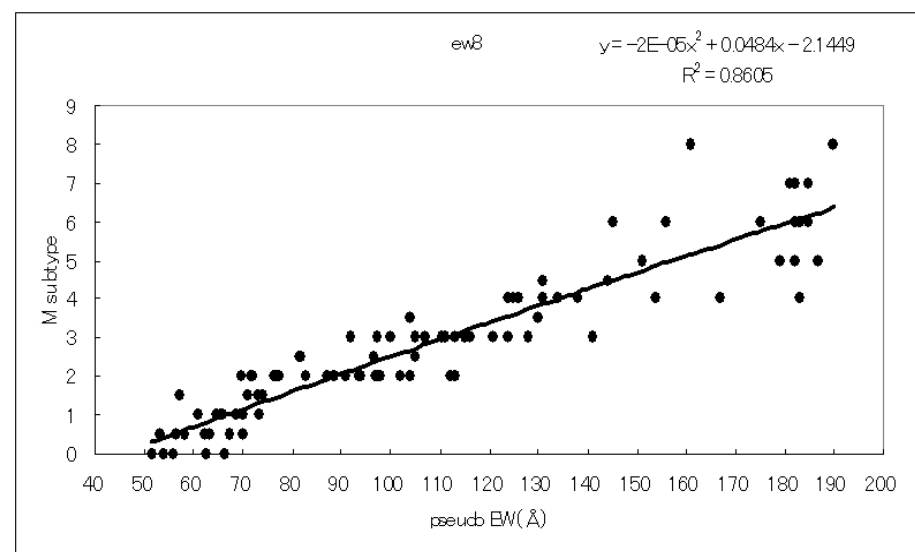
ew5: 6150-6400A



ew6: 6540-6970A



ew7: 7050-7400A



ew8: 7580-8080A

図2 ew1-ew8 疑似等価幅 vs サブタイプ 及び2次近似式

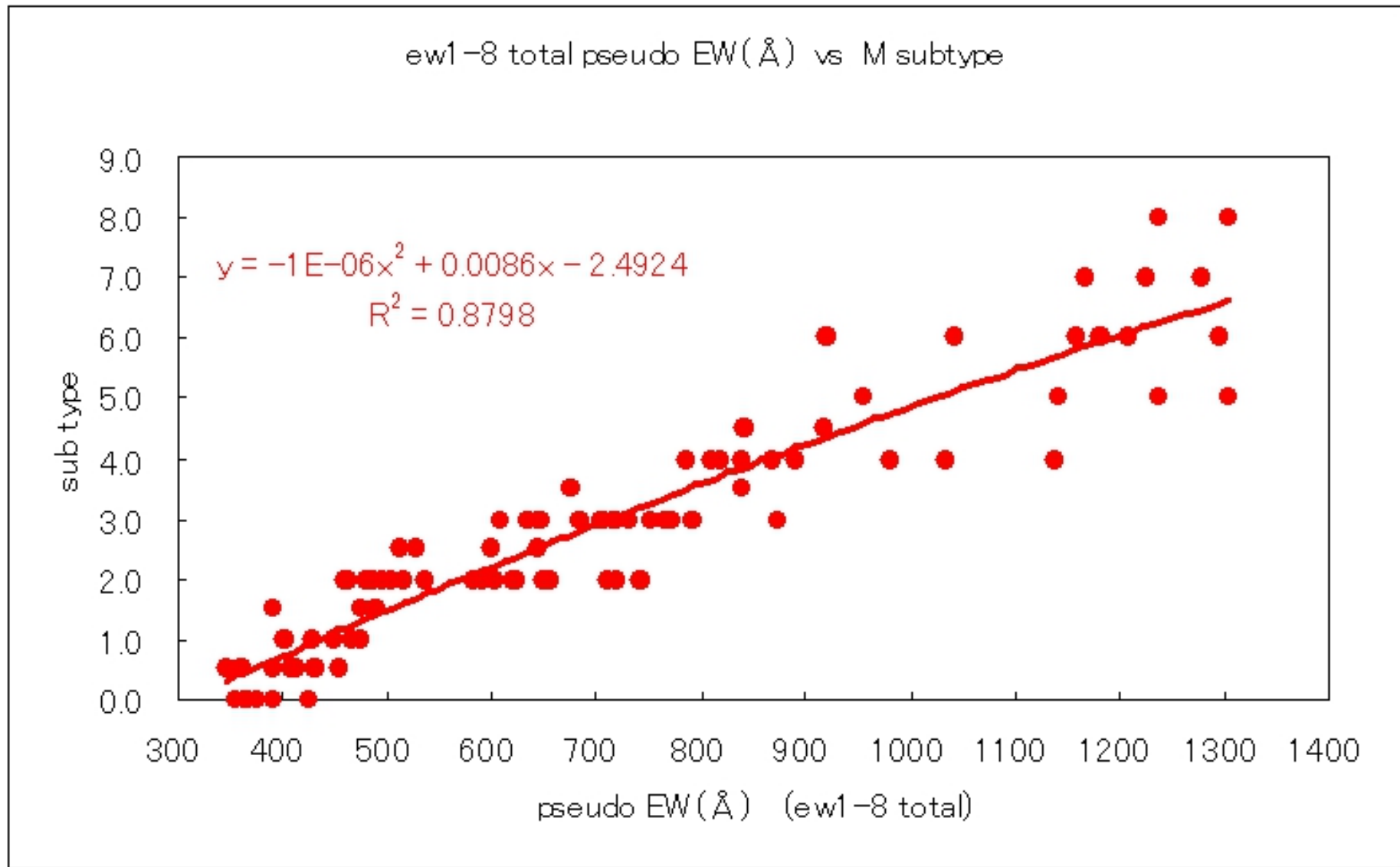


図3 ew1～ew8を合計した疑似等価幅 vs サブタイプ



	2次近似式	(決定係数) $R^2$
ew1	$Y = -0.0004X^2 + 0.1213X - 2.6603$	0.88
ew2	$Y = -0.0003X^2 + 0.122X - 3.4923$	0.89
ew3	$Y = -0.0001X^2 + 0.0798X - 1.9988$	0.81
ew4	$Y = -0.0002X^2 + 0.0877X - 3.7298$	0.87
ew5	$Y = -9E-07X^2 + 0.054X - 1.7229$	0.87
ew6	$Y = -0.0001X^2 + 0.0757X - 3.7777$	0.85
ew7	$Y = 2E-05X^2 + 0.0308X - 1.1283$	0.88
ew8	$Y = -2E-05X^2 + 0.0484X - 2.1449$	0.86
ew1-8	$Y = -1E-6X^2 + 0.0086X - 2.4924$	0.88

表4 各ew値の2次近似式と決定係数 $R^2$

ここでM型星のサブタイプ推定は次のew1～ew8の合計値を用いて得られた2次近似式(表4の赤色)を用いることにする。

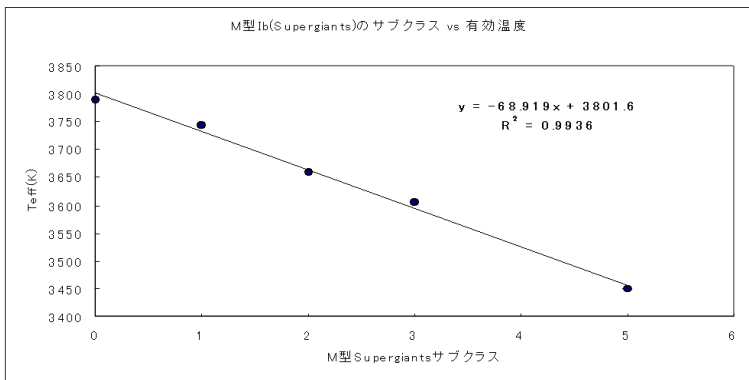
$$\text{sub} = -1E-6x^2 + 0.0086x - 2.4924 \quad \cdots (a) \quad \text{sub: サブタイプ} \quad x: \text{ew1} \sim \text{ew8 合計}$$

次に(a)式で得られたサブタイプ値より有効温度を推定する。  
ここで R.O.Gray STELLAR SPECTRAL CLASSIFICATION P.568 Table B.4 よりM型サブタイプ vs 有効温度の近似式を作成した。  
この文献では表5のように光度階級 Ib, III, Vの3種の有効温度が示されている。

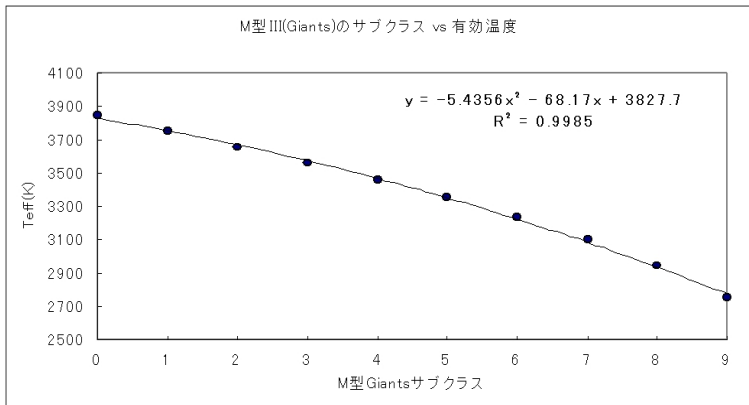
M型サブタイプ	Ib: Supergiants	M型サブタイプ	III: Giants	M型サブタイプ	V: Dwarfs
0	3790 K	0	3845 K	0	3759 K
1	3745 K	1	3750 K	1	3624 K
2	3660 K	2	3655 K	2	3489 K
3	3605 K	3	3560 K	3	3354 K
5	3450 K	4	3460 K	4	3219 K
		5	3355 K	5	3084 K
		6	3240 K	6	2949 K
		7	3100 K	7	2814 K
		8	2940 K	8	2679 K
		9	2755 K	9	2544 K

表5 R.O.Gray STELLAR SPECTRAL CLASSIFICATION P.568 Table B.4 より

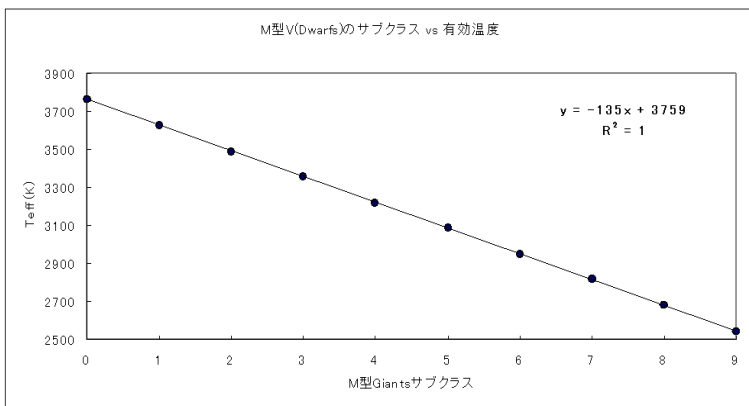
図4に各光度階級 vs 有効温度のグラフと近似式を示す。



**M Ib (Supergiants):  $T_{\text{eff}} = -68.919(\text{sub}) + 3801.6$   $R^2 = 0.9936$**



**M III (Giants):  $T_{\text{eff}} = -5.4356(\text{sub})^2 - 68.17(\text{sub}) + 3827.7$   $R^2 = 0.9936$**



**M V (Dwarfs):  $T_{\text{eff}} = -135(\text{sub}) + 3759$   $R^2 = 1$**

**(sub) : (a)式より**

**図4 M型サブタイプ vs 有効温度**

### 懸念事項:

この疑似等価幅測定によるM型星サブクラス及び有効温度推定は、正規の等価幅測定とは異なり広い波長範囲を積分しているので、星間赤化の影響を大きく受けている遠方のM型星やガス・ダストの濃い領域に存在するM型星には通用しないのでは？という懸念がある。

### 参考文献

R.O.Gray STELLAR SPECTRAL CLASSIFICATION