

Visual等級で測光したい

私たちは流星の等級を測っていないの！？

NMS-MLの雑談会 2022年6月18日 20:00 on zoom

メテオロイズ・ワークショップ2022 2022年12月3日 平塚市博物館

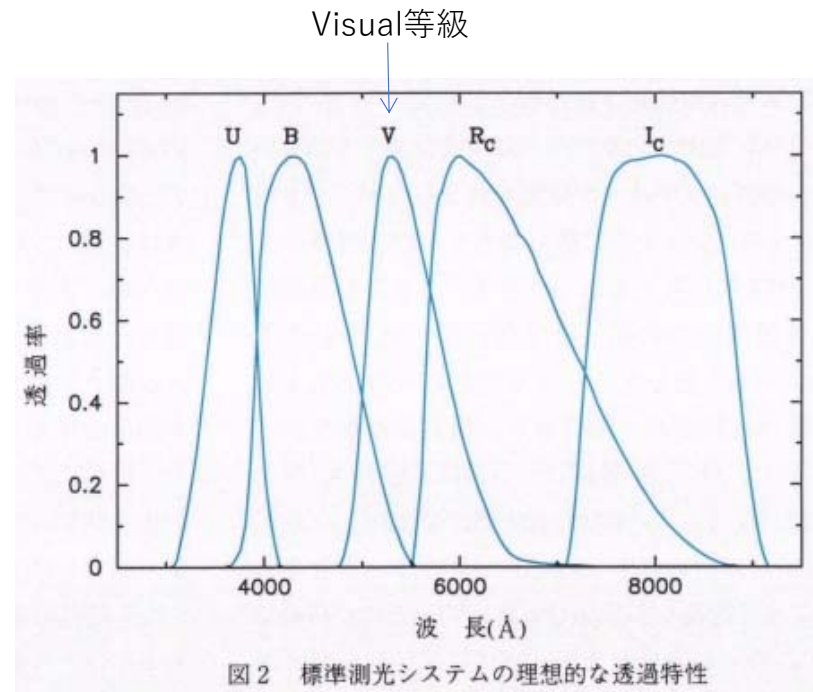
平塚市博物館 天体観察会 流星分科会 永井和男

私たちが使っている等級(≠光度)

- ベガを基準としたベガ等級



- どのバンドでもベガを0等とした



研究にはV等級を使っている

- 流星電波観測ガイドブック

線電子密度と流星の光度は、以下のような関係があるとされています。

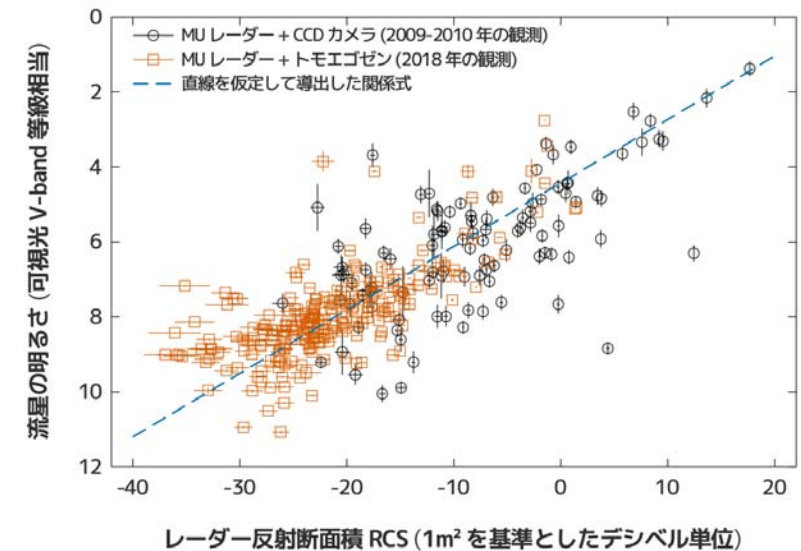
$$M_r = 36 - 2.5 \log_{10} \left(\frac{q}{v} \right) \quad (3.1)$$

M_r は流星光度, q は線電子密度 (m^{-1}), v は流星の突入速度 (km/s)です。一方, アンダーデンス

- 流星の明るさ (アストラルシリーズ3 流星II-解析と理論-)
- V等級を元に写真を測定する写真実視等級 (pg等級) \div V等級

- Tomo-e Gozen

- 可視光V-band等級相当
 - 観測機器のレスポンスが分かっている
 - 流星の温度(色)を仮定してV等級に変換している



流星画像の事例

- IMX327で撮影されたミラは7.1等だが2等星のベラトリクスより明るく写っている

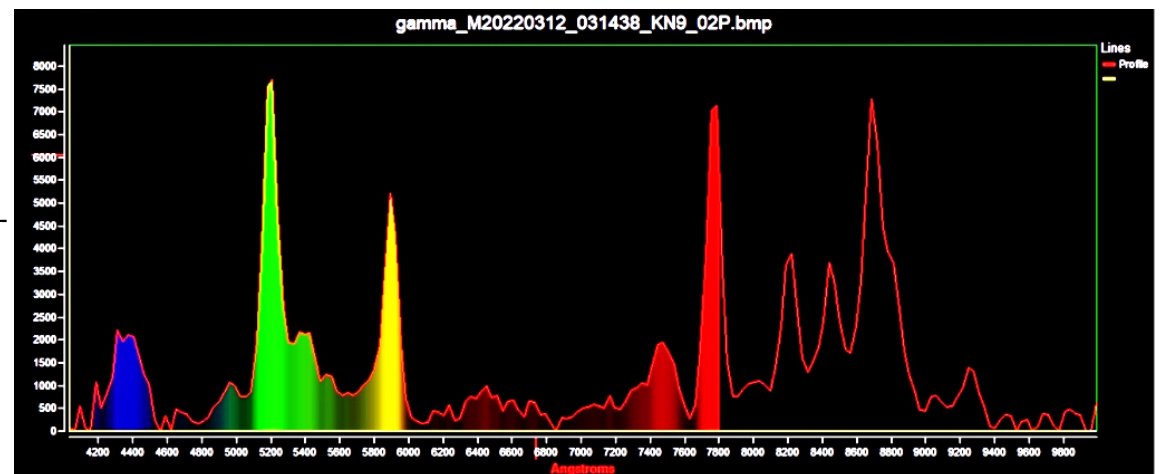
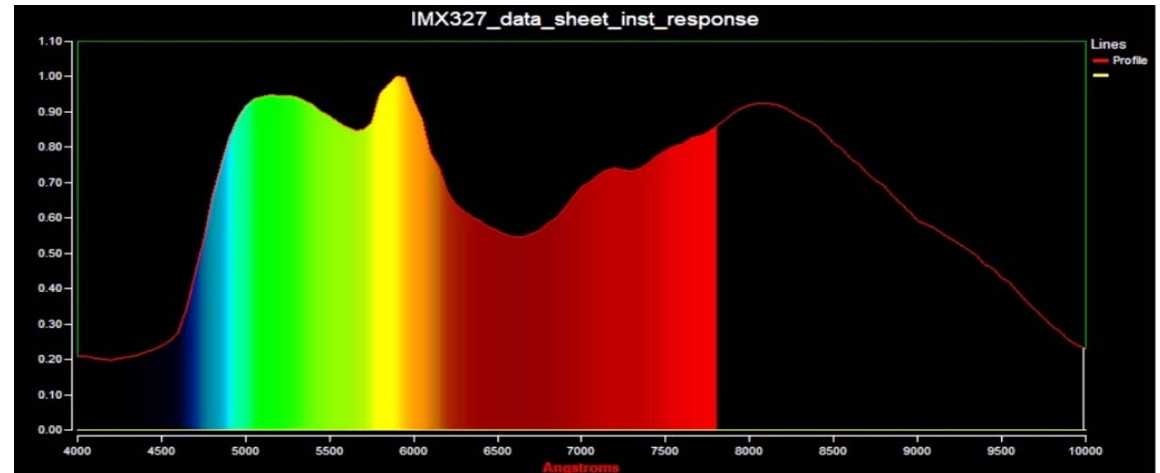


- これでは同じ等級の流星でも、赤い流星と青い流星では求まる等級が違ってしまふ

IMX327 response

- 流星分科会で多用されている
 - 流星号3のレスポンスカーブ
 - 可視光の外(特に赤外)にも感度がある
-
- IMX327をNTSCで録画しているので γ 補正が掛かっている
 - これも測光にはよろしくない
 - ATOMCAMも γ 補正されています

IMX327 f=8mm 300gpm

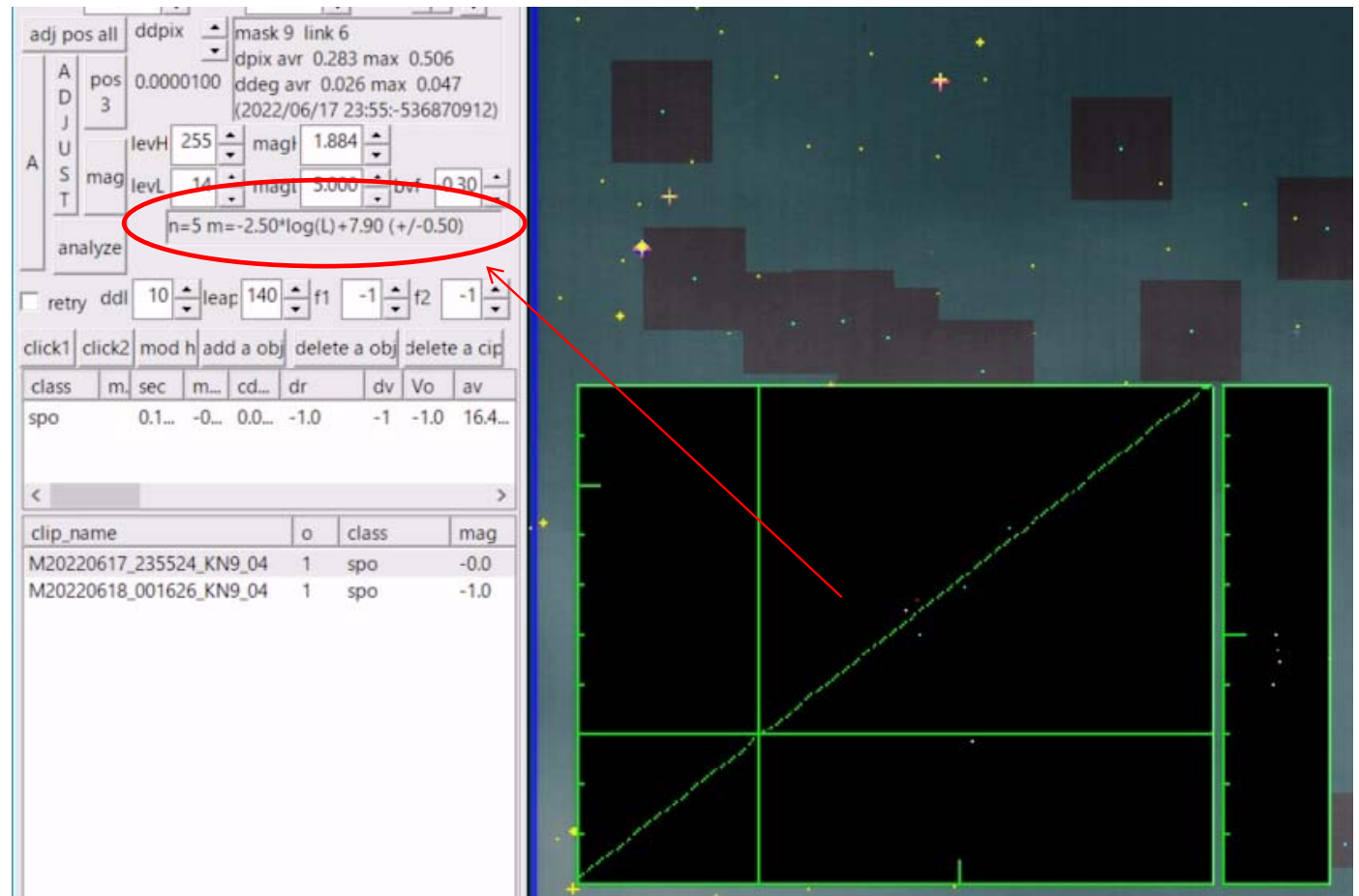


この波長域にも感度がある

この波長域にも感度がある

UA2の測定

- 星のV等級と測光カウント値からフィッティングする一次変換式を作って流星の等級を求めます
- 測光バンドが不明な等級が求まります
- 他の観測と比較できない

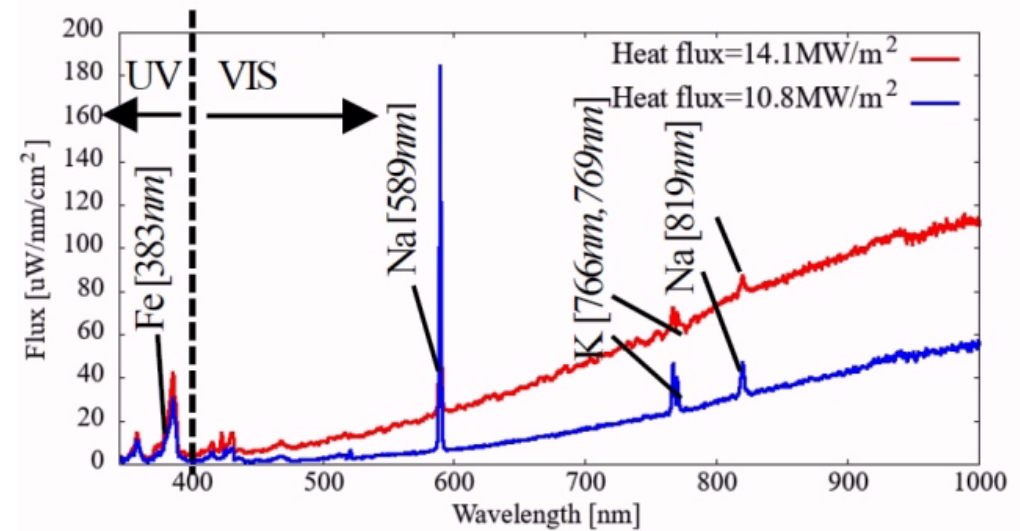
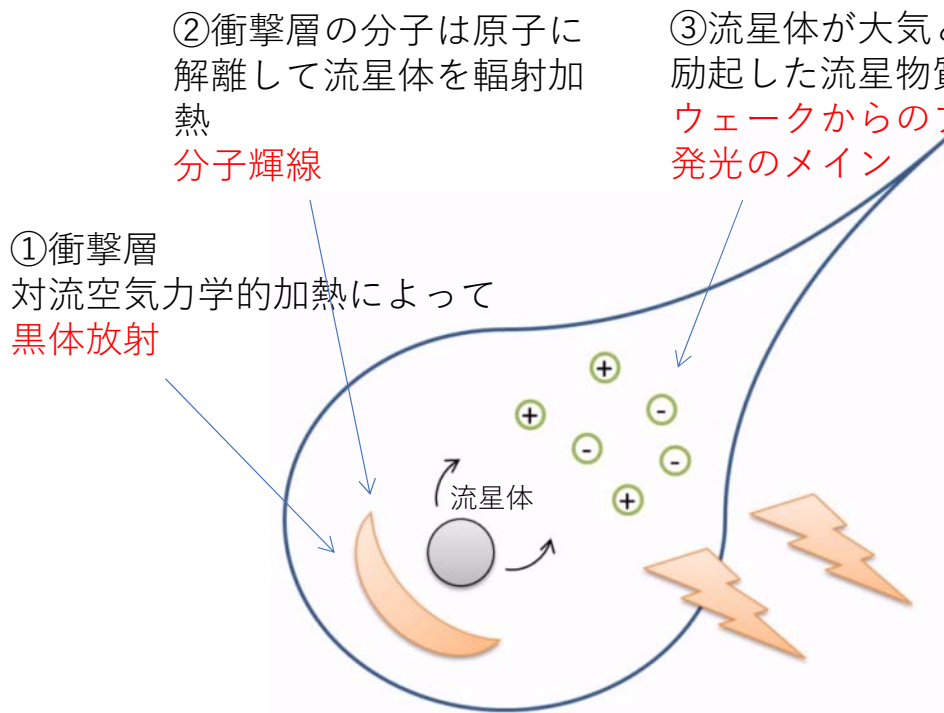


[等級計算]

光量 L と等級 M との関係を $M = K_m \cdot \log_{10}(L) + M_1$ として、Profile シートの levH において magH、levL において magL となる 直線の係数 K_m と M_1 を求め、観測された L について $K_m \cdot \log_{10}(L) + M_1$ により等級を決定する。

何にかに注目してV等級に変換したい

- 黒体放射より輝線が卓越している



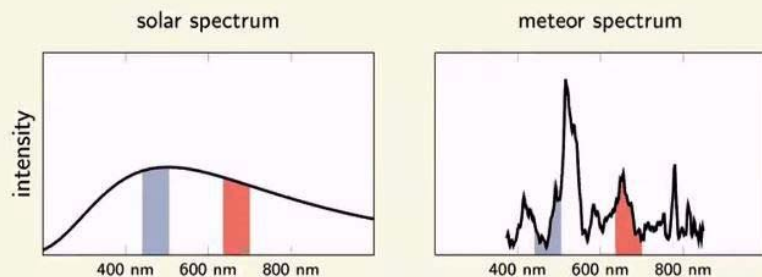
Observational and Experimental Study of Meteor Ablation
Takumi Ogawa et. al., 2018, Abe Laboratory

基線強度を測ってV等級に変換したい

- 可視光帯域の MgI, NaI, OI の基線強度を使ってV等級に変換出来ないか？

Althea Moorhead et. al., IMC 19/Sep/2020

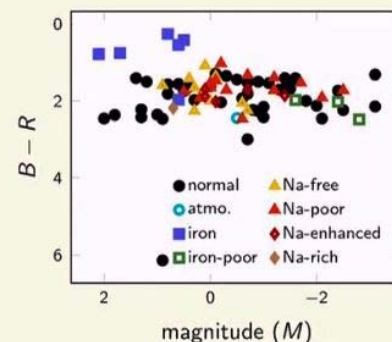
However, meteors do *not* resemble black bodies.



No well-defined temperature, emission is line-dominated.
Color may not be a viable way to categorize meteors.

3/8

Only iron meteoroids stand apart from the crowd in a color plot.



- ▶ Most categories are indistinguishable by color.
- ▶ Only iron meteoroids appear to stand out (they are both bluer and less red than their magnitude).
- ▶ All other categories would require a full spectrum or line-specific filters.

8/8

輝線が支配的なので色指数で温度は推定できない

と言って終わっていますが良いのでしょうか？

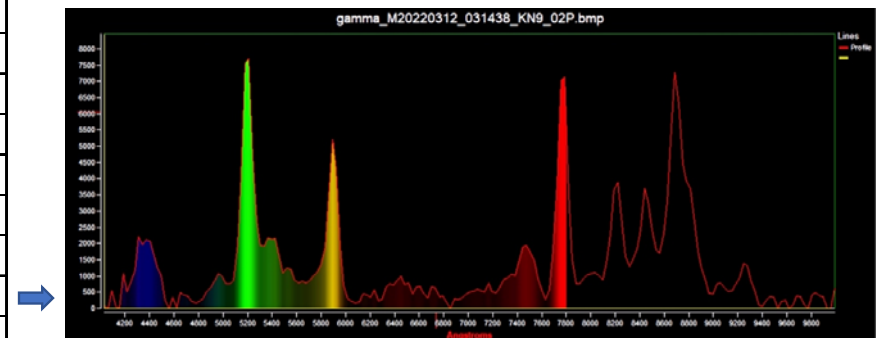
等級と色(B-R)の関係は見いだせない
単色測光が必要

では、どうしましょう

6月18日のNMS雑談会での発表はこのページまで

- 単色測光、測光用Vフィルターを付けてTV観測
 - 標準システムに変換するにはVフィルターとBフィルターのように2色が必要
 - この観測は単色なので「ナチュラルシステム」となる
 - 干渉フィルターは入射角で特性が変わるのでガラスフィルターを使う（等価率は半分程度≒1等級）
- 同時にフィルターの無いカメラと分光カメラでも観測
 - MgI, NaI, OI の基線強度を使ってNoフィルターの等級をV等級に変換出来ないか調べる
 - 3つの基線強度をparameterとした関数からノーフィルタの等級を補正してV等級を求めたい

No	date time	UnFiltered	V mag	stream
1	2022/3/07 03:13:58	0.0	-0.6	spo
2	2022/3/09 03:24:20	-0.5	-0.7	spo
3	2022/3/09 05:11:23	-0.2	-0.9	spo
4	2022/3/09 05:12:08	0.7	-0.3	spo
5	2022/3/09 22:16:07	0.0	-0.9	spo
6	2022/3/12 03:14:38	-1.0	-1.8	spo
7	2022/4/13 02:11:49	-0.3	-1.0	J5_Lyr
8	2022/4/30 01:23:28	-1.6	-2.5	spo
9	2022/5/02 02:44:41	-1.1	-1.8	J5_etA
10	2022/6/01 00:15:09	0.1	-0.8	spo



使用機器

- フィルター無しカメラ： WATEC902H2U $f=6\text{mm}$
- Vフィルターカメラ： WATEC902H2U $f=6\text{mm}$ V-band filter
- 分光カメラ： CMOS IMX327 $f=8\text{mm}$ Edmund 300gpm ブレード回折格子



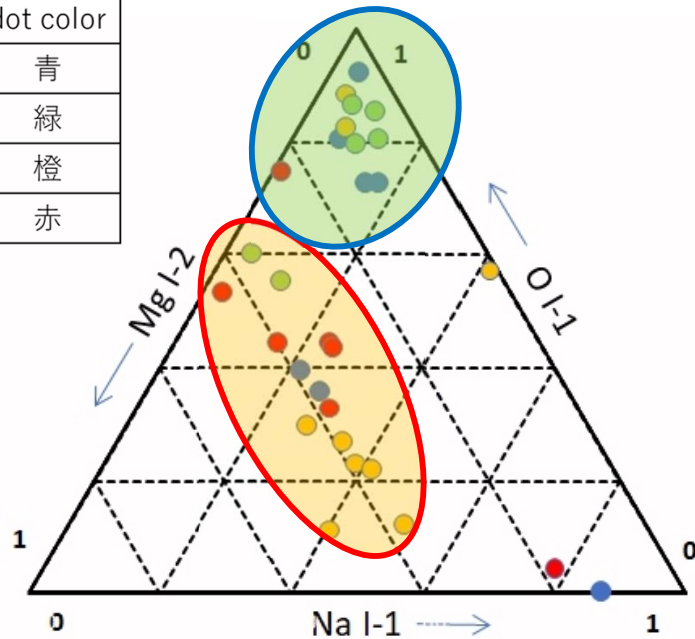
観測結果

- 観測期間：2022/2/27から2022/11/13まで9カ月
- UnFiltered とVbandの同時流星は180個
- 同時流星のスペクトルは69個
- スペクトル解析を行ったものは29個（Linkが10以下は除いた）

No	date time	UnFiltered	V mag	Un-V	MgI-2	NaI-1	OI-1	stream	雲	UA2 Link	V Link	Remarks
1	20220227 215258	-1.2	-1.2	0.0	0.13	0.87	0.00	spo	快晴	31	50	Oxygen無し
	20220228 030548	-1.5	-1.6	0.1				J5 eVi	快晴	31	58	画面端・解析不可
2	20220307 031358	0.0	-0.6	0.6	0.10	0.06	0.84	spo	快晴	31	24	Na,Mg微弱
3	20220309 032420	-0.5	-0.7	0.2	0.12	0.06	0.82	spo	快晴	21	13	Na,Mg微弱
4	20220309 051123	-0.2	-0.9	0.7	0.24	0.00	0.76	spo	快晴	16	19	Na poor
	20220309 051208	0.7	-0.3	1.0				spo	快晴	16	22	飛跡斜め・解析不可
	20220309 221605	0.0	-0.9	0.9				spo	快晴	15	13	画面端・解析不可
5	20220312 031438	-1.0	-1.8	0.8	0.38	0.29	0.33	spo	快晴	21	16	Normal
	20220413 021149	-0.3	-1.0	0.7				J5 Lyr	快晴	17	15	画面端・解析不可
6	20220430 012328	-1.6	-2.5	0.9	0.39	0.15	0.45	spo	快晴	41	25	不思議なスペクトル
	20220502 024441	-1.1	-1.8	0.7				J5 eTa	曇り	16	13	飛跡斜め・解析不可
	20220601 001512	0.1	-0.8	0.9				spo	快晴	26	21	画面端・解析不可
	20220626 204416	0.1	-0.5	0.6				spo	快晴	22	16	画面端・解析不可
	20220627 010012	0.1	0.0	0.1				sm O25	快晴	29	29	画面端・解析不可
7	20220629 213944	-0.1	-0.7	0.6	0.38	0.51	0.12	spo	薄曇り	16	16	画面端
	20220630 032740	0.9	-1.1	2.0	0.05	0.91	0.03	spo	薄曇り	9	10	Na rich
	20220725 025811	-2.2	-2.9	0.7				sm O25	快晴	12	8	画面端・解析不可
	20220727 000222	-0.2	1.1	-1.3				spo	快晴	24	23	Na rich・解析不可
	20220728 014537	-0.3	-0.9	0.6				sm O25	快晴	29	19	画面端・解析不可
8	20220730 235738	-0.6	-1.0	0.4	0.06	0.12	0.82	J5 sdA	快晴	25	16	Na poor
	20220731 040109	0.7	-1.3	2.0				J5 sdA	薄曇り	7	9	飛跡斜め・解析不可
	20220801 012529	-1.9	-0.6	-1.3				J5 Eri	薄曇り	1	5	等級不正
	20220801 221017	-1.0	-1.3	0.3	0.31	0.01	0.67	J5 sdA	薄曇り	6	5	Mg poor?
9	20220809 025503	-1.0	-1.4	0.4	0.07	0.05	0.88	J5 Per	快晴	20	7	O強い
10	20220810 035905	-0.5	-1.1	0.6	0.07	0.03	0.90	J5 Per	快晴	17	13	O強い
	20220812 024152	0.7	2.7	-2.0				J5 Per	曇り	1	1	等級不正
	20220812 032156	-0.3	-2.2	1.9				Iw ZAR	雲有り	8	7	画面端・解析不可
	20220815 025040	1.4	-2.6	4.0				J5 Per	雲有り	6	7	月明り、1次・解析不可
	20220815 025405	-0.9	-2.1	1.2	0.24	0.25	0.52	J5 Per	雲有り	6	7	月明り・Normal?
	20220815 033904	-2.6	-0.6	-2.0				J5 Per	曇り	1	2	等級不正
	20220816 041940	-0.3	-0.8	0.5				J5 Per	曇り	2	3	等級不正
	20220819 031017	-1.9	-2.8	0.9				J5 Per	曇り	8	6	月明り、1次・解析不可
	20220824 005447	-5.1	-1.1	-4.0				Iw AUD	曇り	1	1	等級不正
	20220906 011642	-0.9	-1.6	0.7				spo	曇り	21	10	木星と重なり解析不可
	20220922 015206	-0.9	-1.6	0.7				spo	雲有り			画面端・解析不可
11	20220925 190412	-0.6	-1.6	1.0	0.17	0.78	0.04	spo	快晴	17	19	O弱い
12	20220928 041056	-0.5	-0.6	0.1	0.03	0.03	0.94	Iw SLY	快晴	45	42	
13	20220928 045237	-0.5	-0.9	0.4	0.11	0.09	0.81	spo	薄曇り	20	29	
14	20220930 220211	-0.8	-1.8	1.0	0.10	0.16	0.74	Iw SLY	快晴	19	16	Normal
15	20221001 005648	-0.3	-1.1	0.8	0.44	0.02	0.54	spo	快晴	24	20	Na poor
	20221001 034216	-0.5	-0.4	-0.1				Iw NPI	快晴	42	33	画面端・解析不可
	20221002 023023	-0.7	-0.9	0.2				Iw KLE	快晴	45	31	画面端・斜め・解析不可
	20221011 181636	-2.9	-1.9	-1.0	0.00	0.00	1.00	spo	曇り	2	2	等級不正
	20221019 233440	0.0	-0.6	0.6				Iw OCG	快晴	23	15	画面端、O希・解析不可
	20221020 234434	-0.7	-0.9	0.2				Iw BCN	快晴	24	10	斜め・解析不可
16	20221020 235241	-0.9	-1.3	0.4	0.04	0.09	0.87	Iw OLY	快晴	16	13	Mg弱い
	20221024 000329	-1.1	-1.4	0.3				Ie EGE	曇り	9	7	Mg画面外・解析不能
17	20221026 033426	-0.4	-1.4	1.0	0.38	0.26	0.36	J5 And	雲有り	31	28	Normal
18	20221030 233302	0.0	-0.8	0.8	0.32	0.24	0.44	J5 sTa	薄曇り	12	12	Normal, FHD
19	20221030 233649	-0.3	-0.5	0.2	0.38	0.21	0.40	J5 nTa	薄曇り	21	13	Normal, FHD
	20221031 205215	-0.5	-1.0	0.5	0.34	0.18	0.48	spo	晴れ	9	15	Normal, FHD
20	20221102 225556	-0.8	-1.8	1.0	0.32	0.23	0.45	J5 nTa	快晴	22	20	FHDあり
21	20221103 023630	-0.3	-0.8	0.5	0.49	0.40	0.11	J5 noO	快晴	51	35	Na rich FHD
22	20221103 033942	-0.2	-0.7	0.5	0.43	0.27	0.30	J5 And	快晴	35	30	Normal FHD
23	20221103 043702	-1.0	-1.4	0.4	0.36	0.03	0.61	Ie EGE	快晴	25	16	Na poor FHD
	20221104 010900	-0.7	-1.4	0.7				J5 Hyd	晴れ	40	26	斜め・解析不可
	20221106 010804	0.4	0.2	0.2				spo	快晴	27	18	画面端・解析不可
24	20221106 025953	-1.1	-1.3	0.2	0.12	0.14	0.74	Iw XDR	快晴	34	26	Noramal
25	20221106 035308	-0.5	-0.8	0.3	0.34	0.10	0.56	Iw PAR	快晴	37	24	Noramal
26	20221107 012504	0.1	-0.5	0.6	0.37	0.41	0.22	J5 nTa	曇り	12	12	Normal, FHD
	20221109 200724	-2.2	-1.9	-0.3	0.20	0.33	0.48	J5 sTa	晴れ	3	5	Na rich, Link小、電波エコーあり
	20221110 201558	0.1	-0.8	0.9	0.37	0.37	0.25	J5 nTa	薄曇り	2	3	Normal, FHD
	20221110 232021	0.1	0.9	-0.8	0.53	0.21	0.26	J5 nTa	快晴	5	8	画面端・Normal
27	20221111 013227	-0.3	-0.8	0.5	0.39	0.38	0.23	Iw NAR	快晴	10	15	Normal, FHD
	20221111 044607	-1.2	-2.0	0.8				Iw PAR	快晴	10	15	2次・解析不可
28	20221112 020321	-0.4	-0.9	0.5	0.39	0.34	0.27	J5 nTa	晴れ	13	19	Normal
	20221112 204836	-0.9	-1.8	0.9	0.33	0.37	0.29	J5 sTa	快晴	7	8	Normal FHDあり
29	20221113 030535	-1.2	-1.7	0.5	0.01	0.41	0.58	J5 sTa	晴れ	15	22	Mg poor FHDあり

三角ダイアグラムとUn-V値

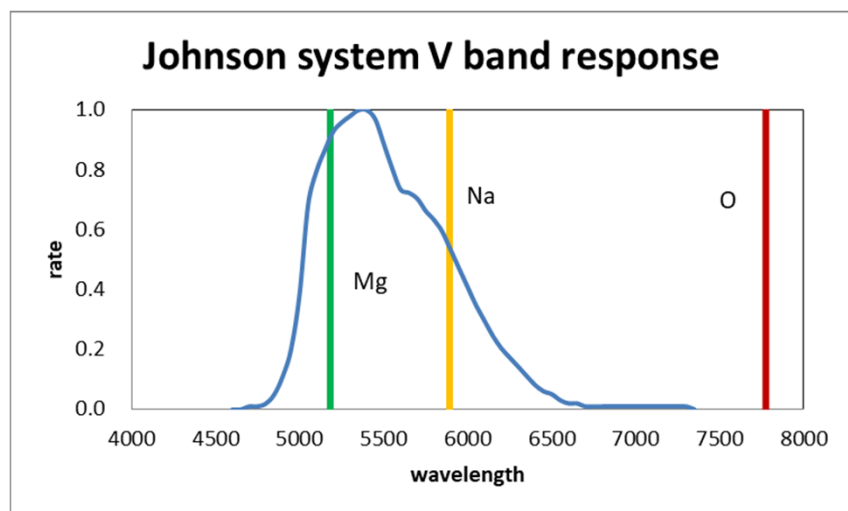
Un-V値	dot color
0.0-0.4	青
0.3-0.4	緑
0.5-0.6	橙
0.7-1.0	赤



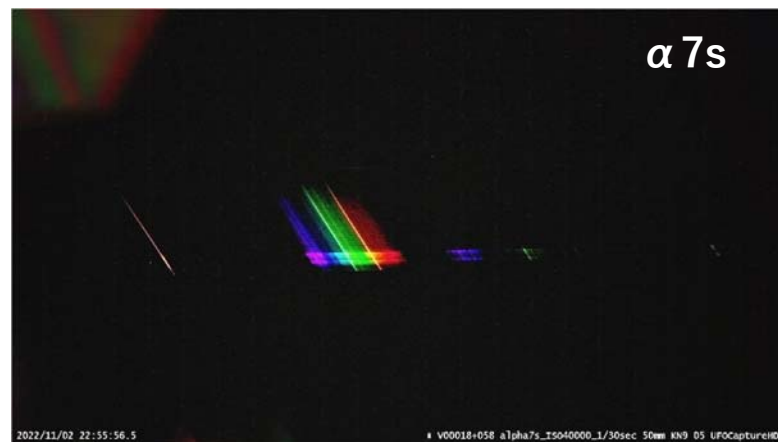
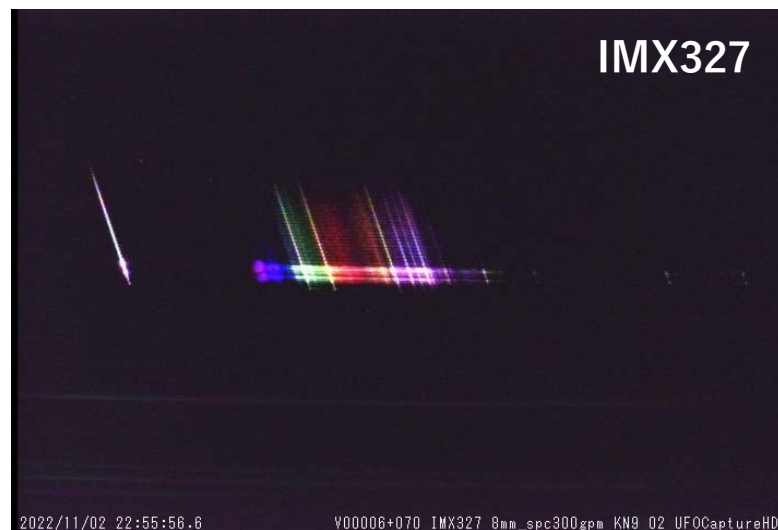
- Mg,Na,Oの輝線強度を三角ダイアグラムにプロットした
- Un-V値はUnFiltered等級とVband等級の差
- Un-V値を各点に記入した、値に応じて点の色を変えた
- Un-V値と三角ダイアグラム上の位置が目立つ特徴が無いようにも見える
- 0.5以上のV等級が明るくなるものは中央の帯状の系列にあり、0.5以下のUn-V値の小さい物は上方に固まっているようにも見える
- 3つの基線強度をparameterとした関数からUn等級をV等級に変換する件は難しそう

$$(Un-V) = f_x (Mg, Na, O \text{ flux})$$

そもそも酸素(O)はV等級に無関係？

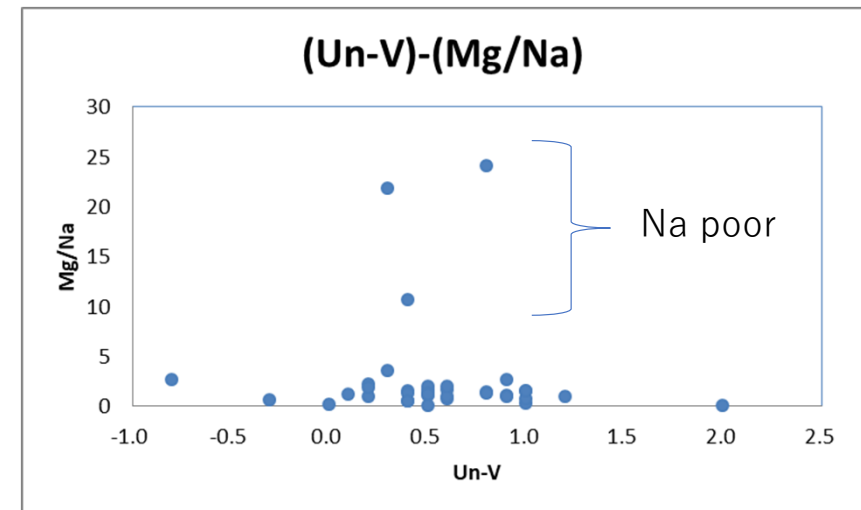
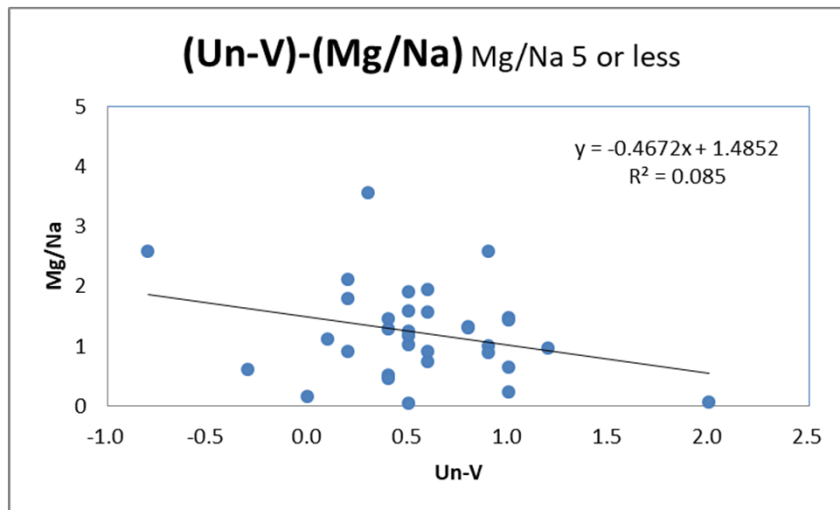


- OはV bandのresponse curveの外にある
- $\alpha 7s$ はO(777nm)は写らない
- 肉眼で見えない波長なので写ってはいけない
- Mg と Na の強度だけで評価する事が望ましい



Un-V値 と Mg/Na比

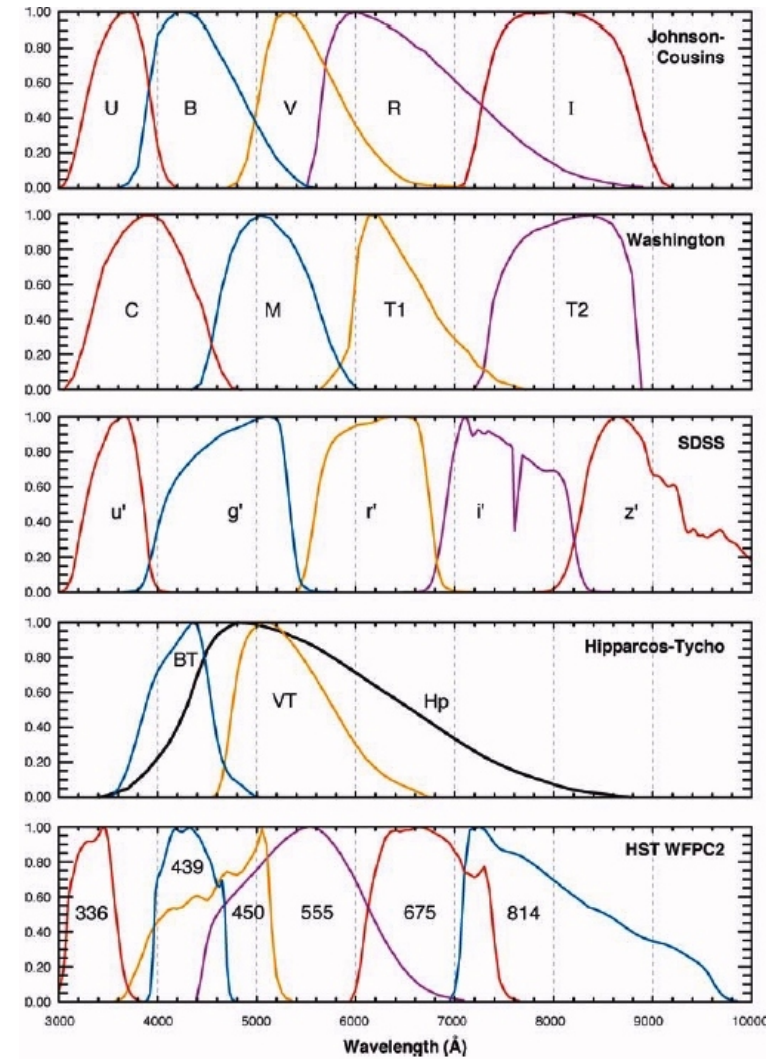
- 決定係数(R^2)が小さく相関が見られない



- 母数を増やせば相関があるかも知れない

まとめ

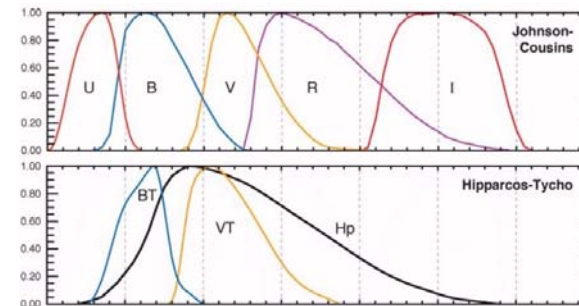
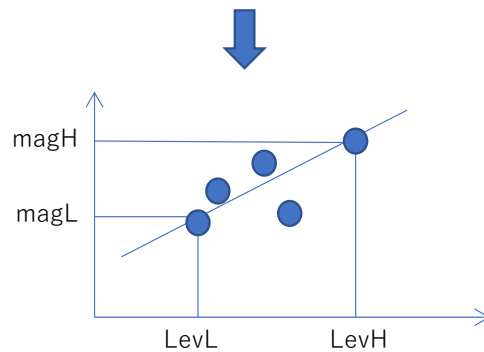
- Mg,Na,Oの輝線ではV等級に変換できないと思われる
- Mg/Na比を扱う場合は母数を増やせば期待できそう
- それにしても、No Filterの等級と分光観測からV等級を求めるよりはV filterを付けてしまった方が手っ取り早い



余談：本来は？

機器のレスポンスがV-bandなら比較星はV等級を使う
機器のレスポンスがB-bandなら比較星はB等級を使う
機器のレスポンスに合わせた比較星等級を使う

- 本来はその観測装置のレスポンスに合わせた等級を求めます
 - V-bandと同じレスポンスならV等級になります
 - 固有のレスポンスなら固有の等級になります
- UA2の場合は写っている星の測定値Lとカタログ値magから一次式を作っています（機器のレスポンスは考慮しない）



標準測光システムと
Hipparcos衛星のレスポンス

- 本来は、
- Hipparcos衛星のHpバンドのような固有のレスポンスの場合は比較星の色指数とV等級を使って比較星をHp等級に変換すれば目的星のHp等級が求められる。目的星の色指数が不明ならV等級には変換できない。標準システム等級を知るには2色以上の測光観測が必要です。
- ひとつの例： $V = Hp + \alpha_1(B - V) + \alpha_2(U - B) + \alpha_3(B - V)^2 + \alpha_4(B - V)^3 + \alpha_5$ (P. Harmanec, 1998) $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ は係数