

# 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！？

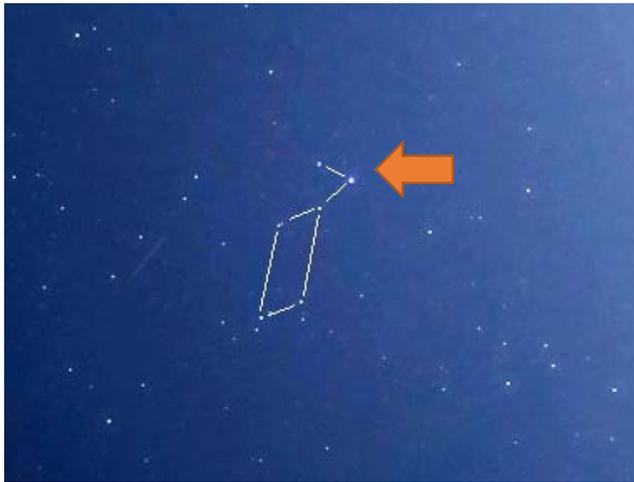
NMS-MLの雑談会 2022年6月18日 20:00 on zoom

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

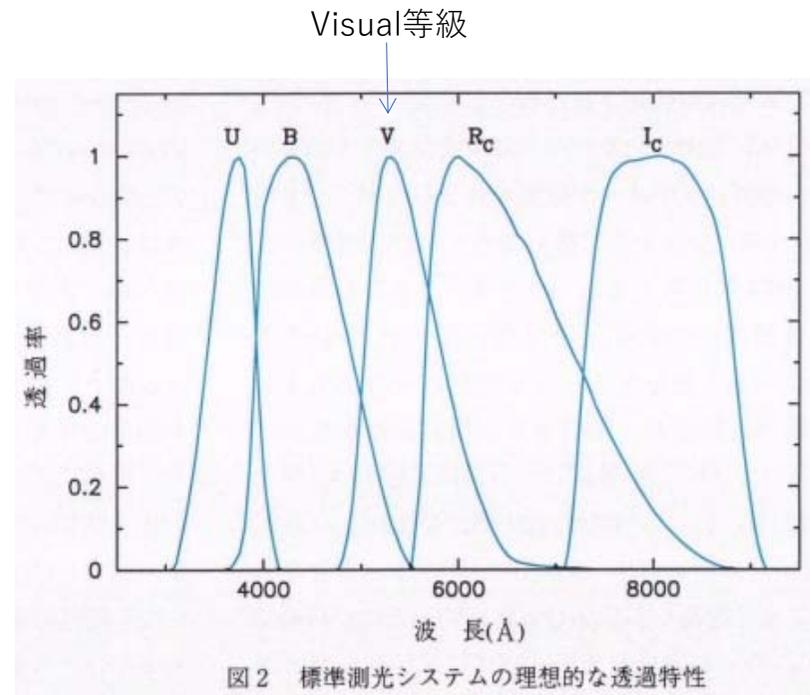
平塚市博物館 天体観察会 流星分科会 永井和男

# 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。

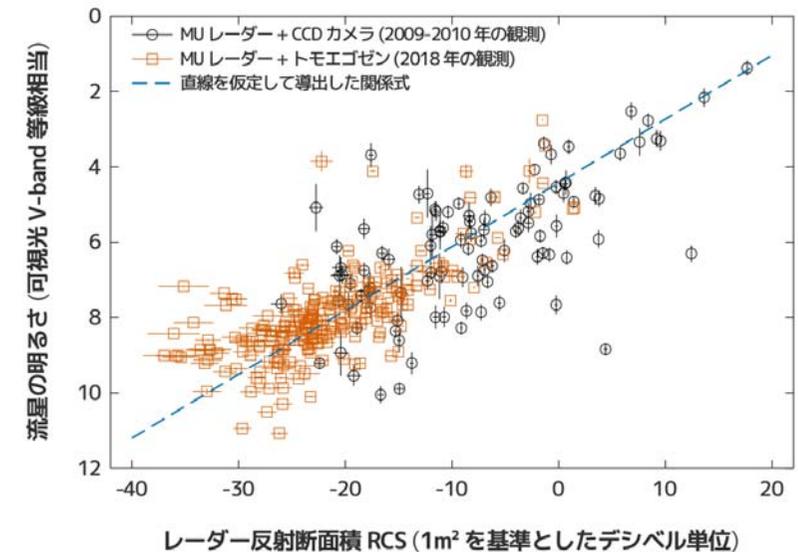
$$M_r = 36 - 2.5 \log_{10} \left( \frac{q}{v} \right) \quad (3.1)$$

$M_r$ は流星光度,  $q$ は線電子密度( $m^{-2}$ ),  $v$ 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

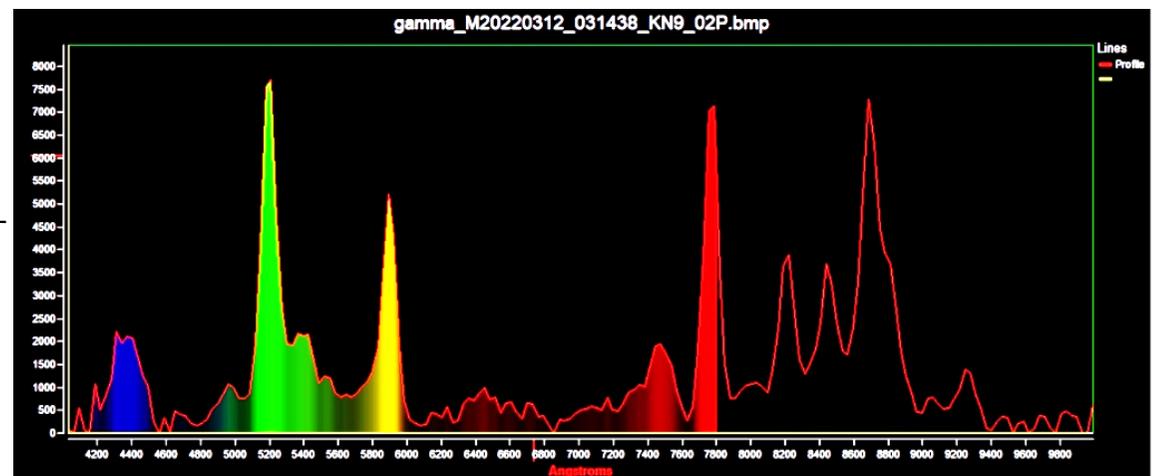
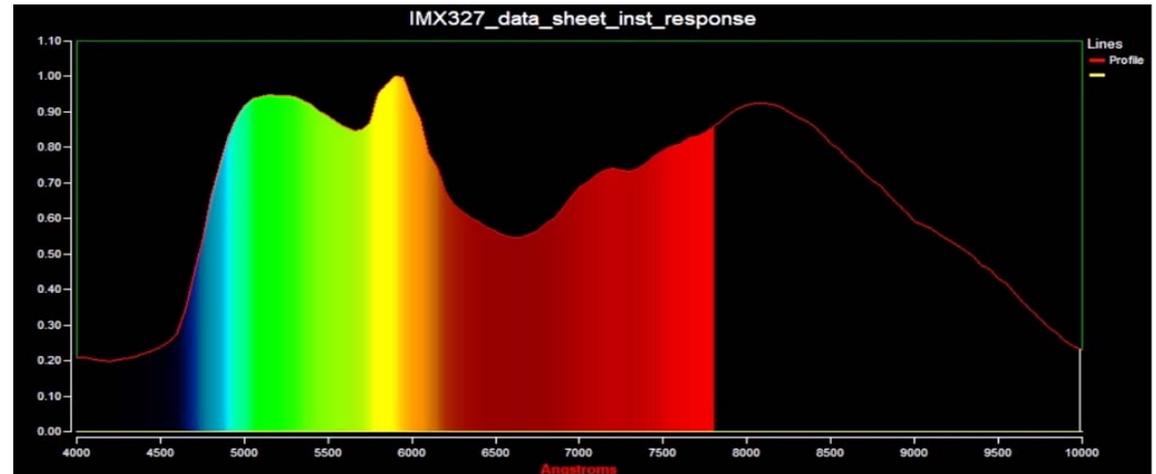


- これでは同じ等級の流星でも、赤い流星と青い流星では求まる等級が違ってしまふ

# 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 $\gamma$ 補正が掛かっている
    - これも測光にはよろしくない
    - ATOMCAMも $\gamma$ 補正されています

IMX327 f=8mm 300gpm

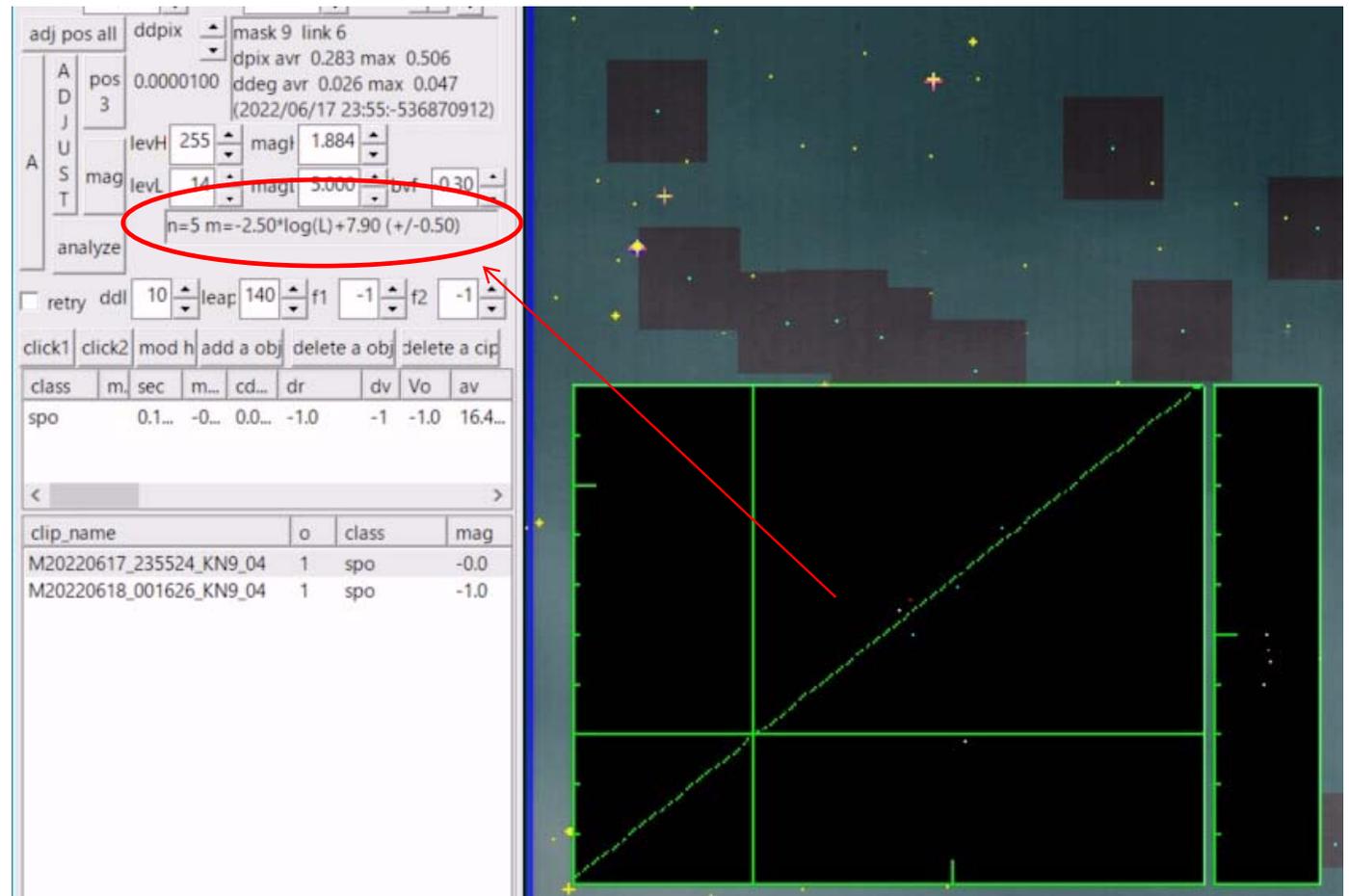


この波長域にも感度がある

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

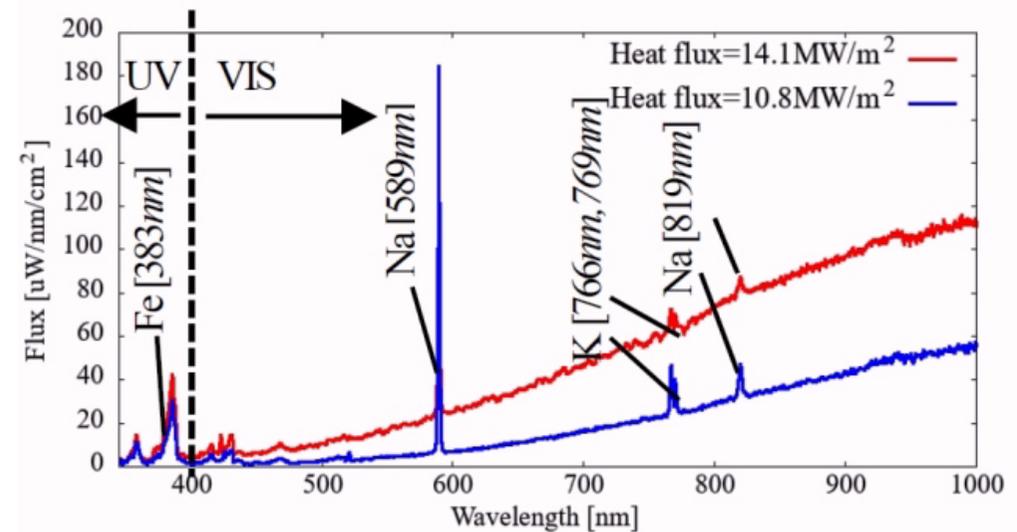
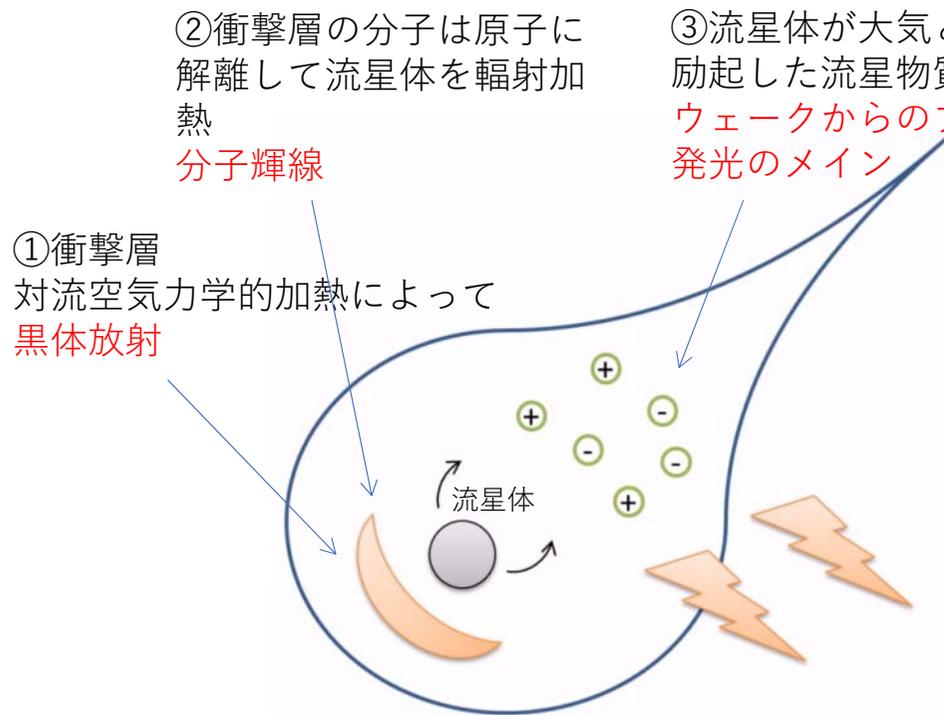


## [等級計算]

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



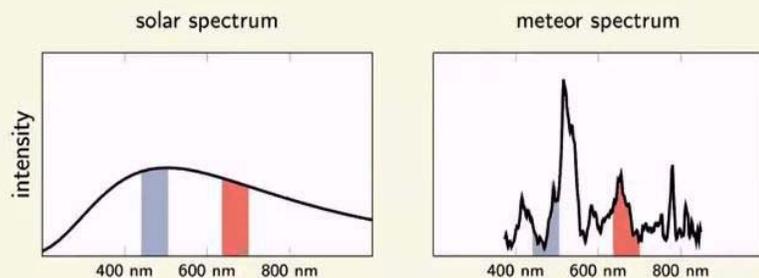
Observational and Experimental Study of Meteor Ablation  
Takumi Ogawa et. al., 2018, Abe Laboratory

# 基線強度を測ってV等級に変換したい

- 可視光帯域の Mgl, 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

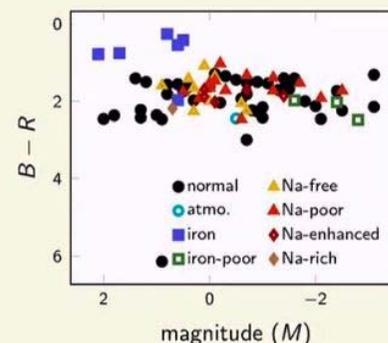
However, meteors do *not* resemble black bodies.



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？

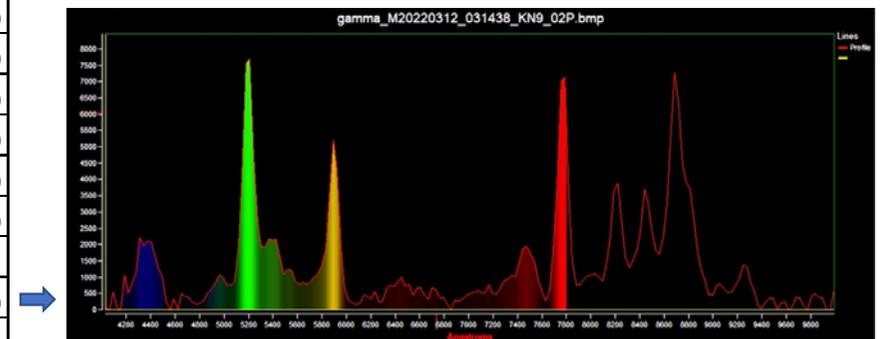
等級と色(B-R)の関係は見いだせない  
単色測光が必要

# 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=6mm
- Vフィルターカメラ： WATEC902H2U f=6mm V-band filter
- 分光カメラ： CMOS IMX327 f=8mm Edmund 300gpm ブレード回折格子



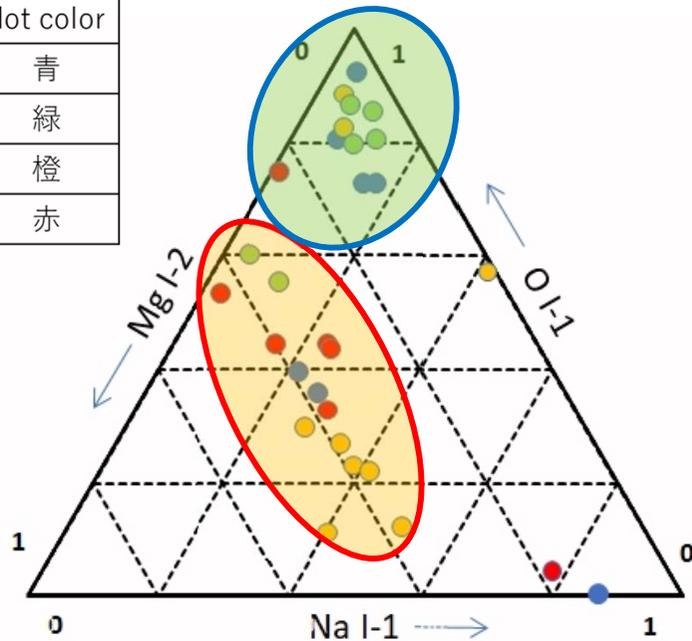
# 観測結果

- 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 025 | 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 025 | 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 025 | 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

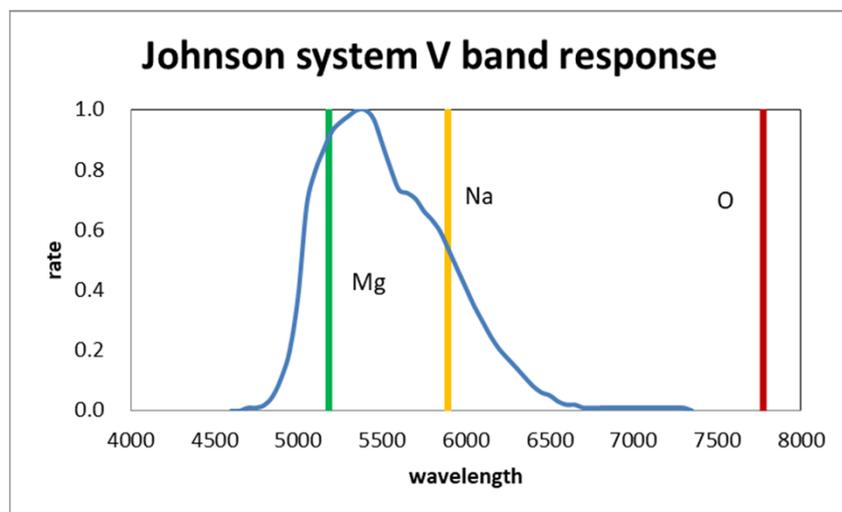
| Un-V値   | dot color |
|---------|-----------|
| 0.0-0.4 | 青         |
| 0.3-0.4 | 緑         |
| 0.5-0.6 | 橙         |
| 0.7-1.0 | 赤         |



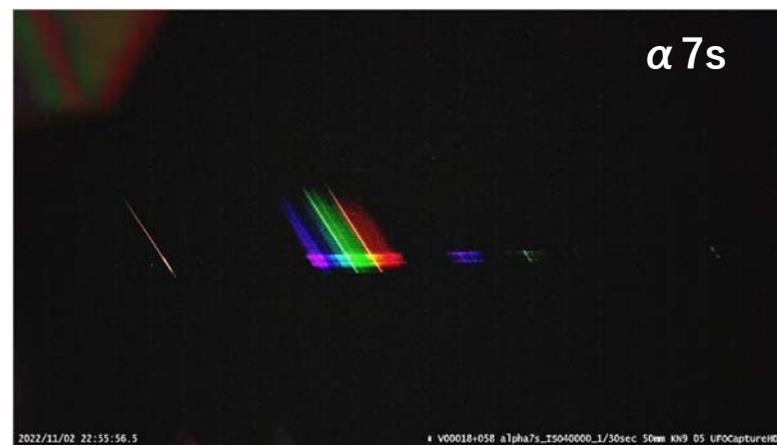
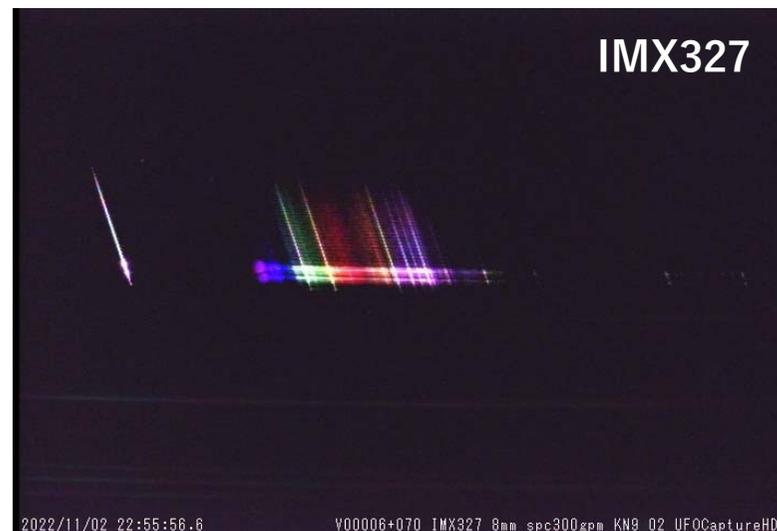
- Mg,Na,Oの輝線強度を三角ダイアグラムにプロットした
- Un-V値はUnFiltered等級とVband等級の差
- Un-V値を各点に記入した、値に応じて点の色を変えた
- Un-V値と三角ダイアグラム上の位置が目立つ特徴が無いようにも見える
- 0.5以上のV等級が明るくなるものは中央の帯状の系列にあり、0.5以下のUn-V値の小さい物は上方に固まっているようにも見える
- 3つの基線強度をparameterとした関数からUn等級をV等級に変換する件は難しそう

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

# そもそも酸素(O)はV等級に無関係？

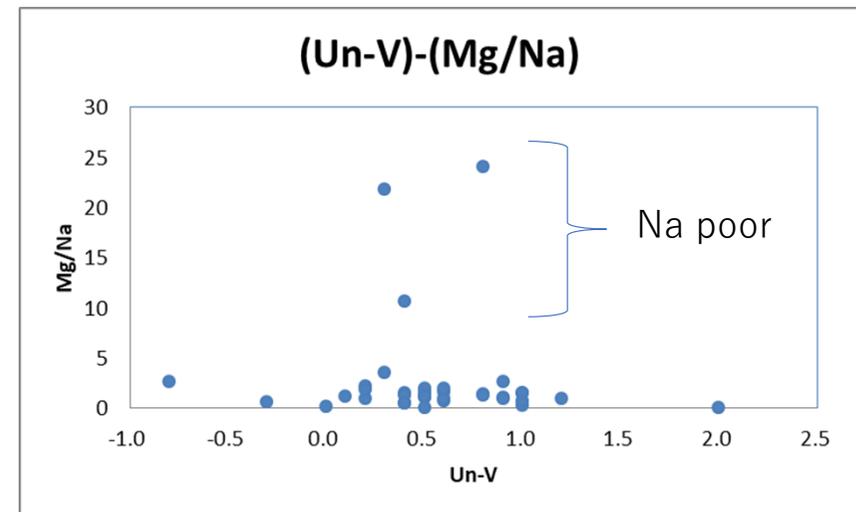
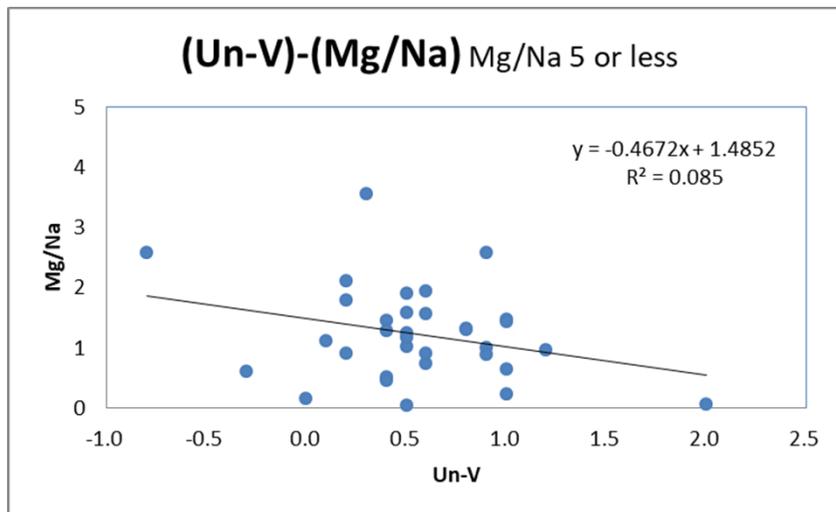


- OはV bandのresponse curveの外にある
- $\alpha 7s$ はO(777nm)は写らない
- 肉眼で見えない波長なので写ってはいけない
- Mg と Na の強度だけで評価する事が望ましい



# Un-V値 と Mg/Na比

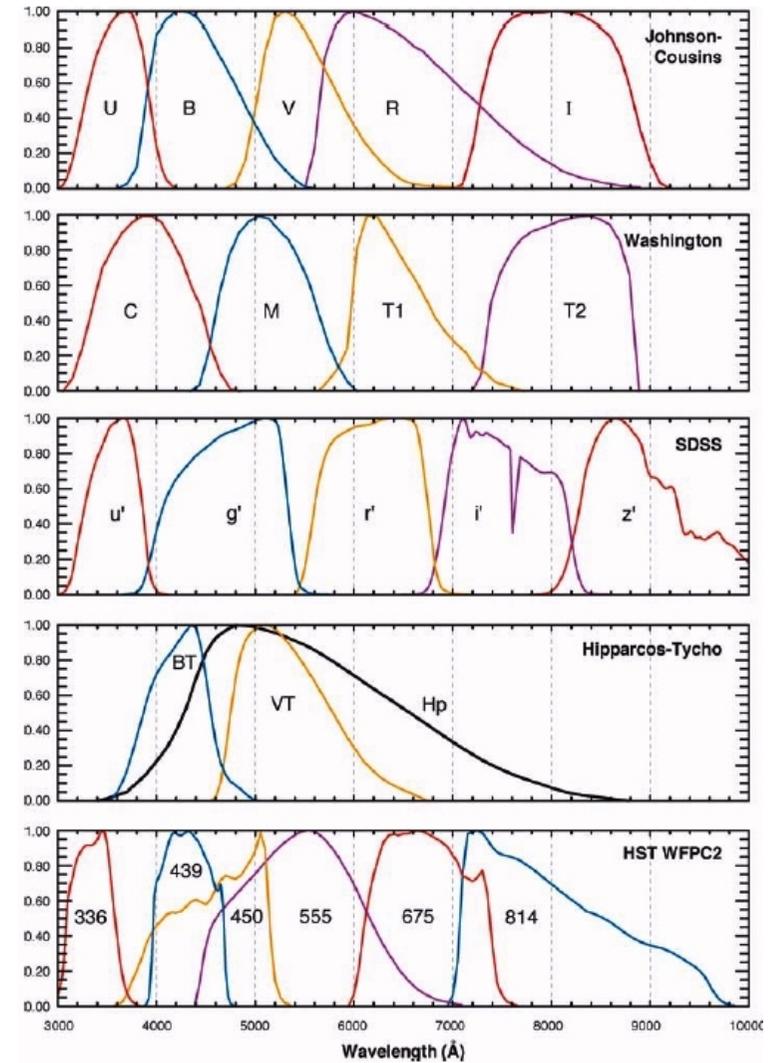
- 決定係数( $R^2$ )が小さく相関が見られない



- 母数を増やせば相関があるかも知れない

# まとめ

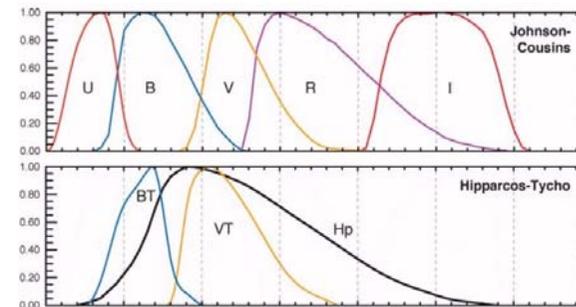
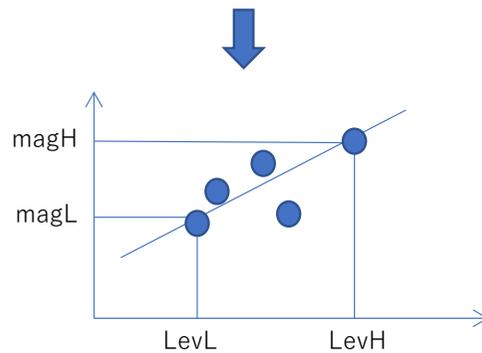
- Mg,Na,Oの輝線ではV等級に変換できないと思われる
- Mg/Na比を扱う場合は母数を増やせば期待できそう
- それにしても、No Filterの等級と分光観測からV等級を求めるよりはV filterを付けてしまった方が手っ取り早い



# 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)  $\alpha_1, 2, 3, 4, 5$ は係数