

2015年から5年間の 4Kビデオによる 流星スペクトル観測のまとめ

前田 幸治

(NMS / SonotaCo Net / 宮崎大学)

- 構成
1. すべての観測の統計
 2. 鉄流星の統計

スペクトル観測

観測目的

- 流星の組成の違いから
 - 散在流星と群流星の違い、群流星間の違い。軌道との関連。
 - 群流星内の分布
- 鉄流星の特徴

問題点

- これまでより桁違いに多くの流星のスペクトルが必要
- これまでのTV観測（ワテックカメラ）によるスペクトルは分解能が低い → 焦点距離を伸ばす必要があった



高感度で、分解能が高い4Kビデオ観測

観測システム

Table of observational conditions

station	Miyazaki (MZ1) 131.42 E, 31.83 N, 13 m
Camera	SONY alpha 7s (normal)
Video mode	4K (3840 x 2160), 30p
Lens	FD24mmF1.4L, FD85mmF1.2L Sigma 50mmF1.4, 35mmF1.4
Grating	300, 600 grooves / mm, VIS,UV, Edmund opt.
Software	UFOCaptureHD2 V4.10→4.60 UFOAnalyzer V2.42→2.65
wavelength	400 - 660 nm
observation type	Single station

スペクトル解析BASS : Basic Astronomical
Spectroscopy Software,
<https://uk.groups.yahoo.com/neo/groups/astrobodger/info>

画素数

SD : 720 (640) ×480

HD : 1280×720

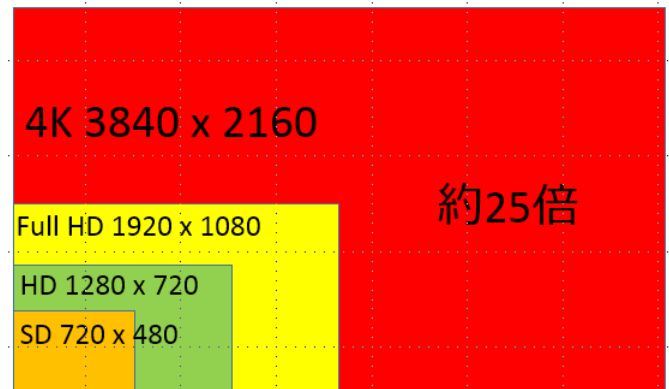
フルHD (BSデジタル)

: 1920×1080

4K : 4096×2160

8K : 7680×4320

解像度による画像サイズの比較



観測機材と方向



2015



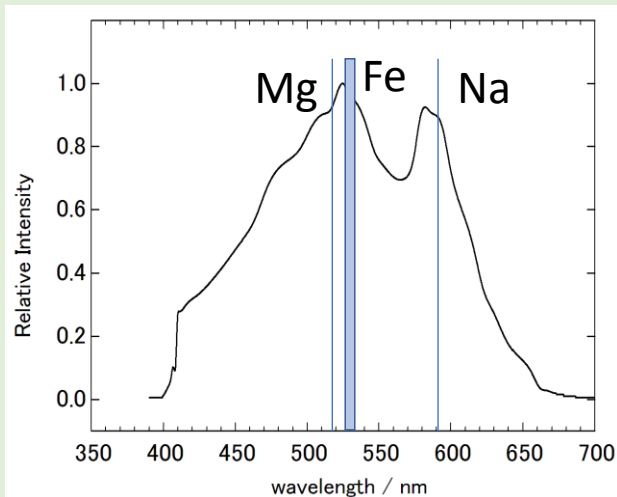
2017



SONY α7s

2021

西向き、南向き 仰角30-45度

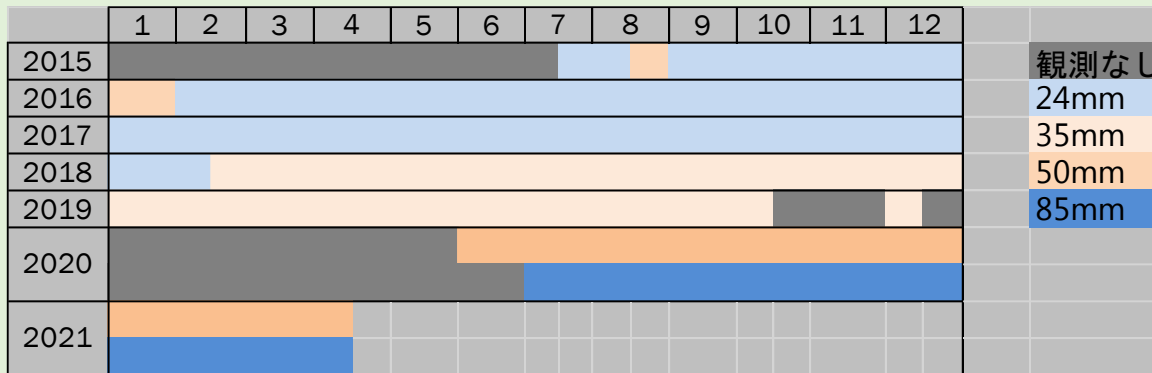


システム相対感度

観測

- 2015年7月から2021年4月15日
- 2015-17年分は、全静止画像は the SonotaCo Network Japan Forum (*1) にアップ

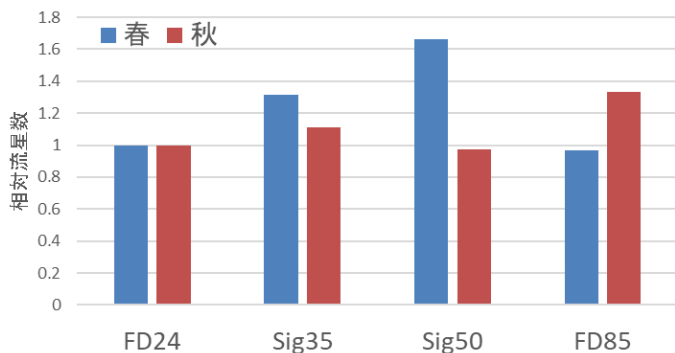
観測期間とレンズ



年ごとのスペクトル撮影数

年	全流星数
2015	369
2016	588
2017	651
2018	776
2019	398
2020	863
2021	315
計	3960

レンズによるスペクトルの写りやすさ



← 散在流星

集計期間
 春：2/18-4/14
 秋：9/1-10/15

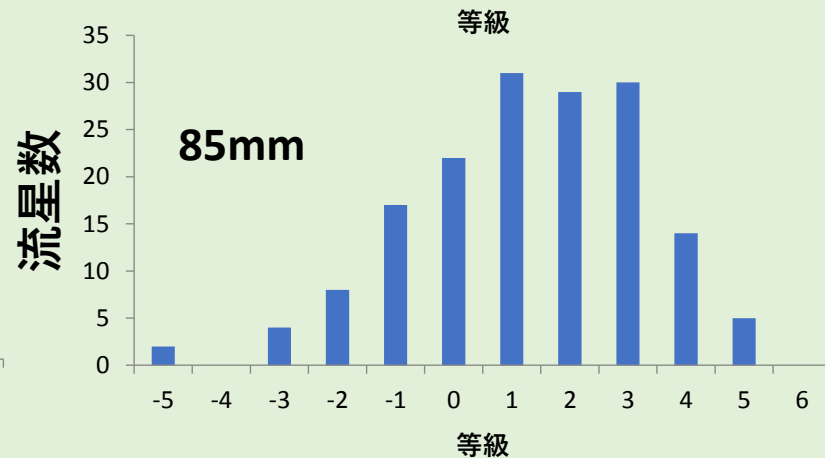
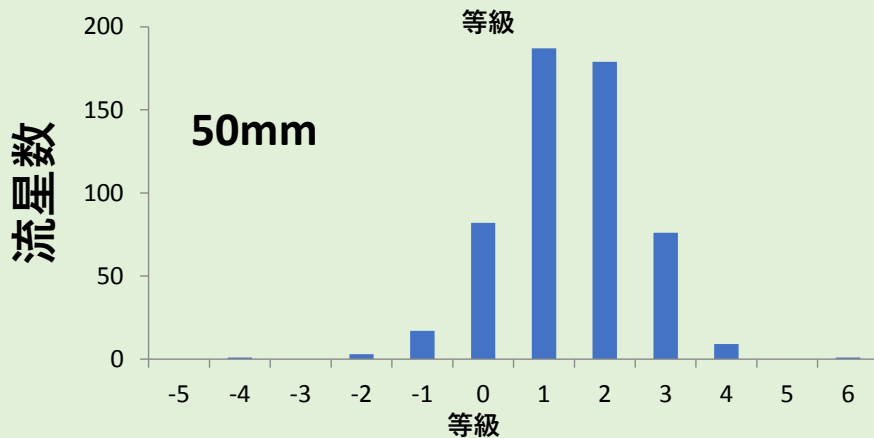
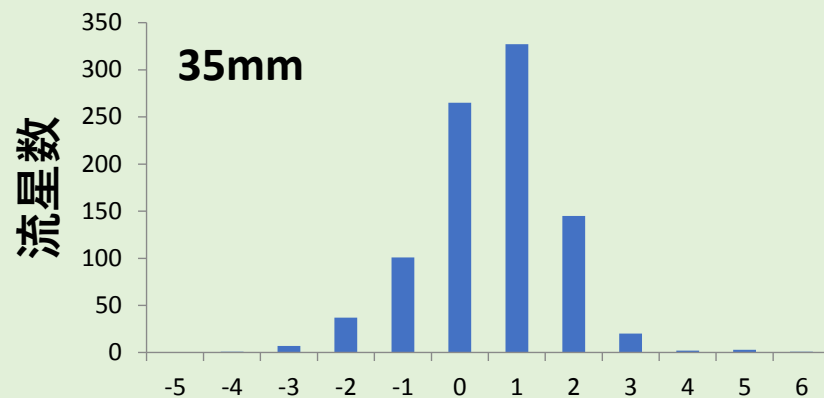
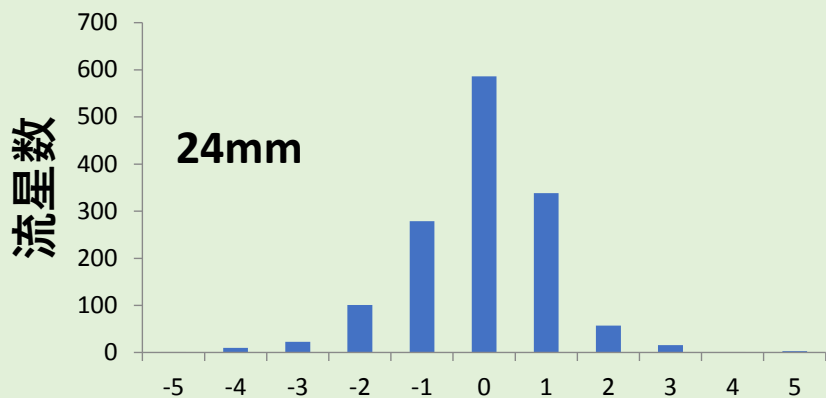
Ref.

*1 <http://sonotaco.jp/forum/viewtopic.php?t=3650>

QR code of *1



レンズによる流星光度の違い

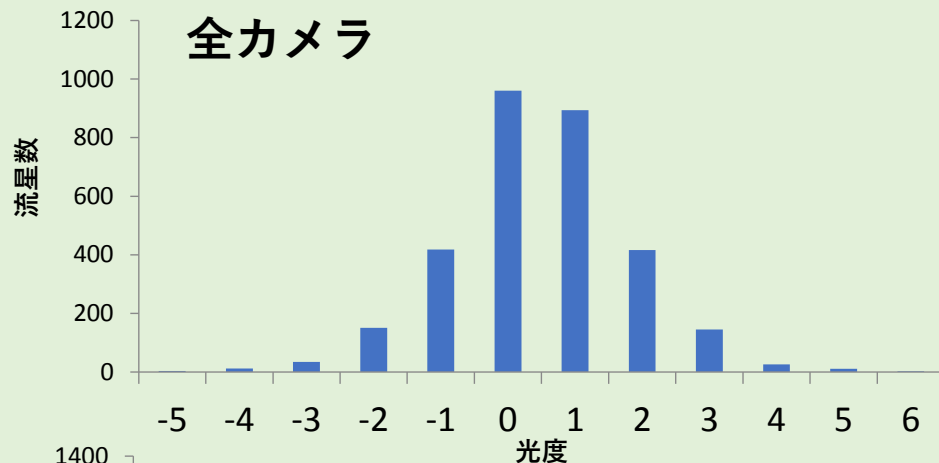


焦点距離が2倍になると約1等弱
暗いスペクトルが写る

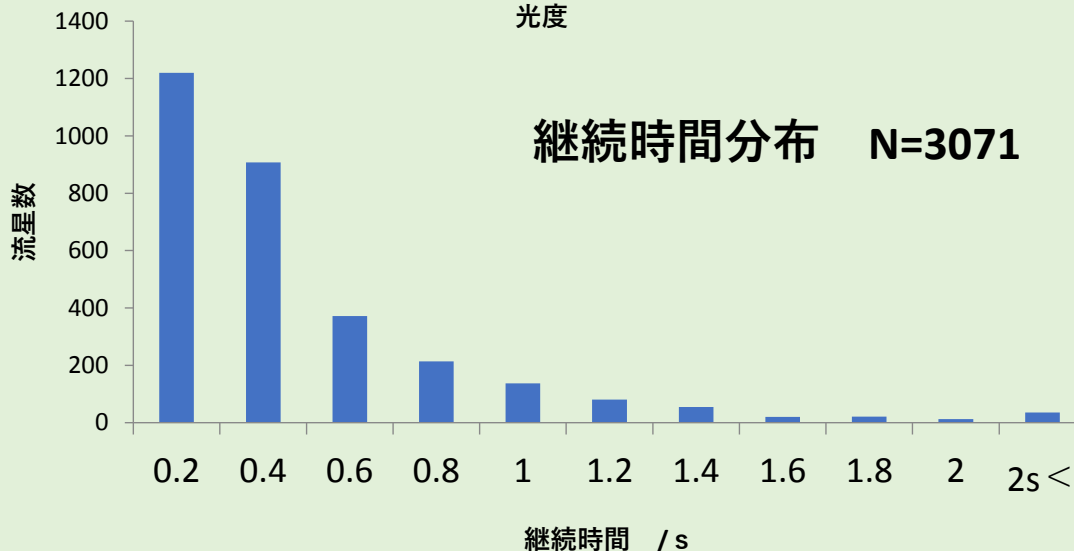
24-50mmは、600VIS
85mmのみ300VIS

流星光度、継続時間

すべてをまとめた光度分布 N=3072



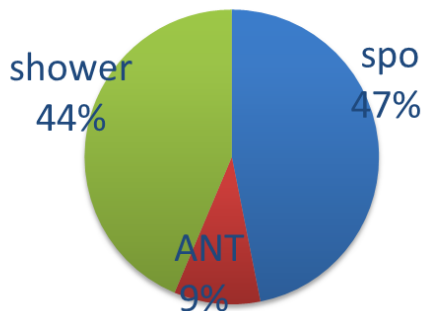
24mmでの観測期間が長いので、平均すると約1等



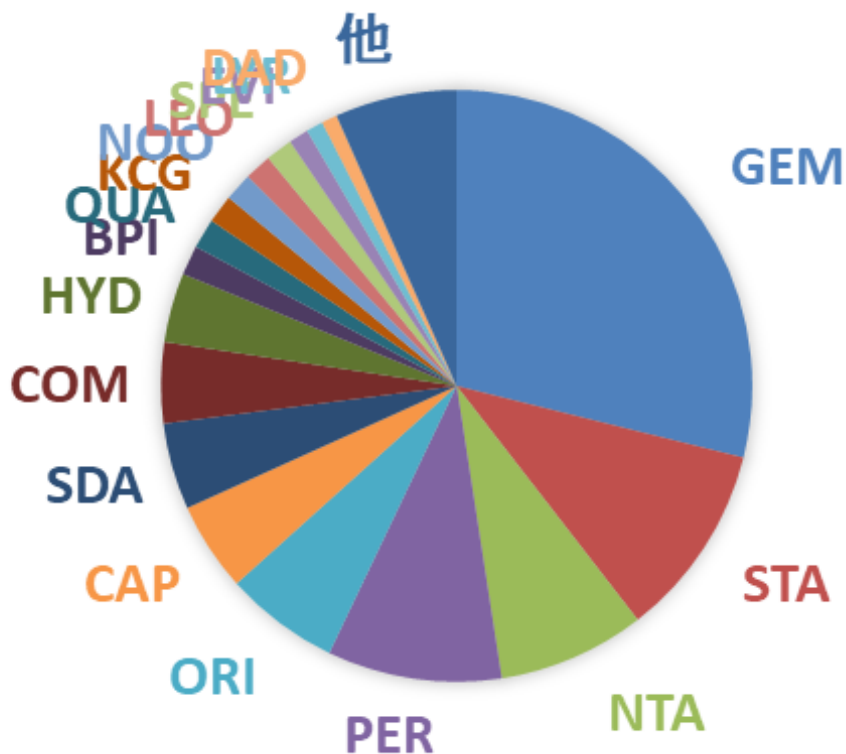
群と散在

判定はUA, と目視で
角速度のチェック

群と散在の割合
N=2959 (有効流星)



群流星 有効流星 N=1777



shower	全流星	有効流星
spo	1822	1387
ANT	361	281
GEM	581	373
STA	171	137
NTA	116	104
PER	150	123
ORI	115	81
CAP	66	63
SDA	109	61
COM	78	57
HYD	63	49
BPI	23	21
QUA	27	21
KCG	28	20
NOO	31	20
LEO	22	19
SPE	26	19
EVI	17	14
LYR	15	12
DAD	14	11
他	125	86
合計	3960	2959

スペクトル分類法

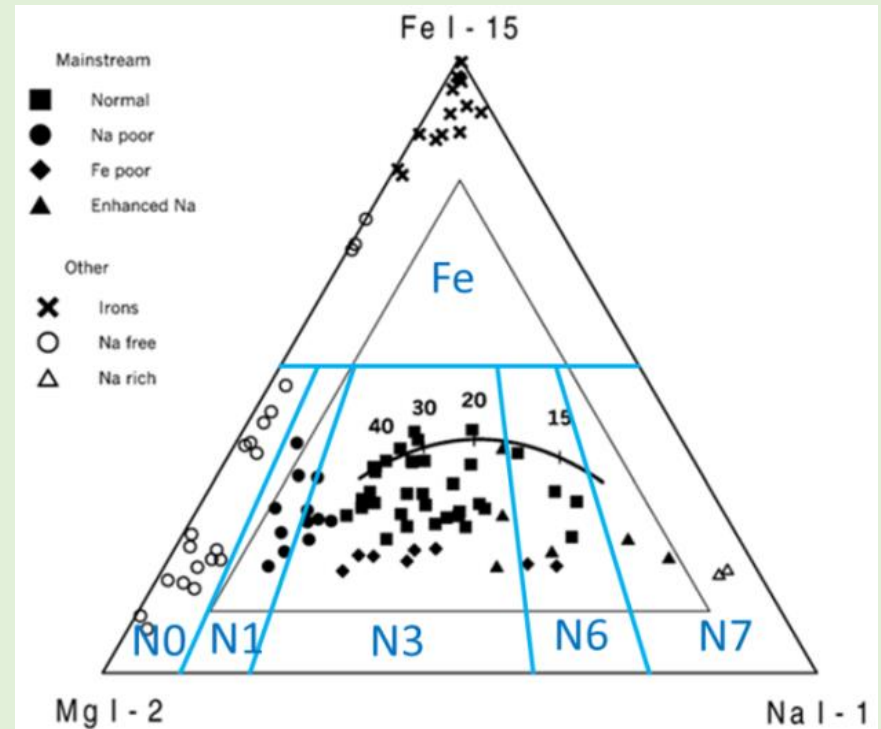
Borovicka (*1) の方法 (右図 黒字)
Mg(マグネシウム)-Na(ナトリウム)-Fe(鉄)
の3元素の強度比で、7種類に分類

This work (右図 青字)
Borovičkaの方法に準じて6種類に分類
ただし、暗い流星は分類不能

スペクトルはMg(518.2nm)、
Na(589.2nm)、Fe(526.9nm)の3本を基準
に同定

スペクトルの強度比は一部は、強度を
測定 (*3) したが、ほとんどのスペク
トルは、目視で決めた

Mg-Na-Fe 三角ダイアグラム

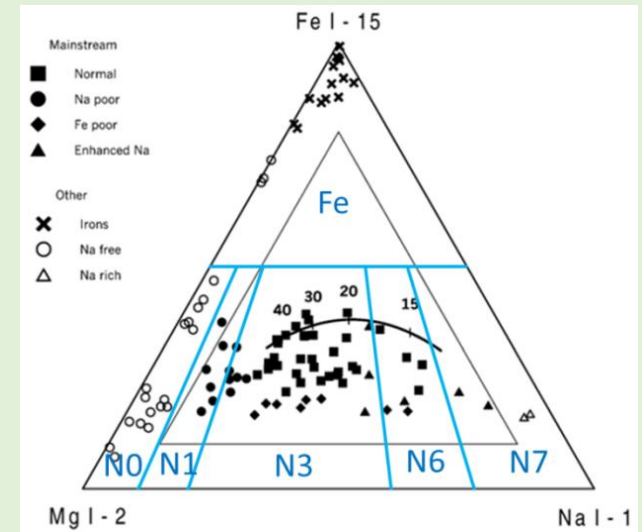


*1 J. Borovička, P. Koten, P. Spurný, J. Boček, R. Štork., *Icarus* **174**, 15 (2005)

スペクトルの分類

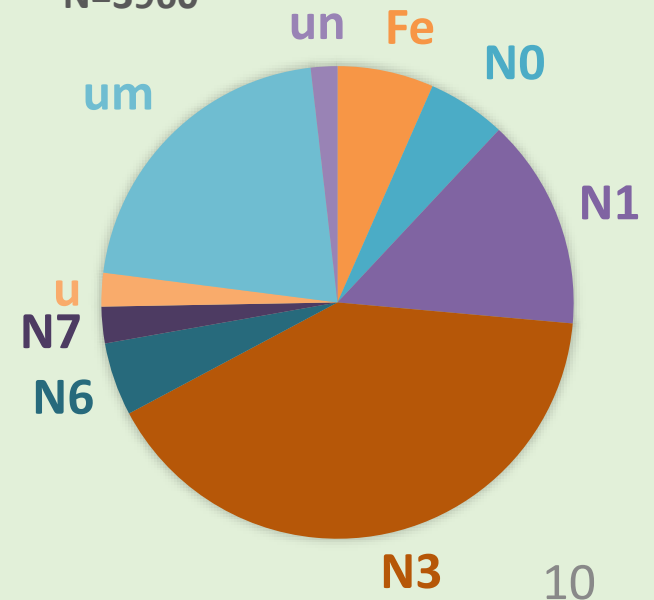
		this work				
分類		Na/(Na+Mg)	type	個数	%	%
メインスト リーム	Borovika					
	Iron	—	Fe	258	6.5	8.7
	Na free	< 10%	N0	212	5.4	7.2
	Na poor	10-20%	N1	570	14.4	19.3
	Nomal	20-60%	N3	1618	40.9	54.7
	Enhanced Na	60-75%	N6	199	5.0	6.7
	Na rich	> 75%	N7	102	2.6	3.4
			小計	2959	74.7	100.0
	不明	100	un	91	2.3	
		0	um	839	21.2	
		—	u	71	1.8	
			合計	3960	100.0	

Mg-Na-Feダイアグラム



スペクトル分類

N=3960



流星群のスペクトルタイプ

鉄流星を除いてNOからN7の流星の割合をプロット → 数値は流星数
10個以上spが撮れた群のみ

特徴

- ・ GEM, SDA

- ・ BPI, QUA

- ・ NOO, DAD

を除くと

群流星は

散在より

Naが枯渇

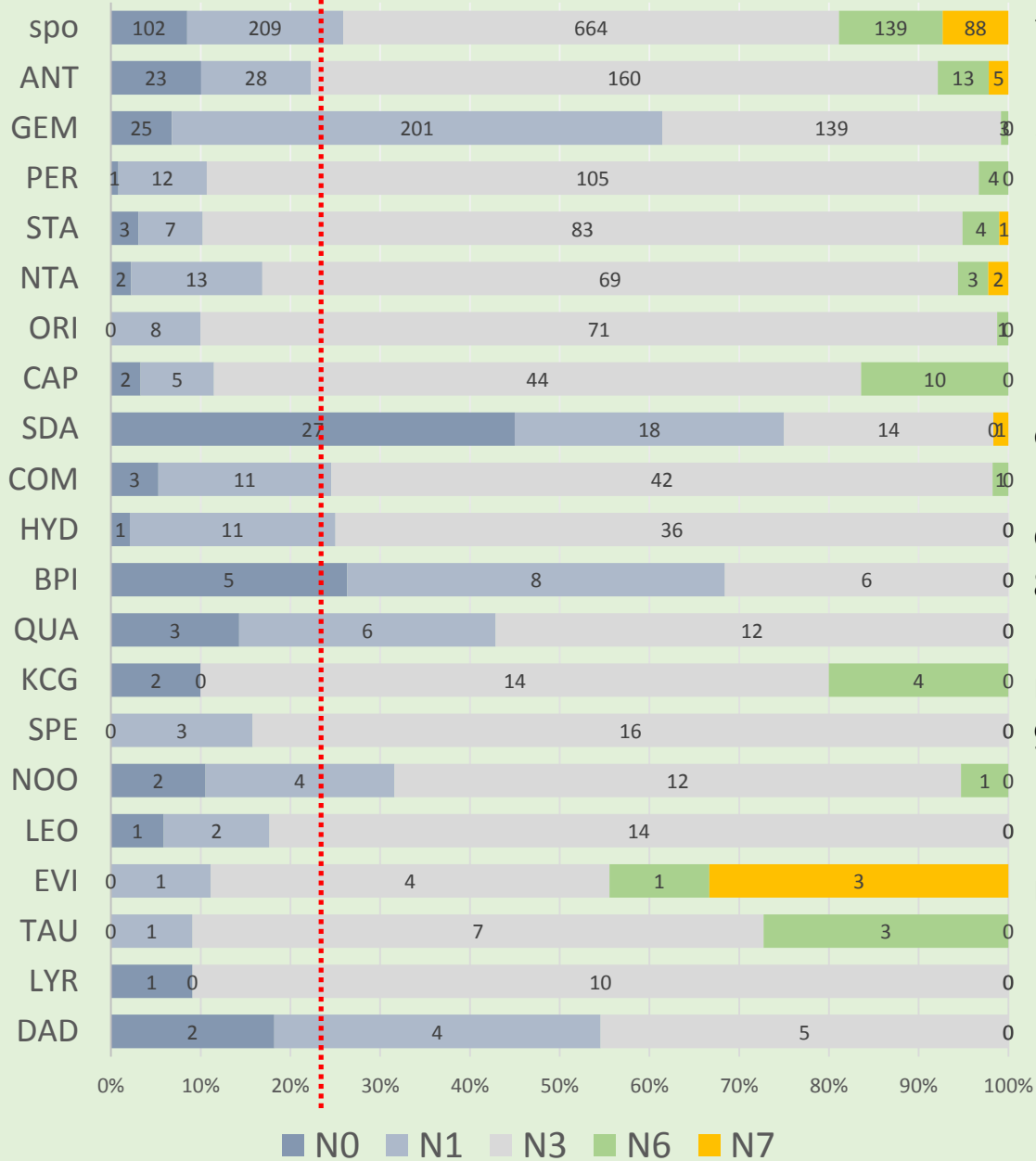
していない

- ・ Na-richな

群がある

- ・ CAP, KCG,

- ・ EVI



散在

アンチヘリオンソース

ふたご

ペルセウス

おうし南

おうし北

オリオン

やぎ

δみずがめ

かみのけ

σうみへび (12月)

8月βうお

四分儀

κはくちょう

9月ペルセウス

11月オリオン

しし

ηおとめ (3月)

おうし (判定できず)

こと

12月αりゅう

Naの強度と軌道要素の関係

- Na強度を数値化

$N0 + N1 / \text{全流星}$

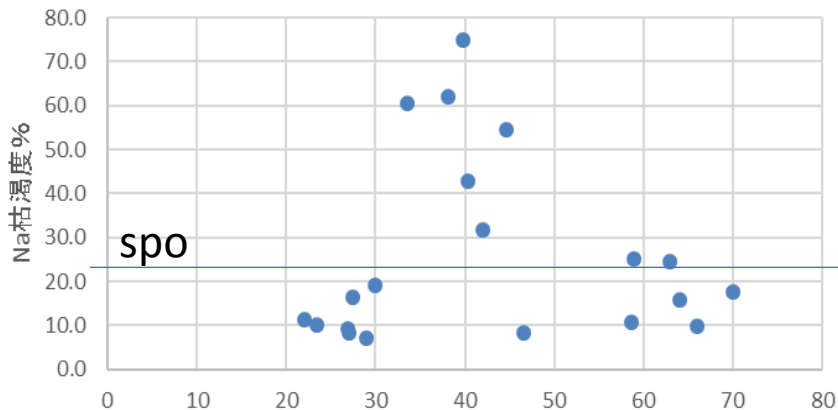
= Na枯渇度 (%)

軌道要素との関係を調べた

	数	数	%	対地速度	軌道要素		
					近日点距離	傾斜角	周期
	total	N0+N1	Na枯渇度	Vg	q	i	P
spo	1385	311	22.5				
GEM	373	226	60.6	34	0.15	22.3	1.5
ANT	269	51	19.0	30			
PER	122	13	10.7	59	0.95	113	33.5
STA	108	10	9.3	27	0.38	5.41	2.7
NTA	91	15	16.5	27	0.37	2.67	2.8
ORI	81	8	9.9	66	0.58	164	22.5
CAP	62	7	11.3	22	0.6	7.2	3.8
SDA	60	45	75.0	40	0.09	25.7	3.7
COM	57	14	24.6	63	0.55	135	30.7
HYD	48	12	25.0	59	0.98	130	51.9
QUA	21	9	42.9	40	0.98	70.9	4.3
BPI	21	13	61.9	38	0.1	20.3	2.9
KCG	20	2	10.0	23	0.98	36.7	5.6
NOO	19	6	31.6	42	0.12	23.3	25.3
SPE	19	3	15.8	64	0.94	140	38.8
LEO	17	3	17.6	70	0.99	162	16.2
EVI	14	1	7.1	29	0.44	5.09	3.3
LYR	12	1	8.3	47	0.92	79.6	60
TAU	12	1	8.3	27			
DAD	11	6	54.5	45	0.98	72.2	4.7

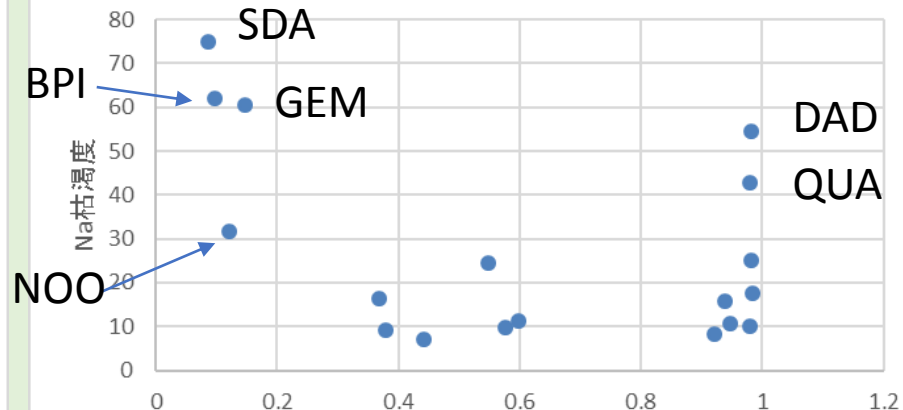
Naの割合と軌道要素の関係

対地速度とNa強度の関係



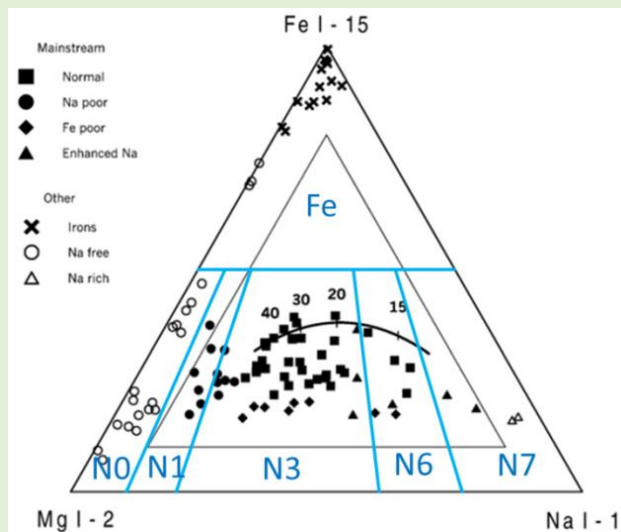
あまり相関無い 対地速度 V_g

近日点距離とNa枯渇度

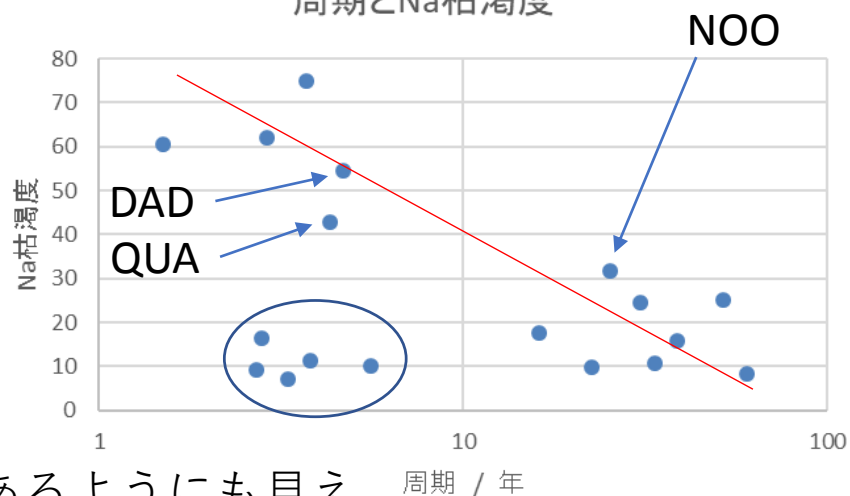


強い関連性あり 近日点距離 / AU

Mg-Na-Feダイアグラム



周期とNa枯渇度



関連あるようにも見えるが例外多数？

小まとめ

群間のスペクトルの相違点、特徴

- Naの割合は、群によって大きく異なる。
それは、Vgの違いから予想されるより大きい
- Naの割合が少ない（枯渇した）流星の割合の大きな群は、近日点距離が小さい。周期が短いという特徴があるが、例外もある。
- GEM以外にもSDA, BPIなどNaの枯渇してる流星群がある
- ペルセとオリオンなど分布に差があまり無い群もある
- Naの割合が多い群もある

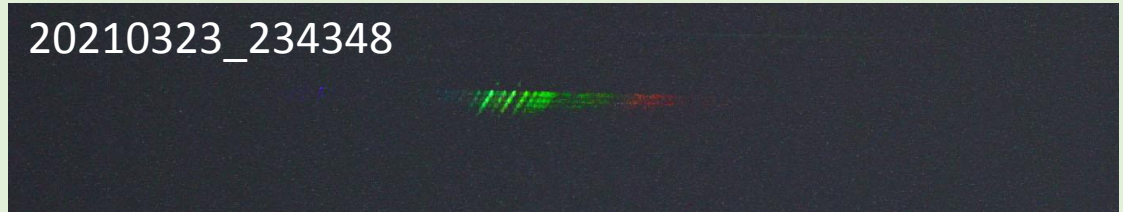
鉄流星

- 鉄以外の元素のスペクトルがほとんど見えない流星
- 現在のところスペクトル観測でしか検出する手段がない
- 右はすべて85mm 300本グレーティング
- 光度変化が特徴的
左の画像はすべて上から下へ流れた流星

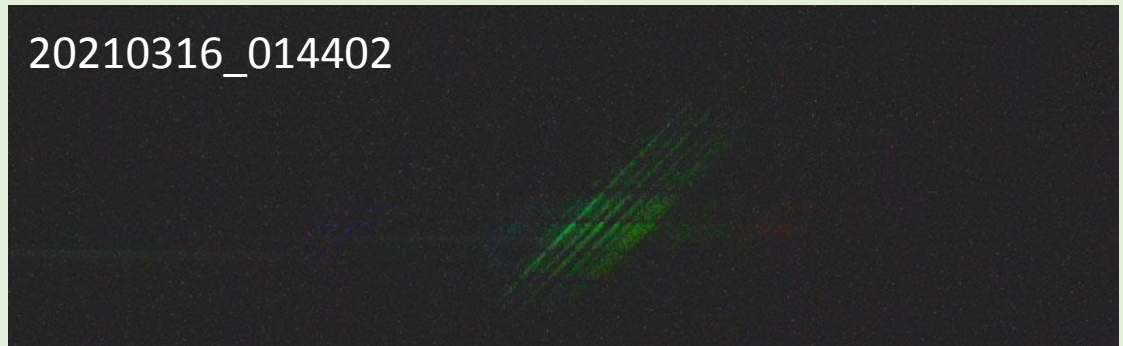
20210209_011948



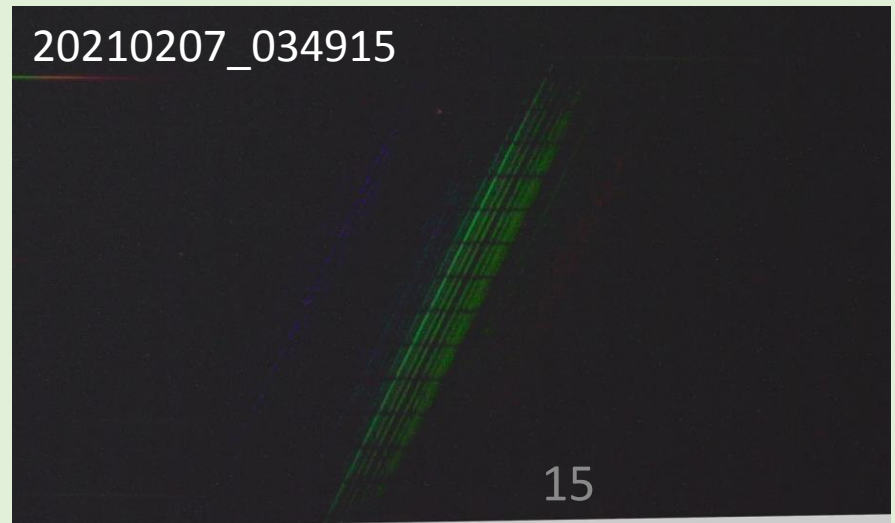
20210323_234348



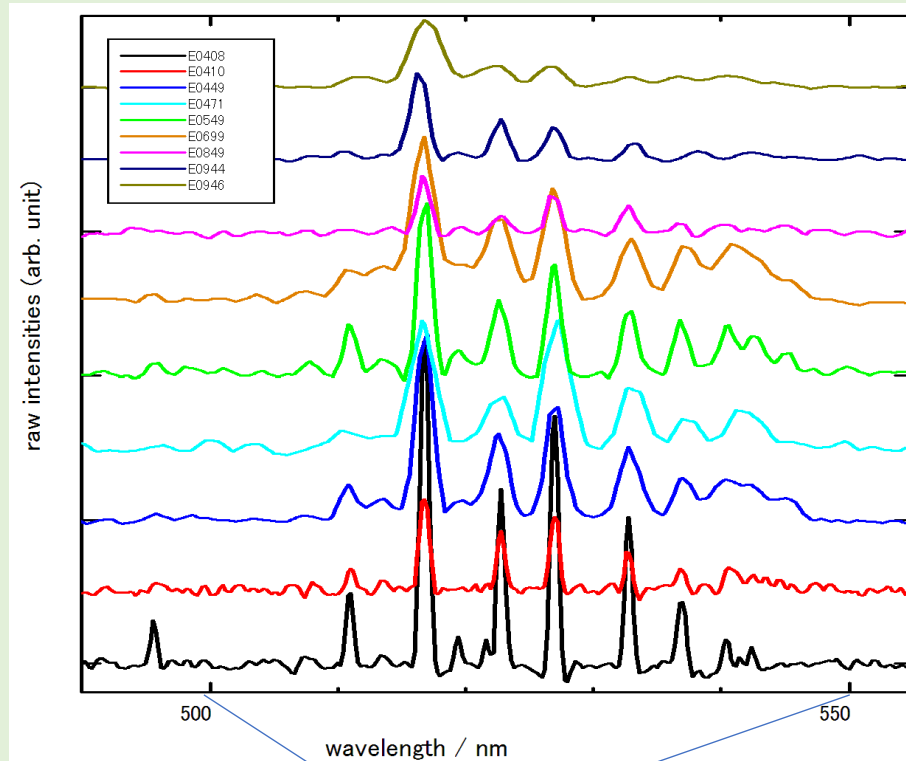
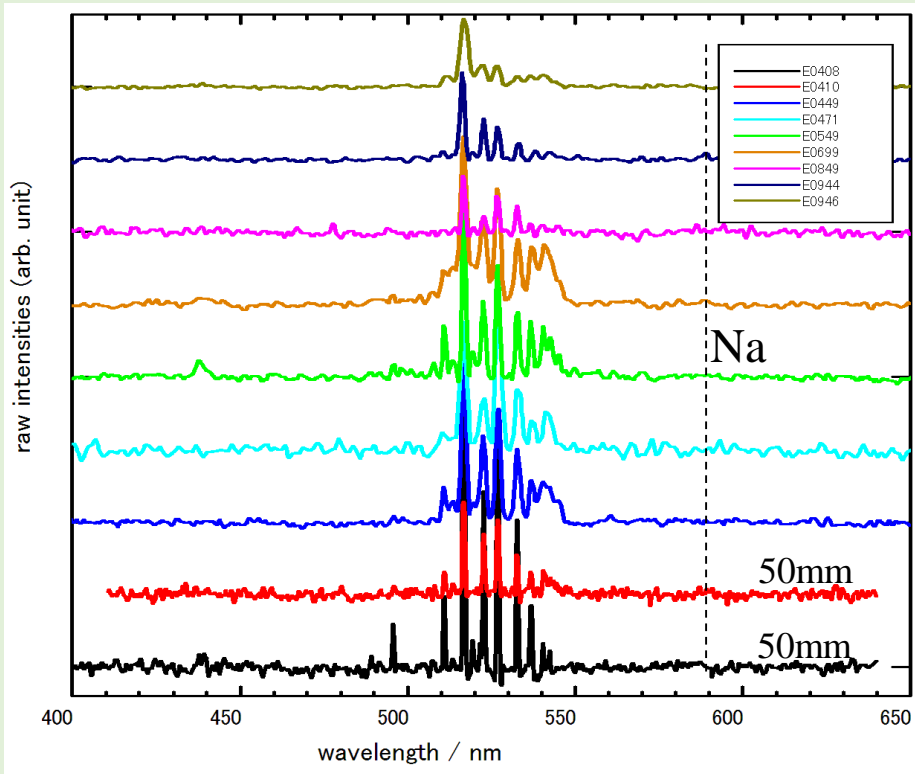
20210316_014402



20210207_034915

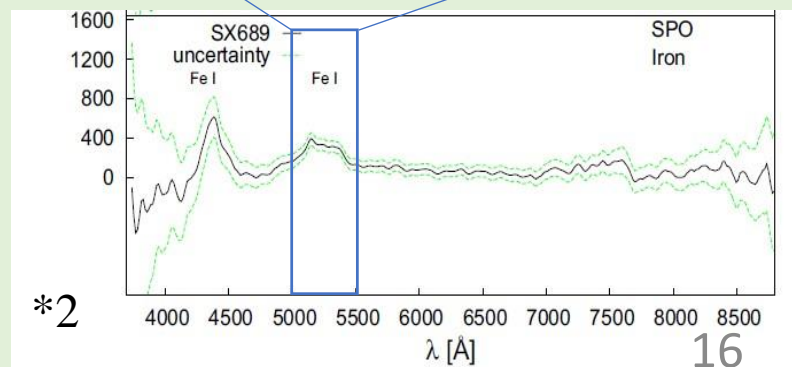


鉄流星スペクトル比較

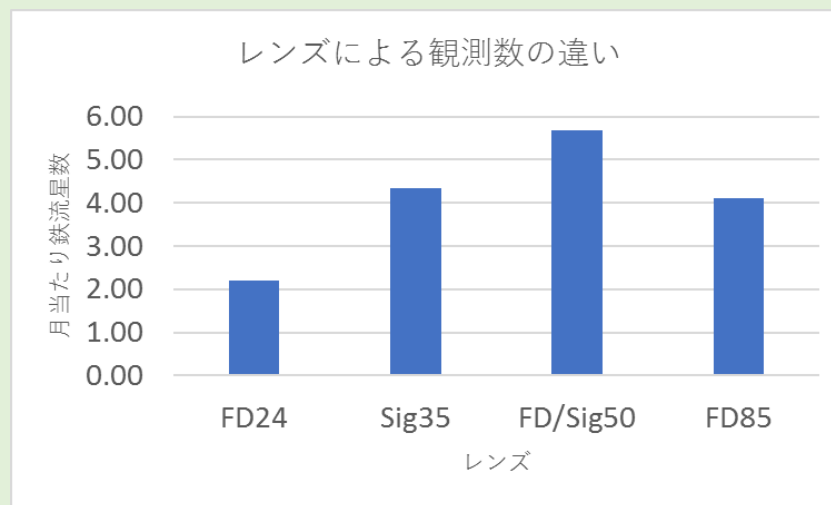
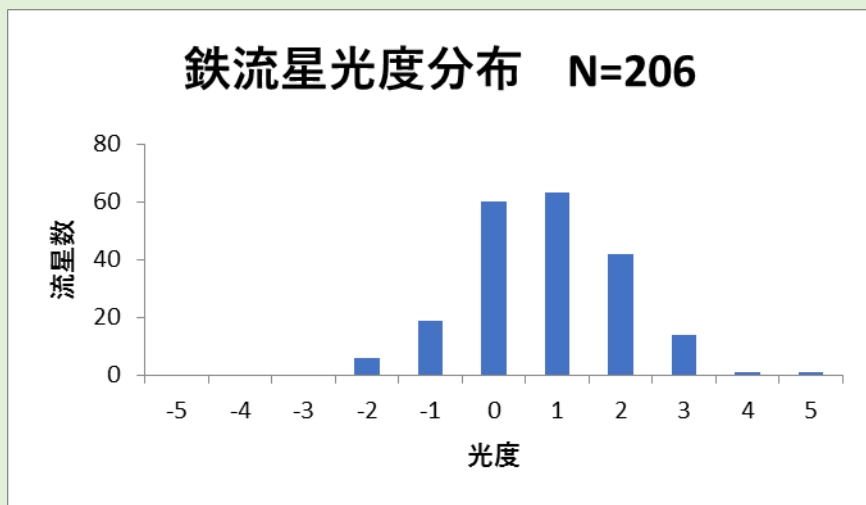


- これまでの観測より分解能が高い
- Mg と Na (589 nm) は、ほぼ0
- スペクトル形状は、どれもよく一致

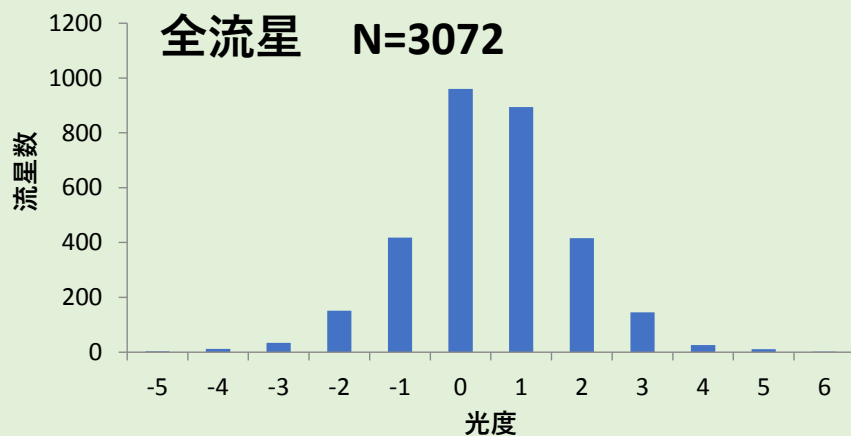
*2) V. Vojáček, A&A **580**, A67 (2015)



鉄流星の写り方



85mmのみ300本Gr、他は600本

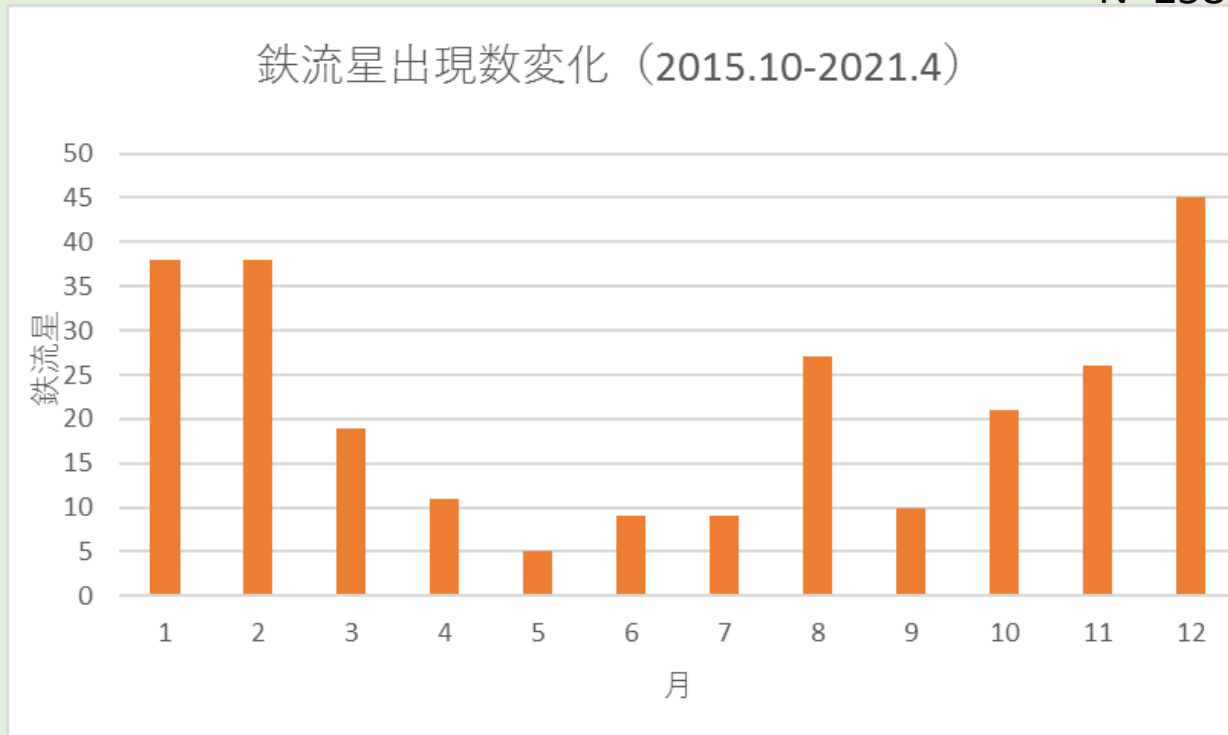


光度分布：特に偏りなし

レンズ：ある程度焦点距離の長い方がよく写る

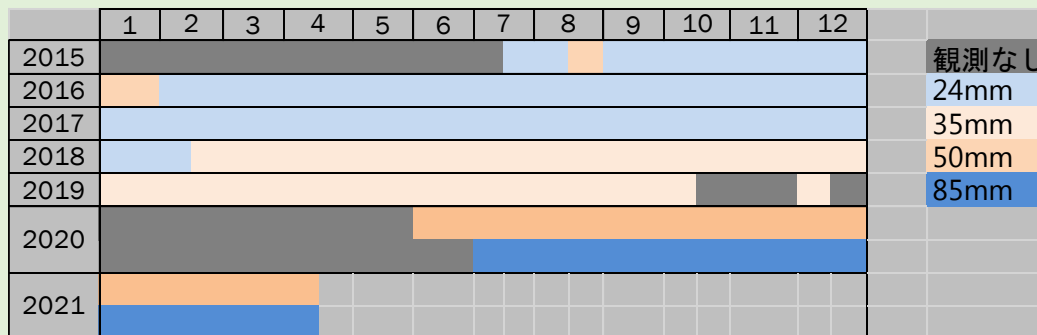
鉄流星の出現時期

N=258



観測期間の
違いなどを
考慮しない
出現数変化

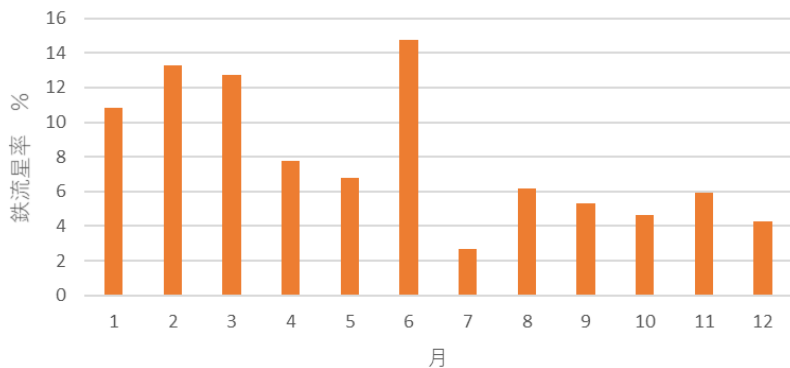
・ 12月から
2月が多い



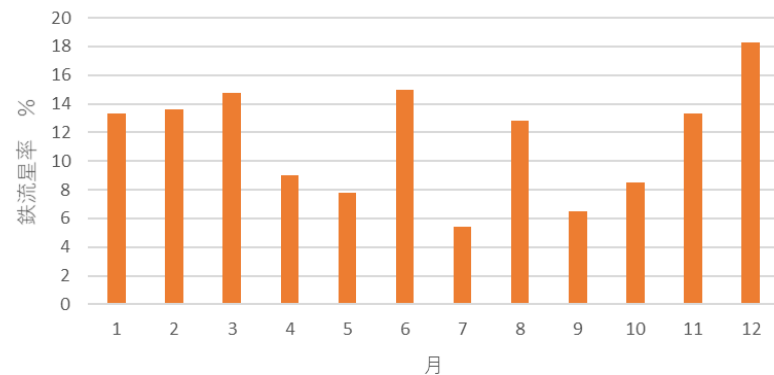
実際の観測期間

鉄流星の出現時期（補正）

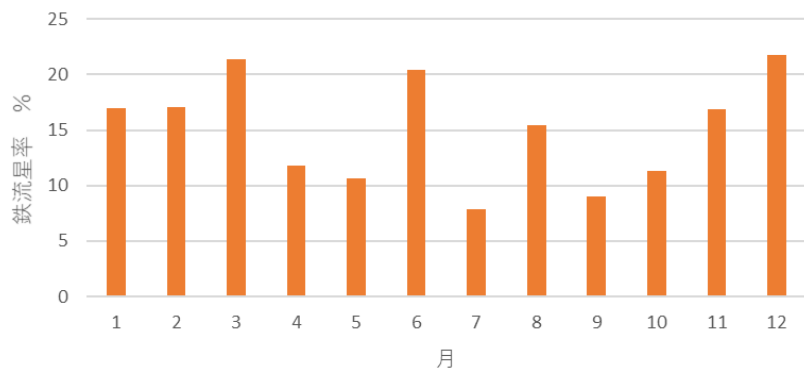
① 鉄流星の全流星に対する出現率



② 全散在流星に対する鉄流星の出現率



③ 有効散在スペクトルに対する鉄流星の割合



① 鉄流星の出現数をその月の全流星数で割った分布：群流星の影響あり

② 鉄流星の出現数をその月の全散在流星数で割った分布：観測日数、時間のちがいによる程度補正

③ 鉄流星の出現数をその月の有効散在流星数で割った分布：カメラレンズのちがいによる暗い流星の違いをある程度補正

12月から3月が多いが、差は小さくなった

鉄流星の出現時刻

鉄流星と散在流星の出現数変化



有効散在流星に占める鉄流星の割合の変化



23時ごろに多く感じていたので、分布を取ってみた。

→ 23時から0時台にピーク

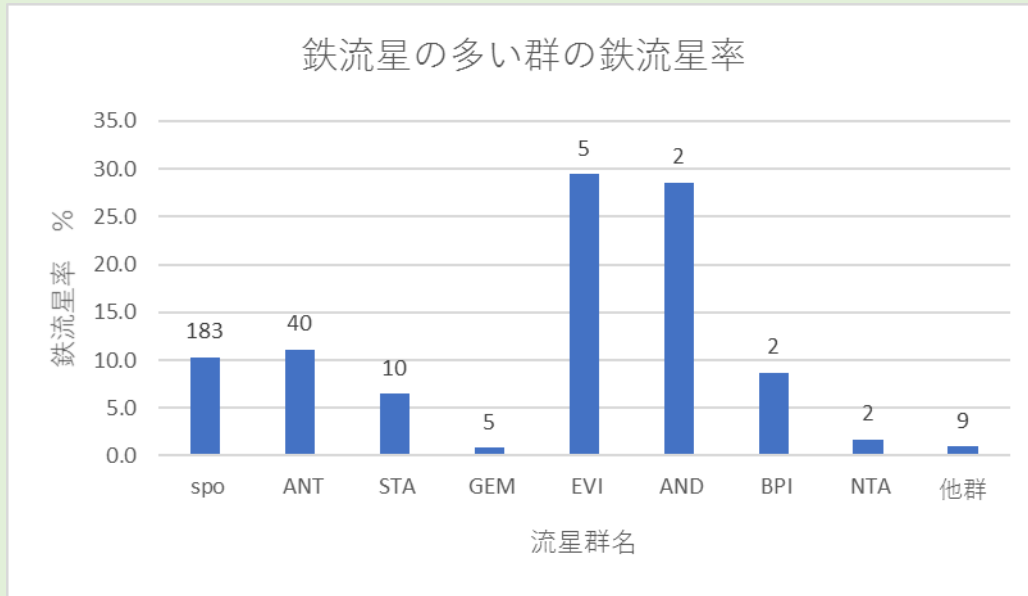
散在流星の増える明け方には明らかに減少

散在流星との比は、夕方に最大で、25%を超える

→ 地球に追突するタイプの軌道？

鉄流星と流星群

鉄流星が2個以上出現した流星群



	鉄流星数	全流星数	鉄流星率 %
spo	183	1772	10.3
ANT	40	360	11.1
STA	10	154	6.5
GEM	5	579	0.9
EVI	5	17	29.4
AND	2	7	28.6
BPI	2	23	8.7
NTA	2	116	1.7
他群	9	910	1.0
	258	3938	6.6

- 鉄流星は散在流星が、ほとんどだった
- ANTは鉄流星の割合が多いと思っていたが、散在と同じ程度
- 鉄流星の割合が多い流星群が見つかった

EVI: ηおとめ群

BPI: 8月のβうお群、AND: アンドロメダ群も

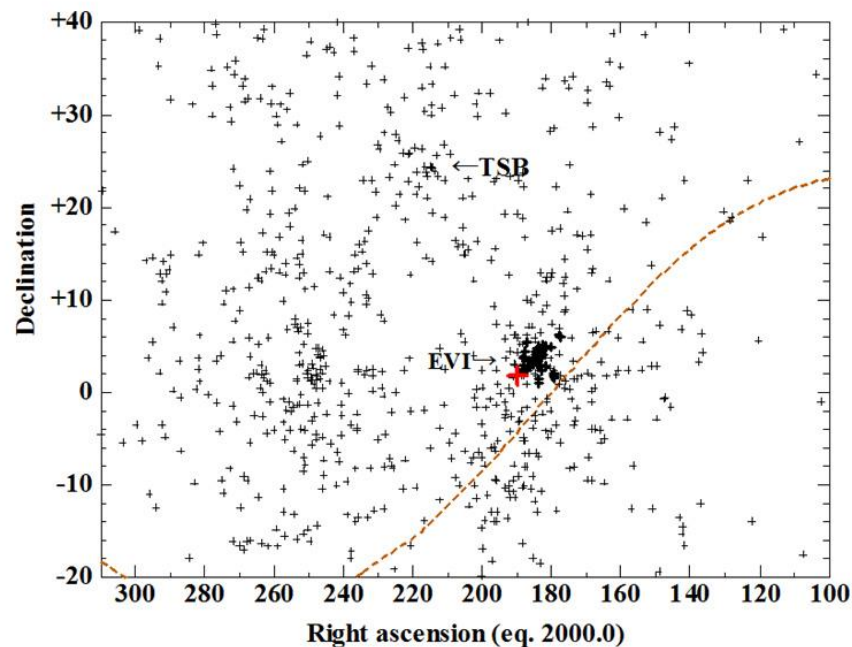
多めだが、まだ、鉄流星が2個なので、今後要注意としておく

EVI群とは

- 古くから知られている小流星群
- おとめ群呼ばれていた群の一部
- 輻射点は良く集中
- 木星との3:1共鳴で4年周期で増加 (2)
- 2017年に多かった

	EVI 検出数	鉄流星
2016	0	0
2017	2	0
2018	7	1
2019	1	0
2020	0	0
2021	7	4

レンズ別	EVI 検出数	鉄流星
24mm	2	0
35mm	8	1
50mm	2	2
85mm	5	3



図*. 2017年おとめ座 η 流星群(EVI)同時流星の輻射点の天球上の分布
 + おとめ座 η 流星群の輻射点
 + EVI群以外の同時流星の輻射点 (2017年3月)
 -- 黄道
 赤色の+ : 2018年3月23日3:11:20(JST)の火球

1)

		期間	期間	max	太陽黄経	α	δ	Vg	a	e	q	Ω	i	ω	P	Q	N	IAU No
			deg		deg	deg	deg	km/s	AU		AU	deg	deg	deg	year	AU		
Ueda	おとめ座 η 流星群	Feb.27-Aqr.01	338-12	Mar.16	356	184.9	3.4	29	2.23	0.801	0.442	356	5.09	284.45	3.3	4.02	154	11
Shiba	おとめ座 η 流星群		354-6		356.45	184.24	2.86	26.589	2.341	0.8057	0.455	356.45	5.19	282.56	3.58			

1) 上田昌良 SonotaCo BBS

2) Y.Shiba WGN 46:6(2018) p184

鉄流星小まとめ

- 鉄流星は、12月-3月に多い。散在の20%
- 散在に対する割合は、夕方に最大25%
- ほとんどは散在流星だが、 η おとめ群だけは鉄流星の割合が高い：30%

- 終わり