

# 流星の分光観測研究について

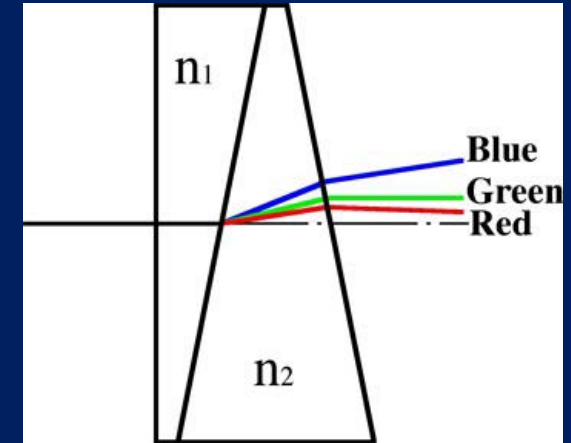
海老塚 昇

理化学研究所・日本流星研究会

第2回流星スペクトル研究会

2020年5月4日

# 直視プリズムによるしし座流星群の 眼視分光観測（1866年）



A. Continuous spectra, or those in which the whole of the colours of the solar spectrum were visible, excepting the violet rays.

連続スペクトル、紫が無い。

B. Spectra in which the yellow greatly preponderated ; but which in every other respect resembled those above described.

黄色が強い連続スペクトル。Mg@514nm+Na@589nm?

C. Spectra of almost purely homogeneous yellow light, but with a faint continuous spectrum, that is, a faint trace of red on one side and green on the opposite side of the yellow portion of the spectrum.

純粋な黄色と赤から緑の弱い連続スペクトル。ナトリウム@589nmが支配的?

D. Spectra of purely homogeneous green light, of this kind I only saw two.

純粋な緑色。短痕（酸素の禁制線@558nm）？

J. Browning, "On the Spectra of the Meteors of Nov. 13-14, 1866," MNRAS 27 (1867) 77.

# 回折格子、写真・検出器の発展と流星観測

1785年 回折格子の発明<sup>1)</sup>。

1871年 写真乾板の発明<sup>1)</sup>。

→プリズム分光写真儀 (~1950年頃)。

1930年代 アルミ蒸着の実用化<sup>2)</sup>。

→回折格子分光写真儀が暗い天体に使用可能に。

1949年 レプリカ回折格子の発明<sup>2)</sup>、**透過型回折格子の実用化。**

1950年頃 イメージ・インテンシファイアの発明<sup>1)</sup>。

→**ビデオ流星観測の実用化 (1970年代)。**

1960年代 CCD, CMOS撮像検出器の発明<sup>1)</sup>。

→**ビデオ流星観測用機材の低価格化 (1990年頃)。**

1990年頃 UFOキャプチャーがリリース。

→**ビデオ流星観測の自動化。**

1) 海老塚, “天文学分光観測装置および分散光学素子,” 天文月報 **111** (2018) 297.  
[http://www.asj.or.jp/geppou/archive\\_open/2018\\_111\\_05/111-5\\_297.pdf](http://www.asj.or.jp/geppou/archive_open/2018_111_05/111-5_297.pdf)

2) 海老塚, “回折格子の精密加工,” 精密工学会誌 **85** (2019) 1062.

# 流星の写真観測



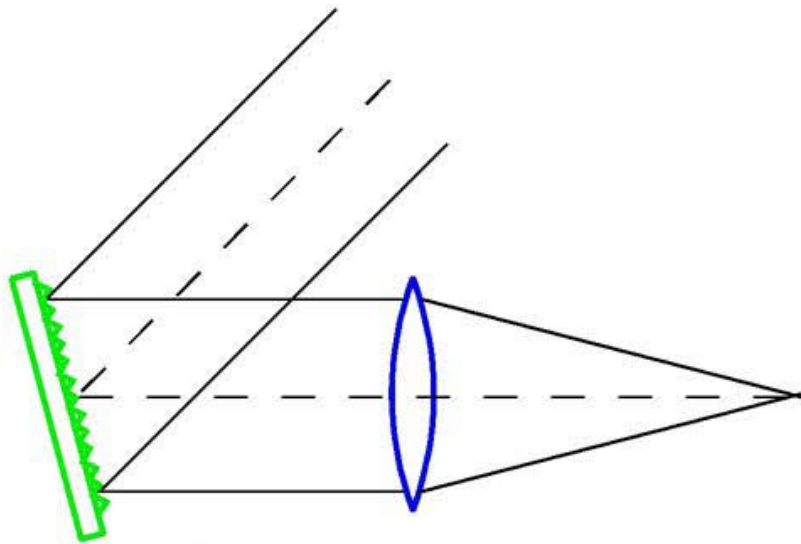
四連写真儀

<http://www.ne.jp/asahi/meteor/star/index.html>

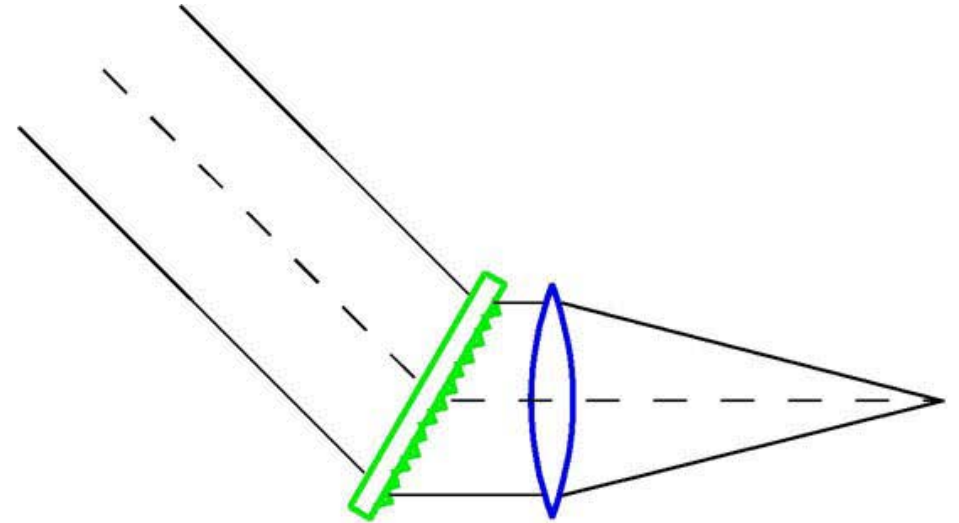
カナダ王立天文台のスーパーシュミットカメラ (主鏡径: 58cm, 有効径: 31cm, F0.85, プレート直径: 31.8cm, 写野:  $55^\circ$ , 1950年代)

<https://nrc-digital-repository.canada.ca/eng/browse/images/?cn=nrcarchivesphotographs&al=Astrophysics+Box+3>  
Millman, RASCJ 53 (1959) 15.

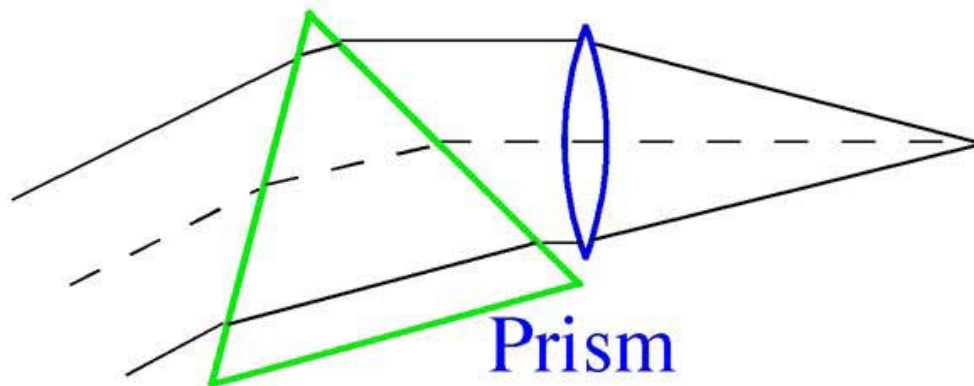
# プリズムと各種回折格子



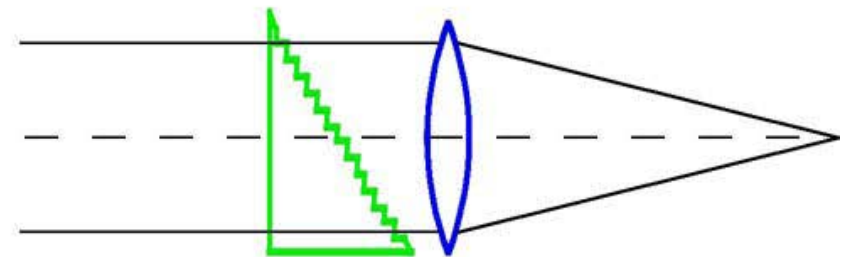
Reflection Grating



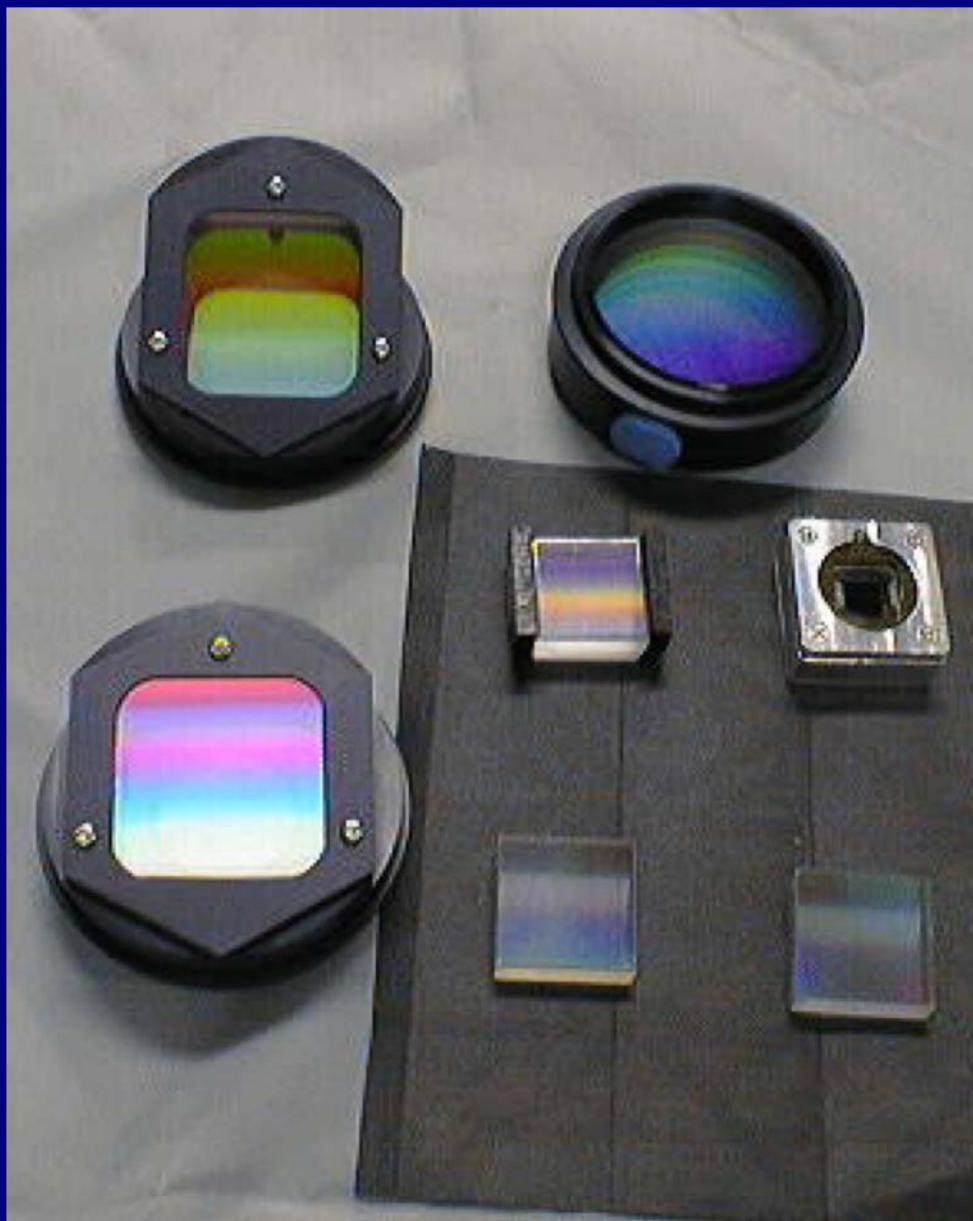
Transmission Grating



Prism

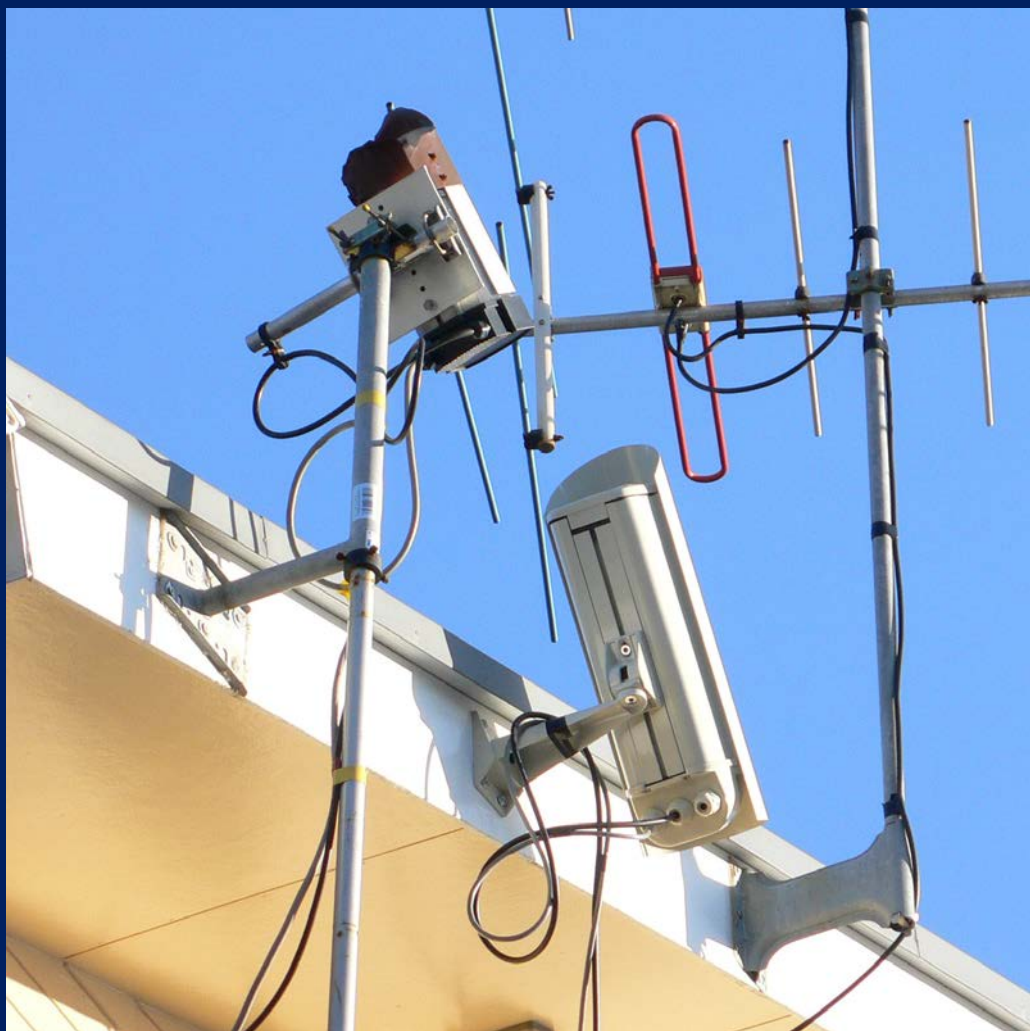


Grism



1999年のしし座流星群の分光観測に使用したグリズムおよび対物プリズムと、日本国内の協力者観測地点

# 前田さん (宮崎市) の観測機材

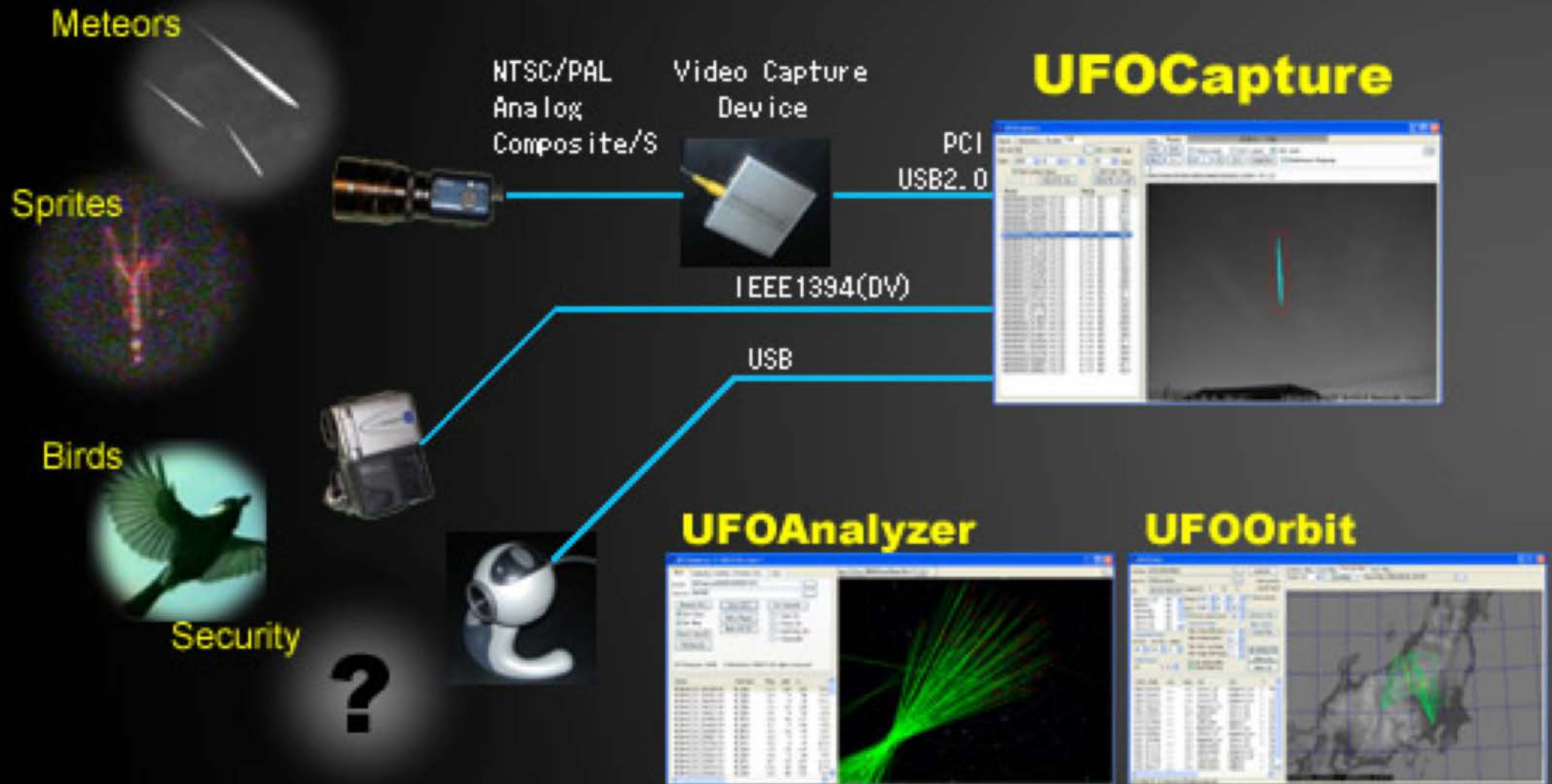


ほぼ同方向に向けた2台  
のカメラ (WAT-902H)



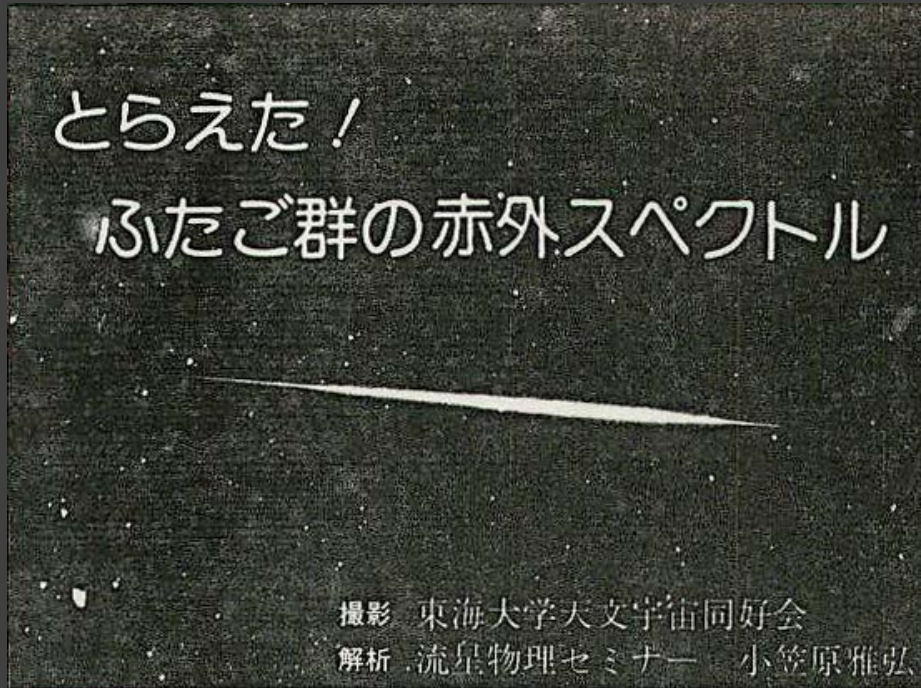
グリズムを取付けた  
カメラのハウジング

# UFOキャプチャー





# ふたご座流星群の赤外線スペクトル



電気通信大学天文同好会 撮影  
マミヤ (f=30, F2.8) トライX  
自動追尾。

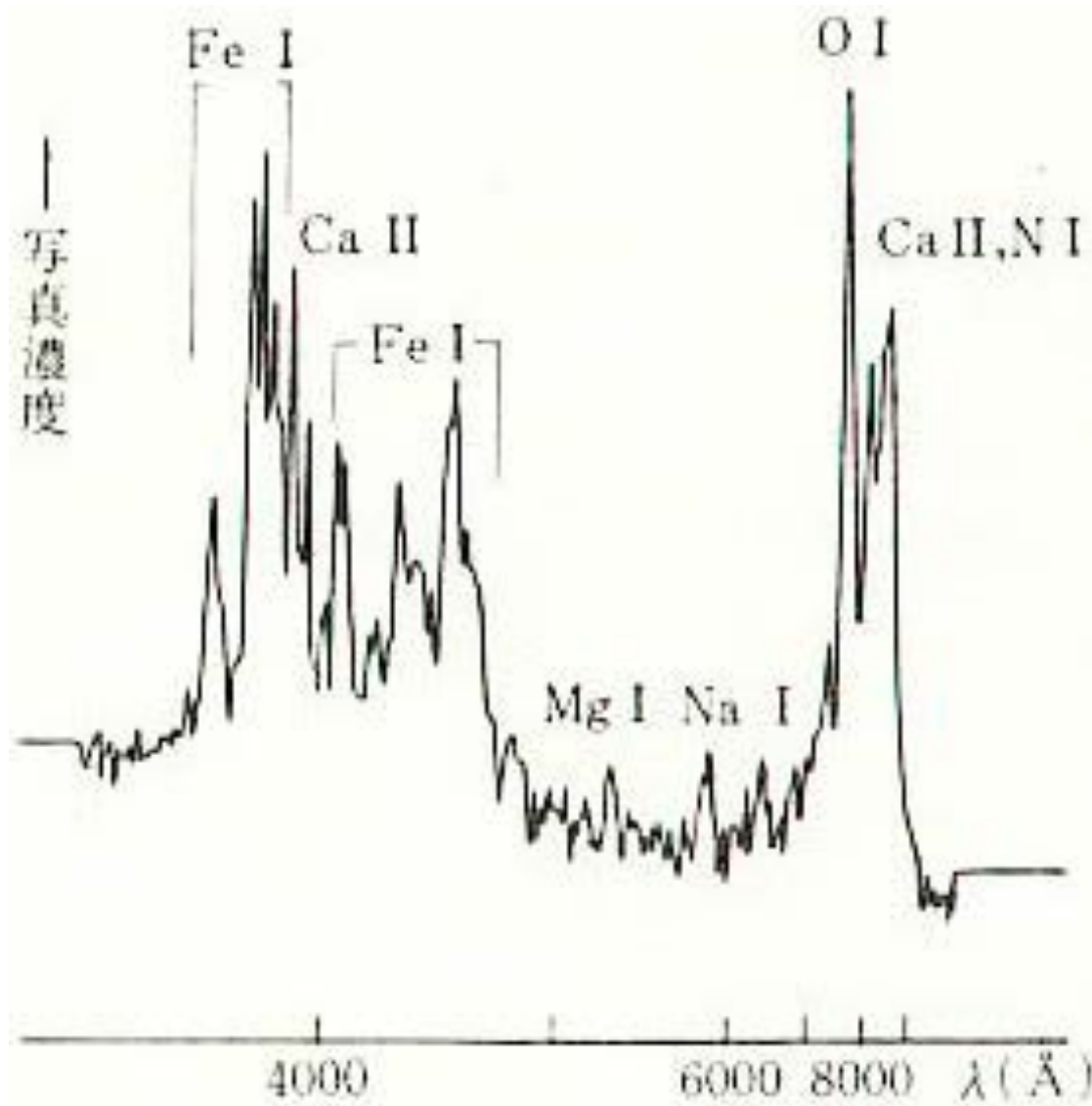
機材：流星用分光プリズム（高橋製作所製）、  
PENTAX SPF (f=50, F1.4)

フィルム：ハイスピードインフラレッド（コダック製）

現像：D19現像液、20°C, 5分

撮影：1979年12月15日23時35秒、東海大学湘南校舎（平塚市）

# ふたご座流星群の赤外線スペクトル



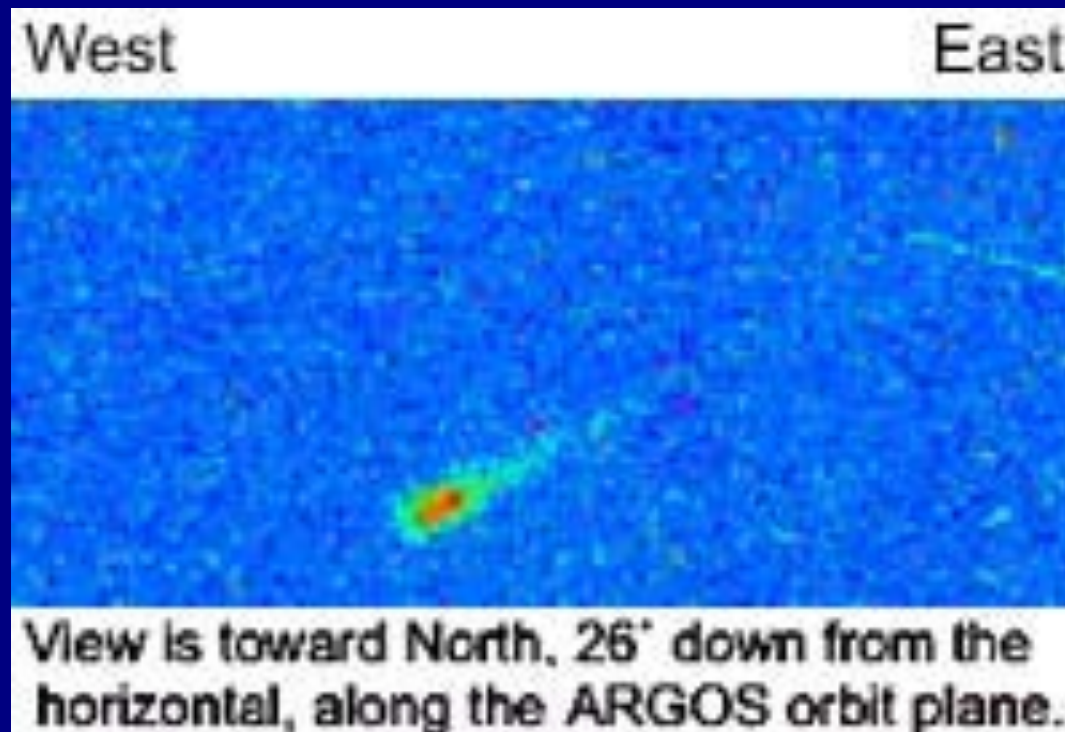
No	測定値*	測定波長	同定波長	原子	備考
1	48	3760	3746	5Fe	
			3749	5Fe	
			3759	21Fe	
2	71	**3860	—	4Fe	S
3	77	3870	3873	20Fe	
4	84	3900	3900	4Fe	
			5	91	
6	99	**3968	—	1Ca II	
7	104	4000	4005	43Fe	
8	111	4010	4010	72Fe	
9	113	4050	4046	43Fe	
10	123	4110	4101	18Fe	
11	136	4200	4202	3Fe	S
12	142	4230	4234	152Fe	
13	148	4280	4272	42Fe	
14	159	4380	4376	2Fe	S
15	166	4420	4427	2Fe	
16	170	4450	4455	4Ca	
			4462	2Fe	
			5200	5167	
5172					
17	240	5200	5173		
18	278	**5890	—	1Na	
19	330	7520	7442	3N	
			7468		
20	338	**7774	—	1O	S
21	347	~8400	8446	4O	
22	356	~8800	8662	2Ca II	
			8542		
			8680	1N	

小笠原, 天文と気象, 1980年4月号, 25.

\* マイクロフォトメータによる測定値  
 \*\* 分散曲線の基準に用いた輝線  
 S — 強い輝線

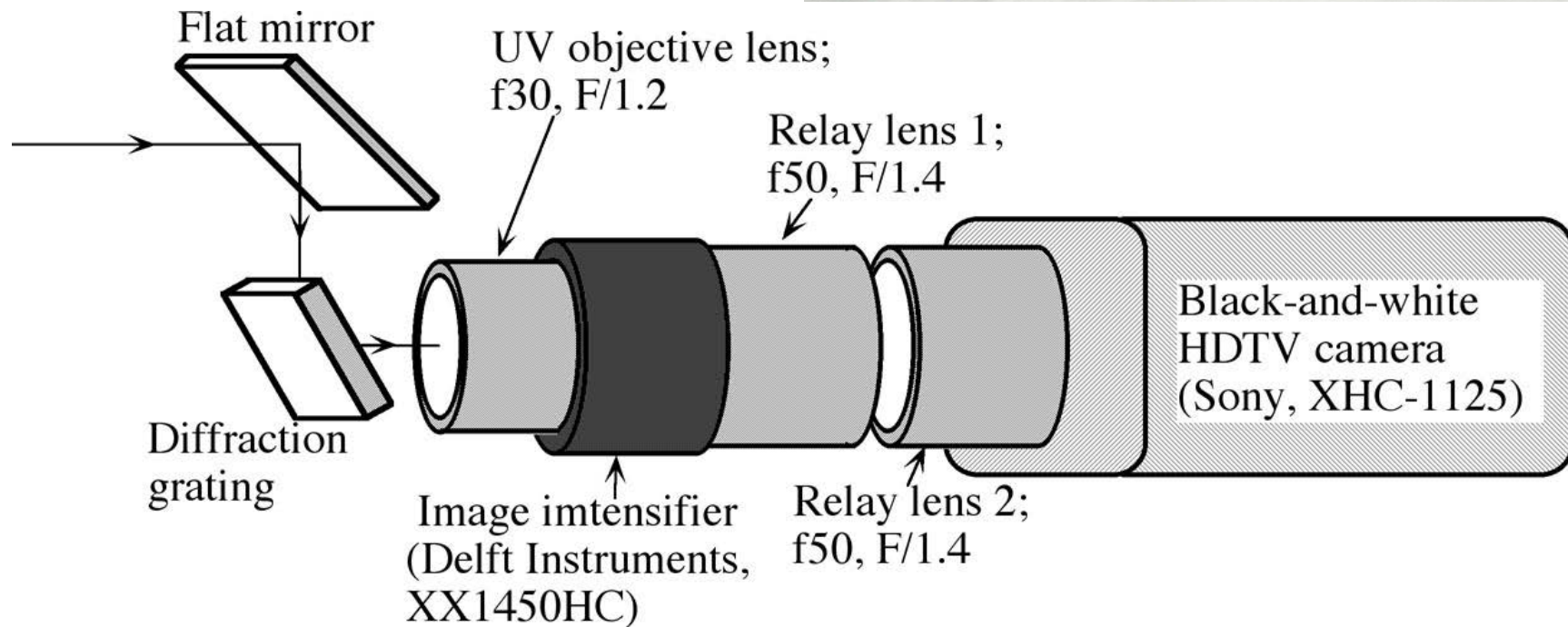
# 流星の紫外線観測

- NASAの衛星：直径0.1mm以下のチリが120km以上の高度において紫外線で強く光っている可能性を指摘。
  - 彗星の分光観測：波長380nm付近のCN（シアン基）や300nm付近のOH（水酸基）のスペクトルを検出。
- 流星にもCNやOHが観測されると彗星起源の有機物が1/100mm以下の小さな粒として蒸発せずに地上に達している可能性を示唆できる。



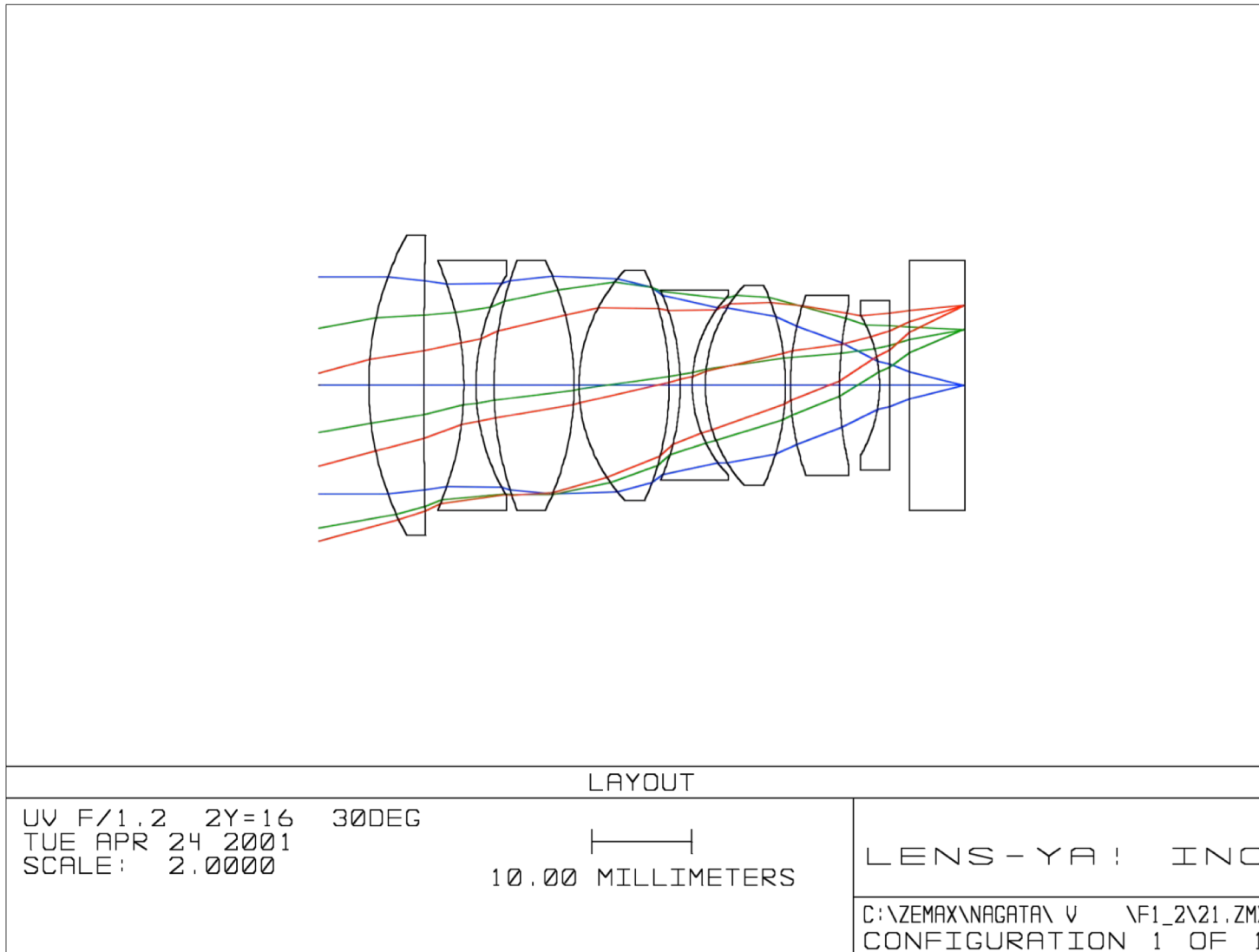
衛星から紫外線で捉えたしし座流星群。ARGOS衛星による紫外線映像 (右: 1999年, 波長130~200nm)。 <https://www.spacedaily.com/news/meteor-00c.html>

# 流星分光観測システム



反射型回折格子の対物分光器+ UV I.I. HDTVシステム

# 紫外線レンズ



石英とホタル石で構成された独自の紫外線レンズ  
( $f=30$ ,  $F/1.2$ , 使用可能波長 : **250-1,000 nm**) を開発。



## 2001年のしし座流星観測

野辺山電波観測所, すばる望遠鏡サイト (ハワイ), Mt. Isa (オーストラリア)



## 2002年のしし座流星観測

Leonid MAC (大西洋上空), Tenerife島 (カナリア諸島), 野辺山電波観測所

# 2001年しし座流星群



2001年11月18日

野辺山電波観測所

# しし座流星群の紫外線-可視光スペクトル

TCR 03:59:24:13

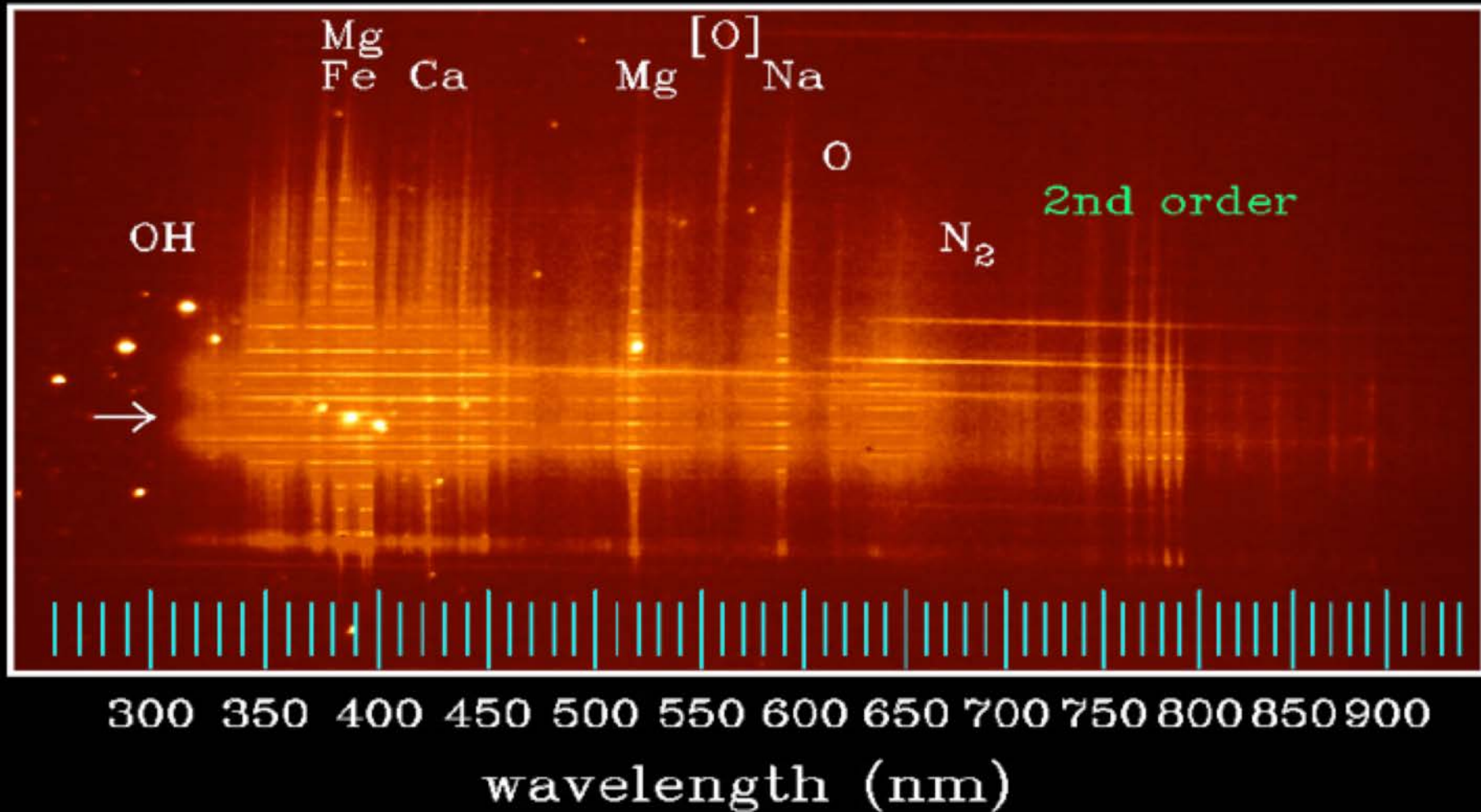
2001年11月18日午前3時59分

野辺山電波観測所



# ハイビジョンカメラによる流星の紫外線-可視光スペクトル

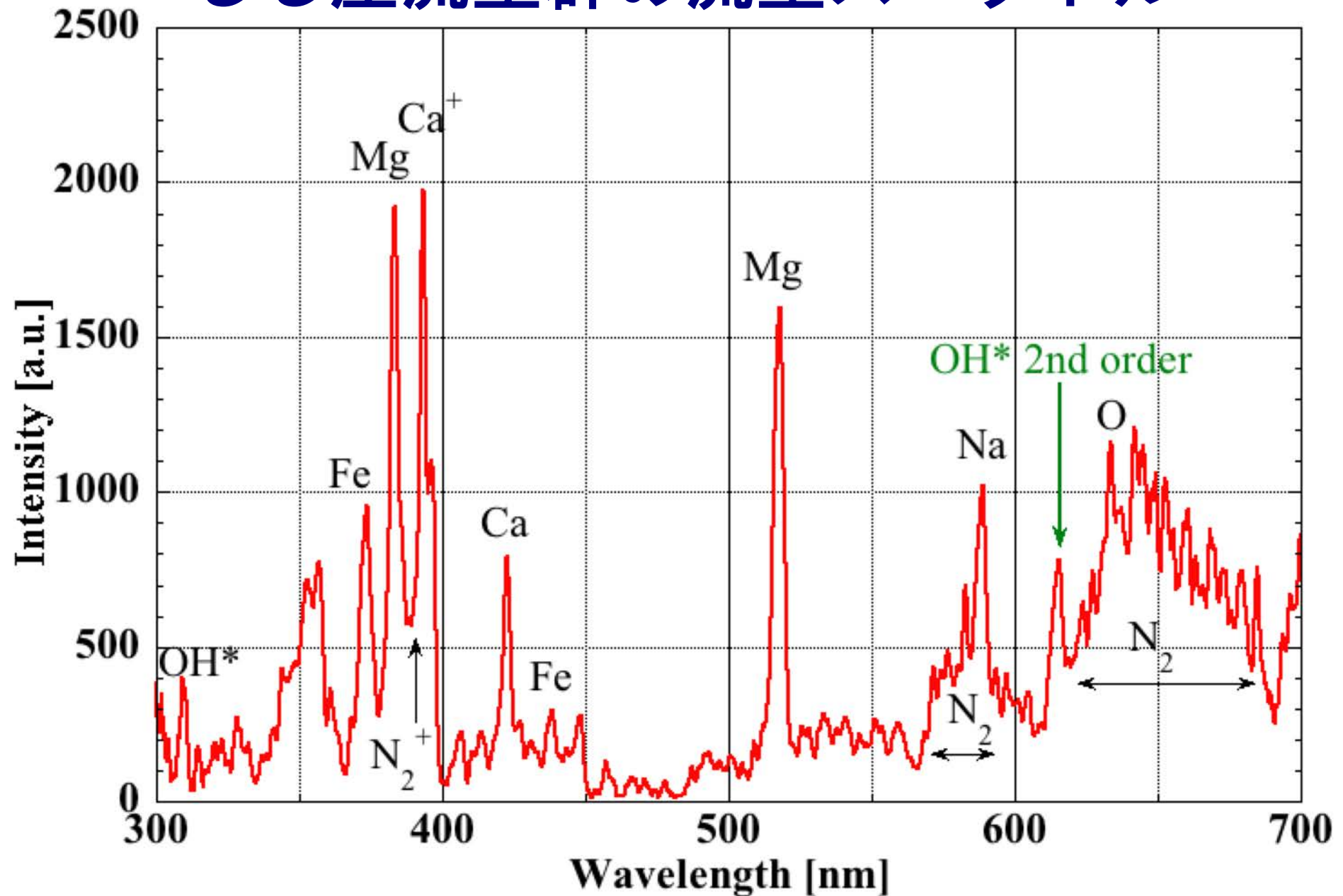
HDTV Spectrum of 2001 Leonid Meteor



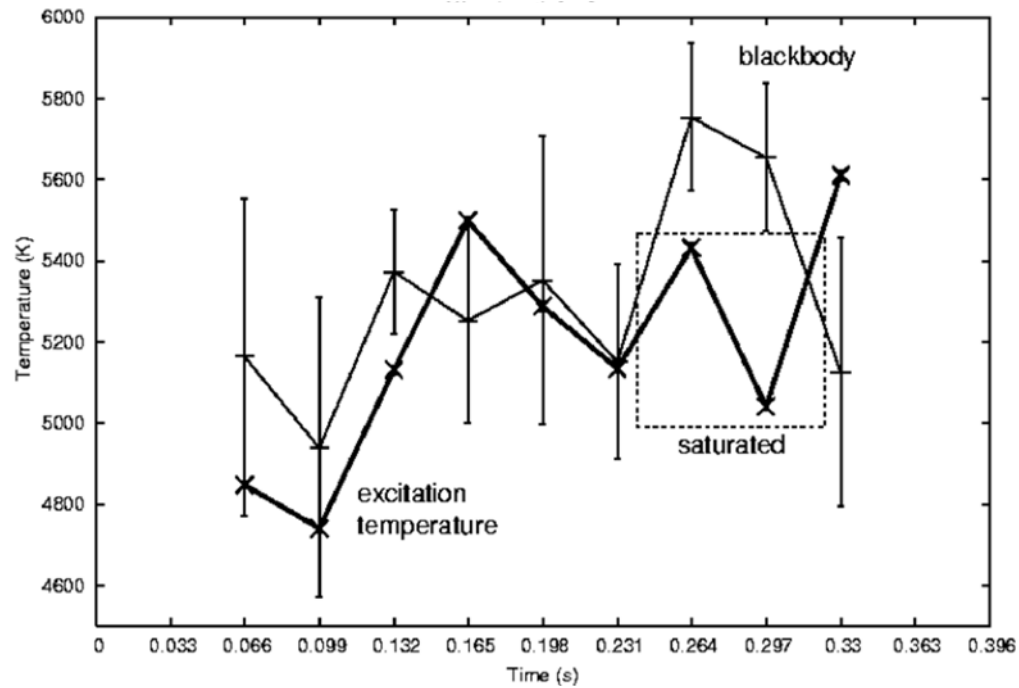
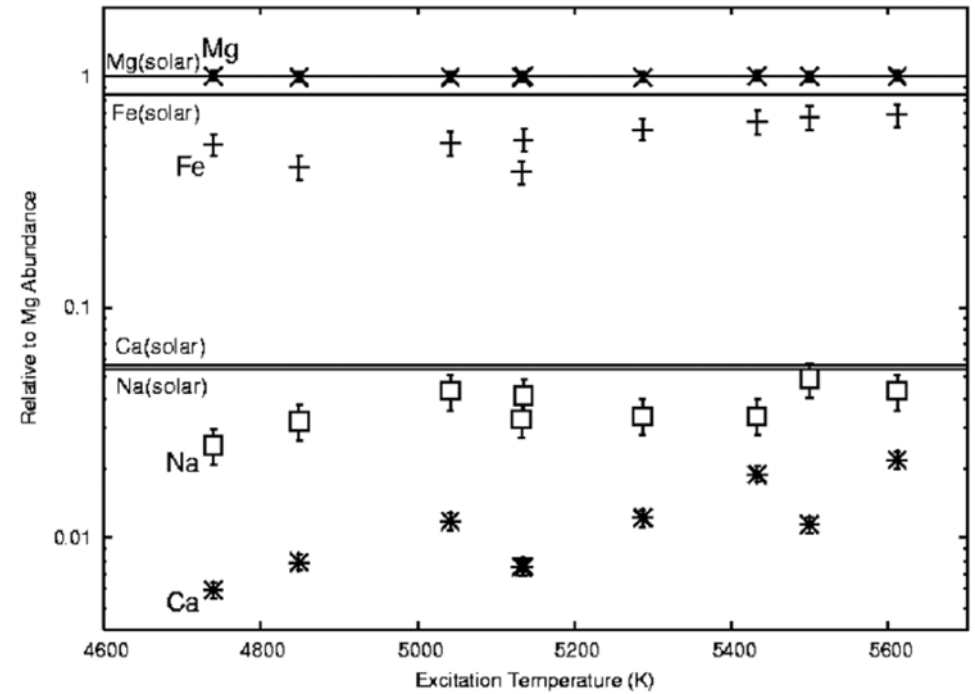
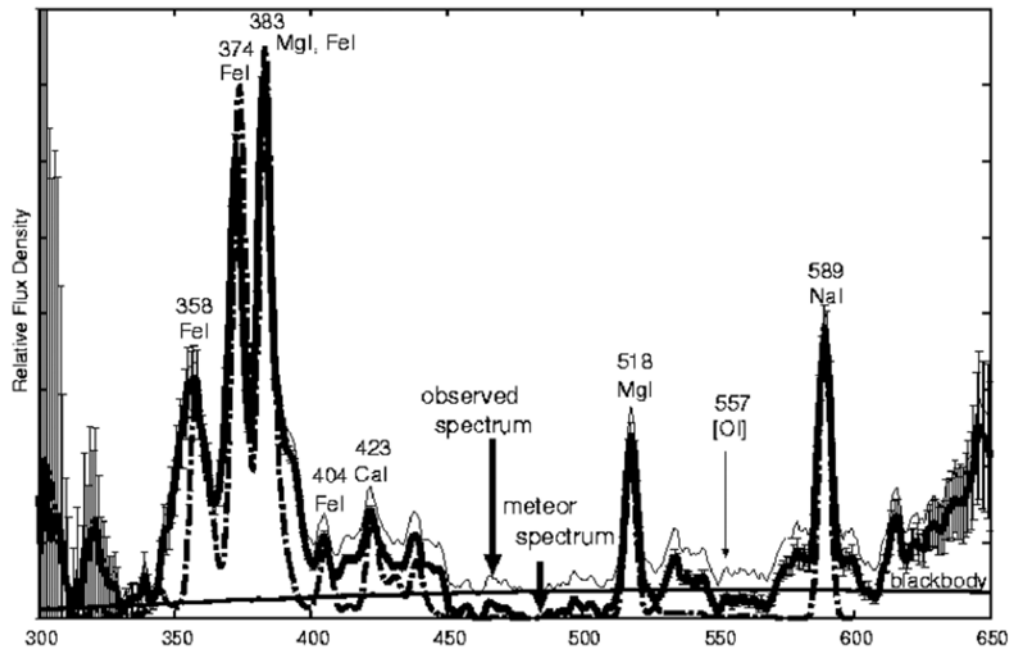
波長310nm近傍のOHスペクトルを確認? (2001年、野辺山電波観測所)

阿部 他, “流星に生命の起源を求めて,” 天文月報 95 (2002) 515-528.  
[http://www.asj.or.jp/geppou/archive\\_open/2002/pdf/20021103c.pdf](http://www.asj.or.jp/geppou/archive_open/2002/pdf/20021103c.pdf)

# しし座流星群の流星スペクトル



# Metal abundances of Leonid meteor



(NASA Aircraft,  
T. Kasuga et al. , 2002)

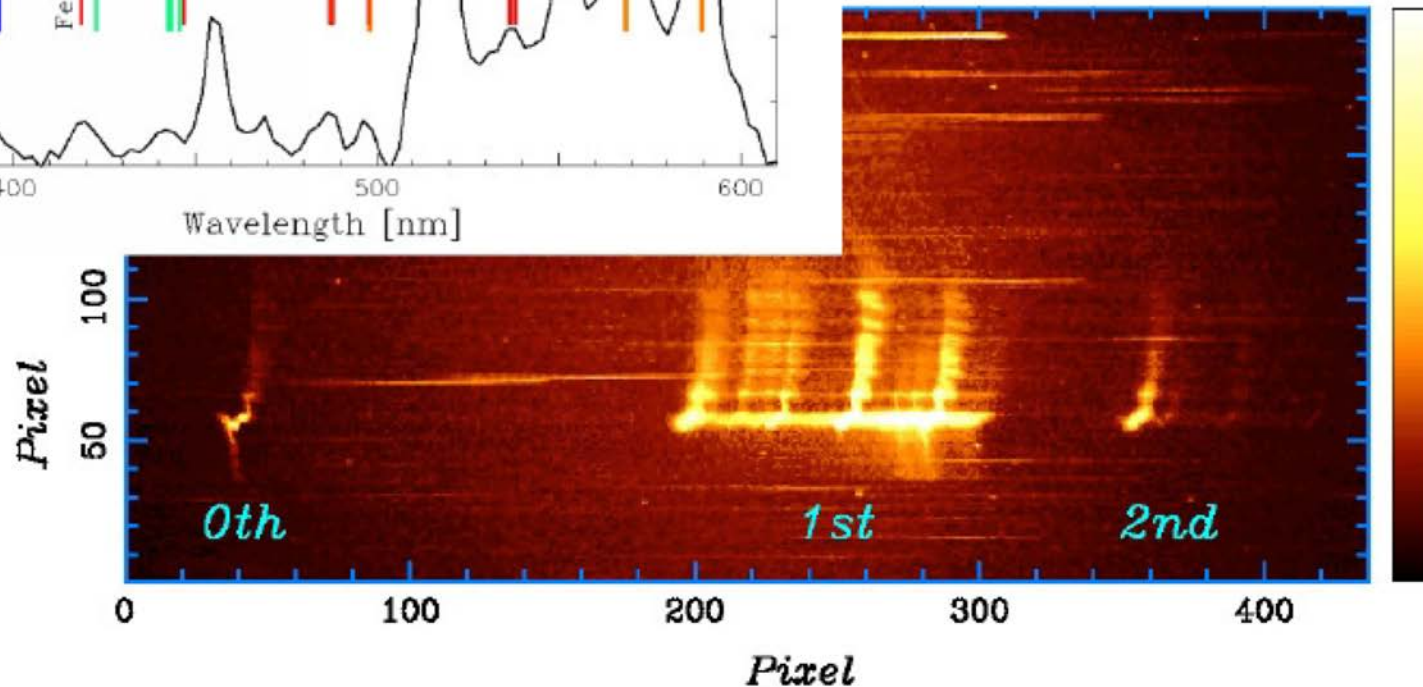
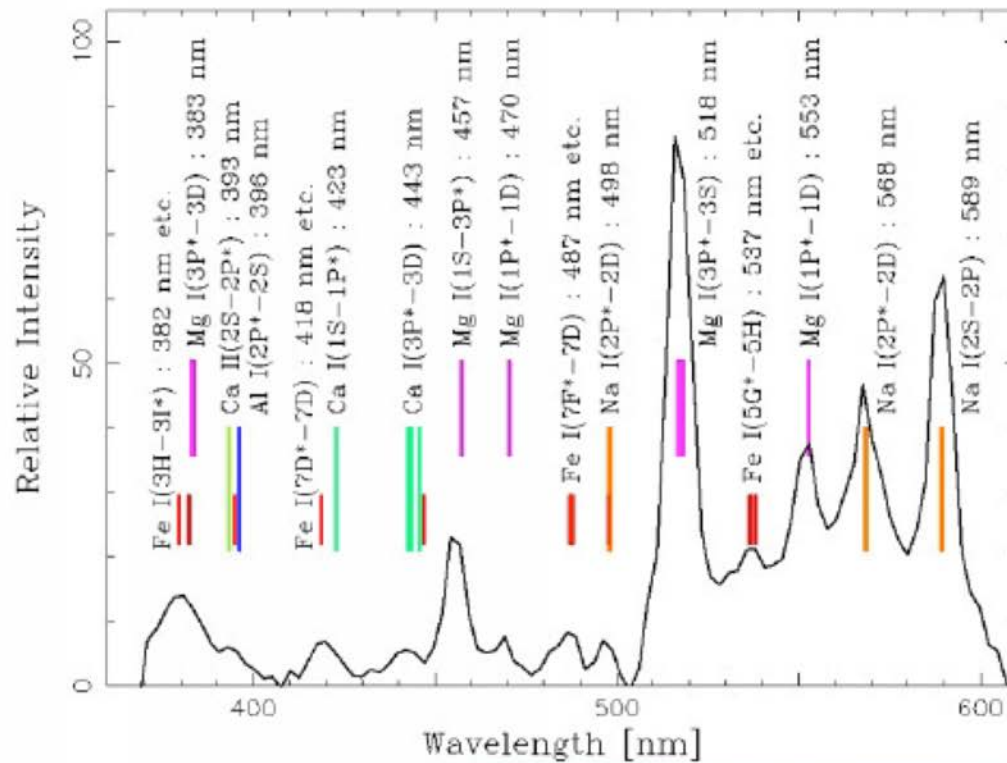
# ハワイで捉えた流星スペクトル



2001年11月18日

すばる望遠鏡サイト

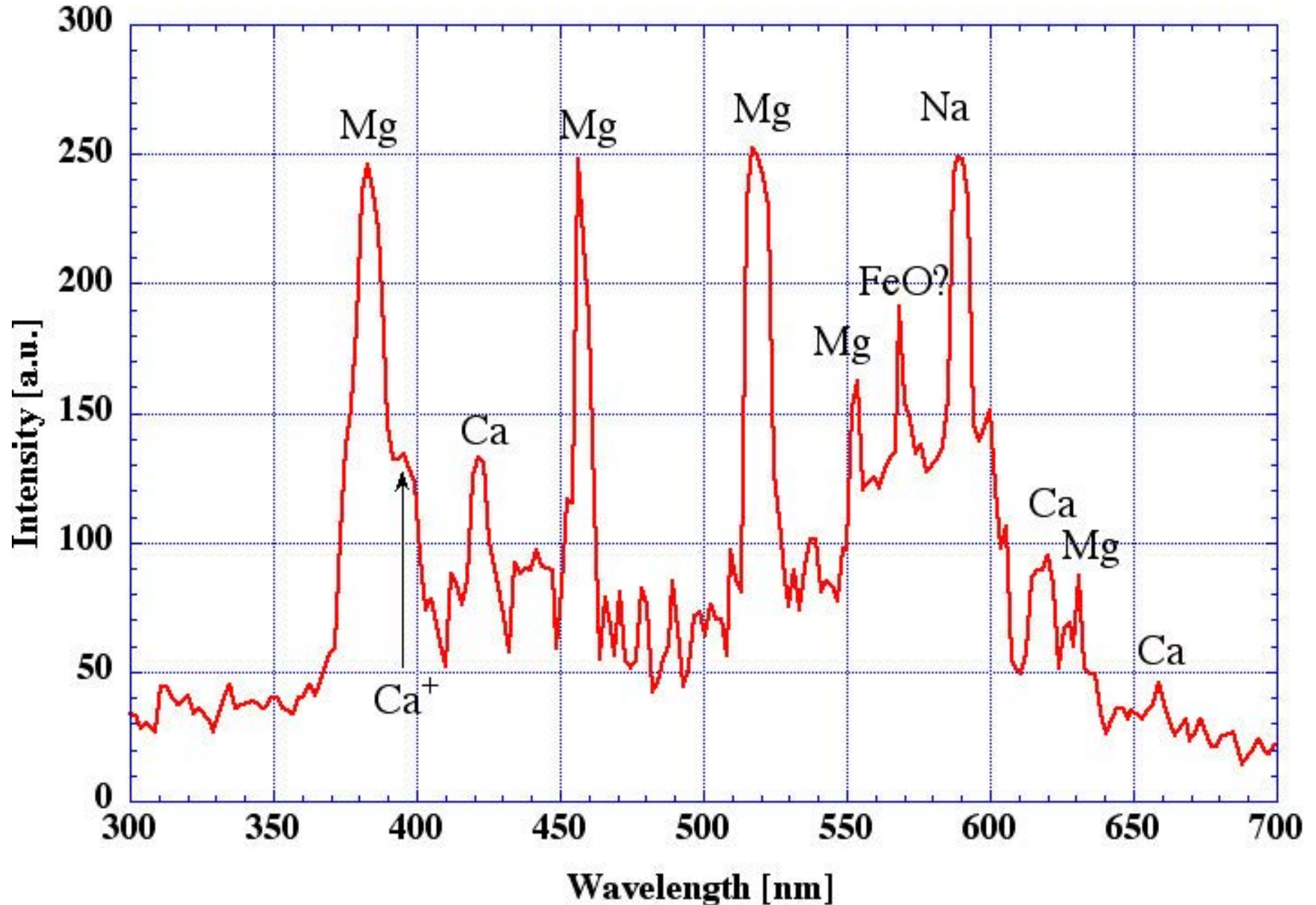
# Spectrum of Persistent Train ( Leonids 1998 )



伊豆上空に出現した大火球に伴う流星痕のスペクトル  
(撮影：村山氏@日本火球ネットワーク、長野県臼田町)

阿部 他, “流星に生命の起源を求めて,” 天文月報 95 (2002) 515-528.  
[http://www.asj.or.jp/geppou/archive\\_open/2002/pdf/20021103c.pdf](http://www.asj.or.jp/geppou/archive_open/2002/pdf/20021103c.pdf)

# しし座流星群の流星痕スペクトル



# アフターグロー、永続痕の発光

- 1.5秒後の「アフターグロー」発光高度: 120-86km。  
高度110km以上が短痕と同じ[O] (禁制線, 557nm, 緑)。  
高度105km近傍、Fe, Fe<sup>+</sup> (368-546nm, シアン), Ca (423nm, 青紫) やCa<sup>+</sup> (394, 397nm, 紫外) 等が強い。  
高度95km近傍、Na (589nm, 橙)やN<sub>2</sub> (610-670nm, 赤)? が強い。
- 10-20秒の「アフターグロー」発光高度: 86-110km。  
Mg (383nm: 紫外, 457nm: 青, 517nm: 青緑)と Na (589nm, 橙)が強く、Ca (423nm, 青紫), Fe (537nm, 緑), Mg (553nm, 緑), FeO? (568nm, 黄) などが見られる。
- 30秒以降の「永続痕」発光高度: 86-95km。  
同上。

# しし座流星群の出現と成果

## 2001年しし座流星群

ハワイ：最大HR\*約500、オーストラリア：HR約1,000、  
日本：HR約3,000

## 2002年しし座流星群

カナリア諸島：HR約3,000、NASA航空機：HR約3,000 (スペイン沖) ~ HR約5,000 (アメリカ東海岸沖)、日本：HR30

各地点における流星雨の映像や多くの流星本体および流星痕スペクトルデータを取得。

\*HR: Hour Rate. 天頂を向いて肉眼で1人が1時間に観測した流星の数

野辺山45mミリ波望遠鏡と流星雨のハイビジョン映像。  
(1秒間の画像を5枚合成)



# 謝 辞

本研究は日本宇宙フォーラム・宇宙環境利用公募地上研究（2件採択、代表：渡部、海老塚）、国立天文台・研究推進経費（代表：渡部）、理化学研究所・研究経費等の補助により推進された。

国立天文台・野辺山電波観測所やハワイ観測所のご厚意により、施設を利用させていただき、観測が行われた。

ハイビジョンビデオデッキ等を通信総合研究所・無線通信部門より借用した。