

“みずがめ座 η 流星群”の観測 in オーストラリア・ケアンズ 2019

日本流星研究会 柳 信一郎

1. はじめに

2019年、今年も“みずがめ座 η 流星群”の観測を目的としてオーストラリア・ケアンズ近郊の町「アサートン(Atherton)」に行った。アサートン旅行は2012年の皆既日食観測が最初で、流星観測旅行は2014年から続いている。ネットでブログを見てみるとケアンズ渡航歴20回以上のフリークもいるので自分は未だ初心者であるが、現地に友人も増えて、年に1回の帰郷の気分である。

(オーストラリアでの観測は1987,1989,2014,2016,2017は曇,2018,2019である。)

オーストラリアでみずがめ座 η 流星群を観測する利点はもちろん、輻射点が日本よりも高く上がることである。南半球の季節は秋、夜明けが少しだけ遅い。しかしこれだけではない。気象庁の“ひまわり画像”のうち「水蒸気」を見ると、一年を通して南半球の方が水蒸気量は少ない。すなわち晴れば澄んだ空が期待できる(但し亜熱帯のため、夜露の対策は必要である)。更にケアンズは町が小さく、郊外に行けば妥協できる星空が広がる。

観測スタイルは2014年から変わらず、眼視観測+写真撮影またはビデオ観測である。

尚、今年 2019年は眼視観測+ビデオ観測(スペクトル撮影)を行った。

2. 眼視観測結果

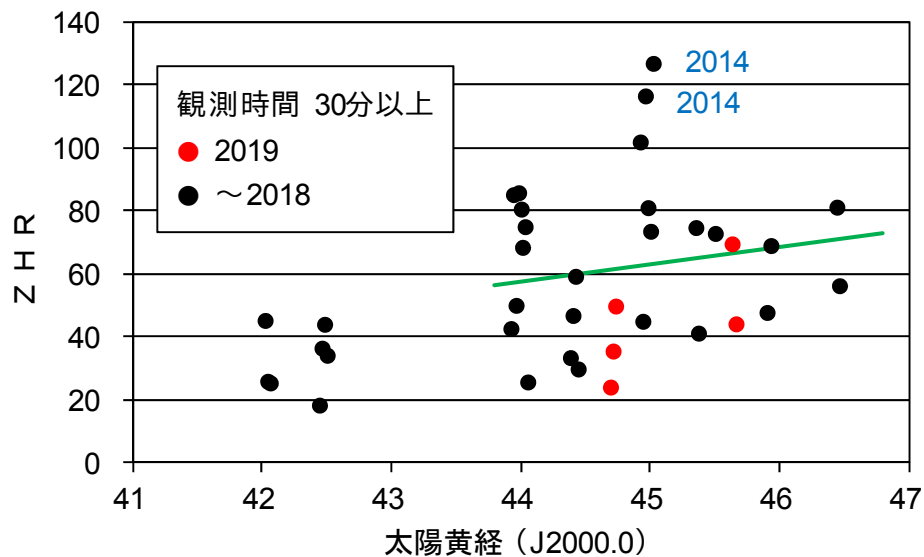
眼視観測はさぐり書きによる全天計数で行った。ビデオ観測は“ほったらかし”なので、それに係る観測時間の中断は無い。

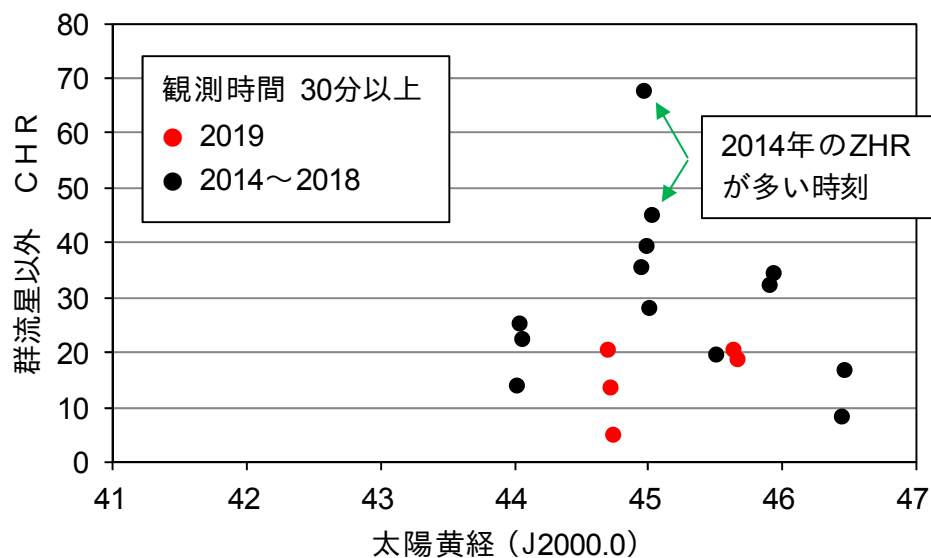
表-1 2019年眼視観測結果(現地時刻はJST+1h、光度比 1.87)

観測日	観測時刻 (JST)	観測時間 [分]	全流星	群流星	HR	最微星	CHR	ZHR
2019年5月5/6日	02h15m~02h30m	15	10	4	16	6.3	18.1	48
	02h30m~03h00m	30	14	5	10	6.3	11.3	24
	03h00m~03h30m	30	15	9	18	6.3	20.4	36
	03h30m~04h10m	40	23	20	30	6.3	34.0	50
2019年5月5/6日	01h45m~02h00m	15	12	6	24	6.3	27.2	99
	02h00m~02h30m	30	20	11	22	6.3	24.9	70
	02h30m~03h10m	40	24	13	20	6.3	22.1	44

光度比 1.87 は 1987 年, 1989 年, 2014 年のは 3 年間の全群流星から求めた。

図-1 に太陽黄経と ZHR の関係を示す。



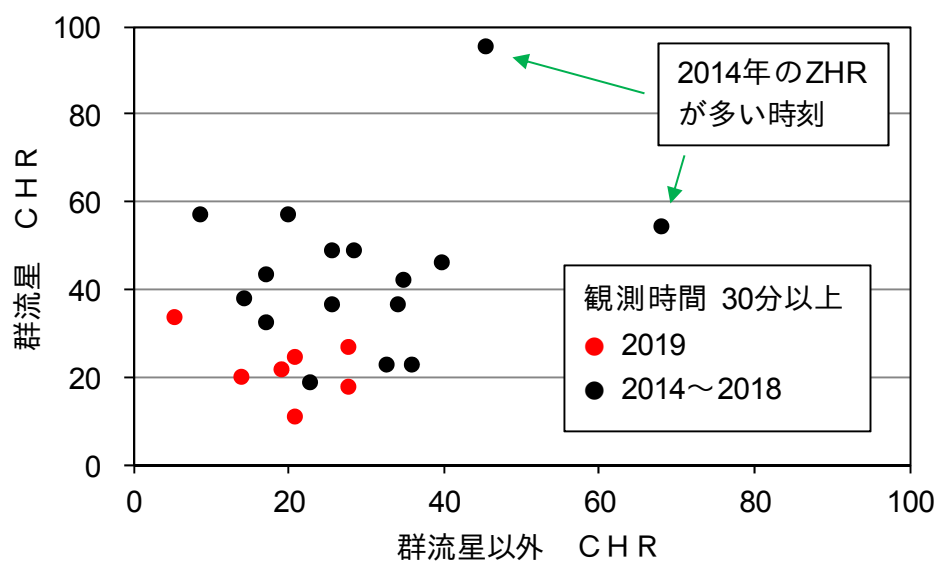


図－2 太陽黄経と群流星以外のCHRの関係

結果的にCHRのバラつきは大きかった。特に2014年はみずがめ座 η 流星群の出現数は多かった(ZHRが多かった)が、群流星以外の流星数も多かった(CHRも多かった)。

従って2014年は出現数が多かったと単純に判断することはできない。

図－3では“群流星以外のCHR”と“群流星のCHR”を比較する。



図－3 “群流星以外のCHR”と“群流星のCHR”の比較

両者に相関は無い。すなわち図中に示した2014年の例を除くと、群流星以外の流星の増減が、群流星の個数に与える影響は無いと判断できる。

3. ビデオ観測結果

2016年より前は短時間露光で静止画を連写した。静止画はカメラのCMOSセンサーの画素数がそのまま解像度となる。そのため同一広角レンズでも高画素数のカメラを選べば高解像度となる。しかし静止画は時間的分解能が無く、画像から流星本体と“痕”を分けることができない。自分は時間的分解能を求めてビデオ観測に移行した。動画撮影を始めた2016年以降の機材遍歴は次の通りである(赤字が変更・追加した機材)。

・ 2016年

カメラ : SONY α 7s

レンズ : Canon EF 24mm F1.4 (水平74° 垂直53° 対角線84°)

マウント変換アダプタ : TECHART製

メモリ(本体記録) : サンディスク Extreme PRO 64GB 90MB/秒 CLASS 10

設定 : 露出 1/30秒 絞り F1.6 ISO160000

WB 5500K Full HD XAVC S 30p

天頂固定撮影 画像の長辺が概ね南北方向

ビデオ編集ソフト : EDIUS Pro 8

・ 2018年

カメラ : SONY α 7s

レンズ : Canon EF 24mm F1.4

マウント変換アダプタ : TECHART製

設定 : ISO 160000 絞り F1.6 露出 1/30秒 WB 5500K

HDMI端子から4K 30pで外部出力

レコーダー : ATOMOS SHOGUN INFERNO SSDに記録

設定 : 10bit 4K HDMI Apple ProRes 422

ビデオ編集ソフト : EDIUS Pro 8 8bitで編集

・ 2019年

カメラ : SONY α 7s

レンズ : SIGMA 40mm F1.4 DG HSM

回折格子 : エドモンド(Edmund) 透過型 300本/mm 50x50mm

ブレード角度17.5度 基盤 SCHOTT B270 厚さ3.0mm

マウント変換アダプタ : TECHART製

設定 : ISO 160000 絞り F1.6 露出 1/30秒 WB 5500K

HDMI端子から4K 30pで外部出力

レコーダー : ATOMOS SHOGUN INFERNO SSDに記録

設定 : 10bit 4K HDMI Apple ProRes 422

ビデオ編集ソフト : EDIUS Pro 8 8bitで編集

今年、2019年は解像度を上げるため、レンズを少し長焦点(24mm→40mm)に変更した。画像の解像度に影響するため、レンズ選択にあたってはMTFチャート(空間周波数特性:すなわちコントラスト)を重視した。

図-4に「SIGMA 40mm F1.4 DG HSM」のMTFチャートを示す。

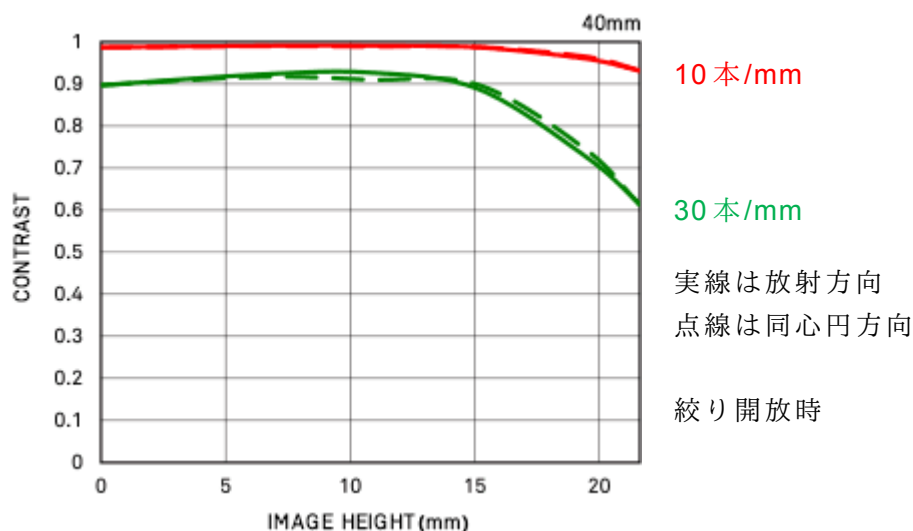


図-4 SIGMA 40mm F1.4 DG HSM

このレンズは画像の中央部から周辺部まで、安定して高コントラストが期待できる。尚、購入の際に比較したのが SIGMA 50mm F1.4 DG HSMである。

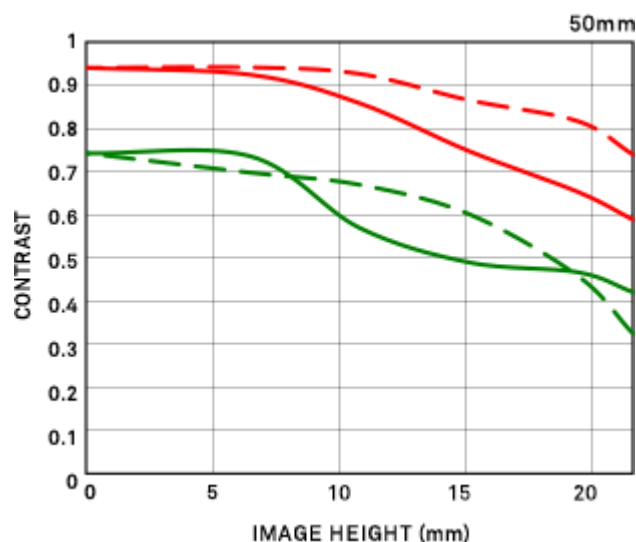


図-5 SIGMA 50mm F1.4 DG HSM

このレンズはメーカーの説明では「超高画素時代に最適化したどこまでも高い解像力。そして美しいボケ味をも楽しめるバランスのよさは、まさに大口径標準レンズの決定版。」とあるが、コントラスト(解像度)は40mmの方が有利と判断した。

但し、像のゆがみ(ディストーション)は50mmの方が優秀である。

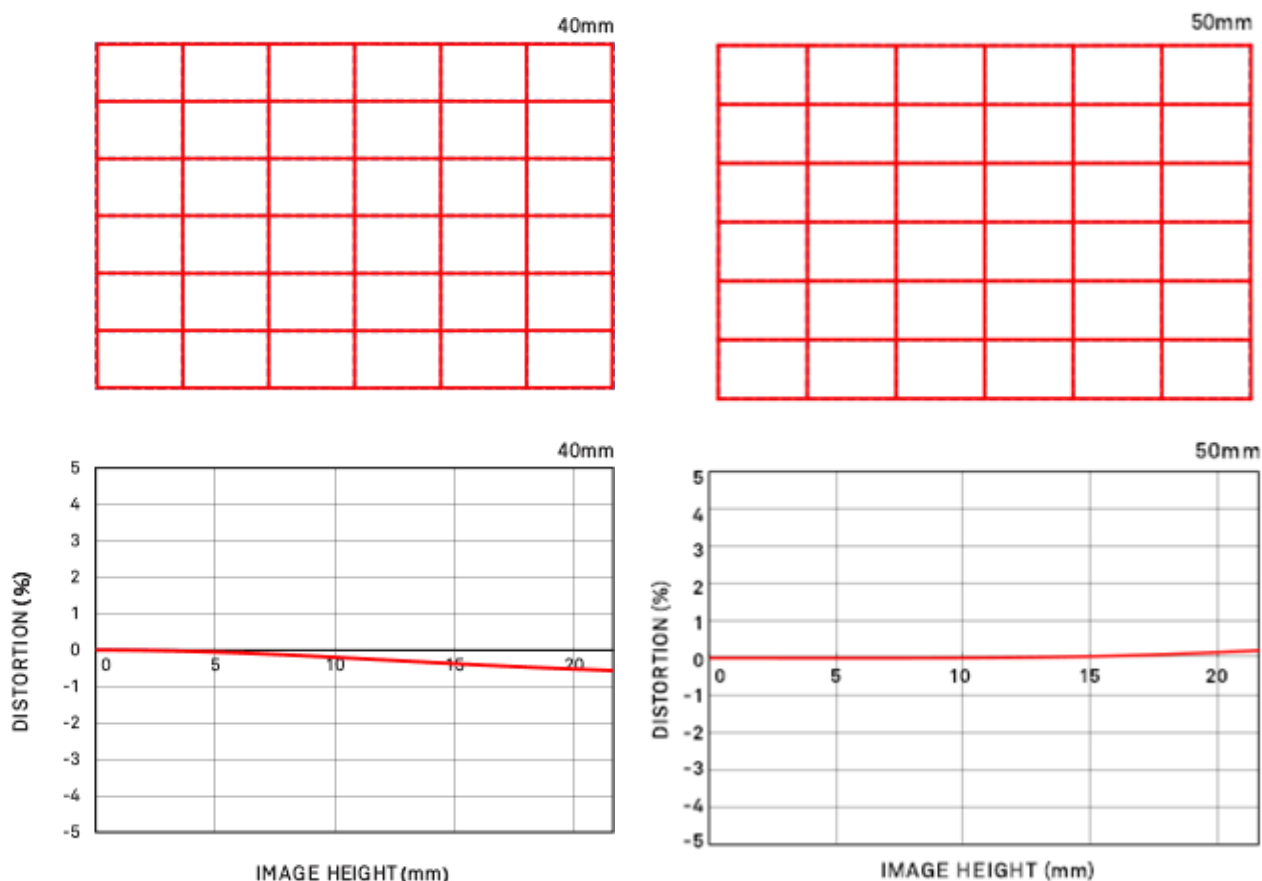


図-6 像のゆがみ(ディストーション)の比較

これまで使っていた Canon EF 24mm F1.4 の MTF チャートと、たぶん今後も使うことが無いであろう超高級品 ZEISS Otus 1.4/55 の MTF チャートも示す。

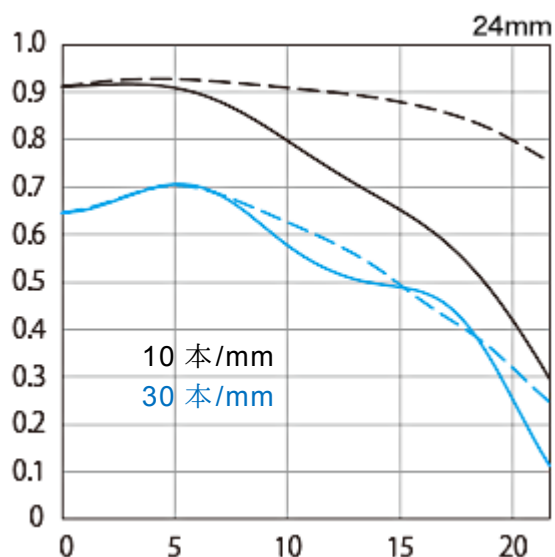


図-7 Canon EF 24mm F1.4

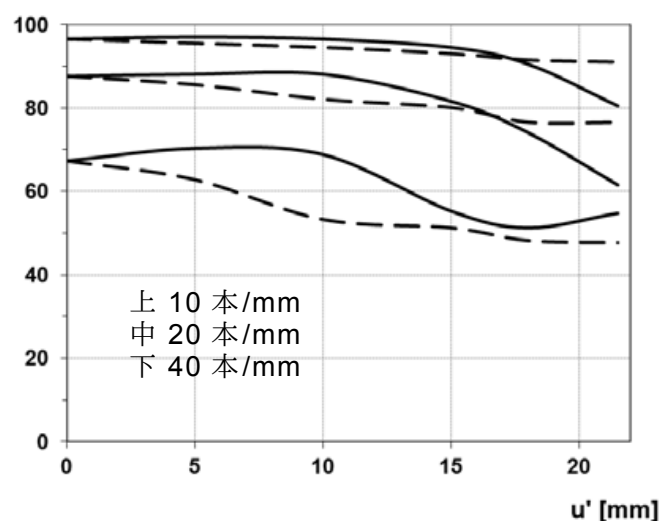


図-8 ZEISS Otus 1.4/55

Canonはディストーションが公開資料に無い。ZEISSのディストーションの特性カーブはSIGMAの40mmに似ているが、ごく僅かに大きい。因みにCanonの50mmは評判が悪い。

今年, 2019 年は初めて回折格子(グレーティング)を使用した。エドモンド製の溝数が 1mm あたり 300 本の透過型のものである。ブレードされているためか、0 次像がほとんど写っていない。基盤に SCHOTT 社の B270 が使われているため、透過特性は次の通りである。

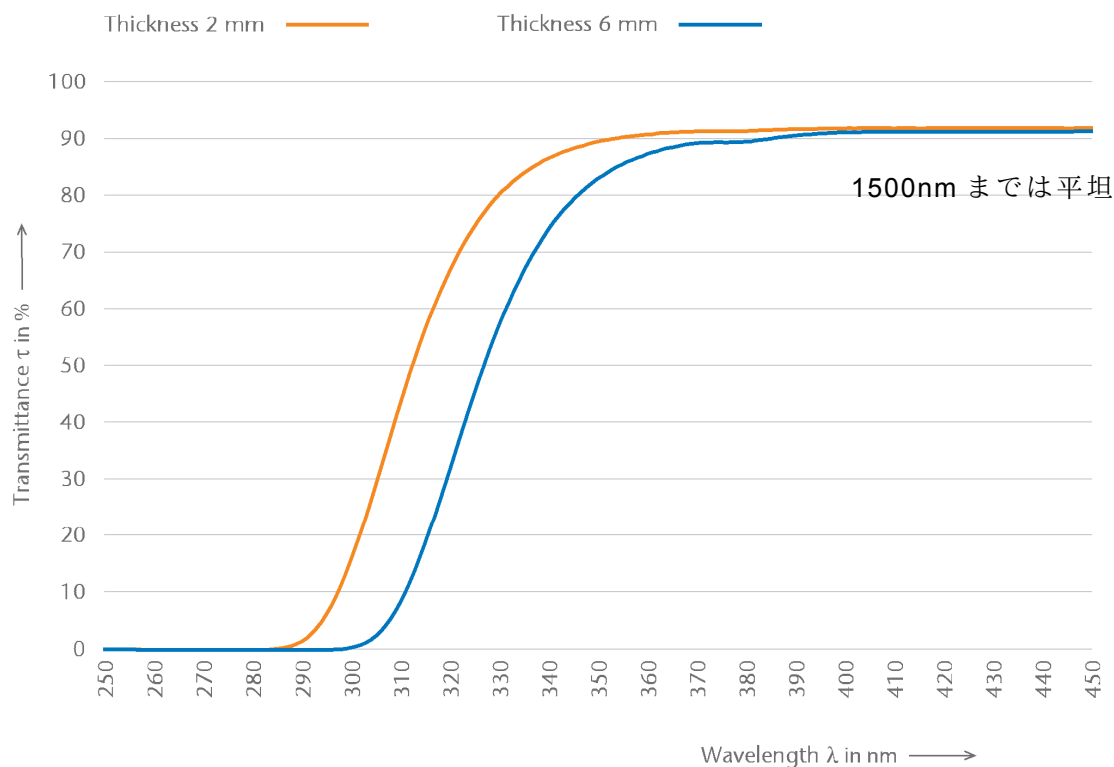


図-9 B270の透過率

得られた流星スペクトル数は次の通りである。

表-2 得られた流星スペクトル数

観測日	観測時刻 (JST)	流星スペクトル数	コメント
2019年5月5/6日	02h00m~02h45m	9	結露のため観測中止
2019年5月6/7日	01h40m~03h55m	16	—

撮影方向はカメラを天頂に向けた。但し、回折格子の向きが両日で180度異なっている。スペクトルは暗いものばかりであった。このうち比較的明るいものを次ページに示す。

《処理の方法》

1. 流星(本体+痕)が写っているフレームを、フレームごとにビットマップ・ファイルに変換する。
2. ビットマップ・ファイルを明比較合成して1枚の写真を作成する。



図 - 1 0 2019年05月05/06日02時08分(JST) (-1 次側?)

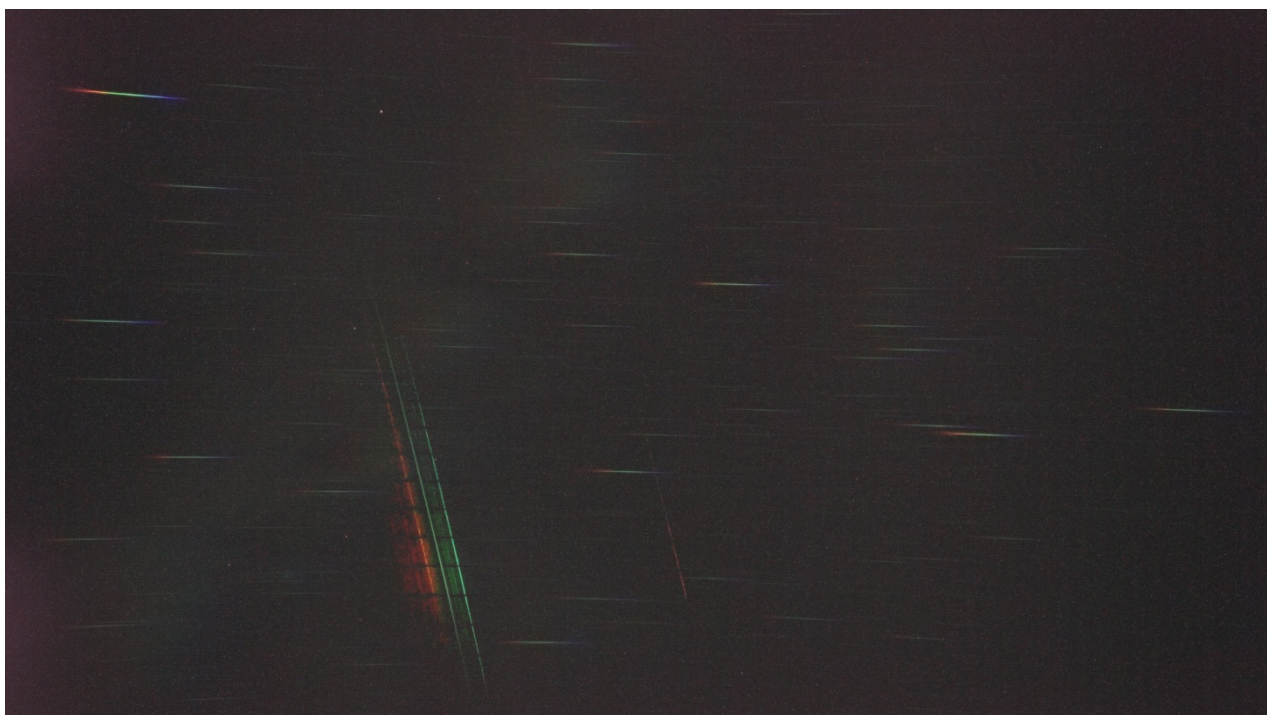


図 - 1 1 2019年05月06/07日02時53分(JST)

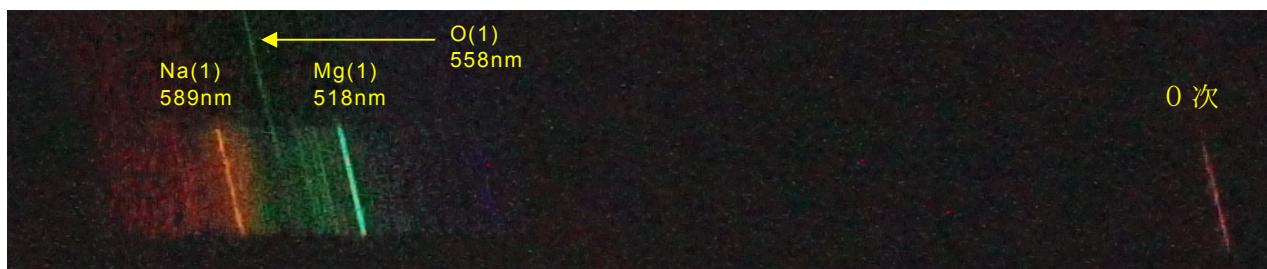


図 - 1 2 上記流星ビットマップ・ファイルの一部拡大

ネットワークカメラ(GigE)を用いた流星のビデオ観測

藤原康德（大阪市）

流星のビデオ観測

- 高感度撮影素子——より暗い流星（写真観測）
- 時間分解能が高い（ビデオ撮影レート）——回転シャッター不要
- 画像（動画）処置技術の飛躍的向上

ビデオ画像からの流星の自動検出 UFOCapture (SonotaCo)
位置・光度等の測定ソフトとの連携

SonotaCoネットワーク

UFOCaptureシリーズで自動観測、測定された流星のデータの公開

公開データから求められた流星の軌道等のデータ公開

流星観測ビデオカメラ

プロユース

- SIT, ISIT 1970年台～1980年台 東京天文台（国立天文台）
- ICCD, EMCCD, CMOS

アマチュア

- Image Intensifier(I.I.) 1980年台から現在？
- ワテック社 小型高感度CCDカメラ 2000年前後
WAT-100N WAT-902H2U
- 高感度デジカメ
パナソニックDC-GH5s ソニー α 7s(II)
- 天体観測用CMOSカメラ（USB接続） ZWO

GigE（ギガビットイーサネット）カメラ

- Gigabit LAN で接続するカメラ
- 1Gのランケーブル1本で接続ー通信と給電 最長100m
- 解像度が高い（ワテック：NTSC(720X480、インターレス）

DMK33GX290e

ImagingSource社

モノクロ

解像度：1920 x 1080

フレームレート：56 fps

センサー：ソニー IMX290(1/2.8"Starvis)

C, CSマウント アダプターを介してM12マウント

価格：約7万円（国内販売府代理店）

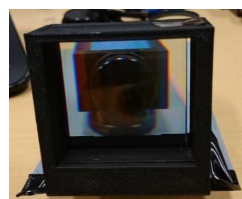
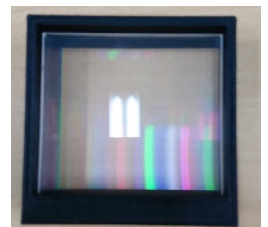
システム 1 直接撮影

- M12マウント $f = 4\text{mm}$ (F1.2) Fulekan 3Mpスターライトレンズ
- パソコン i7 6700K SSD120GB
- PoEハブ GS108PE-300AJS Netgear
- UFOCaptureHD2 1920 x 1080 30p
- 動画での最微星約4等星
- 観測視野
- 観測方向 ほぼ天頂



システム 2 スペクトル観測

- M12マウント $f = 6\text{mm}$ (F1.2) Fulekan 3Mpスターライトレンズ
- グレーティング 透過型 300本/mm 可視 エドモンド
- パソコン i7 6700K SSD120GB
- PoEインジェクター ING-ADE3AT Planex
- UFOCaptureHD2 1920 x 1080 30p
- 動画での最微星約2等星
- 観測視野
- 観測方向 南

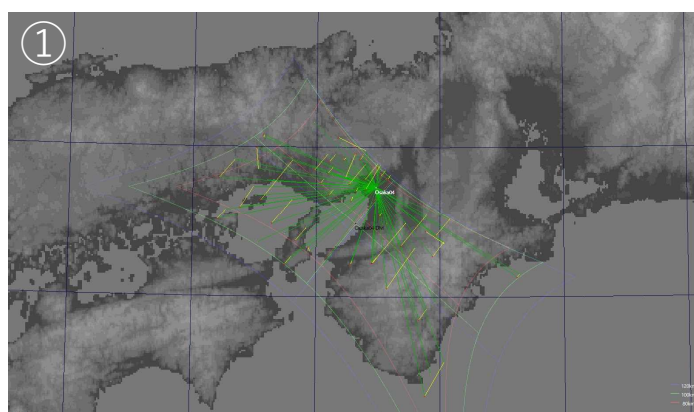


観測場所 自宅（大阪市淀川区）屋上(西側)

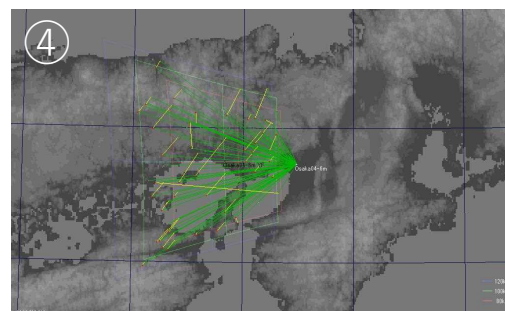
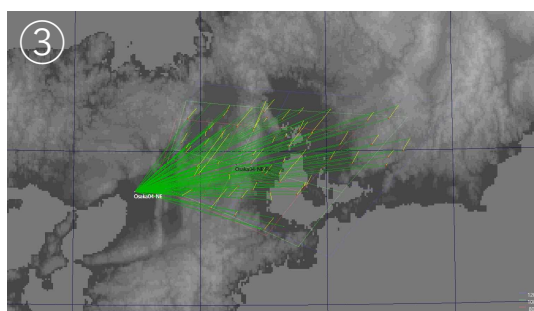
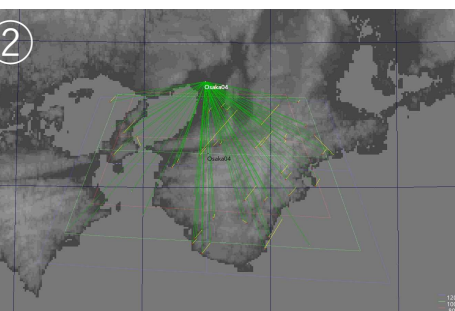


- ① α 7s 35mm F1.4
300本/mmグレーティング
- ② WAT-902H2U 6mm F0.8
- ③ DMK33GX290e 6mm F1.2
300本/mmグレーティング
- ④ DMK33GX290e 4mm F1.2
- ⑤ α 7s 24mm F1.4

観測例 2019年8月12/13日



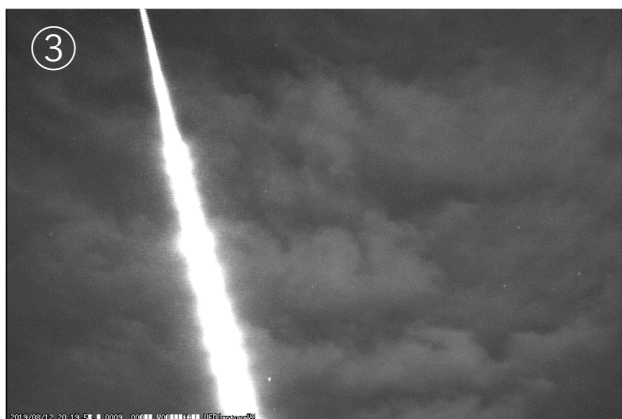
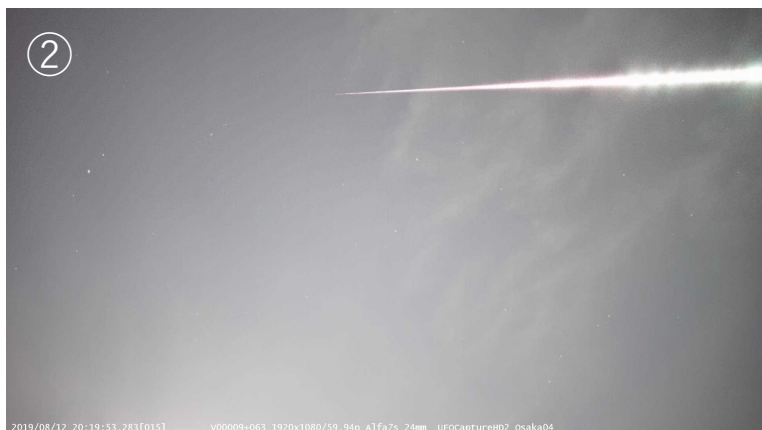
カメラ	レンズ	流星数	ペルセ群
① DMK33GX290e	4mm F1.2	55	35
② α 7s	24mm F1.4	55	33
③ WAT-902H2U	8mm F0.8	78	50
④ WAT-902H2U	6mm F0.8	54	34



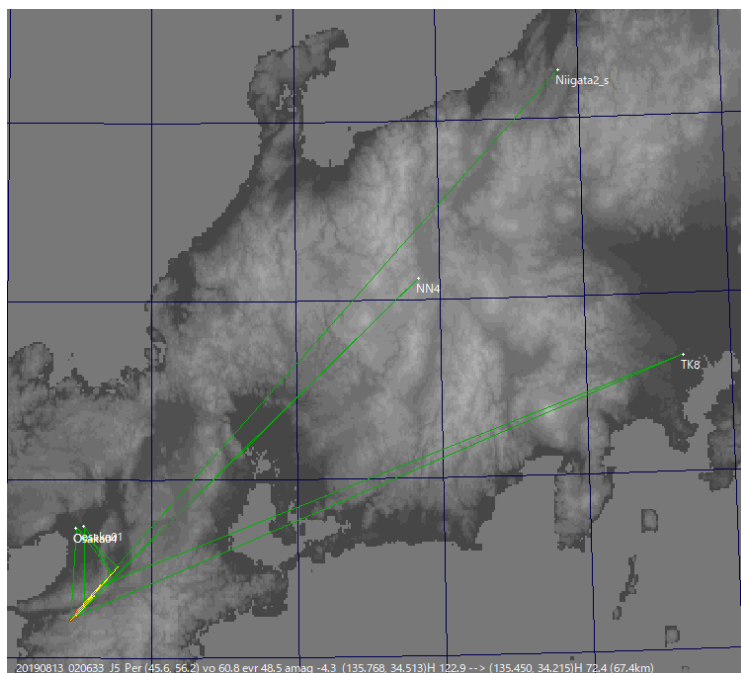
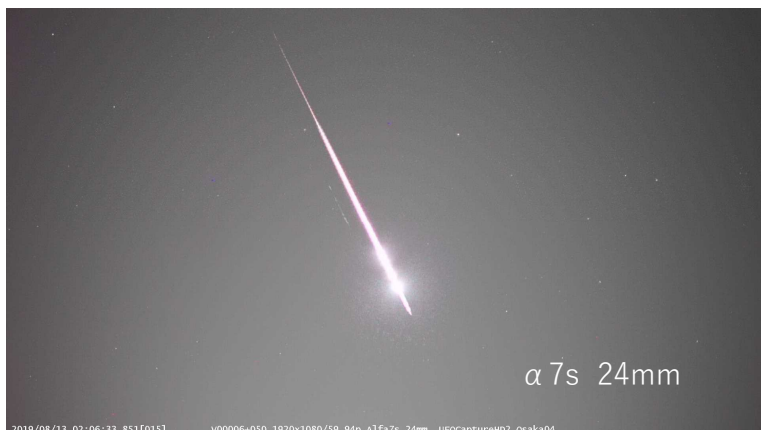


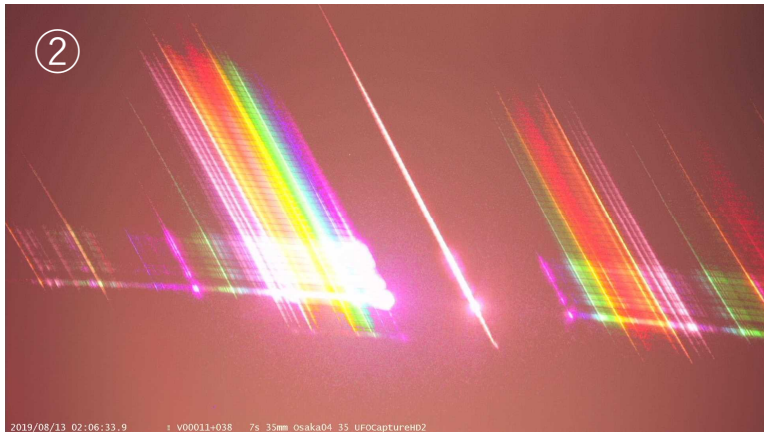
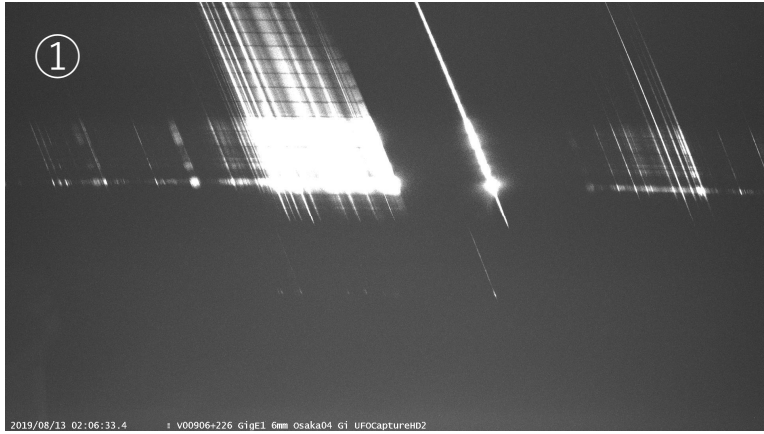
出現日時：2019年8月12日
20時19分53秒
光度：-6等 散在流星

- ①DMK33GX290e 4mm
- ②α 7s 24mm
- ③WAT-902H2U 6mm



出現日時：2019年8月13日
02時06分33秒
光度：-4等 ペルセウス群





出現日時：2019年8月13日
02時06分33秒
光度：-4等 ペルセウス群

①DMK33GX290e 6mm F1.2
グレーティング 300本/mm
FHD 30p

② α 7s(IRカットフィルター除去)
35mm F1.4
グレーティング 300本/mm
FHD 60p

短痕

酸素禁制線 緑色

爆発点:酸素禁制線, Mg, Na

まとめと今後の課題

GigEカメラによる流星のビデオ観測を実施

高解像度 (1920 x 1080), プログレッシブ映像

→ 位置測定精度向上

高感度 ワットクと同程度???

価格 α 7s > DMK33GX290e > WAT-902H2U

UFOCaptureHD2でサポートされている

課題

スペクトル画像の (定量的) 測定

高感度CMOSカメラによる 太陽系外起源流星と 暗黒物質候補物質の探索計画

(甲南大理工) 梶野文義, 井手隆心, 井出郁央, 荒堀瑞穂
多田沙知子, 灘本薫
(トリノ大) 篠崎健児, M. Bertaina, A. Cellino
(大阪電通大工) 多米田裕一郎, 岩見祐吾
(理研) M. Casolino, 戎崎俊一, 滝澤慶之, L. Piotrowski
(東大宇宙線研) 佐川宏行
(ユタ大) J. Matthews

第60回 日本流星研究会「日本ど真ん中流星会議」

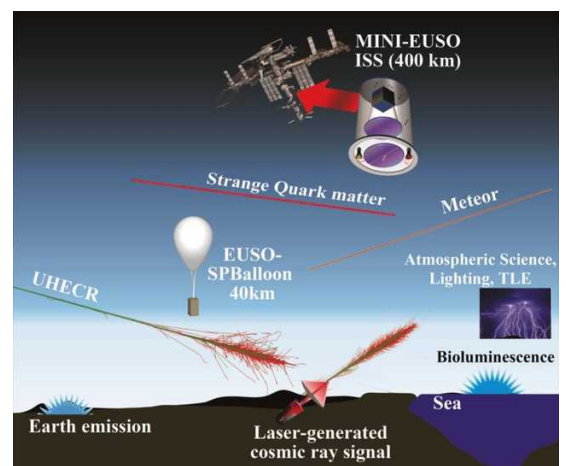
地方職員共済組合愛知県支部「アイリス愛知」

2019年8月24日(土)-25(日)

1

研究目的

- 流星、特に**太陽系外起源の流星の観測**
- 暗黒物質の候補の一つである**Nuclearite**や**Strange Quark Matter (SQM)**の探索
- その他の大気発光現象の観測
- EUSO-TA(ユタTA実験サイト)やMini-EUSO(ISS)との共同観測



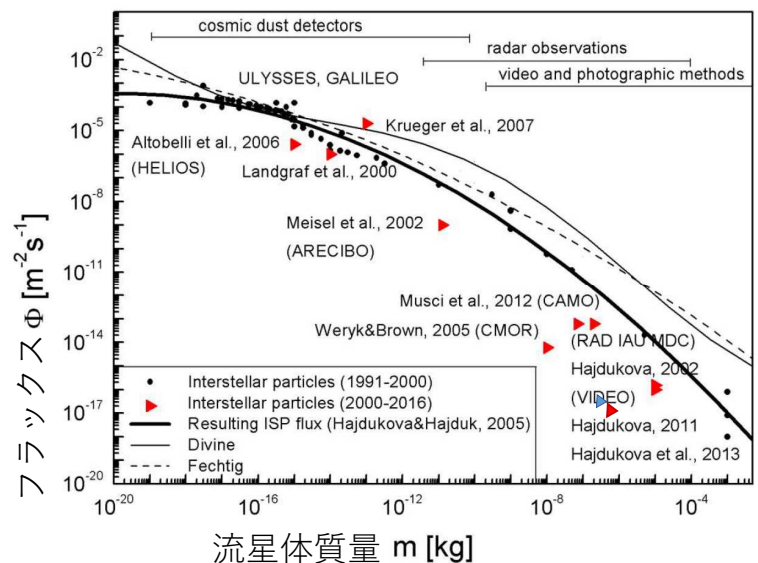
2

太陽系外起源の流星体（星間粒子）

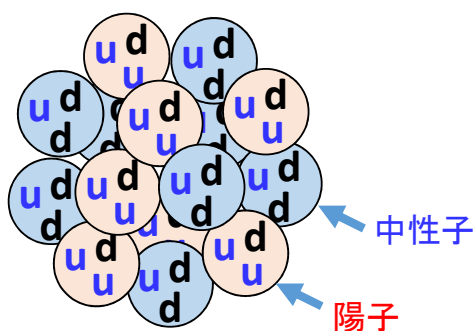
これまでに各種の検出器によって、星間粒子(ISP)が観測されてきている。

ULYSSESやGALILEOの衛星観測によると、局所的な星間雲に由来するISPが太陽圏を通過して流れていて、約3 AUの外側のISPフラックスは、惑星間粒子のフラックスを上回っている。

10^{-11} kgより大きい質量の流星体はレーダー、ビデオ、写真など多くの方法で観測されてきているが、そのフラックスは軌道の決定精度などの問題で多くの議論がある。

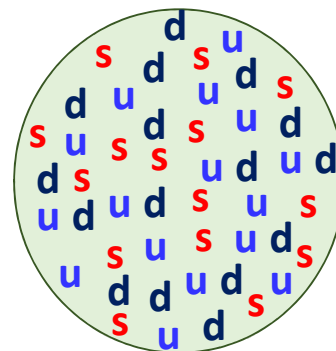


Strange Quark Matter と Nuclearite



通常の原子核

Quark 3個の組み合わせからなる陽子や中性子の集合体



Strange Quark Matter (SQM)

および Strangelet

u, d, s quark がほぼ同数からなる quark の集合体

E. Witten 1984

Nuclearite はSQMの周りが電子で覆われた電氣的に中性な塊である。

Nucleariteと流星の発光の違い

Nuclearite

大気中を高速で通過すると、大気中の分子と弾性散乱
または準弾性散乱し、大気が高温度になり発光する。

平均速度 v_N : 約220 km/s

流星

流星物質が高温度で蒸発してプラズマ化したガスが発光する。

流星の発光高度：約100 km

太陽系内に束縛されている流星

軌道：楕円軌道， 速度 < 72 km/s

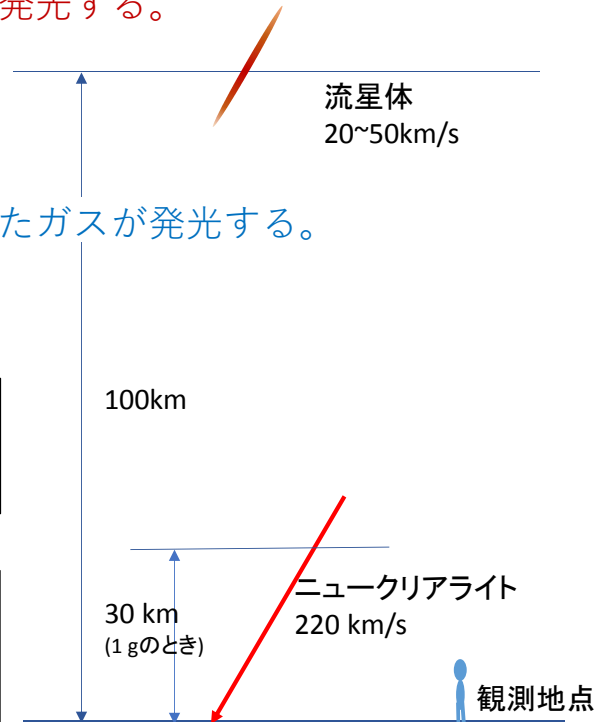
ほとんどの流星体は太陽系に束縛されている。

太陽系外起源の流星

軌道：双曲線軌道， 速度 > 72 km/s

地球の公転速度：30 km/s

地球公転軌道での太陽系からの脱出速度：42 km/s



観測システムの試験



HDMI Cable

Video
Capture

USB Cable

PC
Windows 10

UFO
Capture

3 types of CMOS Cameras

1. Nikon D5

2. Canon ME20F-SH
Monochrome type

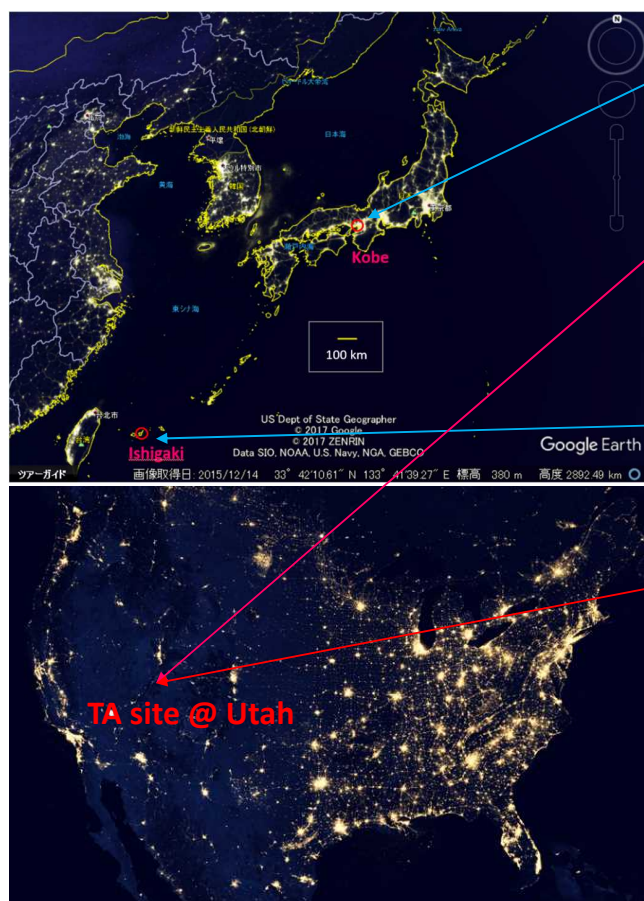
3. Canon ME20F
Color type

UFO Capture:
motion capture software



Observation at TA-CLF
Sept. 8, 2018

これまでの観測期間と観測サイト



- Jan. 1st -4th, 2017
- Okamoto and Miki, Hyogo, Japan

- Aug. 20th -Sept. 1st, 2017
- Telescope Array site Utah, USA

- Dec. 25th -28th, 2017
- Ishigaki, Okinawa, Japan

- Sept. 7th -11th, 2018
- Telescope Array site, Utah

7

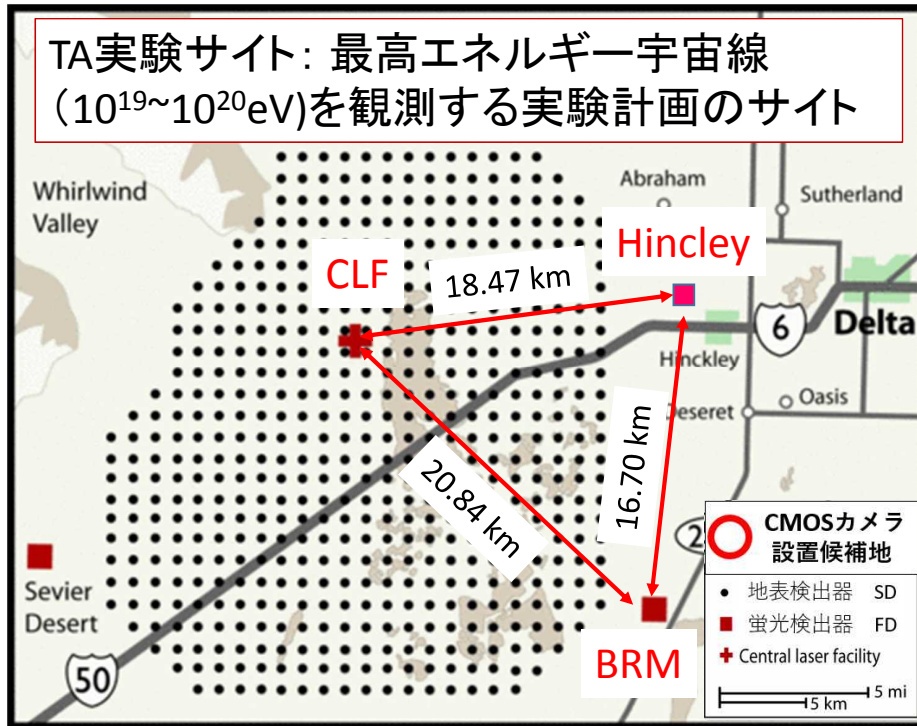
これまでの観測サマリ (2017-2018)

Obs. period	Feature	ISO sensitivity	Number of meteors	Meteor Type
Jan 2017	Stereo obs. at Okamoto and Miki	102,400	~34	shower from Quadrantids (しぶんぎざ流星群)
			~46	sporadic
			13	coincident
Aug – Sept 2017	Single camera at TA site	51,200 ~ 409,600	329	sporadic
Dec 2017	3 types of cameras at Ishigaki, Okinawa	204,800	318	sporadic
Sept 2018	Stereo obs. by 3 cameras at TA site	204,800	~2000	sporadic (散在流星)

8

米国ユタ州TAサイトにおける観測

2018年9月にTA実験サイトの3カ所に高感度CMOSカメラを設置して流星の観測をした



地表検出器



蛍光検出器



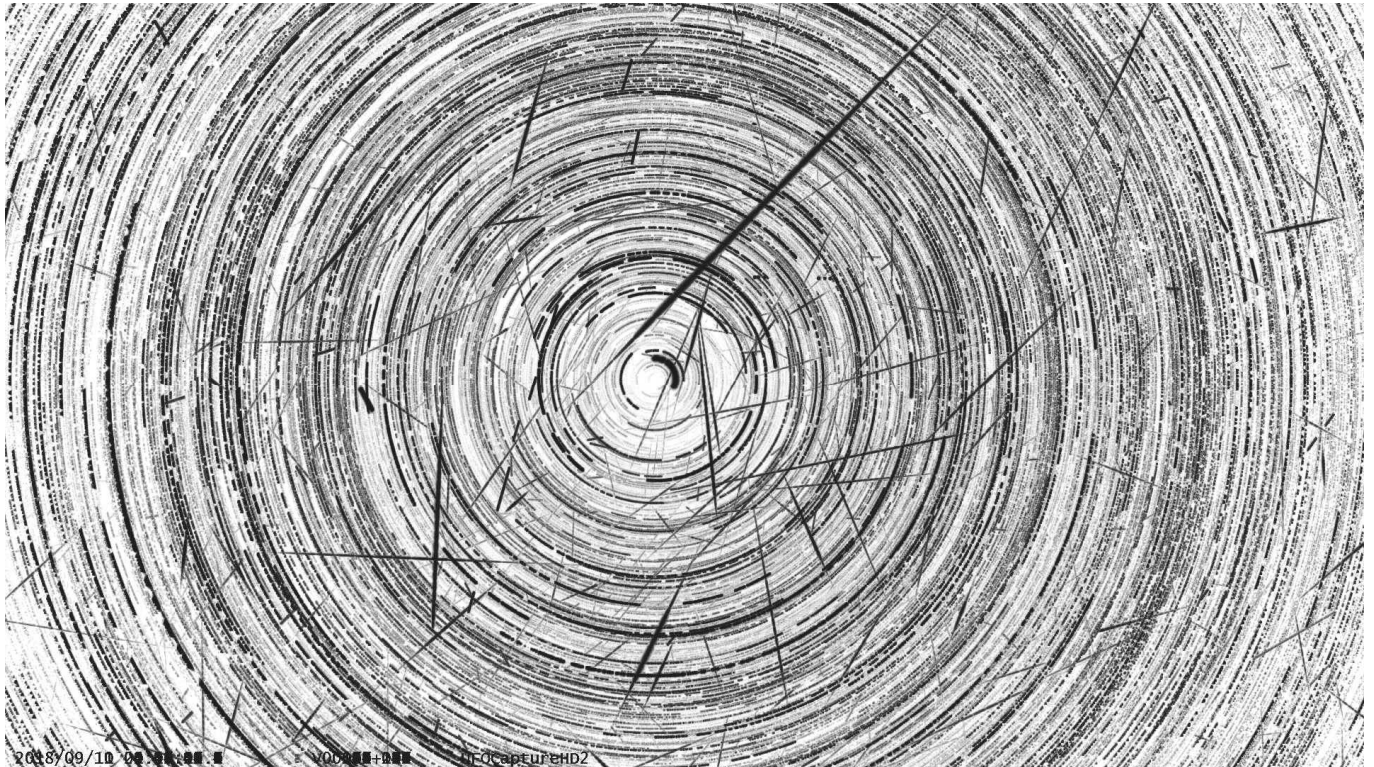
9

CMOSカメラの機種 (2018年9月)

システム番号 場所	カメラ本体	レンズ	画角
No.1 System A : CLF	Canon ME20-F SH 	Canon EF 35mm f / 1.4L 	54° × 30.4°
No.2 System B : BRM	Canon ME20-F SH 	Canon EF 50mm f / 1.2L 	40° × 22.5°
No.3 System C : Hincley	Nikon D5 	Nikon AF-S 35mm f / 1.4G 	54° × 30.4°

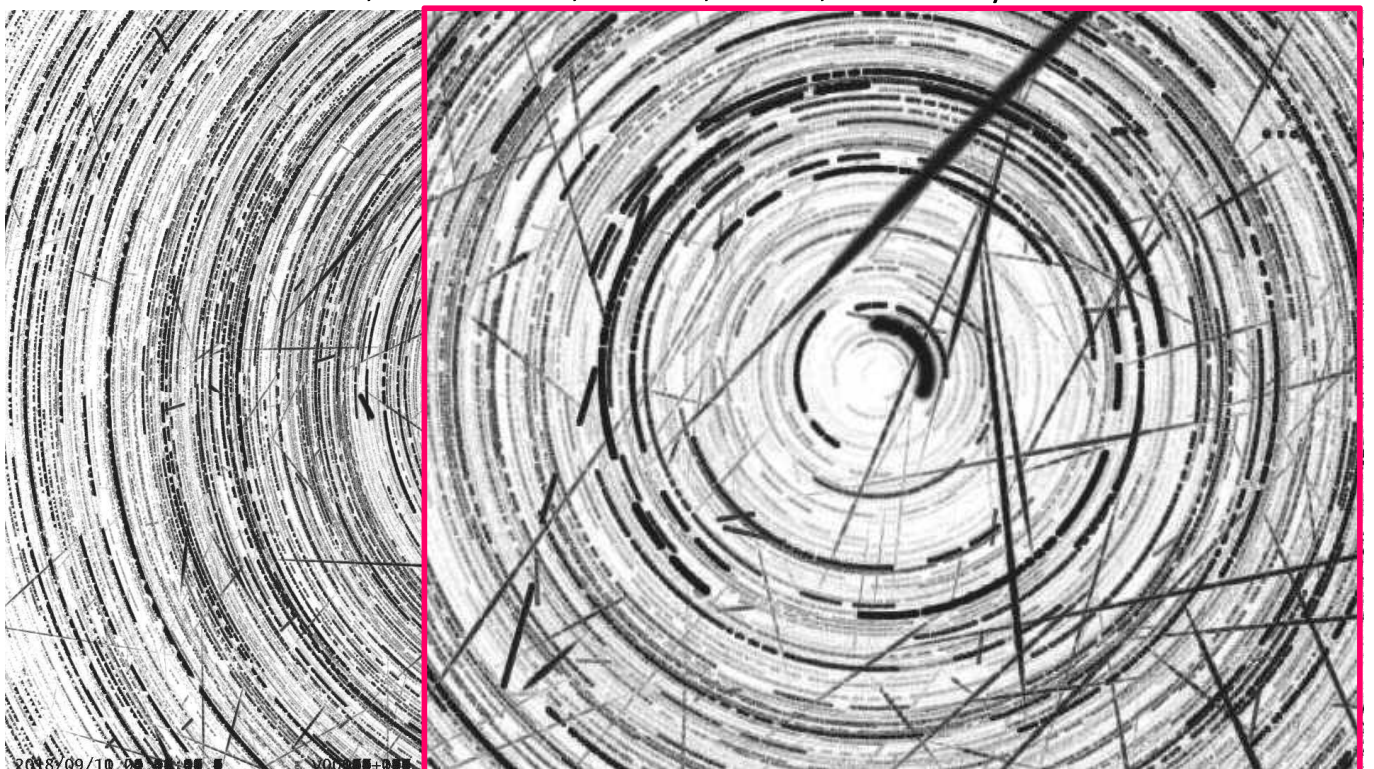
Observed Meteors (composite picture)

2018/09/10, Canon ME20F mono, 50 mm lens
ISO 204800, TA site, Utah, USA, No.2 System



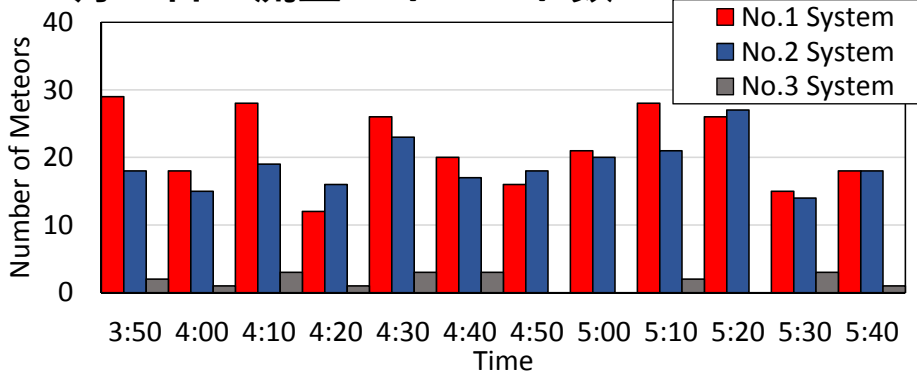
Observed Meteors (composite picture)

2018/09/10, Canon ME20F mono, 50 mm lens
ISO 204800, TA site, Utah, USA, No.2 System

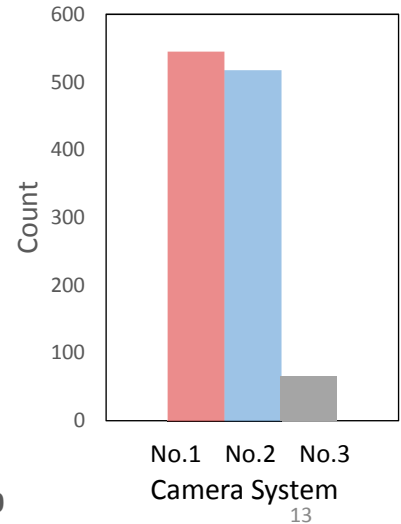


流星の観測数の時間変化

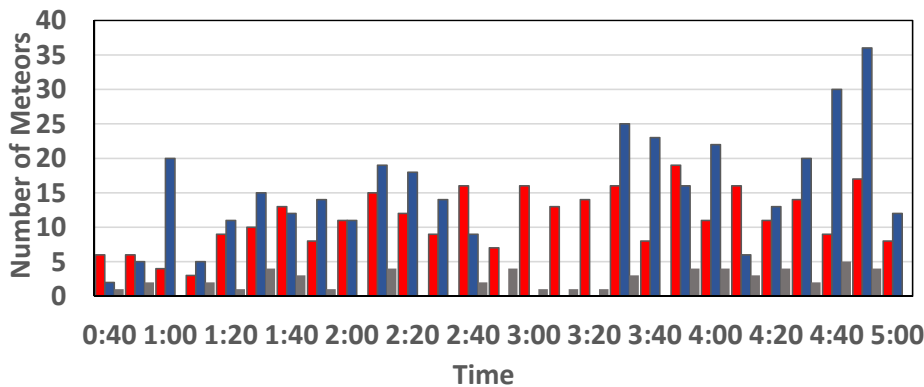
9月8日の流星のイベント数



Sep.8.11に
観測された流星数の合計
(観測時間：6時間10分)



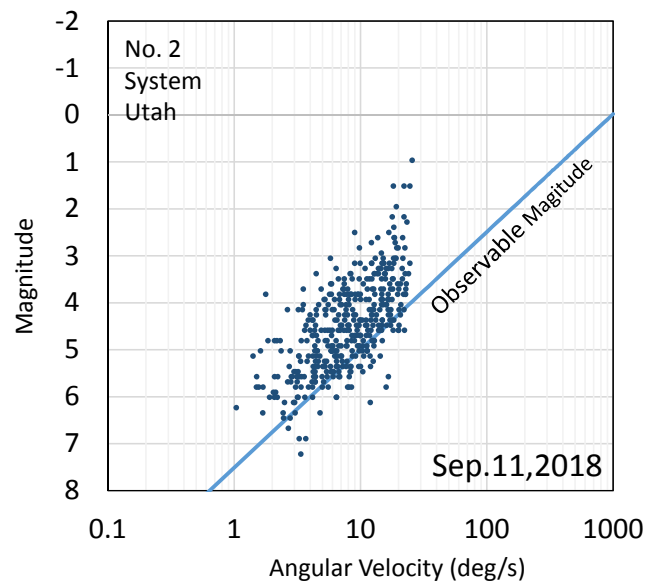
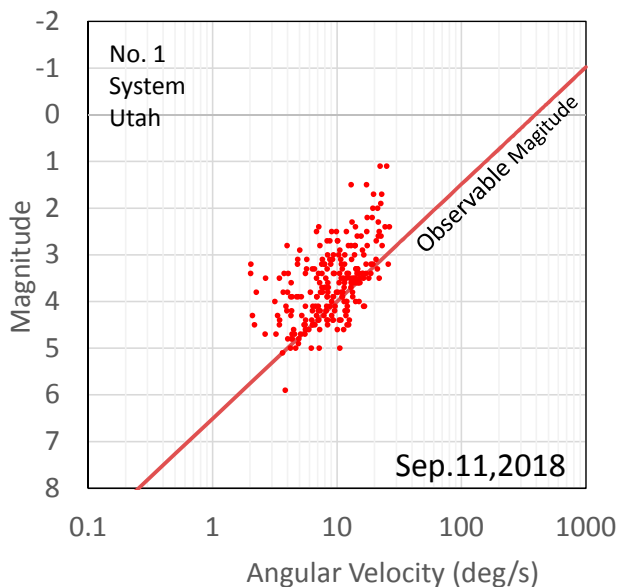
9月11日の流星のイベント数



流星の等級と角速度の関係

9月11日のNo.1 System と No.2 System のデータの比較

観測された流星のうちNo.1 Systemでは241イベント、
No.2 Systemでは423イベントについて角速度を求めることができた。



流星の角速度が大きくなると、1 pixelに入る光量が少なくなるので、
観測可能な流星は、より明るいものである必要がある。
Observable Magnitudeは、この原理に基づいた直線である。

流星体のFluxと等級の関係

・他の観測装置との比較

No.1 System : 1.5 ~ 4 等

No.2 System : 2 ~ 5 等

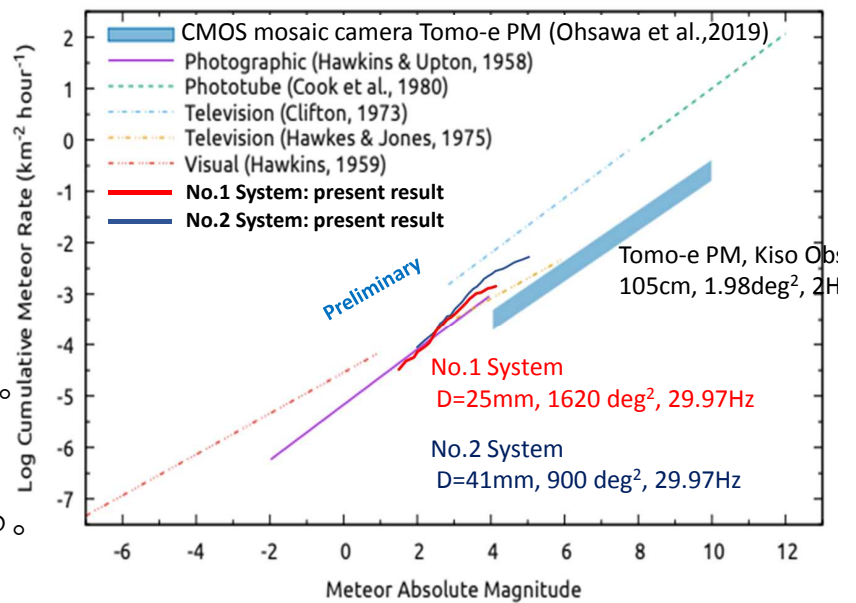
Tomo-e PMより

明るい流星を観測している。

No.1では約800倍、

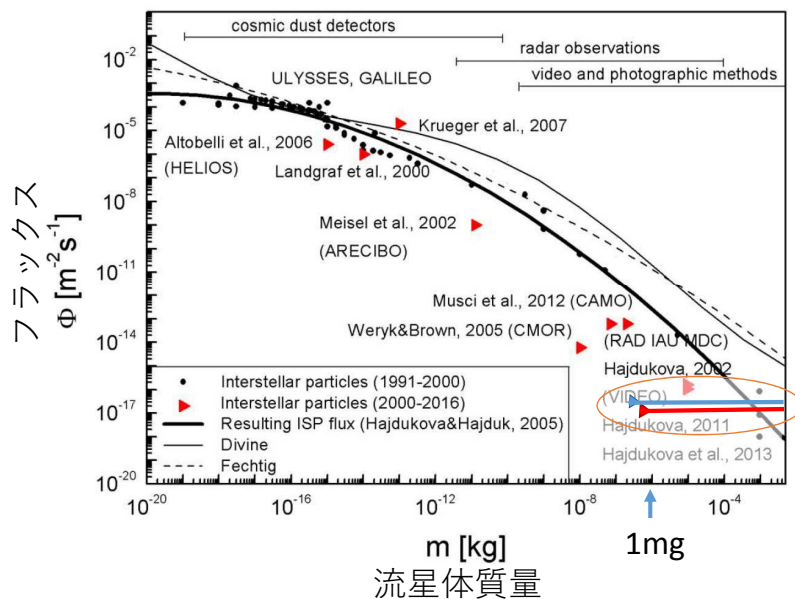
No.2では約450倍

の領域の範囲で観測できる。



・ No.1 Systemと No.2 Systemは他の観測結果と比較すると、観測される等級の範囲では、ほぼ矛盾しない。

太陽系外起源の流星体の観測可能性



1年間の観測で太陽系外起源の流星体が検出できるFluxの限界値

No.1 System : $1.3 \times 10^{-17} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

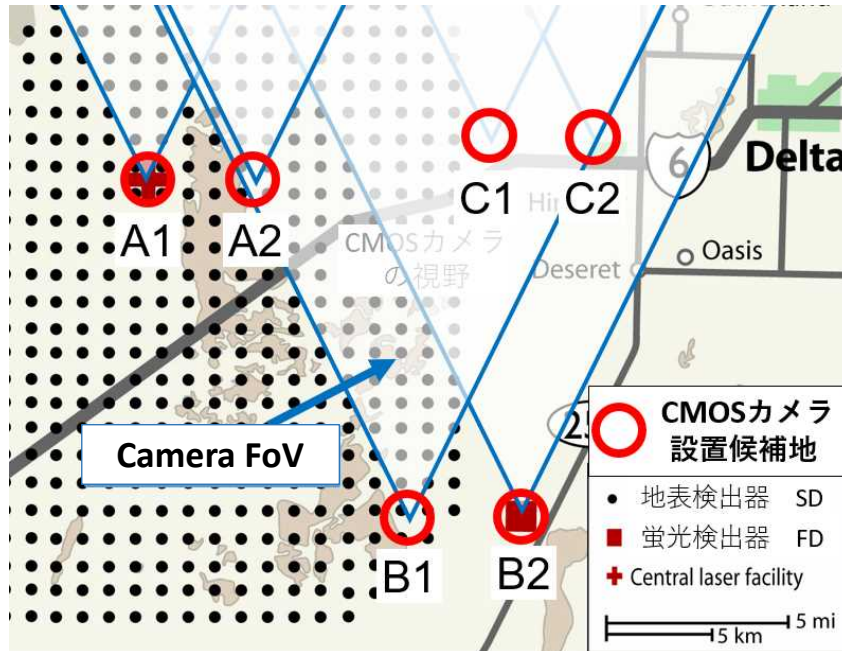
No.2 System : $2.9 \times 10^{-17} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

観測時間 : 1 年 (TAサイトの観測可能時間から、1日の観測時間を24[h] × 0.09とした)

DIMS Project

Dark Matter and Interstellar Meteoroid Study

米国ユタ州テレスコープアレイサイトにおいて、複数の高感度CMOSカメラを用いて、太陽系外起源流星と暗黒物質候補物質の探索を行う計画

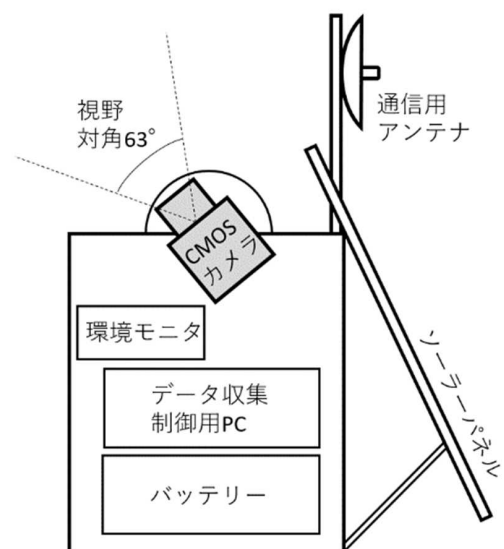


17

カメラボックス



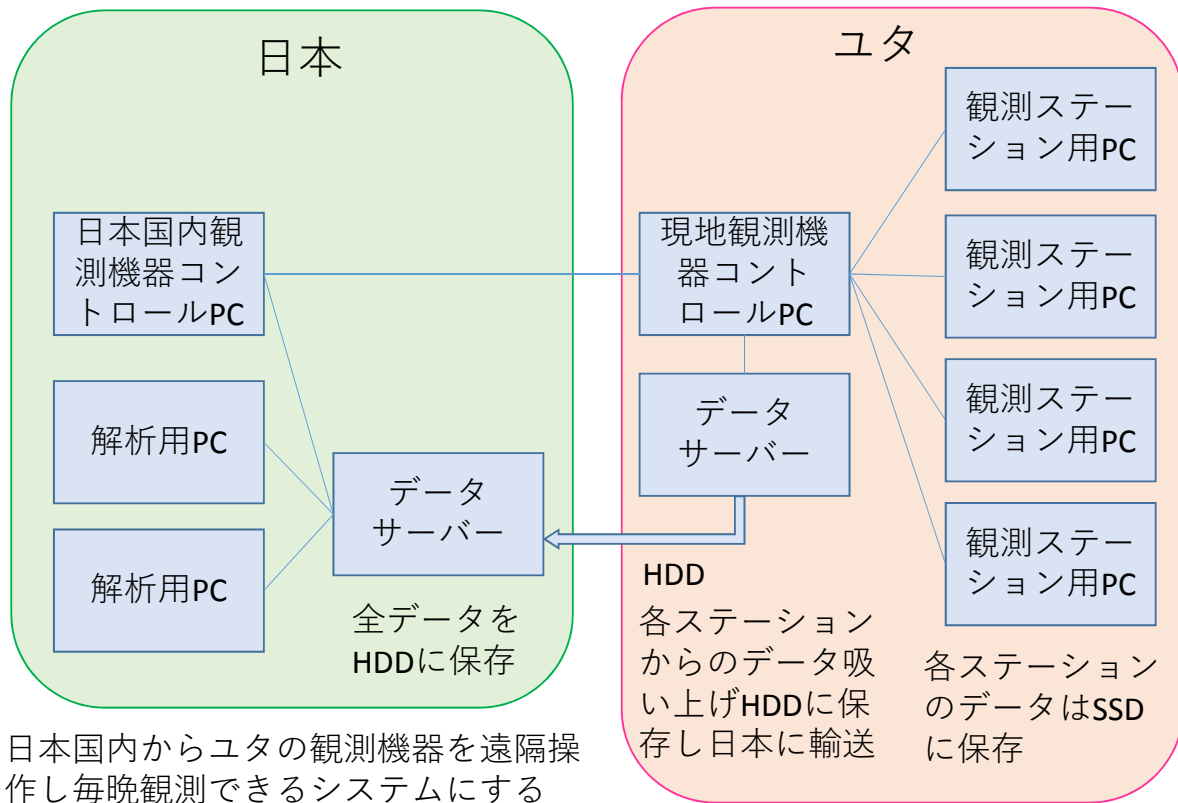
経緯儀に装着したカメラをアクリル製ドームのついたステンレスボックスに入れて夜間に常時観測できるようにする



各ステーションの高感度CMOSカメラ観測装置の概念図

18

DIMS観測システム



19

まとめ

- 2017~2018年に4回観測場所を変え、3種類の高感度CMOSカメラで多くの流星を30~60fpsの動画で観測した。
- これまでの観測で、星は8-9等まで、流星は5等程度まで観測できた。
- 今後、これらの結果を **太陽系外起源流星**や **Nuclearite**および**SQM** の探索のための**DIMS計画**に役立てる。
- 共同研究者を求めています。
連絡先: kajino@konan-u.ac

20

Star Magnitude Distribution for Various Cameras

Dec. 28, 2017, Ishigaki Iland & Sept. 8, 2018, Utah
Analysis parameter : Slev=12 (optimized for Canon cameras)

