# DIMS実験
# 高速飛翔するマクロ暗黒物質と流星の探索

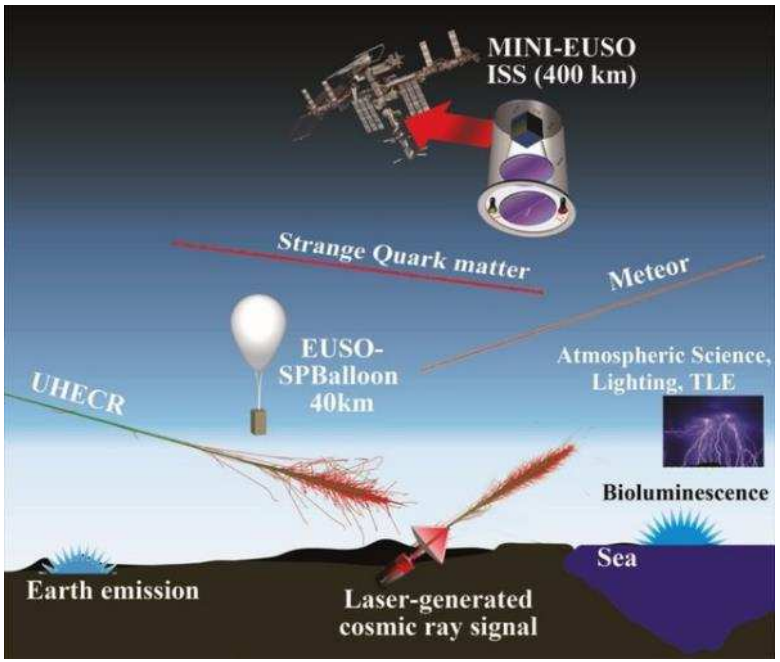
（甲南大理工）　梶野文義, 井手隆心, 荒堀瑞穂,多田沙知子, 灘本薫
（大阪電通大工）多米田裕一郎, 岩見祐吾
（Torino U., Italy）M. Bertaina, S. Valenti, D. Barghini
（NCBJ, Poland）　篠崎健児
（理研）　M. Casolino, 戎崎俊一, 滝澤慶之, L. Piotrowski, 津野克彦
（東大宇宙線研）佐川宏行
（U. Utah, USA）　J. N. Matthews
（INAF, Italy)　A. Cellino
（日大理工）　阿部新助
（SKKU, Korea）　I. H. Park
（KASS, Korea）　S. W. Kim
（Case Western Res. U., USA）G. Starkman, J. S. Sidhu

**DIMS Collaboration**

ダークマターの懇談会2020 online
2020年9月8日

# 研究目的

- マクロ暗黒物質の候補のNuclearitの探索
- 流星、特に太陽系外起源の流星の観測
- 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



# Dark Matter Candidates

- **Weakly Interacting Massive Particles (WIMPs)**
- **Axions**

**Popular candidates**

- **Primordial Black Holes**
- **Exotic Candidates**

  **WIMPzillas, gravitinos, gluinos**

  **Q-balls, Q-nuggets, SIMPS**

  **Fermi Balls, EW Balls and GUT Balls**

  **New Class of Dark Matter Objects**

  **Mirror Dark Matter …**

**Many other candidates**

K. Arun et al. arXiv 1704.06155

# DMの断面積は小さい必要性はあるのか？

**Interaction Rates of DM $\Gamma \sim n_x \sigma_x v \sim (\sigma_x / m_x)\, \rho_x\, v$**

**Gravitational Observations fix $\rho_x$**

**Galactic Dynamics fix $v$**

**What's left is $(\sigma_x / m_x)$**

**DM can be small $m_x$ and very small $\sigma_x$ : ordinary case**

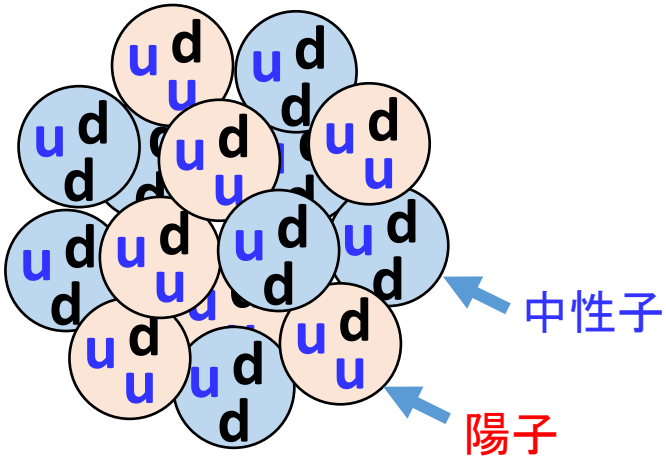
**or large $m_x$ and not so small $\sigma_x$ : Macro DM**

**Dark matter doesn't have to interact weakly if it's very massive. → Macro Dark Matter**

Ref: Macroscopic Dark Matter, G. Starkman, 2019

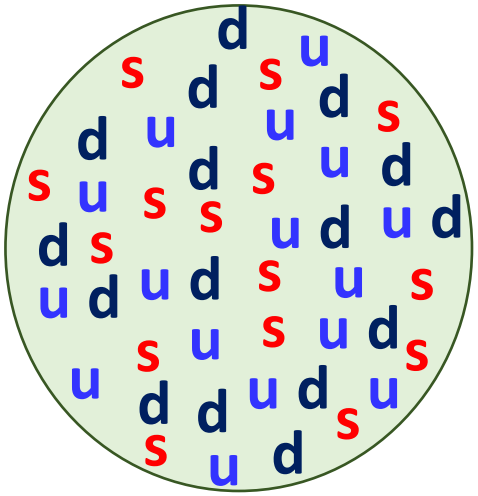
https://kicp-workshops.uchicago.edu/2019-COSMIC/program.php

# 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

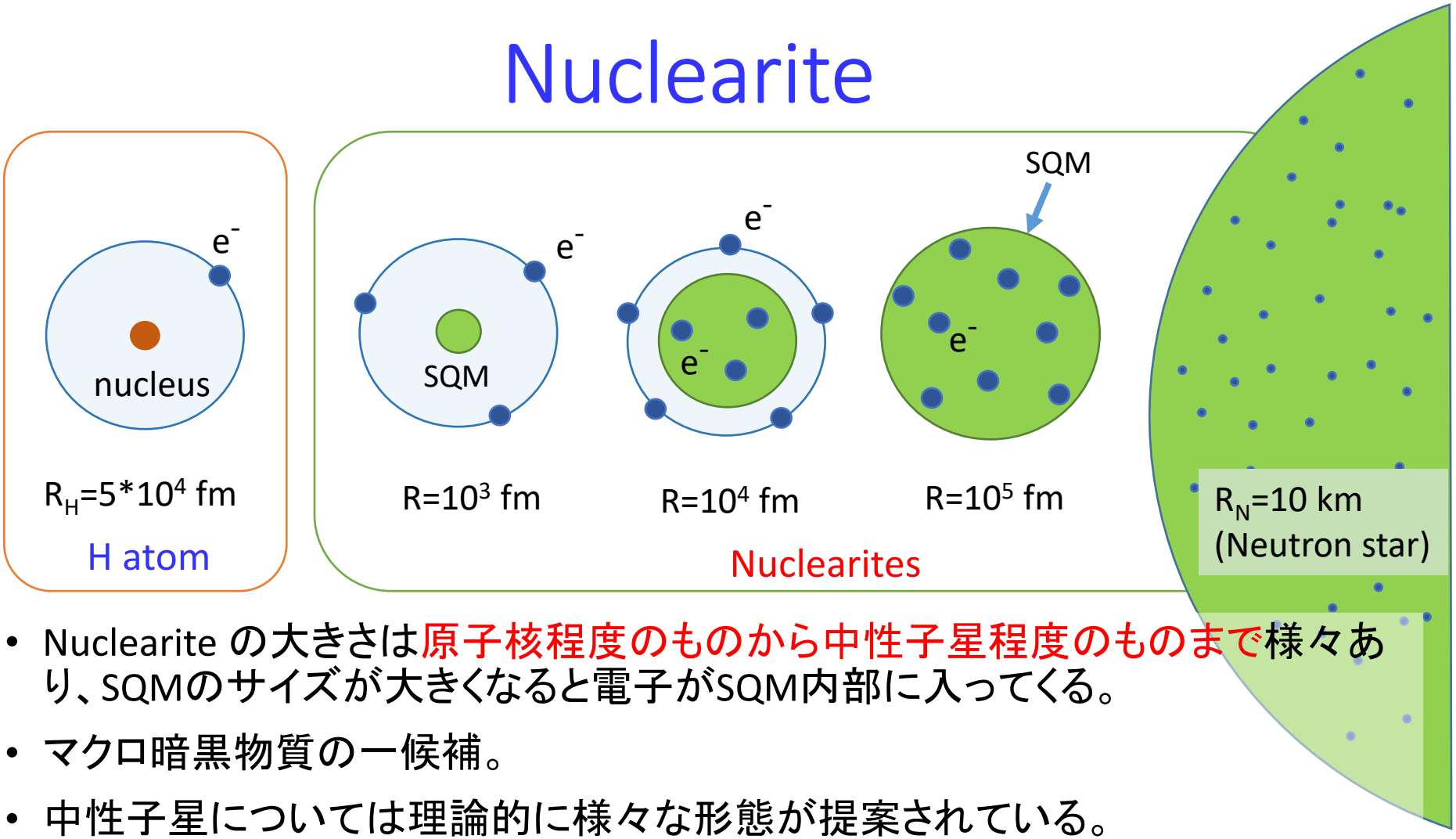
u, d, s quark がほぼ同数からなる quark の集合体

E. Witten 1984

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

A. De Rujula & S. L. Glashow, 1984

# Nuclearite



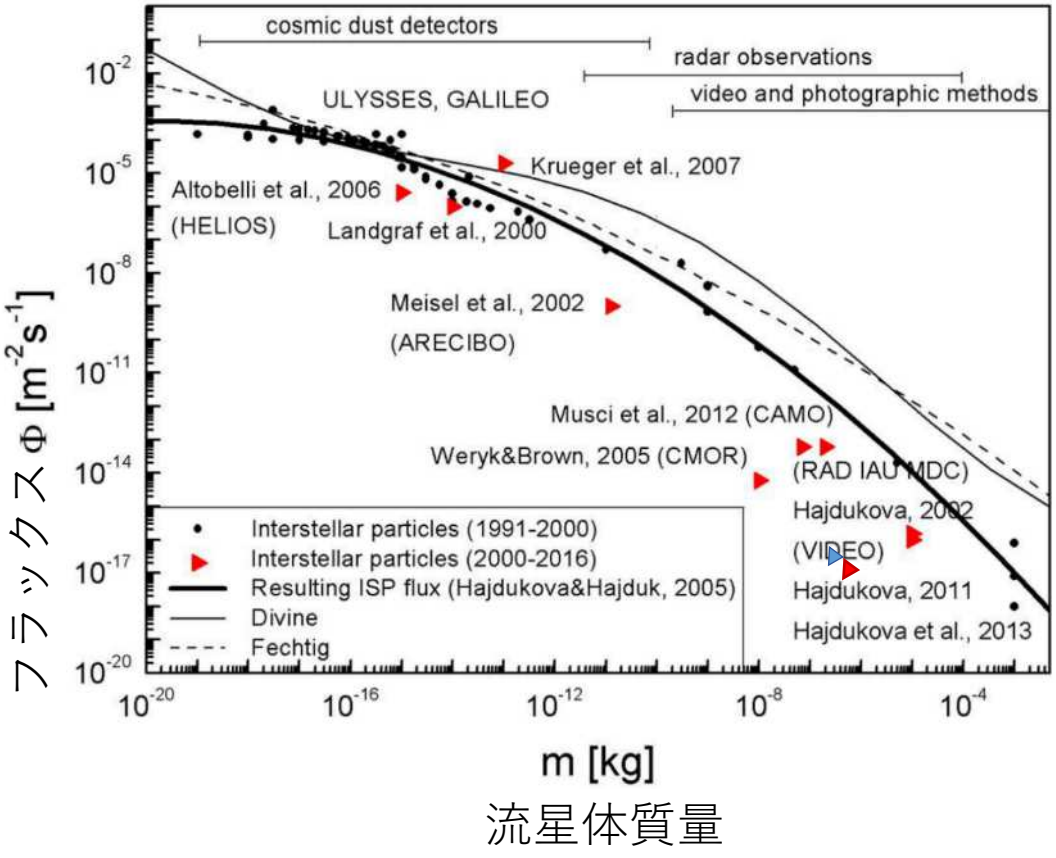

- Nuclearite の大きさは原子核程度のものから中性子星程度のものまで様々あり、SQMのサイズが大きくなると電子がSQM内部に入ってくる。
- マクロ暗黒物質の一候補。
- 中性子星については理論的に様々な形態が提案されている。
- いくつかの中性子星はquark星の可能性があると指摘されている。
- Nuclearite は宇宙初期や中性子星同士の衝突でできる可能性がある。
- これまでに、加速器による生成実験や、自然界にSQMやNuclearite が存在しているかどうかの実験が行われてきた。地震計による探索など。

# 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が太陽圏を通って流れていて、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。



# Nucleariteと流星の発光の違い

## Nuclearite

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

平均速度 $v_N$ ～220 km/s

## 流星

**流星物質が高温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~100 km

- 太陽系内に束縛されている流星

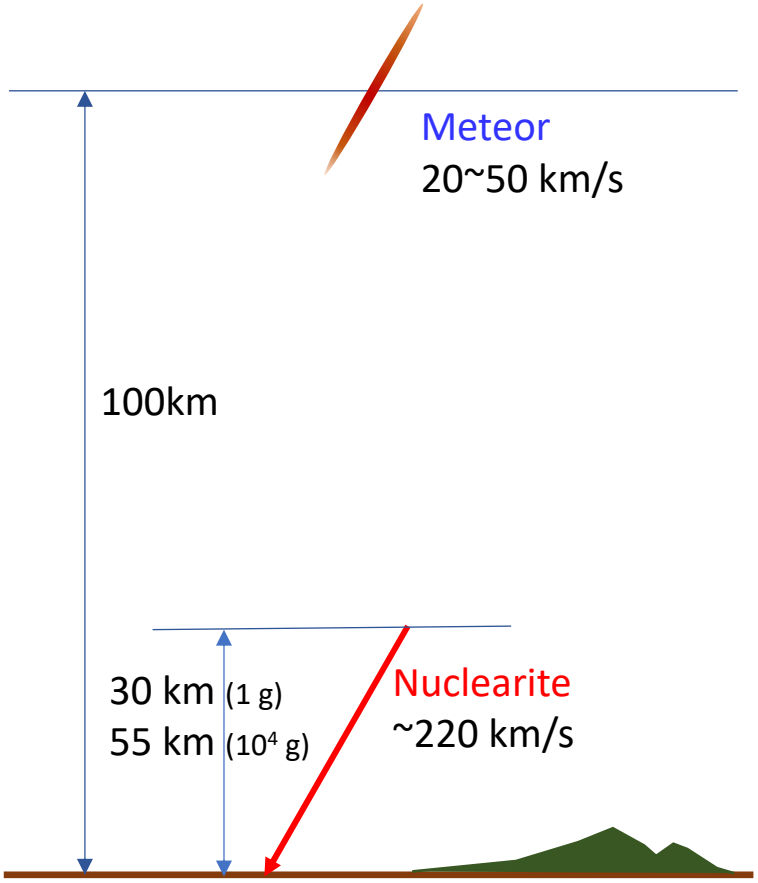
  軌道：楕円軌道,　速度< 72 km/s

- 太陽系外起源の流星

  軌道：双曲線軌道,　速度 ＞ 72 km/s

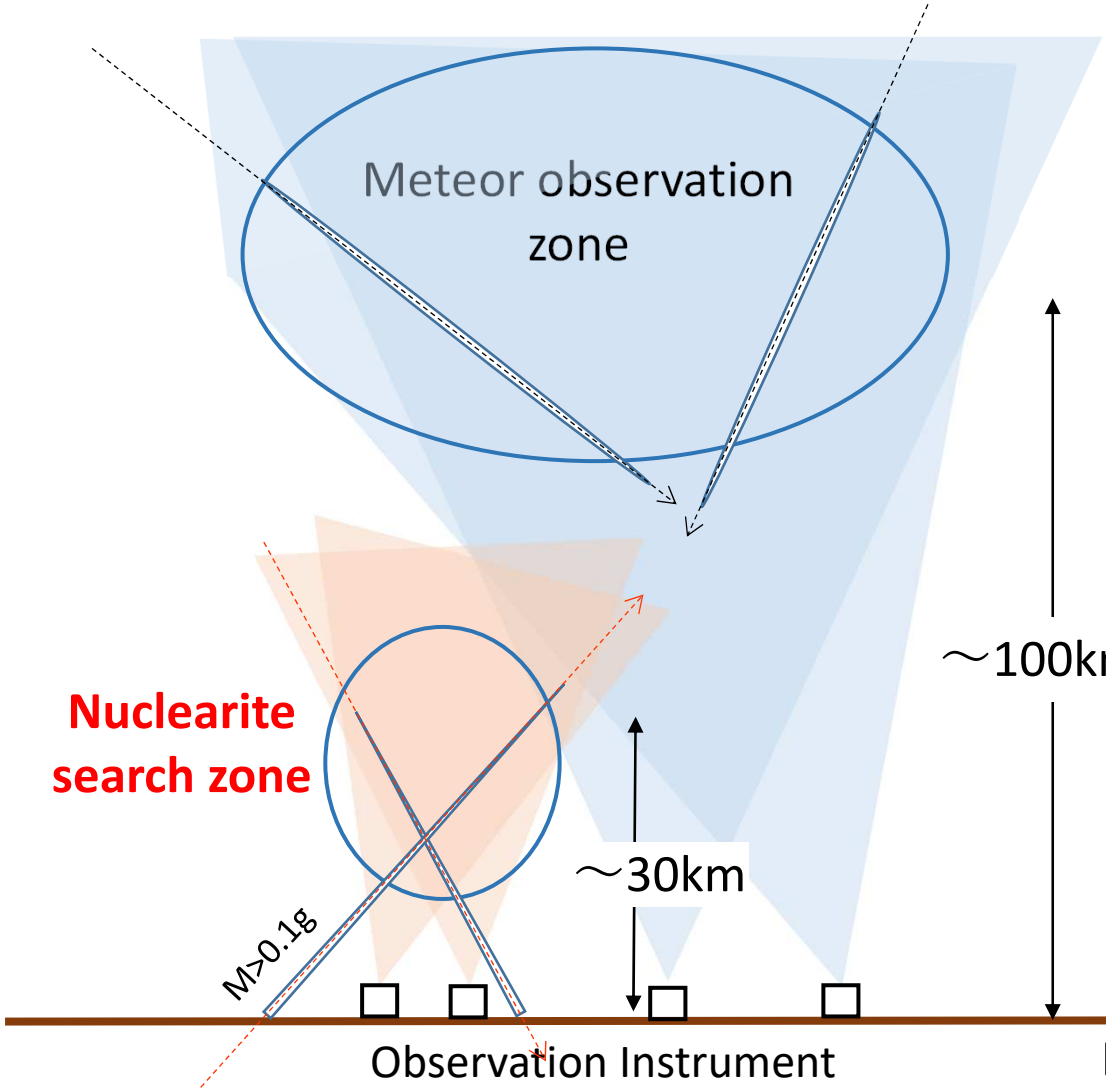
地球の公転速度：30 km/s

地球公転軌道での太陽系からの脱出速度：42 km/s

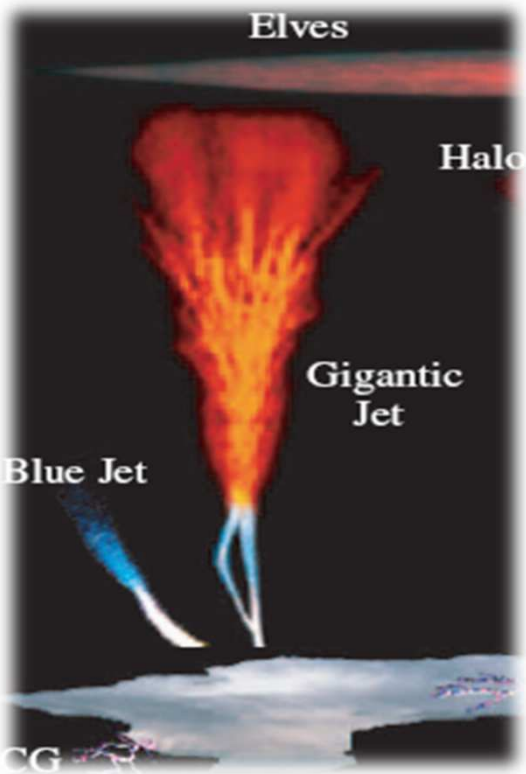



Nuclearite と流星は発光高度と速度が違うので容易に区別できる。

# DIMS Observation Concept




TLE's
(transient luminous events)



# Test of Observation System

HDMI Cable

Video Capture Module

USB Cable

PC
Windows 10

UFO Capture

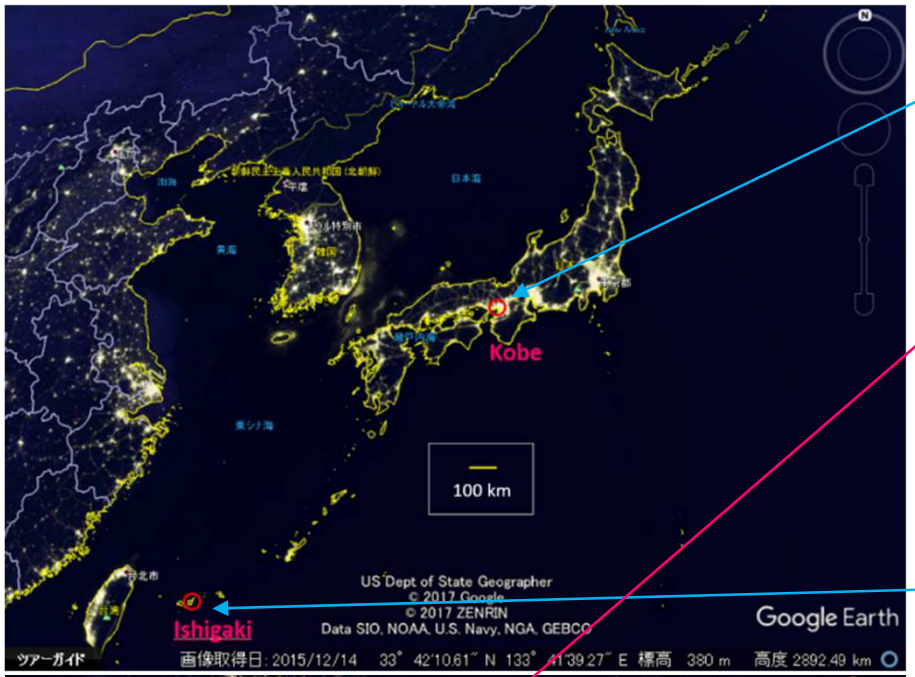
Canon ME20F-SH
Monochrome type

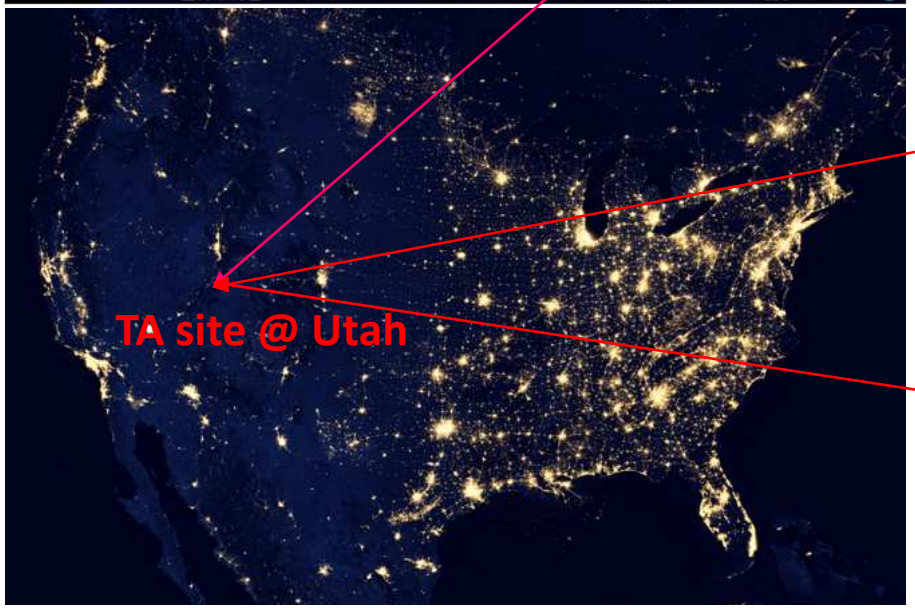
ISO sensitivity 204,800 was used for the observation.

**UFO Capture:**
motion capture software

Observation at TA-BRM
Aug. 31, 2019

# 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

- Aug. 28th –Sept. 1st, 2019
- Telescope Array site, Utah

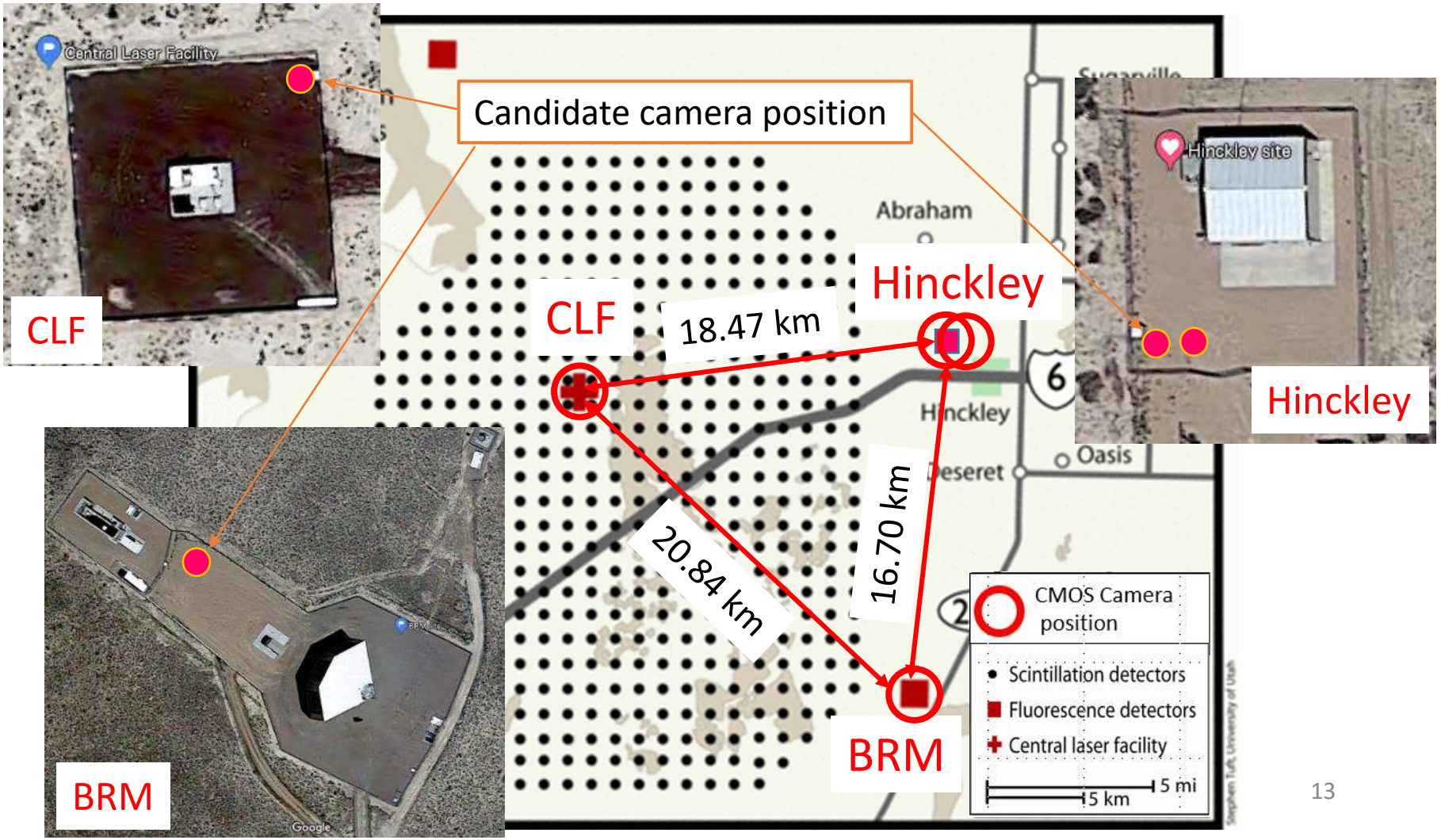
# これまでの観測サマリ
## (2017–2019)

| Obs. period | Feature | ISO sensitivity | Number of meteors | Meteor Type |
|---|---|---|---|---|
| Jan 2017 | Stereo obs. at Okamoto and Miki | 102,400 | ~34 | shower from Quadrantids |
| | | | ~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 |
| Sept 2019 | Stereo obs. by 2 cameras at TA site | 204,800 | 3840 | sporadic |

これまで、カメラやレンズの種類、設定条件、観測場所などを変えながら
最適な観測システムと観測場所を探してきた。

# TAサイトにおける観測と調査

2019年8月28日～9月1日（4夜）
2台の高感度CMOSカメラを観測候補地に設置して流星を観測



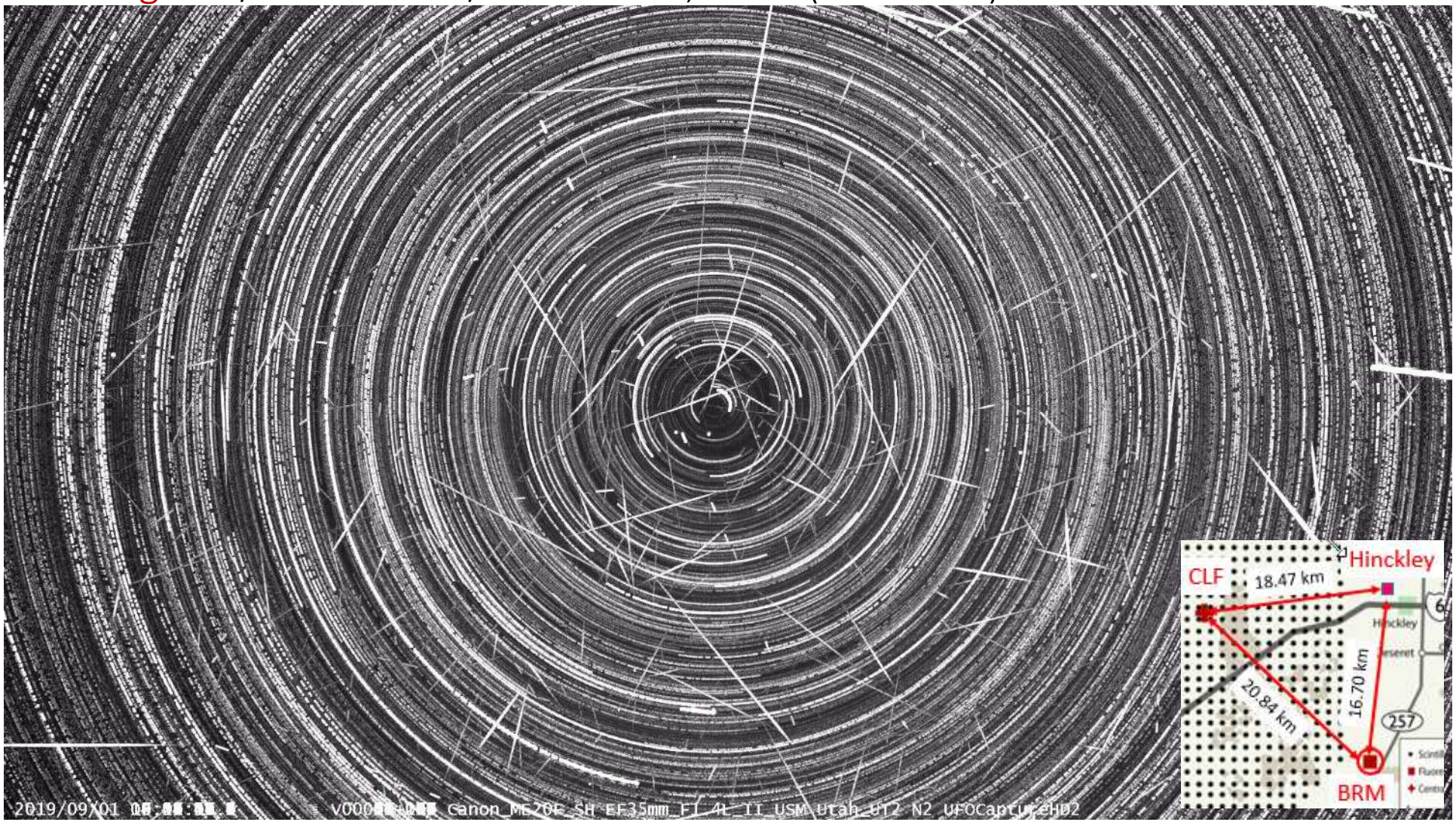
# Image Examples of Many Meteors and Satellites

We actually record movie file in avi format to obtain the velocity.

# Composite photo taken at BRM, Utah

N2 camera, detect size = 2, IR = on

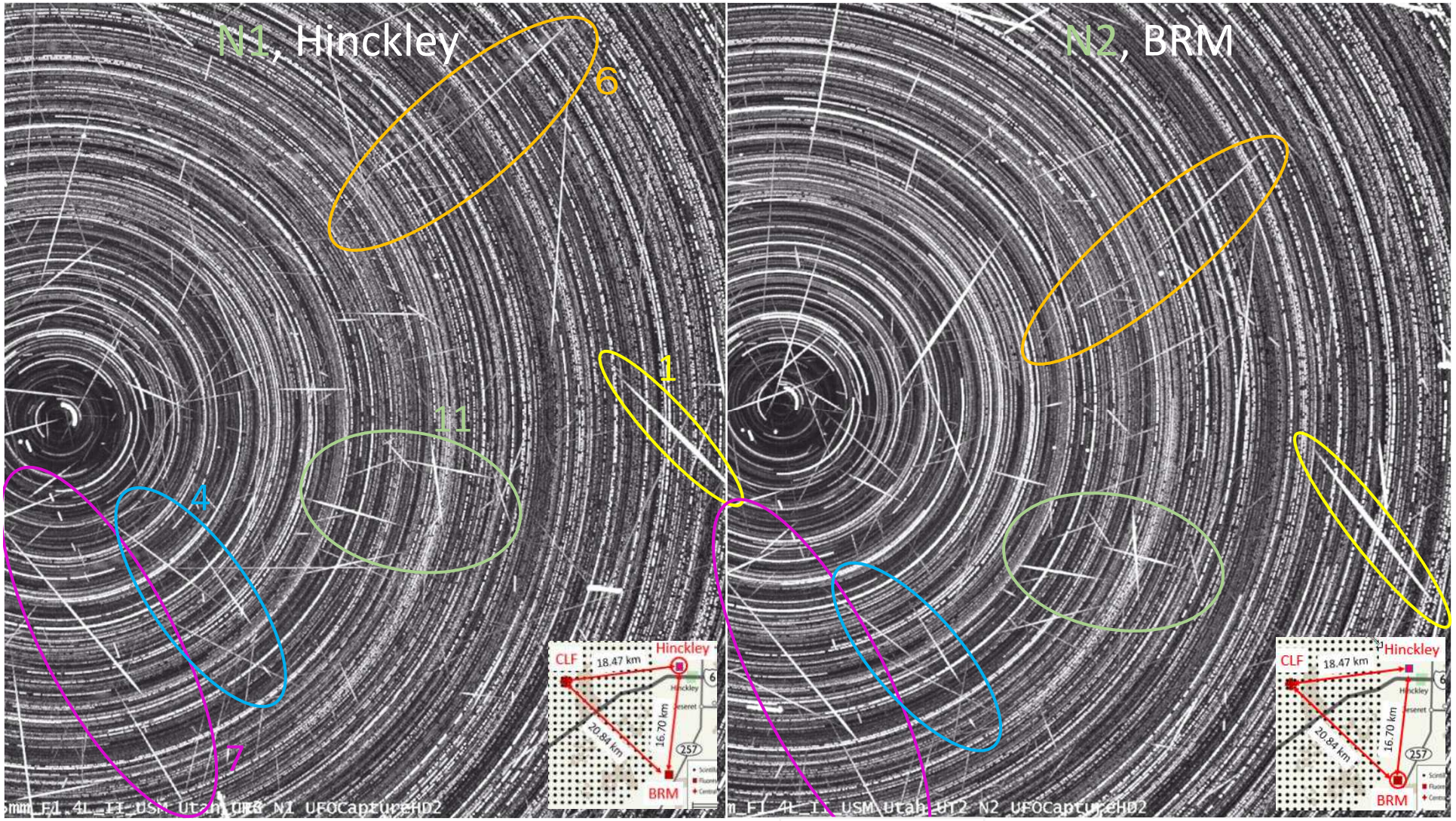
4th night: 8/31 22:30 - 9/1 5:00 MDT, 2019 (6h 30min)




Over 500 meteors were taken in this picture.

# Simultaneous Events

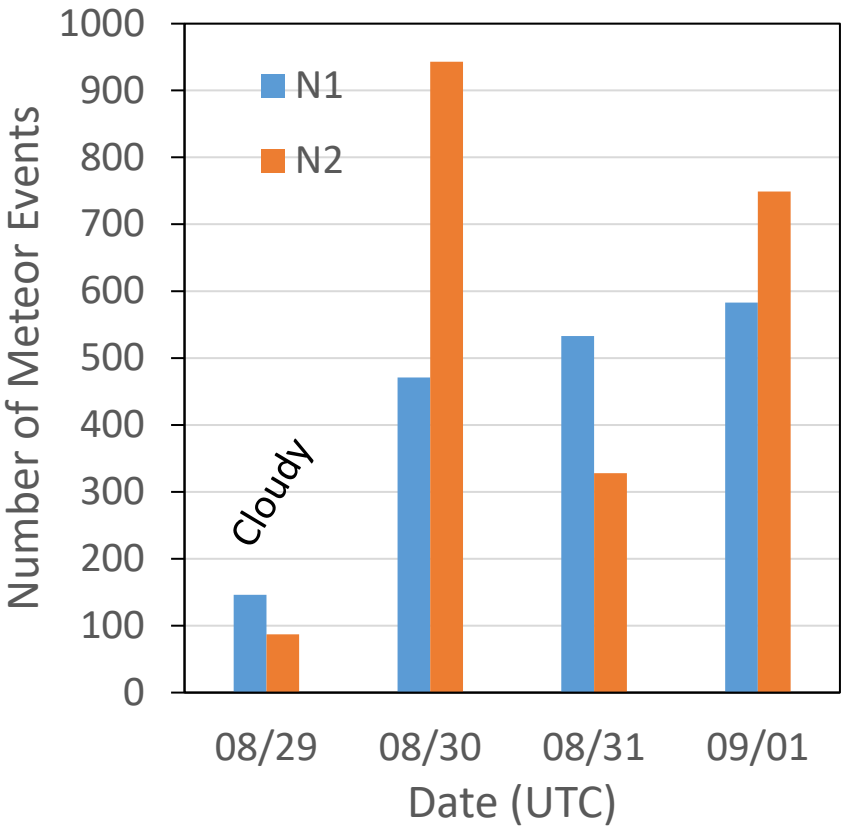
4th night: 8/31 22:29 – 9/1 5:00 MDT, 2019 (6h 31min)

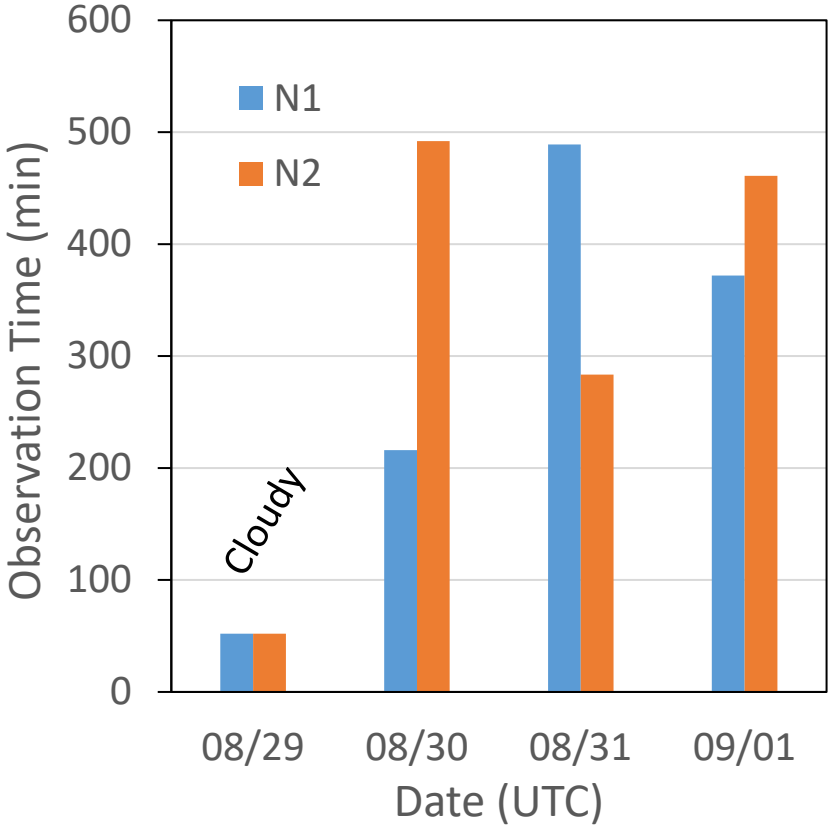



Number of the simultaneous events were obtained to be 375 in this night.

# Observed Number of Meteors

Aug. 29th – Sep. 1 UTC, 2019 (4 nights)

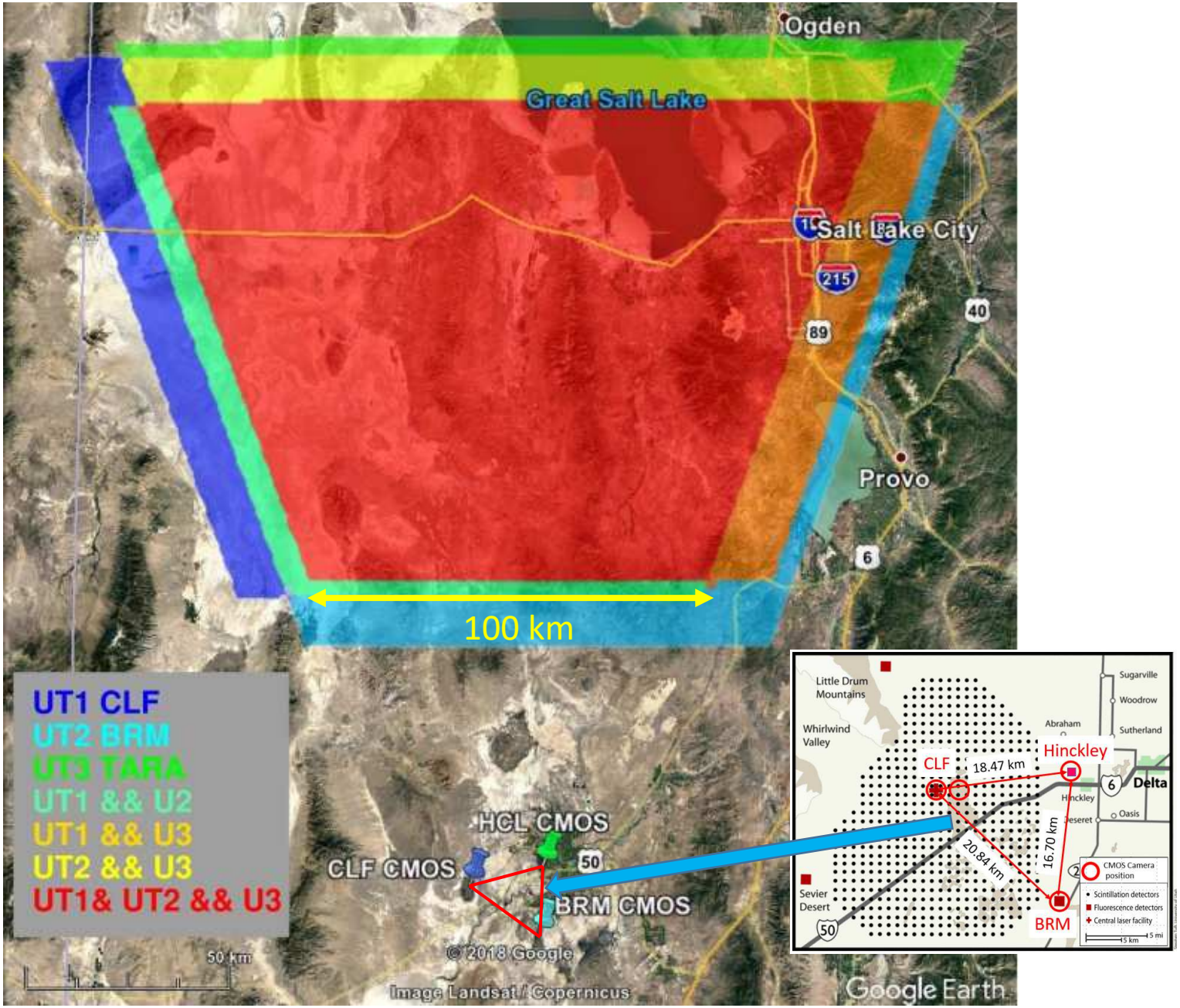


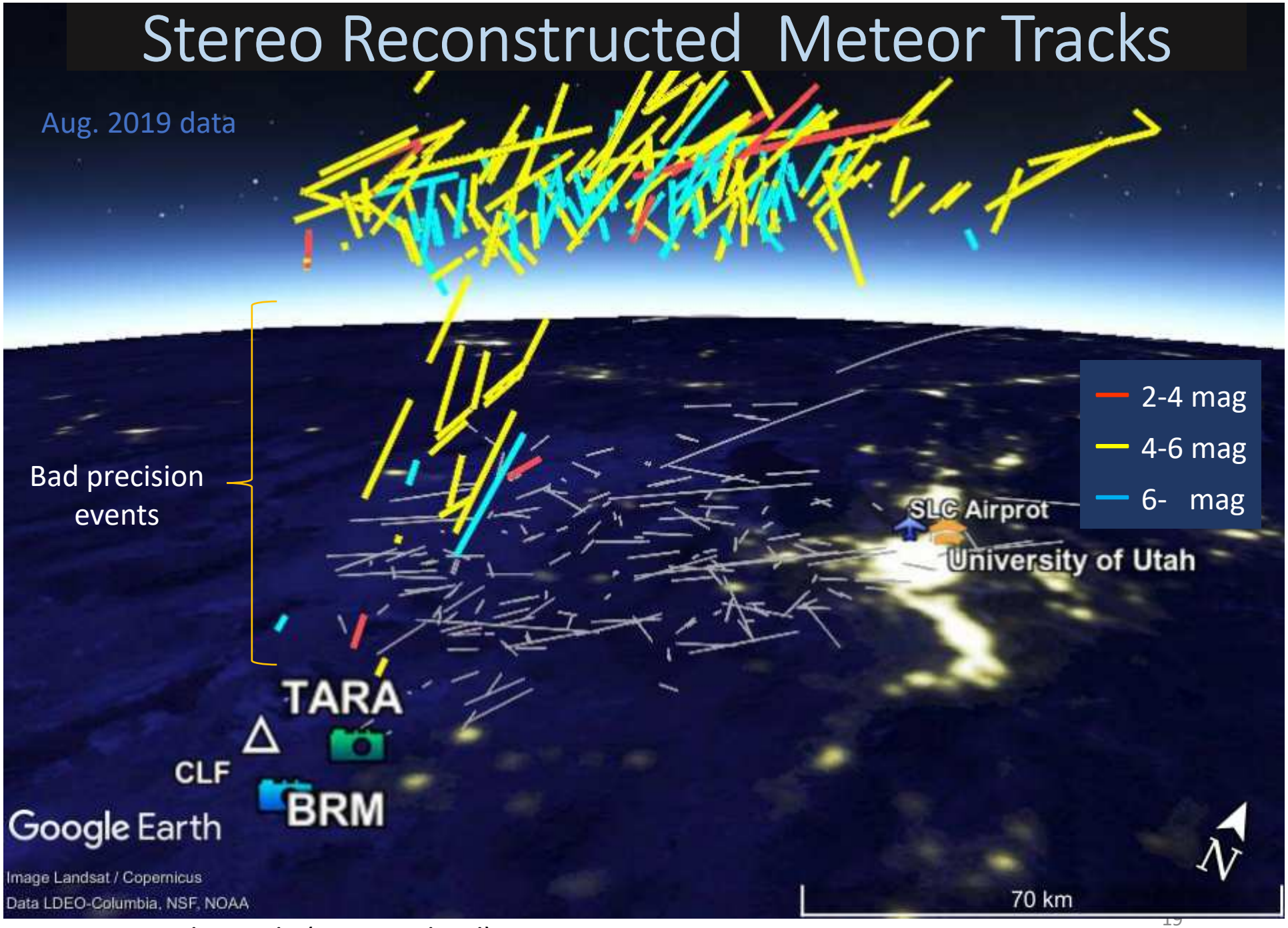

N1: 1733 events
N2: 2107 events
N1+N2: 3840 events

N1: 1129 min = 18.8 h
N2: 1288 min = 21.5 h

# 流星の観測領域（高度100km）

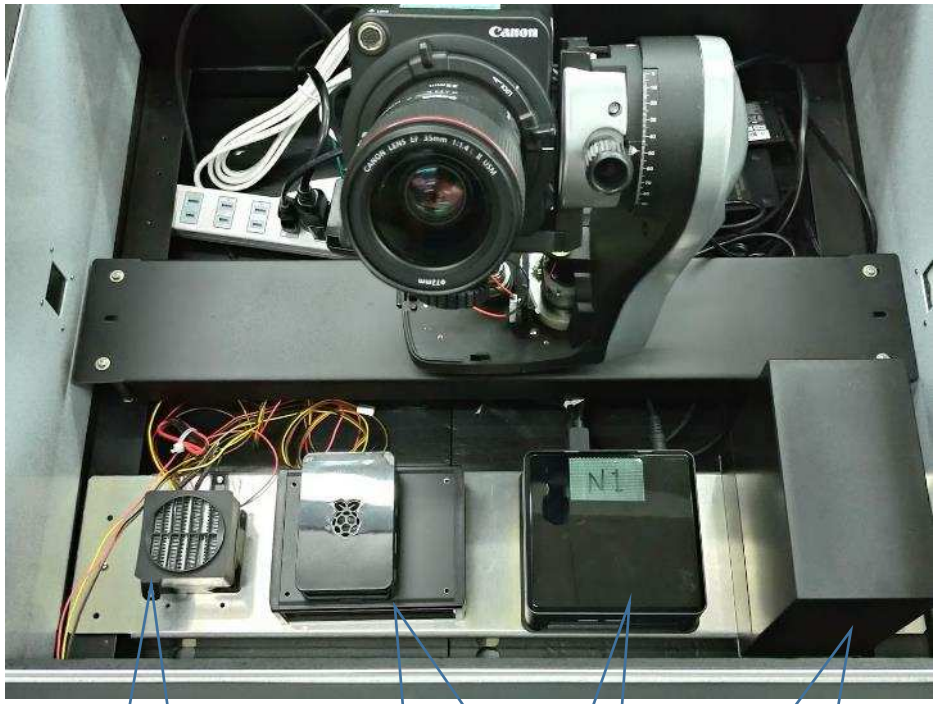


# Stereo Reconstructed Meteor Tracks



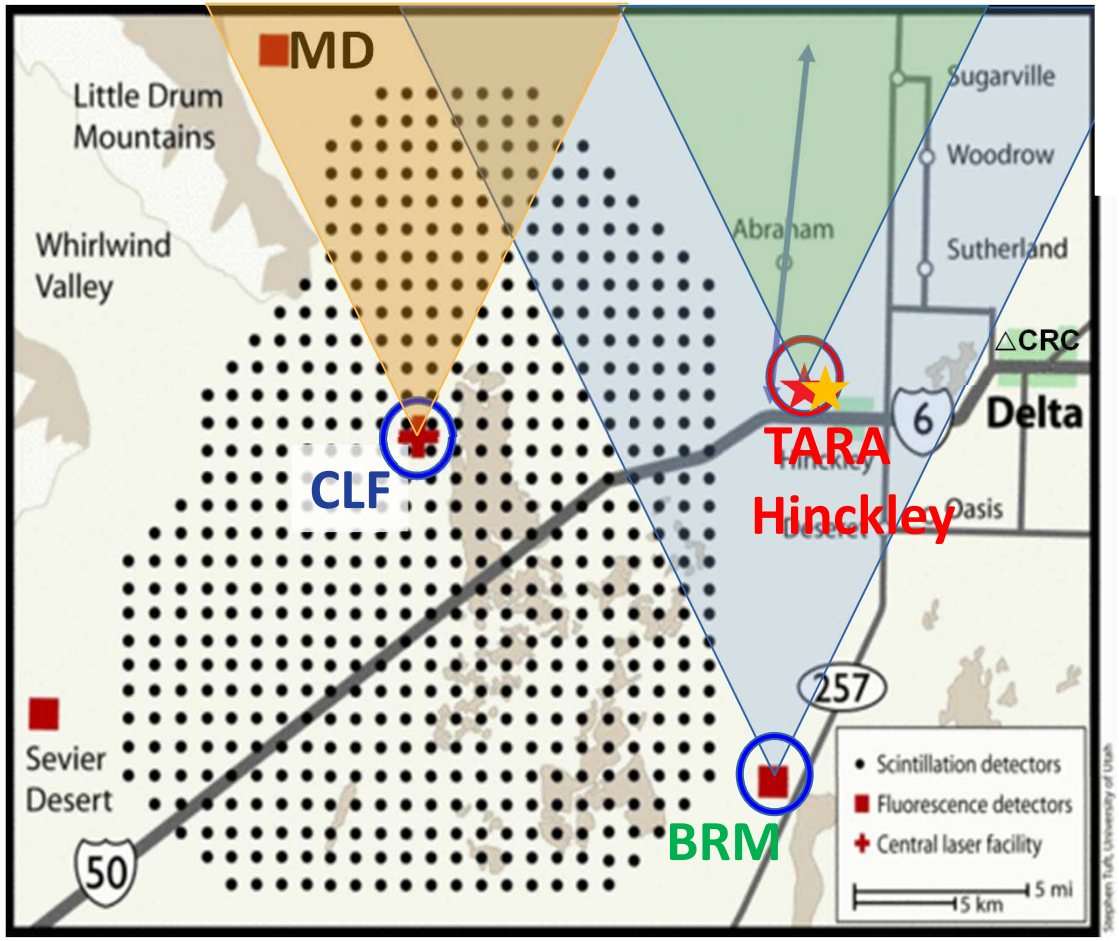

By K. Shinozaki (NCBJ, Poland)

# Camera Station




Camera is mounted on a altazimuth mount and is controlled remotely.

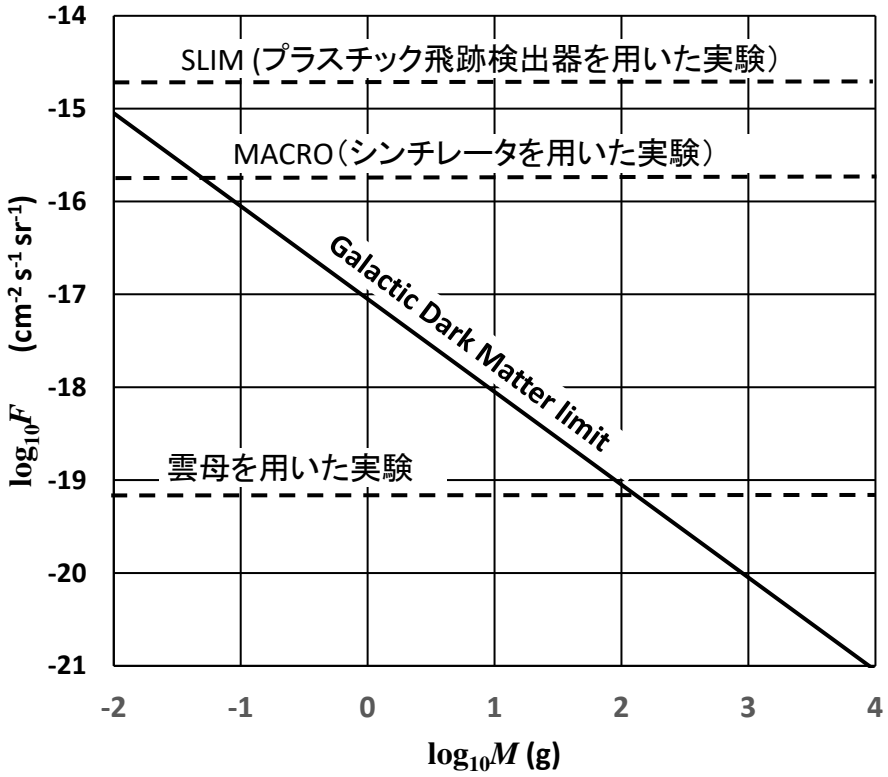
# Configuration of Camera Stations

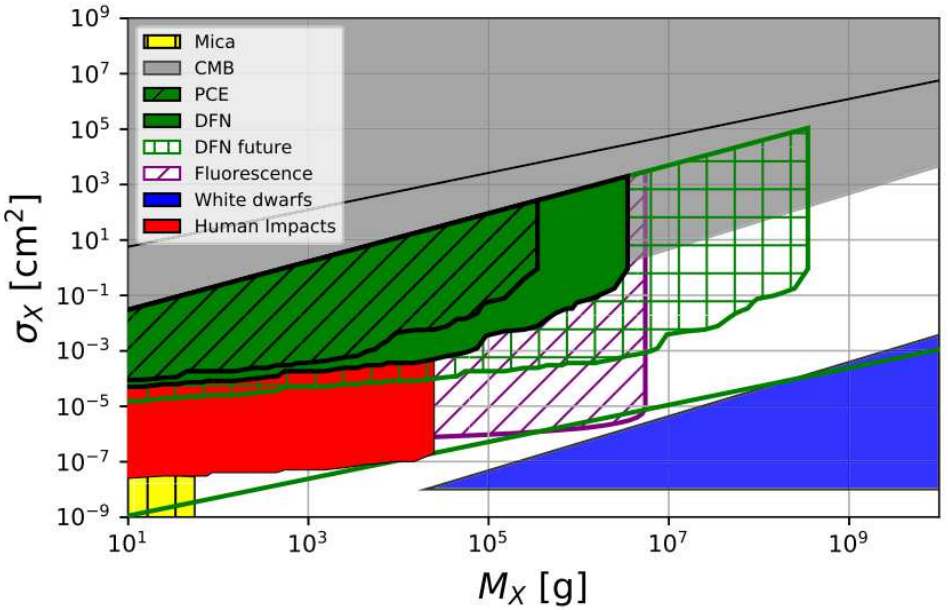



今後、米国ユタTAサイトに4台の高感度カメラシステムを設置して、連続観測を行う予定。

3台のカメラは北極星方向を向ける。
4台目はNuclearitの観測に最適になるように観測方向を検討中。

# Constraints on Macro Dark Matter




Macroscopic dark matter constraints from bolide camera networks
Jagjit Singh Sidhu and Glenn Starkman
PHYSICAL REVIEW D 100, 123008 (2019)

# まとめ

- これまでに高感度CMOSカメラで多くの流星を動画で観測できるシステムを試験してきた。
- 流星は4-6等程度まで動画で観測できることが分かった。
- **Macro Dark Matter** や太陽系外流星の探索のための **DIMS (Dark Matter and Interstellar Meteoroid Study) Project** を開始した。
- 2021年初めに4台のカメラボックスをユタに設置して連続観測を始める予定である。