

Tomo-e GozenとMUレーダーを用いた 超微光流星の同時観測

Optical & Radar Observations of ultra-faint Meteors



阿部 新助 (日本大学理工学部 航空宇宙工学科)

Shinsuke ABE (Nihon University, Dept. Aerospace Eng.)

Collaborators:

大澤 亮, 酒向 重行 (東京大学)

渡部 潤一 (NAOJ), 中村 卓司 (NIPR), 橋口 浩之 (京大RISH)

Johan Kero (Swedish Institute of Space Physics)

弘田 旭 (日本大学)

木曾広視野サーベイと京都3.8m即時分光によるタイムドメイン天文学の推進

20170221 @ 京都大学

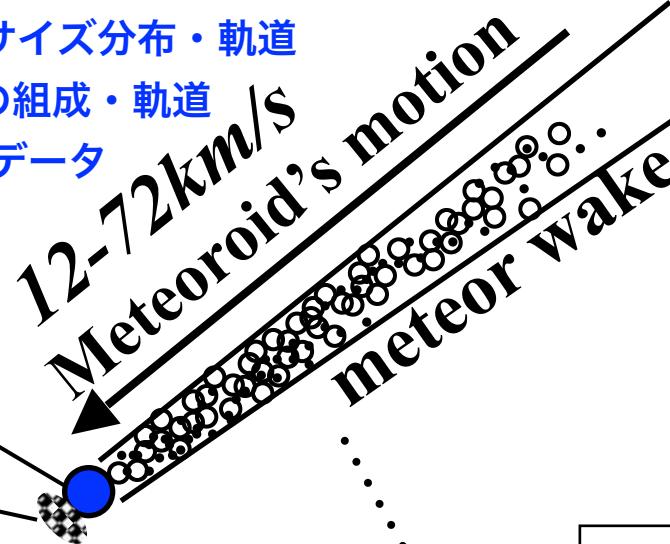
1晩に1000個の超微光流星(13等級まで)のサイズ分布・軌道

1晩に100個の超微光流星(9等級まで)の組成・軌道

人類未踏の太陽系ダストのビックデータ

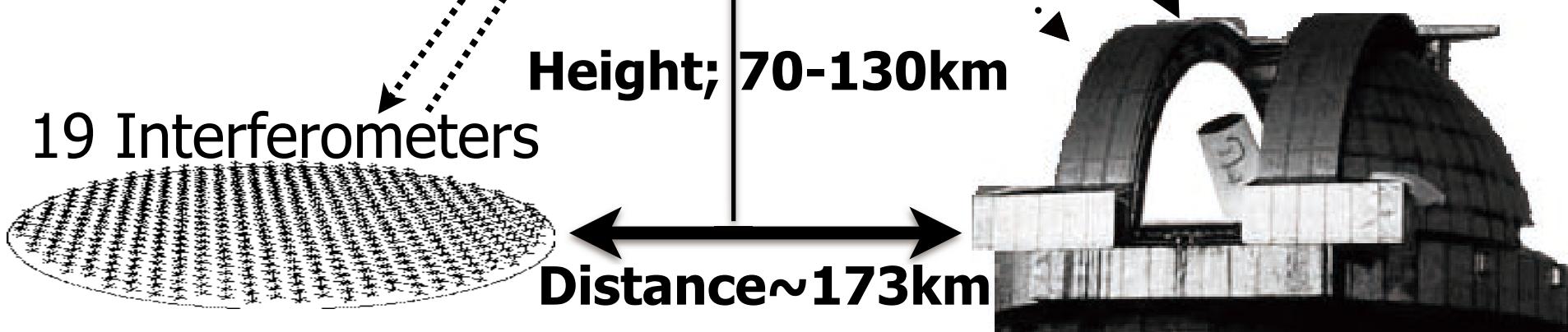
Meteoroid

Meteor head
Dense plasma



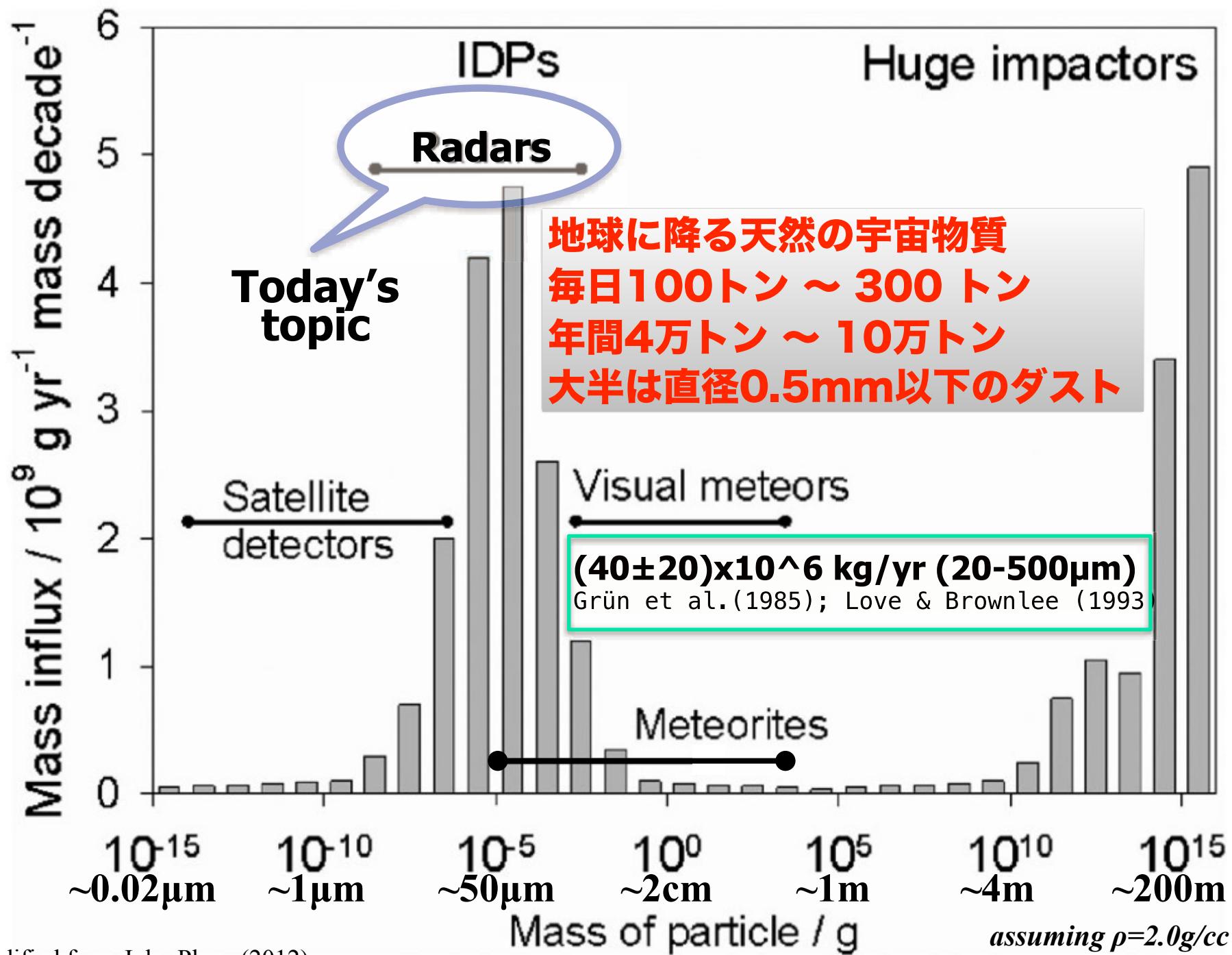
332Hz
D=103m
FOV~Φ4deg
46.5MHz, 1MW

2Hz
D=1.05m
FOV~Φ9deg
400-700nm

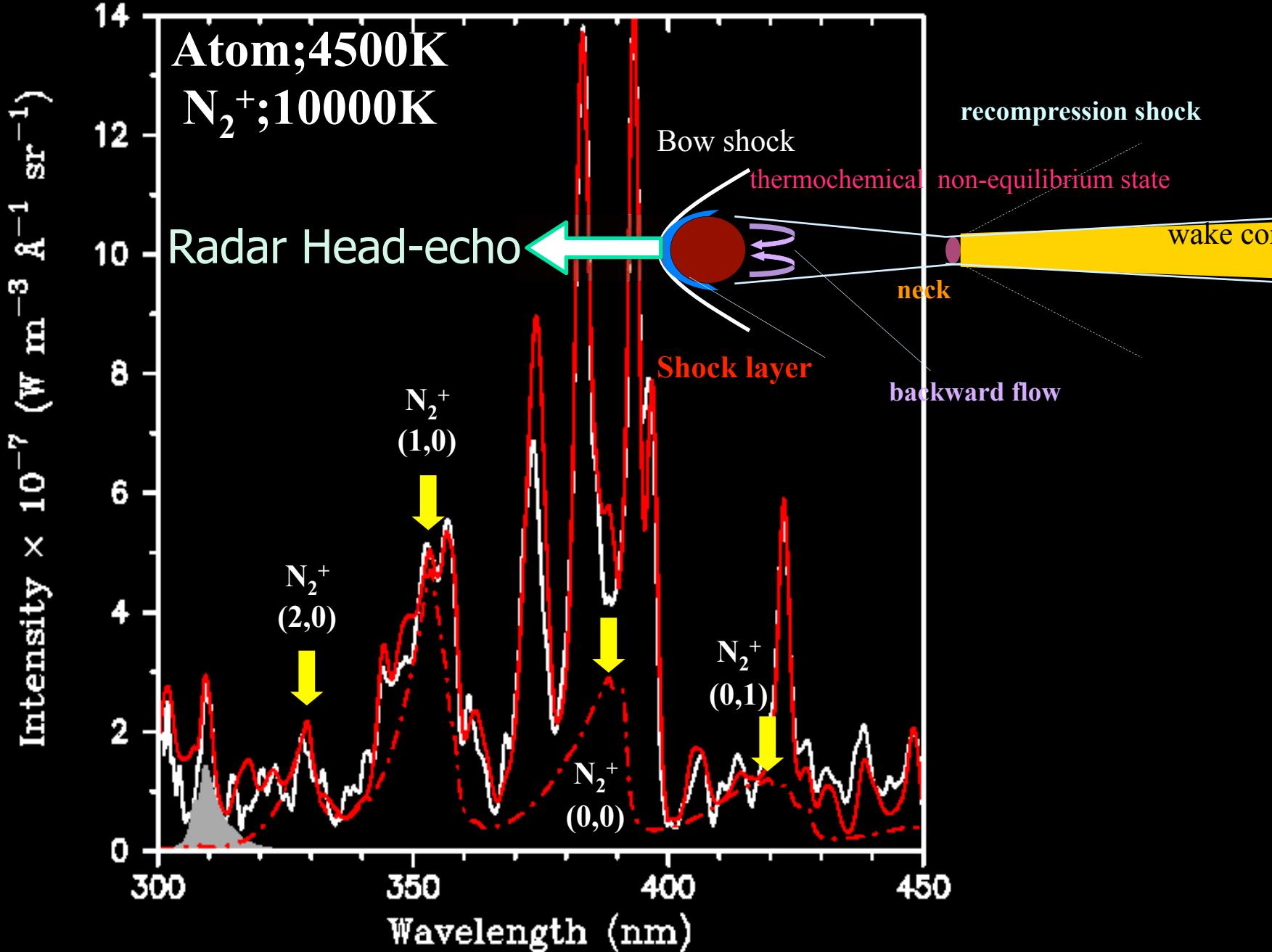


MU Radar

Schmidt telescope



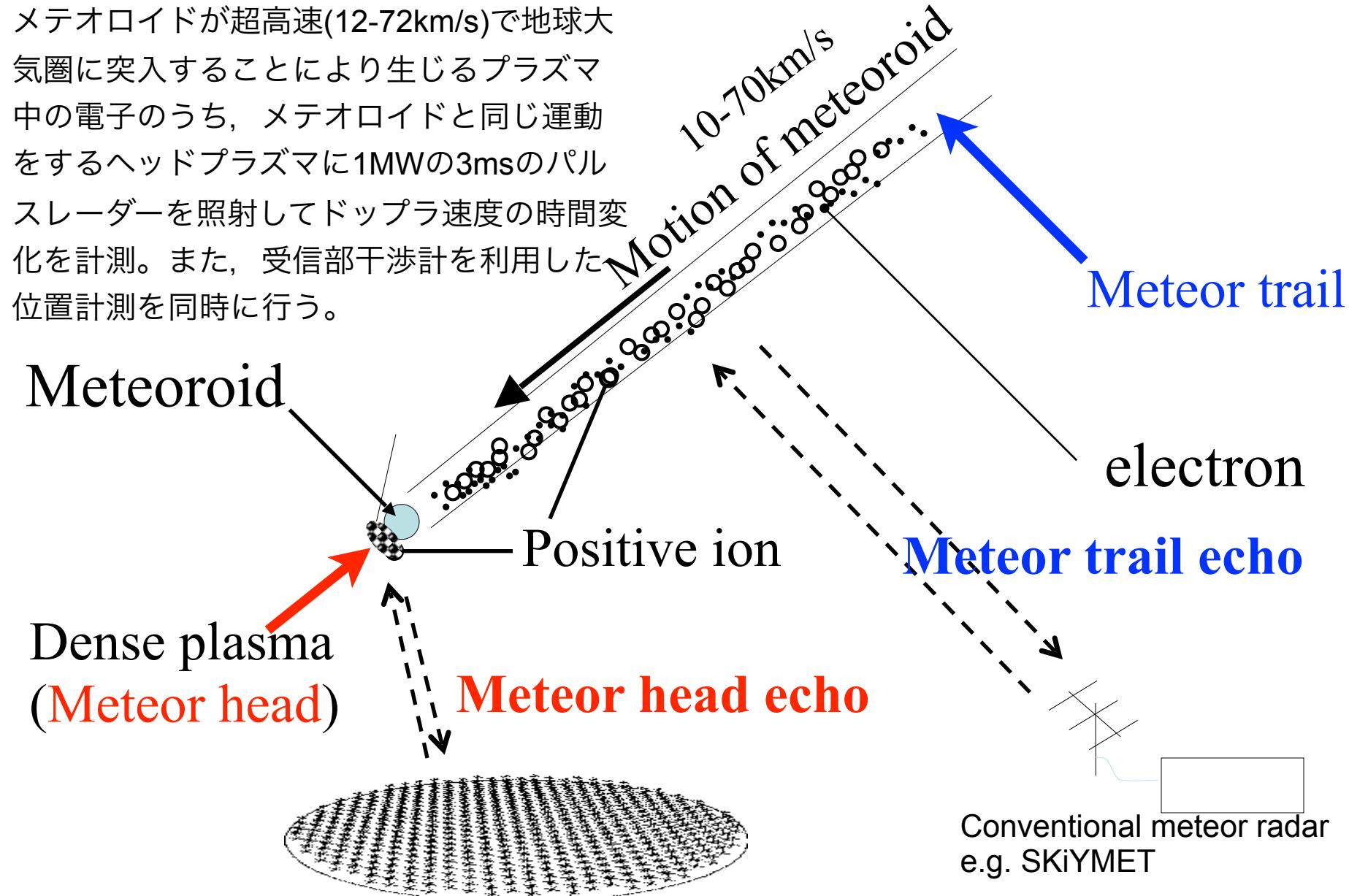
火球(-5等級) から発見された分子発光と1万度の高温領域



流星ヘッドエコーとトレイルエコー

Meteor head and trail echoes

メテオロイドが超高速(12-72km/s)で地球大気圏に突入することにより生じるプラズマ中の電子のうち、メテオロイドと同じ運動をするヘッドプラズマに1MWの3msのパルスレーダーを照射してドップラ速度の時間変化を計測。また、受信部干渉計を利用した位置計測を同時に行う。



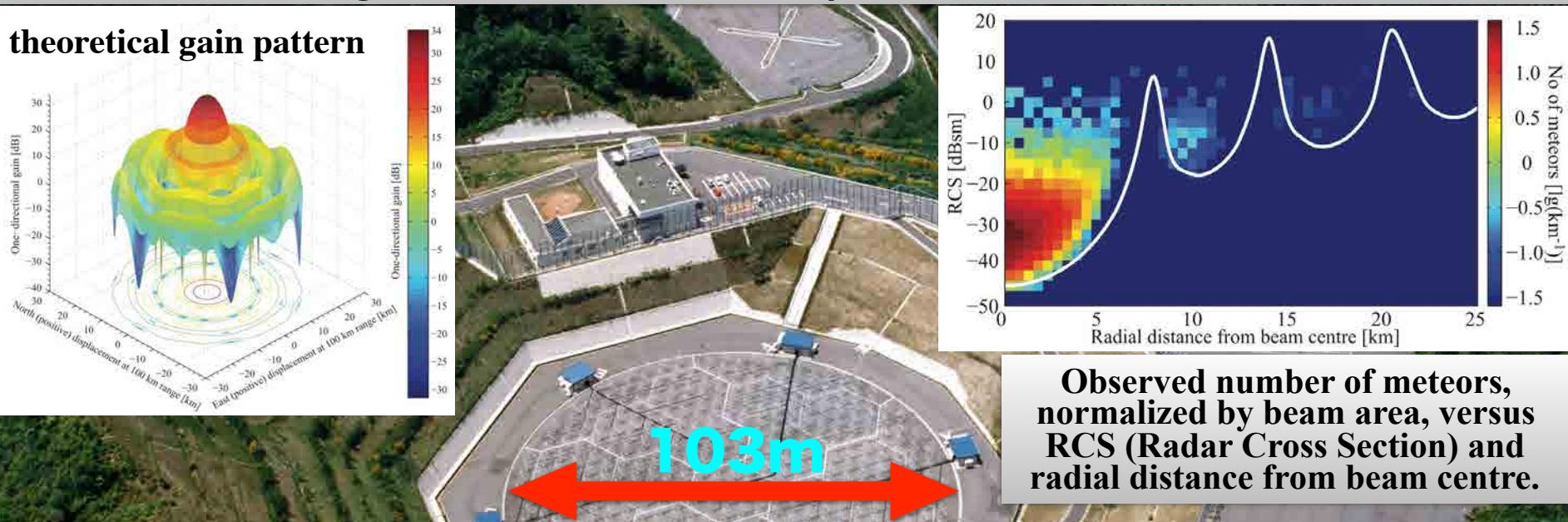
京都大学 生存圏研究所 信楽MUレーダー

Middle and Upper Atmosphere Radar

Monostatic coherent pulse Doppler radar

VHF (46.5 MHz), 1MW peak power, 475 crossed Yagi antennas
Pulse length: 1-500 μ s, Antenna aperture: 8330m² (D=103m)

theoretical gain pattern



>180k meteoroids were detected during 2009-2016
18万個以上の流星を観測

速度の平均誤差 = 0.25 km/s

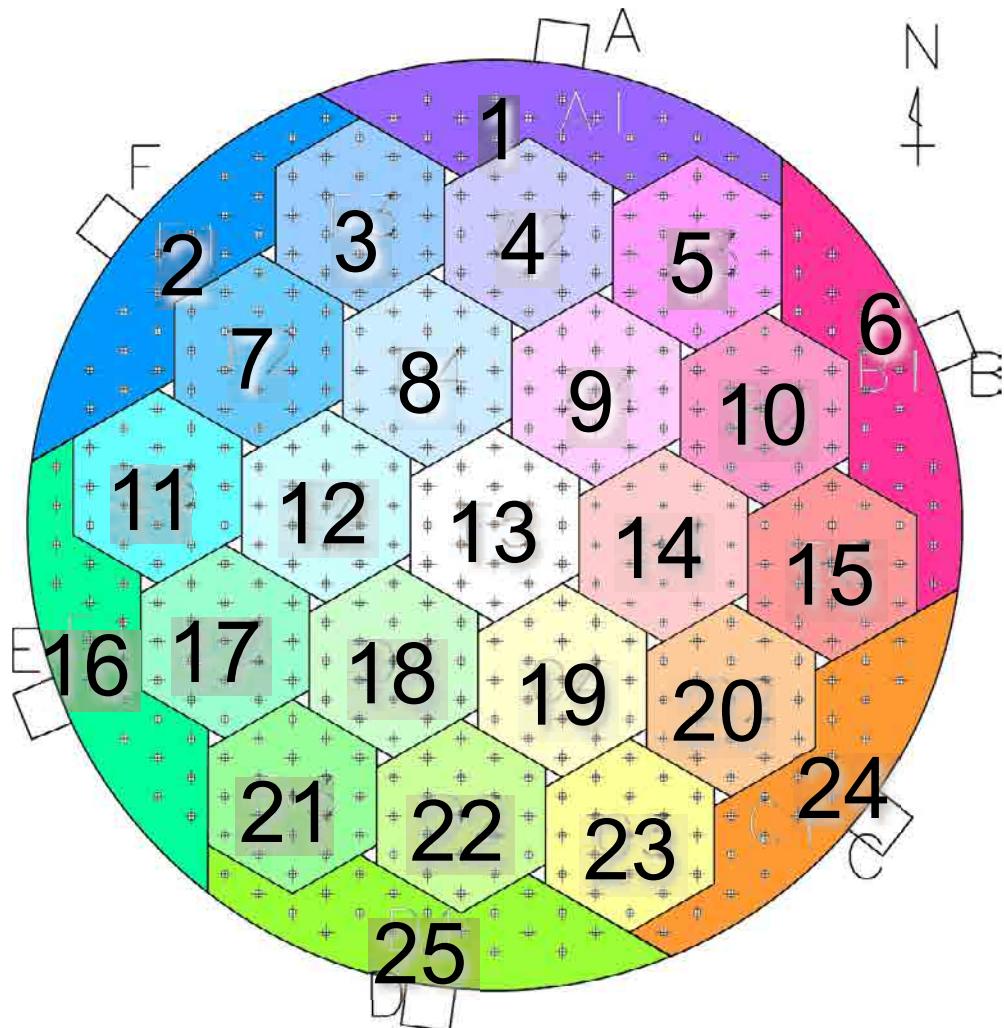
近日点距離の平均誤差 = 0.003 AU

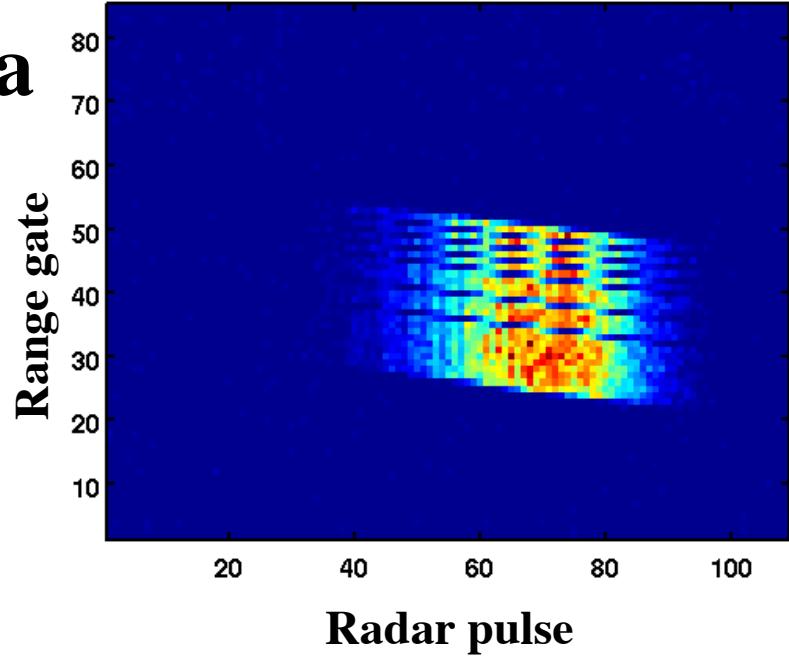
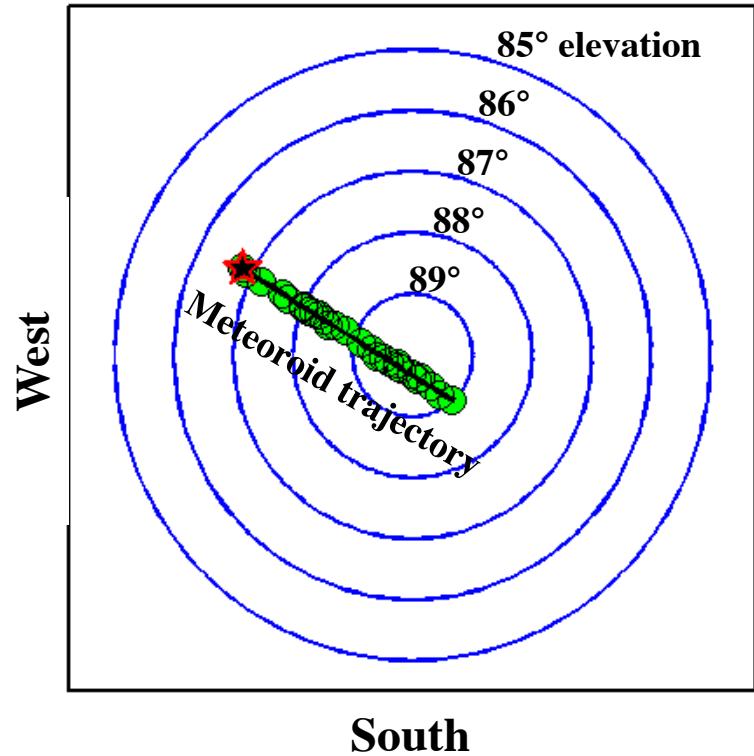
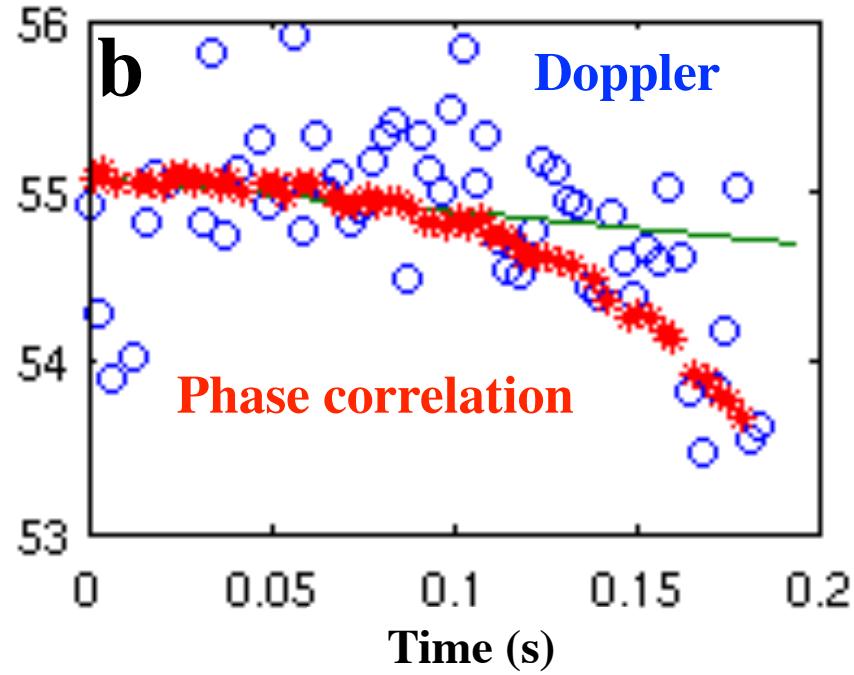
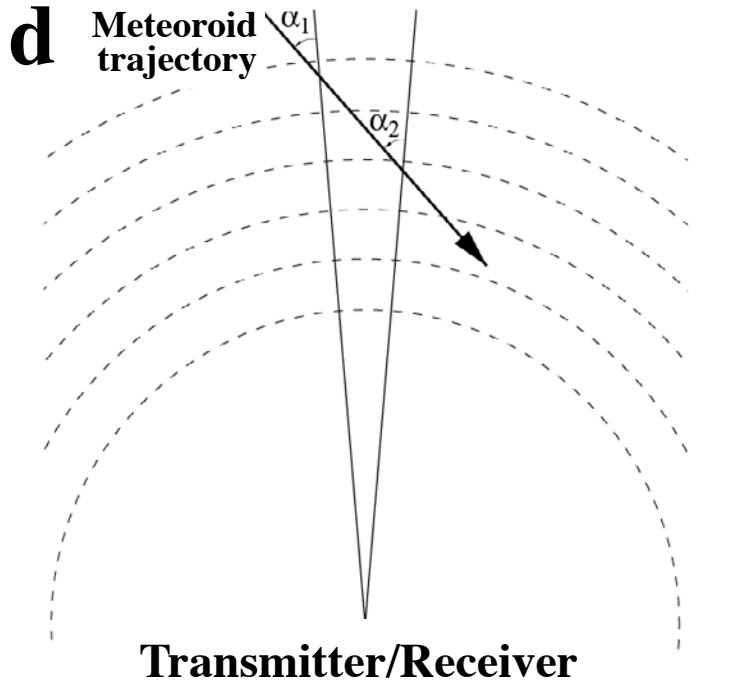
3,000 - 4,000 meteor head echoes / day

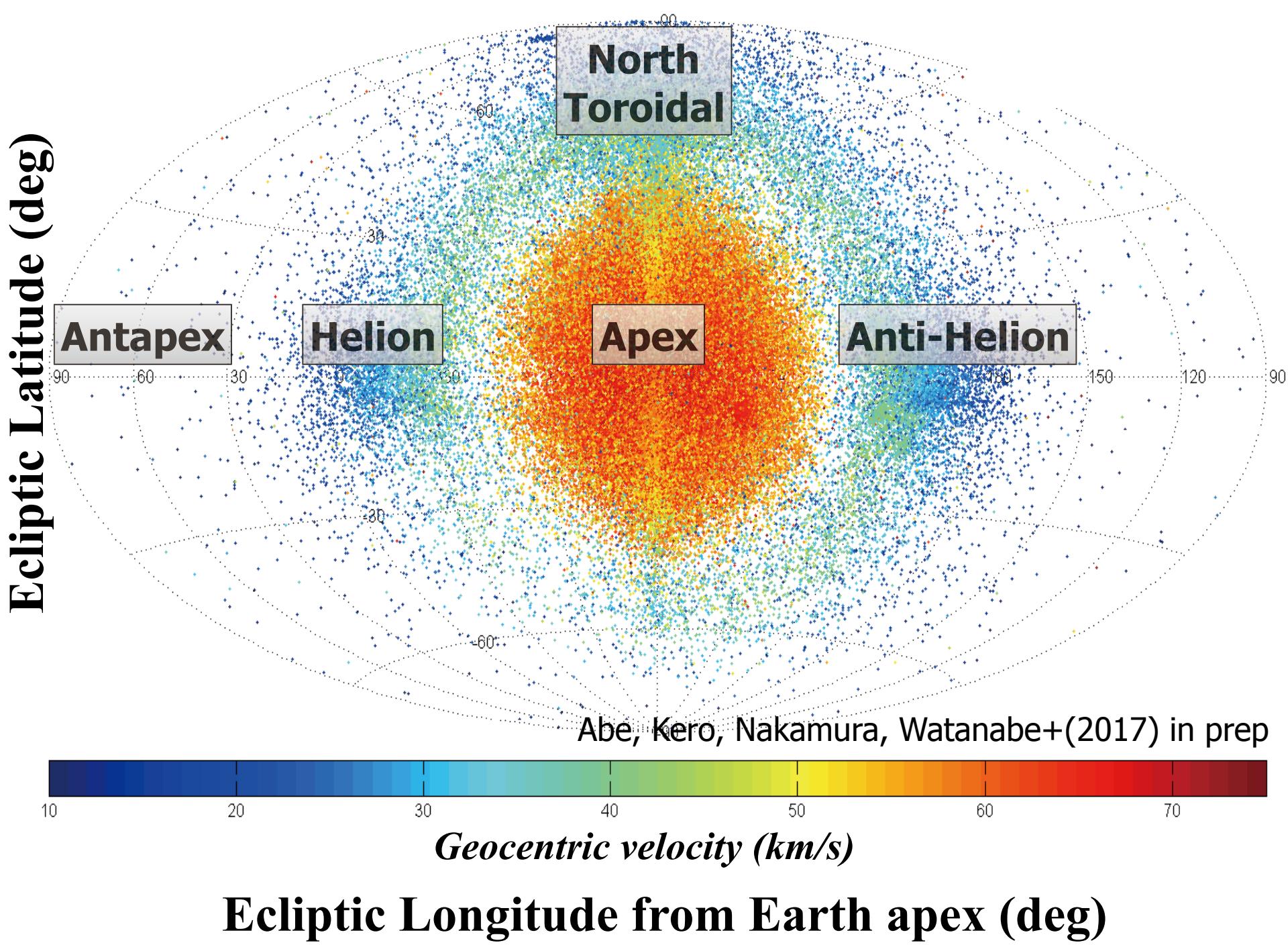
京都大学 生存圏研究所 信楽MUレーダー

Middle and Upper Atmosphere Radar

- Digital 25 channels
- 332 times per second
(3 msec)
- 85 ranges every 3ms
- Data rate ~20 GB/hour



a**c****b**
Meteoroid velocity (km/s)**d**



Anti-Helion(180°)



**Apex
(90°)**



**Antapex
(-90°)**



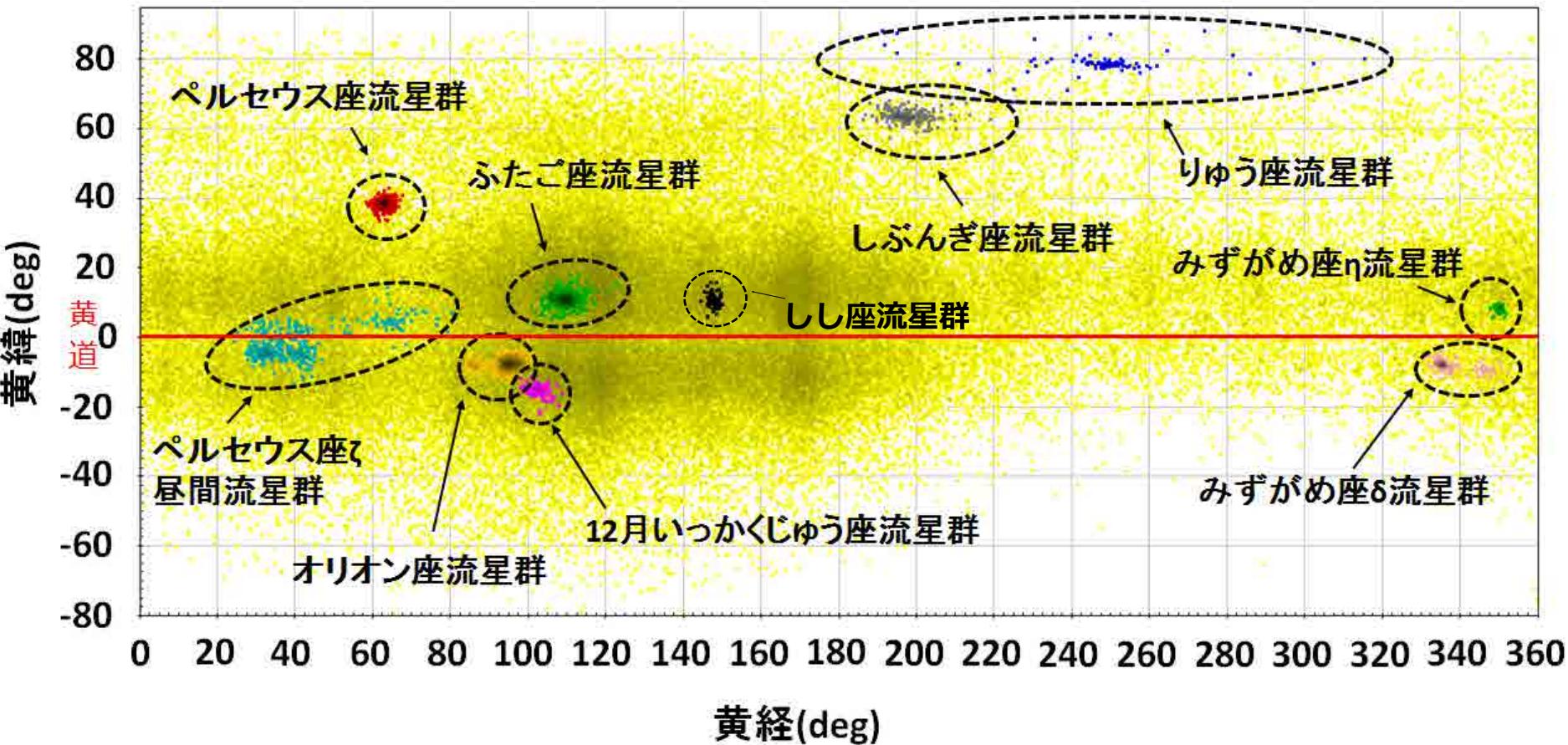
Earth



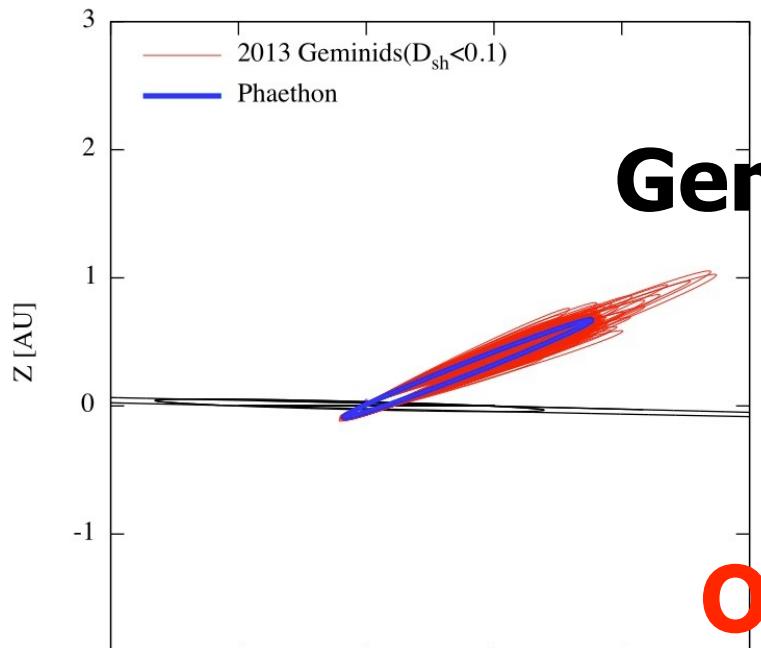
Helion(0°)

Sun

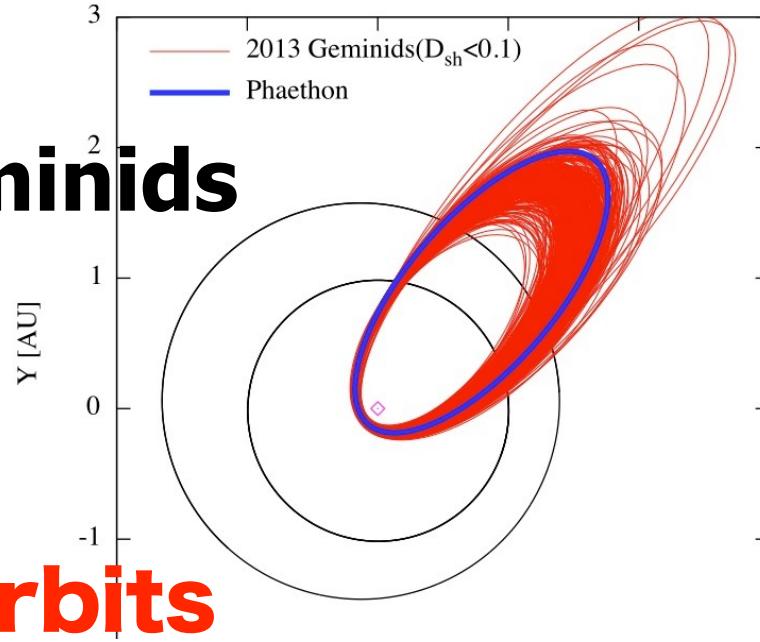
18k radiant point on the ecliptic sky



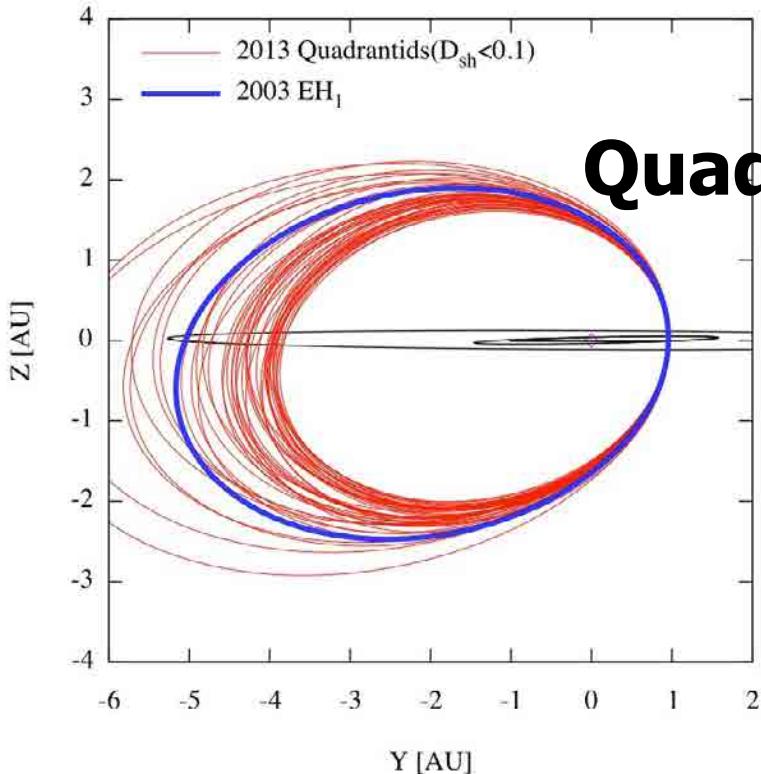
D-criterionを用いた流星群の放射点検出(黄道座標系)



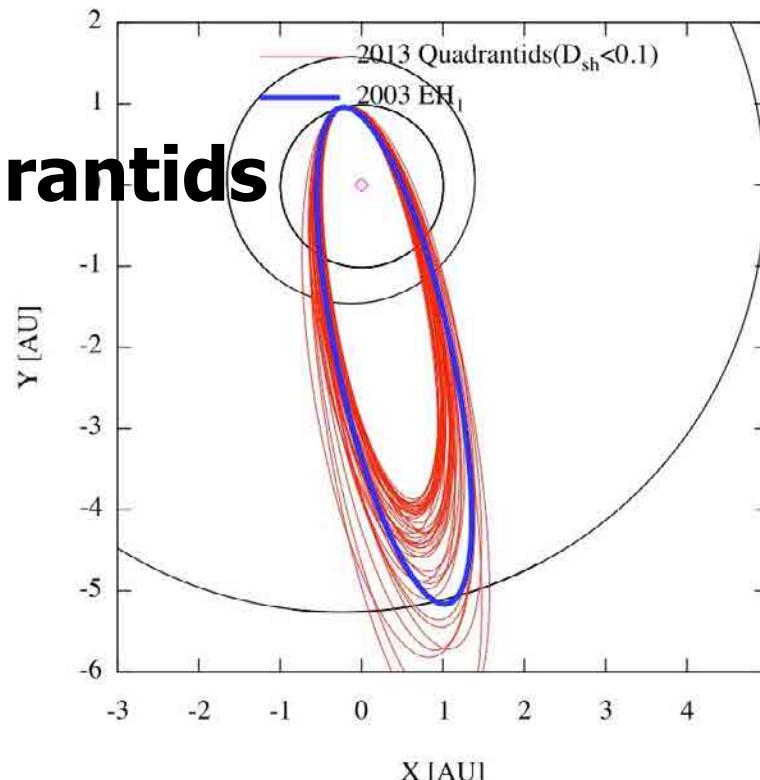
Geminids



Orbits



Quadrantids



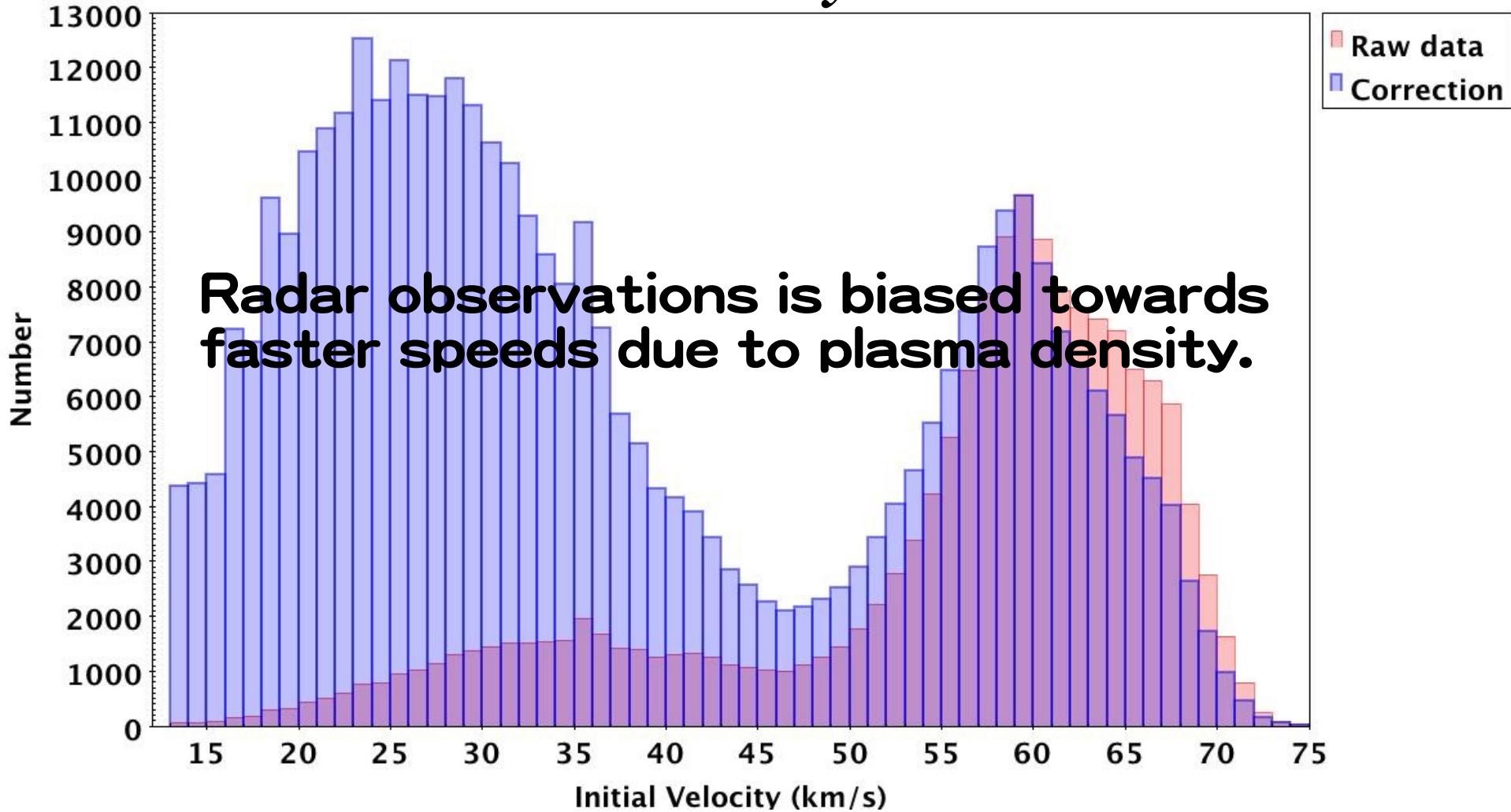
Comparison of Orbits between MU Radar and Optical Observations

Object	Date	a	e	i	ω	Ω	D_{sh}
	UT	au	—	$^{\circ}$	$^{\circ}$	$^{\circ}$	—
Phaethon	-	1.27	0.89	22.2	322.1	265.2	-
1-radar	Dec/14	1.27	0.89	23.6	325.1	262.6	
1-opt	15:29	1.22	0.88	23.5	325.1	262.6	0.013
2-radar	Dec/13	1.20	0.89	24.1	325.8	261.7	
2-opt	18:49	1.39	0.91	23.2	325.8	261.7	0.030
3-radar	Dec/13	1.21	0.89	22.5	324.5	261.6	
3-opt	16:14	1.26	0.88	22.7	324.5	261.6	0.037
Geminids	2010	1.30	0.899	25.0	326.1	262.3	-

MUレーダー流星ヘッドモードによる軌道決定精度は、光学2点観測と一致

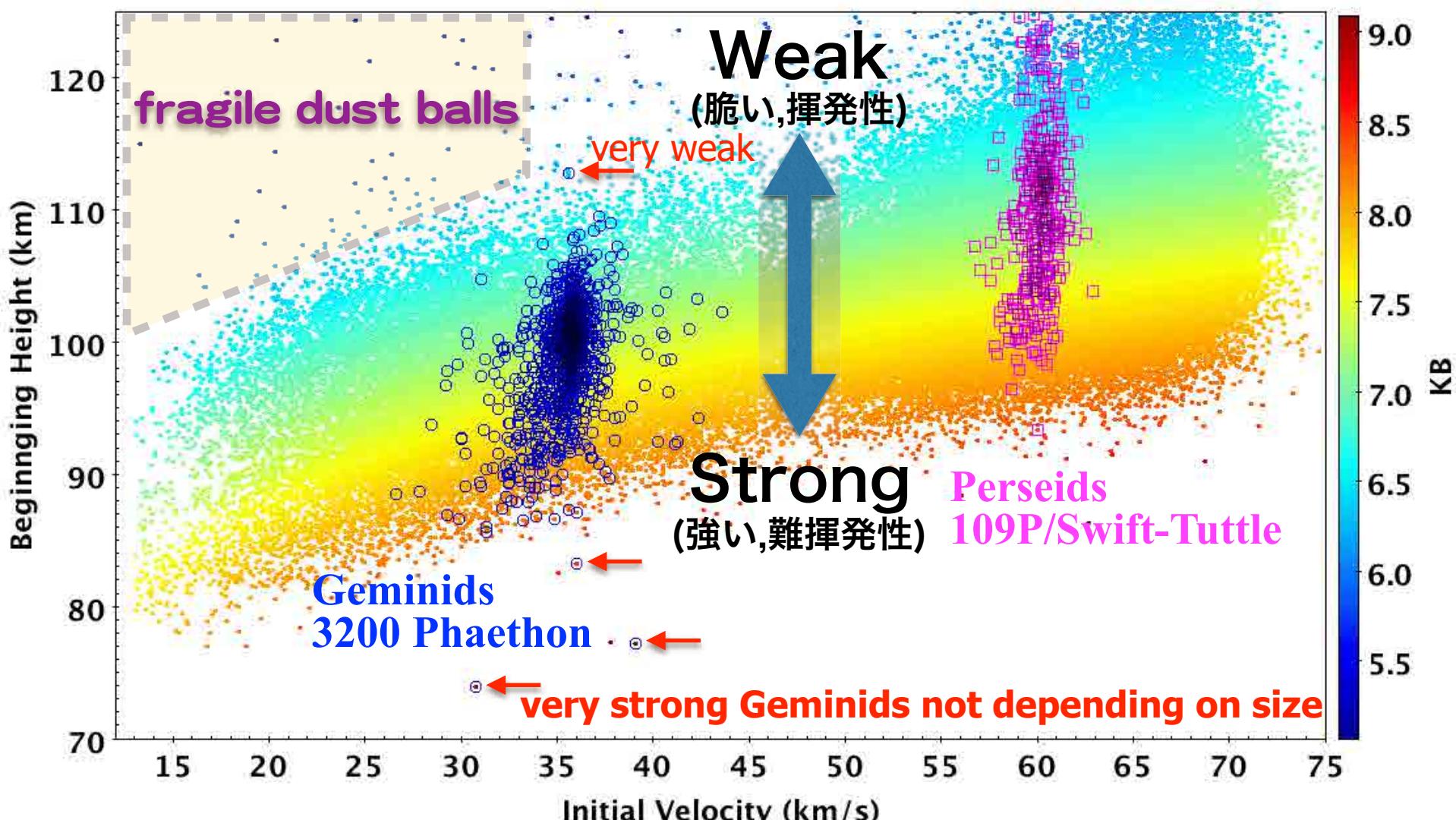
Orbital determination by Radar and optical observation is comparable.

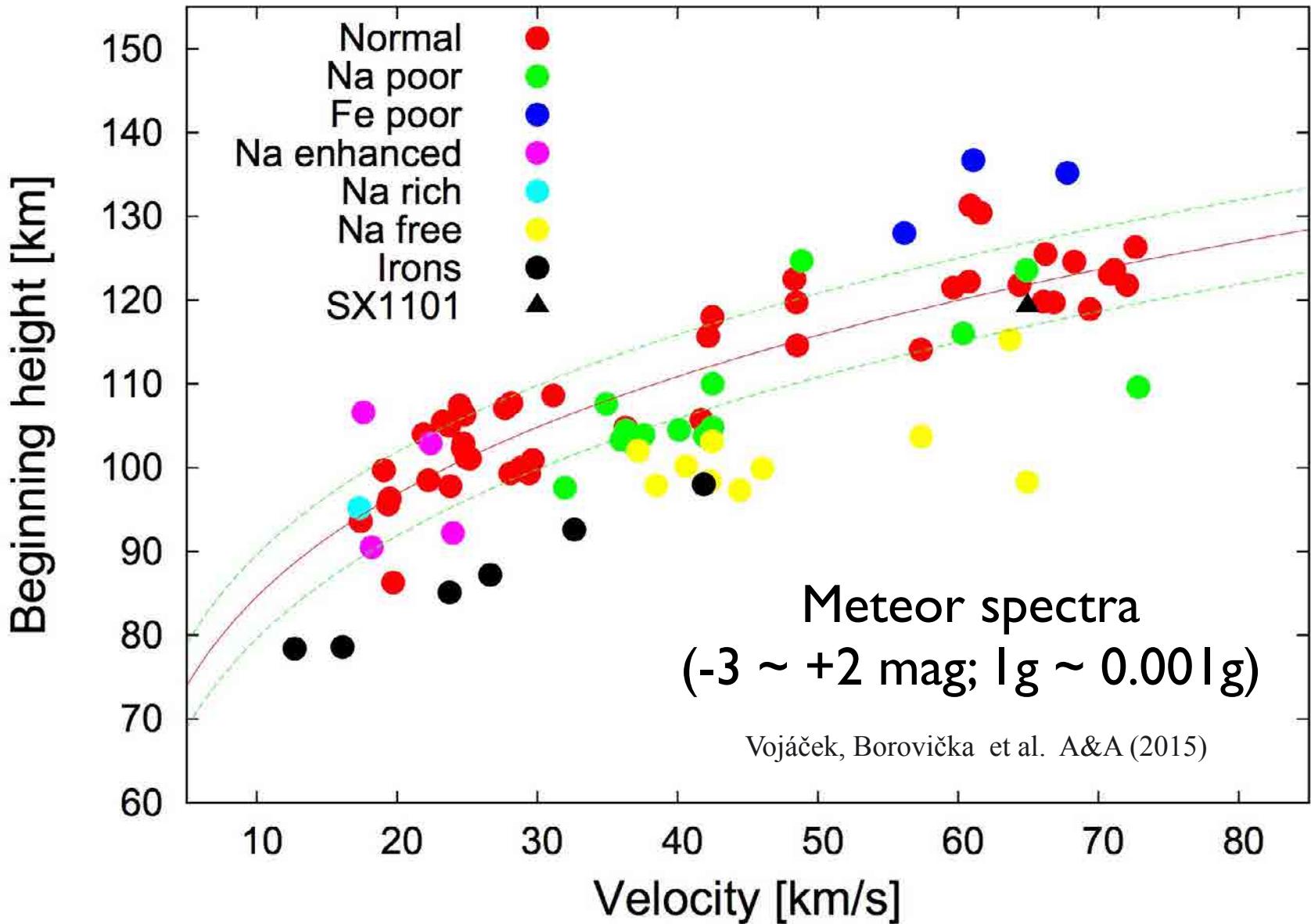
Velocity distribution *biased by v^3*



$v \sim 20 \text{ km/s}$ is dominant after de-biased.

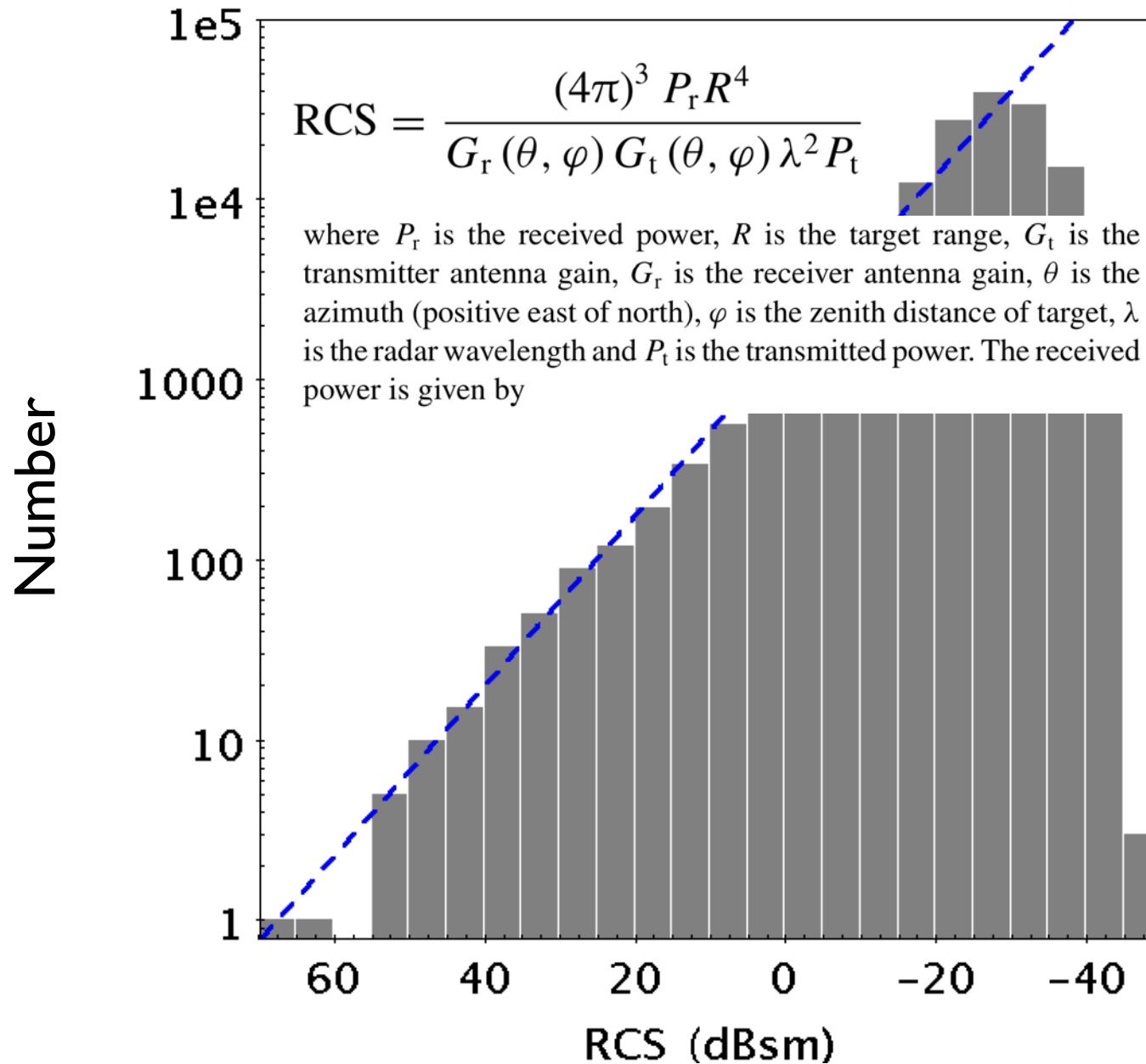
Strength of Meteoroids classified by Kb parameter



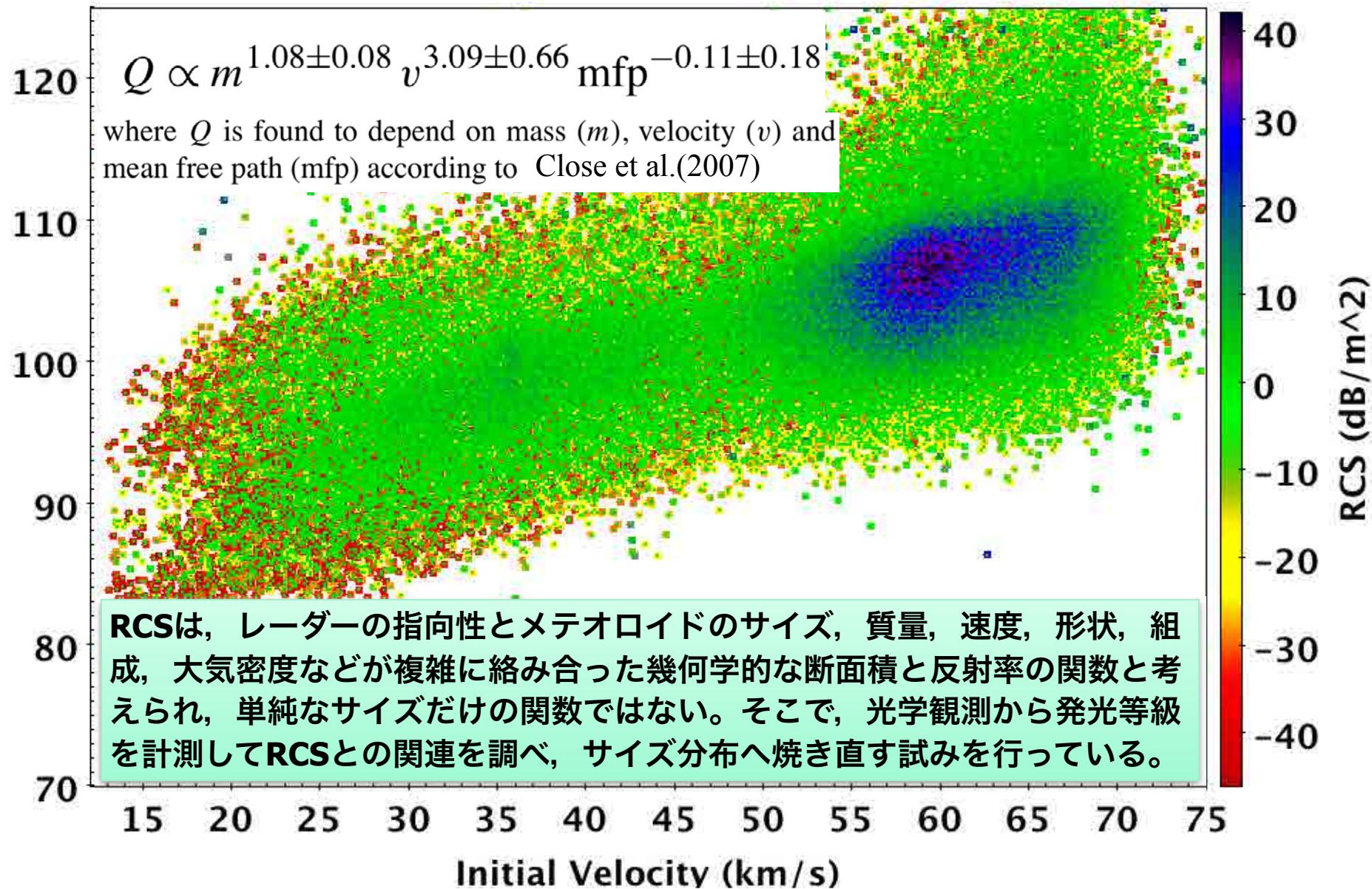


MANOS (Mission Accessible Near-Earth Object Survey)による約250個のNEOタイプを見ると、直徑が100m以下のNEOでは、C/D/Xタイプ小惑星が約80%，S/Qタイプ小惑星が約20%

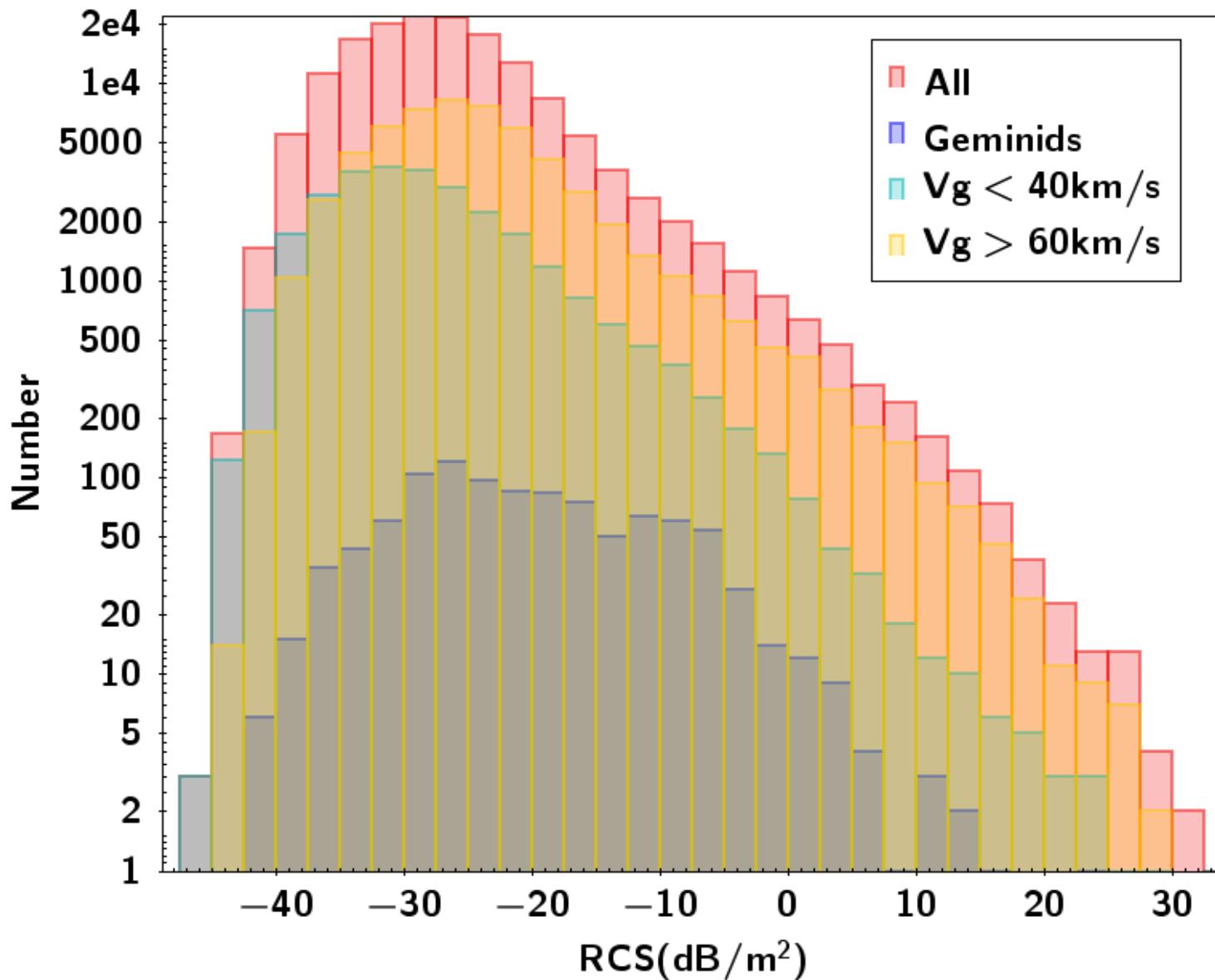
Radar Cross Section \propto Size



RCS (Radar Cross Section) レーダー反射断面積



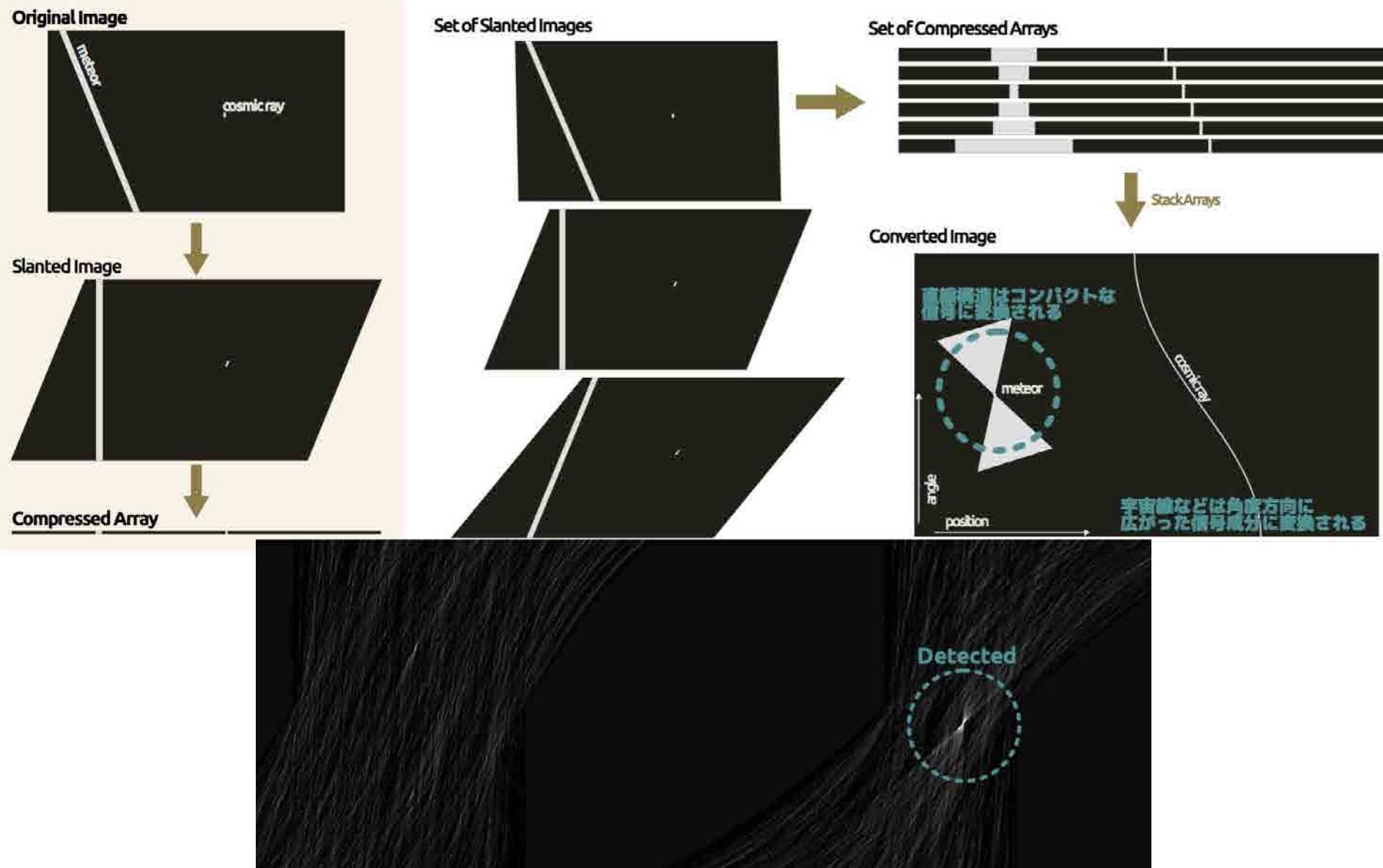
To understand the RCS - magnitude relation, simultaneous measurement with optical video observation is needed



流星検出アルゴリズム

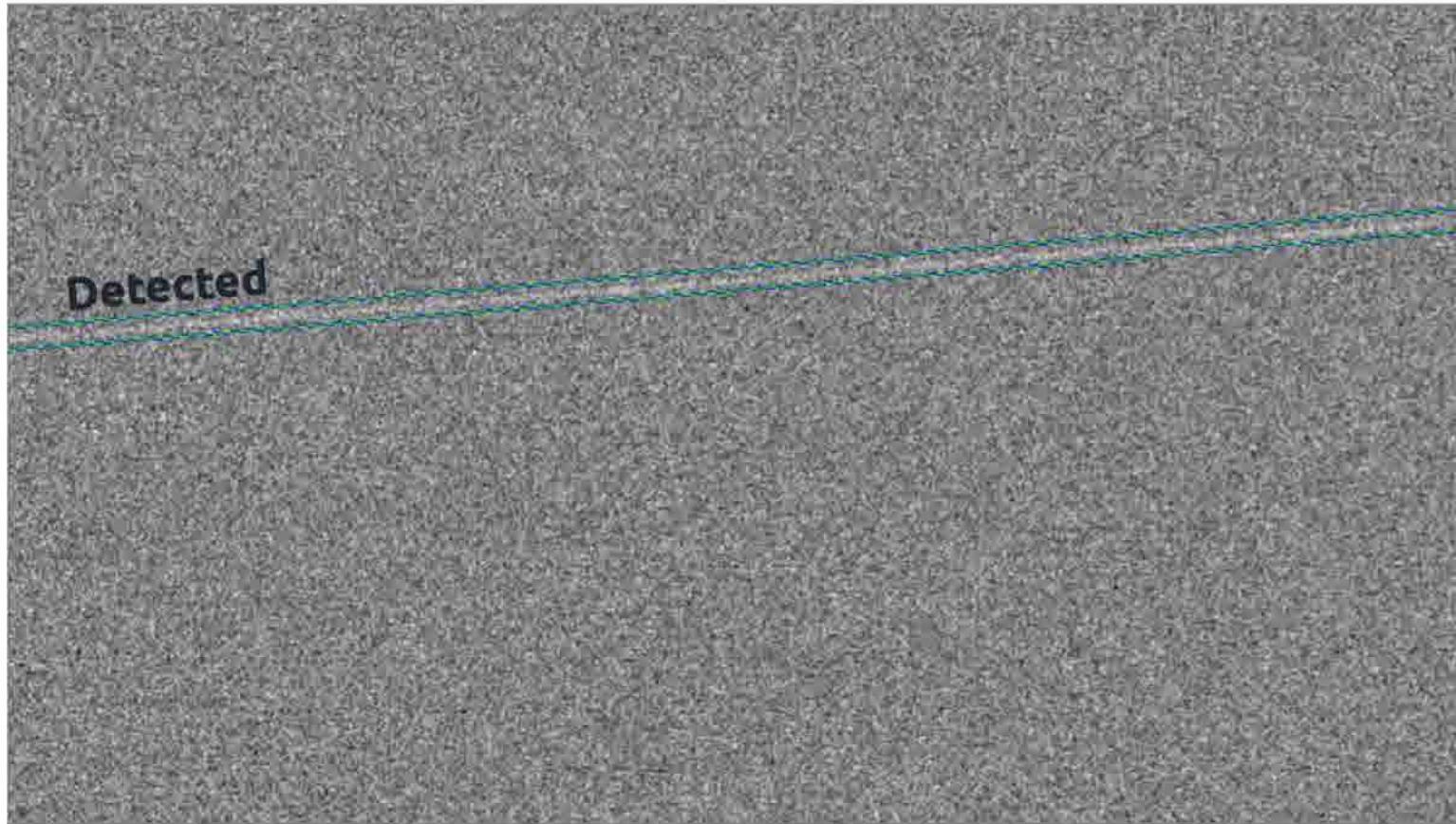
Hough 変換の応用による直線構造の椵出

資料提供：東京大学・木曾観測所 酒向重行，大澤亮



流星検出アルゴリズム

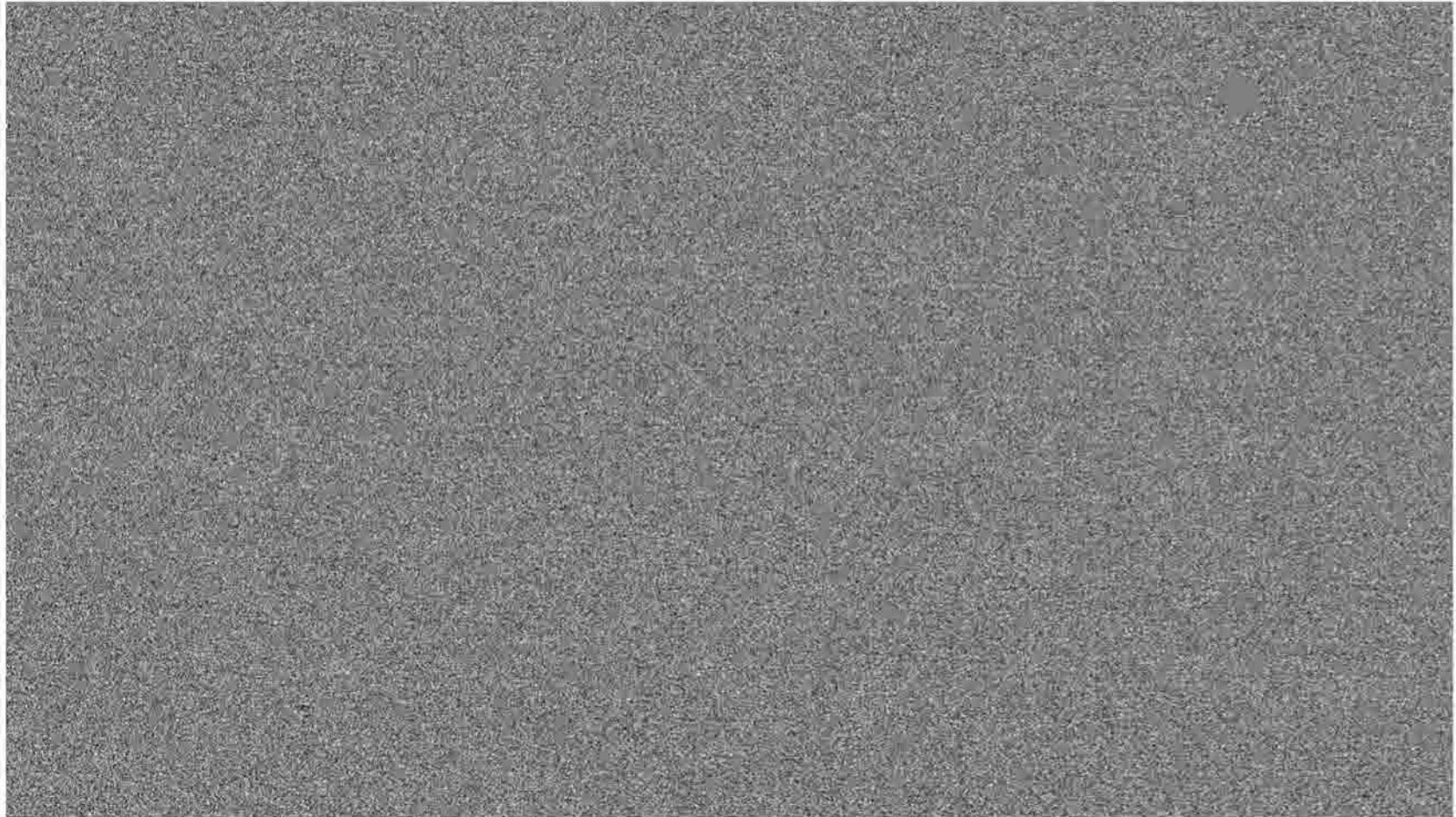
Hough 変換による直線構造の検出



資料提供；東京大学・木曾観測所 酒向重行, 大澤亮

Faint Meteor

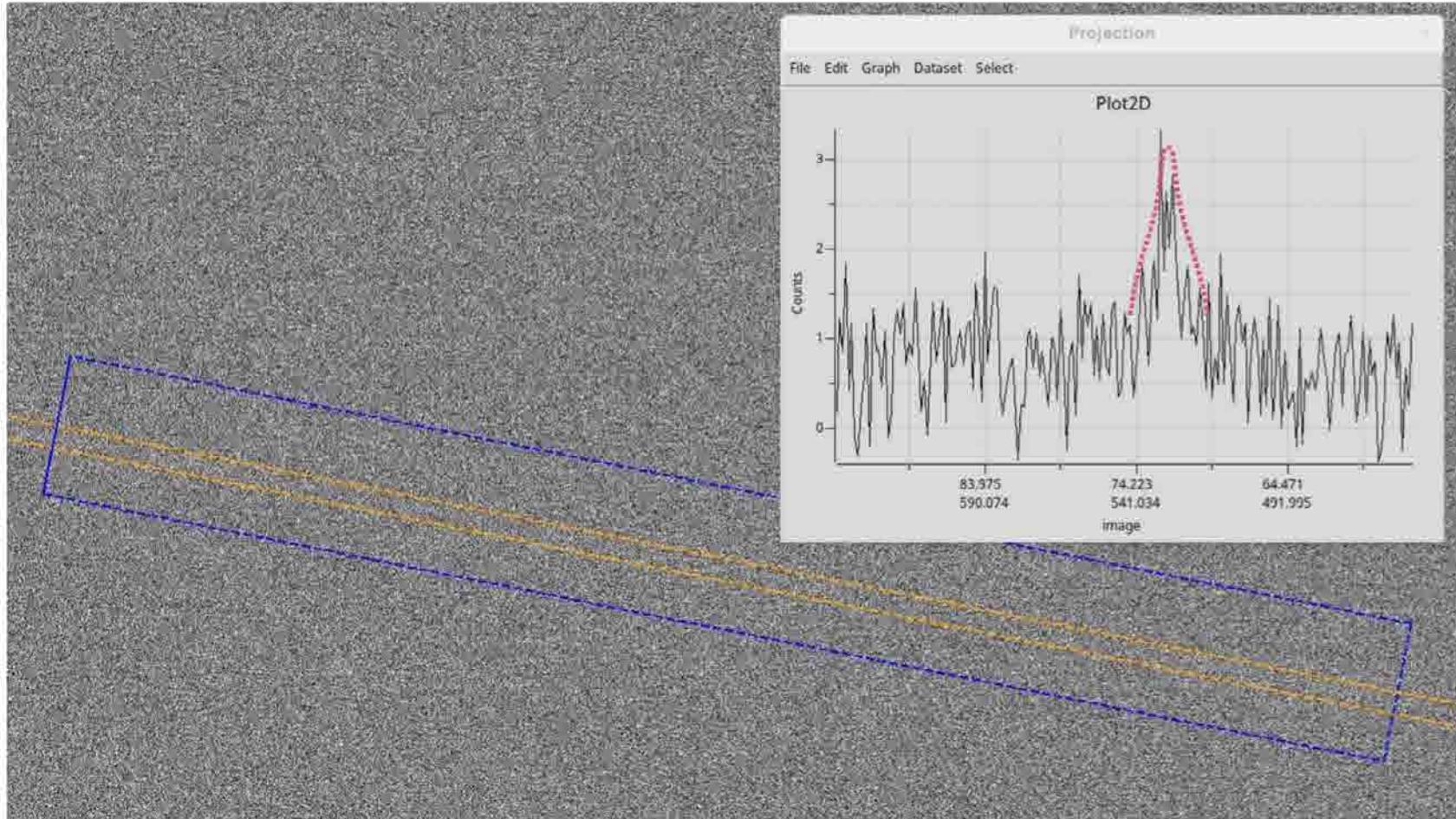
An Image containing a faint meteor (stellar sources are masked)



資料提供；東京大学・木曾観測所 酒向重行, 大澤亮

Faint Meteor

An Image containing **a faint meteor** (stellar sources are masked)



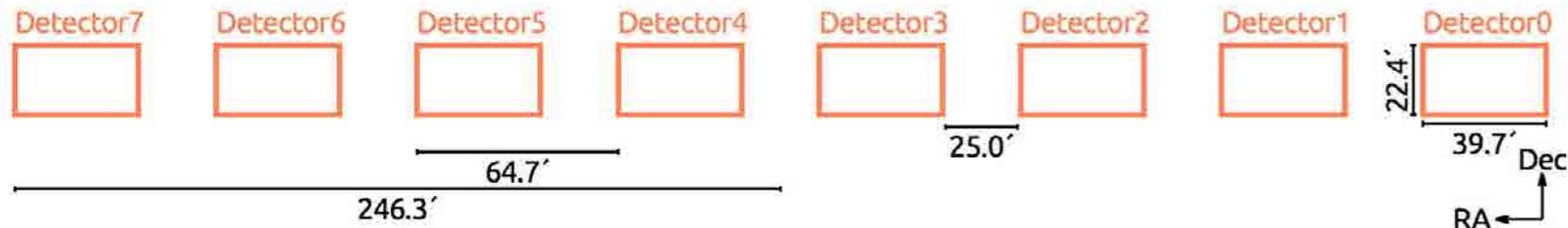
資料提供；東京大学・木曾観測所 酒向重行, 大澤亮

流星モニタリング観測

Tomo-ePMによる観測 on 2016.04.11 and 14

観測日	2016.04.11 (およそ5時間分)	観測日	2016.04.14 (およそ5時間分)
観測領域	地球の影領域(人工衛星の影響を抑える)	観測領域	地球の影領域(人工衛星の影響を抑える)
観測モード	1 exp. = 0.5秒積分 × 360frame	観測モード	1 exp. = 0.5秒積分 × 360frame
フィルタ	なし	フィルタ	なし
データ総量	290880 frame	データ総量	316800 frame
総検出数	18362 events	総検出数	5273 events
流星検出数	1514 events (重複含め 2002 events)	流星検出数	706 events (重複含め 926 events)
検出レート	~15 events/180s	検出レート	~6.4 events/180s
等級*	4.5–12.5mag.	等級*	4.5–11.5mag.

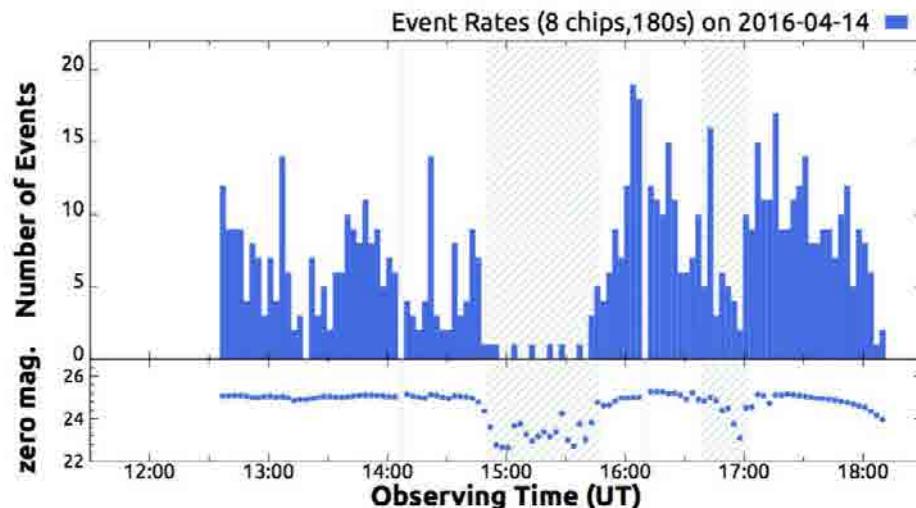
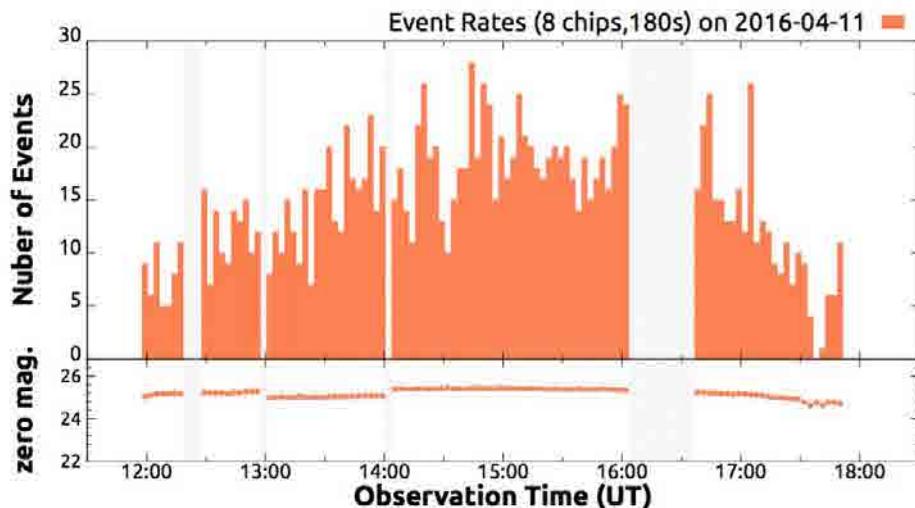
*Video rate magnitude (Iye+ 2007)



流星モニタリング観測

Tomo-ePMによる観測 on 2016.04.11 and 14

一晩での流星検出数の推移 (ほぼ散在流星)

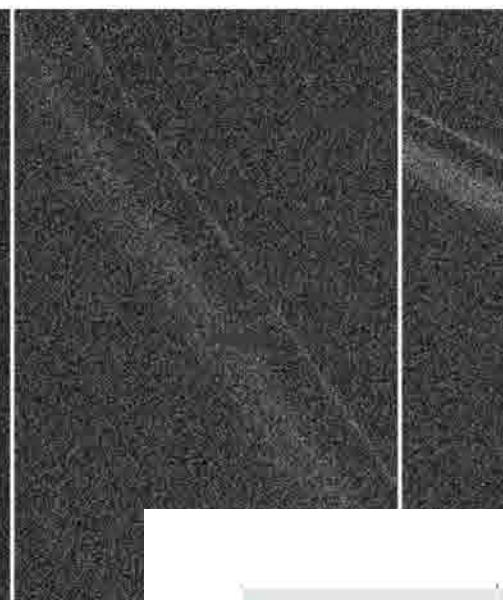


- 天候は 04.11 の方が良好で総検出数もおよそ 2 倍ほど
- 流星の検出数は真夜中をピークに緩やかに変化 (04.11)
- 典型的な検出レートは $200\text{--}400 \text{ hour}^{-1}$ 程度

微光流星の分光観測

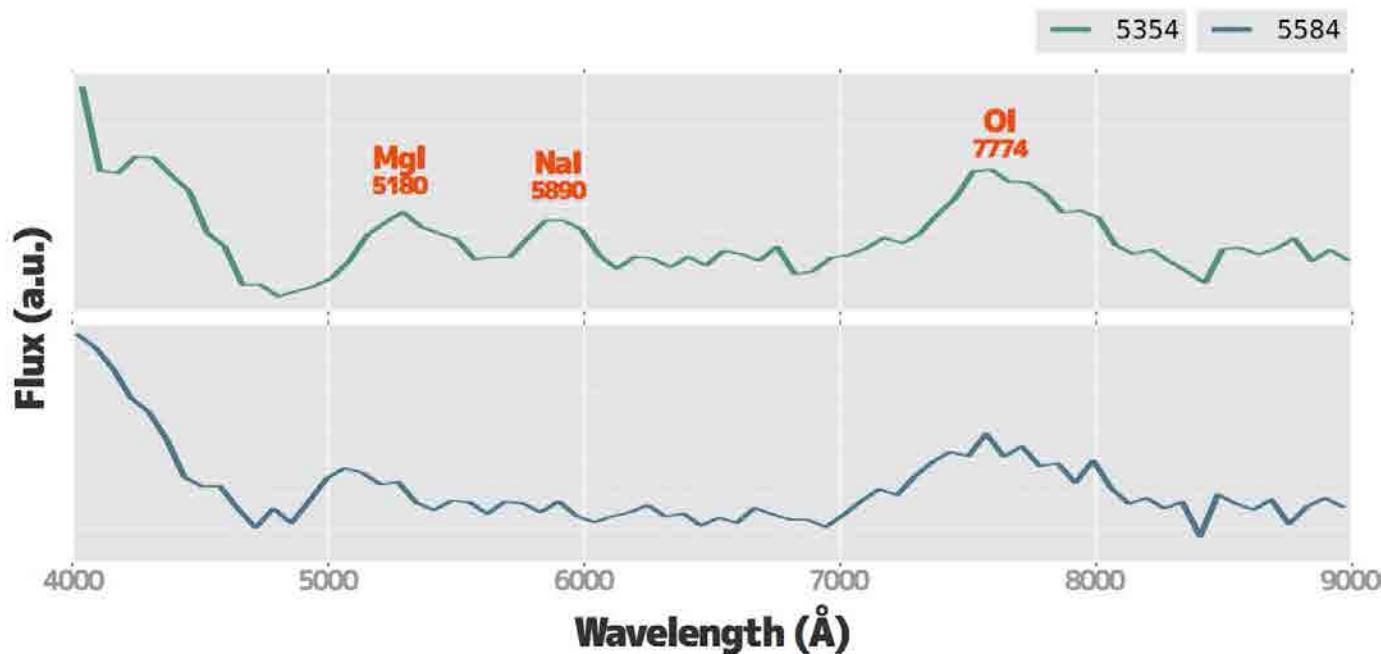
M_v~7–8mag. の流星の分光 (R~10)

資料提供：東京大学・木曾観測所 酒向重行, 大澤亮



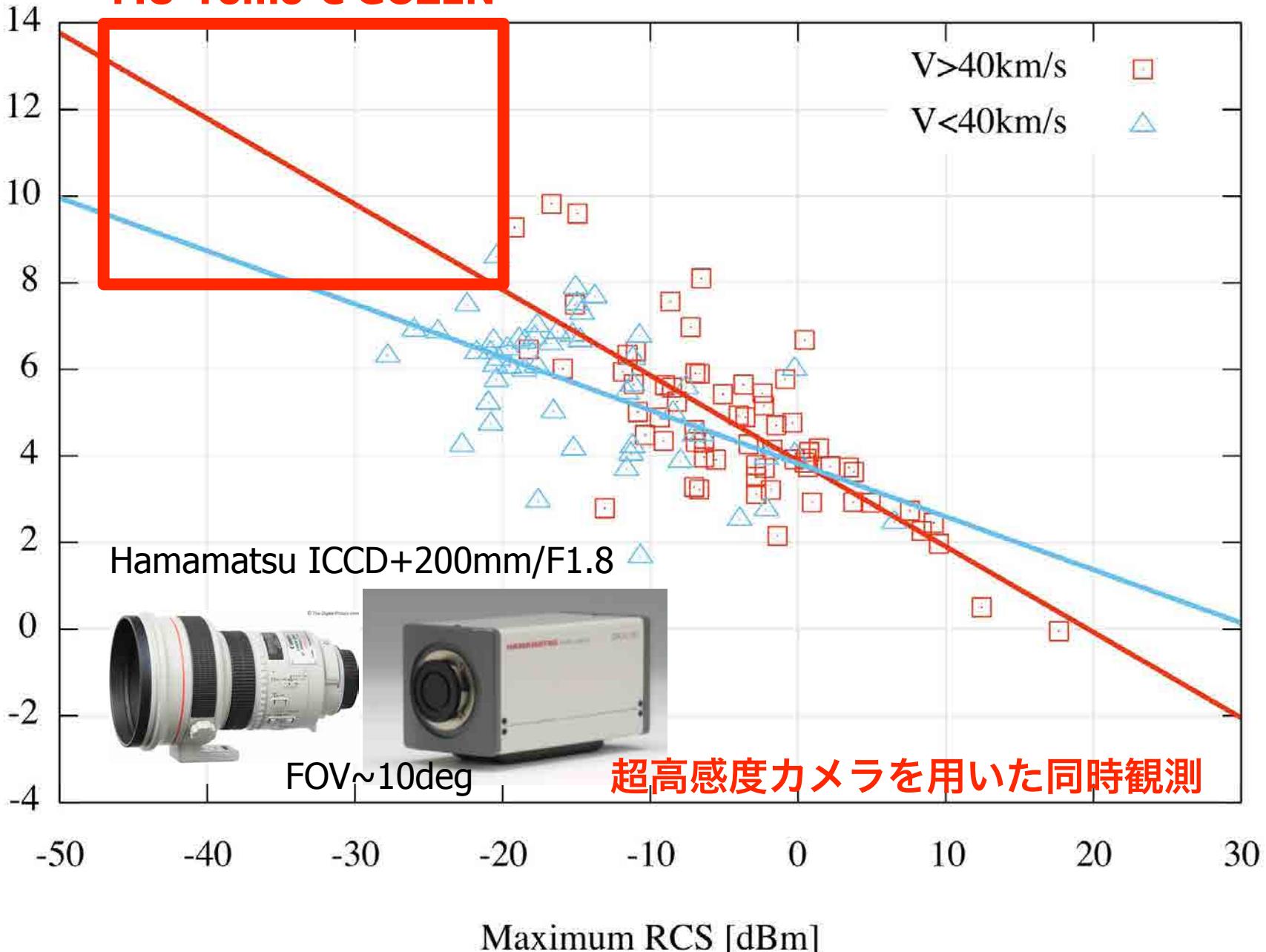
観測日	2016.04.05 (およそ5時間分)
観測領域	地球の影領域 (人工衛星の影響を抑える)
観測モード	1 exp. = 0.5 秒積分 × 360frame
フィルタ	グリズム (検出器4のみ)
データ総量	36360 frame
流星検出数	5 events
等級	7.5–8.5mag.

*Video rate magnitude (Iye+ 2007)



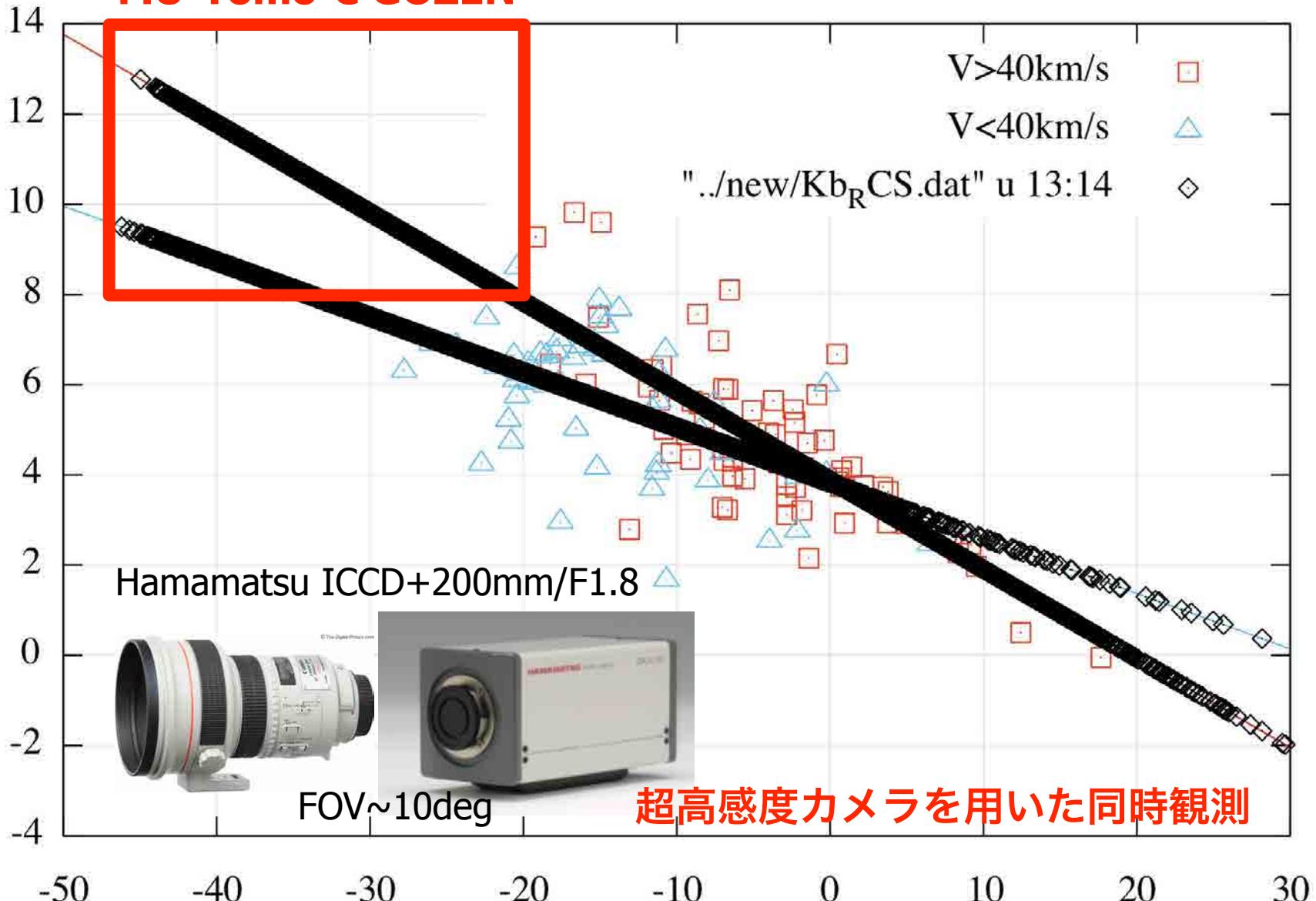
MU-Tomo-e GOZEN

Maximum Magnitude



MU-Tomo-e GOZEN

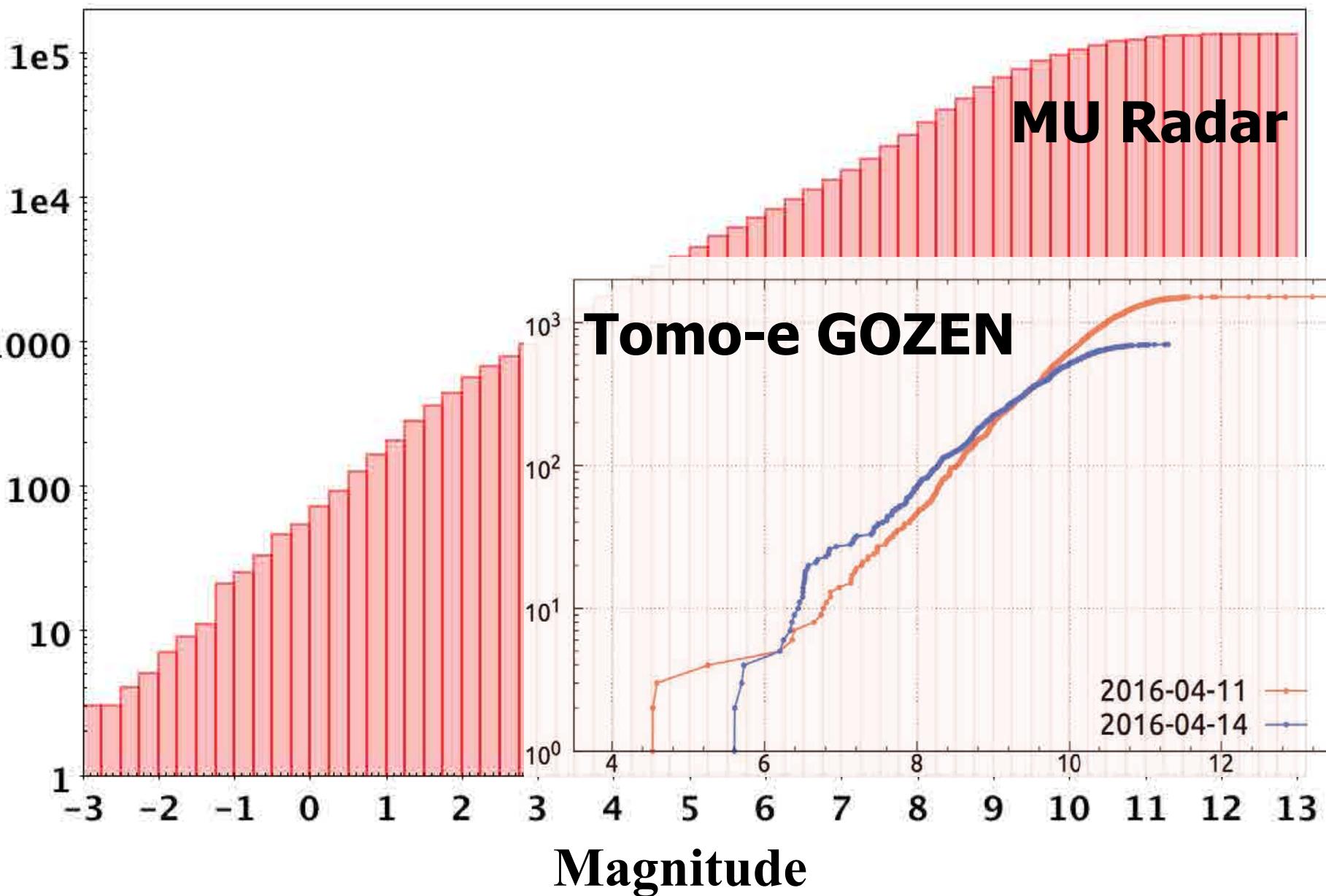
Maximum Magnitude



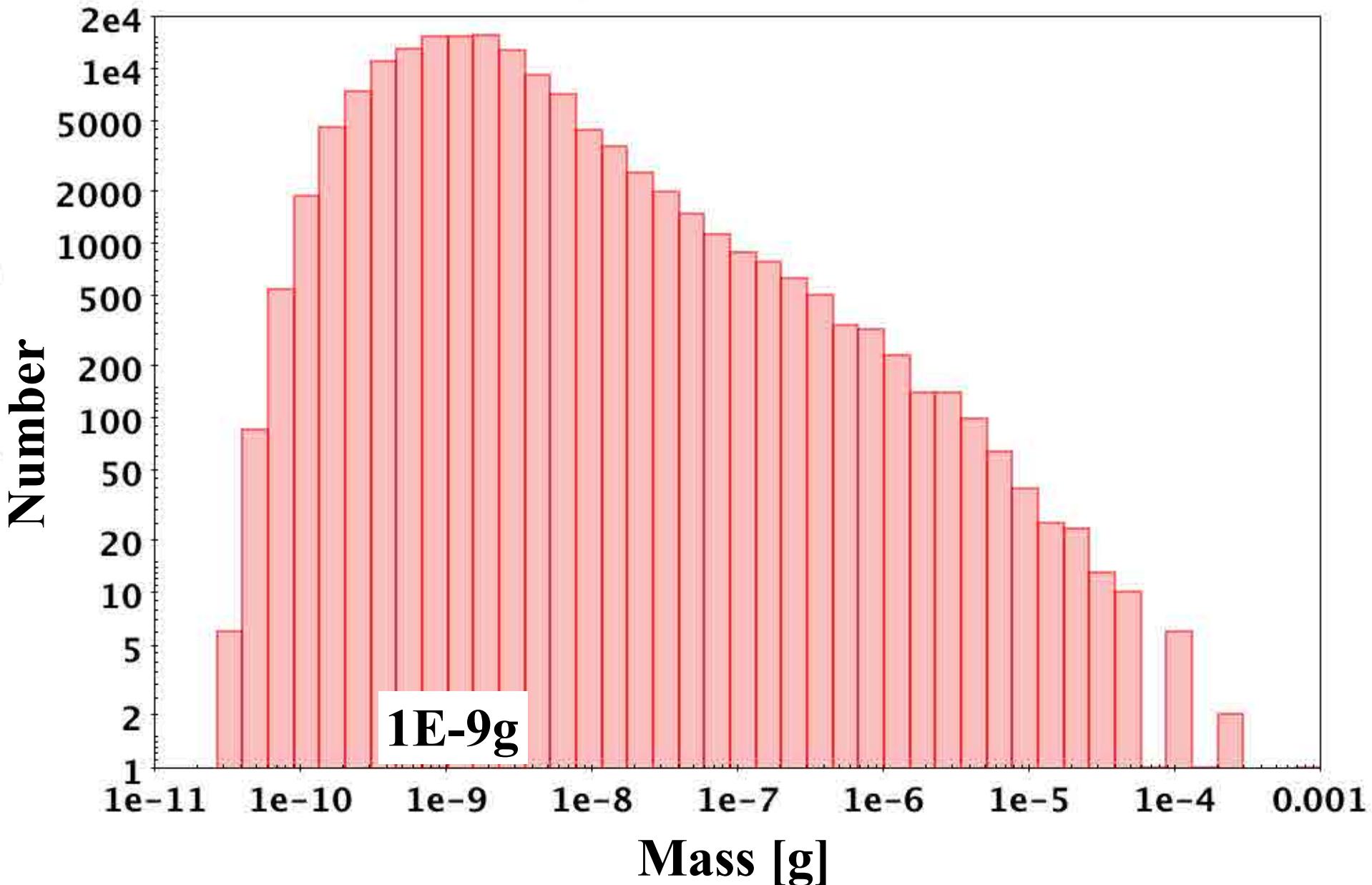
Maximum RCS [dBm]

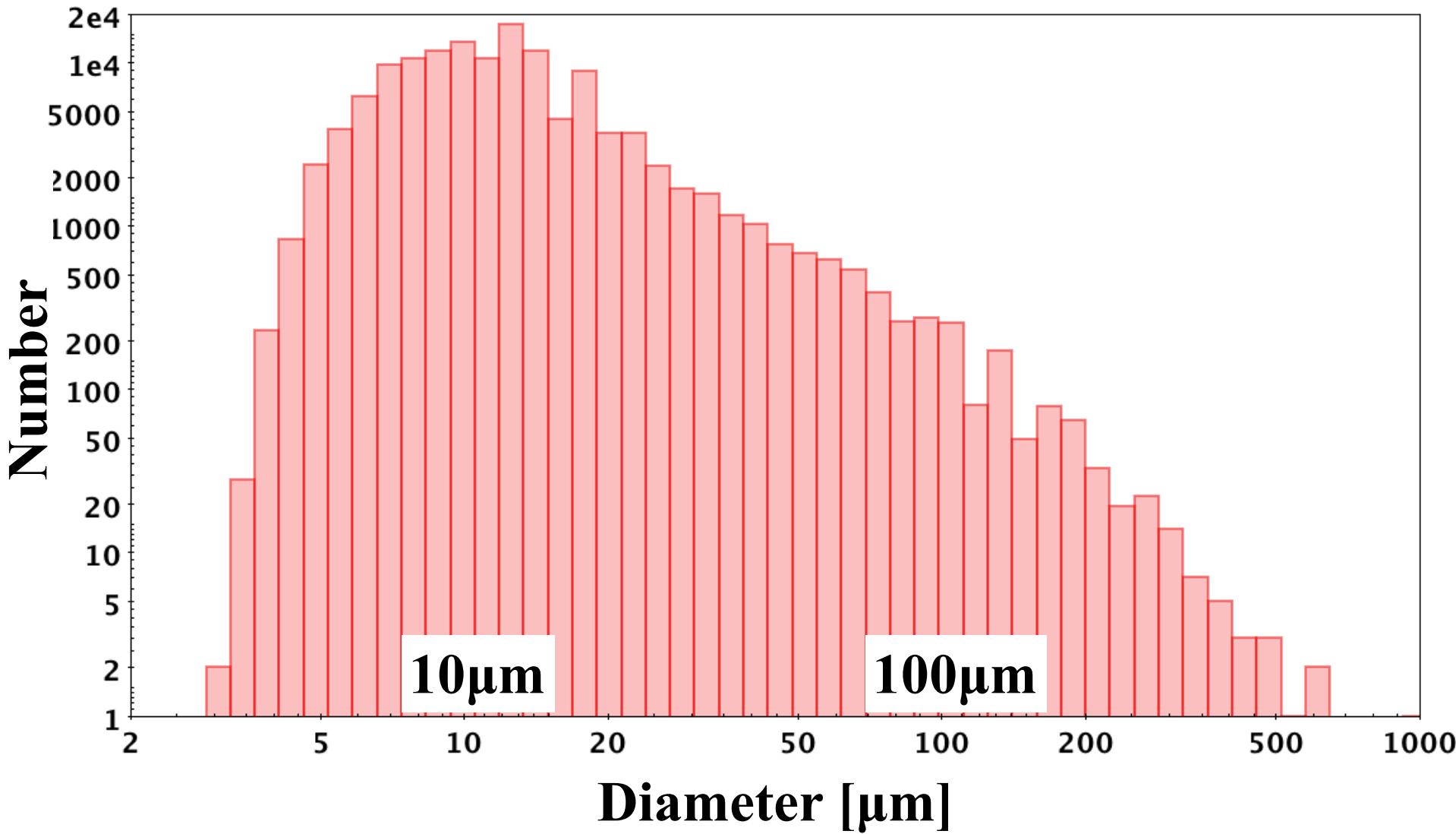
Abe, Kero (2017) in prep

Cumulative Number

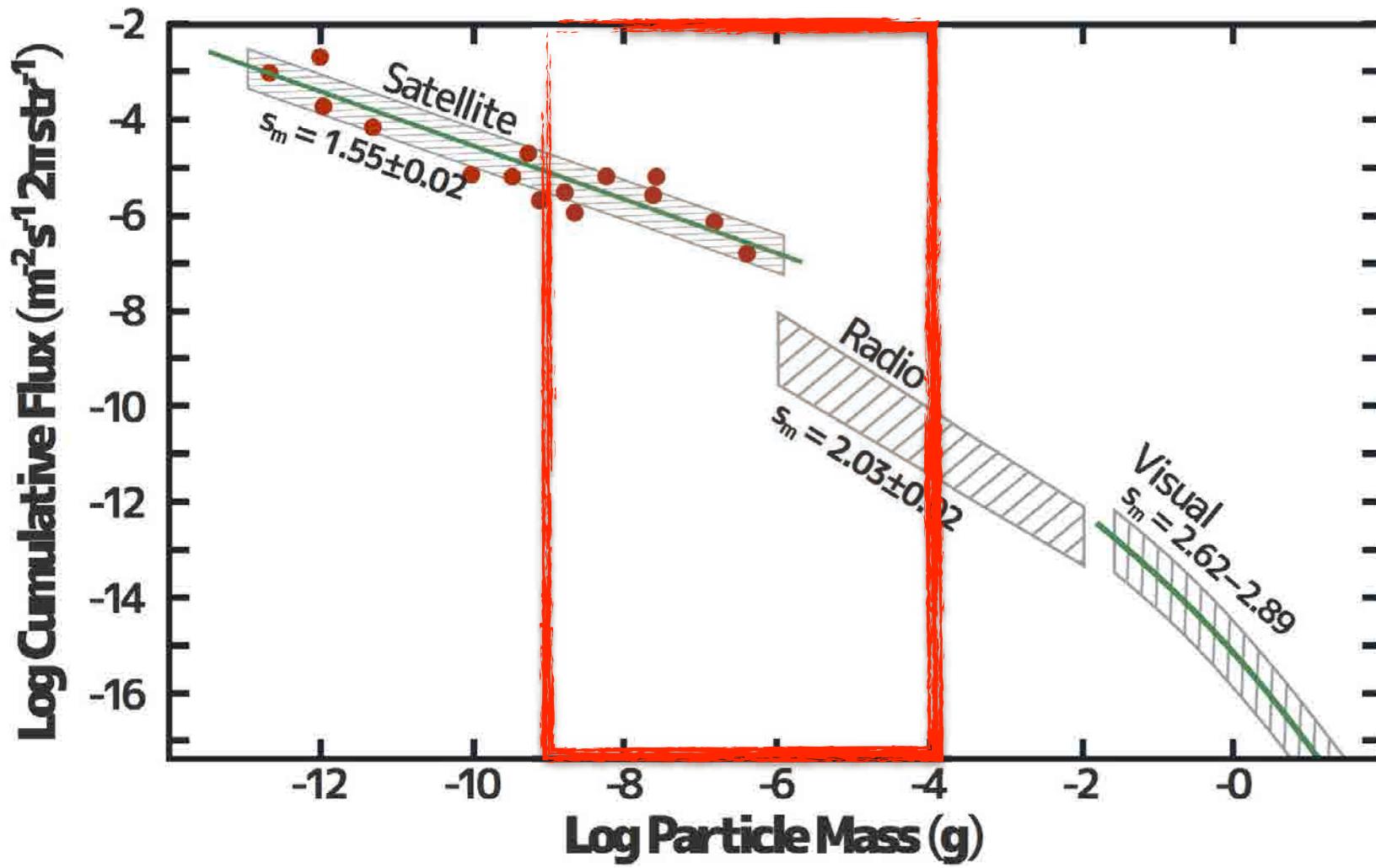


$$m_\nu = 4.84 - 2.25 \log_{10} m - 8.75 \log_{10} V - 1.5 \log_{10}(\cos z)$$





MU-Tomo-e GOZEN



Cumulative flux of particles to the Earth's surface, Hughes (1987)より引用

Summary

1晩(5hr)に1000個の超微光流星のサイズ分布・軌道

Tomo-e GOZEN

1晩(5hr)に100個の超微光流星の組成・軌道

- 13等級までの流星撮影

- 8-9等級までの流星分光(400-700nm)

- 撮影; 100-300 events/hr for <12-13 Mag FOV_x ~ 8deg

- 分光; 20 events/hr for <8-9 Mag

- 角速度を仮定してV等級見積りが可能

- 物質情報(Fe/Mg/Na)を得ることが可能

MU ~ 200 hr(1ヶ月)/年の時間を確保可能

MU Radar

- 120-170 events/hr for - 13 Mag? eff_FOV ~ 4deg

- 軌道決定が可能

- 物質強度の情報を得ることが可能

4万個のサイズ分布・軌道, 4千個の組成

Goal ; 人類未踏の太陽系ダストのビックデータを生む

- 10μm ~ 1000μm (10^{-9} g ~ 10^{-4} g)のダストのサイズ分布を明らかに

- サイズ, 軌道, 組成を明らかにし, 地球到来物質の起源と小天体との関連を明らかに