

シンポジウム「天体の地球衝突問題にどう取り組むか2」

2017/10/01 @ 一橋講堂

# 地球近傍小惑星ファミリーの分光観測

(1566) Icarus & 2007MK<sub>6</sub>

船橋 和博<sup>1</sup>, 阿部 新助<sup>1</sup>, 澤井 恭助<sup>1</sup>, 加藤 遼<sup>1</sup>, 梅原 諒<sup>1</sup>,  
Nicholas Moskovitz<sup>2</sup>, 浦川 聖太郎<sup>3</sup>, 大塚 勝仁<sup>4</sup>

<sup>1</sup>日本大学理工学部 航空宇宙工学科, <sup>2</sup>*Lowell Observatory*,

<sup>3</sup>日本スペースガード協会, <sup>4</sup>国立天文台

# 研究概要

メインベルト領域で衝突破壊で形成される小惑星族と異なり、地球近傍小惑星 (NEAs)ファミリーは、YORP効果、太陽加熱、潮汐破壊等による分裂破壊で形成されると考えられているが、その詳細は分かっていない。2007 MK<sub>6</sub>は、(1566) Icarusの分裂天体であることが力学的進化の類似性から指摘されている<sup>[1]</sup>が、2007 MK<sub>6</sub>のスペクトル型は不明であり、Icarusも自転(周期2.27時間)に伴うスペクトル変化の研究は行われて来なかった。NEAは惑星摂動の影響を頻繁に受けるため、統計的に優位な力学的類似ファミリーとして維持される平均寿命は、例えばアポロタイプ小惑星の潮汐破壊の場合、1.5万年程度と見積もられており<sup>[2]</sup>、分裂天体の断面は宇宙風化を受けていないフレッシュな組成で、スペクトルの不均質性を確認できることが期待される。本研究では、可視光分光観測(波長400-1000nm)から未分類の2007 MK<sub>6</sub>の小惑星タイプを推定し、Icarusの異なる自転位相のスペクトルと比較して、分光学的類似性について調査した。観測スペクトルは、Bua-Demeo の分類法<sup>[3]</sup>を用いてタイプ分別を行ったほか、Modified Gaussian Model (MGM)を用いた隕石スペクトルとの比較も行った。以上の解析結果をまとめ、Icarusと2007 MK<sub>6</sub>の分裂の証拠について分光学的観点から議論を行う。また、最新の位置測定から更新された両天体の軌道情報を元に、古在機構による類似した力学的進化を示す過去の軌道について調べ、分裂時期を推定する試みも行ったので報告する。

[1] Ohtsuka, K., et al. (2007), *ApJ* **668**, 71-74,

[2] Schunova, E., et al. (2012), *Icarus* **238**, 156-169,

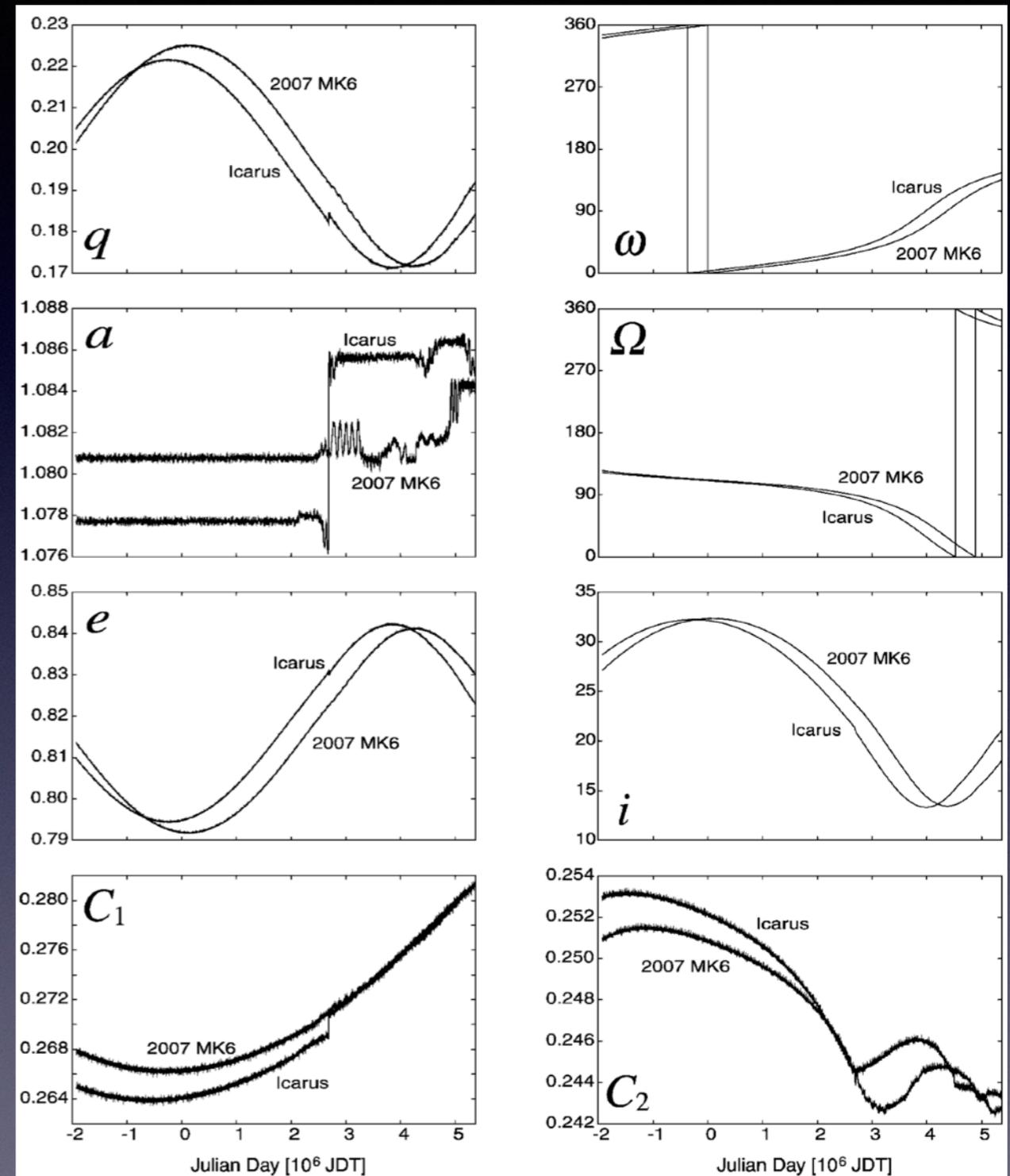
[3] DeMeo et al. (2009), *Icarus* **202**, 160-180,

# 研究概要

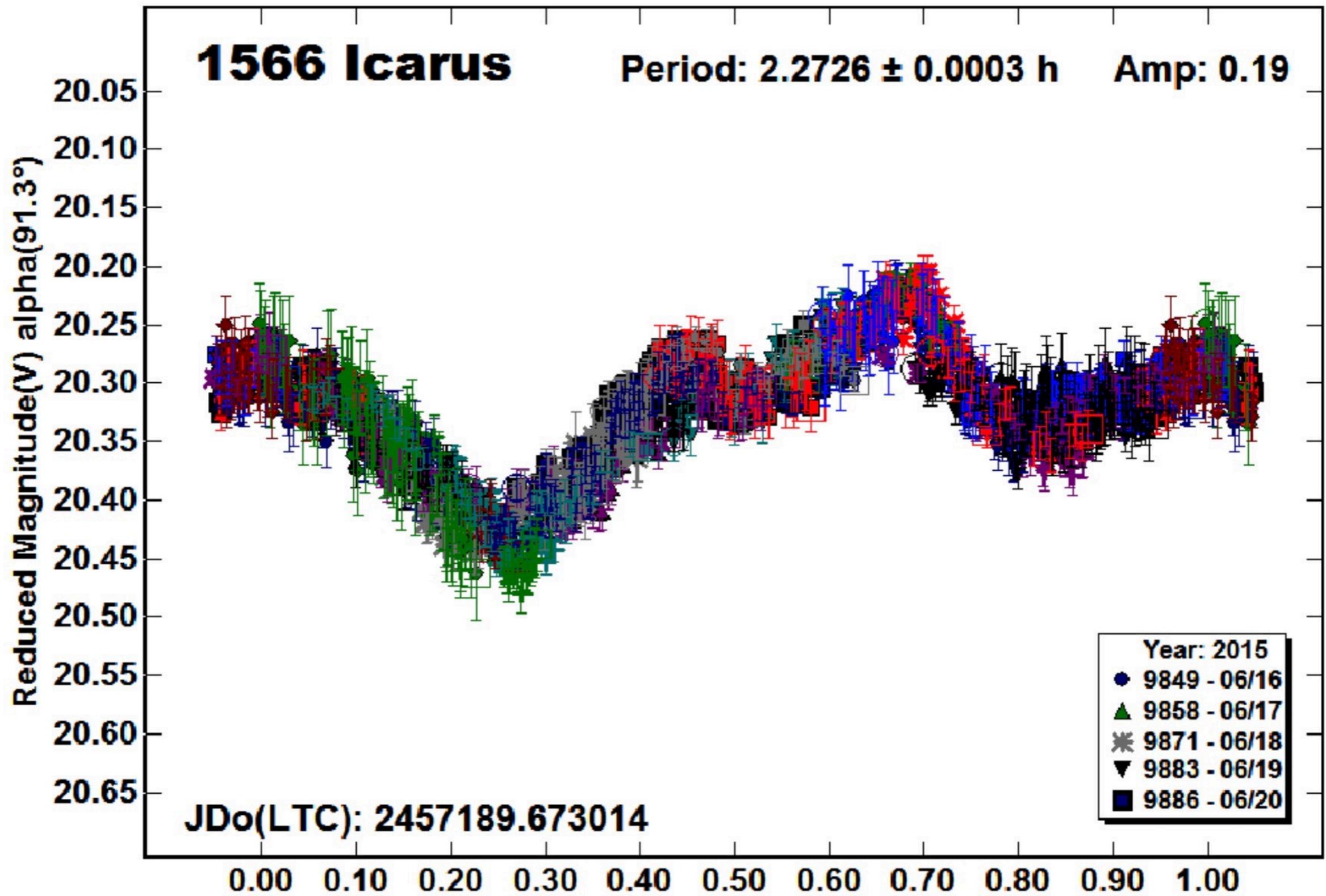
- 力学的進化の類似性から2007MK<sub>6</sub>は(1566) Icarusの分裂破片
- 分光観測により分裂の証拠を得る
- Lowell Observatory 4.3m Discovery Channel Telescope  
DeVeny spectrograph
- Bus-Demeoの分類法を用いて小惑星タイプを推定
- 隕石スペクトルと比較
- 分裂時期の推定

# (1566) Icarus & 2007MK<sub>6</sub>

	Icarus		2007MK <sub>6</sub>
	2007, Apr	1034, Jul	2017, Sep
$q$ (AU)	0.1866177	0.1930133	0.1965662
$a$ (AU)	1.0778849	1.0776443	1.0810017
$e$	0.8268668	0.8208933	0.8186343
$\omega$ (deg)	31.29236	25.37252	25.46633
$\Omega$ (deg)	88.08105	93.55925	92.88728
$i$ (deg)	22.85385	25.07805	25.13759
Reference	JPL	Ohtsuka et. al 2007	JPL



Ohtsuka et. al 2007



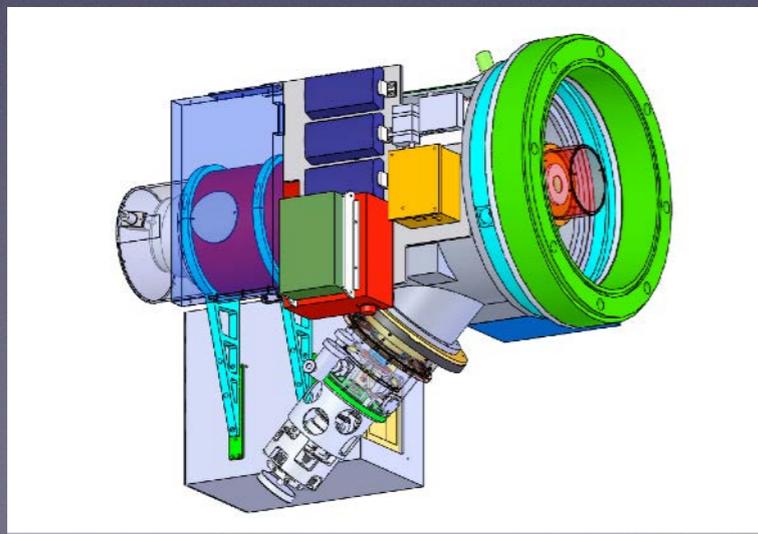
Warner, B.D. (2015) *MPB* **42**, 256-266,

# 観測

## 観測天体と観測機器諸元

観測対象	Icarus	2007 MK <sub>6</sub>
観測日(UT)	Jun/21/2015	Jun/15/2016
実視等級(絶対等級)	13.9 (15.95)	18.5 (20.30)
直径	1.44 km	262-586 m
自転周期	2.273 hour	N/A
軌道要素 q[AU],e,i[deg]	0.19, 0.83, 22.8	0.19, 0.82, 25.1
望遠鏡	4.3m Discovery Channel Telescope	
分光器	DeVeny (分光器) グレーティング:150 [gr/mm] 波長域:400-1000[nm] 視野角:95"×73" コンパリソン:Cd,Ar,Hg,Ne(2007MK <sub>6</sub> のみ)	

DeVeny spectrograph



4.3-m Discovery Channel Telescope (DCT)



# 観測

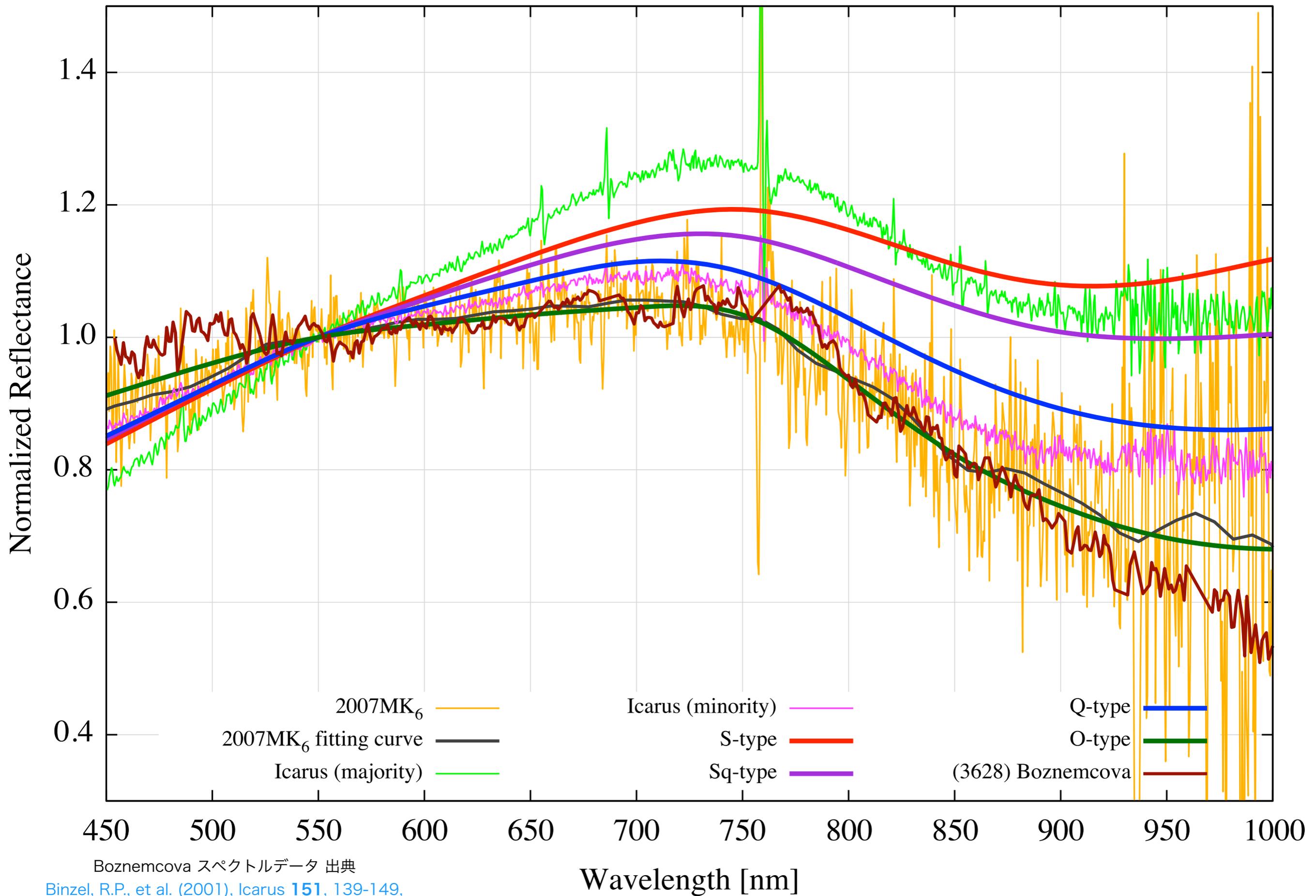
## Icarus

No.	オブジェクト	観測開始時刻 (UT)	Airmass	積分時間 [s]
1- 11	バイアス	1 : 26	1.00	0
25 - 32	SA 105-56	5 : 31	1.54	20
33 - 43	Icarus	5 : 49	1.40	180
44 - 48	SA 105-56	6 : 27	1.92	20
49 - 53	コンパリソン Cd, Ar, Hg	6 : 37	1.63	20
54 - 60	ドーム フラット	6 : 43	1.66	10
62 - 71	Icarus	6 : 51	1.73	180
72 - 76	コンパリソン Cd, Ar, Hg	7 : 33	2.16	20
77 - 88	ドーム フラット	7 : 37	2.23	10

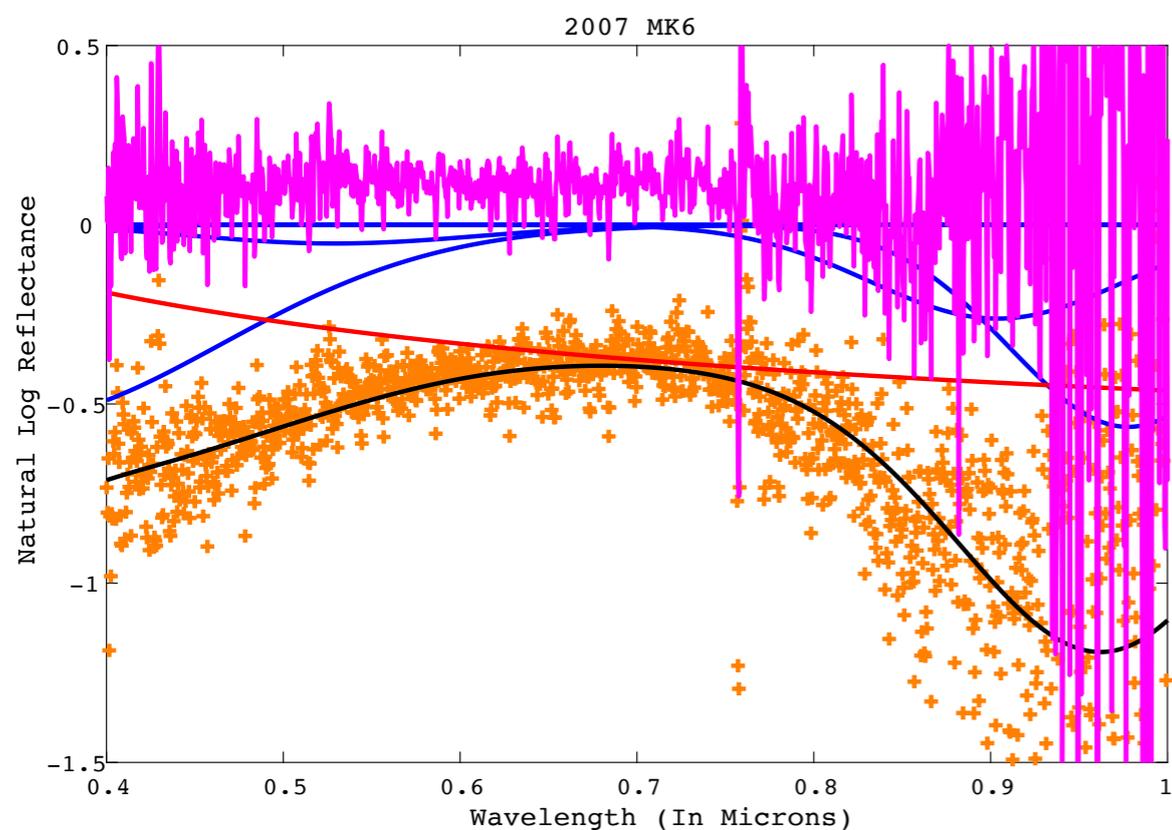
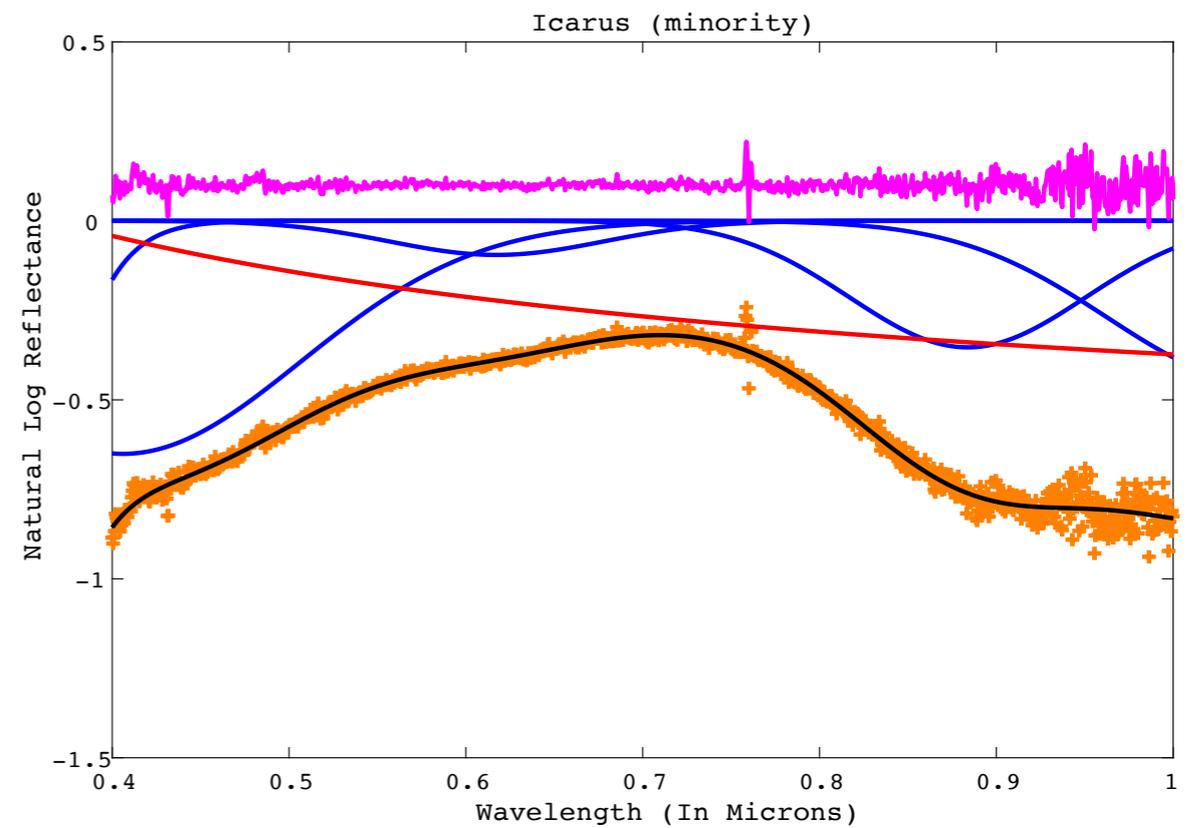
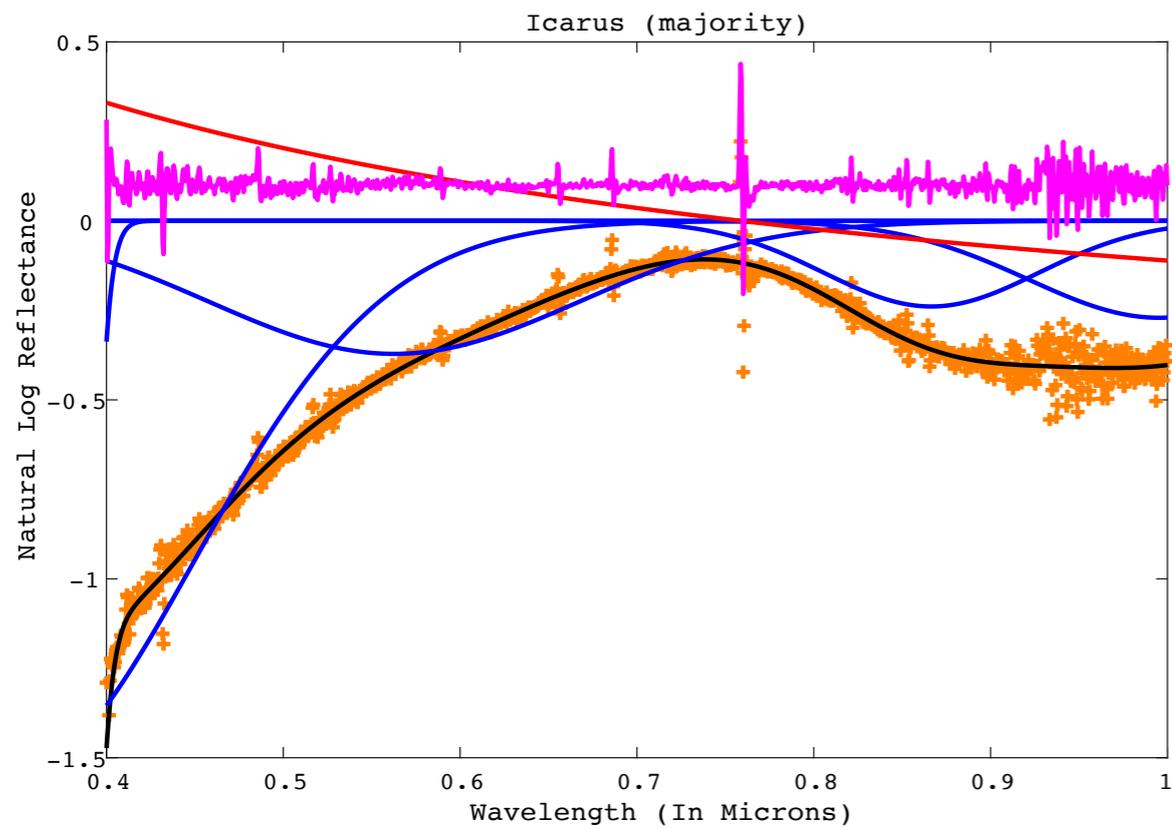
## 2007MK<sub>6</sub>

No.	オブジェクト	観測開始時刻 (UT)	Airmass	積分時間 [s]
1- 10	バイアス	1 : 45	1.00	0
11 - 20	コンパリソン Cd, Ar, Hg, Ne	2 : 20	1.54	20
21 - 31	2007MK <sub>6</sub>	3 : 55	1.40	300
32 - 36	ドーム フラット	5 : 07	1.92	10
37 - 44	SA 105-56	5 : 17	1.63	2
45 - 54	コンパリソン Cd, Ar, Hg, Ne	5 : 25	1.66	20

# 〇型メインベルト小惑星 (3628) Božněmcová

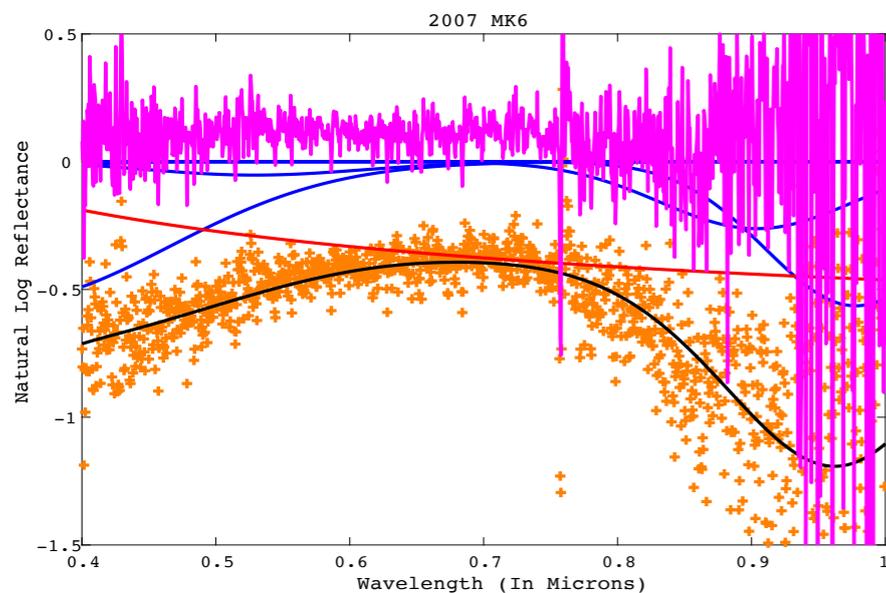
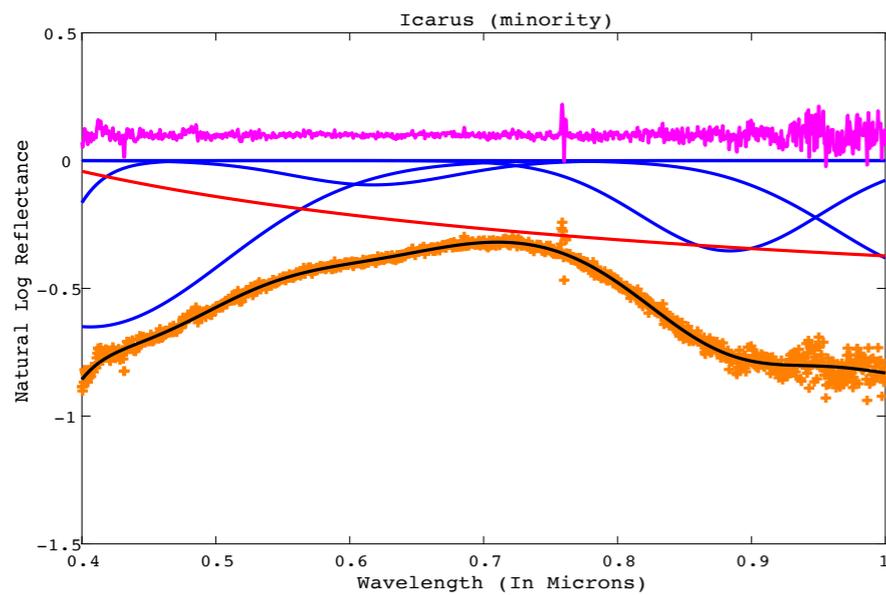
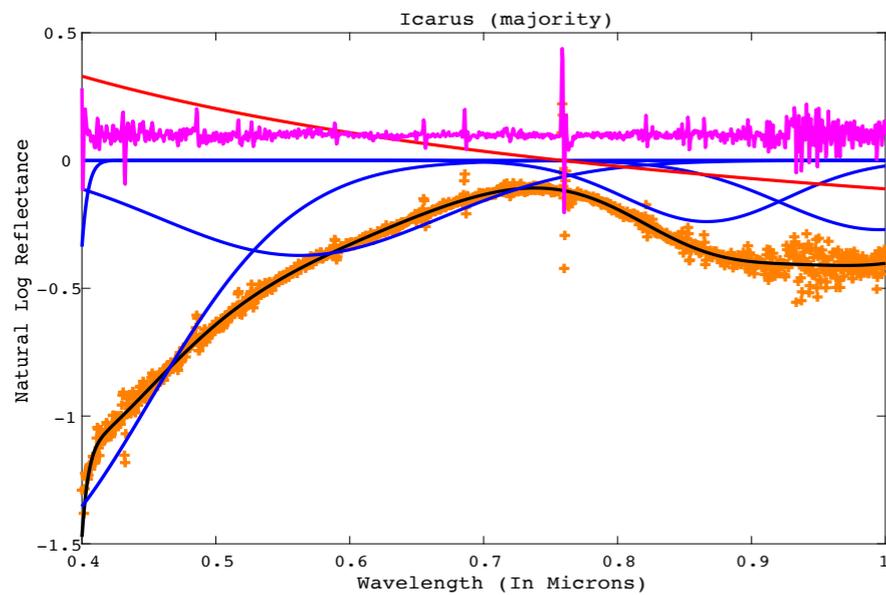


# 隕石スペクトルとの比較



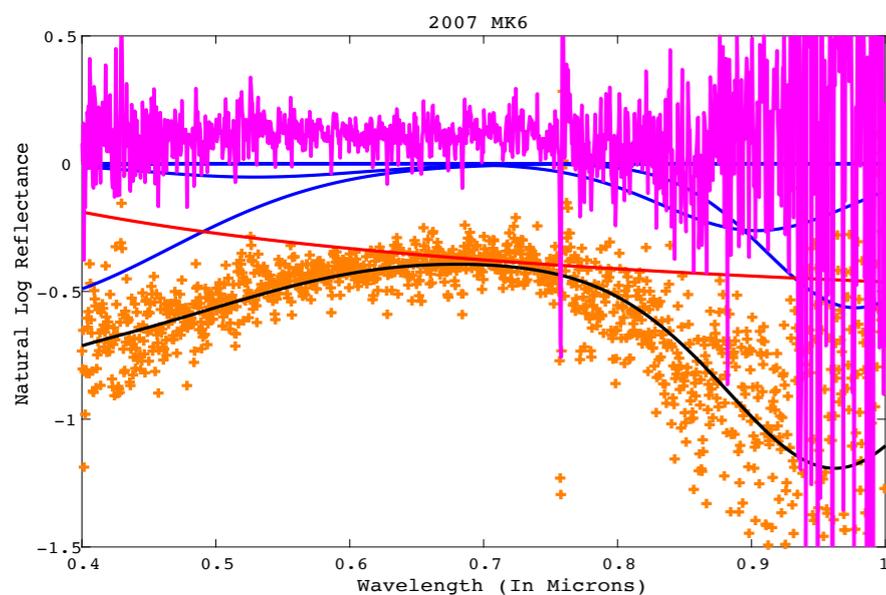
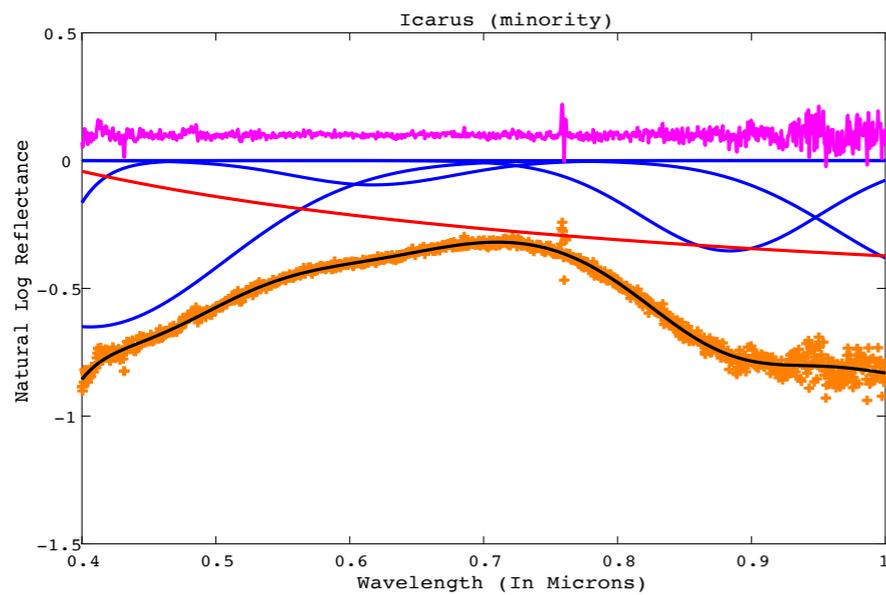
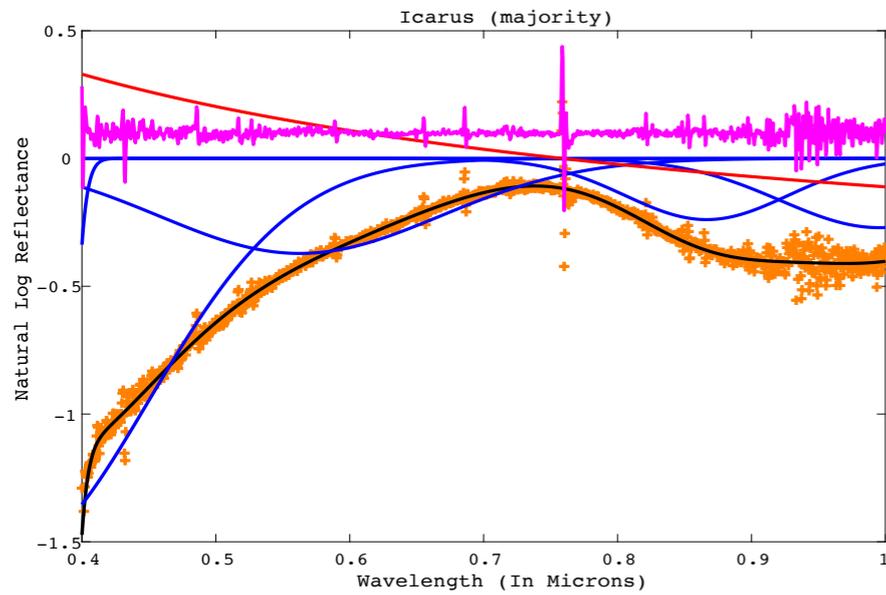
- Modified Gaussian Model (MGM)
- $1 \mu\text{m}$ 帯の吸収中心波長, 吸収深さ, FWHM
- カンラン石のスペクトルを用いてフィッティング

# 隕石スペクトルとの比較



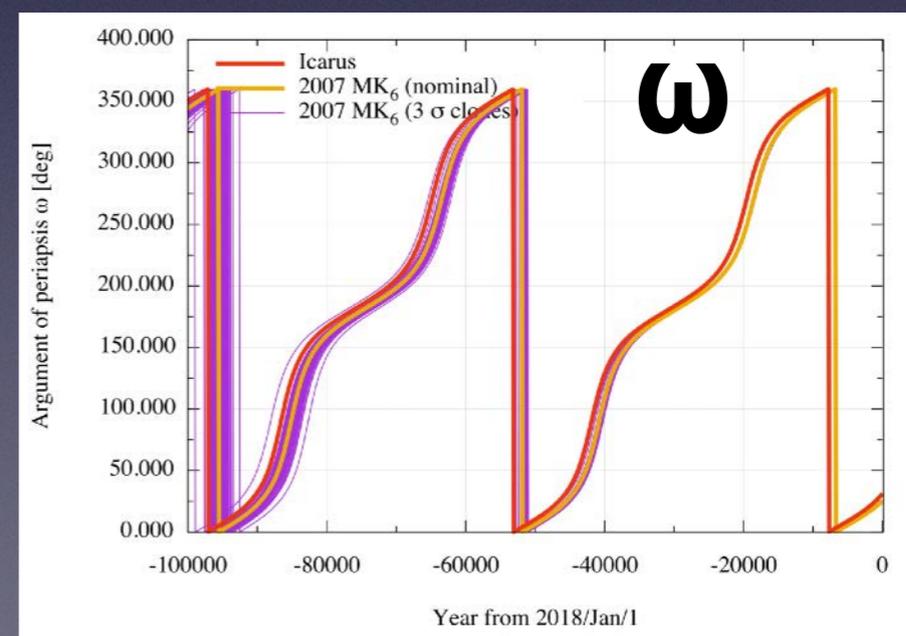
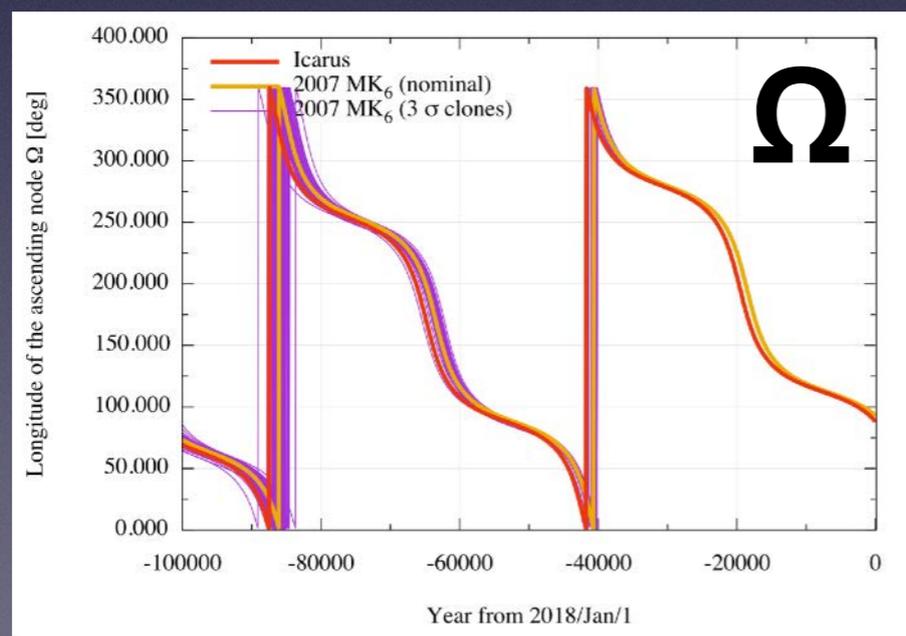
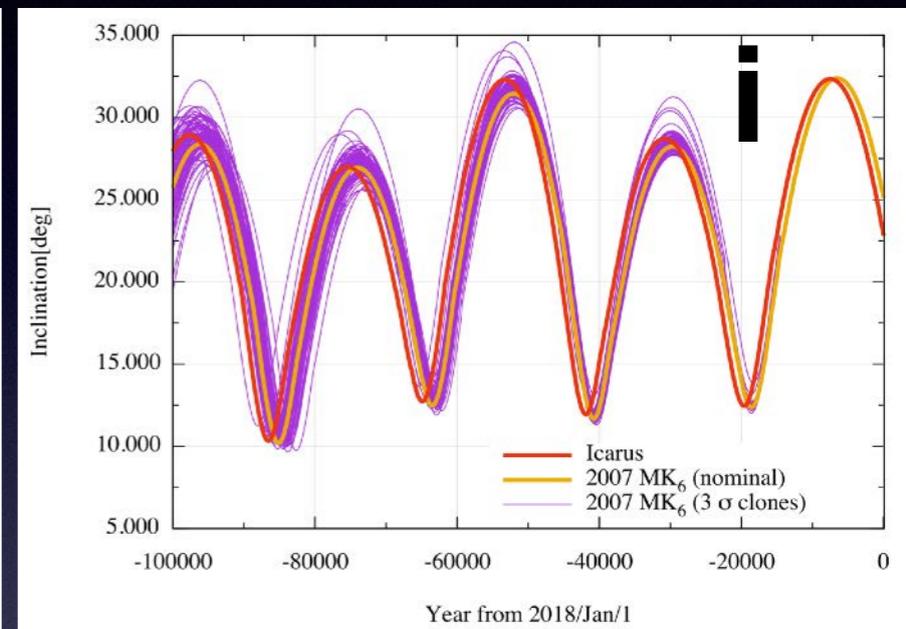
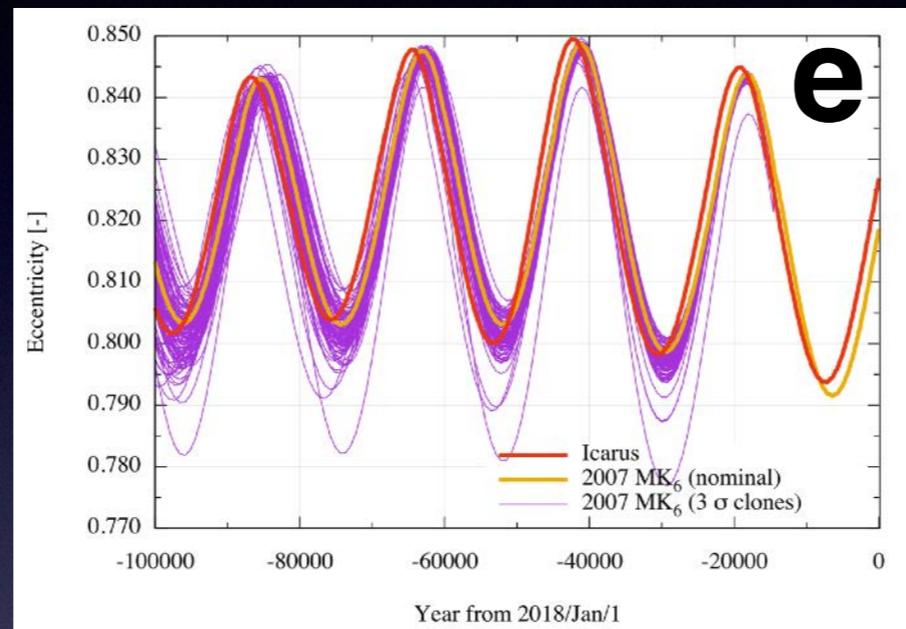
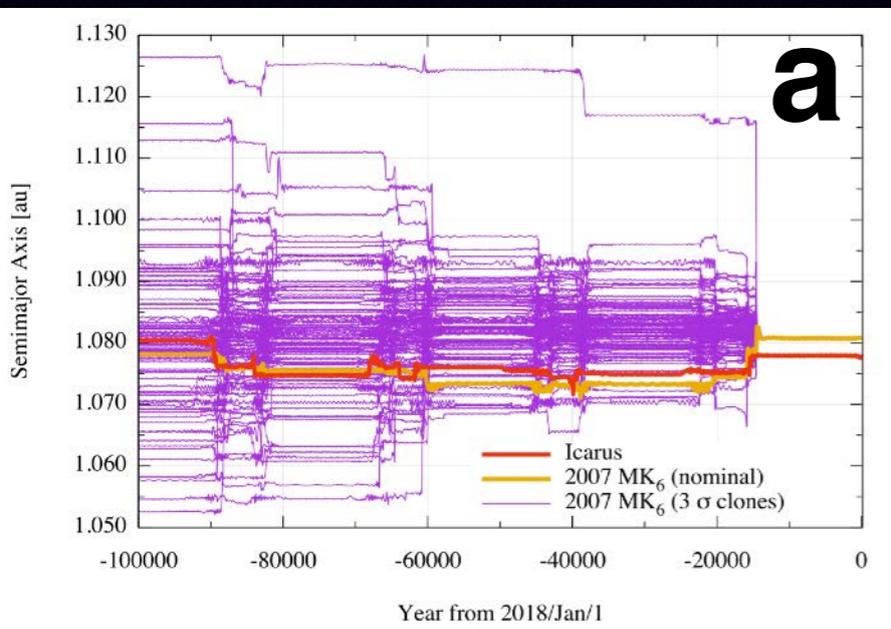
1 $\mu\text{m}$ 吸収	中心波長 ( $\mu\text{m}$ )	FWHM ( $\mu\text{m}$ )	強度
<b>Icarus (majority)</b>	<b>0.995</b>	<b>0.174</b>	<b>-0.271</b>
Icarus (minority)	1.047	0.199	-0.447
2007 MK <sub>6</sub>	0.975	0.158	-0.563
H3	1.237	0.312	-0.073
H4	1.007	0.243	-0.224
H5	1.001	0.226	-0.189
<b>H6</b>	<b>1.001</b>	<b>0.233</b>	<b>-0.255</b>
L3	1.026	0.183	-0.144
L4	1.017	0.204	-0.171
L5	0.984	0.246	-0.324
<b>L6</b>	<b>0.988</b>	<b>0.246</b>	<b>-0.404</b>
LL3	1.005	0.220	-0.177
LL4	0.999	0.220	-0.211
LL5	1.011	0.217	-0.194
LL6	0.989	0.211	-0.320

# 隕石スペクトルとの比較



1 $\mu\text{m}$ 吸収	中心波長 ( $\mu\text{m}$ )	FWHM ( $\mu\text{m}$ )	強度
Icarus (majority)	0.995	0.174	-0.271
<b>Icarus (minority)</b>	<b>1.047</b>	<b>0.199</b>	<b>-0.447</b>
<b>2007 MK<sub>6</sub></b>	<b>0.975</b>	<b>0.158</b>	<b>-0.563</b>
H3	1.237	0.312	-0.073
H4	1.007	0.243	-0.224
H5	1.001	0.226	-0.189
H6	1.001	0.233	-0.255
L3	1.026	0.183	-0.144
L4	1.017	0.204	-0.171
L5	0.984	0.246	-0.324
<b>L6</b>	<b>0.988</b>	<b>0.246</b>	<b>-0.404</b>
LL3	1.005	0.220	-0.177
LL4	0.999	0.220	-0.211
LL5	1.011	0.217	-0.194
<b>LL6</b>	<b>0.989</b>	<b>0.211</b>	<b>-0.320</b>

# 軌道進化から探る分裂時期



# まとめ-1

- ・ 力学的進化の類似性<sup>[1]</sup>と本研究で得られた分光学的類似性から2007 MK<sub>6</sub>は、Icarusの分裂天体（ファミリー）であるということが強く示唆できる。
- ・ 本研究から2007 MK<sub>6</sub>は特異なO型小惑星であることが示唆される。O型小惑星の代表例としてメインベルト小惑星 (3628) Božněmcová が挙げられ、L6, LL6グループの普通コンドライトなどが対応隕石候補に挙げられる<sup>[4]</sup>
- ・ Icarusの分光学的分類において、SまたはQ型表面を持つことが推察され、一般的に普通コンドライトが対応隕石に挙げられている。
- ・ Icarusの自転周期は2.273[hr]<sup>[5]</sup>と、スピンバリアである2.2[hr]に近く、YORP効果が要因で分裂したとも考えられるが、Icarusは、過去10万年程度は、近日点距離が約0.2[AU]と太陽に接近して来たため、Granvik+(2016)による「近近日点距離小天体の崩壊モデル<sup>[6]</sup>」から太陽加熱により急激に脆くなり、YORP効果や地球による潮汐などの引き金でファミリーを形成したシナリオが考えられる。

[4] Cloutis, E., et al. (2006), *MAPS* **41**, 1668-1694,

[5] Warner, B.D. (2015) *MPB* **42**, 256-266,

[6] Granvik, M. et al. (2016), *Nature* **530**, 303-306,

# まとめ-2

- **Bus-Demeoの分類法**

2007MK<sub>6</sub> → **○型**

Icarus → **S型** (majority) & **Q型** or **○型** (minority)

- **MGM解析**

2007 MK<sub>6</sub> & Icarus (minority) → **L6** or **LL6**

Icarus (majority) → **H6** or **L6**

- **分裂時期**

2007 MK<sub>6</sub> は **約7500年前** or **約1000年前**にIcarusから分裂  
流星群(6月昼間流星群)を含む分裂ファミリーを形成した可能性