

# The Deep Impact

## ハワイで何を見たか？

# NASA / Deep Impact Mission

A composite graphic for the NASA Deep Impact mission. The background is a dark space filled with stars. On the left, a bright yellow sun is partially obscured by a glowing orange elliptical ring representing a comet's orbit. A small blue planet is visible at the top. In the center, a bright starburst represents the impact point. Below it, a small spacecraft is shown in a steep descent towards a large, dark, cratered comet nucleus. To the right, a larger, grey, cratered comet nucleus is shown in a different perspective. The overall scene is dramatic and highlights the mission's goal of studying the interior of a comet.

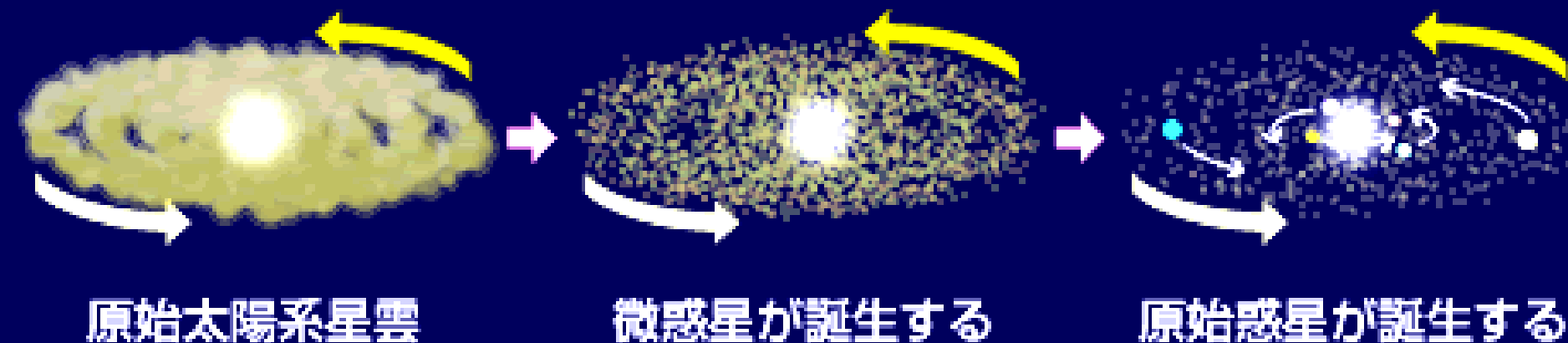
米国航空宇宙局の彗星探査計画  
太陽系探査の最前線

彗星核の内部を調べよう  
という野心的な探査計画

⇒彗星は太陽系の「化石」

# 太陽系のできるまで：

## 彗星は惑星をつくった材料の残り



ガスと塵が集まって、  
原始の太陽と、その  
周りをまわる円盤を  
作る

円盤の中で、氷や塵  
が集まって、小さな  
塊ができる(**微惑星**)

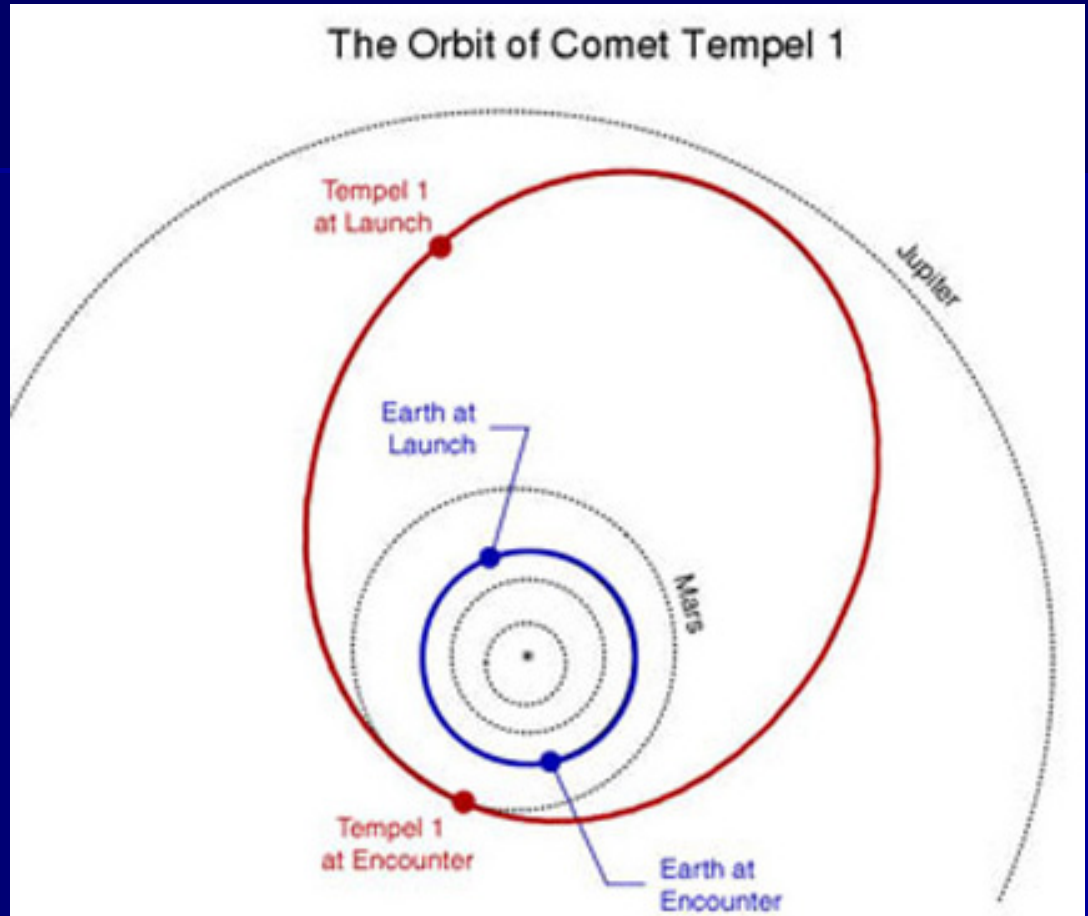
微惑星が集まって  
惑星ができる

46億年前の記憶を留める化石

余った微惑星  
= 彗星 (核)

# 9P/Tempel 1彗星の軌道

|       |           |
|-------|-----------|
| T     | 2005 July |
|       | 5.3153    |
| q     | 1.506167  |
| e     | 0.517491  |
| Peri. | 178.8390  |
| Node  | 68.9373   |
| Incl. | 10.5301   |
| a     | 3.121530  |
| P     | 5.52      |



“木星族短周期彗星” ⇒ カイパーベルト起源を示唆

短周期 ⇒ 彗星核表面は太陽光による熱変性の影響が大きい？

# 小惑星の分布

木星～海王星軌道



海王星軌道

海王星軌道の外側を  
周る天体：  
カイパーベルト天体

実は冥王星もカイパー  
ベルトの一員

# 彗星の巣：どこから来るのか？

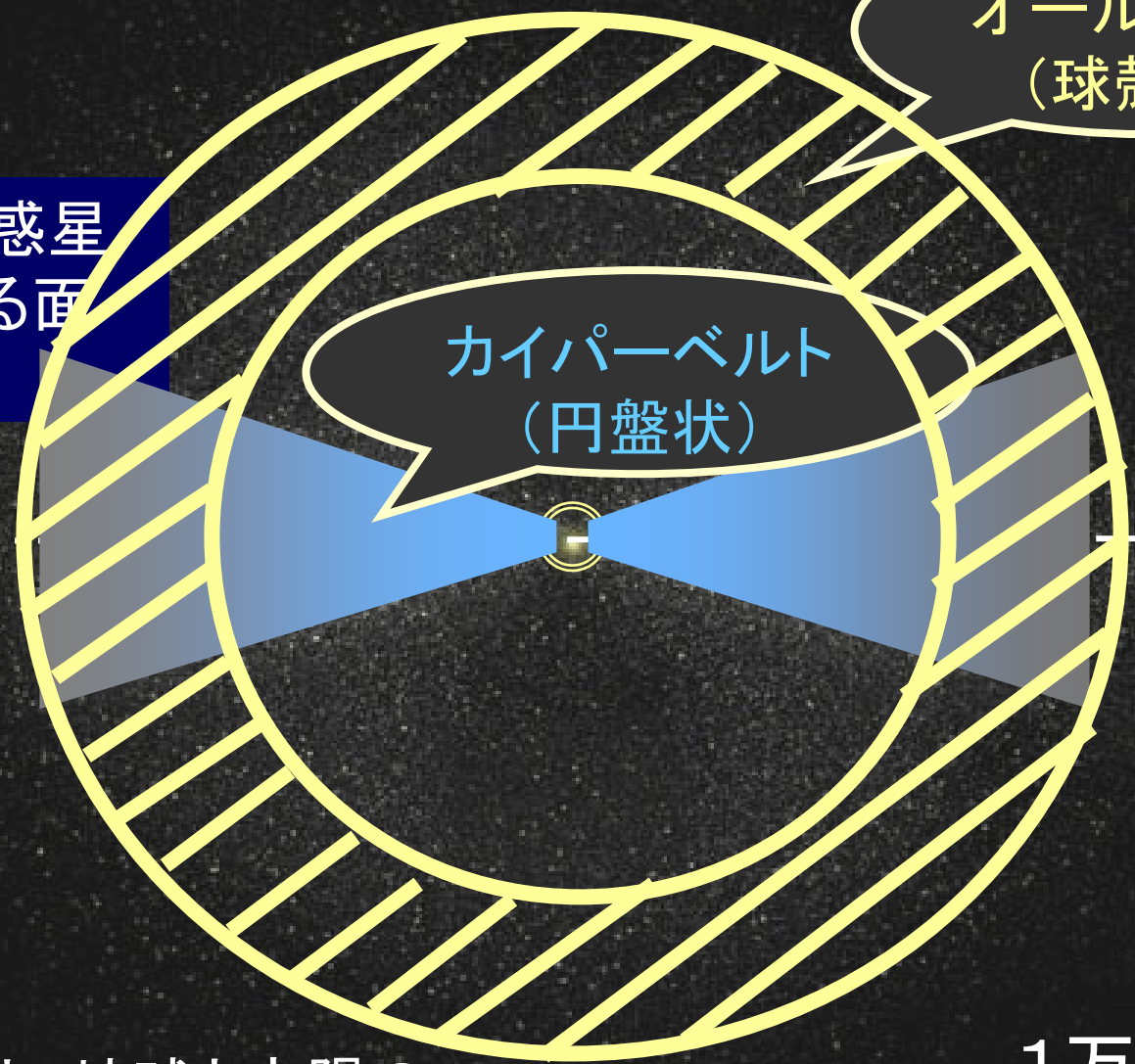
地球などの惑星  
が巡っている面  
(黄道面)

オールトの雲  
(球殻状)

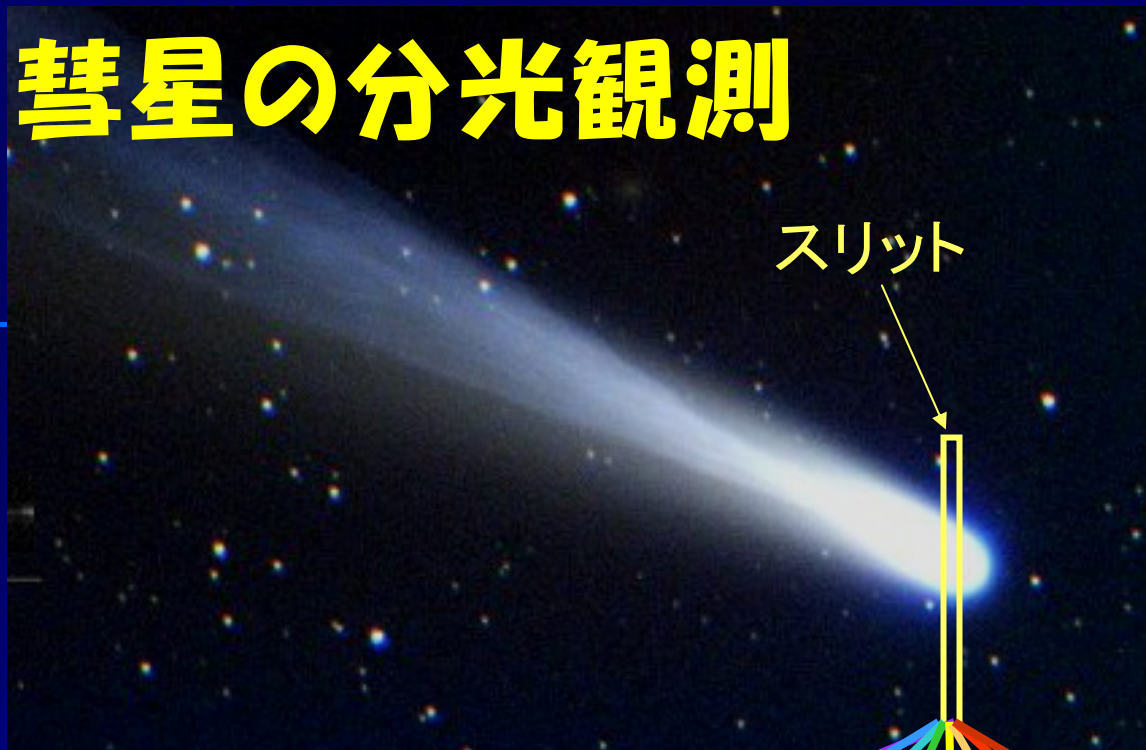
カイパーベルト  
(円盤状)

1天文単位は、地球と太陽の  
距離(1億5千万km)

1万~10万  
天文単位

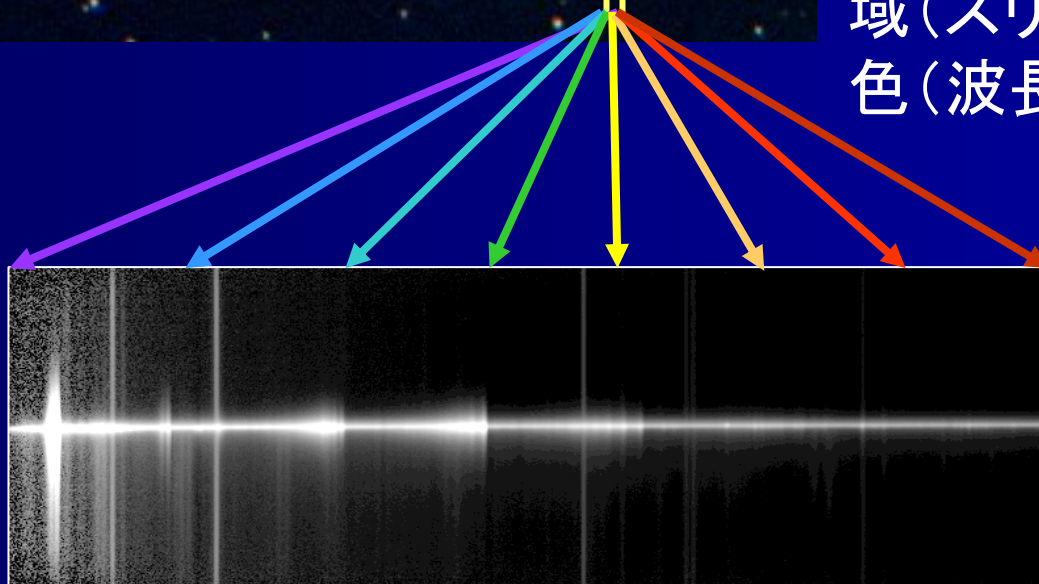


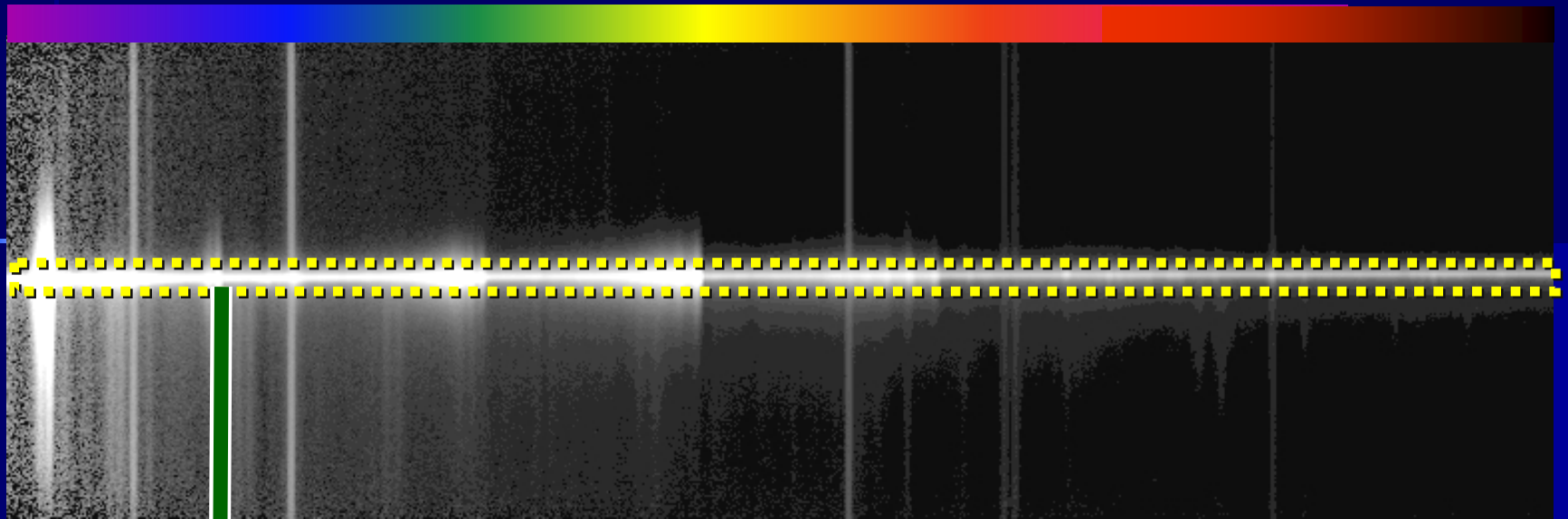
# 彗星の分光観測



スリット

彗星の像から細長い領域(スリット)を切り出し、色(波長)毎に分ける。

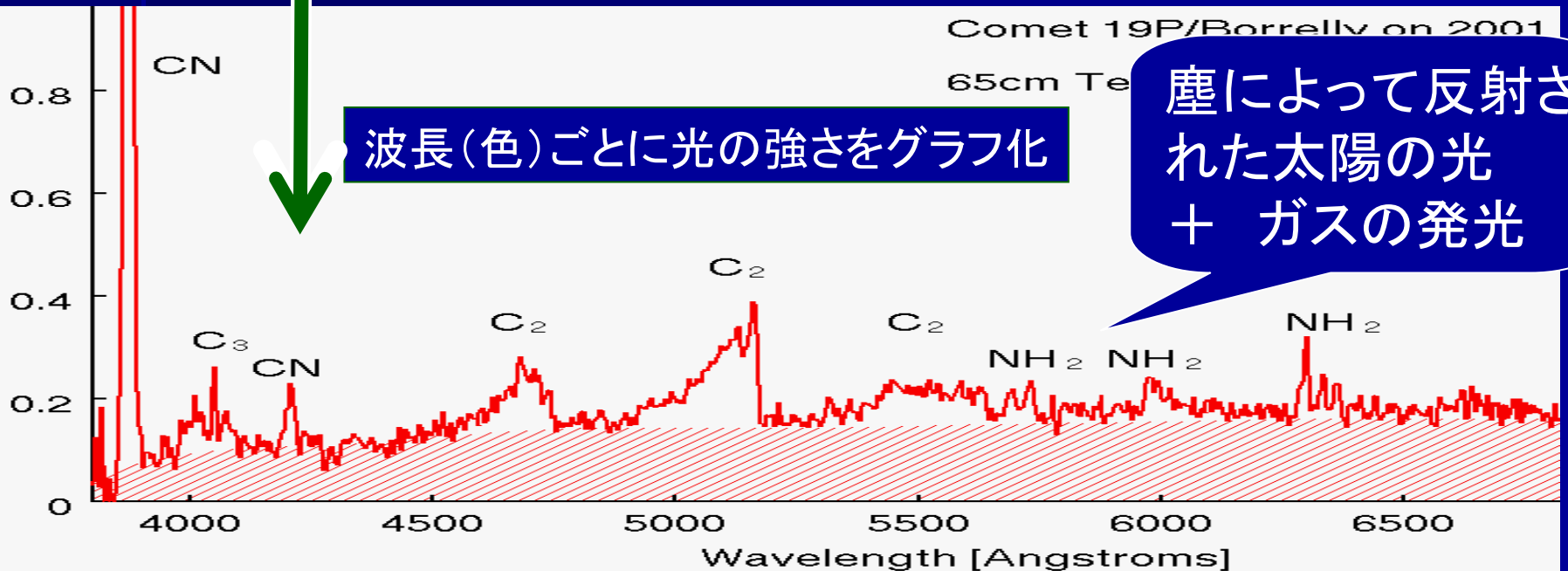




Comet 19P/Borrelly on 2001  
65cm Te

波長(色)ごとに光の強さをグラフ化

塵によって反射された太陽の光  
+ ガスの発光





# DeepImpactに協力した望遠鏡の位置

日本では衝突6時間後から観測できるが・・・梅雨！！

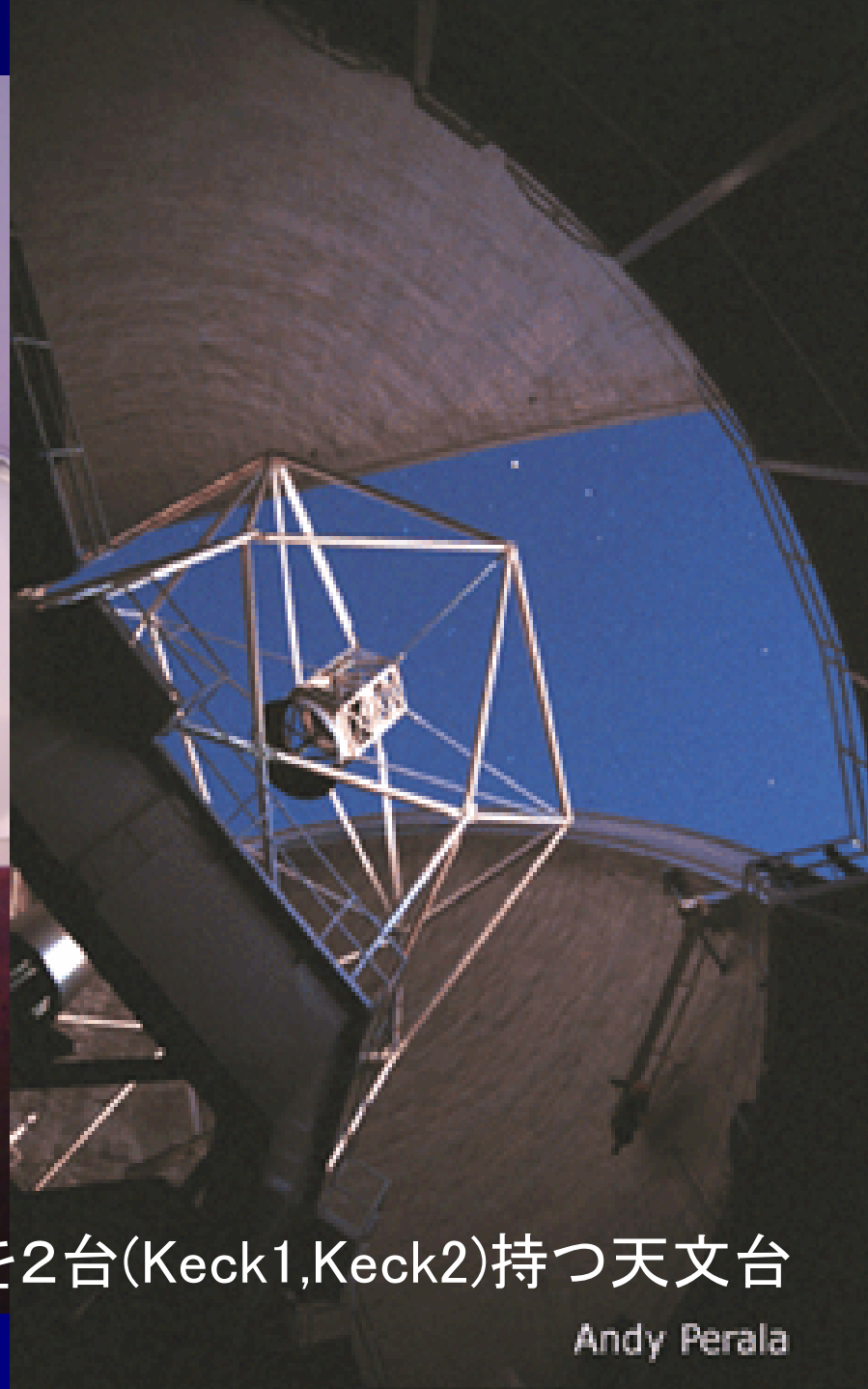
ハワイ島：マウナケア  
ここが夕方になった頃にインパクト実験を行う

チリ：ヨーロッパ南天文台  
インパクトの瞬間は観測できない

日本から梅雨を避けて台湾へ遠征！



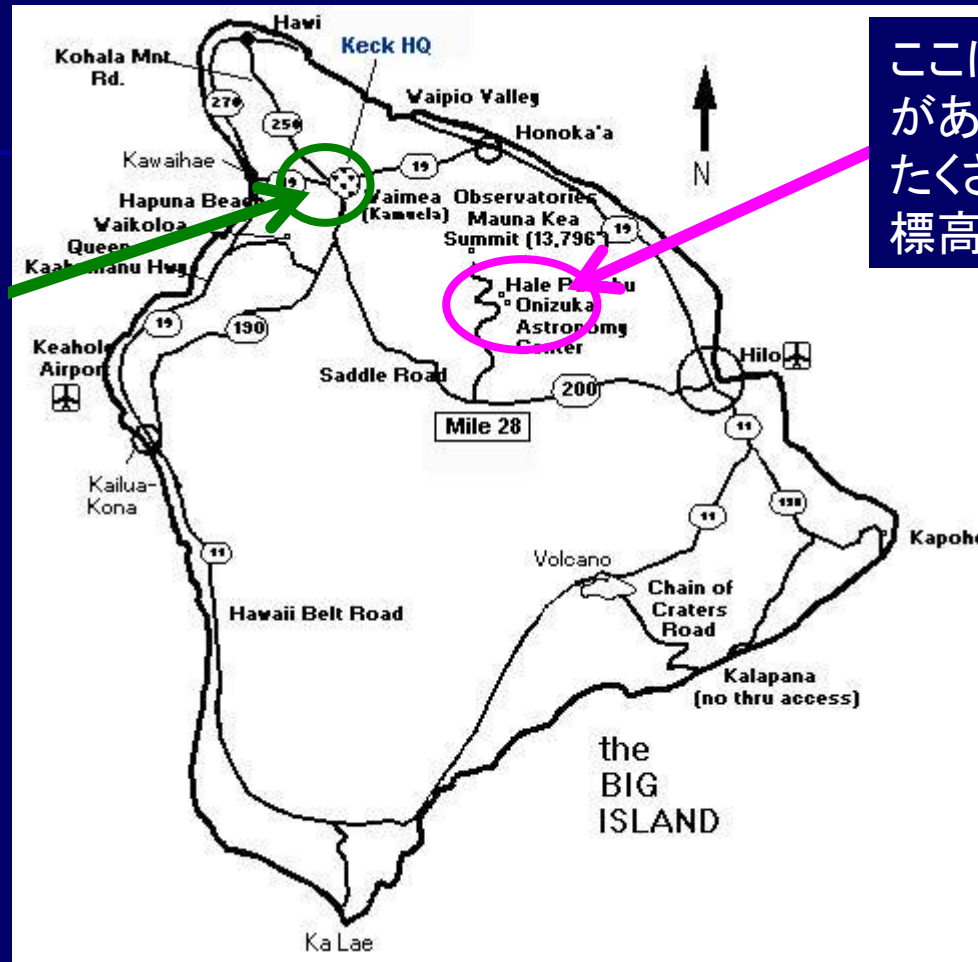
# W.M.Keck Observatory



口径10m、世界最大の望遠鏡を2台(Keck1,Keck2)持つ天文台

Andy Perala

ケック望遠鏡はマウナケア山頂(標高4200m)、  
しかし、観測は麓(標高800m)のオフィスからも可能



ここにマウナケア山  
があって望遠鏡が  
たくさん置いてある  
標高4200m！！

ここにケック天文台  
のオフィスがある。  
標高800mくらい。

# ウィリアム・ケック天文台





インパクト当日、Keck観測所オフィスの中継イベントを見に来た人たち。

ワイキキビーチでも数百人が集まって望遠鏡で彗星を見たらしい・・・

After Deep Impact - some Happy Astronomers 05 July 2005  
Keck-2 NIRSPEC

Neil Dello Russo

Hideyo Kawakita

Michael DiSanti

Boncho Bonev

Michael Mumma



# NIRSPEC/Keck-2 Comet Tempel-1 Observing Log

| <u>日時</u>   | <u>設定</u> | <u>積分時間</u> | <u>ターゲットとなる分子</u>  |
|-------------|-----------|-------------|--|
| UT June 03  | KL1       | 44 min      | H <sub>2</sub> O, C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , CH <sub>3</sub> OH                       |
|             | KL2       | 40 min      | H <sub>2</sub> O, HCN, C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> CO |
| UT July 04* | KL1(pre)  | 16 min      | H <sub>2</sub> O, C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , CH <sub>3</sub> OH                       |
|             | KL1(post) | 20 min      | H <sub>2</sub> O, C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , CH <sub>3</sub> OH                       |
|             | KL2       | 24 min      | H <sub>2</sub> O, HCN, C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> CO |
|             | M-wideA   | 14 min      | H <sub>2</sub> O, CO   |
| UT July 05  | M-wideA   | 32 min      | H <sub>2</sub> O, CO   |

\* )7月4日の観測は所長時間における公募、その他はNASA時間での割り当て観測。7月4日のみスリットビューア・カメラ(SCAM)によるKバンド撮像を同時に行っている。

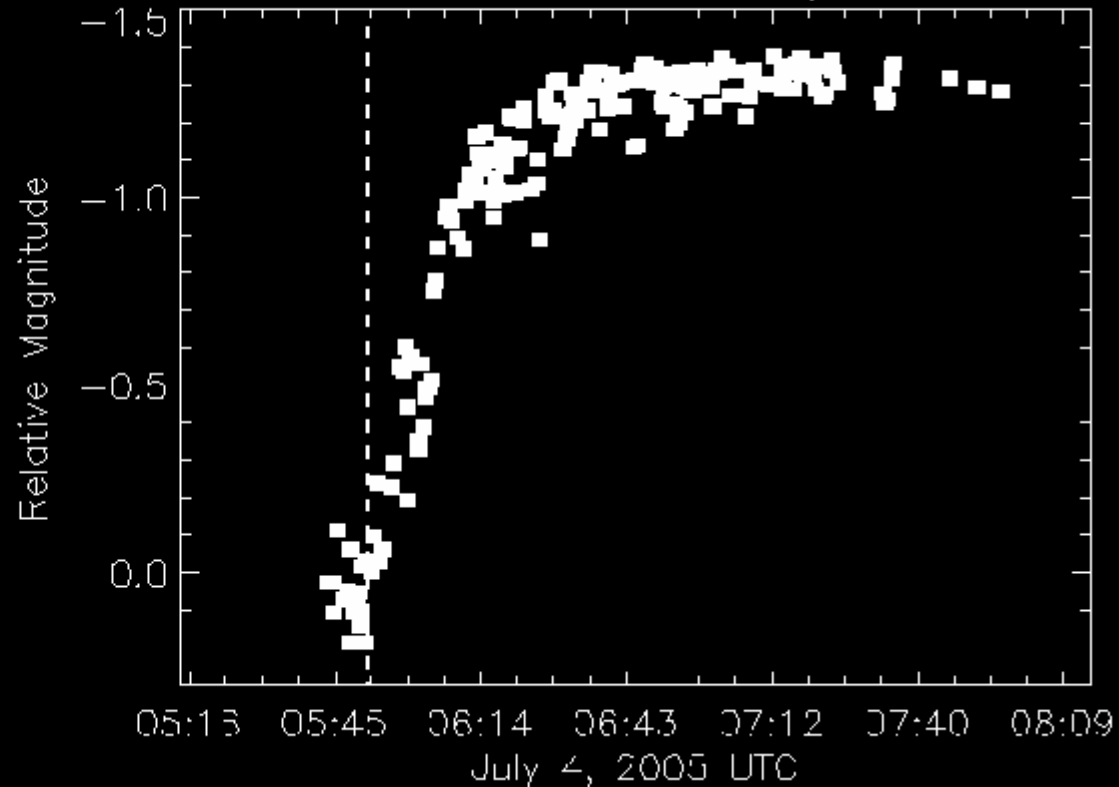
# SCAM Images

Comet 9P Tempel 1 – Deep Impact  
July 4, 2005 UT – 07:57:23.36

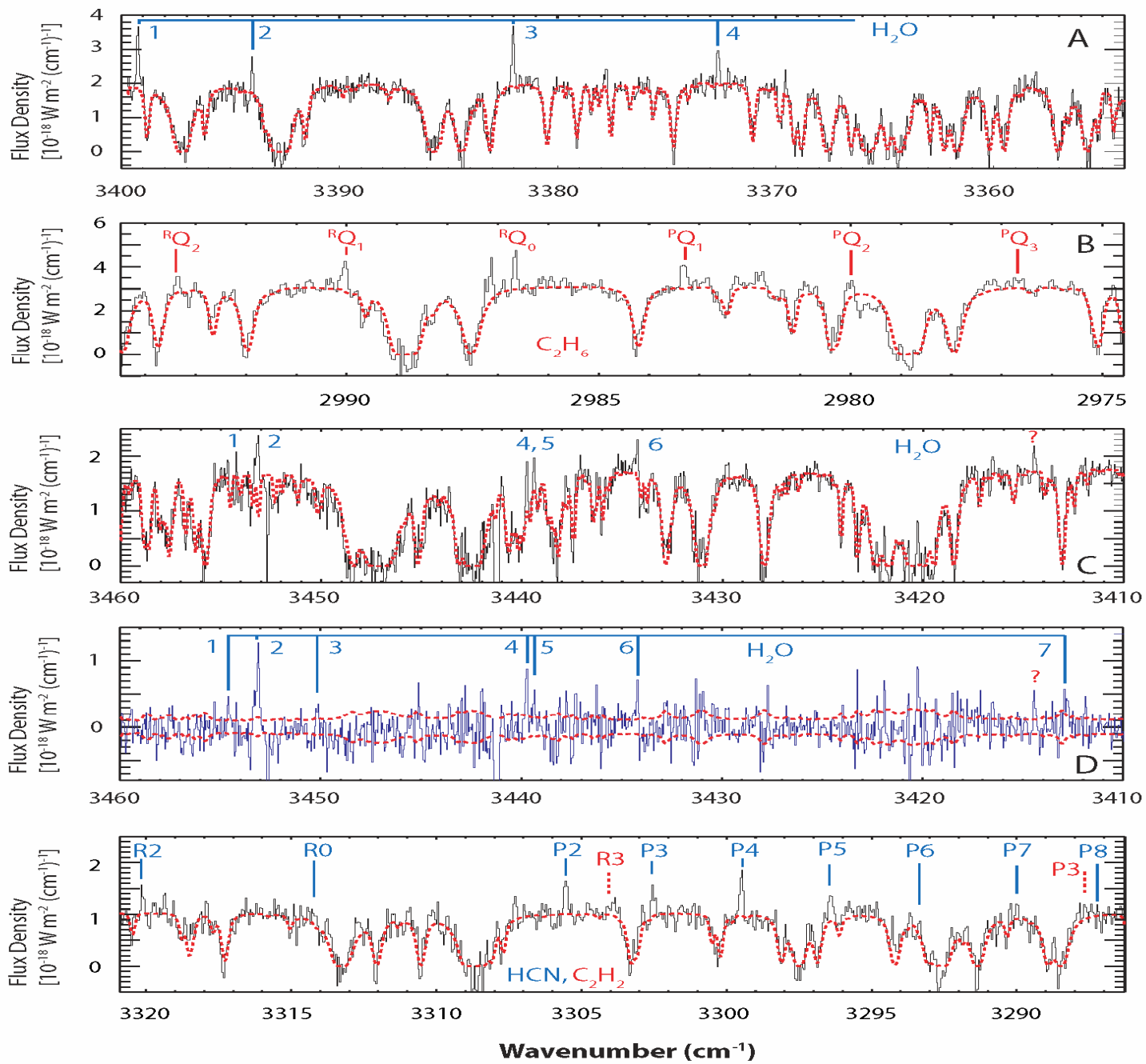


Keck II + NRSPEC

Comet 9P/Tempel 1 – Deep Impact  
Keck II + NRSPEC K-band Lightcurve



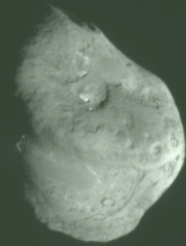




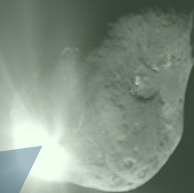
Mumma et al. 2005, Fig. 2 (*Science*)

# 9P/Tempel第1彗星のコマ組成比

Quiescent state  
Isotropic outflow



After impact  
Ejecta (blue) and isotropic outflow



## Pre-Impact

|                               |             |
|-------------------------------|-------------|
| H <sub>2</sub> O              | 100         |
| C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | 0.19 ± 0.04 |
| CH <sub>3</sub> OH            | 1.32 ± 0.20 |
| HCN                           | 0.18 ± 0.06 |

## Post-Impact

|                               |             |
|-------------------------------|-------------|
| H <sub>2</sub> O              | 100         |
| C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | 0.35 ± 0.03 |
| CH <sub>3</sub> OH            | 0.98 ± 0.17 |
| HCN                           | 0.21 ± 0.03 |
| C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> | 0.12 ± 0.04 |
| CH <sub>4</sub>               | 0.54 ± 0.30 |
| H <sub>2</sub> CO             | 0.84 ± 0.18 |
| CO                            | 4.3 ± 1.7   |

## Ejecta = (Pre-Impact) – (Post-Impact)

C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> was enriched; HCN, CH<sub>3</sub>OH  
were unchanged (within error)

# $C_2H_6/H_2O$ of Jupiter Family Comets

- 21P/Giacobini-Zinner  $C_2H_6/H_2O \sim 0.2\%$
- 2P/Encke  $C_2H_6/H_2O \sim 0.3\%$

---

- 9P/Tempel 1 (pre-D.I.)  $C_2H_6/H_2O \sim 0.2\%$
- 9P/Tempel 1 (post-D.I.)  $C_2H_6/H_2O \sim 0.4\%$
- **9P/Tempel 1 (Ejecta)  $C_2H_6/H_2O \sim 0.6\%$**

---

- Typical Oort Cloud Comet  $C_2H_6/H_2O \sim 0.6\%$

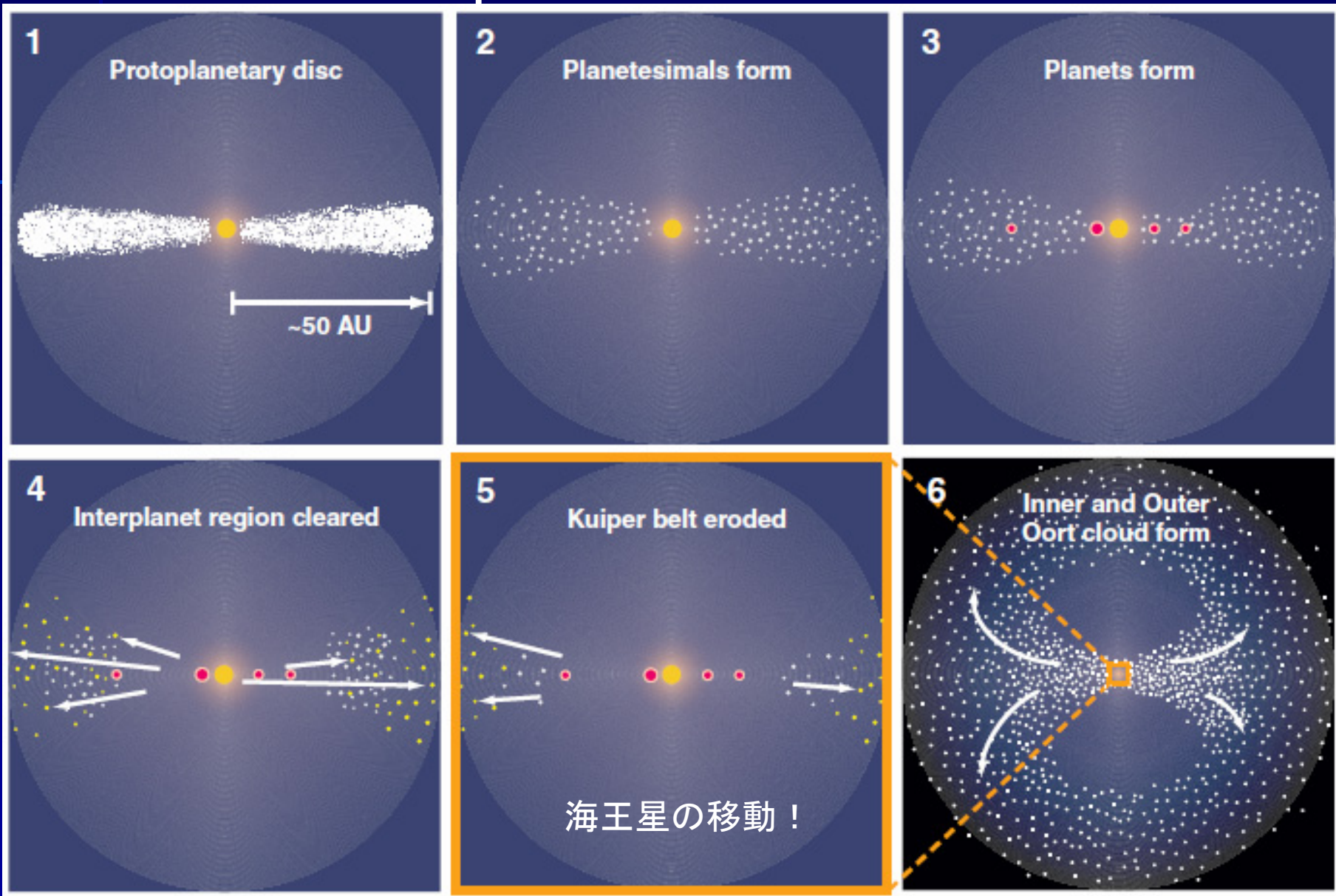
テンペル彗星の核は層状になっており、内部はオール雲彗星と似ている。表層物質の違いは太陽光による変性の可能性。

# Chemical composition of 9P/Tempel 1.

| H <sub>2</sub> O = 100     | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | HCN          | CH <sub>3</sub> OH | CO<br>(native <u>only</u> ) | CH <sub>4</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> |
|----------------------------|-------------------------------|--------------|--------------------|-----------------------------|-----------------|-------------------------------|
| <b>9P/Tempel-1</b>         |                               |              |                    |                             |                 |                               |
| A. Pre-impact (3 June)     | 0.194 ± 0.041                 | 0.18 ± 0.06  | 1.32 ± 0.20        |                             |                 |                               |
| B. Post-impact (total)     | 0.353 ± 0.027                 | 0.21 ± 0.032 | 0.99 ± 0.17        | 4.3 ± 1.2                   | 0.54 ± 0.30     | 0.13 ± 0.04                   |
| C. Ejecta                  | 0.59 ± 0.18                   |              |                    |                             |                 |                               |
| <b>Oort Cloud comets†:</b> |                               |              |                    |                             |                 |                               |
| 153P/Ikeya-Zhang           | 0.62 ± 0.13                   | 0.18 ± 0.05  | 2.5 ± 0.5          | 4.7 ± 0.8                   | 0.51 ± 0.06     | 0.18 ± 0.05                   |
| Lee                        | 0.67 ± 0.07                   | 0.29 ± 0.02  | 2.1 ± 0.5          | 1.8 ± 0.2                   | 1.45 ± 0.18     | 0.27 ± 0.03                   |
| Hale-Bopp                  | 0.56 ± 0.04                   | 0.27 ± 0.04  | 2.1                | 12.4 ± 0.4                  | 1.45 ± 0.16     | 0.31 ± 0.1                    |
| Hyakutake                  | 0.62 ± 0.07                   | 0.18 ± 0.04  | 1.7 – 2            | 14.9 ± 1.9                  | 0.79 ± 0.08     | 0.16 ± 0.08                   |
| 1P/Halley (Giotto NMS)     | ~ 0.4                         | ~ 0.2        | 1.7 ± 0.4          | 3.5                         | < 1             | ~ 0.3                         |
| C/1999 S4                  | 0.11 ± 0.02                   | 0.10 ± 0.03  | < 0.15             | 0.9 ± 0.3                   | 0.18 ± 0.06     | < 0.12                        |

木星族短周期彗星とオールト雲彗星とでは、氷組成は似ている

# Formation of Kuiper belt and Oort cloud



# Keck望遠鏡2号機による Deep Impactの地上観測結果

- Deep Impact前に観測されたガスの成分は、他の木星族短周期彗星と似ていた(オールト雲彗星とは異なっていた)。
- しかし、Deep Impact によって彗星核内部から放出された物質の有機物組成比は、典型的なオールト雲彗星に似ていた。
- カイパーベルト天体の起源は、実はオールト雲彗星の起源と同じである(共に、大惑星領域で出来た微惑星である)という可能性がでてきた。