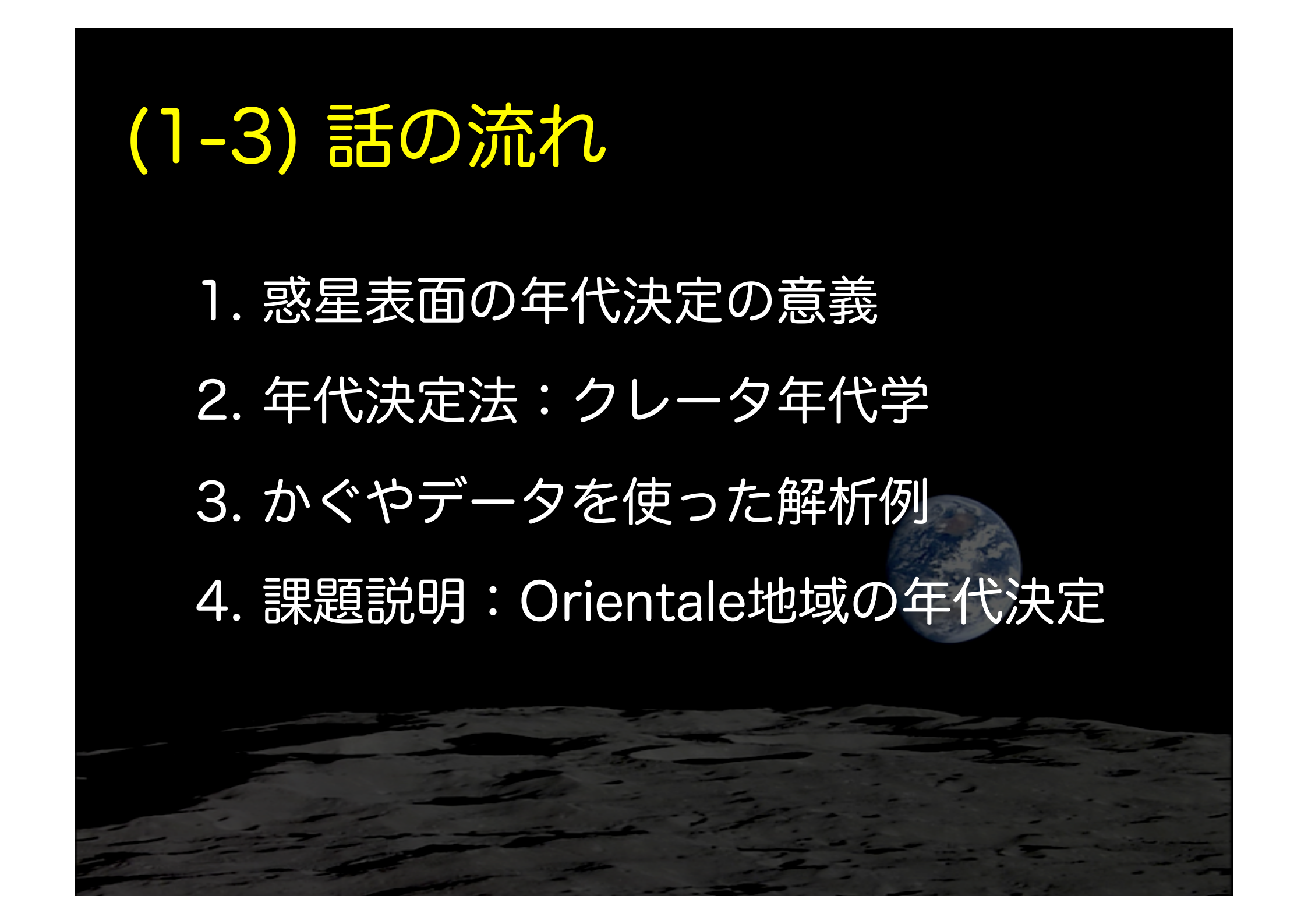


課題演習 (1-3) :  
クレータサイズ頻度分布計測による  
惑星表面年代調査



# (1-3) 話の流れ

1. 惑星表面の年代決定の意義
  2. 年代決定法：クレータ年代学
  3. かぐやデータを使った解析例
  4. 課題説明：Orientale地域の年代決定
- 
- The background of the slide is a dark, high-contrast image of the Moon's surface, showing craters and lunar maria. In the upper right portion of the image, the Earth is visible as a bright blue and white sphere against the blackness of space.

# 惑星表面年代学の意義

惑星の進化履歴の理解

どんな出来事？

いつ起こった？

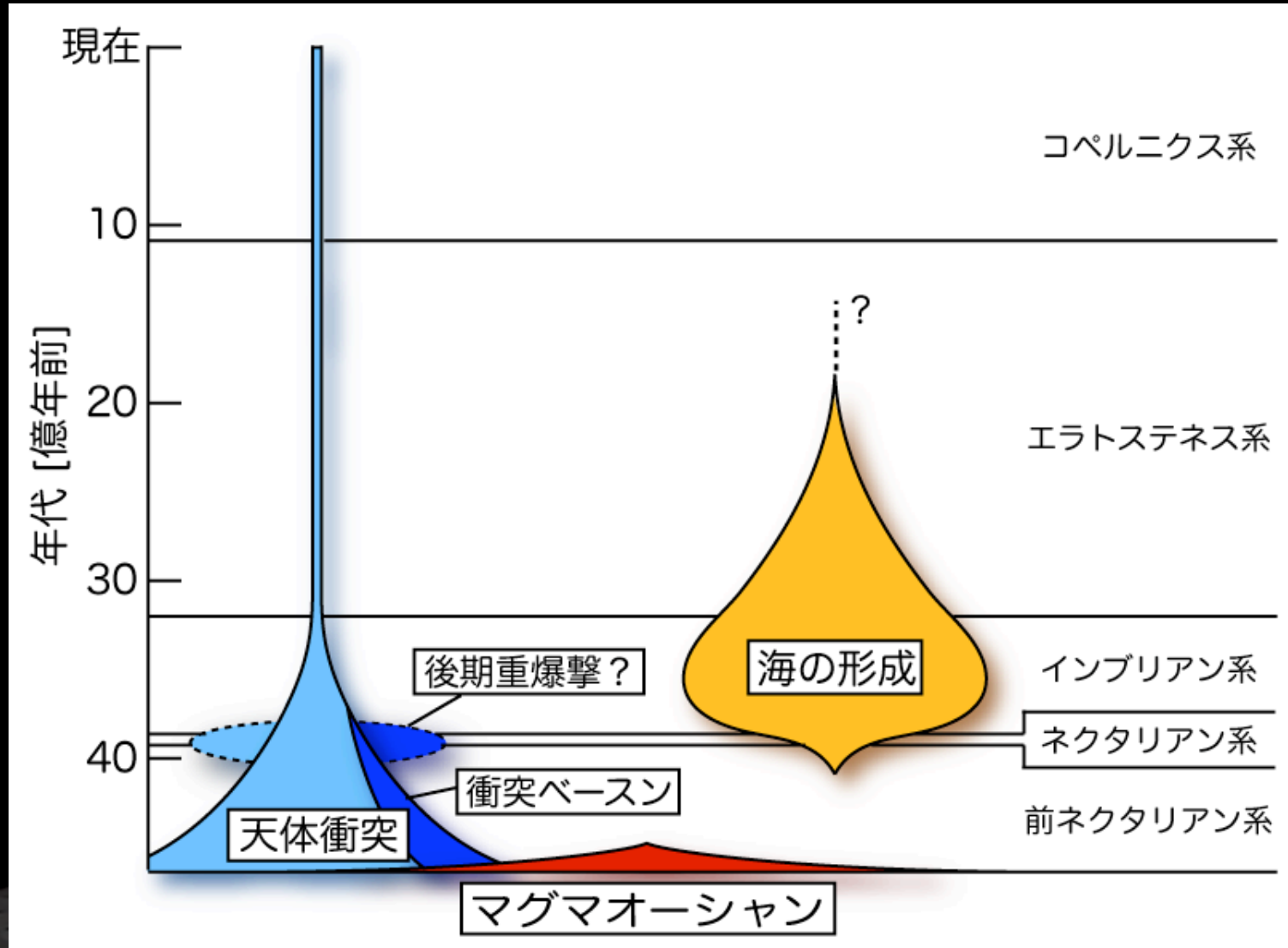
どれくらいの規模？

他のできごととの関係？





# 月の地質イベント史



# 惑星表面の年代決定手法

- ・ 岩石サンプルを使った放射年代測定
  - 正確で信頼性が高い
  - 惑星表面の全域でサンプルの取得は困難
- ・ クレータの数密度（クレータ年代学）
  - 誤差は比較的大きい
  - 画像データから年代決定が可能
- ・ クレータ崩壊度
  - 誤差は比較的大きい
  - 詳細な表面地形の理解が必要



# クレータ年代学

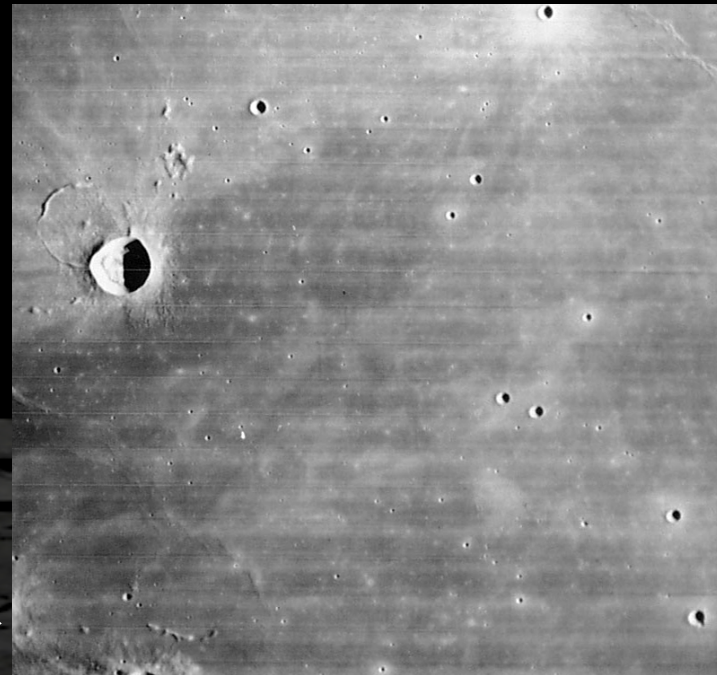
クレータの個数（数密度）からその地域の相対・絶対年代を決定する手法

前提：古い地域ほど多くのクレータを保持している

利点：岩石サンプルが得られていない地域でも  
画像データから年代決定が可能



←高地



海 →

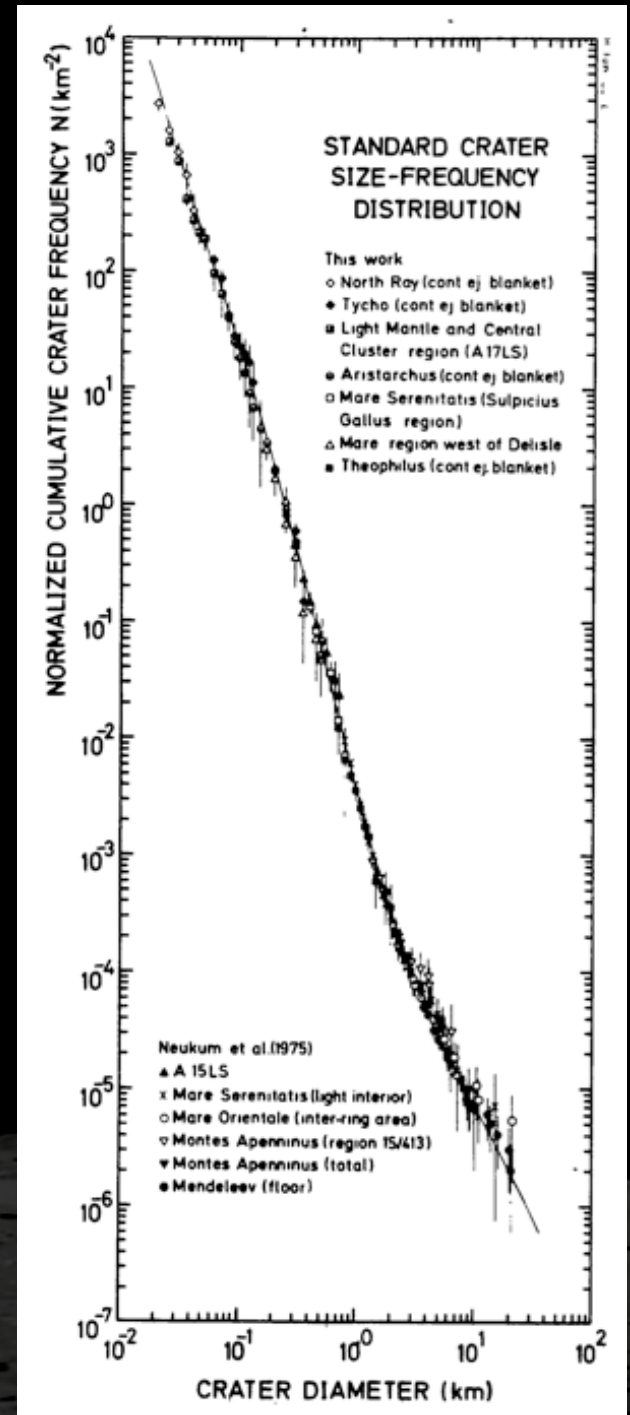
# クレータ形成関数 (クレータサイズ頻度分布)

月面の様々な年代を持つ領域でクレータの  
サイズ頻度分布を計測

- クレータサイズ頻度分布は1つの関数に従う。
- 月面の標準的なクレータサイズ頻度分布は単純なベキ乗則ではない。
- 7次以上の多項式で近似できる。

[Neukum, 1983; Neukum & Ivanov, 1994]

König [1977]

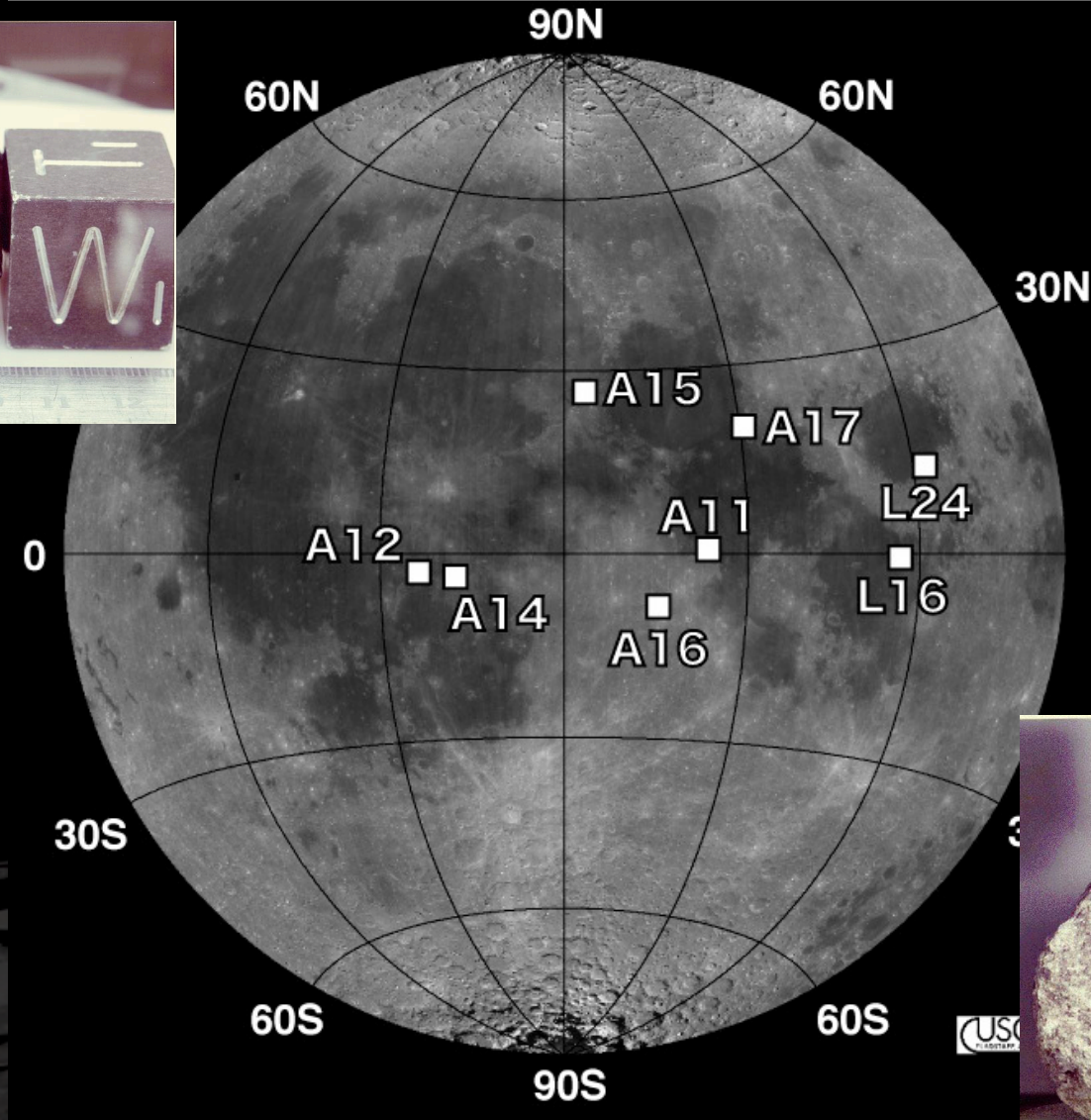




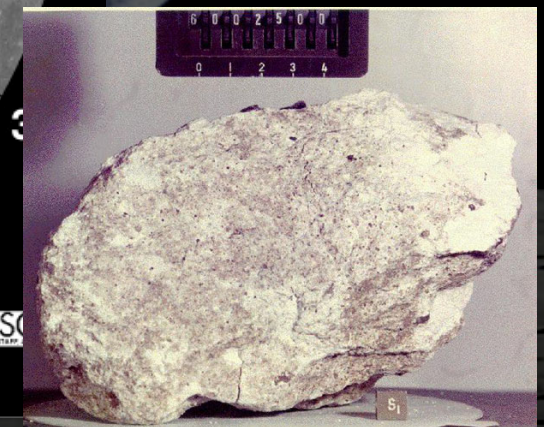
# アポロ・ルナ着陸地点



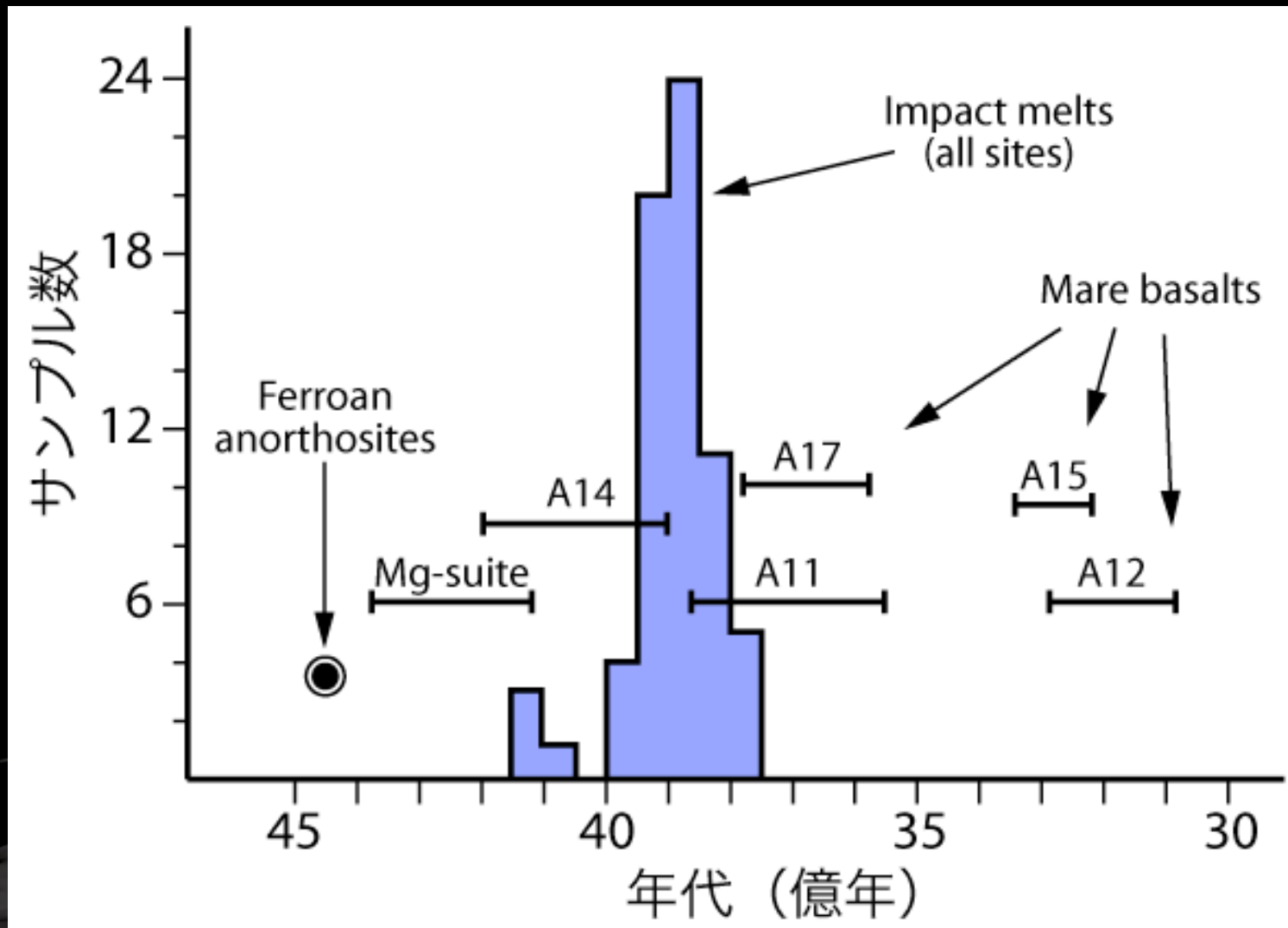
玄武岩



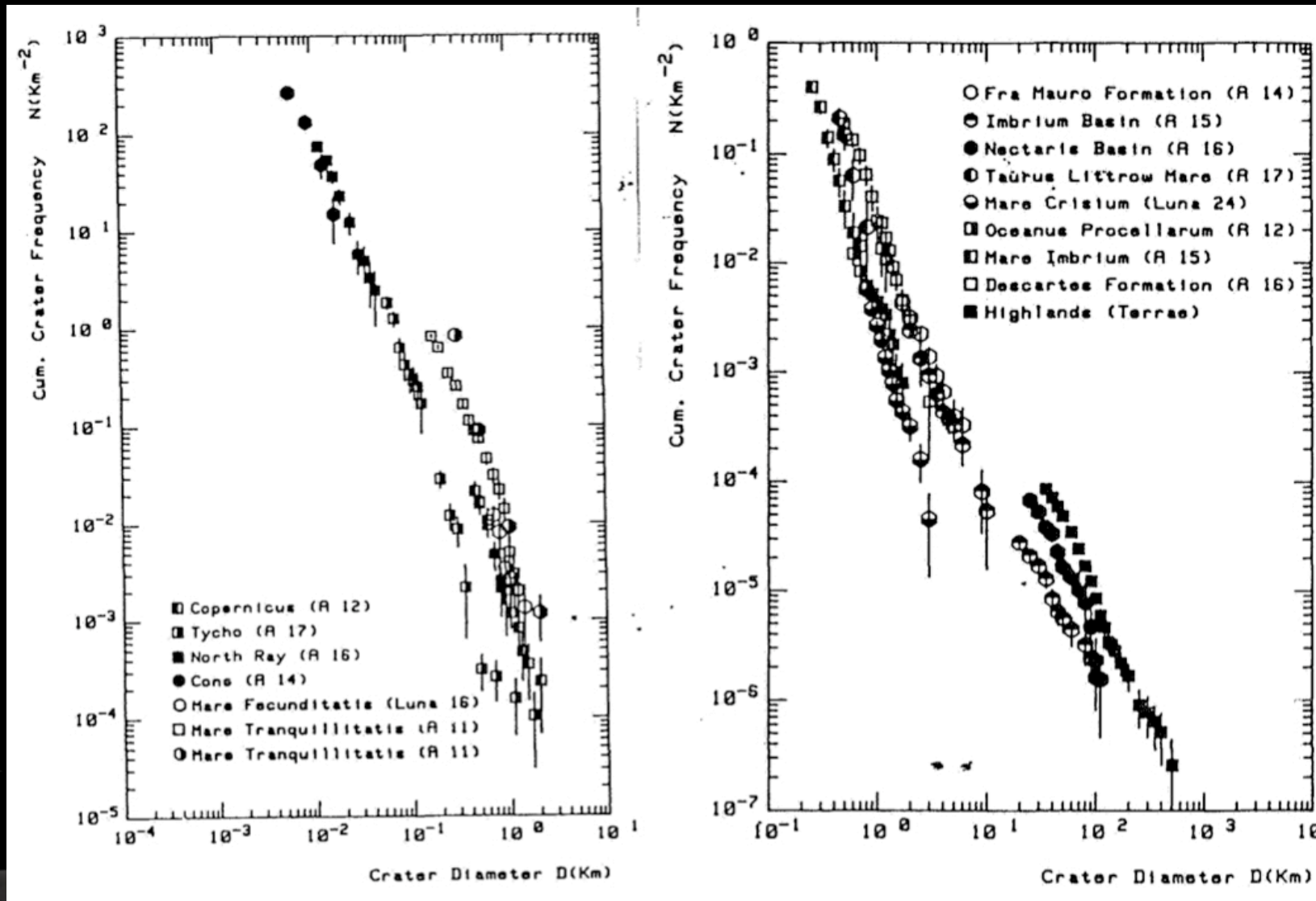
斜長岩



# 岩石サンプルの年代



# アポロ着陸点 クレータ密度計測



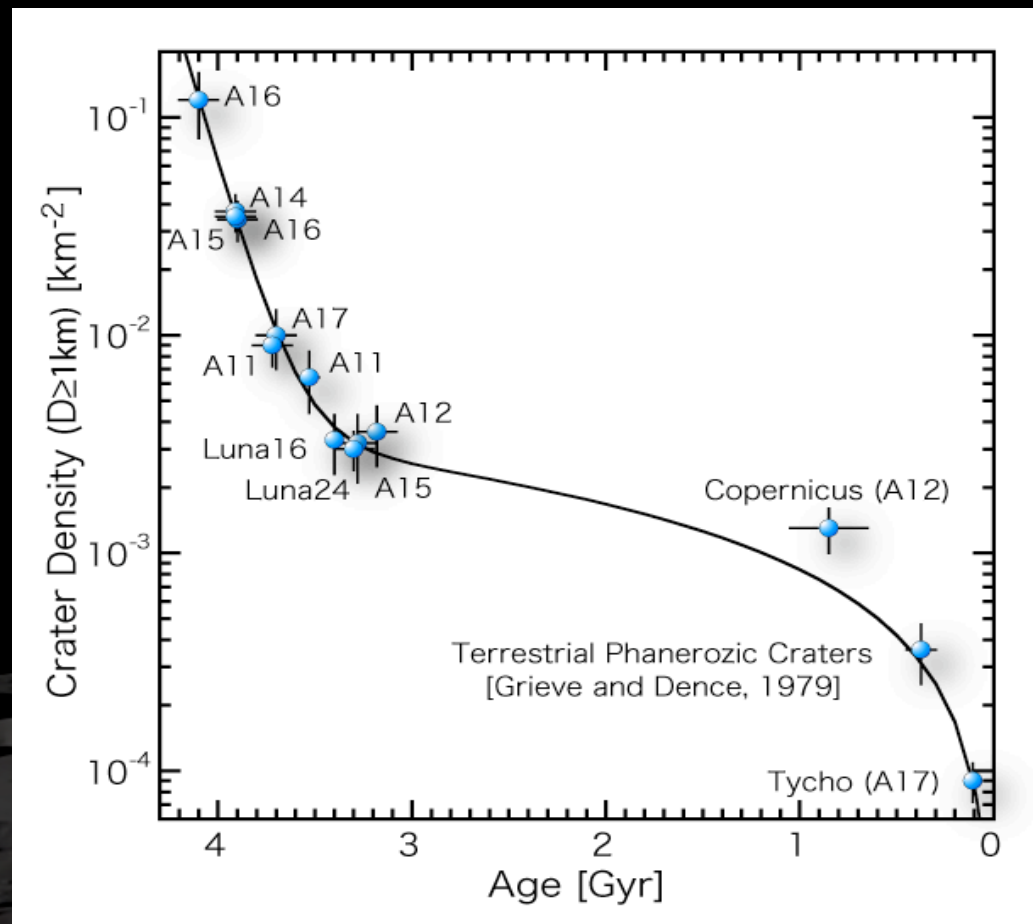
# アポロ着陸点 クレータ密度計測

Structure	N (D=1) (km <sup>-2</sup> )	Error (km <sup>-2</sup> )	Age (Gyr)	Error
Highland (Terrae)	3.6.E-01	1.1.E-01	4.350	0.1000
Nectaris Basin (A16)	1.2.E-01	4.0.E-02	4.100	0.1000
Serenitatis Basin (A17)			3.980	0.0500
Descartes Formation (A16)	3.4.E-02	7.0.E-03	3.900	0.1000
Imbrium Basin (A15)	3.5.E-02	5.0.E-03	3.910	0.1000
Fra Mauro Formation (A14)	3.7.E-02	7.0.E-03	3.910	0.1000
Taurus Littrow Mare (A17)	1.0.E-02	3.0.E-03	3.700	0.1000
Mare Tranquillitatis (A11)	9.0.E-03	1.8.E-03	3.720	0.1000
Mare Tranquillitatis (A11)	6.4.E-03	2.0.E-03	3.530	0.0500
Mare Imbrium (A15)	3.2.E-03	1.1.E-03	3.280	0.1000
Oceanus Procellarum (A12)	3.6.E-03	1.1.E-03	3.180	0.1000
Mare Fecunditatis (L16)	3.3.E-03	1.0.E-03	3.400	0.0400
Mare Crisium (L24)	3.0.E-03	6.0.E-04	3.300	0.1000
Copernicus (A12)	1.3.E-03	3.0.E-04	0.850	0.2000
Tycho (A17)	9.0.E-05	1.8.E-05	0.109	0.0040
North Ray (A16)	4.4.E-05	1.1.E-05	0.050	0.0014
Cone(A14)	2.1.E-05	5.0.E-06	0.026	0.0008
Phanerozoic Crater (North America and Europe)	3.6.E-04	1.1.E-04	0.375	0.075

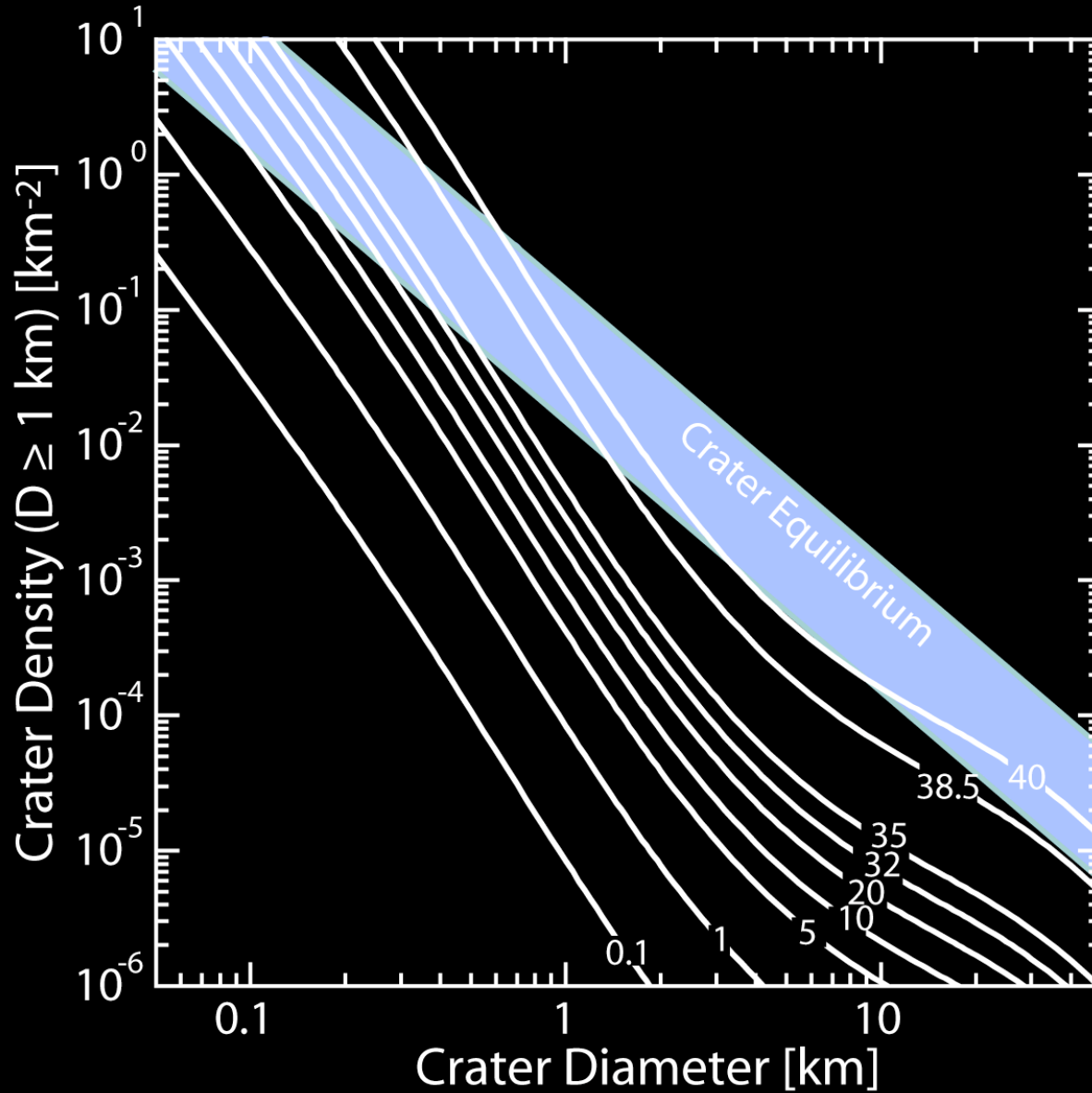
# クレータ年代学モデル

クレータ個数と年代の関係 [Neukum 1983]

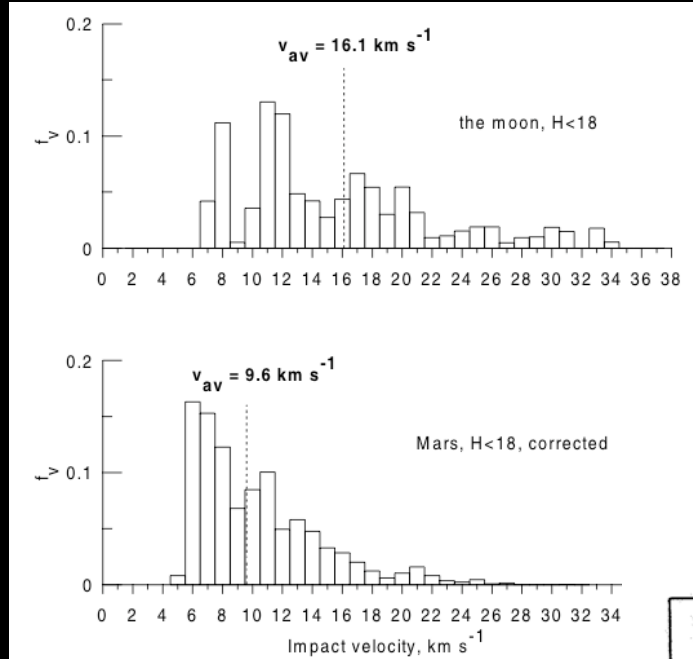
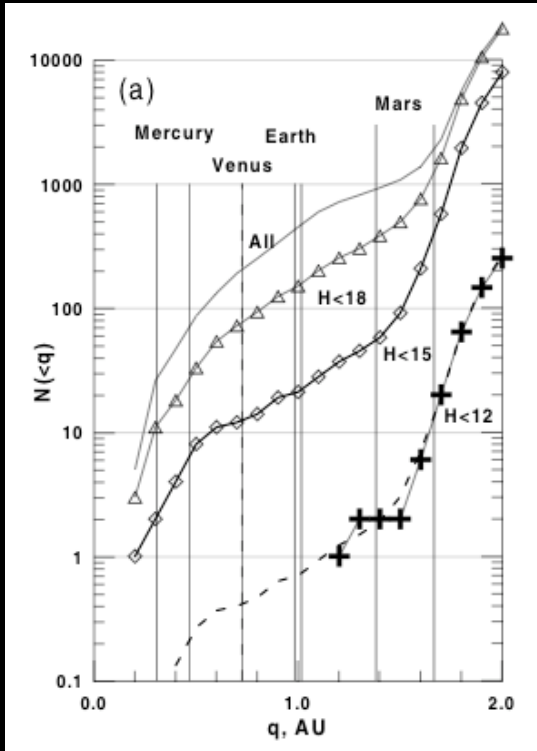
$$N(1) = 5.44 \cdot 10^{-14} [\exp(6.93T) - 1] + 8.38 \cdot 10^{-4} T$$



# クレータ年代学モデル

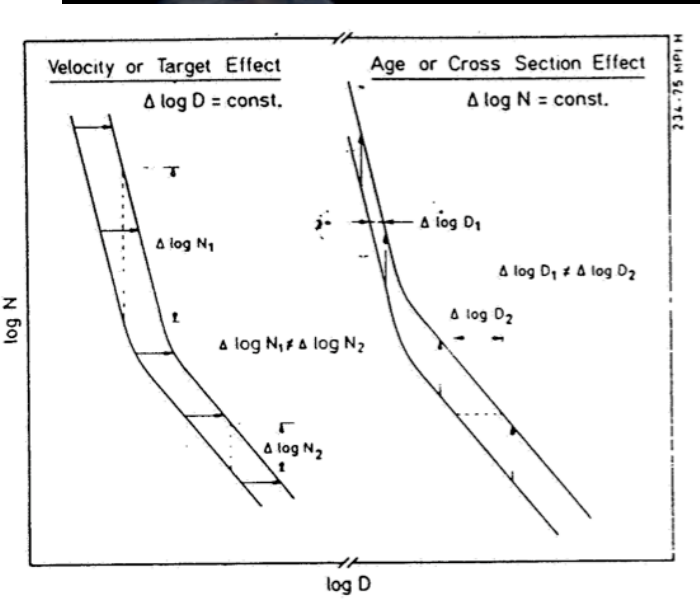


# 様々な惑星への応用



Ivanov [2001]

Neukum [1984]



クレータ生成率比

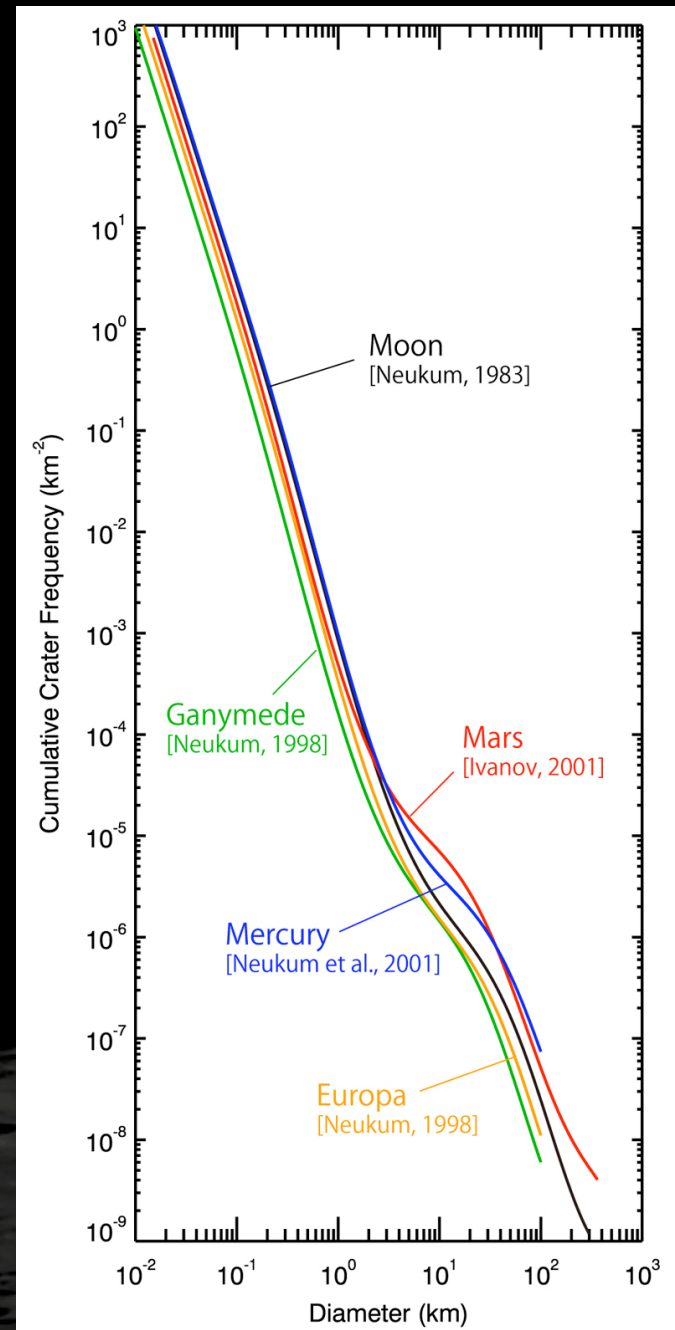
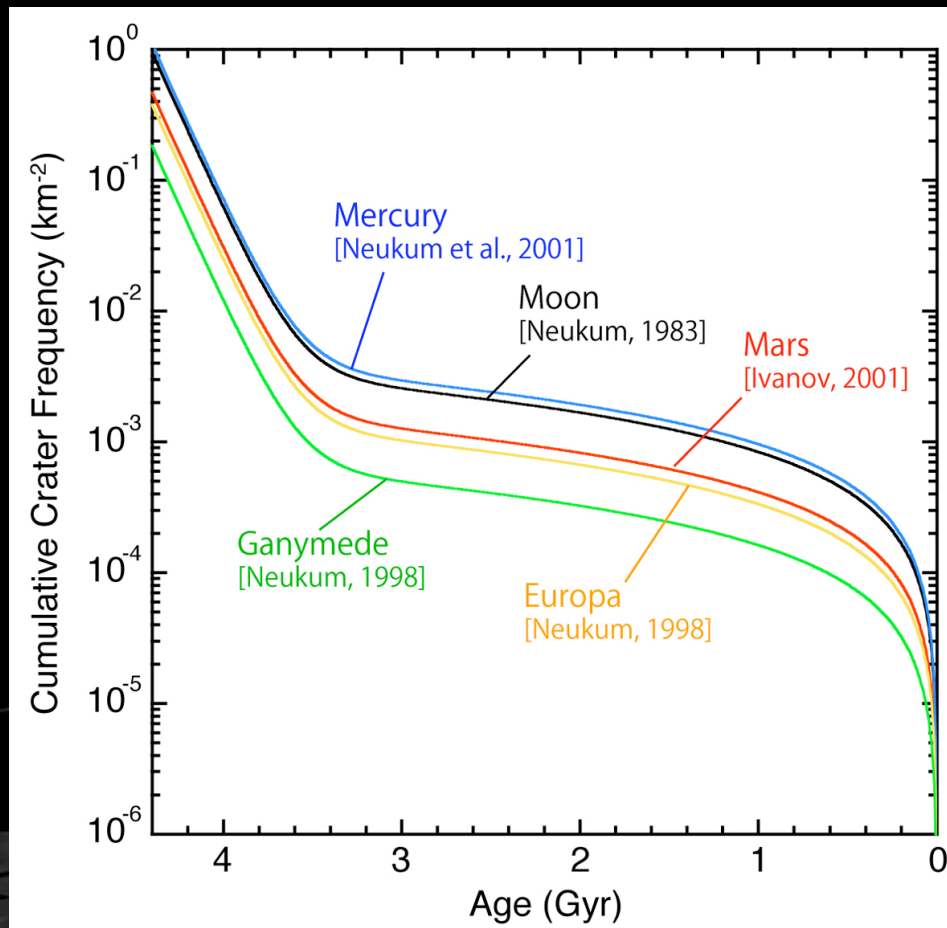
$$R = (D_M/D_m)^b R_b$$

$D_M/D_m$  --- 同じサイズの衝突天体からつくられるクレータサイズ比

$b$  ----- クレータサイズ頻度分布の傾き

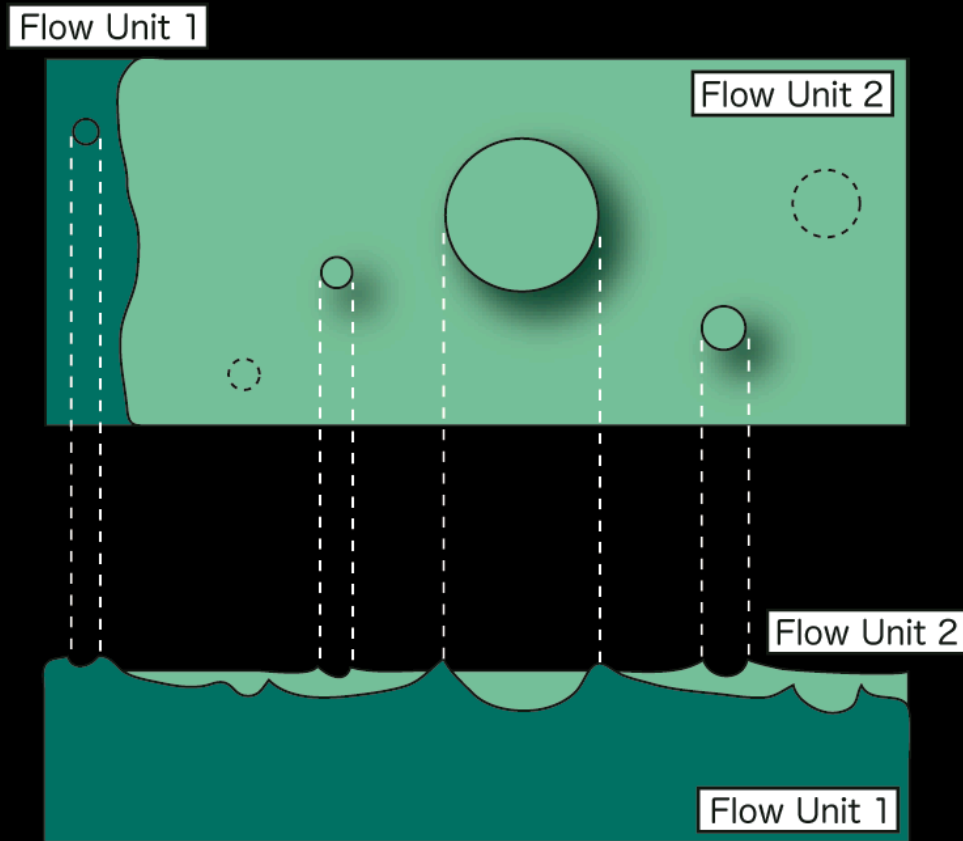
$R_b$  ----- 衝突率比 (同サイズ天体の衝突率比)

# 様々な惑星への応用





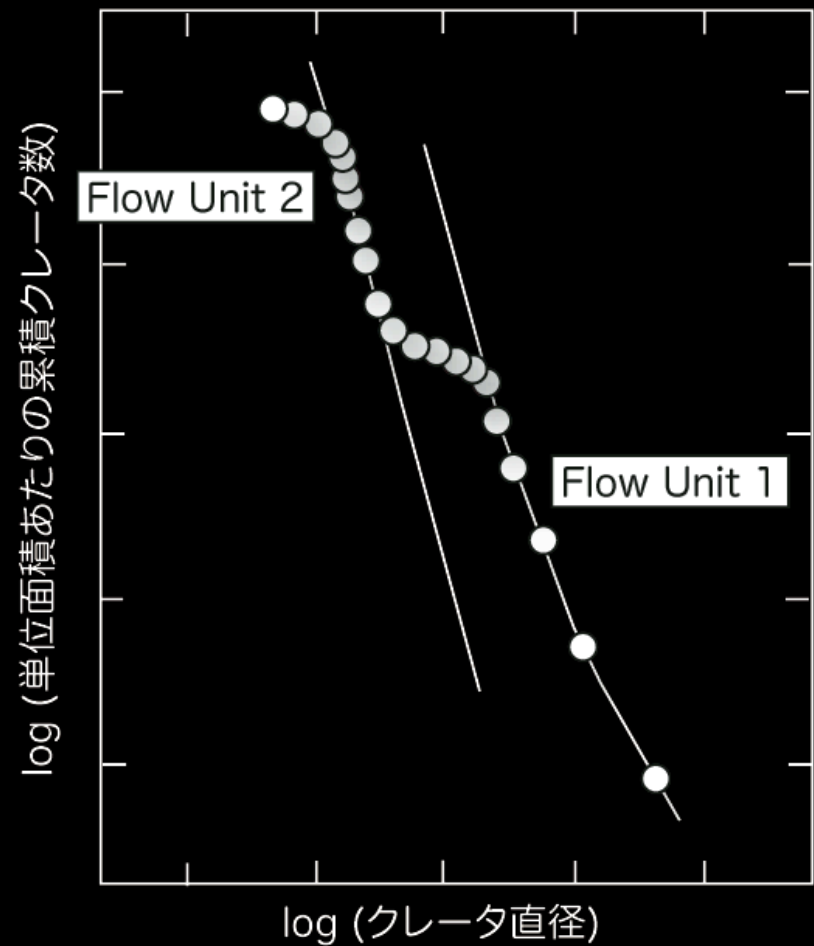
# クレータサイズ分布の折れ曲り



クレータ直径とリム高の関係 [Pike 1980]

$$R = 0.036 D^{1.014} \quad D < 15\text{km}$$

$$R = 0.236 D^{0.399} \quad D > 15\text{km}$$

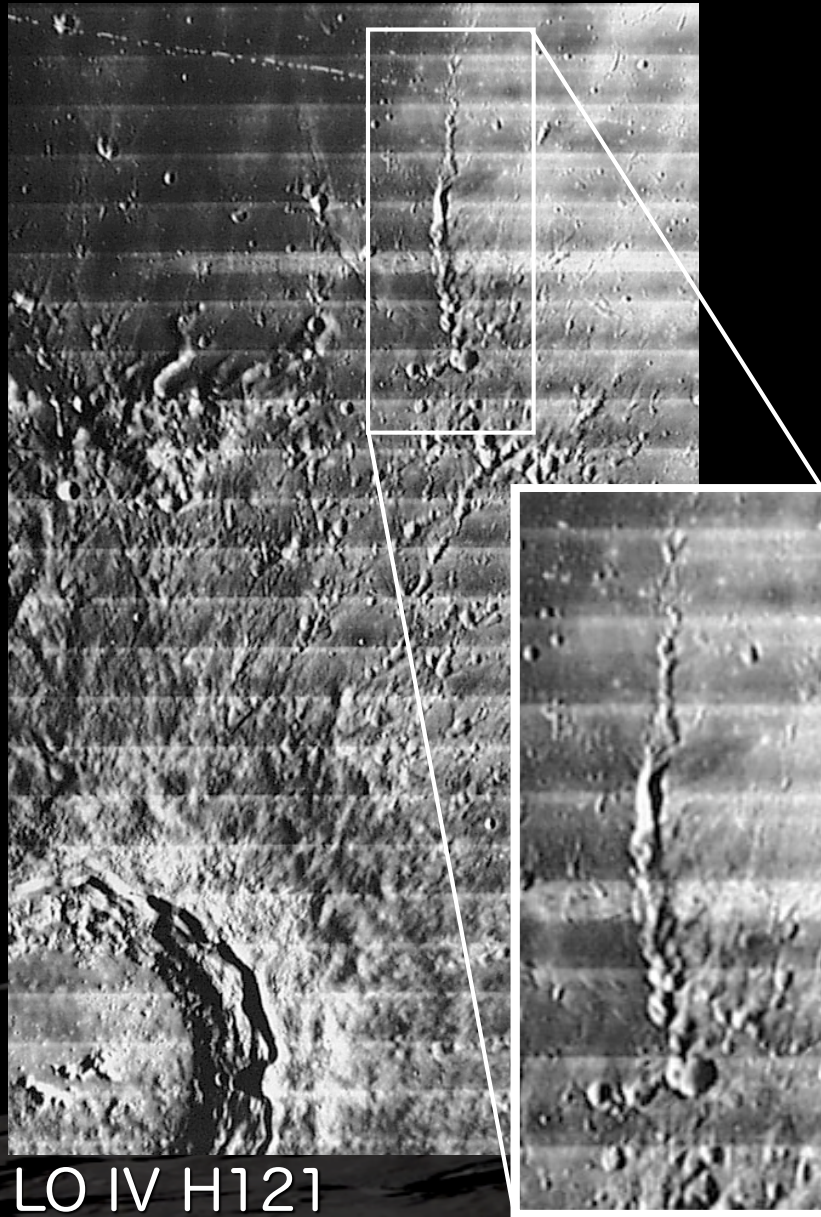


# クレータ年代学の誤差要因

- ・クレータ形成頻度の統計的なゆらぎ
- ・二次クレータの混入
- ・画像の撮像条件（太陽高度条件）
- ・クレータ生成率不均質
- ・年代とクレータ頻度の関係の理解が不完全

など

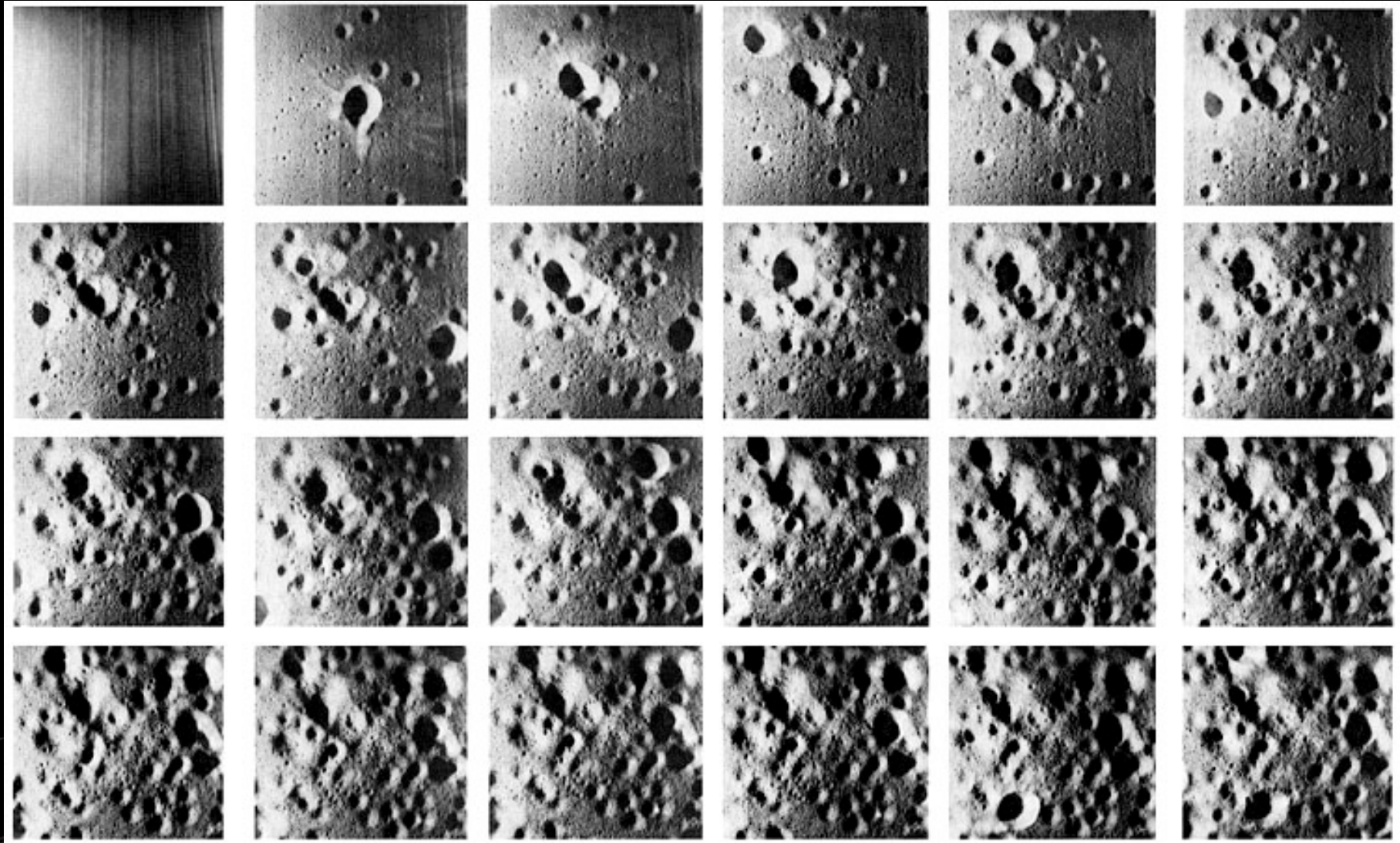
# 二次クレータの混入



- continuous ejectaの外側
- 非対称形状、クラスター、ライン状に存在
- 一次クレータからの距離 -> 大  
=> ボウル形状、まばらに存在  
一次クレータとの区別が困難

LO IV H121

# 年代決定の限界: クレータの飽和



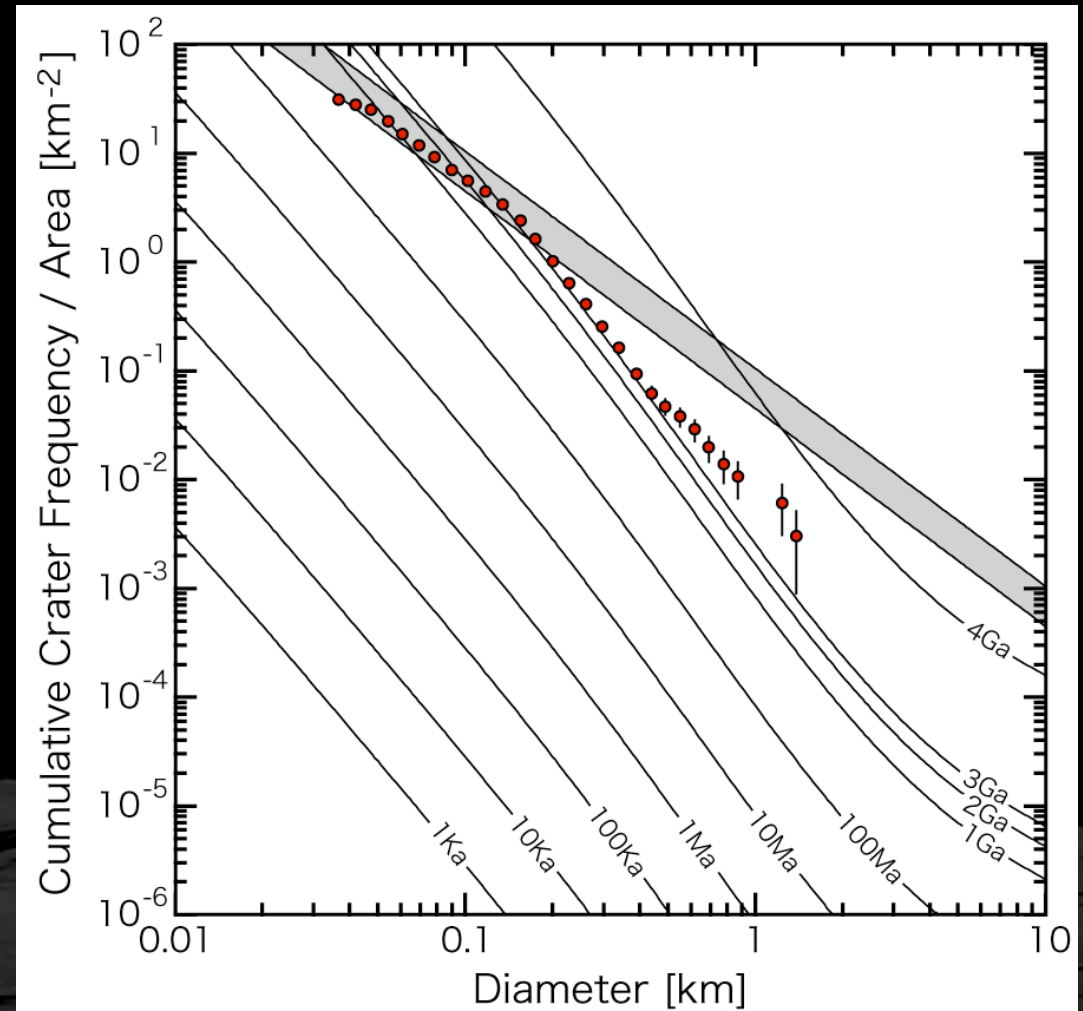
Gault [1970]

# 年代決定の限界: クレータの飽和

幾何学的飽和:

$$N = 1.5 D^2$$

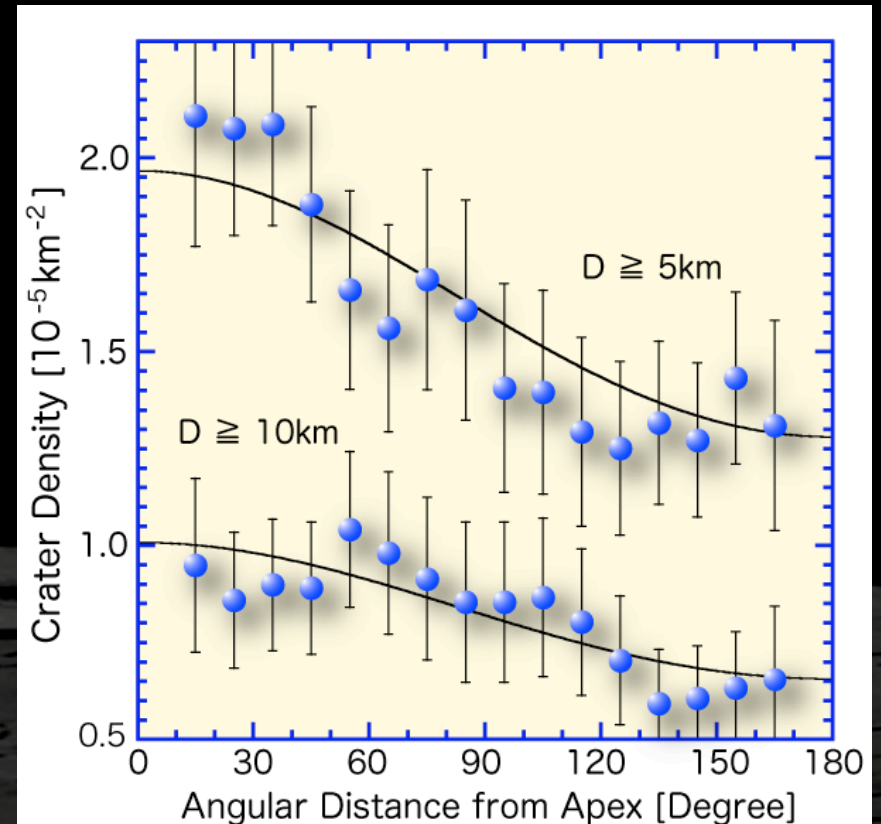
実際に月表面で観測される  
クレータ密度の平衡状態は  
その数%の密度で起こる



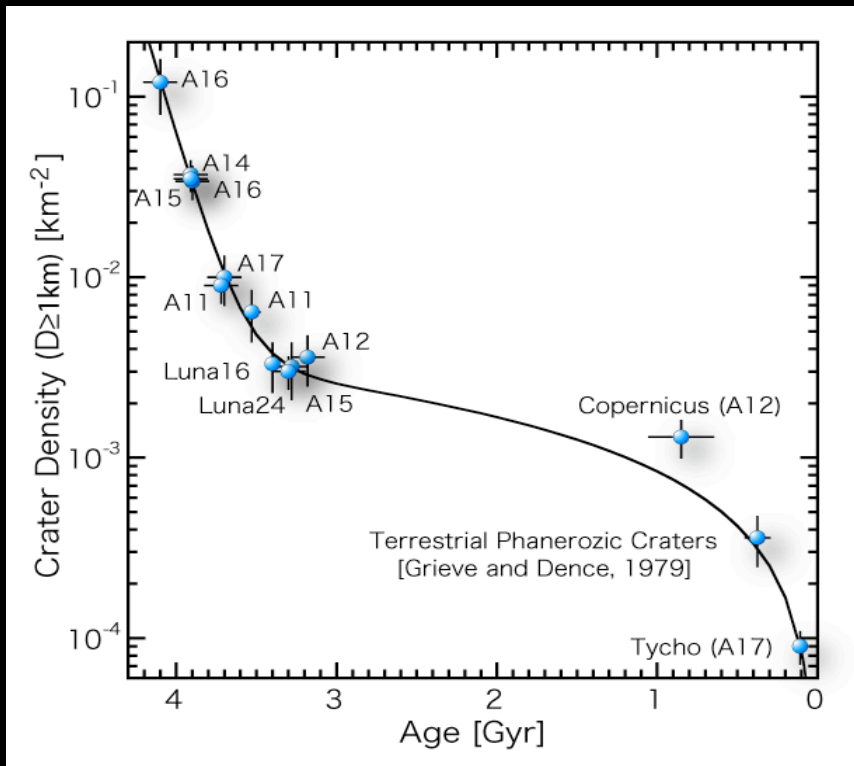
# クレータ生成率不均質

- クレータ年代学的前提  
クレータ生成は空間的にランダムに起こる  
(系統的なムラがない)

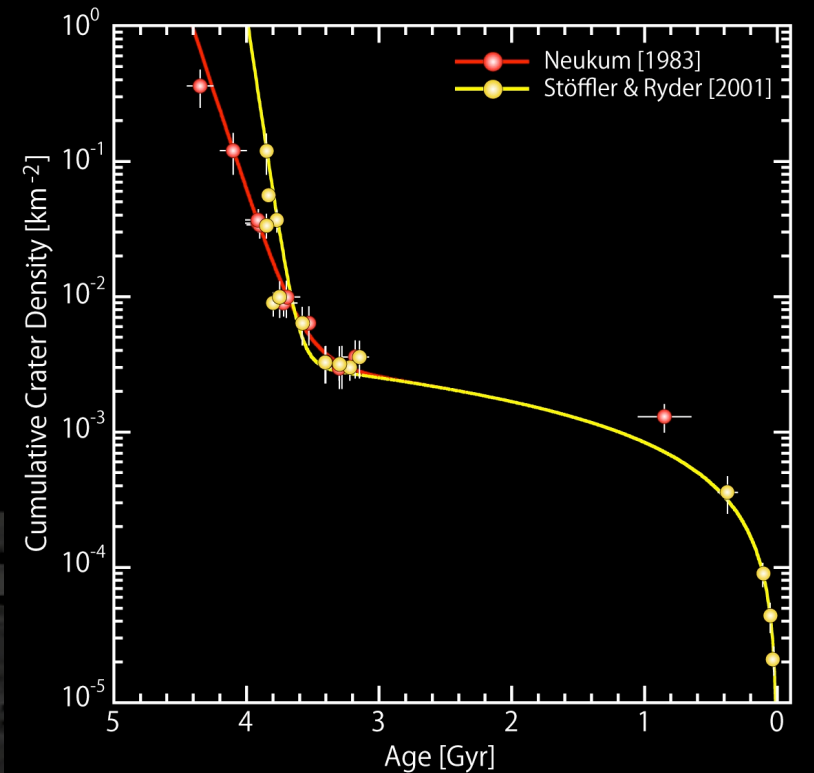
月の同期回転は  
生成率に地域差をつくる



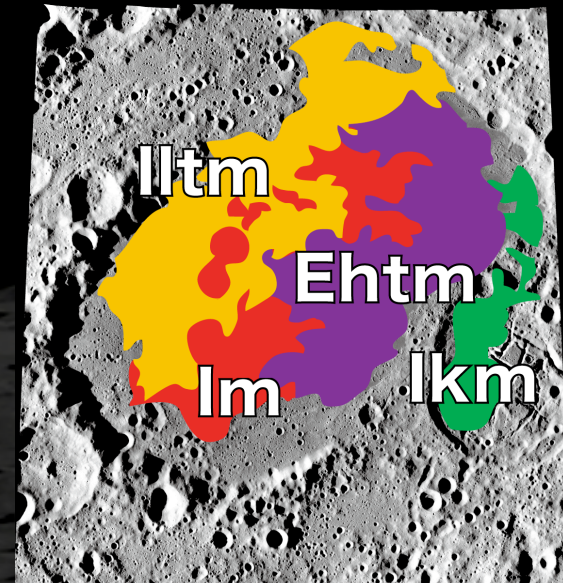
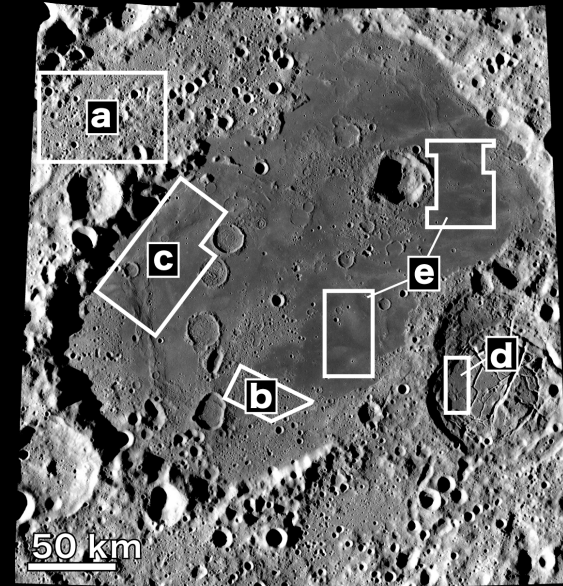
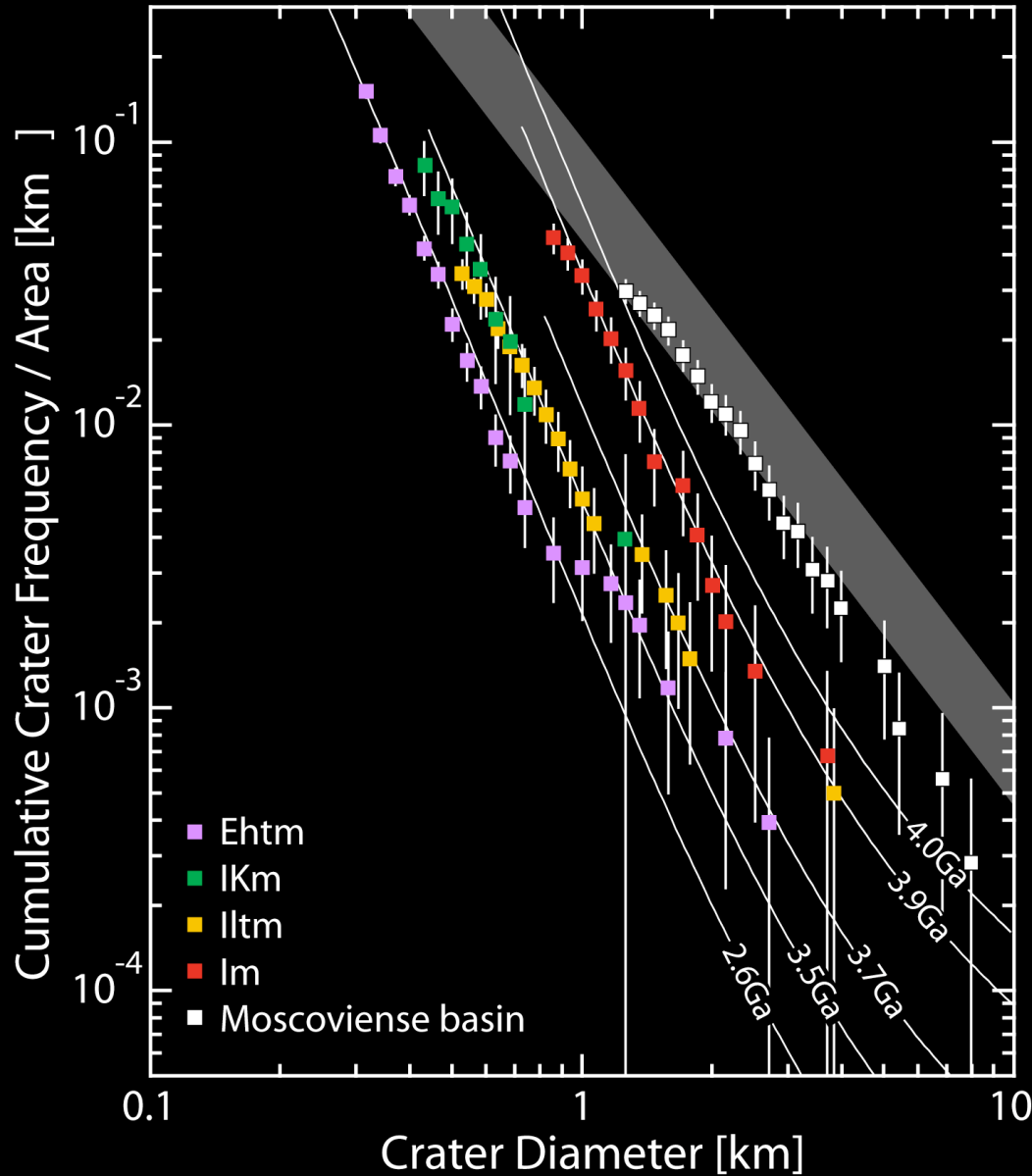
# クレータ年代学のモデルが不完全



- 特に30-10億年前のサンプルがない  
=> 年代決定精度が低い
- 38億年以前の衝突盆地の年代はよくわかっていない



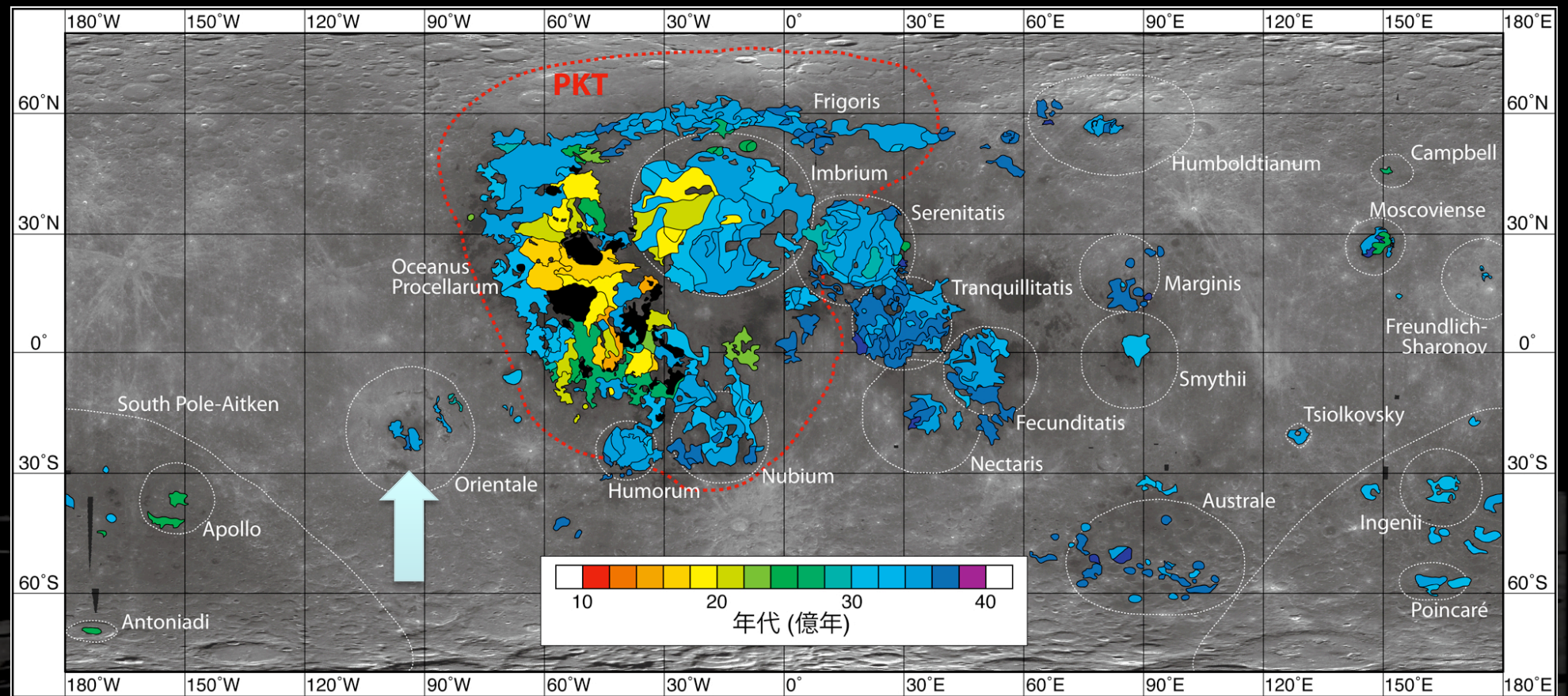
# 解析例：モスクワの海





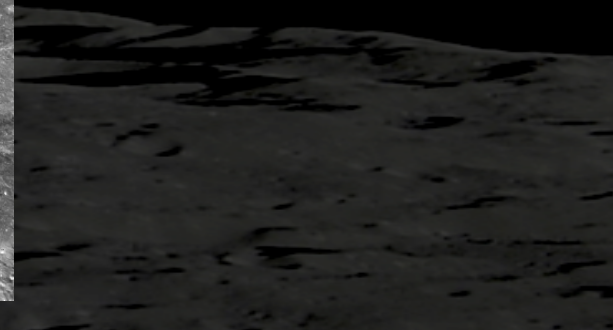
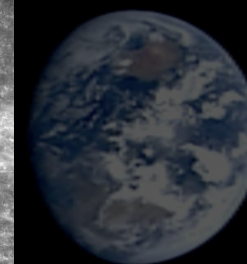
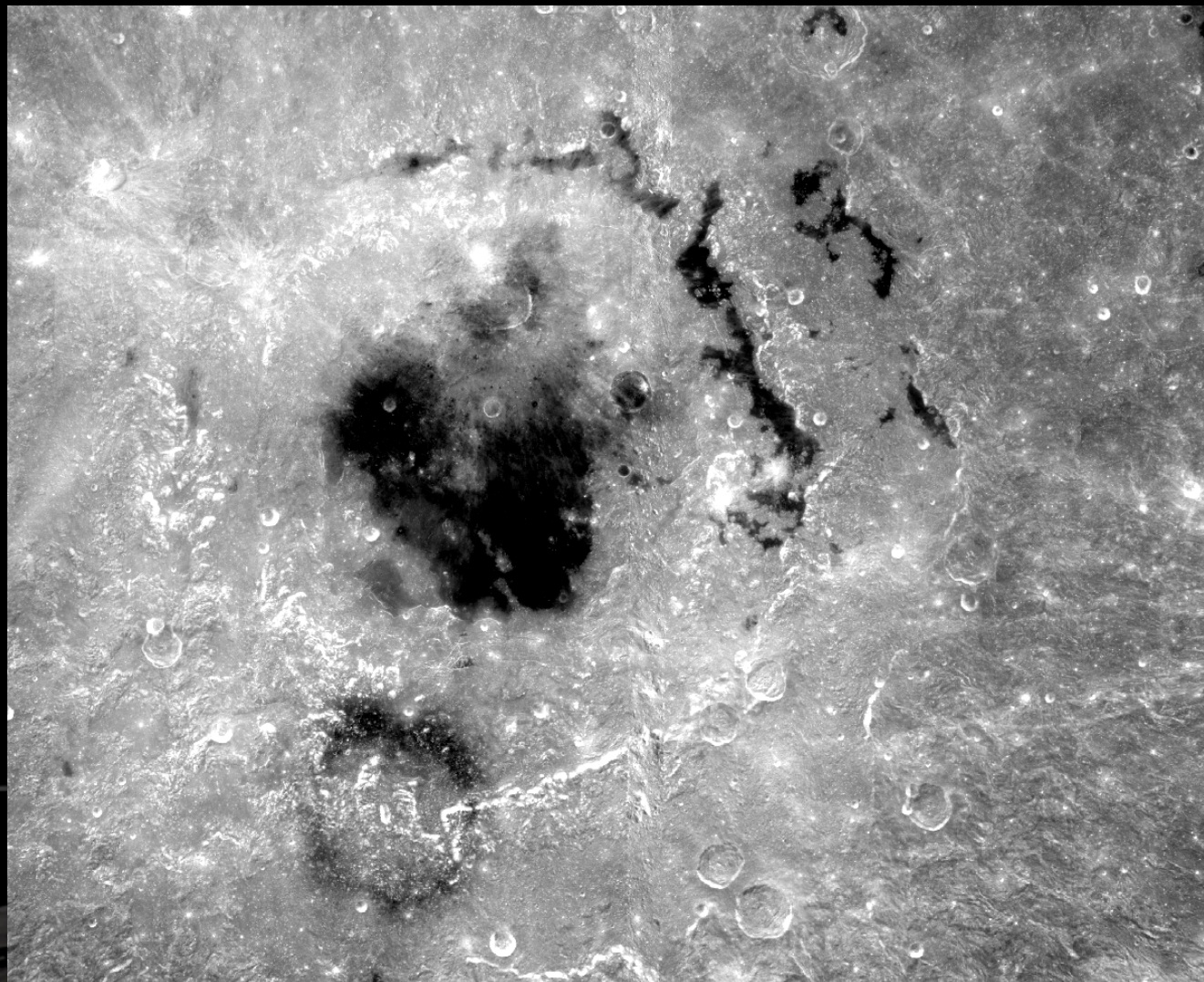
# 解析領域

- Orientale盆地  
最も若い衝突盆地、直径 930 km.
- Mare Orientale  
月の表側と裏側の境界領域、表裏二分性解明のための重要地域.



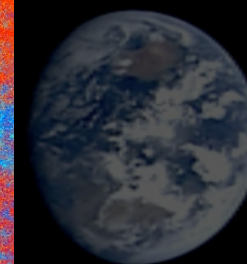
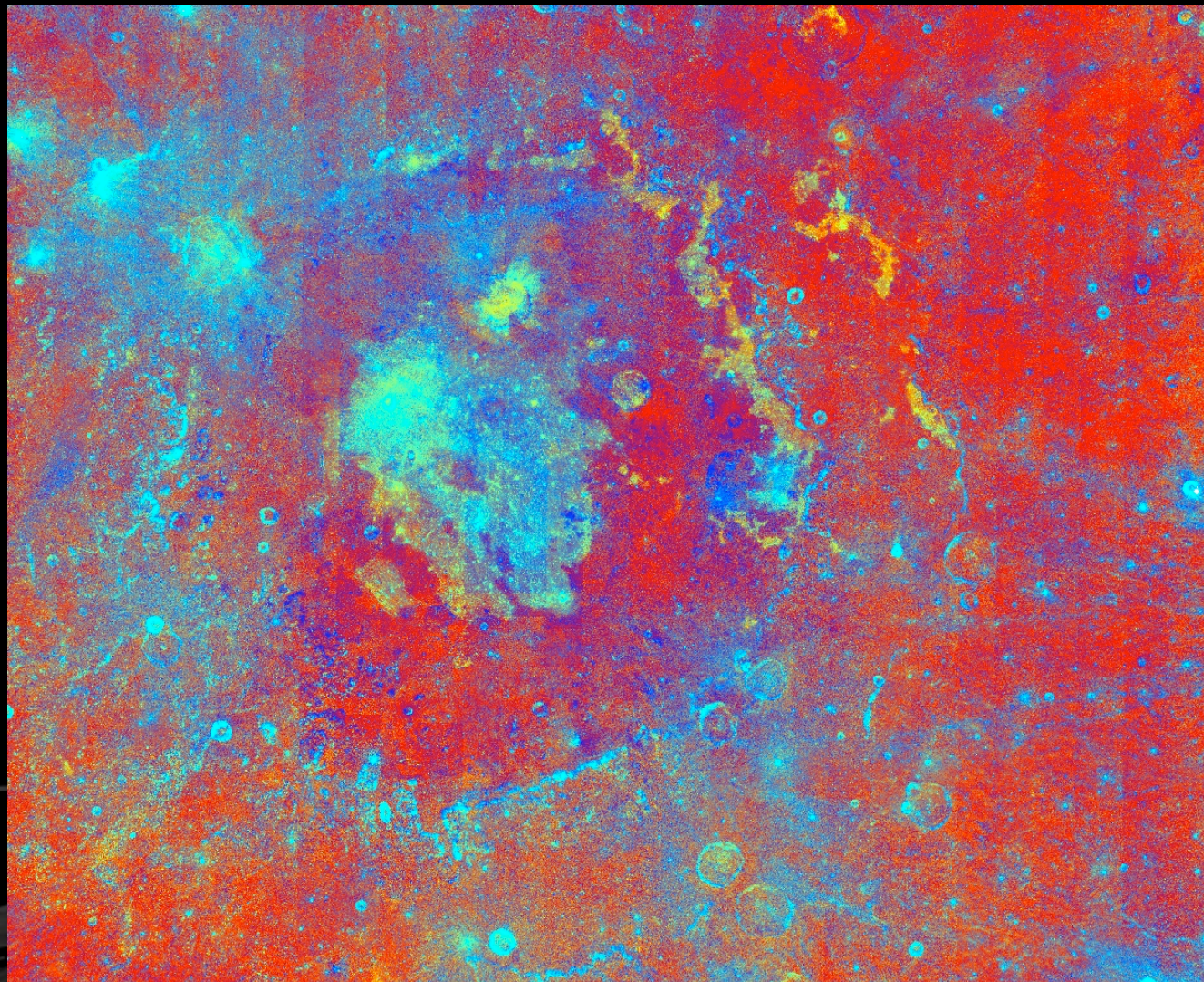
# 解析領域

- ・ Orientale盆地とMare Orientale



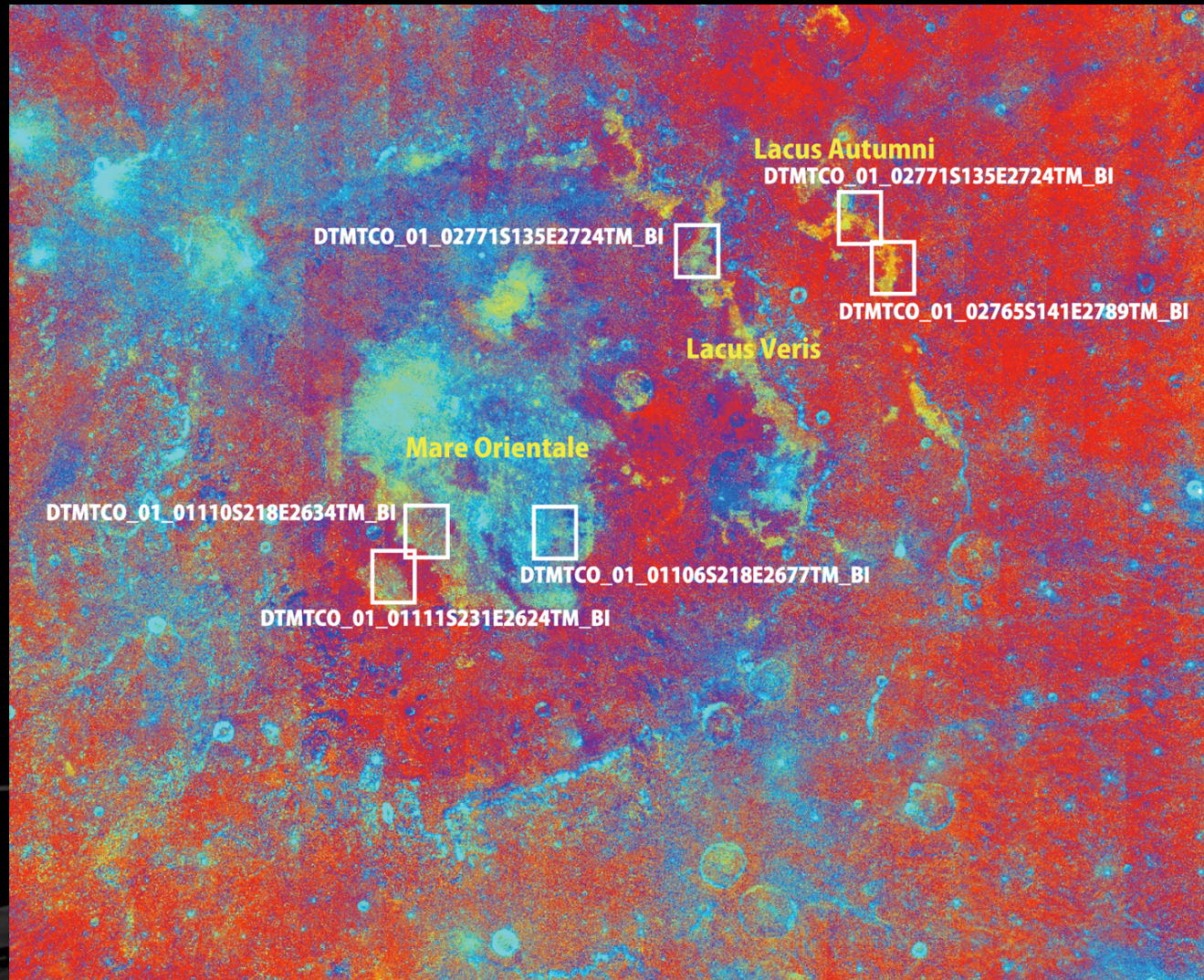
# 解析領域

- ・ Orientale盆地とMare Orientale



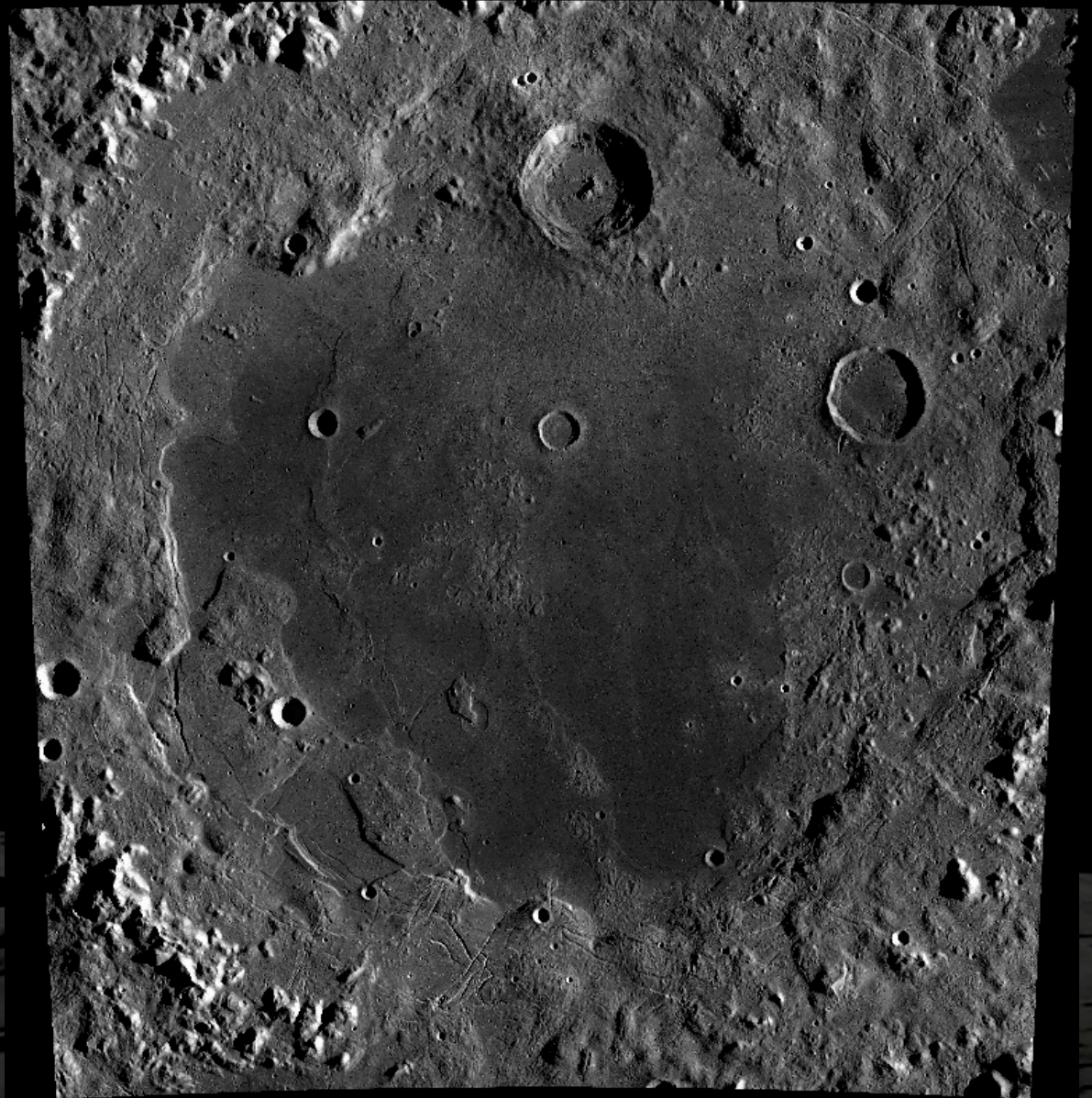
# 解析領域

- Mare Orientale



# 解析領域

・ Orientale盆地



# 課題

- ・ Orientale盆地の年代は？
- ・ Mare Orientale南西の溶岩流の年代は？
- ・ Mare Orientale北東の溶岩流の年代は？
- ・ 火成活動はいつまで続いたか？
- ・ 溶岩の厚さは？

