

「クレータ年代学」を高校生と楽しむ

—Hartmann Diagramを用いた火星表面年代測定—

岡本 義雄

大阪教育大学科学教育センター・附属高等学校天王寺校舎

yossi@cc.osaka-kyoiku.ac.jp

<http://www.osaka-kyoiku.ac.jp/~yossi/>

於:神戸大学 22,Dec, 2012

概要



1. クレータ年代学とは(**Crater Chronology**):
2. 用いた衛星画像について:
3. 年代解析結果:
4. 関連する話題:

※本講演は**2011**年7月「天文高校生集まれ！」(近畿地区高校生天文活動発表会実行委員会主催), および日本地学教育学会(広島大学, **2011**)での講演内容を簡略化し, 新たな知見を加えたものである.



方法と関連する事項



1 “Crater Chronology” (Hartmann, 1998)

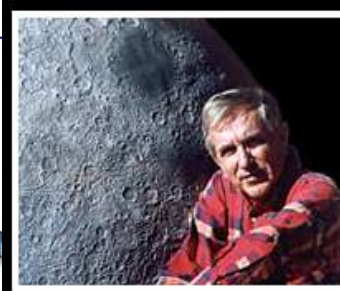
- * 隕石(彗星)衝突レートを仮定(35億年以降ほぼ一定)
- * 古い表面ほど多くの隕石痕

2 最近の話題

- * Giant Impact Theory (Hartmann & Davis, 1975)
- * Late Heavy Bombardment (Cohen, et al. 2000)



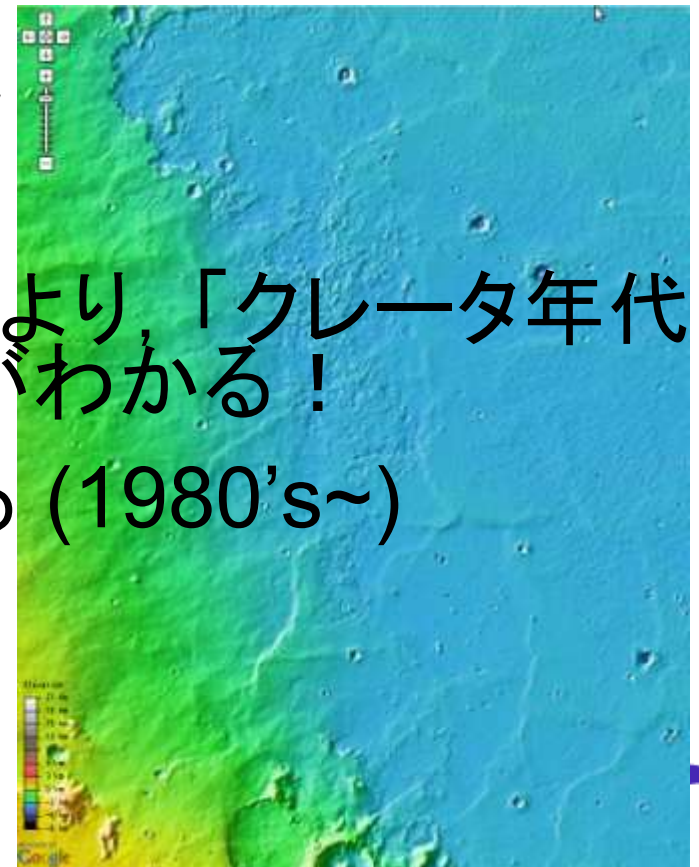
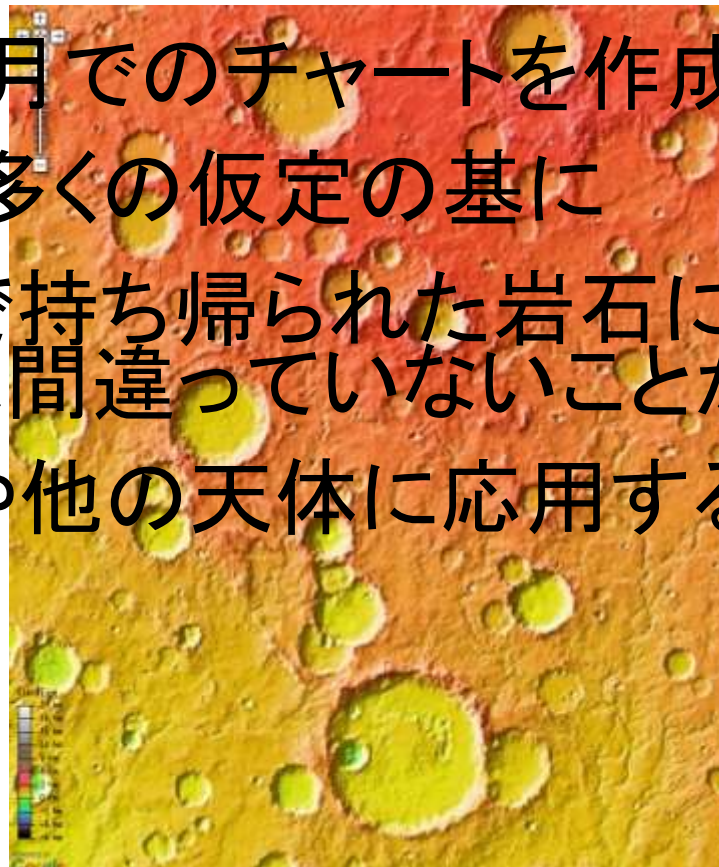
クレータ年代学



*Bill Hartmann's
Home Page*



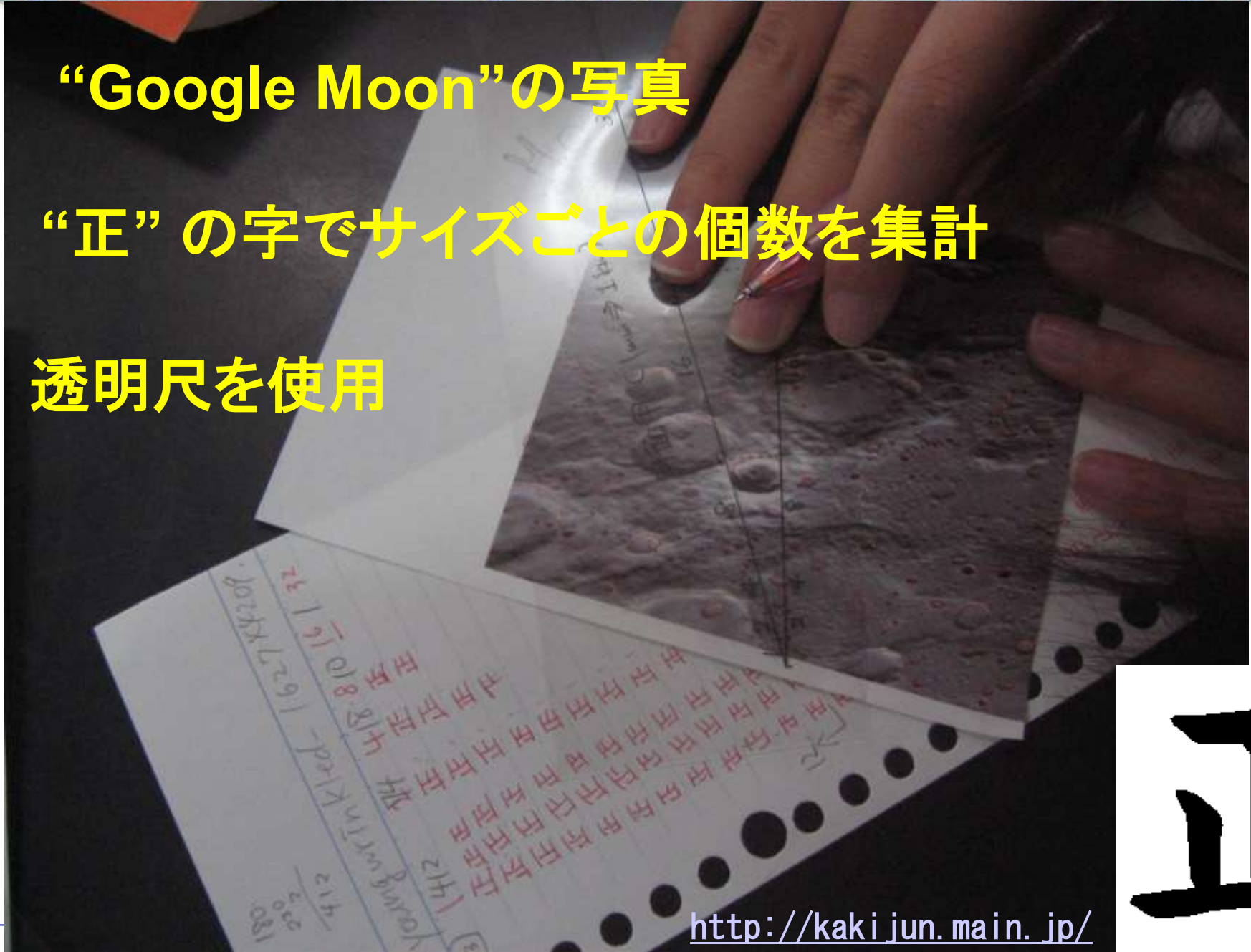
- William K. Hartmannらが1960年代に開発
- 原理はめっちゃ簡単！（表面年代 $\propto$ クレータ密度）
->多くのクレータがあるのは表面が古い証拠
- 1960年代に月でのチャートを作成
⇒もちろん多くの仮定の基に
- アポロ計画で持ち帰られた岩石により、「クレータ年代学」の大筋は間違っていないことがわかる！
- これを火星や他の天体に応用する (1980's~)



実習1: 月の写真のクレータカウント

- “Google Moon”の写真
- “正” の字でサイズごとの個数を集計

透明尺を使用

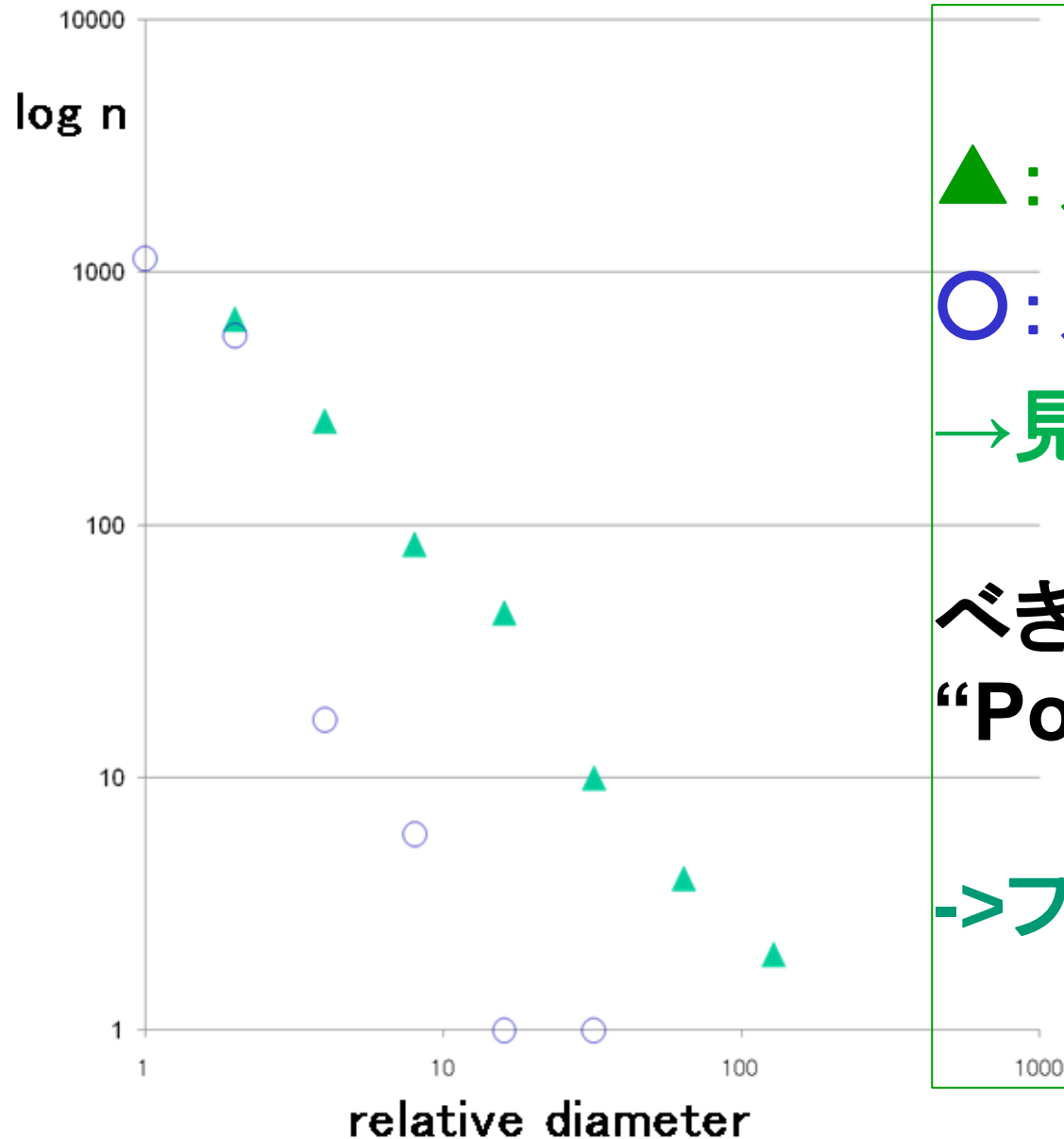


正

高校2年生によるカウント実習



両対数グラフ(log-log)上での結果



▲: 月の高地

○: 月の海

→ 見事な直線関係

べき分布

“Power law distribution”

→ フラクタル分布ともいう

月から火星へ：火星特有の問題

* 月と火星の隕石衝突レートの違い

隕石分布： 火星 > 月 （小惑星帯までの距離）

表面重力： 火星 > 月

* 薄い大気と水の存在，砂嵐など

⇒ 小径のクレータほど先に消される

* 2次クレータの問題 など

しかし，うまく使えば，

クレータ年代学を用いて，火星の表面発達史

を再構成できる：海？河川，断層，溶岩流など



Isochrons for Martian Crater Populations of Various Ages

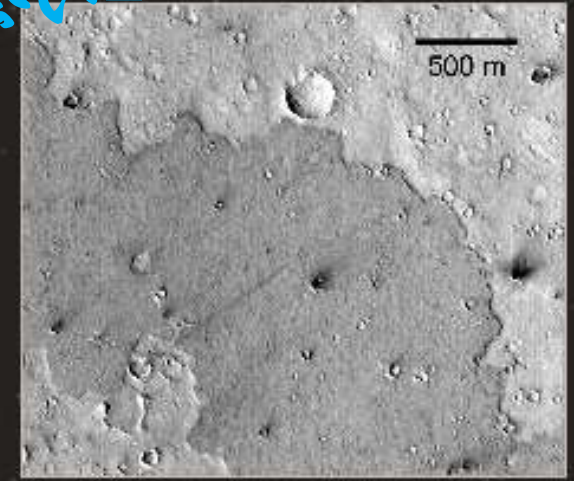
Publications | Geologic Mapping | Geosciences Lab | Interns

-Hartmann Diagramとの出会い-



ISOCHRONS FOR MARTIAN CRATER POPULATIONS OF VARIOUS AGES

William K. Hartmann



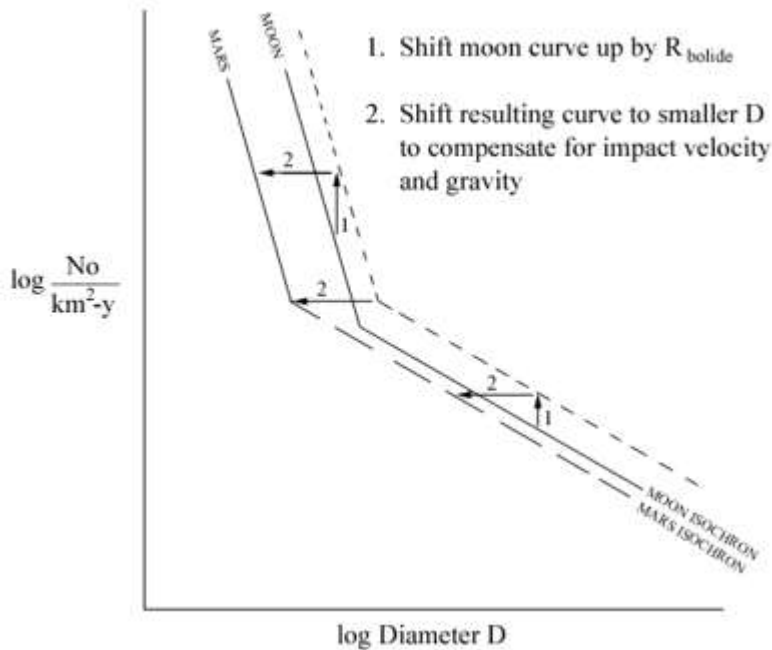
The Isochron System: Derivation of 2004 Iteration

Improvements can still be made by using better estimates of the ratio R_{bolide} and the gravity and impact velocity scaling relations, and by adding the effects of loss of small meteoroids in the Martian atmosphere. To understand our approach to these improvements, think (for a moment) of the size distribution as constructed of power law segments (giving straight lines in the $\log N$ vs. $\log D$ plots used here). Virtually all work before MGS dealt with only one of these segments, the shallow or so-called primary branch, involving craters in the diameter range roughly $2 \text{ km} < D < 64 \text{ km}$, where good statistics were available at that time. How do we use the lunar data from this diameter range to estimate the number of craters formed in that size range in a given time period on Mars? Imagine this diameter segment plotted for the number of craters formed in lunar maria in the last 3.5 Ga. To get the number of craters formed on Mars in the same period, Hartmann (1999) used the Mars/Moon cratering rate correction factor R_{crater} to shift this segment vertically, because of a higher estimated cratering rate on Mars. In addition, impact velocity and scaling corrections altered the diameter of a crater produced by a given meteoroid, hence sliding the curve horizontally (to the left, to smaller sizes, because of lower Mars impact velocity and higher gravity). Taking into account the slope of the single power law segment, these two shifts were combined into an effective single vertical shift. Thus, that work assumed there was a single effective R_{crater} ratio that shifted the curve vertically by a fixed amount along the whole diameter segment, and Hartmann (1999) applied it to the whole curve ($11 \text{ m} < D < 100,000 \text{ m}$), deriving a single effective R_{crater} value and

Hartmann の新しいDiagram

From <http://www.psi.edu/research/isochrons/chron04a.html>

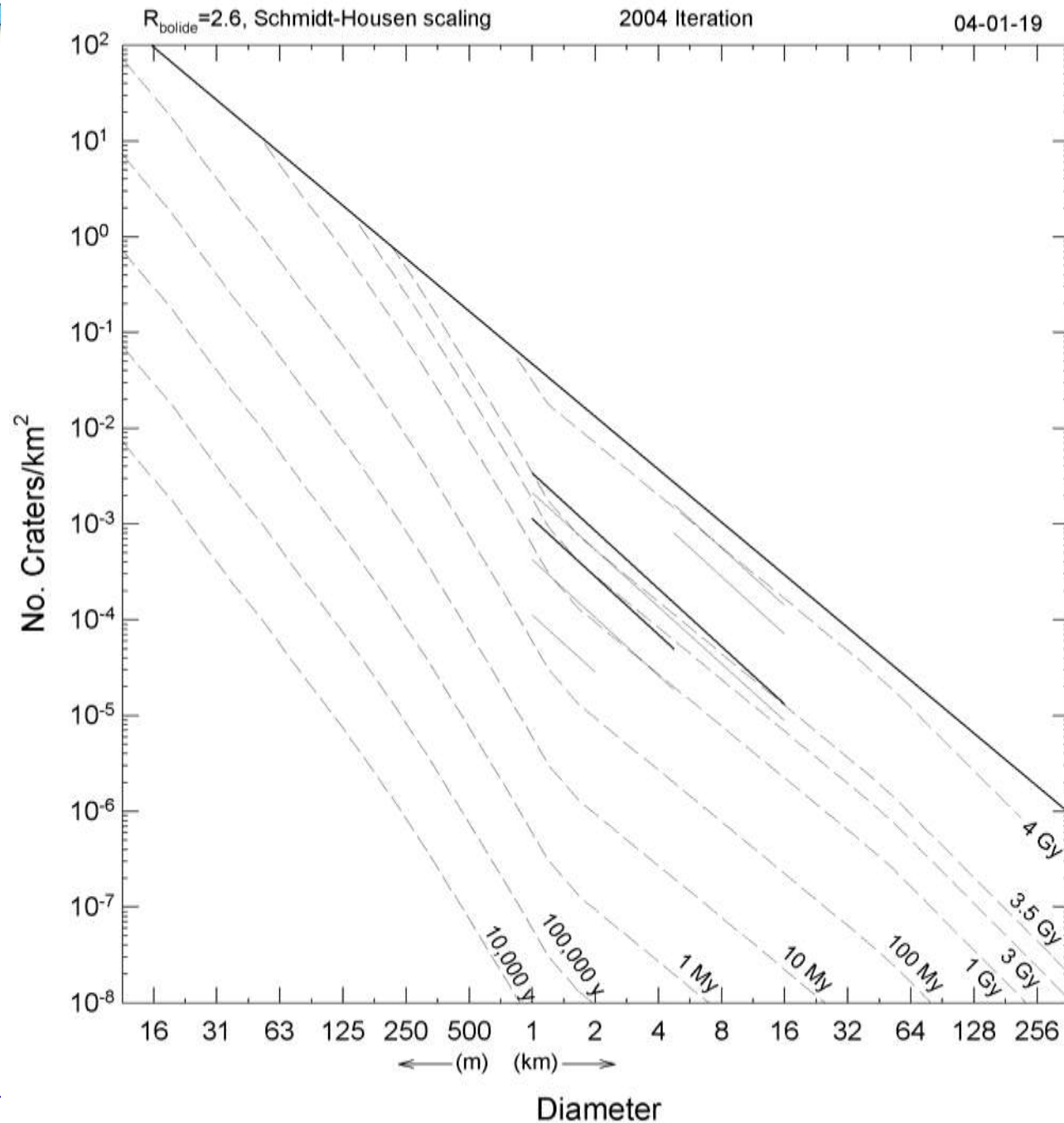
月から火星へ



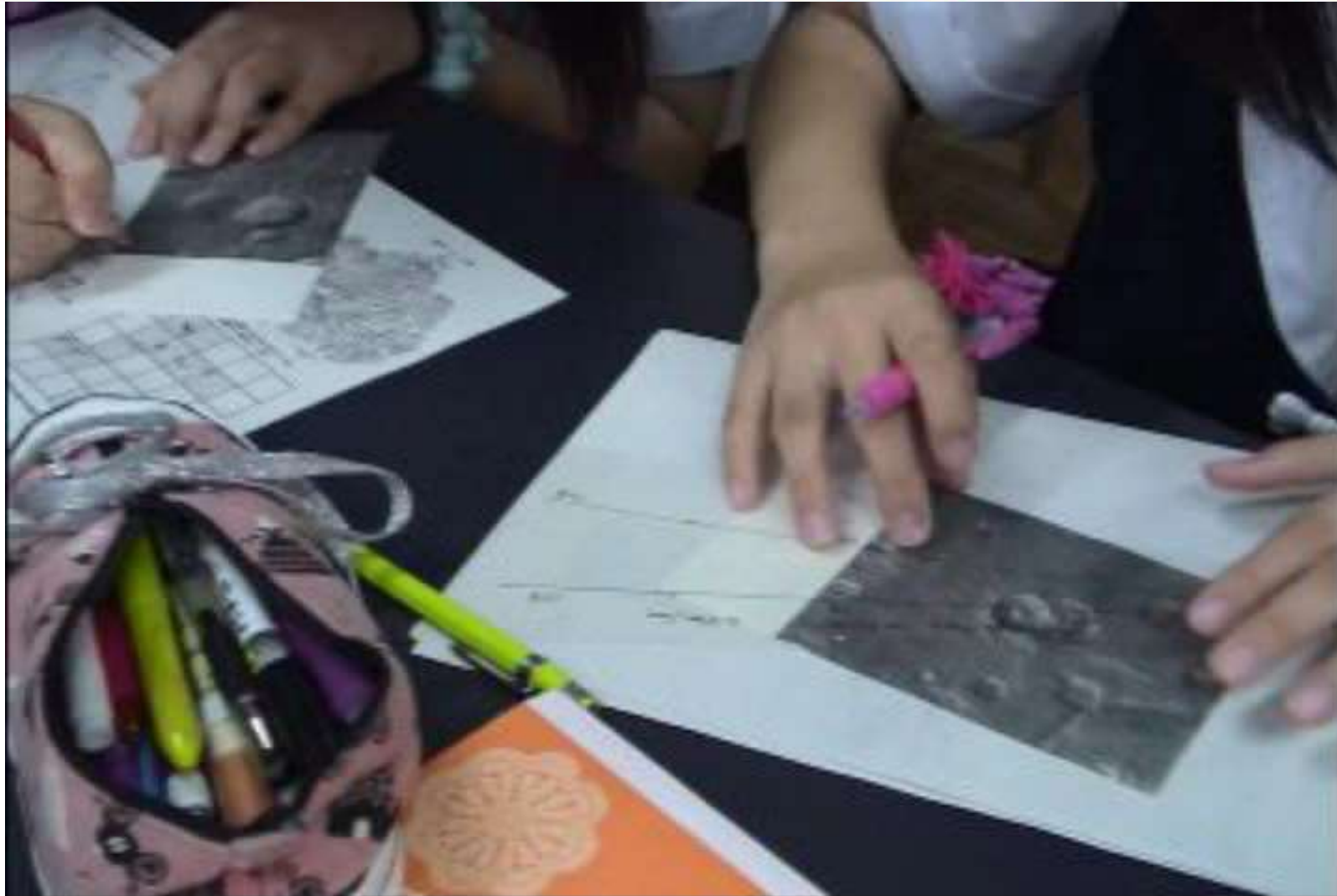
クレータサイズの度数分布から形成年代を推定する. 書かれている線はアイソクロン(等年代線)

太い実線はクレータ密度が飽和を意味する.

完全なべき(フラクタル)ではない⇒2次クレータ, 元の隕石サイズ



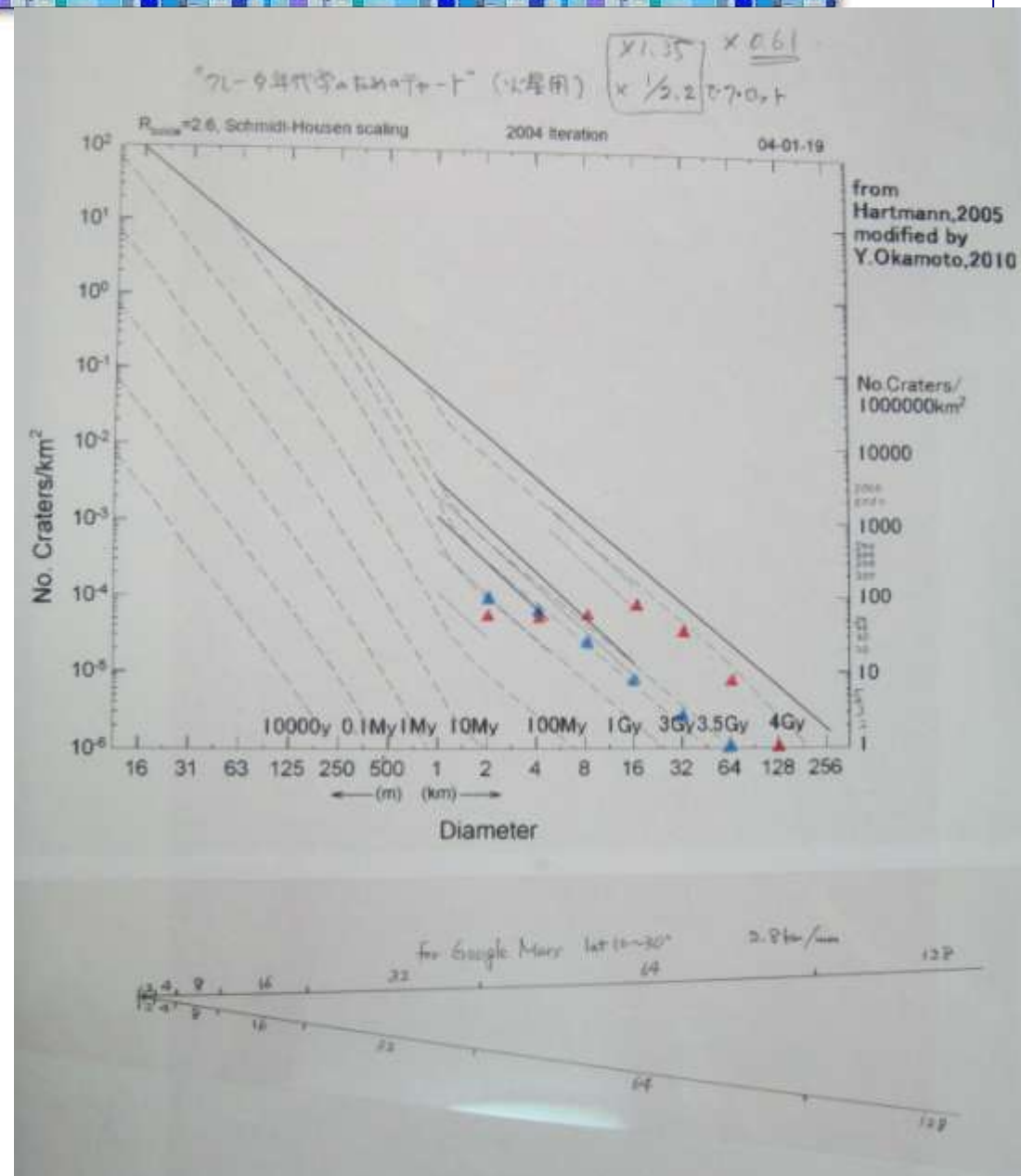
火星のクレータカウンティング(授業で)



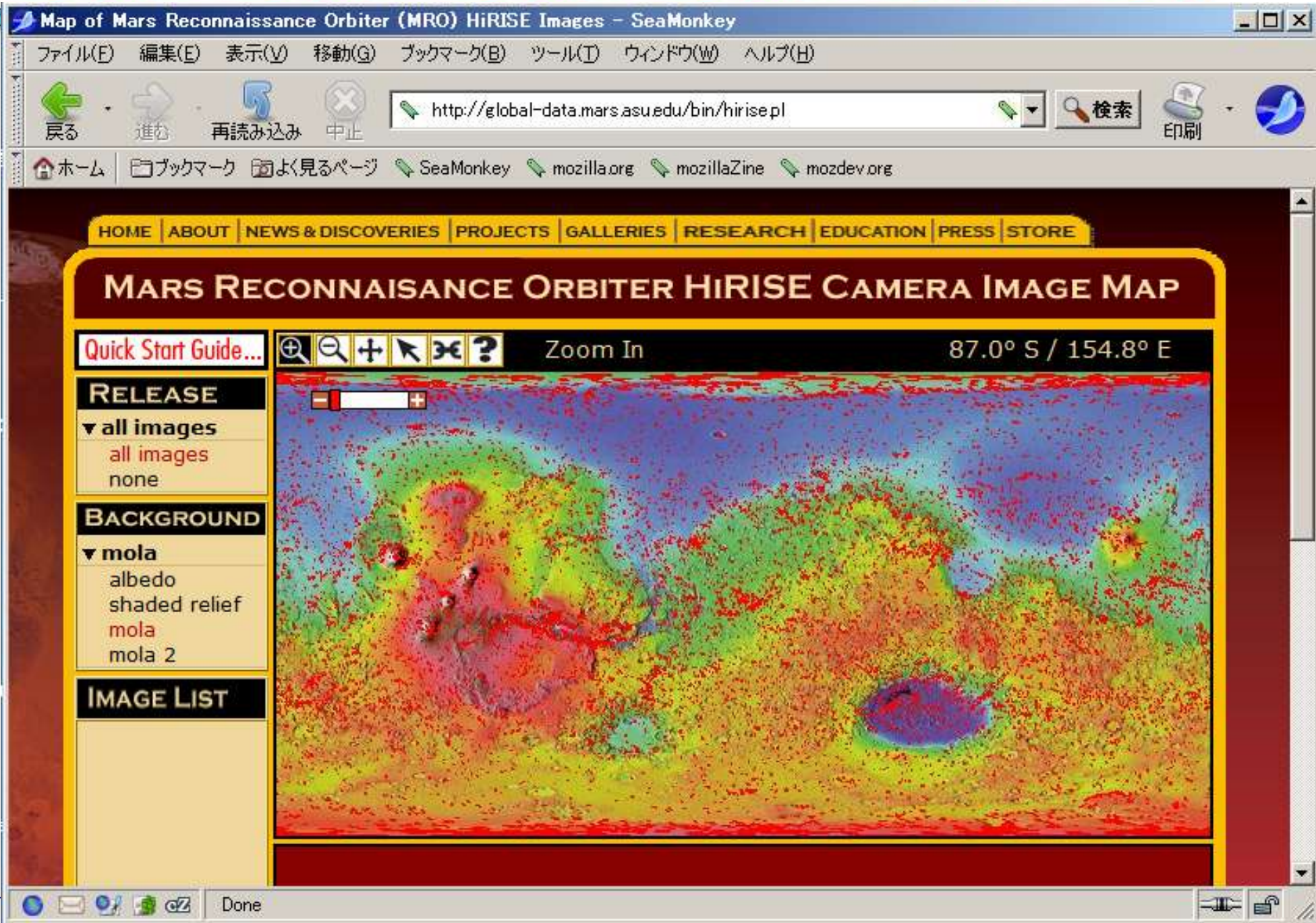
実習の進化

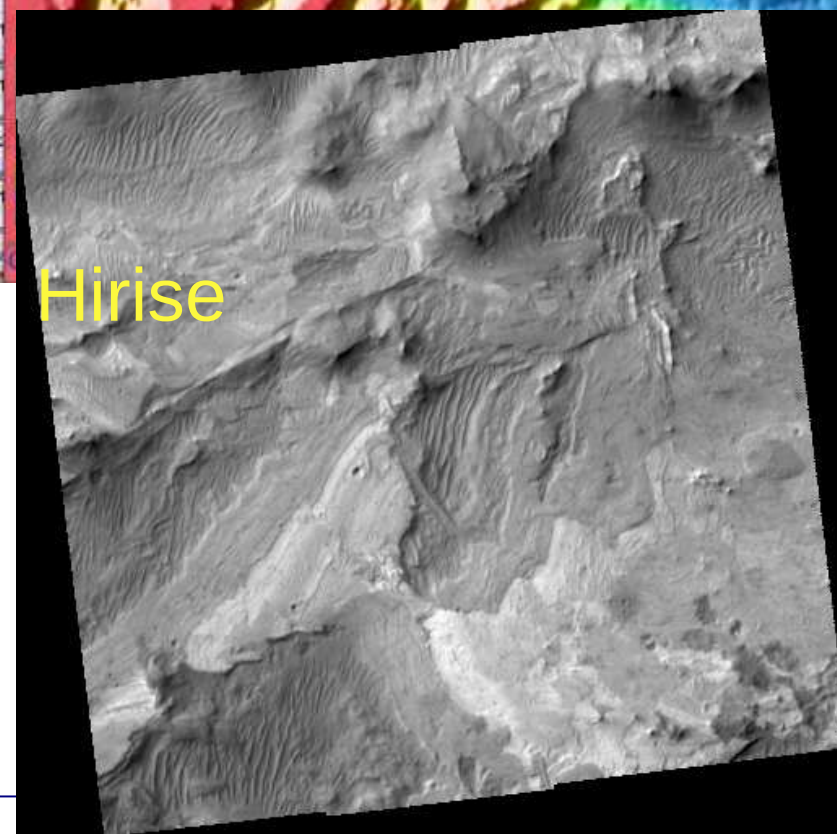
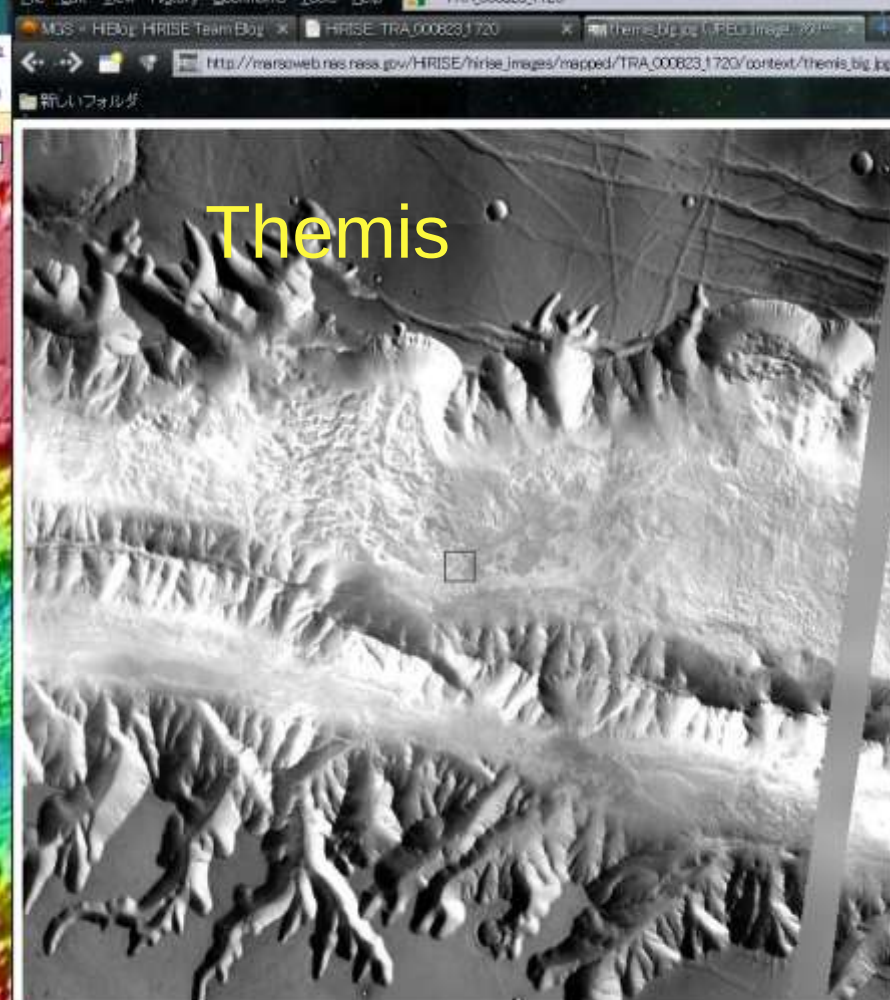
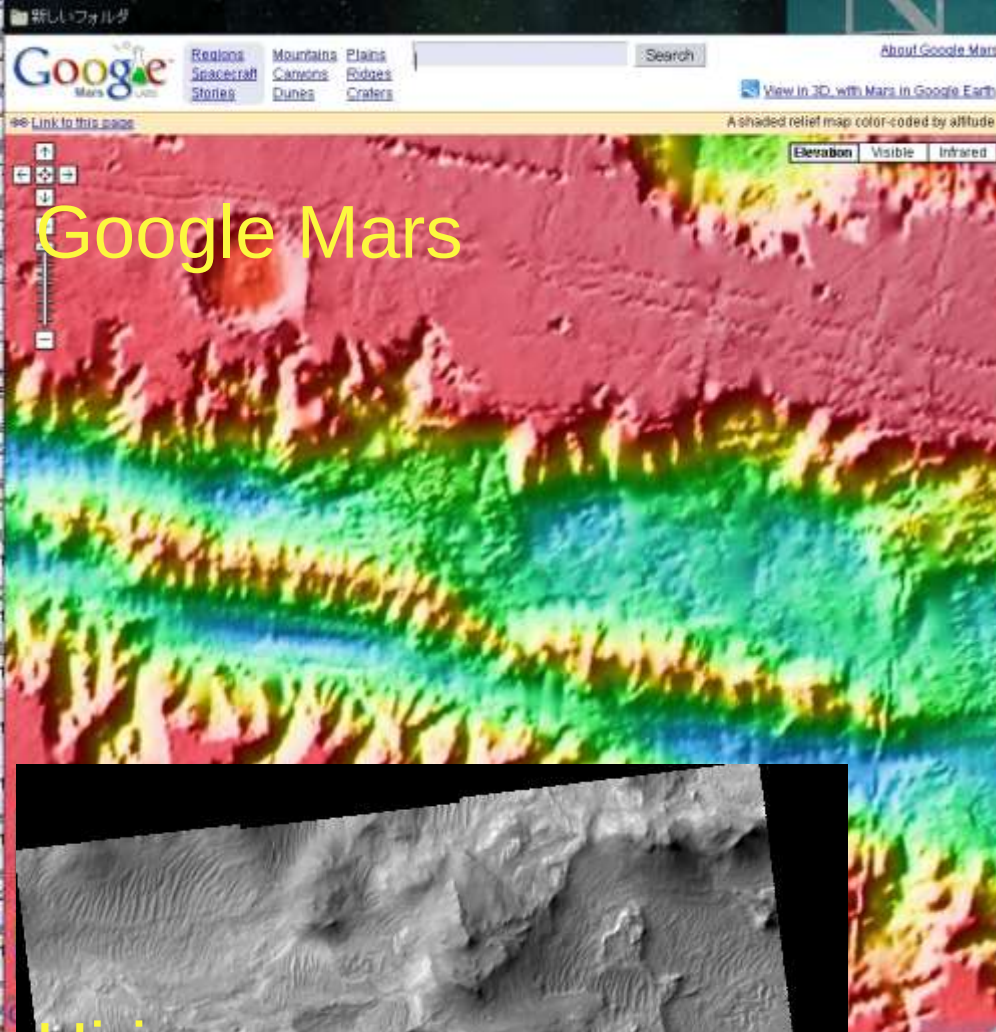
当初: “Google Mars”
大口径(100km超) ~
中口径(2km <)
しか判読できない.

もっと詳しい画像はない
か？

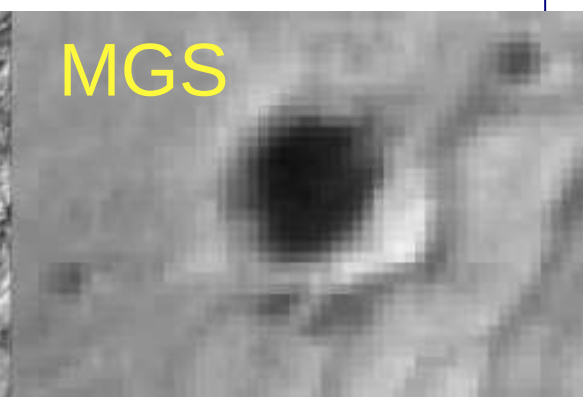


火星周回衛星MROに搭載 Hiriseカメラ

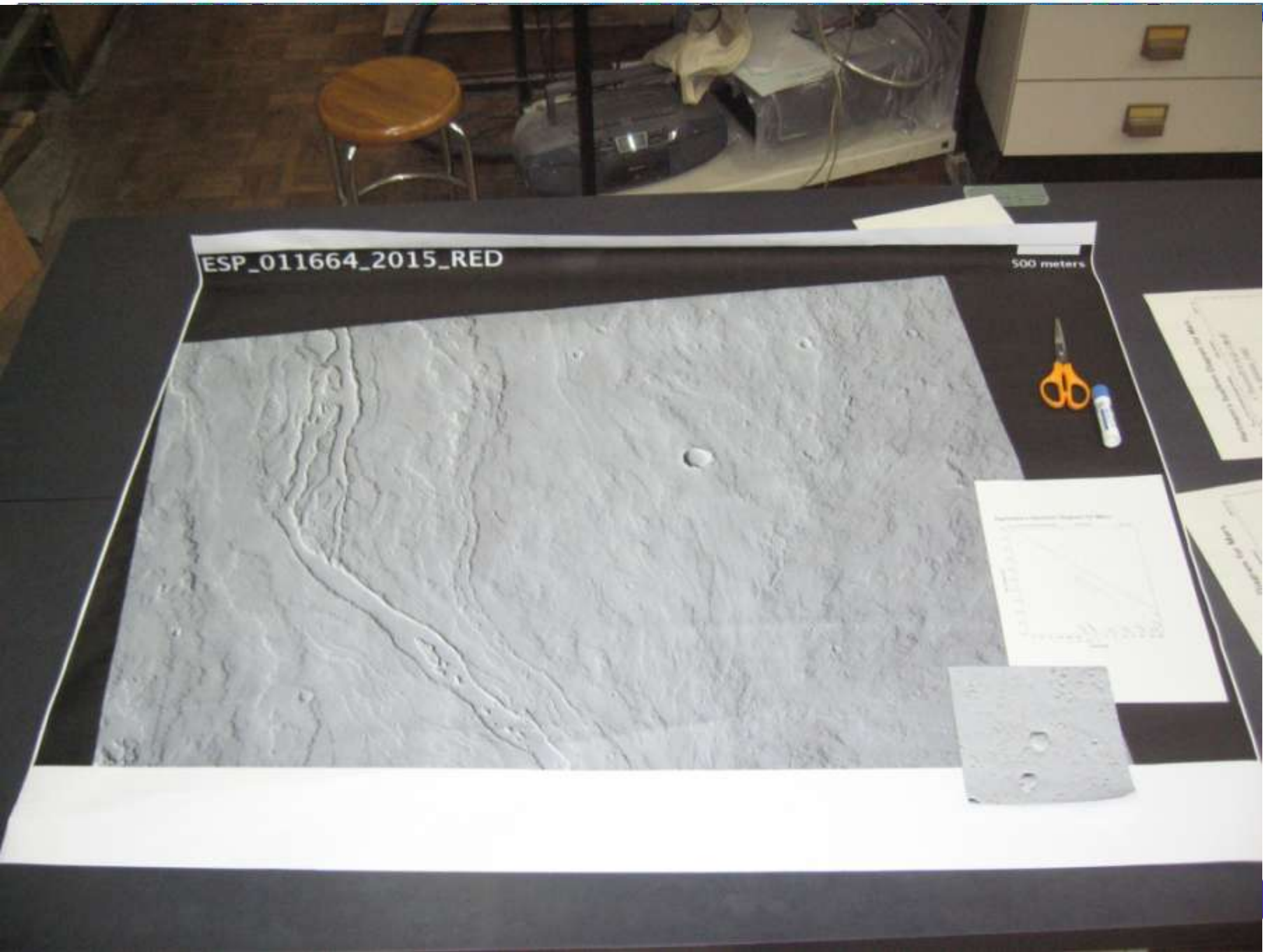




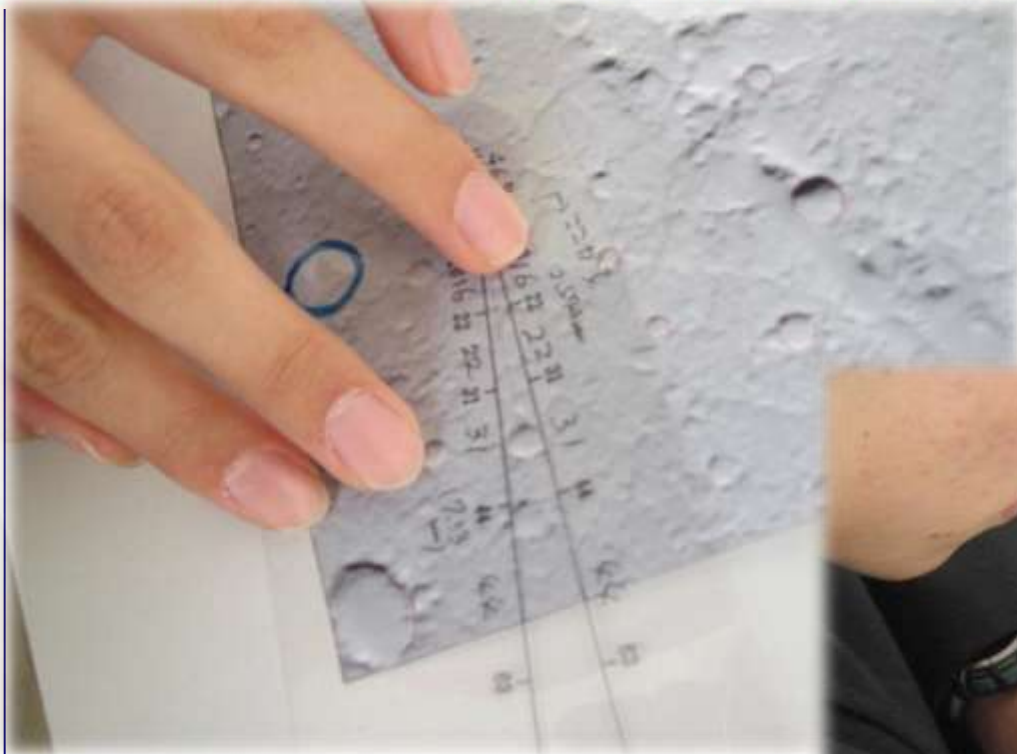
画像の解像度比較~30cm/px



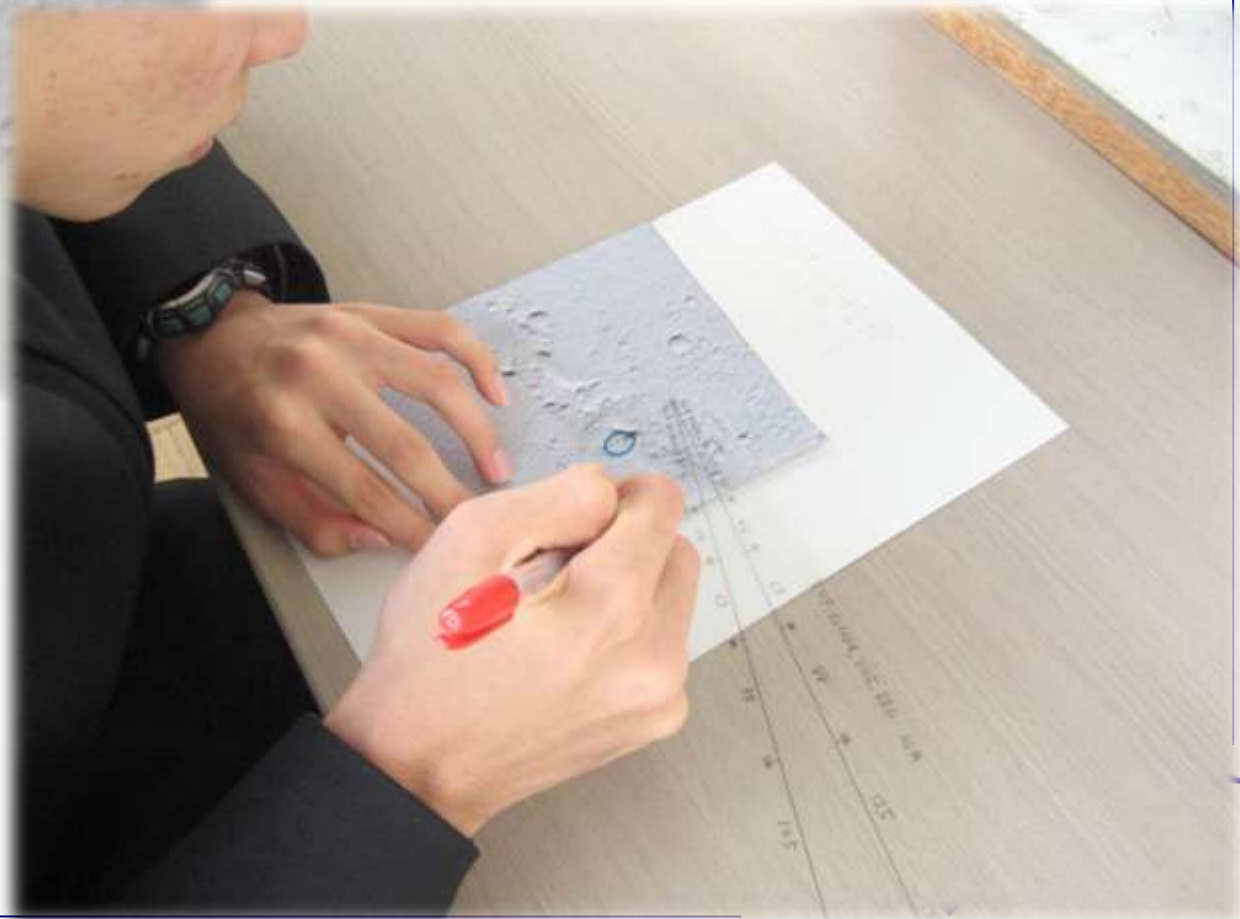
読み取りに用いたA0判の印刷シート



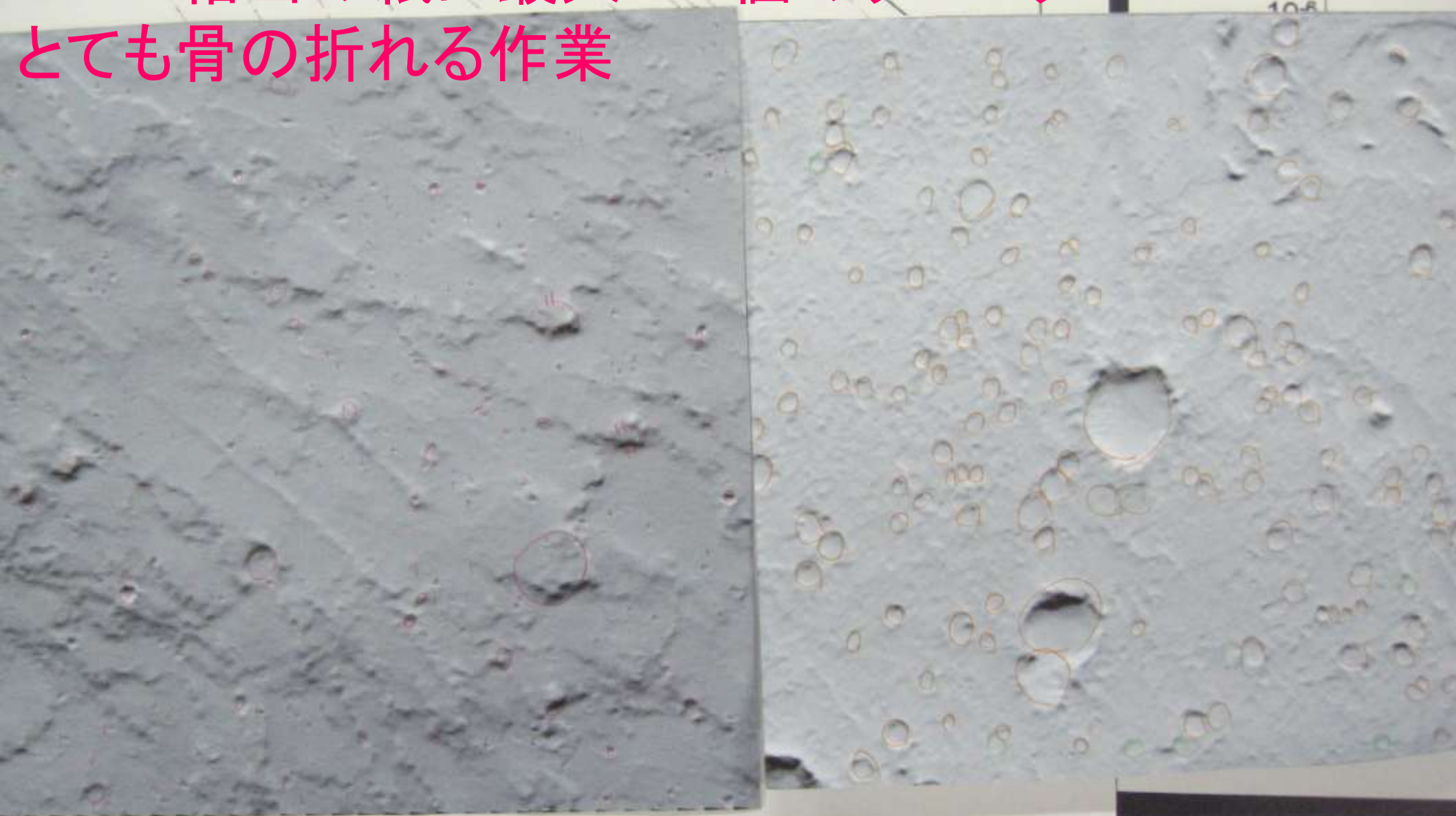
地学部による読み取り作業



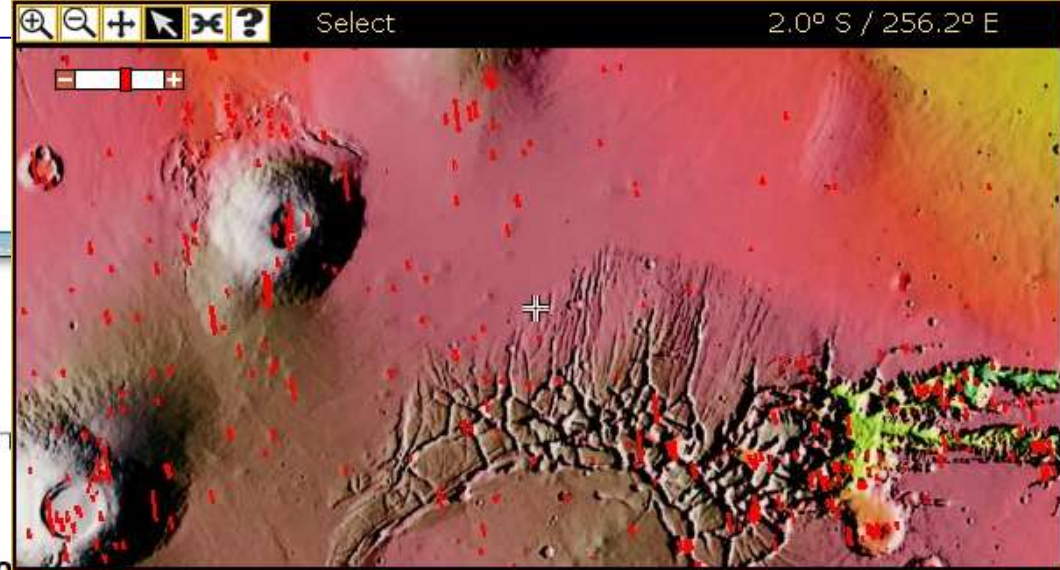
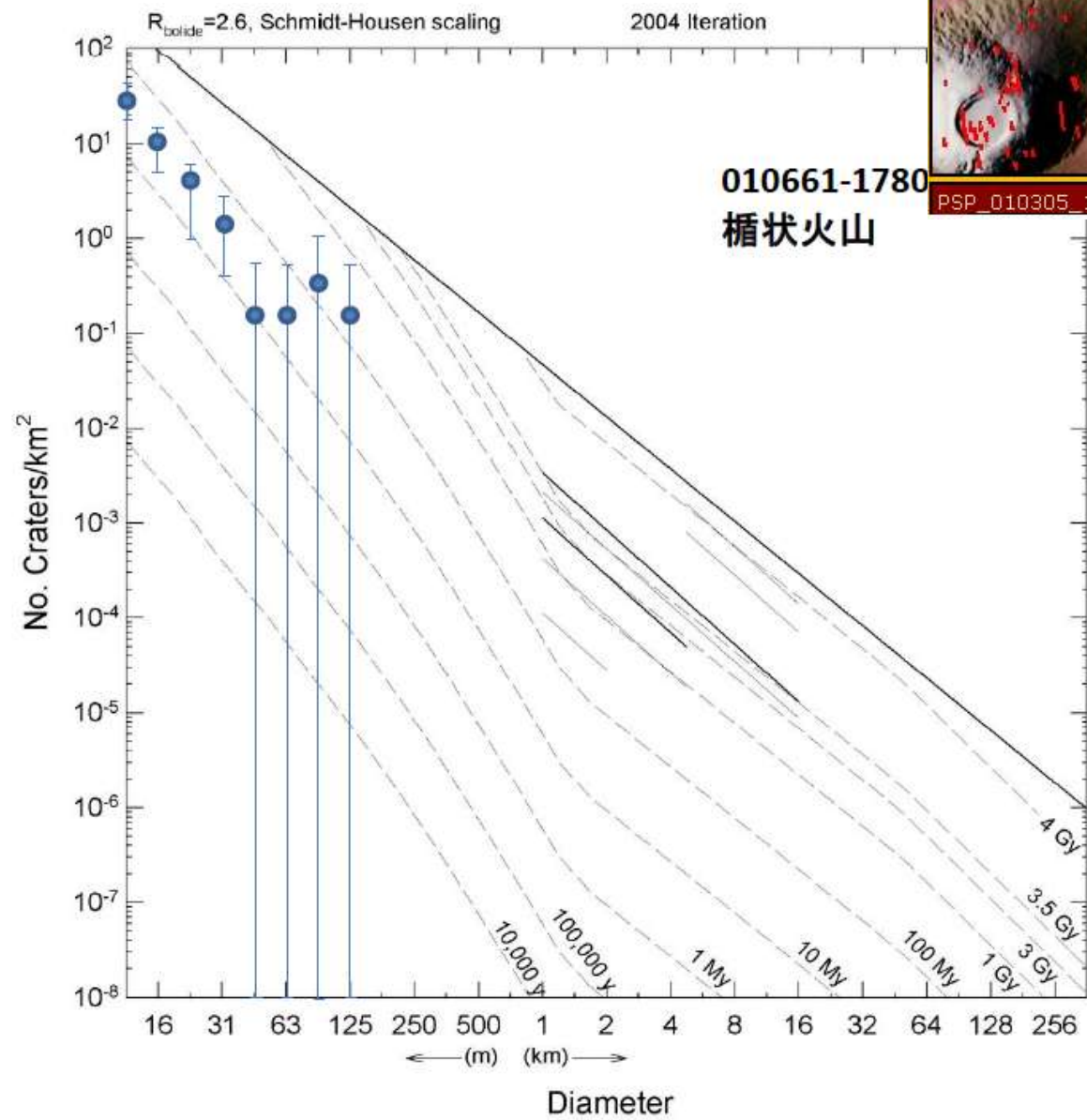
サイズを測定して、
度数分布を作る



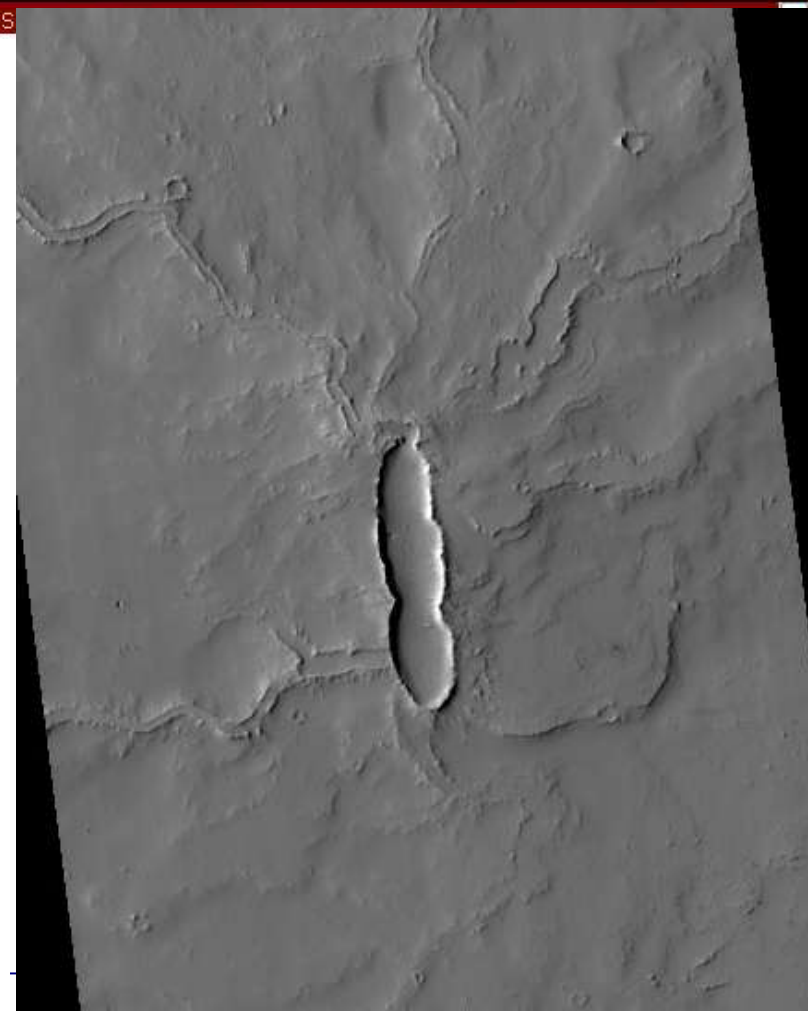
1km² 相当の紙に最大350個のクレータ
とても骨の折れる作業



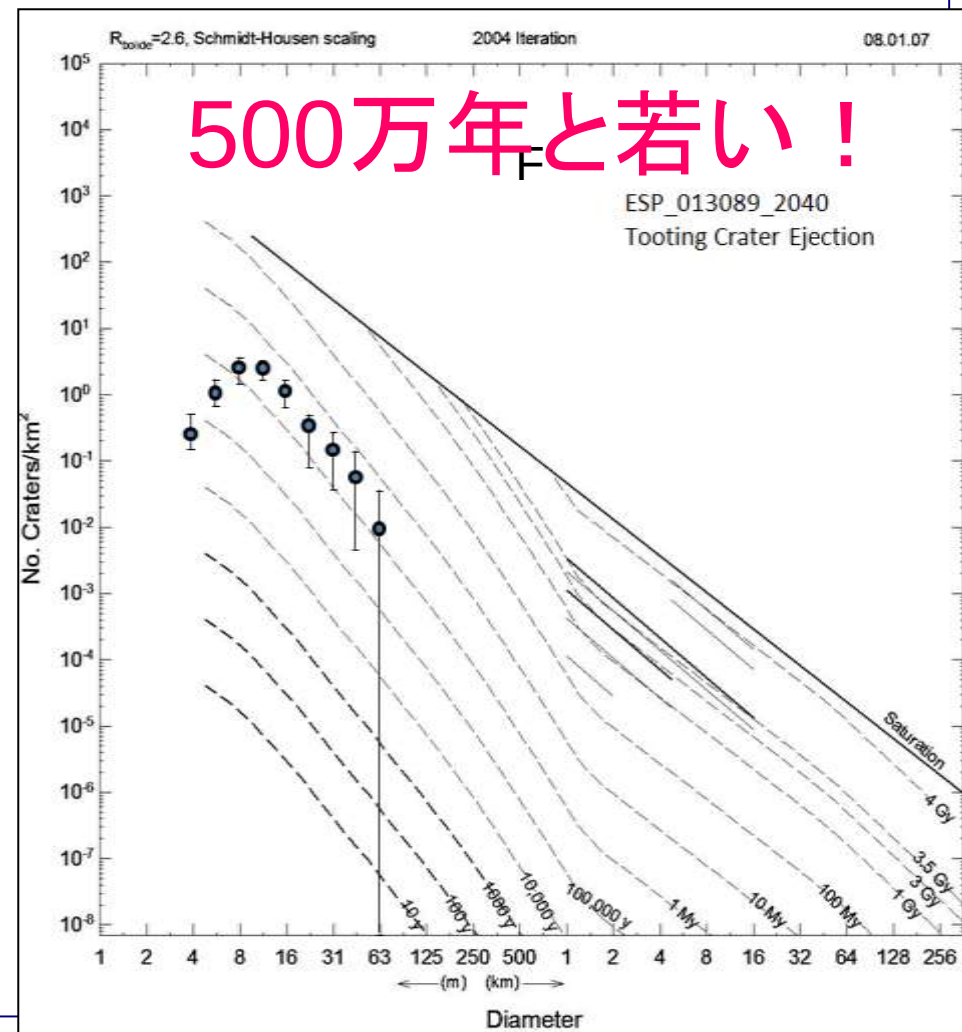
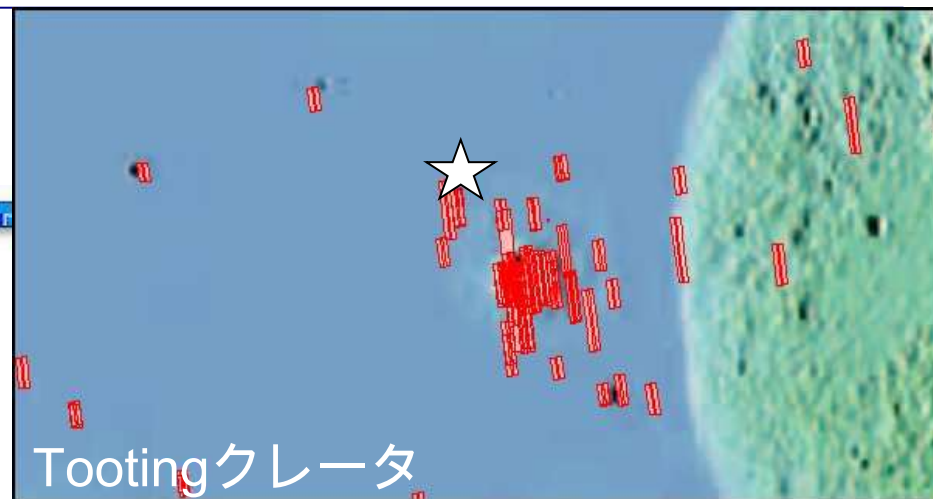
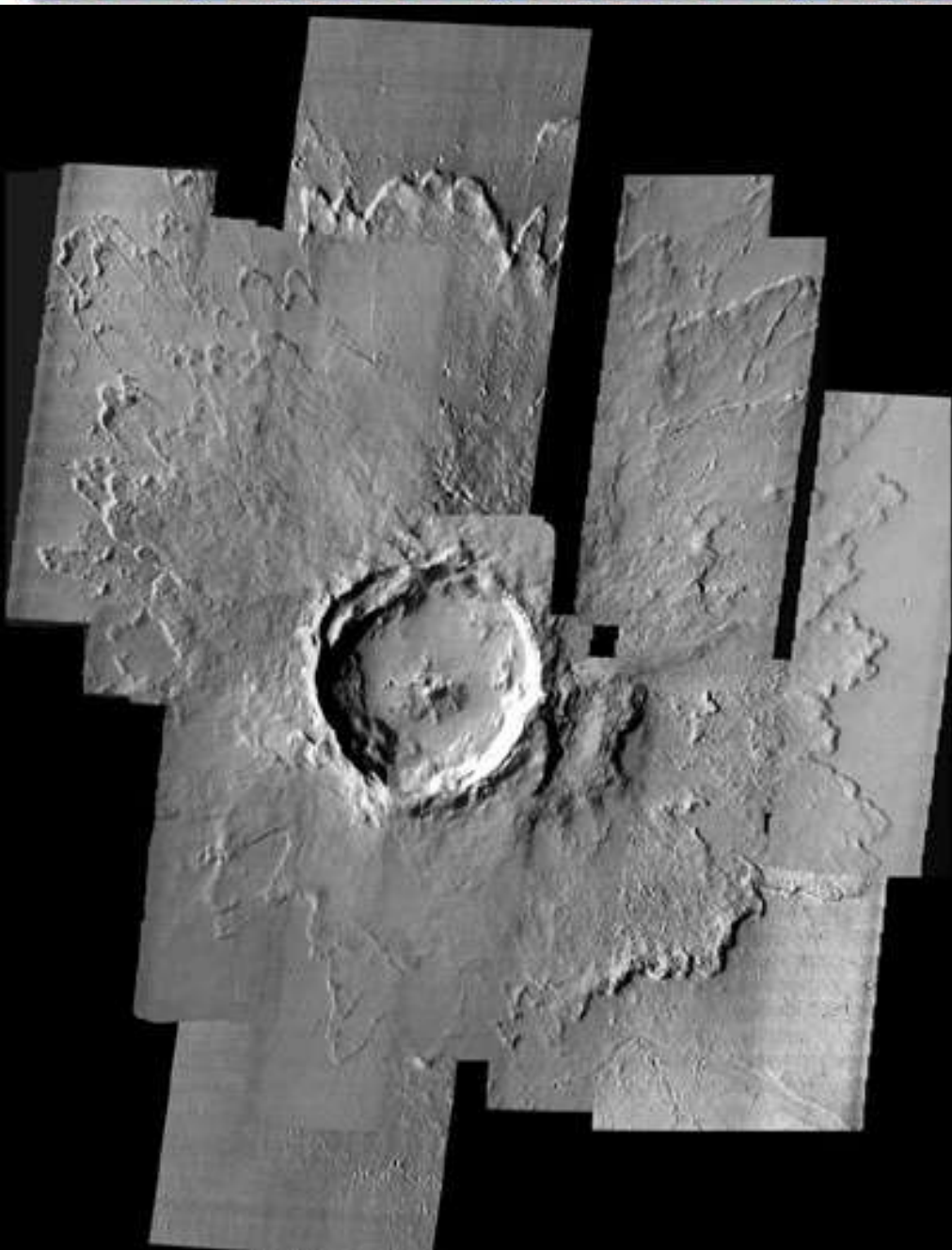
7000万年



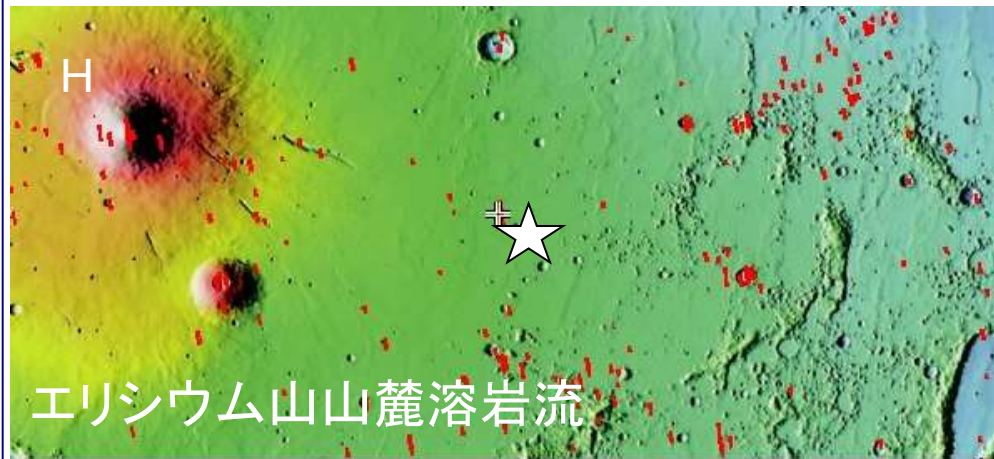
PSP_010305_1780 PS



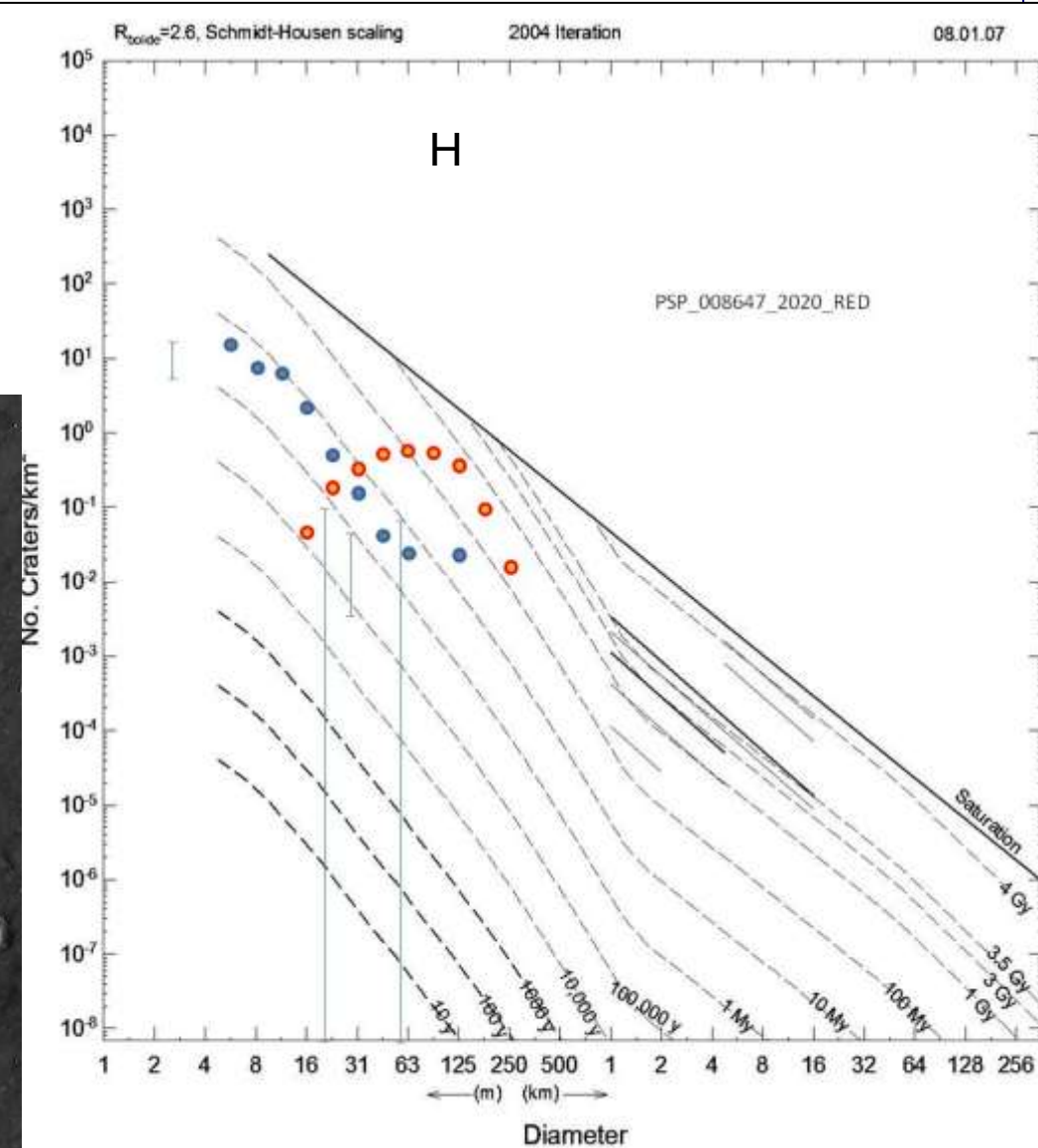
ランパート型クレータ



新・旧2種類の年代: 2層の溶岩流?



赤: 7億年 青: 9千万年



カウント実習結果

- 溶岩流や火山山麓の年代推定結果は専門家の結果と大変調和的である. (例えば Hartmann, 2005)
- カウント実習そのものは高校生でも, それほどの準備なしに結構たやすく実行できる.
- クレータの読み取り時代は結構大変な作業であるが, データをプロットしてすぐに興味深い年代測定の結果が出ることは, 大変生徒の興味を引く.
- この作業を通じて, 地味な統計が, 実は最新の科学の最先端の研究や科学論争につながることを実感できる. いつもハイテク＝最新科学ではない!



実習を通してわかったこと



- 画像の選定が大事.
- 読み取った結果が直線にならぶような場所を選ぶ.
- 小径クレータまで鮮明な地域の画像を選ぶ.
- あまり古い年代の表面を選ばない⇒クレータが多すぎてカウントに苦勞する.
- あらかじめ推定年代のデータが出ている場所をまず選定してカウントの妥当性を評価するとよい.
- 逆に, カウントして直線に乗らない場所はオリジナルな研究として発展する可能性がある.



高校地学Ⅰ，Ⅱでの紹介



高校地学Ⅰ，Ⅱの授業でもクレータカウント実習を行ったり，内容を紹介することがある．

特にこの手法と関連する内容（次スライド以降）の紹介を兼ねて行くと生徒の関心が極めて高まる．

惑星科学だけでなく，地形学や地質学の内容にも関連して話題提供できる．



クレータ年代学：その目標と今後

- * 惑星表面の時代変遷を探る
- * 太陽系の起源を探る
- * ひいてはわれわれ地球型生命の起源を探る
- * そして宇宙における生命の位置づけを探る
- * これらの仕事は、高校生の大きな動機となる！！
- * 地味な統計にこそ、科学の手法の真髄？
- * 一緒に始めませんか？



Hartmann氏とPSIにて



謝辞, 参考文献

本講演の内容は大阪教育大学附属高等学校地学部の研究内容の紹介を兼ねています. 本研究の端緒を作ったDr. William K. Hartmann先生には, 測定の手法の細かな点をご教示いただいたほか, 暖かい励ましをいただきました. 感謝します.

本講演の研究内容の一部は文部科学省科学研究費奨励研究 No.22916002 の補助をいただいています.

ご清聴ありがとうございました.

<参考文献>

Hartmann, W.K., 2005. Martian cratering 8: Isochron refinement and the chronology of Mars. **Icarus** 174, 294–320.

Caleb I. Fassett, James W. Head III, 2008 :The timing of martian valley network activity: Constraints from buffered crater counting, **Icarus** 195, 61-89

URL <http://www.psi.edu/about/staff/hartmann/>
<http://www.psi.edu/research/isochrons/chron04a.html>