

第4回惑星探査データ解析実習会

クレータサイズ頻度分布計測による惑星表面年代の調査

解析メンバー：東北大学理学部 B4 石山 謙

(大阪大学理学研究科 M1 大隈 裕一郎)

1. 導入

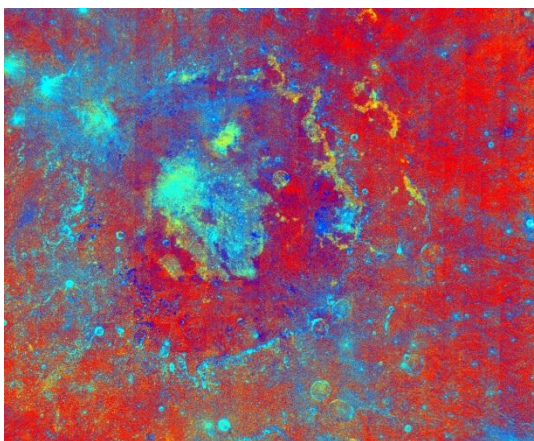
1-1. 月の火山活動について

アポロサンプルの放射年代測定(Ar-Ar 法など)によると、玄武岩の噴出した年代は約 30 億年～約 40 億年の間に集中している。それらの鉱物分析によると、月の玄武岩の TiO₂ の含有量が多いサンプルと少ないサンプルが存在する。これらの結果から溶岩が噴出した年代により、溶岩組成の含有量の異なりが示唆されている。この含有量の異なりは、分光カメラで太陽光の反射率を調べると岩石固有の吸収が表れる。また、宇宙風化の成熟度により反射率が変化することがわかっている。本実習の目的は、これらの特性を生かして、分光カメラを使って作成した疑似カラー画像から月表面の色分けを行い、同じ色をしている領域は同一年代に噴出した岩石と仮定してその年代を計算し、Mare Orientale における溶岩噴出の歴史を調べる。

1-2. 宇宙風化について

宇宙風化とは、天体表面に宇宙線が当たることで、鉄の微粒子が形成され、短波長側が長波長側に比べて太陽光の反射率が小さくなる現象のことで、これを「赤化」と呼ばれている。宇宙線が当たっている時間が長いほど「赤化」が進むと考えられるため、長波長と短波長の比をとることで、宇宙風化の成熟度がわかる。

1-3. 疑似カラー画像について



$$R = \frac{750_{nm}}{415_{nm}}$$

$$G = \frac{750_{nm}}{950_{nm}}$$

$$B = \frac{415_{nm}}{750_{nm}}$$

図1 Mare Orientale (東の海) の疑似カラー画像 (提供：諸田先生)

図1は、本実習会で解析した海であり、クレメンタイン衛星から得られた反射率のデータを利用して、単バンドの比からRGBで色分けして作成した画像である。R(赤)は、宇宙風化により成熟度

が高いこと（古い岩石）を意味し、逆に B（青）は、宇宙風化の成熟度が低いこと（新しい岩石）を意味する。G（緑）は、有色鉱物の含有量を示した指標であり、この値が低いと有色鉱物の含有量が多いことを意味する。有色鉱物とは、鉄やマグネシウムなどに富んだ鉱物である。RGB の色分けにより、大まかな宇宙風化の成熟度および、有色鉱物の含有量が示唆することができる。

2. 解析手法

2-1. データセットについて

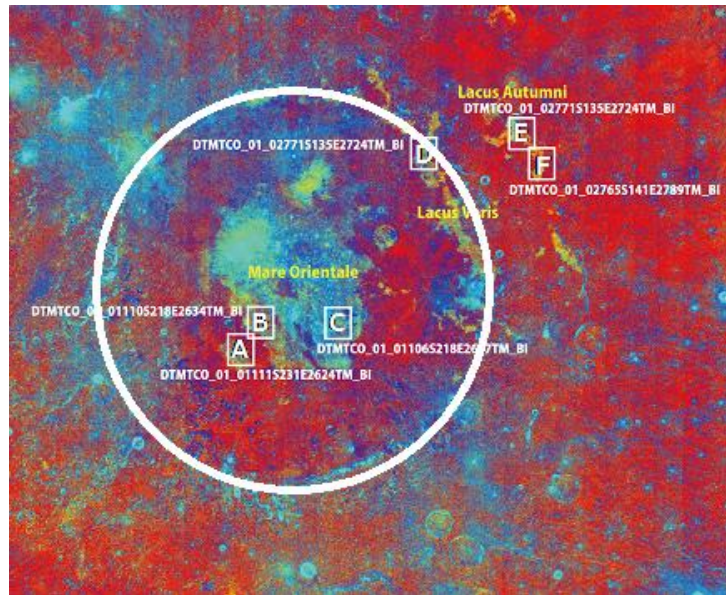


図2 図1と同じ疑似カラー画像。Mare Orientale（東の海）における白色の四角と円で囲んだ領域を解析した。

本実習会で使用したデータセットは、かぐや衛星に搭載された Terrain Camera から取得された DTM/TC オルソデータを使用している。使用する際、地図投影法は、Transverse Mercator に変換し、空間分解能は 0.01km/pixel になるようにリサンプリングされている。本実習会では、図2に示した6つの領域を選択し、それらに A~F の文字を割り振り、それらの領域と海全体を解析した。図2から、A及びB、C、D、E及びFが同年代に噴出した領域だと考えられる。

2-2. 表面年代の決定方法

本実習会では、クレーター年代学を利用して月表面の年代を計算している。この方法は、アポロサンプルの放射年代と、その場所におけるクレーターのサイズごとの密度を結びつけた年代決定方法である。よって、月表面におけるクレーターのサイズ分布密度を調べることで、月表面の年代を計算することができるため、ある領域を囲んでその範囲内でクレーターをカウントした。計算するための月の Chronology function 及び Production function は、Neukum (1983)を利用している。

クレーターをカウントする際は、二次クレーターをカウントしないように、円形をしたクレーターを選択して解析を試みている。また、二次クレーターしかないと考えられる領域は取り除いている。

2-3. 解析ソフトについて

本実習会で使用したソフトは2つある。1つ目は、SAOImage DS9である。このソフトは、Harvard大の附属天文台である Smithsonian Astronomical Observatory (SAO) で開発された FITS ブラウザであり、クレータカウンティングや距離計測に使用している。2つ目は、craterstats2であり、このソフトは、Mars Express/HRSC チームが開発したクレータサイズ頻度分布解析ソフトウェアである。尚、解析するにあたり、ITT Visual Information Solutions で開発された ENVI を搭載した PC を用いている。

3. 結果

3-1. A,B領域

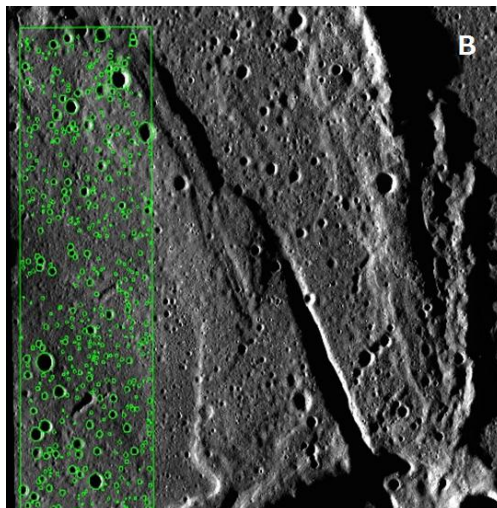
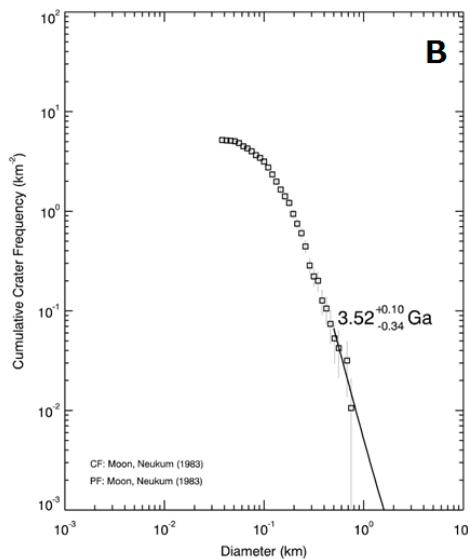
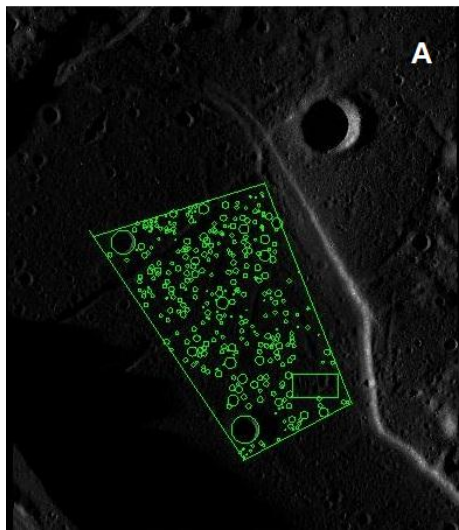
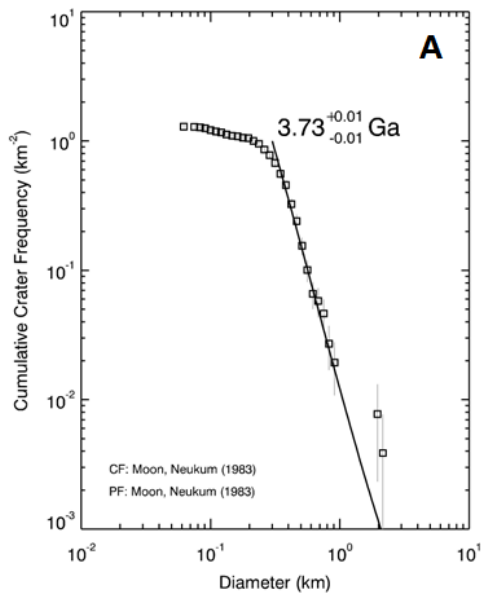


図3 AとB領域の表面年代

図 3 より、A の領域では、 3.73 ± 0.01 [Ga]であり、B の領域では、 $3.52^{+0.10}_{-0.34}$ [Ga]であった。この 2 つの領域は分光画像から同時に噴出したと考えられているので、主値を用いるとおよそ $3.52 \sim 3.73$ [Ga]に噴出したと考えられる。

3-2. C 領域

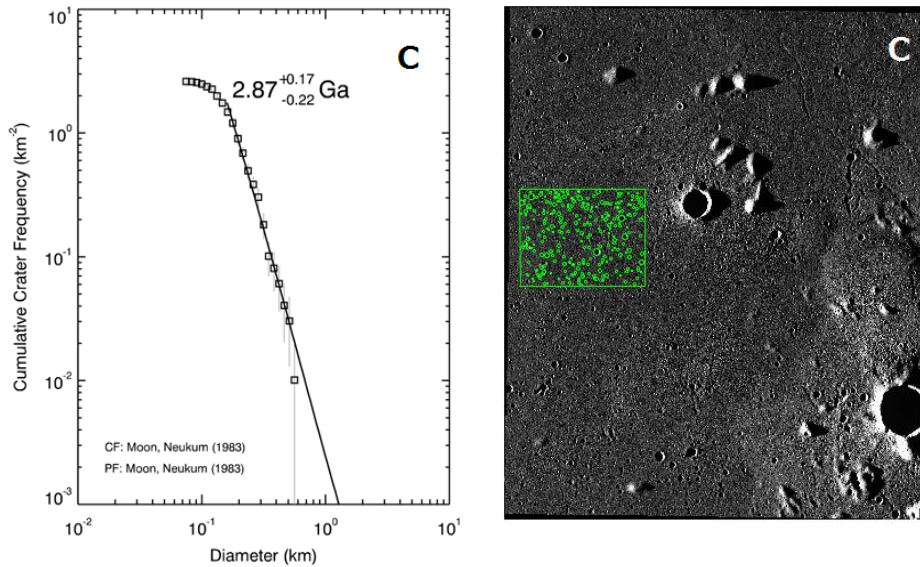


図 4 C 領域の表面年代

図 4 より、C 領域の表面年代は、 $2.87^{+0.17}_{-0.22}$ [Ga]であった。

3-3. D 領域

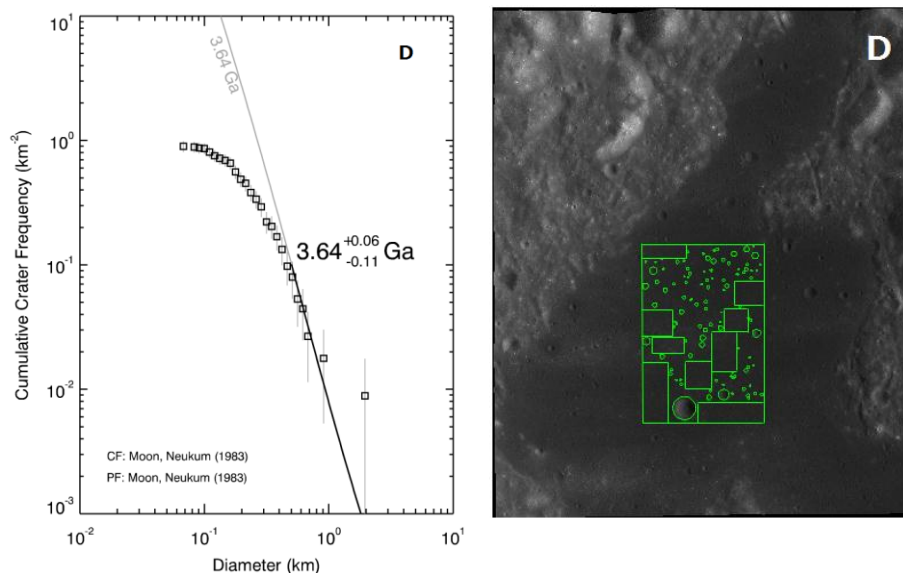


図 4 D 領域の表面年代

図 4 より、D 領域の表面年代は、 $3.64^{+0.06}_{-0.11}$ [Ga]であった。

3-4. E,F 領域

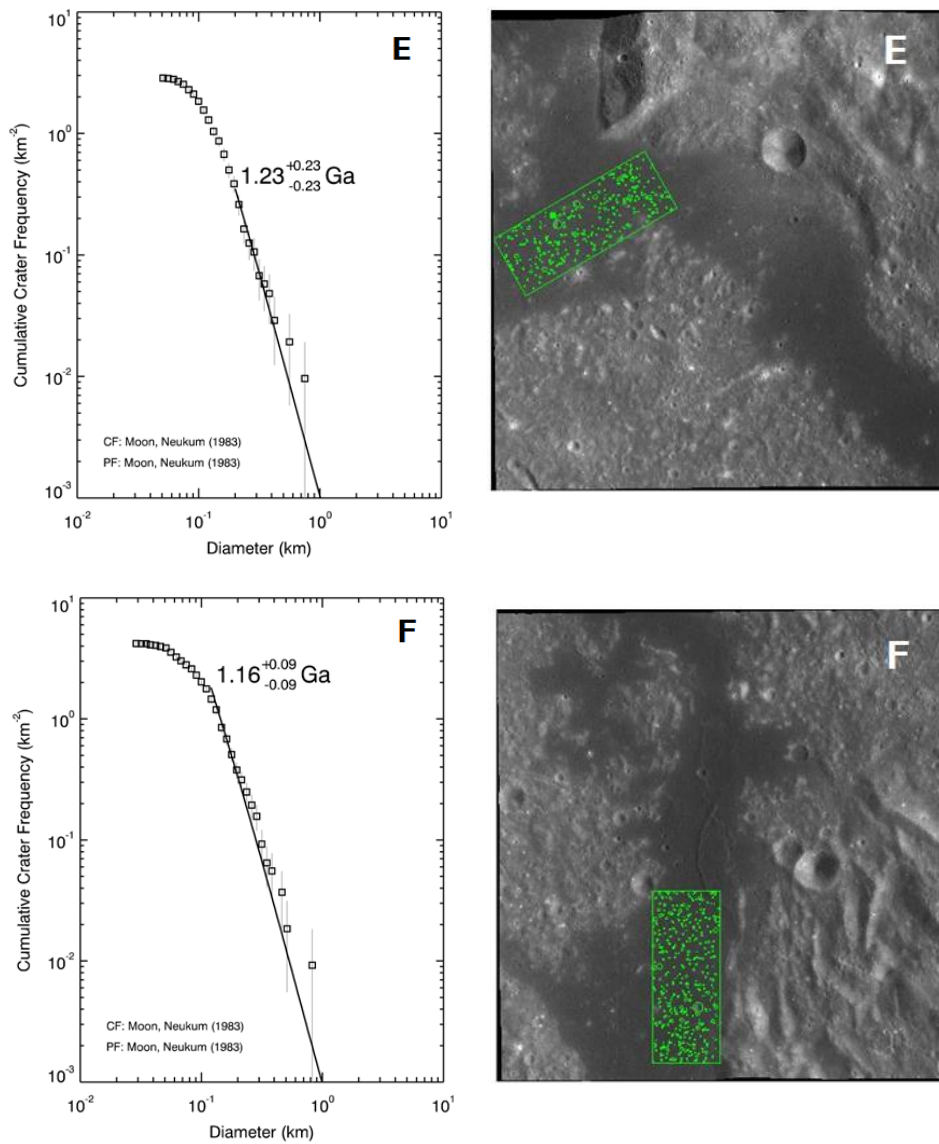


図6 EとFの領域の表面年代。上はE領域、下はF領域である。

図6より、Eの領域では、 1.23 ± 0.23 [Ga]であり、Bの領域では、 1.16 ± 0.09 [Ga]であった。この2つの領域は分光画像から同時に噴出したと考えられているので、主値を用いるとおよそ1.16～1.23[Ga]に噴出したと考えられる。

3-5. 海全体

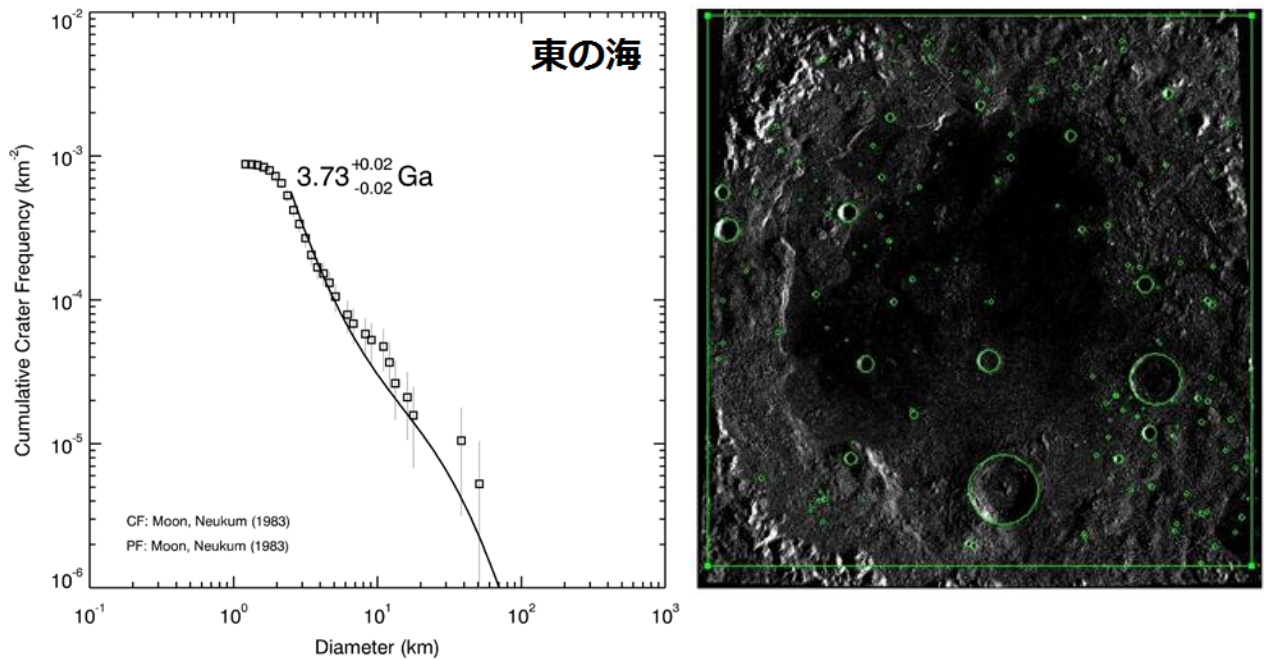


図 7 東の海の形成年代

図 7 より、東の海全体の領域では、 3.73 ± 0.02 [Ga]であった。

4. 考察

各表面年代を下記の第 1 表に示す。色は、分光画像から読み取り、同じ年代に噴出したと考えられる領域を示す。

第 1 表 各領域の表面年代

領域	年代[Ga]	誤差(+)	(-)
A	3.73	0.1	0.1
B	3.52	0.1	0.34
C	2.87	0.17	0.22
D	3.64	0.06	0.11
E	1.23	0.23	0.23
F	1.16	0.09	0.09
全体	3.73	0.02	0.02

表 1 より、東の海（周辺領域も含む）の溶岩噴出年代は、東の海(3.73 [Ga]) > A, B (3.52 ~ 3.72 [Ga]) > D (3.64 [Ga]) > C (2.87 [Ga]) > E, F (1.16 ~ 1.23 [Ga]) の順序で噴出していったと考えられる。一方、宇宙風化作用からわかる成熟度と今回の結果を比較すると、順序は同じになると考えられる。

5. まとめ

今回の実習会を通して、東の海における火山活動の歴史は、クレーター年代学を利用して、表面年代を計算された。その結果、我々が出した計算を使用すると、

東の海(3.73 [Ga]) > A,B (3.52 ~ 3.72 [Ga]) > D (3.64 [Ga]) > C (2.87 [Ga]) > E,F (1.16 ~ 1.23 [Ga])
の順序で溶岩が噴出したことがわかった。

6. 謝辞

今回の実習では、諸田先生をはじめ、平田先生、小林先生、スタッフ方に大変お世話になりました。この場を借りて、お礼を申し上げます。