

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 8 月 28 日現在

機関番号：21602

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23740343

研究課題名（和文）新しい月探査データを利用したクレーター生成率関数の調査

研究課題名（英文）Reassessment of crater production rate based on newly acquired lunar image data.

研究代表者

本田 親寿（HONDA CHIKATOSHI）

公立大学法人会津大学・先端情報科学研究センター・准教授

研究者番号：40435805

研究成果の概要（和文）：日本の月探査機「かぐや」と米国 Lunar Reconnaissance Orbiter の最新の画像データを利用して、1980 年初頭に作られたクレーターの生成率関数を最導出することを試みた。その結果、現在から 30 億年前間における従来の生成率関数と新しい画像データによって導出した結果は誤差の範囲内で一致した。一方、アポロ 15 号着陸地点について二次クレーターの影響を評価すると無視できない割合の二次クレーターが含まれていることが分かったため、30 億年以前の生成率関数はさらなる評価が必要である。

研究成果の概要（英文）：By using newly obtained image data acquired by Japanese lunar exploration mission, Kaguya, and Lunar Reconnaissance Orbiter (USA), I revisited a crater production function which has been produced in the early 1980s. As a result, newly obtained crater production function in the range from present to 3 Gyr ago corresponds approximately to previous research. On the other hand, I found that the effect of secondary crater on the Apollo 15 landing site that was researched by Neukum is not negligible, so, it is necessary to evaluate the crater production function of older area before than 3 Gyr ago.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：クレーター生成率関数、クレーター年代学、二次クレーター

1. 研究開始当初の背景

2000 年代ヨーロッパの SMART-1 を皮切りに日本、中国、インド、米国と次々に月探査機が月の起源と進化を解明する目的で打ち上げられ、膨大な量の科学データがもたらされた。1990 年代までに行われた月科学の研究を追試・刷新するために、それまでの研究におけるいくつかの仮定について、質の改善された新データを利用して再検証することが重要になってきていた。

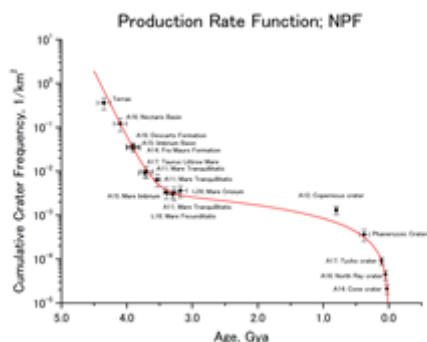
2. 研究の目的

月の起源と進化過程を研究する上で、月表

面に現れている地形や地質に対して、その形成した年代を調べて月表面の現象に時間軸を付与していくことが重要である。これは地球科学においては現地にて岩石などの試料を採取し放射年代測定によって知ることができる。しかし、岩石サンプルの収集が困難な太陽系惑星・衛星表面の形成年代を調査する方法として、1960 年代からクレーター年代学と呼ばれる標準的な手法が利用されてきた。そのクレーター年代学の基礎データとなっている関数がクレーターの累積個数密度と絶対年代の関係を表すクレーター生成率関数（Neukum, 1983）であるが、この関

数は幾つかの要因（クレーターを抽出した画像の空間分解能・撮像条件や、計測領域など）により検討し直す必要が出てきた。本研究では最新の月探査データを用いてクレーター年代学の基礎となるクレーター生成率関数の精度検証・再導出を行うことを目的とする。

クレーター生成率関数の関数形に対し、月と各惑星の衝突天体の相対的な衝突頻度比を乗算することによって、月以外の惑星でも形成年代推定が可能にしてきた。つまり、太陽系天体の表面の形成年代の推定精度は、月のクレーター生成率関数に大きく依存しているため、この検証の意義は大きい。



クレーター生成率関数（Neukum, 1983）

3. 研究の方法

第一に、1983年に提唱された Neukum によるクレーター生成率関数を作る基となった月面のいくつかの領域を対象として、最新画像データを用いてクレーター累積個数密度を再導出する。月では比較的若い領域はクレーター年代学の阻害要因となる二次クレーター（衝突天体によって形成されるクレーター形成時にその場所から飛んだ放出物によって形成されたクレーター）の影響は小さいため、現在から約 10 億年前までに形成した領域のクレーター累積個数密度を調べた。

第二に、形成年代が 30 億年よりも古いとされる領域のクレーター累積個数密度の再導出に向けて、二次クレーターの影響を見積もる方法を調査した。これらの領域について再導出する際に、調査対象領域に二次クレーターが混在することが問題になることが以前の研究で分かっている（e.g., Namiki and Honda, 2003）。クレーター年代学を適用する研究者は目視にて二次クレーターを含まない領域を選んで調査し、時折、研究者間で大きな齟齬がないか簡単に確認するという手順を踏んでいる。この煩わしさをなくすため、また、研究者の目による除去の不完全さを補うために、二次クレーターを自動抽出するア

ルゴリズムの開発を行った。

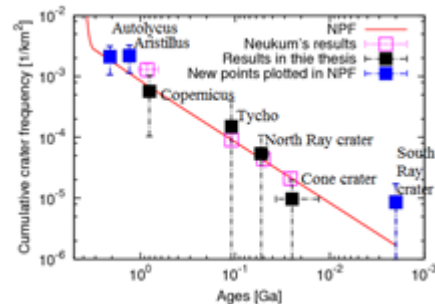
第三に、Neukum らの調査対象領域以外であったのだが、光条をもったクレーターの累積個数密度を調べた。光条をもつクレーターは一般に約 10 億年で光条を失うとされていたため、光条をもつクレーターのみを集めて累積個数密度を調べると、クレーター生成率関数に新たなポイントが増えることとなる（という目論みであった）。

4. 研究成果

（1）第一の手法の結果

調査対象領域：South ray crater（200 万年前形成）、Cone crater（2500 万年前形成）、North ray crater（5300 万年前形成）Tycho crater（1.1 億年前形成）、Cpernicus crater（8 億年前形成）、以下追加で、Aristillus crater（13 億年前形成）、Autolycus crater（21 億年前形成）

それぞれのクレーターのリムから 1 直径分の距離までを continuous ejecta（クレーター形成時の放出物が十分な厚みをもって被っている領域）として、その円内もクレーターの累積個数密度を調べた。その結果が次のグラフの通りである。



Neukum の過去研究にある結果は黒い四角、本研究で再導出した結果はマゼンダの四角で記した。また、Neukum の過去研究にはない新たな調査対象領域は青い四角で記した。赤いラインは Neukum によって提唱されているクレーター生成率関数である。

Neukum の結果と比較して、Cone crater の結果が関数により近くなり、逆に Copernicus crater の結果は関数から離れたが、誤差を考慮すると大幅なずれは生じていない。また、本研究の誤差が小さいのは、画像データの空間分解能が大幅に改善されたため、検出できる微小クレーターの数が大幅に増えたことに寄ることも付記しておく。

今回新たな試みとして、South ray crater、Aristillus crater、Autolycus crater 上の累積個数密度も調査した結果、South ray crater の調査対象領域の微小クレーターが少ないため誤差が他の結果と比べて大きい、その誤差の範囲においてクレーター生成率関数から大幅に逸脱しているとは言えないだろう。従って、10 億年よりも現在の形成年代が

クレーター年代学によって出されている最近の研究に問題になるような結果の問題点はないだろう。

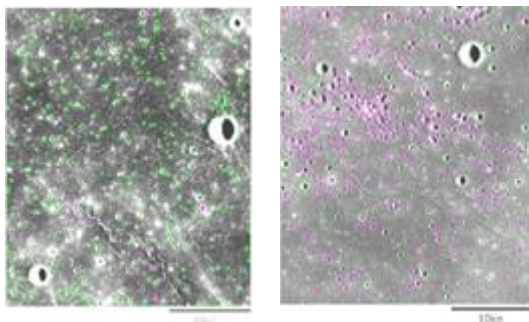
(2) 第二の手法の結果

クレーターの空間分布をクラスター分析することによって二次クレーターを自動抽出するアルゴリズムを開発した。アルゴリズムの概要は次の通りである。

① 手動で抽出したクレーターの位置と直径を入力データとし、最短距離法もしくは群平均法によるクラスター分析を行う。

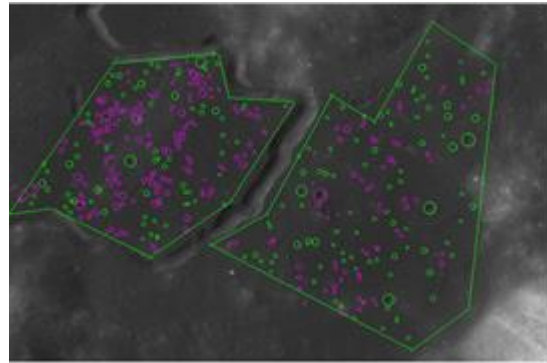
② 理想的にランダムな空間分布を示すクレーターをシミュレーションで複数(本研究では 1000)パターン用意し、全パターンを 1 と同様のクラスター分析を行う。全パターンのクラスター分析結果(クラスタリングレベルと、クラスタリングパラメータの関数)の平均と標準偏差を求める。

③ ①と②の結果を比較し、②の 2σ よりも①の結果が外れた場合、そのクラスタリングレベルに属するクレーターのクラスターが二次クレーターの候補とされる。この手順に従ってテストした結果が次の通りである。



緑の円がランダムな空間分布を示すクレーター、マゼンダがランダムな空間分布を乱す二次クレーター候補。左の領域には目視確認によってもほとんど二次クレーターは存在せず、アルゴリズムの結果も同じである。右の領域には目視によっても二次クレーターが多く存在することが確認でき、さらにこのアルゴリズムによってもほぼ正しく二次クレーター候補を抽出できている。

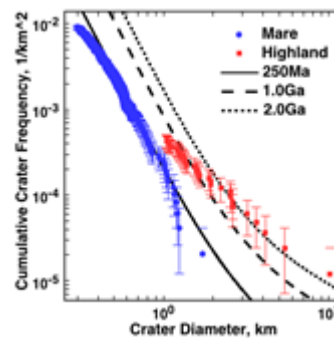
二次クレーターを抽出するアルゴリズムにはまだ改良の余地があるが、現在のアルゴリズムをアポロ 15 号着陸地点について適用した。この領域は Neukum によって過去に解析された場所である。結果が次の通りである。



色は前グラフと同じである。この領域には二次クレーター候補が多く存在することが分かる。この調査結果をもとに考察すると、形成年代が 30 億年よりも古い月面は、二次クレーターが多く混在することを示唆している。これまでは研究者の目視によって二次クレーターが除かれてきたが、その作業をサポートする有効なツールができた。このツールを Neukum が調査した領域に適用して形成年代が 30 億年よりも古い範囲のクレーター生成率関数の再導出が可能となったが、ここで研究期間が終了した。この研究は続行する予定である。

(3) 第三の手法の結果

光条をもつクレーターだけを集めて、クレーター生成率関数の 10 億年の部分にデータを一点増やす予定であった。もともと区別する予定ではなかったが、月の高地の一部と海(Mare Humorum)でそれぞれ光条をもつクレーターを調べた結果、クレーター生成率関数と比べて、高地は 50%大きく、海では 80%少なかった。



この結果は当初の目論みと異なり、光条をもつクレーターの存在する場所の地質に依存して光条が消失していく時間スケールが異なることを示している可能性が大きく、クレーター生成率関数上に新たな一点を増やすことには不向きであることが分かった。

以上の結果をまとめる。

現在から約 10 億年前までのクレーター生成率関数は最新の画像データを用いても妥当であることが分かった。クレーター生成率関数を成している 30 億年よりも古い領域につ

いては検証作業が残っている。二次クレーターの混在という観点に立って、今後もクレーター生成率関数の検証を進めていきたい。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 4 件)

木下達生、本田親寿、平田成、諸田智克、月面の二次クレーター検出のためのクレーター空間分布の評価方法の開発、日本地球惑星科学連合 2013 年大会。

Honda, C., A. Shojyu, S. Suzuki, N. Hirata, T. Morota, H. Demura, M. Ohtake, J. Haruyama, N. Asada, Retention time of crater ray materials on the Moon, European Planetary Science Congress 2012, held 23-28 September, 2012 in Madrid, Spain.

Kinoshita, T., C. Honda, N. Hirata, T. Morota, H. Demura, N. Asada, Evaluation of Spatial Distribution of Craters on Lunar Surface for Detection of Secondary Craters, 43rd Lunar and Planetary Science Conference, held March 19-23, 2012 at The Woodlands, Texas. LPI Contribution No. 1659, id.1829.

Honda, C., S. Suzuki, N. Hirata, T. Morota, H. Demura, M. Ohtake, J. Haruyama, N. Asada, Retention time of crater ray materials on the lunar highland, EPSC - DPS Joint Meeting 2011, held 2-7 October 2011 in Nantes, France.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

出願年月日 :

国内外の別 :

○取得状況 (計 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

取得年月日 :

国内外の別 :

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

本田 親寿 (HONDA CHIKATOSHI)

会津大学・先端情報科学研究センター・
准教授

研究者番号 : 40435805