

月全球のクレーター空間分布の評価

伊東里保¹, 木下達生¹, 本田親寿¹, 平田成¹, 諸田智克²

¹会津大学(email: m5171133@u-aizu.ac.jp), ²名古屋大学

1 背景と目的

天体表面において形成年代が同じであればクレーターは一般にランダムな空間分布を示す。しかし、月のように自転と公転が同期回転している天体ではクレーターの空間分布に偏りが生じる可能性がある(Zhanle et al., 2001)。光条を持つクレーターの空間分布について調べた研究では、クレーターの密度は apex (0°N, 270°E) で最大となり、antapex (0°N, 90°E) で最小となった(Morota et al., 2005)。

また、LOLA の観測データに基づいた直径 20km 以上のクレーター(盆地サイズを含む)の位置と直径に関するデータベースが現在公開されている。しかし、月全球において衝突盆地を含むクレーターの空間分布を評価した研究はあまり行われていない。

Kinoshita et al. (2012) では月面の局所的な領域のクレーター空間分布をクラスター分析によって評価するアルゴリズムを提案している。木下らの研究では対象領域が狭いためクレーター空間分布は二次元に近似できた。しかし本研究では評価する領域が全球に渡るため、球面上のクレーター空間分布を評価するアルゴリズムを開発する必要がある。本研究ではクラスター分析を用いて月全球のクレーターの空間分布を評価するアルゴリズムを開発し、クレーター密度が偏っている領域の検出を目指すことを目的とする。

2 手法

2-1 使用したデータ

本研究では、“The Lunar Orbiter Laser Altimeter (LOLA) Large Lunar Crater Catalog”(Head et al., 2010)(以下 LLCC)を使用する。このデータベースには、直径 20km 以上の 5185 個の衝突盆地を含むクレーターの直径と中心緯度経度情報が含まれている。

2-2 クラスター分析

クレーターの直径と中心緯度経度情報を持つ実データ(LLCC)に対して最短距離法を適用する。最短距離法とは階層凝縮型クラスター分析アルゴリズムの一つであり、2 つのクラスター間の距離が最も近いものから集めてクラスター化していく。クラスター化された順番をクラスターリングレベル、クラスター間の距離をクラスターリングパラメータと呼ぶ。

クレーターの空間分布を評価するアルゴリズムとして最短距離法を用いた研究は、Bierhaus et al. (2005)によるものがあり、Europa に形成されているクレーターに対して行われた。Europa 上のクレーターは月面に比べると非常に少ないためクレーターの位置のみを用いた評価結果となっている。Kinoshita et al. (2012)は月面に形成されたクレーターに最短距離法を適用するために、クレー

ターの直径を考慮した空間分布の評価法を提案している。本研究では Kinoshita et al. (2012)の評価アルゴリズムを球面上のクレーターに適用できるように改良した。

2-3 シミュレーション

実データ(LLCC)に対して最短距離法を適用した結果を評価するために、クレーターの位置が理想的にランダム(偏りが無い)なシミュレーションデータを用意する。シミュレーションデータは 1000 パターン用意し、全てのデータセットに実データと同じく最短距離法を適用する。クラスターリングパラメータの平均値と標準偏差を求め、実データへの適用結果と比較する。

2-4 結果の比較

実データとシミュレーションデータへ最短距離法を適用した結果得られるクラスターリングパラメータをクラスターリングレベル毎に比較する。もし実データがシミュレーションデータの平均値 - 2 σ を下回った場合、そのクラスター(クレーターの集まり)はクレーター間の距離が密であると判断した。

3 結果

クレーターのサイズ範囲に着目し、直径 20km 以上(5185 個)の LLCC データ全量解析の他に、直径 200 km 以上(60 個)のデータセットも作成してそれぞれ評価を行った。

直径 20km 以上のクレーターについてクラスター分析を適用させた結果を Figure 1, 2 に示した。Figure 1 において、黒い曲線がランダムな空間分布を示すシミュレーション 1000 回分の平均値 $\pm 2\sigma$ を表しており、LLCC データにクラスター分析を適用した結果は赤い曲線で表している。LLCC データのクラスター分析の結果が、シミュレーションデータに対するクラスター分析の結果を上回るか下回るときに、それぞれ LLCC データのクレーターの空間分布が「疎」または「密」と読み取る。クラスターリングレベル 1500 から 4800 にかけて実データのクラスターリングパラメータの値は平均値を大きく下回っている。シミュレーションでは月全球にクレーターをランダムに生成しており、LLCC データでは月の裏側のクレーター間の距離が短いこと、つまり、LLCC データはシミュレーションデータと比較するとクレーター密度が高くなっているのだとグラフから読み取れる。また、Figure 2 から月の表側や Orientale 盆地等の衝突盆地周辺の領域のクレーター密度が低くなっているという結果も得られた。

Figure 3, 4 は直径 200km 以上のクレーターに対してクラスター分析を適用させた結果である。LLCC データとシミュレーションデータにクラスター分析を適用した結果比較すると、LLCC データはほぼ平均値 $\pm 2\sigma$ の範囲内に収まっている(Figure 3)。また、クラスター分析の結果を

可視化したマップ(Figure 4)においても直径 200km 以上のクレーターについては比較的クレーター空間分布の偏りが少ないという結果を読み取ることができるだろう。

4 まとめ

この研究では、クラスター分析を用いて月全球のクレーターの空間分布を定量的に評価した。その結果、直径200km以上のクレーターの空間分布はそれよりも直径が小さなクレーターに比べて空間分布の偏りが小さいことが分かった。

Morota et al. (2005)において、光条を持つクレーターの空間分布はapex、antapex効果による偏りを持っていた。しかしながら、直径200km以上のクレーターセットに関しては他のクレーターセットと比較してもクレーターの

空間分布の偏りが小さく、apex、antapexによるクレーター空間分布の偏りを認められなかった。

また、直径20km以上のクレーターに着目しても同期回転によるクレーター空間分布の偏りは認められなかった。その理由として、本研究で検証したLLCCデータは月表層が形成されて以来全てのクレーターを対象としているため、衝突盆地形成時の二次クレーターの影響が卓越している可能性による影響があるかもしれない。二次クレーターの直径の最大値は親クレーターの直径の25分の1と推定されており(Allen, 1979)、Imbrium (-17°E, 33°N)やCrisium (59°E, 16°N)等、直径1000km以上の衝突盆地形成時のイジェクタにより、月全球に衝突盆地形成由来の二次クレーターがクレーターの空間分布に偏りを生じさせていることが考えられる。

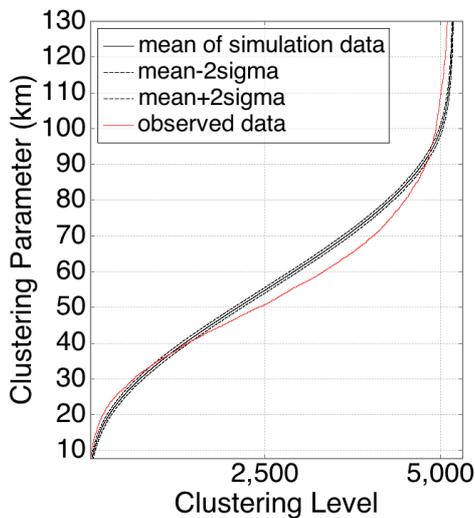


Figure 1 直径 20km 以上のクラスター分析結果
横軸はクラスタリングレベル、縦軸はクラスタリングパラメータ(クラスター間の距離)である。

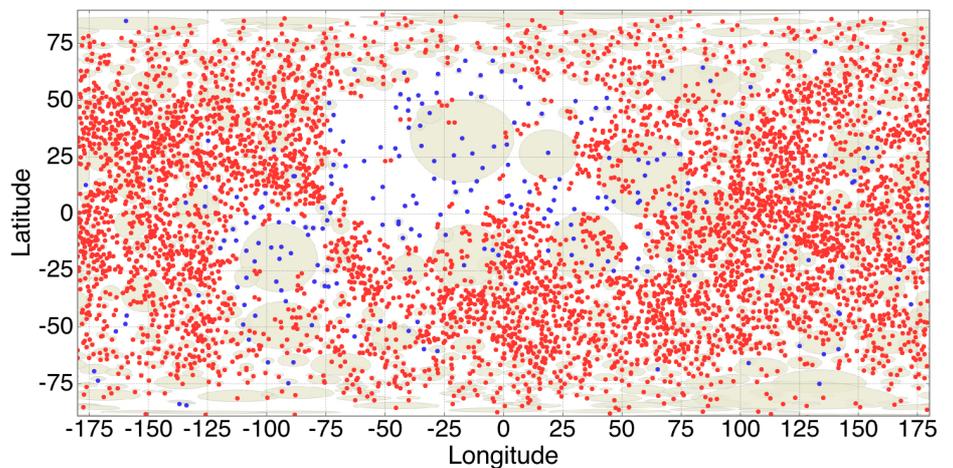


Figure 2 直径 20km 以上のクラスター分析結果
各点はクレーターの中心位置にあり、赤色は空間分布が「密」な状態、青色は空間分布が「密ではない」な状態を表している。

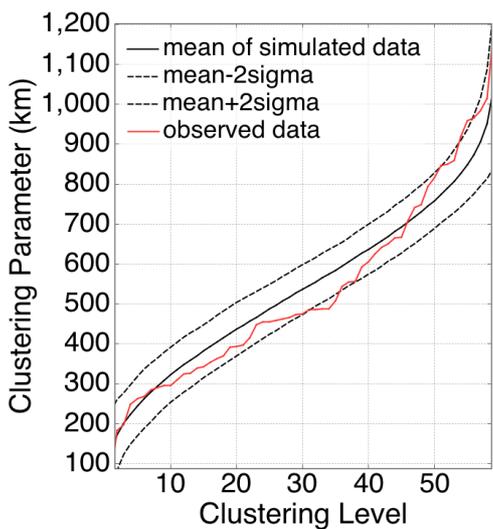


Figure 3 直径 200km 以上のクラスター分析結果

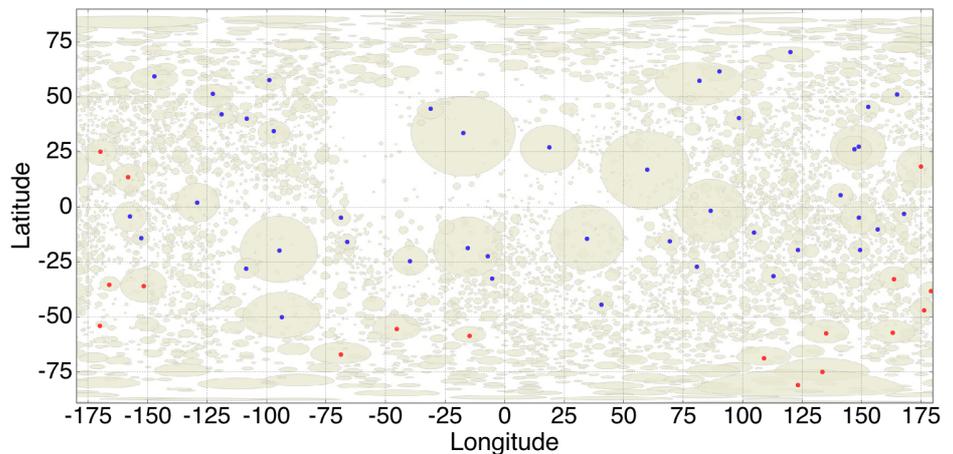


Figure 4 直径 200km 以上のクラスター分析結果