

## 火星のバレーネットワークの統計的解析：谷密度と傾斜の相関

### Detailed mapping and statistical analyses of martian valley networks: Topographic controls on their drainage densities

山口 優夢<sup>1\*</sup>, 宮本 英昭<sup>1</sup>

Yumu Yamaguchi<sup>1\*</sup>, Hideaki Miyamoto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東京大学総合研究博物館

<sup>1</sup>University Museum, University of Tokyo

現在の火星の表層は、気温、気圧がともに低く液体の水が安定して存在できないため、寒冷かつ乾燥した環境となっているが、主に地形学的、物質科学的な側面における火星探査の成果から、かつての火星表層では地球と同様に温暖湿潤な気候が実現していた可能性が示唆されている。しかし、地球の地形とのアナロジーによる火星の地形形成要因の推定には比較的大きな不確実性がつきまとうことや、暗い太陽のパラドックスに基づいた気候モデルの研究などから、温暖湿潤な初期火星という描像は现阶段で必ずしも確定的なものとは言い難い。さらに、ある地域の地形の観察だけでは温暖湿潤な環境がどの程度の時間的空間的な規模で実現していたか判断するのは難しいことや、物質科学的な観察事実は液体の水が地表付近に存在していた証拠とはなり得ても水循環の形態までは制約できないことを考え合わせると、火星の表層における水循環の変遷を詳細に明らかにするためには、流水が関係して形成されたと考えられる地形を全球規模で詳細に観察し、これに対して物理的な解析を定量的に加える必要があると言える。

そこで本研究では、流水に関係した地形のうちでもほぼ全球的な広範囲にわたって存在するバレーネットワークに着目した。近年の火星探査で撮像された高解像度画像であるTHEMIS、高度データであるMOLA、補足データとしてVikingの3種類のデータを合わせて用いることによって、バレーネットワークを広範囲にわたって詳細に同定し、それらの流域面積、谷密度、平均傾斜、平均標高を計測した。これらの指標を統計解析することによってバレーネットワークに共通する性質を見出し、その形成過程を制約することを目的に調査を行なった。調査地域としては、バレーネットワークが発達した5か所のノアキス代の地域と、ノアキス代以降に形成されたバレーネットワークがその斜面に発達している7か所の火山を選んだ。

その結果、全地域で217の流域を同定し、それらに含まれるバレーネットワークの長さの総計は30万キロを超えた。得られた谷密度はおよそ0.02-0.98 km<sup>-1</sup>と、地球の河川地形で得られる値にほぼ匹敵する値となった。同定したバレーネットワークの地形学的な観察と、これらの計測結果に基づいて行なった統計解析から、ノアキス代の火星では大気を通じた水循環が全球規模で実現しており、主に降雨がもたらした水の浸食によってバレーネットワークが形成された、と考えられる以下の4つの証拠を得た。1) ノアキス代の全ての地域において、谷が尾根から始まっている地形を見出した。この地形の形成は地下水の循環のみでは説明が難しい。2) ノアキス代のどの地域でも谷密度の平均値は0.2-0.4km<sup>-1</sup>と地球の河川地形で得られる値にほぼ匹敵する値となった。3) 谷密度と平均標高の間に有意な相関が見られなかった。もし地下水の循環のみでバレーネットワークが形成されていたとしたら、平均標高の低い地域ほど水がよく供給され、谷地形が発達すると考えられるので、この2つの指標の間には負の相関が見られるはずである。4) ノアキス代の全ての地域で谷密度と平均傾斜の間に強い正の相関が見出された。これは先行研究でも示されているように、局所的に水が供給されたのではなく、地域全体に一定の割合で水が供給されたことで、バレーネットワークの発達が発達が傾斜によって非常に強く規定されたことを反映していると解釈されるため、降雨の

存在を示す証拠とされる。

谷密度が地形の傾斜によって規定されていたことが現在観察できることから、どの地域においても少なくともバレーネットワークが形成されたのちには、傾斜を大きく変える地殻変動は生じていないことが分かる。地殻変動は火山活動、隕石衝突などによって引き起こされるが、これらの変動は熱を伴っており、この熱こそが地下水の循環や局所的な降雨を生じさせる要因と考えられてきた。しかし、本研究から明らかになったバレーネットワーク形成の相対的なタイミングは、これらの変動がバレーネットワークの形成要因になり得ないことを示している。このことと、北部低地からもヘラス盆地からも遠い地域では流域面積の大きな流域が特異的に見出されていないことから、これらの低地に水がたまって海が生じ、それを中心に大気を通じた大規模な水循環が起こっていたと考えられる。

よって、ノアキス代のバレーネットワークは局所的な気候の変化や地下水の流動によって形成されたのではなく、全球的に温暖湿潤な気候が実現していたことで形成されたものである可能性が高いことが示された。また、ノアキス代以降に生じたバレーネットワークにおいては谷密度と平均傾斜の間に有意な相関は見られず、ノアキス代以降にも降雨が生じていたと考えることのできる積極的な証拠は、少なくとも今回の研究においては見出されなかった。

キーワード:火星,バレーネットワーク,谷密度,水循環,降雨,統計解析

Keywords: Mars, valley networks, drainage density, water cycle, precipitation, statistical analysis