

## デジタル画像からの高度計測 (A practical photoclinometry)

### A practical photoclinometry on digital image analysis

# 出村 裕英 [1], 栗田 敬 [2]

# Hirohide Demura [1], Kei Kurita [2]

[1] 東大・理・地球惑星, [2] 東大・地球惑星

[1] Dept. Earth and Planet. Phys., Univ. of Tokyo, [2] Dep. Earth & Planet. Phys., Univ. of Tokyo

Photoclinometryは惑星科学で広く使われている地形高度測定方法である。画素の輝度は太陽・地形・観測者の位置関係と地形勾配との関数である、というのがその原理だが、実際には大気による減衰・霧による散乱などにも強く影響される。そのため火星では、大気のもたらす誤差を再校正できる対称な地形、クレーターやリンクルリッジなどにその適用は限られてきた。しかし、一種の「その場校正」を行うことで大気の影響を除去し、デジタル画像から目的とする非対称な地形を簡便に得られたので、その方法を紹介する。このやり方は検知器の感度・バイアスが未知であっても線形応答を仮定できる限り応用でき、火星に限らず実用的である。

Photoclinometryは惑星科学で広く使われている地形高度測定方法である。画素の輝度は太陽・地形・観測者の位置関係と地形勾配との関数である、というのがその原理である。しかしながら、観測される輝度は大気による減衰・霧による散乱などにも強く影響される。そのため火星では、大気のもたらす誤差を再校正できる対称な地形、一定高度のリムを持つクレーターや、両側の比高が等しいリンクルリッジなどにその適用は限られてきた。しかし、一種の「その場校正」を行うことで大気の影響を除去し、デジタル画像から目的とする非対称な地形を簡便に得られたので、その方法を紹介する。このやり方は、検知器の感度・ゲイン、および暗電流などのバイアスが未知であっても、線形応答を仮定できる限りにおいて応用できるので、火星に限らず実用的である。

測定された輝度が大気を与える寄与は、従来の方法と同じく大気上層での散乱と地表反射光の大気による散乱・吸収の2要因で表現されると仮定する。隣り合った画素間で大気の影響に与える寄与が同じと仮定すると、両輝度の差分を取ることで、前者の大気上層散乱成分とデジタル化の際のバイアスを同時に除くことができる。この仮定は、画素サイズが大気の光学的擾乱の空間スケールよりも小さい限りにおいて有効である。本研究では、少なくとも $\sim 200\text{m}/\text{pixel}$ 以下では問題がなかった。更に、写真判読から真影と平坦部分の輝度を決め、両者の差で上記隣接画像差分を正規化する。これで隣り合った画素間の勾配変化量を求め、平坦部分を基準として2回積分し、画素の空間解像度を乗じることで求める地形の定量的起伏が得られる。積分の起点は勾配が既知の面であればどこでも良いが、0度の平坦面を採用した。

本手法の前提条件は、フラットフィールド校正・幾何補正が済んでいることである。また、もっとも大きな誤差因子はデジタル化の際の丸めの誤差なので、差分方向を太陽入射方向と平行にとることも重要である。更に、地表の散乱関数にはMinneart則が一般に用いられているが、勾配変化量について一次の近似で簡単に展開し、デジタルデータと勾配・比高・高度とをつなぐ式が求められる。

本手法には画像判読による真影・平坦地の判定という非客観的操作が介在しているが、無作為に画像内輝度の最大・最小値をもってその隣接画素間の差分を規格化しないのには、二つの大きな理由がある。ひとつは極端に外れたノイズの影響を避けるためで、もうひとつはアルベドの違いとその分布の寄与を考慮するためである。現状では、経験的判断から必要な領域の必要な値とその意味を踏まえた上で作業しなければ危険である。自動化アルゴリズムに乗せられるのは、以上の判読を助ける部分と高度に起こす部分だけだと考えられる。

また、画素の輝度値にのみ依存するPhotoclinometryは本来ノイズに弱いものであるが、隣接画素の差分を扱う本手法はそれ以上に弱い。特に極端に外れた孤立雑音が測線上にあった場合は問題である。そのため、前処理としてのノイズ除去が欠かせない。画素をビンニングするかあるいは適当な平滑化フィルターを噛ませる必要がある。しかし、前者は解像度を犠牲にするうえ孤立雑音を拡散させてしまう欠点を持つ。一方、後者にはまだ工夫の余地がある。

もっとも容易にノイズを除く平滑化フィルタは、メディアン(中央値)フィルタである。ランクフィルタの一種で、フィルタ被覆領域の中央値を返すものである。極端に外れた輝度値を掃き出す反面、フィルタ被覆サイズだけ位置情報が乱される。簡単で負荷が小さいことが利点だが、 $3\times 3$ の最小サイズでも画質によっては不都合が生じるので注意が必要である。ISISのboxfilter\_STDはもっとも効果的なフィルタのひとつである。画像内輝度値の標準偏差を求め、フィルタ被覆領域の平均値と注目値との差がそれを上回った場合にのみ、その平均値と置き換えるというフィルタである。画素の位置情報を乱すことなく、スパイク状のノイズまできれいに除去される。

そもそも、旧来のPhotoclinometryには3つの弱点があった。一つは、勾配が得られてもその方向が輝度値からだけではわからないことである。そのため先験的に形が知られている対象にしか適用されてこなかった。これは

本手法で差分方向の勾配変化を与えることで回避された。二つめは、アルベドの違いが顕著に現れる境界を跨ぐ測線は取れないこと。物質の違いを勾配の違いと読みとってしまうからである。これは注意深く写真判読することで回避できる。三つめはノイズに弱いことであるが、これについては上述の通り回避した。