

すばるの火星画像解析による「火星の温度分布測定」

長野工業高等専門学校天文部
下寄ゆり、渡邊みなみ、吉岡 賢、兒玉洋平、内堀拓哉、川手俊憲、小林智幸（高専 2）
山田真広、増井香織（高専 1）

1. はじめに

2003 年の夏は火星の大接近が大きな話題のひとつとなった。国立天文台ハワイ観測所「すばる」望遠鏡では、観測装置のテスト観測として火星の撮影が行われ、高校生天体観測ネットワーク (Astro-HS) を通じて、高校生のみ画像が公開された。図 1 は、「すばる」望遠鏡、冷却中間赤外線分光撮像装置 COMICS による 6 月 15 日の火星の画像である。この画像では、影（夜の部分、この画像では右側）の見えないはずの部分もしっかり写っている。この理由は、「火星からの熱輻射は、表面温度 (130K-300K) に依存した中間赤外線の波長帯であり、COMICS の画像がまさに、火星の表面温度分布を表している」からである。そこで、この画像から温度分布を求めてみることにした。

ここで、研究の対象に使用した画像は、COMICS の Q-band、波長 $16.5\mu\text{m}$, $17.6\mu\text{m}$, $18.7\mu\text{m}$, $20.8\mu\text{m}$, $24.5\mu\text{m}$ による撮像モードの画像である。この波長帯では、火星からの放射は、ほぼ完全な黒体輻射（熱輻射）であると考えてよい。図 2 は、黒体温度 $T[\text{K}]$ を横軸とした、Q-band の波長 i ごとの強度スペクトル $I_i(T)$ である。ここで、 i は、波長 $16\mu\text{m} \sim 24\mu\text{m}$ を意味する。

はじめに、各波長 (i, j) の画像の強度スペクトル比 $R_{ij}(T) \equiv I_i(T)/I_j(T)$ を使って、火星表面の温度の測定を試みたが、画像の校正ができず、温度の測定ができなかった。そこで、2 章に示す多波長の温度フィッティング法を考案し、火星の温度分布を求めた。

2. 画像解析：温度測定

火星の温度測定の具体的な手法は、次のようである。

- (1) すばる画像処理ソフト・マカリを使って、各波長 i の画像ごとに、火星の中心を原点に座標を作る。
- (2) 画像上に選んだ代表点 (A~I までの 9 点) のごとの強度データ $I_i[k]$ を波長 i ごとに求める。ただし、 k

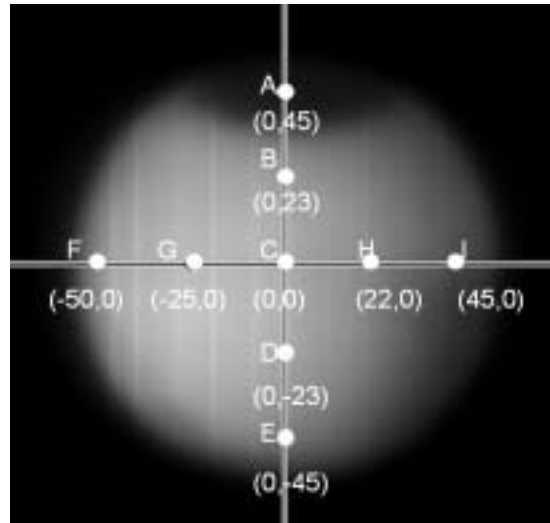


図 1 COMICS Q-band($24.5\mu\text{m}$) によって 2003 年 6 月 15 日 0 時 (JST) に撮像された火星像。画像の中心からピクセル数を単位に座標を作り、代表点を 9 点 (A~I) を選んだ。温度分布の詳細は、緯度方向 (y 軸；縦の線分) と経度方向 (x 軸；横の線分) を調べた。その結果を図 3 で表した。この画像の右側の H 近傍が夕方の境界であり、H より右 (I) は夜の部分に相当する。上 (A) は南極冠である。

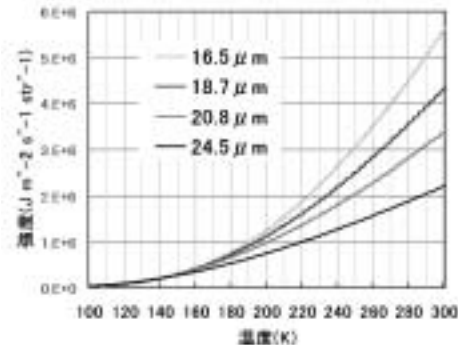


図 2 黒体温度 $T[\text{K}]$ を横軸とした、Q-band の波長 i ごとの強度スペクトル $I_i(T)$

は、A~I の 9 点を表す。ところで、Flat の問題のためか、各画像に縦縞の模様がある。そこで、この効果を減らすため、各点 k での値 $I_i[k]$ は、代表点を囲む左右上下 9 ピクセルの中央値 (Median) とした。

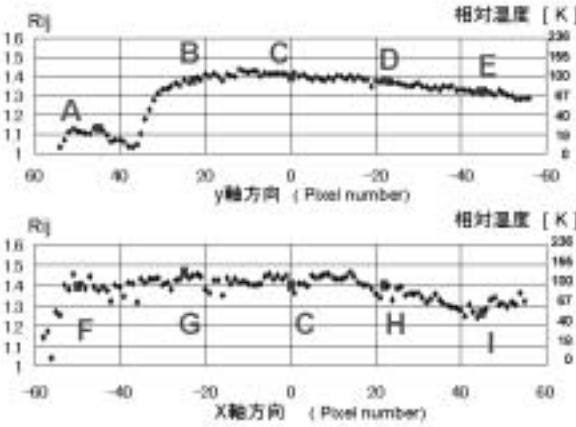


図3 上図: y 方向の相対温度分布 (図1の縦方向), 下図: x 方向 (図1の横方向) の相対温度分布。横軸は、火星の中央を原点としたピクセル数である。また、A~Iは、図1の代表点の温度を示す。左軸の値は、G点で校正した $R_{20\mu, 24\mu}$ の値を表し、右軸の値は、最低温度を基準 0[K] にした相対温度を表している。この相対温度は、G点の絶対温度の値に強く依存せず、結果として、非常に精度良く決まっている。

(3) 各波長 i ごと、画面のピクセル値が黒体温度になっているという仮定のもとで、ある1点 (ここではG点) の温度 $T_i[G]$ を与えて、プランク分布関数 (図2) より、 $I_i[k]$ を温度 $T_i[k]$ に変換する。

(4) すべての画像上のG点の温度 $T[G]$ (i に依存しない) を変数として、それぞれの画像上の残りの8点の温度 $T_i[k]$ (i に依存する) を求めた。

(5) 最後に、誤差関数 $D_{ij}(T[G]) \equiv \sum_{k=A}^I (T_i[k] - T_j[k])^2$ を最小にする温度 $T[G]$ を求めた。

以上の解析の結果、G点は $260 \pm 10\text{K}$ と求まった。

ここで求めたG点の絶対的な温度の不定性のために、火星の各点の絶対温度は $\pm 10\text{K}$ 程度でしか求まっていない。しかし、この解析を通じて、火星の相対温度分布が $T[G]$ に強く依存しないことがわかった。すなわち、火星の相対温度はきわめて良く決まっていることがわかる。図3に、 y 方向 (図1の縦方向), x 方向 (図1の横方向) に切った時の相対温度分布を示す。ここでは、最低温度の場所を基準 0[K] として表している。これらの結果を使って、図4に火星の表面温度の等高線を示す。これからわかるように、太陽直下付近 (G近傍) の温度が最も高く、 270K 程度もあり、夕方から夜の側 (図1の右側, H,I近傍) にかけて、温度が急激に減少する様子がわかる。南極冠 (A近傍) 付近の温度は、 140K 程度である。

3. 議論とまとめ

各波長 i の画像が、きちんと校正できていれば (図2のような温度-波長依存性から)、画像間の比 $R_{i,j}(T)$ から温度 T を決定できる。我々は、この手法を使う

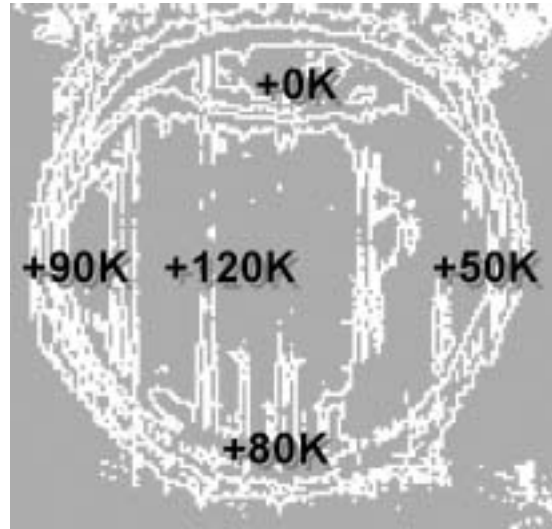


図4 火星の南極冠の温度を基準にした相対温度の等高線。この図は、画像の各ピクセルごとの $R_{20\mu, 24\mu}$ の等高線図である。縦の線は元の画像の Flat 補正がうまくできていないことによるノイズである。また、火星の周辺のノイズは、それぞれの画像のバックグラウンドの小さな揺ぎ同士の商で、大きく揺らいでいるためである。

ために、各波長 i の画像間の校正のために、各波長 i ごとの検出器の効率や、フィルタの補正、大気赤外線吸収率などの補正を試みたが、現時点で成功していない。

そこで、各波長での画像上のピクセル値が黒体温度に対応しているという仮定の下、ある1点の温度を変数にして各画像ごとの誤差 $D_{ij}(T)$ を最小限になるようにフィッティングして、火星表面の温度を求めた。9点のみのフィッティングで、絶対温度として $\pm 10\text{K}$ 程度の不定性があったが、測定点を増やすことでさらに精度が上がると期待している。一方、火星表面の相対的な温度分布は、非常に高い精度で決定できた。

ここで、相対的な温度分布がわかったことで、火星の冷えやすさ・暖まりやすさという熱慣性、および、N-band データを含めて火星表面の岩石の分布などがわかる。それらをこれからの課題とし、火星について追求していきたい。将来、この手法を太陽系内の惑星や小惑星、さらには、銀河系の天体に応用してみたい。

謝辞

火星画像の公開や本研究を勧めていただいた AstroHS の鈴木文二さんにはお世話になりました。また、マカリのよって初めて Fits 画像の解析ができました。小惑星の熱モデルについて教えていただいた ISAS の安部正真さん、ありがとうございました。天文部顧問の大西浩次さんには、研究上のアドバイスをいただきました。最後に、すばる望遠鏡の貴重な時間を提供していただいたすばるスタッフの皆さんに感謝します。