

第 II 部門 衛星熱画像の分解能が地表面温度推定値に及ぼす影響について

京都大学工学部 正員
京都大学工学部 正員
京都大学大学院 学生員

高埴琢馬
立川康人
片岡 武

京都大学工学部 正員
京都大学大学院 学生員 ○ 椎葉充晴
村木謙吾

1. 本研究の目的 地球の水循環システムを把握するためには、同時に地球の熱循環システムも把握せねばならない。この熱循環を広域的に把握する有力な手段として、衛星データの利用が考えられるようになってきた。衛星データを用いて熱循環の把握に必要な各種物理量の推定を行う際には、その衛星データの分解能が影響を与えることが考えられる。そこで本研究では、熱循環を考える際の重要な要素である地表面温度を衛星熱画像を用いて推定する時に、画像の空間分解能が推定値に及ぼす影響について考察し、その影響を補正することを考える。なお、解析には滋賀県琵琶湖北東部において航空機マルチスペクトルスキャナー (MSS) によって得られたデータ (1993 年 11 月 3 日午後 2 時 5 分から午後 2 時 10 取得) を用いた。この MSS データの空間分解能は 7.25[m] であり、得られたバンド数は 11 バンドである。

2. 地表面温度の推定について 地表面温度は、MSS データと長波放射量との関係から推定する。物体は表面温度の 4 乗に比例するエネルギー $L\uparrow$ を放出している。 ε を射出率、 σ を Stefan-Boltzman の定数 ($5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$)、 T_s を地表面温度とすると、Stefan Boltzman の法則により

$$L\uparrow = \varepsilon \sigma T_s^4 \quad (1)$$

と表される。本研究で用いたリモートセンシングデータは観測値が 0~255 の整数値 (CCT 値) で記録されている。本研究で推定する地表面温度は 300K 前後であり、地表面は $10\mu\text{m}$ 付近をピークとするエネルギーを放射しているので、MSS によって得られた 11 バンドの CCT 値のうち、観測波長帯が $8\sim 12\mu\text{m}$ の CCT 値 (CH17) を用いる。CCT 値を用いて地表面温度を推定する際には、(1) 式で表される長波放射量と CH17 の CCT 値との間に線形関係があると考え、(2) 式の回帰式によって地表面温度を推定する。

$$\varepsilon \sigma T_s^4 = aCCT + b \quad (2)$$

(2) 式の a 及び b は定数で、CCT は CH17 の CCT 値である。この回帰式を決定するために、航空機の飛行時刻における地表面の長波放射量を観測し、CH17 の CCT 値と対応させた (図 1)。

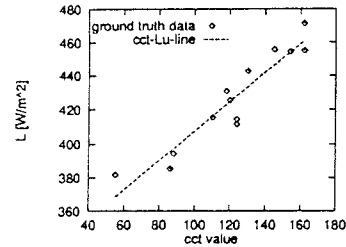


図 1 CCT 値と長波放射量 $L[\text{W/m}^2]$ との関係

3. 空間分解能と地表面温度推定値の関係 空間分解能と地表面温度推定値の関係を調べるために、今回観測された空間分解能が 7.25m である CCT データを用いて、空間分解能の異なる CCT データを作成した。具体的には、 $n \times n$ ピクセルを新たに 1 ピクセルとする空間分解能のデータを作りたい場合には、 $n \times n$ ピクセル分のデータを平均した値をその $n \times n$ ピクセル内の全てのピクセルに配列する、という方法である (図 2 参照)。ここで 1 ピクセルとは $7.25 \times 7.25 \text{ m}^2$ の領域である。本研究では $n=2, 3, 4, 6, 8, 9, 12, 16, 18, 24, 36, 48, 72, 144$ の場合について、空間分解能の異なるデータを作成した。このようにして得られたデータを用いて地表面温度の領域平均値を推定した結果を以下に述べる。

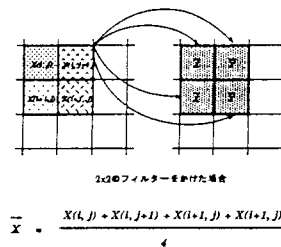


図 2 空間分解能の異なるデータの擬似的作成方法

図 3 は地表面被覆の異なる 10 領域で、地表面温度推定値の 1km^2 内の空間平均値と空間分解能との関係を調べた結果である。グラフの縦軸は、空間分解能が 7.25m のときを基準としたときの空間分解能の違いによって生じる地表面温度推定値の誤差であり、横軸は平均化し

たピクセル数である。図3を見ると、地表面被覆が湖だけの領域(cutlake.dat)では、誤差は最大でも0.007Kであり、極めて小さいといえる。その他の領域については、地表面温度のばらつきの程度が大きいほど誤差も大きくなっている。また、 $40 \times 40 \sim 144 \times 144$ ピクセル分、すなわち $30\text{m}^2 \sim 1\text{km}^2$ の空間分解能によって推定される地表面温度の領域平均値はほぼ等しいことがわかる。

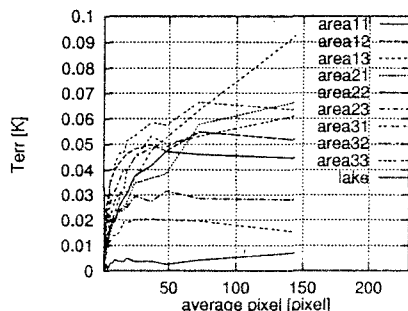


図3 空間分解能と地表面温度推定値の誤差 T_{err} [K] との関係

4. 地表面温度推定誤差の補正について 熱画像の空間分解能が粗くなることによって生じる地表面温度推定値の誤差を補正するために、高空間分解能で得られる可視データの利用を考える。補正法を考える第一段階として、熱画像(CH17)のCCT値と、それ以外の波長帯の可視・近赤外画像のCCT値との間に相関があるかどうかを調査したが、熱画像のCCT値と可視・近赤外画像のCCT値の間には相関関係が認められなかった。そこで、1ピクセルごとの相関関係ではなく、解析領域における可視・近赤外画像のCCT値のばらつきの度合をもとに地表面温度推定値の誤差を補正する方法を考えた。ここで、ばらつきの度合を表す指標として、セミヴァリオグラムを用いる。セミヴァリオグラムとは、ある地点のデータとその地点から一定距離で隔てられた地点のデータの差の2乗を全ての点について求め、その和を平均し2で割った値である[3]。本研究では、次のようにしてセミヴァリオグラム $r(d)$ を計算した。あるピクセル $P(i, j)$ のCCT値を $CCT_{ij}(0)$ 、 $P(i, j)$ から距離 $d_{min} \sim d_{max}$ [pixel] の範囲にあるピクセルのCCT値を $CCT_{ij}(d_k)$ とし、 $P(i, j)$ からそのピクセルまでの平均距離を d として、以下の式のようにセミヴァリオグラムを計算した。

$$r(d) = \frac{1}{2n} \sum_{ij} \sum_k \{CCT_{ij}(0) - CCT_{ij}(d_k)\}^2 \quad (3)$$

ただし、(3)式の $\sum_k$ は $d_{min} \leq d_k \leq d_{max}$ の範囲にあるCCT値の差の2乗の総和を表す。(3)式を用いて、10領域それ

ぞれの可視データ、CH5 ($0.53 \sim 0.57 \mu\text{m}$) のセミヴァリオグラムを計算し、空間分解能を粗くすることによって生じた地表面温度推定値の誤差と、セミヴァリオグラムとの関係を調べた。図4はCH5に関して、各領域におけるセミヴァリオグラムの値と地表面温度推定値の誤差の関係を表示したものである。この図は、空間分解能が $n \times n$ ピクセルのときの地表面温度推定値の誤差と、平均距離が n ピクセルのときのセミヴァリオグラムの値とを、 $n = 2, 3, 4, 6, 8, 9, 12, 16, 18, 24, 36, 48, 72$ 、についてプロットしたものである。このグラフを見ると、地表面温度推定値の誤差 T_{err} とセミヴァリオグラム $r(d)$ との間に、線形関係を見い出すことができる。よって、両者の関係は(4)式と表すことができる。

$$T_{err} = a r(d) \quad (4)$$

ここに、 a は定数。しかし、(4)式の a は領域ごとに異なり、直線を一意に決めることはできなかった。

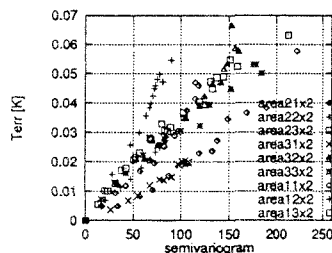


図4 CH5のセミヴァリオグラムと T_{err} [K] の関係

5. おわりに 本研究により、リモートセンシングの空間分解能と地表面温度推定値の誤差との関係を把握することができた。また、地表面温度推定値の誤差と、可視データのCCT値のばらつきの程度との間に線形関係が見い出された。今後の課題としては、(4)式を普遍的に決定し、地表面温度のばらつきの程度が大きくなり誤差が大きくなる場合には補正を行ない、これらの結果をふまえて、空間分解能によらない普遍的な地表面熱収支モデルを構築することが挙げられる。

参考文献

- [1] 日本リモートセンシング研究会: 図解リモートセンシング, 社会法人日本測量協会, 1992
- [2] 陸域-大気系の水循環過程解明研究班: 琵琶湖プロジェクトデータカタログ, pp48~50, 1994
- [3] P.A.Burrough (安仁屋政武, 佐藤亮訳): 地理情報システムの原理 土地資源評価への応用, pp.182~183, 1990