

(54) 「ひまわり8号」熱赤外データによる地球表面温度の推定について

内田 裕貴¹・朝香 智仁¹・野中 崇志²・岩下 圭之²・杉村 俊郎¹

¹正会員 日本大学生産工学部土木工学科 (〒275-8575千葉県習志野市泉町1-2-1)

E-mail: uchida.yuuki@nihon-u.ac.jp

²正会員 日本大学生産工学部環境安全工学科 (〒275-8575千葉県習志野市泉町1-2-1)

2014年10月に打ち上げられた「ひまわり8号」は、従来より大幅な観測機能の向上が図られた新世代静止気象衛星である。地球全体を10分、日本付近においては2.5分間隔で観測を行い、地球表面温度の日変化を詳細に監視することが出来る。一方1999年12月に打ち上げられた地球観測衛星TERRAに搭載されたASTERは15年にわたる観測実績および検証実験から地球表面温度情報に補正処理したプロダクトを提供している。

「ひまわり8号」が観測する温度情報は大気の影響を受けたもので、地球表面温度を推定するため種々補正手法が開発されている。簡単な手法としては、近接した観測波長帯域の観測値から大気の影響を推定し補正するスプリットウィンドウ法が知られている。本研究は同時刻に観測されたASTERデータを参照して本手法の有効性について検証したものである。

Key Words : Himawari-8, TERRA/ASTER, thermal information, split window

1. はじめに

2014年10月7日に打ち上げられた静止気象衛星「ひまわり8号」は、2015年7月7日に無事定常運用に移行した¹⁾。定常運用移行後も観測画像データの処理アルゴリズムの調整は続けられ現在ではかなり良好な精度で処理が行われている²⁾。

「ひまわり8号」は、従来の6・7号よりも性能の高い次世代型静止気象衛星で、同様な性能の次期気象衛星の打ち上げを予定している米国や欧州に先んじて日本が打ち上げに成行した³⁾。表-1に搭載されたセンサAHI(Advanced Himawari Imager)の地上分解能および観測波長帯を示す。観測画像中バンド11~16が8~14 μ の観測波長帯域であり、地球表面からの熱放射を観測している。

研究者用に配信されるデータセットには、観測画像の他に各種補正用情報も含まれている。表-2は各バンドの観測値から放射輝度温度に変換するための係数である⁴⁾。

一方、1999年12月18日に打ち上げられた米国地球観測衛星TERRAに搭載されたセンサ

ASTER(Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflectance radiometer)は通産省(現経産省)による

表-1 AHIの観測波長帯

バンド	分解能 (km)	中心波長 (μ m)	バンド幅 (μ m)
1	1.0	0.4705	0.0407
2	0.5	0.5105	0.0308
3	1.0	0.6399	0.0817
4	1.0	0.8563	0.0345
5	2.0	1.6080	0.0409
6	2.0	2.2570	0.0441
7	2.0	3.8848	0.2006
8	2.0	6.2383	0.8219
9	2.0	6.9395	0.4919
10	2.0	7.3471	0.1871
11	2.0	8.5905	0.3727
12	2.0	9.6347	0.3779
13	2.0	10.4029	0.4189
14	2.0	11.2432	0.6678
15	2.0	12.3828	0.9656
16	2.0	13.2844	0.5638

表-2 放射輝度および輝度温度への変換係数

	B11	B12	B13	B14	B15	B16
中心波長(μm)	8.2926	9.6372	10.4073	11.2395	12.3806	13.2807
カウント値→放射輝度 gain(×10 ⁻⁹)	-4.0007	-3.9260	-3.7525	-3.5027	-3.1174	-5.7635
カウント値→放射輝度 offset(×10 ⁻⁷)	1.6203	9.6372	1.5198	1.4186	1.2625	1.1527
放射輝度→輝度温度 ca(×10 ⁻⁴)	-1.5917	-3.9260	-1.1613	-2.4267	-3.5125	-0.9101
放射輝度→輝度温度 c1	1.0011	1.5900	1.0010	1.0023	1.0036	1.0010
放射輝度→輝度温度 ca(×10 ⁻⁴)	-1.6926	-1.1305	-1.7696	-4.4007	-7.7588	-2.3232

地球観測機器で、8～12μの観測波長帯域を6バンド、地上分解能90mで観測を行っている。15年におよぶ運用と平行して現地調査、同期観測等による校正実験が積み重ねられ⁵⁾⁶⁾、現在では観測輝度温度に変換した処理レベルのデータも提供されている。

本研究では、「ひまわり8号」の観測値より輝度温度を算出し、ほぼ同時刻に観測されたASTERによる輝度温度との比較を行った。さらに簡単な輝度温度補正法として知られるスプリットウィンドウ法⁷⁾の適用について実験を行い、ASTERデータを参照値として有効なバンドと係数について検討を行った。

2. 次世代静止気象衛星「ひまわり8号」

次世代静止気象衛星「ひまわり8号」に搭載されたセンサAHIは従来機である「ひまわり6, 7号」に搭載されたセンサに比べて以下の点で機能が向上している。

- 1) 観測バンド数の増加：可視、近赤外域は1から4バンドに、中間赤外域は0から6バンドに、熱赤外域は2から6バンドに増加した。
- 2) 空間分解能の向上：可視、近赤外域は1および0.5kmに、赤外域は2kmに向上した。
- 3) 観測間隔の短縮：全球観測は30分から10分間隔で、また日本付近等特定領域を2.5分間隔で観測できる。

青バンドが加わり、赤バンドの分解能が0.5kmに向上しているため、従来機では見られなかった詳細なトルーカラー合成(RGB=321, 図-1左)やフォールス

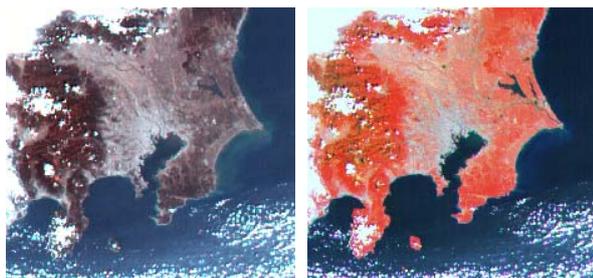


図-1 「ひまわり8号」カラー合成画像

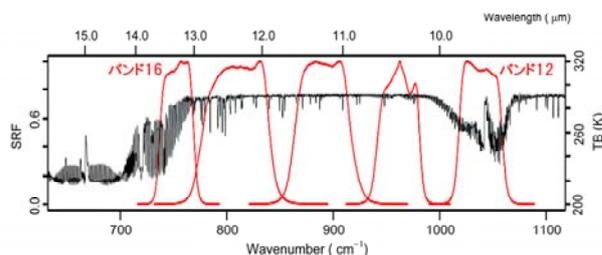


図-2 AHI熱バンドの観測波長帯域

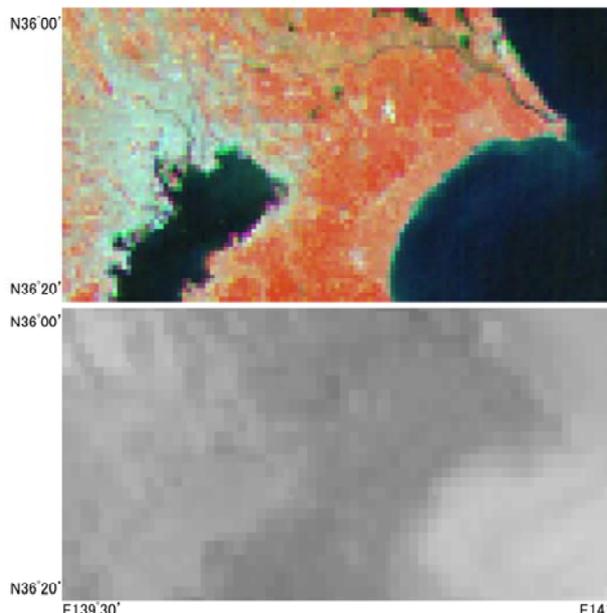


図-3 幾何補正後のフォールスカラー及びバンド14画像

カラー合成(RGB=432, 図-1右)が可能となった。熱赤外バンドの分解能は2kmであるが、同時観測されている可視、近赤外データにより地球表面の状態が確認可能である。バンド11～16が8～14μ波長帯域に当たるが、図-2のとおりバンド12とバンド16はSO₂、CO₂の吸収帯を含んでいる。

2015年5月14日10時30分観測の「ひまわり8号」画像を同時に配信される位置情報を元に地図投影変換を行い、緯経度座標に幾何補正した。北緯35°20'～36°、東経139°30'～141°の領域のフォールスカラー合成画像とバンド14(Landsat熱バンドと同じ観測波長帯域)画像を図-3に示す。

3. TERRA/ASTER

TERRAは1999年12月18日に打ち上げられたNASAの宇宙計画「地球観測システム(EOS:Earth Observation System)」で開発された最初の衛星である。国際協力のもと日本から通産省(現経産省)による資源探査観測システムとしてセンサASTERが開発され搭載された。ASTERは高性能光学センサで以下の様に可視から熱赤外まで幅広い観測波長帯域を有

し、地球を構成する地圏、水圏、雪氷圏、生物圏、大気圏やそれらの相互関係の研究を目的としている⁸⁾。

- 1) 可視・近赤外域：可視近赤外放射計(VNIR)により、可視2バンド、近赤外1バンドおよび後方視近赤外1バンドを空間分解能15mで観測する。
- 2) 短波長赤外域：短波長赤外放射計(SWIR)により、1.6～2.4μm帯域を6バンド、地上分解能30mで観測する。
- 3) 熱赤外域：熱赤外放射計(TIR)により、8～12μm帯域を5バンド、地上分解能90mで観測する。

2015年5月14日10時30分に観測されたデータから地表面温度放射輝度(処理レベル2B03)を入手した。このプロダクトはTIR放射計によって取得した熱赤外5バンドデータに大気補正処理後の地表面放射輝度から温度/放射率分布処理により地表面温度を求めたデータセットである。図-4にフォールスカラー画像とAHI幾何補正処理と同じ緯経度座標に投影変換した熱画像を示す。

4. AHIとASTERの観測値の比較

AHIバンド11～16は、地球表面の温度情報を知るために以下の変換式および変換係数が提供されている。式(1)は観測値から放射輝度への、式(2)は放射輝度か

ら輝度温度への変換式である。各補正係数は表-2に示す値が提供されている。

$$I = \text{gain} \times \text{DN} \times \text{offset} \quad (1)$$

$$T_e(\lambda, I) = \frac{hc}{k\lambda} \cdot \frac{1}{\ln\left(\frac{2hc^2}{\lambda^5 I} + 1\right)} \quad (2)$$

$$T_b = c_0 + c_1 T_e + c_2 T_e^2$$

DN：観測値

I：放射輝度

offset、gain：提供される係数

T_b：輝度温度

λ：中心波長

h, c, k：定数

c₀, c₁, c₂：提供される係数

AHIによる観測輝度温度をASTERによる補正済地表面温度と比較した⁹⁾。ASTERデータは温度校正されている処理レベルL2B03データ(0.1度単位の情報)を使用した。両者の相関関係を表-3に示す。横軸にASTERデータ、縦軸にAHIデータとして比較結果を図

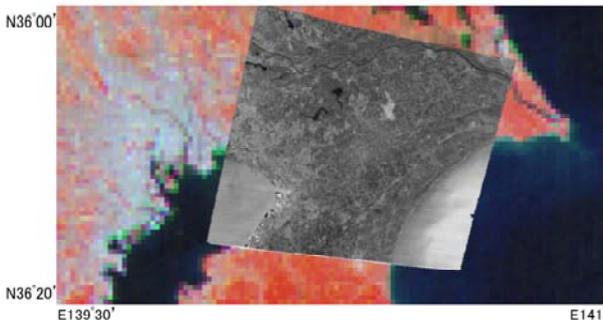
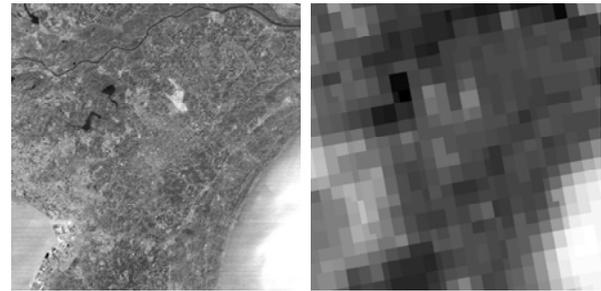


図-4 ASTERによるフォールスカラー画像(上)および地表面温度画像(下)



ASTER 温度画像 AHI バンド 14 温度画像

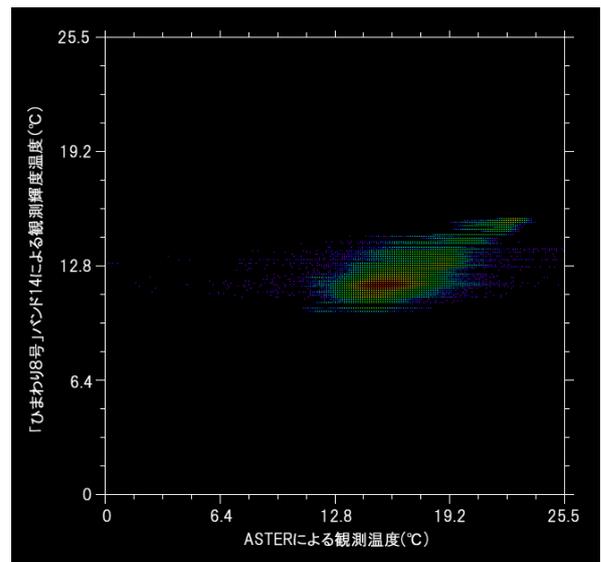


図-5 AHIとASTERによる観測値の比較

表-3 ASTERとAHIの観測輝度の相関

Band	R	R(10x10)	a	b
11	0.739	0.863	0.73	-5.7
12	0.737	0.855	0.55	16.6
13	0.774	0.901	0.67	2.6
14	0.777	0.905	0.60	2.2
15	0.710	0.830	0.46	-1.2
16	0.628	0.744	0.29	29.6

表-4 スプリットウィンドウ法の補正係数

	11	12	13	14	15	16
11	-	0.417247	1.395555	1.699388	7.560946	0.306322
12	0.582753	-	0.831587	0.772292	0.588095	-1.61323
13	-0.39555	0.168413	-	-2.19614	-0.41263	0.110815
14	-0.69939	0.227708	3.196143	-	0.153642	0.153642
15	-6.56095	0.411905	1.412629	1.735227	-	0.301424
16	0.693678	2.613233	0.889185	0.846358	0.698576	-

-5に示す。各バンドの観測値とASTERデータの相関係数は0.6~0.8程度であったが、広域を対象としていることおよび地上分解能の差が大きいたこと等が原因と考えられる。分解能を調整(10×10画素の平均化)すると相関係数は0.75~0.9に達していることから相関は認められる。なおバンド14における回帰式の傾きは約0.6であり、AHIの方が低く観測されている。図-2に示す様に観測波長帯域でSO₂、CO₂の吸収帯が含まれるバンド12, 16はその差が特に大きい。

5. スプリットウィンドウ法による補正

各バンドで観測値が異なるのは大気の影響が波長帯により異なるためである。言い換えるとバンド間に現れる差が大気の影響であり、これを利用した補正方法がスプリットウィンドウ法として利用されている。以下に補正式を示す。

$$T_s = T_{b_i} + (T_{b_i} - T_{b_j}) * \alpha \quad (1)$$

ここで、T_sは地球表面温度、T_{b_i}はバンドiによる観測輝度温度、T_{b_j}はバンドjによる観測輝度温度、αは補正係数である。

図-5に示す領域を対象としてT_sをASTERデータ、AHIのバンドi, jにおける観測輝度温度をT_{b_i}, T_{b_j}としてαを求めた結果を表-4に示す。

6. 考察と展望

AHIバンド14および15の組み合わせによるスプリットウィンドウ法により求めた地表面温度推定結果をASTERと比較すると、相関係数は0.739、残差の絶対値の平均は8.4°、標準偏差は1.5であった。

地域や季節等により最良の組み合わせの傾向は異なるものと思われるが、事例検証を加え、共通して良好な結果を導く組み合わせ補正係数の検証が引き続き必要と思われる。

謝辞：本論文のデータ処理の一部は情報通信研究機構のNICTサイエンスクラウドを用いて行われました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省気象庁：静止気象衛星「ひまわり8号」の運用開始日について(H27.5.27), 気象衛星センターお知らせ, <http://www.jma.go.jp/jma/press/1505/27a/20150527_himawari8_operation_schedule_press.html>, (入手2016.6.3).
- 2) 国土交通省気象庁：静止気象衛星「ひまわり8号」による観測データの品質向上について(H28.3.9), 気象衛星センターお知らせ, <http://www.data.jma.go.jp/mscweb/ja/operation8/eventlog/20160309_himawari-8_event_ja.pdf>, (2016.6.3閲覧).
- 3) 国土交通省気象庁：リーフレット新しい静止気象衛星—ひまわり8, 9号—, <<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/himawari/index.html>>, (入手2016.6.3).
- 4) 国土交通省気象庁：ひまわり標準データ利用の手引き, <http://www.data.jma.go.jp/mscweb/en/himawari89/space_segment/hsd_sample/HS_D_users_guide_jp_v11.pdf>, 2015(入手2016.6.3).
- 5) 野中、松永、沢辺、森山、外岡：地上ターゲットを用いたTerra ASTERとLandsat-7 ETM+の熱赤外バンドの輝度校正、日本リモートセンシング学会誌、Vol. 22, No. 1, pp. 62-77, 2002.
- 6) 資源・環境観測解析センター(ERSDAC)：資源探査用将来型センサ(ASTER), <http://www.jspacesystems.or.jp/project-aster/wp-content/uploads/sites/18/2013/03/138r2aster_index.pdf>, (入手2016.6.3).
- 7) Price, C. J. : Land surface temperature measurement from the split window channels of the NOAA 7 Advanced Very High resolution Radiometer, The Journal of Geophysical Research 89, pp. 7231-7237, 1984.
- 8) 資源・環境観測解析センター(ERSDAC)：ASTERリファレンスガイド, <https://unit.aist.go.jp/igg/rs-rg/ASTERSciWeb_AIST/jp/documnts/pdf/ASTER_RefV1.pdf>, (入手2016.6.3).
- 9) 内田、奥山、岩下、杉村：ひまわり8号/AHI及びTERRA/ASTER熱赤外データの比較、日本リモートセンシング学会第60回(平成28年度春季)学術講演会論文集, pp. 179-180, 2016.