

GMSとMTSAT赤外チャンネルの中心波長・波数とセンサプランク関数
**Central Wavelengths and Wavenumbers and Sensor Planck Functions
of the GMS and MTSAT Infrared Channels**

太原 芳彦*

TAHARA Yoshihiko

Abstract

Satellite based imagers and sounders observe radiation from the Earth with specific band widths. Weinreb et al. (1981) and Planet (1988) propose a sensor Planck function to convert the observed radiance to brightness temperature and vice versa. Their method is to introduce band correction coefficients into the monochromatic Planck function, and this enables a conversion that is fast and accurate. Using this method, the sensor Planck functions for all infrared channels of the imagers aboard GMS and MTSAT satellites are generated.

要 旨

イメージャやサウンダは、チャンネル固有の応答関数で表される帯域幅を持って地球からの放射量を観測する。このため、放射輝度と等価黒体温度（輝度温度）との変換には、単色光のプランク関数の応答関数による加重積分が必要となる。この変換を高精度かつ高速に行う手法として、Weinreb et al (1981)やPlanet (1988)らは、単色光プランク関数にバンド補正係数を導入したセンサプランク関数を提案した。この手法を利用して、GMS衛星及びMTSAT衛星の全赤外チャンネルについて、その中心波長と波数、センサプランク関数のバンド補正係数の計算を行った。

1. はじめに

イメージャやサウンダは、チャンネル固有の応答関数で表される帯域幅を持って地球からの放射量を観測する。このため、放射輝度と等価黒体温度（輝度温度）との変換には、単色光のプランク関数の応答関数による加重積分が必要となる。この変換計算には、衛星画像データに含まれる、カウント値と輝度温度や放射輝度との対応テーブルが利用可能である。

一方で、この変換を高精度かつ高速近似する手法として、Weinreb et al (1981)やPlanet (1988)らは、単

色光プランク関数にバンド補正係数を導入したセンサプランク関数を提案した。このセンサプランク関数の算出は簡単で、これを利用することで、テーブルの読み出しや保持、テーブルに無い値の変換が必要となる内挿計算が不要となる利点が見られる。

本報告では、まず、センサプランク関数とその算出方法について紹介する。そして、GMS衛星やMTSAT衛星の全赤外チャンネルについてセンサプランク関数の算出を行い、各チャンネルの中心波長や波数、バンド補正係数、センサプランク関数の変換精度について計算結果を示す。

*気象衛星センターデータ処理部システム管理課
(2007年7月27日受領、2007年12月21日受理)

2. 中心波長とセンサプランク関数の定義

気象衛星搭載のイメージャやサウンダといったセンサは、地球大気上端から放出される外向き放射を観測する。その放射輝度 (radiance) と等価黒体温度 (brightness temperature、以後輝度温度と呼ぶ) とは、チャンネル固有の感度特性を表す応答関数 (spectral response function、SRF) と、プランク (Planck) の式で対応づけられる。

$$I = \frac{\int S_i(\lambda) B(\lambda, T^b) d\lambda}{\int S_i(\lambda) d\lambda} \quad (1)$$

ここで、 I は放射輝度、 T^b は輝度温度、 λ は波長、 $S_i(\lambda)$ はチャンネル i の応答関数、 $B(\lambda, T^b)$ は単色光のプランク関数 (Planck function) を表す。

$$B(\lambda, T^b) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{k\lambda T^b}} - 1} \quad (2)$$

h はプランク定数、 k はボルツマン定数、 c は光速を表す。

式(1)は、輝度温度を放射輝度に変換することができるが、積分計算を必要とするため多くの計算量が必要となる。放射輝度から輝度温度に変換する場合は、式(1)を逆解きするため、さらに計算が大変になる。そこで、輝度温度と放射輝度との変換に、対応テーブルを利用する方法もあるが、Weinreb et al. (1981)、Planet (1988) は、プランク関数を応用したセンサプランク関数を提案している。

$$I = B_i(T^b) = B(\lambda_i, T_i^e) \quad (3)$$

B_i はチャンネル i のセンサプランク関数で、単色光のプランク関数 B に、チャンネルを代表する波長 λ_i と、輝度温度 T^b の関数である有効温度 (effective temperature) T_i^e を代入する形で表される。通常、チャンネルを代表する波長には、中心波長 (central wavelength) を利用する。

$$\lambda_i = \frac{\int \lambda S_i(\lambda) d\lambda}{\int S_i(\lambda) d\lambda} \quad (4)$$

有効温度を表す関数は、チャンネルごとに定義される。図1上段に、MTSAT-1 R赤外チャンネルIR 1の有効温度の例 (曲線) を示す。有効温度は、変動幅は0.05Kと小さいため、数値予報での利用など0.1K程度の変換精度があれば十分な場合、1次式で近似できる。

$$T_i^e \approx c_{1,i} + c_{2,i} T^b \quad (5)$$

係数 c_1 と c_2 は、バンド補正係数 (band correction coefficients) と呼ばれる。図1上段の例について、近似結果を×点で、その近似誤差を図中段に示す。センサの校正や検証など変換精度を上げたいとき、2次ないし高次の近似式が利用される。この場合、有効温度と輝度温度の相互変換が容易に行えるように、次の2つの近似式を求めておくと便利である。

$$T_i^e \approx c_{1,i} + c_{2,i} T^b + c_{3,i} (T^b)^2 + \dots \quad (6)$$

$$T^b \approx c'_{1,i} + c'_{2,i} T_i^e + c'_{3,i} (T_i^e)^2 + \dots$$

2次近似結果の例を図1上段の○点で、近似誤差を図下段に示す。2次近似を利用すると多くの場合で、0.01K以下の誤差に収まる。

波数空間 $\tilde{\nu}$ における中心周波数とセンサプランク関数が必要となる場合、中心波数及びバンド補正係数を、上記式に基づき別途計算することが必要となる。これは、式(4)のように、中心波数及び放射輝度の計算に応答関数による加重積分が必要となるため、中心波長の逆数が中心波数にならず、また放射輝度についても波数空間と波長空間との変換が容易ではないためである。

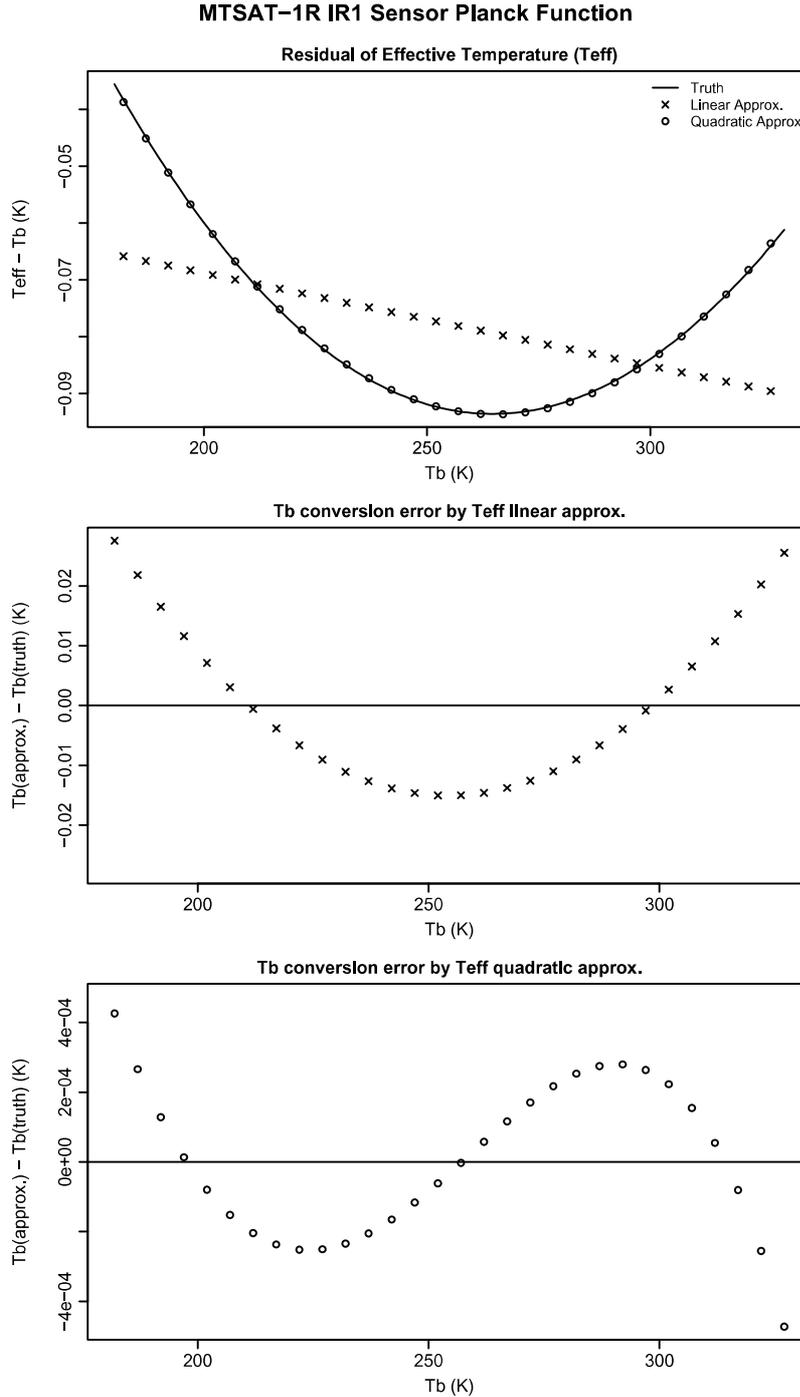


図 1 : 上図は、MTSAT-1R赤外チャネルIR1について、輝度温度に対する輝度温度と有効温度の差。曲線は有効温度をIR1の応答関数に基づく積分計算で求めた値、×と○はそれぞれ、その線形近似と2次近似を行った結果を示す。中図に線形近似誤差、下図に2次近似誤差を示す。

Figure 1: The top chart shows the difference between the brightness temperature and effective temperature as a function of the brightness temperature regarding channel IR1 (10.8 microns) of MTSAT-1R. The solid curve represents the difference obtained by accurate calculations based on the SRF of MTSAT-1R IR1. The crosses represent the differences approximated by a linear equation, and the circles represent the differences approximated by a quadratic equation. The middle chart shows the approximation error of the linear equation, and the bottom chart shows the approximation error of the quadratic equation.

3. チャンネルにディテクタが複数ある場合の応答関数の合成

GMS-1~5までの赤外チャンネルには、各チャンネルの感部（ディテクタ）が1個しかなかった。しかし、MTSAT-1Rの赤外チャンネルには84個、MTSAT-2には2個のディテクタがある。一方、MTSAT-1R及び2の配信データは投影済み画像データで、その画像ピクセルを観測したディテクタを認識することはできない。そこでここでは、複数のディテクタが観測する放射輝度の平均に対応する応答関数を、そのチャンネルの応答関数として取り扱うことを考える。

ディテクタ k の規格化された応答関数を S_k ($\int S_k d\lambda = 1$)、ディテクタ k が観測する、輝度温度 T^b に対応する放射輝度を I_k とすると、 T^b に対応する n 個のディテクタが観測する放射輝度の平均 \bar{I} は、

$$\begin{aligned}\bar{I} &= \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n I_k \\ &= \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \int P(\lambda, T^b) S_k(\lambda) d\lambda \\ &= \int P(\lambda, T^b) \left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n S_k(\lambda) \right) d\lambda\end{aligned}\quad (7)$$

となる。よって、ディテクタが観測する放射輝度の平均に対応する応答関数は、

$$\bar{S}(\lambda) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n S_k(\lambda), \quad \text{where} \quad \int S_k(\lambda) d\lambda = 1 \quad (8)$$

となり、規格化された応答関数の平均で表される。

4. バンド補正係数の算出

バンド補正係数の算出は、次の手順で行う。

Step1: 式(4)を用いて中心波長を求める。

Step2: 式(1)右辺の T^b に、適当な温度区間 $[T_{\min}, T_{\max}]$ で、適当な間隔 δT で変えなが

ら与えることで、放射輝度 I と T^b の対応テーブルを作成する。

Step3: Step 1 で求めた中心波長 λ と、Step 2 で求めた放射輝度 I を、単色光のプランク関数の逆関数に代入し、対応する有効温度 T^e を計算する。これにより、 T^b と T^e との対応テーブルが求まる。

Step4: Step 3 で求めた、 T^b と T^e の対応テーブルについて回帰計算を行い、式(5)ないし式(6)のバンド補正係数を求める。

温度区間 $[T_{\min}, T_{\max}]$ は、用途に応じて与えればよい。また、温度間隔 δT に関しては1 Kもあれば十分である。

5. 計算上の注意点

中心波長（波数）、及び、バンド補正係数を実際に数値計算する場合、以下の点に注意する必要がある。

積分計算の細分化

波長（波数）域の積分計算は、応答関数が与えられる離散間隔で行わず、これをさらに細分化して行う必要がある。例えば、式(1)の分母は、単純に応答関数の積分だから細分化の有無にかかわらず台形積分の結果は同じになるが、分子の被積分関数は非線形になるため、細分化せずに線形近似を行うと近似誤差が大きくなる。

応答関数の内挿

応答関数の内挿は、線形内挿で行う方が無難である。スプライン等の補間手法もあるが、過渡変化に弱く思わぬ誤差を生じることがある。また、応答関数を細分化する場合、応答関数がどのように計測されたかについても注意する必要がある。応答関数が等波長間隔で計測された場合、その細分化は波長空間で行い、等波数空間で計測された場合、細分化は波数空間で行う方が適切である。

この積分計算の細分化は重要で、特にMTSAT-1Rのような応答関数の離散間隔が大きい場合、細分化の

有無によって、それらから得られたセンサプランク関数の計算結果の違いが大きくなる。経験上、離散間隔を1/1000に細分化すれば、単精度の有効数字程度の近似誤差に収まる。

6. GMSとMTSAT赤外チャンネルの中心波長・波数とバンド補正係数

GMSとMTSAT赤外チャンネルの応答関数を、図2に示す。GMS-1～4の観測帯域は、赤外ウィンドウ域の全域に広がっている。また、GMS-5のIR1とIR2の観測帯域は重なりが大きいこと、MTSAT-1Rと2のIR3は、GMS-5のIR3よりもより水蒸気による吸収が強い帯域を観測することが分かる。これら赤外チャンネルの中心波長及び中心波数を表1に、バンド補正係数と有効温度の最大近似誤差を表2から表5に示す。中心波長や波数、バンド補正係数の有効桁数は、地上試験で測定された応答関数の解像度や測定精度の制限により、表に示したほどには無い。しかし、計算過程に生じる誤差を極力減らすために、有効桁数を大きめにとり表に示した。

表2と表3は、有効温度 T^e を線形近似した場合のバンド補正係数で、プロダクト作成や数値予報利用といった応用利用を目的とするため、係数計算に利用した温度区間は[180K, 330K]とした。表4と表5は、有効温度を2次近似した場合のバンド補正係数で、センサの校正と検証での利用を目的とするため、係数計算に利用した温度区間は[130K, 330K]とした。温度間隔は、いずれも $\delta T=1K$ とした。

輝度温度 T^b と T^e 有効温度はほぼ線形関係にあるため、表に示した有効温度の最大近似誤差は、センサプランク関数の最大変換誤差を温度で表したものとほぼ等価になる。近似誤差は、観測帯域が広いGMS-1～4で大きくなる傾向にある。しかし、線形近似でもその誤差の最大は、波長帯域のプランク計算(表2)においても0.15K程度で、その他のチャンネルについては0.05K以下となった。2次近似の場合、バン

ド計数計算に利用した温度区間を広くしたにもかかわらず誤差はより小さくなり、観測帯域が広いGMS-1～4とMTSAT-1R及び2のIR4チャンネルを除き、0.002K以下の変換精度が得られる。

参考文献

- Planet, W. G., 1988: Data extraction and calibration of TIROS-N/NOAA radiometers. NOAA Tech. Rep. NESS 107 (Rev. 1) .
- Weinreb, M. P., Fleming, H. E., McMillin, L. M. and Neuendorffer, A. C., 1981: Transmittances for the TIROS Operational Vertical Sounder. NOAA Tech. Rep. NESS 85.

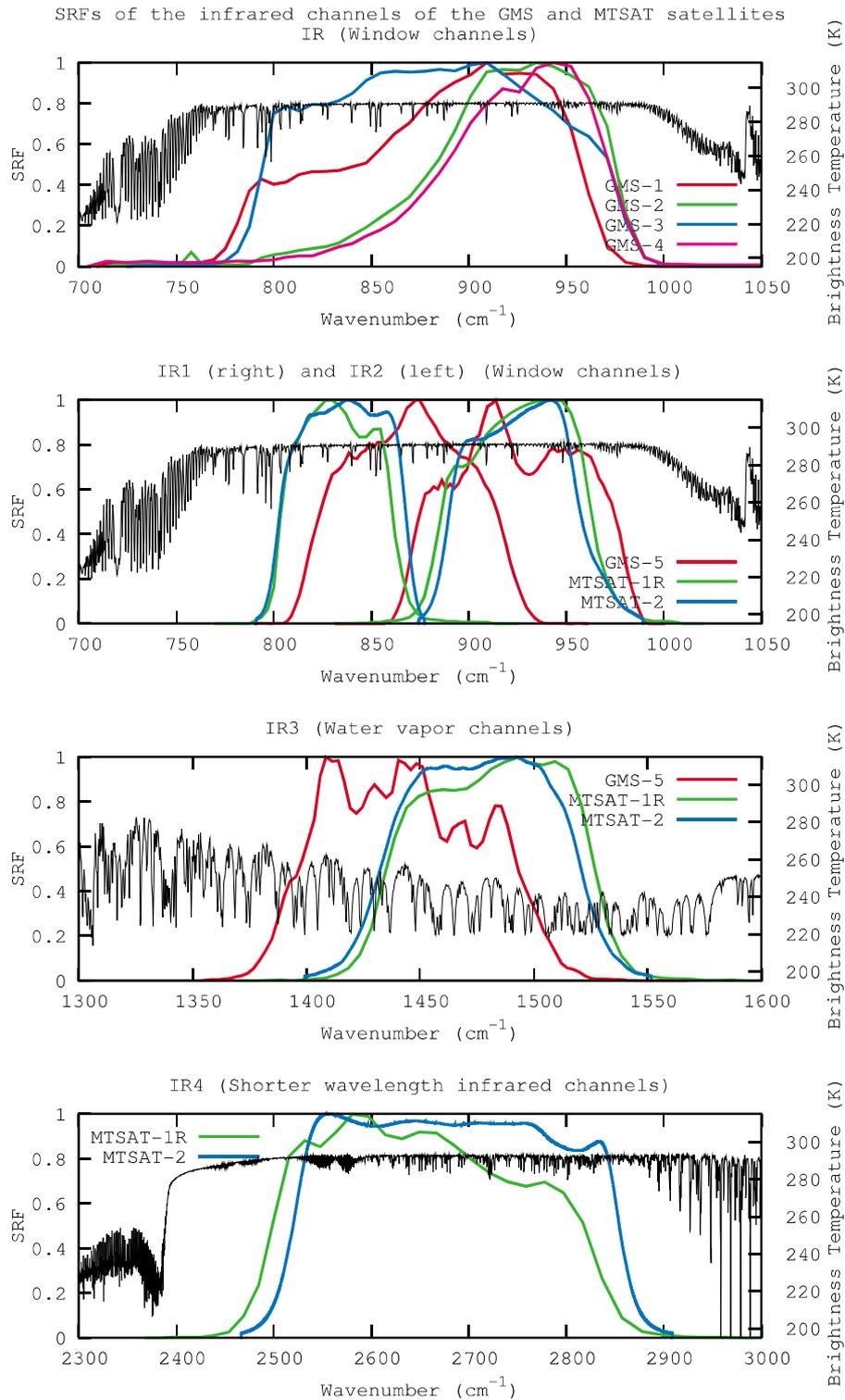


図2：GMSとMTSAT赤外チャネルの応答関数。細い黒線は、米国標準大気について、放射伝達モデルLBLRTMとHITRAN2000ラインデータベースを利用して計算した、大気上端における外向き放射の輝度温度。

Figure 2 : SRFs of the infrared channels aboard the GMS and MTSAT satellites. The thin black lines represent the brightness temperatures of the up-welling radiances at the top of the atmosphere simulated by the radiative transfer model LBLRTM with the HITRAN2000 (AER updates) line parameters with respect to the U.S. standard atmosphere.

表1： GMS及びMTSAT赤外チャネルの中心波長と波数。

Table 1: Central wavelengths and wavenumbers of the infrared channels aboard the GMS and MTSAT satellites.

Satellite	Infrared Channel	Attribute	Central Wavelength (μm)	Central Wavenumber (cm^{-1})
GMS-1	IR		11.418612	884.9870
GMS-2	IR		10.975875	918.0030
GMS-3	IR		11.450810	882.5031
GMS-4	IR		10.960250	921.4033
GMS-5	IR1		10.842550	925.3141
	IR2		11.536931	869.5657
	IR3		6.938345	1443.4487
MTSAT-1R	IR1	primary	10.815423	926.6118
	IR2		12.019579	833.1675
	IR3		6.754582	1482.2068
	IR4		3.784797	2652.9316
	IR1	redundant	10.817006	926.4664
	IR2		12.018014	833.2789
	IR3		6.754582	1482.2068
	IR4		3.784797	2652.9316
MTSAT-2	IR1	primary	10.813074	926.4627
	IR2		11.985639	835.6672
	IR3		6.779563	1476.6898
	IR4		3.741066	2684.1181
	IR1	redundant	10.812001	926.5468
	IR2		11.984590	835.7305
	IR3		6.779401	1476.7304
	IR4		3.741066	2684.1181

表2：GMS及びMTSAT赤外チャンネルの波長空間センサプランク関数における、線形近似 $T^e = c_1 + c_2T^l$ によるバンド補正係数 c_1 、 c_2 と、有効温度 T^e の最大近似誤差。

Table 2: Band correction coefficients c_1 and c_2 to estimate effective temperatures T^e by linear approximation $T^e \approx c_1 + c_2T^l$ and the maximums of their approximation errors regarding the wavelength space sensor Planck functions of the infrared channels aboard the GMS and MTSAT satellites.

Satellite	Infrared Channel	Attr.	c_1	c_2	Max T^e approx. error (K)
GMS-1	IR		-0.4666340	1.0004316	0.15
GMS-2	IR		-0.2565909	0.9999300	0.11
GMS-3	IR		-0.4177618	1.0002618	0.15
GMS-4	IR		-0.3244766	0.9998918	0.14
GMS-5	IR1		-0.0556830	0.9997598	0.05
	IR2		-0.1415532	1.0001397	0.01
	IR3		0.2890483	0.9988507	0.05
MTSAT-1R	IR1	pri.	-0.0360641	0.9998363	0.03
			-0.0872808	1.0001724	0.02
			0.2404370	0.9990673	0.01
			2.0708131	0.9950995	0.01
	IR1	red.	-0.0361872	0.9998364	0.03
			-0.0874450	1.0001726	0.02
			0.2404370	0.9990673	0.01
			2.0708131	0.9950995	0.01
MTSAT-2	IR1	pri.	-0.0280833	0.9998591	0.02
			-0.0975621	1.0001912	0.02
			0.2304012	0.9991033	0.01
			2.1851431	0.9948536	0.01
	IR1	red.	-0.0279004	0.9998595	0.02
			-0.0968270	1.0001897	0.02
			0.2311384	0.9991004	0.01
			2.1851431	0.9948536	0.01

表3：表2と同じ。ただし、波数空間センサプランク関数用。

Table 3: The same table as Table 2, but for the wavenumber space sensor Planck functions.

Satellite	Infrared Channel	Attr.	c_1	c_2	Max T^e approx. error (K)
GMS-1	IR		1.5298064	0.9944519	0.04
GMS-2	IR		1.1457905	0.9959632	0.03
GMS-3	IR		1.5757265	0.9943072	0.04
GMS-4	IR		1.4928862	0.9947865	0.04
GMS-5	IR1		0.5414649	0.9981273	0.01
	IR2		0.4745482	0.9982653	< 0.01
	IR3		0.4725740	0.9988797	0.01
MTSAT-1R	IR1	pri.	0.3592380	0.9987587	0.01
			0.1968675	0.9992525	0.01
			0.3785336	0.9991187	< 0.01
			2.3473427	0.9969755	0.01
	IR1	red.	0.3572322	0.9987653	0.01
			0.1973607	0.9992507	0.01
			0.3785336	0.9991187	< 0.01
			2.3473427	0.9969755	0.01
MTSAT-2	IR1	pri.	0.3597581	0.9987568	0.01
			0.2195110	0.9991676	0.01
			0.3645235	0.9991492	< 0.01
			2.4635230	0.9967825	0.01
	IR1	red.	0.2966406	0.9989761	0.01
			0.2178758	0.9991738	0.01
			0.3656788	0.9991465	< 0.01
			2.4635230	0.9967825	0.01

表 4 : GMS 及び MTSAT 赤外チャネルの波長空間センサプランク関数における、2 次近似 $T^e = c_1 + c_2 T^b + c_3 (T^b)^2$ 、 $T^b = c'_1 + c'_2 T^e + c'_3 (T^e)^2$ によるバンド補正係数 c_i 、 c'_i と、有効温度 T^e の最大近似誤差。

Table 4 : Band correction coefficients c_i and c'_i to estimate effective temperatures T^e by quadratic approximation $T^e \approx c_1 + c_2 T^b + c_3 (T^b)^2$ and $T^b \approx c'_1 + c'_2 T^e + c'_3 (T^e)^2$ and the maximums of their approximation errors regarding the wavelength space sensor Planck functions of the infrared channels aboard the GMS and MTSAT satellites.

Satellite	Infrared Channel	Attr.	c_1	c_2	c_3	c'_1	c'_2	c'_3	Max T^e approx. error (K)
GMS-1	IR		2.1739490	0.9791172	4.1759692E-05	-2.1817683	1.0209681	-4.1969539E-05	0.009
GMS-2	IR		1.6798319	0.9843034	3.0608365E-05	-1.6860172	1.0157599	-3.0757067E-05	0.012
GMS-3	IR		2.1200871	0.9797705	4.0157925E-05	-2.1282302	1.0203168	-4.0369900E-05	0.006
GMS-4	IR		2.1269392	0.9801082	3.8752504E-05	-2.1368981	1.0199941	-3.8993146E-05	0.016
GMS-5	IR1		0.7111546	0.9935676	1.2136121E-05	-0.7125571	1.0064461	-1.2167103E-05	0.002
	IR2		0.6479390	0.9937658	1.2490126E-05	-0.6486170	1.0062416	-1.2508447E-05	0.001
	IR3		0.5122104	0.9970471	3.5378774E-06	-0.5134561	1.0029615	-3.5519829E-06	0.002
MTSAT-1R	IR1	pri.	0.4746729	0.9957123	8.0823363E-06	-0.4753011	1.0042938	-8.0961650E-06	0.001
	IR2		0.2741618	0.9972546	5.7170626E-06	-0.2742102	1.0027461	-5.7190435E-06	0.001
	IR3		0.4155519	0.9976524	2.7747359E-06	-0.4163631	1.0023531	-2.7836723E-06	< 0.001
	IR4		2.1036979	0.9948183	5.7978708E-07	-2.1146451	1.0052110	-5.8833453E-07	0.013
	IR1	red.	0.4753408	0.9957060	8.0948579E-06	-0.4759705	1.0043002	-8.1087224E-06	0.001
	IR2		0.2748845	0.9972477	5.7310841E-06	-0.2749333	1.0027530	-5.7330790E-06	0.001
	IR3		0.4155519	0.9976524	2.7747359E-06	-0.4163631	1.0023531	-2.7836723E-06	< 0.001
	IR4		2.1036979	0.9948183	5.7978708E-07	-2.1146451	1.0052110	-5.8833453E-07	0.013
MTSAT-2	IR1	pri.	0.3900753	0.9964824	6.6180161E-06	-0.3905040	1.0035218	-6.6274208E-06	0.001
	IR2		0.3087566	0.9969113	6.4263076E-06	-0.3088204	1.0030896	-6.4288638E-06	0.001
	IR3		0.3997151	0.9977351	2.6829562E-06	-0.4004666	1.0022700	-2.6912692E-06	< 0.001
	IR4		2.2408179	0.9943882	9.4101981E-07	-2.2534426	1.0056474	-9.5569282E-07	0.014
	IR1	red.	0.3882926	0.9964987	6.5868963E-06	-0.3887176	1.0035054	-6.5962170E-06	0.001
	IR2		0.3065211	0.9969338	6.3793112E-06	-0.3065841	1.0030671	-6.3818322E-06	0.001
	IR3		0.4009771	0.9977280	2.6912737E-06	-0.4017333	1.0022771	-2.6996390E-06	< 0.001
	IR4		2.2408179	0.9943882	9.4101981E-07	-2.2534426	1.0056474	-9.5569282E-07	0.014

表 5 : 表 4 と同じ。ただし、波数空間センサプランク関数用。

Table 5: The same table as Table 4, but for the wavenumber space sensor Planck functions.

Satellite	Infrared Channel	Attr.	c_1	c_2	c_3	c'_1	c'_2	c'_3	Max T^e approx. error (K)
GMS-1	IR		2.2757022	0.9884318	1.1793267E-05	-2.2992685	1.0117148	-1.2013300E-05	0.003
GMS-2	IR		1.7428946	0.9911486	9.4229928E-06	-1.7565093	1.0089361	-9.5518013E-06	0.008
GMS-3	IR		2.2231054	0.9890761	1.0258679E-05	-2.2453430	1.0110581	-1.0452023E-05	0.003
GMS-4	IR		2.2092520	0.9890098	1.1306309E-05	-2.2309816	1.0111233	-1.1504885E-05	0.012
GMS-5	IR1		0.7365781	0.9965505	3.0927987E-06	-0.7389203	1.0034631	-3.1116802E-06	0.001
	IR2		0.6799212	0.9966061	3.2533698E-06	-0.6820071	1.0034067	-3.2719585E-06	0.001
	IR3		0.5137734	0.9985460	6.5603058E-07	-0.5145124	1.0014567	-6.5830339E-07	< 0.001
MTSAT-1R	IR1	pri.	0.4912293	0.9976921	2.0915292E-06	-0.4922710	1.0023139	-2.0999958E-06	< 0.001
	IR2		0.2909072	0.9984928	1.4895605E-06	-0.2912983	1.0015096	-1.4932396E-06	< 0.001
	IR3		0.4165452	0.9988113	6.0328185E-07	-0.4170332	1.0011905	-6.0493393E-07	< 0.001
	IR4		2.1123854	0.9988582	-3.6631133E-06	-2.1144786	1.0011233	3.6944401E-06	0.013
	IR1	red.	0.4919295	0.9976888	2.0943914E-06	-0.4929742	1.0023173	-2.1028824E-06	< 0.001
	IR2		0.2916617	0.9984889	1.4936890E-06	-0.2920549	1.0015136	-1.4973874E-06	< 0.001
	IR3		0.4165452	0.9988113	6.0328185E-07	-0.4170332	1.0011905	-6.0493393E-07	< 0.001
	IR4		2.1123854	0.9988582	-3.6631133E-06	-2.1144786	1.0011233	3.6944401E-06	0.013
MTSAT-2	IR1	pri.	0.4036895	0.9981173	1.6749284E-06	-0.4043903	1.0018867	-1.6805293E-06	< 0.001
	IR2		0.3272747	0.9982972	1.7062262E-06	-0.3277700	1.0017059	-1.7109333E-06	< 0.001
	IR3		0.4006764	0.9988567	5.7395127E-07	-0.4011279	1.0011449	-5.7546785E-07	< 0.001
	IR4		2.2501750	0.9984906	-3.3205914E-06	-2.2533066	1.0014931	3.3511279E-06	0.014
	IR1	red.	0.4018352	0.9981259	1.6677086E-06	-0.4025296	1.0018781	-1.6732590E-06	< 0.001
	IR2		0.3248957	0.9983095	1.6944332E-06	-0.3253838	1.0016936	-1.6990730E-06	< 0.001
	IR3		0.4019425	0.9988532	5.7571149E-07	-0.4023968	1.0011485	-5.7723752E-07	< 0.001
	IR4		2.2501750	0.9984906	-3.3205914E-06	-2.2533066	1.0014931	3.3511279E-06	0.014