

GMS, GMS-2 の同時観測の解析, — 観測輝度温度差についての考察 —

An Analysis of the Data Obtained by a Simultaneous Observation of GMS and GMS-2. —A Study of the Difference between the Brightness Temperatures by GMS and Those by GMS-2—

—木明紀*・富樫正明**・内山明博***

Akinori Ichiki, Masaaki Togashi and Akihiro Uchiyama

Abstract

A simultaneous observation of GMS (160°E) and GMS-2 (140°E) was conducted on 20th October in 1982. On the basis of the data obtained from this observation, we have carried out a detailed analysis of the difference between the brightness temperatures (TBBs) obtained from two geostationary meteorological satellites.

Both observed TBB and theoretically calculated one in the case of GMS were compared with them in the case of GMS-2.

As a result, it has been clarified that the difference between TBBs obtained from two satellites was mainly caused by the following two reasons.

One is the effect of the different filter response functions of two VISSRs (Visible and Infrared Spin Scan Radiometers) and it yields the differences of about 0.5-1.6 K for the area (90°E-170°W, 0°-50°N) by use of GMSSA (Geostationary Meteorological Satellite Standard Atmosphere) data.

The other is caused by the difference between the IR calibrations of two satellite radiometers and it yields the differences of about 0.5 K in low temperature region (222-230 K) and about 1 K in high temperature region (291-296 K).

1. はじめに

1982年10月20日に、静止衛星ひまわり1号(GMS)と2号(GMS-2)の同時比較観測が実施された。ここでは、その解析調査の1つである2つの衛星間の観測輝度温度の差についての調査結果を報告する。

この同時観測は、気象庁と宇宙開発事業団で計画実行され、取得データの解析は気象庁の気象衛星センターおよび気象研究所とで独自に行なわれた。

同時観測実施に先立って、当時待機衛星となっていた

* 気象衛星センター解析課, Meteorological Satellite Center

** 気象衛星センター管制課, Meteorological Satellite Center

*** 気象衛星センターシステム管理課, Meteorological Satellite Center

GMSの精密なデータ解析に不可欠な軌道予測、姿勢決定等についての準備が、宇宙開発事業団、気象衛星室、気象衛星通信所、気象衛星センターの協力によってなされていた。

同時観測は、風ベクトル算出のためのGMS-2の部分撮像の後、0430~0500 GMTに実施された。

このGMS, GMS-2同時観測の当初の目的は以下の通りであった。

『目的

現在160°Eにおいて待機状態にあるGMSは、ミッションの遂行能力を有している。この衛星およびGMS-2を用いて、同時刻に地球画像を取得し、衛星機能の確認をし、成果を次期衛星に反映させ、また、観測法に関する技術の開発を行いたい。

1) 衛星機能の確認

GMS/GMS-2 により同時に地球画像を取得し、同一の雲、陸地あるいは海面等のデータから2つの衛星間の輝度温度レベルの整合を図り、あわせて、海面温度、雲頂高度等各種物理量の精度検証ならびに、その成果を次期衛星の開発に反映させる。

2) 雲の三次元的観測方法の開発

東西に20°離れた衛星により同時に取得される画像から、雲の三次元的観測の可能性を検討する。』

であった。

ここでは、上記1)の目的をさらに具体化し、次の3点に絞って調査した。

イ) 両衛星で観測される観測輝度温度 (TBB) の差を解析するために両衛星からの大気路程が等しくなる東経150度線上の海面あるいは雲頂面の観測輝度温度の差を比較解析する。

ロ) 両衛星に搭載された赤外放射計の波長依存性 (応答関数) の相異によって起りうる表面温度の差を評価する。

ハ) 同一の対象物に対して、放射計の特性の違いから理論的に計算された両衛星の測定温度の差と、実測の輝度温度の差から、両衛星の赤外キャリブレーションの相異を評価する。

現在赤道上の5つの静止気象衛星(アメリカの GOES-E, GOES-W, ヨーロッパの METEOSAT-2, インドの INSAT, 日本の GMS-2) によって、高緯度地域を除く地球全体の気象衛星観測が行なわれている。

各衛星間の相互比較観測には、国際的な計画の立案と調整が必要であり技術的には、その観測機能の相異、搭載放射計の特性の違いや、共通観測域が衛星から遠くなり観測精度が落ちること等の困難があり、その実施は容易ではない。しかし、衛星間の相互比較観測は、測定値の精度を左右するキャリブレーションの評価には必要であり、相互比較を行うことが、全球的な取得データの空間的均一性を保障し、また、気候データとして活用するために、衛星の交代期を含めたデータの時間的な連続性を保持することの基本となろう。

幸いにして、今回、同時比較観測を行ったGMS, GMS-2の両衛星の仕様は、同一であり、その静止位置もわずかに経度20度とほぼ適切な隔りであった。

なお、ここでは、目的イ) についての調査はその結果だけを引用し(富樫ら, 1984) ロ), ハ) について記述する。

2. 両衛星の放射計の特性によって起りうる観測輝度温度の差

a) 解析方法

1982年8月11日に打上げられた静止衛星『ひまわり2号』(GMS-2) は、同年12月21日から正式運用された。GMS から GMS-2 への切替時から、衛星の赤外データから算出される海面水温が、船で観測されるものと較べかなり高目に算出されていることがその後の調査で明らかにされていた。

衛星の赤外放射計で測定される輝度温度から、海面水温を算出するためには、雲の影響を受けない晴天の海面からの放射エネルギーを測定し、それに大気中の減衰分を補正(大気補正)する必要がある。

放射エネルギーの測定に、比較的大気の透過率の良い波長 10.5~12.5 μm の窓領域を使用しているとはいえ、単チャンネルの測定では、大気中の水蒸気による吸収・放射の影響は、除去できない。従って、水蒸気量の多い熱帯地方では、海面から直接衛星に到達する放射エネルギーは、途中の大気からの合計より少ない場合もあり正確な海面水温の測定は困難である。

しかしながら、GMS によって算出された海面水温と、GMS-2 のものとは、明らかに差があり、これらの原因として、まず、両衛星の放射計の特性を検討する必要があった。

GMS, GMS-2 の両衛星に搭載されている放射計の仕様は殆んど同じであるが、測定値に直接影響を与える応答関数(Response Function) が異なっている。

ここでは、最初に、この応答関数の相異によって起りうる観測輝度温度(以後 TBB という)の差を理論計算した。

対象領域を 0°N~50°N, 90°E~170°W とし、高層データとしては、気候値である GMSSA (GMS 標準大気) の10月の値を用いた。また、地表面(海面)温度は、地上気温と同じとした。

この波長域(10.5~12.5 μm) では、炭酸ガスによる大気補正への寄与は、0.2°C 以下、オゾンによるものは 0.1°C 以下であり、また、エーロゾルによるものは、火山の大噴火後などの特別の場合を除いて 0.1~0.5°C 程度と比較的小さいことから、放射伝達の理論計算においては、水蒸気の線吸収と連続吸収のみを考慮した。

ここでは、水蒸気の線吸収の計算は、10~13 μm を何分割かして求めた平均的な透過率を用いる Weinreb et al. (1972, 1980) の多項式近似法によった。従って、波数 77.05 (12.9 μm)-985.0 cm^{-1} (10.2 μm) 間を波数 30

cm⁻¹ 間隔ごとに分割した平均の透過率 τ_i を

$$\ln\{-\ln \tau_i(\nu)\} = \sum_{i=1}^{14} C_i(\nu) X_i(T, P, W) \quad (1)$$

とした。ここで C_i は、各波数域での係数 (14個)、 X_i は気温 (T)、気圧 (P)、可降水量 (W) の関数であり、関数 X_i および係数 C_i については、ここでは省略する (詳しくは、Weinreb et al. (1980) を参照)。

水蒸気の連続吸収については、気温による吸収率の変化を考慮した式 (Robert et al., 1976) を用いた。即ち、水蒸気の連続吸収による透過率 τ_c は、

$$-\ln \tau_c(\nu, P) = \int_0^P K(\nu, T) W \{P_{H_2O} + \gamma(P - P_{H_2O})\} dp \quad (2)$$

ここに、

$$K(\nu, T) = \{a + b \exp(-\beta\nu)\} \exp\left\{T_0\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{296}\right)\right\} \quad (3)$$

なお、ここに、 W は可降水量、 P_{H_2O} は水蒸気圧、 γ 、 a 、 b 、 β 、 T_0 は定数で、ここでは、 $\gamma=0.001$ 、 $a=3.36 \times 10^{-3}/\text{cm} \cdot \text{atm}$ 、 $b=6.29/\text{cm} \cdot \text{atm}$ 、 $\beta=8.30 \times 10^{-3}/\text{cm}$ 、 $T_0=1800 \text{ K}$ を用いた。

モデル大気 GMSSA (10月) を用いて、20°N、140°E における、大気の透過率曲線を、水蒸気の線吸収および連続吸収を考慮して計算し、その結果を Fig. 1 に示した。なお、同図中のステップ関数は、Weinreb et al. (1980) による可降水量 4.86 cm のときの計算結果である。

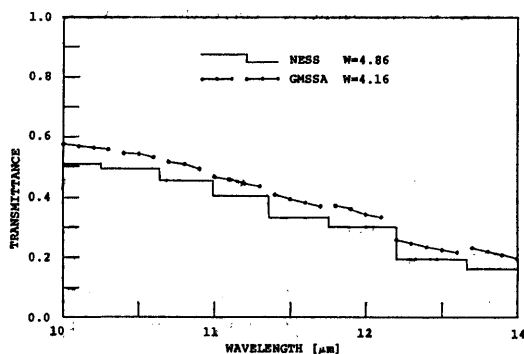


Fig. 1 Calculated spectral transmittances for vertical path between the top of the atmosphere and the surface for 10-14 μm region.
 - - - : precipitable water amount is 4.16 cm, GMSSA at 20°N
 — : precipitable water amount is 4.86 cm, NESS at 9°N

透過率 τ が得られれば、衛星に到達する波数 ν での放射強度 $I(\nu)$ は、放射伝達の式

$$I(\nu) = B(\nu, T_s) \tau(\nu, P_s) + \int_{\tau(\nu, P_s)}^1 B[\nu, T(P)] d\tau(\nu, P) \quad (4)$$

を解いて得られる。

ここに、 B はプランクの関数で、添字 s は、地表を意味する。

(4)式を50層の大気モデルへ適用して数値計算することで、衛星へ到達する放射エネルギーが求められる。各層の境界気圧面を Table 1 に示す。水蒸気の線吸収による透過率 τ_l は、不連続であり、連続吸収による透過率

Table 1 An example of pressures P(mb), temperatures T(K), and precipitable water amount (cm) from the top of the atmosphere to each level at 51 levels.

N	P	T	W
1	1013.25	293.200	1.743
2	983.19	292.416	1.619
3	949.97	290.865	1.373
4	917.56	289.353	1.133
5	885.94	287.878	0.899
6	855.13	286.439	0.670
7	825.08	285.033	0.564
8	795.79	284.248	0.444
9	767.26	283.221	0.406
10	739.46	282.221	0.329
11	712.38	281.246	0.255
12	686.03	279.634	0.210
13	660.37	277.491	0.189
14	635.41	275.407	0.169
15	611.14	273.380	0.150
16	587.53	271.409	0.131
17	564.58	269.492	0.112
18	542.27	267.630	0.094
19	520.61	265.821	0.077
20	499.57	264.048	0.060
21	479.14	261.555	0.050
22	459.32	259.137	0.041
23	440.09	256.791	0.032
24	421.44	254.516	0.023
25	403.37	252.311	0.014
26	385.85	250.513	0.011
27	368.89	248.851	0.009
28	352.46	247.241	0.007
29	336.57	245.684	0.005
30	321.19	244.177	0.003
31	306.32	242.719	0.001
32	291.95	240.619	0.0
33	278.07	238.065	0.0
34	264.66	235.597	0.0
35	251.73	233.218	0.0
36	239.25	230.363	0.0
37	227.22	227.524	0.0
38	215.63	224.789	0.0
39	204.46	222.153	0.0
40	193.72	219.467	0.0
41	183.38	216.779	0.0
42	173.45	214.197	0.0
43	163.91	211.717	0.0
44	154.74	209.332	0.0
45	145.95	207.322	0.0
46	137.52	205.704	0.0
47	129.45	204.154	0.0
48	121.72	202.670	0.0
49	114.32	201.249	0.0
50	107.26	199.894	0.0
51	100.50	198.596	0.0

τ_0 は、連続関数となるので、両者を考慮した曲線は、不連続な曲線となる。この波長域においては、波長の短かい方が途中の大気による減衰が少なく、長い方が減衰が大きい。

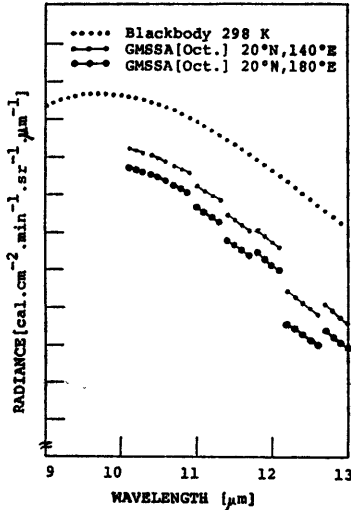


Fig. 2 Calculated spectral distributions of upwelling radiance at the top of the atmosphere for a model (GMSSA, October), compared with the radiance emitted by a blackbody at a temperature of 298 K without the atmosphere.

-----: 20°N, 140°E, secz=1.09,
w=4.16 cm, Ts=298 K
-----: 20°N, 180°E, secz=1.53,
w=4.16 cm, Ts=298 K
where, z: satellite zenith angle,
w: precipitable water amount,
Ts: surface temperature.

b) 理論的解析の結果

GMS-2 の応答関数は、GMS より波長が短い方に透過率のピークがあるので、GMS-2 の観測するエネルギーは GMS ほど大気減衰の影響を受けていない。一方、赤外キャリブレーション (由田ら, 1979) は、基準黒体である放射計内の有効黒体シャッター温度で行なわれているので、その結果、両衛星のキャリブレーションが適正に行われた場合でも、地球表面上の同じ対象物を測定した場合に、GMS-2 衛星の方が GMS 衛星より高目の等価黒体温度 (観測輝度温度) を示すことになる。

1 例として、放射伝達式を解いて、地点 (20°N, 140°E) および (20°N, 180°E) の地表面に 298 K の黒体がある場合に、東経 140 度の赤道上約 35800 km 上空にある衛星に到達する分光放射エネルギーを理論計算した (Fig. 2)。なお、モデル大気としては GMSSA (10月) を使用した。また、GMS-2 の場合、領域 (0°-50°N, 90°E~170°W) における、大気の吸収による衛星への到達エネ

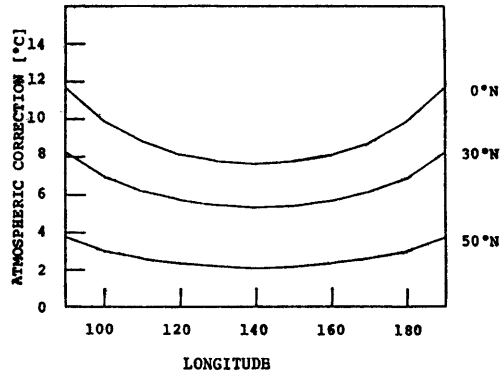


Fig. 3 Atmospheric correction (GMSSA, October) for GMS-2.

Table 2 Difference between TBB2 and TBB1, calculated from a model atmosphere (GMSSA, October).

Lati.\Long.	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	170	w	Ta	Tw
50	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.8	1.04	278.0	278.0
40	1.0	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	1.0	1.84	286.0	286.0
30	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.2	1.3	3.69	297.0	297.0
20	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2	1.3	4.16	298.0	298.0
10	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5	1.6	5.19	301.0	301.0
0	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6	5.24	300.2	300.2

TBB1: theoretical brightness temperature obtained from GMS (140°E).

TBB2: theoretical brightness temperature obtained from GMS-2 (140°E).

W: precipitable water amount (cm).

Ta: surface air temperature (K).

Tw: sea surface temperature (K).

Table 3 Difference between TBB2 and TBB1, calculated from a model atmosphere (GMSSA, October).

Lati.\Long.	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	170	w	Ta	Tw
50	8.6	3.6	2.1	1.4	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	-0.1	-0.6	1.04	278.0	278.0
40	7.8	3.9	2.4	1.7	1.3	0.9	0.7	0.4	0.2	-0.1	-0.7	1.84	286.0	286.0
30	8.6	5.1	3.4	2.5	1.9	1.4	1.0	0.6	0.2	-0.3	-1.1	3.69	297.0	297.0
20	8.6	5.2	3.6	2.6	2.0	1.5	1.1	0.7	0.2	-0.3	-1.1	4.16	298.0	298.0
10	10.3	6.5	4.6	3.4	2.5	1.9	1.4	0.8	0.2	-0.5	-1.5	5.19	301.0	301.0
0	10.2	6.4	4.5	3.3	2.5	1.9	1.3	0.8	0.2	-0.5	-1.4	5.24	300.2	300.2

TBB1: theoretical brightness temperature obtained from GMS (160°E).

TBB2: theoretical brightness temperature obtained from GMS-2 (140°E).

W: precipitable water amount (cm).

Ta: surface air temperature (K).

Tw: sea surface temperature (K).

ルギーの減衰分を温度に換算すると（大気補正量）Fig. 3 の如くなる。即ち、この領域では、GMS-2 の観測輝度温度から地表温度を算出するのに、2-12度の温度補正量が必要になる。

両衛星の相異という観点から、モデル大気 GMSSA (10月) を用いて、両衛星が東経 140° にあるとして計算される応答関数に起因する TBB の差 (GMS-2 - GMS) は、Table 2 のとおりである。同表から、0.5-1.6 程度度の差を生じることが分る。また、その差は、水蒸気量

が多く、衛星天頂角の大きい低緯度の東西端で大きく、水蒸気量の少ない高緯度の東緯 140 度で小さくなる。

次に、同時観測実施日当時の GMS-2 が 140°E、GMS が 160°E の赤道上にあったとした場合に、両衛星で観測される応答関数による TBB 値の差を Table 3 に示した。また、この中から、赤道と 50°N での TBB 差 (TBB2-TBB1) を Fig. 4 に示した。

両衛星からの衛星天頂角の等しい東経 150 度線上の場合、大気路程は長いが高緯度の少ない高緯度でその差は小さく、水蒸気量が赤道とあまり変わらず大気路程が赤道上より少し長い緯度 10 度で最大の差、1.4 度があった。

この領域 (0°~50°N, 90°E~170°W) では、ある地点から衛星までの大気路程は、東西両端に近づくに従って急激に大きくなる。従って、西端の 90°E の低緯度で大気減衰の影響が最も大きく、TBB 差が最大となる。また、領域の東端では、GMS が 160°E にあり、大気路程の増加が、GMS-2 (140°E) に較べ少ないので、その差は逆転し、GMS の TBB 値が高く算出される。

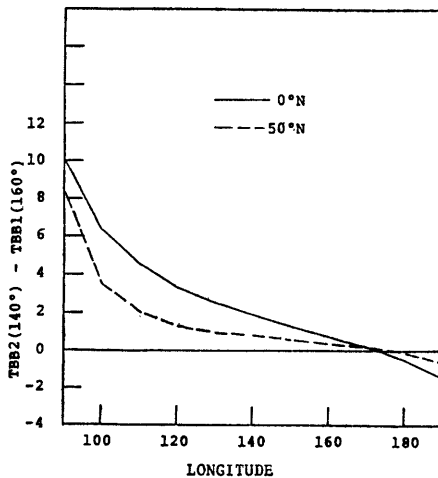


Fig. 4 Difference between TBB2 and TBB1, calculated from a model atmosphere (GMSSA, October).

TBB1: theoretical brightness temperature obtained from GMS (160°E)

TBB2: theoretical brightness temperature obtained from GMS-2 (140°E)

3. 両衛星による TBB 値の理論計算値と実測値との比較

GMS, GMS-2 の同時観測の結果、両衛星からの大気路程が等しい東経 150 度線上で、TBB の差 (TBB-2 - TBB-1) は、平均で約 1.3 度であった(宮裡ら, 1984)。一方、晴天域の高温部 (TBB2≒295 K) では、1.9 K 程、低温部の応答関数の影響が出ない高い雲頂部 (TBB2, 222~230 K) では、Table 4 で示したように、平均で 0.5°C 程度であった。

Table 4 Differences between TBB1 and TBB2 in low temperature region (222-230K) along 150°E, obtained a simultaneous measurement of GMS and GMS-2.

TBB1-TBB2	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
222	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
223	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0
224	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	0	0	0
225	0	0	0	0	0	0	1	5	6	9	2	0	0
226	0	0	0	0	0	0	4	8	5	2	0	0	0
227	0	0	0	1	1	0	12	5	10	7	1	0	0
228	0	0	1	0	3	2	2	13	11	5	0	0	0
229	0	1	0	1	0	0	1	17	10	8	1	0	0
230	0	0	0	0	0	0	3	7	12	4	1	3	0
Total	0	1	1	2	4	2	25	59	58	37	5	3	0

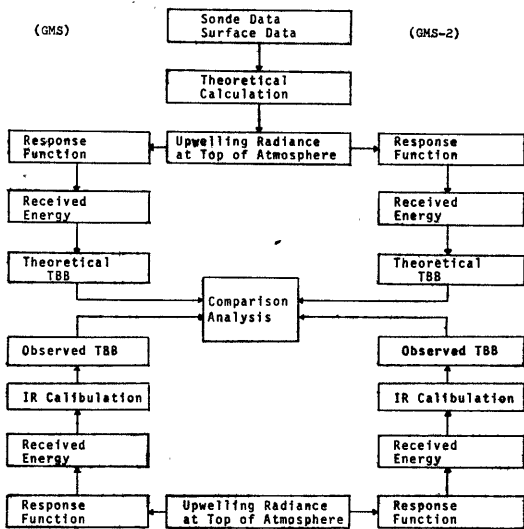


Fig. 5 Flow chart for the comparison analysis between theoretical TBB and observed one, and between observed TBB by GMS and that by GMS-2.

ここでは、当日晴天であった高層観測地点を選出し、高層データに基づく理論計算値と、実測の TBB 値について比較検討した。

理論計算値と実測値は Fig. 5 の流れに従って求められる。理論計算値の処理過程は、

- (i) 同時観測時の写真から観測時に晴天であった沿岸、島の高層観測地点を選出
- (ii) アデスデータ (MT) から、その地点の高層データ (気温 (T) と露点温度 (T_d) の沿直分布) を抽出す

る

(iii) 選出された高層観測地点近傍の海面温値を決める。

(iv) 放射伝達式を解き、衛星への到達エネルギーを求める。

① 高層観測地点の衛星天頂角の算出

② 高層データ (T, T_d) を 51 レベルに内挿 (Table 1 に示される層)

③ 各層の水蒸気圧と可降水量の算出

④ 大気上端から各レベルまでの水蒸気の線吸収による透過率 $\tau_l(\lambda)$ と連続吸収による透過率 $\tau_c(\lambda)$ を求める。

⑤ 各波長について、大気上端から各レベルまでの透過率 $\tau(\lambda)$ を求める。

⑥ 放射伝達式を 50 層の homogeneous 大気に適用し、衛星への到達放射量 $I(\lambda)$ を求める。

(v) 応答関数 $\phi(\lambda)$ を考慮して、放射計で受感される放射量を求める。

(vi) 受感された放射量を等価黒体温度 (TBB) に変換する。

このようにして、GMS, GMS-2 で測定されるべき理論的 TBB 値が求まる。

次に、実測値は、

(i) 選出された高層観測地点近傍の海面および途中の大気から放射される赤外エネルギーは、大気中で減衰を受けて、衛星に到達する。

(ii) フィルターを通して、ある量の放射エネルギーが放射計センサーで受感される。

(iii) 放射計内の黒体 ジャッター温度、ミラー温度お

よび宇宙空間を用いて、赤外キャリブレーションが行われ(由田ら, 1979参照), 放射エネルギーは TBB 値に変換される。

ここでは、これらの理論計算値と実測値が求められる過程での相異を考慮した上で、GMS と GMS-2 の差を検討する必要がある。

理論計算値と実測値の違いには、以下のような要因が考えられる。

(i) 衛星に到達する放射エネルギー

理論計算では、エアロゾルや希少気体の影響を無視したり、各種の吸収係数が完全でないこともあり、衛星へ到達する放射エネルギーは、完全には算出できない。

(ii) 応答関数

理論計算では、衛星打上げ前の検査データを用いている。従って、同時観測時にその特性が変化していないか、また、変化してなくともフィルター温度が検査時と異なることなどで分光透過特性が変化している可能性はある(今回は、検査時からの変化についての考慮はしていない)。

(iii) 受感されたエネルギーの TBB 値への変換理論計算では、プランクの式に基づいてエネルギーから等価黒体温度(TBB)に変換されるが、実測値は、赤外キャリブレーションで TBB に変換される。

次に GMS と GMS-2 の相異という観点から見ると、理論計算で差を生じる要因は、応答関数だけであり、実測値では、応答関数と赤外キャリブレーションの2つである。

両衛星の実測値の差のうち、応答関数の違いから理論的に計算される差を差し引くことで、赤外キャリブレーションによる差が検出できる。この差は、GMS-2 の実測値と理論値の差から GMS のそれを引いたもの、[(TBB 実測-TBB 理論)GMS-2 - (TBB 実測-TBB 理論)GMS] に等しい。

4. 実測および理論 TBB の解析結果

1982年10月20日の同時観測時に晴天であった沿岸地方、離島の高層観測地点から、次の4地点、桃園(46697)、潮岬(47778)、KWAJALEIN(91366)、MAJURO(91376)の高層データを用いて理論計算値と衛星観測値との比較が行なわれ、その結果を Table 5 に示す。

なお、同時観測は、05 GMT 頃行なわれており、高層データは 00 GMT 観測の値である。

地点 91366 については、実測 TBB 値が理論値より両衛星ともに高目に出ているが、これは、衛星の放射計が陸地を含んだ領域を見ていて、ここで使用した海面水温より高目の温度を測定している可能性がある。しかしながら、GMS-2 と GMS との TBB 差は、1.4°C と妥当と思われる。さらに、この 1.4°C は、応答関数によるもの 0.4°C を除くと、残りのキャリブレーションによるものは、1.0°C と他の地点とあまり変わらない。大気補正量は、水蒸気量の多い低緯度の2地点で約 10°C と大きく、北側の2地点とは、相当の差がある。また、実測値の TBB 差 (TBB2-TBB1) は、大気路程の関係で、

Table 5 Observed and theoretical TBBs obtained from four radio-sonde stations.

Station	Lat.	Long.	Theoretical TBB1	Theoretical TBB2	Observed TBB1	Observed TBB2	Tob-GMS1	Tth-GMS2	Atm. Corr. DT1	Atm. Corr. DT2	TBB2-TBB1	DT Resp	DT Calib	Tsea	W
46697	25.0	121.0	294.3	295.9	293.1	295.8	-1.2	-0.1	4.7	3.1	2.7	1.6	1.1	299	1.743
47778	33.5	135.8	292.8	293.9	291.4	293.6	-1.4	-0.3	4.2	3.1	2.2	1.1	1.1	297	1.606
91366	8.7	167.7	292.5	292.9	293.3	294.7	0.8	1.8	10.5	10.1	1.4	0.4	1.0	303	5.208
91376	7.1	171.4	293.6	293.8	293.3	294.3	-0.3	0.5	9.4	9.2	1.0	0.2	0.8	303	4.789

Lat.: latitude of stations (degree, N).

Long.: longitude of stations (degree, E).

Tob: observed TBB (K).

Tth: theoretical TBB (K).

Atm. Corr. atmospheric correction (K).

TBB2-TBB1: differences of observed TBBs between by GMS and by GMS-2 (K).

DT(Resp): differences caused by response functions between GMS and GMS-2 (K).

DT(Calib): differences caused by IR calibrations between GMS and GMS-2 (K).

Tsea: sea surface temperature (K).

W: precipitable water amount (cm).

西側ほど大きく、東側では小さくなる。しかしながら、実測値の差のうち、応答関数の相異に起因する差（すなわち理論計算による差）を除いてみると、4地点とも約 1.0°C 程度のTBB値差があることが分った。この差は、両衛星の赤外キャリブレーションの違いによるものと考えられる。

5. 結論

今回の調査では、GMS, GMS-2の同時比較観測を行なうことで、両衛星によって得られる表面温度の差を検討した。両衛星に搭載されている赤外放射計のフィルター特性の違いによって起りうる表面温度の差を理論的に計算し、これらの結果を用いて、GMS, GMS-2間の赤外キャリブレーションの相異を評価した。その結果、

(i) 両衛星から等しい距離である東経150度線上のTBB差(TBB2-TBB1)は、平均で1.3K(富樫ら, 1984)であり、また、晴天域の高温部(TBB \approx 295K)で、1.9K、応答関数の影響の出ない低い温度部(TBB2=222~230K)で0.5K程度であった。

(ii) 両衛星の放射計の応答関数の相異によって起りうるTBB差は、領域(90°E~170°W, 0°~50°N)で、モデル大気GMSSA(10月)を用いて計算した結果、

① 両衛星が東経140度の赤道上にあったとした場合、両者の差は、赤道上の東西端で大きく1.6K、高緯度の50°N, 140°Eで小さく0.5Kであった。

② GMSが160°E, GMS-2が140°Eの赤道にある場合、両者のTBB差は、10°Nの西端で大きく10.3K, 10°Nの東端では、その差は逆転して-1.5Kであった。

(iii) 同時観測時と晴天であった4地点での実測値と理論値の差は、GMSで-1.4~0.8K, GMS-2で-0.3~1.8Kあった。GMS-2, GMSの実測値の差は1.0~2.7K, 応答関数の相異による差は、0.2~1.6K, 実測値の差から、応答関数によるものを除いた残りの差は、0.8~1.1Kであった。

以上の解析調査結果から、応答関数の相異によって起るTBB値の差の他に、応答関数の効果が影響しない低温部では、東経150度線上における実測値比較で、TBB2が0.5度、また、高温部では、高層データを用いた理論計算により応答関数の影響を除いた4地点の実測値比較から、1度程度高目に測定されていることが明らかになった。

なお、衛星に搭載された放射計の赤外キャリブレーションの経年変化やGMS-2の放射計内部の温度傾度の大小

きさおよびその季節変化などから推定される赤外キャリブレーションの季節変化を考えると、上記の結果は、同時比較観測実施日当時のものとしかねない。

両衛星のキャリブレーションの季節変化を検討するためには、年数回の同時比較観測が必要である。

ここで示してきた衛星間の同時観測による比較法は、衛星交代時等に、両衛星で測定されるTBB値の検討に有効な手段となると考える。

世界各国の静止気象衛星間の相互比較観測は、全球データの品質の均一性を保ち、また気候データとしての時間的な連続性を保つ上に重要であるが、多国間にわたる協力調整が必要になるほか、技術的にも困難な問題が考えられるため、今後は、極軌道気象衛星NOAAシリーズを介して行なわれ、世界の静止気象衛星の測定値が均質化されることが望まれる。

衛星間の同時観測結果については、COSPAR (Committee on Space Research, 1982)で一部解析結果の報告がなされ、また、赤外および可視データの均質化については、現在ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project, 1984)やCGMS (Coordination of Geostationary Meteorological Satellites, 1984)が取組みは始めている。

謝辞

GMS, GMS-2の同時観測の実施に際して、御協力頂いた宇宙開発事業団、気象庁気象衛星室、気象衛星通信所、気象衛星センターのデータ処理部および情報伝送部の各課の担当官の方々に感謝致します。

この解析調査に対し、御指導ならびに御助言を頂いた門脇前データ処理部長、山本前管制課長、システム管理課の青木、高橋、中島調査官に、また、この解析調査のためのデータ前処理をして頂いたシステム管理課の高橋調査官、香月氏、管制課の高野氏、データ処理課の福田氏、ならびに写真資料を作成して頂いた解析課の星野調査官に感謝致します。

最後に、本稿を御校閲して頂いた久保田データ処理部長、櫃間解析課長に感謝致します。

参考文献

- CGMS (1984): Proposal for a Review of Calibration Validation and Intercomparison of Geostationary Satellite Data and Products, working papers of the CGMS XIII (April, 1984, Toulouse, France)
- COSPAR (1982): Stereoscopic Observations from

- Meteorological Satellites, papers in the proceedings of the XXIV COSPAR (May, 1982, Ottawa, Canada)
- ISCCP (1984): Nominal Calibration of Operational Radiometers Used for ISCCP, working papers of the ISCCP (March, 1984, Tokyo, Japan)
- Robert, E. R., J. E. A. Selby and L. M. Biberman, (1976): Infrared continuum absorption by atmospheric water vapor in the 8-12 μm window, Appl. Opt., **15**, 2085-2090.
- 富樫正明, 一木明紀, 高橋大知, 香月修一 (未刊): GMS, GMS-2 の同時観測, 一観測輝度温度差について,
- 気象衛星センター技術報告
- Weinreb, M. P. and A. C. Neuendorffer, (1972): Method to Apply Homogeneous-Path Transmittance Models to Inhomogeneous Atmospheres, J. Atmos. Sci., **30**, 662-666.
- Weinreb, M. P. and L. M. Biberman (1980): Calculation of Atmospheric Radiances and Brightness Temperatures in Infrared Window Channels of Satellite Radiometers, NOAA Technical Report NESS **80**, 40 pp.
- 由田建勝, 中島 忍, 中村健次 (1979): 画像前処理, 気象衛星センター技術報告, 特別号 II-1, 61-75.