

GMS による雲頂高度とパイロット報告との比較 (第2報)

Comparison of the Cloud Top Heights Evaluated from GMS Infrared Image with the Heights Reported by Air-line Pilots. (Part 2)

楡井 壮一*

Souichi Nirei*

Abstract

In order to examine the accuracy of cloud top heights derived from GMS infrared images, the cloud top heights (CTH) are compared with those reported by air-line pilots during the period from May through September 1982.

Two kinds of the CTH estimation method, the mode temperature method and the minimum temperature method, which are used routinely in MSC (Meteorological Satellite Center) and based on the histogram analysis technique, were used. Two temperatures corresponding to the two methods were derived in each case.

The derived temperatures are converted to geo-potential heights by comparison with climatological vertical temperature profile data, named GMSSA (GMS Standard Atmosphere).

The results show that CTH by minimum temperature method are estimated more closely to those reported by pilots, and the deviations range from -10.6% to $+1.3\%$ as compared with CTH reported by pilots.

1. まえがき

GMS システムで出力される雲頂高度の精度調査の一環として、前回、寒候期について GMS が観測した相当黒体温度 (以下、 T_{BB} という) データから最多温度法と最低温度法とによって抽出した雲頂高度と航空会社パイロットの着後報告 (以下、パイロット報告という) との比較を調査した。(楡井 1981) その結果、最低温度法による雲頂高度がパイロットの報告した雲頂高度 (以下、パイロット報告値という) より、やや高いが、最も近い値をとる事、また最多温度法による雲頂高度はパイロット報告値より、やや低い、かなり近い値をとるという事がわかった。

今回は1982年5月から9月までの期間のパイロット報告値を用いて、暖候期の GMS システム雲頂高度の精度を調査する。

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

この期間は航空機の運航に重大な影響を及ぼす積乱雲 (以下、Cb という) が多く発生するので、Cb の雲頂高度の精度に主眼をおいて調査することとした。

2. 調査方法

パイロット報告の内、雲頂高度を記入してあるものを選択し、その報告地点を中心として T_{BB} 分布図から算出した雲頂高度をパイロット報告値と比較した。

GMS システムでは総観雲頂高度と局地雲頂高度の2種類の雲頂高度を算出している。

その方式にならって、先ず、 T_{BB} 分布図より下記の2種類の代表雲頂温度を算出した。

① 最多温度

最多温度は、約 $120\text{ km} \times$ 約 120 km の範囲に含まれる全画素の T_{BB} 分布の最多値である。ただし、最多値を構成する画素数は範囲内の全画素数の5%以上を要する。最多温度は GMS システム総観雲頂高度温度に相当

METEOROLOGICAL SATELLITE CENTER TECHNICAL NOTE No. 8 SEPTEMBER 1983

Table 1 Comparison between pilot reports and cloud top heights from TBB.

NO.	DATE	TIME(OFF) TIME(ON)	LOCATION	PILOT REPORT(A)	TBB <C>	CLOUD TOP HEIGHT(B)	ERROR (A-B)	ERROR RATE (A-B)/A	CLOUD TYPE
1	82.5. 2	0010Z 0239Z	34.5N 137.0E	11300 M	MODE= 99 MIN =-45	99999 M 10800 M	9999 M 500 M	999 % 4 %	CB
2	82.5. 2	0510Z 0640Z	35.0N 139.0E	11300 M	MODE= 99 MIN =-44	99999 M 10600 M	9999 M 700 M	999 % 6 %	CB
3	82.5. 2	0510Z 0640Z	33.5N 130.5E	2400 M	MODE= 4 MIN = 3	2800 M 3100 M	-400 M -700 M	-16 % -29 %	
4	82.5. 2	0745Z 0906Z	42.0N 141.0E	10400 M	MODE=-24 MIN =-40	6900 M 9800 M	3500 M 600 M	33 % 5 %	
5	82.5. 2	0745Z 0906Z	36.7N 140.5E	10700 M	MODE=-47 MIN =-49	11100 M 11400 M	-400 M -700 M	-3 % -6 %	
6	82.5. 3	0033Z 0148Z	41.5N 141.0E	4300 M	MODE= 0 MIN = -7	2400 M 3800 M	1900 M 500 M	44 % 11 %	
7	82.5. 7	0007Z 0118Z	33.0N 131.0E	6100 M	MODE=-16 MIN =-20	6400 M 7000 M	-300 M -900 M	-4 % -14 %	
8	82.5. 7	0246Z 0413Z	42.0N 141.5E	1200 M	MODE= 3 MIN = 2	2100 M 2200 M	-900 M -1000 M	-75 % -83 %	
9	82.5. 7	0246Z 0413Z	35.5N 140.0E	1200 M	MODE=-22 MIN =-29	7300 M 8400 M	-6100 M -7200 M	-508 % -600 %	
10	82.5. 7	0341Z 0508Z	42.5N 141.5E	600 M	MODE= 3 MIN = 0	2000 M 2400 M	-1400 M -1800 M	-233 % -300 %	CU
11	82.5. 7	0341Z 0508Z	35.7N 140.2E	7800 M	MODE=-22 MIN =-30	7300 M 8500 M	500 M -700 M	.6 % -8 %	
12	82.5. 7	0344Z 0453Z	33.0N 132.0E	8800 M	MODE=-13 MIN =-30	6000 M 8600 M	2800 M 200 M	31 % 2 %	
13	82.5.10	9999Z 0453Z	34.0N 133.0E	11300 M	MODE= 99 MIN =-52	99999 M 11800 M	9999 M -500 M	999 % -4 %	
14	82.5.13	2329Z 0043Z	39.0N 141.5E	10100 M	MODE= 99 MIN =-48	99999 M 10800 M	9999 M -700 M	999 % -6 %	
15	82.5.13	0449Z 0612Z	39.0N 140.5E	11000 M	MODE= 99 MIN =-46	99999 M 10500 M	9999 M 500 M	999 % 4 %	
16	82.5.17	0239Z 0448Z	34.0N 139.0E	10100 M	MODE=-29 MIN =-41	8400 M 10200 M	1700 M -100 M	16 % 0 %	
17	82.5.19	9999Z 2350Z	35.0N 139.5E	9200 M	MODE=-12 MIN =-36	5700 M 9500 M	3500 M -300 M	38 % -3 %	
18	82.5.19	9999Z 2350Z	35.0N 133.0E	9500 M	MODE= -4 MIN = -3	4400 M 4200 M	5100 M 5300 M	53 % 55 %	CB
19	82.5.20	0006Z 0103Z	35.0N 139.0E	7000 M	MODE= 99 MIN =-24	99999 M 7600 M	9999 M -600 M	999 % -8 %	
20	82.5.22	0109Z 0241Z	35.5N 139.0E	4000 M	MODE= -2 MIN =-10	4100 M 5400 M	-100 M -1400 M	-2 % -35 %	
21	82.5.26	0637Z 0754Z	39.0N 142.0E	11200 M	MODE=-11 MIN =-46	4600 M 10900 M	6600 M 300 M	58 % 2 %	CB
22	82.5.26	0637Z 0754Z	42.5N 142.0E	5500 M	MODE=-44 MIN =-50	10600 M 11500 M	-5100 M -6000 M	-92 % -109 %	CU
23	82.6.30	0941Z 1033Z	35.0N 139.0E	2700 M	MODE= 1 MIN =-11	4000 M 6200 M	-1300 M -3500 M	-48 % -129 %	
24	82.7. 8	0341Z 0454Z	35.3N 138.0E	6100 M	MODE= 7 MIN = 2	3700 M 4600 M	2400 M 1500 M	39 % 24 %	CB
25	82.7. 8	0341Z 0454Z	33.5N 132.0E	9200 M	MODE= 14 MIN =-28	2500 M 9700 M	6700 M -500 M	72 % -5 %	CB
26	82.7. 8	0511Z 0606Z	34.5N 136.5E	7600 M	MODE= 99 MIN =-22	99999 M 8500 M	9999 M -900 M	999 % -11 %	CB
27	82.7. 8	0511Z 0606Z	34.5N 135.7E	7600 M	MODE= 99 MIN =-16	99999 M 7600 M	9999 M 0 M	999 % 0 %	CB
28	82.7. 8	0556Z 0710Z	34.2N 132.0E	10700 M	MODE= 15 MIN =-29	2200 M 9900 M	8500 M 800 M	79 % 7 %	CB
29	82.7.21	0250Z 0440Z	34.0N 135.0E	2400 M	MODE= 9 MIN =-17	3300 M 7800 M	-900 M -5400 M	-37 % -225 %	CU
30	82.7.21	0250Z 0440Z	34.5N 139.5E	3500 M	MODE=-42 MIN =-47	11300 M 11900 M	-7800 M -8400 M	-222 % -240 %	CU

気象衛星センター 技術報告 第8号 1983年9月

NO.	DATE	TIME(OFF) TIME(ON)	LOCATION	PILOT REPORT(A)	TBB.<C>	CLOUD TOP HEIGHT(B)	ERROR (A-B)	ERROR RATE (A-B)/A	CLOUD TYPE
31	82.7.22	0514Z 9999Z	35.3N 139.0E	6700 M	MODE= 15 MIN = -5	2100 M 5900 M	4600 M 800 M	68 % 11 %	CB
32	82.7.29	0641Z 0800Z	33.5N 131.0E	10700 M	MODE= 0 MIN = -29	5200 M 9900 M	5500 M 800 M	51 % 7 %	CB
33	82.7.29	0641Z 0800Z	33.5N 131.5E	10700 M	MODE= 0 MIN = -34	5200 M 10500 M	5500 M 200 M	51 % 1 %	CB
34	82.7.29	0641Z 0800Z	34.3N 134.2E	10700 M	MODE= 0 MIN = -38	4900 M 10900 M	5800 M -200 M	54 % -1 %	CB
35	82.7.29	0641Z 0800Z	34.7N 136.0E	10700 M	MODE= 0 MIN = -33	4900 M 10200 M	5800 M 500 M	54 % 4 %	CB
36	82.7.29	1125Z 1236Z	41.5N 141.0E	6100 M	MODE= -2 MIN = -6	5000 M 5800 M	1100 M 300 M	18 % 4 %	
37	82.7.29	1140Z 1244Z	34.5N 137.5E	9200 M	MODE= 99 MIN = -51	99999 M 12500 M	9999 M -3300 M	999 % -35 %	CB
38	82.7.30	0516Z 0638Z	40.5N 141.0E	12500 M	MODE= 3 MIN = -29	4100 M 9300 M	8400 M 3200 M	67 % 25 %	CB
39	82.7.30	0516Z 0638Z	36.2N 140.0E	12200 M	MODE= 99 MIN = -30	99999 M 9800 M	9999 M 2400 M	999 % 19 %	CB
40	82.8. 2	0809Z 0925Z	38.5N 139.5E	10400 M	MODE= 99 MIN = -32	99999 M 10000 M	9999 M 400 M	999 % 3 %	CB
41	82.8. 5	0323Z 0521Z	30.5N 132.0E	10100 M	MODE= 16 MIN = -29	2100 M 9900 M	8000 M 200 M	79 % 1 %	CB
42	82.8. 5	0523Z 0720Z	31.0N 133.0E	10800 M	MODE= 17 MIN = -57	1900 M 13500 M	8900 M -2700 M	82 % -25 %	CB
43	82.8. 6	2216Z 2335Z	35.5N 138.5E	6100 M	MODE= 16 MIN = -8	1900 M 6400 M	4200 M -300 M	68 % -4 %	
44	82.8. 6	2216Z 2335Z	34.3N 137.5E	11600 M	MODE= 16 MIN = -58	1900 M 14300 M	9700 M -2700 M	83 % -23 %	CB
45	82.8. 9	0258Z 0429Z	34.0N 134.3E	11000 M	MODE= 15 MIN = -48	2100 M 12200 M	8900 M -1200 M	80 % -10 %	CB
46	82.8. 9	0258Z 0429Z	33.5N 131.5E	9200 M	MODE= 15 MIN = -22	2100 M 8700 M	7100 M 500 M	77 % 5 %	CB
47	82.8. 9	0258Z 0429Z	33.5N 131.0E	3700 M	MODE= 15 MIN = 2	2100 M 4600 M	1600 M -900 M	43 % -24 %	CU
48	82.8. 9	0420Z 0535Z	37.0N 140.5E	12200 M	MODE= 99 MIN = -51	99999 M 12600 M	9999 M -400 M	999 % -3 %	CB
49	82.8.10	2340Z 0137Z	30.0N 130.0E	11000 M	MODE=-43 MIN = -49	11700 M 12500 M	-700 M -1500 M	-6 % -13 %	CB
50	82.8.12	0320Z 0409Z	35.0N 137.5E	7600 M	MODE= 16 MIN = -30	1900 M 10000 M	5700 M -2400 M	75 % -31 %	CB
51	82.8.12	0448Z 0532Z	34.5N 136.0E	10400 M	MODE= 0 MIN = -38	5000 M 11000 M	5400 M -600 M	51 % -5 %	CB
52	82.8.12	0448Z 0532Z	34.7N 136.5E	10400 M	MODE= 4 MIN = -32	4200 M 10200 M	6200 M 200 M	59 % 1 %	CB
53	82.8.12	0448Z 0532Z	35.0N 137.5E	10700 M	MODE= 14 MIN = -42	2300 M 11400 M	8400 M -700 M	78 % -6 %	CB
54	82.8.19	0020Z 0140Z	35.3N 140.2E	8500 M	MODE= 17 MIN = 0	1700 M 5000 M	6800 M 3500 M	80 % 41 %	CB
55	82.8.19	0427Z 0600Z	36.3N 140.2E	9500 M	MODE= 99 MIN = -54	99999 M 12900 M	9999 M -3400 M	999 % -35 %	CB
56	82.8.19	0427Z 0600Z	35.8N 140.5E	8500 M	MODE= 16 MIN = -53	1900 M 12800 M	6600 M -4300 M	77 % -50 %	CB
57	82.8.20	0620Z 0746Z	37.0N 140.5E	12200 M	MODE= 17 MIN = -53	1700 M 12800 M	10500 M -600 M	86 % -4 %	CB
58	82.8.31	2324Z 9999Z	38.5N 141.0E	10100 M	MODE= 99 MIN = -29	99999 M 9500 M	9999 M 600 M	999 % 5 %	CB
59	82.9. 9	0351Z 0555Z	35.0N 140.0E	2400 M	MODE= 13 MIN = 10	2200 M 2700 M	200 M -300 M	8 % -12 %	

する。

②最低温度

最低温度は約 60 km×約 60 km の範囲に含まれる画素のうち最低温度側から累計して全画素数の 3% の個数に達した時の T_{BB} 値である。この温度は GMS システム局地雲頂高度温度に相当する。

GMS システムでは雑音の混入 および代表性を考慮して上記の条件をつけ 2 種類の代表雲頂温度を算出している。

なお GMS システム 雲頂高度についての詳細は加藤 (1979), 鈴木 (1980) を, T_{BB} 分布図出力プログラムについては中村, 杉本 (1980) を参照されたい。

この調査で使用した T_{BB} 分布図の一例を Fig. 6 に示す。Fig. 6 で外側の実線内が約 120 km×約 120 km の最多温度算出範囲である。この時、範囲内に含まれる全画素数は 446 個であるので最多温度に属する画素数はその 5% の 23 個以上でなければならない。一方、内側の実線内は約 60 km×約 60 km の最低温度範囲である。この時の全画素数は 120 個であるので最低温度側から累計して 4 個の画素を削除し、5 番目の画素の T_{BB} 値を最低温度とした。ただし、この調査で使用した T_{BB} 分布図出力プログラムは GMS システム雲頂高度算出処理のものとは異なるため全画素数も GMS システムのものとは異なる。

上記の 2 種類の代表雲頂温度を雲頂高度に換算するのに必要な大気鉛直温度分布としては GMS システムで使用している GMS 標準大気 (GMSSA と呼ばれる統計値) を用い、1 個のパイロット報告値に対して、2 種類の雲頂高度を算出した。

前回の調査では 4 種類の雲頂高度を算出し、換算に高層観測実況値も使用したが、GMSSA データを使用した場合と精度に大きな差が無いので今回は GMS システムの方式にならって算出した。

Table 1 はパイロット報告値と T_{BB} 分布から求めた 2 種類の雲頂高度との比較表である。Table 1 で時刻は航空機の離陸 (OFF) と着陸 (ON) 時刻を示す。 T_{BB} 値は最多温度を MÖDE で、最低温度を MIN でそれぞれ摂氏温度で表示している。誤差 (ERRÖR) はパイロット報告値と T_{BB} から算出した雲頂高度との差で、パイロット報告値の方が大きい場合、正の値である。誤差率 (ERRÖR RATE) は誤差のパイロット報告値に対する百分率である。また Table 1 で最多温度 (MÖDE) が 99 とは算出条件を満たさず最多温度が得られなかった場合で、この時雲頂高度は 99999 m, 誤差は 9999 m, 誤差率は 999% としてある。雲形 (CLÖUD TYPE) は

Cb と Cu (積雲) のみを表示したが、パイロット報告に Cb または Cu と記入してある場合および雲解析図から Cb または Cu と判断された場合である。

Fig. 1 に最多温度法における誤差率の度数分布を、Fig. 2 に最低温度法におけるものを示す。ただし誤差率の絶対値が 95% 以上の場合は除外した。

ここで最多温度法とは最多温度を雲頂高度に換算するものであり、最低温度法とは最低温度を換算するものである。

Fig. 3, 4 に各方法別に T_{BB} からの雲頂高度とパイロット報告値との間の相関図を示す。誤差率の絶対値が 100% 以上の場合は除外した。

Fig. 1~4 で、○印は Cb を、×印は Cb 以外の雲をそれぞれ示してある。

3. 考 察

Table 1 での誤差 (ERRÖR) はパイロット報告値と T_{BB} から求めた雲頂高度との差である。前回の調査で述べた様に、この誤差は「GMS システムによる誤差」と「パイロット報告の誤差」と「その他の誤差」の和である。

「GMS システムによる誤差」は雲の射出率、大気補正量、大気鉛直温度分布などにおいて正確な値を知ることが困難なために生ずる。この調査の場合は雲の射出率を 100% と仮定したこと、大気補正を行わず T_{BB} 分布図の値を真の雲頂高度と仮定したことなどが該当する。

大気補正を行わない場合、雲頂高度の高い雲では T_{BB} 値が真の値に近いが、高度の低い雲では誤差が大きくなる。

「パイロット報告の誤差」はパイロットが雲頂高度を測定する時の測定誤差、位置誤差である。

「その他の誤差」はパイロット報告の雲と T_{BB} 分布図の代表雲頂高度に該当する雲との違い、および、パイロット報告の時刻と GMS 観測時刻の違いから生ずる誤差である。GMS は 3 時間毎に観測しているので時刻の違いの最大値は 1 時間 30 分である。

以上述べた誤差を反映して Table 1 の誤差と誤差率は正負の大小さまざまな値を示している。そこで時刻の違いによる誤差、位置誤差などを解消し、全般的な傾向をつかむために、誤差率の平均値、度数分布、相関係数などの統計値を使用して統計的に考察する。

Fig. 1, 2 の度数分布を見ると、Fig. 1 の最多温度法による誤差率の度数分布は正規分布ではない。一方、

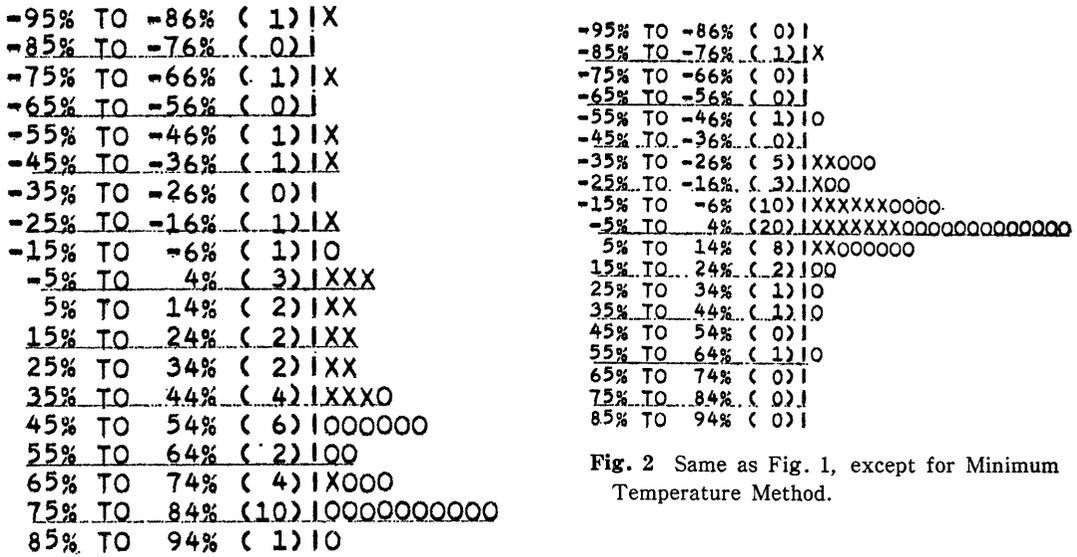


Fig. 2 Same as Fig. 1, except for Minimum Temperature Method.

Fig. 1 Histogram of Error Rate for Mode Temperature Method. (○: Cb. ×: Clouds except Cb)

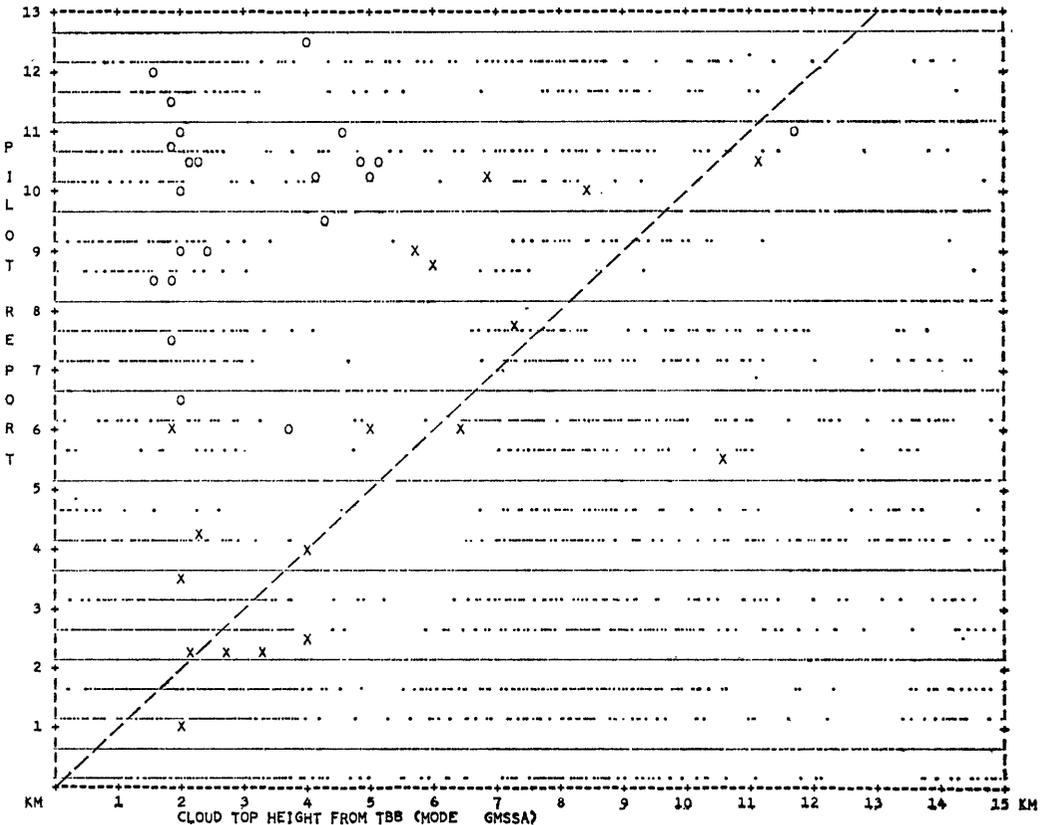


Fig. 3 Scatter diagram between pilot reports and Cloud top heights from TBB estimated by Mode Temperature Method. (the vertical axis: pilot report. the horizontal axis: cloud top height from TBB. broken line: line of error rate=0%. ○: Cb. ×: clouds except Cb)

Fig. 2 の最低温度法によるものは、0%を含む範囲を中心として、ほぼ正規分布に近い形をしている。

そこで最低温度法による誤差率の平均値と標準偏差を求めると、平均値は -4.6%、標準偏差は 21.2% となる。(標本数は53)。これらの値から、最低温度法による誤差率の母平均値の95%信頼区間を求めると、-10.6% ~ +1.3% となる。これらの統計値と Fig. 2 は最低温度法による雲頂高度がパイロット報告値より、やや高いが最も近い値であることを示している。

Fig. 2 で Cb を示す○印に注目すると、やはり正規分布に近い形である。そこで Cb のみについて最低温度法による誤差率の平均値と標準偏差を求めると、平均値は -1.1%、標準偏差は 20.7% となる。(標本数は34)。この時の母平均値の95%信頼区間を求めると、-8.6% ~ +6.4% となる。Cb についても最低温度法による雲頂高度がパイロット報告値に最も近い値をとる。

Fig. 1 の Cb を示す○印に注目すると、正の大きな値の方へ集中して分布している。これは、Cb について

の最多温度法による雲頂高度がパイロット報告値より大幅に低いことを示している。

次に Fig. 3, 4 の相関図で破線は誤差率 0% を示す。破線の左側は誤差率が正の場合に対応し、パイロット報告値が、 T_{BB} から算出した雲頂高度より大きい場合である。破線の右側は誤差率が負の場合に対応する。

Fig. 3 の最多温度法によるものは、ほぼ左上に広く分布し、特に○印が示す Cb は左上隅に集中し、最多温度法による Cb の雲頂高度がパイロット報告値より大幅に低いことを示している。この場合の相関係数を算出すると、+0.18 であり、最多温度法による雲頂高度とパイロット報告値とは、ほとんど相関がないといえるが、主な要因は Fig. 3 の相関図からもわかる様に Cb における誤差が大きいことによる。これについては後述する。

一方、Fig. 3 で×印が示す Cb 以外の雲は誤差率 0% の破線の近くにはほぼ分布しているのが注目される。そこで Cb 以外の雲の最多温度法による雲頂高度とパイロット報告値の間の相関係数、誤差率の平均値と標準偏差を

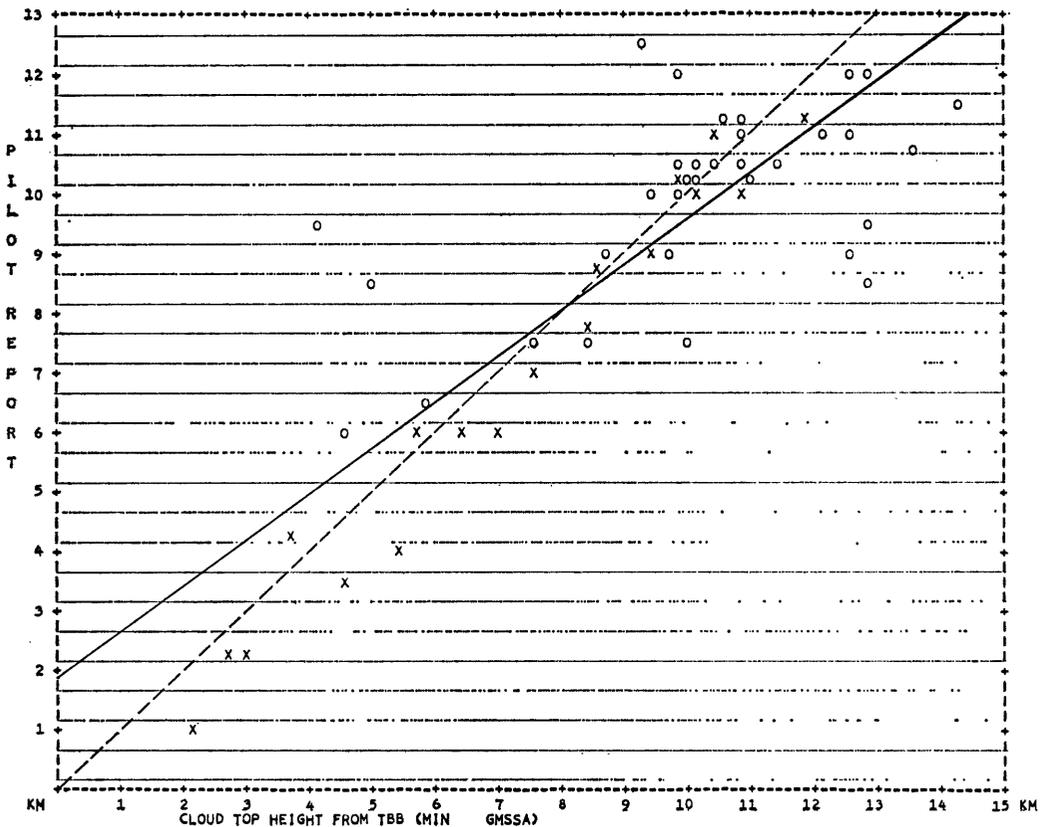


Fig. 4 Same as Fig. 3, except for Minimum Temperature Method. (solid line: regression line)

求めると、相関係数は +0.73, 平均値は +1.6%, 標準偏差は42.4%となる。

標準偏差は大きい、相関係数は正のかかなり大きな値である。Fig. 3で破線の右側の横軸 10.5 km, 縦軸 5.5 km 辺に×印が一点だけやや大きく離れているので、他の×印は破線の左側に分布しているものが多いが、平均値の正の値は小さい。以上述べたことは Cb 以外の雲の最多温度法による雲頂高度がパイロット報告値より、やや低いが、かなり近い値をとることを示している。

Fig. 4の最低温度法によるものは誤差率 0% を示す破線の付近にはば分布している。この場合の相関係数を求めると+0.85であり、かなり大きな正の相関がある。そこで最低温度法の回帰直線を求めると、

$$Y=0.77X+1876.86$$

ここでYはパイロット報告値、Xは最低温度法による雲頂高度である。この回帰直線を Fig. 4 に実線で示す。回帰直線はほぼ 8 km 以上で破線の右側にある。これは最低温度法による雲頂高度がパイロット報告値より高いことを示している。Cb を示す○印に注目すると、破線付近に多数、分布しているがバラツキがやや大きいものもある。右上隅は上層なので破線からやや大きく離れていても誤差率はそれほど大きくならず50%程度であ

る。左上に大きく離れている例すなわち横軸 4 km, 縦軸 9.5 km 辺の○印は Table 1 の番号18で、パイロット報告に該当する Cb は GMS 観測時刻には報告空域から移動してしまったため誤差が大きくなったと考えられる。次に Cb 以外の雲を示す×印は破線付近に Fig. 3 の場合よりもバラツキが小さく分布している。そこで前と同様に Cb 以外の雲の最低温度法による場合の相関係数を算出すると、+0.99, 誤差率の平均値は-11.1%, 標準偏差は 21.1% である。大きな正の相関があり、Cb 以外の雲の最低温度法による雲頂高度がパイロット報告値よりやや高いが最も近い値をとることを示している。

前に述べた様に、Fig. 1 と 3 の Cb を示す○印の位置は最多温度法による Cb の雲頂高度がパイロット報告値より大幅に低いことを示している。この大幅な誤差の原因を解明するために1982年5月26日の実例をもとに考察する。この例は Table 1 の番号21の場合で、この時のパイロット報告図、 T_{BB} 分布図をそれぞれ Fig. 5, 6 に示す。

Fig. 5 のパイロット報告図に三陸海岸で、「TÖP390」と記入されている。390とは39000 feet≒11200 m のことである。最多温度は-11度C, 最低温度は-46度Cである。GMSSA を用いて高度に換算すると、それぞれ

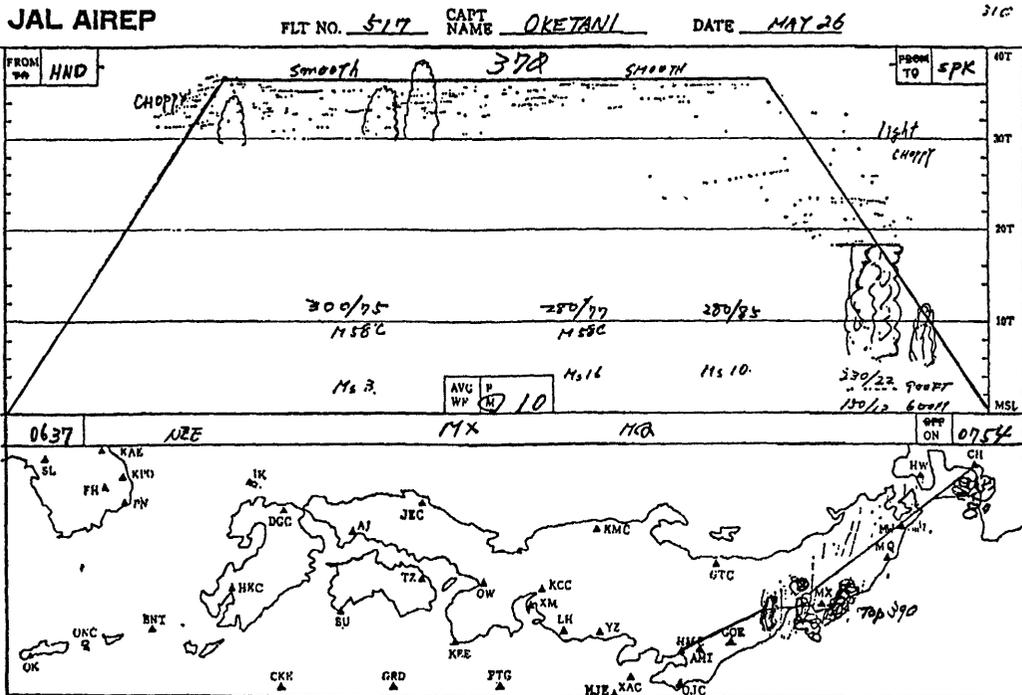


Fig. 5 Pilot report of No. 21, Table 1.

	141.30E	141.60E	141.90E	142.20E	142.50E																							
39.70N	-30	-30	-29	-27	-28	-29	-31	-30	-31	-35	-36	-38	-38	-37	-34	-32	-29	-26	-22	-22	-22	-21	-21	-21				
	-29	-27	-27	-26	-27	-28	-28	-26	-27	-30	-36	-36	-37	-36	-34	-28	-26	-21	-18	-16	-17	-18	-17	-18				
	-30	-28	-25	-27	-26	-23	-20	-17	-20	-25	-28	-31	-29	-21	-19	-20	-22	-22	-16	-13	-13	-13	-13	-14				
	-32	-29	-27	-26	-21	-15	-11	-10	-15	-18	-19	-21	-18	-13	-11	-15	-17	-18	-15	-11	-11	-8	-7	-10				
	-29	-28	-24	-23	-20	-15	-13	-11	-10	-11	-11	-11	-11	-10	-11	-15	-18	-18	-11	-9	-8	-7	-9	-12				
39.40N	-28	-22	-17	-15	-16	-15	-11	-10	-8	-8	-12	-10	-7	-7	-8	-11	-13	-10	-6	-6	-8	-10	-12	-16				
	-15	-16	-16	-19	-21	-14	-13	-12	-9	-13	-15	-17	-15	-10	-6	-6	-4	-3	-4	-7	-8	-10	-12	-16				
	-14	-17	-17	-17	-17	-15	-17	-12	-9	-13	-17	-16	-15	-10	-6	-6	-4	-3	-4	-7	-9	-11	-13	-14				
	-14	-17	-17	-17	-17	-15	-17	-17	-16	-16	-19	-17	-14	-11	-6	-3	-1	-2	-2	-2	-2	-3	-6	-7				
	-12	-11	-11	-13	-17	-22	-22	-23	-24	-21	-19	-15	-11	-10	-9	-4	0	1	0	-1	-1	0	-1	-2				
39.10N	-21	-21	-20	-28	-32	-31	-28	-27	-27	-26	-22	-16	-10	-7	-1	1	3	3	1	0	0	0	0	0				
	-33	-32	-29	-35	-45	-44	-42	-35	-32	-29	-23	-12	-7	1	4	4	4	3	2	1	0	0	0	1				
	-26	-27	-26	-28	-36	-46	-47	-46	-41	-38	-17	-10	-3	0	5	5	4	3	2	1	0	0	1	1				
	-26	-25	-22	-22	-28	-36	-43	-47	-48	-46	-34	-16	-10	-1	3	5	5	3	2	2	2	2	2	2				
	-19	-19	-18	-18	-21	-25	-32	-38	-43	-47	-46	-36	-14	-1	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3				
38.80N	-16	-11	-6	-6	-11	-17	-20	-19	-20	-22	-26	-27	-23	-2	3	3	3	4	4	4	3	3	4	4				
	-13	-8	-4	-2	-8	-15	-17	-11	-4	-3	-3	-4	-10	-2	3	3	3	4	4	4	3	3	4	4				
	-4	-4	-4	-2	-8	-15	-17	-11	-4	-3	-3	-4	-10	-2	2	3	4	4	5	4	4	3	4	4				
	-4	-4	-4	-2	-7	-11	-8	-6	-4	-3	0	1	-1	-1	3	4	4	5	5	5	4	4	5	5				
	-7	-12	-11	-11	-11	-8	-2	-1	-6	-9	-7	-3	-1	1	4	4	5	5	5	5	5	5	5	6				
38.50N	-16	-15	-10	-8	-8	-9	-7	-2	-3	-7	-7	-3	-1	1	4	4	5	5	5	5	5	5	6	6				
	-17	-10	-7	-7	-9	-8	-6	-4	0	0	0	1	2	3	4	5	5	5	5	5	5	6	6	6				
	-19	-10	-1	0	*****																	5	6	6	6	6	6	
	-13	-6	-2	0	TBB VALUE																	1982.5.26.05:36(Z)	5	6	6	6	6	6
					*****																	5	6	6	6	6	6	

Fig. 6 TBB Chart of No. 21, Table 1.

4600 m と 10900 m である。パイロット報告値は最低温度法による雲頂高度にはほぼ一致する。T_{BB} 分布図を見ると雲頂は対流雲特有の凹凸を示し特に38.9度N, 141.8度E付近に-46度C以下の雲頂温度を示す塊がありCbの最高部の存在を示す。

可視画像写真を見ると、本州中部地方から東北地方にかけて、Cbのみが所々に発生している。最多温度法による雲頂高度の4600mは中層雲でなく、対流雲の一部である。

ここで次のような問題点がある。すなわちこの航空機の飛行時間は0637Z~0754Zであるが、この地点のGMS観測時刻は0536Zである。Cbは急速に高度が変化したり、移動する場合もあるので、同一の雲であるという保証がない。しかしこの例のCbは前線に伴うものでなく熱雷的なものなので移動は遅いと考える。また、たとえ移動して別のCbであったとしても、雲頂高度を決定する高層気象状態はこの時間差の間にあまり変化せず、雲頂高度はほぼ同様と考えられる。

上記の実例からわかる様に、Cbの雲頂は凹凸していて、パイロットは突出したCbの最も高い雲頂高度を報告するので、最低温度法によるものが最もパイロット報告値に近い。Cbは全59例中、34例が報告されているが、そのうち2例を除いて他は最低温度法によるものが、最多温度法によるものより誤差率が小さい。例外の2例はTable 1の番号18と49の例で、番号18のCbはパイロット報告時刻とGMS観測時刻の違いのため、域外に移動してしまった。番号49のCbの上には上層雲が一面に広がり、GMSの画像ではCbと上層雲の区別ができなかった。この例のパイロット報告図(図は省略)を見るとCbと上層雲は完全に分離していた。すなわち、この上層雲はCbに伴うものではない。パイロットは雄大積雲をCbと報告したと思われる。

4. ま と め

1982年5月から9月までの暖候期のパイロット報告値

と比較した結果、最低温度法による雲頂高度（局地雲頂高度に相当）が、パイロット報告値よりやや高いが、パイロット報告値に最も近い値をとることがわかった。最低温度法による雲頂高度の誤差率の母平均値の95%信頼区間は、 $-10.6\% \sim +1.3\%$ である。特にCbの最低温度法の誤差率の母平均値の95%信頼区間は $-8.6\% \sim +6.4\%$ である。

最多温度法による雲頂高度（総観雲頂高度に相当）はCbについては、パイロット報告値より大幅に低い値である。Cb以外の雲については、パイロット報告値よりやや低い、かなり近い値をとる。

以上、Cbの最多温度法によるものを除いて、前回の調査の結果とはほぼ同じである。

ちなみに、雲解析図で標準偏差を並記してあるものが、総観雲頂高度であり、並記なしのものが局地雲頂高度である。

5. あとがき

本調査に使用したパイロット報告資料は東京航空地方

気象台予報課から頂きました。

また本稿をまとめるにあたり、門脇俊一郎データ処理部長、山本孝二管制課長、中村和信調査官から有益な御助言を頂きました。

T_{BB} 分布図出力プログラムは中村健次技官、杉本清秋技官が作成されたものを使用させて頂きました。

以上、記して感謝の意を表します。

References

- 加藤一靖, 1979: 雲頂高度, 気象衛星センター技術報告, 特別号, II-2, 43-58.
- 鈴木一雄, 1980: 静止気象衛星「ひまわり」の赤外放射データによる雲頂高度の計算, 天気, 27, 307-320.
- 中村健次, 杉本清秋, 1980: VISSR 輝度分布の出力プログラムとその利用について, 測候時報, 47, 7-17.
- 楡井壮一, 1981: GMS による雲頂高度とパイロット報告の比較, 気象衛星センター技術報告, 第4号, 69-100.