

静止気象衛星 (GMS) で観測した北西太平洋の 晴天輝度温度の特徴

Clear Sky Brightness Temperature over the Western North Pacific Ocean from GMS Spacecraft

佐々木 秀行*

Hideyuki Sasaki*

Abstract

An algorithm of extracting clear sky TBB from the radiance histogram in $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ latitude/longitude box of GMS IR data has been prepared and the seasonal features of the TBB in the western North Pacific Ocean have been investigated for about a year from December, 1983.

The clear sky TBB fluctuates irregularly in comparison with the sea surface temperature of ocean data bouy, which are collected by GMS.

The mean success rate of the extraction during the one year is found to be 5~20% in the area north of 30°N , 20~50% in the area between 10°N and 30°N , which may correspond to the subtropical high pressure, and 10~25% in the zone around 5°N , which is associated with the intertropical convergence zone (ITCZ).

The magnitude of atmospheric correction, which is defined the difference between the TBB and the ten day mean sea surface temperature which is derived from conventional data, is 4K near Japan in winter and more than 10 K near the ITCZ in summer.

1. はじめに

気象衛星センターにおける海面水温の算出処理はGMSの運用が開始した1978年4月から行なわれており、この結果をもとにして作られた旬平均放射海面水温図が気象庁海洋課からFAX放送されている。

この処理では、北緯50度~南緯49度、東経90度~西経171度の海域を対象にして、VISSRの赤外データの緯経度1度区画毎のヒストグラムから海面の晴天輝度温度を求め、大気補正量(井上; 1979)を加えた値を海面水温として算出している。処理の詳細は阿部・山本(1979)に解説されており、算出した海面水温の精度評価については阿部(1981)、長坂(1982)に述べられている。

一方、気象衛星センターでは赤外データ二次処理系の

基本データとして緯経度0.25度区画の赤外ヒストグラムの使用を計画しており、1983年12月からルーチンとして実際にデータ、即ち基本ヒストグラムを作成している。ここでは、赤外基本ヒストグラム利用の予備調査として、簡単なアルゴリズムを作成し北西太平洋における季節毎の(1)晴天輝度温度の分布、(2)抽出率の分布、(3)大気補正量の分布を調べた。ここでいう大気補正量は晴天輝度温度と気象庁海洋課が船舶などの観測結果をもとにして作成している旬平均海面水温と比較したものである。

2. 海面における晴天輝度温度の算出

2-1. 海面水温算出の問題点

一般に衛星データから海面水温を算出する際のもっとも大きな問題は、大気中の水蒸気や炭酸ガス等の影響をいかに評価するかである。極軌道衛星からの算出方法で

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

は、マルチチャンネルデータを利用した回帰的手法が開発され、精度のよい海面水温が算出されてきている。(Strong and McClain; 1984)

GMS に搭載されている赤外センサーは波長が 10.5~12.5 μm の 1 チャンネルであるため、ここでは大気補正は考慮せずに、晴天域において衛星が測定した放射量を温度に変換した、いわゆる晴天輝度温度だけを対象にした。大気補正をしない海面の晴天輝度温度は、後に示すように実際の海面水温より 3~10 $^{\circ}\text{C}$ も低い。

大気補正の他にも、雲の影響、キャリブレーションの誤差、さらに船舶による直接測定と衛星からの間接測定とは測定対象が異なるといった問題がある。

2-2. 調査領域と赤外放射計の特性

基本ヒストグラムの処理領域は、北緯 60 度~南緯 60 度、東経 80 度~西経 160 度の範囲、480 \times 480 区画であるが、本報告では北緯 45 度~赤道、東経 120 度~東経 180 度を対象にした。1 区画当りの画素数は衛星直下点で約 70 個、北緯 45 度、東経 180 度付近で約 10 個である。

赤外放射計の出力レベルと輝度温度の関係を Fig. 1 に示す。海面での晴天輝度温度に相当する 270 K 以上の範囲では、出力レベルの温度分解能は約 0.5 K である。

2-3. 基本ヒストグラムの特性

Fig. 2 には、1983年12月12日03 Z時の土佐湾付近の赤外基本ヒストグラムとその時の可視画像を示す。可視画像を見ると、それぞれのヒストグラムは、 A_1 は陸域、 A_2 は晴天の土佐湾湾奥部と一部陸域、 A_3 と A_4 は晴天の海面域、 A_5 はわずかに雲域がみられる区画、 A_6 は晴天域と雲域が混在している区画、 A_7 はほとんど雲におおわれた区画である。

また、 B_1 と B_2 は北緯 20 度付近の層積雲で覆われた区

画でのヒストグラムである。 A_4 と A_5 のヒストグラムの出力レベルを比較すると、それぞれの最大値はレベルにして 6、輝度温度で 2.8 K の差があり、黒潮前線の存在を示している。

これらのことから、晴天になっている海面の区画でのヒストグラムは数レベルに画素が集中し、黒潮前線のように温度の水平勾配が非常に大きいところを含む区画でも、区画の大きさが 0.25 度、約 30 km 四方であるため、画素は高々 8 レベル程度に分散するだけで表現される。

雲域が混在する区画でのヒストグラムは、広いレベルに画素が分散するが、高温側は晴天部分の海面の輝度温度を示している。しかし雲域が広がってくると、 A_7 の例のように可視画像ではまだ晴天部分が残っているようでも、高温側も雲の影響で晴天の輝度温度を示さなくなる。

一方、層雲のような様な雲の場合、その区画のヒストグラムは B_1 、 B_2 の例のように数レベルに画素が集中し、形状は晴天の海面域のものと同じであるが、雲の輝度温度であるためにその出力レベルは低い。

2-4. 晴天輝度温度の抽出方法

以上のことから、基本ヒストグラムから海面での晴天輝度温度を抽出するのに次の 2 つの条件を設定した。

- (1) ヒストグラムの高温側 4 レベルに含まれる画素数が全体の 80% 以上を占める。
- (2) (1) を満足する区画の高温側 2 レベルを加重平均した輝度温度が、あらかじめ設定されている閾値より高い。

閾値の例として、Fig. 3 に夏季の平均輝度温度を求める際に用いたものを示す。

以上の条件を満足した時に、(2) で算出した輝度温度を抽出した海面の晴天輝度温度とした。

3. 晴天輝度温度と海洋気象ブイデータの比較

晴天輝度温度の特性を調べるために、気象庁海洋課が日本の周辺海域に展開している海洋気象ブイの海面水温データと比較した。海洋気象ブイのデータは GMS に搭載されている DCS (Data Collection System) 回線を利用して 3 時間毎に集収されており、外洋における数少ない固定点での資料である。

利用した海洋気象ブイは四国沖の北緯 29 度、東経 135 度に設置されている。この海域での晴天輝度温度の抽出率は、年間を通じて夏の期間がもっとも高く、ここで用いたアルゴリズムでは 50% 程度であったので、比較の期

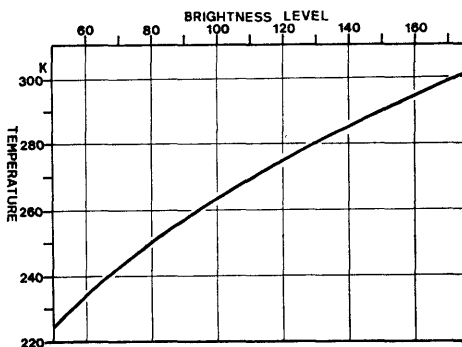


Fig. 1 Conversion curve from brightness level to equivalent black body temperature (K).

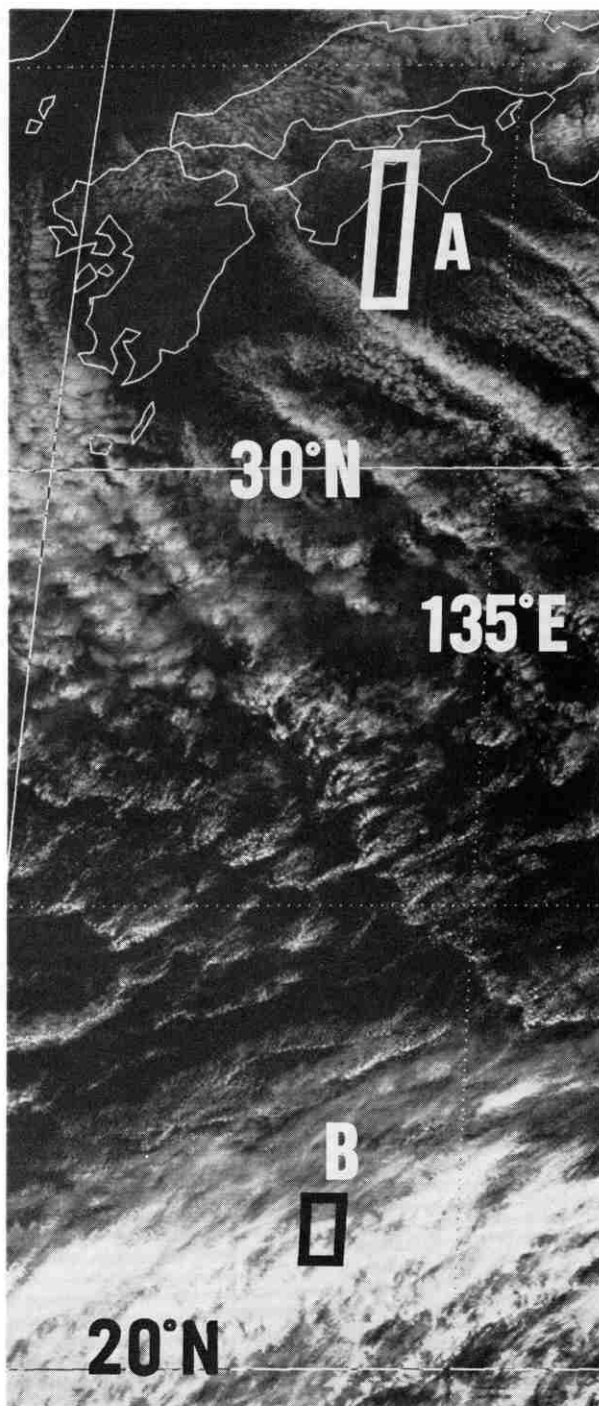
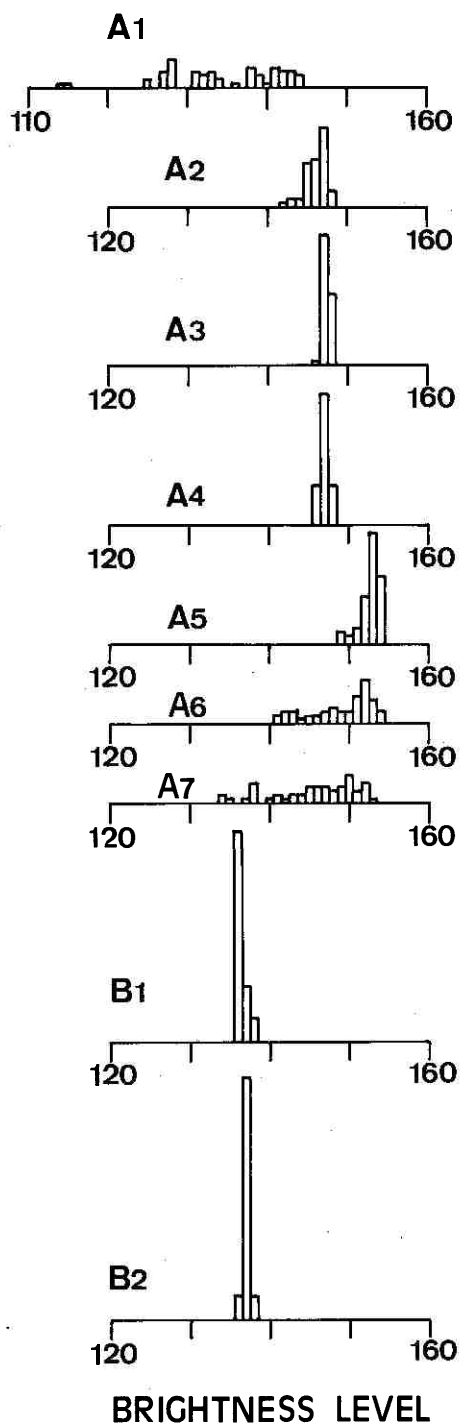


Fig. 2 VIS image at 03Z Dec. 12 1983 and IR radiance histograms in $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ latitude/longitude box. $A_1 \sim A_7$ and $B_1 \sim B_2$ histograms are arranged from northern part to southern one of area A and B, respectively.

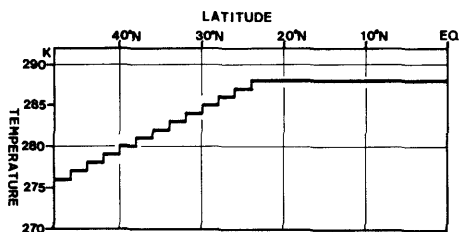


Fig. 3 Threshold temperature of extracting the clear sky TBB in summer (K).

間は7月19日～10月31日とした。ブイの位置点は基本ヒストグラムの区画の境界に当たるために、晴天輝度温度は位置点周辺の4区画でそれぞれに抽出したものの平均値を用いた。なお、衛星の運用は9月26日までがGMS-2による1日4回6時間毎、9月27日以降はGMS-3による1日8回3時間毎の観測となっている。

結果はFig. 4に示すように、晴天輝度温度はブイの海面水温より5～10°Cも低く、変動が大きい。細かくみると、晴天輝度温度が数日間連続して抽出されている期間は、ブイの海面水温には明瞭な日変化がみられる。これは、この期間が晴天で穏やかな海面状態が続いていたものと考えられる。ところが、晴天輝度温度にはこのような日変化はみられず、不規則な短期変動を示し、大気状態などの影響を反映していると考えられる。

また、設定した閾値が低すぎるために、一様な雲の輝

度温度を抽出している場合が数回みられる。

ブイの海面水温は9月下旬以降は、輝度温度が連続して抽出できている晴天の日でも、日変化はほとんどみられなくなり、降温している様子がよくわかる。

4. 北西太平洋における晴天輝度温度の季節毎の特徴

Fig. 5～7に、1983年12月から1984年11月までの約1年間の北西太平洋における晴天輝度温度 (Fig. 5)、晴天輝度温度の抽出率 (Fig. 6)、および晴天輝度温度と海面水温 (気象庁海洋課の旬平均海面水温) との差をとった大気補正量 (Fig. 7) の分布をそれぞれ季節毎に示す。

[1] 冬季 (1983年12月12日～1984年2月29日)

用いたVISSR観測は540回である。抽出率 (Fig. 6(a)) は、北緯30度以北ではほとんどの海域で10%未満で、わずかに大陸沿岸と日本列島の太平洋側沿岸に20～40%の海域がみられる。

抽出率が大きいのは、亜熱帯高気圧に対応した北緯10度～20度、東経160度より東側で最大は50%台である。また、熱帯収束帯に対応してフィリピン諸島から北緯5度線に沿って帯状に抽出率が10%前後となっている。

平均の晴天輝度温度 (Fig. 5(a)) は、北緯30度以北では抽出率が低いために細かく論じることはできないが、比較的抽出率の大きい日本海北西部の温度分布のパターンからは、朝鮮半島東岸に沿って北上する東鮮暖流

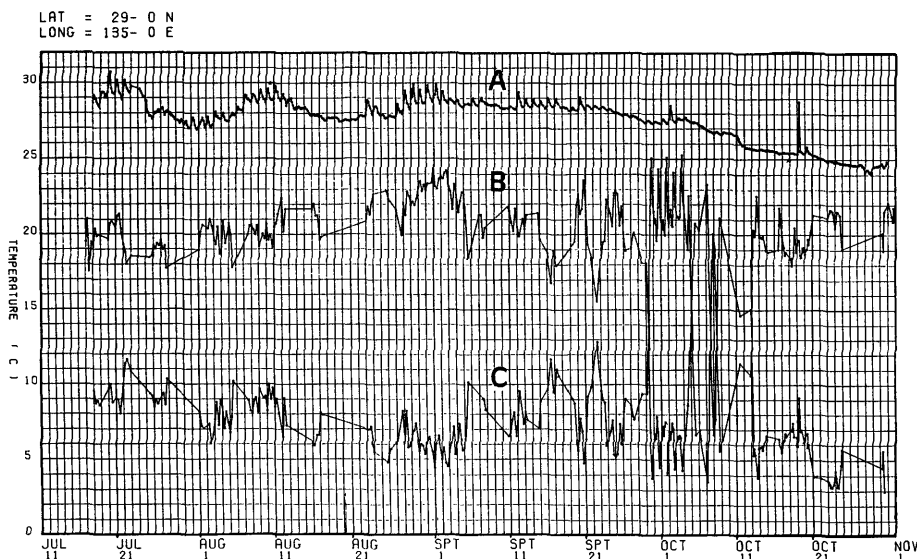


Fig. 4 The variations of the sea surface temperature observed by ocean data buoy at 29°N, 135°E (A), the TBB extracted from IR radiance histogram near the buoy (B), and the difference between (A) and (B), (C).

が北緯42度付近まで達していることがわかる。

晴天輝度温度がもっとも高いのは北緯10度~20度で約295 K, それより南の熱帯収束帯ではこれより1~2 K低い。

大気補正量 (Fig. 7(a)) は, 北緯15度付近では約6 K, 北上すると値は減少し中緯度では, 日本列島の太平洋沿岸にみられる抽出率の大きいところで約3 K, 南下すると値は大きくなり熱帯収束帯付近では約8 Kとなる。

〔2〕 春季 (1984年3月1日~5月26日)

用いた VISSR 観測は621回である。

抽出率 (Fig. 6(b)) は冬季に比べて全域にわたり高くなって, 日本付近でも日本海, 東シナ海, 三陸沖などでは20%を越している。しかし, 太平洋側は10%台で, 依然として10%未満の海域が本州東方の北緯30度~40度に分布する。

亜熱帯高気圧に対応した抽出率の高い海域は冬季より広がっており, フィリピン諸島付近でも抽出率は10%以上になっているが, 北緯4度に沿って冬季と同様に熱帯収束帯に対応した抽出率の低い海域がある。

平均の晴天輝度温度 (Fig. 5(b)) の分布をみると, 日本付近では東海道沖で蛇行する黒潮や, 九州東方から潮岬沖にかけて黒潮に沿ったウォームコアが明瞭に表われている。四国沖の暖水域の晴天輝度温度は約287 Kである。

晴天輝度温度がもっとも高いのは, 北緯5度~15度であるが, 約294 Kと冬季に比べて約1 K低い。

大気補正量 (Fig. 7(b)) は日本付近では4~6 K, 北緯20度以南では7 K以上で, フィリピン諸島付近では10 K以上にもなる。

〔3〕 夏季 (1984年7月3日~8月30日)

用いた VISSR 観測は220回である。6月を除いたのは GMS-1 のスキャンミラーのトラブルで北緯15度以南を欠測したためである。

抽出率 (Fig. 6(c)) の分布は春季に比べて大きく変わり, 中緯度帯で高く, 特に日本付近では30~50%である。逆に, 北緯20度以南での抽出率は全般に低くなり, 東経150度より西側では20%未満, 東側でも20~40%で, 北緯5度に沿う抽出率の低い海域もみられる。

平均の晴天輝度温度 (Fig. 5(c)) の分布は, 北緯30度以南ではほぼ一様で292~294 Kである。

北緯30度以北では, 東経140度~170度で等値線が右下がりに並んでおり, 一見, 天頂角が同じところを結んでいるように見える。ところが, 月平均海面水温偏差 (海況旬報に掲載) をみると, 7, 8月は北緯38度, 東経170度付近を中心に約 -2°C , 逆に北緯40度, 東経145度付

近を中心に $+2\sim 3^{\circ}\text{C}$ の偏差があるので, 等値線の右下がりとなり一致する。つまり, この等値線の右下がりとは, 大気補正で天頂角に依存する量 (衛星と地球表面との間の大気中の光路の長さ) によるものでなく, 実際の海面水温の大まかなパターンをあらわしている。

抽出率も, 北緯35度, 東経170度付近では10%台と低く, この海域は雲が多く日射が少なかったためにあまり昇温しなかったとも考えられる。

大気補正量 (図7(c)) は北緯30度以南では8 K以上, 日本付近でも6~7 Kと全域で大きい値を示す。

〔4〕 秋季 (1984年8月31日~11月25日)

用いた VISSR 観測は525回である。

抽出率 (図6(d)) は, 中緯度で低く, 亜熱帯高気圧に対応して40%台と高くなり, フィリピン諸島付近から北緯5度帯で20%未満と低くなる冬季や春季と同じ分布パターンにもどっている。日本付近での抽出率は20~30%である。

晴天輝度温度 (図5(d)) がもっとも高いのは北緯20度付近で295 K台である。

大気補正量 (図7(d)) は北緯30度以南で7~9 K, 日本付近では4~5 Kと全般に夏季より2 K程度小さい。

5. まとめ

1983年12月から出力を開始した赤外基本ヒストグラムをもとに, 簡単なアルゴリズムで晴天輝度温度を抽出し, その特徴を北西太平洋について調査した。

(1) 海面の晴天輝度温度の年間の抽出率は北緯30度以北では, 日本海・東シナ海・および太平洋側の一部を除くと5~20%で低い。特に冬季についてはここで用いたアルゴリズムでは海面の情報ほとんど抽出できなかった。一方, 北緯10度~30度では, 抽出率は20~50%で高いが, フィリピン諸島から北緯5度に沿う熱帯収束帯では抽出率が低く, 東側で20%台, 西側で10%台である。

(2) 大気補正量は北緯20度以南では, もっとも小さい冬季で5 K程度, 夏季には増加し10 K以上にも達する海域があり, 亜熱帯高気圧, 赤道収束帯など大規模な場の影響を大きく反映している。

中緯度における大気補正量は日本付近では冬季が3 K程度, 夏季が7 K程度である。

以上は, 赤外の波長域で衛星から海面水温を測定する際の2つの障害を記述していることになる。つまり, (1) は雲があるために海面に関する情報が得られないこと, (2) は得られた情報も途中の大気に大きく影響されていることである。

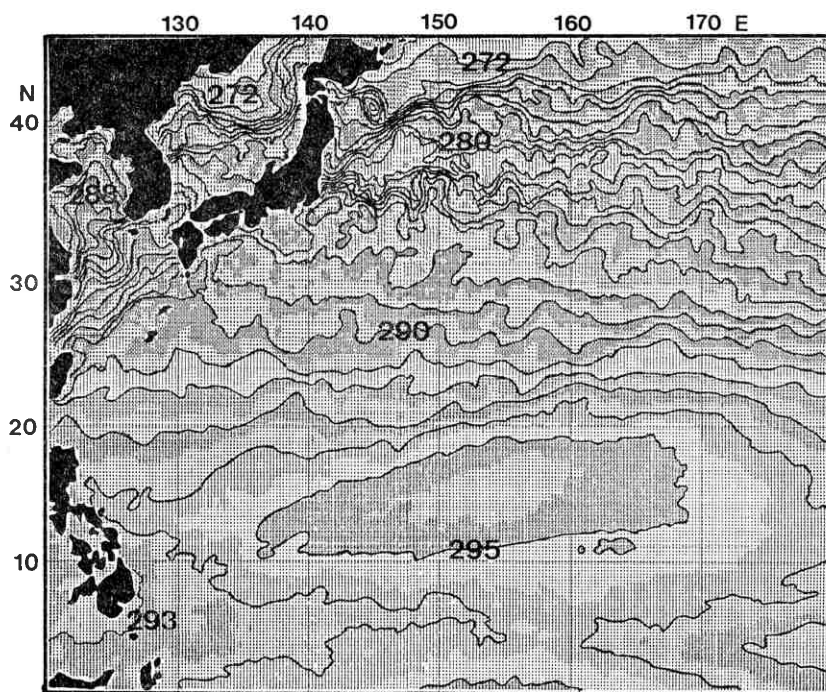


Fig. 5(a) in winter

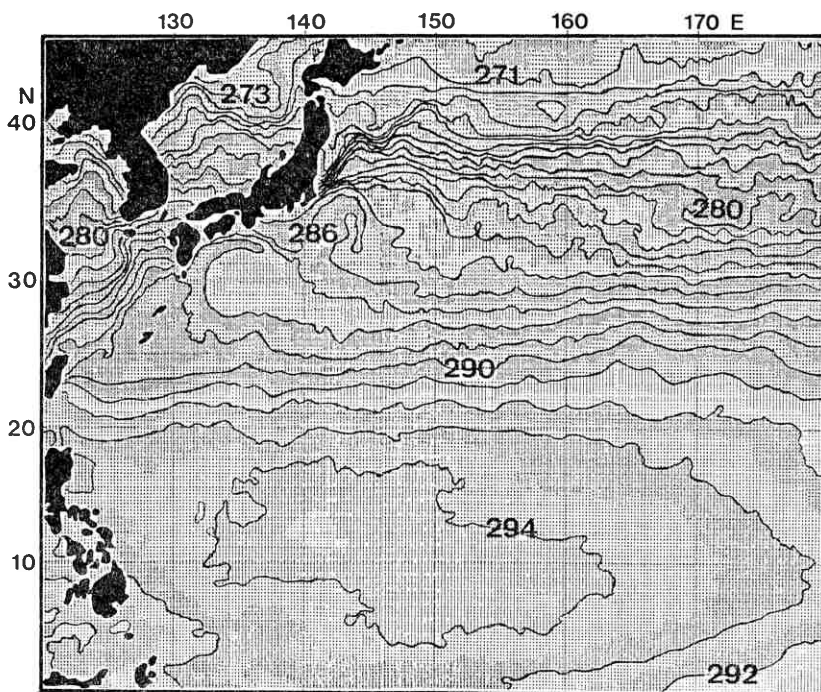


Fig. 5(b) in spring

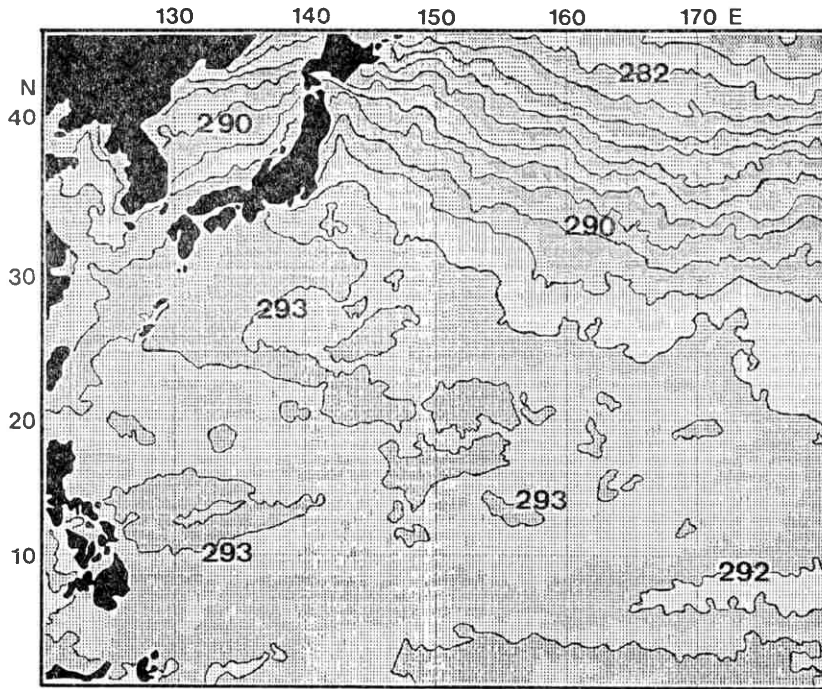


Fig. 5(c) in summer

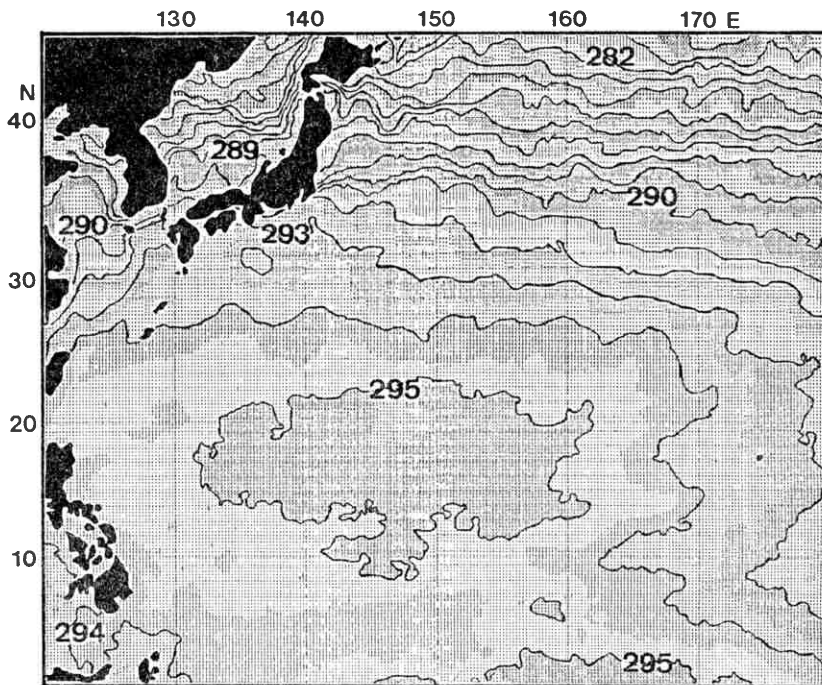


Fig. 5(d) in autumn

Fig. 5 Seasonal average of the clear sky TBB (K).

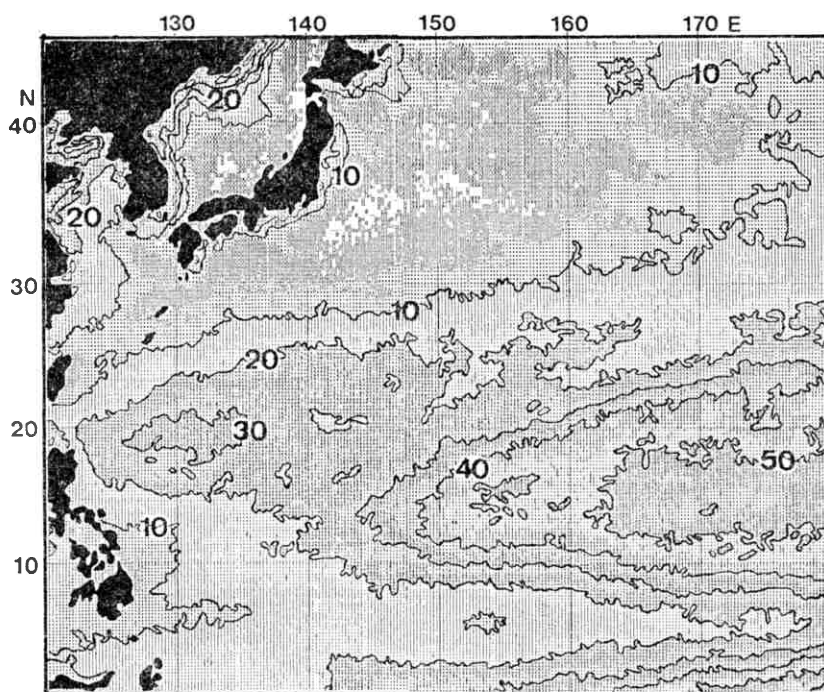


Fig. 6(a) in winter

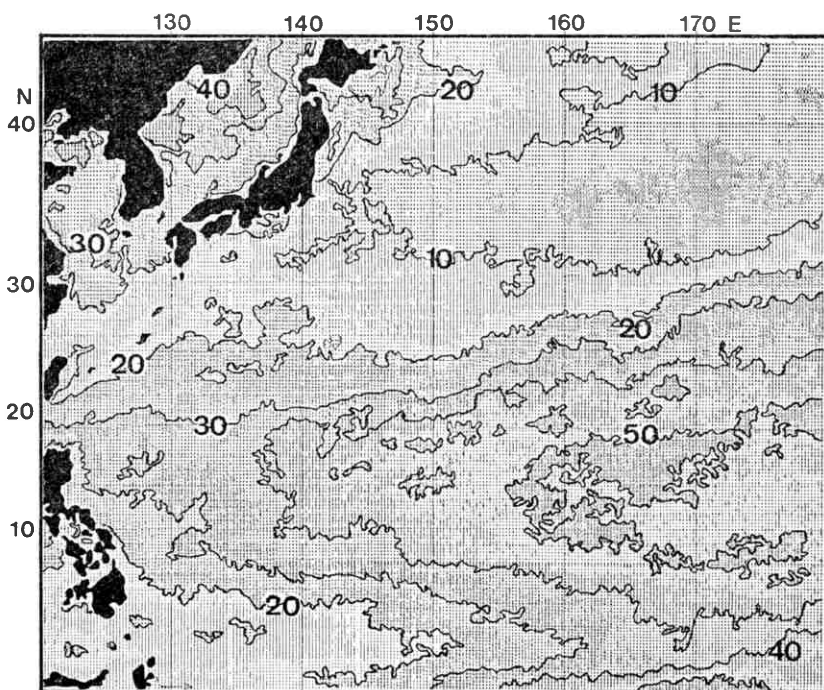


Fig. 6(b) in spring

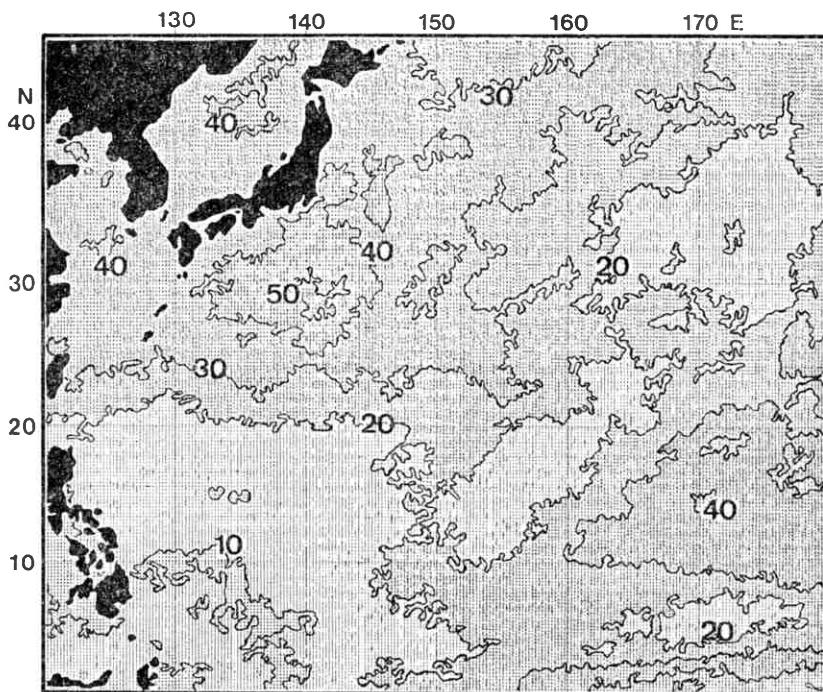


Fig. 6(c) in summer

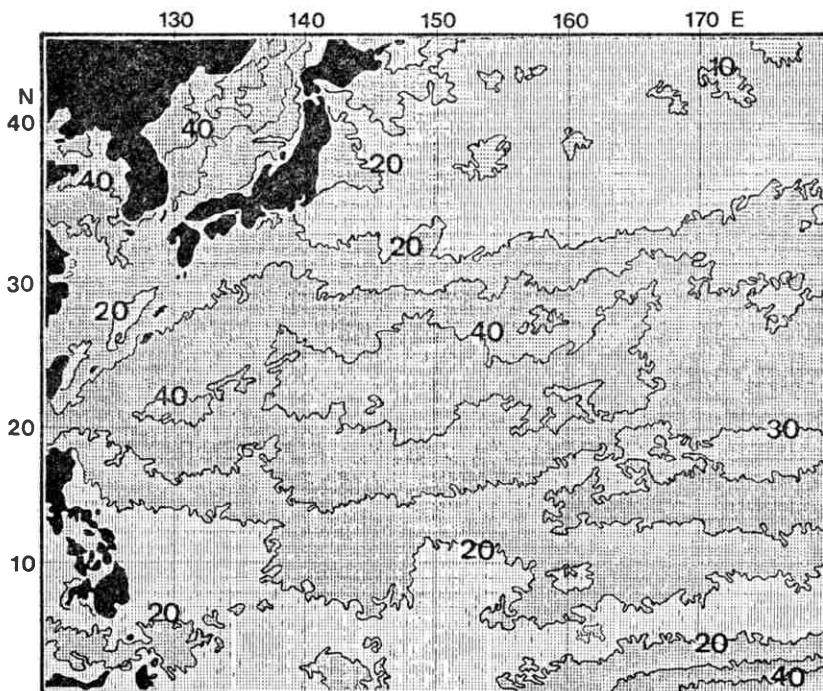


Fig. 6(d) in autumn

Fig. 6 Seasonal average of the success rate of extracting the clear sky TBB (%).

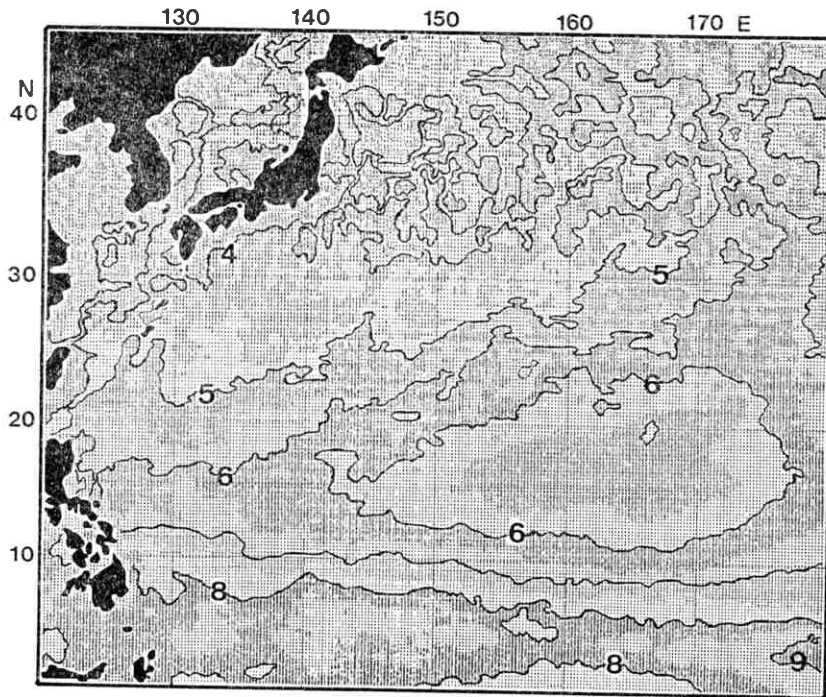


Fig. 7(a) in winter

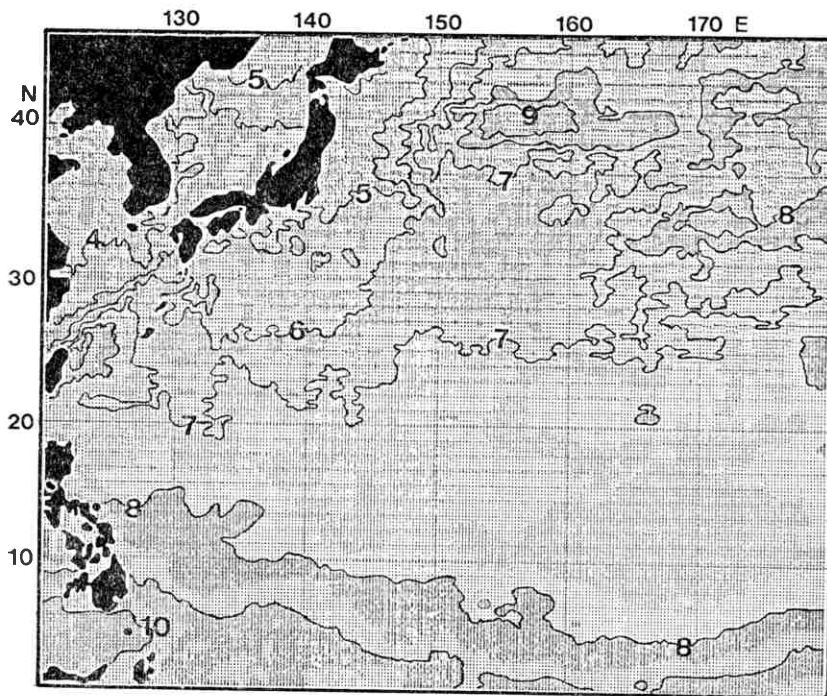


Fig. 7(b) in spring

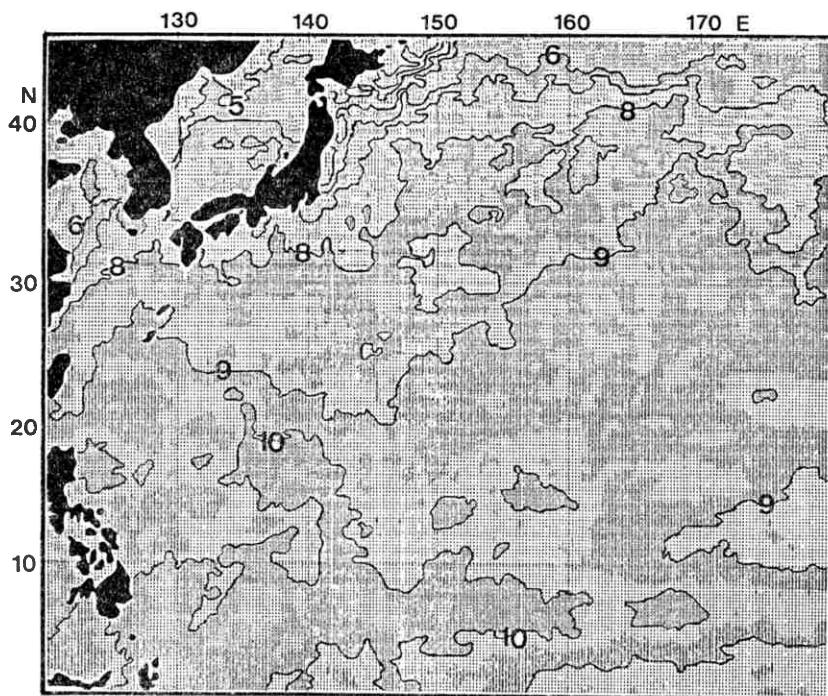


Fig. 7(c) in summer

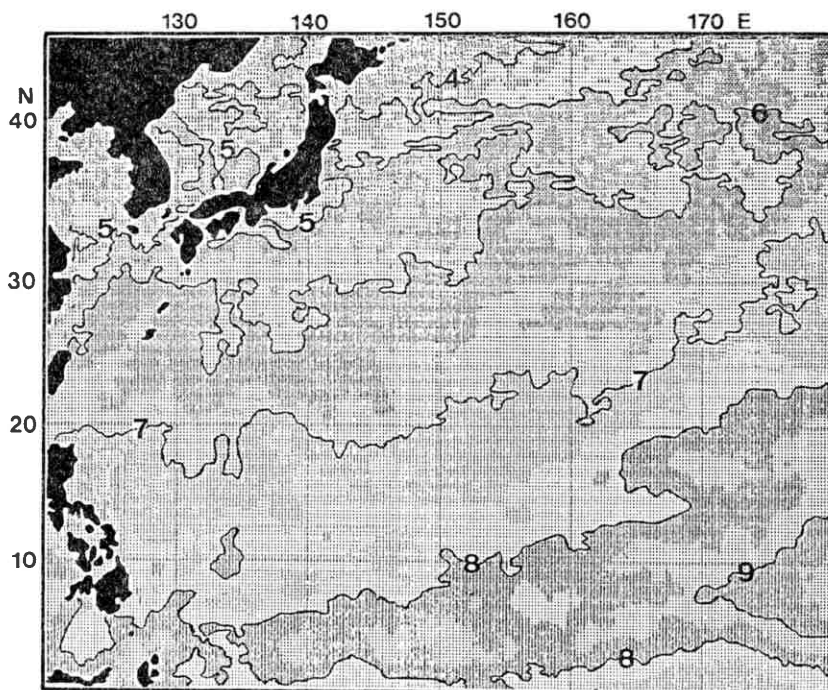


Fig. 7(d) in autumn

Fig. 7 Seasonal average of the atmospheric correction temperature, which is the difference between the clear sky T_{BB} and conventional data (K).

前者の問題点は、晴天輝度温度抽出のアルゴリズムで、雲が混在している区画もできるだけ抽出すること、例えばここで用いた高温側4階調に80%以上という条件を緩くすることなどで抽出率の向上が期待できる。ただし、その際設定する閾値が重要となってくる。本報告では閾値は緯度でしか規定しなかったが、今後は今回求めた緯度0.25度毎の旬平均晴天輝度温度（本報告にはない）を活用して、最終的には海面情報抽出可能性の上限を見積る必要がある。

後者の問題は、近年の極軌道衛星でとられている手法が適切なものと考えられる。GMSの場合、大気補正は気象データを用いて行っており、現在は月単位の気候値を利用しているが、1984年7月から気象庁電子計算室で解析された12時間毎の格子点気象データが当センターに入電しており、この方面の改善は期待できる。

また、後者の問題点にも関連して、晴天輝度温度の分布パターンから海面水温の分布パターンを推定することは、中緯度では黒潮をはじめとして水温の水平勾配が大きく、大気補正量が小さいために比較的容易である。しかし、低緯度では海面水温の水平勾配が小さいにもかかわらず、大気補正量が大きいために注意する必要がある。

6. おわりに

衛星による海面水温の測定は赤外の場合、シングルチャンネルからマルチチャンネルを利用したものに移行してきている。しかし、マルチチャンネルの放射計を搭載

している極軌道衛星 NOAA は1日4回の時間帯で、しかも日本国内で受信できる観測領域は限られている。

この点、GMSは西部太平洋全域を1日8回3時間毎に観測しており、それから導かれた赤外基本ヒストグラムを利用すると、緯度0.25度毎の海面情報が得られることになる。これらの諸条件を考えたGMSの利用法を開発してゆく必要がある。

最後に、プログラムの開発にあたりシステム管理課の方々に指導していただき、データ処理についてはデータ処理課の方々にお世話になりました。ここに感謝の意を表します。

References

- Nagasaka, K., 1982: Preliminary evaluation of sea-surface temperature chart derived IR observation of the G.M.S., *The Oceanographical Magazine*, **32**, 19-24.
- Strong, A.E. and E.P. McClain, 1984: Improved ocean surface temperatures from space-Comparisons with drifting buoys, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **65**(2), 138-142.
- 阿部勝宏・山本孝二, 1979: 海面水温, GMS システム総合報告・II データ処理編 その2, 気象衛星センター技術報告(特別号II-2), 59-82.
- 阿部勝宏, 1981: GMS の赤外放射計による旬平均海面水温の精度, 気象衛星センター技術報告, No. 3, 25-35.
- 井上豊志郎, 1979: 大気補正, GMS システム総合報告, II データ処理編 その2, 気象衛星センター技術報告(特別号II-2), 7-14.