

NOAA/AVHRRデータによる海面水温格子点データの作成 Sea Surface Temperature Grid Point Value produced from NOAA/AVHRR Data

白川 嘉茂*
Yoshishige Shirakawa

Abstract

Sea surface temperature grid point value (hereafter denoted as MCSST-GPV) covering the western North Pacific region has been produced operationally since October 1993 from NOAA/AVHRR data using both the cloud filtering technique and the Multi-Channel Sea Surface Temperature (MCSST) retrieval algorithm developed by NOAA/NESDIS. The comparison with ship and buoy observations shows that the RMS error of MCSST is about 0.6K and that of MCSST-GPV is about 1.3K. The MCSST-GPV is disseminated to the Marine Department of JMA and used for monitoring of the sea surface temperature and its distribution.

1. はじめに

NOAA/AVHRRによる海面水温算出アルゴリズムは、NOAA/NESDISのMCCLAIN(1985,1990)によって晴天判別アルゴリズムとともに開発された、高い精度で海面水温データを導くアルゴリズムである。このMCSST(Multi-Channel Sea Surface Temperature)算出アルゴリズムと呼ばれる海面水温アルゴリズムの算出精度の高さについては、多くの論文で検証報告され、有効性が証明されている。現在、このアルゴリズムを用いて算出された全球の海面水温データは、NOAA/NESDISからSATOB報としてGTS配信されている。

この高い算出精度を持つMCSST算出アルゴリズムと、高い空間分解能と温度分解能を持つNOAA/AVHRRデータを用いて、海面水温格子点(以下、MCSST-GPV)データを作成するプログラムを作成した。

2. 海面水温格子点データ作成処理

NOAA/AVHRR海面水温格子点データ作成処理は、晴天判別と海面水温算出の処理からなる。

衛星の赤外データから精度よく海面水温を求めるためには、衛星データを扱う上で重要な温度変換(キャリブレーション)と位置変換(ナビゲーション)の精度に加えて、算出の妨げとなる雲の影響を受けた領域とそうでない晴天域とを正しく判別すること、海面から射出された放射エネルギーが衛星に到達するまでに受ける大気減衰の度合いを正確に見積もることが必要となる。

(1) 晴天判別アルゴリズム

雲に完全に覆われた海面の場合には、海面からの放射は雲に遮られて衛星に到達することはない、雲からの放射のみが観測される。雲の輝度温度は海面に比べて低いと考えられ

るので、輝度温度から海面と雲を容易に区別することができる。薄い圏雲などに覆われた場合には、海面からの放射の一部は雲を突き抜けて衛星に到達するため、衛星は海面と雲の両方の放射を観測することになる。観測される輝度温度は海面からの放射と雲からの放射の割合によって決まり、雲の割合が多ければ雲温度に近い輝度温度が、海面の割合が多ければ海面温度に近い輝度温度が観測される。観測された輝度温度が、明らかに低ければ雲の影響を受けていると判断できるが、海面からの放射の比率が高く海面水温値として取りうる値である場合には、赤外の観測データだけから雲の影響を受けているか否かを判断することは非常に困難である。これは、画素の一部部分に雲がかかっている場合も同様である。衛星データから海面水温を算出するときには、雲の影響を受けている領域から海面水温を算出しないようにすることが重要で、晴天判別の精度の善し悪しが、海面水温算出の精度に大きく影響する。

晴天判別は、NOAA/NESDISで開発され、現在、海面水温算出処理で現業的に使用されているアルゴリズムを使用した。これは、NOAA衛星に搭載されたAVHRRの高い空間分解能と反射量/輝度温度分解能を活かし、5つのチャンネル、可視(0.6 μ m)、近赤外(0.8 μ m)と赤外チャンネル(3.7、11、12 μ m)の各チャンネルで取得した画像データ上の反射と輝度温度の特性差を利用して雲域と晴天域を判別するものである。昼間用アルゴリズムと夜間用アルゴリズムがある。昼間用アルゴリズムは、可視チャンネルが利用できる昼間軌道の観測データに対して適応される。主として判別に可視と可視チャンネルに比べると海面からの反射が小さい近赤外チャンネルを利用している。一方、夜間用アルゴリズムは、使用できない可視と近赤外チャ

ンネルに代えて、太陽輻射の影響のため昼間アルゴリズムでは利用されない3.7 μ m帯チャンネルを有効に利用している。晴天判別のための評価項目は次の通り。全ての条件を満足しない場合、晴天域でないと判定する。

(a)可視反射量

雲の方が海面よりも反射量が多いことに着目

(b)可視反射量の均質性

雲に比べて海面は、隣合う画素との反射量差が小さいことに着目

(c)可視と近赤外の反射量の比

海面は、近赤外の反射量が小さいことに着目。雲の場合はほぼ同じ。

(d)温度の均質性

雲に比べて海面は、隣合う画素との輝度温度差が小さいことに着目

(e)11 μ m帯と12 μ m帯チャンネル(スプリットウィンドウ)の温度差

海面の場合、薄い雲に覆われている場合に比して温度差が小さいことに着目

(f)輝度温度

海面の輝度温度は、大気減衰を考慮しても-2~35 $^{\circ}$ Cの範囲であることに着目

雲のほか、画素の一部に陸地がかかっている場合も、正しく海面水温が算出されない。一般に、昼間は陸地が温まるため陸地を含む画素からは、実際の海面水温よりも高い輝度温度が、逆に夜間は低い温度が算出される。このように、陸地の混入も海面水温算出時に誤差となるため、画素ごとに地図データを参照し陸地が含まれているか否かを判別している。

(2)海面水温の算出

海面からの放射は大気を通ずる際に減衰を受けるため、衛星で観測される海面の輝度

温度は、実際の海面水温よりも低く観測される。減衰の度合いは、主に大気中の水蒸気量によって決まり、水蒸気量の多い熱帯域で大きく、少ない高緯度域では小さい。衛星で観測される海面の輝度温度と実際の海面水温との差は、佐々木(1986)によれば、熱帯域で8～10℃、冬季の日本近海で4℃程度になる。衛星データから精度良く海面水温を算出するためには、この大気中での減衰量を正確に見積り、その減衰量に応じて観測輝度温度を補正することが重要となる。

海面水温は、11μm帯と12μm帯チャンネルの観測輝度温度から求められる。11μm帯と12μm帯では、大気減衰の度合いに異なりがあり、両チャンネルで観測される海面の輝度温度には温度差がある。この温度差は、大気の減衰量に比例して大きくなることから、この差を用いて回帰的に大気補正を行うことができる。海面水温算出の回帰式を示す。

$$SST = \alpha T_{11} + \frac{\beta (T_{11} - T_{12})}{\gamma (T_{11} - T_{12})(\sec \theta - 1)} + \delta$$

T_{11} : 11μm帯チャンネルの観測輝度温度

T_{12} : 12μm帯チャンネルの観測輝度温度

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$: 回帰係数

θ : 観測点での衛星の天頂角

第2項と第3項が大気補正に相当する部分である。第3項では、光路差を考慮するため衛星天頂角に応じて補正量を決定している。 $\alpha \sim \delta$ の各係数は、衛星データと海洋ブイの観測値とを統計処理し決定される。海面水温の算出手順は次通り。

(a) 晴天判別の結果、晴天域にあると判断と

された画素に対して、回帰式を使って海面水温を算出する。

(b) 算出された海面水温は、気候値と比較し5℃以上の開きがあるものは異常値と判断して棄却する。

(c) 緯経度0.25度×0.25度の領域ごとに統計処理し、平均値をその格子を代表する海面水温とする。

MCSS T-GPVを画像化したものをFigure 1に、作成に用いたAVHRRデータの可視画像と赤外画像(11μm帯チャンネル)をFigure 2に示す。日本海や東シナ海の晴天域から海面水温が算出されているのがわかる。雲に覆われた場所の海面水温の算出は困難であるため、日本付近を通過する2～3軌道の同一観測時間帯のデータだけでは全ての領域から海面水温を得ることはできず、算出されない領域が残る。

3. 精度の評価

NOAA衛星の海面水温データの精度について、観測船データおよび海洋課作成の海面水温格子点(以下、SST-GPV)データと比較し検証した。

観測船データとの比較では、回帰係数の日本近海での適合性の確認を含めてMCSS T算出アルゴリズムの精度について評価した。また、SST-GPVとの比較では、観測船データに加えて一般船舶とブイによるデータから作成されているSST-GPVと比較することによって、MCSS T-GPVのプロダクトとしての精度を評価した。

(1) 観測船データとの比較

MCSS T-GPVデータの現業運用に先立ち、衛星と船舶の海面水温の対応について調査した。1990年2月～1991年1月に入電した船舶の観測データと衛星データとを比較した。船舶

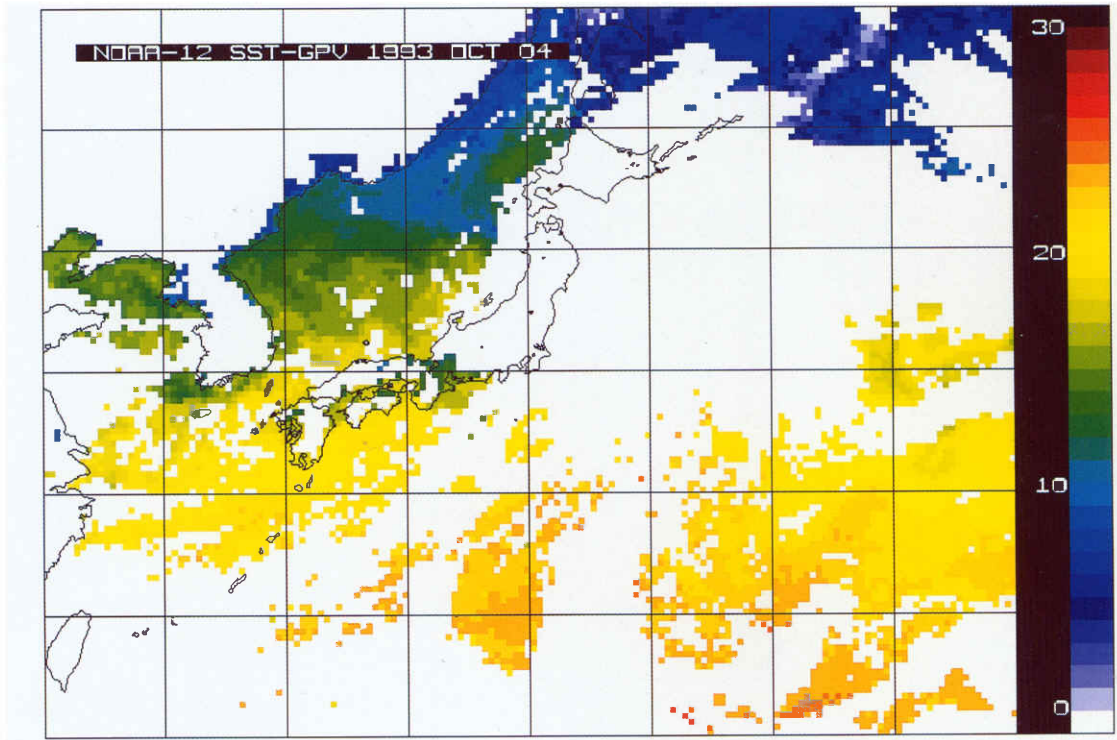


Fig.1. Visualized image of MCSST-GPV produced from NOAA / AVHRR data.

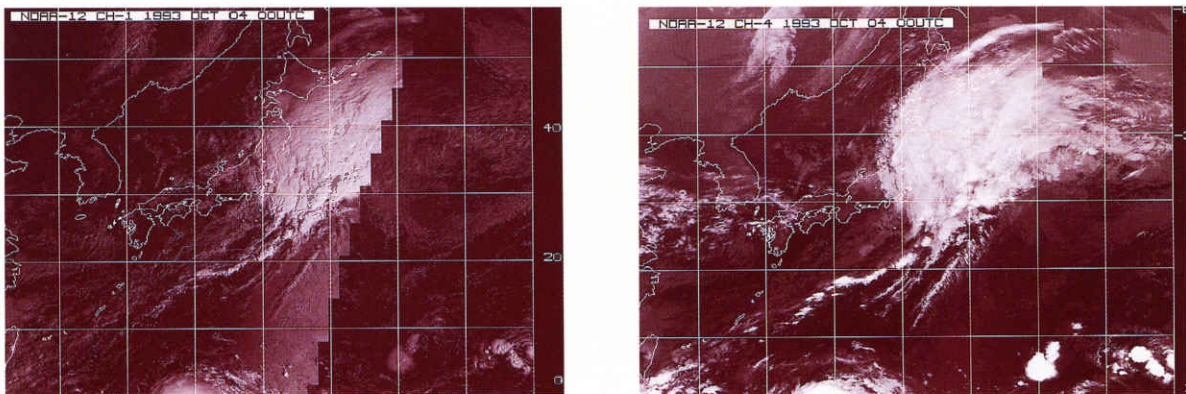


Fig.2. Visible (channel - 1) and infrared (channel - 4) images of NOAA/AVHRR data used for derivation of the MCSST-GPV shown as Fig.1. (Unit on visible image : albedo percentage, infrared : degrees Celsius)

の観測データについては、精度がよいとされている気象庁の観測船のもので、かつ衛星の観測時刻とのひらきが3時間以内であるもののみを選び使用した。また、衛星データについては、可視画像を用いて目視により晴天判別を行い、船舶の観測地点を中心とする緯経度0.1度×0.1度の領域のデータを統計処理し、平均値を海面水温値とした。画素単位で処理しないのは、船舶の位置精度と衛星の位置変換精度を考慮したためである。

比較結果をTable 1とFigure 3に示す。衛星

の海面水温と船舶の観測値との対応関係はよく、誤差、RMSとも良好な結果を示している。

(2) SST-GPVとの比較

1992年4月1日～10日の昼間軌道の衛星データと同期間の船舶データから作成されたSST-GPVとを比較した。衛星の海面水温GPVは、NOAA/AVHRR海面水温格子点データ作成プログラムで作成した。一日毎のMCSST-GPVデータを各格子点ごとに統計処理して10日間平均値の格子点データとして作成した。比較結果

Table 1 Comparison of MCSST with observation ship data February 1990 through January 1991.

Number of matches	Bias, °C	RMS, °C	Correlation
32	-0.29	0.62	0.94

Table 2 Comparison of MCSST-GPV with SST-GPV April 1st through April 10th 1992.

Number of matches	Bias, °C	RMS, °C	Correlation
1928	-1.02	1.29	0.98

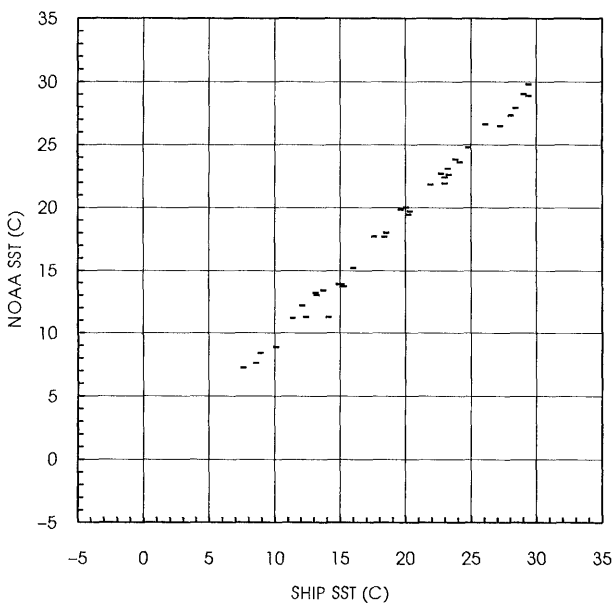


Fig.3. Comparison of MCSST with observation ship data.

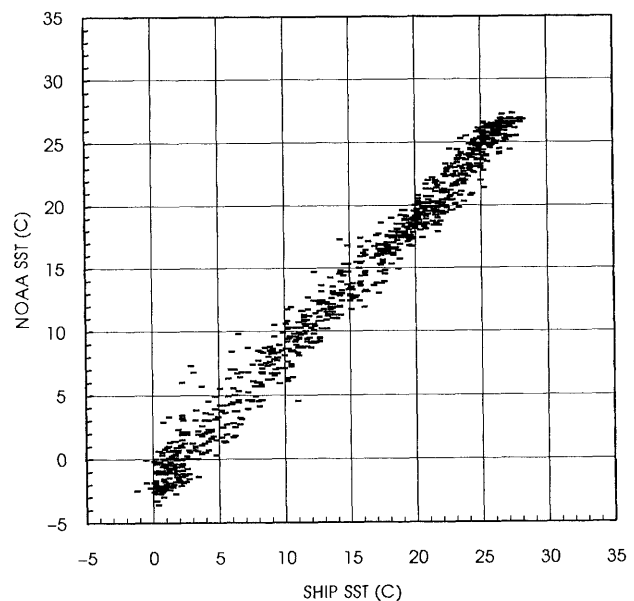


Fig.4. Comparison of MCSST-GPV with SST-GPV.

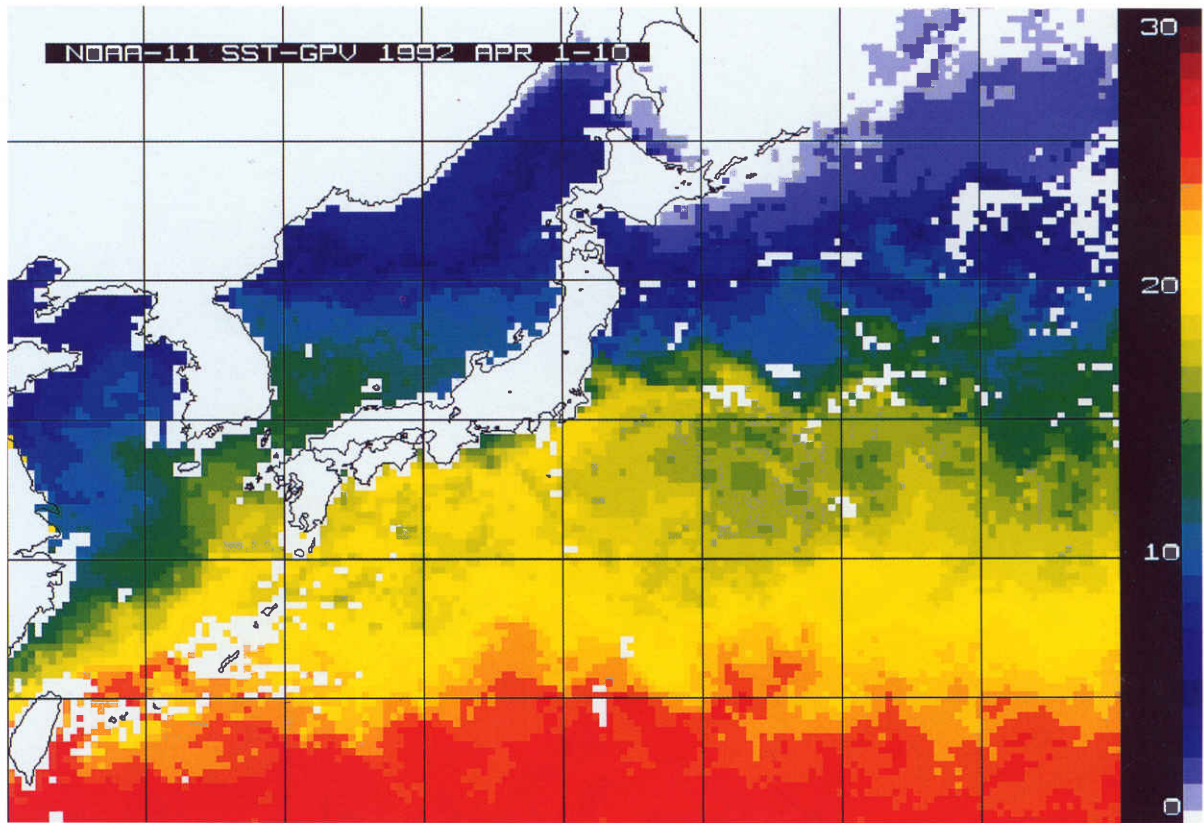


Fig.5. Visualized image of ten days mean MCSST-GPV.

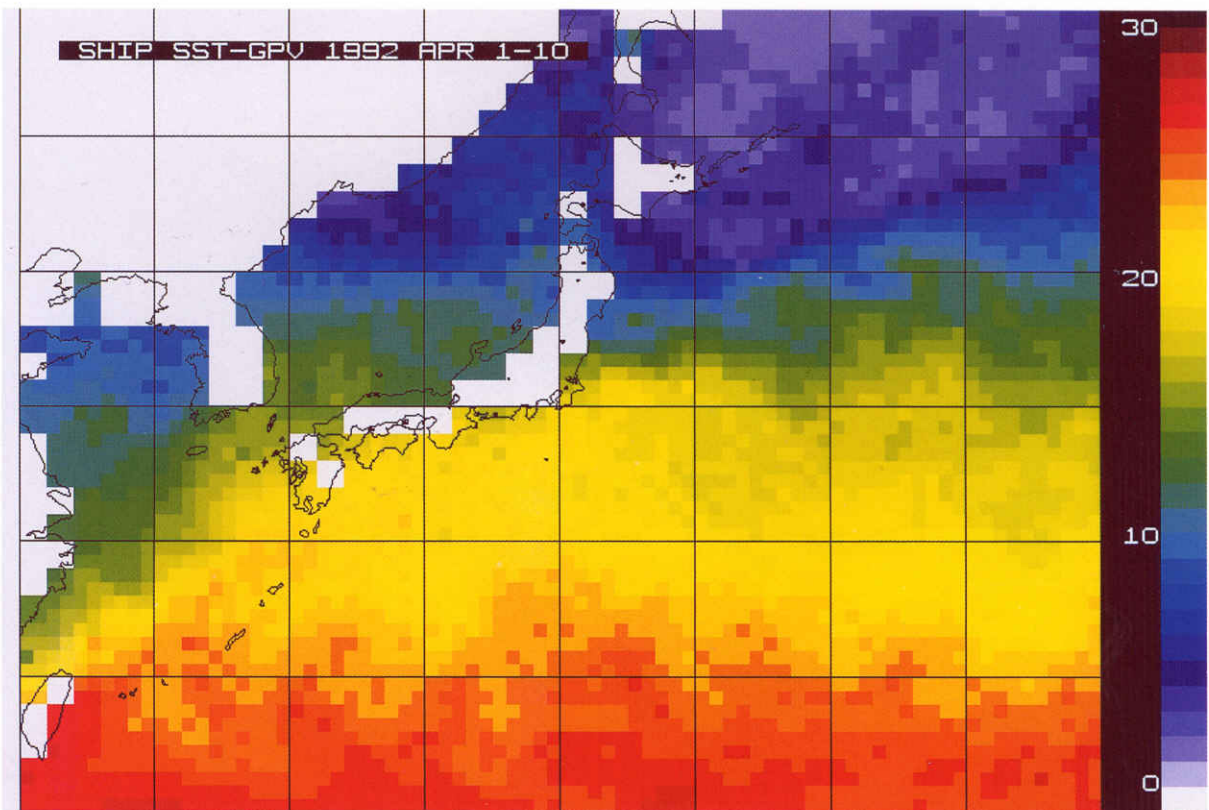


Fig.6. Visualized image of ten days mean SST-GPV.

をTable 2 とFigure 4 に示す。また、M C S S T-G P V と S S T-G P V を画像化したものをFigure 5 とFigure 6 に示す。衛星の海面水温と船舶の観測値との対応関係はよく、誤差、RMS ともおおむね良好な結果を示している。また、衛星と船舶の海面水温分布もおおむね一致している。RMS が船舶との比較の場合に比べて少し悪いのは、晴天判別を自動処理したことにより多少なりとも雲の影響を受けている画素も海面水温算出に使用していることが考えられる。また、船舶データは通報時刻や地点に偏りがあること、船舶データには観測船以外の品質の悪いデータも含まれていることなどによる S S T-G P V の精度の問題も原因として考えられる。

運用に先立っての検証実験では、船舶の観測データと衛星の海面水温データとの対応の良さ と有効性が再度確認された。しかしながら、衛星データは、利用に際して船舶データとの線型回帰式による補正が必要であること、格子内の有効画素数が少なくかつ海面水温の温度勾配の大きい場所では信頼性が低いことなど、問題点が指摘された(気象庁海洋気象部、1993)。線型回帰式による補正が必要である理由としては、現在使用している回帰式の係数が、N O A A / N E S D I S で全球の S S T 算出に使用しているものであるため、日本近海など特定の地域だけを見た場合には必ずしも最適な係数でないためと考えられる。N O A A / N E S D I S の回帰係数は、熱帯域から極地方にいたる広い範囲のブイの観測データを用いて決定されてはいるが、特定の海域のみを扱う場合は地域にあった係数を用いる方がよいとの意見もある。今後は日本近海のブイデータ等を用いて独自の回帰係数を決定する必要があると思われる。また、温度勾配の大きい場所での誤差は、格子内の晴天域の分布の偏りが原因である。格子間隔を小さくするなどの方法を検討する必要がある。

4. おわりに

M C S S T-G P V データは、東経 120 度～160 度、北緯 20 度から 50 度を範囲とする 0.25 度の格子の海面水温データとして、1993 年 10 月から現業ベースで 1 日 1 回作成され、本庁海洋気象部海洋課に配信されている。このデータは、船舶の観測データを補うものとして海況 G P V の作成に利用されている。

5. 参考文献

McCLAIN E. P., PICHEL W. G. and WALTON C.W., 1985 : Comparative performance of AVHRR-based multichannel sea surface temperatures, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, Vol.90, No.C6, 11587-11602

McCLAIN E.P., WALTON C.W. and STOWE L.L., 1990: CLAVR cloud/clear algorithms and non-linear atmospheric corrections for multi-channel sea surface temperatures, Preprint volume of the fifth conference on satellite meteorology and oceanography, September 3-7, 1990

佐々木秀行、1985：静止気象衛星(GMS)で観測した北太平洋の晴天輝度の特徴、気象衛星センター技術報告、第11号、11-22。

気象庁海洋気象部、1993：海況G P Vの活用について、平成4年度海況予報技術検討会資料