MODIS 準リアルタイム海面水温処理の version up

JAXA/EORC 細田 皇太郎

1 Introduction

JAXA では、2001 年から東海大学宇宙情報センターが受信し東海大学情報技術センターが処理した NASA 地球観測衛星 Terra と Aqua に搭載されている Moderate Resolution Spectroradiometer (MODIS) の日本近海域における観測輝度データ (MODIS L1B データ) から、ADEOS-II 搭載 GLI のアルゴリズムを用い海面水温 (SST) などの海洋物理量を推定し画像などを公開している (以後、version 1.0 MODIS SST とする)。今夏から、JAXA においても MODIS データを直接受信し準リアルタイムで処理・物理量推定を行う予定である。このレポートでは、ver.1.0 および ver.2.0 の GLI アルゴリズムを踏まえて、MODIS の雲域除去および MCSST(Multi-Channel SST) 推定式をブイ観測データを用いた係数調整を行った結果を報告する。以後、この結果を受けたアルゴリズムを ver.2.0 とし、公開データに適用する。

2 Data and Method

アルゴリズム調整には 2004 年 2〜4 月の Terra および Aqua 搭載の MODIS L1B データ (おおよそ 20-50°N、115-155°E の範囲) を用いた。参照する現場データとして、JMA から提供された GTS データ中の漂流ブイデータから、MODIS との観測時間差が 3 時間以内のバルク水温データを用いた。

Fig. 1に ver. 1.0 MODIS SST とブイ観測 SST の散布図を示す。bias が日中が 0.04~0.85K、夜間で-0.41 ~ -0.13K、RMSE で 1.4~1.8K とノイズが大きいことが示されている。この原因は雲識別の閾値および MCSST 式の係数 tuning の問題である。この問題に対処するため、次に示すように、GLI ver.1.0 に取り込まれた成果および ver.2.0 へ導入予定のアルゴリズムを MODIS に調整する。

version 2.0 MODIS SST における雲識別アルゴリズムは表 1 のように定めた。ここで、BT_λ は中心波長 $\lambda\mu$m のチャンネルの輝度温度 (K)、R_λ は中心波長 $\lambda\mu$m のチャンネルの reflectance を示し、ϕ は緯度、θ_r は Sakaida et al. (2000) によって定義されている reflection angle、∇_{mv} は 3x3 pixel array の最大値と array 中心の値の差、∇_{nv} は 3x3 pixel array の最小値と array 中心の値の差、∇_{mn} は 3x3 pixel array の最大値と最小値の差を意味する。判別式は GLI で用いられているアルゴリズムを基にし、MODIS L1B データを用いて係数および閾値を調整した。主な変更点は次のとおりである。

1. Gross test の閾値を定数から Tanahashi et al. (2000) で用いられている緯度の二次関数に変更

2. Reflectance test に用いる band の変更、および閾値関数を reflection angle の関数に変更

3. BTD(Brightness Temperature Difference) test のうち、$BT_{11} - BT_{12}$ に対する閾値を Saunders and Kriebel (1988)、Stowe et al. (1999) に従い BT_{11} の関数に変更

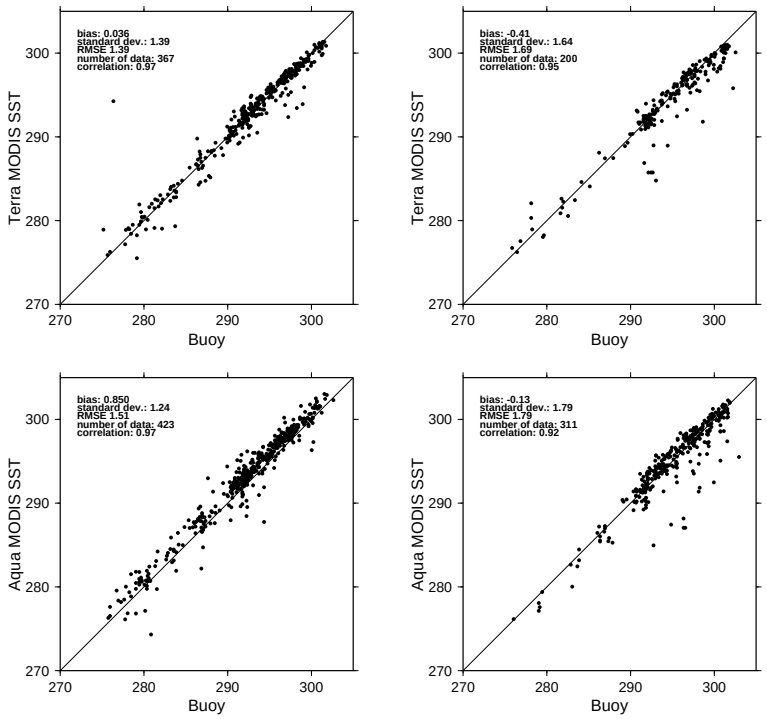

Figure 1: version 1.0 MODIS SST とブイ観測 SST の比較。上:Terra/MODIS、下：Aqua/MODIS で、それぞれ左：日中、右：夜間の散布図である。単位は K(Kelvin)。

4. Stowe et al. (1999) で用いられている夜間の雲に対する $BT_{3.7} - BT_{12}$ の判別式を追加
5. Uniformity test において、BTD の Uniformity test を追加、3x3 pixel array の最大/最小の差から Rossow and Garder (1993) で提案されている array 中心の値を用いる方法に変更

version 2.0 MODIS MCSST の推定式は次式で与えた。

$$
\begin{aligned}
SST &= a_0 + a_1 BT_{11} + \sum_{\lambda=3.7,8.7,12} \alpha_\lambda \overline{BT_{11} - BT_\lambda} \\
&\quad + \sum_{\lambda=3.7,8.7,12} \beta_\lambda \overline{BT_{11} - BT_\lambda} (\sec\theta_{sza} - 1)
\end{aligned}
$$

ここで、$\overline{BT_{11} - BT_\lambda}$ は 11μm と $\lambda\mu$m の輝度温度差を、小 array 内の晴天 pixel のみで空間平均したものをしめす。version 2.0 では 7x7 pixel array による平均を用いることとする。また、$BT_{3.7}$ は夜間観測に対してのみ用いる (昼間観測では、$\alpha_{3.7} = \beta_{3.7} = 0$)。係数 $a, \alpha_\lambda, \beta_\lambda$ は Terra、 Aqua それぞれについて昼夜別個に求めた。係数調整の際には、マッチアップポイントを中心とした 11x11 pixel array 内が全て晴天域と判定されたデータのみを用いた。求められた係数を表 2 に示す。

Table 1: 雲域除去アルゴリズム。昼 (Scheme 1:sun-glitter 外、2: sun-glitter 内)、夜 (Scheme 3) それぞれ ∘ のついた不等式を満たす pixel を雲域と判定する。記号については本文参照。

Group	Cloud detection test	Scheme		
		1	2	3
Gross test	$BT_{11} < \mathrm{Max}(-0.0175\phi^2 + 293, 269.15)$	∘	∘	∘
Reflectance test	$R_{1.240}/R_{0.470} > 1.442 - 0.0375\theta_r$	×	∘	×
	$R_{1.240}/R_{0.470} > 0.58 - 0.003\theta_r$	∘	×	×
	$R_{0.865}/R_{0.470} > 1.475 - 0.037\theta_r$	×	∘	×
	$R_{0.865}/R_{0.470} > 0.55$	∘	×	×
	$R_{1.240} > 60.0 - 2.12\theta_r$	×	∘	×
	$R_{1.240} > 7$	∘	×	×
BTD test	$BT_{11} - BT_{8.55} < 0$	∘	∘	∘
	$BT_{11} - BT_{12} > \exp(0.08BT_{11} - 23.2) + 1.0$	∘	∘	∘
	$BT_{3.7} - BT_{12} < \exp(0.0342BT_{11} - 9.375) - 1.0$	×	×	∘
	$BT_{3.7} - 2BT_{11} + BT_{12} > 2$	×	×	∘
	$BT_{3.7} - 2BT_{11} + BT_{12} < -1$	×	×	∘
Uniformity test	$\nabla_{mv}BT_{11} > 1.5$ and $\nabla_{mn}(BT_{11} - BT_{12}) > 2.5$	∘	∘	∘
	$\nabla_{nv}R_{1.240} > 2.5$	∘	∘	×
	$\nabla_{mv}BT_{3.7} > 2.5$	×	×	∘

Table 2: Terra、Aqua の昼・夜それぞれについて求められた ver. 2.0 MODIS MCSST 係数。Num は係数決定に用いたデータ数を示す。

Satellite	Day/Night	Num	a_0	a_1	$\alpha_{3.7}$	$\alpha_{8.7}$	α_{12}	$\beta_{3.7}$	$\beta_{8.7}$	β_{12}
Terra	Day	440	-15.78671	1.067985	0.0	-1.27617	2.90795	0.0	0.6023583	0.5172018
	Night	285	-8.906356	1.039506	-0.7502199	-0.4572076	1.182532	-0.7570907	0.4219952	-0.4408489
Aqua	Day	371	-12.01327	1.054027	0.0	-1.454446	2.855139	0.0	0.686551	0.9803903
	Night	207	-0.1751089	1.04428	-0.5203342	-0.1321787	-0.1734824	-0.1734824	0.3197799	0.8426539

3 Validation

version 2.0 アルゴリズムによる MODIS SST とブイ観測による SST の散布図を Fig.2に示す。散布図作成に用いられたブイ観測点の位置は Fig.3のとおりである。MODIS とブイの観測時間差は 3 時間以内、マッチアップポイントを中心とした 11x11 pixel array 内の 90%が晴天域と判定されたデータのみを用いた。

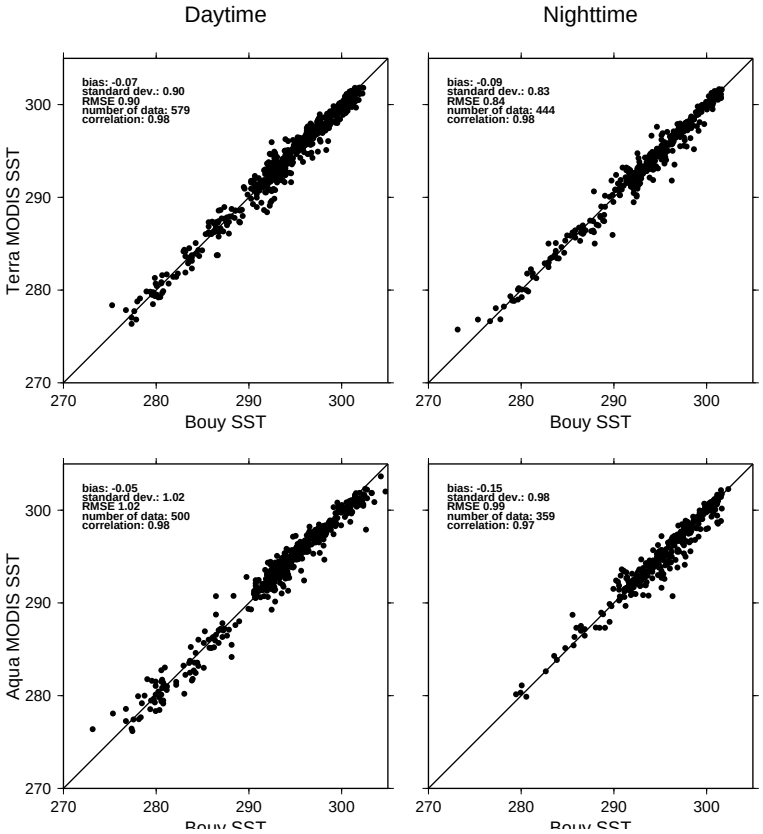

Figure 2: MODIS SST とブイ観測 SST の比較。Fig. 1と同様に、上:Terra/MODIS、下：Aqua/MODIS で、それぞれ左：日中、右：夜間の散布図である。単位は K(Kelvin)。

bias と RMSE は、Terra が昼間：-0.08K、0.97K、夜間：-0.09K、0.90K、Aqua が昼間：-0.08K、1.08K、夜間：-0.18K、0.96K となった。

図 4は NASA/GSFC で標準処理されている MODIS SST Level 3 プロダクトによる SST データ (Sea surface temperature, 11micrometer(daytime/nighttime) : Brown and Minnet (1999)) と JAXA/EOC 直接受信データを上記アルゴリズムで EORC にて処理した SST データとの散布図 (2004 年 7 月後半分) である。NASA 標準処理と比較すると、JAXA 処理データは若干 SST が低めになる傾向がある。これは、図 5に示されているように NASA による MODIS SST が日本近海のブイデータと比較すると高めに推定されている (図 5参照) ため、ブイ観測 SST に対して調整した JAXA による MODIS SST とのバイアスになっていると考えられる。

Fig.6に snapshot の例を示す。図の左側が version 1.0、右側が version 2.0 MODIS SST で上図が日中、下図が夜間の SST である。version 1.0 では、日中の sun-glitter 域の広い範囲で雲域マ

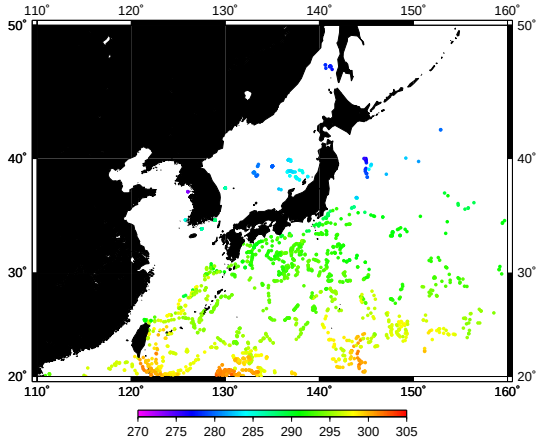

Figure 3: Fig.2に用いたブイ観測点の位置。

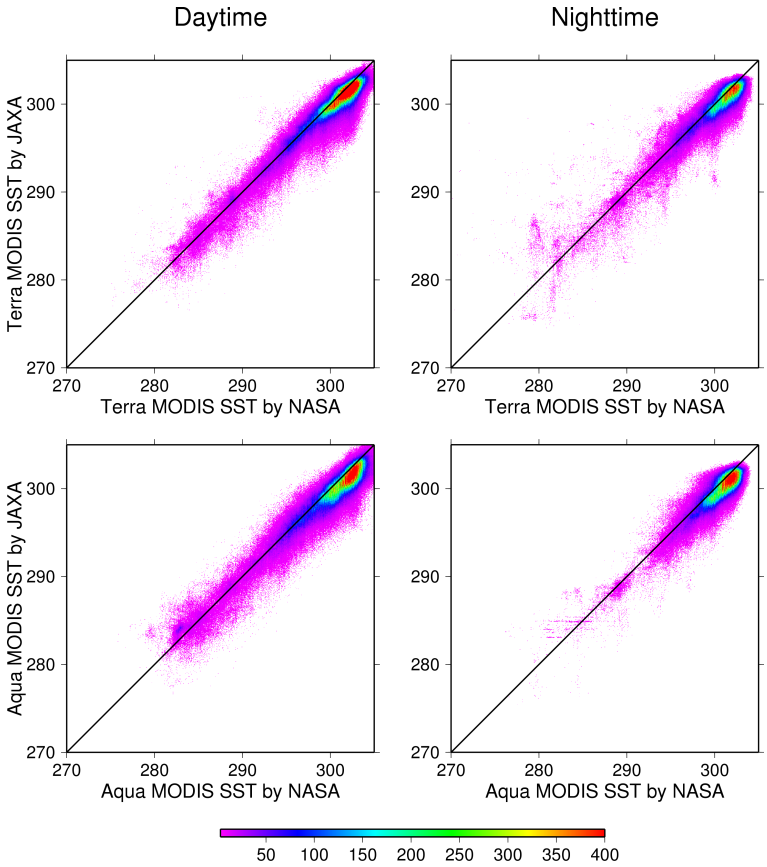

Figure 4: NASA Level 3 MODIS SST と JAXA/EOC 直接受信を EORC で処理した MODIS SST との比較。期間は 7/15-31。Fig. 1と同様に、:Terra/MODIS、下：Aqua/MODIS で、それぞれ左：日中、右：夜間の散布図である。単位は K(Kelvin)。

スクがかけられていた。今回の修正によりその大部分が晴天域と判別され、SST 値が求められていることが示されている。また、雲際の部分 (上図の左端、下図の中央右寄の部分) で、これまでは十分に雲マスクがされていなかった部分が除去されている一方で、部分的に (例：夜間

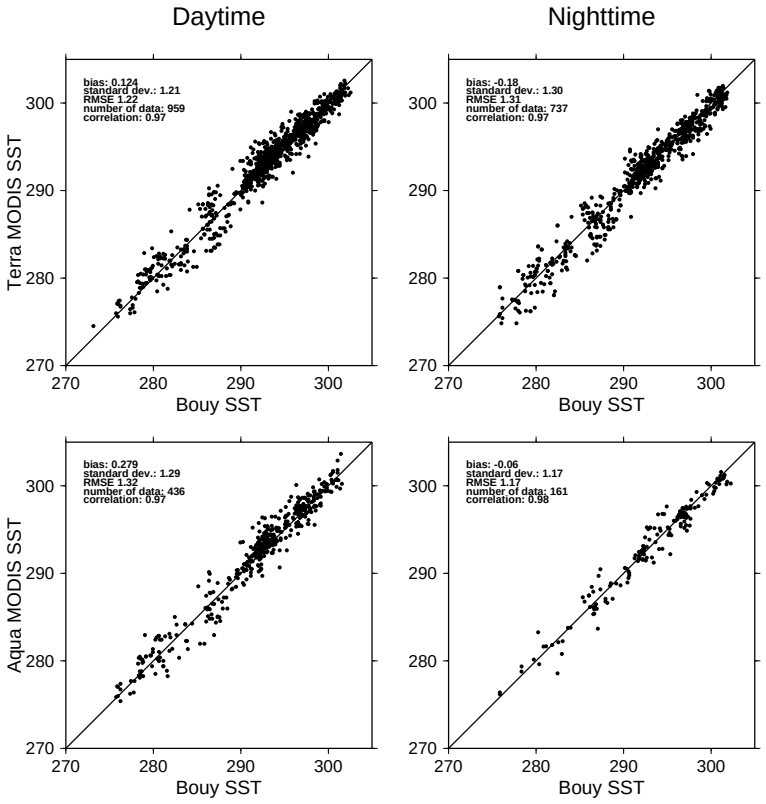

Figure 5: NASA Level 3 MODIS SST とブイ観測 SST との比較。Fig. 1と同様に、:Terra/MODIS、下：Aqua/MODIS で、それぞれ左：日中、右：夜間の散布図である。単位は K(Kelvin)。

の襟裳岬沖など) 晴天域が広がっていることがわかる。これらによって、エラー値が排除され正確な SST が求められていると考えられる。

Fig.7は 7 月 30 日における東北近海における SST の空間分布である。黒潮と親潮が複雑に混じり合う三陸沖では、黒潮から切離した暖水塊やストリーマ、また沿岸域における小さな渦等の海洋擾乱が SST を通して観測される。一方、日本海側では強い日射などによって昇温が生じ、特に山塊の風下側で SST が高くなっている様子が見られる。

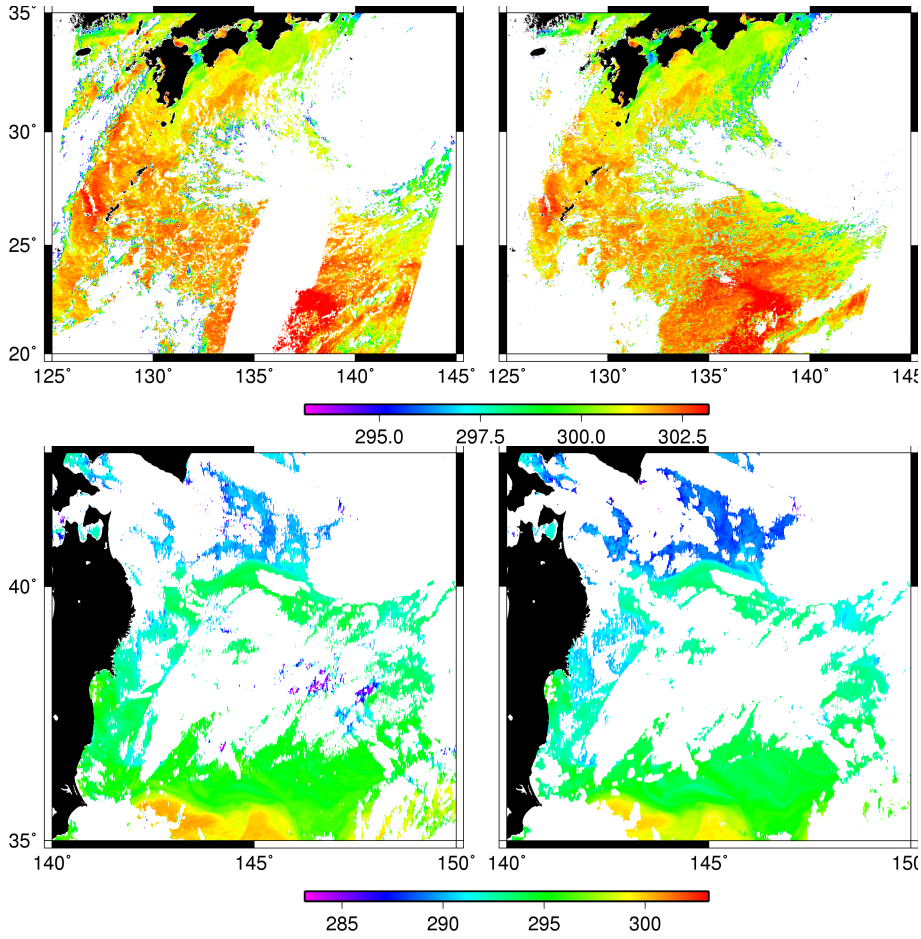

Figure 6: MODIS SST snapshot の例。上図：2004 年 7 月 28 日 0140(GMT:Terra) (日中)、下図：2004 年 07 月 18 日 1206(GMT:Terra) (夜間)。それぞれ、左側が version 1.0、右側が version 2.0 による SST。

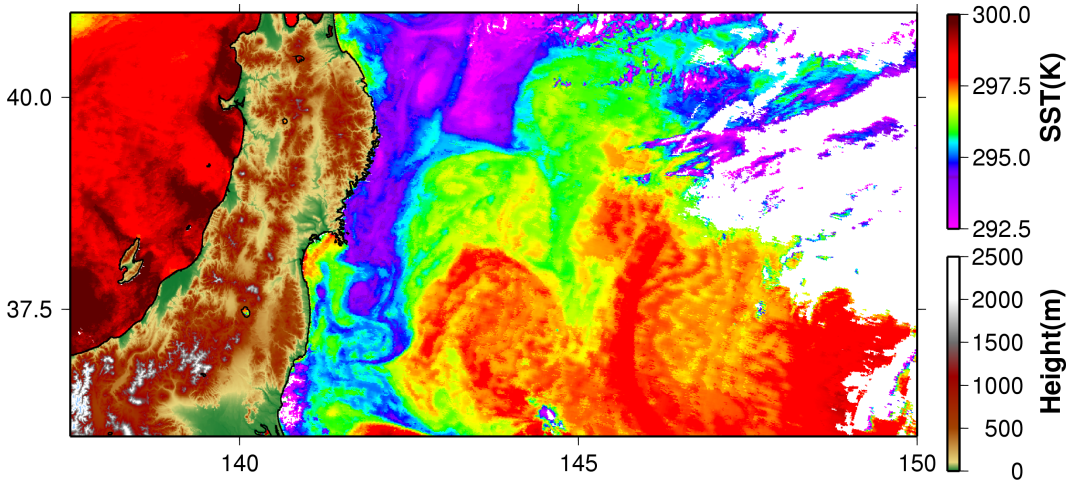

Figure 7: Terra/MODIS による 2004/07/30/0128(GMT:Terra) の SST (K)。陸地部分は高度 (m)。

References

Brown, O. B. and P. J. Minnet, 1999: MODIS infrared sea surface temperature algorithm, algorithm theoretical basis document (atbd). Technical report, ATBD-MOD-25.

Rossow, W. B. and L. C. Garder, 1993: Cloud detection using satelite measurements of infrared and visible radiance for ISCCP. *J. Clim.*, **6**, 2341–2369.

Sakaida, F., J.-I. Kudoh, and H. Kawamura, 2000: A-HIGHERS–The system to produce the high spatial resolution sea surface temperature maps of the western North Pacific using the AVHRR/NOAA. *J. Oceanogr.*, **56**, 707–716.

Saunders, R. W. and K. T. Kriebel, 1988: An improved method for detectiong clear sky and cloudy radiance from AVHRR data. *Int. J. Remote Sensing*, **9**, 123–150.

Stowe, L. L., P. Davis, and E. P. McClain, 1999: Scientific basis and initial evaluation of the CLAVR-1 global clear/cloud classification algorithm for the Advanced Very High Resolution Radoimeter. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **16**, 656–681.

Tanahashi, S., H. Kawamura, T. Matsuura, T. Takahashi, and H. Yusa, 2000: Improved estimate of wide-ranging sea surface temperature from GMS S-VISSR data. *J. Oceanogr.*, **56**, 345–358.