

# EORC における MODIS 準リアル海面水温処理の改善

NASDA EORC ADEOS/Ocean Project 村上 浩

April 3, 2002

## 1. 概要

宇宙開発事業団 (NASDA) 地球観測利用研究センター (EORC) では 2001 年夏から東海大学情報技術センター (TRIC) が受信・輝度/幾何変換処理 (Level 1B) 処理を行った衛星観測輝度データ (MODIS L1B データ) を、ADEOS-2 搭載センサ GLI 用に整備している物理量推定アルゴリズムを用いて処理し、クロロフィル a 濃度や海面水温 (SST) 画像などを公開している (Appendix 1、MODIS Near Real Time Data Temporary homepage README に掲載)。

上記で求めた SST データを Reynolds and Smith [1994] の全球 SST データや TRMM VIRS の SST データ ([http://www.eorc.nasda.go.jp/TRMM/imgdt/day\\_vrs/virs\\_sst.pdf](http://www.eorc.nasda.go.jp/TRMM/imgdt/day_vrs/virs_sst.pdf)) と比較すると、高 SST 域で低見積もりの傾向が顕著で、全体ではバイアスが約  $-0.8^{\circ}\text{K}$  であった。そこで、低分解能放射伝達モデル (LOWTRAN 7) と気象庁の客観解析データ (JMA ANAL) を用いて、MODIS TIR バンドの輝度補正 (代替校正) を行うと共に、その補正輝度に合った SST 推定係数を導出した。この輝度補正係数と SST 推定係数を用いることにより、バイアスの絶対値を  $0.1^{\circ}\text{K}$  以下に抑えることができた。

GLI の SST 処理においては、独自に雲域判定処理を行い、雲域と判定された領域をマスクしている。しかしこの雲域判定処理で実際の雲域以外の領域を雲域と判別している場合がしばしばあった。そこで、より最適な雲域判定を行うように雲域判定閾値を調整した。

## 2. 現状の精度評価

### 1.1 Reynolds and Smith の全球 SST データとの比較

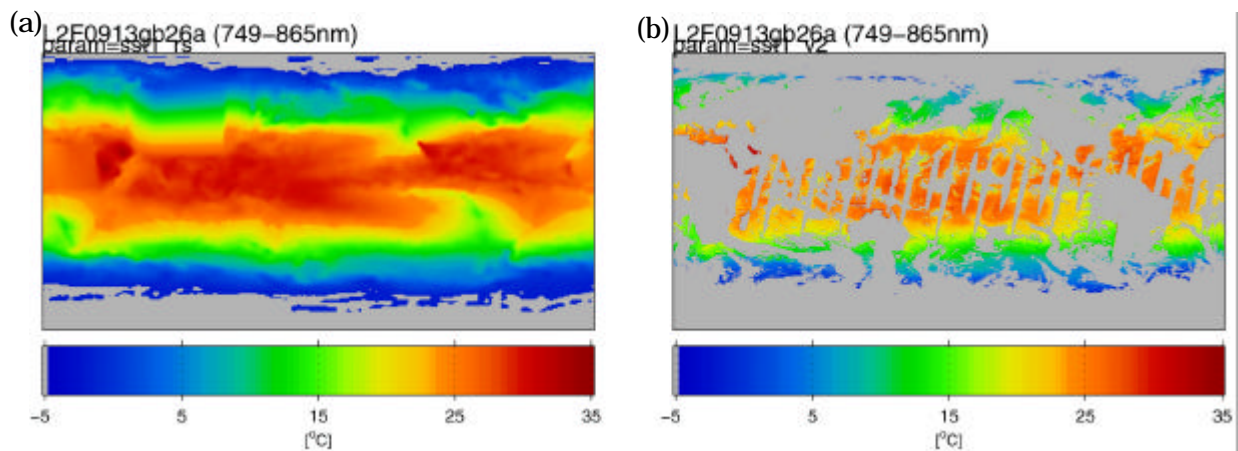


図 1 Reynolds and Smith の全球 Weekly SST データ(a)と MODIS CSS データから GLI Ver0.3 で計算した SST(b)。

図 1 は、MODIS L1B 5km 間引き輝度データ (MOD02CSS) を中心波長 (eq. 1 と表 1 参照) で輝度温度 (BT) に変換後 GLI Ver0.3 の SST 推定係数によって求めた SST (以下で Gv03) と Reynolds and Smith [1994] による全球 1° 格子 Weekly SST データ (以下で R&S) である。本解析における輝度温度→輝度変換は以下の式を用いた。

$$R = c_1 / \lambda_c^5 / (\exp(c_2 / \lambda_c / T) - 1) \quad (\text{eq. 1})$$

R: radiance [W/m<sup>2</sup>/str/μm], T: Brightness temperature [K],

λ<sub>c</sub>: center wavelength [μm] of each band (Table 1 参照)

c<sub>1</sub>=119104272.3, c<sub>2</sub>=14387.75197

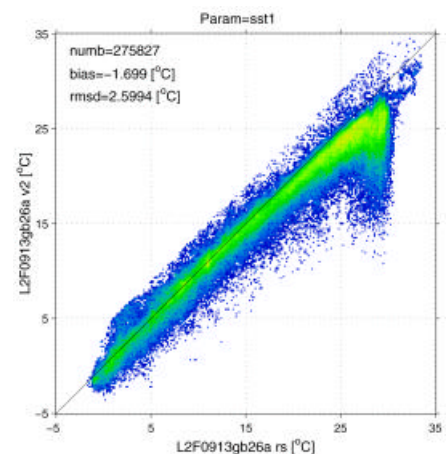


図 2 図 1 の(a)と(b)の散布図。

x 軸は R&S SST、y 軸は MODIS SST。

表 1 MODIS の応答関数から計算した ch20, 29, 31, 32 の中心波長

MODIS ch.	ch20	ch29	ch31	ch32
<i>I<sub>c</sub></i> [nm]	3.789	8.532	11.006	11.996

Gv03 と R&S の分布パターンはほぼ一致しているが、熱帯域で Gv03 が低見積もりになっている。

図 2 の散布図でも、やはり高温域で低見積もりの傾向が見られる。

## 1.2 VIRS SST データとの比較

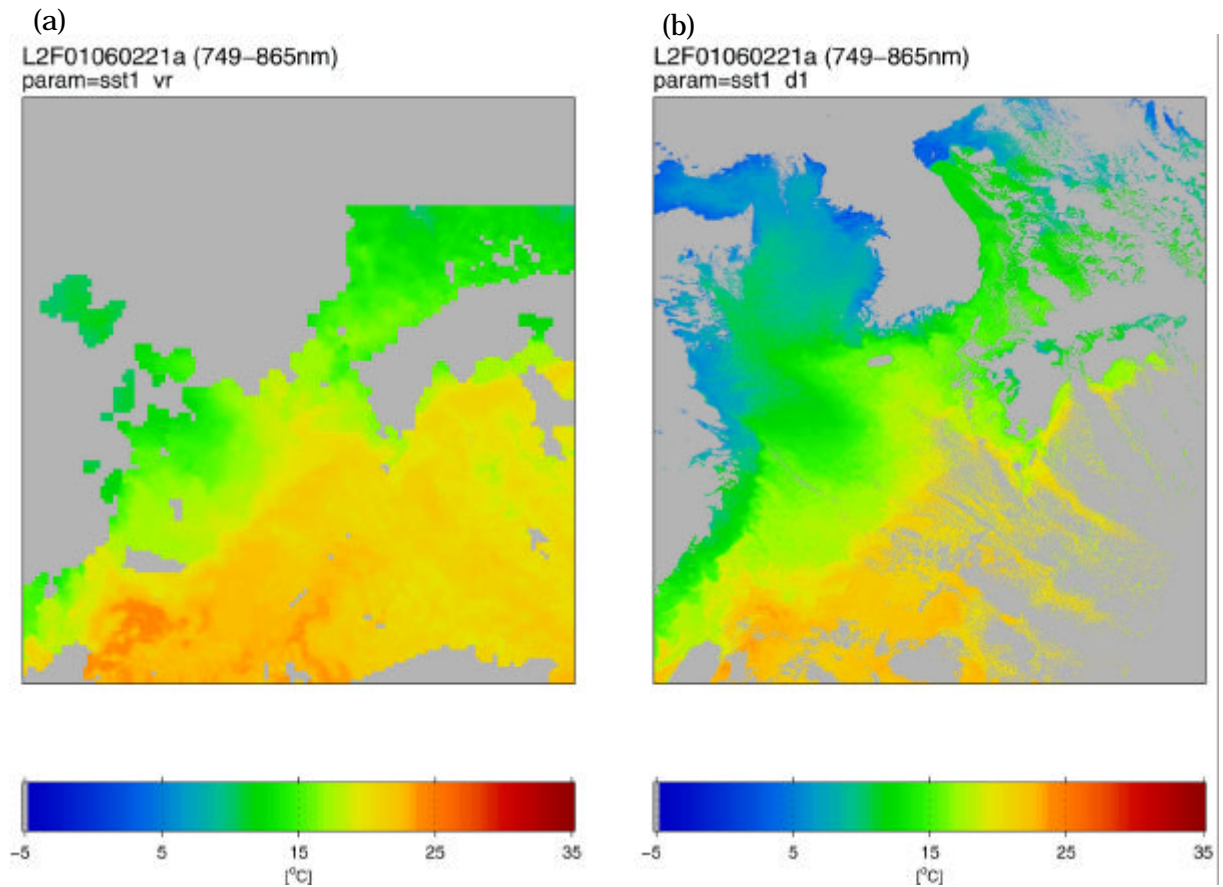


図3 2002年1月6日の東シナ海 (120°E~134°E、24°N~41°N) における、(a)TRMM VIRS の SST と、(b)MODIS SST (輝度補正なし+Gv03 SST 係数)

図3を見ると、Gv03の空間構造はVIRS SSTと良く一致している。しかし、図4で見られるように、biasが $-0.8^{\circ}\text{K}$ となっており、日本周辺のMODIS直接受信範囲においても、輝度補正やSST係数の調整が必要であることを示している。

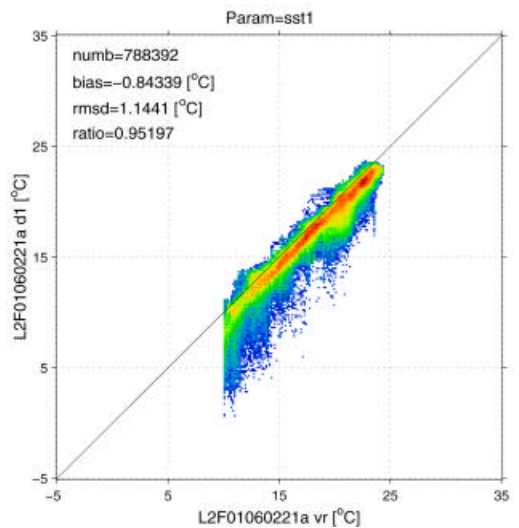


図4 図3の(a)と(b)の散布図。  
x軸はVIRS SST、y軸はMODIS SST。

### 3. 輝度補正係数と SST 推定係数の導出

1 日分の MOD02CSS データと、R&S SST データ、JMA ANAL、LOWTRAN 7 を用いて、MODIS TIR バンドの代替校正を行った。また、R&S の SST と LOWTRAN 7 の結果を用いて SST 推定係数を導出した。(詳細は「村上, LOWTRAN 7 を用いた MODIS 熱赤外バンドの Global 代替校正」参照)

表 2 衛星天頂角を用いた輝度補正係数

$I_c [mm]$	$r_0$	$r_2$
3.789	0.9704	-0.1556E-5
8.532	1.0007	-0.0331E-5
11.006	1.0066	0.0928E-5
11.996	1.0041	-0.0104E-5

$$\text{rad}_{\text{corrected}} = \text{rad}_{\text{original}} \times (r_0 + r_2 \times \text{SAZ}^2) \quad (\text{SAZ: satellite zenith angle [degree]})$$

表 3 SST 推定係数

$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	RMSE [K]
-8.0545	1.0386	2.7635	1.1746	-1.0748	0.2044	0.57

$$\text{SST} = a_0 + a_1 T_3 + a_2 (T_3 - T_4) + a_3 (T_3 - T_4) \text{ ams} + a_4 (T_3 - T_2) + a_5 (T_3 - T_2) \text{ ams}$$

T2,3,4 はそれぞれ、中心波長 8.532, 11.006, 11.996 $\mu\text{m}$  のチャンネルにおける輝度温度

$$\text{ams} = 1 / \cos(\text{saz} \times \pi / 180) - 1$$

図 5 は、表 2 と表 3 の係数を用いて輝度補正→SST 推定を行った結果(以下で MOD<sub>new</sub>)と VIRS SST、R&S との比較である。バイアスがほぼ 0°K となっており、表 1 と表 2 の係数を用いて SST 推定が改善できることがわかった。

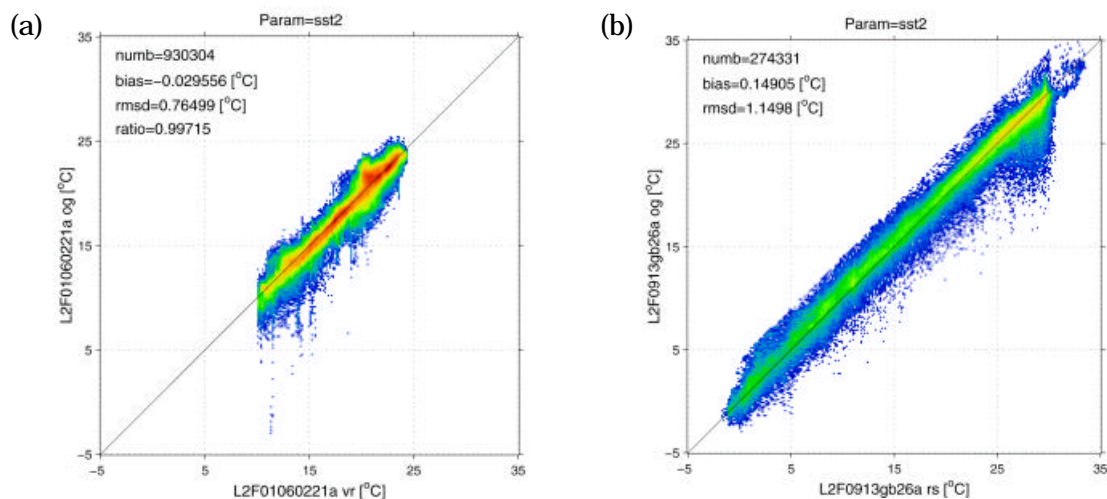


図 5 輝度補正を行い新 SST 推定係数を用いた SST 推定値 MOD<sub>new</sub> の評価。y 軸は MOD<sub>new</sub>、X 軸は VIRS SST (a) と R&S (b)。

#### 4. 雲域判定アルゴリズムの修正

夜間の雲域判別は、可視の反射率の閾値判別ができないので、日中よりも困難である。図 6 は夜間の Gv03 である。雲の近傍などで、不自然な低い値が見られ、雲域判別が十分でないことを示している。ここでは、OTSK13 の雲域判別閾値 Table の改修によって、雲域判別の改善を図る。

Gv03 での雲域判別法の概略は以下である。

日中：

```
if( (T4.lt.268.15)
.or.(R0819.lt.1.43)
.or.((T34.gt.1.0).and.(T4.lt.T4a))
.or.(T4.lt.T4b)) then
cloud
```

夜間：

```
if( (T4.lt.268.15)
.or.((T34.gt.1.0).and.(T4.lt.T4a))
.or.(T4.lt.T4b)
.or.(T13.gt.2.)) then
```

```
cloud
```

ここで、

$T34 = T3 - T4$

$T13 = T1 - T3$

$R0819 = R08 / R19$

$T4a = 0.3 \times T3 + 203.205$

$T4b = 0.3 \times T3 + 191.205$

T1, T3, T4 は、中心波長 3.789, 11.006, 11.996 $\mu\text{m}$  のチャンネルにおける輝度温度

R08, R19 は、GLI のチャンネル 8 と 19 に対応する MODIS バンドチャンネル 12 と 16 の反射率。

これらの閾値はシミュレーションデータなどに基づいて、OTSK13 の PI 川村教授の Co-Investigator 神戸商船大学境田先生によって GLI 用に設定されているが、MODIS の衛星観測熱赤外輝度の波長応答特性や、校正誤差に対して最適化する必要があるかもしれない。そこで、前節の SST 推定式の導出において用いた補正済み MODIS 輝度（輝度温度に変換）を用いて、晴天域の輝度温度差やそれらの間の関係について改めて調べた。その結果が図 7 である。

L2F01061322a (749–865nm)  
param=sst1 n1

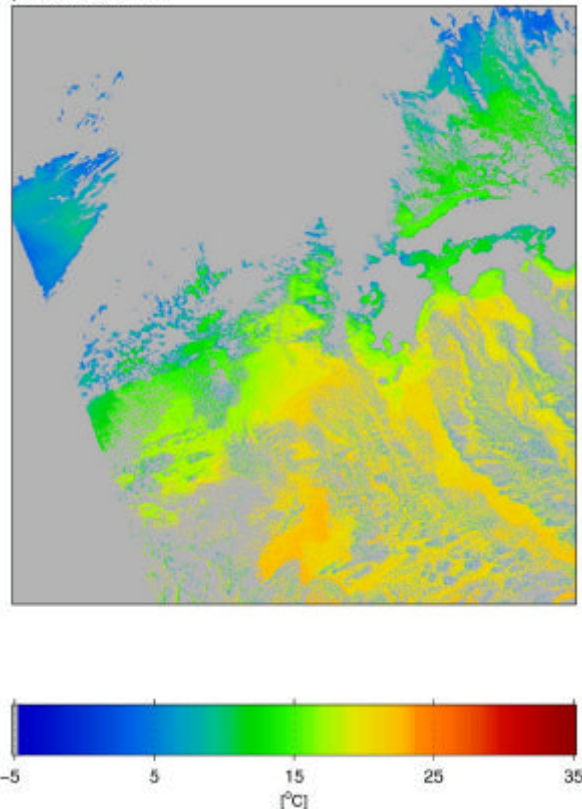


図 6 図 2 2002 年 1 月 6 日の東シナ海における夜間 MODIS SST(輝度補正なし+Gv03 SST 係数)



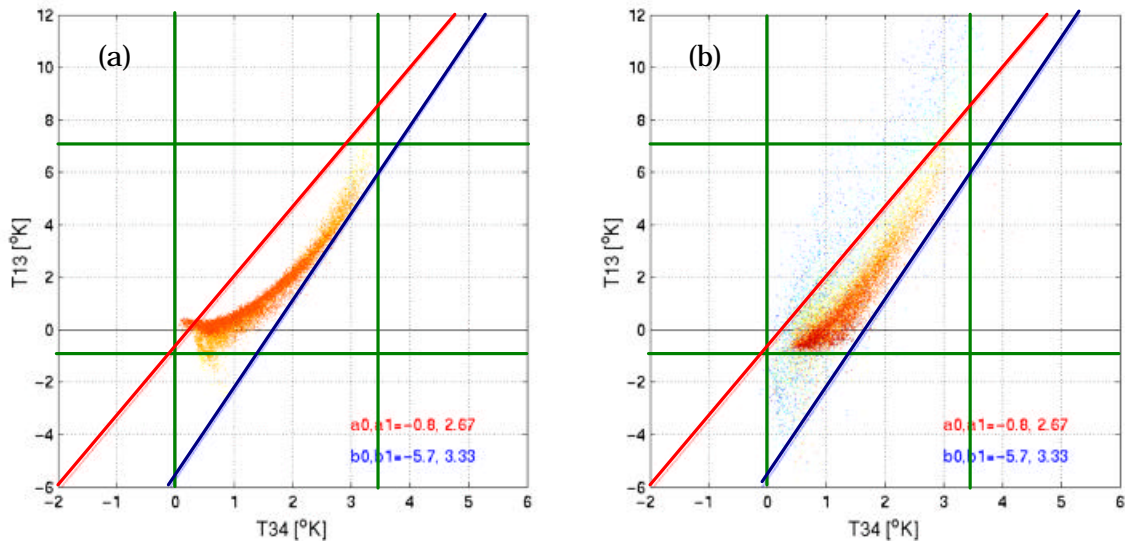


図7 LOWTRAN 7 によるシミュレーション出力における輝度温度差の関係(a)と、MODIS 補正済み輝度から計算した輝度温度差の関係(b)。点の色(赤→青)は SST 推定値と R&S との差が (+2°K → -10°K) を示す。赤、青、緑の線は本検討における閾値。

図7の MODIS<sub>new</sub>-R&S > 2°K のデータの分布を基に、本検討では以下のような閾値を提案する。

日中およびサングリント域:

```
if( (T4.lt.268.15)
.or.(R0819.lt.1.43)
.or.(T34.lt. 0.0).or.(T34.gt.3.5)) then
cloud
```

夜間:

```
if( (T4.lt.268.15)
.or.(T34.lt. 0.0).or.(t34.gt.3.5)
.or.(T13.lt.-1.0).or.(t13.gt.7.0)
.or.(T13.lt.T13b).or.(t13.gt.T13u)) then
cloud
```

ここで、

$$T13b = -5.7 + 3.33 \times T34$$

$$T13u = -0.8 + 2.67 \times T34$$

この夜間閾値を用いて計算した結果が図8である。散布図上で多くのデータは Y=X のラインに沿って分布しているが、大きな負のバイアスや大きな RMSD を示しており、雲域除去がまだ十分ではないことを示している。この夜間雲域判定を改善するためには、外部データの参照や空間不均一性などのチェックを加える必要があると思われる。

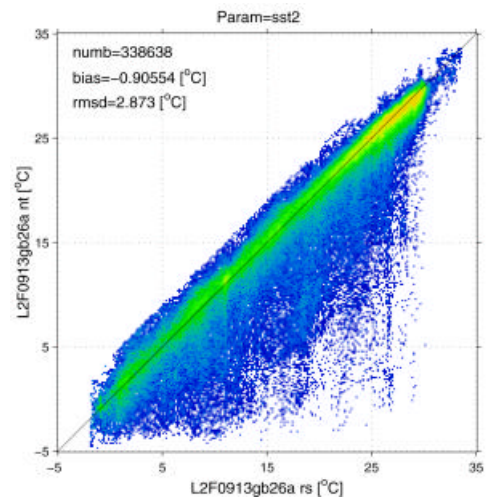


図8 2001年9月12日~18日平均の R&S と 2001年9月13日夜間の MOD<sub>new</sub> の散布図。

## 5. まとめ

図9は本解析による係数を適用して求められた SST である。値は VIRS との比較で、バイアスは $\pm 0.1$ 以内、RMSD は $0.8^{\circ}\text{K}$ 程度である。VIRS 自体にも誤差を持つことから、実際の真値からの誤差は更に小さいはずである。また、本解析による雲判別係数を用いることにより、これまで処理されていたプロダクトよりも、よりこの補正済み MODIS 輝度データに対して適切な雲域判別結果を得ることができる。ただし夜間の雲域除去においてはまだ不十分であり、外部データの参照や空間不均一性などのチェックを加える必要がある。本解析では行わなかったが、GLI の処理コードには空間不均一性による雲域判定処理が含まれている。

GLI のアルゴリズムのパラメータファイルにおける雲域判定パラメータは Appendix 2 のように変更する。

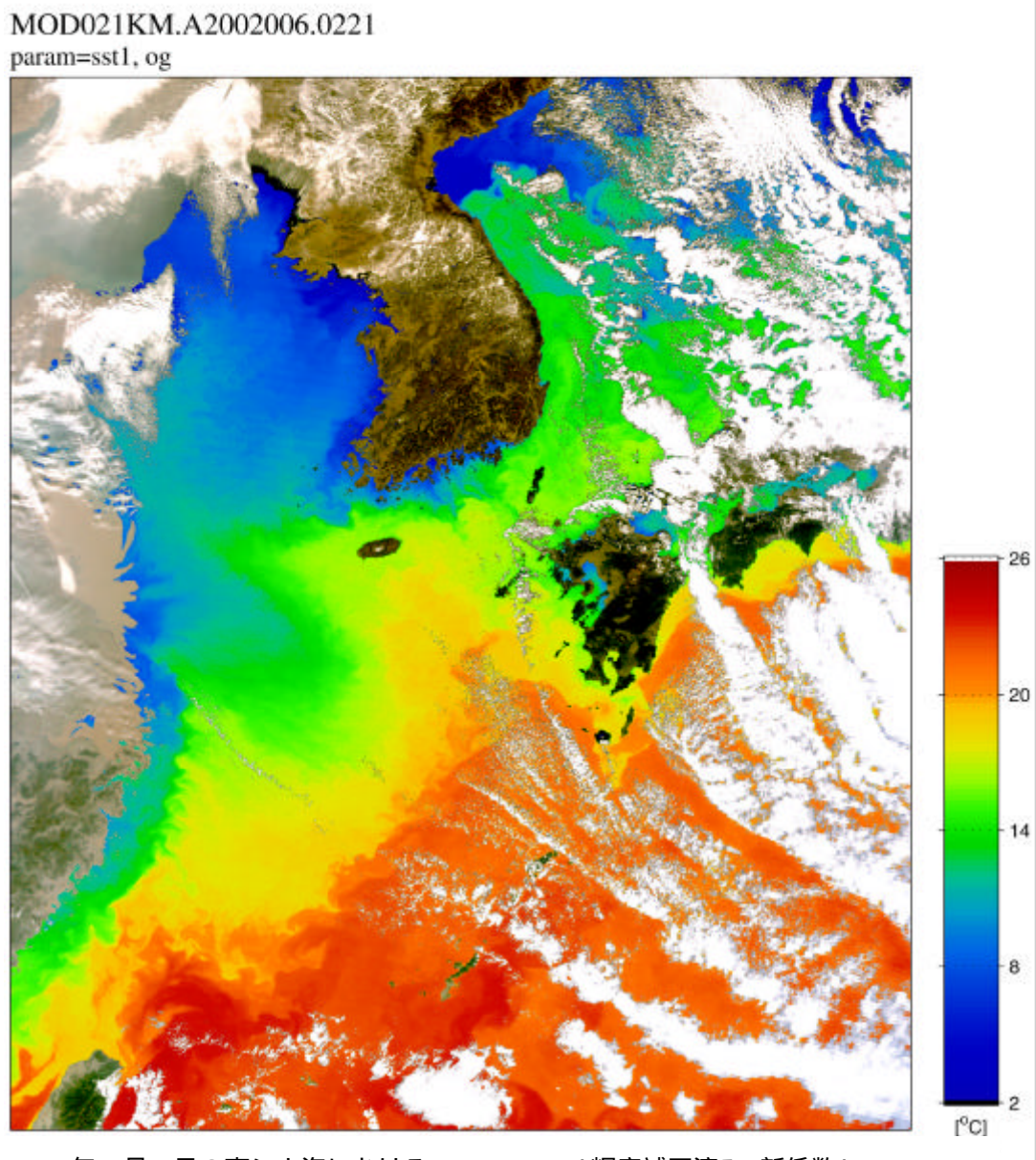
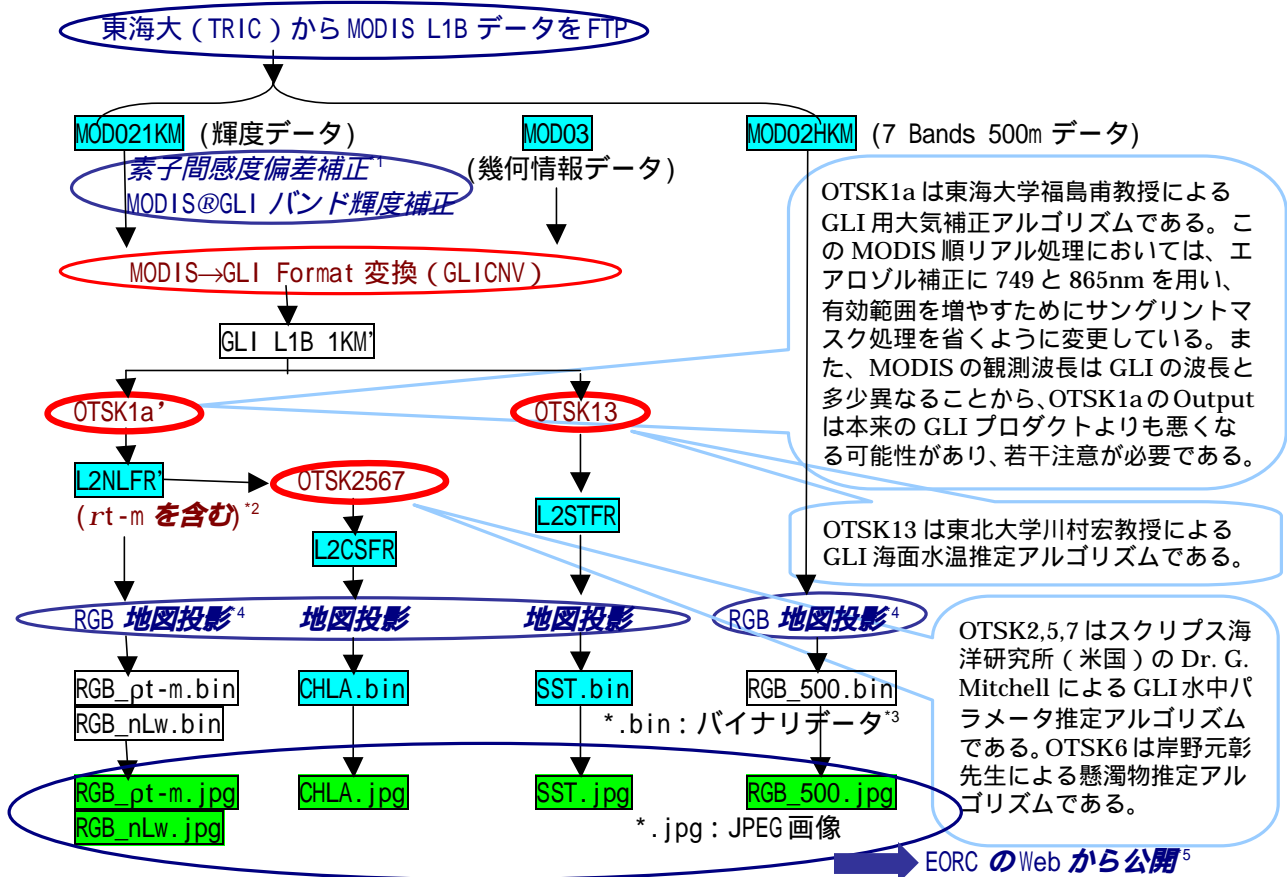


図9 2002年1月6日の東シナ海における MODIS SST (輝度補正済み+新係数)

NASA 地球観測衛星 TERRA 搭載センサ MODIS の観測データを、東海大学情報技術センター (TRIC) が受信・輝度/幾何変換処理 (Level 1B) 処理を行い、そのデータを宇宙開発事業団 (NASDA) 地球観測利用研究センター (EORC) が ADEOS-2 搭載センサ GLI 用に整備している物理量推定アルゴリズムを用いて処理し、クロロフィル a 濃度や海面水温画像などを公開することになった。以下はその処理フローである。



□ : テンポラリファイル    ■ : EORC で保存するファイル    ■ : Web で公開するファイル  
 Algorithm : アルゴリズム by ADEOS/Ocean Project, OTSK\* : by ADEOS-2/GLI project

\*1: MODIS L1B データのシーン毎に素子間感度偏差係数を算出し、補正を行う。  
 \*2: OTSK1a でレイリー補正済み反射率 (pt-m) を出力するように修正している。  
 \*3: CHLA と SST では 2byte、pt-m と nLw と 500m バンドの RGB では 1 byte、3 band のバイナリデータを作成する。  
 \*4: pt-m と 500m データの RGB では 659, 555, 470nm (MODIS channel 相当)、nLw では 666, 545, 460nm を使用。  
 \*5: CHLA, SST, RGB\_pt-m, RGB\_nLw, RGB\_500m のバイナリファイルから jpeg 画像を作成し、EORC のホームページから Web 公開を行う。

ファイル名仕様

- A2GL1(YMMDDHhmm)OD1\_(プロダクト名)\_(pixel サイズ)\_(line サイズ)\_(パラメータ).jpg
- MOD02HKM\_A(YMMDDHhmm)OD1\_(プロダクト名)\_(pixel サイズ)\_(line サイズ)\_(パラメータ).jpg
- YMMDDHhmm: 年 (世紀の下 2 桁、月、日、時間、分)
- (例) A2GL10105170151OD1\_OCSFR\_03041\_03554\_chla.jpg (5月17日のクロロフィル a 濃度画像)
- A2GL10105170151OD1\_ONLFR\_03041\_03554\_sst.jpg (5月17日の海面水温画像)
- A2GL10105170151OD1\_ONLFR\_03041\_03554\_nLw.jpg (5月17日の nLw の RGB 画像)
- A2GL10105170151OD1\_ONLFR\_03041\_03554\_RcRefl.jpg (5月17日の地表反射率 RGB 画像)
- MOD02HKM\_A20010517015129\_04263\_06861\_HKrgb.jpg (5月17日の 500m 衛星観測輝度 RGB 画像)





