

ランドサットTM画像に基づく 海面水温分布表示システム (C言語版) の開発

Development of a Sea Surface Temperature Mapping System
based on LANDSAT TM Images (C-language Version)

大村 誠・植田愛理*・吉本敏博**・佐伯正教**

Makoto OMURA, Airi UETA*, Toshihiro YOSHIMOTO** and Masanori SAEKI**

Department of Applied Science, Kochi Women's University, Kochi 780, JAPAN
(平成7年11月24日受理)

Abstract

A sea surface temperature mapping system based on LANDSAT TM (Thematic Mapper) images (C-language version : SST94) was developed. The semi-automatic system provided synthetic images including a color scale image indicating estimated surface temperature in °C. The system allowed us to process a set of TM floppy data in about 5 minutes (PC-9801 DA : 20MHz) after manual setting of conditions for an analysis. Furthermore, a TM floppy data converter, from IBM format to MS-DOS format, was also developed.

1. はじめに

地球環境の現状およびその時間的変化をさまざまな空間スケールで観測するために、リモートセンシング技術が広く応用されている。とくに、人工衛星により取得される地球観測データは、広域性、マルチスペクトル性、同時性・反復性、客観性等の点で優れており、それぞれの衛星およびセンサの特性を生かした利用が行われている。

これまでに高知女子大学家政学部生活理学科地球環境科学研究室で開発された相対海面水温分布表示システムは、ランドサット (LANDSAT) TM (Thematic Mapper) 画像を用いて、10km四方程度の比較的狭い範囲を百～数百mの空間分解能で解析することができる [大村ほか¹⁾]。パーソナルコンピュータ上で動作するこのシステムの特徴は、半自動処理により日常的な繰り返し使用が容易であること、TMデータの情報を合わせて画像化することである [大村ほか¹⁾]。しかしながら、これまでのシステムは BASIC 言語で記述されていたために、1画面の処理に約1時間を要していた (PC-9801 DA : 20MHz, 数値演算プロセッサあり)。また、(財) リモート・センシング技術センター (RESTEC) から配布されるフロッピーディスク上に IBM形式で記録された TMデータを MS-DOS形式に変換する手順も煩雑であった [大村ほか²⁾]。本研究では、これらの点を改良し、実用的な速度で処理を行えるよう、これまでに開発されたアルゴリズム [大村ほか¹⁾²⁾] に基づき、システムをC言語により再構築した。

*平成6(1994)年度 高知女子大学 家政学部 生活理学科卒業生

**株式会社 四電技術コンサルタント

2. システムの概要

使用した装置は、大村ほか²⁾で使用されたものと同じである。今回は、フルカラー画像表示を除く全ての処理を、パーソナルコンピュータ PC-9801 DA [日本電気(株)] 上で行った。作成されたフルカラー画像は、画像処理装置 FRM2-RGB [(株)フォトロン] と画像処理システム RIPP-3 [ライズ(株)] を用いて表示された。これらの装置および画像ファイルの形式については、大村ほか²⁾に述べられている。また、システム開発には TURBO C++ [ボーランド(株)] を使用した。

3. TMフロッピーデータの変換

地球観測衛星ランドサット 5号に搭載されている TM センサは、可視光線から熱赤外線までの 7つの波長帯域の電磁波強度を 8bit のダイナミックレンジ (0~255) で走査する。空間分解能は約 30m (バンド 6 のみ 約 120m) で、1 シーンの範囲は 185km×170km である。なお、本研究で使用したランドサットデータは宇宙開発事業団 (NASDA) 地球観測センター (EOC) で受信・処理され、(財) リモート・センシング技術センターが配布しているフロッピーディスク (BSQ フォーマット) である [リモート・センシング技術センター³⁾]。

今回は、TURBO C++ に用意されている PC-9801 用 BIOS インターフェース関数 (pc98disk) を使用することにより、配布された IBM 形式のフロッピーディスクを読みとり、TM バンド別の MS-DOS バイナリ画像ファイルを作成するプログラムを開発した。バンドを区別するために、TM バンド 1~7 のファイル名には、それぞれ拡張子 BN1~BN7 が自動的につけられる。このプログラムを用いることによって、データ変換が極めて容易になった。変換されたデータは、ヘッダーブロック (512 バイト) を除いた場合、512 ピクセル×400 ライン、8bit/画素の面順次画像になっている。そこで、MS-DOS 上で動作する多くの汎用画像処理ソフトの入力画像として用いることができる。

4. SST94 マッピングシステム

今回のシステム開発にあたっては、処理時間の短縮および TM バンド 6 の DN (Digital Number) 値からの温度推定機能の付加に重点を置いた。なお、以前に開発された BASIC 版システム [大村ほか¹⁾] と区別するために、新たな C 言語版システムを「SST (Sea Surface Temperature) 94 マッピングシステム」と呼ぶ。

4. 1. 新システムで採用された温度推定式

新しく付加された機能は、海面水温の摂氏目盛をつけたカラースケール画像も出力されることである。表面温度が高いほど熱赤外 (TM バンド 6) 放射輝度も高いという定性的な関係を用いて、これまで相対的な海面水温の疑似カラー表示を行ってきた [大村ほか¹⁾²⁾]。しかしながら、使用実績を積むにつれて、ある場所における海面水温が摂氏何度であるかについての目安が必要であることを痛感した。そのため、場合によっては数度の誤差を生ずる [たとえば中山ほか⁴⁾] ことを承知の上で、次の (1) 式を用いて TM バンド 6 の DN 値から海面温度を推定した。この式は、RESTEC より示された式にランドサット 5号 TM バンド 6 の諸定数を代入したものである [宇宙開発事業団地球観測センター⁵⁾]。

$$R = \frac{V}{255} (1.896 - 0.1534) + 0.1534$$

$$\frac{R}{1.239} = 5.1292 \times 10^{-5} T^2 - 1.7651 \times 10^{-2} T + 1.6023 \quad (1)$$

ここに、 V ：補正済み CCT の DN 値 (TM バンド 6 の DN 値)

R ：絶対放射輝度 ($\text{mW}/\text{cm}^2 \cdot \text{sr}$)

T ：絶対温度 (K)

なお、絶対温度から273.15度を減じることにより、摂氏温度が得られる。これらの式によって推定される海面水温は、現地で実測されたものと0.5度程度の差で一致する例 [佐伯ほか⁶⁾] もあるが、数度の誤差をもつ場合が多いことが指摘されている [たとえば中山ほか⁴⁾, 大村ほか²⁾]。したがって、一般には (1) 式により得られた温度はあくまで水温の目安として使用することが望まれる。なお、プログラム中の温度変換式の変更は容易なので、同時観測された海面水温を用いた校正に基づく式が得られれば、より信頼できる水温を表示することができる [たとえば中山ほか⁴⁾, 水鳥・坂井⁷⁾]。

4. 2. 処理の流れ

前述の水温推定機能が付加されたことを除くと、新システム (SST94 マッピングシステム) の画像処理の流れは、従来のシステム [大村ほか¹⁾] のものとほぼ同じである。わずかな違いとしては、トゥルーカラー (true color) 画像作成時の線形濃度変換における変換後の輝度範囲を、従来の0~255から1~254に変更していることがあげられるが、実用上の差はない。

なお、Photo.1 から Photo.5 に示された雲仙火山周辺の画像 (間引率6：約88km×約68km, 1991年12月4日観測) を処理する場合について例示する。

4. 2. 1. 前処理およびファイル設定

前章で述べた変換プログラムによって、配布された TM フロッピーからバンド別 MS-DOS バイナリ画像ファイルをあらかじめ作成しておく。また、使用するフルカラー画像表示システムに合わせて画像ヘッダを作成しておく。

なお、ここでは RAM ディスクがドライブ E: また、ハードディスクがドライブ A: であるとする。作業用ファイルおよび出力画像ファイルはそれぞれドライブ E: および A: に作成される。

【入力ファイル】

- ① E: ¥HEAD … RIPP-3 用画像ヘッダ²⁾
- ② E: ¥MOJLDAT … 文字パターンファイル¹⁾
- ③ E: ¥UNZEN.DAT … 画像情報テキストファイル
カラースケールの目盛単位：TM バンド 6 の DN 値
- ④ E: ¥UNZEN.RES … 画像情報テキストファイル (Fig.1)
カラースケールの目盛単位：(1) 式による摂氏温度 (°C)
- ⑤ E: ¥UNZEN.BN1 … バンド別画像ファイル：TM バンド 1, 青色光
- ⑥ E: ¥UNZEN.BN2 … 同 上 … TM バンド 2, 緑色光

- ⑦ E: ¥UNZEN.BN3 ... 同 上 : TM バンド 3, 赤色光
 ⑧ E: ¥UNZEN.BN4 ... 同 上 : TM バンド 4, 近赤外線
 ⑨ E: ¥UNZEN.BN6 ... 同 上 : TM バンド 6, 熱赤外線

上記③および④の MS-DOS テキストファイルは画像情報を示すものであり、エディタ等を用いて事前に作成する必要がある。その例が Fig.1 に示されている。作成時の注意点は次のようになる。

- ・使用できる文字は半角文字に限られ、英字（大文字・小文字）、数字および記号のみ
- ・1行ごとに”（半角二重引用符：画像には出力されない）で前後をくくる

```
"SST AUTO MAPPING SYSTEM"
""
"___UNZEN"
"_____(FILE UNZEN)"
""
"___LANDSAT 5 TM"
"____PATH:113 ROW:037"
"____P:4550 L:4650 (X 6)"
""
"____1991.DEC.4 10h 18m"
""
"____LAND:TRUE COLOR"
"____BAND 1,2,3"
"____SEA :PSEUDO COLOR"
"____BAND 6"
""
"____UNIT=DEGREE (BY RESTEC)"
""
""
""
""
"____KOCHI WOMEN'S UNIVERSITY"
"____1995.FEB.01 AIRI UETA"
```

Fig. 1. An example of text file (UNZEN.RES for Photo.3) describing information on TM images.

- ・文字列の先頭部の空白は _（半角アンダーバー：画像では空白に置き換えられる）を使用
- ・1行は、二重引用符を含めて、35文字以下
- ・空行（""）を適宜入れて、行数を必ず23行とする
- ・ファイル名は画像ファイル名と同じにし、TM バンド 6 の DN 値用ファイル名には拡張子 DAT、また、(1)式により推定された摂氏温度用ファイル名には拡張子 RES をつける。

【出力ファイル】

解析条件をオペレータが会話的に設定した後は、システムが自動的に次の5つの画像を作成する。いずれも、RIPP-3用画像ヘッダ [大村ほか²⁾] 8バイトのあとに、512ピクセル×400ライン、8bit/画素の面順次画像がR（赤）、G（緑）、B（青）の順で連結されている。RIPP-3用の画像であることを示すために、各画像ファイル名の拡張子をこの例ではR3としている。しかし、それぞれの利用者が使用するフルカラー画像表示システムに合わせて変更すればよい。

- ① A: ¥GOSEI.R3 ... 合成画像 (Photo.1) : 陸域はトゥルーカラー画像、海域はTMバンド6（熱赤外線）のDN値に基づく疑似カラー画像
 ② A: ¥IRO_DN.R3 ... カラースケール画像 (Photo.2) : 目盛単位はTMバンド6のDN値
 ③ A: ¥IRO_RES.R3 ... カラースケール画像 (Photo.3) : 目盛単位は摂氏温度
 ④ A: ¥TRUE.R3 ... 全域のトゥルーカラー画像 (Photo.4)
 ⑤ A: ¥PSEUD.R3 ... 海域の熱赤外線疑似カラー画像 (Photo.5)
 TM バンド 4 の DN 値が大きい部分（陸域）はマスクされている

4. 2. 2. SST94 マッピングシステムによる処理

用いた画像処理のアルゴリズムはいずれもよく知られたもので、本システム独特のものではない。本システムは、パーソナルコンピュータ上で簡便に画像処理ができる専用システムとして、定常的な繰り返し使用に向くよう設計されている。なお、処理の詳細については大村ほか¹²⁾に述べられている。

本システムによる処理は次に示されるように行われる。太字で記された部分がオペレータの操

作を要する部分である。これらの操作が終わると自動処理に入り、CRT画面に処理の進行状況が表示される。画像処理と作業用ファイルの消去が終了すると、ピープ音で知らせる。PC-9801 DA (20MHz, 数値演算プロセッサあり) を用い、画像の入力をRAMディスク、出力をハードディスク上で行うと、オペレータによる操作が終了してから約5分間で画像ファイルの作成が終了する。従来は、これら一連の処理に約1時間を要していたので、処理時間は約10分の1以下に短縮された。

(1) 海陸の識別と陸域のマスキング

- ①TMバンド4 (近赤外線) のヒストグラム表示
- ②海陸境界値の入力
- ③入力された境界値による2値化 (海陸の識別)
- ④グラフィック表示による海陸区分の確認と境界値の決定
- ⑤TMバンド4のDN値が境界値以上の画素を陸域として、該当画素のTMバンド6のDN値を00に置き換え (マスキング)

(2) 海域の熱赤外疑似カラー画像作成

- ①TMバンド6 (熱赤外線) の海域部分のヒストグラム表示
- ②疑似カラー表示するDN値の範囲を入力
- ③表示するDN値の範囲・配色の確認と決定 → この操作以後は、自動処理
- ④海域の熱赤外疑似カラー画像 (Photo.5) の自動作成
- ⑤カラスケール画像 (Photo.2) の自動作成 (目盛単位: TMバンド6のDN値)
- ⑥TMバンド6のDN値を(1)式により摂氏温度に換算
- ⑦カラスケール画像 (Photo.3) の自動作成 (目盛単位: 摂氏温度)

(3) 全域のトゥルーカラー画像自動作成

- ①TMバンド1, 2および3の線形濃度変換処理¹⁾
- ②TMバンド1, 2および3の画像鮮鋭化処理 (ラプラシアン減算法)⁸⁾⁾
- ③トゥルーカラー画像 (Photo.4) の自動作成
TMバンド1, 2および3をそれぞれB(青), G(緑)およびR(赤)の各色に割り当てる。

(4) 海陸の合成画像自動作成

熱赤外疑似カラー画像 (Photo.5) のマスクされた部分 (陸域) にトゥルーカラー画像 (Photo.4) の対応する部分を合成する (Photo.1)。

5. 処理結果について

まず、これまでの研究 [大村ほか¹²⁾⁾] で使用したTMフロッピーデータのうち (徳島県橘湾, 富山湾) の再解析をSST94 マッピングシステムを用いて行った。得られた画像を従来のシステムによる画像と比較し、両システムによる画像処理結果がほぼ一致することを確認した。新システムでは、オペレータが指定したTMバンド6のDN値の範囲しかカラスケールに示されず、画像中の最高および最低のDN値および温度が示されないことが従来と異なる。さらに、前述したようにトゥルーカラー画像の輝度変換範囲の設定が両システムでわずかに異なるため、完全に同一の画像は得られないが、実用上の問題はない。

本研究では、陸上の高温部を含む地域の解析に、このシステムを使用した場合についても検討するために、雲仙火山および周辺海域を含むTMデータを処理した。観測が行われた1991年12月4日には、Photo.4 で分かるように、雲仙火山は火口から噴煙を出し、活発に活動していた。合成画像 (Photo.1) では、火口の高温部が赤、各河川から海域へ流入する低温の水流が青、さらに噴煙および雲が白で表示されている。また、大村湾の東岸を詳細に見ると、ごく小規模ながら周囲より高温の水域が岸から湾内へ帯状に伸びていることも分かる。地形図⁹⁾との照合を行ったところ、該当の場所には工業地域があり、海面の高温部分は産業活動と関連するものであると考えられる。なお、この雲仙火山の解析例では、合成画像 (Photo.1)、トゥルーカラー画像 (Photo.4) および熱赤外疑似カラー画像 (Photo.5) を比較すると次のような点も指摘できる。合成画像の陸域には、トゥルーカラー画像のほかに、熱赤外疑似カラー画像も割り当てられている。これは、陸上にも TM バンド 4 での放射輝度の低い場所が広範囲に分布していたことによる。その結果、陸上の火口部を熱赤外疑似カラー画像で表示できたが、一方では、TM バンド 4 (近赤外線) のみを用いた海陸区分の限界を示すものとも言える。将来的には、複数バンドのデータを利用する必要もあろう。

6. まとめ

これまでに高知女子大学家政学部生活理学科地球環境科学研究室で開発された相対海面水温分布表示システムを高速化し、また摂氏水温を示すカラースケール画像も含めて出力するシステムを開発した。主な成果は、次のようにまとめられる。

- (1) C言語を用いてシステムを記述することにより、処理時間を従来の約10分の1に短縮した。
- (2) RESTEC が示した式およびデータに基いて、TM バンド 6 の DN 値を摂氏温度に換算し、熱赤外疑似カラー画像のカラースケールと対応させた。
- (3) オペレータの操作は、TM バンド 4 (近赤外線) のヒストグラムから海陸の境界値を決定すること、および TM バンド 6 (熱赤外線) のヒストグラムから疑似カラー表示する DN 値の範囲を決定することの2つにとどめた。その後の画像処理は自動的に行われる。
- (4) RESTEC から配布される IBM 形式のフロッピーディスク上の TM データを、バンド別 MS-DOS バイナリ画像データに変換するプログラムを開発した。

ランドサット TM 画像に基づき、10km程度の広がりをもつ海域の温度分布をパーソナルコンピュータを用いた処理により簡便に表示するという目的は、本システムの開発により一応達成された。このシステムからの出力画像をさらに処理することによって、等水温線図を重ね合わせる処理も行われている [佐伯ほか⁹⁾]。

今後は、本システムの開発を通して得た経験を踏まえ、近年急速に進歩しているネットワーク利用も視野に入れた上で、パーソナルコンピュータによる人工衛星データ利用システムの開発をさらに進める予定である。

謝 辞

ランドサットデータの提供およびランドサットデータ利用に関する御指導をいただいた(財)リモート・センシング技術センターに、深く感謝いたします。また、プログラミングにあたり助言をいただいた、高知女子大学家政学部生活理学科名和真一博士ならびに(元)四電技術コンサ

ルタント金子光広氏にお礼申し上げます。

本研究は、株式会社四電技術コンサルタントからの奨学寄付金を受けて行われました (研究題目「地球科学諸分野における画像処理技術の応用」)。

参考文献

- 1) 大村 誠・松尾禎子・宮地修一：ランドサット TM 画像に基づく相対海面水温分布表示システムの開発, 高知女子大学紀要 自然科学編, 42, 15-29 (1994).
- 2) 大村 誠・縣島宏枝・中谷知子・松尾禎子・金子光広・宮地修一：ランドサット画像を用いた海面水温分布表示と地形解析, 高知女子大学紀要 自然科学編, 41, 47-64 (1993).
- 3) リモート・センシング技術センター：MOS-1 MESSR/VTIR ランドサット MSS/TM フロッピイディスク・フォーマット説明書, リモート・センシング技術センター.
- 4) 中山裕則・向井幸男・山本静夫：TMの熱バンドデータと地表面温度との関係の調査, 日本リモートセンシング学会 第5回学術講演会論文集, 95-98 (1985).
- 5) 宇宙開発事業団 地球観測センター編：地球観測データ利用ハンドブック - ランドサット編・改訂版 -, 6-1 - 6-2, リモート・センシング技術センター (1990).
- 6) 佐伯正教・吉本敏博・宮地修一：ランドサットデータの画像処理による海域水温分布表示, 平成7年度土木学会四国支部 第1回技術研究発表会講演概要集, 460-461 (1995).
- 7) 水鳥雅文・坂井伸一：衛星リモートセンシングによる海象観測, 電力土木, 239, 82-90 (1992).
- 8) 高木幹雄・下田陽久監修：画像解析ハンドブック, 東京大学出版会, 548-549 (1991).
- 9) 建設省国土地理院：1:50,000地形図「大村」(1993).

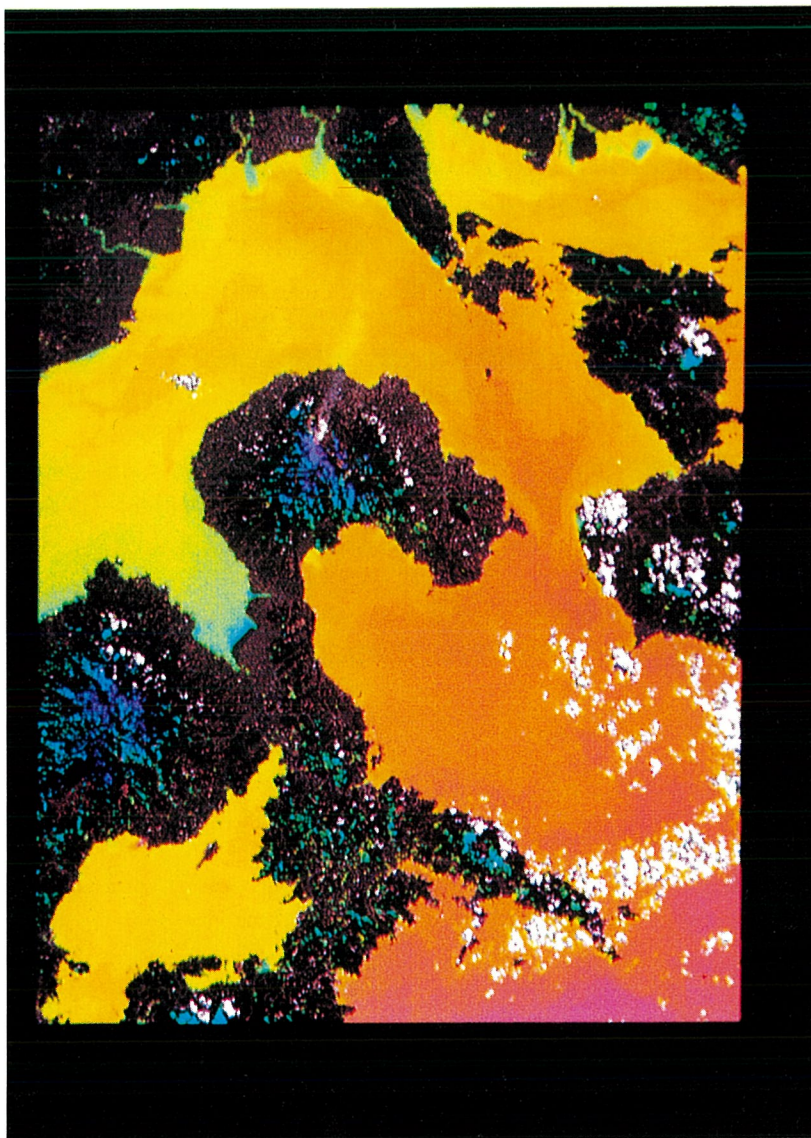


Photo.1. A synthetic image of the Unzen volcano (Dec. 4, 1991).

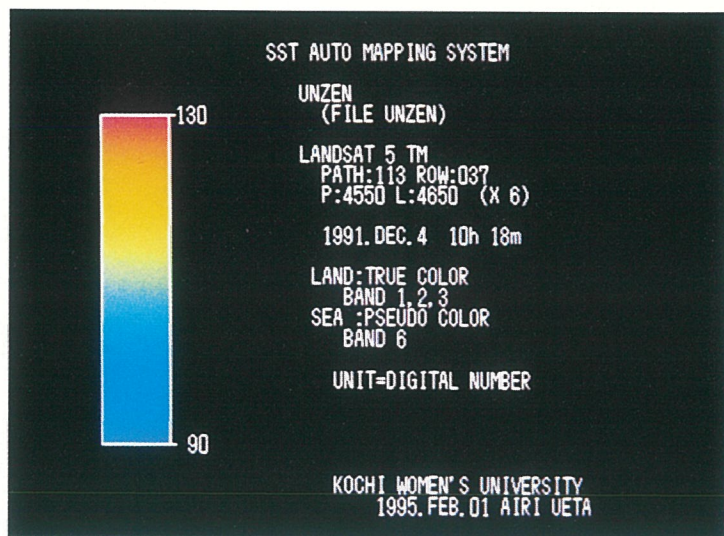


Photo. 2. A color scale image indicating digital numbers of TM band 6.

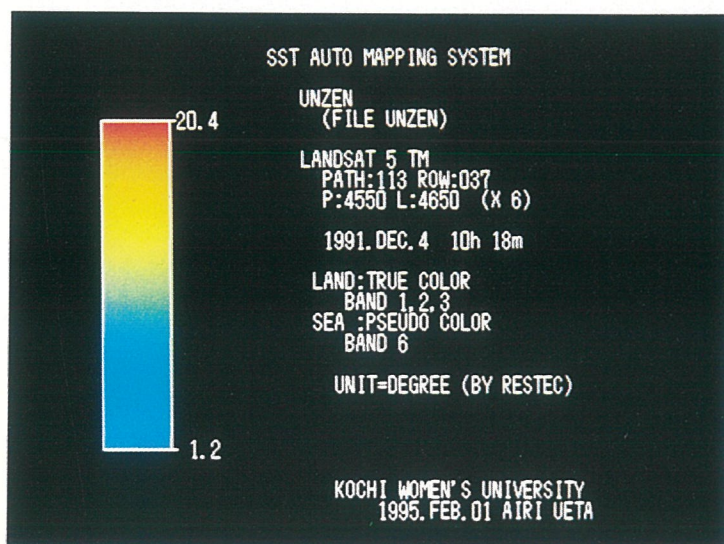


Photo. 3. A color scale image indicating estimated temperature in °C.



Photo. 4. A true color image of the Unzen volcano.

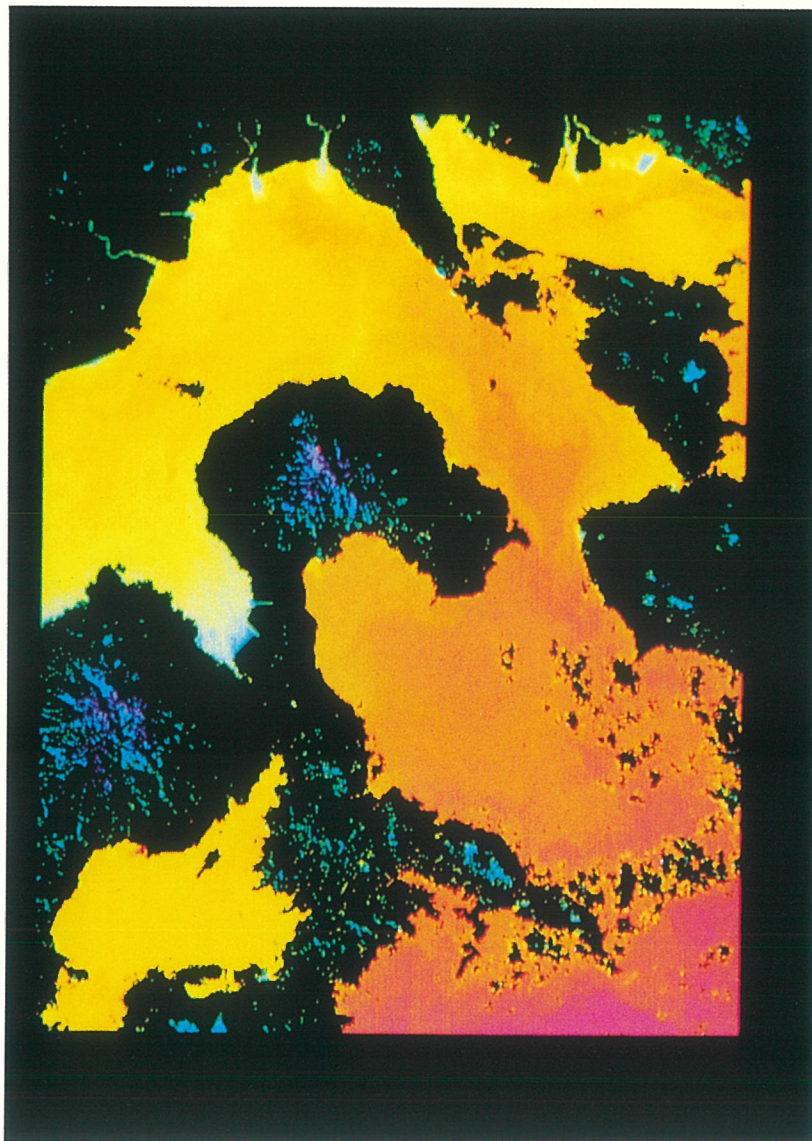


Photo. 5. A pseudo color image from thermal infrared data (TM band 6) for the area showing the smaller DN in TM band 4.