

ランドサット TMデータを用いた 海岸湧出地下水の遠隔探査

長崎大学工学部

同 上

日本道路公団

近畿大学九州工学部

正会員

学生会員

後藤恵之輔

藤田 徹

川内 清明

森 正寿

1. まえがき

将来の水需要についてかなりの量の不足が予想されている長崎県島原、県央地区では、水資源の開発が急務となっている。島原、県央地区は地形上ダムサイトに適した場所が少なく、火山灰質の地質であるために降雨はそのまま地下に浸透し、海岸付近で被圧地下水として自噴したり海に流れ込んだりしている。河川も土壌の浸透性が高いことから、水無川が多い状況である。そのため、上流部でダムによる開発を行なうよりも、地下水の復元が期待できる河口付近、あるいは湧出地点での取水などによるほうが効果的である。

本研究は、島原地区全域にわたり、人工衛星によるリモートセンシングのデータを用いて、従来とは異なった視点から水資源開発のための調査を進めていこうとするものである。

2. 島原半島の地下水¹⁾

島原半島は中央部に標高約1300mの雲仙火山群があり、周辺になだらかな火山山麓が広がる。半島南部は標高200~300mの丘陵地帯である。半島中央部には、図-1に示すように東西方向に走る千々石断層、深江断層があり、雲仙地溝帯と呼ばれる断層地形を形成している。この雲仙地溝帯は島原半島で最も地下水の豊富な地域である。

島原側の地溝帯中の扇状地砂レキ層および眉山崩壊堆積物層は層厚100~150mに達し、その下位のローム層を経て不透水層となる竜石層が分布する(図-2参照)。島原市周辺の地域では、海岸付近または標高10~20mの線上に並んで湧水が分布しており(図-3参照)、島原市宇土の湧水は42000m³/dayにも達する。

半島西側も同様で、千々石扇状地末端部では、標高10~30mの線に沿って湧水地点が並んでおり、湧出量は20000m³/dayである。

半島南部の口之津層群中の帯水層は、南串山町田平、京泊付近に限られる。また、この口之津層群を東西に横切る有馬断層などによって盆状構造が形成される地域にも、被圧地下水が存在する。



図-1 島原半島の断層

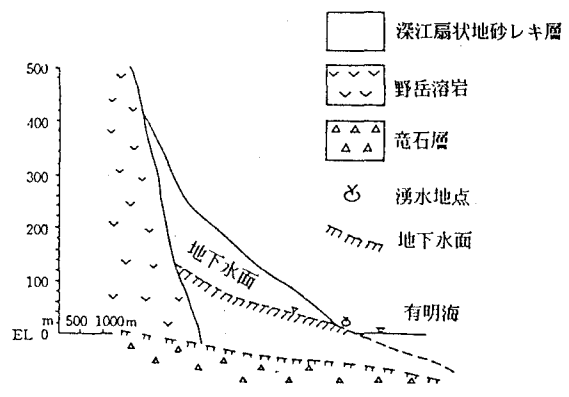


図-2 深江扇状地の地質断面図¹⁾

3. 解析の方法

直接海へ流出する地下水を水資源として利用するために、海岸部における地下水の湧出箇所を発見することが重要である。しかし、従来のように海岸線を踏査する方法では、大変な労力や時間を要する。そこで本研究

では、人工衛星データを用いて海岸湧水箇所と思われる場所を見つけ出し、地上調査対象区域を限定して、効率良く地下水の湧出箇所の探査を行うものである。

本研究で対象としている島原半島周辺の海域の海水温度は、2月で9～10℃、8月では28℃と年間で約20℃の変動があるのに対し、島原市内の地下水や湧水の水温は年間を通じほぼ17℃と一定である。また、地下水は海水よりも比重が小さいため海面上に浮上してくる。したがって、湧出する地下水は海面に温度差として現れ（図-4参照）、海面の温度分布を調べることで地下水の湧出箇所を見つけることができる。参考までに、島原市沖約800m、海面下1mの水温および塩分濃度の1年間の変化²⁾を図-5に示す。

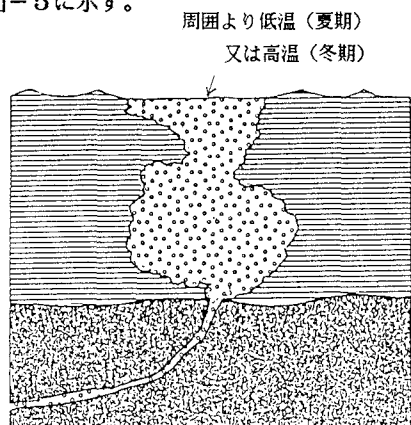


図-4 地下水の海域への湧出

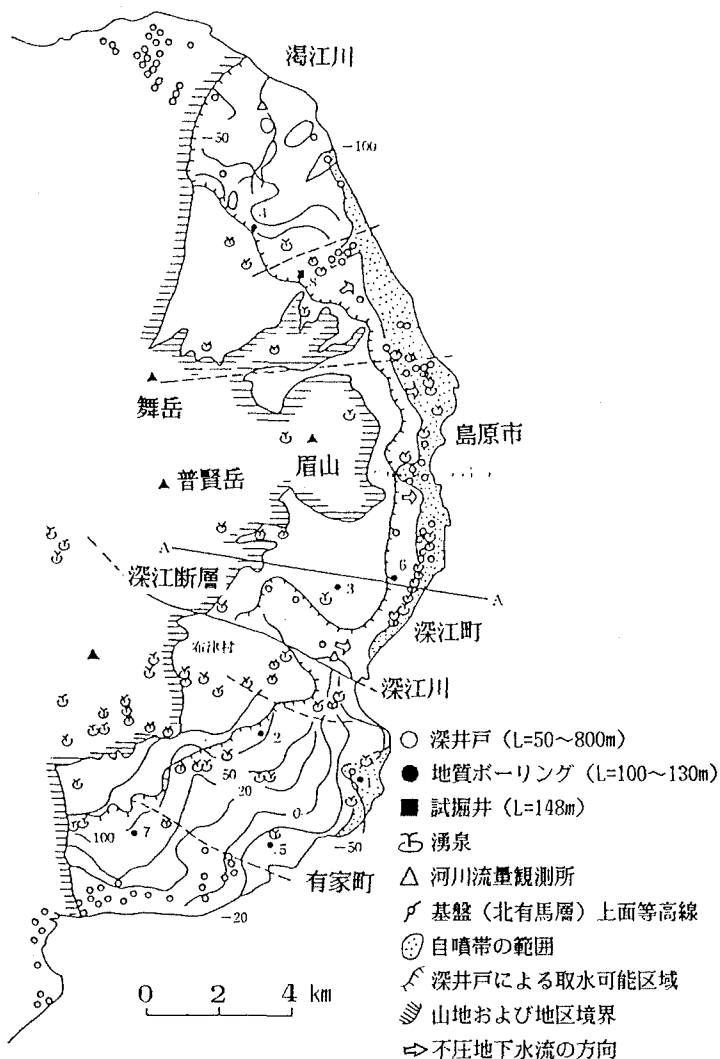


図-3 島原半島東部の水文地質図¹⁾

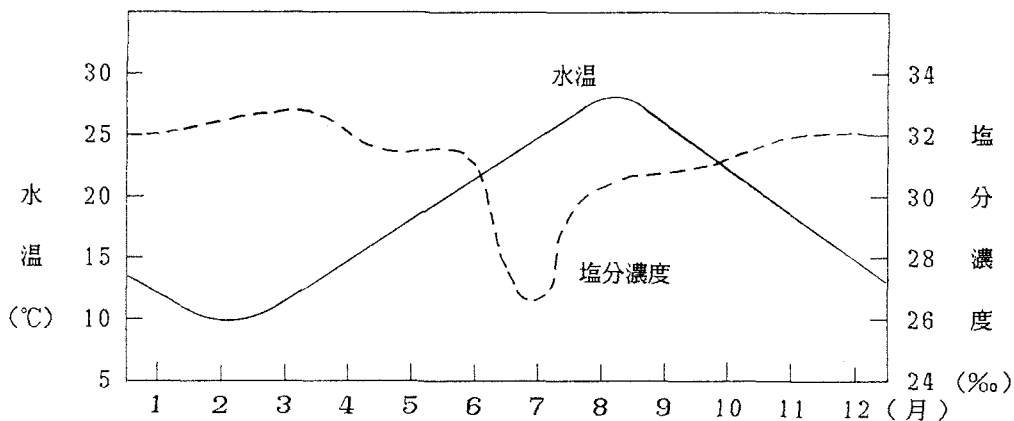


図-5 島原市沖の月別平均水温と塩分濃度

4. ランドサットデータの概要³⁾

ランドサットは地球の資源探査、環境の観測などを目的としたアメリカの人工衛星で、1972年に1号衛星が打ち上げられて以来、現在は5号衛星が観測を続けている。

ランドサットに搭載されているセンサーは、1～3号がマルチスペクトルスキャナー (MSS) とリターンビームビジョカメラ (RBV)、4、5号がMSSとセマティックマップパー (TM) である。これらのセンサーは地球から反射または放射される電磁波を観測するが、その観測波長帯を図-6に示す。

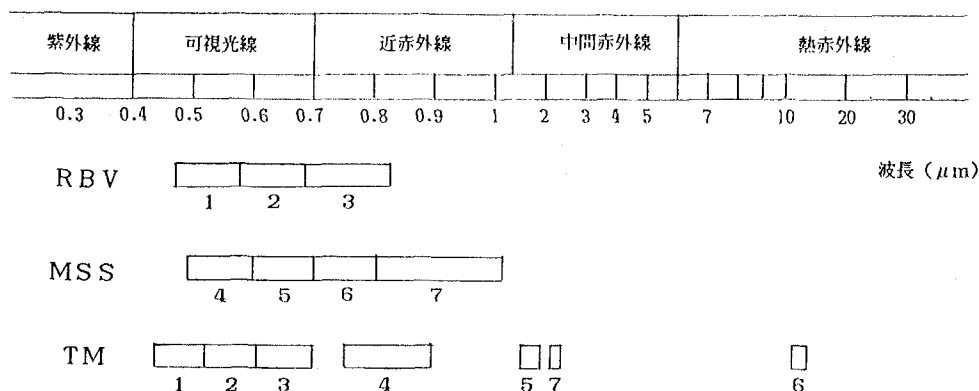


図-6 各センサーの観測波長域（波長域に付した数値はバンド番号を示す）

TMには1～7のバンドがあり、可視光線～熱赤外線を観測することができる。バンド1～5、7は解像度30m、バンド6は120mである。本研究では、熱赤外線領域（10.40μm～12.50μm）のバンド6を用いて海面の温度分布を調べることとした。

解析するランドサットのデータは磁気テープにCCT値として記録されている数値であり、直接には温度を表していない。そこで、リモート・センシング技術センターによる補正式でCCT値を補正した後に、対応する温度に換算した。

補正式は次のとおりである。

$$Y = 0.5932X + 45.12$$

ただし X：補正前CCT値

Y：補正後CCT値

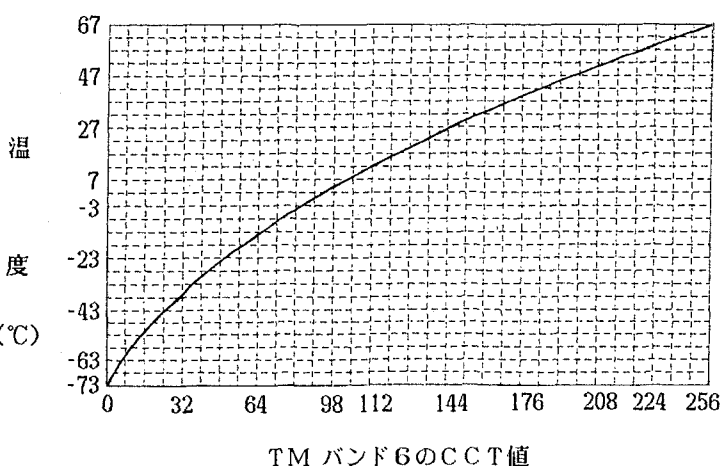


図-7 補正後CCT値と温度の関係

図-7に補正後のCCT値と温度との関係を示す。ただし、実際の島原市沖の水温は、図-7の値より5℃程度高いようである。

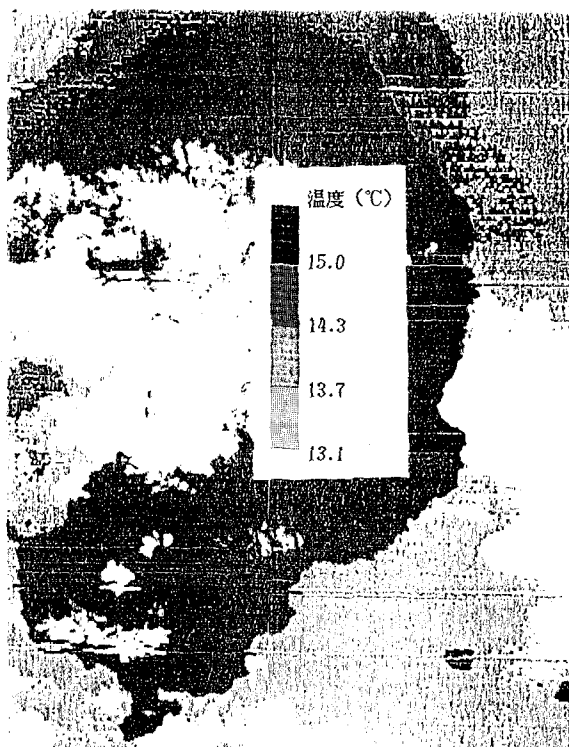
今回解析に供したランドサットデータは観測日が1984年5月22日、1985年8月29日、1987年9月4日、同10月6日のもので、いずれも観測した衛星はランドサット5号、パスローは113-37、観測時刻は午前10時17分である。

5. ランドサット画像の解析

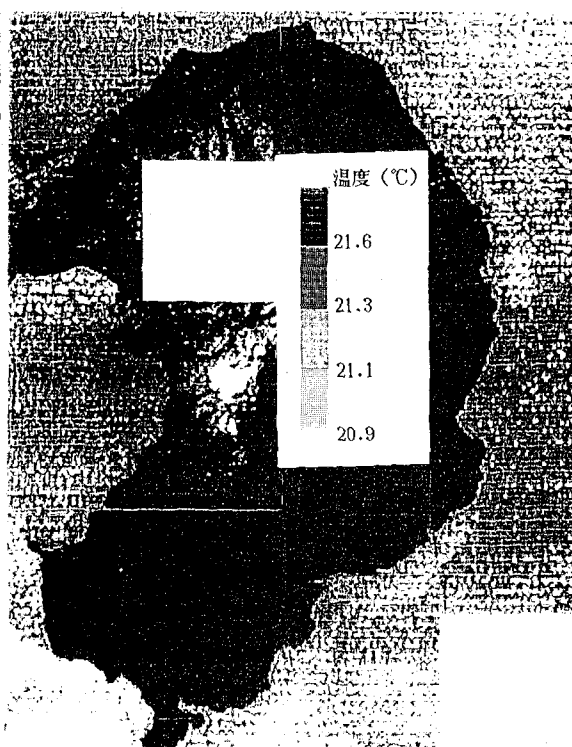
1984年5月22日、1985年8月29日、1987年9月4日、同10月6日のランドサットTMのバンド6のデータを解析し、得られた島原半島周辺の海水温度分布状況を図-8(a)～(d)に示す。この時期はいずれも、海水温度より地下水温のほうが低いことが分かっている（図-5参照）。

1984年5月22日の画像（図-8(a)）は雲の影響が大きい。上空に雲が存在すると、センサーは雲の温度を捉えるため、その部分の温度はかなり低くなる。半島中央部から小浜沖にかけては雲に覆われているため、海岸の判読ができない。しかし、雲の切れ間から、小浜沖合いにかなり水温の高い海域が存在することが分かる。半島東部の深江町沖の温度が低い部分も上空の薄い雲による影響である。この画像で目を引くのは、島原市北部海岸付近の低水温域である。この地点には流れ込む河川がない上に海岸付近には自噴井戸が存在する⁴⁾ことから、海岸近くの海底から地下水が湧出している可能性がある。

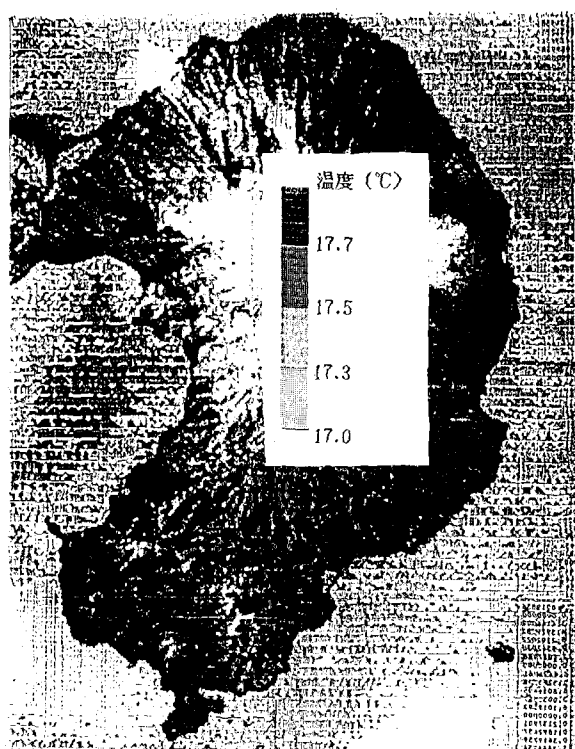
1985年8月29日の画像（図-8(b)）は雲の影響もなく、海水の温度分布が良く把握できる。この画像では島原市、有家、千々石、京泊の海岸付近に低温の海域があることが分かる。これらの地域は前記のように地下水の豊富な場所であり、低温の海水域は海底からの地下水湧出によると考えられる。また、小浜の海岸から沖合に



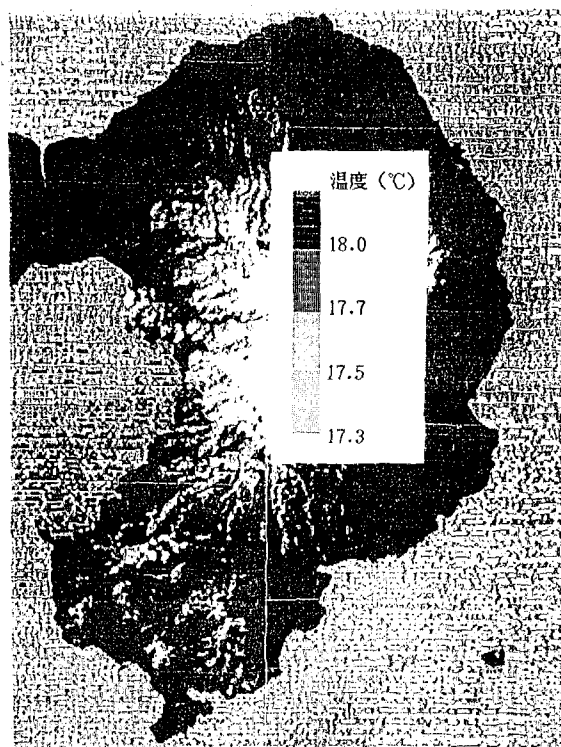
(a) 1984年5月22日観測



(b) 1985年8月29日観測



(c) 1987年9月4日観測



(d) 1987年10月6日観測

図-8 島原半島沿岸海域の水温分布 (温度はCCT値より換算。実際の温度はこれより5℃ほど高い)

かけて著しく温度が高い海域があるが、これは海底から湧出する温泉や小浜の温泉排水の影響と思われる。

1987年 9月4日の画像（図-8（c））では、島原半島北部に特徴的な低水温域の分布が見られる。ここには西郷川という島原半島では比較的大きな河川があり、この年の8月には多量の降雨があったことなどから、河川水の流出によるものと思われる。

河川水は、河口部から扇状に拡散しており、海底からの地下水湧出とは明らかに低温域のパターンが異なる。比較のために、1987年9月4日の西郷川河口部と 1985年8月29日の島原市沖の拡大図をそれぞれ図-9、図-10に示す。

その他に、千々石、京泊、島原の海岸付近も水温が低い。また、千々石から京泊にかけて海岸線に温度の低い点が見られるが、これは地形上の小規模な河川の位置と対応しており、河川水の流出と思われる。この画像でも千々石湾中央部は水温が高いことが分かる。

1987年 10月6日の画像（図-8（d））は全体的に海面の温度差が少なく、特徴的な低温域は見当たらない。小浜から京泊にかけての沖合いは比較的温度が高いようである。

以上の解析結果から、島原、千々石、京泊、有家の沖合いの海底から地下水が湧出している可能性が高いと考えられる。また、解像度120 mのセンサーに広範囲の低水温域として捉えられることから、その量も豊富であると想像される。なお、千々石の海岸付近の海底からは、地下水が湧出していることが別の海底調査で確認されている。

6. 現地海上調査

1984年 5月22日のランドサット TMの熱画像で地下水の湧出箇所と推測された島原市新田町沖の海上を、1987年 11月5日の午前中に調査した。図-11に調査した海域周辺のランドサット TM熱画像の拡大図を示す。

この海域を図-12に示すように、約300m 四方の11ブロックに分け、各ブロックにおける水温と塩分濃度を測定した。測定方法はブロックのほぼ中心に船を停止させて、船上から測定器を海中へ降ろし、海面から海底までの1 m毎の水温と塩分濃度を計測するとともに、各ブロックにおいて水深1メートル以内の表層水を採取し研究室に持ち帰り海水の塩分濃度をさらに詳しく調べることにした。

測定した水温の分布を図-13に示す。この結

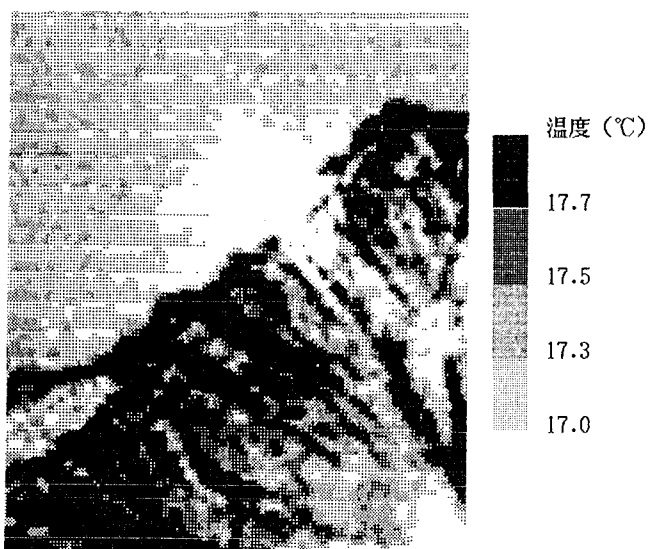


図-9 河川水の流出状況（1987年9月4日観測）

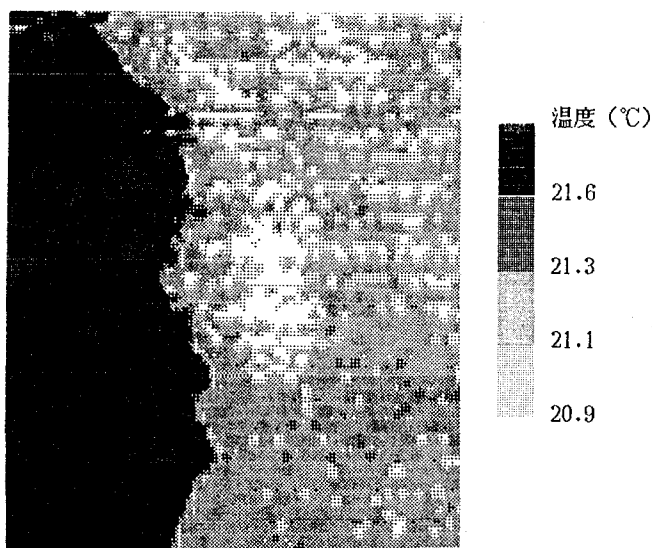


図-10 島原市沖の低水温域（1985年8月29日観測）

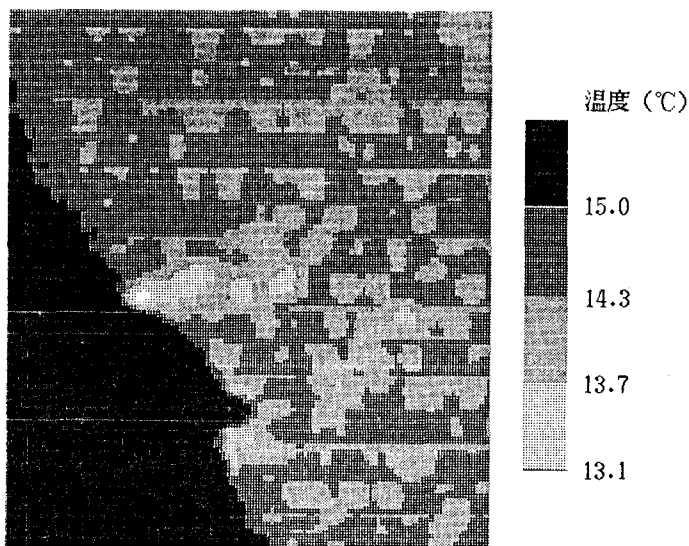


図-11 島原市新田町沖の熱画像（1984年5月22日観測）

果から、海岸に近いブロックの水温が低いことが分かる。今回調査した11月初旬は海水よりも地下水のほうが温度が低いことから（図-5参照）、これは海底部から地下水が流れ出していることを示すものではないかと思われる。

同時に測定した塩分濃度については計器の精度が低く、信頼できるデータは得られなかった。

海上において採取した表層水については、硝酸銀溶液を用いた塩素イオン濃度の滴定を行った。その結果を表-1に示すが、場所による違いは見られない。これは、観測当日の海上は風が強く波がかなり高かったため、海表面が攪乱されていたものと考えられる。

また、島原市沿岸の実状を知るため、島原漁港において複数の漁師から聞き取り調査を行なった。それによると、漁港すぐ沖の九十九島内の島で深井戸を掘ると海水ではなく淡水が出た、漁港近くの水産養殖でいけすの水槽に海水を引くためボーリングを行ったところ淡水が揚がってきた、冬期に島原新港の沖合いで海面から水蒸気が出ているところがあった（地下水の湧出と思われる）、などの情報が得られた。

これら人工衛星リモートセンシングの解析結果や海上実測および現地での聞き取り調査から、島原市沿岸には地下水が湧出している可能性が高いと思われる。

7. あとがき

今回の解析のように広い範囲を同時に調査する場合において、人工衛星を用いたリモートセンシングは有効だと思われる。この手法による海岸湧出地下水の探査方法は、他の水不足に悩む離島などの地域の水不足解消に役立つことが期待される。

謝辞：本研究を進めるに当たり、解析および現地調査に協力いただいた大学院生・後藤正孝君（現復建調査設計備）と昭和62年度卒業研究生、ならびに貴重な資料を提供いただいた建設技術研究所・中山比佐雄氏と本学大学院海洋生産科学研究科助手・武政剛弘氏に、深甚の謝意を表する次第である。

参考文献 1) 農業用地下水研究グループ：日本の地下水、地球社、pp.824～828、1986年9月。
 2) 長崎県水産試験場島原分場：第47回西海区ブロック漁海況連絡会議浅海分科会資料、1987年9月。
 3) 宇宙開発事業団：地球観測ハンドブック ーランドサット編・改訂版ー、pp.1-1～1-36、1986年10月。
 4) 九州農政局：地下水利用実態調査農業用地下水取水施設位置図、1976年6月。

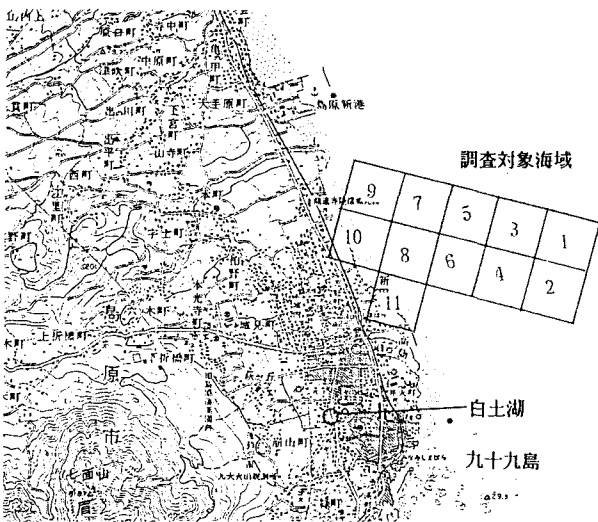


図-12 調査対象海域のブロック図

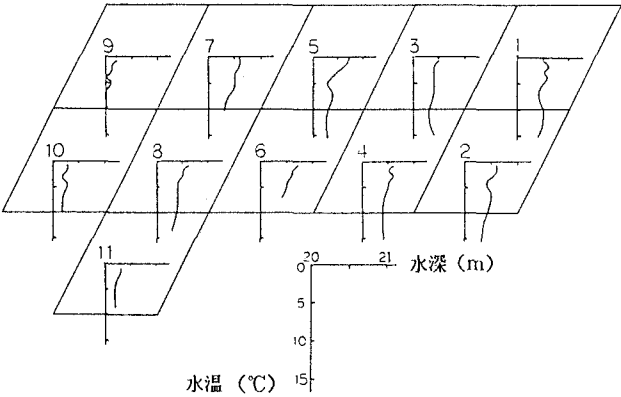


図-13 調査対象海域の各ブロックにおける水温分布
 (1987年11月5日調査)

表-1 C1⁻濃度の滴定結果 (1987年11月5日調査)

採水点	C1 ⁻ 濃度 (mol/l)
1	0.50
3	0.51
5	0.51
7	0.51
9	0.50