

対馬東水道及び周辺海域における海面温度の遠隔観測

後藤 恵之輔* ・三井田 恒博**
水野 信二郎*** ・川建 和雄***

Remote Measurement of Sea Surface Temperature in the Tsushima Eastern Channel and Environs

by

Keinosuke GOTOH*, Tsunehiro MIITA**, Shinjiro MIZUNO***
and Kazuo KAWATATE***

This paper remotely measured sea surface temperature in the Tsushima Eastern Channel and environs based on satellite data. Remote sensing data used for analysis were obtained with the AVHRR sensor on board NOAA-9 on July 15, 1985. Digital analysis of these AVHRR data yields a sea surface temperature map which shows the Tsushima Current flowing into Japan Sea through the Tsushima Eastern Channel. Comparison was also made between sea surface temperature estimated from AVHRR data and the vertical water temperature distribution measured directly, and the result clarifies the presence of a cold water region at the east off the Tsushima Island.

1. まえがき

対馬暖流は黒潮からの分岐流のうち最大規模のものである。九州西南沖合で黒潮主流から分離した暖流は九州西方を北上し、五島列島西沖から対馬海峡を経て日本海へ流れ込む。

著者のうち水野ら¹⁾は、昭和58年夏から対馬東水道において対馬暖流の測流を行ない、夏期における本海流の短期移動と冷水域の存在を明らかにしている。しかし、この測流は定点観測によっているため、その点における海中の鉛直情報は得られるものの、広域にわたる立体情報の取得にはほど遠い。

そこで、本研究では広域立体観測により冷水域の存在をさらに解明すべく、人工衛星データを用いて対馬東水道及び周辺海域の海面温度分布を求めるものである。衛星データには極軌道気象衛星NOAAのAVHRR(改良型超高分解能放射計)データを使用し、その観測日は定点観測が行なわれた期間に合わせ

て昭和60年7月15日とする。

2. 解析の準備

(1) 対象海域と定点観測

解析は対馬東水道の最強流域(対馬-壱岐間)を含んで、Fig. 1の海域を対象とした。図中、●印は昭和58

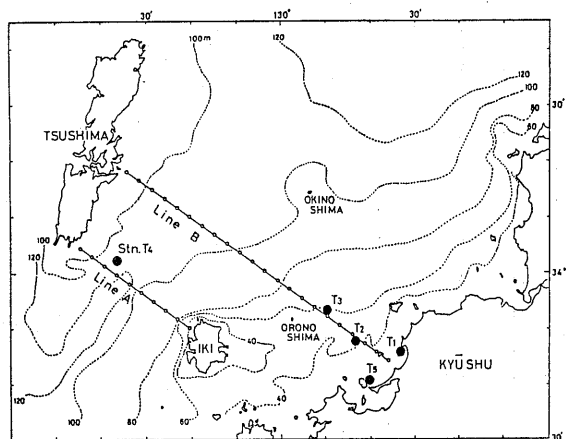


Fig. 1 Location of the Tsushima Eastern Channel¹⁾.

昭和61年4月30日受理

*土木工学科 (Department of Civil Engineering)

**福岡県福岡水産試験場 (Fukuoka Prefectural Fisheries Experimental Station)

***九州大学応用力学研究所 (Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University)

年度に実施した定置測流点 (T_1, T_2, \dots, T_5) を示す。測点 T_1 は九大応用力学研究所の海上観測塔で、測流に加えて気象データと水温の鉛直分布を測定した。測点 T_2 は観測塔の西方16kmにあり、運輸省第四港湾建設局の波浪観測用「玄界ブイ」の近辺で2層で測流した。測点 T_4 は対馬東水道中央 ($34^{\circ}03'N, 129^{\circ}25'E$) 最強流域で3層において測流した。観測期間は昭和60年度の場合、7月8日から9月3日までの58日間である。

Fig. 1の測線AとBは、流速計の設置航海時において水温と塩分の鉛直断面分布を計測したラインであり、測点間隔は4.8kmである。一例として、Fig. 2に

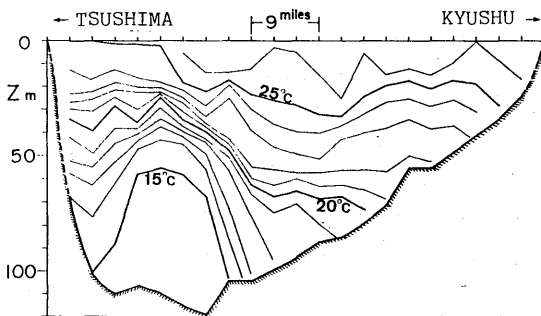


Fig. 2 Vertical profile of water temperature along Line B, July 28, 1983¹⁾.

測線Bにおける水温の鉛直断面図を示す(ただし、この図は昭和58年7月28日観測のもの)。この図によれば、対馬東水道の最深部(深さ100m前後)には水温15°C程度の冷水域がかなり広い範囲に分布していることが分かる。この冷水域は夏期の初めごろに生じやすいが、その理由は九州側の水深が浅いため加熱期に入ると急速に昇温するからである。

(2) NOAA衛星

現行のNOAA衛星はTIROS-N/NOAAシリーズの極軌道衛星として開発された大型の気象衛星である。その目的は静止気象衛星と相補い、気象予報・警報、海洋・水理業務、宇宙観測に改良された資料を提供することにある。

このシリーズは2個の衛星が1組になって、太陽同期で互いに逆方向にしかも互いに直角の軌道面を保ちつつ円形極軌道をまわっている。本シリーズの最初の衛星TIROS-Nは1978年10月に、他の一つNOAA 6号は1979年6月にそれぞれ打ち上げられた。現在は1984年8月に打ち上げられた9号が稼動中である。

Fig. 3に本衛星の外観、Table 1に衛星要目及び軌

道要素を示す。極軌道気象衛星として第3世代である本シリーズは直径1.9m、長さ3.7m、重量約1.4tの五角柱で、姿勢の安定は3軸制御方式によっている。

(3) AVHRRデータ²⁾

TIROS-N/NOAAシリーズに搭載しているミッション機器は、AVHRR(改良型超高分解能放射計)、TOVS(タイロス現業用垂直測定装置)、DCS(データ収集システム)及びSEM(宇宙環境モニター)の4種である。観測データはAPT(自動送画装置)とHRPT(高分解能送画装置)により記録・送信される。

本解析ではAVHRRのデータを利用する。AVHRRはITOS/NOAAシリーズに搭載されたVHRRの改良型で、Table 2に示すように可視・赤外波長域に5チャ

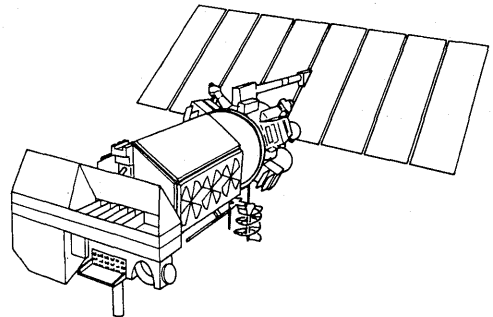


Fig. 3 General view of NOAA satellite.

Table 1 Principal characteristics of NOAA-9.

衛星要目		軌道要素*	
重量	736kg(運用時) 1406kg(打上げ時)	高度	859.612km
全長	3.71m	軌道長半径	7229.91km
直径	1.88m	軌道傾斜角	98.98°
太陽電池板の面積	11.6m ² (出力1.2kw)	周期(近地点)	102.067分
		離心率	0.001546
		昇交点通過時刻	1:00PM

*1986年2月14日午後1時3分43秒(日本時間)現在

Table 2 Spectral bands for AVHRR on NOAA-9.

チャンネル	観測波長帯域(μm)	
1	0.58~0.68	可視光
2	0.725~1.10	近赤外
3	3.55~3.93	中間赤外
4	10.5~11.3	熱赤外
5	11.5~12.5	

ネルの観測波長帯域をもつ。第1チャンネルにおいては可視光の反射強度により雲、氷、陸地等を見る。第2チャンネルは従来の可視光チャンネルのうち長い波長のものを分離するもので、陸地、海・氷・雪、結氷・解氷の識別に役立つ。第3チャンネルは従来の赤外バンドに近いもので、海面温度の測定に用いられる。第4チャンネルは熱赤外で第2の大気窓といわれるチャンネルであり、昼夜間の雲分布と海面温度を測定する。第5チャンネルでは、水蒸気による吸収の影響をよりよく補正し海面温度測定を改良する。いずれのチャンネルにおいても、分解能は1.1kmである。

我が国では、気象庁の気象衛星センターにおいてAVHRRのHRPT信号が受信されている。HRPTは高分解能のデータを、1698MHzと1707MHzで360本/分の標準ファクシミリにより位相変調のデジタル信号として送信する。データの読み出しは地上受信局上空で指令により高速で行なわれるが、HRPTのデータは軌道一周分を記録できないので必要な地域のみとなつ

ている。

(4) 海面温度の計算

本研究では、以上の5チャンネルのうち第4チャンネルの熱赤外データを用いて海面温度を計算する。データは磁気テープ中に0~255の範囲の数値(CCT値という)として入っており、海面温度はこのCCT値から直接求めることができる。

AVHRRデータから計算される海面温度は、実際のそれより低めに求められ、その誤差の程度も一定でない。その原因は、海水のもつ物理温度と見掛けの輝度温度との間に差のあること、また大気を通過する間に大気中の水蒸気などの吸収媒体によって放射輝度エネルギーが減衰されることによる。しかし、ここではこのような大気効果の補正は行わず、AVHRRデータによる値をそのまま海面温度として扱うこととする。

3. 解析の結果

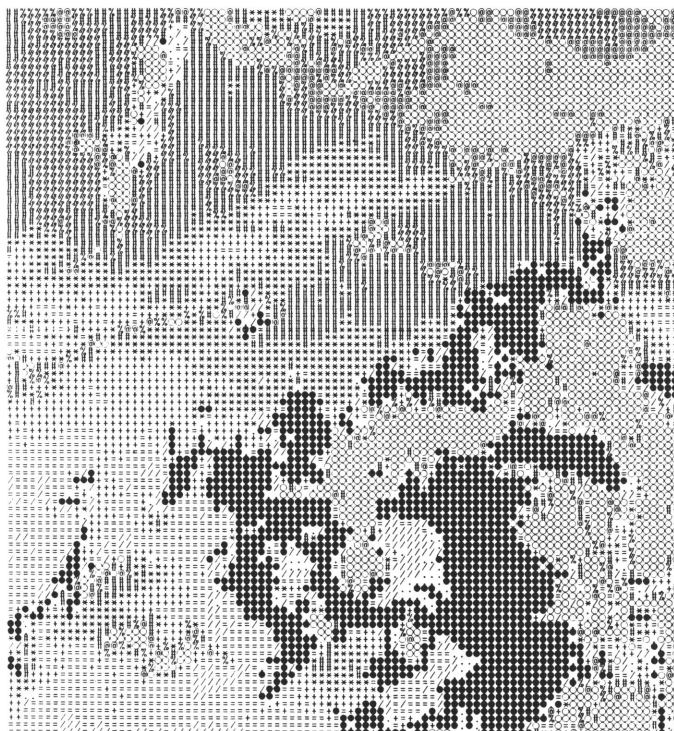
(1) 温度分布

使用したデータは昭和60年7月15日午後2時28分(日本時間)にNOAA9号により観測されたもの(軌道No.03030)である。解析対象地内の温度の最低、最高値をそれぞれ5℃及び30.5℃に設定する。このとき最低、最高温度はCCT値でそれぞれ0、255に相当するため、温度は $t(℃) = 5 + 25.5/255 \times CCT$ で計算される。

温度を10段階に分け各レベルを記号で表したグレイマップをFig.4に示す。この図では地形を明らかにするため、範囲を解析対象地だけでなく南は長崎、熊本まで含んでいる。各記号はひずみが補正された3km平方の大きさであり、最低温度(20.0℃以下)の○印は雲を表すようである。最高温度(24.1℃以上)の●印は陸地で、山口から福岡、佐賀、熊本にかけての内陸部は大半雲に覆われ、対馬の一部にも雲のあることが分かる。

(2) 海面温度

Fig.5はFig.4の温度分布図から作成した海面温度のコンター図である。図中の数値は温度(℃)を表す。両図から、海面温度は南の方が北より高く、その温度の高い海流(対馬暖流)が対馬と九州に挟まれた対馬東水道に流入していく様子が明瞭に見てとれる。



***** GRAY MAP LEVEL *****		
No. 1 =	○	5.0-20.0℃
No. 2 =	◎	20.1-20.5
No. 3 =	⊗	20.6-21.0
No. 4 =	⊕	21.1-21.5
No. 5 =	*	21.6-22.0
No. 6 =	+	22.1-22.5
No. 7 =	=	22.6-23.0
No. 8 =	/	23.1-23.5
No. 9 =	.	23.6-24.0
No. 10 =	●	24.1-35.5

Fig. 4 Gray map for temperature estimated from AVHRR data, July 15, 1985.

Fig. 5をFig. 1の測線Bについて見るとき、対馬寄りの海域に周囲より温度の低い箇所のあることに気付く。これは、雲の可能性を否定できないが、Fig. 2の水温断面図と照合することにより冷水域と判断できる。これを明らかにするため、測線B上の温度分布をFig. 6に示す。Fig. 6をFig. 2と対比すれば両図とも対馬側で温度が低くなっており、水温の断面図、平図面いづれからも冷水域の存在を認めることができる。ただし、Fig. 2は昭和58年7月28日、Fig. 6は昭和60年7月15日の観測であり、観測日の相違に注意しなければならない。

4. あとがき

NOAAと同様に海面温度を把握できる人工衛星には、現在LANDSATがあり近い将来にはMOS-1がある。LANDSATはセンサーとしてTM(セマティックマップパー)を搭載している。TMは熱赤外バンドの分解能が120mと大きいものの回帰周期は16日と長い。MOS-1は我が国が昭和61年度中に打ち上げを予定している海洋観測衛星である。その回帰周期は17日であり、搭載するセンサーの一つVTIR(可視熱赤外放射計)は熱赤外域で2.7kmの分解能をもつ。これに対して、NOAAは分解能1.1kmとLANDSATのTMよりかなり劣るが同一地域を1日に2回観測し状況変化の激しい海洋の観測に適している。今後お互いに一長一短を補いつつ、NOAAはLANDSAT, MOS(分解能の向上が望まれるが)とともに海洋観測にその偉力を発揮すると期待される。

NOAAの問題点は、AVHRRデータから計算される海面温度が大気効果のため実際のそれより低目であることにある。本文においても、この大気効果を補正することなく海面温度を求めた。しかし、これはAVHRRの第4チャンネルのみを用いたことにより、例えば第5チャンネルとの組み合わせによりこの補正は可能なようである。大気補正による正確な海面温度の計算については、他の観測日のデータ解析とともに稿を改めて発表したいと思う。

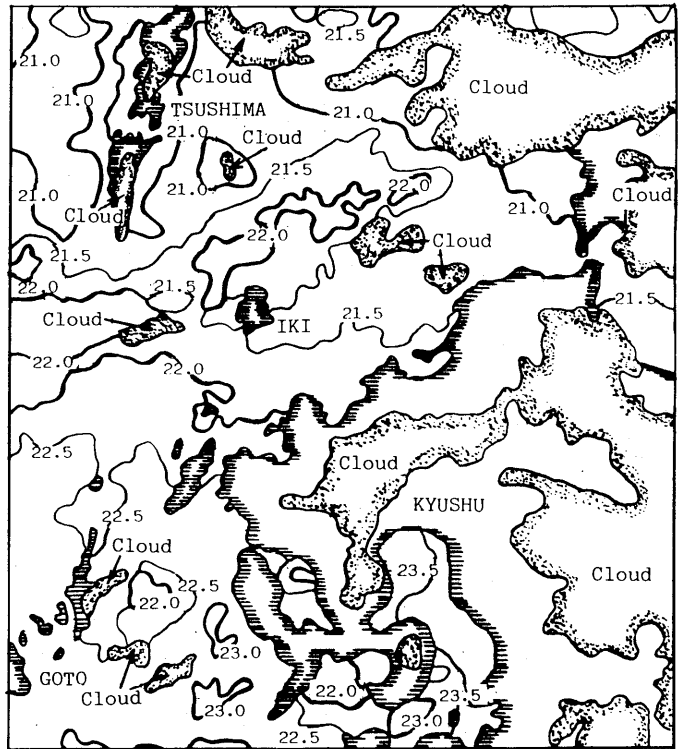


Fig. 5 Sea surface temperature map made by AVHRR data, July 15, 1985.

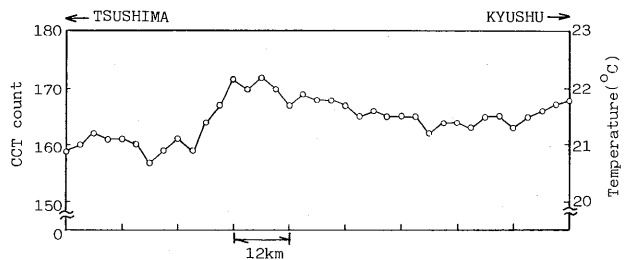


Fig. 6 Distribution of sea surface temperature along Line B, July 15, 1985.

最後に、本稿を草するに当りNOAA衛星及びAVHRRデータについて種々助言を頂いた日本気象協会・古賀真綱、斉藤誠一の両氏に、深甚の謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 水野信二郎・川建和雄・三井田恒博(1984): 対馬東水道と周辺海域における海洋観測, 九州大学応用力学研究所所報, 第60号, pp. 445~454.
- 2) 日本造船振興財団(1981): 人工衛星, JAFSAリモートセンシング資料, No. 1, pp. 38~43.