

## ランドサットデータを利用した沿岸水の分散過程の把握

小田巻 実\*

### UTILIZATION OF LANDSAT DATA FOR RESEARCH OF DISPERSION PROCESSES OF COASTAL WATER

Minoru Odamaki\*

*Received 1981 August 13*

#### Abstract

Remote-sensing data from satellites proved to be useful for ocean monitoring. But there are few cases which were utilized for the research of dispersion processes of coastal water. In this paper, LANDSAT images are compared with actual observations to investigate coastal processes in the Goto Sea area, and the west coast of the Tugaru Peninsula.

The results of analysis in Tatibana bay (Goto Sea area), can explain the flowing out process of coastal water, and seems to be in agreement with the tracking results of the drifting article.

#### 1. まえがき

ランドサットからの衛星情報による海況把握については、従来からいろいろな形で研究されている。例えば、落合・武田<sup>(1)</sup>は、ランドサット3号のMSS(マルチ・スペクトル走査計)情報から、赤潮の発生を監視できることを示した。また、1979年10月22日の駿河湾付近の画像から、湾口の大規模渦や海流の様子を把握する試み<sup>(2),(3)</sup>もなされている。しかし、これらは、あくまで海況の監視を目的としたもので、沿岸海洋過程の研究にとっては、単なる発想の材料を提供する役割しか持たない。そこで、シートルース(現場調査)をすることが強調され、現場と画像との対応が論議されているが、沿岸海洋の物理過程を探究する意味からは、現在のところ現場調査を主体にしたほうが判断しやすい。これには、ランドサットの撮影周期が18日で天候等の条件が悪いと2、3か月も間がとんでしまうといった利用のしにくさ、また、海面だけの情報で、しかも水温の情報がないといった制約が影響している。しかし、観測船もしくは係留系による観測はあくまで点の情報であって衛星画像の広域を同時に把握できる魅力も捨てがたい。実際、変動の激しい海域では少数の船で時間をかけて観測すると、時間的なずれのために見かけ上の空間分布しか得られない<sup>(4)</sup>。そこで、沿岸海域の調査をする際に、どのように衛星画像が利用できるのか、また、現場調査とどのように結びつけていくのか、一つの試みをしたので報告する。

開放型沿岸域で注目されている現象で、しかも衛星画像にはっきり写しだされる現象のひとつに、Coastal Entrapmentがある。Coastal Entrapmentとは、陸岸にそって卓越する流れがあるとき、沿岸水が沖向きには広がらず、岸沿いに延びることをいう(第1図)。このように陸岸沿いに分散された沿岸水は、気象擾乱や潮流の変

\* 海象課 Oceanographic Division

化・地形の変化などにより間欠的に外洋に放出されると想像される。この現象は、開放型沿岸域の水理構造を採るうえで重要な現象であり、沿岸域の生態系を考えるうえでも重要な役割を果たすと思われる。最近、津軽海峡周辺と五島列島海域で海象調査を実施した際に、ランドサットデータをあわせて調査したところ、前述のような Coastal Entrapment を思わせる沿岸水の広がりが写しだされていた。そこで、沿岸海洋過程調査の一環として以下に述べるような解析を試みた。

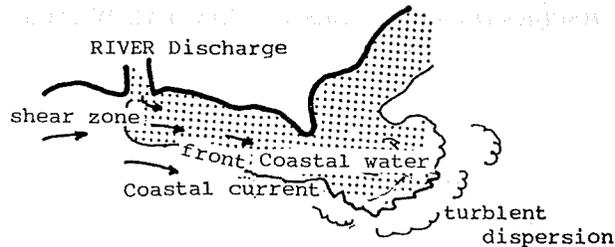


Figure 1 Concept of Dispersion process of coastal water in open coast.

## 2. 対象データと手法

使用したデータは、ランドサット2号と3号のMSSによるCCT(計算機用デジタル磁気テープ)と各バンド別のポジ画像である。第1表はこのデータの諸元を示す。対象とした画像は、津軽海峡周辺と五島灘海域で撮影状態のよい各2シーンを選んだ(第2表)。以下で、今回用いたデータ処理上の手法について記す。

Table 1 Specification of LANDSAT MSS data.

LANDSAT remote sensing data			
Band	wave length	color	level
MSS 4	0.5 - 0.6	Green	0 - 127
MSS 5	0.6 - 0.7	Orange	0 - 127
MSS 6	0.7 - 0.8	dark red	0 - 127
MSS 7	0.8 - 1.1 μm	reflective infra red	0-127
Size	E -- W 185km N -- S 178km	3240pixel 2340line	1 pixel (57m×76m)

Table 2 Used LANDSAT data.

	AREA	DATE	TIME	PATH-ROW	GAIN	FORM	SATELLITE
1	GOTO 1	1979 5/28	10:10	122-037	Low	BIL*	LANDSAT 2
2	GOTO 2	1980 11/18	10:17	122-037	Low	BIL*	LANDSAT 2
3	TUGARU 1	1979 11/ 9	9:38	117-031	Low	BIP2*	LANDSAT 3
4	TUGARU 2	1980 9/19	9:40	117-031	Low	BIL*	LANDSAT 2

\* BULK & CUBIC CONVOLUTION CORRECTION.

### (1) データの前段階処理

CCT上の画素数は、1シーンあたり758万余にものぼるため、そのままでは扱いにくい。そこで、まず縦横の画素を5分の1に間引いたファイルを作成する(第2図)。次に水域だけを取り出すために、このファイルから縦横3個ごとに画素を拾い出し、各バンドの輝度ヒストグラムを作る。バンド6のヒストグラム(第3図)では、水域と陸域が異なるピークを持ち、両者を区切る輝度値を求めることができる。この区切り値をも

とに、陸域を捨て、水域の輝度帯を拡大した画像を得ることができる。さらに、5分の1のファイルから一つおきに画素を取りだし、先の水陸区切り値を用いて水域の情報のみを残したファイルを作成した。このファイルはもとの CCT の10分の1(総画素数で100分の1)になり簡単な画像表示装置によって表示することができる。

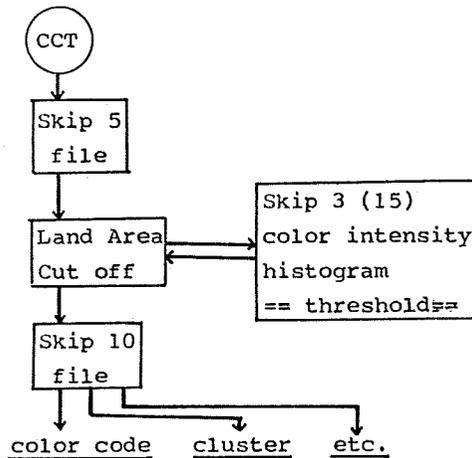


Figure 2 Flow chart of CCT data processing.

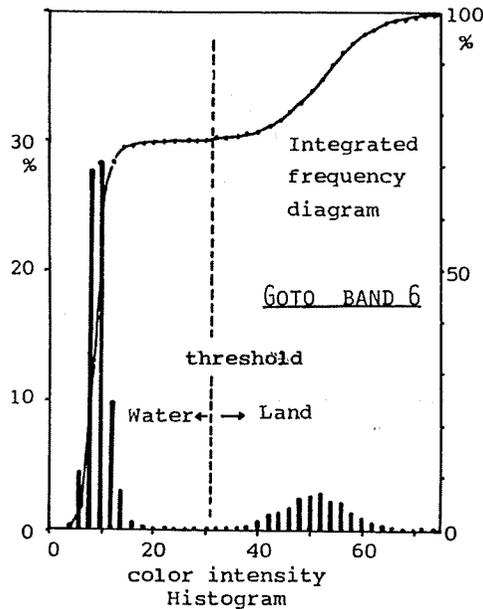


Figure 2 Determination of threshold value between sea and land from band 6.

(2) カラーコード表示

CCT 上の水域情報は、陸域に比べ輝度がかかなり低く、そのままでは水塊の判別がしにくい。前述のように水域の輝度帯を拡大し、輝度値ごとにさまざまな色で表示する。今回は16色調を用いた。

### (3) クラスタ分類表示<sup>6)</sup>

各バンド情報を総合的に用いて水塊を判別する。簡単にいうと、各バンドごとに座標軸をとり、各画素を多次元空間上の点として各点の相互の距離によって数個の塊（クラスター）に分割し、このクラスターによって水塊を区分する。今回は着目した領域から120点の画素を無作為抽出し、8個のクラスターを作って画面上の各点を色づけした。このクラスター分類の結果を直接表示すると、撮影時のノイズのためにとにかく細かいちらつきとなって現われやすい。このため次のような平滑化を行う。

### (4) 平滑化

画面上の各画素に第4図に示す3×3格子のマスクをかけ、回りの8個の画素のうち5個以上同一のクラスターのものがある時、中央の画素をそのクラスターに色づけしなおす。通常の意味の平均化操作では、境界付近や特異な分布がぼやけてしまうが、この平滑化操作では、多少境界の形が変わるものの、大局的な水塊配置は鮮明になり、しかも各クラスターが著しく乱れて並んでいる水域はそのまま残される。つまり、水界の均一性や混合の状態を見やすくできると期待される。そこで、この効果を見るために、五島灘の橋湾におけるクラスター分類の結果(3-1-i-iiを参照)を用いて、数度の平滑化を試みた(写真(a), (b), (c))。(a)はすでに2回の平滑化がされ、(b)と(c)はさらに2回ずつ平滑化したものである。画面の右側に位置する早崎瀬戸から南西方向へ流出する水の広がり(緑色の部分)はより明瞭になり、画面の左側のいろんな水塊が入り混じった部分(桃色がかった部分)は、モザイク状の模様が現れてくる。この平滑化を続けた場合、最終的にどのような状態になるのか、非常に興味深いのであるが、今回は6回の操作をしたにとどまった。後に示す図は、平滑化を1回したものである。

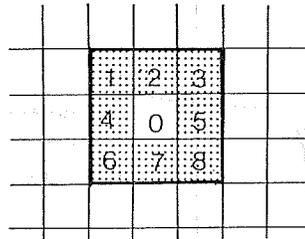


Figure 4 Filtering mesh of smoothing.

## 3. ランドサットデータに現れた沿岸水の広がりと海況特性

ランドサットは18日ごとに同一海域の上を同一時刻に通過する。津軽海峡では9時40分ごろ、五島灘海域では10時10分前後に通過する。過去2年間の画像の中から、撮影状態がよく沿岸水の広がりが写っているものを選んだ。現場の観測がある時は少なく、それも流速計による1点のみの観測である。しかし、他の時期の観測かわわっていることを合わせて、画像を解釈してみる。

### (1) 五島灘の沿岸流と有明海からの沿岸水

#### i 79年5月28日の画像

第5図に、バンド4と5に現れた沿岸水と思われる陰影と、各地の潮汐・潮流の位相を模式化して示した。写真2は、第2節で述べた操作によって陸域を消去し、水域情報を強調したカラー合成(a)と、野母埼付近の水域をクラスター分類(b)したものである。

平戸瀬戸の潮流は、五島灘から対馬海峡に向かって流れ、付近の水は北向きに広がっている。また福江島の

南にある水塊の広がり、この海域によく見られる東向きの流れに対応している。早崎瀬戸では有明海に向かう潮流が憩流に変わった所である。

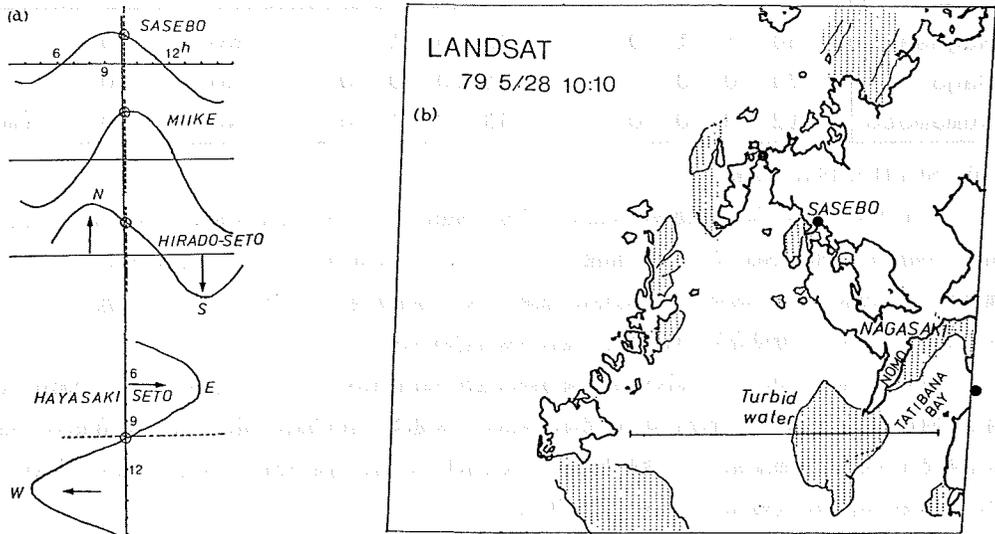


Figure 5 Goto 1 (a) Tide and tidal current phase at shattering time. (b) Schematic chart of band 5.

さて、野母崎の南西 10 km 程の所に中心域を持つ水塊に着目し、この水塊を東西に横切る線上で各バンドの輝度分布を描いたところ、各バンドとも同じ場所にピークが現れた (第 6 図)。これは、この水塊が相対的に白濁していることを示し、陸からの流出水であると考えられる。この地方の同時期の降水量の分布 (第 3 表) では、5 月 7 日と 13 日に豪雨があり、26 日にも若干の雨があった。この水塊は、集水域の大きい有明海からの流出水と考えられるが、26 日の雨は量が少ないので、13 日ころの雨によるものと思われる。降水の影響が、2 週間以上経過して、橋湾・野母崎付近に現れることは、たいへん興味深い。

この濁水の分布を流況と合わせて考えてみる。三池港 (有明海の中) は満潮となっており、早崎瀬戸では憩流となっている。橋湾付近にあった水は、早崎瀬戸の方向に移動していたと考えられる。このときの橋湾の岸沿いには、濁水が滞留している (写真 2 (b) の緑ないし茶色の部分)。つまり、有明海からいったん流出した水は、橋湾の沿岸ぞいとどまり、早崎

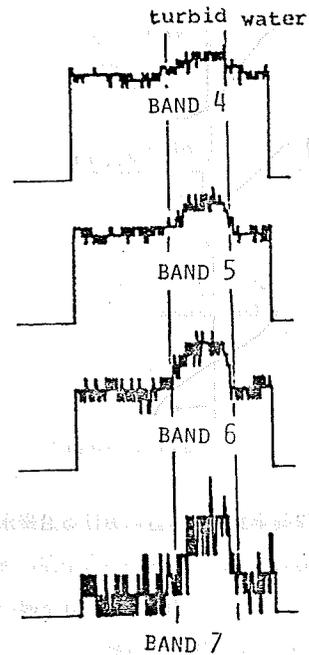


Figure 6 Each band value of cross line in the turbid water area. see figure 5

瀬戸東流時にもあまりもどされず、野母埼方向に漂流し、う回して北向きに広がってゆくものと想像される。

Table 3 Precipitation. 1979 May.

1979 May	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	---25	26	27	28
Nagasaki	34	1	1	0			36	6	1		1	--No--			0		
Saga	74	0	0				51	10	0	0	2	--No--			0		
Kumamoto	12	3	0	0			33	2	1	0	3	--No--			4		(mm)

## ii 80年11月18日の画像

バンド4のポジ画像には、対馬海峡に存在する潮境が明瞭に現れていた(第7図(b))。各地の潮汐・潮流の位相は、早崎瀬戸で西流最強、平戸瀬戸で南流となっている。バンド5のカラーコード表示(写真3)では、早崎瀬戸からの流出水(赤色の部分)が南西方向に漂流していく様子が現れていた。また、この画像およびクラスター分類(写真1)で野母埼をう回して北に流れる水も認められる。

以上のように橋湾の中には、岸沿いに野母埼方向に流れる沿岸流が2シーズンとも認められ、この流れは野母埼をう回して北上する。また野母埼瀬戸西流時に流出した水塊は、南西方向に漂流する。この結果は、西海区水産研究所が実施した海流瓶による調査<sup>7)</sup>と良い一致を示した。野母埼をう回した水塊が分散する状況の違いは、五島灘の恒流系の変動<sup>6)</sup>によるものと思われる。

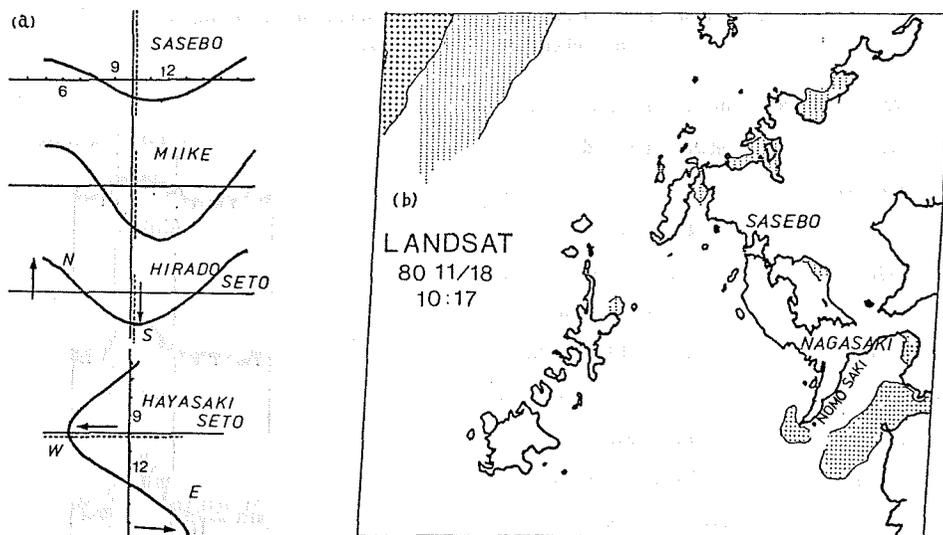


Figure 7 Goto 2 (a) Tide and tidal current phase at shattering time.  
(b) Schematic chart of band 4.

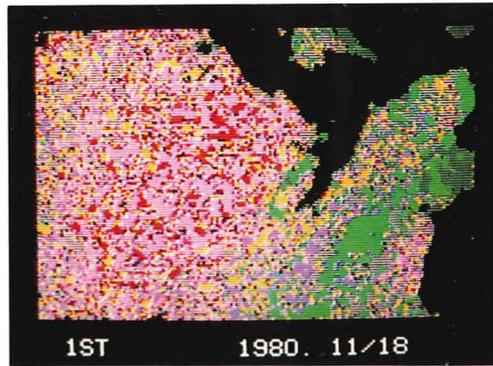
## (2) 津軽半島西口付近における沿岸水の分散

津軽海峡には、日本海から太平洋に抜ける強い海流(約2.5kn)があり、潮時によっては6kn近くに達することもある。この強い流れが日本海からどのような形で流れ込むのか、まだはっきりしていない。

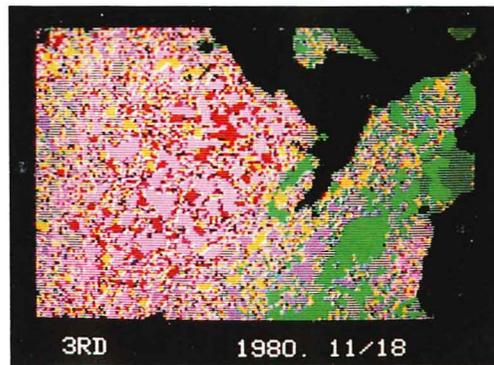
### i 79年11月9日の画像

バンド4のポジ画像を模式化して第8図に示す。このときには、日本海側で11月4日から5日にかけて40mm前後の雨が降った。十三湖付近では、岩木川から流れ出した水塊が重畳して広がり、権現崎をう回して、竜飛崎から三厩湾に広がっている。この画像には沿岸にへばりついた水塊が随所に認められ、北海道の日本海岸

( a )



( b )



( c )

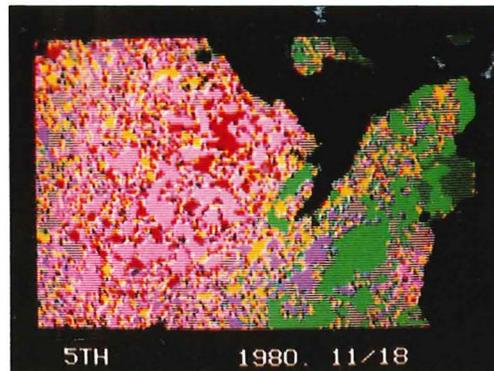
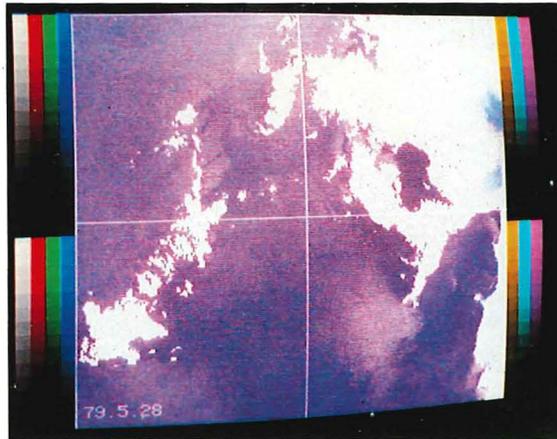


Photo 1. Filtering effect. (a) two time, (b) four times.  
(c) six times filtered.

(a)



(b)

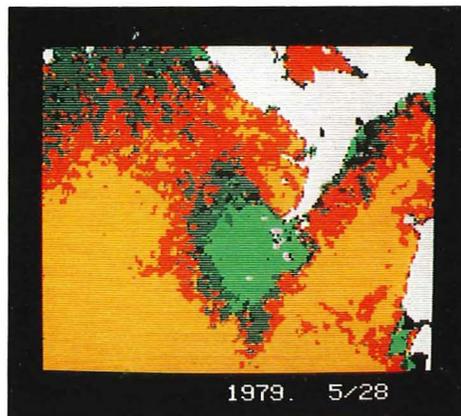


Photo 2. Goto 1. (a) Colour intensified photo. Land area is omitted.  
(b) Clustering chart. Green indicates turbid water.

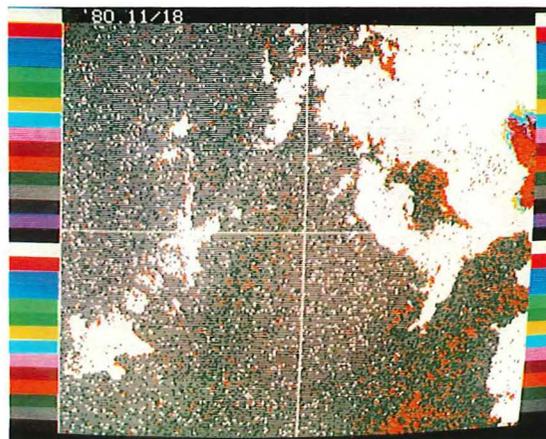


Photo 3. Goto 2. Colour code chart of band 5.

では、沖合に向かってきのこ状に突出している。バンド5の画像では、十三湖からの流出水が北向きに広がる様子だけがはっきり認められた。

三厩湾の沖に設置された流速計では、西向きに17cm/sの流れがあり、三厩の岸にある水塊は、この流れによって西に移動しているものと考えられる。

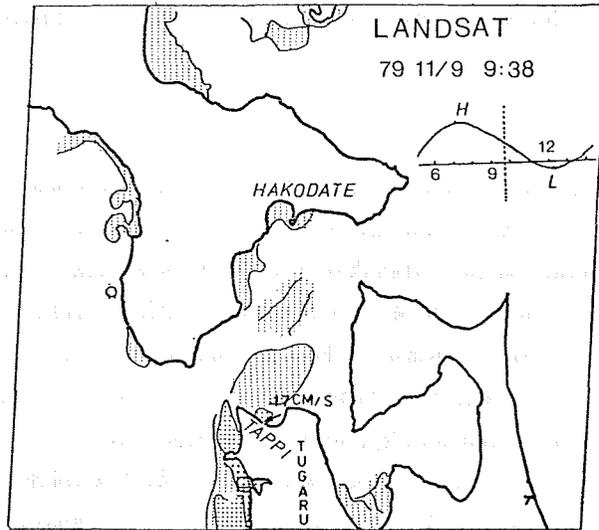


Figure 8 Tugaru 1. Schematic chart of band 4

ii 80年9月19日の画像

十三湖からの流出水は、前述のパターンと異なり、あまり拡散せずに前向きに線状に流出している（第9図）。付近の沖合に設置した流速計の記録では、 $189^{\circ} 53\text{cm/s}$ の値が得られている。この南下流は17日午後から始まり撮影時ころが最強で、21日には北流傾向となった。このような強い流れの中に放出された流出水は拡

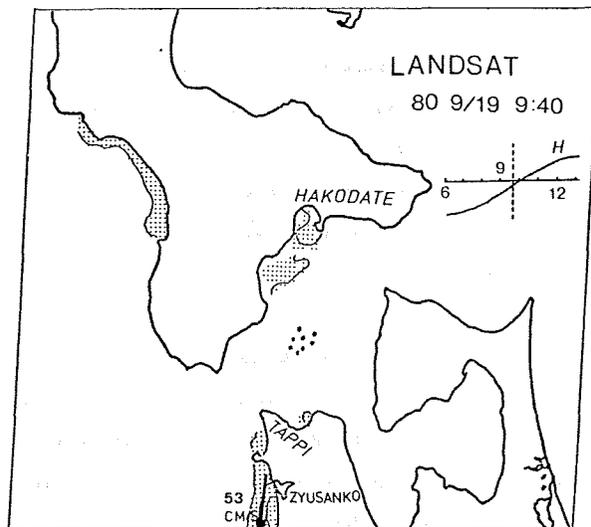


Figure 9 Tugaru 2. Schematic chart of band 4.

散する時間もなく、移流によって運ばれるものと考えられる。

以上のように津軽半島西側の沿岸水は、南に流出するとき、北向きに流出する場合とがあった。80年9月から10月にかけての流速観測では、4日から1週間程度の変動周期を持っていた。また、この付近の沿岸水は、南側の深浦港と北側の権現崎を結ぶ線より以西には広がっていない。79年の画像で沿岸水が重畳している状態は、この海域に閉じこめられた水塊が、変動する流れのために様々に重ねあわされたものと思われる。また、権現崎をう回して沖に出た水塊は、外にある対馬暖流系の流れにのって、津軽海峡方面に流されてゆくものと思われる。

#### 4. まとめ

Coastal Entrapment の機構を解明するには、岸近くに存在する沿岸流の構造を知ることが必要である。五島灘の橋湾では、岸に沿って左回りに野母崎方向に流れるものが見られ、この流れは恒常的に存在するようである。もちろん潮汐流のような周期流が瞬時的な流向を決めているものの、水塊の漂流する方向は前述の流れによって決められている。この漂流する水塊は、野母崎のような地形的な特異点付近で沖向きに放出され、外洋に分散してゆく。また橋湾の中央を南に向かった水塊もその外にある恒流系<sup>6)</sup>によって分散される。Coastal Entrapment とは前者をいうものであるが、この場合の流れの成因は、潮汐残差流のようなものと思われる。

津軽半島西岸では、十三湖からの流出水が、距岸 10 km 程度より沖には広がっていない。流出する方向は、北向きと南向きの場合とがあった。この流れは、直接、潮流の結果から見ると数日周期の変動をするようである。特に80年9月19日に見られた 50 cm/s 以上にもなる流れの出現は、たいへん興味深いことである。開放型沿岸域において、岸近くに集中した強い流れが出現することは従来から Coastal Jet (沿岸ジェット流) として知られ、G.T. Csanady<sup>6)</sup>によると、岸沿いに吹く風によって密度躍層が変動し、地衡流平衡により流れが生ずるとされる。その水平スケールは、内部変形半径程度で、約数 km となる。現場観測が流速計による1点のみのため詳しい状況はわからないが、ランドサットの画像はこの流況をよく反映していると思われる。

以上のように Coastal Entrapment などの沿岸諸現象を調査する際に、現場調査とあわせてランドサットなどの衛星情報を用いることにより、多角的な現象解明が可能となると期待される。

最後に、倉本茂樹海象調査官を初めとする海象課諸氏の有益な示唆・助言に感謝する。また、データ処理に協力を得た岡崎修平氏を初めとする日本造船振興財団の方々にも深く感謝する。今回のデータ処理には同財団のリモートセンシングデータ処理プログラムを使用させてもらった。

なお、今回のランドサットデータは宇宙開発事業団から無償提供を受けたものである。また、対象とした海域では、科学技術庁の特別研究調整費による「九州西方沿岸海域に関する総合調査」・「大型海峡及びその周辺海域における海水流動調査並びに底質変動調査」が実施されており、そのデータを一部参照した。

#### 参 考 文 献

- (1) 落合弘明, 武田 要 1979: LANDSAT-3 による沿岸水域の環境調査, 海と空, 第55巻1号, pp. 13-22.
- (2) 落合弘明 1980: リモートセンシングによる東海地方の海洋調査, 海洋学会秋季大会講演要旨集 167.
- (3) 加藤辰彦, 畠山祐二, 西村 司, 田中総太郎 1980: 御前崎における乱流境界層の剝離が生成する大規模渦について, 海洋学会秋季大会講演要旨集 169.
- (4) 井上尚文, 青山恒雄, 宮地邦明 1979: 沿岸域の海況調査方法としての多数船同時観測の有明海における試

行と意義, 海洋科学, Vol. 11, No. 5, pp. 448-457.

- (5) 渡辺貫太郎 1977: 海洋のリモートセンシング, 海洋科学基礎講座「海洋物理Ⅳ」, 東海大学出版会, 東京.
- (6) 小田巻 実 1981: 五島灘における潮流と恒流系に関して, 沿岸海洋研究ノート, 印刷中.
- (7) 玉井一寿, 井上尚文, 近藤正人 1970: 橘湾の流況, 橘湾をモデルとした海況および魚群分布調査報告, 水産庁西海区水産研究所.
- (8) G.T. Csanady 1977: The Coastal Jet Conceptual Model in the Dynamics of Shallow Seas. THE SEA, Vol. 6, pp. 117-144, John Wiley & Sons, New York.