

人工衛星リモートセンシングによる長崎県・大村湾内海流の調査と水理模型の相似性確認への応用

Investigation of Currents in the Omura Bay by Satellite Observation and
Its Comparison with Those in a Hydrogeological Model

兵頭 竜二*・後藤 恵之輔**・全 炳徳**・田中 稔***

Ryuji Hyodo, Keinosuke Gotoh, Byungdug Jun, Minoru Tanaka

In recent years, domestic sewage and industrial waste water are having a bad influence on water quality of the Omura Bay in Nagasaki prefecture. Therefore it is need to monitor water quality and clean up the Omura Bay.

In this paper, sea water of satellite observation are classified into water of the Omura Bay and water of the Sasebo Bay by maximum likelihood method, and currents of the Omura Bay are investigated. And the result are compared with currents in a hydrogeological model of the Omura Bay.

Keywords : (Omura Bay, current, satellite observation, hydrogeological model)

1. はじめに

長崎県のほぼ中央に位置する大村湾は、湾表面積320km²、平均水深14.8mの中型の内湾である¹⁾。この湾は、湾北部に位置する針尾瀬戸と早岐瀬戸の2ヶ所を通して、外海と接する佐世保湾との間で海水が交換される。このため大村湾は二重閉鎖性湾と呼ばれ、この湾の海水交換性は非常に悪いと考えられている²⁾。また、これに加え、近年の湾岸地域からの家庭雑廃水や工場及び団地などからの汚濁廃水の増加のため、大村湾の水質汚濁は年々悪化の傾向にある²⁾。

そこで著者らは、衛星リモートセンシングと実海域での水質調査とを組み合わせ定期的な水質監視や、計算機を利用した数値モデルや水理模型によるシミュレーションなどを利用して、大村湾の効果的な浄化策を検討することを目的とした研究を進めている^{3) 4)}。

本報告では、人工衛星リモートセンシング・データに含まれる佐世保湾と大村湾の海水部分のデータについて、最尤法による分類を行い、佐世保湾から大村湾に向かって流れ込む海水の様子を調査した。また、長崎県工業技術センターで既に導入している大村湾の水理模型の妥当性を検証するため、この水理模型による流入の実験結果と人工衛星リモートセンシング・データの解析結果との比較を行った。

2. 佐世保湾から大村湾に流れ込む海水の様子

2.1 人工衛星リモートセンシング・データの解析手法

人工衛星リモートセンシングによる観測データを用いることで、海水などの水質に関する特徴の調査が可能ながことが知られている⁵⁾。従って、人工衛星リモートセンシングで得られるデータの佐世保湾部分と大村湾部分との水質的なカテゴリ分類を行うことで、佐世保湾から大村湾への海水の流入または流出の様子を知ることができると考えられる。そこで本報告では、この海水の流入の様子を知るために、大村湾の満ち潮時に観測された人工衛星ランドサット5号のTMデータ（以下、単にTMデータと呼ぶ）を選び、水質的なカテゴリ分類を試みた。なお、このカテゴリ分類には、教師あり分類法の一つである最尤法⁶⁾を用いた。

(1) 解析に用いたTMデータ

本研究では、1991年から1994年にかけてのTMデータについて解析を行っているが、本報告では、これらの中から4つを選び報告する。本報告で取り上げるTMデータの観測日時と、その時の大村湾の満潮と干潮に関する情報を表1に示す。人工衛

表1 人工衛星の観測日時と大村湾の潮汐

人工衛星の観測日時	大村湾の潮汐	
	干潮	満潮
1991. 8/14 10:17	07:53(18)	14:00(79)
1992. 9/17 10:15	07:44(16)	14:05(73)
1991.12/04 10:18	03:47(8)	10:33(70)
1991.12/20 10:18	03:56(-1)	10:44(72)

注：()内は大村湾の潮位 [cm] を表す。

* 正会員 長崎県工業技術センター (856 長崎県大村市池田2丁目1303番地8)

** 正会員 長崎大学工学部社会開発工学科

*** 長崎県工業技術センター

星の観測時間と大村湾の満潮時刻との関係を考えると、1991年8月14日と1992年9月17日のTMデータは、大村湾が満ち潮の最中の観測データである。同様に、1991年12月4日と1991年12月20日のTMデータは、大村湾がほぼ満潮時の観測データである。

(2) 最尤法による解析

ここでは、1992年9月17日のデータを例に説明する。

TMデータは、人工衛星に登載されているセンサーの持つ帯域により、7つのバンドに分けて記録されている。従って、最尤法による解析を行うため、まず、各バンドのデータの特徴を調べ、図1に示す9つの教師領域を選定した。領域1は佐世保湾の一部であり、領域2～領域9は大村湾の一部である。また領域0は、佐世保湾から大村湾に向けて海水が流入していると考えられる領域の一部であり、この解析で分類抽出しようとしている領域に含まれる部分である。

ここで、目的の領域である領域0と教師領域である領域1～領域9について、各バンドのCCT値の平均値±標準偏差を表2に示す。例えば、表2に示すバンド1について説明すると、教師領域1のCCT値の平均値は78.1であり、教師領域2

～教師領域9のCCT値の平均値と比較して1.2以上の差がある。この差は、教師領域1のCCT値の標準偏差に相当する。このため、教師領域2～教師領域9についてのCCT値の平均値±標準偏差の値の範囲は、教師領域1の同様の値の範囲に完全には含まれない。これに対して、目的の領域である領域0のCCT値の平均値±標準偏差は 77.8 ± 0.7 であり、この値の範囲は教師領域1の同 78.1 ± 1.2 に含まれる。従って、これらの教師領域を用いて最尤法による解析を行うと、佐世保湾の海水と大村湾の海水との分類が可能であり、さらに大村湾内に流れ込んで来ている佐世保湾の海水を分類抽出することが可能と考えられる。

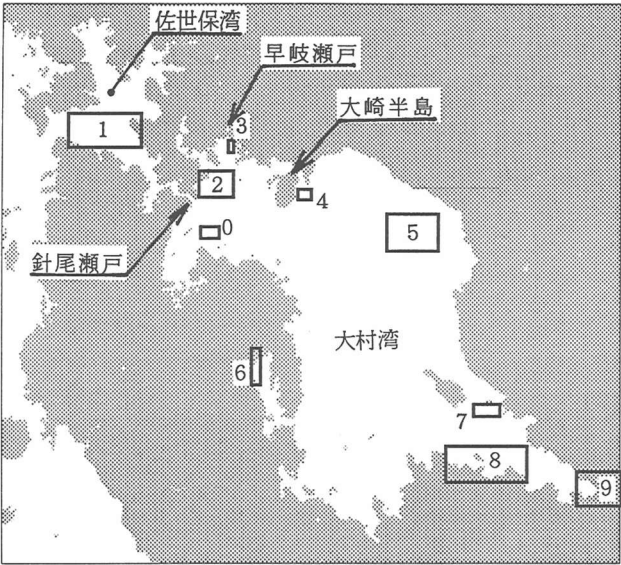


図1 教師領域の例 (1992年9月17日のTMデータの場合)

表2 目的の領域と各教師領域とのCCT値の統計的な比較例

バンド	目的の領域	教師領域1	教師領域2	教師領域3	教師領域4	教師領域5	教師領域6	教師領域7	教師領域8	教師領域9
バンド1	77.8 ± 0.7	78.1 ± 1.2	76.9 ± 0.8	80.2 ± 1.1	76.2 ± 0.9	71.3 ± 0.7	75.3 ± 1.6	73.0 ± 0.9	70.5 ± 0.9	74.3 ± 2.1
バンド2	28.9 ± 0.4	28.7 ± 0.5	28.0 ± 0.6	32.2 ± 0.8	27.7 ± 0.5	24.8 ± 0.4	28.2 ± 1.4	27.5 ± 0.6	24.8 ± 0.9	29.2 ± 1.5
バンド3	24.9 ± 0.6	24.8 ± 0.7	24.3 ± 0.7	27.8 ± 0.9	24.3 ± 0.5	21.5 ± 0.5	24.6 ± 2.3	23.5 ± 0.9	21.3 ± 1.0	25.5 ± 2.5
バンド4	14.5 ± 0.5	15.5 ± 1.6	15.6 ± 1.8	17.5 ± 0.6	15.4 ± 0.7	13.0 ± 0.6	18.3 ± 3.3	13.8 ± 2.0	14.0 ± 2.8	17.4 ± 4.2
バンド5	8.0 ± 0.7	8.7 ± 1.5	8.8 ± 1.6	9.1 ± 0.6	8.6 ± 0.7	7.4 ± 0.7	11.3 ± 5.7	7.8 ± 1.5	8.3 ± 3.7	11.7 ± 6.9
バンド6	144.3 ± 0.7	144.8 ± 0.7	145.0 ± 0.7	144.3 ± 0.8	144.6 ± 0.7	145.9 ± 0.5	145.6 ± 1.3	146.3 ± 0.5	148.0 ± 0.9	149.6 ± 2.1
バンド7	3.8 ± 0.6	3.9 ± 0.7	3.8 ± 0.7	3.9 ± 0.5	3.7 ± 0.5	3.6 ± 0.6	5.0 ± 2.9	3.6 ± 0.7	3.8 ± 1.7	5.3 ± 3.7

注：1992年9月17日のTMデータについて 平均値±標準偏差 を示した表。

図2は、1992年9月17日のTMデータについて、最尤法による解析を行った結果の例である。この図では、佐世保湾の一部である教師領域1と同じカテゴリに属すると判断される部分が白く表示されており、この様な部分が大村湾内に入り込んでいることが分かる。この結果から、大村湾の満ち潮時、佐世保湾から大村湾に向けて流れ込んでくる海水の様子を知ることができると考えられる。

また図2では、例えば大村湾の北部にある大崎半島の周りにも、教師領域1と同じカテゴリに属すると判断され、白く表示された部分がある。水質による分類や調査を行うだけでなく、この様に隣接湾からの流れ込みを調べる場合、今後は解析結果に画像処理を施す

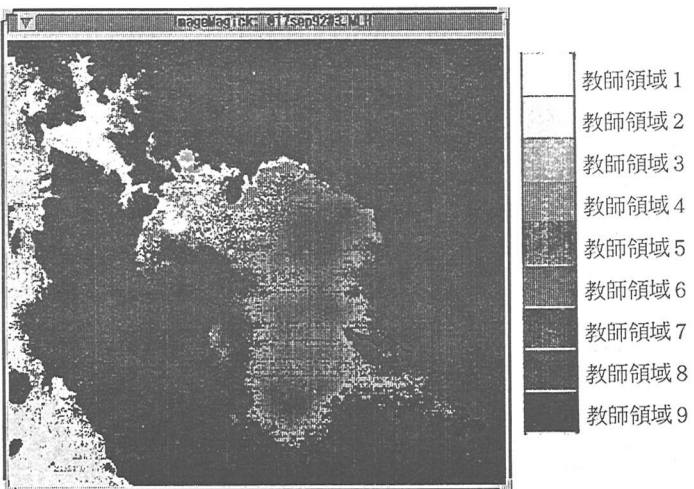


図2 最尤法による解析例 (1992年9月17日のTMデータの場合)

ことで、連続した同一カテゴリの領域を抽出する必要があると考えられる。

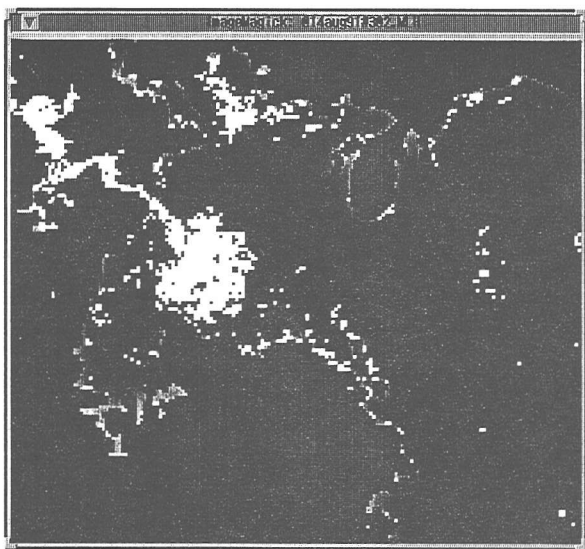
2.2 解析の結果

図3の(a)～(d)は、それぞれ1991年8月14日、1992年9月17日、1991年12月4日、1991年12月20日のTMデータの解析結果例について、佐世保湾と大村湾との隣接部分を拡大して表示した図である。これらの図では、佐世保湾の一部である教師領域1と同一の特徴を持つ海水として分類された領域のみを白く強調して表示している。

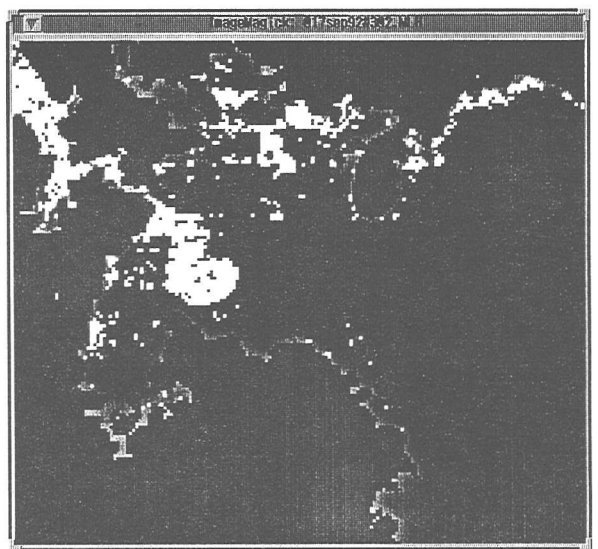
図3(a)と図3(b)の人工衛星の観測は、大村湾の満ち潮が始まって約2時間30分後に行われている。これらの図から、大村湾の満ち潮時、狭い針尾瀬戸を通った佐世保湾の海水は、勢い良く大村湾に流れ込み、反時計回りの渦を造り始めていることが分かる。

図3(c)と図3(d)の人工衛星の観測は、大村湾がほぼ満潮の時に行われている。これらの図から、佐世保湾から流れ込んできた海水は、大きく反時計回りの渦を造った後、その先端が大崎半島にまで達していることが分かる。また佐世保湾から流れ込んできた海水の一部は、大村湾の西側にも広がっていることが認められる。

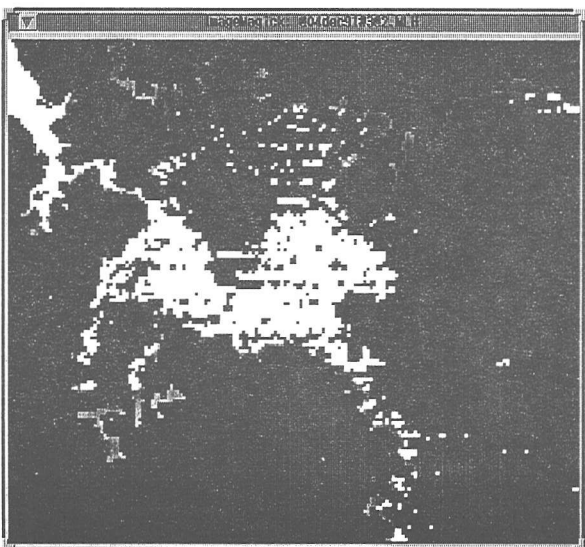
さらに、これら4つの解析結果例から、大村湾の満ち潮が始まってから満潮になるまでの間、佐世保湾から流れ込んできた海水は、大崎半島付近まで進入するが、その先までは進んでいないことなどが推測される。



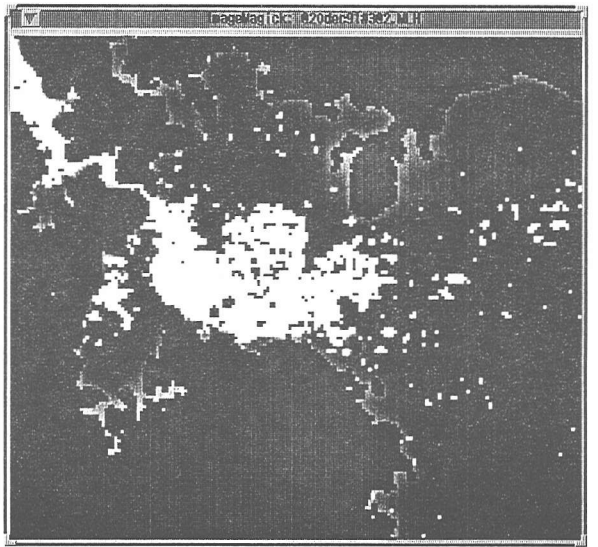
(a) 1991年8月14日



(b) 1992年9月17日



(c) 1991年12月4日



(d) 1991年12月20日

図3 最尤法によるTMデータの解析例

3. 水理模型内の流れの様子

3.1 大村湾海流シミュレーション装置

長崎県工業技術センターでは、大村湾内の潮流の様子を解析し効果的な浄化策を検討する目的で、既に図4の、「大村湾海流シミュレーション装置」の導入を行っている³⁾。

このシミュレーション装置は、水平方向と鉛直方向の縮尺がそれぞれ1/10,000と1/150の大村湾部分の水理模型や、計算機によって制御する潮流発生装置などによって構成される。

ここで、この水理模型は、設置する実験室の広さと模型の縮尺率との関係から、隣接する佐世保湾を省いた大村湾のみの水理模型となっている。このため、佐世保湾を省いたことにより生じる模型内の流れへの影響を最小限にするため、若干の修正が加えられている。

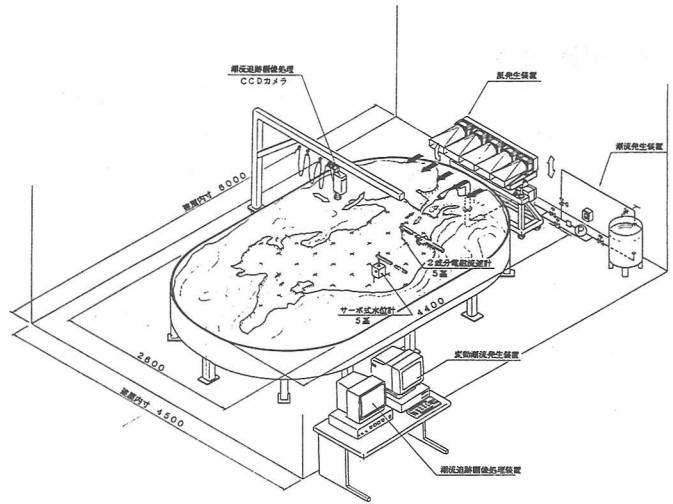


図4 大村湾海流シミュレーション装置の外観

3.2 水理模型による実験の方法

本報告では、対応するTMデータの解析結果と比較をするため、人工衛星の観測日時前後の、大村湾の潮汐に応じた実験を行った。この実験に使用した大村湾の潮汐に関する情報を表3に示す。なお、この表の値は、潮見表による佐世保港の潮時と潮高に、大村湾の値とするための修正を加えた値である。

(a) 1991年8月14日			表3 各TMデータに対応する実験に用いた大村湾の潮汐データ			(c) 1991年12月4日			(d) 1991年12月20日		
日付	時刻	潮位	日付	時刻	潮位	日付	時刻	潮位	日付	時刻	潮位
1991. 8/13	07:16	17.8	1992. 9/16	07:11	8.6	1991. 12/03	03:06	13.0	1991. 12/19	03:08	6.2
1991. 8/13	13:17	84.0	1992. 9/16	13:26	77.0	1991. 12/03	09:48	66.4	1991. 12/19	09:54	67.0
1991. 8/13	19:29	12.7	1992. 9/16	19:24	26.7	1991. 12/03	15:27	29.4	1991. 12/19	15:40	29.2
1991. 8/14	01:39	83.7	1992. 9/17	01:14	76.4	1991. 12/03	21:11	67.0	1991. 12/19	21:18	67.0
1991. 8/14	07:53	18.1	1992. 9/17	07:44	15.7	1991. 12/04	03:47	8.4	1991. 12/20	03:56	-0.5
1991. 8/14	14:00	78.8	1992. 9/17	14:05	72.9	1991. 12/04	10:33	69.7	1991. 12/20	10:44	72.1
1991. 8/14	20:04	20.8	1992. 9/17	19:08	32.1	1991. 12/04	16:14	28.9	1991. 12/20	16:32	26.7
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

注：潮位の単位はcm.

なお、実際の水理実験には、水理模型の水平縮尺と鉛直縮尺、さらに水理模型の相似律⁷⁾の一つである

$$t_r = l_r / z_r^{1/2}$$

(ここで、 t_r ：時間縮尺、 l_r ：水平縮尺、 z_r ：鉛直縮尺)

の関係式から、潮時と潮高の縮尺としてそれぞれ1/816と1/150を用いている。

次に、人工衛星が観測した時刻に対応する満ち潮の間、潮流発生装置から水理模型に向かって流れ込む水に染料を混入し、この染料によって着色された水域の動きを画像処理装置で観測した。この時の実験例を写真1に示す。また、図5の(a)～(d)は、図3の対応するTMデータの解析結果例との比較のため、染料で着色された領域を白く強調処理した図である。

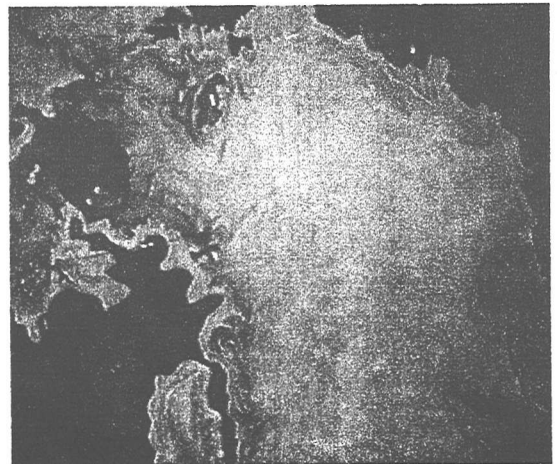


写真1 1992年9月17日のTMデータに対応する実験例

3.3 TMデータの解析結果との比較検討

(1) 大村湾の満ち潮時

図5(a)と図5(b)は、それぞれ1991年8月14日と1992年9月17日のTMデータに対応する、実験結果例を示し

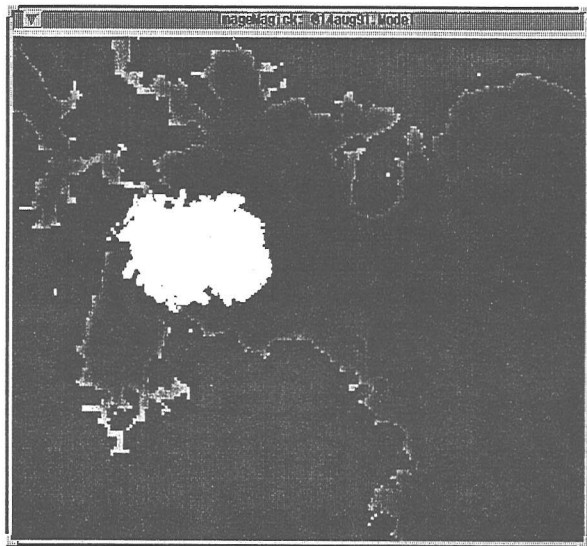
た図である。これらの図は、大村湾の満ち潮が始まってから約2時間30分後に相当する。

水理模型における実験結果例では、TMデータの解析結果例と比較して、

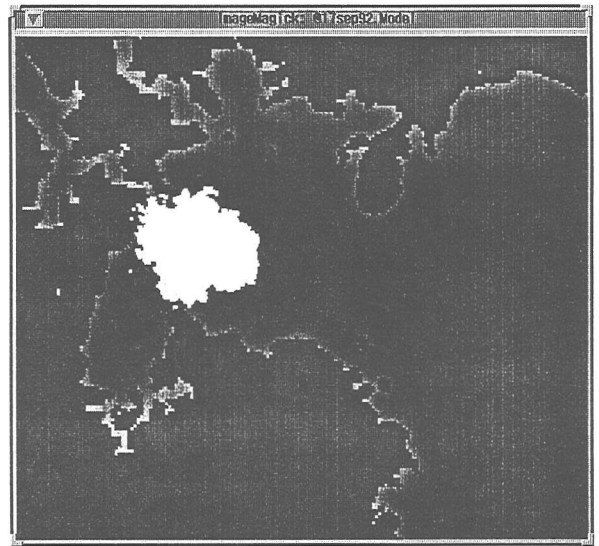
① 針尾瀬戸を通り大村湾に勢い良く流れ込む時に生じると思われる細い部分が見られない。この結果、針尾瀬戸を通った直後、広がりながら大村湾に流れ込む様子が見られる。

② この時点では、TMデータの解析結果例に見られる様な、反時計回りの渦の発生が見られない。

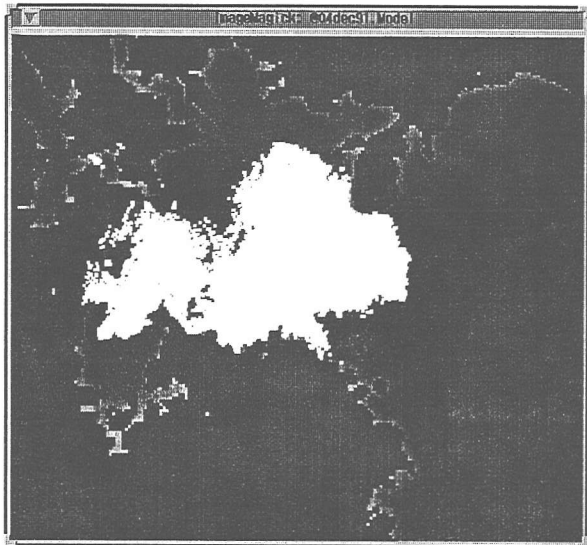
などの特徴がある。これらの現象の理由としては、水理模型の水平縮尺が1/10,000であるため針尾瀬戸の形状が正しく表現されていないことや、水理模型の表面材質が均一で粗度を十分に考慮していないことなどが、考えられる。



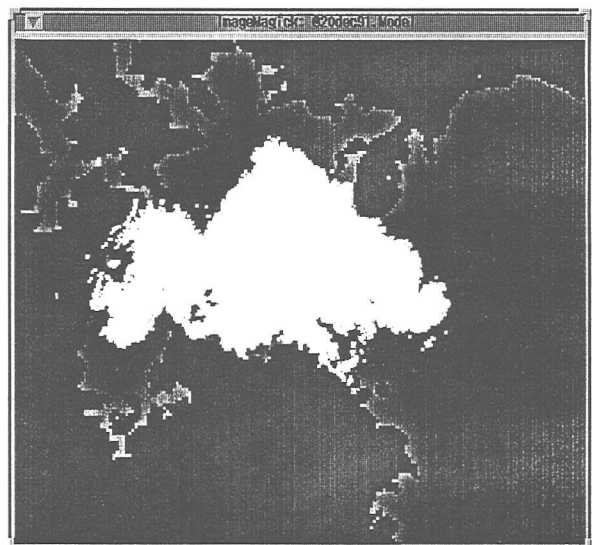
(a) 1991年 8月14日



(b) 1992年 9月17日



(c) 1991年12月 4日



(d) 1991年12月20日

図5 各TMデータに対応する実験結果例

(2) 大村湾のほぼ満潮時

図5(c)と図5(d)は、それぞれ1991年12月4日と1991年12月20日のTMデータの解析結果例に対応する、実験結果例を示した図である。これらの図は、大村湾のほぼ満潮の時に相当する。

水理模型による実験結果例では、TMデータの解析結果例と比較して、

① 針尾瀬戸を通った後の、南西側に向かう流れの量が多い様に思われる。

② TMデータの解析結果例に見られる様な大きな反時計回りの渦の形成が見られるが、形成されている渦の大きさが大きい様に思われる。

などの特徴がみられる。これらの特徴が生じる理由としては、まず、(1)の項で示した理由が考えらる。さらに、TMデータは海の表面のみを捉えているのに対し、今回の水理模型実験では使用した液体が透明であるため模型の底まで透けて見えることなどが考えられる。

4. おわりに

本報告では、1991年から1994年にかけての人工衛星ランドサット5号によるリモートセンシング・データに含まれる、佐世保湾部分の海水と大村湾部分の海水とについて解析を行い、佐世保湾から大村湾に流れ込む海水の様子を調査した。この結果、佐世保湾から流入した海水は、反時計回りの渦を形成することなどを確認した。なお、現状の解析手法では、同一の水質と判定された領域は、連続した水塊でなくても、目的の領域として分類抽出される。従って、今後、この解析手法に連続した領域を分類する機能を加えることで、佐世保湾から大村湾に入り込んでいる連続した水塊を分離抽出する計画である。また現状では、実際の海域での風波の影響や、人工衛星から見える海表面だけでなく海中の3次元的な流れ場の影響などは考慮していない。これらについては、別の方法による調査を考える必要がある。

また、これらの解析結果例と水理模型による実験結果例との比較を試みることにより、この様な衛星リモートセンシングによるデータを、水理模型などによるシミュレーション結果の検証に応用できる見通しを得た。

なお、本報告で用いた人工衛星リモートセンシングのデータ所有は米国政府であり、データ提供はEOSAT/宇宙開発事業団であることを付記する。

参考文献

- 1) 長崎県：大村湾海域利用構想，長崎県，1991.
- 2) 長崎県企画部：豊かな大村湾海域利用シンポジウム，長崎県，pp. 8-9，1993.
- 3) 田中 稔，兵頭 竜二：大村湾水質再生システム技術の開発研究，長崎県工業技術センター研究報告，長崎県，No. 17，pp. 44-50，1994.
- 4) 兵頭 竜二，後藤 恵之輔，全 炳徳，田中 稔：長崎県・大村湾の水質監視と浄化に関する方策，第17回学術講演会論文集，日本リモートセンシング学会，pp. 21-22，1994.
- 5) 後藤 恵之輔，森 正寿，後藤 正孝，川内 清明：大村湾の水質汚濁の遠隔監視，海洋開発論文集，土木学会，Vol. 6，pp. 53-58，1990.
- 6) 土谷 清：リモートセンシング概論，朝倉書店，pp. 209-214，1993.
- 7) 須賀 堯三 ほか：水理模型実験，山海堂，pp. 17-18，1990.