

複数水路からなる海峡における潮流の Landsat リモートセンシング

——リモートセンシングの海洋水理への応用に関する研究 その(3)——

西村 司*・田中総太郎**・大西外明***

1. はじめに

瀬戸内海の海峡は、単一の水路から構成されるものと複数水路から構成されるものと2つに分けることができる。前者には鳴門海峡、友ヶ島水道、明石海峡などが属し、一方、後者には今治・尾道間の海峡および備讃瀬戸が属する。海峡水域の急潮流は、それに起因する海水鉛直混合あるいは tidal-exchange によって、内海の水理環境を支配する一つの要因であるにも拘らず、その水理学的研究、とりわけ実際のサイトにおける潮流の実態を踏まえた上での研究は従来殆んど見受けられない。これは、船舶からの海上観測に頼る従来の現地観測技術によっては、この様な広範囲かつ非定常の水理現象の実態のある一瞬の面的把握が不可能であったためである。

この点に関連して、筆者ら^{1),2),3)}は 1976 年度よりリモートセンシングを導入することによって鳴門海峡を主な対象とする単一水路の海峡の潮流調査を進めてきた。そのうち、Landsat リモートセンシングは、海峡水域における 1 日×数 km スケールの渦の運動とそれに伴う海峡をとおしての tidal-exchange の実態を把握する手段として導入された^{1),2)}。これらの研究は、Landsat データ入手の困難な 1978 年以前に実施されたために、結論に至るに必要な 3 つの Landsat シーンは足かけ 5 年間にわたって得られたものであったが、1979 年度からの我国における Landsat データ直接受信の開始に伴ない同種のデータを得るに必要な期間は大幅に短縮された。ここでは、1979 年から 1980 年にかけて得られた Landsat データの解析によって今治・尾道間の複数水路から構成される海峡における潮流を観測した事例を報告する。複数水路からなる海峡は単一水路からなるそれに比べて現地観測に際しての困難ははるかに増すことを考慮すれば、この様な宇宙からのアプローチは極めて有効な観測手段を提供するであろう。

2. Landsat 画像解析

今治・尾道間の海峡は、図-1 に示す様に多くの島の

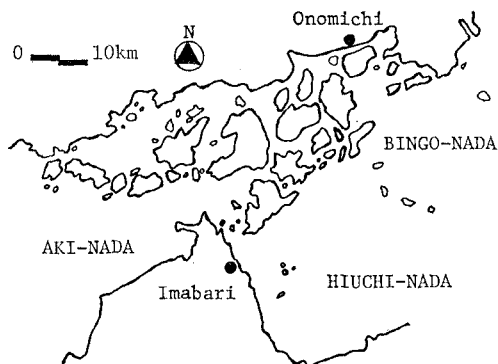


図-1 複数水路からなる海峡

間を縫う布刈瀬戸、舟折瀬戸、来島海峡などの多くの水路から構成されており、安芸灘と鏑灘および備後灘との間を結んでいる。各水路においては日に 2 往復する潮流が卓越し、例えば大潮最強流時には、来島海峡においては約 10 ノットにも及ぶ急潮流が現出する。入り組んだ多数の水路および急潮流という 2 つの自然条件は、この水域をして航海の難所とするとともに、古くは周辺水域における村上水軍の活躍をもたらしめている。本水域のリモートセンシングは、西⁴⁾によって航空機を用いてなされた例があるが、水塊分布の静的な識別はなされてはいるものの流動状況の動的解析は行なわれていない。ここでは、Landsat データ解析を適用することによって本海峡水域、とりわけ来島海峡をとおしての潮流の流動状況を把握することにした。

まず、1979 年および 1980 年に我国における直接受信によって得られた Landsat MSS データについて、その晴天度を考慮して、当水域の潮流現象を明瞭に把握し得る可能性のあるシーンを 7 シーン選び出し、Band-4、-5 の 250 mm ポジプリントを判読した。次に、潮汐表⁵⁾によって求めた各データ収集時における当水域の潮流条件を勘案して、特に情報量の多いものと判定されたものを 3 シーン、即ち、A: 1979 年 10 月 08 日、B: 1980 年 2 月 29 日、および C: 1979 年 11 月 30 日を選び出し、Landsat 画像解析装置 Image-100 によって濃度強調およびカラースライスの処理を施こした。得られた画像の各

* 正会員 工博 東京理科大学講師理工学部土木工学科

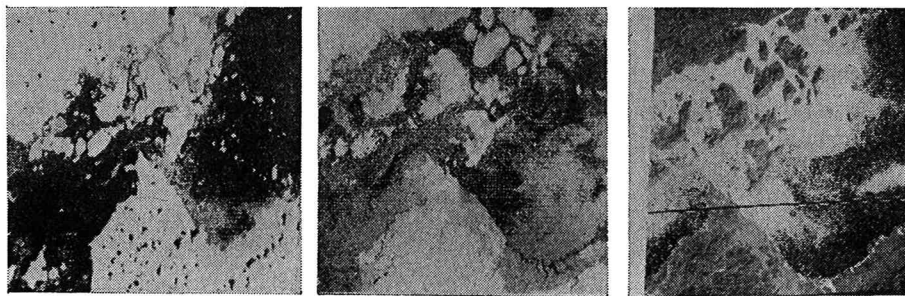
** 正会員 工博 リモートセンシング技術センター(財)

*** 正会員 工博 東京理科大学教授理工学部土木工学科

々を写真—1に示す。いずれのシーンにおいても海峡水域の東側の灘水域即ち燧灘および備後灘に、明瞭な水塊パターンが観察される。このパターンは、厳密に言えば、この範囲に黄緑色のトーンの度合いの高い水塊が存在するという情報を我々に与えているに過ぎない。しかしながら、筆者らは、鳴門海峡、友ヶ島水道あるいは明石海峡を対象とした Landsat 画像解析の経験を踏まえて、これらの水塊が海峡をとおして安芸灘より流入した水塊であるものと判読することができた。

画像 A, B, C の各々について、来島海峡におけるデータ収集当日の潮流の経時変化とデータ収集時刻との関係を図—2に示す。得られた画像の各々はそれぞれ異なる

った日時および潮流条件の下での状況を示すものである。これは、Landsat が太陽同期軌道をとるのに対して潮流は月に同期しているということに起因する。従ってこれらの画像を別々に観察するのみでは、時々刻々と変化する潮流状況の1側面を静的に観察し得るに過ぎず、その動的な側面を把握することはできない。これに対し、潮流が日に2往復する規則性の高いものであることに着目すれば、これら3つのシーンの各々を、1つの潮流の3つの異なる位相の下での状況を示すものとみなすことが可能である。むしろ、各シーンの得られた日における月齢、すなわち潮流流速の絶対値の差は考慮に入れておかねばならない。図—3は、このような考えのもとに

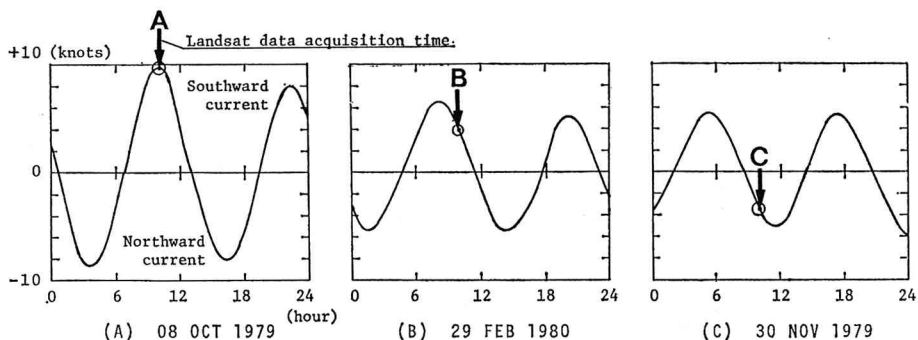


(A) 10:04, 08 OCT 1979

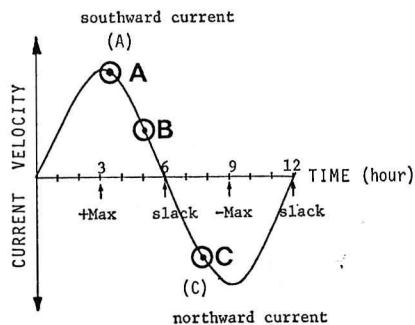
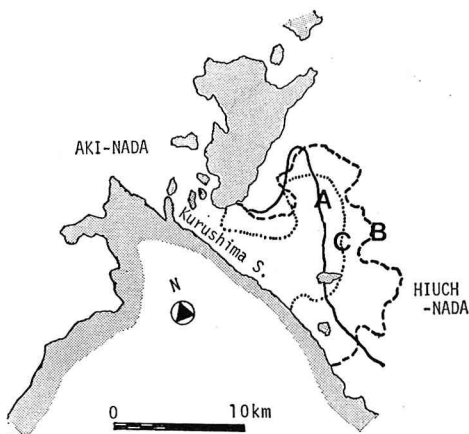
(B) 10:01, 29 FEB 1980

(C) 09:57, 30 NOV 1979

写真—1 Landsat 画像



図—2 Landsat データ収集時刻の潮流条件



図—3 Landsat 画像の位相平均操作

来島海峡を対象として、Landsat 画像より得られた3つの水塊パターンを重ね合わせて1枚の図としたものであり、図中(a)は水塊パターン、(b)は各水塊パターンの出現した時点での潮流の位相を示す。即ち、水塊パターン A はほぼ南流最強流時、B は北流への憩流の1時間前、C は北流開始後1時間30分後の状況を示す。潮流流速の相対的な差異を各画像の得られた潮流サイクルの南流最強流時の潮流流速で表現すれば A: 9.7 ノット、B: 6.5 ノット、C: 5.3 ノットとなる。ここに、南流とは来島海峡を安芸灘より燧灘へと通過する潮流を指す。この様な操作を、潮流憩流時を引きがねとする Landsat 画像の位相平均と称している。

Landsat 画像およびその位相平均操作によって以下の事柄が判読される。即ち、

- (1) 海水は海峡部通過にあたり強い水平・鉛直混合を受ける。即ち、Landsat 画像上の黄緑色のトーンの度合いが高くなる(写真-1)。
- (2) 安芸灘より備後灘・燧灘への海水吹き出し範囲は、1潮流サイクルあたり約 10 km である(写真-1)。
- (3) 備後灘・燧灘へと吹き出した水塊の1部は1潮流サイクル終了後もなお当水域に留まり、ここに実質の海水交換が成立する(写真-1、図-2、図-3)。
- (4) 来島海峡の燧灘側における潮流の振る舞いは、明石海峡の播磨灘側におけるそれに類似する。即ち、大島の背部に左旋の渦が生じると共に、燧灘から安芸灘への北流による海水移動は大島南岸沿いより開始される。ここに、大島は明石海峡における淡路島

に相当する役割を果たす(写真-1)。

- (5) 安芸灘には来島海峡を北上した水塊が南流時においてもなお当水域に留まっている。但し、燧灘に形成される水塊パターンが面的拡がりを呈するのに対し、安芸灘のそれは带状で切れ切れであるという特徴を持つ。これは、当水域においては、種々の水道の後流が複雑に影響し合っているという事を示唆する(写真-1)。

3. フロート追跡調査および水理模型実験

(1) フロート追跡調査

Landsat 画像解析によって、海峡を通過した水塊の面的な拡がりの時系列的変化の情報を得ることができるが、海水の実際の動きは海面におけるフロート追跡調査結果を加味することによってより細かに知ることができる。図-4 は本四架橋漁業影響調査委員会⁹⁾によってなされたフロート追跡調査結果の一部を示したものである。来島海峡における当日の潮流条件は、06 時 40 分南流開始、09 時 34 分南流最強 7.9 ノット、12 時 28 分南流終了、15 時 43 分北流最強 8.7 ノットである。フロートは南流最強流時に大島、中渡島間の水道に投入され、船舶によって6時間にわたって追跡された。図-4 は4個のフロートの各々の位置変化を1時間毎に示している。この図と Landsat 画像解析結果との両者を併せて考慮することによって以下の事柄が判断される。

- (1) フロートの流動範囲は Landsat 画像解析結果から判断される海水流動範囲より狭い。これはフロート

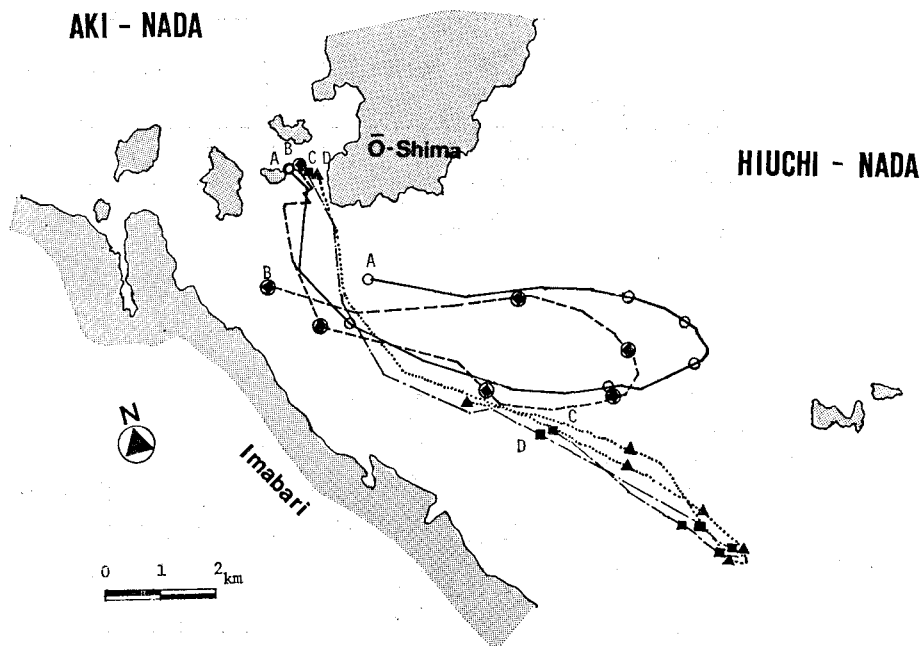


図-4 フロートの流跡線。(参考文献 6) より抜粋

の散布が南流開始後 3 時間の時点でなされたためである。

- (2) フロート C, D は、投入直後に南流の主流に乗り、今治の海岸線沿いに南下した後転流して北上する。これらのフロートの運動および Landsat から把握された水塊の移動情況(図-3)から、今治の海岸線沿いには南北の往復流が卓越することがわかる。
- (3) フロート A, B は投入直後に中渡島の後流に巻き

込まれるために、南流主流に乗る時刻が C, D に較べて約 30 分遅れ、更に、大島南岸沿いの北上する戻り流れに乗る。追跡終了時即ち北流最強流時には C, D は海峡部南北約 6 km の地点にあるにも拘らず A, B は既に海峡部入口に戻って来ている。これらのフロートの運動から、大島側の水域には左旋の渦に誘起される運動が卓越し、これが南流から北流への転流に伴う海水交換に大きい役割を有し

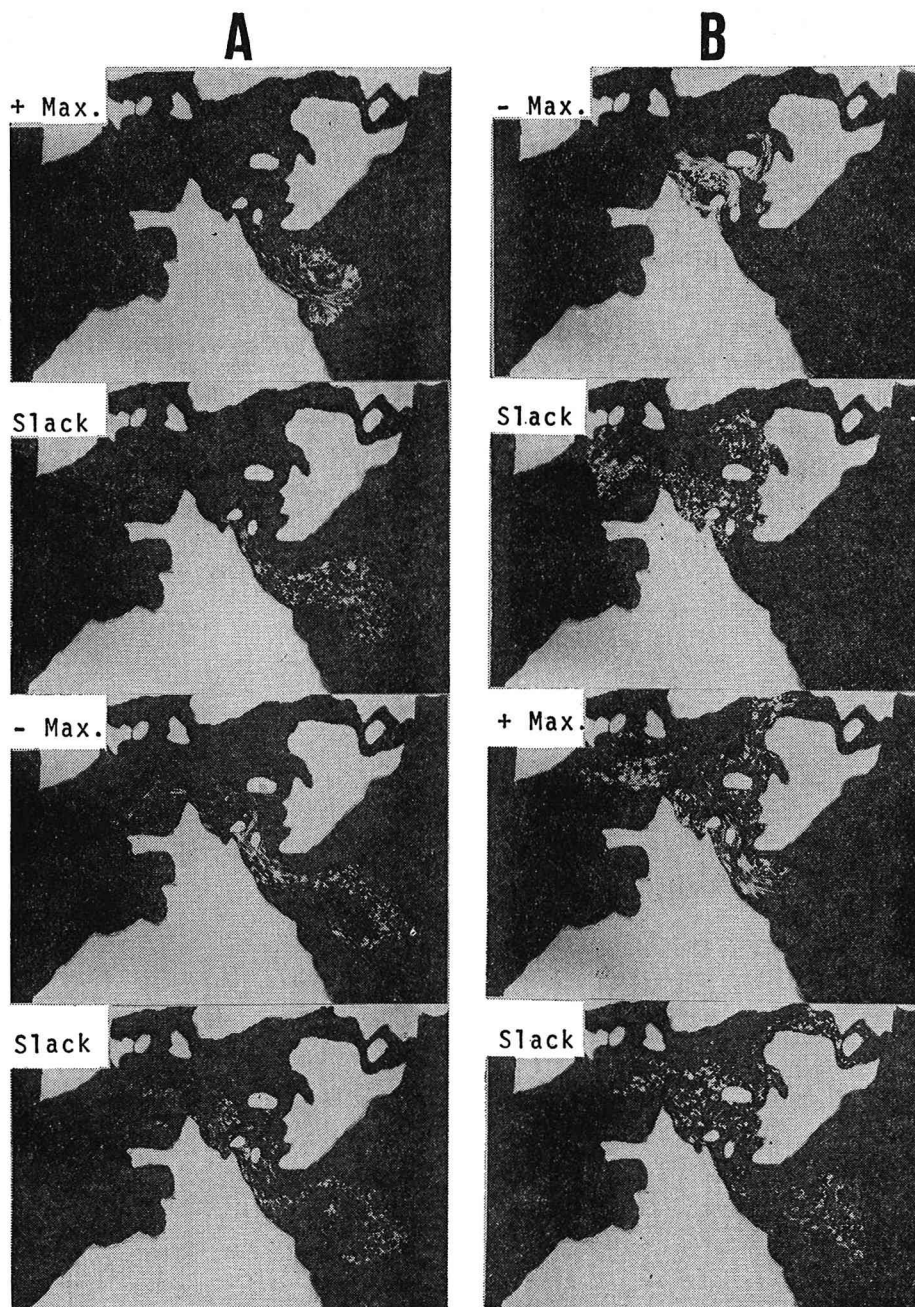


写真-2 縮尺地形模型水理実験

ていることが判断される。

来島海峡は、明石海峡と異なり、最狭部に中渡島、武志島、馬島および小島の4つの島を有しているために、主流はポテンシャル流的振る舞いをすることなく、むしろこれらの島の後流中の渦によって満たされた流れとなる。この事は大島背部の左旋の渦の生成効率を悪くする、海峡通過時の水平および鉛直混合を強めるなどの効果を有している。更に詳細な流況把握、特に大島背部の左旋の渦の挙動および1潮流サイクル終了時の水塊パターンの把握のためには、南流開始時に投入したフロートの追跡作業が必要となる。

(2) 水理模型実験

以上の結果の実験的検討を目的として、縮尺地形模型水理実験を行なった。水平縮尺1/35,000 鉛直縮尺1/1,000の歪み模型であり、フルード相似則により水理量を設定した。写真-2に結果の一部を示す。Aは南流によって燧灘へと流出した水塊の運動、Bは北流によって安芸灘へと流出した水塊の運動を各々南流および北流開始後1潮流サイクルにわたって追跡したものである。Aにおいては、大島背部の左旋の渦の生成とそれに誘起される大島南岸沿いの戻り流れとが再現されている。Bにおいては安芸灘における明瞭な渦の存在しないこと、および他の水道との間の相互の影響が見られる。これは海峡最狭部における4つの小島の影響を示唆している。模型に再現された流況はLandsat画像より得られた水塊パターンを良く再現している。

4. む す び

今治・尾道間の複数水路からなる海峡を対象として、Landsat リモートセンシング、フロート追跡、水理模型実験の3者を総合したアプローチを採ることにより、潮流流動情況の実態を把握する試みを行なった。今後、Landsat データ収集・解析の蓄積に努めると共に、このタイプの潮流解析に最適な現地観測手法の開発を目指したい。

謝 辞： 宇宙開発事業団より Landsat データの提供を受けた。文部省より昭和 56 年度科研費を受けた。水理模型実験は東京理科大学学生、大橋聡、諸永伸治、船津英樹の3氏によって実施された。深甚の謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 大西外明・田中総太郎・西村 司: Landsat リモートセンシングを導入した海峡部海水交換現象の研究, 土木学会論文報告集, 第 298 号, pp. 63~75, 1980.
- 2) 大西外明・西村 司: 決定論的立場からの海峡部 tidal-exchange の観測とその制御策の検討, 第 24 回水理講演会論文集, pp. 221~228, 1980.
- 3) 西村 司・大西外明・田中総太郎: 自然界の流れへの coherent 構造モデルの適用と可視化手法としてのリモートセンシング, 第 25 回水理講演会論文集, pp. 553~560, 1981.
- 4) 西 勝也: リモートセンシングの海水交流研究への応用, 沿岸海洋研究ノート, Vol. 15, No. 1, pp. 1~8, 1977.
- 5) 海上保安庁: 潮汐表第1巻, 日本及び付近.
- 6) 本四架橋漁業影響調査委員会: 本州四国連絡架橋漁業影響調査報告, 第7号, 1975.