

リモートセンシングの海洋水理への応用に関する研究

—(1) 沿岸水理現象の dynamic リモートセンシング—

大西 外明*・田中総太郎**・西村 司***

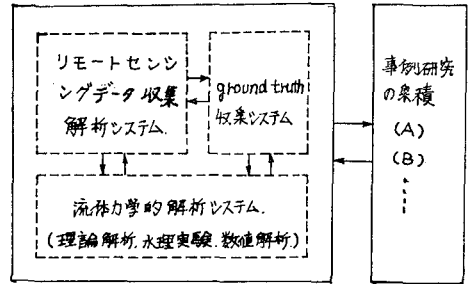
1. はじめに

リモートセンシングは、我国においては、1979 年の Landsat 直接受信の開始を契機として広い分野にわたり応用される気運にあるが、国土の狭さ、各種産業の沿岸部高密度集中などの特色から、その沿岸水理現象研究への適用は我国固有の問題として特にクローズアップされる。本論では、まず沿岸水理研究におけるリモートセンシングの有るべき性格について考察し、dynamic リモートセンシングの概念を得た。次に、dynamic リモートセンシングにおけるリモートセンシングデータの収集処理方法について述べた後、筆者らが現在進めつつある海峡水理現象への応用研究を例として、dynamic リモートセンシングの進め方を示した。

2. 沿岸水理現象の dynamic リモートセンシングとは

従来行われてきた沿岸水域のリモートセンシングは、主として内海水域環境把握を目的として各種水塊の静的な把握を行う、いわば“static”なリモートセンシングとも言えるものであった。しかしながら、得られる水の画像の現れる背景には、質量・運動量・渦度などのフラックスの保存則によって表現される“dynamic”なプロセスがある筈であり、画像は、それらのプロセスの総合した結果として現出したものである。従って、水域環境への影響の予測あるいはその水理学的な制御策の検討を目的として沿岸水域環境を水理学的に把握する際の情報収集手段としてのリモートセンシングは、単に水塊パターンの現状を static に把握するにとどまるべきではなく、そのパターン現出の背景となる動的な要因を明らかにしてゆく様な、いわば“dynamic remote sensing”の段階にまで高める必要がある。

図—1 は、dynamic リモートセンシングの概念図であり、(i) リモートセンシングデータ収集処理システム、(ii) ground truth 収集システム、(iii) 水理学的解析シ



図—1 Dynamic リモートセンシングの概念

ステム、および (iv) 事例研究の集積 の4つの構成要素が互いにフィードバックを行いつつ発展してゆく特徴を示している。

3. リモートセンシングデータ収集処理の方法

沿岸水理現象の dynamic リモートセンシングの1構成要素であるリモートセンシングデータ収集処理システムは、対象が水であり、しかも種々の空間・時間スケールの現象が混在する本質的に非定常な“動いている対象”であるため、通常の地上の“静止した物体”を対象とする static なそれとは性格を異にする。ここでは、沿岸水理現象の dynamic リモートセンシング特有のデータの種類および処理方法について概略を述べる。

(1) リモートセンシングデータの種類の選択

海の水理現象の研究に利用する事のできるリモートセンシングデータは、現時点では、 $0.5\mu\text{m}\sim 0.6\mu\text{m}$ 帯域の緑色光スペクトル領域の電磁波データ、および $8\mu\text{m}\sim 13\mu\text{m}$ 帯域の熱赤線領域の電磁波データの2種類であり、それらより水質、密度、流向あるいは水深などの物理情報を得ることができる。前者には、緑色フィルターをかけて撮影した航空写真および Landsat MSS-4 のデータが相当するが、通常のカラー航空写真の色分解によっても得ることができる。将来は、レーダー散乱計による波浪や風速の測定、レーダー波高計による波高の高精度測定などが考えられる¹⁾。

データの種類の選択にあたっては、観測する水理現象の空間・時間スケールを考慮しなければならない。空間スケールにより画素の大きさが決まり、例えば工場から

* 正会員 工博 東京理科大学教授 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

*** 正会員 工修 東京理科大学助手 理工学部土木工学科

の温廃水であれば航空機からのスキャナー画像が妥当であろうし、海流の関係した大スケールの水理現象に対しては Landsat 画像や更に大きいスケールの Noaa 画像が適当となる。又、時間スケールにより、データ収集時間、および水理現象の観測に特有の繰り返し観測の頻度が決まる。

従って dynamic リモートセンシングにおけるデータの種類の選定および収集方法の決定の作業に際しては図-1 に示した各要素間のフィードバックが基本的に重要である。

(2) リモートセンシングデータの処理方法

収集されたりリモートセンシングデータの処理方法は、写真判読、アナログ処理およびディジタル処理の3種に大別される。写真判読は、撮影された写真や合成された画像の全体像から現象の概要を把握するものであり、データ処理プロセスの最初に行うべきものである。アナログ処理は、簡単な画像の濃度情報のスライスに使われることがあるが詳細な解析を行うにはディジタル処理が望ましい。

ディジタル処理によれば、微妙な情報を強調して抽出することができる。水理現象研究のための主なディジタル処理には、電磁波強度情報の拡大表示と、カラースライス映像による表示がある。水域の反射はいずれのスペクトル領域においても陸地の反射に比べて相対的に弱く、しかも比較的均一であるために、微妙な変化は、単に写真にプリントされた映像を眺めているだけでは見逃し易い。また、水面から放射される熱赤外線強度分布も微妙な場合が多い。例えば、Landsat MSS-4 の濃度レベルは128段階に分けられるが、水域はおよそ5から20のレベルに位置している。しかも、微少な面積の水域のレベルについては、その最大値と最小値との差は数レベル以下となり、1レベルの遠いが非常に大きな意味を持つてくる。従って水域の有用な情報を抽出するためには、わずかな濃度レベルを拡大して表示したり、各レベルにそれぞれの色を対応させて、カラー映像化して表示すること(カラースライス)が必要であり、このような処理を行うにはディジタル処理を必要とする。

ディジタル処理は、通常のコンピュータによっても可能であるが Tospics (東芝製)、Image-100 (GE 社製)、M-DAS (Bendix 社製) 等の専用画像解析装置を用いれば、データ処理をリアルタイムに解析装置と対話しつつ進めることができるため、dynamic リモートセンシングの特徴である図-1 の様なフィードバックを速やかに効率良く行いながら画像解析作業を進めてゆくことができる。

4. Dynamic リモートセンシングの適用例

海峡部における水理現象および海水交換機構の問題

は、内海の水質を論ずる上での境界条件として明らかにしておく必要があるにも拘らず、従来殆んど研究がなされていない。この海峡部の水理現象および海水交換機構においては、潮流と海峡部陸岸との間のシアアによる乱流境界層中のコーヒーレントな渦が大きい役割を果たしていると考えられるが、従来の現地観測手法によっては、このようなスケールの大きい非定常な渦動現象の把握は困難である。

筆者らは、1977 年以来、特に自由乱流境界層内のコーヒーレントな渦に着目した海峡水理研究を dynamic リモートセンシングを応用して進めつつある。ここでは、コーヒーレントな渦の生じ易い自由乱流境界層が左右兩岸より形成される典型的な例である鳴門海峡を対象とした解析例を dynamic リモートセンシングという“手法”の観点から概観し、その適用法の一例および本手法適用による効果について述べる。

(1) 空間・時間スケールの考察とリモートセンシングデータ収集方法の選定

地上観測によれば、両側から陸岸が突出する地形形状を持つ鳴門海峡においては、図-2 に示す様に、潮流と

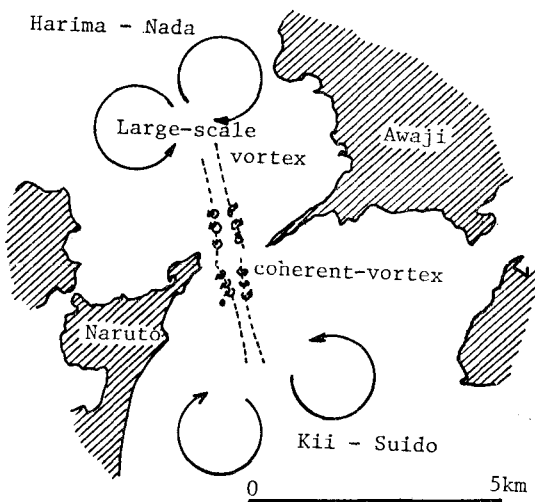


図-2 鳴門海峡の水理現象

陸岸との間に自由乱流境界層が生じる。この自由乱流境界層内のコーヒーレントな渦は、径数十 m、間隔数十 m であり、潮流と海峡陸岸背部のよどみ域との間を数 m/sec の速度で流下してゆく。従って、まず第1に考慮すべきスケールは数十 m・数十秒の空間・時間スケールであり、ここではこれを“小スケールの現象”と呼ぶことにする。潮流は、図-3 に示す様に、1日に2往復する非定常な現象であるが、この小スケールの現象は定常流とみなすことができる。水理学的考察から、コーヒーレントな渦の強さ Γ は渦間隔 b 、移動速度 C を測定することにより計算し得ることが示されている^{2),3)}。この b ,

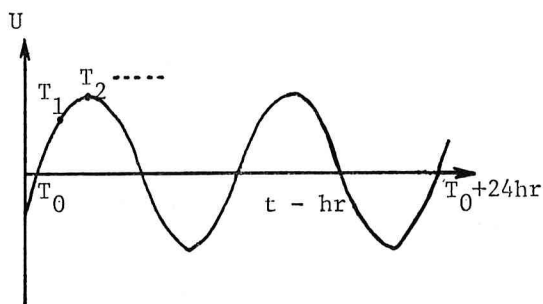


図-3 鳴門の潮流

Cを測定する為のリモートセンシングデータ収集方法としては、位置標定の精度、一定時間間隔を置いたオーバーラップした数個の画像の必要性、および動いている現象の瞬間的把握の必要性の3つを同時に考慮するならば、スキャナを用いることは不可能と判断された。ここでは、高度800mから3秒間隔90%のオーバーラップで撮影された航空写真を得ることとした。

さて、鳴門における潮流は1日に2往復し、従来の潮流板調査によれば、転流時に海峡部に投入した潮流板は6時間後には数km流下する。従って、第2に考慮すべきは数km・数時間スケールの現象であり、ここではこれを“大スケールの現象”と呼ぶ。この現象は本質的に非定常であり、図-3に示す $T_1, T_2, \dots$ 各々の時刻における数kmスケールの画像が必要である。このためのリモートセンシングデータ収集の手段としては、高々度航空機からのカラー航空写真あるいはMSSによる数時間ごとのデータ収集が考えられるが、この大スケール現象の概略さえも明らかでない段階で、この様なコストの高い方法を探ることはできない。さういってLandsat MSSデータの画素は地上で $57\text{m} \times 79\text{m}$ の長方形であり、この様な目的には充分耐える分解能を持つ。又、Landsatの鳴門海峡上空の通過時刻は、18日ごとにほぼ午前10時と規則的であるが、潮の干満の時刻は毎日40~50分ずつずれてゆき、約29日ごとにもとの潮流状態に戻る。18と29との間には公約数は無く、従ってLandsat画像の中から異なる潮時における画像を選び出すことは可能である。以上の考察より、大スケールの現象を対象とするリモートセンシングデータとしてLandsat MSSデータを用いることとした。

(2) データ処理とその水理学的解析

a) 小スケールの現象

得られた一連の航空写真の密着ポジプリント(写真-1)より、渦の間隔6および移動速度Cを読みとり、渦の強さ Γ を求めた^{2),3)}。更に、現地観測により見られる顕著なupwelling現象の位置が航空写真の立体視により判読され、水理学的解析により、upwellingの発生が自由乱流境界層中のコーヒーレントな渦に起因する事が示され、これにより、幅の狭まった海峡における激しい海

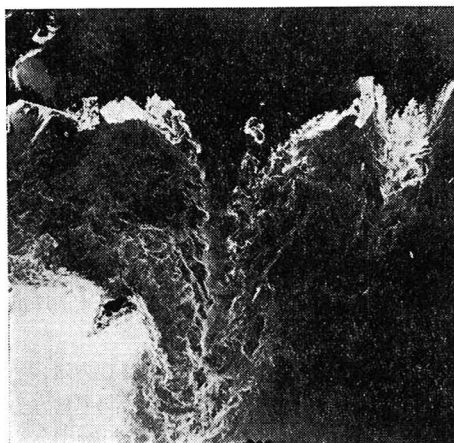


写真-1 自由乱流境界層中のコーヒーレント渦

水鉛直混合の機構を明らかにすることができた⁴⁾。これらの解析は全て密着ポジプリントをもとに進められたが、渦の内部構造に立ち入った解析を行うための航空写真のデジタル処理の試みが考えられている。

b) 大スケールの現象

Landsat MSSデータの250ミリポジプリントより、その概略を判読した上で、大スケールの水塊パターンの得られる可能性のあるデータについて、上述のMSS画像解析装置Image-100を用いて会話的にデジタル処理を行なった。これらの作業にあたっては水理学的解析、グランドトゥース収集およびMSSデータ処理の各々の担当者が対話しつつ作業を進めた。写真-2は、ディジ

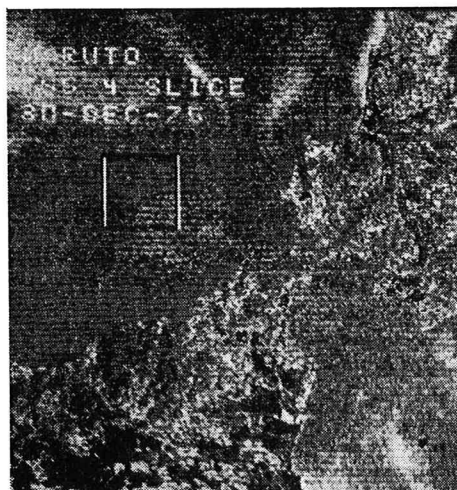


写真-2 大スケールの渦対

タル処理によりMSS-4の画像の濃度レベルを8倍に拡大した後カラスライスした例である。原データの電磁波強度レベルがきわめて低いうえに、大気情報からの雑音が大きくこの様な海面情報の抽出には、上述の“対話”が極めて有効であった。

グランドトルースおよび水理学的解析により、このような大スケールの現象は、小スケールのコーヒーレントな渦が6時間にわたってカスケードアップして形成された渦対であると判断され、その渦対の運動をもとにして海峡部における tidal-exchange 機構が説明された³⁾。

(3) Dynamic リモートセンシング導入の効果

海峡の水理研究に dynamic リモートセンシング手法を導入することにより得られた効果は以下の通りである。

a) リモートセンシングデータ収集・処理システムは他のシステムとのフィードバックにより、対象とする現象の水理学的裏づけと予測とにもとづき効率よく運営できた。

b) グランドトルース収集システムは従来の現地観測資料の中から“渦”という水理現象を表現するデータを効率良く収集することができた。今後は、リモートセンシングデータ収集と同期した、“渦”という水理現象の表現に供する為という明瞭な目的意識のもとでこのシステムを効率良く計画運営できるものと考えられる。

c) 水理学的解析システムでは、従来ほとんど研究されていなかった海峡水理現象を、“渦”という物理モデルにより統一的に論ずる見とおしを得ることができた。

d) この一連の事例研究の経験を踏まえ、次の段階の dynamic リモートセンシングの計画が立てられつつある。

5. む す び

沿岸水理研究における dynamic リモートセンシングの概念を説明し、海峡水理研究を例にとりその手法の概要とその効果とを述べた。今後の事例研究の集積、その dynamic リモートセンシング手法へのフィードバック、およびそれによる手法自身の発展を期待している。

ここに、本研究の機会を与えられた丸安隆和博士に深甚の謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) (財)リモートセンシング技術センター：地球観測衛星の開発に関する調査報告書，1977。
- 2) 大西・西村：渦に及ぼす海底海岸地形の影響に関する研究(1)，第33回年講概要集，pp. 796-797，1978。
- 3) 大西・西村：渦に及ぼす海底海岸地形の影響に関する研究(2)，第34回年講概要集，1979。
- 4) 大西・西村：渦水域における上昇流の観測とその発生機構に関する考察，第23回水講論文集，pp. 123-130，1979。
- 5) 大西・田中・西村：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，投稿中。