

駿河湾および天竜川の河口流出の解析

沢本正樹*・李立亜**・村越潤***

1. はじめに

洪水の河口から海域への流出は沿岸の環境問題などに関係重要な問題があるが、広域かつ同時の観測が難しく、十分なデータは得られていない。このような分野では LANDSAT データの利用が有効であるとの指摘が行なわれているものの、実際の成果は比較的少数に限られている^{1)~3)}など。これは現地データの不足により LANDSAT データの物理的解釈が必ずしも明確ではないという本質的理由とともに、解析に大がかりな装置を要するといった二次的な理由が水工学研究者に LANDSAT データを積極的に利用することを躊躇させているためと思われる。そこで本研究では、次の2点を目的として研究を行なった。

① LANDSAT-MSS データの水工学的問題での利用法を検討する。この際、通常の研究環境の下で利用可能な簡便なシステムの開発を行なう。

② ①の成果を利用して、自然現象としての河口流出の解析を行ない、既往の研究成果と対比して論じることにより、現象の把握を行なう。

2. 解析を行なった画像および河川

解析を行なったのは静岡地方を写した次の2画像の MSS (Multi Spectrum Scanner) データである。

A. LANDSAT-3, path-116, row-36, 1979年10月22日

B. LANDSAT-4, path-108, row-36, 1983年5月9日

データの取得はいずれも午前9時過ぎである。A. の画像は台風20号通過直後のもので、河口流出および駿河湾口での大規模な渦運動が観察される例として、多くの場で引用されている^{4)など}。B. は温帯性低気圧通過直後のものである。いずれの画像にも、富士川、安倍川、大井川、天竜川からの明瞭な河口流出が認められる。今回解析の対象としたのはこの4河川である。図-1に、この

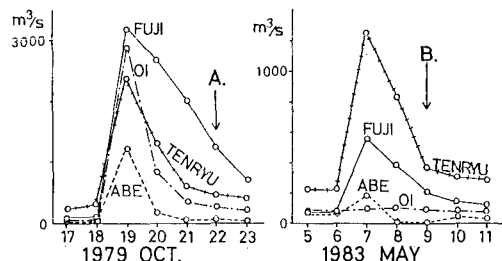


図-1 富士川(北松野)、安倍川(手越)、大井川(神座)、天竜川(鹿島)の流量⁵⁾

4河川についてのデータ取得日前後の流量を示す。

駿河湾はトラフが湾奥まで入り込み、急勾配の海岸として知られている。特に富士川前面では、沖合7kmで水深1000mに達し、平均1/7勾配となっている。一方、安倍川、大井川前面には石花海と呼ばれる陸棚があり、安倍川前面では7kmまでが1/10勾配、大井川前面では6kmまでが1/15勾配で、その先は比較的平坦な棚部がひらけている。湾内水は湾口沖を流れる黒潮の影響を受け、表層で0.8~1.0ktの反時計まわりの環流を生じていることが多い⁶⁾。天竜川が開口する遠州灘沿岸は黒潮の影響が強く、河口より東の沿岸部表層は年間を通じて河川系水で占められている⁶⁾。

3. LANDSAT データの処理

ここでは比較的簡便に LANDSAT データを処理することを考える。今回使用した機器は、共同利用の大型計算機(HITAC M-280H)とパソコン(PC 9801F)である。データの切り出し、基本計算および計算途中のモニターには大型計算機とそのプリンタを用い、パソコンは、一つには大型計算機の端末として、一つには解析結果のカラー画像表示用として用いることとする。パソコンの仕様は、高解像度カラーディスプレイ、1MB-FD 2 drives, RAM 256KB以上である。この程度の装置だと通常の研究環境でも比較的容易に利用できる。最近、FDとパソコンによる LANDSAT データの処理法の開発が多方面で行なわれているが、記憶容量、計算速度からみて、すべてをパソコンで処理するよりは、ある程度まで、大型計算機との平行利用を図るほうが得策と思わ

* 正会員 工博 東北大学助教授 工学部土木工学科

** 工修 元中国政府派遣留学生

*** 学生員 東京工業大学大学院 土木工学専攻

れる。以下、処理の手順を示す。なお、詳細については別報⁷⁾を参照されたい。

3.1 解析範囲の切り出し

MSS データの1画像の CCT は4バンド計で 43MB よりなりこれをすべて共同利用計算機のメモリーに納めることは困難である。そこで Open MT 処理を利用し、富士川については 600×400 、安倍川および大井川については 600×900 、天竜川については 960×400 画素の範囲を切り出し、バンド別データファイルを作成した。この際、データを2桁の整数型に変換し、後の処理を容易にした。また、パソコン処理にあたっては、さらにこれを 400×400 に切り出し、FD に転送(転送速度 4800 bps)して用いた。

3.2 大型計算機による処理

3.1 で作成したバンド別ファイルを入力データとし、今回開発したサブルーチンパッケージ⁷⁾を利用し、各種統計量、主成分計算、クラスター分類などを行なう。今回の標準的処理は次のようなものである。

(1) 水域データの抽出

陸域のデータと水域のデータはその特性が大きく異なるので両者を一括して統計処理などを行なうと不都合が生じる。それでまず水域のみのデータを抽出する。これにはバンド7(近赤外域)の輝度頻度分布を利用する。バンド7のみで不十分の時(雲の影などが水域として誤認される場合)には、さらに2バンドの輝度の2次元頻度分布を利用する。用いるバンドの組み合わせとしては、比較的相関の低いバンド6×バンド4、あるいは、バンド7×バンド4が適している。

(2) 基本統計量などの計算

バンド別の輝度の平面分布を求め、さらに、水域のみあるいは全域についての輝度の1次元、2次元頻度分布、バンド別平均輝度および分散、各バンド間の相関を計算しデータの基本的特性を把握する。

(3) サンプリングとクラスター分析

河道内、河口流出流中、港などの閉鎖性水域、河川系水の影響のない沖合部分などについて輝度データをサンプリングし、場所の違いによる反射特性の差を把握するとともに、これを標本とするクラスター分類を行なう。

(4) 主成分計算によるデータの集約と流れの観察

水域データのみを対象とすると、各バンド間の相関は高く、データの集約が可能となる。それゆえ、主成分分析により、4バンドのデータを第1、2主成分の2つに集約した。これを用いて流れの観察を行なう。

3.3 パソコンでの解析結果の表示

前述の 400×400 画素のバンド別ファイルおよび第1、第2主成分のファイルをFDに転送し、パソコンで次の処理を行なう。①単バンドの白黒濃淡画像および pseudo color 表示。②3バンドのデータを用いた false color 表

示。③主成分の pseudo color 表示。なお、パソコンでは8色表示しかできないので、①、②の濃淡表示には、輝度の値を重みとした乱数を発生させ、その値がある限界を越えると RGB いずれかの色をつけるという方法をとった。

以上の処理法は1画面数時間要するものもあり、このあたりが簡便処理法の問題点である。

4. 結果と考察

4.1 水域の輝度特性

図-2には、代表的な水域の各バンドの輝度(CCT count)の例を示す。サンプリング場所は、①河川系水の影響がないと判断される十分沖の海域、②比較的閉鎖された水域である大井川港内、③大井川からの河口流出流の内部、④大井川河道部、および、⑤陸水域である養鰻池である。

第1に注意すべき点は、水域においては CCT count の値があまり大きな幅では変動しないということである。このことが、陸域に比べて、水域での LANDSAT データの利用を制限している理由にもなっている。しかし、この点を考慮しても水域の違いによるいくつかの分光特性の差を認めることができる。すなわち、①は分散も小さく各バンドとも水域全データの中で最も低い輝度となっている。②は①とほぼ同じ形の分光特性を持つが全体的に輝度が増えている。一方、③、④では、バンド5の輝度が大きくなっており、②とは異なった分光特性をもっている。このことは、沿岸あるいは港内などで明るく見える部分(汚れている部分)は、本質的に河川系水の濁りとは異なっていることを示唆している。③の河口流出流と④の河道部分は、バンド4、5ではほとんど差がないが、バンド6、7では差があらわれてくる。このことは、河道部分や河口近傍の極めて濁度の高い部分では、4あるいは5の単バンドの解析では不十分で、バンド6、7を加味した解析が有効となることを示している。別の清浄でない水域の例である養鰻池については、分光特性が全く異なっており河川系水の濁りとの判

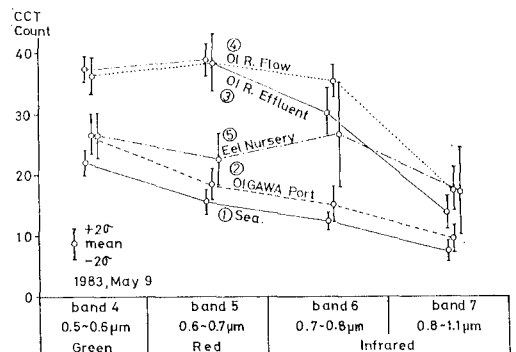


図-2 水域の違いによる輝度の差

別は容易である。

4.2 主成分分析

以上のように、水域あるいは水質の差はバンド別輝度の組み合わせから判読できる。しかし、4つのバンドすべ

てが独立であるわけではなく、各バンド間の相関は表1のようになっている。水域のみを対象とした場合、バンド6, 7間の相関が小さくなり、バンド5, 6間の相関が大きくなっていることが特徴的である。このように

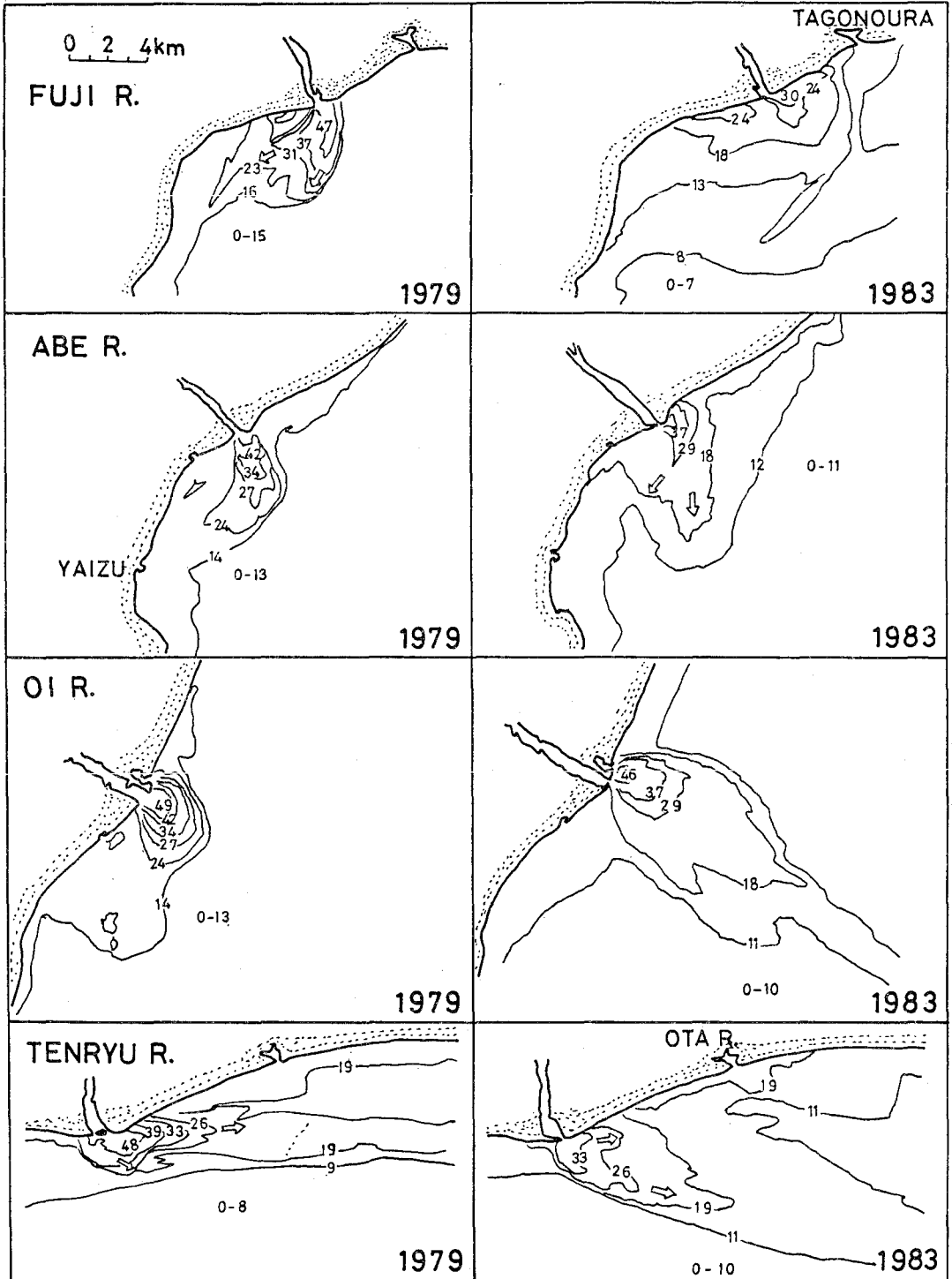
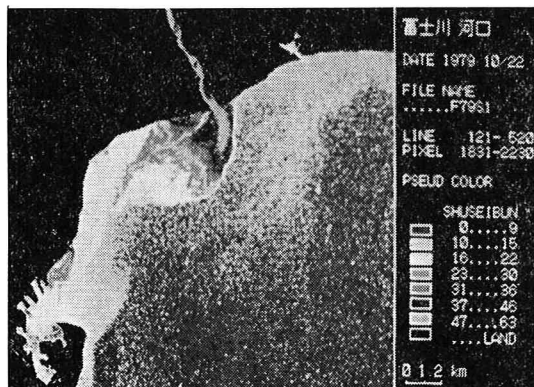
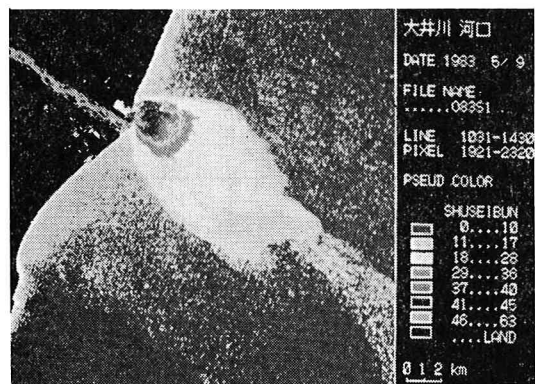


図-3 河口流出の形状 (第1主成分値の等値線を示す)

表-1 各バンド間の相関係数

	相関係数 (1983)	
	水域のみ	水域+陸域
band 5×band 4	0.836	0.904
band 6×band 4	0.680	0.437
band 7×band 4	0.503	0.587
band 6×band 5	0.815	0.413
band 7×band 5	0.608	0.497
band 7×band 6	0.747	0.989

写真-1 1979年 富士川^{7),9)}写真-2 1983年 大井川⁷⁾

各バンド間の相関が比較的高いので主成分分析によるデータの集約が可能である⁸⁾。水域のみを対象とすると各主成分の寄与率は1979年のデータでは、第1主成分75.1%、第2主成分17.1%、1983年のデータでは夫々77.6%、14.3%となり、この2つで90%以上の寄与率となる。以上より、この成分のみで現象のほとんどを説明できることがわかる。

写真-1, 2には第1主成分値を適当にスライスして表示した例を、図-3には解析を行なった全ケースについての第1主成分の等値線を示す。なお、図中の主成分値は、0から63までの64段階に規準化したもので、なんらかの物理量と直接対応がついているわけではない。

4.3 河口流出の観察

写真-1, 2や図-3などから読み取れるいくつかの現

象の特徴は次のとおりである。

(1) 河口砂州の影響: 河口砂州が流れに及ぼす影響は大きい。1979年では、富士川、安倍川、大井川で、砂州がフラッシュされ、また、天竜川においては、砂州の東西両端が開口している。このため洪水流は河口より直進して海域に出ている。一方、1983年ではすべての河川で砂州が存在する。そのため、河川水は河道軸から左へずれて流出し、河口左岸に滞留した後、沖へ流れ出しているように観察される。

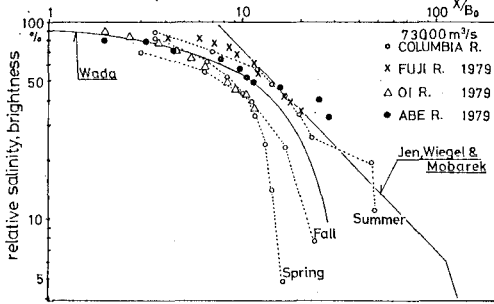
(2) 沿岸流の効果: 駿河湾では反時計まわりの循環流が生じていることが多く⁶⁾、今回もそのことが確認できる。また天竜川については黒潮の影響が明瞭に認められる。沿岸流の効果は流心の偏向とともに、明瞭なフロントの形成という形でもあらわれる。1979年の富士川、1979年、1983年の天竜川では特に顕著である。1983年の大井川については沿岸流が存在しないかのような流れのパターンが見られるが、これは次のような理由によるものと思われる。この時のデータでは、御前崎半島の北に極めて輝度の低い(河川系水の影響のない)水域が存在することから、この部分で湧昇があり、そこからの北流が大井川河口付近で北からきた沿岸流とぶつかり、河口流とあわさり沖へ流出しているものと推測される。

(3) 流れの分岐: 流出パターンを観察すると、比較的岸付近に沿う流れと、沖に向う流れの二つに分岐している例があることに気づく。1979年の富士川、天竜川、1983年の安倍川、天竜川がそれである。図には白矢印で示してある。地形あるいは沿岸流の微細構造による効果とも考えられるが、その機構は不明である。

(4) 流れの型: 1979年と1983年の出水の大きな差は流量の違いである。これにより砂州の有無の差が生じている。さらに流出パターンの上でも次のような差が存在しているように思われる。1983年では前述のように河口を出た河川水は一旦滞留した後、その密度差によって拡がっているように見える。これは、柏村・吉田¹⁰⁾の言うA型に近い流れに対応するものと考えられる。一方、1979年では流量が多いため、河口から勢よく流出し、E型に近い流れとなっているものと推測される。この差が、後述の拡がり面積の差にもあらわれているのであろう。

4.4 濁度の減衰

前述の主成分値は流出のパターンをよくあらわしており、その値は濁度あるいは河川水濃度と密接に関連しているものと思われる。そこで、その河口部での値を100、十分沖での値を0として規準化し、流心方向の減衰の様子を既往のデータ¹¹⁾と比較した。結果を図-4に示す。横軸の分母河口幅は、砂州が存在する場合があるので、画像から読み取った値を用いている。比較したものはColumbia川のもので、流量は1オーダー大きいものであ

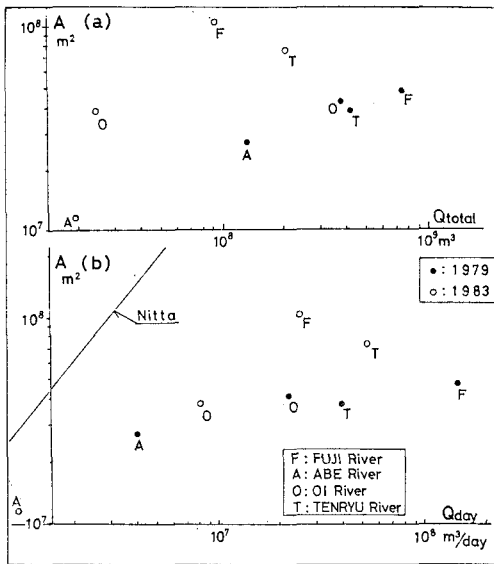


図—4 中心軸に沿った主成分値の減衰

るが、結果はよく一致している。図には温排水に関する和田、Jen らの結果も併せてあるが、これらとの一致もよい。

4.5 拡がり面積

次に、河川水の拡がり面積と流量の関係をみる。図—5 では、横軸に流量、縦軸に拡がり面積をとり、両者を比較した。河川水の拡がり範囲はバンド 4, 5 の輝度が海水と明確な差を持つものとして判別した。図の (a) では流量として、撮影前日までの洪水総量を、(b) では



図—5 河川水の拡がり面積と流量の関係
(a) 全流量 (b) 前日流量

前日の流量をとってある。(a) の場合、1979 年と 1983 年のデータは別の傾向を示している。(b) の場合にも、両者に多少の差が認められる。これは前述のように、1979 年は、柏村・吉田の E 型に近く混合が激しく、1983 年は、A 型のため密度流的に拡がり、そのため 1983 年は流量が小さいにもかかわらず、相対的に大きな拡がり面積となったものと思われる。図の (b) には、多くの現地調査より導かれた新田の式¹²⁾も併せて示してある。これと比較すると、流量に対する拡がり面積の値自体も、また、両者の関係の勾配、いずれも、今回の観察ではかなり小さくなっている。

5. おわりに

現地データがないため、推測に推測を重ねるような議論を行なっている。しかし、総合的に判断すると LANDSAT データの解析は、この種の現象の把握に有力な手段となると思われる。

本研究で用いた LANDSAT-MSS データは宇宙開発事業団より提供されたものである。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 大西外明・田中総太郎: Landsat による急傾斜湾内密度流フロントの観察と安定性に関する考察, 土木学会論文報告集, 292, pp. 55~63, 1979.
- 2) 大西外明・須山 浩: 海洋の大規模渦が沿岸水の物理的挙動に及ぼす影響, 土木学会論文集, 351, II-2, pp. 183~191, 1984.
- 3) 西村 司・畠山祐二・田中総太郎・丸安隆和: リモートセンシングに立脚した沿岸海域自走渦の運動論的研究, 土木学会論文集, 351, II-2, pp. 173~182, 1984.
- 4) 杉森康宏: 海洋のリモートセンシング, 共立出版, 1982.
- 5) 流量年量, 河川協会, 昭和 54 年版, 昭和 58 年版.
- 6) 中村保昭・村中文夫: 駿河湾及び遠州灘の海洋構造の変動特性, 漁海況に関する研究座談会, 1978.
- 7) 沢本正樹・村越 潤: LANDSAT-MSS data を用いた河口流出の観察, 東京工業大学土木工学科研究報告, No. 34, 1985.
- 8) 村井俊治他: リモートセンシングによる水域環境調査手法に関する研究, (財)建設工学研究会, 1979.
- 9) 土木学会海岸工学委員会編: スライドライブラリー日本の海岸と港湾(海岸編), No. 106, 1985.
- 10) 柏村正和・吉田静男: 河口を出る淡水の流れ, 第 13 回海岸工学講演会講演集, pp. 268~271, 1966.
- 11) 玉井信行: 密度流の水理, 技報堂出版, 105, 1980.
- 12) 土木学会: 水理公式集(昭和 46 年版), 590, 1971.