

水工学におけるリモートセンシング技術利用の現状

田 中 総太郎

1. はじめに

最近、宇宙からの地球表面の観測が注目されている。空中からの地球表面の観測技術は、航空写真測量については普及しているが、宇宙からの観測技術の応用については発展途上といったところである。このような離れたところから間接的に計測する技術のリモートセンシングと云うが、この技術が水工学に対してどんな役割を果すのかをさぐるのが本論の目的である。

航空写真測量を除けば、リモートセンシングの現場レベルでの水工学への適用はほとんど見られず、研究レベルでも数が多いとはいえない。しかしながら、この新しい技術は、その特性から云って水工学に新しい展開の道を開く可能性も持っている。以下にリモートセンシング技術応用の現状をまとめ、その将来性を展望してみた。

2. 水工学におけるリモートセンシングの対象

リモートセンシングを水工学の分野で利用する実務や研究は、それほど多くないと述べたが、現実にはどうなのか。ここでは1977年5月から1979年4月までの日本科学技術情報センターのJICSTオリジナルファイルから水工学に関連する研究題目を抜き出し、そこに使われているキーワードを列挙したのが表1である。

水工学はその中がまた細かく分れているので、水工学自身の分類は昭和60年1月に改訂された水理公式集の編立てに従った。

表1を見て分ることは、水工学に関して、空から見て解りそうなことは、リモートセンシングによる調査研究対象となっていることである。この表の中の水工学の分野の分類で、*および**印の付いている項目は水理公式集には掲載されていない。冷却塔の排気については、流れを扱うものであるから土木工学では水工学の専門家以外に適当な人はいない。水に関しては、北海道オホーツク海沿岸においては、大きな関心事であるが、日本全体から見ると寒帯に属する国ほどは深刻でないのかもしれない。

表1のキーワードを抽出した文献の原著作は約70%が外国のもので、日本の研究事例は少ない。水工学へのリモートセンシングの適用に関しては日本は開発途上国である。

3. リモートセンシングによる調査の原理

表1のような水工学に関するリモートセンシングの対象は、どのような原理に基づいて調査されるの

表1 水工学においてリモートセンシングが適用される対象

水工学の分野		リモートセンシングの対象(キーワード)
大分類	小分類	
水 文	水 文 統 計 流 域 と 流 出 過 程	古水文学研究, 小流域の水文モデル 流域地形, 谷密度, 排水網, 湿地地図, ライン 河谷断層
	流 出 解 析	流出解析, 流域モデル, 洪水予測, 水文地形, 雨谷流系, 融雪流出, 融雪機構, 融雪量の推定
	水 文 予 測 水 資 源 計 画	降水量, 降雪, 降水予測, 降水観測, 洪水予報 水資源, 貯水池, 都市水資源
河 川	流 れ と 観 測	湖の汚染プリューム, 流れのパターン(ミシシ ッピ), 河道, らせん流の表面流速
	洪 水 流 れ	融雪洪水予測, 洪水予測, 洪水調節, 洪水平野, 氾濫水解析
	土 砂 生 産 と 流 出	崩壊, 土石流, 山崩れ, 溪流災害, 山地災害, 山腹崩壊, 地滑り, 崩壊地
	河川構造物の水理	運河地形測量(ドニエプル・ドンパス)
発 電	冷 却 水 取 放 水 冷 却 塔 排 気 (*)	温排水 冷却塔排出物, 火力発電所排気の大気拡散
	上 下 水 道 水 質 保 全	地下水(五大湖), 地下水面変化 汚泥の流動, 流動特性 河川汚濁監視, 水質環境, 湖水懸濁度, 懸濁物 質, 湖水の流動, 沿岸水質変化, 湖底地形, 富 栄養化, 栄養負荷, 水中植物
海 岸 港 湾	波	海洋気象, 風下波パターン, 浅水域の波, 風波, 海上風, 海面風速, 波浪の高さ, 海面の波, 風速
	波 の 変 形 波 と 構 造 物 漂砂および海浜過程	沿岸流 海洋鉦山開発 海浜形状, 底質特性, 海浜地形変化, 海浜変形, 浜砂の分布, 河口地形変化, 海図作成
	潮 汐 ・ 潮 流	潮流速度, 湖沼の流れ, 海流, 湧昇流, 湖・貯 水池の流れ, 渦, 冷たい渦, 中規模渦, 黒潮
	津 波 お よ び 高 潮 沿 岸 域 密 度 流	高潮, 高潮災害, 海岸侵食 密度流フロント, 海水密度, 河口流出水の広が り, 海水交流
	沿岸における水質拡散	沿岸水質, 拡散, 海色監視, 海洋色彩フロント, 海岸環境, 海洋植物, 海洋水温, 海面水温
		沿岸環境, 海洋投棄物, 酸性廃棄物, 水面油, 油流出, 浮遊物, 海流界面, 水環境
	水(**)	海水, 流水, 氷山, 結氷監視

注) * 及び ** 印は水理公式集の分類には存在しない。

であろうか。根本原理は概念的であり、それは離れたところに感知装置を置いて、対象に関する情報を何らかの媒体（音または光のいずれか）を通して伝達せしめ、それを解読することにある。計測機器を対象物に直接当てて、示される数値を直接読むという方式ではないため、そこで得られる情報の真偽に懸念を抱くこともしばしば発生する。しかし、これはリモートセンシングの特性から来る必然であって、このような短所ゆえにリモートセンシングを敬遠するのは必ずしも得策とはいえない。

リモートセンシングの原理は、人間の目と脳の機能に酷似している。目は生物発生的には脳が進化して出来たものだが（cf. 耳は皮膚が進化したもの）、ここでは目と脳の機能について若干の説明をおこう。

目は画像情報を脳がそれを使うことによって知覚できるような神経衝撃へと変換する複雑な構造物である。或る対象物から発した光線は水晶体によって集められ網膜の上に投影される。眼球の虹彩はその水晶体を通過する光の量をコントロールする。水晶体と虹彩は共に角膜によって物理的に保護されている。

網膜はカン状体と錐状体として知られる光に感じるエレメントから構成されている。約100万個のこのような光受容体は光の強度を神経衝撃へと変換する役割を持っている。このような衝撃は視神経の中の神経繊維を通過して目から脳へと伝わる。脳は順番に神経衝撃情報を解読して私たちが画像として認識できる情報へと変換する。

図1は視神経による視覚情報の脳への伝達経路を描いたものだが、特に、対象物が網膜に投影されてから視覚情報記憶中枢へ至るまでの複雑なプロセスに注目してほしい。リモートセンシングをこのような人間の視覚システムにたとえるなら、現在のリモートセンシング・システムは、対象物が網膜へ投影される機構が少し完成したばかりで、網膜から脳へ至る情報の伝送／変換の機構についてはほとんど手が付けられていないといった状況である。リモートセンシングを水工学に応用するには、視覚システムでいう網膜から脳への機構に相当する部分を研究開発しなければならない。

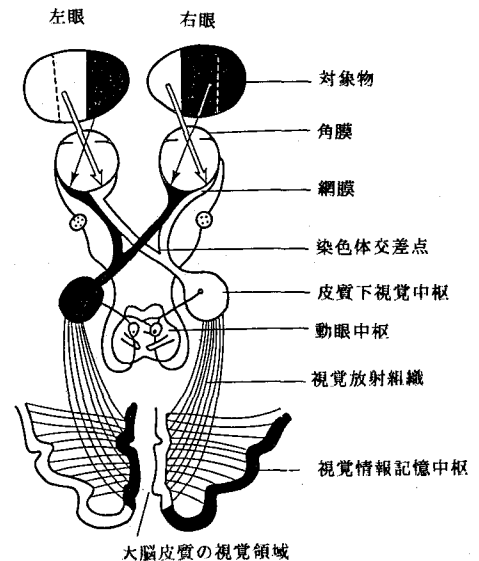


図1 視神経による視覚情報の脳への伝達機構

4. リモートセンシングデータについて

水工学に応用されるリモートセンシングデータは、航空機や人工衛星から収集される。表2は世界の主要な地球観測衛星と搭載されているセンサーシステムの諸元を示す。この中で最も普及しているのは、ランドサット衛星に搭載されている多重スペクトル走査計（Multi Spectral Scanner : MSS）で、

表2 主な地球観測衛星とセンサの諸元

衛 星	センサ	観 測 波 長 域	分解能	観測周期	観測幅	特 徴
Landsat (米国)	MSS	ch. 4 : 0.5-0.6 μ	79 m	16 日	180 km	1972年7月に 打ち上げられ て以来、地球 を観測し続け ている地球観 測衛星の代表
		ch. 5 : 0.6-0.7 μ	79 m			
		ch. 6 : 0.7-0.8 μ	79 m			
		ch. 7 : 0.8-1.1 μ	79 m			
TM		ch. 1 : 0.45-0.52 μ	30 m	16 日	180 km	
		ch. 2 : 0.52-0.60 μ	30 m			
		ch. 3 : 0.63-0.69 μ	30 m			
		ch. 4 : 0.76-0.90 μ	30 m			
		ch. 5 : 1.55-1.75 μ	30 m			
		ch. 6 : 10.4-12.5 μ	120 m			
		ch. 7 : 2.08-2.35 μ	30 m			
NOAA (米国)	AVHRR	ch. 1 : 0.58-0.68 μ	1.1 km	24 時間	2,400 km	雲および海流 観測に適する
		ch. 2 : 0.725-1.1 μ	1.1 km			
		ch. 3 : 3.55-3.93 μ	1.1 km			
		ch. 4 : 10.5-11.5 μ	1.1 km			
		ch. 5 : μ	1.1 km			
METEOR -30 (ソ連)	MSU - E	ch. 1 : 0.5-0.7 μ	30 m		170 km	高度約600km 傾斜角 98° 軌道周期98分
		ch. 2 : 0.7-0.8 μ	30 m			
		ch. 3 : 0.8-1.0 μ	30 m			
Spot (仏国)	HRV	ch. 1 : 0.50-0.59 μ	20 m	高頻度運 用の場合 : 4-5 日		ステレオ観測 可能 データ収集は 注文制
		ch. 2 : 0.61-0.68 μ	20 m			
		ch. 3 : 0.79-0.89 μ	20 m			
		ch. 4 : 0.51-0.73 μ	10 m			
ひまわり (日本)		ch. 1 : 0.5-0.75 μ ch. 2 : 10.5-12.5 μ	1.25 km 5 km	30 分	全 球	天気予報用
MOS - 1 (日本)	MESSR	ch. 1 : 0.51-0.59 μ	50 m	17 日	100 km × 2	1987年初頭に 打ち上げ予定
		ch. 2 : 0.61-0.69 μ	50 m			
		ch. 3 : 0.72-0.80 μ	50 m			
		ch. 4 : 0.80-1.10 μ	50 m			
	VTIR	ch. 1 : 0.5-0.7 μ	0.9 km		1,500 km	
		ch. 2 : 6.0-7.0 μ	2.7 km			
		ch. 3 : 10.5-11.5 μ	2.7 km			
		ch. 4 : 11.5-12.5 μ	2.7 km			
	MSR	ch. 1 : 23 GHz	31 km		320 km	
		ch. 2 : 32 GHz	21 km			
ERS - 1 (日本)	光学センサ	可視・近赤外域 3 - 4 バンド	10-20m		100 km	ステレオ観測 可能
		中間赤外域 3 - 4 バンド	10-20m			
		遠赤外域 1 バンド以上	30-50m			
注) 右欄の以 降のパラメー タは予想値						
	SAR	Lバンド	10-20m		100 km	1991年初頭に 打ち上げ予定

1972年にランドサット1号が打ち上げられて以来地球表面を撮影し続けてきた。1981年にランドサット4号が打ち上げられ、云わば、改良型のMSSであるセマティック・マップパー（Thematic Mapper：TM）が稼動するようになると、空間分解能が地球表面上で30 mに改善され画像上では道路や大きな構造物が識別されるようになった。このセンサーシステムには熱バンド領域のデータも収集できるようになっており、これを利用して河口から海への拡散状況を表面水温で観測できるようになった。図2は天降川から鹿児島湾に冷水が階段状フロントを形成しながら拡散してゆく状況をTMの第6チャンネルで捉えた画像である。

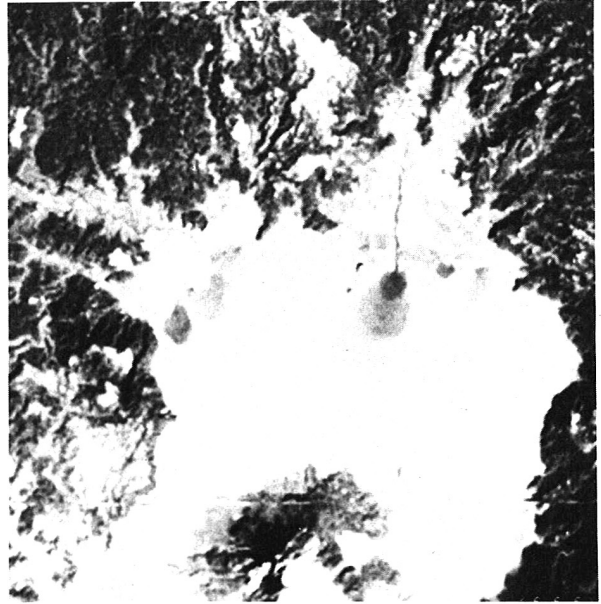


図2 ランドサット TM が捉えた流出の階段状フロントパターン（84.10.22. 天降川）

表2のランドサット以外の衛星は、現在それほど普及している訳ではない。NOAA衛星の主力センサーは改良型高解像度走査計AVHRRであり、この第4または5チャンネルで捉えた画像データ地表面分解能1.1

km（直下点）にて、公称0.12 Kの測定精度で地球表面からの放射を測定する。つまり、地表面温度がこの精度で推定できる訳で、このデータを利用すれば海流の方向を判読することができる。

METEORはソ連が打ち上げている気象観測衛星シリーズであり、ここでは第30号衛星に搭載されている一つのセンサの諸元を示している。METEORシリーズは世界で最も多く打ち上げられた地球観測衛星であるが、その実体についてはほとんど知られていない。

Spotは、フランスが国威を賭けて開発した地球観測衛星であり、1986年2月22日1時22分（世界時間）、南米仏領ギアナにあるクールー宇宙センターから打ち上げられた。この衛星は地表面分解能が多重チャンネル方式の撮影のとき20 m、単チャンネルのとき10 mと高いことに特徴がある。この衛星でデータを収集するには、希望する地域、時間、雲の量を指定しフランスにデータ収集の注文を出しに行くという方式が採られる（日本では（財）リモート・センシング技術センターが窓口）。

日本の地球観測衛星に関しては、現在「ひまわり」が稼動中である。1967年初頭と1991年初頭には海洋観測衛星1号（MOS-1）と地球資源衛星1号（ERS-1）とがそれぞれ打ち上げられる予定である。図3には地球観測衛星の打ち上げ計画と地上局の配置を示す。

表3には主な航空機搭載用多重スペクトル走査計（MSS）の観測波長帯域を示す。Bendix社製M2

各国の地球観測衛星の打上げ計画

(昭和60年9月現在)

打上げ 国名	1976 (昭51)	1977 (昭52)	1978 (昭53)	1979 (昭54)	1980 (昭55)	1981 (昭56)	1982 (昭57)	1983 (昭58)	1984 (昭59)	1985 (昭60)	1986 (昭61)	1987 (昭62)	1988 (昭63)	1989 (昭64)	1990 (昭65)
日本		▲ 静止気象衛星(ひまわり) (GMS)				▲ 静止気象衛星2号 (ひまわり2号) (GMS-2)	▲ 技術試験衛星II型 (ETS-II)			▲ 静止気象衛星3号 (GMS-3)		▲ 海洋観測衛星1号 (MOS-1)			▲ 地球資源衛星1号 (ERS-1) ▲ 静止気象衛星4号 (GMS-4)
米国	▲ LANDSAT-1 (1972) ▲ LANDSAT-2 (1975)		▲ LANDSAT-3	▲ SEASAT-1 ▲ TIROS-N			▲ LANDSAT-4		▲ LANDSAT-5					▲ LANDSAT-6	▲ NROSS ▲ NOAA-1 ▲ NOAA-2 ▲ NOAA-3 ▲ NOAA-4 ▲ NOAA-5 ▲ NOAA-6 ▲ NOAA-7 ▲ NOAA-8 ▲ NOAA-9 ▲ NOAA-10 ▲ NOAA-11 ▲ NOAA-12 ▲ NOAA-13 ▲ NOAA-14 ▲ NOAA-15 ▲ NOAA-16 ▲ NOAA-17 ▲ NOAA-18 ▲ NOAA-19 ▲ NOAA-20 ▲ NOAA-21 ▲ NOAA-22 ▲ NOAA-23 ▲ NOAA-24 ▲ NOAA-25 ▲ NOAA-26 ▲ NOAA-27 ▲ NOAA-28 ▲ NOAA-29 ▲ NOAA-30 ▲ NOAA-31 ▲ NOAA-32 ▲ NOAA-33 ▲ NOAA-34 ▲ NOAA-35 ▲ NOAA-36 ▲ NOAA-37 ▲ NOAA-38 ▲ NOAA-39 ▲ NOAA-40 ▲ NOAA-41 ▲ NOAA-42 ▲ NOAA-43 ▲ NOAA-44 ▲ NOAA-45 ▲ NOAA-46 ▲ NOAA-47 ▲ NOAA-48 ▲ NOAA-49 ▲ NOAA-50 ▲ NOAA-51 ▲ NOAA-52 ▲ NOAA-53 ▲ NOAA-54 ▲ NOAA-55 ▲ NOAA-56 ▲ NOAA-57 ▲ NOAA-58 ▲ NOAA-59 ▲ NOAA-60 ▲ NOAA-61 ▲ NOAA-62 ▲ NOAA-63 ▲ NOAA-64 ▲ NOAA-65 ▲ NOAA-66 ▲ NOAA-67 ▲ NOAA-68 ▲ NOAA-69 ▲ NOAA-70 ▲ NOAA-71 ▲ NOAA-72 ▲ NOAA-73 ▲ NOAA-74 ▲ NOAA-75 ▲ NOAA-76 ▲ NOAA-77 ▲ NOAA-78 ▲ NOAA-79 ▲ NOAA-80 ▲ NOAA-81 ▲ NOAA-82 ▲ NOAA-83 ▲ NOAA-84 ▲ NOAA-85 ▲ NOAA-86 ▲ NOAA-87 ▲ NOAA-88 ▲ NOAA-89 ▲ NOAA-90 ▲ NOAA-91 ▲ NOAA-92 ▲ NOAA-93 ▲ NOAA-94 ▲ NOAA-95 ▲ NOAA-96 ▲ NOAA-97 ▲ NOAA-98 ▲ NOAA-99 ▲ NOAA-100
カナダ															▲ RADARSAT
欧 州	ESA													▲ ERS-1	
州 仏											▲ SPOT-1		▲ SPOT-2		▲ SPOT-3
インド			▲ BHASKARA-1			▲ BHASKARA-2						▲ IRS-1A			▲ IRS-1B

▲ 打上済 ▲ 打上予定

LANDSAT地上局の配置

(昭和60年9月現在)

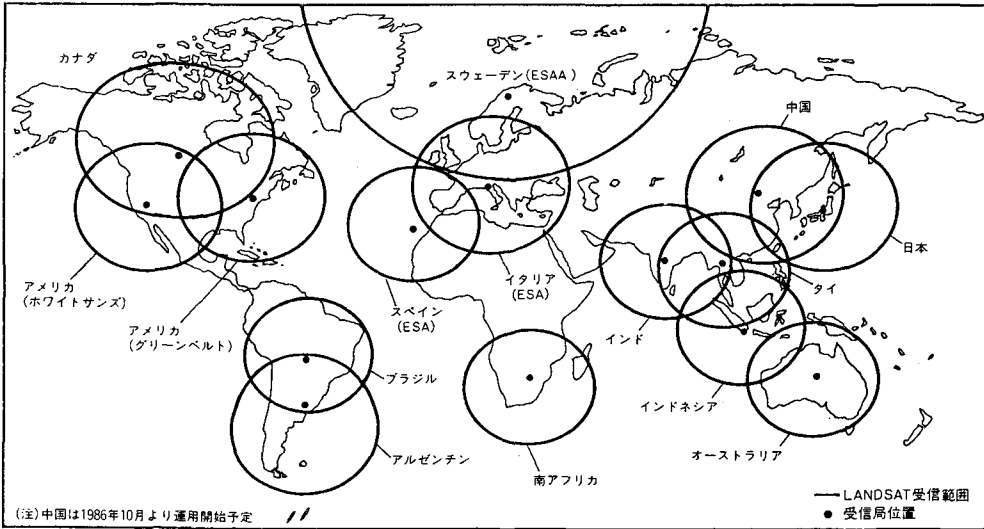


図3 地球観測衛星の打上げ計画と地上局の配置*2)

表3 主な航空機搭載用多重スペクトル走査計

	Bendix 社製 M2 S	Daedalus 社製 AADS 1268	Jafsa 製 MSS-BG-1
ch. 0			0.30-0.35 μ
ch. 1	0.38-0.44 μ	0.42-0.45 μ	0.35-0.40 μ
ch. 2	0.44-0.49 μ	0.45-0.52 μ	0.40-0.45 μ
ch. 3	0.49-0.54 μ	0.52-0.60 μ	0.45-0.50 μ
ch. 4	0.54-0.58 μ	0.60-0.62 μ	0.50-0.55 μ
ch. 5	0.58-0.62 μ	0.63-0.69 μ	0.55-0.60 μ
ch. 6	0.62-0.66 μ	0.69-0.75 μ	0.60-0.65 μ
ch. 7	0.66-0.70 μ	0.76-0.90 μ	0.65-0.70 μ
ch. 8	0.70-0.74 μ	0.91-1.05 μ	0.70-0.80 μ
ch. 9	0.77-0.86 μ	1.55-1.75 μ	0.80-0.90 μ
ch. 10	0.87-1.06 μ	2.08-2.35 μ	0.90- 1.1 μ
ch. 11	10.2 μ 付近	8.5-13.0 μ	10.5-12.5 μ
ch. 12			4.3- 5.5 μ
ch. 13			4.5- 4.9 μ

S は日本では、工業技術院資源公害研究所と三菱商事株式会社がそれぞれ一台づつ所有しており、デジタル記録型の走査計として特徴を発揮している。日本に導入されている Deadulus 社製の MSS の機種は AADS 1250 で、アジア航測株式会社が 2 台、日本気象協会が 1 台保有しており、アナログ式でデータを記録する。Jafsa 製の MSS-BG-1 は、日本造船振興財団 (Japan Foundation for Shipbuilding Advancement: Jafsa) が昭和 53 年に開発したもので、日本の沿岸地域調査に活用された。なお、Deadulus 社製の MSS の国別の所有状況は表 4 の通りである。

表4 Deadulus 社製 MSS の国別保有状況 (1983)

国 名	台数	国 名	台数
アルゼンチン	2	日 本	3
オーストラリア	1	メ キ シ コ	1
ベ ル ギ ー	1	オ ラ ン ダ	1
カ ナ ダ	5	ポ ル ト ガ ル	1
中 国	4	ス エ ー デ ン	3
英 国	3	台 湾	1
フ ラ ン ス	2	タ イ	6
ド イ ツ	1	ア メ リ カ	9
インドネシア	1	ユーゴスラビア	1
イ タ リ ア	1		

5. リモートセンシングデータの解析法、解析装置

リモートセンシングデータには、MSS データ、レーダー映像データ、音響データなどがあり、それぞれ性質が異なる。各データに関して、それぞれ目的に応じた解析方法がある。ここでは MSS データを利用して河川の拡散パターンを抽出する場合についての解析法・解析装置とについて述べる。

解析法に係わる第一の要点はデータの選択である。拡散現象把握のためのデータ選択の基準は、観測波長帯域、拡散水域の大きさ、データ収集時刻等である。観測波長域は、トレーサの種類によって異なる。拡散現象観測のためのトレーサには、濁りと水温の二つがある。濁りをトレーサとする場合には、青色光または緑色光に相当する波長帯域データが適しているが、揚子江河口のように濁りの程度が高い場合には赤色光や近赤外光域のデータが適している。

拡散水域の大きさは、航空機でデータを収集する場合には重要な検討項目の一つとなるし、ランドサットデータを購入する場合においても検討の必要はあろう。拡散のような時間によって変動する現象は、データの収集時刻が問題である。また、データを収集した時の大気の状態も検討しなければならない。例えば、温度をパラメータとして拡散現象を知ろうとする場合、大気の温度が水温より高く、多量の水蒸気を含む熱帯のような条件では温度をパラメータとした流動の観測は著しく困難となる。

リモートセンシングデータの解析装置には、大きく分けて3種類のものがある。

- (1) 専用解析装置
- (2) 汎用計算機に画像表示装置を付けたもの
- (3) パソコンで解析システムを構成したもの

図4に示すのは専用解析装置の例で、米国ゼネラルエレクトリック社が製作した多重スペクトルデータ解析装置（商品名：Image-100）である。ランドサットMSSデータやTMデータ或いは航空機MSSデータ等を用いて流出パターンの解析ができる。

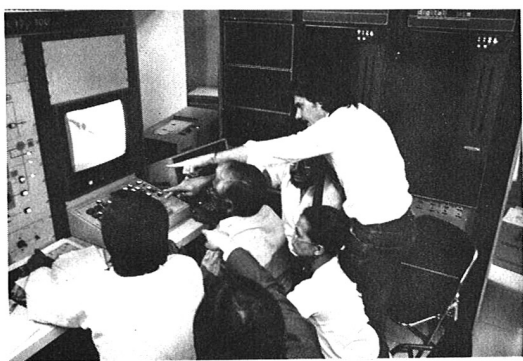


図4 専用解析装置（Image-100）



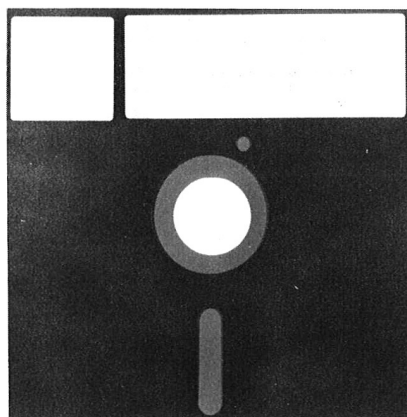
図5 汎用計算機に画像表示装置を付けたもの

図5は汎用計算機にカラー画像ディスプレイ装置を付けたものである。コンピュータ本体の記憶装置（ここでは磁気ディスク）に画像データを蓄えておき、高級言語（フォートランなど）でプログラミングをして比較的自由に画像の操作をし、ディスプレイできるという特徴がある。

図6はパソコンをベースに多重スペクトルデータ解析が行えるようにシステム構成をしたものである。リモートセンシングデータはフロッピーディスクシートに入っており、これより読み出してパソコンで処理しパソコン用テレビモニタに出力するという手順をとる。



a. 装 置



b. フロッピーディスクシート

図 6 パソコンで解析システムを構成したもの

表 5 は解析装置をリモートセンシングデータの物理的な処理能力から分析したものである。大略 4 レベルに分けることができる。ゼロレベルとは人工衛星ないしは航空機でデータを収集するレベルであり、生のデータが直接センサーに飛び込んでくる。正常なデータが得られているかどうかは、信号波形をモニタすることによって確かめられるが、データの内容について調べることはない。プロセスの速度は 10

表 5 MSSデータの処理能力の施設別比較

レベル	施 設	デ ー タ 記録媒体	出 力 装 置	データの 大 き さ	プロセスの速度
0	人 工 衛 星 航 空 機	センサー	信号波のモニタ	—	10 MB/sec
1	地上受信施設 地上処理装置	HDDT	ク イ ッ ク ル ッ ク	10 GB	10 MB/sec
2	大学RSセンタ 計 算 機 室	CCT	RGB/CRT フィルムライタ	300 MB	250 KB/sec
3	研 究 室	フロッピー ディスク	パソコン用CRT	1 MB	1 KB/sec

MB/sec ほどである。

レベル 1 とは地上受信施設におけるレベルで、ここではデータの内容について或程度クイックルック装置を使い知ることができる。プロセスの速度はゼロレベルと同等である。このレベルではデータを記録保存することが重要な機能であり、たとえばランドサット TM の 1 パス約 4,000 km の観測に対し、10 GB のメモリを必要とする。

レベル 2 とは大学の計算機室程度の段階で、データの大きさ、プロセスの速度とも 1 オーダ半くらい

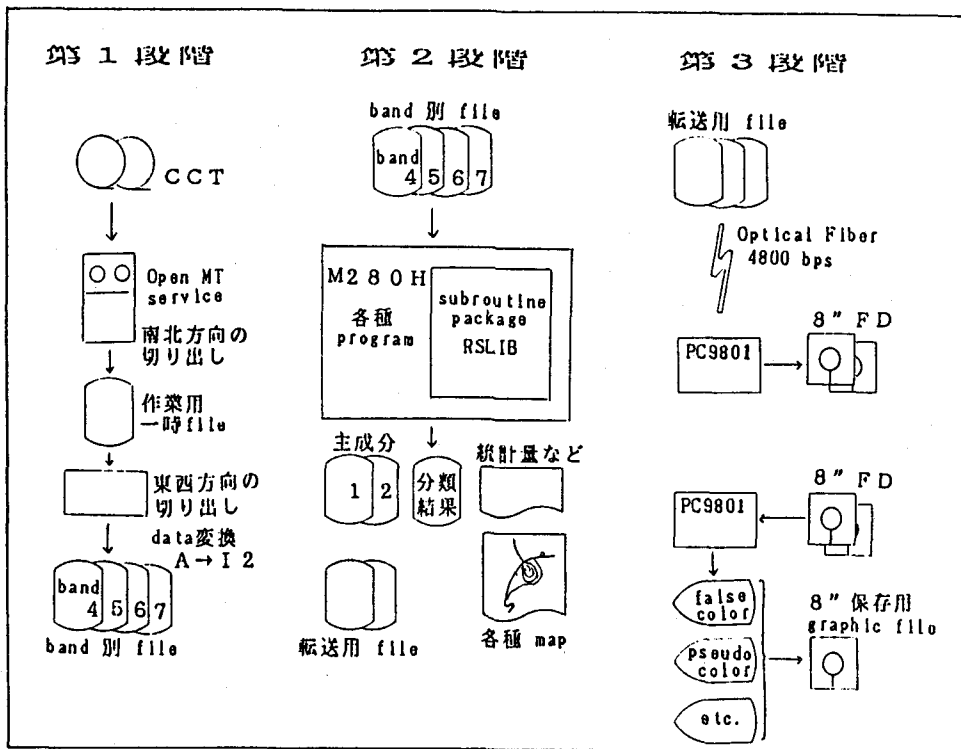


図7 汎用計算機とパソコンを組み合わせた解析手順

下がる。レベル3とは研究室程度の段階で、データの大きさ、プロセスの速度は更に2オーダー程度下がる。

このような事情により、汎用計算機とパソコンを接続し、解析は汎用計算機で表示はパソコン用テレビモニターという方法で研究を進めているところもある（例えば東洋大学土木工学科、東京工業大学土木工学科など）。図7には、沢本・村越が行ったランドサットMSSデータの解析方法を示す。

第I段階 画像の切り出し

ランドサットMSS 1シーンのCCT (Computer Compatible Tape) データは、東西3596ピクセル、南北2983ライン、4バンドの計43 MBよりなり、これをすべて共同利用計算機のメモリーに格納することは困難である。このため、解析の対象とする部分の切出を行う。例えば、安部川・大井川については600ピクセル×900ラインであった。

第II段階 大型計算機による解析

第I段階で作成したバンド別ファイルを入力データとして統計量の計算、主成分計算、分類などの処理を行う。河川流出の解析手順は次の通りである。

- II-1 単バンドマップの表示
- II-2 水域の分離
- II-3 水域のサンプリングとクラスター分析

Ⅱ－４ 主成分計算によるデータの集約

Ⅱ－５ パソコン転送用ファイルの作成

第Ⅲ段階 パソコンによる解析結果の表示

Ⅱ－５で作成したパソコン転送用ファイルを１MB 8”フロッピーディスクに転送した後，次の処理を行う。

- (1) 単バンド白黒濃淡画像の表示
- (2) ３バンドのデータを用いたフォールスカラー表示
- (3) 主成分のカラースライス表示
- (4) 分類結果の擬似カラー表示

パソコンでは，８色表示しかできないので，(1)，(2)の濃淡を要する表示では，輝度の値を重みとした乱数を発生させ，その値がある限界値を越えるとRGBいずれかの色を付けるという方法を採用している。
パソコンによるランドサットデータの解析ソフト

大学の研究室などでは，パソコンによるランドサットデータの解析ソフトを独自に作成することが多いが，市販されている類似したソフトウェアを利用することもできる。水域を対象とした解析には，沢本・村越が示した第Ⅲ段階の(1)から(4)の機能が付いていることが必要である。表６には，市販されているソフトの例を示す。

表６ ランドサットデータ解析ソフトウェア 1986.4.28 調べ

ソフトウェア の 名 称	発 売 元	機 能					価 格 (円)
		(1)	(2)	(3)	(4)	その他	
LODIA	日本電気航空宇宙 シ ス テ ム ㈱	○	○	○	○	統計処理	150,000
ノアランドサ ット画像解析	㈱アイ・ビ・シ	○	○	○	○	統計処理	60,000- 180,000
PC-SAT	ソ フ ト ウ ェ ア 流 通 セ ン タ ー	○	○	○	○	統計処理	125,000

(機能(1)～(4)は文中に示したもの)

6. 水工学に係わるリモートセンシング・プロジェクト

水工学に係わるリモートセンシングは，日本造船振興財団とアジア航測株式会社等の実績が認められる。

日本造船振興財団のプロジェクトは昭和49年から58年に至る10年間，日本国土海洋総合学術診断委員会を組織し，リモートセンシングに関する研究開発事業が遂行されたものである。この事業では，航空機を使い日本全国の沿岸地域を研究対象に選んでMSSおよびカラー写真データの収録が行われた。

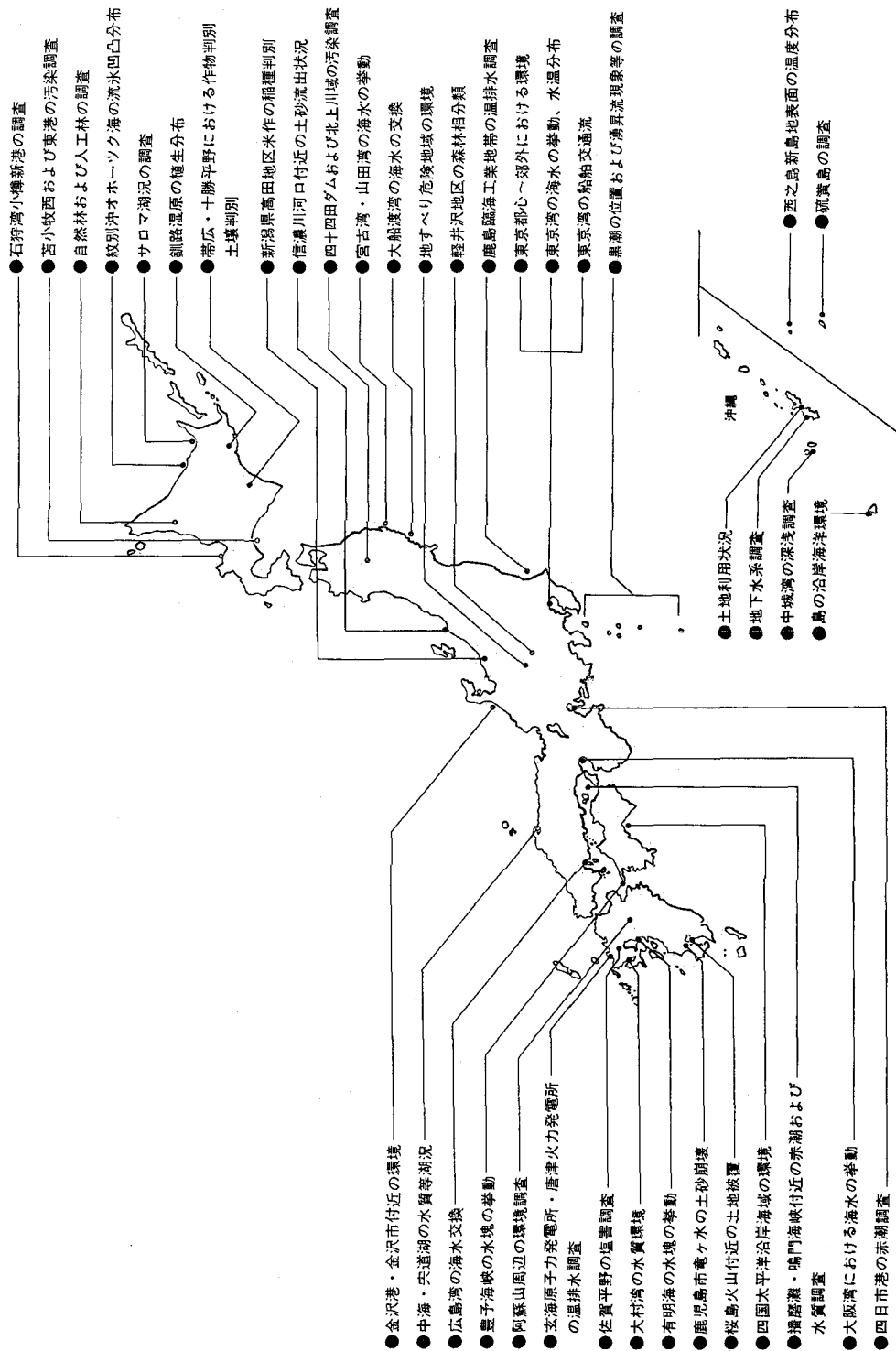
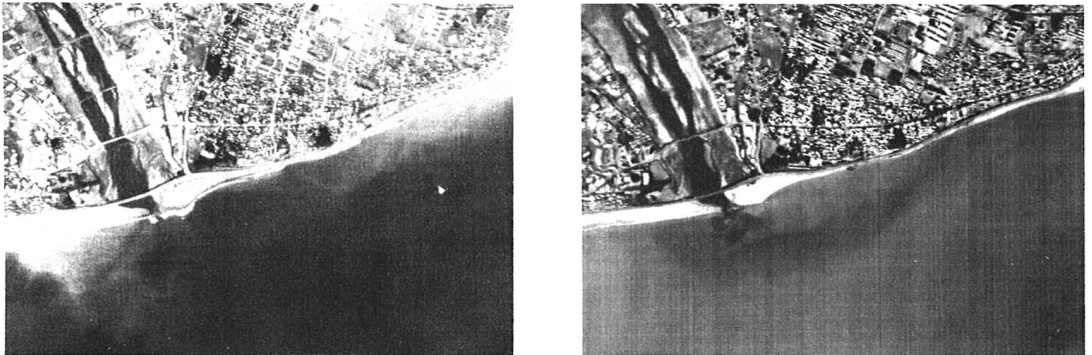


図 8 日本造船振興財団による MSS およびカラー写真の収録地域と主要テーマ

図8には、データ収集区域と主要な調査・研究対象を列挙してあるが、水工学に係わる研究が40テーマ中の30テーマを占めている。さらに、30テーマ中の内訳は、水質関係が11テーマ、流れが11テーマ、その他が9テーマとなっている。

一方、アジア航測株式会社は火力および原子力発電所の温排水の観測・解析に実績を積んできた。図9は、多重スペクトル走査計 AADS 1250 で収集した。酒匂川河口の拡散パターンの例である。



a. 可視画像

b. 熱画像

図9 航空機MSSで収集した酒匂川河口の流出パターン

(撮影：昭和58年10月25日 11:47 - 12:03)

(撮影高度：2,500 m, 瞬間視野：5.6 m)

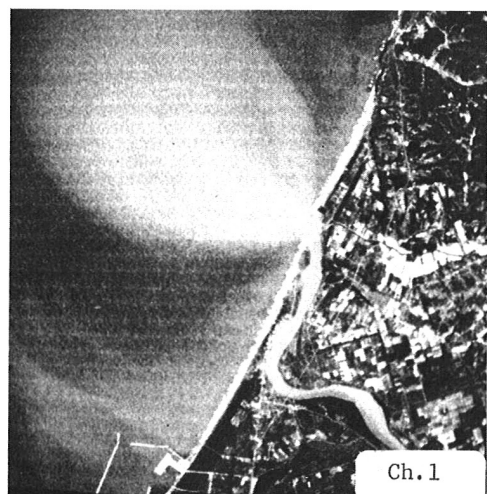
- a. Ch 3 (450-500 nm) 画像…… 河口からの流出水による濁りの拡散及び海浜の砂の巻き上げによる濁り
- b. Ch 11 (8-14 μ) 画像 ……… 流出水が河口部より半円状にやや東流して拡散している。

7. ランドサットTMデータに見る拡散パターン

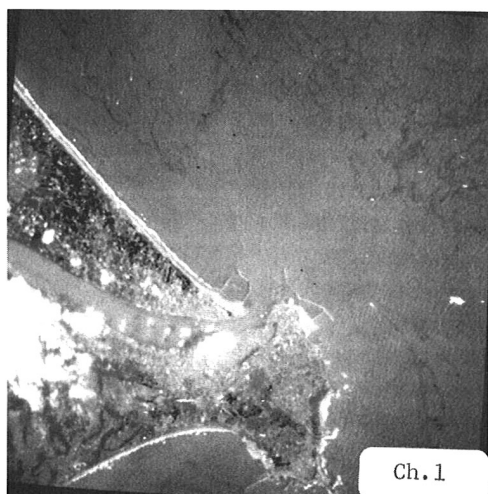
日本における流量の大きな川の拡散の観測に最も適していると思われるのは、ランドサットTMデータである。河口拡散パターンは、TM画像の中にどのように映るのであろうか。冷水の拡散と温水の拡散パターンを、石狩川河口及び利根川河口の例によって図10-1, -2, -3のように示す。

石狩川河口のTMデータは1985年10月29日に撮影された。Ch 1 からCh 3 画像においては、拡散雲 (Plume) が濁りの程度をトレーサーとして表現されている。拡散雲のパターンはこれらの画像間で僅かづつ異なっている。濁りの程度の大きなものはCh 1 画像にも表われるが小なるものは表われない。Ch 4, 5, および7 画像においては、拡散パターンは殆ど検出されない。Ch 6 画像は地表面温度を表している。従って、この画像では、拡散雲は温度をトレーサーとして表現されている。白いところの温度が高く黒いところの温度は低い。河口から海水よりも温度の低い河川水が放出されているが、温度は放出の中心線に沿って徐々に上昇するのではなく、拡散雲の包絡線に低温の帯域が認められる。

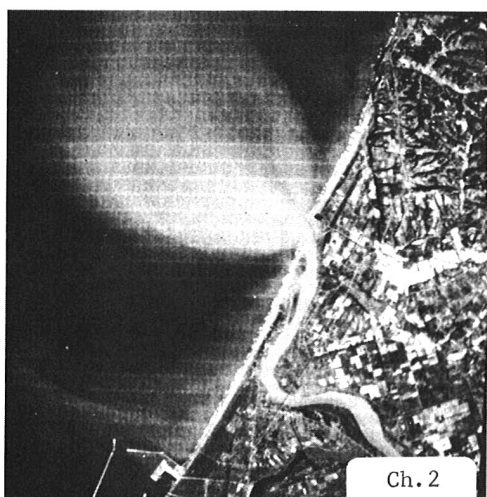
利根川河口のTMデータは1984年7月31日に撮影された。Ch 1 からCh 3 画像においては、拡散雲 (Plume) が海面の波のパターンの変化によって僅かに認められる。拡散雲の存在を知らせる波は、



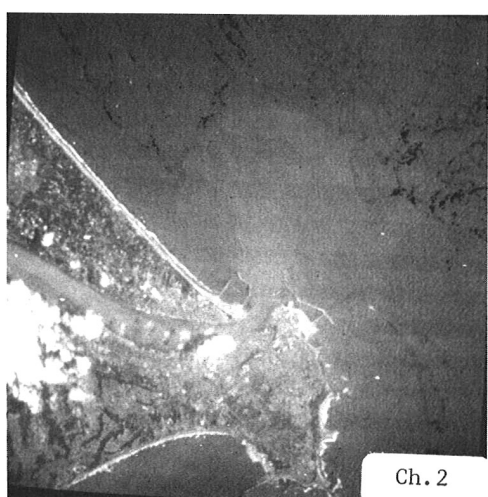
Ch. 1



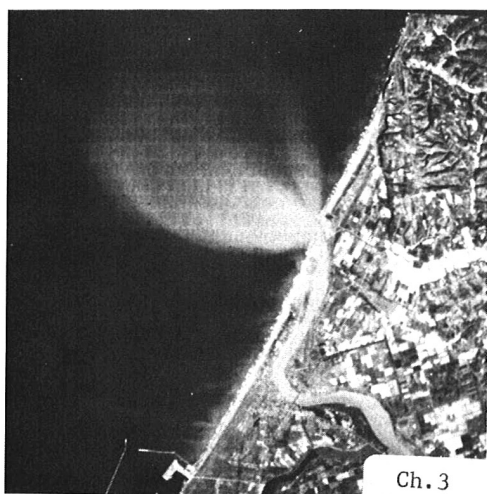
Ch. 1



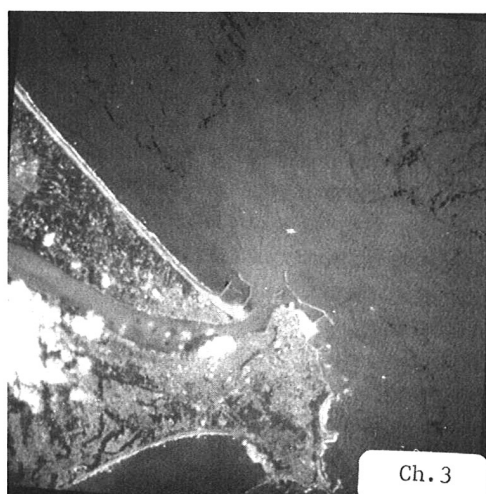
Ch. 2



Ch. 2



Ch. 3



Ch. 3

図 10-1 ランドサット TM 画像にみる温水と冷水の拡散パターン
(左列が石狩川, 右列が利根川)

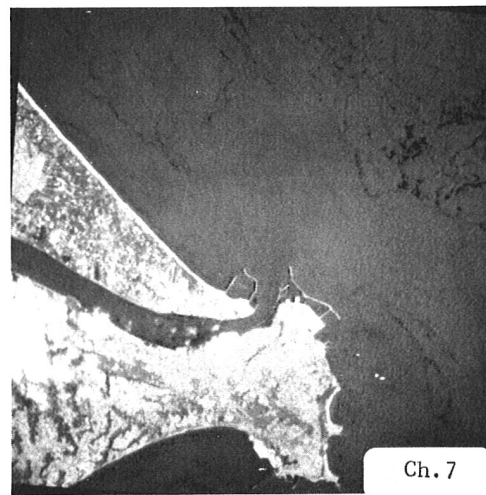
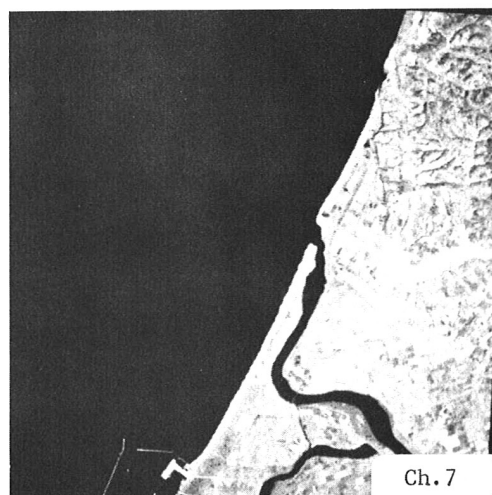
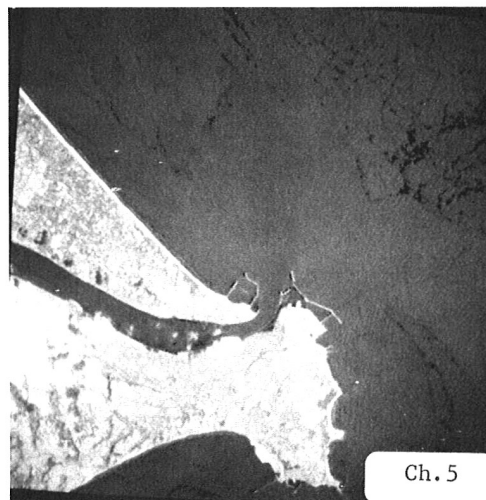
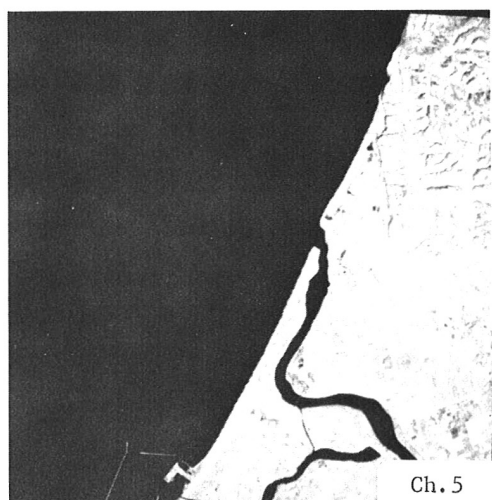
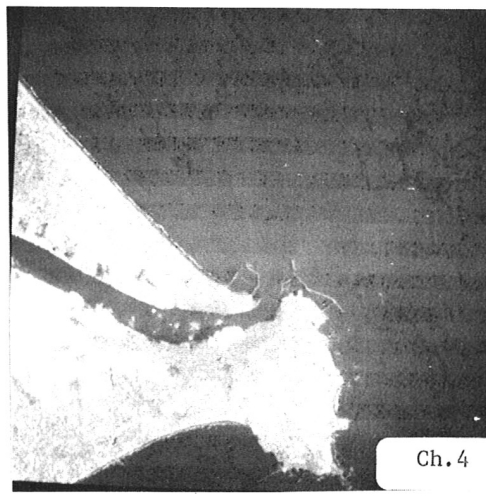
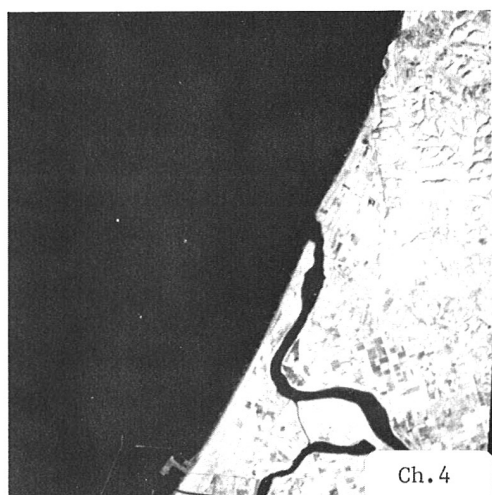


図 10-2 ランドサット TM 画像にみる温水と冷水の拡散パターン

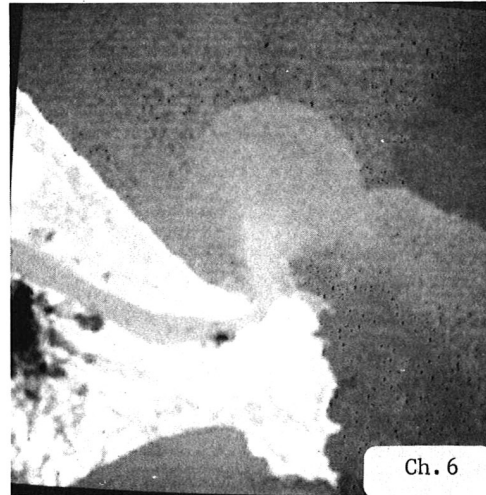
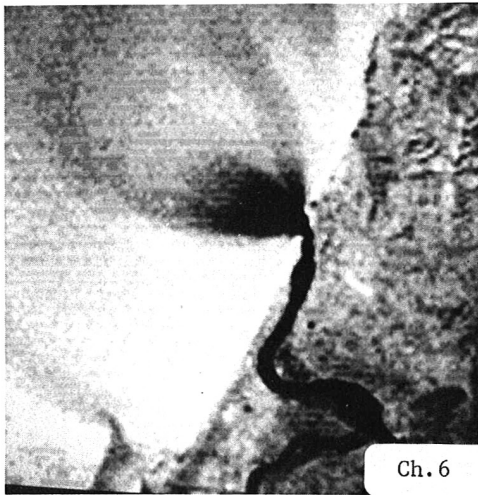


図 10-3 ランドサット TM 画像にみる温水と冷水の拡散パターン

海面を一様に覆っている波長の長い波ではなく、海中に於ける水塊の上昇と下降に起因すると思われる海面の収束および発散に関する波長の短い波である。Ch 4, 5, および 7 画像においては、拡散パターンを認めることは難しいが、波のパターンの変化と拡散雲に関する知識があれば、或程度は可能である。Ch 6 画像においては、温度をトレーサーとして海水よりも温度の高い河川水が放出されていることが認められる。拡散雲の包絡線は、石狩川河口の場合とは逆に明瞭であり、河川水と海水とは混合していないようである。

8. 研究事例

水工学に関連するテーマをリモートセンシングで研究した事例の中で、拡散、流れ、及び渦を扱ったものを一つずつ紹介する。

事例 1：濁度の減衰^{1), 2)}

河口から放出される濁水の可視光領域における反射の強さの変化を、流心方向に調べると濁度の減衰のパターンを知ることができる。次式で定義する値を相対的な濁度と考える。

$$100 (Z_s - Z) / (Z_s - Z_o) \quad (\%) \quad (1)$$

ここに、

Z : 該当する地点の反射の強さ

Z_s : 海 (sea) の反射の強さ

Z_o : 河口 (origine) の反射の強さ

(1) 式で定義される値が、正規化された河口からの距離に対してプロットされると図 11 を得る。こ

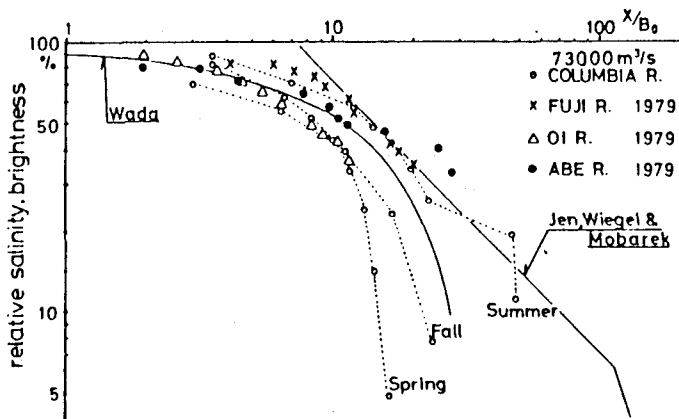


図 11 中心軸に沿った濁度の減衰

こには 1979 年のデータで観測された富士川、大井川、阿部川の河口の濁度の減衰特性曲線が示されている。

(1) 式のような定義の仕方では、コロンビア川の塩分濃度 (Salinity) の減衰特性をプロットしたものも同時に記載されている。

$$100 (S_s - S) / (S_s - S_0) \quad (\%) \quad (2)$$

ここに、

S : 該当する地点の塩分濃度

S_s : 海 (sea) の塩分濃度

S_0 : 河口 (origine) の塩分濃度

この図には温排水の温度の変化特性も記入してある。この図面に於いては温度変化の特性は一致しているが、温度変化についてはその物理的メカニズムが濁度や塩分濃度のように混合ではないため、その方面からの説明が必要と思われる。

事例 2 : 自走渦と地球自転^{4), 5)}

日本列島は 2 種類の流れによって囲まれている。一つは黒潮に代表される海流であり、もう一つは月と太陽とに原因する潮流である。海流もしくは潮流が沿岸域を流れるとき、そこには渦が発生する。沿岸海域の流動を渦の役割を抜きにして語ることは出来ない。渦を説明因子に組入れることによって、湾内の流れ、水位変動、海水交換等の説明が可能となる水域が日本列島沿岸域には多い。

図 12 はランドサット MSS 及び気象衛星 NOAA/AVHRR によって観測したデータから、御前崎にて発生した渦が駿河湾内でどのように変化するかを時系列に追跡したものである。(A) 湾口部における左旋の渦の形成と周囲水の巻き込み、(B) その形成終了、(C) 伊豆半島への接近、および (D) 伊豆半島西岸沿いの北上の様子を示している。

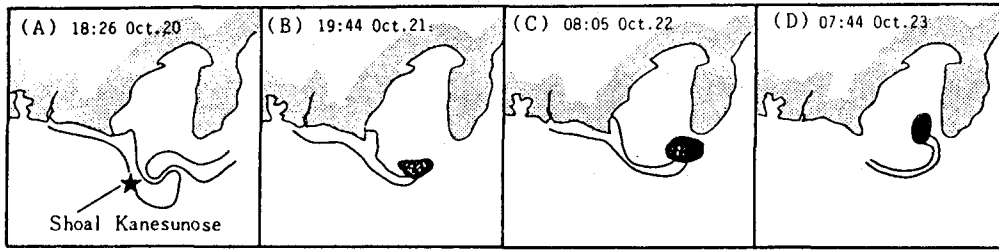


図12 剝離渦の自走運動

本海域の海底地形は、両側に二つの顕著な浅瀬を有する深い湾であるという特徴がある。御前崎沖30 km には水深 50 m の「金洲の瀬」が突出し、石廊崎沖合には水深 200 m ほどの浅瀬が延びている。観測当時の黒潮主流が駿河湾口に極めて接近していたという流動条件を考慮すると、この左旋の渦は以下のように説明できる。(A) は接近した黒潮が「金洲の瀬」よりシアーを受けて左旋の渦を形成している状態、(B)、(C)、(D) はこの左旋の渦が伊豆半島およびその延長の浅瀬からのイメージ効果を受けて北上し、湾内へと呑み込まれている状況を示している。

この渦の挙動を成立させている重要な条件に地球自転がある。北半球の赤道を除く海域においては、左旋の渦は安定して保持される。逆に右旋の渦の存続は短かく渦運動は急速に分解してしまう。図13 は回転水槽を使った実験結果で、渦の挙動は概略以下のとおりである。

左図：地球自転無しの左旋の渦は、形成終了後に海岸線に沿って自走する。

中図：地球自転下の左旋の渦は海岸線に沿って右方へと移動すると同時に海岸線へと接近する。左図と比較して渦運動がより長い時間安定して続く。

右図：地球自転下の右旋の渦は海岸線に沿って左方へと移動すると同時に沖合へと押し出され、渦の自走とその安定性の両方が損なわれる。

この研究事例では、渦が沿岸流動に大きな役割をしていることが示され、そのメカニズムの解明にはリモートセンシングによる渦運動の現地観測と模型実験が重要であると言及している。

事例3：海流の速度⁶⁾

海流の力学的性質の研究方法には、流れている1点に注目し、その点に於ける速度、圧力、および密度の変化を解析する Euler 的方法と、流体の一部に着目し、これがどのような過程を経て移動するかを解析する Lagrange 的な方法がある。Euler 的方法で海流の力学的性質を把握するためには、流速や渦の角速度および海面下の力学的パラメータ等の同時観測が必要である。このようなデータを例えば、黒潮全域について入手することは従来困難であったが、リモートセンシングはこの問題を或程度解決している。

例えば、気象衛星ノアにより海面が12時間ないしは24時間差で観測されれば、海面のシーマークを追跡することにより流速分布を得ることが出来る。シーマークとは、海面においてははっきりと識別さ

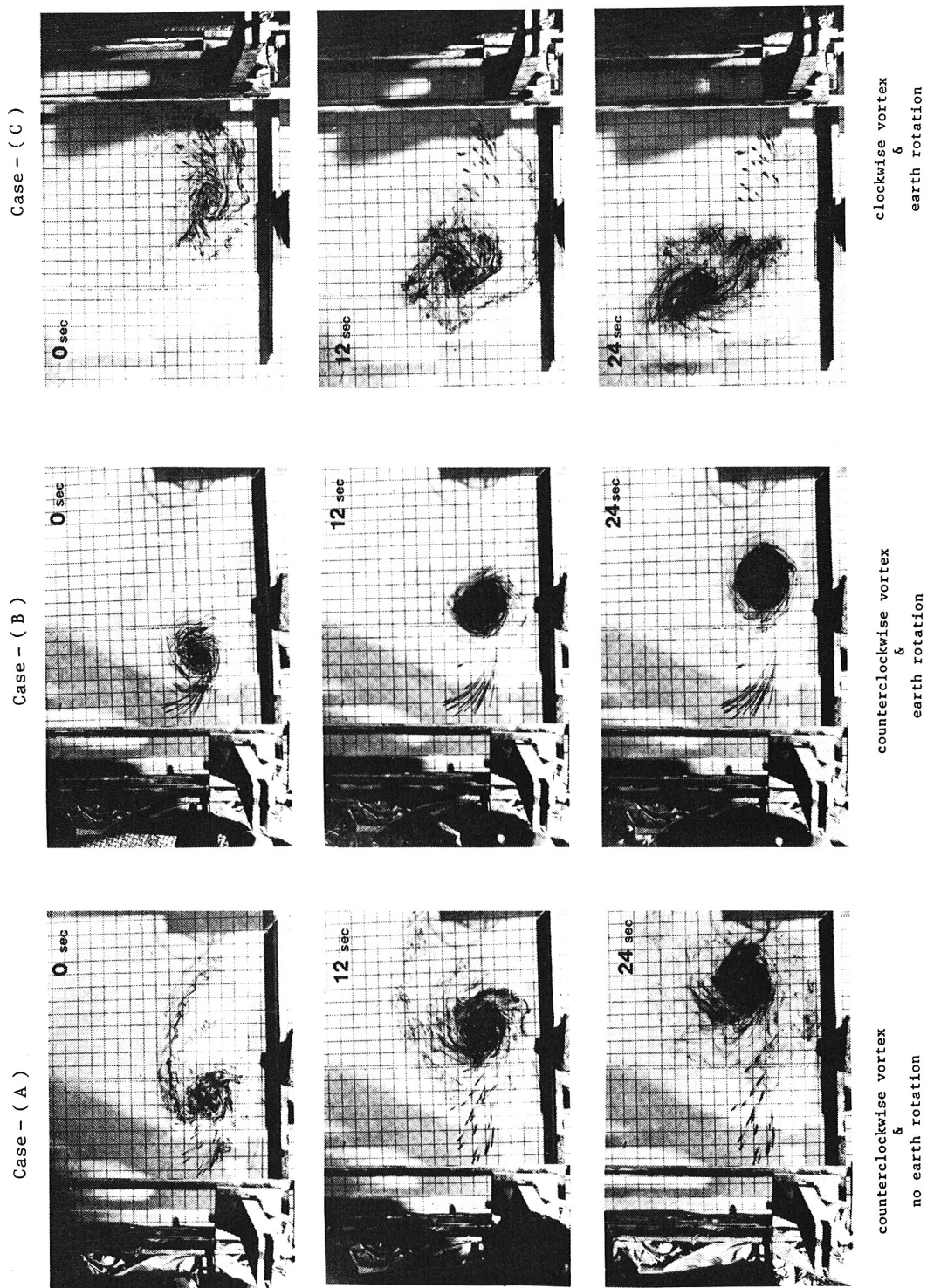
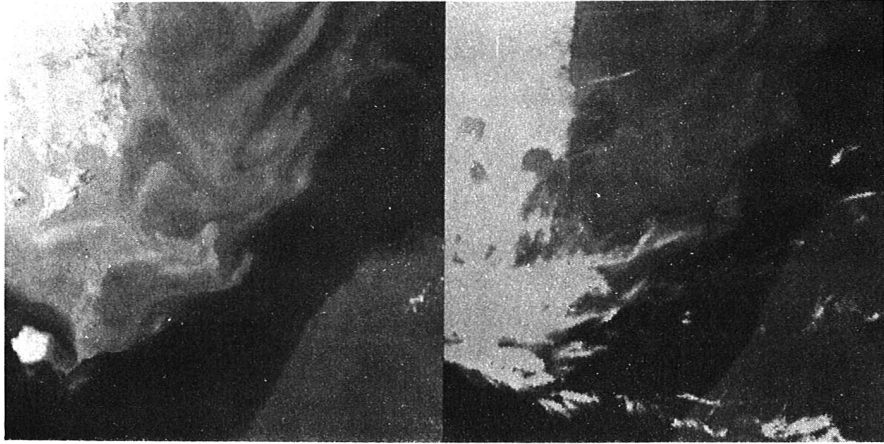
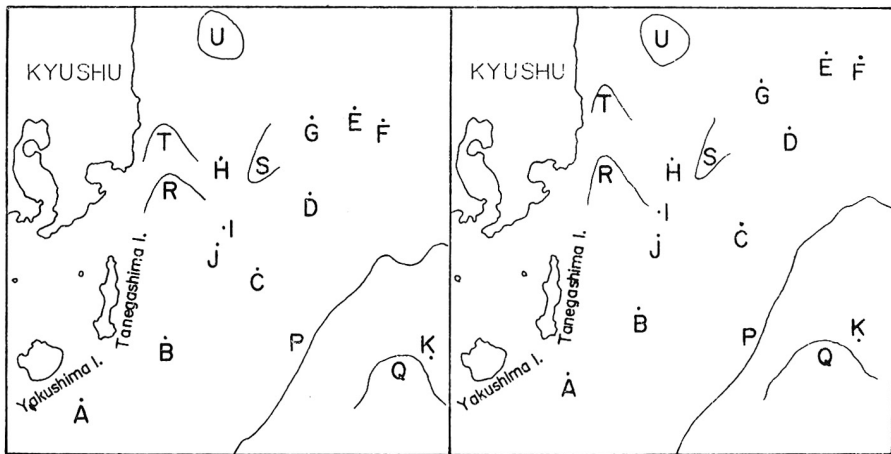


図 13 地球自転と渦運動の実験



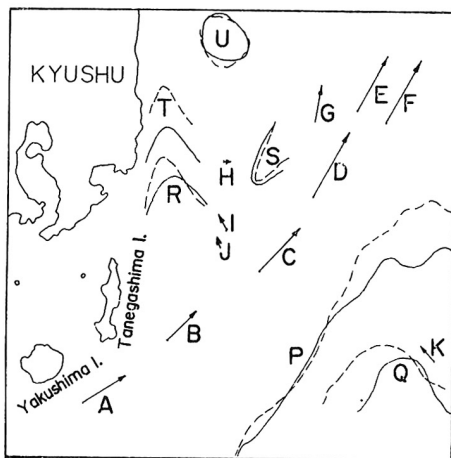
a. 8 : 14 on April 23, 1981.

b. 19 : 31 on April 23, 1981.



c.

d.



e. Time difference : 11 hours
and 17 minutes.

	dX	dY	knot
A	26	8	1.30
B	20	18	1.28
C	30	32	2.09
D	26	44	2.44
E	18	38	2.01
F	16	60	2.97
G	6	24	1.18
H	2	2	0.13
I	-6	4	0.34
J	-4	6	0.34
K	-10	12	0.74

f. Distance and velocity of
drifting.

図 14 海流の速度と測定

れる特徴点で、渦の中心，異なる水塊が接する潮目の鋭い角は良好なシーマークとなる。

図 14 には位置合せの完了した時間差のある温度画像が並べてある。両画像の中では，同一の渦の中心，異なる水塊が接する潮目を識別することが出来る。c, d には判読したそのようなシーマークが示してある。図中 e は，c および d からシーマークの移動を求めたものであり，矢印が流動ベクトルとなっている。図中 f にはシーマークの移動距離の方向成分と，両画像の収集時間差 11 時間 17 分を適用して求めた移動速度を示してある。シーマークの判読の精度は 2 画素ほどあり，約 12 時間差のある画像データを用いるとすると，流速の測定誤差は 0.1 ノットとなる。ここで，シーマークについてであるが，潮目は位相速度および三次元的な運動を含む可能性があるので必ずしも海水粒子の動きを表すとは限らないことは留意しておく必要がある。

本原稿を執筆するに際し，アジア航測株式会社の狩野弘昭氏には航空機 MSS 画像資料を貸与して戴いた。また，土木学会の中村雅昭氏，東北大学の沢本正樹助教授，東京理科大学の大西外明教授，西村司助教授には，文献資料の紹介をしていただいた。厚く御礼申し上げる次第である。

参 考 文 献

- 1) 沢本正樹・村越 潤(1985)：ランドサット MSS データを用いた河口流出の解析，東京工業大学土木工学科研究報告，No. 34.
- 2) 沢本正樹・李 立 亜・村越 潤(1985)：駿河湾および天龍川の河口流出の解析，第 32 回海岸工学講演会論文集，pp. 767-770.
- 3) ー(1984)：リモートセンシング 10 年の歩み，(財)日本造船振興財団
- 4) Nishimura, T., et al(1983)：Kinetic Study of Self-Propelled Marine Vortices Based on Remotely Sensed Data, Remote Sensies No. 2, Science University of Tokyo.
- 5) 西村 司他(1984)：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，第 351 号／Ⅱ-2.
- 6) 田中総太郎他(1982)：NOAA-6 / AVHRR データによる黒潮流動ベクトル図の作成と海洋渦および短周期蛇行に関する考察，日本リモートセンシング学会誌，pp. 11-30.
- 7) ー(1985)：水理公式集，土木学会.
- 8) ー(1985)：RESTEC，(財)リモート・センシング技術センター
- 9) ー(1977-79)：JICST，日本科学技術情報センター