

海洋観測衛星もも1号のデータによる 融雪水の海洋流出調査

長崎大学工学部	正会員	後藤恵之輔
同 上	学生員	七條哲彰
同 上	学生員	藤田 徹
近畿大学九州工学部		森 正寿

1. はじめに

昨年、利根川水系の渇水により首都圏は長期にわたる水不足に陥った。この水不足という問題は、首都圏に限らず毎年全国のどこかで起こっている。国土庁の発表によれば、西暦2000年までに現在よりも230億トン、率に直して25%の水需要の増加が予測されるということである。また、さらに今後は地盤沈下を引き起こす地下水の汲み上げ制限がますます強化されることもあり、新たな水資源の開発が急務となっている。そのような中、日本全土の52%を占める豪雪地帯に積もる雪の水資源としての利用が叫ばれている。そこで、著者の1人(後藤)は水不足解消の一方法として「雪解け水の海上備蓄」を提言した¹⁾。この構想は、雪解け水を河口か河口に近い海洋で取水し、海上備蓄するとともに淡水化まで行っていくというものである。ここでは、この構想をもとに適切な海上備蓄基地の建設候補地を選定することを主な目標とする。そのためには、融雪水が海洋へどのように流出・拡散しているかを知る必要があるが、その手法として我々は人工衛星によるリモートセンシングを用いることとし、一例として石狩川における融雪水の海洋流出解析を行った。

2. 融雪水の石狩川に与える影響

北海道をはじめ、積雪地帯における河川では、関東から西南日本にかけての河川が梅雨期や台風時の雨に应答したピークを示すのと違い、流域の山地に積もった雪が、春先4、5月の時期に融けて流れ出す、いわゆる融雪出水のため河川流量が著しく増加して、時には融雪洪水を起こすこともある。

石狩川は、図-1に示すように大雪山系を源流とする総延長268km、流域面積14,330km²の大河川である。河口付近の流量は平水時200~500t/sであるが、融雪期には1000t/sを越えるため(図-2参照)、河口近くでは石狩湾岸の塩分濃度に大きな影響を与えているといわれる³⁾。石狩川河口流出の観測は、昭和34年以来関係諸機関により数々の現地観測、室内水理実験、理論研究がなされている。しかし、河川流出水の河口沖合遠方での拡散状況のような広範囲にわたる水理現象を一時にしてとらえる方法は、現在のところ人工衛星を用いたリモートセンシング以外に存在しない。そこで、昨年2月に打ち上げられた我が国初の海洋観測衛星、もも1号(MOS-1)のMESSRおよびVTIRのデータを使用して、石狩川の河口流出解析を行った。

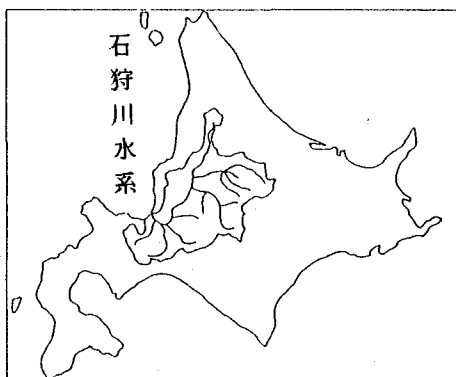


図-1 石狩川の水系²⁾

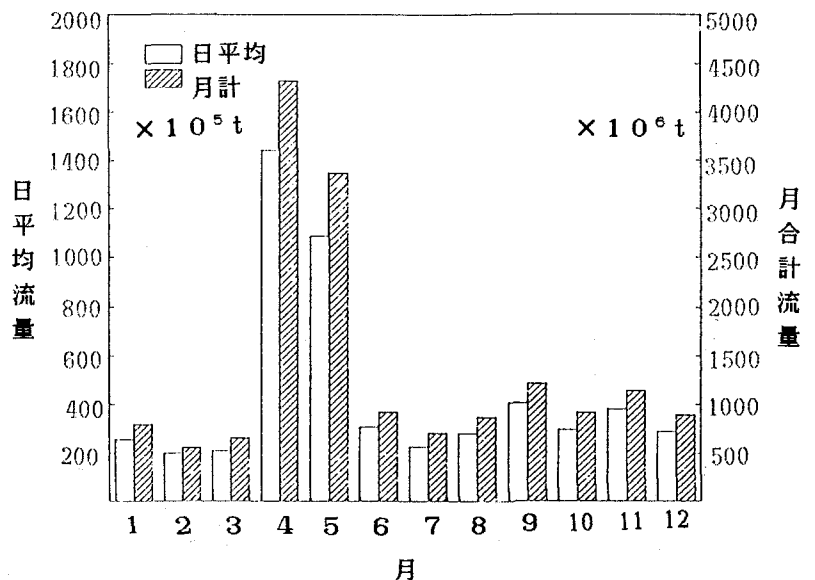


図-2 石狩川の出水量記録
(石狩大橋、1986年)

3. もも1号 (MOS-1) の概要⁴⁾

3.1 衛星系

海洋観測衛星MOS-1 (Marine Observation Satellite-1) は、1987年2月19日、N IIロケットにより種子島宇宙センターから打ち上げられた。MOS-1は、海面の色および温度を中心とした海洋現象の観測を行うとともに、今後の地球観測衛星に共通な技術の確立を図ることを主な目的としている。

また、放射計による地球表面の観測を有効に行うため、軌道周期約103分、高度約900km、軌道傾斜角約99度、降交点平均地方太陽時10~11時、回帰日数17日、周回数1日14回の太陽同期準回帰軌道を選んでいる。

MOS-1の追跡観測は、筑波宇宙センターにある中央追跡管制所と、勝浦・増田・沖縄にある追跡管制所によって行われている。図-3にMOS-1の外観を示す。

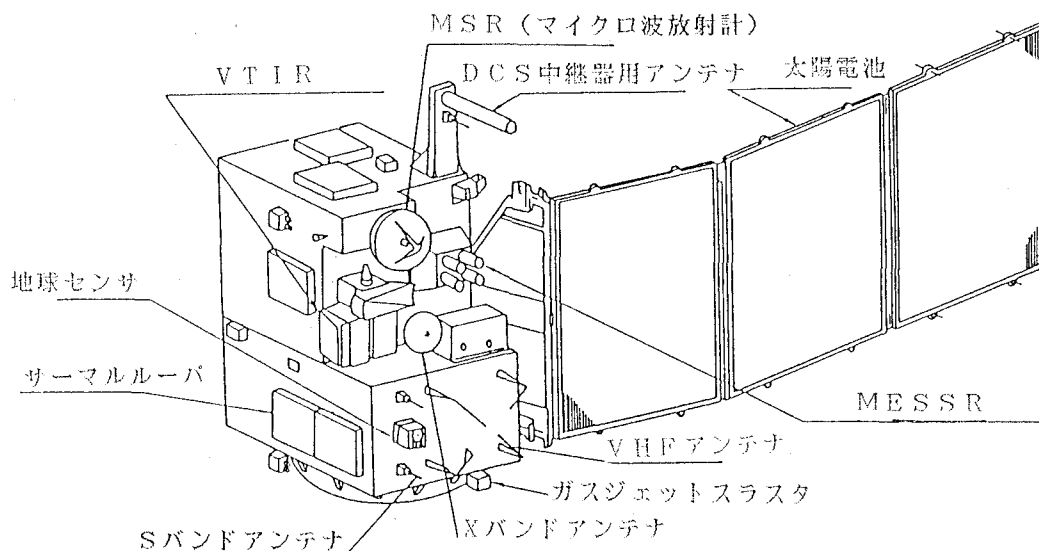


図-3 MOS-1の外観⁴⁾

3.2 観測系

(1) MESSR

MESSRは可視近赤外放射計のことで、その名のとおり可視域および近赤外域の4波長帯について観測するように設計されている。MESSRの備える4つの波長帯域は、アメリカのランドサット衛星を参考にして設定されており、操作方式としては50mという高い地表分解能を実現するため電子方式を採用している。MESSRの各バンドの特徴を以下に記す。

①バンド1 (青緑色域)

水は緑色や青色の光には比較的透明であるため、水面下の情報をとらえることができる。浅海の堆砂や水中の混濁物 (プランクトンやクロロフィル) の状態がよくわかる。しかし、波長が短いため、大気中の浮遊物質、水蒸気等の影響を受けやすく、画像の鮮明度に欠ける。

②バンド2 (赤色域)

植生は赤色光を吸収するためこのバンドにおいて反射は弱く、逆に裸地は反射が強い。道路や市街地、その他の地表の様子が肉眼視に近く、土地利用の調査に用いられる。

③バンド3, 4 (近赤外域)

水域の反射率は、近赤外域において極端に低下するため、陸域と水域の区別を明確に行える。植生は反射率が高く、水域においても赤潮やプランクトンの異常発生のような、水面近くの現象を的確にとらえることができる。また逆に、市街地のような人工構造物は反射率が落ちる。

表-1はこれらMESSRの各バンドごとの利用分野を示すものである。

表-1 MESSRの各バンドと利用分野

バンド (波長域、 μm)	利 用 分 野 (例)
バンド 1 (0.51~0.59)	海域：沿岸海域および湖水の汚染、赤潮、沿岸域水底地形（透明度の大きいとき） 陸域：植生、積雪分布、火山噴火降灰分布、土地利用
バンド 2 (0.61~0.69)	海域：沿岸海域および湖水の汚染、赤潮、渦 陸域：土地利用、地質構造、植生、積雪分布、火山噴火降灰分布
バンド 3 (0.72~0.80)	陸域：地表水、湿原、水資源、地質構造、植生
バンド 4 (0.80~1.1)	海域：氷分布、水涯線、水路 陸域：地表水、表層物質の地図作成

(2) VTIR

VTIRは、可視熱赤放射計のことで、可視域1波長帯、赤外域3波長帯を観測する放射計であり、検出器は機械操作方式を採っている。VTIRの地表分解能は、可視波長域（バンド1）で約900m、赤外波長域（バンド2, 3, 4）で約2.7kmである。VTIRの特徴は、同時に広範囲の領域を観測できることと熱赤放射計を備えていることで、これにより地球表面（海面）および雲頂の温度分布の情報を得ることができる。以下にVTIRの各バンドの特徴を記す。

①バンド1

MESSRのデータと同期した広範囲の領域の可視域の画像情報が得られ、日本列島とその周辺を含めた広範囲の領域の積雪状況、雲の状況の様子などをとらえることができる。

②バンド2

波長の関係上、大気の透過率が0%であるため、雲や水蒸気の様子をとらえることを主な目的とする。

③バンド3, 4

熱赤外域の領域であり、日本列島およびその周辺の海域を含めた広範囲の表面温度の分布調査などに利用できる。バンド3がバンド4より温度パターンが優れている。

表-2に、これらVTIRの各バンドごとの利用分野を示す。

表-2 VTIRの各バンドと利用分野

バンド (波長域、 μm)	利 用 分 野 (例)
バンド 1 (0.5~0.7)	積雪分布、氷分布、雲分布
バンド 2 (6~7)	上層水蒸気分布（温帯）、薄い絹雲の検出
バンド 3 (10.5~11.5)	積雪分布、氷分布、雲分布、海水の流れの監視、海水温度分布
バンド 4 (11.5~12.5)	積雪分布、氷分布、海水の流れの監視、雲分布、海水温度分布

4. 融雪水の流出解析

4.1 方針

表－３は、北海道開発局石狩川開発建設部が測定した、1987年4月27日の石狩川河口付近における水質・流量の記録である⁵⁾。これによれば、最も河口に近い石狩川河口橋（Ｂ）の流量は約1200t/sであり、流量が増加していることが確認できる。透視度は7.0cmと大変低く、色相の欄にもあるとおり黄緑色濁がかなり強いものであることがわかる。

MOS－1には、前述のようにVTIRの他にMESSRが搭載されている。上記の黄緑色に濁った石狩川の融雪水が海洋へ流出している様子をこのMESSRの可視・近赤外域でとらえれば、河口流出の解析が行えるものと考えられる。またVTIRからも河川水と海水の温度差を判別することで、同様に河口流出の探査を行うことができる。以上の方針のもとに解析を進めていく。

表－３ 水質調査速報（石狩川開発建設部）

昭和62年 4月 第1回

河 川 名		石 狩 川		
地 点 名（類型）		河口橋（Ｂ）	石狩大橋（Ｂ）	石狩大橋（Ｂ）
	採 水 月 日	4月27日	4月27日	4月27日
	採 水 時 間	9：00	12：00	18：00
	天 候	晴	曇	曇
	水 位（m）	0.30	1.48	1.45
	流 量（m ³ /s）	1221.76		965.46
	気 温（℃）	13.5	8.7	8.9
	水 温（℃）	6.0	5.4	5.9
	透 視 度（cm）	7.0	6.0	6.0
	色 相	黄緑色濁	淡褐色濁	淡黄色濁
	臭 気	なし	なし	なし
	PH	7.21	7.28	7.27
	D O（mg/l）	12.1	12.3	12.1
	B O D（mg/l）	1.0	0.8	0.7
	C O D（mg/l）	5.7	5.8	5.8
	S S（mg/l）	97	110	103
	大腸菌群数（MPN/100ml）	1.3	2.4	2.4
	大腸菌群数nfc法（個/100ml）	510	130	210

4.2 VTIRによる解析と解析結果

解析に供したデータは、1987年4月27日のVTIRデータである。可視域のバンド1において河口流出を確認したうえ、バンド3、4の熱赤外域を用い融雪水の温度分布を調べ温度変化による流出解析を行う。

図－4(a)はバンド1の解析画像である。このバンドにおける地表分解能は900mであることより、図中の1cmは約6.7kmで表される。このことから河口流出水の流出状況を調べると、北北西方向に長さ30km、流軸方向の幅14kmにわたる広範囲の流出が確認できる。

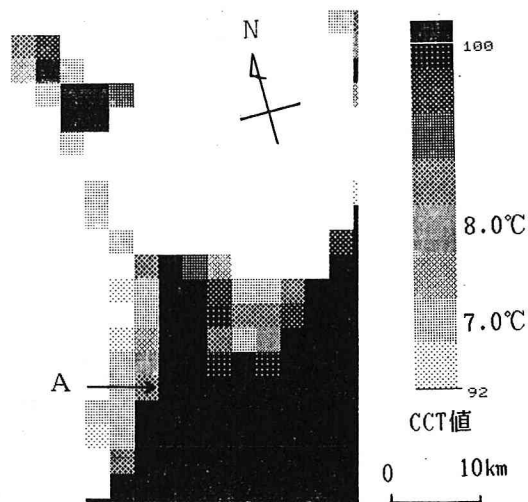
また流軸の方向も最初、北北西方向であったものが徐々に西寄りに変化し、やがてはほぼ真西へと変化していることが注目される。

同様に、作成した熱赤外域バンド3、4のドットパターン画像を図－4(b)、(c)に示す。また、バンド3、4のCCT値から温度を推定する一般式は次式のとおりである。

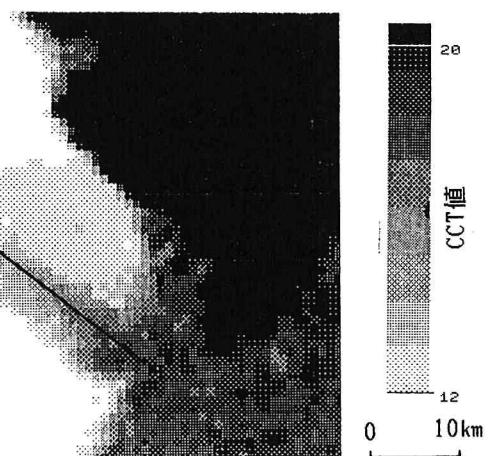
温度（℃）＝CCT／2－40 （ただしCCT；バンド3、4のCCT値）

バンド3では、河口付近（点A）に周囲より温暖な水域の存在が確認できる。河口付近は8.0～8.5℃であるが、約5kmの沖合で6.5～7.0℃、さらに沖合では6.0℃未満まで水温が低くなっている。このことは、沖合10km以上では河川水が海洋水と混合して、温度の違いによる河川水と海水の判別を行うことが不可能になることを表している。

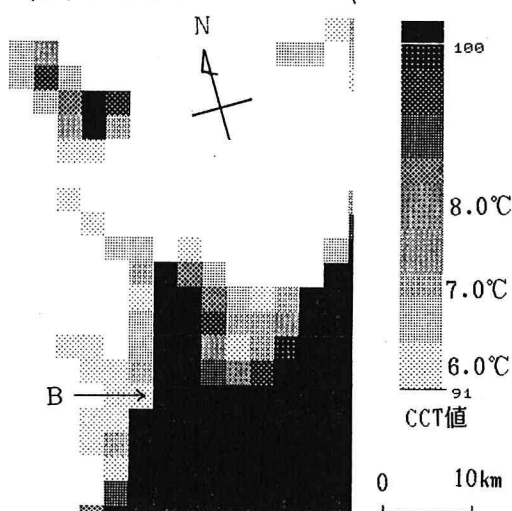
また、バンド4の画像においては、河口付近（点B）から北北西方向にCCT値92（6.0℃）の水域が沖合に延びていることが確認され、興味深い。



(b) バンド3



(a) バンド1



(c) バンド4

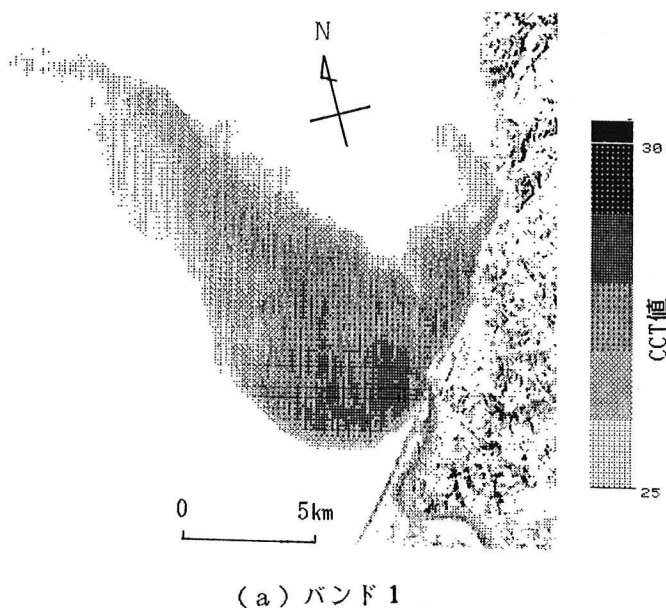
図-4 VTIRのドットパターン画像

4.3 MESSRによる解析と解析結果

可視波長帯域におけるVTIRの分解能が900mと粗いものであるのに対して、MESSRの分解能は全波長帯域において50mを達成しており、地球表面の状態を詳細克明にとらえることを可能にしている。使用したMESSRデータは、同じく1987年4月27日の北海道、石狩湾周辺を探索したものであり、また解析を行った区域は、河口を中心として約20km四方の範囲である。

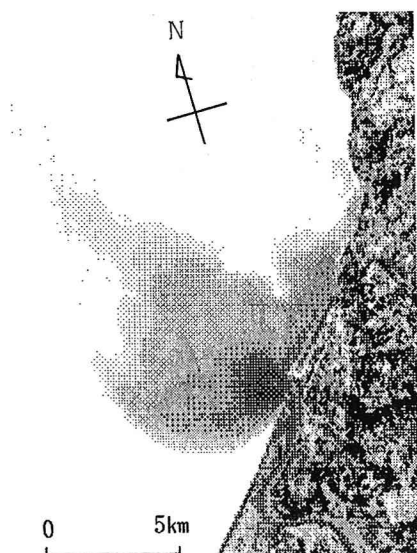
MESSRの可視域バンド（バンド1，2）および、近赤外域バンド（バンド3，4）を使用して河口流出状況をとらえたドットパターン画像を、図-5(a)～(d)に示す。分解能から逆算すると、図中の1cmは約2.3kmに相当する。

各画像内のCCT値を調べると、河川からの流出水はバンド1で25～30、バンド2で21～30の範囲で分布していることが確認できる。近赤外域のバンド3，4では、水域と陸域の反射率の違いから両者の境界が明確に読み取れ、蛇行して流れる石狩川の様子が見える。CCT値を調べると、河川からの流出水はバンド3で5～10、バンド4で4～5の範囲で分

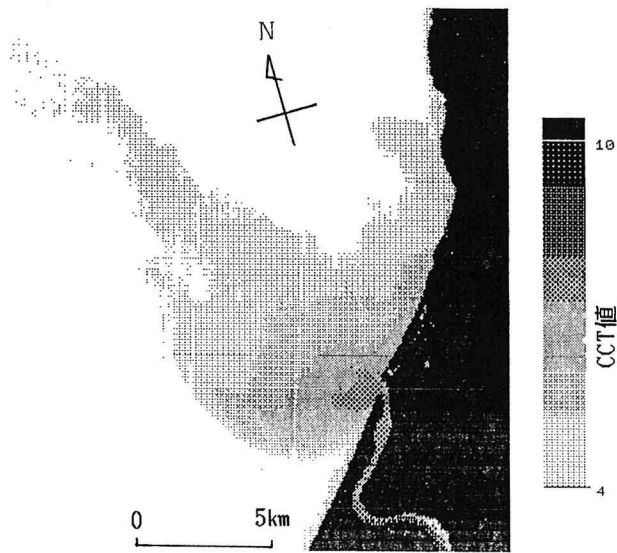


(a) バンド1

図-5 MESSRのドットパターン画像



(b) バンド 2



(c) バンド 3

布していることがわかる。

次に各バンドについて、流出の様子を検討する。バンド 1～3 においては、河口を起点として北北西方向におよそ 15～18km、流軸に対する幅 7km（最大）の広範囲にわたって、河川水が海洋へ流出している状況が確認できる。バンド 4 については、CCT 値の範囲が 4～5 と小さいため、他のバンドのように広域の拡散状況はとらえられていない。

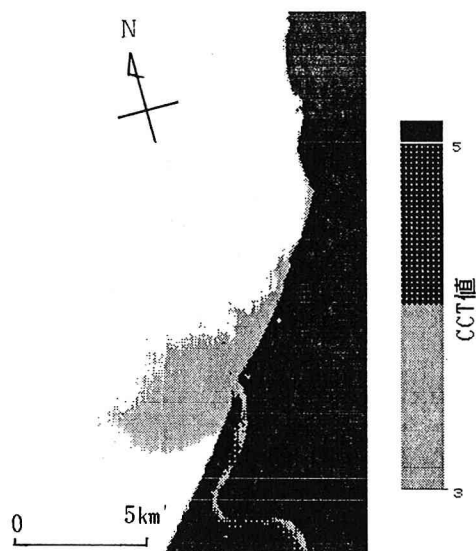
河口からの流出パターンは、密度流型と噴流型の 2 種に大きく分けられるが、海洋への拡散状況がよくわかるバンド 2 およびバンド 3 の結果と比較すると、石狩川の流出パターンは密度流型であると思われる。

5. あとがき

VTIR の解析結果において、流軸の変化が認められた。これは、汀線に対し約 45° の河道をもつ河口を出た流出水は、最初河道方向に流軸をとるが、北海道西岸沿いに北上してくる対馬海流や、石狩湾内に吹く北西風により流軸方向の変化を生じるためと思われる。このほかにも、海岸に接近した対馬海流の分流が潮流と複合して沿岸流に副次的影響を与えていることも、流軸方向変化の一因であると考えられる。

沿岸の流れの起因分子には、海流、潮流、吹送流、河口流、河水と海水の密度の差から生じる密度流などがある。これらは単独の流れではなく、その地域の地形、当日の海象、気象などの影響が複合した複雑な流れであるため、河口流出もこの影響を受けることは避けられない。

したがって、石狩川河口が海上備蓄基地の建設候補地に適地であるかを判定するためには、さらに解析事例を増やしていくことが必要と思われる。また、河口流出水の CCT 値と塩分濃度との相関関係を調査することも、検討課題である。



(d) バンド 4

図-5 (つづき)

参考文献

- 1) 後藤恵之輔：雪解け水の海上備蓄について、第 4 回雪工学シンポジウム論文集、pp.39～46, 1988.1.
- 2) 西畑健一：石狩川の水質汚濁負荷量収支、北海道開発局、土木試験所月報、No.376、pp.1～9, 1984.9.
- 3) 日本海洋学会沿岸海洋研究部会：日本全国沿岸海洋誌、東海大学出版会、pp.66～73, 1985.
- 4) 宇宙開発事業団：地球観測データ利用ハンドブック、MOS-1 編、pp.5-1～5-13, 1987.
- 5) 北海道開発局石狩川開発建設部：水質調査速報（1987.4.27）