

このような移動を行うには相当量のエネルギーを必要とするから、サンマが前線を通過するためにはエネルギーの事前蓄積が必要であることは容易に理解される。

この考えをもとにして極前線を中心とする海域におけるサンマのエネルギー補給はどうなっているか、この課題を解くために極前線域における餌プランクトンの分布とサンマ回遊の南下期における生長の生理的側面を時空間的に対応させてみたところ、図1に表わしたように、親潮前線付近まで南下したサンマは多量の餌を取込むが、この時点では代謝物質は主として体生長に振り向けられる(図中の somatic growth area)。この後親潮前線のところに到達すると、体の生理機能の維持(特異動的作用エネルギー)と移動のために使用されるエネルギー(活動代謝量)の配分が行われて、まず第1段階の水温壁である親潮前線を通過する。

その後中間混合水域で(水温やや高く餌プランクトン多し、図1参照)生殖腺の急速なる発達が見られる。この中間混合水域で生殖腺の肥大は急速に進んで熟卵の生成に至る。この生理的な生長(内部環境の変化)の段階で産卵のためサンマは卵発生、稚仔の生育に水温好適(但し、餌プランクトンの分布量は少い)な黒潮水域に向って暖域水温障壁である黒潮前線を乗り越える。

このように、北西太平洋系群のサンマは、その再生産のために餌を求めるとともに産卵場を求めて極前線帯を南北に移動することが、多くの漁船からの情報や科学調査船による調査結果などによって知られている。そして、この時期にサンマの個体は肥大し、魚は生物学的機能によって魚群密度を高める。かくして好漁場が形成さ

れるので、漁況の予測が強く要望されるようになった。

この漁況予測のためには先に述べたサンマの適水温対応説では前線の乗り越えという現象を説明することが困難である。従って、極前線海域における水温、餌プランクトンの分布及びサンマ生体内部環境の経時変化を生理生態的に統一して関連づけて前線乗り越えの機構を考察し、これらの生物学的な要因を漁況予測組立ての条件として加味せねばならない点を提唱した。

サンマが極前線という環境変動の顕著な水域を回遊路に選んで利用していることは、サンマが生活史戦略からみてた選択生物であることを特徴づけている。

#### 引用文献

- 1) HARDEN Jones, F. R. (1968) Fish Migration. Arnold, London, pp. 325.
- 2) SATOH, M. (1981) Some considerations on the "North to south turning migration" mechanism of the Pacific saury, *Cololabis saira* (Brevoort). Res. Inst. N. Pacific Fish., Hokkaido Univ., Spec. Vol.
- 3) 東北区水産研究所 (1973) 航空機による暖水塊周辺の漁業生物分布調査研究. 科学技術庁, 北方亜寒帯海域に関する総合研究報告(昭和46年度), 233-265.
- 4) 小達和子 (1980) 黒潮水域とそれに隣接する水域の動物プランクトン湿重量. 科学技術庁及び海洋科学技術センター, 黒潮の開発利用の調査研究成果報告書, その3, 377-381.
- 5) 辻田時美 (1979) 日本周辺海洋の魚群回遊モデル. 海洋科学, 11, 63-70.

## 4. 1980年春季東北海区における海洋前線システムの動態

### ——人工衛星データによる解析——

齋藤 誠 — (北海道大学水産学部)

#### 1. はじめに

近年、人工衛星データを応用した海洋学 (Spacecraft Oceanography) が発達し、表面水温、水色、クロロフィル量、海面傾斜、海上風等の測定可能性が示され、その経時的利用性と広域同時性との特性が有用視されてきた (SZEKIELDA, 1976; MORGAN, 1978)。そこで、従来の観測手法に加え、このリモート・センシング (Remote

Sensing) 技術を利用して、海洋現象の時空間スケールを考慮した観測を実施し、その時間変動と空間変動とを分離して解析することに強い関心が払われてきている (KELLEY, 1976)。しかし、実際にこの技術と水産海洋学とのかかわりはどうかなど、十分議論がなされていない。そこで、まず最初に水産とリモート・センシングの関連を概観し、次に国内的に入手可能な3種

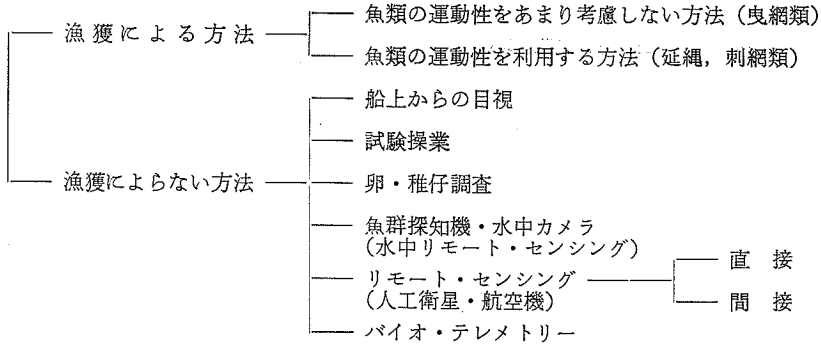


図1 漁業資源調査法とリモート・センシング (浅見 (1977) を参考にして作製)

類の人工衛星データを用いて1980年春季東北海区の海洋前線システム動態の解析を試みた結果を報告し、その応用可能性の一端を示す。

2. 水産とリモート・センシング

航空機の発達とともに、魚群探査飛行という形で古くからリモート・センシングは水産へ利用されてきた (WOOD and MCGEE, 1925; SQUIRE, 1961; 黒田, 1967)。そして、人工衛星およびセンサーの急激な発達とともに、その潜在的な応用可能性に注目するようになってきた (KITANO, 1979; KEMMERER, 1979)。特に、漁業資源調査法の観点からリモート・センシングとの関連を考えると図1のように整理されるであろう。従来使用されてきた魚群探知機やサイド・ルッキング・ソナーによる調査は水中リモート・センシング (Underwater Remote Sensing) と呼ばれるようになってきた。そして、人工衛星、航空機のリモート・センシングは海洋生物資源を直接とらえようとする直接リモート・センシング (“direct” remote sensing) と海洋環境 (水温、塩分、クロロフィル量等) をとらえ、それと海洋生物資源との関係から資源をとらえようとする間接リモート・センシング (“indirect” remote sensing) の2つに大別されるようになってきた (図2: KEMMERER, 1979)。現在のところ、直接リモート・センシングは航空機からがほとんどで、人工衛星からは空間解像度がまだ低いため困難である。

航空機から直接リモート・センシングに用いられるセンサーとして従来の航空写真カメラ、波長別に航空写真をとるマルチ・チャンネル・カメラ (MCC)、生物発光をとらえる Low-Light-Level テレビ、マルチ・スペクトル・スキャナー (MSS) 等が考えられる一方、人工衛星から間接リモート・センシングに用いられるセンサーとして海表面水温を測定する赤外放射計やパッシブ・マ

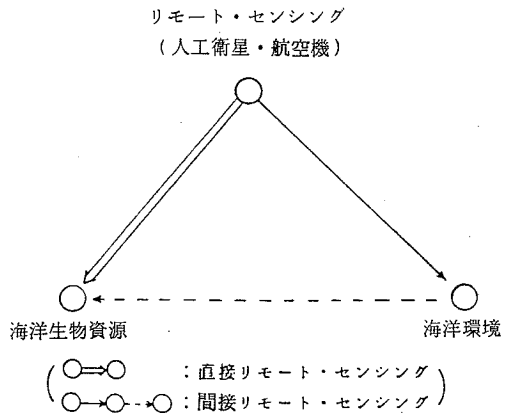


図2 水産における直接・間接リモート・センシング

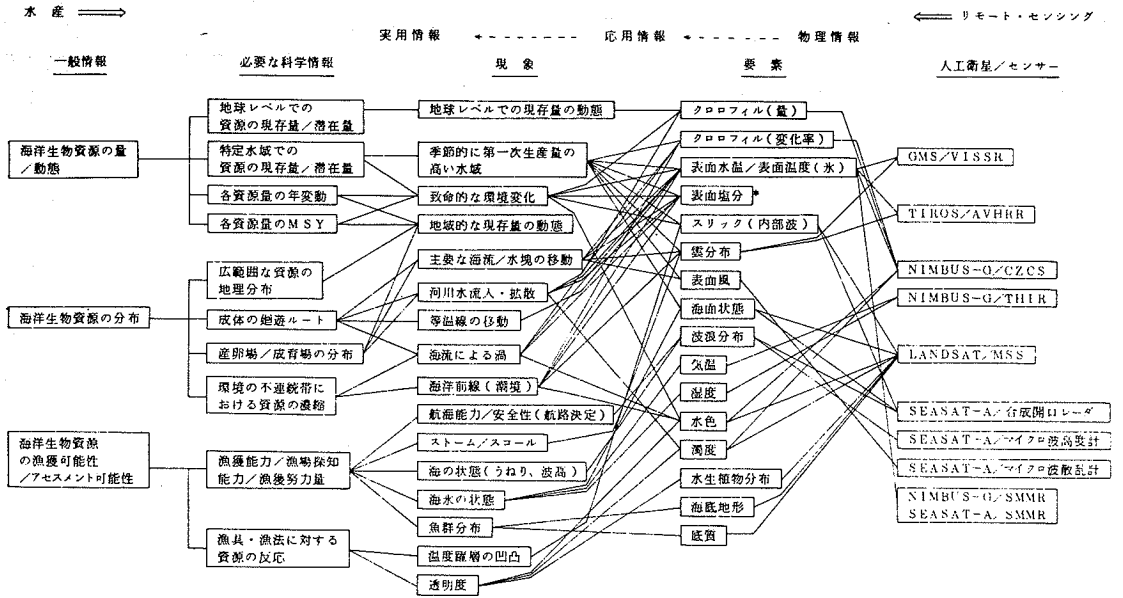
イクロ波放射計、水色分布をとらえるマルチ・スペクトル・スキャナー、クロロフィル量を測定する沿岸水色走査計 (CZCS: Coastal Zone Color Scanner)、海上風を測定するマイクロ波散乱計、海面高度を測定するレーダ高度計等がある。

最後に図3に水産側からと人工衛星リモート・センシング側の両面からの問題をまとめて示した。これまでは表面水温なり水色なり単に要素だけを議論してきた傾向があるが、今後は現象とのかかわり、さらには水産との因果関係まで展開するよう体系化する必要がある。すなわち物理情報 → 応用情報 → 実用情報の展開が必要である。そして、リモート・センシング側からの technology push と水産側からの user pull の促進が重要である。

3. 人工衛星データと解析方法

本研究に用いた人工衛星データは静止気象衛星GMS-1 (“ひまわり”) 可視赤外自転走査計 (VISSR: Visible and IR Spin Scan Radiometer)、環境衛星 NOAA-6 改良型超高分解能放射計 (AVHRR: Advanced Very

漁海況に関する研究座談会



\* 沿岸域では可能 (Droppelman and Menne, 1970)

図3 水産と人工衛星リモート・センシングの関連 (GERDING (1976) を参考にして作製)

High Resolution Radiometer), 資源環境衛星 LANDSAT-3 マルチ・スペクトル・スキャナー (MSS: Multi-spectral Scanner) により得られたデジタル・データである。これらの人工衛星データの特徴と海洋現象の空

間スケールとの対応を表1に示した。VISSR は Macro-Scale, Meso-Scale の海洋現象, AVHRR は Meso-Scale, Coarse-Scale の海洋現象, MSS は Coarse-Scale, Fine-Scale の海洋現象の把握に適しているといえよう。

表1 国内的に入手可能な人工衛星データの特徴と海洋現象の空間スケールとの対応

人工衛星 (センサー)	空間スケール				空間解像力	周期	備考
	Macro-Scale 1,000~ 3,000km	Meso-Scale 100~ 1,000km	Coarse-Scale 1~100km	Fine-Scale 1~1,000m			
GMS-1 (VISSR)	○	○	△	×	5.0km	1/3 hours	SST(0.38K), 温度前線
NOAA-6 (AVHRR)	×	○	○	×	1.1km	1/12hours	SST(0.12K), 温度前線
LANDSAT (MSS)	×	×	○	○	80m	1/18days	水色前線, スリック

○: 応用可能性(大) △: 応用可能性(中) ×: 応用可能性(小) SST: 海面水温(温度解像力)

表2 解析に用いた人工衛星データおよび船舶海洋観測資料の収集日

人工衛星データ			船舶海洋観測資料
GMS-1 (VISSR)	NOAA-6 (AVHRR)	LANDSAT-3 (MSS)	
—	3月6日 (7:17 JST)	—	—
3月28日 (9:00 JST)	3月29日 (7:16 JST)	3月29日 (9:30 JST)	—
—	4月7日 (18:44 JST)	—	—
4月26日 (18:00 JST)	4月26日 (18:29 JST)	—	4月23日~25日 だいせつ 4月25日~27日 高風丸

また、VISSR, AVHRR の熱赤外データを用いて表面水温分布を、MSS の可視データを用いて水色分布を観測した。そして、春季は冬季の海面冷却による鉛直混合の状態が残存し、表層よりある一定の深さまで温度傾斜が小さく、表面水温分布がその表層水温分布を反映している時期とみなせるので、人工衛星データより得られる表面水温分布を用いて表層の海洋前線システムを解析できるものと考えた。使用した人工衛星データおよび船舶海洋観測資料の収集日を表2に示した。船舶海洋観測資料は第一管区海上保安本部“だいせつ”と函館海洋气象台“高風丸”による観測資料を使用した。図4にそれらの海洋観測点を示した。

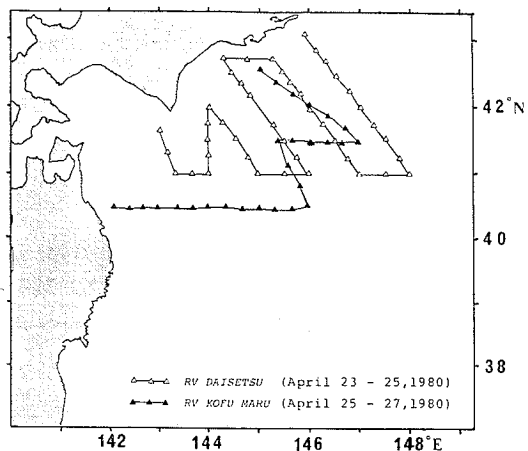


図4 船舶海洋観測点

最初に、VISSR 熱赤外面像を用いて、3月28日と4月24日の両日について、Macro-Scale な黒潮前線と親潮前線の分布を解析した。次に、3月上旬から4月下旬にかけて経時的な4つの AVHRR 熱赤外面像を用いて Meso-Scale な親潮第1分枝、親潮第2分枝、冷水塊、暖水塊、黒潮北上分派、第2黒潮前線の分布・移動および津軽暖流水の張り出しを解析した。同時に、親潮系水の動態を把握するため、噴火湾への親潮系水の流入状況を解析した。さらに、MSS 可視画像 (MSS5 (0.6~0.7 μ)) と AVHRR 熱赤外面像を用いて、それぞれの画像より得られる水色前線 (Color Front) と表面水温前線の分布・形状を3月29日についてのみ比較した。最後に、4月26日の AVHRR 熱赤外面像による表面水温分布図と船舶海洋観測資料による鉛直水温分布図を組合せ、三次元的な水温分布図を描き総観的に表層より300m層までの海洋構造解析を試みた。

なお、AVHRR データについてのみ温度キャリブレーション (LAURISTON, *et al.*, 1979) および幾何学的補正をおこなった。

4. 人工衛星データによる海洋前線システムの観測

図5-A~D に NOAA-6 AVHRR 熱赤外面像とその判読模式図を経時的に示した。そして、GMS-1 VISSR および NOAA-6 AVHRR 熱赤外面像を用いて観測した1980年春季東北海区の海洋前線システムの動態を表3に要約した。

3種類の人工衛星データを用いて観測された現象中、従来船舶による海洋観測では総観的な動態をとらえきれ

表3 人工衛星データより観測された1980年春季東北海区における海洋前線システムの動態

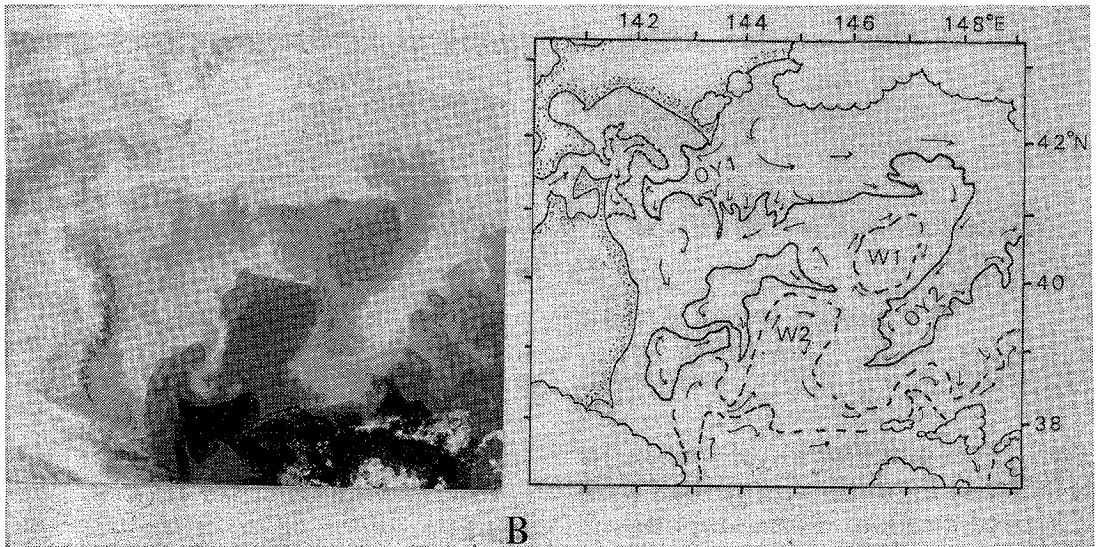
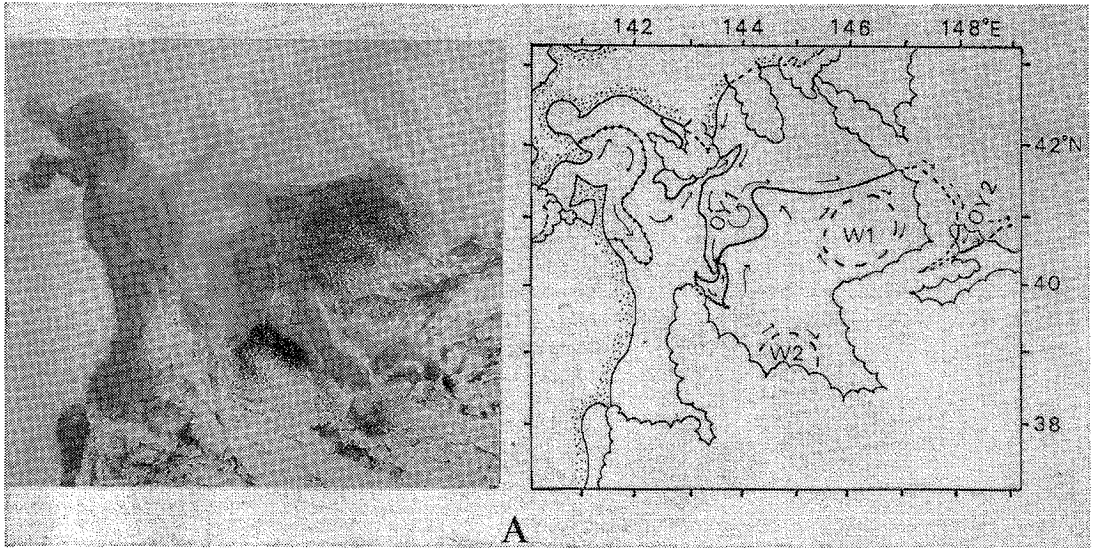
年月日	津軽暖流水の張り出し	噴火湾(140°30'E, 41°20'N)への親潮系水の流入	親潮前線		暖水塊		冷水塊		黒潮前線	第2黒潮前線
			親潮第1分枝	親潮第2分枝	W1	W2	C1	C2		
1980年 3月6日	142°E	なし	40°30'N (冷水渦をとまっていた)	40°E (狭い幅)	○	× (39°N)	×	×	—	—
1980年 3月29日	142°30'E	湾口付近	41°N (冷水塊が南方に存在)	38°45'N (発達)	○	× (40°N)	×	×	36°30'N	38°N
1980年 4月7日	142°30'E	湾の半分	40°30'N	41°N? (後退)	○	× (40°40'N)	○	×	—	38°30'N
1980年 4月26日	141°40'E	湾全体	38°30'N (発達)	39°N (発達)	○	○	○	○	37°N	39°N

○: 渦が形成されていた    ×: 渦が形成されていなかった  
 (×): 渦は形成されていなかったが ( ) 内の緯度まで黒潮北上分派が達していた

なかった現象は以下の7項目に整理される。

- ①親潮第1分枝から冷水塊が分離され、再び親潮第1分枝に吸収される過程。3月29日に第1分枝から分離した冷水塊が第1分枝南方に存在していたが、4月7日に大部分が第1分枝へ吸収されたと推測できる。
- ②親潮第2分枝の敏速な発達過程とその先端から分離さ

れる冷水塊の発生過程。親潮第2分枝は、3月6日から3月29日までの約3週間に平均移動速度約10km/dayで200km以上南下した。そして、9日後の4月26日にはすでに第2分枝から台形状の冷水塊C1が分離され、第2分枝自身は北へ後退した。次に、4月26日には再び第2分枝は3月と同程度の平均移動速度で



~ : Oyashio Front, - - - : Kuroshio Front, ~ : Projection of Tsugaru Warm Water,  
 - - - : Second Kuroshio Front/Other Fronts, ☁ : Clouds, → : Predictable Flow,  
 OY1 : First Oyashio Intrusion, OY2 : Second Oyashio Intrusion,  
 △C1 : First Cold Eddy, △C2 : Second Cold Eddy, {W1} : First Warm Eddy,  
 {W2} : Second Warm Eddy/ Kuroshio Warm Water

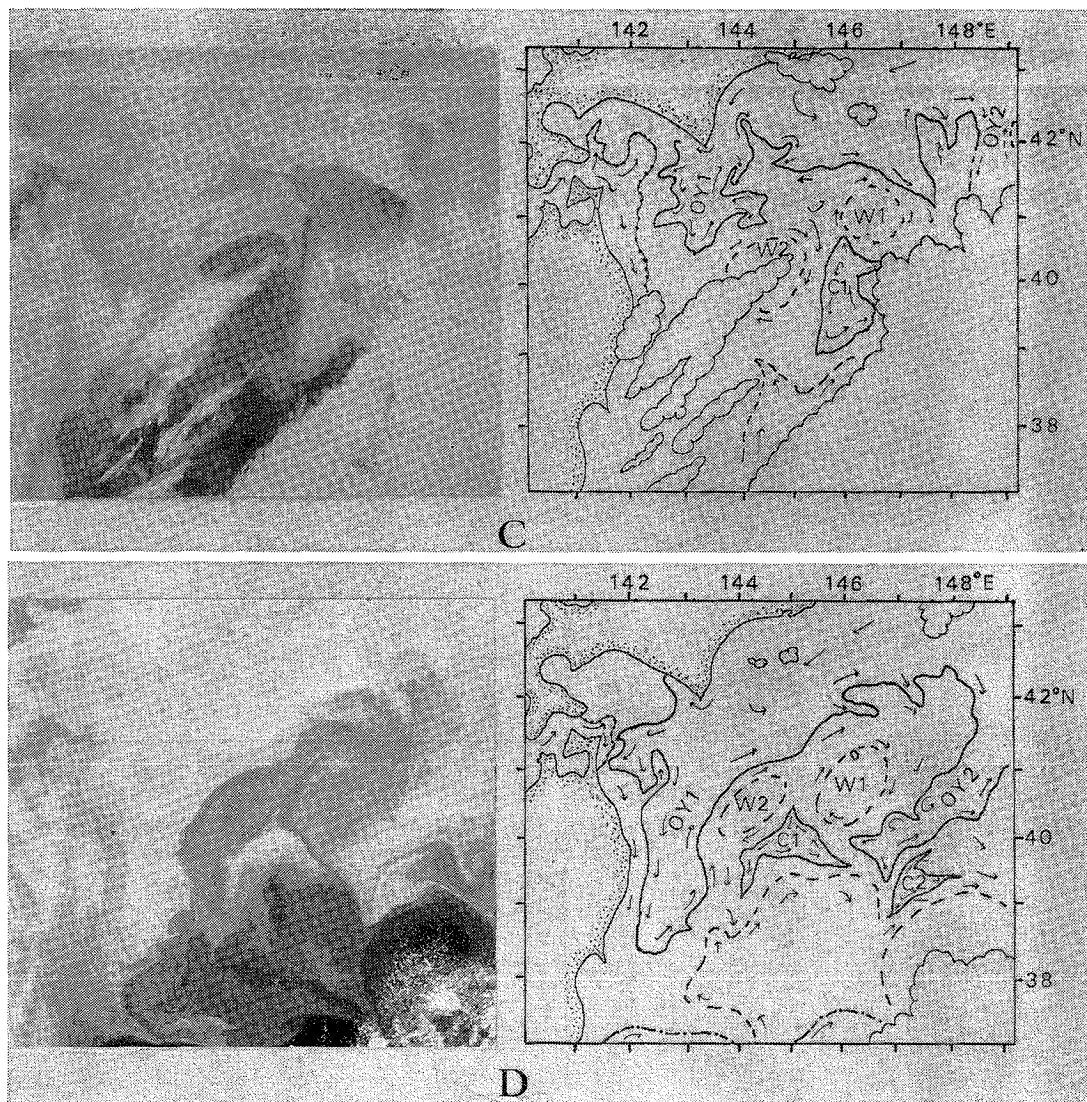


図5 NOAA-6 AVHRR 熱赤外面像とその判読模式図。黒い部分ほど温度が高い

A: 1980年3月6日, B: 1980年3月29日  
 C: 1980年4月7日, D: 1980年4月26日

南下し、その先端の南東側に新しい冷水塊C2を分離する状態であった(図5)。このような現象を模式的に5段階で図6に示した。この図においてC段階は予想される過程で、実際には3月29日から4月7日までの間に対応する(その後の解析により、4月3日にC段階の分布パターンが観測された)。

③ 4月7日から4月26日までの約20日間に平均移動速度約5 km/day (2.7 n mi./day) で約100km 東から西へ

冷水塊C1の移動。この平均移動速度はKITANO (1977)により算出された0.3~2.0 n mi./dayよりやや大きい。

④ 暖水塊W1は親潮第2分枝の動態に同調するように、わずかに反時計廻りに移動しながらほぼ定位置に存在。ただし、暖水塊の渦自身は時計廻りである(図6)。

⑤ 親潮系水が噴火湾全域に流入すると、津軽暖流水の張り出しも弱くなり、それに対応した親潮第1分枝の南

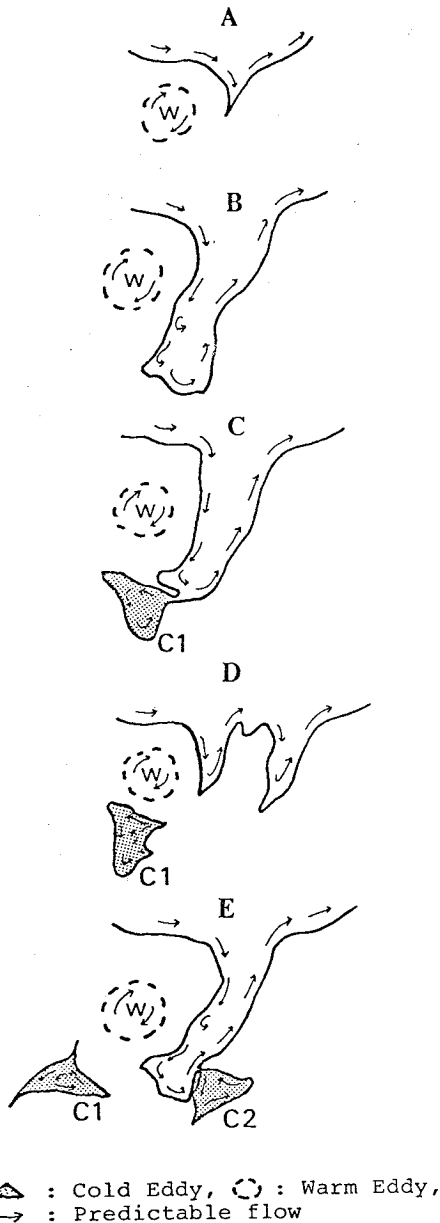


図 6 親潮第 2 分枝から冷水塊が切離する過程の模式図 (5 段階)

下(表 3, 図 5)。

⑥LANDSAT MSS データより得られた水色前線が 41°N, 143°~146°E 付近に東西方向に形成されている表面水温前線の分布・形状と一致。この前線がいわゆる親潮前線で、懸濁物質量は親潮前線の南側で大きいものと推定された。

⑦黒潮前線の北上に伴う第 2 次黒潮前線および黒潮北上分派暖水の北上。3 月 6 日から 3 月 29 日まで黒潮北上分派の平均移動速度は約 5 km/day に対し, 3 月 29 日から 4 月 7 日までの平均移動速度は約 8 km/day に加速され, 親潮第 2 分枝の後退と対応する。

5. 人工衛星データと船舶海洋観測資料との組合せ

4 月 23 日から 4 月 27 日までの船舶による鉛直水温分布図と 4 月 26 日の AVHRR データによる 表面水温分布図を組合せて三次元的な 1°C 間隔の水温分布図を図 7 に示した。実線の矢印は船舶による GEK 観測から得られた流向・流速を示し, AVHRR データより得られた表面水温分布パターンと非常によく一致した。点線の矢印は地衡流的関係が成立していると仮定した時の鉛直水温分布と表面水温分布から予想される流向パターンである。

図 7 を用いて 4 月 26 日の総観的な海洋構造を解析した。水温 2°C 以下, 深さ 100~200m の厚みをもった親潮系水が釧路沖を南西方向に移動し, 表面流速は約 0.5 n mi./hour であった。親潮第 1 分枝は南下し, 40°30'N, 142°30'E 付近において深さ約 70~80m 層に 1°C の最低水温層を示す潜入パターンが認められた。暖水塊 W 2 はごく表層に 12°C の高温帯をもち深さ約 300m まで均一に 11°C の鉛直水温分布を示す。親潮第 2 分枝から分離した冷水塊 C 1 の最北端部 40°30'N, 145°E 付近の表面水温は 8°C と冷水塊中心部の表面水温 5°C に比較して 3°C 高く, 周囲の暖水との混合によるものに推測される。渦の等温線は鉛直的に表面へ伸びる形になり湧昇を示唆し, 300m 層の水温が 5°C で冷水塊の表面中心部の水温と等しく, この冷水塊が少なくとも鉛直的に 300m の厚みをもつと推測される。このことから冷水塊の等温線が表層では菱状三角形(図 5-D)をしているが, 下層では円形あるいはだ円形をしている可能性がある。

以上のように船舶と衛星の両データを組合せて三次元的な水温分布図を描くことにより総観的に海洋構造をとらえる可能性が示唆された。

6. おわりに

本研究において解析された親潮第 2 分枝から分離して混合水域に発生する冷水塊は, 親潮水域の豊富な栄養塩とそこに生息する高い密度のプランクトン類(小達, 1980)を混合水域へ輸送する働きをし, 生物生産機構, 物質循環の面からその海洋生態学的意義は大きい。ここに, この冷水塊の発生頻度, 移動, 消滅等と海洋生物との関連はどうかなど, 今後解明すべき点を多く残している。また, この冷水塊と黒潮水域に発生する分離冷水塊(川合, 1978)との比較研究も必要であろう。湾流リソ

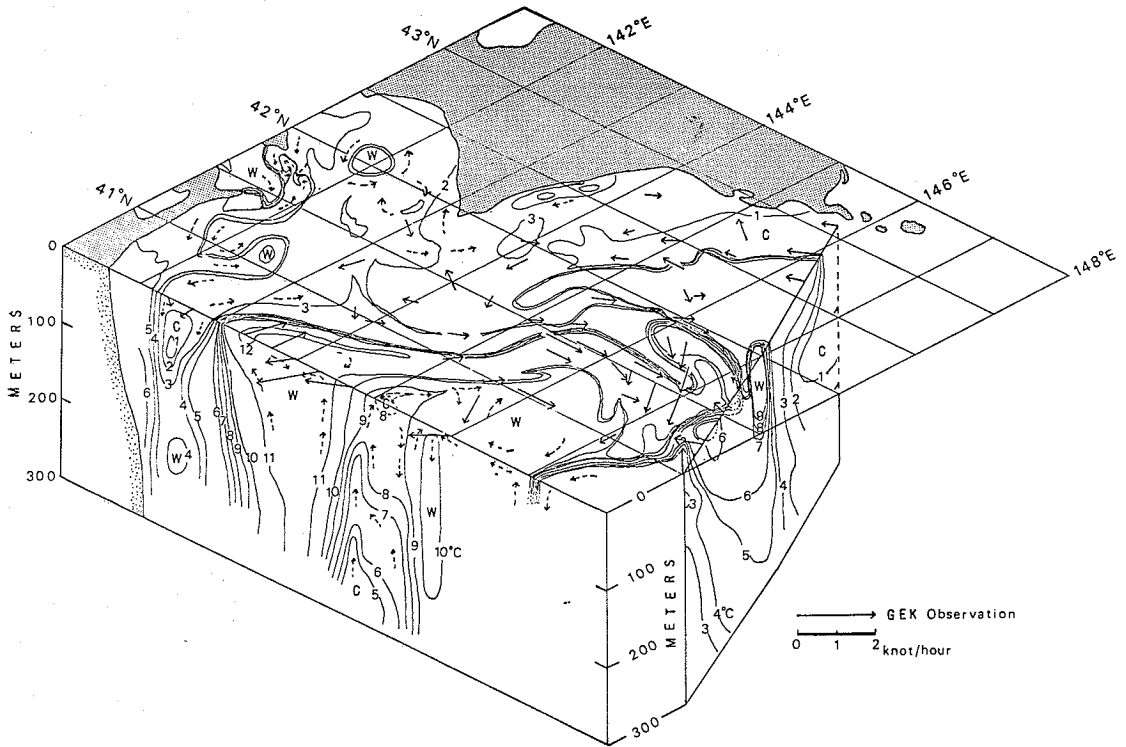


図 7 船舶と衛星の両データを用いて描いた三次元水温分布図 (1980年 4月 26日)  
 予想される流れを ----> で示した

グ(Gulf Stream Ring)の海洋生態学的研究は WIEBE, *et al.* (1976) によりはじめられており、日本周辺でも今後は real-time に衛星データを利用して冷水塊をとらえ、それに即応した海洋観測を実施し、上述の問題を解明してゆくことは海洋生態学ばかりでなく水産海洋学の立場からも重要な課題となろう。

人工衛星データ利用に関して、東北海区は夏季に海霧発生が多く、冬季に雲量が増加するなど、可視部・赤外部データ利用の制限を受け、将来的にマイクロ波部データ利用の可能性を考えねばならない。しかし、可視部データは広域の生物生産量測定に有力であり、赤外部データは空間解像力においてマイクロ波部データより数段すぐれ、これらのデータとマイクロ波部データとの相補的利用が望まれる。従って、今後も種々の季節、気象条件を考慮して、さらに短い時間スケールの解析を含め、本研究のような試みを積み重ねる必要がある。そして、人工衛星データより得られる表面水温分布パターンと表層水の海洋構造との関連を実用レベルで体系化し、さらにはそれと海洋生物の分布・回遊との関連を研究すること

が短期の漁海況予報上重要な課題と考えられる。

おわりに、本研究を進めるに当たり、終始御指導いただきました北海道水産学部教授三島清吉博士、並びに日本アイ・ビー・エム㈱東京サイエンティフィック・センター副主管研究員飯坂謙二氏に深く感謝いたします。なお、本研究は日本アイ・ビー・エム㈱東京サイエンティフィック・センター外来研究員プログラムの援助を得た。

#### 資 料

- 第一管区海上保安本部 (1980) 海洋概報昭和 55 年第 2 号, 11 p.
- 函館海洋气象台 (1980) 海洋速報, 第 18 巻, 第 2 号, 21 p.

#### 参 考 文 献

- 浅見忠彦 (1977) 魚類・漁獲資源の分布生態の測定、海の生態学と測定 (日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 東京, 83-100.
- DROPPLEMAN, J. D. and R. A. MENNELLA (1970)



- An airborne measurement of the salinity variations of Mississippi River outflow, *Jour. Geophys. Res.*, **75**, 5909-5913.
- GERDING, R. B. (1976) Application of remote sensing to managing the earth's environment. Ph.D thesis, University of California, Los Angeles, 312 p.
- 川合英夫 (1978) 黒潮の南側の分離冷水塊. 号外 海洋科学, **1**(2), 191-197.
- KELLEY, J. C. (1976) Sampling the sea, *In*, The ecology of the seas, eds. D. H. CUSHING and J. J. WALSH, Blackwell Scientific Publication, Oxford, 361-387.
- KEMMERER, A. J. (1979) Remote sensing of living marine resources, Proc. 13th Internat. Sympo. Remote Sens. Environ., 729-738.
- KITANO, K. (1977) Note on the properties of cold eddies generated over the confluence zone, *Bull. Hokkaido Reg. Fish. Res. Lab.*, **42**, 43-50.
- KITANO, K. (1979) Satellite remote sensing and the fisheries, *Bull. Hokkaido Reg. Fish. Res. Lab.*, **44**, 113-116.
- 黒田隆哉 (1967) 航空機利用の観測について, 水産海洋研究会報, **10**, 19-28.
- LAURISTON, L. *et al.* (1979) Data extraction and calibration of TIROS-N/NOAA radiometers, NOAA Technical Memorandum NESS 107, 58p.
- MORGAN, G. A. (1978) Remote sensing of the oceans-A review, Proc. 12th Internat. Sympo. Remote Sens. Environ., 599-617.
- 小達和子 (1980) 東北海区の混合水域. 海洋科学, **12**, 634-645.
- SQUIRE, J. L., Jr. (1961) Aerial fish spotting in the United States commercial fisheries, *Commercial Fisheries Review*, **23**(12), 1-7.
- SZEKIELDA, K. H. (1976) Spacecraft oceanography, *In*, Oceanography and marine biology annual review Vol. 14, ed. H. BARNES, Aberdeen University Press, Aberdeen, 99-166.
- WIEBE, P. H. *et al.* (1976) Gulf Stream cold core rings: large-scale interaction sites for open ocean plankton communities, *Deep-Sea Res.*, **23**, 695-710.
- WOOD, H. and G. MCGEE (1925) Report on aircraft experiments for the locating of herring shoals in Scottish Waters, *Fisheries Scotland Sci. Invest.*, **1**, 5-20.

## 5. 北上期サンマ幼一未成魚の海洋前線乗り越えについて

小坂 淳 (東北区水産研究所)

サンマは、春から夏にかけて、海況の変動とともに黒潮水域から混合水域を経て親潮水域へと移動・回遊する(福島, 1979)。このような北方への移動・回遊の過程で、サンマは混合水域から親潮水域にかけて存在するいわゆる親潮前線を乗り越えなければならないが、その機構については十分解明されていない。

KOCAKA (1977) は、1975年と1976年の調査結果から、サンマの北上期にあたる初夏の混合水域から親潮水域にかけての表層部分に、相対的に不連続な二つの温度前線が形成されており(図1)、それらの前線の北側の親潮水域には体長15cm以上の大きさのサンマが分布していると報告している。

1977年6月の北光丸の調査においては、XBTを用いて親潮前線とその周辺の海洋の微細観測を実施し、同時に高速ネットによるサンマの連続採集を行い、海洋構造とサンマの分布との関連の究明を試みている。

それによると、親潮前線とその周辺水域の季節躍層の上層における湧昇を伴う発散域に一つの前線が形成され

ており、その北側の収東域にもう一つの前線が形成されていると推察される。サンマは、この収東域の第2の前線近くに、14cmモードの体長組成を示す群が相対的に高い密度で分布しており、その前線の北側には15, 16cm主体の群が分布していることが分かった。

これらのことから、サンマは、小坂(1973)が想定しているような幼魚期から未成魚への段階移行を終えて、第2前線を乗り越え親潮水域へと移動・回遊するものと考えられる。しかしながら、今回の微細観測を含めてこれ迄の調査は、一つの鉛直断面の水温分布の状況から主として海洋構造を推察しており、今後は海洋の構造変化のプロセスとサンマの分布・移動との関連を明らかにするために、調査の方法とくに観測点の時空間のスケールのとり方の検討が必要である。群の段階の魚群分布の実態を明らかにするためには、少なくとも10カイリ毎の観測点を複数の線で平行に同時に調査し、そして半旬単位の反復調査を数回繰返すことが望ましいと考える。