

|         |                                    |
|---------|------------------------------------|
| 氏 名(国籍) | 蔣 國 平                              |
| 学位の種類   | 博 士 (農 学)                          |
| 学位記番号   | 農 博 第 4 6 4 号                      |
| 学位授与年月日 | 平 成 5 年 3 月 25 日                   |
| 学位授与の要件 | 学位規則第4条第1項該当                       |
| 研究科専攻   | 東北大学大学院農学研究科<br>(博士課程) 水産学専攻       |
| 学位論文題目  | 道東および東北海域の海洋構造と植物プランクトン群集の分布に関する研究 |

|            |     |         |
|------------|-----|---------|
| 論文審査委員(主査) | 教授  | 谷 口 旭   |
|            | 教授  | 森 勝 義   |
|            | 教授  | 大 方 昭 弘 |
|            | 助教授 | 遠 藤 宜 成 |

# 論文内容要旨

## I. はじめに

北海道から東北地方の東側に広がる極前線海域には、親潮系水、黒潮系水および津軽暖流系水などが乱雑ともいえるように配置、混合して、極めて複雑な海洋構造を示すので「混乱水域」と名付けられている。このような海洋環境下では、植物プランクトンの分布もまた複雑であると考えられるが、その分布を水塊の分布との関係のもとに詳細に調べた例は多くはない。本研究では、この混乱水域における海洋構造と植物プランクトン群集の分布との関係を調べることにより、この海域における異水塊の移流混合過程を推定することを試みた。この海域は有数の漁場として知られており、この海域における異水塊の配置や混合過程は回遊性浮魚類の分布や回遊経路を支配するといわれている。従って、植物プランクトン群集の調査を加えることによって、水塊分布や海洋構造の動的な側面をより明確にできるようになれば、それは水産海洋学上重要な貢献になりうる。また、本研究では、混乱水域において最も広く分布している植物プランクトン群集の現存量を測定し、その成因を推定して、混乱水域における低次生産の特性を考察した。

## II. 材料と方法

1990年5月-6月のKT-90-7航海、1991年5月-6月のKT-91-7航海(ともに東大海洋研究所「淡青丸」)および1991年1月のWK-91-1航海(東北区水産研究所「わかたか丸」)の計3航海により、金華山沖暖水塊、道東沖暖水塊および八戸沖の暖水域から冷水域にかけての海域において多数の海洋学的観測を行い、その中で重要だと思われた28測点では8-12層のプランクトン採水を行った。サンプルは中性ホルマリンで固定して持ち帰り、検鏡した。珪藻、渦鞭毛藻および珪質鞭毛藻については、種毎に細胞数を計数した。特に珪藻の種同定は慎重に行い、後に述べる主成分分析のデータとした。

栄養塩の分析は、KT-90-7航海とKT-91-7航海の分は本学農学部生物海洋学講座の共同作業として行われたが、WK-91-1航海の分は東北区水産研究所の小谷祐一技官により分析されたデータを引用させていただいた。

データの主成分分析は本学情報処理教育センターのSASによって、また、Shannon-Weaverの式によるプランクトン群集多様度の計算はPCで行った。

### III. 結果と考察

#### III-1. KT-90-7航海 (金華山沖暖水塊)

本航海時の海況図はFig. 1の通りである。海況は日々に変化するもので、本航海期間中にもいくぶん変化したものの、基本的には次のように要約できる。38°N、144°Eには暖水塊(WCR)が見られ、黒潮統流から20°Cのウォームストリーマ(WS)が北上し、この暖水塊につながっていた。143°30'Eに沿った0-600 mの水温の鉛直断面図(Fig. 2)には、切離暖水塊の特徴である中核水が明瞭にとらえられた。その水温は9-10°Cであり、直径は約140 kmであった。WSの先端から表面流は2枝に分かれ、一方は時計回りにWCR周辺域を、もう一方は反時計回りに常磐沿岸側に旋流していた。このような海況のもとで、本航海ではWCRを南北(Sts. C19-C40)および東西(Sts. C30-C35)に切る2観測線を設けた。前者をセクションA、後者をセクションBとした。以下に、より多くの水塊を横切ったセクションBを例にとって結果を示す。

セクションBはWCR縁辺部(St. C30)から金華山近く(St. C35)までの断面でWCR縁辺部のすぐ外側(St. C31)にWSがあり、また、金華山近く(St. C34)には津軽暖流があり、両者の間にフロントが形成されていた(Sts. C32、C33)(Fig. 3)。これらの位置は、Fig. 1の海況図から予想される位置に比べて、およそ観測点1個分ずれているが、これは海況の短期変動に原因するものであろう。また、中層では、WCR中核水の縁辺(St. C31、180 m)から表面のフロント(Sts. C32、C33)にかけて等温線が密に傾斜

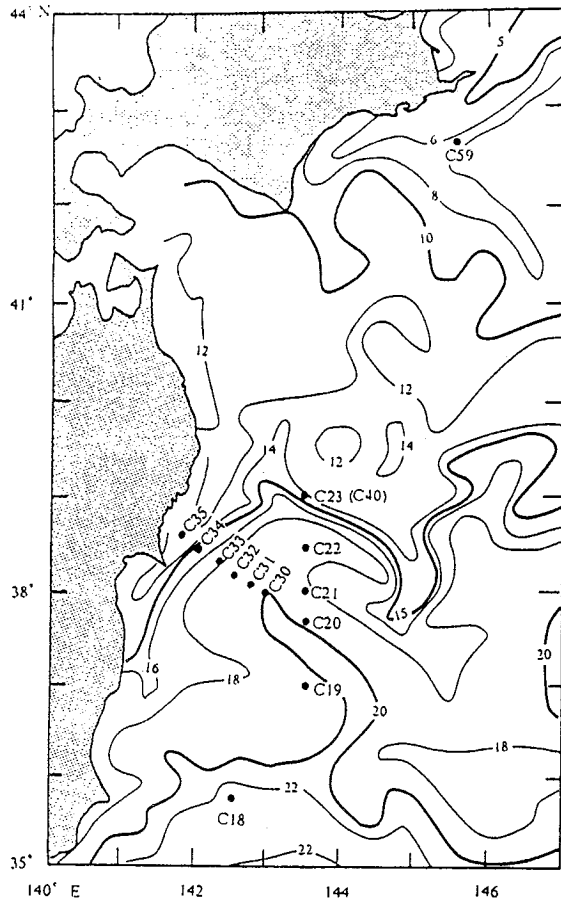


Fig. 1. Sampling stations occupied on the Cruise KT-90-7 of R/V Tansei Maru to the sea area east of Hokkaido and Tohoku during the period from 29 May to 10 June, 1990. Isotherms at the surface are adapted from Gyogyo Joho Sabisu Senta (1990).

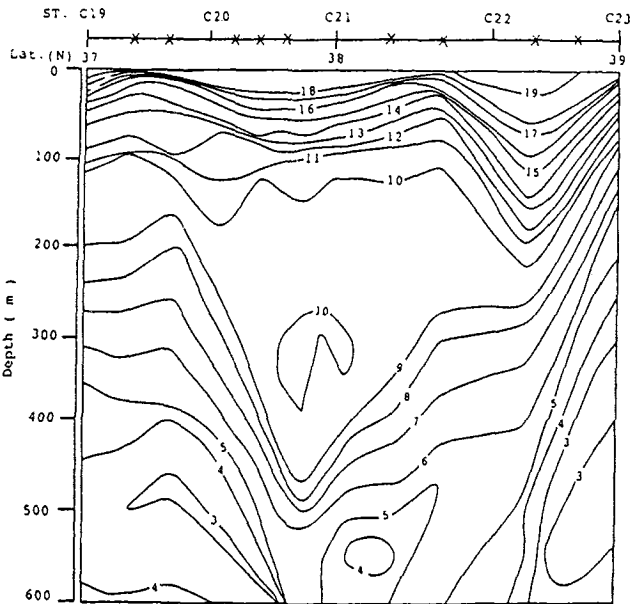


Fig. 2. Distribution of temperature in vertical section along the longitudinal line of  $140^{\circ}30'E$  crossing a warm core ring in the Sanriku Waters observed with a CTD at five stations (Sts. C19-C23) and by deployed XBTs at 9 stations marked with X on the Cruise KT-90-7 of R/V Tansei Maru.

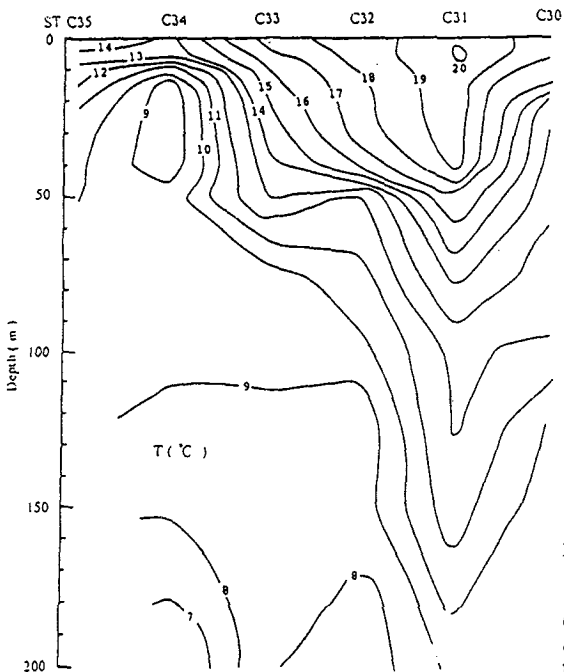


Fig. 3. Distribution of temperature in vertical section along the line from edge of the warm core ring (St. C30) to near Kinkazan Is. (St. C35) observed on the Cruise KT-90-7 of R/V Tansei Maru.

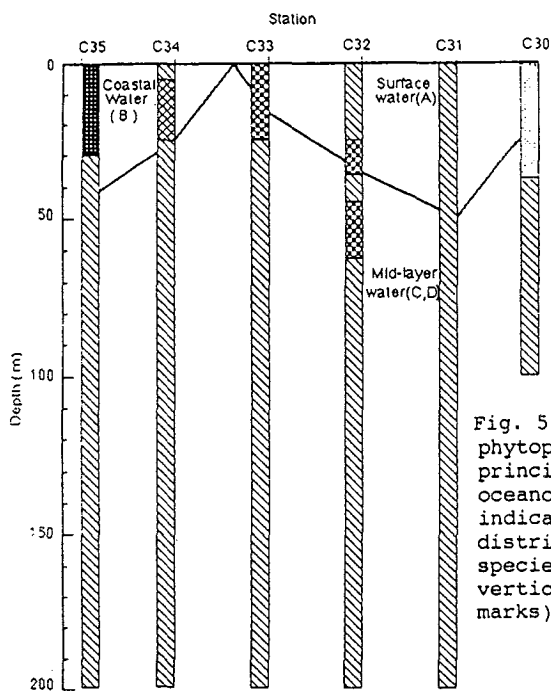
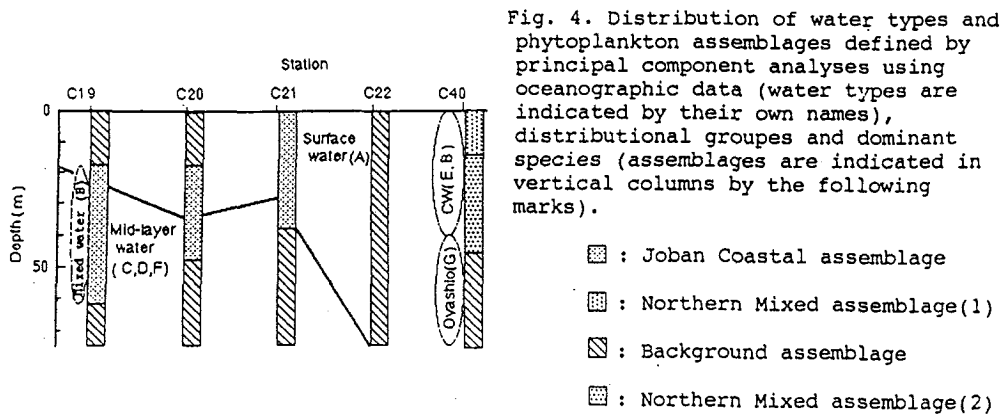


Fig. 5. Distribution of water types and phytoplankton assemblages defined by principal component analyses using oceanographic data (water types are indicated by their own names), distributional groups and dominant species (assemblages are indicated in vertical columns by the following marks).

していたが(Fig. 3)、その下側に沿ってフロント域の表層まで富栄養水が上昇していた。植物プランクトン量の指標になるクロロフィル a 量はフロント域から沿岸にかけての表層で多かったが、WS中では少なかった。WSやWCR域では、亜表層クロロフィル極大層が発達していた。珪藻現存量の分布もクロロフィル分布とはほぼ同じで、フロント域から沿岸域にかけて多く、WSでは少なかった。最大値は $1.1 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$ に達した。

同様にデータを解析したところ、セクションAでは、St. C19の表層15 mにWSが、また20-70 mにやや低塩分の水が認められ、St. C20はWCRの南縁辺部、St. C21はWCR中央域、St. C22はWCR北縁辺部、およびSt. C40はWCR北外側の混合水域に、それぞれ位置していた。以上のほかに、黒潮統流中の対照点としてSt. C18を、また、親潮流域中の対照点としてSt. C59を設け、同様の各層観測採水を行った。

以上の13測点の8-12層から得られた合計150サンプルについての結果にもとづき、主成分分析法により、水塊と珪藻プランクトン群集の区分を試みた。まず水塊区分は、海洋物理学、海洋化学データによる主成分分析で行った。南北のセクションAでは5水塊が認められ、最北のSt. C40を除く全線の表層に表層水(Fig. 4中の記号ではA)、中層に中層水(C、D、F)が共通して見られた。ただし、St. C19の亜表層には常磐沿岸側から入り込んだと思われるやや低塩分の水(B)が見られた。これらと暖水塊の北外側のSt. C40の水とはかなり性質が異なり、St. C40では表層に低温低塩分水(B、E)が、その下層には親潮水塊(G)が見られた。セクションBでは3水塊が認められ、WCR側(Sts. C30-C33)の表層には表層水(A)が見られ、沿岸寄り(Sts. C34、C35)の表層には沿岸水(B)が見られた。ただし水温と塩分だけからみるとこの沿岸水(B)はSt. C19の亜表層に見られた沿岸水(B)とはかなり性格が異なっていた。全点の下層には、セクションAの下層と同様に中層水(C、D)が広く広がっていた(Fig. 5)。

なお、黒潮統流中のSt. C18の全層(0-75 m以浅)は表層水(A)によって占められており、親潮中のSt. C59の表層には低塩分表層水(E)、亜表層には親潮水塊(G、H)が見られた。

次に珪藻データによる主成分分析は、全出現種約160種を既往の分布特性報告に従って14型に類型化したもの(DC)と、全150サンプルの半数以上の出現頻度を示した24種(DS)について、それぞれ行った。この2通りのプランクトンデータセットによる分析の結果、DCでは11、DSでは7のグループが区別された。これらを相互比較検討することによって、最終的に以下の9群集にわけた。

(1)黒潮統流群集: 黒潮が本州南岸に沿って流れ、房総沖で東進する過程で巻き込んだ、南方沿岸性種を中心とする群集。後に述べる混乱水域の背景群集の起源をなす群集の1つ。本研

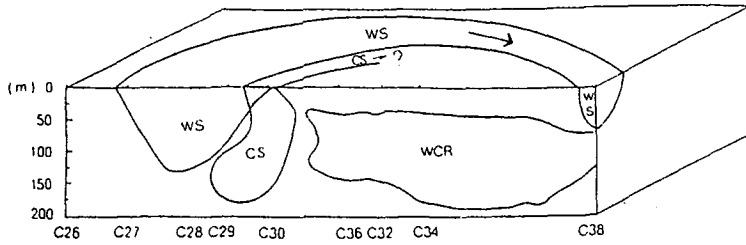


Fig. 6. Schematic diagram showing distribution of a warm streamer (WS), a cold streamer (CS) and a warm core ring (WCR) in the sea area east of Hokkaido based on CTD data and a satellite imagery. Tip of the cold streamer was not determined.

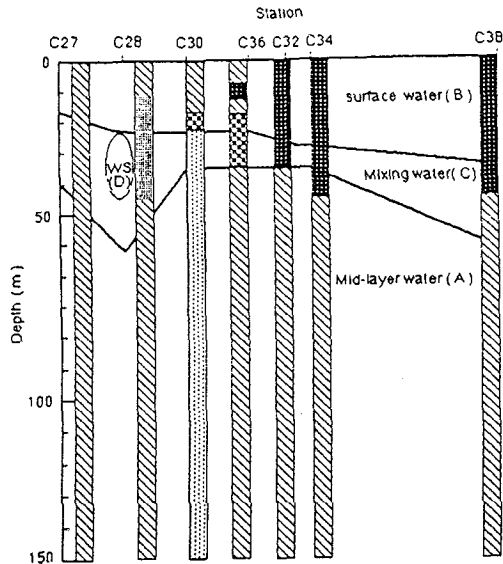


Fig. 7. Distribution of water types and phytoplankton assemblages defined by principal component analyses using oceanographic data (water types are indicated by their own names), distributional groups and dominant species (assemblages are indicated in vertical columns by the following marks).

- ▨ : Background assemblage
- ▤ : Cold assemblage    ▩ : Surface assemblage
- ▧ : Mixed assemblage    ▪ : Streamer assemblage

究ではSt. C18にだけ見られた。

(2)常磐沿岸群集：暖水塊南の垂表層から暖水塊表層にかけての群集で、暖水種に冷水沿岸種が少量混合した群集。後者は常磐沿岸側から引き込まれた水とともに来たものと推定された。

(3)沿岸フロント群集：暖水塊と金華山側の沿岸水とのフロントに見られた、本研究では2番目に現存量の大きい群集。

(4)津軽暖流群集：金華山沖に北方から流下した群集で沿岸性の性格が強く、本研究中では最も現存量が大きかった。

(5)南三陸沿岸群集：最も沿岸寄り金華山近くの群集であるが、沿岸性の性格は津軽暖流群集よりもむしろ低かった。

(6)北方混合群集 I 型：暖水塊の沖合北側表層の混合群集で、やや親潮群集の混入が見られた群集。

(7)北方混合群集 II 型：上記 I 型にさらに親潮の混入が見られる群集で、I 型の下層に見られた。

(8)親潮群集：St. C59にだけ見られた群集で、冷水性の外洋種および沿岸種からなる群集。本研究時には、少量ながら暖水沿岸種が混在していたので、道東海域まで南方起源の混合水の影響が及んでいたことが示された。

(9)混乱水域の背景群集：本研究の全測点に大なり小なり必ず見られた群集で上述の他群集の分布の背景をなしていたので、これを背景群集と名付けた。現存量が少なく種組成も不安定で、一定した性格を示さない。WCRやWSによって運び込まれた暖水種と、親潮由来の冷水種とが混合して形成されたと推定された。

### III-2. KT-91-7航海 (道東沖暖水塊)

本研究の水温塩分測定結果、公刊されている漁海況速報図および人工衛星写真を参考にして、研究当時の海洋構造模型図を描いた(Fig. 6)。WCRの周りをWSが時計回りに走り、このWSとWCR間に冷水帯が形成されていた。このときに、WCRの位置にあったSts. C32、C34、C36、C38、WS中にあったSts. C28、C38および冷水帯内のSt. C30の計7点で84本のプランクトン標本を採集した。

前述のKT-90-7航海におけると同様な解析を行った結果、本測線上に4水塊が判別された(Fig. 7)。全測線の表層に高水温水(B)、下層に低水温水(A)、両者間に混合水(C)が見られ、St. C28の垂表層には富栄養塩のWSコアが見られた。珪藻群集は次の5群集に区別された。



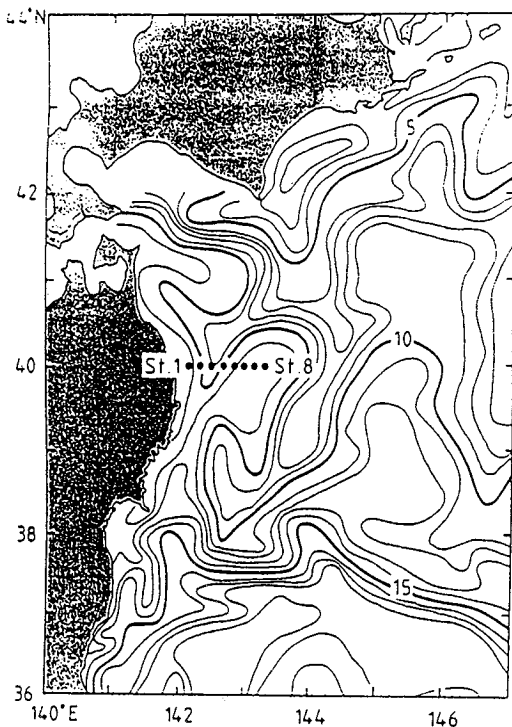


Fig. 8. Sampling stations occupied on the Cruise WK-91-1 of R/V Wakataka Maru to the sea area off Hachinohe during the period from 23 to 26 January, 1991. Isotherms at the surface are adapted from Gyogyo Joho Sabisu Senta (1991).

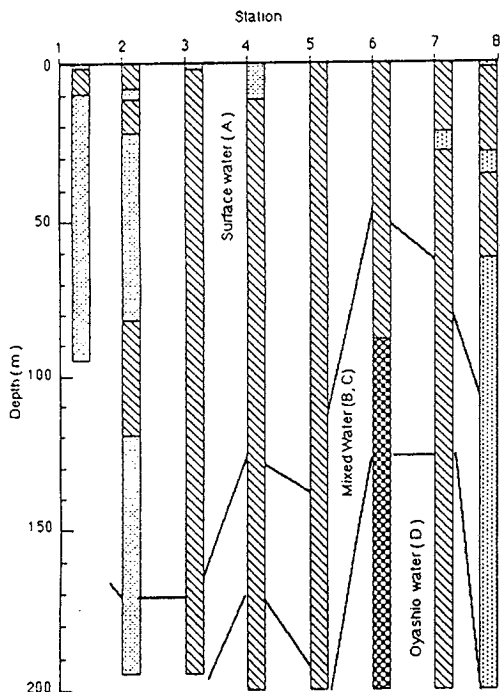


Fig. 9. Distribution of water types and phytoplankton assemblages defined by principal component analyses using oceanographic data (water types are indicated by their own names), distributional groups and dominant species (assemblages are indicated in vertical columns by the following marks).

- ▨ : Background assemblage
- ▩ : Oyashio assemblage
- ░ : Warm Water assemblage
- ▤ : Mixed assemblage

(1)ウォームストリーマ群集: WSに限って見られた群集で、本観測線上では暖水性の性格が最も強かった。現存量はやや大きかった。

(2)表層群集: WCR表層の群集で、上述のWS群集がWCRの周りを流れる間に変化して形成された群集であると推定された。現存量は大きかった。

(3)冷水群集: WCRとWSの間に形成された冷水帯内に見られた群集で、冷水性の性格が強かった。現存量は中程度であるが、150 m深まで多いことが目立った。

(4)混合群集: 本群集は上記3群集が混合した群集であるとみなされ、分布位置もそれを示唆していた。現存量はやや低かった。

(5)背景群集: 混乱水域の背景群集は、本測線においても広く分布していた。現存量が低いことも前述のKT-90-7の結果と同様であった。

### III-3. WK-91-1 (八戸沖海域)

本航海の観測点を、当時の漁海況速報図上に示した(Fig. 8)。本観測線は西の陸岸側から東の沖合に向って、津軽暖流水、親潮の影響を受けたと思われる冷水および北上暖水の3水域を横切っていた。本研究のデータによる主成分分析の結果でも3水塊が認められたが、その配置は単純な鉛直成層を示し、東西差はほとんど見られなかった(Fig. 9)。すなわち、表面水(A)、混合水(B、C)および親潮水(D)が層をなしていた。このとき珪藻群集は次の群集に分けられた(Fig. 9)。

(1)暖水群集: 沿岸寄りの津軽暖流域と考えられる水域に見られた群集である。この時期としては最も現存量は大きいですが、それでも最大値は $10^4 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$ のオーダーにすぎなかった。

(2)親潮群集: 親潮水塊の中核水にしか見られない、最も冷水性の性格が強い群集であった。現存量は特に大きくはなかった。

(3)混合群集: 沖側の暖水域の主に下層に見られた群集で、親潮群集を主とする混合群であるとみなされた。

(4)背景群集: 本観測線においても最も広く分布していた。一定した性格を示さず、現存量が小さな群集であった。

### IV. 考察とまとめ

従来から報告されているように、道東および東北沖の混乱水域には常に複数の水塊が存在することが判明した。これに応じて珪藻プランクトン群集もまた複数認められた。しかし、海洋物理学的データおよび海洋化学的データで判別された水塊の配置と、珪藻群集の分布は必ずし

も一致していなかった。この不一致は、混乱水域のように常に異水塊が混合している海域においては、海水の物理学化学的性格は混合拡散しやすいが、プランクトン群集組成はより保守的であることを示している。この不一致性を利用することにより、本研究では海洋学的には明らかにされえない海水の移流混合過程を、珪藻群集の分布や組成の変化から示しえた。例えば、WCR周辺に形成されるフロント域において、等密度層にそってプランクトン群集が水平的に拡がっている現象が捉えられた。このような海水の動きは、海洋学的には起こりうるとされるが、現実それを示しえたことは、プランクトンデータの有力さを物語っている。

また、本研究では、道東および東北沖の混乱水域の大部分を占める混合水中に分布する、基本的な珪藻プランクトン群集(背景群集)の成因と生産性を、次のように推定した。混乱水域においては、南北両海域あるいは沿岸域から移流してきた複数の群集が、水塊の混合、さらに冬期の対流によって強制混合される。この過程で、環境抵抗力の強い沿岸性種やコスモポリタン種など、少数の種が生残し、本研究でいう背景群集が形成される。この群集の現存量は常に低いので、外洋環境においては本質的に生産性の低い群集であることが推定された。このことは、この海域の低次生物生産性について従来から繰り返されてきた仮説とはかなり異なった結論となる。従来は、親潮の栄養塩と黒潮の熱エネルギーの混合が要因になって、あるいは両水塊起源の植物プランクトンがフロントに大量に集積されることによって、混乱水域全体の生産性が高められ、従って優れた漁場が形成されるという、いわゆる「北原の法則」が混乱水域全体に拡大解釈されて説明されていた。しかし、本研究の結果では、一般に高生産といわれている親潮群集に比べればもちろんのこと、一般に低生産といわれている黒潮統流群集に比べても、常に背景群集の現存量はかなり小さかった。本研究では、混乱水域中で高い現存量が見られたのは、沿岸水あるいは沿岸水の混入率の高い水塊が侵入したところ、あるいはWCRの周辺域やWSのように流れがあるところに限られていた。後者では、流れによって海水の小規模な上下混合が起こり、それによって植物プランクトンの現存量が高められたものであると考えられる。すなわち、混乱水域においては、WCRやWSの形成は、浮魚の分布回遊と関係するだけでなく、局所的植物プランクトンの生産性を高める要因にもなっていると考えられる。従って、今後の水産海洋学的な調査には、海洋物理学的調査に加えて、プランクトンの分布に関する調査も加えられるべきであろう。

## 審査結果の要旨

北海道から東北地方の東方に拡がる東北海域には寒流と暖流が流入しており、極めて大規模な海洋前線すなわち極前線が形成されている。この海域中には多様な水塊が複雑に配置し、互いに混合することによりプランクトン生産が高められ、その結果好漁場が形成されるといわれてきた。本研究は1990年と1991年に行われた3回の海洋研究航海において、この海域中の暖水塊やウォームストリーマの周縁および沿岸水・外洋水の境界に形成されるフロントに注目し、それを横断する密な観測点を設定して、水塊と植物プランクトン群集の分布を詳細に調査したものである。その目的のために、調査観測した海洋環境および植物プランクトンに関するデータを主成分分析によって解析し、従来の海洋物理学化学的な水塊区分では単一と判断される水塊中にも異なる珪藻プランクトン群集がモザイク状に分布すること、またその分布様式が水塊の混合過程を保存していることを示した。例えばフロント域において、特定の群集が海水等密度層に沿って水平的に分布を拡大していることを示したことは、今後魚卵や稚仔魚のフロント越えの機序を論ずる上で、重要な基礎知見になると考えられる。

また、従来は全域に亘って高いとされてきた東北海域におけるプランクトン生産性についても、次のような新しい観点を提唱した。まず、異なる水塊に起源する複数の植物プランクトン群集が冬期の対流期に海水とともに強制的に混合された結果、中でも環境抵抗力の強い沿岸性やコスモポリタン種等が生残して新しい群集が形成され、それが極前線域に広く分布することを推察し、ついで、その群集生産性は外洋域では基本的に低いものであるが、その中において植物プランクトンの生産性を高めるものは、沿岸水の移入や暖水塊・ウォームストリーマの流動による局所的な栄養塩補給過程であることをしめした。これらのことから、暖水塊やウォームストリーマの形成は、浮魚類の回遊および卵稚仔の分布に影響するのみならず、植物プランクトンの生産性を高める役割をも担っていることが明らかになった。

以上の新知見は、東北海域におけるプランクトンの生産性の解釈に新しい1頁を加えるものであり、その成果は高く評価される。よって、本研究は博士（農学）の学位を授与するに値するものと判断した。