亜寒帯海洋の物理・化学環境変動とスケトウダラの再生産機構 の応答 (噴火湾をモデル海域とする HUBEC 計画の背景) *

桜井泰憲・三宅秀男[†]

Effects of Environmental Changes on Reproductive Process of Walleye Pollock in the Subarctic Ocean (Background of HUBEC Program around Funka Bay as a Modelling Area)

Yasunori Sakurai and Hideo Miyake[†]

1. はじめに

現在進行しつつある地球規模の温暖化や海洋汚染による海洋環境の変化が、多様性に富んだ海洋の生態系にどのような変化をもたらすのか。この課題の解明を目的として、地球規模の海洋生態系動態の理解と環境保全技術の開発をめざす国際的研究プログラム (GLOBEC, Global ocean Ecosystem dynamics) の策定と活動が、1992 年から具体的行動段階に入りつつある。この計画の中心課題は、「海洋動物の豊度と生産の時空間的分布を支配する機構の解明、および地球規模の物理的環境変化が生態系を変化させる機構の解明」である (杉本, 1992)。北部北大西洋においては、1990 年代における大西洋産タラ類 (Atlantic cod および haddock) の資源の急激な減少という深刻な事態に直面しており (Anthony, 1993), ICES (北大西洋海洋科学機構) と GLOBEC との共同による北部北大西洋のタラ類資源に及ぼす気候変動の影響を解明するための国際的な組織研究プログラム (CCC, Cod & Climate Change) がスタートしている。

一方、国内においても、JPN-GLOBEC 計画の立案と組織作りが 1992 年 3 月より開始された。その地域研究プログラムの一つとして、北太平洋亜寒帯海域の卓越種で

あるスケトウダラ-オキアミを key species とした生態系研究 (WPEC, Walleye Pollock, Euphausia & Climate or Walleye Pollock, Ecosystem dynamics & Climate) 計画の設計が始まった (渡辺, 1993; 桜井・西山, 1993)。

これを受けて、北海道大学水産学部では、過去 20 年間近くにわたって噴火湾を調査研究のフィールドとし、学部所属の調査船「うしお丸」を利用する生物・物理・化学分野の学内研究者による共同研究チーム作りに着手した。そして、1993 年 5 月に学内ワークショップを開催し、過去の噴火湾研究をレビューするとともに、この学内チームの名称を HUBEC (ヒューベック: Hokkaido University, sub-arctic Ecosystem dynamics & Climate) と名付け、約 12 研究室の学内教官による研究組織を発足させた (研究代表者: 大谷清隆, 海洋学・気象学; 島崎健二, 海洋生態学)。

このプロジェクトチームの編成の目的は、従来個々の分野が個別に実施してきた噴火湾研究を、今後 GLOBEC という世界的な海洋研究の枠組みの中へ、様々な分野を統合した研究組織として参画させることにある。その内容は、噴火湾をモデル海域として、亜寒帯海洋における物理・化学環境の変動がその海域の生態系構成生物にどのような効果と影響を及ぼしているかを明らかにすることにある。

具体的には、沿岸親潮-春季植物プランクトン大増殖-動物プランクトン再生産-スケトウダラ卵稚仔の生残という冬から春に毎年繰り返される一大イベントに焦点を

* 1994 年 4 月 3 日受領; 1994 年 6 月 27 日受理

[†] 北海道大学水産学部北洋水産研究施設; 〒041 函館市港町 3-1-1

[‡] Research Institute of North Pacific Fisheries, Minato-cho, Hakodate, Hokkaido, 041, Japan

釣り、海洋生物・物理・化学並びに計測・採集機器開発および数理統計分野の研究者集団によって、個々の得意とする研究分野を有機的に連結させて上記課題を解明しようとするものである。

それでは、亜寒帯海洋生態系の変動機構の解明のために、なぜスケトウダラを key species (鍵種) とし、その再生産機構と物理・化学環境との応答に焦点をあてたのか。本報告では、その理解のためにスケトウダラの亜寒帯生態系における位置づけと海外におけるスケトウダラ生態研究計画の概要を紹介し、今後の WPEC-北大 HUBEC プログラムの実施に向けた現状分析と研究の方向、およびその作業仮説について紹介する。

2. スケトウダラの亜寒帯生態系での位置づけと海外での研究の現状

本種は、北太平洋の北緯 40 度から北緯 70 度に至る南北の広い範囲に分布する魚種である。その分布域は沿岸から沖合いまで、また鉛直的には表層から中底層までのほとんどの空間を占める。しかも、本種は単一魚種として世界最大の生物量を持ち、1976 年以降の年間平均漁獲量は約 530 万トンと推定され、世界最大の漁獲量を誇っている (Wispestad, 1993)。このように、スケトウダラの空間生息域が広いことと、現存量が莫大であることは、海洋の多くの生物と深いつながりを持っていることを意味している。

ベーリング海では、栄養段階の上位の生物、すなわち海産哺乳類、海鳥類および大型底棲魚のオヒョウやマダラなどの食物として極めて重要であることが指摘されている。例えば、餌となるスケトウダラの個体群の数量変動が、海産哺乳類や海鳥類の繁殖率やふ化率を通して、それらの繁殖成功率や個体群変動に直接あるいは間接的に影響を与えている (Springer *et al.*, 1986; Livingston *et al.*, 1987)。さらに、スケトウダラ種内における異年級群間の共食い現象が、海洋構造の経年的変動とも関連して本種個体群の数量変動を大きく左右することも明らかにされている (Livingston, 1993)。

一方、本種は捕食者として低次生産者へ強大な捕食圧力を有し、また多くの生物との間で食物と生息空間に対する競争を行っている。このように、スケトウダラは北部北太平洋および隣接海域の海洋生態系において、最も

重要な鍵種の地位にあり、これらの海域における物質循環とエネルギー流に大きな影響を与えている。したがって、本種を中心とする亜寒帯生態系の解明が不可欠である (桜井・西山, 1993)。

このようなスケトウダラの海洋生態系における重要性から、個体群の年級群変動や卓越年級群の出現が卵稚仔の初期生残の成否に大きく依存していることに着目した研究が、アメリカの研究者によってベーリング海とアラスカ湾を対象海域として実施されてきた。例えば、1980 年代に開始されたアラスカ湾シェリコフ海峡のスケトウダラ個体群の卵稚仔の海流による輸送と生残率の関係を水産海洋学的に研究したフォーサイ計画 (FOCI: Fisheries-Oceanography Coordinated Investigations) などがある (e.g., DeWitt and Clark, 1993)。

さらに、最近では 1991 年から 6 カ年計画で開始されたベーリング海フォーサイ計画 (Bering Sea FOCI) は、前述の諸研究の成果に基づいて展開された計画である (Macklin, 1993)。ベーリング海フォーサイ計画は、ベーリング海中央の公海域、いわゆるドーナツ海域におけるスケトウダラ資源の変動機構の解明を目的としている。ベーリング海フォーサイの主な目的は、(1) ベーリング海に生息するスケトウダラ個体群の構造と海流の役割を解明し、なぜ海盆部と陸棚部との間に分離したり混合しあう集団が存在するのかを明確にすることと、(2) ベーリング海の中に存在する海洋学的に異なる特徴を持つ諸水域 (領域: ドメイン) の盛衰が、スケトウダラ幼魚個体群の生産力にどのように影響しているかを解明することである。

第一の分野では、時空間的に大規模な生物学および物理学的な調査観測を実施し、同時に数学モデルを作成し、新しい生物学の標識方法の技術開発を行う。これらは、産卵場の異なる繁殖個体群毎の回遊経路の解明のために、生物工学的手法による繁殖個体群毎の識別法 (例えば mt-DNA や DNA ゲノタイプの分子構造の比較) の研究、あるいは耳石構造による発生時期の水温や成長様式などの初期生活履歴解明の研究も含んでいる。一方、第 2 の分野には、同一発生期の稚仔集団が形成するパッチに着目して、このパッチ内における成長と生残過程の時空間的な追跡が計画されている。また、海洋学的に異なる水域 (ドメイン) の中に存在する各稚仔魚集団に対するブルーミングと、餌生物の生産のタイミングの一致

(coupling) と不一致 (decoupling) の検討も含まれている。さらに、アリューシャン海盆に存在する多くの渦流が、異なった時空間的スケールで生じる卵稚仔の離合集散と、その後の稚仔集団の生存率や成長に対してどのような影響を与えるかについても明らかにしようとしている。

これらの研究の大きな特徴は、いずれも漁業生物研究者だけの研究ではなく、海洋物理学、海洋気象学、リモートセンシング、海洋化学、海洋生物学、魚類生化学などの多くの学問分野を網羅した学際的研究であり、多数の大学や研究機関が共同で行うことにある。また、公海域の漁業の国際管理の必要性からも、日本やロシアなどの関係国による国際共同研究も含まれている。

3. 噴火湾における WPEC-HUBEC 計画の背景と現状分析

冒頭にも触れたように、国内では現在スケトウダラ研究の新たなプログラム作りと具体的行動 (JPN-GLOBEC, WPEC-HUBEC) が始まっている。これは、日本ではあまり行われていない海洋と海洋生物研究に関わる様々な分野を統合した学際的な共同研究をめざすものである。この計画の遂行に際して、従来の研究方法に加えて、全生活史を通じた生物・化学・物理環境に対する個体もしくは集団としての応答機構、あるいは亜寒帯海洋生態系における key species としてのスケトウダラの漁獲変動を含めた動態のモデル化が必要である。

さらに、最終的には一時的来遊種である浮魚類や高次捕食者を含めた亜寒帯海洋生産システムの動的モデルへと発展させる必要がある (和田・八吹, 1994)。同時に、地域的な WPEC-HUBEC プログラムにあっても、大西洋産タラ科魚類を鍵種とする ICES/GLOBEC における CCC 計画や、アメリカを中心としたスケトウダラのベアリングフォーサイ計画などとも、国際的にも整合性のある研究計画にしなければならない。そのためには、従来の日本特有の個別な研究体制から一歩進めて、物理・化学海洋学、基礎生産・生物・生理・生化学あるいは計測・数理科学分野などの研究者による統合した学際的研究体制づくりが急務であった。

幸いなことに、日本周辺海域に生息するスケトウダラ個体群の中でも、北太平洋の道東から東北海道に生息する太平洋系群と呼ばれる繁殖集団については、水研、水

試および大学の研究者によって数多くの資源・生態研究が蓄積かつ継続されている。しかも、この繁殖集団の再生産海域の中心である噴火湾およびその周辺の陸棚海域では、スケトウダラ卵稚仔期の初期生態に関する継続的な研究が行われ、アラスカ Shelikof 海峡の本種の再生産機構との比較研究までに進展している (Kendall and Nakatani, 1992)。

一方、この海域の海流、水塊交換、物理・化学環境と春季ブルーミングの関係など、断片的ながらも数多くの知見が得られている (例、大谷・木戸, 1980; Kido and Ohtani, 1981)。すなわち、WPEC-HUBEC 計画のスタートに際して、過去の知見を背景としたスケトウダラの資源変動と環境要因との関係についての作業仮説をたてるのが容易である。しかも、現在も進行中であるスケトウダラ関連の個別研究から学際研究へと発展させやすいという利点を有している。

1992 年 12 月の釧路で開催された WPEC の設計に関するワークショップでは、スケトウダラ研究の現状分析と研究計画 (方向) の検討が討議された。この会議において、スケトウダラ太平洋系群のそれぞれの生活史区分における生活領域 (水域、水深)、餌料種および捕食者の時間的推移に対する研究課題のキーワードと研究手法など (Table 1) が提案された (桜井・西山, 1993)。これは、具体的な研究計画の策定と実行の前提として、可能な研究課題と手法を取り上げたものであり、全ての課題を同時的かつ短期的にスタートさせることを意味しない。すなわち、これらの中から最も緊急性のあるもの、逆に長期的視野で実施すべきもの、あるいは資源変動と環境要因との関係の解明の軸となるものなどを抽出して、具体的な研究プログラムの策定と実行に展開させるための第一歩として位置づけられる。

1993 年 12 月の第 2 回 WPEC ミーティング (釧路、北水研) では、前年度の「WPEC の設計」(渡辺, 1993) を基に、関連する大学、水研および水試研究者によるスケトウダラ研究の現状分析と、1994 年以降の重点課題の設定と行動計画などについて討議がなされた。現在のところ、JPN-GLOBEC および WPEC-HUBEC 計画が、公的な研究費を獲得して実行に移るまでには、まだ数年の年月がかかる可能性が高い。特に、WPEC 組織は、水産庁、北海道、東北の関連する県、国公立大学を網羅しており、従来の日本の予算の枠組では研究計画を即実施する体制に

Table 1. WPEC プログラムの現状分析と研究計画 (方向) の検討 (1992 年 12 月 18 日, 北水研, 釧路) にて提案された課題 (桜井・西山, 1993)

スケトウダラ太平洋系群の生活史と研究課題

生活史区分	産卵	卵 (1.5mm)	仔魚 (5mm)	稚魚 (6mm~)	幼魚 (~10cm)	若魚 (10-20cm)	未成魚 (20-35cm)	成魚 (35cm~)
季節	冬	冬	冬	冬~春	春~秋	冬~冬(1-2才)	冬~冬(2-3才)	冬~冬(3才~)
水域 (水塊)	噴火湾	道東沖 三陸沖					噴火湾 金華山沖	
水深 (水塊)	水塊依存産卵		表層水柱		中層		海底層 (中深層)	
水柱 or 海底	大陸棚底冷水・冬季冷却・沿岸親潮		津軽暖流水・夏季昇温				大陸棚底冷水	
主要餌料種 or (分類群)	(ブルーミング) コペポダノープリウス		コペポダイト		オキアミ		オキアミ・スケソ幼魚	
主要捕食者 or (分類群)	(漁獲)	動物プランクトン (ヤムシ・クラゲ類)		他魚種 海鳥	他魚種 海獣		(漁獲)	
研究課題の キーワード	産卵能・漁獲データ 繁殖生態・産卵回遊 水塊構造の動態		物理・化学環境・輸送・気象・餌料 基礎生産の消長・初期生残・飢餓評価 捕食減耗・経年にわたる時空間調査		分布・回遊の定量評価 (着底) 成長評価 (日周輪)・混獲 [Prey-Predator関係 (Cannibalism)・海洋環境]		配偶子形成・成長 成熟年齢・餌料 産卵能の変動	
研究手法・ 分野 or 計測・採集 器具類	資源・漁獲統計解析 計量魚探・水中TV 魚群行動の追跡 海洋環境のモニタリング 生物の質的評価 (産卵数) 飼育実験 (鳴音分析含む)		採集器具類の統一 定量採集器具の開発 DNA/RNA比による飢餓評価 卵・仔魚の水平・鉛直輸送 の時空間的追跡 (渦流) 基礎生産とのマッチ・ミスマッチ		定量採集器具の開発 食物関係の解析 生残幼魚のふ化日の算定 混獲回避技術の開発 着底機構の環境・生理解析 標識放流技術の改良と開発		回遊経路追跡 (標識放流) DNA分析による系群判別 生活領域の探索 (漁獲) 飼育実験 (環境・餌) 環境・食物関係の解析	
							餌料・物理環境 と産卵能・成熟 年齢とサイズ関係 (飼育実験) 生息環境の異なる 系群間での比較	

至るまでには、数多くのハードルを超えなければならぬ。しかしながら、各機関の現状の調査・研究の範囲内で単独発進することと、互いに交流して共同研究を進めることが今後の JPN-GLOBEC の展開を推進するものと確信している。

4. 北大 HUBEC 計画のめざすゴールとは？

北大水産学部では、1993 年度学内特定研究として「亜寒帯海洋の物理・化学環境変動と生態系の応答機構」が採択され、HUBEC グループとして調査研究活動を開始した。この研究費は単年度ではあるが、今後の HUBEC 計画の展開のきっかけを与えてくれたことは事実である。1993 年度においては、この特定研究の計画作成と当該年度の調査・研究の具体的実施に向かうための数回の学内ワークショップを開催し、当面めざすべき調査研究の作業仮説とサブ・ワーキンググループの編成、および研究課題の設定を次のように行った。

まず第一に、Table 1 のなかのスケトウダラの産卵から稚魚までの初期生残が資源変動にとって最も重要であることが確認された。また、この稚仔魚の初期生残に最も

深く関係しているのが親潮の流入時期と餌生物との出会いであるとして、Plate 1 の作業仮説と課題の概念図を作成した。すなわち、親潮の流入が春季のブルーミングのトリガーになっている可能性 (例えば、箕田・岩崎, 1978) やスケトウダラの卵稚仔の輸送・集積に親潮の流れやフロントが大きく寄与していることが指摘された (Nakatani and Maeda, 1981)。また、仔魚期の餌生物である大型橈脚類ノープリウスの分布密度が低い 1 月から 2 月にふ化したスケトウダラは殆ど生き残っていないことが分かってきた (Nakatani, 1991)。

そこで、これらの課題を中心において、HUBEC 計画ではスケトウダラの長期的資源変動に対する物理・化学環境の影響を、大きくは 3 つの研究分野に分けて解析を行うことにした。第一に、冬季から春季にかけてのブルーミングからスケトウダラ卵稚仔の生残過程の解明、第二に過去の漁獲や環境データなどの歴史的資料を用いて気候変化の影響が資源変動をもたらしたかの検証、第三に資源評価のための定量採集具と計測機器の開発である。これらの分野の研究の遂行に当たって、前者を WG1 (親潮・ブルーミンググループ)、後者の 2 つの分野を WG2 (資料・資源評価グループ) としている。

特に、WG1は、すでに1993年12月から北大調査船「うしお丸」による調査を開始しており、同時にリモートセンシングによる沿岸親潮の挙動の追跡も始まっている。この調査の前提となる冬季から春季の噴火湾でのイベントの中での作業仮説は、(1)「沿岸親潮が、育成場である噴火湾への卵稚仔の輸送と集積に大きく寄与する (transport & aggregation hypotheses)」, (2)「スケトウダラの稚仔は、餌となるかいあし類幼生の出現とうまく遭遇することで大量に生残できる (match/mismatch hypotheses)」, の二つの仮説を柱としている (Plate 1 参照)。

第一の仮説は、ベーリング海ではアラスカ沿岸流、結氷状況や冷水渦が卵稚仔の輸送や集積に大きな役割を演じている (Nishiyama and Haryu, 1981) のに対し、噴火湾での親潮や親潮フロントの役割を解明しようとするものである。フロントに沿ってスケトウダラの高密度な卵の分布が見られるという様な資料はあるが、現在のところ海洋の詳細な物理構造と生物量とを比較した調査はなされていない。また親潮が流入した後、次に津軽暖水が流入する秋まで、噴火湾は低温低塩分な環境が保持されている (大谷・木戸, 1980)。このような生育環境は、スケトウダラにとってどのような利点があるのか、ベーリング海での渦やドメインがスケトウダラの生育に果たしている役割との比較などが研究される。

海氷に覆われるベーリング海やオホーツク海では、海氷の後退と共に春季のブルーミングを迎えるが、噴火湾では比較的な水温の高い冬期噴火湾水から最も低水温の親潮が湾内に流入した後主ブルームは生じている (例えば、中田, 1982)。このようなブルーミング自体の発生や構造の違い、ブルーミングの中での優先種の遷移、それに伴うスケトウダラの稚仔魚の生残の確率などが調査される。これらの調査研究と同時に WG2 では歴史的資料を用い、親潮の流入時期や水温変動と漁獲量との統計解析を進め、(2) の仮説の妥当性が検討される。おそらく、こうした仮説は、現場での検証の過程において修正されるであろう。同時に、新たな調査計画の作成と異なる研究分野の研究者の参画を求めることに発展すると思われる。

今回の HUBEC 計画の策定と実行に当たって、即物的かつ近未来的な研究ではなく、過去から現在、そして未来へと連なる海洋学と海洋生態学のプロジェクト研究への発展を念頭に置いた。現段階の HUBEC 計画は、噴火湾という極めて限られたエリアを対象としているが、北部

北太平洋の広大な亜寒帯海洋における統合的調査研究計画にも展開する必要がある。そこで、HUBEC 事務局では、噴火湾を対象とする研究集団 (仮称、HUBEC-Funka Bay) と、さらに亜寒帯海洋域を対象とする研究集団 (仮称、HUBEC-Ocean) の編成に向け準備中である。噴火湾では今冬衛星画像と HF レーダーとを組み合わせた親潮流入時の流れの構造の解明を中心にした調査を計画中である。一方、亜寒帯海洋域のグループでは、これまでの練習船の航海によって得られている極前線を中心にした海洋構造と生態系に関する資料を取りまとめるとともに、これらの成果をもとに西部亜寒帯副循環系の環境変動や生態系の解明に向けた計画を立案中である。

今後、起きるであろう地球環境の変化を、我々海洋と海洋生物を研究対象とする研究者集団が一体となって取り組むべき道を探る。これもゴールの一つではないだろうか。なお、本稿は、今まさに HUBEC 計画をスタートさせている北海道大学水産学部の大谷清隆、島崎健二、斉藤誠一、村上敬、乗木新一郎、築田満、志賀直信、中谷敏邦、大西広二、宗原弘幸、菅野泰次、松石隆、三浦汀介並びに飯田浩二氏 (順不同) 各教官による学内でのミーティングから生まれたものであることを記します。

References

- Anthony, V.C. (1993): The state of groundfish resources off the Northeastern United States. *Fisheries*, **18**, 12-17.
- DeWitt, C. and J. Clark (1993): Fisheries-Oceanography Coordinated Investigations: 1991 Field Operations Report. NOAA Data Report ERL PMEL-41, 112pp.
- Kendall, A.W., Jr. and T. Nakatani (1992): Comparisons of early-life-history characteristics of walleye pollock *Theragra chalcogramma* in Shelikof Strait, Gulf of Alaska, and Funka Bay, Hokkaido, Japan. *Fish. Bull.*, **90**, 129-138.
- Kido, K. and K. Ohtani (1981): Preservation of particulate organic matter in the cold basin water in Funka Bay after the vernal phytoplankton bloom. *Bull. Fac. Hokkaido Univ.*, **32**, 357-375.
- Livingston, P.A., D.A. Dwyer, D.L. Wencker, M.S. Yang and G.M. Lang (1986): Trophic interactions of key fish species in the Bering Sea. *Int. N. Pac. Fish. Comm. Bull.*, **47**, 49-65.
- Livingston, P.A. (1993): Importance of predation by groundfish, marine mammals and birds on walleye pollock *Theragra chalcogramma* and Pacific herring *Clupea*

- pallasi in the Bering Sea. Mar. Ecol. Prog. Ser., **102**, 205-215.
- Macklin, A. (1993): NOAA/Coastal Ocean Program, Bering Sea FOCI, Overview and Plans. Alaska Fish. Sci. Center PMEL, 25pp.
- 箕田 嵩・岩崎 順 (1978): 噴火湾における植物プランクトンの季節的消長 —特に春季増殖とその盛衰—. 海洋環境保全の基礎的研究, 第4回総合シンポジウム要旨集, 東京, 45-46.
- 中田 薫 (1982): 北海道噴火湾の1981年春季増殖期における植物プランクトンの組成. 水産海洋研究会報, **41**, 27-32.
- Nakatani, T and T. Maeda (1981): Transport process of the Alaska Pollack Eggs in Funka Bay and the adjacent waters, Hokkaido. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **47**, 1115-1118.
- Nakatani, T. (1991): Copepod nauplii as food of walleye pollock larvae (Pices: Gadidae) in Funka Bay, Japan. Bull. Plankton Soc. Japan. Spec., 515-525.
- Nishiyama, T. and T. Haryu (1981): Distribution of walleye pollock eggs in the upper-most layer of the southeastern Bering Sea, p.993-1012. In: The eastern Bering Sea shelf: Oceanography and Resoueces, Vol.2, ed. by D.W. Hood and J.A. Calder, Univ. Wash. Press, Seattle.
- 大谷清隆・木戸和男 (1980): 噴火湾の海洋構造. 北大水産彙報, **31**, 84-114.
- 桜井泰憲・西山恒夫 (1993): スケトウダラを Key species とした生態研究の将来展望, 第24回北洋研究シンポジウム, 海洋生物の生態研究と国際共同研究. 水産海洋研究, **57**, 375-377.
- Springer, A.M., D.G. Roseneau, D.S., D.S. Lloyd, C.P. McRoy and E.C. Murphy (1986): Seabird responses to fluctuating prey availability in the eastern Bering Sea. Mar. Ecol. Prog. Ser., **32**, 1-12.
- 杉本隆成 (1992): GLOBEC (Global Ocean Ecosystem Dynamics) とは何か? (1) これまでの経緯. 海の研究, **1**, 297-300.
- 和田時夫・八吹圭三 (1994): 親潮陸棚水域の魚類栄養動態モデル. 月刊海洋, **26**, (印刷中)
- 渡辺一俊 (1993): 「WPEC の設計」, 第1回 WPEC ワークショップ, 北海道区水産研究所技術報告, 第3号, 25PP.
- Wispestad, V.G. (1993): The status of Bering Sea pollock and the effect of the "Donut Hole" fisheries. Fisheries, **18**, 18-24.

Shelf & Bay Model

流水と親潮の関係

冬期北西風

Plate 1