

B-14 動物プランクトン群集組成の長期変動データに基づく海洋生態系の気候変動応答過程の解明に関する研究

(4) プランクトン群集構造変動のメカニズム解明とそれに伴う生態系機能変化の評価

独立行政法人海洋研究開発機構 地球環境フロンティア研究センター 千葉早苗

東海大学海洋研究所

田所和明

平成15～17年度合計予算額

8,067千円

(うち、平成17年度予算額

2,260千円)

[要旨]

親潮・黒潮及びその混合域の二次生産者及び生物ポンプの担い手として重要な動物プランクトンであるカイアシ類群集の変化を過去40年にわたり調べることにより、十年～数十年規模の気候変化に対する低次生態系の応答過程が明らかになった。群集構造解析の結果からは、低次生物生産タイミングのずれといった生物季節的变化に加え、海流の変化にともなう分布域の変化も見いだされた。生物季節的变化に関しては、70年代半ば～80年代終盤には寒冬暑夏の影響で生物生産に適した時季が短かったのに対し、90年以降は逆に暖冬冷夏傾向となり生産時期が長期化した。春の生物生産のタイミングはアリューシャン低気圧や極渦の勢力変化に伴う冬季の寒冷化・温暖化によって左右されていたが、夏の生産は冬季とは異なる周期を持つ気候フォーシングに影響を受けていることが示唆された。また、70年代半ばのアリューシャン低気圧の強化に伴う沿岸親潮南下と黒潮流量増加の影響により、大型冷水種の分布域が沿岸寄りに南下したと同時に沖合では小型暖水種の生物量増加が顕著となり、混合域の低次生態系の空間的構造が大きく変化した。メソ動物プランクトン現存量の経年変動を見ると、親潮・混合域共に80年代に顕著な減少が見られた。さらに現存量で主要な*Neocalanus*属カイアシ類3種について見ると、親潮域では*N. plumchrus*の現存量は概ねメソ動物プランクトンと同じパターンで変動していた。一方混合域では*Neocalanus*の変動パターンはメソ動物プランクトン現存量とは必ずしも一致しなかった。80年代のメソ動物プランクトン現存量の減少要因として1) マイワシによるトップダウン制御、2) 18.6年の潮汐混合の強度の変動におよび中層と表層の水の交換の衰退トレンドに伴う栄養塩供給量の変動が基礎生産量を変動させるといったボトムアップ制御の両面から変動している可能性が考えられた。本サブテーマの結果から、長期保存されている動物プランクトン標本の詳細解析が、気候変動と海洋生態系のリンクを解明する上で有用であることが実証された。

[キーワード] 動物プランクトン、気候変動、カイアシ類、生物ポンプ、西部北太平洋

1. はじめに

大規模スケールにおける環境変動と海洋生態系変動の関係について、従来の研究の多く気候インデックスとプランクトン生物量の相関に着目してきた。しかし単純な相関関係からは変動のメカニズムは明らかにならず、またトータルな生物量情報のみに着目し、生態系構造の変化まで調べることは、生態系の変動に伴う生物ポンプ（生物活動による海洋の炭素固定）への影響を推定することは困難である。そのような背景のもと、温暖化を含む十年～数十年以上の時間ス

ケールを持つ気候振動に伴う海洋生態系変動メカニズムの解明を目指す研究において、プランクトン群集構造の変化を生態系や環境変動の指標として用いることの意義が提唱され、近年北大西洋や東部北太平洋において成果が報告されつつある1) 2)。また、北太平洋亜寒帯域に卓越する動物プランクトンのうち、*Neocalanus*属カイアシ類は糞粒の生産や生活史に伴う鉛直移動を通じて深海への物質輸送を促進することにより海域の生物ポンプ機能において重要な役割を果たすことが報告されていることから3)、同属の変動過程に関して特に詳細な研究の必要性が指摘されている。本研究課題においてターゲットとした西部北太平洋亜寒帯域では、表層・中層の物理・化学環境のデータから、十年～数十年スケールの振動に加えここ数十年の間に徐々に表層の成層化が進み春の基礎生産力が低下していることが示唆されている4)。しかし、気候変動から二次生産者へと繋がる変動過程に関しては不明の点が多い。

本サブテーマ4においては、サブテーマ1で作成したオダテコレクションのデータを用いて、動物プランクトンの群集構造ならびに*Neocalanus*属カイアシ類生態の変動パターンを明らかにし、物理-生物環境と合わせて考察する。その結果、西部北太平洋亜寒帯域における海洋低次生態系の変動のメカニズムやそれに伴う海域の生物ポンプ機能の変化が明らかになると期待される。

2. 研究目的

本サブテーマでは、海洋の二次生産者として最も重要である動物プランクトンであるカイアシ類の群集構造に着目し、その季節／経年変動パターンを明らかにすることを目的とする。さらに、カイアシ類群集構造変動と北太平洋における十年～数十年規模気候変動との関連を見いだす。また、*Neocalanus*属3種に関しては成長段階まで詳細に分析することにより生物量に加えて成長タイミングの経年変動パターンを明らかにした上で、変動の結果海域の生物ポンプ機能がどの程度変化し得るのかを推測を行う。その結果として、将来生物ポンプ機能の変化を組み込んだ地球温暖化予測モデルを構築するにあたり基礎的な知見を提供することを目指す。

3. 研究方法

サブテーマ1における標本分析の進捗に併せて、1960～2002年の親潮域及び黒潮との混合域のカイアシ類データを多変量解析等の手法を用いて詳細解析した。水深100 mにおける水温(5℃≧親潮域、5℃<混合域)の基準に従って水塊を識別し、それぞれの水塊内で採集された標本を区別して扱った。また、オダテコレクションの標本に加え函館海洋气象台が観測定線PH(41度30分、東経144度～147度)で1980-1999年に採集した標本に基づくデータを併せて使用したことにより、標本の時空間的偏りが少なくなった。また、親潮域における物理・化学時系列データを収集し、動物プランクトンの時系列と比較することにより気候から低次生態系へと繋がる変動過程を調べた。

(1) カイアシ類群集構造の時空間変動

① 太平洋十年変動と親潮域の生物季節的变化

標本数が豊富で40年以上に渡って時空間的偏りが少ない親潮域のデータを対象に、個体群密度及び出現頻度が大きい主要44種に関してそれぞれ各年各月の平均個体群密度(ind.1000 m⁻³)を求めた上で、特に個体数の多い種の変動に結果が左右されるのを避けるため個体群密度を種毎に

正規化した(1960～2002年×月[3～9月])の平均=0, 標準偏差=1)。正規化した値を用いて、個体群密度が最大となる時季(月)の違いに基づきクラスター解析により種をグループ分けし、それぞれの季節及び経年変動パターンを調べた。

② 親潮・黒潮の十年規模変動とカイアシ類群集分布の変化

親潮域及び混合域の標本のうち、特に出現頻度が大きい(親潮域、混合域のいずれかにおいて>30%以上の測点で出現)主要37種を対象に主成分分析を行い、群集構造の違いに基づく主成分の経年変動パターンを調べた。混合域は親潮と比較して3～4月、及び2000年以降の標本が乏しかったので、水塊内の変動比較のため本課題では5～9月の標本のみを用いた。第一主成分(PC1)と第二主成分(PC2)の値に関して前後5年の平均値が有意に異なる年を顕著な変動が起こった年と見なし(Mann-Whitney U test, $\alpha = 0.1$)「ジャンプ年」とした。さらにPC1、PC2の時系列と有意な相関のある種に関して、年毎に1×1度格子の平均個体群密度を求め、ジャンプ年前後の地理的分布の変化を明らかにした。分析に先立ち、37種の個体群密度は正規化した(1960～1999年×全格子点の平均=0, 標準偏差=1)。

(2) メソ動物プランクトン現存量の経年変動

サブグループ1で作成したデータベースを使用しての親潮および混合域における1951-2004年メソ動物プランクトン現存量の経年変動を調べた。メソ動物プランクトンは、1951-1990年は丸特ネット、1990-2004年はNORPACネットを使用して表面から水深150mまでの鉛直曳によって採集された。いずれのプランクトンネットも開口部面積は 0.16m^2 、目合いは 0.328mm (GG54)であるが、側長は丸特ネット80cmに対してNORPACネットは180cmと異なる。ただし両者の採集効率には有意な差異が認められないことから5)採集効率のキャリブレーションは行っていない。さらに、メソ動物プランクトン現存量の多くを占める*Neocalanus*属カイアシ類3種の1960-2000年の現存量を調べた。そのためコペポダイト期毎に個体数を計数、それとステージ毎の平均体重6)から3種の現存量を推定した。

さらに現存量の経年変動と海洋環境の関係を調べた。資料は函館海洋气象台7, 8)北海道区水産研究所のA-line調査9, 10、<http://www.hnf.affrc.go.jp>)および日本海洋データセンター(<http://www.jodc.go.jp>)から1954年～2004年に採集されたものを入手した。これらの中から 38° - 43°N , 142° - 147°E のエリアで採集された資料を抜き出し、さらに水深100mの水温を使って親潮(5°C 未満)および混合域(5°C 以上 15°C 未満)を識別した。さらに沿岸の影響を取り除くため海底水深が500m未満で採集された観測点は除外した。観測項目はリン酸濃度(m mol m^{-3}), DO(m mol m^{-3}) 水温($^{\circ}\text{C}$) および塩分である。それらは観測初期にはナンゼン採水器で、近年はCTDによって標準層付近(0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 400, 500 m)で採集または測定された。リン酸はreduction method using ascorbic acid 11)で、DOはWinkler Method 12)によって陸上に持ち帰った後測定された。それら資料を10m間隔で内挿したあと、0mおよび亜寒帯中層水(NPIW)の中心に位置する密度面である $26.8\sigma\theta$ 等密度面 13)の値を取り出した。さらに14)の定義に従い表面から密度が 0.125 kg m^{-3} 上昇した水深を上部混合層深度(MLD)として推定した。次に各項目の月平均値を求め、X軸が月、Y軸が年のマトリックス上に並べた。そして季節変動の影響取り除くため、月毎に標準化(平均値 1956-2001=0, 標準偏差=1)を行った。その後、欠損値を周辺のデータを距離に応じて加重平均(1/距離)することで補間した。

4. 結果・考察

(1) カイアシ類群集構造の時空間変動

① 太平洋十年変動と親潮域の生物季節的变化

北太平洋では1976年に気候のレジームシフトが起こったとされ、アリューシャン低気圧の勢力強化に伴い西部北太平洋では冬が寒冷化したことが報告されている。一方1988年の北極渦の強化に伴い日本周辺では冬季が温暖化したが、この変化は小レジームシフトとされる。本研究の結果、これらレジームシフトのタイミングと関連した親潮域のカイアシ類群集構造や生物量の季節変化が見いだされ、北太平洋における十年規模の気候変動との関係が示唆された。

クラスター解析の結果、主要カイアシ類種は、生産ピークの異なる次の4つのグループに分類することができた：春型群集（以下生産ピーク：4～5月）春～夏型群集（5～7月）、夏型群集（7月）、秋型群集（9月）（図1）。

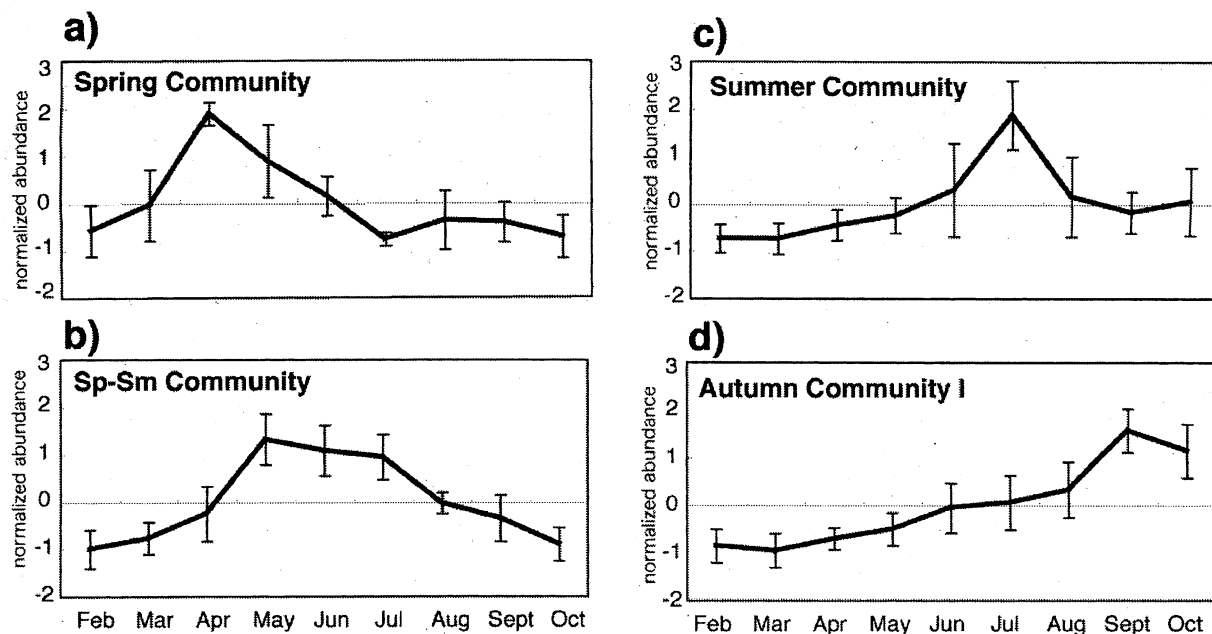


図1 クラスター解析の結果得られたカイアシ類季節群集毎の平均個体群密度の月変化。誤差線は標準偏差を示す。各グループの個体群密度がピークとなる月に応じて、春型群集 (Spring Community)、春～夏型群集 (Spring-Summer Community)、夏型群集 (Summer Community)、秋型群集 (Autumn Community) とした。

春型群集、春～夏型群集は冷水性の大型種が優先したのにたいし、夏型群集、秋型群集では暖水性小型種の占める割合が増加し、明らかな群集構造の季節遷移が認められた（表1）。

春型群集と春～夏型群集では、北太平洋十年変動と同期した生産タイミングのずれが見出された。春型群集の個体群密度ピークは、70年代半ばを境に4月から5月へと遅くなっており（図2左）一方春～夏型群集の個体群密度ピークは、70年代半ばに夏季の個体群密度が大幅に低下したことにより7月から5月へと早まった（図2右）。90年代になると、春型群集のピークは再び4月へと早期化するが70年代前半までとは異なり5月以降も個体群密度が高い状態が継続した。一方春～夏型群集の夏季の個体群密度は徐々に増加し、70年代前半と似た季節変動パターンとなった。

表1 個体群密度の月変化の違いに基づくクラスター解析の結果得られた、カイアシ類グループの構成種を、冷水性種、暖水性種、広域分布種とに分類した。* *Neocalanus flemingeri*と*N. plumchrus*のコペポダイト第一期については種の識別が困難なため、別に扱った。

	Spring Community	Spring-Summer Community	Summer Community	Autumn Community
Peak Month	April-May	May-July	July	Sept
Cold water spp.	<i>Neocalanus cristatus</i> <i>Neocalanus flemingeri</i> <i>Neocalanus</i> spp. CI * <i>Pleuromamma scutellata</i> <i>Metridia lucens</i>	<i>Acartia longiremis</i> <i>Eucalanus bungii</i> <i>Metridia pacifica</i> <i>Neocalanus plumchrus</i> <i>Oithona atlantica</i> <i>Oithona similis</i> <i>Pseudocalanus minutus</i> <i>Pseudocalanus newmani</i> <i>Oncaea borealis</i>	<i>Acartia tumida</i> <i>Labidocera japonica</i> <i>Metridia okhotsensis</i>	<i>Racovitzanus antarcticus</i>
Widely distributed spp.	<i>Heterorhabdus tanneri</i>	<i>Microsetella norvegica</i> <i>Microsetella rosea</i>	<i>Calanus jashnovi</i> <i>Centropages abdominalis</i> <i>Mormonilla minor</i>	<i>Calanus pacificus</i> s.l. <i>Clausocalanus parapergens</i> <i>Ctenocalanus vanus</i> <i>Paracalanus parvus</i> <i>Paraeucaeta elongata</i> <i>Scolecithricella minor</i>
Warm water spp.		<i>Lucicutia flavicornis</i>	<i>Calocalanus styliremis</i> <i>Clausocalanus pergens</i> <i>Chytemnestra rostrata</i> <i>Corycaeus affinis</i> <i>Gaetanus armiger</i> <i>Oithona longispina</i>	<i>Candacia bipinnata</i> <i>Centropages bradyi</i> <i>Clausocalanus lividus</i> <i>Corycaeus giesbrechti</i> <i>Oncaea mediterranea</i> <i>Oncaea venusta</i> <i>Temora dicaudata</i>

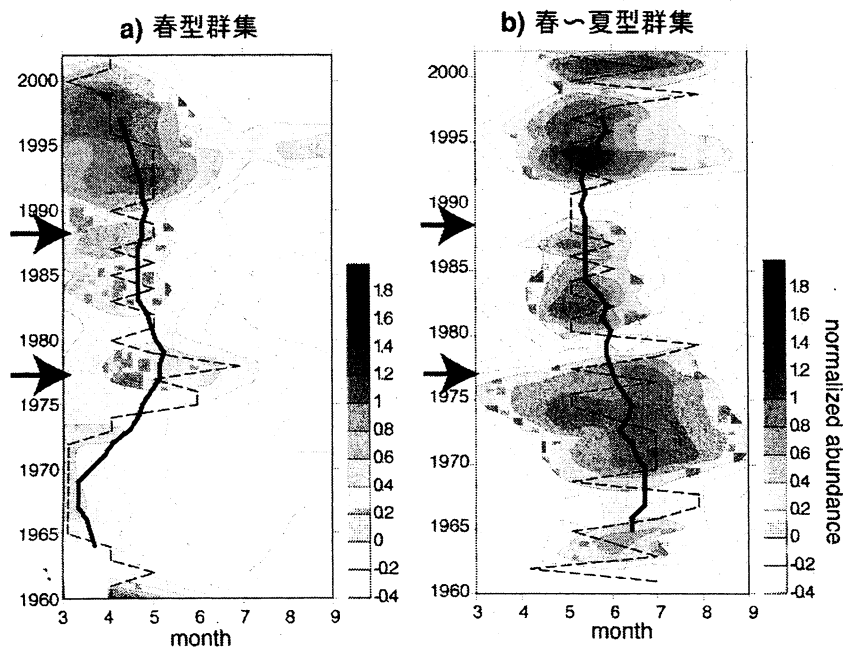


図2 動物プランクトンの春型群集（左）と春～夏型群集（右）の個体群密度の季節・経年変動。生物量は各年・各月を一格子として全格子の平均=0、標準偏差=1として正規化してある。波線は各年における個体群密度のピーク月、太実線はピーク月の10年移動平均を示す。矢印はレジームシフトに同期して起こったピーク月のシフトのタイミングを示す。

表面水温の季節・経年変動を見ると、70年代半ば～80年代終盤はその前後と比較して冬から春への水温上昇が一月ほど遅れていたことが分かった（図3上中）。逆に、90年代は6～7月の水温上昇が比較的緩やかであった（図3下）。4～5月の水温上昇の度合いは北太平洋十年変動指標（PDO: <http://tao.atmos.washington.edu/pdo>）と高い相関があった（ $R=0.834$ ）。6～7月の水温上昇の度合いにはPDOとの関係は見いだされなかったが、極渦の強さの指標である北極振動（AO: <http://tao.atmos.washington.edu/ao/>）と相関が高く（ $R=-0.682$ ）90年代の上昇の度合いはそれ以前の年代と比較して少なかった。以上のことから、70演題春型群集の個体群密度ピークの遅れは、レジームシフト以降の冬季の寒冷化により鉛直混合が進み、光環境が低下したことにより。春季ブルームのタイミングが遅れた結果、カイアシ類の生残率が低下したためであると推測できた。一方で夏の水温は冬とは逆に70年～80年代を通して高い傾向にあり、その年代には夏に成層化が進んで栄養塩環境が低下し低次生物生産にとって不適な環境であったために、春～夏型カイアシ類群集の夏季の生残率が低下したと考えられた。つまり、70年代半ば～80年代終盤には寒冬暑夏の影響で生物生産に適した時季がその前後より短かったことになる（図4）。

夏の水温変化は70年代のレジームシフトと同期はしていないが、90年以降に顕著に低下しており、そのことが成層の度合いを緩め夏季の生物生産の増加につながったと考えられた。すなわち90年代にはそれ以前とは逆に、暖冬涼夏な環境により生物生産に適した時季が長期に及んだことになる。以上の結果から、冬と夏にはそれぞれ異なる十年規模の気候フォーシングが働いており、その複合作用により70, 80, 90年代でそれぞれ異なる低次生産の経年変動パターンが現れたしくみが明らかとなった（図4）。

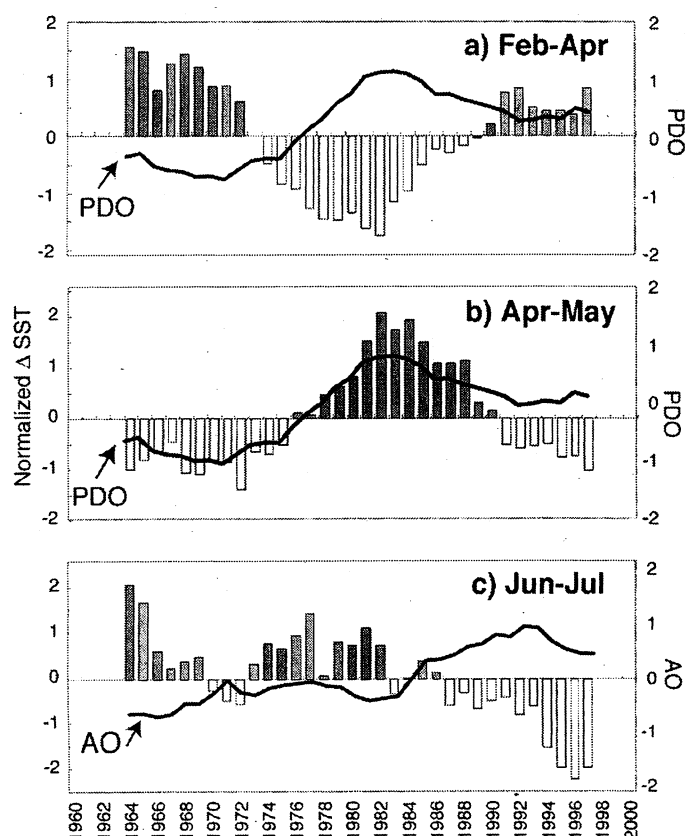


図3 親潮域における1960-2002年の表面水温上昇の度合いと気候変動指数との関係：2～4月間の上昇（上），4～5月間の上昇（中），6～7月間の上昇（下）。標準化（1960-2002年間の平均＝0，標準偏差＝1）した値の10年移動平均を示す。PDO:北太平洋十年変動指数。AO:北極振動指数

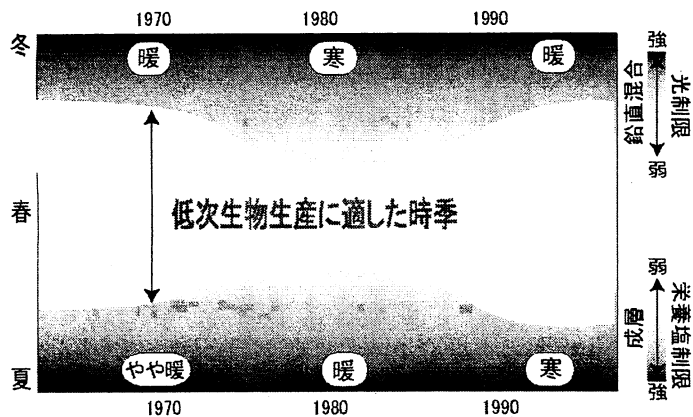


図4 親潮域低次生態系における生物生産タイミングの十年規模変動の模式図。70年代半ば～80年代は、冬季寒冷化のため光制限が効く一方夏季は温暖化のため栄養塩制限が効くので生物生産に適した時季は短かった。90年代に入ると冬は温暖化、夏は寒冷化して逆の条件が働くため生産時期が長くなった。

本研究で見いだされた、十年規模の生物季節的变化は、親潮のみならず日本海15)や四国沖亜熱帯循環域16)でも報告されていることから、ローカルな現象ではなく、西部北太平洋広域における生態系の気候への応答であることが示唆される。また、海洋生態系の長期変動に関しては、これまで冬季の気候や年平均の気候値との関連から論じられることがほとんどであったが、本研究の結果は、変動メカニズムを解明するには冬から夏にかけてのプロセスを総合的に見ることの重要性を示唆している。夏の気候フォーシングについてはAOと表面水温の上昇度合いの相関から見ても、オホーツク高気圧の変化などを通じた間接的な極渦の影響17)が考えられるが、その解明は今後の課題である。

② 親潮・黒潮の十年規模変動とカイアシ類群集分布の変化

カイアシ類群集組成の経年的差異に基づく主成分分析の結果、第一主成分(PC1)の寄与率は21%、第二主成分(PC2)の寄与率は15%であった。PC1の時系列からは6～7年の周期の他40年間に渡る正のトレンドが認められ、ジャンプ年は北太平洋のレジームシフトのタイミングと同期して1976年と1988年に検出された(図5上)。PC2の時系列からは、顕著な正の長期トレンドの他、1982年にジャンプ年が検出された(図5下)。

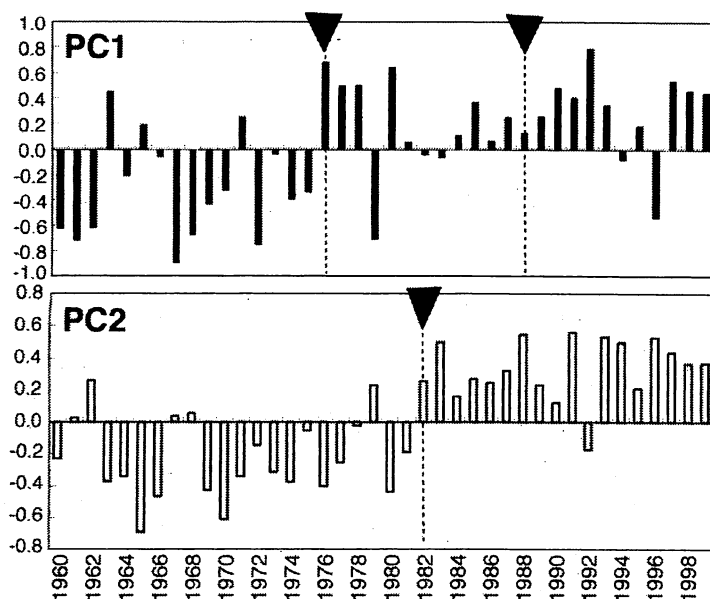


図5 親潮域・混合域におけるカイアシ類群集組成の経年変化に基づく主成分分析の結果求められた、第一主成分 (PC1) と第二主成分 (PC2) の時系列。▼は、前後5年の主成分スコアが有意に異なる年＝ジャンプ年。

PC1の時系列と有意な正の相関のあるカイアシ類グループは、*Neocalanus*属や*Eucalanus*属を含め主として親潮域に分布する一年以上の生活史を持つ大型種で構成されていた（以下親潮群集とする）。PC2の時系列と有意な正の相関のあるカイアシ類グループは、主として生活史の短い暖水性の小型種で占められていた（以下混合域群集とする）（表2）。

表2 個体群密度の経年変動が、主成分分析による第一主成分 (PC1) (左) と第二主成分 (PC2) (右) の時系列と有意な正の相関を持つカイアシ類種のリストと成体雌のサイズ。PC1は、親潮域に分布する冷水性大型種の個体群密度の経年変動を表し、PC2は、主として混合域に分布する暖水性小型種の個体群密度の経年変動を示している。

Oyashio assemblage = PC1 group		Transition zone assemblage = PC2 group	
species	female size (mm)	species	female size (mm)
● <i>Neocalanus cristatus</i>	8.4-9.3	● <i>Oithona atlantica</i>	1.1-1.4
● <i>Metridia pacifica</i>	2.6-3.5	○ <i>Oithona plumifera</i>	1.1-1.4
● <i>Paraeuchaeta elongata</i>	4.1-8.0	● <i>Corycaeus affinis</i>	1.0-1.3
● <i>Pleuromamma scutellata</i>	3.6-4.0	○ <i>Oithona setigera</i>	1.1-1.9
● <i>Neocalanus flemingeri</i>	4.2-5.2	● <i>Acartia omorii</i>	1.0-1.4
● <i>Metridia okhotensis</i>	4.5-4.8	● <i>Ctenocalanus vanus</i>	0.9-1.3
● <i>Eucalanus bungii</i>	6.5-8.0	○ <i>Oncaea mediterranea</i>	1.0-1.3
● <i>Acartia longiremis</i>	1.0-1.4	○ <i>Oncaea conifera</i>	0.9-1.2
● <i>Scolecithricella minor</i>	1.1-1.5	○ <i>Clausocalanus arcuicornis</i>	1.2-1.6
● <i>Pseudocalanus minutus</i>	1.4-2.1	○ <i>Lucicutia flavicornis</i>	1.3-2.2
● <i>Acartia omorii</i>	1.0-1.4	○ <i>Paracalanus aculeatus</i>	1.0-1.4
● <i>Neocalanus plumchrus</i>	4.3-6.3	● <i>Clausocalanus parapergens</i>	1.0-1.4
● <i>Oithona atlantica</i>	1.1-1.4	○ <i>Oithona longispina</i>	0.9-1.1
● <i>Pseudocalanus newmani</i>	0.9-1.5	○ <i>Eucalanus californicus</i>	5.7-7.0

● cold water or mesopelagic species ● widely distributed species ○ warm water species

親潮群集の分布をジャンプ年の前後で比較すると、1976年以降南方へ分布を拡大し、特に沿岸寄りの個体群密度が増加した（図6）。1988年以降も分布の中心は南寄りに留まり、さらに沿岸寄りに移動した。混合域群集は、1982年のジャンプ年以降分布の中心に顕著な違いは認められなかったが、個体群密度が大幅に増加した。

親潮水塊の指標となる水深100 m 5℃の等温線の位置は1976年以降南進しており、また10℃の等温線は1988年以降の南下が顕著だった（図6）。1976年のレジームシフト以降90年代前半にかけて、アリューシャン低気圧の強化に伴う亜寒帯循環の強化とタイミングを同じくして沿岸親潮が南進したことが報告されており（図7左）、そのことが親潮群集の分布に影響を与えたことは明らかであろう。また、中央北太平洋におけるレジームシフトの影響は数年のラグを持って西部北太平洋亜熱帯域に伝搬することが報告されており、実際に東経137度線における黒潮の流量は1980年代初頭から顕著に増加し（図7右）、それに伴い北限位置も北側に移動している。よって、混合域群集の個体群密度が調査対象海域にて1982年以降顕著に増大したことは黒潮変動の影響であると示唆される。つまり、親潮・黒潮・混合域の低次生態系構造の時空間分布は、亜寒帯循環におけるレジームシフトのラグなしの影響と、亜熱帯循環域におけるラグ付き影響の相互作用により変動すると考えられた。それぞれの群集を構成するカイアシ類種に関する生態学的知見から、親潮群集の分布域では生物ポンプの効率が比較的良く、混合域群集の分布域では効率が悪い生態系構造が形成されていることが推測される。本研究の結果から、気候変動フォーシングの海流への影響により、移流をメカニズムとした生態系構造の空間分布の変動過程が明らかとなった。

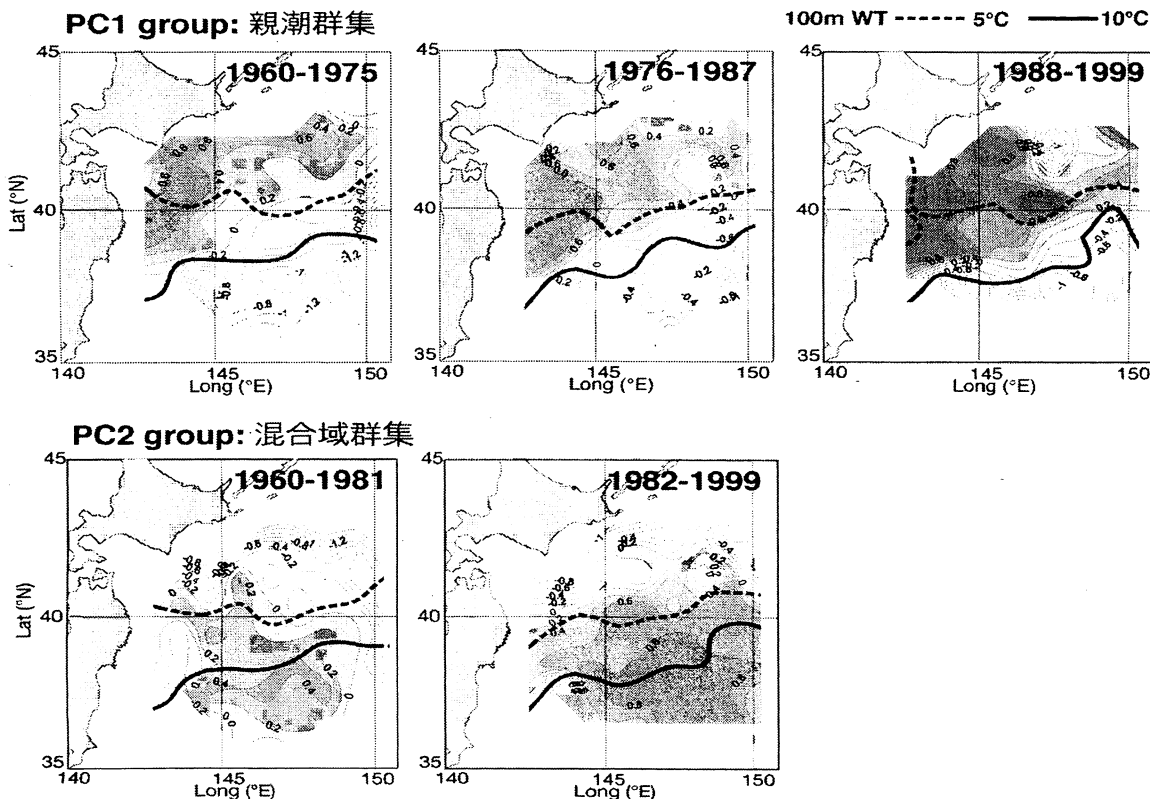
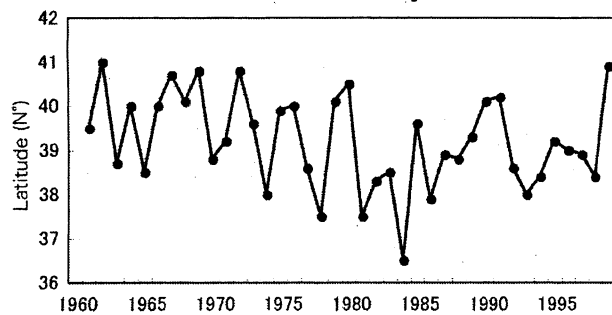


図6 第一主成分(PC1)と第二主成分(PC2)の時系列と有意な正の相関のあるカイアシ類群集をそれぞれ「親潮群集」「混合域群集」とし、それぞれの年平均個体群密度を、ジャンプ年の前後で比較した。点線は、親潮水塊の指標となる水深100 m 5℃の等温線の各期間における年間の平均位置。太実線は同じく10℃の等温線を示す。

Southern Most Location of the Oyashio



Geostrophic Transport of the Kuroshio (137° E)

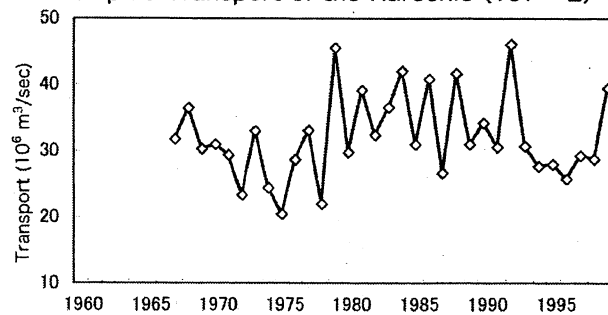
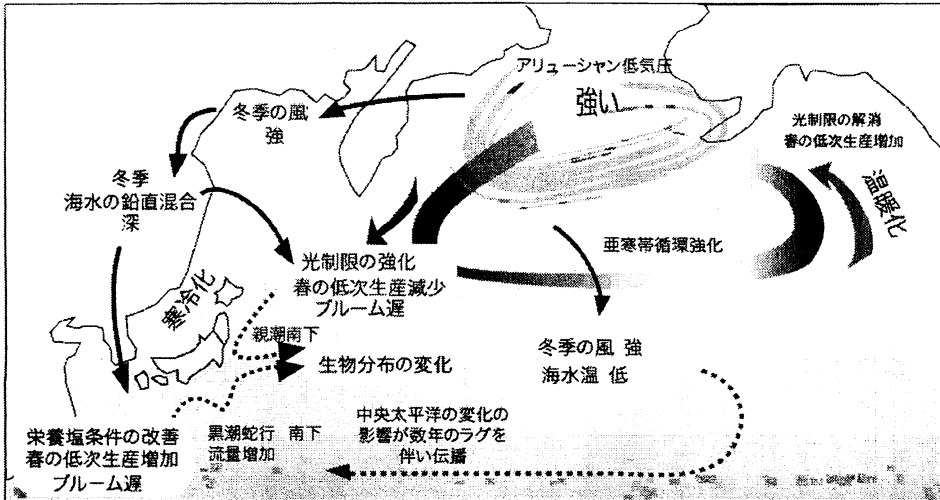


図7 沿岸親潮の南限位置の時系列(年平均)(左)と、東経137度線上の黒潮流量の時系列(右)。データは何れも、気象庁ウェブサイトより入手 (<http://www.datta.kishou.go.jp/kaiyou/shindan/>)

③まとめ

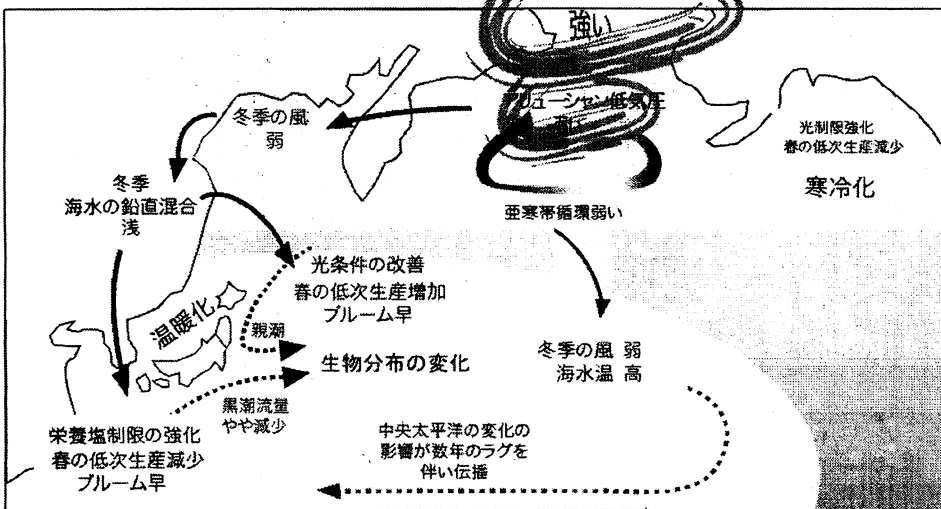
以上の研究成果を、北太平洋における十年～数十年規模の気候変化に対する冬～春季の低次生態系の応答過程の概要を、特に1976年と1988年のレジームシフトの影響に主眼を置き、図8にまとめた。春～夏季の変動過程の解明は今後の課題である。

冬季アリューシャン低気圧が強い年のレジーム(例:1976年以降)



注)黒潮の変化は親潮の変化から5～6年遅れて起こる

冬季極渦が強く、アリューシャン低気圧が弱いレジーム(例1990年以降)



注)黒潮の変化は親潮の変化から5～6年遅れて起こる

図8 北太平洋の十年規模気候フォーシングに対する、西部北太平洋における冬～春季の海洋低次生態系の時空間変動過程の概要。

(2) メソ動物プランクトン現存量の経年変動

親潮域・混合域共に一年を通じて最もメソ動物プランクトン量が多くなる春～夏の現存値は、60年代中期に増加した70年代まで高い値で推移し、80年代に減少した。そして90年代前期に再び増加し中期まで高い値を示し、後期以降再び減少した（図9）。このように現存量の80年代の減少および90年代の増加は76/77年および88/89年の気候のレジームシフトから数年遅れ、90年代後期の減少は98/99年のレジームシフトとほぼ同期していた。

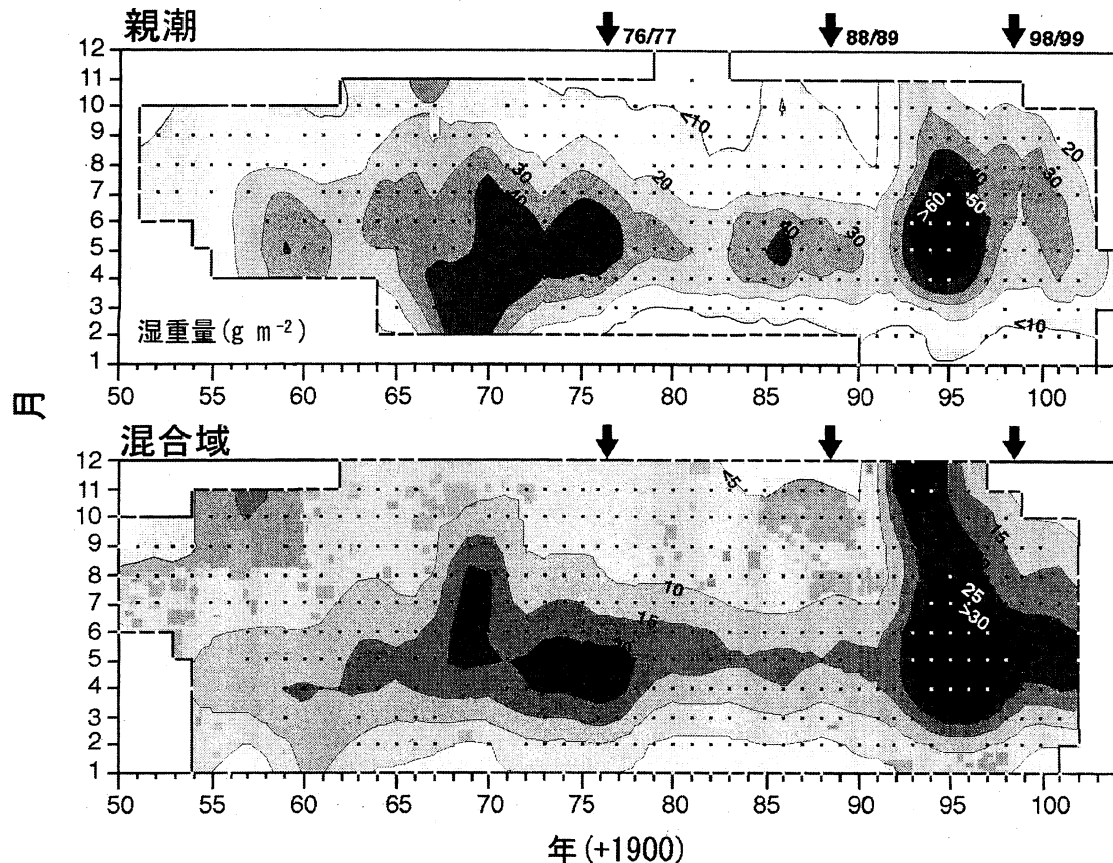


図9 親潮および混合域におけるメソ動物プランクトン現存量(g m^{-2})の経年変動。黒点または白点は平均値の存在する月を示す。

親潮・混合域を含む北太平洋亜寒帯水域において*Neocalanus*属カイアシ類はメソ動物プランクトン現存量の大部分を占める主要種である(18)。そこで次に*Neocalanus*属カイアシ類3種の現存量の経年変動を調べた(図10、11)。親潮域における*N. plumchrus*現存量は60年代～70年代中期に高い値を示した後、減少し80年代に低位で推移したのち90年代に増加し、90年代後期に再び減少した。この変動パターンは親潮域のメソ動物プランクトンと概ね一致した。*N. cristatus*および*N. flemingeri*現存量もメソ動物プランクトンと同様に90年代に増加したが、その他の年代では変動パターンは一致しなかった。次に混合域について見ると、60年代～80年代の*N. plumchrus*現存量は観測期間を通じて有意な減少トレンドを示し、そのトレンドに乗じた小さ

なピークを70年代後期、90年代中期に示した。*N. flemingeri*の変動パターンも概ねこれに一致した。一方、*N. cristatus*現存量には有意な減少トレンドは見られなかったが、60年代、70年代後期、90年代中期にピークを示すといった周期的な変動パターンは他の2種と概ね一致した。

このような経年変動に対して①トップダウン制御、②ボトムアップ制御の両面から変動プロセスを検討した。まず①のトップダウン制御であるが、メソ動物プランクトン現存量の少なかった80年代はマイワシ資源量が非常に多かった時期でもあり、さらにその年代にマイワシは夏にメソ動物プランクトンを食べるために親潮域へ来遊していたため、マイワシが捕食することでメソ動物プランクトン現存量が減少した可能性が考えられた。そこで、*Neocalanus*属カイアシ類の生産速度に対するマイワシの捕食速度を検討した。その結果マイワシ資源量の最も多かった80年代中期に、その捕食速度は*Neocalanus*属カイアシ類の生産速度の32-138%に達したことが明らかとなった。このことから、80年代にマイワシは*Neocalanus*属カイアシ類現存量を減らしうるほどの捕食圧を持っていたと考えられた。

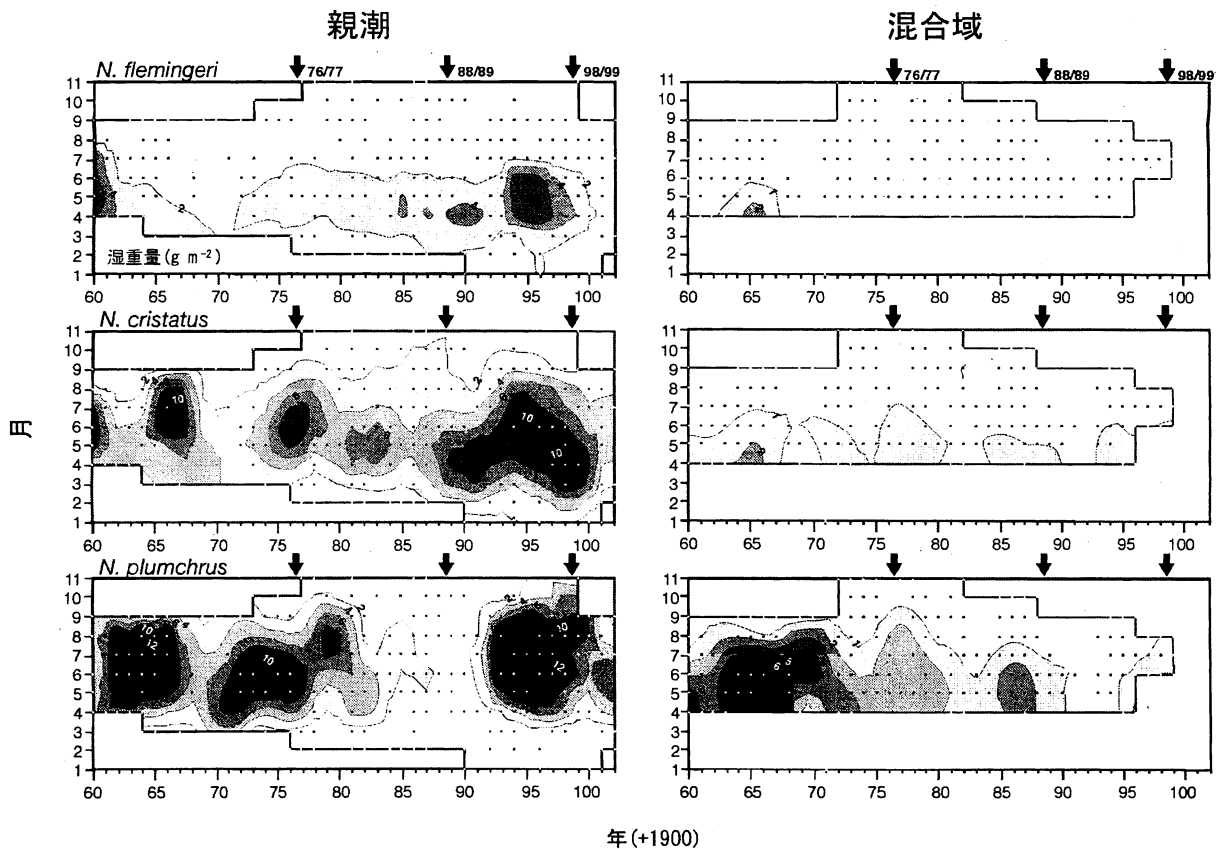


図10 親潮および混合域における*Neocalanus*属カイアシ類の現存量(g m^{-2})の経年変動。黒点または白点は平均値の存在する月を示す。

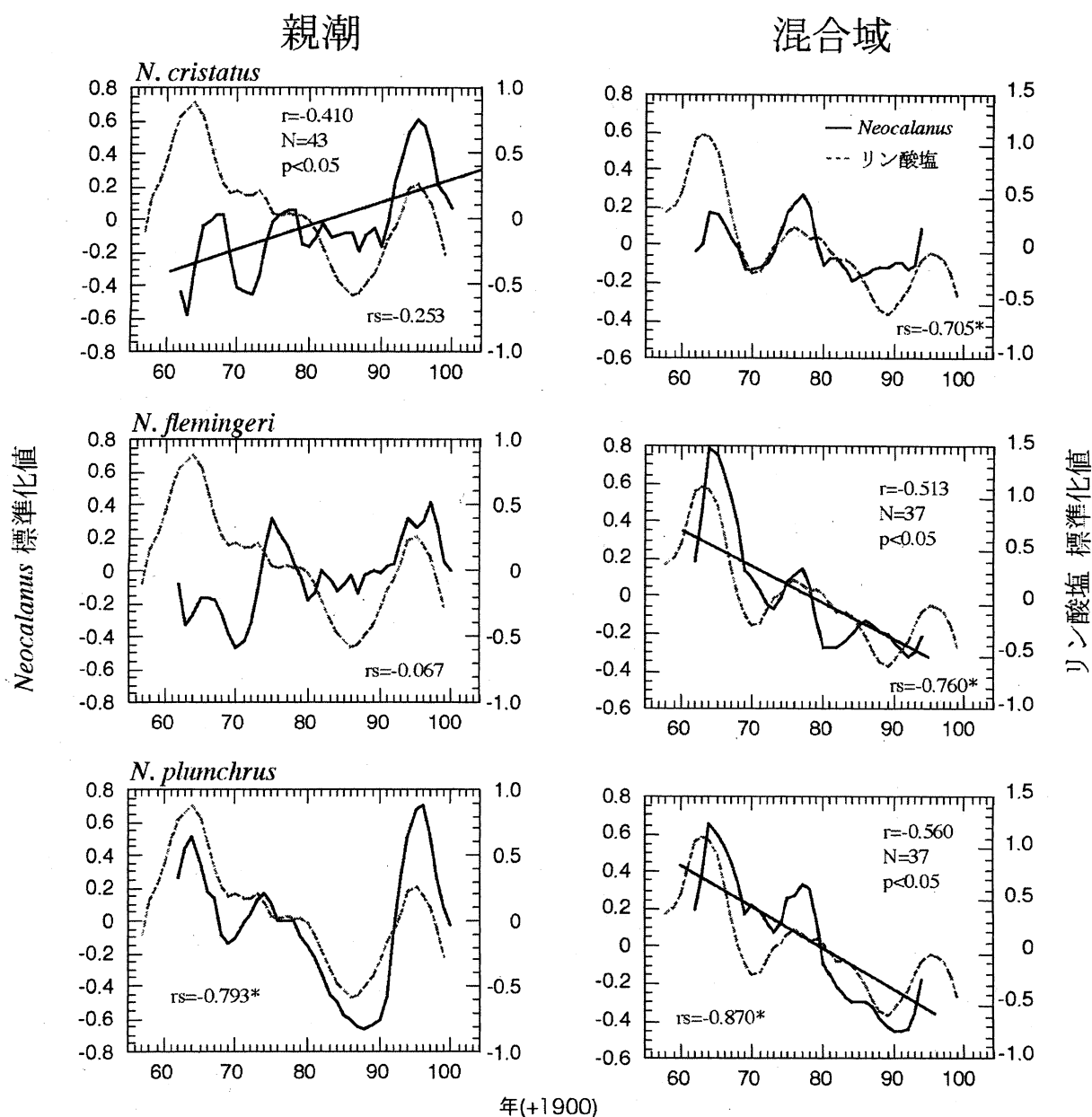


図 1 1 親潮および混合域における *Neocalanus* 現存量および表面のリン酸塩濃度の経年変動の5年移動平均値。季節変動を取り除くために、月毎に標準化したのちに年平均値を計算している。*Neocalanus* は4-9月、リン酸塩濃度は2-11月の平均値である。*Neocalanus* とリン酸塩の関係を Spearman の順位相関を用いて調べた。また、*Neocalanus* 現存量で有意なトレンドが見られたものは太実線を引いている。* : $r_s < 0.05$ alpha level

マイワシの資源量の変動メカニズムは未だよく分かっていないが、黒潮続流域の環境変動が、76/77年の気候のレジームシフトによって変化したことが仮説の一つとして挙げられている(19)。

次に②のボトムアップ制御について検討を行った。親潮を中心とした日本周辺水域では、中層(NPIW: 亜寒帯中層水)におけるリン酸塩が約20年の周期変動を示すことが報告されている(20, 21)。それは気候のレジームシフトに伴う20年周期変動を原因とすると考えられてきた。ところが本プロジェクトサブグループ2・安田の研究によってこの変動はオホーツク海から千島列島周

辺の潮汐混合の強さが、地球に対する月の傾斜角の18.6年周期で変動していることに起因することが明らかになった(22)。さらに我々が行った研究では、親潮および混合域における表層のリン酸塩濃度も中層に18.6年の周期的な変動を持ち、1980年代に濃度が低下したことが明らかになった(図12、13)。

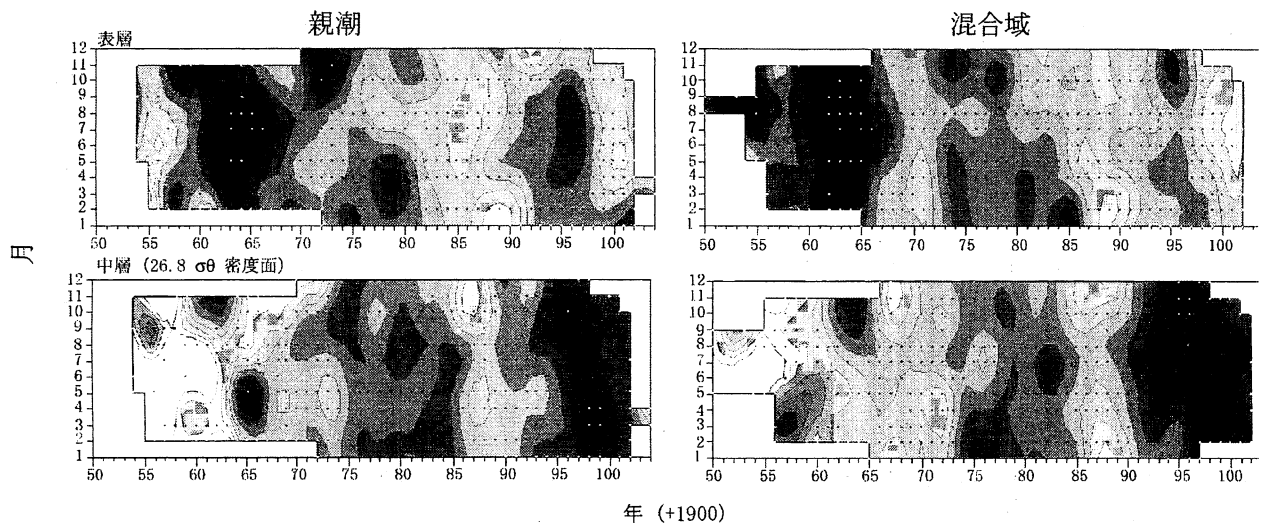


図12 親潮および混合域における表層および中層(26.8 $\sigma\theta$ 面)のリン酸塩の経年変動。季節変動の影響を取り除くために月毎に標準化している。濃度が高い部位は色が濃い。黒点または白点は平均値の存在する月を示す。

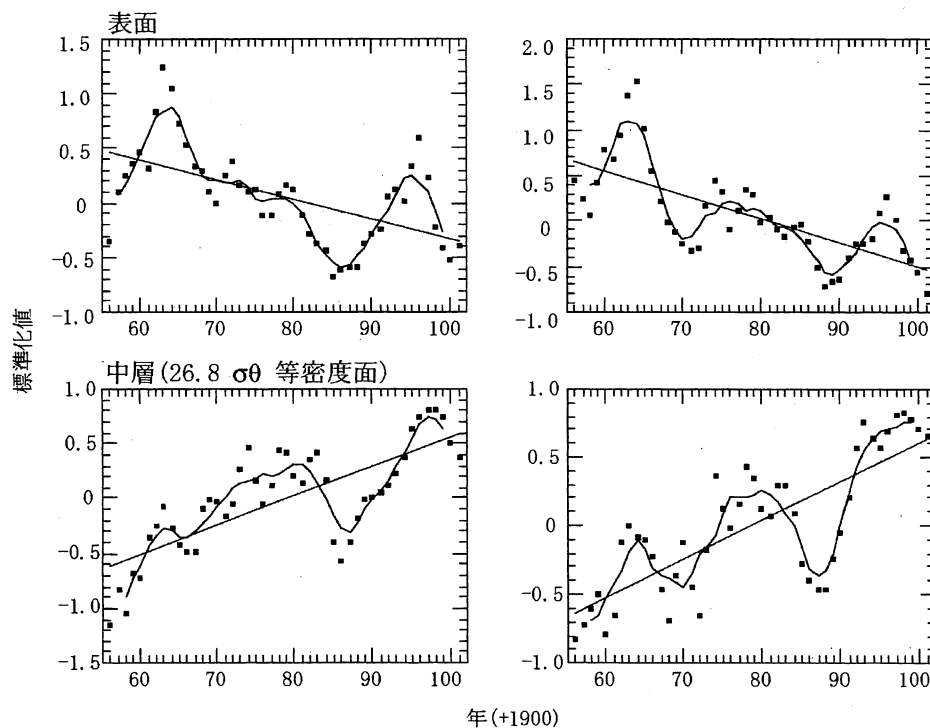


図13 親潮および混合域における表層および中層(26.8 $\sigma\theta$ 面)のリン酸塩年平均値の経年変動。季節変動の影響を取り除くために月毎に標準化している。

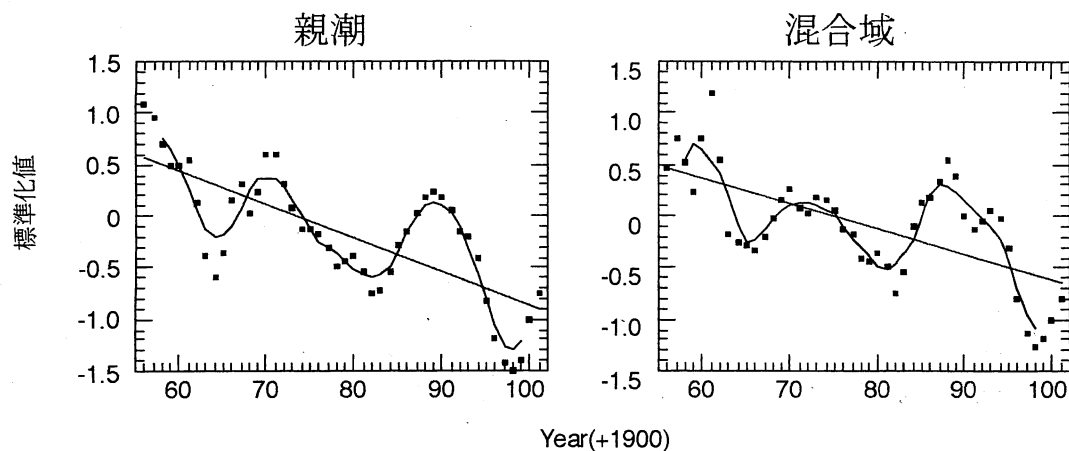


図14 親潮および混合域における表層および中層(26.8σθ面)の溶存酸素年平均値の経年変動。季節変動の影響を取り除くために月毎に標準化している。

またこの18.6年周期の変動に加えリン酸塩濃度はいずれの水域でも表層では有意な減少トレンド、中層では有意な増加トレンドを示した(13)。このことから、これらの水域のリン酸濃度の経年変動は、表層と中層で同期した18.6年周期変動と、表層と中層で逆のトレンドの2つの異なる要因で変動していると考えられた。リン酸濃度がこのようなトレンドを示すこということは中層と表層の水の交換が漸減していることを示唆する。中層の溶存酸素にも同様に減少トレンドが見られた(図14)。酸素の大部分は表層から供給されることから、中層の溶存酸素の減少トレンドも中層と表層の水の交換の漸減を示唆する。鉛直混合深度の経年変動からは表層と中層の水の交換の衰退のシグナルは見いだされなかったが、上部混合層深度とその下20mで密度差をとると、有意な増加トレンドがみられた(図15)。季節別にみると、秋(9-11月)に強いトレンドが見られた。これらのことから、秋に躍層付近の密度勾配が強くなることで、中層と表層の水の交換が衰退している可能性が考えられた。今後はどのようなプロセスで躍層付近の密度勾配が強くなり、表層と中層の水の交換に影響しているのかを検討する必要がある。

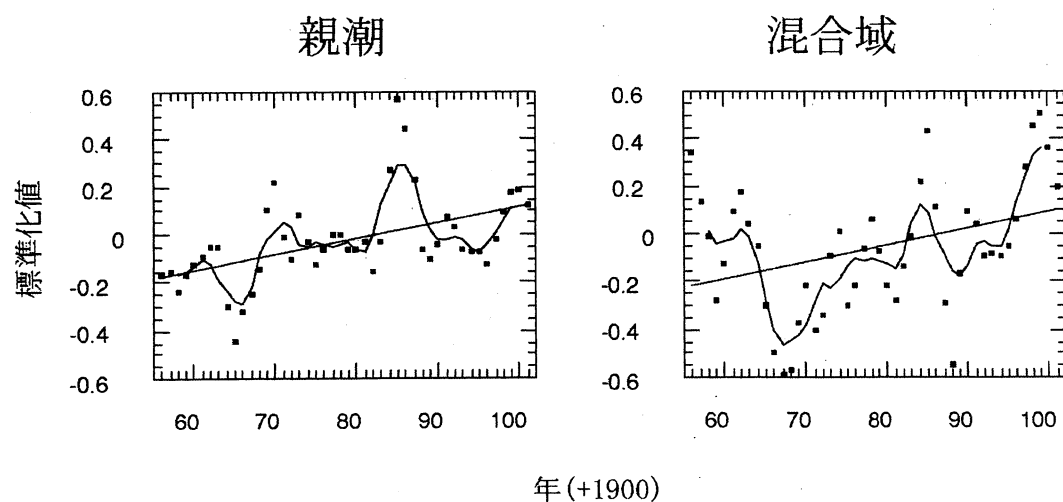


図15 親潮および混合域における上部混合深度とその下20mの間の密度差の年平均値の経年変動。季節変動の影響を取り除くために月毎に標準化している。

」表層のリン酸塩の減少した80年代はメソ動物プランクトン現存量の減少した時期とも一致することから(図9、10、11)、この年代に潮汐の18.6年周期変動および減少トレンドに伴って栄養塩の供給量が減少したことで基礎生産が低下し、さらにメソ動物プランクトン現存量を減少させた可能性が考えられた。リン酸塩の変動と*Neocalanus*属カイアシ類の変動を種別に比較すると*N. plumchrus*の変動パターンは親潮域・混合域では非常に良く対応しており、有意な正の関係を示していた(図11)。一方*N. flemingeri*および*N. cristatus*では、親潮では有意な関係が見られなかったが、混合域ではリン酸塩濃度と有意な正の関係を示した。*N. flemingeri*および*N. cristatus*は晩冬に表層に出現しそこで春～夏にかけて成長するのに対し、*N. plumchrus*は晩春に表層に出現し、夏に表層で成長するといった生活史の違いがある。夏は特にリン酸塩の少ない時期であるため、親潮では夏にリン酸塩濃度が基礎生産に大きく影響し結果として*N. plumchrus*生産に影響したのかもしれない。また混合域は親潮よりもともと栄養塩濃度が低いために、リン酸塩濃度の変動が春の基礎生産に影響やすく、そのために*Neocalanus*属カイアシ類3種全ての生産に影響した可能性が考えられた。表層のリン酸塩濃度は減少トレンドももっているために、栄養塩の供給量が*Neocalanus*属カイアシ類の現存量に影響を及ぼしているとするならば、すでに、混合域で*N. plumchrus*、*N. flemingeri*に見られたように、リン酸濃度が今後も減少トレンドを持ち続けるなら親潮域でも将来*Neocalanus*属カイアシ類が漸減してくる可能性がある。

次に*N. plumchrus*の体長の経年変動を見ると、リン酸濃度の高かった60年代中期と90年代前中期に大きくなっていることが分かった(図15)。カイアシ類の体長は水温と負、周辺の餌濃度とは正の相関関係を示すことが知られている(23)。この時期水温の下降は見られなかったことから、60年代中期と90年代前中期の*N. plumchrus*の大型化は餌濃度の上昇を示唆する。

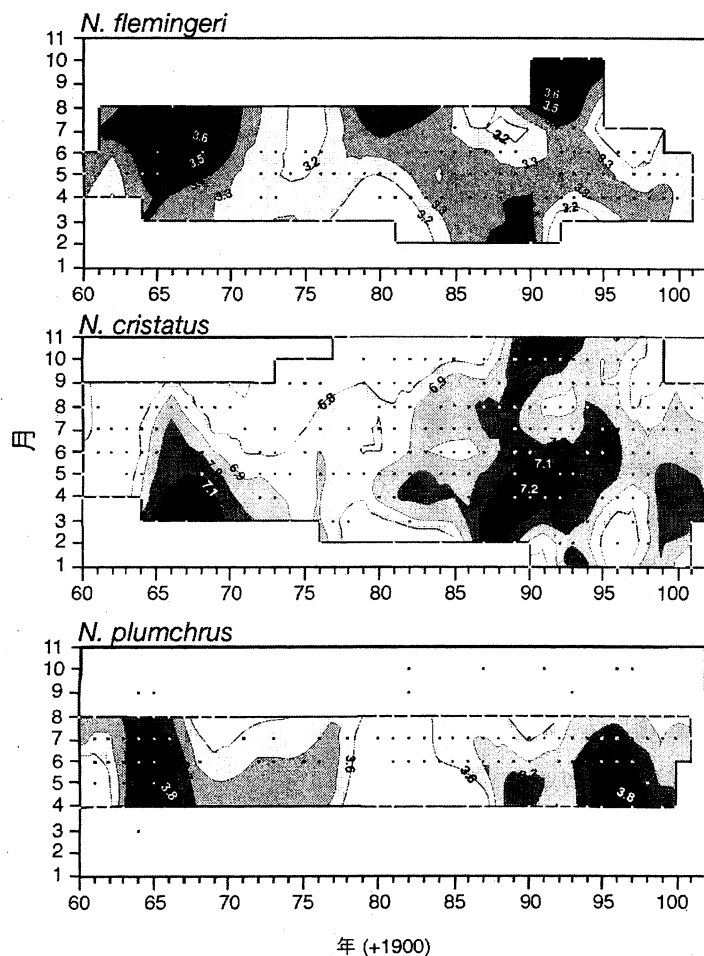


図 16 親潮域における *Neocalanus* 属カイアシ類の頭胸長 (mm) の経年変動。黒点または白点は平均値の存在する月を示す。

さらに、親潮域の *Neocalanus* 属カイアシ類の成長のタイミングについても検討した (図 17)。その結果、*N. plumchrus* の成長のタイミングの指標はいずれも 70 年代、80 年代、90 年代、2000 年代の初めに遅くなるといった、約 10 年周期の変動を示した。一方 *N. flemingeri* と *N. cristatus* の成長のタイミングの指標は同様の変動を示し、70～80 年代はほぼ一定で推移したあと 90 年代以降やや早くなる傾向が見られた。このような個体群の成長のタイミングと現存量との間では有意な関係を見られなかった。ただし、さらに海洋環境と比較することによってこのような個体群の成長のタイミングがどのようなプロセスで経年変動しているかを検討した上で、*Neocalanus* 属カイアシ類現存量との関係を検討する必要がある。

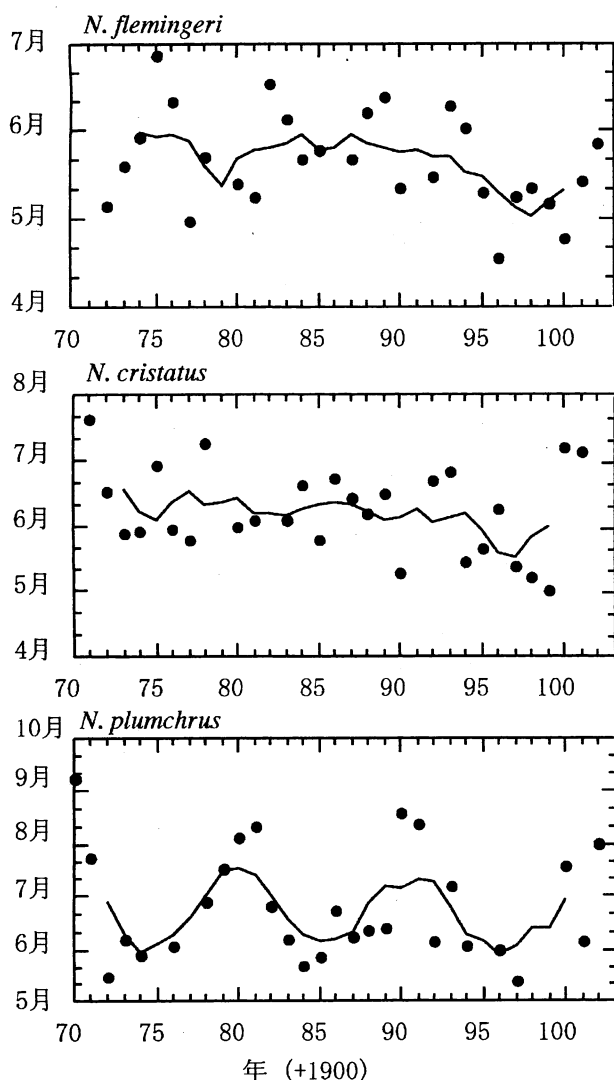


図17 親潮域における*Neocalanus*属カイアシ類の個体群のなかでコペポダイト5期の比率が50%を超えたタイミングの経年変動。これは*Neocalanus*属カイアシ類の個体群の成長のタイミングの指標となる。推定方法は24)に従った。

以上から、80年代はトップダウン制御並びにボトムアップ制御いずれのプロセスからもメソ動物プランクトン現存量を減少させる力が働いていた可能性がある。*Neocalanus*属カイアシ類は表層で成長した後、中深層(500-1500m)で産卵・死亡するといった生活史を持つため、生物ポンプとして大きな役割を果たすと考えられている6)。本研究で明らかになったように、その現存量は大きく変動しており、このことから*Neocalanus*属カイアシ類がもつ生物ポンプの機能も経年的に変動していると考えられた。今後数値モデルを使った気候変動予測でより精度をあげていくには、このような生態系変動から気候へのフィードバック要因も考慮していく必要がある。

5. 本研究により得られた成果

- (1) 西部北太平洋で最も重要な動物プランクトン群であるカイアシ類の群集構造に関して北太平洋十年変動や北極振動の変化に応じた十年～数十年規模の生産ピークのずれを見いだした。

- (2) 冬季と夏季では異なる周期を持った十年規模気候のフォーシングが低次生物生産に影響を与えており、その複合的作用により低次生物生産の経年変動パターンが決まるしくみが明らかになった。夏の変動過程とその重要性については、これまであまり研究例がなく今後の課題である。
- (3) 十年規模気候変動に伴う親潮・黒潮の変化により、移流をメカニズムとした低次生態系構造の空間分布の変動過程が明らかになった。
- (4) 主要なメソ動物プランクトンである*Neocalanus*属カイアシ類に顕著な経年変動がみられた。
- (5) 潮汐の18.6年周期変動および中層と表層の水の交換の衰退トレンドに起因すると考えられる表層のリン酸塩濃度の変動が観測され、それを原因として表層への栄養塩の供給量に変動し、基礎生産および*Neocalanus*属カイアシ類の生産に影響している可能性が考えられた。
- (6) これらの水域のメソ動物プランクトンはトップダウン制御およびボトムアップ制御のいずれからも影響を受けている可能性が考えられた。

以上から、オダテコレクションのように長期にわたり且つ時空間解像度が高いデータセットを用いることにより、プランクトン群集構造の変化や*Neocalanus*種のような主要動物プランクトン種の生態学的な変化が、海洋環境と生態系変動の繋がりを解明する上で有効な指標と成ることが裏付けられた。

6. 引用文献

- 1) P. C. Reid, B. Planque, and M. Edwards: Fish. Oceanogr. 7, 282-288 (1998) "Is observed variability in the long-term results of the Continuous Plankton Recorder survey a response to climate change?"
- 2) J. A. McGowan, D. R. Cayan, and L. M. Dorman: Science, 281, 210-217 (1998) "Climate-ocean variability and ecosystem response in the Northeast Pacific"
- 3) T. Kobari, A. Shinada, and A. Tsuda: Prog. Oceanogr. 57, 279-298 (2003) "Functional roles of interzonal migrating mesozooplankton in the western subarctic Pacific"
- 4) S. Chiba, T. Ono, K. Tadokoro, T. Midorikawa, and T. Saino: J. Oceanogr. 60, 149-162 (2004) "Increased stratification and decreased lower trophic level productivity in the Oyashio region of the North Pacific: A 30-year Retrospective study"
- 5) 小谷祐一:水産庁作業部会報告書, 16-24 (1994) "ネット(丸特、NORPAC、及び改良型NORPAC)の相互比較と標準化について"
- 6) T. Kobari, A. Shinada, A. Tsuda: Prog. Oceanogr. 57, 279-298 (2003). "Functional roles of interzonal migrating mesozooplankton in the western subarctic Pacific"
- 7) JMA (Japan Meteorological Agency): Data Report of Oceanographic Observations. Nos 85-90 (Documents with CD-ROMs) (1995-2000)
- 8) JMA: Data report of oceanographic observations special issue No 1 (Document with a CD-ROM) (2001)
- 9) H. Saito, H. Kasai, M. Kashiwai, Y. Kawasaki, T. Kono, S. Taguchi, and A. Tsuda: Bull. Hokkaido Natl. Fish. Res. Inst. 62, 1-62 (1998) "General description of seasonal

variations in nutrients, chlorophyll a, and net plankton biomass along the A-line transect, western subarctic Pacific, from 1990 to 1994”

- 10) H. Kasai, H. Saito, M. Kashiwai, T. Taneda, A. Kusaka, Y. Kawasak, T. Kono, S. Taguchi, and A. Tsuda: Bull. Hokkaido Natl. Fish. Res. Inst. 65, 55-134 (2001) “Seasonal and interannual variations in nutrients and plankton in the Oyashio region: A summary of a 10-years observation along the A-line”
- 11) J. D. H. Strickland, and T. R. Parsons: Bull. Fish. Res. Board Can., 125, 1-203 (1965) “A Manual of Seawater Analysis”
- 12) L. W. Winkler: Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft, 21:2843-2855 (1888) “Die Bestimmung des in Wasser gelösten Sauerstoffes”
- 13) I. Yasuda: J. Geophys. Res. 102, 893-909 (1997) “The origin of the North Pacific Intermediate Water”
- 14) J. R. Miller: J. Phys. Oceanogr. 6, 29-35 (1976) “The salinity effect in a mixed layer ocean model”
- 15) A. Limsakul, T. Saino, T. Midorikawa, J. I. Goes: Prog. Oceanogr. 49, 129-149 (2001) “Temporal variations in lower trophic level biological environments in the northwestern North Pacific Subtropical Gyre from 1950 to 1997”
- 16) S. Chiba, T. Saino: Mar. Ecol. Prog. Ser. 231, 23-35 (2002) “Interdecadal change in the upper water column environment and spring diatom community structure in the Japan Sea: an early summer hypothesis”
- 17) M. Ogi, T. Tachibana, K. Yamazaki: Geophysical Research Letters. 30, 3-34 (2003) “Impact of the wintertime North Atlantic Oscillation (NAO) on the summertime atmospheric circulation”
- 18) M. E. Vinogradov: Jerusalem, Israel Program for Scientific Translations (1970) “Vertical distribution of the oceanic zooplankton”
- 19) M. Noto, and I. Yasuda: Can. J. Fish. Aquat. Sci. 56, 973-983 (1999) “Population decline of the Japanese sardine, *Sardinops melanostictus*, in relation to sea surface temperature in the Kuroshio Extension”
- 20) T. Ono, T. Midorikawa, Y. W. Watanabe, K. Tadokoro, T. Saino: Geophys. Res. Lett. 28, 3285-3288 (2001) “Temporal increase of phosphate and apparent oxygen utilization in the subsurface waters of western subarctic Pacific from 1968 to 1998”
- 21) Y. W. Watanabe, M. Wakita, N. Maeda, T. Ono, T. Gamo: Geophys. Res. Lett. 30(24): 2273, doi:10.1029/2003GL018338 (2003) “Synchronous bi decadal periodic changes of oxygen, phosphate and temperature between the Japan Sea deep water and the North Pacific intermediate water”
- 22) S. Osafune, and I. Yasuda: Journal of Geophysical Research, in press (2006) “Bidecadal variability in the intermediate water of the northwestern subarctic Pacific and the Okhotsk Sea in relation to 18.6-year period nodal tidal cycle”
- 23) T. Kobari, K. Tadokoro, A. Shiimoto, and S. Hashimoto: Journal of Oceanography, 59,

3-10 (2003) "Geographical variations in prosome length and body weight of *Neocalanus* copepods in the North Pacific"

- 24) D. L. Mackas, R. Goldblatt, A. G. Lewis: Can. J. Fish. Aquat. Sci, 55, 1878-1893, (1998) "Interdecadal variation in developmental timing of *Neocalanus plumchrus* populations at Ocean Station P in the subarctic North Pacific."

7. 国際共同研究等の状況

平成15年度に「動物プランクトン時系列の海域比較」を目的に開催されたGLOBEC/PICES関連国際ワークショップに出席、同ワークショップの成果に基づく論文の執筆に参加した（平成16年度に出版）（Perry et al., 2004, ICES J. Mar. Sci, 61: 445-456）。平成17年度には、同ワークショップを発端として立ち上がったScientific Committee of Oceanic Researchの作業部会（SCOR WG125）：Global Comparison of Zooplankton Time Seriesにメンバーとして参加し、動物プランクトンを用いた生態系変動の世界規模海域比較研究を開始した。

また、平成17年10月に文部科学省主催で開催された「第11回日米地球変動ワークショップ」において、東部北太平洋においてオダテコレクションに匹敵する長期動物プランクトンデータを有する米国スクリップス海洋研究所（SIO）の研究者との話合いの結果、将来の研究協力に関する提案がなされた。SIOとの共同研究の具体的な行動計画については平成18年度秋に予定している会合にて協議する予定である。

8. 研究成果の発表状況

（1）誌上発表（学術誌・書籍）

<論文（査読あり）>

- ① P. J. Harrison, F.A. Whitney, A. Tsuda, H. Saito, and K. Tadokoro : J. Oceanogr. 60, 93-117 (2004) "Nutrient and Plankton Dynamics in the NE and NW Gyres of the Subarctic Pacific Ocean "
- ② K. Tadokoro, S. Chiba, T. Ono, T. Midorikawa, and T. Saino: Fish. Oceanogr. 14: 210-222 (2005) "Interannual variation in *Neocalanus* biomass in the Oyashio waters of the western North Pacific"
- ③ S. Chiba S, K. Tadokoro, H. Sugisaki, T. Saino: Global Change Biol. (in press) "Effects of the North Pacific decadal oscillation on plankton phenology in the western subarctic North Pacific based on 50 years of zooplankton data, the Odate Collection"

<その他誌上発表（査読なし）>

- ① 田所和明・千葉早苗・才野敏郎：月刊海洋，35，1，19-24（2003）「親潮水域における *Neocalanus* 属カイアシ類現存量の経年変動」
- ② 杉本隆成編：海流と生物資源、成山堂、208-216（2004）「第4部 第4章 レジームシフトと親潮域の海洋生態系変動（執筆担当：田所和明）」
- ③ 川崎健・谷口旭・花輪公雄・二平章編：レジームシフト理論と生物資源管理、成山堂、印

刷中 (2006) 「北太平洋におけるレジームシフトとメソ動物プランクトン」 (執筆担当 : 田所和明)

- ④ S. Chiba: GLOBEC News Letter. 11: 11-12 (2005) “The Odate Project: Phenological change in the Oyashio copepod communities for 1960-2002”
- ⑤ S. Chiba, M.N.Aita, K.Tadokoro : Kaiyo Monthly. (2005) “Recommendation toward better modeling vol. 2: Retrospective study and prediction of global marine ecosystem change - tackling biological complexity” (in Japanese).
- ⑥ S. Chiba, H. Sugisaki: GLOBEC News Letter. 12: 63-64 (2006) “Long-term spatio-temporal variation of copepod community in the western North Pacific and influences of the North Pacific Decadal Oscillation”

<報告書類等>

なし

(2) 口頭発表 (学会)

- ① S. Chiba : Workshop on climate variability, zooplankton abundance and distribution - comparative opportunities from the world' s oceans. Gijon, Spain, 2003 “Process study on long-term variation of lower trophic level ecosystem in the western North Pacific: The ODATE project”
- ② K. Tadokoro, S. Chiba, T. Ono, T. Midorikawa, and T. Saino : Workshop on climate variability, zooplankton abundance and distribution - comparative opportunities from the world' s oceans. Gijon, Spain, 2003 “Interannual variations of *Neocalanus* copepod biomass in the Oyashio water, western subarctic North Pacific”
- ③ K. Tadokoro, S. Chiba, T. Ono, T. Midorikawa, and T. Saino : PICES 12th Annual Meeting. Seoul, Korea, 2003 “Increase of stratification and decreased primary productivity in the subarctic North Pacific”
- ④ K. Tadokoro and T. Kobari : PICES 12th Annual Meeting. Seoul, Korea, 2003 “Comparison of seasonal variations in Chlorophyll a concentrations and oceanographic conditions between Oyashio and Ocean Weather Station P”
- ⑤ S. Chiba : Informal Seminar at Scripps Institution of Oceanography. San Diego, U.S.A., 2004 “Decadal scale variation in lower trophic level ecosystem in the western North Pacific”
- ⑥ 田所和明・千葉早苗・小埜恒夫・緑川貴・杉崎宏哉・才野敏郎 : 水産海洋シンポジウム『1998年に日本周辺でレジームシフトは起こったか?』東京, 2004「親潮域における*Neocalanus*属カイアシ類現存量の長期変動と気候変動との関係」
- ⑦ 千葉早苗 : 地球惑星科学関連学会2004年合同大会. 東京, 2004「親潮域における低次生態系変動 : 最近30年間に何が起きたか」
- ⑧ S. Chiba, H. Sugisaki, T. Saino : PICES 13th Annual Meeting. Honolulu, U.S.A., 2004. “Decadal scale variation of copepod community structure in the Oyashio based on the

Odate Collection” .

- ⑨ K. Tadokoro, H. Sugisaki, H. Saito, and T. Saino : PICES 13th Annual Meeting. Honolulu, U.S.A., 2004. “Interannual variations in biomass and developmental timing of *Neocalanus* copepod populations in the Oyashio waters of western subarctic North Pacific”
- ⑩ 千葉早苗：日本GLOBECシンポジウム「地球規模海洋生態系変動研究（GLOBEC）-海洋生態系の総合診断と将来予測，東京，2004「モデルのアイデア2」
- ⑪ 千葉早苗，田所和明，杉崎宏哉，才野敏郎：2004年度日本海洋学会春季大会，東京，2005「Odate Collectionを用いた親潮域カイアシ類群集の長期変動研究（1960-2002）」
- ⑫ 田所和明、杉崎宏哉、齊藤宏明：2005年度海洋学会春季大会，東京，2005「親潮域における*Neocalanus*属カイアシ類現存量の10年スケール変動」
- ⑬ S. Chiba, K. Tadokoro, H. Sugisaki, T. Saino. International GLOBEC Symposium “Climate Variability and Sub-Arctic Marine Ecosystems, Victoria, Canada, 2005 “Climate - ecosystem link in the western subarctic North Pacific based on the 40 yr time series of copepod community structure”
- ⑭ K. Tadokoro, H. Sugisaki, and H. Saito : GLOBEC Symposium, Climate Variability and Sub-arctic Marine Ecosystems, Victoria, Canada, 2005 “Interdecadal variability in *Neocalanus* copepods biomass in the Oyashio waters from 1970 to 2002”
- ⑮ 千葉早苗：東京大学海洋研究所共同利用研究集会「海洋生態系変動将来展望」，東京，2005「長期生態系変動の分野からOECOSに何を期待するか」
- ⑯ S. Chiba: VERTIGO Workshop. Yokohama, 2005 “Plankton phenology and decadal scale variation in the western North Pacific”
- ⑰ S. Chiba, K. Tadokoro, T. Ono, T. Saino: The 11th Japan-US Workshop on Global Change, Yokohama, 2005 “Ecosystem Responses to the Decadal Scale Climatic Variation in the Western North Pacific - Summary of Findings by the Ecosystem Change Research Program”
- ⑱ 千葉早苗，杉崎宏哉，才野敏郎：2005年度日本海洋学会春季大会，横浜，2006「Odate Collectionを用いた親潮域・混合域カイアシ類群集分布の長期変動研究（1960-1999）」
- ⑲ S. Chiba, K. Tadokoro, T. Saino, H. Sugisaki: PICES/CCCC Symposium on Climate variability and ecosystem impacts on the North Pacific - a basin-scale synthesis, Honolulu, USA, 2006 “Regime shifts and lower trophic level phenology in the western North Pacific”
- ⑳ K. Tadokoro, H. Sugisaki, and H. Saito: GLOBEC Symposium, Climate Variability and Sub-arctic Marine Ecosystems, Canada, 2005 “Interdecadal variability in *Neocalanus* copepods biomass in the Oyashio waters from 1970 to 2002”
- ㉑ 田所和明：東京大学海洋研究所共同利用研究集会「CmarZ ワークショップ」，東京，2005「日本における長期動物プランクトン標本・データの現状と問題」
- ㉒ K. Tadokoro, H. Sugisaki, and H. Saito: 14th PICES Annual Meeting. Russia, 2005 “Interdecadal variability in body size of *Neocalanus* copepods in the Oyashio waters from 1960 to 2002 -a study of the Odate Project -”

- ②③ 田所和明：東京大学海洋研究所共同利用研究集会「海洋生態系変動将来展望」，東京，2005
「親潮と定点Pの物理環境および低次生産の季節変動の比較」
- ②④ 田所和明：水産海洋地域シンポジウム，静岡，2006「日本周辺域における長期動物プランクトン標本・データの現状」

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

なし

(5) マスコミ等への公表・報道等

なし

9. 成果の政策的な寄与・貢献について

これまで、国内外における海洋モニタリングの中長期計画の推進に資するよう、IGBPのコアプロジェクトであるGLOBEC/IMBER等を通じて成果の広報・普及に努めてきた。今後は、本研究により確立した地球環境変動や生物多様性の指標としてのプランクトン長期データの有効利用をさらに推進することにより、環境・生態系保全に係る科学技術政策の策定に寄与することを目指す。将来的に生物ポンプ機能を組み込んだ地球温暖化モデルを構築するにあたり基礎的な知見を提供することで、IPCCによる温暖化予測精度の向上に資する。