

学 位 論 文 題 名

Spatial and temporal changes in plankton community in the western Arctic Ocean

（西部北極海におけるプランクトン群集の時空間変動に関する研究）

学位論文内容の要旨

近年、北極海では夏季に海氷の大規模な衰退が観測されている。海水衰退はベーリング海から温暖な太平洋水が流入する太平洋側北極海（西部北極海）において顕著で、海洋生態系に及ぼす影響が危惧されている。プランクトン群集は環境変動の影響を受けやすいため、今後の北極海生態系に起こりうる変化を予測する上で重要な生物である。しかし、北極海はこれまで海氷のために船舶による観測が困難であったため、西部北極海のプランクトン群集に関する知見は、季節や海域の限られたスナップショット的な研究に限られ、その内容も動・植物プランクトンいずれかに関する研究がほとんどで、季節的または経年変動に関する知見も乏しいのが現状である。

本研究は、海水衰退が著しい西部北極海において、マイクロおよびメソプランクトン群集の空間、季節および経年変動を明らかにすることを目的として、以下の4つの課題を設けて行った。すなわち、1. マイクロプランクトン群集の水平分布、2. メソ動物プランクトン群集の水平分布、3. メソ動物プランクトン群集の経年変動、4. メソ動物プランクトン群集の季節変動である。これらの解析によって得られた結果に基づいて、北極海における近年の急速な海水衰退に伴う海洋環境の変化が、プランクトン群集に与える影響について考察を行った。得られた結果は以下のように要約される。

1. マイクロプランクトンの水平分布

水平分布解析試料は、西部北極海において2010年9月から10月にかけてJAMSTEC海洋地球研究船みらい船上にて採水を行い得た。マイクロプランクトンの細胞密度は、珪藻類は0-138,640 cells L⁻¹、渦鞭毛藻類は0-16,460 cells L⁻¹、繊毛虫類は0-10,933 cells L⁻¹の範囲にあり、いずれも陸棚域で高かった。珪藻類は25属50種（*Pseudo-nitzschia* 属と *Cylindrotheca closterium* が優占）、渦鞭毛藻類は13属50種（*Prorocentrum* 属と *Gymnodinium* 属が優占）、繊毛虫類は21属32種（*Strombidium* 属が優占）が出現した。細胞密度に基づくクラスター解析の結果、59観測点は大きく5群に分けられた。最も多くの観測点（各々22と25観測点）が含まれる2群のうち、ひとつは海盆域に見られ、細胞密度が低く、繊毛虫類の占有率が高いグループであった。もう一方は、陸棚域に見られ、細胞密度が高く、珪藻類が卓越するグループであった。前者はマイクロバイアルループが活発に駆動し、後者は高栄養塩な太平洋水の流入によって高い一次生産量を持つ群集と考えられた。少数の観測点が含まれる残り3群は、水平的に両者の中間の陸棚斜面域に位置し、複雑な水平分布をしており、これは高気圧性渦といった複雑な海洋物理構造の反映と考えられた。

2. メソ動物プランクトンの水平分布

動物プランクトンの水平分布試料は、2008年と2010年の9月から10月にかけて上記1と同様の観測点にて、NORPAC ネットの鉛直曳きを行い得た。動物プランクトン出現个体数と湿重量は、それぞれ0.03-2.74×10⁵ ind. m⁻²と3-678 g WM m⁻²の範囲にあり、陸棚域

で高かった。カイアシ類は出現個体数の 8–95% を占め、優占分類群であった。両年の出現個体数に基づくクラスター解析の結果、動物プランクトン群集は 4 群に分けられた。各グループの水平分布は水深とよく対応しており、それぞれ陸棚域、陸棚斜面域、斜面域および海盆域群集と呼称した。各群集の特徴種は、陸棚域では沿岸性カイアシ類の *Pseudocalanus* 属とベントス幼生で、陸棚斜面域では北極海産カイアシ類の *Calanus glacialis* と *Metridia longa* の若い発育段階が多く、個体数も多かった。斜面域と海盆域では深海性種が多かった。2008 年と 2010 年で動物プランクトン群集の水平分布を比較すると、2010 年は陸棚域から海盆域へと水深に対応して群集が明瞭に区分されていたが、2008 年は陸棚斜面域群集が高緯度にまで見られ、斜面域群集と混在していた。これは 2008 年の海水面積減少が 2010 年よりも著しかったことによる、ポーフォート循環の強化または流路変化の影響と考えられた。

3. メソ動物プランクトンの経年変動

経年変動解析試料は、1991 年、1992 年、2007 年および 2008 年の 7 月から 8 月にかけてチャクチ海において北海道大学水産学部附属練習船おしよ丸船上にて NORPAC ネットの鉛直曳きを行い得た。動物プランクトン出現個体数は $0.04\text{--}3.16 \times 10^5 \text{ ind. m}^{-2}$ の範囲にあり、2008 年に最も多かった。バイオマスは $7\text{--}286 \text{ g WM m}^{-2}$ の範囲にあり、2007 年に多かった。クラスター解析の結果、動物プランクトン群集は大きく 4 群に分けられた。各グループの分布は経年的・水平的に明確に分離しており、1991/92 年は同様の水平分布であったが、2007/08 年は各グループの水平分布が北にシフトしており、特に 2007 年はベーリング海峡近くに、*Eucalanus* 属などが多いことによって特徴づけられる、太平洋産種の群集が見られた。出現個体数とバイオマスは 1991/92 年よりも 2007/08 年の方が多く、これは海水面積の減少が動物プランクトン現存量や生産量という観点では正の効果があることを示唆している。一方、2007/08 年に各動物プランクトン群集の水平分布が北にシフトしていたことは、海水域の衰退が北極海固有の生物群集を北方に駆逐し、太平洋産種が優占する群集を北極海にもたらししていた。すなわち、生物相の改変があるため、海水域の減少は動物プランクトン群集という観点では負の効果があることを示している。

4. メソ動物プランクトンの季節変動

メソ動物プランクトンの季節変動を評価するために、西部北極海 St. NAP ($75^{\circ}00'N$, $162^{\circ}00'W$) の水深 180 m に設置したセジメントトラップによって、2010 年 10 月から 2011 年 9 月にかけて約 2 週間間隔で試料を採集した。採集試料のうちサイズが 1 mm 以上の動物プランクトンスウィマーを解析に用いた。動物プランクトン輸送量は $5\text{--}44 \text{ ind. m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ の範囲にあり、7 月–10 月に多く、カイアシ類が 18–94% を占め優占していた。クラスター解析の結果、全 26 試料は 3 群 (A–C) に分けられた。各グループの出現には明確な季節性があり、7 月から 10 月はグループ A、11 月から 1 月はグループ B、3 月から 6 月はグループ C が見られ、結氷下でも群集が変化することが明らかとなった。優占カイアシ類の個体群構造は種毎に異なり、*Calanus hyperboreus* はほとんどが C6F で、2 月–4 月には成熟個体が優占していた。*Metridia longa* と *P. glacialis* は 1 月–5 月に C6F が優占し、6 月–10 月に初期発育段階の割合が高かった。*Heterorhabdus norvegicus* は 11 月–2 月に C5 が優占し、3 月–5 月に C6F/M の割合が増加していた。太平洋産種の *Neocalanus cristatus* は周年を通して出現し、海氷が衰退する 6 月–9 月に多かった。このように、西部北極海における動物プランクトン群集構造および主要カイアシ類の個体群構造には明確な季節変動があり、その季節性は海水の季節変動や各々の生活史に起因すると考えられた。

5. プランクトン群集の将来予測

夏季の西部北極海におけるプランクトン群集は、陸棚域と海盆域に2分されることが明らかになった。将来的に、陸棚域では富栄養な太平洋水の流量が増すため、植物プランクトン一次生産量は増加するが、動物プランクトン群集も増加し、水柱内での有機物消費量が増えるため、結果的に海底への沈降粒子量は減少すると予想される。一方、海盆域では貧栄養な海水融解水が増加して一次生産量が低下し、深海への沈降粒子量が減少すると考えられる。海氷衰退により北極海へ輸送される太平洋・大西洋産カイアシ類は増加すると考えられるが、彼らの生活史戦略は北極海的环境に適応していないため、個体群が北極海に定着することは困難であると考えられる。今後は、北極海的环境変動がプランクトン群集に与える影響を正確に評価するために、陸棚域や海盆域といった海域毎にモニタリングを行っていくことが重要である。

学位論文審査の要旨

主査	教授	桜井泰憲
副査	教授	今井一郎
副査	教授	久万健志
副査	准教授	山口篤
副査	准教授	バウア・ジョン・リチャード
副査	准教授	平 譯 享

学位論文題名

Spatial and temporal changes in plankton community in the western Arctic Ocean

(西部北極海におけるプランクトン群集の時空間変動に関する研究)

近年、北極海では夏季に海水の大規模な衰退が観測されている。海水衰退はベーリング海から温暖な太平洋水が流入する太平洋側北極海（西部北極海）において顕著で、海洋生態系に及ぼす影響が危惧されている。

本研究は、海水衰退が著しい西部北極海において、マイクロおよびメソ動物プランクトン群集の空間、季節および経年変動を明らかにすることを目的として、以下の4つの課題を設けた。すなわち、1. マイクロプランクトン群集の水平分布、2. メソ動物プランクトン群集の水平分布、3. メソ動物プランクトン群集の経年変動、4. メソ動物プランクトン群集の季節変動である。得られた結果は以下のように要約される。

1. マイクロプランクトンの水平分布

西部北極海において、2010年9月から10月にかけて採水試料を得た。マイクロプランクトンの細胞密度は陸棚域で高かった。珪藻類は25属50種、渦鞭毛藻類は13属50種、繊毛虫類は21属32種が出現した。細胞密度に基づくクラスター解析の結果、59観測点は大きく5群に分けられた。最も多くの観測点（各々22と25観測点）が含まれる2群のうち、ひとつは海盆域に見られ、細胞密度が低く、繊毛虫類の占有率が高く、もう一方は、陸棚域に見られ、細胞密度が高く、珪藻類が卓越していた。前者はマイクロバイアルループが活発に駆動し、後者は高栄養塩な太平洋水の流入によって高い一次生産量を持つ群集と考えられ、水深がマイクロプランクトン群集を決定する、重要な要因であることが示された。

2. メソ動物プランクトンの水平分布

動物プランクトンの水平分布試料は、2008年と2010年の9月から10月にかけて上記1と同様の観測点にて得た。動物プランクトン出現個体数と湿重量は陸棚域で高かった。両年の出現個体数に基づくクラスター解析の結果、動物プランクトン群集は4群に分けられた。各グループの水平分布は水深とよく対応しており、陸棚域、陸棚斜面域、斜面域およ

び海盆地群集と呼称した。各群集の特徴種は、陸棚域では沿岸性カイアシ類とベントス幼生で、陸棚斜面域では北極海産カイアシ類の若い発育段階が多く、個体数も多かった。斜面域と海盆地では深海性種が多かった。このように、メソ動物プランクトンにおいても水深が群集を分ける要因であることが分かった。

3. メソ動物プランクトンの経年変動

経年変動解析試料は、1991 年、1992 年、2007 年および 2008 年の 7 月から 8 月にかけてチャクチ海において得た。動物プランクトン出現個体数は 2008 年に最も多く、バイオマスは 2007 年に多かった。クラスター解析の結果、動物プランクトン群集は大きく 4 群に分けられた。各グループの分布は経年的・水平的に明確に分離しており、1991/92 年は同様の水平分布であった。ただし、2007/08 年は各グループの水平分布が北にシフトしており、特に 2007 年にはベーリング海峡近くに、太平洋産種の群集が見られた。海水面積の減少は動物プランクトン生産量という観点では正の効果があるが、群集構造を改変する負の効果もあることが示唆された。

4. メソ動物プランクトンの季節変動

西部北極海の水深 180 m に設置したセジメントトラップによって、2010 年 10 月から 2011 年 9 月にかけて約 2 週間間隔で試料を採集した。採集試料のうちサイズが 1 mm 以上のスウィマーを解析し、メソ動物プランクトンの季節変動を評価した。動物プランクトン輸送量は夏季に多く、カイアシ類が優占していた。クラスター解析の結果、全 26 試料は 3 群に分けられた。各グループの出現には明確な季節性があり、結氷下でも群集が変化することが明らかとなった。優占カイアシ類の個体群構造には明確な季節変動があり、その季節性は海水の季節変動や各々の生活史に起因すると考えられた。

5. プランクトン群集の将来予測

夏季の西部北極海におけるプランクトン群集は、陸棚域と海盆地に 2 分されることが明らかになった。将来的に、陸棚域では富栄養な太平洋水の流量が増すため、一次生産量は増加するが、動物プランクトン群集も増加し、水柱内での有機物消費量が増えるため、結果的に海底への沈降粒子量は減少すると予想される。一方、海盆地では貧栄養な海水融解水が増加して一次生産量が低下し、深海への沈降粒子量が減少すると考えられる。今後は、北極海の環境変動がプランクトン群集に与える影響を正確に評価するために、陸棚域や海盆地といった海域毎にモニタリングを行っていくことが重要である。

上記の内容は、西部北極海の低次生産過程に関わる各分類群の変動パターンをさまざまな時空間スケールから解析しており、その成果は近年変化の著しい北極海の低次生産過程の理解に大きく貢献するものとして高く評価できる。よって審査員一同は、申請者が博士（水産科学）の学位を授与される資格のあるものと判定した。