

はじめに

私は北海道大学大学院水産科学研究院に所属し、極域のプランクトンについて研究している。いろいろと好きが高じて、この研究に取り組んでいるが、よもや自分が研究者になるとは、子供の頃には夢にも思っていなかった。そんな私が北極海に初めて入ったのは2007年の夏であった。あれから数えて12年。研究歴としてはまだまだ短いですが、この本では、これまで体験してきたことや知りえたことをできるかぎりわかりやすく伝えたい。まず初めに、極域のプランクトンを研究したいと考えた経緯について、自己紹介を兼ねて書こうと思う。

私は愛知県の海沿いの出身なので、高校までは雪をほとんど見たことがなかった。実家は小さな山の麓にあり、広大な柿畑と檜の林が遊び場だった。自然のなかでの遊びを見つけること、考えることが好きだった。中学生のときに読んだ『リトル・トリー』や『ジェロニモ』に影響され、自然を理解し、共に生きる生活に憧れていた。同時に、レイチェル・カーソンの『沈黙の春』によって、人間がつくり出した農薬の恐ろしさやエゴを理解し、多くの生き物の命が奪われていることを知った。

高校に入り、自らの進路をより具体的に考えるようになったとき、環境問題がどのように生き物に影響しているのか、それに関することを学びたいと思った。候補としては、温暖化による砂漠化、農薬、外来種の問題があった。だが、いずれも本で読んで知ったことで、すでにわかっているからこそ本になっているのだから、いまから取り組んでも遅いのではと考えた。それに、どうせ地球温暖化のことを調べるなら、より規模の大きなもの、陸ではなく、広い海のほうがいいだろう（いまにして思えば、かなり漠然とした思考だ）。身近な環境である陸上のことではなく、未知の世界として、あえて海のことを学ぶのはとても面白そうだ。それに加えて、暑いのが苦手なため、雪への憧れもあったため、水産学と海洋学を学べる北海道大学水産学部へ進学することに決めた。

入学後、学部2年生のときに参加した水産学部附属練習船「おしよろ丸」に

よる実習航海で、プランクトンの世界を知った。もちろん講義や本でその存在は知っていたが、海中で元気に泳ぎ回っているプランクトンを見たのはそれが初めてであった。その不思議な形、泳ぎかた、色に興味を持ち、先生やTAの先輩にいろんな質問をした。素直に生き物としての不思議さに引かれた。

学科と研究室配属

北海道大学水産学部では、3年生までは研究室に属せずに講義や実習を受け、4年生になるときに研究室に配属される。配属といっても、基本的には学生間で行きたい研究室や希望する指導教員についてのアンケートを取り、話し合っ、各研究室の割り当て人数に合うように調整する。割り当ては、教員1名に対して学生3名までである。これが毎年たいへんで、結局、成績で決める年もあれば、運に任せる年もある。

その時期が近づくと、多くの3年生が研究室を訪れ、これまで行われてきた研究やプロジェクトの話、先輩学生が現在進めている研究の内容、研究室の日常や就職先について質問する。

なお、水産学部では2年生から3年生へ進級する際に学科配属があり、その配属で4年進級時に選べる研究室や教員が自動的に絞られる。つまりは、進んだ学科に属する研究室や教員しか選べないということである。詳細は水産学部のホームページを見てほしい。

私は3年生のときには就職活動をしなかった（その後も結局、就職活動らしいものはしなかったのだが……）。それは、せっかく大学に入ったのに、研究もしないで就職の道を選ぶ理由がなかったからである。つまり、やってみないとわからないし、やってみてからの判断のほうが納得できると考えたのである。

4年に進級する際の研究室選びでは、第1希望のプランクトンにすんなりと決まった。研究室が決まると、指導教員を決め、卒業論文として取り組むテーマを決める。当時のプランクトン研究室（正式には浮遊生物学研究室）には3名の教員がいたため、同学年では私を含めて9人が新たに配属された。私は、当時助手（現在の助教に相当）であった山口篤先生の指導を受けることとなった。テーマとしては「北太平洋亜寒帯域の動物プランクトンサイズ組成の南北

変化」を選び、2007年6~7月に「おしよる丸」の北洋航海（実習ではなく本格的な調査航海）に乗船することとなった。

この航海への参加が、研究者になるおそらく最初のターニングポイントであったと思う。

「おしよる丸」は毎年6~8月頃、2か月間の調査航海を実施している。調査する海域は、参加する研究者の要望と予算に応じて、大学内での選考の末に決まる。2007年は国際極年（International Polar Year）にあたり、各国が北極や南極の研究を実施する年となっていた。そのため、「おしよる丸」も北極海に入り、調査をすることとなっており、私は運よくその航海に参加することができた。

調査航海という名のとおり、海洋物理にはじまり、化学、衛星、音響、プランクトン、魚類、海鳥、鯨類など、海に関するさまざまな分野の研究者や学生が乗船していた。誰もが研究テーマを持ち、それぞれの視点で海を分析していることがたいへん興味深く、捉えどころのない海自体が不思議で、研究をする楽しさにどんどん引き込まれていった（調査航海の詳細については3.2節で述べる）。

この航海中に、2008年に実施されるJAMSTECの研究船「みらい」による北極航海への誘いがあり、二つ返事で希望を出した。それにより、修士課程では北極海の動物プランクトンについて研究することが決まった。その後、博士、ポスドク、そして現在の助教になるまで、一貫して極域のプランクトンに関して研究している。

前置きが長くなったが、いよいよこの後、私の取り組んでいる研究を紹介していきたい。

極域

本書のタイトルにもある「極域」という言葉をご存知だろうか。地球の南北の端に位置する北極と南極、これらを合わせて極域と呼ぶ。どのようなところかと聞かれれば、寒くて暗い。それでも季節的な変化はある。夏には海氷が融け、冬に再び結氷することを繰り返している。また、独自の生態系が存在し、極域にしかない種（固有種）も多い。

1.2 北極海と研究の歴史

気候変動に関連する研究は世界中のさまざまな場所を対象として行われているが、そのなかでも注目されている地域の1つが北極海である。ここからは、北極海の概要と、そこでの研究の歴史について述べる。

❖ 北極海の概要と海氷域の減少

北極海は面積が約 1400 万 km² で、ユーラシア大陸、アメリカ大陸、グリーンランドなどに囲まれた半閉鎖的な海である (図 1.2)。また、太平洋 (実際に

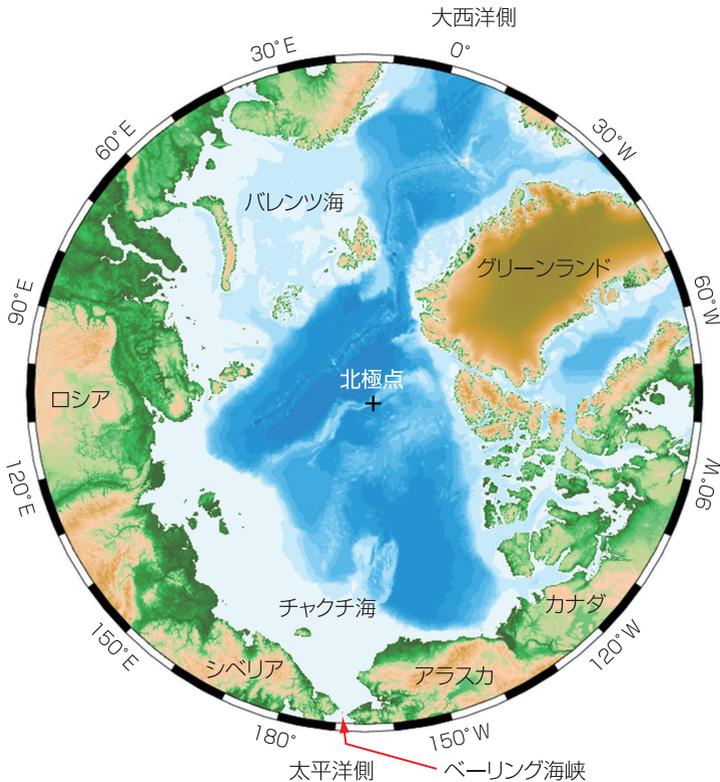


図 1.2 北極海の地図。大陸に囲まれているため、半閉鎖的な海である。幅 80 km ほどの狭いベーリング海峡を通して、太平洋側から北極海へ海流が流れ込んでいる。

はベーリング海)と大西洋それぞれとつながっている。北極海のなかでも、太平洋側に位置する海域を太平洋側北極海と呼び、主にカナダ、アラスカ、シベリアに隣接している。反対に、大西洋側は大西洋側北極海と呼び、グリーンランド、ノルウェー、ロシアと隣接している。

北極海は秋季～春季に海水が結氷して海氷に覆われる季節海氷域で、海氷域は季節的に大きく変動する。一般的に、北極海の家氷面積は9月に最小となる。この9月の海氷域は、1980年代には月平均 $7.5 \times 10^6 \text{ km}^2$ だったが、1990年代は $6.8 \times 10^6 \text{ km}^2$ 、2000年代は $5.7 \times 10^6 \text{ km}^2$ と、しだいに減少している(図1.3)。とくに2012年9月の海氷面積(平均 $3.7 \times 10^6 \text{ km}^2$)は、1980年代の9月に比べて50%も減少しており、観測史上、最も海氷域が少なくなった年として知られている。

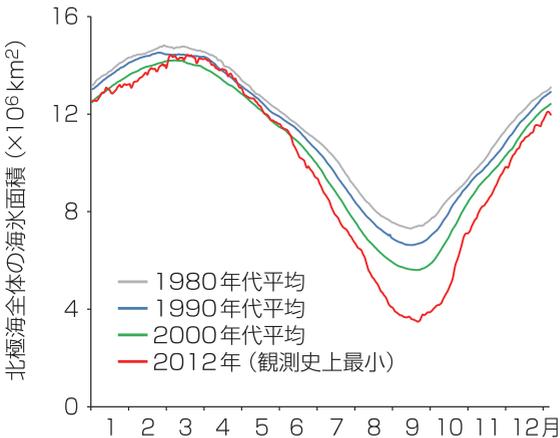


図1.3 北極海全体での海氷面積の季節変動。各年代の平均値を示している。9月の海氷面積がしだいに減少しているのがわかる。

海氷の衰退は太平洋側北極海においてとくに顕著であり(図1.4)(Shimada et al., 2001, 2006; Stroeve et al., 2007; Comiso et al., 2008; Markus et al., 2009), これはベーリング海から流入する海流(温暖な太平洋水)によってもたらされていると考えられている(Shimada et al., 2006; Woodgate et al., 2010)。

このような海氷域の劇的な減少が海洋生態系に影響を及ぼすことが危惧されている(Grebmeier et al., 2006; Hunt and Drinkwater, 2007)。言い換えると、海



図1.4 北極海の海氷面積の年変動。白色の部分は海氷のある海域を示す。緑の楕円で囲った太平洋側北極海で、とくに大きく減少していることがわかる。

氷域の衰退が海洋生態系に及ぼす影響を評価するためには、衰退が著しい太平洋側北極海における研究が必要不可欠ということになる。

❖ 研究の歴史

北極海における海洋研究の歴史は古く、1893～1896年に行われたフリチョフ・ナンセンによるフラム号漂流横断観測に端を発している(図1.5)。太平洋側北極海では、1930年代ごろから米国や旧ソ連を中心として海洋観測が活発に実施されるようになっていた(Johnson, 1934)。その後、1983～1989年のInner Shelf Transfer and Recycling (ISHTAR)、1997～1998年のSurface Heat Budget of the Arctic (SHEBA)プロジェクト、2002～2003年のShelf-Basin Interactions (SBI)プロジェクトおよび2004～2014年のRussian American Long-Term Census of the Arctic (RUSALCA)など、米国を中心として大型国際研究プロジェクトが推進されてきた(McRoy, 1993; Uttal et al., 2002; Grebmeier et al., 2009)(図1.5)。

1.4 気候変動がプランクトンへ与える影響

北極海で海水がなくなると、海はどう変わるのであろうか？ 海氷は比重が小さいので海の表面に浮く。海氷があると、海はふたをされていると考えることができる。逆に、海水が溶けるということは、ふたがなくなることの意味する。

海氷が消失するときの変化として、まず、太陽光が海中に届くようになる(図 1.9)。そして、海水面は大気や日射によって暖められやすくなる。溶け残っている海氷は風で動きやすくなり、海氷が溶け切ってしまうと海が風によってかき混ぜられやすくなる。つまり、海氷が海の表面を覆っているときに比べて、溶けた状態では、大気や太陽光が海に対してより直接的に影響する。そして、そこに棲む生物の環境を変えることにつながる。

❖ 植物プランクトンへの影響

まず、植物プランクトンへの影響を考えてみる。海氷が消失し、水中に届く光の量が増えると、その分、植物プランクトンが光合成をできるので、一次生産量(光合成によって同化される炭素の量)は増えると推定される。しかし、光合成には、光だけでなく栄養塩(硝酸態窒素, リン酸塩, ケイ酸塩)も必要であり、光の量が増えたからといって光合成量が増加すると一概には言えない。

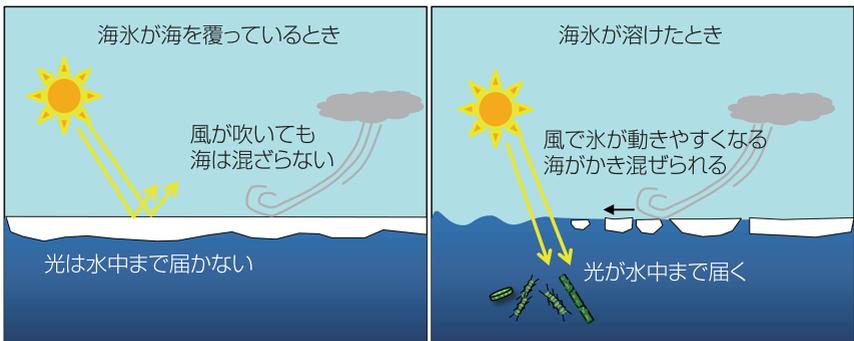


図 1.9 海氷のあるときと溶けてしまった後との違い。海氷の融解後は太陽光や大気が直接的に海へ影響を与える。

たとえば、夏の北極海の表層は、ほとんど栄養塩がないために一次生産は低いことが知られている。

さらに、海水が消失したことによる環境の変化は、水温や鉛直混合にまで変化をもたらし、それらが複雑に関連し合いながら、植物プランクトンへ影響を与える（図 1.10）。

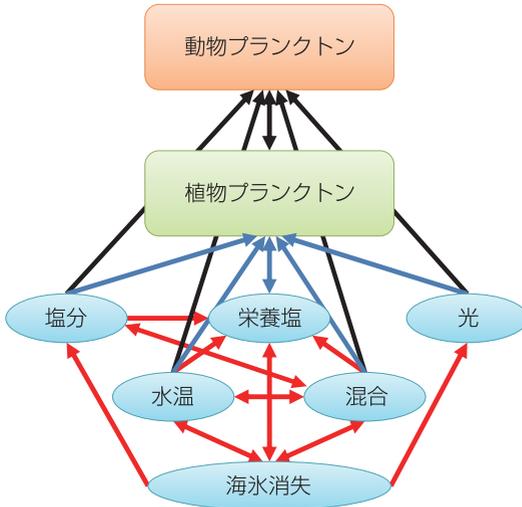


図1.10 海水の融解にともなう環境変化が植物プランクトンおよび動物プランクトンへ与える影響の概念図。赤い矢印は環境要因間の関係、青い矢印は植物プランクトンとの関係、黒い矢印は動物プランクトンとの関係を示す。複雑に環境変化が起こるため、プランクトンに起こる変化を単純に理解することは困難である。

❖ 動物プランクトンへの影響

次に、動物プランクトンについて考える。環境からの直接的な影響としては、たとえば、水温が上がると動物プランクトンの呼吸量が上がるため、生きていくのに必要なエネルギーが増える。また、多くの動物プランクトンが、昼は深い層にいて、夜間に表層へ移動する日周鉛直移動を行うため、光は動物プランクトンの鉛直的な分布に影響すると考えられる。

そして、植物プランクトンの変化の影響も受ける。動物プランクトンの餌である植物プランクトンが増えれば、得られるエネルギー量が増え、多くの子供を残すことができ、結果的に個体数が増えるかもしれない。

このように、海水の消失によってプランクトンに起こるであろう変化は複雑で、理解を深めるためには根気よく調査や実験を繰り返す必要がある。

4.3 動物プランクトン群集の海氷衰退にともなう変化

次に、動物プランクトン、とくにカイアシ類に起こっている経年的な変化について紹介する。カイアシ類の種を見てみると、実は北極海内部と北極海に隣接する太平洋や大西洋では異なる種が分布している（図 4.7）。北極海に分布する *Calanus hyperboreus*, *Calanus glacialis*, *Metridia longa* は他の大洋では出現しない、北極海の固有種である。一方で、太平洋や大西洋に分布する種は北極海内でも採集されることがある。北極海は太平洋および大西洋とつながっており、それぞれの海洋から海水が流入している。プランクトンは遊泳能力の低い生物群集であるため、その海流によってそれぞれの大洋に分布している種が北極海内に輸送される。北極海の入り口ではその密度は高いが、内部へ輸送されていく過程で希釈されていくため、正確な追跡は困難であり、限られた範囲にしか運ばれていないと考えられている。

❖ 亜寒帯性プランクトンの北上

前章で示した広域調査の結果、マイクロプランクトンも動物プランクトンも陸棚域で最も多いこと、太平洋水による栄養塩供給の影響が大きいこと、海域によって構成種および生物生産が大きく異なっていることが明らかになった。したがって、海氷衰退の影響を評価するためには、同じ海域で、異なる海氷の状況（異なる年）で調査を行わなければならない。そこで次に、海氷衰退の前後で、陸棚域（とくに太平洋と北極海が隣接する海域）のプランクトン群集がどのように変化しているのかを調べた。

海氷衰退前の 1991 年、1992 年と海氷衰退後の 2007 年、2008 年に夏季のチャクチ海において北海道大学附属練習船「おしよる丸」で採集した動物プランクトン試料を解析した。その結果、動物プランクトンの出現個体数とバイオマスは、1991/92 年よりも 2007/08 年のほうが多いことが判明し、このことから海氷面積の減少は動物プランクトンの現存量や生産量という観点では正の効果があると推定された。

クラスター解析の結果、動物プランクトン群集を 6 群に分けることができ

た（図 4.8）。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いた（図 4.8）。とくに、2007 年には、太平洋水により輸送された太平洋産種が優占する群集 D が、チャクチ海南部に見られた。この群集 D は、海水衰退前の 1990 年代に見られた群集 A と比べて、太平洋産種の数がおよそ 2 倍になっていた（図 4.9）。この結果は、2007 年の太平洋水の流入量が例年よりも多かったことに起因しており（Woodgate et al., 2010）、太平洋水の増加が元来存在する北極海産種を北へ駆逐する可能性が示唆された（Matsuno et al., 2011）。

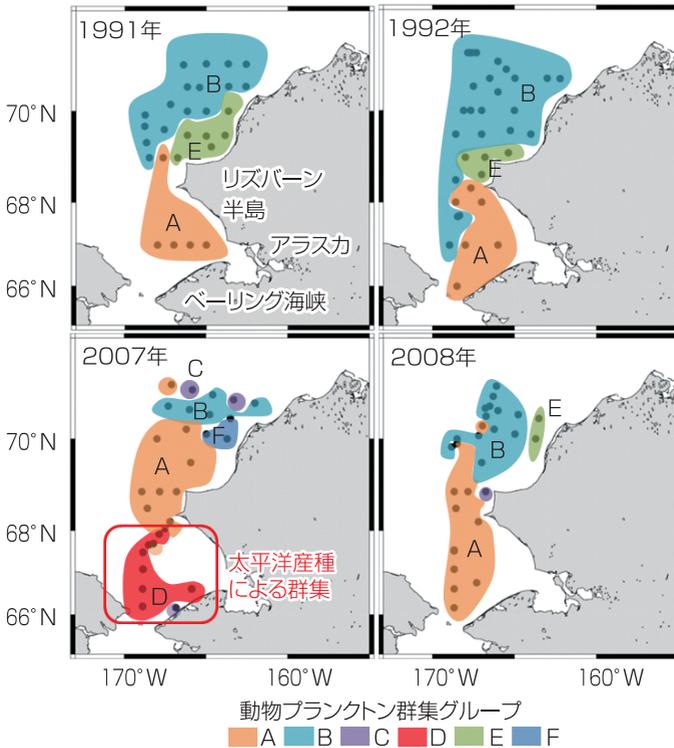


図 4.8 太平洋側北極海（チャクチ海）における動物プランクトン群集の年変動。1991 年、1992 年と比べて、2007 年は新しい群集が出現していることがわかった。この群集には太平洋から流入してきた太平洋産種が多く含まれていた。（Matsuno et al., 2011 より）