

# TUMSAT-OACIS Repository - Tokyo

University of Marine Science and Technology

(東京海洋大学)

日本人の健康を支える水産資源(第15回) :  
地球温暖化が海洋環境に与える影響(前編)

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2021-05-10 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 溝端, 浩平 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/2094">https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/2094</a>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.

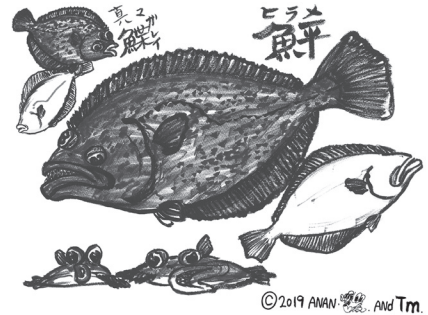


## 地球温暖化が海洋環境に与える影響

## 前編



みぞはた・こうへい  
北海道大学大学院水産科学  
研究科，環境生物資源  
科学専攻博士課程修了。  
アラスカ大学国際北極圏  
研究センター研究員，日  
本学術振興会特別研究員  
PDを経て，現在，東京海  
洋大学海洋資源環境学部  
助教。博士（水産科学）。



溝端 浩平

さかなクンイラストより

## 1. 地球温暖化に関する これまでの流れ

“地球温暖化”はいまや当然のように見聞きする地球規模の課題であり，全世界が対策を考える時代にある。この地球温暖化の研究は，最近の温度上昇を踏まえてはじまったわけではなく，その歴史は20世紀以前に遡る。本稿ではすべてを網羅する紙面はないので，まずはかいつまんで地球温暖化研究の歴史と現時点におけるコンセンサスや世界の流れについて触れ，さらに地球温暖化が海洋環境に与える影響について述べることにする。

### 1-1. 地球温暖化研究の歴史

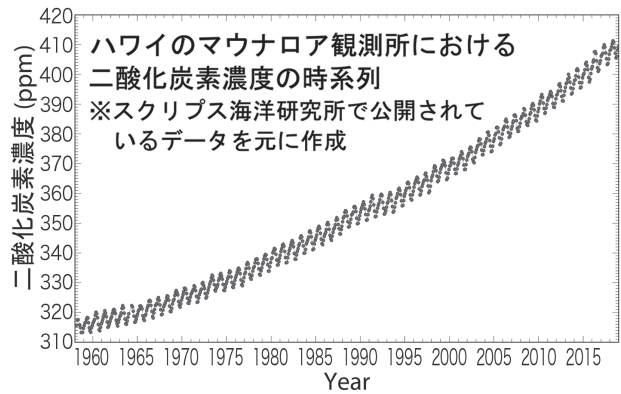
初めて大気が地球の熱放射にどのように影響するのかを考え始めたのは，フーリエ解析で著名な Joseph Fourier 氏である。彼は1820年代に地球の大気が存在しなければ，地球の温度は氷点下18°Cになるが，実際には平均気温が15°Cであることを議論した (Fourier, 1824)。次に，登山家でもある John Tyndall 氏は二酸化炭素（以下，CO<sub>2</sub>）などが赤外線を効率的に吸収する特性を実験から示した (Tyndall, 1863)。いわゆる温室効果ガスの発見である。また，Svante Arrhenius 氏は氷河期の研究から大気中の CO<sub>2</sub> 量の変化によって，地球の温度が変化することを示した (Arrhenius, 1896)。その後，約40年のときを経て，1938年に Guy Callendar 氏が人為起源に

よる大気中の CO<sub>2</sub> 量が半世紀で1500億トン増加し，年間で0.003°C上昇したことを示した (Callendar, 1938)。ここまでは個人の研究で得られた成果で，20世紀前半において気候変動の研究に巨額の投資がなされるという状況ではなかった。Callendar 氏は実はエンジニアで温室効果に関してはアマチュアだったということにもこの状況が見て取れる。

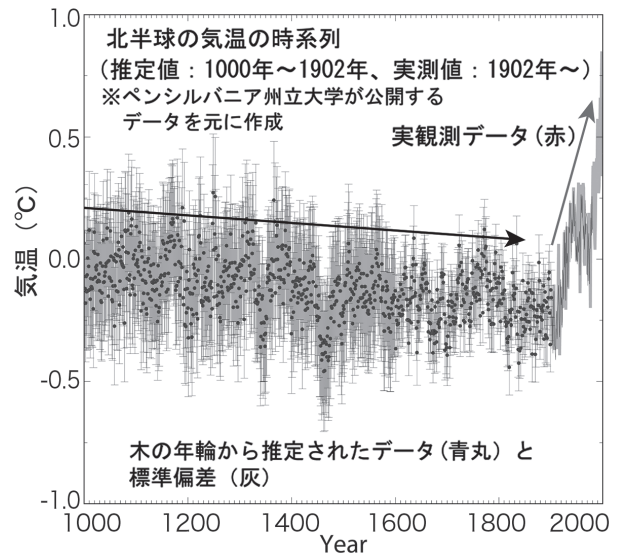
この状況は第二次世界大戦が終焉を迎えた後，米国海軍研究局の資金提供によって変化し始める。資金提供がなされた分野には核物理学などがあったが，地球物理学もそのうちの1つであった。軍は自らが活動する大気・海洋について理解する必要性を認識していたからである。なかでも気象学，特に天気予報が重要視された。古来から戦争において天候に関する情報は極めて重要であったからで，データ収集だけでなくコンピューターによる数値予報の試みが多くなされ始めた（残念ながら，戦争という背景なくして，いわゆる“純粋な”科学の多くの分野で現在に至る急激な進歩は見込めなかったであろう。筆者が研究において主に利用する人工衛星の観測は，明らかに軍事技術の賜物である）。そして，1950年代の終わり頃には米国政府は気候変動のリスクを認識し始めた。そのきっかけは，スクリプス海洋研究所の所長となった Roger Revelle 氏による，海洋が産業起源（人為起源）のガスをすべて吸収することはできないとい

う研究結果である。彼は CO<sub>2</sub>量の増加が21世紀内に深刻な気候問題をもたらす可能性があるとして1957年に米国議会で証言している。Revelle氏は産業活動によって「大気にCO<sub>2</sub>が蓄積されること」と「海洋にCO<sub>2</sub>が吸収されること」を初めて結びつけた研究者であり、彼の有名な言葉「The Earth itself is a spaceship」は、同年の国立科学アカデミーの報告書「First general report on climatology to the Chief of the Weather Bureau」に取り上げられている。この頃すでに新聞記事には、“地球温暖化”や“気候変動”というフレーズが出ていたが、1970年代後半までは一般的な言葉とはならなかった。その理由の1つには、1960年代の地球冷却化論争が挙げられる。1961年に米国気象局のMurray Mitchell Jr.氏が世界中の平均気温に基づいて、「1940年頃までは気温が上昇しているが、その後は冷却傾向を示す」と発表したのである(Mitchell, 1961)。彼は、火山の噴煙や太陽活動の低下が何らかの冷却効果をもつことを示し、この冷却が自然変動の一部であると結論づけた。地球温暖化の議論においては自然変動と人為起源の変動を切り分けることが重要である、という側面が垣間見える論争でもある。結局のところ地球温暖化がある程度の確信をもって議論されるようになるまでに20年以上かかったことになる。

この温暖化・冷却化論争の大きな転換点は“キーリング曲線”であろう。国際地球物理学年(International Geophysical Year)であった1957年～1958年に実施されたプログラムのなかには、大気中CO<sub>2</sub>の測定が盛り込まれていた。この測定こそが、スクリプス海洋研究所教授のCharles David Keeling氏によるハワイのマウナロア観測所での1958年からの大気中CO<sub>2</sub>濃度の時系列観測であり(Keeling, 1960, 第1図)、得られた時系列はキーリング曲線と呼ばれている。この曲線は、年変動による増減を伴いながら、平均的には二酸化炭素濃度が増加していることを示したことから、気候に関わる研究者は感銘を受けた。



第1図 ハワイのマウナロア観測所における二酸化炭素濃度の時系列



第2図 北半球における平均気温の時系列 (カラー写真をHPに掲載C003)

その後、理論構築だけでなく、技術の進歩に伴ってコンピューターによる数値予報の精緻化が行われ、現在に至っている。ただ、20世紀最後の頃に地球温暖化については再度大きな論争が起きた。それは「ホッケースティック論争」である。これは古気候学者のMichael Mann氏が木の年輪から北半球における過去1000年の気温変化を推定した結果(Mann et al., 1999)に端を発する。推定された気温変化の時系列は19世紀以降に急激な上昇を示しており(第2図)、これが昨今の地球温暖化が人為起源であるという有力な証拠となった。彼らの時系列は様々な報告書で引用される



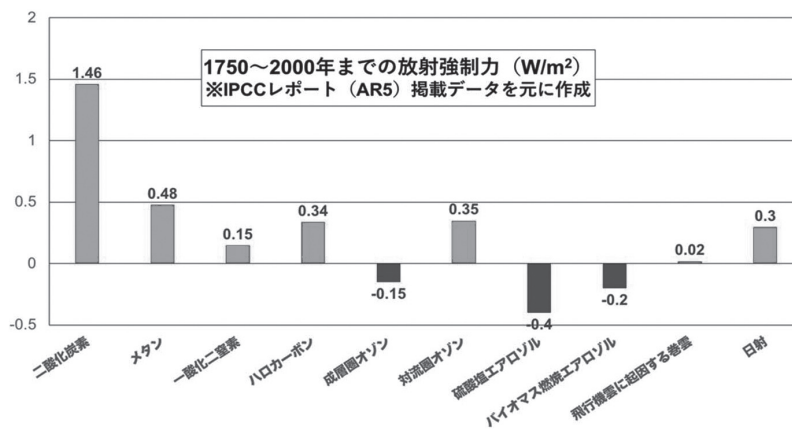
こととなった一方で、10世紀～14世紀の中世温暖期、14世紀半ばからの小氷期（寒冷な期間）の気温変動に関する過小評価、使用したデータに関する記述の間違いが指摘され、捏造ではないかという論争が起きた。この問題の根源には古気候の再現結果、特に500年から1000年前の気温には誤差が大きいことが挙げられる。Mann 氏らは訂正記事を発表し、結果に変更はないことが示された。

### 1-2. 現時点でのコンセンサス

現在では様々な領域において地球環境観測衛星などを含む観測網が整備され、地球システム（大気・陸域・海洋すべて）の変動・変化の監視が行われている。さらには数値シミュレーションも世界各国で行われている。観測・数値シミュレーションの研究を網羅し、あらゆる側面から人為起源による気候変化やその影響と適応策・緩和策について取りまとめ、評価を行っているのが、国連の気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change, 以下 IPCC）である。IPCC は1990年に第1次報告書をまとめ、「人為起源の温室効果ガスは気候変化を生じさせる恐れがある」と評価された。つまり、この時点では確信とまでは言い切れない部分があったといえる。しかし、世界各国の研究の進捗とともに、この表現は徐々に変わっていく。1995年の第2次報告書では「人間活動の影響が全地球の気候に現れている」、2001年の第3次報告書では「過去50年に観測された温暖化の大部分は、温室効果ガス濃度の増加によるものであった可能性が高い」、2007年の第4次報告書では「温暖化に疑う余地はなく、人為起源の温室効果ガスによる可能性が非常に高い」となった。さて、2013年の第5次報告書ではどうなっただろうか？ 第5次報告書の評価は「20世紀半ば以降の温暖化の主要因は、人間活動である可能性が極めて高い（95%以上）」となった。つまり、どのように考えてもほぼ人間活動によって現在の温暖化

がもたらされているという結論に行き着いたのである。

もう少し詳しく書くと、IPCC レポートでは自然変動と人為起源による変動の双方を議論している。自然変動としてエルニーニョイベント・火山性エアロゾル・短波放射（日射）による影響が、人為起源の変動としては温室効果ガスの影響が挙げられている。1940年代の温度上昇や2010年代前半に話題になった“温暖化ハイエイタス（停滞，中断という意味）”という1997/1998年のエルニーニョ以降の全球地表面温度の上昇傾向が緩やかになった現象もあり、「温室効果ガスは増えているのに、実は温暖化していないじゃないか」という温暖化懐疑論はいまだに存在する（この温暖化ハイエイタスについては、2章で触れることにする）。しかし、IPCC の報告書で着目すべきは「ここ数十年の全球表面温度の急激な上昇を自然変動要因では説明できないが、温室効果ガスで説明できる」という点である。エルニーニョイベントや火山性エアロゾル、短波放射による地表面温度の上昇傾向はほぼゼロであるが、人為起源の温室効果ガスによる地表面温度変化の上昇傾向はほぼ、全球平均の地表面温度の上昇傾向と一致するのである。なお、温室効果ガスにはCO<sub>2</sub>だけでなく、メタン（CH<sub>4</sub>）・一酸化二窒素（N<sub>2</sub>O）・クロロフルオロカーボン（CFC-11, CFC-12）・成層圏の水蒸気などが含まれる。なぜCO<sub>2</sub>だけが槍玉に挙げられるのかを理解するには、“放射強制力”を理解してお



第3図 放射強制力

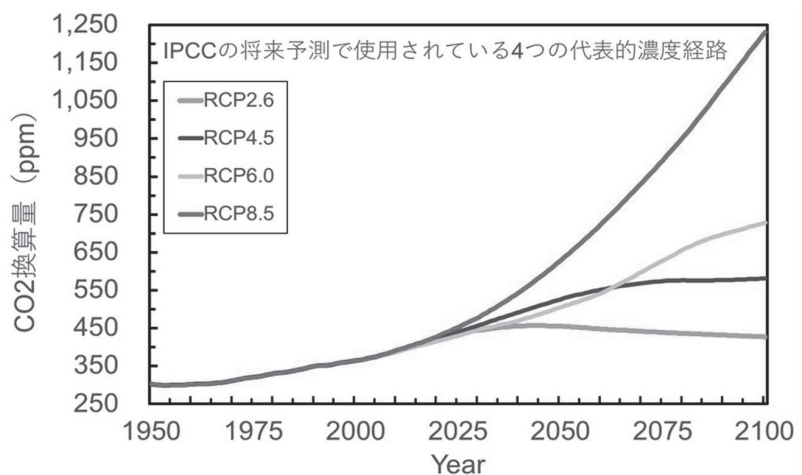
く必要がある。放射強制力とは、「地球の気候に変化をもたらす放射エネルギー収支の変化量」であり、厳密には「対流圏と成層圏の境界面における単位面積当たりの放射量の変化」である。温室効果ガスは正の放射強制力、すなわち地表を温める効果をもつ。そのなかでも、CO<sub>2</sub>の放射強制力は他の温室効果ガスよりも大きく1.5W/m<sup>2</sup>程度である（第3図）。そして、1992年にドイツで開かれた第1回気候変動枠組条約締約国会議（COP 1）におけるベルリン・マンデート（COP 1の決定文書）、1997年に京都で開かれたCOP 3における京都議定書の採択を経て、気候変動緩和策の数が増えてもなお、これらの温室効果ガスの放出量は増加し続けている。このような現状に対して、通常は5～6年の周期で報告書をまとめているIPCCは、2018年12月に「Global Warming of 1.5°C（日本では1.5°C特別報告書と呼ばれる）」を公表した。その結論は、「このまま地球温暖化が進行すれば、2100年に産業革命前と比べて2°C上昇することになるが、これを1.5°Cに抑えれば持続可能で公平な社会を確保することができるので、そのためには社会のあらゆる面で迅速かつ広範囲で前例のない変化が必要だ」というものである。現在のIPCC報告書にまとめられている数値シミュレーションは、温室効果ガスの排出シナリオに基づいて行われている。報告書ではこの排出シナリオを、代表的濃度経路（The Representative Concentration Pathways, RCPsと略される）と呼び、RCP2.6・RCP 4.5・RCP6.0・RCP8.5の4つが将来予測に用いられている（第4図）。各数値は、産業革命前と比較したときの放射強制力を意味し、RCP8.5の場合は8.5W/m<sup>2</sup>であるということになる。おおまかに書くと、RCP2.6は温室効果ガスの排出を速やかに抑制したケースで、RCP8.5は抑制していないケースとなる。前者の場合2100年までの全球平均地表面

温度を1.5°Cまでに抑制できる可能性が高く、後者の場合は2.0°Cまで上昇する可能性が高いという予測になっている。IPCC報告書では、1つのモデルの結果ではなく、複数のシミュレーション結果の集合平均に基づいて評価されているので、当然のことながら誤差はあるものの、少なくとも産業革命前よりも全球平均で1.5°C温度が高い世界を2100年までに迎えることになるとしている。このように観測事実やシミュレーション結果に基づいて、確実視されている地球温暖化を抑制するための“一丁目一番地”として、人為起源CO<sub>2</sub>の排出量抑制が求められている。

### 1-3. 確実視される地球温暖化に

#### 対する世界の動き

産業革命前より1.5°C高い世界と2.0°C高い世界には、どのような差が生じると予測されているだろうか？温室効果ガス排出シナリオのRCP2.6とRCP8.5に基づく数値シミュレーション結果の比較は、極域でも特に北極圏の温度上昇や、全球の視点で見たときの水循環の違いを見せている。例えば、降水量が増加する地域と減少する地域が赤道・熱帯域の同じ緯度帯でも散見され、これは全球における“水”の配分が変わるということの意味している。極端に言えば、ある場所は干ばつ、ある場所は洪水に直面するということになる。熱波・干ばつ・洪水などをもたらす地球温暖化によ



第4図 IPCCの将来予測で使用される4つの代表的濃度経路 (カラー写真をHPに掲載C004)

って“住みにくい”地域が発生すると、難民化する人が増えるとも予測されている。Climate Change Refugee（気候変動難民もしくは気候難民）は、気候変動による損失・被害のわかりやすい一例である。その他の例として、霜が降りない季節の長期化がある。米国では現時点で20世紀初期に比べて、15日程度長期化している。これは農作物の生産量増加につながる“良い話”に聞こえるが、実際にはそうではない。温暖な気候は害虫を長生きさせることにもつながる。また、温度上昇に伴って、農作に適した場所が変わることも予想されている。特に赤道付近・熱帯域の農作物生産量の減少が予測されている。

現在、この確実視される地球温暖化とそれに伴う損失・被害を抑止するために行動しよう、というのが世界の動きである。2015年9月にニューヨーク国連本部で開催された国連サミットでは、「持続可能な開発のための2030アジェンダ」が全会一致で採択されている。このアジェンダの中核をなす持続可能な開発目標（The Sustainable Development Goals, SDGs）は近年、新聞やニュースでもよく見られるようになってきた。SDGsは17の目標を掲げており、そのうちの1つが目標13「気候変動に対する具体的な対策を」である。この目標13は、例えば目標7の「エネルギーをみんなに、そしてクリーンに」や、目標11「住み続けられるまちづくりを」、目標14「海の豊かさを守ろう」、目標15「陸の豊かさを守ろう」など、多くのテーマに実は密接に結びついている。つまり、地球温暖化への対策において、地球環境だけでなく、経済などあらゆる視点をもって取り組む必要があることがわかる。気候問題活動家のグレタ・トゥンベリ氏は国連で「何も対策を講じることなく、お金の話ばかりしているあなた達大人を許さない」という強い言葉で演説をし、賛否両論を生んだ。世の中には演説の態度から彼女の批判をする人々もいるが、実際のところ彼女の演説は概ね、地球温暖化に関する内容については最新の研究を踏まえたものである。大人は「対策

はしている」「経済のことがわかっているのか」というであろうが、彼女や若い世代にとっては対策をしていないことと同義と捉えられてもおかしくない状況であることは確かである。耳が痛い話ではあるが真摯に受け入れるべき意見であろう。兎にも角にも、世界が脱炭素社会に向けて取り組みを加速させるきっかけになったし、我々にはその責務があるともいえる。

## 2. 地球温暖化が海洋環境に与える影響

さて、1-3節で地球温暖化の影響についていくつか触れたが、ここでは本題である海洋環境への影響について述べる。はじめに全球の海洋への影響について触れ、次にIPCCのシミュレーション結果で顕著な温度上昇を示し、“気候変動のカナリア”とも称される極域の海洋への影響について詳述する。

### 2-1. 全球海洋への影響

地球温暖化による海洋環境への影響で多くの人々が思い浮かぶのは、海面水位上昇であろう。海面水位上昇は、海水の熱膨張と陸上にある氷（氷床）の融解が主要因である。ちなみに、海に浮かぶ海水（例えば北極海の海水）が融けても、海面水位は上昇しない。氷と水の入ったコップの水位は、たとえ氷が融けても変わらないことと同じ理屈である。ただし、陸上の氷床融解は、海洋への新たな淡水の加入であるので当然ことながら、海面水位上昇をもたらす。IPCCによる予測では、RCP2.6のシナリオ下で全球平均の海面が現在から0.3m～0.6m上昇すると見積もられており、RCP8.5の場合では0.5m～1m上昇すると見積もられている。海面水位上昇で大部分の国土を消失するとされるのは、キリバス、バヌアツ、マーシャル諸島共和国、ツバル、パプアニューギニア、フィジー、ナウル、ソロモン諸島、サモア、モルディブなどである。海面水位上昇は国土消失だけでなく、高潮による被害をより拡大することが懸念される。高潮は、台風や強烈な低気圧の「海面



の吸い上げ効果(1 hPa 低下で約1 cm 上昇)」と「湾口から湾奥への海水の吹き寄せ効果(湾が浅いほどに海面上昇率が大きくなる)」によって引き起こされる。日本における直近の高潮被害は平成22年2月の富山湾が挙げられる。海面水位上昇が今後進行すると、高潮によって海水が沿岸域に容易に侵入しやすくなるであろう。そして、観測事実として“強い”熱帯低気圧・台風の発生頻度は徐々に増加している。この発生頻度の増加については現時点では、人間活動によるものかどうかは不明である。ただし、地球温暖化の進行は、熱帯低気圧を駆動するエネルギーとなる海洋からの蒸発を促進し、今後、熱帯低気圧の最大風速や降水強度が増加するとされている。海面水位上昇や高潮は、1-3節で述べた気候変動難民にもつながり、沿岸域の住環境に多大な影響をもたらすと考えられている。

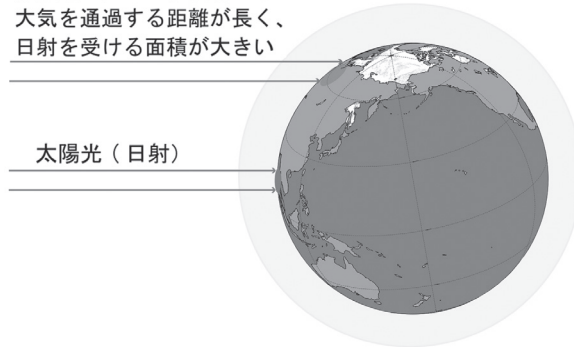
さて、海面水位上昇の主要因の1つは海水の熱膨張であると前述したが、実は海洋は表層だけでなく、深海でも熱を蓄えていることがわかってきている。IPCCの報告書によると、地球表層システムで蓄える熱量のうち、90%以上が海洋に蓄えられている(IPCC, 2013)。一方で、海水の比熱(1グラムを1°C上げるために必要な熱量)と体積は3.9 (J/g/K) と $1.4 \times 10^{21}$  (kg)、大気比熱と体積は1.0 (J/g/K) と $5.0 \times 10^{18}$  (kg)であることから、海洋全体の熱容量は大気全体の約1000倍となる。つまり、海洋は大気に比べて暖まりにくいわけであるが、観測事実は海洋の熱量増加が地球全体の熱量増加のほとんどを説明することを示している。

2000年代の海洋の貯熱については、地球温暖化に対する応答と自然変動の双方が要因として挙げられている。全球のどの海域においても、明確な答えは出ていないが、少なくとも海洋の700m以深での貯熱量増加は、部分的には気候の自然変動であることが示されている。これは21世紀に入ってから気温上昇率が10年で $0.03^{\circ}\text{C}$ とほぼ変わらない“温暖化ハイエイタス”という現象に関

する研究から明らかにされている。ニューサウスウェールズ大学のMatthew H. England氏らは、熱帯域において強い貿易風により太平洋東部から冷たい海水が西方へ拡大して海面を覆い、太平洋西部の暖かい海水が海洋内部へと押し込められるため、海上の大気の温度上昇が抑制されるということを示した(England et al., 2014)。東京大学の渡部氏らは、このような大気-海洋結合システムの変動で2000年代の温暖化の27%が説明できると結論づけている(Watanabe et al., 2014)。

要因についてはいまだ議論が尽きない海洋の温暖化であるが、その影響は海洋生態系にも現れる。海洋では一般的に密度成層が成り立っている。氷床融解などによる淡水の供給増加と、地球温暖化に伴う表層の昇温は、強い密度成層をもたらす。強い密度成層とは表層と下層での密度差が大きくなることで、端的にいえば鉛直方向に“混ざりにくくなる”。混ざりにくくなった海洋で予想されるのは、溶存酸素濃度の低下である。大気と常に接している表層海洋が、下層と混ざりにくくなることに加えて、植物プランクトンなどの死骸が底層で分解され酸素が消費されるからである。“Dead Zone”と呼ばれるこの貧酸素の領域は、徐々に拡大しており、温暖化に伴って熱帯域では今世紀末までに50%増加するともいわれている(例えば、Schiermeier, 2008)。Dead Zoneでは海洋生物は生息できないが、もちろん温度上昇自体も直接的に海洋生物の生き残りに関わってくる。漁師や釣りの好きな方々には言わずもがなではあるが、海洋生物には好適水温がある。地球温暖化に伴う海洋の温暖化は、海洋生物の生息域を極方向へシフトさせ、これまでの生態系構造を変化させると予想されている。例えば、熱帯域のある魚は亜熱帯や中緯度帯へ生息域をシフトするということになる。一方で、魚や魚肉製品の需要は近年高まっている。つまり漁業活動は今後も続くが、亜寒帯や中緯度帯で漁獲される魚の種類は変わり、熱帯域では魚が漁獲できにくくなり、水産業の構造さ

赤道域に比べて、極域では  
大気を通過する距離が長く、  
日射を受ける面積が大きい



第5図 極域と赤道域が受ける日射の違い  
(カラー写真をHPに掲載 C005)

えも変化させる可能性がある。

全球の視点でもこれだけの影響が懸念されているが、“気候変動のカナリア”と称される極域、特に北極海と南極海ではどうだろうか？ 結論からいえば、地球温暖化や気候変動の研究において極めて重要な両極の海では、今後の気象や気候の変化に関わる影響がすでに見え始めている。ここからは、まず両極の海の共通点と相違点について簡単に触れ、次に各極域の海における地球温暖化の影響について紹介する。

## 2-2. 両極海の共通点と相違点

北極海と南極海の共通点としては、まず水の存在が挙げられる。太陽光と地球の形の関係から、赤道域は最も多くの日射を受けるが、極域が受ける日射は小さい(第5図)。太陽光が地表面に届くまでに対流圏を通過する距離は、太陽が直上にある赤道域より、太陽が水平線に近い極域では長くなる。さらに日照時間は冬季に極端に短くなる。極域では強烈な冷却によって、海では海水の真水部分が凍って海水が形成され、陸上では雪が降り積もる。氷はアルベド(反射率)が高いため、日射の8割を反射する。また、極域の対流圏には温室効果をもつ水蒸気が少ないことも極域が寒い理由に挙げられる。

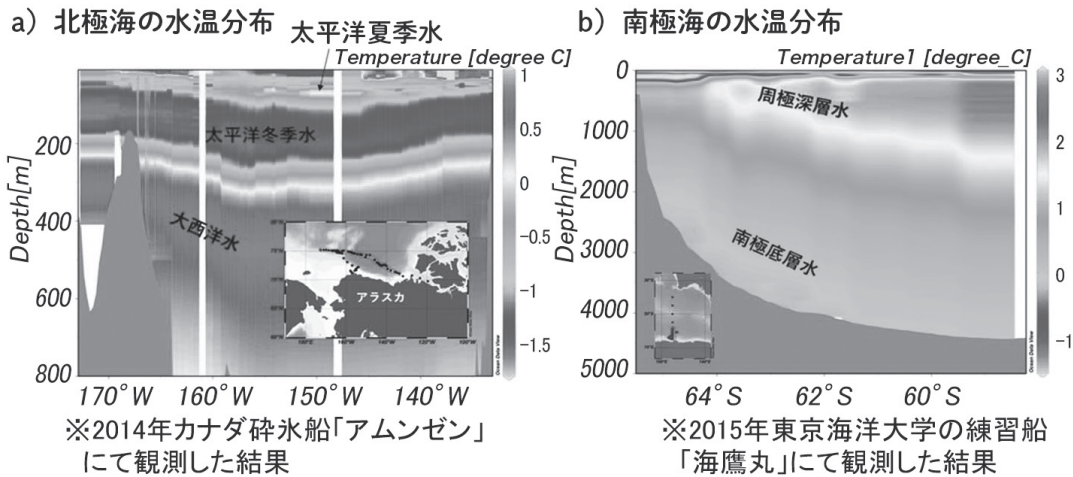
地球が受ける熱放射だけでなく、地球から出ていくエネルギーである赤外放射(波長が長い赤外線での放射なので、長波放射とも呼ぶ)にも緯度方向の違いがあり、亜熱帯・赤道域で高く、極域

では相対的に少なくなる。ただし、熱収支という観点で見ると、赤道域は過剰に熱を受けており、極域では過剰に熱を放出している。この高緯度域と低緯度域の温度差を緩和するように、大気や海洋では緯度方向に熱の輸送が行われている。海洋だけに着目すると、緯度方向の循環の出発点が極域に存在するという共通点があり、それはグリーンランド沖と南極大陸周辺の大陸棚である。表層の海水が冷却されると、真水部分が凍って海水が作られる際に、濃縮された冷たくしょっぱい海水が残る。この水は重い高密度陸棚水と呼ばれ、海洋を沈み込んでいく。この高密度陸棚水は緯度方向の循環(深層大循環)の駆動力の1つである。

海水に話を戻すと、その面積はどちらの海でも毎年夏に減少し、結氷期から増加する。そして、海水の厚さは北極海で2~3m(あるところでは4~5m)、南極海で1~2m程度である。ただし、北極海と南極海の決定的な違いは「海と陸の分布」にある。北極海は陸に囲まれ、南極海は海に囲まれている。そして、主要な氷床は北極のグリーンランドや南極大陸に存在するが、グリーンランド氷床は平均厚さが1500m、南極大陸の氷床は平均2500mである。氷が存在する面積を鑑みれば、氷の体積としては南極大陸・南極海が圧倒しているということになる。

さて、固い話が続いたので余談として、シロクマが北極に、ペンギンが南極にいるのはなぜかということについて触れる。これについては諸説があるので“おつまみ”程度に読んでいただくとするが、まずシロクマについては、「かつて南極とアメリカ大陸が陸続きであったときに、パナマ海峡を超えられなかった」「広大な南極海を乗り越えられない」という説がある。またペンギンについては、「海洋の生物生産が低い赤道域には餌がないので、北半球への進出が阻まれた」「仮に北極に行けたとしてもシロクマに食われる」という説がある。いずれにせよ、彼らが住み分けるようになった理由には、“海”が深く関わっているということのようである。ちなみに、北極海にはウミガラスという





第6図 北極海 (a) と南極海 (b) の水温鉛直断面図  
 (カラー写真をHPに掲載C006)

白と黒の模様で海水の上にいると、まるでペンギンのように見える鳥がいるが、彼らは飛ぶことができる。

余談はここまでとして、北極海と南極海のもう1つ重要な共通点について触れておく。第6図は北極海（太平洋側）と南極海（インド洋セクター）の水温の鉛直分布の一例である。これらが示すことは、表層ではなく亜表層に暖かい水が存在するということである。北極海の亜表層には太平洋夏季水と呼ばれる太平洋由来の暖水があり、南極海には周極深層水と呼ばれる大西洋由来の古い暖水がある。後述するが、これらの暖水は近年の極域の水を減少させる要因にも挙げられている。

### 2-3. 北極海への影響

北極海は7つの大洋（南太平洋・北太平洋・南大西洋・北大西洋・インド洋・北極海・南極海）のなかで最も面積が小さく、日本の面積の37倍程度である。陸に囲まれた海であるため、The Arctic Mediterranean Sea（北極地中海）とも呼ばれるが、実際にはベーリング海峡・フラム海峡・カナダ多島海を通じて、太平洋や大西洋とつながっている。冬季には北極海全域が海水で覆われるが、夏季には太平洋側北極海やバレンツ海において、海面が露出する“開放水面域”が見られる。2007年に起きた北極海の海水激減が大々的に報じられて以降、日本でも気象関連のニュースに“北

極海”が頻繁に現れるようになったが、その裏にある海洋の影響について詳細に報じられることは少ない。ここでは、海洋を通じて地球温暖化が北極海に与える影響についていくつかの研究例を紹介する。

#### 2-3-1. 海氷減少

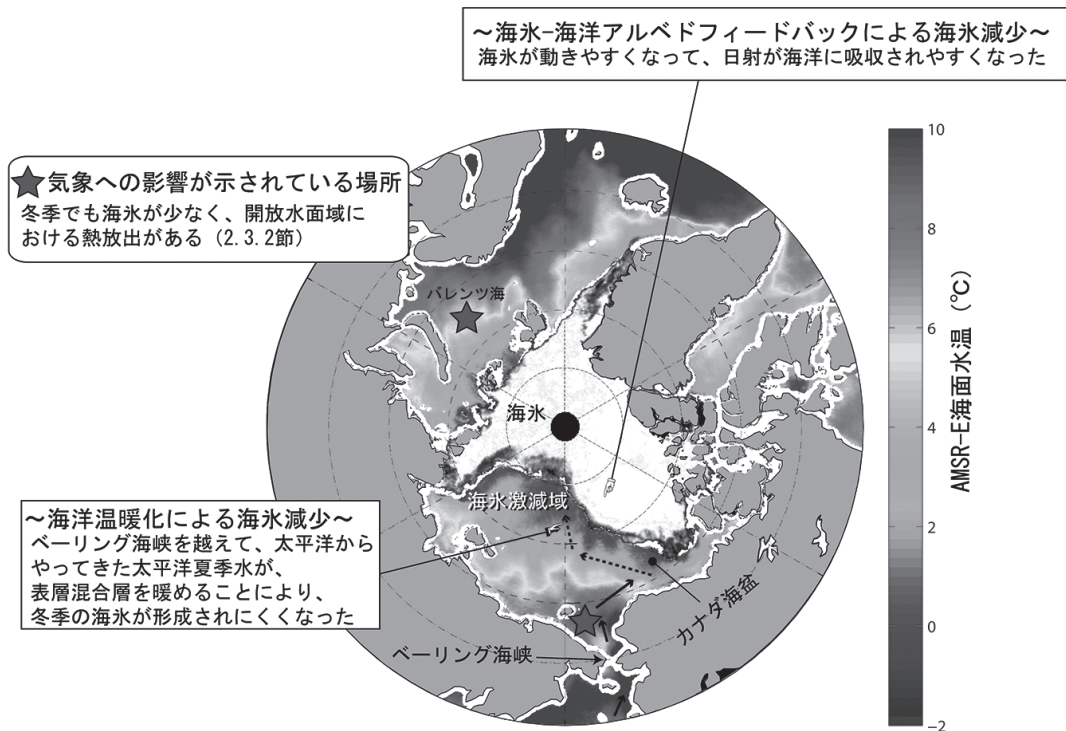
北極海に限らず、地球の海水面積は現在、人工衛星により常に監視されている。マイクロ波放射計 SMMR が搭載された米国の衛星 Nimbus-7 が 1978年に打ち上げられて以降、現在に至るまで監視が維持されている。現在は、航空宇宙研究開発機構 (JAXA) の水循環変動観測衛星“しずく”に搭載されたマイクロ波放射計 AMSR 2がこの監視に大いに貢献している。北極海では2007年に海水激減が起きたが、2012年9月には海水面積が318万平方キロメートル（日本の国土面積の8倍強）までに縮小し、これが現時点での最小面積記録となっている。ちなみに2019年9月の海水面積は史上2番目に小さい396万平方キロメートルとなった（2019年12月本稿執筆時点）。

海水減少域がバレンツ海周辺と太平洋側北極海（アラスカ沖～ロシア沖）の2領域に見られる理由には海が大きく関わっている。まずバレンツ海には、大西洋からの暖かい大西洋水の流入があり、同海域はかならず夏季に海面が露出する開放水面域となる。一方、太平洋側北極海における海水減

少、つまり開放水面域の拡大には多少複雑な背景がある。そして、この領域の海水減少が、いわゆる海水激減につながっている。過去には、大気場の主要な空間分布である“北極振動”などが北極海からの海水流出量に寄与しているという議論がなされてきたが、現在は海水減少に対する海洋の役

割も注目されている。ここから紹介する北極海の海水減少に関わるプロセスについては第7図に簡単にまとめておく。後編はこの図を見つつ、説明したい。

後編へ



第7図 北極海の海水減少にかかわるプロセス