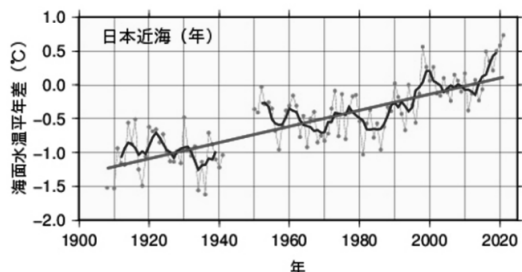


地球温暖化が引き起こす生態系への影響と対策に必要なCO₂回収・貯留(CCS)技術

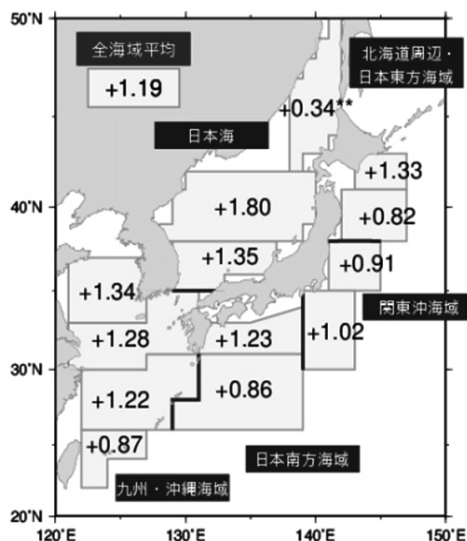
地球温暖化により海水温上昇や海洋酸性化が引き起こされ、海の生物にも悪影響を与えることが分かってきました。海水温上昇や海洋酸性化の現状と地球温暖化を引き起こす温室効果ガス、特にその60%以上を占める二酸化炭素の回収・貯留（Carbon dioxide Capture and Storage=CCS）技術の必要性等について、これまで国連「気候変動に関する政府間パネル」（IPCC）報告書のとりまとめに携わり、CCS事業化に対応する国の委員会メンバーでもある弘前大学理工学部前教授 野尻幸宏先生にお話を伺いました。

昨年、北海道東部の太平洋沿岸で深刻な被害をもたらした赤潮

昨年9月末から、通常は暖かい海で繁殖する植物プランクトンなどが原因で発生した赤潮。その赤潮により、北海道東部の太平洋沿岸でウニやサケなどが大量死し、その被害額は約82億円にのぼることが報道されました。北海道だけでなく、ここ数年日本各地でサケやサンマ、イカなどの魚介類の記録的な不漁が続いています。北海道の現場海域で発生した赤潮は低水温でも増殖する植物プランクトン「カレニア・セルフォルミス」が原因とさ



日本近海の全海域平均海面水温（年平均）の年平均差の推移
出展：気象庁



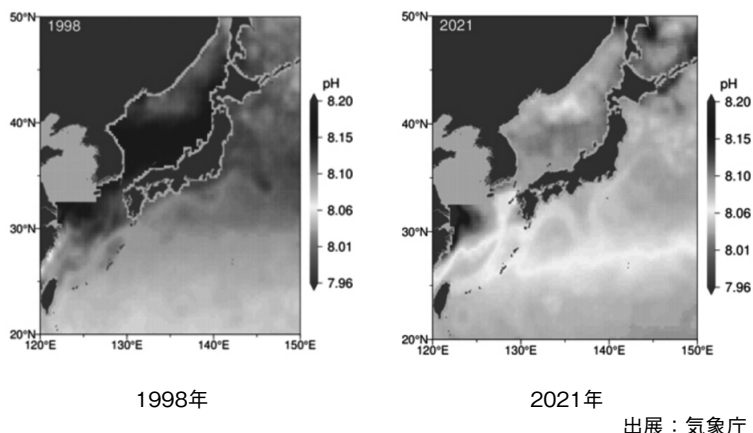
日本近海の海域平均海面水温（年平均）の上昇率（°C/100年） 出典：気象庁

れ、赤潮との因果関係は確定していません。また一概に地球温暖化だけが原因とは言えませんが、昨年の北海道周辺だけでなく、近年全国各地の沿岸でも記録的な高水温が続いています。

海水温上昇と海洋酸性化の状況

2021年の日本の年平均気温は、平年値（1991～2020年平均）より0.61℃高く、1898年の統計開始以降で3番目の高温でした。高温の上位は直近の3年（2019～2021年）に記録されています。気温が上昇すると、海の表面水温は同じように上昇します。加えて、近年は海洋酸性化も進んでいます。海水は本来「弱アルカリ性」で、大気中に排出された二酸化炭素（CO₂）を海面から吸収するので、人為起源の排出量の30%程度を吸収する働きがあります。大気中の

日本近海のpHの分布



1998年

2021年

出展：気象庁

CO₂濃度は、経済活動の拡大や森林伐採などによって産業革命以降に上昇しているので、それとともなって海の吸収量も増えているのです。吸収するCO₂の量が多くなるほど、海は「アルカリ性」の程度が下がり、より「酸性」の側に近づいていきます。

気象庁のデータでは、日本近海のpH（値が低いほど酸性化が進んでいることを示す）は平均で約8.1ですが、最近の変化傾向によると約0.02／10年の速度で低下が見られます。海の酸性化が進むと、サンゴや貝、ウニなど、炭酸カルシウムの骨格や殻を持つ、さまざまな海の生物に悪影響をもたらすことが分かってきました。実際の海では海水温上昇と海洋酸性化が同時に起こるので、これらの複合的な影響を調べ、将来を予測しなければなりません。しかし、その本質的対策として何よりも重要なのは、海水温上昇と海洋酸性化を引き起こす温室効果ガスであるCO₂の排出量を大幅に削減し、大気中のCO₂濃度を低く抑えることです。

国連「気候変動に関する政府間パネル」(IPCC) 第6次報告書の現実に沿った目標は？

地球温暖化の進行を防ぐには、CO₂排出量を極力減らした低炭素社会の実現が不可欠です。IPCCは、本年2月末、第6次報告書を公表し、「人間が原因の地球温暖化が広範

困に悪影響をもたらしている」と断定しました。また、産業改革前と比べた平均気温の上昇幅が、今後20年以内に1.5℃に達する可能性も指摘されました。報告書には、気候政策の世界的な広がりや低排出技術のコスト低下、温室効果ガス削減努力、イノベーション、技術開発など複数の分析の枠組みから、緩和行動の推

進、障壁、選択肢を評価しています。野尻先生に、このIPCC第6次報告書の内容について伺いました。

野尻先生：2100年に4.4℃上昇するケースが従来から高位予測として用いられてきましたが、最近の温室効果ガス排出増加傾向に鈍化がみられることを考えると、これは起こりにくいケースと考えて良いかもしれません。今回の報告書では、IPCCの新たな高位予測とされたのが3.6℃上昇するケースであり、中位予測を2100年に2.7℃上昇するケースとしました。中位予測の必要条件是、世界の対策を相当程度に進めることで、現在の世界温室効果ガス総排出量である約400億トンのCO₂を1／4～1／5にまで減らすことです。しかし、この2.7℃上昇のケースでも沿岸の海洋生物にはかなりの影響が出るでしょう。それでは低位予測である1.8℃上昇するケースはどうかといえば、2080年頃までに世界全体でCO₂ゼロエミッションを達成することが必要で、その後はそれに加えて何らかの方法で既に大気に放出してしまった分を吸収していく必要があります。途上国の温室効果排出抑制が今すぐに進むことはありえませんから、たとえ先進国がどんな対策をとっても、2021～2040年という近い将来には今より世界排出量が少し増え、その結果として1.5℃

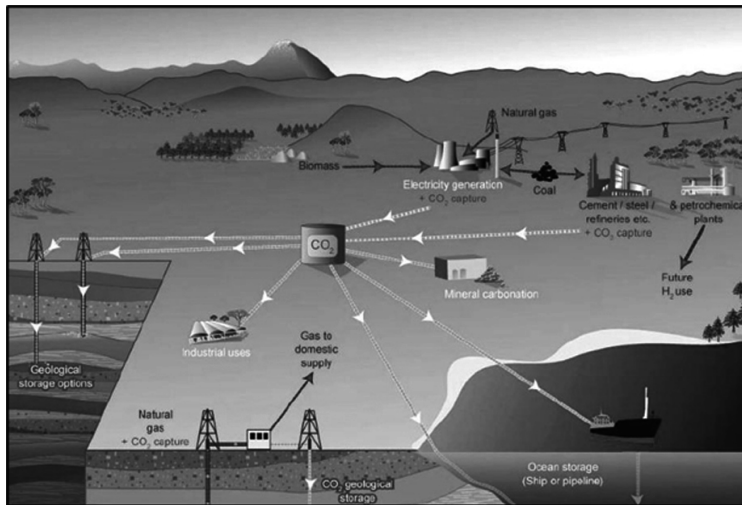
の世界平均気温上昇は避けられないと考えられています。その後の20年間である2041～2060年には、対策が進んだ場合と進まない場合の違いが大きくなり、2081～2100年にはさらにその差が大きくなると予測されています。簡単にいえば、世界中のCO₂排出対策が十分でないと高位予測の3.6℃上昇となり、順調に対策が進んだ場合でも2.7℃上昇、究極に近い対策が進むと1.8℃の上昇まで温暖化が抑制されるといいでしょう。国連は1.5℃の上昇までに抑制するという最も厳しい目標も考えていますが、IPCC予測では、2050年という著しく早い時点で世界がCO₂ゼロエミッションを達成しなければならないことになり、多くの専門家はそれが現実的でないと考えているといいでしょう。一方、一定程度は現実性があるのが1.8℃上昇のケースであり、より実現性があるのが2.7℃のケースといいと思います。つまり、1.8℃のケースを実現するためにも、2080年頃までに世界がCO₂ゼロエミッションを達成し、その先は正味でCO₂を吸収していく必要があるのです。2.7℃のケースならより実現性があるとはいえ、今世紀末までにCO₂排出量を現在の1/4程度まで削減する必要があり、世界情勢によってはその実現も困難かもしれません。

二酸化炭素の削減には二酸化炭素の回収・貯留（CCS）技術が必要

エネルギー資源が乏しい日本では、資源をいかに確保するかといった問題とともに、地球環境に配慮しながら、経済的に、長期的に安定して電気をつくるのが大きな課題となっています。そのために、火力・水力・原子力などの発電、再生可能エネルギーによる発電をバランスよく組み合わせ、それぞれの特徴を最大限に活用した「エネルギーミックス」が重要です。

野尻先生：CO₂を削減する具体的な方法として、CCS技術が必ず必要になると、今回およびこれまでのIPCCの報告書で述べられているのです。CCSは、発電所、製鉄所や化学工場から出たCO₂を集め、純度の高いガスにすると、圧力を掛けるだけで容易に液体になることから、これをパイプで地下に送って注入する技術です。最も安全なのは、少なくとも数百万年にわたり漏出がないことを確認できる使い終わった油田や天然ガス田に入れることですが、日本にはそのような場所がないので、帯水層（地下水を含む地層）に入れる方法を考えています。上部に頑丈な地層がある帯水層を見極め、注入すると、CO₂は地下水に溶けて岩石と反応しながら安定化することが分かっています。良い地層を見つけ注入すれば、長期安定して保存できるので、CCSは地球温暖化対策の切り札だと考えられています。世界でもっとも研究が進んでいる国のひとつがノルウェーです。ノルウェーは、北海油田を持っているので、古くから海底地層へのCCS実験を実施しています。その実験の規模は大きく、毎年百万トン以上のCO₂を注入していますが、現在までに漏出は認められていません。

現在日本では、北海道苫小牧でCCS実証試験が実施されています。苫小牧の沖合、地下約千メートルの帯水層にCO₂が注入され、想定範囲に留まっていることが観察されています。この実証試験は、現地の漁業者とも協議しながら、CO₂の漏洩がないことを確認したうえで進められています。CCS事業は、CO₂発生源近くで実施の方が効率的なため、現在、北九州地区や新潟地区などを含む全国のいくつかの地域で事業の可能性調査が行われているということです。わが国の温暖化対策を本格的に進めるには、2030年から2050年という時期に、このCCSを大規模事業化し、全国各地で実施する必要がありますでしょう。



CCSシステム概念図

出典：二酸化炭素の回収・貯留に関する特別報告書（IPCC、2005）

CCSの大きなメリットは、大気に排出されるCO₂を回収・貯留するので、今後も当分の間、石油・石炭・天然ガスという化石燃料を使えることです。バイオ燃料のようなカーボンニュートラルな燃料に切り替えなくても、ゼロエミッションが達成できるのです。

世界全体でCO₂排出量は約360億トン、日本のCO₂排出量は約11億トン。この排出量をすべてCCSで処理するというのは現実的ではありません。1.8℃ケースのような世界では、世界のエネルギーの大半は太陽光や風力を中心とする再生可能エネルギー、あるいは原子力のような低炭素電源に切り替わっているので、化石燃料の使用量は1/3～1/4に下がるでしょう。

その場合、CO₂排出量の多くをCCSで処理できると考えられるので、化石燃料を使った発電は、エネルギー安定供給に対して現実的な答えになります。さらに、一歩進めてバイオ燃料を用いる発電でCCSを行うと、大気中のCO₂を吸収する技術といえ、CO₂濃度を低下させる、将来の究極の温暖化対策になるのです。

CCS施設の建設には、上部の頑丈な岩盤によりCO₂が漏洩しないか、しっかりした

地質調査をしたうえで実施し、事業開始後も音波で常時監視することが必要です。さらに漁業者の方々が安心できるように、海水中のCO₂濃度の監視を継続するのが良いと考えています。苫小牧では、定期的な海水調査に加えてプランクトンや貝類など水産物の生息状況も調査しています。

漁業は、メタンや一酸化二窒素を排出する陸の農業とは違って、適切に行えば温室効果ガス排出を抑制できます。漁業を適切に管理することは、人間の食料を維持するのにとても重要です。むやみに農業化を進めて地球温暖化を加速させるより、魚が獲れる場所では、海洋環境を保全し、魚が卵を産む場所を守り、漁業を人間の食料源にした方が良いことは明白です。持続可能な食料生産の場をしっかりと維持し、大局的にCO₂を減らさないことには、海水温上昇や海洋酸性化の問題も解決しないので、沿岸域でのCCS事業については是非理解して欲しいと考えています。