

熱く、酸っぱい、息のできない ストレス下の海洋

地球最大の生態系はリオ+20 までの道のりを、いかに進んでいるか

地球の 71%を占める ○ 地球上の生息場所の 96%がある ○地球の生命体の 80%が存在する
○私たちが呼吸する酸素の半分近くは海の植物が生成 ○ 世界の貿易の 90%が海を越えて行われている ○ 試算では地球の鉱物資源の 80%を埋蔵 ○ 熱帯の発展途上国のタンパク質の 60%を供給

ストレスのかかる海洋および沿岸地域

海洋は地球表面の 4 分の 3 近くを占め、生息空間の 96%があり、私たちが呼吸する酸素の半分近くを供給し、また急速に増え続ける世界人口のための供給源として海洋が供給するタンパク質も増えている。しかし人類の活動は、地方 (local)、地域 (regional)、地球 (global) の各規模でも、この貴重な資源に影響を与え続けている。

今後数十年、数百年の間に海洋の健康が受けるストレスは、少なくとも 3 つの、相互に作用し合う要因により、強くなる。海水温度の上昇、海洋酸性化、および海洋貧酸素化は、海洋の物理学、化学、および生物学に深刻な変化を引き起こす。これらの変化がどのように海洋に影響するかを、我々はまだ理解し始めたばかりである。

世界の政策決定者らが、地球上の生命の持続可能性にとって海が大変大きな役割を果たしていること、また世界の CO₂ 濃度が高い状態が海洋および社会に与える影響を理解することは、不可欠である。

海洋酸性化

海洋酸性化は、大気中の二酸化炭素 (CO₂) レベルの上昇によって直接引き起こされる。CO₂ が海に入ると、CO₂ は短時間のうちに一連の化学反応を経由し、これが表層海水の酸性度を上昇させる (pH は低下する)。海洋は過去 250 年間に、既に人為的な CO₂ の約 30%を吸収しており、これにより pH は過去 6,000 万年間で最も早いスピードで下がっている。

この効果は、大気中の CO₂ 蓄積速度と地球温暖化のスピードを抑制したことから、良い効果と考えることができる。この、海という吸収源がなければ大気中の CO₂ レベルは 450ppm を既に超えているだろう。しかし海洋の化学反応が、このように根本的かつ急速に変化し続けることは、海の生物にとって悪い知らせである可能性が高い。変化の継続は炭酸カルシウムの骨格または殻をもつ生物 (カキ、イガイ、サンゴ、および一部のプランクトン種) にとって問題を引き起こすだけでなく、多くの他の生命体、生態系、およびプロセスにも影響するおそれがあり、これらは社会にとっても深刻な意味合いをもつ。

工業革命以来、海洋上層部の平均酸性度は既に pH で約 0.1 下がり (酸性度の 30%の上昇)、CO₂ の排出がこのままのペースで続けば今世紀末までには pH はさらに約 0.3 下がると予測されている。

3つの問題—複数のストレス要因

将来海の多くの部分に、複数のこれらの環境ストレス要因が同時にかかる可能性が高いが、それはこれらの要因が、大気中の CO₂ およびその他の温室効果ガスに内在する同じプロセスの増加によって引き起こされているためである。これらの「ホットスポット」は温暖化が進むだけでなく、より成層化され、酸性度が上昇するとともに酸素含有量が低下し、これらのストレスが1つだけかかった場合よりもさらに海洋生物に与えるストレスを強めていく。

例えば海洋酸性化は、海水の温暖化の影響に対し生物種を脆弱にするおそれがあり、また CO₂ 濃度が上昇するとともに酸素レベルが低下すれば、呼吸を困難にする可能性もある。これらのストレス要因が同時に作用すれば、生物地球化学的サイクル、生態系、及び海洋が社会にもたらしている恩恵とこれらが果たしている役割を急速に脅かし、それにより人間の食品安全保障と、生産的な海洋生態系に依存する産業に対するリスクが高まるおそれがある。

さらに大気と海洋との間のガス交換が変化すれば、気候変動にも影響する。

これらの複数のストレス要因を受ける「ホットスポット」は、海洋生産活動が活発に行われ、現在発展途上諸国の非常に多くの漁業および自給漁業を支えている区域と一致する可能性が高いことが重要であり、問題でもある（地図参照）。

Nicolas Gruber, Phil. Trans. R. Soc. A (2011) 369, 1980-1996

(地図下)

UNEP 2010 年。UNEP 新たな問題：海洋酸性化による環境への影響：食品安全保障に対する脅威

海洋温暖化

過去数十年間の海洋温暖化は、「温室効果」による大気温上昇の直接的帰結である。この温暖化は海水面と大気との間のガス交換と、その運搬および深層水における貯蔵に影響する。暖かい海では、特に熱帯で栄養豊富な深層水と栄養分の少ない海洋表面との間の混合作用が減り、それが海の生産性に有害な影響を与えることで、漁業による安全保障を著しく損ねる。

海洋温暖化はまた、海洋生物の生理機能にも直接影響し、そのことにより、商業上非常に重要な種を含め、今は既存の条件に十分適応している種の地理的分布を変える可能性が高い。例えば温度上昇は、ほぼ間違いなく北大西洋のタラの減少の一因となっている。

海洋の熱含有量は莫大で、過去数十年間では地球系の温暖化によるエネルギーの最大 90%が海に貯蔵されている。過去 100 年間で海水面は既に平均約 0.7°C温暖化し、今世紀末までには一部の海域では上昇が 3°Cを超える可能性が高い。

今後の対策

影響緩和：海洋酸性化は主に CO₂ によって引き起こされるため、その排出量を削減するための強力な影響緩和対策が必要である。他の温室効果ガスも、それらのすべてが海洋温暖化、ひいては貧酸素化を引き起こしているため、大気中への蓄積を抑制するべきである。

適応：世界は既に大量の追加的温暖化、酸性化、および貧酸素化を起こしてしまっているため、たとえ大気中の CO₂ を今のレベルで維持できたとしても、適応戦略を考案する必要はある。鍵となる戦略は、例えば生物多様性を維持またはむしろ高めることと、多様な生息地のセットを保存することにより、地球系の強靱性をもつ可能性を最大限にすることを確実にすることである。

沿岸の富栄養化や有機物・無機物による汚染などの、その他の環境ストレス要因の削減も役に立つ。しかし変化が前例のないスピードで起こっていることを考えると、緩和を伴わない適応対策だけでは、影響の大部分を回避するのに十分とは考えにくい。

研究：これらの 3 つの互いに連動するストレス要因に関する知識と理解を深めるためには、研究が必要である。例えば海洋酸性化は最近では優先順位の高い研究課題となったが、貧酸素化に対する認識はそのレベルには達していない。

今本当に欠けているのは、同時に作用する 2 つまたは 3 つすべてのストレス要因の複合効果を調べるといふ、統合的視点である。既に複数の学問分野をまたいだ国際協力パートナーシップによる、詳細な実験室研究および地域規模から世界規模の監視およびモデリングを行う現地実験が始まっている。特に脆弱な発展途上国においては、研究能力を世界的に高める必要があることが重要である。生態系に対する影響と、私たち全員が受ける影響をよりよく理解するためには、物理、生命、化学、地球、社会、そして経済の各科学をまたいだ複合分野手法に従う必要性がますます高まっていく。これらの研究は、研究者と政策決定者の間の迅速な情報交換をしつつ、政策と関連づけながら行う必要がある。

海洋の貧酸素化

海洋の貧酸素化とは、海水に溶解した酸素 (O₂) の減少をいう。気候変動は複数通りの方法で、海洋中の酸素レベルに影響する場合がある。温度が上がると酸素の溶解度が下がるため、温度の高い海では確実に起こる。温暖化はまた、海洋の成層化を進めることで海洋表面の酸性化による海底方向への酸素供給を減らす可能性が高く、また流れや川からの栄養流出も貧酸素化に寄与する場合がある。

魚、海の哺乳類、およびその他の多くの海洋生物は活動するために十分な酸素を必要とするため、酸素濃度が下がるとストレスを受ける場合がある。低酸素濃度区域が広がると、それらの生物が住めなくなることもある。しかし低酸素に強い他の生物、特に微生物が繁茂してコミュニティのバランスが変わる可能性が高い。海洋の低酸素レベルは、メタンと亜酸化窒素がかかわるフィードバックの仕組みを変えることにより、大気中の温室効果ガスの量を増やすことが考えられる。

現在の海洋モデルは、来世紀いっばいで、世界の海洋の酸素インベントリが 1~7% 低下すると予測している。しかし酸素量の変化の規模と場所、およびこれらが生態に与える影響には、不確実な部分が非常に大きい。

海のストレスについて

温室効果ガス排出量を緊急かつ大幅に削減しなかった場合に海が今世紀受ける影響

	温暖化	酸性化	貧酸素化	3 要因すべての総合
ストレス要因	●物理的变化および生理学の面では比較的研究が尽くされた分野だが、生態系および生化学レベルでの研究は進んでいない。	●過去 10 年間に研究対象として台頭	●新たな問題、進まない研究	ほとんど研究なし
原因	●温室効果ガスの大気への排出量増加	●大気中の二酸化炭素排出量の増加 ●沿岸の富栄養化、メタン・ハイドレート、および工業排出物からの酸性ガスも、局地的に寄与している可能性	●温暖化による酸素溶解度の低下 ●混合の減少による海洋内部への酸素供給の減少 ●栄養豊富な陸地からの流入が局地的な酸素除去を促進	●大気への温室効果ガス、特に二酸化炭素の排出増
結果	●特に水面近くの海水温度上昇 ●成層化の強化による海水混合の減少 ●流出および海氷融解の増加は、北極圏の海域における成層化も引き起こす	●海洋の炭酸塩の化学的性質の前例のない急速な変化 ●海の大部分は殻を持った動物やサンゴにとって腐食性を有するようになり、2020 年までにはその影響が北極圏で始まる	●特に生産地域、および海洋内部で呼吸に必要な酸素が減少 ●酸素濃度が低いか非常に低い区域の拡大	●温暖化しているだけでなく、酸性度が高く酸素含有量の低い水の発生頻度の増加
直接的効果	●二酸化炭素の溶解性の低下 ●化学的および生物学的プロセスの加速 ●成層化が進んだ海域における、自然の栄養再供給の低下	●多くの種の、石灰化、成長、および繁殖率の低下 ●有機物質中の炭素と窒素の組成の変化	●動物プランクトン、魚、およびその他の酸素を使う生物の成長および活動の減少	●生物の生理学、エネルギー・バランス、殻の形成に対するダメージ：サンゴ礁の劣化など
影響	●サンゴの白化現象を含む、生物の生理機能に対するストレス ●種の大規模な移動 ●有機物の代謝回転の加速 ●特に暖水における、植物性プランクトンの栄養素ストレス ●漁業、沿岸保護、および観光への影響の可能性を伴う、生物多様性、食物網および生産性の変化	●幼生の時期を含む多くの種で、殻または骨格の成長阻害および生理学ストレス ●生物多様性と生態系、およびこれらによる恩恵や役割の変化 ●現在の主要漁業および水産養殖を支えている冷たい湧昇水は、特に脆弱である可能性が高い	●酸素を使用する生物に対するストレス ●低酸素区域における種の喪失リスク ●低酸素に強い生物、特に微生物への移行と、これらの区域における生態系の役割の担い手の喪失	●海洋酸性化は生物の熱に対する耐性を弱め、温暖化の影響を強める可能性がある ●複合作用によりさらに、食品安全保障と、健康で生産的な海洋生態系に依存する産業に対するリスクが上昇
気候に対する反応	●溶解効果による、海による二酸化炭素吸収量の減少 ●消費酸素の増加、二酸化炭素の生成、および深海に送られる酸素の減少 ●海洋内部への炭素送出手の減少の可能性 ●北極圏を除く生産性の低下	●化学的作用による、海の二酸化炭素吸収量の減少 ●海洋内部への炭素送出手の変化 ●有機物質の組成変化による、水柱全体の使用酸素の増加	●2 種類の温室効果ガス、つまりメタンと亜酸化窒素の生成増加	●海洋物理学、化学、および生態系に重大な変化 ●将来の気候変動の度合いを引き上げる、大気への複数の付加的フィードバックのリスク

意識すれば違いを生むことが可能

COP15 および COP16 における海洋酸性化に関する啓発に従い、プリマス海洋研究所、スクリップス海洋研究所（カリフォルニア大学サンディエゴ校）、OCEANA、欧州海洋酸性化対策プロジェクト（10 カ国から 32 のパートナー機関が参加）、英国海洋酸性化研究プログラム（英国から 27 のパートナー機関が参加）、変動する気候における地中海酸性化対策プログラム（主に地中海に面した 10 カ国から 16 のパートナー機関が参加）で構成する国際パートナーシップが、CO₂ の濃度が上昇した世界で今後数十年の間に起こる、海洋温暖化、酸性化、及び貧酸素化というストレス要因が海洋系に与える複合的かつ相互作用的な影響に対する懸念に注目している。

上記のいずれかのストレス要因についての相談をご希望の場合は、COP17 の私どもの席に来ていただくか、または電子メール（forinfo@pml.ac.uk）でご連絡ください。また「海洋酸性化：もう 1 つの CO₂ 問題」に焦点をあてた国連海洋併催イベント（12 月 8 日、18:30-21:00）に出席されるか、海洋酸性化を含む幅広い海洋問題を扱うオーシャンズ・デー（12 月 3 日、10:00-18:00）にもご参加ください。両イベントに関する詳細は、COP17 の際、私どもの席でご案内します。

パートナー

プリマス海洋研究所

Stephen de Mora 教授、電子メール：forinfo@pml.ac.uk、ウェブサイト：www.pml.ac.uk

スクリップス海洋研究所（カリフォルニア大学サンディエゴ校）

Robert Monroe 氏、電子メール：rmonroe@ucsd.edu、ウェブサイト：www.sio.ucsd.edu

OCEANA

Jacqueline Savitz 氏、電子メール：jsavitz@oceana.org、ウェブサイト：www.oceana.org

英国海洋酸性化研究プログラム

Carol Turley OBE 博士、電子メール：ct@pml.ac.uk、ウェブサイト：

www.oceanacidification.org.uk

欧州海洋酸性化対策プロジェクト

Jean-Pierre Gattuso 博士、電子メール：gattuso@obs-vlfr.fr、ウェブサイト：

<http://epoca-project.eu>

変動する気候における地中海酸性化対策プログラム

Patrizia Ziveri 博士、電子メール：patrizia.ziveri@uab.cat

ウェブサイト：<http://medsea-project.eu>