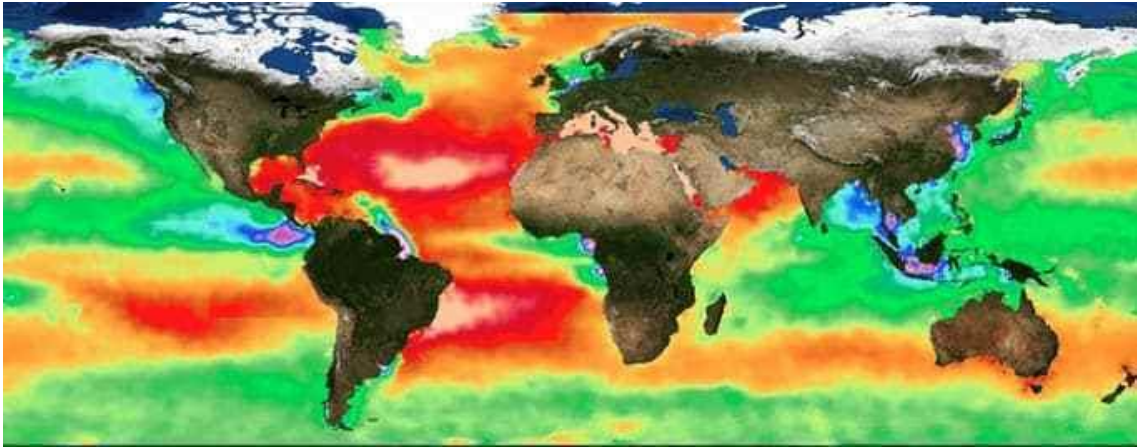


## 人新世の海洋の三重危機 第一部：海洋腐蝕

イアン・アンガス著 脇浜義明訳 原典：Climate & Capitalism, September 7, 2020



序：誇張なしに海洋は生命にとって重要である。海は地表の71%を覆い、世界の表層水の97%を占め、生物圏を規定して生命を可能にする生物地球化学的循環の中核である。呼吸酸素の半分が海洋生物から生成される。海洋には数百万種の動物が生息している。海産食物は30億人分の蛋白源で、何億人も漁業民の生活を支えている。

**海洋の代謝作用** — 何億年も続いている途切れることのない潮の流れやエネルギーと物質の交換 — が地球システムの中核部である。海洋学者シルヴィア・アールが書いているように、人類の運命と海洋の運命は密接に結びついている。「私たちの生命は生きている海洋 — 岩や水だけでなく、安定し弾力性がある多様な生命システム — に依存している。生きている海洋が地球化学の動力であり、気象を左右する。深海のヒトデから砂漠のヤマヨモギにいたるすべての生物の生命を維持する装置を提供している」とアール。

その生きている海洋が今や大きく乱れているのだ。大昔にも大きな変動があったが、小惑星衝突による恐竜絶滅以降こんな急激な変化はなかった。海洋を混乱させているのは、地球が最後の氷河期以降保っていた状態から大きく異なる生物圏へ向かっている変化 — 完新世から人新生へ変化 — しているからだ。「私たちは未知の海洋エコシステムの領域へと突入している…それが海洋、続いて人類に持つ意味は非常に大きい」とアール。

海洋と気候変動の関係の説明によく強調されるのは氷山溶解と海面上昇である。この二つは大問題である。グリーンランドだけで1年間に2800億メートルトンを超える氷が溶けている。これだけでも大きな変化が起きる。地球上の氷河溶解と水位上昇が続くと、2100年までに、6億3千万人以上の人が住んでいる沿岸地帯が水没するであろう。海水温度上昇のために台風やハリケーンが巨大で破壊的になり、1億人以上の居住地を襲う。地球温暖化がもたらす海面上昇の影響だけを見ても、早急に温室効果ガス排出を止めなければならないことが分かるだろう。

もっと長期的に地球システムを破壊する作用がある。生物地球化学者ニコラス・グルーバが海洋ストレス「三重苦」と呼んだもの、地球の炭素代謝の亀裂増大によって引き起こされるものだ。「数十年または数世紀先には、海洋の生物化学循環と生態系は少なくとも三種の要因からのストレスで乱れるであろう。気温上昇、海水酸性化、海水脱酸素化の3要因で、これらによって物理的、化学的、生物学的環境が大きく変質し、そのことが我々にはまだ十分分かっていない形で海洋の生物地球化学循環と生態系に大きな影響を与える…海水温度上昇、酸性化、脱酸素化は、人間的時間尺度では元へ戻らない。この3要因の主たる推進力 — CO<sub>2</sub>の大気圏排出 — がもたらした地球規模の変質は何千年とは言わないまでも何百年と続くからである」と、グルーバは書いている。この3要素が過去にも起きて動植物が大量死滅したことがあったので、海洋生物学者たちはこの海水温上昇、酸性化、脱酸素化を「死のトリオ」と呼んでいる。

本論では「死のトリオ」を一つずつ取り上げて考察するが、それらは同一原因から発し、密接に絡み合っていて、相互補強し合っていることを心に留めることが大切だ。

## 第一部

### 腐蝕する海

*海洋酸性化は…ゆっくり進行しているが次第に加速し、その影響はこれまで起こった重油海洋流出事故すべてを合計した被害より大きい* — シルヴィア・アール

海水酸性化は、地球温暖化と並んで、双子の悪魔と呼ばれる。どちらも大気中 CO<sub>2</sub>の急増が原因で生じ、どちらも地球の生命維持システムを破壊する。

大気と海洋の間には絶えざる気体分子の交換がある。大気中 CO<sub>2</sub>は海水に、海水中 CO<sub>2</sub>は泡となって大気に溶け込む。最近までこの交換は均衡していて、大気中の CO<sub>2</sub>も海水中の CO<sub>2</sub>も数十万年間量的に一定であった。しかし、現在大気中 CO<sub>2</sub>が50%も増え、交換均衡が崩れている。海中に入る CO<sub>2</sub>の方が海中から出る CO<sub>2</sub>よりも多くなったのだ。これだけをとると、気象にとってよいことであった。海が人為的 CO<sub>2</sub>排出の25%と太陽熱の90%を吸収してくれるからだ。この吸収がなかったら、地球温暖化はもうとっくに壊滅的水準に達していたであろう。レイチェル・カーソンが何年も前に書いたように、「地球にとって、海は大いなる調整者、最大の気温安定化装置である…海がなければ、世界は想像を絶する猛暑となるであろう。」

しかし、これには代償が伴う。CO<sub>2</sub>が付加されたことで海洋の化学が変化しているのだ。 $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$  (水プラス二酸化炭素は炭酸になる、つまり CO<sub>2</sub>増加で海水が酸性化するのだ) 20世紀に海水の pH 値<sup>1</sup>が8.2から8.1へと0.1度低下した。0.1度といえば大したことがないように見えるが、pH 尺度は対数で表示されるから、0.1低下は海水が約30%も酸性化したことを意味する。この値は地球全体の平均値である。概して海の上層部250メートルは深海より酸性度が強く、CO<sub>2</sub>は冷たい水に溶け込み易いから

ら、地理的には高緯度地域の海水の方が酸性度が高い。

現在の酸性化率は過去5500万年間の自然的変化の百倍の速さである。これが続けば、海水酸性化は今世紀末に産業革命前の水準の3倍になるであろう。

## 影響

驚くべきことに、CO<sub>2</sub>放出に関する科学的懸念は1950年代から始まっていたのに、海水酸性化に注意が払われ始めたのは最近になってからである。初めて取り上げられたのは2003年9月の王立学会レポートにおいてであった。王立学会レポートは、海水酸性化はすぐに「自然変動の枠を超えて、おそらく過去数十万年、あるいはそれ以上の長きにわたって経験しなかったような水準に達する」と結論付けた。その警鐘が引き金となって多くの研究が出てきて、海水酸性化を正確に数値化したり、その影響を実際に調査・測定した。まだ科学的知見の間にはかなりのズレがあるが、海水酸化が地球システム安定を脅かすこと、今や6度目の大量絶滅へ向かう大危機である点ではほぼ一致している。

「酸性化」という言葉は、公式には正しいのだが、誤解を招く恐れがある。というのは、海水は基本的ややアルカリ性で、現在生じている酸性化はそのアルカリ性がほんの少し減るだけのことであるからだ。極端なケースを見ても、海水1000リットルに含まれる炭酸はグラス一杯のコカ・コーラよりも少ない。

しかし、大気中CO<sub>2</sub>濃度が0.041上昇するだけで世界的気候変動が生じるように、海水中にCO<sub>2</sub>が僅かに増えるだけで海洋有機生物にとって大きな脅威となる。pH値低下で海洋動植物の生息環境が大きく変化した。さらに低下すると、死滅の危機となる。

海水酸性化がもたらす害の研究でよく取り上げられているのは、海水から炭酸塩を接取して骨格や殻を生成する生物、石灰化生物である。海水の中では炭酸が周囲の炭酸塩とすぐに化合するので、骨格や殻の形成が困難になる。炭酸塩が一定以下になった海水は腐蝕し、すでに出来上がった骨格や殻が溶け始める。

海洋保護活動家で生物学者のカラム・ロバーツが書いたように、pH値低下でサンゴ礁が破滅している。CO<sub>2</sub>排出を大幅に減らさないと、もっと悪い事態になる。「オーストラリアのグレート・バリア・リーフのサンゴ礁がこの25年間で目に見えて弱体化し、今や以前と比べて炭酸塩が14%も少なくなっている…このサンゴ骨格弱化的ために海水酸性化は『サンゴの骨粗しょう症』と呼ばれている。大気中CO<sub>2</sub>が現水準の2倍になれば、世界中のサンゴ礁全部が成長停止から死滅へと移行することになる。炭酸塩の浸食と崩壊が炭酸塩生成より早くなるので、文字通りサンゴが崩れ、溶解するのだ。懸念されるのは、例え気候変動に関する政府間パネル(IPCC)が薦める低排出案が実施されても、大気中CO<sub>2</sub>濃度2倍が2100年までに実際に起きることが確実なことだ」とロバーツ。魚類の約25%が餌や捕食生物から逃れる隠れ家としてサンゴ礁に依存しているので、ロバーツが言う変化が起きると海洋の多様性が大きく崩れるだろう。

サンゴの他に海水酸性化の打撃を受ける石灰化生物はカキ、イガイ、カニ、ヒトデなど。

とりわけ心配なのは食物連鎖の底辺に位置する殻をもった小生物である。その数が減少すれば多くの魚類や海洋ほ乳類の死滅につながる。例えば；

\*海の至るところにおいて、直接的間接的に様々な生物の餌となっている単細胞有孔虫。現在の有孔虫と150年前にチャレンジャー号探検航海<sup>2</sup>が収集した有孔虫サンプルと比較した研究がある。それによると「現在の有孔虫は例外なく過去の有孔虫より殻の厚みが76%薄くなっている。」

\*主として冷水域に生息する豆粒大の翼足類。2012年のネイチャー・ジオサイエンス誌に載った論文は、南極近海で収集した翼足類が「最高度の殻溶解」に陥っていることを記述している。翼足類は小さなオキアミから大きな鯨にいたるまでの海洋生物の栄養源であるので、翼足類損傷は極海洋の生態系に大きな影響を与える。

殻や骨格生成障害が海水酸性化の最悪結果だとはいえない。他にある。すべての有機体の代謝システムが順調に働くのは有機体内液の pH 値が一定の限度に保たれているときである。魚類など海洋動物の血液 pH 値は周囲の海水に合わせるので、海水酸性化は致命的になる。種によっては血液 pH 値の僅かな変化で重大な病気、生殖機能障害、時には死にいたることもある。海水酸性化のために今世紀中に絶滅する種があることを予測した研究が増えている。その影響で漁業崩壊も心配される。

酸性化で魚類がどうなるかは長期的な研究で明らかになるだろうが、確かなことを座して待っているのは手遅れになるだけである。いったん酸性化が進行すればそれが容易に消えないからである。最近の研究は「いったん海洋が高濃度 CO<sub>2</sub>に汚染されると、人間の時間尺度で元へ戻すことは事実上不可能である」と断じている。かりに何か未知の(多分あり得ない)地球工学的システムが働いて大気中 CO<sub>2</sub>が産業革命前の水準へ戻ったとしても、人為的に放出された CO<sub>2</sub>遺産がいつまでも海洋に残り続けるであろう。

## 警告無視

2008年に26か国から155人の科学者がモナコにあつまり、「最近の海洋化学の急激な変化と、それがこの先数十年間のうちに海洋生物、食物網、生物多様性、漁業に与える深刻な影響」に関して、「科学的に発見された否定できない事実」に基づいて、モナコ宣言を発表した。「大気中 CO<sub>2</sub>濃度上昇によって促進される広範な厳しい被害を避けるために、我々は政策立案者たちに、早急に行動して大気中 CO<sub>2</sub>を安全水準に安定させる計画を立てることを要求する。これは危険な気候変動を避けるばかりでなく、同じように危険な海洋酸性化を防ぐためもある…政策立案者たちは海洋酸性化が周辺的事象ではないことを理解しなければならない。それは温暖化と同様 CO<sub>2</sub>問題が産み出した世界的問題である。化石燃料依存生活の原因で生じた気候変動と海水酸性化という二大脅威に立ち向かうことは痕跡の課題である。」

2009年29人の地球システム科学者が海水酸性化を九つの惑星限界値 — 世界的レベルの有害または破壊的環境変化を避けるために人類が尊重し保たなければ絶対的な地球

の前提条件 — の一つと定義した。

2013年に、常に控えめな IPCC は、CO<sub>2</sub> 接取が「すべての海域、とりわけ高緯度海域で、海洋の炭酸塩化学を根本的に変化させている」ことを強く表現した。「温暖化、pH 値と炭酸イオンの減少は漁と養殖の生産性や社会生活の安定にとって脅威となる。海洋の生理的過程（骨格生成、ガス交換、再生産、成長、神経機能）や生態系過程（基礎的生産力、サンゴ形成）が直接・間接的に脅威的影響を受ける。」

IPCC が 2019 年に発表した「海洋と雪氷圏の気候変動に関する特別報告」は「海洋の炭素取り込み続行とともに海洋酸性化が続行」しており、「海面近くの海水の 95% 以上がすでにその影響を受けている可能性」があり、「生態系の要石（例えばサンゴ礁）の生存が危機に瀕している」と結論づけている。

酸性化が地球上で最大のエコシステムにとって最大の脅威となっているという圧倒的な科学的証拠があるにもかかわらず、世界一豊かな国の政府は沈黙したままである。パリ協定では「海洋」という言葉が一度使われたが、「酸性化」という言葉はなかった。次の気候変動に関する国連会議は 2021 年 12 月まで延期となったが、そこで海洋酸性化問題が取り上げられるかどうかは不明である。

---

#### 訳注

- 1 液体の酸性・アルカリ性度を対数として表す値。
- 2 1872～76年に海底や海洋生物や海水温度などを調査した探検隊。