



**OCEAN
STEWARDSHIP
COALITION**



プランクトン・ マニフェスト

プランクトンを活用した解決策で
地球のトリプル・クライシスを
乗り越えるための提言
(生物多様性、気候変動、環境汚染)



プランクトン認知と スチュワードシップを呼びかける 国連グローバル・コンパクトの 海洋スチュワードシップ連合 によるプランクトン・マニフェスト

なぜプランクトンなのか？プランクトンは、炭素や余分な栄養分を吸収し、海洋食物網を支えるなど、惑星レベルの重要な生態系サービスを提供しています。

問題は何か？絶滅の危機、認識不足、データ不足

その可能性は？新しいテクノロジーと既存のデータセットを活用し、地球上の生命を支えるプランクトンを活用した解決策の開発です。

何が必要なのか？グローバル・オーシャン・コモンズのグローバル・スチュワードシップ

アクション：マニフェストと10の勧告に署名します

陸域生態系は何世紀にもわたって研究され、その生物多様性、機能、利用の機会、21世紀の地球変動に直面した場合の脆弱性などが詳細に理解されてきました。しかし、水で覆われた71%の地球表面に生息し、何十億もの人々に食料を供給し、仕事を与えてきた生物に同じことが言えるわけではありません。

プランクトンは水中を漂う多様な生物の集合体ですが、流れに逆らって活発に泳ぐことはできません。ほぼすべての水生生態系は、地球上の光合成の約半分を占めるプランクトンによって支えられています。地球の長い歴史において、プランクトンは私たちのような複雑な多細胞生物を養うために必要な大気中の酸素を持つ惑星へと変化させる役割を担っていました。今日でもプランクトンは外洋のバイオマスの90%を占め、**食物網の第一階層として海洋生態系と地球の健康に重要な役割を果たしており**、他の栄養素と同様に**地球規模の炭素の循環に不可欠な存在**となっています。プランクトンはまた、**食品、医療、バイオ産業における技術革新のための未開発の機会を提供します。**

このように、プランクトンは、**生物多様性、気候変動、汚染という三重の惑星危機に対処するための、非常に強力なソリューション**なのです。それにもかかわらず、**プランクトンの地球規模での重要性はほとんど無視されたままであり¹、ブルーエコノミー、ブルーフード、ブルーカーボンに関する現在進行中の世界的な議論から基本的に外されています。**



その一方で、水生生態系が人間活動の猛威にどのように反応するかという点で、水生生態系は過小評価されている脆弱性も示しています。私たちがプランクトンに対してあまり意識を向けていないのは、その驚くべき多様性、複雑さ、そして複雑な環境において目に見えないという性質が大きく起因しています。しかしこの10年間で、新しいテクノロジー（DNA配列決定、AI、衛星画像など）が登場し、既存の時系列データセットと併用することで、私たちの最も差し迫った課題への取り組みを支援するために、プランクトンを評価し、理解し、場合によっては活用する能力において、かつてない段階的変化をもたらしています。

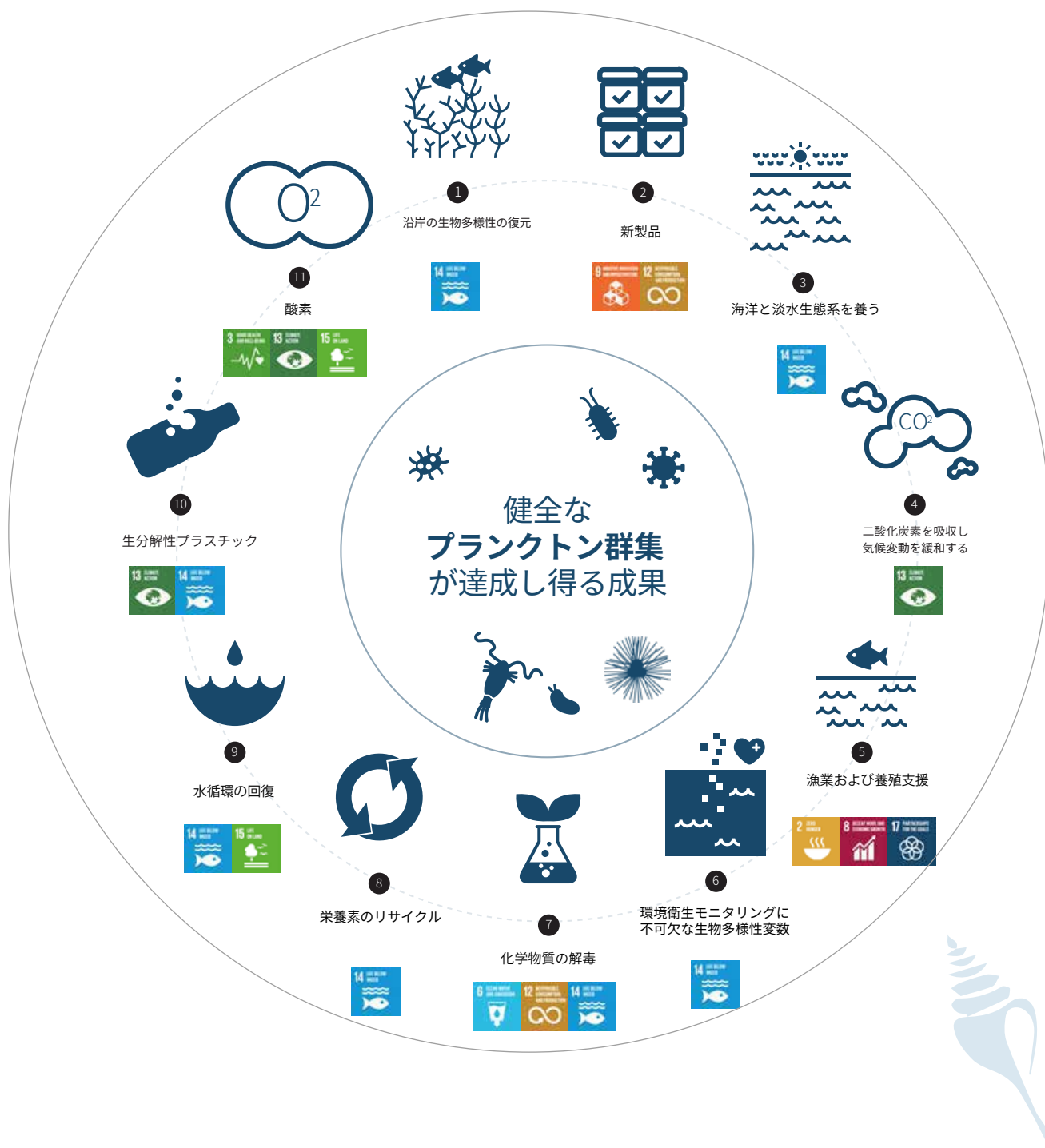
10の具体的な提案を通して、このプランクトン・マニフェストは次のことを呼びかけています。

- 海洋および淡水プランクトンに関する理解を深め、よりよい協力関係を築き、研究を増やすことで、その多様な可能性をよりよく活用し、生態系保護を促進するための行動を促す。
- プランクトンの生態系と、それが支える無数の種をよりよく理解し、利用し、保護するための教育に取り組む。
- プランクトンを国際的な議論（国家政策と貢献、気候変動COP、生物多様性COP、国家管轄権外区域における海洋生物多様性、国際食糧機関の議論、その他の国連プログラムなど）に参加させ、人々に食糧と雇用を提供しながら、地球規模の生物多様性、気候、環境の再生に貢献するプログラムを開発し、目標を定め、解決策を活性化する。

この文書は、以下の方々からの賛同を得ています。

- **Sanda Ojiambo**（国連事務次長補、国連グローバル・コンパクト）
- **Olivier Poivre d'Arvor**
（極地・海洋政策、第3回国連海洋会議のためのマクロン大統領特使）
- **Peter Thomson**（国連事務総長海洋特使）

海洋プランクトンを活用した、地球上の生命を支えるための解決策



I.はじめに

A. マニフェストの必要性

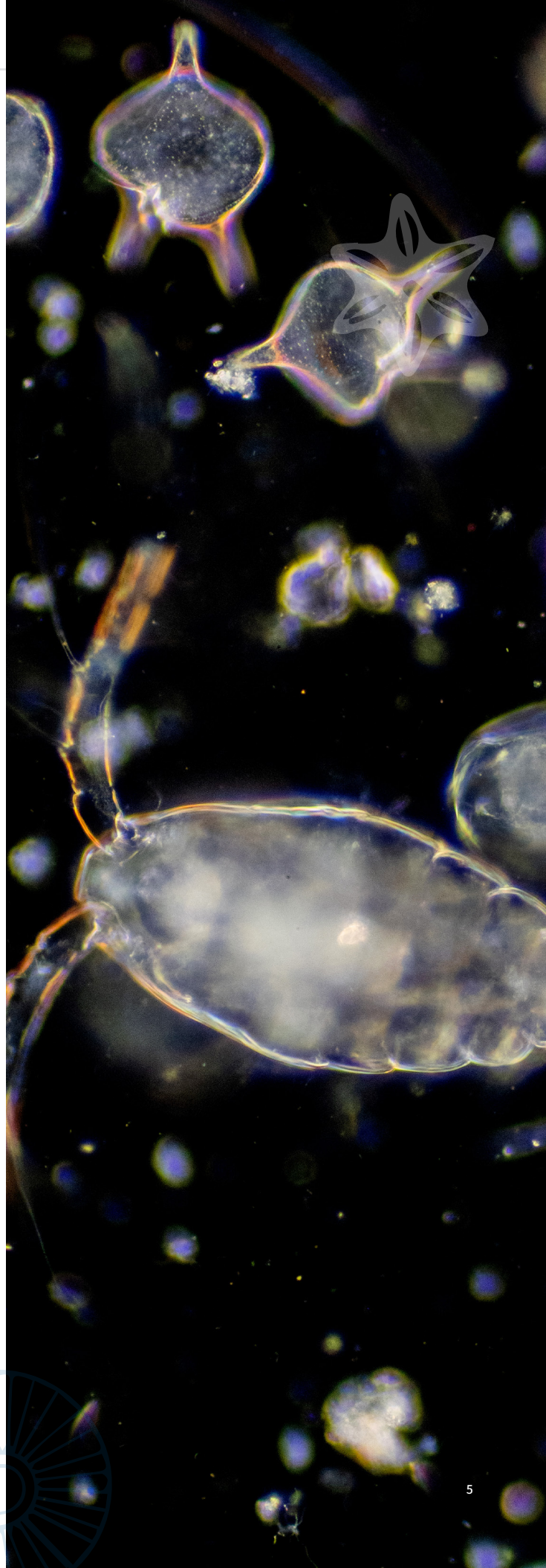
プランクトンは、その類まれな生物多様性と地球生態系における重要な役割にもかかわらず（下記の「プランクトンの本質」を参照）、ブルーエコノミー、ブルーフード、ブルーカーボン、生物多様性国家戦略、COPに関連する現在進行中の**国際的な議論**からは、ほとんど完全に姿を消したままです。水生科学では一般的に、哺乳類、魚類、サンゴ、最近では海藻など、**目に見え**、古くから「**カリスマ的**」とみなされてきた生物、あるいは水を媒介とする病原体に関する健康問題に**焦点が当てられている**ため、主要な**公的機関**、**研究プログラム**、**国際NGO**が主導するプランクトン関連の世界的プログラムはほとんどありません。プランクトンへの注目が不足しているのは、知識のギャップが大きいこと、市場での応用が限られていること、プランクトンの生態系が複雑であることなどが一因であると考えられます。

この「**プランクトン・マニフェスト**」は、**気候変動**、**汚染**、**生物多様性の損失**という**三重の惑星危機**に取り組む戦略の開発と、SDG目標14「海の豊かさを守ろう」だけに留まらない多数の**国連持続可能な開発目標**の達成のために、これらの生物のより包括的な理解がいかに貢献できるかを概説したものです。本書では、私たちの地球上のほとんど目に見えない生態系をサポートするための**ビジョン**を定義し、**官民両セクター**にとっての**機会と利益**を探り、プランクトンに関する世界的な対策への**課題と障壁**について概説しています。

B. 対象者と貢献者

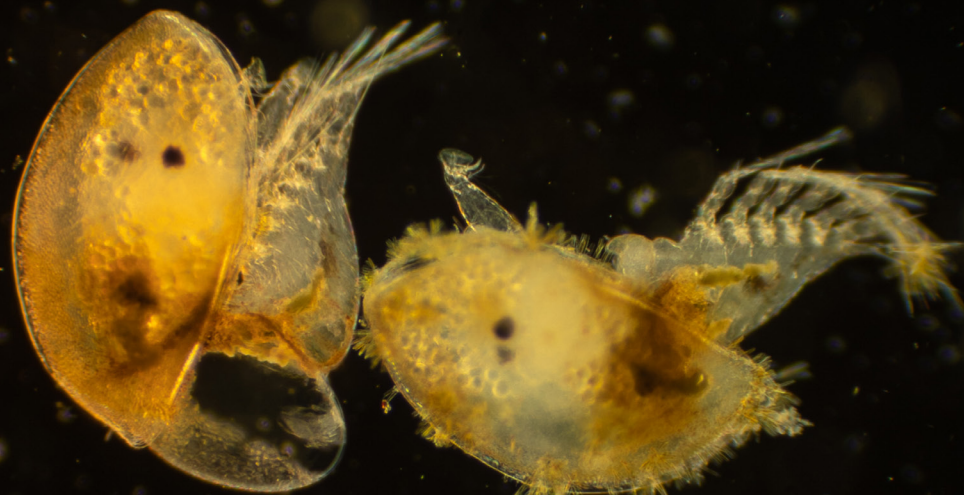
プランクトン・マニフェストは、あらゆる**政策立案者の行動のきっかけ**となることを目的としています。**政府**、**国連機関**、**NGO**、**多国間金融機関**、**海洋団体**、**民間企業**にまたがる国際社会に対して、簡潔でありながら包括的で、科学的根拠に基づいたメッセージを発信することを目指しています。

このマニフェストの作成は、国連グローバル・コンパクトの**海洋スチュワードシップ連合**（Ocean Stewardship Coalition）が創始し、Vincent Doumeizel氏が「海藻マニフェスト」の成功体験に基づき主導しました。これは、**最も著名なプランクトンの専門家**たちが初めて一堂に会した、多様でグローバルなコミュニティによる共同研究の成果です。選ばれたコア編集チームは、学界、ビジネス界、国際的な専門機関の出身者で構成されています。本書は、参加者からのインプット、グループ討論、関連する科学的報告書や資料を総合したものです。**内容は、必ずしもすべての参加団体および引用団体の立場を反映しているとは限りません。**



コア編集チーム

姓/名	所属	国名	姓/名	所属	国名
Abreu André	タラ・オセアン財団	フランス	Johns David	CPR Survey、 海洋生物学協会	英国
Biswas Haimanti	CSIR国立海洋学研 究所	インド	Knoll Andrew	ハーバード大学	米国
Bonnefond Hubert	DareWin Evolution - フランス国立情報 学自動制御研究所 (INRIA)	フランス	Lin Xin	アモイ大学	中国
Bowler Chris	高等師範学校 (ENS)、 フランス国立科学研 究センター (CNRS)	フランス	Lopes Rubens M.	サンパウロ大学	ブラジル
Cadoret Jean-Paul	Algama / EABA	フランス	Makhalanyane Thulani	ステレンボッシュ 大学	南アフリカ
Casati Roberto	フランス国立科学研 究センター (CNRS) / 社会科学高等研究院 (EHESS)	フランス	McQuatters-Gollop Abigail	プリマス大学	英国
Cawley Grace	Scripps	米国	Meyers Bettina	アルフレッドウェゲ ナー極地海洋研究所	ドイツ
Cumming Jane Fiona	Article 13	英国	Milo Ron	ワイツマン科学研 究所	イスラエル
Dai Minhan	アモイ大学	中国	Mitra Aditee	カーディフ大学	英国
De Vargas Colomban	フランス国立科学研 究センター (CNRS)	フランス	緒方博之	京都大学	日本
Duarte Carlos	アブドラ王立科学技 術大学 (KAUST)	サウジ アラビア	Probert Ian	ソルボンヌ大学	フランス
Falkowski Paul	ラトガース大学	米国	Rocke Emma	ケープタウン大学	南アフリカ
Fernandez Camila	フランス国立科学研 究センター (CNRS)、 コンセプション大学	チリ、フランス	Sow Bamol Ali	ジガンショール大学	セネガル
Flynn Kevin	プリマス海洋研究所	英国	Stulgis Maris	海事・漁業総局局長	欧州委員会
Guidi Lionel	フランス国立科学研 究センター (CNRS)	フランス	竹山春子	早稲田大学	日本
Hallegraeff Gustaaf	タスマニア大学	オーストラリア	Tett Paul	スコットランド海洋 科学協会 (SAMS)	英国
濱崎 恒二	東京大学	日本	Thukral Monica	スクリップス海洋研 究所	米国
Hoffmann Pierre-Alain	Kyanos	フランス	Tiffer-Sotomayor Ruth	世界銀行	コスタリカ
Iudicone Daniele	ナポリ動物学研究所	イタリア	Vincent Flora	欧州分子生物学研究 所 (EMBL)	ドイツ
			Wang Guihua Samuel	アモイ大学	中国



II.地球の持続を支えるプランクトン

プランクトンの10の重要事項 プランクトンに関する驚くべき事実



地球の酸素工場

海洋の浮遊性一次生産者（植物プランクトンと混合プランクトン）は、陸上植物と同じ量の光合成を行っており、私たちの惑星での酸素とバイオマスの約半分の生産を担っています。



地球改造

地球上に生命が誕生して以来、プランクトンの生物学的な活動は、地球の大気、海洋、岩石圏を変え、プランクトンは今でも惑星の主要な生物地球化学サイクルの主要な担い手です。水循環に貢献し、陸上のマメ科植物と同じ量の海洋の窒素を固定します。沈殿したプランクトンはアルプス山脈とギザの大ピラミッドやアヤ・ソフィアの建築資材を形成しました...学校で使うチョークもそうです！



炭素回収の達人たち

プランクトンは海洋における重要な一次生産者であり、海水中の溶存CO2をバイオマスに変え、これは事実上すべての海洋生物を支えています。プランクトンは300億から500億メートルトンの炭素を毎年固定します。このバイオマスの一部が沈んで海底堆積物に埋もれ、長期間規模で炭素を分離させ、それによって気候調節に貢献します。長期にわたり、この過程で石油が蓄積され、現在、新しい石油ができるよりも100万倍早く人間によって燃やされています。



進化における主な役割

地球の歴史の初期から、プランクトンの組成と生産性の変化は、今日生息している動物の主な群衆が最初に多様化した5億4千万〜5億1千万年前の古代カンブリア爆発を含む、動物の進化的革新を促してきました。プランクトン領域は、生物多様性という点で地球上で最も豊かな生態系のひとつです。



小さくても力強い

プランクトンは外洋のバイオマスの約90%を占めています。1リットルの海水には、何兆ものプランクトン生命体が存在します。世界中の海に生息する微細藻類をすべて並べると、7cm×30cmの板が地球から月まで38万6000kmも伸びてしまうほどになるでしょう（Bob Anderson, Bigelow Algal Culture Collection, 米国）。カイアシ類（小型の浮遊性甲殻類）は動物プランクトンの中で最も数が多く、地球上のどの多細胞動物よりも数が上回っています。彼らは毎晩、地球上で最大級の動物の移動をしているのです。



卓越した多様性

プランクトンとは、水流に逆らって移動することができない生物のことで、一滴の水に1000もの個体が存在します。多くのプランクトンのグループには、陸上生態学上単純な類似性はありません。地球最大のバイオームは100nm以下の微細なものから地球上で最も長い動物で、60mを超えるクダクラゲもいます。最も小さなプランクトンの大きさがアリと同じ大きさであるとする、最も大きなプランクトンは英国国土と同じ長さになります。



宇宙からも見ることができる

プランクトンの大量増殖（「ブルーム」）は海面の数千平方キロメートルに及ぶことがあり、これは宇宙からも見ることができるほどのです。数値的モデルを使用することで、衛星画像を使って外層でのプランクトンの組成とその質量を推定することができます。NASAとESAは、最近打ち上げられたPACE衛星などの海洋リモートセンシングのための主要な技術革新の開発を続けています。



生物多様性の守護神

プランクトン群集は海洋食物網を支えており、つまり、プランクトンが破壊されることにより漁業、養殖業、観光業に影響を与えます。例えば、有害毒藻類ブルーム（HABs）の増加が与える影響は米国では年間70億ドルに上るだろうと推定されています。



限られた理解

プランクトンは水柱全体に生息しており、その深さは最大11kmにも及び、そのほとんどは肉眼で見ることができず、寿命は非常に短命です（数時間から数週間）。プランクトン領域の大部分は、未だに調査されておらず、科学は主に限られた数の比較的目立ちやすく、かつ手の届きやすい浮遊生物に焦点を当ててきました。私たちは未だ、地球上のプランクトン群集の構成、分布、動態について一貫した、十分な情報に基づいた全体像を把握できていません。



プランクトンを活用した解決策 を可能にする新しいテクノロジー

16世紀には目に見える世界の最初の科学的な探求が行われました。しかし、ほとんど目に見えないプランクトンの世界の詳細な探求は、21世紀になった今ようやく始まりました。過去10年から20年の間、新技術（ハイスループット環境DNAシーケンシング、自動撮像システム、リモートセンシングなど）と組み合わせた、熱心な海洋探検活動により、プランクトンの生物多様性とその可能性がこれまで考えられていたよりもおそらく桁違いに大きいたらうという発見に繋がりました。（1億5000万以上の海洋遺伝子の発見を含む）

「生態系はコンピューターのようなもので、ある種をファイルのように削除することはできるが、プランクトンを削除することはコンピューターの奥深い部分をいじっているようなものだ。間違いなくクラッシュするだろう...。コンピューターとの違いは、我々の惑星にはバックアップがないということだ。」

-Federico M. Ibarbalz、海洋大気研究センター（CIMA/CONICET-UBA）、ブエノスアイレス、アルゼンチン

さまざまな種類のプランクトン

「プランクトン」という言葉は、**漂流**を意味するギリシャ語のプランクトスに由来します。プランクトンは水柱に浮遊して生活していますが、**水流に逆らって泳ぐことはできない**ため、水流に沿って漂っています。プランクトン群集には、「生命の木」全体から集まった、桁外れに多様な生物が生息しており、さまざまな大きさで存在しています^{2,3}。**海洋生態系の生物生産は、主に単細胞の光合成生物**（微細藻類⁴や光合成細菌を含む"植物プランクトン"）によって維持されており、彼らは太陽光の表層に取り込まれた**光エネルギー**、栄養分、 CO_2 を利用して**バイオマス**を生成しています。プランクトン群集には、**多種多様な動物プランクトン**⁵が含まれ、**単細胞の捕食者**、小型**甲殻類**（例えば「オキアミ」）のような**多細胞動物**、**クラゲ**のような大型生物など、多様な系統で構成されています。

海水1リットルあたり**10億個**にも達するバクテリアと古細菌（「バクテリオプランクトン」）は、粒子状有機物や**溶存有機物**（植物プランクトンのデトリタスなど）を分解することでエネルギーを得て、**栄養塩を再生し**、生態系の**バランスを回復**します。

最後に、プランクトン群集には、**主に他の生物に感染し**、プランクトン群集の動態に劇的な影響を与える**ウイルス**（「ビリオプランクトン」）が異常な濃度（海水1リットルあたり最大**100億個**）で含まれています。**菌類も浮遊性生物の一部**ですが、それらに関する知識は非常に限られています。

プランクトンの分類学と分類は常に進化しており、科学的なコンセンサスを得るには至っていません。最近のプランクトン科学の進歩は、海洋プランクトンの複雑さが既存の定義と厳密には一致しないことを示しています。例えば、**原生生物は極めて重要であり**³、そのほとんどが単細胞生物です。原生生物は、植物プランクトンや動物プランクトンのほか、**混合プランクトン**（光合成と捕食を組み合わせた非常に豊富な種類のプランクトン）を構成しています²。プランクトン性生物の多様性は、**海洋バイオマスへの寄与に比例**することが図1に示されています。

外洋のバイオマス プランクトンの分類

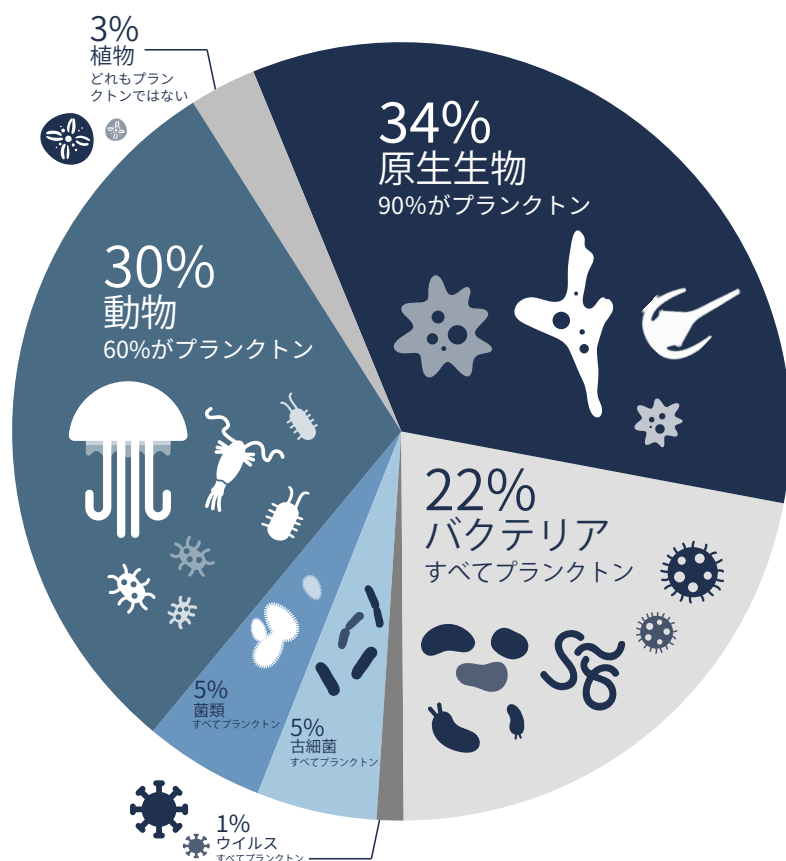


図1：海洋バイオマス全体に対する
プランクトンの貢献⁶

これらの数字は、海洋バイオマス全体に対するプランクトンの寄与を示しています。

人間活動がプランクトンに及ぼす影響

人間活動は、海洋の物理的性質（混合や水温など）や化学的性質（酸性化、富栄養化、化学汚染など）を変化させることで、プランクトン群集に深刻な影響を与えています。総合的に見ると、このような人為的な変化は、プランクトンの生物多様性だけでなく、プランクトンに依存する膨大な海洋生物をも**危険にさらします**。これは、こうした影響を緩和し、海洋生物多様性を保全するための**世界規模の協調的取り組み**を緊急に実施する必要性を浮き彫りにしています。

海洋におけるプランクトンの多様な役割の概要：

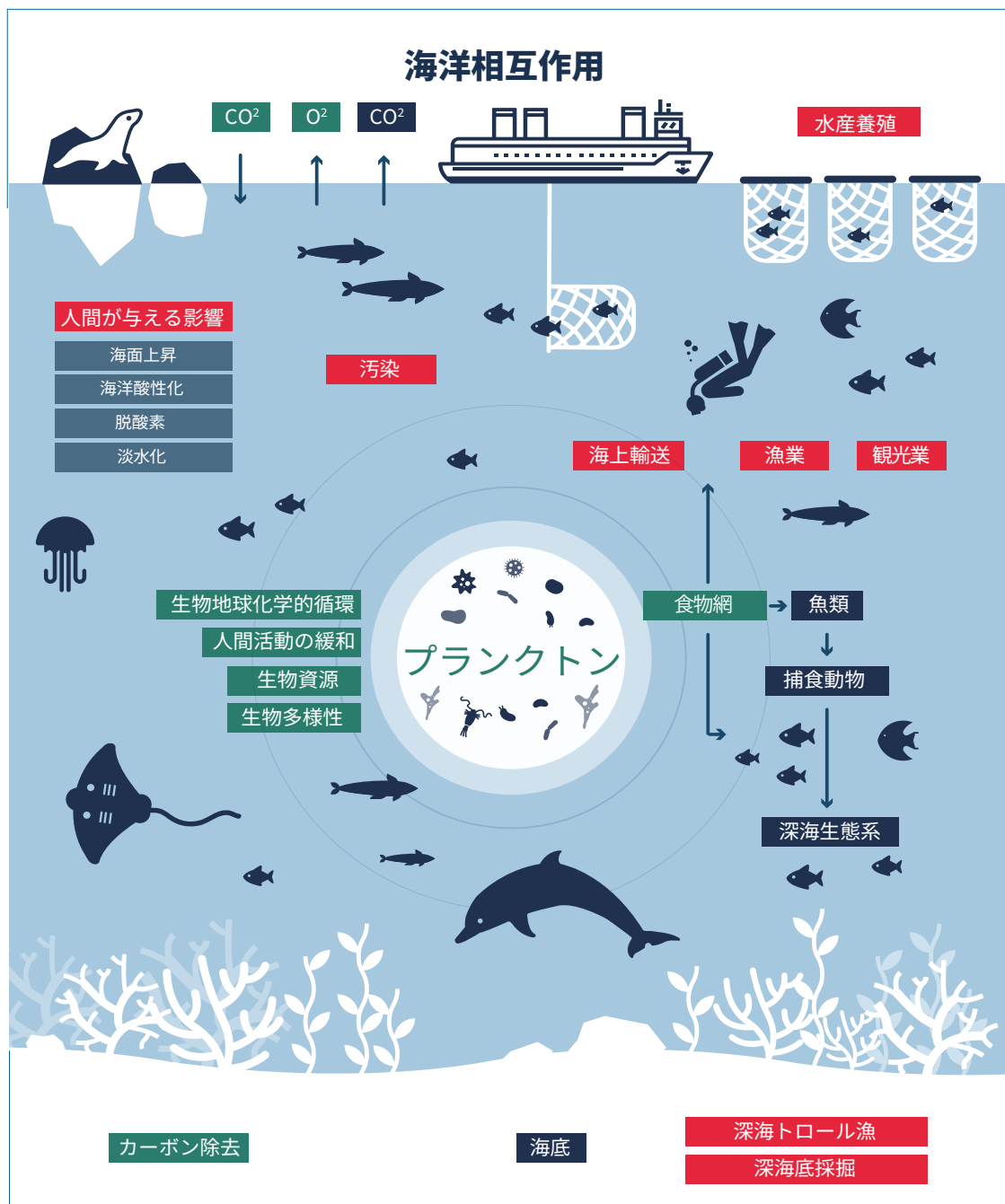


図2：海洋プランクトンの役割

海洋プランクトン（中央）は、**緑色**で示された不可欠な生態系の役割を提供しています。人間が海洋に与える影響は**赤**で示されています。その他の海洋環境は**青**で示されています。

画像作成：RayneScheepers、TabeaRauscher (EMBL)、Chris Bowler (CNRS)

出典：Priorities for ocean microbiome research, <https://doi.org/10.1038/s41564-022-01145-5>.

人間活動は、プランクトンの存在量、バイオマス、分布、群集組成に影響を与えます。

- 1) 陸上農業からの**栄養塩の流出**が富栄養化をもたらし、有害有毒藻類ブルーム（HABs）⁷を刺激する
- 2) 化学物質、石油、プラスチックによる**汚染**が海洋生態系を破壊し、混乱させる
- 3) 化石燃料の燃焼が**海洋の温暖化と酸性化**をもたらす
- 4) インフラ（ダム、ラグーン、風力タービン、海洋インフラ）が流体力学的流れ、塩分、光、生息地、栄養塩の利用可能性に影響を与える
- 5) **海洋活動**（船舶運航、バラスト水など）が生態系を破壊し、外来プランクトン種の流入やパンデミックの拡大をもたらす
- 6) 有毒プランクトン（藍藻）や害虫（特に蚊の幼虫）の浮遊幼生の増殖を介し、地域住民や家畜が**飲料水**を利用する
- 7) **抗生物質**の使用拡大により、廃水処理施設における抗生物質耐性菌が増え、特にグローバル・サウスでスーパーバグが増殖している⁸

プランクトンの生物多様性が変化していることは間違いありませんが、世界のプランクトンのバイオマスが減少しているかどうかの議論は、多くの専門家がそう疑っているにもかかわらず、未解決のままです。人間活動によるプランクトン生態系へのこうした継続的な混乱は、現在私たちが知っている海洋生物に必然的に大きな影響⁹を及ぼし、おそらく予期せぬ、そして潜在的に劇的な結果をもたらすでしょう。

新たな（青い）地平線を開く新技術

古代の航海士たちは、外洋に豊富な生物がいることは認めていましたが、目に見える植物がどこにも見当たらなかったため、その食料源については検討がつきませんでした。顕微鏡が発明された17世紀後半になって初めて、科学者たちは、大型の海洋生物が、もともとは「微小生物」と呼ばれていた微細な生物（現在はプランクトンと呼ばれている）によって養われていることに気づきました。しかし、生産性、必須元素の循環、地球の気候に与える短期的・長期的影響など、プランクトン生態系の真の多様性と世界的重要性を理解できるようになったのは、サンプリングプラットフォームの改良、高度な光学顕微鏡や電子顕微鏡、ハイスループットDNAシーケンサー、宇宙からのリモートセンシング、人工知能（AI）などの技術開発が進んだここ数十年のことです¹⁰。それにもかかわらず、新しい知識は、漁業管理、環境衛生、養殖、バイオテクノロジーなど、多くの分野にまだ統合されていません。人間活動によるプランクトンへの影響に対処するための新技術や、産業界からのプランクトン応用への新たな関心によってもたらされる可能性を十分に活用するためには、**協調的な議論と世界的な対策**が必要です。進歩は、細心の注意を払いながら科学によって推進されるべきですが、技術開発は、プランクトン関連の問題を理解し行動する私たちの能力にとってゲームチェンジャーであり、私たちの地球を保護し、SDGsを達成するためのより持続可能なイノベーションのための新たな道を開くものです。

プランクトン研究における知識のギャップを埋める技術的方法

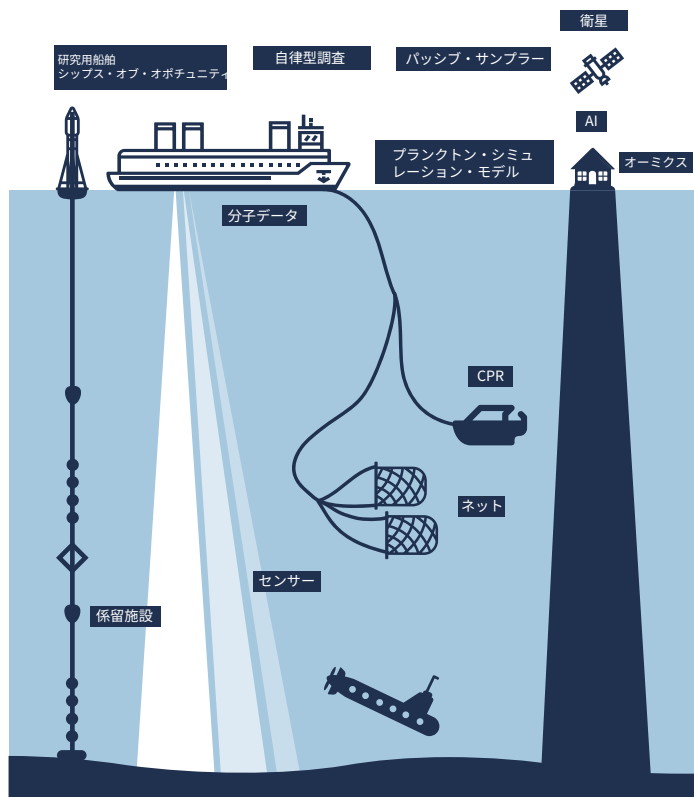


図3：プランクトンの健全性をモニタリングする技術の概要

III. プランクトンを活用した解決策

プランクトンの生物多様性が変化していることは間違いありませんが、世界のプランクトンのバイオマスが減少しているかどうかについては議論が続いています。プランクトン群集を管理し、制御のうえ利用することは、**喫緊の地球規模の危機に対処するために重要な貢献をする可能性を秘めています**。本セクションでは、プランクトンを活用した解決策（PBS）の枠組みを概説します。これらの解決策は相互にリンクしており、それらの間には強い重複と共益性があります。

A. 気候危機に対するプランクトンを活用した解決策

a. 炭素吸収

一部のプランクトンは**光合成によってCO₂を有機物に変え、海洋生物を支えています**が、これらの生物が死んだり消費されたりすると、その一部は海底に沈みます。植物プランクトン1kgあたり、最大2kgのCO₂を固定できます（CO₂2kg/植物プランクトンkg）¹¹。この生物炭素ポンプ¹²（および特に微生物活動¹³）を通じて、プランクトンによって隔離された大気中の二酸化炭素（CO₂）は深海に運ばれ、数百年から数千年、あるいはそれ以上にわたって、効果的に活性炭素プールから取り除かれます。これにより、**大気中のCO₂濃度が全体的に低下し、気候変動が緩和されます**。

この**生物炭素ポンプ**の量は、海洋炭素吸収のごく一部であり、このプロセスの大部分は、大気から炭素と追加熱を吸収する**物理化学的ポンプ**によるものです。それでもなお、生物炭素ポンプは、海洋の表層から深層まで、**自然の炭素濃度の不均衡を生み出し、今も維持しています**。したがって、**現在のプランクトン構成が誤った方向に変化すれば、海洋は現在の気候変動を緩和する能力の一部を失うことになります**。炭素は海洋堆積物に貯留されるため、プランクトン主導の生物炭素ポンプに対するリスクに関しても、**海底採掘の問題を検討する必要があります**。

鉄分の乏しい海域の海水に**鉄化合物を添加すること**で、**有機物の生産が促進され、有機物が沈む際に、生物学的なCO₂の除去が促進されることが示唆されています**。**アルカリ化**はまた、海水中のCO₂の溶解度を高め、**海洋酸性化の影響を事実上相殺することも提案されています**¹³。しかし、2008年5月30日にドイツのボンで開催された国連生物多様性条約で採択された**モラトリウム協定**は、海洋食物連鎖を操作することの潜在的なリスクと利益を科学者がよりよく理解するまで、**海洋受精プロジェクトを全面的に禁止することを義務付けました**¹⁴。科学界の一部はこのモラトリウムの必要性を支持していますが、一部の科学者は、このような大規模な地球工学の潜在的な結果をよりよく評価する手段を提供するために、**管理された環境での調査の再開を再考するよう求めています**。

b. 経済の脱炭素化

プランクトン生物模倣を利用すれば、多くの**高排出物質やプロセス**を置き換えたり、最適化したりすることができでしょう。例えば、非常に豊富な植物プランクトンの一群である珪藻は、1500℃以上の温度を必要とする**従来のガラス製造とは異なり、常温でシリカの殻を作ります**¹⁵。プランクトンもまた、バイオ燃料生産の有望な経路として探索されています¹⁶。このコンセプトには大きな関心が寄せられていますが、現実には課題が山積しており、抜本的な技術改善が待たれるところです。卓越した栄養分と高い生産性によって、食糧システムの気候への影響を緩和する新たな道が開かれるだけでなく、プランクトンは毒素の生産や生物発光など、さまざまな防御機構を備えており、バイオテクノロジーへの応用が期待されています。例えば、プランクトンは地球上で**最も粘着性の高い生物のひとつであり、ゲル、接着剤、ナノマテリアルの生物学的な供給源**となり得ます。何万種も知られているプランクトンのうち、詳細に**研究されているのはほんの一握りで、プランクトンには気候にやさしいイノベーションのほぼ無限の可能性**があるのです。

c. 水循環を支える

気候変動の大部分は、水循環の**乱れ**と大気中の水蒸気濃度に起因しています¹⁷。プランクトンの種類によっては、**硫黄化合物を放出し、それが上層大気に到達すると、雲凝結核の形成に寄与します**（注：海の特徴的な臭いは、しばしばこれらの硫黄化合物に起因するとされ、プランクトンが海に対する私たちの感覚にまで影響を与えていることを示しています）。これらの核は雲の形成に**不可欠**であり、雲の形成は**地球の水循環と気候調節の回復に重要な役割を果たします**。こうしたプランクトン群集への影響を抑えることは、水循環を維持するために不可欠です。



B.生物多様性の危機に対するプランクトンを活用した解決策

a.海洋生態系を支える

プランクトンは、生態系のすべての構成要素に対する最初のエネルギー供給源となることで、海洋食物網の基礎を提供しています。プランクトンは、サンゴ、海藻、サメ、クジラ、ムール貝など、海洋生態系のあらゆる生命を支えています。光合成プランクトンはまた、高次栄養ネットワークの適切な発達に不可欠な特定の分子（脂質、特定の色素、糖類）の唯一の生産者でもあります。この一次水源がなければ、多くの生物（魚を含む）の卵、幼生、稚魚の生存率に大きな影響が出ます。このプロセスは、バランスの取れた繁栄する海洋環境を促進します。

さらに、プランクトンの光合成活動は、酸素生産と炭素隔離に寄与しており、これらは海洋生息地の生物多様性を維持するために重要なプロセスです。これらのメカニズムを通じて、バランスのとれたプランクトン個体群は、海洋生態系の回復力を高め、撓乱に耐え、回復することを可能にし、それによって海洋および沿岸の生物多様性の回復と保全を支援します。

「プランクトンの生産性が甲殻類、貝類、魚類、サメ、イルカ、その他の海洋生物の成長を制限するのと同じように、陸上植物の一次生産性がゾウ、キリン、サルの成長を制限するのだ。」
Paul Falkowski¹⁸

地球全体の光合成

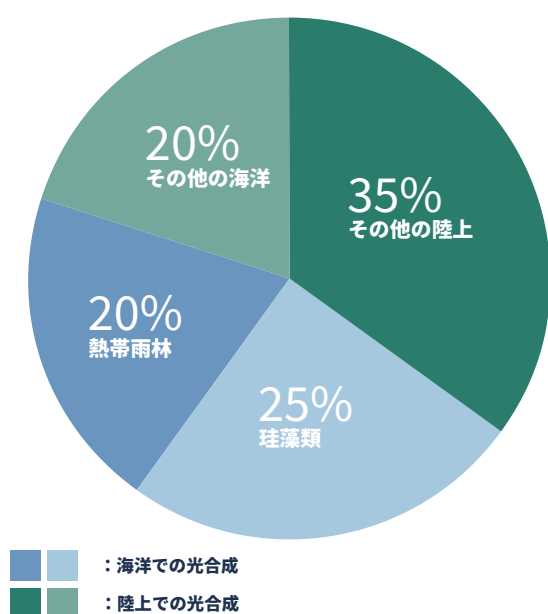


図4：地球全体の光合成
この数字は目安です。

b.藻類やクラゲの有害な繁殖を抑える

海洋微細藻類は、酸素を供給し、海洋食物網のバイオマスを支える上で極めて重要な役割を果たしています。しかし、海水温の上昇、酸性化、沿岸の都市化、栄養塩汚染（下水、農業排水、工業排水など）は、プランクトン生態系を不安定にし、世界の沿岸で有害毒藻類ブルーム（HABs）の発生に拍車をかけています。HABsは海洋沿岸種を危険にさらし、重要な種が影響を受けると「文化的生態系の役割」の損失を引き起こします。HABsはまた、魚介類を毒素で汚染し、HABsのブルーム時に大気中に放出される有害化合物に人々がさらされることで、人間の健康をも危険にさらします。

農業における生物防除と同様に、捕食者の追加（例：湖の魚の補充）や殺藻バクテリアの刺激（例：海藻や海草の回復）によるプランクトン食物網の操作が、HABsを制御する手段として提案されています。鉄の施肥実験の倫理的懸念と同様に、社会は環境を修復する方法として、バイオマニピュレーションが意図しない結果をもたらすことを認識すべきです。しかし、その基本原理をよりよく理解するために、管理された環境で研究することは支持されるべきです。人間によって誘発されるHABsの増殖を抑制する最も合理的な方法は、有害な人為的活動を抑制・削減することです。

同様に、成長が早く目に見える「クラゲの大群」は、他の生物を食べたり競合したりすることで、食物網や漁業を撓乱します。乱獲、富栄養化、海岸の人工化、外来種の侵入など、さまざまな人為的要因によって促進されます。知られている数百種のクラゲのうち30種がこのような不規則なブルームを起こしやすく、その原因は多岐にわたります^{7,19,20}。しかし、解決策を見出すには、正確な原因をさらに調査する必要があります。

c.サンゴ群集と海藻の森を支える

サンゴは、類まれな生物多様性を有するサンゴ礁群の要となる種であり、自由生活性のプランクトンから供給される微細藻類との共生関係によって生存しています。そのため、周辺のプランクトン群集をよりよくモニタリング・管理することが、サンゴ生態系を保全・復活させる鍵になるかもしれません。健全なサンゴ礁から特定のプランクトンのマイクロバイームを採取し、それを不健全なサンゴ礁に播種することで、サンゴの生態系を救うことができることが示されており、「サンゴの微生物移植（CMT）」実験として知られています。

同様に、驚くほど多様な沿岸生物を宿す海藻林は、そのマイクロバイームと周囲のプランクトン群集に大きく依存しています。したがって、プランクトン管理は、現在危機に瀕している混乱から海洋の森を守ることに貢献する鍵となり得るのです。

C. プランクトンを活用した汚染の解決策

a. 生態系の健全性を示す生物指標としてのプランクトン

プランクトンの個体数は環境の変化に素早く反応するため、海洋環境の変化を察知するための有効な**早期警戒指標**となります。プランクトン種の組成の変化は、富栄養化や汚染などによる**水質の変化**を示すことがあります。こうした変化を監視することで、科学者は**海洋生態系の健全性と人間活動の影響**を評価することができます²¹。

さらに、有孔虫や珪藻などの生物鉱物化したプランクトンの堆積物コアから発見された化石の分析を通じて、科学者は**過去の海洋温度や化学的条件を復元**することができます。これらのデータは、過去の気候変動に関する重要な洞察を生み出し、将来の惑星プロセスの変化を予測・予想するのに役立つ可能性があります。したがって、プランクトン科学は**短期から長期にわたる環境パターン、汚染、気候変動の影響を特定し、理解する**のに重要な役割を果たすはずです。

b. 水質を浄化し、汚染物質を価値ある製品にアップサイクルする

微細藻類は、**水処理**への利用が増加しており²²、**富栄養化**（水域が栄養塩類で過剰に富み、藻類が過剰に増殖し、酸素が枯渇するプロセス）などの環境問題に対する費用対効果の高い解決策を提供しています。高価で、廃棄物を発生させる従来の方法とは異なり、微細藻類を使用することで、**これらの余分な栄養素を吸収し、自然に水を浄化**することができます²³。このプロセスは「**フィコレメディエーション**」として知られ、水を浄化し、CO₂を取り込むと同時に、循環型バイオエコノミーの観点から、**食品、プラスチック、バイオベース肥料、または家畜飼料用の貴重な材料**を生成するために使用できる藻類バイオマスを提供します。さらに、HABsは環境問題をビジネスチャンスに変える可能性もあります。EUのプロジェクト「Algae Service for LIFE」は、水質改善と水環境の富栄養化抑制のための藻類の持続可能な利用を検討しました。さらにこのプロジェクトは、藻類を収穫して利用するための革新的な技術や方法を開発し、経済的な機会を創出するとともに、環境保護の取り組みを支援しました。

藻類の壁はまた、**都市部の空気を浄化**するために、植生化された壁よりも効率的な代替案として検討することができます²⁴。総じて、プランクトンは廃棄物処理を収益源に変えることで、産業界に魅力的なソリューションを提供します。

c. 海洋プラスチック汚染を軽減する

海洋環境由来のものを含む多くのバクテリアと同様に、菌類も**ポリマーを自然に分解**する戦略を進化させてきました。浮遊性細菌、菌類、ポリマー間の相互作用の理解を促進することは、**海洋のプラスチック汚染に対処する**のに役立つ可能性があります^{25,26}。これにより、バイオレメディエーションを通じて生態系から**有害なプラスチックを排除するための、新たなグリーンケミストリー・ソリューション**への扉が開かれることになるでしょう。

D. プランクトンを活用した人と自然のための解決策

プランクトン、特に植物プランクトンと混合プランクトンは、その生態学的重要性だけでなく、**さまざまな産業やバイオテクノロジーの機会**を解き放つ可能性を秘めています²⁷。潜在的な用途の**広さ**にもかかわらず、**現在工業的規模で生産されている**プランクトンはほんの一握りです。これは、拡張性があり、費用が手ごろな**栽培方法**が欠如していることが一因となっています。

a. 食品と栄養

プランクトンの生物多様性、豊富さ、分布、生産性は、世界中の**漁業と養殖業の健全性と生産性**に直接影響します。そのため、プランクトンは**世界の食糧安全保障に直結**しており、水産物が主要な収入源であり、貴重なオメガ3脂肪酸とともに主要なタンパク源である発展途上国の30億以上の人にとっては特に重要なのです²⁸。

健全なプランクトン個体群は、沿岸地域社会の経済的安定に不可欠な、力強い漁業と養殖業を保証します。

プランクトンは長い間、**ビタミン、食品サプリメント、着色料のニッチな生産者**として利用されてきました。**タンパク質、ビタミン、ミネラル**を豊富に含むため、人間の**栄養補助食品**としても利用できます（アフリカで何世代にもわたって利用されてきたスピルリナの最近の世界的な発展を参照）。日本や地中海沿岸のように、魚介類の消費量が多い文化圏では、**健康で長寿である**ことが多くあります。

これは、一部の**プランクトン**によってのみ合成され、**海洋食物連鎖を通じて蓄積される**独特の栄養素に起因します。

微細藻類の中には、単位面積あたり**大豆の20倍ものタンパク質**を生産できるものもあり、その生産量は年間200トン／ヘクタールに達する可能性があります。つまり、将来的には、プランクトンは、森林伐採を伴わないなど、気候フットプリントがはるかに限定された、既存の農業生産の**代替**となり得るということです。



動物飼料（主に養殖用）は、プランクトンの最も古い用途の一つであり、食糧の持続可能性、人間の健康、生態系の堅牢性を高める可能性を提供します。プランクトンは、多くの貝類や幼魚にとって不可欠な餌です。過去15年間で、水産養殖に利用できる持続可能なタンパク質源は30%減少し、その一方で価格は3倍になっています²⁹。この傾向は、新技術によって可能になった生産方法の最適化に加えて、微細藻類ベースの動物飼料に非常に競争力のある位置づけを提供する可能性があります。

現在、水産養殖に使用されるプランクトン種の世界的な市場は大きく、系統を改良し、主要分子（多価不飽和脂肪酸やフコキサンチンやβ-カロチンなどの色素）の生産を増やすために、加速育種によって生産量を最大化しようとする試みが行われています。

この可能性は、微細藻類（例えば、私たちの魚への依存を置き換える手助けとなりうるオメガ3脂肪酸³⁰の主な供給源を提供する非光合成プランクトンである「スラストキトリッド」）をはるかに超えています。

b. 高価値医薬品

プランクトン生物の中でも、多くの研究^{31,32}によって、抗真菌、抗菌、抗ウイルス（抗HIVなど）、抗がん、免疫抑制、抗炎症、抗酸化、抗老化³³、光保護、神経保護、抗糖尿病、抗肥満作用、コレステロール低下作用^{34,35}など、人間の健康に有益な微細藻類由来の生物活性化合物が同定されています。

プランクトン製品は化粧品にも利用できます³⁶。何十年もの間、製薬研究の中心であった従来の医薬品生産者からの発見率は低下しており、今こそプランクトンに目を向け、その可能性を活用すべき時だと思われます^{31,37}。これまでに2000以上の二次代謝産物が同定されています。

しかし、このような有力な可能性があるにもかかわらず、現在市場に出ている分子はほとんどありません。これは、投資³⁷のレベルが比較的低いこと、海洋研究所における遺伝資源へのアクセスが複雑であること、このテーマにおける科学的ギャップが大きいことなどが原因であると考えられます。

c. 遺伝子所有権の問題

生物多様性条約における名古屋議定書によれば、すべての国は排他的経済水域内の海洋資源を主権的に所有する権利があります。同じことが、海洋で発見された遺伝子にも当てはまります。現在、海洋遺伝資源のほぼすべてを所有しているのはわずか10カ国です。130カ国以上（ほとんどがグローバル・サウスの国々）は、海洋遺伝子の所有権がまったくありません。最近採択された国連国家管轄権外区域における海洋生物多様性条約（BBNJ条約）は、所有権の問題を若干カバーしていますが、さらに加速させる必要があります。遺伝子シーケンス市場は年間約60億米ドルの価値があります。しかし、新しい遺伝子を発見した科学者は、ごく最近の国連の合意にもかかわらず、その遺伝子が発見された場所や、その遺伝子を含む生物の性質を開示する義務をまだ十分に負っていません。プランクトンには境界線がありませんが、遺伝子の発見／所有においては国家は平等ではありません。その技術は広く知られておらず、費用がかかり、技術的な能力を必要とします。そのため、先進国は発展途上国よりも有利なのです。



IV. 主要な提言

「プランクトン・マニフェスト」は、プランクトン群集、人間、そして自然に最大限の配慮をしながら、経済と環境開発を確実に進めるための具体策を実施するよう、意思決定者に求めています。これらの勧告は相互に関連しており、総合的に検討されるべきです。

A. より良いモニタリングのための知識向上

1. プランクトン調査活動への資金援助を強化する。

プランクトンの探査と科学では、対象を絞った資金不足に苦しんでいます。プランクトンの大部分は、生態系にとって未知の価値のままであり、地球上で最も重要な生物群と言っても過言ではないプランクトンの資金源確保に、科学は苦戦しています。安定した資金調達は、稼働中のプランクトン時系列にも必要です。時系列は実行期間が長くなるほど価値が高くなるため、資金調達の継続性は極めて重要なのです。プランクトン群集の莫大な惑星の価値と変化を理解するためには、以下の地球規模でのアプローチが必要とされます。

- a. 特に自律型船舶やフロートから、プランクトンの生物多様性と活動をモニタリングするための方法論を開発・展開する。
- b. 商業的応用に有益な分子、遺伝子、生物種を同定するための共有スクリーニング・プラットフォームを開発する。
- c. 北極と南極は気候変動の影響を特に受けやすいため、極地におけるプランクトンの研究を優先する。
- d. プランクトンの時系列データセットを強化し、数十年単位で変化を監視・比較できるようにする。入手可能な最善の知識に基づいて、包括的なプランクトン・アトラスを作成し、海洋生態系の状態をバイオモニタリングするためのプランクトンに基づく健康指標を開発する。
- e. 海洋シミュレータへの統合に適した現実的なプランクトンモデルを作成することで、プランクトンをデジタル海洋ツインに組み込む。
- f. 世界中の誰もが世界的なプランクトン評価に参加できるよう、市民科学ツールを開発する。

2. 既存の世界的な前例に基づき、科学、産業、政策間の分野別および分野横断的な協力関係を発展させるための世界的なプラットフォームを構築する。プランクトンは世界的に分布し、重要であるにもかかわらず、研究は断片的で、世界中の研究者間の交流は比較的少ないと言えます。サイロを取り払い、科学者間だけでなく、政策や産業界の関連専門家ともグローバルな知識の共有と協力を発展させる必要があります。このプラットフォームは、重複を避け、科学と政策のインターフェースを改善し、資金を集め、イノベーションを加速するために、スキル、ベストプラクティス、標準を結集します。

3. プランクトンに対する人間活動の影響を評価し、緩和するためのツールを精緻化する。新たな海洋・沿岸インフラ、海上輸送、漁業、観光、養殖など、海洋に関連する人間のプロジェクトに起因するプランクトンの破壊や変化を体系的に統合するための、影響評価に関するガイドラインを作成する必要があります。また、農業排水、生活排水、工業排水などの汚染物質に対する規制を強化し、水生環境における栄養塩の過多や化学汚染を最小限に抑えることで、有害有毒藻類ブルームを抑制し、プランクトンの生息地や海洋生物多様性を保全する必要があります。

B. すべての人にプランクトンの認識を

4. 学校と政治・政策（明確な対策）の双方における教育において、世界的な「プランクトン・リテラシー」プロジェクトを立ち上げる。

これにより、食物網と惑星機能におけるプランクトンの重要な役割と、私たちの日常生活への影響についての認識を高めます。教育の欠如は幼児期から始まります。将来の世代が、プランクトン、ひいては人類の存続が直面している課題、そしてこうした根本的な課題の解決に役立つビジネスチャンスについて認識し、理解することが重要です。プランクトンという言葉は、猫や犬やライオンと同じように、幼い子どもたちにとって身近な存在になる必要があります。また、将来の環境およびバイオテクノロジーの公共政策の検討にプランクトンを組み込むことを促進するため、政策立案者に対してプランクトン・リテラシーを提唱すべきです。

5. 既存および潜在的プランクトン応用の市場動向マップ

で、公的・民間資金が最適化された方法で再生開発を支えられるようにする。これにより、ステークホルダー間の協力と効率性がさらに高まります。より優れた情報と洞察は、市場参入を容易にする一方で、市場の魅力を高め、より成功するビジネスチャンスに投資を誘導することができます。

6. 世界レベルでアドボカシー・プロジェクトを立ち上げる。

資金調達機関、ベンチャーキャピタル、新興企業、NGO、その他のステークホルダーには、プランクトンに関する情報はほとんど伝わっていません。彼らが参加していれば、多様な側面へのより深い探求と投資が促進される可能性があったでしょう。

C.世界の政治的議論にプランクトンを組み込む

7.UNFCCC締約国に対し、気候緩和におけるプランクトンの役割をさらに検討するよう求める。

- a.SBSTAの海洋と気候変動対話では、生物炭素ポンプを通じて二酸化炭素を隔離するプランクトンの役割を認識し、現在のギャップや見過ごされている分野に取り組むとともに、この緩和能力を（GHGインベントリなどで）計上するための確固としたガイドラインを策定するための今後の進め方を特定すべきです。
- b.各国は、気候変動対策に関する国が決定する貢献（NDC）の一環として、海洋生態系の保全と回復を含む包括的な戦略を策定するよう求められるべきです。

8.CBD締約国に対し、沿岸域とプランクトンを含む海洋生物多様性の保全、回復、持続可能な利用のために野心的な行動を昆明・モントリオール世界生物多様性枠組に沿ってとるよう求める。具体的には、プランクトンの役割と、それが気候、自然、そして人々にもたらす恩恵をさらに統合し、以下の取り組みに反映させることができます。

- a.「生物多様性国家戦略及び行動計画（NBSAP）」は、「海洋と沿岸の生物多様性に関する作業計画」を通じてなど、これらの生態系を保護するための確実に定量化された対策を確立し、枠組みに照らして戦略を改訂するよう締約国に求めます。
- b.昆明・モントリオール協定のモニタリング枠組みでは、プランクトンのバイオマスや多様性の変化など、プランクトンに関連する専用指標を統合することで、締約国が定期的に進捗状況を確認・評価できるようにします。
- c.「生物多様性と気候変動に関するCBD・COP10決定（Decision X/33）」に従い、海洋二酸化炭素除去技術（栄養塩施肥、アルカリ化、富栄養化除去など）がプランクトンやプランクトンが提供する役割に悪影響を与えないよう、予防的、包括的、計画的なプログラムを通じて、プランクトンのブルーカーボンの可能性を評価するための科学を支援します。

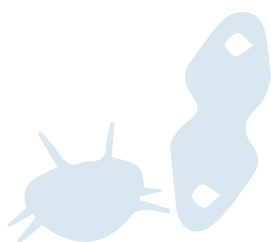
9.以下によって国家管轄権外区域における海洋生物多様性（BBNJ）の残りの定義に取り組む。

- a.プランクトンとそのサービスを、将来の区域ベースの管理ツールの定義基準に含めます。これにより、目に見える海洋種だけでなく、海洋の食物網の基礎を形成し、生物地球化学的プロセスの大部分を駆動する微細な生物にも対処する包括的な保全戦略を確保することができます。
- b.WIPO（世界知的所有権機関）および各国の特許庁と政策対話を実施し、公海のプランクトンから海洋遺伝資源へのアクセスについて実行可能な公平な法的枠組みを提供するとともに、技術へのアクセスを各国に提供し、生物資源へのアクセスを確保することによって、各国の不平等を削減します。これは、2024年5月に調印された歴史的な「知的財産、遺伝資源および関連する伝統的知識に関する条約」を活用することによって行われるべきです。これによって、特にプランクトンの遺伝的可能性に関する知識を倫理的かつ公平に共有し、不平等を最小限に抑えることができます。

これらの情報はすべて、国際協定や政策文書に盛り込まれる必要があります。それはやがて、海洋保護や環境に取り組む国内外のNGOによる、より定期的で野心的なプロジェクトを始動する引き金となり、反映されるはずです。

10.国際的な食糧組織に対し、プランクトンの管理を改善することで世界全体の食糧安全保障をさらに支援する方法を探るよう要請する。

- a.プランクトンは、世界の飢餓と栄養失調を緩和するために、国連食料システムサミットから生まれた「ブルーフード」に関する現在進行中の議論に完全に組み込まれるべきです。CFS（世界食料安全保障委員会）、COFI（FAO水産委員会）等の国際的な食糧機関において、持続可能な養殖産業の発展に寄与するため、プランクトンを考慮すべきです。
- b.漁業や海洋養殖を支える健全なプランクトン群集を確保するための規制やガイドラインを定める一方で、直接的な栄養面での利点（スピルリナやクロレラなど）を改善し、活用するためのプランクトンを探索すべきです。プランクトン群集のモニタリングと理解は、関連するすべてのステークホルダーのために、漁業・養殖活動の予測と管理の改善に利用されるべきです。



用語集

1. プラントン分類の概要

陸上生態系は、**生産者**としてのさまざまな多細胞光合成植物と、**消費者**としての動物群集によって支配されています。また、**分解者**として働くバクテリアや菌類も存在します。ウイルスはこれらすべての種類の生物を攻撃します。開水域の生態系はプラントンによって支配されており、これらの機能グループ（生産者、消費者、分解者）の代表的なものが含まれている一方で、陸上システムとは重要な点で異なっています。最も重要なことは、**プラントン**は複雑な栄養（食物網）相互作用に関与する単細胞の微細生物で占められているということです。

生産者

プラントンには多細胞の植物は存在せず、生産者の役割を担っているのは単細胞の微生物で、そのほとんどは0.01mm以下の大きさで、太陽の光が差し込む表層水中で生育しています。これらは**原核生物**（バクテリアのようなもの）または**原生生物**のようなもので、一般に**微細藻類**または**植物プラントン**と呼ばれています。光合成を行い、光と無機栄養塩（特に窒素、リン、鉄）を利用します。もうひとつの微小藻類グループである**混合プラントン**もまた、獲物を食べる（消費する）ことで栄養を得ています。生産者は混合プラントンや動物プラントンに食べられ、ウイルス攻撃にも屈します。これらの生物の生物多様性と活動の変化は、漁業を支える食物網に大きな影響を与え、有害有毒藻類ブルーム（HABs）を発生させる種類の生物もいます³⁸。プラントン性生産者は比較的良好に研究されていますが、ほとんどの理解はごく少数の種の研究から得られています。特定できるサブグループは以下があります。

- **藍藻**：「青緑藻」と呼ばれることもある光合成細菌で、光の当たる水域によく見られます。ほとんどが約0.001～0.01mmです。窒素を固定し、水を肥沃にするものもあります。他の微細藻類の中に共生しているものもあり、2つの生物は化学物質や栄養素の交換によってお互いに恩恵を受けています。藍藻の中には有毒なものもあり、特に貯水池や湖などの淡水域でHABsを形成します。浮力を変えられるものもありますが、それ以外は非運動性です。バイオテクノロジーや食品添加物産業において重要な種もあります。
- **原生植物プラントン**：通常、藍藻よりもはるかに大きな生物で、**珪藻類**（約0.01～0.2mm）が含まれます。これらは、特に乱流水域でよく見られ、照らされた水柱の中で浮遊しています。彼らは消費者のための重要な飼料生物であり、多くの場合、**生物炭素ポンプ**を介してCO₂貯留をサポートするための生物であるとみなされます。珪藻は細胞壁にシリカを必要とします。浮力を変えることができるものもありますが、それ以外は非運動性です。他のさまざまな原生植物プラントンには運動性があります。このグループにはHAB種はほとんどいません。バイオテクノロジーや水産養殖に利用されているものもあります。
- **混合プラントン**：混合プラントン：光合成を行うだけでなく、獲物も食べる原生生物で、その獲物には競争相手や、時には捕食者も含まれます。混合プラントンの大半は、以前は原生植物プラントンに分類されていました。これらの生物の重要性が認識されるようになったのは、ここ10年のことです³⁸。**渦鞭毛藻**の多くは混合プラントンであり、他の混合プラントンと同様、強い運動性を持ちます。しかし、一部の混合プラントン、特にチョークを生成する**円石藻類**は非運動性です。ほとんどのHAB種は混合プラントンで、野生生物、養殖業、人間にとって有害なさまざまな毒素や粘液を産生します。

消費者

動物プラントンと総称されるプラントンの消費者のほとんどは原生生物である微生物で、その他は動物です。動物プラントンの大きさは0.003mmから何メートルにもおよびます。動物プラントンのいくつかの種とそのライフステージはよく研究されていますが、大部分についてはほとんど理解されていません。特定できるサブグループは以下があります。

- **原生動物プラントン**：これらは単細胞の微生物で、大きさはほとんどが0.2mm未満ですが、1mmを超える種もあります。プラントンにおける消費活動のほとんどは、これらの生物（例えば、**繊毛虫**、**渦鞭毛藻**）によって行われ、その急速な成長速度によって、多くの生産者やバクテリアの成長を制御することができます。より正確には、**混合プラントン**と呼ばれるものもあり、後者は共生微細藻類によって、あるいは獲物から奪った体の一部を使って、摂食と光合成を組み合わせています。原生動物プラントンは、獲物の大きさに高い柔軟性を示すことがあり、自分より何倍も大きな獲物を食べるものもいます。彼らは獲物の種類や質に強い嗜好性を示すことがあります。ほとんどは運動性ですが、獲物が接触してくるのを待つのもあります。有毒なものや生物発光するものもいます。動物プラントンは、後生動物プラントンへとつながる食物網の重要な仲介者です。これらの生物の生理機能や活動に関する知識は一般に乏しく、数種類に限られています。
- **後生動物プラントン**：カイアシ類、オキアミ類、ゼリー類に代表される動物ですが、その他多くの種類や、非プラントン性動物（フジツボ、カニ、ロブスター、ヒトデなど多くの魚類、貝類、底生動物を含む）の幼生期も含まれます。多くは強い運動性を持ちますが、他の種（特にゼリー類）は泳ぎが弱いです。通常、彼らは自分たちよりもはるかに小さな生物を餌としています。小さな生産者やバクテリアに直接アクセスすることはできないため、原生動物プラントンや混合プラントンを仲介役としています。大型のものは通常、他の後生動物プラントンを食べます。獲物の嗜好性が顕著なものもありますが、ほとんどは獲物の大きさに応じて、より多く食べると考えられます。ただし、食事の構成は常に重視します。これらの生物は、魚、クジラ、鳥などにつながる食物網の要です。これらの動物の生理機能と活動に関する詳細な知識は、主にある種のカイアシ類とオキアミの雌成魚期に限られています。

分解者

これらの生物の生態学的役割は、バイオマスを生産することよりも、化学変化や相互変換（主に代謝コストが高く非効率的なプロセス）によって支配されています。

- **バクテリア／古細菌**：これらの原核生物（ほとんどが0.001mm未満）は、粒子状有機物や溶存有機物を分解し、栄養分を無機物に戻して生産を支える役割を担っています。アンモニウム（動物の主な排泄物）を硝酸塩に変換するものもあれば、硝酸塩を窒素に変換するものもあります。細菌プラントンの詳細はほとんど理解されておらず、その成長を支えるものの複雑さと特徴付けの欠如のため深刻化しています。彼らは原生動物プラントンや混合プラントン（光合成を支える重要な栄養源となる）に食べられ、多くはウイルスに侵されます。
- **真菌類**：そのほとんどは微細なもの（微小菌類、酵母、遊泳性胞子）で、プラントンに寄生し、有機物のリサイクルも行います。その役割は、プラントンの中で最も知られていません。
- **ウイルス**：最も数の多いプラントンの一種で（おそらく1mLあたり1億個）、他のプラントンや大型動物に感染します。彼らの生態学的役割についてはほとんど知られていませんが、彼らの急速な増殖は、数日のうちに広範囲にわたってプラントンのブルームを除去し、バイオマスの大部分をバクテリアの活動を支える溶存有機物に変換するのではと推測されています。このように、またウイルスは宿主特異的であることから、**生物炭素ポンプ**の制御的役割や**微生物炭素ポンプ**への寄与が推測されてきました（したがって、気候変動シナリオに関連します）。

2.一般用語集

- **アルカリ化**：海洋酸性化に対抗するためのアルカリ化学物質の添加。
- **古細菌**：バクテリアに似た原核生物の一種で、特定の生物地球化学的変換の鍵を握る。
- **BBNJ**：国家管轄権外区域における海洋生物多様性。国家管轄権外区域の海洋生物多様性の保全と持続可能な利用のための、UNCLOSに基づく国際的な法的拘束力のある制度。
- **バイオーム**：海洋や湖沼など、主要な生息地内に自然に存在する大規模な生物群集。
- **生物模倣**：生物学的な実体やプロセスをモデルにした材料、構造、システムの設計と製造。
- **生物炭素ポンプ（BCP）**：プランクトン性の活動（珪藻、糞便、動物の死骸の沈降を含む）で、これらは大気中のCO₂を海底に埋もれた粒子中に隔離するという結果をもたらす。（参照：微生物炭素ポンプ）
- **繊毛虫**：原生動物プランクトンの一般的なタイプ。いくつかの種類は混合プランクトンである。
- **球石藻**：原生微細藻類の一種で、細胞壁が白亜板（球石）で覆われている。地質学的な時間をかけて、球石藻は巨大な白亜の堆積物を形成する。少なくとも一部は混合プランクトンであり、他は植物プランクトンである。
- **消費者**：バイオマスを消費する生物で、消費されたバイオマスの一部が浪費されるため、バイオマスが純減する。（参照：分解者、生産者）
- **カイアシ類**：一般的な後生動物プランクトンで、通常1～5mm程度だが、0.01mm程度の幼生期もある。漁業を支える重要な飼料生物。
- **藍藻**：光合成細菌で、淡水生態学ではしばしば「青緑藻」と呼ばれる。
- **分解者**：特に死滅したバイオマスや溶存有機物を利用する生物で、一般的に変換効率は非常に低く、これらの生物は（一次）生産を支える無機栄養塩を放出する上で重要である。
- **珪藻**：一般的な原生植物プランクトン。成長が早く、細胞壁がシリカ（ガラス）でできているため、その成長はケイ酸塩という栄養素に依存している。
- **渦鞭毛藻**：一般的な原生動物プランクトンまたは混合プランクトン。しばしば運動性が高く、有毒なHABを含む。
- **真核生物**：個別の核内に保持された染色体としてDNAを持つ細胞または細胞からなる生物。参照：原核生物。原生生物、すべての高等植物、すべての動物（動物プランクトンを含む）を含む。
- **富栄養化**：水域の栄養分が過剰に濃縮され、微細藻類が過剰に増殖し、酸素が枯渇するプロセス。
- **施肥**：生産を促進するための栄養素の添加。過剰な栄養素は富栄養化を引き起こす。
- **HAB**：有害な藻類の大量発生。一般的に藍藻や混合プランクトンによって引き起こされるHABsには、有毒な種だけでなく、生態系にダメージを与える泡や粘液を生成する有害な種も含まれる。
- **ゼリー類**：刺胞動物（「クラゲ」）、有櫛動物（「クシゼリー」）、クダクラゲ（体長60mの最大プランクトンを含む）など、ゼラチン状の後生動物プランクトンの総称。
- **オキアミ類**：動物プランクトンの一種。体長10cmを超えるオキアミは、特定の海洋システムにおいて重要な（しばしば支配的な）動物であり、南氷洋の生態系とヒゲクジラを支える鍵となる。
- **後生動物**：多細胞の真核生物。カイアシ類やオキアミ類などの後生動物プランクトンは、漁業を支える重要な動物である。また、ゼリー類のように生態系にダメージを与えるものもある。
- **微細藻類**：原核生物の藍藻、原生生物の混合プランクトンや植物プランクトンなど、単細胞の光合成微生物の総称。
- **微生物炭素ポンプ（MCP）**：プランクトン活動により、大気中のCO₂が、難分解性である海洋中の溶存有機物という形で集団的に隔離され、100～1000年にわたり分解に抵抗する。参照：生物炭素ポンプ
- **混合プランクトン**：原生微小藻類プランクトンの一種で、（植物プランクトンのように）光合成を行い、（原生動物プランクトンのように）摂食する。
- **NDC**：国が決定する貢献。NDCは、各国の排出量を削減し、気候変動の影響に適応するための取り組みを具体化したものである。
- **海洋酸性化（OA）**：大気中のCO₂が表層水に溶け込むことによる海洋の酸性化。OAは、一部の生産者の成長を促進するかもしれないが、他の生物にとっては有害となる可能性がある。
- **植物プランクトン**：（一次）生産を行う浮遊性微細藻類。混合プランクトンとは異なり、摂食することはできない。
- **プランクトン**：水流に逆らって移動することができない生物。
- **（一次）生産**：バイオマスの純増をもたらす生産生物の成長と活動。この生産物が、消費者と分解者の成長を支える。
- **生産者**：一次生産を担う生物。（参照：消費者、分解者）。通常、光合成（CO₂固定）と無機栄養塩（窒素、リン、鉄）の消費を伴う。
- **原核生物**：膜を持つ明確な核も、その他の特殊な細胞小器官も持たない単細胞生物。古細菌、バクテリア、藍藻を含む。
- **原生生物**：単細胞真核生物の総称。原生生物の生物多様性は、他のすべての真核生物を合わせたものを上回っている。原生生物プランクトンには、混合プランクトン、多くの植物プランクトン、そしてほとんどの動物プランクトンが含まれる。
- **SDGs**：国連の持続可能な開発目標。「人と地球の平和と繁栄」を達成することを目的とし、気候変動に対処し、海洋と森林の保護に取り組む一連の17の目標。
- **湧昇**：海洋深層水を栄養分とともに表層に引き上げる物理的プロセス。多くの場合、（一次）生産が強化され、それが漁業を支える消費活動の場となる。
- **動物プランクトン**：原生動物プランクトンが大部分を占めるプランクトン性消費者の総称だが、暗黙のうちに、カイアシ類やオキアミ類など、漁業を支える後生動物プランクトンを指すことも多い。

参考文献

- (1) Smetacek, V. Revolution in the Ocean. *Nature* **1999**, 401 (6754), 647–647. <https://doi.org/10.1038/44281>
- (2) Mitra, A.; Caron, D. A.; Faure, E.; Flynn, K. J.; Leles, S. G.; Hansen, P. J.; McManus, G. B.; Not, F.; do Rosario Gomes, H.; Santoferrara, L. F.; Stoecker, D. K.; Tillmann, U. The Mixoplankton Database (MDB): Diversity of Photo-Phago-Trophic Plankton in Form, Function, and Distribution across the Global Ocean. *J. Eukaryot. Microbiol.* **2023**, 70 (4), e12972. <https://doi.org/10.1111/jeu.12972>
- (3) Burki, F.; Roger, A. J.; Brown, M. W.; Simpson, A. G. B. The New Tree of Eukaryotes. *Trends Ecol. Evol.* **2020**, 35 (1), 43–55. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.08.008>
- (4) Mitra, A.; Flynn, K. J.; Stoecker, D. K.; Raven, J. A. Trait Trade-Offs in Phagotrophic Microalgae: The Mixoplankton Conundrum. *Eur. J. Phycol.* **2024**, 59 (1), 51–70. <https://doi.org/10.1080/09670262.2023.2216259>
- (5) Mitra, A.; Castellani, C.; Gentleman, W. C.; Jónasdóttir, S. H.; Flynn, K. J.; Bode, A.; Halsband, C.; Kuhn, P.; Licandro, P.; Agersted, M. D.; Calbet, A.; Lindeque, P. K.; Koppelman, R.; Möller, E. F.; Gislason, A.; Nielsen, T. G.; St. John, M. Bridging the Gap between Marine Biogeochemical and Fisheries Sciences; Configuring the Zooplankton. *Link. Prog. Oceanogr.* **2014**, 129, 176–199. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2014.04.025>
- (6) Bar-On, Y. M.; Milo, R. The Biomass Composition of the Oceans: A Blueprint of Our Blue Planet. *Cell* **2019**, 179 (7), 1451–1454. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2019.11.018>
- (7) Berdalet, E.; Fleming, L. E.; Gowen, R.; Davidson, K.; Hess, P.; Backer, L. C.; Moore, S. K.; Hoagland, P.; Enevoldsen, H. Marine Harmful Algal Blooms, Human Health and Wellbeing: Challenges and Opportunities in the 21st Century. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.* **2016**, 96 (1), 61–91. <https://doi.org/10.1017/S0025315415001733>
- (8) Osei Sekyere, J. Current State of Resistance to Antibiotics of Last-Resort in South Africa: A Review from a Public Health Perspective. *Front. Public Health* **2016**, 4, <https://doi.org/10.3389/fpubh.2016.00209>
- (9) Leles, S. G.; Bruggeman, J.; Polimene, L.; Blackford, J. C.; Flynn, K. J.; Mitra, A. Differences in Physiology Explain Succession of Mixoplankton Functional Types and Affect Carbon Fluxes in Temperate Seas. *Prog. Oceanogr.* **2020**, 190, 102481. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2020.102481>
- (10) Sunagawa, S.; Acinas, S. G.; Bork, P.; Bowler, C.; Eveillard, D.; Gorsky, G.; Guidi, L.; Ludicone, D.; Karsenti, E.; Lombard, F.; Ogata, H.; Pesant, S.; Sullivan, M. B.; Wincker, P.; de Vargas, C. Tara Oceans: Towards Global Ocean Ecosystems Biology. *Nat. Rev. Microbiol.* **2020**, 18 (8), 428–445. <https://doi.org/10.1038/s41579-020-0364-5>
- (11) Hedges, J. I.; Baldock, J. A.; Gélina, Y.; Lee, C.; Peterson, M. L.; Wakeham, S. G. The Biochemical and Elemental Compositions of Marine Plankton: A NMR Perspective. *Mar. Chem.* **2002**, 78 (1), 47–63. [https://doi.org/10.1016/S0304-4203\(02\)00009-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4203(02)00009-9)
- (12) Polimene, L.; Sailley, S.; Clark, D.; Mitra, A.; Allen, J. I. Biological or Microbial Carbon Pump? The Role of Phytoplankton Stoichiometry in Ocean Carbon Sequestration. *J. Plankton Res.* **2017**, 39 (2), 180–186. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbw091>
- (13) Jiao, N.; Luo, T.; Chen, Q.; Zhao, Z.; Xiao, X.; Liu, J.; Jian, Z.; Xie, S.; Thomas, H.; Herndl, G. J.; Benner, R.; Gonsior, M.; Chen, F.; Cai, W.-J.; Robinson, C. The Microbial Carbon Pump and Climate Change. *Nat. Rev. Microbiol.* **2024**, 22 (7), 408–419. <https://doi.org/10.1038/s41579-024-01018-0>
- (14) Oschlies, A.; Stevenson, A.; Bach, L. T.; Fennel, K.; Rickaby, R. E. M.; Satterfield, T.; Webb, R.; Gattuso, J.-P. Guide to Best Practices in Ocean Alkalinity Enhancement Research, 0 ed.; Copernicus GmbH, **2023**. <https://doi.org/10.5194/sp-2-0ae2023>
- (15) Korsunsky, A. M.; Bedoshvili, Y. D.; Cvjetinovic, J.; Aggrey, P.; Dragnevski, K. I.; Gorin, D. A.; Salimon, A. I.; Likhoshway, Y. V. Siliceous Diatom Frustules – A Smart Nanotechnology Platform. *Mater. Today Proc.* **2020**, 33, 2032–2040. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.571>
- (16) Kenny, P.; Flynn, K. J. Physiology Limits Commercially Viable Photoautotrophic Production of Microalgal Biofuels. *J. Appl. Phycol.* **2017**, 29 (6), <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1214-3>
- (17) Revoir notre rapport à l'eau : interview d'Emma Haziza, hydrologue. Initiatives pour l'Avenir des Grands Fleuves. <https://www.initiativesfleuves.org/actualites/revoir-rapport-a-leau-interview-demma-haziza-hydrologue/> (accessed 2024-06-26)
- (18) Falkowski, P. Ocean Science: The Power of Plankton. *Nature* **2012**, 483 (7387), S17–S20. <https://doi.org/10.1038/483S17a>
- (19) Condon, R. H.; Duarte, C. M.; Pitt, K. A.; Robinson, K. L.; Lucas, C. H.; Sutherland, K. R.; Mianzan, H. W.; Borgeberg, M.; Purcell, J. E.; Decker, M. B.; Uye, S.; Madin, L. P.; Brodeur, R. D.; Haddock, S. H. D.; Malej, A.; Parry, G. D.; Eriksen, E.; Quiñones, J.; Acha, M.; Harvey, M.; Arthur, J. M.; Graham, W. M. Recurrent Jellyfish Blooms Are a Consequence of Global Oscillations. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **2013**, 110 (3), 1000–1005. <https://doi.org/10.1073/pnas.1210920110>
- (20) Lombard, F. Jellyfish Proliferation. **2023**.
- (21) McQuatters-Gollop, A.; Stern, R. F.; Atkinson, A.; Best, M.; Bresnan, E.; Creach, V.; Devlin, M.; Holland, M.; Ostle, C.; Schmidt, K.; Sheppard, L.; Tarran, G.; Woodward, E. M. S.; Tett, P. The Silent Majority: Pico- and Nanoplankton as Ecosystem Health Indicators for Marine Policy. *Ecol. Indic.* **2024**, 159, 111650. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111650>
- (22) Pacheco, D.; Rocha, A. C.; Pereira, L.; Verdelhos, T. Microalgae Water Bioremediation: Trends and Hot Topics. *Appl. Sci.* **2020**, 10 (5), 1886. <https://doi.org/10.3390/app10051886>
- (23) Despotović, D.; Aharon, E.; Trofimiyuk, O.; Dubovetskyi, A.; Cherukuri, K. P.; Ashani, Y.; Eliason, O.; Sperfeld, M.; Leader, H.; Castelli, A.; Fumagalli, L.; Savidor, A.; Levin, Y.; Longo, L. M.; Segev, E.; Tawfik, D. S. Utilization of Diverse Organophosphorus Pollutants by Marine Bacteria. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **2022**, 119 (32), e2203604119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2203604119>
- (24) Au, H. K. A. Urban Algae: Redefining Urban Spaces and Infrastructure Through Microalgae Ecological and Biophilic Values. **2022**.
- (25) Zeenat; Elahi, A.; Bukhari, D. A.; Shamim, S.; Rehman, A. Plastics Degradation by Microbes: A Sustainable Approach. *J. King Saud Univ. - Sci.* **2021**, 33 (6), 101538. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101538>
- (26) Rüthi, J.; Cerri, M.; Brunner, I.; Stierli, B.; Sander, M.; Frey, B. Discovery of Plastic-Degrading Microbial Strains Isolated from the Alpine and Arctic Terrestrial Plasticsphere. *Front. Microbiol.* **2023**, 14, <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1178474>
- (27) Kong, F.; Blot, C.; Liu, K.; Kim, M.; Li-Beisson, Y. Advances in Algal Lipid Metabolism and Their Use to Improve Oil Content. *Curr. Opin. Biotechnol.* **2024**, 87, 103130. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2024.103130>
- (28) Zhou, X.-R.; Yao, Z. J.; Benedicto, K.; Nichols, P. D.; Green, A.; Singh, S. New Sustainable Oil Seed Sources of Omega-3 Long-Chain Polyunsaturated Fatty Acids: A Journey from the Ocean to the Field. *Sustainability* **2023**, 15 (14), 11327. <https://doi.org/10.3390/su151411327>
- (29) DareWin presentation, Lux Research 2015, Rabobank 2015, IndexMundi 2017, **2017**.
- (30) Patel, A.; Rova, U.; Christakopoulos, P.; Matsakas, L. Assessment of Fatty Acids Profile and Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acid Production by the Oleaginous Marine Thraustochytrid *Aurantiochytrium* Sp. T66 Cultivated on Volatile Fatty Acids. *Biomolecules* **2020**, 10 (5), 694. <https://doi.org/10.3390/biom10050694>
- (31) Camacho, F.; Macedo, A.; Malcata, F. Potential Industrial Applications and Commercialization of Microalgae in the Functional Food and Feed Industries: A Short Review. *Mar. Drugs* **2019**, 17 (6), 312. <https://doi.org/10.3390/md17060312>
- (32) Leu, S.; Boussiba, S. Advances in the Production of High-Value Products by Microalgae. *Ind. Biotechnol.* **2014**, 10 (3), 169–183. <https://doi.org/10.1089/ind.2013.0039>
- (33) Resende, D. I. S. P.; Ferreira, M.; Magalhães, C.; Sousa Lobo, J. M.; Sousa, E.; Almeida, I. F. Trends in the Use of Marine Ingredients in Anti-Aging Cosmetics. *Algal Res.* **2021**, 55, 102273. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102273>
- (34) Perera, R. M. T. D.; Herath, K. H. I. N. M.; Sanjeeva, K. K. A.; Jayawardena, T. U. Recent Reports on Bioactive Compounds from Marine Cyanobacteria in Relation to Human Health Applications. *Life* **2023**, 13 (6), 1411. <https://doi.org/10.3390/life13061411>
- (35) Mimouni, V.; Ulmann, L.; Pasquet, V.; Mathieu, M.; Picot, L.; Bougaran, G.; Cadoret, J.-P.; Morant-Manceau, A.; Schoefs, B. The Potential of Microalgae for the Production of Bioactive Molecules of Pharmaceutical Interest. *Curr. Pharm. Biotechnol.* **2012**, 13 (15), 2733–2750. <https://doi.org/10.2174/138920112804724828>
- (36) Couteau, C.; Coiffard, L. Microalgal Application in Cosmetics; **2018**; pp 317–323. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811405-6.00015-3>
- (37) Riccio, G.; Ruocco, N.; Mutalipassi, M.; Costantini, M.; Zupo, V.; Coppola, D.; de Pascale, D.; Lauritano, C. Ten-Year Research Update Review: Antiviral Activities from Marine Organisms. *Biomolecules* **2020**, 10 (7), 1007. <https://doi.org/10.3390/biom10071007>
- (38) Gilbert, P. M.; Mitra, A. From Webs, Loops, Shunts, and Pumps to Microbial Multitasking: Evolving Concepts of Marine Microbial Ecology, the Mixoplankton Paradigm, and Implications for a Future Ocean. *Limnol. Oceanogr.* **2022**, 67 (3), 585–597. <https://doi.org/10.1002/lno.12018>



United Nations
Global Compact

国連グローバル・コンパクトについて

国連グローバル・コンパクトは、世界各地の企業が自社の事業や戦略を、人権、労働、環境、腐敗防止の分野にわたる10の原則に沿ったものとするよう呼びかける、国連事務総長の特別イニシアチブです。目指すのは、10原則を支持し、SDGsに貢献する企業のグローバルなコレクティブ・インパクトを、説明責任を果たす企業および変革を可能にするエコシステムを通じ、加速、拡大させることです。20,000社を超える会員企業、5つの地域拠点、78カ国を管轄する62のカントリー・ネットワークと、その他20カ国でネットワークを持つ14名のカントリー・マネージャーを擁する国連グローバル・コンパクトは、世界最大のコーポレート・サステナビリティのイニシアチブとなっています。より良い世界のために、ワン・グローバル・コンパクトが企業を繋ぎます。

詳しくは、ソーシャル・メディアで@globalcompactをフォローするか、
ウェブサイトunglobalcompact.orgをご覧ください。

© September 2024, 国連グローバル・コンパクト
685 Third Avenue New York, NY 10017, USA

