

化学物質と海洋植物プランクトン

鈴木 光次

1. はじめに

海洋に生息する植物プランクトンの多くは、肉眼で見えない微細藻類です。しかし、陸上の植物と同様、光合成により、水と海水中に溶けた二酸化炭素から有機物と酸素を作り出します。海洋植物プランクトンの光合成による有機物生産は、食物網を通して、海洋生態系全体を支える基盤となっています。従って、海洋植物プランクトンの量や群集組成が変化すると、より高次栄養段階の魚類などに深刻な影響を及ぼす可能性があります。また、地球温暖化の主原因と考えられている人間活動によって放出された二酸化炭素の約 30%は海洋に溶け込むと考えられています。植物プランクトンの光合成による二酸化炭素の固定は、気候の調節にも大きな貢献をしています。

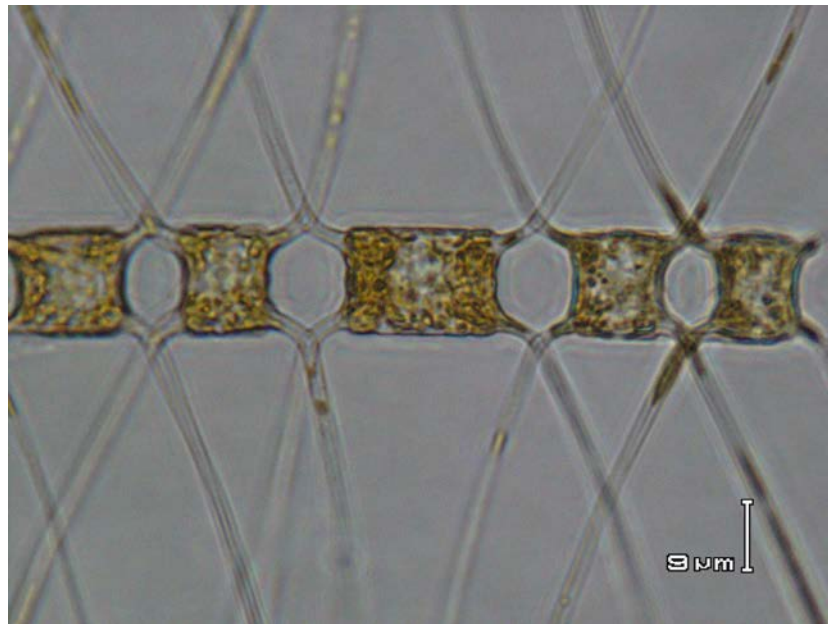


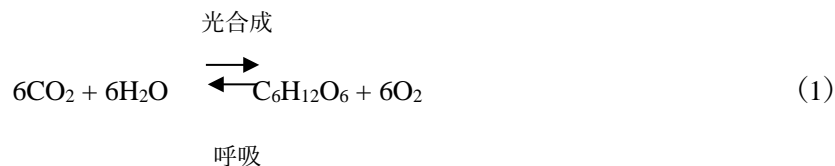
図 1. 北海道沿岸海域でよく観察される植物プランクトン (*Chaetoceros* 属珪藻)。1 μm (マイクロメートル) は、1 ミリメートルの千分の 1 の長さ。

2. 海洋植物プランクトンによる光合成 (基礎生産) 過程

現在、太陽系惑星の中で、地球のみが酸素に富んだ大気を持っています(大気中の体積割合で酸素は約 21%存在)。一方、地球が出来た約 46 億年前の原始大気中には酸素がほとんど存在せず、その主成分は水蒸気、二酸化炭素、窒素と考えられています。この時代では、現在の地球環境とは異なり、生物に有害な紫外線が太陽から地表に多量に到達していたため、生物は地上に生息することは出来ませんでした。その後、約 24.5

億年前頃から地球表層大気に酸素が存在するようになり、この酸素を作り出したのは海水中に生息するラン藻（シアノバクテリア）という光合成を行う藻類が約 23 億年前に出現したと考えられています。しかし、最新の研究によると、恐らく約 34 億年前には酸素発生型の光合成を行うラン藻が生まれ、25 億年前には大気中に少量の酸素が存在していたことがわかってきました。本来、酸素は強い酸化力を持った毒性の高い気体ですが、この約 25 億年前以降、一部の生物は、酸素を利用した代謝機能を持つように進化したと考えられています。原始大気中にも酸素が多量に存在するようになると、生物に有害な太陽からの紫外線（B 領域紫外線）の多くは、酸素分子（O₂）と強い光エネルギーから生成したオゾン（O₃）という物質により遮断され、地表に届かなくなり始めました。そして、さらに大気中の酸素やオゾンの濃度が増加した約 4 億年前になると、海洋生物は、陸上に進出し始め、急速に生物進化が進んだと考えられています。従って、もし原始の海に植物プランクトンが誕生し、多量の酸素を生産しなければ、我々人類は存在しなかったといっても過言ではありません。

植物プランクトンが行う光合成は、(1) 式の左辺から右辺への反応式で表されます。生態学や海洋学分野では、海洋植物プランクトンをはじめとした光合成生物が単位時間および単位面積（もしくは体積）あたりに光合成過程を通して作る有機物（あるいは酸素）の総量を総基礎生産と呼んでいます。なお、酸素を使った好気呼吸は光合成と逆の反応です。総基礎生産から光合成生物自身の呼吸による消費量を差し引いた正味の生産量を純基礎生産と呼んでいます。



近年、人工衛星を使った海洋観測（衛星リモートセンシング）により、地球規模での純基礎生産の時系列データの取得が可能になりました。昨年（2017 年）12 月 23 日にも宇宙航空研究開発機構（JAXA）が気候変動観測衛星「しきさい」を打ち上げることに成功し、海洋植物プランクトンの量や純基礎生産などを見積もることが期待されています。海洋の年間の純基礎生産は、炭素量として、約 50×10^{15} グラム炭素と見積もられており、陸上の年間の純基礎生産（約 54×10^{15} グラム炭素）とほぼ同等と考えられています。また、海洋の純基礎生産の約 93% は植物プランクトンが担っており、残りの約 7% がワカメやコンブなどの大型藻類や海草類によるものと考えられています。水深が 200 メートルより浅い海洋表層で植物プランクトンによって作られた有機物の多くは、植物プランクトンを捕食する動物プランクトンや海水中の有機物を餌として増殖するバクテリア等により、海洋表層で分解され、二酸化炭素に戻されてしまうことが知られています。しかし、その一部は、表層での分解を逃れて、水深 200 メートル以上の中深層とよばれる深い水深に輸送されます。一度、有機物が中深層に輸送されると千年スケールで海洋表層に二酸化炭素の形で戻らないことが知られています。我々は、この海洋表層の生物生産過程と中深層での有機物の分解・再生の過程を総称して、「生物ポンプ」と呼んでいます。仮に、海洋表層の植物プランクトンが死滅して、生物ポンプが働かなくなった

場合、現在の大气中の二酸化炭素濃度は2倍程度増加すると見積もられています。

地球の緯度による海洋表層の基礎生産力の季節変動は概ね図2のように示されます。低緯度海域では、年間を通して、基礎生産力の変動は小さいです。低緯度海域の昼間の光量は植物プランクトンの光合成にとって十分にあり、強い日射により海洋表層は暖められ、通年、「水柱の成層化」が発達します。この水柱の成層化とは、海洋上部と下部間の密度（水温と塩分）の違いにより、海洋上部と下部で海水が混合しにくい状態を指します（同様の現象として、お風呂において、上部は暖かいけれど、下部は冷たいということを経験されたことがあることと思います）。水柱の成層化は、海洋中深層に豊富に存在する栄養物質（硝酸塩、リン酸塩などの栄養塩）の海洋表層への輸送を制限し、基礎生産力を低下させます。中緯度海域では、基礎生産力の季節変化が明瞭です。冬季

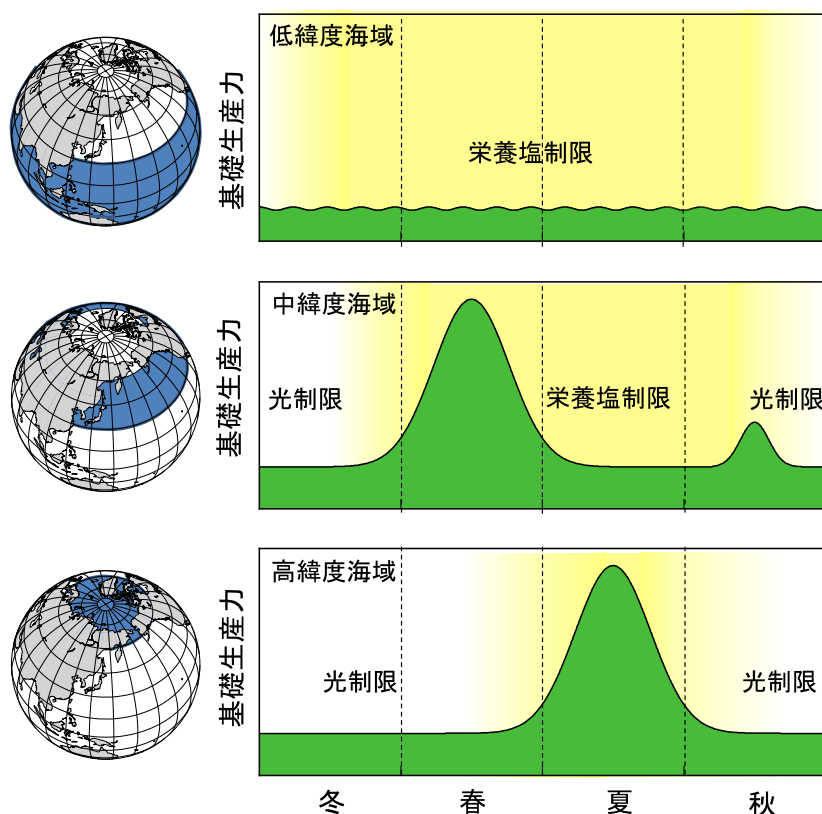


図2. 緯度別の海洋基礎生産力の季節変動の模式図。黄色は光量を表す。

の中緯度海域では、海水面の温度が低下し、また海上風が強くなることにより、活発な海水の鉛直混合が発生し、多量の栄養塩が海洋表層にもたらされます。しかし、冬季は光量が十分でないため、植物プランクトンはこの栄養塩を効率良く利用することができません。このため、冬季の基礎生産力は比較的低くなります。春季になると、光量は増加し、日照時間が長くなり、水柱の成層化が起こるようになります。海洋表層には冬季に供給された栄養塩が十分に存在し、また水柱の成層化により植物プランクトンは光量が十分な表層にとどまることが可能になることから、春季ブルームと呼ばれる植物プラ

ンクTONの大量増殖をみることができます。北海道東部沖の親潮域は、世界の海の中でもこの春季ブルームの規模が最も大きい海域の一つです。春季から夏季にかけて、海洋表層の栄養塩は植物プランクトンにより活発に消費されます。夏季になると、低緯度に見られるような水柱の成層化が発達するため、海洋中深層からの栄養塩の供給は低下し、基礎生産力も低下します。秋季には、日射量および日照時間が低下し、それに伴う表層水温の低下、海上風の強化などにより、水柱の成層化が弱まります。これにより、海洋中深層から表層への栄養塩の供給が起こり、秋季ブルームが発生します。その後、冬季に向けて、徐々に光量が低下することから、光による基礎生産力の低下が起こることになります。北極海や南極海（南大洋）の高緯度海域表層では、日射量が増加する夏季を除き、水柱の成層化が発達せず、中緯度域の冬季と同様、光不足により基礎生産力が制限されます。光の強い夏季には植物プランクトンが短期的に大量増殖することが知られています。

3. 地球環境変化に対する海洋植物プランクトンの応答

1980年代初頭に南極上空にオゾンホールが見つかり、その主原因がフロンと呼ばれる人工化学物質中に含まれる塩素原子であることがわかっています。1985年のウィーン条約や1987年のモントリオール議定書等により、フロンは国際的に製造の規制や回収が徹底されましたが、未だ毎年9月から10月にかけて南極上空にオゾンホールが出現します。大気中のオゾン濃度が減少すると、海表面に届く生物に有害なB領域紫外線の放射量が増加し、植物プランクトンの基礎生産力が低下します。近年、地球温暖化による海洋生態系への影響も強く懸念されています。地球温暖化で海洋表層の水温が高くなることにより、水柱の成層化が強化されることが予測されています。これにより、低・中緯度の外洋域では、海洋中深層から表層への栄養塩の供給が弱まり、植物プランクトンの基礎生産力も弱化する可能性があります。また、海水中の二酸化炭素の増加による海洋酸性化が植物プランクトンへ影響を及ぼす可能性があります。沿岸海域では、人間活動がもたらす海水の富栄養化により、有害な植物プランクトンが大発生する頻度が高まっています。植物プランクトンの量やその群集組成が変化すると、それを餌とする捕食者（動物プランクトン）や、さらにそれを捕食する魚類等にも影響を及ぼすことが予測されることから、ひいては海洋生態系全体を変化させる可能性があります。

4. おわりに

国際連合の持続可能な開発目標（SDGs）では、2030年までに貧困に終止符を打ち、地球を保護し、すべての人が平和と豊かさを享受できるようにすることを目指しています。SDGsの17のグローバル目標の内の1つに「海の豊かさを守ろう」が掲げられています。本講義がその理解の一助になれば幸いです。