HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	海洋微生物と地球環境変化
Author(s)	鈴木, 光次
Description	北海道大学大学院地球環境科学研究院平成19年度公開講座 快適環境をまもる微生物たちの姿とはたらき. 平成19年8月21日～9月25日. 札幌市
Relation	北海道大学大学院地球環境科学研究院平成19年度公開講座 快適環境をまもる微生物たちの姿とはたらき. 第1回.
Issue Date	2007-08-21
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/36615
Type	lecture
File Information	koukai-suzuki.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

第 1 回　　8 月 21 日（月）

海洋微生物と地球環境変化

講師：大学院地球環境科学研究院　准教授　鈴木　光次

1. はじめに

海水が塩辛いことはよくご存知のことと思いますが, 天然海水中には人間の肉眼ではよく見えない微小な生物（微生物）が非常に多く生息していることをご存知でしょうか. 例えば, 皆さんが海水浴場に行き, 海で泳いでいる時に誤って海水を小さじ一杯ほど飲み込んでしまった時でも, その海水中には少なくとも 100 万細胞以上の微生物が入っているはずです. 海の微生物には, 主にウイルス, バクテリア（細菌）, 植物プランクトン, 動物プランクトンが含まれます. 一般に, 日本の海水浴場の海水はほぼ無色透明ですが, 人間活動により河川から窒素やリン等の栄養物質が大量に海に供給された結果, 海水の富栄養化が起こると, 植物プランクトンが異常発生し, 海水が赤色等に変色します. この現象を赤潮といいます（図 1）. 幸いなことに北海道では赤潮を見聞きすることが比較的少ないと思いますが, 世界的には未だ赤潮が深刻な問題となっており, 赤潮による水産被害が数多く報告されています. その典型的な例として, 赤潮により養殖場の魚介類の窒息死があります. これは, 大量発生したプランクトン自身の呼吸および死滅したプランクトンがバクテリア（細菌）により活発に分解される過程で, 海水中に溶けている酸素が大量に消費されてしまうことにより起きます. 時には, 魚介類のえらにプランクトンが詰まることにより, 魚介類が窒息死することもあります. 赤潮を形成する一部の植物プランクトンが産出する毒素が魚介類に蓄積し, それを食べる人間にも健康被害を及ぼすことも知られています. しかし, 海の微生物が人間にとって悪さばかりをしているわけではありません. 本講義では, 海の微生物が地球環境に果たしてきた役割をご紹介するとともに, 今後の地球環境変化により海の微生物がどのような影響を受ける可能性があるかについてもお話したいと思います.



図 1. メキシコにおける渦鞭毛藻（*Noctiluca* sp.）による赤潮. 引用：Marine Biology 6th edition (eds. P. Castro & M. E. Huber), McGraw-Hill Higher Education, 2007.

2. 地球の歴史と海洋微生物

地球は現在の約 46 億年前に出来ました．そして，約 38 億年前の原始の海において，生命（非常に単純な体を持つ単細胞の微生物）が初めて誕生しました．なお，この時代では，現在の地球とは異なり，地表付近には，酸素（0_2）が存在せず（もしくは，存在しても極めて微量でした），また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と考えられています．一方，水深の深い海では太陽からの有害な紫外線が届きにくく，最初に生まれた微生物は海水に溶けている有機物を体内に取り込んで生育していたと思われます．その後，約 27 億年前頃から地球表層に酸素が存在するようになりました．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細菌です．光合成は，二酸化炭素と水と太陽からの光エネルギーを使って，有機物と酸素を合成します．本来，酸素は強い酸化力を持った毒性の高い気体ですが，この時代以降，ラン藻を含む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．ラン藻が作った酸素は海水に溶け込むとともに，その一部は原始の海から大気に逃げていったはずです．そして，約 23 億年前以後，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の多くは，酸素と光エネルギーにより生成したオゾン（0_3）によって遮断され，地表に届かなくなり始めました．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，もし約 27 億年前の原始の海にラン藻という微生物が誕生し，酸素を作りだすことがなければ，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．

3. 海洋微生物と地球温暖化

現在，海に生息する植物プランクトン（図 2）が光合成で作り出す正味の有機物の量は地球規模で年間約 50 ペタグラム（ペタは 10 の 15 乗．すなわち，千兆）と報告されています．ここで，正味の有機物の量という意味は，植物プランクトンが増殖する際，呼吸により光合成で作り出した有機物と酸素を使って活動エネルギーを得ることから，光合成

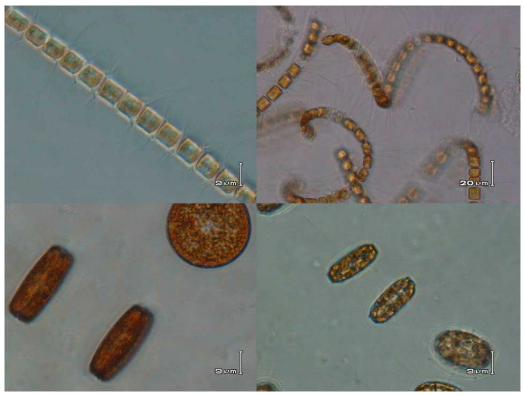


図 2. 春季に北海道沖でよく見られる植物プランクトン（珪藻類）の例.

で作られた有機物から呼吸で消費された有機物を差し引いた値であることを指します．地球上で全陸上植物が光合成で作り出す正味の有機物の量は 1 年間に約 60 ペタグラムと言われていることから，植物プランクトンが作り出す正味の有機物の量は陸上植物とほぼ同等です．このため，海に生息する植物プランクトンは，陸上植物と同様，地球温暖化の原因である二酸化炭素の極めて重要な固定者と考えられています．

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の呼吸により，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，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．なお，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とした場合，現在の大気中の二酸化炭素濃度は約 3 倍増加すると見積もられています．

近年，植物プランクトンの増殖に必要な主要栄養物質（窒素やリン等）が豊富に存在するにもかかわらず，鉄が不足していると考えられている外洋域（東部赤道太平洋域，南極海域，北太平洋亜寒帯域）の表層に人為的に鉄を散布して，生物ポンプを促進させることを試みる中規模現場鉄散布実験が，私も含め世界各国の多数の海洋学研究者により，実施されました．鉄は，地表付近に存在する全元素の約 5%（重量比）を占め，4 番目に多い元素ですが，陸地から遠く離れた外洋域の表層海水中には極めて微量にしか存在しません．これは，上で記しましたように約 27 億年前にラン藻が酸素を作り出し，海水中に酸素が多く溶け込み，また数多くの塩類を含み海水が弱アルカリ性になった結果，海水には鉄がほとんど溶けることができなくなり，そのほとんどは鉄粒子として沈殿してしまうためです．中規模現場鉄散布実験を実施した結果，現在までの計 12 回の全ての実験において，現場鉄散

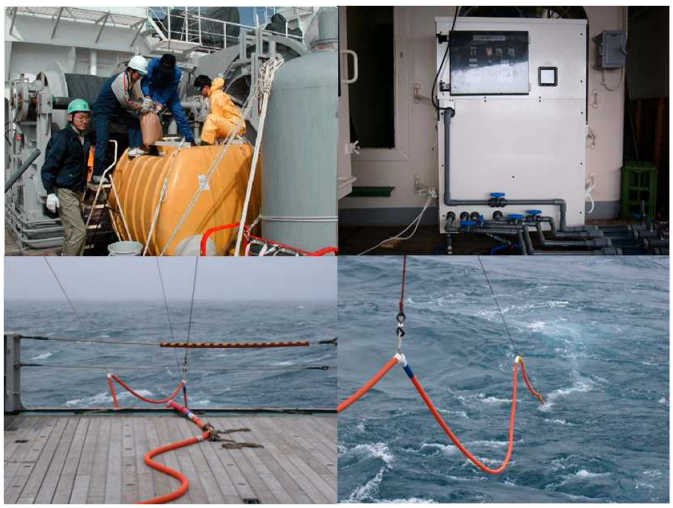


図 3. 日本人研究者が主導して実施した西部北太平洋亜寒帯域における中規模現場鉄散布実験の風景．約 350kg の鉄の粉を塩酸で酸性化した海水に溶かし，流量を制御しながら，約 10km 四方の海域約 5m 深に鉄を含む海水を散布した．

布により植物プランクトンの光合成能力の増加が確認されました. しかし, 残念ながら, 表層の従属栄養細菌や動物プランクトンの増殖も促進されることから, 顕著な生物ポンプ能の増加（即ち，地球温暖化の抑制効果）はあまり期待できないことが幾つかの実験で判明しました．また，鉄散布により海洋生態系を人為的に変化させてしまう可能性があるため, 大規模な海洋鉄散布は行うべきではないという意見が多くの海洋学研究者から出されました．このため，現在，地球温暖化抑制策としての現場鉄散布実験は，あまり現実的でないと考えられています．しかし，我々は，現場鉄散布実験を通して，これら外洋域の植物プランクトンの増殖が海水中の鉄によって著しく制限されていることを実証することができました．また，現場鉄散布実験で得られた結果は，海洋における炭素の動態を解明する上で，大変貴重なものとなっています．

最近，地球温暖化による海洋生態系への影響も懸念されています．地球温暖化で海洋表層の水温が高くなることにより，海洋の成層化（表層と中深層の水が混合しにくくなること．身近な例として，お風呂のお湯の温度が，上部で高く，下部で低いことと同じ現象）が強化されることが予測されています．これにより，海洋中深層から表層への栄養物質の供給が弱まり，植物プランクトンの増殖力も弱化する可能性があります．植物プランクトンが減少すると，それを餌とする捕食者（動物プランクトン）や，さらにそれを補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．また，大気中の二酸化炭素濃度の増加に伴い，海水中の二酸化炭素濃度も増加し, 表層海水の pH（酸性もしくはアルカリ性の程度を表す）が 100 年後には現在の約 8.1 から 7.8 程度に減少する，すなわち，今後，海水が弱アルカリ性から中性に向かうことが予想されています．この現象は海洋酸性化と呼ばれています．炭酸カルシウムの殻を持つ海洋微生物（例えば，植物プランクトンでは円石藻類（図 4），動物プランクトンでは翼足類など）や亜熱帯域にいる造礁サンゴ類などは，この海水の pH 低下により，自身の殻が溶けてしまう，あるいは殻を作る能力が減少し, 最悪の場合, 絶滅してしまうことが危惧されています.

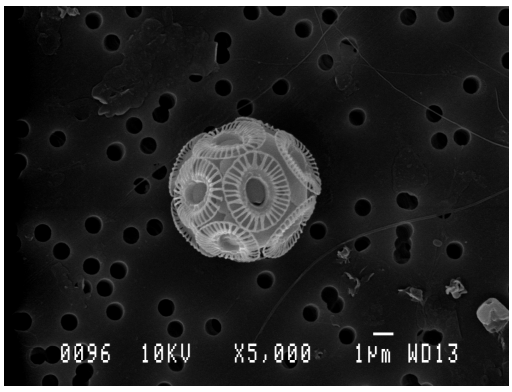


図 4. 円石藻 *Emiliania huxleyi* の走査型電子顕微鏡写真. 円盤部が炭酸カルシウムで作られている.