

# 海洋施肥による温暖化ガスの吸収と放出に関する研究

環境システムコース・環境プロセス工学

16647 菅原 祐一

## 1.緒言

近年、化石燃料の大量消費などに伴い大気中の二酸化炭素濃度が上昇し、それにより生じる地球温暖化が危惧されている。そして、その対策として、生産性の低い外洋に施肥をすることが考えられる。海洋施肥によりプランクトンが増加し、その屍骸が深海に沈降することで、大気中の二酸化炭素を海水の鉛直混合時間である千年単位の時間海に固定することができ、二酸化炭素問題の対策技術が確立するまでの時間を稼ぐことができる。また、プランクトンが増加することにより、それを餌とする海産物の増加も期待することができる。現在、人口の増加に伴う食料の不足が心配されているが、地球の 2/3 を占める海洋で効率的に食料を生産できるようになれば、その問題も解消するであろう。

しかし、プランクトンの増加に伴い海中の溶存酸素の消費量が増加し、海中が嫌氣的になり易くなると考えられる。嫌氣的条件下では、メタン生成菌により、二酸化炭素よりも温暖化係数の大きいメタンが生成される可能性が考えられ、海洋施肥が温暖化対策として効果的でない可能性も示唆されている<sup>1)</sup>。実際、海洋では溶存酸素が豊富である表層であってもメタンは過飽和になっている<sup>2)</sup>。これは動物プランクトンの腸内や動物プランクトンの排泄物内の限られた空間が嫌氣的になり、メタンが発生するといわれており<sup>3)</sup>、植物プランクトンの増加により溶存酸素が消費され、メタンが生成されるかどうかは研究されていない。

## 2.目的

温暖化の対策として海洋施肥が有効であるかどうか評価するため、海洋施肥に伴う地球温暖化ガスに関する LCA を行うことを本研究の目的とする。その際必要となる嫌氣的条件下による有機物の分解、メタンの発生条件及び発生量に関する知見を得ることを目的とする。

## 3.研究の流れ

実験により、温度、溶存酸素濃度、有機物濃度とメタン生成との関係を明らかにする。それを基に海洋施肥を行った場合にどの程度メタンが生成するかをシミュレーションにより見積もる。これと合わせて、肥料製造・散布により排出される二酸化炭素の量、光合成により固定される二酸化炭素の量を計算し、海洋施肥が地球温暖化の対策として効果的であるかどうかの評価を行う。

## 4.実験

### 4.1 植物プランクトン培養実験

分解実験に必要なプランクトンを得ることと同時に、栄養塩を与えた時の植物プランクトン増加速度の観測を行った。実験方法としては、日当たりの良い野外で、まわりに水道水を流して温度を一定に保った 500L の水槽に 10 月 21 日及び 10 月 29 日に駿河湾の深度 397m で採取した深層水を入れ、バブリング、遮光を行いながら二回培養した。ここで、深層水を利用した理由は、栄養塩が豊富であるからである。POC

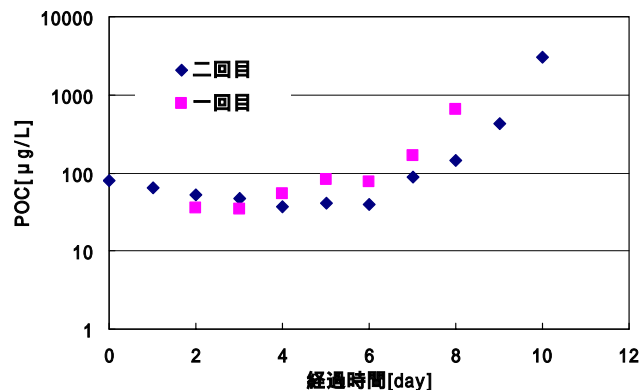


Fig.1 POC 濃度の時間変化

(Partical Organic Carbon) の濃度の時間変化を(Fig.1)に示す。一回目の実験で培養した有機物の同定をしたところ、97%が生きているスケルトネマで、1%が生きているキーとケロス、残りがスケルトネマの死骸であった。一回目と二回目では植物プランクトンの増殖速度が大きく違うが、これは、天候条件の違いによることが大きいと考えられる。

深層水の窒素分の濃度は  $71 \mu\text{M}$  であり、培養でえられた PON(Particle Organic Nitrogen)は  $17.3 \mu\text{M}$  であり、さらに植物プランクトンは増えることが期待できる。

#### 4.2 植物プランクトン分解実験

植物プランクトンの分解によりメタンが発生するかどうか、発生するならばどの程度の量が、ということを見積もるため、及び嫌気条件下での有機物の分解速度を測定するために、密封した体積可変容器にプランクトンまたはグルコース及びペプトンを加えインキュベータ内で 20 に保った。サンプリングを行い、DO、DOC、DON、POC、PON、pH、溶存メタン濃度を測定した。

植物プランクトンを  $6\text{mg/L}$  添加した結果及び好氣的条件で行われた場合の有機物の分解式<sup>4)</sup>

$[\text{POC}] = 0.9\exp(-0.15t) + 0.1\exp(-0.01t)$  を(Fig.2)に示す。また、溶存酸素の経時変化を(Fig.3)に TDC(Total Dissolved Carbon)の経時変化を(Fig.4)に示す。嫌気条件下での有機物の分解式として  $[\text{POC}] = 0.9\exp(-0.15/4t) + 0.1\exp(-0.01/4t)$  とかけた。

実験結果と好氣的条件下の分解式を比較すると、分解速度が落ちていることが分かる。これは、酸化に必要な溶存酸素が減ることにより、酸化されることにより消費される有機物の量が減るためであると考えられる。

4.1 の実験で十分な量の植物プランクトンを得ることができなかったため、プランクトンの代わりとしてたんぱく質であるペプトンと糖であるグルコースを植物プランクトンの C/N 組成と同様になるように添加した実験結果を(Fig.5)に示す。この実験では溶存酸素が十分に消費され、嫌氣的な条件になったが、メタンの発生を見ることができなかった。

また、有機物の分解で酸素が消費される経路として、POC が DOC になる経路と、POC または DOC が二酸化炭素となる経路とがあり、POC、TDC、

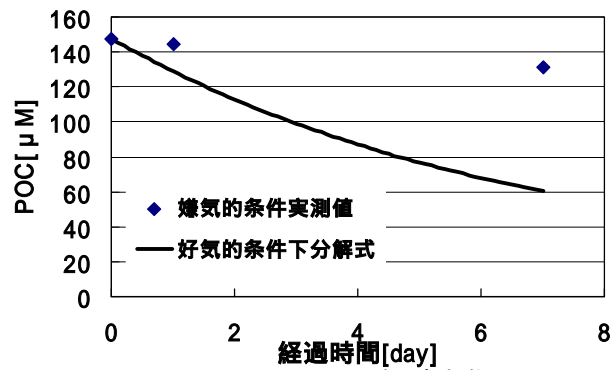


Fig.2 POC の経時変化

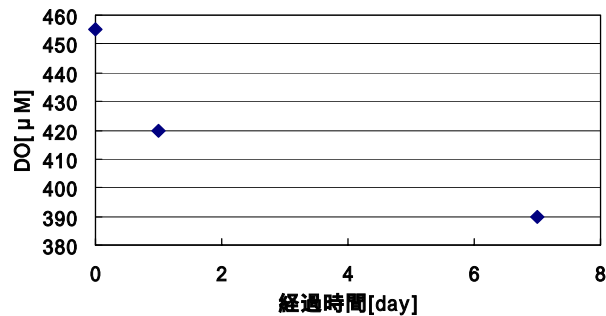


Fig.3 溶存酸素の経時変化

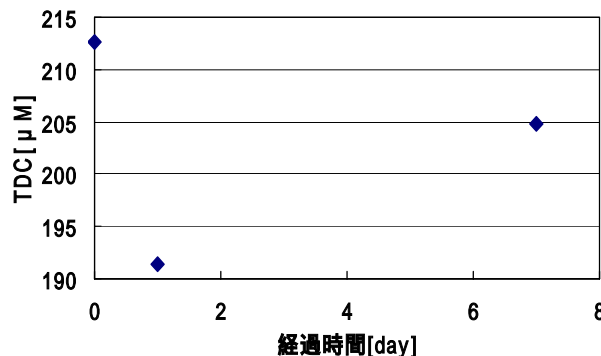


Fig.4 TDC の経時変化

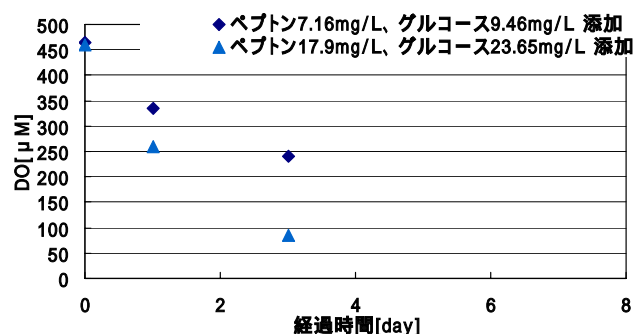


Fig.5 DO の時経変化

DOの間での関係を与えることはできなかった。

### 5. 温暖化ガスの吸収と放出を考慮した海洋モデル

植物プランクトンの分解によりメタンが発生することは見出されなかったが、表層で過飽和となっているメタンとクロロフィル a の相関が示されており<sup>5)</sup>、施肥を行うことでメタンが発生することは考えられる。そこで、施肥による生態系の変化及び有機物の沈降による炭素固定量のモデルと作成し、施肥による二酸化炭素の吸収及びメタンの放出を算出した。用いたモデルは、表層部では、Kawamiya らによる生態系のモデル<sup>6)</sup>を、表層以下では藤井による一次元モデルを用いた<sup>4)</sup>。また、用いたデータは、クロロフィル a、POC、PON は NOPACCS の Station74(30N,175E)を NO<sub>3</sub>、DO、温度、混合層厚さ、については GEOSECS の ids226(30N,170E)を用いた。

#### 5.1 モデル概要

(図 6)にモデルの概念図を示す。モデルでは窒素の循環を主に考慮しており、それに伴う炭素、酸素の変化を考慮している。ただし、バクテリアによる分解、脱窒、海洋の流れなどは考慮していない。

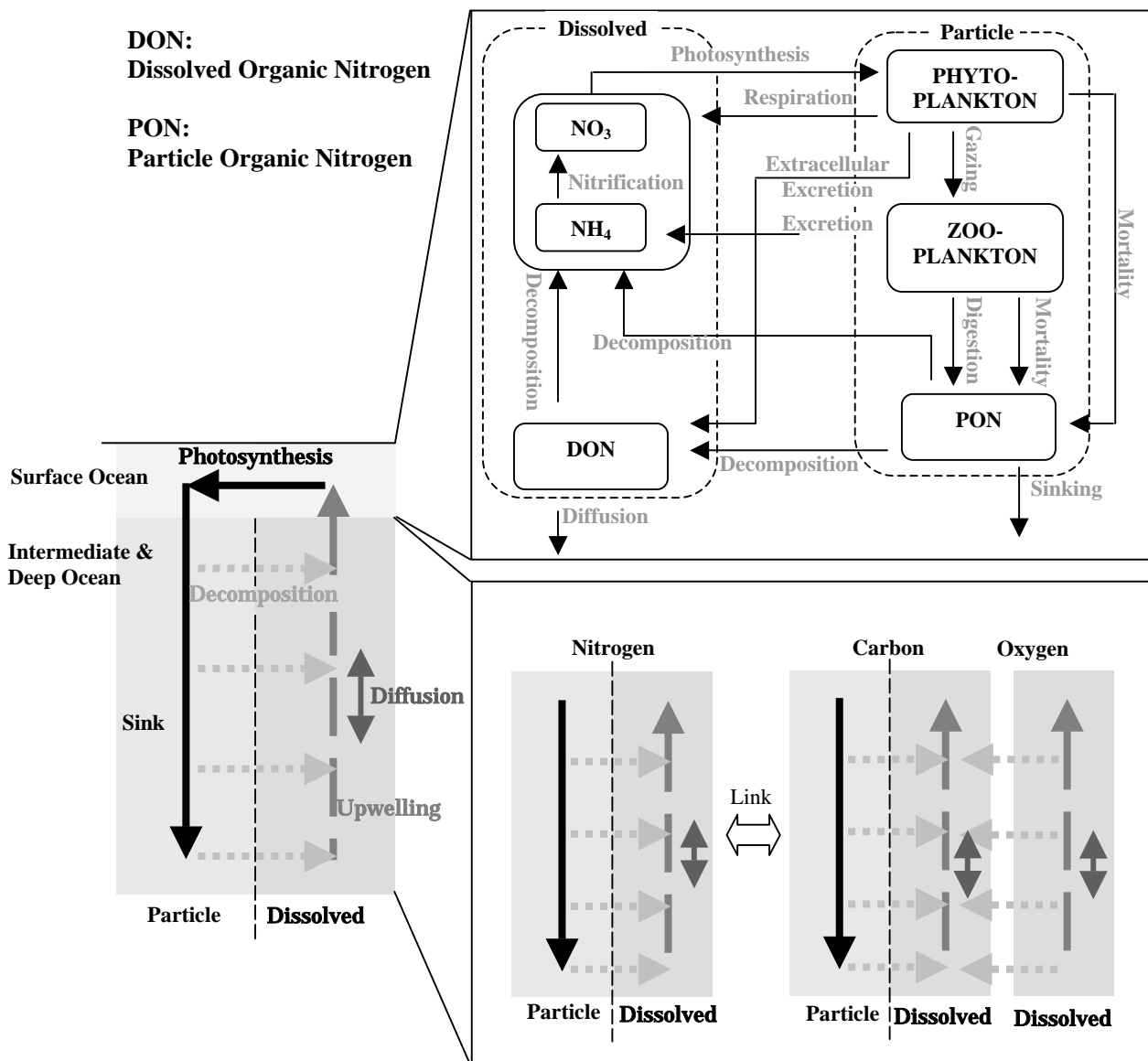


Fig.6 モデル概念図

## 5.1 計算結果

春に窒素分を 1t 撒くことで、10 年間で 20.5t-CO<sub>2</sub> の二酸化炭素の吸収を期待することができ、発生するメタンの量は、10kg-CH<sub>4</sub> となることが計算された。ただし、有機物の分解の式が溶存酸素濃度が 100%であることを前提とした式であり、実際では溶存酸素濃度は 100%ではないので、分解されずに海底に沈む有機物が少なく見積もられているので、さらに多くの二酸化炭素を吸収できると考えられる。

## 6.海洋施肥の GHG に関する LCA

海洋での一次生産を制限している栄養分は、窒素分なので、アンモニウム塩や硝酸塩などの窒素肥料を加えることが最も有効であると考えられるので、本研究では、栄養塩として窒素肥料を散布することを前提とする。

窒素肥料をつくる過程により排出される二酸化炭素の量は、小林らの試算によると、尿素の二酸化炭素の排出量は窒素 1t あたり 1.6t-CO<sub>2</sub>、硫酸アンモニウムでは 1.25t-CO<sub>2</sub> となっている<sup>7)</sup>。また、輸送に関するエネルギー消費量は、『輸送機関のエネルギー消費原単位』<sup>8)</sup>から計算した結果、5000km 搬送したとして、肥料 1t-N あたり 0.385t-CO<sub>2</sub> となる。一方、メタンの温暖化係数は 21 であり、10kg-CH<sub>4</sub> 発生するので、海洋施肥の正味の温暖化対策への寄与は、窒素 1t あたり、およそ 18t-CO<sub>2</sub> となることが分かった。

## 7.まとめ

溶存酸素が不十分の状態では有機物を分解することは、十分ある場合に比べ有機物の分解速度をかなり遅らせることが分かった。植物プランクトンの分解によりメタンは生成しなかったが、海洋施肥により海洋中でのメタン生成は増加することが大いにあり、そのメタン発生を考慮しても窒素 1t あたり 18t-CO<sub>2</sub> の二酸化炭素を吸収することが明らかになった。

## 8.参考文献

- 1) Sallie W. Chisholm, Paul G. Falkowski, John J. Cullen (2001) "Dis-Crediting Ocean Fertilization" *SCIENCE*, Vol.294, 12 Oct., p.309-310
- 2) Kiene, R. P. in *Microbial Production and Consumption of Greenhouse Gases: Methane, Nitrogen Oxides, and Halomethanes* (eds Rogers, J. E. & Whitman, W. B.) 111-14 (Am. Soc. For Microbiology, Washington DC, 1991).
- 3) David M. Karl, Bronte D. Tilbrook (1994) "Production and transport of methane in oceanic particulate organic matter", *NATURE*, Vol. 368, 21 APRIL, p732-734
- 4) 藤井実 (2001) 海洋生態系を利用した CO<sub>2</sub> 固定に関する研究, 東京大学大学院博士論文
- 5) Claude Oudot, Philippe Jean-Baptiste, Elise Fourre, Claire Mormiche, Michael Guevel, Jean-Francois Ternon, Pierre Le Corre (2002) "Transatlantic equatorial distribution of nitrous oxide and methane", *Deep-Sea Research I*, 49, p.1175-1193
- 6) Michio Kawamiya, Michio J. Kishi, Nobuo Suginozawa (2000) "An ecosystem model for the North Pacific embedded in a general circulation model PartI: Model description and characteristics of spatial distributions of biological variables", *Journal of Marine Systems*, 25, p.129-157
- 7) 小林久、佐合隆一(2001)"窒素およびリン肥料の製造・流通段階のライフサイクルにわたるエネルギー消費量と CO<sub>2</sub> 排出量の試算" 農作業研究 36(3)
- 8) 運輸省(1996) 『平成 8 年度版運輸関係エネルギー要覧』