

二酸化炭素の海洋隔離における海藻の役割の定量的評価
-海藻類の溶存態有機物の分布特性と輸送過程から-
和田茂樹 (筑波大学・下田臨海実験センター)

【はじめに】

大気中の二酸化炭素の増加は、地球温暖化などの深刻な気候変動を引き起こしている。沿岸に生息する海藻類は、面積あたりの光合成生産量が熱帯雨林に匹敵し、二酸化炭素を有機炭素に変換することから、炭素吸収への寄与が期待される。しかしながら、その光合成生産物の行方は特定されておらず、炭素吸収能の評価が曖昧であるという問題を有している。応募者は先行研究において、光合成の約 40%が溶存態有機物(DOM: Dissolved Organic Matter)として放出され、放出された DOM が長期間海水中に残存する難分解性 DOM であることを明らかにした。

海藻から放出された難分解性 DOM は、沿岸から外洋へ輸送され、さらに海洋深層に輸送されることで、海洋表層の炭素を深層へ隔離し、大気から海洋への二酸化炭素の吸収を促進する。しかしながら、様々な起源の DOM が混在している海水中から、海藻の難分解性 DOM のみの動態を知るためには、海藻の難分解性 DOM の指標物質を用いた解析が有効である。そこで本研究では、沿岸から外洋域までの測点において海水を採取し、海藻の難分解性 DOM の指標と考えられるフェノール性有機物の存在を示す蛍光性溶存態有機物の測定を行い、海藻の難分解性 DOM の広がりや輸送過程を解明することとした。

【材料と方法】

観測は 2010 年 10 月、12 月、2011 年 5 月において実施し、静岡県下田市大浦湾沿岸から外洋にかけて 5-10 測点においてニスキン採水器で海水を採取した(Fig. 1)。12 月、5 月に関しては荒天のため鉛直的な採水は為されなかったが、10 月においては水平的かつ鉛直的な海水の採取を実施した。採取した海水は、溶存態有機炭素(DOC: Dissolved Organic Carbon)および蛍光性溶存態有機物をそれぞれ、全有機炭素計および蛍光光度計で測定した。さらに得られた蛍光スペクトルを平行因子分析により個々の構成蛍光有機物群に分離し、定量を行った。また、海水の物理的パラメーターは、CTD(Conductivity, Temperature, Depth)センサーを用いて測定を実施した。さらに、海藻から直接放出された DOM の解析も実施するため、応募者の先行研究で実施した袋かけ実験も実施し、海藻と海水の DOM の組成比較を行った。

【結果と考察】

◎海藻の DOM と海水中の DOM の組成比較

袋かけ実験において、海藻から得られた DOM の蛍光有機物は 3 つのグループに分類され、それぞれの励起/蛍光波長は 310/410、350/450nm および 270/340 nm 付近であることが示された(Fig. 2a, b, c)。また、沿岸から外洋にかけての測点において採取した海水中の

DOMの蛍光有機物群は4つの構成ピークに分離され(Fig. 2d, e, f, g)、そのうち3つのピークの励起/蛍光波長は海藻由来のDOMとほとんど同様であることが明らかとなった。この結果は、海藻から放出されたDOMが対象海域のDOMの組成に影響していることを示唆している。

◎蛍光性DOMを指標とした海藻由来の難分解性DOMの水平分布

PARAFAC解析により同定された3つの構成ピークのうち、励起/蛍光波長が350/450nm付近のピーク(Peak C)は、芳香環の存在を示すピークであり海藻由来のDOMに関しては、フェノール性の有機物であることが指摘されている(Wada et al. 2007)。フェノール性有機物は、海藻由来の難分解性DOMの指標となることから(Wada et al. 2008)、本研究では海藻の難分解性DOMの輸送過程をPeak Cの蛍光強度から見積もることとした。

海藻は浅海域である沿岸域に生息していることから、海藻の難分解性DOMが深層に隔離されるプロセスを知るためには、沿岸から外洋への水平的輸送過程と外洋表層から深層への鉛直的輸送過程の両方を知らなければならない。そこで水平的輸送過程に関しては、水深1mの海水中のPeak Cの蛍光強度の分布から議論することとした。

水深1mのPeak Cの蛍光強度は、海藻の生息する藻場周辺から外洋域にかけて濃度勾配を示しながら減少しており、海藻からの難分解性DOMが拡散しながら外洋域へ広がっていることが示唆された(Fig. 3a)。さらに、水深1mのDOC濃度の分布も測定したところ、同様に沿岸から外洋にかけての減少が認められた(Fig. 3b)。Peak CはDOC濃度と有意な相関を示したことから(Fig. 4)、海藻由来の難分解性DOMが沿岸のDOMの主たる変動要因になることが示唆された。

Peak CとDOCの回帰式の傾きは、海藻由来の難分解性DOMの炭素量と蛍光強度の比を意味している。そこで、Peak Cの蛍光強度に回帰式の傾きを掛け算することで、海藻由来の難分解性DOMの有機炭素量を推定することが可能である。その結果、海藻由来の難分解性DOMの有機炭素濃度は、0.05-0.2 mg C l⁻¹であると見積もられた。

◎海藻由来の難分解性DOMの鉛直的な輸送

DOMの水平的な分布から、Peak Cの蛍光強度を測定することで海藻由来の難分解性DOCの濃度を見積もられることが明らかとなった。さらに鉛直的な輸送過程を明らかにするため、同海域の沖合の測点において鉛直的な海水の採取を実施した。

DOMの鉛直的な輸送には水温や密度が深く関与しており、海水の水温や密度躍層の上層に海藻の難分解性DOMが蓄積するならば、海藻の難分解性DOMは数カ月のタイムスケールで深層に輸送されると考えられる(Carlson et al. 1994)。CTDセンサーの測定から、水温は20-100mにかけて急激に低下しており、躍層が生じていたことが示された(Fig. 5)。しかしながら、Peak Cの蛍光強度は密度躍層の上層よりも下層で高いことが示されており(Fig. 6)、この結果からは海藻のDOMは鉛直的な輸送に関与しておらず、海洋表層で無機

化を受けているようにみうけられる。

◎海藻の難分解性 DOM の指標物質が表層で減少した要因について

DOM の分解の主たる要因の一つは微生物による無機化作用であるが、海藻由来の DOM は難分解性であり、微生物分解を受けにくい性質を有している。すなわち、微生物分解以外の分解要因の存在が示唆される。本研究では海洋表層において Peak C の蛍光強度が低下していることから、海洋表層に照射された太陽光による分解が一つの要因として考慮された。そこで本研究では、袋かけ実験により海藻から得られた DOM を石英瓶に入れ、メッシュを被せることで太陽光の照射強度を変化させ(表面光の 100%、50%、25%、0%)、1 日間光照射を行うことで海藻の DOM の光分解特性の検討を実施した。

一日間の光分解実験の結果、照射した光強度に対応して Peak C の蛍光強度は減少する傾向を示し(Fig. 7)、暗条件(表面光の 0%)に対して表面光をそのまま(100%)照射した試料の Peak C の蛍光強度は 7%減少することが示された。すなわち、躍層の上層において低い Peak C の蛍光強度が観察された要因として、Peak C の蛍光を発する有機物が太陽光によって分解されたことが考えられる。また、光分解をした試料の DOC 濃度の測定も実施したが、DOC 濃度は光分解後もほとんど減少することなく 99%が残存することが明らかとなった(Fig. 8)。すなわち、Peak C は海藻の放出した DOM の中でも光による分解を受けやすい特性を有していることから、Peak C の蛍光強度の鉛直分布は海藻の難分解性 DOM 全体の輸送過程を示すものではない可能性が示唆された。特に、蛍光を失った海藻の難分解性 DOM は鉛直輸送に関わることができる可能性があることから、Peak C の蛍光強度の鉛直分布から海藻の難分解性 DOM の輸送過程を知るためには、海藻の光分解特性を考慮に入れた解析が必要であることが明らかとなった。

【結論】

海藻の難分解性 DOM の輸送過程を知る上で、水平的および鉛直的な分布の解析が有効である。水平的な分布解析においては、海藻の難分解性 DOM の指標であるフェノール性化合物の存在を示す蛍光性 DOM の一群(Peak C)を用いることで、海藻の難分解性 DOM が藻場周辺から沖合へ輸送される過程を明らかにした。さらに鉛直的な輸送過程に対して Peak C を指標とした解析を実施したが、難分解性 DOM とみなすことはできない鉛直的な傾向が示された。この要因として、外洋域の表層で生じることが想定される光分解を検討したところ、Peak C の減衰が確認された。しかし、海藻由来の DOC の濃度に関しては、光に対する感受性は確認されなかったことから、海藻由来の難分解性 DOM は蛍光特性を失った上で海水中に残留する可能性があることが示された。今後、光分解特性を考慮に入れたうえで、海藻の難分解性 DOM の鉛直輸送過程を知ることが重要な課題であることが明らかとなった。

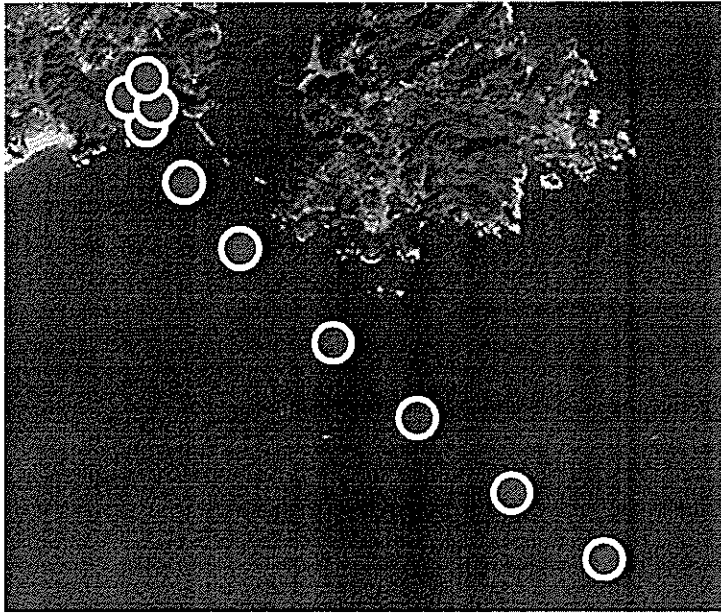


Fig. 1 対象海域

図中の赤い丸が観測点

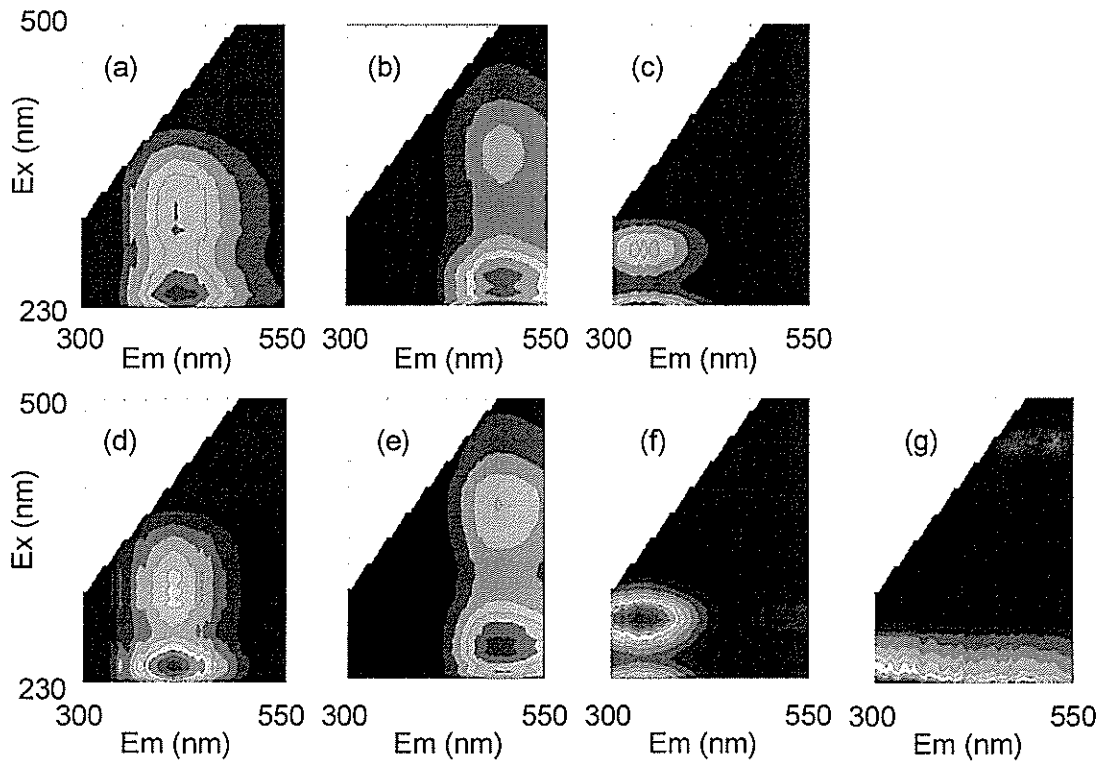


Fig. 2. 海藻由来 DOM と海水中の DOM の構成蛍光ピーク

縦軸は励起光、横軸は蛍光の波長を示す(nm)。海藻を由来とする 3つのピーク(a, b, c)と、海水中から同定された 4つのピーク(d, e, f, g)。

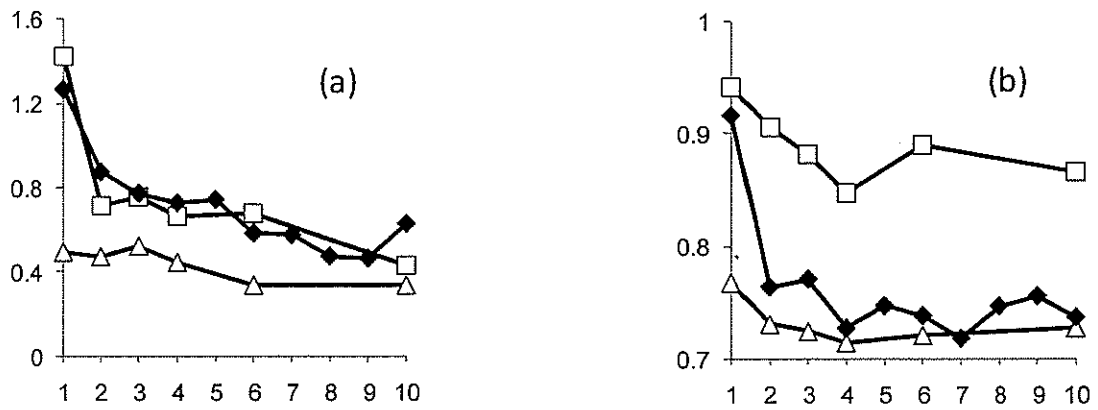


Fig. 3 Peak C の蛍光強度と DOC 濃度の水平分布

Peak C の蛍光強度(a)および DOC (b)を示す。縦軸は Peak C の蛍光強度(QSU) (a)および DOC 濃度(mg C l⁻¹)。横軸は観測点(1 から 10 に向けて、藻場周辺から沖合の観測点を示す)。

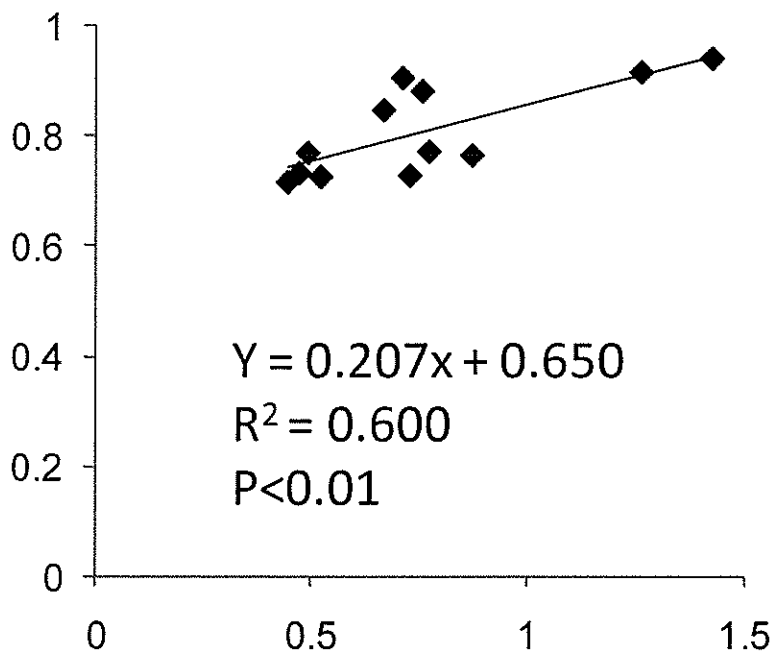


Fig. 4. Peak C の蛍光強度と DOC 濃度の相関関係

縦軸および横軸はそれぞれ、Peak C の蛍光強度および DOC 濃度を示す。

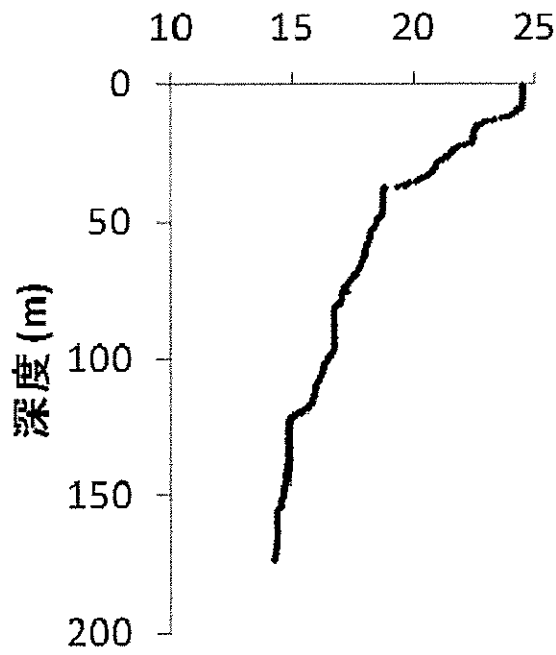


Fig. 5. 水温の鉛直分布
縦軸および横軸はそれぞれ、深度(m)および水温(°C)を示す。

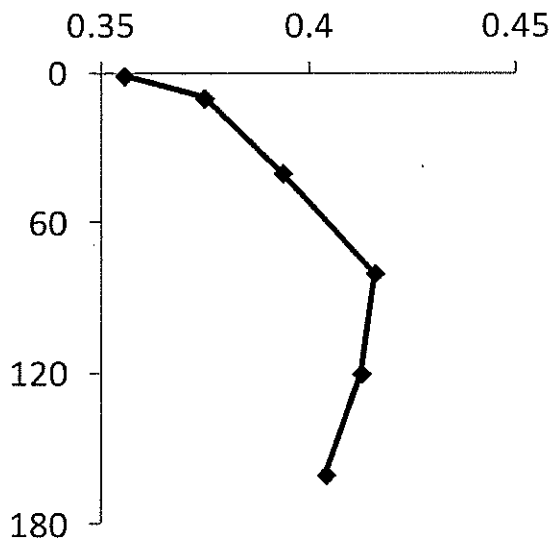


Fig. 6. Peak C の蛍光強度の鉛直分布
縦軸および横軸はそれぞれ、深度(m)および蛍光強度(QSU)を示す。

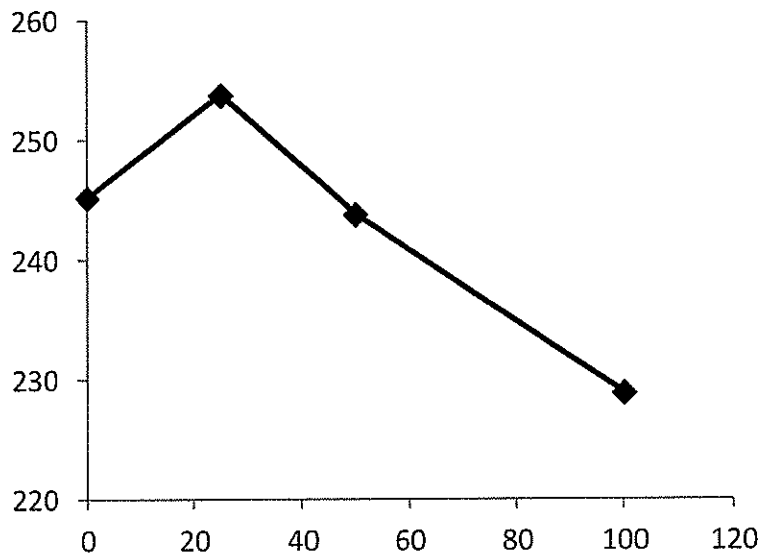


Fig. 7. 1 日間の光照射実験後の Peak C の蛍光強度
縦軸および横軸はそれぞれ、Peak C の蛍光強度(QSU)および光強度(表面光に対する割合 : %)。

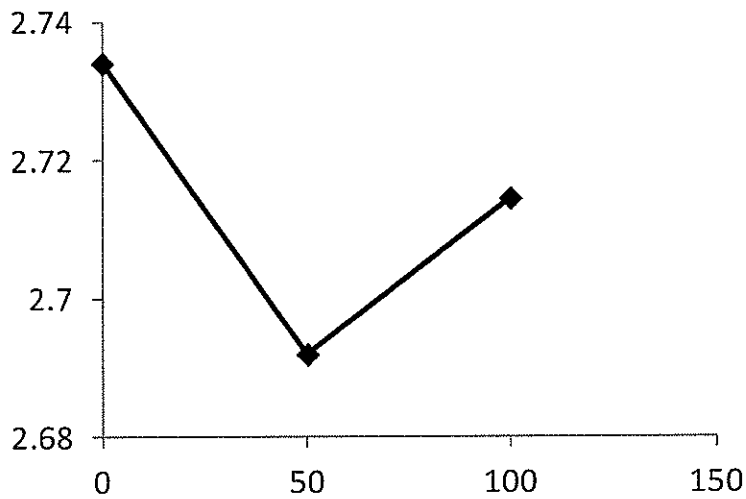


Fig. 8. 1 日間の光照射実験後の DOC 濃度
縦軸および横軸はそれぞれ、DOC 濃度(mg C l⁻¹)および光強度(表面光に対する割合 : %)。