

令和2年度伊藤光昌氏記念学術助成金(研究助成)成果報告書

研究課題番号	R2-R6
研究課題名	海藻海草場における二酸化炭素吸収量と生成有機物の分解特性評価
研究代表者	久保 篤史
所属・職 (または学年)	静岡大学理学部地球科学科・助教

1. 背景

大気中の二酸化炭素 (CO₂) 濃度増加による気候変動の影響評価のため、海洋における CO₂ 吸収の評価が必要不可欠である。近年、これまでほとんど議論されていなかった沿岸浅海域の水生植物による CO₂ 吸収が海洋における炭素循環に大きく寄与していることが報告されている (Nellmann et al., 2009)。沿岸浅海域における単位面積当たりの炭素固定量が外洋域に比べて非常に多いのは、水生植物の光合成による CO₂ 吸収に加え、枯死後に堆積物中へ有機炭素として埋没するためである。さらに堆積物中に埋没した有機炭素は、嫌気的環境であるため分解速度が低下することにより、長期間隔離されていると考えられている (Krause-Jensen and Duarte, 2016)。そのため、沿岸浅海域の水生植物による CO₂ 吸収量や沿岸浅海域堆積物中の有機炭素残存量を評価する研究が精力的に行われている (Duarte and Krause-Jensen, 2017)。しかし、枯死後の植物体の一部は加水分解やバクテリアによる分解により、海洋中に溶存有機炭素 (DOC) を放出 (浸出) することが報告されている (Trevathan-Tackett et al., 2020)。浸出した一部の易分解性 DOC (LDOC) はバクテリアによって速やかに利用されることが報告されており、生態系のエネルギー源として重要であることが指摘されている (e.g. Maie et al., 2006)。これに加え、バクテリアは LDOC を利用し、難分解性 DOC (RDOC) を生成することが知られている (微生物炭素ポンプ; MCP, Ogawa et al., 2001; Jiao et al., 2010)。その

ため、枯死後に放出された有機物の一部はバクテリアによって RDOC と変換され、長期間海洋中に固定されている可能性がある。そのため、本研究では海草・海藻の枯死後の植物体から浸出した DOC の量変化・質変化を評価し、分解特性を明らかにすることを目的として研究を行った。

2. 方法

DOC 浸出量評価のための培養実験は、植物体 (湿重量 10 g; コアマモとカジメの 2 種) を濾過海水 (1.05 L) と共に広口メディウム瓶に封入したものを 2 系統準備した。一方は飽和塩化水銀 (II) を 2.0 mL 添加し試水中のバクテリアの活動を抑制した。もう一方は添加せずにバクテリア活性がある状態で実験を行った。培養は 30 日間、暗所、22°C で行った (通常培養)。また、一部の培養実験ではエアープンプを用いて好気条件の 2 系統 (飽和塩化水銀添加の有無) を追加して行った (好気培養)。試水は一定期間毎 (0, 3, 7, 15, 30 日) に一定量分注し、濾過・冷凍保存を行い DOC、三次元励起蛍光スペクトル (EEM) 測定用試料とした。また、カジメ・コアマモのそれぞれの EEM を用いて、PARAFAC を行った。

塩化水銀添加無しの培養実験による 30 日後の DOC 浸出量 ($\mu\text{molC/g dry-wt./30 day}$) を RDOC 浸出量とした。本研究で定義した RDOC は、植物体から直接浸出した RDOC に加え、バクテリア活動による有機物生成によるものが含まれる。一方、塩化水銀添加培養実験と未添加培養実験の DOC 浸出量 ($\mu\text{molC/g dry-wt./30 day}$) の差を

LDOCとして解析に用いた。

3. 結果・考察

カジメの塩化水銀添加有・通常培養実験のDOC浸出量 ($\mu\text{molC/g dry-wt./30 day}$) はコアマモの約2倍であった (図1)。カジメとコアマモでは培養開始前の植物体の炭素含有量 (%) に有意差が無かったため、浸出量の違いは植物体の構造とその分解特性が原因だと考えられる。コアマモは、陸上植物と同様の細胞壁の構造を持っており、セルロースが主成分である (Maeda et al., 1966)。アマモは細胞壁の構成成分が難分解のセルロースやリグニンであり、セルロースは約57%を占めている (Davies et al., 2007)。それに対しカジメの様な褐藻類は、細胞壁の主成分がアルギン酸 (10–40%) であり、セルロースの割合は低い (1–8%) (Kloreg and Quatrano, 1998; 寺内, 2012)。そのため、コアマモはカジメよりも頑丈な細胞壁を持ち、培養期間中により安定して植物体を保っていると考えられる。一方、カジメの細胞壁は相対的に易分解であり、加水分解さ

れやすいと考えられる。その結果、カジメは加水分解によるDOC浸出量がコアマモよりも多くなり、カジメ・コアマモでDOC浸出量・浸出率が大きく異なると考えられる。また、PARAFACの結果、カジメ・コアマモ共に腐植様蛍光を示すC3成分が塩化水銀添加の有無にかかわらず培養時間と共に増加していた (図2・3)。そのため、植物体からRDOCが直接浸出していたと考えられる。

通常培養実験と好気培養実験のDOC浸出量は、カジメでは 6160 ± 905 , $4535 \pm 783 \mu\text{molC/g dry-wt./30 day}$, コアマモでは 4054 ± 236 , $3998 \pm 52.4 \mu\text{molC/g dry-wt./30 day}$ であった。カジメ・コアマモともに好気培養実験のDOC浸出量が少なかった (図1)。また、塩化水銀添加無・好気培養実験の培養期間中のDOC濃度変化は通常培養実験よりも小さかった。これは、好気条件のため細菌によるLDOCの分解速度が上昇した為だと考えられる。PARAFACの結果でも好気培養実験における細菌のDOC分解の促進が顕著に見られた。塩化水銀添加無・通常培養

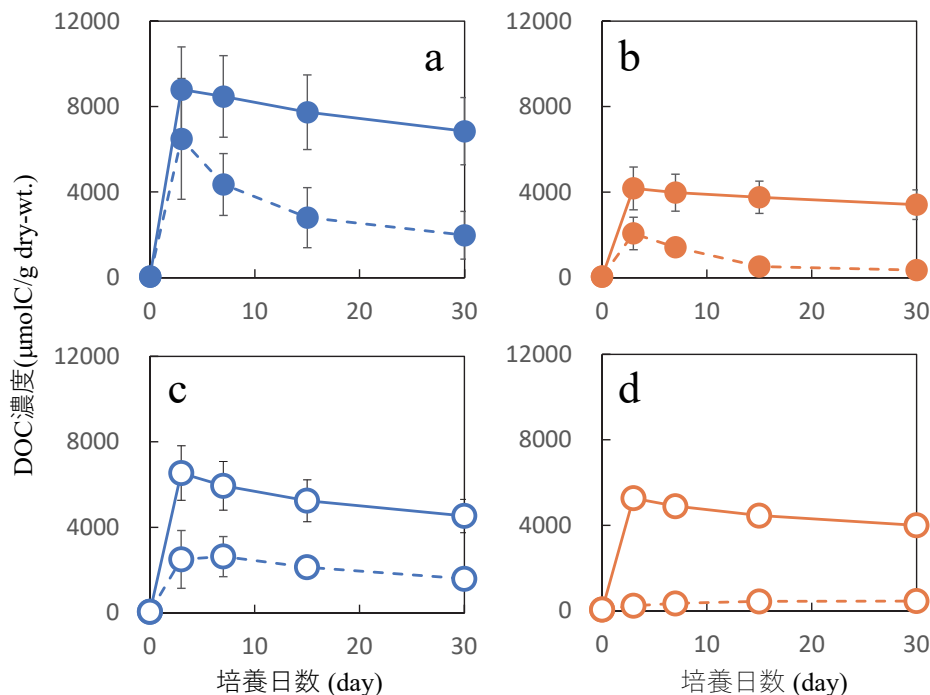


図1. カジメ・コアマモ培養実験によるDOC濃度変化。縦軸はDOC濃度 ($\mu\text{molC/g dry-wt.}$)、横軸は培養日数 (day) を表している。a・bはカジメ (青)・コアマモ (橙) の通常培養実験、c・dはカジメ (青)・コアマモ (橙) の好気培養実験の結果、実線は塩化水銀添加有培養、点線は塩化水銀添加無培養の結果を示している。

ではカジメの C1, C2, C4 成分とコアマモの C1, C2 成分は培養期間中に蛍光強度の上昇が見られたが、塩化水銀添加無・好気培養実験ではほとんど上昇しなかった (図 2・3)。また、LDOC の速

やかな分解に加え、バクテリアによる RDOC 生成量が増加したと考えられる。特に、コアマモの好気培養実験による RDOC 浸出量が通常培養実験より多くなっていた (2020 年 10 月通常培養実

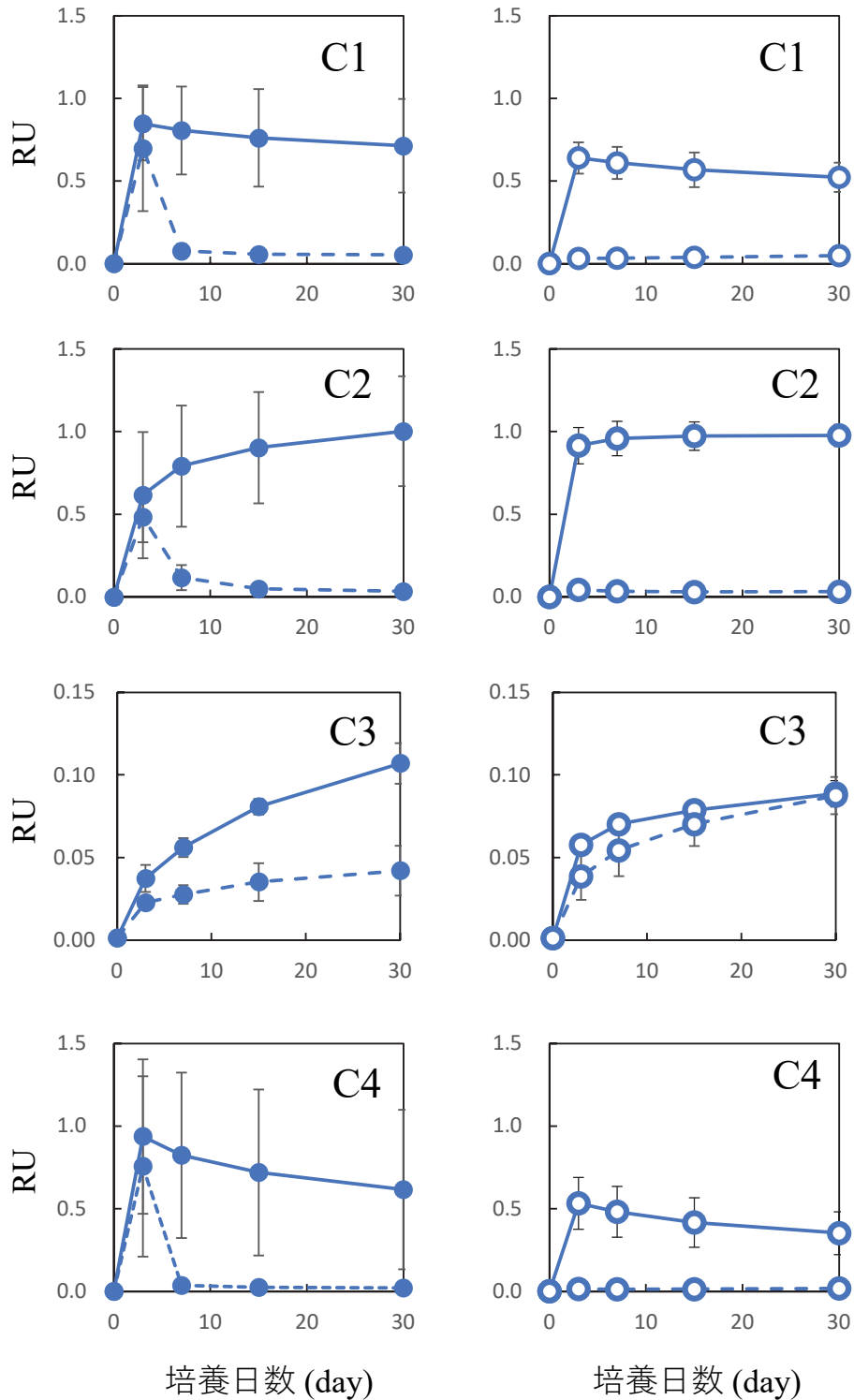


図 2. PARAFAC により得られた成分の蛍光強度変化 (カジメ)。縦軸は成分の蛍光強度、横軸は培養日数 (day) を表す。C1 はチロシン様蛍光、C2 はトリプトファン様蛍光、C3 は腐植様蛍光、C4 はポリフェノール様蛍光の結果を示している。●は通常培養実験 (左)、○は好気培養実験 (右)、実線は塩化水銀添加有培養、点線は塩化水銀添加無培養の結果を示している。

験： $347 \pm 21 \mu\text{molC/g dry-wt./30 day}$, 好気培養実験： $458 \pm 17 \mu\text{molC/g dry-wt./30 day}$). PARAFACの結果からも細菌によるRDOC生成量増加が支持できる。カジメ・コアマモそれぞれのPARAFACで得られたC3成分(腐植様蛍光)の蛍光強度は塩化水銀添加無・好気培養実験ではカジメ・コアマモともに塩化水銀添加有・好気培養実験よりも上昇し、培養30日まで値が上昇し続けた(図2・3)。そのため、塩

化水銀添加無・好気培養実験では、MCPによるRDOCの生成量増加により、通常培養実験よりRDOC浸出量が高くなったと考えられる。

以上のことから、好気条件下での培養実験は、LDOCの分解、RDOCの生成を促進しており、より長期間の浸出培養実験を行うことでコアマモからより多くのRDOCが生成する可能性が考えられた。

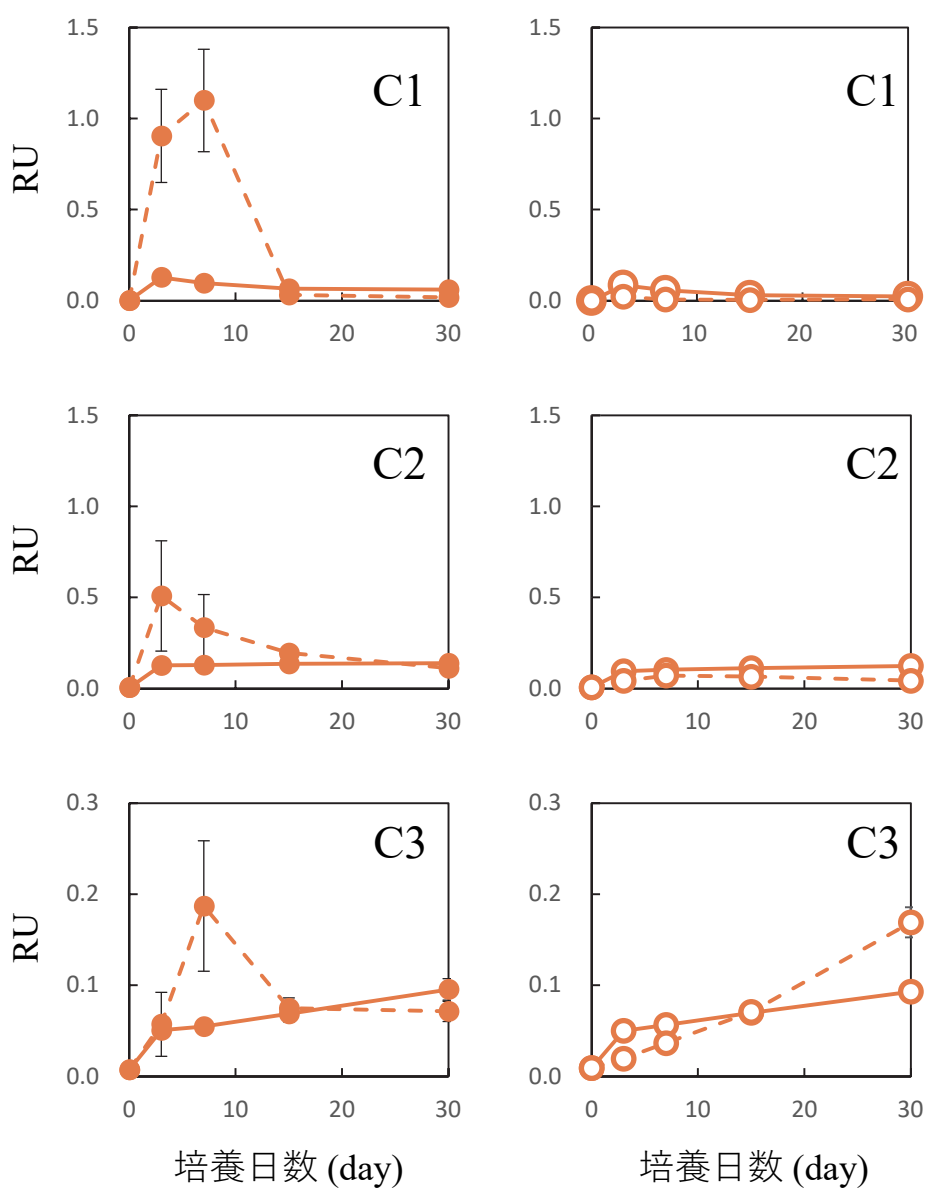


図3. PARAFACにより得られた成分の蛍光強度変化(コアマモ)。縦軸は成分の蛍光強度、横軸は培養日数(day)を表す。C1はチロシン様蛍光、C2はトリプトファン様蛍光、C3は腐植様蛍光の結果を示している。●は通常培養実験(左)、○は好気培養実験(右)、実線は塩化水銀添加有培養、点線は塩化水銀添加無培養の結果を示している。