

令和3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	R3-R1
研究課題名	有明海における陸起源溶存態有機物の栄養塩再生ポテンシャルの評価
研究代表者	高巢 裕之
所属・職 (または学年)	長崎大学 総合生産科学域 (環境科学領域)・助教

【背景】

溶存態有機物は、海洋生態系において多面的な役割を担っており、その役割は分解性によって異なる。溶存態有機物の90%程度は難分解性であり、平均で数千年間分解されずに海洋内部に滞留するため、炭素貯留の役割を担っている。易分解性溶存態有機物は、微生物により速やかに吸収・分解され、一部は微生物体となり、また一部は栄養塩として水中に放出(再生)されることで植物プランクトンの成長を促進するため、食物連鎖の栄養基盤としての役割を担っている。沿岸域における溶存態有機物の起源は、海水中の植物プランクトンが大気中二酸化炭素を吸収して生産したものと、陸上植物が生産した有機物が河川を通じて流入したものの二つに大別される。陸起源有機物は、主に腐植物質のような複雑な化学形の物質により構成されており、植物プランクトン由来の有機物と比較して、海水中の微生物に分解されにくいと考えられてきた。そのため、古くから陸起源有機物は、海洋における難分解性溶存態有機物の主要な起源と考えられており、食物連鎖の栄養基盤としての役割はほとんど果たしていないと考えられてきた。ところが近年、陸起源溶存態有機物も紫外線による変質を経ることで易分解化し、沿岸域において微生物により分解されており、この過程が陸起源溶存態有機物の除去過程として無視できないのではないかという考えが提唱された(Bianchi 2011)。このことが普遍的に生じているとすれば、陸起源溶存態有機物は、従来から考えられているよりも、沿岸生態系において多面的な役割を果たしていることになる。ただし、この概

念を検証した研究例は限られており、陸起源有機物がどのくらい沿岸域において分解を受け、その際にどのくらいの栄養塩を再生するのかなど、定量的な評価がなされた研究は限られている。我々の先行研究において、有明海への最大の流入河川である筑後川の溶存態有機物中のうち、“高分子画分”のみを有明海の細菌に分解させる実験を暗所で行った。その結果、実験回によっては、海洋内部で生産されるそれよりも分解性が高く、栄養塩再生量も多いことが明らかとなった。しかし、河川および海洋の“高分子画分溶存態有機物”は溶存態有機物の一部に過ぎず、大部分が低分子画分であること、また、光分解の媒介しない暗所での実験であったことから、先行研究の結果が実際の環境条件を反映した結果であるのかに関しては疑問が残された。そこで本研究では、(1)河川由来の“低分子画分”も含む有機物は沿岸域の海洋細菌により分解され、栄養塩が再生されるのか、そして(2)紫外線が触媒となり、栄養塩再生が促進されるのか、という2つの課題に取り組むことを目的とした。

【方法】

筑後川由来の溶存態有機物濃縮物を有明海の海水に添加し、培養期間中の無機態窒素・リンの生成量を評価した。当初の予定では、季節ごとに年4回の調査を予定していたものの、新型コロナウイルスによる移動制限により、実施時期は制限緩和時期(6-9月)に限定して行った。筑後川上流部から10L採水し、Dittmar et al. (2008)の方法に従い、スチレン-ジビニルベンゼン共重合体カラム(Agilent)による固相抽出法を用いて抽

出・濃縮し、陸起源有機物の高濃縮溶液を作成した。分解者である微生物は、有明海の海水を 0.7 μm 孔径のガラス繊維濾紙による濾過を行い、濾過海水中に存在する「天然細菌群集」を使用した(濾過海水中には細菌以外の生物は存在しない)。天然細菌群集を含む濾過海水に、陸起源有機物濃縮物を添加した(1 L 規模, 反復数 4)。なお、陸起源有機物は、毎実験とも炭素ベースで同じ終濃度になるように添加した。一定温度・暗条件下で 1 週間程度の振盪培養を行った。0, 12, 24, 48, 72 時間目にサブサンプリングを行い、無機態窒素・リン濃度の変化を追跡した。紫外線分解物添加実験用の有機物は、上述の陸起源有機物濃縮物を、培養実験に用いる前に、あらかじめ石英瓶に入れて、現場を模倣した循環式温度コントロール水槽中に 4 日間置き、紫外線による作用を受けた状態にした。なお、対照実験として用いる有機物として、陸起源有機物濃縮物をアルミホイルで遮光し、同条件下に 4 日間置いたものも準備した。反復数と培養スペースの問題により、紫外線分解物添加実験は 8 月と 10 月の 2 回のみ実施した。紫外線分解実験の試料に関しては、培養前後における細菌群集構造の変化を次世代シーケンサー (MiSeq) により調査した。

【結果・考察】

6 月の実験における $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は、DOM 添加後 12 時間目で減少し、1 日目以降は増加し、5 日目に減少した。 $\text{NO}_{3+2}\text{-N}$ 濃度は 1 日目に増加し、その後比較的横ばいに推移した。 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は 1 日目まで減少し、3 日目に急激に増加し、その後増加し続けた。8 月の実験における $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は 1 日目に減少、3 日目に増加し、その後増加し続けた。 $\text{NO}_{3+2}\text{-N}$ 濃度は 1 日目まで横ばいに推移し、3 日目に増加し、その後増加し続けた。 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は 12 時間目に減少し、その後横ばいに推移し、3 日目に急激に増加し、5 日目に急激に減少した。9 月の実験における $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は 1 日目まで減少し、3 日目に急激に増加し、5 日目に減少した。 $\text{NO}_{3+2}\text{-N}$ 濃度は 1 日目まで増加し、それ以降は比

較的横ばいに推移した。 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は培養期間中増加し続けた。実験期間中における有機炭素分解量を用いて栄養塩再生量を標準化して比較すると、我々の先行研究における高分子画分のみを添加した実験の方が $\text{NH}_4\text{-N}$ および $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度の再生速度は速かった。一方で、 $\text{NO}_{3+2}\text{-N}$ に関しては、本実験における再生速度の方が総じて速く、無機態窒素 ($\text{NH}_4 + \text{NO}_{3+2}$) 全体の再生量としても、低分子画分を含む溶存態有機物を添加した本実験の方が速かった。高分子画分のみを添加した先行実験において、実験回によっては、河川起源有機物の方が海洋起源有機物よりも栄養塩再生量が多かったことを考慮すると、河川由来の有機物は、低分子画分も含め、従来考えられていたよりも沿岸域の海洋細菌により分解され易く、海水中に栄養塩を供給する機能を有しているものと考えられる。

紫外線分解有機物添加実験は、2 回の実験ともに、紫外線分解処理を行なった有機物と、処理を行わなかった有機物の添加系において、栄養塩再生量に有意な違いは見られなかった。ただし、8 月に実施した実験では、ばらつきが大きく有意差は見られなかったものの、紫外線処理した有機物の方が、しなかったそれに比べて $\text{NH}_4\text{-N}$ 再生速度が速い傾向にあった。培養前後の細菌群集構造を解析した結果、Flavobacteriia 網と Alphaproteobactaeia 網に属する細菌が 2 回の実験ともに、実験開始時に優占していた。培養終了時の試料に関しては、8 月の UV 処理をした有機物を添加した実験系において、顕著に Flavobacteriia 網の細菌が増加したことから、本網に属する細菌が、紫外線が媒介して変質した有機物を好んで利用した可能性が考えられた。しかし、今回の実験では、十分な実験回数や反復数での実験ができなかったため、今後実験を改善、継続することで、十分な検証を行う予定である。

【謝辞】

本研究は、公益財団法人海洋化学研究所の伊藤光昌氏研究助成金の援助を受けて実施することができました。この場を借りて深く御礼申し上げます。