

論文内容の要旨

論文題目： The fate and degradation processes of phytodetritus
by benthic communities: *in situ* ^{13}C -tracer experiments

日本語訳： 底生生物群集による沈降有機物消費過程：
深海底現場培養実験

氏名： 野牧 秀隆

1) 目的

海洋表層で植物プランクトンにより生産された有機物の一部は、水塊中を沈降し、堆積物表層で分解・無機化されて堆積物中へと埋没していく。海底表層での有機物消費過程の解明は、海洋における有機物循環を知る上でも、海洋堆積物を用いた古環境解析を行う上でも不可欠である。深海底生生物は、そのエネルギー源の多くを、水塊中を沈降してくる植物プランクトン起源の有機物に依存していると考えられており、有機物消費過程を理解する上では、底生生物による消費を考慮することが重要である。底生生物の中でも、底生有孔虫は深海底で大きなバイオマスを持ち、エネルギー源の多くを沈降有機物に依存していると考えられており、有機物消費過程に重要な役割を果たしている可能性がある。そこで本研究では、 ^{13}C で標識した有機物を有機物源として用いた深海底現場培養実験を行い、底生生物、特に底生有孔虫が沈降有機物消費過程において果たす役割を明らかにする。

2) 方法

実験は相模湾中央部（水深 1450m, N35° 00, E139° 22.5）の定点において、A) 底生有孔虫による有機炭素摂取量・摂取様式を測定するためのバルク有機物分析実験を3回、B) 添加された有機物の摂取後の変質過程を調べるための脂質分析実験を1回、の計4回行った。

A) バルク有機物分析

^{13}C で標識し培養した単細胞藻類 *Dunaliella tertiolecta*、珪藻 *Chaetoceros sociale*、バクテリア *Vibrio alginolyticus*（それぞれ $\delta^{13}\text{C} = 830 \sim 5550 \text{ ‰ VPDB}$ ）を、現場培養装置（内径 5 cm）で覆われた堆積物表層

に散布し、0～21日までの期間深海底に静置し、底生生物に取り込ませた。その後装置を回収し堆積物を深さ5cmまで切り分け、そこから拾い出した底生生物と堆積物サンプルを、塩酸による脱炭酸処理の後、元素分析計-質量分析計で分析し、有機炭素量および炭素同位体比の測定を行った。

B) 脂質分析実験

^{13}C で標識し培養した *D. tertiolecta* を、同様に現場培養装置内(内径8.2cm)に散布し、0～6日間培養を行った。その後同様に採取したサンプルから、有機溶媒により脂質化合物を抽出、精製し、ガスクロマトグラフ-質量分析計を用いて脂質の同定・定量を、ガスクロマトグラフ-燃焼-質量分析計を用いて化合物ごとの炭素同位体比測定を行った。

3) 結果と考察

A) バルク有機物分析

標識された藻類は、4～6日で堆積物の深度5cmまで混合され、深部に生息する生物にも短期間で利用可能な状態になることが確認された。また、堆積物中の ^{13}C -標識有機炭素量は時間の経過とともに減少し、2日間で 0.3 g C m^{-2} の添加有機炭素(添加量のほぼ30%)が無機化もしくはより深部へと移動していることがわかる。底生有孔虫による藻類の取り込みは種によって大きく異なり、概ね *Uvigerina akitaensis* などの shallow infaunal species(主に酸化層内に生息)ほど素早く大量に摂取し、バイオマスの30%に当たる藻類を2日以内に摂取していた。一部の有孔虫種を除き、底生有孔虫は堆積物中の藻類を選択的に摂取しており、その摂取量は有孔虫種全体で $2.9\text{ mg C m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ であった。これはカイアシ類、ゴカイなど多細胞生物による摂取量($1.1\text{ mg C m}^{-2}\text{ d}^{-1}$)を大きく上回り、底生有孔虫による沈降有機物摂取が深海生態系で大きな役割を果たすことが示された。

一方、藻類とバクテリアの摂取様式の結果から、底生有孔虫の有機物摂取様式として、藻類を選択的に摂取する種(*U. akitaensis*, *Bolivina spissa*, *Bolivina pacifica*)、藻類を選択的に摂取するが堆積物も無作為に摂取する種(*Bulimina aculeata*, *Globobulimina affinis*, *Textularia kattegatensis*)、堆積物を無作為に摂取する種(*Chilostomella ovoidea*, *Cyclammina cancellata*)、の3つを認定した。それぞれの有機物摂取様式ごとに、沈降有機物の消費において重要な役割を果たすもの、沈降有機物の供給には反応せず堆積物中の有機物のみを消費するもの、など、堆積物表層の有機物消費過程において異なった役割を果たしている。また、藻類を選択的に摂取する有孔虫種は、相模湾深海底における個体数・生息深度に季節変動を持つことがわかり、これらの種を用いて表層の古生産量が推定できる可能性が示された。

底生有孔虫類による堆積物中の有機炭素の摂取量は $8.2\text{ mg C m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ となり、底生有孔虫は沈降有機炭素を上回る量の有機炭素を堆積物中から摂取していることが示された。また、沈降有機・堆積物中の有機物の摂取量を合わせた有孔虫各種の有機炭素摂取量は、室内呼吸量測定実験により得られた炭素無機化量の傾向とほぼ一致した。

B) 脂質分析

添加された藻類を起源とする有機炭素は、6日間の培養期間終了後でも約50%が表層堆積物0-5cmに存在していた。しかし、その内に占める藻類起源の脂質成分(フィトール、脂肪酸)の割合は、実験開始から培養終了までに6.2%から0.05%まで減少しており、藻類起源の有機物が短期間で他の化合物に変質していたことがわかる。一方、添加した藻類には含まれない、バクテリア由来の脂肪酸(*anteiso-C₁₇*)への ^{13}C の取り込みが、培養4日目をピークとして見られた。このことは、藻類起源の炭素が堆積物中でバクテリアにより同化されていたことを示す。バクテリアによる摂取量は、培養2日目で底生有孔虫による摂取量の1～3倍となり、短期間で沈降有機物の消費過程においては特に、底生有孔虫と並んでバクテリアも中心的な役割を果たしていることが示された。ここで、堆積物中および有孔虫細胞内での主要な脂肪酸(*C_{16:0}*, *C_{18:0}*, *C_{18:1}*)の減少速度を比較した結果、底生有孔虫細胞内での脂肪酸減少速度は堆積物中の1.2～20倍となった。底生有孔虫による沈降有機物の摂取は、堆積物中での沈降有機物消費、特に脂肪酸の分解を促進していることを示唆する。

一方、底生有孔虫から抽出された stigmasterol, 23,24-dimethylcholesta-5,22E-dien-3 β -ol などのステロールが培養4日目までに ^{13}C で標識されていた。これは、底生有孔虫が摂取・消費した藻類由来の有機炭素を用いてステロールの生合成を行ったことを示す。しかし、ステロールの合成量を計算すると、有孔虫のス

テロール全体に占める割合としては小さかった (<1%)。底生有孔虫は高い呼吸速度を持つことから、摂取した有機炭素の一部が自らの体細胞の生合成に用いられ、大部分は呼吸により無機化されていると考えられる。

4) 深海底における沈降有機物消費過程のまとめ

堆積物表層に供給された沈降有機物は、数日間で堆積物の深度 5cm まで混合され、底生生物群集全体に利用可能になる。また、新鮮な沈降有機物の添加が、堆積物中のバクテリアの活性化を引き起こしている。

底生有孔虫の沈降有機物摂取様式、摂取量は種により大きく異なっている。このことから、深海生態系を理解する上でも、底生有孔虫種を用いた古環境解析を行う際にも、種による違いを考慮することが重要である。

底生有孔虫により摂取された脂肪酸は、堆積物中での分解速度を上回る速度で分解されており、底生有孔虫による摂取が堆積物中での沈降有機物の分解を促進していることを示す。それら摂取した有機炭素のほとんどは呼吸により無機化されているが、一部は自らのステロールなどの生合成に用いられる。

相模湾中央部における、生物による沈降有機物消費の大部分はバクテリアと底生有孔虫が重要な役割を果たし、TOC フラックスの約 7.5% を消費している。また、底生有孔虫は水深にかかわらず沈降有機物摂取速度が高く、有孔虫の種組成とバイオマスが、海底における有機物消費をコントロールしている。