

バクテリアバイオマーカーの炭素同位体比の支配因子

Factors controlling the carbon isotopic composition of bacterial biomarkers

坂田 将[1]

Susumu Sakata[1]

[1] 地調・地殻化学

[1] Geochemistry Dept., Geol. Surv. Jpn.

堆積物中のバイオマーカーの炭素同位体記録を解釈する際、想定される起源生物が作るバイオマーカーの炭素同位体比を予測することが必要となる。バイオマーカーの炭素同位体比は、その起源生物が摂取した炭素源の同位体比のほか、生物の炭素同化に伴う同位体分別、バイオマーカーの生合成に伴う同位体分別によって支配されている。本研究では、種々のバクテリアについて、各パラメータの値や生物種間の相違、支配因子等についてレビューを行う。

1. はじめに

堆積物中のバイオマーカーの炭素同位体記録を解釈する際、想定される起源生物が作るバイオマーカーの炭素同位体比を予測することが必要となる。バイオマーカーの炭素同位体比は、その起源生物が摂取した炭素源の同位体比のほか、生物の炭素同化に伴う同位体分別（即ちバイオマスを基準とした場合の炭素源の同位体比）、バイオマーカーの生合成に伴う同位体分別（即ちバイオマーカーを基準とした場合のバイオマスの同位体比）によって支配されている。本研究では、種々のバクテリアについて、各同位体パラメータの値や生物種間の相違、支配因子等についてレビューを行う。

2. 炭素源の炭素同位体比

独立栄養のバクテリアは生息環境中の水に溶存する二酸化炭素を炭素源とする。独立栄養のバクテリアの中で、藍藻は真核藻類と同様に、大気起源の溶存二酸化炭素を用いるため、その同位体比は高く変動幅が小さい。化学合成バクテリア（硫黄酸化、窒素酸化など）は好気層と嫌気層の境界付近に生息し、その二酸化炭素は嫌気層で有機物が分解して生じたものを様々な割合で含むため、同位体比が相対的に低く変動幅が大きい。嫌気的有光層に生息する光合成バクテリアも化学合成バクテリアと同起源の二酸化炭素を炭素源とするため、同様の同位体比が予想される。メタン生成バクテリアや硫酸還元バクテリアは堆積物間隙水中の溶存二酸化炭素を炭素源とするが、閉鎖的な環境のため二酸化炭素のプールが小さく、その同位体比の変動幅が大きい。従属栄養のバクテリアは他の生物の代謝産物である低分子有機化合物を炭素源とする。例えばメタン酸化バクテリアはメタン生成バクテリアの代謝するメタンを炭素源とするため、その同位体比は極端に低い。

3. 炭素同化に伴う同位体分別

独立栄養バクテリアの多くは真核藻類と同様に主として1,5-ジホスホリプロースのカルボキシル化反応によって炭素固定を行う。バクテリアの場合、この反応の酵素としてフォームIとフォームIIの2種類のルビスコが知られており、同位体効果に大きな相違（29パーミルと17.8パーミル）が見いだされている。真核藻類の場合、炭素同化における同位体分別は炭素固定の同位体効果のほかに細胞における炭素のマスバランス（細胞内への二酸化炭素の輸送速度と細胞内での炭素固定速度の関係）にも支配され、環境水中の溶存二酸化炭素濃度や細胞成長速度に依存することが実験的に検証されている。理論的にはバクテリアについても同様の効果が予想されるが、検証例が少なく、ある種の藍藻の培養実験においてこの効果がほとんど見られないとの報告もある。一方、野外観察と培養実験から評価される同位体分別の大きさが一致しない場合があり、その原因がマスバランスの効果に帰属されるとの見方もされている。異なる炭素固定の経路を用いるバクテリアに関して、培養実験で同位体分別が測定されており、メタン生成バクテリアが~23パーミル、緑色硫黄バクテリアが~12パーミルと報じられている。従属栄養バクテリアに関しては、大腸菌（炭素源は糖）や硫酸還元バクテリア（炭素源は糖、または酢酸）の培養実験でほとんど同位体分別が観察されなかった一方、メタン酸化バクテリア（炭素源はメタン）については大きな同位体分別（16~31パーミル）が観察されている。

4. バイオマーカーの生合成に伴う同位体分別

バイオマーカーの生合成に伴う同位体分別は、多くのバクテリアが正の値（バイオマーカーがバイオマスに比べてC-12に富む）を示すものの、緑色硫黄バクテリアのように負の値を示すものも知られており、これまで報告されている最大値と最小値の間には40パーミル以上の開きがある。同じバクテリアが作る複数のバイオマーカーの間でも同位体分別の大きさに10パーミル以上の差がある事例も報じられている。この成分毎の同位体分別

の規則性については未知の部分が多い。かつて古典的な脂質合成経路を想定して、ポリメチレン型のバイオマーカーがイソプレノイド型のバイオマーカーに比べて同位体分別が大きいと予測されたが、その後この予測に合わない測定結果も報じられている（例えばメタン酸化バクテリア）。近年イソプレノイド型バイオマーカーの生合成経路として新しいもの（非メバロン酸経路または GAP/Pyruvate 経路）が真性細菌において発見されており、この点を考慮して同位体分別の規則性を検討し直すことが必要となっている。