

安定同位体比から明らかになる底質有機物の起源

小 川 裕 也
（自然環境研究センター）

1. はじめに

底質とは海や河川などの水底の構成物で、砂や泥、動植物の遺骸などが堆積したものです。生態学的には底生生物（水底を生活の場に行っている生物群）にとって大切な環境ですが、普段の私たちの生活で意識することは少ないでしょう。研究においては、底質は土壌や地層のような環境指標として、過去や近年の環境やその変化を解明するために使われます。

ここで紹介するのは、底質を構成する有機物の起源を推定した研究です。一般的に河川における一次生産者（植物のような食物連鎖の基底をなすもの）は、上流から下流にかけて陸生植物から付着藻類、河口域においては植物プランクトンへと変化します。安定同位体比を用いた研究の普及により、世界中の様々なスケールで底質の有機物の起源の変化や特性が明らかにされてきました。

本研究は、マングローブ樹種が植生を構成しているフィリピンのバタン湾という沿岸域で行いました。湾口が狭くて複雑な地形をしており、内湾が広がる半閉鎖的な環境です。バタン湾はもとも存在していたマングローブ林の面積の90%以上が養殖池へ転換された場所です。養殖池といってもコンクリートや化学肥料などは使わず、エビやミルクフィッシュを粗放的に生産しています。

炭素・窒素安定同位体比（ $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ ）を用いて底質の有機物起源を推定する研究はしばしば行われていますが、このような複雑な地形の場所ではあまり研究が行われていません。このような湾でもこれまで行われてきた研究と類似した結果が出るのか？ という疑問から研究を始めました。

2. 試料採集と安定同位体比の分析結果

安定同位体比は生物にも非生物にも利用できる天然の指標（値）になります。異なる物質が異なる値を持つため、それらの混合物の値から起源となる物質の混合割合を推定することができます。これは安定同位体比を用いた手法の一つで、混合モデルと呼ばれます。混合モデルに用いる指標の数が増えるほど結果の信頼度は高まり、推定したい起源となる物質の数も増やすことができます。そのため本研究では分析しやすい炭素・窒素の安定同位体比と、炭素と窒素の比率（C/N 比）を指標として解析を行いました。

底質の有機物起源を推定するためには、混合物である底質そのものと、有機物起源になり得る一次生産者の安定同位体比分析が必要になります。バタン湾の各地で、マングローブ、陸生 C_3 植物（モモタマナ、ミミモチシダなど）、陸生 C_4 植物（イネ、カヤツリグサの仲間など）、農作物、海草、藻類、底生微細藻類、養殖池で使われている餌、そして湾内の底質（表層 5-10 cm）を採取して、炭素・窒素安定同位体比分析を行いました。

分析の結果、対象物の安定同位体比はおおむね先行研究¹⁾と同じ傾向を示しました。図1のように底質中有機物の炭素・窒素安定同位体比および C/N 比の値が、マングローブ、底生微細藻類、植物プランクトンの値の間に位置していることから、これらがバタン湾の主な有機物起源であることが確認できました。底生微細藻類とは、干潟や浅瀬などの砂泥粒子の表層に付着して繁殖する植物プランクトンと同程度の大きさの藻類で、底生生物の餌資源としての重要性が認識されています。

また、底質の有機物起源は河川から湾口にかけて陸生 C_3 植物由来から海洋性植物プランクトン

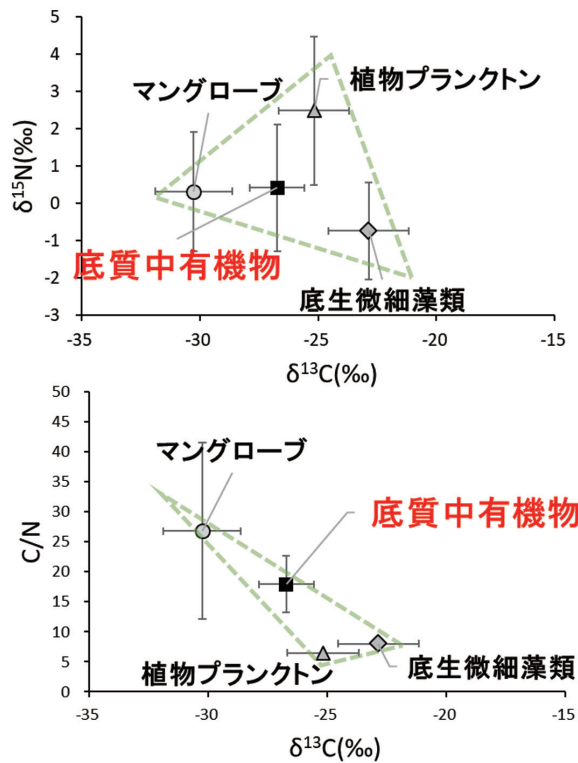


図1. バタン湾における底質と主な有機物起源の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 、C/N 比。底質中有機物の値は、マングローブ、底生微細藻類、植物プランクトンの間に示されることから、それらの混合物であることがわかる。

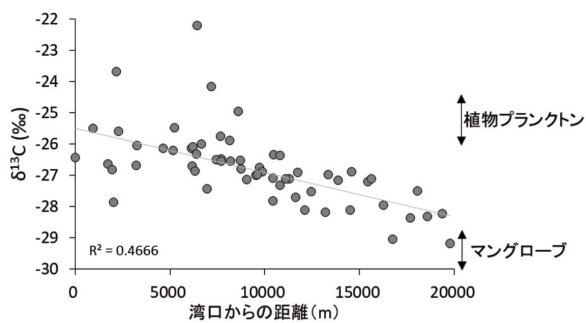


図2. 河川から湾口にかけて、底質の有機物の $\delta^{13}\text{C}$ が高くなり、有機物起源が陸生由来から海洋性由来に変化していることがわかる。

由来へと変化していくため、底質の有機物の $\delta^{13}\text{C}$ も低い値から高い値へと変化することが多くの研究で示されています。図2のように、バタン湾でも底質の有機物の $\delta^{13}\text{C}$ と湾口からの距離の間に相関関係があることが確認できました。

3. 安定同位体比を用いた生態区分

環境要因などで地域を生態学的に区分すること

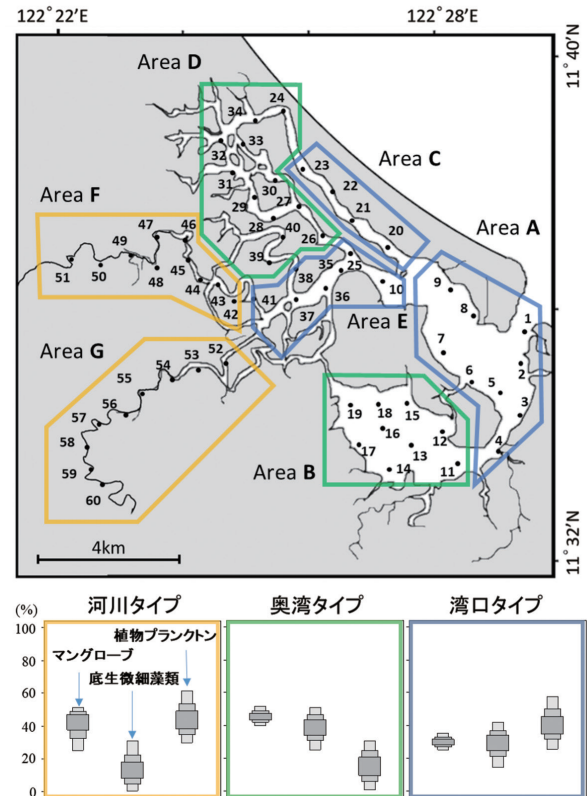


図3上. 60箇所の調査地点と、底質と環境要因から区分された範囲。黄色は河川タイプ、緑色は湾奥タイプ、青色は湾口タイプを示す。

図3下. 3タイプの区分における底質の有機物起源の混合割合。それぞれで特徴が違うことがわかる。

を生態区分と言います。バタン湾内の60地点で測定した環境要因（水質や水深）と、底質の安定同位体比およびC/N比の値を用いた解析で、図3上の地図のようにバタン湾を3タイプ（湾口タイプ、湾奥タイプ、河川タイプ）と、さらに細かい7区域（Area AからArea G）に生態区分することができました。それぞれのAreaで特性がありますが、ここでは3タイプにおける底質の有機物起源に着目します。前述した混合モデルを用いることで、図3下のようにそれぞれのタイプにおいて主な有機物起源の混合割合を求めることができました。

河川タイプ（黄色）は湾内に流入する主な2つの河川域が当てはまり、マングローブ（ここでは値の似ている陸域 C_3 植物も当てはまる）と植物プランクトンが有機物起源として目立っています。

自然状態の河川で植物プランクトンが主な有機物起源となることは少ないですが、バタン湾のようなインフラの整っていない地域では、河川沿いの民家からの生活排水の流入が局所的な植物プランクトンの発生に影響していることが考えられます。湾奥タイプ（緑色）は主な河川流路から外れて滞留構造になりやすい場所に位置しており、水深は浅く、底質の C/N 比は高い値を示しました。このことからマングローブの葉などが溜まりやすいことと、底生微細藻類の繁殖が盛んであることが分かります。湾口タイプ（青色）は海域に近く塩分濃度が高い地点が当てはまり、さまざまな有機物が比較的均一に混合していることが分かります。河川と海という生態系の間に位置するため、常に様々なものが混合している場所だと考えられます。

また、一部の底質の有機物で $\delta^{13}\text{C}$ の値が突出して高い地点が示されましたが（図 2）、浅い場所で付近にウミシヨウブ藻場が確認できる場所でした。海草は高い $\delta^{13}\text{C}$ を持つため、辺りの底質の有機物の起源になっていることが考えられます。この海草が具体的にどれくらい有機物起源として貢献しているかを明らかにするには、違う方法を考えなければなりません。

4. バタン湾の特徴

本調査でバタン湾の底質の有機物の炭素・窒素安定同位体比および C/N 比が明らかになりました。他の同じような研究を参照して、バタン湾の特徴を考えることができます。バタン湾の炭素安定同位体比 ($-26.7 \pm 1.2\%$) は、他の研究例と比べると全体的に値が低く、C/N 比 (17.9 ± 4.7) は高いことが分かりました。このことはバタン湾では陸生 C_3 植物やマングローブが底質の有機物起源に大きく貢献していることを示唆しています。本研究では全ての生態区分で、少なくとも 30% 以上がマングローブ由来だと推定されました。バタン湾のような多くのマングローブ林が養殖池へ転換された地域でも、半閉鎖的な湾の構造が陸生由来の有機物を多くトラップしていることが考え

られます。

窒素安定同位体比 ($-0.4 \pm 1.7\%$) は、全体的に 0.0‰ に近く、他の研究例と比べると低い値を示していました。化学肥料や生活排水などの人的行為に伴う影響は窒素安定同位体比を高めることが知られているため、バタン湾は人為的な影響が少ないことが示唆されます。これはあくまでも参照にした研究例との比較であって、バタン湾における人為的な環境負荷が少ないというわけではありません。

5. おわりに

正直なところ、結果を見るまでは半信半疑な気持ちでしたが、解釈のできる値や空間分布が示されて、安定同位体比の環境指標としての効力を感じた調査でした。観察だけでは得られない自然環境の安定同位体比分析による数値化は、他にも多くの疑問を解明できる便利なツールであることは間違いありません。バタン湾での研究においても、他元素の安定同位体比や、深い場所の底質を探索することで、マングローブ伐採や養殖池管理方法の変化、台風攪乱による影響など、さらに多くのことが分かるかもしれません。

注釈

- 1) 炭素・窒素安定同位体比は研究によってさまざまですが、平均的な一次生産者の値は次のようになります。 C_3 植物 ($\delta^{13}\text{C} = -27\%$ 、 $\delta^{15}\text{N} = 0\%$)、植物プランクトン ($\delta^{13}\text{C} = -24.3\%$ 、 $\delta^{15}\text{N} = -2.1\%$)、底生微細藻類 ($\delta^{13}\text{C} = -22.2\%$ 、 $\delta^{15}\text{N} = -2.9\%$) (Fourqurean & Schrlau, 2003; McKee et al., 2002; Muzuka & Shunula, 2006; Kohn 2010、Doi et al. 2010)

文献

Ogawa, Y., Okamoto, Y., Sadaba, R.B., Kanzaki, M., 2020. Sediment organic matter source estimation and ecological classification in the semi-enclosed Batan Bay Estuary, Philippines.

Int. J. Sediment Res. 36 (1), 110–119. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2020.05.007>.

著者情報



小川 裕也（自然環境研究センター・研究員）2022 年京都大学大学院農学研究科森林科学専攻京都大学大学院農学研究科修了。博士（農学）。

（2023 年 3 月 31 日掲載）