

## ヘビ類の路上轢死体を利用した安定同位体比分析の結果とその有効性

田川 愛 (兵庫県立大学大学院 環境人間学研究科)

### はじめに

生き物は食う-食われる関係にあり、それを示した食物網は先人たちの研究により明らかにされてきた。食物網の解明は生態学に関わるあらゆる研究分野にとって重要であり欠かすことはできない。食物網は広い分類群の生き物において複雑に絡み合っているが、それを一つの流れとしてとらえた食物連鎖は一番下位の存在である生産者(植物)、植物を食す一次消費者、草食動物を食す二次消費者、そしてそれらのトップとなる生き物である高次消費者で構成されている。生き物がどの位置に属するかを決めるためには対象となる生き物の栄養段階や栄養ポジションを知らなければならない。これまでされてきた食性調査は、行動観察、胃内容物分析、糞分析、捕食痕観察が主である。安定同位体比分析は従来の食性調査とは別の角度から食物網を明らかにすることができる技術である(土居ほか, 2016)。

同位体とは中性子の数が多い、普通の元素より少し重い元素のことであり、安定同位体とはその名の通り安定して存在することができる同位体のことをいう。一方、原子核が不安定で、放射線を放出する同位体を放射性同位体という。安定同位体は自然界の中に極わずかしかな存在しておらず、また元の元素より反応速度が遅いため、生き物に吸収された安定同位体は元の元素より体外へ排出されるのが遅い。生き物の体内に蓄積した安定同位体を筋肉や羽、鱗から調べることができるのが本分析方法の強みである。対象とする元素は炭素や窒素、水素、酸素などがあるが、本研究では炭素と窒素について分析を行った。炭素は生産者(植物)の由来、窒素は栄養段階を知る手がかりとなる。高次の消費者になるほど多く安定同位体が蓄積されるので、一次消費者から高次消費者を炭素・窒素安定同位体比のグラフにプロットすると、高次消費者へ向けて登り階段のようなグラフができあがる。つまり、この2種の元素を調べることにより、サンプルの食物連鎖における位置を知ることができる(和田, 1986)。

ヘビ類の食性調査は前述したような古典的な調査により明らかにされてきた。特に胃内容物分析やフン分析では調査対象のヘビを捕まえなければならず、その調査結果には人的偏りがあることが指摘されている(Mullin & Seigel, 2011)。例えば、大きい餌を飲み込んでいるヘビは体が重くなり、移動速度が遅くなる。そして体温を上げ消化しやすくするために頻繁に日光浴しなければならず、見晴らしが良い場所に出てくるため、人に発見されやすい。一方、小さな餌は消化が早く、また未消化物も少ない。移動速度にも影響が出にくいいため捕まえにくい上に、餌は消化されているため胃内容物として吐き出されず、また糞として排出された物は分析することができないほど小さい。このように、これまで大きい餌が主に報告され、小さな餌は報告されないもしくは極少数の報告となっている可能性がある。この問題を解決する手法の一つが安定同位体比分析である。使用するサンプルは必ずしも生きた状態で採取する必要はなく、死体から筋肉や鱗を採取することができれば分析が可能となる。本研究では本格的な研究の前段階として、これまで採集してきたヘビ類の路上轢死体の数個体を用い安定同位体比分析がヘビ類の食性調査に有効であるのかについて検討した。安定同位体比分析を用いたヘビ類の食性調査の目的は、他の手法のような人的偏りが出にくい食性推定をすること、発見・観察が困難な幼体を含む幅広い成長段階の食性の変遷を推定すること、そして地域間での食物網構造の違いを明らかにすることである。最終的にこれらのことが明らかにできる見通しが立つのかということに着目し調査を進めた。

## 材料と方法

図1の兵庫県豊岡市内の調査地A、B、C、その他でヘビ類の轢死体を計13個体（アオダイショウ3個体、シマヘビ3個体、ヤマカガシ3個体、ニホンマムシ3個体、ジムグリ1個体）を採集した。兵庫県豊岡市では大型の肉食動物であるコウノトリの野生復帰事業が行われている。市内にはコウノトリの生息適地に人工巣棟が建っており、そこで営巣したペアが縄張りを形成している。調査地BおよびCはコウノトリが営巣している地区である。採集したヘビ類の採集地と頭胴長（SVL）を記録した。損傷が激しい個体の頭胴長は博物館標本の測定結果から線形回帰モデルを作成し、モデルを基に腹板20番目の幅から推定した。

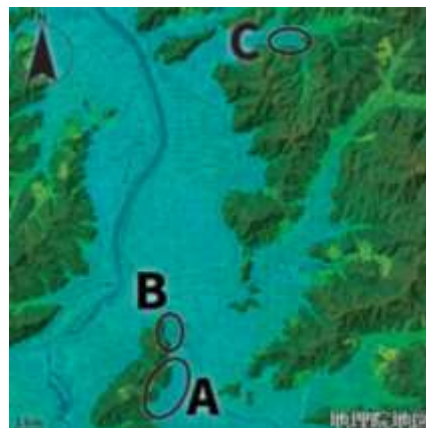


図1. 調査地図

採集したヘビ類の炭素安定同位体比（ $\delta^{13}\text{C}$ ）と窒素安定同位体比（ $\delta^{15}\text{N}$ ）を測定した。測定サンプルとして各個体の筋肉組織を約1.0 mg採取し、マイクロチューブに入れた。蓋を開けたマイクロチューブを低温恒温器に入れ50℃、48時間の条件でサンプルを乾燥させた。その後、サンプルを粉砕し、それぞれをスズコンテナに採取し、超高純度酸素と各サンプルをガス化前処理装置の燃焼炉へ落とした。この時、スズの酸化熱を利用して高温下で各サンプルを燃焼・ガス化させ、酸化触媒で各サンプルを完全に酸化した。そして、還元炉で窒素酸化物を還元し、水を過塩素酸マグネシウムでトラップ後、分離カラムで $\text{N}_2$ と $\text{CO}_2$ を分離した。分離した $\text{N}_2$ と $\text{CO}_2$ をHeキャリアガスとインターフェースを通して安定同位体比質量分析計に導入し、窒素安定同位体比と炭素安定同位体比を測定した。

## 結果と考察

個体情報と炭素・窒素安定同位体比分析の結果を表1に、炭素・窒素安定同位体比分析の結果のグラフを図2に示す。図2からアオダイショウ1は $\delta^{13}\text{C}$ 値、 $\delta^{15}\text{N}$ 値ともに他のアオダイショウよりも

表1. 採集したヘビ類の個体情報と炭素・窒素安定同位体比分析の結果

サンプル名	番号	SVL (mm)	採集 場所	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
アオダイショウ	1	1268	A	-16.0	10.6
	2	712	他	-25.0	4.1
	3	528	B	-25.1	6.3
シマヘビ	1	951	C	-23.4	5.9
	2	865	C	-23.5	5.5
	3	943	A	-23.4	7.5
マムシ	1	438	C	-23.0	6.3
	2	472	A	-23.1	10.3
	3	571	B	-25.5	6.4
ヤマカガシ	1	(494)	他	-22.6	5.7
	2	686	C	-22.8	7.1
	3	242	C	-25.5	6.6
ジムグリ		(554)	他	-22.9	7.9

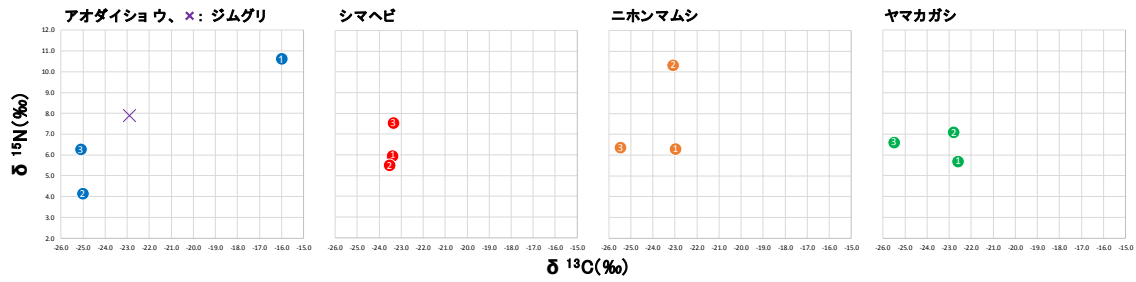


図2. 種ごとの $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$  マップ。プロット内の数字は個体番号を表す。

高いことが分かる。アオダイショウは幼体時はカエル類などの小さな動物を食べ、成体になると哺乳類や鳥類などを主に食べる成長による食性の変化があることが知られている(関, 2016)。アオダイショウ1と2、3の頭胴長(SVL)を比べると大きさにかなりの違いがある。よって、炭素・窒素安定同位体比分析からもアオダイショウの成長に伴う食性の変遷を示唆することができる。

地区別の炭素・窒素安定同位体比分析の結果を図3に示す。コウノトリの営巣地区であるB、Cに比べ、非営巣地区であるAで採集された個体の方が $\delta^{15}\text{N}$ 値は高い。これにはコウノトリの捕食圧が関係している可能性がある。コウノトリは水田や湿地、ワンドなどの水域で主に採餌をし、魚類や両生類、昆虫類、爬虫類そして小型哺乳類など口に入る大きさの様々な動物を捕食する(田和ほか, 2016)。

縄張り内ではコウノトリが捕食しやすいような大きな動物はその捕食圧により他所より少ないことが予想され、ヘビ類の餌動物やその餌生物は小さい動物となることが考えられる。例えば、ヘビ類が同じカエル類を食したとしても、それは大きな個体ではなくオタマジャクシから変態したばかりの小さなカエルばかりになるかもしれない。小さなカエルの場合、口の大きさから捕食できる昆虫などの餌動物に制限がかかるため、栄養段階が低くなる。このようなコウノトリの捕食圧によるヘビ類の餌動物への影響が出ていることが図3の結果に表れているのかもしれない。ただ、他にも水質や肥料、土質、気候などの影響により地域ごとに $\delta^{15}\text{N}$ 値は変化するため、コウノトリの捕食圧が原因でない可能性も高い。

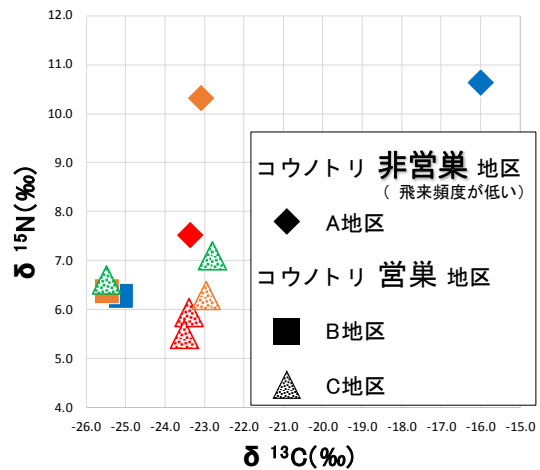


図3. 地区別のプロット。青はアオダイショウ、赤はシマヘビ、橙はニホンマムシ、緑はヤマカガシを示す。

### 課題

炭素・窒素安定同位体比分析は地域によって差が生じる。そのため、本来であれば対象地域の生産者である植物を始め、昆虫類やカエル類など広い分類群の $\delta^{13}\text{C}$ 値と $\delta^{15}\text{N}$ 値を分析しなければヘビ類の正確な栄養段階を知ることはできない。 $\delta^{13}\text{C}$ 値と $\delta^{15}\text{N}$ 値は地域によっても変化するが、気温や気象の季節変化によっても変化する。そして、餌動物を消化・吸収して得た栄養(元素)が体組織へ蓄積される時期は血液、筋肉、鱗など部位によって異なる(Willson et al., 2010)。サンプルした時期と体組織へ蓄積される時期との差は、他のサンプルと並行して分析を進める中で問題となる可能性がある。本研究はサンプル数の不足はもちろんのことだが、以上のようなことを加味していないため正確なデータとは言えない。ヘビ類の正確な食性調査をするためには、調査期間を絞り込み、限られた範囲のあらゆる分類群の生物を分析し、対象とするヘビ類の多くのサンプルを採取することが必要である。

## おわりに

ヘビ類の犠死体の筋肉組織を使用した炭素・窒素安定同位体比分析の結果は、十分な考察ができるほどのサンプルサイズ・サンプル数ではなかったものの、測定されたそれぞれの同位体比に異常なデータはなかった。犠死体の筋肉組織であっても同位体比分析の精度には問題がなかったため、本分析は人的偏りの少ない食性調査となり得る。炭素・窒素安定同位体比の値はアオダイショウの成長に伴う食性変化および地域による同位体比の違いを示唆した。このことから、種間、雌雄間、幼体-成体間そして地域間の同位体比の差を定量的に示すことができると分かった。よって、炭素・窒素安定同位体比分析はヘビ類の食性調査において有効な手法であると言える。

## 謝辞

安定同位体比分析についてご指導してくださった兵庫県立大学の佐川志朗教授、国立研究開発法人 土木研究所の田和康太様、研究のご指導をしてくださった太田英利教授、研究についてご助言してくださった東邦大学の長谷川雅美教授、標本の計測にご協力いただいた京都大学の森哲准教授、本川雅治教授、岡部晋也様、標本を採取していただいた兵庫県立大学の桑原里奈様に深謝いたします。なお、本研究はJSPS 科研費 18K11729 の助成を受け実施されました。

## 参考文献

- 土居秀幸., 兵藤不二夫., & 石川尚人. (2016). 生態学フィールド調査法シリーズ 6 安定同位体を用いた餌資源・食物網調査法. 共立出版.
- Mullin, S. J., & Seigel, R. A. (Eds.). (2011). *Snakes: ecology and conservation*. Cornell University Press.
- Tawa, K., Sagawa, S., & Naito, K. (2016). 9年間のモニタリングデータに基づく野外コウノトリの食性. *野生復帰*(2016) 4:75-86.
- 関慎太郎. (2016). 野外観察のための日本産爬虫類図鑑. 緑書房.
- 和田英太郎. (1986). 生物関連分野における同位体効果—生物界における安定同位体分布の変動—. *Radioisotopes*, 35(3), 136-146.
- Willson, J. D., Winne, C. T., Pilgrim, M. A., Romanek, C. S., & Gibbons, J. W. (2010). Seasonal variation in terrestrial resource subsidies influences trophic niche width and overlap in two aquatic snake species: a stable isotope approach. *Oikos*, 119(7), 1161-1171.