

骨が記憶する過去の生態系

— 同位体分析による動物の食性復元研究 —

松 林 順

（国立研究開発法人海洋研究開発機構）

1. 過去の遺物と同位体

普段私たちが生活しているこの場所では、遠い昔にはどのような生き物がどのような生活を送っていたのでしょうか。過去の生態系の姿を知るということは、研究者にとって最も挑戦的な研究テーマの一つです。本稿で紹介する同位体食性分析は、そんな過去の生物の暮らしを紐解くうえで重要な役割を果たします。

同じ原子番号の原子のうち、中性子の数が異なるために重さの異なる原子を同位体と呼びます。同位体は化学的な性質は同じですが、化学反応の速度にわずかな違いがあります。このため、生物の光合成型の違いや食物連鎖の段階など、生物の生理機構や生態によって同位体比が変動します。したがって、対象動物の体の同位体比とその餌となる生物の同位体比を比較することで、その動物が何を食べていたかを予測することができます。このように同位体比を用いて動物の食べ物（食性）を調べる手法を同位体食性分析といいます。

同位体として保存されている食べ物の記録は、過去の生物の情報を得たいときに役立ちます。現代の動物では、胃の内容物や糞中の不消化物からその食性を調べることができます。しかし、過去の動物ではこうした調査ができません。一方で、同位体分析は過去の遺跡から出土した動物の骨でも適用できるというメリットがあります。骨の主要な構成成分は、リン酸カルシウム的一种であるハイドロキシアパタイトですが、タンパク質であるコラーゲンも 20% ほど含まれています。コラーゲンには炭素や窒素といった食性の指標となる同位体元素が多く含まれているので、遺跡から出土

した骨であっても、このコラーゲンが十分量残っていれば同位体を使った食性分析が可能です。

以下では、私がこれまでに実施した動物遺骨の同位体食性分析の結果と、そこから明らかになった過去の日本の生態系について解説します。

2. ヒグマの食性の歴史的变化

ヒグマは北半球の広範囲に分布する大型の雑食動物です。雑食動物の中でも、ヒグマの食性は「日和見的な雑食性」と呼ばれており、食物環境の変化に応じて食性を大きく変化させるという特徴があります。例えば、大型のシカなどの仲間やサケが多く分布している北アメリカでは、ヒグマは動物性の食物を多く利用しています。

一方、日本の北海道にもヒグマが生活しています。しかし、日本のヒグマは動物性の餌はあまり食べておらず、草や木の実といった植物質中心の食生活であることが知られています。北海道でもエゾシカやサケといったヒグマの餌となりそうな動物が多く分布しているのに、なぜ北海道のヒグマは植物中心の食生活を送っているのでしょうか？ 昔から植物質中心だったのか、何らかの理由で食性が変化したのか、いくつかの可能性が考えられます。

そこで、この研究では過去の遺跡から出土したヒグマの骨を北海道中から集めて、縄文時代から現代まで約 2000 年間のヒグマの食性の変化を炭素・窒素およびイオウの安定同位体分析によって調べました。

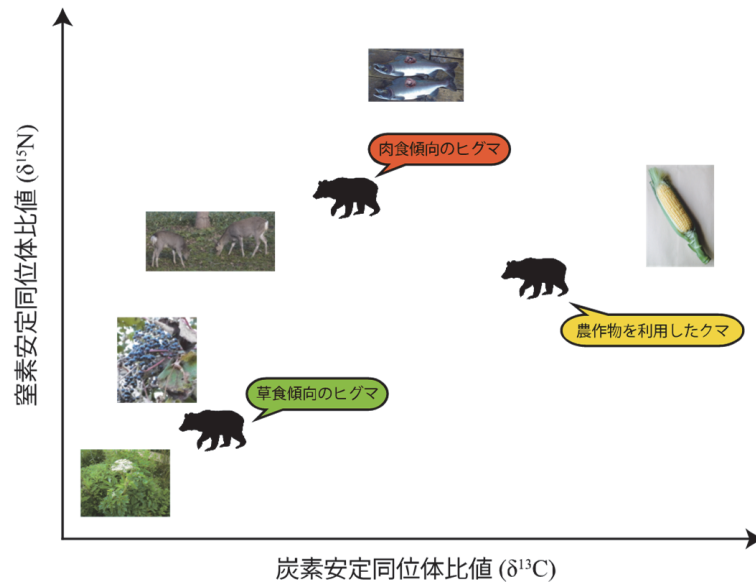


図 1. ヒグマの主要な餌資源の炭素・窒素同位体比。ヒグマの値は、多く利用した餌の値に近づく。

炭素安定同位体比は、一般的な植物（C3 植物）と C4 植物であるトウモロコシで大きく値が異なります（図 1）。一方、窒素の安定同位体比は、植物→草食動物→肉食動物の順で上昇していくという特徴があり、海由来の栄養であるサケではさらに高い値となります（図 1）。また、イオウの安定同位体比は、陸域の資源と海由来の資源で大きく値が異なります。したがって、この 3 つの同位体元素を利用することで、ヒグマの主要な餌資源である C3 植物、陸上動物類、サケ、トウモロコシをどの程度利用していたかを正確に推定することができます。この手法を使って昔から現在ま

でのヒグマの食性の変化を復元することで「なぜ北海道のヒグマは草食傾向なのか」という疑問に答えることを目標としました。

分析の結果、ヒグマの食性は時代経過に伴って肉食傾向から草食傾向に大きく変化したことが判明しました。さらに、このヒグマの大規模な食性の変化は、北海道で開発が本格化した明治以降に急速に進行したことが明らかになりました。北海道の東部地域では、サケの利用が開発開始前の 19% から、開発完了後の時代には 8% まで減少していました。また、エゾシカなどの陸上動物の利用は 64% から 8% にまで減少していました（図 2）。

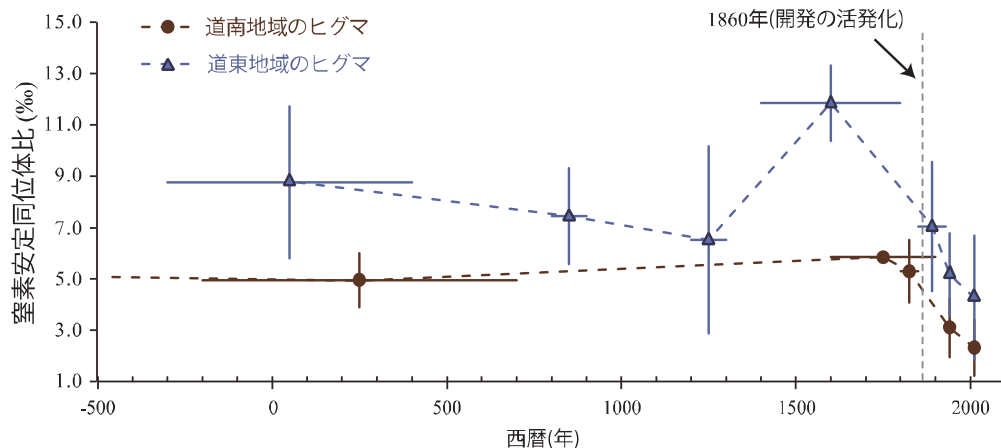


図 2. 動物質食物利用の指標となる、窒素同位体比の時間変化。1860 年前後を境に窒素同位体比が減少し始めたことが分かる。

本研究の成果から、北海道ではヒグマの食性の変化がおよそ 100 ～ 200 年前に始まり、それ以降急速に進行したことが分かりました。さらに、食性の変化が始まった時期は、開発が活発化した明治の始まりと一致しています。それでは、人の開発行為がどのようにヒグマの食性に影響を与えたのでしょうか。

サケの利用を減少させた人為的な要因としては、沿岸部でのサケ漁業やダムなどの工作物の設置が考えられます。近年、人工孵化事業などによってサケの資源量自体は増加しています。しかし、河川に戻ってきたサケのほとんどは沿岸部で捕獲され、また河川に遡った一部のサケもダムや堰に遡上を阻まれ、下流で産卵してしまいます。このため、主に山の中で生活しているヒグマはサケを利用しにくくなったと考えられます。

陸上動物の利用の減少に影響を与えた可能性があるのが、20 世紀初頭に起きたエゾオオカミの絶滅です。ヒグマが捕食する陸上動物は大半がエゾシカです。しかし、エゾシカはヒグマよりも俊敏なので、大人のエゾシカを捕まえることは簡単ではありません。また、エゾシカが自然死するのは真冬がほとんどで、この時期に冬眠中のヒグマはその死骸を利用することもできません。

一方、海外の研究では、オオカミが群れで狩りをしたシカの死骸をヒグマが横取りする事例が報告されています。同様に、北海道においてもエゾオオカミが仕留めたエゾシカを横取りすることで、ヒグマが多量のシカを利用できていた可能性が考えられます。

このように、同位体分析によって過去と現在の動物の食性を比較することで、過去の生態系の変化を明らかにできる可能性があります。人による開発や気候変動などの影響によって動物の暮らしがどのように変化したかを調べるうえで、同位体分析はとても便利なツールであるといえます。

3. 絶滅種エゾオオカミの食性復元

先ほどの研究では、かつて北海道に生息して

り 20 世紀初頭に絶滅したエゾオオカミの話題がでました。このエゾオオカミは、生態学的な調査がほとんどなされないまま絶滅してしまったため、彼らが当時の北海道の生態系でどのような役割を果たしていたかは全くと言っていいほど明らかになっていません。

世界的にオオカミの仲間は、多くが有蹄類などの大型陸上哺乳類を捕食しています。しかし、カナダ沿岸の一部地域では、海産物に強く依存している個体群が存在します。これらの個体群は「海辺のオオカミ」と呼ばれ、泳ぎが得意であり、サケや海獣類、貝類を食べるなど、通常のオオカミとは異なる独特の生態を持っています。北海道はカナダと環境が似ており、秋になると多くのサケが河川を遡上します。従って、エゾオオカミもカナダの海辺のオオカミと同様に、サケなどの海産物を食べていた可能性が考えられます。そこで、本研究ではエゾオオカミの食性を復元することを目的として、博物館などに所蔵されているエゾオオカミの骨を使って同位体食性分析を実施しました。

エゾオオカミの骨は、絶滅直前に収集された標本が北海道大学植物園に数点所蔵されています。また、縄文人やアイヌの遺跡からも僅かながらエゾオオカミの骨が出土しています。私たちは、北海道内の複数の博物館と協力して、7 個体分のエゾオオカミの骨試料を収集しました(図 3)。また、



図 3. 苫小牧市美術博物館に展示されているエゾオオカミの骨標本。

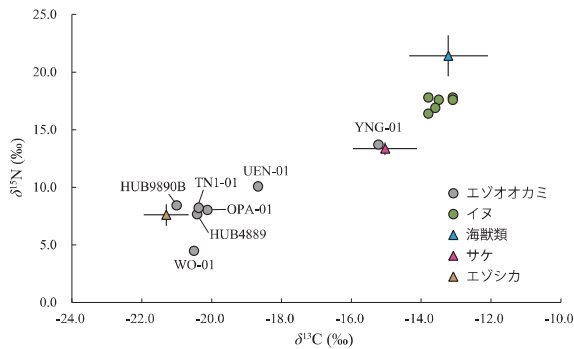


図 4. エゾオオカミ（及び飼いイヌ）とその餌資源の炭素・窒素安定同位体比。

彼らの餌となる海獣類・エゾシカなどの骨も併せて収集し、炭素・窒素安定同位体比の測定を行いました（図 4）。

分析の結果、7 個体中 5 個体は栄養源のほぼ 100% を陸上動物に依存していました。しかし、残りの 2 個体では、海産物がそれぞれ栄養源の 33.1%、78.6% を占めていました。海産物の中では、サケの寄与率が特に高く、それぞれ 31.1%、44.7% と推定されました。

本研究の結果から、一部のエゾオオカミ個体群では、海産物に強く依存した食性を持っていたことが明らかになりました。彼らが自然状態で海産物を多く利用していたとすれば、北海道にも「海辺のオオカミ」が存在していたことになります。海産物を利用するオオカミは、草食動物の個体群を調整するだけでなく、海由来の栄養源を陸域へと運搬する役割を果たします。カナダの海辺のオオカミは、行動やゲノム DNA も通常のオオカミとは異なっていることが分かっていますが、エゾオオカミでも一部の個体群ではこのように特殊な生態を持っていたのかもしれません。

ただし、エゾオオカミが自然状態以外で海産物を利用した可能性も考えられます。それは、ヒトによる飼育です。当時、ヒトに飼育されていたイヌは、魚や海獣などの海産物をほぼ 100% 与えられていたことが分かっています（図 4）。本研究で使用したエゾオオカミの同位体比値は、これらのイヌの値とは異なっているため（図 4）、これらの個体が一生を通じて飼育されていた可能性は

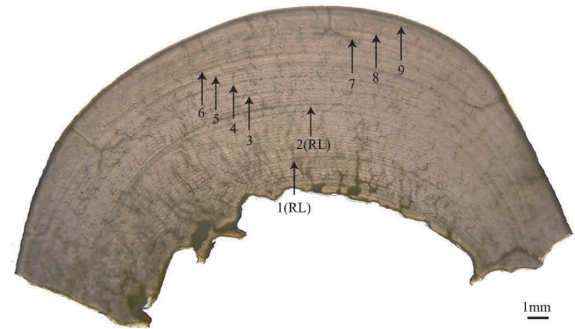


図 5. ヒグマの大腿骨の横断切片の写真。複数の成長停止線（図中の矢印）が確認できる。

ありません。ただし、ある程度成長してから生け捕りにされて、数年間海産物を与えて飼育された可能性は除外できません。飼育された個体かどうかを区別するには、さらなる研究が必要です。

4. 今後の展望

過去の人や動物の骨を使った同位体分析では、10 年以上の長期間における平均的な食性の情報が得られるというのが、同位体分析の分野における一般的な考えでした。しかし、最近の私たちの研究から、大腿骨のように大きな負荷がかかる丈夫な骨においては、成長方向に分割して同位体分析を実施することで、対象動物の食性の時間的変化が復元できることが分かってきました（図 5）。この方法を使えば、動物の成長に従ってその食性がどのように変化してきたかということや、対象動物の餌となる生物の資源量の年変動がその動物の食性にどのような影響を及ぼすかといった、これまではできなかった分析が可能になります。

このように、新しい動物に同位体食性分析を適用するだけでなく、同位体分析の新しい活用法を見出す研究にも力を入れて、今後この分野の研究がより進展するように尽力していきたいです。

文献

Matsubayashi J, Morimoto J, Tayasu I, Mano T, Nakajima M, Takahashi O, Kobayashi K, Nakamura F (2015) Major decline in marine and terrestrial animal consumption by

brown bears (*Ursus arctos*). Scientific Reports 5: 9203.

<https://doi.org/10.1038/srep09203>.

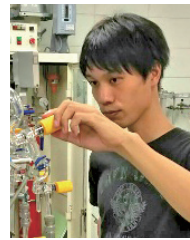
Matsubayashi J, Ohta T, Takahashi O, Tayasu I (2017) Reconstruction of the extinct Ezo wolf's diet. Journal of Zoology 302: 88–93.

<https://doi.org/10.1111/jzo.12436>.

Matsubayashi J, Tayasu I (2019) Collagen turnover and isotopic records in cortical bone. Journal of Archaeological Science 106: 37–44.

<https://doi.org/10.1016/j.jas.2019.03.010>

著者情報



松林 順（国立研究開発法人海洋研究開発機構 JSPS 外来研究員）。2015 年京都大学大学院理学研究科修了、博士（理学）。2015 年総合地球環境学研究所研究推進支援員を経て 2017 年より現職。

（2020 年 3 月 31 日掲載）

（2020 年 4 月 7 日改版）