

## From birds to butterflies: animal movement patterns and stable isotopes.

Rubenstein D. R. & Hobson K. A. (2004) TRENDS in Ecology & Evolution 19:256-263.

安定同位体マーカ―を用いれば、動物の生態の理解や保全のための知見として欠かせない移動分散のパターンを様々な対象・状況において調べることができるようになる。調査デザインや結果の解釈など、活用の際に注意が必要な事柄を実例を交えて解説する。

動物の移動分散のパターンを明らかにするのはとても困難。方法には、マーキングして直接追跡するものと、生物的、もしくは生物化学的マーカ―を用いて元の生息地を推定する方法とがある (Box1)。

### Box.1

#### 外部マーカ―

テレメなどが良い例。テレメは大きな動物には効果的だが、小さく分散距離の長い動物には使えない。これらの欠点は実用段階ではないが、技術の進歩によりある程度解消可能ではある。しかし、マーキング個体を再捕獲 (発見) する必要がある方法では、個体数の少ないもの、小さいものへの応用は困難。外部マーカ―が個体の行動に影響を及ぼす可能性が常につきまとう。

#### 生物マーカ― (内部性)

形態、行動、遺伝的変異など。外部マーカ―と違い、特定の個体ではなく個体群(集団)単位を対象にできる。しかし、長距離の移動分散が頻繁に起こる動物では個体群間の変異が少ないことが多く、この場合かなり大きな地理的スケールでないと使えない。

#### 生物化学マーカ― (内部性)

追跡物質の集中度 (?) や安定同位体など。発生地を推定や個体群の峻別などに使える。安定同位体元素はその動物が生息する食物網のものを反映するという原理。個体群同士を比較することで移動分散のパターンを間接的に推定。

### Stable isotopes and their abundance in nature

安定同位体は、自然に生じる質量の違う元素の形態。異なる物理的性質を持つために生物化学的プロセスにおいて異なる振る舞いをする。質量分析計で国際基準に対しての違いが測定され、同位体比 (per thousand) が決まる。食物中の安定同位体はさまざまな Trophic enrichment の度合いにしたがって動物体内に吸収される。同位体存在度は、生物的、生物化学的プロセスの違いにより環境によって様々に異なる。人間活動の影響も大きく受ける (Table 1)。

### Animal movement: characterizing populations and forming links

同位体を使った研究の目的は多くが Migratory connectivity を明らかにすること。( ) 適当な期間の地理情報が残っている部位の選択 (Box2) ( ) 対象の個体群間の同位体上の違いを明らかにする、( ) 同位体の類似性を元に発生元を推定して季節間の個体群間を結びつけるという一連の作業が必要。

## Box2

安定同位体は代謝速度に依存して組織内の滞在時間が変わる。生物・部位によって滞在時間が違う。移動分散の研究では、不活発な部位（鳥の羽、哺乳類の毛、昆虫の翅など）が用いられることが多い（Fig1）。新たにやってきた個体と、元々いた個体との区別をするなど、もっと直前の情報が欲しい場合は、代謝の活発な部位を使用すればよい。異なる期間の地理的情報が残っている複数の部位を使えば、年サイクルを含む個体の移動歴を知ることにも可能になるかもしれない。

### Metabolically inert tissues

長期間組織が形成された場所の同位体比が保持されることを利用して、季節的移動分散の研究に用いられる。ケラチン質のものが多く用いられる。ケラチン質中の H だけは例外で、炭素と結合していない場合、外部の水蒸気中の元素と交換がおきてしまう。

### Metabolically active tissues

数時間、数日単位で代謝が起こるような部位（血球や肝細胞など）、数週間（筋肉や全血？など）また、数ヶ月から数年かかるような部位（骨コラーゲン）などがある。元素によっても滞在時間がちがう。まだまだ研究が必要。

## *Characterizing and differentiating among populations*

興味のある個体群間の同位体組成の違いを明らかにする。

### 哺乳類

初期の研究は、海獣を対象に行われている。C と N を使って採食場所の異なる個体の区別に利用。象牙の C,N,S を使って由来地域を調べる研究。熱帯のコウモリが、フルーツ依存か昆虫依存か（N を使用）、フルーツの季節に合わせて移動。有蹄類の蹄のケラチン質を利用して移動を調べることができる可能性。

### 鳥類

初期には、ハビタットや個体群の違いが筋肉や、血液などの活性組織の C,N を使って調べた研究。最近では不活発な組織の D,Sr,S などが使われている。

### 魚類

年輪を形成する耳骨（不活性部位）の O,C,Sr などを使って異なるハビタットの個体を分類。最近では S などを使って精度を高めて、発生ステージの場所まで追跡できるようになっている。最近では耳骨と違って非破壊的なサンプルが可能な活性部位も使われるようになってきている。

## *Linking populations between seasons to infer geographical origins*

移動のパターンを明らかにする

### 哺乳類と爬虫類

多くが海洋での研究。クジラの髭やひれ足類の様々な部位の C,N で採食場所間の長距離移動を明らかに。カメの卵の C、N で産卵前の雌の採食場所を特定。

### 鳥類

繁殖地と越冬地間の移動、越冬地での個体群の混在、繁殖地ごとの移動パターンの違いなどが

明らかになっている。絶滅危惧種にも応用。未知の繁殖個体群が見つかったり、北アメリカの個体群の減少が、はるか南のカリブの島の森林破壊に起因していることがわかったり。最近では、繁殖地と越冬地での個体群動態の関係を調べる研究もある。

#### 魚類

研究はそれほど多くないが、北西アメリカのサケの研究では、流域の違いが Sr でわかって、農業の違いに起因する N の違いをあわせると流れごとに同位体組成を分類可能など。

#### 昆虫

昆虫での研究では同位体は力を発揮する。チョウの翅の C,D をしらべることによってメキシコの越冬個体群の多くがアメリカ中西部由来であることが明らかになった。最近では北アメリカの個体群がキューバまで行っていることも明らかになっている。

### Considerations for designing and interpreting isotope movement studies

同位体組成の分散に影響を与える要因をしっかりと把握する必要。

#### *Biology and life history*

一つの個体群内の個体は同じ同位体組成を持っているという仮定だが、個体間に餌の違い、採食場所の違い、代謝の違いがあると成立しない。成長段階に応じて食べているものが変わる場合も同様。

対象部位の成長パターンを知ることも大事。例えば鳥は繁殖地で羽が生え変わると仮定されているが中には、移動中に生え変わるものもある。

#### *Biogeochemistry and ecology*

地理的要因、気候などは同位体を用いた移動の研究に影響を及ぼす。天水中の D や O の平均的なパターンは良く調べられているが、極端に雨が少ない地域・期間や偏った降水のあるような場合は良くわかっていない。土壌の組成もこれらに影響を及ぼす。降水の年変動も食物量やその選択を介して同位体の研究に間接的に影響を及ぼす可能性がある。

同位体組成の高度による傾度と緯度による経度。時として個体群内の分散の方が、個体群間のちがいよりも大きくなる可能性がある。

### Future directions

どんどん展開している分野である。精度を高めるためのさらなる方法論的、技術的發展が望まれる (Box 3 参照)。

#### **Glossary**

**Isotope discrimination:** 質量の違いによって生物化学的プロセス中で異なる振る舞いをすることから生じる同位体存在度の違い。

**Migratory connectivity:** 繁殖と非繁殖個体群間のつながりの度合い。

**Trophic enrichment:** 動物体内とその餌内の同位体比の違い。