

## 第 20 回 国立環境研究所琵琶湖分室セミナー

### 「多元素の同位体手法を用いた集水域生態系研究」

日時：2019 年 1 月 16 日（水）15：00-16：00

セミナー講師：陀安 一郎（総合地球環境学研究所）

元素の安定同位体比は、その元素の由来や反応経路の情報を含んでおり、生態系の物質循環や食物網を反映している。近年、いろいろな元素の安定同位体情報が得られるようになってきており、より確度の高い現象の解明につながると期待されている。特に、同位体情報を地図化した「同位体地図（Isoscape）」を作成することによって、生態系のつながりを可視化する試みが広がっている。本発表では、総合地球環境学研究所において行なっている集水域を中心とした多元素同位体研究の紹介を行い、今後の研究の方向性について議論したい。



大学共同利用機関法人 人間文化研究機構  
総合地球環境学研究所

国立環境研究所琵琶湖分室セミナー第20回

# 多元素の同位体手法を用いた集水域生態系研究

陀安 一郎

総合地球環境学研究所

2019.01.16

RIHN



# 同位体環境学共同研究

## 総合地球環境学研究所

研究基盤国際センター 計測・分析部門

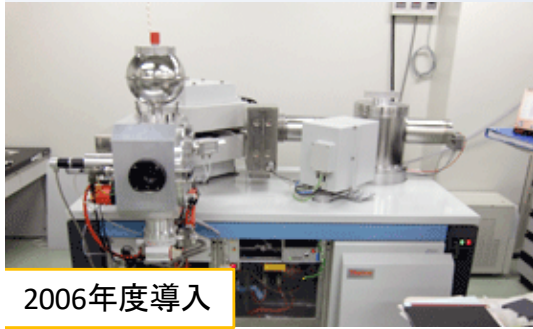
陀安一郎、申基澈、藪崎志穂、由水千景、中野孝教(名誉教授)





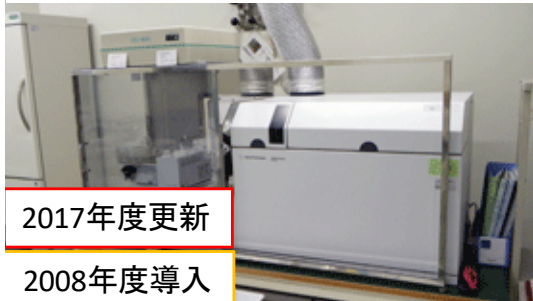
# 実験施設 Laboratories

大学共同利用機関法人 人間文化研究機構  
総合地球環境学研究所



2006年度導入

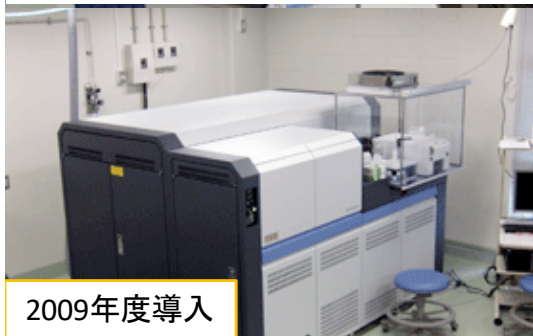
表面電離型質量分析計(重元素同位体比)



2017年度更新

2008年度導入

ICP-MS(元素濃度分析)



2009年度導入

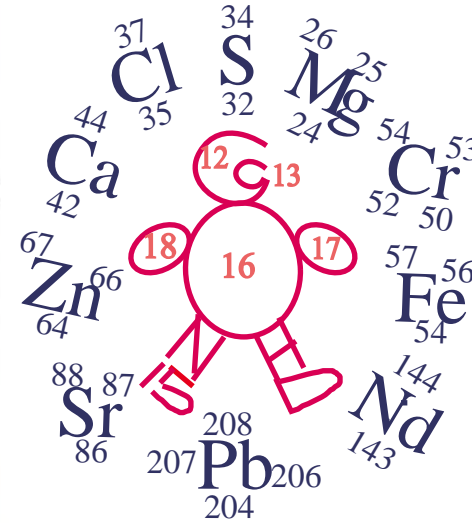
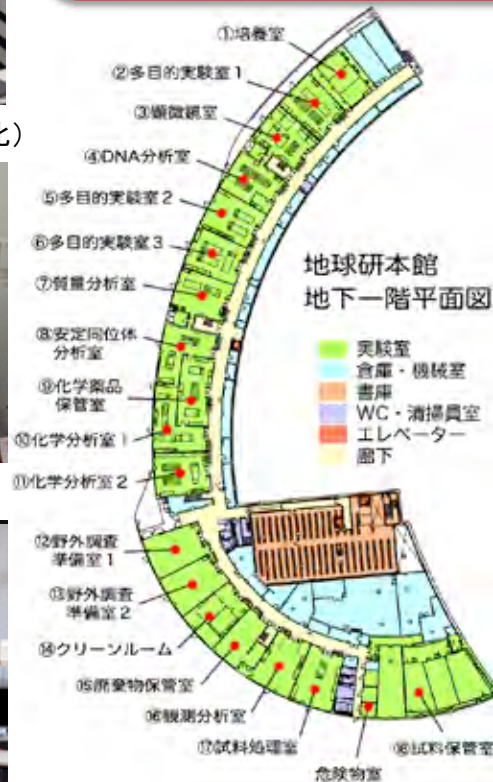
MC-ICP-MS(重元素同位体比)



2018年度更新

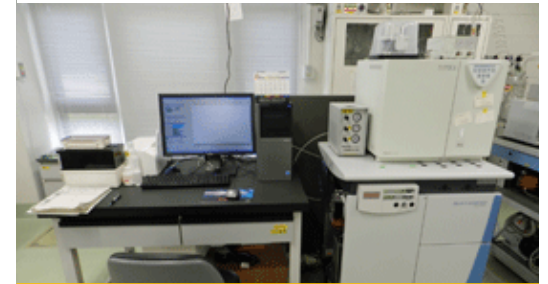
2009年度導入

イオンクロマトグラフ(陽・陰イオン濃度)



2002年度導入

γ線測定装置(放射性同位体分析)



2002年度(OH)、2010年度導入(CN,S)

燃焼型質量分析計(軽元素同位体比)



2010年度導入(GC/C, Gasbench)

GC/C/質量分析計(軽元素同位体比)



2010年度, 2011年度導入

レーザー型質量分析計(水同位体比)

同位体分析機器を中心とした  
実験施設を利用し、地球環境問題解決に  
資する共同研究を推進する仕組み

Research collaborations using research  
facilities for global environmental studies

# 地球研の装置を利用するには？

## How to use research facilities in RIHN?

1. 地球研プロジェクトメンバーは利用できます。
  - Research project members of RIHN can use the facilities
2. 同位体環境学共同研究に応募し、採択されれば利用できます。
  - Apply to “Cooperative research program on Environmental Isotope Study”

前年度

1月頃：募集の案内 「(A)一般共同研究」、「(B)部門共同研究」の区分があります

Start call for proposals in January

“General cooperative research” or “Collaborative research with the Division”

2月頃：募集の締め切り

Deadline of submission in February

3月頃：同位体環境学委員会による審査と採用決定

Decision of the applications by the committee in March

4月～翌年2月：研究期間（装置利用）

Research duration from April to the next February

12月頃：シンポジウム（地球研）で結果発表（中間段階で可）

今年度は2018年12月21日（金）----->

Symposium at RIHN in December

当年度

翌年4月末：研究報告書提出

Submit a report to RIHN

翌年5月頃：地球惑星科学連合大会で成果発表（推奨）

Presentation of the results at JpGU session (recommended)

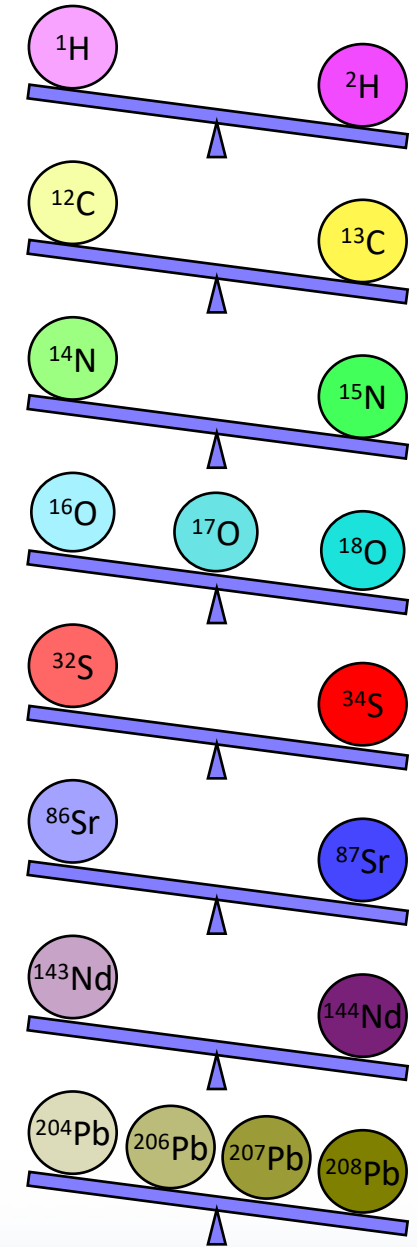
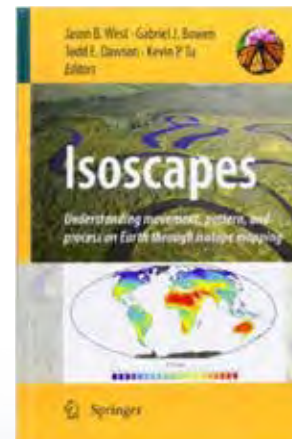
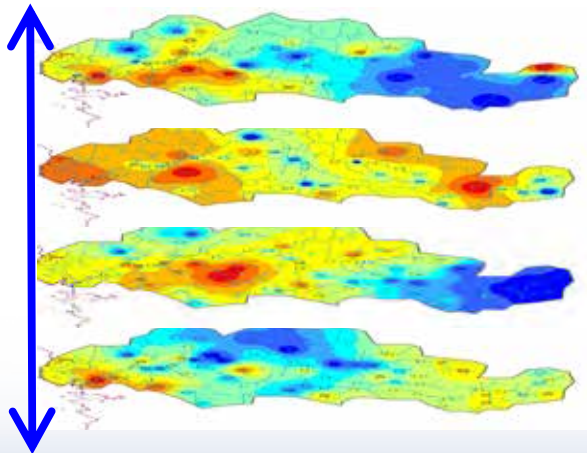
翌年度





# “Multi-Isoscapes”

- いくつかの元素については同位体分析が簡略化され、「個別の元素の研究」から学際的な研究利用を目指せる時代となりつつある。
- ↓
- 本研究では多元素同位体環境情報マップ“Multi-Isoscapes”として解像度を上げる。
- 多元素の化学的関係性から新たな環境情報解析が行える。
- 人の生活圏に直結したスケールを扱うことで、学際・超学際的利用に有効な方法論となる可能性がある。



# 同位体マップ(Isoscapes)を用いた研究・応用

1) ある物質のある元素の同位体比

= 由来となる物質の同位体比

→ 由来となる物質の時空間分布  
が必要

+ 同位体分別 → 個別のプロセスの研究が必要

2) 時系列分析

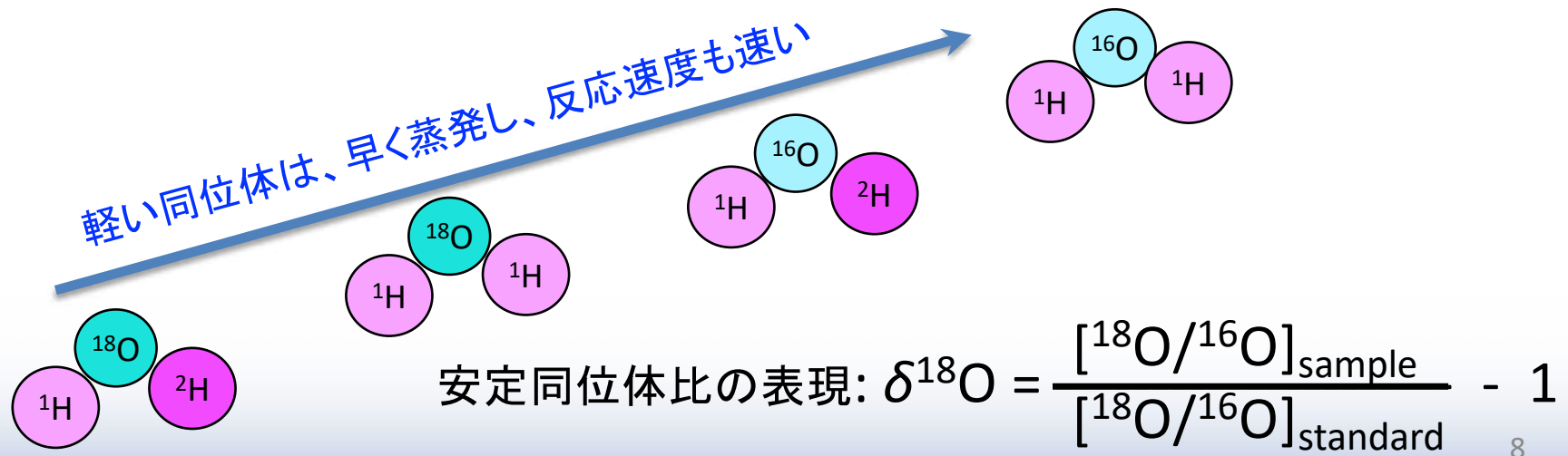
→ スナップショット以上の分析  
ができるか？

3) 元素／分子の組み合わせ

→ 何を組み合わせるのか？

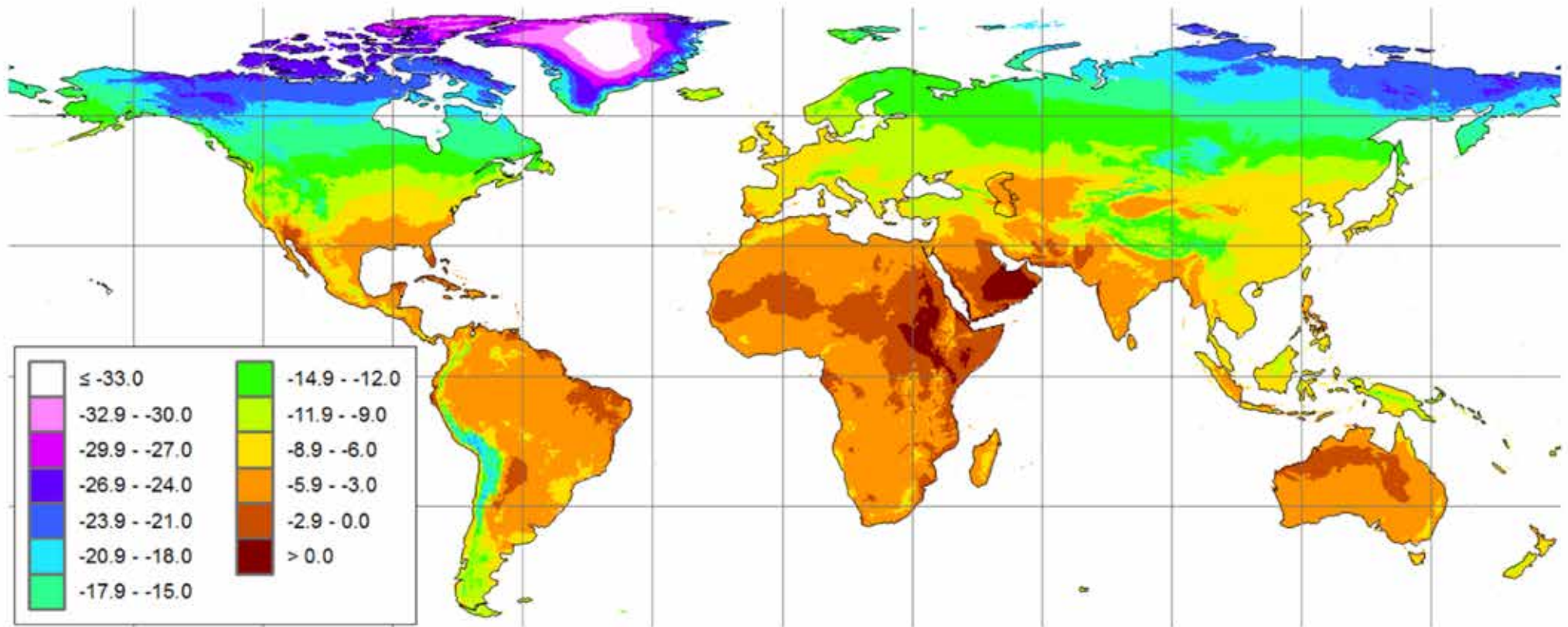
# 1) 同位体マップ (Isoscape)

- 水循環は陸上生態系・陸水生態系にとって基本となる循環である。
- 水の酸素・水素同位体比は水循環の影響を受けて変化する。
- これらの値は、植物に取り込まれ、動物の餌になるとともに、年輪として蓄積する。





# 水の酸素同位体比 ( $\delta^{18}\text{O}$ )

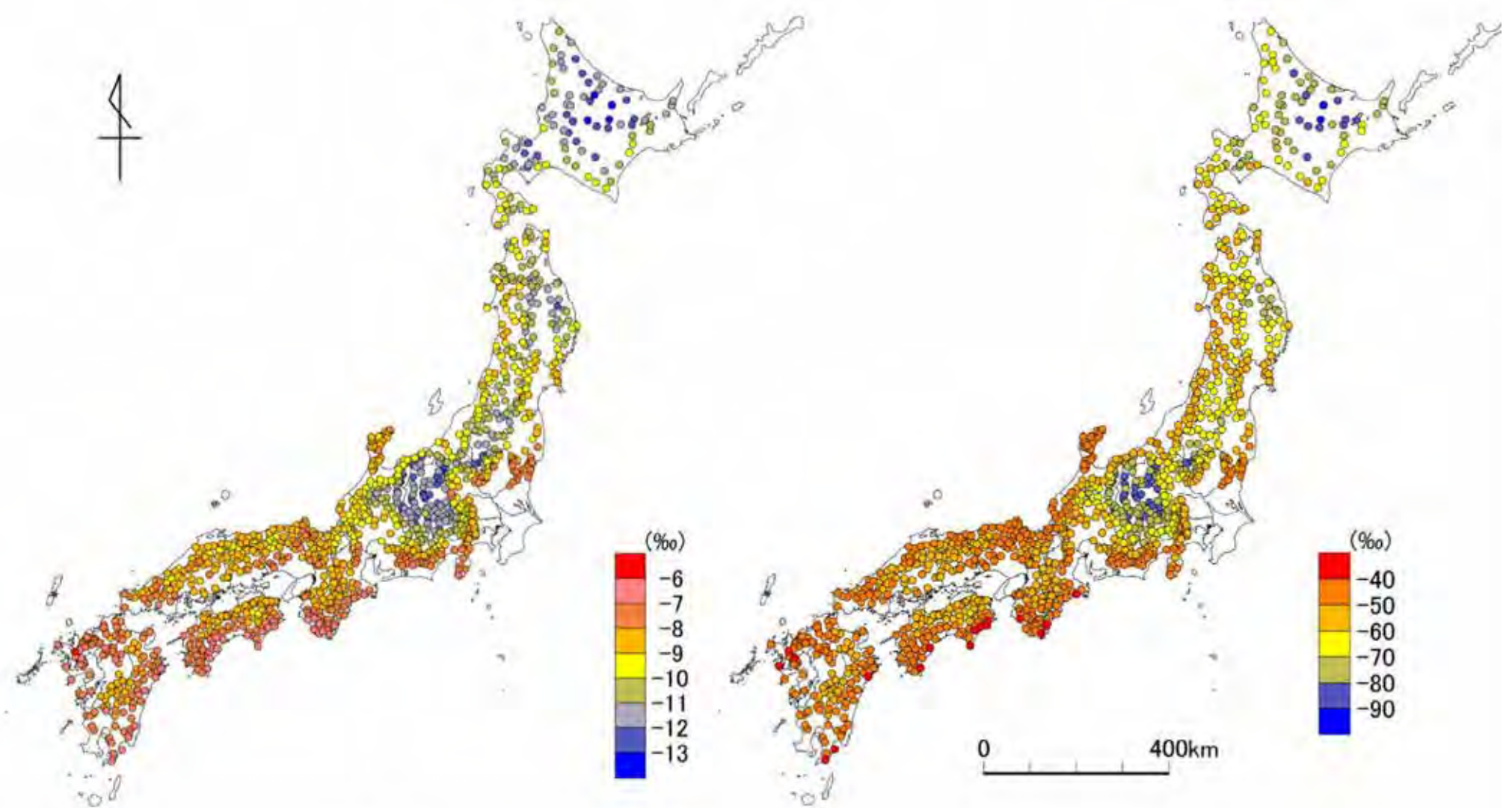


明らかにされている機構(IAEA 2000):

- (1) **緯度効果** 緯度が高くなると  $\delta^{18}\text{O}$  値は小さくなる
- (2) **大陸効果** 内陸になるほど  $\delta^{18}\text{O}$  値は小さくなる
- (3) **高度効果** 標高が高くなるほど  $\delta^{18}\text{O}$  値は小さくなる
- (4) **季節効果** (温帯では) 冬ほど  $\delta^{18}\text{O}$  値は小さくなる
- (5) **雨量効果** 急激な雨ほど  $\delta^{18}\text{O}$  値は小さくなる

Terzer et al. (2013) HESS

# 日本における河川水の $\delta^{18}\text{O}$ , $\delta^2\text{H} - \text{H}_2\text{O}$

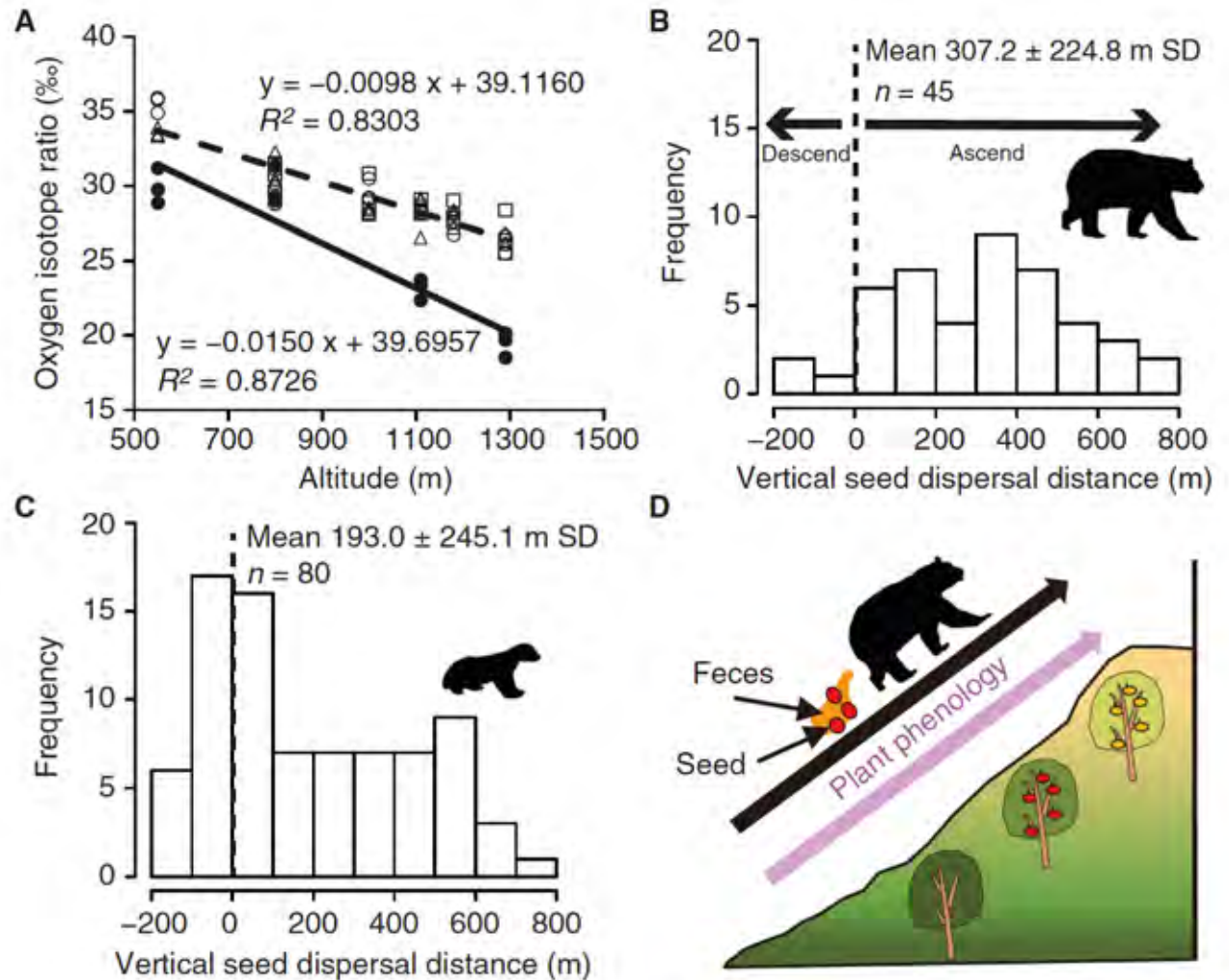


Spatial distribution of (a)  $\delta^{18}\text{O}$  (left panel) and (b)  $\delta^2\text{H}$  (right panel) values in stream water.

Summer 2003

# 酸素同位体比 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) の高度効果を利用する

- 春～初夏に結実するカスミザクラは、ツキノワグマやテンの種子散布により標高が高い方向に移動することができる可能性がある。
- この効果は、温暖化による影響を緩和することに役立つ。



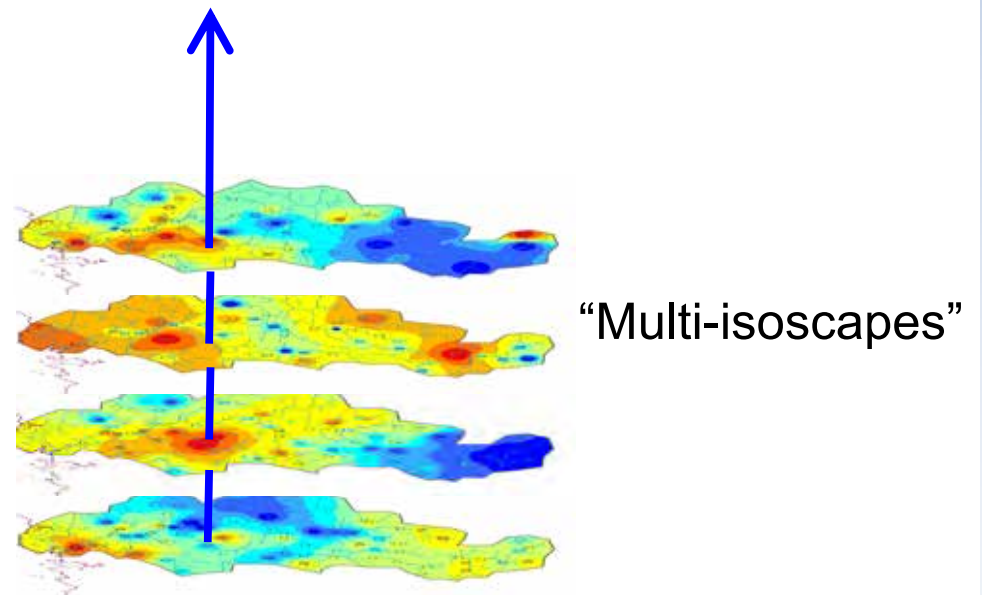
(A) カスミザクラ種子の $\delta^{18}\text{O}$ 値  
(B) ツキノワグマ(C) テン による種子散布



# 多元素を用いた履歴推定の方法

- 多元素で構成されるIsoscapeは、よりターゲットを限定することができる。
- 個別の元素は、個別の論理によって挙動しており、どのような組み合わせを用いるかが重要である。
- これらの考え方は、生態学だけでなく、食品の産地判別や犯罪捜査でも用いられている。

ターゲットとする部位の同位体比の特定





## 2) 時系列分析: 履歴保存部位

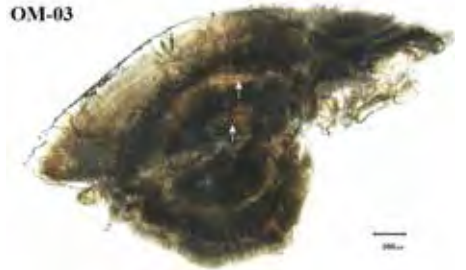
- 体の組織別のターンオーバーの違いを利用する。
  - 粘液、肝臓、筋肉、骨コラーゲン
- 生物によっては、履歴が保存されていると(ある程度)確認されている部位がある場合があるので、それを利用する。
  - 魚類における耳石、脊椎骨切片など
  - 鳥類における羽根など
  - 哺乳類における体毛など
  - 貝類における貝殻など
  - 木本における年輪など

# 魚類の研究例

- (A) 耳石

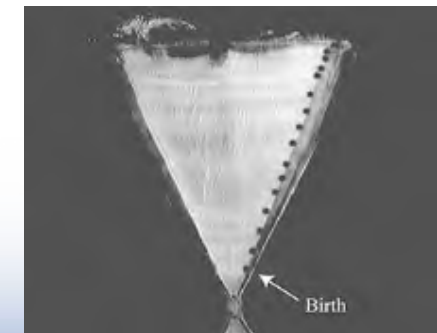
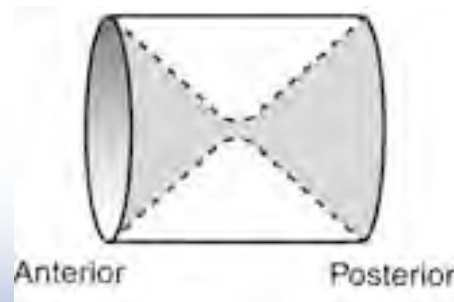
- 不活性部位 ( $\text{Sr}/\text{Ca}$ ,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ,  $\text{CaCO}_3$  の  $\delta^{13}\text{C}$  と  $\delta^{18}\text{O}$  )

OM-03



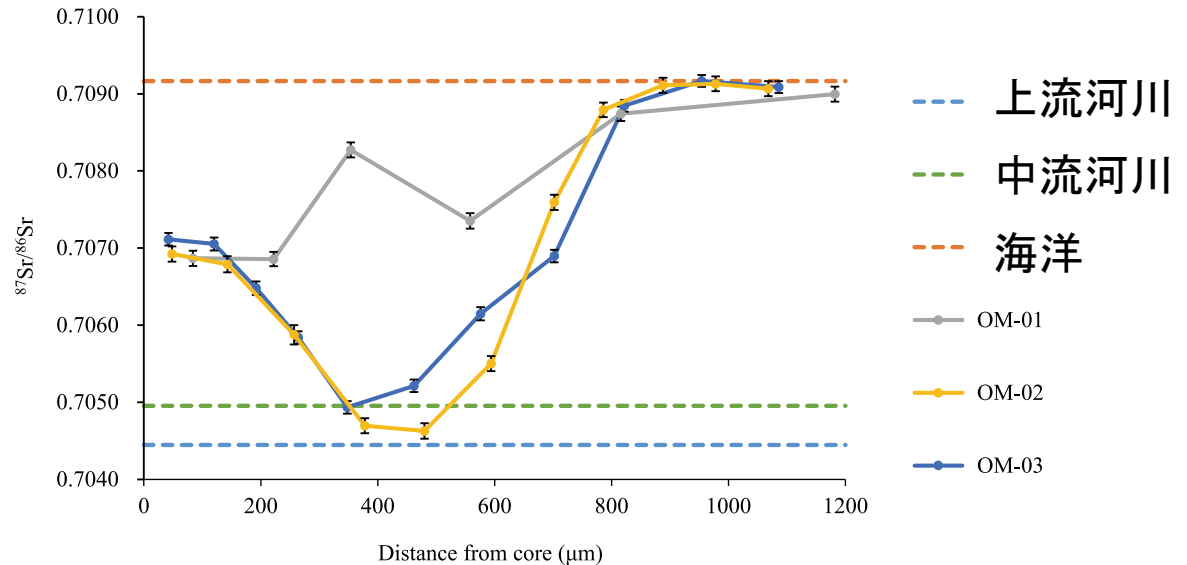
- (B) 脊椎骨椎体

- コラーゲン ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\Delta^{14}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ,  $\delta^{34}\text{S}$ ).
- 耳石がない軟骨魚類では使われてきたが、硬骨魚類では利用されてこなかった

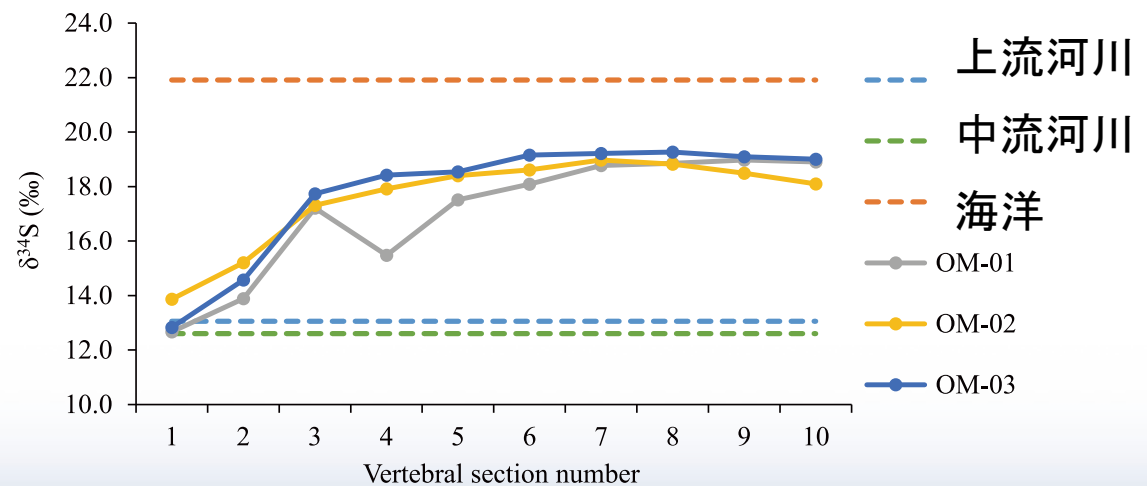


# 耳石と脊椎骨椎体の関係

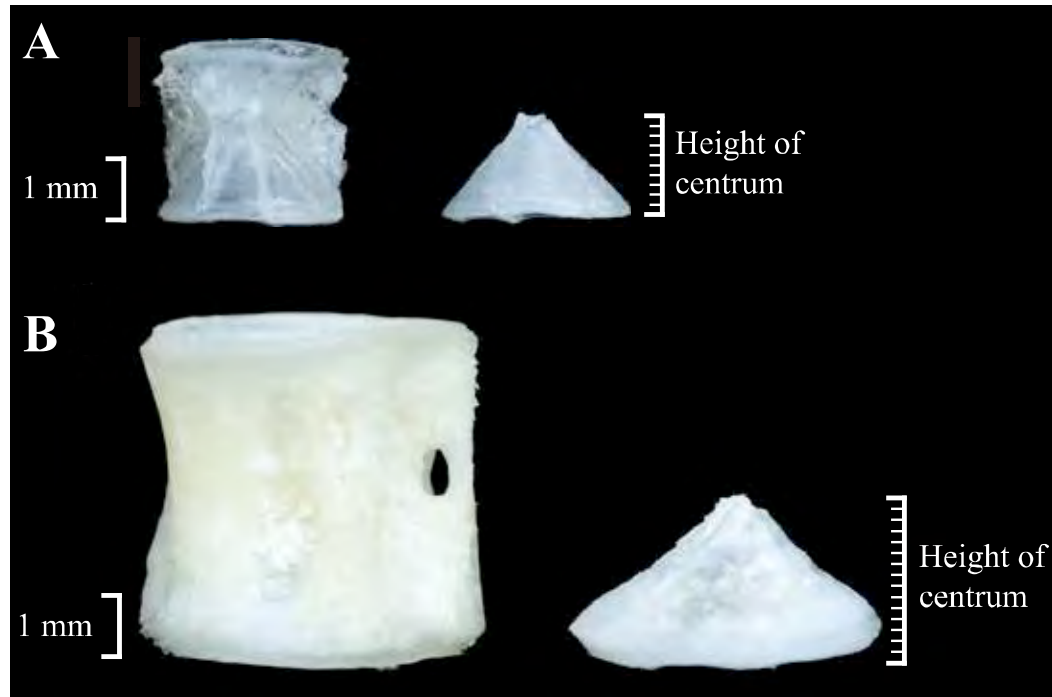
- (A) 耳石  
–  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$



- (B) 脊椎骨椎体  
– コラーゲン  $\delta^{34}\text{S}$



# マイワシ(A) とヒラメ(B) のエサ変え実験

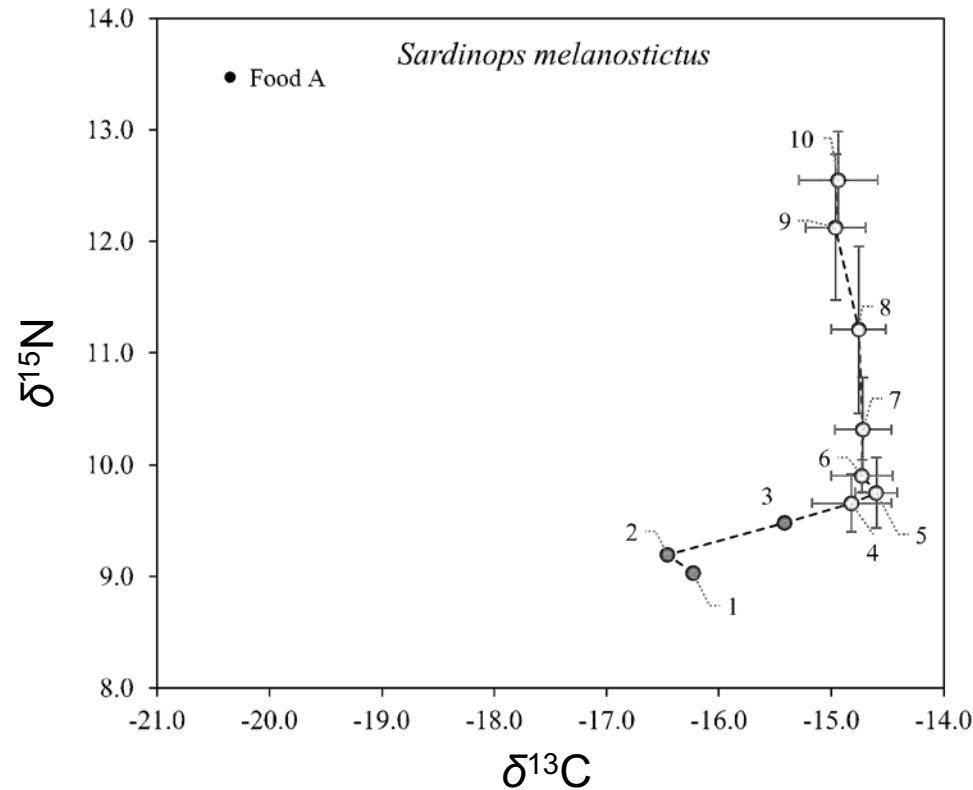


- マイワシは天然試料を9ヶ月飼育
- ヒラメは実験下で飼育し、エサ変え後4ヶ月飼育
- 脊椎骨椎体を10 (A) or 15 (B) 分割

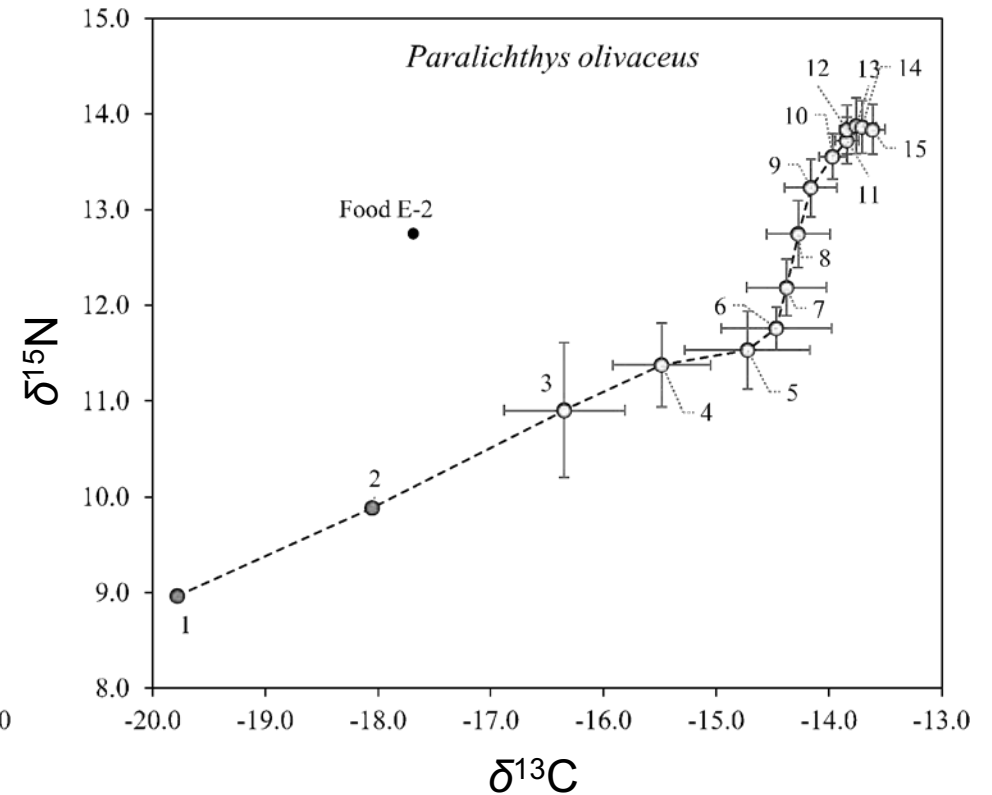


# マイワシ(A) とヒラメ(B) のエサ変え実験

Sardine ( $n = 6$ )



Japanese flounder ( $n = 7$ )



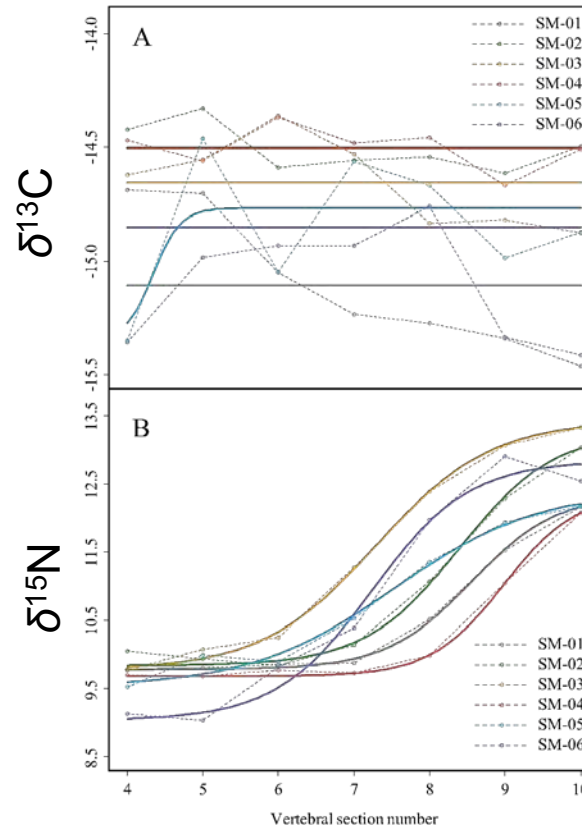
- “過去サンプリング”により食性履歴がわかる

# モデルフィッティング

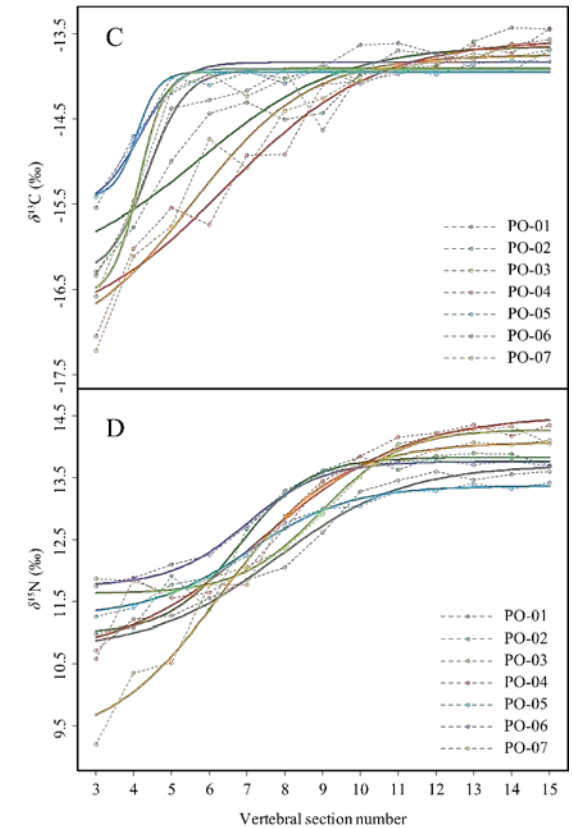
ロジスティック曲線にあてはめ

$$\delta X_t = \frac{K}{1 + [(K - N_0)/N_0] \cdot e^{-rt}} + C$$

Sardine



Japanese flounder



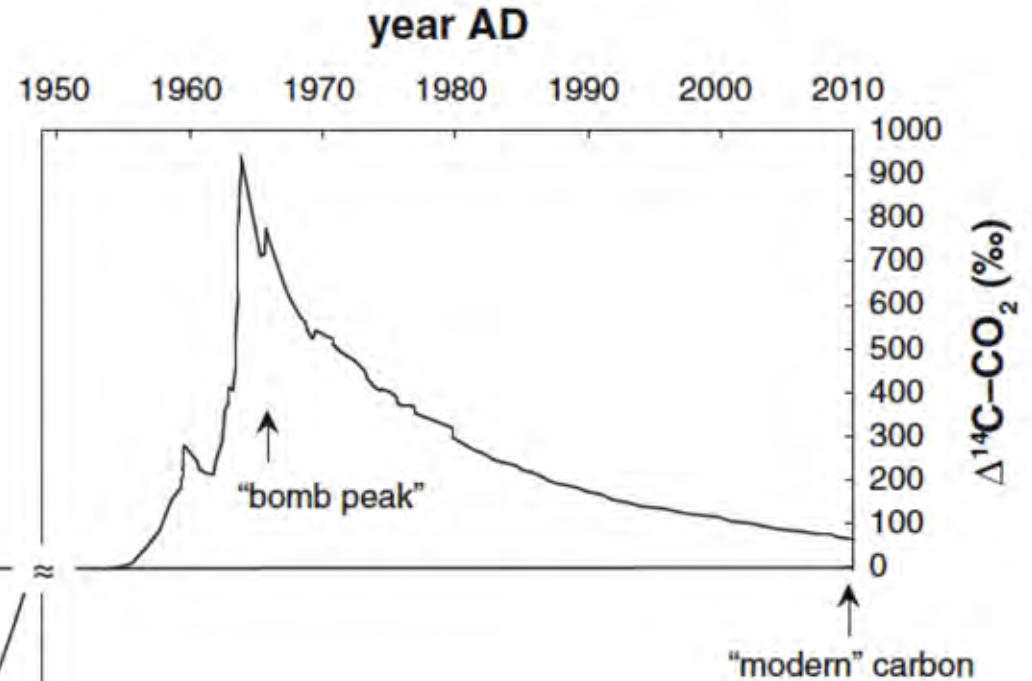
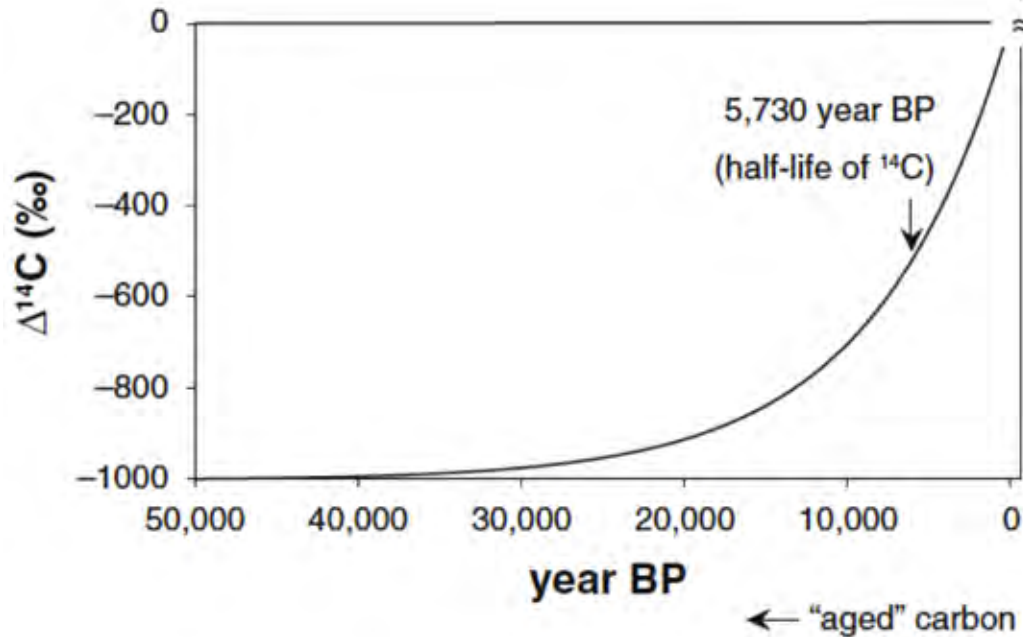
- 脊椎骨椎体切片分析における濃縮係数とターンオーバータイム

### 3) 分子レベル／多元素の組み合わせ

- 同じ組織においても、異なる分子は異なる代謝経路を経るために異なるターンオーバーを持つ可能性がある
  - 分子レベルの同位体分析を活用できる可能性がある
- 異なる元素においては、代謝や含量の違いによって異なるターンオーバーを持つ可能性がある
  - 重ね合わせて活用できる可能性がある

# 使える元素は何でも用いる： $\Delta^{14}\text{C}$

- 「天然」由来の $^{14}\text{C}$  (半減期 = 5730 年).

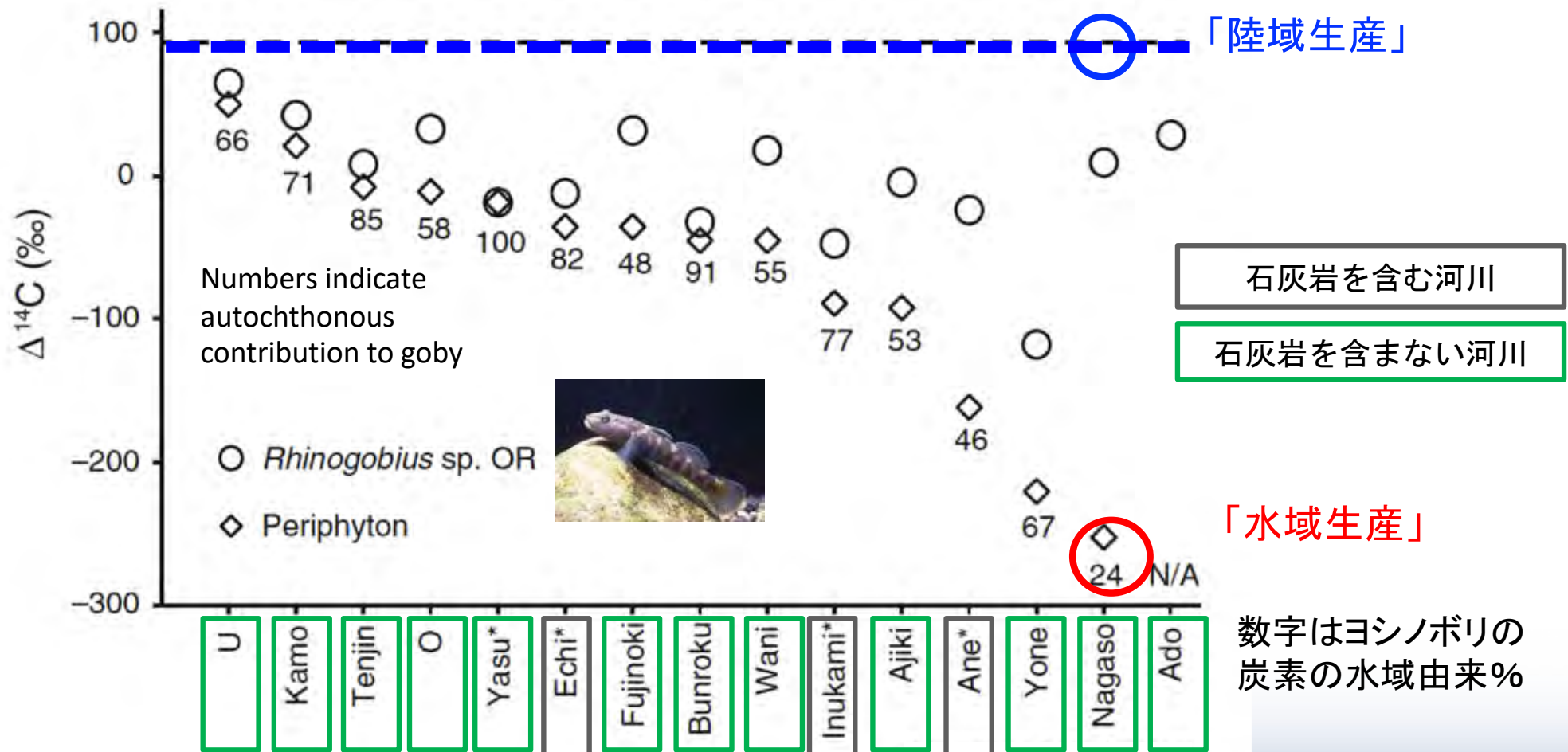


- 核実験由来の $^{14}\text{CO}_2$  のために、生態系は時間ラベルされている



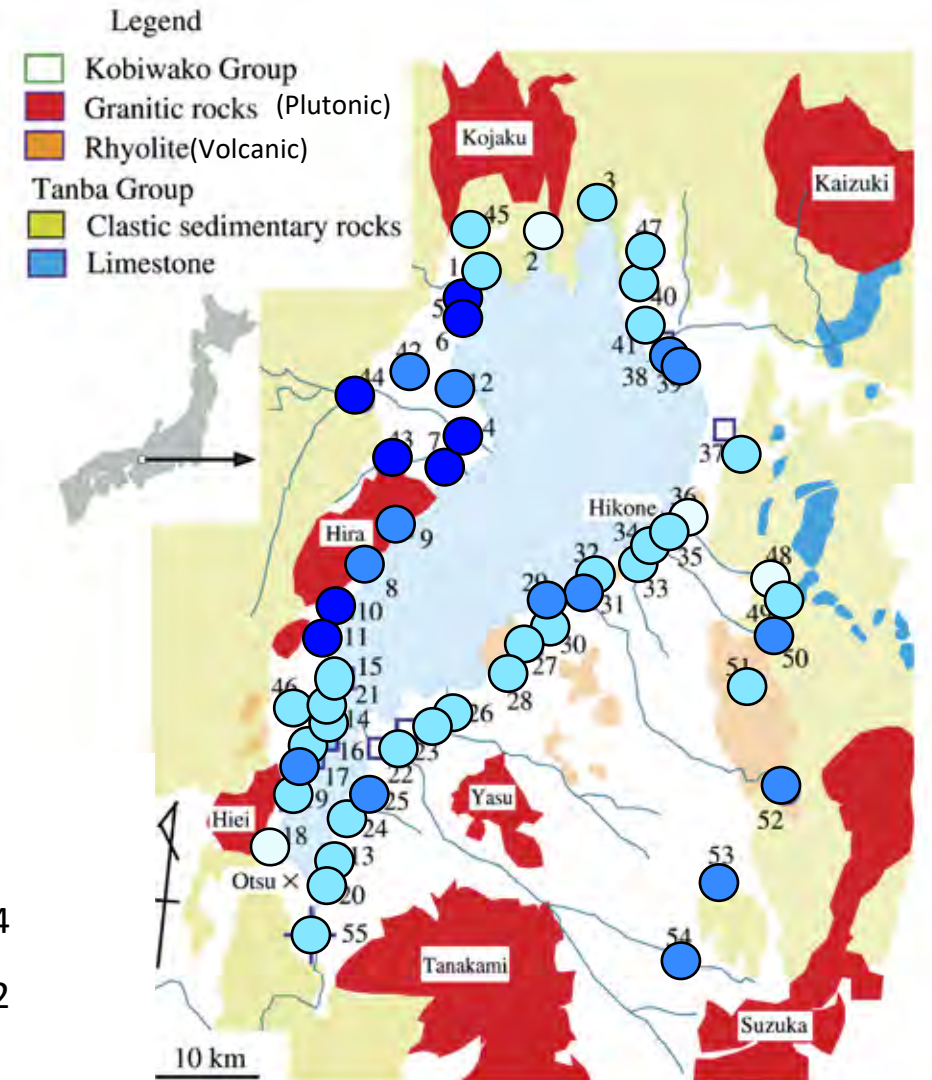
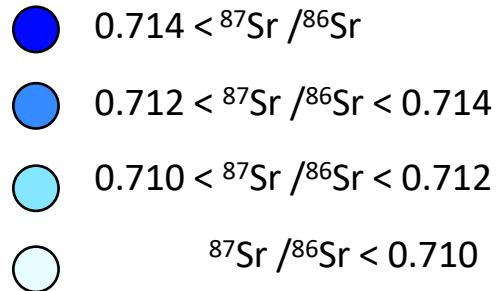
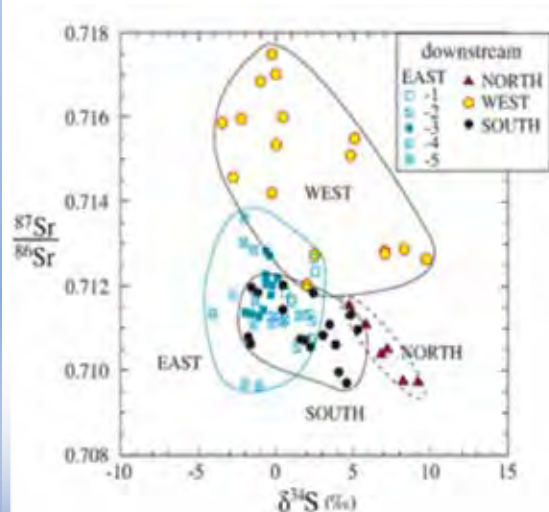
# $\Delta^{14}\text{C}$ は、琵琶湖集水域の中でも大きく変化している

- $\Delta^{14}\text{C}$  値母岩の炭素循環速度に依存して変化するので、新たな“ $^{14}\text{C}$ -Isoscape”が使えるかもしれない



# 多元素：地質由来の元素の活用

- スロンチウム同位体比( $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ )は、母岩の影響を受ける。
- イオウ同位体比とスロンチウム同位体比を用いて、琵琶湖の近年の環境変化の原因を調べた。
- このデータは、ビワマスの母川回帰研究に用いられた (Amano et al. 2013 Aquat. Biol. ほか)



# 本日のまとめ

- 元素の安定同位体比は、その元素の由来や反応経路の情報を含んでおり、生態系の物質循環や食物網を反映している。
- 近年、いろいろな元素の安定同位体情報が得られるようになってきており、より確度の高い現象の解明につながると期待されている。
- 特に、同位体情報を地図化した「[同位体地図 \(Isoscape\)](#)」を作成することによって、生態系のつながりを可視化する試みが広がっている。
- 総合地球環境学研究所において行なっている[多元素同位体共同研究](#)は、いろいろな応用研究の可能性がある。

(参考)

[日本生態学会神戸大会シンポジウム 2019.03.17](#)

「S06 多元素同位体情報を用いた海洋生物の移動履歴研究最前線」

[日本地球惑星科学連合2019年大会\(幕張メッセ\)2019.05.28](#)

「H-TT18 環境トレーサビリティ手法の開発と適用

Development and application of environmental traceability methods」

オーガナイザー: 陀安一郎(地球研)、大手信人(京都大学)、Gabriel J. Bowen (University of Utah)