

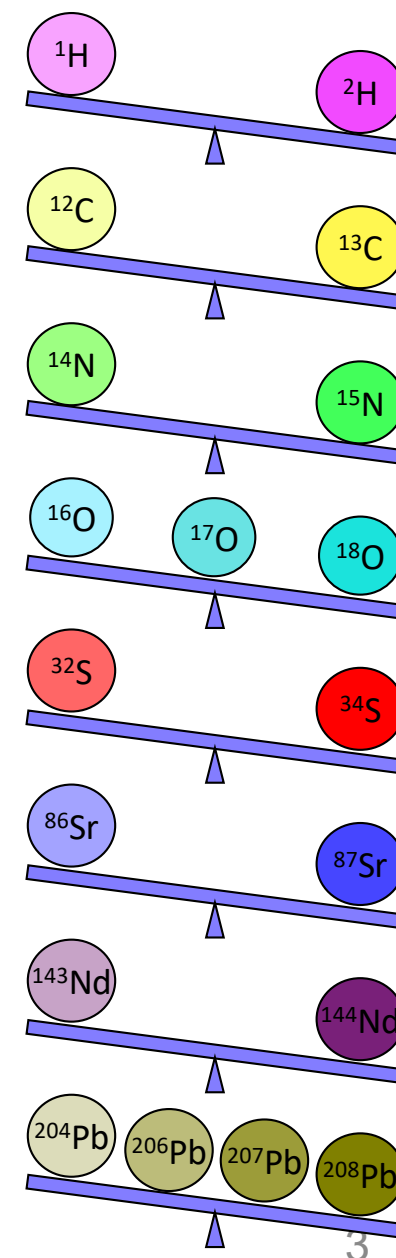
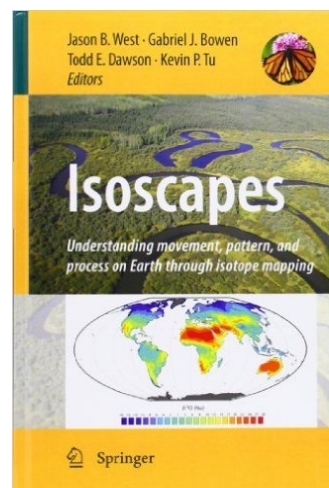
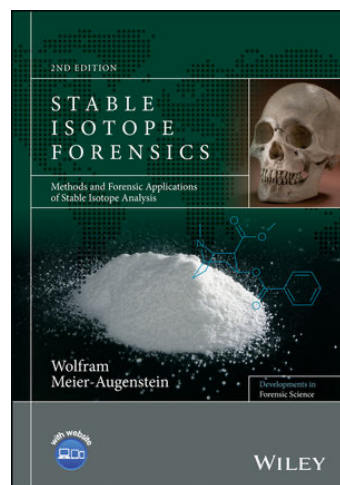
多元素安定同位体比分析による 地域判別手法について

陀安一郎 (総合地球環境学研究所)

1. 多元素同位体比の利用（酸素とストロンチウムの事例）
2. 産地判別事例
3. 活用に向けた課題

1. 多元素安定同位体比の利用

- 個別の元素は、物理化学的・生物化学的なメカニズムによって、自然界で分布している。
- この挙動を把握することによって、科学捜査 (forensics) に用いる試みは、世界的に普及している。
- 近年、同位体比の地域差を利用した、同位体地図研究 (Isoscape) が盛んになってきている。
- 酸素 ($\delta^{18}\text{O}$) とストロンチウム ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) の事例を紹介する。

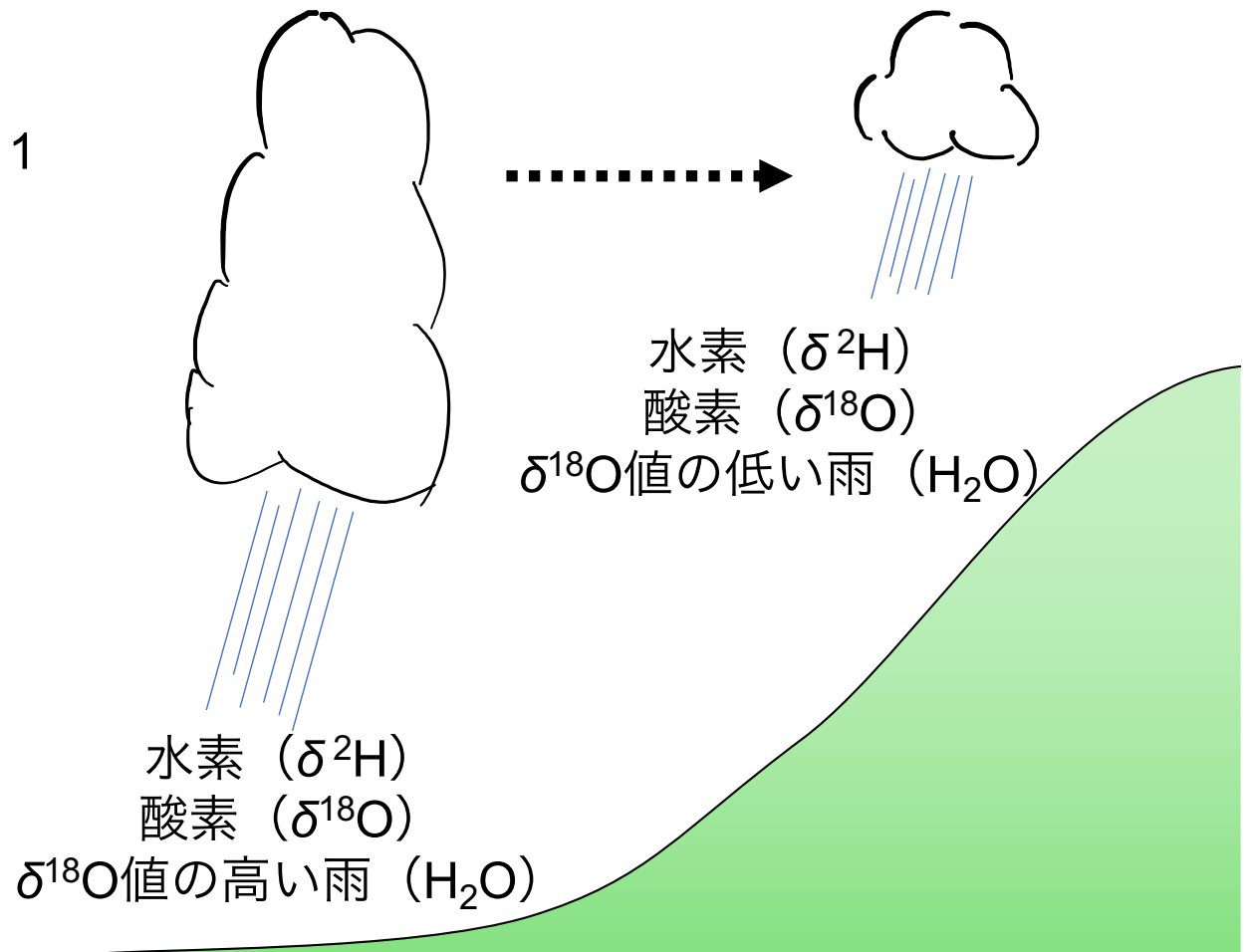
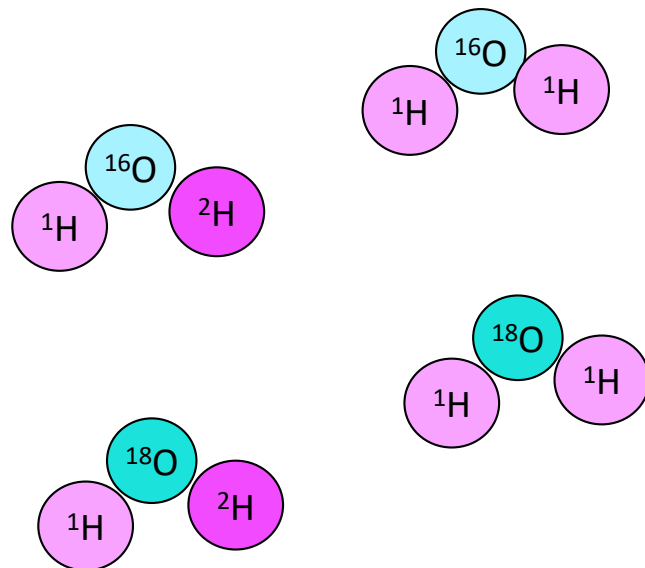


各元素の同位体比の変動原理を理解する (1)

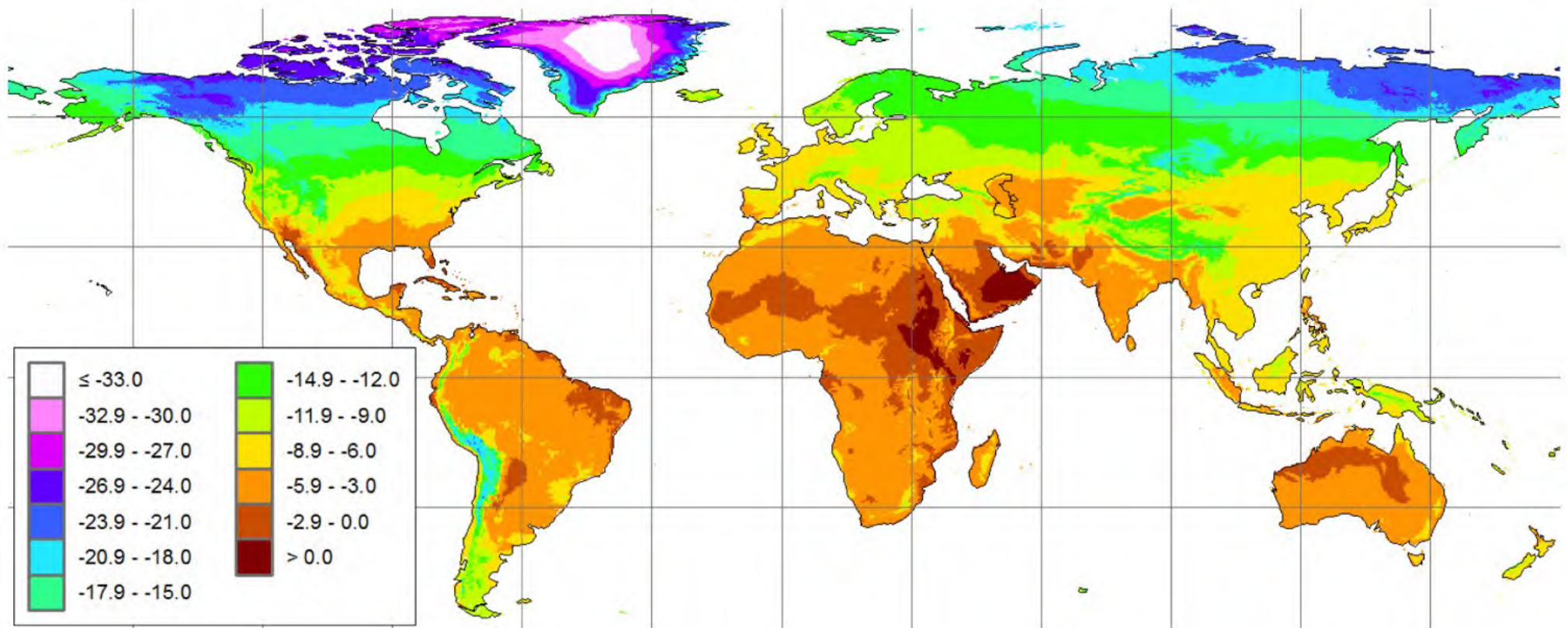
• 酸素同位体比

- 水の酸素同位体比は、液体（水）⇌気体（水蒸気）の平衡、状態変化で、同位体比が変化する

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{[^{18}\text{O}/^{16}\text{O}]_{\text{試料}}}{[^{18}\text{O}/^{16}\text{O}]_{\text{標準海水}}} - 1$$



陸上の同位体地図：水の酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$)



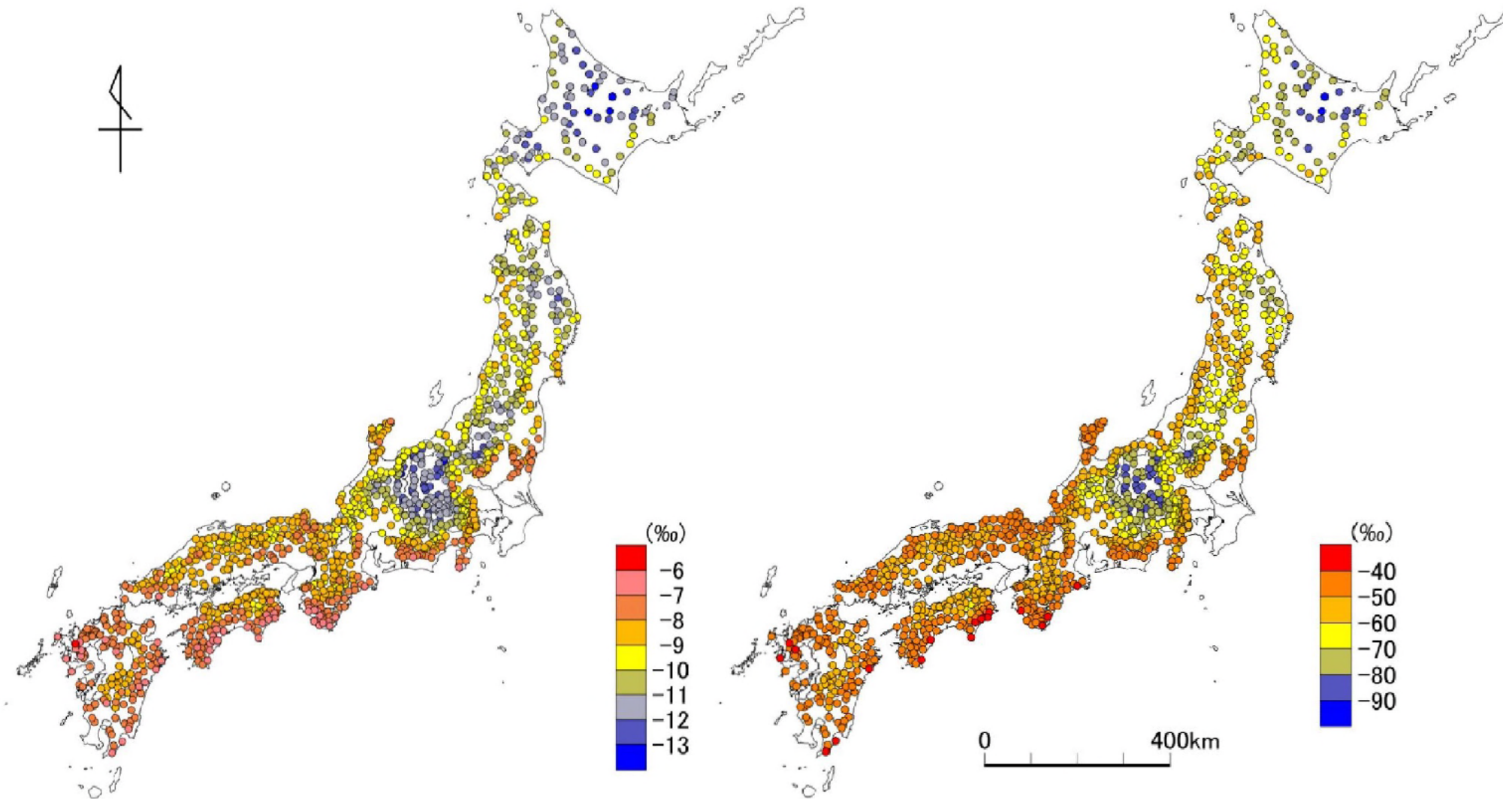
明らかにされている現象的理解(IAEA 2000):

- (1) 緯度効果 緯度が高くなると $\delta^{18}\text{O}$ 値は低い
- (2) 内陸効果 内陸になるほど $\delta^{18}\text{O}$ 値は低い
- (3) 高度効果 標高が高くなるほど $\delta^{18}\text{O}$ 値は低い
- (4) 温度効果 (温帯では) 冬ほど $\delta^{18}\text{O}$ 値は低い
- (5) 降水量効果 降水量が多いほど $\delta^{18}\text{O}$ 値は低い

Terzer et al. (2013)

Hydrology and Earth System Sciences

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



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

Summer 2003

体のどの部分に蓄積されるか

- ヒドロキシアパタイト
($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ 、ここでは bioapatite) には、リン酸塩 (PO_4^{3-})、炭酸塩 (CO_3^{2-}) が含まれ、その酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$) の大部分は飲料水の影響を受ける。
- この関係式を用いて、人の生活地域が推定できる。

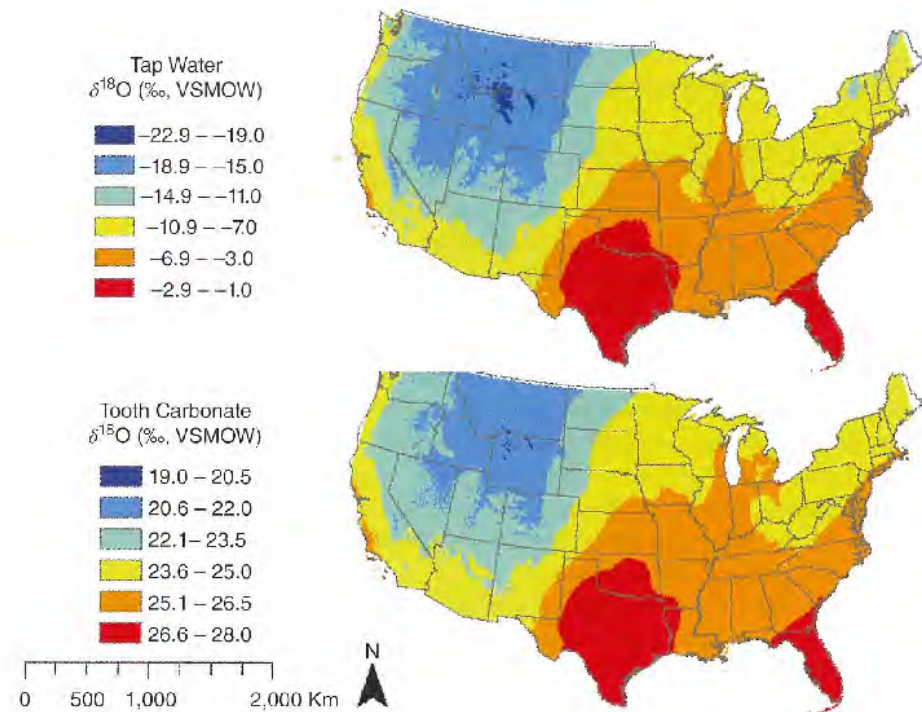


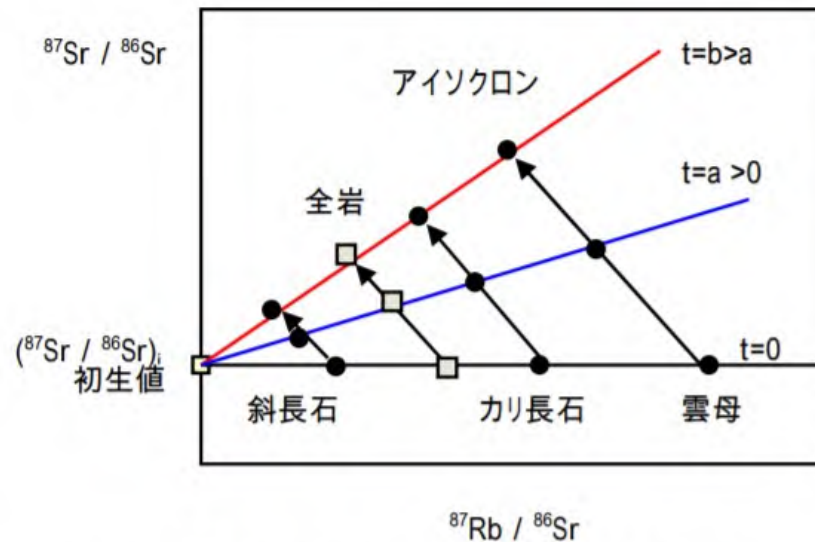
Figure III.52 (a) $\delta^{18}\text{O}$ isoscape of ^{18}O abundance in tap water the contiguous USA. (b) $\delta^{18}\text{O}$ isoscape of ^{18}O abundance in carbonate of tooth enamel throughout the USA. *Source:* Courtesy of Dr Brett Tipple, 2016, based on data in Bowen *et al.* (2007) and Ehleringer *et al.* (2010).

Meier-Augenstein (2018) Stable isotope forensics 2nd ed.

各元素の同位体比の変動原理を理解する (2)

• ストロンチウム同位体比

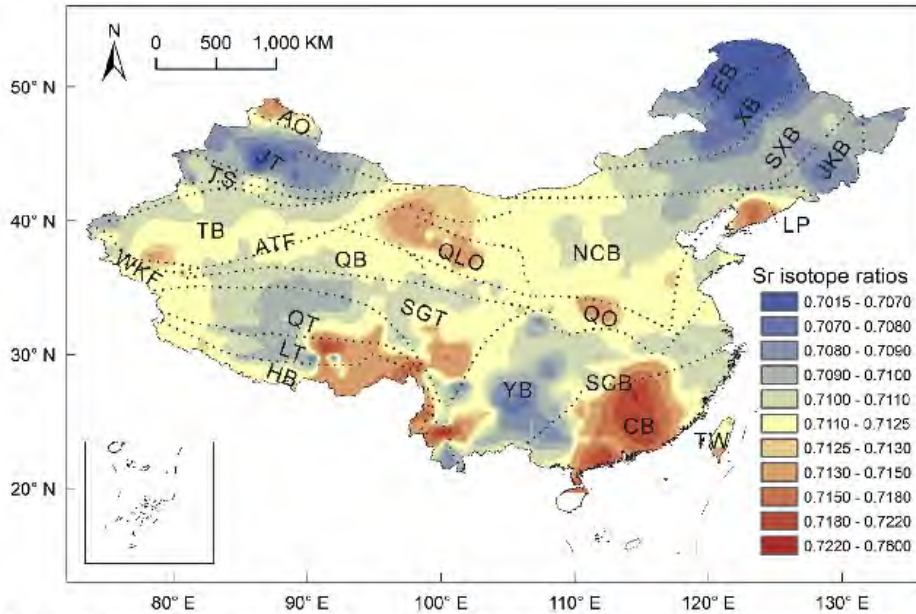
- ストロンチウム (Sr) は、安定同位体として ^{84}Sr , ^{86}Sr , ^{87}Sr , ^{88}Sr がある。
- そのうち ^{87}Sr には、放射性 ^{87}Rb (半減期488億年) が崩壊した放射起源同位体 ^{87}Sr も含まれる。
- $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ は、 ^{87}Rb の量および岩石年代に依存する。



$$(^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr})_p = (^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr})_i + (^{87}\text{Rb} / ^{86}\text{Sr})_p \cdot \{\exp(\lambda \cdot t) - 1\}$$

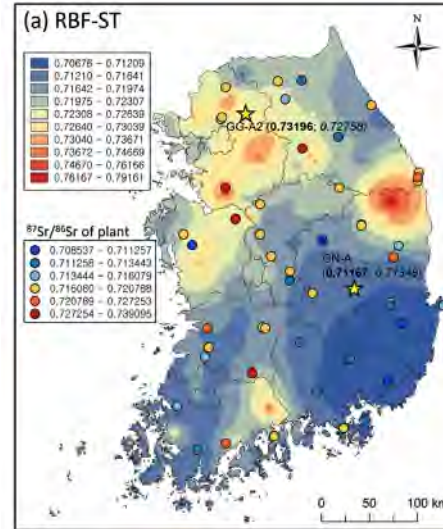
日本、韓国、中国における生物利用可能 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

- 生物が利用可能な $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ は、地下水に反映されている。
- 性質が近似しているCaと一部置換しているSrの同位体比を測定する。

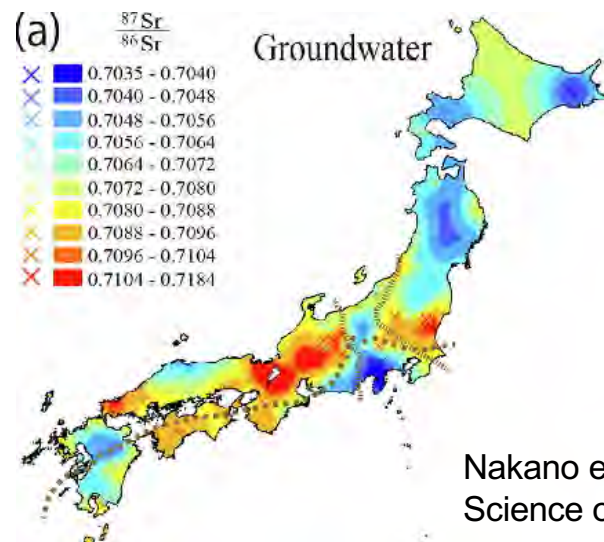


Wang and Tang (2020) Earth-Science Reviews

(注) 同じ色でも同位体比のスケールは異なるので注意



Shin et al. (2021)
Geoscience Journal

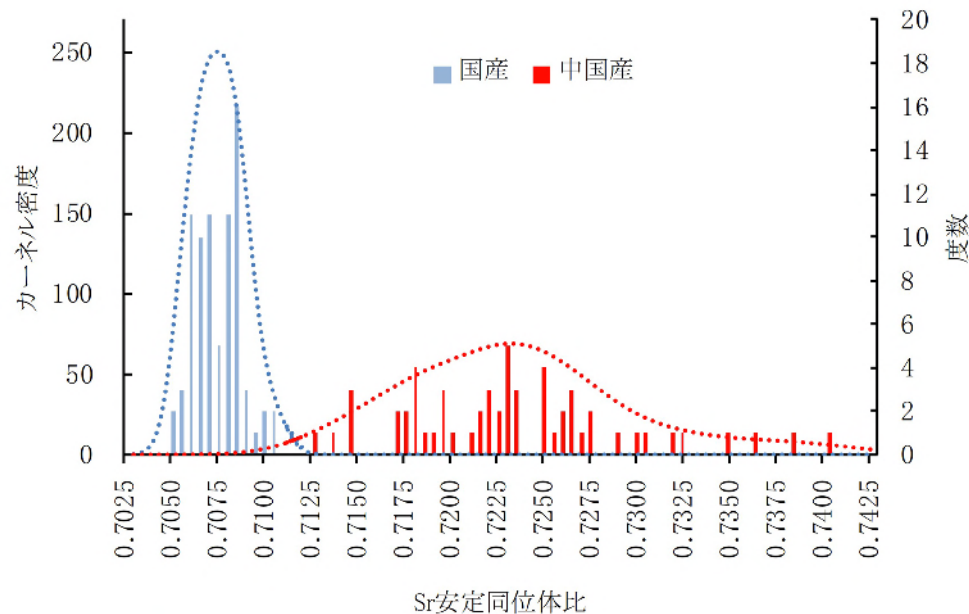


Nakano et al. (2020)
Science of the Total Environment

2. 産地判別事例

• 食品における産地表示

- 食品表示の検証技術開発：独立行政法人農林水産消費安全技術センター（FAMIC）との共同研究
- 成分分析、DNA分析、元素分析、安定同位体比分析を利用
- プロトコル化し、実際の検証に活用



切り干し大根の事例
井伊ほか（2018）食品関係等調査報告

3. 活用に向けた課題

- 原理

- 各元素の安定同位体比の変動原理に基づいた指標を用いる

- データベース

- 遺骨候補とされる生活様式のデータを得る
- 遺骨候補とされる地域の同位体地図データを得る

- 手法

- 試料処理に関するプロトコルを作成する
- 他の分析手法との相補性／関係性を正しく把握する