

令和 6 年 5 月 15 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20H01371

研究課題名(和文) 安定同位体を用いた縄文時代人の食性・性別推定手法の新規確立

研究課題名(英文) Stable isotope analysis on the estimates of diet and sex of human skeletal remains of the Jomon period

研究代表者

日下 宗一郎 (Kusaka, Soichiro)

東海大学・人文学部・准教授

研究者番号：70721330

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、本州における縄文時代の人骨の安定同位体分析を行うことで、縄文時代人の食性と性別を詳細に明らかにすることを目的とした。骨試料から亜鉛やマグネシウムを抽出するイオン交換カラムの作成を行った。そして、縄文時代人骨や動物骨の亜鉛やマグネシウム同位体分析を行った。その結果、亜鉛同位体分析によって食物資源の栄養段階の評価を行うことができる可能性が示唆された。マグネシウムや鉄を利用した食資源や性別の判別については、将来的にいくつかの課題を克服する必要があることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本人の祖先である縄文時代人の生活や文化を明らかとすることは重要なテーマである。これまでに古人骨のコラーゲンの炭素・窒素安定同位体分析から、縄文時代の食生活の復元が行われてきた。この手法は、有機物であるコラーゲンが残存していると適用可能である。いっぽうで歯のエナメル質に含まれる亜鉛やマグネシウムの同位体比から食性を復元することができれば、残りの悪い化石資料からでもそれが可能となる。よって、新しく亜鉛同位体分析によって、食性復元の可能性が示唆されたことに学術的意義があると考えられる。

研究成果の概要(英文)： The purpose of this study was to reconstruct in detail the diet and sex of the people during the Jomon period by conducting stable isotope analysis of human bones excavated in Honshu, Japan. We prepared ion-exchange columns to extract zinc and magnesium from bone samples. Zinc and magnesium isotope analyses of Jomon period human and animal bones were conducted. The results suggest that zinc isotope analysis may be used to evaluate the trophic level of food resources consumed by the Jomon people. It was found that several issues need to be overcome in the future regarding the identification of food resources and sex using magnesium and iron isotopes.

研究分野：自然人類学

キーワード：縄文時代 古人骨 同位体 食性 亜鉛

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

これまで縄文時代の古人骨の炭素・窒素安定同位体分析によって、縄文時代人の食性が復元されてきた。代表者は、集団間・集団内の食性の違いに着目し、東海・山陽地域の古人骨を中心に炭素・窒素安定同位体分析を行った結果、各集団内で個人ごとに性別や抜歯系列に対応して、海産資源を摂取する割合が異なっていることが分かった (Kusaka et al., 2008)。また本州沿岸部の縄文人の中でも、東海地域と山陽地域では地域差があることが明らかとなった (Kusaka et al., 2010)。くわえてエネルギー源としては陸上食物が重要だったことが歯のエナメル質の炭素同位体分析から示唆された (Kusaka et al., 2015)。さらに、骨の炭素同位体比を分析し、ベイズ混合モデルを用いて食物資源の摂取割合を定量的に復元した (Kusaka, 2019)。

また、代表者は、これまで歯のエナメル質のストロンチウム (Sr) 同位体分析を行うことで、縄文時代の集団間の移動を調べてきた (Kusaka et al., 2009, 2011)。歯の Sr 同位体比は、地質によって特徴的な値を示し、そこに生息する植物や動物も同じ値をもつ。よって、Sr 同位体比は生物の生息場所を示す指標となり、これを利用することで生物の移動を解析することができる。男女ともに集団間を移動し、切歯を抜く 4 I 系と、犬歯を抜く 2 C 系の両方が移動していた。

歯には、非必須元素である Sr 以外にも、必須の多量ミネラルとしてマグネシウム (Mg)、微量ミネラルとして亜鉛 (Zn) や鉄 (Fe)、銅 (Cu) も含まれている。これらの安定同位体比を測定することができれば、食性や性別の指標として用いることができる。マルチコレクター型誘導結合プラズマ質量分析装置 (MC-ICP-MS) による金属元素の同位体比測定の高精度化が進み、近年海外においては Zn 同位体比測定や Mg 同位体比測定の結果が報告されている (Jaouen et al., 2016; Martin et al., 2015)。今後、ミネラルを利用した「次世代型」の同位体分析による食性解析の応用が拡大していくと予想され、日本の古人骨にいち早く応用を開始することを着想した。また、Fe と Cu の同位体比については、男性と女性で同位体比に差が生じることが報告されている (Jaouen et al., 2012)。この手法を日本の古人骨にも応用することができれば、古人骨の性別判定など考古学的に重要な課題に答えることが期待される。

### 2. 研究の目的

本研究では、縄文時代の人骨の安定同位体分析を行うことで、縄文時代人の食性と性別を推定することを目的とする。亜鉛やマグネシウムなど新規性の高い同位体分析を行うことで、食性推定の高精度化や、性別判定の手法の確立を目指す。

### 3. 研究の方法

本研究で扱う資料は、愛知県吉胡貝塚と岡山県津雲貝塚から出土した人骨と動物骨である。歯のエナメル質や骨を切削して試料を作成した。酢酸緩衝溶液による洗浄を行うことで、続成作用に由来する二次ミネラルの除去を行った。現生の植物の葉は、これまでにストロンチウム同位体比測定用に採取した資料を用いた。現生の海産貝類については、産地が判明しているアサリとカキを購入した。元素濃度の測定や、同位体比の測定については下記に詳述する。

### 4. 研究成果

#### (1) 元素分離のためのイオン交換カラムの作成

まず初年度に、誘導結合プラズマ型発光分光分析装置 (ICP-OES) の納品後の立ち上げ作業を行った。コロナ禍によって、初年度の後半に納品が遅れることとなった。多元素混合溶液を用いた検量線の作成と、濃度既知の標準溶液を測定することで、元素濃度測定を行うことが可能であることを確認した。

その後、資料から亜鉛とマグネシウムの分離を行うために効率の良いイオン交換カラムの作成に取り組んだ。複数のイオン交換樹脂を使って、連続的に塩酸や硝酸を加えることで、どの分画でどの目的元素が溶出してくるのか、ICP 発光分光分析装置 (ICP-OES) を使って濃度を調べた。その結果、多元素混合溶液を試料として用いた場合にはうまく目的元素を分離することができた。しかし、Ca や P の多い骨試料は、それらが他の分画に溶出してくるために、複数の工程が必要であることが分かった。

結果として、まず Zn を抽出するためには、陰イオン交換樹脂 (AG1x8 200-400 mesh Cl<sup>-</sup>) を充填した自作のミニカラム (カラム 1) を用いる。すると、Ca・Sr・Mg が先に溶出し、次いで Cu, Fe, Zn の順番で溶出してくるので、Zn を回収する (図 1)。Mg を抽出するためには、カラム 1 を用いて Ca・Sr・Mg 分画を回収し、次に陽イオン交換樹脂 (AG50W-X8 200-400 mesh H<sup>+</sup>) を充填したスポイトを流用した自作カラム (カラム 2) を用いて、Mg と Ca・Sr を分離する必要がある。Fe については、測定に Fe が約 1 μg 必要なため、Zn の分析よりも多量のサンプルを使用する必要がある。すると多量の Ca をカラム分離する必要があるため、より大きなカラム容器を用いた。陰イオン交換樹脂 (AG1x8 200-400 mesh Cl<sup>-</sup>) を充填したムロマックカラム S (カラム 3) を用いて、Fe を分離する。これらの作業は、同位体分別が生じることのないように、回収率 99% 以上を目指す必要がある。骨の標準物質 (SRM1400) を分析し、マルチコレクタ型 ICP 質量分析装置 (MC-ICP-MS) を用いて同位体比測定を行うことで、同位体比が既知の値になることを確認した。

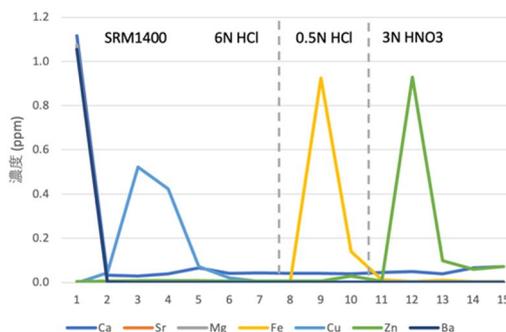


図 1:カラム 1 を通過した分画の元素濃度

## (2) 亜鉛同位体分析

亜鉛同位体分析の試料は 愛知県吉胡貝塚から出土した古人骨の歯試料 37 点、ニホンジカの歯 6 点、イノシシの歯 3 点やタイ科の骨など 6 点、現生の植物 6 点、現生のアサリ 5 点、カキ 5 点の資料である。デンタルドリルを用いて歯や骨を切削し、およそ 0.5mg の試料をマイクロ天秤を用いて秤量した。酢酸緩衝溶液を用いて、骨の試料を洗浄して乾燥させた。植物試料は、電気炉で灰化させた後、硝酸で溶解させた。現生の貝類は、軟組織を超純水で洗浄し、細かく切って約 10mg のサンプルを硝酸で溶解させた。溶解させた試料の元素濃度を測定し、Zn 測定に必要な試料量を調整した。

上述のイオン交換カラムを使用して、Zn を抽出した。同位体比を MC-ICP-MS を用いて測定した。亜鉛同位体スタンダード (AA-ETH) を同位体比の補正に用いた。マスバイアスの補正には Cu スタンダード溶液 (CRM622) を全ての試料に添加することで行った。

植物やニホンジカ、タイ科、アサリは、それらの生態から期待される亜鉛同位体比を示していた (図 2)。縄文人の亜鉛同位体比は 植物より高く、ニホンジカや魚類よりも低かった。各食物資源は、栄養段階の高い生物ほど、低い亜鉛同位体比を示す傾向を示していた。古人骨の歯と食物の間で生じる同位体分別や、動物の骨と可食部である筋肉の間の同位体分別などを考慮すると、縄文人の亜鉛同位体比は、海産貝類の値よりも低く、海産魚類・陸上植物・陸上哺乳類の値と重なっていた。このことは、縄文人がそれらの資源に由来する亜鉛に大きく依存していたことを示唆する。既報告の歯の炭素同位体比と合わせて解析すると、海産資源利用を良く反映する炭素同位体比と、亜鉛同位体比の間に相関はなかった。そのため亜鉛同位体比は、海産資源利用の評価として使えるのではなく、食資源の栄養段階の評価に使うことができる可能性が示唆された。課題として、各食物資源の濃度を考慮することを検討する必要がある。カキなどは亜鉛濃度が高く、人骨の亜鉛同位体比に大きく寄与している可能性が考えられる。

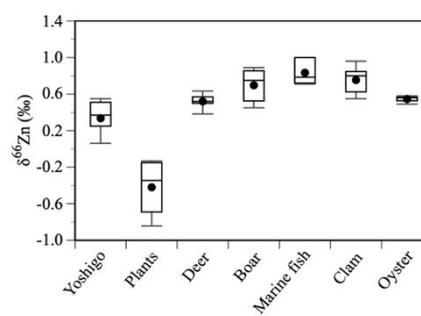


図 2:吉胡貝塚人骨と食物の Zn 同位体比

### (3) マグネシウム同位体分析

マグネシウム同位体分析に使用した資料は、津雲貝塚出土人骨の歯のエナメル質 26 点、津雲貝塚から出土したニホンジカ骨 4 点、魚類骨 5 点、現生の岡山県の植物の葉 4 点、カキ 5 点である。骨の試料は、酢酸緩衝溶液で洗浄した後の試料を、約 0.01mg を分取して、硝酸で溶解させた。植物やカキについては、亜鉛同位体分析と同様の方法を使用した。Mg を単離するために、上述のカラム 1 と 2 を通過させる方法を用いた。同位体比を MC-ICP-MS を用いて測定した。同位体比は標準物質 (DSM3) に対して規準化した。

古人骨の歯のエナメル質の Mg 同位体比は、平均で  $-0.49 \pm 0.25\text{‰}$  だった (図 3)。摂取された食物と歯のエナメル質の間の同位体分別は、約  $0.3\text{‰}$  と考えられている。これを考慮すると、古人骨は、陸上植物や海産魚類・貝類などを Mg の供給源としており、ニホンジカなどの陸上哺乳類の影響は少なかったことを示唆している。しかし、骨に対する Mg の続成作用の影響について、酢酸洗浄をする試料としない試料の値を比較することで、検討する必要がある。また、現生の植物やカキのサンプルに対して、現代の Mg の人為的な影響がどの程度あるのかについて、検討する必要がある。おそらくは Mg 同位体分析によって、人の Mg 源の解明に寄与できると考えられるが、植物や海産魚類・貝類の値が重なっているために、Mg 源から食性の評価を行うことは難しい可能性が出てきた。今後、上記の課題について検討することで、食性解析の手法としての評価を定める必要がある。

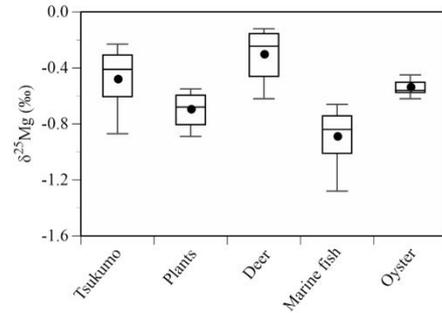


図 3:津雲貝塚人骨と食物の Mg 同位体比

### (4) 鉄同位体分析

鉄や銅の同位体分析による性別判定に向けた前処理の検討を行った。まずは骨の標準物質のカラム分離から同位体測定までの一連の作業を確立した。銅については、標準溶液に関して、カラム分離によって単離することは可能であった。しかし、縄文人骨の歯の銅の濃度が想定よりも低く、測定に十分な銅の量を得るには、多量の資料を削らねばならず、測定が困難なことが判明した。この点について解決するには十分な試料量を用意するか、低量でも測定する手法の考案が必要である。鉄については、資料から鉄を単離して、同位体比測定を行った。その結果、男女で鉄同位体比を比較すると、女性のほうが高い値を示す傾向が生じていた (図 4)。しかし値の分布は重なっており、性別判定に使用できる可能性は残しているが、判別の確度は高くないことが分かった。この課題を克服するためには、やはり銅の同位体比を測定するなどの工夫が必要であろうと考えられる。また性別による違いは見られたものの、同位体比の続成作用の影響については検討するまでに至らなかった。これは酢酸洗浄をした資料としない資料の同位体比を測定することが必要である。この点は、今後の課題としたい。

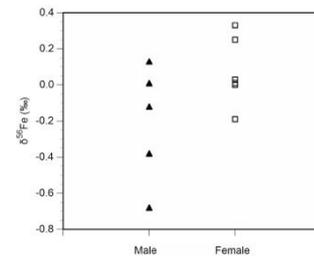


図 4:吉胡人骨の Fe 同位体比

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 日下宗一郎	4. 巻 1
2. 論文標題 津雲貝塚人骨の年代と食性	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 何が歴史を動かしたのか 第1巻 自然史と旧石器・縄文考古学	6. 最初と最後の頁 251-262
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 日下宗一郎	4. 巻 14
2. 論文標題 渥美半島の貝塚出土人骨の理化学的分析について	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 渥美半島貝塚群 報告編 田原市埋蔵文化財調査報告書第14集	6. 最初と最後の頁 322-330
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 KUSAKA SOICHIRO、SAITO TSUTOMU、ISHIMARU ERIKO、YAMADA YASUHIRO	4. 巻 130
2. 論文標題 Strontium isotope analysis on human skeletal remains from the Hobi and Ikawazu shell-mounds in Aichi Prefecture, Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Anthropological Science	6. 最初と最後の頁 25～32
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1537/ase.2202191	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 日下宗一郎	4. 巻 -
2. 論文標題 科学的分析から集団関係を探る	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 栗島義明（編）縄文時代の環境への適応と資源利用	6. 最初と最後の頁 144～153
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 日下宗一郎	4. 巻 別冊40
2. 論文標題 人の系譜-ストロンチウム同位体分析による移動の検討-	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 季刊考古学	6. 最初と最後の頁 139 ~ 142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 日下宗一郎, 藤澤珠織, 矢野健一	4. 巻 81
2. 論文標題 本州内陸部の宮崎遺跡から出土した成人骨と乳児骨の多元素安定同位体分析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 文化財科学	6. 最初と最後の頁 49-58
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 日下宗一郎
2. 発表標題 岡山県津雲貝塚より出土した古人骨の炭素・窒素同位体分析
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2023年大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 日下宗一郎
2. 発表標題 同位体情報を用いた古人骨の食性や移動の復元
3. 学会等名 第1回人・モノ・自然ワークショップ (総合地球環境学研究所) (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 日下宗一郎
2. 発表標題 同位体分析から探る縄文時代の食生活
3. 学会等名 統合生物考古学公開講演会（ホテルグランヴィア京都）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 日下宗一郎
2. 発表標題 愛知県川地貝塚から出土した古人骨の食性と帰属年代の推定
3. 学会等名 第77回 日本人類学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 日下宗一郎
2. 発表標題 愛知県川地貝塚から出土した古人骨の食性分析と年代測定
3. 学会等名 第13回 同位体環境学シンポジウム（総合地球環境学研究所）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 日下宗一郎
2. 発表標題 趣旨説明：人類学における同位体分析の活用
3. 学会等名 日本人類学会進化人類分科会 第47回シンポジウム「同位体分析はどのように人類学に貢献できるか」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 阿部海舟, 丸山真史, 日下宗一郎
2. 発表標題 炭素・窒素安定同位体分析による津雲貝塚縄文人の食性の検討
3. 学会等名 第12回 同位体環境学シンポジウム (総合地球環境学研究所)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 日下宗一郎, 齋藤努
2. 発表標題 保美・伊川津貝塚より出土した古人骨のストロンチウム同位体分析
3. 学会等名 第75回日本人類学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 日下宗一郎, 申基澈
2. 発表標題 愛知県吉胡貝塚から出土した縄文人骨の亜鉛同位体比による食性解析
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 日下宗一郎, 申基澈
2. 発表標題 縄文時代人骨と動物骨の亜鉛同位体比による食性解析
3. 学会等名 第10回 同位体環境学シンポジウム (総合地球環境学研究所)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	申 基チヨル  (Shin Ki-Cheol)  (50569283)	総合地球環境学研究所・研究基盤国際センター・准教授   (64303)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------