

戦没者遺骨収集における同位体比分析の活用について

厚生労働省 社会・援護局
事業課鑑定調整室

Ministry of Health, Labour and Welfare of Japan

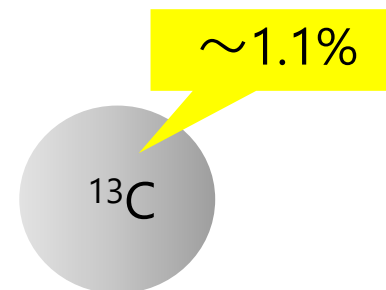
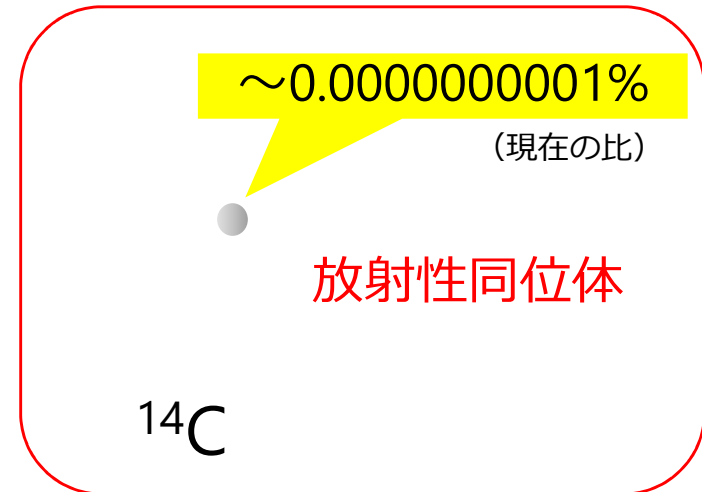
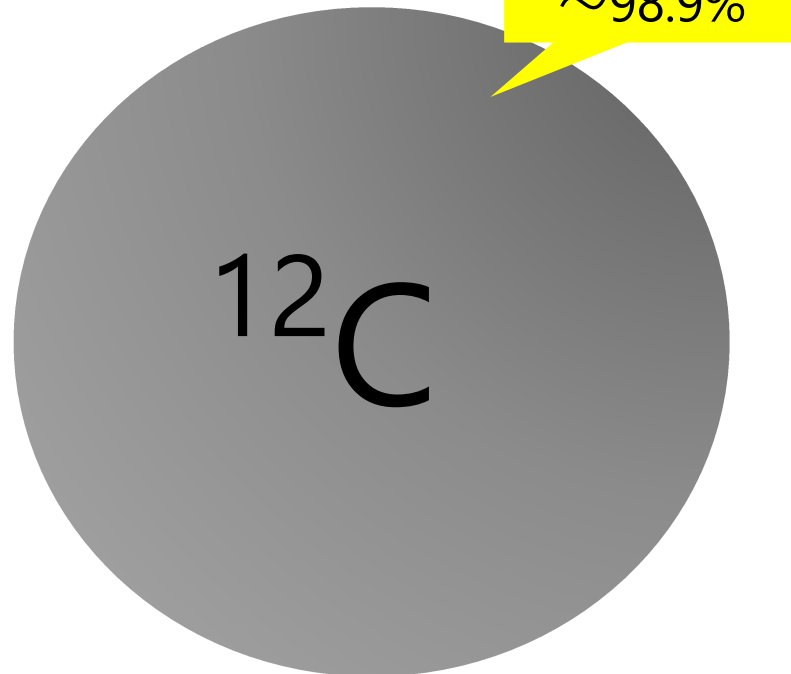
目次

1. 同位体比分析とは	・・・ 1
2. 同位体比分析を遺骨鑑定に活用するためには	
(1) 現在の遺骨鑑定プロセスに同位体比分析がどのような点で役に立つのか？	・・・ 3
(2) スクリーニングで活用するためには以下の項目の検討が必要ではないか？	・・・ 4
(3) 同位体比分析を活用するためには以下のような環境整備が必要ではないか？	・・・ 6
参考	
国内における同位体比分析の主な成果	・・・ 8

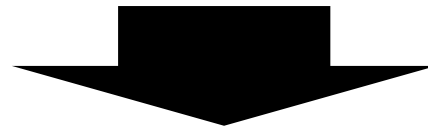
1. 同位体比分析とは

同位体の存在比は環境により異なる。

(例) 炭素



環境中の同位体比は、植生（光合成）や土壌などの特徴を反映して地域別に特徴的な分布を示す



環境中の同位体比はその地域に生活する生物の体内に反映される



同位体比の構成比を分析することで、その**生物の生活史（食性、居住地域）の推定が可能**

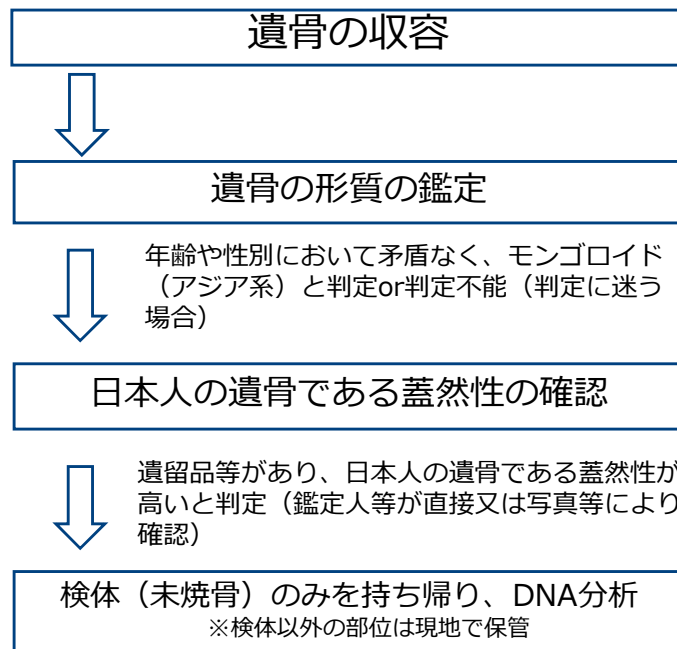
$$\text{(例) } \delta^{13}\text{C} (\text{‰}) = \left(\frac{^{13}\text{C}/^{12}\text{C} (\text{検体})}{^{13}\text{C}/^{12}\text{C} (\text{国際標準})} - 1 \right) \times 1000$$

2. 同位体比分析を遺骨鑑定に活用するためには

(1) 現在の遺骨鑑定プロセスに同位体比分析がどのような点で役に立つのか？

遺骨鑑定プロセス

同位体比分析 スクリーニングとしての利用



- ※ 現在は、沖縄で収容された遺骨について同位体比分析を活用し、明らかに古墓（沖縄に古来からある自然塚等を利用したお墓）由来の遺骨と判定される遺骨は、沖縄県戦没者遺骨収集情報センターが自治体に返還している。
- ※ 沖縄以外の地域についても活用を検討する。

• (2) スクリーニングで活用するためには以下の項目の検討が必要ではないか？

① スクリーニングに必要な区別

- (1) 日本出身者と米国出身者の区別
- (2) 日本出身者と現地住民等の区別

② 参照データの整備（区別判定の必要条件）

- ①日本出身者の炭素、窒素、硫黄、酸素、ストロンチウムの同位体比分析結果
- ②米国出身者の炭素、窒素、硫黄、酸素、ストロンチウムの同位体比分析結果
- ③判定に有効な同位体比分析結果の解析方法

※年齢差、地域差（食生活の均質性）など整備にあたり検討が必要な因子の明確化。

③ 判定手法の標準化（再現性の確保）

- 検体（歯、骨）から試料の調製手順
- 分析法に係る手順
～例）安定同位体比質量分析計（IRMS : Isotope Ration Mass Spectrometer）～
- 解析処理の手順 等

④ 各元素の特徴

- 炭素：C3植物（米、麦、芋等）は、C4植物（トウモロコシ、サトウキビ等）よりも炭素安定同位体比が軽くなることを利用。
- 窒素：主に海産物により変動する特徴を利用。
- 酸素：地域による雨水由来の水の違いを利用。
- 硫黄：食物に含まれる硫黄の由来の違い（海水>岩石）による地域差を利用。
- ストロンチウム：その土地の地質(岩石)の違いを利用。

⑤ 判定基準の具体化

- 1～4を踏まえた判定基準の作成（イメージ）。

(‰)	<u>各元素の同位体比</u>	<u>多変量解析</u>
<u>日本出身者</u>	X～Y	Xn～Yn
<u>米国出身者</u>	A～B	An～Bn
<u>現地住民等</u>	C～D	Cn～Dn

- (3) 同位体比分析を活用するためには以下のような環境整備が必要ではないか？

- 人材育成の必要性

- 試験施設の確保

- 研究費の確保

- 関係機関と協力関係の確立

- 遺族団体・遺骨収集関係団体の理解

参 考

国内における同位体比分析の主な成果

「元素分析による身元不明遺体の出身地域推定の検討」（2016年～2018年 科研費助成事業）
（研究代表者 染田英利）による成果

○ 研究の方法

- ・ 国内外の歯科医療機関の協力のもと、治療上の理由で抜去となった歯牙の収集を行うとともに、生年月日、性別、食習慣及び0歳から18歳までの居住地についてアンケートを行い試料とした。この際、提供者（患者）には、研究の内容について説明を行ったうえで同意が得られたことを前提とした。
- ・ これらの歯牙について、炭素、窒素、酸素、硫黄、ストロンチウム等の安定同位体比及び各種元素の含有濃度を計測し、地域別のデータベースを作成し、これをもとに出身地域推定、出身地域別分析について統計学的な検討を行った。

○ 研究成果の概要

- ・ 気候、地質及び食習慣の違いを反映したと思われる多様性がヒトにも確認できたものの、現時点では試料数、分析項目数、地域数が限られているため細部の出身地域推定までには至らなかった。
- ・ しかしながら、戦没者遺骨鑑定のような特定地域における地元出身者と移入者である日本及び米国出身者の遺骨分別には有効であることが示された。

国内における同位体比分析の主な成果

「元素分析による身元不明遺体の出身地域推定の検討」（2016年～2018年 科研費助成事業）（研究代表者 染田英利）による成果

（1）日本国内におけるヒト歯牙エナメル質炭酸塩中の酸素安定同位体比 $\delta^{18}\text{O}$ の状況

・気候の違いを反映するとされる酸素安定同位体比 $\delta^{18}\text{O}$ については、日本列島の緯度に比例して低くなる傾向を示した（図1）。これは降水に見られる緯度効果（高緯度地域ほど同位体比が低くなる）が飲料水を通じてヒトにも反映しているものと考えられる。

（2）日本各地におけるヒト歯牙（エナメル質アパタイト）中に含まれるストロンチウム安定同位体比 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ の状況

・日本人歯牙エナメル質中の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位体比は、海水中の値（0.70918）を基準とすると、東日本及び南九州で相対的に低く、西日本で相対的に高い傾向が見られた（図2）。この傾向は、その程度は非常に弱いものの先行研究（日本列島の地質の影響を受けた土壌水のストロンチウム同位体比）と同様の傾向が見られた。日本人歯牙エナメル質中の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ は、海水（海産物）由来のストロンチウムに土壌由来のストロンチウムの影響が加わったものと考えられる。

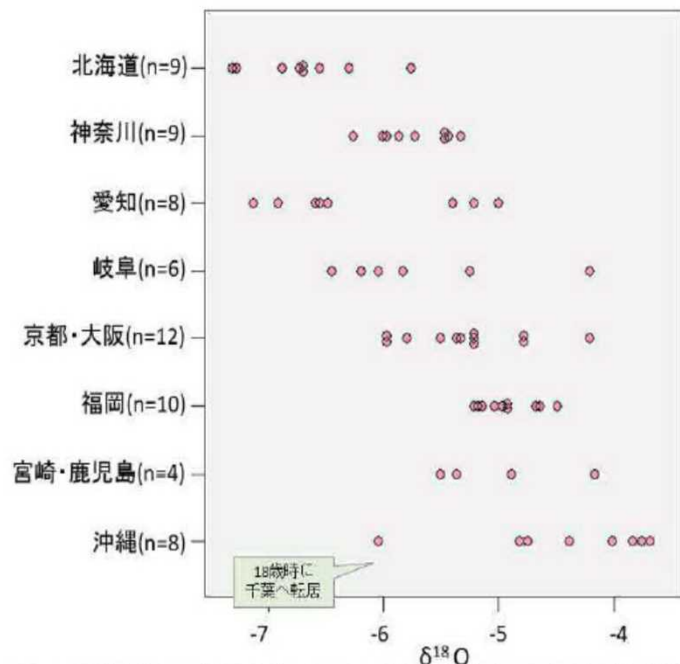


図1 日本国内における歯エナメル質炭酸塩中の酸素同位体比 $\delta^{18}\text{O}$ の分布状況

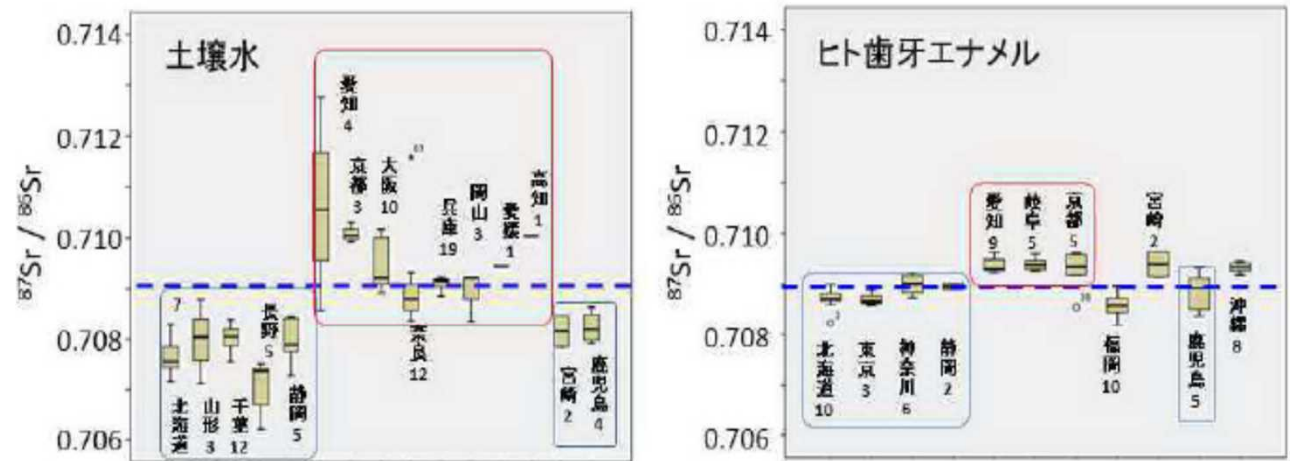


図2 日本各地における土壌(水)*、ヒト歯牙中のストロンチウム同位体比 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ の地域特性の比較

* Keisuke Aoyama, Variation of strontium stable isotope ratios and origins of strontium in Japanese vegetables and comparison with Chinese vegetables, Food Chemistry, 2017から引用

国内における同位体比分析の主な成果

「元素分析による身元不明遺体の出身地域推定の検討」（2016年～2018年 科研費助成事業）（研究代表者 染田英利）による成果

（3）日本出身者とパプアニューギニア出身者の遺骨分別の検討

・分析試料は、日本出身者のものとして、全国各地で収集された抜去歯牙39本、パプアニューギニア（以下、PNG）出身者のものとして、同国ブーゲンビル州ブカで収集した歯牙20本、同じく東ニューブリテン州ラバウルで収集した歯牙28本、南ハイランド州メンディで収集した歯牙42本を用いた。

・ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位体比の平均 \pm S.D.は、それぞれ日本出身者で 0.7090 ± 0.000391 、PNGブーゲンビル州ブカで 0.7066 ± 0.001912 、同じく東ニューブリテン州ラバウルで 0.7075 ± 0.001193 、東ハイランド州メンディで 0.7052 ± 0.000663 であった（図3）。

・歯牙エナメル質中ストロンチウム同位体比分析による日本出身者とPNG出身者の2群の分別における日本出身者の正答率は、ブーゲンビル州ブカにおいては94.9%、東ニューブリテン州ラバウルにおいては92.3%、南ハイランド州メンディにおいては100%となり、PNGでは地域毎の分別成績に差が見られた。これらの結果は、PNGの気候、地形が変化に富むこと、部族毎に生活様式の多様性が見られることが、同位体比に反映しているためと考えられる。PNGにおける戦没者遺骨収集での遺骨分別では、地域毎の判定基準が必要であると考えられる。分析対象元素を増やし、多変量解析を行うことで更なる精度向上が見込まれる。

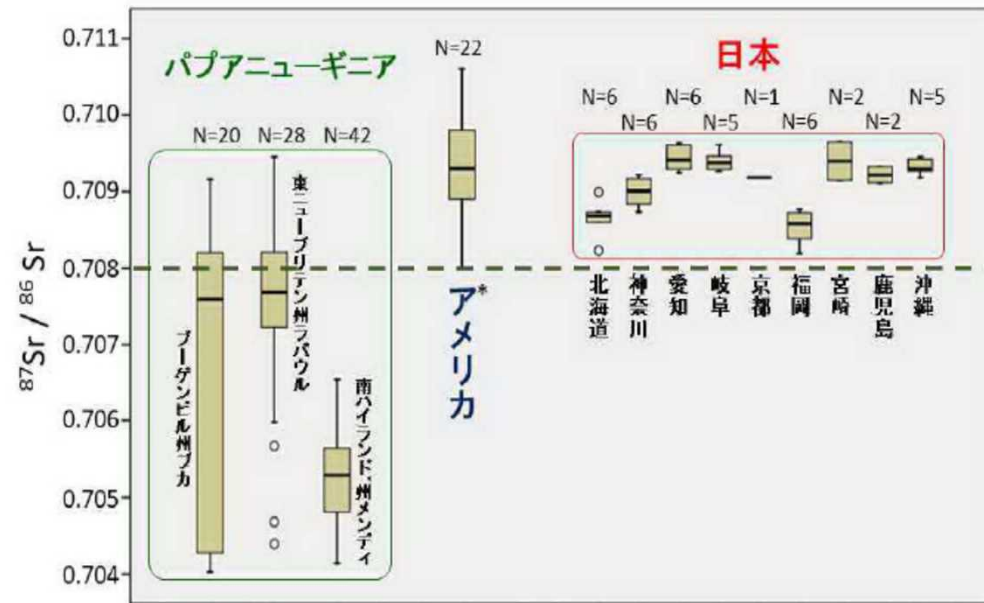


図3 ヒト歯牙エナメル質中のストロンチウム同位体比 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ の日本、米国*、パプアニューギニア出身者の比較

* L.A. Regan, Isotopic Determination of Region of Origin in Modern Peoples: Applications for Identification of US War-Dead from the Vietnam Conflict, DTIC Document, 2006.から引用

国内における同位体比分析の主な成果

「元素分析による身元不明遺体の出身地域推定の検討」（2016年～2018年 科研費助成事業）（研究代表者 染田英利）による成果

（４）日本出身者とフィリピン出身者の遺骨分別の検討

①歯エナメル質中のストロンチウム同位体比分析による分別

・分析試料は、日本出身者のものとして、全国各地で収集された抜去歯牙65本（うち濃度分析を行ったもの26本）、フィリピン出身者のものとして、同国中部のビザヤ諸島バナイ島で収集した歯牙45本（うち濃度分析を行ったもの30本）を用いた。

・歯牙エナメル質の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位体比の平均 \pm S.D.は、フィリピン出身者で 0.7079 ± 0.00045 であり、日本出身者のそれ 0.7090 ± 0.00038 よりも低い値を示した。 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ のみによる分別は、分別値を 0.70875 にした場合、日本出身者の正答率は88.5%であった。これに ^{88}Sr の濃度を加えた分別の正答率は92.3%であった（図4）。

・フィリピンにおける収集遺骨の地元住民、日本出身者の分別方法としてストロンチウム同位体比分析と元素濃度分析は有望である。今後、評価する元素の種類を増やし、多変量解析を行うことで更なる精度向上が見込まれる。

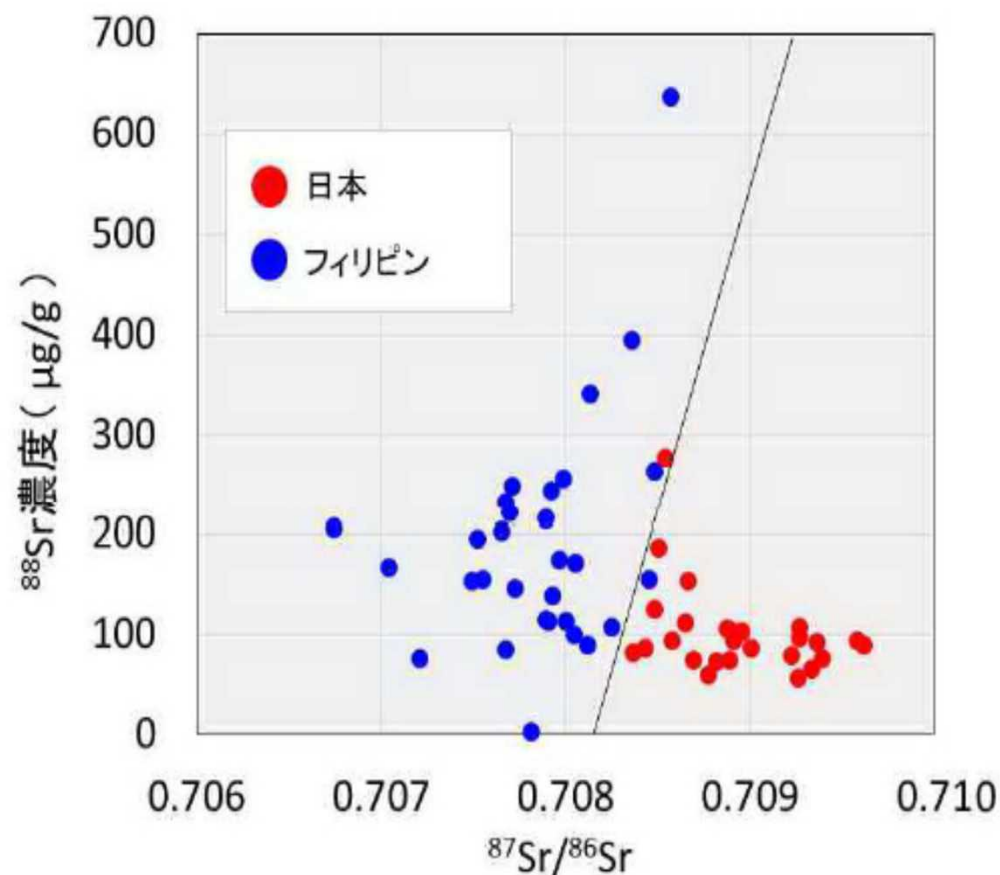


図4 ヒト歯牙エナメル質中のストロンチウム同位体比 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 及び ^{88}Sr 濃度の日本、フィリピン出身者の分布状況

国内における同位体比分析の主な成果

「元素分析による身元不明遺体の出身地域推定の検討」（2016年～2018年 科研費助成事業）（研究代表者 染田英利）による成果

（４）日本出身者とフィリピン出身者の遺骨分別の検討

②象牙質コラーゲン中の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 及び $\delta^{34}\text{S}$ 分析による分別

- ・分析試料は、日本出身者のものとして、全国各地で収集された抜去歯牙15本、フィリピン出身者のものとして、同国中部のビザヤ諸島バナイ島で収集した歯牙13本を用いた。
- ・歯牙象牙質コラーゲン中の炭素、窒素及び硫黄の各安定同位体比（平均値±標準偏差）は、いずれも日本出身者の分布域をフィリピン出身者の分布域が包含する結果となった（図5）。
- ・日本出身者とフィリピン出身者の混合遺骨の分別について $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 及び $\delta^{34}\text{S}$ の同位体比を説明変数としたロジスティック回帰分析では、全体で85.7%の正答率にとどまるものの、判定結果を試料毎に確率で示せることから、分別法として有効であると考えられた。

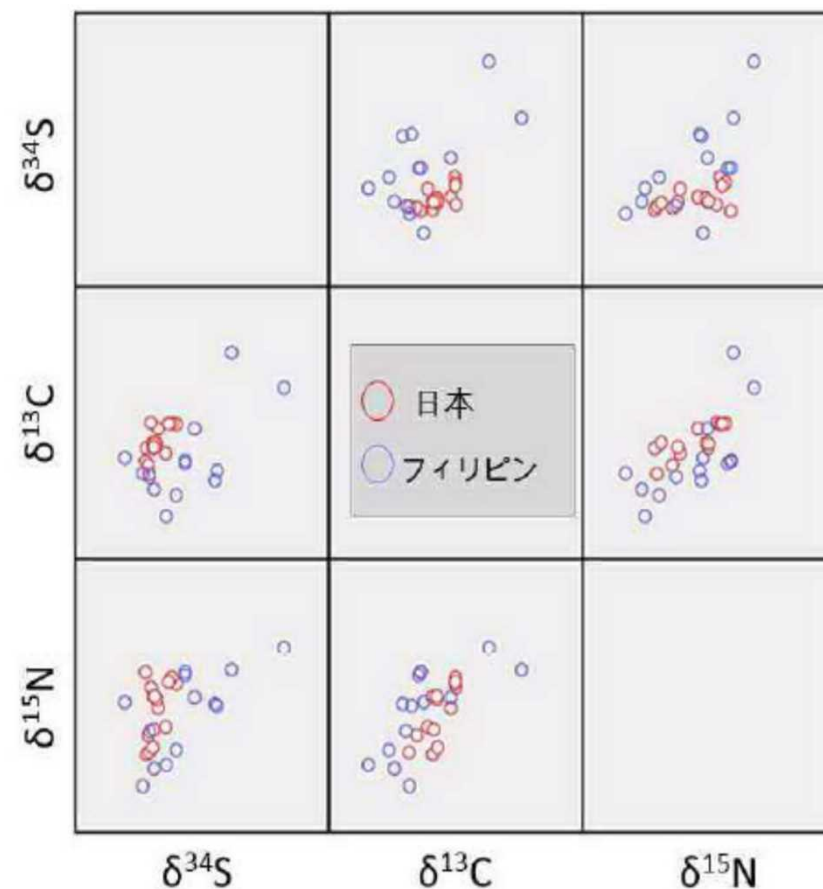


図5 歯牙象牙質コラーゲン中の、炭素 $\delta^{13}\text{C}$ 、窒素 $\delta^{15}\text{N}$ 、硫黄 $\delta^{34}\text{S}$ の各同位体比の日本、フィリピン出身者の分布状況