

厚生労働行政推進調査事業費補助金
(政策科学総合研究事業(政策科学推進研究事業))
分担研究報告書

インドネシア現代人集団の同位体データベースの構築と有効性の検証

研究代表者 米田 穰 東京大学総合研究博物館・教授

研究要旨: インドネシア現代人集団の各種同位体分析を実施した。歯エナメル質に含まれる炭酸塩の炭素・酸素同位体比およびストロンチウムの同位体比、並びに歯根部から抽出したコラーゲンの炭素・窒素同位体比のデータベースを構築し、确实戦没者(日本人)や考古学遺跡のデータと比較して、有効性を確認した。

A. 研究目的

戦没者遺骨における所属集団判定のために、日本人集団および外国人集団の各種同位体比のデータベースを構築することが必要不可欠である。令和7年度は試料採取がすでに実施されていたインドネシア(以下 IDN)の現代人抜去歯牙について、炭素・窒素・酸素・ストロンチウムの同位体分析を実施し、IDN 現代人集団のデータベースを構築する。また論文で報告されている考古学遺跡から出土した人骨や動物骨に関する同位体データを集成し、IDN 現代人集団を戦没者と同年代あるいは古墓由来骨のリファレンスとして用いることの妥当性を検証する。

B. 研究方法

昨年度に採取した IDN 現代人集団の歯牙 104 点について、歯冠部からエナメル質の粉末を採取し、歯根部からは残存するタンパク質(コラーゲン)を抽出・精製して、炭素・

窒素・硫黄の同位体分析に供した($\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$ ・ $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$ ・ $\delta^{34}\text{S}_{\text{col}}$)。試料採取地点はインドネシアを広く網羅している(図1)。

歯エナメル質に含まれる炭酸塩の炭素・酸素同位体分析について、令和5年度「戦没者遺骨の年代測定及び所属集団判定における同位体分析の活用に係る研究事業」報告書にて報告した暫定標準プロトコルに従って、粉末試料の作成および前洗浄を行った。すなわち、タングステン・カーバイト製ドリルにて粉末試料を作成し、こちらを超純水で洗浄したのちに次亜塩素酸ナトリウム水溶液および酢酸バッファーと反応させて洗浄した。前洗浄を行った粉末試料をオープンにて 60 度で一晩乾燥させたのちに回収した。前洗浄を完了した粉末試料について、令和6年度「戦没者遺骨の年代測定及び所属集団判定における同位体分析の活用に係る研究事業」報告書にて確立した手法に従って GB-IRMS 測定を実施し、歯エナメル質に含まれる炭酸塩の炭素・酸素同位体比

($\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ ・ $\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$)を測定した。すなわち粉末試料約 1.2 mg をバイアルに秤量後、測定前に 80°Cにて 24 時間乾燥させて、試料に吸着した水分を完全に除去した。乾燥させた粉末試料を、事前に 100°Cで 2 時間の加熱脱水を施したリン酸と常温 (30°C) で 24 時間反応させたのちに、生成した二酸化炭素の炭素および酸素同位体比を質量分析計にて測定した。

歯エナメル質に含まれるストロンチウムの同位体分析は、令和 6 年度「戦没者遺骨の年代測定及び所属集団判定における同位体分析の活用に係る研究事業」報告書にて報告したプロトコルに従って実施した。すなわち、同報告書第 3 章の湿式灰化処理に従って、3-10 mg の粉末試料を洗浄のち硝酸溶液へ溶解した。この硝酸溶液について、カラム処理によってストロンチウムを精製したのちに、試料溶液のストロンチウム濃度をマルチコレクター・誘導結合プラズマ質量分析 (Inductively coupled plasma - mass spectrometry; ICP-MS) により測定した。試料溶液のストロンチウム濃度を調整後に、総合地球環境学研究所の同位体比をマルチコレクター型 ICP-MS (MC-ICP-MS) にてストロンチウム同位体比 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) を測定した。

歯根部のコラーゲンは、令和 4 年度「戦没者遺骨の年代測定及び所属集団判定における同位体分析の活用に係る研究事業」報告書にて報告した暫定標準プロトコルに従って抽出した。すなわち、0.2~0.5g の緻密質をダイヤモンドカッターで採取後に純水にて洗浄し、セルロース膜に封入して塩酸にて脱灰処理を施した。この後に水酸化ナトリウムで洗浄して中性化後に、弱酸用溶液

中で加熱してコラーゲンをゼラチン化した。吸引ろ過で残存物を除去後に、溶液を凍結乾燥しコラーゲンをゼラチン試料として回収した。

回収したコラーゲンの炭素および窒素同位体比を、東京大学総合研究博物館に設置された元素分析計／安定同位体比質量分析計 (EA-IRMS) にて測定した。コラーゲン試料約 0.4 mg を錫箔に包み取り、オートサンプラーから約 1000°Cの酸化炉へ導入して、酸化炉内で燃焼させた。生成した二酸化炭素や窒素酸化物などの混合ガスをキャリアガスのヘリウムを用いて還元炉へ導入し、窒素酸化物を窒素分子に還元した。二酸化炭素や窒素などの混合ガスを水トラップに通して水蒸気を除去したのちにガスクロマトグラフィーへ導入し、精製・分離した。精製・分離した窒素および二酸化炭素をこの順に質量分析計へ導入し、同位体比を測定した。

回収したコラーゲンの硫黄同位体比を、元素分析計／安定同位体比質量分析計 (EA-IRMS) にて測定した。コラーゲン試料約 5-10 mg を錫箔に包み取り、オートサンプラーから約 1000°Cの酸化炉へ導入して、酸化炉内で燃焼させた。生成した二酸化硫黄を含む混合ガスをキャリアガスのヘリウムを用いて水トラップに導入して水蒸気を除去したのちにガスクロマトグラフィーへ導入し、二酸化硫黄を精製・分離した。精製・分離した二酸化硫黄を質量分析計へ導入し、同位体比を測定した。

(倫理面への配慮)

現代人抜去歯牙資料は、東京歯科大学での倫理審査を経て、現地歯科医師の協力の

もとインフォームドコンセントを得たのちに採取された。分析に先立ち分析試料は個人情報に関する匿名化処理がなされている。

C. 研究結果

インドネシア現代人集団 104 検体について、各種同位体分析を実施した。この結果、104 検体についてコラーゲンの炭素および窒素同位体比のデータを得た。コラーゲンの硫黄同位体比については微量測定のための装置条件の最適化に時間を要したため、令和 8 年度に測定することとした。歯エナメル質については、95 点について炭酸塩にふくまれる炭素・酸素同位体比データを得た。また 103 点について、歯エナメル質に含まれるストロンチウムの同位体比データを得た。各種同位体比を別紙 1 の表 1 に示す。

本研究で確立した IDN 現代人集団の同位体データベースについて、戦闘に巻き込まれて死亡した現地住民遺骨や、現地住民の古墓に葬られた遺骨の代表地として用いることができるか、確認するために、遺跡から出土する人骨・動物骨について、学術論文データベース（Web of Science, Google Scholar, Scopus）を用いて検索した。ヒトの炭素・窒素同位体比については Fenner et al. (2018) がバリ島北部の Pacung 遺跡（約 2000 年前）で 4 個体のデータと、Tolla (2024) が様々な年代の 7 点の歯牙のデータを報告していることを確認した（表 2）。

歯エナメル質炭酸塩の酸素・炭素同位体比は、Fenner et al. 2018 が Pacung 遺跡の 8 点を、Tolla (2024) が Karas 遺跡 1 点、Srobu 遺跡 2 点、Mamorikotey 遺跡 2 点の酸素・炭素同位体比を報告している。また歯エナメ

ル質のストロンチウム同位体比は Fenner et al. (2018) が Pacung 遺跡 8 点と Sembiran 遺跡 1 点を報告している。遺跡の位置と同位体データを図 2 と表 2 にまとめた。

考察

今年度データを得た IDN 現代人集団データベースの有効性を検証するために、厚生労働省委託研究「戦没者遺骨の年代測定及び所属集団判定における同位体分析の活用に係る研究事業」において令和 4 から 7 年度に測定した確実戦没者遺骨のデータと比較した。令和 7 年度「戦没者遺骨の年代測定及び所属集団判定における同位体分析の活用に係る研究事業」に報告した骨コラーゲンの炭素・窒素同位体比、歯エナメル質炭酸塩炭素・酸素同位体比、歯エナメル質の酸素・ストロンチウム同位体比の 95% 確率楕円と比較した（図 3～5）。

確実戦没者の各種同位体について、令和 4 年から 7 年にかけて実施された「戦没者遺骨の年代測定及び所属集団判定における同位体分析の活用に係る研究事業」では、歯象牙質および骨のコラーゲンにおける炭素・窒素・硫黄の同位体比、歯エナメル質の炭素・酸素・ストロンチウム同位体比について、データを集成している。令和 6 年度は硫黄同位体比が未測定であったため、コラーゲンの炭素・窒素同位体比と歯エナメル質の炭素・窒素・ストロンチウム同位体比の 5 項目を説明関数として、所属集団を目的関数としたロジスティック回帰分析を実施して、判別率的中率は 89.4%（95% 信頼区間：82.2～94.4%）の有効性を確認した。

令和 7 年度に日本人戦没者のうち十分量のコラーゲンが得られた 38 個体で硫黄同

位体比を追加した6項目のデータセットが確立でいたので、昨年度報告したPNG現代人集団(65個体)と統合してロジスティック回帰モデルを構築した。帰無モデル(説明変数なし)の帰無逸脱度は135.627(自由度102)であったのに対し、説明変数を含むモデルの残差逸脱度は48.057(自由度96)と大幅に減少した。尤度比検定では $\chi^2 = 87.57$, $df = 6$, $p < 2.2 \times 10^{-16}$ となり、説明変数が所属集団の予測に統計学的に有意に寄与していることが示された。

モデルの適合度と複雑さを同時に評価する赤池情報量基準(AIC)は62.057であり、情報量基準の観点からも本モデルがデータに良好に適合していた。また多重共線性の指標であるVIFは1.52~3.38の範囲に収まり、一般的な許容基準($VIF < 5$)を十分に下回っていたため、推定された回帰係数が共線性の影響を受けて不安定になる可能性は低い。回帰係数のうち $\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$ ($OR = 2.59$, 95% CI: 1.09–6.17, $p = 0.0317$)、 $\delta^{34}\text{S}_{\text{col}}$ ($OR = 1.42$, 95% CI: 1.09–1.85, $p = 0.00922$)、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ($OR \approx 0$, $p = 0.000582$) が統計的に有意であった(表3)。受信者動作特性曲線(ROC)解析では曲線下面積(AUC)が0.967(95% CI: 0.932–1.00)を示し、一般に $AUC \geq 0.90$ の“非常によい”と評価される基準を大きく上回った(図6)。これは本モデルが極めて高い判別性能を有することを示している。

予測値(cutoff=0.5)と実際の所属集団を比較したところ、判別の中率は94.2%(95% CI: 87.8–97.8%)となり、データ数は減ったものの5項目のモデルよりも的中率が向上した。日本人に関しては感度が92.1%、特異度が95.4%と高く、Fisherの正確確率検定でも p 値が 1.6×10^{-16} と有意であった。

また、陽性尤度比(LR+)は19.96、陰性尤度比(LR-)は0.083であり、診断学的にも高い識別能力を有するモデルと評価できる。

IDN現代人集団データ(95点)については、コラーゲンの硫黄同位体比を未測定であるため、コラーゲンにおける炭素・窒素の同位体比、歯エナメル質の炭素・酸素・ストロンチウム同位体比の5項目を用いて、5項目にデータ欠損のない確実戦没者データ92点を統合した187個体について、ロジスティック回帰モデルを構築した。帰無モデル(説明変数なし)の帰無逸脱度は259.19(自由度186)であったのに対し、説明変数を含むモデルの残差逸脱度は121.66(自由度181)と大幅に減少した。尤度比検定では $\chi^2 = 137.53$, $df = 5$, $p < 2.2 \times 10^{-16}$ となり、説明変数が所属集団の予測に統計学的に有意に寄与していることが示された。

モデルの適合度と複雑さを同時に評価する赤池情報量基準(AIC)は133.66であり、情報量基準の観点からも本モデルはデータに良好に適合していた。また、多重共線性の指標であるVIFは1.22~2.55の範囲に収まり、一般的な許容基準($VIF < 5$)を十分に下回っていたため、推定された回帰係数が共線性の影響を受けて不安定になる可能性は低いと判断された。

回帰係数のうち、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ ($OR = 0.557$, 95% CI: 0.317–0.979, $p = 0.0419$) $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$ ($OR = 11.40$, 95% CI: 4.46–29.4, $p = 4.06 \times 10^{-7}$)、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$ ($OR = 0.255$, 95% CI: 0.135–0.480, $p = 2.40 \times 10^{-5}$)、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$ ($OR = 1.85$, 95% CI: 1.16–2.94, $p = 0.00970$)、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ($OR \approx 0$, $p = 0.000929$) が統計的に有意であった(表4)。

ROC解析では $AUC = 0.941$ (95% CI: 0.906–0.975)を示し、一般に $AUC \geq 0.90$

の“非常によい”と評価される基準を大きく上回った(図7)。これは本モデルが極めて高い判別性能を有することを示している。

予測値(cutoff=0.5)と実際の所属集団を比較したところ、判別率の中率は87.2%(95% CI: 81.5–91.6%)であった。日本人戦没者の感度は88.0%、特異度は86.3%と高く、Fisherの正確確率検定でも $p < 2.2 \times 10^{-16}$ と有意であった。また、陽性尤度比(LR+)は6.43、陰性尤度比(LR-)は0.139であり、硫黄同位体比のデータを欠くものの診断学的にも高い識別能力を有するモデルと評価できる。

今回分析で得られたIDN現代人集団と比較すると先史時代人骨は非常に多様な炭素・窒素同位体比を示すが(図8)、近代から近世(100±40BP)の年代を示すNamatota遺跡の2点はIDN現代人集団と近似しており、戦闘によって死亡した現地住民の値の値として現代インドネシア人の歯牙から構築されたIDN現代人集団データは一定の妥当性をもつと考えられる。

先史時代人骨では骨コラーゲン炭素同位体比が多様だったが、歯エナメル質ではIDN現代人集団と近似した炭素・酸素同位体比を示した(図9)。また、ストロンチウム同位体比・酸素同位体比もIDN現代人集団と近似した値を示した(図10)。ストロンチウム同位体比は主に基盤地質の値を、酸素同位体比は雨水中の酸素同位体比の値を反映すると考えられるので、先史時代の古人骨と現代人で大きな違いがないことから、日本人戦没者との比較データとしてIDN現代人集団データが妥当であることを示している。

E. 結論

IDN現代人集団104検体について各種同位体分析を実施した。同集団の歯エナメル質に含まれる炭酸塩の炭素・酸素同位体比およびストロンチウムの同位体比、並びに歯根部から抽出したコラーゲンの炭素・窒素同位体比のデータベースを構築した。硫黄同位体比は微量測定の測定条件を確立してから令和8年度に測定する。

厚生労働省が委託研究として推進している「戦没者遺骨の年代測定及び所属集団判定における同位体分析の活用に係る研究事業」で報告されたコラーゲンの炭素・窒素・硫黄同位体比およびエナメル質の酸素・炭素・ストロンチウム同位体比を用いてロジスティック回帰分析を実施した。6項目全てを用いた確実戦没者とPNG現代人集団では判別率の中率は94.2%となり、各種同位体比を用いた多変量解析がPNGにおける日本人戦没者と現地住民との所属集団判定に極めて有効であることが示された。また、硫黄同位体比を除く5項目を用いた確実戦没者とIDN現代人集団では判別率の中率は87.2%となり、各種同位体比を用いた多変量解析がIDNにおける日本人戦没者と現地住民との所属集団判定にかなり有効であることが示されたが、令和8年度に硫黄同位体比の測定が完了した時点で6項目を用いたロジスティック回帰モデルで再評価する。

バリ島とパプアで報告された考古学遺跡の炭素・酸素・ストロンチウム同位体比(エナメル質)は概ね整合的であり、IDN現代人データの妥当性を示した。炭素・窒素同位体比(コラーゲン)では先史時代の食性が現在とは大きく異なるものの、近代・近世の2個体はIDN現代人集団と類似した値を示

しており、戦闘で死亡した現地住民のリファレンスとして IDN 現代人集団データは有効であると考えられる。

引用文献

Fenner, J. N., Jones, R. K., Piper, P. J., Llewellyn, M., Gagan, M. K., Prasetyo, B., & Calo, A. (2018). Early Goats in Bali, Indonesia: Stable Isotope Analyses of Diet and Movement. *The Journal of Island and Coastal Archaeology*, 13(4), 563-581.

Tolla, M. (2024). Human teeth characteristics and its development during Holocene time until Current Era in the Lowland part of Papua Indonesia [Doctoral dissertation, Freie Universität Berlin].

F. 健康危険情報

該当なし

G. 研究発表

1. 論文発表

該当なし

2. 学会発表

該当なし

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

該当なし

2. 実用新案登録

該当なし

3. その他

とくになし

(資料) 表 1 ～ 6 および図 1 ～ 1 0

表 1 . IDN 現代人集団の同位体比

IDN ドナー番号	$\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$	$\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$	C/N 比	$\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
IDN001	-18.8	10.0	3.2	-13.5	-7.2	0.706823
IDN 002	-19.1	12.4	3.2	-13.6	-5.9	0.708499
IDN 003	-19.2	10.1	3.3	n.a.	n.a.	0.707588
IDN 004	-19.9	10.1	3.2	-11.2	-6.2	0.708054
IDN 005	-18.6	10.5	3.2	n.a.	n.a.	n.a.
IDN 006	-19.4	9.5	3.2	-13.7	-6.5	0.706950
IDN 007	-20.4	10.4	3.2	-14.6	-7.8	0.707459
IDN 008	-20.1	11.1	3.2	-13.1	-5.6	0.708193
IDN 009	-19.0	10.3	3.2	-10.8	-6.1	0.706353
IDN 010	-19.6	10.2	3.2	-14.6	-6.7	0.708488
IDN 011	-18.6	10.3	3.2	-13.3	-6.9	0.705909
IDN 012	-18.3	10.7	3.2	-11.3	-6.5	0.707578
IDN 013	-20.3	12.9	3.2	-10.9	-9.2	0.708292
IDN 014	-18.6	10.8	3.2	-11.3	-5.6	0.708553
IDN 015	-20.0	10.3	3.2	-13.9	-6.8	0.708804
IDN 016	-18.3	11.2	3.2	-11.6	-9.3	0.707123
IDN 017	-18.5	11.1	3.2	-13.7	-6.8	0.706298
IDN 018	-18.8	10.4	3.2	-15.9	-7.3	0.707257
IDN 019	-19.2	9.5	3.2	-14.0	-5.9	0.707438
IDN 020	-18.4	10.4	3.2	-12.7	-4.1	0.708821
IDN 021	-19.3	9.7	3.2	-14.3	-7.1	0.708393
IDN 022	-19.5	10.6	3.2	-14.3	-5.8	0.708857
IDN 023	-19.6	9.9	3.2	n.a.	n.a.	0.708440
IDN 024	-19.7	10.4	3.2	-14.4	-7.4	0.707221
IDN 025	-19.5	10.8	3.2	-14.4	-6.8	0.707795
IDN 026	-18.3	11.7	3.2	-13.8	-7.1	0.706840
IDN 027	-19.3	9.9	3.2	-14.0	-6.9	0.709191
IDN 028	-19.3	10.9	3.2	-12.9	-6.8	0.708847
IDN 029	-19.9	10.7	3.2	-14.3	-6.5	0.706862
IDN 030	-18.6	10.3	3.2	-13.4	-7.2	0.707726
IDN 031	-19.2	10.4	3.2	-14.4	-7.9	0.708206
IDN 032	-19.0	10.1	3.2	-12.7	-7.0	0.708024

IDN 033	-19.7	9.7	3.2	-13.1	-5.5	0.707052
IDN 034	-19.6	10.1	3.2	n.a.	n.a.	0.707234
IDN 035	-20.1	10.0	3.2	-14.3	-6.4	0.708428
IDN 036	-19.7	10.0	3.2	-12.4	-5.9	0.707498
IDN 037	-19.0	9.7	3.2	-14.0	-5.9	0.708184
IDN 038	-19.8	10.4	3.2	-13.7	-6.3	0.706967
IDN 039	-19.6	10.5	3.2	-13.7	-5.9	0.706741
IDN 040	-19.8	9.9	3.2	-15.4	-6.3	0.708002
IDN 041	-20.6	9.6	3.2	-14.6	-5.5	0.706635
IDN 042	-18.3	10.2	3.2	-13.0	-6.5	0.707918
IDN 043	-20.2	9.7	3.2	-15.2	-6.2	0.707512
IDN 044	-19.2	10.9	3.2	-11.7	-6.4	0.707451
IDN 045	-19.9	10.2	3.2	n.a.	n.a.	0.706960
IDN 046	-18.6	11.1	3.2	-12.1	-7.2	0.707985
IDN 047	-18.3	10.7	3.2	-12.0	-8.2	0.708368
IDN 048	-20.1	10.1	3.2	-14.1	-7.2	0.707752
IDN 049	-20.0	9.5	3.2	-14.0	-5.6	0.706602
IDN 050	-20.2	9.1	3.2	-13.8	-5.5	0.706990
IDN 051	-20.5	11.0	3.2	-15.1	-5.2	0.706843
IDN 052	-18.2	10.4	3.2	n.a.	n.a.	0.707864
IDN 053	-18.7	11.1	3.2	-13.2	-6.7	0.707127
IDN 054	-20.8	9.5	3.2	-13.4	-6.2	0.707708
IDN 055	-19.2	9.8	3.2	-13.2	-7.3	0.708213
IDN 056	-19.4	10.5	3.2	-14.1	-5.8	0.708025
IDN 057	-19.9	9.8	3.2	-12.6	-6.9	0.707153
IDN 058	-19.6	10.3	3.2	-12.6	-5.3	0.706790
IDN 059	-19.9	9.6	3.2	-13.7	-6.2	0.707120
IDN 060	-18.3	11.4	3.2	-12.9	-6.5	0.707436
IDN 061	-19.9	9.9	3.2	-14.2	-5.4	0.706245
IDN 062	-17.5	10.0	3.2	n.a.	n.a.	0.707738
IDN 063	-17.6	10.0	3.2	-10.5	-6.0	0.707703
IDN 064	-20.0	9.8	3.2	-14.1	-5.8	0.708100
IDN 065	-19.9	9.9	3.2	-13.6	-5.8	0.708106
IDN 066	-19.6	9.3	3.2	-12.8	-5.4	0.706872
IDN 067	-19.9	10.2	3.2	-13.3	-6.0	0.708106
IDN 068	-19.1	12.5	3.2	-13.8	-6.8	0.709723

IDN 069	-19.1	12.8	3.2	-14.1	-6.4	0.709985
IDN 070	-17.9	10.6	3.2	-13.3	-5.8	0.707379
IDN 071	-18.3	10.5	3.2	-12.5	-6.0	0.707811
IDN 072	-18.6	11.1	3.2	-12.8	-5.6	0.707276
IDN 073	-18.6	10.7	3.2	-11.7	-5.1	0.706675
IDN 074	-19.9	8.8	3.2	-11.9	-4.6	0.705808
IDN 075	-17.7	11.1	3.2	-13.1	-6.2	0.706628
IDN 076	-19.0	11.1	3.2	-12.0	-6.7	0.707447
IDN 077	-18.9	10.2	3.2	-12.8	-5.9	0.706696
IDN 078	-16.7	9.3	3.2	-10.2	-5.6	0.706497
IDN 079	-19.7	9.6	3.2	-12.8	-5.1	0.706663
IDN 080	-18.3	10.0	3.2	-12.7	-4.4	0.705929
IDN 081	-20.2	9.4	3.2	-12.8	-5.8	0.706894
IDN 082	-19.0	10.0	3.2	-11.4	-5.5	0.705672
IDN 083	-20.0	9.6	3.2	n.a.	n.a.	0.706981
IDN 084	-18.8	10.4	3.2	-14.0	-5.4	0.707281
IDN 085	-19.5	9.8	3.2	-12.4	-3.8	0.707115
IDN 086	-19.6	10.0	3.2	-13.7	-5.8	0.707274
IDN 087	-18.0	9.9	3.2	-11.0	-5.9	0.706995
IDN 088	-18.6	10.0	3.2	-13.3	-5.0	0.706825
IDN 089	-17.1	13.9	3.3	-12.2	-7.2	0.709734
IDN 090	-17.5	13.4	3.2	-12.4	-7.0	0.709669
IDN 091	-18.0	9.6	3.2	-11.9	-4.5	0.705673
IDN 092	-18.7	10.3	3.2	-13.7	-5.9	0.707173
IDN 093	-18.8	9.4	3.2	-12.4	-5.2	0.706180
IDN 094	-18.7	9.6	3.2	-12.7	-4.7	0.706163
IDN 095	-19.8	9.9	3.2	-15.2	-5.4	0.706940
IDN 096	-19.5	9.5	3.2	-12.8	-5.6	0.706298
IDN 097	-20.6	10.7	3.2	-14.2	-5.1	0.708781
IDN 098	-19.7	10.3	3.2	-14.1	-6.9	0.707553
IDN 099	-19.4	10.3	3.2	-13.8	-6.8	0.707498
IDN 100	-13.5	9.2	3.2	-6.8	-3.5	0.706233
IDN 101	-18.8	9.8	3.2	-11.6	-3.6	0.707108
IDN 102	-19.0	9.4	3.2	-12.5	-5.6	0.706783
IDN 103	-18.7	10.6	3.2	-13.7	-8.2	0.709238
IDN 104	-19.3	10.2	3.2	n.a.	n.a.	0.707181

n.a.はデータ欠損を示す。 δ 値に添えられた col はコラーゲン、carb はエナメル質炭酸塩を指す。C/N 比は原子数比でコラーゲンの正常値 (2.9~3.6) から外れた値は異常値である可能性がある。 $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{18}\text{O}$ は VPDB を、 $\delta^{15}\text{N}$ は AIR を標準物質として算出した。

表2. IDN の考古学遺跡から出土した人骨で報告されている各種同位体データの概要

遺跡名	地域	年代	生物種	測定項目	データ数	出展
Pacung	バリ島北部沿岸	約 2000 年前 (163 BCE ~ 137 CE)	ヒト	$\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}+\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$	4	Fenner et al. (2018)
			ヒト	$\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}+\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$	7	Fenner et al. (2018)
			ヒト	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	7	Fenner et al. (2018)
Sembiran	バリ島北部沿岸	約 2000 年前 (142 BCE ~ 25 CE)	ヒト	$\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}+\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$	2	Fenner et al. (2018)
			ヒト	$\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}+\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$	1	Fenner et al. (2018)
			ヒト	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2	Fenner et al. (2018)
Yomokho	パプア州(ジャヤブラ)	2590±120 BP	ヒト	$\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}+\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$	2	Tolla (2024)
Namatota	西パプア州(カイマナ県)	110±40 BP	ヒト	$\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}+\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$	1	Tolla (2024)
Srobu	パプア州(ジャヤブラ)	1720±30 BP	ヒト	$\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}+\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$	2	Tolla (2024)
			ヒト	$\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}+\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$	1	Tolla (2024)
Karas	西パプア州(カイマナ県)	3400 BP	ヒト	$\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}+\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$	2	Tolla (2024)
			ヒト	$\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}+\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$	1	Tolla (2024)
Mamorikotey	パプア州カポタル島	2520±50 BP	ヒト	$\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}+\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$	2	Tolla (2024)

表 3. PNG 現代人集団と確実戦没者による 6 項目ロジスティック回帰モデルの結果

説明関数	回帰係数	Std	z value	Pr(> z)	オッズ比	95%信頼区間	P 値
$\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$	0.6683	0.5108	1.308	0.190711	1.95	7.17E-01 ~ 5.31	0.191
$\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$	-0.7243	0.4066	-1.781	0.074892	0.485	2.18E-01 ~ 1.08	0.0749
$\delta^{34}\text{S}_{\text{col}}$	0.3502	0.1345	2.604	0.009218	1.42	1.09E+00 ~ 1.85	0.00922
$\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$	0.4436	0.4977	0.891	0.372791	1.56	5.87E-01 ~ 4.13	0.373
$\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$	0.9516	0.4431	2.148	0.031741	2.59	1.09E+00 ~ 6.17	0.0317
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	-1832.52	532.6995	-3.44	0.000582	0	0.00E+00 ~ 0	0.000582
(Intercept)	1327.322	376.2391	3.528	0.000419	∞	1.54E+256 ~ ∞	0.000419

表 4. PNG 現代人集団と確実戦没者の 6 項目ロジスティック回帰モデルによる帰属集団の推定結果

		帰属集団		
		PNG	日本人	計
判定 結果	PNG	62	3	65
	日本人	3	35	38
	計	65	38	103

表 5. PNG 現代人集団と確実戦没者による 5 項目ロジスティック回帰モデルの結果

説明関数	回帰係数	Std	z value	オッズ比	95%信頼区間	P 値
$\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$	2.4374	0.4811	5.066	11.4	4.46E+00 ~ 2.94E+01	4.06E-07
$\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$	-1.3674	0.3237	-4.224	0.255	1.35E-01 ~ 4.80E-01	0.000024
$\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$	-0.5852	0.2876	-2.034	0.557	3.17E-01 ~ 9.79E-01	0.0419
$\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$	0.613	0.237	2.586	1.85	1.16E+00 ~ 2.94E+00	0.0097
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	-1129.62	341.1539	-3.311	0	0.00E+00 ~ #####	0.000929
(Intercept)	858.7286	240.6734	3.568	∞	1.19E+168 ~ ∞	0.00036

表 6. IDN 現代人集団と確実戦没者の 5 項目ロジスティック回帰モデルによる帰属集団の推定結果

		帰属集団		
		PNG	日本人	計
判定 結果	PNG	82	11	93
	日本人	13	81	94
	計	95	92	187

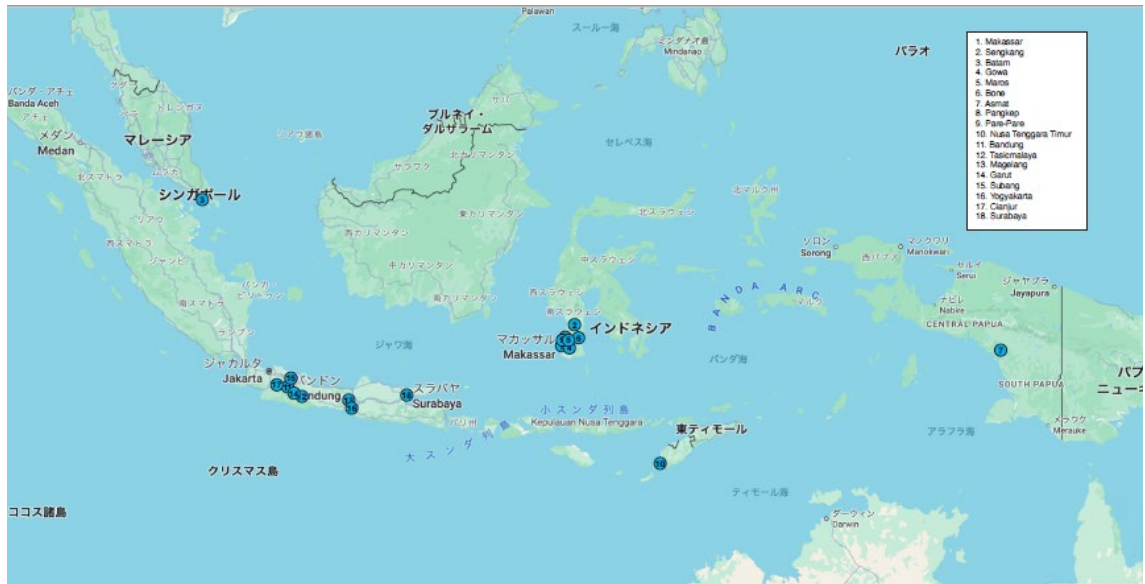


図1. IDN 源田仁集団に含まれる個体の出身地の位置

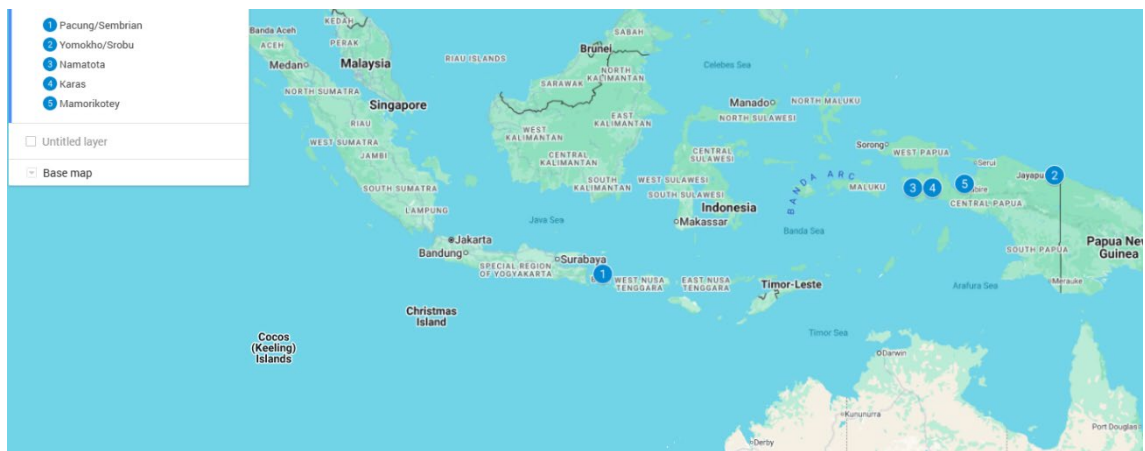


図2. 同位体データが得られた考古学遺跡の位置

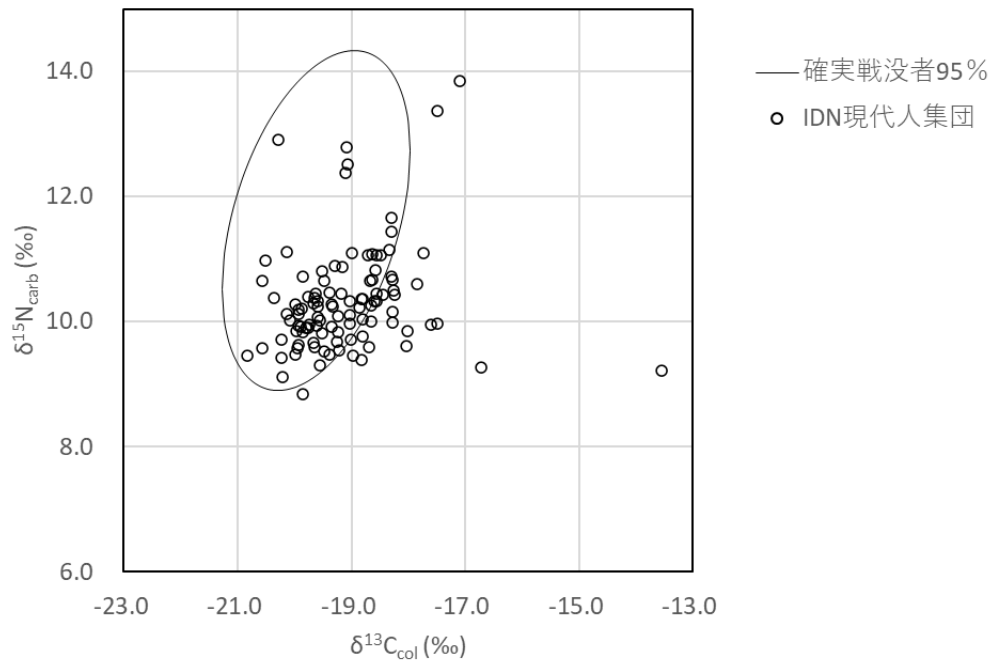


図3. IDN 現代人集団のコラーゲンにおける炭素・窒素同位体比と確実戦没者の95%確率楕円の比較

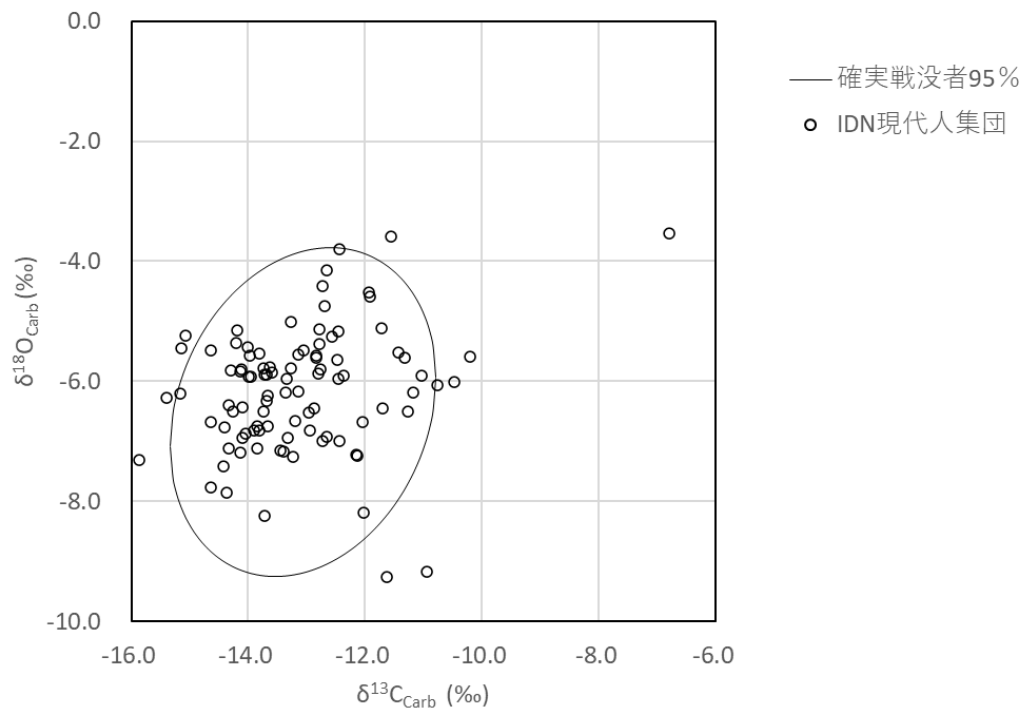


図4. IDN 現代人集団のエナメル質炭酸塩における炭素・酸素同位体比と確実戦没者の95%確率楕円の比較

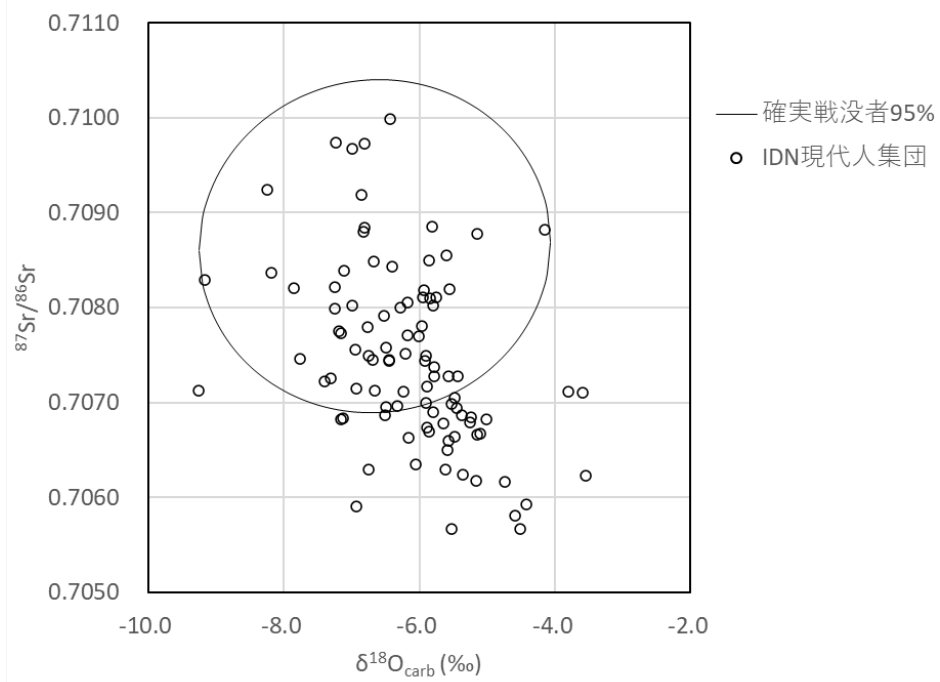


図5. IDN 現代人集団と日本列島の地下水 (Nakano et al. 2020) における Sr 同位体比の比較

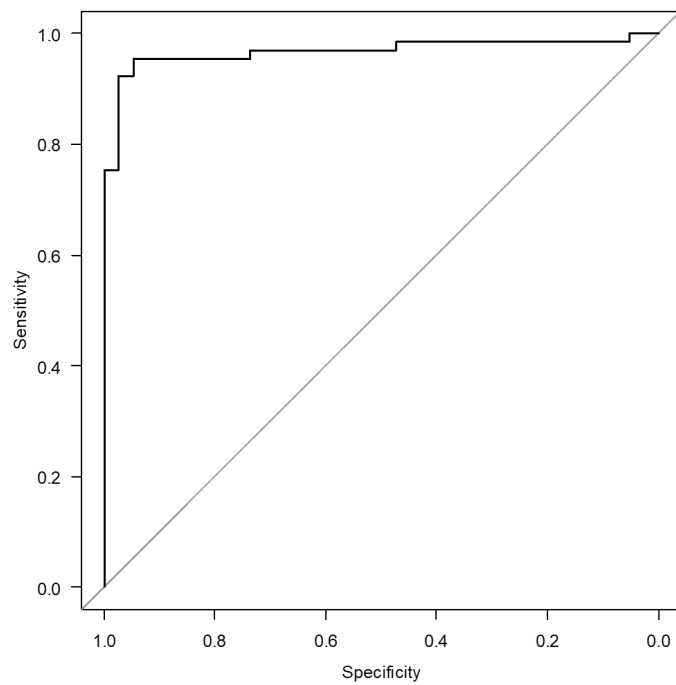


図6. PNG 現代人集団と確認戦没者のデータにも続く6項目ロジスティック回帰モデルのROC曲線

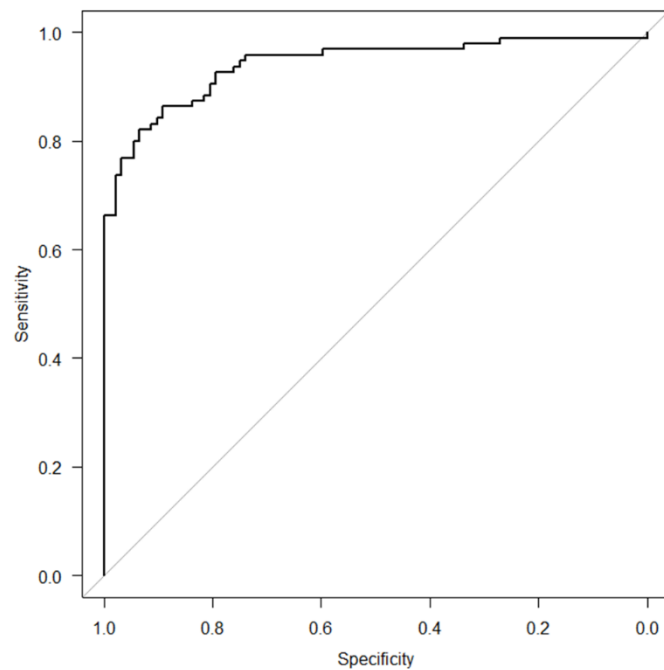


図7. IDN 現代人集団と確実戦没者のデータにも続く 5 項目ロジスティック回帰モデルの ROC 曲線

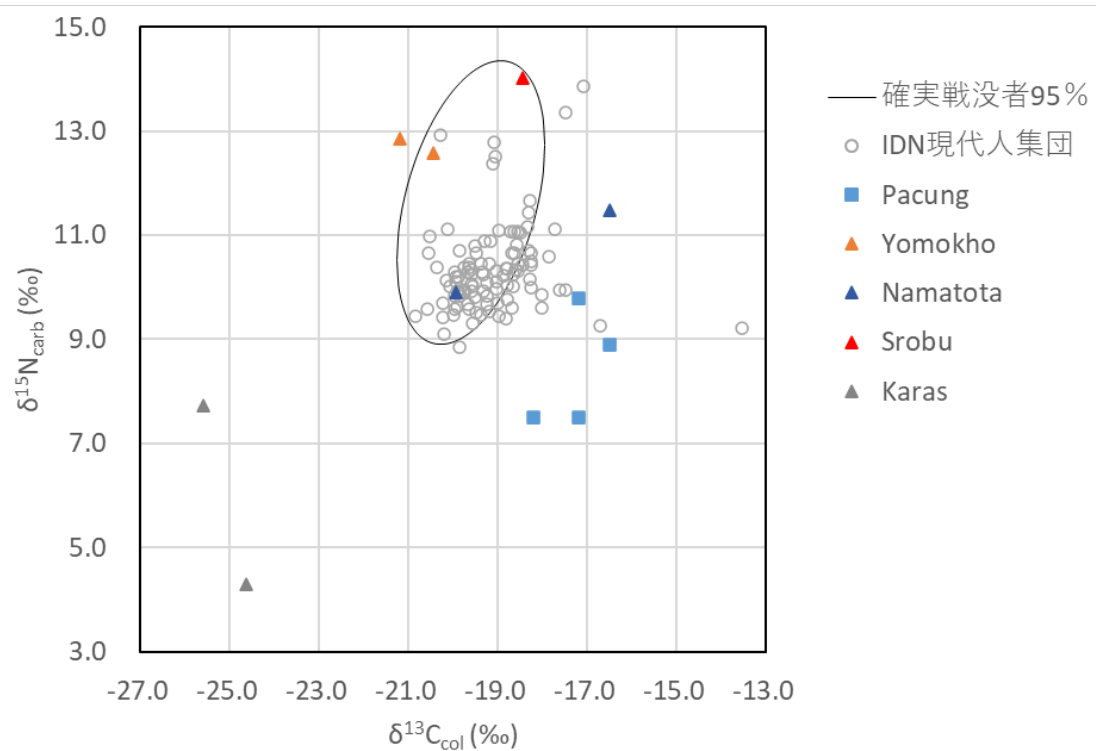


図8. IDN 現代人集団と考古学遺跡のヒトにおけるコラーゲンの炭素・窒素同位体比と日本人確実戦没者の 95%確率楕円の比較

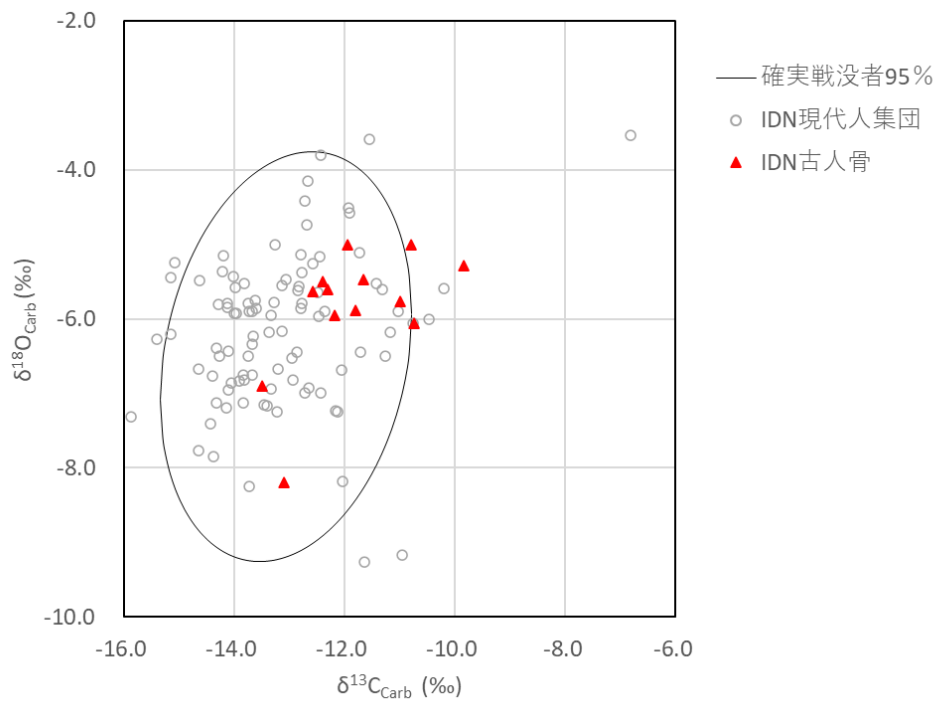


図9. IDN 現代人集団と考古学遺跡のヒトにおけるエナメル質炭酸塩の炭素・酸素同位体比と日本人確実戦没者の95%確率楕円の比較

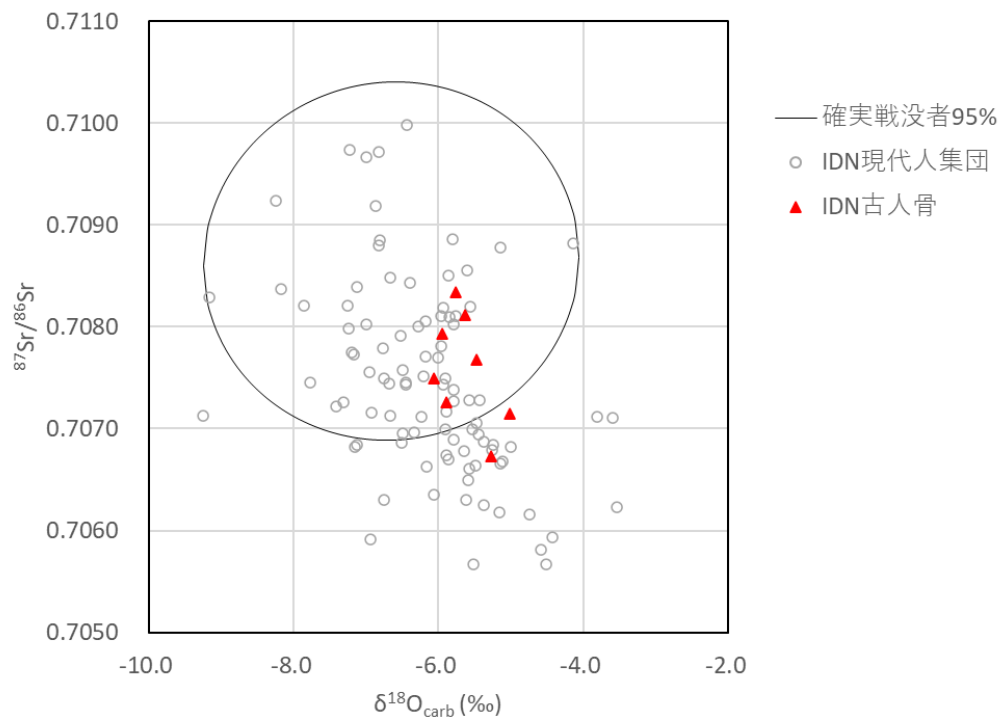


図10. IDN 現代人集団と考古学遺跡のヒトにおけるエナメル質の酸素・ストロンチウム同位体比と日本人確実戦没者の95%確率楕円の比較

厚生労働行政推進調査事業費補助金
(政策科学総合研究事業(政策科学推進研究事業))
分担研究報告書

フィリピン現代人集団データベースに係る試料採取

研究分担者 橋本正次 東京歯科大学・歯学部・名誉教授

研究要旨：フィリピン現代人集団データベースに係る試料採取を実施し、抜去歯牙 155 点を採集した。

A. 研究目的

戦没者遺骨における所属集団判定のために、日本人集団および外国人集団の各種同位体比のデータベースを構築することが必要不可欠である。本研究では、このデータベース構築のために外国人集団の各種同位体比のデータベース構築に係る試料採取を実施する。

B. 研究方法

本年度は、研究代表者の米田とともに、来年度分析する計画であるフィリピン現代人集団の分析試料を採取した。試料は、フィリピンの五か所の地域の大学歯学部等において、歯科診療時に抜去され、かつ所有権放棄された歯牙である。また同時に、患者の性別や年齢、居住地域とその地域での滞在年数などの情報も得た。

(倫理面への配慮)

試料採取に係る倫理審査は、東京歯科大学倫理審査委員会においてなされ、承認を得ている。

C. 研究結果

2025 年 12 月 27 日から 12 月 30 日の滞在期間中に、フィリピン歯科医師会に所属する現地共同研究者から、ルソン島北部(50)、ルソン島南部(35)、パナイ島(30)、レイテ島(30)、ミンダナオ島(10)で得られた抜去歯牙(総数 155)を受領した。加えて、抜去歯牙の提供者の性別や年齢、居住地域と居住期間などの情報についても入手したが、これらはすべて患者のインフォームドコンセントを得て取得したものである。

なお、当初予定していたセブ島については、台風などによる災害発生のために試料採取が予定より遅れるという事態になり、今回の訪問では受領することができなかった。そこで、セブ島については資料が集まり次第それらの日本への搬送について、またすでに収集している地域においてもできれば試料数を増やしていくことなど今後協議することとした。

D. 考察

フィリピンは西太平洋に位置する大小7000以上の島々からなる東南アジアの多民族国家であり、日本やパラオ、台湾、中国、ベトナム、マレーシア、インドネシアなどと海上で接している。民族の成り立ちについてみれば、先住民族であるネグリト族にプロトマレーが移り住み、さらにスペイン、アメリカの影響を受けている。宗教においても、多くはカトリック教徒であるが、南部ではイスラム教徒が多く居住している。言語的にみても、約170の言語、方言が存在しているといわれる。主な言語としては、一般的な公用語としての英語とタガログ語、ルソン島北部のイロカノ語、セブ島やミンダナオ島など中・南部で話されるビサヤ語である。従って、それぞれの地域における食生活も異なることから、各種同位体比が地域ごとに異なる可能性が考えられる。

日本人戦没者遺骨はフィリピンの北から南、比嘉医師から西に至る様々な地域で搜索、回収されることから、主な地域における現代フィリピン人のデータベースを構築する意義は極めて高い。その上で、今回はルソン島、パナイ島、レイテ島、ミンダナオ島といった主な島々から抜去歯牙を得られたことは有意義であったが、今後さらに日本人戦没者が未回収で残されている地域からの資料が採取できれば、戦没者遺骨の所属集団判定においてより有効なデータベース構築が期待される。

E. 結論

フィリピン現代人集団の各種同位体比のデータベースを構築する上で重要な試料を採取することができた。試料の各種同位体分析は来年度に実施する予定である。

G. 研究発表

1. 論文発表

該当なし

2. 学会発表

該当なし

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

該当なし

2. 実用新案登録

該当なし

3. その他

特になし

厚生労働行政推進調査事業費補助金
(政策科学総合研究事業 (政策科学推進研究事業))
分担研究報告書

インドネシア現代人集団のストロンチウム同位体分析

研究分担者 陀安一郎 総合地球環境学研究所・基盤研究部・教授

研究要旨：本年度は、昨年度採取されたインドネシア現代人集団のエナメル質のストロンチウム同位体分析を行った。

研究目的

戦没者遺骨の所属集団を判定するため、本年度は特に、昨年度採取されたインドネシア現代人集団のエナメル質のストロンチウム同位体分析を行った。

(^{86}Sr 、 ^{86}Kr)、H1 (^{87}Sr 、 ^{87}Rb)、H2 (^{88}Sr)

Integration time (積分時間) : 4 s

Number of cycles: 50 per block

Number of blocks: 1

B. 研究方法

研究協力者の申と協力し、試料準備前処理を東京大学で行った後、ストロンチウム同位体比の測定は、地球研に設置されている MC-ICP-MS Neoma (Thermo Fisher Scientific) を用いて行った。本分析の測定条件等は、下記の通りである。

【測定条件等】

測定システム：マルチコレクター誘導結合プラズマ質量分析計 (Neoma MC-ICP-MS)

サンプリングコーン： Normal

スキマーコーン： H

Resolution: Low

ファラデーカップ： L4 (^{82}Kr)、L3

(^{83}Kr)、L2 (^{84}Kr 、 ^{84}Sr)、L1 (^{85}Kr)、C

標準物質の Sr 同位体比值に関しては、表 1-1 を採用した。

表 1-1 標準物質の Sr 同位体比值

標準物質	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
NIST SRM 987	0.71025

MC-ICP-MS 測定で得られた $^{88}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 値は、安定同位体比の自然存在比である 8.375209 で規格化した。未知サンプルのストロンチウム同位体比は、NIST SRM 987 の推奨値 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.71025$; Faure and Mensing, 2005) で標準化した。Faure, G. and Mensing, T.M. (2005) Isotope Principle and Applications. 3rd Edition, John Wiley & Sons, Hoboken.

(倫理面への配慮)
該当しない

C. 研究結果

インドネシア現代人集団のエナメル質の
ストロンチウム同位体分析の測定結果を、
表 1 - 2 に示す。

id	type	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	SE				
IDN001	enamel	0.706823	0.000007	IDN029	enamel	0.706862	0.000007
IDN002	enamel	0.708499	0.000006	IDN030	enamel	0.707726	0.000005
IDN003	enamel	0.707588	0.000007	IDN031	enamel	0.708206	0.000006
IDN004	enamel	0.708054	0.000006	IDN032	enamel	0.708024	0.000005
IDN006	enamel	0.706950	0.000007	IDN033	enamel	0.707052	0.000006
IDN007	enamel	0.707459	0.000006	IDN034	enamel	0.707234	0.000007
IDN008	enamel	0.708193	0.000006	IDN035	enamel	0.708428	0.000007
IDN009	enamel	0.706353	0.000007	IDN036	enamel	0.707498	0.000005
IDN010	enamel	0.708488	0.000008	IDN037	enamel	0.708184	0.000006
IDN011	enamel	0.705909	0.000007	IDN038	enamel	0.706967	0.000007
IDN012	enamel	0.707578	0.000006	IDN039	enamel	0.706741	0.000009
IDN013	enamel	0.708292	0.000007	IDN040	enamel	0.708002	0.000008
IDN014	enamel	0.708553	0.000006	IDN041	enamel	0.706635	0.000007
IDN015	enamel	0.708804	0.000005	IDN042	enamel	0.707918	0.000009
IDN016	enamel	0.707123	0.000007	IDN043	enamel	0.707512	0.000008
IDN017	enamel	0.706298	0.000007	IDN044	enamel	0.707451	0.000008
IDN018	enamel	0.707257	0.000008	IDN045	enamel	0.706960	0.000006
IDN019	enamel	0.707438	0.000007	IDN046	enamel	0.707985	0.000008
IDN020	enamel	0.708821	0.000008	IDN047	enamel	0.708368	0.000009
IDN021	enamel	0.708393	0.000008	IDN048	enamel	0.707752	0.000007
IDN022	enamel	0.708857	0.000007	IDN049	enamel	0.706602	0.000006
IDN023	enamel	0.708440	0.000006	IDN050	enamel	0.706990	0.000007
IDN024	enamel	0.707221	0.000008	IDN051	enamel	0.706843	0.000012
IDN025	enamel	0.707795	0.000006	IDN052	enamel	0.707864	0.000007
IDN026	enamel	0.706840	0.000009	IDN053	enamel	0.707127	0.000008
IDN027	enamel	0.709191	0.000007	IDN054	enamel	0.707708	0.000007
IDN028	enamel	0.708847	0.000007	IDN055	enamel	0.708213	0.000010
				IDN056	enamel	0.708025	0.000009
				IDN057	enamel	0.707153	0.000009
				IDN058	enamel	0.706790	0.000007
				IDN059	enamel	0.707120	0.000007
				IDN060	enamel	0.707436	0.000010
				IDN061	enamel	0.706245	0.000008
				IDN062	enamel	0.707738	0.000018
				IDN063	enamel	0.707703	0.000012
				IDN064	enamel	0.708100	0.000008

IDN065	enamel	0.708106	0.000006	IDN100	enamel	0.706233	0.000008
IDN066	enamel	0.706872	0.000007	IDN101	enamel	0.707108	0.000005
IDN067	enamel	0.708106	0.000006	IDN102	enamel	0.706783	0.000007
IDN068	enamel	0.709723	0.000009	IDN103	enamel	0.709238	0.000006
IDN069	enamel	0.709985	0.000008	IDN104	enamel	0.707181	0.000008
IDN070	enamel	0.707379	0.000012				
IDN071	enamel	0.707811	0.000007	D. 考察			
IDN072	enamel	0.707276	0.000008	研究代表者の米田と共に、測定結果につ			
IDN073	enamel	0.706675	0.000008	いて検討を行った。この結果については、他			
IDN074	enamel	0.705808	0.000007	の同位体比の測定結果とともに米田の分担			
IDN075	enamel	0.706628	0.000008	研究報告書（上記）にて報告した。			
IDN076	enamel	0.707447	0.000014				
IDN077	enamel	0.706696	0.000008	E. 結論			
IDN078	enamel	0.706497	0.000009	インドネシア現代人集団のエナメル質の			
IDN079	enamel	0.706663	0.000008	ストロンチウム同位体分析を行った。来年			
IDN080	enamel	0.705929	0.000008	度はフィリピンおよび中部太平洋の現代人			
IDN081	enamel	0.706894	0.000007	集団のストロンチウム同位体分析を行う予			
IDN082	enamel	0.705672	0.000008	定である。			
IDN083	enamel	0.706981	0.000008				
IDN084	enamel	0.707281	0.000008	G. 研究発表			
IDN085	enamel	0.707115	0.000008	1. 論文発表			
IDN086	enamel	0.707274	0.000008	なし			
IDN087	enamel	0.706995	0.000008				
IDN088	enamel	0.706825	0.000007	2. 学会発表			
IDN089	enamel	0.709734	0.000009	なし			
IDN090	enamel	0.709669	0.000009				
IDN091	enamel	0.705673	0.000009	H. 知的財産権の出願・登録状況			
IDN092	enamel	0.707173	0.000009	1. 特許取得			
IDN093	enamel	0.706180	0.000008	なし			
IDN094	enamel	0.706163	0.000009				
IDN095	enamel	0.706940	0.000008	2. 実用新案登録			
IDN096	enamel	0.706298	0.000007	なし			
IDN097	enamel	0.708781	0.000007				
IDN098	enamel	0.707553	0.000010	3. その他			
IDN099	enamel	0.707498	0.000012	なし			

厚生労働行政推進調査事業費補助金
(政策科学総合研究事業(政策科学推進研究事業))
分担研究報告書

歯エナメル質ストロンチウムおよびコラーゲンを処理するための簡易前処理装置の設計

研究分担者 覺張隆史 金沢大学・古代文明・文化資源学研究所・准教授

研究要旨：エナメル質からのストロンチウムの単離、および歯根部からコラーゲンを抽出するための可搬式自動前処理装置の試作機の設計を変更し、新たに試作した。

研究目的

戦没者遺骨における所属集団判定のためには、大量の検体を測定に供する必要がある。このため本研究では、測定に先立つ前処理の迅速化を試みる。

B. 研究方法

令和6年度に作成したエナメル質からのストロンチウムの単離するための可搬式自動前処理装置をもとに、歯根部からコラーゲンを抽出するための試作機を設計した。

(倫理面への配慮)

該当しない

C. 研究結果

令和6年度にエナメル質からストロンチウムを単離するための可搬式自動前処理装置の試作機を設計・製造した(図1)。この装置はペリスタポンプで3種類の溶液(純水、pH4.5酢酸バッファー、3.5M硝酸)を攪拌容器に導入し、順次試料と反応させることができる。エナメル質粉末を容器に装填した後、純水と酢酸バッファーによる洗浄、硝酸による脱灰を順次行い、硝酸溶液をストロンチウム分離カラムに導入する。金沢大学から東京大学に運搬して、標準物質を用いた実験を行ったところ、Sr回収率が不十分になる事象が確認されたので、その現認を究明し、排水槽部分の設計変更を行った。この改良と合わせて、より多くの脱灰溶液が必要となるコラーゲン抽出用の処理

機能を追加するために新たな試作機を設計した。

また調査地でのwi-fi環境の悪化や携帯破損によるBluetooth使用ができなくなる可能性を考慮して、通信操作に加えて、装置単体でもコントロールできるようにジョイコン機能追加を行った。

D. 考察

ストロンチウム抽出用可搬式自動前処理装置の再設計および試作を行ったため、マニュアル操作との比較実験を実施することができなかった。また、コラーゲン抽出用可搬式自動前処理装置の動作確認も不十分である。令和8年度に予定していた海外での動作確認から、東京大学を中心とした日本国内での実資料への応用に計画を変更することで、令和8年度中に可搬式自動前処理装置によるストロンチウム抽出とコラーゲン抽出の動作実験およびデータの再現性を確認し、作業プロトコルを完成することができる見込みである。

E. 結論

より動作が確実になるための改良を施した可搬式自動前処理装置として、予備的な動作確認を実施した。令和8年度に標準物質を用いた実験を実施して、遺骨収集事業の現場で使用するためのプロトコルを確立できる見込みである。

G. 研究発表

1. 論文発表

無し

2. 学会発表

無し

(発表誌名巻号・頁・発行年等も記入)

H. 知的財産権の出願・登録状況

(予定を含む。)

1. 特許取得

金沢大学内にて知的財産権の出願申請中

2. 実用新案登録

無し

3. その他

無し

厚生労働行政推進調査事業費補助金
(政策科学総合研究事業(政策科学推進研究事業))
分担研究報告書

複数集団の帰属判別に係る統計的手法の検討

研究分担者 澤藤 匠 総合研究大学院大学・統合進化科学研究センター・助教

研究要旨：PNG 現代人と現代日本人のそれぞれを 1 集団とみなして、両者の間を分別するモデルについて検討を行った。この結果、Python の scikit-learn パッケージを用いるのが最適と考えられることが明らかになった。

A. 研究目的

戦没者遺骨における所属集団判定のために、各種同位体比のデータに基づいて日本人集団と外国人集団とを分別可能なモデルを構築することは重要である。本研究では、このモデル構築のために不可欠な日本人および外国人の集団判別分析に係る統計的手法について検討する。

B. 研究方法

昨年度に取得された PNG 現代人集団のデータベースと、先行研究で報告された考古学遺跡から得られた同位体データの比較を通じ、帰属集団判定に有効な統計学的手法を検討する。

また研究データの管理と統計解析ならびにアプリケーション開発に必要なワークステーションの環境を整備する。

C. 研究結果

昨年度構築した PNG 現代人集団データベースと、先行研究で報告された考古学遺

跡の人骨・動物骨の同位体データを比較した。後者については、同一個体で複数同位体比を測定している事例が少なく、欠損データについて何らかの補完が必要であることが分かった。PNG 現代人集団でも欠損データの割合は無視できず、分析に供した 121 検体のうち、炭素・窒素・硫黄・酸素・ストロンチウムの 5 元素全ての同位体データが得られたものは、現時点では 63 検体(52.1%)にすぎず、欠損データの補完は極めて重要である。令和 4～6 年度に厚労省委託研究「戦没者遺骨の年代測定及び所属集団判定における同位体分析の活用に係る研究事業」で報告された確実戦没者についても、炭素・窒素・硫黄・酸素の 4 元素についてデータがそろっている検体は 46 検体であり、データの拡充が引き続き必要であると判断された。

各種統計解析ツールを検討し、Python の scikit-learn パッケージが有望であることを見出した。具体的には、指定した統計量(平均値、中央値、最頻値など)を用いる方法や、K 近傍法による方法、多重代入法による補

完などが可能である。このうち、K 近傍法とランダムフォレスト法を用いたモデルが有用であることが明らかになり、Python スクリプトによってコード化した。来年度、確実戦没者のさらなるデータが追加された時点で、PNG 現代人集団などとの判別を試みて、本方法の有効性を検討する。

D. 考察

こうしたデータに関して、複数の安定同位体比の変数をもとに帰属する出身地を判別するためのロバストかつスケーラブルな枠組みを検討した。その結果、Python の scikit-learn パッケージが有望であることを見出し、K 近傍法とランダムフォレスト法を用いたモデルを構築した。

E. 結論

2026 年度は、追加データをもとに本格的な解析に進む予定である。

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし