
1章

何がわかるの同位体？

同位体を使って何がわかるでしょうか？
同位体が教えてくれる〇〇のひみつを紹介します。

はちみつの測定から、研究へ

中原 聖 乃
(総合地球環境学研究所)

私は同位体を専門とする研究者ではなく、文化人類学を専門とする研究者です。同位体研究についての体験や測定については書けませんが、私の趣味にも同位体測定を役立てることができることをお伝えしようと思います。

いまははちみつブームだそうです。私もブームに乗って、旅行や出張の折には、当地のはちみつを探し回ります。お土産専用のお店よりも、スーパーマーケットや市場で求めます。そこには、現地の人々が日常的に使うものがあり、生活の息遣いを感じられるからです。ブラジルでは、ドイツ系移民でブラジルの文化人類学の父と言われる研究者を輩出した家系の農家を訪れ、はちみつを購入しました。どこの場所のはちみつも、花の種類が違うからでしょうか、独特な香り立つはちみつを楽しんでいます。

フィリピン出張でもいつものようにはちみつを求めました。しかし、これが偽物だったのです。

学会も終わり、トライシクルの中で運転手にはちみつを探していると告げると、ちょうど通りかかった市場に、はちみつを売っている店がある、ということです。寄り道してもらうことにしました(図1)。その市場には、新鮮な野菜や雑貨があり、フィリピンの人の台所、という感じを受けました。探し始めてほどなくすると、あるお店の奥の棚にはちみつがありましたので、購入することにしました。多少、茶色っぽい気がしたが、ペットボトルに売られているのがまたなんとも庶民らしく、つい買ってしまったのです(図2)。

ところが今回は、リュック一つで出張に came ました。はちみつは液体物なので、手荷物ではなく、預け入れ荷物として預けなくてははいけません。はちみつを入れるバッグがありません。そこ

で、もうひとつリュックサックを購入し、はちみつを日本に持ち帰りました。

これほど素朴なボトルに入ったはちみつは初めてだったので、フィリピンの人たちの暮らしを思い描きながら、眺めていたのですが、帰国後一か月たっても一向に固まる気配がないのです。ふつうはちみつと言ったら、寒い冬には結晶化が進み、スプーンでガリガリ削って食べなければいけないのですが…。もしや「混ざりもの入りのはちみつ」



図1. 所狭しと雑多なものが並べられた市場の様子



図2. 棚の奥にひっそりと売られたはちみつ

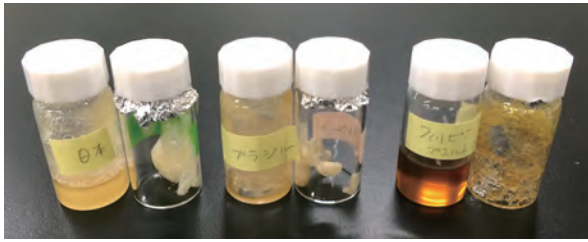


図3. 左から、今回測定した日本産はちみつ (A) 乾燥前・乾燥後、ブラジル産はちみつ (B) 乾燥前・乾燥後、フィリピン産はちみつ (C) 乾燥前・乾燥後

か？ と思い、手元にあった日本産とブラジル産のはちみつとともに、地球研の安定同位体分析機器で同位体分析をしてもらいました (図3)。

数日後結果が出ました。結果は「混ざりもの入り」どころか、ほとんど「混ざりもの」のはちみつでした (図4)。

思い返すと、棚への陳列の仕方がかなり不自然でした。おかしいと思っても本当のところはわかりません。同位体測定ならば、明確に数値化され、真偽が出ます。それが同位体測定なのです。

先ほど、私は文化人類学を専門とする研究者だと書きました。いま私は、マーシャル諸島における米国による核実験の被害にあったコミュニティの生活再建について研究しています。核実験で

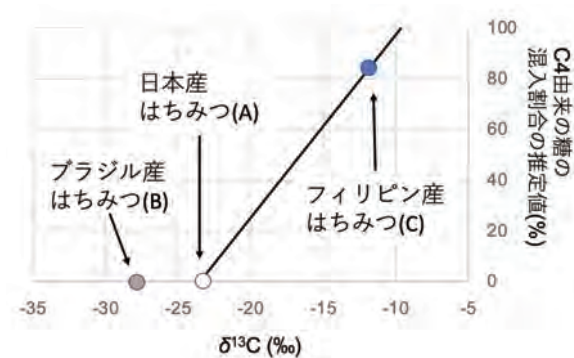


図4. はちみつを生産する植物は「C3植物」と呼ばれ、炭素同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$ 値) が低い (図の左の方) のに比べ、混ぜ物に使われるトウモロコシやサトウキビは「C4植物」と呼ばれ、それら由来の糖の炭素同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$ 値) は高い (図の右の方) という特徴があります。今回の分析結果では、80%以上が「混ぜ物」だと考えられました (正式には AOAC 国際規格 Method Number, 998.12 に基づく測定法が必要です。今回は簡易的な分析によりました)。

人々が被ばくしただけではなく、放射能に汚染された故郷に戻れない人もいます。現在は被害に対して補償金が支払われているものの、補償金への過度の依存や、生活習慣病の蔓延、アルコールやドラッグ問題など、核実験の間接的影響が続いています。私はこのような影響を、主に現地の人びととインタビューを行って得られた「語り」によって明らかにしようとしています。ただ、この語りは、単なる思い違いや、あるいはそうであったならよかったのに、という気持ちから、結果的に間違った情報も含まれてしまいます。私は間違った情報は情報としての価値がないとは思っておらず、むしろ間違っただけで記憶しているその理由も含めての「人びとの記憶」だと捉えています。しかしながら、科学的に認められた方法論に裏付けされたデータによって、そうした「語り」とは違う種類の情報が得られれば、それは人々の現状をより多方面から説明することにつながるのではないかと考えます。補償金の額によって、あるいは、核実験の影響を受けた人とそうでない人との違いによって、食生活や体に取り込まれた化学物質は違うのかもしれませんが、人びとの体にはその痕跡が残ってはいないのでしょうか。

「昔は、捕っても捕っても魚がいなくならなかった」このような語りを単なるノスタルジーと片付けず、科学的なデータで裏付けることはできないのでしょうか。

趣味から始まった同位体測定への興味。いまは、自身の研究に生かす方法を模索しています。

著者情報



中原聖乃 総合地球環境学研究所
オープンチームサイエンスプロジェクト研究員。専門は文化人類学。

(2020年3月31日掲載)

(2020年4月7日改版)

物質に含まれる時間軸

— 生まれ年のワイン —

石川 尚人
(海洋研究開発機構)

「古いものには価値がある」というのは本当でしょうか？「もの」によって、あるいは価値を見出す「ひと」によって、答え方は様々かもしれません。ワインはその代表例と言えるでしょう。いわゆる「ヴィンテージワイン」のラベルには、原材料となるブドウの収穫年が書かれています。良質なブドウが収穫された年のワインほど、あるいはじっくり時間をかけて熟成されたワインほど、高い価値がつくことが多いようです。そして、それを逆手に取った様々な偽造ワインが、残念ながら市場に多く流通しているようです。

それでは、ワインの作られた年を科学的に推定し、ヴィンテージワインが本物かどうかを鑑定する方法はあるのでしょうか？ 答えは「イエス」です。ワインの成分に含まれる放射性炭素 (^{14}C) 濃度を測定する、というものです。 ^{14}C は、米ソ冷戦時代の 1950~60 年代に、大気核実験を通じて大気中へ大量に放出されました。1963 年ようやく大気核実験が禁止される頃には、大気中の二酸化炭素 (CO_2) に含まれる ^{14}C 濃度は、自然状態のおよそ 2 倍まで増えていました。その後、植物や海による吸収などを通じて、大気 CO_2 の ^{14}C 濃度は減り続けています。

ブドウは、光合成を行って大気 CO_2 を吸収しています。そして、大気 CO_2 の ^{14}C 濃度は、そのままブドウ (ワイン) の ^{14}C 濃度に反映されます。先に述べたように、大気 CO_2 の ^{14}C 濃度は年ごとに決まっているので、ワインの ^{14}C 濃度が分かれば、そのワインがいつ収穫されたブドウからでき

ているかが分かるはずですが。

著者は「1969 年フランス・ボルドー産」というラベルのついたワインの ^{14}C 濃度を測定しました。このワインは、著者の恩師である陀安一郎先生が地球研の教授に就任した際に「生まれ年ワイン」として、弟子を含む関係者一同から贈られたものです。お祝い会で参加者がテイステイングを楽しんだのち、空になったボトルの底に沈んでいた残渣をかき集め、乾燥させ、加速器質量分析計という機械で試料の ^{14}C 濃度を測定しました。

その結果を図 1 に示します。横軸に西暦年、縦軸に ^{14}C 濃度 ($\Delta^{14}\text{C}$) をとっています。白と黒のプロットで示したのは、1950 年から現在まで、世界中のいろいろな場所で測定された、大気 CO_2 の $\Delta^{14}\text{C}$ 値です (Hyodo *et al.* 2006)。1950 年代から 60 年代半ばにかけて急激に上昇し、その後ゆる

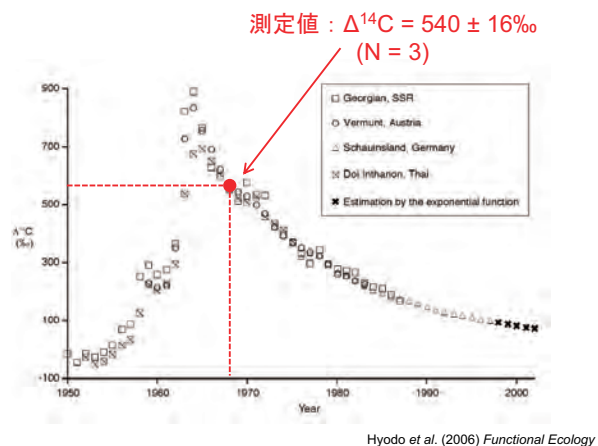


図 1. 西暦年と大気 CO_2 の ^{14}C 濃度 ($\Delta^{14}\text{C}$) との関係 (白と黒のプロット)。Hyodo *et al.* (2006) *Functional Ecology* より。赤い丸プロットが「生まれ年ワイン」の測定結果。

るやかに減少する傾向が見てとれます。そして、気になる試料の $\Delta^{14}\text{C}$ 値は $540 \pm 16\%$ (N=3) と測定されました。これは、図1では赤い丸のプロットの場所に位置しています。この値を、年代測定のモデルにあてはめてみると「1968年9月から1970年9月である確率が97%以上」という結果が弾き出されました。すなわち、贈られたワインの生産年は 1969 ± 1 年と推定され、ワインのラベルに書かれた年の信憑性はかなり高い、と結論づけられました。大気 ^{14}C 濃度の年ごとの変化率が大きい1960年代のワインだったからこそ、ここまで正確に推定できたと考えられます。

さて、冒頭の問い「古いものには価値があるか？」について、ワインが本当に古いかどうかは、 ^{14}C で分かると言えそうです。しかし、古いワインには本当に価値があるのでしょうか？ その答えは、残念ながら ^{14}C では分かりません。自分でワインを飲んで、自分で確かめるしかないのでしょうか。はたして、陀安教授にとって「生まれ年ワイン」はおいしかったのでしょうか？ 答えが気になる方は、地球研に行ってぜひ聞いてみてください。

文献

Hyodo F, Tayasu I, Wada E (2006) Estimation of the longevity of C in terrestrial detrital food webs using radiocarbon (^{14}C): how old are diets in termites?. *Functional Ecology* 20:385-393.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2006.01081.x>

著者情報



石川尚人（海洋研究開発機構生物地球化学プログラム研究員）2011年京都大学大学院理学研究科修了、博士（理学）。2011年京大大学生態学研究センター博士研究員、2013年日本学術振興会特別研究員（海洋研究開発機構）、2016年日本学術振興会海外特別研究員（スイス連邦工科大学チューリッヒ校）などを経て2017年より現職。

(2020年3月31日掲載)

髪の毛の安定同位体比からわかる食生活

陀安一郎
(総合地球環境学研究所)

1. はじめに

私たち人間が生きていくためには、食べ物を食べなければいけません。言うまでもないことですが、私たちの体は食べ物によって作られています。私たちの食べ物は、野菜や果実などの植物、キノコなどの菌類、肉や魚などの動物といったようにいろいろあります。しかし、これらはすべて植物が太陽エネルギーを用いて光合成した産物を出発点としています。つまり、私たちの体はもとをたどせば、

二酸化炭素→植物→(動物)→人間
という経路をたどっています。生物の体を構成する元素は、バクテリアからカビ・キノコ、植物、動物、もちろん私たち人間も含めてほぼ共通であり、水素 (H)、炭素 (C)、窒素 (N)、酸素 (O)、リン (P)、イオウ (S) といった元素に加え、カルシウムやマグネシウムといったミネラル類で

す。私たちは、食事からこれらの元素を取り入れているので、私たちも生態系の「食物網」のつながりのなかに位置づけられます。特に、「軽元素同位体」の項で述べる、炭素・窒素同位体比の図を使いますと、食べ物の傾向がわかります。

2. 日本人の髪の毛の同位体比

私たちの体の同位体比を測定するにあたって、よく使われるのが、髪の毛や爪です。これらは、ケラチンというタンパク質を主成分とし、刻々と成長することからサンプリングもしやすい組織です。少し前のことになりますが、2007年から2010年に地球研のプロジェクト「日本列島における人間—自然相互関係の歴史的・文化的検討(プロジェクトリーダー湯本貴和教授)」の一環で日本の47都道府県から1305名の方の髪の毛をいただいて分析しました。その髪の毛の炭素・窒素

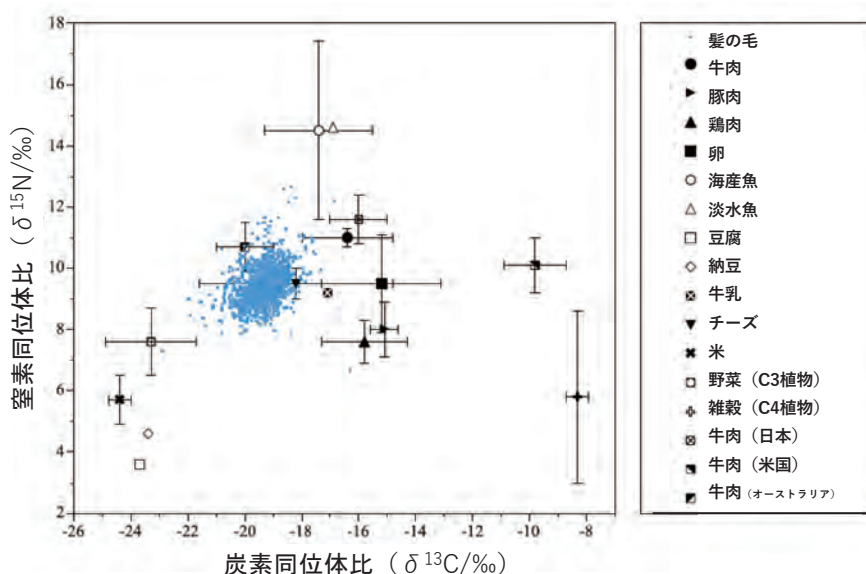


図1. 1,305名の日本人の髪の毛および食べ物の同位体比。食べ物の同位体比には髪の毛に対する栄養濃縮係数(「軽元素同位体」の項目参照：髪の毛の場合は、 $\delta^{13}\text{C}$ については2.5‰、 $\delta^{15}\text{N}$ については4.1‰)を加えてあるため、単純に比較することができます(Kusaka et al. 2016を改変)。

同位体比を測定したところ、全体としては

$$\text{炭素同位体比 } (\delta^{13}\text{C}) = -19.4 \pm 0.6\%$$

$$\text{窒素同位体比 } (\delta^{15}\text{N}) = -9.4 \pm 0.6\%$$

となりました。

次に、いくつかの食べ物の同位体比と比較しましょう。実際にどのような同位体比を示すかは、同じ食材でも採集された産地、植物では肥料の与え方、動物では餌や飼育方法によっても異なりますので、必ずしもこれが一般的とは言えません。ここでは、滋賀県在住の私（陀安）の食卓にのぼる食材、および近辺で購入出来る食材に加え、文献値も併せて記載しました。図1では、各自の髪の毛の同位体比（青い点）に対して、それぞれの「食べ物候補」のうち、より近い方に位置するものの影響を、より強く受けていると言えます。

この図1では限られた食べ物のデータしかありませんが、一般的に「左下」（窒素同位体比と炭素同位体比が低い）の方向に行くほど「植物性タンパク（C3植物）」の影響を受けており、「上」（窒素同位体比が高い）の方向に行くほど「海産魚」の影響を受けており、「右」（炭素同位体比が高い）

の方向に行くほど「トウモロコシなどのC4植物飼料を餌に育てられた肉類」の影響を受けているといえます。日本人全体としては流通が発達した社会で暮らしているため、非常に均一な分布をしていると見ることができますが、個人としてはどちらよりの傾向があることがわかります。この調査に参加していただいた方には、それぞれ「ご自身の髪の毛の炭素・窒素同位体比」の値をお伝えしましたので、ご自身の傾向がわかったと思います。

次に、年齢・性別を見てみましょう（図2）。女性においては年齢が高くなるほど炭素同位体比（ $\delta^{13}\text{C}$ ）が低くなる傾向がありました。炭素同位体比が低い食べ物は植物性タンパク（C3植物）ですので（図1）、女性は年齢が高い方ほど植物性タンパクの影響をより受けているといえます。一方、男性については、年齢の高い方で窒素同位体比（ $\delta^{15}\text{N}$ ）に幾分高い方が多くなっていました。窒素同位体比が高い食べ物は海産魚ですので（図1）、男性については年齢の高い方が、よりたくさん魚を食べておられるのでしょうか。また、男

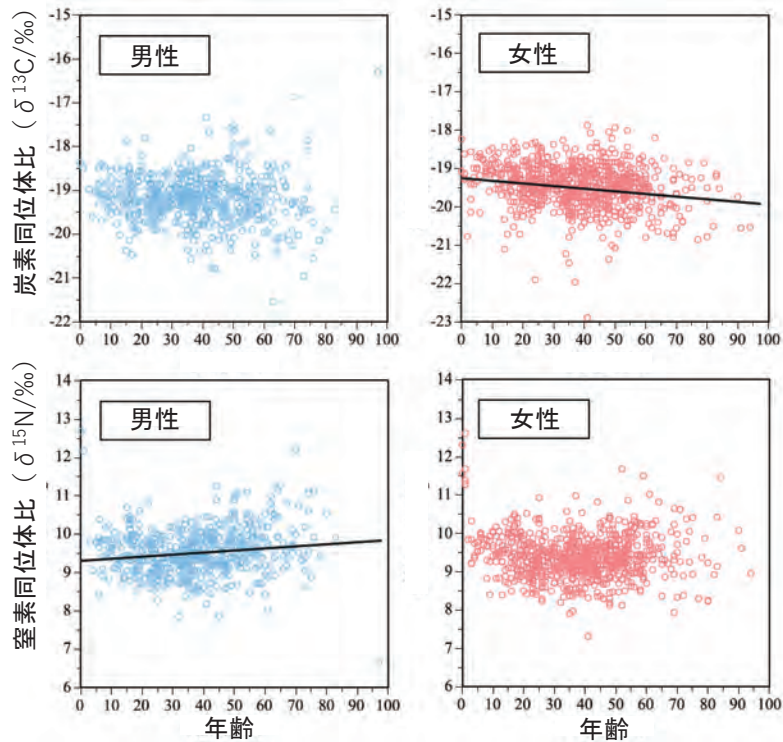


図2. 1,305名の日本人の髪の毛の年齢・性別の炭素・窒素同位体比（Kusaka et al. 2016を改変）。年齢に沿って有意な関係があるもののみ線が引いてあります。

性・女性に関わらず、乳児の方（年齢=0の線上の点）は、それより年齢の高い子どもさんに比べて高い値を示していました。これは「母乳」の影響だと考えられます。つまり、お母さんの体の窒素同位体比を反映している「母乳」を消化して体を作ると、栄養濃縮係数のために、乳児の髪の毛はお母さんの窒素同位体比よりも高い窒素同位体比になります。「軽元素同位体」の項目の図2を参考にすれば、「お母さんの体を食べている」のと同じ意味になり、窒素同位体比は仮想的な栄養段階につれて高くなっているといえます。

この研究では、髪の毛の同位体分析と同時に、「牛肉、豚肉、鳥肉、卵、海産魚、淡水魚、豆腐、納豆、牛乳、チーズ」の10種類の食事を1週間に何度食べるか？ というアンケート調査を行いました。アンケート結果と、髪の毛の窒素・炭素の安定同位体比の関係を調べたところ、「統計的に有意 ($p < 0.05$)」であるものは以下のようになりました。

炭素同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) を高くする方向の食べ物が牛肉、卵、海産魚で、低くする方向の食べ物が豆腐、納豆でした。また、窒素同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$) を高くする方向の食べ物が牛肉、海産魚で、低くする方向の食べ物が豆腐、納豆でした (Kusaka

et al. 2016)。この中でも海産魚の食事の頻度が窒素同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$) を高くする効果が一番高いという結果が出ました。

3. 国別・時代別比較

最後になりましたが、これら2007-2010年の日本人の髪の毛の炭素・窒素同位体比の値は世界的に見てどのあたりに位置するのでしょうか？

2007-2010年の調査では、数は少ないですが、韓国・モンゴル・インドの方々についても分析しましたので、図3に加筆しました。図1のまま重ねると見にくいので、平均値と標準偏差で簡略化して示しています。

インドは「左下」(窒素同位体比と炭素同位体比が低い)に位置します。これは、先ほど図1でも説明しましたように、「植物性タンパク (C3植物)」の影響が多い傾向を示します。一方、モンゴルは「左上」(窒素同位体比は高く、炭素同位体比は低い)という、先ほどは説明しなかった位置にあります。これはおそらく、内陸に位置して海産物もC4植物の影響も受けず、ほぼC3植物由来の家畜の影響を受けているからだと考えられます。韓国は、ほぼ日本と同じ位置にあります。

文献データを見ると、米国が先ほど説明した

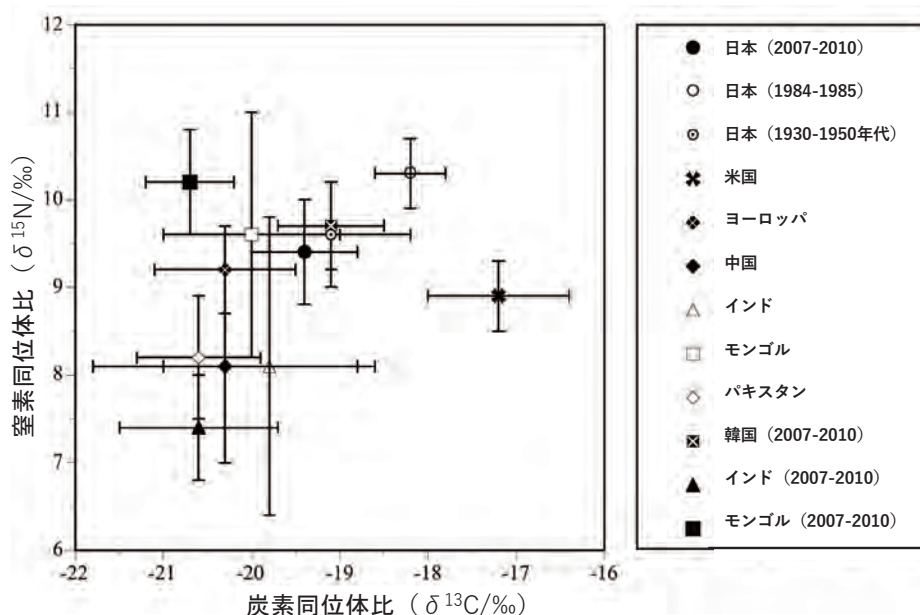


図3. 日本・韓国・インド・モンゴルの2007-2010年に採取された髪の毛のデータ（平均値と標準偏差）と、その他の文献値の比較 (Kusaka et al. 2016 を改変)。

「右」(炭素同位体比が高い)の位置にあり、「トウモロコシなどのC4植物飼料を餌に育てられた肉類」の影響が強いことがわかります。また、歴史的なデータと比較すると、1984-1985年当時の日本人のデータ(Minagawa 1992)は、より「上」(窒素同位体比が高い)の方にあり、「海産魚」の影響をより強く受けていたことがわかります。ほんの数十年でも人の食べ物の傾向は変わるもので、これは政府の統計にも出ています。

「人の髪の毛」の炭素・窒素同位体比は、健康診断のように健康状態を表すものではありませんが、個人がどのような食生活を送っているのかを大まかに判断する材料になります。それは、地球の物質循環の中で、個人として「どの位置」を占めているかを表すもので、地球の中の「私」を考える材料になるのではないのでしょうか。

文献

Kusaka, S., Ishimaru, E., Hyodo, F., Gakuhari, T., Yoneda, M., Yumoto, T. and Tayasu, I. (2016) Homogeneous diet of contemporary Japanese inferred from stable isotope ratios

of hair. Scientific Reports 6:33122.

<https://doi.org/10.1038/srep33122>

Minagawa, M. (1992) Reconstruction of human diet from $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in contemporary Japanese hair: a stochastic method for estimating multi-contribution by double isotopic tracers. Applied Geochemistry 7: 145-158.

[https://doi.org/10.1016/0883-2927\(92\)90033-Y](https://doi.org/10.1016/0883-2927(92)90033-Y)

著者情報



陀安一郎(総合地球環境学研究所研究基盤国際センター教授)1997年京都大学大学院理学研究科修了、博士(理学)。日本学術振興会特別研究員・日本学術振興会海外特別研究員を経て2002年総合地球環境学研究所助手、2003年京都大学生態学研究センター助教授・准教授、2014年より現職。

(2020年3月31日掲載)

(2020年4月7日改版)