

松阪牛・飛騨牛の安定同位体比分析

誌名	日本食品科学工学会誌 : Nippon shokuhin kagaku kogaku kaishi = Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology
ISSN	1341027X
著者名	青柳,寛司 後藤,晶子 藤野,竜也 伊永,隆史
発行元	日本食品科学工学会
巻/号	60巻3号
掲載ページ	p. 138-141
発行年月	2013年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



松阪牛・飛騨牛の安定同位体比分析

青柳寛司^{1*}, 後藤(桜井)晶子², 藤野竜也¹, 伊永隆史³

¹ 首都大学東京大学院理工学研究科

² 金沢大学理工研究域

³ 千葉科学大学危機管理学部

Stable Isotope Ratios of Japanese Beef from Matsuzaka and Hida : Implication for Chemical Discrimination of Geographic Origin of Beef

Kanji Aoyagi^{1*}, Akiko S. Goto², Tatsuya Fujino¹ and Takashi Korenaga³

¹ Department of Chemistry, Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Metropolitan University, 1-1 Minami Osawa, Hachioji, Tokyo 192-0397

² Faculty of Natural System, Institute of Science and Engineering, Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa 920-1192

³ Faculty of Risk and Crisis Management, Chiba Institute of Science, 3 Shiomi-cho, Choshi, Chiba 288-0025

Stable isotope ratios are potentially useful to discriminate the area from which plants and animals originate, and have, therefore, been applied for the chemical discrimination of the geographic origin of food materials. In this study, the isotope ratios of carbon, nitrogen and oxygen were determined for two brands of Japanese beef, Matsuzaka and Hida, in order to evaluate whether or not isotopic discrimination is applicable for beef brands. The isotope ratios of nitrogen and oxygen show similar values between the two brands, whereas that of carbon from Hida is clearly higher (by ~4%) than that from Matsuzaka. These results are consistent with the significant differences in plant species comprising the fodder and its blend ratio (e.g., C3 vs. C4) between these two brands. Thus, a distinctive isotope ratio profile could potentially be found for beef brands, which should be useful in the chemical identification or discrimination of beef brands. (Received Oct. 10, 2012; Accepted Nov. 28, 2012)

Keywords : beef, stable isotope ratios, geographic origin

キーワード : 炭素安定同位体比, 窒素安定同位体比, 酸素安定同位体比, 牛肉, 産地判別

国内で流通する牛肉の産地の明確化は、2000年代の初めに発生したBSEや口蹄疫をきっかけにして、産地表示の記載や個体識別番号などの導入がおこなわれるなど¹⁾、近年、熱心に取り組まれてきた。また、2011年の原発事故による飼料への放射能汚染問題などから、牛の産地のみならず餌とした飼料の産地にまで消費者の関心が寄せられている。これらを背景にして消費者のニーズが産地の把握や安心の担保へ向かう中で、これまでの生産者側の区別による付加価値性だけに留まらない牛肉のブランド化が各地で模索されている。

牛肉の産地の明確化は浸透しつつあるが、その一方で、高値で取引されるブランド牛への偽装や産地の誤認などの問題が後を絶たないのが現状である²⁾。これは現在のシス

テムが番号や証明書などの書類上の情報を添付する方式であることから、食肉としての処理中やその後の過程の中で、偶然、故意に関わらず情報の変更がおこなわれてしまう可能性を残しているためである。このような事態を防ぐためには、食肉として流通する過程においても変更が不可能な目印を導入することが重要かつ最善であり、近年、この目印として牛肉に保存された軽元素（炭素、酸素、窒素）安定同位体比の利用が検討されてきた。

生物の生体組織に保存された軽元素安定同位体比は、それらの生育環境（温度や湿度、摂取した食物や飲料水などの値）を反映することが知られており^{3)~7)}、農作物や畜産物、海産物などに保存された同位体比には書き換えることのできない産地の情報が含まれているといえる。既にヨーロッパを中心にして様々な食品の産地同定や表示の真贋判定に軽元素安定同位体比技術が用いられてきた^{8)~14)}。

国産の牛肉においては、中下¹²⁾が炭素と酸素の安定同位体比を利用して、国産、豪州産、米国産の牛肉が明確に

¹ 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1

² 〒920-1192 石川県金沢市角間町

³ 〒288-0025 千葉県銚子市潮見町 3

* 連絡先 (Corresponding author), aoyagi-kanji@ed.tmu.ac.jp

区別できることを示し、国内外の牛肉の判別可能性を報告した。これは牛肉の持つ同位体比が、牛の育った環境と飼料を反映するためと考えられている。日本国内においては、例えば松阪牛や飛騨牛などのブランド牛では、それぞれのブランド特有の味や食感を維持するために、飼料の種類やその配合率などが特徴的である（独特な差を持つ）ことが知られている。言い換えれば、日本国内のブランド牛は、育った天然環境に加えて、ブランドごとの飼料の違いを色濃く反映している可能性がある。そこで本研究では、地理的に比較的近い、三重県と岐阜県が産地である松阪牛と飛騨牛の2つのブランド牛について軽元素安定同位体比分析をおこない、両者の同位体的な特徴を明らかにすると共に、これらが安定同位体比を用いた牛肉の産地判別に対してどのように影響するのかを検討した。

試料および分析方法

本研究に用いた牛肉は、松阪牛6試料、飛騨牛4試料の計10試料である。試料の部位はすべてランプとして部位の違いによる相違を最小限にとどめた。松阪牛は、飼養の最長および最終期間を、三重県松阪市を中心とした規定地域で過ごした黒毛和牛の未経産雌牛であり、かつ松阪牛個体識別管理システムに登録している個体のみ限定され、三重県松阪食肉公社により厳格な管理がおこなわれている。松阪牛6試料のうち2試料（MaA-1, 2）は屠畜直前の10カ月間、また、残りの4試料（MaB-1~4）は屠畜直前22~27カ月間を松阪牛規定地域内で飼養された個体である。平成18年または19年に誕生し、平成21年10月26日に屠畜された個体を、三重県津市の松阪牛販売店において個体識別番号を確認の上、購入した。また同時に、MaB-1~4を飼養した畜産農家より、松阪牛に与えられていた飼料を入手した。飛騨牛は、飼養最長期間が岐阜県内で、かつそこで14カ月以上飼養された黒毛和種であり、日本食肉格付協会の格付で肉質等級3等級以上、歩留等級AもしくはBのものとして定義される。本研究に用いた飛騨牛4試料は、すべて雄去勢牛で20~28カ月間を岐阜県内で飼養された個体であり、うち2試料（HiA-1, 2）は同一牧場で飼養された。また、3試料（HiAとHiB）は飛騨地域、1試料（HiC）はそれ以外の岐阜県内で飼養された個体である。平成20年に誕生し、平成22年11月21日から同年12月1日の10日間に屠畜された個体を、飛騨牛販売店より購入した。購入の際には、飛騨牛等級証明書と子牛登記証明書を合わせて入手した。また同時に、飛騨牛畜産農家より、飛騨牛に与えられていた飼料を入手した。

牛肉試料は劣化を防ぐために真空パックを施して -20°C で冷凍保存した。分析の際にはフォルチ液（クロロホルム：メタノール=2：1）による脱脂工程を経たのち凍結乾燥・粉末化した。飼料試料は、牛が摂取していた状態を再現するために、脱脂工程を経ずに凍結乾燥・粉末化した。

炭素、窒素、酸素の安定同位体比測定は、各試料を元素分析計/同位体比質量分析計（EA/IRMS：Flash EA1112HT/Delta V Advantage, Thermo Fisher Scientific）に導入しておこない、1試料につき3回の分析（ $n=3$ ）の平均値を分析値とした。各元素の同位体比は、標準物質からの千分偏差（‰）として $\delta X=(R_{\text{試料}}/R_{\text{標準物質}}-1)\times 1000$ で表記される。ここでXは炭素、窒素、酸素に対して、それぞれ ^{13}C 、 ^{15}N 、 ^{18}O を表し、 $R_{\text{試料}}$ および $R_{\text{標準物質}}$ は、それぞれ各元素の測定で得られた同位体比および標準物質の同位体比（ $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 、 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 、 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ）を表す。各元素における標準物質の値は、炭素ではPeeDee層の矢石類の化石（V-PDB）、窒素では大気窒素（Air）、酸素では標準平均海水（V-SMOW）を用いた。

実験結果

松阪牛と飛騨牛、およびそれぞれの飼料の炭素、窒素、酸素の安定同位体比を表1に示した。松阪牛（6試料）と飛騨牛（4試料）の炭素同位体比はそれぞれ $-20.9\sim-21.8\%$ （平均値： -21.4% ）と $-16.8\sim-18.1\%$ （平均値： -17.1% ）であった。両者の差は平均で4.3%であり、両者間で有意な差が認められた。また、松阪牛および飛騨牛用の飼料の炭素同位体比は、それぞれ -22.5% と -17.9% であった。両者の差は4.6%であり、牛肉で見られた差を支持する結果となった。窒素と酸素の安定同位体比については、松阪牛でそれぞれ6.3~7.0%（窒素同位体比平均値：6.6%）、11.7~12.7%（酸素同位体比平均値：12.3%）、飛騨牛で5.9~6.5%（窒素同位体比平均値：6.3%）、10.7~12.5%（酸素同位体比平均値：11.6%）の値が得られ、両者の間で大きな相違は確認できなかった。また同様に飼料の同位体比でも、窒素同

表1 松阪牛と飛騨牛、および飼料の炭素、窒素、酸素の安定同位体比（ $n=3$ 分析による平均値）

		$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
松阪牛	MaA-1	-20.9	+6.9	+12.4
	-2	-21.3	+6.5	+12.1
	MaB-1	-21.5	+6.5	+12.6
	-2	-21.8	+6.8	+12.7
	-3	-21.3	+6.3	+12.3
	-4	-21.5	+7.0	+11.7
	平均値	-21.4 ± 0.3	$+6.6\pm 0.3$	$+12.3\pm 0.4$
松阪飼料		-22.5 ± 0.1	$+1.9\pm 0.4$	$+29.7\pm 0.8$
飛騨牛	HiA-1	-16.3	+6.5	+10.7
	-2	-17.2	+6.5	+11.3
	HiB-1	-16.8	+6.4	+12.5
	HiC-1	-18.1	+5.9	+11.9
	平均値	-17.1 ± 0.8	$+6.3\pm 0.3$	$+11.6\pm 0.8$
飛騨飼料		-17.9 ± 0.5	$+2.5\pm 0.1$	$+27.5\pm 0.5$

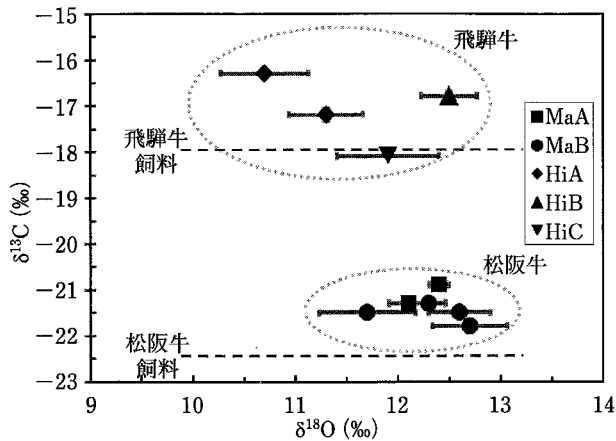


図1 松阪牛と飛騨牛の炭素・酸素安定同位体比

エラーバーは標準偏差 (1σ , $n=3$), 点線は松阪および飛騨牛用飼料の炭素同位体比.

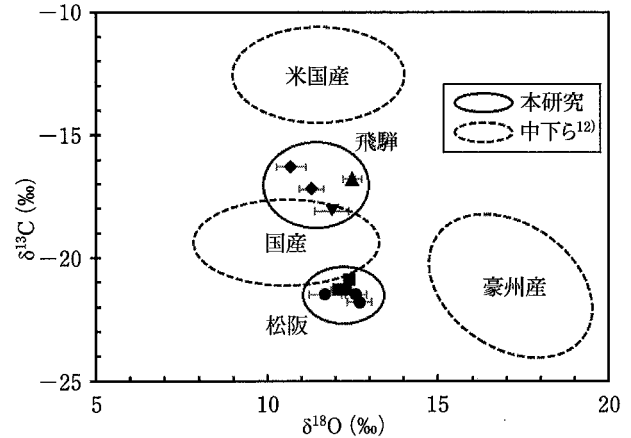


図2 本研究で得られた松阪牛と飛騨牛, および中下ら¹²⁾に報告された国産・豪州産・米国産牛肉の炭素・酸素安定同位体比

エラーバーは標準偏差 (1σ , $n=3$).

位体比がそれぞれ1.9%と2.5%, 酸素同位体比がそれぞれ29.7%と27.5%であり, 両者間で大きな差は認められなかった.

6試料を測定した松阪牛では, 異なった畜産農家で飼養された個体間で各元素の同位体比の違いは認められず, 目立った個体差も見受けられなかった. 飛騨牛の4試料では炭素と酸素の同位体比において松阪牛と比較するとやや値がばらつく傾向がみられる. 各試料の炭素, 窒素, 酸素の同位体比のばらつきには, 畜産農家の違いや地域差(飛騨地域か否か)との相関は認められなかった.

考 察

松阪牛と飛騨牛の炭素, 窒素, 酸素の安定同位体比から, 炭素同位体比で両者の間に有意な差が見られることが明らかとなった. これは, 餌である飼料の違いが強く影響をしていると考えられる. 実際, 松阪牛用の配合飼料には大麦(C3植物)が多く, 飛騨牛用にはトウモロコシ(C4植物)が目立つことが目視により確認できた. さらに両者の炭素同位体比は, 約4.6%の差を有しており, この差は牛肉の炭素同位体比の差を支持する(図1).

肉牛の飼養については各畜産農家が良質の肉質を維持するために独自の工夫をしていることが知られている. このため, 各農家で与える飼料の種類や配合は異なっており一概に地域間や農家間を比較することは難しい. 松阪牛を管理する三重県松阪食肉公社¹⁾(HP: <http://www.mie-msk.co.jp/index.html>)によれば, 松阪牛は「稲わら, 大麦, ふすま, 大豆粕などを中心に与えながら肥育され」ており, 「ビールを与え食欲増進を図る」こともあると述べられている. 飛騨牛は岐阜県全域とその飼養範囲も広く, 松阪牛と比べて飼料の選択は畜産農家の意思に任される所が大きいようであるが, 岐阜県が公開している牛の生産情報Cow Bell²⁾(HP: <http://www.pref.gifu.lg.jp/sangyo-koyo/nogyo/>)

chikusanshinko/cowbell/)に掲載されている情報によれば, 多くの農家がトウモロコシ, 麦(大麦, 小麦), ふすま, 大豆(油かす, 皮なども含む)などが混合した配合飼料に, 稲わら, スーダン, チモシーなどの粗飼料を組み合わせ使用している. これらのことから, 本研究で見られた松阪牛と飛騨牛の炭素同位体比の差異は, 飼料に含まれる植物の組成の違いを強く反映していると考えられる. また, 比較的一様な飼料を用いて飼養されている松阪牛に対して飛騨牛で炭素同位体比のばらつきが大きいのは, 畜産農家間での飼料の選択やその配合などの違いが大きいこと, 多様な種類の飼料を併用していることに起因するものであると考えられる.

なお, 本研究で得られた松阪牛の炭素, 酸素同位体比は, 中下ら¹²⁾が報告している国産牛(松阪牛と山形牛)の値とは一致せず, 炭素同位体比において2%程度の差が生じた(図2). 中下ら¹²⁾の用いた国産牛には山形牛が含まれているため, 単純に比較することはできないが, この差異は, 試料の採取年度が異なること, あるいは分析対象とした牛肉の部位が異なることなどに起因する可能性が考えられる. 一方で, 同報告にある外国産(アメリカ産とオーストラリア産)の牛肉の同位体比は, 本研究で分析した松阪牛と飛騨牛のそれとは, やはり大きく異なる値を示す. このことは, 国産のブランド牛の同位体比が, それぞれのブランドで差別化されたとしても, その差は, 国産牛と外国産牛を識別するうえで, 大きな影響を与えないことを示唆する.

本研究の結果から, 松阪牛と飛騨牛の識別において炭素安定同位体比は利用可能な手段の一つであることが明らかになった. 炭素同位体比の違いは主に餌となる飼料の種類や配合によるものと考えられることから, 飼料の管理が徹底され, ブランド毎に独自の飼養方法を採用しているブラ

ンド牛では、独特の同位体組成を示すことが示唆される。

要 約

国内に流通する国産ブランド牛肉の産地判別を念頭に、2つのブランド牛(松阪牛と飛騨牛)の炭素、窒素、酸素の安定同位体比を調査した。その結果、炭素安定同位体比において両者の間で明確な差が認められ、その差の大きさは両者の飼料の炭素同位体比の差とほぼ一致した。このように、松阪牛や飛騨牛に限らずブランド牛では、それぞれの生育環境に加え、ブランドごとで管理されている飼料の同位体比を強く反映することが予想される。

本研究は JST 産学共同イノベーション化事業(研究代表者:伊永隆史)および文部科学省科学研究費基盤研究(C)(研究代表者:伊永隆史)の助成を一部受けて、おこなわれた。

文 献

- 1) 牛の個体識別のための情報の管理及び伝達に関する特別措置法, 平成 15 年 6 月 11 日法律第 72 号.
- 2) 池澤威郎, 食品トレーサビリティ時代の「産地ブランド」戦略——次産品のブランド化が抱える問題点——, *オイコノミカ*, **43**, 19-44 (2006).
- 3) DeNiro, M. J. and Epstein S., Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, **42**, 495-506 (1978).
- 4) DeNiro, M. J. and Epstein S., Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, **45**, 341-351 (1981).
- 5) Minagawa, M. and Wada, E., Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ animal age. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, **38**, 1135-1140 (1984).
- 6) Bowen, G. J., Wassenaar, L. I. and Hobson, K. A., Global

application of stable hydrogen and oxygen isotopes to wildlife forensics. *Oecologia.*, **143**, 337-348 (2005).

- 7) Podlesak, D. W., Torregrossa, A., Ehleringer, J. R., Dearing, M. D., Passey, B. H. and Cerling, T. E., Turnover of oxygen and hydrogen isotopes in the body water, CO_2 , hair, and enamel of a small mammal. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, (2007). Doi: 10.1016/j.gca.2007.10.003
- 8) Kelly, S., Heaton, K. and Hoogewer, J., Tracing the geographical origin of food: The application of multi-element and multi-isotope analysis. *Trends food sci. technol.*, **16**, 555-567 (2005).
- 9) Franke, B. M., Gremaud, G., Hardorn, R. and Kreuzer, M., Geographic origin of meat-elements of an analytical approach to its authentication. *Eur. Food Res. Technol.*, **221**, 493-503 (2005).
- 10) Karoui, R. and De Baerdemaeker, J., A review of the analytical methods coupled with chemometric tools for the determination of the quality and identify of dairy products. *Food Chem.*, **102**, 620-640 (2007).
- 11) Heaton, K., Kelly, S. D., Hoogewer, J. and Woolfe, M., Verifying the geographical origin of beef: The application of multi-element isotope and trace element analysis. *Food Chem.*, **107**, 506-515 (2008).
- 12) 中下留美子, 鈴木彌生子, 赤松史一, 小原和仁, 伊永隆史, 安定同位体比解析による国産・豪州産・米国産牛肉の産地判別の可能性. *日本食品科学工学会誌*, **55**, 191-193 (2008).
- 13) 中下留美子, 鈴木彌生子, 一宮孝博, 伊永隆史, 生元素安定同位体比解析による養殖ウナギの産地判別の可能性. *日本食品科学工学会誌*, **56**, 495-497 (2009).
- 14) 鈴木彌生子, 中下留美子, 河邊 亮, 北井亜希子, 富山眞吾, 炭素・酸素安定同位体比分析による青森県産および中国産リンゴの産地判別の可能性. *日本食品科学工学会誌*, **59**, 69-75 (2012).

引用 URL

- i) <http://www.mie-msk.co.jp/index.html>
- ii) <http://www.pref.gifu.lg.jp/sangyo-koyo/nogyo/chikusachikusa/cowbell/> (2012.08.10)

(平成 24 年 10 月 10 日受付, 平成 24 年 11 月 28 日受理)