

# 食べ物と安定同位体

## —牛肉の産地偽装が見破られるのはなぜ?—

NAKAGAKI Ryoichi

中垣良一

金沢大学医薬保健研究域 教授

FUKUYOSHI Shuichi

福吉修一

金沢大学医薬保健研究域 助教

すべての生き物は、食べることにより生命を維持している。生体を構成する諸元素中に微量ながら含まれる安定同位体 ( $^{13}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$ ,  $^{18}\text{O}$ ) を通して生体成分を眺めると、食物の生産地や動物の食生態などが見えてくる。安定同位体がどれくらい生体成分中に含まれているかは、生き物の生活歴を反映している。微量の安定同位体の含有量を調べることで、食品生産地の偽装などを見破ることができる。

### 1 はじめに

近年、食の安心と安全について関心が高まっており、いくつもの食料品について産地偽装のニュースが報道されている。農林水産省では偽装防止への取り組みとしてDNA検査などを奨励している。しかしながら、DNA検査だけでは産地偽装を見破ることはできない。例えば、同じ親牛から生まれた子牛でも松坂で育てられれば「松坂牛」となり、佐賀で育てられれば「佐賀牛」の名のもとで市場に出される。DNA検査からは「生まれ」がわかるだけで、「育ち」の違いを明らかにするためには何を調べればよいのだろうか。食料品を元素レベルから眺め、生体成分中の重同位体の含有量を測ってみると、その答えが得られる<sup>1)</sup>。

### 2 安定同位体

原子核は陽子と中性子から構成されており、陽子数と中性子数の和を質量数と呼ぶ。原子番号が同じでも質量数が異なるものを同位体と呼び、放射壊変を起さないものを安定同位体と呼ぶ。生体を構成する多くの元素には、複数の安定同位体が存在する。例えば、炭素は殆どが質量数12の同位体から構成されているが、約1%だけ質量数13の安定重炭素同位体が含まれる。表1に生体を構成する物

表1 安定同位体の天然存在比 (%)。

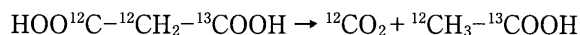
水素	$^1\text{H}$ 99.985	$^2\text{H}$ 0.015
炭素	$^{12}\text{C}$ 98.90	$^{13}\text{C}$ 1.10
窒素	$^{14}\text{N}$ 99.634	$^{15}\text{N}$ 0.366
酸素	$^{16}\text{O}$ 99.762	$^{17}\text{O}$ 0.038 $^{18}\text{O}$ 0.200

(ここで、天然存在比が最大のものを軽同位体と呼ぶ。)

質のうち重要な4元素の安定同位体の天然存在比を示す<sup>2)</sup>。

安定同位体は原子質量が異なるだけでなく、その物理的・化学的性質が異なる。水の融点は0.0℃であるのに対して、重酸素重水 ( $\text{H}_2^{18}\text{O}$ ) の融点は0.28℃、重水素重水 ( $^2\text{H}_2\text{O}$ ) の融点は3.82℃である。また、重同位体を含む結合の生成と消失の速度にも同位体の影響が現れる。

マロン酸 ( $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ ) は、熱や酵素の作用により炭素-炭素結合が切れて二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ ) と酢酸 ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) に分解する。マロン酸の一つのカルボキシ炭素 ( $\text{COOH}$ ) を $^{13}\text{C}$ で置き換えると、重炭素と軽炭素の結合が若干切れにくくなり、下の反応が起こりやすい。



### 3 光合成と安定重炭素同位体

光合成は、植物が光のエネルギーを利用して空気中の二酸化炭素と水から有機物を合成する反応である。イネ・ムギなどの多くの植物 ( $\text{C}_3$ 植物<sup>\*1)</sup>) では、二酸化炭素を固定する際、軽同位体を含むものを選択的に取りこむ傾向があるため、 $^{13}\text{C}$ の割合が大気中よりも低くなる。一方、トウモロコシ・アワ・ヒエなどの植物 ( $\text{C}_4$ 植物<sup>\*2)</sup>) では、二酸化炭素を取りこむ際の同位体分別効率が低いので、 $\text{C}_3$ 植物に比べて重炭素同位体の含有量が多くなる<sup>3)</sup>。

### 4 食物連鎖と生体濃縮

生体内の代謝反応でも重同位体を含む化合物は反応性が低い。つまり、食物により取りこまれた重同位体は軽同位体に比べ、体外に排泄されにくい体内に蓄積されていく。同じ肉牛でも与えられる餌によって体内に蓄積される重同位体の割合が異なる。問題としている牛肉中の安定重同位体の含有量が基準値からどれくらい隔たっているかを同位体偏差<sup>\*3)</sup>と呼ぶ。 $^{13}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$ ,  $^{18}\text{O}$ の同位体偏差 ( $\delta$ ) を三

角形のレーダー・チャートに表示すると、生産国の識別が可能になる(図1)。国産、オーストラリア産、アメリカ産の牛肉の安定重炭素同位体の量を比べると、アメリカ産のものは他国産と比べて重炭素を多く含むことがわかる。これは、トウモロコシのような重炭素の割合が多い餌で育てられたためである<sup>1,4)</sup>。独自の飼育法(餌など)によってブランド化をはかっている畜産物では、安定同位体の分析が産地偽装を見破るための有効な手段になる。

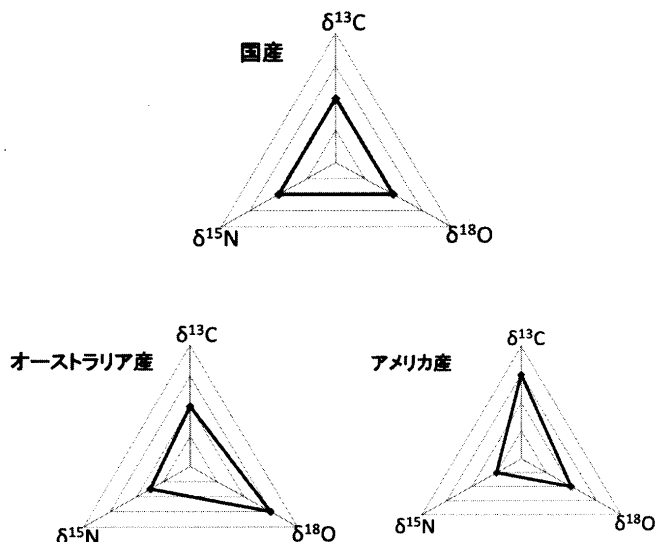


図1 生産国別に見た牛肉中の安定重同位体偏差(文献4のデータに基づいて、改変表示)。

海洋生物の場合、食物連鎖のネットワークのどこに位置しているかによって、重窒素同位体の含有量が違ってくる。植物プランクトン→動物プランクトン→小型魚類→大型魚類の順に重窒素含有量が上昇している。

## 5 ブランド米の産地

コシヒカリなどのブランド米の産地を識別するためには、どのような分析法が適用できるだろうか。重炭素と重窒素以外に重酸素の同位体偏差が測定できる。お米に含まれている重同位体の偏差以外に、炭素量や窒素量を用いることができる<sup>4)</sup>。

植物の $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ は、気候条件や生育土壌の性質などを反映している。一方、重酸素偏差 $\delta^{18}\text{O}$ は低緯度地方から高緯度地方にかけて低くなる。軽水( $\text{H}_2^{16}\text{O}$ )は重水( $\text{H}_2^{18}\text{O}$ )より蒸発しやすく、高緯度地方では赤道付近に比べて気温が低いため影響が大きく現れ、 $\delta^{18}\text{O}$ が小さくなる。また、蒸発した重水( $\text{H}_2^{18}\text{O}$ )は軽水と比べて液化しやすく、ただちに雨となって降り注ぐため内陸部まで届きにくい。作物に含まれる安定重同位体の含有量は、生育場

所により異なるため、産地偽装を見破ることができる。

## 6 おわりに

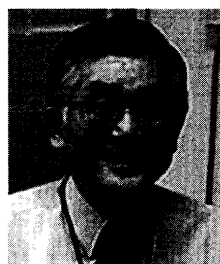
生活環境によって生体内の安定重同位体の含有量が変化するのには家畜や栽培植物に限られたことではなく、我々人間についても同様の現象が観察される。人体の成分(毛髪、ひげ、コラーゲンなど)を分析すると、その人の食生活を推測できる。日本国内に住み、主食としてお米を食べ、同時に日常的に魚介類を多く食べている場合、重炭素同位体偏差は低めになり、重窒素同位体偏差は高めになる。これに対して、同じ日本人であっても、長期間米国に滞在して、トウモロコシを原料とする糖質を多く摂取し、牛肉を多く食べていると、重炭素同位体偏差は高めになり、重窒素同位体偏差は低めになる。古代人の骨に付着したコラーゲンについて、同位体分析を行うと古代の食生活を推定できる。

## 参考文献

- 1) たとえば、朝日新聞、2009年6月9日の記事「歴史も産地も元素でわかる」、「産地どう突き止める?」、「わずかな質量差を比べて識別」。
- 2) 理化学辞典、長倉三郎、井口洋夫、岩村 秀、佐藤文隆、久保亮五 編、第5版、岩波書店、1998、付録9。
- 3) 南川雅男、吉岡崇仁、生物地球化学、培風館、2006、p.81。
- 4) 伊永隆史、鈴木彌生子、中下留美子、化学 2008、63(11)、12。

## 用語解説

- \*1  $\text{C}_3$ 植物：空気中の二酸化炭素が固定される際に、炭素数3のホスホグリセリン酸が生成される植物。
- \*2  $\text{C}_4$ 植物：空気中の二酸化炭素が固定される際に、炭素数4のオキサロ酢酸が生成される植物。分類学上同じイネ科に属しているも、光合成過程の違いから $\text{C}_3$ 植物と $\text{C}_4$ 植物の区別がなされる。
- \*3 同位体偏差：標準物質中と試料物質中の重同位体含有量の差を表す指標。



なかがき・りょういち

筆者紹介 [経歴] 1978年東京大学大学院理学系研究科博士課程修了、1997年5月金沢大学薬学部教授、2008年4月から金沢大学医薬保健研究域教授。[専門] 光化学、同位体化学、磁気化学。[趣味] 濫読、外国語学習。[連絡先] 920-1192 金沢市角間町(勤務先)。



ふくよし・しゅういち

筆者紹介 [経歴] 2001年徳島大学大学院薬学研究科博士後期課程修了、2007年4月金沢大学自然科学研究科助教、2008年4月から医薬保健研究域助教。[専門] 有機化学、磁気化学。[趣味] 酒、息子と遊ぶ。[連絡先] 920-1192 金沢市角間町(勤務先)。