

総説

安定同位体利用技術

同位体比等による農産物の原産地および
施肥・栽培履歴の推定

中野明正

Reprinted from
RADIOISOTOPES, Vol.57, No.3
March 2008



Japan Radioisotope Association

<http://www.jrias.or.jp/>

総 説



安定同位体利用技術

同位体比等による農産物の原産地および施肥・栽培履歴の推定[†]

中野明正

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 野菜茶業研究所
470-2351 愛知県知多郡武豊町字南中根 40-1

Key Words : stable isotope, micro element concentration, geographic origin, cultivation regime, cultivation system, agricultural product, $\delta^{15}\text{N}$

1. はじめに

「健康で長生きしたい」というのは人類永遠の願いであろう。日常生活でそれを具現化できる可能性のあるひとつの手段として、安全で信頼の高い農産物や食品を摂取したいという消費ニーズへとつながっているのであろう。このような国民のニーズに対応して食品安全基本法などの法整備がなされるとともに、研究対応としては科学的な検査の実施に資する技術開発が行われてきた。

本稿では特に農産物の信頼性確保について、原産地表示や施肥・栽培履歴等の判別に利用される化学分析について、特に同位体比と微量元素の活用事例について紹介する。

2. 原産地の推定

2.1 輸入米への対応

日本の農産物や食品の原産地判別に関する研究は1980年代後半から報告されるようになって

たが、本格的な研究は1996年以降である。この背景には特に1995年の新食糧法の施行によってコメの品種、産地、生産年の表示が義務づけられるようになり、これらを確認する手法の開発が必要とされるようになったからである。コメを中心とする穀類の研究は、農林水産省のパイオニア特別研究「穀粒の一粒判定技術の開発」で行われた¹⁾。コメの産地判別についてはICP質量分析計で測定したホウ素(B)とストロンチウム(Sr)の同位体比から外国産との判別が可能となることが明らかにされた。Bの同位体比からオーストラリア産米が判別でき、Srの同位体比からオーストラリア、中国、ベトナム、カリフォルニア産米が判別できることが示された。また、国内産米についてもSrの同位体比は、西日本と東日本で値が異なることが示された。

2.2 輸入野菜への対応

その後、米の輸入については一時ほどの騒ぎは無くなったが、今度は野菜で外国からの農産物の輸入量が増加した。特にネギなどの生鮮野菜等について、中国からの輸入が急増した。国産野菜価格よりも安価で流通し、国内生産が圧迫されたことから平成13年にはセーフガードが暫定発動された経緯がある。輸入量の増加に伴い、偽装表示の増加も想定されたことから、

[†] “Applications of Stable Isotopes in Life Sciences”.
Estimation of Geographic Origin and Cultivation Regime of Agricultural Products Using Stable Isotope Ratio and Concentration of Micro Elements.
Akimasa NAKANO : National Institute of Vegetables and Tea Science, 40-1, Minami-Nakane, Take-toyo-cho, Chita-gun, Aichi Pref. 470-2351, Japan.

研究としてもこれに対応して野菜ではネギに対応した行政特別研究「微量元素分析及び分子マーカーの利用による農産物の品種・原産地判別手法の開発」が行われた²⁾。

このような農家への直接的な打撃への対応のみならず、一般に日本の消費者は国産の野菜を志向する傾向があるため、より広く原産国についても適切な表示が求められるようになった。この流れを受けて、ネギへの対応の後には、2002年より開始された先端技術を活用した農林水産研究高度化事業の中の研究領域設定型研究において、食品の原産地表示判別技術が課題として設定され、「野菜・茶およびウメの原産地表示判別技術の開発」が行われた。いずれも無機元素組成や安定同位体比などを活用して問題となる外国産との判別が可能となることが示されている。

2.3 原産地判別の今後

表1には現在までの原産地判別に関する主な成果を整理した³⁾⁻⁸⁾。ネギをはじめタマネギ、ダイズ(丹波黒)については、分析法のマニュアルが作成され、現場対応が可能な状態にある⁹⁾。今後も判別に関する技術開発は、農林水産省の委託プロジェクト「安全で信頼性、機能性が高い食品・農産物供給のための評価・管理技術の開発」などにより、行政ニーズの高い品目について優先的に取り組まれ、随時マニュアル化していく方向にある。これらの成果は、検査時の科学的な根拠となるほか、これらの成果を発表することによる偽装の予防効果も期待される。この分野の研究では新たな指標の開発及び簡便に分析できる手法の開発が求められている。

原産地判別技術は今後、消費者の農産物への安全安心志向の高まり、また、原油価格の変動、異常気象などに伴う農業生産の変動などの要因により影響を受けると考えられる。「国産農産物=安全、外国産=危険」といういわゆる“国産神話”については議論の余地があるが、農産

物の輸送に必要な石油消費を見える形に表現できるフードマイレージ^{*1)}で考えると多くの輸入品は近所の農家が生産した農産物よりは石油エネルギーを消費している可能性が高く、より環境に負荷をかけている可能性がある。また、バーチャルウォーター^{*2)}の考え方では、中国など水の乏しい地域での水を使って、ほとんど水の野菜(野菜の多くは80~90%以上が水である)を日本へ輸入していることも、ある意味、環境負荷を助長していることになりかねない。このような意味でより環境保全的と考えられる国産品を消費しようとする消費者に対してはそれを保証する情報も必要となってくる。今後、農産物が作られた履歴は、ますます購入を判断する上での重要な情報となり、付加価値として評価されてくるであろう。

以上は、専ら原産地に関する判別技術について紹介したが、以下では農産物の栽培法についての判別技術について述べる。

3. 栽培法の推定

作物の栽培法や施肥法には様々なものがある。通常の圃場で栽培されるいわゆる慣行栽培、先端技術を駆使した養液栽培、土壌栽培と養液栽培の折衷的な栽培法である養液土耕栽培(かん水同時施肥栽培)、さらには、農産物の安全や生産過程に関心の強い消費者に根強い人気のある有機栽培等である。これらのどの栽培法やどの施肥法で生産した農産物がおいしいかといった、品質の問題は別として、そもそもこれらを見分けることは可能なのだろうか?

以下では、窒素安定同位体比を活用した栽培法や施肥履歴判別技術の可能性について解説す

*1) フードマイレージ: 輸入相手国別の食料輸入量(t) × 輸出国から我が国までの輸送距離(km)により計算される。環境負荷を相対的に評価する指標ともなりうる。

*2) バーチャルウォーター: 食料輸入などをその生産に必要な水資源の輸入として考えること。大量の食料輸入は、食料そのものの輸入に加え、大量の水を輸入していることでもある。

表1 原産地判別に関する主要な成果

分析対象	判別手法	報告年度	雑誌名	
コメ	無機元素組成	2000	分析化学	
	$^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2001	Anal.Sci.	
	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2002	Soil Sci. Plant Nutr.	
	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2005	日本土壤肥料学会誌	
野菜	ネギ	無機元素組成	2003	分析化学
		$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	進行中	
	タマネギ	無機元素組成	2006,2007	J.Agric.Food Chem.
		$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	進行中	
	ブロッコリ	無機元素組成	2004	園芸学雑誌別冊
	カボチャ	無機元素組成	進行中	
	サトイモ	無機元素組成	進行中	
パプリカ	同位体比+無機元素組成	進行中		
ダイズ	無機元素組成+アントシアニン	2004	食科工	
ウメ	無機元素組成+核の形状	2004	園芸学雑誌別冊	
茶	主要成分(アミノ酸類等)	1981	茶研報	
	カテキン類+キサントニン類	2002	J.Agric.Food Chem.	
	無機元素組成	2001	J.Agric.Food Chem.	
	同位体比+無機元素組成	2004	茶研報	
キノコ	シイタケ	無機元素組成	2002	菌茸
オレンジジュース	カロテノイド	1999	J.Agric.Food Chem.	
ワイン	水の $^2\text{H}/^1\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$	1988	J.Agric.Food Chem.	
	エタノールのメチル基の $^2\text{H}/^1\text{H}$	1995	J.Sci.Food Chem.	
	同位体比+無機元素組成			
	フラボノイド		J.Agric.Food Chem.	
コーヒー	無機元素組成	2002	J.Agric.Food Chem.	
	$^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$	2001	J.Applied.Geochem.	

木幡の文献を参考に加筆修正。

るとともに、今後のこれらの判別技術の展望について述べることとする。

3・1 様々な栽培法とその特徴

栽培法とは人間が望ましい方向へ作物を制御する手法である。“節水栽培法”等、個別の技術を示す場合もあるが、有機栽培法など個々の栽培技術ではなく、耕起、播種、施肥、かん漑、

防除、収穫などの栽培管理体系全体を示す場合もある。以下には、農産物の安全性や消費者の信頼性の面から関心の高いと思われる栽培法を中心に、それぞれの栽培法による農産物の判別法について述べる。まずは、種々の栽培法について概観しておく。

3・1・1 慣行栽培

栽培法は時代とともに変化する。新しい技術

が普及することにより、慣行の技術体系は部分的に置き換わっていく。現時点での日本における慣行栽培に相当するものは、近代農業が達成した化学肥料及び化学合成農薬を主体とした、生産性を重視した生産体系ということになる。現在、石油資源に依存したこれらの資材からの脱却や、生態系への配慮の重要性が高まり、減化学肥料や減農薬への取り組みがなされている。いずれ、これらの新しい取り組みが“慣行栽培”となっていくであろう。

3・1・2 養液土耕栽培（かん水同時施肥）

土耕栽培において適正な追肥を行うと生育が安定する。この精密な追肥を装置化により簡易に管理する手法として養液土耕（かん水同時施肥：fertigation）がある。fertigationは、fertilizer（肥料）とirrigation（かん水）を組み合わせた造語であり、培地としては土壌を使い、水に肥料を溶かし込んでそれらを同時に与える手法である。単位施肥量あたりの生産性が向上すると報告があり環境保全的な栽培法として、また施肥管理が簡略化できるなど省力的な栽培法として普及が進んでいる。

3・1・3 養液栽培

solution culture 又は、soiless culture と呼ばれる。基本的には、養液を作物に与え生産する栽培法である。また、原則として土壌を用いない栽培法である。1970年代から、容器に培養液をためて循環や通気により根に酸素を供給する湛液水耕の実用化が多く行われ普及が進んだが、現在ではその面積の伸びは停滞している。また、薄い膜として養液を流す NFT (nutrient film technique) の実用化研究が行われた。培地としてロックウールを用いる養液栽培も開発され、現在我が国では湛液水耕栽培を上回っている。生産物について、土壌を用いた栽培に比べ栄養成分が劣ると言われる場合もあるが、通常の品質成分は慣行栽培と同等であり、品質が優る場合も多数ある。

3・1・4 有機栽培

「安全・安心なモノ」を生産するにとどまら

ず、農村の環境・景観や生物多様性を保全あるいは創造し、遠くから運ばれてくる飼料や肥料よりも地域資源を循環利用し、生産者と消費者の信頼関係を構築する、総合的なシステムが広い意味での有機農業である。狭い意味では、無農薬・無化学肥料・無抗生物質の栽培方法により「安全・安心なモノ」を生産することを有機農業としている。更に、法律としては、有機農産物は「植付前2年以上、永年作物では収穫前3年以上合成農薬、化学肥料を施用していない圃場で生産されたもの」ということになっている。近年ますます消費者の関心が高まっている農産物である。

3・1・5 特別栽培

特別栽培農産物については、「有機農産物および特別栽培農産物に係る表示ガイドライン」が制定・改正され、2004年4月から施行されるようになった。この改正のポイントは、化学合成農薬又は化学肥料の片方だけを減らした、いわゆる“片減”を特別栽培農産物に含めなかった点にある。つまり、慣行栽培に対して化学合成農薬の使用回数を50%以下に、化学肥料の使用量を50%以下にして栽培した農産物であり、環境保全型農業の推進を目指している。施肥の面から言えば有機と慣行の間に位置する施肥法で生産された農産物である。これについては、2007年3月に改正があり、従来の「化学合成農薬の使用回数を5割以上減らす」部分が「節減対象農薬を5割以上減らす」と改正された。これまでは、特別栽培農産物と表示するには有機農産物 JAS 規格使用可能な農薬であっても、使用回数を5割以上減らす必要があったが、改正後はこのような農薬は節減対象農薬から除外されたため、その必要がなくなり、有機 JAS 基準との整合性が取られた形となった。

このような様々な栽培法や施肥法があるが、これらの管理が適切に行われているか否かの情報を消費者に提供するには、まずは、管理に関する記帳を適切に行うことである。これに加え、科学的、客観的な指標に基づき迅速に疑わしい

農産物を判別する技術が必要とされる。

3・2 栽培・施肥履歴による窒素安定同位体比の違い¹⁰⁾

3・2・1 窒素安定同位体比

施肥履歴判別の発端は、有機農産物の判別である。“安全・安心、健康にも良い農産物”へのニーズが高まり、有機農産物がいわばシボルの存在として祭りあげられた。このような状況にあって、筆者は、まず、有機農産物の品質を評価する必要があると考え、無機成分を中心に慣行栽培との差異を検討した。その結果、有機農産物は、慣行農産物に比べ、必ずしも高品質ではないとの結果が得られた。しかし、未利用資源を有効に利用したことを保証するという観点から、有機栽培を行った農産物が何らかの形で科学的に判別される必要性が無いわけではないと考えた。そこで、有機農産物を化学肥料で栽培した農産物と見分ける目的で、窒素の安定同位体自然存在比 ($\delta^{15}\text{N}$ 値) の測定を試みた。

窒素は空気の約8割を占め、ガスの形で N_2 として存在している。そのほとんどである99.63%は質量数が14の ^{14}N である。しかし、その中に0.366%とわずかの割合であるが、質量数15の ^{15}N が含まれている。これから取り上げる $\delta^{15}\text{N}$ 値は、試料の ^{15}N と ^{14}N の比(R sample)と、標準試料のその比(R standard)から、 δ 値 = $[\text{R sample}/\text{R standard} - 1] \times 1000$ (%)で求められる値である。ちなみに、窒素の場合の標準試料は大気である。 $\delta^{15}\text{N}$ 値は生態学や農学の分野で窒素の動態の解析に活用されている。一般に化学合成された窒素肥料は、ハーバー・ボッシュ法^{*3}に基づき、空気中の窒素が使われるため、標準試料である大気との差は小さく、0%に近くなる。一方、堆肥化された資

材中の窒素は、堆肥化過程でアンモニア揮散や脱窒において窒素の同位体分別が生じ、重窒素の濃縮が生じるため、 $\delta^{15}\text{N}$ 値が化学肥料に比べ高い値になる。資材により異なるが、完熟堆肥では+20%にまで上昇する。

総じて言うと、肥料の $\delta^{15}\text{N}$ 値は農産物の $\delta^{15}\text{N}$ 値に反映される。したがって、化学肥料を吸収した農産物は0%に近い値となり、有機質肥料由来の窒素を吸収した農産物は+20%になるものもある。しかし、土壌や培地の影響や施肥法等により、どのように農産物の $\delta^{15}\text{N}$ 値が影響を受けるかは明らかになっていない。また、前述したように、農業も多様化し栽培方法も様々なものがある。これらの栽培法を $\delta^{15}\text{N}$ 値で判別できないかということも新たなテーマとして浮上した。

以下に、筆者らが行った一連の成果から、施肥などの栽培法の判別に生産物の $\delta^{15}\text{N}$ 値を利用する試みについて紹介する。

3・2・2 有機茶の判別

最初に茶を例に、有機栽培茶(有機茶)と慣行栽培茶(慣行茶)の違いについて明らかにした事例を紹介する。対象とした地域は茶どころ静岡のなかでも、有機茶の栽培が盛んな北遠地域で、そこから入手した荒茶について検討した。特に、慣行茶と有機茶を同一評価基準で評価するために荒茶の取引価格についても合わせて注目した。価格については、平均すると慣行茶が4665円/kgなのに対し、有機茶が4610円/kgとなり慣行茶で高くなった。荒茶価格は、茶商による総合評価が反映されていると考えられるが、有機茶は必ずしも高い評価が得られるわけではなかった(図1)。実際、アミノ酸などの成分を分析しても有為な差は認められなかった。しかし、窒素安定同位体比質量分析計により $\delta^{15}\text{N}$ 値を測定したところ、慣行茶では+4.2%、有機茶では+6.8%となり有意な差が認められた¹¹⁾。 $\delta^{15}\text{N}$ 値が+5%以下の場合、有機茶である可能性は低く、詳細に検査する対象とすることが示唆される。

*3 ハーバー・ボッシュ法：高温・高圧で窒素に水素を反応させることで、アンモニアを生産する方法。窒素肥料生産をはじめとし、窒素化合物を生産する重要な方法。

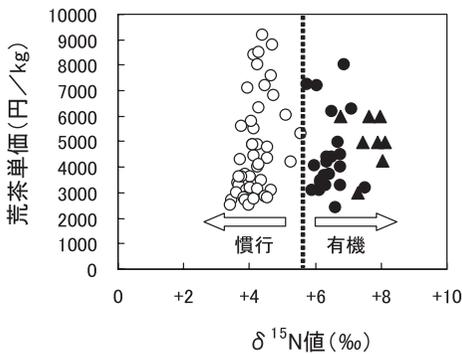


図1 有機茶の判別事例 荒茶価格と $\delta^{15}\text{N}$ 値の関係
 ●▲：有機茶（▲は上記の20年以上長期にわたり萱などの有機物を投入し続けている圃場）、
 ○：慣行茶

3・2・3 有機農産物市場管理への $\delta^{15}\text{N}$ 値の利用

有機 JAS 認証を受けた果菜類と、スーパーマーケットにおいて購入した同じ種類の有機 JAS 認証を受けていない果菜類について品質を調査し、同様に $\delta^{15}\text{N}$ 値を分析した。5種の果菜類（トマト、キュウリ、ナス、シシトウ、カボチャ）を分析した結果、無機元素組成については、有意な差がある特定の元素は無かった。有機農産物はミネラルが豊富であるとする報告もあるが、ICP 発光分析により得られた結果から、必ずしもそうではないことが示された。しかし、供試した5種類の果菜類の $\delta^{15}\text{N}$ 値は、すべてにおいて、有機農産物の値が表示の無いものに比べ高くなった¹²⁾。茶同様、作物種を超えて有機農産物で $\delta^{15}\text{N}$ 値が高くなることが明らかとなった。有機農産物の認証において、現行では検査員が聞き取りで行うといった手法が取られるが、このような調査を数値的に保証するために、 $\delta^{15}\text{N}$ 値が使用できる可能性がある。すなわち、有機農産物と称する農産物の $\delta^{15}\text{N}$ 値がある値（例えば+5.0‰）を下回った場合、それが有機農産物で無い可能性が考えられ、詳細に検査する対象とする、という使い方が考えられる¹³⁾。

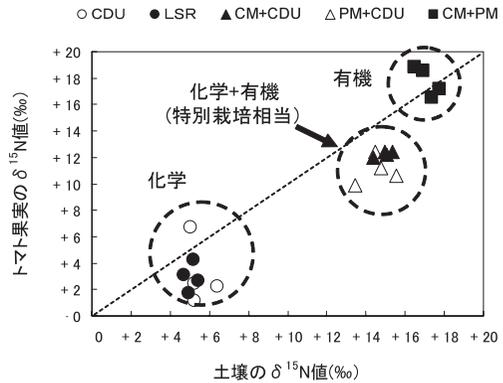


図2 栽培土壌とトマト果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値との関係
 ○：CDU (化学肥料 CDU 化成)，●：LSR (化学肥料：効性肥料)，▲：CM+CDU (有機 (牛糞堆肥) + CDU (化学肥料))，△：PM+CDU (有機 (鶏糞堆肥) + CDU (化学肥料))，■：CM+PM (牛糞堆肥 + 鶏糞堆肥)

3・2・4 特別栽培農産物の $\delta^{15}\text{N}$ 値

トマトの隔離床栽培において、5種類の施肥区（CDU 化成肥料を与えた CDU 区，低硫酸根緩効性肥量を与えた LSR 区，窒素の想定必要量の半量ずつを CDU と牛糞堆肥で与えた区を CM+CDU 区，同様に CDU と鶏糞堆肥で与えた区を PM+CDU 区，牛糞堆肥及び鶏糞堆肥のみを与えた区を CM+PM 区）を設け年2作，4連作を行った。収量の経年変化，トマト果実の糖度，無機成分組成，土壌と果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値を測定した¹⁴⁾。

化学肥料と堆肥施用で収量における有意な差は認められなかった。果実糖度及び無機成分含量においても顕著な差は認められなかった。以上の結果からは、堆肥施用がトマトの収量，糖度，無機成分含量を増加させるという結論を導くことは困難であると考えられた。一方で，化学肥料及び堆肥の $\delta^{15}\text{N}$ 値は，土壌と果実の双方の $\delta^{15}\text{N}$ 値に反映され，土壌と果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値の間には高い相関が認められた ($R^2=0.89$) (図2)。ここでも，堆肥施用したものと化学肥料施用したものとを分ける閾値を設け， $\delta^{15}\text{N}$ 値を用いた有機農産物判別の可能性が考えられた。

この実験で注目すべき点は，慣行施肥の半量

を有機質肥料で置き換えた場合、それにより生産されたトマトの $\delta^{15}\text{N}$ 値が化学肥料区と有機肥料区の間を取ることである。これは、現在、多くの県で取り組まれている特別栽培農産物に相当するものを判別できる可能性を示唆している。生産物の窒素安定同位体比のみから、基準値を明確に定義することは困難であるが、施設生産など土壌からの肥料成分が溶脱しない条件において、完熟堆肥を連用した場合、特別栽培農産物は、化学肥料農産物 (+3%) と有機農産物 (+18%) の間の値 (+12%) 程度になると考えられ、これらの値が判断基準になる。

1960年以降の高度化した農業は化学肥料を中心とした施肥が普及した。その過程で生じた種々の問題を解決するアンチテーゼとして有機農業が位置づけられてきた。そのため、有機か無機かが、いわば、0か1かというデジタル的発想で仕切られていたように思う。しかし、現実的で重要な取り組みは、その中間に位置するような、例えば0.5に相当する環境保全型農業であり、この部分を積極的に評価する必要がある。このような農法の判別にアナログ的な発想を導入できる面でも $\delta^{15}\text{N}$ 値は評価されるべき指標となりうる。

3・2・5 養液土耕や養液栽培の $\delta^{15}\text{N}$ 値

養液土耕は、少量の液肥を希釈しながらかん水時に施用する方法である。そのため、綿密な施肥管理が可能であり、特に高品質な生産物が求められる果菜類において導入が進みつつある。また、慣行施肥に比べ肥料効率が高いため、環境保全型農業を推進する上でも重要な技術の一つである。更に、装置が比較的安価であるため、省力的でかつ低コスト化が可能な技術として、経営面からも評価されている。この養液土耕において、施用窒素量を減少させた場合の果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値を測定した¹⁵⁾。この実験の結果からは、日々の適切な窒素量が植物体に与えられる場合、生産される果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値は、化学肥料の値に近い0%に近づくことが示された。逆に施肥量が減少すると、 $\delta^{15}\text{N}$ 値は土壌の $\delta^{15}\text{N}$ 値に近づ

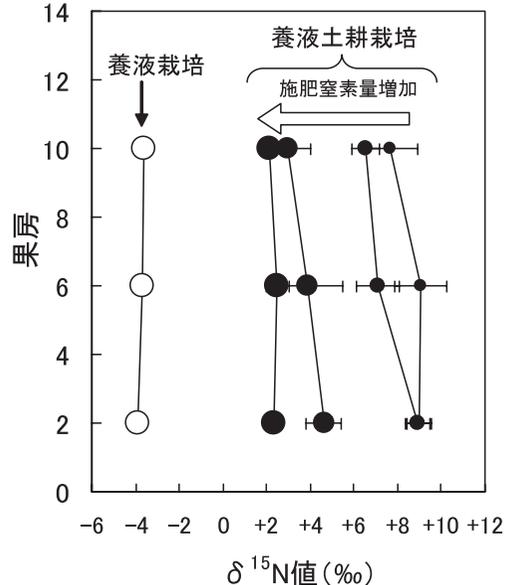


図3 栽培法がトマト果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値に与える影響

●：無機養液27mg/日/株、●：無機養液41mg/日/株、●：無機養液54mg/日/株、●：無機養液81mg/日/株、○：養液栽培81mg/日/株。

くように高くなることが明らかとなった(図3)。

更に、養液栽培における $\delta^{15}\text{N}$ 値についても検討した。ここでは、施肥法として施肥量の削減が期待できる量管理法を検討した。これは1日に植物体が必要とする肥料を毎日与え、培養液に過剰の肥料成分が残存しないように制御する手法である。本報告では、将来的な排出規制を想定して、養液中の硝酸性窒素及びリンの濃度を10ppmに抑えるように設定した。この結果は、養液栽培で生産されたトマトは0%以下の値を取ることを示し、これは植物体への窒素の供給源が化学肥料もしくは、0%以下の値を取る地下水に限られていることを示唆するものであった。

述べてきた結果の概要についてまとめると、有機栽培、特別栽培、養液土耕栽培、養液栽培等の栽培法や施肥法の判別が、 $\delta^{15}\text{N}$ 値によりある程度可能であるとの結論が導かれる。

更に、種々の実験結果から詳述すると生産物の $\delta^{15}\text{N}$ 値は、有機肥料(牛糞堆肥など充分発酵が進んだもの、土耕) > 有機肥料(なたねか

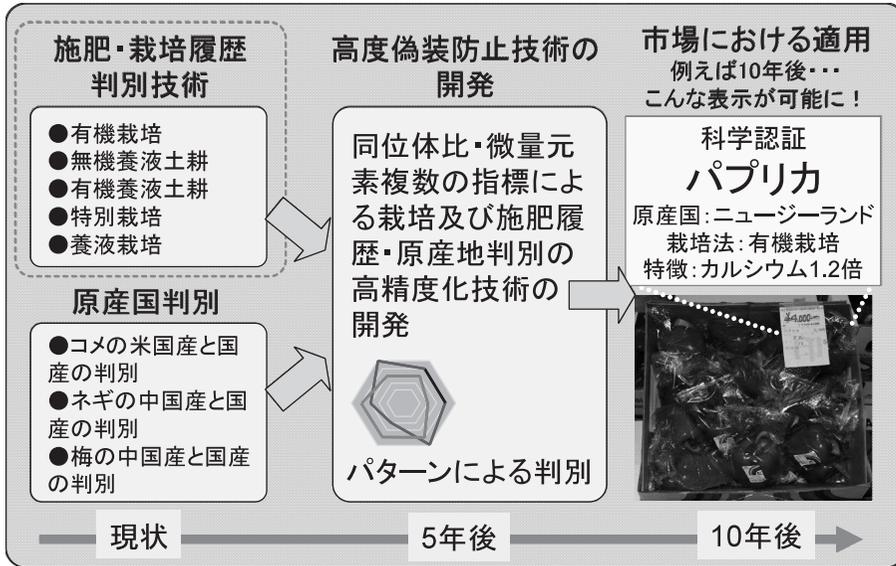


図4 高度表示偽装防止システムの確立

すなど発酵していないもの¹⁶⁾、土耕) > 化学肥料(土耕) > 無機養液土耕(土耕) > 養液栽培という順序になる。農産物を生産する上で窒素は最も重要な肥料成分の一つである。この成分がどこから供給される可能性があるのかを押さえれば、生産物の $\delta^{15}\text{N}$ 値もおのずと明らかとなる。植物に利用される可能性のある窒素において、肥料は最大要因であり、農業の場合植物体に供給される最大の画分である。次に可給度は低いと思われるが土壌に由来する窒素も場合によっては重要な窒素源となる。その他、肥料等に比べて相対的に少ないため、影響は少ないと考えられるが、様々な $\delta^{15}\text{N}$ 値を取る水に含まれる窒素も考慮する必要がある場合もある。窒素固定をする微生物を共生する作物以外は主にこの三つのソースを押さえれば、厳密に生産物の $\delta^{15}\text{N}$ 値を推定できる。

4. 高度偽装防止技術の開発に向けた今後の展望

有機農産物を求める消費者は多く、更に、どの程度環境保全に配慮した農業を営んだかで農産物を評価する消費者も今後増える可能性があり、表示の信頼性もそれに添えていく必要があ

る。また、農産物の原産国に関する偽装表示問題も跡を絶たず、原産地表示についても対応可能な品目を増やすとともに、より正確で簡便な科学的な検証方法を充実させる必要がある。これらのニーズに対応するために、具体的には今回中心に述べた窒素安定同位体比と従来まで用いられてきた微量元素による判別指標を複合的に活用した新たな指標の策定により、更に高度な施肥履歴・原産地の偽装判別の実用化が期待される(図4)。

具体例として、パプリカによる微量元素・同位体比複合判別の可能性が考えられる。パプリカは韓国やオランダからの輸入が近年増加してきているが、栽培方法から考えて国産のパプリカは土耕栽培の可能性が高く、外国産(オランダや韓国)のパプリカは養液栽培の可能性が高い。現在まで土耕栽培と養液栽培の窒素安定同位体比が大きく異なることを明らかにしているので、海外の土壌や資材に由来する微量元素の違いに基づく指標と、施肥及び栽培法に由来する $\delta^{15}\text{N}$ 値等の指標とを組み合わせ双方向から検証するシステムを開発すれば、より信頼性の高い判別法となることが期待される。

いずれにしても、農産物表示に対する消費者

の信頼を裏切らないより高度で科学的な判別法の確立と充実が早急に求められている。

5. 無機元素によるマーキング

生産地の特定は基本的には土壤に含まれる無機元素がある程度農産物に反映されることを前提に行っている。しかし、発想を転換して、天然賦存量が小さく、ヒトや植物に対して毒性の少ない元素により、生産物に人為的に刻印を付すための研究も行われている。水耕されたレタスではバリウム(Ba), Sr 及びモリブデン(Mo)の組み合わせによりデジタルマーキングシステムの開発の可能性が示唆されている¹⁷⁾。

6. 農産物・食品の安全性, 信頼性, 機能性に関する情報としての無機元素組成

多種類の無機元素や同位体の測定が農産物や食品の生産地や栽培方法の推定に活用できることが多くの研究から示された。これらの情報は、単に信頼性を確保するための判別情報だけでなく、食品の安全性、ひいては積極的に健康増進に活用されていく可能性がある。安全面ではカドミウム(Cd)等の有害元素について情報が得られるであろうし、健康面では必須ミネラルや特定の病気に効果がある元素について情報が得られるであろう(例えばバナジウム(V)は血糖値を低下させる効果があるとされる)。これらの分析技術は、安全で機能性、信頼性が高い農産物や食品の開発に資する結果や情報を提供していくであろう。

7. さいごに

ヒトは日々自然界から、直接あるいは間接的に様々な物質を取り込んでいる。そして、一般に、ごく一部を体内に蓄積し、多くは排泄等の行為を通じて自然界に返していく。いずれ、個体そのものも、焼かれて気体になるなり、土の中で分解されるなりして、再び自然へと帰って行く。このような循環のひとコマを切り取ることに判別技術は立脚しており、逆にこれらの研

究を通じて、ヒトは自然とつながっていることを良く理解できる。植物や家畜はその土地の元素や施肥の履歴を体に刻み込んでいるわけであり、ヒトもまた同じなのである。

同位体比や微量元素による農産物の原産地及び施肥・栽培履歴の推定は、一面では安心をサポートする技術として活用されていくであろうが、これらの結果は、更に深い意味も持つのではなかろうか。述べて来たように、すなわち、人が自然とのつながりを認識できる結果でもあるからである。そういった意味で、このような判別技術が単に技術に留まらず、食やそれを支える農そのものを考えるきっかけになればと思う。

文 献

- 1) 農林水産省農林水産技術会議, 研究成果 365 (2001)
- 2) 農林水産省農林水産技術会議, 研究成果 431 (2005)
- 3) 木幡勝則, *Techono Innovation*, **56**, 32-37 (2005)
- 4) Ariyama, K., Aoyama, Y., Mochizuki, A., Homura, Y., Kadokura, M. and Yasui, A., *J. Agric. Food Chem.*, **55**, 347-354 (2007)
- 5) Ariyama, K., Nishida, T., Noda, T., Kadokura, M. and Yasui, A., *J. Agric. Food Chem.*, **54**, 3341-3350 (2006)
- 6) 川崎 晃, 織田久男, 日本土壤肥料学会誌, **73**, 579-585 (2005)
- 7) Kawasaki, A., Oda, H. and Hirata, T., *Soil Sci. Plant Nutr.*, **48**, 635-640 (2002)
- 8) 時本景亮, 菌蕈, **6**, 10-14 (2002)
- 9) 独立行政法人消費技術センター, 品質表示の確認に係る分析法, ホームページ http://www.cfqlcs.famic.go.jp/technical_information/hinpyou/index.htm
- 10) 中野明正, *Techono Innovation*, **56**, 25-31 (2005)
- 11) 中野明正, 畑中義生, 上原洋一, 原川勝好, 中安孝之, 農業および園芸, **80**, 363-367 (2005)
- 12) 中野明正, 上原洋一, 渡辺 功, 日本土壤肥料学会誌, **73**, 307-309 (2002)
- 13) 中野明正, 上原洋一, 野菜茶業研究所報告, **3**, 119-128 (2004)

- 14) 中野明正, 上原洋一, 山内 章, 日本土壤肥料学会誌, 74, 737-742(2003)
- 15) 中野明正, 川嶋浩樹, 渡辺慎一, 上原洋一, 野菜茶業研究所報告, 4, 1-7(2005)
- 16) 中野明正, 斎藤龍司, 塩原 孝, 上原洋一, 農業および園芸, 80, 282-287(2005)
- 17) 白光 潔, 中原光久, 村瀬治比古, 上野大介, 赤尾勝一郎, 染谷 孝, 井上興一, 植物環境工学, 18, 306-311(2006)
-