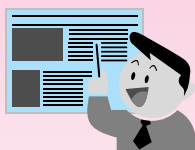


解説

微量元素の同位体比測定による米の産地国判別



農産物の消費と多様化の拡大に伴い、そのグローバル化とブランド化も進んでいる。この進展の陰で農産物の産地について虚偽表示が後を絶たないが、これには産地を科学的に立証する方法が確立していないことも一因している。そこで、これまで地球化学の資源探査法に用いられる同位体分析法を米の産地判別技術の開発に応用した。本稿では、その研究のねらい、分析法と結果の内容について解説する。

織田 久男, 川崎 晃

1 はじめに

食糧法に基づく精米表示基準から、2001年4月1日よりいわゆる JAS 法に基づく表示に移行し、消費者に販売されるすべてのコメについて品種と産地の表示が義務づけられた。法施行以前、国内の米販売形態の多様化に伴い、コメの品種および産地についてのブランド化が進んだ。一部の高級ブランド米ではその市場価格の高騰とともに、市場出荷量が産地出荷量を大幅に超える事態にまで発展し、虚偽表示の実態とその対策が問われるに至った。この対策措置として、品種と産地を科学的に判別する技術の開発が求められ、農水省バイオニア特別研究「穀粒の一粒判定技術の開発」(1997~1999)が実施されることになった。

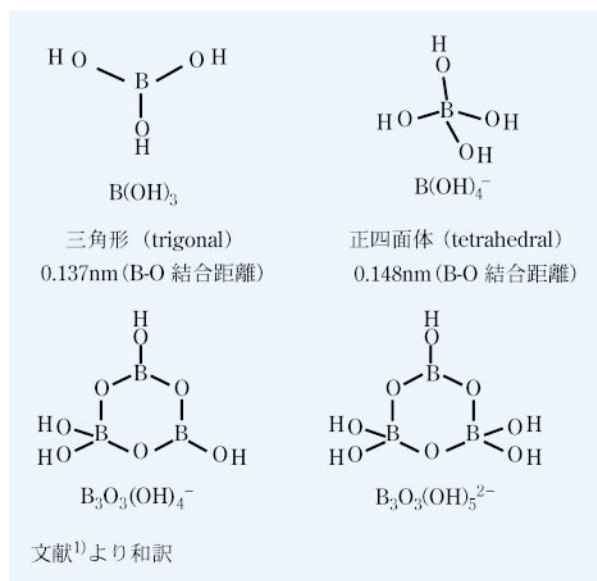
1996年以前に「農産物の産地判別技術に関する報告」は、ほとんど見かけなかった。そこで、参考とする方法を地球化学における資源探査法に求めた。この方法は、大別して以下の三つの方法、すなわち 1 元素組成解析(多数の元素についてその濃度組成を求め、特定産地ごとのパターンと照合する)、2 富化係数法(動きやすい元素と動きにくい元素のそれぞれの濃度比を求め、特定産地ごとの濃度比と照合するエンリッチメントファクター法)、そして本研究で用いた 3 同位体分析法がある。この三つの方法の中では、3 が最も信頼性が高いことは分かっていた。しかし、植物試料中の微量元素含量が、岩石、鉱物といった地球化学的試料に比べて低いという理由からか、筆者らが求める同位体分析の報告例はほとんど見あたらず、分析法の開発から始めることになった。

2 指標同位体元素の選択

2.1 ホウ素

同位体分析法に決めるにしても、同時に指標とする元素とその分析法を考えなければならない。水田環境の土壌母材あるいは水系水質を反映し、水稲用の肥料や農薬等の資材中に含まれず、かつ農産物中に分析可能なレベルで存在する元素を選択することが肝要である。結局、以下の情報からホウ素とストロンチウムを選択した。

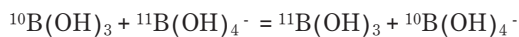
ホウ素の同位体分別: ホウ素の同位体は ^{11}B と ^{10}B で、その存在比はそれぞれ 80.1% と 19.9% である。同位体差別は立体構造を異にするホウ素化学種間の交換作用によって生ずる。ホウ酸は水溶液中で図 1 に示す四つのホウ素水和化合物形態を生成し、pH 6 未満では $\text{B}(\text{OH})_3$ が、pH 7~8 では $\text{B}(\text{OH})_3$ と $\text{B}_3\text{O}_3(\text{OH})_4^-$ が、pH 8~9 では $\text{B}(\text{OH})_3$ 、 $\text{B}_3\text{O}_3(\text{OH})_4^-$ および $\text{B}(\text{OH})_4^-$



Determining Rice Yielded Countries Using Micro-Element Isotope Signatures.

図 1 ホウ素化合物の形態

が、それぞれ安定に存在する¹⁾。ここで、ホウ素が0.02モル濃度以下では非解離型で三角形 (trigonal planer structure) の $B(OH)_3^-$ と正四面体 (tetrahedral) の $B(OH)_4^-$ のみが存在するので²⁾、一般環境中ではこの2種の化学形態が主として存在していると考えてよい。この2種の化学形態間の交換反応によるホウ素の同位体分別は下式によって与えられる。



この式の平衡定数値は1.02程度であることから、¹¹Bは $B(OH)_3$ に¹⁰Bは $B(OH)_4^-$ にそれぞれ濃縮される¹⁾。粘土鉱物を用いた同位体分別の研究において、同位体分別の平衡過程に関連した最重要因子のpHは $B(OH)_3$ と $B(OH)_4^-$ の吸着に伴う同位体分別とpHによるホウ素化学種の変化に関与する³⁾。例えば、¹¹B/¹⁰B値は非海成鉱物より海成鉱物で高いが、これはホウ素化学種間比 (BO_3 [trigonal]/ BO_4 [tetrahedral]) が非海成鉱物より海成鉱物で高かった⁴⁾ことによって裏付けられている。

環境中のホウ素同位体比：ホウ素は植物の微量必須元素であり、土壤溶液中のホウ素は植物の蒸散流に伴って根から吸収される。筆者らの調査によれば、海水および国内外の水質中のホウ素同位体比 (¹¹B/¹⁰B) は、それぞれ4.21および3.46~4.41であった。また、オーストラリアの陸水中の¹¹B/¹⁰Bは、海水のホウ素同位体比程度に高いものがあり、我が国に比べて高い傾向にあることを知った⁵⁾。このように同位体比が広い範囲に分布していることから、同位体比を有効桁数で3桁求めれば実用的に十分であり、この程度の分析精度は通常の四重極型ICP-MSによる測定でも可能ではないかと考えた。

栽培環境外からの汚染の可能性：ホウ素は植物の微量必須元素であるので、肥料から供給されることが考えられる。しかし、水稻のホウ素要求量は畑作物に比べて少量ですむため、灌漑水からの天然供給量で水稻は十分生育できる。このために、ホウ素肥料が水田に施肥されることは極めてまれであることから、ホウ素を指標元素とした。

2.2 ストロンチウム

ストロンチウムの同位体変化：ストロンチウムの天然同位体は⁸⁴Sr、⁸⁶Sr、⁸⁷Srおよび⁸⁸Srの4核種があり、その存在比はそれぞれ、0.56%、9.86%、7.00%および82.58%である。 β 壊変により半減期 4.88×10^{10} 年⁶⁾で⁸⁷Rbから⁸⁷Srへ壊変する系は、地球科学の年代測定に利用されている。通常、ストロンチウム同位体比は⁸⁷Sr/⁸⁶Srで表すので、同位体比が大きいほど年代が古い。

環境中のストロンチウム同位体比：我が国のストロンチウム同位体比は地質年代の古い中国より低いこと、アジア大陸起源の風成塵 (黄砂：⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 0.720) の影

響は、伊豆・小笠原 マリアナ島弧 (0.703~0.705) まで漸減すること⁶⁾、北米大陸の地質年代がストロンチウム同位体比から測定され、北中央部が17~27億年前で最も古く、東西の海岸付近の地質は4億4千万年以降の新しい地層であり、カリフォルニア州の同位体比は0.703~0.708で南部の内陸方面に向かって高まる⁷⁾、などであった。

栽培環境外からの汚染の可能性：ストロンチウムは植物の必須元素ではないので、肥料として与えられることはない。農薬にも含まれていない。ただし、ストロンチウムはカルシウムに随伴する元素なので、石灰質肥料を多量に施肥した場合に影響の出る可能性が残る程度である。以上より、農業資材からの汚染は無視しうると考え、ホウ素とともにストロンチウムを指標元素とした。

こうして、特別研究に参画し、産地を異にする玄米 (主としてジャポニカ種) 中のホウ素およびストロンチウムそれぞれについて、同位体比の測定法の開発を行いながら、玄米試料の測定を行い、2元素同位体分析による産地判定解析を実施した。

3 玄米中のホウ素とストロンチウム同位体比の測定法の開発

3.1 ホウ素同位体比の測定

同位体比測定の精度の目標は、有効数字の桁数の多いほうがよいが、実用上では3桁必要である。分析法が同じであれば、その精度は試料中の含有量と共存する元素組成に大きく依存する。玄米中のホウ素とストロンチウムの濃度はそれぞれ平均値 0.73 mg kg^{-1} ($0.33 \sim 1.26 \text{ mg kg}^{-1}$) と平均値 0.22 mg kg^{-1} ($0.11 \sim 0.45 \text{ mg kg}^{-1}$)⁸⁾であり、地殻中の賦存量 (B: 10 mg kg^{-1} ; Sr: 370 mg kg^{-1}) の1/30~1/300と少ない。また、玄米は有機成分が主成分となっていて、無機成分が主成分である地球化学的試料とマトリックスが異なる。このため、玄米中のホウ素同位体とストロンチウム同位体の分析法を新規に開発する必要に迫られた。

開発したホウ素同位体分析法の操作フロー (図2)は：玄米 (0.2 g) をマイクロウェーブ利用酸加熱密閉分解、あるいは試料 (5~10 g) を電気炉利用乾式灰化分解後イオン交換樹脂 (IRA743) による分離精製 四重極型ICP質量分析計による測定である。まず、イオン交換処理の効果について調べるため、 $10 \mu\text{g l}^{-1}$ のホウ素 (NIST SRM951) 溶液に水酸化カルシウムを添加した溶液について、カラムに通さなかった場合と、カラムに通した場合について、ホウ素の回収率とホウ素同位体比を測定した。イオン交換分離無処理の場合は、ICP質量分析時にカルシウムの干渉を受け、ホウ素の回収率、同位体比ともに、共存するカルシウム濃度の増加に従って顕著に増加するという結果になった (図3)。イオン交換処理の場合は、図4に示すように、ホウ素の回収率

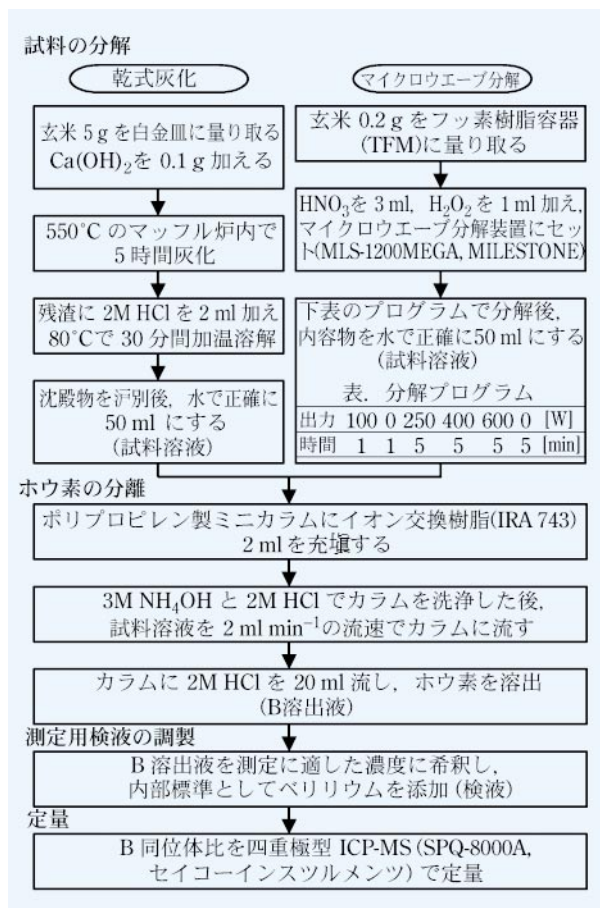


図 2 玄米中のホウ素同位体測定法のフロー

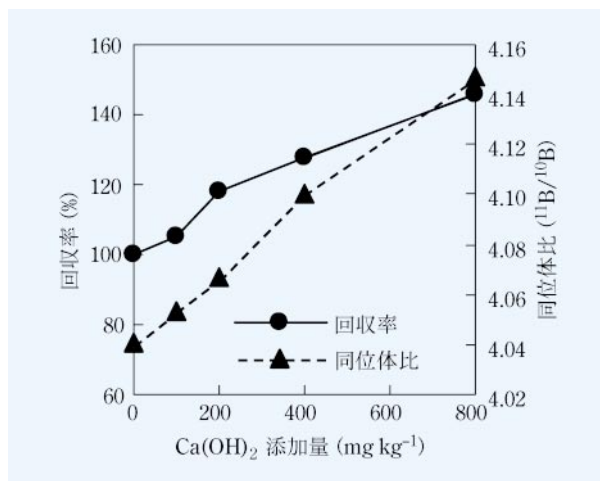


図 3 NIST SRM951 溶液 (Ca 添加) の回収率と同位体比

は共存するカルシウムの濃度にかかわらず 97~102% の範囲にあり、ほぼ全量のホウ素がカラムから回収された。また、同位体比もイオン交換分離前に共存したカルシウム濃度にかかわらず一定となり、平均値は 4.05 (95% 信頼区間 0.01) であった。この値は SRM951 の保証値から計算された同位体比 (4.0436) とよく一致した。ホウ素のように原子量の小さい元素をイオン交換樹脂で分離すると同位体比が変化しやすいことが知られて

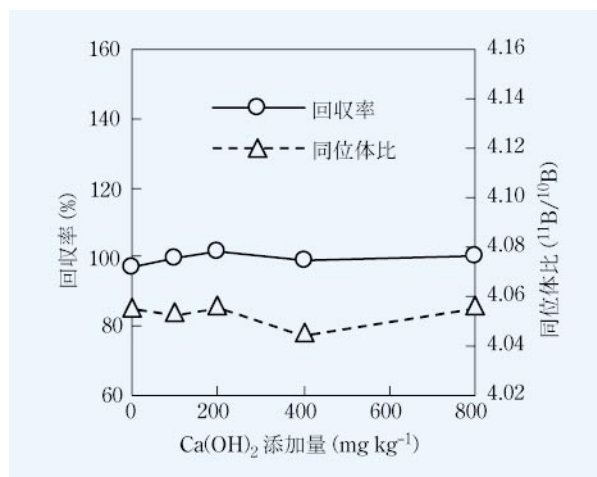
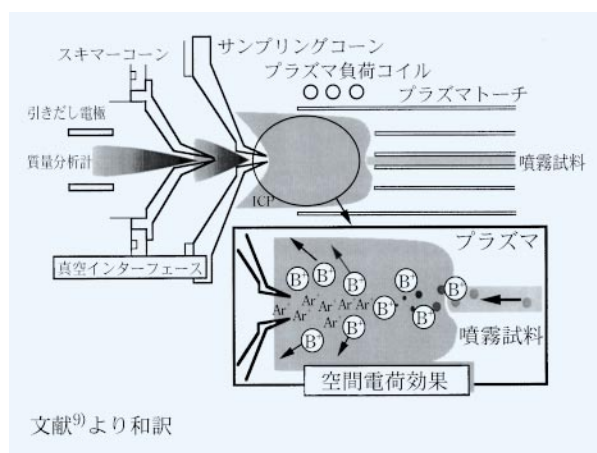


図 4 イオン交換樹脂によるホウ素の回収率と同位体比



文献⁹⁾より和訳

図 5 ICP-MS 測定にみられる質量差別効果

いるが¹⁾、本法の精度では同位体比の変化 (質量分別効果) は認められなかった。むしろ、質量分別効果は ICP-MS 装置内で起こる。

多くの四重極型 ICP-MS のキャリアーガスにアルゴンが用いられる。図 5⁹⁾ に示すように、プラズマ状態にあるイオンのうち、軽元素イオンの ¹⁰B⁺ と ¹¹B⁺ は多量にある重元素イオンの ⁴⁰Ar⁺ に対してプラズマ中心より弾き出されやすいため、検出器に到達するイオンの透過効率は、重元素に比べて軽元素の方が低くなる (空間電荷効果: space charge effect)。したがって、装置の質量差別効果補正係数は、B > Sr > Nd > Pb の順に大きくなる。この空間電荷効果がイオンの透過効率に及ぼす影響は、¹⁰B⁺ と ¹¹B⁺ の間でも同様に生じる。図 3 において、ホウ素同位体比がカルシウム濃度の増加に従って顕著に増加した。この同位体比変化のメカニズムは空間電荷効果により、⁴⁰Ca⁺ が多量になるに従い ¹⁰B の透過効率が ¹¹B に比べて低くなるため、ホウ素同位体比 (¹¹B/¹⁰B) が高くなったと考えられる。

実試料の ¹¹B/¹⁰B 比測定値の精度 (RSD%) は乾式灰

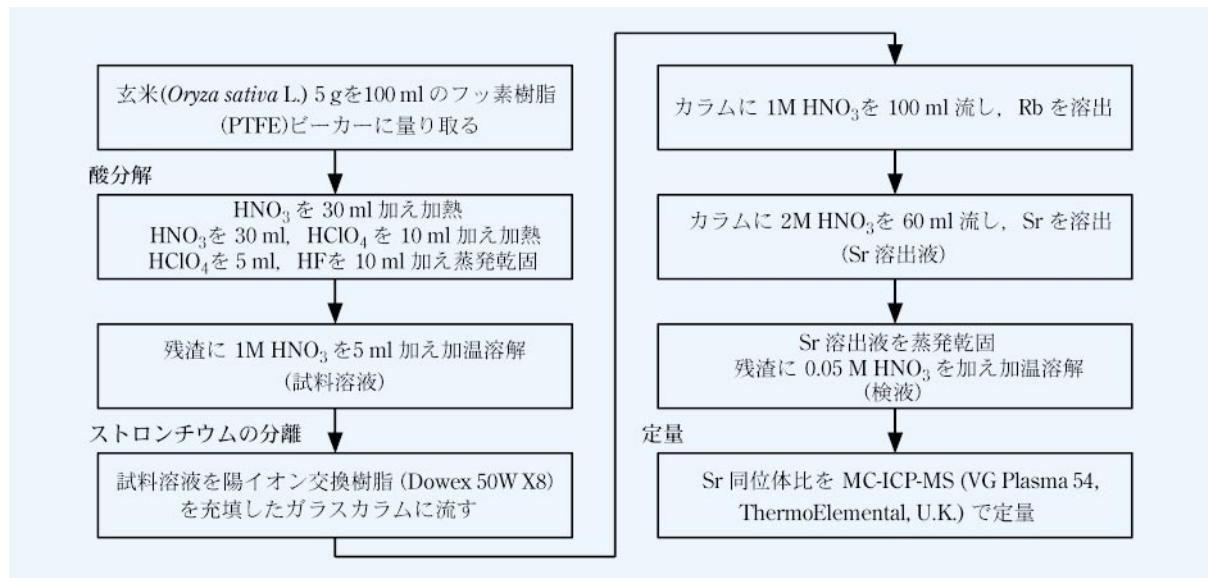


図6 玄米中のストロンチウム同位体測定法のフロー

化法で平均 0.203 (0.05 ~ 0.34, $n = 34$), マイクロウェーブ酸分解法で平均 0.369 (0.21 ~ 0.67, $n = 10$) の範囲にあり, それぞれの方法を区別せずに計算した精度は 0.24% であった。

3.2 ストロンチウム同位体比の測定

開発したストロンチウム同位体分析法の操作フロー (図6) は, 玄米 (1 ~ 5 g) を硝酸・過塩素酸・フッ化水素酸分解 イオン交換樹脂 (Dowex 50W X8) で ^{87}Sr に干渉する ^{87}Rb を分離除去 マルチコレクター型 (MC)-ICP-MS¹⁰⁾ による測定法である。

測定した質量数は, ^{83}Kr , ^{84}Sr , ^{85}Rb , ^{86}Sr , ^{87}Sr , ^{88}Sr の6種である。 ^{83}Kr の信号強度から ^{84}Kr , ^{86}Kr の強度を推定し, ^{84}Sr , ^{86}Sr の強度を補正する。同様に ^{85}Rb の強度から ^{87}Rb の強度を推定し, ^{87}Sr の強度を補正する。 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は, $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}$ 比の実測値と自然界値 (0.119352) との差から補正係数 (質量差別効果補正係数: マスバイアス係数) を求め, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比の実測値を補正して算出する。1 回あたり 5 秒間の測定を 60 回繰り返して得られた同位体比データのうち, 標準偏差の 2 倍の範囲内のデータを平均して実測値とした。

表1 にストロンチウム同位体比標準試料 (NIST SRM987) の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比を測定した結果を示す。測定液の濃度は 0.2 mg l^{-1} とした。表中の No. 1 から No. 3 は測定開始時の結果であり, No. 6 は測定終了直前, No. 4, No. 5 はその中間での測定結果である。No. 3 と No.4, No. 4 と No. 5, No. 5 と No. 6 の間は, それぞれ未知試料 (玄米分解液) を 5 ~ 7 点測定した。SRM987 のストロンチウム同位体比の測定値は 0.71020 ~ 0.71027 の範囲にあり, Stein ら¹¹⁾ による報告の値 (0.710263) とは 4 桁の範囲で一致した。各測定値の相

表1 SRM987 の同位体比測定結果

No.	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	RSD ¹⁾ (%)	確度 ²⁾ (%)	n ³⁾
1	0.71027	0.017	0.0010	57
2	0.71020	0.018	-0.0089	58
3	0.71025	0.014	-0.0018	58
4	0.71027	0.021	0.0010	56
5	0.71027	0.025	0.0010	58
6	0.71022	0.034	-0.0061	59

1) 相対標準偏差, 2) Stein ら¹¹⁾ の値 (0.710263) からの偏差 (%), 3) 繰り返し回数

対標準偏差 (RSD) は 0.014% ~ 0.034% であり, 4 桁近い測定精度が得られた。日間変動をみると, 同位体比の値はほとんど変化しなかったが, RSD が時間経過とともに大きくなる傾向が認められた。これは未知試料の測定に伴い, 試料液中のマトリックス成分が試料導入系あるいはプラズマと質量分析計のインターフェース部に沈積することにより, 経時的に測定精度が低下したものと考えられる。

玄米中のストロンチウム濃度は $0.1 \sim 0.5 \text{ mg kg}^{-1}$ 程度であるのに対し, カルシウム濃度は $60 \sim 100 \text{ mg kg}^{-1}$ 程度に達する¹²⁾。試料の前処理でイオン交換分離を行っているが, 使用した樹脂 (Dowex 50W X8) でのカルシウムとストロンチウムの分配係数の差は小さく¹³⁾, この操作による分離は期待できないので, 試料分解量を少なくして測定液中のマトリックスを下げる必要がある。産地判別を行う観点からも少量の試料で分析できることが望ましいが, ストロンチウム濃度が下がると測定精度に悪影響を与える。そこで, 玄米試料分解量を 1 g および 5 g としたときの測定精度について比較した。表2 にその比較結果を示す。ストロンチウ

表 2 玄米試料分解量が同位体比測定精度に及ぼす影響

	試料分解量 1 g			試料分解量 5 g		
	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	RSD(%)	n	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	RSD(%)	n
試料 1	0.714	0.155	59	0.715	0.047	57
試料 2	0.706	0.149	57	0.706	0.074	56
試料 3	0.711	0.228	57	0.711	0.061	58
試料 4	0.710	0.237	60	0.709	0.049	57
試料 5	0.709	0.605	56	0.708	0.082	58
試料 6	0.709	0.180	57	0.709	0.060	58

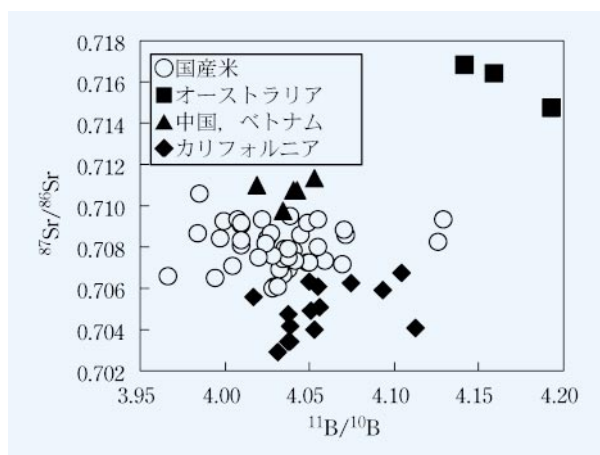


図 7 米のホウ素同位体比とストロンチウム同位体比の分布 (全試料)

同位体比の測定値は、サンプルの分解量によらずほぼ同じ値を得たが、RSD は両者間で大きく異なった。5 g の試料を分解した場合、同位体比の RSD はすべて 0.1 % 未満であるのに対し、1 g の場合の RSD は 0.15~0.6 % の範囲にあり、3 桁の精度が得られなかった。分解量を 1 g とした場合、測定液中のストロンチウム濃度が 0.1 mg l^{-1} 以下になるため、濃度不足により安定した感度が得られず精度が下がったものと考えられた。

実試料の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比測定値の RSD は、平均 0.056 (0.022~0.137, $n = 43$) で、有効数字の桁数で 4 桁近い測定精度が得られた。

4 ホウ素とストロンチウム同位体比による産地判別

分析に用いた試料は、国内産コシヒカリ 44 点、カリフォルニア産米 15 点、中国産米 4 点、オーストラリア産米 3 点、ベトナム産米各 1 点であった。図 7 にホウ素同位体比及びストロンチウム同位体比の双方を測定した玄米について、それぞれの同位体比を散布図の形にプロットして示す。散布図で右上に位置するのは、ホウ素同位体比及びストロンチウム同位体比の双方の値がともに高いオーストラリア産米であり、ストロンチウム同位体比が国内産米よりも高い中国・ベトナム産米は、国内

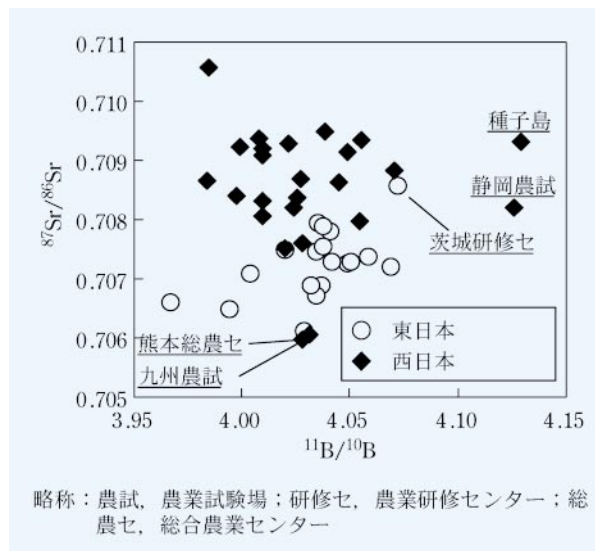


図 8 国内産米のホウ素同位体比とストロンチウム同位体比による散布図

産米が分布している直上にプロットが集まっている。カリフォルニア産米について、ホウ素同位体比は国内産米より高い方に最頻値がずれており、ストロンチウム同位体比は 0.707 未満で国内産米より低い傾向にある。図 7 において、カリフォルニア産米グループ全体として国内産米グループの右下方にプロットされており、国内産米とカリフォルニア産米 15 点中 13 点までをおおむね判別できた。

図 8 は、図 7 から国内産米だけを取り出し、これらを糸魚川 静岡構造線を境にして東日本産米と西日本産米とに大別してプロットしたものである。この図をみれば明らかであるが、西日本産米が図の上部に分布し、東日本産米が図の下部に分布する傾向が認められた。ただし、東日本産米でも茨城県農業研修所の産米のように同位体比が高い場合があり、西日本産米でも九州農試と熊本県農業研究センターの産米のように同位体比が低い場合がみられた。我が国のストロンチウム同位体比の分布について、倉沢¹⁴⁾は糸魚川 静岡構造線を境にして東日本側で低く西日本側で高いが、東日本でも北関東の一部には同位体比の値の高い地域があり、また西日本でも阿蘇火山地域は同位体比が低いことを報告している。このように、ここで得られた玄米中のストロンチウム同位体比は、地質学で求められたストロンチウム同位体比分布を反映したものであることが明らかになった。

ホウ素同位体比については、我が国の同位体分布データがストロンチウムの場合のように得られていないこともあって、現在のところ産地判別への有効性はストロンチウムに比べて低い。しかし、図 8 のホウ素同位体比が 4.13 と高い値を示した種子島と静岡県農業試験場の産米は同位体比の高い海水 ($^{11}\text{B}/^{10}\text{B} = 4.22$)¹⁵⁾の影響を受けていることを暗示しており、分析精度が高められ

ば、国内での産地判別に有効な手段となることが想定される。このように、同位体比組成による産地判別技術の向上には、産地土壌ごとの農産物中の同位体比データに加えて、産地土壌やホウ素にあっては水系ごとの水質の同位体比データのマップが重要となる。

5 おわりに

現在、農産物の産地判別に関する報告はここでの成果も含めて散見されるようになった。茶¹⁶⁾、じゃがいも¹⁷⁾、玄米⁸⁾¹²⁾、朝鮮人参¹⁸⁾について、また農産加工品ではワイン^{19)~21)}について報告されるまでになった。農業研究に新たな研究分野が誕生したとってよからう。この誕生の背景に農産物のグローバル化があることは否めない。2001年度から新たに行政対応特別研究「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」が始まり、筆者らも参画している。この特別研究での産地判別の目的は、我が国が輸入している野菜類特にねぎについて、その産地国を判別する技術を開発することである。現在、我が国へのねぎの最大輸出国は中国である。前述したように、国内産米と中国産米との判別にホウ素同位体比ではなくストロンチウム同位体比が有効であったので、ねぎについてもストロンチウム同位体比により判別できる見通しである。しかし、ストロンチウム同位体比だけでは精度の高い判別が難しい場合も想定されるので、鉛同位体による判別も試みる。鉛同位体分析の目的は地質年代測定にも利用されるが、ここではガソリンのアンチノック剤に使用した添加鉛が国ごとに産地の異なる鉛が用いられたことから、この添加鉛をトレーサーとした産地国の判別の可能性を試験する。鉛同位体分析は、¹ 大気をはじめとするサンプルへのコンタミネーションを抑制する技術、² 植物中の濃度がストロンチウムよりさらに低いため分離濃縮する技術、³ MC-ICP-MSによる同時多重高感度測定技術、など分析上の課題がある。これらの課題をクリアして、農産物の高精度産地判別技術の開発を目指す。

謝辞 マルチコレクティブ型 ICP 質量分析装置によるストロンチウム同位体比の測定では、東京工業大学大学院理工学研究科地球惑星科学専攻・平田岳史助教授のご協力をいただいた。

文 献

- 1) H. Kakihana, M. Kotaka, S. Satoh, M. Nomura, M. Okamoto : *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **50**, 158 (1977).
- 2) P. P. Power, W. G. Woods : *Plant and Soil*, **193**, 1 (1997).
- 3) M. R. Palmer, A. J. Spivack, J. M. Edmond : *Geochim. Cos-*

mochim. Acta, **51**, 2319 (1987).

- 4) T. Oi, M. Nomura, M. Musashi T. Osaka, M. Okamoto, H. Kakihana : *Geochim. Cosmochim. Acta*, **53**, 3189 (1989).
- 5) A. Kawasaki, H. Oda : “*Plasma Source Mass Spectrometry, New Developments and Applications*”, p. 173 (1999), (The Royal Society of Chemistry, Cambridge).
- 6) Y. Asahara, T. Tanaka, H. Kamioka, A. Nishimura : *Earth Planet. Sci. Lett.*, **133**, 105 (1995).
- 7) G. Faure : “*Principles of isotope geology, 2nd ed.*”, p. 161 (1986), (John Wiley & Sons, New York).
- 8) H. Oda, A. Kawasaki, T. Hirata : *Anal. Sci.*, **17** (supplement), i1627 (2001).
- 9) H. W. Oda, T. Hirata : Abstracts of The 5th International Conference on Plasma Source Mass Spectrometry, Session 7-2, Durham, UK, (1996).
- 10) 平田岳史 : 分析化学, **45**, 465 (1996).
- 11) M. Stein, A. Starinsky, A. Katz, S. L. Goldstein, M. Machlus, A. Schramm : *Geochim. Cosmochim. Acta*, **61**, 3975 (1997).
- 12) 安井明美・進藤久美子 : 分析化学, **49**, 405 (2000).
- 13) F. W. E. Strelow : *Anal. Chem.*, **32**, 1185 (1960).
- 14) 倉沢 一 : 地学雑誌, **95**, 30 (1986).
- 15) R. L. Bassett : *Appl. Geochem.*, **5**, 541 (1990).
- 16) A. Marcos, A. Fisher, G. Rea, S. J. Hill : *J. Anal. At. Spectrom.*, **13**, 521 (1998).
- 17) K. A. Anderson, B. A. Magnuson, M. L. Tschirgi, B. Smith : *J. Agric. Food Chem.*, **47**, 1568 (1999).
- 18) Y. A. Woo, C. H. Cho : Abstracts of IUPAC ICAS 2001, p. 241, Japan, (2001).
- 19) M. J. Baxter, H. M. Crews, M. J. Dennis, I. Goodall, D. Anderson : *Food Chemistry*, **60**, 443 (1997).
- 20) P. Horn, S. Holzl, W. Todt, D. Matthies : *Isotopes Environ. Health Stud.*, **34**, 31 (1998).
- 21) C. M. Almedia, M. T. Vasconcelos : *J. Anal. At. Spectrom.*, **16**, 607 (2001).

織田久男 (Hisao ODA)



独立行政法人農業環境技術研究所化学環境部 (〒305-8604 茨城県つくば市観音台3-1-3)。東京教育大学大学院農学部農業化学科修士課程修了。農学博士。現在の研究テーマ 微量元素同位体の農業研究への利用。主な著書と出版社名 “土の環境圏”(共著)(フジテクノシステム)。趣味 東洋蘭栽培。
E-mail : odah@niaes.affrc.go.jp

川崎 晃 (Akira KAWASAKI)



独立行政法人農業環境技術研究所化学環境部 (〒305-8604 茨城県つくば市観音台3-1-3)。関西大学工学部化学工学科卒。現在の研究テーマ 重金属の土壌-植物系における挙動の解明。趣味 音楽鑑賞。
E-mail : akawa@affrc.go.jp