

# 酒米における吸水パターンの解析

利用者 ○加藤弘道<sup>1</sup>、岡本和之<sup>2</sup>

所属 <sup>1</sup>茨城県農業総合センター、<sup>2</sup>茨城県農業総合センター生物工学研究所

## 1. はじめに（背景、目的等）

当研究室は平成11年に酒造好適米(以下、酒米と略す)品種「ひたち錦」を育成した。工業技術センターおよび酒造会社から、この品種を原材料とした日本酒は淡麗な味わいを持つと評されている。しかしながら、「ひたち錦」は「山田錦」に対して、溶けにくく味がでにくい用途が純米酒に限られている。このため、「ひたち錦」が育成された直後から大吟醸酒・吟醸酒に適した酒米の育成が要望されてきた。「ひたち錦」は飯米どうしの交配から育成されたため、従来の酒米とは米の吸水性や消化性等が異なると推察される。これまで、小規模の醸造試験においては十分に吸水させてから次の作業に入るため吸水性の違いには注目してこなかった。本試験ではTNRFによって「ひたち錦」の吸水パターンを優良酒米品種と比較し品種間差異を解明できるか検討する。また、本法によってこの後に育成される酒米育成を評価・選抜していくことは、醸造特性に優れた品種の育成に寄与すると考えられる。

## 2. 実験方法

水稻3品種（ひたち錦、山田錦、コシヒカリ）について、接着剤やガムテープ等によって米粒を立たせて吸水させ、吸水パターンの品種間差を比較する。胚芽部を上に向けて接着した。なお、予備試験において米粒の吸水は室温下30分間で飽和状態になることを確認している。

## 3. 実験結果（図表を含めて）

いくつかの素材について試みたところ、ガムテープの利用が有効と考えられた。そこで、アルミホイルで作成した箱の中にガムテープを固定し、ガムテープ上に米粒を貼ったものを炉の中に設置し無加水での状態を撮影した（図1）。その後、ガムテープと米粒との間に水滴を垂らし観測を始めたが、米粒は12分後に倒れ、吸水の変化を十分に観測することができなかった（図2）。一方、米10粒について水に浸した時間(0、10、20、30分)毎に撮影したところ、それぞれの総面積は、0分から10分までは、「山田錦」、「ひたち錦」心白あり、「ひたち錦」心白なし、の順で急な勾配を示した。しかし、「山田錦」心白ありは20分後の測定において1粒が完全に測定装置の範囲外に漏れたため、この時間における品種間の比較はできなかった。一方、30分経過後にカーブが右肩下がりとなることは、水分含量の低下を意味するがどのような事象が原因かは分からなかった（図3）。

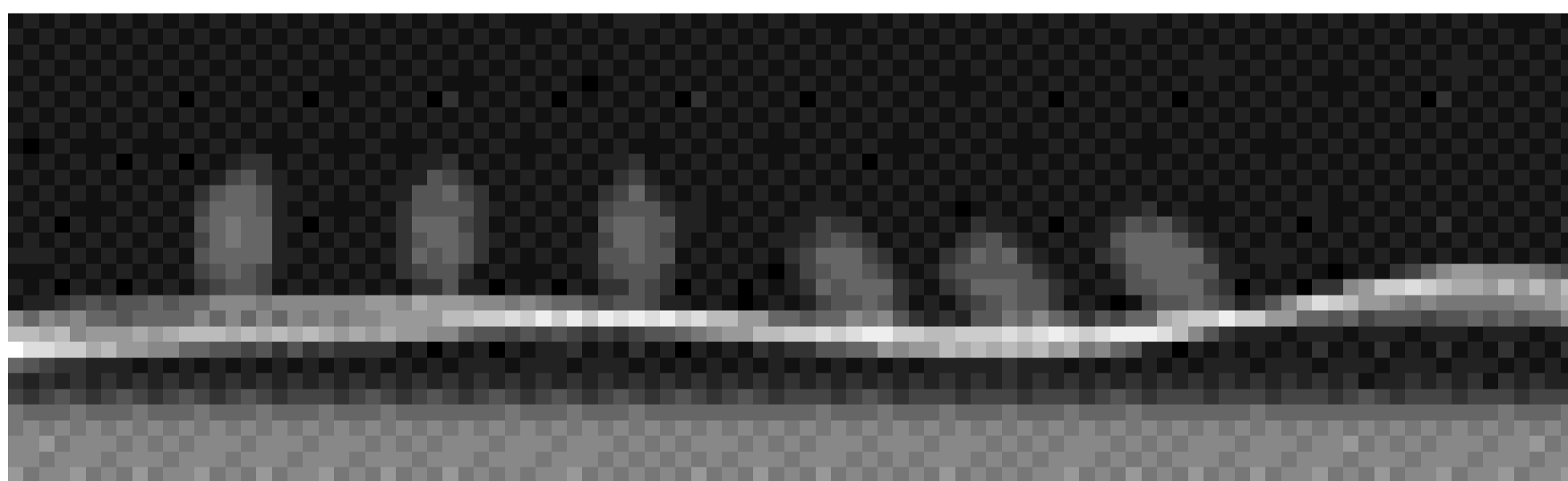


図1 吸水前の米粒の様子  
(米粒をガムテープ上に貼り付けた)

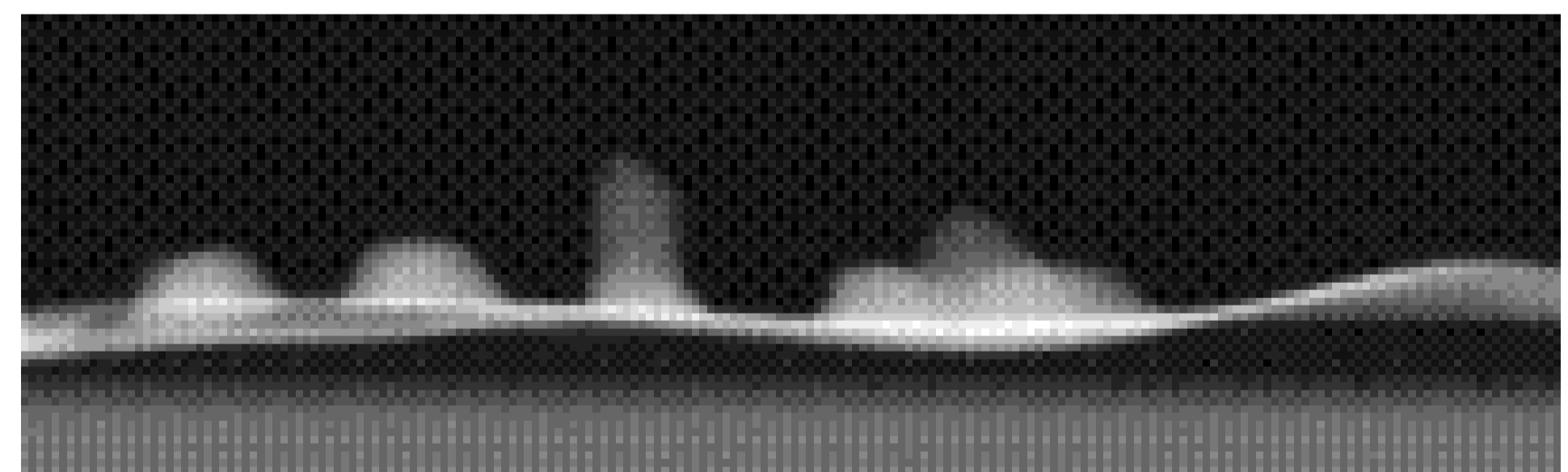


図2 吸水から18分経過後の様子  
(6粒中5粒が倒れたのが確認できる)

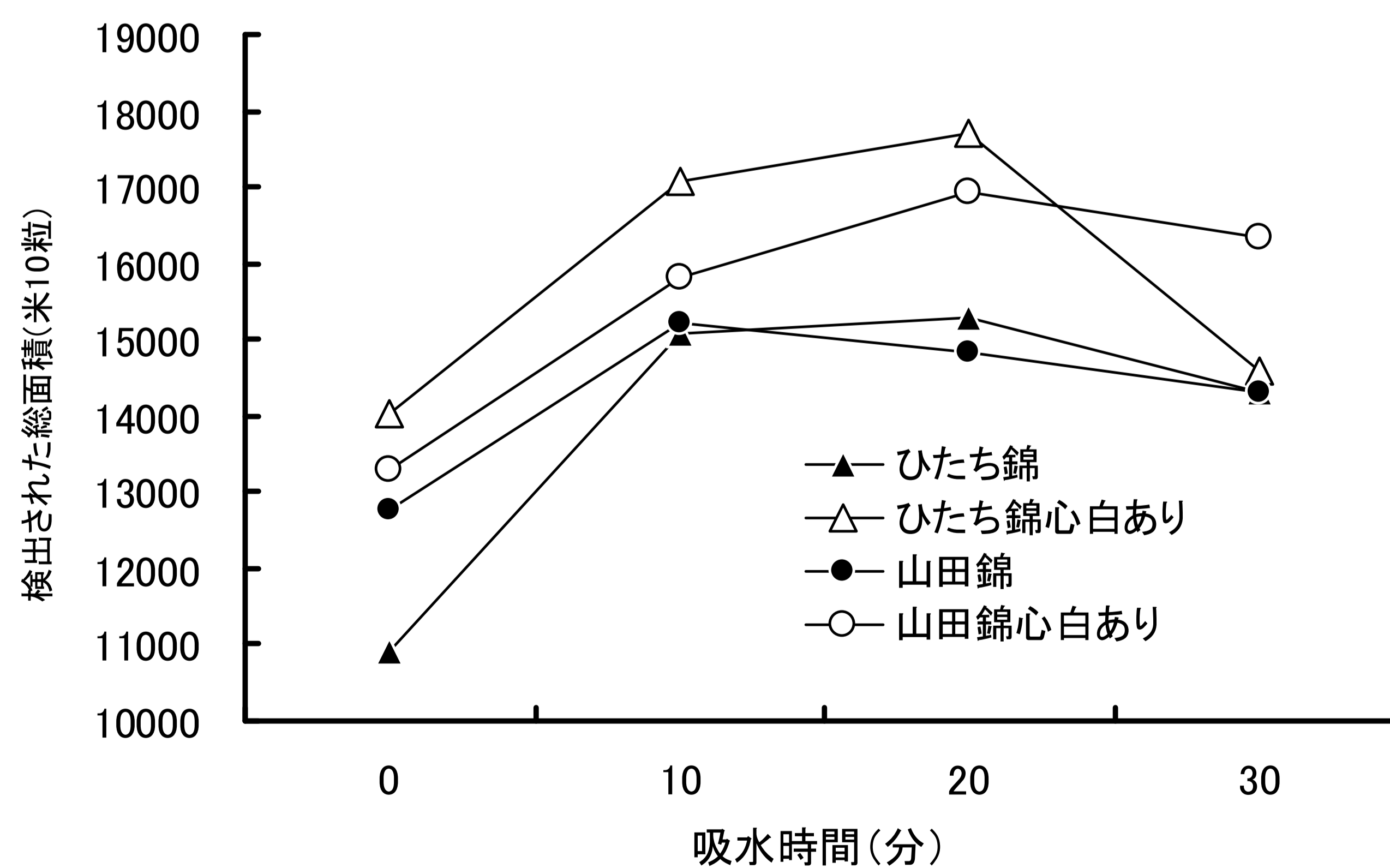


図3 酒米2品種における吸水パターンの差異

## 4. まとめ

TNRFによる試験に臨んだところ12分後に米粒は倒れ（モニターにて確認）、米粒の固定がこの試験の要であることが確認された。一方、予備試験においても「ひたち錦(心白ある・なし混合)」の吸水速度は「山田錦(心白ある・なし混合)」の吸水速度を上回っていたことから10分までは、予備試験とTNRFとの間で再現性があると推定された。下期の実験においては、米粒を固定するための素材を探すことが課題であると考えられた。

# 酒米における吸水パターンの解析

利用者 ○加藤弘道<sup>1</sup>、岡本和之<sup>2</sup>

所属 <sup>1</sup>茨城県農業総合センター、<sup>2</sup>茨城県農業総合センター生物工学研究所

## 1. はじめに（背景、目的等）

当研究室は平成11年に酒造好適米(以下、酒米と略す)品種「ひたち錦」を育成した。工業技術センターおよび酒造会社から、この品種を原材料とした日本酒は淡麗な味わいを持つと評されている。しかしながら、「ひたち錦」は「山田錦」に対して、溶けにくく味がでにくい用途が純米酒に限られている。このため、「ひたち錦」が育成された直後から大吟醸酒・吟醸酒に適した酒米の育成が要望されてきた。「ひたち錦」は飯米どうしの交配から育成されたため、従来の酒米とは米の吸水性や消化性等が異なると推察される。これまで、小規模の醸造試験においては十分に吸水させてから次の作業に入るため吸水性の違いには注目してこなかった。本試験では、TNRFによって「ひたち錦」の吸水パターンを優良酒米品種と比較し品種間差異を解明できるか検討する。また、本法によってこの後に育成される酒米系統を評価・選抜していくことは、醸造特性に優れた品種の育成に寄与すると考えられる。

## 2. 実験方法

測定試料は、2008年産の水稻3品種、ひたち錦、山田錦、コシヒカリを用いた。米粒をバスコーク(樹脂性接着剤)によって直立させ、接着面に水20 $\mu$ Lを滴下し品種ごとの吸水パターンを比較する。胚芽部は上に向けて接着した。ひたち錦と山田錦(心白なし・有)を同時に、さらに、コシヒカリと山田錦(心白なし・有)とを同時に解析した。

## 3. 実験結果（図表を含めて）

図1に、米粒のみ、吸水直後、5.5分、13.5分および27分経過後の画像を示す。水素の存在は白さで示され、接着面に滴下した水が米に吸収されていく様子が確認された。台座に対して垂直方向に線を引き、吸水直後から27分後まで、経過時間ごとの画像の変化を算出し曲線で示した(図2)。曲線Cは吸水前の米粒の水分を示し、曲線0は吸水直後の値を示す。接着面に滴下した水によって水分が上昇し曲線Cに対して右側に高いピークが出現するが、時間の経過とともに水分はY軸方向(胚芽方向)に移動した。また、吸水によって米粒が膨張したため、曲線Cおよび曲線0に対してその他の曲線はY軸方向へ移動したが、米粒間に差があるためX軸の位置は異なった(図2B)。図3にひたち錦(A)、コシヒカリ(C)および山田錦(B、D)の解析結果を示した。奇数番号(A1、B1、C1、D1)に心白なし、偶数番号(A2、B2、C4、D4)には心白ありの試料を供試した。一方、5.5分、13.5分および27分後の曲線から曲線0の値を引き水分変化の差を示した(A3、A4・D3、D4)。ひたち錦 およびコシヒカリにおいて心白の有無が吸水パターンに与える影響はほとんどなく、13.5分および27分の曲線に対して変化が大きかった。しかし、山田錦・心白有りの場合は5.5分、13.5分および27分の曲線において差が認められず、米粒は5分間の吸水によってすみやかに膨潤した(図3B1-B4)。

## 4. まとめ

バスコークによって米粒をアルミホイルに接着したところ、約30分の間米粒を固定することができた。今回は3品種における吸水パターンの比較から、山田錦は心白を有する場合、吸水が一気に進む可能性が示唆された。本報告では米1粒のデータをグラフ化したが、本法の精度を向上させるには、今後、100粒を測定して平均値を算出するなどさらなる工夫が必要と考えられる。

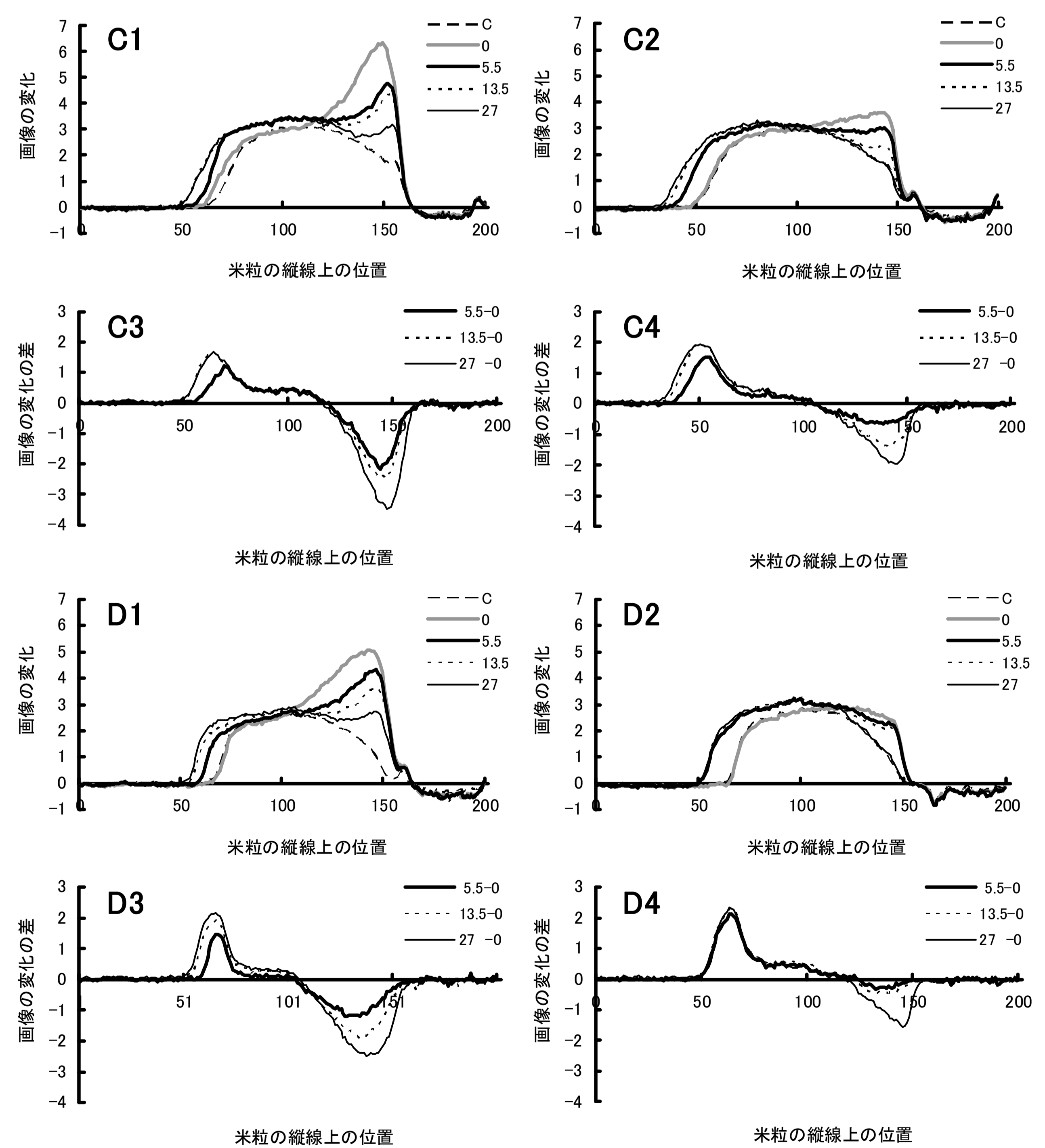
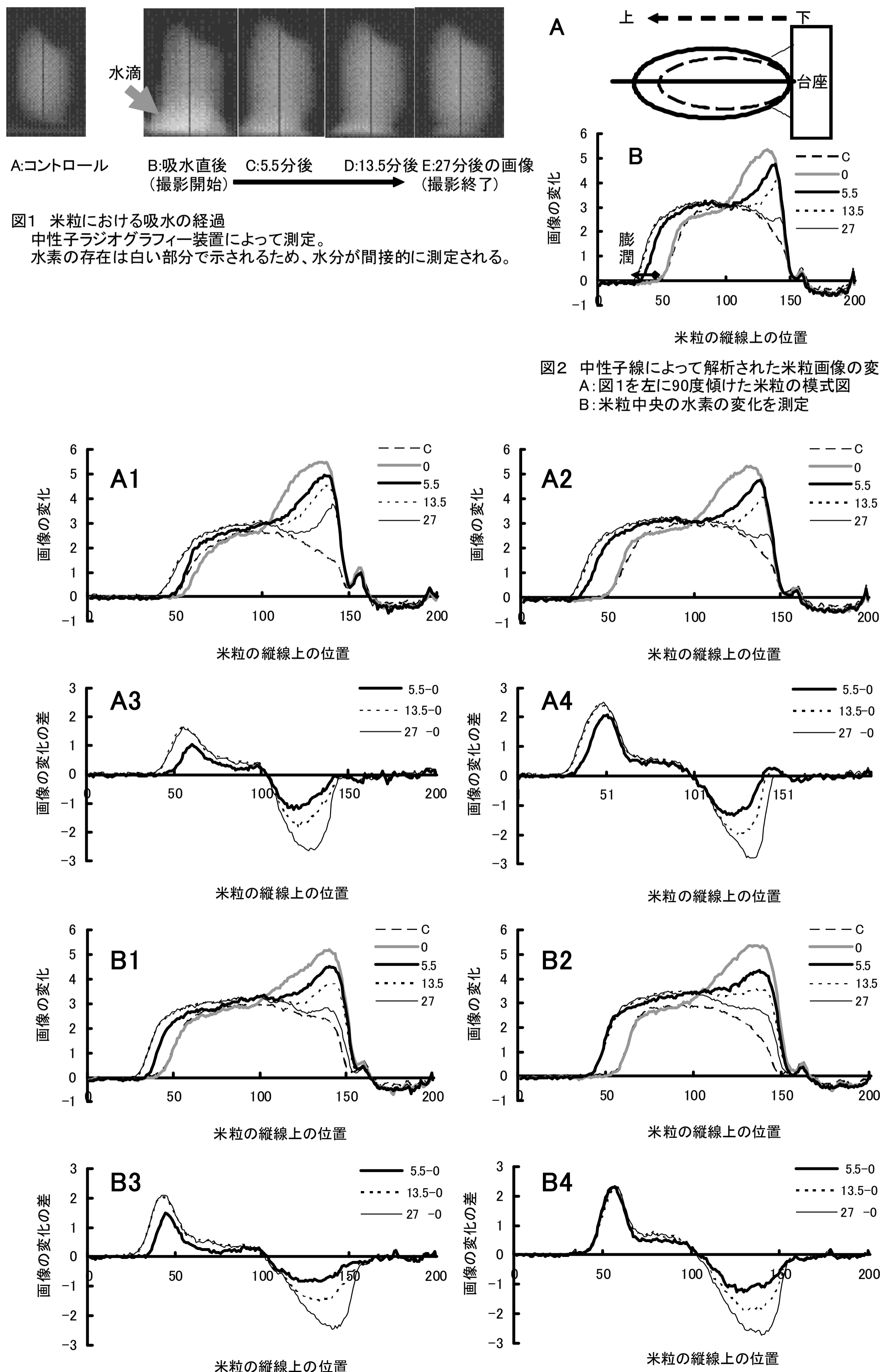


図3 各米粒における画像の変化  
中性子ラジオグラフィ装置によって測定された各品種の米粒における画像の変化

各経過時間における画像の変化  
A1: ひたち錦、心白なし  
A2: ひたち錦、心白あり  
B1、D1: 山田錦、心白なし  
B2、D2: 山田錦、心白あり  
C1: コシヒカリ、心白なし  
C2: コシヒカリ、心白あり

各経過時間から吸水直後の値を引いた差分  
A3: ひたち錦、心白なし  
A4: ひたち錦、心白あり  
B3、D3: 山田錦、心白なし  
B4、D4: 山田錦、心白あり  
C3: コシヒカリ、心白なし  
C4: コシヒカリ、心白あり

# 中性子測定によるリンゴ創作炭内部の組織観察

利用者 谷澤實<sup>1</sup>,岡部敏弘<sup>2</sup>

所属 <sup>1</sup>有タニサワ製作所,<sup>2</sup>青森県工業総合研究センター

## 1. 試験の目的

落下リンゴを活用したリンゴ創作炭を製作しています。炭化を低温処理することで実物と同じような形姿の炭化物が得られ、室内オブジェ用製品としていますが、現炭化条件で得られた炭化物を水分の含有量による内部の状態について中性子を用いて非破壊で観察した。非破壊で内部観察出来ることにより現炭化条件での内部条件の定量化が得られる。又非破壊内部放射影図を目で観れるということは当方内部の炭化時教育活用と第一にユーザーに対するアピールが出来販路開拓の力になります。

## 2. 実験方法

試料として品種の異なるリンゴ炭を用意し、中性子ラジオグラフィ装置を用いて品種間の乾燥具合の差を調べるとともに、乾燥度合いのことなるサンプルも用意し、三次元可視化手法による解析も試みた。撮像システムとしては、蛍光コンバータ（NRコンバータ；化成オプトニクス製）および冷却CCDカメラ（C4880；浜松ホトニクス製）、55mmレンズ（Micro-Nikkor；Nikon製）を用いた。十分な輝度を得るための露出時間は1.6秒、撮像視野はおよそ200mm×200mmであった。三次元構築用の撮像に関しては、0.25° ずつ試料を回転させ720枚の撮像を行い（180° 回転）、FBP法による三次元構築を行った。

## 3. 実験結果

### 1) 品種間差異（図1）

白くなるほど中性子の透過率が低くなる、つまり水分や水素が多い部分になります。試料を乾燥させるほどリンゴ内部の水分が抜けていきますが、炭化処理を施した後は繊維状に組織が残ることが判り、非常におもしろい画像が撮れました。ジョナゴールドは水分の抜けが最も悪く、次に北斗の水分残りが多かったです。他にも、津軽は比較的表層まで繊維がしっかり存在しているのに対し、王林やミキライフなどは表層に空間が生じてしまっており、炭化後の製品としては表面が割れやすい、ということに繋がるかもしれません。

### 2) 三次元的評価

非常に簡単に構築できることが判った。同じ品種（ふじ）において、異なる炭化処理工程のりんごを撮像した。図2の画像からは判りにくいかもしれませんが、ふじ-1よりもふじ-2の方が表層の組織に空隙が増加しており、また繊維組織以外の部分の水分が低下していることが認められました。

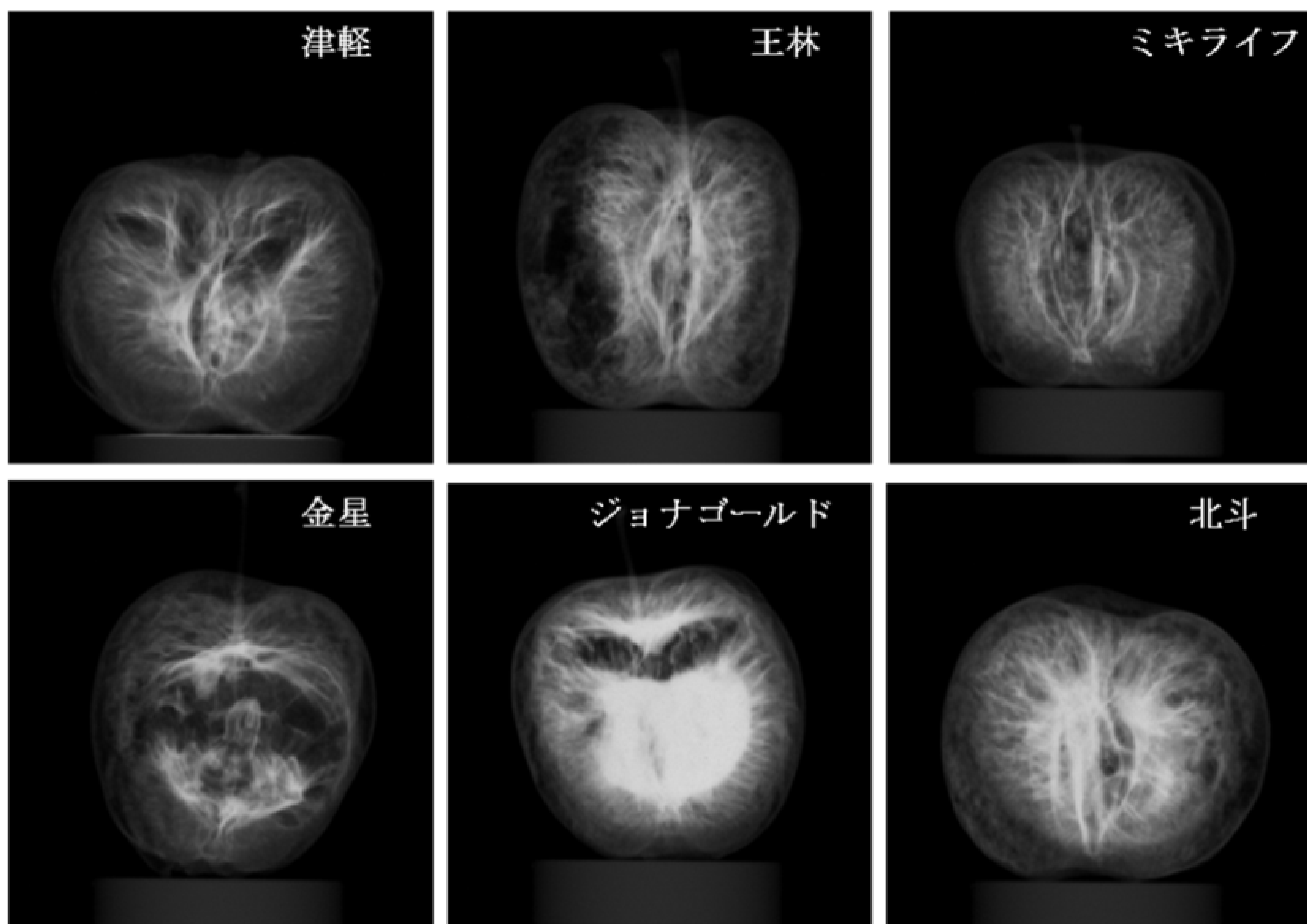


図1 炭化リンゴ各種の中性子透過像

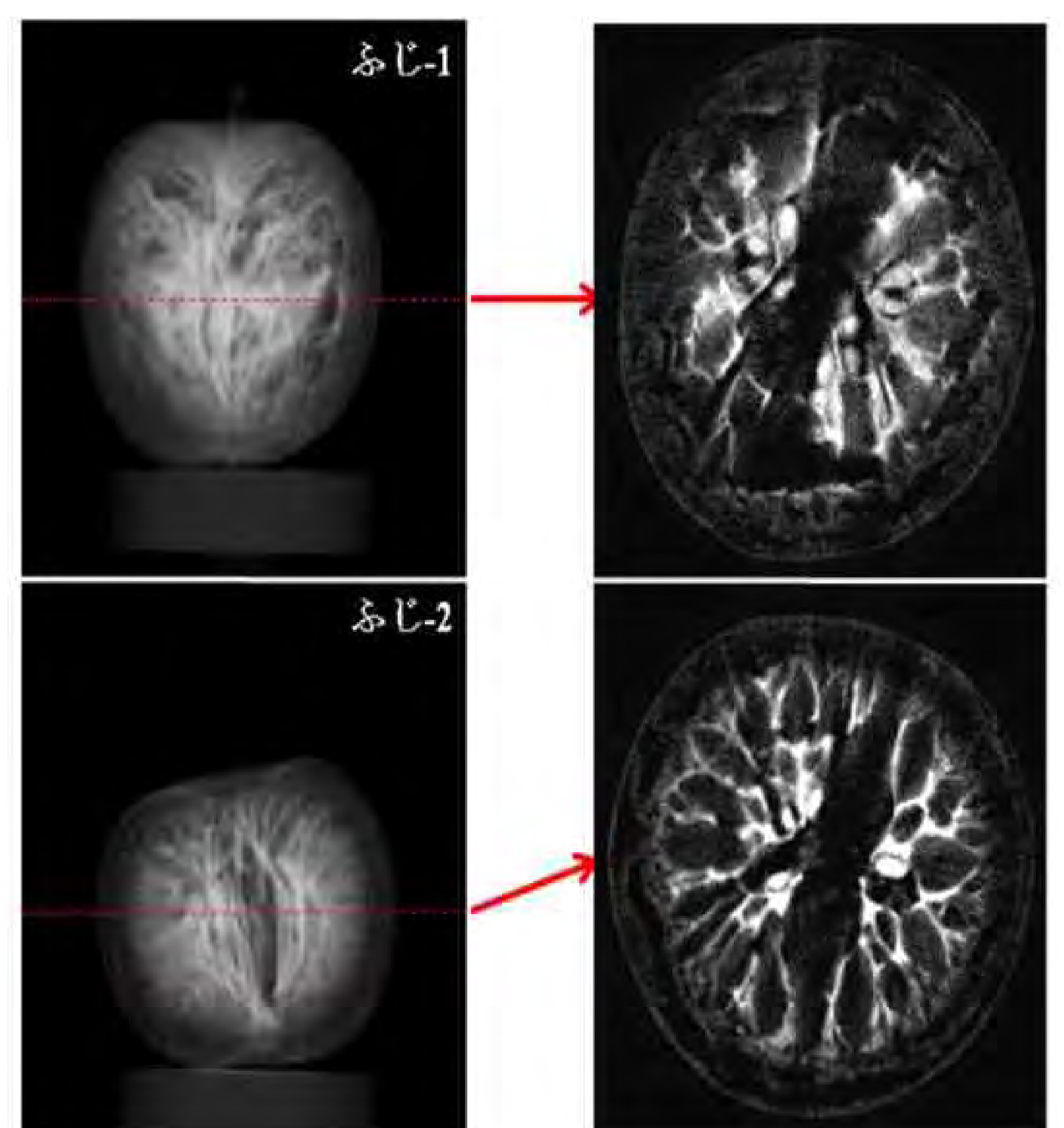


図2 三次元化

## 4. まとめ

本結果は、他の手法ではわからない非常に貴重な結果が得られたと考えております。個体差もありますので、一概に今回の結果が品種の特徴、乾燥工程の結果と断定はできませんが、機会があれば同品種で複数個体、同工程で複数個体と撮像し、それぞれの特徴の詳細を詰めていくことも興味深いと考えております。

# 中性子ラジオグラフィーによる果樹類の水分分布の計測

利用者 村松昇

所属 独立行政法人 農業生物資源研究所基盤研究領域放射線育種場

## 1. はじめに（背景、目的等）

利用者はこれまでに果樹類の水分生理に関する研究を行ってきた。その結果、果樹類の木部内の導管は種によって大きく異なりブドウやキウイなどのつる性植物は、導管が非常に大きいのに対して、ピワやリンゴといったバラ科果樹では、導管が非常に細く、数が多いことが明らかとなっている。これらの知見はいずれも破壊的な手法で得てきた。中性子ラジオグラフィーは非破壊的に内部の水分状態が分かるために、本方法により果樹類の水分分布の解明を行いたい。本年は、導管のパターンや樹種による違いをラジオグラフィーで観察することを目的とする。

## 2. 試験方法

図1に示すように枝サンプルを固定台に取り付け、中性子ラジオグラフィーによる撮像を行った。CCDカメラのレンズには200mmを使用した。導管の太いキウイや細いかんきつ類など数種の1年枝を使って、生サンプルと遠心分離し導管内の水を除いたサンプル、約80℃で熱風乾燥したサンプルについて撮像した。また、カンキツについて接ぎ木が成功した場合と失敗して、穂木部が枯死したサンプルについて撮像し両者を比較した。

## 3. 試験結果

生の枝について撮像したところ、水が存在するためいずれの樹種に於いても一様に黒く写っていた（図2・3）。また、遠心分離による試料と生サンプルとの差は認められなかった。一方、熱風乾燥試料については、ミカンなど導管が細い樹種では、生サンプルよりも若干色が白いものの、密度が高いため、密度の低いキウイなどを乾燥させた場合よりも色が濃く写っていた。ただし、水分含量と撮像の色の濃さとの関係は、今回は水分含量の基準を設けてなかったので明らかにできなかった。また、キウイフルーツは、内部の大きな髓の部分透過画像としてははっきりと観察できた。次に、カンキツについて接ぎ木が成功している場合と、失敗して穂木部が枯死した場合を比較した。接ぎ木後、1年半程度経過している樹については、接ぎ木は他の部分よりも密度が高いためかやや黒く写っているが、一体化しており明確な接ぎ木部位の判定が難しくなっていた。一方、接ぎ木が失敗している場合には、穂木の部分は、台木部に比べて白くなっているのが分かる（図4）。今回は、接ぎ木後に時間が経ち、明らかに接ぎ木の成否が判明した試料について撮像したが、接ぎ木後に経時的に撮像すれば、接ぎ木の成否の判別を非破壊的に観察できる可能性が示された。



図1 撮影の様子

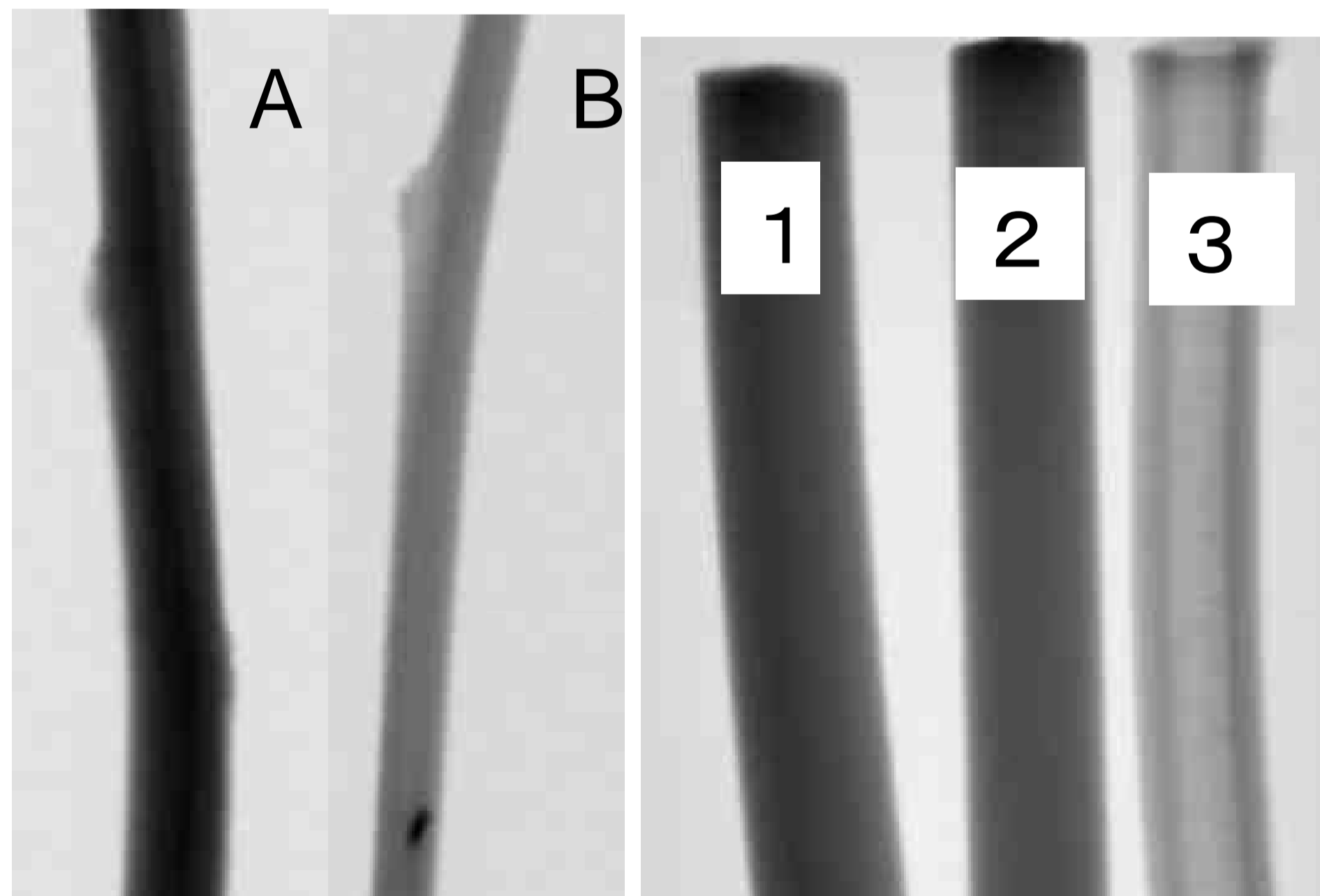


図2 中性子ラジオグラフィーで撮像したカンキツの枝(A. 生サンプル、B. 熱風乾燥サンプル)

図3 中性子ラジオグラフィーで撮像したキウイフルーツの枝(A. 生サンプル、B. 遠心分離した枝C. 熱風乾燥サンプル)

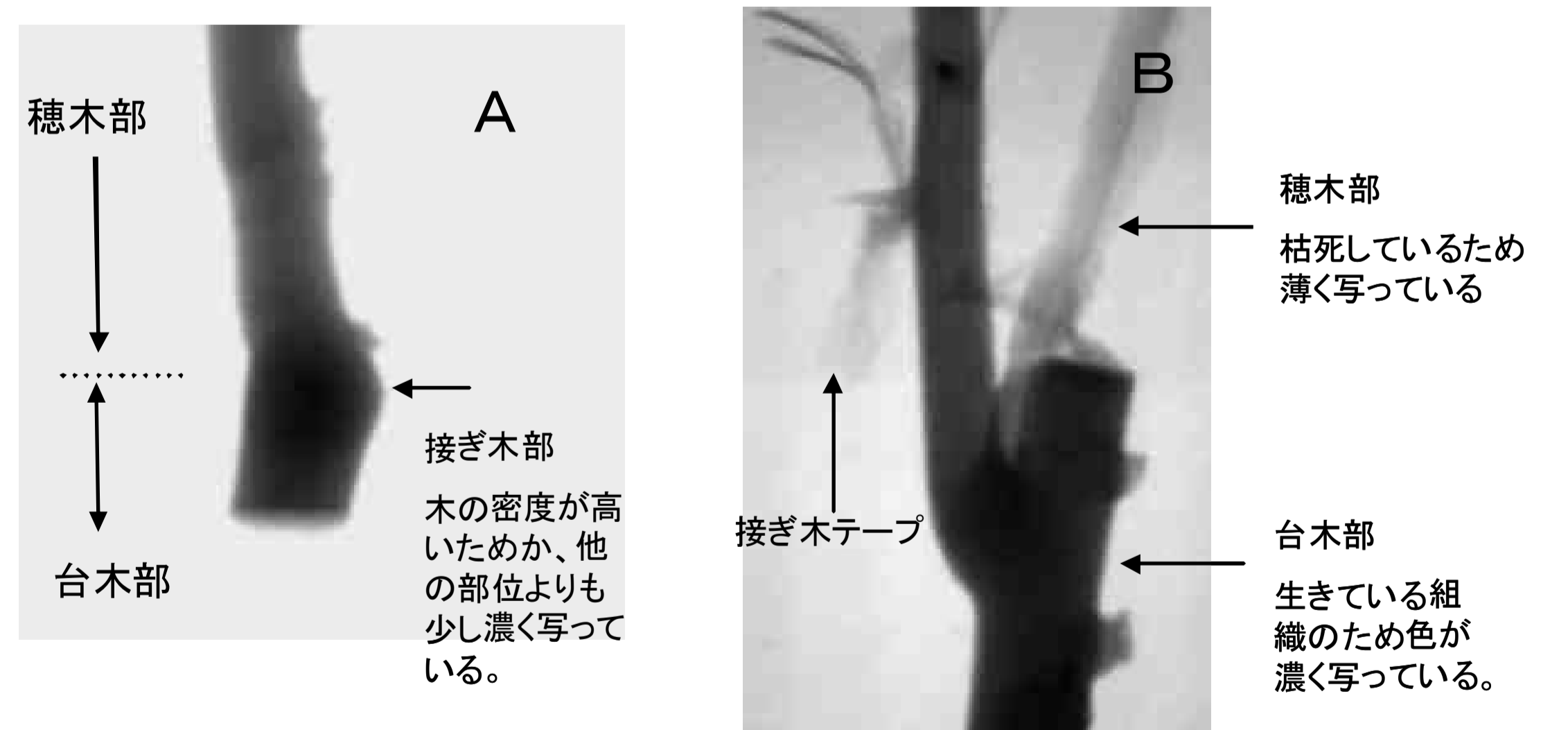


図4 中性子ラジオグラフィーで撮影したカンキツ類の接ぎ木部の様子 (A；接ぎ木成功の場合、B；接ぎ木失敗の場合)

## 4. まとめ

中性子ラジオグラフィーを使って果樹における水分分布の観察を試みた。その結果、生サンプルと熱風乾燥サンプルとにより樹種により色の違いとして捉えることができたため、枝中の水分含量は推定できると考えられた。接ぎ木については、枯死部と生存部は、はっきりと区別できるため、接ぎ木の成否をラジオグラフィーにより見分けることができた。

# バラの切り花における水分動態と日持ち性との関連に係る試験

利用者 ○本図 竹司、高津 康正、鈴木 一典

所属 茨城県農業総合センター

## 1. 要旨

バラ切り花の日持ち性に関わる要因を探るために、日持ち性試験を行うとともに品質劣化を生じた切り花を用いて中性子照射を行ってその水分含量を調査した。その結果、品質劣化には品種により萎れタイプとベントネックタイプがみられることが明らかとなり、それぞれの障害を発生した切り花の中性子イメージングにより、水分含量の低下がその大きな要因の一つであることが示された。

## 2. 実験目的

バラは茨城県の県花であり県内の農業産出額も約5億円と、キクに次ぐ重要な花き生産品目となっている。しかし、輸入品の増加および近年の消費低迷の影響から県内の花き産業は大きな打撃を受けており、この状況を打破するために画期的なオリジナル品種の育成が求められている。このことから当研究所ではバラの品種改良に取り組んでおり、特に消費者からのクレームが多く消費の減退の要因の一つとなっている「日持ち性」の改良を大きな育種目標として上げている。バラの日持ち性を悪くする原因としては、花卉中の糖含量、生け水中の雑菌の繁殖、蒸散にともなう切り花の吸水状況の変化などが上げられるが<sup>1)</sup>、<sup>2)</sup>、<sup>3)</sup>特に切り花における水分動態については知見が乏しい。そこで、バラの切り花における品質劣化とその時点の水分含量を調査することで、日持ち性と水分含量の関係を明らかにすることを目的とする。その不純物元素の分析結果を当該結晶製造の品質向上に結びつけることを目的とする。

## 3. 実験方法

材料のバラは「ローテローゼ」、「つくばエクスプレス」および「アバランチェ」の3品種を用いた。切り花は神生バラ園（石岡市）で生産されたものを購入して長さ40cmに調製し、活け水を1000ml入れた直径10cm、高さ30cmの花筒に挿して供試した。活け水の種類として「純水」（イオン交換水）、および大川（1999）により雑菌の発生源と指摘されている「水道水」を設定した。実験は気温23℃に保った実験室内で行い、2日ごとに吸水量を測定するとともに、萎れまたはベントネック（花首の曲がり）などの品質劣化の発生状況について調査した。吸水量測定後は、活け水を1000mlに戻して実験を継続した。実験開始後、切り花に品質劣化等の変化が生じた段階でその個体をサンプリングし、吸水させながら4℃で保存した。

また、これらとは別に、「つくばエクスプレス」を乾燥状態で6日間放置しドライフラワーを作成した。切り花の水分含量は、日本原子力研究開発機構のJRR-3内のTNRF装置による中性子ラジオグラフィにより確認した。実験にあたっては、切り花を20cm程度に調製した上で、アルミニウム製の試料板（A4サイズ）にアルミニウムテープを用いて貼り付けて供試した。健全な花と障害を発生した花を並べて照射できるように調整し、また背面から撮影されることを考慮して、左右に配置した（映像が左右逆になる）。中性子の照射は1サンプルについて3回行い、得られたデータを処理して中性子透過率として換算した。試験区の構成は表1に示すとおりである。試験区あたり5本を供試して実験は2回反復した。

表1 バラ切り花の日持ち性試験における試験区の構成

品種名	試験区	供試本数(本)
ローテローゼ	純水	10
	水道水	10
	対照	10
つくばエクスプレス	純水	10
	水道水	10
	対照	10
アバランチェ	純水	10
	水道水	10
	対照	10

\*対照区は吸水させながら4℃で保存した切り花とした。

## 4. 研究成果

### （1）切り花の品質低下の状況

萎れ症状の発生状況は図1に示すとおりである。「アバランチェ」においてはいずれの試験区でも6日後までに約60%の切り花で発生し、8日後には80%に達した。「つくばエクスプレス」でも発生がみられたが発生率は8日後でも40%以下と低かった。一方、「ローテローゼ」では萎れの症状はみられなかった。また、ベントネックの発生状況は図2に示すとおりである。「ローテローゼ」ではベントネックを生じる切り花の割合が多く、活け水に純水を用いた場合には4日後に100%となり、水道水を用いた場合でも6日後には90%となった。「つくばエクスプレス」ではいずれの試験区でも、6日後まで発生は10%以下に抑えられていたが、8日後には40～60%と高まった。「アバランチェ」ではベントネックは発生しなかった。以上のことから、バラの品質劣化には、品種により萎れタイプとベントネックタイプがあることが明らかとなり、「アバランチェ」は萎れ症状を、また「ローテローゼ」はベントネックを発生しやすいタイプの品種であると考えられる。

### （2）吸水量の変化

3品種の切り花一本あたりの吸水量の変化は図3のとおりである。いずれの品種も2日後～4日後にかけて吸水量が減少する傾向がみられ、6日後～8日後にはすべての試験区で5ml以下となった。また、萎れタイプの品質劣化を示す「アバランチェ」では当初より他の品種に比べて吸水量が少ない傾向がみられた。

### （3）中性子ラジオグラフィ

まず「つくばエクスプレス」において健全な切り花とドライフラワーを比較した（図4）。ドライフラワーでは画像から水分含量がごくわずかであることが示された（図4B）。また、画像の明るさを示すグラフから、その含量は健全花の20～25%程度であることが明らかとなった（図4C）。一方、健全花であっても茎の下部になるに従って水分含量は連続的に減少していることが示された。萎れタイプの品質低下を示す「アバランチェ」の切り花の状況は図5に示すとおりである。完全に萎れた切り花では、花首部を含む植物体全体および花卉から水分が失われ（図5B）、画像の明るさを示すグラフからその含量は健全花の40～45%であることが示された（図5C）。同じく萎れ症状を呈する「つくばエクスプレス」の切り花の状況を図6および図7に示す。程度として軽い萎れ症状を示す切り花でも、花首部の水分含量は健全な切り花と比べて明らかに減少しており（図6B）、完全に萎れた切り花ではその差が大きくなった（図7B）。また、画像の明るさを示すグラフから、萎れ症状を示す切り花の水分含量は健全花の50～60%であることが示唆された（図6C、図7C）。このことから、萎れ症状の発生においては、予想どおり花首部の水分含量が大きな要因であることが示された。また、完全に萎れた切り花であっても花器の基部（子房部）には水分が残っていることも明らかとなった（図7B）。一方、ベントネックを生じた「ローテローゼ」の切り花の状況は図8および図9に示すとおりである。程度として軽いベントネックを示している切り花でも花首部の水分含量は、健全な切り花と比べて明らかに減少しており（図8B）、完全にベントネックとなった切り花ではその差が大きくなった（図9B）。また、画像の明るさを示すグラフから、萎れ症状を示す切り花の水分含量は健全花の40～60%であることが示唆された（図8C、図9C）。このことからベントネックの発生においても、萎れ症状と同様に花首部の水分含量が大きな要因であることが示された。

5. 結論・考察

本試験では3品種を用いて切り花の日持ち性試験を行い、品質低下の発生状況を観察するとともに、その際の切り花の水分含量を中性子ラジオグラフィで調査した。その結果、バラの品質劣化には品種により萎れタイプとベントネックタイプがあることが明らかとなり、「アバランチェ」は萎れタイプ、「ローテローゼ」はベントネックタイプ、また、「つくばエクスプレス」は混合型であることが示された。「アバランチェ」では萎れ症状の発生率が6日後で60%と高かったが、切り花の水分含量も健全花の40~45%（図5C）と、「つくばエクスプレス」の50~60%に比べて低かった。このことから切り花の水分含量が低いことが、高い萎れ症状の発生につながったものと考えられる。ところで、「アバランチェ」では中性子ラジオグラフィの映像において、健全花であっても水分が茎の中間部で途切れている現象が観察された（図10B）。「アバランチェ」では切り花一本あたりの吸水量が他の品種と比べて少ない（図1）ことを考え合わせると、「アバランチェ」では切り花の水分吸収力が弱い、または何らかの要因により阻害されていることが、品質劣化の要因であると考えられる。「ローテローゼ」および「つくばエクスプレス」では、品質劣化にともなって切り花の水分含量は連続的に減少していたが、健全花と劣化した花の違いが特に大きいのが花首部であることが示された。一方、特に「ローテローゼ」では、花首部の水分含量が健全花の80~90%に保たれた状態であってもベントネックの発生がみられることから（図11C）、ベントネックは花首部の水分含量に加えて、花首部の物理的な強度や花器の重さなど、いくつかの要因により生じることも考えられる。ベントネックの発生には品種間差異がみられること等を勘案すると、その発生要因については今後さらに検討が必要である。また、「ローテローゼ」では、ベントネックの発生した切り花であっても、花卉には障害がみられず花器の萎れ等もみられなかったことから、ベントネックの発生を防止することで切り花品質を維持できることが示唆された。以上のように、中性子ラジオグラフィによりバラ切り花の品質保持には、植物体内の水分含量が大きな役割を果たしていることが確認できた。このことは従来から、蒸散量（Ichimura et al.2002）<sup>1)</sup>や茎の水通導性（市村ら2006）<sup>2)</sup>の測定等により間接的に指摘されていたが、今回のように可視的にまた定量的に測定された例はなく貴重なデータとなった。今後はこれらの情報をもとにして、実際に植物体内の水分含量を減少させている要因についても解析を進める予定である。

6. 引用（参考）文献等

- 1) Ichimura, K., Y. Kawabata, M. Kishimoto, R. Goto and K. Yamada. 2002. Variation with the cultivar in the vase life of cut rose flowers. Bull. Natl. Inst. Flor. Sci. 2: 9-20.
- 2) 市村一雄・湯本弘子・乗越享. 2006. 高温条件下でバラ切り花の花持ちが短縮する要因の解析. 園学雑75別2: 345.
- 3) 大川清. 1999. バラの生産技術と流通. 養賢堂. 東京

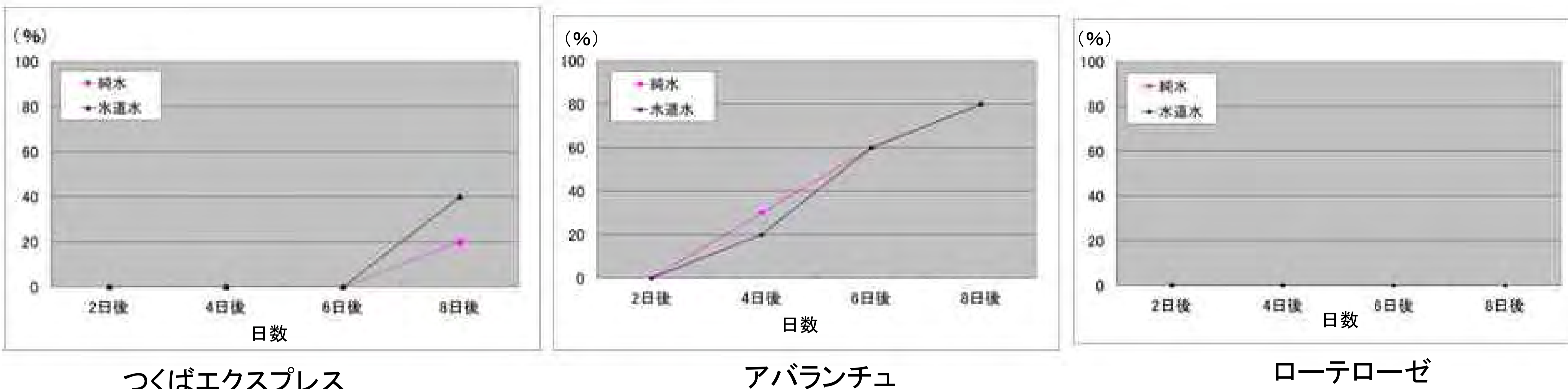


図1 バラ切り花の日持ち性試験における「萎れ症状」の発生状況（品種「ローテローゼ」では萎れ症状の発生はみられなかった。）

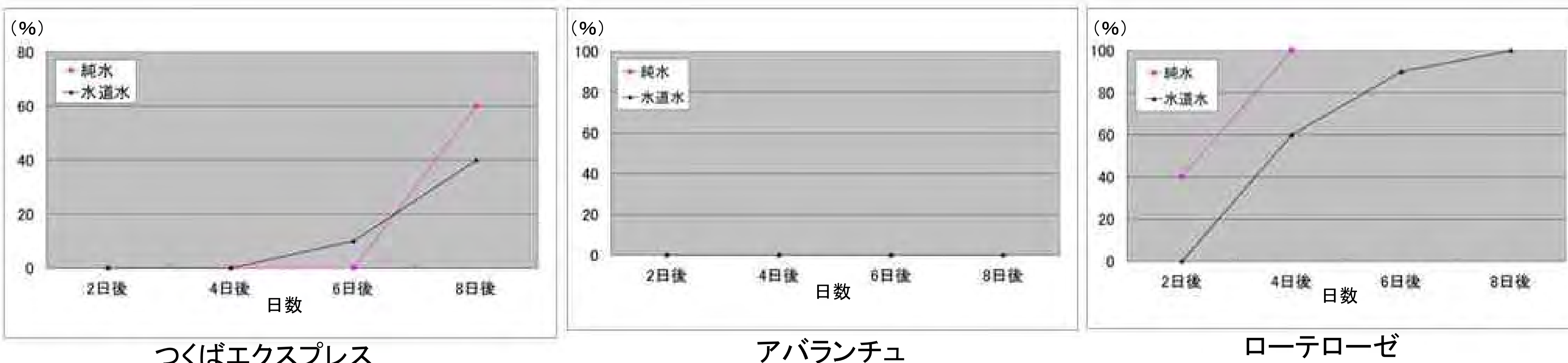


図2 バラ切り花の日持ち性試験における「ベントネック」の発生状況（品種「アバランチェ」ではベントネックの発生はみられなかった。）

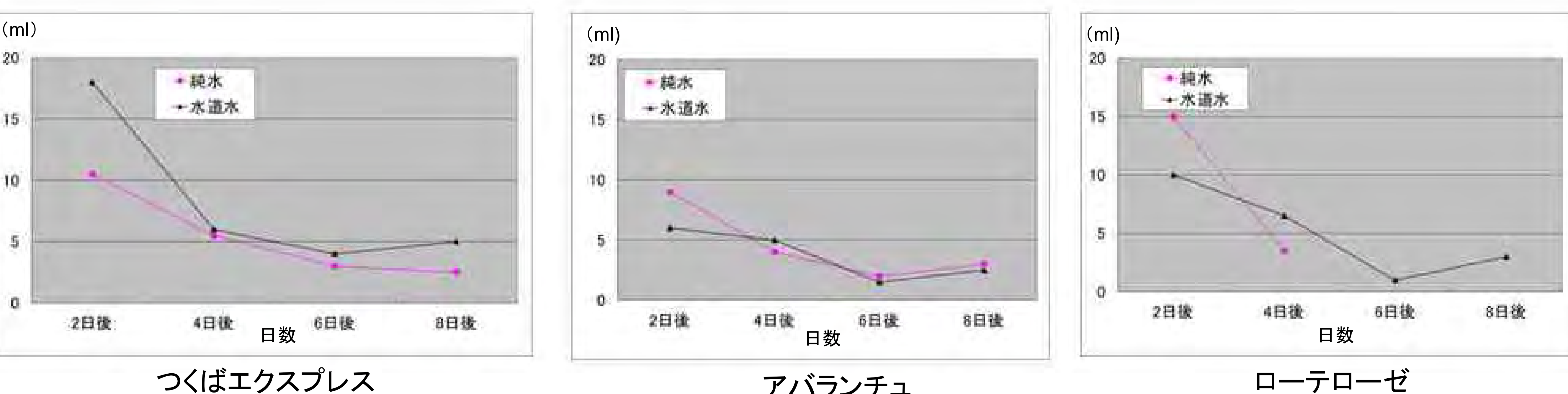


図3 バラ切り花の日持ち性試験における、切り花1本当たりの吸水量の変化

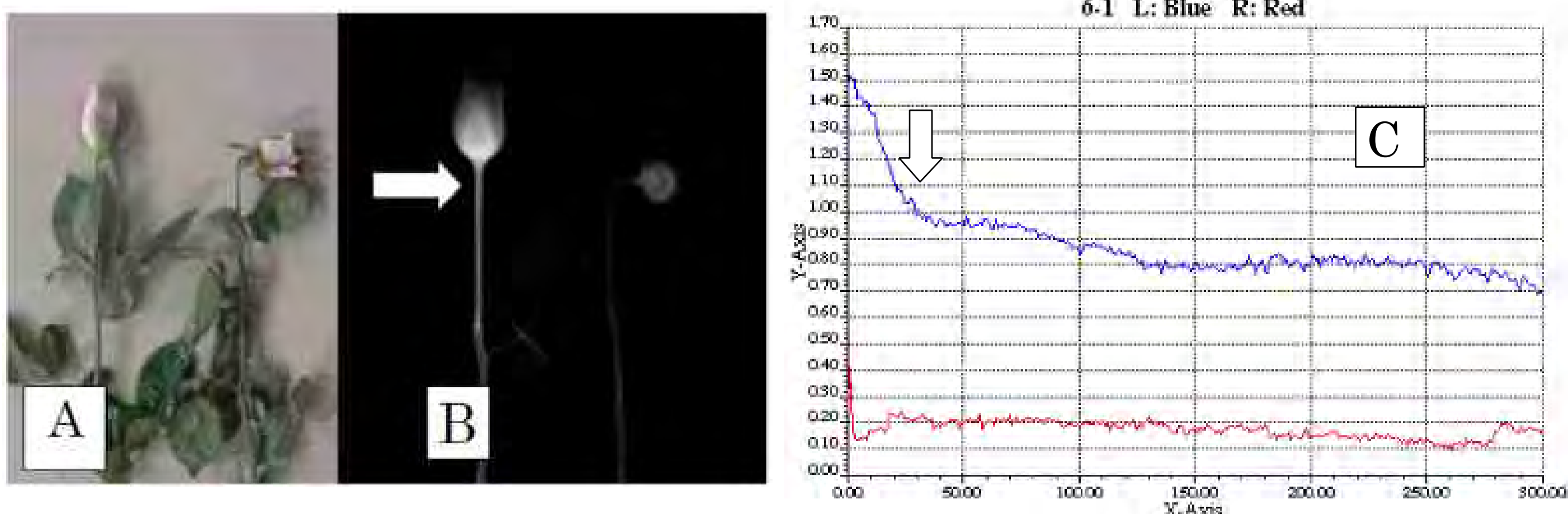


図4 バラ「つばえクスプレス」の切り花における中性子ラジオグラフィ結果  
 A: 中性子を照射した試料の状態(左:健全花、右:ドライフラワー)  
 B: 中性子イメージングの画像(左:健全花、右:ドライフラワー)  
 画像が明るいほど、H(水素)の存在により中性子の透過率が減少していることを示す。白矢印は花首部を示す。またこの部位の明るさをCのグラフ中に白矢印で示す。  
 C: 画像の明るさをグラフにしたもの(青線:健全花、赤線:ドライフラワー)  
 縦軸の値が大きいほど水分含量が多いことを示す。

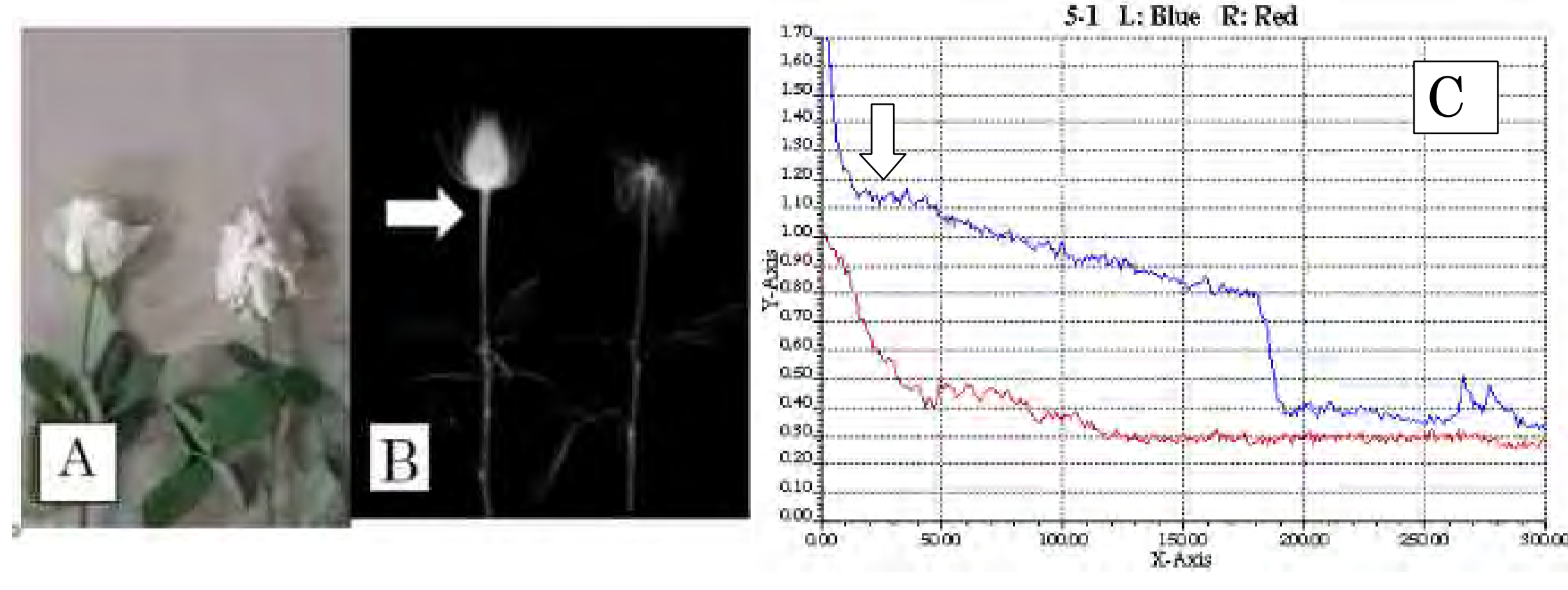


図5 バラ「アバランチェ」の切り花における中性子ラジオグラフィ結果  
 A: 中性子を照射した試料の状態(左:健全花、右:萎れた花)  
 B: 中性子イメージングの画像(左:健全花、右:萎れた花)  
 画像が明るいほど、H(水素)の存在により中性子の透過率が減少していることを示す。白矢印は花首部を示す。またこの部位の明るさをCのグラフ中に白矢印で示す。  
 C: 画像の明るさをグラフにしたもの(青線:健全花、赤線:萎れた花)  
 縦軸の値が大きいほど水分含量が多いことを示す。

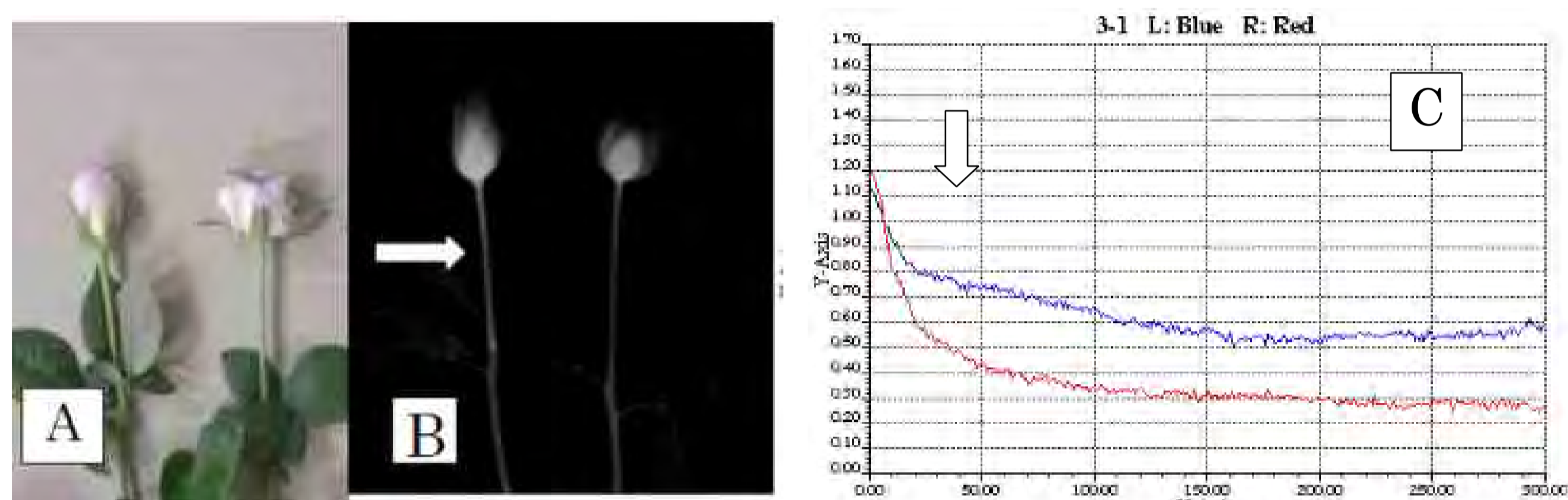


図6 バラ「つばえクスプレス」の切り花における中性子ラジオグラフィ結果  
 A: 中性子を照射した試料の状態(左:健全花、右:軽い萎れ症状の花)  
 画像が明るいほど、H(水素)の存在により中性子の透過率が減少していることを示す。白矢印は花首部を示す。またこの部位の明るさをCのグラフ中に白矢印で示す。  
 B: 中性子イメージングの画像(左:健全花、右:軽い萎れ症状の花)  
 画像が明るいほど、H(水素)の存在により中性子の透過率が減少していることを示す。白矢印は花首部を示す。またこの部位の明るさをCのグラフ中に白矢印で示す。  
 C: 画像の明るさをグラフにしたもの(青線:健全花、赤線:ドライフラワー)  
 縦軸の値が大きいほど水分含量が多いことを示す。

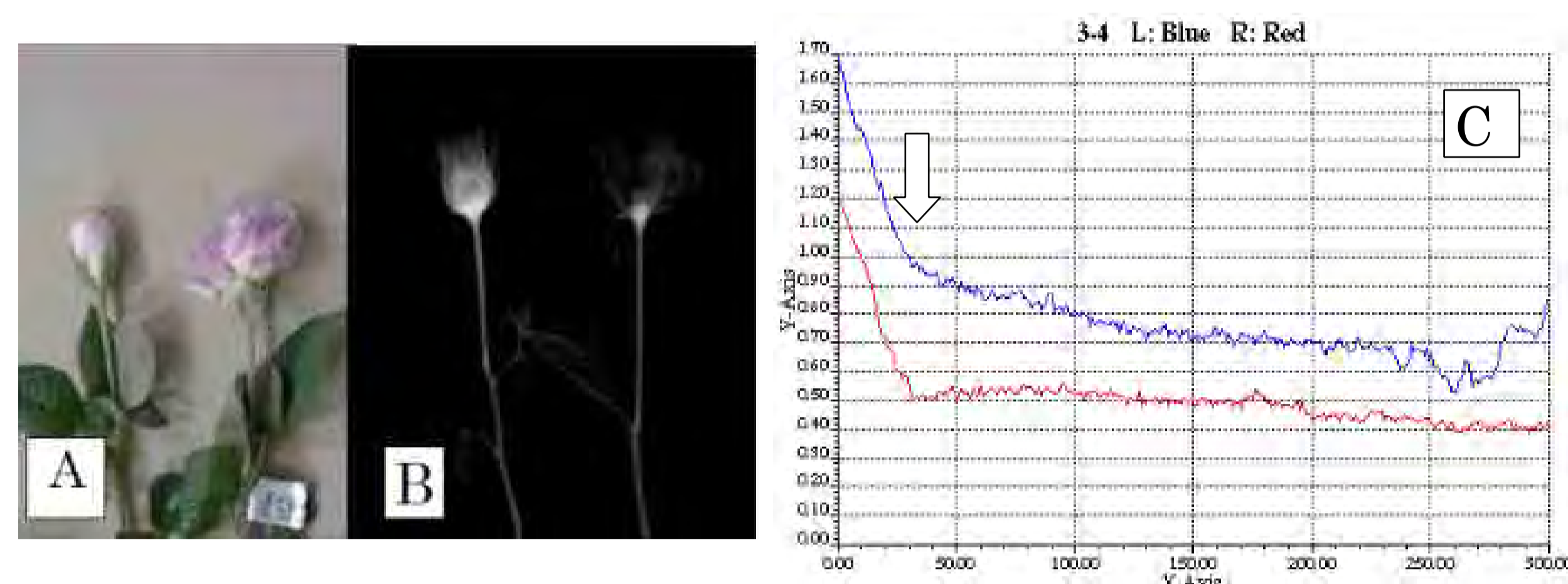


図7 バラ「つばえクスプレス」の切り花における中性子ラジオグラフィ結果  
 A: 中性子を照射した試料の状態(左:健全花、右:完全に萎れた花)  
 B: 中性子イメージングの画像(左:健全花、右:完全に萎れた花)  
 画像が明るいほど、H(水素)の存在により中性子の透過率が減少していることを示す。白矢印は花首部を示す。またこの部位の明るさをCのグラフ中に白矢印で示す。  
 C: 画像の明るさをグラフにしたもの(青線:健全花、赤線:完全に萎れた花)  
 縦軸の値が大きいほど水分含量が多いことを示す。

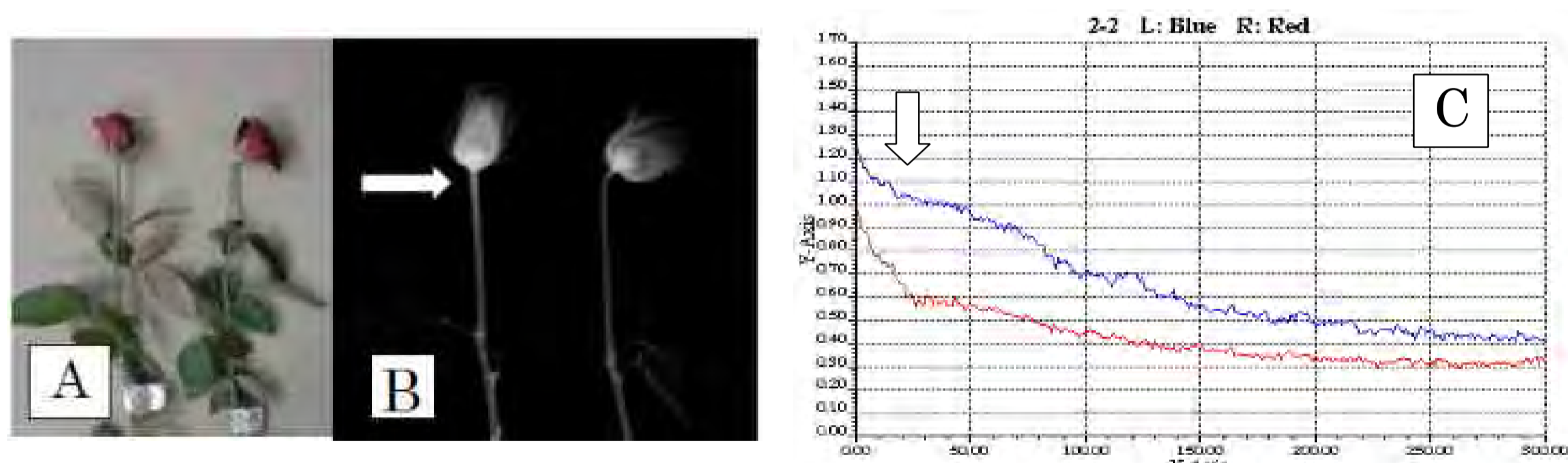


図8 バラ「ローテローゼ」の切り花における中性子ラジオグラフィ結果  
 A: 中性子を照射した試料の状態(左:健全花、右:軽いベントネック)  
 B: 中性子イメージングの画像(左:健全花、右:軽いベントネック)  
 画像が明るいほど、H(水素)の存在により中性子の透過率が減少していることを示す。白矢印は花首部を示す。またこの部位の明るさをCのグラフ中に白矢印で示す。  
 C: 画像の明るさをグラフにしたもの(青線:健全花、赤線:軽いベントネック)  
 縦軸の値が大きいほど水分含量が多いことを示す。

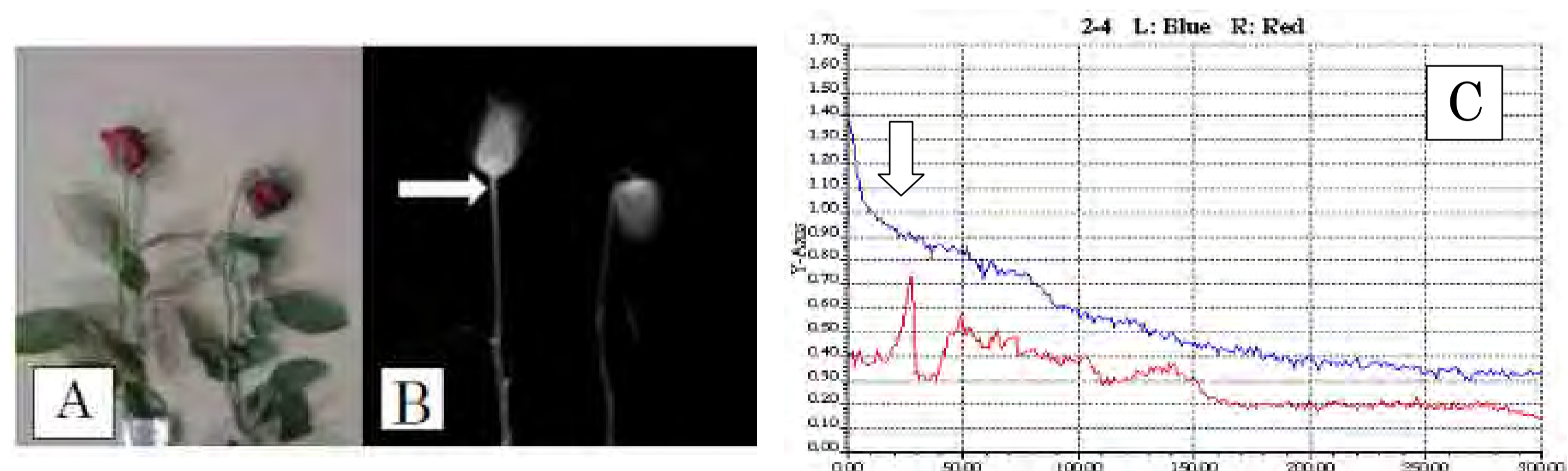


図9 バラ「ローテローゼ」の切り花における中性子ラジオグラフィ結果  
 A: 中性子を照射した試料の状態(左:健全花、右:完全にベントネック)  
 B: 中性子イメージングの画像(左:健全花、右:完全にベントネック)  
 画像が明るいほど、H(水素)の存在により中性子の透過率が減少していることを示す。白矢印は花首部を示す。またこの部位の明るさをCのグラフ中に白矢印で示す。  
 C: 画像の明るさをグラフにしたもの(青線:健全花、赤線:完全にベントネック)  
 縦軸の値が大きいほど水分含量が多いことを示す。

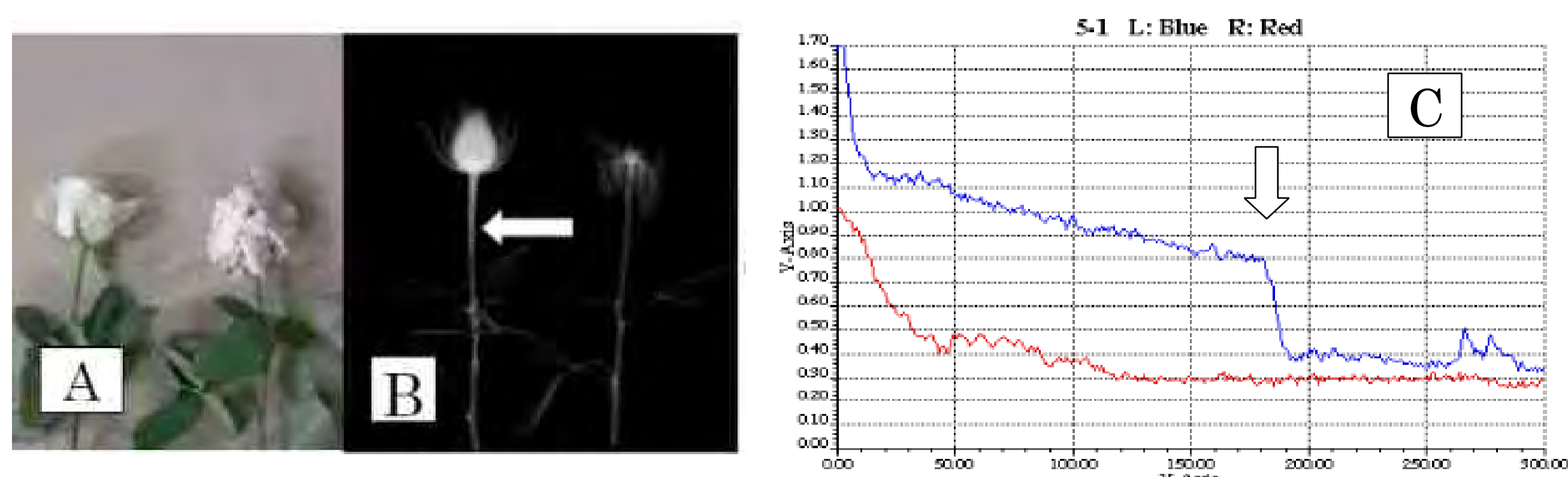


図10 バラ「アバランチェ」の切り花における中性子ラジオグラフィ結果  
 A: 中性子を照射した試料の状態(左:健全花、右:萎れた花)  
 B: 中性子イメージングの画像(左:健全花、右:萎れた花)  
 画像が明るいほど、H(水素)の存在により中性子の透過率が減少していることを示す。白矢印は茎の途中で水分が途切れている状態を示す。またこの部位の明るさをCのグラフ中に白矢印で示す。  
 C: 画像の明るさをグラフにしたもの(青線:健全花、赤線:萎れた花)  
 縦軸の値が大きいほど水分含量が多いことを示す。

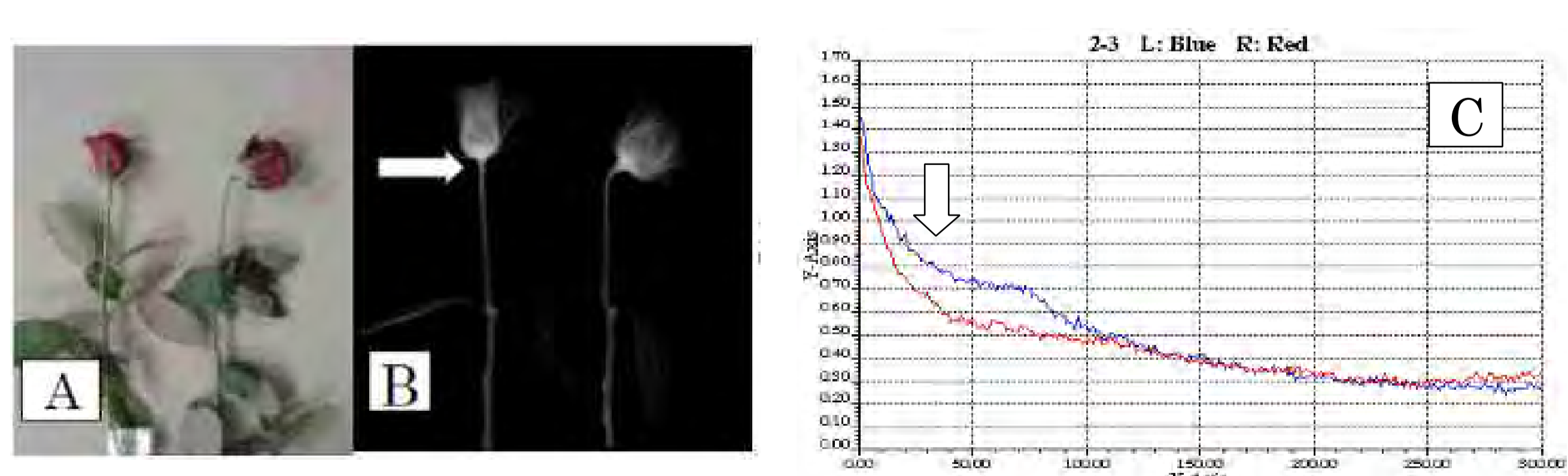


図11 バラ「ローテローゼ」の切り花における中性子ラジオグラフィ結果  
 A: 中性子を照射した試料の状態(左:健全花、右:かなり強いベントネック)  
 B: 中性子イメージングの画像(左:健全花、右:かなり強いベントネック)  
 画像が明るいほど、H(水素)の存在により中性子の透過率が減少していることを示す。白矢印は花首部を示す。またこの部位の明るさをCのグラフ中に白矢印で示す。  
 C: 画像の明るさをグラフにしたもの(青線:健全花、赤線:かなり強いベントネック)  
 縦軸の値が大きいほど水分含量が多いことを示す。

# 農作物中の重金属の即発γ線分析

利用者 ○今瀬肇<sup>1</sup>、河野澄夫<sup>2</sup>、田野井慶太郎<sup>3</sup>

所属 1 茨城県企画部、2 (独) 食品総合研究所、3 東京大学

## 1. はじめに

農作物の原産地の特定は食品の安全・安心を得る重要な情報として近年消費者ニーズが非常に高まってきた。一方、優良な日本の品種が海外に無断で流出し、日本へ再輸入されている農産物もあり、わが国で開発した品種保護ならびに農業の優位性を確保する上でも産地特定は非常に重要な課題である。しかし現在DNAマーカー等を利用した判別検査が主流であり、この方法では同じ種の生育地の差を得ることは困難であり、産地の偽造を防ぐことはできない。そこで、熱中性子放射化分析 (INAA: Industrial neutron activation analysis) や即発ガンマ線分析 (PGA: prompt gamma-ray analysis) を本課題に初めて応用し、マクロ元素に加え、重金属や希土類元素などの多元素を同時に高感度で測定することにより、農産物産地判別可能な元素の抽出ならびに判別の精度を飛躍的に向上させることを目的とする。特に、本トライアルユースではPGAを農作物へどのように適用させるかについて検討する。

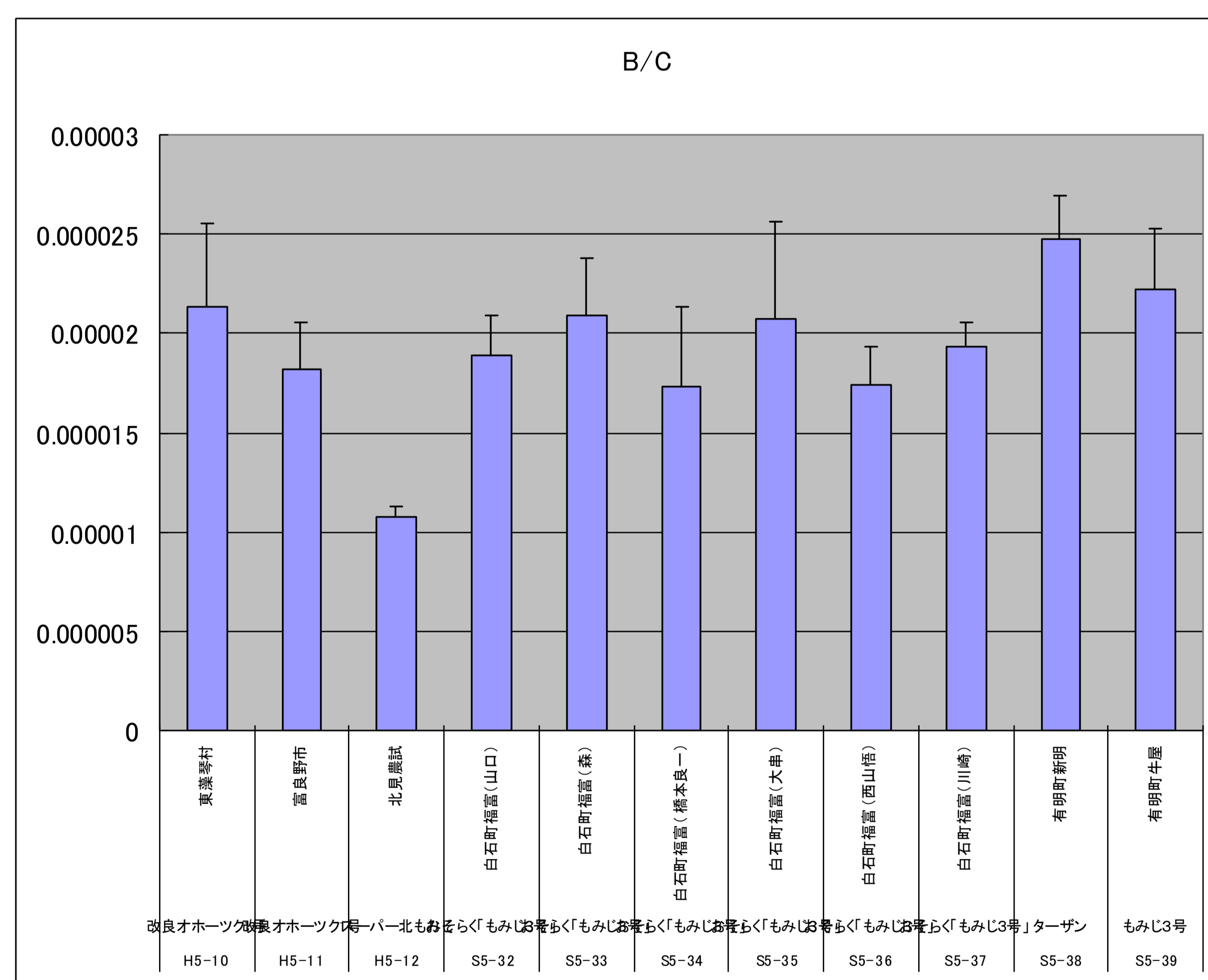
これら中性子を利用した分析法を組み合わせることで60種類前後の元素の分析値を求めることが可能である。これら分析法は全て非破壊分析であることから、他の分析法では不可能な超微量元素についての絶対値を求めることができる。現在元素分析法として採用されている手法であるICP-MSや原子吸光法では、対象とする元素量が少量になればなるほど、試料を溶液にするために使用する薬品からの分析微量元素が混入する危険性、ならびに試料が完全に溶液化するかどうか、かつ酸分解により測定できなくなる元素の発生などが問題となるため分析精度が低くなることを避けることができない。そこで、農産物の湿式操作を伴わない非破壊分析可能な中性子線を用いる多元素同時分析法を本研究に応用し、産地判別の可能性を研究する。サンプルとして今年度はタマネギを使用した。日本が輸入する野菜において最も量が多いのがタマネギであるからである。

## 2. 実験方法

産地の明確なタマネギをすりつぶし、均一化した後、60°Cで風乾させFEPフィルムに封入し、PGA測定試料とした。測定時間は様々に検討した結果、2000秒とした。

## 3. 実験結果

測定の結果、前回同様C,H,S,B,Cl,Kに関してピークを確認できた。上半期では、佐賀産のタマネギ8種類と、北海道産タマネギをそれぞれ3連ずつ測定した。



## 4. まとめ

上半期では、タマネギサンプルの測定時間の見当と、北海道産3種類と佐賀産8種類の測定を行った。しかし、数点では統計的なデータは得られなかった。

今後は、さらに多くの試料について測定し、候補となる元素を探索する。また、INAAでのデータもあわせ、高精度な産地特定システムの構築を目指す。



# 農作物中の重金属の即発γ線分析

利用者 ○今瀬肇<sup>1</sup>、河野澄夫<sup>2</sup>、田野井慶太郎<sup>3</sup>

所属 <sup>1</sup>茨城県企画部、<sup>2</sup>(独)食品総合研究所、<sup>3</sup>東京大学

## 1. はじめに

農作物の原産地の特定は食品の安全・安心を得る重要な情報として近年消費者ニーズが非常に高まってきている。一方、優良な日本の品種が海外に無断で流出し、日本へ再輸入されている農産物もあり、わが国で開発した品種保護ならびに農業の優位性を確保する上でも産地特定は非常に重要な課題である。しかし現在DNAマーカー等を利用した判別検査が主流であり、この方法では同じ種の生育地の差を得ることは困難であり、産地の偽造を防ぐことはできない。そこで、機器中性子放射化分析 (INAA) や即発ガンマ線分析 (PGA) を本課題に初めて応用し、主要元素に加え、重金属や希土類元素などの多元素を同時に高感度で測定することにより、農産物産地判別可能な元素の抽出ならびに判別の精度を飛躍的に向上させることを目的とする。特に、本トライアルユースではPGAを農作物へどのように適用させるかについて検討する。

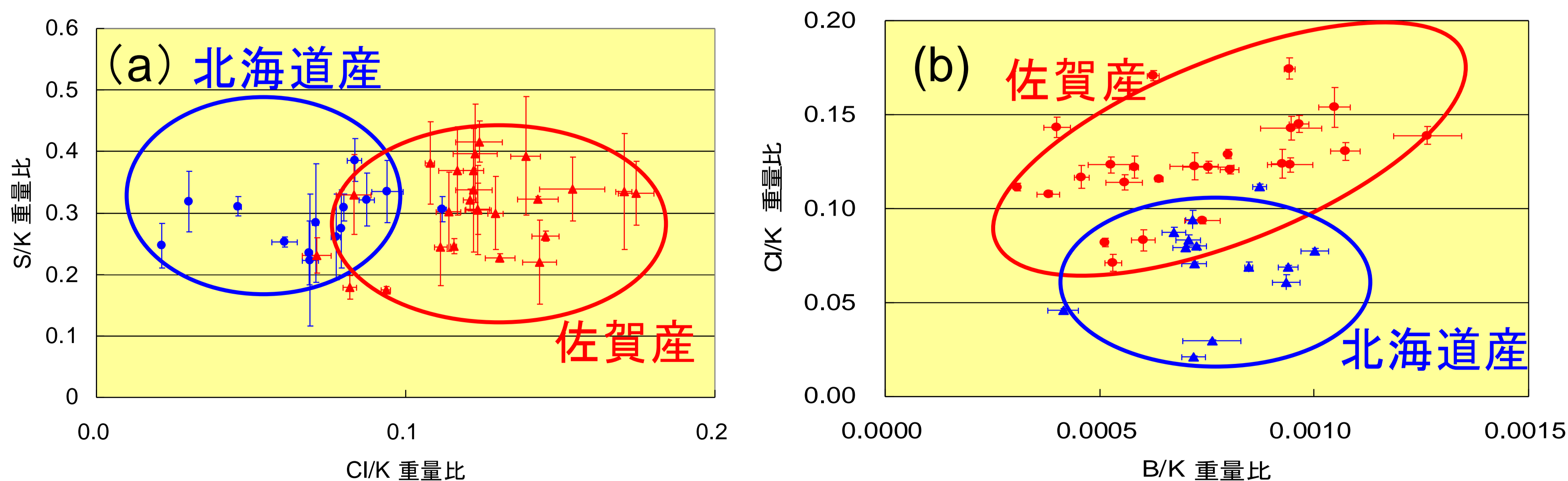
これら中性子を利用した分析法を組み合わせることで60種類前後の元素の分析値を求めることが可能である。これら分析法は全て非破壊分析であることから、他の分析法では不可能な超微量元素についての絶対値を求めることができる。現在元素分析法として採用されている手法であるICP-MSや原子吸光法では、対象とする元素量が少量になればなるほど、試料を溶液にするために使用する薬品からの分析微量元素が混入する危険性、ならびに試料が完全に溶液化するかどうか、かつ酸分解により測定できなくなる元素の発生などが問題となるため分析精度が低くなることを避けることができない。そこで、農産物の湿式操作を伴わない非破壊分析可能な中性子線を用いる多元素同時分析法を本研究に応用し、産地判別の可能性を研究する。サンプルとして今年度はタマネギを使用した。日本が輸入する野菜において最も量が多いのがタマネギであるからである。

## 2. 実験方法

産地の明確なタマネギをすりつぶし、均一化した後、60°Cで風乾させFEPフィルムに封入し、PGA測定試料とした。測定時間は様々に検討した結果、2000秒とした

## 3. 実験結果

上半期での測定の結果、前回同様C,H,S,B,Cl,Kに関してピークを確認できた。そこで、下半期は北海道産、佐賀産ともに、サンプルを増やした。その結果、カリウムに対する塩素、硫黄、ホウ素について2次元プロットしたところ、北海道産と佐賀産の間で傾向が分かれる可能性が出てきた。



タマネギの元素濃度分布 (a) S/K - Cl/K, (b) Cl/K - B/K

## 4. まとめ

今後は、INAAでのデータもあわせ、データ量を増やし、主成分解析等ケモメトリクスを駆使し、高精度な産地特定システムの構築を目指す。

# 地質試料等の多元素同時非破壊分析

利用者 ○今瀬肇<sup>1</sup>、辻正道<sup>2</sup>、川村光生<sup>3</sup>、秋元武<sup>3</sup>、新関隆<sup>4</sup>

所属 <sup>1</sup>茨城県企画部、<sup>2</sup>E&Eソリューションズ(株)、<sup>3</sup>巽工業(株)、<sup>4</sup>東京家政大学

## 1. はじめに

開発途上国では、休止金鉱山跡地などに含まれる金を、家族単位程度の小規模集団による水銀アマルガム法を用いて採取することが広く行われており、その産出量は総金地金の40%に達するとの推計もある。このような金採掘作業で排出された水銀が河川水、底質、周辺樹木などに環境基準を大きく超えて蓄積することが昨今問題となってきた。世界銀行もこのような状況に関心を払っているが、実態はあまり知られていない。

即発γ線分析法は固体試料のまま、Cd、Hg等の有害元素や金など貴金属元素の高精度の非破壊同時多元素定量が可能であるため、環境汚染の実態の把握のみならず、蛍光X線分析など汎用定量法の正確さの確認、精度管理などに有効に利用できる可能性がある。

## 2. 実験方法

試料：世界各地の産金地帯、金鉱山、金鉱精錬所などから収集した試料のうち、本実験では①モンゴル・ボロー川流域、②コピアポ（チリ北部の小都市）郊外の金精錬所、③日本の金鉱山周辺で採取した試料を選定した。これをメノウ乳鉢で粉碎し、約150mgを直径1cmのペレットに成型し、フッ素樹脂フィルムで作成した袋に入れて封入し、測定した。

## 3. 実験結果

PGAにより元素分析した結果、水銀が試料①で71ppm、試料②で約900ppm検出されたが、日本の試料では検出されなかった（下表）。水銀は金採取目的で使用されるものであるが、一方でヒトの曝露原因物質となっている可能性がある。

これら試料はいずれも一般の地質試料と比べて高濃度のホウ素を含有していることが判明した。特に試料②、③は、400-500ppmのホウ素を含有しており、鉱床の成因との関りに興味を持たれる。

いずれの試料のカリウム含有量が高い。これは、風化が進んだ結果、生成した粘土成分に多く含まれているものと推定される。また、これら試料のチタン含量は、鉄含量に比べ、非常に多い特徴が観察された。

以上の成果は、ホウ素を含む多元素同時分析可能なPGA法による所が大である。

金鉱山試料の即発γ線分析結果 (2006/7/29)

Element	Energy (keV)	Unit	Analytical Results		
			Borrow Sediment	Copiapo Gold Mine	Japan
H	2223	%	0.138 ±0.01	0.0421 ±0.002	0.59 ±0.04
B	478	ppm	32.9 ±0.2	421 ±2	486 ±1
Al <sup>*1</sup>	1779	%	6.5 ±0.5	11.0 ±0.8	8.6 ±0.6
Si	3534	%	50 ±4	29 ±2	40 ±3
S	842	%	N.D.	3.1 ±0.3	N.D.
K	770	%	1.4 ±0.1	2.6 ±0.2	1.9 ±0.1
Ti	1381	%	0.21 ±0.03	0.32 ±0.04	0.26 ±0.02
Fe	352	%	7.2 ±0.8	8.6 ±0.7	6.3 ±0.5
Sm <sup>*2</sup>	333	ppm	3.5 ±0.6	4.4 ±0.9	2.8 ±0.4
Hg	368	ppm	71 ±11	893 ±61	N.D.

\*1: 半減期及びバックグラウンド補正なし

\*2: 非1ν元素

N.D. 検出されず

## 4. まとめ

地下資源、特に鉱物資源の開発には随伴する有害副成分や化学物質の取り扱いに、近年特に環境側面が重視されるようになったため注意が払われるようになってきた。しかし、途上国では教育訓練や技術知識の欠如などから、必ずしも十分環境配慮活動が効果を挙げていない面もある。本実験で使用した多元素同時分析法により、環境への排出規制項目であるホウ素含有量が高いことが判明した。

# 有機塩素系農薬ドリンドリン剤を吸着する活性炭の 活性点となる活性元素の分析

利用者 ○西原英治

所属 新潟県農業総合研究所園芸研究センター

## 1. はじめに

30年以上前に使用が禁止された農薬ドリンドリン系農薬、特にディルドリンがキュウリ果実から残留基準値（0.02ppm）以上で検出され、食の安全性の観点から大きな問題になっている。そこで近年、我々はキュウリ果実へのディルドリンを吸収移行させない技術として吸着資材；活性炭を用いた吸収抑制技術の開発を確立させた。しかし、活性炭の種類は原材料や賦活方法等の違いから吸着特性は多種多様であるため、ディルドリンを良く吸着させるものとそうでないものがあることを実証試験から明らかにしている。その原因を把握するために、一般的な活性炭の特性である比表面積、ミクロ孔表面積、メソ孔表面積等を測定し、吸着メカニズムを把握しようとしたが解明するまでには至らなかった。そこで、本目的は土壌中のディルドリンを良く吸着させる活性炭とそうでない活性炭の2つの活性炭の表面構造等を比較し、ディルドリン吸着のメカニズムを解明する。また、そのメカニズムが解明できたら、目的とする吸着させたい物質に対する活性炭種の選定が容易となり農業的および工業的な利用場面が広がると考えられる。

## 2. 実験方法

ディルドリンの吸着機構解明のための第一歩として、細孔径分布がほぼ同じもので、ディルドリンが良く吸着する活性炭（木質系）とそうでないもの（ヤシガラ系）の2種類を用意し、試料全体にわたって元素分析が可能な中性子PGA法により、それぞれの種類について元素の分析を行い、その違いを比較検討した。さらに、上記の活性炭の黒化度（結晶化度）を調べるために回折実験もあわせて行った。

## 3. 実験結果

### 1) 即発 $\gamma$ 線分析

異なる2つ活性炭の違いは主に3つの元素(H、B、Cl)のみ違いが認められた(表1)。HおよびBは木質系がヤシガラ系よりそれぞれ約9倍、3倍多かった。逆にClは、ヤシガラ系の方が木質系よりも約6倍多かった。

### 2) X線解析

2つの活性炭の炭素構造をX線解析したところ、2つの活性炭の炭素構造はかなり異なっていることが明らかとなった。つまり木質系（ドリンドリン対策用活性炭）には炭素の塊（グラファイト）の結晶が多数認められるのに対してヤシガラ系には全くそのような結晶は認められない。また、ヤシガラ系の炭素構造はかなり小さい細孔が多く木質系にはそのような特性を持っていないことも推察された（データ省略）。

## 4. まとめ

ディルドリンを吸着しやすい（木質系）と吸着しにくい（ヤシガラ系）では活性炭自体の元素の中で3元素に違いが確認されたが、ただ単に活性炭の原材料から由来する元素違いが影響していると推察されるが、その違いがディルドリン吸着能に影響しているかどうかは今後の課題である。次にX線解析による結果では、木質系とヤシガラ系で炭素の構造が違ということが明らかとなった。そのため、今後、細孔直径の分布を比較し、ディルドリンの吸着能の違いが説明できるかどうか検討する。

表1 活性炭試料の即発 $\gamma$ 線分析結果

Element	Energy (keV)	Unit	木質	ヤシガラ
			1500 sec	1500 sec
H	2223	%	9 ±1	1.3 ±0.1
C	1262	%	89	97
B	476	ppm	29 ±4	9 ±1
K	770	%	1.1 ±0.1	1.2 ±0.1
Cl	786+788	%	0.06 ±0.01	0.34 ±0.02

\*Cを内標準元素として、 $k_0$ 法にて定量を行った。

# 小規模金採掘に伴う水銀汚染土壌の 非破壊分析法の開発

利用者 辻 正道<sup>1</sup>、川村 光生<sup>2</sup>、秋元 武<sup>2</sup>、新関 隆<sup>3</sup>、○今瀬肇<sup>4</sup>  
所属 <sup>1</sup>E&Eソリューションズ(株)、<sup>2</sup>巽工業(株)、<sup>3</sup>東京家政大、<sup>4</sup>茨城県

## 1. はじめに

開発途上国では、休止金鉱山跡地などに含まれる金を、家族単位程度の小規模集団による水銀アマルガム法を用いて採取することが広く行われており、その産出量は総金地金の40%に達するとの推計もある。このような金採掘作業で排出された水銀が河川水、底質、周辺樹木などに環境基準を大きく超えて蓄積することが昨今問題となってきた。世界銀行もこのような状況に関心を払っているが、実態はあまり知られていない。

世界各地の小規模産金地帯、金鉱山、金鉱精錬所などから収集した環境試料を分析することにより、特にアマルガム材料として使用される水銀に着目してPGA分析を実施した。平成18年度後期の実験で、①モンゴル・ボロー川流域、②コピアポ（チリ北部の小都市）郊外の金精錬所、③日本の金鉱山周辺、で収集した地質・底質試料から水銀濃度の高いものが見出された。引き続き、平成19年度前期では、④フィリピン・ルソン島北部、⑤カンボジアで採取した河川底質試料等の環境試料を即発 $\gamma$ 線測定した。

## 2. 実験方法

試料：採取した試料は、加熱や粉碎等の前処理はせず、その一部約150mgをフッ素樹脂フィルム袋に封入し、室温で測定した。④の試料は、④-1 精錬所の天井のすす、④-2 河川底質、④-3 廃液貯留池の底質である。すすは、モーター燃料から生成したもので天井や小屋の壁に付着していたものである。

## 3. 実験結果

試料④から極めて高濃度の水銀のほか、ホウ素とカドミウムを、試料⑤から高濃度の水銀とホウ素を検出した。特に、④-1は2%を超える水銀を含んでいることが判明した。発ガン性物質とされているスズや水銀等の重金属と共に複合曝露される劣悪な環境で金精錬が行われている。

いずれの底質試料もカリウム含有量が高い。これは、風化が進んだ結果、生成した粘土成分に多く含まれているものと推定される。また、これら試料のチタン含量は、鉄含量に比べ、非常に多いという特徴が見られた。

汎用的な化学分析法では通常液体試料を分析対象としているため、加熱溶解等の前処理が行われる。時間のかかるこのような前処理をせずに、水銀・カドミウムの重金属類を分析対象として多元素同時高感度分析ができた。水銀は揮発性の高い元素であり、代表的な非破壊分析法であるPIXEでは、試料表面が高温になるため、水銀の化学形によっては真空下で一層揮散しやすい。そのため、化学形が不明の試料では正確なデータが得られたか、確認できない欠点がある。PGAでは室温での非破壊分析であるため、これらの不都合な点はすべて除去されるという長所がある。

本実験で使用したPGAにより、重金属のほか、環境への排出規制項目であるホウ素含有量も高いことが判明した。

## 4. まとめ

地下資源、特に鉱物資源の開発には、原石に随伴する有害副成分や化学物質の取り扱いに、近年特に環境側面が重視されるようになったため注意が払われるようになってきた。しかしながら、途上国では教育訓練や技術知識の欠如などから、必ずしも十分環境配慮活動が効果を挙げていない面もある。

即発 $\gamma$ 線分析法は固体試料のまま、Cd、Hg等の有害元素などの高精度非破壊同時多元素定量が室温で可能であるため、環境汚染の実態の把握などに有効に利用できると思われる。

# 即発γ線分析法を用いた 農産物産地同定の試み

利用者 ○今瀬肇<sup>1</sup>、田野井慶太郎<sup>2</sup>、河野澄夫<sup>3</sup>

所属 <sup>1</sup>茨城県、<sup>2</sup>東京大学、<sup>3</sup>農業・食品産業技術総合研究機構

## 1. はじめに

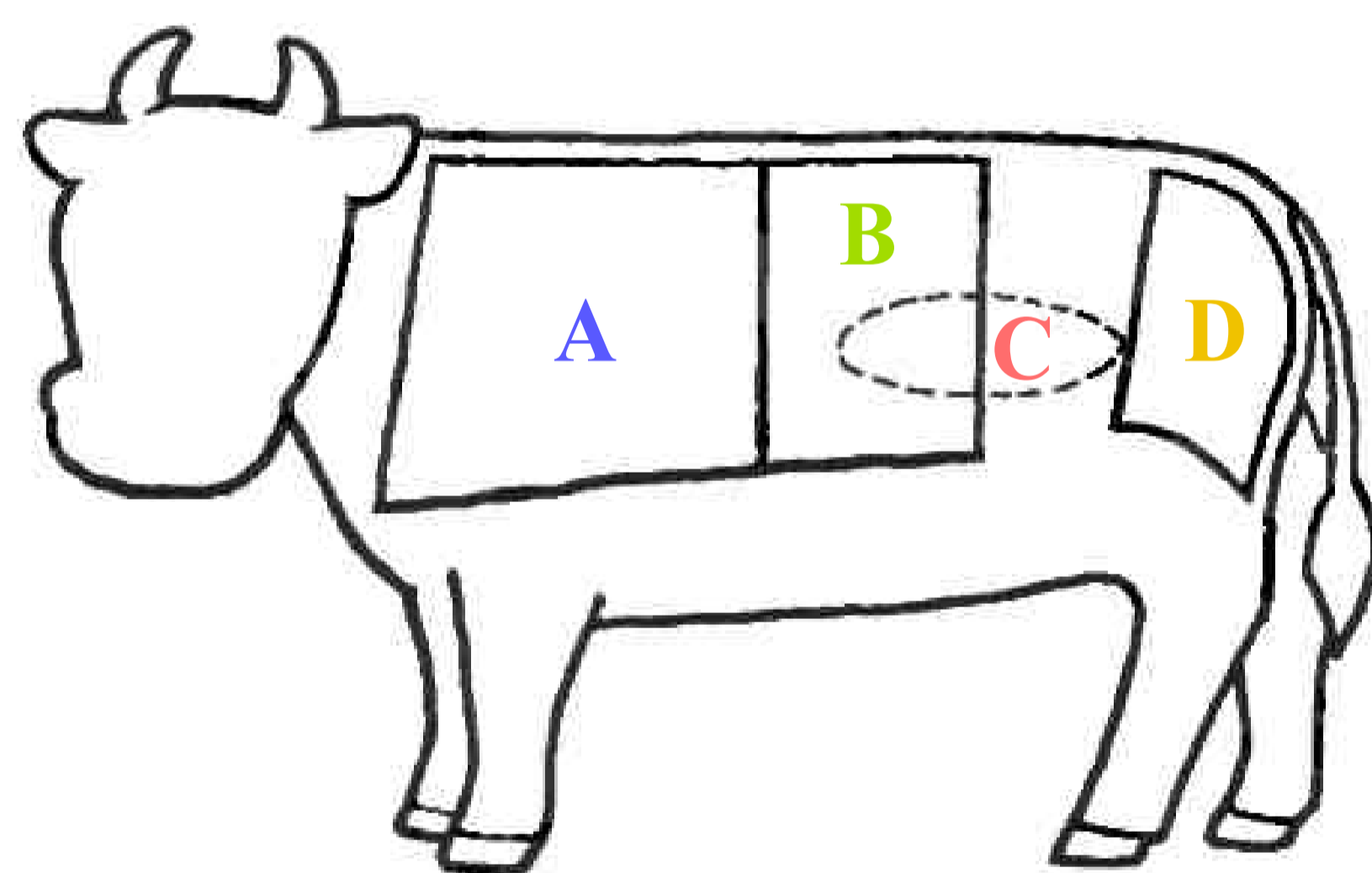
農作物の原産地の特定は食品の安全・安心を得る重要な情報として近年消費者ニーズが非常に高まってきている。一方、優良な日本の品種が海外に無断で流出し、日本へ再輸入されている農産物もあり、わが国で開発した品種保護ならびに農業の優位性を確保する上でも産地特定は非常に重要な課題である。しかし現在DNAマーカー等を利用した判別検査が主流であり、この方法では同じ種の生育地の差を得ることは困難であり、産地の偽造を防ぐことはできない。そこで、熱中性子放射化分析 (INAA: Industrial neutron activation analysis) や即発ガンマ線分析 (PGA: prompt gamma-ray analysis) を本課題に初めて応用し、マクロ元素に加え、重金属や希土類元素などの多元素を同時に高感度で測定することにより、農産物産地判別可能な元素の抽出ならびに判別の精度を飛躍的に向上させることを目的とする。特に、本トリアルユースではPGAを農作物へどのように適用させるかについて検討する。

これら中性子を利用した分析法を組み合わせることで60種類前後の元素の分析値を求めることが可能である。これら分析法は全て非破壊分析であることから、他の分析法では不可能な超微量元素についての絶対値を求めることができる。現在元素分析法として採用されている手法であるICP-MSや原子吸光法では、対象とする元素量が少量になればなるほど、試料を溶液にするために使用する薬品からの分析微量元素が混入する危険性、ならびに試料が完全に溶液化するかどうか、かつ酸分解により測定できなくなる元素の発生などが問題となるため分析精度が低くなることを避けることができない。そこで、農産物の湿式操作を伴わない非破壊分析可能な中性子線を用いる多元素同時分析法を本研究に応用し、産地判別の可能性を研究する。サンプルとして今年度は牛肉を使用した。牛肉はオーストラリア産やアメリカ産の輸入が多く、日本産のものと値段でも大きく開きがあるため、科学的な産地判別の方法について社会的ニーズが高い。

## 2. 実験方法

牛肉を4種類 (国産黒毛和牛・国産ホルスタイン・オーストラリア産ホルスタイン・アメリカ産牛肉) をすりつぶし、均一化した後、フリーズドライで乾燥させ、FEPフィルムに封入し、PGA測定試料とした。

左図のように、用いる牛肉の部位は様々なものを用いた。表1に、牛肉の産地、部位およびPGAによる元素濃度測定例を示した。



A, chuck  
B, sirloin  
C, fillet  
D, round

図1: サンプルに用いた牛肉の名称

これら元素濃度結果と産地について主成分解析を行った結果が図2である。図より、国産黒毛和牛 (●) とアメリカ産牛肉 (★) については、グループを作成することが判明した。

一方で、ホルスタインに関しては、オーストラリア産 (▲) および日本産 (■) について、まったくグループを形成しなかった。

## 3. まとめ

本実験より、PGAの分析において得られた元素濃度を使用することで、国産黒毛和牛とアメリカ産牛肉の産地判別ができる可能性が示唆された。一方で、ホルスタインに関しては本研究で行った限りではあるが、元素濃度による産地判別は困難であると思われる。また、牛肉の部位を様々な選んだにもかかわらずグループを形成したことから、肉の部位を特に気にせず産地判別に用いることができることが判明した。

表1 産地情報、肉の部位および元素濃度

No.	origins	parts	k <sub>p</sub> -PGA			
			H (%)	C (%)	N (%)	S (%)
A1	Australia	round	7.4	60.5	12.7	0.79
A2		round	7.5	77.3	12.7	0.69
A3		sirloin	7.8	81.7	8.9	0.51
A4		round	8.2	48.6	12.6	0.75
A5		chuck	10.0	74.2	15.2	0.47
A6		chuck	5.9	29.5	10.0	0.40
U1	United States of America	chuck	8.5	78.5	10.4	0.67
U2		chuck	8.0	57.3	16.7	0.66
U3		chuck	9.3	91.6	16.5	0.74
U4		chuck	8.0	58.8	13.1	0.68
U5		chuck	8.3	85.8	15.6	0.86
H1	Japanese Holstein	sirloin	9.6	78.7	9.6	0.26
H2		sirloin	9.6	91.2	12.2	0.60
H3		chuck	10.5	111.0	10.9	0.39
H4		fillet	8.7	68.9	14.2	0.82
H5		round	8.8	76.8	13.4	0.91
J1	Japanese Black Cattle	round	10.9	72.7	8.9	0.46
J2		round	10.6	86.2	8.2	0.49
J3		unknown	10.7	85.0	4.0	0.23
J4		unknown	8.9	81.4	2.7	0.15
J5		chuck	10.6	100.9	8.5	0.40
J6		chuck	11.8	90.9	3.7	0.05
J7		sirloin	10.8	102.3	1.5	0.14
J8		sirloin	9.3	81.8	4.9	0.22

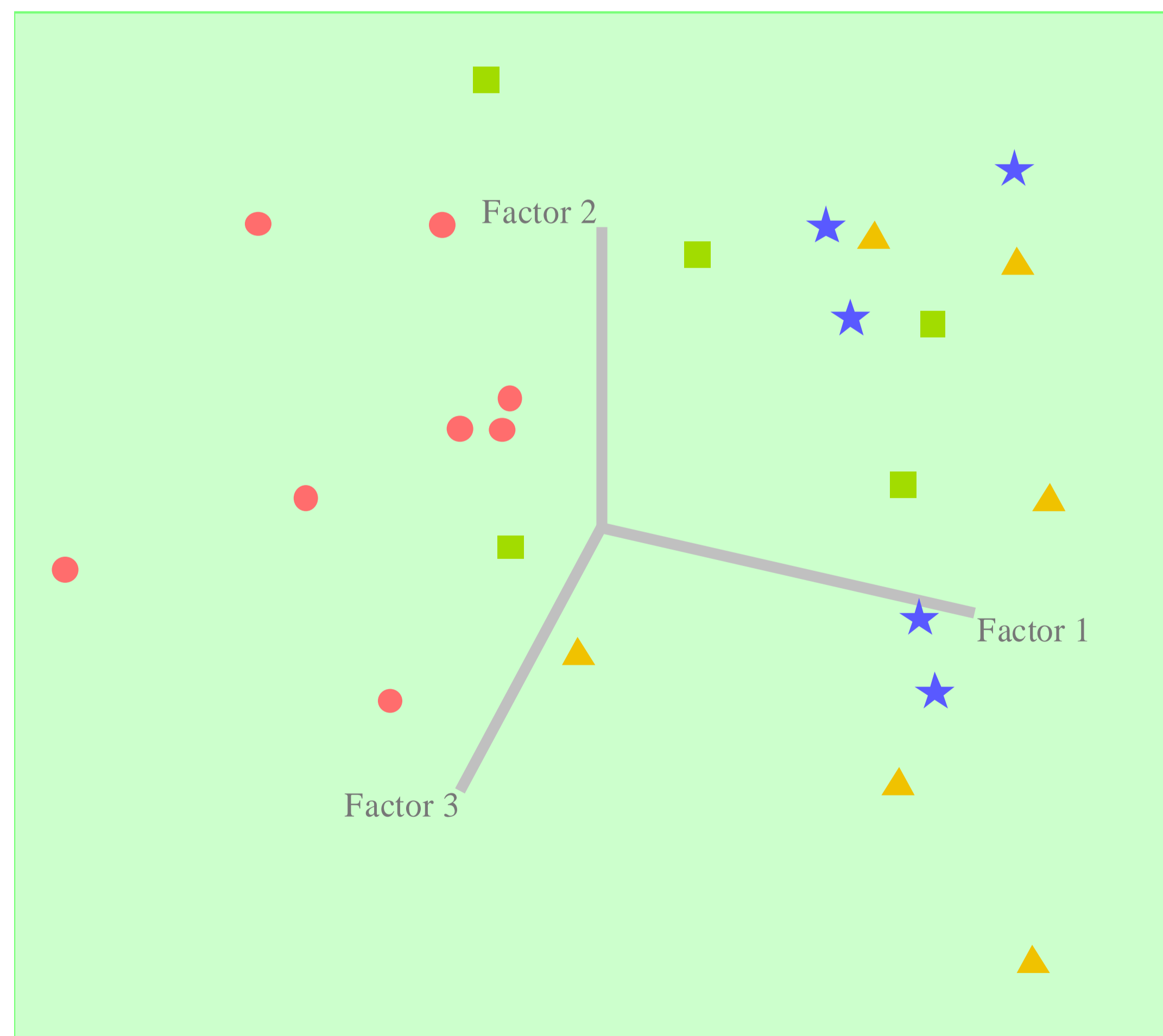


図2: 主成分解析の結果  
▲: Holstein from Australia,  
★: beef from USA,  
■: Holstein grown in Japan,  
●: Japanese black cattle grown in Japan

# 純粋な中性子による植物種子への変異誘導法の検討

利用者 ○ 中川仁、西村実

所属 独立行政法人農業生物資源研究所 放射線育種場

## 1. はじめに（背景、目的）

放射線を利用した突然変異育種には、これまでX線、ガンマ線、中性子、イオンビーム等が用いられ、世界各地で突然変異が誘発され、品種育成や遺伝子解析に利用されてきた。この中で、中性子照射はイオン化密度が高く、ガンマ線とは異なる生体反応を持つため、突然変異率が高く、変異の性質も特異的であると言われている<sup>1)</sup>。一方、中性子を利用した突然変異誘発は古くから行われ、アメリカ合衆国では赤い肉質のグレープフルーツ品種の育成に利用され、また、シロイヌナズナの中性子照射種子は突然変異リソースとして市販されている。そして、現在、全世界で46の品種が登録されている。しかし、我が国で約240ある突然変異直接利用品種の中に、中性子照射によるものはない<sup>3)</sup>。一方、近年、中性子の引き起こす遺伝子欠失の大きさが500~数千塩基対であり、ゲノム情報を利用した逆遺伝学的スクリーニング法に有効との報告があり<sup>2)</sup>、その利用が期待されている。ところが、これまでの中性子照射技術ではガンマ線の混入を防ぐことができず、純粋な中性子のみを照射ではなかった。そのため、これまでの現象も、中性子とガンマ線が複合した結果であると考えられ、中性子照射のみによってどのような影響が照射種子に生じるのかを解明することが大きな課題となっている。JRR3は、純粋な中性子を照射できる装置であることから、これを用いて、イネとダイズ種子に対して純粋な中性子照射を試み、前期においては種子の放射化や発芽率に対する影響を明らかにし、後期においては中性子照射の効果を高めるために、ホウ素処理を試み、中性子の効果を明らかにするのが本研究の目的である。

## 2. 実験方法

照射試料は、1) イネ：「日本晴」と「コシヒカリ」の種子；2) ダイズ：「エンレイ」と「Peking」とした。上期では、照射試料の種子を図1に示すように紙ケース（上期1回目）及び今回この研究のために制作したテフロン製照射ケース(図2)（上期2回目）に数段階で装着し、JRR-3のPGAで中性子照射を行った。下期では、ダイズ「エンレイ」への長時間照射とイネ「日本晴」種子にホウ素処理し、乾燥を行った後にテフロンケースで中性子照射を行った（下期）。また、ホウ素処理は、0.2% H<sub>3</sub>BO<sub>4</sub>溶液に1時間浸したイネを1日風乾させたものを用いた。照射時間は、1回目約10時間、2回目約20時間、3回目のダイズ「エンレイ」は72時間行った。

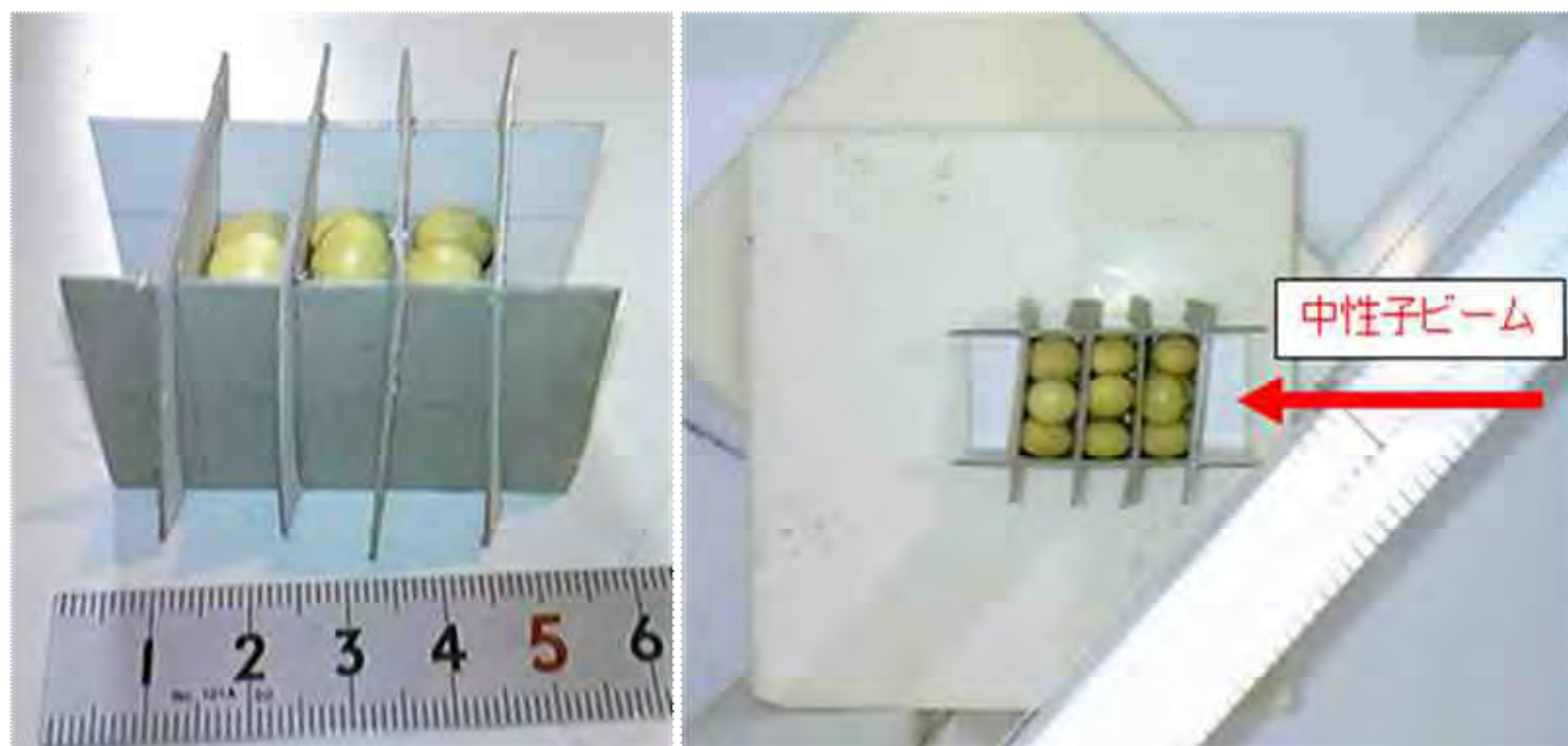


図1 中性子照射のために紙のケースに装着したダイズ「エンレイ」種子（上期）



図2 中性子照射のために作成したテフロン性の照射ケースに装着したイネ（日本晴）とダイズ（エンレイ）（下期）

## 3. 実験結果（図表を含めて）

- 1) 10時間照射（上期1回目）の照射で、品種間差異はほとんど認められないが、イネよりもダイズの方がB（ホウ素）K（カリウム）の含量が高いことが認められた。（図3）
- 2) 線量がバックグラウンドレベルまで減衰後、バイオトロン内で発芽テストを行った結果、イネ、ダイズともに発芽率100%であった。（図4）
- 3) テフロン製の照射ケースを作成し、1回目よりも多量の種子を照射することが可能になった。しかし、20時間照射（上期2回目）の照射でも、照射は発芽率に影響しなかった。
- 4) ホウ素処理効果の検証では、H<sub>3</sub>BO<sub>4</sub>溶液未処理のイネ種子（赤）と比較すると、ホウ素処理後の種子は約20倍のホウ素が添加されていることが解った。しかしながら、定量値は未処理区で約2 ppm、処理区で約40 ppmであり、ホウ素吸収量は高くもないことも判明した。（図5）
- 5) 72時間照射したダイズの照射後線量データより半減期を解析すると、<sup>32</sup>P、<sup>59</sup>Fe、<sup>36</sup>Sが生成されていることが認められた（図6）
- 6) 下期に照射した種子の発芽調査は3月に行う予定になっている。

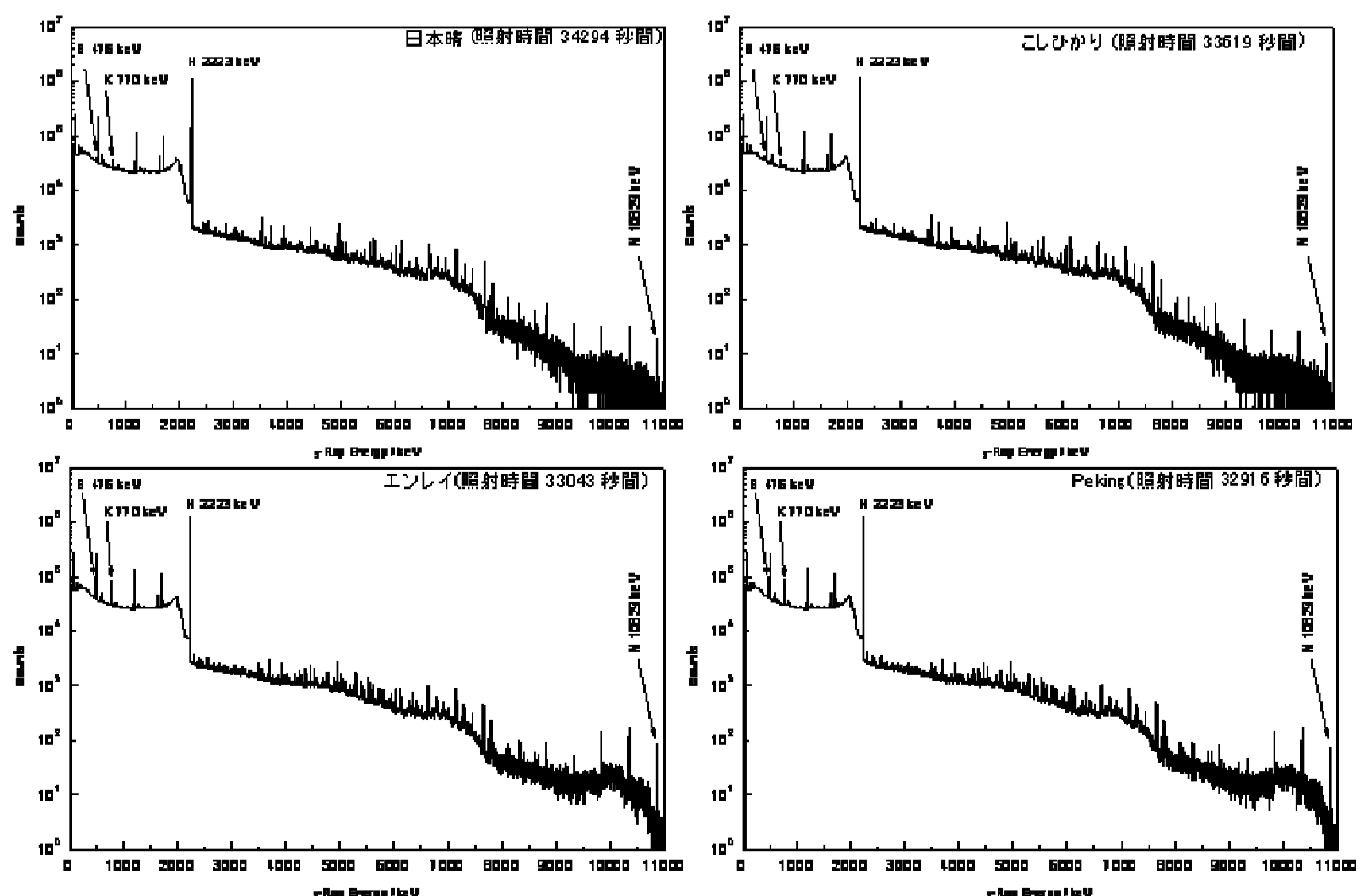


図3 イネ（日本晴（左上）、コシヒカリ（右上））ダイズ（エンレイ（左下）、peking（右下））のPGAスペクトル図



図4 バイオトロン内での発芽試験

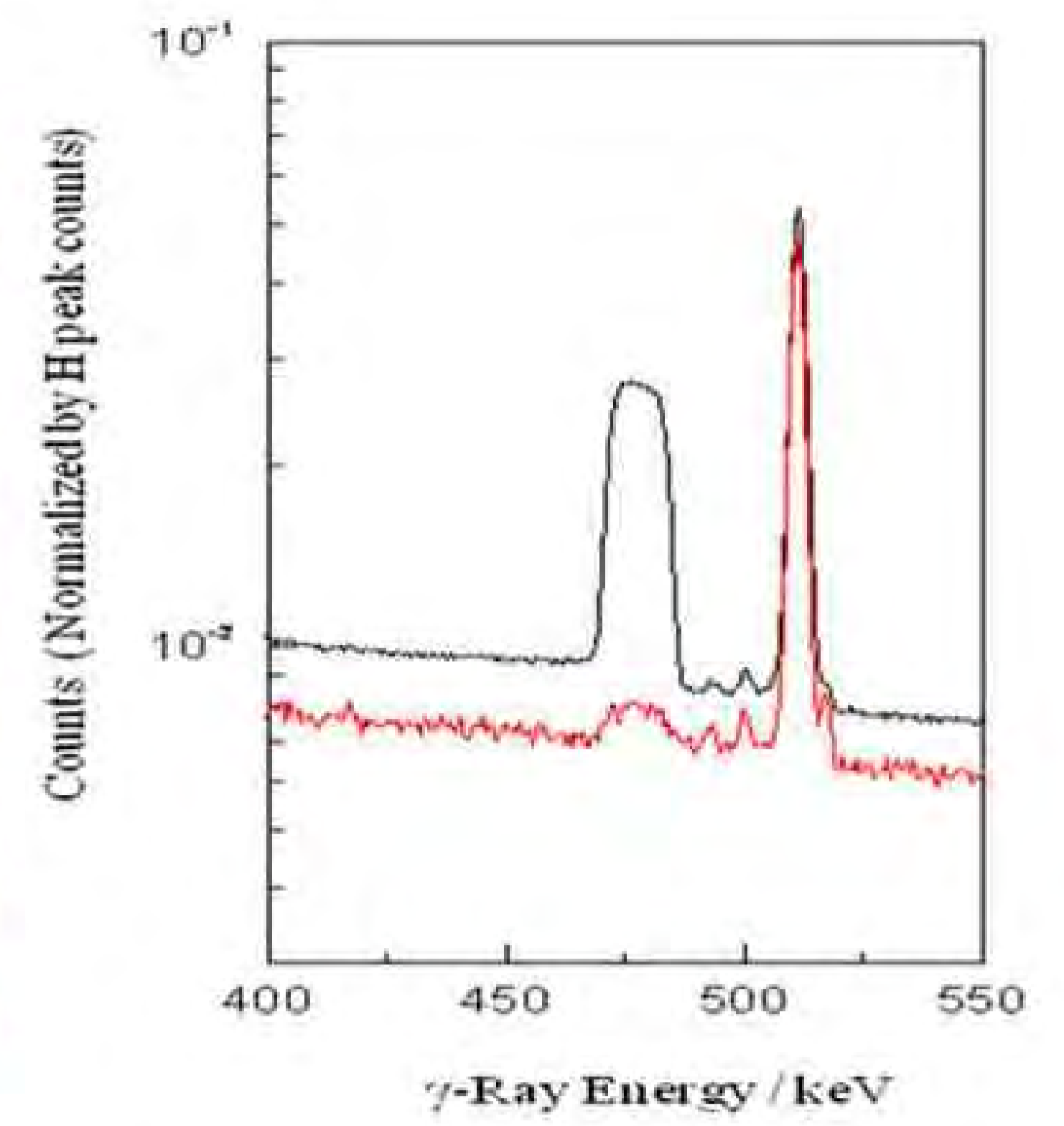


図5  $H_3BO_4$ 溶液未処理のイネ種子（赤）と処理種子におけるホウ素含量の比較

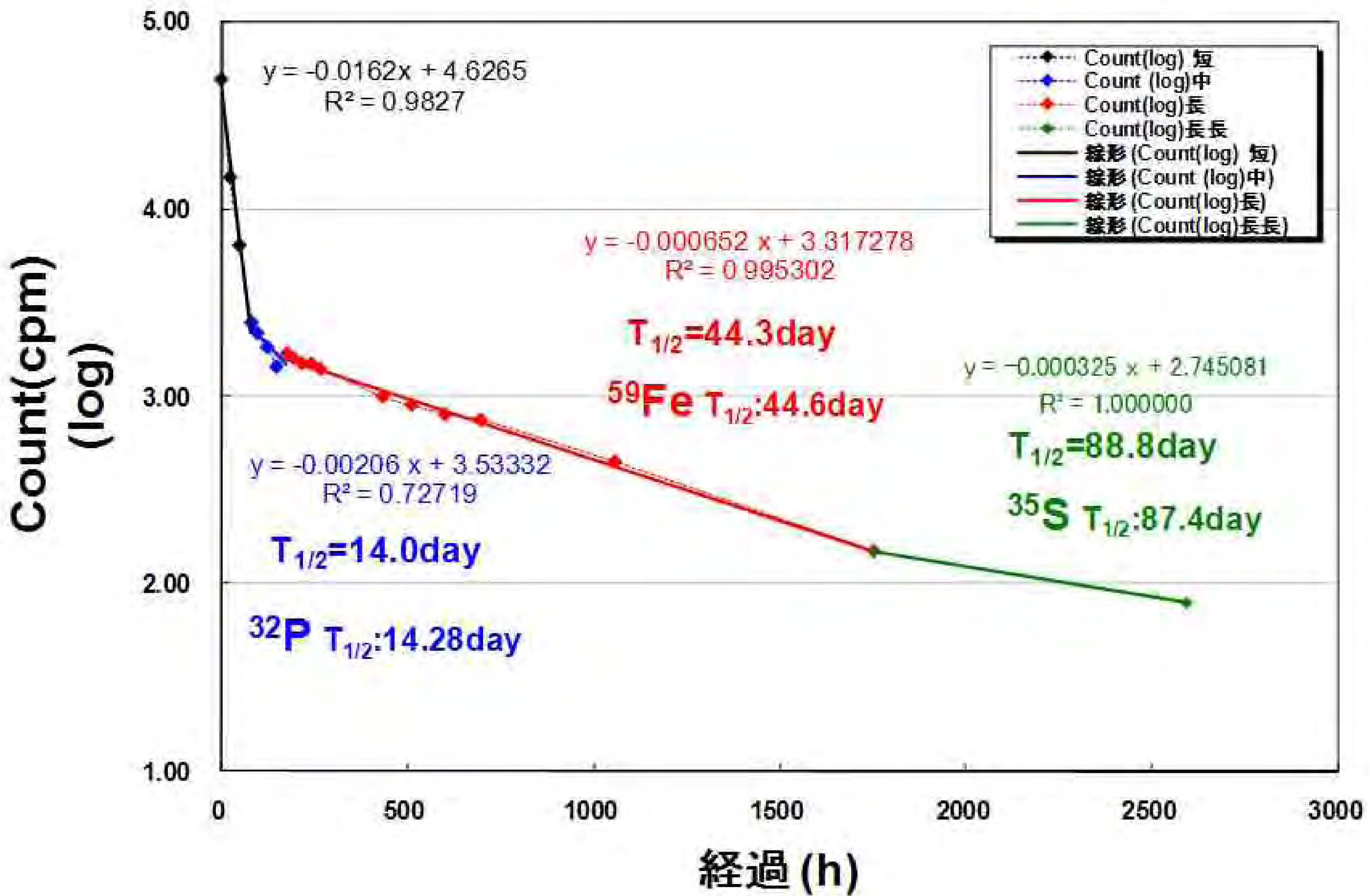


図6 ダイズ「エンレイ」種子に30時間照射を行った結果

#### 4. まとめ

- 1) 純粋な中性子照射（中性子束は $1 \times 10^8$  (n/cm<sup>2</sup>/s) で10時間および20時間行った結果、発芽率に影響が出るほどの変異誘導効果が観察できなかったことから、今後、新たな方法あるいは施設を用いた照射法の確立が必要である。
- 2) ホウ素処理に関しては、種子に吸収させるための他の方法が必要である。

#### 5. 文献

- 1) Ukai, Y. (1986) Gamma Field Symposia 25: 55-70
- 2) 中川仁(2008)突然変異育種の現状と展望、TechnolInnovation 68: 6-12
- 3) Li, X. *et al.* (2001) The Plant Journal 27(3): 235-242.