

羽毛布団の原産地識別への PIXE 一統計解析法の応用

片岡恒史¹、山田知美²、世良耕一郎³、高辻俊宏⁴、中村 剛⁵、野瀬善明⁶

¹横浜市立大学

236-0004 神奈川県横浜市金沢区福浦 3-9

²大阪大学医学部附属病院

565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-2

³岩手医大サイクロトロンセンター

020-0603 岩手県滝沢市留が森 348-58

⁴長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科

852-8521 長崎市文教町 1-14

⁵中央大学理工学部

112-8551 東京都文京区春日 1-13-27

⁶熊本保健科学大学

861-5533 熊本県熊本市北区和泉町 325

1 はじめに

フランスやポーランドをはじめとするヨーロッパ産と表示されて販売されている羽毛布団の大半が偽装表示されている可能性があることが社会問題となっているが、その根本原因は羽毛の産地を特定する手法が未だ世界的に確立していない(2016年5月11日、日本羽毛製品協同組合)ことにある。実際に、中国企業による原産地証明書の偽造が報告されている。2009年6月、ドイツの羽毛加工大手企業ピーターコール(Peter Kohl Nachfolger Franz Kohl KG)社が、中国の羽毛加工会社にポーランド産ダウン割合が26%の羽毛を輸出量や日付などの取引内容が記載された「産地証明書」とともに輸出。その後、中国企業は産地証明書に記載されているダウン割合を26%から93%と偽造し、日本企業に販売したが、品質を不審に思った日本企業が、販売元であるピーターコール社に産地証明書を照合し、偽造が発覚するという事例が報告されている¹。

1.1 日本における羽毛の原産地識別の現状と羽毛ふとんの販売状況

日本羽毛製品協同組合（日羽協）は、フランスなど欧州産の羽毛に価格の安い中国産を混ぜるなどして販売している可能性があるとし、日羽協は加盟社に対して適切な産地表示の徹底を文書で警告した。

2014年5月、日羽協は中国・台湾産の羽毛を詰めた布団の流通量は輸入量に比べて少なく、逆にヨーロッパ産を使用した羽毛布団は輸入量以上の可能性があるとして、加盟社に対して産地を適切に表示するよう警告をした²。実際に、財務省貿易統計（品目コード：050510000）によると、2014年1月から12月の羽毛輸入量は約3337トンである（表1）³。輸入量が1位の中国で49.5%と、輸入量の約半数を占める。次いで、第2位の台湾で23.9%となり、上位2か国（中国・台湾産）で4分の3以上を占めている。またヨーロッパ産では、第3位のフランスが10.7%、第4位のハンガリーが3.8%となっている（図1）。それ以降には、ベトナムやポーランドなど、アジアとヨーロッパ地域が主に続いている。

2015年1月、日羽協は加盟社に対して原産地に関する文書を再度送付し、フランス産と表示している商品の「半分以上は偽装と思われる」、ハンガリーやポーランド産の表示も「産地の信ぴょう性に欠ける」と指摘し、法令順守の徹底を求めた。

日本ふとん協会の事業報告書によると、2014年1月～12月の日本国内の羽毛布団の生産状況は129.6万枚、販売数量は149.5万枚と報告され、さらに2014年1月～12月の羽毛ふとんの輸入枚数は約186万枚と報告がされている⁴。

表1：2014年日本への羽毛輸入量（国別）

国名	輸入量(t)	%
中国	1653	49.5%
台湾	797	23.9%
フランス	359	10.7%
ハンガリー	126	3.8%
ベトナム	114	3.4%
ポーランド	96	2.9%
アメリカ	54	1.6%
ウクライナ	36	1.1%
ロシア	28	0.8%
その他	74	2.2%
合計	3337	

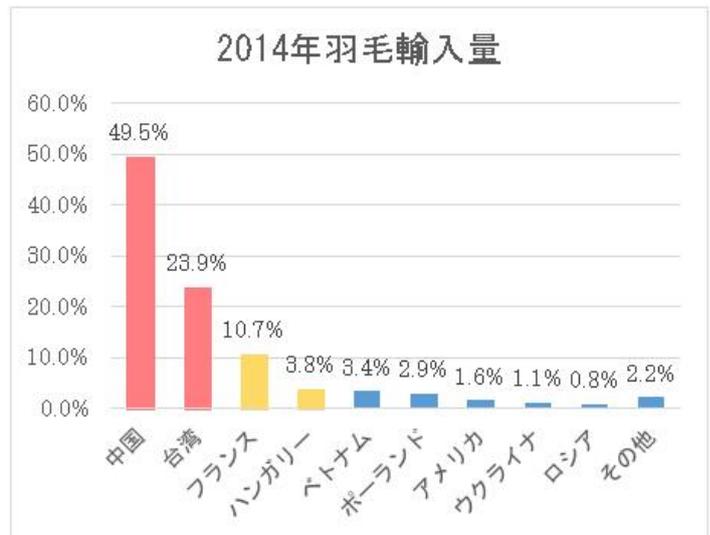


図1：2014年日本への羽毛輸入量ヒストグラム（国別）

1.2 ダウン（羽毛）とフェザー（羽根）の違い

羽毛は、大きく分けてダウン（羽毛）とフェザー（羽根）の2つに分類することが出来る。ダウン（羽毛）とはふわふわとした球状の羽が水鳥の外羽の下にあり、主に腹部に見られる。ダウンの特徴は、綿のようなふわふわとした形状をしている為、多くの空気を含んでおり、軽量性・断熱性・弾力性・耐久性・柔軟性に優れており、ダウンが集まると自然な弾力性が生まれ、丈夫で長持ちする製品を生み出している。また一つ一つのダウンがボール状にまとまったものをダウンボールと呼ぶ。一方、フェザー（羽根）の特性は、湾曲した羽軸がありダウンと比べると大きく重い。フェザーの形状が平坦である為、ダウンと同様の断熱性を得るには、ある程度の分量が必要となる。

1.3 グースダウンとダックダウンの違い

寝具に利用されるダウンは、グース（ガチョウ）ダウンの方がダック（アヒル）のダウンと比べて貴重として市場で認識をされている。主な理由は、グースの方が体長が大きい為、ダウンボールは一般的にダックダウンのダウンボールよりも大きく、かさ高性に富んでいるからである。結果としてグースダウンは高いフィルパワーを持ち、ダックダウンよりも弾力性および耐久性に優れている。またダウンのかさ高性を表す単位として、フィルパワー（FP:fill power）が使われている。FPは、羽毛30g当たりの膨らみ度合いを立方インチで表す。

1.4 ヨーロッパと中国における飼育環境の違い

ダウンは、食用を主目的として飼育されたグースやダックの副産物である。ヨーロッパでは食肉用やフォアグラ用として飼育され、中国では北京ダック用として飼育されている鳥から採取される。飼育期間の長さはダウンの品質に比例し、飼育期間が長いほど成鳥となり良質のダウンを採取することが出来る。しかし、食肉用の場合は肉質などの観点から若い鳥が好まれる為に、羽毛が十分に成長せず品質が劣ってしまうという問題がある。一般的に、未熟なダウンは、かさ高性能が悪い為、ダウン繊維が壊れやすいことから商品が短期間でへたってしまう欠点がある。

1.5 現状の羽毛産地特定方法（Stable Isotope Analysis）

渡り鳥の研究分野の生息地特定方法は、同位体分析(stable isotope analysis)を用いて羽毛の分析が行われ生息地が特定される⁵。同位体分析は、羽毛に含まれるアミノ酸の構成元素である、炭素（C）、水素（H）、窒素（N）、酸素（O）の同位体比の僅かな変異を使用して生育地を特定する。しかし、4元素のみを使用した識別法では、複数産地の羽毛が含まれる布団の産地を特定する方法は未だ実用上十分な精度を有しない。

そこで本研究では、人の毛髪を使ったAtopy発症リスク予知で成功したPIXE—統計解析法を羽毛の原産地識別に適用し、その有用性を検討する⁶。

2 方法

2.1 調査対象

日本羽毛製品協同組合（日羽協）の協力により、フランス中部(France1)、フランス西部(France2)、ポーランド(1回目; Poland_1st, 2回目; Poland_2nd)、台湾(Taiwan)で生産された羽毛サンプルを対象としている。

2.2 ダウンボールの採取・標本作製および羽毛ミネラル量の測定条件

日羽協より岩手医科大学サイクロンセンターへ郵送された羽毛から、各エリア 80 個のダウンボールを作成し約 2cm 長に揃えてカットし、プレートに貼り付けて PIXE 測定用検体が作製され、PIXE 法により、羽毛中の 40 種類のミネラル量を得た^{7,8}。

2.3 羽毛産地の識別法（統計学的対策法）

羽毛産地の識別に有意に寄与するミネラルは、測定した 40 種類の中から、ステップワイズロジスティック回帰分析を用いて特定した。また、フランス産と台湾産について、ダウンボールがフランス産である確率（台湾産ではない確率）をロジスティックモデルにより算出し、ROC (Receiver Operating Characteristic) 曲線と AUC (Area under the curve) を求めた。3 つ以上のエリア間の比較については、有意性の高い 2 元素を組み合わせた散布図により産地別の分布を確認した。なお、解析に用いたミネラル測定値には対数変換を施した。

3 結果

測定した40種類ミネラルから、適切な2元素の組み合わせにより約95%精度で原産地の区別が出来た。今回の報告では、①フランス産と台湾産の識別 ②ヨーロッパ産と台湾産の識別 ③ヨーロッパ産内での比較（フランス産とポーランド産の識別、フランス中部産とフランス南部産の識別）の結果を示す。

3.1 フランス産 vs. 台湾産 (MnとCa)

図2 にフランス産（中部・南部）と台湾産のMnとCaの散布図を示す。2元素で、ほぼ完全に分かれて分布していることがわかる。

次に、フランス産（中部・南部）と台湾産について、MnとCaのペアに、さらにMgとSiを追加し、ロジスティック回帰分析を行った結果を表2に示す。測定されたダウンボールがフランス産である確率をpとすると、

$$\text{Logit}(p) = -105.76 - 1.21 \times \text{LN}(\text{Mg}) + 1.53 \times \text{LN}(\text{Si}) + 19.43 \times \text{LN}(\text{Ca}) - 23.22 \times \text{LN}(\text{Mn})$$

と推定された。また構築したモデルのROC曲線を図3に示す。AUCは、0.98という結果が得られた。

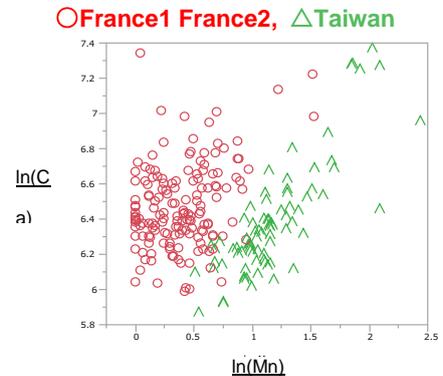


図2：Mn（横軸）とCa（縦軸）の散布図
フランス産（中部・南部）と台湾産

表2：ロジスティック回帰分析の解析結果

変数	推定値	標準誤差	p-value
LN(Mg)	-1.21	0.52	0.0202*
LN(Si)	1.53	0.49	0.0018*
LN(Ca)	19.43	4.93	<.0001*
LN(Mn)	-23.22	5.33	<.0001*
切片	-105.76	26.80	<.0001*

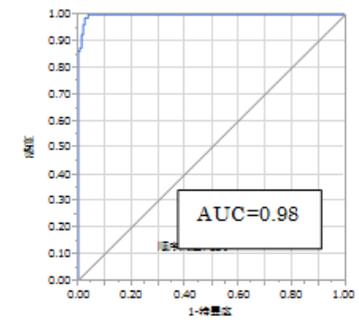


図3：ROC曲線

3.2 ヨーロッパ産 vs. 台湾産 (MnとCa)

図4(a)は、図2にポーランド産羽毛の1回目の測定値を追加した散布図であるが、ポーランド産はフランス産と重なって分布し、台湾産とは離れて分布していることがわかる。図4(b)は、ポーランド産の1回目と2回目の測定値と台湾産の測定値の分布であり、それぞれの分布は異なるが、台湾産はポーランド産の2回の分布と明らかに異なって分布していることがわかる。

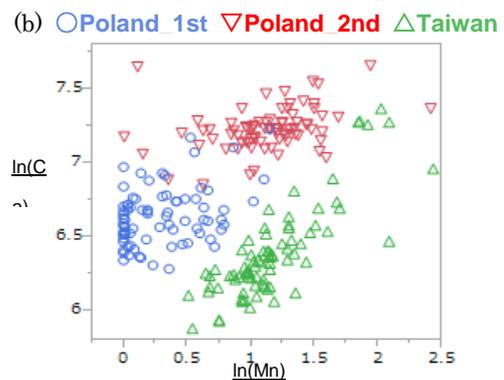
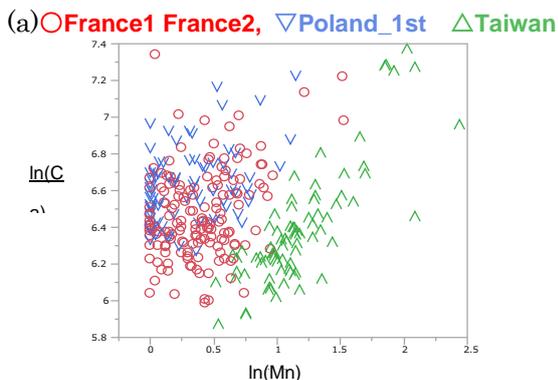


図4：Mn（横軸）とCa（縦軸）の散布図

(a)フランス産（中部・南部）と台湾産とポーランド産

(b)ポーランド産（1回目・2回目）と台湾産

3.3 ヨーロッパ産内での比較（フランス産 vs. ポーランド産 と フランス中部産 vs. フランス南部産）

図5(a)は、西ヨーロッパに位置するフランス産（中部・南部）と中央ヨーロッパに位置するポーランド産の1回目の散布図で、2回のフランス産とポーランド産の分布は、ほぼ完全に分かれて分布することがわかる。さらに(b)の散布図からは、同じフランス産であっても中部と南部では分布が異なることがわかる。

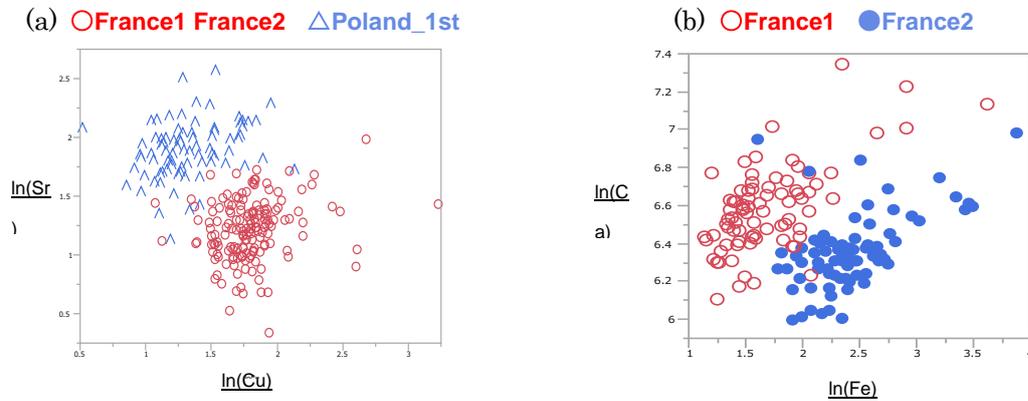


図5：Cu（横軸）とSr（縦軸）、Fe（横軸）とCa（縦軸）の散布図

(a)フランス産（中部・南部）とポーランド産の1回目

(b)フランス産中部とフランス産南部

4 考察

一般的に、飼料や飼育環境が羽毛のミネラル含有量に影響を及ぼすことが考えられる。今回のMnとCaの散布図（図2、図4）においても、ヨーロッパのフランス産（中部・南部）およびポーランド産の分布が類似をし、台湾産は大きく異なり分布していることが確認された。また、提供されたダウンボールが、与えられた2つの原産地候補のどちらの物であるかを確率的に求めることにより、原産地を特定できる可能性が示唆された。よって、羽毛ミネラル含有量は、原産地間での飼料や飼育環境の違いに依るところが大きく、「飼料や飼育環境が羽毛のミネラル含有量を決定している」という仮説が考えられる。逆に、ミネラル含有量から飼料や飼育環境が特定できれば、原産地識別問題の解決に繋がることが期待される。グースやダックを飼育している農場は世界中に数多く存在するので、その特定は困難であるが、羽毛加工業者は限定されているので、羽毛加工業者の識別であれば実現できる可能性が高い。今後は、仮説を検証する実施可能なサンプリング法を開発し、産地証明書や輸出証明書と合わせて羽毛ミネラル含有量を活用した原産地識別法の確立を目指す。またプロセスの簡素化という観点から、識別する原産地を中国産とヨーロッパ産の2択を検討する。

謝辞

本研究に際して、羽毛サンプルを提供くださいました日本羽毛製品協同組合の皆様、羽毛ミネラル含有量を計測していただきました岩手医科大学サイクロトンセンタースタッフの皆様に、深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 羽毛布団偽装、原産地証明を書き換えか 中国の加工会社. 2016-05-08. 朝日新聞デジタル, <http://www.asahi.com/articles/ASJ570BTMJ56UUPI004.html>
- 2) 羽毛布団の産地偽装か 業界団体が加盟社に警告. 2016-05-07. 日本経済新聞デジタル, http://www.nikkei.com/article/DGXLASDG07H1Y_X00C16A5CC0000/
- 3) 貿易統計（財務省）, <http://www.customs.go.jp/toukei/srch/index.htm?M=01&P=0>
- 4) 一般財団法人日本ふとん協会. 平成26年度事業報告書、2014.

- 5) Hobson KA. Tracing origins and migration of wildlife using stable isotopes: a review. *Oecologia* 120:314–326, 1999.
- 6) Yamada T, Saunders T, Kuroda S, Sera K, Nakamura T, Takatsuji T, Hara T, Nose Y, Fukuoka College of Obstetricians and Gynecologists, Pediatric Association of Fukuoka District: Cohort Study for Prevention of Atopic Dermatitis using Hair Mineral Contents. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 27, 126-131, 2013.
- 7) Sera K, Futatsugawa S. Personal computer aided data handling and analysis for PIXE. *Nucl Instrum Methods B109/110*, 99-104, 1996.
- 8) Blaauw JL, Campbell JL, Fazinić S, Jakšić M, Orlic I, Van Espen P. The 2000 IAEA intercomparison of PIXE spectrum analysis software. *Nucl Instrum Methods Phys Res B189*, 113-22, 2002.

Using PIXE method to determine the origin of commercial feathers

K. Kataoka¹, T. Yamada², K. Sera³, T. Takatsuji⁴, T. Nakamura⁵ and Y. Nose⁶

¹ Yokohama City University School of Medicine
3-9 Fukuura, Kanazawa-ku, Yokohama 236-0004, Japan

² Osaka University Graduate School of Medicine
2-2 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan

³ Cyclotron Research Center, Iwate Medical University
348-58 Tomegamori, Takizawa, Iwate 020-0603, Japan

⁴ Nagasaki University Graduate School of Environmental Studies
1-14 Bunkyo-machi, Nagasaki 852-8521, Japan

⁵ Chuo University Graduate School of Science and Engineering
1-13-27 Kasuga, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8551, Japan

⁶ Kumamoto Health Science University Graduate School
325 Izumimachi, Kitaku, Kumamoto 861-5533, Japan

Abstract

If you have less knowledge on the quality of duvet, or feather comforter, and are going to buy one made in Europe, such as France, Poland or Iceland, you are in a high risk of being swindled. In May 2016, the Japan Feather Products Cooperative association (JFPC) sent its member companies a warning that production areas seem to be falsified in more than half of feather comforter that list their feathers as being produced in France. However, the organization has not yet to inform the public of the suspected falsification, although products with false labeling are suspected to be circulating in large quantities in Japan.

The major reason having difficulty in supervising the falsification is because it is difficult to scientifically confirm whether feathers are actually produced in those Europe countries. Various methods are studied worldwide to identify the breeding area of feathers. Among them, the stable isotope analysis is currently most promising and actually used in many companies. The stable-isotope analysis of feathers is useful to distinguish breeding origins of sea birds since it represents eating habits of them. The stable isotope technique uses the major elements such as carbon (C), hydrogen (H), nitrogen (N), and oxygen (O) that constitutes the protein of feathers. However, the results obtained from applying the technique is not generally recognized as very reliable among feather companies. In effect, a generally accepted method to

identify the breeding country of feathers is not yet developed.

It seems that the insufficient ability of the stable isotope technique comes from using only major elements. According to our experiences in studying the risk of atopic dermatitis using hair minerals of mothers and infants, minor, trace or ultra-trace elements could be useful since those minerals in feathers should also represent eating habits. To investigate into the ability of those minerals, JFPC presented us with 1g of down feathers from each of four breeding areas; Poland, Taiwan and two areas in France. We sampled 80 down balls from each area and measured concentration of 40 minor, trace or ultra-trace elements by PIXE method. This paper describes the results obtained from statistical analysis of the mineral concentrations to distinguish between those breeding areas.