

大麦の硝子質数量化への画像解析の適用

倉内美奈*・杉本雅俊*

The Application of Image Analysis to the Quantitative Evaluation of Glassiness in a Section of Barley Grain

Mina KURAUCHI* and Masatoshi SUGIMOTO*

大麦の断面における硝子質の状況を簡易、客観的に求めることを目的に、市販のデジタルカメラと画像処理ソフトウェアを用いた画像解析による硝子質部分の数量化を試みた。

県内にて収穫されたミノリムギを横に切断し、画像解析を行った結果、黄色フィルターを通すことにより精度良く硝子質の割合を算出することが可能となった。

また、黄色フィルターの有効性を確認するため、色差計で断面の色相である a^* 値、 b^* 値と彩度である L^* 値を用いて主成分分析を行った結果、その有効性が示された。

以上の結果から、100 粒の画像解析を行うことで、従来法の目視より再現性の高い硝子率の測定が期待できる。

Key Words : 大麦, 画像解析, 色差計, 主成分分析

I. 緒言

福井県は大麦の振興に力を入れており、平成 14 年度の生産量は六条大麦全国収穫量の約 4 分の 1 を占めている。福井の大麦のほとんどは麦飯用で粒加工がなされており、精麦した麦を蒸して、つぶした押し麦や、その後黒条線に沿って切断した米粒麦などがある。この際重視されるのが粒の色である。現在の品質評価では 55% 精麦したときの白度や色調 ($L^*a^*b^*$ 値)、そして硝子率が重要な評価項目である。精麦時の $L^*a^*b^*$ 値は、麦の鮮度を測るものであり、また白度は硝子率と相関が高く、つまり硝子率は品質評価の中でも非常に重要な項目である。硝子率は胚乳部の中で灰色がかった硝子状になっている硝子質部分の割合が高い粒の割合を示す値であり、この値が大きいと、精麦時のムギの白度が劣り、搗精する際に粉質粒が砕けて加工歩留まりが低下する。

しかし、硝子率の測定にはいくつかの問題点が存在する。測定には 1 サンプルあたり、少なくとも 100 粒をカッターで切断して目視にて判定するため、時間が掛かり能率も悪い。そして視覚情報のため、断面の硝子質部分

の面積を定量化する際、測定者の主観が影響し、判定の個人差が大きいと考えられる。さらに一個人でも計測時の心理状態や体調などの影響を受けやすく、結果の再現性が乏しい。その結果、年度間差などの比較が難しい。

この問題を解決するために、大麦の硝子率という視覚情報を客観的に数値データへ変換することは、有効なことから考えられる。

最近のパーソナルコンピュータやデジタルカメラの発達により、農産物の品質に関わる、様々な評価を画像により客観的に解析しようという試みがなされている。すでに酒米における心白評価¹⁾ やオオムギの精麦程度⁴⁾、炊飯米の外観評価^{1 2)} など、多方面への応用例が報告されている。そこで、本研究では画像解析法を利用して、客観的に大麦の硝子質部分の面積割合を求める方法を考案した。

II. 試験方法

1. 供試材料

福井県で採取した平成 13,14 年度産ミノリムギから無作為に選抜した。

2. 硝子率の求め方

試料を 100 粒採り、カッターで赤道部を輪切りにした断面を観察して求めた。硝子質部分が全体の 70% 以上の粒は硝子質粒、30~70% の粒を半硝子質粒、それ以下の

* 福井県農業試験場 食品加工研究所 技術開発研究グループ

粒を粉状質粒とし、以下の式で求めた。

硝子率(%)=

$$(\text{硝子質粒数} + \text{半硝子質粒数} \times 0.5) / \text{供試粒数} \times 100$$

3. 画像取り込み方法

実体顕微鏡(オリンパス自動露出顕微鏡-SZH10)で拡大した画像をデジタルカメラ(FUJIFILM 6 X OPTICAL ZOOM)により撮影し、パーソナルコンピュータに入力した(解像度: 118 ピクセル/センチ)。

4. 画像処理ソフト

LIA32 for Windows95 ver.0.374b2(山本一清氏)を用いた。(http://hp.vector.co.jp/authors/VA008416/)

5. 色差計の測定と解析

分光測色計はCM-3500d(MINOLTA社)を用いた。また、色彩管理ソフトウェアはCM-S7W(MINOLTA社製)を用いた。測定環境は、正反射光処理は除去方式を採用し、測定径はφ8mm、測定方法は反射率測定とした。ターゲットマスクはφ3mmを使用した。これにより、400~700nmの反射率データとL*値、a*値、b*値を測定した。主成分分析は統計解析ハンドブック多変量解析のソフトを用いた。

6. 白度

佐竹式グレイテストミル(砥石粒度: #36, 同硬度: P, 同回転数: 1,150r.p.m.)を使用し、原麦試料180gの55%を搗精した。これをKett式粒体用光電白度計(C-300-3)を使用して測定した。

Ⅲ. 結果および考察

1. 画像解析による硝子質部分の判別

1) 画像取得方法の検討

切断したムギの中から粉質粒を1粒、半硝子粒を2粒、硝子質粒を1粒の計4粒分の画像を標準として選抜し、外殻部分の色と粉質部分、硝子質部分のそれぞれの色をサンプリングすることによりソフトで自動判別させた。この判別基準を利用して、他の20粒で画像解析を行った。

その結果、濃い硝子質部分は硝子質と判別したが、色が薄い硝子質部分は粉質と判別され、全体的に低い硝子率となった(図1)。

そこで、硝子質部分でも光の反射により色が薄くなった部分を半硝子質部分として、3区分で判別基準を作成し、画像解析を行った結果を図2に示した。また、判別結果をもとに、従来法による目視の硝子率の求め方に準じて、1粒中の硝子質率を求めた。すなわち、

$$\text{単粒硝子質率(}\%) =$$

$$(\text{硝子質面積} + \text{半硝子質面積} \times 0.5) / \text{胚乳部面積}$$

とした。この場合、粉質部分も半硝子質部分と判別してしまい、全ての粒が半硝子質粒と判別された(図2)。しかし外殻部分の判別はどのケースでも明確に判別された。

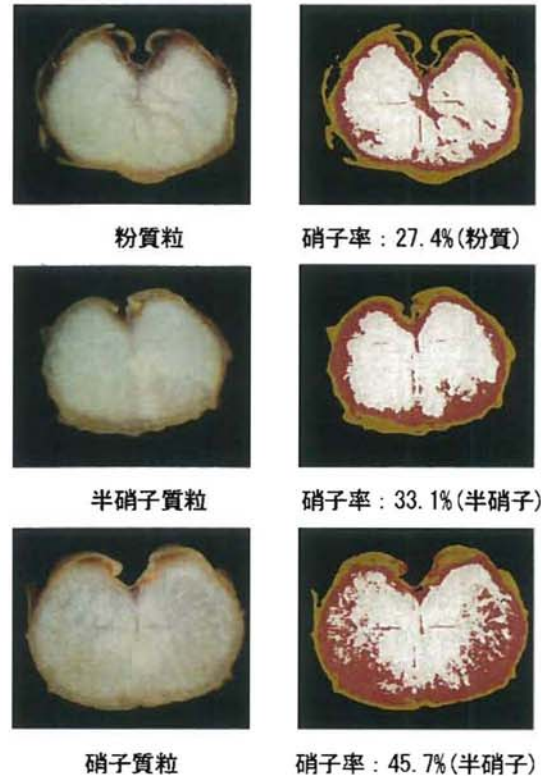


図1 画像解析による硝子率の評価1
注) 白色: 粉質, 紫色: 硝子質, 茶色: 穀皮部分

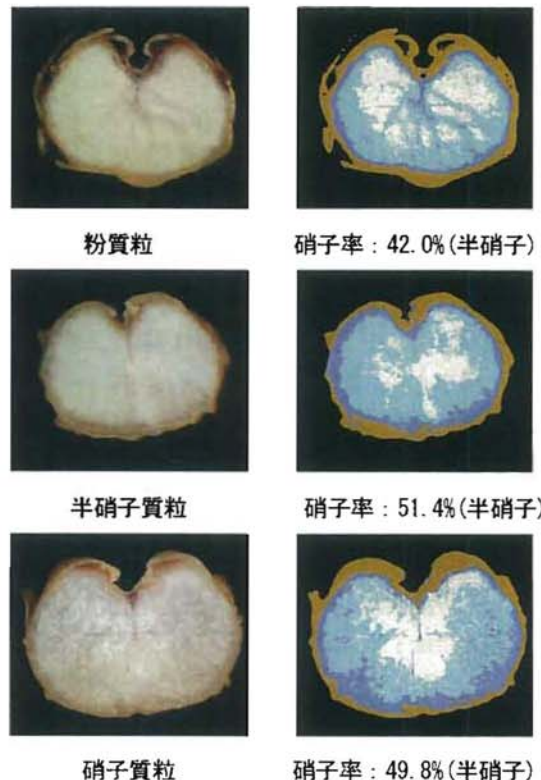


図2 画像解析による硝子率の評価2
注) 白色: 粉質, 水色: 半硝子質, 紫色: 硝子質, 茶色: 穀皮部分

硝子質部分には濃い灰色の硝子質部分と光を反射するため色が薄く見える硝子質部分が存在する。この色が薄く見える硝子質部分と粉質部分の判別は、同じ白色として判断されるため、うまく判別されないと考えられた。この画像処理ソフトは、もともと森林情報の解析に用いられるソフトで、トマトの生育診断⁷⁾にも利用されている。赤、緑、青の各デジタル値を測定しているため、今回の場合も色調で判別されたと考えられる。そのため外殻部分の茶色は明確に判別するが、白色の微妙な濃淡では判別が難しいのが原因だと考えられた。

この問題は光の反射に起因していると考えられたので、光の反射を抑えることを目的に、色フィルターを併用した硝子質部分の判別を検討した。市販の各色のセロファンを麦の切断面に載せ、拡大画像をデジタルカメラで取得した。青や緑のフィルターでは、全体の画像を暗くし、濃い硝子質部分と粉質部分の判別すら困難なものとした。赤色のフィルターも、青や緑フィルターほどではないが、胚乳部分の判別が不十分となっただけでなく、穀皮部分と胚乳部分の判別も出来なかった。一方、黄色フィルターをかけた場合、粉質部分と半硝子質部分の判別が可能となった(図3)。しかしながら、赤フィルター同様、穀皮部分と胚乳部分の判別が十分でないという問題が残った。

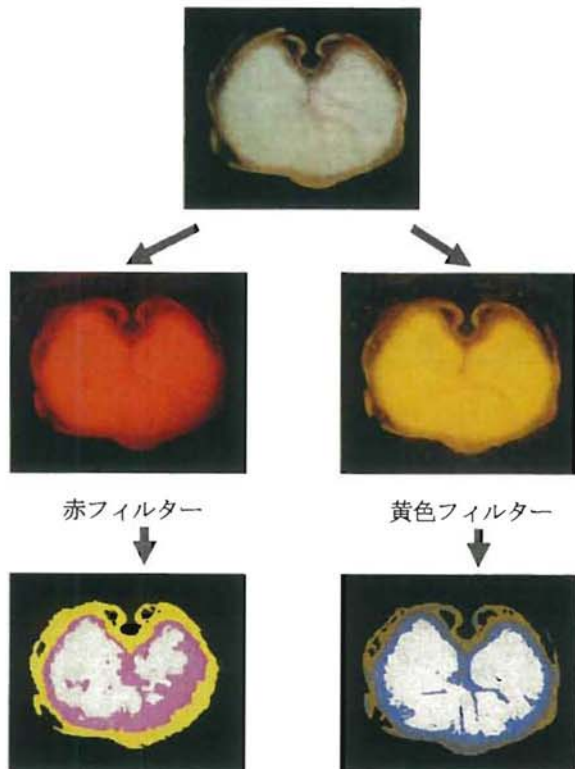
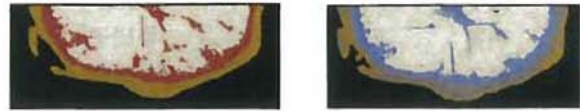


図3 フィルターによる解析画像の違い

注) 白色：粉質、
 桃色：硝子質、
 黄色：穀皮部分
 白色：粉質、
 水色：半硝子質
 灰色：硝子質
 茶色：穀皮部分

2) 補正の検討

赤フィルターほどではないが、黄色フィルターをかけることにより穀皮部分が不鮮明となり、穀皮部分の一部を硝子質部分と判別しているものが多かった。(図4)そこで、胚乳部分の面積はフィルターを通していない画像から得て、黄色フィルターを通した画像から、粉質、半硝子質部分の面積を求め、硝子質部分は胚乳部分の面積から粉質部分と半硝子質部分の面積を差し引くことでこの問題の回避を試みた(表1)。その結果、目視によって得られた粉質、半硝子質、硝子質部分と画像処理によって判別されたものとは、ほぼ一致を見た。



フィルター無し 黄色フィルター

図4 フィルターの有無による画像の違い

注) 白色：粉質
 紫色：硝子質
 茶色：穀皮部分
 白色：粉質
 水色：半硝子質
 灰色：硝子質
 茶色：穀皮部分

しかし、単粒硝子率の演算値による粉質粒、半硝子質粒、硝子質粒の判別では異なる階級を示す場合があった。この原因としては目視で行う場合、全体に対する硝子質部分の占める割合を、感覚的に行っていたのに対して、画像解析法ではコンピュータにより面積値が算出されるため、目視と違って面積値の算出が厳密であるためと考えられた。そこで硝子質部分の割合が胚乳部の30~70%を占めた場合に半硝子粒としていた判断基準を、30~60%と設定し直すことにより、目視とほぼ一致する粒質の判別が可能となった。

今後、画像解析の試料を増やし、粒質判別の精度の検証を行う必要があると考えられる。

2. 黄色フィルターの有効性

黄色フィルターの有効性を確認するために、切断面を3mm径のターゲットマスク上に置き、色差計にてL*値、a*値、b*値を測定し、主成分分析を行った。主成分分析は小麦の用途別分類²⁾や柿の渋果判別⁵⁾、老化大豆の識別⁶⁾などに活用されている。そこで、硝子質の識別判定にもこの手法が応用できると考えた。

色フィルターを置かずに測定した結果(表2)では、第1および第2主成分軸からなる散布図において、硝子から半硝子、粉質になるにつれ、第2主成分軸上を負から正へ移行するといった一定の傾向が観察された(図5)。つまり色相と彩度で判別が可能であった。第1主成分の固有ベクトルはL*値が高くa*値b*値が低いと正側ヘシ

表1 補正することによる硝子率の判別推移

No.	目視	黄色フィルター		穀皮部分の補正後		
		単粒硝子率(%)	30<半硝子<70	単粒硝子率(%)	30<半硝子<70	30<半硝子<60
1	半硝子	49.6	半硝子	40.6	半硝子	半硝子
2	粉質	32.0	半硝子	21.2	粉質	粉質
3	半硝子	44.1	半硝子	32.7	半硝子	半硝子
4	粉質	40.4	半硝子	29.5	粉質	粉質
5	半硝子	43.0	半硝子	36.2	半硝子	半硝子
6	粉質	35.6	半硝子	28.8	粉質	粉質
7	硝子	74.3	硝子	72.0	硝子	硝子
8	粉質	33.3	半硝子	23.4	粉質	粉質
9	硝子	65.6	半硝子	59.3	半硝子	半硝子
10	粉質	30.0	半硝子	21.6	粉質	粉質
11	硝子	64.7	半硝子	62.7	半硝子	硝子
12	半硝子	46.8	半硝子	42.5	半硝子	半硝子
13	半硝子	59.2	半硝子	56.2	半硝子	半硝子
14	半硝子	50.7	半硝子	46.7	半硝子	半硝子
15	半硝子	53.9	半硝子	49.4	半硝子	半硝子
16	硝子	66.8	半硝子	63.1	半硝子	硝子
17	半硝子	53.0	半硝子	47.8	半硝子	半硝子
18	硝子	66.1	半硝子	62.7	半硝子	硝子
19	半硝子	43.9	半硝子	38.6	半硝子	半硝子
20	硝子	65.4	半硝子	61.2	半硝子	硝子

表2 色相と彩度の主成分分析結果(色フィルター無し)

	第1主成分	第2主成分	第3主成分
L*値	0.61	0.48	0.63
a*値	-0.67	-0.12	0.73
b*値	-0.43	0.87	-0.25
固有値	2.058	0.813	0.129
寄与値	68.6%	27.1%	4.3%
累積寄与率	68.6%	95.7%	100%

表3 色相と彩度の主成分分析結果(黄色フィルター)

	第1主成分	第2主成分	第3主成分
L*値	0.59	-0.39	0.71
a*値	0.55	0.84	0.00
b*値	0.59	-0.39	-0.71
固有値	2.744	0.254	0.001
寄与値	91.5%	8.5%	0.05%
累積寄与率	91.5%	99.95%	100%

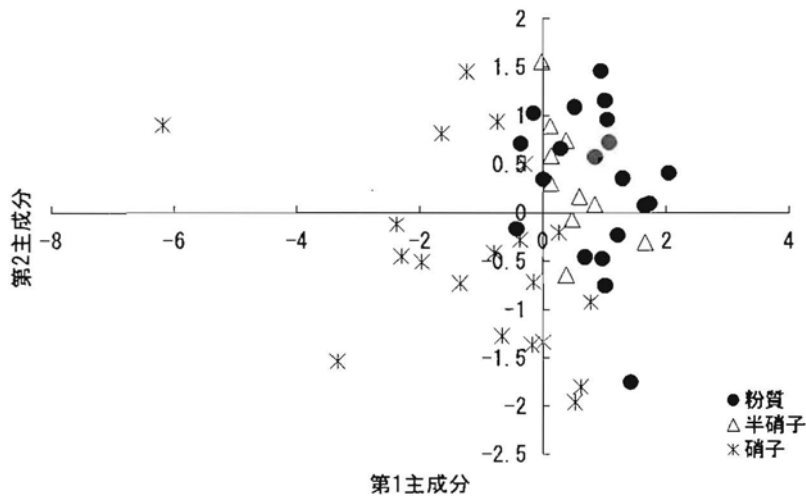


図5 主成分分析による散布図(色フィルター無し)

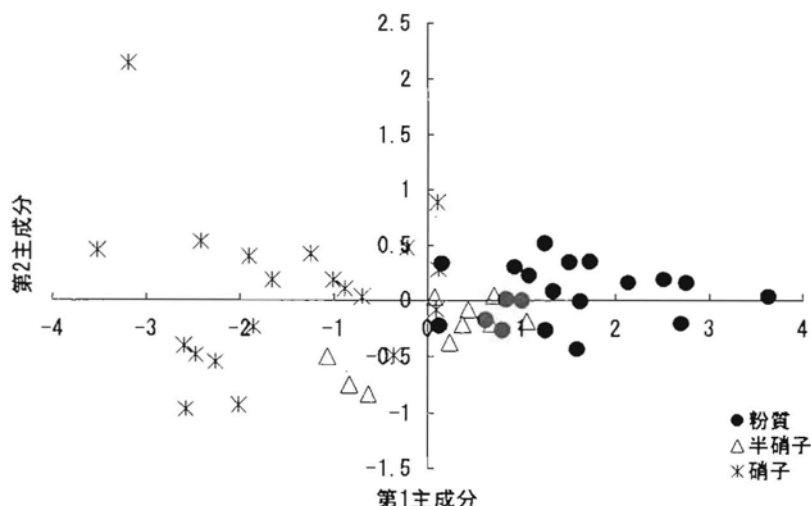


図6 主成分分析による散布図(黄色フィルター)

フトしていることが分かる。つまり硝子質粒は粉質粒と比べ、暗くオレンジがかったことを示しており、この寄与率は約70%と高いものであった。

次に画像解析で行ったと同様に黄色フィルターを置いて測定したL*値、a*値、b*値で主成分分析を行った結果では、より明確に区分されていた(表3、図6)。第1主成分で寄与率が91%以上で、ほぼ判別を可能とすることが分かる。

黄色フィルターはモノクロ写真などに利用され、「青」の光をカットする作用がある。このフィルターを取り付けることにより、濃淡をはっきり見せる効果も知られている。今回の画像解析を行う際の黄色フィルターは、全体的に白い大麦の断面の中でも微妙な色合いである半硝子質部分の濃淡を強調する作用のあることを示唆した。

以上のことから黄色フィルターを置くことにより、粉質部分、半硝子質部分、硝子質部分の明確な分類を可能にしたと考えられた。

今回は、簡易に判別することを目的としたため、画像解析の判別は自動解析としたが、さらに判別精度を高めるためには、判別の際の色閾の設定などの検討が必要であろう。また、画像解析による単粒硝子率の測定は目視に代わる客観的な方法として、可能性を見いだしたが、判別の迅速化のためには穀粒の切断という問題が残された。堀金らは穀粒切断装置⁴⁾を用いることにより100粒同時に処理することが可能と報告している。これを利用することでより短時間にかつ客観的な硝子質に関する数値や断面特性を、画像解析や色差計によって得ることが可能であると示唆された。

引用文献

- 1) 秋山征夫, 高原美規, 山元皓二(1996): 酒米における心白評価への画像解析への適用, 育雑 46: 367-371
- 2) 千葉実, 南澤正敏, 河野澄夫, 岩元睦夫(1995): 近赤外スペクトルの主成分分析による用途特性の異なる小麦粉の分類, 日食工誌 42: 796-801
- 3) 福岡忠彦, 福井希一(1990): 画像解析法によるオオムギの精麦品質の数量化について, 育雑 40: 223-232
- 4) 堀金彰, 山田純代(2003): 穀粒の切片調製法を利用した成分分析, 食糧その科学と技術 41: 105-118
- 5) 伊藤茂, 大竹良知, 鬼頭勇夫(1997): 近赤外分光法による不完全甘ガキ「西村早生」の渋果判別, 愛知農総試研報 29: 213-218
- 6) 草間豊子, 阿部英幸, 河野澄夫, 岩元睦夫(1997): 近赤外スペクトルの主成分分析および主成分スコアを用いた判別分析による老化大豆子実の識別, 日食工誌 44: 569-578
- 7) 竹内将史, 大崎隆幾, 畑中康孝, 高橋正樹(2003): 画像処理によるトマトの生育診断技術, 平成14年度野菜試験成績書: 89-90
- 8) 田中豊, 垂水共之(1995): Windows版 統計解析ハンドブック 多変量解析, pp88-99, 共立出版株式会社 東京
- 9) 柳原哲司(2000): 画像解析による炊飯米の外観評価, 日食工誌 47: 516-522

The Application of Image Analysis to the Quantitative Evaluation of Glassiness in a Section of Barley Grain

Mina KURAUCHI* Masatoshi SUGIMOTO*

Summary

The glassiness of barley grain is commonly evaluated by visual measurement of a cross-section of the grain. However, there are some problems with this method. For example, the measurement is time-consuming, and it is difficult to evaluate the degrees of glassiness objectively. For these reasons, we tried to evaluate the glassiness of barley grain quantitatively using image analysis techniques.

Barley grain was cut vertically from the side, and pictures of the sections were taken with a digital camera. From those pictures, quantitative data were derived by image analysis techniques. The glassiness of the grain was assessed accurately when a yellow filter was used in taking the pictures.

To confirm the effectiveness of this method, the hue and the saturation of the grain sections were measured with a spectrophotometer, and a principal component was analyzed in relation to glassiness. The result showed that the appearance of the grain section was evaluated accurately by this method and the reproducibility of the image analysis method is higher than that of visual measurement.