

令和3～5年度豆類振興事業試験研究 「豆類品質・品位評価判定の 自動化技術開発」

公益財団法人とちぎ財団ものづくり支援部 菅原 崇

●はじめに

北海道・十勝を代表する特産農産品である「小豆」や「金時豆」などの豆類生産は、輪作体系上からも欠くことのできない重要な位置づけとなっている。また、米をはじめとした主要食糧穀物は、古くから農産物検査法に基づく農産物規格によって等級付けされ、品質・品位が統一された製品として流通品質の平準化が図られてきた。平成13年以降は農産物規格規程 規格その1（素俵）と規格その2（機械より及びみがき後）が統合され検査対象が調製後の原料に一本化された。しかし、生産現場においては、調製される前の素俵で受入検査が行われており、調製後の品質・品位に配慮しながら受入を実施する必要がある。農産物検査法では自然光の下での目視による判定が基本とされており秋の短い日照時間の制約の下、品質・品位を勘案しながら数多くのサンプルを検査するには、高い熟練度と心労が伴う。



図1 熟練検査員による自然光下での検査風景

労働力不足は検査作業においても顕在化していることに加えて、新規検査員の育成には長期を要することなどが大きな課題となっている。筆者ら（共同研究者：帯広市川西農業協同組合）は抜本的な解決には検査体制の自動化が必要という共通の認識を持っており実現に向けた活動を進めてきた。本報告で紹介する省力化技術の開発により、自然光の下での目視による判定基準

を基本にしつつも、画像処理技術の応用によって、「品質・品位の評価」を一定程度自動化し、評価の一助とできれば、周辺環境や検査時間帯などに左右されずに評価することが可能で、省力化・柔軟性・利便性が飛躍的に向上することが期待される。本報告では令和3～5年度 豆類振興事業で取り組んだ豆類検査装置（以下、本装置）の実施内容に触れ、令和7年の秋にまずは小豆の実証試験として生産現場で導入するまでの取組について紹介する。

●実施内容について

(1) 農産物規格規程を考慮したサンプル収集と分類

素俵のサンプルや夾雑物を収集し画像処理で検査可能な項目について精査した（図2）。画像処理技術で色、形状、大きさといった特徴量に着目し整粒／異常粒をどのように判別するかを検討した。また4年にわたり現役検査員が検査した素俵を収集することにより統計解析の方針立案や年産差調整の検討材料とした（図3）。



図2 夾雑物や不良となる小豆の例（上：変質粒、下：馬の背）



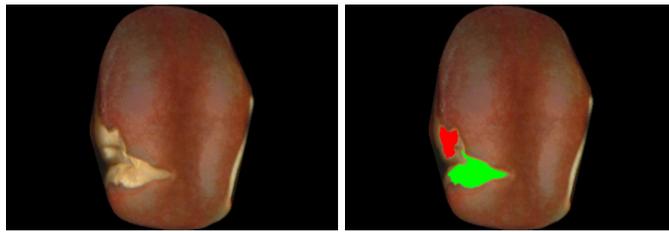
図3 2等級品の年産差(上：令和4年産、下：令和5年産)
令和5年産は同じ等級でも少し形質のばらつきが大きいものがある。

(2) 画像処理による等級分類アルゴリズムの開発

農産物規格規程では、形質、水分、異常粒（被害粒、未熟粒、異種穀粒、異物）、および整粒（異常粒以外）で等級が決定される。このうち水分についてはすでに機械検査で実施されているため等級分類に関わるアルゴリズムは、主に「異常粒」の検出と「形質」の判定となる。

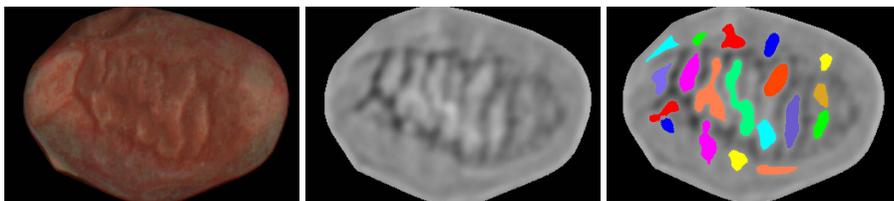
① 「異常粒」の検出アルゴリズム

異常粒はその特徴を視認できるため、検査基準が定量的に定めやすいルールベースに基づく画像処理を採用した。色味（色流れ、過熟、変色）は、良品の色相、彩度、明度を基準に判定している。形状（異形）、割れ（図4）、凹み（図5）については、それぞれ画像から形状特徴量を抽出し面積ベースで判定できるように開発した。



画像処理前 画像処理後

図4 割れの判定(面積(ピクセル数)で判定)



画像処理前

表面曲率
画像合成後

画像処理後

図5 ルールベースによる凹みの判定(面積(ピクセル数)で判定)

②「形質」の判定アルゴリズム

農産物規格規程による形質の定義は、充実度、質の硬軟、粒揃い、粒形及び光沢とされており、生産現場では「拝見」として評価されている。小豆における拝見は、良品と比較した場合の色、形状、大きさの揃いを検査員が極短時間で評価すると言われている。拝見の難しい点は子実を一つ一つ評価するわけではなくサンプル全体が検査員に与える印象となるため、高い熟練度が求められる点である。アルゴリズム開発は、小豆の良品約15,000粒の1粒1粒の色、形状、大きさを解析し、良品としての統計的基準を算定した。「揃い」の定義は、1粒ごとの統計的基準からの乖離度とその乖離度のばらつきとして定義した。

色、形状、大きさの揃い(乖離度とその乖離度のばらつき)は、年産差によって調整が必要になる。色、形状、大きさのそれぞれ乖離度とそのばらつきの6つパラメータを主成分分析で解析し、現役検査員の検査結果からパラメトリックに調整可能な線形回帰モデルを開発した(図6、式1)。図6は便宜上、第3主成分までの3次元空間を示したものであるが、検量線は第4主成分まで含む4次元空間で定義している。最小二乗法により第1-4主成分(PC1-4)と拝見の検査結果(h)の検量線は以下のように定義される。

$$h = -3.48 \text{ PC1} - 1.97 \text{ PC2} - 3.08 \text{ PC3} - 3.65 \text{ PC4} + 73.4 \quad (R^2 = 0.75) \quad (\text{式1})$$

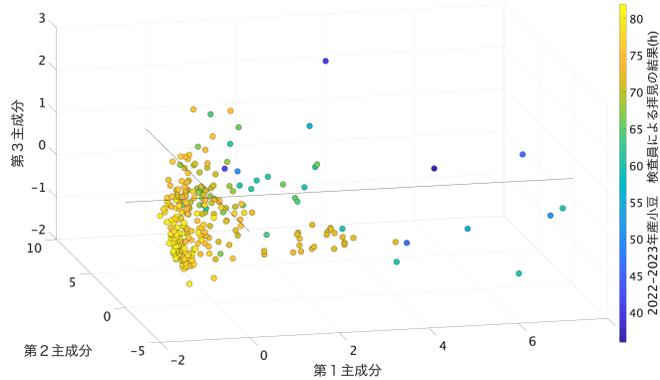


図6 主成分分析と拝見の検量線(小豆 令和4年産—令和5年産)

(3) 豆類品質・品位評価検査装置の開発・実用化

広範な普及にむけて安価で小型な装置となるように配慮し、子実の撮影を上面だけに限定した装置を開発した(図8)。現役検査員が検査した等級付けしたサンプルを本装置で検査し、実際の検査結果との差異や精度検証を実施し、検査確度を向上した。完成した試作機の操作性や処理時間などの運用面の課題を現役検査員から評価いただきながら(図9)、検査装置の簡便性、利便性を改善した。



図7 豆類検査装置試作品



図8 測定中の装置内部写真

照明は自然光に近い高演色性LEDを使用している。8方向から時分割で照明を照らすことで凹みを検出できるアルゴリズムを開発した。



図9 実証試験の評価風景(令和5年11月24日)

● 実用化に向けた取組

本装置の実用化に向けて、令和5年7月には本装置の試作機を第35回帯広国際農機展に出展し（図10）、農業関係者からたくさんのご意見や激励をいただきました。地区によっては検査結果がでるまで1ヶ月程度かかるケースもあり、昼夜問わず極短時間で検査可能な本装置の普及を推進してほしいという声もいただきました。



図10 第35回帯広国際農機展 豆類検査装置展示風景

実用化に際しては毎年変動する作柄に対する検査精度の堅牢性を十分に検証する必要がある。令和7年1月には、令和4年-令和5年で作成した検量線で令和6年産の予測性を検証しており一定度 ($r=0.5$) の予測性を保っている (表1、図11)。予測精度のばらつき要因を検証し (図12)、令和7年の秋に生産現場に試験的に導入する方向で準備を進めている。



図11 令和6年産の小豆の拝見検査画像の一例

表1 令和6年産の小豆の拝見結果(年産差の検証)

	検査員の検査結果(%) (拝見)	本装置による拝見の検査結果(%) (h) ^[1]
図11(左)	70	69.9
図11(中央)	74	74
図11(右)	80	78.2

[1]hは、画像処理で得られた結果から(式1)に基づき算出した形質の推定値であり、整粒率と合わせてパーセンテージで区分している。

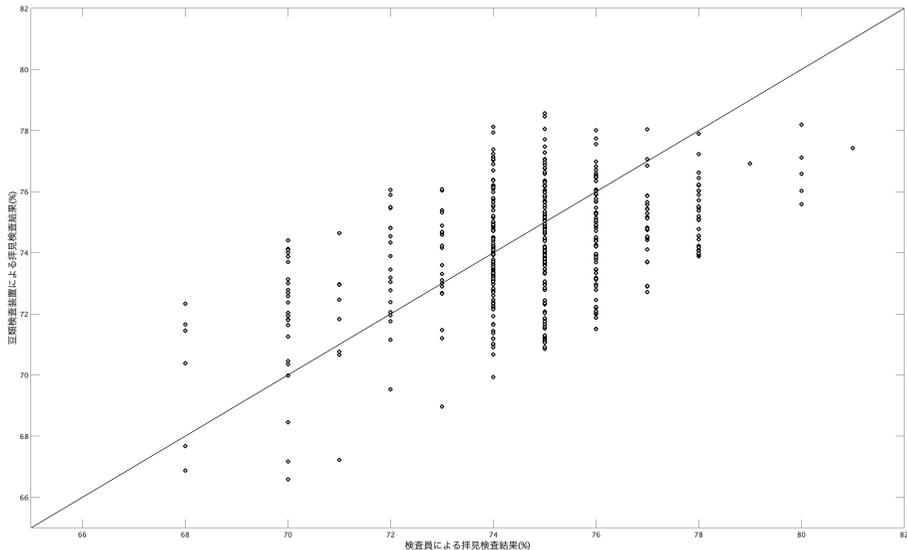


図12 令和6年産 446サンプルの拝見検査結果(r=0.5)

●まとめ

品質・品位検査は豆類振興の基本を成すものであり、生産現場のたゆまぬ努力により流通品質の平準化が保たれている。調製されていない原料の形質の微妙な違いは、熟練検査員の経験に頼らざるを得ないところがあるが検査員の高齢化に伴う熟練検査員の減少により、安定した検査精度の確保が危惧されている。自動化の技術が確立されることにより、検査体制が維持されることに加え、検査結果が定量化されることで信頼度がより高まり雑豆生産の持続的な発展に大きく寄与することが期待される。本研究の目的は、熟練検査員が有する知識や経験を定量的に扱い自動化する技術であったが、検査の過程で算出される子実の特徴を表す各パラメータの統計量はその圃場の特性を表す定量的な指標となる。これらのデータを活用し生産性の高い農業を実現する精密農業への波及効果も期待される。

●謝辞

本開発を実施するにあたり、資金を助成していただいた日本豆類協会に深く御礼を申し上げます。また、共同研究者である帯広市川西農業協同組合には素俵のサンプル提供や実用化に向けたアドバイスなどを多大なご支援をいただいたことに深謝いたします。