

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350093

研究課題名(和文)炊飯時の玄米粒子内品質推定モデルの構築とその炊飯プロセスへの応用

研究課題名(英文) Construction of inner quality estimation model of boiled rice and its application for the cooking process

研究代表者

村井 正之 (MURAI, Masauki)

高知大学・教育研究部自然科学系農学部門・教授

研究者番号：00166240

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：米粒子の炊飯条件を最適化することを目的に、炊飯プロセスのパターンと、炊飯した米の品質とを関係づける、ニューラル・ネットワークによる推定モデルを提案した。品質指標、すなわち炊飯米サンプルの硬さを推定するニューラル・ネットワーク・モデルの構築にあたっては吸水特性とDSC特性曲線のパターンを、ニューラル・ネットワークの入力とした。バック・プロパゲーション学習法によるニューラル・ネットワーク・モデルのトレーニングのあと、測定データに対する推定値の正確度を確認した。その結果、測定データに対する相対誤差は20%であることが分かった。

研究成果の概要(英文)： For optimizing cooking condition of rice grains, a neural network estimation model, that relates cooking process patterns with the cooked rice quality, was proposed. In construction of neural network model for estimating quality index, hardness of boil-cooked rice samples, water adsorption and DSC curve patterns were used for inputs of the model. After training the neural network model by back-propagation learning method, the accuracy of the estimated values to the measured data not used for the training was checked. As the result, it was found that relative error of the estimated values to the measured was within 20%.

研究分野：育種学

キーワード：品質推定 炊飯米 ニューラルネット

1. 研究開始当初の背景

現在、一般家庭向けの米は玄米の表面を削り(精米)、糠(ぬか)を除いた白米の状態を提供され炊飯する機会が多い。白米の炊飯米は消化が良いため、エネルギー変換スピードはきわめて早い。成長段階にある子供や、激しい運動を行うスポーツ選手にとっては好都合である。しかし一方で、白米食は食後の急激な血糖値の上昇をもたらすこともあり、ダイエットや健康管理に気遣う中高齢者を中心として、糖質をゆっくりと消化させる玄米食に今、注目が集まり再評価されている。

玄米は表面に脂質を多く含む糠層があり、水分の浸透性は遅い。したがって、玄米炊きは白米の場合よりも炊飯時に水分浸透の時間を必要とし、炊飯完了までの時間は白米よりも長くなる。このため、炊飯時間を短縮し、かつ炊飯米を柔らかくする目的で、圧力をかけて炊飯する方法(圧力釜方式)を一般に採るが、仕上がった炊飯玄米は、白米の炊飯米よりも食感は一般に硬い。これは主として玄米粒の糠層自身の硬さによる影響が大きいですが、しかし、玄米粒の加圧・加熱炊飯プロセスによる粒表面付近の物性変化(熱変性による比熱変化や粘弾性変化)も大きく関与している。

したがって玄米の炊飯の場合は、炊飯時の加熱・加圧プログラムが適切でないと、食感の良い炊飯米は期待できないことになる。炊飯器メーカーでも開発のチャレンジは続いているが、炊飯過程での玄米粒の品質評価は主として全体(Whole)を一括したものである。例えば、炊飯途中にある玄米粒を取り出して食味試験機で粒全体を押し潰しつつ柔らかさを確認する、あるいは実際に口にして硬さを確かめるなどの方法が採られており、「美味しい玄米炊飯を仕上げるための」加熱・加圧炊飯プログラムの最適化」を科学的に分析するには至っていない。

この課題を解決するには、様々な加熱・加圧炊飯プログラム(加熱・加圧パターン)によって、米粒の炊飯状態がどのように変化するかを捉える必要がある。

2. 研究の目的

玄米炊飯は糠層があるため、白米炊飯の場合に比較し、美味しく炊きあげる加熱・加圧のプログラム調整が難しい。炊飯条件を最適にし、食感の良い玄米の炊飯米に仕上げるためには、加熱条件のパターンや米の吸水特性(X情報)と、炊飯後の品質(例えば硬さや粘着性など)(Y情報)との関係を数理的にモデル化し、この数理モデルを利用して最適な加熱条件を探索する必要がある。

この研究では、炊飯中の米粒に対して、その熱特性、力学特性、吸水特性を測定し、これらの特性と加熱条件とを、ニューラルネットワークと呼ぶ数理手法によりモデル化する。

炊飯時の加熱条件に対する応答としての炊飯後品質がこのモデルによって予測し得

れば、最適な加熱パターンを選ぶことも可能となり、新しい炊飯器の設計に役立てる目的を果たすことができるものと考えられる。

3. 研究の方法

本研究では、試料米として二種類の米品種を用いた。‘村井79号’と‘ヒノヒカリ’である。ヒノヒカリは流通量の多い一般品種米として、対照試料米として用いた。

‘村井79号’は、ジャポニカ型であるのかかわらずコシヒカリより5%程度アミロース含有率が高く、現在の日本の栽培品種(殆どが低アミロース品種)には存在しないような中程度の白米アミロース含有率(22~24%)を有する。すなわち、コシヒカリとインド型品種の中間のアミロース含有率で飯米の粘りはやや少ないが、味はヒノヒカリ(西日本を代表する中生の良食味品種)と同程度の良食味である。村井79号は、高知県内の水田農家において2013年から試作されている。

(1) 試料米の室温吸水特性と炊飯後咀嚼特性の測定

炊飯後の米の咀嚼指標(主に硬度)は、室温での吸水特性に基本的に関連している。そこでまず、室温24における、二つの品種米の吸水特性を調査し、その後、蒸し加熱法によって炊飯した米の硬度特性を測定した。

室温での吸水特性の測定では、金属製カップ90個に試料米10gをそれぞれ入れて、これを蒸留水中に浸漬した。10分おきに10個のカップ取り出し、試料米の表面に付着した余分な水分を遠心分離で取り除いたあと含水率を測定した。これを90分までの浸漬試料に対してそれぞれ測定した。なお、含水率の測定ではシロッコファン付き乾燥機(ISUZU社、VTR-111)を用いて乾燥し、135-24時間定圧乾燥法で乾物質量を決定して算出した。

炊飯中の米の硬度測定では、金属製カップ28個に試料米10gをそれぞれ入れ、これらのカップを金属網に載せた状態で、水を深さ3cm程度入れた大型鍋につり下げ、加熱して蒸した。炊飯完了までの時間は35分のため、加熱開始から5分ごとに4個のカップを取り出し、1個のカップからは炊飯中の米を10粒ずつ取り出して硬度を計測した。また、残りの3個のカップについては、粒含水率の参考として含水率測定した。

炊飯中の米の硬度測定には、レオメーター(エーアンドデー社、MCT-1150)を用い、直径8mmの平型円形のプランジャーで押圧試験を行った。米粒の厚さは3mm程度であるため、押圧距離は2mmまでとし、圧縮速度は10mm/min.にセットした。なお、硬度の定義として、本研究では、押圧距離2mmまでに計測された、押圧距離対プランジャー反力曲線の最小二乗直線の傾きを硬度指標とした。

(2) 試料米の熱特性測定

試料米の熱特性を知るため、示差走査熱量計(島津製作所、DSC-60Plus)を用いて昇温解析を行った。試料米粒を適量として乳鉢で粉碎し、8.5mg前後を分取して、示差熱・熱重量同時測定装置(島津製作所、DTG-60)の秤量機能を利用して1μgまで精秤したのち、アルミニウムシールセル(島津製作所、201-53090)に封入した。DSC測定の際の基準物質は、アルミナ粉末(島津製作所、201-53537)とした。測定時の雰囲気ガスはN₂ガス(工業純度)で、パーシ流量は50mL/min.、昇温は、室温スタートで最大温度(ホールド温度)100、ホールド時間10min.、昇温速度10 /min.で行った。DSC測定に用いた試料米の含水率は、同じ試料米ロットから取った10g粒を、水分計(島津製作所、MOC63u)で135 常圧乾燥して乾物を定量して求めた。

(3)ニューラル・ネットワークによる炊飯品質の推定モデルの構築

試料米の炊飯後の品質(硬度)を、試料米特性(吸水特性やDSC特性)と関連させるため、ニューラル・ネットワークによる、炊飯後の硬度推定モデルを構築した。このモデルを利用することで、加熱温度パターンが決まれば、試料米としての熱特性パターンがその関数として決まり、吸水特性と合わせて、炊飯後の硬度品質を推定できると考えた。

硬度推定モデルの入力値は、吸水後10分から90分まで吸水パターンと、30 から80までの試料DSC値とし、出力値は押圧試験によって得た硬度計測値とした。

硬度推定のニューラル・ネットワーク・モデルの構築には、MATLAB Ver.6.1(Mathworks社)のNeural Network Toolboxを用いた。入力は15個(吸水パターン9個、DSC特性パターン6個)、出力は硬度の1個である。モデルのニューロン層にはタンジェント・シグモイド関数(tansig関数)、出力層には線形関数(purelin関数)を用いた。モデルの学習には、一括勾配降下(Batch Gradient Descent with Momentum)法を、バック・プロパゲーション学習に用いた。学習の際の条件として、学習速度0.05、慣性項の割合0.9をセットした。

4. 研究成果

(1) 試料米の室温吸水特性と炊飯後咀嚼特性

図1は、供試米二種(ヒノヒカリと村井79号)それぞれについて、室温で吸水特性である。ヒノヒカリは初期含水率が、平均26.9%,d.b.、村井79号が同25.63%,d.b.であった。これらの点を詳細に分析するため、次式にデータを当てはめ、吸水特性係数k(1/min.)と、平衡飽和含水率M(% ,d.b.)を求めた。

$$M = M_0 + (M_0 - M_\infty) \exp(-kt)$$

ここに、

M:経過時間(min.)時の含水率

M₀:初期含水率(% ,d.b.)

M :平衡飽和含水率(% ,d.b.)

k:吸水特性係数(1/min.)

なお、当てはめアルゴリズムは、Levenberg-Marquardt法で、計算はMATLABのOptimization Toolboxを用いて行った。当てはめ計算の結果、ヒノヒカリについては、M =40.00(% ,d.b.)、k=0.0464(1/min.)、村井79号については、M =39.037(% ,d.b.)、k=0.0571(1/min.)を得た。飽和平衡含水率はどちらもほぼ同じと考えて良いが、吸水特性値では村井79号の方が高い値を示しており、吸水速度が大きく、短時間に飽和平衡含水率にまで達するのが分かる。

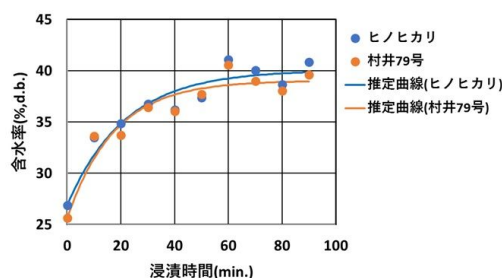


図1 試料米二種の吸水特性

図2は、炊飯した二種の試料米の咀嚼試験による品質評価結果のうち、粘着性、粘着力、硬さを比較したものである。粘着性は、一回目の押圧試験後にプランジャーが試料米から離れる際に、試料米がプランジャーに付着して引き戻そうとするエネルギー、粘着力はその引き戻し最大値、硬さは一回目の押圧時に炊飯米粒粒子がつぶれるまでの押圧最大値を、それぞれ表す。

ヒノヒカリに比較して村井79号は、粘着性、

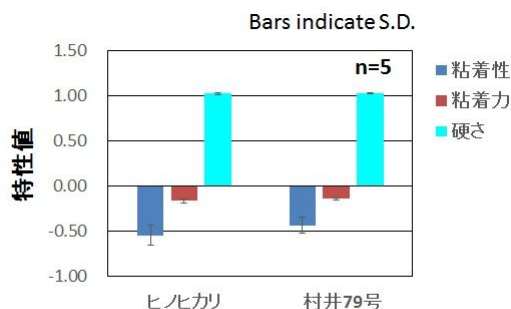


図2 試料米二種の炊飯後咀嚼特性

粘着力ともに低く、これを立証するように、ぱさぱさとした食感であることが官能評価では明らかとなった。しかし、粘着性と粘着力の平均値の差についてt検定を行ったところでは5%危険率での有意差は認められなかった。硬さに関しては、どちらの品種についてもほぼ同等で、その差は大きくはない。その一方で、凝集性とガム性について5%危険率で同様にt検定を行ったところ、いずれも有意差が認められた。凝集性は、二回の咀嚼試験での第一回目の咀嚼エネルギーに対する

第二回目の咀嚼エネルギーの比、ガム性は、先の硬さに、咀嚼性を掛け合わせて求められる粘弾性特性値である。村井 79 号の母平均に対する 95%信頼区間分析によれば、凝集性については、ヒノヒカリは+0.0021 ~ +0.4935 高い値を示し、また、ガム性についてもヒノヒカリは、+0.0031 ~ 0.5054 高い値を示した。

(2) 試料米の熱特性測定

図3は、試料米二種の熱特性測定結果の一例である。穀物に対する DSC 特性の測定では、炊飯時のアルファ化エネルギーを求めることを目的に加水した試料に対するも報告が多いが、本研究ではベースとなる基本的な熱特性を把握するため、加水せず、収穫し脱穀した試料米を DSC 分析した。図3によれば、村井 79 号は、ヒノヒカリに比較して比熱が大きい傾向を示した。したがって、炊飯エネルギーは、村井 79 号の方が高いことから、炊飯の際には、同じ炊飯温度上昇プログラムが前提であれば、ヒノヒカリよりも加熱エネルギーを必要とすることがわかる。

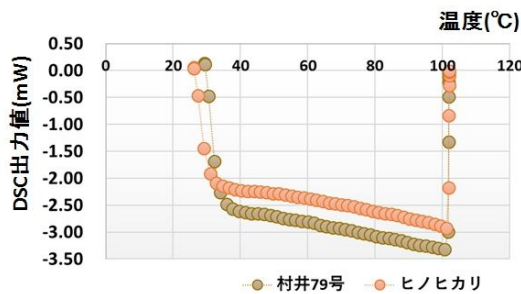


図3 試料米二種のDSC特性

加水しない試料米の DSC 特性は、炊飯加熱時の熱の伝わりやすさを端的に表す指標となり得る。次項で構築する、ニューラル・ネットワークによる炊飯米の品質推定モデルにおける入力値として、この特性の形状をパターンとして入力することとした。

(3) ニューラル・ネットワークによる炊飯

品質の推定モデルとその推定精度評価

炊飯米の品質指標のなかで、硬さは、消費者が炊飯米を評価する際にもっとも直感的に感じやすい米の品質指標である。ここでは品種特性としての吸水パターンと熱特性としての DSC 特性をもとに、炊飯後の硬さを推定するモデルの構築を行った。図4に本研究で作成した、炊飯後の米の品質推定モデルの概要を示す。吸水特性パターンと DSC パターンの二つを入力とし、炊飯後の硬さを出力とするものである。当初、(1)項で求めた試料米の吸水特性係数のみで吸水特性パターンを代表させていたが、モデル学習の結果としての、実測硬さと推測硬さの適合度が不十分であったため、吸水特性曲線そのものをパターン入力する手法に変更した。

測定データのうち 70%をニューラル・ネット

ワークによる推定モデルの学習用に、15%をモデル検証用に、そして残る 15%を、学習段階で用いない未知データによる精度確認用

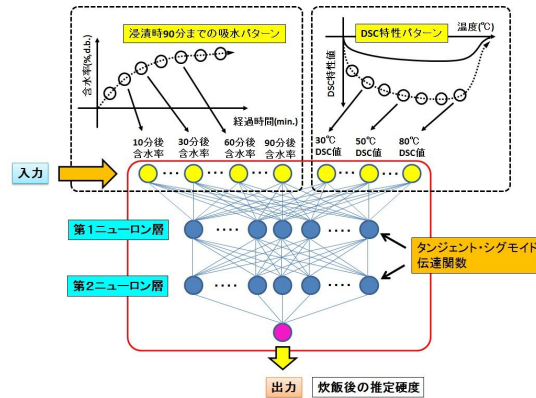


図4 ニューラル・ネットワークによる炊飯後の品質(硬度)推定モデル

に分け、バック・プロパゲーションにより、炊飯後の品質(硬度)推定モデルの学習を行った。その結果、学習後の推定モデルを用いた場合の未知試料データに対する推定精度は、相対誤差で 20%未満であった。相対誤差が小さくなった要因としては、A)入力として用いた試料米の吸水特性および DSC 特性が、(1)項と(2)項で見たように、いずれも差が小さかったこと、および、B)その差の小ささ、すなわち、データ分散が小さいことから、ニューラル・ネットワークによる学習で Over-fitting 現象を生じた、などが考えられる。

得られた成果は、炊飯後の米の品質を推定する人工知能型推定モデルとして、今後、この分野に新しい手法を提供するものとする。

(今後の研究展望)

本研究で得た炊飯米の硬度推定モデルでは、加熱温度パターンから直接、硬度を推定する形式のモデルにはしなかった。炊飯米の品種や状態によって水分の吸収状態が変われば、加熱温度パターンが同じでも、その結果は変わると考えたからである。

実験の際に得た知見として、米の吸水特性は、その表面管理の仕方によって著しく違いが見られることも分かってきた。したがって、炊飯モデルの入力には、こうした表面状態を表す指標の導入も必要である。

本研究では代表者が長年の育種経験にもとづいて開発した品種‘村井 79 号’と、対照としての‘ヒノヒカリ’について検討した。しかし、国内に流通する米の品種は、近年、各都道府県から新しいものが次々と開発され、流通されつつある。炊飯品質の推定モデルの実用度を上げるためには、こうした新品種においてもデータをさらに蓄積していくことが必要と考えている。

また、ニューラル・ネットワークによる推定モデルは、データの学習過程において、Over-Fitting と呼ばれる、データの X-Y 関係への過剰適応現象があることが知られており、本研究でのデータについて、

Over-Fitting の可能性があるかどうかについて、さらなるデータとの比較検証が必要と考えている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計1件)

河野俊夫・疋田慶夫・村井正之・上向井美佐・佐柏野由加里・甲斐野乃花、近赤外マッピングスキャンによる食用卵の個別消費期限推定法に関する研究、食品保蔵科学会誌、査読有、41巻、pp.139-144、2015年。

[学会発表](計7件)

Rana, B. B.、M. Yokokura、S. Saito、T. Kawano、M. Murai、Effects of a lateness gene Se-1-u on yield and related traits in japonica rice、日本育種学会四国談話会講演会(第81回)、2016年11月25日、高知大学農学部(高知県南国市)。

上向井美佐、B. B. Rana、M. Bhattarai、河野俊夫、村井正之、介護食用の軟飯に好適な水稻品種の育成に関する研究、日本育種学会四国談話会講演会(第81回)、2016年11月25日、高知大学農学部(高知県南国市)。

河野俊夫、柏野由加里、上向井美佐、村井正之、食品材料に混在する異物の近赤外分光法による非接触種類推定法に関する研究、日本食品保蔵科学会第66回年次大会、2016、南九州大学(宮崎県宮崎市)。

Rana, B. B.、M. Yokota、Y. Shimizu、T. Kawano、M. Murai、Effects of a lateness gene on yield and related traits in indica rice、日本育種学会四国談話会第80回講演会、2015年11月27日、愛媛大学農学部(愛媛県松山市)。

Rana, B. B.、Y. Shimizu、H. Nakazawa、A. Dahal、T. Kawano、M. Murai、Effects of a lateness gene on lodging resistance and related traits in indica rice、日本育種学会四国談話会第80回講演会、2015年11月27日、愛媛大学農学部(愛媛県松山市)。

Rana, B. B.、B. B. Khatri、B. P. Sharma、S. P. Dhital、B. P. Luitel、P. Bhattarai、D. Chaudhary、K. P. Upreti、S. Ghimire、T. Kawano、M. Masayuki、Potato researches in Nepal: enhancing productivity and food security、育種学会四国談話会第79回講演会、2014年11月28日、香川大学農学部(香川県)。

Rana, B. B.、B. B. Khatri、B. P. Sharma、S. P. Dhital、B. P. Luitel、P. Bhattarai、D. Chaudhary、K. P. Upreti、S. Ghimire、M. Masayuki、Development of Potato Varieties in Nepal、育種学会四国談話会第79回講演会、2014

年11月28日、香川大学農学部(香川県)。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村井 正之 (MURAI Masayuki)
高知大学・教育研究部自然科学系
農学部門・教授
研究者番号：00166240

(2) 研究分担者

河野 俊夫 (KAWANO Toshio)
高知大学・教育研究部自然科学系
農学部門・教授
研究者番号：60224812