Kobe University Repository : Kernel

PDF issue: 2026-11-22

浸漬温度が異なる長時間浸漬米の吸水率の逆転現象と炊飯への応用

森井，沙衣子

(Degree)
博士（学術）
(Date of Degree)
2019-03-25
(Resource Type)
doctoral thesis
(Report Number)
甲第7386号
(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1007386

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。

（別紙様式４）

論　文　内　容　の　要　旨

氏　　名　森井　沙衣子
専　　攻　人間環境学専攻
指導教員氏名　白杉　直子　教授

論文題目（外国語の場合は，その和訳を併記すること。）
浸漬温度が異なる長時間浸漬米の吸水率の逆転現象と炊飯への応用

論文要旨

わが国では，米飯は主要なエネルギー源として，乳幼児期，学童期，青年期，壮年期，高齢期の各ライフステージにおいて，多様な形態で喫食されている。米飯の形態には米飯，軟飯，固粥，全粥，分粥，ミキサー粥などがあり，対象者の発育，疾病状況や嚥下力，咀嚼力，消化吸収機能などに適した食物形態に変化させることができる。米飯をおいしく食べることは，栄養学的意義だけでなく，すべてのライフステージにおける生活の質（QOL）の向上にも直結する。

日本の炊飯方法は，江戸時代に日本で独自に完成された「炊き干し法」であり，世界的に東南アジアなどを中心に主流となっている「湯とり法」とは異なる。米を適量の水に浸漬してから加熱し，水分がちょうど無くなったときに火を止めて蒸らして仕上げるため，洗米，米の浸漬から正確な水加減、火加減で炊飯を行うことが必要な高度な技術である。「炊き干し法」での米飯のおいしさに影響を与える因子には，品種など米そのものに起因するものと，炊飯過程における諸条件に起因するものとがある。同じ米を炊飯しても，炊飯過程のどこかの条件が一つ変わっただけで米飯の炊きあがりの状態に影響を与える。

浸漬過程における米の吸水も，重要な因子の一つである。米の吸水と浸漬温度との関係については，従来，浸漬温度が上昇するとともに米の吸水率が増加する吸水曲線が定説となっており，調理学の教科書にも記載されている。しかし，近年は，米の品種改良が進み，経年的に米の性質が変容していることから，低温と温水で浸漬した米の吸水率について，再度，明らかにする必要があると考えた。そこで，坂本らは著者とともに市販米を試料として浸漬温度が異なる米の吸水率の経時変化を調べた。従来とは異なり，浸漬により水に懸濁した固形分を回収して精度を高める方法を独自に設定し，精白米の吸水率の算出を行った。その結果，低温浸漬と温水浸漬で平衡状態まで吸水させた場合，温水浸漬よりも低温浸漬の米の吸水率が高くなり，吸水曲線が交差する吸水率の「逆転現象」が起こることを炊飯米で初めて明らかにした。

そこで，本研究では米飯のおいしさに影響を与える因子として，浸漬過程における「米の吸水特性」に着目して研究を行った。まず，浸漬温度が異なる長時間浸漬米の吸水率の「逆転現象」がほかの品種や搗精度が異なる米でも起こるかどうかを明らかにするため，精度を高めた吸水率算出方法を用いて，品種と搗精度の異なるジャポニカ米について，吸水率の経時変化を調べた。次に，この吸水率の「逆転現象」が起こるメカニズム解明の一端となるように，機器分析の手法を用いて，異なる浸漬温度下の米穀粒表面部の物理化学的性状の比較を行った。

さらに，本研究で得られた科学的知見を食生活における QOL の向上に活かすために，炊飯への応用を試みた。すなわち，米の浸漬温度の違いが米飯の食味に及ぼす影響について検討を行うこととした。炊飯は汎用性の高い加熱機器であるスチームコンベクションオーブン（以下，スチコン）に着目し，低温と温水で浸漬した米の炊飯を行い，その米飯特性を明らかにした。

米飯は家庭だけではなく，児童養護施設，教育施設，医療施設，老人福祉施設等のあらゆるライフステージを対象者とした食事提供の場において提供されている。特に，医療施設や老人福祉施設では，口腔嚥下機能や消化能等の異なる利用者・傷病者に個別に対応した様々な食形態の米飯を同

時に提供する必要がある。しかし，給食施設調理担当者への予備調査の結果，炊飯の現状で最も困っていることは，全粥などを鍋で調理する場合や，調理担当者が異なる場合に「提供する米飯や粥のかたさが一定でない」ことであった。炊飯器による炊飯はあらかじめ炊飯プログロムが組み込まれているため，米の品質などが変わらない限り，調理者が変わっても安定的なテクスチャーの米飯が炊飯できる。しかし，炊飯器を用いない鍋などによる炊飯では，火加減や調理時間などの調理操作や，調理担当者によってもその出来上がりが異なることから，炊飯の標準化が難しいことが推察された。これらのことから，食事提供を行う医療施設や老人福祉施設などの給食現場において，喫食者の咀嚼・嚥下機能や嗜好に応じた米飯を個別に提供し，喫食者のQOLを向上につなげるためには，テクスチャーや味が異なる米飯を炊き分ける技術の導入と考えられた。しかし，一般的な炊飯方法では，異なる浸漬条件の米飯を1つの加熱機器を用いて同時に炊飯することは不可能である。そこで，炊飯条件の異なる米飯を同時に炊飯する方法について，現場でどのような可能性があるかを検討することとした。まず，給食施設における炊飯の現状を把握するために，給食を提供している施設に対して炊飯の現状等について調査を行った。その結果，炊飯条件の異なる米飯の同時炊飯にスチコンが有効である可能性が高いと考えられた。しかし，スチコンでの炊飯条件がいまだ確立されていないため，まずスチコンでの白飯の炊飯条件を確立させる実験を行った。その上で，浸漬温度の異なる米飯をスチコンで炊飯し，それぞれの食味特性について官能評価とテクスチャー測定等の手法を用いて評価した。

まず，第1章では，浸漬温度が異なる長時間浸漬米の吸水率の逆転現象について検討を行った。第1節では，品種，搗精度の異なるジャポニカ米の浸漬温度が異なる場合の吸水曲線を比較した。

系統の異なる3品種のジャポニカ米について，搗精度の異なる米試料を5℃，20℃，40℃の水に浸漬し，吸水率の経時変化を追った。ここでの吸水率算出は，上述した，浸漬により水に懸濁した固形分を回収する，精度の高い方法で行った。その結果，キヌヒカリ，ササニシキ，ハツシモの3品種の精白米と7分つき米をそれぞれ平衡状態まで浸漬させた場合，浸漬温度が低い（5℃，20℃）米の吸水率が浸漬温度の高い米（40℃）の吸水率よりも高くなり，吸水率の「逆転現象」が認められた。この現象は，系の異なる3品種の搗精米で搗精度にかかわらず同様の結果となったため，ジャポニカ米の多くの品種で，この現象が起こる可能性があることが示唆された。また，吸水率の「逆転現象」はこれら3品種の米から調製した米粉では起こらなかったことから，この現象は米粒の形状に特有の現象であることが確認できた。

第1節の結果より，吸水率の「逆転現象」が起こる原因として，糊化開始温度以下である40℃で浸漬させた場合，米粒表面部のでんぷん粒の結晶構造が何らかの変化を起こし，内部への吸水を妨げているという仮説を立てた。

そこで，第2節では，第1節で導かれた仮説を元に，低温浸漬と温水浸漬後の米の表面部と表面部以外（中心部）におけるでんぷんの状態の差異を酵素法と 3種類の物理化学的手法を用いて比較することとした。5°C，40°Cで浸漬した米粒の表面および中心部の試料のX線回折（X-Ray diffraction，以下XRD）を測定した結果，米粒中心部のでんぷんの結晶性に大きな変化はみられなかったが，40°C浸漬の米粒表面部は回折強度がわずかに高くなっていた。このことから，温水浸漬の時間が長くなると米粒表面部の澱粉粒にわずかな結晶性の回復が起こることが示唆された。示差走査熱量分析（Differential scanning calorimetry，以下DSC）測定では，40°C浸漬米の表面部の糊化ピーク温度は生米より低温に移行していたが，糊化開始温度は高い傾向がみられた。また，40°C浸漬米のDSC曲線は生米，5°C浸漬米より吸熱ピークが鋭くなっており，40°C浸漬米のDSC曲線は生米，5°C浸漬米の表面部のそれとは異なっていることが明らかとなった。これらの結果から，温水浸漬をした場合，米粒表面のでんぷんに「でんぷん粒のアニーリング（微結晶の融解と再結晶）」に相当する現象が起こるのではないかと推察した。米を40°C浸漬させることで，米粒表面のでんぷん粒の微結晶が一旦融解して結晶性が改善される。この結晶性が改善された表面のでんぷんにより，内部への水の浸透が妨げられる。これが40°C浸漬が5°C浸漬よりも米の吸水率が低くなる原因の1つとなると推察した。

第１章において，温水浸漬米では米粒表面のでんぷんに「でんぷん粒のアニーリング」が起こるため，吸水率の「逆転現象」が起こる可能性が示唆された。浸漬条件により，米でんぷんの状態が

異なると，炊飯後の米飯のテクスチャーや味に異なる影響を与えると想像される。そこで，第2章では，第1章で得られた科学的知見を食生活の QOL 向上に活かす目的で，浸漬条件が異なる米の大量調理現場における個別炊飯への応用の検討を試みた。給食施設においてテクスチャーや食形態の異なる米飯を１つの加熱機器で同時炊飯する「個別炊飯」に応用することが実現できれば，対象者に適した形態の米飯提供が可能となる。これが実現できれば，喫食者のQOLを高めるだけでなく，調理作業効率の面からも給食調理者の負担の軽減になるため，有益であると考えられる。

第1節として，給食施設における米の炊飯状況について調査し，多種類の食形態の米飯を同時炊飯するための対応策の模索を行った。その結果，給食施設では食形態の異なる米飯，つまり普通米飯の他に軟飯，全粥，分粥などの米飯を複数種類提供しており，炊飯のために炊飯器以外の加熱機器も使用している現状を確認した。スチコンは，老人福祉施設，医療施設では90%以上，児童福祉施設においても50%以上の施設に設置されており，多様な加熱調理に活用されていた。一方，スチコンでの炊飯経験がない施設が多かった。さらに，スチコンを用いて食形態の異なる米飯を同時に炊飯することや，トマトライスなどの炊き込み飯の炊飯を行うことに関心を持つ施設もあることがわかった。

第１節の調査結果から，スチコンは給食施設の半数以上に設置されており，スチコンでの炊飯に興味を持つ施設もあったことから，スチコンが炊飯に有効である可能性が高いと考えられた。しかし，スチコンでの炊飯条件はいまだ確立されていないのが現状である。

そこで，第2節では，給食現場における多様性の高い炊飯方法として，スチコンによる白飯の炊飯条件の設定を目的とし，加熱温度と加水量が白飯の特性に与える影響について検討した。その結果，スチコン炊飯において，水蒸気加熱を伴わない乾式加熱時の温度履歴と，水蒸気加熱を併用した加熱時の温度履歴とは，後者において，水蒸気の凝縮と水の蒸発が同時に起こっていることから，異なる温度履歴を描くことが明らかとなった。また，本研究で用いたスチコンの白飯の炊飯条件は，加水比1.5倍，設定温度150°C，加熱時間20分が最適な炊飯条件となった。

第2章第3節では，第1章の結果を受け，第2章第2節で設定した最適なスチコンの炊飯条件を元に，低温（5°C）と温水（40°C）で浸漬させた米をスチコンで炊飯することとした。それぞれの米飯について，官能評価による米飯の食味，および米飯の物性に着目し，その米飯特性を評価した。その結果，吸水状態が異なる米を炊飯した場合，炊飯後の米飯は吸水状態によって炊飯後の米飯のかたさや付着性などのテクスチャーが異なることが明らかとなった。また5°C，20分浸漬米の米飯は還元糖量が少なく，40°C，4時間浸漬米の米飯は還元糖量が多い結果となった。5°C，90分浸漬米の米飯と40°C，90分浸漬米の米飯は還元糖量が同等であり，吸水率が還元糖生成に関わっている可能性が示唆された。一般的な炊飯器の浸漬条件である40°C，20分浸漬米の米飯と米の吸水率が最大であると推定される5°C，4時間浸漬米の米飯の食味について，官能評価を行った。その結果，5°C，4時間浸漬米の米飯は40°C，20分浸漬米の米飯よりも，炊きあがりの匂いが強く，甘味が強く，全体的においしいという評価が得られ，温水浸漬した米飯よりも低温で浸漬した米飯が好まれる結果となった。

これらの結果から，ジャポニカ米を温水で浸漬させると，米粒表面部のでんぷんに「でんぷん粒のアニーリング」が示唆される現象が起こり，そのため長時間浸漬した場合，温水浸漬よりも低温浸漬の米の吸水率高くなる，米の吸水率の「逆転現象」が観察されると考えられた。また，米の浸漬温度を変えることで，食味，物性の異なる米飯をスチコンで同時に炊飯することが可能となることを明らかにした。特に，低温で長時間浸漬した米は米飯の炊きあがりの匂いが強く，総合的においしいと評価されたことから，浸漬温度の異なる米のでんぷんの状態の差異について，さらに追求し，それを明らかとすることで，現状の炊飯方法をさらに発展させるための調理科学的な基礎となり得ると考えられる。またその知見を給食施設の炊飯に応用することで，対象者の摂食嚥下機能，米飯の嗜好などに対応した多様なテクスチャーや食形態の米飯を同時に炊飯することができ，ヒトのライフステージにおける食生活のQOL向上につながることが期待できる。

［課程博士用］

論文審査の結果の要旨

氏　　名	森井　沙衣子		
論文題目	浸漬温度が異なる長時間浸漬米の吸水率の逆転現象と炊飯への応用		
判　　定	合　　格		
審査委員	区　分	職　名	氏　　名
	主　査	教授	白杉　直子
	副　査	教授	矢野　澄雄
	副　査	教授	加藤　佳子
	副　査	教授	近江戸　伸子
	副　査	教授	佐藤　春実

要　　旨

主食の米を炊く方法は、世界的には東南アジアを中心とした「湯とり法」が主流であるが、日本では「炊き干し法」が独自の発展を遂げてきた。前者が米をゆでこぼした後に蒸すのに対し、後者は、米の洗浄、水への浸漬（吸水）、加熱、消火、蒸らしの段階を経る。いずれの過程もわずかな条件の違いが米飯の炊き上がりに影響を与えることが、数々の炊飯に関する研究で報告されている。その点で「炊き干し法」はより高度な炊飯技術といえる。本学位申請者は、市販米の長時間浸漬において低温浸漬米の吸水曲線が温水浸漬米のそれを上回る逆転現象を初めて見出した先行研究（坂本薫，森井沙衣子，上田眞理子，日本調理科学会誌，**48**(3), 193-199, 2015）に携わった。通説を覆す本現象がジャポニカ米に普遍的に起こるか否かや、そのメカニズム、また、低温浸漬と温水浸漬が米飯の炊き上がりに及ぼす影響をさらに掘り下げようとしたのが本論文である。

本論文は、序論と 2章、総括で構成されている。

序論では本研究の背景および目的を述べた。本研究の目的は２点ある。１つは、浸漬条件（温度と時間）の違いが生の米粒の吸水に与える影響を理化学的な観点から明らかにすること（第１章）。２つめは、得られた科学的知見を実際の炊飯に活かし、新たな食の QOL 向上の方策を検討すること（第２章）である。

第１章では、品種と栽培条件が明らかな米に対して、低温と温水の浸漬実験を行い、逆転現象が起こるか否かの確認と、メカニズム解明の手掛かりとして、米粒表面の主にデンプン分子の状態変化を理化学的手法で明らかにしようとした。第１節では、系統の異なる 3品種の米の搗精度を精白米、7分搗き米、玄米の3種類とし、5、20、40℃の各温度で、米の吸水率が平衡状態に達するまで浸漬し、吸水曲線を求めて比較した。米の吸水率は上述の先行研究で初めて用いた浸漬液中の固形物を回収する精度の高い方法で求めた。結果、3品種とも搗精米（精白米と7分搗き米）において吸水率が平衡に達すると 5℃と 20℃浸漬米の吸水曲線が40℃のそれと交差する逆転現象が起こった。そのため、多くのジャポニカ米の搗精米で吸水率の逆転現象が起こると推察した。第２節では、5℃と40℃で浸漬時間を変えた各浸漬米の粒表面の分子の結晶性や存在状態を、X線回折法(XRD)や示差走査熱量(DSC)測定、フーリエ変換赤外分光法(FT-IR)による機器分析ならびに酵素法で調べた。結果、40℃浸漬米表面は内在酵素の働きで遊離の還元糖量が増加した一方、デンプンの結晶構造の一時的な崩壊とその後の再配列が起こった可能性が示唆された。そのため、浸漬米の吸水率の逆転現象は、米粒表面で起こるデンプン分子の再配列・再結晶化が水の浸入を阻むためではないかと推察した。

第２章の応用研究に取り組む背景には、米飯がとり得る多様な食形態がある。離乳食のつぶし粥から、軟飯、白飯など、人の発育や疾病、咀嚼嚥下力や嗜好性に適した形態の米飯を、米の吸水状態をコントロールすることで、大量調理の給食現場で個別に、しかも同時炊飯するための応用への可能性を検討することとした。第１節では、幼児や高齢者、傷病者などを対象とする給食施設に対して、米飯提供状況や近年普及が進む過熱水蒸気加熱機能をもつスチームコンベクションオーブン（以下、スチコン）の使用状況などを問う質問紙調査を実施した。結果、大量調理施設では個別炊飯の能率化が課題であり、炊飯にはまだ十分に活用されていないスチコンに問題解決の可能性を見出した。第２節では、スチコンによる少量炊飯の最適条件を見出した。第３節では、5℃と 40℃浸漬米をスチコンで炊飯し、米飯を官能評価や物性測定、DSC測定や化学分析により評価した。結果、スチコンに吸水率が異なる米を供することにより、特性の異なる複数種類の米飯の同時炊飯が可能であることを確認した。また、短時間温水浸漬より長時間低温浸漬の方が味や物性の観点から米飯の質を向上させる可能性を初めて示した。

本研究の価値は、異なる浸漬温度における米の吸水率の逆転現象が多くのジャポニカ搗精米で起こり得ることを証明した点と、糊化開始温度に達しない温水浸漬時の米粒表面のデンプン分子の結晶性に崩壊と再配列の可能性を見出す重要な知見を見出し、逆転現象のメカニズム解明の端緒を提供した点にある。さらに、得られた科学的知見を食の現場の QOL 向上に活かす技術を、実験的手法に加え、質問紙調査も取り入れて示した点で学際的な取り組みといえる。以上のことから、本論文は「人間発達環境学」にふさわしい学術的特徴を有すると評価した。

なお参考論文として、以下の 2本のレフェリー付論文が国内の学会誌に掲載または掲載予定であり、博士学位申請（課程博士）の基本的要件を満たしている。

1) 森井沙衣子・坂本薫・白杉（片岡）直子，スチームコンベクションオーブンを用いた少量炊飯に関する検討，日本給食経営管理学会誌，**10** (1), 5-14, 2016
2) Saeko Morii, Kaoru Sakamoto, Naoko Kataoka-Shirasugi, The Reverse Phenomenon in Water Absorption Rate in Japonica Rice Grains Caused by Long-term Soaking in Water at Different Temperatures, 日本調理科学会誌 (*Journal of Cookery Science of Japan*), **52** (3), 2019, 掲載予定

よって本審査委員会は、学位申請者の森井沙衣子氏は博士（学術）の学位を得る資格があると認める。

レフェリー付きの論文の発表について，記載すること。