

(資料)

細線加熱法によるでんぷんの粘度について

西村 亜希子・岡野 節子・水谷 令子

The Viscosity measured with Hot Wire Method of Starch

Akiko NISHIMURA, Setuko OKANO and Reiko MIZUTANI

要 旨

熱伝導現象を応用した細線熱法を用いて、各種でんぷん糊液の動粘度を測定し、調理操作との関連を考察した。

じゃがいもでんぷんは、100°Cで3分間保持したとき最高粘度を示し、それ以上加熱を続けると粘度は低下した。じゃがいもでんぷんと、とうもろこしでんぷん糊液の粘度は0.6%までは濃度が大きくなるにつれて上昇したが、それ以上の濃度では大きく変化しなかった。同一濃度での粘度はじゃがいもでんぷんが大きく、葛、とうもろこし、甘藷でんぷんでは小さかった。

じゃがいもでんぷんは砂糖溶液中で加熱すると、純水の中で加熱するより粘度は大きくなった。しかし食塩、醤油、食酢溶液中では、粘度が小さくなった。また砂糖に食酢を加えて加熱した場合は食酢のみの場合と同程度の粘度を示した。でんぷんを食酢溶液の中で糊化すると粘度は小さくなるが、加熱終了後に食酢を加え、直ちに測定すると、粘度の低下はわずかに抑えられた。

これらの結果は日常調理操作で観察される現象とよく対応し、細線加熱法による粘度測定が調理科学実験で用いられうる可能性を示した。

緒 言

でんぷんを単独で用いる調理には、くずざくら、ごま豆腐、ブラマンジェなどのゲル状のものと、くず汁、あんかけなどのゾル状のものがある。でんぷんの性質を調理操作上からみると、吸水、膨潤、糊化、ゲル化などがあげられる。これらの性質はでんぷんの起源によって、また同種のものでも、その産地や製法、貯蔵条件によって異なる。しかし起源が種実（米、小麦、とうもろこし）であるか、根茎（じゃがいも、甘藷、葛、タピオカ）であるかにより、あ

るいはアミロースとアミロペクチンの構成比により共通性がみられ¹⁾²⁾、それぞれの適性から伝承的な用いられ方がされている。

でんぷんは、ほとんど無味無臭のために製品としての評価はレオロジー的性状、あるいはテクスチャーによるところが大きい。これらの物性は調理操作により微妙に変化し、加熱温度や時間、攪拌回数、調味料の種類や添加時期などが影響を及ぼすといわれる。

従来、粘度の測定には、液体が毛細血管内を流れ落ちる時間の違いを利用するもの（オストワルド粘度計）、試料内で回転するローターにかかる圧を利用するもの（エミラ回転粘度計）、試料を二枚のすりあわせ板のあいだにはさみ、こすりあわせる抵抗を利用するもの（コーンプレート型回転粘度計）などが広く用いられてきた。

雪印乳業株式会社により開発された『レオキャッチSVM-1000』は、これまでの力学的原理の粘度計と異なり、熱伝達の現象を応用した非破壊的粘度（動粘度）測定計である。これは内蔵された抵抗体に電流を流し、発熱させながら温度を測ることができる発熱計と、液体の温度を測る測温部から構成される。この2種類のセンサーを試料中に挿入し通電すると、抵抗体は発熱し、同時に周囲の液体に放熱する。抵抗体と液体の温度差は、ある温度（平衡温度）で安定する。すなわち粘度の低い液体中では対流が大きくなるので、抵抗体から奪われる熱が多くなり、平衡温度が低く、逆に粘度の高い液体では平衡温度が高くなる。この原理から試料の動粘度を測定するものであり、『細線加熱法』という熱伝導度の測定法の応用である³⁾。

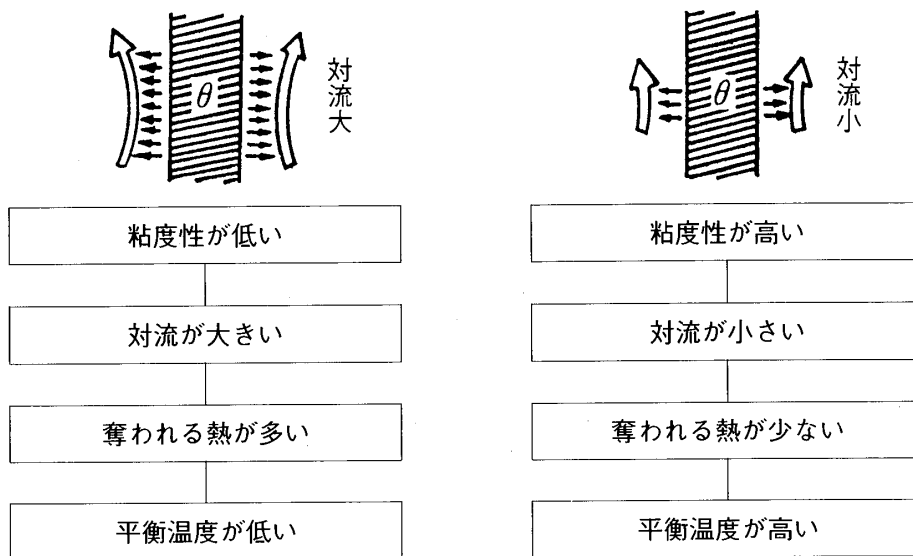


図1 細線加熱法の原理

レオキャッチで測定できる粘度範囲は広く、ゲル・ゾル変換のような凝固過程など従来1機種では測定不可能だったものへ適応もでき、また測定試料が静止あるいは流動状態であっても測定が可能である。従来のものにくらべ測定時間が短く、連続測定が可能であるとともに、測定精度も高い。たとえば1センチストークスの液体で±0.01ストークスの精度がえられる。

各種でんぷんの糊化過程における粘度の変化や、各種調味料がでんぷん糊化に及ぼす影響に

関しては多くの研究がある。今回著者らはこの『レオキャッチSVM-1000』を用いて、でんぷんの種類による粘度のちがひ、各種調味料が粘度におよぼす影響、加熱温度と加熱時間がじゃがいもでんぷん糊液の粘度に与える影響などを動粘性率でしらべることを目的とした。

実験材料と実験方法

(1) 実験材料

でんぷんと調味料は市販品を用い、水は蒸留水を使用した。表1は本実験で用いた実験材料である。

表1 実験材料

材 料	製 造 業 者
じゃがいもでんぷん	(株)扇カネ安食品本舗
とうもろこしでんぷん	(株)扇カネ安食品本舗
甘藷でんぷん	(株)トーカン
葛でんぷん	(株)井上天極堂
さとう (グラニュー糖)	伊藤忠精糖K. K.
しょうゆ (濃い口)	下津しょうゆ
食酢	田中増治郎商店
食塩	日本たばこ産業(株)

(2) 実験方法

500ml容のビーカーに水500mlとでんぷん及び調味料を入れて加熱した。熱源は実験用ガスバーナーを用い、セラミック金網上にビーカーをのせ、ビーカー内を攪拌しながら、沸騰までの時間が一定 (15分) になるように火力を調節した。沸騰時間 (100°Cを保持した時間) は各実験条件に従い1~5分間とし、消火した後水道水で25±2°Cまで冷却し、そのままの温度を保ちながら測定した。蒸発した水量は測定前に蒸留水を用いて補正した。実験は同一条件で調製した試料を2つ測定しその平均をとった。粘度測定装置は前述の雪印乳業(株)製『レオキャッチSVM-1000』を用いた。動粘性率は(粘性/密度)で示され、用いたレオキャッチに付設されたコンピューターソフトにより計算された値をそのまま測定値とした。

結果と検討

(1) じゃがいもでんぷんの加熱と粘度

じゃがいもでんぷん糊液の粘度が加熱温度および沸騰時間によって異なるかどうかを調べ、

結果を表2に示した。なおここで沸騰時間というのは、100°Cを保持した時間を示している。

表2 加熱条件が粘度に及ぼす影響

加熱条件	動粘性率
80°Cに上昇した時点で消火	2.44
90°Cに上昇した時点で消火	2.52
100°Cに上昇した時点で消火	3.45
100°Cで1分間沸騰	3.62
100°Cで3分間沸騰	3.97
100°Cで5分間沸騰	3.84

測定は0.2%ジャガイモでんぷん溶液を用いて行った。

ジャガイモでんぷんの糊化開始温度は61°Cであり、それ以上になると糊化の進行に伴い粘度は上昇する。本実験においては、100°Cまでは大きな粘度変化はみられないが、100°C以上になると粘度が急に上昇し、沸騰後3分で最高粘度を示した。しかしそれ以上加熱をつづけると粘度は減少した。

一般にでんぷん粒子は水と共に加熱すると水を吸収して膨潤し、温度の上昇と共に糊化がおこる。さらに加熱、糊化をつづけると膨潤しきったでんぷん粒の破壊がおこり、でんぷん分子が流出してくる現象が知られており、これをブレイクダウン⁴⁾という。したがってここで測定された粘度の低下は、ブレイクダウンの結果であると考えられる。この結果から、でんぷんを用いて濃度をつける調理では、でんぷんを加え、さらに100°Cを2～3分間保持する必要があると考えられる。しかし、それ以上加熱を続けることは粘度の低下をまねくことがわかった。

(2) でんぷん濃度と粘度

0.2%～0.8%までのジャガイモでんぷん及びとうもろこしでんぷんを用いて、動粘性率の濃度依存性を調べた。その結果は図2に示した。ジャガイモでんぷん、とうもろこしでんぷんも低濃度では動粘性率の濃度依存性がみられたが、0.6%以上の濃度においてはその影響はみられなかった。また、とうもろこしでんぷんとジャガイモでんぷんを比べると、とうもろこしでんぷんの方が粘性率は小さい。

中国料理、日本料理ではジャガイモでんぷん、西洋料理ではコーンスターチを用いることが多いが、同じ粘度を得るためには、用いるでんぷん濃度が異なることを示している。

(3) でんぷんの種類と粘度

ジャガイモ、葛、とうもろこし、甘藷でんぷんの0.2%における動粘性率を測定した。測定は予備実験による最高粘度を示す沸騰時間でおこなった。すなわち、とうもろこしでんぷんは

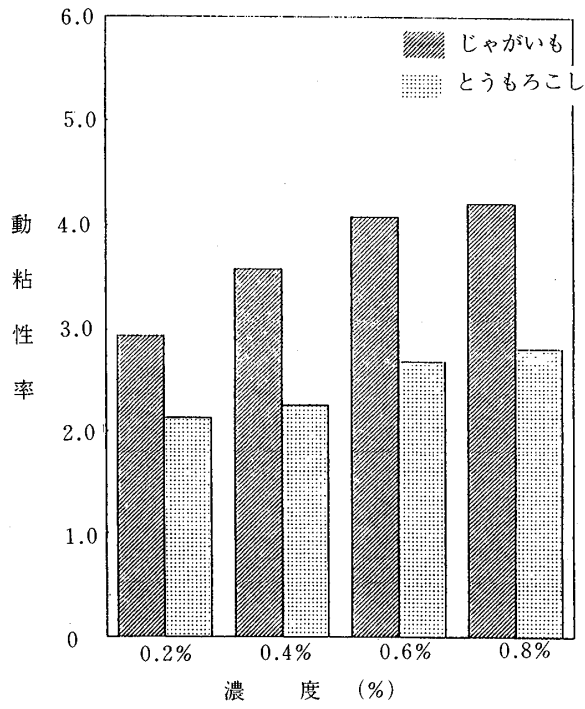


図2 異なったでんぷん濃度で測定した粘度
水の動粘性率は2.18である。加熱は沸騰を3分間行った。

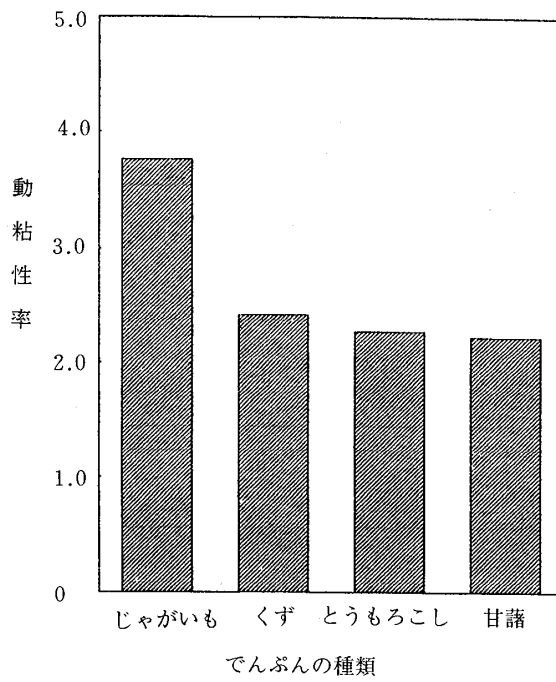


図3 でんぷんの種類と粘度

沸騰時間 じゃがいも; 3分間 葛; 3分間
 とうもろこし; 5分間 甘藷; 3分間

5分、その他のでんぷんは3分とした。結果は図3に示した。じゃがいもでんぷんの粘度は他のでんぷんに比べ著しく高い。とうもろこしでんぷん、甘藷でんぷんはゾル状の調理に用いられるよりは、くずもち、くずきり、わらびもち、ブラマンジェなど、ゲル状の食品に調理される場合が多い。本実験では、糊液の粘度の測定を行っただけであるが、ゲル性食品では、粘弾性など、テクスチャーに関係する物性値が、でんぷんの特徴を示すものであろう。

(4) でんぷんの粘度におよぼす調味料の影響

調理では、でんぷんを単独で用いることは少なく、溜菜のように調味料とともに加熱することが多い。調味料液中で加熱すると粘度に変化がおこることは日常経験するところである。調味料液にじゃがいもでんぷんを0.2%加え、そのまま加熱したとき粘度がどのように変わるかを調べ図4に示した。

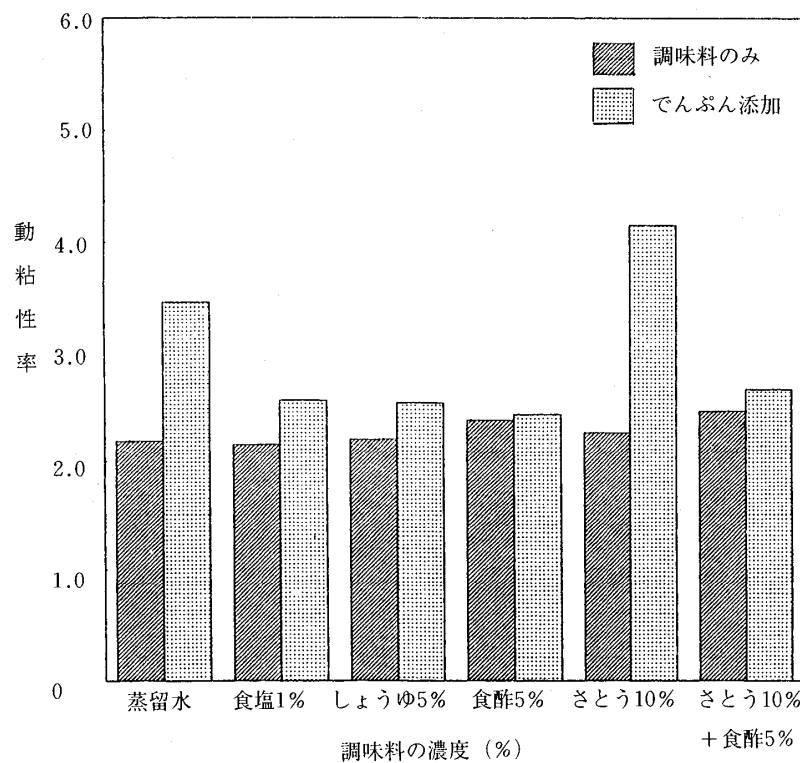


図4 でんぷん粘度における調味料の影響

じゃがいもでんぷんの濃度は0.2% 沸騰時間は3分とした。

蒸留水にでんぷんを加え、加熱すると動粘性率は2.18から3.50に変化した。しかし、食塩、しょうゆ、食酢溶液にでんぷんを加えて加熱すると、粘度は蒸留水に添加したときほど上昇せず、これらの調味料液中ででんぷんを加熱すると粘度が低くなることがわかった。逆に10%さとう溶液にでんぷんを添加して加熱すると、蒸留水にでんぷんを添加した場合に比べ大幅な粘度上昇を示した。しかし10%さとう溶液に食酢5%を加えると、食酢のみの時と同程度まで粘度は低くなった。

さとうは親水性が強いので、でんぷんの実質濃度が高くなって、粘度が上昇するが、食酢は pH が低くでんぷんの加水分解が起こり、でんぷん分子が低分子化するために粘度が低下するものと考えられる。醤油の場合は、水のなかで加熱したときより粘度が低下する。これは食塩がでんぷんの膨潤を抑制することと、pH がわずかに低いため、でんぷんの加水分解が起こることが原因であると思われる⁵⁾。

(5) でんぷんの粘度におけるさとう濃度の影響

実験(4)からでんぷん糊液の粘度は、さとうを加えた溶液中で糊化すると大きくなることがわかったので、さとう濃度で粘性率がどのように変わるかを調べた。さとうのみでは、その濃度を変えても粘度に変化は見られなかった。これにじゃがいもでんぷん0.2%を加えて100°Cで3分間加熱すると図5に示すように、さとう0.5%、1.0%溶液中では粘度上昇への影響はほと

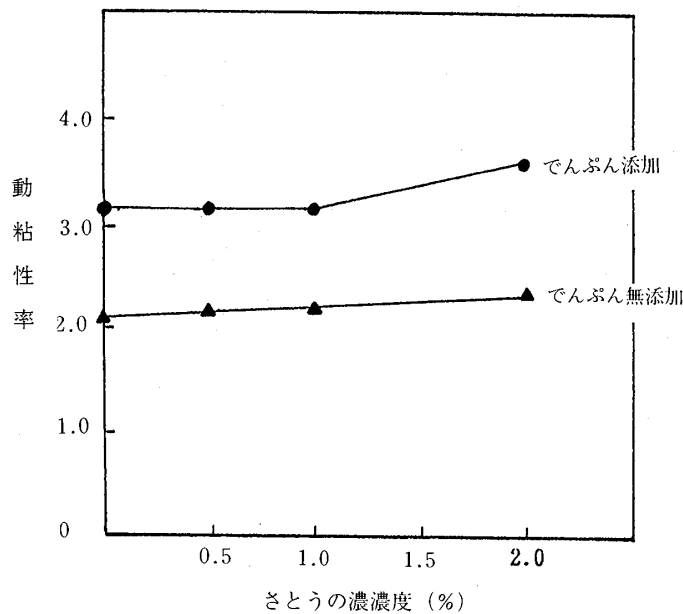


図5 粘度におけるさとう濃度の影響

0.2%じゃがいもでんぷん溶液で測定した。

んどない。しかし2.0%さとう溶液中で加熱したときは粘度が大きく上昇した。すなわち0.2%でんぷん糊液の場合、さとう濃度が2.0%以上になると糊液の粘度に影響を及ぼすことがわかった。シロップの場合は、さとう濃度は10%以上で調理することが多いので、適度の粘度を得るには、でんぷん量に対する配慮が必要である。

(6) 粘度における食酢の添加時期の影響

中国料理の溜菜（あんかけ料理）では、野菜を炒めて、しょうゆ、さとう、食塩等で調味し、最後の段階で食酢とでんぷんを加えて仕上げる。

実験(4)で示したように食酢を添加するとでんぷんの粘度は低下することがわかった。しかし、

食酢の添加の時期で粘度への影響が異なるのではないかと考え、食酢の添加時期を異にした実験を行った。その結果は表3に示した。

表3 食酢の添加方法がでんぷん粘度におよぼす影響

		動粘性率
5%食酢溶液		2.27
でんぷん溶液		4.23
でんぷん + 食酢溶液	加熱前に食酢を添加	2.59
	100°Cに達した時点で食酢を添加	2.54
	消火後に食酢を添加	2.74

でんぷん濃度は0.2%とし、でんぷんは加熱開始時に加えた。

加熱は沸騰後3分間行った。

食酢を加えないでんぷん液では4.23と粘度は高いが、いずれの場合も食酢を添加することにより粘度は低下した。食酢の添加時期のうち、でんぷん液を3分間沸騰したのち消火し、その後に食酢を添加したものは最も粘度が高かった。このことから甘酢あんの調理では、調理の最後の段階で、でんぷんと食酢を添加すると、糊液の粘性が高く、その上食酢の風味をそこなわないのでよい方法であると考えられる。

以上の実験は総てゾル状の場合にかぎって行ったものであるが、調理操作の過程でみられるでんぷん糊液粘度のさまざまな現象は、細線加熱法を用いた動粘性率でかなり説明できることがわかった。今後本法が調理科学分野での研究に用いられることを期待したい。

本実験で使用した『レオキャッチ』は雪印乳業株式会社技術研究所より借用したものである。実験にあたりご指導いただいた同研究所佐伯幸弘氏に感謝するとともに、高価な機器の使用をお許しくださった雪印乳業株式会社に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 小倉徳重, 調理科学, 16, 76 (1973)
- 2) 貝沼圭二, 調理科学, 13, 83 (1980)
- 3) 堀友繁, センサ技術, 7, 74 (1987)
- 4) 二国二郎監, 澱粉科学ハンドブック, P.346, 朝倉書店 (1977)
- 5) 二国二郎監, 澱粉科学ハンドブック, P.38, 朝倉書店 (1977)
- 6) 寺元房子, 家政誌, 25, 188 (1974)