

## 学 位 論 文 題 名

ジュール熱を利用したかまぼこの  
加熱製造装置の開発と加熱ゲルの品質に関する研究

## 学位論文内容の要旨

水産ねり製品の製造の過程の中で知られた“坐り”は、塩ずり身を低温加熱（20～40℃）すると、これに続く高温加熱（90℃）により弾力が強まる現象であり、また“戻り”は、それとは逆に60℃近辺の高温加熱によりいったん増加した弾力が劣化する現象である。これらの現象は、いずれも塩ずり身にかかる熱量の多寡がかかわる問題であり、その制御を計るには塩ずり身に加えられる熱量を厳密にコントロールし、弾力形成との関係を論ずることが必要である。本研究では、特に戻りの起こりやすいスケトウダラやマイワシなどの魚類の冷凍すり身のより効果的な利用を計ることを目的とし、まずジュール熱を利用したバッチ式ジュール加熱製造装置、続いて連続式ジュール加熱製造装置を開発し、これらの装置で調製した製品（かまぼこ）の品質を検討した。またジュール熱によって塩ずり身に与える熱量とその中のミオシン重鎖の多量化反応との関連についても検討し、塩ずり身の坐りと戻りの機構をタンパク化学的見地から究明しようとした。

本論文の第1章では、電流制御方式を採用したバッチ式ジュール加熱装置を試作して、四魚種の冷凍すり身から調製した塩ずり身と調味すり身、およびそれらを脱気したものを加熱して、ゲル化特性を検討した。ジュール加熱法の特徴は、塩ずり身の昇温速度が47℃/minと極めて速く、従来の湯煮加熱法の0.9℃/minに比べれば90℃の設定温度に達するまでの時間が非常に短いことである。製品のゲル強度は湯煮加熱法の場合よりも高かったが、これはおそらく加熱中に60℃付近の戻り温度帯に滞留する時間が極端に短いからであろうと推定した。また、脱気した両すり身から調製した製品のゲル強度は、加熱法に関係なく高かったが、さらにジュール加熱を行う方がやや高いゲル強度を示した。なお、ジュール加熱による殺菌効果は湯煮加熱の場合とほとんど変わらなかった。

第2章では、電流制御方式による電極駆動型連続式ジュール加熱装置を試作して、二魚種の冷凍すり身から調製した塩ずり身と調味すり身、およびそれらを脱気したものを連続加熱するときのゲル化特性について検討した。脱気処理をしない気泡の混入した塩ずり身は連続的加熱運転の

不安定要素となり、製品のゲル強度が劣化した。脱気した塩ずり身および調味ずり身から設定温度が90℃の連続加熱により600～700 g/minの早さで連続した加熱ゲルを製造出来たが、そのゲル強度は湯煮加熱による加熱ゲルのそれとほぼ同じであった。

第3章では、スケトウダラの冷凍ずり身から調製した塩ずり身をバッチ式ジュール加熱装置により、最短で40秒間、最長で50分間かけて90℃まで加熱し、得られた加熱ゲルの品質を90℃の湯煮加熱で作った加熱ゲルのそれと比較した。その結果ジュール加熱で得た製品のゲル強度は加熱時間の短い方が高く、湯煮のそれよりもやや優れていた。しかし、それら加熱ゲル中のミオシン重鎖の多量化反応が起こらない点では両者は似ており、坐り効果を利用したかまぼこと違った、いわゆる直加熱タイプのかまぼこに相当していた。

第4章では、スケトウダラ冷凍ずり身から調製した塩ずり身を、バッチ式ジュール加熱装置により、40～70℃の一定温度で120分間にわたり加熱した後、90℃で30分間湯煮した。形成された加熱ゲルのゲル強度とミオシン重鎖の多量化を、同じ温度の空気浴中で加熱して形成した加熱ゲルのそれらと比べた。その結果ジュール加熱によって得た加熱ゲルのゲル強度はより低く、ゲル中のミオシン重鎖の多量化反応も起こりにくく、一方空気浴によって得た加熱ゲルのゲル強度は高く、ゲル中のミオシン重鎖の多量化反応も強く起こったが、両ゲルの品質上の相違は、塩ずり身の温度履歴（温度×時間）に大きく依存していることが明らかになった。なお、上記二種の加熱法で60℃に加熱しても、塩ずり身中の水溶性タンパク質はほとんど増量せず、またミオシン重鎖やアクチンの分解も認められなかった。

第5章では、スケトウダラ冷凍ずり身から調製した塩ずり身を、バッチ式ジュール加熱装置により、20～30℃の間の一定温度で16時間にわたり予備加熱した後、90℃で30分間湯煮した。得られた坐りゲルと坐りー加熱ゲルの品質をゲル強度とミオシン重鎖の多量化から評価し、空気浴を使って同様に作ったものと比べた。その結果予備加熱で形成された坐りゲルのゲル強度は、加熱法に関係なく、続く90℃の加熱で大きく増加した。またゲル強度が増加するときは、ミオシン重鎖の多量化も進行し、強い坐り効果が得られた。なお高いゲル強度の坐りー加熱ゲルを得るために要した加熱温度と時間の積算値（温度履歴）は、いずれの加熱法による場合もほぼ同じになり、ジュール加熱法によっても坐りゲルの製造が可能なことを確認した。

本研究で開発したジュール加熱装置は、高温度帯での温度制御が容易なため、戻りの激しい魚種や肉組織が軟弱な未利用魚種の塩ずり身をゲル化させる技術として適しており、新しい食感の製品の開発にも応用が可能と考えられた。また、厳密な温度制御の実験結果から、60℃近辺における戻りの発現は、筋原繊維タンパク質のプロテオリシスよりも、むしろ高温加熱に伴うゲル

構造の崩壊による可能性が大きいこと、また坐り効果が強く現れる温度帯は25℃近辺であろうと推察した。なお、開発したジュール加熱装置は低温度帯で長時間の加熱を行うには適しておらず、温度制御系の整備の必要性が今後の課題となった。

## 学位論文審査の要旨

主査	教授	新井健一
副査	教授	信濃晴雄
副査	教授	関伸夫
副査	助教授	沼倉忠弘
副査	助教授	猪上徳雄
副査	助教授	今野久仁彦

ねり製品は我が国で生産される水産加工食品の大きな割合を占めており、また日本全国においてその地方特産の魚肉を原料とした多様多様なタイプの製品として流通している。最近のカニ脚アナローグのような新しい製品も考案され、諸外国において生産、流通するようになった。しかしその生産は、いわば伝統的な技術として、経験的な論拠に基づいて行われているところが多い状況下にある。その製造の過程で知られた「坐り」は塩ずり身を低温加熱（20～40℃）後にこれに続く高温加熱（90℃）により弾力が強まる現象であり、また「戻り」は逆に60℃近辺の高温加熱によりいったん増加した弾力が劣化する現象である。これらの現象には塩ずり身にかかる熱量の多寡が関与しており、その制御を計るには塩ずり身に加えられる熱量を厳密に調節することが必要である。本研究は、特に戻りの起こりやすいスケトウダラやマイワシなどの魚類の冷凍すり身をより高度に利用することを目的とし、ジュール熱を利用したバッチ式、および連続式のジュール加熱装置を開発し、これらの装置で調製した製品について塩ずり身に加えられた熱量とそのときに起こるミオシン重鎖の多量化反応との関係を解析し、坐りと戻り機構をタンパク化学的見地から解明しようとしたものである。得られた成果の中、特に審査員一同が評価した点は以下のとおりである。

①電流制御方式を採用したバッチ式ジュール加熱装置を試作して、四魚種の冷凍すり身から調製した塩ずり身を加熱して、ゲル化特性を検討した。ジュール加熱法の特徴は、塩ずり身の昇温速

度が極めて速く、従来の湯煮加熱法に比べれば90℃の設定温度に達するまでの時間が非常に短いことである。製品のゲル強度は湯煮加熱の場合よりも全体に高かったが、ただし殺菌効果は湯煮加熱の場合とほとんど変わらなかった。②電流制御方式による電極駆動型連続式ジュール加熱装置を試作して、二魚種の冷凍すり身から調製した塩ずり身を加熱しそのゲル化特性について検討した。このとき脱気処理をしない気泡の残存する塩ずり身は連続加熱の不安定要素となり製品のゲル強度を劣化させたが、脱気した塩ずり身からはエンドレスな（連続した）かまぼこ製品が生産可能であり、そのゲル強度は湯煮加熱による加熱ゲルのそれとはほぼ同じになった。③スケトウダラの冷凍すり身から調製した塩ずり身をバッチ式ジュール加熱装置により、最短で40秒間、最長で50分間かけて90℃に加熱し、得られたかまぼこの品質を90℃の湯煮加熱で作ったものと比較した。その結果、ジュール加熱で得た製品のゲル強度は加熱時間の短い方が高く、湯煮のそれよりもやや優れていたが、それら製品中のミオシン重鎖の多量化反応が起こらない点では両者は似ており、いわゆる直加熱タイプのかまぼこに相当する製品となった。④スケトウダラ冷凍すり身から調製した塩ずり身をバッチ式ジュール加熱装置により、40～70℃の一定温度で120分間にわたり加熱した後、90℃で30分間湯煮した。得られたかまぼこの品質を同じ温度の空気浴中で加熱して得た製品の品質と比べた。その結果、ジュール加熱によって得た製品のゲル強度は低く、ミオシン重鎖の多量化反応も起こりにくい、一方空気浴によって得た製品の方がゲル強度は高く、ミオシン重鎖の多量化反応も強く起こること、また製品の品質上の相違は塩ずり身の温度履歴（温度×時間）に大きく依存していることを明らかにした。なおまた、上記二種の加熱法で60℃に加熱したとき、塩ずり身中の水溶性タンパク質はほとんど増量せず、またミオシン重鎖やアクチンの分解も起こらないことを見出した。⑤スケトウダラ冷凍すり身から調製した塩ずり身をバッチ式ジュール加熱装置により20～30℃の間の一定温度で16時間にわたり予備加熱した後、90℃で30分間湯煮した。得られた坐りゲルと坐りー加熱ゲルの品質を、空気浴を使って同様に作ったものと比べた。その結果、予備加熱で得た坐りゲルのゲル強度は、加熱方法に関係なく、続く90℃の加熱で大きく増加した。またゲル強度が増加するときは、ミオシン重鎖の多量化反応も進行し、強い坐りが起こることを認めた。なお高いゲル強度の坐りー加熱ゲルを得るために要した温度履歴は、いずれの加熱法による場合もほぼ同じになり、ジュール加熱によっても坐りゲルの製造が可能なことを示した。

本研究で開発したジュール加熱装置は、特に高温帯での温度制御が容易なため、戻りの激しい魚種や肉組織が軟弱な未利用魚種の塩ずり身をゲル化させる技術として適しており、新製品の開発に応用可能である。また、厳密な温度制御の実験から、スケトウダラ塩ずり身の60℃近辺の

おける戻りの発現は、筋原線維タンパク質のプロテオリシスよりも高温加熱に伴うゲル構造の崩壊による可能性が大きいこと、また坐り効果が強く現れる至適温度帯は25℃近辺であることを初めて明らかにした。これらの知見は水産ねり製品の製造における塩ずり身の加熱ゲル化工程の役割を明らかにしただけでなく、同工程の自動制御化への路を拓くために極めて有用である。以上の点を考慮して審査員一同は、申請者が博士（水産学）の学位を授与される十分な資格を有するものと判定した。