

食品凍結における伝熱と品質変化を連結する階層的 研究

著者	多田 幸生
著者別表示	Tada Yukio
雑誌名	平成13(2001)年度 科学研究費補助金 基盤研究(C) 研究成果報告書
巻	1999-2001
ページ	5p.
発行年	2002-03
URL	http://doi.org/10.24517/00049455



KAKEN
2001
41

金沢大学

食品凍結における伝熱と品質変化を連結する 階層的研究

(研究課題番号 11650213)

平成11年度～平成13年度科学研究費補助金 (基盤研究(C)(2))
研究成果報告書

平成14年3月

研究代表者 多田 幸生
(金沢大学工学部助教授)

金沢大学附属図書館



8011-05283-7

1. はしがき

コールドチェーンの発達に伴って水産物や畜産物などの食品を凍結保存する技術の確立が求められている。凍結保存は、原理的には、低温化と活性水分の低減により、微生物、酵素あるいは化学的な反応に基づく食品の腐敗を阻止し、元の品質を長期維持することが目的である。しかし、凍結操作により、細胞（食肉では筋繊維が単位）レベルでの複雑なマイクロ挙動が生じ、これが品質低下に直接つながる細胞膜等の組織の破壊、タンパク質の変性・不溶化、ATPaseの失活などをもたらす。

従来、食品の凍結保存の分野では、凍結に伴う品質低下を最小限にするための冷却操作が「最大氷結晶生成帯」の通過時間を目安として定義されている。しかし、（1）最大氷結晶生成帯の定義が曖昧であり、（2）生成される氷結晶の性状に対する定量的な知見を与えていないこと、（3）熱的寸法効果のため最大氷結晶生成体を通過する時間（冷却速度）が場所的に異なる、などの問題があり、信頼性が低いのが現状である。食品の凍結に伴う損傷を高い解像度で予測するためには、①マクロな伝熱現象、②細胞内外での氷晶の偏在形成や、細胞膜を通した水分移動による溶液の濃縮と細胞の収縮などのマイクロな現象、③これらの状態のもとでの組織・組成の物理・化学的变化、の階層的な取扱いが必要であり、それらは最終的に④風味やテクスチャー（食感）などの官能評価へと繋がる。

本研究は以上の観点に立って、細胞レベルの挙動を組込んだマイクロ速度論を展開するものである。具体的には、魚肉を対象とした実験的・理論的な研究を通して、食品構造体の凍結におけるマクロ伝熱、細胞（筋繊維）レベルでのマイクロ挙動、および食品の品質変化を連結した解像度の高い速度論を追究したものである。本報告書は、研究計画に基づいて実施された凍結過程のCryo-SEM観察実験、ドリップ量や筋原繊維タンパク質の変性度などの凍結損傷の因子分析、ならびに筋繊維集合体の凍結モデルの提示と数値シミュレーション、さらには至適冷却操作の追究にまで踏み込んだ3年間の成果をまとめたものであり、次のような章構成からなる。

- 第1章 食品凍結における階層的取り扱い
- 第2章 食品凍結におけるマイクロ挙動と損傷
- 第3章 食品凍結における損傷の因子分析
- 第4章 食品凍結における伝熱と損傷の数値シミュレーション
- 第5章 食品（細胞）凍結のシミュレーション実験

2. 研究組織

- 研究代表者： 多田 幸生（金沢大学工学部人間・機械工学科助教授）
- 研究分担者： 瀧本 昭（金沢大学工学部人間・機械工学科教授）
- 研究分担者： 林 勇二郎（金沢大学学長）
- 研究分担者： 百生 登（富山県立大学工学部助手）

3. 交付決定額（配分額）

	直接経費	間接経費	合計
平成11年度	2,400千円	0千円	2,400千円
平成12年度	700千円	0千円	700千円
平成13年度	600千円	0千円	600千円

総計	3,700千円	0千円	3,700千円

4. 研究発表

(1) 学会誌

- (1) 多田幸生, 松田健, 百生登, 林勇二郎, 食品凍結におけるマイクロ挙動と損傷, 第36回日本伝熱シンポジウム講演論文集, II, pp.483-484, 1999年.
- (2) 多田幸生, 松田健, 百生登, 林勇二郎, 食品凍結における伝熱と損傷機序, 第37回日本伝熱シンポジウム講演論文集, II, pp.149-150, 2000年.
- (3) 林勇二郎, 多田幸生, 生体食品の凍結における諸機序とマイクロ伝熱, 低温生物工学会誌, vol.46, No.1, pp.17-21, 2000年.
- (4) 多田幸生, 土井聡也, 林勇二郎, 人工細胞膜を用いた細胞凍結のシミュレーション実験, 第38回日本伝熱シンポジウム講演論文集, I, pp.201-202, 2001年.
- (5) Yukio TADA, Toshiya DOI and Yujiro HAYASHI, Simulation Experiment on Freezing of Biological Cell by Utilizing Artificial Membrane, Thermal Science and Engineering, vol.9, No.4, pp.31-32, 2001.
- (6) 多田幸生, 宮島啓輔, 林勇二郎, 食品凍結におけるマイクロ挙動と損傷の連関, 日本機械学会2001年度年次大会講演論文集, VI, pp.111-112, 2001年.
- (7) 多田幸生, 宮島啓輔, 林勇二郎, 食品凍結における伝熱と損傷の数値シミュレーション, 第39回日本伝熱シンポジウム講演論文集, 2002年(発表予定).

(2) 口頭発表

- (1) 多田幸生, 松田健, 百生登, 林勇二郎, 食品凍結におけるマイクロ挙動と損傷, 第36回日本伝熱シンポジウム, 1999年5月.
- (2) 多田幸生, 松田健, 百生登, 林勇二郎, 食品凍結における伝熱と損傷機序, 第37回日本伝熱シンポジウム, 2000年5月.
- (3) 多田幸生, 松田健, 百生登, 林勇二郎, 食品凍結における伝熱と損傷機序, 第37回日本伝熱シンポジウム, 2000年5月.
- (4) 多田幸生, 土井聡也, 林勇二郎, 人工細胞膜を用いた細胞凍結のシミュレーション実験, 第38回日本伝熱シンポジウム, 2001年5月.
- (5) 多田幸生, 宮島啓輔, 林勇二郎, 食品凍結におけるマイクロ挙動と損傷の連関, 日本機械学会2001年度年次大会, 2001年5月.
- (6) 多田幸生, 宮島啓輔, 林勇二郎, 食品凍結における伝熱と損傷の数値シミュレーション, 第39回日本伝熱シンポジウム, 2002年6月(発表予定).

第1章 食品凍結における階層的取り扱い

生体や食品に含まれる水は、物理化学的に拘束された自由水あるいは結合水の状態で、代謝を基本とする生命活動の担い手として、また食品の官能性を発現する媒体として機能する。水をマトリックスとする生体や食品を一つの相と見なせば、生存の状態や官能性もまた一つの相である。凍結保存は、前者の相変態（水分子運動の凍結）による低温化と水分活性の低減により、後者の相の長期維持を図るものである。しかしながら、凍結の過程で、細胞内外での氷晶の偏在形成、細胞膜を通じた水分移動、さらには濃縮や変形等の細胞レベルでのマイクロ挙動が生じ、これらが種々の機械的・膠質的損傷をもたらす。

以上の食品の凍結の凍結保存における損傷機構の解明においては、図1に示される階層的な取り扱いが必要である。すなわち、(a)マクロスコピックには、固相、液相、固液共存相（マッシュ域）の3領域からなる熱伝導問題となり、冷却操作により温度や凍結率が変化するマクロな移動現象として捉えられる。ミクロスコピックには、(b)細胞外の優先凍結、細胞膜を通じた水分移動、細胞の変形、過冷却状態からの細胞内氷晶の形成など細胞レベルのマイクロ挙動が問題となる。このレベルでは、氷晶による細胞膜の機械的損傷によりドリップの発生や食感（テクスチャー）が問題となる。さらに、分子レベルでは、(c)細胞内溶液の濃縮に伴う塩析やcross-linkingなどに起因するタンパク質の変性が発生するため、最終的にはこのレベルでの取り扱いが究極となる。すなわち、味に関わる分子レベルの状態を、ミクロレベルの挙動や状態変化を媒介として制御するのは、潜熱を除去する熱操作であり、直接的には場の温度あるいはその勾配を規定するマクロスケールの伝熱である。このため、食品の品質変化を評価し得る物理量を直接的・間接的に熱伝導方程式に組み込まなければならない。

本研究課題では、図1における食品の凍結過程における筋繊維内外での氷結晶の生成・分散状態と筋繊維の状態変化（第2章、5章）、マイクロ挙動と品質の連関（第3章）、それらを記述する凍結モデル（第4章）を追究する。最終的には各階層での取り扱いを連結し、凍結後の食品の品質の定量的な予測の実現を図るものである。

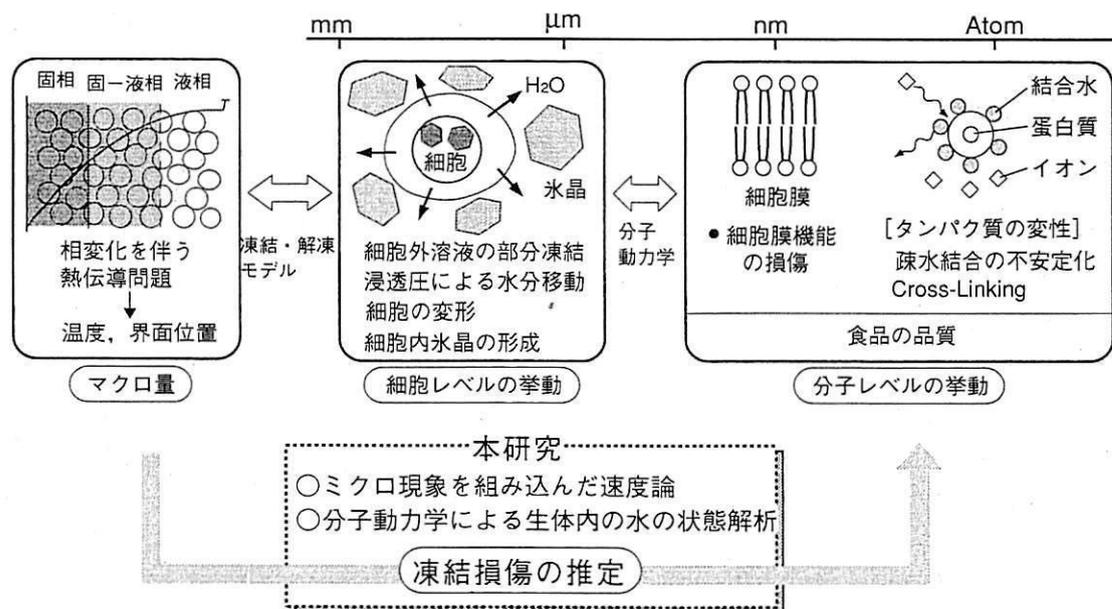


図1 食品凍結における階層的視点