
 総

 説

冷凍食品のテクスチャ

和 仁 皓 明*

はじめに

冷凍による食品の保蔵は、脱水、滲透圧調節、滅殺菌などの手段に比べ、その食品の加工・貯蔵の前後を比較して、官能的な品質と栄養価の変化が少ないという点で、もっとも優れた保蔵手段であることは疑いを入れない。しかし、食品の品質要素として極めて重要なテクスチャに関して、冷凍に伴う変化については、理論的にも応用的にも十分に解明されてはいない。それは、材料単体であれ、それらを組合せ加工した食品であれ、そのテクスチャは複合された対象であり、一般化して測定解析できる手段が見当たらないためであろう。

加えて、冷凍という加工条件を検討する際、単に冷凍条件だけを取り上げることは、実用的でなく少なくとも対象とする食品について、

- i) 冷凍前処理条件：酵素失活条件や加工条件など、
- ii) 冷凍条件：冷媒の選択、冷媒との界面条件など、
- iii) 冷凍貯蔵条件：貯蔵中の品温昇降現象など、
- iv) 解凍条件：界面条件、

などの、いわゆる冷凍条件4要素のすべてが、対象食品の最終のテクスチャにかかわっていることを前提におかなければ、信頼できる結果を得ることはできない。

従来は、急速冷凍・緩慢解凍が重視されて来て、食品中の氷結晶が細かければ細かいほどよく、したがって冷凍速度が速ければ速いほど優れた品質が得られると認識されてきた。しかし、食品の形状や配合・加工によっては、急速冷凍が不可能であったり、または必ずしも望ましいとはいえないものがあることが判ってきている¹⁾。また、解凍条件についても冷凍食肉の場合、解凍された水分は、短時間のうちに水和されてしまうので、実用的には +30~40°C の環境温度で初期解凍を行い。中心温度が -5°C (固-液相変換点) に達した段階で、+5°C

の環境温度にして最終解凍を行うことが行われている。冷凍すり身の解凍条件についても、緩慢な解凍条件ではかまぼこに加工した場合の粘弾性形成能に影響して望ましくないといわれている。

このように、テクスチャを形成する要因が多岐にわたり、かつ相互に交絡していると考えられることに加え、現象としてのテクスチャをいかなる属性に分類すべきかという議論も充分とは言えない現状である。本稿においては、非均質なテクスチャに力学的測定模型を適用した例、テクスチャの官能的属性分類および冷凍食品のテクスチャ改良についての最近の知見などを考察する。

1. テクスチャの評価と測定

冷凍食品のテクスチャを論ずる場合、いかなるテクスチャ属性について論じているのかを明らかにする必要がある。すなわちテクスチャ属性の定義を明確にしておかなければ普遍性のある論議ができない。食品のテクスチャの属性分類については、規範的な分類が Sherman²⁾によって、また食品の特性を媒介とした英語の分類が Szczesniak³⁾によって、日本語の分類が吉川等⁴⁾によって提案されている。しかし、日本語のテクスチャ表現と属性との対応については、テクスチャの官能評価を行う場合に必ず直面する問題であるが、十分な注意が払われているとは言えないのが現状ではないかと思う。

1.1 官能評価の属性分類

食品のテクスチャを表現する言葉は多いが、官能評価の際にそのすべてを取り上げる訳にはいかない。したがって極力同意性のある表現はまとめて一つの表現に代表させたい。さらに、あるテクスチャ属性について官能評価の尺度を作り、その属性が何か特性の物理量と対応するかどうかを検討したいとき、どうしてもその属性を一次的に表現しうる反意語（たとえば、長い-短いのような）が求められるのである。

* 雪印乳業(株) 健康生活研究所

和仁は、食品のテクスチャを表現する日本語の形容詞、形容動詞および擬声語から、物性上の粘、弾、塑性などの物理量の表現に関係が深そうな30種の表現を選びその同意性、反意性を調べた。すなわち、30語を個々に対比組合せ、その870対の対語について20名の四年制大学卒の被験者に意味の相似性を答えてもらった。一対比較の相似性評価の結果から、次のような8種の分類が可能になった^{5,6)}。

粘着性：粘い——パラパラ。

硬 さ：かたい——やわらかい。

密 度：ザラザラ——滑らか。

弾 性：もろい——弾力のある。

剪断性：かみにくい——サクサク。

水 分：しめった——パリパリ。

付着性：ニチャニチャ——ボソボソ。

油っぽさ性：油っぽい——パサパサ。

これらの8分類は、それぞれ独立な属性であって、かつ食品のテクスチャの官能評価特性を多次元的に表現しうるものと考えられる。表1に、同意語群および反意語群を例示した。

1.2 物性値の測定

固形食品のテクスチャを客観的に測定する手段については、極めて多くの方法が実用化されているが、その多くは、経験則にもとづく測定法が多く、したがって測定法の適用範囲が特定の食品に限定される例が多かった。さらに、それらの物性値は必ずしも物理量と対応するとは限らないという難点があった。実際の所、ハンバーグ

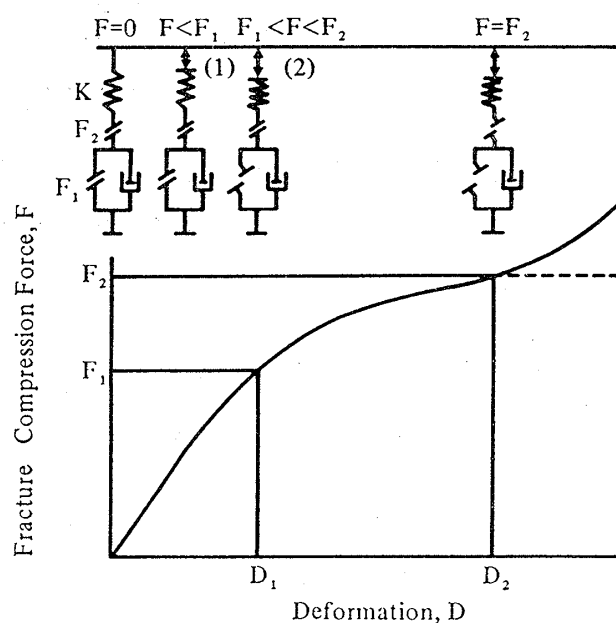


図 1. 2個のスライダーを含む4要素力学模型

(1) 弾性変形

(2) Maxwell Body 変形

やシューマイのような、肉質、植物質、でんぷんのような糊質などの複合体で、非均質なテクスチャについて信頼のおける物性測定法は確立されているとは言い難い。

和仁等は、冷凍ハンバーグを対象にして貫入棒による定速圧縮破壊を行ったとき、Peleg⁷⁾が提唱した2個のスライダーを含む4要素力学模型(図1)が適用できることを検討した⁸⁾。すなわち、牛もも肉100%の手作りハンバーグから、ソースに浸漬されたレトルト処理のハ

表 1. テクスチャ表現における同意語および反意語の群分け

意味性	因 子							
	1	2	3	4	5	6	7	8
同意語群	ドロドロ (0.68)	かたい (0.74)	ザラザラ (0.92)	もろい (0.77)	かみにくい (0.60)	しめった (0.70)	グニャグニャ (0.73)	油っぽい (0.77)
	粘い (0.59)	歯ごたえある (0.48)	ツブツブ (0.76)	ボソボソ (0.47)			ニチャニチャ (0.73)	ヌルヌル (0.58)
	トロトロ (0.53)	コリコリ (0.42)	粗い (0.75)				ベタベタ (0.64)	
	ベタベタ (0.51)						粗い (0.60)	
反意語群	パサパサ (-0.46)	ホクホク (-0.48)	ヌルヌル (-0.47)	かみにくい (-0.46)	シャリシャリ (-0.78)	ポリポリ (-0.76)	ホクホク (-0.45)	パサパサ (-0.64)
	パラパラ (-0.77)	フワフワ (-0.82)	ツルツル (-0.75)	コリコリ (-0.49)	サクサク (-0.78)	カリカリ (-0.81)	ボソボソ (-0.52)	
			滑らか (-0.92)	歯ごたえある (-0.69)		パリパリ (-0.83)		
				弾力ある (-0.89)				

冷凍食品のテクスチャ

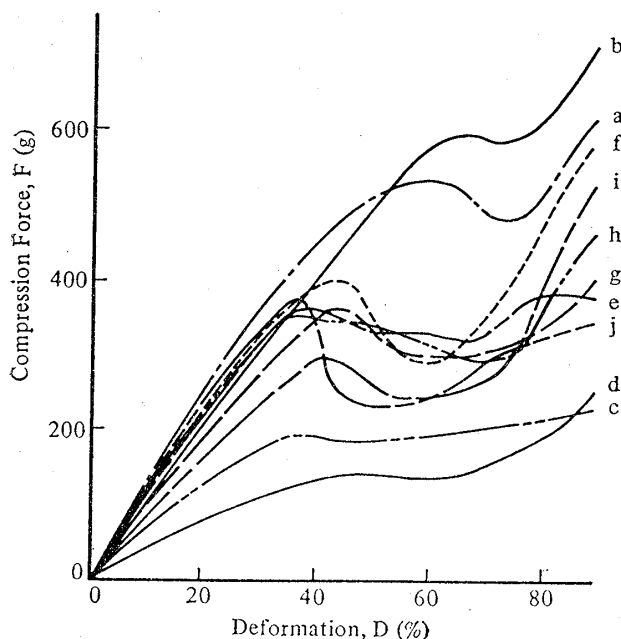


図 2. 冷凍ハンバーグの圧縮貫入曲線

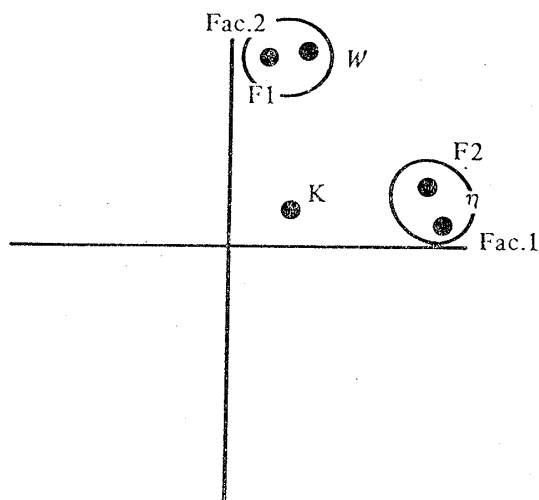


図 3. 力学的特性値に関する因子負荷量

ンバーグに至るまで10種の冷凍ハンバーグを調理して圧縮変形を行った結果、十分に図1の模型に相似の変型挙動を示し、かつハンバーグのテクスチャ特性を判別しうる可能性を示唆するものであった(図2)。

明らかに、試料 a, b のように比較的圧縮力の大きいもの、試料 c, d のように圧縮力の小さいもの、その中間の群など概ね3群に分けられる。そして、これらの圧縮貫入曲線から、弾性率 k 、粘度 η 、単位体積当りの破壊エネルギー ω 、最初の破壊力 F_1 、最終の破壊力 F_2 が求められるので、この5つの特性値の因子構造を推定するために因子分析を行った。その結果、主要な因子は3因子と考えられた(累積寄与率=99.40%)。各因子負荷量を図3に示す。第1因子は、粘性率 η または最終の

破壊力 F_2 であり、永久変形における抵抗または破壊力である。第2因子は破壊エネルギー ω または最初の破壊力 F_1 であって、弾性限界の破壊力とそのエネルギーを示すものである。第3因子は弾性率 k であった。これらのことから、冷凍ハンバーグのテクスチャについては、「粘性破壊」、「破壊エネルギー」、「弾性率」の3次元で表現できると考えられる。

このようにテクスチャを評価する物理量の次元を低くする試みは他にも例がある。Hamann と Webb は⁹⁾、かまぼこのテクスチャについて、弾性、密度、硬さが相互に独立な特性でないこと。したがって Szczeniak⁸⁾ が提唱している5種類のテクスチャ基本特性について、かまぼこに関しては、弾性 (springiness)、附着性 (adhesiveness) および粘性 (viscosity) の3特性で十分にテクスチャ特性を説明できると述べている。

このような試みは力学的特性値の場合だけでなく、官能的なテクスチャ評価の特性の選択の問題についても、Hidayat Syarief 等¹⁰⁾は、バター、チーズ、かまぼこ、フランクフルトソーセージ、ピーナッツバター、ばれいしょ、さつまいも等の8種の食品のテクスチャ評価の特性の独立性、相互依存性を検討し、ほとんど2分の1または3分の1の次元数にまで減少できることを検証した。要は、一つの食品のテクスチャ特性を正しく評価するために、その食品特有の力学的模型そしてその物性値、また官能的評価特性項目を正しく選択することが不可欠なのである。

2. 冷凍ハンバーグのテクスチャ

本邦において市販されている冷凍のハンバーグや、レトルト滅菌処理またはファストフード店などで供されているハンバーグのテクスチャ品質の変動の範囲は極めて大きい。それらのテクスチャを形成し、品質の変動要因になっている、原料肉の配合量や肉質、挽肉にする際の肉粒のサイズ、脂肪や水分の含量などが多岐にわたっているのが当然のことと考えられる。しかしそれらの品質の変動の中で、いかなるテクスチャ品質がハンバーグの品質を代表し、かつ良否の判別の基準になっているかが問題である。

2.1 物性値と官能評価との関連

和仁は、市販および試作品の冷凍ならびにレトルト滅菌のハンバーグ11種について、10項目の官能評価(前述の8種のテクスチャ特性に加え、風味および総合的受容性)、4種の力学的特性値(前述の3種の特性値に粘度を加える)および7種の性状、組成の測定値を求めその関連を検討した⁹⁾。上記の21項目の特性値についての相

表 2. テクスチャ評価と理化学的特性値との相関係数

テクスチャ 評価項目	対応する理化学的特性値 (相関係数)
硬 さ	蛋白含量 (−.781**), 降伏値 (−.740*), 粘度 (−.658*)
密 度	降伏値 (.761**), 蛋白含量 (.689*)
粘 着 性	平均肉粒径 (.649*)
弾 性	降伏値 (−.725*), 脂肪含量 (−.650*)
油 性	蛋白含量 (−.783**), 粘度 (−.646*)
剪 断 性	蛋白含量 (−.775**), 肉固形率 (−.751**), 粘度 (−.670*)
水 分	蛋白含量 (−.716*)
付 着 性	平均肉粒径 (.672*), 降伏値 (.663*), 蛋白含量 (.654*)
風 味	蛋白含量 (.650*)
総合受容性	厚さ (−.682*), 蛋白含量 (.650*)

註) * ($p < 0.05$), ** ($p < 0.01$)

表 3. 冷凍ハンバーグのテクスチャ特性の因子負荷量

変数			因子				共通度
			1	2	3	4	
官能特性	硬さ	−.806	—	—	—	.9931	
	密度	.818	—	—	—	.9466	
	粘着性	—	—	—	.781	.9041	
	弾性	−.890	—	—	—	.9560	
	水分	−.760	—	—	—	.9284	
	風味	—	.874	—	—	.8942	
	総合	—	.900	—	—	.9192	
理化学的特性	降伏値	.848	—	—	—	.9262	
	平均肉粒径	—	—	—	.837	.9710	
	大肉粒比率	—	—	—	−.790	.8958	
	厚さ	—	−.821	—	—	.9274	
	水分	—	—	.953	—	.9547	
	脂肪	—	—	−.765	—	.9183	
	蛋	—	.743	—	—	.9459	
	白	—					
累積寄与率(%)			32.1	56.7	72.0	87.3	

関行列から、官能評価値と理化学的特性の関連をみると表2の通りである。テクスチャの評価に、蛋白含量、肉粒の状態、降伏値などが密接に関連していることが判る。特に、風味総合受容性と蛋白含量が関連することは、ハンバーグの品質を評価する上で、いわゆる肉質の配合量が非常に重要な要因になっていることを示すものである。

次に、これら21項目の特性値について因子分析によって、因子構造を推定した。因子負荷量のマトリックスを要約して表3に示す。

第1因子は、冷凍ハンバーグのテクスチャ特性を代表する次元であり、官能的に評価する「硬さ（やわらかい——かたい）」、「密度（粗い——滑らか）」、「弾性（もろい——弾力ある）」、「水分（しめった——パリパリ）」な

どの特性が、ほぼ力学的特性の「降伏値（ここでは最終の破壊力 F_2 を指す）」と、同次元に分類されることを示すものである。第2因子はハンバーグの風味ならびに良否の総合判断に関する次元で、これには「厚さ」と「蛋白含量」が同次元に分類される。前述のように、いわゆる肉質感の要因と考えられる。第3因子は、水分・脂肪の組成に関する独立な次元である。第4因子は、「粘着性（パラパラ——粘い）」という特性と、肉粒のサイズの関連を示す次元である。この第4因子は、本邦で市販されているハンバーグに、荒挽きタイプのものと細挽きでむしろソーセージに近いハンバーグがあって、それは一つの品質を判別する次元を構成することを示すものである。これらの結果から、冷凍ハンバーグのような非均質なテクスチャの食品であっても、「硬さ、密度、弾性」そして力学的な特性の「降伏値」と、「蛋白含量」で代表される肉質配合量、および、その肉粒のサイズ分布でテクスチャ特性の判別が可能と考えてよい。

これらの知見は、同種の他の研究成果とも一致するものである。すなわち井筒等は、冷凍ハンバーグのテクスチャを官能的に評価する場合、8項目の評価項目から因子分析によって3種の因子を抽出し、それぞれ第1因子は「歯ごたえ特性（硬さ、弾性、もろさ等表現する）」、第2因子は「組成特性、脂っぽさ）」そして第3因子は「肉質特性（肉粒感、筋っぽさ）」を表すものとした¹¹⁾。そして、幾何学的特性（性状、形状に関するもの）と力学的特性が重要であり、十分な肉質感があって適度な歯ごたえのあることが必要だと強調している。さらに、官能的なテクスチャの良否と力学的測定値の対応を検討し、肉質に関する官能特性はナイフによる切断エネルギーで、また歯ごたえに関する官能特性は、打抜テストから求められた最大応力で表すことができたと言っている。これらの力学的特性とハンバーグのテクスチャの良否についての関係は、図4に示した通りであるが、ナイフによる切断エネルギー特性（肉質感）が、官能的なテクスチャの良否に関して判別がよいように見受けられる。

冷凍ハンバーグのテクスチャ特性に関して、英国における市販ハンバーグについての検討結果も、ほぼ上記の和仁、井筒等の結果を裏付けるものであって甚だ興味深い。すなわち、Jones等は、25種の市販のビーフバーガーについて、力学的特性、組成、官能的特性を測定しその関連を検討した¹²⁾。彼等はその研究の目的の一つとして、英国のハンバーガーは、米国のそれとは異って牛肉100%ではなく、通常穀物成分（パン粉のような）や肉以外の蛋白が加えられることがあるので、テクスチャ品質の変動が大きいので検討の意味があるのだと述べてい

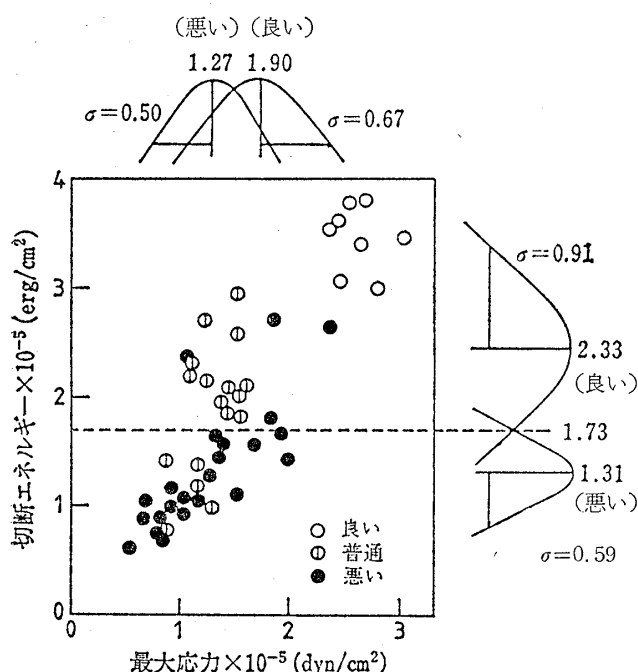


図 4. 最大応力および切断エネルギーとテクスチャの良否の関係 (井筒等¹¹⁾)

註) 枠外には、普通以上の評価を受けたものと悪いと評価されたものを2群に分け、それぞれのプロットの分布状態を示した。

るのは、本邦の場合と事情が似ているようで面白い。結果を要約すると、冷凍ハンバーグのテクスチャとして総合評価が高かったものは、官能特性としては弾力があり、結着性があり、肉粒が粗くかつ歯ごたえのあるもの、そして力学的、化学的特性としては圧縮応力（打抜テストによる）の値が高く、蛋白含量が高く、無脂肉質比率が高いものであった。また、テクスチャ品質の変動要因は官能特性としての「弾力性」と「肉粒の柔らかさ」であったという結果であった。

上述の研究例では、いずれも肉質感（配合量、肉粒サイズ）、降伏値のような破壊応力などが、非均質なテクスチャ食品において重要な判別要因になることを示している。このことは、昨今ウインナーソーセージの流通において、「荒挽きウインナー」と称する製品が好評を得ていることをテクスチャ品質の面から説明しているようにも考えられるのである。

3. テクスチャ品質改良に関する最近の知見

冷凍食品のテクスチャ変化は、ゲルのような均質組織、動植物組織のような非均質構造組織そしてハンバーグのような非均質無構造組織によって異なるが、その本質は、組織中の遊離水または蛋白質-水系のゲルの緩い結合水が凍結し、その結果、組織中の無機質等が濃縮され移動

することになり、かつ一旦遊離して凍結した水は、必ずしも可逆的に再結合しないという所に、テクスチャ変化の最大の要因がある。したがって、組織内の遊離水や緩い結合水を、減少せしめるかまたは強い結合に変えることによって、冷凍によるテクスチャの変化を少なくすることはできないかという技術的な判断が成立する。

3.1 脱水凍結

この項では、小嶋の総説¹³⁾を中心に紹介するので詳しくは原報を参照されたい。

脱水凍結の最大のメリットは、遊離水や緩い結合水を減少させておいてからの凍結であって、仮に水分70%の試料に対し凍結前に5%脱水させたということは、見かけの水分が単に65%になったということではなく、いわゆる自由水と呼ばれる50%ほどの水分が45%になったということの意味している。したがって遊離水の凍結・解凍によってもたらされるドリップと呼ばれる不可逆的な水分は、当然凍結前脱水を行うことによって減少する。凍結前の脱水は、滲透圧脱水膜（商品名：ピチット、昭和電工製）を使用した低温で処理することによって容易に実施できる。藤田は、遊離水の減少によって、細胞外凍結が減少し、したがってドリップが減少することによって、色素の流出が阻止され色の劣化が遅れ、また水溶性蛋白質の流出が阻止されるので呈味成分が逃げず、かつ肉質が維持されること。さらに、微生物の繁殖を抑制するので臭いの発生が遅れるとしている¹⁴⁾。図5、図6にピチットによる脱水凍結、無処理凍結のそれぞれの銀サケの細胞写真を示した。無処理凍結の場合は細胞外凍結した遊離水がドリップとして流出したあとの空隙が観察できる。この方法は、水分の多い生鮮動物組織の凍結前処理の有効な方法として一般化して行く可能性が高い。

その他、親水性の高い分子構造をもつ化合物を食品に添加して、遊離水を結合水に変えると同時に細胞膜を保

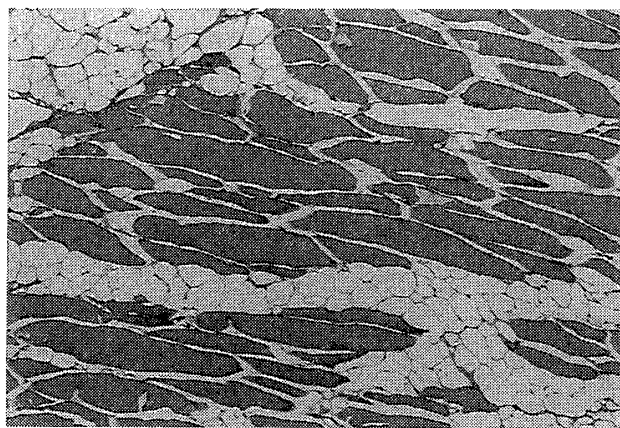


図 5. ピチットによる脱水凍結（3%脱水）の冷凍銀サケの細胞組織（-25°C）

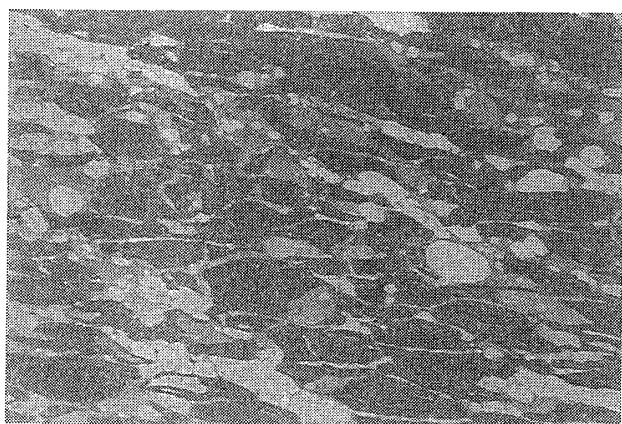


図 6. 無処理凍結の冷凍銀サケの細胞組織 (-25°C)

(図 5, 6 の写真は昭和電工(株)化学品研究所, 藤田和雄氏の提供による。)

護することも行われている。これらの化合物は概ね有機物で、分子内に 2 個以上の親水官能基をもち、かつその親水基は立体構造上近接していない分子構造をもっているようなものである。もっとも多く使用されているものは、糖類ではグリセリン、オリゴ糖など、また一部のアミノ酸、有機酸などである。これらの詳細については野口の総説を参照されたい¹⁵⁾。

冒頭に述べた通り、冷凍食品のテクスチャ研究、とくに力学的特性と官能的な特性の対応については、ようやく緒についたばかりの若い研究分野である。これはテクスチャ研究が多分野の科学を総合しなければならないことに加え、対象とする冷凍食品そのものが材料の面でも、

条件の面でも多岐にわたっていることも原因となっている¹⁶⁾。しかし群盲も沢山集まれば象の形を総合できるので、今後多くの研究成果が生れることを期待する次第である。

文 献

- 1) 加藤舜郎：冷凍，**63**，723号，92 (1988)
- 2) Sherman, P. : *J. Food Sci.*, **34**, 458 (1969)
- 3) Szczesniak, A. S. : *J. Food Sci.*, **28**, 385 (1963)
- 4) Yoshikawa, S., et al : *J. Texture Stud.*, **1**, 437 (1970)
- 5) Izutsu, T. and Wani, K. : *J. Texture Stud.*, **16**, 1 (1985)
- 6) 和仁皓明：雪印乳業研究所報告，第84号，(1987)
- 7) Peleg, M. : *J. Texture Stud.*, **7**, 243 (1976)
- 8) 和仁皓明，他：日食工誌，**29**，259 (1982)
- 9) Hamann, D. D. and Webb, N. B. : *J. Texture Stud.*, **10**, 117 (1979)
- 10) Hidayat Syarief, D. D., et al : *J. Texture Stud.*, **16**, 29 (1985)
- 11) 井筒雅，他：家政学雑誌，**31**，410 (1980)
- 12) Jones, R. C., et al : *J. Texud., Stud.*, **16**, 241 (1985)
- 13) 小嶋秩夫：冷凍，**63**，723号，47 (1988)
- 14) 藤田和夫：調理科学，**19**，16 (1986)
- 15) 野口敏：冷凍，**63**，723号，57 (1988)
- 16) Bourne, M. C. : *Food Tech.*, **14**, 67 (1979)