

北海道産ホッケ生食用冷凍商材のおいしさに影響をおよぼす要素及び製造条件の検討

笹岡友季穂^{*1}, 辻 浩司², 高橋夢伽¹, 蛭谷幸司², 北谷朋也¹, 田中 彰³, 佐々木茂文³

¹ 北海道立総合研究機構中央水産試験場,

² 元北海道立総合研究機構中央水産試験場,

³ 北海道立総合研究機構食品加工研究センター

Sensory and processing factors affecting the palatability of frozen atka mackerel fillets for raw consumption

YUKIHO SASAOKA^{*1}, KOJI TSUJI², YUMEKA TAKAHASHI¹, KOJI EBITANI², TOMOYA KITADANI¹,
AKIRA TANAKA³ and SHIGEFUMI SASAKI³

¹ Central Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Yoichi, Hokkaido 046-8555,

² Formerly: Central Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Yoichi, Hokkaido 046-8555,

³ Food Processing Research Center, Hokkaido Research Organization, Ebetsu, Hokkaido 069-0836, Japan

In this study, we aimed to identify key sensory attributes and optimal processing, freezing, and storage conditions for Atka mackerel (*Pleurogrammus azonus*) fillets intended for raw consumption. Sensory evaluation showed that perceived excess moisture and fishy odor were key attributes strongly associated with palatability. Although some physicochemical parameters showed significant differences, no consistent overall differences were observed, suggesting that subtle differences in muscle quality influenced palatability. Furthermore, brine-freezing fillets from fish processed on the day of capture, followed by storage at -40°C or below, is likely to result in limited ice crystal formation and growth. This reduced perceived excess moisture and preserved a firm and resilient texture, enabling the production of fillets that are suitable for raw consumption.

キーワード：官能的要素，製造条件，生食，ホッケ，冷凍

北海道周辺のホッケ漁獲量は全国の漁獲量の99.4%（海面漁業生産統計調査（農林水産省，2026）より算出）を占めており、北海道はホッケの主要生産地と言える。北海道においてホッケの漁法は多様であり、漁獲対象となるサイズは幅広い。そのため、小さな個体は魚粉やすり身原料など不定形の素材へと加工され、大きな個体は開き干しの原料や鮮魚として利用されるなど、漁獲サイズに応じてホッケの用途は多岐に発展してきた。特定のサイズに依存しない利用方法は、豊富なホッケの資源量に支えられて発展し、ホッケを量的に消費する産業構造に寄与してきたと言える（蛭谷，2023；板谷ら，2023）。しかし、2009年以降の資源量の急減をきっかけに、ホッケの資源量は低調に転じた。漁業者や関係機関の資源保護活動により回復の兆しが見えているが、資源量は不安定

に推移している（北海道，2025）。このような資源状況において、これまでと同様に量的な利用方法を同様の頻度で継続することは、成熟前の個体の資源量を減耗させ将来的な親魚数を減少させるリスクとなり得る（森田ら，2025）。ホッケ資源を持続可能に利用するためには、従来の量的な利用方法から、質的な利用方法へと産業利用の重心をずらし、資源保護と産業利用を両立させる必要がある。質的な利用方法を拡充しホッケの経済価値を向上することは、資源保護と不可分の関係にあると言えるだろう。

ホッケの質的利用において、輸入産ホッケとの競合を回避し経済価値を高く保つためには、道産ホッケが、輸入産ホッケにはないユニークな価値を提供することが必要である。ホッケに関する web アンケート（鱧水・麻生，

2022)において、消費者が道産ホッケに求める価値として鮮度が挙げた。この結果は、ホッケの価値として鮮度に潜在的な需要があることを示しており、生食のような鮮度を訴求する利用方法はホッケの経済価値向上に有効であることを示唆する。しかし、従来のホッケ加工方法は保存性の付与が重視されてきたため、漁獲されたホッケの鮮度に関する知見は不足している。加えて、ホッケはアニサキスが寄生するリスクがあり、安全に生食するためには冷凍処理が必須となるが、ホッケ魚肉について生食の品質に適した凍結方法や冷凍保管条件は明らかにされていない。そのため本研究は、道産ホッケの鮮度を訴求する加工品として生食用冷凍フィレを設定し、ホッケの生食において嗜好を決定づける官能項目と、嗜好に適う品質を実現するために必要な、原料加工の時間的制約および生食用冷凍フィレ製造時の凍結—冷凍保管条件を解明することを目的とする。

試料及び方法

試料 後志管内で漁獲された死後硬直前および硬直中のホッケを試料として用いた (Table 1)。また、ホッケの生食用冷凍フィレのおいしさに影響力を持つ官能特性の検討のため、栽培水産試験場で孵化後、中央水産試験場に移入し飼養されたホッケを比較試料として用いた。

鮮度評価 漁船の帰港後速やかに魚体を引き取り、氷冷下で試験場へ搬入し背肉普通肉を 2 g 採取した。採取した普通肉に氷冷した 5% 過塩素酸水溶液を添加し、守谷ら (2021) の方法に従い筋肉抽出液を調製した。筋肉抽出液を孔径 0.45 μm メンブレンフィルターでろ過し、魚類の鮮度 (K 値) 試験方法 (農林水産省, 2022) の方法

に従い高速液体クロマトグラフ (HPLC) (L-2000Elite 形, 株式会社日立ハイテクサイエンス) に供して核酸関連化合物を定量分析した。カラムは Asahipak GS-320HQ (7.5 mm ID $\times$ 300 mm, 株式会社レゾナック) を用いた。定量分析の結果から、ATP 含量および K 値 (Saito *et al.*, 1959) を算出した。得られた値は、データの正規性に基づいて Kruskal-Wallis 検定を行った後に、Steel-Dwass 法により多重比較検定を行い、産地間の鮮度の差の有無を統計解析した。解析には、4Steps エクセル統計 (第 4 版, オーエムエス出版) を用いた。

司厨士による官能評価 水揚げされたホッケを試験場に搬入後、漁獲当日にスキンスレスフィレを調製し、真空包装後 -25°C 静置凍結して冷凍スキンスレスフィレを調製した。業務用冷蔵庫内で静置解凍した冷凍スキンスレスフィレを刺身および寿司に調理し、北海道司厨士協会に所属する司厨士 16 名に対して試食を行った。食感, 味, においについて自由記述式アンケートを行い、テキストマイニング用ソフトウェア KH Coder (Version3.Beta.07f) を用いて解析した。質問項目 (食感, 味, におい) ごとに、回答文全文を集計単位として解析を行い、出現頻度 2 回以上の語を分析対象として採用し、Jaccard 係数を用いて語と語の共起の強さを算出し共起ネットワーク図を作成した。なお、否定語 (～ない) が肯定語として抽出されることや、語と助詞または助動詞の意図しない分断を防ぐため、強制抽出語および使用しない語を指定した (Table 2)。

ホッケの生食用冷凍フィレのおいしさに影響力を持つ官能特性の検討 異なる時期に後志管内の異なる産地で漁獲されたホッケを、漁獲当日 ($n = 26$) または氷冷貯蔵し経日的 (1, 2 日後, 各群 $n = 3$) にスキンスレスフィレ

Table 1 Sample characteristics, freezing and storage conditions of Atka mackerel used in this study

Experimental use	Origin	Sampling date	Sampling area	Fishing gear	Sampling number	Mean body length (mm)	Mean body weight (g)	Freezing condition	Storage condition	Days from capture to freezing
Measurement of ATP content and K value before freezing	Wild-caught	2022/5/19	Shiribeshi A	Bottom setnet	4	294 $\pm$ 3	447 $\pm$ 12	—	—	—
		2023/7/25	Shiribeshi B	Gill net	12			—	—	—
		2024/6/11	Shiribeshi C	Gill net	3			—	—	—
Effect of ice storage duration after capture	Wild-caught	2022/8/31	Shiribeshi B	Gill net	45	306 $\pm$ 1	419 $\pm$ 4	-25°C air freezing	-25°C	0, 1, or 2
Evaluation of sensory attributes affecting palatability for raw consumption	Wild-caught	2023/6/6	Shiribeshi C	Gill net	3	303 $\pm$ 2	479 $\pm$ 8	-25°C air freezing	-25°C	0
		2023/6/12	Shiribeshi C	Gill net	3			-25°C air freezing	-25°C	0
		2023/7/4	Shiribeshi B	Gill net	3			-25°C air freezing	-25°C	0
		2023/11/15	Shiribeshi B	Gill net	3			-25°C air freezing	-25°C	0
		2023/11/27	Shiribeshi B	Gill net	3			-30°C ethanol brine freezing	-25°C	0
		2024/6/10	Shiribeshi C	Gill net	9			-25°C air freezing	-25°C	0, 1, or 2
		2024/6/20	Shiribeshi C	Gill net	5			-30°C ethanol brine freezing	-40°C	0
		2024/9/4	Shiribeshi C	Gill net	3			-25°C air freezing	-25°C	0
	Farmed	2023/6/19	Rearing tank	Dip net	3			-30°C ethanol brine freezing	-80°C	0
Effect of freezing and frozen storage temperatures	Wild-caught	2024/6/6	Shiribeshi C	Gill net	36	321 $\pm$ 2	557 $\pm$ 8	Air freezing (-20°C , -25°C , or -40°C)	-20°C , -25°C , or -40°C	0
Effect of freezing method and frozen storage temperature	Wild-caught	2024/6/11	Shiribeshi C	Gill net	36	306 $\pm$ 2	550 $\pm$ 8	Air freezing (-25°C or -40°C) or ethanol brine freezing (-30°C)	-25°C , or -40°C	0

Table 2 Forced extraction terms and excluded terms used in the text mining analysis of chef questionnaires

Items	Texture		Taste		Odor	
	Forced extraction words	Excluded words	Forced extraction words	Excluded words	Forced extraction words	Excluded words
Shitazawari (mouthfeel)		—	Abura (fat)	To (the particle "to")	Naranai (not to be)	—
Mizuppoku (excess moisture)		Amasa (non-sugar-derived sweetness)	Na (the particle "na")		Ki (noticeable)	
Mizupposu (excess moisture)		Amami (non-sugar-derived sweetness)			Nioi (odor)	
Hagotae (firm and resilient texture)		Oishii (palatable)			Kanji (perceive)	
Yoi (favorable)		Notte (richness)			Ta (past-tense auxiliary verb)	
Ii (pleasant)		Yoi (favorable)			Nai (do not / no perceptible)	
Yoi (favorable / pleasant)		Aji (taste)			Masen (not)	
Shokkan (texture)		Bimi (pleasant taste)			Ru (the verb ending "-ru")	
Kanjirarenakatta (was not perceived)		Umami (umami)				
Kanjita (was perceived)		Kanji (perceive)				
Kanjimashita (was perceived)						
Omoe ((was / was not) perceived)						
Omou (perceived)						
Omoimasu (perceived)						
Nakatta (was not)						
Nai (not / no perceptible)						
Naku (no perceived)						

The upper row shows Japanese terms specified as forced extraction or excluded words; the lower row shows the corresponding English translations.

処理し、真空包装後、 -25°C 静置凍結または -30°C に冷却されたエタノール製剤を冷媒とする急速冷凍機 (S-220W, 株式会社テクニカン) を用いて凍結し試料とした。中央水産試験場にて飼養されたホッケ ($n = 3$) を、氷冷した海水中で延髄切断した後に鰓弓切断により脱血して活け締めしてスキンレスフィレ処理し、真空包装後エタノールブライン凍結して比較試料とした。また、2024/9/4 に後志 C で漁獲されたホッケから漁獲当日に調製したスキンレスフィレの片側 ($n = 3$) を、200 ppm 次亜塩素酸ナトリウム水溶液に 3 分間浸漬した後に流水洗浄し、市販脱水シート (食品用浸透圧脱水シート ピッチット, オカモト株式会社) で 20 分間覆い軽脱水した後に真空包装し、 -25°C 静置凍結して比較試料とした。加えて、道内にて製造された市販生食用冷凍ホッケフィレ 1 種類 ($n = 5$) を比較試料とした。これら 13 種類の冷凍スキンレスフィレについて、中心温度が 1°C に達するまで 4°C 恒温庫 (IQ820, ヤマト科学株式会社) にて静置解凍し、包丁を用いて筋繊維の長軸方向に対して垂直に

厚さ 0.8 cm の刺身を切り出した。順序効果を考慮し、ラテン方格法により試料の提供順序をランダム化した。訓練を行っていない水試職員 9 - 10 名により、評点法 (1: 非常に嫌い - 7: 非常に好き) により刺身の色、水っぽさ、歯ごたえ、脂のり、うまみ、生臭さ、およびおいしさ (総合評価) について評価し、受信者動作特性 (Receiver Operating Characteristic: ROC) 曲線による解析を行った。解析では、刺身の官能特性 (色、水っぽさ、歯ごたえ、脂のり、うまみ、生臭さ) を説明変数とし、総合評価にあたるおいしさを目的変数とした。目的変数は、評点に応じて二分変数 (おいしくない: 1 点 (全くそう思わない) - 4 点 (どちらでもない), おいしい: 5 点 (ややそう思う) - 7 点 (非常にそう思う)) に変換して解析に用いた。ROC 曲線解析では、説明変数と目的変数との関係が強いほど、説明変数の曲線下面積 (Area Under the Curve: AUC) は 1 に近づく。そのため本試験では、AUC の閾値を 0.80 (Swets, 1988; 中山ら, 2012; 星野ら, 2013) とし、AUC が閾値を上回った場合「ホッケの刺身のおいし

さに影響力をもつ官能特性である」と判断した。解析には、JMP (version 14.3.0, SAS Institute Inc.) を用いた。

漁獲後の氷冷貯蔵日数の影響評価 水揚げされたホッケを試験場に搬入後、氷冷貯蔵して経日的 (0, 1, 2 日後) にスキンレスフィレを調製し、真空包装後 -25°C 静置凍結した。凍結後、試験まで -25°C で冷凍保管した。ホッケの生食用冷凍フィレのおいしさに影響力を持つ官能特性の検討と同法にて、評点法による官能評価を行った。官能評価では、刺身の生臭さにより被験者の集中力が低下することを抑制するため、被験者へ市販醤油 (しほりたて本醸造生しょうゆ, キッコーマン株式会社) を提供した。予備検討から、醤油の提供量は刺身 1 切れに対して $75\ \mu\text{L}$ とした。試験開始前に、醤油の使用量は任意であり全ての試験群で同量を使用するよう被験者へ説明した。得られた 6 つの官能特性 (色, 水っぽさ, 歯ごたえ, 脂のり, うまみ, 生臭さ) およびおいしさの評点は、分散分析により解析した。また、刺身の好ましさについて、評点の母平均を区間推定し、評点 4 点 (どちらでもない) との有意差を t 検定により求めた (長崎県, 2010)。

力学的物性値の測定は次の通り行った。すなわち、官能評価と同様に冷凍スキンレスフィレを解凍し、厚さ 1 cm の刺身を切り出した。レオメーター (CR-3000EX-S, 株式会社サン科学) に装着した $\phi 5\ \text{mm}$ の円形プランジャーに対して筋繊維が並行になるよう刺身を配置し、テーブルスピード $50\ \text{mm}/\text{min}$ で応力を測定した。測定箇所は、背肉側の水平隔膜付近と表皮付近の 2 カ所とした。刺身を噛み切ることを想定し、プランジャーが刺身の応力を検知してから貫通するまでの単位時間、単位面積当たりの応力の積算値 $\Delta F\ (\text{gf}/\text{s} \cdot \text{mm}^2)$ として解析した。

加圧ドリップ率の測定は次の通り行った。すなわち、前述と同様に厚さ 1 cm の刺身を切り出し、刺身の背肉側から $2\ \text{cm} \times 1\ \text{cm}$ のブロックを切り出した。ブロックに 1 kg の分銅を載せて 1 分, 3 分および 5 分間それぞれ加圧し、加圧前後の魚肉の重量差から加圧ドリップ率を算出した。

揮発性成分の測定は次の通り行った。すなわち、冷凍スキンレスフィレを流水解凍し、背肉を包丁で細切した。細切した魚肉 2 g をスクリュキャップ付きバイアルに採取し、 $0.1\ \text{mg}/\text{mL}$ シクロヘキサノール溶液 $50\ \mu\text{L}$ を内部標準として添加した。スパーテルで混和後、バイアル内部の気体を窒素置換して 40°C で 20 分間予備加熱し、生じたヘッドスペースガスを固相マイクロ抽出 (SPME) ファイバー ($50/30\ \mu\text{m}$ DVB/CAR/PDMS, 長さ 2 cm, Merck) により 40°C で 30 分間捕集し、ガスクロマトグラフ質量分析計 (GC/MS) (GCMS-QP2010 Plus, 株式会社島津製作所) に供した。GC/MS 分析条件は以下のとおりとした。カラムは DB-WAX UI ($0.25\ \text{mm ID} \times 30\ \text{m}$,

膜厚 $0.25\ \mu\text{m}$, Agilent J&W 社) を用い、カラム温度は 35°C を 5 分間保持した後、 $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ で 145°C まで昇温し、さらに $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ で 240°C まで昇温後 3 分間保持した。キャリアガスは He, キャリアガスのカラム内流量は $1.0\ \text{mL}/\text{min}$, 注入口温度は 250°C で行った。また, GC/MS のインターフェースは 250°C , イオン源温度は 200°C , 質量範囲 $29 - 300\ \text{m}/\text{z}$ についてスキャンモード ($2.0\ \text{scan}/\text{s}$) で分析した。標準物質の保持時間および質量スペクトルとの比較, ライブラリーリサーチシステム (NIST08s, Wiley9) を用いた検索により成分の同定を行った。分析に供した魚肉 2 g から検出された各同定成分の Total Ion Chromatogram (TIC) 面積を, 内部標準物質の TIC 面積で除して面積比を算出した。

遊離アミノ酸量の測定は次の通り行った。すなわち, 鮮度評価に用いた筋肉抽出液を孔径 $0.45\ \mu\text{m}$ メンブレンフィルターでろ過し, ろ液を NaOH で中和後, 塩酸 (終濃度 $0.02\ \text{N}$) を添加して測定試料とした。測定試料を高速アミノ酸分析計 (L-8900 形, 株式会社日立ハイテクノロジーズ) に供し, タンパク質加水分解物分析法により遊離アミノ酸を定量した。カラムは, たん白加水分解物分析カラム #2622 ($4.6\ \text{mm ID} \times 60\ \text{mm}$, 株式会社日立ハイテクノロジーズ) を用いた。得られた結果から, アスパラギン酸, トレオニン, セリン, グルタミン酸, グリシン, アラニン, バリン, シスチン, メチオニン, イソロイシン, ロイシン, チロシン, フェニルアラニン, リシン, ヒスチジン, アルギニン, プロリン, ヒドロキシプロリン, タウリンの 19 種のアミノ酸の合計量をもって総遊離アミノ酸量とした。

力学的物性値, 加圧ドリップ率, 同定した各揮発性成分の面積比および総遊離アミノ酸量は, データの正規性に基いて一元配置分散分析または Kruskal-Wallis 検定を行った後に, Tukey 法または Steel-Dwass 法により多重比較検定を行い, 氷冷貯蔵日数間の差の有無を統計解析した。解析には, 4Steps エクセル統計 (第 4 版, オーエムエス出版) を用いた。

凍結温度および冷凍保管温度の影響評価 水揚げされたホッケを搬入後, 速やかにスキンレスフィレを調製し, 真空包装後, 種々の温度 (-20°C , -25°C , -40°C) で静置凍結し冷凍保管した。保管開始から 0, 1, 3, 5 カ月後に官能評価, 力学的物性値の測定, および加圧ドリップ率の測定を行った。官能評価ではノーズクリップを使用し, $150\ \text{mm}$ 直線を用いたラインスケール (アンストラクチャードスケール) 法 (Kurotobi et al., 2018; 黒飛ら, 2022) を用いて歯ごたえおよび水っぽさを評価した。力学的物性値および加圧ドリップ率の測定は, 漁獲後の氷冷貯蔵日数の影響評価と同法にて行った。また, 力学的

った官能特性は、生臭さ、色、水っぽさ、歯ごたえであった (Table 4)。

Table 4 Sensory attributes affecting the palatability of Atka mackerel sashimi identified by ROC curve analysis

Sensory attributes	AUC
Fishy odor	0.91
Favorable color	0.86
Excess moisture	0.84
Firm and resilient texture	0.80
Umami	0.78
Fat richness	0.66

漁獲後の氷冷貯蔵日数の影響評価 漁獲後の氷冷貯蔵時間がホッケの刺身の好ましさに及ぼす影響を検討した結果、官能評価の評点は、漁獲当日に魚体をフィレ処理・凍結した場合に最も高く (5.11 ± 0.71 点, 漁獲後氷冷貯蔵 1 日後: 3.89 ± 0.71 点, 漁獲後氷冷貯蔵 2 日後: 4.33 ± 0.71 点), 評点 4 点 (どちらともいえない) より有意 ($p < 0.01$) に高値を示した (Fig. 2)。力学的物性値について、漁獲後に氷冷貯蔵した魚体に比べ、漁獲当日 (氷冷貯蔵 0 日) の魚体から調製した刺身は有意に高値を示した ($p < 0.05$) (Fig. 3)。また、水平隔膜付近より表皮付近の物性値が有意に高く (氷冷貯蔵 0 日: $p < 0.01$, 氷冷貯蔵 1 日: $p < 0.05$)、貯蔵日数に伴い両者の差は縮小した。加圧ドリップ率について、貯蔵日数間に有意差は認められなかった (Table 5)。しかし、加圧ドリップ率と加圧時間をそれぞれ対数変換してプロットし、線形近似して得た直線の傾きは、貯蔵日数に伴い緩やかになった。

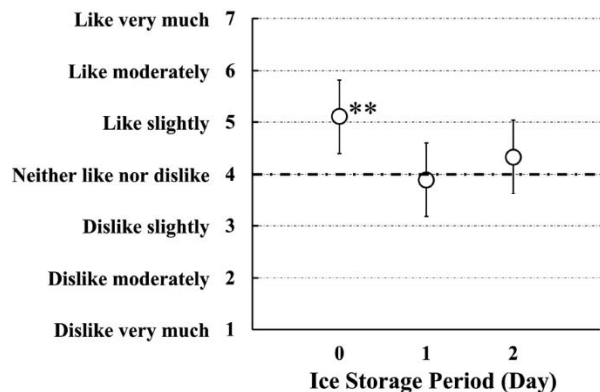


Fig. 2 Relationship between days of ice storage after capture and palatability of sashimi prepared from ice-stored fish. Data are mean $\pm$ SEM ($n = 9$ panelists). Asterisks indicate statistically significant differences from “4: Neither like nor dislike” (** $p < 0.01$; Student’s t -test).

総揮発性成分量は、氷冷貯蔵 1 日後に高値を示したが、貯蔵日数間に有意差は認められなかった (Fig. 4)。また、同定された 9 種類の揮発性成分のうち、Carbon disulfide は貯蔵日数に伴い減少し、Methylamine, N,N-dimethyl- (別名 Trimethylamine: TMA) および 1-Penten-3-ol は増加したが、いずれの成分も貯蔵日数間に有意差は認められなかった。総遊離アミノ酸量は貯蔵日数に伴い増加したが、有意差は認められなかった (Table 6)。セリン、プロリン、タウリンは氷冷貯蔵日数に伴い増加する傾向にあったが、バリンは貯蔵 2 日後に有意に減少し ($p < 0.05$)、同様にグルタミン酸およびリシンも減少する傾向にあった。

凍結温度および冷凍保管温度の影響評価 -20°C または -25°C で静置凍結し冷凍保管した群では、冷凍保管期間に伴い刺身の力学的物性値 (Fig. 5a) および加圧ドリップ率 (Fig. 5c) は有意に増加した ($p < 0.05$)。一方、

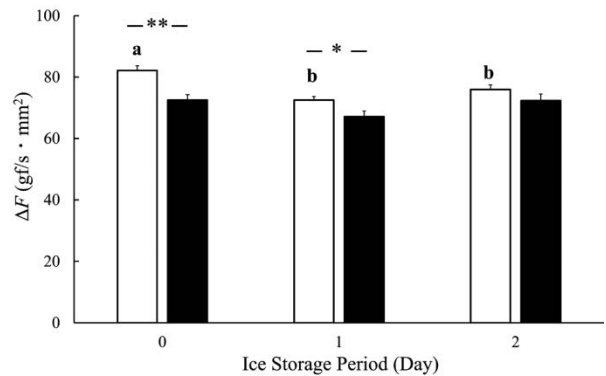


Fig. 3 Physical properties of sashimi prepared from fish stored on ice after capture. White bars indicate results for the subsurface region (□), and black bars indicate results for region adjacent to the horizontal septum (■). Data are mean $\pm$ SEM ($n = 8$), where n indicates the number of slices. Bars at same storage period with asterisks indicate significant differences between regions (** $p < 0.01$; * $p < 0.05$; Welch’s t -test or Mann–Whitney U test). Bars with different letters indicate significant differences among ice storage periods within the same region ($p < 0.05$; Steel–Dwass test).

Table 5 Compression drip loss and slope of the fitted line from the log-transformed plot of sashimi prepared from ice-stored fish

Ice storage period (Day)	Compression time (min)			Slope
	1	3	5	
0	7.2 ± 0.4	12.7 ± 0.4	14.4 ± 0.4	0.44
1	7.3 ± 0.3	12.5 ± 0.5	14.2 ± 0.3	0.42
2	7.9 ± 0.6	12.8 ± 0.7	13.9 ± 0.7	0.37

Data are mean $\pm$ SEM ($n = 6$), where n indicates the number of blocks.

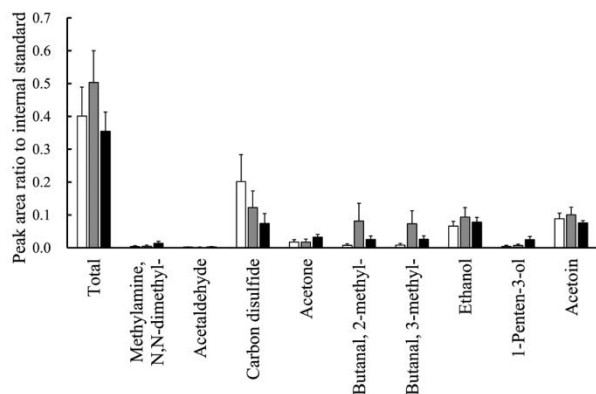


Fig.4 Peak area ratios of volatile compounds in sashimi from fish stored on ice after capture. White bars indicate 0 days of ice storage (□), gray bars indicate 1 day of ice storage (■), and black bars indicate 2 days of ice storage (■). Data are mean $\pm$ SEM ($n = 6$), where n indicates the number of fillets.

− 40℃で静置凍結し冷凍保管した群では、冷凍保管期間を通じて力学的物性値および加圧ドリップ率は同様の値を示した。また、− 20℃または− 25℃で静置凍結し冷凍保管した群に比べて、− 40℃で静置凍結し冷凍保管した群では、冷凍保管3カ月後以降に力学的物性値が、冷凍保管期間を通じて加圧ドリップ率がそれぞれ有意に低い値を示した ($p < 0.05$)。

しかし、官能評価では群内および群間の有意差は検出されず、いずれの群も冷凍保管期間の経過に伴い菌ごたえは低下し (Fig. 5b)、水っぽさは増加した (Fig. 5d)。

凍結方法および冷凍保管温度の影響評価 − 25℃静置凍結またはブライン凍結後− 25℃冷凍保管した群では、冷凍保管期間の経過に伴い刺身の力学的物性値 (Fig. 6a) および加圧ドリップ率 (Fig. 6c) は有意に増加した ($p <$

Table 6 Free amino acid content in sashimi prepared from fish stored on ice after capture

(mg/100 g)

Free amino acid	Taste	Days of ice storage (day)		
		0	1	2
Asp	Umami	0.91 $\pm$ 0.12	0.76 $\pm$ 0.10	0.85 $\pm$ 0.04
Thr	Sweetness	5.67 $\pm$ 0.99	4.39 $\pm$ 0.27	6.58 $\pm$ 0.24
Ser	Sweetness	7.30 $\pm$ 1.74	7.83 $\pm$ 1.34	9.32 $\pm$ 1.96
Glu	Umami	9.94 $\pm$ 3.61	9.77 $\pm$ 1.11	9.00 $\pm$ 1.66
Gly	Sweetness	44.88 $\pm$ 9.71	55.53 $\pm$ 9.81	51.93 $\pm$ 2.28
Ala	Sweetness	47.17 $\pm$ 19.84	36.73 $\pm$ 6.48	57.05 $\pm$ 5.27
Val	Bitterness	2.33 $\pm$ 0.20 ^{ab}	3.09 $\pm$ 0.16 ^a	2.12 $\pm$ 0.26 ^b
Cys		1.84 $\pm$ 0.64	1.40 $\pm$ 0.14	2.38 $\pm$ 0.45
Met	Bitterness	2.20 $\pm$ 0.45	2.06 $\pm$ 0.16	2.24 $\pm$ 0.24
Ile	Bitterness	1.19 $\pm$ 0.25	1.23 $\pm$ 0.03	1.12 $\pm$ 0.22
Leu	Bitterness	2.35 $\pm$ 0.38	2.47 $\pm$ 0.08	2.15 $\pm$ 0.36
Tyr	Bitterness	1.46 $\pm$ 0.27	1.26 $\pm$ 0.05	1.35 $\pm$ 0.12
Phe	Bitterness	2.13 $\pm$ 0.13	2.26 $\pm$ 0.08	2.09 $\pm$ 0.21
Lys	Bitterness	20.96 $\pm$ 4.77	20.71 $\pm$ 2.55	16.60 $\pm$ 1.89
His	Bitterness	25.57 $\pm$ 8.92	18.56 $\pm$ 5.44	27.40 $\pm$ 11.32
Arg	Bitterness	1.31 $\pm$ 0.19	1.41 $\pm$ 0.18	1.09 $\pm$ 0.21
Pro	Sweetness	1.46 $\pm$ 1.46	1.80 $\pm$ 0.93	2.31 $\pm$ 0.57
Hyp		0.50 $\pm$ 0.50	1.00 $\pm$ 0.85	0.40 $\pm$ 0.22
Tau		105.55 $\pm$ 10.39	114.22 $\pm$ 11.15	135.27 $\pm$ 12.52
Total		284.72 $\pm$ 61.29	299.37 $\pm$ 35.53	331.24 $\pm$ 19.70

Data are mean $\pm$ SEM ($n = 3$), where n indicates the number of fillets. Different letters indicate significant differences in Val content among ice storage periods ($p < 0.05$; Tukey–Kramer test). Taste characteristics of amino acids were based on Kawai *et al.* (2012).

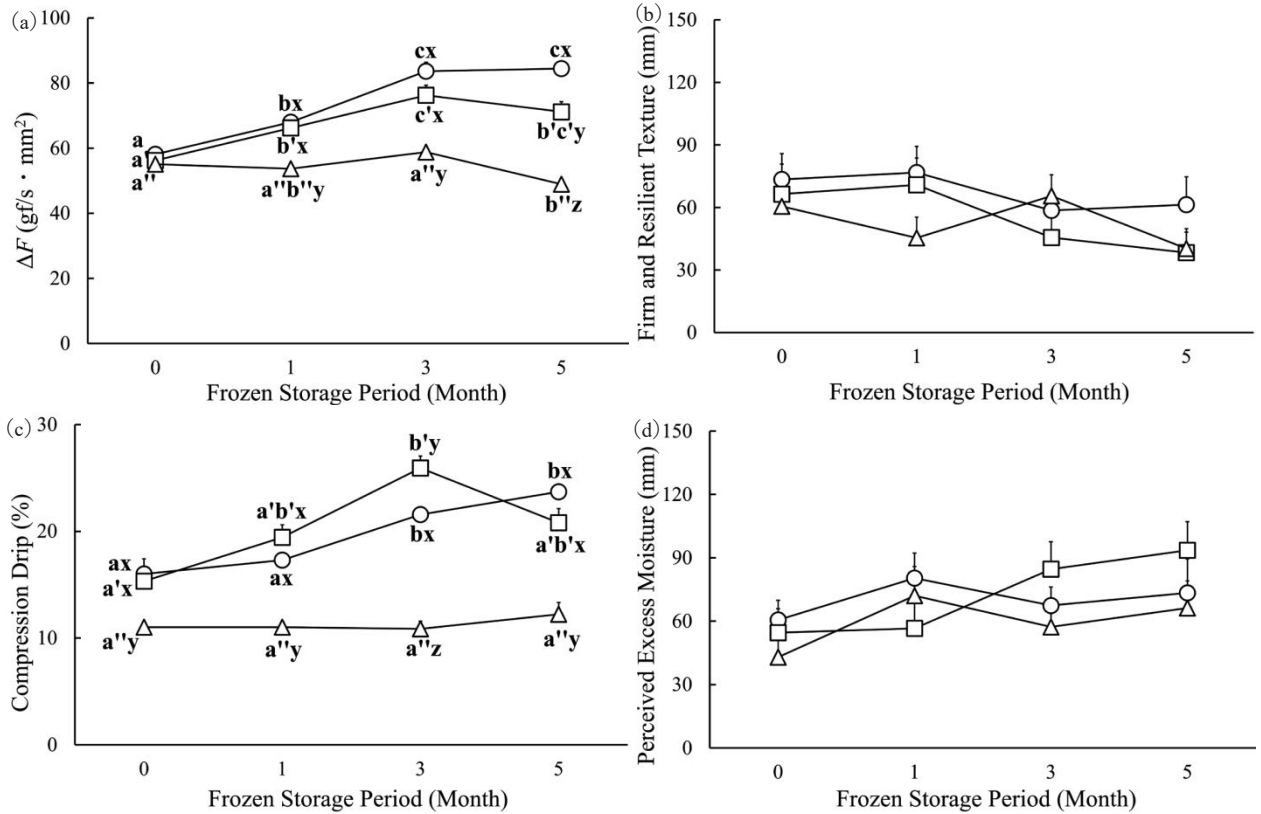


Fig.5 Quality changes during frozen storage of sashimi from skinless fillets statically frozen at different temperatures: (a) physical properties measured near the horizontal septum, (b) perceived firmness and resilience, (c) compression drip loss, and (d) perceived excess moisture. Open circles indicate the -20°C group (○), open squares indicate the -25°C group (□), and open triangles indicate the -40°C group (△). Data are mean $\pm$ SEM ((a) $n = 18$, (b) $n = 10$, (c) $n = 6$, and (d) $n = 10$), where n indicates the number of slices (a), panelists (b, d), and blocks (c). Symbols with different letters (a–c) indicate significant differences among frozen storage periods within the same group ($p < 0.05$; (a) Tukey–Kramer test; (c) Steel–Dwass test). Symbols with different letters (x–z) indicate significant differences among groups within the same frozen storage period ($p < 0.05$; (a) Tukey–Kramer test; (c) Steel–Dwass test).

0.05)。一方、 -40°C 静置凍結またはブライン凍結後 -40°C 冷凍保管した群では、冷凍保管期間を通じて力学的物性値および加圧ドリップ率は同様の値を示した。また、 -25°C 静置凍結またはブライン凍結後 -25°C 冷凍保管した群に比べて、 -40°C 静置凍結またはブライン凍結後 -40°C 冷凍保管した群では、冷凍保管3カ月後以降に加圧ドリップ率が有意に低い値を示した ($p < 0.05$)。

歯ごたえについて、評点法による官能評価では、 -40°C 静置凍結後 -40°C 冷凍保管した群を除いたいずれの群も、冷凍保管5カ月後に評点が増加した (Fig. 6b)。一方で、CATA 法による官能評価では、 -25°C 静置凍結後 -25°C 冷凍保管した群を除いたいずれの群も、冷凍保

管5カ月後に刺身の歯ごたえを知覚した被験者数は減少した (Table 7a)。水っぽさについて、評点法による官能評価では、ブライン凍結後 -40°C 冷凍保管した群において、冷凍保管3カ月後以降に評点が減少した (Fig. 6d)。CATA 法による官能評価でも同様に、ブライン凍結後 -40°C 冷凍保管した群において、冷凍保管3カ月後以降に刺身の水っぽさを知覚した被験者数が減少した (Table 7b)。なお、刺身の水っぽさを知覚した被験者数は、ブライン凍結後 -40°C 冷凍保管した群が冷凍保管期間を通じて最も少なく、 -25°C 静置凍結後 -25°C 冷凍保管した群が最も多かった。

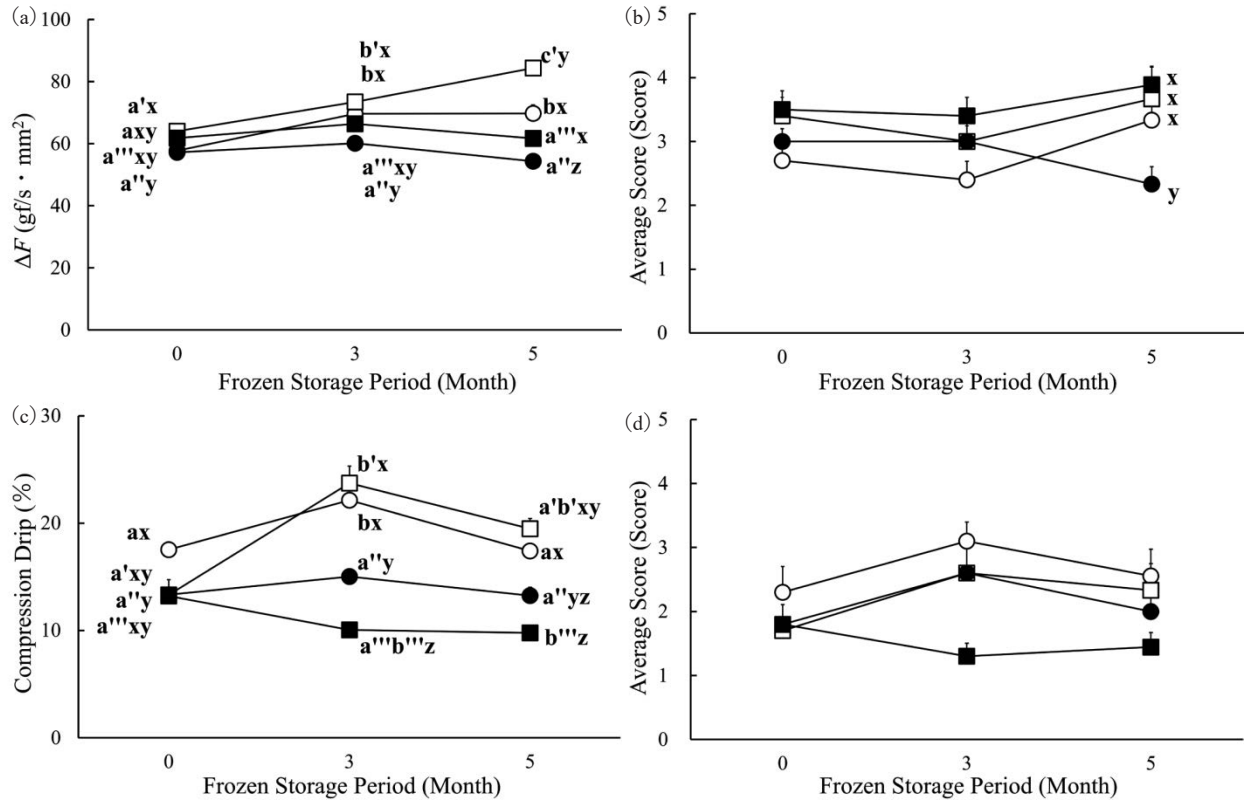


Fig.6 Quality changes during frozen storage of sashimi from skinless fillets frozen by different methods and stored at different temperatures: (a) physical properties measured near the horizontal septum, (b) perceived firmness and resilience, (c) compression drip loss, and (d) perceived excess moisture. Open circles indicate samples statically frozen and stored at -25°C ($\circ$), open squares indicate samples brine-frozen and stored at -25°C ($\square$), closed circles indicate samples statically frozen and stored at -40°C ($\bullet$), and closed squares indicate samples brine-frozen and stored at -40°C ($\blacksquare$). Data are mean $\pm$ SEM ((a) $n = 18$, (b) $n = 10$, (c) $n = 6$, and (d) $n = 10$), where n indicates the number of slices (a), panelists (b, d), and blocks (c). Symbols with different letters (a–c) indicate significant differences among frozen storage periods within the same group ($p < 0.05$; (a) Tukey–Kramer test; (c) Steel–Dwass test). Symbols with different letters (x–z) indicate significant differences among groups within the same frozen storage period ($p < 0.05$; (a) Tukey–Kramer test; (b, c) Steel–Dwass test).

Table 7 Changes in the number of panelists detecting sensory attributes (CATA) in sashimi prepared from skinless fillets frozen and stored under different conditions: (a) perceived firmness and resilience, (b) perceived excess moisture

Freezing and storage conditions	Frozen storage period (Month)			Cochran's Q value
	0	3	5	
-25°C air freezing – -25°C frozen storage	8	8	9	0.4
-30°C ethanol brine freezing – -25°C frozen storage	10	10	7	6.0*
-40°C air freezing – -40°C frozen storage	10	9	8	2
-30°C ethanol brine freezing – -40°C frozen storage	10	10	9	2

Freezing and storage conditions	Frozen storage period (Month)			Cochran's Q value
	0	3	5	
-25°C air freezing – -25°C frozen storage	7	9	6	2.8
-30°C ethanol brine freezing – -25°C frozen storage	6	8	5	2.8
-40°C air freezing – -40°C frozen storage	5	6	6	0.3
-30°C ethanol brine freezing – -40°C frozen storage	5	2	3	1.8

(a, b) $n = 10$ panelists. Asterisk indicates significant differences among the different frozen storage periods within the same freezing and storage condition. (* $p < 0.05$; Cochran's Q test).

考 察

道産ホッケの鮮度は新たな価値と期待されるが、その実態は不明である。そこでまず、ATP 含量および K 値を指標として、後志管内で漁獲される道産ホッケの鮮度評価を試みた。しかし、他の生食用原料魚（緒方ら, 2018）と比較して、道産ホッケの ATP 含量は漁獲当日であっても著しく低く、生食に適するとされる K 値 20% 以下（松原ら, 2018）という基準を超過した個体も認められた。一方で、漁獲当日の魚体を原料とする生食用冷凍フィレから調製された刺身は司厨士から良好な評価を得た。この結果は、原料魚の ATP 含量や K 値のみでは、生食用冷凍フィレの品質を十分に説明できないことを示している。また、ATP 含量および K 値には個体間でばらつきが認められたことから、水揚げ時刻が異なる複数の網の漁獲物が区別されずに出荷されている操業実態が示された。高 ATP 含量や K 値 20% 以下を満たす原料魚を安定的に確保するためには、水揚げ後の漁獲物を船上に滞留させず、網揚げの都度帰港し出荷する必要がある。しかし、そのような操業は実態と乖離しており、道産ホッケの生食利用の実現を困難にする可能性がある。以上のことから、ATP 含量および K 値を指標として原料魚の鮮度を評価し、生食用途への適性を判定することは適当ではないと判断した。

司厨士のアンケート解析および ROC 曲線による解析から、ホッケの刺身のおいしさと強く関連する官能特性として、水っぽさおよび生臭さが抽出された。したがって、漁獲当日の魚体を原料とする生食用冷凍フィレから調製された刺身が良好な評価を得た要因として、これらの官能特性が知覚されにくかったことが示唆された。

そこで次に、力学的物性値、加圧ドリップ率、揮発性成分および遊離アミノ酸量の測定結果に基づき、その機序を検討した。しかし、漁獲当日の魚体を原料とする刺身と氷冷貯蔵した魚体を原料とする刺身との間で、力学的物性値に明瞭な差は認められなかった。同様に、加圧ドリップ率、総揮発性成分量、総遊離アミノ酸量ならびにバリンを除く各遊離アミノ酸量についても有意差は認められなかった。

一方で、加圧ドリップ率を対数変換プロットして得た近似直線の傾きから、漁獲当日の魚体を原料とする刺身では、咀嚼に伴う水分流出が少ない可能性が示唆された。一方、氷冷貯蔵を経た魚体を原料とする刺身では、咀嚼開始後の早い段階から水分が容易に流出する状態にあることが示唆された。この結果は、理化学分析においては微小な差であっても、喫食時にはホッケ刺身のおいしさに影響を及ぼす要因となり得ることを示唆する。

揮発性成分についても、微小な濃度増加が官能評価に影響した可能性が示唆された。Methylamine, N,N-dimethyl- (TMA) や 1-Penten-3-ol は腐敗臭や生臭さの原因とされる。漁獲当日の魚体を原料とする刺身では、これらの揮発性成分の内部標準比面積は低値を示した。一方、氷冷貯蔵中にこれらの内部標準比面積が増加したことから、氷冷貯蔵された魚体を原料とする刺身では、TMA (3.2×10^{-5} ppm)（永田・竹内, 1990）に代表される閾値が極めて低い揮発性成分の僅かな増加が不快臭として認識され、ホッケ刺身のおいしさに影響を及ぼした可能性がある。なお、本研究では定量分析を行っていないためホッケ刺身に含まれていた各揮発性成分の実際の濃度は不明であるが、漁獲当日の魚体を原料とする刺身では、これら揮発性成分による官能評価への影響は比較的小さかった可能性がある。

一方で、漁獲当日に最大値を示し貯蔵日数に伴い減少した Carbon disulfide (Duflos *et al.*, 2006; ATSDR, 2025) やその代謝物、未同定成分、ならびに貯蔵期間を通じて内部標準比面積が高値を示した Acetoin (Mahmoud and Buettner, 2017) などの揮発性成分が、単独あるいは複合的に作用し、ホッケ刺身の新鮮さを想起させる香気の形成に寄与した可能性もある。今後、刺身の新鮮さを特徴づける揮発性成分を同定するためには、微量揮発性成分の濃縮とスニッフィングによる官能評価 (Cengiz *et al.*, 2023) を組み合わせた検討が必要である。

次に、生食用冷凍フィレに適した凍結温度および冷凍保管温度を検討した。その結果、 -40°C での凍結・冷凍保管では、冷凍保管開始時の物性値および加圧ドリップ率が維持された。この結果は、 -30°C 以下の冷凍保管の有効性を明らかにした既報（麻生・秋野, 2015）と一致した。一方、官能評価では、物性値と関連する歯ごたえや、加圧ドリップ率と関連する水っぽさについて、明瞭な群間差は検出されなかった。本研究の官能評価は、被験者に対して知覚感度を揃える訓練を行っていないため、自由記述式のラインスケール法では評価のばらつきが大きく、各群の官能特性の差異を十分に反映できなかった可能性がある。一方で、CATA 法は試料が示す官能特性について知覚の有無を尋ねる二者択一方式であり、各官能特性の有無を明瞭にとらえることができる。また、評点法は整数化した評点を被験者に提示して選択させる方法であり、官能特性の強度評価における被験者間差を相対的に低減できる。これらの方法を併用して凍結方法および冷凍保管温度を検討した結果、ホッケスキンスフィレをブライン凍結後 -40°C 冷凍保管する条件では、水っぽさが抑制されることが明瞭に検出された。この結果は、理化学分析により得られた物性値および加圧ドリッ

ブ率の結果とも整合しており、ブライン凍結後－40℃冷凍保管する条件が生食用冷凍フィレの品質維持に有効であることを支持するものであった。

凍結や冷凍保管を経て、生食用冷凍フィレの筋組織には大小の損傷が生じていたと推測される。一般的には、凍結時に形成された氷結晶は筋組織や結合組織を物理的に破壊し、筋細胞外に生じた氷結晶は成長に伴い筋細胞内の水を細胞外へ引き抜き筋細胞を脱水させる。一連の現象は筋細胞の生化学的恒常性を不安定にし、筋細胞の健全性を著しく損なう (Leygonie, 2012)。こうして損傷した筋細胞は水を再吸収する能力を失い (Nakazawa and Okazaki, 2020)、解凍により固体から液体へ変換された水は咀嚼により口腔内へ容易に放出される (Li *et al.*, 2022)。これらの知見は、凍結および冷凍保管に伴う筋組織の損傷がホッケ刺身の品質を左右すること、ならびにその損傷の抑制が品質維持に重要であることを示している。凍結速度が速い凍結方法は微細な氷結晶の形成を促し、また、－40℃での冷凍保管は氷結晶の成長を抑制することが知られている (田中, 1969; 福田, 1996)。本研究で得られた結果も、これらの凍結・冷凍保管条件の有効性を支持するものであった。さらに、凍結されるホッケスキンスフィレが漁獲当日の魚体から調製されていることも、品質維持における重要な要素であることが示された。漁獲当日の魚体では、凍結や冷凍保管による筋組織の損傷が比較的軽微に留まる可能性がある。

このように、喫食者の嗜好に適う良質なホッケ生食用冷凍フィレを製造するためには、原料魚を漁獲当日に加工するとともに、適切な条件で凍結・冷凍保管することが重要である。

謝 辞

本研究を行うにあたり、ホッケ試料の調達には元余市郡漁業協同組合 坪田正幸氏、古宇郡漁業協同組合 代表理事組合長 池森力氏、同管理部課長補佐 西川由美子氏、同神恵内地区女性部長 村田由紀子氏、東しゃこたん漁業協同組合 事業部長 八幡睦夫氏のご協力を賜りました。また、ホッケ冷凍商材の製造方法や品質に関して、余市郡漁業協同組合 冷凍加工部 営業課長 藤澤祐介氏、東しゃこたん漁業協同組合 生産部長 田口芳久氏、同生産部食品工場長 本間久恵氏、松前さくら漁業協同組合 製氷冷蔵課長 石山陽介氏、同製氷冷蔵課 室田健次氏、カネシメホールディングス株式会社 総務企画部長 森本英裕氏、カネシメ高橋水産株式会社 営業第一本部営業第一部担当部長 敦賀健登氏、カクト徳島屋の皆様よりご助言を賜りました。官能評価の実施には、カネシメホールディ

ングス株式会社 総務企画部長 森本英裕氏、札幌グランドホテル 統括総料理長 舟橋裕司氏、一般社団法人全日本司厨士協会 総本部副会長兼北海道地方本部長 大江廣嗣氏ならびに所属司厨士の皆様、中央水産試験場加工利用部員の皆様のご協力を賜りました。さらに、核酸関連物質および遊離アミノ酸の分析には中央水産試験場加工利用部 麻生真悟専門研究員のご協力とご助言を賜りました。脂質分析には中央水産試験場加工利用部 連順子研究補助員のご協力を賜りました。ご多忙のところ、本研究の遂行に多大なるお力添えいただいた皆様に心より感謝申し上げます。

引用文献

- 麻生真悟, 秋野雅樹. ホッケフィレの凍結条件の検討. 「戦略研究報告書 北海道の総合力を生かした付加価値向上による食産業活性化の推進 (平成22年～26年度)」, 北海道立総合研究機構, 札幌. 2015;78-80.
- ATSDR. Toxicological Profile for Carbon Disulfide. 2025; 179-180. <https://www.cdc.gov/TSP/ToxProfiles/ToxProfiles.aspx?id=474&tid=84>, (2026.03.21)
- Cengiz N, Guclu G, Kelebek H, Selli S. GC-MS-Olfactometric characterization of key odorants in rainbow trout by the application of aroma extract dilution analysis: Understanding locational and seasonal effects. *Food Chemistry* 2023; 407: Article 135137.
- Duflos G, Coin VM, Cornu M, Antinelli J-F, Mallel P. Determination of volatile compounds to characterize fish spoilage using headspace/mass spectrometry and solid-phase microextraction/gas chromatography/mass spectrometry. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2006; 86: 600-611.
- 蛸谷幸司. 熱ゲル化における魚類ミオシンの架橋重合特性と鮮度. 「水産加工とタンパク質の科学」(日本水産学会監修, 大泉徹, 落合芳博, 石崎松一郎編) 恒星社厚生閣, 東京. 2023; 86-87.
- 福田裕. 魚肉タンパク質の凍結変性. 中央水産研究所研究報告 1996; 8; 77-92.
- 北海道. 北海道水産業・漁村のすがた 2025. 2025; 23pp.
- 星野剛, 石井良幸, 長谷川博俊, 遠藤高志, 岡林剛史, 落合大樹, 茂田浩平, 瀬尾雄樹, 北川雄光. 大腸穿孔症例における術後リスク評価システムの有用性の検討. 日本腹部救急医学会雑誌 2013; 33; 1103-1108.
- 板谷和彦, 辻浩司, 成田正直, 蛸谷幸司. 後志地区で漁獲されるホッケの脂質含量の季節変化および魚体長

- や肥満度との関係. 北水試研報 2023 ; 103 : 19-27.
- Kawai M, Sekine-Hayakawa Y, Okiyama A, Ninomiya Y. Gustatory sensation of (L)- and (D)-amino acids in humans. *Amino Acids* 2012; 43: 2349-2358.
- 黒飛知香, 干野隆芳, 籠島梨乃, 大本奈摘, 甚田なつみ. 物理的特性を指標とした市販イチゴジャムのテクスチャーコントロールの可能性. 日本食品科学工学会誌 2022 ; 69 : 417-424.
- Kurotobi T, Hoshino T, Kazami Y, Hayakawa F, Hagura Y. Relationship between sensory analysis for texture and instrument measurements in model strawberry jam. *Journal of Texture Studies* 2018; 49: 359-369.
- Leygonie C, Britz TJ, Hoffman LC. Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review. *Meat Science* 2012; 91: 93-98.
- Li R, Guo M, Liao E, Wang Q, Peng L, Jin W, Wang H. Effects of repeated freezing and thawing on myofibrillar protein and quality characteristics of marinated Enshi black pork. *Food Chemistry* 2022; 378: Article 131994.
- Mahmoud MAA, Buettner A. Characterisation of aroma-active and off-odour compounds in German rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Part II: Case of fish meat and skin from earthen-ponds farming. *Food Chemistry* 2017; 232: 841-849.
- 松原久, 木村郷, 竹内萌, 高橋匡, 工藤謙一. 安全で美味しい刺身, 焼き魚を提供する高鮮度冷凍サバの取り扱い. 日本食品科学工学会誌 2018 ; 65 : 503-507.
- 森田晶子, 千葉悟, 境磨, 濱邊昂平, 濱津有紀, 市野川桃子. 令和6(2024)年度ホッケ道北系群の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価. 水産庁・水産研究・教育機構, 東京. 2025 ; 85pp. https://abchan.fra.go.jp/wpt/wp-content/uploads/2025/03/details_2024_42.pdf, (2026.03.20)
- 守谷圭介, 宮崎亜希子, 小玉裕幸, 阪本正博, 蛸谷幸司. 北海道東部地域で水揚げされたマイワシ *Sardinops melanostictus* の凍結前鮮度が解凍肉の品質に及ぼす影響. 日本水産学会誌 2021 ; 87 : 265-274.
- 長崎県. 水産物の官能検査 (水産加工技術マニュアル) 「長崎県総合水産試験場水産加工開発指導センター」, 長崎. 2010 ; 38-39.
- 永田好男, 竹内教文. 三点比較式臭袋法による臭気物質の閾値測定結果. 日本環境衛生センター所報 1990 ; 17 : 77-89.
- 中山雄二郎, 小寺厚志, 宮崎直樹, 上妻精二, 瀧賢一郎, 大島秀男. 重度熱傷患者の在院死亡を予測する因子の検討. 日本臨床麻酔学会誌 2012 ; 32 : 223-231.
- Nakazawa N, Okazaki E. Recent research on factors influencing the quality of frozen seafood. *Fisheries Science* 2020; 86: 231-244.
- 農林水産省. 魚類の鮮度 (K 値) 試験方法 - 高速液体クロマトグラフ法 (JAS 0023) 「日本農林規格」, 東京. 2022 ; 1-15.
- 農林水産省. 海面漁業生産統計調査令和 6 年漁業・養殖業生産統計. 2026 ; 表番号 2-2.
- 緒方由美, 岩根理歩, 木村郁夫. 高濃度のアデノシン三リン酸存在下で凍結し解凍したヒラメ肉の性状. 日本水産学会誌 2018 ; 84 : 835-842.
- Saito T, Arai K, Matsuyoshi M. A New Method for Estimating the Freshness of Fish. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1959; 24: 749-750.
- 島村綾, 小泉昌子, 峯木真知子, 市原茂. 飯の官能評価の時系列変化. 日本家政学会誌 2017 ; 68 : 478-485.
- Swets JA. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science* 1988; 240: 1285-1293.
- 田中武夫. 北洋産冷凍スケトウダラの鮮度と品質との関係-I. 東海区水産研究所研究報告 1969 ; 60 ; 143-168.
- Varela P, Ares G. Sensory profiling, the blurred line between sensory and consumer science. A review of novel methods for product characterization. *Food Research International* 2012; 48: 893-908.
- 鎌水梢, 麻生真悟. ホッケ資源の効果的活用に向けて - 「脂乗り」で付加価値を高める !! - . 北水試だより 2022 ; 105 : 17-19.