

加熱ゲル形成能からみたスケトウダラ冷凍すり身の 品質に関する研究の展開

加藤 登^{*1}・阿部洋一^{*2}・安永廣作^{*3}・中川則和^{*4}・佐藤繁雄^{*4}・國本弥衣^{*4}・新井健一^{*5}

Further Study on Quality of Walleye Pollack Frozen Surimi as measured by Heated Gel Forming Ability

Noboru KATO, Yoichi ABE, Kosaku YASUNAGA, Norikazu NAKAGAWA, Shigeo SATO, Mii KUNIMOTO and Ken-ichi ARAI

Abstract

Frozen surimi was thawed, ground with 3% NaCl upon addition of 0~150% water, and heated at 90°C for 30 min, with and without preheating at 25°C for several hours. The breaking strength (BS) and breaking strain (bs) of the heated gel were measured with a rheometer.

Characteristic physical properties of the heated gel formed from walleye pollack frozen surimi were compared among those from 28 lots appeared on the market and 16 lots, freshly prepared in Alaska, U.S.A.

The results obtained are;

- 1) There was a good, positive correlation among the maximum values of BS vs. Gs (=BS/bs) plots of the heated gels formed from 28 lots of frozen surimis on the market. The maximum value of BS vs. Gs plot was higher in the order of SA>FA>A>KA>RA>2nd grade of frozen surimi subjected to gel formation. Of only 5 lots, the relation among BS vs. Gs plots was slightly shifted from others, and the maximum values of BS vs. Gs plots belonged to those of KA ~ RA grade of surimi.
- 2) Sixteen lots of frozen surimi were obtained at Dutch Harbor in Alaska, half of which was prepared through a main (conventional) line (M), and another half was through a secondary (modified) line (S). The relation and level of the maximum values of BS vs. Gs plots from M line surimi were compatible with those from SA grade of surimi, whereas those of the heated gel from S line surimi were about equal to those from KA ~ RA grade of surimi.

緒言

食品タンパク質のゲル化は、加工食品の物性発現に関与し、好ましい食感を付与するために利用されている。そのゲル形成機構は原料タンパク質、たとえば大豆、卵白、筋肉など起源によってそれぞれ異なっており、必ずしも一定ではない(中村, 1988)。筋肉タンパク質の場合は、その構成タンパク質が複数の成分で、しかも巨大な分子量の集合体であるなど(山本・丸山, 1986)の理由からその研究

は特に困難な状況にある。

水産練り製品の原料は主にスケトウダラ冷凍すり身であるが、その筋肉タンパク質は極めて不安定であり、ゲル形成の分子機構は未だ解明するに至っていない。これまでに試みられている解説はミオシンなど、モデルタンパク質について知られた実験結果に基づいて予想された仮説であって(志水, 1981; 山澤, 1984; 岡田, 1999; 関・伊藤, 2001; 柴, 2002)、確定したわけではない。因みに、解凍したすり身を食塩と共にすり潰し、これを加熱するとゲル化するが、このとき加熱の条件によって得られるゲルは多

2011年7月31日受付 2011年12月14日受理

- * 1 東海大学 海洋学部 水産学科 (Department of Fisheries, The School of Marine Science and Technology, Tokai University, 3-20-1 Orido, Shimizu, Shizuoka 424-8610)
- * 2 元・阿部十良商店 (Former, Abe Jyuro Inc., 1-3-8 Daimachi, Abashiri, Hokkaido 093-0031)
- * 3 独立行政法人 水産総合研究センター 中央水産研究所 (National Research Institute of Fisheries Science, Fisheries Research Agency, 2-12-4 Fukuura, Kanazawa-ku, Yokohama, Kanagawa 236-8648)
- * 4 株式会社 紀文食品 (Kibun Foods Inc., 2-1-7 Kaigan, Minato-ku, Yokyo 105-8626)
- * 5 元・酪農学園大学 酪農学部 食品科学科 (Former, Department of Food Science, Faculty of Dairy Science, Rakuno Gakuen University, 583 Midorimachi Bunkuyoudai Ebetsu-shi, Hokkaido 069-8501)

様な物性を示すことが良く知られている（志水，1981；山澤，1984；岡田，1999；柴，2002）。それゆえ，ゲル形成に関わる仮説はこれらの複雑な現象を矛盾なく説明できるものでなければならない。

また，スケトウダラの塩ずり肉（肉糊）は坐り加熱ゲルを形成することが大きな特徴である。坐り加熱ゲルとは，肉糊を初期に凡そ35℃以下の温度で加熱（温度によって数十分から数十時間）した後，続いて高温（85～90℃）で加熱（数十分）する，いわゆる二段階の加熱法によって物性を増幅させたゲルのことである。二段階の加熱の過程で起こるそれぞれの変化について，柴は官能テストによって初期における低温加熱（予備加熱）が二段加熱ゲルの物性に及ぼす影響を確かめているが（柴，2002），この低温加熱によるゲル化は温度によってその速度が影響を受けるので経時的な走査をしなければ正確な情報が得られない。著者らはゲル化に伴う物性の変化を速度論の立場から調べ，坐りゲル化の反応について熱力学的な解析を行い，すり身タンパク質の加熱ゲル化に関わる熱力学的パラメーターは，別に行った魚肉タンパク質の加熱変性における熱力学的パラメーターと良く一致することを認めた（北上ほか，2004）。一方，タンパク質化学の見方からすると，食用タンパク質のゲル化は変性したタンパク質が凝集して，規則的な網目構造を形成する反応に相当するとされており（シェフテルほか，1988），著者らの熱力学的な解析の結果はタンパク質化学的な論説と一致するものであった。

二段階加熱法によるゲル化の経過を詳細に比べると，初期の低温加熱（予備加熱）を行ったゲルの破断強度はこれに続く高温での加熱によって著しく増強される。一方，破断凹みは初期の加熱温度が凡そ20℃以上の場合，高温の加熱によってむしろ劣化する。しかし，二段階の加熱による破断強度の増強の度合いが大きい（初期の加熱温度によって割合が異なり低温域の方がより大きい）ので，このメリットが高く評価されていると考えられる（北上ほか，2004）。

なお，日本の水産練り製品業界では，永い間，製品の品質を物性から評価するときには，破断試験法（西岡，1994；岡田，1999；柴，2002）によって求められる破断強度（BS）と破断凹み（bs）が最も身近な尺度として使用されており，前者は食する時の歯応え，後者は噛んだときの弾力に相応すると考えられてきた。また，BS×bsの値をジェリー強度と呼び，質と量の総合的尺度として製品の品質上の特徴の把握に利用してきた。一方，著者らは，二段階加熱法によって坐り加熱ゲルが形成される過程において，予備加熱に伴って起こるBSとbsなどの値の経時変化を走査した。その結果から，予備加熱によって増加する二段加熱ゲルのBSとbsとの間には規則性のある関係は見いだせなかったが，BS値とゲル剛性；Gs（=BS/bb）の間には強い正の相関があることを見出した（阿部，1998）。さらに同じすり身原料に加水してタンパク質濃度

を様々に調製した加熱ゲルからBSとGsの最大値を求めると，両値の間に強い正の相関が成立することを見出した（北上ほか，2005）。そこで，予備加熱に伴って増加するBS vs Gsの相関関係を回帰式で表し，二段加熱ゲル（坐り加熱ゲル）形成能に対するpHや加熱温度の影響（北上ほか，2003），およびすり身や加熱ゲルに対する各種添加物の改良効果（北上ほか，2008）などを数量的に評価する試みを行った。また，タンパク質濃度を変えた加熱ゲルのBS vs Gsプロットの最大値の間に成立する相関を表す関係直線を指標として冷凍すり身の現行の等級・格付けの整合性について検討した（北上ほか，2009）。なお，アメリカにおけるすり身加熱ゲルの物性に関するレオロジー的研究の中では，shear stressとshear strainの関係から加熱ゲルのテクスチャーはBrittle, Tough, Rubbery, Mushyの4グループに分類されており，製品の物性上の特徴および，各種添加物の効果などが論じられている（Lanier, 1986; Park, 2002）。しかしshear stressとshear strainの間には直線的な関連は認められていない。一方著者らが採用しているBSとGsの間には高い相関が認められるのでこの関係図を加熱ゲルの物性上の特徴を比較するのに極めて有利であると考え，これまで検討を重ねてきた。

本研究においては，国外および国内のメーカー11社から市販されている様々な等級のスケトウダラ冷凍すり身，28ロットについて形成する加熱ゲルの物性上の特徴と物性の最大値を比較検討した。そして，28ロットの中5例の冷凍すり身から形成された加熱ゲルのBSとGsの関係を表す回帰式が他の23ロットの示す関係式と異なるので，この二つの群は物性上異なる特徴に属すると判断し，これらの製品についてその等級格付けや製造した会社との関わりを調査する試みをした。また，著者らがアラスカ，ダッチハーバーにおいて直接収集した製造直後の冷凍すり身，16ロット（これらについては原料魚の鮮度やすり身を生産するのに採用されたリファイナーの操作条件など，その経歴が知られている）について形成する加熱ゲルの物性上の特徴や坐り加熱ゲルの物性（BSとGs）の最大値などを比較し，品質を評価することを目的とした。

実験方法

試料：本実験では市販の様々な等級の28ロットのスケトウダラ冷凍すり身を供試した。それらの一般性状および経歴はTable. 1に示すとおり，国外（アメリカ）産21ロット（6社製）および国内（日本）産7ロット（5社製）であるが，これらを原料として調製した加熱ゲルの一般性状を併せて示した。これによると冷凍すり身の水分は格付けが上位とされているSA級などではやや少なく，タンパク質はやや多い傾向があるが，これは調製した加熱ゲルの性状にもひきつがれている。pHが冷凍すり身では7.0～7.3（7.7が2例）であるが，加熱ゲルでは僅か0.2位全体にわたっ

Table 1 Proximate composition and pH of 28 lots of frozen surimis appeared on the market, subjected to heat induced gelation.

Frozen surimi on the market						Heated gel		
Lot.	Grade	Maker	Moisture (%)	Protein (%)	pH	Moisture (%)	Protein (%)	pH
1	SA	①	74.2	17.5	7.33	72.1	16.8	7.15
2	SA	②	74.2	16.9	7.21	72.1	16.5	7.04
3	SA	③	74.5	16.7	7.25	72.6	16.0	7.06
4	SA	③	74.1	17.6	7.29	71.9	17.1	–
5	SA	④	73.4	18.3	7.29	71.3	17.8	–
6	FA	③	73.0	18.6	7.36	71.4	18.1	7.14
7	FA	⑤	75.1	16.4	7.17	73.3	15.0	7.02
8	A	①	75.1	17.5	7.36	72.7	17.2	7.10
9	A	⑤	74.8	16.7	7.14	72.3	16.2	7.04
10	A	⑤	75.8	15.7	7.22	73.4	15.2	7.08
11	A	⑤	75.0	16.5	7.10	72.8	16.0	6.99
12	AA	⑤	75.2	16.3	7.20	72.5	17.8	6.99
13	AA	⑤	75.2	16.3	7.19	72.9	15.8	7.07
14	KA	③	74.5	16.7	7.34	72.1	16.2	7.09
15	KA	⑤	75.1	16.4	7.02	72.7	15.9	6.85
16	KA	⑤	75.5	16.0	7.21	73.2	15.5	7.01
17	RA	⑤	75.0	16.5	7.18	72.8	16.0	7.06
18	RA	⑤	74.0	17.5	7.04	71.8	17.0	6.96
19	RA	⑤	75.6	15.9	7.24	73.2	15.4	7.03
20	RA	⑤	74.3	17.2	7.09	72.1	16.7	6.96
21	RA	⑥	74.6	17.1	7.32	71.2	16.6	7.08
22	2nd	⑦	76.6	15.9	7.22	74.2	15.4	7.04
23	2nd	⑧	74.7	14.2	6.91	74.2	14.1	7.07
24	2nd	⑨	77.6	14.8	7.30	75.3	14.4	–
25	2nd	⑩	78.3	15.9	7.68	75.9	15.4	7.31
26	2nd	⑪	78.8	15.0	7.42	76.4	14.4	7.20
27	2nd	⑦	78.3	14.6	7.65	76.0	14.2	7.27
28	2nd	⑦	77.7	15.3	7.58	75.4	14.9	–

Lot. Maker

1~21, ①~⑥: USA

22~28, ⑦~⑪: Japan

て低値であった。

次に、アラスカ産の冷凍すり身は、ダッチハーバーにある3社でそれぞれ1998年9月に製造し入手した製品である。使用された原料魚は北緯55°05′、西経165°15′付近のベーリング海で漁獲された（トロールによる曳網時間は2~8時間）、平均体重1000g/尾の大型魚で、漁獲後すり身製品として加工されるまでの経過時間が13~46時間（I社）、および14~76時間（II社）に相当するものである。また、製造後、現地会社の好意で恵贈された製品を-30℃以下で保管しながら網走市まで移送し-25℃以下の冷凍庫で約2ヶ月保管した後に加熱ゲルを調製し物性を測定した。以上の原料の経歴およびすり身の性状はTable. 2に示した。

なお、ここでは冷凍すり身の製造は以下二通りの方法で行われた。すなわち、常法どおり、水晒し後の細切肉をリファイナーで裏漉しし、これを原料肉とする製造ライン（main-line: M-line）、または裏漉しされずに排出される細切肉を再びリファイナーで裏漉しした原料肉を使用する製造ライン（secondary-line: S-line）であり、前者は便宜的に一番肉すり身、後者は二番肉すり身と通称されている。以上二通りのlineで製造されたすり身の水分とpHはやや異なっているが、それぞれのラインの製品の間では大きな差ではなかった。

すり身の加熱ゲル形成：冷凍すり身を半解凍した後、加水することなく、またはタンパク質濃度を変えるために0

Table 2 Freshness of materials, preparation line, and proximate composition of fresh frozen surimi in Alaska, U.S.A..

Lot.	Maker	Fish freshness	Frozen surimi		
		(Running time to preparation after fishing) (hr)	preparation line	Product	
				Moisture (%)	pH
1	I	13	M	74.3	7.29
2			S	78.2	7.28
3		20	M	74.8	7.25
4			S	76.1	7.27
5		37	M	75.6	7.25
6			S	76.4	7.25
7		46	M	74.7	7.24
8			S	76.9	7.19
9	II	14	M	74.9	7.05
10			S	75.6	7.35
11		37	M	74.5	7.07
12			S	75.0	7.31
13		76	M	73.8	7.05
14			S	74.5	7.30
15	III	-	M	74.4	7.04
16			S	73.1	7.28

Main line and secondary line preparation of frozen surimi: After washing the mince with water, the muscle part in the mince was collected by means of straining using a refiner and subjected to preparation of frozen surimi through a conventional way (the product is called as main line surimi (M)), the discharged mince was returned in a refiner to strain the remaining muscle part in it, which is utilized for secondary preparation of surimi, calling as secondary line surimi (S) in this study.

～150%の水を加え、3.0%のNaClと共に小型サイレントカッター (SCP-2型, 容量14ℓ, 回転数1450rpm, 容器回転数6rpm, (株)花木製作所) を使用して15分間塩ずりした。すり上がり時の肉糊の温度は9℃以下に保たれるようにした。肉糊を折径48mmのポリ塩化ビニリデン製チューブに充填し、25℃の恒温水槽中で加熱し、二段加熱ゲルの物性値が最大値に至るまで数時間にわたって予備加熱した。この間経時的にとり出した予備加熱ゲルを90℃30分間加熱 (恒温水槽中) して二段加熱ゲルを、また予備加熱なしに直接90℃で30分間加熱して直加熱ゲルを調製した。次いで、これらの加熱ゲルのタンパク質濃度を測定した。また、予備加熱温度が25℃の場合は二段加熱ゲルのBSは7～8時間後に、bsは3～4時間後に最大値に達するので、これらを記録し、加熱ゲルの物性値のタンパク質濃度依存性を評価した。また、予備加熱に伴う二段加熱ゲルの物性値の変化を走査し、解析して、すり身タンパク質の二段加熱による坐りゲル形成能の強さと大きさ (度合) を比較検

討した (北上ほか, 2002; 北上ほか, 2003)。なお、水分とタンパク質は常法 (西岡, 1994; 柴, 2002) によって定量した。

加熱ゲルの物性値の測定: 調製された加熱ゲルは流水で冷却後、25℃で一夜保管後、直径30mm×高さ25mmの円柱状試験片として、レオメーター (不動工業(株)製 NRM 2002J) を使用し、直径5mmの球型プランジャー (進入速度60mm/min) で破断強度 Breaking strength (BS; g) と破断凹み Breaking strain (bs; cm) を測定し、これからゲル剛性 Gel stiffness (Gs=BS/bs; g/cm) を算出した。冷凍すり身および加熱ゲルの水分、タンパク質、添加物およびpHなどの一般成分と性状は同じく常法どおり測定した。

結果および考察

予備加熱に依存する二段加熱ゲルの物性の変化: 予備加熱の時間の進行に伴って二段加熱ゲルの物性値が大きく増強される事実は坐り (setting) と呼ばれているが、スケトウダラはすり身タンパク質が強い坐りゲルを形成する魚種の代表である。坐りに伴って物性が増強されるとき破断強度 (BS) とゲル剛性 (Gs=BS/bs) の両値の間に強い正の相関が認められるので、関係直線の回帰式を求めて坐り加熱ゲルの形成能 (強さ) を表わし、様々な加熱条件下で比較検討してきた (阿部, 1998; 北上ほか, 2003; 北上ほか, 2004; 北上ほか, 2005; 北上ほか, 2008; 北上ほか, 2009)。

初めに、すり身 (A級) に加水してタンパク質濃度をほぼ7～17%の間で様々な変えた肉糊を調製し、予備加熱に伴う二段加熱ゲルのBSとGsの増加の関係を Fig. 1に示した。これによるとタンパク質濃度の高低に関わりなくBSとGsの間に直線関係が成立つが、タンパク質濃度が低くなるに伴ってBS vs Gsプロットの最大値が低下し、また関係直線は同図中で僅かに左側に移動する傾向が示されている。なお、この関係直線の図中での移動は、形成された加熱ゲルの物性が、仮に同じBS値の加熱ゲル間で比べると、bs値がより高値のものになったことを示しており、その原因は加水に伴ってすり身中のタンパク質濃度および糖質などの濃度低下が起こったことによるのではなく、水分濃度の増加に大きく影響された結果であることが既に知られている。これは、タンパク質と糖質の濃度を一定に保ちながら水分量だけが異なるように、原料の配合組成を工夫して形成させた加熱ゲルの物性値を比較して認めた結果である (北上ほか, 2008)。

次に、等級が異なる3種の冷凍すり身について、Fig. 1の場合と同様に、タンパク質濃度を変えて予備加熱に伴う二段加熱ゲルのBSとGsの増加を測定し、両値の相関を表す関係直線の回帰式を求め、Table 3に結果を比較した。これによると、関係式 $BS = a \cdot Gs - b$ におけるa値はすり

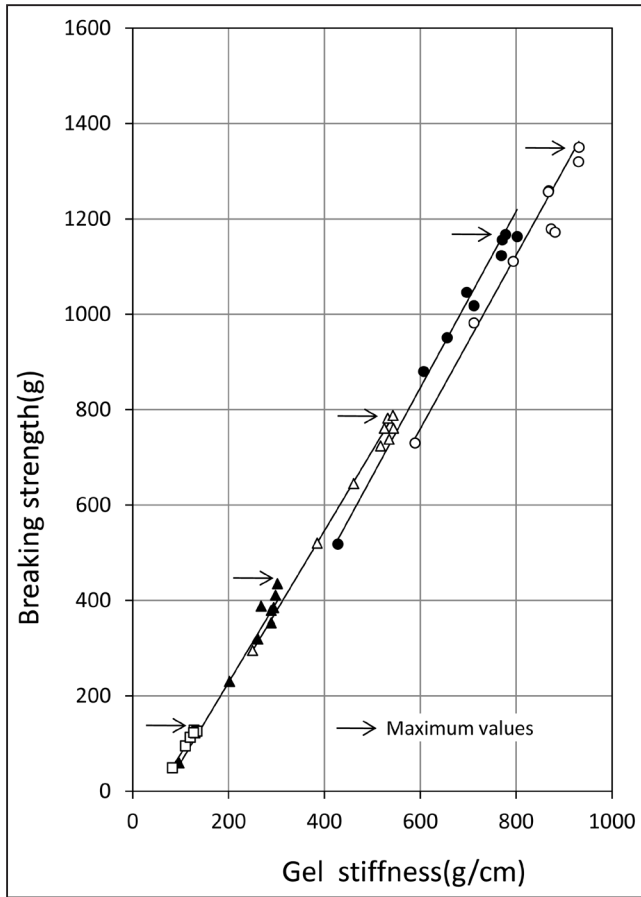


Fig. 1 Preheating time-dependent change in BS vs. Gs plot of heated gels of various protein concentrations.

Frozen surimi was thawed and ground with 3.0% NaCl upon addition of 0~150% water. The salt ground meat was preheated at 25°C for several hours, a portion of which was taken out at an appropriate interval, and followed by heating at 90°C for 30 min. The breaking strength (BS, g) and breaking strain (bs, cm) of the heated gel thus formed were measured with a rheometer by using spherical plunger of 0.5cm in diameter. The protein concentration of heated gel were 17.2(○), 15.7(●), 13.9(△), 10.7(▲), and 7.3(□)%, respectively.

Arrows indicated the maximum value of each heated gel.

身の等級が上位にあるものからの方がより高値となる傾向があったが、いずれの場合でもタンパク質濃度に関わりなく、同一原料ならば類似した値となる事実が示された。ただし、同じ等級のすり身原料であっても、異なるロットの間で比べると、それぞれに異なる値となることは既に知られている。市販の冷凍すり身はロットごとに水分含量が異なっているが、上記の結果を考慮すると、水分量に関わりなく、坐り加熱ゲル形成能の強さを a 値として表わし、比較することが出来ると考えられる。また、坐り加熱ゲル形成能の大きさ(度数)は、BS vs Gs プロットの最大値から比較検討することが出来る。ただ、この値にはタンパク質濃度が強く関わることは良く知られているので(北上ほか, 2005), 市販品を比較するときは、通常加水しないすり身からその値を求めた。詳細は次項で述べる。また、上

Table 3 Linear relation between preheating time-dependent changes in BS and Gs values of two-step heated gels formed from frozen surimis of different grades.

Grade of surimi	Protein concentration of heated gel(%)	BS=a·Gs - b		
		a	b	r
SA	16.0	1.95	339	0.998
	14.3	1.95	266	0.993
	12.0	2.00	245	0.996
	11.0	2.02	197	0.997
	9.5	1.78	115	0.996
	8.6	2.04	143	0.998
	Av	1.96	217	0.996
	SD	0.09	83	0.002
	CV(%)	4.73	38	0.202
A	17.2	1.82	332	0.998
	15.7	1.85	264	0.998
	13.9	1.68	126	0.998
	10.7	1.68	108	0.989
	7.3	1.75	97	1.000
	Av	1.76	185	0.997
	SD	0.08	106	0.005
	CV(%)	4.60	57	0.452
	2nd	14.2	0.88	53
13.6		0.97	42	0.901
12.6		1.22	56	0.986
12.0		1.19	53	0.996
11.2		1.17	55	0.990
10.6		1.14	61	0.970
Av		1.10	53	0.968
SD		0.14	6	0.036
CV(%)		12.30	12	3.719

The preheating time-dependent changes in BS and Gs values of the two-step heated gels of various protein concentrations were measured in the same manner as in Fig. 1, except that three different grades of surimi were examined.

$$BS = a \cdot Gs - b$$

BS = breaking strength (g)

Gs = gel stiffness (= BS/bs, g/cm)

a, b = constants

r = correlation coefficient

Av = average

SD = standard deviation

CV = coefficient variation

記関係式の中の b 値については同じすり身原料から形成された加熱ゲルでも、タンパク質濃度の高い場合がより高値となる傾向があることが示された。ただし、2級品のすり身から形成された加熱ゲルでは、タンパク質濃度に関わりなく一定の低値に留まったが、これらの理由については未だ明らかではない。

なお、他の種類の食品タンパク質においては、すり身タンパク質の坐りに相当するようなゲル形成をする例は報じられていない。因みに、牛血漿粉末（フィッシュアップ、太陽化学）では加塩（3%）や予備加熱25~40℃での二段加熱の試みは加熱ゲルの物性向上の効果をもたらさなかった。また、分離大豆タンパク質（フジプロ、不二製油）でも二段加熱による物性向上は起こらず、食塩の添加はむしろ物性の劣化を起こした。なお、卵白アルブミンに関しては二段階加熱ゲルの形成機構について紹介されているが（土井、1988）、この場合はpHと塩濃度を二段階に調節することが必要条件であり、加熱温度は終始一定のままであるからすり身タンパク質の場合とまったく異なっている。坐り加熱ゲルは魚肉タンパク質が形成する固有のゲルであるが、冷凍すり身の等級や原料魚種による坐り加熱ゲル形成能の比較検討など、現在まで解明されていない課題である。

タンパク質濃度に依存する加熱ゲルの物性の変化：加水して形成したタンパク質濃度が様々な加熱ゲルのBS vs Gsプロットの最大値を求めると、これらの加熱ゲルの最大値の間には正の強い相関があることを見出し、先に報じた（北上ほか、2009）。ここでは典型的な例としてA級の冷凍すり身を供試して、タンパク質濃度が7.3~15.7%の間の9検体の加熱ゲル間の相関をFig. 2として示した。これによると、同一すり身原料から得られる加熱ゲル間で比べると坐り加熱ゲルの方が直加熱ゲルよりもBS vs Gsの相関を示す関係直線の勾配は大きい。同じタンパク質濃度の両加熱ゲル間で比べると坐り加熱ゲルのBS vs Gsプロットの最大値はかなり高値に達している。また、代表的な例として、タンパク質濃度が13.5%の両ゲルのBS vs Gsプロットを連結すると（図中に点線で示す）、これはこの限られた条件下の予備加熱に伴って増加する二段加熱ゲルのBS vs Gsプロット間の相関を表す関係直線に相当している。Fig. 2の結果において、同じBS値の加熱ゲル間で比べると、坐り加熱ゲルのGs値は直加熱ゲルのGs値に比べて明らかに低値である。それゆえbs値はより高値である。また、同じタンパク質濃度の加熱ゲル間で比べると（図中に点線で示されている）、坐り加熱ゲルのBSおよびGs値は直加熱ゲルのそれに比べて著しく高値に達している。したがって、これらの事実は坐り加熱ゲルにおいてはすり身のタンパク質が加塩後の二段の加熱過程で変性し、網目構造の形成に対し積極的に参加し、物性の増強に寄与していることを示唆するものと考えられる。

なお、著者らは先に、様々な等級の10種の市販すり身について、予備加熱に伴う二段加熱ゲルのBSとGsの変化から、BS vs Gs間の相関を表わす関係直線を比較検討した。その結果、格付けが上位のすり身の場合ほど、関係直線の勾配が大きい傾向があることを認めたが（北上ほか、2009）、格付けが下位のすり身の場合との数値上の差はあ

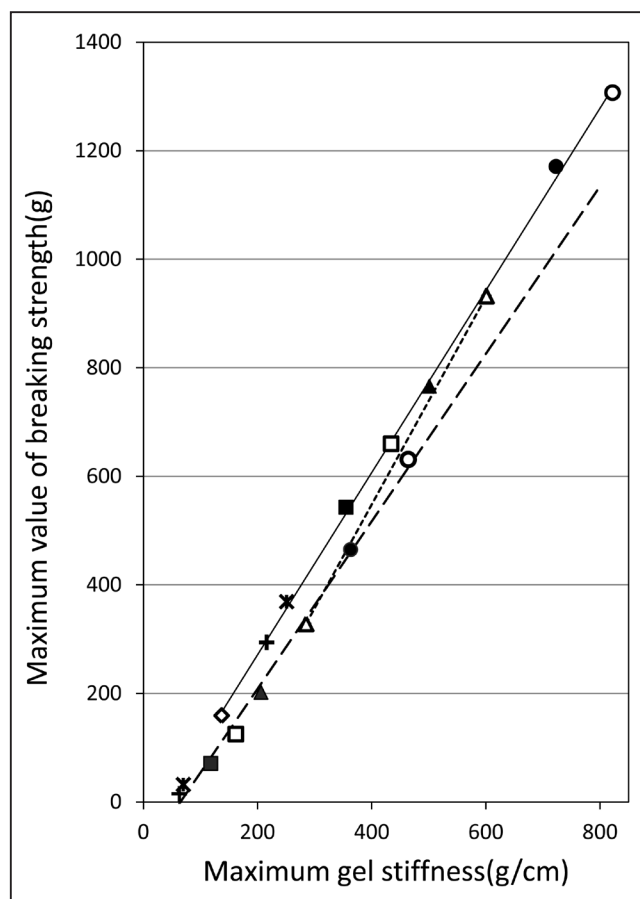


Fig. 2 Protein concentration-dependent change in maximum values of BS vs. Gs plot of heated gel.

The preparation of the heated gel of various protein concentrations from frozen surimi and the measurement of physical property of the heated gel were conducted in the same manner as in Fig. 1. The BS was plotted against the Gs of the same heated gel. As for the case of two-step heated gel, the maximum values of BS and Gs were employed. The protein concentration of the heated gel was 15.7(○), 14.5(●), 13.5(△), 12.2(▲), 11.5(□), 10.5(■), 9.5(*), 8.5(+), and 7.3(◇)%, respectively.

A full line: Two-step heated gel

A broken line: Directly heated gel

A dotted line: The line corresponding to preheating time-dependent change at a protein concentration of 13.5%

まり大きくない（SA級と2級の数値の差が約20%）。しかし、BS vs Gsプロットの最大値（加水しないで測定した値）を比べると両者の場合でほぼ数倍の差があるため、すり身の等級と加熱ゲルの物性値との関わりを論ずるのに好都合であることを知った（北上ほか、2009）。そこで本研究ではこれを尺度として採用することとした。

市販の冷凍すり身が形成する加熱ゲルの物性値：Table 1に総括した28ロットにわたる市販の冷凍すり身について、形成される加熱ゲルのBS vs Gsプロットの最大値を求めて比較した。すり身の等級はSAが5ロット、FAが2ロット、Aが4ロット、AAが2ロット、KAが3ロット、

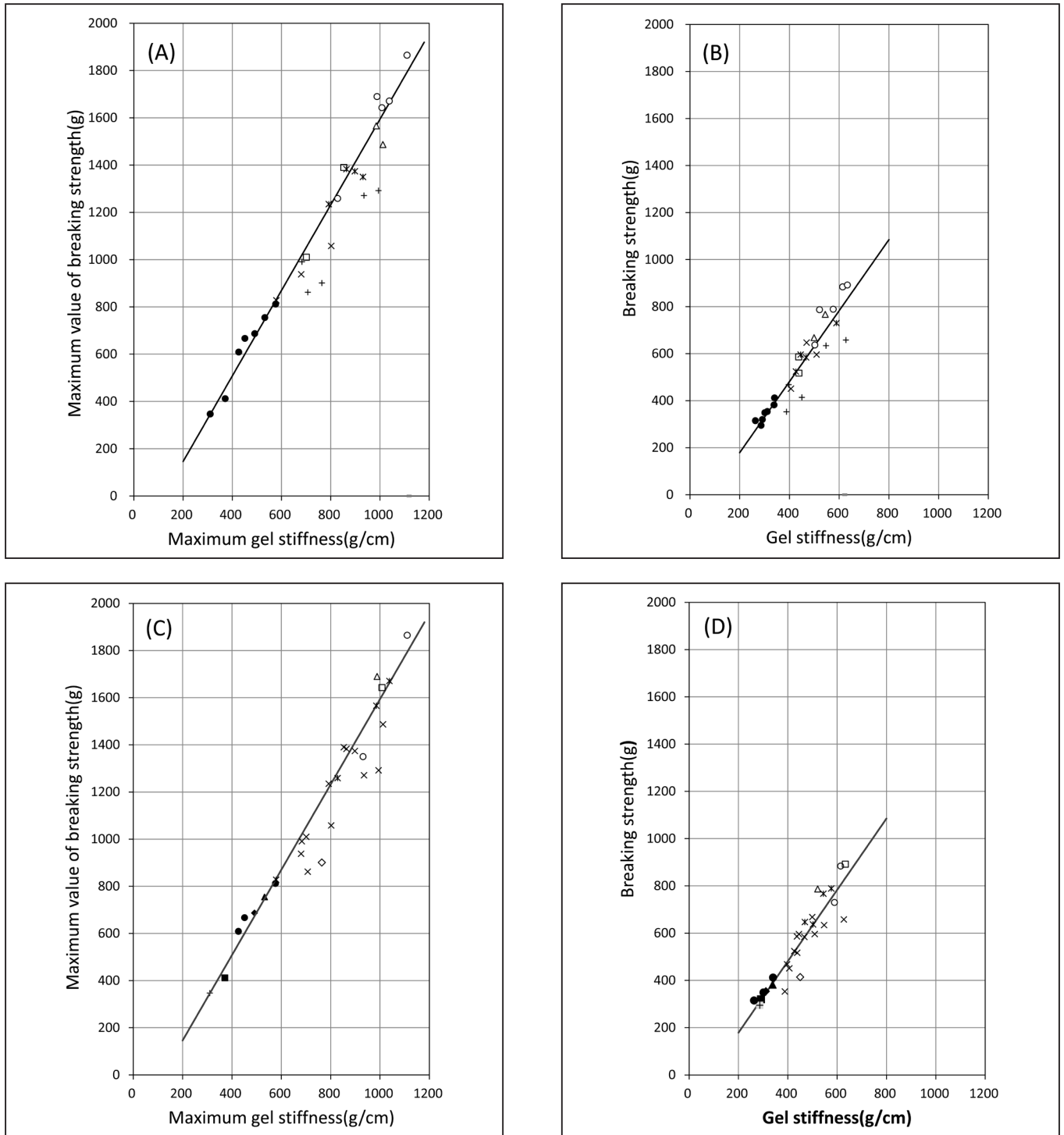


Fig. 3 Relation among maximum values of BS vs. Gs plot of heated gels formed from frozen surimis of different grades/makers. Twenty eight lots of frozen surimis (shown in Table 2) were subjected to gelation. The preparation of the heated gel and the measurement of BS and Gs were conducted in the same manner as in Fig. 1 without addition of water. As for the case of two-step heated gels, the maximum value of BS vs. Gs plot was employed.

(A, B) Maximum BS vs. Gs and grades

(A) Two-step heated gel

(B) Directly heated gel

Grade; SA(○), FA(△), A(▽), AA(□), KA(×), RA(+), 2nd(●)

(C, D) Maximum BS vs. Gs and makers

(C) Two-step heated gel

(D) Directly heated gel

Maker; ①(○), ②(△), ③(*), ④(□), ⑤(×), ⑥(◇), ⑦(●), ⑧(▲), ⑨(◆), ⑩(■), ⑪(+).

RAが4ロットであるが、以上全てはアメリカ産で、他に日本産の2級品が7ロットである。加水することなくすり身から形成された加熱ゲルのBS vs Gsプロットの最大値の間にはFig. 3 (A)に示すように正の強い相関が認められ、BS vs Gsプロットの最大値は原料すり身がSA>FA>A>AA>KA>RA>2級品の順位となった。なお、これは市販すり身の一般に通用している格付けの順位と合致している。相関関係は例外的な5ロットを省いて、回帰式 $BS = 1.81 \cdot Gs - 216$ (相関係数: $r^2 = 0.982$) で表された。また、Fig. 3 (B)には同じ原料すり身から形成された直加熱ゲルのBS vs Gsプロット間の相関を示しているが、坐り加熱ゲルの場合とほとんど同じ傾向の結果が示された。つまり、大部分の加熱ゲルのBS vs Gsプロット間に正の相関が成立ち、また両値のプロットは坐り加熱ゲルの場合と同じく一般に格付けが上位とされている原料すり身がより高値となる傾向が示された。因みに、相関を表す回帰式は $BS = 1.51 \cdot Gs - 123$ ($r^2 = 0.865$) であった。直加熱ゲルの場合も上記の相関から外れる物性の加熱ゲルが5ロット見出されたが、これらは坐り加熱ゲルの場合と同じ原料すり身に由来するものであった。

そこで、Fig. 3 (A, B)に示した結果をすり身の等級ではなく製造会社別に区分けしてそれぞれをFig. 3 (C,

D)に示した。これによると、大部分の加熱ゲルのBS vs Gsプロットの最大値の相関関係から5ロットの加熱ゲルのそれらが外れているが、この中4ロット(ロット番号, 16~19)は特定の同じ会社が製造したすり身に由来するものであった(他の1ロット(ロット番号, 21)は別の会社製のものであるが供試したロットはこの1種だけなので普遍性は不明である)。それゆえ、上記した加熱ゲルの物性上の特徴がやや異なったものとなる5種の原料すり身は、特定の製造会社で採用しているなんらかの製造技術上の違いが影響したためであろうと推察されるが、その原因は未だ明らかではない。従来、加熱ゲルのBS vs Gsの関係図中において両値の関係プロットまたは相関直線が右側に移動するのは、加熱ゲルへの添加物(たとえば、血漿や卵白粉末等の異質なタンパク質の添加物)がある時に認められている(加藤ほか, 2004; 小関ほか, 2006; 鈴木ほか, 2008; 加藤ほか, 2010)。異種タンパク質の添加や混入(血合肉や基質タンパク質)などが可能性としてあり得る。

製造の経歴がわかる冷凍すり身から形成される加熱ゲルの物性値: アラスカ, ダッチハーバーに赴いて入手した製造までの経歴のわかる冷凍すり身について、加熱ゲル形成能を市販のすり身のそれと比較する試みをした。初めに、

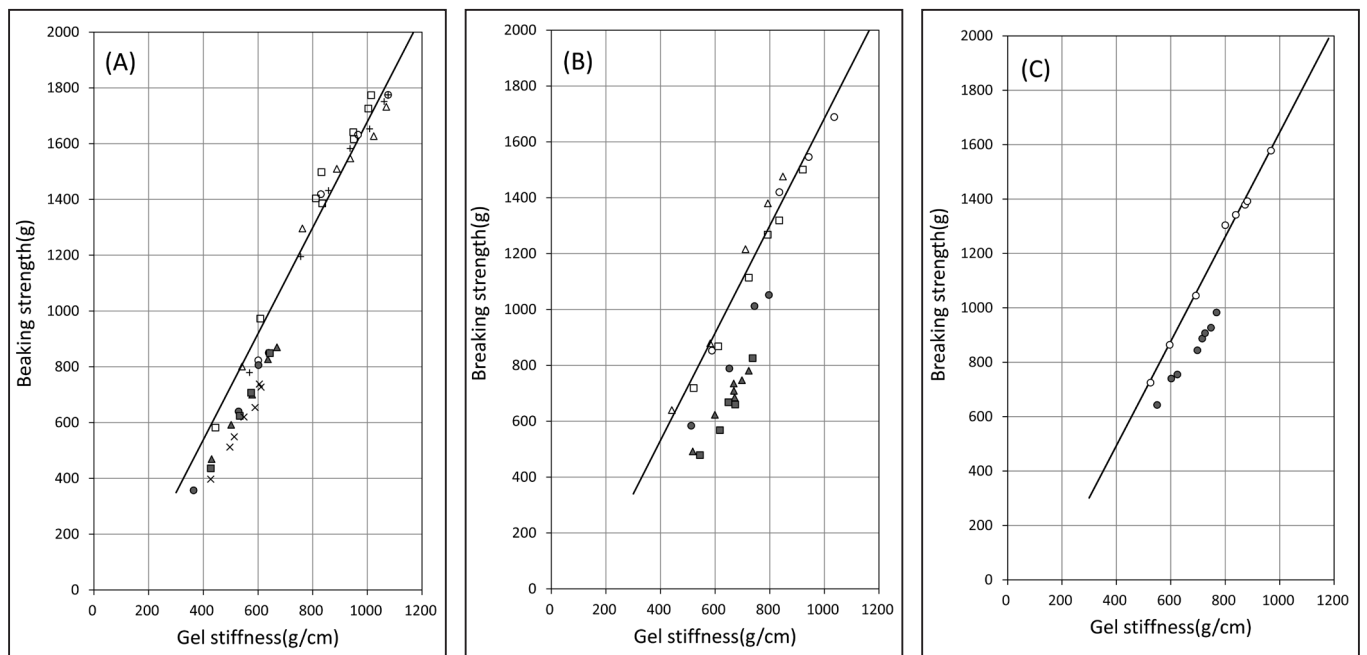


Fig. 4 Preheating time-dependent increase in BS vs. Gs plot of two-step heated gel formed from frozen surimis freshly prepared in Alaska, U.S.A.

The preparation of main line and secondary line surimis was conducted in the same manner as in Table 2. The heat-induced gel formation of 16 lots of frozen surimi was preformed in the same manner as in Fig. 1, except that water was not added to the surimi.

Main line surimi (○, △, □, +)

Secondary line surimi (●, ▲, ■, ×)

(A) Maker I: ○● 13hr, △▲ 20hr, □■ 37hr, +× 46hr

(B) Maker II: ○● 14hr, △▲ 37hr, □■ 76hr after fishing

(C) Maker III.

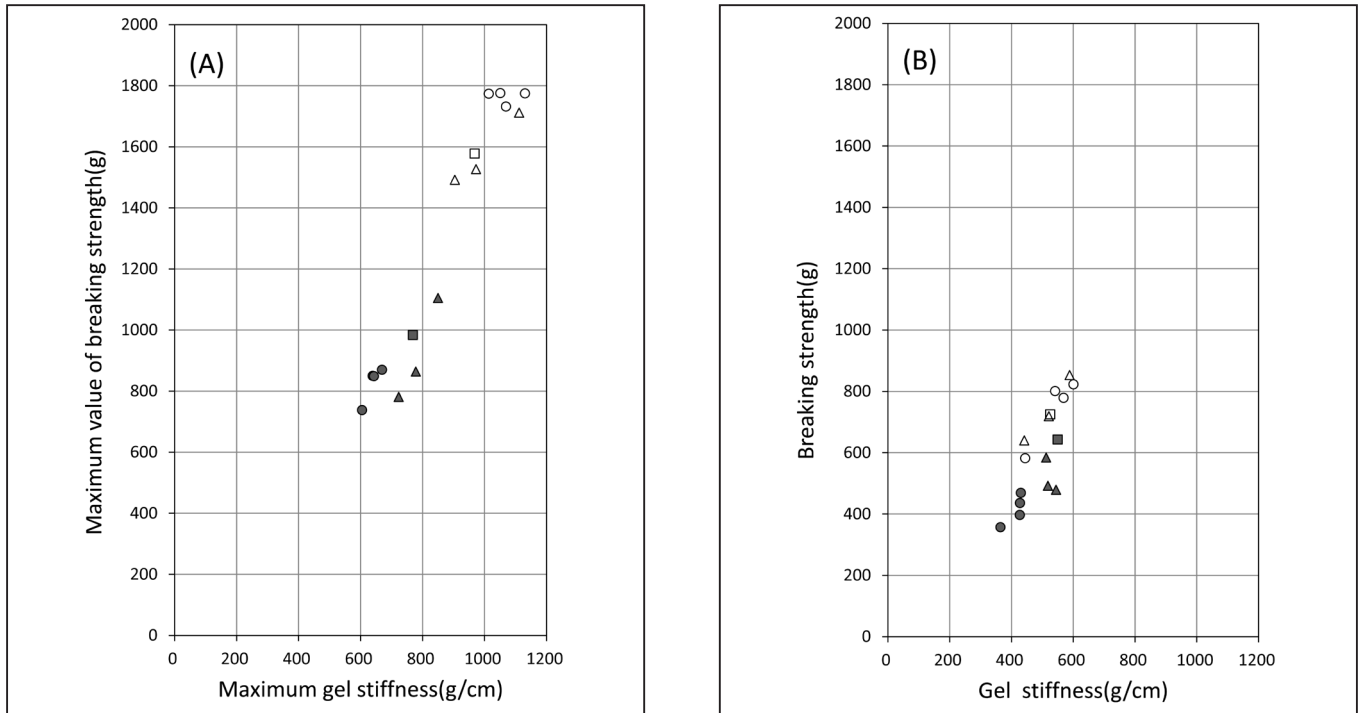


Fig. 5 Relation among maximum values of BS vs. Gs plot of heated gels formed from frozen surimis freshly prepared in Alaska, USA. The freshness of fish, and preparation line adopted with makers of frozen surimi were shown in Table 3. The preparation of heated gel and the measurement of BS and GS were conducted in the same manner as in Fig. 3.

(A) Two-step heated gels

(B) Directly heated gels

Makers; I (○, ●), II (△, ▲), III (□, ■)

Main line surimi (○, △, □)

Secondary line surimi (●, ▲, ■)

予備加熱に伴う二段加熱ゲルのBSとGsの増加を測定し、坐り加熱ゲル形成能を調べ、Fig. 4に示した。ここでは現地の3製造会社、各社で製造したM-lineすり身とS-lineすり身を供試した場合を併せて示した。I社の製品(A)、II社の製品(B)、III社の製品(C)の場合を別々に示したが、これらによるとM-lineすり身の坐り加熱ゲル形成能は、3社共に相互に良く似ている。BSとGsの相関を表す回帰直線は最も新鮮な原料から製造されたすり身の加熱ゲルを例にとると、I社のものでは $BS=1.90 \cdot Gs - 221$ ($r^2=0.970$)、II社のものでは $BS=1.92 \cdot Gs - 236$ ($r^2=0.970$)、そしてIII社のものでは $BS=1.92 \cdot Gs - 275$ ($r^2=0.995$)となり、これらは全て市販のすり身のSA級からの加熱ゲルの場合に匹敵している(阿部, 1998; 北上ほか, 2004; 北上ほか, 2009)。なお、II社のすり身製品の中では水揚げ後製品の加工に至るまでに76時間を経過したものからでは、加熱ゲルのBS vs Gsの相関を表わす回帰直線が同関係図中でやや右寄りに移動して位置するようになるが、これは原料魚の鮮度低下に伴う冷凍すり身の質的な劣化(坐り加熱ゲル形成能の低下)が始まっていることを示唆している。これはスケトウダラの肉質のすり身原料としての不安定さを改めて認識させる事実でもある。ただ

し、形成された坐り加熱ゲルのBS vs Gsプロットの最大値を求めて比較するとFig. 5 (A)に示すように大きな差異は認められないので、製造会社による技術的な違いや原料魚の鮮度による相違は大きいとは思われなかった。なお、Fig. 5 (B)に示すように、直加熱ゲルのBS vs Gsプロットを比較した結果は相対的にばらつきが大きくなるものの、傾向は(A)と同じであった。一方、S-lineすり身の加熱ゲル形成能は、M-lineすり身のそれに比べればFig. 4 (A~C)に示すように各社の製品はいずれも著しく劣り、形成される加熱ゲルのBSとGsの相関を表わす関係直線はいずれも図中の右側に位置している。さらに、水揚げ後の時間が短く、鮮度の良い原料魚から製造したすり身の加熱ゲル形成能は3社共ほとんど同じであるが、時間が経過した原料魚からの製品のそれらは明らかに異なり、BSとGsの相関を示す関係直線は同図中で右側に移動して位置するようになった。I社の製品では46時間を経過した場合、II社の製品では37および76時間を経過した場合の例がFig. 4 (A) および (B) に示されている。それゆえ、原料魚の鮮度低下がすり身の加熱ゲル形成能を劣化させ、特にBSに対するbsの相対値を低下させる傾向は、M-lineすり身の場合よりもS-lineすり身の方に大きく影響

しているように思われる。すなわち使用される原料肉はリファイナーで裏漉しされずに排出された部分から再度リファイナーで回収しているだけに、M-line リファイナーで裏漉しされずに通過する間に起こる発熱などで原料肉の状態が変化している可能性があり得る。なお、S-line すり身から形成された加熱ゲルのBS vs Gs プロットの最大値を求めて、Fig. 5 (A) に併記したが、いずれの加熱ゲルの値もM-line すり身の加熱ゲルのそれらに比べて低値であり、50%前後の値に留まった。これは市販の冷凍すり身のKA～RA級品の製品の場合に相当している。なお、これらの結果は、坐り加熱ゲルの場合ばかりでなく、直加熱ゲルの場合 (Fig. 5 (B)) でも同じであった。

謝辞

本研究を実施するにあたり、(社) 全国すり身協会技術研究所 (網走市) および理事長 北上誠一氏のご支援とご協力を賜りました。ここに記して感謝申し上げます。

文献

- 阿部洋一 (1998) : トランスグルタミナーゼ製剤および牛血漿粉末を添加したねり製品の品質に関する研究 (学位論文, 東京水産大学), 9-13.
- 土井悦二郎 (1988) : 卵白アルブミンを用いたゲル形成機構の解析, 農化誌, 62, 886-888.
- ジャンークラウド シェフテル, ジャンールイ クック, ドゥニー ロリアン (1988) : 食品タンパク質ハンドブック (北島典子訳), NTS, 東京, 61-70.
- 加藤 登, 及川 寛, 安永廣作, 矢野 豊, 北上誠一, 新井健一 (2004) : Pacific Whiting 冷凍すり身とスケトウダラの混合肉糊のゲル化特性と牛血漿粉末の影響, 東海大紀要海洋学部, 2, 45-53.
- 加藤 登, 鈴木康宏, 國本弥衣, 北上誠一, 村上由里子, 新井健一 (2010) : 三種の魚肉すり身製加熱ゲルの物性に及ぼす豚血漿と卵白粉末の添加効果の比較, 食科工誌, 57, 26-31.
- 北上誠一, 阿部洋一, 新井健一 (2002) : 冷凍すり身の品質を評価する新しいアプローチ, New Food Industry, 44, 9-14.
- 北上誠一, 安永廣作, 村上由里子, 阿部洋一, 新井健一 (2003) : スケトウダラ冷凍すり身のゲル形成能の pH 依存性と重合リン酸塩の影響, 日水誌, 69, 405-413.
- 北上誠一, 阿部洋一, 村上由里子, 安永廣作, 加藤 登, 新井健一 (2003) : 水産ねり製品の製造における坐りと戻りの効用, New Food Industry, 45, 24-32.
- 北上誠一, 村上由里子, 小関聡美, 阿部洋一, 安永廣作, 新井健一 (2004) : スケトウダラ冷凍すり身のゲル形成能とその加熱温度依存性, 日水誌, 70, 354-364.
- 北上誠一, 村上由里子, 安永廣作, 加藤 登, 新井健一 (2005) : スケトウダラ冷凍すり身タンパク質のゲル形成能とその濃度依存性, 日水誌, 71, 957-964.
- 北上誠一, 村上由里子, 小関聡美, 加藤 登, 新井健一 (2008) : スケトウダラ冷凍すり身構成成分が加熱ゲルの物性に及ぼす影響, 日水誌, 74, 199-206.
- 北上誠一, 村上由里子, 安永廣作, 阿部洋一, 新井健一 (2009) : 加熱ゲルの物性値とそのタンパク質濃度依存性から見た各種の等級のスケトウダラ冷凍すり身の加熱ゲル形成能, 日水誌, 75, 250-257.
- 小関聡美, 藤井陽介, 加藤 登, 安永廣作, 北上誠一, 新井健一 (2006) : スケトウダラとパシフィックホワイティングの混合肉糊から調製した坐りを伴った加熱ゲルと坐りを伴わない加熱ゲルの品質に対する牛血漿粉末の添加効果, 東海大紀要海洋学部, 4, 21-29.
- Lanier, T.C. (1986): Functional properties of surimi. Food Tech., 40, 107-114.
- 中村 良 (1988) : 食品蛋白質のゲル形成機構, 農化誌, 62, 879-881.
- 西岡不二男 (1994) : 冷凍すり身の品質検査基準, 日水誌, 60, 282-283.
- 岡田 稔 (1999) : かまぼこの足の化学, 加熱の技術, 「かまぼこの科学」, 成山堂, 東京, 52-60, 168-170.
- Park, J.W. (2000): Ingredient technology and formulation development, Surimi and Surimi Seafood, ed. By Park, J.W., Marcel Dekker Inc., N.Y., 343-391.
- 関 伸夫, 伊藤慶明 (2001) : かまぼこの足形成, 「魚介肉構成タンパク質と酵素の役割」, 恒星社厚生閣, 東京, 165-172.
- 柴 真 (2002) : 足の強さ, 「水産ねり製品入門」, 日本食糧新聞社, 東京, 82-92.
- 志水 寛 (1961) : かまぼこの足, New Food Industry, 23, 65-71.
- 鈴木 潤, 藤井陽介, 小関聡美, 加藤 登 (2008) : ホッケとスケトウダラおよび混合肉から調製した加熱ゲルの品質に対する乾燥卵白の添加効果, 東海大紀要海洋学部, 6, 27-35.
- 山本啓一, 丸山工作 (1986) : 構成タンパク質, 「筋肉 (生命現象への化学的アプローチ)」, 化学同人, 京都, 67-81.
- 山澤正勝 (1984) : 加熱条件と品質, 「魚肉ねり製品 - 研究と技術」 (志水 寛編), 恒星社厚生閣, 東京, 29-100.

要 旨

スケトウダラ冷凍すり身に0～150%加水し、3%食塩と擂潰、直接または25℃で数時間予備加熱後に90℃で30分加熱した。加熱ゲルの破断強度(BS)と破断凹み(bs)を測定し、物性上の特徴を、市販の28ロットおよびアラスカ産の16ロットの冷凍すり身原料間で比較、評価した。

(1) 28ロットの市販すり身の加熱ゲルのBS対Gs(BS/bs)プロットの最大値の間には強い正の相関があり、最大値はSA>FA>A>KA>RA>2級品のすり身原料の順であった。この中KA～RAに属する5ロットの加熱ゲルではBS対GSプロットの相関(関係式)がやや異なった。

(2) 16ロットのアラスカ産すり身の中、通常法で調製した半数の加熱ゲルの物性は市販SA級に、製法がやや異なる他の半数の物性はKA～RAのそれらに匹敵した。