

## 坐りゲル形成において見られる冷凍すり身の魚種特異性

佐藤繁雄\*<sup>1</sup>・北條健一\*<sup>1</sup>・弓削 渉\*<sup>1</sup>・加藤 登\*<sup>2</sup>・新井健一\*<sup>3</sup>

### Fish species-specificity of frozen surimi appeared in set-gel formation

Shigeo SATO, Kenichi HOUJO, Wataru YUGE, Noboru KATO, Ken-ichi ARAI

#### Review

Fish species-specificity of frozen surimi appeared in set-gel formation

Set-gel formation is a unique characteristic of the heat-induced gelation of fish myofibrillar protein. In this review, the changing rheological property profiles (as estimated from physical parameters) induced by two-step heating of salted ground fish meat in frozen surimi were analyzed in 50 lots of frozen surimi made from various fish species.

1) There are favorable ranges of preheating temperatures for inducing set-gel formation in salted ground meat. These ranges are different based on the fish species being used to prepare frozen surimi. The physical parameters, such as breaking strength (BS) and breaking strain (bs), of the set-gel were highest within this favorable temperature range.

2) There is a positive correlation between increases of BS versus Gs (gel stiffness, calculated as Bs/bs) plots of the set-gel formed from frozen surimi and progress of preheating. The slope of this linear relation as a measure of the strength of set-gel formation indicated that the difference in strength among various species of fish used to prepare frozen surimi was not large.

3) The maximum values Bs versus Gs of the set-gel were found to be dependent largely on both the grade of the frozen surimi and the fish species used in production. These values were therefore expected to be useful to increase the quality of many kinds of frozen surimi made from various fish species.

The results of this review will likely aid the effective innovation of processing technology for both new frozen surimi and for heat-induced gel products made from various fish resources.

**Keywords:** frozen surimi, set-gel formation, rheological property (physical parameter), fish species-specificity

#### 諸言

坐りゲル (set gel) を形成するのは、魚類の筋原繊維タンパク質だけが持つゲル化機能特性である (岡田稔 (1999))。坐りとは、塩ずりしたすり身を初期に低温度で加熱 (予備加熱) した後、高温度で加熱 (本加熱) すると、最初から高温で加熱する場合に比べて明らかに高い物

性値となる (特に破断強度が増強する) という極めてユニークなゲル化現象に向けられた表現である。レオロジー学的視点で物性上の特徴を比べると、坐りを伴わないゲル (非坐りゲル) とは明らかに異なっていることが認められている (小関ほか, 2006; 加藤ほか, 2010; 加藤ほか, 2010)。光学及び電子顕微鏡を使ったゲル構造の観察像 (岡田, 1999; Sato et al., 1992)、さらにゲル化タンパク質の尿素など各種溶媒に対する溶解性に差異があること

2014年7月25日受付 2014年9月20日受理

\* 1 (株) 紀文食品 商品・技術開発室 (Research Laboratory, KIBUN FOODS INC. 2-1-7, Kaigan, Minato-ku, Tokyo, 105-8626, Japan)

\* 2 東海大学海洋学部水産学科 (School of Marine Science and Technology, Tokai University 3-20-1, Orido, Shimizu, Shizuoka, 424-8610, Japan)

\* 3 元・酪農学園大学農学部 (Former, Department of Food Science, Faculty of Dairy Science, Rakuno Gakuen University 583 Midorimachi Bunkyoudai, Hokkaido 069-8501)

(國本ほか, 2013; 國本ほか, 2014) も明らかになった。

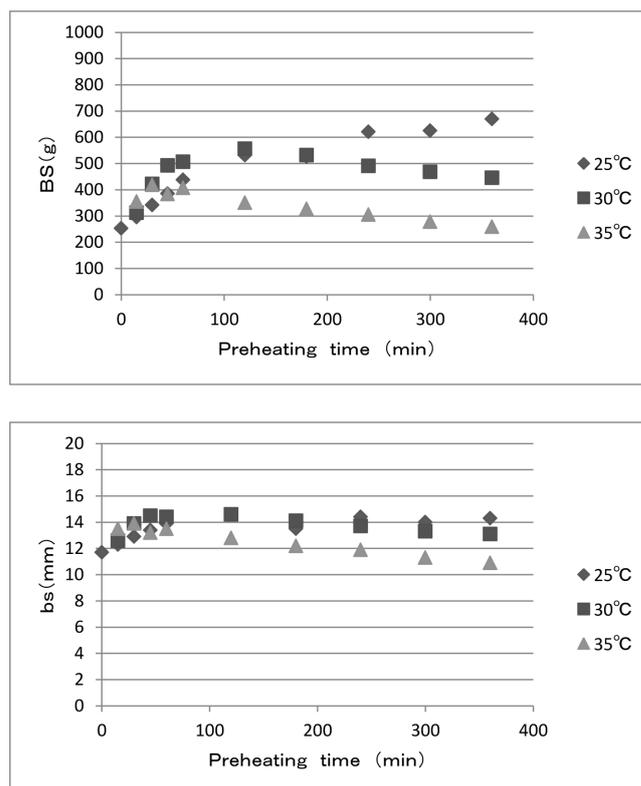
坐り加熱ゲルの形成は、塩ずりしたすり身の加熱履歴に依存しており、スケトウダラの場合は予備加熱温度がほぼ35℃以下において起こる。因みに、5℃では数日間、35℃では数時間後に、破断強度は最高に達する(北上ほか(2004))。それゆえ、加熱履歴を正確に制御しなければ坐りゲルの物性は安定し難い。一定の品質の坐りかまぼこの生産が極めて難しいのは、このことに起因している。特に慎重な配慮が必要である。

坐りに伴って動的に変化する物性の中、破断強度(BS, g)とゲル剛性( $G_s=BS/bs$ , g/cm)の間には正の相関があることが知られた(阿部ほか, 1992; 北上ほか, 2002)。これを指標の一つとして坐りゲル形成に影響を及ぼす環境要因(pH(北上ほか(2003))やタンパク質濃度(北上ほか(2004))や保存剤(糖質と重合リン酸ナトリウムなど)(北上ほか(2008))の効力を解析した研究がすでに行われている。ただし、研究の大部分はスケトウダラの冷凍すり身を対象として行われたものである。しかし、最近では異魚種原料の冷凍すり身がねり製品に利用されるので、魚種によるゲル化特性を明らかにし、有効利用を計る必要がある。本論文は、50種にわたる異魚種冷凍すり身について、その坐りゲル形成における特異性を明らかにし、集約したものである。

### 1. 坐り加熱ゲル形成の速さと加熱履歴

スケトウダラの冷凍すり身で、二段加熱ゲルの物性に対する予備加熱温度の影響が詳細に検討された(北上ほか(2004))。それによると、5~35℃で予備加熱すると、坐りゲルを形成するが、40℃を超えると坐りゲルを形成しなくなり、物性値は低下するようになる。それは加熱ゲルの構造形成に関わるタンパク質鎖間の結合種が、温度域で異なることに起因している(國本ほか, 2013; 國本ほか, 2014)。そのため、スケトウダラの坐り加熱ゲルは35℃以下の予備加熱によって物性値は高値に達するが、40℃以上では高値に達しなくなる(北上ほか(2004))。品質の劣るすり身製品の場合は、35℃における坐りゲル形成能でさえも良く発揮され難くなることがある(福田ほか(1994))。

本論文では、スケトウダラを含めて多種の異魚類を原料とした冷凍すり身について、坐り加熱ゲル形成能を発揮させる予備加熱温度域の適否を検討した。Fig.1(A)にはスケトウダラすり身の代表的な例(A級)を示したが、二段加熱ゲルのBSとbsの経時的な増加は、予備加熱が25℃では遅く、30℃で速く起こった。BSが最大値に達するのは25℃では少なくとも4時間後、30℃ではほぼ1~2時間後であった。bsが最大値に達するのは25℃ではやや遅いが、30℃の場合は同じく1~2時間後である。しかし、35℃においては、両物性値の増加はより速いものの、高値に達することはなく、減少傾向に移行した。それゆえ、坐りゲルを調製する時には、25℃では4時間以上、

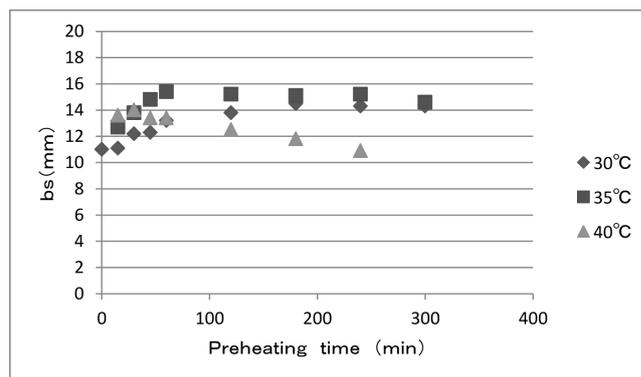
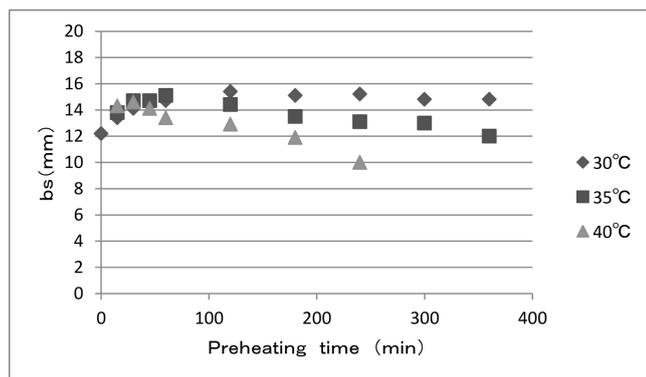
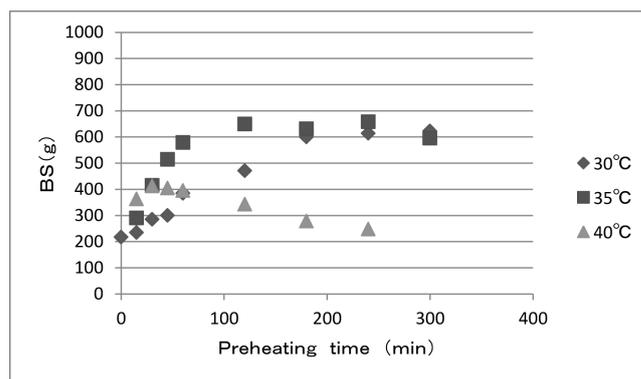
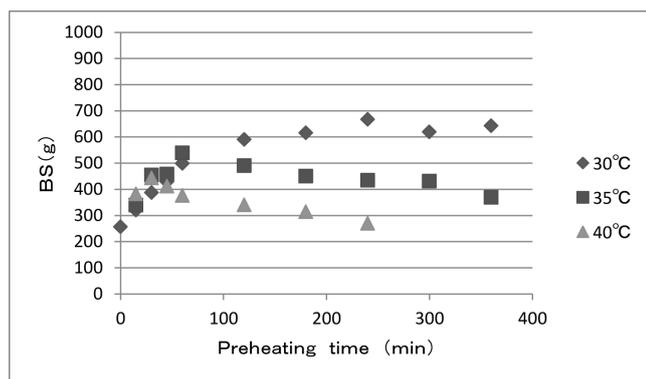


**Fig.1(A)** Preheating temperature-dependence of increases in BS and bs of set gel formed from frozen surimi as a function of preheating time.

Walleye pollack (A grade)  
Preheating at 25(◆), 30(■) and 35(▲)℃

30℃では2時間予備加熱することがすり身のゲル化能を充分発揮させるために必要であり、35℃以上での加熱は避けることが望ましい。また、ミナミダラ、ノーザンブルーホワイティング、及びイトヨリダイの冷凍すり身が坐りゲルを形成する時の物性値の増加と予備加熱温度との関係はスケトウダラすり身の場合とよく類似していた。予備加熱が30℃ではBS及びbsが最大値に達する時間はスケトウダラの場合と同じであるが、その値がさらに数時間に渡って保持される点ではミナミダラやイトヨリダイ(Fig.1(B))のすり身の方が優れている。また、35℃では物性値が高値に達しにくい点はいずれも同じであった。このような物性値の予備加熱温度への依存性の相違は、すり身を構成するタンパク質の魚種特異性(温度感受性)に関連しているように見える。

また、レンコダイ(Fig.1(C))、及びキントキダイの冷凍すり身が坐りゲルを形成する時の物性の経時変化を見ると、予備加熱温度が35℃では、物性が2~4時間後に最大値に達し、そのレベルを保つが、30℃での増加はかなり遅く、数時間後でもなお増加の途上にあることを示した。それゆえ、これらの魚種のすり身の坐りゲル形成は、スケ



**Fig.1(B)** Preheating temperature-dependence of increases in BS and bs of set gel formed from frozen surimi as a function of preheating time.

**Fig.1(C)** Preheating temperature-dependence of increases in BS and bs of set gel formed from frozen surimi as a function of preheating time.

Threadfin bream

Preheating at 30(◆), 35(■) and 40(▲)°C

トウダラなどのすり身の場合よりも高い温度域でなければ進行しにくいことが明らかである。これらの魚類のすり身に対しては、スケトウダラすり身に採用されている加熱条件をそのまま応用するのは適当ではなく、異なる条件を設定するべきである。

さらに、シログチ冷凍すり身から坐りゲルを形成する時の物性の経時変化を Fig.1 (D) に示した。ここに供試したすり身は重合リン酸塩の添加量が少なく0.05%であり、また、凍結貯蔵期間はほぼ1年間なので、坐りゲル化能はやや劣っている可能性がある(加藤ほか(2012))。しかし、予備加熱温度が35°Cでは2~4時間後に、また40°Cではより速やかな1時間前後に物性が最大値に達することが示された。したがって、シログチのすり身は先述の魚類のすり身の場合よりも、さらに高温度域において強い坐りゲルを形成するのが特徴であることがわかった。これは、水揚げした地域が異なるシログチ(産地;中国,タイ)でも同じであった。これらは、予備加熱温度が35~40°Cにおいて強い坐りゲルを形成するが、30°Cでは物性の増加は遅く、最大値に達しにくい。

以上の結果は、異魚種の冷凍すり身を混合して坐り加熱

Yellowback seabream

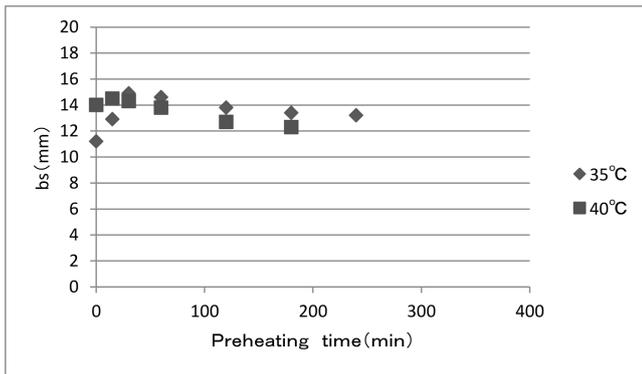
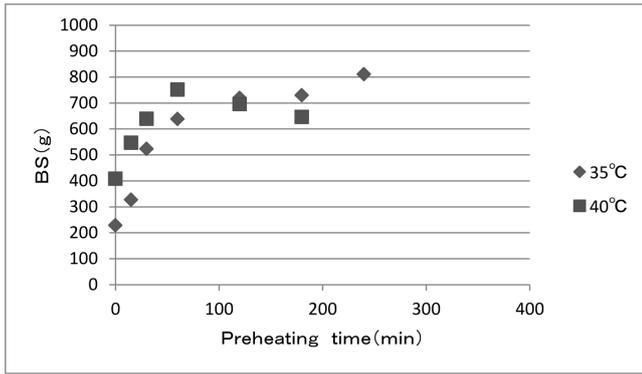
Preheating at 30(◆), 35(■) and 40(▲)°C

ゲルの製造に供する時には、特に予備加熱温度の選択、調節が極めて重要な条件になることを示唆している。また、二種のすり身の配合割合(重量比)にも大きく影響されることが既に予知されるに至っている(小関ほか,2006;加藤ほか,2010;加藤ほか,2004;鈴木ほか,2008)。

異魚種原料の冷凍すり身の坐りゲル形成能を比較検討した研究は、これまでも行われているが(加藤ほか(1984))、坐りゲル形成能の温度依存性の違いは、魚類の筋原繊維タンパク質の温度感受性と関連している可能性が極めて高い。

2. 坐りゲル形成能の強さと製品のレオロジック的特徴

坐りゲルの物性は、加熱履歴によって動的に変化する。予備加熱に伴って増加する二段加熱ゲルの破断強度とゲル剛性の関係は  $BS=a \cdot Gs - b$  (a, bは定数)で表され、この定数 a は坐りゲル形成能の強さを表す尺度と見なしたが、これは速度と異なる次元の指標である。坐りゲル形成の速さは、予備加熱温度に依存し、高温で速やかであるが、坐りゲルを形成する予備加熱の温度域がすり身の原料となる魚種によって異なるため、同じ温度条件下で全ての



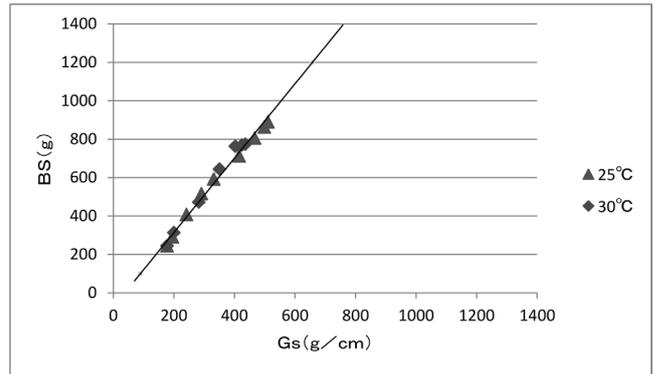
**Fig.1(D)** Preheating temperature-dependence of increases in BS and bs of set gel formed from frozen surimi as a function of preheating time.

White croaker (Man A)  
Preheating at 35(◆) and 40(■) °C

魚種間の比較をすることは出来ないのである。しかし、上記の BS と Gs の相関を表す関係式は、予備加熱温度には影響されず、全く同じになるので、坐りゲル形成能の強さを表現する適切な指標と見なせる。同じ魚種のすり身で比べると上記一次式の中の定数 a は坐りゲル形成の際の加水量（タンパク質濃度の変化）によっても変化しない。それゆえ、市販のすり身（一般成分組成が異なる）間で坐りの強さを比較する目的のためにも利用することが出来る。一方、上式の中、b 値はすり身の成分組成などの影響を受けて変動することが知られている（北上ほか，2008；加藤ほか，2012）。

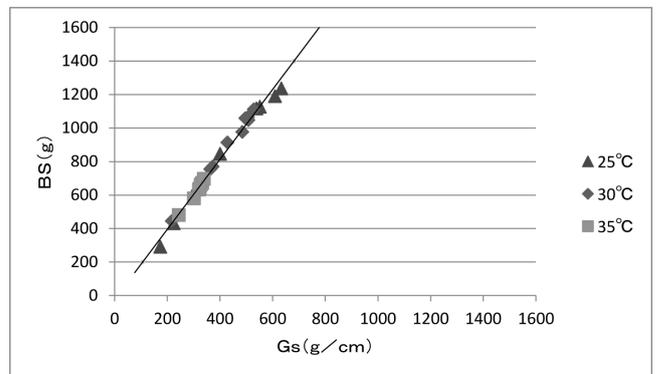
本論文では、スケトウダラを含め、8種の異なる魚類の冷凍すり身について、坐りゲル形成能の強さを比較した。また、同じ図中での直線の位置関係（b 値に関係する）から、坐り加熱ゲルのレオロジー的な特徴を調べた。

まず、スケトウダラ冷凍すり身（FA 級）の場合の関係直線を Fig.2 (A)、また、ノーザンブルーホワイティングの場合を Fig.2 (B) に示した。これによると、いずれのすり身から形成される坐りゲルの場合も予備加熱に伴って増加する BS vs Gs プロットの間には正の相関が成立し、



**Fig.2(A)** Preheating time-dependent increase in BS vs Gs plots of set-gel formed from frozen surimi.

Walleye pollack (FA grade)  
Preheating at 25(▲), 30(◆) °C

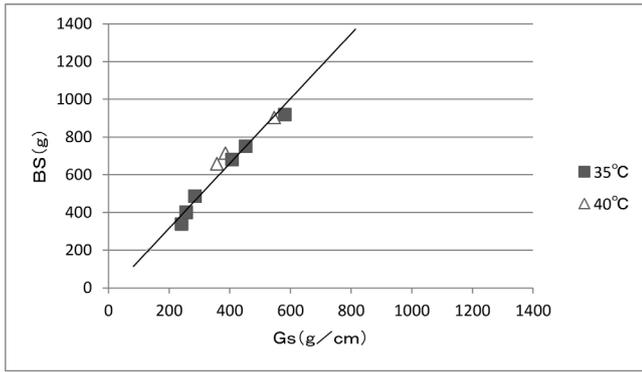


**Fig.2(B)** Preheating time-dependent increase in BS vs Gs plots of set-gel formed from frozen surimi.

Northern blue whiting (FA grade)  
Preheating at 25 (▲), 30 (◆), 35 (■) °C

また、関係直線は予備加熱温度に関わりなく同じになることが確かめられた。また、同じ図中で比べるとスケトウダラとミナミダラのそれはほぼ合致したが、ノーザンブルーホワイティングのそれはやや左側に位置し、加えて直線の勾配（a 値）がやや大きいことが示された。これらの事実は三者の中では特にノーザンブルーホワイティングすり身の坐りゲル形成能が強いこと、また、他の二者はその強さはほぼ同じであることを意味する。形成される坐りゲルは BS 値が同じであれば、bs 値はスケトウダラとミナミダラでは近似するが、ノーザンブルーホワイティングのそれはより高値となる（破断するために大きな応力を要する）ので、謂わばレオロジカルにより優れたものである。

次に、シログチの冷凍すり身の場合の関係直線を Fig.2 (C) に示した。これによると、予備加熱に伴って増加する BS vs Gs プロット間には正の相関があること、さらに、両値の関係直線は予備加熱温度に関わりなく同一になるこ



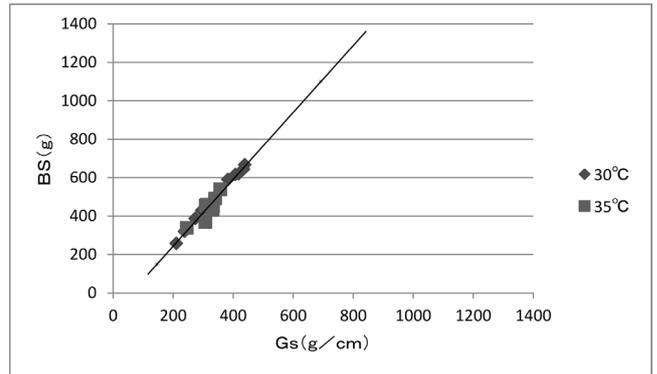
**Fig.2(C)** Preheating time-dependent increase in BS vs Gs plots of set-gel formed from frozen surimi.

White croaker (Man A)  
Preheating at 35(■), 40(△) °C

となど、他の魚類の冷凍すり身と同じ様であることが示された。

シログチのすり身は中国、及びタイ国で製造されたものであるが、特注品で重合リン酸塩の添加量が通常のすり身の1/8~1/4で、0.025~0.05%である。添加する重合リン酸塩の機能は、少なくとも二通りあることが知られており、すり身タンパク質の耐凍性を高める（pHを弱アルカリ性にしてタンパク質の冷凍変性に対する糖質の保護効力を強める）作用（松本ほか（1986））と、他は、すり身の坐りゲル形成能に対する糖質の抑制作用を解除する作用である（加藤ほか（2012））。検討したシログチのすり身は重合リン酸塩の添加量が通常より少ないため、上記の2つの機能が充分発揮されているかどうか疑問が残る。また、レンコダイ、及びキントキダイなどのすり身の坐りゲル形成能を比べたが、キントキダイの坐りゲル形成能の強さはシログチのそれと極めて類似し、予備加熱に伴うBS vs Gsプロットの増加を示す関係直線はほとんど合致した。また、レンコダイの坐りゲル形成能の強さもシログチとほぼ同じであった。それゆえ、これらの魚類の冷凍すり身は、レオロジカルに良く類似する物性の坐り加熱ゲルの製造原料となり得ることが示唆されている。さらに、イトヨリダイとママカリの冷凍すり身の坐りゲル形成能を検討したが、イトヨリダイ（Fig.2 (D)）冷凍すり身の坐りゲル形成の強さもシログチのそれとよく近似し、さらに、形成される加熱ゲル物性のレオロジカルな特徴もまた類似していることが示された（Fig.1 (D)）。一方、ママカリの場合はシログチのそれとかなり異なり、同上の関係直線の勾配（a）はかなり小さく、また、図中での位置はかなり右側に外れているので、坐りゲル形成能の強さはシログチに比べて劣り、物性は謂わば弾力が劣り、脆いものになることが示された。

なお、スケトウダラ、ミナミダラ、及びノーザンブルー



**Fig.2(D)** Preheating time-dependent increase in BS vs Gs plots of set-gel formed from frozen surimi.

Threadfin bream  
Preheating at 30(◆), 35(■) °C

ホワイトティングなどのすり身では加水量を30%、また、シログチ、レンコダイ、キントキダイ、イトヨリダイ、及びママカリのすり身では加水量を15%にしているが、加水によって水分量が変わっても坐りゲル形成能の強さは変わらないことは既に知られている（加藤ほか（2011））。加水量を同じ30%にして、シログチのすり身の坐りゲル形成能を比べると、BS vs Gsプロット間の関係直線は僅かに左側に移動するだけであったが、物性の最大値は大きく低下した。それゆえ、シログチのすり身に関して言えば、30%の加水量の場合は物性値の低下が大きく、また、15%の加水量の場合は、物性上レオロジカルな変化（BSに対するbsの相対比率が小さくなる）が起こるので、いずれを選択するか、技術的な判断が必要となる。

予備加熱に伴って増加する二段加熱ゲルのBS vs Gsプロットの間には正の相関が成り立つことは、坐りゲルを形成する魚類のすり身では例外なく共通して見られることが明らかになった。しかし、両値の相関を表す一次式は、格付け等級が同じ冷凍すり身でも、それぞれ僅かに異なる。関係直線の勾配（a値）は、その等級が上位のものほど大きく、b値（絶対値）は小さい傾向があることが知られている（北上ほか（2004））。これまでの結果では、スケトウダラ（FA級）とシログチの坐り形成能の強さ（a値）はほとんど同じレベルで、ミナミダラ、イトヨリダイ、レンコダイ、キントキダイのそれらもほぼ同じ強さであることがわかった。ノーザンブルー・ホワイトティングの坐りゲル形成能はスケトウダラ（FA級）よりもやや強いが、ママカリのそれは明らかに弱いことも示されたが、同じ魚類の冷凍すり身でもロットによる差があるので、今後、さらに検討を加えることが必要である。

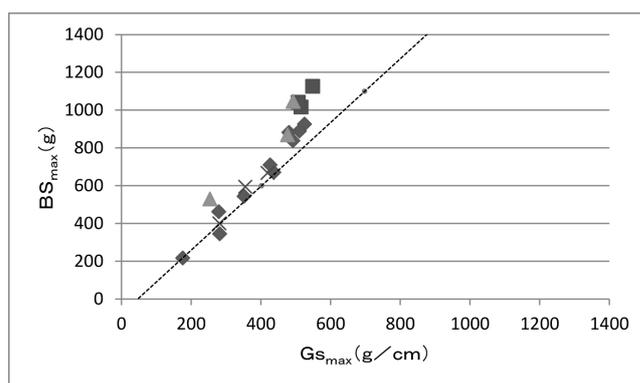
### 3. 坐りゲル形成の効果の大きさ

坐りゲル形成能の強さは、同じ魚種のすり身でもロット

で異なり、優劣がある。魚種が異なればそれぞれで相違するが、同じ強さの魚種もあることがわかった。それゆえ、市販のすり身は、それぞれに予めその強さを評価しておくことが本来必要である。また、形成される坐りゲルの物性は加熱履歴によって動的に変化するもので、同一すり身原料から常に同じ物性の坐り加熱ゲルを生産するには、物性が最大値に達する加熱条件を予め知っておくべきである。タンパク質化学的な視点からすれば、坐りゲル形成はすり身(筋原繊維)タンパク質が変性して凝集し、規則性のある網目構造を形成する反応であるから、この反応が円滑に完了して物性が安定化するときである。物性が最大値に達するときにタイミングよく本加熱(高温)することが出来れば、坐りを誘導するゲル化反応がそこで終了して物性が定まる。一般に、高温での処理工程は製品の殺菌、静菌が目的とあるとされているが、それに加えて坐りを誘導するタンパク質の変性反応を適時に中止し、物性を安定化するために必要な過程でもある。なお、本加熱に供して調製した加熱ゲルの物性は、調理や料理の過程における二次的な加熱によってさらに変動するが、これは坐りゲルの形成条件(温度履歴)によっても影響を受けることがすでに知られている(劉ほか, 1997; Niwa et al., 1988)。

一般には、坐りゲル形成能の強い冷凍すり身は形成される加熱ゲルの物性も高値に達する。海外(6社, 21ロット)及び国内(5社, 7ロット)産のスケトウダラ冷凍すり身から形成される坐りゲルの物性の最大値を比べると、等級格付けが上位のすり身からのものほど高い傾向があることがわかった(加藤ほか(2011))。さらに、等級がSA~二級品まで様々であるにも関わらず、BS vs Gs(最大値)プロットの間が良い正の相関があることも見出された(加藤ほか(2011))。これらの事実を考慮すると、優れた品質の冷凍すり身とは坐りゲル形成能が強い他に、坐りの効果が大きく、物性がより高い値に達する能力をもつ製品と位置づけることが出来る。そこで、異魚種のすり身の間でも坐り加熱ゲルの最大物性値(これを坐り効果の大きさとする)を求めて、魚種間で比較、分類をする試みを行った。

ここでは市販の15種にわたる異魚種の冷凍すり身50ロットについて、坐り加熱ゲルの物性の最大値を求めた。スケトウダラ(8ロット)、ミナミダラ(2ロット)、ノーザンブルーホワイティング(4ロット)、及びイトヨリダイ(3ロット)のBS vs Gs最大値プロットの関係性をFig.3(A)に示したが、これによると全てのプロット間におおよそ正の相関があるように見える。しかし、ノーザンブルーホワイティングとミナミダラのすり身は、他の三魚種のすり身のそれらに比べてやや大きいようにも見える。ノーザンブルーホワイティング、及びミナミダラのすり身から得られる坐り加熱ゲルは、スケトウダラのFA級以上のすり身から得られる坐り加熱ゲルのそれに匹敵するほどの、また、イトヨリダイのすり身から得られる坐り加熱ゲルはス



**Fig.3(A)** Correlation of maximum values of BS vs Gs plots of set-gels formed from frozen surimis made up with various species of fish.

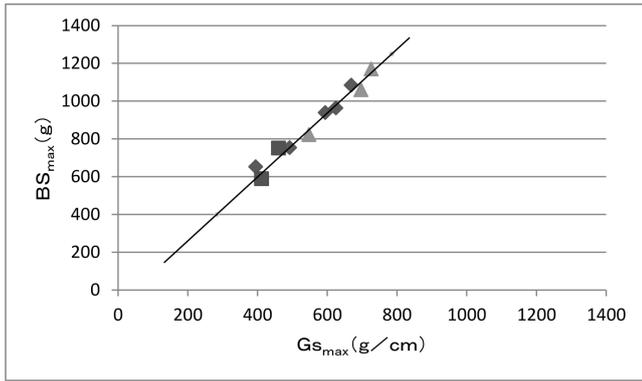
Frozen surimis :

- (◆) Walleye pollack
- (×) Threadfin bream
- (■) Northern blue whiting
- (▲) Southern blue whiting

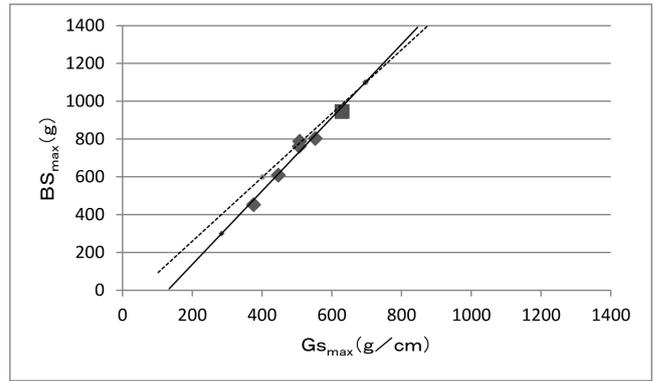
…… White croaker

ケトウダラA級のすり身から得られる坐り加熱ゲルに匹敵するレオロジカルな物性の品質である。それゆえ、これらのすり身は魚種が異なるにもかかわらず、適宜混合利用することができる。また、シログチ、レンコダイ、及びキントキダイのすり身から形成される坐り加熱ゲルのBS vs Gsプロットの最大値間をFig.3(B)及びFig.3(C)に示した。シログチの冷凍すり身は生産地が異なる14のロットについて検討した結果であるが、おおよそ正の相関が見られる。ただし、坐り効果の大きさを比べると、Man A(タイ)とPFP(タイ)の冷凍すり身に優れたものが多く、Zhoushan(中国)のものは劣っている傾向があった。この原因はまだ確定できていないが、重合リン酸塩の添加量が前者では0.05%であるのに対して、後者はさらに少なく、0.025%であることが関係しているかも知れない。また、レンコダイとキントキダイのすり身から形成される坐り加熱ゲルのBSとGsプロットの最大値間関係は、シログチのそれとほとんど合致した。物性の最大値を比べるとキントキダイのそれはやや高いレベルにあったが、検体数が少ないので、これが典型的であるかどうか、まだ確定できない。いずれにせよ、シログチとレンコダイ、及びキントキダイのすり身は形成する坐り加熱ゲルのレオロジカルな特徴から見て極めて類似しているため、製造原料として適宜混合使用できる。なお、これらの魚類のすり身は、坐りゲル形成能の温度依存性や坐りゲル形成の強さも極めて良く類似しているため、加工技術上の支障も起こらないと考える。

坐り加熱ゲルのBSとGsプロットの最大値間に成り立



**Fig.3(B)** Correlation of maximum values of BS vs Gs plots of set-gels formed from frozen surimis made up with various species of fish.



**Fig.3(C)** Correlation of maximum values of BS vs Gs plots of set-gels formed from frozen surimis made up with various species of fish.

White croaker frozen surimis from different sources :

- (◆) Thailand (Man A)
- (■) China (Zhoushan)
- (▲) Thailand (PFP)

Preheating at 35°C

Frozen surimis :

- (◆) Yellowback seabream
- (■) Bigeye snapper
- Yellowback seabream, Bigeye snapper
- ..... White croaker

つ関係直線の勾配を比べると、スケトウダラを含む Fig.3 (A) と、シログチを含む Fig.3 (B) のそれは明らかに異なり、前者の方がかなり大きい。この事実は、形成する坐り加熱ゲルの物性上のレオロジカルな特徴が両者間で異なることを示している。すなわち、経験的にも良く知られているように、スケトウダラなどのすり身からは高いレベルの物性で、しかも、BS に対する bs の相対比率が高値の優れた坐りゲル製品が製造し易い。加水量を多くしてタンパク質濃度を下げても、なおかつ物性は高いレベルを保持することが出来る。ミナミダラやノーザンブルーホワイティングが優れたすり身の原料魚種であると見なされているのは同じ理由によっている。

続いて、さらに他の9種類の異魚種冷凍すり身12ロットについても坐り効果の大きさを比較検討した。それによると、エソ(3ロット)、ヒメジ(1ロット)及びタチウオ(1ロット)の坐り加熱形成能とゲルの物性上の特徴(BS vs Gs プロット)はシログチのそれと近似しているが、物性値は低いレベルにある。また、マアジ、ママカリ、及びハモ(各1ロット)の坐り加熱形成能は強く、物性値は高いレベルには達するものの、BS に対する bs の相対値が低く、やや弾力に乏しいことが示された。ただし、供試した検体数がいずれも少ないので、これらの結果が典型であるかどうか、確定できない。なお、ホッケの加熱ゲルは坐りゲル形成能を持たず、物性値はかなり低い。

### 考察

坐りゲル形成能の速さと強さ及び効果に関わる知見は、加熱ゲルの製造技術条件を設定するために必要なデータ

ースとなると考える。まず、坐りゲル形成能の速さは大まかに区分すれば、寒帯産の魚類のすり身では低温域に都合の良い条件があり、一方、温帯産の魚類のすり身ではより高温域に坐りを誘導するのに都合の良い条件があることを示した。この事実はおそらく筋原線維タンパク質の温度感受性に関わる魚種特異性(新井ほか, 1973; 橋本ほか, 1982)が関連している。次いで、坐りゲル形成能の強さは同一魚種のすり身の間でも、格付け等級が上位のすり身ほど強い傾向があるものの、同じ等級のすり身でもロット間で僅かに異なり、また、異魚種のすり身間でも異なることが明らかになった。しかし、スケトウダラとシログチのすり身のそれらがほぼ同じであることから推察できるように、筋原線維タンパク質の温度感受性に見られる魚種特異性とはほとんど関連していない。

現在までのところ、原料魚種によって冷凍すり身の坐りゲル形成能の強さにどの程度の差があるのか、まだはっきりしない。その理由は、魚肉の鮮度やメーカーの製造技術上の相違が影響を及ぼすために、常に一定品質のすり身製品を生産することは難しいとも考えられるからである。しかし、坐りゲル形成能の強さで見られる原料魚種による相違は余り大きくなく、 $BS=a \times Gs - b$  中の a 値は6種の魚類について、1.65~2.25の間に留まった。

数多くの要因が坐りゲル形成能に影響することは周知のことであるが、この中、坐りゲル形成時の加熱温度(北上ほか(2004)、タンパク質濃度(北上ほか(2003))はいずれも本論文で定義した坐りの強さに影響しない。また、 $K_2CO_3$ や重合リン酸 Na の添加に伴って起こる pH の変動(北上ほか, 2002; 加藤ほか, 2012)、さらに、タンパク質添加物(プラズマ、卵白、大豆タンパク質粉末)の添加も

また(國本ほか, 2013; 國本ほか, 2014) 坐りの強さには大きな変化をもたらさないことがわかっている。しかし, 形成される坐り加熱ゲルの物性の最大値及び物性上のレオロジカルな特徴(BSとbsの増加の相対比率)の両方にはいろいろな影響が現れた。言い換えれば, 坐りゲル形成能の強さは余り変わらないが, 坐りの効果の大きさと物性上の特徴が変わるのである。因みに, 加熱温度に関しては坐りを誘導し, 物性が高値に達するのに適した温度域が見い出された。タンパク質濃度に関してはその低下に伴ってBSは指数関数的に激減する(ただし, bsへの影響は相対的に小さかった)。pHに関しては, 中性から微アルカリ性域においてBSとbsはいずれも高値となるが, 重合リン酸Naが共存するときの方がより高い値に達することが知られている(北上ほか(2002))。坐りゲル形成は, すり身タンパク質の加塩, 加熱による変性反応であるから, 糖質の添加によって強く抑制される。そこで, これを解除し, 坐りゲル形成を円滑に進行させるのに重合リン酸Naが貢献していることが確かめられた(加藤ほか(2012))。市販のタンパク質添加物に関してはプラズマ(血漿), 卵白由来のタンパク質粉末はいずれも坐りの強さを変えることなく, 坐りの効果を大きくすることがわかった。ただし, 添加量が3%を超えるとBSの増加に比べてbsの増加率が小さくなるため, 物性上, レオロジカルな特徴が変わり, 異質な(脆い)製品になることも知られた。

## 文献

- 阿部洋一, 安永廣作, 北上誠一, 村上由里子, 大田隆男, 三掘友雄, 新井健一(1992): TGase 製剤または牛血漿粉末を添加して調製したかまぼこのゲルの特徴, 日水誌, 62, 446-452.
- 新井健一, 川村久美子, 林千恵子(1973): 各種魚類筋肉アクトミオシンATPaseの温度安定性について, 日水誌, 39, 1077-1085.
- 岡田 稔(1999): 動物性タンパク質素材, 「かまぼこの科学」, 第1版(成山堂書店, 東京), 204-208.
- 岡田 稔(1999): かまぼこの微細構造, 「かまぼこの科学」, 第1版(成山堂書店, 東京), 52-55.
- 加藤 登, 橋本昭彦, 野崎 恒, 新井健一(1884) スケトウダラ, シログチ, およびティラピアの肉糊の坐り速度に及ぼす温度の影響, 日水誌, 50, 2103-2108.
- 加藤 登, 及川 寛, 安永廣作, 矢野 豊, 北上誠一, 新井健一(2004): Pacific whiting 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「海-自然と文化」, 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.
- 加藤 登, 藤井陽介, 國本弥衣, 北上誠一, 新井健一(2010): 三種の魚類冷凍すり身に卵白粉末を添加した加熱ゲルの物性値とタンパク質濃度との関係, 食科工誌, 57, 414-419.
- 加藤 登, 阿部洋一, 安永廣作, 中川則和, 佐藤繁雄, 新井健一(2011): 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, 東海大紀要海洋学部「海-自然と文化」, 1-11.
- 加藤 登, 中川則和, 佐藤繁雄, 國本弥衣, 鈴木康宏, 奥村知生, 齊藤 寛, 阿部洋一, 新井健一(2012): 冷凍すり身の加熱ゲル形成の耐凍性に及ぼすソルビトールと重合リン酸塩の協調作用, 東海大紀要海洋学部「海-自然と文化」, 10, 1-10.
- 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, 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, 村上由里子, 安永廣作, 加藤 登, 新井健一(2004): 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.
- 國本弥衣, 奥村知生, 渡辺宗一郎, 加藤 登, 新井健一(2013): 各種タンパク質粉末を添加した冷凍すり身加熱ゲルのレオロジー的性質とタンパク質の溶解性との関係, 食科工誌, 60, 567-576.
- 國本弥衣, 奥村知生, 加藤 登, 新井健一(2014): 各種溶媒に対するタンパク質の溶解性からみた冷凍すり身から形成される加熱ゲルの特徴と卵白添加の影響, 食科工誌, 61, 19-26.
- 熊沢義之, 大畠良孝, 岩見史郎, 松本行司, 新井健一(1990): コイ筋原線維タンパク質の冷凍変性に対するピロリン酸塩と糖の協同保護効果, 日水誌, 56, 105-113.
- 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効果, 東海大紀要海洋学部「海-自然と文化」, 4, 21-29.
- S.Sato and T.Tsuchiya(1992): Microstructure of Surimi and Surimi-Based Products. In Surimi Technology, edited by T.C.Lanier and C.M.Lee, Marcel Dekker, Inc., 501-518.
- 鈴木 潤, 藤井陽介, 小関聡美, 加藤 登, 北上誠一(2008): ホッケとスケトウダラおよび混合肉糊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「海-自然と文化」, 6, 27-35.
- Eiji Niwa, En-sheng Chen, Tian-tsuan Wang, Satoshi Kanoh, and Teruo Nakayama(1988): Extraordinariness in the Temperature-dependence of Physical Parameters of Kamaboko, Nippon Suisan Gakkaishi, 54(10), 789-793.
- 橋本昭彦, 小林章良, 新井健一(1982): 魚類筋原線維 Ca

ATPase の温度安定性と環境適応, 日水誌, 48, 671-684.  
福田耕一, 加藤 登, 市川 寿, 野崎征宣, 田端義明  
(1994): 冷凍すり身の品質評価指標としての坐り温度帯に  
おけるゲル劣化速度の検討, 日食工誌, 41, 51-57.  
松本行司, 新井健一 (1986): 魚類筋原線維タンパク質の熱

変性と冷凍変性に対する糖類の保護効果, 日水誌, 52,  
2033-2038.

劉 達嘉, 塩沢由子, 加納 哲, 丹羽栄二 (1997): マアジ  
ゲルの物性に及ぼす測定温度の影響, Nippon Suisan  
Gakkaishi, 63 (2), 231-236.

## 要 旨

坐りゲルを形成するのは, 魚類の筋肉タンパク質が加熱によってゲル化するときに見られる特有の性質である. 本論文では, 50ロットにわたる魚種の魚類のすり身について, 塩ずり肉を二段加熱するとき起こるレオロジー的性質の変化を, 物性の経時的な変化を解析して調べ, 概説した.

- 1) 冷凍すり身から坐りゲルを形成させるため, 塩ずり肉を予備加熱する際の好ましい温度域がある. この温度域はすり身を構成する魚の種によって異なることがわかった. 望ましい温度で加熱すると坐りゲルの物性 (破断強度や破断凹み) は最も高い値に達する.
- 2) すり身から調製した塩ずり肉を予備加熱するとき, 増加する坐りゲルの BS vs Gs プロット値の間には良い正の相関がある. この関係直線の勾配を坐りゲル形成の強さとする, すり身を作るのに使用された各種の原料魚種の間は余り大きくなかった.
- 3) 坐りゲルの BS vs Gs プロットの最大値は, 冷凍すり身の等級及びすり身に利用された魚種に強く依存して定まることがわかった. それ故, この値は各種の魚類から成る全ての冷凍すり身の品質を評価するのに適している.

この概説の成果は, 多種にわたる新しい魚類原料から冷凍すり身及びねり製品を加工生産するときの技術の改革に極めて有用である.

キーワード: 冷凍すり身, 坐りゲル形成, レオロジー的性質 (物性), 魚種特異性