

魚骨の調理による軟化

下坂 智恵*

(Chie Shimosaka)

1. はじめに

日本は、南北に長い島国で四季を通じてさまざまな魚介類が漁獲されるので、それぞれの魚介類特有の調理法が発達し、保存と嗜好性の向上を目指して、多くの伝統的調理・加工法が伝承されている。伝統食としての魚料理には、魚を一尾ごと用い、骨まで食べられるようにした食品、骨のみを調理した食品も多くみられる。

甘露煮は、古くから行われている淡水魚の調理で、アユ、コイ、ワカサギなどを骨まで軟らかくなるように煮あげたもので、骨ごと食べられるため、カルシウムや他の微量栄養素も摂取できる。鯉こくは、コイを丸のまま、または内臓を除いて筒切りにし、うろこをつけたまま、汁物に調製したもので、骨やうろこから溶出してくるコラーゲンの分解物が汁に濃厚さを与えている。南蛮漬は、ワカサギ、アジなどを素揚げにし、食酢に漬けたものである。魚の酢煮は、煮汁に酢を加えてサバやイワシなどを加熱した煮物で、骨が軟らかくなる調理法である。骨を用いた料理としては、氷頭なます(乙坂 1994)があり、サケの頭部の氷頭(軟骨)のうす切りのなますで、透明でコリッとした歯ごたえがある。また、サケの頭、尾ひれなどを野菜と煮込んだかす炊き(古沢 1985)、あなごの骨せんべい(神田ら 1987)などがある。

日本は高齢社会を迎え、食生活の変化にともなうカルシウム摂取量の不足が指摘されるようになり、食習慣として魚食の多い日本人にとって、骨ごと食べられる小魚は、重要なカルシウム供給源の一つといえる。魚介類は畜肉と比べるとカルシウム含量が高く、100gあたり頭と骨で約500~4,000mg、内臓で約10~500

mg、皮で約50~600mgである。さらに魚にはビタミンDが多く含まれており、ビタミンDは、腸管からのカルシウム吸収を促進し(Norman 1985; John *et al.* 1994)、骨基質の合成(Baylink *et al.* 1970)にも関与しているといわれる。及川(1995)は、サケ中骨のカルシウムは、骨形成の促進に有効であるとし、吉岡ら(1994)は、タラ、ウナギなどの魚骨は、牛骨と同程度の栄養効果を持ち、カルシウム源として有効な食品素材であると述べている。

本稿においては、我が国で一般に行われている酢漬処理と加熱処理した魚の物性変化と魚骨の主な構成成分であるタンパク質および無機成分の変化を中心に述べる。

2. 魚 骨

魚体の頭、内臓、肉、骨などの割合は、種類、魚重量、漁獲された季節などにより異なるが骨の割合は約4~11%である(太田 1981)。魚類の骨には、軟骨と硬骨の2種類があり、硬骨はその成因に基づき、軟骨性硬骨と膜骨とに大別される(松原ら 1991)。脊柱は、体の中軸部に一列に並ぶ多数の脊椎骨(図1)によって構成され、各脊椎骨には円筒状の椎体がある。骨には水

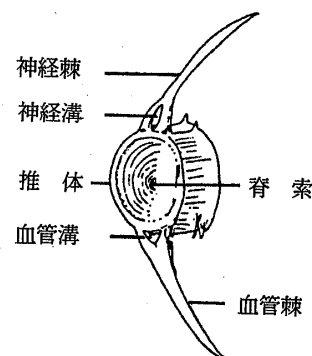


図1. 脊椎骨の構造

* 大妻女子大学短期大学部

魚骨の調理による軟化

分が10~55%含まれ、水以外の成分は無機物30~65%, 有機物35~70%である(太田1981)。魚骨は年齢が進むにつれて水分が減少して脂質と無機質が増加する傾向があるが、タンパク質は比較的变化が少ない。また、硬い骨には一般に無機質、特にリン酸カルシウムが多い(太田1981)。

3. 酢漬処理

魚の酢漬には、マリネ、南蛮漬、ままかりなどがあり、食酢に浸漬している間に生臭さが弱くなり、うま味が向上し、特有なおいしさを持つようになる。

1) 魚のマリネ

マアジを酢漬にして、浸漬時間の違いによる食味を比較すると、長時間浸漬することにより、肉の硬さには変化がみられなかったが、骨は軟化した(下坂ら1997)。したがって魚肉と骨の硬さが接近することになり、酢漬魚を骨ごと噛みやすくしているものと考えられる。

酢漬にする前処理には、ままかりのように生魚を塩漬にする場合と南蛮漬のように油中で揚げる場合とがある。揚げる場合は、揚げた魚があついうちに食酢に浸漬するよう記されている(土井1978)ので、加熱直後に食酢に浸漬した酢漬魚(高温浸漬)と、加熱後室温まで冷めてから浸漬した酢漬魚(低温浸漬)の硬さを比較した。

魚肉の硬さ(図2)は、酢漬1日後に低下し、それ以降7日後までほとんど変化しなかった。一方、骨の硬さは、浸漬7日後まで低下し続けた。高温浸漬と低温

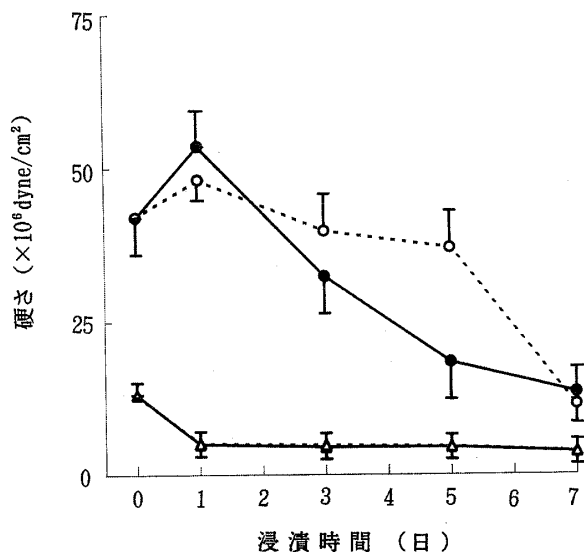


図2. マアジの酢漬処理による魚肉と骨の硬さの変化
浸漬時間0, 揚げた魚: ▲, △, 魚肉: ●, ○, 骨;
—, 高温浸漬; ---, 低温浸漬

浸漬では、魚肉には差がみられなかったが、骨では高温浸漬の方が低下した。このように、酢漬魚においては、魚を揚げ加熱後、高温のうちに食酢に浸漬すると、冷めてから浸漬するよりも食酢の浸透が速やかであり、浸透量も多く、骨の軟化も促進されていた(下坂ら1997)。

2) 骨の酢漬

魚を食酢に浸漬することにより骨が軟化したので、骨のみを酢漬処理したときの物性と成分の変化を調べた。さらに魚を酢漬にする前処理として加熱することが多くみられるので、浸漬前の加熱効果についても調べた。

生骨あるいは20分間蒸した加熱骨を4%酢酸溶液(食酢中の酢酸濃度に相当)に浸漬すると、4時間まで急激に軟化し、それ以降120時間後まで軟化が続いた(図3)。加熱骨は、生骨よりも低い値となった。

マアジ骨の粗タンパク質は、無処理骨が16.7%, 加熱骨が17.5%であり、これらを120時間、水および4%酢酸溶液に浸漬したときの溶出量は浸漬前の0.1~3.1%とごく僅かであり量的変化はほとんどなかった(表1)。

魚肉は、酢漬にすると酸性で働くタンパク質分解酵素が活性化し、この酵素は主としてカテプシンDであろうと考えられている(下村ら1985)。骨組織からは、カテプシンLに似たプロテアーゼが精製されている(木南1995)という報告、カテプシンKが破骨細胞に特異的に発現されている(Tezuka *et al.* 1994)という報告がある。骨を酢酸溶液に浸漬することにより、

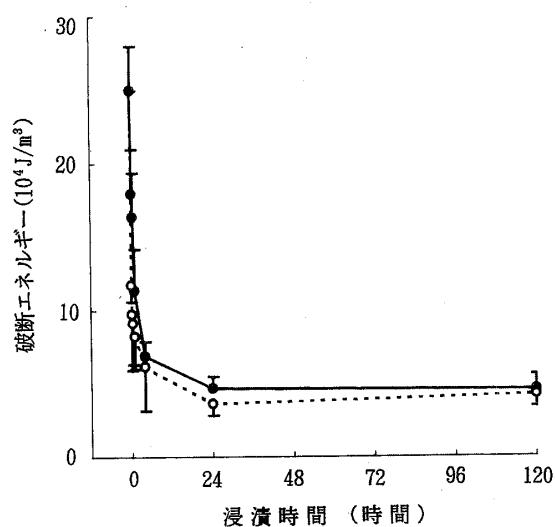


図3. マアジ骨の酢酸浸漬による破断エネルギーの変化
●, 生骨; ○, 加熱骨

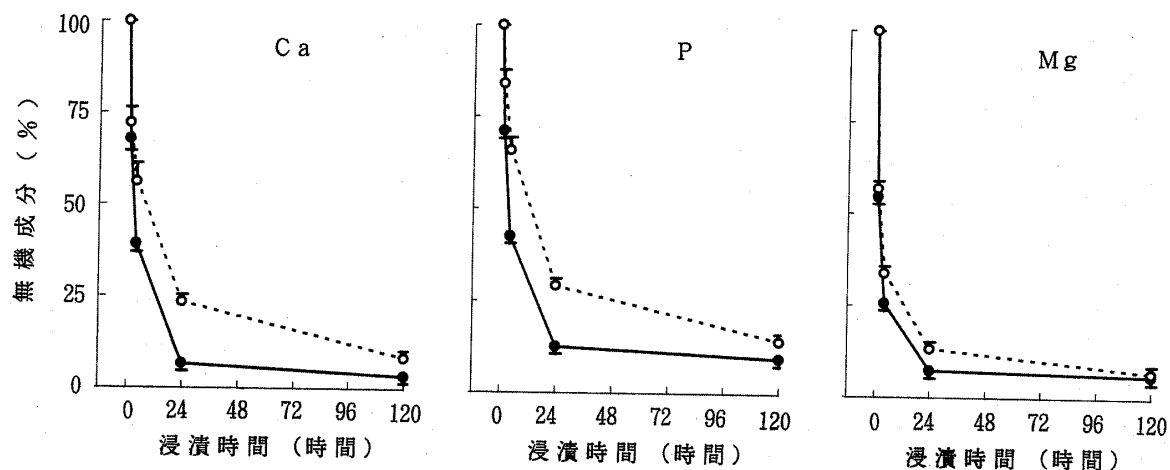


図4. マアジ骨の酢酸浸漬による無機成分の変化

●, 生骨; ○, 加熱骨

表1. マアジ骨の酢酸および水浸漬による液中へのタンパク質溶出量の変化 (mg/無処理の魚骨 100mg)

浸漬時間 (時間)	RW	SW	RA	SA
0.5	0.3	1.0	1.0	2.4
1	1.0	0.3	0.3	0.3
4	1.1	1.1	1.8	1.9
24	0.4	1.8	1.8	3.1
120	0.3	0.1	1.8	3.0

RW, 生骨を浸漬した水; SW, 蒸骨を浸漬した水; RA, 生骨を浸漬した4%酢酸溶液; SA, 蒸骨を浸漬した4%酢酸溶液

骨中のタンパク質が酸によって変性するとともに、酵素により分解が生じていることも推定される。

無機成分をみると、カルシウム、リン、マグネシウムは、浸漬初期に急激に減少し、その後も120時間後まで減少した(図4)。生骨よりも加熱骨の方が無機成分の含有量が多く、酢酸処理前に骨を加熱することは、無機成分を溶出しにくくするといえる。

酢酸処理により骨から無機成分が溶出したので、骨アパタイトの結晶性(図5)をみると、無処理骨でみられたアパタイトのピークが消失し、 $2\theta=20^\circ$ 付近に非晶質を示す部分が出現するなど、結晶性が変化していた。

骨の無機成分は、リン酸カルシウムが主要成分であり、この大部分はヒドロキシアパタイトの結晶である(Arnaud and Sanchez 1990)といわれる。しかし、骨を酢酸溶液に浸漬したときに4時間までは骨アパタイトの結晶性にほとんど変化がみられなかったが、カルシウムやリンは40~60%溶出していたことから、マ

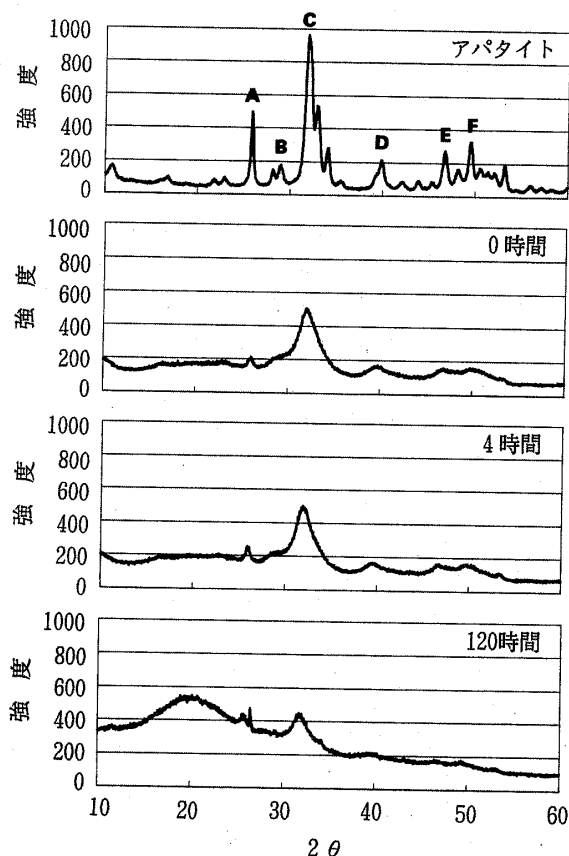


図5. 酢酸溶液に浸漬した魚骨のX線回折図

アジの骨には、アパタイトの結晶になっていないリン酸カルシウムが存在することが推察される。Posnerら(Harper and Posner 1966; Termine and Posner 1966; Termine *et al.* 1967; Termine and Posner 1967)は、ウシや家兎骨には無構造非結晶性のリン酸カルシウムと結晶性のアパタイトが存在することを述べている。

魚骨の調理による軟化

骨の酢漬処理による軟化は、骨中でアパタイト結晶に関与していないリン酸カルシウムの溶出に続いて、結晶性アパタイトの崩壊と溶出が起こり、それに伴い骨組織が粗構造化したことによると推察する（下坂 2000）。

畑江ら（1990）は、酢漬処理による軟骨の軟化機構を知るためにサケ鼻軟骨を酢漬にして実験を行っている。サケ鼻軟骨を 4% 酢酸溶液に浸漬すると、短時間に軟化し、水分、粗タンパク質量は、ほとんど変化せず、脂質、糖質、灰分量は減少した。粗タンパク質の約 50% を占めるコラーゲンは、酢漬処理による量的変化がほとんどみられなかった。クジラ鼻軟骨のコラーゲンには酸可溶性のものはほとんど存在しない（久保田 1970）といわれ、サケ鼻軟骨も同様であった。しかし、その後の研究で、サケ鼻軟骨を酢漬処理すると、コラーゲンに定性的変化が起こることが報告されている（Ohnuma *et al.* 1992）。

糖質の減少は、大部分がムコ多糖の減少によるものであり、灰分の減少はカルシウム以外の成分も関与していると考えられる。軟骨は硬骨に比べると、灰分中のカルシウム量が少ない。

畑江らは、サケ鼻軟骨の軟化機構について、酢漬処理によりマトリックスの pH は短時間に低下し、水素イオンによって架橋にあずかっていたカルシウムイオンが脱離される。その結果、軟骨の構造にゆるみが生じ、さらに水素イオンが非共有部分をアタックしてプロテオグリカンモノマーを脱離させ、軟骨の粗構造化が起こると推察している。

4. 加熱処理

甘露煮、酢煮などは、魚を溶液中で加熱することにより骨まで食べられるようにしたものである。

1) 水 煮

一般に硬骨魚類の骨は硬く、調理で行っている程度の短時間加熱では容易に食べることができない。しかし加圧加熱処理を施した骨は、軟化して肉とともに食べられるようになる。サケの骨を適度な硬さにするには、表 2 のような加熱が必要であり（野中 1978）、一般的な家庭用の圧力鍋では約 124°C まで加熱ができる。

マアジの骨を水中で加圧加熱すると、加熱時間が長

表 2. サケの骨の軟化させるに
要する温度と時間

温度 (°C)	時間 (分)
108	70~90
115	40~60
120	20~25

くなるにつれて骨は軟化し、タンパク質が溶出した。しかし、カルシウム、リンなどの無機成分はほとんど溶出しなかった（下坂ら 1999, Shimosaka 1999）。

缶詰製造工程における加圧加熱と同様の処理を施したサバ椎骨では、加熱により椎骨の骨梁がくずれ、骨基質のコラーゲン繊維の融合が著しく、骨小腔は不明瞭となるなど、骨基質におけるコラーゲン繊維のゼラチン化がみられた（八木 1977）。さらに、加圧加熱によりカルシウムがコラーゲン基質から離れた状態になり、X 線写真により骨基質にカルシウムが多量に沈着していることが確認されている（八木 1977）。これらのことから、水中で加圧加熱した骨の軟化は、骨基質のコラーゲン繊維のゼラチン化とコラーゲン繊維からカルシウムが遊離することによると推察される。

太田（1981）は、サケ、マス、コイなどは缶詰にすると骨が軟化し、タイやタラは硬いと述べ、タンパク質の多い骨ほど軟化しやすいとしている。さらに、缶詰で軟化する骨は灰分が 50% 以下のもので、それ以上のものは軟化しない（野中 1978）ともいわれる。

2) 甘露煮、鯉こく

マアジを甘露煮の要領で加熱処理して、加熱時間の違いによる食味を比較すると、長時間加熱した方が骨は軟化していた（下坂 2000）。機器測定による魚肉と骨の硬さ（図 6）をみると、魚肉は加熱による変化はみられず、骨は加熱時間が長くなるにつれて軟化した。このように加熱処理によって骨は軟化することが認められた。

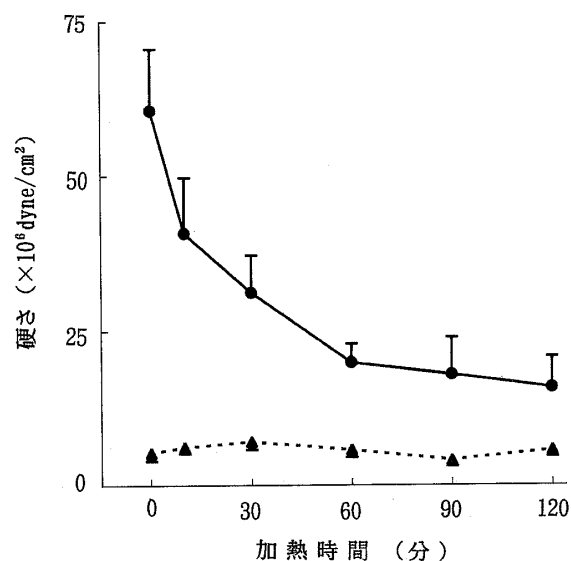


図 6. マアジの加熱処理による魚肉と骨の硬さの変化

▲, 魚肉; ●, 骨

ニジマスを調味液中で加熱したときにも、骨は軟化し、7時間後には神経棘、あばら骨がもろくなり、ほとんど脊椎骨には接着しなくなった(下村ら1994)。そのさいコラーゲンの溶出量は、加熱時間が長くなるにつれて増加した。カルシウムは加熱初期に溶出したが、その後は増加しなかったことから、溶出したカルシウムは肉その他から溶出したもので、骨の軟化とは対応していないものと考えられた。

Ishikawa ら (1987, 1989, 1990) は、サバ骨は加熱により軟化するが、灰分はほとんど溶出せず、骨の軟化は骨から有機物が溶出することと関係があると述べており、コラーゲンの溶出が骨の軟化に影響していると考えられる。

鯉を調味液中で長時間加熱して骨ごと食べる鯉こくでは、鯉を長時間加熱することにより、魚肉は硬く、うろこ骨は軟らかくなる(下村ら1993)。塩川ら(1972)は、鯉の鱗、皮、骨、筋肉を数種の調味液中で加熱すると、各部位からコラーゲンが溶出すること、骨のみを数種の調味液中で加熱すると、食酢を添加した液中で加熱した骨から最もコラーゲンが溶出することを報告している。骨の結合組織には、多量のコラーゲンが含まれており、高温で加熱を続けると分子間架橋の崩壊、ペプチド結合の部分的な加水分解が起こり、変性コラーゲンであるゼラチンに変化する。ゼラチン化には加熱液が酸性溶液において大きいといわれている。

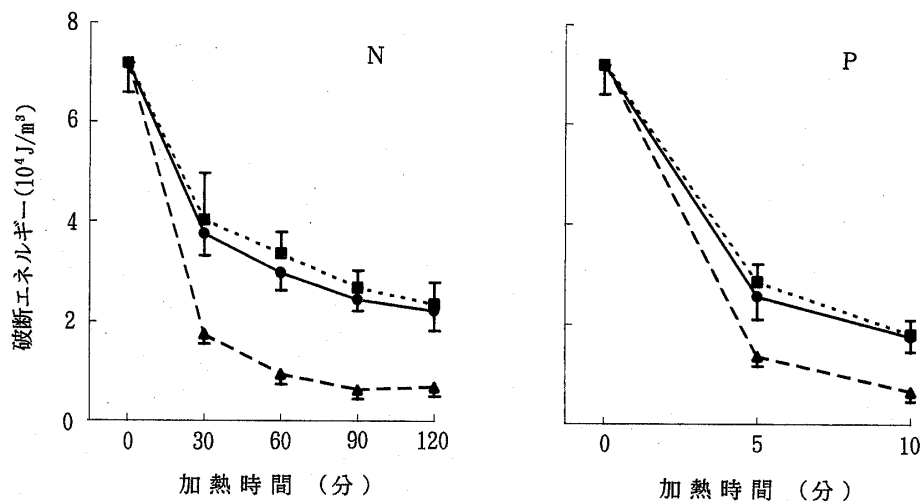


図7. マアジ骨の加熱処理による破断エネルギーの変化

N, 常圧加熱; P, 加圧加熱; ▲, 1% 酢酸溶液; ■, 茶煎汁; ●, 水

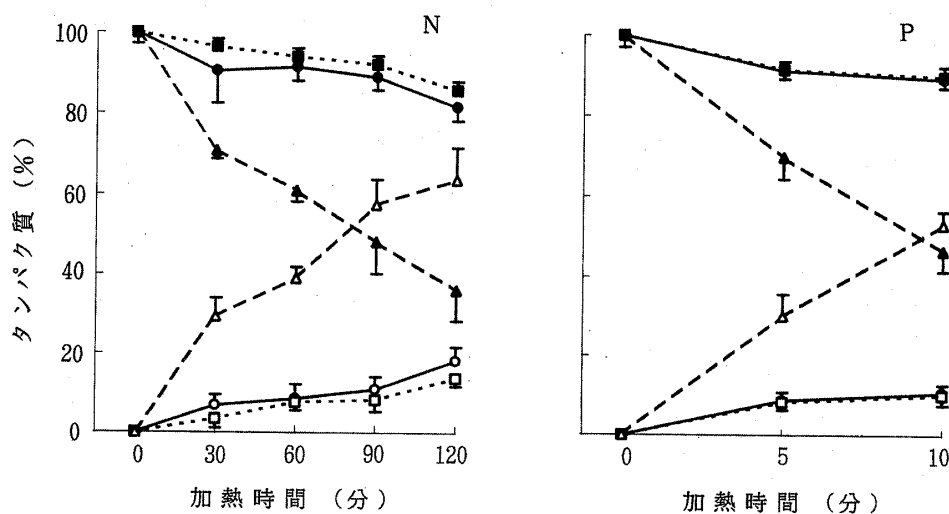


図8. マアジ骨の加熱処理によるタンパク質の変化

N, 常圧加熱; P, 加圧加熱; ▲, ■, ●, 骨; △, □, ○, 水溶液; ▲, △, 1% 酢酸溶液; ■, □, 茶煎汁; ●, ○, 水

魚骨の調理による軟化

3) 酢煮および茶煎汁中での加熱

魚の酢煮は、酢を加えた煮汁中で魚を加熱した煮物で、骨まで軟らかくなる調理法である。骨の軟化機構を知るために、骨のみを取り出し、酸性溶液中で加熱したときの骨の物性と成分の変化を調べた。また、小魚を茶煎汁中で煮ると骨が軟らかくなり、生臭いにおいが消えるといわれ、寒鰯などの焼干魚や、鮎、鰯などの小魚を茶煎汁で煮ることが調理書（日本女子大学食物学教室 1984）に記されており、アジ、タラなどの骨を茶煎汁中で加熱すると砕けやすくなることが報告（畑江ら 1980）されている。そこで茶煎汁中で加熱したマアジの骨についても検討した。対照として水中加熱も行った。

マアジの骨を 1% 酢酸溶液、茶煎汁、水中で加熱したときの骨の硬さ（図 7）をみると、常圧・加圧加熱ともに、加熱時間が長くなるにつれて軟化し、とくに 1% 酢酸溶液中で加熱した魚骨は、軟化の割合が大きかった。渡辺ら（1985）は、マサバの骨を酢酸溶液中で加熱し、酢酸濃度が 1% の時 2.6 倍、2% の時 3.4 倍、3% の時 3.9 倍の軟化が促進されることを報告している。

小魚を茶煎汁中で煮ると骨が軟らかくなるといわれているが、水中よりも茶煎汁中で加熱した方がやや硬くなった。畑江ら（1980）は、魚骨を水中および茶煎汁から分離したカテキン水溶液中で加熱したとき、硬さの値は後者の方が高くなったと報告し、茶煎汁中で加熱した魚骨が軟らかくなったように感じるの、硬さは硬いが一度歯でつぶすと砕けやすくなったため

であろうと述べている。加熱中に魚骨のタンパク質にカテキンが何らかの作用を及ぼし、硬くて、且つ砕けやすくなり、軟らかく感じるようにしているのではないかと推察される。

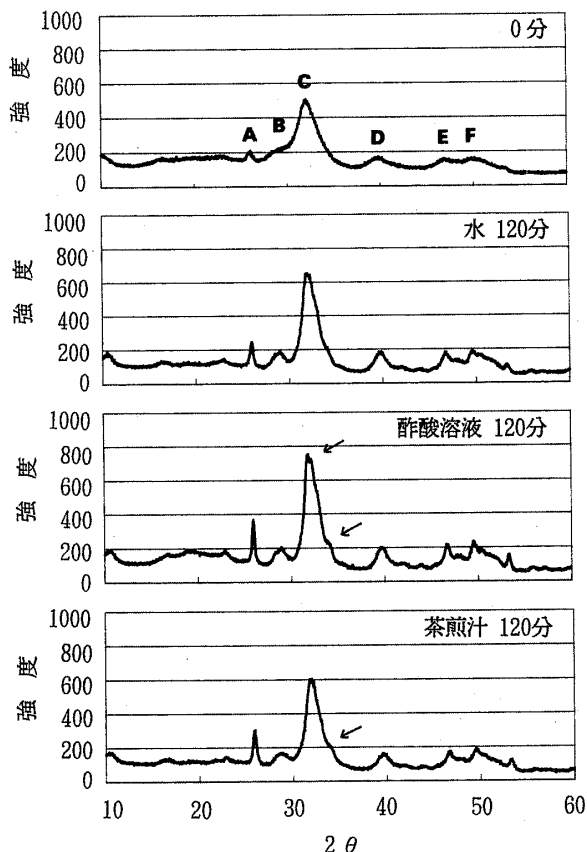


図 10. 水溶液中で加熱した魚骨の X 線回折図

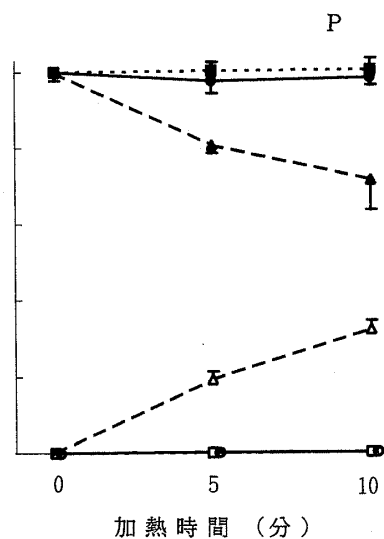
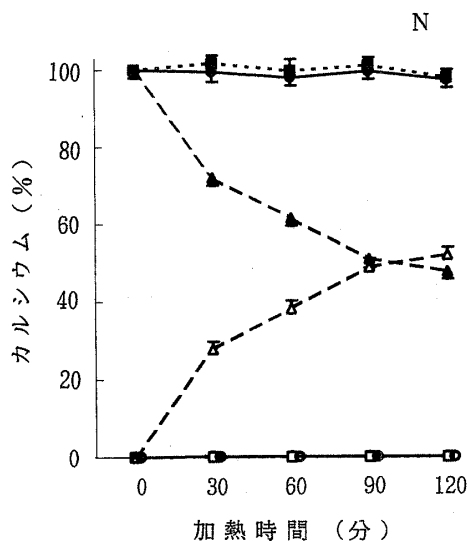


図 9. マアジ骨の加熱処理によるカルシウムの変化

N, 常圧加熱; P, 加圧加熱; ▲, ■, ●, 骨; △, □, ○, 水溶液; ▲, △, 1% 酢酸溶液; ■, □, 茶煎汁; ●, ○, 水

溶液中で加熱した骨の粗タンパク質量(図8)をみると、常圧・加圧加熱ともに、いずれの加熱溶液においても加熱時間が長くなるにつれて減少し、とくに1%酢酸溶液中で加熱した骨は減少の割合が大きかった。骨を酢酸溶液に浸漬するだけではタンパク質は溶出しない(Shimosaka *et al.* 1998)が、加熱することにより溶出した。マアジの骨を加熱したときに溶出した粗タンパク質の大部分は、コラーゲンであった(下坂2000)。元廣(1987)、土屋(1959)は、魚のコラーゲンは、酸に対する抵抗性が少なく、比較的緩徐な加熱によりゼラチン化しやすいと述べている。また、杉田ら(1977)は、食品中コラーゲンは、水中加熱時のpHが低く、温度が高く、時間が長いほど、溶出量が増大するとしている。

骨を溶液中で加熱したときのカルシウム量(図9)をみると、1%酢酸溶液中で加熱した骨は、加熱時間が長くなるにつれて減少したが、茶煎汁および水中で加熱した骨は、ほとんど変化がなく、これは常圧・加圧加熱ともに同様であった。骨アパタイトの結晶性(図10)をみると、加熱することにより、ピークCの強度が高くなり、矢印で示した部分にショルダーがみられるようになるなど結晶化が進み、純粋なハイドロキシアパタイトのパターンに近似した。これは、加熱によりコラーゲンが溶出すること、骨アパタイトの結晶に再配列が起こることが要因であると考えられる(下坂2000)。

これらのことから、加熱処理でみられる骨の軟化は、

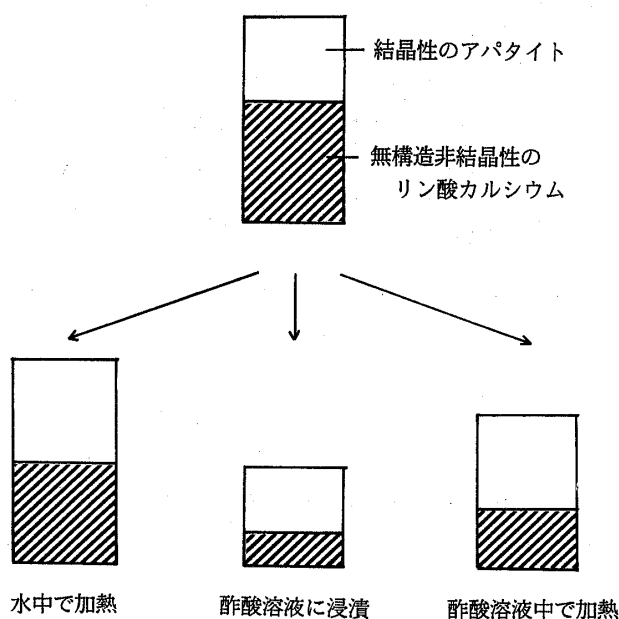


図11. 骨中の結晶性アパタイトと無構造非結晶性のリン酸カルシウムについての推察図

骨の有機基質の主体をなすコラーゲンの一部が変性することで無機質を沈着させていた支持体がゆるみ、組織が変化することが主要因であると考えられる。結晶していないリン酸カルシウムが加熱中にアパタイトに凝集して結晶化が進むと推論(下坂2000)した。

無機成分および骨アパタイトの結晶性の変化から、骨中のリン酸カルシウムの挙動について推察した(図11)。マアジの骨には、結晶性のアパタイトと無構造非結晶性のリン酸カルシウムが存在し、水中で加熱すると、カルシウムは骨中から溶出しないが、無構造のリン酸カルシウムがアパタイト結晶の成長に関与しアパタイトの結晶化が進行すると考える。酢酸溶液に浸漬すると、無構造のリン酸カルシウムからカルシウムが溶出し、その後結晶性のアパタイトからカルシウムが溶出してカルシウム量は減少しアパタイトの結晶性が低下する。酢酸溶液中で加熱すると、無構造のリン酸カルシウムから一部カルシウムが溶出し、一部はアパタイト結晶の成長に関与しアパタイトの結晶化は進行すると推定した(下坂2000)。

5. おわりに

調理による骨の軟化と成分との関係を知ることは、伝統的な調理・加工法の本質を明らかにするだけでなく、これらの調理・加工食品としての機能性向上の点からも期待されることである。古くから伝承されている魚料理は、保存のほかに健康維持の目的で現代に継承されていることも十分に考えられることであり、これらは現代人の健康の増進、維持に役立つと考える。

文 献

- Arnaud, C. D., and Sanchez, S. D. (1990) The role of calcium in osteoporosis, *Annu. Rev. Nutr.*, **10**, 397-414
- Baylink, D., Stauffer, M., Wergedal, J., and Rich, C. (1970) Formation, mineralization, and resorption of bone in vitamin D-deficient rats, *Clin. Invest.*, **49**, 1122-1134
- 土井 勝(1978)『日本料理全書 上』, 日本放送出版協会, 東京, 44
- 古沢典夫ら編(1985)『聞き書 岩手の食事』, 農山漁村文化協会, 東京, 257
- Harper, R. A., and Posner, A. S. (1966) Measurement of non-crystalline calcium phosphate in bone mineral, *Proc. Soc. exp. Biol. Med.*, **122**, 137-142
- 畑江敬子, 佐藤辰江, 吉松藤子(1980)煮魚の骨の軟化とにおいにおよぼす茶煎汁の影響, 家政誌, **31**, 88-93
- 畑江敬子, 大沼葉子, 島田淳子(1990)サケ鼻軟骨のテクスチャーに及ぼす食酢浸漬の影響, 日食工誌, **37**, 505-510
- Ishikawa, M., Mori, S., Watanabe, H., and Sakai, Y. (1987) Softening of fish bone. I. Relation between

魚骨の調理による軟化

- softening rate and solubilization rate of organic matter from fish bone, *J. Food Proc. and Pres.*, **11**, 277-287
- Ishikawa, M., Mori, S., Watanabe, H., and Sakai, Y. (1989) Softening of fish bone. II. Effect of acetic acid on softening rate and solubilization rate of organic matter from fish bone, *J. Food Proc. and Pres.*, **13**, 123-132
- Ishikawa, M., Katou, M., Mihori, T., Watanabe, H., and Sakai, Y. (1990) Effect of vapor pressure on the rate of softening of fish bone by super-heated steam cooking, *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **56**, 1687-1691
- John, J. B. A. and Svein, U.T. (1994) Diet and vitamin D: A review with an emphasis on human function, *J. Nutr. Biochem.*, **5**, 58-65
- 神田三亀男ら編 (1987) 『聞き書 広島 of 食事』, 農山漁村文化協会, 東京, 96
- 木南英紀 (1995) 『骨形成と骨吸収及びそれらの調節因子 1 巻』 (須田立雄編), 廣川書店, 東京, 128
- 久保田 穰, 内田直行, 木村 茂 (1970) 鯨コラーゲンの組織の違いによる比較研究, 日水誌, **36**, 1242-1245
- 松原 喜代松, 落合 明, 岩井 保 (1991) 『魚類学 (上)』, 恒星社厚生閣, 東京, 36
- 元廣輝重 (1987) 『水産利用原料』 (野中順三九編), 恒星社厚生閣, 東京, 283
- 日本女子大学食物学教室 (編) (1984) 『理論実際 調理科学』, 朝倉書店, 東京, 210
- 野中順三九 (1978) 『水産食品学』, 恒星社厚生閣, 東京, 251
- Norman, A. W. (1985) The vitamin D endocrine system, *Physiologist*, **28**, 219-232
- Ohnuma, Y., Hatae, K., and Shimada, A. (1992) Effects of curing on morphological and thermal properties of salmon-nose cartilage as a vinegared dish in Japan, *J. Food Biochem.*, **16**, 31-41
- 及川桂子 (1995) ラットの骨重量および骨密度に及ぼす「さけ中骨」の効果, 日本家政学会第 47 回大会講演要旨集, 116
- 太田 静行 (1981) 魚の骨, *New Food Industry*, **23**, 46-53
- 乙坂ひで (1994) 『東北・北海道の郷土料理』, ナカニシヤ出版, 京都, 162
- 下村道子, 松本重一郎 (1985) しめさば処理における魚肉の物性とタンパク質の変化, 日水誌, **51**, 583-591
- 下村道子, 鈴木和江 (1993) 鯉こくのテクスチャーにおよぼす清酒の影響, 日調科誌, **26**, 290-298
- 下村道子, 松政美香 (1994) ニジマスの甘露煮における素焼きの効果, 家政誌, **45**, 295-302
- Shimosaka, C., Shimomura, M., and Terai, M. (1996) Changes in the physical properties and composition of fish bone during cooking by heating under normal pressure, *J. Home Econ. Jpn.*, **47**, 1213-1218
- 下坂智恵, 村木路子, 江原貴子, 下村道子 (1997) マリネの魚骨の硬さと成分変化におよぼす揚げ魚の温度の影響, 家政誌, **48**, 963-970
- Shimosaka, C., Shimomura, M., and Terai, M. (1998) Changes in the physical properties and Composition of fish bone cured in an acetic acid solution, *J. Home Econ. Jpn.*, **49**, 873-879
- 下坂智恵, 下村道子, 寺井 稔 (1999) 魚骨の酸溶液および茶煎汁中の加熱による物性と成分の変化, 家政誌, **50**, 1021-1028
- Shimosaka, C. (1999) Relationship between chemical composition and crystalline structure in fish bone during cooking, *J. Clin. Biochem. Nutr.*, **26**, 173-182
- 下坂智恵 (2000) 『調理による魚骨の軟化機構に関する研究』, 学位論文
- 塩川ふみ, 白水喜美子, 玉川隆子, 中橋絹代, 手塚邦子 (1972) 鯉こくの調理学的研究, 実践女子大学紀要, **9**, 33-39
- 杉田浩一, 白井邦郎, 和田敬三, 川村 亮 (1977) 食品中コラーゲンの加熱による変化, 日食工誌, **24**, 311-315
- Termine, J. D., and Posner, A. S. (1966) Infrared analysis of rat bone: age dependency of amorphous and crystalline mineral fractions, *Science, N. Y.*, **153**, 1523-1525
- Termine, J. D., Wuthier, R. E., and Posner, A. S. (1967) Amorphous-crystalline mineral changes during endochondral and periosteal bone formation, *Proc. Soc. exp. Biol. Med.*, **125**, 4-9
- Terrmine, J. D., and Posner, A. S. (1967) Amorphous/crystalline interrelationships in bone mineral, *Calc. Tiss. Res.*, **1**, 8-23
- Tezuka, K., Tezuka, Y., Maejima, A., Sato, T., Nemoto, K., Kamioka, H., Hakeda, Y., and Kumegawa, M. (1994) Molecular cloning of a possible cysteine proteinase predominantly expressed in osteoclasts, *J. Biol. Chem.*, **269**, 1106-1109
- 土屋靖彦 (1959) 水産動物の支持組織の化学, 日水誌, **24**, 865-874
- 渡辺尚彦, 武輪正彦, 高井陸雄, 酒井愿夫 (1985) 魚の骨のクッキングによる軟化速度, 日水誌, **51**, 2047-2050
- 八木恭子 (1977) 缶詰食品の組織学的研究, 家政誌, **28**, 458-462
- 吉岡武也, 木幡知子, 浜田晋吾, 木村郁夫, 江澤郁子 (1994) 骨粗鬆症モデルラットにおける魚骨由来カルシウムの栄養効果, 日本家政学会第 46 回大会講演要旨集, 138