

食品鮮度に関する力学的考察（第2報）

足立晃太郎*

秋山伸子**

I 緒 論

最近に至つて、レオロジーの食品学的応用から、食品をレオロジカルに評価しようとする多くの試みがあるが、食品のもつ複雑多岐な性質のために困難を極めている。

前報に於て、数種類の食品に因して物理的な方法に依つて、力学的並びに生理学的見地から食品鮮度について研究した。

その結果、食品の鮮度低下は力学的性質の変化にも現われていることを認めた。その変化は、食品の種類によつて一定ではないが、ヤング率の変化、対象性のずれ具合、永久歪の大小、更に Creep の状態変化等の各々の食品の力学的性質の変化が見られた。そしてその変化は食品の内部組織に物理化学的な変化をきたし、構造組成に変化を生じた結果であろうということ認め、傾向的には日数経過に伴う変化が明らかとなつたことから鮮度鑑定を力学的性質の面からなすことは食品種の特性により、又、統計的推定より不可能ではなからうと思われた。故に本報に於ては、二種の魚類について、十分な測定回数において、食品の鮮度鑑定に於ける力学的性質の意義を究明しようとした。従来、鮮度鑑定において肉眼的な方法、細菌学的方法、化学的方法及び物理的方法等が行なわれているが、いずれの方法にも一長一短がある故に、三の方法を併用することが最も確実であるとされている。

魚肉は腐敗が進行するに従つて、その成分の化学変化が認められるから、特定の腐敗産物の定性、定量により、鮮度を判定する化学的方法が多く実用されている。なお、鮮度の判定基準も設定されている。

ここに於て、前報に引続いて鮮度鑑定の一方法としての弾力性の測定と鮮度との関係を明らかにするために、他の化学的な鑑定方法として通常用いられる水素イオン濃度、並びに揮発性塩基態窒素の定量値を比較の規準として用いた。

II 実験の部

1) 実験試料

鮒：琵琶湖産 } 市販の生貨を活かしたもの。
鯉：琵琶湖産 }

2) 実験方法

検体の調製法は、次に示す各検定法の第一段階の調製法として、鮒及び鯉、共に頭部、皮部、尾部、骨部内臓を除去し、半身は細碎し、乳鉢にて部位を混和均一となした鮒肉及び鯉肉を実験方法に従い秤取する。即ち、

(i) 水素イオン濃度の測定については、5 gr.

(ii) 揮発性塩基態窒素の定量については10gr. を各々100ml 容の Erlenmeyer flask に入れて密栓し、7～10°C の冷蔵庫に放置する。

(iii) 弾力性の測定については、残り半身を頭部から尾部へ背柱に垂直に3.5cm 平方に調製しシャーレに入れ蓋をして7～10°C の冷蔵庫に放置する。24時間毎に一週間、鮮度低下に伴う弾力性の測定と化学的成分変化を次に示す如き検定法により求めた。

なお、各検定法を実施するにあたり必要な場合は第二段階の検体調製を各項で述べる如く行なう。

〔A〕弾力性の測定

〔B〕弾力性の測定と他の化学的検定法とに依る結果との関係について

i) 弾力性の測定と水素イオン濃度との関係。

ii) 弾力性の測定と揮発性塩基態窒素量との関係

〔A〕弾力性の測定について

「鮒」、「鯉」の二試料について、鉛直圧縮荷重した時の歪が日数経過と共にどのような傾向で変化するかを実験的に測定した。食品というものは、非常に複雑な構造をもち、個体差が著しく、個体そのものについても部位により、又筋肉の方向等により非等方的であるから測定される歪についても決して単純なものではない。この点、前報に於ても困難を極めたのであるが測定結果より定量的に弾力性を云々することはできなくとも、測定値の全般的傾向から何らかの結論を得ることは可能であると思われる。被測定物の歪は一般に荷重の大きさと荷重時間の函数であると考えられる。しかし、この二つの要素についての測定を同時に行な

うことは事実上不可能なため、測定にあたっては、荷重時間を一定にして荷重を変化させたときの歪と、それぞれの荷重除去時の歪の回復について測定した。

測定器¹⁾については、本研究室試作の鉛直圧縮荷重法によるものを用いた。感度は200mg歪の読のみに副

尺を用いた。歪の読みは最少1/10mmであり、歪の数値は、検体1cmの鉛直に対するものである。

a) 実験方法

試料の調製は、第一段階に於て調製し7~10°Cの冷蔵庫に放置した検体を取り出し、単位面積あたりの荷

第I表 鮎肉の弾力性測定

荷重量 (gr)	70.7		141.0		212.5		283.0		353.5	
	荷重時	荷重除去時	荷重時	荷重除去時	荷重時	荷重除去時	荷重時	荷重除去時	荷重時	荷重除去時
0	0.132	0.036	0.161	0.069	0.375	0.110	0.426	0.179	0.441	0.244
1	0.382	0.205	0.481	0.347	0.546	0.404	0.567	0.445	0.591	0.472
2	0.368	0.137	0.412	0.256	0.493	0.294	0.529	0.314	0.566	0.340
3	0.276	0.087	0.352	0.145	0.380	0.189	0.355	0.211	0.491	0.247
4	0.310	0.189	0.328	0.214	0.344	0.223	0.347	0.244	0.405	0.252
5	0.356	0.271	0.427	0.310	0.471	0.382	0.593	0.436	0.634	0.503
6	0.431	0.242	0.474	0.334	0.540	0.408	0.687	0.483	0.762	0.649
	424.5		494.5		566.2		636.5		707.0	
0	0.527	0.336	0.546	0.369	0.571	0.381	0.601	0.394	0.609	0.405
1	0.628	0.511	0.670	0.534	0.694	0.540	0.705	0.544	0.713	0.547
2	0.587	0.372	0.618	0.436	0.669	0.496	0.682	0.528	0.685	0.520
3	0.542	0.290	0.555	0.334	0.569	0.373	0.564	0.395	0.573	0.412
4	0.446	0.275	0.513	0.371	0.602	0.487	0.633	0.516	0.685	0.541
5	0.708	0.576	0.727	0.612	0.743	0.643	0.759	0.664	0.780	0.672
6	0.769	0.740	0.786	0.725	0.814	0.760	0.823	0.766	0.831	0.769

重を70.7gr/cm²から70.7gr/cm²まで70.7gr/cm²の等間隔で荷重を増加した時の歪及びそれぞれの荷重除去時の回復度について測定した。測定間隔は毎5min.である。

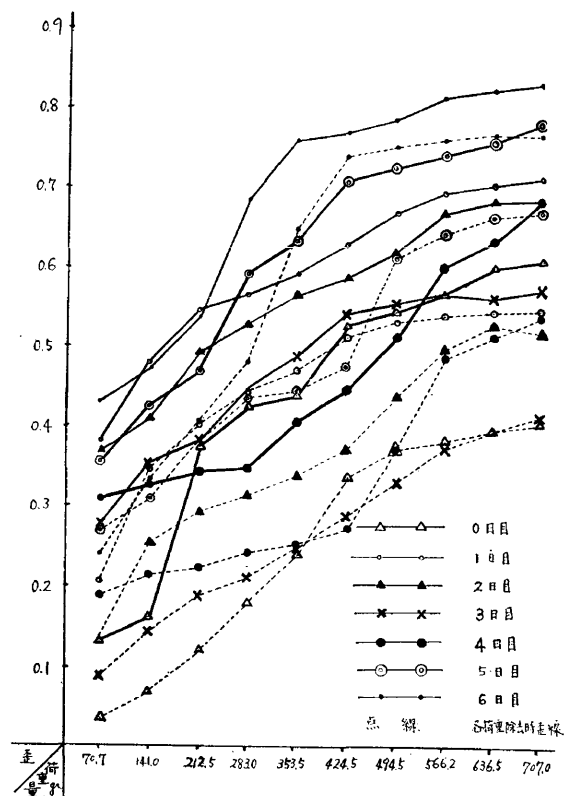
b) 実験結果及び考察

イ) 鮎肉の弾力性の変化

死後直ちに鮎肉の調製を行ない、7~10°Cの冷蔵庫に放置し、24時間毎に弾力性を測定した結果は第I表第I図に示すとおりである。即ち、死後直後のものは荷重時における歪が小さく、荷重を除去した後の歪の回復度は大である。24時間後には荷重時の歪は大なるが、しかし、荷重除去後の回復度からみれば小さい。48時間以後の回復度が最も大となる。以後3、4日と歪の低下及びそれぞれの歪の回復度の低下がみられる。しかし、5、6日と再び荷重時の歪は増加している。日数経過ともなつて荷重時における歪のカーブは大となる。つまり、小荷重においても変化量大というわけである。

日数経過とともに低下した歪が、再び上昇し、その歪に対する回復度が最少となつた時(弾力性が小なる時)かなり鮮度は低下したものであると思われる。

鮎肉の弾力性測定



ロ) 鯉肉の弾力性変化
 鮪肉と同様に放置した鯉肉について、弾力性を測定

した結果は、第Ⅱ表、第Ⅱ図に示す如くである。
 即ち、死後直後のものの荷重時における歪は最少で

第Ⅱ表 鯉肉の弾力性測定

荷重量 (gr)	70.7		141.0		212.5		283.0		353.5	
	荷重時	荷重除去時	荷重時	荷重除去時	荷重時	荷重除去時	荷重時	荷重除去時	荷重時	荷重除去時
0	0.163	0.060	0.191	0.087	0.237	0.098	0.253	0.131	0.337	0.172
1	0.285	0.136	0.346	0.218	0.469	0.267	0.561	0.426	0.608	0.444
2	0.266	0.132	0.347	0.148	0.405	0.166	0.418	0.172	0.494	0.203
3	0.233	0.116	0.256	0.139	0.321	0.177	0.368	0.202	0.534	0.261
4	0.232	0.129	0.322	0.154	0.346	0.205	0.419	0.228	0.441	0.287
5	0.337	0.186	0.382	0.237	0.458	0.246	0.483	0.303	0.531	0.362
6	0.380	0.208	0.406	0.219	0.421	0.268	0.481	0.366	0.614	0.523
	424.5		494.5		566.2		636.5		707.0	
0	0.434	0.226	0.483	0.329	0.516	0.364	0.535	0.381	0.562	0.389
1	0.624	0.473	0.670	0.521	0.692	0.528	0.697	0.529	0.735	0.531
2	0.612	0.314	0.655	0.392	0.679	0.423	0.687	0.469	0.691	0.485
3	0.590	0.386	0.608	0.469	0.632	0.481	0.687	0.484	0.653	0.492
4	0.504	0.320	0.508	0.412	0.519	0.428	0.533	0.456	0.557	0.464
5	0.559	0.457	0.572	0.481	0.646	0.538	0.721	0.593	0.764	0.611
6	0.692	0.614	0.754	0.630	0.763	0.673	0.786	0.687	0.789	0.702

あり、又歪の回復度も大である。

24時間後の荷重時の歪は最大なるが、歪の回復度は最大ではない。これは自己消化作用が進行しつつあることを示し、保水力も増加しているのではなかろうかと考えられる。

48hr. 後に於いて、荷重時における歪は、やや低下しているが、歪の回復度は最大となる。

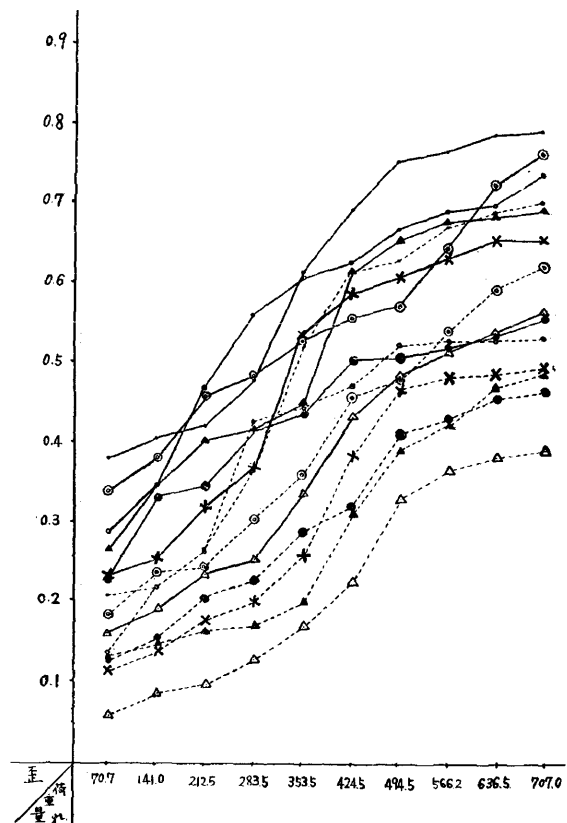
故に、この点が自己消化作用の終点とみなされるのではないと思われる。つまり、筋肉が水分を吸収し膨張して丁度テマリに水を入れたような状態となり、弾力性を増したものと考えられる。

以後3、4日と日数経過とともに、歪の低下及びそれぞれの歪の回復度の低下がみられる。しかし、5、6日と再び荷重時の歪は増加している。日数経過にともなつて、荷重時における歪のカーブは大となる。つまり、小荷重においても変化量大というわけである。日数経過とともに低下した歪が、再び上昇し、その歪に対する回復度が最少となつた時(弾力性が小なる時)かなり鮮度は低下したものであると思われる。

死後48hr. までを自己消化作用の旺盛な時とするならば死後3、4日は腐敗作用への前兆ということもできるであろう。

つまり、死後48hr. まで保水力を保つてきたが、死

鯉肉の弾力性測定



後3, 4日にて筋肉蛋白の凝固等により保水力を減少し, 死後5, 6日以後にて腐敗作用が行なわれるのではあるまいか。

このことは多少の相異はあつても鰯肉についてもいえると思う。

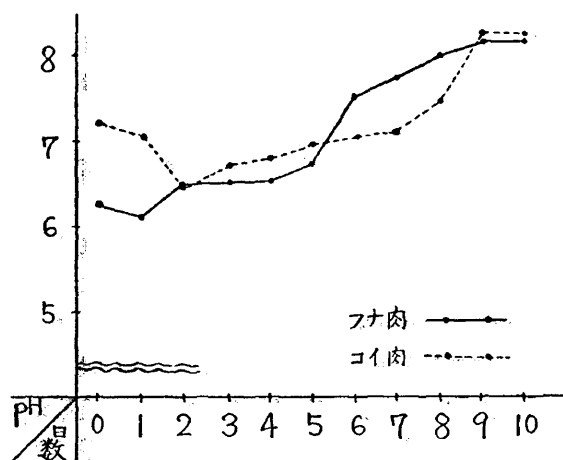
〔B〕弾力性の測定と他の化学的検定法による測定結果との関係。

i) 弾力性の測定と水素イオン濃度との関係

第Ⅲ表 水素イオン濃度の測定

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
鰯	6.22	6.10	6.47	6.52	6.53	6.71	7.49	7.75	8.02	8.11	8.11	8.21	8.21
鯉	7.18	7.05	6.46	6.67	6.82	6.91	7.03	7.12	7.44	8.19	8.20	8.24	8.25

水素イオン濃度



一般に魚肉類の自己消化及び腐敗速度は魚の種類, 活動性の大小, 死後貯蔵中の温度等によつても異なるが極く新鮮な魚肉の水素イオン濃度はpH=7.0附近であるが, 時間経過に伴つてpH値は減少する。即ち一般に生存中の動物肉は, ほぼ中性であるがこれは筋肉が自己消化を起す際に, 乳酸, 磷酸を生じ, そのために筋肉は次第に酸性を呈するが, しかし自己消化が進み乳酸が増加しても, 蛋白質とその分解産物の両性反応により, 水素イオン濃度を強酸に至らしめることはない。

自己消化により酸性となつたものも, 酵素作用及び細菌の繁殖により, アンモニア等を生じ, 再び中性に傾き, ついにアルカリ性となる。

このように腐敗が進行するに従い塩基性物質が生成されるから, 漸次アルカリ性に変化して行くが, 筋肉質のような比較的大きい緩衝能を有している物質ではかなり多量の塩基性物質が生成されなければ殆んどpH値に影響しない。

従つて, 一度下降したpH値が, 再び上昇, 増加の

水素イオン濃度は検体を毎測定時間に取り出し, 約5倍容の蒸留水を加え, 時々攪拌或は振とうして, 30min. 間の後その上澄液を用いるが, 遠心分離した清澄液についてガラス電極法により測定した。

b) 実験結果及び考察

測定結果は, 第Ⅲ表及び第Ⅲ図に示すとおりである。

一路をたどる時, つまり, 筋肉自身のpH値を示すようになった時には, 既に腐敗がかなり進行したものと考えられる。

自己消化は魚肉の水素イオン濃度によつても, その速度を異にするが, 大谷によれば, 一般にpH=4.5附近で自己消化が最も旺盛で, 中性に傾くに従つて鮮度は低下し, pH=6.2~6.3を以つて腐敗初期と認めている。

又, 水素イオン濃度が7.2~8.2を示す時, 最も旺盛に蛋白質が分解されることは周知の通りである。

(i) 鰯肉の場合: 死後24時間に於て水素イオン濃度が酸性に進み, 即ち自己消化作用が主として進行している間であり, 漸次中性に傾き始めた頃から, 自己消化作用と併行して, 腐敗作用も進行しはじめたと考えられる。

前述のように, 比較的大なる緩衝能をもつ筋肉質はかなり多量の塩基性物質が生成されなければ, 殆んどpH値に影響しないため, 一度酸性を増した後アルカリ性を増す24時間以降には, かなり腐敗作用が進行したものと見られる。しかし, 本実験結果では, pH=6.2~6.3をもつて腐敗初期とする大谷説に合致をみなかった。

(ii) 鯉肉の場合: 死後48時間後まで, 自己消化作用が主に行なわれたと認められ, その後漸次アルカリ性に変化している。鯉肉については, 既に死後直後からpH=7.18を示しており, 自己消化の終点又は, 腐敗作用の初期だとみられるpH=6.2~6.3に合致しなかった。がしかし, 魚の種類及び活動性の大小, 疲労度その他等により一概にいえないであろうと考えられる。

特に魚類の如く個体差の著しい, 又個体自身の部位による差異の大きい試料のためと試料採取の不充分さ

と実験誤差を認め、両者を通じて、先ず酸性に進み、その間主に自己消化作用が行なわれていること、及び再びアルカリ性へと変化する時は、既に自己消化作用と並行して腐敗作用も進行していることが、多くの報告³⁻⁷⁾と同様の曲線を描くことにより確認し得た。

ii) 弾力性の測定と揮発性塩基態窒素量との関係
魚介類の腐敗に伴って生成する揮発性塩基には、種々のアミン類及びアンモニアを含有するがこれら揮発

性塩基を一括して測定を行なう。

a) 実験方法

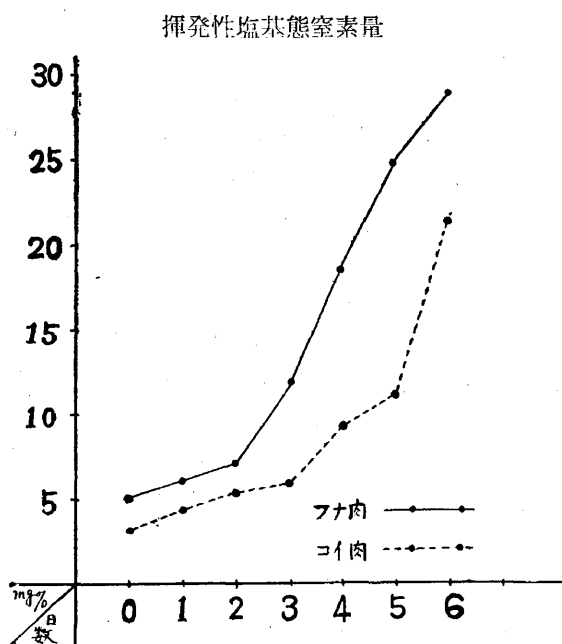
V. B. -N量の定量については、通気法(A. O. A. C. 改良法)を用いる。

b) 実験結果及び考察

揮発性塩基態窒素の定量により、第IV表及び第IV図の如き結果を得た。

第IV表 揮発性塩基態窒素の定量

日数	0	1	2	3	4	5	6
鮪	5,064mg%	6,129	6,902	11,736	18,293	24,657	28,741
鯉	3,902	4,215	5,360	5,794	9,284	12,371	21,362



揮発性塩基態窒素は死後直後の試料にも存在しているから、自己消化により生成される物質ともいえる。

即ち、腐敗の進行と共に筋肉中に漸次蓄積されるものであるから、これらの物質が多量存在しているものほど、鮮度の低下した筋肉であることは明確である。

従つて、揮発性塩基態窒素を測定することにより、鮮度低下の程度、即ち、腐敗の進行の過程を知ることができる。故に、その都度同一条件において処理、保存した試料についての定量を行ない、日数との関係について考察した。

揮発性塩基態窒素は、死後直後の筋肉中には極く微量に存在しているのみであるから、わずかの増加によつても鮮度の低下をすることができる。

しかし、その限界量については、いろいろ学者によつて一様ではなく、いまだ確定されていない。Lücke

及び Gerdel,⁸⁾ Glassman 及び Rochwarger⁹⁾ は20mg%が限界であるといい、又、Tillmans 及び Otto,¹⁰⁾ 山村、谷川等¹¹⁾ は30mg%がその限界であるといい、Beatty 及び Gibbons,¹²⁾ 清水,¹³⁾ は5~12mg%が限界であるといっている。

実験結果より、先ず鮪肉、鯉肉について考察すれば死後直後より緩慢にV. B. -N量が増加している間は、自己消化作用が主に進行していると考えられ、それから飛躍的に増加する。前に弾力性測定の頃に於てふれたが、24時間までは、乳酸が分解して、この乳酸が蓄積されて、筋肉蛋白と結合して水を吸収し膨潤する筋肉細胞が膨化し硬直する。つまり、弾力性に富めることを指摘したが、この間、揮発性塩基態窒素量は緩慢に増加する。

故に死直前の貯蔵グリコーゲン量により著しく異なるのでこの点試料について云々する場合、個体差という困難さがあるのである。

III 総 括

既述のように魚類の腐敗は、獣鳥肉と同様自己消化酸化及び微生物の活動によつて惹起されるものと考えられる。

魚類に於てはこれらの作用がはなはだしく速やかに進行する。従つて腐敗しやすいということになるのでその鮮度保持は極めて困難である。このうち自己消化による変化は、一定限度に於てはほぼその作用が平衡状態に達するが、この間細菌の繁殖しやすい状態を作り又それを助成するのである。

このような好条件下に於いて腐敗は一層微生物の繁殖とともに進行する。しかし、各細菌の種類により腐

敗に関与する程度に差があり、また食物の種類の違いによつて、破壊、分解する細菌の種類も異なる。魚類に於ける細菌の種類や数は、その取扱い及び季節的影響によりいろいろで、おそらく魚の種類により異なるであろう。他方、魚体の物理的、化学的性質は、種類、季節、成熟度、年齢、栄養、環境等によつても種々の影響を受ける。腐敗の程度は環境的要因の影響によることが大きい。特に温度に支配されることがその原因をなしている。このように考えてみると、魚類の細菌による腐敗がいかに複雑であるかがわかる。一般に魚類は生鮮のまま直接利用される場合が多く、これらに関する官能検査は重要な部分を占めているものと思われる。

本実験結果については、試料採取の不十分と実験誤差、魚自身の個体差及びその他の不明瞭な原因に依つて実験結果も不明瞭、かつ結論し難い場合もあるが大體次の如く考えられるのである。

弾力性の測定結果から最も抗張力の大きなる死後24時間後に於て、水素イオン濃度については、24時間後或は48hr. 後まで、又、揮発性塩基態窒素に於いては48hr. 或は72時間後までに次の如き筋肉質の内部組織及び化学成分の変化を認めることができた。

一般に死後筋肉中の乳酸を生成するが筋肉 pH 値の変化に影響を与え、硬直の促進等に影響を与える。筋肉中のグリコーゲンが有機リン酸 A. D. P. (Adenosin-diphosphate), A. T. P. (Adenosin-triphosphate) 等の存在のもとで、乳酸に分解してこの乳酸が蓄積され、筋肉蛋白と結合して水を吸収し、膨潤するために筋肉細胞が膨化し硬直するものと思われる。

死後硬直の起るまでに要する時間とその速度は筋肉中のグリコーゲン量に関係しているものと認められる。

弾力性の測定結果から歪が日数経過とともに低下した3、4日に於て、乳酸と塩基性物質の両性反応により漸次増加する水素イオン濃度は1～5日、揮発性塩基態窒素については、3～5日に於いて腐敗作用も進行したものとみられる。

即ち、膨化した蛋白が凝固すると筋肉コロイドの保水力は減少し、逆に水を放出し筋肉蛋白の一部は変性しながら再び筋肉は軟化したとみられる。

又弾力性の測定結果から日数経過と共に低下した歪

が再び上昇し、回復度の小なる5、6日に於いて、揮発性塩基態窒素については急激な増加をみる5、6日に於いて筋肉質は変色し腐敗初期に入ったものと思われる。

日常生活に於いて食用に供する場合は一度、上昇した歪が降下する第2日までが安全と思われる。

今回に於いては、明確なる結論を得ることができなかったが、力学的見地から食品鮮度の鑑定法としての意義は充分うかがわれるものと考えられる。

今後より多くの種類について測定回数を増すことにより、又実験操作の適正化により、方向が決定づけられるものと思う。

又、筋肉組成の季節的な変化等により必ずしも同一の要素として取扱うことは妥当でないと思われる。故にデータの集計に際しても月別又年間平均とすることは意義あるものとなるのではなからうかと考えられる。

参 考 次 献

- 1) 足立, 北村: 食品鮮度に関する力学的考察(第一報)
- 2) 大谷: 水産学会報 5. (1928)
- 3) Cutting, C. L. Rept. Food, Invest. Bd. (Gt. Britain) 39~40. (1939)
- 4) 野口: 日本海区水産研究所報告 No. 5 (1957)
- 5) Reay, G. A. & Shewan, J. M. : Advances in Food Reserch 2. (1949)
- 6) 安藤, 佐久間, 荻野: 日本水産学会誌 8. 1, (1939)
- 7) 天野, 尾藤, 河端: 日本水産学会誌 19. 4, (1953)
- 8) Lücke and Gerder : Z. Untersuch. Lebensmit. 70. 441, (1935)
- 9) Glassman und Rochwarger : Z. Untersch Lebensmit. 58. 585, (1929)
- 10) Tillman und Otto : Z. Untersuch. Nahr. und Genussmit. 47. 25, (1924)
- 11) 山村: 日本水産学会誌 2. 118, (1933)
- 12) 谷川: 水産製造会誌 3. 267, 319, (1933)
- 13) Beatty and Gibbons : J. Biol. Bd. Can 3. 77, (1937)