



Title	網刺し現象の基礎的研究(第1報)：罹網機構の理論的考察と実測による検討
Author(s)	梨本, 勝昭; NASHIMOTO, Katsuaki
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 15(4), 221-233
Issue Date	1965-03
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/23237
Type	departmental bulletin paper
File Information	15(4)_P221-233.pdf



網刺し現象の基礎的研究 (第1報)

罹網機構の理論的考察と実測による検討*

梨本勝昭

(北海道大学水産学部漁具物理学教室)

Fundamental Studies on the Phenomena of Sticks in Gill-Netting (1)

Theoretical consideration and experimental
analysis of sticking phenomena in mesh

Katsuaki NASHIMOTO

Abstract

Several studies concerning gill-nets have been carried out statistically on the sticking of fish in mesh. But few dynamical investigations have been conducted on the problem, especially from the point of view of micro-mechanics.

For the purpose of establishing the direction in resolving the problem, the author analyzed the phenomena theoretically from the data of material dynamics, which were obtained at maximum probability.

In gill net fishing, it seems that fins and gills act to hold the fish in the mesh, but it must be considered that these processes are used only to prevent fish from falling off the net and to help trammeling in the mesh.

Through fundamental consideration, it may be said that the phenomenon of fish sticking in mesh can be accomplished under the conditions in which the fish's body is held at the net mesh by means of the tension of the net thread binding it. From the moment the fish swims into the net-mesh, the phenomena begin to be analyzed dynamically. At this moment, the net-mesh perimeter will be expanded by the fish's body and, simultaneously, the fish-body girth length will be shortened by net contraction. And then, both the tensile stress of the mesh and the contractive stress of the girth may be gradually relaxed. (Cf. Fig. 4.)

Based on the above appreciation, the experiments were carried out on the characteristics of the net and fish-body respectively. Concerning filaments or threads of net, three kinds of material were researched in relation to time elapsed, from short time (1 minute) to a longer time (200 minutes). (Cf. Fig. 6-8.) On the other hand, the bodies of salmon and trout were tested (Cf. Fig. 11-12); and special curves of contraction and stress relaxation were researched as above.

Maxima of tension and elongation for sticking in mesh were decided by the size of fish and the swimming power. Beyond these values, the sticking condition did not exist on account of, perhaps, over size of fish or too small mesh. Tension of the net relaxes and in time reaches the minimum of tension to keep the fish-body in the mesh. Based on this value, the fish-body will fall down from the net. From the results of experiments, it is analyzed that the value of maximum tension

* 昭和38年度10月8日(於小樽)日本水産学会秋季大会で発表

may be equal to 1-2/3 times the weight of the fish-body, and that minimum value may be 1/5-1/10 times that. (Cf. Fig. 13.)

Obviously, the range of above tensions must have serious relations to the selectivity of the gill-net. (Cf. Fig. 14-15.) Furthermore, there are many problems about "Sticking phenomena" such as the friction forces on the contact surface, constriction by contraction, wedge effects on slope surface and etc. In the near future, the author's efforts to resolve these problems will be made on and the results will be noted on successive reports.

緒 言

刺網漁業で漁獲を大きく左右する要因として、網糸材料については網糸の太さ、剛さ、色彩、伸び等が挙げられ、又網地については網目の大きさ、網地の張力、網目の開き具合(縮結)、余剰浮力、波浪と網地の運動等が考えられる。北洋のサケ・マスの刺網についてはこれらの問題のうち、とくに罹網魚の大きさと網目の大きさに関する研究が著しく進んでいるようである。古くは罹網魚と網目の大きさの関係は、Hadson¹⁾(1933)によって研究され、また Farran²⁾(1936)は罹網魚の大きさと胴周囲との関係を求め、刺網の目合について論じている。その後、この研究は Holt³⁾(1957)によって行なわれた網目選択性の研究を契機に急速に進展し、最近に至って McCombie & Fry⁴⁾(1960)、Gulland⁵⁾(1961)等によって現象論的にはほぼ解明されたかに見える。わが国でも石田⁶⁾(1961)、今田⁷⁾(1962)はこの網目選択性に基ずき漁獲されたサケ・マスの体長を論じ、田口⁸⁾(1961)は罹網魚の体重から網目選択性を論じてそれぞれ適正目合の検討を行っており、また三島・山本⁹⁾(1962)等は網目選択性の基準を導き出して魚種毎、時期毎、海域毎にサケ・マスの刺網の適正目合について論じている。さらに最近に至っては、西山・山本¹⁰⁾(1963)等が網糸の材質の違いや縮結の差と罹網魚との関係について、上野¹¹⁾(1964)は網目の伸びと罹網魚の胴周囲との関係について論じてはいるが、これらはいずれも罹網の本質的な機構解明までには深く触れていないようである。このように刺網の目合と罹網の結果的關係については詳しく考究され、統計的にも精細に検討され網目の選択性もほぼ正確に決定できるようになったが、刺網の選択性を決定する要因や、何故選択性曲線が対数正規分布を示すか等を考究解析する段階には至っていないと思われるので筆者は網目の伸びと罹網魚の胴周囲縮みとについて行った上野の考察をさらに展開し、これに時間経過を導入することによって罹網現象機構を力学的に解明せんと試みた。本論に入るに先立って終始御指導を賜った北海道大学水産学部黒木敏郎教授、同学部佐藤修助教授に深く感謝すると共に実験魚について格別の便宜をはかっていただいた本学部長久保達郎教授ならびに北海道道立森養鱒場の関係者にも深甚の謝意を表するものである。

罹網機構の理論的考察

I. 網刺し現象の整理

刺網ではその字の示すように魚を網目に刺させて捕獲するのが普通であって、魚体が大きく網目に刺すだけでは不完全なものや刺さりにくい魚(ヒラメ・カレイ・サメ・マグロ)などの場合、網地に絡ませて捕獲することもある。欧語 Gill-net の語意からエラブタの掛りを漁獲機構の重大要因と考えるものもあるがエラブタやヒレ等の突起物は唯単に刺し現象の後戻り(脱落)を防ぐのに役立つものに過ぎないと筆者は考えたい。少くともサケ・マスやイワシ、ニシン、サバ等の網刺し現象では、魚体が網糸の張力で締められて捕捉されるのが漁獲機構の根本的仕組みであると考えられる。いいかえ

ると、魚の持つ游泳慣性力で網目は伸ばされ、魚は網糸に働く張力で網目に保持されることになる。魚体が網目に保持されている状態を網糸の側と魚体の側とから力学的に分けて見ればつぎのようになる。魚体の締められている力を T_f 、魚体胴囲長の縮み率を C_f とすると締力は胴囲長の縮みの関数として (1) 式で示される。

$$T_f = \phi(C_f) \dots\dots\dots(1)$$

また網糸の張力を T_N 、伸び率を ϵ_N とすると網糸の張力と伸びの関係は一般に (2) 式で示される。

$$T_N = \phi(\epsilon_N) \dots\dots\dots(2)$$

刺網に何も力の掛らない時の網目の周長を G_N 、同じく魚体の胴周長を G_f 、魚の游泳前進力を F_f 、魚体の進行を引きとめる網地の止め力を F_N とすると、刺網でつぎの三つの条件が考えられる。

$$T_f = T_N \text{ or } \phi(C_f) = \phi(\epsilon_N) \dots\dots\dots(3)$$

$$G_N \cdot (1 + \epsilon_N) \equiv G_f \cdot (1 - C_f) \dots\dots\dots(4)$$

$$F_f \leq F_N \dots\dots\dots(5)$$

(3) 式は網糸の張力と魚体が締められている締力とが釣り合っている点を示し、(4) 式は魚体が保持されている網目周長と魚体の周長が常に一致していることを現わしている。また、(5) 式は網糸の張力に伴う魚体の引き止め力が魚体の最大游泳慣性力より常に大きくなければ魚は網目から脱出することになり網刺しが成立しないことを意味している。魚の網目に刺さる現象を材料力学的に把えた網糸

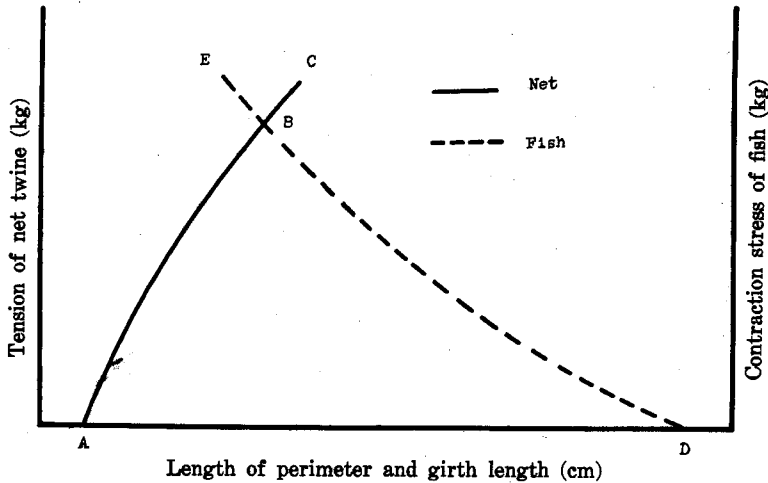


Fig. 1. Stress-strain curves of fish and net
Point B shows the sticking conditions

と魚の関係を Fig. 1 に示す。A 点は張力の掛らない時の網目の周長である。いま網目に魚が入り刺網が進み、張力が増加すると網目は次第に広げられて $\phi(\epsilon_N)$ 曲線に沿って変化する。点 D は何も力の掛らない時の魚の胴周長である。ここで AD の長さは網糸の種類、魚種等によって異なるが、一般に刺網で漁獲される魚の胴周長は網目周長より 8~30% 長いことが網目選択性から判っているの、その最高頻度の関係から求め、一応決めることができる。結局、魚が網目に刺した瞬間には網糸と魚の力学的関係は曲線の交点 B で釣り合っていることになる。この時の条件は、(3) 式の (網糸の張力) = (魚体の締められ力)、(4) 式の (網目の伸ばされた周長) = (魚の締められた胴体周長) である。

II. 網刺し現象解析の過程

現在使用されている網糸材料は完全な弾性体ではなく、網糸材料の種類によって多少の差はあっても幾分塑性的傾向を持つことが知られている。また、魚体も同様に塑性的性質を多分に含むものと考えられる。魚の弾性的性質は三島、山本⁹⁾が指摘しているように魚の種類、魚の部位、ならびに活魚と死魚等では当然変わってくる。Fig. 1 で前に説明したように、網目に魚が刺さり、罹網した瞬間には網糸の張力と魚の締められ力とは釣り合い、かつ広げられた網目周長と締められた魚の胴周長とは等しくなるのであるが、この平衡点は罹網経過時間に伴って釣り合ったまま転移するであろう。この変化を力学的に網糸と魚体と別々に分けて考えてみる。まず網糸について考えると Fig. 2 に示すようになるものと推定される。魚が網目に入り

当初の罹網が極く短時間に行なわれる事を考えると網糸の張力と伸びの関係曲線のうちまず、短時間の試験で得られる線 a_0c_0 の上に釣合い点は落ちるであろう。時間が経過すれば網糸の張力は弛む筈なので、同じ網糸材料で時間 t_1 だけ経過した時の $T \sim \epsilon$ 関係を求めてみると a_1c_1 となり、 t_1 時間後の釣合い点はこの上にずれているであろう。さらに t_2, t_3 の時間経過にしたがって $T \sim \epsilon$ 曲線は a_2c_2, a_3c_3 となり、それぞれの時の釣合い点はこれらの曲線上へと遷移することが予想される。また、魚について

網糸と同様に締められ力と縮みとの関係を求めると Fig. 3 のようになると考えられる。魚が網目に接して入り込み短時間内に刺し現象が完了した状態では締められ力と縮みとの短時間関係曲線 d_0e_0 の上にある筈である。糸で緊縛された魚の胴囲は時間経過に伴って、その締められる力は減少する方向に進むであろう。すなわち、時間経過 t_1, t_2, t_3 に伴って得られる締力～縮み曲線 d_1e_1, d_2e_2, d_3e_3 の上に釣合い点は順次移って行く筈である。網糸の張力と伸び、魚の締力と縮みの両者の時間経過に伴う力学的変化を同じ平面内に併せ置き、網刺し現象を説明し易くまとめたのが Fig. 4 である。網目に魚が罹網した直後には短時間

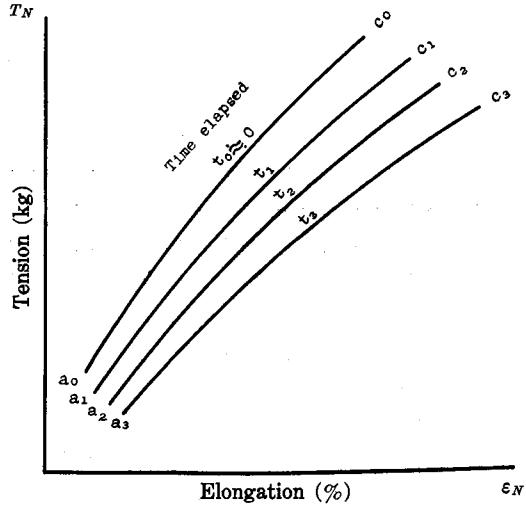


Fig. 2. Relationship between tension and elongation of net twine, relaxing with time

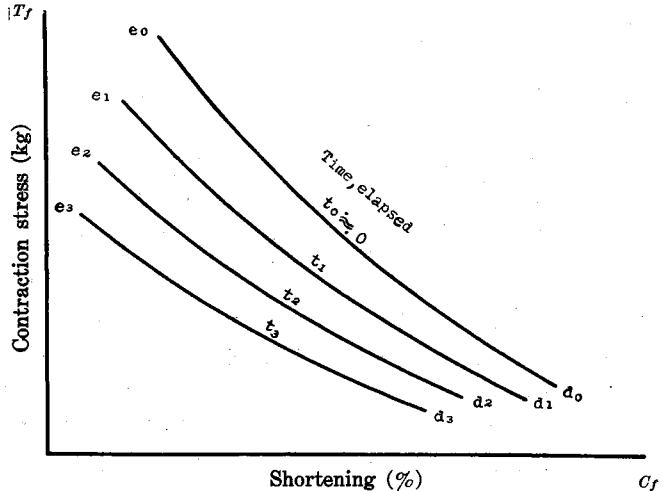


Fig. 3. Relationship between contracting stress and shortening of girth of fish

の網糸張力伸び曲線と短時間の魚体縮力縮み曲線との交点 B_0 で釣合う筈である。揚網が行われるまでには相当時間が経過するものと考えられるので、網糸の張力と魚体の縮力との両者の釣合い点は時間経過 t_1, t_2, t_3, \dots に従って Fig. 2 の $a_1c_1, a_2c_2, a_3c_3, \dots$ と Fig. 3 の $d_1e_1, d_2e_2, d_3e_3, \dots$ とのそれぞれの交点 (Fig. 4 の) B_1, B_2, B_3, \dots と遷移して行く。すなわち魚が網目に刺さってから t_1 時間後には

網糸と魚体とは T_1 の張力 (縮力) 点で釣合い、 t_2 後には T_2, t_3 後には T_3 と次第に弱まる張力 (縮力) 点で釣合っていくことになる。網に魚が掛ってから船に揚げるまでの時間が t_4 なら、魚が T_4 点に相当する縮力から逃避する泳力を持たない限り漁獲される。網刺しが成立する範囲の下限として、このような揚網時の網糸張力が小さ過ぎて抜ける (脱落する) こと等の生じないような最小の張力 T_L が要求されてくる。また一方、網目に対して魚体が大き過ぎる (または魚体に対して網目が小さ過ぎる) 為に魚の最大游泳力を以ってしても魚体が罹網するに充分な程度まで刺し込まない (網目からはづれて網刺しが成立しない) と言った状態の最大張力 T_U が条件の上限として考えられる。結局、網刺しに必要な縮力 (=張力) を T_x , 下限張力を T_L , 上限張力を T_U とすると、網刺しに必要な縮力 (=張力) はつぎのような範囲にあるべきことになる。

$$T_U > T_x > T_L \dots \dots \dots (6)$$

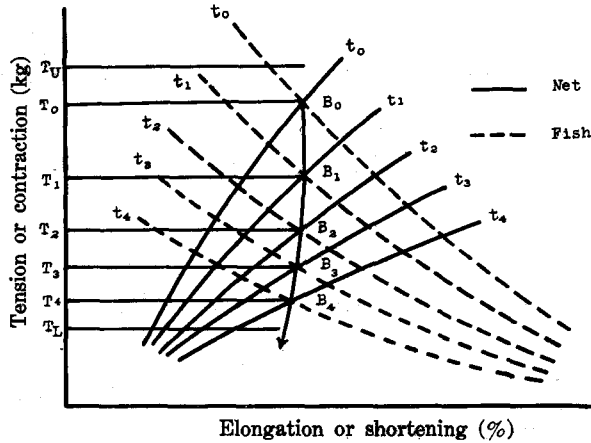


Fig. 4. Dynamical relationship tension (contraction) and elongation (shortening) under the sticking condition

実測例による罹網現象の検討

1. 網糸の部

1. a. 実験材料と方法 実験に用いた網糸は現在刺網材料として使われている単繊維のナイロン糸 (太さ 3000 デニール), パイレン糸 (太さ 3000 デニール) および多繊維撚りのアミラン糸 (太さ 210 デニール・ $3/16$) の三種類で、資料の長さはそれぞれ 100 cm に取った。網糸の張力~伸び曲線と時間経過との関係を求める実験装置の概略を Fig. 5 に示す。実験方法としてはつぎの二種を選んだ。同図 (a) の装置では網糸に任意の一定張力 (0.25kg~2.0kg) を掛け時間経過 (1分~720分) に伴う伸びの変化を測定して、網糸の張力~伸び曲線との時間的關係を求めた。また同図 (b) では網糸を一定の初期張力 (0.25kg と 2.0kg) で張り、網糸の両端を固定させておくと時間経過に伴って網糸は伸びて張力は弛む (これをスプリングバランスを用いて計測) ことから網糸の張力~伸び曲線の時間的關係を確かめた。実験を行った時の室内の温度は $21 \pm 0.6^\circ\text{C}$, 湿度は $82 \pm 2\%$ の範囲におさまっていた。

1. b. 実験結果 網糸の張力と伸びについて得られた結果を、アミラン糸については Fig. 6, ナイロン糸については Fig. 7, パイレン糸については Fig. 8 に示す。これらの図を見れば明らかのように材料の違いによって張力と伸びの時間経過に伴う関係はかなり異なっており材料的なそれぞれの特徴

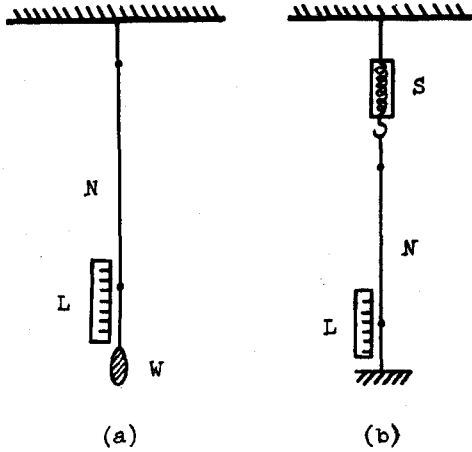


Fig. 5. Measurement concerning the stress-strain of net twine

- N: Net twine
- S: Spring balance (2 kg capacity, 0.01 kg sensibility)
- L: Length scale
- W: Weight
- (a): Measurement of tension elongation
- (b): Measurement of relaxation-shortening

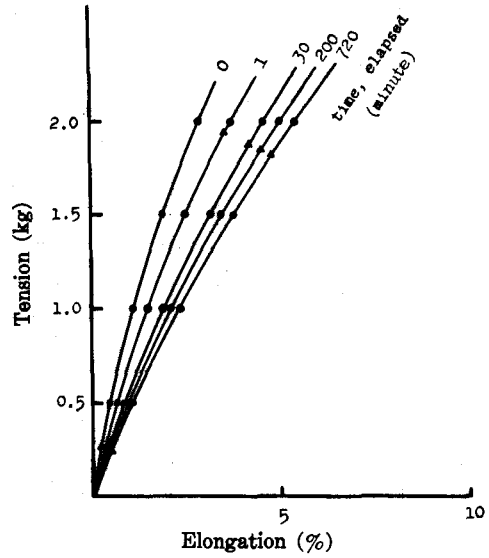


Fig. 6. Stress-strain curves of Amiran multi-filament (210D ⁸/15)

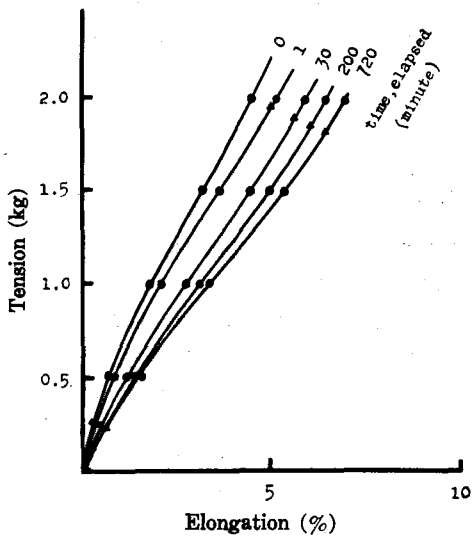


Fig. 7. Stress-strain curves of Nylon monofilament (3000D)

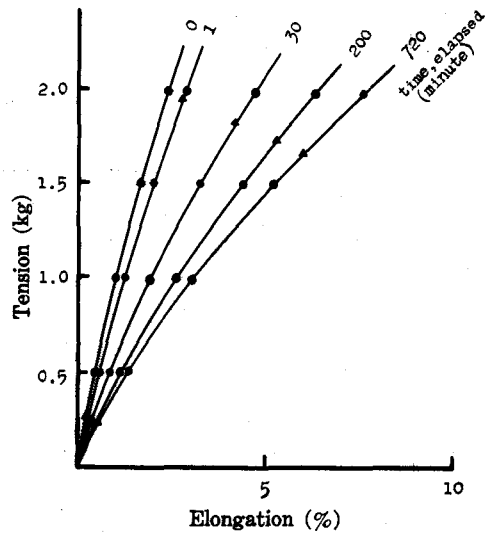


Fig. 8. Stress-strain curves of P.P. Pylene monofilament (3000D)

Table 1. Fish used for the experiments

a) Trout

No.	Body length (cm)	Body height (cm)	Body breadth (cm)	Girth length (cm)	weight (g)	condition
1	32.5	6.5	3.8	15.5	430	Dead fish through anesthetization
2	27.0	6.0	3.0	14.0	221	:
3	27.5	6.5	3.4	14.0	210	:
4	30.0	6.0	3.5	15.5	285	:
5	29.5	6.6	3.0	18.0	225	:
6	28.0	5.4	3.5	12.5	215	:
7	44.0	10.0	5.4	24.2	970	Living fish
8	43.0	8.5	4.8	19.7	510	:
9	38.0	8.3	4.3	19.8	590	:
10	38.0	8.8	4.6	19.3	570	:
11	36.0	8.8	4.6	19.8	680	:

b) Pink Salmon

No.	Body length (cm)	Body height (cm)	Body breadth (cm)	Girth length (cm)	Weight (g)	Condition
1	44.5	12.0	5.0	26.8	1200	Just after getting on board by net
2	44.0	10.0	5.1	23.7	900	:
3	48.5	12.0	4.4	25.7	1100	:
4	45.5	11.0	3.6	24.2	1100	:

c) Chum Salmon

No.	Body length (cm)	Body height (cm)	Body breadth (cm)	Girth length (cm)	Weight (g)	Condition
1	32.5	14.5	6.9	32.5	—	Just after getting on board by net
2	52.5	14.5	6.8	32.5	—	:
3	36.0	16.0	—	36.0	—	:

が顕著に現われている。実験に用いた網糸について比較してみるとつぎのことが言われよう。低い張力 (0.5kg 以下) では三種ともほぼ同じような張力と伸びの関係を示すが、大きい張力 (1.0kg 以上) では大きな違いが出てくる。これは一般に「流伸」の問題等で論じられていることから容易に推定される事である。高張力 (2.0kg) でも短時間 (1分程度) 曲線ではパイレン糸とアミラン糸とではさほど違いは現われていないが、時間経過が大きくなるに従って差が生じ、パイレン糸は時間経過 720 分で 7.2% も伸びるに対してアミラン糸は 5.5% に過ぎない。また、ナイロン糸については短時間では三者のうちで、一番伸び易い傾向を示すが、経過時間 720 分ではパイレン糸より伸び率が悪く 7.0% に過ぎない。このように網糸の張力と伸びの時間的特性曲線は網糸の種類によって異なっていることが判った。これらの特性の差は刺網材料としての適否を力学的に評価する資料にもなるのである。一般に刺網の網目選択性はその網の材料によって異なっていることが指摘されているが、罹網機構の解析結果に基づきこれらの曲線から材料と網目の選択性ととの基本的な関連性をも検討し得るものと期待される。

2. 魚体の部

2. a. 実験材料と方法 実験

に供した魚はニジマスの活魚、摩酔致死魚、揚網当日魚のシロサケとカラフトマスの 4 種類である。大きさについての大要は Table 1 に示す。摩酔致死の魚は 0.4% のウレタンの中 5 分間ずつ 15 分に亘り入れた。魚の縮力~縮み曲線の測定装置を Fig. 9 に示す。実験はキャンパス水槽の中に魚を入れ、直径 0.7 mm の柔かい銅線 (剛さも伸びも無視できる) で一撻して張力を掛けて行った。この実験中の水槽内水温範囲は 15.3°C ~ 19.5°C であった。同図 (a) は魚体の縮力と縮みを測定した装置である。縮力は 0.4kg, 0.8kg, 1.6 kg の三段とし、経過時間 3 分以内、30 分、90 分、150 分、200 分毎に魚体周長の縮みを測定した。また同図 (b) は魚体の縮力を時間的に弛ませて測定する装置である。この場合最初の縮力を 0.9 kg, 1.48 kg に取り実験を開始し、(a) と同じく直後、30 分、90 分、150 分、200

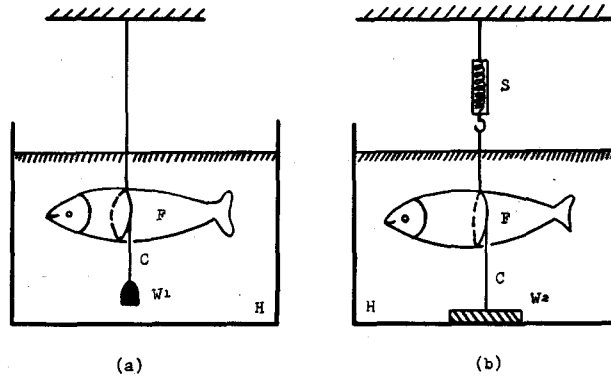


Fig. 9. Apparatus for measuring the stress-strain of binding fish

- C: Copper line wire
- F: Fish body
- H: Water tank (1.5×1.0 m)
- S: Spring balance (2 kg capacity, 0.01 kg sensibility)
- W₁: Moveable weight
- W₂: Fixed weight
- (a): Measurement of load-contraction
- (b): Measurement of tension relaxation

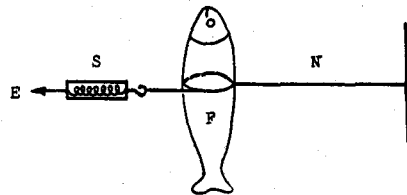


Fig. 10. Measurement on board concerning stress-strain of fish for short periods

- N: Net twine
- S: Spring balance (2 kg capacity, 0.01 kg sensibility)
- E: Pulling force
- F: Fish body

分毎に締力と縮みを測った。なお、活魚を使つての測定では魚が網糸で締められた際にもがいても締め部位がずれないように目合 1 mm のサラン網で魚の全体を覆って動けなくして行った。シロサケ・カラフトマス魚体の船上での測定には Fig. 10 に示す装置を用いた。柔らかさの異なるエラブタ上部(吻端から 8 cm)、エラブタと最大胴周の中間(吻端から 10.5 cm)、最大胴周(吻端から 15 cm)の三部位について行った実験も同図の装置を使った。なお使用した網糸はアミラン(太さ 210 μ / 15)である。

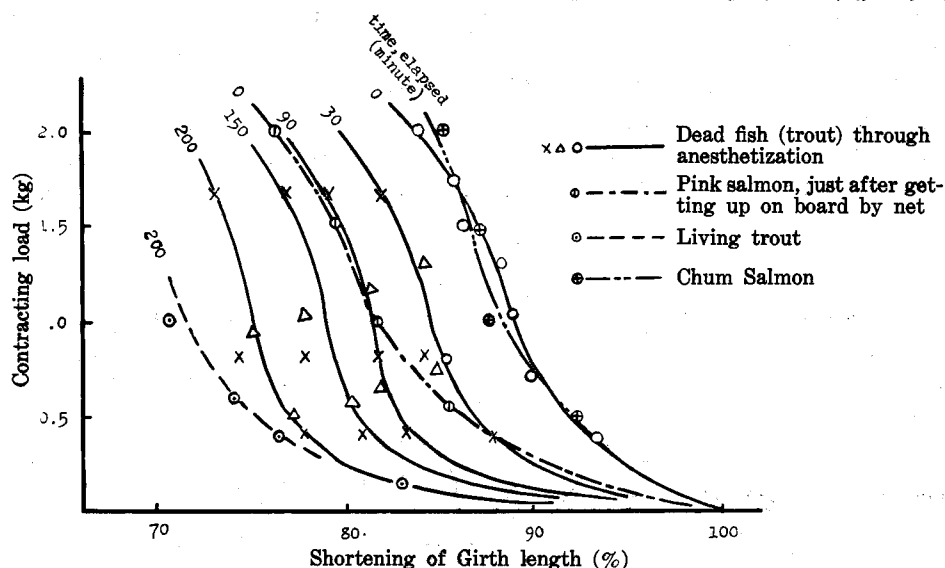


Fig. 11. Stress-strain curves of fish with time elapsed

2. b. 実験結果 魚について求めた締力～縮み曲線と時間経過との関係を Fig. 11 に示す。魚種によって弾性度が異なることは容易に推測される所であるが、ニジマスやカラフトマス・シロサケについても具体的な数値として知ることができた。またニジマスの活魚と死魚とで締力と縮みとの関係が 200 分前後になれば異なって来て曲線がかなりずれているのは死後硬直による差が生じているためであると思われる。また同図からも解るようにシロサケとニジマスではほぼ同様な弾性的性質を持つことが推定される。カラフトマスはシロサケに較べると 2

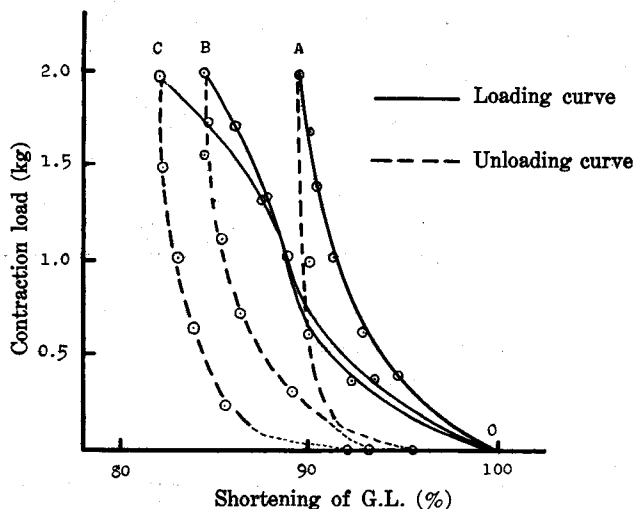


Fig. 12. Contraction and recovery curves at various positions on the body of fish

OA: 8 cm from the snout (at 44 cm body length)
 OB: 10.5 cm from the snout (ditto)
 OC: 15 cm from the snout (ditto)

倍程度の柔らかさを示している。このように魚の種類、魚体の部位、死魚、活魚によって当然、弾性度が違ってくるのが予想されるので、今後もこのような資料は数多く集められる必要がある。締力と縮みとの時間的關係を見ると罹網時にはニジマスの胴周の縮みは締力 0.5 kg で 7%, 1.0 kg で 10%, 1.5 kg で 13%, 2.0 kg で 16% にもなり、網糸の伸びと比較して 2 倍程度大きな値を示している。それが 200 分後になると縮みはさらに深まり 0.5 kg で 23%, 1.0 kg で 25%, 1.5 kg で 27%, 2.0 kg で 30% 以上も縮むことが解った。実際に魚が刺し網に罹網する現象を考えるとこの程度の締力になれば大きなくびれが生じてくるものと推察され、これらは網糸のずれ難さ、ひいては脱落の生じ難さの問題に連なる重大な知見と言わねばなるまい。尚ニジマスで行った魚体部位による弾性度の違いを Fig. 12 に示す。横軸には何も力の掛らない時の胴周長を 100 とした場合の縮み率をとってある。これで見るとエラブタ上部の弾性度はとくに他の二者に比較して硬いことが顕著に現われている。魚体の位置によって弾性度がこの程度に異なってくることは網目選択性にも大きく影響してくるものと考えて良いであろう。

總括的考察

網刺し現象の力学的解析方向に乗り網糸の張力～伸び曲線と時間経過との關係ならびに魚の締力～縮み曲線と時間経過との關係を求め、罹網機構を説くために両曲線を一平面上に重ねて Fig. 4 と同じように画いたのが Fig. 13 である。シロサケとニジマスの特性を一応似たものと考え、統計的に求

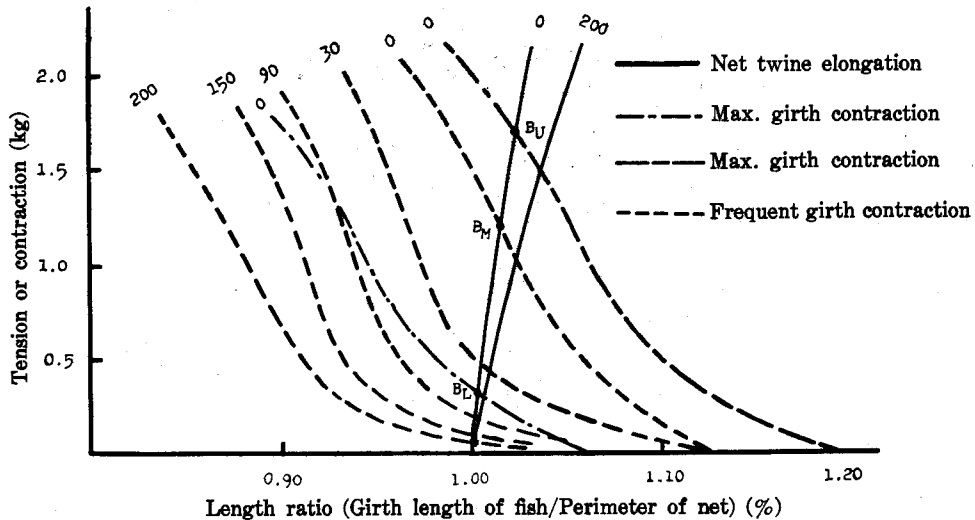


Fig. 13. Stress-strain curves of various fish and of a net at sticking in mesh

められている胴囲～網目比としては罹網が起る最大頻度のシロサケの値（胴囲～網目比の値は 1.13 である）を資料⁹⁾として使った。また網糸材料はアミラン 210D (3/15) を使用した。網糸の張力と魚の締力が釣合っている B_M 点での張力は 1.2 kg と推定された。同様にして三島・山本の資料より最大胴囲での罹網（比約 1.20）から上限の張力を曲線上より求めると網刺しに必要な上限張力は 1.8 kg, 下限張力の生ずる罹網では胴囲～網目比が約 1.03 として求めると 0.3 kg になるものと推定できる。網刺しに必要な張力が 0.3 kg と 1.8 kg の範囲にあれば一応罹網が成立するが、実際には例えば下限外の張力でも魚が漁獲されることもある。この場合にはエラブタやヒレが作用して纏絡現象が発生しているものと考えられる。また、図から判断すると揚網時の魚の締力は意外に少なく最大頻度罹網

の場合 100g 内外でも罹網は生ずることが判る。これは網糸の伸びに比較して魚体の縮みが大きいことなどを考えさせると罹網現象で魚のくびれ効果、くさび効果、接触摩擦力などが重大に作用していることを示唆するので今後はこれらの諸点が究明されなければならない。以上の結果を展開して漁獲性能を向上させるべき網糸は如何にあるべきかを考察してみよう。Fig. 14 は今まで一般に使用されている網糸の場合を、刺網用に理想的な網糸の場合を Fig. 15 に示す。図において T_U (上限張力), T_L (下限張力) は網糸材料と魚体で定まってくるから、今までの刺網 (Fig. 14) で漁獲される魚は罹網確率最大頻度を示す魚の胴周長 G_0 になることから罹網瞬間には魚体の縮力縮み曲線 G_0F_0 と網糸の張力伸び曲線 O_1N_0 との交点 B_0 で力学的関係は釣合って網刺し現象が始まると推定される。 B_0 点の張力は上限張力 T_U に等しく、魚の胴周長は G_0 から P_0 になっていると考えて良いだろう。それが揚網時 (罹網してから経過時間 t) にはそれらの力学的関係は網

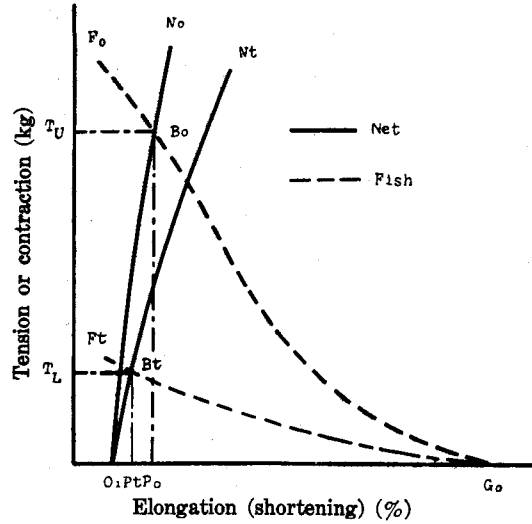


Fig. 14. Stress-strain curves of net used nowadays

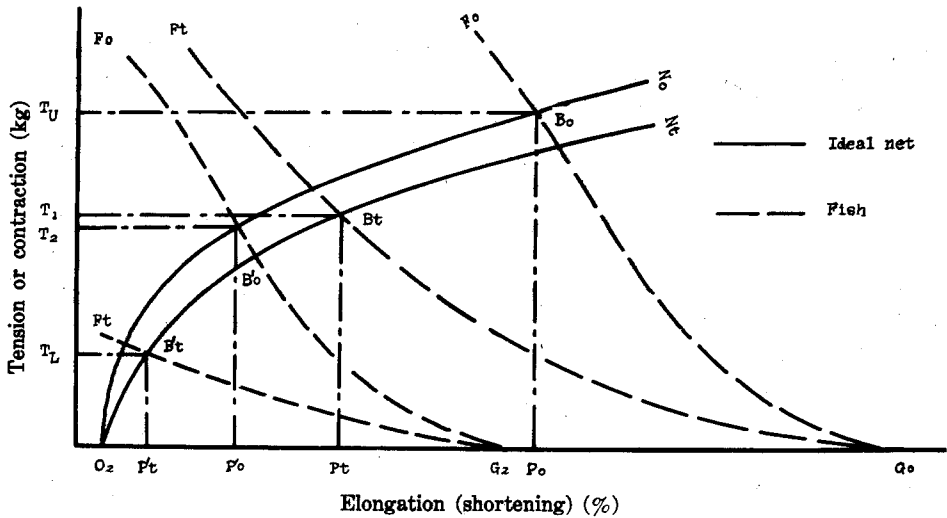


Fig. 15. Stress-strain curves of an ideal net

糸曲線 O_1N_0 , 魚体曲線 G_0F_0 に変遷し、釣合い点は B_0 から B_t に遷移して網糸の胴周長は P_0 、網糸の張力 (魚体の縮力) は下限張力 T_L に等しくなっているという現象が最大頻度で現われるものと考えられる。罹網される魚の胴周長 (魚の胴周長と体長、体重との関係は一般に知られている) の範囲を増やすことが漁獲性能を向上させることになると考えれば、魚体の縮力縮み曲線は根本的に変えることができないのであるから、網糸材料を変えることによって罹網胴周長範囲の増大を図らねばな

らぬ。Fig. 15 に示すような網糸材料について考えてみよう。この図において網刺し現象をながめると、つぎのようになる。(Fig. 14 と Fig. 15 の魚体縮力縮み曲線は同じである)。罹網瞬間においては網糸の張力伸び曲線は O_2N_0 、魚の縮力縮み曲線は G_0F_0 になり力学的平衡点はその交点 B_0 で網糸の張力(魚体の縮力)は Fig. 14 と同じ張力 T_U であるが、魚の胴周長 G_0 や P'_0 は、Fig. 14 よりも遙かに右に移っていることに気がつく。また揚網時(罹網経過時間 t)には魚の縮力縮み曲線が G_0F_t 、網糸の張力伸び曲線が O_2N_t になり力学的均衡点は B_t になって、網糸の張力(魚体の縮力) T_t に移ることになるが、この張力 T_t は罹網が成立するための条件内に確実に入る張力である。網刺しが成立するためには揚網時の張力は下限張力 T_L 以上であればよいのであるから、魚体がさらに小さくなって胴周長が G_2 になっても、揚網時における網糸の張力が T_L になる程の魚体ならば脱落しないことになり、この魚体の罹網開始の張力は T_2 で見るとように上限張力 T_U より遙かに低いからこれは確実に網目に刺し得ることになる。結局、Fig. 14 (従来のもの)での網糸では罹網確率最大頻度を示す魚の胴周長は G_0 という点的な狭さであったのが、理想的な網糸を使えば、Fig. 15 に示すように、 G_0 から G_2 までの範囲に拡大することになるから刺網の漁獲性能を大いに向上させることができる事になるであろう。以上のことから刺網材料の性能判定には小さい張力では長時間でも伸びないが、高い張力では短時間でも伸び易いこと、現実的には短時間張力伸び曲線と長時間張力伸び曲線との差が小さくてシグモイド型特性曲線を描くほど適していることになる。実験に用いた網糸についてこの判定基準を適用すれば三者の中では、単繊維ナイロン糸が一番刺網材料として適していることが推定される。

結 び

罹網の最大確率の生ずる刺し現象を材料力学的に解析し、時間経過を導入することによってその必然性を把え問題解決の方向を求めたが、それらは網糸の伸びと魚体の縮みとの関係から罹網機構の極く一部を基本的に考察して明らかにしたに過ぎない。魚が網に遭遇してからどのようにして罹網して行くのか、また魚はどのようにして網に保維されるのかなどの問題に関しては網糸の伸びと魚体の縮みからだけでは解明できず、当然網に対する魚の行動、網糸と魚体の接触摩擦力、網目と魚体の接触角、くびれ効果、斜面効果等も考えて行かなければ罹網機構の全貌を明らかにすることはできないであろう。また網糸の張力伸び曲線と魚体の縮力縮み曲線上から設定した上限張力、下限張力は魚体の游泳慣性力とどのような関係にあるのか、さらにはこれらが目合や網目選択性とどう関係して行くのか等の問題も提起されて来る。筆者はこれらの問題に一つ一つ力学的な解析法を適用し実験と資料検討を繰り返して網刺し現象を解明して行きたいと望んでいる。ここに稚拙ながら第1報を草して先輩諸氏の御叱正御教示を乞う次第である。

要 約

魚が網目に刺さる現象は統計的にしばしば論じられているが、そのマイクロな機構を力学的に考察した例は少ないようである。ここで筆者は罹網の最大確率の生ずる刺し現象を材料力学的に解析し、原理的な必然性を把えて問題解決の方向を定めようとした。刺網はエラブタやヒレの止め効果を活用している漁具であるかのように思われているが、それらの突起物は刺し現象の後戻り(脱落)を防ぐのに役立ち纏絡によって罹網性を確実にならしめているにすぎないと考えた。つまり、網糸の張力で魚体の胴囲を締め、捕捉現象の生ずることが本来の姿だと考えるのである。すなわち、魚の游泳慣性力で網目は伸び、魚体は縮められて刺し現象が起る。そこで魚が掛った網目の張力と刺った魚の縮力とが釣合っている状態から筆者は力学的解析を進め、さらに揚網までの時間経過に伴い網目と魚体の伸縮がどのように変化するかを考察した。ついで以上の解析結果に基づき、網糸と魚との両方で実験を行

った。網糸としては三種（アミラン・ナイロン・パイレン）を用い、短時間張力伸び曲線と長時間にわたる張力伸び曲線を、また魚としてはシロサケ・カラフトマス・ニジマスを用いて胴体の短時間締力縮み曲線を求め、ニジマスについては長時間にわたる締力縮み曲線をも求めた。力学的に網刺しが成立するための範囲を考えると、魚の游泳慣性力で規制される上限の張力と魚体を保持するための下限張力とが問題になってくる。刺網材料の検討は張力伸び特性曲線から行ったが、実験結果から網刺しの上限及び下限の張力は統計結果と照合してみると、前者は魚の体重の $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ 程度、後者は魚の体重の $\frac{1}{4}$ 程度となる。刺網の魚体保維力と脱落の問題、適正目合等については魚体のくさび効果、締りに伴うくびれ効果、接触摩擦力等が影響してくるので、さらに別途の実験を展開して今後ともこの研究を進めたい所存である。

文 献

- 1) Hadson, C.W. (1933). Further experiments on the selective action of commercial drift nets. *J. du conseil*, **8** (3), 344-354.
- 2) Farran, G.P. (1936). On the mesh of herring drift-nets in relation to the condition factor of the fish. *Ibid.* **11** (1), 43-52.
- 3) Holt, S.J. (1957). A method of determination gear selectivity and its application. *Joint. Sci. Meet. Pap. ICNAP, ICES and FAO*, (815), 21.
- 4) McCombie, A.M. & Fry, F.E.J. (1960). Selectivity of gill nets for lake whitefish, *coregonus clupeaformis*. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, **89** (2), 176-184.
- 5) Gulland, J.A. (1961). The estimation of the effect on catches of changes in gear selectivity. *J. du Conseil*, **28** (2), 204-214.
 —— & Harding, D. (1961). The selection of *Clarias mossambicus* (Peters) by Nylon Gill Net. *Ibid.* **26** (2), 215-222.
- 6) 石田昭夫 (1961). サケ・マス流網の体長に対する選択性. 北水試月報, **18** (3), 12-13.
- 7) 今田光雄 (1962). サケ・マス流網の網目の大きさと漁獲物との関係. 北海道水産研研報告, (24), 139-147.
- 8) 田口喜三郎 (1961). 網目の大きさと漁獲される魚の体重との関係からみたサケ・マス流網の適正目合. 日本水産学会誌, **27** (7), 645-649.
- 9) 三島清吉・山本昭一 (1962). サケ・マス流網の選択性. 北大水産集報, **13** (2), 82-97.
- 10) 西山作蔵・山本昭一 (1964). サケ・マス流網の改良に関する研究. 1. 同誌, **15** (1), 34-41.
- 11) 上野元一 (1964). 日水誌投稿中
- 12) Buttkus, H. (1963). Red and white muscle of fish in relation to rigor (Mortis). *J. Res. Bd. Canada*, **20** (1), 45-58.