

漕ぎ刺網で漁獲されたシロギスの血中コルチゾール濃度を 指標としたストレス測定

誌名	日本水産學會誌
ISSN	00215392
巻/号	653
掲載ページ	p. 457-463
発行年月	1999年5月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



漕ぎ刺網で漁獲されたシロギスの血中コルチゾール濃度を指標としたストレス測定

角田 篤弘, Ari Purbayanto, 秋山 清二, 有元 貴文

(1998年10月7日受付)

Plasma Cortisol Level for Stress Measurement of Japanese Whiting *Sillago japonica* Captured by Sweeping Trammel Net

Atsuhiro Tsunoda,* Ari Purbayanto,*
Seiji Akiyama,* and Takafumi Arimoto*

To investigate the stress response of Japanese whiting *Sillago japonica* associated with the capture process of sweeping trammel net, plasma cortisol levels of the fish were measured as a stress index. The result revealed that the plasma cortisol levels increased from just after capture to 24 hours, then tended to decrease in 72 hours by keeping them in a tank. In the gilled capture, changes in cortisol level were relatively similar, while for the pocketed capture, it decreased after 24 hours. Changes in plasma cortisol of mesh-cut released samples for gilled capture were relatively similar to the usual gilled capture. Hook and line stress, however, did not show any fluctuation compared to the sweeping trammel net capture. Tight contact with the mesh twine for the gilled fish during the capture process was considered to cause the higher stress of fish.

キーワード：シロギス, 漕ぎ刺網, ストレス, コルチゾール, 釣り

小型魚や非対象種の混獲投棄といった不合理漁獲に対する解決策として、様々な混獲防止装置の開発や網目選択性についての研究が進められている。^{1,2)}これに関連して、漁具から脱出した個体や船上での選別後に放流された個体の生残性が注目されつつある。³⁻⁶⁾ストレスの指標としては内分泌系や血液中成分の変化など多くの方法が知られており、近年では血漿中のコルチゾールを指標とした研究も進められてきている。^{7,8)}しかし、魚類のストレスに関する研究は主に増養殖技術との関連から進んできており、飼育密度⁹⁾や水質の変化、¹⁰⁾あるいは活魚輸送^{11,12)}などが魚体に及ぼす影響についての報告が多くを占めている。これに対して、実際の操業現場での漁獲行為に対する対象魚のストレス反応に関する報告は少なく、釣り^{13,14)}や延縄、^{15,16)}トロール¹⁷⁾によるストレスに関して研究が始められた段階である。刺網についても漁獲後の短時間内のストレス変動¹⁸⁾や水槽実験⁶⁾による報告はあるものの、実際の操業条件下での研究は行われていない。さらに、刺網の漁獲過程において何がストレスの要因となっているか、そして脱出・脱落個体や漁獲後に放流された個体がどのようにストレスから回復するの

かなど明らかにされていない点が多く残されている。そこで本報告では、実際に漕ぎ刺網および釣りによってシロギス *Sillago japonica* を漁獲し、漁獲行為によるシロギスのストレス反応とその回復過程について血漿中のコルチゾール濃度を指標として定量的な検討を試みた。

実験方法

千葉県館山湾において1996年5月～11月、および1997年4月～5月に各月1,2回ずつ、合計14回の漕ぎ刺網の操業を行い、シロギス合計420尾(全長18.7±2.3 cm)を採取した。漕ぎ刺網は底刺網の一端を錨止めし、他端の曳網を船に取り、錨を中心に円を描くように一回転させた後に揚網する漁法である。¹⁹⁾館山湾での操業では、早朝を主体に漁場を移動しながら一日に10回程度繰り返して操業し、一回の操業として投網には約3分、曳き廻しに約7分、揚網開始から終了までに約15～25分の時間を要していた。

この操業過程について、揚網中の時間経過に伴う漁獲個体のストレス変動を調べるため、船上でのサンプリングを実施した。すなわち、揚網時にシロギスを網から外

* 東京水産大学海洋生産学科 (Department of Marine Science and Technology, Tokyo University of Fisheries, Konan, Minato, Tokyo 108-8477, Japan).

すと同時に採血を行い、これを揚網終了まで全ての個体について実施した。サンプリングは1996年5月16日の7時08分および8時02分の2回の揚網時に行い、揚網開始から終了までに要した時間はそれぞれ18分および25分であった。

次に、漁獲直後の短い時間内のストレス変動を調べるため、採取したシロギスを漁獲後直ちに活魚タンク（約50 l）に収容した。その際に漁獲状態について、網目に刺さった状態で漁獲されたものを刺さり漁獲、網に刺さらず内網の袋状になったところで漁獲されたものを袋がかり漁獲と二大別し、漁獲状態の影響を検討した。また、刺さり漁獲における網糸からの取り外しの際のハンドリングの影響を調べるため、一部の個体は網糸を切断してすみやかに網から取り外し、活魚タンクに収容した。それぞれのタンクには十分なエアレーションを施し、漁獲したシロギスを10~15尾ずつ漁獲状態別に収容した。採血は漁獲直後に各漁獲状態別に11~21尾、タンクに収容してから1, 2, 3時間経過後にそれぞれ7~12尾より実施した。

更にストレスからの回復過程を明らかにするため、漁獲したシロギスを約1時間かけて千葉県館山市の東京水産大学坂田実験実習場まで移送し、同実習場内の流水式飼育水槽（1.8×0.9 m, 水深0.7 m）に漁獲状態別に収容した。飼育期間中は水温および水質の変化による影響を避けるため、湾内の海水を直接水槽に導入した。採血は水槽に収容直後から、1, 2, 3, 12, 24, 48 および72時間経過後に、各漁獲状態別に5~17尾より行った。

この他に、漕ぎ刺網による漁獲物との比較を行うため、1996年10月には釣りによる採取も行い、漁獲直後、飼育水槽に収容直後、12, 24, 48 および72時間経過後に採血を行った。

すべての実験において、採血にはヘパリン処理を施したシリンジ（2.5 ml, 注射針24 G）を用いた。各設定時間に、活魚タンクあるいは水槽よりシロギスを一尾ずつ手網によって掬いあげ、採血を行った。なお本研究では、一尾より一回のみの採血とした。採血時にはChopin, 井上の報告⁴⁾に基づき、麻酔処理を行わずに尾鰭基底部より素早く採血を行った。血液は遠心分離（3000 rpm, 30分間）により血漿を分離し、-20°Cで保存した。その後、東京水産大学内放射線同位元素利用施設においてスパックSコルチゾールキット（第一ラジオアイソトープ研究所）を用いて血漿中のコルチゾール濃度の測定を行った。測定には抗体チューブに血漿とヨウ化コルチゾール（¹²⁵I）を加えて競合反応させる試験管固相法を用いた。この際の特異性に関してプレゾノン62.6%, 11-デオキシコルチゾール11.1%, コルチコステロン2.5%, プレドニゾン1.87%, コルチゾン

1.36%, それ以外は1%以下の交叉反応性とされる。またアッセイ内、ロット間再現性の変動係数はそれぞれ3.7%, 6.4%, 検出限界は10 ng/mlであった。²⁰⁾

それぞれの測定結果は平均値±標準誤差で表し、各測定条件での経時的な変化の様子を一元配置分散分析にかけ、全ての測定結果で0.01%の有意な差が認められたため、各経時時間の相互の有意性についてNewman-Keul multiple comparison testを用いて検定した。

次に、漁獲状態の別とそれぞれの経時的な変化について二元配置分散分析を行った。刺さり漁獲と袋がかり漁獲との間では、全ての測定条件について経時変化に有意な差が認められたため、各経時時間の相互の有意性についてt検定を行った。

結 果

二回の漕ぎ刺網操業での揚網時におけるシロギスの血中コルチゾール濃度の変動を調べ、その結果をまとめてFig. 1に示した。採血は揚網と同時に船上で次々と一尾ずつ行ったが、揚網開始直後から10分までの間に漁獲された個体の血中コルチゾール濃度はほとんど検出限界以下であった。それ以降は測定値にばらつきが認められるものの時間経過とともに増加傾向に転じ、経時変化についての一元配置分散分析によって $p < 0.0001$ で有意差が認められた。各経時時間の相互の有意性については、0, 5, 10分の結果は15分に対して $p < 0.05$, 20分に対して $p < 0.001$ で有意となり、15分と20分についても $p < 0.01$ で有意な差が認められた。

次に、揚網直後から3時間後までのシロギスのコルチゾール濃度を調べ、Fig. 2に示した。刺さり漁獲個体と袋がかり漁獲個体の合計（Fig. 2a）についてみると、漁獲直後のコルチゾール濃度は平均で16.9 ng/mlであったが、1時間後には67.5 ng/mlと急激に上昇し、漁獲直後の値に対して $p < 0.001$ で有意差が認められた。

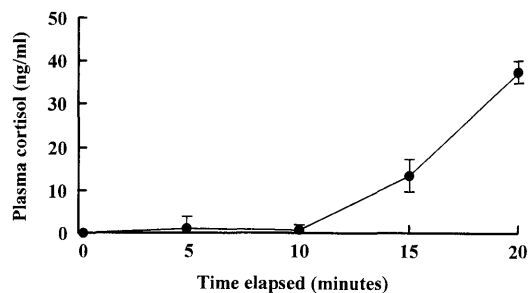


Fig. 1. Changes of plasma cortisol levels for Japanese whiting during the net hauling procedure.

Values represent the mean ± standard errors.

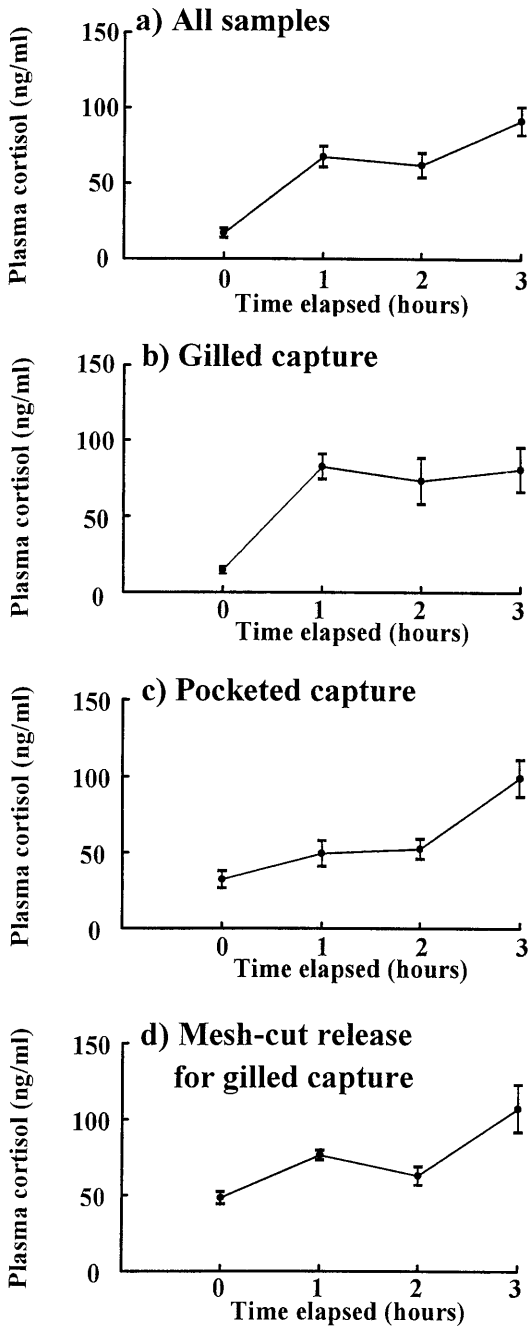


Fig. 2. Changes of plasma cortisol levels for Japanese whiting kept in the onboard tank for 3 hours just after capture, according to the capture and release conditions.

All samples (a) include gilled capture (b) and pocketed capture (c), and mesh-cut release for gilled capture (d) sampled by the different operation from (a)~(c).

3 時間後の結果では 91.7 ng/ml に達し、漁獲直後に対し $p < 0.001$, 1, 2 時間後に対して $p < 0.05$ で有意差が認められた。次にコルチゾール濃度の変動を漁獲状態別に見てみると、刺さり漁獲 (Fig. 2b) については漁獲直後から 1 時間後にかけて急激に上昇し、漁獲直後の値に対して $p < 0.001$ で有意な差が認められた。しかし、その後はほぼ同じレベルで推移し、1, 2, 3 時間後の間で有意差は認められなかった。袋がかり漁獲 (Fig. 2c) については漁獲直後から 2 時間後まで大きな上昇は見られず、有意差は認められなかった。しかし 3 時間後には急激に上昇し、漁獲直後、1, 2 時間後に対してそれぞれ $p < 0.001$ で有意な差が認められた。次に、刺さり漁獲の個体について網糸を切断して取り外した場合 (Fig. 2d) も、3 時間後の値は漁獲直後に対して $p < 0.001$, 2 時間後に対して $p < 0.01$ で有意であった。

さらに 3 種類の漁獲状態でのコルチゾール濃度の変動を比較すると、刺さり漁獲と袋がかり漁獲との間で、二元配置分散分析により $p < 0.0001$ で有意差が認められた。そこで各経時時間の相互の有意性について t 検定を行うと、漁獲直後および 1 時間後ではそれぞれ $p < 0.01$, $p < 0.05$ の有意差で刺さり漁獲の値が高く現れたが、2 時間以降は差が認められなくなった。また、刺さり漁獲と網糸切断による刺さり漁獲との間では、二元配置分散分析を行っても全ての経時時間において有意差はなく、網糸切断による影響は認められなかった。

実習場へ移送後の、水槽収容から 3 時間以内の変動を Fig. 3 に示した。刺さり漁獲個体と袋がかり漁獲の合計 (Fig. 3a) では、漁獲直後の値に対して、水槽収容の直後に $p < 0.001$ で有意に高い値が認められた。更に水槽収容 2 時間後より再び上昇し、漁獲直後、収容直後に対して $p < 0.001$ で有意であった。刺さり漁獲 (Fig. 3b) の場合についても、漁獲直後の値に対して、水槽収容直後に $p < 0.001$ で有意に高い値が認められた。水槽収容後のコルチゾール濃度の変動は大きく現れていたが、漁獲直後の値に対しては、1 時間後に $p < 0.01$, 2, 3 時間後に $p < 0.001$ で有意差が認められた。袋がかり漁獲 (Fig. 3c) では水槽収容直後の値は漁獲直後のレベルとほぼ同様であり、有意差は認められなかった。その後、1 時間後には $p < 0.001$ で有意差が認められたが、それ以降にコルチゾール濃度は上昇せず、1, 2, 3 時間後の間で相互に有意差は認められなかった。

次に刺さり漁獲と袋がかり漁獲のコルチゾール濃度の変動を比較すると、二元配置分散分析により $p < 0.05$ で有意差が認められた。そこで各経時時間の相互の有意性について t 検定を行うと、漁獲直後に $p < 0.01$, 水槽収容直後に $p < 0.001$ で有意差が認められたが、1 時間後と 3 時間後においては有意差が認められなかった。

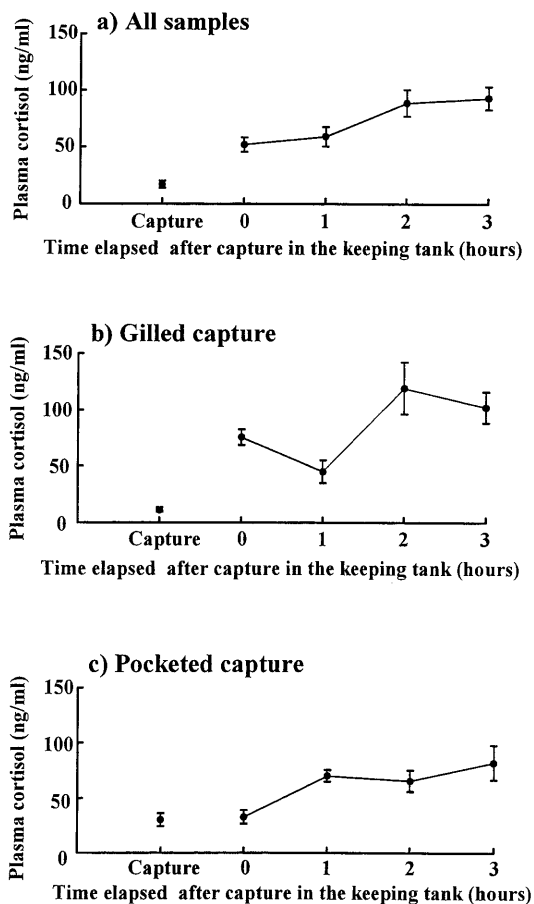


Fig. 3. Changes of plasma cortisol levels for Japanese whiting for 3 hours just after transporting to the keeping tank, according to the capture and release conditions.

これに続けて72時間後までの時間経過に伴うコルチゾール濃度の測定結果をもとに、水槽収容後のストレスからの回復過程を刺さり漁獲、袋がかり漁獲の合計132個体についてFig. 4aにまとめた。水槽に収容直後から血中コルチゾール濃度は急激な上昇を開始し、12時間後から24時間後にかけて平均値で100 ng/mlを越えてピークとなり、漁獲直後の値に対して $p < 0.001$ で有意差が認められた。しかしその後は減少に転じ、48時間後には12, 24時間に対して $p < 0.05$ で有意差が認められるレベルまで低下した。更に72時間後には平均で36.2 ng/mlを示して収容直後の値を下回り、漁獲直後の値に対しても有意差は認められなくなった。

この結果を漁獲状態別に見ると、刺さりで漁獲された個体の血中コルチゾール濃度 (Fig. 4b) は、全体についてまとめたFig. 4aと同様に水槽に収容して12~24時間後にピークを示し、漁獲直後、収容直後に対して

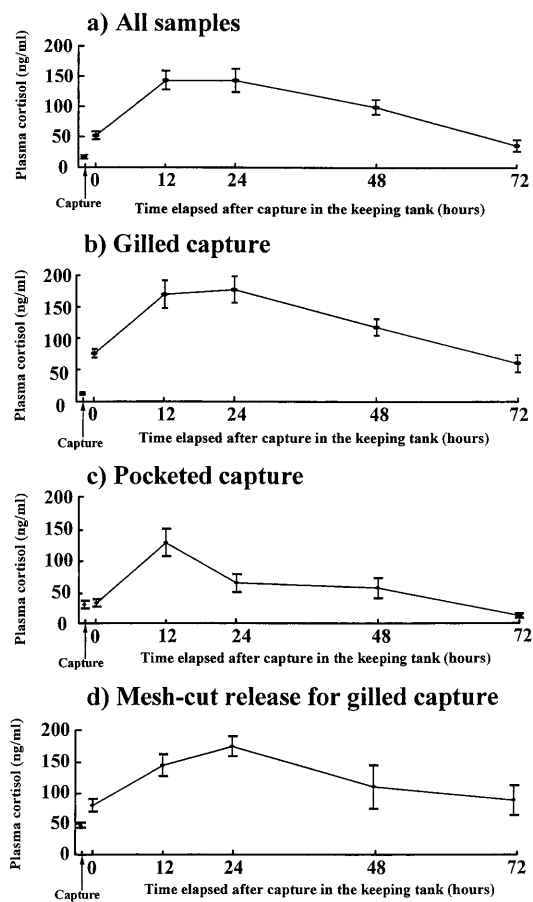


Fig. 4. Changes of plasma cortisol levels for Japanese whiting during recovery for 72 hours from capture by sweeping trammel net.

$p < 0.001$ で有意差が認められた。その後は徐々に減少を続け、72時間後には収容直後と有意差が認められなくなった。これに対し、袋がかりで漁獲された個体の血中コルチゾール濃度 (Fig. 4c) は、12時間後にピークが見られ、漁獲直後の値に対して $p < 0.001$ で有意差が認められた。しかし、24時間目以降は減少に転じ、漁獲直後の値と有意な差は認められなくなった。更に72時間後には平均値で13.1 ng/mlと、漁獲直後の結果よりも低い値にまで回復した。

ここで刺さり漁獲と袋がかり漁獲の間の経時的な変化を比較すると、二元配置分散分析で $p < 0.0001$ の有意差が認められた。そこで経時時間の相互の有意性についてt検定を行うと、12時間後で有意差が認められなかった他は、漁獲直後に $p < 0.01$ 、収容直後に $p < 0.0001$ 、24時間後に $p < 0.001$ 、48時間後に $p < 0.05$ 、72時間後に $p < 0.01$ の有意差で、刺さり漁獲による結果が高い値を示した。

次に、刺さり漁獲後に網糸を切断してシロギスを網から取り出した結果について Fig. 4d に示した。Fig. 4b に示した通常の刺さり漁獲と同様の傾向にあり、12～24 時間後にピークを示し、漁獲直後の値に対して 12、24 時間ともに $p < 0.001$ 、収容直後の値に対しては 12 時間後に $p < 0.01$ 、24 時間後に $p < 0.001$ で有意となった。その後、48 時間以降は減少傾向に転じ、漁獲直後の値と有意差は認められなくなった。また二元配置分散分析を行ったが、全ての経時時間において通常の刺さり漁獲との経時的な変化について有意差は認められなかった。

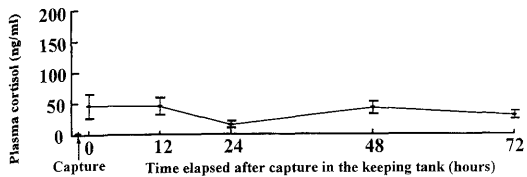


Fig. 5. Changes of plasma cortisol levels for samples captured by hook and line.

これらの漕ぎ刺網の漁獲物についての結果と比較するため、Fig. 5 には釣りによって漁獲した個体の血中コルチゾール濃度を示した。漁獲直後の値は検出限界以下であり、水槽収容後も漕ぎ刺網漁獲の様に時間経過に伴うコルチゾール濃度の大幅な増減は認められず、全体に 50 ng/ml 以下の低いレベルで推移していた。水槽収容後の各経時時間間で検定を行っても、互いに有意な差は認められなかった。

考 察

漕ぎ刺網で漁獲されたシロギスについて揚網と同時に次々とサンプリングを行った場合、揚網開始から 10 分以内にサンプリングした個体では血中コルチゾール濃度は、ほとんど検出限界以下の値を示した。それ以降にサンプリングした個体では測定値のばらつきが大きかったが、15 分以降にはコルチゾール濃度が有意に高くなる結果となった。魚類ではストレスを与えられてから血中コルチゾール濃度が上昇するまでには一定の時間を要し、ニジマス *Oncorhynchus mykiss* ではストレスを与えられてから 12～14 分後¹³⁾ キンギョ *Caracius auratus* では 10～22 分後²¹⁾ に血中コルチゾール濃度は上昇を開始すると報告されている。本操業では揚網開始から終了までに 15～20 分程度の時間が経過しているため、羅網段階で受けたストレスが時間経過によって 15 分以降に現れたと考えることができる。

次に漁獲後 3 時間の 3 種類の漁獲状態でのコルチゾ

ール濃度の変動を比較すると、刺さり漁獲と袋がかり漁獲との間で 2 時間以降に差が認められなくなった。また刺さり漁獲と網糸切断による刺さり漁獲の間では、全ての経時時間において有意差は認められなかった。更に実習場へ移送してからの結果について、刺さり漁獲と袋がかり漁獲との間で比較すると、1 時間後と 3 時間後において有意差は認められなかった。

この様に漁獲から短時間では、漁獲状態による血中コルチゾール濃度変動の差異は顕著ではなかった。原因としては、揚網開始前の漁獲過程のどの段階で羅網したかが不明であることや、漁獲物を船上で小型の活魚タンクに収容し、これで実習場まで移送したことの影響、あるいは同じ漁獲状態であっても各個体について損傷の程度やハンドリングの影響が異なることなどがあげられる。いずれにしても、各個体から得られた血中コルチゾール濃度のばらつきは大きく、このような短時間内での変動を検討するには漁獲条件を厳密に制御できる水槽内での実験が必要である。

次に水槽収容後の 72 時間までのストレス変動および回復過程を漁獲状態別に見てみると、刺さり漁獲後のシロギスの血中コルチゾール濃度は 12～24 時間後にピークとなり、48 時間以降は減少に転じていた。これに対して、袋がかり漁獲では 12 時間後にピークとなり、24 時間後以降は減少傾向を示していた。経時時間相互の有意性についても、12 時間後に有意差が認められなかった他は、刺さり漁獲による結果が有意に高い値を示していた。この様に刺さり漁獲と袋がかり漁獲で回復過程が異なっていた要因として、刺さり漁獲では漁獲過程において網目に刺さった状態での網糸による拘束と圧迫による強い接触、揚網時の網にかかる力による魚体の締め付け、および船上での網から外す際のハンドリングによるストレスが影響し、回復までに時間を要したことが推察される。しかし、同じ刺さり漁獲であっても揚網時に網糸を切断してシロギスを網から外した場合にも同様の傾向を示し、全ての経時時間において通常の刺さり漁獲と有意差は認められなかった。この場合には網から外す際のハンドリングの影響をほとんど受けていないことから、刺さり漁獲では特に羅網中の網糸との強い接触や揚網時の魚体の締め付けが血中コルチゾール濃度の上昇に大きな影響を与えていたと推察された。

Gadomski *et al.*²²⁾ は、マスノスケ *Onchorhynchus tshawytscha* のウロコを強制的に魚体から 10% 脱落させると、1 時間後までに血中コルチゾール濃度は急激に上昇し、回復までに 12 時間を要することを報告した。このように網糸との強い接触によるウロコの脱落がコルチゾール濃度の上昇の要因の一つとしてあげられる。また Hopkins and Cech¹⁸⁾ は刺網漁獲における高いストレ

スの要因として網目に刺さった際に鰓蓋がふさがれたことによる呼吸困難をあげており、血中の乳酸量やCO₂が上昇することを報告している。Chopin *et al.*⁶⁾もマダイ *Pagrus major* を用いた水槽内での刺網漁獲実験で、同様の原因により刺網から解放して1時間後までに血中コルチゾール濃度が急激に上昇したとしている。この様な刺さり漁獲の結果に対して、袋がかり漁獲では漁獲過程において網糸との強い接触は少なく、それを原因としたウロコの脱落もわずかである。また漁獲時に網目に刺さっていないため呼吸困難になることもほとんどない。そのため刺さり漁獲よりも早い段階で回復できたと考えられる。

さらに刺さり漁獲個体では漁獲時に生じた魚体の損傷が時間の経過とともに悪化し、回復までに時間を要したことも考えられる。Chopin *et al.*⁶⁾は刺網からマダイを解放しても、網糸との接触による傷が悪化して13日後までに約60%の個体が死亡に至ると報告した。またトロール漁獲においてもブラウントラウト *Salmo trutta* の漁獲から7日後までの死亡原因として曳網時におけるウロコの脱落や魚体の損傷があげられている。¹⁷⁾ これらより本実験での刺さり漁獲による損傷は、その後のストレスからの回復に影響を及ぼしていることが予想された。以上より、漕ぎ刺網漁獲においては網目に刺さった状態での魚体の締め付けや拘束といった網糸との強い接触が漁獲時のストレスの要因となっており、漁具からの解放後の回復過程に大きな影響をおよぼしていることが明らかとなった。

漕ぎ刺網によって漁獲された個体は大きなストレスを受けていたが、釣獲によりサンプリングされたシロギスでは血中コルチゾール濃度に大幅な増減は認められず、常に低い値であった。このことから、釣獲時の針掛かり、および針から外す際のハンドリングによる影響は、漕ぎ刺網漁獲での網糸との接触とハンドリングによる影響に比べて非常に小さいものであることが明らかとなった。Pankhurst and Dedual¹³⁾もニジマスでは釣獲から24時間後までに血中コルチゾール濃度は対照群のレベルまで回復するとしている。近年、釣り漁法の資源管理方策の技術として混獲魚や未成魚の放流を導入する動きがあるが、²³⁾ 漁獲後の生残性に関する釣り漁法の優位性³⁻⁶⁾を生理学的な面から支持する結果となった。

また釣りによって漁獲されたシロギスのうち、釣獲直後に採血した個体の血中コルチゾール濃度は検出限界以下であった。Pankhurst and Dedual¹³⁾は針掛かりから5分以内に採血したニジマスの血中コルチゾール濃度は10 ng/mlであり、自然環境下での対照値として用いることができるとしている。またストライプバス *Morone saxatilis* では2.5分以内、²⁴⁾ ティラピア *Oreochromis*

mossambicus では6分以内²⁵⁾の針掛かり状態であれば血中コルチゾール濃度は低い値を保ったままで上昇しないと報告した。今回の実験でも針掛かりしてから直ちに釣り上げて採血を行っていること、および漕ぎ刺網でも揚網開始から15分以内では検出限界以下の値が得られていることから、本漁場でのシロギスの自然環境下におけるコルチゾール濃度は検出限界である10 ng/ml以下と推察された。

なお、血中コルチゾール濃度を指標としたストレス測定については、漁獲後の飼育実験による生残性の確認と並行して行う必要があり、回復過程の検討に対して死亡に至るまでの過程の観察も重要な課題となる。そこで、今後は水槽実験によって漁獲ストレスの詳細な検討を行うとともに、これらの結果を考慮した上で漁獲物の飼育実験による生残性試験との比較を行い、混獲防止のための網目選択への適用や船上からの放流後の生残性の問題への対応が望まれる。

謝 辞

本研究において漕ぎ刺網操業実験の実施にあたり協力を頂いた伊東久助氏、並びに漁獲された実験魚の飼育に際して御協力を頂いた東京水産大学坂田実験実習場小池康之助教授並びに技官の方々に厚くお礼申し上げます。また、本論文校閲者による有益なご助言とご指導に対して深く感謝申し上げます。

文 献

- 1) 東海 正：海外における選択漁獲の事例。月刊海洋, 29, 346-350 (1997)。
- 2) 井上喜洋：混獲・投棄魚削減のための選択漁獲の課題。月刊海洋, 29, 341-345 (1997)。
- 3) 有元貴文, 角田篤弘, F. Chopin：漁獲行為遭遇後の生残性。月刊海洋, 29, 351-356 (1997)。
- 4) F. Chopin, 井上喜洋：漁獲行為によるストレスと生存性、「魚の行動生理学と漁法」(有元貴文・難波憲二編), 恒星社厚生閣, 東京, 1996, pp116-128。
- 5) F. S. Chopin and T. Arimoto: The condition of fish escaping from fishing gears - a review. *Fish. Res.*, 21, 315-327 (1995)。
- 6) F. S. Chopin, T. Arimoto, and Y. Inoue: A comparison of the stress response and mortality of sea bream *Pagrus major* captured by hook and line and trammel net. *Fish. Res.*, 28, 277-289 (1996)。
- 7) A. K. Gamperl, M. M. Vijayan, and R. G. Boutilier: Experimental control of stress hormone levels in fishes: techniques and applications. *Rev. Fish Biol. Fisheries*, 4, 215-255 (1994)。
- 8) 岡本信明, 劉 志紅, 舞田正志：ストレスとその解釈、「魚の行動生理学と漁法」(有元貴文・難波憲二編), 恒星社厚生閣, 東京, 1996, pp107-115。
- 9) C. W. Laidley and J. F. Leatherland: Cohort sampling, anaesthesia and stocking-density effects on plasma cortisol, thyroid hormone, metabolite and ion levels in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *J. Fish Biol.*, 33,

- 73-88 (1988).
- 10) A. D. Pickering and T. G. Pottinger: Poor water quality suppresses the cortisol response of salmonid fish to handling and confinement. *J. Fish Biol.*, **30**, 363-374 (1987).
 - 11) L. Robertson, P. Thomas, C. R. Arnold, and J. M. Trant: Plasma cortisol and secondary stress responses of red drum to handling, transport, rearing density, and a disease outbreak. *Prog. Fish-Cult.*, **49**, 13-16 (1987).
 - 12) B. A. Barton and R. E. Peter: Plasma cortisol stress response in fingerling rainbow trout, *Salmo gairdneri* to various transport conditions, anaesthesia, and cold shock. *J. Fish Biol.*, **20**, 39-51 (1982).
 - 13) N. W. Pankhurst and M. Dedual: Effects of capture and recovery on plasma levels of cortisol, lactate and gonadal steroids in a natural population of rainbow trout. *J. Fish Biol.*, **45**, 1013-1025 (1994).
 - 14) N. W. Pankhurst, R. M. G. Wells, and J. F. Carragher: Effects of stress on plasma cortisol levels and blood viscosity in blue mao mao, *Scorpius violaceus* (Hutton), a marine teleost. *Comp. Biochem. Physiol.*, **101A**, 335-339 (1992).
 - 15) N. W. Pankhurst and D. F. Sharples: Effects of capture and confinement on plasma cortisol concentrations in the snapper, *Pagrus auratus*. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, **43**, 345-356 (1992).
 - 16) S. J. Clearwater and N. W. Pankhurst: The response to capture and confinement stress of plasma cortisol, plasma sex steroids and vitellogenic oocytes in the marine teleost, red gurnard. *J. Fish Biol.*, **50**, 429-441 (1997).
 - 17) T. Turunen, A. Kakela, and H. Hyvarinen: Trawling stress and mortality in undersized (<40 cm) brown trout (*Salmo trutta* L.). *Fish. Res.*, **19**, 51-64 (1994).
 - 18) T. E. Hopkins and J. J. Cech, Jr: Physiological Effects of capturing striped bass in gill nets and fyke traps. *Trans. Am. Fish. Soc.*, **121**, 819-822 (1992).
 - 19) 金田禎之: こぎ刺網漁業。「日本漁具・漁法図説」, 成山堂書店, 東京, 1977, pp346-354.
 - 20) 柴田綾子, 内田光子, 加野象次郎: SPAC CORTISOL II の検討. ホルモンと臨床, **31**, 101-105 (1983).
 - 21) R. E. Spieler: Short-term serum concentrations in goldfish (*Carassius auratus*) subjected to serial sampling and restraint. *J. Fish Res. Board Can.*, **31**, 1240-1242 (1974).
 - 22) D. M. Gadowski, M. G. Mesa, and T. M. Olson: Vulnerability to predation and physiological stress responses of experimentally descaled juvenile chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha*. *Env. Biol. Fish.*, **39**, 191-199 (1994).
 - 23) 松宮義晴: 再放流・投棄魚の諸研究と資源管理との関連. 月刊海洋, **29**, 327-332 (1997).
 - 24) A. O. Tomasso and J. J. Isely: Physiological responses and mortality of striped bass angled in freshwater. *Trans. Am. Fish. Soc.*, **125**, 321-325 (1996).
 - 25) J. T. W. Foo and T. J. Lam: Serum cortisol responses to handling stress and the effect of cortisol implantation on testosterone level in the tilapia, *Oreochromis mossambicus*. *Aquaculture*, **115**, 145-158 (1993).