

ISBN978-4-7699-1299-6
C3362 ¥3600E



9784769912996

定価 (本体3600円十税)



1923362036007

魚類の行動研究と水産資源管理

魚類の行動研究と 水産資源管理

日本水産学会監修
棟方有宗・小林牧人・有元貴文 編

恒星社厚生閣

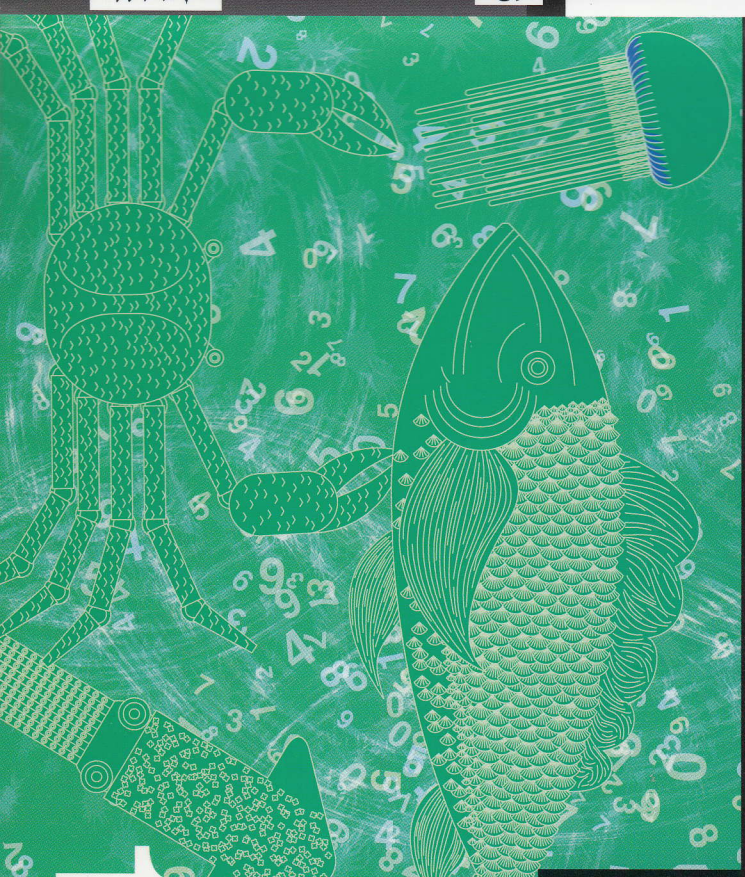
176

日本水産学会監修

水産学
ジャーナル

水産学
ジャーナル
日本水産学会

176



9 章 漁獲過程の理解と行動の制御

有元 貴文*

漁業の技術は採魚・集魚・漁獲の3段階からなり^{1,2)}、それぞれの技術分野で魚類をはじめとする漁獲対象生物の行動に関する研究が進められてきた。特に、対網行動・対光行動といった研究は水産学の黎明期から今に至るまで重要課題として取り上げられ、研究方法の展開を通じて、漁具の設計や操作方法に科学的な指針を与えてきた^{3,4)}。近年の方向性として、漁具の構造や挙動に関連して漁獲の過程を明らかにする研究が進められ、水中観察や計測器の展開に応じて内容が深化されてきた。その過程で、一網打尽、大量漁獲のための技術から、漁獲選択性や混獲投棄の削減、そして逃げた魚の生残性向上といった課題に対応して魚類の行動研究が進められ、さらに生態系アプローチによる水産資源管理という新しい課題への挑戦が始まっている。

§ 1. 漁獲過程の理解

対象生物の行動は漁具の種類や操業技術によって異なり、特にトロールや巻網のような能動的漁具と、延縄や刺網、籠、定置網といった受動的漁具とでは大きな違いがある。そのため、水中での漁具の構造や動きに対する理解がまず必要であり、そしてこの条件に対応した対象種、非対象種の行動を明らかにすることが重要となる。

漁業研究のなかで魚類の行動に関する分野が展開されてきた経緯については、1994年発行の「現代の水産学」のなかで「漁法と魚群行動」³⁾の章に、そして2003年の日本水産学会70周年記念号のなかで「魚群行動と漁法」⁴⁾としてまとめられてきた。また、この分野の教科書としては日本では「魚の行動と漁法」⁵⁾、「漁具と魚の行動」⁶⁾、「漁具に対する魚群行動の研究手法」⁷⁾、「魚の行動生理学と漁法」⁸⁾があり、国外では1994年の「Marine fish behavior in capture and abundance estimation」⁹⁾、そして2010年の「Behavior of marine fishes :

Capture processes and conservation challenges」¹⁰⁾の好著がある。

漁具に対する魚類の行動を明らかにするための研究は水産学の歴史とともに始まっており、1929～30年に田内森三郎が「魚群ノ運動 I～IV」として定置網を想定して漁具各部の機能を検証する水槽実験の結果を報告している。この流れは1975年以後にコンピュータによる群れ行動のシミュレーションや漁具設計のためのシステム工学的な研究に展開されていく。これに対して実際の漁業の操業現場で潜水観察を行った先駆者として三浦定之助、そして山下彌三左衛門の正時代からの活躍があった。しかし、ヘルメット潜水からSCUBAへと技術展開はあっても、潜水できる水深の限界や潜水時間の制約、そして画像・映像記録の技術が追いつかずに、日本国内では漁業現場での研究手法としての展開には繋がらなかった。その後、1950年代に入ってヨーロッパを中心にトロール漁具についての水中観察が始まり、アバディーン海洋研究所が1976年に曳航式テレビカメラを使ってトロール漁具の漁獲過程についての研究成果を発表し始め^{11,12)}、日本でも漁具に取り付ける方式での水中カメラを用いた研究が行われるに至った^{13,14)}。また、1980年代以後にはソナーを用いた定置網に対する魚群行動の観察¹⁵⁾が日本で始められ、トロール漁具の各部や網口での魚群の行動を超音波測器で観察する技術も一般的に使われるようになり、これらの技術の展開と普及を通じて、各種漁具の漁獲過程の理解が着実に進展してきた。

このように操業現場での水中観察の手法について、潜水観察に始まって水中テレビカメラの技術展開があり、同時に魚群探知機、ソナーといった超音波機器やデーターロガーの技術が積極的に導入されてきた。近年は暗視カメラ、音響カメラによって夜間の行動観察も可能となり、採魚・集魚・漁獲の各段階についての理解が深まってきた。

§ 2. 行動制御の技術

漁獲技術とは対象種の行動を制御して、水中から取り上げるための方法を包括するものであり、2段階の構成として理解されている。網目に刺させ、絡ませ、掬うこと、そして釣る、刺すといった漁獲を完結させる最終的な段階を直接漁法という。これに対して、漁獲に適した条件を創出する技術として間接漁法があり、図9-1にまとめたように威嚇、誘引、遮断、隔障^{カマヤ}の4通りの組み合わせから成

* 東京海洋大学大学院海洋科学技術研究科

測定すべき行動指標を決定することから始まる。逆に、ある特定の行動指標の起こる状況を知り、頻度を測定するために、実験条件を設定すると言ってもよい。そのためには、観察範囲や観察時刻、そしてサンプリング間隔やそれぞれのサンプリング時間といった設定が重要であり、対象とする行動の指標として何を記録するか決定される。実験の作業過程として、図9.3の右側には観察結果の入力から出力までの流れを考えてみた。行動指標として例えば個体の物標との位置関係や距離、移動状況を記録するときに画像・映像として残すのか、行動パターンに対応させて重み付けした数値を記録するのか、それともセンサーを使って時間の経過に対応させた記録を取るといった様々な手法が考えられる。このような記録媒体として基本は観察結果を記載する野帳のメモであり、位置関係を記録するためには事前に観察範囲を図示したチャートやマップを用意して、その図中に時間経過をおって位置を記録していく作業が有効である。デジタルカメラやビデオを使って記録を残す場合にも、その画像・映像から行動指標として何を取り出すかをメモした覚書を残すことは行動観察の基本となる。

静止画や動画の利用について、かつては感光式でネガフィルムに焼き付けるスチールカメラや、動画でも8 mm, 16 mm フィルムが使われてきた。その後、動画についてはビデオテープが主体となり、現在はデジタル画像として静止画や動画を記録し、解析に供することが当然となり、ハイビジョンやハイスピード映像といった大容量の記録・解析がコンピュータとハードウェアの普及によって達成されてきた。特に、動画解析については実験環境の背景と個体のコントラストの条件さえ満たせば移動する魚の自動トラッキングも可能となり、1コマずつストップモーションで位置を読み取っていた時代とは隔世の感がある。センサーによる行動検出としては、例えば餌を取る時のつつき行動や餌場への接近や通過行動についてイベント・レコーダーに時系列で記録し²²⁾、あるいは検出結果を電圧に変換して時系列データファイルとして記録することも可能である。

しかし、行動指標の入力から出力までの作業過程で、魚の動きを判断する基本は観察であり、観察者のフレンジーな判断能力をどのように出力情報に変化させるかが行動実験の極意であり、面白さでもある。そのなかで、実験条件を変化させ、最適な行動指標を抽出記録するための判断、そして記録結果について演算をしながら処理して、あるときは実験方法そのものを結果からのフレイトバックで

変更する中で対象とする行動の実態把握に近づぐことになる。

行動パターンやその発現状況を解析した結果について、文章による観察結果の記録は最低必要条件であるが、最終的には数量評価や図による結果のまとめが必要となる。その際に、時系列としての解析であったり、発現頻度の空間的、時間的な頻度の解析を行うなかで、実験条件との関連性を求め、相関を示すための図を工夫することも行動研究を進める上での楽しみといってもよいだろう。

§5. 水産資源の持続的利用に向けて

対象種・非対象種の成長段階に応じた行動特性の違いを利用した選択的漁獲や脱出魚の生残性といった視点についても漁獲過程の理解や行動制御の技術が有効であり、水産資源の合理的な、そして持続的な利用を目指す方向が重視されている²⁴⁾。研究課題は漁業の現場にあり、現場に解決策を提示することは当然であるが、そのための研究方法として行動の水中観察や行動生理学からのアプローチをさらに進める必要があり、行動実験の方法論、そして行動研究の進め方についても、魚類の行動研究²⁵⁾についてのネットワークの広がりの中での新しい展開が期待される。

漁業のための対象生物の行動を扱うもう1つの研究の流れとして漁法学という分野がある。漁具に対する行動については漁業者の操業経験の積み重ねのなかで蓄積されてきた知見があり、この内容を実証するために操業条件と漁獲結果の関係から検討をしていくものである。特に、比較操業試験という方式で、構造や設置方式、あるいは操業条件を変化させた場合の漁獲結果について検討し、魚種や成長段階による行動特性の違いを解析し、漁獲過程を明らかにすることができる。例えば、沿岸の底延縄漁具について投縄・揚縄時刻を変化させた操業を行い、一日のなかでの漁獲物の変化から採餌行動の日周性を調べることができ。また、漁具の構造を変化させて海底からの釣り針位置の違いで漁獲特性が変わることから、底生魚のなかでも採餌の際の離底距離の違いを調べることができる。このような実際の操業試験のなかから、漁具に対する対象魚の行動を明らかにして、操業条件による魚種・魚体選択の可能性を提示している²⁶⁾。

こういった操業試験の場合も基本は現場での観察である。北太平洋でイカ釣り漁法によって漁獲されるアカイカについて、乗船調査によって採餌針からの脱

落による釣り落しとの現象を詳細に観察した研究もある²⁶⁾。自動釣り機による操業で、アカイカが触腕で擬餌針を捕捉して針掛りした後の巻き上げの過程で、触腕の破断によって頻繁に脱落現象が生じる。この破断した触腕が上がってきた状況から水中での脱落結果を把握し、また針掛り状況についても触腕か他腕か、それとも口器かを記録して、小型のアカイカでは触腕破断が起りやすいことを明らかにしている。さらに、擬餌針捕捉からの釣獲過程について、まず触腕で擬餌針を捕捉し、その後に大型の個体では擬餌針の巻き上げ速度に追いつきながら他腕での抱え込み、そして口器での噛みつきまでの一連の過程を推定している。この釣獲過程において、小型のアカイカでは移動力に劣るために擬餌針の巻き上げに追いつきず、触腕のみで吊り下げられることで破断の可能性が高くなると考察している。小型のアカイカを対象にした漁場では、釣り機の巻き上げ速度を遅くして、触腕捕捉から他腕による抱え込みの可能性を高めることができる。この推論をもとに、触腕破断による脱落を低減させる方策について、釣り機の巻き上げ回転数を変化させた比較操業試験の実証結果をもとに提案をした。操業現場での観察や比較操業試験による漁法研究は、実際の漁業にもっとも近いところで行動を理解するための機会を与えてくれるものであり、図9.3にまとめた行動観察の実験手法や記録・解析の作業過程の方法論が有効に機能するものと考えられる。このような漁業のための魚類の行動研究の展開とは別に、欧米を中心に「魚は痛みを感じるか？」²⁷⁾という議論が始まっている。この考えそのものが新しい研究の方向を示唆するものであり、感覚としての痛みを魚について認めるのか、そして痛みを避けるように行動するという現象をどのように解釈し、高次の意識²⁸⁾として認めるのかどうかという難問が投げかけられている。このことは、動物福祉や動物実験についての理念として、置き換え (replace), 削減 (reduce), 洗練 (refinement) の3Rについて研究面や産業界で対応する方向性を考えることとであり、漁業や養殖生産のなかで今後どのように展開されるのかを見つめる必要がある。

§6. 魚類の行動研究の今後の展望

1973年に3人の動物行動学者がノーベル生理学・医学賞を受賞した。「個体としての、そして社会的な行動様式の機構と解発に関する解明 "for their

discoveries concerning organization and elicitation of individual and social behaviour patterns"」に対するもので、フリッツヒューのミツバチの8の字ダンス、ローレンツの鳥の雛の刷り込み、そしてテインバーゲンのトゲウオのジグザグダンスが代表的な研究成果として知られている。世界がこの授賞決定に驚いただけでなく、ノーベル賞式典において3名の業績について、「自然科学の特別な分野であるエソロジー (Special branch of natural science: Ethology)」と紹介し、これが生理学・医学賞に該当し、人類のために大事なものであることを取敢えて説明している。この時点をもって動物の行動に関する研究が科学として認められ、フラーブルの昆虫記のような博物学、あるいはシーソンの動物記のような読み物とは一線を画す形で、エソロジー Ethology という分野が認知されたといってもよいだろう。なお、エソロジーは行動生物学、または単に行動学と訳され、比較行動学、そして動物行動学と訳されることもある。3名の受賞者の研究は20世紀初頭にまで遡るものであり、日本でもその著書か翻訳されてはいない。しかし、動物行動学のゲームが一気にブレイクしたのはノーベル賞受賞以後であり、翻訳図書、そして解説図書が続けて出版され、水産の分野でも多くの研究者がその新しい流れの洗礼を受けてきたはずである。

テインバーゲンの「本能の研究」は1950年に出版され、1957年には日本で初訳が出版された。20年後の1969年に動物行動学の古典的な入門書としての意義から取敢えて改訂をせずに重版され、ノーベル賞受賞後の1975年に日本でも改めて訳書が出版された²⁹⁾。この訳書と、そして同じテインバーゲンの「動物の行動」³⁰⁾、あるいはヒンデの「Animal Behaviour - A Synthesis of Ethology and Comparative Physiology」³¹⁾ (動物の行動—エソロジーと比較生理学の統合)の原書を使って勉強してきた世代が、水産学のなかで行動研究を根付かせ、現在までの流れに至っている。

「本能の研究」のなかでテインバーゲンは生得的解発機構 (IRM: Innate Releasing Mechanism) の概念を提示し、トゲウオの繁殖行動を例にして外的、内的な刺激による行動の動機付けと、抑制が解除されて行動が発現する仕組みを「想像図」として示した。これは中枢のレベルから完了行為としての行動、そして行動を実現するための神経系から筋肉の動きまでの階層的体系を提示したものである。これを想像図としたのは、実際の生理学的な裏付けとなる研究が

追いついていなかったためであったと今では理解できる。テインバーゲンはノーベル賞の受賞講演でも自分がいかわゆる生理学者ではないことを強調し、観察し、不思議に思うこと (Watching and Wondering) が自分の研究の背景であると説明している。動物の行動研究の基本が「観察し、比較し、解釈する」ことであるという古典的なメッセージでもある。

本書の前半を構成する魚類の行動の調節機構に関する6章までは、この階層的体系に直接に答えを出すための研究アプローチであり、テインバーゲンの示した想像図に先端科学の光を与えるものとなっている。すなわち魚類の行動についてホルモンやフェロモンの機能として解き明かし、また、繁殖行動について行動生理学や行動生態学からのアプローチとしてどのような研究が展開されてきたかを取りまとめた内容となっている。これらはテインバーゲンが取り上げた「4つのなぜ」を紐解くものであり、「どのようにして」という至近要因と、「なぜのために」という究極要因を魚類の行動のおもしろさ、不思議さの中で説明することにつながっている。そして基礎生物学、生理学の範疇で魚類の行動を研究する分野が水産学のなかで確立されており、保全生物学へと発展する方向性を示してきた。

本書後半では種苗生産、栽培漁業、そして漁業という生産活動のなかで、稚魚や幼魚、そして対象生物の行動に関する問題を取り上げてきた。水産資源の管理という本書の大きな目標に対して、技術論、応用論につながる章であり、どのようにすれば生産効果をあげることができるか、そして持続的な生産のためは何をするべきかを考えるものでもある。漁業・養殖業という人間活動³²⁾が Fishing down, そして Farming up として生態系に影響を及ぼしていることが危惧され始めてきた現在にこそ、魚類の行動を中心においた研究の切り口が改めて見直され、持続的な水産資源の利用という新しい方向を創出するためのキーワードになってくれることを願っている。

そのためにも、魚の行動について基礎から始まる研究の大事さと面白さを社会にそして若い世代に広く伝えていくことが期待される³³⁻³⁶⁾。

文 献

- 1) 有元貴文ら. 4.1 漁業技術概論. 「改訂 水産海洋ハンドブック」(竹内俊郎他編) 生物研究社, 2010 : 189-192.
- 2) 能勢幸雄. 漁業の技術と方法. 「漁業学」東京大学出版会, 1987 : 24-60.
- 3) 有元貴文. 漁法と魚群行動. 「現代の水産学」(日本水産学会出版委員会編) 恒星社厚生閣, 1994 : 12-23.
- 4) 有元貴文. 魚群行動と漁法. 日本水産学会, 2003 : 69 (特別号) : 33-35.
- 5) 井上 実. 「魚の行動と漁法」恒星社厚生閣, 1978.
- 6) 井上 実. 「漁具と魚の行動」恒星社厚生閣, 1985.
- 7) 小池 篤編. 「漁具に対する魚群行動の研究方法」恒星社厚生閣, 1989.
- 8) 有元貴文・難波憲二編. 「魚の行動生理学と漁法」恒星社厚生閣, 1996.
- 9) Ferno A. (ed.) Marine fish behaviour in capture and abundance estimation, Fishing News Books, London, 1995.
- 10) He P. (ed.) Behavior of marine fishes: Capture processes and conservation challenges, Wiley-Blackwell, Iowa, 2010.
- 11) Wardle, C.S. Investigating the behavior of fish during capture. In : R.S.Bailey and B.B.Parish (eds). *Development in fisheries research in Scotland * Fishing News Books, Surrey, 1987 : 139-155.
- 12) Wardle, C.S. Fish reactions to towed fishing gears. In : A.G.Macdonald and I.G.Pride (eds). *Experimental Biology at sea* Academic Press, London, 1983 : 167-195.
- 13) 井上喜洋・松下吉樹・後藤道夫. タイマー銀画式水中テレビ装置の開発. 水工研技報 (漁業生産), 1991 : 5 : 9-14.
- 14) Y. Inoue, Y. Matsushita and T. Arimoto. The reaction behavior of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) in a deepflow temperature trawl fishing ground. *ICES Marine Science Symposium*, 1995 : 196 : 77-79.
- 15) 井上喜洋. ソナーによる定置網漁場における、魚群の行動に関する研究. 水産工学研究所報告, 1988 : 9 : 227-287.
- 16) 有元貴文. 4.2.3 漁法の種類. 「改訂 水産海洋ハンドブック」(竹内俊郎他編) 生物研究社, 2010 : 194-195.
- 17) 安 永一・有元貴文. ストロロボ光に対するソナーの回避行動. 日本水産学会誌, 1994 : 60 : 713-718.
- 18) 安 永一・有元貴文. ストロロボ光頻度によるソナーの心拍数変化. 日本水産学会誌, 1997 : 63 : 3-9.
- 19) 長谷川英一・有元貴文. 対象生物の光感覚と対光行動. 「漁灯を活かす技術・制度の再構築へ」(稲田博史他編) 恒星社厚生閣, 2010 : 26-39.
- 20) 有元貴文. 魚類の遊泳行動と漁法. 「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, 1996 : 60-73.
- 21) Partridge, B.L. The structure and function of fish schools. *Sci.Am.*, 1981 : 246 : 90-99.
- 22) Breen M., Dyson J., O'Neil F.G., Jones E. and Haigh M. Swimming Endurance of haddock (*Melanogrammus aeglefinus* L.) at prolonged and sustained swimming speeds, and its role in their capture by towed fishing gears. *ICES J. Marine Science*, 2004 : 61 : 1071-1079.
- 23) 有元貴文・井上 実. TV 映像信号による魚群行動計数装置. 日仏海洋学会誌, 1985 : 23 : 6-13.
- 24) 有元貴文・角田篤弘・F.Chopin. 漁獲行為遭遇後の生残性. 「再放流と投棄魚の科学—資源・漁業管理における諸問題」月刊海洋, 1997 : 29 : 351-356.
- 25) 榎方有宗. 水産資源管理に向けた魚類の行動研究. 日本水産学会誌, 2012 : 78 : 1034-1039.
- 26) 黒坂浩平. 北太平洋アカイカ釣り漁業における釣獲技術向上に関する研究. 東京海洋大学博士論文, 2012.
- 27) ヴィクトリワ・ソリススウエイト (高橋

- 洋訳). 魚は痛みを感じるか, 紀伊国屋書店, 2012.
- 28) 森山 徹. タンゴムシに心はあるのか, PHP 研究所, 2011.
- 29) ニコラス・ティンバーゲン (木野為武訳). 本能の研究, 三共出版, 1975.
- 30) ニコ・ティンバーゲン (丘 直道訳). 動物の行動 (ライオン大自然科学シリーズ, 第9巻), タイムライフブックス, 1969.
- 31) Hinde, R.A. Animal Behaviour - A Synthesis of Ethology and Comparative Physiology (International Student Edition), McGraw-Hill Kogakusha Ltd., 1966.
- 32) 有元貴文. 漁業という人間活動, 「海と生命—海の生命観を求めて (海洋生命系のダイナミクス, 第5巻)」(塚本勝巳編), 東海大学出版会, 2009; 402-420.
- 33) 川村軍蔵. 魚との知恵比べ (3訂版), 成山堂書店, 2010.
- 34) 川村軍蔵. 魚の行動習性を利用する釣り入門, 講談社, 2011.
- 35) 益田惺爾. 魚の行動と心理, 成山堂書店, 2007.
- 36) 有元貴文. 魚はなぜ群れで泳ぐか, 大修館, 2007.

索引

- 〈お行〉
 テンプロゲン 10, 29, 31
 成鱗 130
 餌餌イヌ選択性 104, 111
 SAI (無給餌生存残指数) 112
 エストロゲン 50
 黄体形成ホルモン 13, 29, 84, 90
- 〈か行〉
 学習 121, 123
 環境エンリッチメント 120
 陥穽 129
 間接漁法 129
 究極要因 138
 嗅上皮応答 30, 40
 降河行動 12, 19, 21-25
 行動指標 132, 134
 個性 118
 個体発生 116, 123
 コルチゾール 21, 22, 25, 39
- 〈さ行〉
 サクラマス 9, 11, 12, 18, 20, 21, 38, 41
 産卵行動 20, 29, 48, 86, 90, 94, 97
 飼育環境下 86
 至近要因 138
 刺激-反応系 131
 視索前野 51, 52
 視床下部 23, 53, 54, 86
 雌性先熟 62, 79
 遮断 130
 受動的漁具 128
 水中観察 128, 129
 性 79
 生活史 9, 89, 97
 精子形成 32, 80, 90
 生殖腺 12, 29, 80
 生殖腺刺激ホルモン (GTH) 13, 53, 84, 86
- 生殖腺刺激ホルモン放出ホルモン (GnRH)
 10, 49, 50, 84
 生殖内分泌 12, 13, 18, 21, 25, 84
 性ステロイドホルモン 13, 33, 53, 61
 性転換の情報伝達系 86
 摂食関連ペプチド 54, 55
 選択漁獲 131
 操業試験 135, 136
 双方向性転換 62, 64
 週上行動 7-19
- 〈た行〉
 体長-有利性モデル 61
 直接漁法 129
 沈降死 109
 テストステロン 13, 32
 トラップ 41, 130
- 〈な行〉
 内臓感覚 48, 56
 日周期性 120
 日周リズム 111
 能動的漁具 128
- 〈は行〉
 配偶システム 65, 66
 ハタ科魚類 76, 79
 繁殖行動 31, 90
 被食 101, 102, 116, 121
 非ホルモナルフェロモン 34
 Fawning up 138
 Fishing down 138
 浮上死 107
 プライマー効果 29
 プラインドテスト法 36
 プラックボックス 131
 芳香化酵素 83
 保全 89, 95