

クモハゼ *Bathygobius fuscus* の音響生態学的研究

張 国 勝*・竹 村 暘

Acoustical Behavior of Brown Goby, *Bathygobius fuscus*

Zhang GUOSHENG* and Akira TAKEMURA

The acoustical behavior of Brown Goby *Bathygobius fuscus* was studied. The calls consisted of a pulse or a series of pulse sounds and grunt sounds. Those calls were lower in frequency and weak in power, because they had not special sound productive mechanism and any amplifier like swimbladder. Then, the effective area of pulse sound was limited in less than several ten centimetres in diameter and that of grunt sound was still smaller. The frequency of pulse sound emitting became high about sunrise and sunset, however, any remarkable tendency in diurnal change was not observed in grunt sound. They usually used the pulse sound for threat and grunt sound for courtship. Then, the pulse sound were heard through the year laying stress on July and August. On the other hand, the grunt sounds were heard only in reproductive season (June through September).

Key words クモハゼ : Brown goby; 水中音 : Underwater sound; 行動 : Behavior; 周波数 : Frequency; 日周変化 : Diurnal change; 季節変化 : Seasonal change

すでに、魚類の視覚や臭覚を利用した漁業はよく知られている。そして近年になって、音響を用いた魚類行動制御の水産業への利用が注目を浴びるようになった。水中における各種の刺激の伝播特性から、音が水族の行動制御に最も有効な刺激であることは明らかである。ところが、魚群の娷集度の向上を図るために用いられている音響馴致は魚の餌と音との組合せによる条件反射を利用した試みであるが、刺激音についての考慮がほとんどなされていない。竹村ら¹⁾は誘引刺激として魚への生理的意味が具備されていることを力説している。しかも、海中は自然騒音のみならず人工騒音やそこに棲息する生物自身が発する多種多様な音で満ちている²⁻⁷⁾。従って、刺激音は魚類の生理的意味を考慮して効果的に放射されなければならない。ところが、水中生物の音がどのような目的で、どのように発せられているのか、また可聴音範囲など基本的な音響生態・生理の面の知見は乏しい状況にある。そこで、本研究では魚類の

音響生態学的知見の充実のために、岸近くで一般的によく知られ、周年容易に捕獲されるクモハゼ Brown Goby, *Bathygobius fuscus* について、その音響生態を明らかにすることを目的とした。

本種は太平洋、インド洋及び南日本に広く分布し、極く浅い海辺に生息している種であり、本種の形態及び生態に関しては道津⁸⁾、落合ら⁹⁾、桑原ら¹⁰⁾及び益田ら¹¹⁾などの報告があるが、音響生態に関する報告はほとんどない。

資料と方法

本研究に用いたすべてのクモハゼは野母湾で採捕されたものである。これらの資料は本学附属野母水産実験所の室内水槽で常時30-50尾飼育し、実験に供した。

日周ならびに季節的発音頻度の変化の調査では室外の騒音の小さいところに水槽 (910×502×485mm)

* 大連水産学院海洋漁業系 (中華人民共和国遼寧省)

を設置し、1987年5月から翌年の4月まで録音を行った。録音時には、できるだけ大地を伝わってくる振動音などの騒音を軽減するために水槽の下に厚さ約10cmのスポンジを敷いた。また、魚への視覚的な影響を少なくするため水槽の外側壁を青色ビニールシートで囲んだ。さらに、自然環境に近づけるために水槽の中にいくつかの大きめの石を入れた。また、魚を環境に馴れさせるため、録音の始まる24時間前に室内水槽から室外録音水槽に魚を移した。収録に用いた資料数は6月の24尾、翌年3月の30尾及び4月の28尾を除いて、他の月はいずれも32尾である。発音頻度の記録は周年を通じて毎月一回、毎回連続24時間以上行なった。さらに本種の音響生態の詳細を調べるため、1988年5月から9月まで室内水槽(590×280×340mm)に親魚13尾を放って飼育観察も行った。産卵盛期には毎日その産卵行動を観察しつつ、約2時間の録音を行った。発生音の日周変化や季節変化の有無の確認及び典型的な発生音の音圧や周波数などの物理的な特性は、テープに録音された発生音を分析して調べた。発生音の絶対音圧値は録音と同時に水中音圧計で実測した。

また、音響生態を観察するための実験を野母水産実験所と本学実験室の2ヶ所で実施した。野母水産実験所では、前述した日周・季節の発音頻度を調べるための録音と同時に6月から10月までの5ヶ月間本種の行動を水槽上側よりビデオカメラで観察した。実験用水槽の上から1.5m程離してビデオカメラを置き、実験所室内で発生音ならびに画像を再生しながらその行動を観察した。本学実験室でも、5月から9月までの4ヶ月間に録音と同時に本種の産卵行動を観察した。特に発音時の行動と求愛行動によく注意した。

さらに、本種が発音魚類に含まれることはすでに知られていたが、その発音機構についての論文はほとんどなく、未解明のままとなっていた。そこで実験途中で死亡した個体を用い、発音機構を明らかにするために内部形態の観察を行った。ホルマリンで固定した後、解剖し特殊な発音器官の有無を調査した。

本種の聴覚スレッシュホールドを調べるため、音刺激と給餌を結合した学習を用いた。実験室内に透明アクリル水槽(590×280×340mm)を置き、その中に本種6尾を入れ、水中スピーカーから音を放射し、音刺激に対する本種の行動変化を観察した。刺激音には周波数100Hz～8kHzのサイン波純音を用い

た。刺激音の音圧を次第に高めながら繰り返して放射した。放射時間は200～800ms、音圧は90～155dBの範囲であった。一旦音を放射した後、2分ほどたってから音と共に餌を与えた。そして、音圧を変えながら数回同様の実験を繰り返した後、給餌を中止し、種々の音圧の音の放射だけによる魚の行動変化を観察した。短い時間に魚を実験環境に慣れさせることは難しいので、この実験を各周波数毎に幾度も反復した。また、実験中できるだけ魚に視覚的な影響がないように観察は水槽前面について立てを置き、その後から行った。さらに、餌の落下音を無くするため、餌は1.5mm程離れた所からビニールパイプで海水と共に流入した。実験期間は2月から4月までの3ヶ月間であった。なお、実験期間中の水温はヒーターを用いて16～20℃に保った。目視観察により各々周波数の刺激音に対する反応を起こす音圧を調べた。しかし、放射と同時に音圧の測定ができなかったため、その後ハイドトフォンを魚の反応した場所に置き、増幅器の目盛りと水中音圧計により音圧を測定した。

結果及び考察

1. 発生音

本種の発する音には2種類がある。1種は、人間の耳に太鼓を軽く叩いたときに出る音のように聞こえる。すなわち、ポンというPulse状の音である。これはKnock音のカテゴリーに入る。他の1種の音はGrunt音のカテゴリーに入るものである。

Fig. 1に典型的なPulse音のソナグラムを示す。一つの鳴音はほぼ一つのPulse音で構成されているが、たまにPulse音を2回連続して発することによって一つの鳴音を発することもある。しかし、これ以上多くなることは観察されなかった。一つのPulse音の持続時間は21.1ms～40.7msである。このようなPulse状の鳴音の周波数成分は非常に低く、30Hz以下から800Hzのところまでに限定されている。図中で周波数の低域から2.5kHz以上の高域までも卓越して存在しているスペクトルはテンプラノイズ(Frying Noise; Background Noise)である。Fig. 2は発生音を含むテンプラノイズとテンプラノイズのみを各々平均化し、音圧と周波数の関係で示したものである。実線はテンプラノイズを含む発生音、破線はテンプラノイズのみを表示したものである。これにより、Pulse状の発生音は100

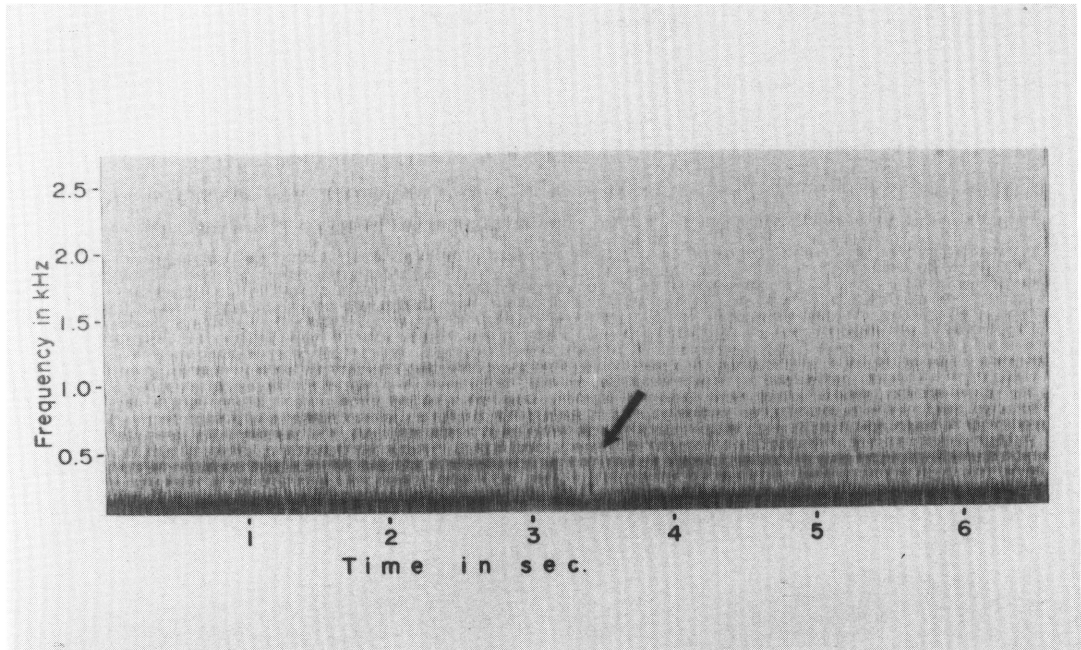


Fig. 1 Pattern of pulse sound

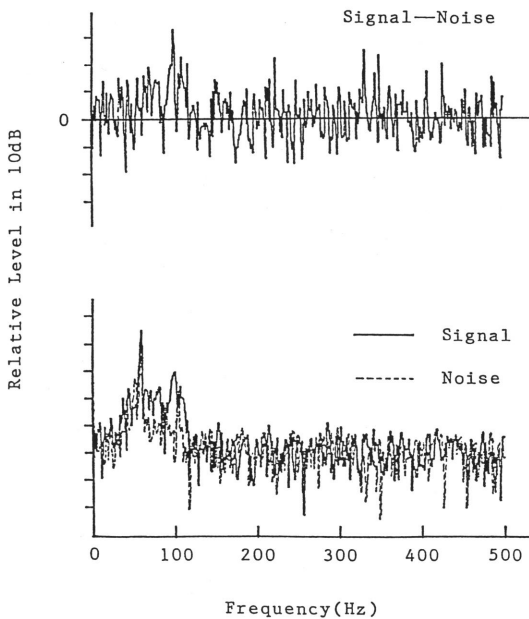


Fig. 2 Spectral analysis of pulse sound showing frequency (abscissa) and the sound level (ordinate)

Hz 付近で周囲雑音よりも卓越していることがわかる。発生音の音圧は発音時の音圧計のメーターにより測定した結果、魚から約50cmの距離で110dB以下であった。

本種は産卵期に頻繁に Grunt 音を発する。その鳴音のパターンは Fig. 3 に示すとおりである。一つの鳴音は一つの Grunt 音より構成されている場合もあるし、2~3回の Grunt 音より構成されている場合もある。さらに、Grunt 音を4~5回急速に繰り返すことによって一つの鳴音を発することも観察された。Fig. 3 は一つの Grunt 音のソナグラムであるが、Grunt 音の最高周波数は4~5 kHzに達することがわかる。一つの Grunt 音の持続時間は100-200msで、これ以上時間的に長くなることはなかった。Fig. 4 は Pulse 音と同様 Grunt 音発生時とそれ以外の時のスペクトルの相違を示したものである。これによると、Grunt 音は約30Hzから130Hz までの広い周波数帯域で周囲の雑音より卓越していることがわかる。この Grunt 音の音圧はほとんど人間の耳には聞こえない程低く、105dB以下であった。

狭い水槽の中で録音されたため、これらの音は周囲の壁に反射して本来の周波数成分の他に様々な高調波を伴うことも考えられるが、微弱な音のためそ

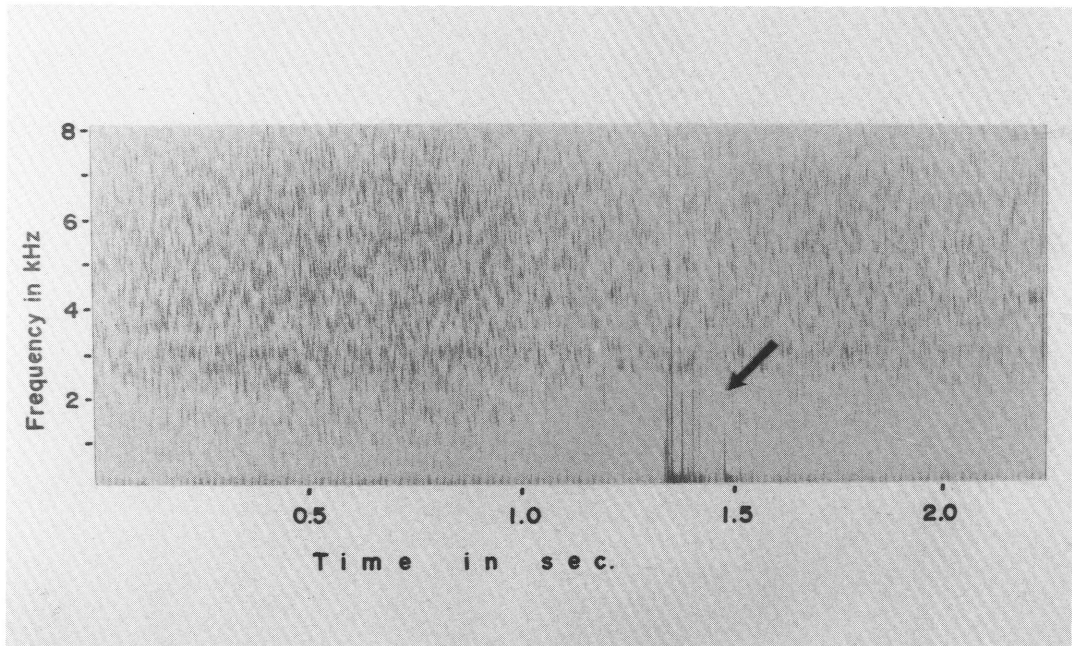


Fig. 3 Pattern of grunt sound

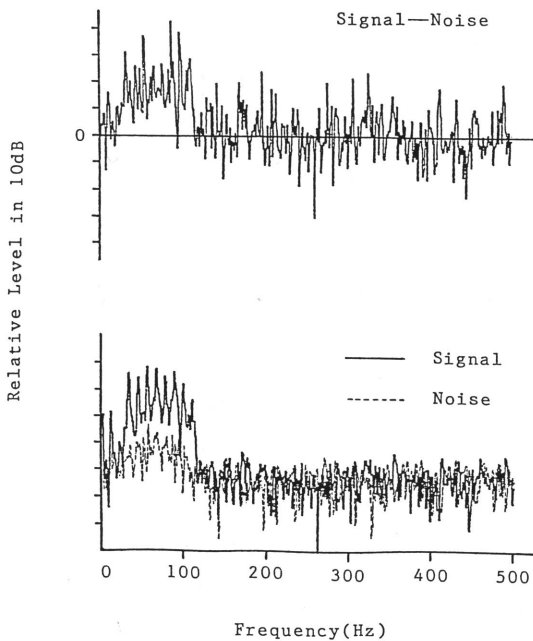


Fig. 4 Spectral analysis of grunt sound showing frequency (abscissa) and the sound level (ordinate)

の影響は少ないものと考えられる。録音に用いた供試魚の体重が最大13g、最小4gと小型の種であり、しかも本種がうきぶくろをもたないことが¹²⁾その原因と考えられる。さらに、実測された発生音の音圧は魚がハイドロフォンから0.5m程離れた場合の値である。実際に求愛行動や威嚇行動の際の発音はほとんど寄りそうようにして行われているのが観察された。したがって、魚が直接感受する発生音の音圧は実測した音圧よりもやや高いと考えられる。

Tavolga¹³⁾はGobiid Fish, *Bathygobius soporator*を用いた実験において、産卵盛期に頻繁に約4.8kHzのGrunt音の鳴音を発し、一つのGrunt音の基本周波数は約100Hzから200Hzまでの広い周波数帯域であると述べている。今回の研究の結果はTavolgaの実験結果とはほぼ一致するが、ただ発音の基本周波数帯域がずれている。これは魚の大きさによっていると思われる。

2. 発音機構

1) 口腔内部形態

無脊椎動物に比べ、魚類では発音機構が幾分複雑になり、特殊な器官を持つものが多い。その発音器官の多くは発音を第一次的な機能として発達したのではなく、作用転換によって発音器官となったと思

われる。

今回の研究において、口腔内部形態の観察を行ったところ発音機能を有していると思われる器官を見出すことが出来た。その形態的な特徴は Fig. 5 に示すとおりである。本種の上顎歯 (ujt) は 1 例で、その内側に小円錐歯状の歯が密に分布している。また、下顎歯 (ljt) は 2 例で、その間にも小円錐歯状の歯が密に分布している。顎歯の長さは上部と下部の歯ともほぼ等しくなっている。上下咽頭歯の基盤の表面にも小円錐歯状の咽頭歯が密に分布している。咽頭歯の長さは上部と下部の咽頭歯ともほぼ等しい。上部咽頭歯の基盤となっている咽頭骨が二つに分離しており、咽頭歯の分布は二つの部分に分かれている。二つの分離した咽頭骨は各々薄膜でつながり止められており、上部咽頭歯は全体としてある程度の伸縮性を有している。咽頭歯は主に食物のしゃく、切断に用いられる器官である。そして末広¹²⁾は咽頭歯の発達と顎骨の発達とは相反していることを報告している。しかし、本種の上下顎歯は接合歯を形成してよく発達しているにもかかわらず、咽頭歯の退化は認められない。したがって、このことは咽頭歯が食物の消化吸収を補助する機能以外で発音のために用いられている可能性を示唆していると考えられる。

また、本種には発音筋などの特別な発音器官は観察されなかった。

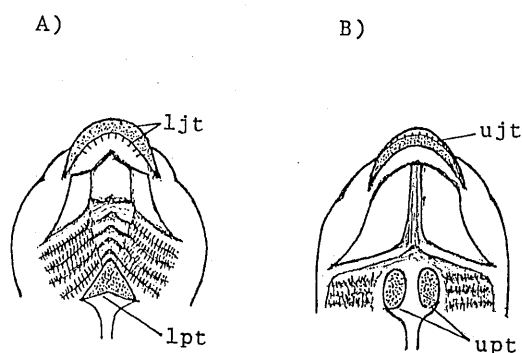


Fig. 5 The structure of the mouth of Brown Boby, *Bathygobius fuscus*; A) dorsal view, B) ventral view, lj: lower jaw teeth, uj: upper jaw teeth, lpt: lower pharyngeal teeth, upt: upper pharyngeal teeth

2) 発音の方法について

魚類の発音方法にはいろいろある¹⁴⁾が、次の 2 通りに大別される。すなわち、発音筋など特別な発音装置を持ち、そこより音を発する方法と、それとは別に歯や棘、関節、鰭といった本来別の目的のために存在している器官より副次的に音を発する方法の二つである。さらに、うきぶくろを有する魚であれば発音方法を問わずうきぶくろを音の増幅器として最大限に利用していることが明らかとなっている。¹⁵⁾

本種では、前述したようにうきぶくろもないし、特別な発音器官もないので、カサゴ¹⁵⁻¹⁶⁾などの有鰓魚のようにうきぶくろを音の増幅器として利用して発音筋などの特別な発音器官により発音する可能性はない。しかし、本種の咽頭歯がよく発達していることから、上下咽頭歯を摩擦して音を発することが推察できる。これは本種に特有のものではなく、本種以外の数種の魚もこの方法によって発音することはすでに明らかにされている。岡本¹⁷⁾はハナナガスズメダイ *Eupomacentrus lividus* について、上下咽頭歯を摩擦して音を発する発音方法を報告しているし、中里¹⁸⁾もイシダイ *Oplegnathus fasciatus* について咽頭歯の摩擦により音を発する方法を述べている。本種において以上挙げた例の魚と相違している点はうきぶくろをもっていないことであり、その結果、発生音の音圧に明らかな差異が生じることにあると思われる。こうした咽頭歯の摩擦によって Grunt 音が発せられるものと考えられる。

また、発生音の基本周波数が低周波数帯域(約 100 Hz)にあることや鰓蓋のリズミカルな動きが発音時に若干乱れたりすることなどから、発音には鰓蓋運動が強く関連していると思われる。ビデオカメラでの観察や直接目視観察により、本種は同種の他の魚を追いかけたりするとき口を大きく開けて口腔内の水を吐き出して、音を発する。このことから、以下のことが推察される。すなわち、本種は口からの吸水が始まる前に口を閉じたまま、鰓蓋を強く締め付けることにより、口腔内と外鰓腔内にある水を体外に排出し、鰓腔を急速に開いて大きな陰圧をつくる。その直後口を開くことにより、急激な水の流入と共に生じる音を利用して発音しているものと推察される。この際発せられるのが Pulse 音であると考えられる。

3. 聴覚スレッシュヨールド

学習法によって音刺激に対する行動変化から本種

の音刺激に対する閾値を求めた。行動変化とは音刺激だけを与えた際、音源に近づいたり集まったりする索餌行動を起こすことと、音を放射すると急速に音源から逃避したりブロックの下や水槽の隅に隠れたりする驚愕逃避反応という二つの現象を含んでいる。

反応を起こしたときの刺激音の最低音圧は個体差はあるが、オーバーオール値で約100dBであった。Fig. 6 に本種のオーディオグラムを示す。この図により、本種は100Hz～5 kHzの音に敏感であり、その時の音圧は118～123dBの範囲にあることがわかった。しかし、今回の実験に使用した水中スピーカーの制限のため、100Hz以下の音に反応を起こすかどうかはわからなかった。

聴覚スレッシュールドに関しては本種以外の数十種の魚はすでに明らかにされている。Tavolga¹⁹⁾は淡水のフナ *Carassius auratus* について、水中スピーカーより放射した音に反応が起こり、周波数 50 Hz～2 kHzの広い範囲の音に敏感であると述べている。Ishioka *et al.*²⁰⁻²²⁾ もマダイ *Pagrus major* に音の条件刺激と電撃の無条件刺激を一緒に与えてマダイの聴覚スレッシュールドを求めたところ、マダイは周波数50Hz～1 kHzの刺激音に反応が起こり、200 Hzの音に最も鋭敏に反応すると報告している。本種では周波数2 kHzを中心に100Hz～5 kHzの非常に広い範囲の音に敏感があり、前述の魚種に比べ

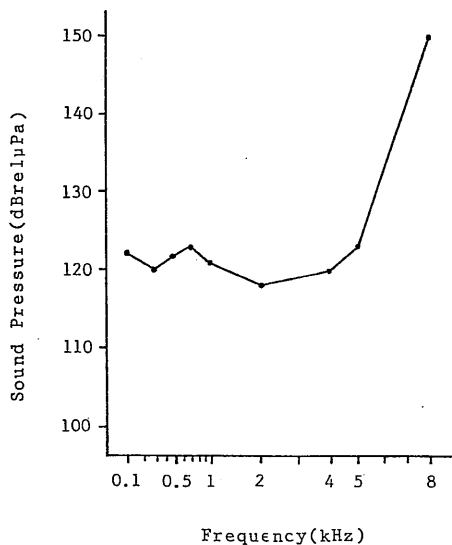


Fig. 6 Audiogram of Brown Goby, *Bathygobius fuscus*

や高い周波数域にかたよっている。また、前述したように、本種は800Hz以下のPulse音と約4.8kHzのGrunt音を発する。一般的に可聴音の周波数範囲は発音の周波数を含むと考えられており、本種もその例外ではないと考えられる。したがって、本種の発生音は種内で十分に感受出来るものと思われる。

しかし、この実験は本学実験室内にある水槽にサイン波の純音で刺激して行われた。すなわち、実験水槽は小さすぎ、その上防音装置を設置してなかったため、周囲の環境騒音や水槽壁の反射によるノイズが実験結果に影響を与えていたことが考えられる。そして、目視観察だけによって反応を観察したため、音圧ではもっと小さい音を、周波数では狭い域内にスレッシュールドが存在することが考えられる。

4. 音響生態

1) 日周変化

Fig. 7 は8月におけるPulse音の発音頻度の日周変化を表したものである。8月と同様、4月から11月までの8ヶ月間は日出および日没前後に発音頻度が明らかに増加する日周期性が観察された。しかし、12月から翌年3月までの4ヶ月は発音頻度が全体に極めて低くなっていることから、はっきりした日周期性は現れていない。また、Grunt音のような発生音は数的に非常に少ないので、時間的な検討はできなかった。

今回の研究で観察された日周性は本種に特有のものではない。Miyagawa *et al.*²³⁾ はカサゴについて、その発音頻度が日出没時に高くなることを報告しているし、中里¹⁶⁾ もイシダイについて本種と同じような発音頻度の日周性を有していることを述べている。本種において以上述べた魚と相違しているところは発生音にPulse音とGrunt音のような2種類の発音パターンが見られることであり、それぞれのパターンでその発音頻度や時間に明らかな差異が存在することにあると思われる。

2) 季節変化

本種の発音頻度の季節変化はFig. 8に示すとおり、7月及び8月の発音頻度が他の月に比較して著しく高くなっている。季節変化を調べるための録音に用いた魚の個体数は6月(24尾)を除いてほとんど変化ない。したがって、図より、発音頻度の明確

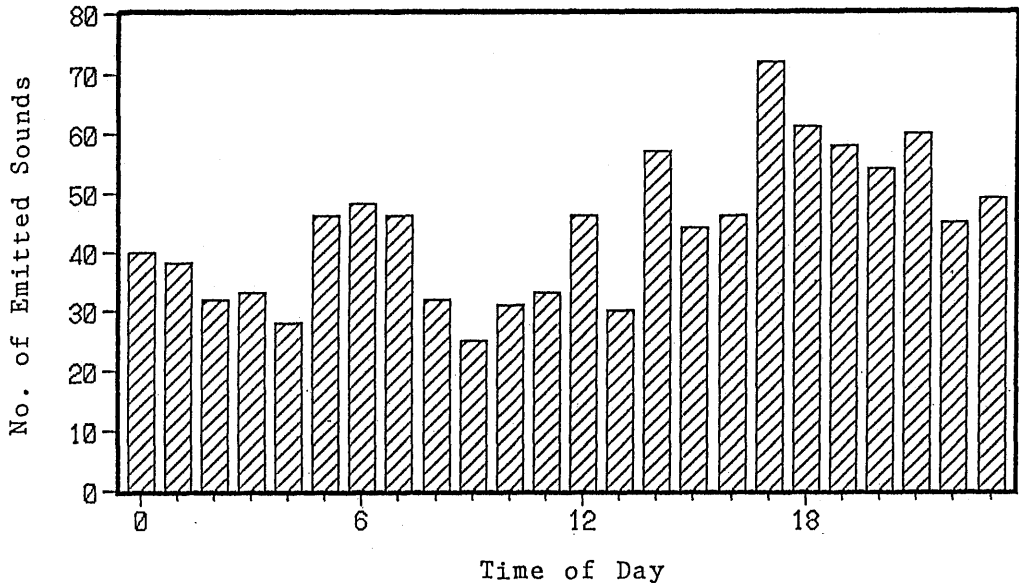


Fig. 7. Diurnal change of sounds emitting in August

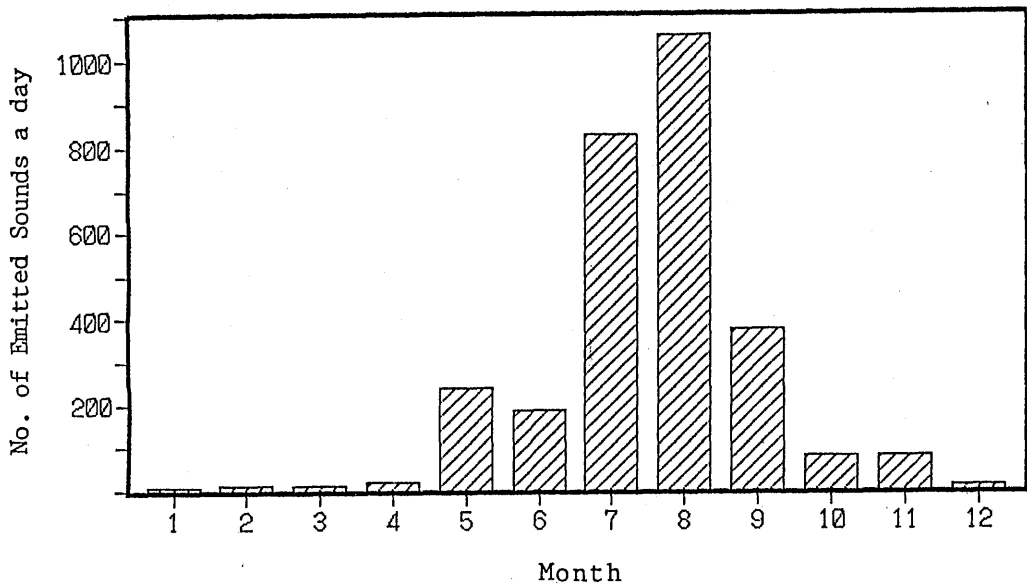


Fig. 8 Seasonal change of sounds emitted

な変化傾向は4月から段階的に増加していき、8月にピークとなって、その後急激に減少していく季節的な変化である。道津⁸⁾は富岡町におけるクモハゼの産卵期は6月下旬から9月下旬まで長期間にわたり、水温が27℃に達すると産卵盛期に入ると報告している。また、本学附属野母水産実験所の観測記録によれば、野母湾内の水温が7月下旬27℃になり、9月までこの水温を保つことがわかる。このことか

ら野母湾における本種の産卵盛期は7月下旬から8月下旬までの1ヶ月間と推測できる。したがって発音頻度のピークは産卵期とほぼ一致することが認められた。

他の発音魚類においても、その産卵期と発音との間には密節な関連性のあることが知られている。中里¹⁸⁾はイシダイについて、その発音頻度のピークと産卵期は一致することを述べているし、Takemura²⁴⁾

も淡水産ハゼ類のドンコについて、6～7月の産卵期になると発音頻度が通常の100倍以上になることを報告している。本種も産卵期の発音頻度は産卵期以外の月より一段と高くなっており、しかも12月から翌年3月までの4ヶ月には稀にしか発音しなくなるものであり、その差は極端に大きい。

以上述べた本種の発音頻度の季節変化は Pulse 音だけのことである。Grunt 音の発音は産卵期しか観察されず、10月から翌年5月までの間には全く観察されなかった。その発音頻度の日周変化は観察されなかったが、発音が産卵と強い関係があることが推察できる。

3) 発音と行動との関係

本種を実験室内にある透明アクリル水槽に入れ、水槽の中に一つのブロックシェルターを置き、録音しながら魚の行動を観察した。産卵期になると、成熟の雄魚は第1、第2背鰭に美しい橙黄色の縦縞が現れ、鮮やかな婚姻色を呈する。その中の最大個体の雄は成熟の雌魚に近づいて求愛ポーズをとりつつ、約4.8kHzの Grunt 音を頻繁に発することが観察された。Tavolga¹³⁾は *Bathygobius soporator* について、産卵期になり雄魚が雌魚に4.8kHzの Grunt 音のような求愛者を頻繁に発することを報告している。今回の観察によっても、本種の雌魚は誇示行動を表して近づく雄魚に対して、通常の逃避行動が見られないばかりでなく、雄魚が Grunt 音を発した後、雄に寄りそうような行動が見られた。さらにすでに述べたように Grunt 音のような鳴音は6月から9月までの産卵期しか聞こえず、7月下旬から8月下旬まで発音が頻繁になり、産卵期の他の月には全く聞こえなかった。以上のことから Grunt のよ

うな発音音は求愛を目的としたものと考えられる。

また、本種は生殖期間には縄張り行動が観察された。最大個体の雄魚は体に上述した色調が特に著しく現れて求愛行動をするようになる時、卵巣の成熟した雌魚のいる水槽の隅に縄張りを形成し、そこに近づく他の雄魚を盛んに襲って追い払い、同時に Pulse 音を発する。雌魚はブロックの下に産卵した後、最大の雄魚は卵を中心に縄張りをつくり、他の魚が近づくとき雌雄を問わずブロックの下から出て激しく襲って追いかけ、Pulse 音を発する。また前述した本種の聴覚のスレッシュョールドに関する実験を行ったときにも、索餌の縄張り行動が観察された。水中スピーカーの入っている水槽の一端に給餌装置を設置すると、数回の実験で縄張りを形成するようになる。最大個体の魚は水槽の給餌場を占める。そして他の個体が侵入すると追い払い行動と共に Pulse 音を発するのが観察された。以上のことから、本種は産卵期にある程度の広さの縄張りを形成し、主にそこに侵入する個体に対して威嚇のために Pulse 音を発するし、索餌の際にも縄張りを形成することが分かる。

産卵期の他の月には本種の顕著な縄張り行動が見られなかったが、Pulse 音を発するのが観察された。ビデオカメラでの観察および目視観察により、追いかけて威嚇したり喧嘩したりするような種間の威嚇行動や攻撃行動の際には Pulse 状の鳴音が利用されていると思われる。もちろん攻撃行動の際に必ず発音するとは限らず、むしろ発音する場合は少ない。日周変化において、日没前後に発音頻度の増加する傾向が見られたのはその時間帯に索餌行動が活発となり、餌を奪いあうためと考えられる。発音頻度

Table 1. Relationship between the behavior and sounds emitting

Behavior	Sound	Period
Courtship	Grunt	Spawning-season June~September
Territory	Pulse	Spawning-season June~September
Threat	Pulse	Whole Year
Chase	Pulse	Whole Year
Fight	Pulse	Whole Year
Feed	None	
Aggregation	None	Whole Year (Feeding or Startle)
Solitary	None	Whole Year
Escape	None	Whole Year
Reaction against sound	None	

の季節変化のピークと産卵期がほぼ一致していたのは産卵行動などにより縄張りを侵入することが頻繁になったことが原因していると思われる。12月から翌年3月までの間に発音が減多に観察されなかったのもこの間に水温が低く、魚の活動性が非常に弱いためとも思われる。Table 1は今回の研究で観察された本種の発音と行動の関係を示す表である。本種は以上述べた他の場合には発音が観察されない。

Takemura²⁴⁾はドンコについて、鳴音が縄張りや生殖の前戯・卵の保護のため用いられるため、大型の個体ほど発音の機会が多いと述べている。本種においても、上述した観察により、数尾の魚を水槽に入れ、その中の最大の魚だけが縄張りの形成できることから、大型の個体は発音の機会が多いことが推察される。

しかし、Tavolga¹³⁾は*Bathygobius soporator*について、雄魚の攻撃行動の際に発音を認めることができなかつたと述べている。これは今回の研究の結果と異なっている。類縁の近い種類に必ずしも同じ発音の習性があるとは限らないという内田²⁵⁾の述べたことと関係しているかもしれないが、今回の研究では不確実な点が多く、今後の研究を要すると思われる。

参 考 文 献

- 1) 竹村 暘, 西田知照, 小林洋一 (1988) : 魚類の摂餌音の誘引効果について, 長崎大学水産学部研究報告, **63**, 1-4.
- 2) Takemura, A. (1972) : The distribution of biological underwater noise at the coastal waters of Japan., *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **38**, 201-210.
- 3) Takemura, A., Takita, T. and Mizue, K. (1978) : Studies on the underwater sound-VII. Underwater calls of the Japanese marine drum fishes (Sciaenidae), *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **44**, 121-125.
- 4) Takemura, A., Yoshida, K. and Baba, N. (1983) : Distinction of individual Northern fur seal pups, *Callorhinus ursinus*, through their call, *Bull. Fac. Fish. Nagasaki Univ.*, **54**, 29-34.
- 5) 安藤浩美, 竹村 暘 (1985) : 台風の通過に伴う Ambient noise の変化について, 長崎大学水産学部研究報告, **58**, 81-93.
- 6) Protasov, V. R. 著, 浦川嬰子訳 (1971) : 沈黙の世界の声, 東京, 白揚社.
- 7) Leroy, Y. 著, 稲垣新, 番場州一訳 (1983) : 動物の音声の世界, 東京, 共立出版株式会社.
- 8) 道津喜衛 (1955) : クモハゼの生活史, 九州大学農学部学芸雑誌, **15**(1), 77-85.
- 9) 落合明, 中田克 (1986) : 新版魚類学(下), 986頁, 東京, 恒星社厚生閣.
- 10) 桑原万寿太郎, 森田弘道 (1983) : 感覚-行動の生物学, 180頁, 東京, 岩波書店.
- 11) 益田一, 荒賀忠一, 吉野哲夫 (1980) : 魚類図鑑 (改訂版), 275頁, 東京, 東海大学出版会.
- 12) 末広恭雄 (1941) : 魚類学, 東京, 岩波書店.
- 13) Tavolga, W. N. (1956) : Visual, chemical and sound stimuli as cues in the sex discriminatory behavior of the Gobiid fish *Bathygobius soporator*, *Zoologica*, **41**(2), 49-64.
- 14) 井上実 (1978) : 魚の行動と漁法, 東京, 恒星社厚生閣.
- 15) 竹村暘 (1986) : 水族の発生音, 海洋科学, **16**(5), 290-296.
- 16) 道津喜衛 (1951) : カサゴの発音機構について, 九州大学農学部学芸雑誌, **13**, 286-288.
- 17) 岡本一志 (1979) : 音で侵入者を追い海藻を養殖する魚, アニマ, **7**(76), 38-43.
- 18) 中里通昭 (1986) : イシダイの音響生態学的研究, 修士論文.
- 19) Tavolga, W. N. (1977) : Sound reception in Fishes, Vol. 7, Dowden, Hutchinson & Ross, Stroudsburg, Pennsylvania.
- 20) Ishioka, H., Hatakeyama, Y., Sakaguchi, S. and Yajima, S. (1986) : The effect of sound stimulus on the behavioral disturbance of Red Sea Bream *Pagrus major*, *Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab.*, **20**, 59-71.
- 21) Ishioka, H., Hatakeyama, Y. and Sakaguchi, S. (1987) : Development of the startle response to sound stimuli in the Red Sea Bream *Pagrus major*, *Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab.*, **21**, 17-23.
- 22) Ishioka, H., Hatakeyama, Y. and Sakaguchi, S. (1988) : The hearing ability of the Red Sea Bream *Pagrus major*, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **54**, 947-951.
- 23) Miyakawa, M. and Takemura, A. (1986) : Acoustical behavior of the Scorpaenoid fish

- Sebastiscus marmoratus*, Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 52, 411-415.
- 24) Takemura, A. (1984) : Acoustical behavior of the freshwater Goby *Odontobutis obscura*, Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 50, 561-564.
- 25) 内田恵太郎 (1934) : 本邦産発音魚類について 日本学術協会報告, 9(2), 369~375。