

水中生物音のFFT解析上の問題点と対策

西田 知照* 竹村 暘**
小林 洋一*

The Application of Fast Fourier Transform to the Analysis of Calls of Underwater Animals

by

Noriteru NISHIDA *, Akira TAKEMURA **, and Youichi KOBAYASHI *

Calls of underwater animals are full of variety. Some call has very high frequency and another one has very low frequency. The duration of some call is rather long and that of another one is very short such as a pulse. Background noise recorded with calls is quite different with the recording environment. On the other hand, the functional restriction in the analyzing apparatus also exists. We must decide the way of analysis considering the audible property of each call and the recording environment. In this report, some methods for separating the objective call from background noise is shown for some calls already recorded. The difference between analyzed results due to the difference of the way of analysis is also shown.

1. 緒言

水中生物音（魚、エビ、イルカなどの発する音）は非常にバラエティに富んでいる。例えば、魚の発する音（摂餌音、威嚇音など）は一般に500Hz以下の音であり、一回の発音持続時間は0.1~0.3秒間と単時間である。これに対し、イルカの声（鳴音）はその周波数が数kHz~十数kHzと高く、持続時間も1秒間程度と比較的長い。また、この間にその振幅と周波数が刻々と変化する。さらに、これらの水中生物音は単発音である場合もあり、断続的に繰返し発せられることもある。

他方、これらの音が収録される際の環境は千差万別であり、その収録環境によって対象音と同時に収録される雑音の性質も大きく変わる。雑音成分としては、波浪音、流水音、遊泳音などの他に船舶音やテンプレノイズと呼ばれるテッポウエビの発する音などがある。また、水槽実験の場合、その共鳴に伴う高調波成

分の発生も問題となる。従って、水中生物音の解析に当っては、対象音の特徴や収録環境などをよく理解し、把握しておくことが特に重要である。その上で、対象音ごとに解析方法を工夫することが必要となる。この際に問題になるのは解析機器の能力からくる解析上の制約である。

FFT (Fast Fourier Transform) 型のシグナルアナライザでは一般に解析周波数が高くなるほど周波数分解能が落ち、同時に、総サンプリング時間も短くなる。逆に、解析周波数が低くなれば周波数分解能は上がるが、サンプリングに時間がかかる。また、生物音は不規則に発せられるので、時間領域での加算平均手法は採用できない。

ここでは、いくつかの収録音について、対象音と背景音（雑音）の分離の方法を含め解析方法によってその効果がどのように異ってくるかを示し、妥当な解析方法を明らかにする。

昭和61年9月30日受理

*機械工学科 (Department of Mechanical Engineering)

**水産学部 (Faculty of Fisheries)

2. イルカの鳴音の解析

2. 1 ソノグラム分析結果の特徴

図1はハンドウイルカ (bottlenosed dolphin) の声 (鳴音) のソノグラムによる分析結果の一例である。図1で、縦軸は周波数 (kHz)、横軸は時間 (s) を表している。また、黒色の部分はスペクトルが存在する部分であり、その濃淡は振幅の大小を示している。イルカの声は時間軸方向に伸びている濃い帯状の模様によって示されている。この図から、イルカの声はその周波

数が時間と共に大きく変化していること、持続時間が比較的長いことなどが分かる。これまでのイルカの声の解析はこの周波数の変化に重点を置いて進められてきた。図1からは鳴音の振幅がどのように変化しているかや正確な周波数は読みとれない。

図1に明瞭に現れているもう一つの模様は時間軸に直交する多くの直線状の縦縞である。これはすでに述べたテンプラノイズとエコロケーションに用いるクリック音である。全周波数域にスペクトルが存在し、

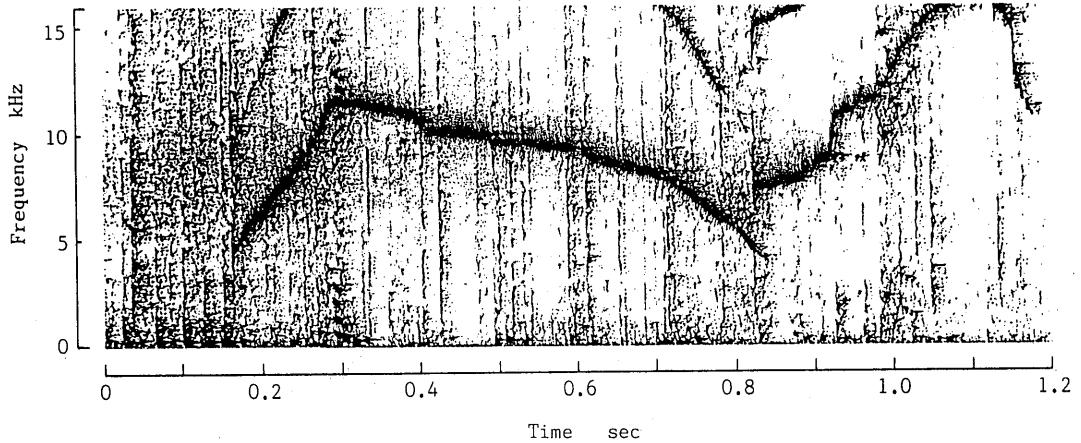
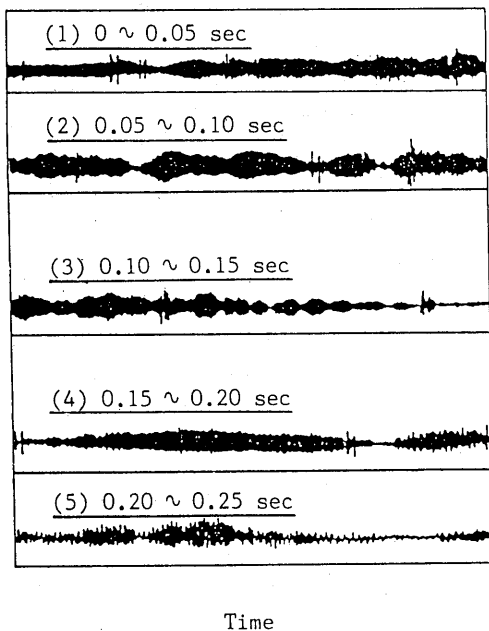
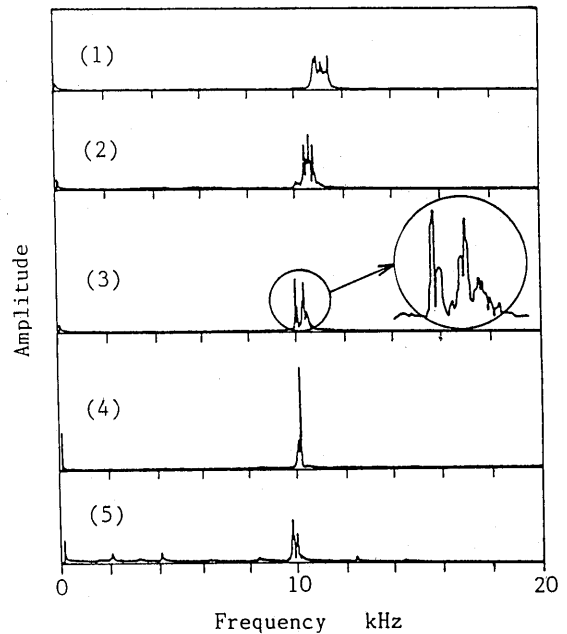


Fig. 1 Sonogram pattern of a bottlenosed dolphin call



(a) Partial waves of a call



(b) Spectrums of partial waves

Frequency analysis ability : 20Hz, Analysis time length : 50msec,
Data length : 4096

Fig. 2 Change in amplitude and frequency of a call of bottlenosed dolphin

その持続時間は非常に短く、パズル状ノイズであることがよく分かる。

2. 2 スペクトル解析

解析の目的がイルカの声の持続時間全体について振幅変化の様子を知ることであるのか、あるいは周波数の変化の様子を詳しく知ることか、またはある瞬間(外部から刺激を与えた瞬間など)のスペクトルの周波数と振幅が知りたいのかなど、解析目的に応じて解析手法も適したものを選ぶ必要がある。

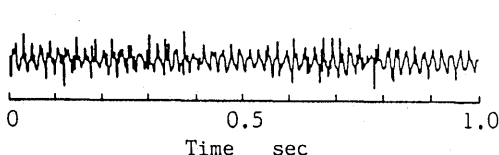
図2は図1とは異なるイルカの声について、周波数と振幅の変化の様子を見るために行った解析例である。0.25sec間のデータを0.05secごとに5分割し、縦に並べて、その生波形とスペクトルを示している。スペクトル図の縦軸の単位が示されていないが、これは収録データのレベルが不明のためである。この図から、0.05secという短時間の間にも振幅は激しく変化していること、周波数は0.25sec間に約11.4kHzから約9.8kHzまで変化していること、スペクトルはかなりの側帯波を伴っていることなどを読み取ることができる。しかし、これらの結果はあくまでも0.05sec間の平均値としてのスペクトルであるので、側帯波の発生⁽¹⁾が振幅変化(振幅変調)や周波数変化(周波数変調)によるものであるのか、それとも同時にいくつかの周波数が存在しているのかなどの追求のためにはさらに進んだ詳細な解析が必要である。

図3は図2(a)の0.10~0.15sec間の波形を波形の特徴ごとに再分割し、抽出された対象波形以外の部分は振幅が零とみなして分析を行った結果である。図3(a)に示された各抽出部(A, B, ..., N)に対応するスペクトルが図3(b)である。この図と図2(b)の0.10~0.15sec間のスペクトルとを比較すると側帯波が減少している。このことから、イルカの声は単一波(およびその高調波)がその振幅や周波数を時々刻々変えているものであることが分かる。

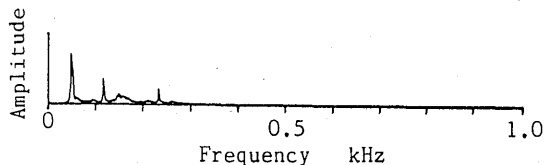
3. 魚の発音の解析

3. 1 ドンコの威嚇音の解析

図4はドンコ(freshwater goby)の威嚇音の記録



(a) Wave involving calls

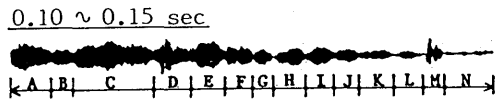


(b) Spectrum of the wave involving calls

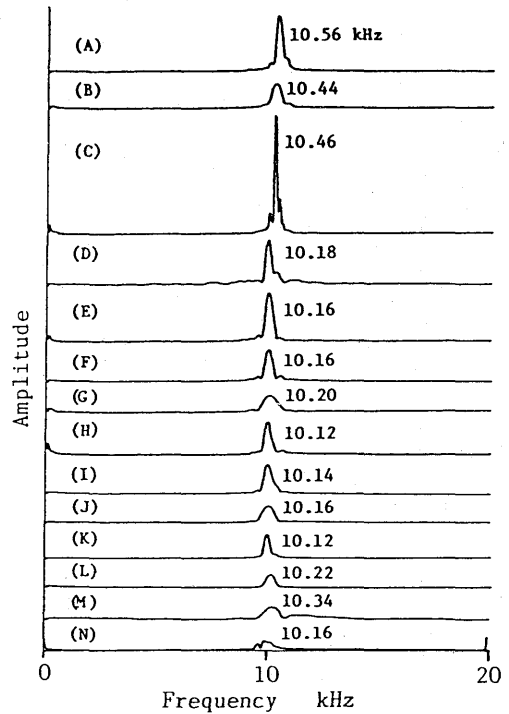
Fig. 4 Wave involving calls of freshwater goby and its overall spectrum

波形およびスペクトル図である。耳で聞いた場合、この威嚇音は強い背景音の中にその存在を聞き分けることができた。しかし、図4(a)および(b)からは威嚇音と背景音の区別がつかない。一方、図5は耳で聞いて威嚇音が認められない部分(背景音)の生波形およびスペクトル図である。図4(a)と図5(a)を比較すると両者間に違いがあることだけは分かる。図4(b)と図5(b)の比較によって、背景音の中に明瞭な定常音(52, 121, 242Hz)が存在しており、威嚇音は背景音の中に埋もれていることが分かる。

図4(b)中、52, 121, 242Hzの3つのスペクトルは背



(a) Partition of the call wave



(b) Spectrums of each part in (a)

Fig. 3 Spectrum variation in a call of bottlenosed dolphin

景音と判断できるので、スペクトルからこれらを消去し、残ったスペクトルを逆フーリエ変換して得た波形が図6(a)である。図6(a)の波形がドンコの威嚇音波形である。図6(a)のA部のみのスペクトルが図6(b)であり、これが背景音を除いたドンコの威嚇音の正しいスペクトルと考えることができる。

3.2 シマイサキの威嚇音の解析

図7はシマイサキ (tigerfish) の威嚇音波形とスペクトル図である。図4と比較すると対象音が明瞭であり背景音は無視できる。一つの威嚇音はいくつかのパルス状の波から成り、これが短い間隔をおいて断続的に発せられる。このような場合に、図7(a)から図7(b)のように、得られた記録波形をそのままFFT処理すると、威嚇音と威嚇音の間の背景音も含めて処理してしまうことになる。また、各威嚇音が異なった周波数をもっている場合、その分離は不可能となる。従って、図8(a)のように1回の威嚇音のみ残し、他の部分は振幅が零となるように前処理を行ってからFFT処理するとよい。図8(b)は(a)のスペクトル図である。図7

(b)を詳しく見るとスペクトルの山がさらに二つの山に分かれていることが分かる。これは図8(b)から、二つの威嚇音の周波数がわずかに異なっていたためであることが分かる。

3.3 グチの発音解析

図9はグチ (Japanese marine drumfish) の単発音の波形とそのスペクトルである。この図からは、一見すると100Hz付近のレベルの高い成分がグチの発音であるかのように見える。そこで、図9(a)のA部のみを抽出分析すると図9(c)がえられる。図9(b)で認められた100Hz付近の成分が9(c)では大きく減退している。このことから、この成分は背景音であったことが分かる。

図10(a)はグチの雌雄のコラス音である。図10(b)はそのパワースペクトルである。この音は耳で聞くとジャーという連続音でありノイズとの区別はつかない。しかし、図10(b)にはノイズ成分も含まれていると予想される。そこでSN比の改善を試みる必要がある。SN比の改善のためによく用いられる時間領域での加

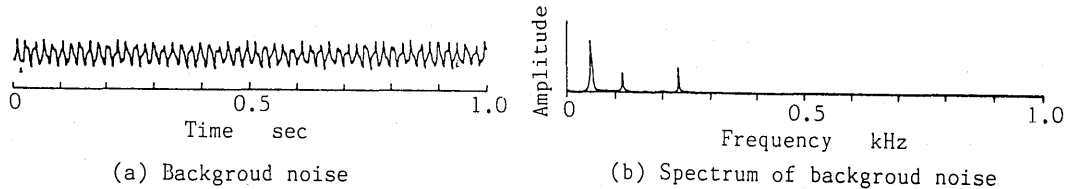


Fig. 5 Background noise spectrum in an analysis of calls of freshwater goby

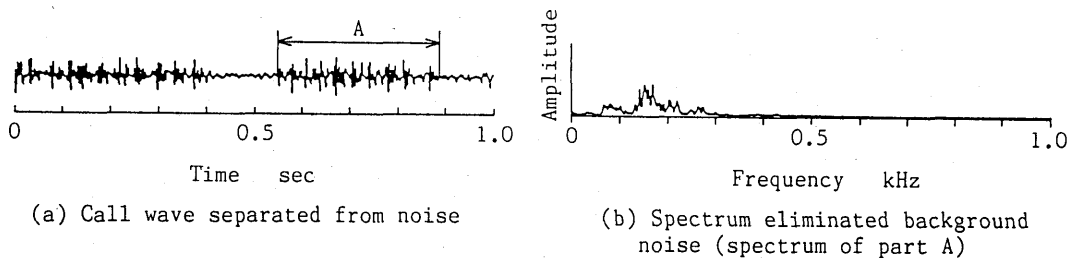


Fig. 6 Call wave of freshwater goby and its spectrum eliminated background noise

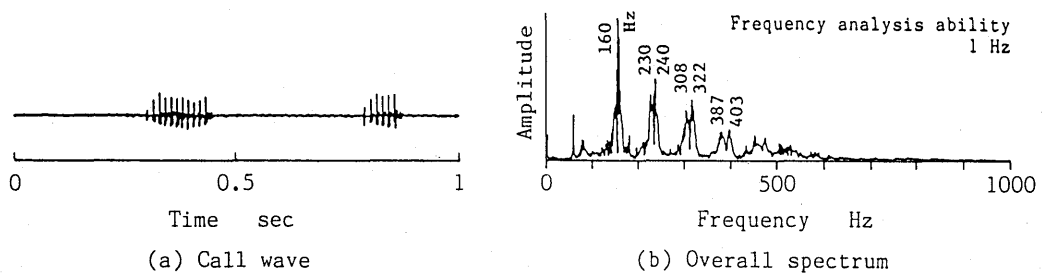


Fig. 7 Call wave of tigerfish and its spectrum

算平均はトリガ信号が存在しない生物音の解析には適用できない。従って、周波数領域での加算平均を行う。図10(c)は8回の加算平均を行った結果(パワースペクトル)である。図10(b)と比べ、スペクトルの乱れが減り、コーラス音の特徴がよく現れている。なお、60 Hz成分が強く残っているが、これは測定系のハムである。

4. 結 言

水中生物音はその周波数や振幅、単発音・断続音の別、発音持続時間などが対象生物ごとに異なるうえに、収録環境によって背景音(雑音)も全く異なっている。従って、水中生物音解析では対象音と背景音の分離が

可能かどうか解析の成否を左右する。そこで、収録環境特性の十分な把握が非常に重要である。背景音(収録環境)をよく理解した上で、分析機器の機能上の制約なども考慮して、対象音ごとに解析方法を工夫することが必要である。

ここでは、イルカの鳴音およびドンコ、シマイサキ、グチの発音について、FFT解析によって対象音と背景音を分離する方法、解析方法の違いによる解析結果の違いなどを明らかにした。

参考文献

- 1) 西田知照, 丸木勇治; 歯車の偏心誤差と騒音スペクトル, 精密機械, 47-4 (昭56), 471.

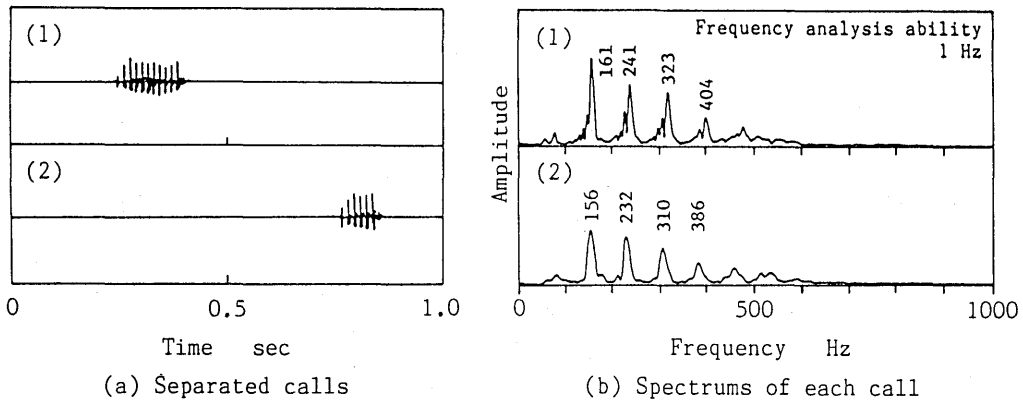


Fig. 8 Difference in spectrums of each call of tigerfish

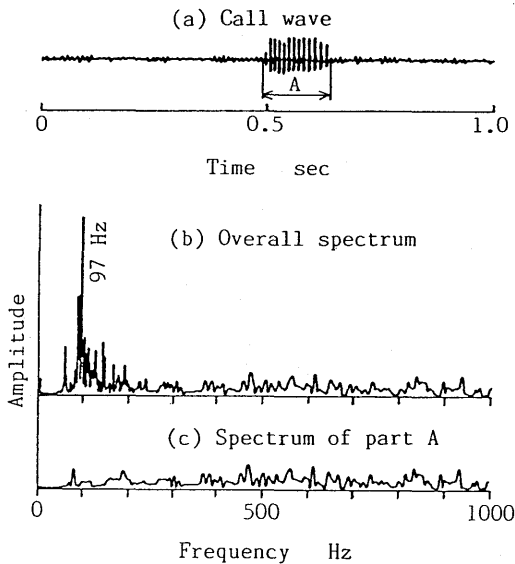


Fig. 9 Call wave of Japanese marine drum fish and its spectrum

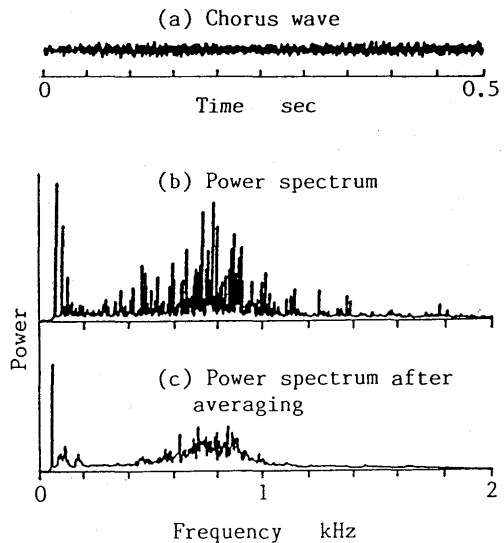


Fig.10 Analysis of chorus of Japanese marine drum fish by power spectrum and averaging operation