FFT 法による擬餌鉤の振動解析

三 浦 汀 介

(1979 年 12 月 7 日受理)

The Use of Fast Fourier Transform for the Analysis
of the Lure Vibration

Teisuke MIURA*

Thinking of the spectra analysis by the personal computer, the FFT (fast fourier transform) algorithm was adapted for the personal computer.

Considering the availability, it was used for the analysis of the lure vibration.

For the experiment, two types of lure were prepared. One is the floating type (13 cm) and the other is the joint type (9 cm). They were streamed with 1.5 m line (nylon) behind the transducer in the water recirculation tank. And their tensions were measured and recorded on the analogue data recorder. After the experiment, analogue data were read by A/D converter to the computer.

According to the result, it appeared that their vibration had considerably a simple pattern of spectra and their mode of spectra had a high correlation with current speed.

一般に、スペクトル推定法として BLACKMAN-TUKEY 法, FFT (高速フーリエ変換) 法, MEM (最大エントロピー) 法あるいは自己回帰式法がある。これまでは計算原理が明確なことや安定したスペクトルが得られることから BLACKMAN-TUKEY 法が広く普及してきたが、計算時間の短縮という要求から新しいスペクトル計算法として FFT 法が COOLEY と TUKEY によつて提案され大きな反響を巻き起した。その後、BURG による MEM 法や赤池による自己回帰式法へと新しい考え方が展開され現在に至っている¹⁾。

本研究では研究者が周波数領域での解析を手元のパーソナル・コンピュータを利用して気軽に行なえることを考えて、従来大型計算機やミニコン等で行なっていた FFT のアルゴリズムをパーソナル・コンピュータに合うようにプログラムの改造を行ない、その有効性を考えるとともに水産研究への応用事例として、曳航中の擬餌鉤の振動解析に使用して良い結果を得ることができたのでここに報告する。

なお本論文をとりまとめるにあたって、北海道大学水産学部佐藤修教授、川島利兵衛教授、西山作蔵助教授、中村秀男助教授から有益な御助言と御指導を賜り、ここに深く感謝の意を表する。また、実験や資料の整理では研究生清水晋君の手をわずらわせた。同時に、垂直循環型回流水槽を心よく貸して下さった函館製網船具株式会社にも厚く御礼申しあげる。

スペクトルの推定とそのアルゴリズム

今回、用いたパーソナル・コンピュータは精工舎 K.K. の S-5700 型で、言語は“ブレイン”とインタープリタ形式の“ベイスック”を持っている。メモリーに関して言えばユーザーエリアが 24k, OS として 20k 程の一般的なパーソナルコンピュータで周辺機器に、プロットインク・ライタと MFD が付いている。これまでに、FFT 法のアルゴリズム、その応用に関する文献は多いが、今回はフォートラン言語で書かれたものを参考にし、パーソナル・コンピュータで使えるように“ベイスック”に書きなおすと同時に、計測に便利のように種々の工夫がされた²⁾。一度計算機内に取り込んだデータはファイル・ネームが付けられてディスク上に外部メモリーの形で確保しておき、必要に応じてすぐ呼び出せるようにした。また測定条件や現象に合わせてデータの前処理やスムージングなどを任意に選べるようにした。

実際に、取得したデータのスペクトル推定の方法について Fig. 1 のフローチャートによつて説明すると、まず素データに偏りがある場合には必要に応じて、トレンドの除去やブレホワイティング等の前処理を行なう。次にデータ数を 2 のべき乗に選び、もし必要ならデータウィンドを使用して FFT を行う。その後、ハニングやハミングまたは赤池のスペクトルウィンドを使つてスペクトルの平滑化を行い求められたパワースペクトルをプロ

* 北海道大学水産学部 (Faculty of Fisheries, Hokkaido University, Hakodate 041, Japan).

ットで図形化して終る。このプログラムにはオプションとして、パーセント変換、ルート変換、対数変換のサブプログラムを含んでいるので必要に応じこれらを選ぶことができる。

ここで、このプログラムの有効性を評価する事例を2, 3 あげると、計算所要時間に関して言えば、同じ言語で BLACKMAN-TURKEY 法でサンプル数 512 個の時、10 時間もかかつて使いものにならないが、FFT 法ではおよそ 10 分で終る。サンプル数が 256 個では 2~3 分である。また、計算精度に関することでは、数値表現が仮数部 13 桁、指数部 2 桁の浮動小数点形式であるため、仮数部有効桁数についてはミニコンの倍精度演算が普通 14 桁であるから 1 桁すくないことになるが、この程度の計算であれば十分な精度と言える。特に FFT では、乗算回数がサンプル数 N に対して $2N \log_2 N$ と多いので有効桁数に留意しなければならない。

Fig. 1. Algorithm of the data processing by S-5700.

実験装置と方法

実験は、水量約 250 t、流速 0~2.0 m/s まで連続可変のできる垂直循環型回流水槽で行なつた。実験に使つた擬餌鉤はフィンランド製ラパラ J. 9 型、F. 14 型の 2 種類で、J. 9 型は Fig. 2 に示すようにジョイント型で全長 9 cm、重さ 6.6 g であり、F. 13 型は全長 13 cm、重さ 10.5 g である。それらを直径、0.234 mm のアミランテグス 1.5 m の先端に結び、その反対側を引張型歪ゲージに結び、流速 60 cm/s から 140 cm/s までの間を 10 cm/s ごとに、それぞれのテグスにかかる張力を計測した。下限を 60 cm/s と決めた理由は、この流速から擬餌鉤の振動が安定するからで、また上限の 140 cm/s の場合は回流水槽の水の流れがこの流速までの範囲内で比較的安定している為である。計測は Fig. 3 に示すように、歪ゲージの信号をストレイン・アンプで増幅しデータレコーダに記録して、後に計算機に入力してデータ処理を行なう方式をとつた。

結果ならびに考察

計算機に入力するデータはナイキスト周波数を考慮してサンプリング間隔を 0.008 s にとり、データ数は 2 のべき乗でなければいけないので、今回は 128 と決めて、

Fig. 2. Photograph of the lures used for the experiment.

J-9; joint type (9 cm),
F-13; standard type (13 cm).

Fig. 3. Block diagram of measuring systems.

Fig. 4. Root transform of the power spectrum to the lure (J-9, F-13) oscillation.

それぞれの実験条件に対するデータを外部メモリー上にファイル名をつけてファイルした。その後、Fig. 1のフローチャートの順に、データウインドにはコサイン型データウインドを使い、FFT処理の後のスムージングではハニングによるウインドを使った。結果はルート変換とパーセント変換のサブプログラムを使用してXYプロッタに出力させた。それらをFig. 4に例示する。これらの図からわかるように、J. 9型もF. 13型も流速の全般にわたって比較的安定なスペクトル・パターンを示している。それらは総じて、特長的なピークを持ち、周期性の高いことを示すと同時に、流速の変化につれて、擬餌鉤の振動数が比例的に変化していることも理解できる。また、高周波領域に若干ピークらしきものがみられるのは、本体についたイカリ鉤の振動やJ. 9型の場合はジョイント部の影響によるものではないかと考えられる。これらの結果をもとに流速と擬餌鉤の主たる振動数の関係を示したのがFig. 5である。両者の関係が直線回帰しているものとして回帰係数と相関係数を求めてみると、

$$F=0.095V+0.100 \quad r=0.985 \quad (\text{F. 13 型})$$

$$F=0.175V-1.900 \quad r=0.999 \quad (\text{J. 9 型})$$

となつた。

また、参考までに流速とテグスにかかる張力の関係を測定したのでそれをFig. 6に示すこれらの関係は、

$$T=0.0030V^{2.019} \quad r=0.997$$

$$T=0.0016V^{2.103} \quad r=0.999$$

となつた。

以上の結果から、擬餌鉤の振動は曳航時の対水速度に比例した振動数を発生しているものと思われる。そして、その振動は対水速度に比例的に変化する比較的規則正しい正弦波に、イカリ針やジョイント部の影響と思われる種々の振動が重畳した比較的単純なスペクトル・パターンをしているものと考えて良いと思われる。

大型魚が小型魚を襲う場合、群からはずれたり、傷ついて遊泳行動が不自然なものがよくねらわれると思われる。しかしながら今回使用した擬餌鉤について言えば、実験結果から、単純に引いた場合ごく自然な遊泳行動に近い動きが観察された。このことは、操業時、釣竿の操作や船の操船技術等により、擬餌鉤に何らかの付加的操作がなされ、より大型魚を誘引する動きがあたえられて

Fig. 5. Towing speed and oscillation frequency.

いるであろうと考えられる。今後は、このような大型魚に好奇心を起させる動きがどのようなスペクトルを含んでいるか、また、擬餌鉤の振動が釣人の手元に伝わる機構について、釣糸の持つ伝達特性を考え、それに正弦波

Fig. 6. Towing speed and tension.

入力に加わった場合を想定して系の特性を定めてみたいと思う。

文 献

- 1) 日野幹雄：スペクトル解析，朝倉書店，東京，1978，pp. 154-208.
- 2) 電子通信学会：デジタル信号処理，コロナ社，東京，1975，pp. 6-66.