

第8章

ホタルの発光パターンの測定，周波数解析，自己相関解析，
リターンマップ，リアプノフ解析，フラクタル次元

カオスとフラクタルの 解析に挑戦

Excelを使ってカオスとフラクタルの解析に挑戦します。カオスとフラクタルの解析については、高価な専用のソフトウェアがいくつか市販されています。

本章では、Excelをカオスとフラクタルの解析ツールと位置付け、カオスとフラクタルの解析例を紹介します。

解析内容は、周波数解析、自己相関解析、リターンマップ、リアプノフ解析、フラクタル次元についてです。解析対象として、著者らが測定したホタルの発光データを取り上げます^{注8.1}。生物は文字通り“生き物”です。生きる過程や環境によって固有の振る舞いがあり、そのときの状況によって変化します。ホタルの発光メカニズムや発光パターンもその例外ではありません。

本章で紹介する解析結果から、これらの一端をかいま見ることができるかもしれません。

8.1 ホタルの発光パターンの測定と周波数解析

8.1.1 測定

ホタルの発光を観察し測定した場所は、山口県山口市の山間の数か所です。測定については、農家の軒先を借りて数日間行いました。観察したホタルの発光のようすを写真8.1～写真8.3に示します。ホタルはなぜ光るのかについては、オスとメスの交尾のためのコミュニケーションと考えられています。

ホタルが発光する明滅の周期やパターンについては、そのときの状況変化で異なります。ホタルの種類や地域性によっても異なり、交尾の信号を発しているときと、外部から何らかの刺激を受けたときでも異なります。例えば、クモの巣にかかったホタルはかなり強く規則的に発光すると言われています。また、集団的に明滅を繰り返す現象もあります。

注8.1：ホタルの測定については、筆者の1人である白田と山口大学農学部 深田三夫先生との共同作業によるものである。これらの詳細については、

Ohm MOOK 光シリーズ No.1「光デバイス」、2001年11月25日発行
を参照してほしい。

写真8.1 ホタルの乱舞・口絵掲載

写真8.2
オスのホタル・口絵掲載写真8.3
オスとメスのホタル・口絵掲載

ホタルの発光の光学測定については、

- (1) 発光波長を観察するための発光スペクトル
- (2) 発光出力の時系列特性である明滅パターン

の2種類について測定しました。本章では、(2)について解析します。

測定に使用した光パワーメータはML9001A(アンリツ)、光検出器はMA9411A(アンリツ)です。光パワーメータと光検出器は専用のケーブルで接続し、光検出器には専用の光ファイバを接続します。光ファイバの先端部からホタルの発光を取り入れます。

光出力の測定方法については、光パワーメータに付属しているレコーダ出力端子にレコーダを接続し、出力電圧を時系列データとして記録しました。その後、これをASCIIデータとしてExcelのワークシートに読み込んで、以後の波形解析をしています。なお、比較として、ホタルのデータ以外に、サイン波形(第1章参照)とカオスを発生するロジスティック写像の式(以下、カオス波形、第6章参照)についても解析結果を示します。

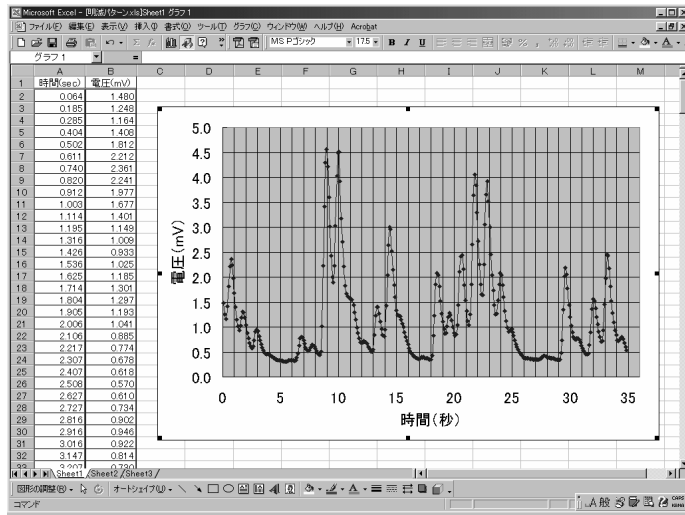
測定して得られたホタルの明滅パターンの例を図8.1に示します。これは散布図でグラフ化したものです。A列が経過時間で、B列がレコーダ出力の電圧値です。350個の時系列データです。

このほかにも多くの測定結果を得ていますが、明滅パターンはホタルの状態によって異なり、さまざまなパターンが得られました。

8.1.2 周波数解析

周波数解析として、第1章で説明したフーリエ解析の手法をそのまま適用します。時系列データの周期性の有無を調べる解析法です。対象のデータに周期性があれば、解析結果をグラフにすると対応したピーク波形が得られます。

図8.1
オスのホタルの明滅パターン
(明滅パターン.xls)



ホタルのデータを解析する前に、サイン波形とカオスの時系列波形について周波数解析をします。これらの波形の作成方法と周波数解析(フーリエ解析)の手順については第1章を参照してください。

作成した解析結果を図8.2に示します。サイン波形の場合は、周期に対応したピーク波形が表示されますが、カオス波形の場合は周期性を示すピーク波形が表示されず、カオス固有のノイズレベルが重畳されているのみです。

図8.2
サイン波形とカオス波形の周波数解析(周波数解析1.xls)

