

カエルの心拍ゆらぎとその非定常性

永井喜則¹、 荻原利彦²、 土屋尚³

¹麻布大・教養、²麻布大・環境生理、³中京女子大

生物には様々な振動、リズムがある。心臓の鼓動も生物のもつリズムの一つである。心臓の鼓動は規則正しく打っていると我々は日頃思っている。また、心臓に関しては、心筋の自発的振動収縮や、二つの心筋を接触させた時のリズムの引き込みなどの事実が知られている。このような知見からも、心臓は規則正しいリズムを生み出す器官の代表のように考えられる。このような規則正しいリズムをもつ心臓の心拍間隔をミリ秒の精度で測定して判った事は、心拍間隔は約10%位のゆらぎ幅をもつことである。このことは、心臓の鼓動は、規則正しい振動子と考えるには、若干の問題を含んでいることを示唆する。

心臓の鼓動のデータを一つの時系列と考え、どのような性質をもった時系列であるかということ解析することは十分価値のある問題と考えた。Mayer-Kressらも述べているように、時系列解析法的心臓の拍動への応用は始まったばかりと言ってよい(Math. Bioscience 90 (1988) 49-70)。我々は、カオス理論に基づく心臓拍動(心拍と以後略称する)解析法が臨床診断に役立つことを期待している。そこに到る基礎として、カエルの心電図を解析し、興味ある結果を得たので報告する。

心拍データの測定方法

カエルにビスを打ち、固定する。カエルの右手首と左足首に電極をつけ、右足首より抵抗を通して接地する。右手首と左足首の電極からの心電の誘導法をヒトに習って第Ⅱ誘導法と呼ぶことにする。第Ⅱ誘導された心電は、心電計による増幅を経て、A/Dコンバータによる二進数化の操作を受ける。二進数化された心電のデータはパーソナル・コンピュータ(PC9801, NEC)で処理される。これらの二進数データはディスクに保存される。データはA/Dコンバータにより2 msecのサンプリング間隔で二進数化されている。一回の計測で32768サンプル数×4のデータが得られる。時間に直すと65秒×4に相当する。4倍となるのはコンピュータのメモリー領域がバンクかされているためである。この心電データに基づいて、心拍間隔(いわゆるR波の間隔)、波高値(R波の高さ)等の任意

の時系列データを得ることが可能である。

心拍間隔の解析

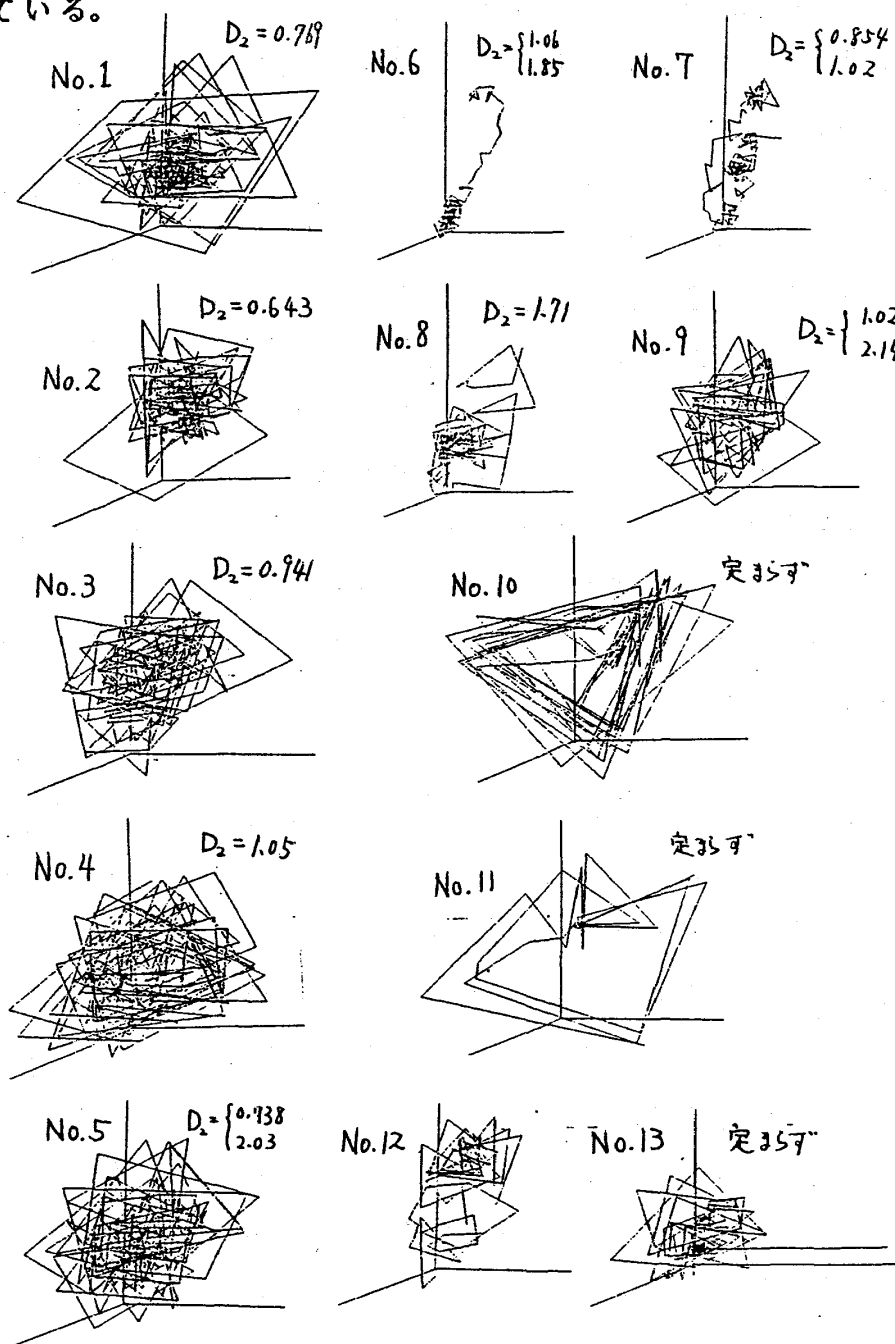
カエルはピスを打たれているので、最後は死に至る。我々は、ピスを打った一匹のカエルについて三日間にわたり心電データをとった。データは各々の日に適当な時間にわたる心電計測により得られた。データは 32766×4 のサンプル数に対して一つのNo.を与えた。全部で、No. 1～No. 13までのデータが得られている。各No.のデータの心拍間隔は、最大の間隔に対して10%～35%程度のゆらぎをもっている。

心拍間隔を三次元空間に埋め込んで表現したものが図1である。我々は、これ

図1 心拍間隔アトラクター

心拍間隔の一次元時系列を三次元に埋め込んで描いたもの。No.1-No.7は一日目、No.8-No.11は二日目、No.12, No.13は三日目のデータである。

右肩の数字は相関次元の値。2つあるものは折れ曲がりのあるものを表す。No.12は求めてない。定まらずについては本文参照。



を三次元空間に埋め込まれた心拍間隔のアトラクターと呼ぶことにする。それぞれのデータ No. に対して Grassberger-Procaccia の提唱した相関次元を求めてみた。その値は各データ No. の心拍間隔アトラクターの右肩に書かれている。

相関次元を求めるために相関積分を計算する。この相関積分の形について少し述べる。我々のデータに対しては、相関積分は三種に類別できる。

1 ある程度広い領域にわたり直線的变化が見られるもの

2 折れ曲がり二つの領域に分かれるもの

3 かなり広いプラトーの領域が現れるもの

3 に類別されるものは図 1 では相関次元が求まらないとしてある。

カエルの心拍間隔の相関次元はヒトのそれに較べて低い。ヒトでも同様の方法で測定したが 3~4 の相関次元が得られている。この相違が何に起因するかについてはまだ判っていない。

心電アトラクターの非定常性について

カエルから最初にとった心電データを三次元空間に埋め込んで描いたものが図 2 である。これを心電アトラクターと呼ぶことにする。心電アトラクターは各データ No. の 4 つのデータについて別々に描いた所、各データ No. の時間内 (260 秒程度) では殆ど同じ形を描き変化が見られなかった。この時間内で安定な心電アトラクターは決してきれいな周期アトラクターにはなっていない。アトラクターの断面を見てゆくと、バィコね的变化が観察されるので、カオスアトラクターに近いものになっている。

各データ No. の心電アトラクターを較べてみると、その形は大きく変化している。カエルの心電アトラクターは数分程度は安定であるが、数時間のオーダーでは大きく変わると考えられる。ビスを打ったカエルは死に至るので、最期には心電は消失し、心電アトラクターは点になる。ビスを打たれたカエルでは、最期に近い No. 12, No. 13 を除くと心電アトラクターはいくつかの形に類別できることが各データ No. の心電アトラクターの比較から判る。

これから、生きている時には類別された心電アトラクターの間を経廻っていることが考えられる。例えば、No. 5 から No. 6 へ大きく形を変えているが、No. 8 では再び No. 5 と同じ様な形に、一日の時間の隔たりがあるにもかかわらず、もどっている。我々は No. 5 から No. 6 への急激な変化を非定常過程として捉え、そのメカニズムを調べてゆく。

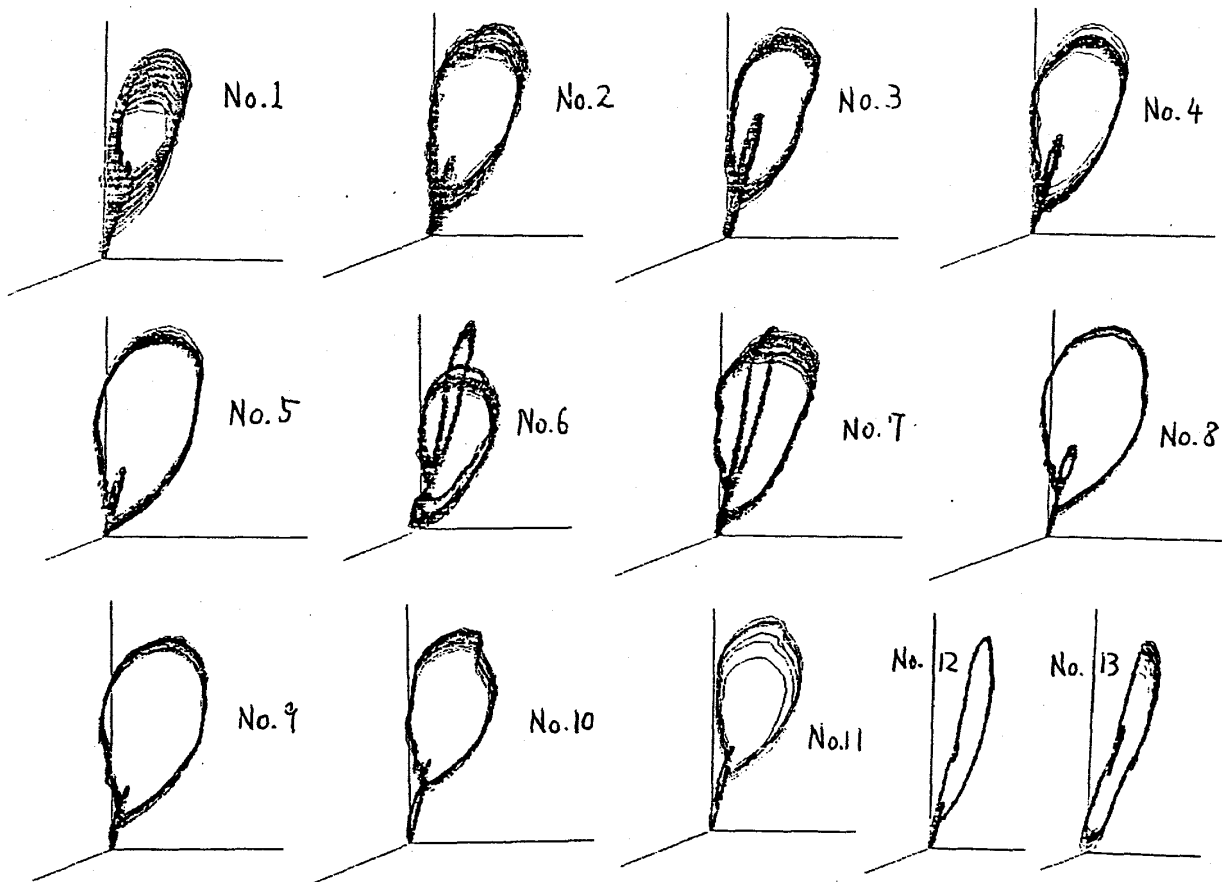


図2 心電アトラクター

一次元時系列の心電を三次元空間に埋め込んで描いたもの。
三日目のデータNo.12とNo.13を除くとアトラクターは二つ
位に類型化される。