

## 加速度脈波カオス自動解析システムの開発

馬庭芳朗<sup>1</sup> 五百旗頭 正<sup>2</sup> 山本 基<sup>3</sup> 太田祥一<sup>4</sup>

加速度脈波は指先の容積脈波を二次微分して得られる。近年、末梢循環動態を鋭敏に反映することから注目され、その波形成分分析により血管老化度を評価する理論もほぼ確立されている<sup>1)</sup>。一方で、カオス理論の医学への応用が注目され、本誌でも“複雑系(カオス)の医学”として特集された<sup>2)</sup>。加速度脈波のような複雑な変化を見せる時系列波形も非線形的な規則(決定論的カオス)をもつならば、これを評価することで健康や病態を解析する手段となりうる。

著者らは、脈波を検知する指先センサー、波形をAD変換するPCカード、ウィンドウズ上で容積脈波波形を加速度脈波に演算・保存し、その後、連動してカオス解析できるソフトから構成される加速度脈波カオス自動解析システムを開発した。このシステムと実際の臨床応用を報告する。

## 材料と方法

加速度脈波測定システムの詳細は既報どおりである<sup>3)</sup>。カオス時系列解析ではアトラクタの再構成(観測時系列から時間遅れ座標系への変換)がまず行われる。この多次元空間埋込みには埋め込み次元(d)と遅れ時間( $\tau$ )を適切に設定する必要がある。まず、兵庫県大屋町において2000年6月に施行された町ぐるみ健診で測定した加速度脈波データ(5msec間隔、計1,409ポイント)のなかから、既往歴がなく、成人病健診データもすべて正常な健常群60例を抽出し、局所ファジー再構成法を用いてもっとも予測精度の高い埋込みパラメータ、 $d=2$ 、 $\tau=2$ を得た。

測定された加速度脈波データの決定論的カオスの評価には、リカレンスプロット(以下、Rp)と軌道平行度(以下、TPM)を採用した。

Rpはアトラクタを構成しているベクトルの相関関係を視覚化し、時系列データのもつ非正常性の検出に優れていることが指摘されている<sup>4)</sup>。アトラクタ軌道がN個のベクトルから構成されているとして異なるベクトル $X_i$ 、 $X_j$ のユークリッド距離 $D_{ij}$ を求める。 $D_{ij}$ が

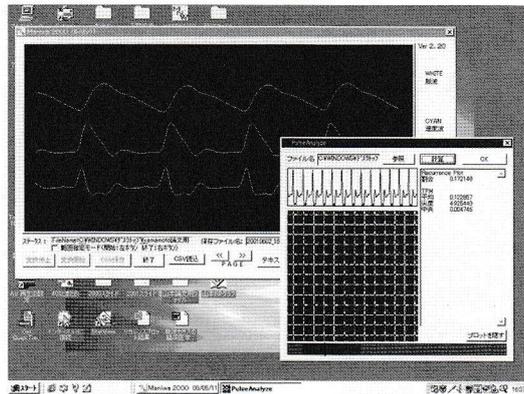


図1 加速度脈波カオス自動解析システム  
PulseAnalyze Maniwa2001(明電舎)。

閾値 $\theta$ より小さい場合、一辺の長さがNとなる二次元平面上のX軸がi、かつY軸がjの場所にドットをプロットする。

一方、TPMはアトラクタ接線ベクトルの平行度を算出するもので、これも決定論的カオスの定量法として著者らによって考案された<sup>5)</sup>。

指先をセンサに挿入しウィンドウズ上で測定開始ボタンを押すと、自動的に解析プログラムが作動後、カオスアトラクタの構造を視覚化する目的でリカレンスプロット画面が表示され、同時に決定論的カオスの評価指標としてプロット全体における白の割合(Rp-dw)とTPMが算出されるソフトウェアを開発した(図1)。

このシステムの検証には、著者らの施設で入院加療中30例の入院群とシステム構成に用いた健常群60例のカオス解析結果を比較し、合わせて和歌山県立医科大学で消化器癌緩和ケアを施行された5例延べ60ポイントについて、Face Scale法と対照してその治療効果判定に関する有用性を検討した。

## 結果

著者らが開発した加速度脈波カオス自動解析システ

Development of an acceleration plethysmography chaos automatic analysis system

Yoshio MANIWA<sup>1</sup>, Tadashi IOKIBE<sup>2</sup>, Motoki YAMAMOTO<sup>3</sup> and Shoichi OTA<sup>4</sup>: 大屋町立南谷診療所<sup>1</sup>, 複雑系応用技術研究所<sup>2</sup>, 和歌山県立医科大学第二外科学教室<sup>3</sup>, 東京医科大学救急医学教室<sup>4</sup>

連絡先: 馬庭芳朗(大屋町立南谷診療所〒667-0432兵庫県養父郡大屋町宮本42)

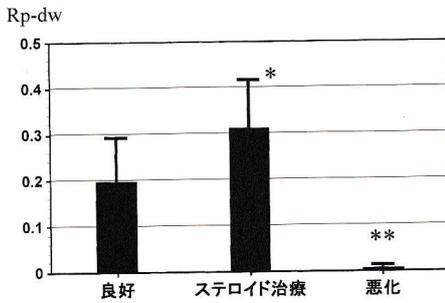


図2 緩和療法の経過とリカレンスプロット  
\*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.001$  vs. 良好群 (Mann-Whitney).

ムは、指先の挿入から解析まで約10秒で完了するという簡便性をもつ。

末梢循環不全などで加速度脈波の決定論的カオスにランダムな要素が混入するに従いアトラクタ上の2点間の距離が小さくなり、その結果Rp-dwは低下し、TPM値は軌道の平行度が失われて上昇した。また、痛みや発熱などではカオスが単純化し、Rp-dwは上昇した。かりにRp-dwの正常範囲を0.07~0.32に設定すると、健常群で96.7%がこの範囲に入り、入院群30例では86.7%がこの両端に分布した。

緩和医療症例ではFace Scaleがgrade 2未満で状態良好な20ポイントのRp-dw値は $0.195 \pm 0.029$  (mean  $\pm$  SE), Face Scale 3以上の状態悪化20ポイントのRp-dw値は $0.003 \pm 0.002$ であった ( $p < 0.001$ , Mann-Whitney)。また、バタメサゾンが投与 ( $n = 20$ ) されると症状は緩和されるものの、Rp-dw値は $0.31 \pm 0.021$ となり、カオスは単純化した(図2)。

#### 考察

生体信号の複雑系(カオス)に関する研究はまだまだ臨床応用段階でなかった。これは、①カオス解析の手法がリアプノフ指数やフラクタル次元の算出などに限られていたこと、②簡易な測定解析システムが確立され

ていなかったことが原因であったと考える。

たとえば、リアプノフ指数は、カオス力学系における軌道不安定性を定量化できるものの、埋め込まれた多次元の各軸それぞれの評価であり、ノイズの影響も受けやすい。一方、今回採用したRpもTPMも多次元軌道全体の非定常性の評価が可能となるところに有用性があり、Rpのドットの割合(Rp-dw)を算出することで非定常性の定量が可能となる。すなわち、中医学における健康な脈が中庸で穏やかな脈を指すように、加速度脈波の決定論的カオスも健常では中庸を示し、疾病の進行とともに非定常性をもつと仮定し、これを検出する目的でシステムを構成した。実際、発熱や疼痛、薬剤投与によりカオスは非定常的に単純化し、ホメオスタシスが破綻に向かうと複雑化した<sup>6)</sup>。

#### まとめ

今回開発したシステムはセンサとソフトウェアの購入のみのため、きわめて安価に導入できる。しかも、IT環境での僻地やオフィスの健康管理と危険群の早期予知、ASP(application service provider)への活用が期待できる。

- 1) Takada, H. et al.: *Med. Prog. Technol.*, **21**: 205-210, 1997.
- 2) 安保 徹・他: 医学のあゆみ, **197**(11): 829-867, 2001.
- 3) Maniwa, Y. et al.: Establishment of new medical information by development of the acceleration plethysmogram and chaos analytic system on Windows OS. Proceedings of 10th Intelligent System Symposium, Tokyo, 2000, pp. 163-166.
- 4) 池口 徹・他: リカレンスプロット. カオス時系列解析の基礎と応用(合原一幸編). 産業図書, 2000, pp. 189-198.
- 5) Fujimoto, Y. et al.: *J. Adv. Comput. Intell.*, **3**: 50-55, 1999.
- 6) Maniwa, Y. et al.: The application of pulse wave chaos in clinical medicine. Proceedings of 17th Fuzzy System Symposium, Chiba, 2001, pp. 787-790.

(受理日: 2002年1月10日)

\* \* \*