

氏 名	松浦 康之
学位の種類	博士（生体情報）
学位記番号	第9号
学位授与の日付	平成21年 3月 25日
学位授与の要件	課程博士 学位規則第4条第1項該当 （システム自然科学研究科生体情報専攻）
学位論文題目	非線形確率過程モデルによる胃電図の定量評価
論文審査委員	（主査）教授 嶋田 勝彦 （副査）教授 加藤 宏一 （副査）准教授 片山 詔久 （副査）教授 塩澤 友規 （青山学院大学）

論文内容の要旨

胃電図は、消化活動を制御する電気活動を測定できる方法であり、技術の進歩により記録が容易となってきたが、胃電図を用いた研究は、測定した胃電図を解析・評価することが主であり、胃電図を用いたモデル化は殆ど行われていなかった。胃電図による消化機能の定量評価、疾病診断などへの応用を将来的な目標とした基礎研究として、本研究では胃電図時系列のモデル化を目的とする。

記録した胃電図は、1kHz でサンプリングを行い、高域遮断周波数 0.15Hz のローパスフィルタを適用し、高周波成分を除いたものを、さらに 1 秒毎の区間平均値を求め、1Hz で再サンプリングをすることにより胃電図時系列データを得た。

胃電図を用いた数理モデル構築のためにデータの統計的な性質の検定を行った。最初に、rank 検定により規則性の検定を行った結果、胃電図時系列データは無規則と判定された。次に、FS サロゲート法を用いてサロゲート時系列を生成し、それと胃電図時系列データとを Wayland アルゴリズムから推定される並進誤差を用いて検定を行った結果、胃電図時系列は非線形と検定された。これらの結果より、胃電図時系列は非線形確率過程といえる。

先行研究などでは胃のペースメーカーからの波形は、Van der Pol 方程式で記述できるとされている。しかし、Van der Pol 方程式は非線形決定論モデルであり、非線形確率過程の時系列は発生できない。そこで、Van der Pol 方程式に、腸や他の臓器から発生する生体信号を模擬した周期信号と白色雑音を結合し、さらに胃と腸は連結した臓器であるため共鳴現象が生じるという仮説を基に確率微分方程式による数理モデルを考えた。

最初に、数理モデルにより生成したシミュレーション時系列に対して、rank 検定を施し、無規則である結果を得た。次に、FS サロゲート法を適用して生成したサロゲート時系列から Wayland アルゴリズムから推定される並進誤差を求め、非線形時系列であることを確認した。

次に、実測胃電図時系列、数理モデルによる生成時系列各々の時間差分時系列から推定した並進誤差を求め、その分布を比較することにより評価を行った。その結果、提案モデルから生成した時系列の統計的性質が胃電図時系列の統計的性質と類似していることが確認され、提案モデルは胃電図を記述するのに適しているとの結論を得た。さらに、胃電図による生体状態評価などへの応用についても、従来のスペクトル解析などを主とした解析方法とは、非線形確率過程という異なった視点による指標提案の可能性があり、評価精度の向上や応用範囲拡大への発展が期待できる。

論文審査の結果の要旨

近年の技術の進歩によって胃電図の測定方法は確立したが、その実際的な活用は始まっていない。本論文では、測定された胃電図をサンプリングし、ローパスフィルタを適用し、さらに、区間平均値を求め、再サンプリングすることにより安定した解析対象データを得た。得られたデータは統計的検定の結果、非線形確率過程と判定された。一方、胃の電気活動の

モデル化は、Van der Pol 方程式で記述できるとされているが、今回は従来の Van der Pol 方程式に加えて、他の臓器からの周期信号を模した信号と白色雑音を結合し、さらに胃と腸の共鳴現象が生じるという仮説を取り入れて、確率微分方程式による数理モデルの構築を行った。それを時系列の非線形性統計指標を用いて、実測胃電図データとの統計的性質の類似性により評価を行った。その結果、提案したモデルから生成したシミュレーションデータは、統計的に胃電図データを模擬していることを初めて確認できた。

従来の胃電図の解析では単純にスペクトルを求めていただけであるが、今回は新しい方法で胃電図の波形も含めて検討できるようになった。胃電図の測定は比較的長時間を要するが、侵襲性がない点で被験者の体に負担をかけないことから、今後、臨床応用に向かう可能性を開いたものと評価する。得られた結果およびそこに至るまでの各手法の開発は博士（生体情報）の学位に相応しい。