

# 胃電図のパワースペクトル—時間解析

## Power Spectral - Time Analysis of Electrogastrography

○成瀬拓\*, 井上浩\*, 猪又八郎\*\*

○Taku Naruse\*, Hiroshi Inoue\*, Hachirou Inomata\*\*

\*秋田大学, \*\*国療道川病院

\*Akita University, \*\*Michikawa Hospital

キーワード: 胃電図 (electrogastrography), パワースペクトル (power spectral), フィルタ (filter), 相関関数 (correlation function), 筋ジストロフィー (muscular dystrophy)

連絡先: 〒010-8502 秋田市手形学園町1-1 秋田大学 工学資源学部 電気電子工学科 井上研究室  
成瀬拓, Tel.:(018)889-2492, E-mail: naruse@venus.ee.akita-u.ac.jp

### 1. はじめに

胃の蠕動運動に関する平滑筋はelectrical control activity(ECR)と呼ばれる自発的電気活動によって制御され, actionpotentialであるelectrical response activity(ERA)の発生により平滑筋は収縮する. ECA, ERAは平滑筋収縮のための重要な制御因子であることから, これらの電気的変化を観察することは, 蠕動運動の状況を推測することができる<sup>1)</sup>. ECA, ERAは細胞内に直接刺入した電極や, 筋層, 粘膜面, 体表面などから記録することが可能であるが, 臨床的に応用可能な実際的方法は, 体表面から記録する胃電図記録(electrogastrography:EGG)である. 胃電図で記録されるものは平滑筋の発生する電気的変化を総和したものであり, ECA, ERAの両方を反映するものである. この電気活動は健常者では, 1分間に3回(3[cpm])の規則的な信号が観測されている<sup>1)</sup>.

胃電図の問題点は,

- 1) 体表面から得られる胃電図の信号はECA, ERAの電位変化によるものだけではなく, 体表面と胃の位置関係によっても, 電位が変化する
- 2) 被験者の身体の動きによる雑音も誤って胃電図と認識しやすい<sup>2)</sup>
- 3) 胃電図測定 of 電極配置はまだ未確立などが挙げられている.

ECAは自律神経により, 促進, 抑制されるといわれている. 自律神経障害をもつ糖尿病患者<sup>3)</sup>やパーキンソン病患者<sup>4)</sup>の胃電図の計測が行なわれ, 胃電図に変化が報告され, 臨床的応用への可能性が示されている. しかし, 便秘作用や腸の働きなどに異常が現れる筋ジストロフィー患者に胃電図の計測が行われた例がみられない. 胃電図による健常者との比較が可能ならば, 筋ジストロフィー症の非侵襲的な観察が可能になると考えられる.

そこで, 本研究では胃電図解析の対象として, 一般的によく用いられている配置方法の一つを用

い、問題点を明確にしなが、胃電図の測定を行ない、健常者と筋ジストロフィー患者の違いを明確にすることも目的とした。また、胃の運動機能はECAの周期に大きく依存しており、ECAの周期を調べることは胃運動の評価につながる。そのため、胃電図の解析方法としては、周波数解析がよく用いられる。そこで、本研究においても、解析方法のひとつとして、周波数成分を解析し、さらに、周波数の時間変化を検討することとした。振幅の時間変化については、胃電図からフィルタ後の信号を取り出し、全波整流した波形の包絡線から、振幅の時間変化の検討を行う。さらに、電極間の伝搬速度の時間変化を調べるため、フィルタ処理した信号を体表面の電極間の相互相関関数を求めて検討を行なった。

## 2. 実験方法

胃の電気活動は、胃体上部1/3の大彎側付近にあるpace maker部位より0.05[Hz]の割合で発生し、幽門側へ伝播することが確かめられている<sup>1)</sup>。胃の付近には、大きな起電力を持つ心電図(0.83~1.33[Hz])や呼吸による横隔膜の運動(0.16~0.25[Hz])が存在するため、これらの信号を除去しなければならない。本研究では従来のもとと比較できるように、当面ポータブル型胃電図記録計(ニプロ社製、EG)を利用している。胃電図記録計のフィルタ特性は低域遮断周波数が0.03[Hz]であり、高域遮断周波数が0.08[Hz]である。この特性より、心拍や横隔膜の運動による信号を除去できると考えられる。また、測定したデータはサンプリング周波数1[Hz]でパソコンに取り込み、解析を行うことができる。

胃電図の記録は心窩部腹壁表面に電極を貼付して行なわれる。今回使用した電極配置は、よく用いられている手法<sup>4)</sup>で、Fig.1に示されるように、正中線上において、胸骨剣状突起からへそまでの中

点を基準電極(CH5)とし、右鎖骨中線上において、胸骨剣状突起から基準電極までの中点を電極1(CH1)、基準電極からへそまでの中点を電極3(CH3)とし、左鎖骨中線上において、胸骨剣状突起から基準電極までの中点を電極2(CH2)、基準電極からへそまでの中点を電極4(CH4)としている。この手法による計測は電極5を基準とした単極誘導である。Fig.1の胃の位置は、理想的な位置であり被験者ごとによって微妙に違いがある。そのため、実際の体表面の電極の位置と胃の位置との関係が異っている可能性がある。そこで、実際計測されたデータで最も有意と考えられるデータを検討に用いるが、基本的にはECA発生付近の位置と考えられる電極2を検討に用いる。

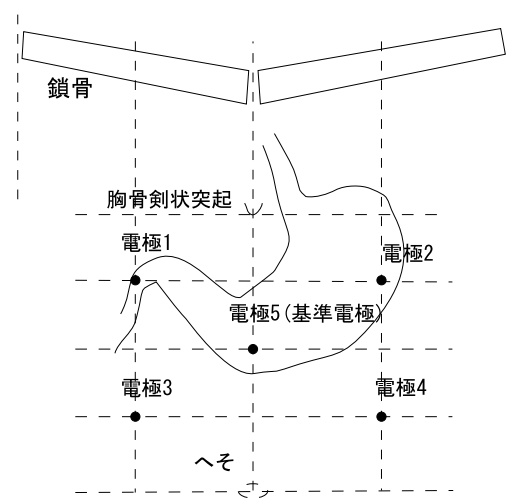


Fig. 1 電極配置

本研究の胃電図計測の対象は健常者10名(男性、平均年齢22歳)、筋ジストロフィー患者10名(男性5名、女性5名、平均年齢41歳)を対象に行なった。計測に用いた電極はblue sensor(ディスポーサル電極、日本電気三栄)である。

測定手順は以下とした。

- 1) 空腹期に、仰臥位にて記録を開始
- 2) 測定時間は実験により様々であるが、本研究では30分から1時間程度、コントロールを計測
- 3) 消化管促進剤であるガスモチンを投与

4) 食事後の胃の運動の変化を観察するため、30分経過した後、食事

5) 食事後30分から1時間の計測

本研究では薬や食事による影響を連続的に観察するために、手順3、4において計測を継続したままで薬や食事の投与を行う。ガスモチンを投与する際に、水を飲みますが、水のような軽カロリーのものでは胃運動が空腹期運動から、食後期運動へと移行することはないと考えられるため、手順3ではまだ、胃は空腹の状態であると考えている。また、食事は普通食とし、特に指定はしていない。

### 3. 解析方法とその検討

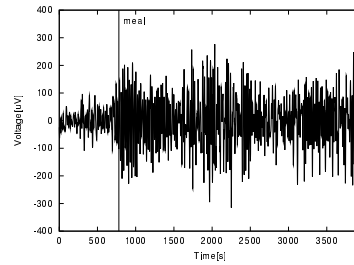
#### 3.1 パワースペクトル解析

##### 3.1.1 解析方法

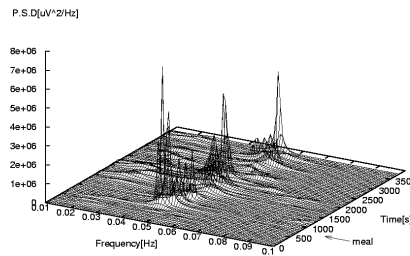
本研究における胃電図計測では、得られたデータをサンプリング周波数1[Hz]で取り込むため、1時間の長時間計測でも得られるデータポイント数は3600点であるため、データポイント数は少ないといえる。Fig.2-(a)は取り込んだ時系列信号例である。食事後の、胃電図の時間変化を捉えるには解析区間をより短かくして計算することが必要であると考えられる。最大エントロピー法(MEM)は、振幅の推定は非線型であり、振幅には信頼性がないが、その代わり短かいデータからでも精度の良いスペクトル推定ができ、分解能が高いパワースペクトルの推定が可能であるといわれている<sup>6)</sup>。従って、胃電図の周波数の時間変化を捉えるに適していると考えられ、本研究ではMEMによるパワースペクトルの推定を採用した。

周波数解析において、薬や食事による周波数への影響を調べることを目的としている。そこで、振幅よりもスペクトルの周波数の時間変化をより視覚的に捉え易くするため、Fig2-(a)の時系列を周波数解析したFig.2-(b)に示す3次元グラフから、Fig.2-(c)に示す等高線を作成することとした。Fig.2は測

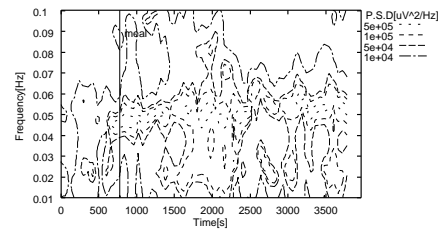
定開始後、15分ほど経過した時に食事を投与している。解析区間は120[s]で、解析区間を60[s]ずつ移動させている。等高線図は横軸に時間、縦軸に周波数とし、等高線にパワースペクトル密度を表す。



(a)胃電図の時系列



(b)スペクトルの3次元グラフ



(c)スペクトルの等高線

Fig. 2 スペクトル解析

##### 3.1.2 解析区間の検討

Fig.3は解析区間を変化させ、スペクトルの時間変化を求めた例である。用いた胃電図信号はFig.2に示す解析で用いたデータと同じである。解析区間が60[s]とすると、Fig.3-(a)に示すようにデータポイント数の問題から、低い周波数帯域を計算できない。また、解析区間300[s]とするとFig.3-(c)に示すようにスペクトルの時間の幅が広がり、細かな解析ができない。周波数の時間変化の分解能を高め、

低い周波数も計算できるようにするためFig.3-(b)に示す解析区間120[s]が妥当であると判断し、解析区間は120[s]とした。解析区間を60秒ずつ移動させ短時間スペクトルの時間変化を求めることとした。

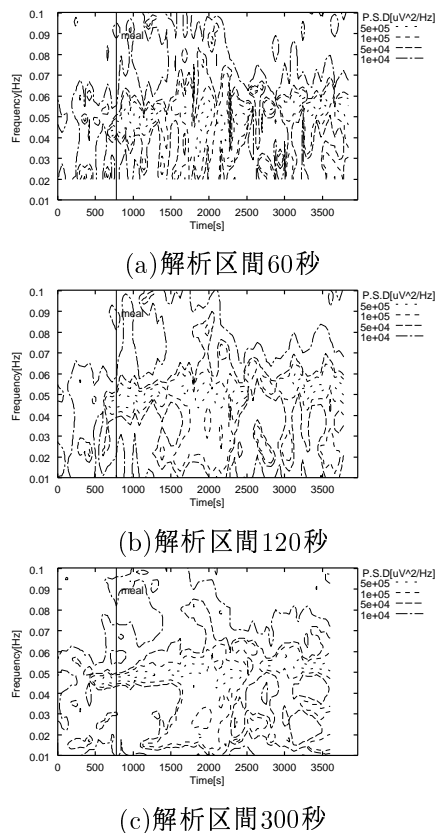


Fig. 3 スペクトル解析の解析区間

### 3.2 振幅解析

体表面から測定される胃電図は、被験者の体格や電極の位置によって電位が異なる。そのため、電位の大きさを被験者同士で比較することはあまり意味を持たない。そこで、薬や食事の影響による電位の時間変化を調べることを目的とし、次のように胃電図信号を考える。胃電図計測によって得られるデータはECAとERAを総和する信号以外にも雑音などを含んでいるが、胃電図の周波数帯域以外を全て雑音であると見なせば、ECA、ERAだけの振幅の変化を検討できる。

時系列に含まれる周波数成分が既知ならば、次

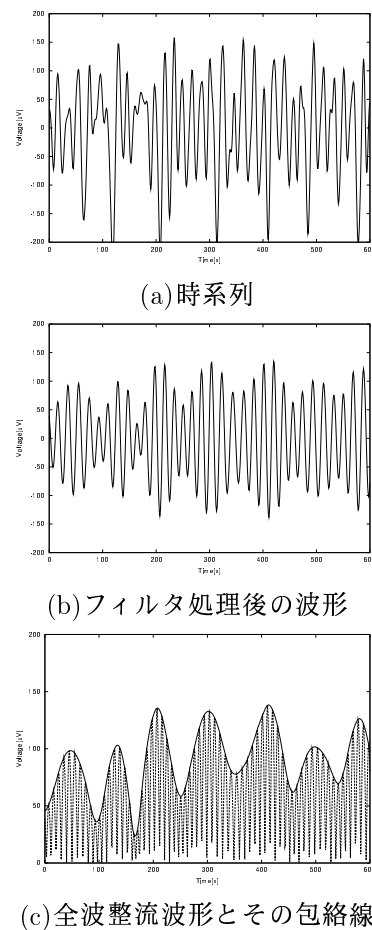


Fig. 4 振幅変化の解析

に示す手法を用いて、特定の周波数成分の振幅だけを取り出すことが可能と考えられる。Fig.4(a)～(c)に解析例を示す。

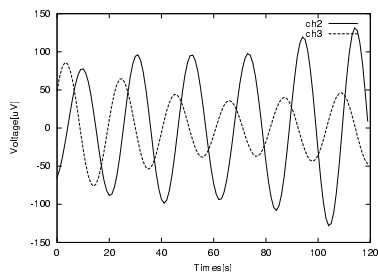
- 1) スペクトル解析を行なうことにより、胃電図信号Fig.4-(a)の周波数帯域を調べる
- 2) 胃電図の周波数帯域以外をフィルタ処理を用いて取り除き(Fig.4-(b))を求める
- 3) 得られた波形を全波整流し、包絡線検波処理する(Fig.4-(c))

この手順で、包絡線を検討することにより胃電図信号の特定の周波数帯域だけの振幅の時間変化を検討できる。

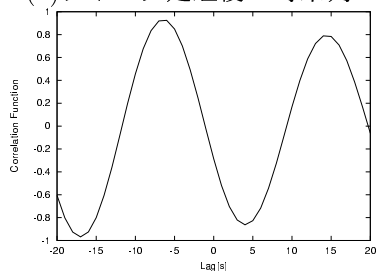
振幅の時間変化を表わすには、振幅の変化の正確さ、振幅変化の時間分解能の高さよりMEMによる推定よりフィルタ処理による検出の方が適していると考えられる。波形の包絡線を取り出すと、

薬や食事を投与した時の胃電図信号の振幅の変化をより定量的に表わし、検討可能である。

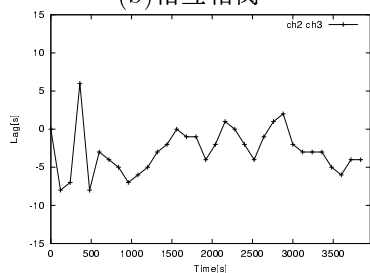
### 3.3 相互相関関数



(a)フィルタ処理後の時系列



(b)相互相関



(c)相互相関関数の最大値をとるラグの時間変化

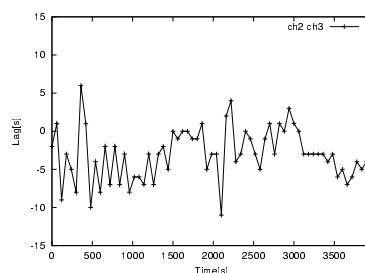
Fig. 5 相関関数の解析例

電極間の距離は固定されているため、電極間の伝搬時間を調べれば、ECAの伝搬速度の時間変化を検討できると考えられる。電極間の伝搬時間の変化を調べるには相互相関関数を用いることができる。電極間の相互相関関数を求めた時、解析区間において、ある2つの電極の波形がほぼ一致しているならば、電極間の時間差がほぼ0の時にで最大値を持つ。基準の電極の信号が相互相関関数の解析区間において、比較する電極の信号に対して、遅れているならば、相関関数の最大値は電極間の時間差が負に時で、進んでいるならば正の時生じる。また、相互相関関数を求める前に前述の

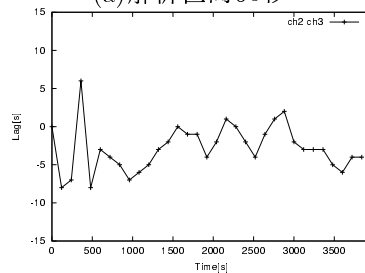
フィルタ処理を行ない、雑音を取り除いて、胃からの信号と推測されるデータだけを取り出し、胃の信号以外に対してS/N比をあげることができる。

Fig.5に相関関数の解析例を示す。Fig.5-(a)は二つの電極の時系列、Fig.5-(b)はその相互相関関数、Fig.5-(b)は相互相関関数の最大値における時間差の時間変化である。解析区間は120[s]としている。Fig.5-(b)では電極2を基準に電極3との相関を計算している。Fig.5-(b)より、相関が最大値をとる時の時間差を読み取り、Fig.5-(c)に示すように、時間変化を横軸を時間、縦軸を電極間の時間差としてグラフにする。

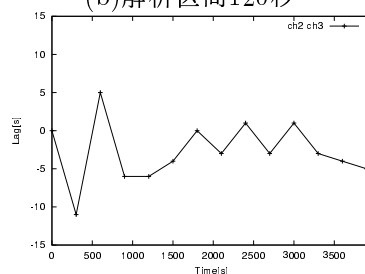
#### 3.3.1 解析区間の検討



(a)解析区間60秒



(b)解析区間120秒



(c)解析区間300秒

Fig. 6 相互相関関数の解析区間

Fig.6は相互相関関数の解析区間を変化させた例である。用いた胃電図信号はFig.5に示す解析で

用いたデータと同じである。時間差の変化も薬や食事の影響を調べるため、なるべく細かくする必要があるのである。Fig.6-(c)に示す解析区間300[s]における結果は、時間差の変化を細かく見ていない。Fig.6に示す解析区間60[s]では時間差の変化を細かく見ているが、解析区間のデータポイント数が少ないと考えられる。そこで、相互相関関数の解析区間はFig.6-(b)に示す120[s]とする。

## 4. 実験結果

### 4.1 健常者の結果

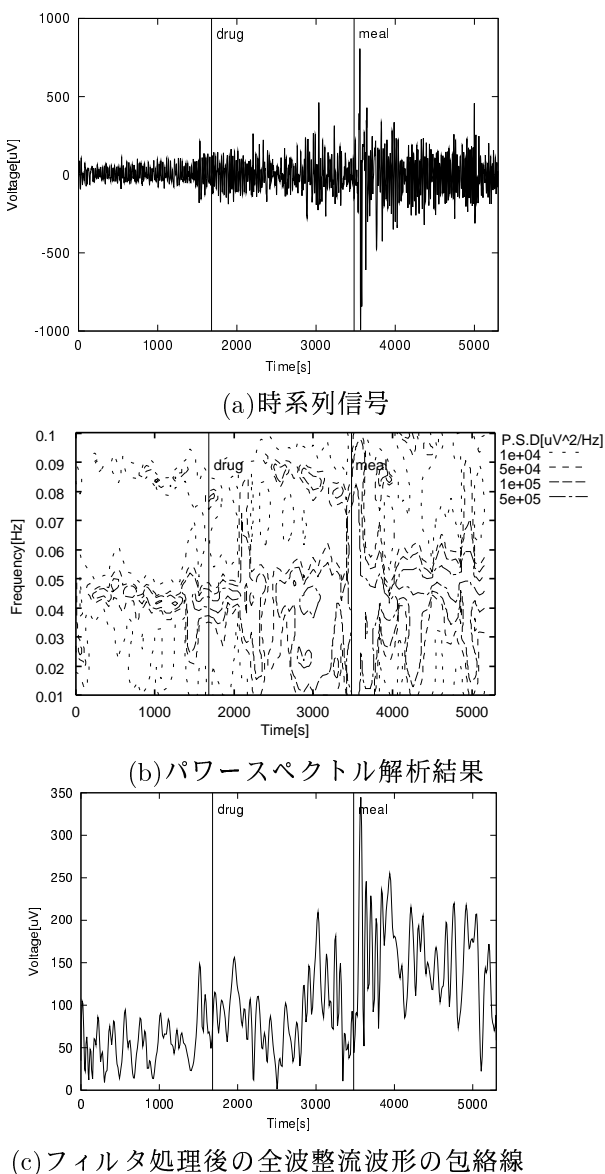
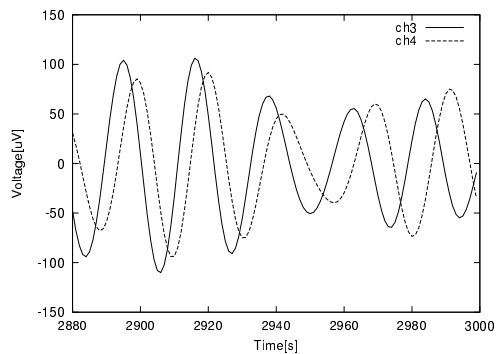
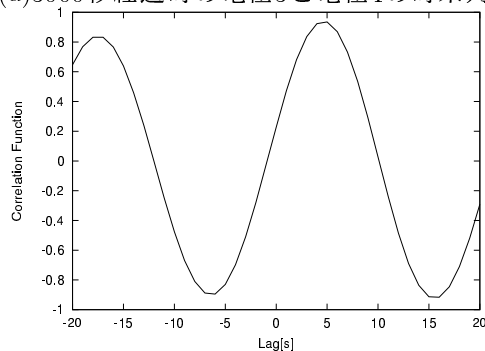


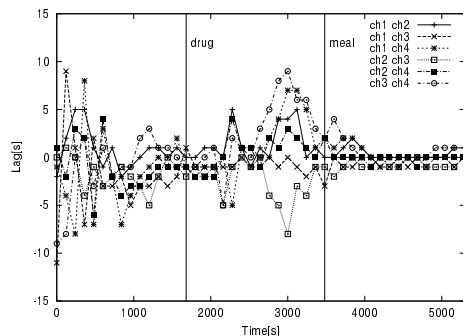
Fig. 7 健常者の解析結果



(a) 3000秒経過時の電極3と電極4の時系列



(b) 3000秒経過時の電極3と電極4との相互相関



(c) 相互相関関数の最大値をとるラグの時間変化

Fig. 8 健常者の電極間の相互相関

健常者の胃電図の電極2解析結果の一例をFig.7に示す。Fig.7-(a)は測定した時系列信号で、Fig.7-(b)は縦軸が周波数、横軸が時間で、等高線がパワースペクトル密度(P.S.D)を表す。Fig.7-(c)はフィルタ処理後の全波整流波形の包絡線である。時系列信号のグラフ(Fig.7-(a))の、3600[s]付近において、振幅の大きな信号が見られる。食事時に、被験者が動いたため、雑音が入り込んだと思われる。このような信号は他の被験者においても、観測された。雑音が入り込んだと考えられる時間帯におけるパワースペクトルは、振幅が非常に大きく、また、周波

数も全体に広がり、胃の信号とも重なるため、胃電図信号の周波数の変化をとらえるには、雑音のスペクトルの影響も考慮に入れなければならない。Fig.7-(b)において、0.04~0.06[Hz]の間にスペクトルが観測され、この周波数は、食事後、わずかに増加することが分かる。健常者においては、食事後、0.04~0.06[Hz]付近のスペクトルの周波数がこのように高くなるという傾向が多く見られた。また、健常者の周波数は、ほぼ0.04[Hz]~0.06[Hz]範囲に入っているという結果が得られた。この結果より、この被験者の胃電図の信号は周波数は0.04[Hz]~0.06[Hz]の間に存在すると見なすことができるので、Fig.7-(c)では低域遮断周波数0.04[Hz]、高域遮断周波数0.06[Hz]のフィルタ処理を行なっている。この例については薬と食事の影響により、振幅が増加する傾向が見られた。しかし、他の健常者においては、振幅が増加しない例も見られた。

Fig.8-(a), (b), (c)に、健常者例のフィルタ処理後の時系列とその相互相関関数の一例として3000[s]の経過時の電極3と電極4の結果とこの相互相関関数の最大値をとる時間差を調べ、時間変化をとった結果を示す。相互相関関数は電極3を基準として計算している。この解析区間では、電極3の方が進んでいるとみなされ、相互相関関数でも、電極間の信号の時間差が正領域でピークをとっている。

Fig.8-(c)は電極1を基準に電極2、電極3、電極4と、電極2を基準に電極3、電極4と電極3を基準に電極4との相関を求めた結果である。2000[s]付近で、特に、電極2と電極3、電極3と電極4との時間差に変化が見られた。3000[s]付近で、より大きな時間差の変化が見られた。そして、食事後は全ての電極で時間差はほとんど見られなかった。これが正確に計測されているならば、2000[s]から3000[s]付近で伝搬速度が遅くなった可能性が考えられる。しかし電極間の信号の時間差の変化は、健常者間でも個人差があり、ばらつきが大きかった。

## 4.2 筋ジストロフィー患者の結果

筋ジストロフィー患者の電極2の胃電図の解析結果の一例をFig.9に示す。Fig.9-(a)は測定した時系列信号で、Fig.9-(b)はパワースペクトルの等高線を示し、Fig.9-(c)がフィルタ処理後の全波整流波形の包絡線である。Fig.9-(a)より、健常者と同様、被験者の動きによる雑音が4800[s]付近において観測された。患者間において、周波数の変化は、様々な結果が得られ、食事後、周波数が低くなる例や高くなる例、または何も変化しない例など様々な周波数変化が観測された。この例では、0.35[Hz]~0.55[Hz]の間に周波数成分が存在すると見られ、Fig.9-(c)では低域遮断周波数0.04[Hz]、高域遮断周波数0.06[Hz]のフィルタ処理を行っている。振幅変化に注目すると、その変化は健常者に比べ小さく、薬や食事後の変化もあまり見られなかった。

Fig.10-(a), (b), (c)に、筋ジストロフィー患者例のフィルタ処理後の時系列と、その相互相関関数の一例として2400[s]の経過時の電極3と電極4の結果と電極間の相関関数の解析区間ごとにおいて、最大値をとるラグの時間変化の結果を示す。相互相関関数は電極3を基準として計算している。この時間帯では、電極1の方が進んでいると見なされ、相互相関関数のグラフにおいても、位相は正領域でピークをとる。電極1と電極4との位相の変化は、ほとんどないが他の電極間においては、電極間の信号の時間差は大きく変化している。これは、伝搬速度が一定でないと考えられる。筋ジストロフィー患者においても、位相の時間変化も個人差があり、ばらつきが大きかった。

## 5. 考察

本研究では薬や食事を投与することによる、胃の電位と周波数、そして電極間の相関関係への影響を観察した。被験者は健常者と筋ジストロフ

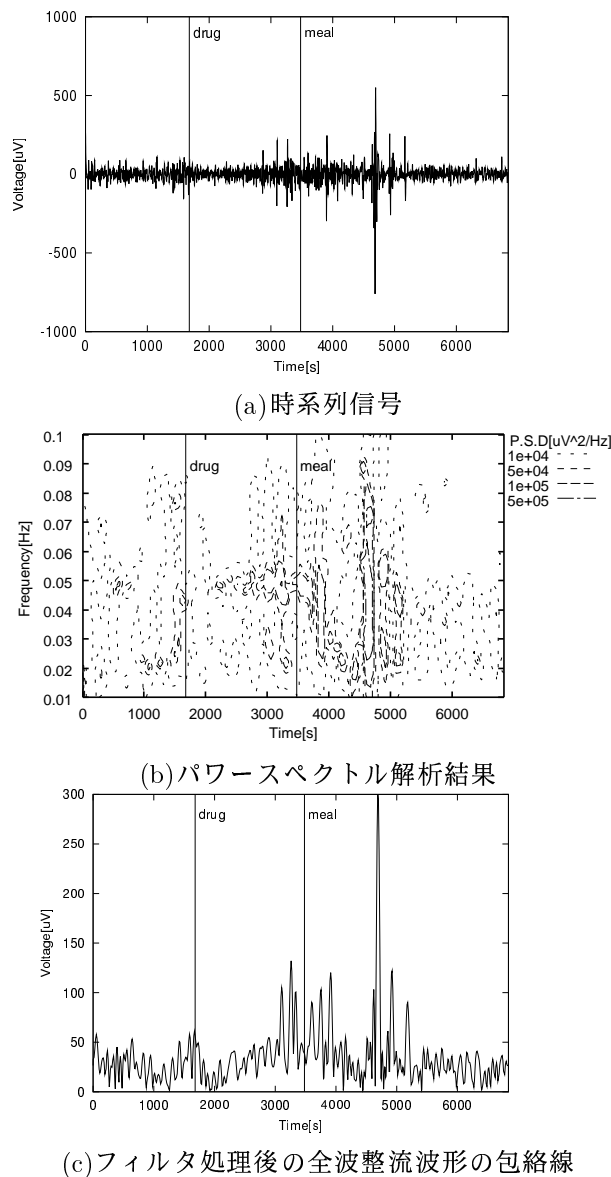
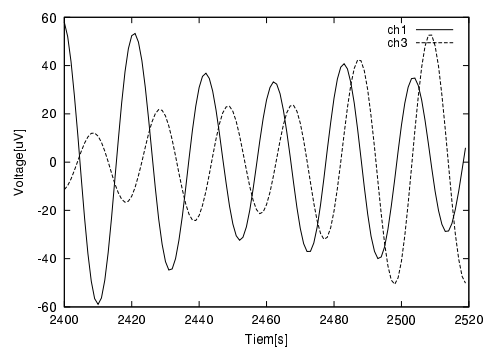
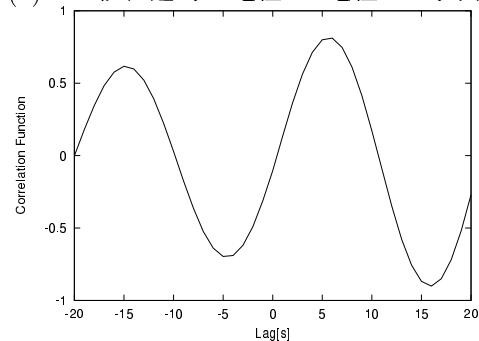


Fig. 9 筋ジストロフィー患者の解析結果

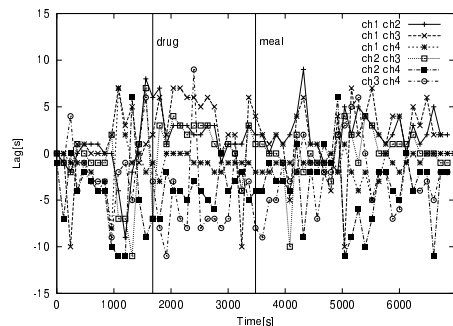
患者を対象として行った。ECAの周期は一般に、 $3[\text{cpm}](0.05[\text{Hz}])$ であるが、 $2.6[\text{cpm}](0.043[\text{Hz}]) \sim 3.7[\text{cpm}](0.062[\text{Hz}])$ の範囲内なら正常であり、胃は正常に活動するといわれている<sup>2)</sup>。しかし、正常といわれる周波数の幅には論文により、多少の違いがある<sup>2)</sup>。スペクトル解析の主たる目的はこのECAの周波数の時間変化を調べることである。パワースペクトルの解析結果において、食事前のスペクトルの周波数は、健常者は全体として、ほぼ正常な範囲といわれる $0.043[\text{Hz}] \sim 0.062[\text{Hz}]$ の間にあるという結果であり、筋ジストロフィー患者の



(a) 2400秒経過時の電極1と電極3の時系列



(b) 2400秒経過時の電極1と電極3との相互相関



(c) 相互相関関数の最大値をとるラグの時間変化

Fig. 10 筋ジストロフィー患者の電極間の相互相関

胃電図の周波数も、この範囲に存在したため、食事前の信号の周期は正常な周期であると判断できる。しかし、食事後の周波数変化は、健常者、並びに筋ジストロフィー患者共に個人差があり、周波数が高くなる例、低くなる例、周波数がほとんど変化ない例が計測された。周波数が高くなる例は、健常者に多く見られた。また、低くなる例は筋ジストロフィー患者で見られたが、多くの例は周波数に変化なしという結果であった。以上より、健常者と筋ジストロフィー患者で多少の違いが見られたことから、食事後の周波数変化で区別でき



る可能性があることが示唆された。

胃電図で測定される電位は被験者の体格、胃の大きさ、位置などにより、違いがあるといわれている<sup>2)</sup>。そのため、信号の振幅の大きさを被験者同士で比較することはあまり意味を持たないと考えられるため、振幅は測定時における、薬や食事投与後の変化を調べた。食事後の信号の振幅は一般に増加するか、もしくは変化しないといわれており、減少するものは、胃運動に異常の可能性があるとされている<sup>2)</sup>。フィルタ処理後の全波整流波形の包絡線検波の結果より、健常者では食事後、電位が増加する傾向が多く見られ、正常な変化であると判断できる例が多く見られたが、筋ジストロフィー患者の結果では、食事後、振幅は変化のない例が多く見られた。しかし、振幅に変化なしという結果だけでは胃運動に異常ある可能性を判断することはできなかった。

一方、胃のペースメーカー部位より発生される電気活動は幽門側へ伝播するといわれている<sup>1)</sup>。伝わる信号は電極間において、時間差が測定できることが推定できる。よって、電極間の信号の時間差を調べることにより、電気活動の伝播速度を検討できれば、胃の運動機能を探るパラメータの一つとなる可能性が考えられる。しかし、本解析で得られた結果では、食事前や食事後において、時間差の変化は個人により、全く逆の結果が得られるものがあつた。また、本研究の電極配置より、電気活動は電極2付近から電極3へ向って伝播すると推定されるが、電極2と電極3の時間差を調べた時、電極3の位相が進んでいるという結果が得られる例も存在した。また、時間差の正と負が、時間経過により、逆転する例も見られている。電極が、実際の胃の位置の上に配置されているかは不明瞭であり、計測中の胃の位置の変化も不明瞭なため、電極間の時間差の変化による伝搬速度の変化を明確にとらえているかは、まだ検討の必要がある。

## 6. おわりに

胃電図の計測は非侵襲的に胃の機能を評価できる指標となり得る。しかし、胃電図には個人差も多く、筋ジストロフィー症による影響か個人の体格による影響か、明確には表すことはできなかったが、周波数の変化や振幅の変化に多少の違いが見られた。よって、胃電図により、非侵襲的に筋ジストロフィー症の進行を調べることができる可能性があると考えられた。今後は、同じ被験者に対して何度か計測を行ない、データのサンプル数を増やすことと、胃電図測定中に被験者が動いた場合、解析に支障を及ぼすような信号が発生するため、得られた信号の中からいかにして、胃電図信号と雑音を区別し、胃電図信号を削らずに雑音を除去していけるかが課題となる。

## 謝辞

胃電図記録にあたり、被験者として協力して下さった国療道川病院の筋ジストロフィー患者の皆様と、研究室の健常者の皆様に感謝致します。

## 参考文献

- 1) 奥野 洋, 本郷道夫, 氏家裕明, 佐竹賢三, 豊田隆謙: 経皮的胃電気活動に関する基礎的検討, 日本平滑筋誌, **25**, 55/60 (1989)
- 2) MARC A.M.T. VERHAGEN, LEONARD J. VAN SCHELVEN, MELVIN SAMSOM, and ANDRE J.P.M. SMOUT: Pitfalls in the Analysis of Electrogastrographic Recordings, GASTROENTEROLOGY, **117**, 453/460 (1999)
- 3) 金子宏, 山口力, 満間照典: 自律神経機能検査としての胃電図の基礎と臨床応用の可能性, 自律神経, **35-2**, 122/127 (1998)
- 4) 田中由美, 魚住武則, 橋本朋子, 宮田正和, 辻貞俊: 胃電図によるパーキンソン病の消化管機能評価, 自律神経, **36-4**, 391/394 (1999)
- 5) 奥野 洋, 本郷道夫, 山田昌彦, 西村成夫, 上野正道, 豊田隆謙: 食後期における経皮的胃電気活動記録 (EGG: Electrogastrography) の基礎的検討, 日本平滑筋誌, **26**, 219/224 (1990)
- 6) 日野幹雄: スペクトル解析, 183/227, 朝倉書店 (1977)