
研究ノート

死亡発生頻度時系列へのスペクトル 解析手法 (MEM) の適用

大 場 保

1. はじめに

本研究は、ヒトの死が発生する頻度を1時間ごとに集計した死亡発生頻度時系列について、それが内包するスペクトルについて解析を試みたものである。ここでいうスペクトル解析とは、例えば太陽光をプリズムに通して7色の原色の強弱の分布を求めること、あるいはピアノの音からその周波数成分の強弱の分布を得ること、などと同様である。すなわち、時間経過とともに変動する死亡発生頻度に内包される様々な周期の波を抽出し、対象とする周波数領域における強度分布として求めるものである。このような分析によりどのような事がわかる可能性があるかについて以下に述べてみる。

ヒトの死と季節の関係は、日常的にも感じられることでもあり、Momiyama (1977)¹⁾により精力的な研究が成され、インフルエンザや肺炎などの感染症が冬に多いように、多くの死因の死亡率が季節変動することが知られるようになった。

ところで、年、週、日以外の周期についてはどうであろうか？ 例えば海の動物の様々な種は大潮に産卵し、その中には明らかに大潮の時に死亡率が著しく増加するものもある。出生に関してはヒトも例外ではなく、Criss and Marcum (1981)²⁾がフーリエスペクトルの計算により、月齢周期と同調して変動することを明らかにしている。一方、死に関してはそのような報告は見あたらないが、出生が月齢と関係するのであれば、死についても関連があっても不思議ではない。

実際、占星術の類などは星の運行とヒトの運命との関連を謳っている。一方で、多くの人はそれを非科学的と決めつけているが、観測対象とするすべての周期について周期性の有無を研究したものはこれまでなかった。したがって、科学的根拠なしに断定すること自体が非科学的とも言える。このような迷信の類に対しても、本研究は科学的知見をもって処することができよう。

人口学におけるフーリエ解析の応用としては、Coale (1977)³⁾による出生率の研究が挙げられる。彼は、抽出されたフーリエ成分から算出した毎年の出生率が、実際の値を良く近似したとしている。

次に、ノイズの特性についても注目してみたい。というのも、ノイズの周波数特性はそれを発生させるシステムのある種の特性を表すからである。すなわち、ノイズのパワースペクトルは、死亡発生経過が白色雑音であれば $P(f) = k$ (一定)、マルコフ過程であれば $P(f) = 2a / (a^2 + 4\pi^2 f^2)$ などという形で表れるのである。ここに、 f は周波数、 $P(f)$ は f におけるパワースペクトル密度である。

1) Masako Momiyama, *Seasonality in Human Mortality*, University of Tokyo Press, 1977.

2) Thomas B. Criss and John P. Marcum, "A lunar Effect on Fertility", *Social Biology*, 28 (1-2), 1981, pp.75-80.

3) Coale J. Ansley, "The Use of Fourier Analysis to the Relation Between Time Variations in Fertility and the Time Sequence of Births in a Closed Human Population", *Demography*, 7-1, 1970, pp.93-120.

本研究はさらに、従来知られていなかった現象や考えられていなかった分野への応用可能性の発見を狙っている。従来の季節変動の研究と本研究の最大の違いは、精度が大きく違うという点である。すなわち、従来の季節性を中心とした死亡研究の手法を仮に虫メガネとすれば、MEMを用いた本研究の精度は電子顕微鏡に匹敵すると言っても過言ではない。したがって従来の手法では発見されなかった現象や考えられなかった応用分野が必ずや見つかるはずである。

スペクトルを求める方法としては、古典的な Blackman-Tukey 法、高速演算が可能な FFT (Fast Fourier Transform)、分解能が著しく高い MEM (Maximum Entropy Method) などがある。この中から、本研究は未知の周期性の有無を検出することを第一の主眼としていることから MEM によるスペクトルを分析することとした。

最後になったが、MEM を死亡発生時系列に適用する事自体、新しい試みであるから、最初にそれによって得られるスペクトルを吟味してみる必要もあろう。

以上まとめると、本研究の目的は以下の 5 点である。

- (1) MEM 特有の条件である予測誤差フィルターの項数 m を変化させた場合に得られるスペクトルの違いを調べると同時に、MEM の死亡発生頻度時系列への適用について吟味する。
- (2) 1 年、1 週間、1 日といった特定の限られた周期とそれ以外の周期性の有無を調べる。
- (3) 周期性の認められた周期について、死因ごとにヒストグラムを作成し、それらを比較する。
- (4) 老衰、心不全といった内容のはっきりしない死因について、周期性の分析から分かることがどれほどあるか調べる。
- (5) スペクトルの性による違い、年齢による違い、地域（県）による違いを調べる。
- (6) 周期性が認められた周波数以外でのスペクトル、すなわちノイズの特性を調べる。

これらのうち、本報告ではまず MEM により得られるスペクトルの吟味を全死因のデータについて行うこととし、次に全死因において得られるスペクトルピークを観察し、さらに全死因、男女別のスペクトルについて見ることにする。他の項目については、他の報告にて扱うこととする。

2. 対象と方法

(1) 分析の対象

今回、分析の対象としたのは、人口動態統計死亡票（個票、昭和50～62年までの13年間の $\frac{1}{2}$ サンプル、統収第34号）である⁴⁾。今回使用したデータには、13年間の合計で4,674,424件の死亡があるが、本報告では、まず各々に記載されている死亡年月日時と死因により、昭和50年1月1日午前0時から死亡数を昭和62年12月31日午後11時までの計113,952時間について1時間ごとに死亡数を集計し、これを全死因の死亡発生頻度時系列とした。

(2) MEM スペクトルの計算

MEM スペクトルを計算するためのプログラムを、日野 (1977)⁵⁾ に記載された FORTRAN プログラムを参考にして、扱えるデータ数を増やす、計算を高速化する、C 言語に翻訳するなどの変更を加えて作成した。これにより、出力として周波数ごとのパワースペクトル密度を得る。また、データ数が少ない領域において、変更後のプログラムが、オリジナルと同じ結果を算出することを確かめた。

(3) 特定の周期によるヒストグラム表示プログラム

MEM その他の方法で算出されるスペクトルのピークは、実際のピークより若干ずれることがある。そこで、特定の周期を与えると、死亡発生頻度時系列を周期ごとに集計してヒストグラムを作成する

4) 本研究を行うにあたり、厚生省大臣官房統計情報部の方々にお世話いただいたので、ここに感謝する次第である。

5) 日野幹雄、「スペクトル解析」、朝倉書店、1977。

プログラムを用意し、これにより計算されたピーク近辺の周期や関心のあった周期について随時図示して、実際の周期性について計算値とずれがあるかどうか調べた。ここで、データ自体は1時間毎の物であるが、小数が生じた場合には比例配分することにより、プログラムに指定可能な波長は、整数のみに限らず任意の正の小数とした。

(4) 本稿で算出したスペクトル

本稿において、上述のプログラムを用いて算出したのは次のものである。

- (a) 全死因における $m=400, 3200, 25600$ の場合のスペクトル。
- (b) 全死因において m を1から25600まで変化させた場合の AIC と、AIC が最小となる m におけるスペクトル。
- (c) 全死因において得られたピーク波長ごとに時系列を折り返して集計した死亡数。
- (d) 全死因における男女それぞれのスペクトル。

3. 結果

(1) 全死因における $m=400, 3200, 25600$ の場合のスペクトル

最初に予測誤差フィルターの項数 m を変化させた場合の影響を見るために、全死因について $m=400, 3200$ と $m=25600$ の場合について見てみよう (図1.1-1.3)。ここに、縦軸はパワースペクトル密度 (単位は、 $13\text{年}\cdot\text{死亡数}^2/\text{時間}^2$) であるが、次の2つの理由から単位は表示していない。第1に、問題となるのは波長によるパワースペクトル密度の相対的な強度の違いである事。第2に、MEM スペクトルは後述のように線形性が無い事、である。横軸は、一般には周波数が用いられることが多いが、ここでは理解しやすいよう波長 (単位は、時間) とした。

ただし、求められる値は、1から113,952サイクル (ここで n サイクルは13年に n 回サインカーブにしたがって振動する事を意味する) まで1サイクル毎のも

図1.1 全死因による死亡発生頻度時系列のパワースペクトル密度 ($m=400$)

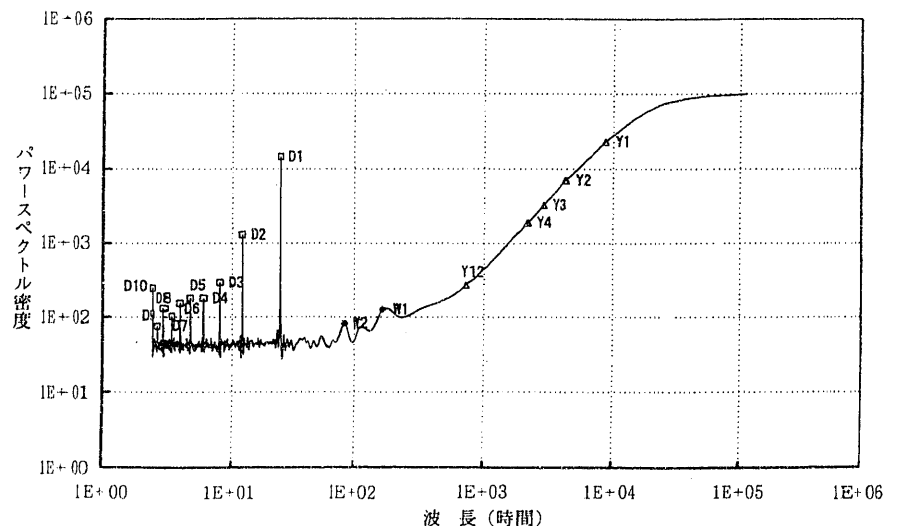
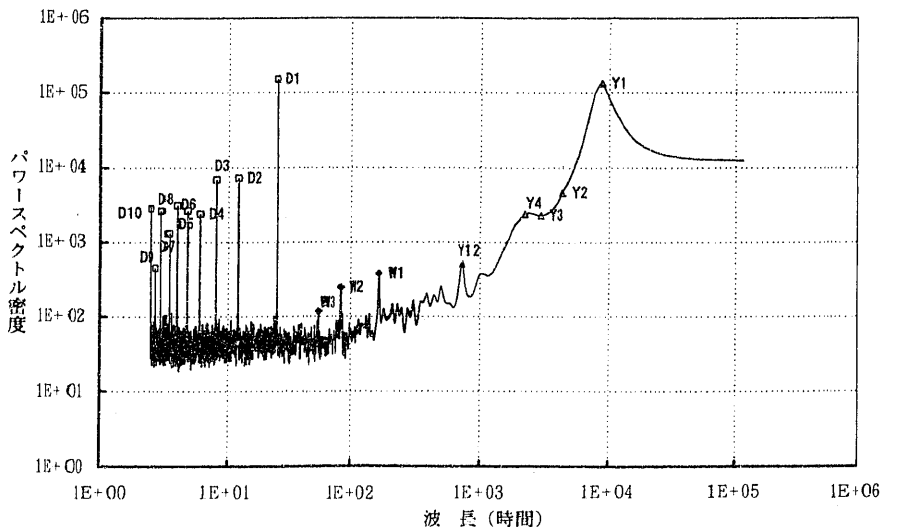


図1.2 全死因による死亡発生頻度時系列のパワースペクトル密度 ($m=3200$)



のであるが、 m によって周波数の上限が限定されること、作図ソフトの都合などから、図示したのは47,999サイクル(≒2.374時間)までである。

図1.1-1.3のいずれにおいてもはっきりと表れているピークは、波長が1日(24時間)の波とその高調波成分、すなわち、24時間の $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, …の波である。図1.1ではいまひとつはっきりしないが、図1.2では1週間の波とその高調波成分

が検出されている。さらに図1.3では、波長1年の波とその高調波が見られるようになってきている。

ここで、簡単のため、波長1日の波とその高調波をあわせて、以下「D系列」、1週間なら「W系列」、1年のものを「Y系列」と呼ぶことにする。さらに、それぞれの系列の各要素を、元となる波長の何分の1かによってD1, D2, …と呼ぶことにする。すなわち、波長12時間(=1 Day/2)のピークは、「D2」というごときである。

(2) 全死因において m を1から25600まで変化させた場合のAICと、AICが最小となる m におけるスペクトル

m を次第に増加させた場合、AICがどのように変化するかを図2に示した。 m が増加するにしたがいAICは一旦減少していくが、 $m=960$ で最小となった後は次第に増加していく。このことは、ここで用いた時系列のパワースペクトル密度を多項式で表現するモデルとしては、項数を960とするのが最適であることを示している。このときのグラフは省略したが、400のときと3200のときの間期的なものであった。

(3) 全死因で観察されたスペクトルピークと観察されなかったピーク

図1.1-1.3で見られたスペクトルのピークは、D系列、W系列、Y系列に含まれる波長が主であった。中でもD系列は顕著であり、グラフに表示した48,000個のデータ点に含まれる最後のD系列、D10まで顕著なピークを示していた。

図1.3 全死因による死亡発生頻度時系列のパワースペクトル密度 ($m=25600$)

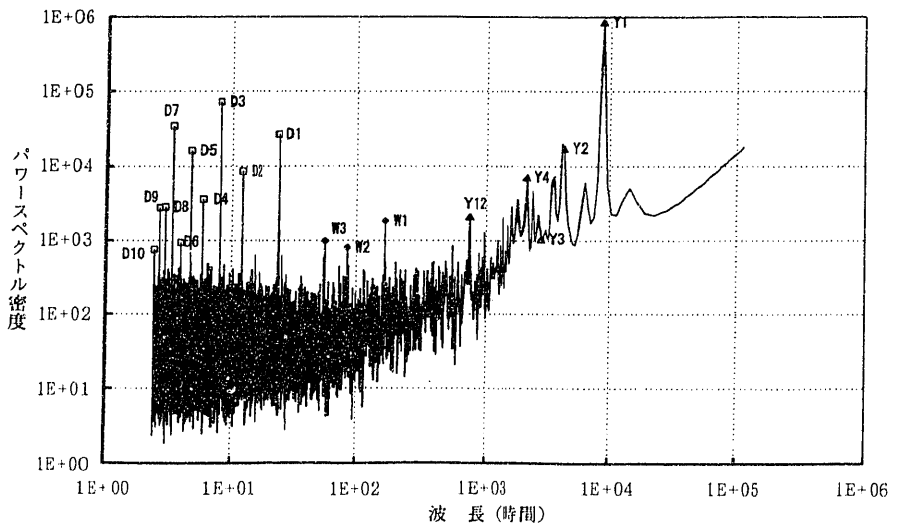
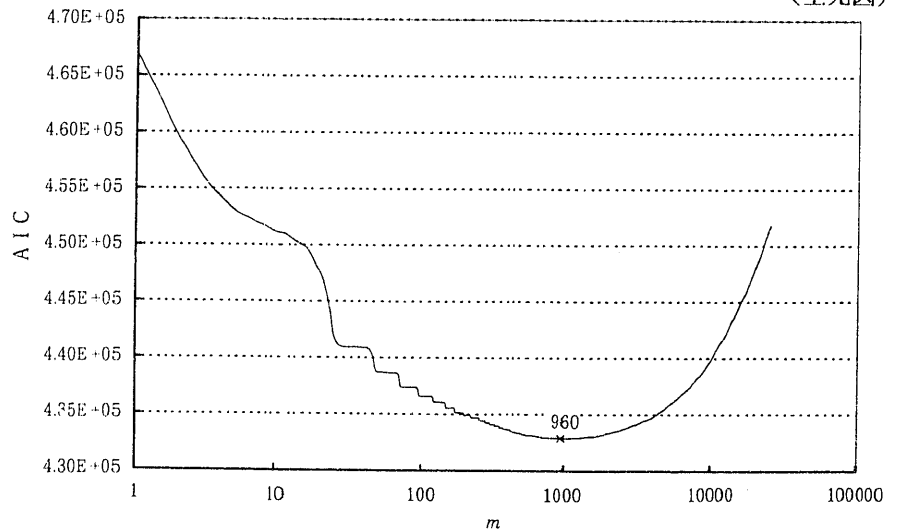


図2 予測誤差フィルターの項数 m とAIC(Akaike Information Criterion)(全死因)



一方でその他の波長，例えば月齢（約705時間）などは，ほとんど検出されなかった．存在するとしても誤差変動と大差ないレベルであった．

(4) Y系列

図3に，13年間を8766時間ごとに折り返して集計した1時間ごとの全死因での死亡数を表す．1カ月の目安として，731時間ごとに目盛りを打ってある．これによると，死亡は冬に多く夏に少ない事が分かる．なお，8月12日あたりの鋭いピークは，1985年の日航機墜落事故によるものであるろう．

(5) W系列

W系列のピークは，D，Y系列の大きなピークに比べて非常に弱いものであった．実際，曜日毎の平均のヒストグラムでは，最も少ない木曜を100とすると最も多い土曜が102.3とわずか2.3%の差しかなかった．（図4）

(6) D系列

D系列のピークは，D10までの高調波成分が顕著に検出された．24時間毎に折り返して集計したヒストグラム（図5）によれば，深夜に死亡が少なく，早朝から次第に増加，昼の12時でへこみが見られ，午後からは緩やかに減少していた．

(7) 性による違い

図6.1，6.2のように，男に比べて女では，W2が見

図3 周期を8766時間=1年間としたときの1時間ごとの死亡数（全死因，13年分，1/2サンプル，白線は24時間の移動平均）

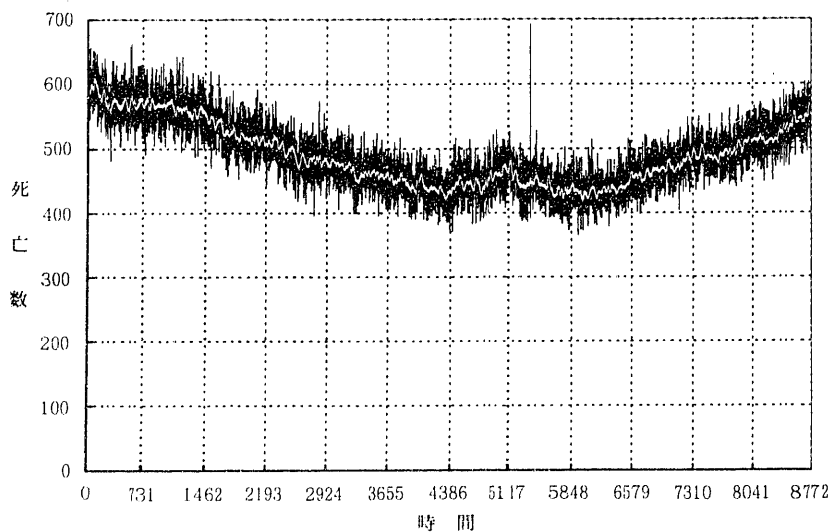


図4 周期を168時間=1週間としたときの1時間ごとの死亡数（全死因，13年分，1/2サンプル）

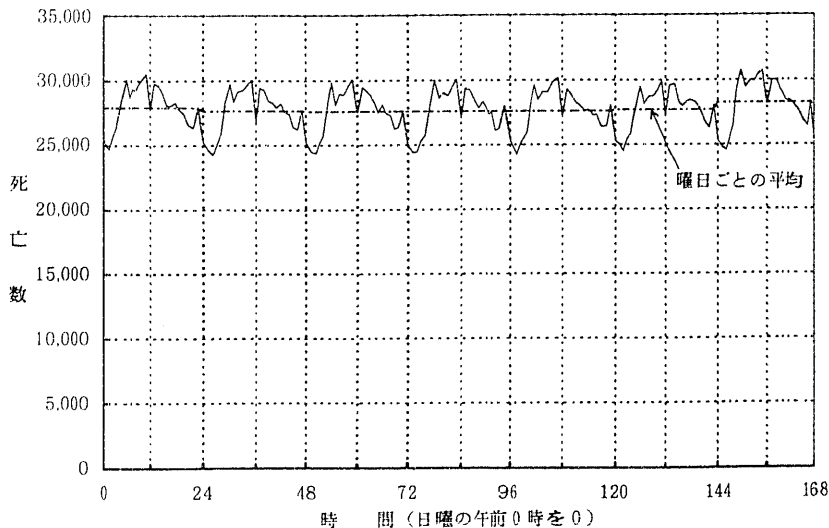
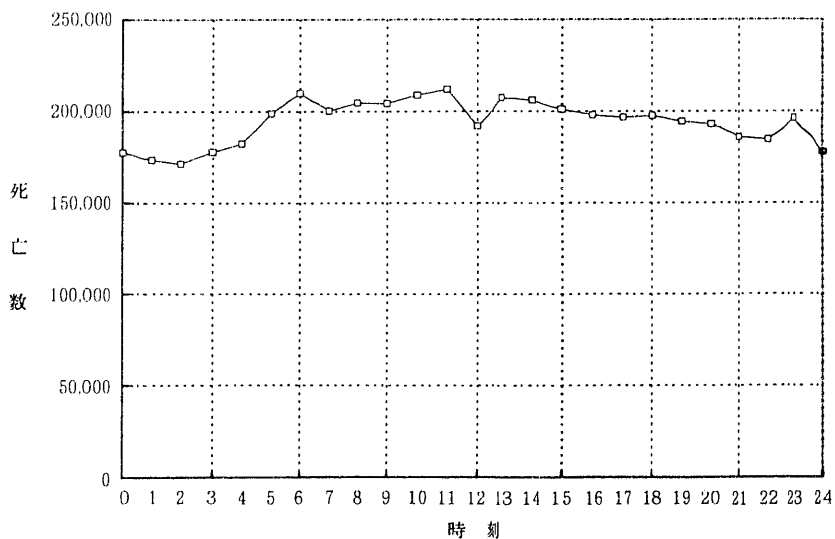


図5 周期を24時間としたときの1時間ごとの死亡数（全死因，13年分，1/2サンプル）



られない事に始まりD系列の多くのピークが小さくなっていった。また、ピークの高さも全般に女の方が低かった。

(8) ノイズ特性

図7に、横軸を周波数とした場合を示す。これによると、Y1付近でのノイズレベルは数1000程度であり、やや上に凸の傾向を示しつつもW系列付近で100程度に下がり、それ以上の周波数領域では細かく上下動を繰り返すものほとんど水平になった。

4. 考察

(1) m によるスペクトルの違い

図1.1-1.3の3図の違いはすなわち m の違いであった。これから、MEMにおいて m はいわば「感度」あるいは「解像度」とでも言うべき値であり、 m を大きくすればスペクトルの微小な変動をとらえられると同時にノイズによる変動をも拾ってしまう事が分かる。逆に小さくすると、長波長領域のスペクトルは平滑化されてぼやけてしまうが、短波長領域でのノイズが著しく低減されている。

また、この性質はスペクトルピークの非線形性を意味する。 m を変化させた場合、ピークの高さは変化してしまうし、さらにこれを死因ごとに分けた場合、それらをすべて足し合わせて

図6.1 全死因(男)による死亡発生頻度時系列のパワースペクトル密度

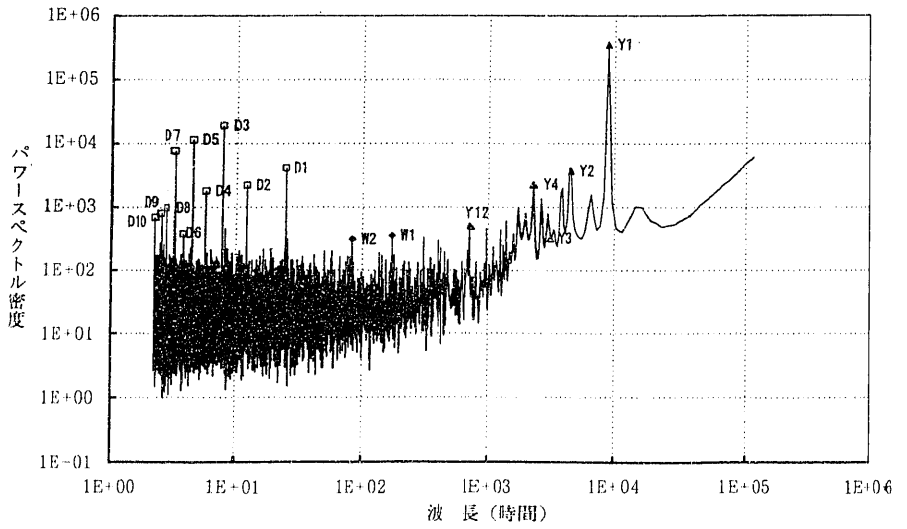


図6.2 全死因(女)による死亡発生頻度時系列のパワースペクトル密度

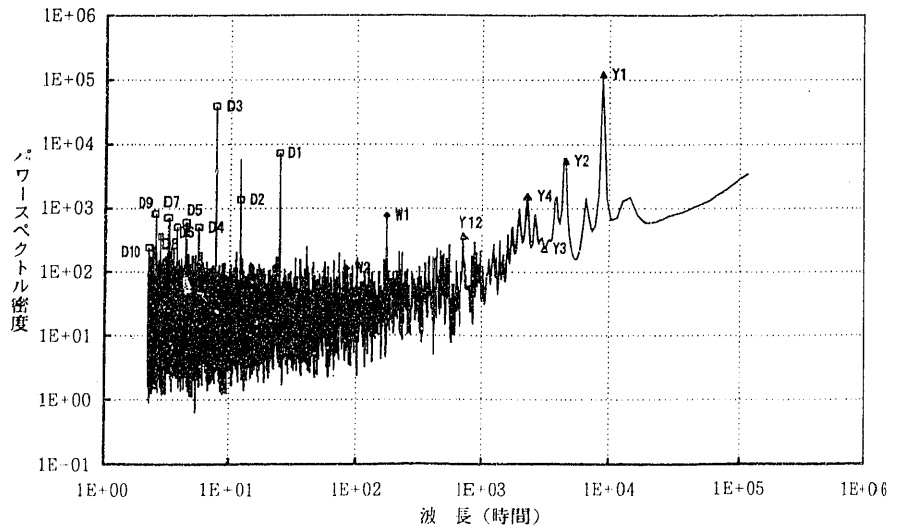
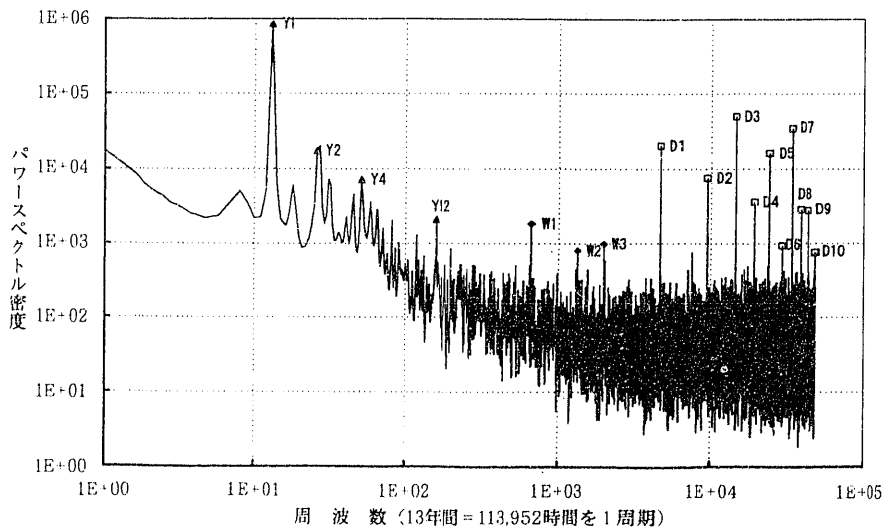


図7 全死因による死亡発生頻度時系列のパワースペクトル密度 ($m = 25600$)



も全死因のスペクトルとは微妙に異なるものになってしまう。ノイズと信号とを良く分離するというMEMの長所は、場合によっては短所にもなってしまふ。

(2) 高調波について

D系列などを見ると、10次の高調波までピークが見られる。これは、それぞれの波長の波が個々に意味を持つものではない事を言うておく必要がある。図5のように、1日の中で死亡発生数は時刻毎に複雑に増減している。24時間毎に繰り返されるこの増減を、波長、位相、振幅の異なったサインカーブで合成して表現するためには高調波が必要になると言うことである。24時間周期の変動がサインカーブに近い形をしていれば、高調波はほとんど出なくなる。

(3) 見かけ上のピーク、ピークのずれについて

実際には周期性がごく微弱であるにも関わらず、グラフには一つのスペクトルピークとして表れる場合やピークの山が本来の値からわずかにずれて算出される場合がある。

例えば、図1.3におけるD1のすぐ右の小さなピークやD1とD2の間に見られる小さなピークは見かけ上のピークである。また、図6.2のD2などはピーク波長がずれている。この原因は次のような事情による。パワースペクトル密度は、それを近傍の周波数で積分した場合にスペクトルのパワー（単位時間あたりの振幅の2乗の平均）となる値である。例えば同図のY1であれば、このピークの前後の周波数で積分した値が、その周波数範囲での波の振幅の強さを表す。したがって、ある程度強い周期性がみられてかつ横軸が非常に幅広く取れば、D1もY1のように両側が裾を持って広がるわけである。一方、ノイズによるピークは、裾がほとんどない、すなわち積分してもたいした値にならないにも関わらず、横軸を極端に詰めてしまうとグラフ上はそこに周期性があるかのように見えてしまふ。これが見かけ上のピークが出る一つの原因であろう。

また、ピークのずれは、真のピーク値のすぐ隣にノイズによる小さなピークがあると、山の頂上がノイズ側にずれてしまうことが主たる原因であろう。

見かけ上のピークは、 m を小さくするほとんど表れなくなる。実際、D1の右側のものも、D1とD2の間のもも、図1.1や1.2ではまったく見られない。また、その波長で折り返して足し合わせたグラフを作ってみても、周期性はほとんど観察されなかった。（図は略した。）

(4) 全死因で強くみられた周期性

最初に、今回観察された周期について考察してみる。全死因で強く見られたピークは、D系列、W系列、Y系列の3つであった。

1カ月単位の周期性もあるであろうとすぐ思いつくのであるが、暦におけるひと月には28~31日という変動幅があるために、正確な周期性を捉える今回の分析手法にはなじまない。ただ、Y12は約1カ月（ $8766/12 \simeq 730.5$ ）のピークであり、ひと月に準ずる周期は検出されている。これについては、月始め、中間、月末というような集計をすれば、よりはっきりとした変動が観察されるのであろう。

(5) ほとんどみられなかった周期性

その他の周期性は（天体の）月の周期（約705時間）とその高調波を含み、ほとんど検出されなかった。ある観点から述べるなら「人の運命のうち最大の出来事である死は、地球に最も近い天体である月の運行とさえほとんど無関係に生じる」ことが明らかとなった。しばしば聞かれる「大潮の日、潮が引くときに死ぬ人が多い」などは誤りであると断じてよい。

本報告で図示した内容によれば、全死因で観察したとき、24時間から13年までの波長領域においては、D、W、Yの各系列以外の周期性はない。このように、ある波長領域においては「無い」と断定可能な事自体、本研究の特徴とも言える。

ただし、本報告は全死因についての分析である。死因別に分析した場合は事情が若干異なることを述べておく必要がある。なぜなら、全死因としてまとめてしまうことにより、死因ごとの細かいスペ

クトルピークがノイズの中に埋もれてしまう可能性は残されているからである。

(6) 性による違いについて

男に比べて女の方が全般に周期性が弱いことが明らかとなったが、その原因は今回の分析でははっきりしない。おそらく、周期性の強い死因において女の方が死亡率が低いために変動幅が相対的に小さいあるいは周期性が弱い、という理由によるのであろうが、これについては死因別の分析を示す必要があろう。ただ性差が存在することから、死因別のスペクトルはそれぞれ異なるであろうことは推測できる。

(7) 他の研究分野への応用可能性について

まず、死因分類におけるあいまいな死因について考えてみよう。老衰や心不全等は分類上の死因として一つの名前を与えられているが、いずれも特定の傷病とは言いがたい。例えば老衰は、実際の内容として「老化により、生活力が全く自然に衰えてついに死に至った状態」などというよりはむしろ「高齢者における診断名不明確な死亡」であろう。したがって、自然死すなわち老衰という死因はほとんどないという観点に立脚すれば、老衰という診断名しか与えられなかった「死」に対しても、よく調べれば虚血性心疾患などの特定の死因があると考えられる。

さて、このような場合、老衰のスペクトルを悪性新生物その他の特定の死因のスペクトルの荷重和として推定できないだろうか？ 残念ながら、上述のようにMEMは線形性がないので不適である。これには、計算がより容易なFFTの方が適しているであろう。

さらに、老衰を他の死因の荷重和で表現する手法は、他にも応用できる可能性がある。例えば、仮に癌の特効薬が開発されて癌によって死ぬ人がゼロになったとしよう。その場合、人は他の死因で死ぬことになるが、その際の他の死因によって死亡する確率は、癌の特効薬がなかった場合に比べて少々増加すると考えられる。なぜなら癌で死ぬはずだった人が他の死因で死ぬことになるからである。このように考えると、人が暴露されている特定の死因による死亡の危険性というものは、統計的に得られる死亡確率よりも若干大きいことになる。これを死亡公算と呼ぶわけであるが、これを算出する方法については、拙論文⁶⁾で詳しく述べた。

そこでは若干の問題が残されていた。従来より2つの死因によって死亡する危険が重複している部分の量を推定する際には、重複の程度が不明であるという理由から2つの死因は独立であると仮定した上で求めている。しかし、成人病の多くでは独立であるなどとは考えられておらず、これが最大の問題であった。

ここで、死因*i*のD, W, Yの各系列をまとめて一つのベクトル p_i と表したとしよう。主成分分析あるいは因子分析などにより、 p_i から独立なベクトルを抽出し、それによって各死因のベクトルを独立なベクトルの和として表現できれば、上の問題に対する一つの答となろう。

(8) ノイズの特性と死亡を発生するシステムの特性

最初に触れたように、スペクトルに表れるノイズは、信号（ここでは死亡発生頻度時系列）を発生するシステムの特性を表すことが知られている。システムがマルコフ過程に従うとか白色雑音であるとか、あるいは $1/f$ ゆらぎであるとかである。最近、種々の電気製品等で謳われる $1/f$ ゆらぎというのは、スペクトルのノイズの曲線が $P(f) = 1/f$ の形をしているという意味である。

残念ながら、今回の分析ではMEMの非線形性もあって、 m の値が変わるにつれて低周波領域のグラフは大きく変化しており、はっきりとした結論は導き難い。ただ、 $1/f$ ゆらぎやそれに類するものではないことだけは明らかであろう。これについてはFFTによるスペクトルを求めてみる必要があるかもしれない。

6) 大場保, 「特定死因の死亡公算算出近似式の評価」, 『人口問題研究』45巻4号, 1990, pp.46-51.

5. まとめ

本報告では、日本人の1970年から1982年までの全死因の1時間毎の死亡発生頻度時系列についてMEMによるスペクトル解析を行ない、2.4時間から約13年の波長領域に関してスペクトルを図示した。それにより、以下の結果を得た。

- (1) 検出されたスペクトルピークは、波長が1日、1週間、1年のものおよびその高調波であった。
- (2) それ以外の周期、例えば月齢などは検出限界以下であり、誤差変動と分離不能であった。

さらに、この研究手法に関して次の事が示唆された。

- (3) スペクトルピークの値をベクトルとして扱う事により、老衰のごとき曖昧な死因を構成している実際の死因を推定できる可能性がある事。
- (4) 同じくベクトル化により、死亡公算推定の際に問題となる、2つの死因間の重複の程度を推定できる可能性がある事。
- (5) ノイズの分布により、死亡を発生させるシステムについての特性、例えばマルコフ過程であるとか白色雑音であるとか、についての知見が得られる可能性がある事。