

波が波になる時:複雑系と社会の長波

When is a Wave a Wave?

Long Waves as Empirical and Theoretical Constructs from a Complex Systems Perspective

Gerald Silverberg

Senior researcher, Maastricht Economic and social Research and training centre
on Innovation and Technology

大手方如・石橋啓一郎 / 訳

要約

1. パタン認識の訓練課題としての長波
2. 戦争と大国の関係に関する長波
3. 長波に関する議論と複雑系を用いた再定型式

要約：ほぼ100年間にわたって経済学者は長波 (long waves) について真剣に議論してきた。しかしながら特定の周期変動的な要素が、波乱に富んだ近代の経済的、政治的発展のなかに何らかのかたちで存在するという考え方は、今のところ科学的に一致した見解とはなっていない。このことは二つの理由で残念なことである。第一に、確実に明瞭な周期的変動要素の存在が証明されれば、われわれは歴史の推移を予測する適切な手段を手に入れることができる。第二に、そのような要素が存在すれば、(その存在可能性はさまざまに提起されているが)、観測された現象パタンを作り出す原動力となる隠れたメカニズムを洞察できるはずである。筆者の見解では、長波に関するデータは、ベキ法則 ($1/f$) 型の連続スペクトルのパタンが存在することを立証するだけであった。本論文では、Modelski / Thompsonによる改訂版の海軍力指数と、Levyの超大国の紛争データのような政治的な指標を用いて、このことを論証している。低次元のカオスが存在するという主張は、部分的にしか立証されなかった。スペクトル内のさまざまな周波数に発生する独立したピークは、おそらく「ランダム・ノイズ」に起因する。このようなランダム・ノイズの諸要因は、記録の該当する部分に特有なもので、異なる国や歴史上の各時点に共通して確認できるものではない。さまざまな時代の複雑な動学的理由から、「K」波(注1)が予想された形であらわれない理由について、アド・ホックな説明を探し出すゲームを続けることも可能ではあるが、それよりも周期性モデルは適切ではないと結論付ける方が妥当であるかもしれない。むしろ基本的なモデルは、自己組織的臨界性やパーコレーション(浸透性理論)に近いもので、明快な周期性というよりは、ベキ法則やフラクタル的な挙動によって特徴づけられる。筆者としては、技術的イノベーション / 経済

的動学および戦争 / 覇権国のサイクルのいくつかのモデルに共通する特徴、たとえば重大なイベントはきわめて集中的に起こるが、周期性は持たないこと、その結果として社会の繁栄と衰退の長期的なライフサイクルが生ずることに焦点をあてたい。このことは、長波の経験的記録を「修正主義者」的に解釈するにあたって、妥当な説明手法として役立つかもしれない。

1. パタン認識の訓練課題としての長波

人間は概念がつかめないことをひどく嫌う。人間は、一見混沌としているものの中から規則性を見抜き、以前に出会った人の顔のような重要な形状を、驚くほど正確に認識するように進化の法則によって仕向けられているに違いない。実際、環境に存在するその規則性(季節の規則正しさ、獲物の習性)を利用し、その規則性を適切に概念化できる者は、特権的な優位性を持つことができる。おそらくこの概念化ということが、科学的な研究活動の究極の原点かもしれない。しかしこれと同じく物事を概念化し、法則性を見いだそうとする欲求は、賭博者の幻想、迷信(宗教?)、テクニカルな株取引などといった、一見変則的な行動の裏面に広く存在する。このような理由から科学的な研究者は、あいまいな領域においては、以下の2つの点から注意深く進めなくてはならない。第一に、当該データの中に想像されるパタンの虜になってしまわないことである。そのためには堅実な方法論に基づいて、一見不可知的な無秩序に対して帰無仮説を注意深く定立する必要がある。とくにその主題が、個人や集団が長らく信頼を築いてきた事柄や、形而上学的な救済に関係する場合には注意が必要である。第二に、過去の研究文献に過度に拘束されることによって、簡潔なパタンやその他の可能性を見落としてはならない。

さて、歴史の大部分を通して、人間の思考を支配している三つの基本的な原理のパタンが存在するように思われる。第1のパタンは、変化の停止もしくは極相(apotheosis)、つまり宇宙や歴史が最終的に到達する状態であって、これに先立って単調な収斂期間が存在する。(最後の審判、フクヤマの歴史の終焉、ソローの成長モデル等)第2のパタンは、循環のパタン(季節、惑星の軌道、楽器の和音、潮の満ち引き)であり、これは多くの場合、小さな整数比で表される周波数成分の単純な、ときにはより複雑な組み合わせからなっている。第3のパタンは、筆者がここでヘラクレイトスのパタンと名付けようとしているもの、すなわちパタンは存在しないという考え方である。すなわち歴史は決して同じであることはなく、法則のような規則正しさを示すことはなく、本質的に予測不可能である。この考え方はドイツの歴史学派、アンガス・マディソンの資本主義発達の諸相論、効率的市場仮説、ボックス-ジェンキンスの時系列の計量経済学研究などに合致するかも知れない。神はサイコロを振る。近代統計学の観点からすれば、これも一つのパタンであり、定量的な分析によってその特徴を看破することができる。とりわけBeck [1]が指摘したように、どんな定常時系列も、活動状況が平均以上の時期と平均以下の時期に再分割できる。これは偶然の影響が持続しているためであり、それ以外に何らかの内生的メカニズムを必要とするわけではない。したがってヘラクレイトス的な立場であっても、それぞれの時代に特有の歴史的要因に基づいて世紀や時代を区分することは認められるであろう。しかしこの歴史的要因とは、文献で用いられている意味での長波のことではない。この場合の長波とは、一定の予測を可能にするような反復して出現する内生的基本メカニズムを意味する。本稿の筆者の見るところでは、社会科学の長波に関する論争は、(おそらく第一のパタンである変化の停止についてさまざま議論を経過したのちに)依然として第2のパタンの概念的枠内にとどまっている。筆者は以下で、第2と第3のパタンの可能性の間のどこかに、もう一つの可能性があるかもしれない、ということ論じたい。それは循環性を持たないが、独自のパタンを持ち、また持続的な要素はあるが、予測可能なものではない、ということである。

それにしても、なぜパタンの認識が重要なのだろうか。処世上の知恵として重要な意味を持つ、科学的なパタン認識が最初の文書として残された事例、すなわち、聖書の中に出てくる7年間の飢餓と7年間の豊作という、ヨセフの見た夢を考えてみよう。一見するとこの話は、非常に正確な予知を可能にしてくれる古典的な循環モデルである。おそらく正確な予知ということが、パタン認識をする第一の目的なのである。実際には、Hurst[2]が説得力を持って示しているように、ナイル河にはこのような単純な周期的パタンは存在しない。その代わりに数年単位の水位の極端な上下が交互に生じている。この現象は完全な偶然性の元での予想よりも、ずっと持続性(persistence)をもって生起するのである。この観測は、本物の循環モデルが与えてくれるはずの予測手段を与えてくれない。しかしこのモデルは、安全なダム設計 用心深い穀物の貯蔵のための には重要なヒントを与えてくれる。このように持続性といった別の種類のパタンは、予知の役には立たなくても、完全な偶然とは異なるものである。このようにパタンはモデルを構築し、内在する仕組みを認識するための重要な手がかりとなる。こうしてケプラーの法則からニュートンは天体力学を導き(注2)、南アメリカの東海岸とアフリカの西海岸の形の一致が 当時は多くの人々が幻想として笑ったが 究極的にはプレート・テクトニクス理論を導き出し、また、ガスの複合的なスペクトルは原子の量子力学理論を導いた。しかし火星の運河や人の頭骨の形態が、宇宙人の文明や人の精神の骨相学理論を導き出すことはなかった。したがって真偽のはっきりしないパタンは慎重に扱わなくてはならず、パタンが本当に存在していて、われわれが概念やパタンを好むことから生ずる空想の産物ではないということを方法論的に証明しなくてはならない。この目的のために、本論文では、経済的な問題に焦点を絞った先の論文[3-7]で、筆者と筆者の共同研究者が用いたいくつかの考え方、モデル、手法を、戦争と国際関係における長波の問題に適用している。問題点を例証し、わかりやすく解説するために、次節をデータの実証に当て、海軍力[8]のデータセットや大国間の紛争[9]のデータセットを集中的に検討したい。最後の理論に関する節では、その結果を現存する技術経済学的な進化モデルと統合し、イノベーションとパラダイムのライフサイクルを包括する試論を提起したい。

2. 戦争と大国の関係に関する長波

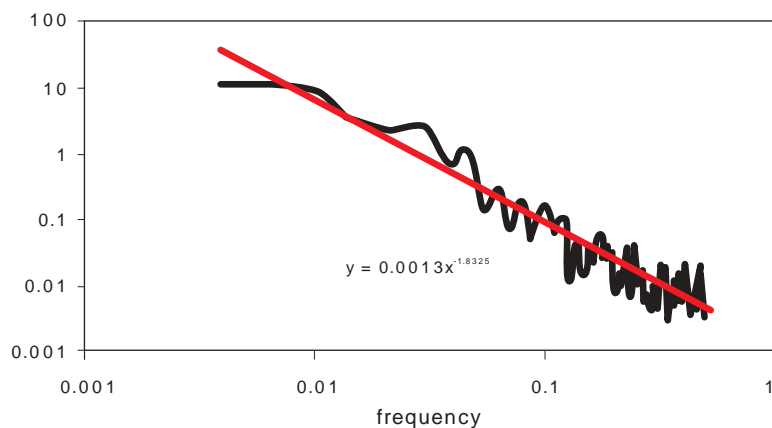
ほとんどの長波の研究は経済的変数のみに焦点を当ててきた。しかしすでにKondratiev[10]は、戦争が彼の唱える50~60年の経済循環の上昇期の終わりに起こりやすいかもしれないと示唆している。その理由は少ない資源と少ない市場をめぐる経済競争が紛争へと傾斜していくという因果法則が働くからである。Goldstein[11]は武力紛争と経済の関係を研究のテーマとした。彼はKondratievよりも戦争の自律的なダイナミクスを強調している。彼は50年周期を示す大国の戦争に関するLevyのデータは、長波の動きに関する彼の他の指標と相関があると主張している。ModelskiとThompson[8,12]は、1495年以降の世界の(海洋の)経済 両著者は後にAD1000年以降の宋やユーラシア大陸の経済まで調査対象を広げている[13] を研究して、ヨーロッパが国際社会を支配していた期間において、海洋国家の覇権(ヘゲモニー)は約110年周期であるという長波理論を提起している。

Beckは1991年の論文[1]のなかで、長期サイクルの問題は、良く知られたスペクトル解析の手法を使う場合にのみ応えられるという議論を説得的に展開している。(注3)筆者は本稿でこの問題をModelski/Thompson(MT)の海軍力データを用いて検証したい。その際、両著者の主導国家(leading power: LP)指数およびシステムの集中度(Systematic Concentration: SC)指数に代えて、彼らの元データから、海軍力の集中度に関するハーフィンダール指数(Herfindahl index)を算出して用いる(注4)。「図1」はこの時系列のハーフィンダール指数のスペクトル密度を両対数軸で示したものである。

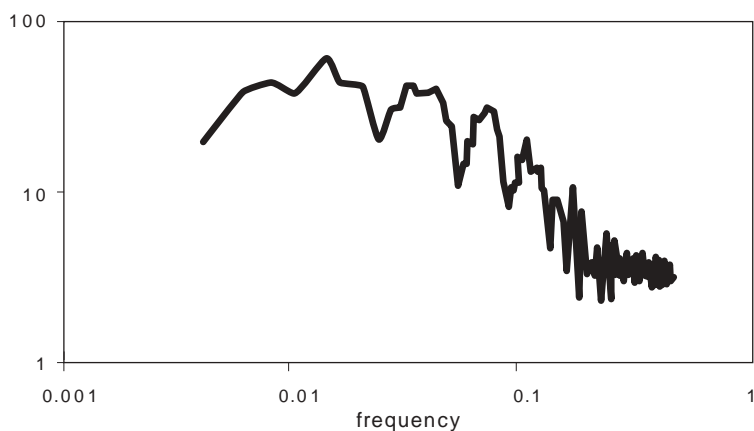
なおMTの主導国家指数のスペクトル密度をとっても、ほぼ同様の結果になる。

この図から二つの特筆すべきことがわかる。まず第1に、MTは110年周期が存在すると主張しているのに対して、この図にはスペクトル分布の通常のノイズの範囲を超えて目立って突出しているスペクトル値がない。(注5)第2に、このスペクトル密度は、ほぼ30年以上の周期において、傾き - 1.8325 のべき乗関数と非常に良く一致している。

「図1: 海軍力の集中に関するハーフィンダール指数
(両対数軸、直線はべき関数による近似曲線)」



「図2: Levy / Goldsteinの戦争死者数データの標準
化残差スペクトル密度(両対数軸)」

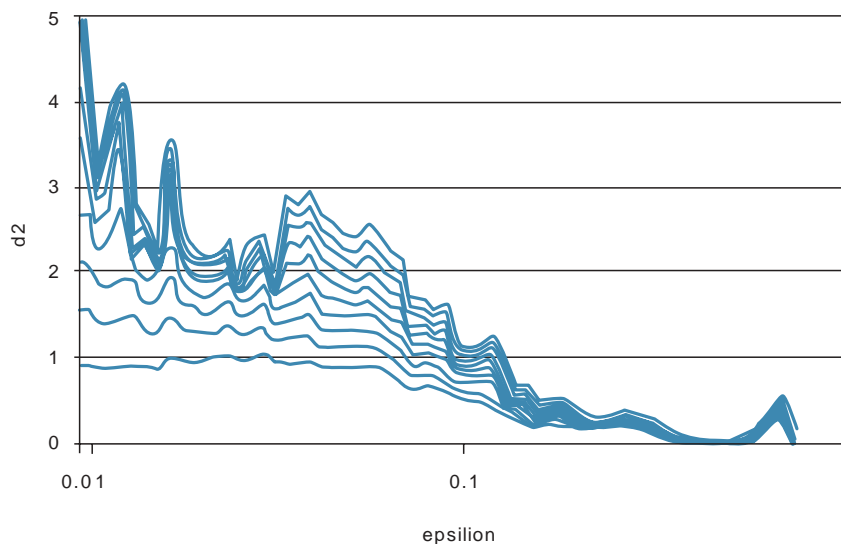


「図2」は1495年から1975年間の大国間の戦争時の死者数に関するLevy / Goldsteinの時系列データに対し、負の二項分布モデルを当てはめることによって得られる標準化残差のスペクトル密度を現したものである。(注6)負の二項分布モデルの推定値は10.7で、この値は蓋然的発生率検定では1%のレベルで0より明らかに大きい。このことは、戦争による死者は、ランダムな発生率より遙かに集中して発生するということを示している。Goldstein[11]が50年周期を予測しているのと対照的に、これらの事実をふまえてもはっきりとした循環的の反復は見られない。しかしまた、べき法則パタンのようなものが、少なくとも8~100年の範囲において出現するように思われる。時間スケールの短い側と長い側ではスペクトルはホワイトノイズに似てくる。この期間における大国が関わったすべての戦争に非常に似た結果が当てはまる。

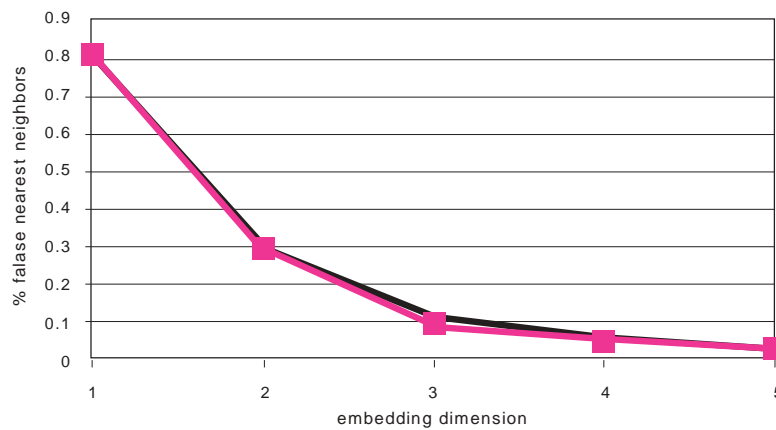
一見、このような分析結果は、伝統的な長波の視点からの期待には反している。しかしこの結果は、Grangerの1966の論文[18]以降、多くの経済的な時系列のデータについて知られていることと一致している。つまりスペクトル密度は低い周波数では発散してベキ法則に従うということである。これは短期記憶性で特徴づけられる定常的な時系列についての一般的な見解、つまり $\sum_{i=1}^{\infty} |c_i| < \infty$ (ここで c_i はその時系列の自己共分散) では、スペクトル密度は低い周波数では0に近づくことは対照的である。このような短期記憶性のスペクトル密度が該当しない場合は、時系列が累積されない場合を除いて、長期記憶性が存在し、個別の時間区分の間の相関関係は、われわれが考える以上に長く続く。(聖書の例を想起せよ。)長期記憶性は $A(L)(1-L)^{-d} = B(L)$ という形の少数差分方程式 (Fractional Differencing : FD) で特徴づけられる。ここで、 L はラグ・オペレータ、 $A(\cdot)$ $B(\cdot)$ は短期記憶過程を表す多項式、 $-1 < d < 1$ は長期記憶性のパラメータである。ここで、ロビンソンのセミパラメトリック法による d の推定量 [6] [9] を用いることによって、その $d = 0$ という仮説を検証できる。ハーフィンダール指数については、この計算結果で d が0.89の値をとり、元のMTのLP時系列データについては、0.88の値となり、両者とも1%の水準で有意な数値である。Goldstein / Levyの大戦の死者数のデータセットの標準化残差については、 d は0.34であり、これも有意水準1%で有意である。

Richardsの1993年の論文[20]は、既述のMTのLP時系列データについて、厳密な周期性があるという主張を退けた後、低次元のカオス振動が起こっている証拠を見出した。彼女はGrassberger-Procacciaの相関次元法を用いて計算した結果、少なくとも7次元の埋め込み次元を使って、約3.5という値を得た。([20] 62頁「図3」を参照。)しかしながら、Richardsの図表は、位相空間埋め込み (phase-space embedding) の全範囲にわたって、実際に収束が得られたのかどうかを示すには至っていない。また彼女自身が指摘しているように、507個という観測数は、おそらくこの説を証明するために十分ではない。彼女はまた自己相関的線形時間内で組になる点を除くためのタイラー窓 (Theiler window) を用いていない。この手法は彼女がこの論文を発表して以降、標準的な分析方法になっている。(これについては [21] [22] を参照。)以上の理由から筆者はハーフィンダール指標による海軍力時系列データに42のタイラー窓を用いた上で、TISEANパッケージの $c2$ アルゴリズム [22] を使ってRichardsの計算をやり直してみた。

「図3:1-9の埋め込み次元に対するハーフィンダール指標の近傍サイズ (neighborhood size) の関数としての相関次元」



「図4：埋め込み次元の関数としてのFNNのシェア（ がタイラー窓サイズ0、 が42）」

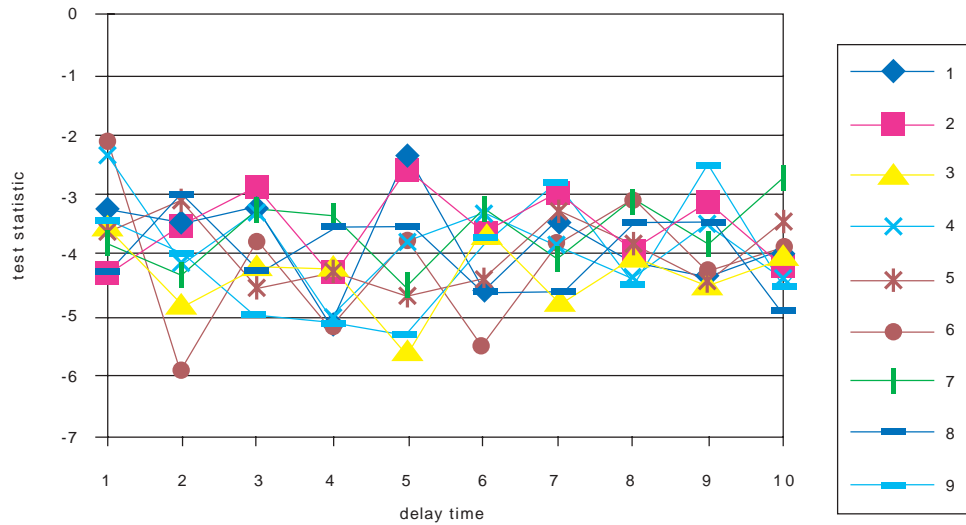


位相空間埋め込みの理論によれば、もしある時系列データが低次元のカオス系から生成されていれば、元データの時間遅延成分を用いて埋め込み次元 m のベクトルを作ることにより、小数次元 d のストレンジ・アトラクタのトポロジは十分に高い埋め込み次元 m で再構成される。「図3」は相関次元を推定する手順を示している。埋め込み次元5から始めると、小さな範囲で収束しているのが見られるが、相関次元は2の少し上あたりである。埋め込み次元5が、ストレンジ・アトラクタを回復させるのに十分であるということは「図4」で確認できる。この図はハーフィンダール指数の埋め込み次元での関数として、誤り近傍点 (false nearest neighbors) が全体に占める割合を示すものである。実際に埋め込み次元が5次元であれば、この割合はほとんど0に減少する。これはタイラー窓が42年であっても0年であっても同様である。本稿では記述しないが、MT-LPの時系列を使った結果は、Richardsが報告したような収束は明らかではなかった。またこの場合には、誤り近傍点 (false nearest neighbors) のパーセンテージが、埋め込み次元4次元を5次元に変化させたときに、0に減少するのではなく増加している。

Kennel and Isabelle [23]は、真の低次元カオス運動と有色雑音もしくは $1/f$ ノイズを識別するための検証方法を提案している。この検定法は上述の検証に耐えうるものであり、またわれわれのデータセットを特徴づけている。この検定は非線形位相空間において再構成された軌道に基づく非線形の近接予知式を利用するものである。この検定では得られた予測値を元の時系列データのスペクトルに似たスペクトルを持つランダムに発生させた代替データセットと対比させて両者の正確さを比較する。もとの時系列に低次元のカオスが存在するならば、この非線形近接予知式は、代替データ (surrogate data) を用いた場合に比べて、統計的にかなり精度が高いはずである。本稿のデータ時系列のハーフィンダール指数に対する解析の結果を「図5」に示した。(元のデータは代替データより高い非線形予測値を許容しないという仮説のために、検証測定値 (test statistic) は $N(0,1)$ となっている。(注7) 以上のようなわれわれの時系列データ検証が全体として示すことは、海軍力のハーフィンダール指数は、 $1/f$ ノイズ、長期記憶、および低次元カオス運動の諸相を同時に表すということである。しかしながらこの中で時系列が短いために、カオス運動の証拠は若干不十分かもしれない。

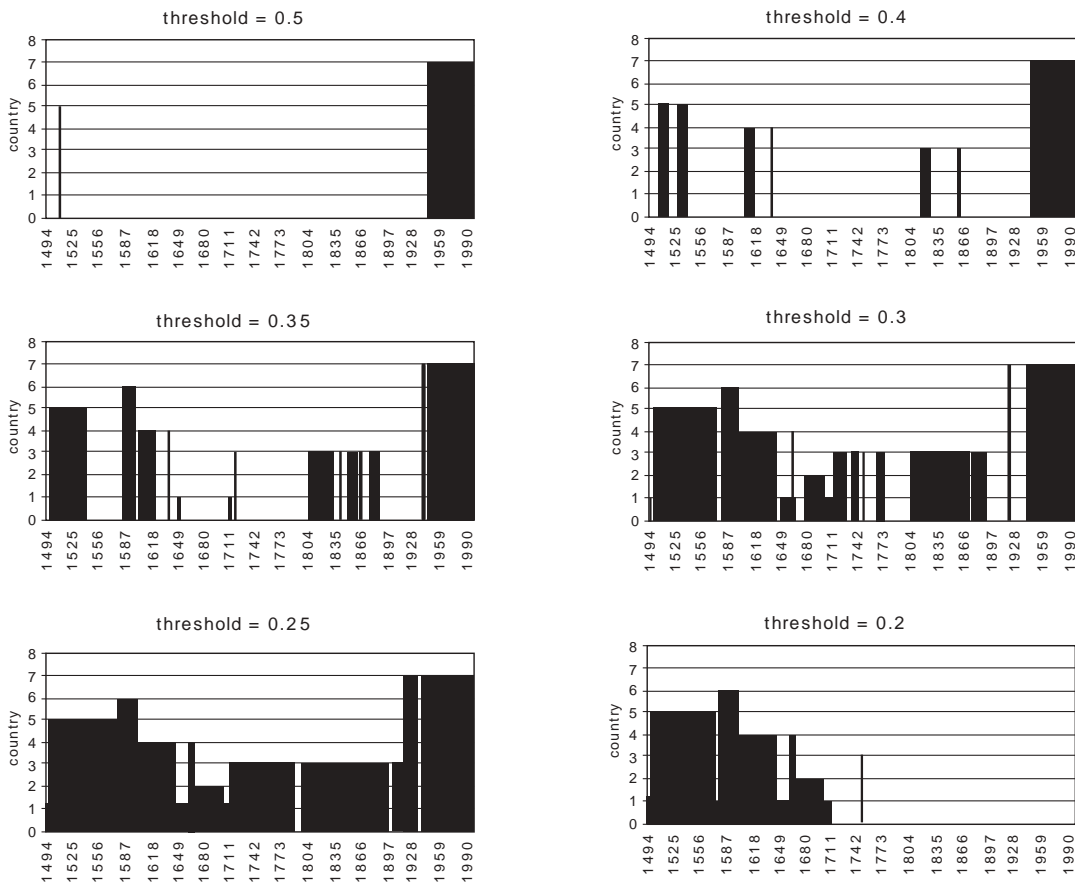
覇権国の示す優越性の期間によって、近代の時期を区分しようとする時、その区切り方が非常に可変的であるということを示すために、「図6」ではハーフィンダールの集中度指数が一定の閾値を超えたとき、どの国が最大の公海艦隊 (high-seas fleet) を保有していたのかを示した。「図6」は、可変的な基準に対応する形で覇権国 (hegemon) という言葉に相応する海軍力の集中があったことを示している。(注8) ハーフィンダール指数を中間的な範囲 (0.25 ~ 0.35) にとった場合には、世界の海軍力システムは、ほと

「図5: 埋め込み次元と位相空間埋め込みの時間遅延の値に対する海軍力のハーフィンダール指数の非線形予測統計値)」



んどの期間に変動している。この閾値では、描かれているパターンは移行期間、すなわち二つの支配的大国間の紛争期を示す空白部分を除いて、明確な周期性と言うよりはむしろフラクタルな形を取り始めているように思われる。ハーフィンダール指数の閾値を0.25~0.3に設定したときに、一般の海軍の軍事史研究者の考えるような優越性と競合性に関する記録を最も良く反映させるパターンが得られるであろう。

「図6: HI 閾値の条件下で、その年の実際の最大の海軍力を用いて求めた超大国の時代毎の期間のばらつき。棒グラフの長さが次のように覇権国を表している。1=イギリス、2=フランス、3=英国、4=オランダ、5=ポルトガル、6=スペイン、7=米国」



3. 長波に関する議論と複雑系を用いた再定式化

Beck[1]とGoldstein[24]は、長波について両極端の立場を取っている。Beckは規則的で明確な、個々の周期性がスペクトル解析によって明らかにされる場合にのみ、本当の意味で循環(cycle)を認めるという強固な統計的立場をとっている。これに対してGoldsteinは、二つの独特の周期観を打ち出している。まず第1に、Goldsteinの意見では、周期(cycles)は暦時間(calendar time)に一致する必要がない。極端な場合、この考え方では、どのような確率的プロセスも周期的(cyclical)だということになる。この場合、「周期(periods)」は完全にランダムで予測不可能でも構わない。しかしながら、このような見方をとる論者が暦時間から周期時間への決定論的な写像関係を挙証しないかぎり、筆者にはBeckの批判が妥当性を持つように見える。Goldsteinは第2に、内在する原動力が閉じた正のフィードバック・ループを持つとすれば、われわれは周期性を語ってよいと主張する。これは興味深い主張であり、一見誤っているようにも見える。なぜならそのような多くの自己触媒的な動的システムは、(ハロッド・ドーマーの単純な経済成長モデルを嚆矢として)定常的な指数関数的成長や、カオス、多重安定性といったきわめて非循環的な振る舞いを生じさせるからである。しかしながらこの主張は、実際には、われわれが動的システムと循環モデルの範疇を拡張して、より複雑なパターンを含めるように示唆しているのである。

実際に、本論文が提起した海軍力の長波や戦争の死傷者数についての実証分析や、イノベーションのサイクルと経済成長についての研究は、新しい見方を提供している。まず第1点として、戦争や技術的イノベーションといった「歴史的な特定時点 過程的(point-process-like)」な現象が一方にあり、他方には権力関係や経済的な生産量の総計のようなシステムレベルでのマクロの変数があるが、この両者の違いを区別しなければならない。この区別は、包括的な理論でそれがどういう役割を担っているかという点からも、適切な統計学的分析手法の点からも、明確にする必要がある。前者の「特定時点 過程的」な現象は、きわめて予測不可能かつ可変的であるが、近代の期間を通じて、内在的に指数関数的な増加傾向を示すと同時に、単純なポワソン過程よりも、はるかに高い集中度(集積性)を示す(highly clustered)という特徴を持っているように思われる。ここに見られるランダム性と集中性を考慮に入れても、両者の領域にはどのような周期性の証左も見出すことはできなかった。このことは、両者が複雑な確率過程にしたがう完全に自律的なランダム変動であり、社会の他の部分からの影響を受けていない、ということの意味するわけではない。しかしながらこの両者は、長期的には社会のマクロ的諸変数や諸制度的枠組みの組み合わせの変化に対して確率的に従うという点を除けば、被説明変数(driven variables)であるよりは説明変数(driving variables)として特別の地位を占めている、という考え方を擁護する多くの理由があるように見える。

海軍力の指標や経済的な生産量の総計といったマクロ変数を分析しても、はっきりとした周期性は検出できない。しかしながら否定的な結果ばかりではなく、一つのパターン、すなわち一種のベキ法則のスペクトルがあらわれているように見える。このことは経済学の世界では少なくともGrangerの1966の論文[18]以降知られている。しかしその論点は、時系列の差分で消すことのできる単純な統計上の問題であると見なすか、あるいは単純なサイクルとは異なる種類の内在的なメカニズムの存在を検証する手段と見なすかのどちらかであった。ここ数年の複雑系の研究は、ベキ乗法則による諸関係を、自然界や社会現象に広く存在するメカニズムのしるしとして認めるようになってきている。[25,35]われわれとしては古典的なサイクル論が裏付けられなかったというよりも、この洞察を将来の実りある研究の方向付けとしてとらえるべきであろう。

この発見は同時に、従来の諸研究の問題点を明らかにしている。もしある変数がベキ法則のスペクトルで特徴づけられるとすれば、有限の長さTの時間セグメントのデータを観察する場合には、分解能の限界から、かならず周期 $T/2$ でスペクトルの最大値があらわれる。したがって20世紀の研究者が利用できる100年から150年分の経済統計を用いた分析が、必ず50年から60年の周期の存在を認めるに至ったことも、また近代500年の政治に関するデータに対する分析が、それよりも長いサイクルを見いだしたことも驚くにはあたらない。離散的なスペクトルではなく、連続的なスペクトルがある場合、研究者は周期の変域を、あまりにも規則的な長さに刻む誘惑に駆られる。このような規則的で倍数的な周期の例として、世代論(30年)、コンドラチェフのサイクル(60年)、ヘゲモニーの循環理論(120年)、民主化サイクル(250年)などがある。(DevisesとModelskiの2003年の論文[26]を参照。)しかしながら(少なくとも一定の範囲の時間尺度については)スケール・フリーであることが、ベキ法則のスペクトルを、他のダイナミックなシステムと区別する特徴である。したがってこのような分類は、非常に明確な反証が示されない限り、連続的階層構造をもつ時間尺度を都合のよいように分割することでしかない。(注9)そういう分類を鵜呑みにすることはホワイトヘッドが言う「抽象を具象と置き違える錯誤」を冒すことになるであろう。

「イベント」レベル(イノベーションや戦争)とマクロレベルの関係は、より詳細な分析に値するが、方法論的に留意すべき点も多い。Liebknecht(1990 [27])は、彼のマクロの長波の時代設定に一致したイノベーションの集中(時間的ラグをとまなう)を見出している。Mensch(1975 [28])は、因果関係がマクロレベルからイノベーションに及ぶこと、すなわち経済不況がイノベーションを取り入れるきっかけとなることについて論じている。Goldstein(1988 [11])は、大戦争と、その後続くインフレーションについて、類似の関係を見出している。Beck(1991 [1])は、バイスペクトル法を用いてこの相関関係を拳証しているが、長波自体の存在は否定した。このように両者の変数間の相互相関や因果関係は、かなりの確かさで存在している。しかしながらそれは、両者に長波が存在することの証拠にはならない。実際に、Silverberg and Lehnert(1993 [3])は、因果関係を明確に措定したモデル(イノベーションからマクロの拳動への関係のみとする)で、マクロの変数の結果から期日を定めた長波が、イノベーション活動の変動に強い相関を生じさせることを示した。これによって「生産性パラドックス」と「不況期トリガー」の二つの仮説とも実証されているように思われる。しかし実際にはマクロ的な変数は、単にイノベーション・プロセスの確率的な変数を、一定の遅延を経て増幅しているだけである。イノベーション・プロセスそのものは、いかなる長波をも示していない。そして相関関係という言い方は容易にどちらの方向にも誤解されてしまう。同様の事態が、戦争、経済的変動、権力関係の相互関係についても当てはまるであろう。つまり因果関係を探り出すのは難しく、相関関係やタイミングについての表面的な解釈から間違った結論を導く可能性がある。

それにもかかわらず、規範的な「長波モデル(long wave model)」の基本的な諸要素について一定のコンセンサスができつつあるように思われる。まず第一に、諸事件の基層があって、自己触媒的な成長(あるいは衰退)のプロセスを引き起こす。(there is an underlying layer of events that initiate autocatalytic growth (or decay) processes.)そのような諸事件として、技術のイノベーション、戦争、政治的レジームの変化、新しい制度的取り決め、あるいは諸国家の興隆を引き起こすような事柄がある。このようなイベントは時間的にはランダムに生ずるが、ただし近代では発生率に指数関数的な傾向が見られる、高度に集中(集積)しており、急峻な傾きを持つ、指数型可能性サイズ分布(highly skewed and possibility power law size distribution)で特徴づけられる。(イノベーションについては

[29] 戦争については[16]を参照。)次に第二点として、これらのイベントは、ある存在(一つの技術、一つのインフラ、一つの制度的取り決め、諸国家)のライフサイクルを帰納的に導き出す。その存在は成長と衰退、拡散と退化のダーウィンのプロセスにおいて他の諸存在との競合関係にある。このような構造変動のプロセスは、集計的、マクロなレベルで主要な意味合いを持つが、同時にミクロのレベルあるいは「イベント」のレベルにフィードバックをもたらすであろう。Grubler(1990, 1998 [30, 31]は、科学技術についてこのような例を示しており、Doran(1980, 2003 [32, 33]は、戦争と国際関係についての例証を提示している。このライフサイクルの期間はコンスタントであるとは限らず、また厳密な繰り返しのパターンをもつとも限らない。実際にSilverberg and Lehnert(1993, 1996 [3, 4]によれば、普及の速度と飽和のレベルは、双方ともランダムな性質を持っている。それにもかかわらず、この繰り返し(ただし一定の周期はもたない)のパターンの総体(aggregation)は、特徴的にベキ法則の性質を持つマクロの変数を生み出す。このような結果は、マクロのレベルからイノベーションのレベルへのフィードバックや、かなり大きなミクロ・レベルでの多様性を許容した場合でも十分に成立するように見える。[34]のようなシステムを長波として分類するのかどうかは好みの問題だといえることができるであろう。いずれにしても、これは従来やや牽強附会の色があった長波分析を乗り越えるものである。また社会の動的な振る舞いについて、より豊かな広がりをも提示するものになるかもしれない。このような社会の動態的な理解は、実際には、多くの長波の研究者のオリジナルな直感(とくにシュンペーターなど)と一致するものである。また、このような考え方は、ここ数年のより精度を高めた統計的手法によって明らかにされつつある「定型化された事実(stylized facts)」の手法ともかなり一致する。それが何らかの予測を可能にするものであるかどうかは、今後の検討を待たねばならない。本稿では限定的にしか支持されなかったが、いくつかの指標が低次元のカオスを示していることは、短期的な予測可能性をあらわすものかもしれない。しかしそれは素朴なサイクル・モデルほど直接的なものではないであろう。筆者の個人的見解としては、(統計的な意味での)パターンに対する情報から大きく離れたかたちで確実な予想を行う能力を得られるのかという点については懐疑的である。(注10)以上の議論から、われわれが歴史を見る視点は、進化のプロセスの可能性と必然性を支配する統計的な法則主義と、ヘラクレイトスの言う歴史の一回性を信奉する伝統的な歴史文献学的な記述主義の中間に至ったといえることができるであろう。

【註】

主導国家の海軍力に関する最新版のデータセットを提供していただいたG.Modeski、W.Thompson両教授に御礼を申し上げたい。J.Levy教授からは、戦時死傷者数データセットと多くの関連論文を提供して戴いた。また、Levy、Goldsteinのデータのポワソン回帰分析とModeski / ThompsonのデータのNVC解析を提供してくださったB.Verspegen教授にもあわせて御礼を申し上げたい。

(注1) 訳注：K波とは、ModelskiとThompsonが主張するKondratievの長期的サイクルを指す。詳しくは[8]を参照。

(注2) ケプラーは独自の「宇宙の調和論」を追求するなかでこの法則を導き出した。その理論とは当時既知の惑星の軌道が入れ子状の多面体の間の空間によって決定されるというものであった。実際の観測データと、このプラトンのパターン認識の適用の間には無視できない矛盾があったために、ケプラーは概念的には全く異なる法則の提示に進まざるを得なくなった。そしてこれがニュートン力学に繋がるのである。音楽の和音の類推としての彼の天文学の考究には、シュンペータの3サイクル理論や近年の世界システム・モデルに見られる入れ子状になった周期運動を連想させるものがある。

(注3) 上の周期性を代替する定義が意味を持つのかどうかについては、この論文の最後の節でもう一度取り上げたい。

(注4) Modelski / Thompson(以下MT)は、主導国指標 (leading power: LP index) を以下のように定義している。決定的な覇権戦争(critical hegemonic wars)と彼らが認識する二つの大戦間の歴史的期間において、まず主導国を決定する。次に世界の全海軍力の中で10%以上の占有率を持つ海軍国の合計を算出して、主導国の占める割合を計算する。この定義は、長波の期日決定(dating)について、当初から特有の効果はこの指標に持たせることになる。すなわち、a) 覇権国は、必ずしも特定の年において最大の海軍力を持つ国であるとは限らない。これはスペインおよびポルトガル対イギリスおよびオランダの16世紀から17世紀初頭にかけての対立図式、イギリス対オランダおよびフランスの引き延ばされた17世紀の対立図式、英国対米国の第1次 第2次世界大戦の戦間期の対立図式などに当てはまる。次に、b) 決定的な覇権戦争の選択について選び方が恣意的だと批判される可能性がある。(たとえば1991年のLevyの論文[157-8 頁]は、Modelski / Thompsonが、30年戦争(1619-48/49)、オーストリア継承戦争(1739-1748)、7年戦争(1755-1763)を看過した点を指摘している。大半の分析者は大国間の覇権について論ずる際、グローバルな意味合いや死傷者の数から、これらの戦争を覇権戦争に含めるであろう。MTは、カール5世とフランスの間の戦争(1521-1559)や、ルイ14世のオランダ戦役(1672-1678)といったより小規模な戦争を当然のように省いているが、実際にはこれらの戦争はヨーロッパの覇権を確立する上で重要な役割を果たした。)言うまでもなくこれはMTがグローバルな海軍力を排他的に強調したために、陸軍力や地域的な海軍力を無視することになったからである。(このために16世紀の覇権的地位にポルトガルが登場しているが、多くの研究者は全期間を通じてポルトガルを大国(great power)とは見なさないであろう。そしてこれはオスマン帝国を除外する結果にもなる。)これは幾分かは、MTの分析が110年の長波という先入観を反映した結果かもしれない。

MTのもう一つの指標であるシステムの集中度指数(systemic concentration: SC index)は、Ray & Singerの1973年の論文[15]の次の式を用いたものである。

$$SC = \sqrt{(s_i^2 - 1/N)/(1 - 1/N)},$$

ここで S_i はN個の国家(powers)の母集団における国家iの占めるシェアである。この指数に関するModelskiとThompsonの1988年の著書[8]付録Bの計算には問題点がいくつかある。まずシェアの合計が必ずしも1になっていない。(値が10%外れる場合がある。)次に、公式に代入する大国の数Nが、0でないシェアを持つ国々の数と必ずしも一致していない。(たとえば、ある大国が母集団からはずれるときに、その国はNの値としてカウントされる場合とされない場合がある。)これが特に問題となるのは、Ray & Singerの公式は、 s_i^2 が実際は不変でも、Nの変化によって大きなジャンプを示すからである。(なお s_i^2 は産業経済学で広く使われているハーフィンダールの集中度指数に他ならない。)最後にMTのSC指数のいくつかの数値は計算の誤りのように見えるが、その理由は明らかではない。MTの指数の問題点に関する分析はエクセルのスプレッドシートの形で筆者から入手できる。このような問題点を是正するために、私は次の二つの方法でSC指数を再計算した。

1. Modelski / Thompsonの「表5.6 5.9」からとった各シェアを、その年のシェアの合計で割り算して再標準化し、シェアの合計を何とか1にする。これは姑息な解決策にすぎない。より良い解決法はMTの生データから占有率を計算し直すことであるが、今のところ時間の関係で実施できていない。

2. 直截的にハーフィンダール指数 S_i2 を使って Ray & Singer 指数を代替する。ハーフィンダール指数は N の規定の仕方や、境界線にある国を含めるか否かといった判断に比較的左右されない。(したがって MT の規定による 10% シェアの境界以下の国を計算に含めても結果を著しく変えることにはならないだろう。もっとも本稿の段階では私はこれにもまだ手を付けていない。)

以下ではハーフィンダール指数を分析に用いた。その理由は、ハーフィンダール指数が主導国および国家数の特定にとまなう曖昧さに左右されないからである。実際にこの2点が MT の LP 指数と SC 指数の有用性を損なっている。同時に比較を目的として、Ray & Singer の公式に基づく一貫した SC 指数(これは MT の付録 B の結果よりも変化が大きい)および代替の LP 指数、および Max S を計算した。Max S は特定の年に最大の軍事力を実際に保有した海軍国のシェアを示すものである。以上のような MT の LP 指数と SC 指数についての問題点と不備に関する分析は、覇権循環論(hegemonic cycle)に実証的かつ理論的根拠を与える上で、彼らが果たした多大な貢献を些かも傷つけるものではない。これは定量分析に不可避の現象であって、いわば悪魔は細部に宿るという例証である。

本稿の最初のドラフトを公表したあと、William Thompson 教授から上記の不備を修正した海軍力時系列データの提供を受けた。将来的にはこのデータを組み込んで分析を継続したい。これにより「英国海軍省ルール」をより直接的に示すような集中度指数を策定できるかもしれない。このルールは、覇権国の艦隊は覇権国に続く二つの競争者の艦隊の合計よりも大きくなければならない、というものである。なお現在の予想によれば、修正データを用いた分析は、本稿で私が調節した時系列によるものと本質的な違いはないはずである。

(注5) 対数軸でグラフを作ると、スペクトルに表れる個々の突出部分の相対的な意味が、線形上のグラフよりもわかりやすく示される。スペクトル密度の重要度の程度を計算する方法については、[1]の付録を参照のこと。

(注6) このデータは [1] の付録 B、GPWAR of War Indicators の表からとったものである。なお、この表は [9] に基づいている。Goldstein は戦争の死傷者数を戦争の開始と終結の年を除く年数で平均に割り振っている。また開始と終結の年には死傷者数の半数を割り当てている。[1] と対照的に、筆者はこのデータに対して直接スペクトル解析を行わない。なぜなら、このデータは、明らかに通常のランダム変動とはかなり違う特徴を持ち、特に 0 の値を示す年が非常に多くあるからである。私はこのデータを [9, 16, 17] のような従来型の戦争分析に見られる計数データと見なしている。これに対する帰無仮説は対数-線形時間トレンドを持つポアソン過程である。また対立仮説は負の二項分布モデル仮説である。このモデルはランダムな集中度を表すパラメータをつけることで、単純なポアソン過程にと比べてより高い集中度を示す。また、ダミー変数として x_{1815} (1815 以前は 0、以後は 1) を用いて計算した。これは 1815 年以降、しばしば指摘される構造的変化 すなわち強大国の戦争の数は減ったがより深刻になった を反映させた。次に、ポアソン回帰を各モデルに適用して、以下のポアソン到着率を求める。(詳細は [5] を参照) ただし

$$\ln (t) = a_1 + a_2 x_{1815} + b_1 t + b_2 x_{1815} t$$

推定される点の分散はポアソン分布の場合は (t) であり、負の二項分布モデルの場合は $(t)(1 + (t))$ である。その場合、標準化残差は $(t) - (t) / \sqrt{(t)(1 + (t))}$ である。ただし $x(t)$ は年次観測値である。この操作は、当該モデルに従ってデータの指数関数傾向と分散の不均一性を考慮にいれて行われている。この場合、スペクトル解析が、これらの剰余に適用される。しかし最終結果は [1] から得られた結果と比べて大きく異なっていない。

(注7) 元の時系列データの 507 点の観測記録は NVC アルゴリズムによって必要とされる 2 のべき乗である 512 を得るために最初の値を 3 回、最後の値を 2 回繰り返すことによって拡張されている。元の時系列データの始めと中間および終わりから切り取られた未加工の 256 点の観測記録の分析結果も類似した結果を示した。つまり、始めと中間の観測記録は有意性が小さく終わりのデータは有意性が明らかに大きいのである。

(注8)MTのLP指数は、MTが当該時点で主導国と認定する大国のシェアを表すものであって、その時点ではMTの計測法によっても最大の艦隊を擁しているとは限らないという点を想起してほしい。MTはLP指数が50%を超える場合として覇権を定義する。しかしながらその結果は変数の閾値の関数として見ることもできよう。

(注9) [26]は世界システム過程の連続的入れ子状態におけるベキ法則を示している。8000年におよぶ人類史を包摂するきわめて不確実な経験的記録において特定の周期的なプロセスを特定することの妥当性は別として(海軍力のデータセットにおいてさえ、いまや周期性の存在が疑わしいことは明らかである)、プロセス($np = T/p$)の周期 p に対して、長さ T の時間内に周期的プロセスの反復 np の数を回帰指定すると常に -1 というベキ数が生ずる。したがって彼らが -0.9991 という指数を得たことも驚くに当たらない。つまり彼らはただ数学的/概念的類似性を推測しているのであって、独立した観察の間の関係を推測しているのではないということになる。

(注10)これに関連して社会システムは地震研究との類似性をもつと言えるかもしれない。Gutenberg-Richterのよく知られた指数法則や地震の時間的集中的特性についての知識も地震予測を可能にするには至っていない。

【参考文献】

- [1] Beck, N., 1991, "The Illusion of Cycles in International Relations", *International Studies Quarterly*, 35: 455-476.
- [2] Hurst, H., 1951, "Long Term Storage Capacity of Reservoirs", *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 116: 770-799.
- [3] Silverberg, G. and Lehnert, D., 1993, "Long Waves and 'Evolutionary Chaos' in a Simple Schumpeterian Model of Embodied Technical Change", *Structural Change and Economic Dynamics*, 4: 9-37.
- [4] Silverberg, G. and Lehnert, D., 1996, "Evolutionary Chaos: Growth Fluctuations in a Schumpeterian Model of Creative Destruction", in Barnett, W., Kirman, A. and Salmon, M., (eds), *Nonlinear Dynamics in Economics*, Cambridge: Cambridge University Press.
- [5] Silverberg, G. and Verspagen, B., 2003, "Breaking the Waves: A Poisson Regression Approach to Schumpeterian Clustering of Basic Innovations", *Cambridge Journal of Economics*, 27: 671-693.
- [6] Silverberg, G. and Verspagen, B., 2003, "Long Memory in the World Economy since the 19th Century", in Rangarajan, G. and Ding, M., (eds), *Long Memory and its Applications*, Berlin: Springer.
- [7] Silverberg, G., 2003, "Long Waves: Conceptual, Empirical and Modelling Issues", Maastricht: MERIT Research Memorandum RM2003-15, <http://www.merit.unimaas.nl/publications/rmpdf/2003/rm2003-015.pdf>, forthcoming in Hanusch, H. and Pyka, A. (editors), *The Elgar Companion to Neoschumpeterian Economics*, Aldershot: Edward Elgar.
- [8] Modelski, G. and Thompson, W.R., 1988, *Seapower in Global Politics, 1494-1993*, London: Macmillan.
- [9] Levy, J. S., 1983, *War in the Modern Great Power System, 1495-1975*, Lexington: University Press of Kentucky.
- [10] Kondratieff, N. D., 1925/1979, "The Long Waves in Economic Life", *Review*, 2: 519-562.

-
- [11] Goldstein, J.S., 1988, Long Cycles. Prosperity and War in the Modern Age, New Haven and London: Yale University Press.
- [12] Modelski, G., 1987, Long Cycles in World Politics, London: Macmillan.
- [13] Modelski, G. and Thompson, W.R., 1996, Leading Sectors and World Powers, Columbia, SC: University of South Carolina Press.
- [14] Levy, J.S., 1991, "Long Cycles, Hegemonic Transitions, and the Long Peace", in Kegley, C. W. Jr., (ed.), The Long Postwar Peace, New York: HarperCollins.
- [15] Ray, J.L. and Singer, J. D., 1973, "Measuring the Concentration of Power in the International System", Sociological Methods and Research, 1: 403-437.
- [16] Richardson, L.F., 1960, Statistics of Deadly Quarrels, Chicago: Quadrangle.
- [17] Levy, J.S. and Morgan, T. C., 1986, "The War-Weariness Hypothesis: An Empirical Test", American Journal of Political Science, 30(1): 26-49.
- [18] Granger, C. W. J., 1966, "The Typical Spectral Shape of an Economic Variable", Econometrica, 34(1): 150-161.
- [19] Robinson, P., 1995, "Log-periodogram of time series with long range dependence", Annals of Statistics, 23: 1048-1072.
- [20] Richards, D., 1993, "A Chaotic Model of Power Concentration in the International System", International Studies Quarterly, 37: 55-72.
- [21] Abarbanel, H.D. I., 1996, Analysis of Observed Chaotic Data, Berlin: Springer.
- [22] Hegger, R., Kantz, H. and Schreiber, T., 1999, "Practical implementation of nonlinear time series methods: The TISEAN package", Chaos, 9: 413-435.
- [23] Kennel, M.B. and Isabelle, S., 1992, "A Method to Distinguish Possible Chaos From Colored Noise and Determine Embedding Parameters", Physical Review A, 46(6): 3111-3118.
- [24] Goldstein, J.S., 1991, "The Possibility of Cycles in International Relations", International Studies Quarterly, 35: 477-480.
- [25] Bak, P., 1996, How Nature Works: The Science of Self-Organized Criticality, New York: Springer.
- [26] Devezas, T. and Modelski, G., 2003, "Power Law Behavior and World System Evolution: A Millennial Learning Process", Technological Forecasting & Social Change, 70: 819-859.
- [27] Kleinknecht, A., 1990, "Are there Schumpeterian Waves of Innovations?", Cambridge Journal of Economics, 14: 81-92.
- [28] Mensch, G.O., 1975, Das technologische Patt, Frankfurt: Umschau.
- [29] Silverberg, G. and Verspagen, B., 2004, "The size distribution of innovations revisited: an application of extreme value statistics to citation and returns measures of patent significance", forthcoming in Journal of Econometrics, also Maastricht: MERIT Research Memorandum 2004-021, <http://www.merit.unimaas.nl/publications/rmpdf/2004/rm2004-021.pdf>.
- [30] Grubler, A., 1990, The Rise and Decline of Infrastructures. Dynamics of Evolution and Technological Change in Transport, Heidelberg: Physica-Verlag.
- [31] Grubler, A. 1998, Technology and Global Change, Cambridge: Cambridge University Press.
- [32] Doran, C.F. and Parsons, W., 1980, "War and the Cycle of Relative Power", American Political Science Review, 74: 947-965.

- [33] Doran, C.F., 2003, "Economics, Philosophy of History, and the "Single Dynamic" of Power Cycle Theory: Expectations, Competition, and Statecraft", *International Political Science Review*, 24(1) 13-49.
- [34] Silverberg, G. and Verspagen, B., 1996, "From the Artificial to the Endogenous: Modelling Evolutionary Adaptation and Economic Growth", in Helmstadter, E. and Perlman, M., (eds) *Behaviorial Norms, Technological Progress and Economic Dynamics: Studies in Schumpeterian Economics*, Ann Arbor, MI: University of Michigan Press.
- [35] Sornette, D. 2000, *Critical Phenomena in Natural Sciences. Chaos, Fractals, Selforganization, and Disorder: Concepts and Tools*, Berlin: Springer.