

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：32687

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24653050

研究課題名(和文) ウェーブレット解析および非線形結合振動子系モデルによる景気循環の同期現象の解明

研究課題名(英文) Understanding Synchronization of Business Cycles Using Wavelet Analysis and Nonlinear Coupled Oscillator Models

研究代表者

小野崎 保 (Onozaki, Tamotsu)

立正大学・経済学部・教授

研究者番号：10233595

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円、(間接経費) 810,000円

研究成果の概要(和文)：鉱工業生産指数に対してウェーブレット解析を行い、すべての都道府県ペアに対して、同期程度が高いか低いかを表す「距離」行列を計算した。各時点で同期レベルの高い都道府県をクラスタ化しその数の時間変化を調べたところ、景気上昇期に比べて景気後退期において同期レベルが高くなることが明らかになった。これは、バブル崩壊のように景気が急激に後退するときに顕著に観察される。同期レベルが時間変化する現象は、多地域景気循環を描写する大域結合写像モデルにおいて、「カオスの遍歴」として観察された。カオスの遍歴とは高次元の力学システムにおいて生じる複雑現象であり、異なる複雑の状態間を経巡るカオスの軌道が存在する。

研究成果の概要(英文)：By applying wavelet analysis to Japan's industrial production indices, for all pairs of prefectures, we obtained a matrix of 'distance' to express whether the degree of business-cycle-synchronization was high or low. In addition, by considering a set of prefectures with high synchronization level at each time point as a cluster, and checking the time change of its number, it was observed that the synchronization level became higher in the economic recession period, especially after a bubble burst, than in the upbeat period. This kind of phenomenon that the synchronization level varies with time is robustly observed as 'chaotic itinerancy' in a model of regional business cycles where all regions are homogeneous and connected with each other through producers' expectations. Chaotic itinerancy is complex behavior in high-dimensional dynamical systems, where chaotic trajectories exhibit itinerant motion among many different ordered states.

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：経済学・理論経済学

キーワード：景気循環 同期現象 鉱工業生産指数 ウェーブレット解析 結合振動子系 大域結合写像モデル カオスの遍歴

1. 研究開始当初の背景

(1) 景気循環に関する統計的事実の1つに循環変動の同期がある。同期現象の種類には、a)一国内での異なる地域どうしの同期、b)一国内での異なる産業部門どうしの同期、c)異なる国どうしの同期、の3つがある。景気循環の同期を理論的に説明する試みとして、これまでにモードロッキング・モデルを応用したモデルが提案されている。モードロックとは、類似した周波数を持つ振動子を複数個結合した系が完全に同期する現象のことで、レーザー光の発生などがその代表例である。しかし、これまでの研究はモードロッキング・モデルを単純に経済に適用しただけのものであり、背後に存する主体の行動について経済学的な考察が十分になされていない。

(2) このような事情から、研究代表者らは、企業の価格予想が政府の公表する平均価格に基づいてなされ、生産活動の結果が平均価格にフィードバックされるというメカニズムを考慮に入れた大域結合写像（globally coupled map）モデルを構築・分析した。

(3) これまでに得られた統計的事実はフーリエ変換を用いたスペクトル解析によるものが主であり、近年特に自然科学分野で脚光を浴びているウェーブレット解析による実証的研究は極めて数が少ない。

2. 研究の目的

(1) 本研究は、従来の景気循環理論ではあまり重点が置かれることのなかった循環変動の同期現象について、ウェーブレット解析の手法を用いたデータ分析および非線形結合振動子系の理論による理論的・数値解析的分析により解明することを目的としている。

(2) 景気循環の原因については、これまで相対立する2つの考え方が展開されてきた。1つは、市場経済を本質的に安定であると見なし、景気循環は経済外からの攪乱によって生じるとする外生的循環論である。これは、現在主流を占めている新古典派マクロ経済学において重要な役割を果たす考え方である。もう1つは、市場経済は本質的に不安定であると見なし、経済で持続的に内発する不安定要因によって景気循環が引き起こされるとする内生的循環論である。

(3) これまで景気循環の同期現象については、主に外生的循環論に基づいた説明がなされてきた。すなわち、外的攪乱によってさまざまなデータが同時に変動するため同期する景気循環が観察される、という説明である。しかしながら、同期の原因が外的攪乱にあるという仮説はいくつかの実証的研究によって棄却されている。また、外生的循環論による説明に代わるものとして、モードロッキング・モデルが提案されているが、このモデルは類似した固有の周波数を持つ振動子を、経済取引というチャンネルによって複数個結合したものであり、同期現象そのものは説明できても、そもそもなぜ循環的運動が生じるか

は不問に付されている。

(4) そこで、本研究では内生的循環論の観点に立ち、内生的に循環変動する振動子を複数個繋ぎ合わせた結合振動子系として経済を描写することを試みる。内生的循環論は、市場経済が本質的に安定であるという新古典派の市場観を放棄し、代わりに持続する振動運動を生み出すことのできる非線形動学モデルを用いる。外生的循環論が依拠する線形動学モデルでは均衡が不安定なら解は発散してしまうが、非線形モデルでは均衡から発散する解がある領域内に留まり複雑な振動運動を示すことがある。それゆえ、循環変動を内生的に説明するためには非線形動学モデルが有効である。そして、同期現象を示す個別の要素（地域や産業や国など）のふるまいを非線形振動子として記述し、それらをさまざまなやり方で結合した非線形結合振動子系として経済を描写するのである。非線形結合振動子系の理論を用いて景気循環の同期現象を説明するという試みは、経済学においてこれまでほとんどなされたことはない。また、本研究で用いるウェーブレット解析は、自然科学分野においては既にかなり脚光を浴びているものの、経済の実証的研究では未だに殆ど利用されていない。

3. 研究の方法

(1) まずウェーブレット解析によるデータ分析を行うにあたり、景気循環に関するデータの収集を開始する。本研究で対象とする景気循環の同期現象は、わが国および米国における、地域間および産業間の同期、EU諸国間の同期、OECD諸国間の同期などを想定している。データ収集が完了したら、ウェーブレット変換を用いたデータ解析に着手する。まず、各データに時間局在化した基底をもつウェーブレット変換を適用し、クロスウェーブレットスペクトルを見ることによって各データ間の同期レジームと非同期レジームを明確に分離する。これは時間局在化していない基底をもつフーリエ変換を用いた場合には得られない情報である。次に、同期レジームと非同期レジームの特徴を経済学の立場で捉えると同時に、景気循環の同期に関するこれまでの文献を渉猟し、統計的事実の整理を行う。

(2) 続いて、景気循環の同期に関する統計的事実を説明するための理論モデルの構築・分析を主におこなう。上で述べたように、景気循環の同期を理論的に説明する試みとしてモードロッキング・モデルが提案されている。しかしながら、これまでの研究はモードロッキング・モデルを単純に経済に適用しただけのものであり、背後に存する主体の行動について経済学的な考察が十分になされていない。これに対して、研究代表者らは、企業の価格予想が政府の公表する平均価格に基づいてなされ、生産活動の結果が平均価格にフィードバックされるというメカニズムを考

慮に入れた大域結合写像モデルを構築・分析した (Onozaki, T. et al., 2007, Regional Business Cycle Synchronization through Expectations. *Physica A*, **383**, 102-107)。これを踏まえつつ、新たな理論モデルの構築をおこなう。基本的なフレームワークとして、非線形振動子としての個々の企業を取引ネットワークや情報ネットワークによって結合することが考えられるが、この場合、ネットワークの構造がかなり重要な役割を果たすことが予想されるので、最新のネットワーク理論の知見を利用しつつ、結合振動子系の理論モデルの構築をおこなう。結合振動子系は、クラスタ状態 (同期レジーム)、非クラスタ状態 (非同期レジーム) を時間帯によって行き来する現象を生みだし得ることが知られている。そこで、モデル構築の大きな方向性としては、ウェーブレット解析によって得られた同期レジームと非同期レジームのスイッチング現象を再現することにある。

4. 研究成果

(1) まず、分析対象となるデータとして、国内のマクロデータ、国内の地域別データ、国内産業別データ、米国のデータ、欧州のデータなどを収集したが、それらのほとんどが年次データであり、信頼できるウェーブレット解析を行うには観察時点の少ないと判断された。そのため、月次で地域毎のデータが利用できるものとして候補に残ったのが、都道府県別鉱工業生産指数である。都道府県別鉱工業生産指数に対してウェーブレット解析を行った結果、47 都道府県のすべてのペアに対して、同期程度が高いか低いかを表す「距離」の行列が得られた。図 1 にその一部を示す。今後は、同期程度が高い都道府県について、同期が高い理由を産業の取引関係などの観点からさらに分析を詰める必要がある。

(2) 各時点において同期レベルの高い都道府県をクラスタ化し、クラス多数の時間的変遷を調べると図 2 および図 3 のようになる。図 1 では、14 年という期間におけるクラス多数を 1 年分ずつずらして表示している。同期判定の閾値 θ は 0.09 である。図 3 では、閾値を上から $\theta=0.06, 0.07, 0.08, 0.09, 0.10, 0.11, 0.12$ と変えてある。これらの図によれば、特に 1987 年から 2000 年あたり、および 1996 年から 2009 年あたりにおいて同期レベルが高くなっている。これらの時期は、それぞれバブル期および IT バブル期に対応しており、とりわけバブルの崩壊期 (景気後退期) に同期レベルの高まっていることが読み取れる。

図 1

	北海道	青森県	岩手県	宮城県	秋田県	山形県	福島県	東京都	神奈川県	埼玉県	千葉県	茨城県
北海道	0	0.123	0.139	0.155	0.175	0.160	0.141	0.172	0.128	0.125	0.127	0.199
青森県	0.123	0	0.124	0.137	0.154	0.149	0.130	0.172	0.119	0.116	0.114	0.176
岩手県	0.139	0.124	0	0.123	0.128	0.122	0.100	0.152	0.095	0.090	0.087	0.163
宮城県	0.155	0.137	0.123	0	0.145	0.150	0.127	0.179	0.128	0.121	0.125	0.174
秋田県	0.175	0.154	0.128	0.145	0	0.139	0.120	0.171	0.139	0.134	0.134	0.174
山形県	0.160	0.149	0.122	0.150	0.139	0	0.112	0.153	0.124	0.125	0.125	0.177
福島県	0.141	0.130	0.100	0.127	0.120	0.112	0	0.148	0.093	0.097	0.094	0.165
東京都	0.172	0.172	0.152	0.179	0.171	0.153	0.148	0	0.150	0.151	0.146	0.170
神奈川県	0.128	0.119	0.095	0.128	0.139	0.124	0.093	0.150	0	0.077	0.075	0.164
埼玉県	0.125	0.116	0.090	0.121	0.134	0.125	0.097	0.151	0.077	0	0.065	0.171
千葉県	0.127	0.114	0.087	0.125	0.134	0.125	0.094	0.146	0.075	0.065	0	0.164
茨城県	0.199	0.176	0.163	0.175	0.174	0.177	0.165	0.170	0.164	0.171	0.164	0

(3) 次に、研究代表者がかつて開発した多地域景気循環モデルを数理的に解析した。その結果、以下の示すようにカオス的遍歴と呼ばれる複雑現象の生じることが明らかにされた。

このモデルは大域結合写像モデルで、内生的に景気変動をしている各地域が、全国平均に影響を受けて時間発展をする様子を表現している。各地域は、政府が公表する平均価格および平均生産量の数値を平均場として、他の地域と結合し相互に影響を与え合う。

地域数を 10 に設定して 10 次元の解析をおこなったところ、各地域は時期によって同期レベルが変化し、クラスタ数やその要素数が時間変化することが分かった。同期している素子集団を 1 つのクラスタとみなし、各時刻

のクラスタ数を有効次元 (ED) で定義した。図4にその結果を示す。本モデルは非線形性の影響による引き込みによって同期の程度が高くなり、経済はラミナー状態として1クラスタ状態 (ED = 1) にしばらく滞在するが、その状態を抜け出してバースト状態としていろいろなクラスタ状態をさまよひ、また1クラスタ状態に戻る。この振る舞いが長時間繰り返される。

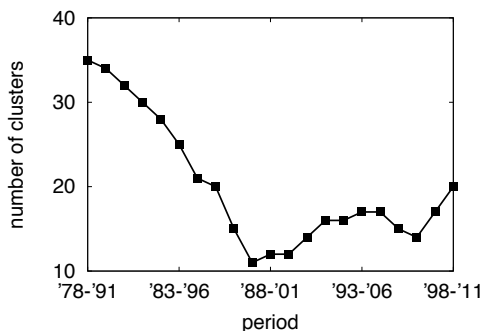


図2

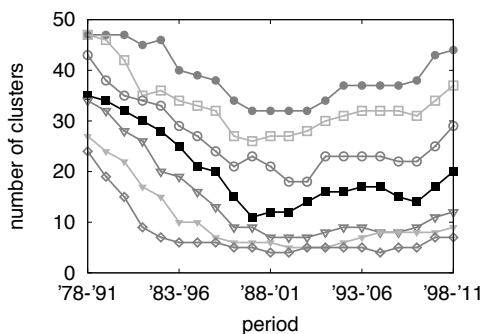


図3

このモデルは大域結合写像モデルで、内生的に景気変動をしている各地域が、全国平均に影響を受けて時間発展をする様子を表現している。各地域は、政府が公表する平均価格および平均生産量の数値を平均場として、他の地域と結合し相互に影響を与え合う。

地域数を10に設定して10次元の解析をおこなったところ、各地域は時期によって同期レベルが変化し、クラスタ数やその要素数が時間変化することが分かった。同期している素子集団を1つのクラスタとみなし、各時刻のクラスタ数を有効次元 (ED) で定義した。図4にその結果を示す。本モデルは非線形性の影響による引き込みによって同期の程度が高くなり、経済はラミナー状態として1クラスタ状態 (ED = 1) にしばらく滞在するが、その状態を抜け出してバースト状態としていろいろなクラスタ状態をさまよひ、また1クラスタ状態に戻る。この振る舞いが長時間繰り返される。

一定期間の有効次元の平均を平均有効次元 (MED) とし、それが非整数の場合、すなわち、クラスタの数が長時間変化しているとき、その現象をカオスの遍歴と呼ぶ。整数の

MED は 10^5 回経済が同じ状態に滞在していることを意味する。一方、非整数の MED は経済が様々な有効次元の状態をさまよっていることを意味する。そのようなときにカオスの遍歴が起きていると考えられる (図5)。

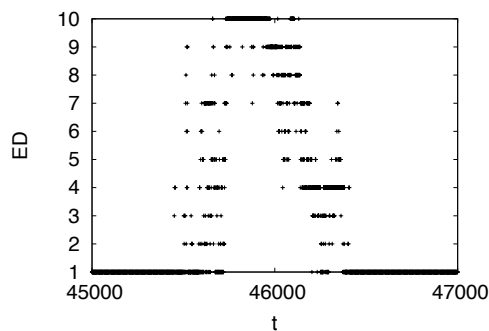


図4

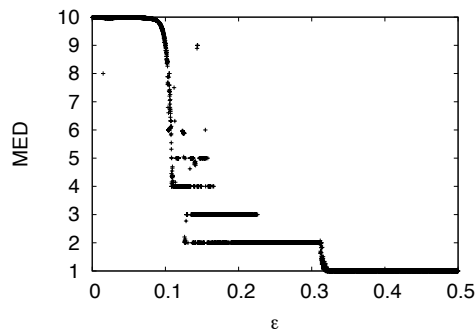


図5

各地域の生産計画を決めるパラメタと全国平均の影響度を意味するパラメタの2つを動かして平均有効次元を計算しカオスの遍歴を起こすパラメタ領域を同定した (図6)。1次元系で分岐を起こすパラメタやカオスを生み出すパラメタでは全国平均の影響が非常に小さくてもカオスの遍歴を起していることがわかった。そのパラメタ領域では1次元系が構造不安定で、極めて小さい摂動によってそれぞれの素子のダイナミクスが簡単に破壊され、複雑な振舞いを示す。

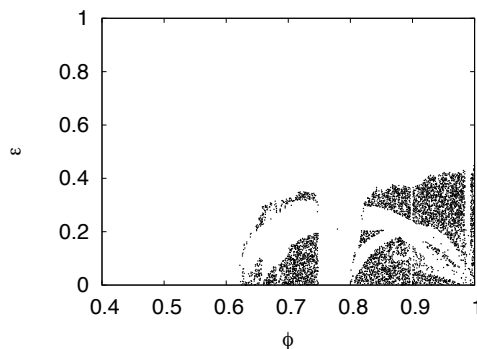


図6

また、この系におけるカオスの遍歴において、状態継続時間分布は全同期状態ではベキ的、それ以外の状態では指数的であることも明らかになった。これは全同期状態から逃げ出しにくい構造があることを意味している。

なお、新たな理論モデルの構築をおこなうことは今回の研究期間においてはできなかったもので、今後の課題としたい。

5. 主な発表論文等

0件

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小野崎 保 (ONOZAKI, Tamotsu)

立正大学・経済学部・教授

研究者番号： 10233595

(2) 研究分担者

斉木 吉隆 (SAIKI, Yoshitaka)

一橋大学大学院・商学研究科・准教授

研究者番号： 20433740

石山 健一 (ISHIYAMA, Kenichi)

国土舘大学・政経学部・准教授

研究者番号： 30610133

(3) 連携研究者

柳田 達雄 (YANAGITA, Tatsuo)

大阪電気通信大学・工学部・教授

研究者番号： 80242262