

金融技術革新がマクロ経済変動へ与える影響

マクロ動学モデルによる評価

副島 豊

要 旨

近年、電子マネーや金融EDIのような金融技術革新が注目を集めるにつれ、こうした技術革新が決済の効率性や景気循環に与える影響について、理論的・実証的な分析が求められるようになってきている。とくに、現金や小切手、クレジットカード等が主要な決済手段となっている小口決済については、今後の急激な技術革新が見込まれる。本稿では、個人の消費行動に伴う決済手段に焦点をあて、小口決済における技術革新が社会厚生や経済の循環変動にどのような影響を及ぼすか、カリブレーションと呼ばれる動学マクロモデルに基づいたシミュレーション手法により分析を試みる。

その結果、決済手段が多様化し消費財の購入には現金通貨が必要であるという制約がかからなくなると、資源配分上の歪みが縮小され社会厚生が拡大する点が確認されたほか、金融技術革新による現金の決済効率性の向上は経済成長を促しうることが示された。また、生産技術と金融技術の相乗効果を考察することにより、生産技術革新が現金の決済効率性を促すような金融技術革新に伝播することは、マクロ経済変動の振幅を抑え経済安定化に寄与する効果があること、さらに、現金の決済効率性についての技術革新がかなり大規模なものであっても経済を不安定化させる悪影響は小さく、経済変動のパターンにはほとんど影響を与えないという結果を得た。

キーワード：金融技術革新、決済効率性、カリブレーション、キャッシュ・イン・アドバンスモデル、現金財・クレジット財

1. はじめに

近年、電子マネーや金融EDIのようなエレクトロニック・ペイメントが注目を集めるにつれ、こうした金融の技術革新が決済の効率性や景気循環に与える影響について、理論的・実証的な分析が求められるようになってきている。とくに、現金や小切手、クレジットカード等が主要な決済手段となっている小口決済については、今後の急激な技術革新が見込まれる。本稿では、個人の消費行動に伴う決済手段に焦点をあて、小口決済における技術革新が社会厚生や経済の循環変動にどのような影響を及ぼすか動学マクロモデルを用いて分析を試みる。

理論モデルには、Lucas & Stokey [1987] で提唱された現金財、クレジット財の概念を用いる。現金財とは財・サービスの購入に当たって現金で決済される財であり、クレジット財とはその他の決済手段による財である。現金財については、購入時点の決済技術水準によって規定される現金の回転速度が決済上の制約となる。小口決済に関する技術革新は、中長期的には回転速度が示す現金の決済効率性を高めるよう作用すると考えられるが、その決済効率性の改善は一定の速度で進捗するのではなく、むしろ確率的な変動過程として進行するとみられる¹。そこで、本稿では、動学マクロモデルにおいて成長と経済変動を生み出す源泉となっている生産性の確率的変動と同様なかたちで現金の決済効率性を確率過程として表現し、理論モデルに組み込んだ。

本稿では上述のモデルを用いて、以下の3つの点について分析を試みる。まず、小口決済に関する技術革新が財の購入にあたって需要される決済手段の構成を変化させた場合、² 社会厚生上どのような変化が生じるかを観察する。次に、決済効率性に関する確率的なショックが、金融技術革新の急激な進展により大きくなり、その結果、流通速度の変動幅が拡大した場合、経済変動にどのような影響が及ぶかを分析する。さらに、マクロの生産性に影響を与えつつあるインフレーション・テクノロジーが金融技術革新にもスピルオーバーし、その結果、両者の相関が強まった場合の経済変動への影響についても分析を試みる。

1 副島 [1995] は、確定的トレンドに関する強い仮定ゆえマクロ時系列データが非正常過程と誤認される危険性があることを指摘し、実質GDPや物価が実は正常過程である可能性が高いことを示している。しかし、M1残高については、確定的トレンドに構造変化を導入した汎用性が高い時系列モデルを用いても、なお非正常過程であると判断している。その原因として、金融の技術革新が単位取引量あたりに必要な通貨量の縮小をもたらしたり、現金による決済から広義通貨を介した決済手段にシフトを生じさせる現象に注目し、これらが一定スピードではなく確率的に生じている（例えば金融自由化がある時期に集中的に進行したり、新しい金融サービスが時間に関してランダムに登場してくる）ことを可能性として示唆している。また、定期預金や金銭信託など資産性が強い広義通貨についても、その成長が経済成長速度以外の要因（金融制度の変遷や直接金融の隆盛、高齢化の進行等）によって影響を受けるため、生産で測った通貨の流通速度が非正常過程になる可能性を指摘している。

2 例えば、現金決済から、要求払い預金を前提としたクレジットカード、デビットカード、電子マネーによる決済、あるいは通販や公共料金、給振などで利用される振込みや自動引落としによる決済へのシフトが挙げられる。

以上が、本稿のモチベーションであるが、分析手法面の特徴として、実物景気循環（リアルビジネスサイクル）モデルによる分析で用いられており、わが国では実例の少ないカリブレーション（Calibration）と呼ばれるシミュレーション手法を適用した点が挙げられる。マクロ計量モデルのパラメータが政策変更の影響を受けて変化するというルーカス批判は、マクロモデルにおけるシミュレーションの考え方に大きな転換をもたらした。ルーカス批判を克服するために、まず、消費者の選好や企業の生産技術など、政策変更から影響を受けない経済主体の行動様式の根幹にあるパラメータ³を推計し、そのうえで政策効果の評価など種々の経済分析を行う試みが1980年代に登場し急速に発展した。この潮流においては、効用関数や生産関数に基づいた最適化行動というミクロ的基礎付けが重視され、また、時間を通じた最適化行動を考察するために動学モデルの利用も必須となっている。リアルビジネスサイクル理論はこれらの特徴を最も端的なかたちで備えており、Kydland & Prescott [1982] が米国の経済変動の特徴をシミュレーションによって再現することに成功して以来、多くの研究が理論モデル、数値解析手法の両面で積み重ねられ、現在、マクロ動学分析の手法として確立した地位を築くに至っている⁴。

この理論の特徴は、経済は常に均衡状態にあり、外生的なショックが経済変動をもたらすと考える点にある。経済変動は均衡状態からの乖離ではなく、外生ショックにより均衡状態が変化した結果もたらされる現象として捉えられる。リアルビジネスサイクル理論の初期段階では、その名のとおり、外生ショックとして生産性ショックのみが考察されたため、経済変動のすべてを実物的なショックに還元する点が強く批判された。しかし、その後、マネタリー・ショックや消費者の選好に関するショック、金融資産の投資収益率分布に関するショックなど分析対象に応じてさまざまなかたちで理論モデルの拡張が行われており、現在その名前が示す狭義の意味に沿ったかたちで理論モデルが構築されることはほとんどなく、価格の硬直性というケインジアンモデルの最大の特徴を取り込んだモデルすら構築されている。本稿のモデルでは、マクロ生産性に対するショックと現金の決済効率性に対するショックという2つの外生ショックを与え、モデルによる分析を行う。

シミュレーションを多用するリアルビジネスサイクル理論は実験経済学の側面を持っているが、これには次のような考え方が背後にある。通常、経済変動は歴史性を色濃く持っている。ある時期、偶然に起こった出来事（例えば石油危機）が時々々の経済変動を決定し、あるいはそれ以降の経済構造に影響を及ぼしたり、将来の経済発展のあり方を決定づけることもある。こうした歴史的な出来事が経済変動に与えた影響を個々に検討することは重要な課題ではあるが、ケーススタディの積み重

3 効用関数・生産関数のパラメータや時間選好率がこれに相当する。モデル内で不変とされるこれらの変数は、アンダーライニング（underlying）・パラメータと呼ばれる。

4 数値解析法に基づくシミュレーションが登場するまでは、動学モデルによる分析は定常解の計算とフェーズ・ダイヤグラムによる定常解回りの変動特性に限られており、定量的な分析が求められるポジティブ・エコノミクスのツールとしては力不足であった。

ねから経済変動の本質的な要因を探り出すことには限界がある。同理論では、経済変動の究極的な源泉を考察し、確率過程としてモデルに与え、シミュレーションにより多数生み出される経済変動のパターンを分析することにより、経済変動のエッセンスが何であったかを探究しようと試みる。これにより、繰り返し実験ができない一回性の経済史を分析対象とする従来手法の限界を乗り越えようとする。ところが、動学モデルの挙動を定量的に把握する数値解析手法がテクニカルかつ煩雑であるため、日本経済の分析に応用した事例は未だ少ない。この点で、本稿は分析手法の紹介という意義を持っている。

本稿で検討する現金制約モデルのわが国における妥当性の検証例は、Hamori & Kitasaka [1996] における数値計算のみであると思われる。しかし、その際に用いられたLucas & Stokey [1987] 型のモデルでは、家計は保有する現金通貨を用いて一期間中に現金財を一度だけ購入すると想定されているため、四半期や月次のデータを用いる実証分析では、モデルの解釈に不自然な点が生じる。本稿では、現金通貨の回転速度（現金財で測った通貨の流通速度）を現金制約式に導入することにより、このような問題を克服するという理論的貢献も果たしている。

本稿の構成は、以下のとおりである。まず、2.では理論モデルの解説を行う。3.ではカリブレーションにおけるパラメータの特定化について解説し、日本の安定成長期の景気循環の特徴を概観した後、パラメータの設定とその妥当性のシミュレーションによる検証を行う。4.では、前節で得られたベンチマークモデルに基づいて、金融技術革新が社会厚生や経済変動に与える影響を考察する。なお、補論にはシミュレーションに用いたプログラムソースを全掲した。

本稿の分析結果の要約は以下のとおりである。

- 1) 決済手段が多様化し、消費財の購入には通貨保有が前提となるという制約がからなくなると、資源配分上の歪みが縮小され社会厚生が拡大する。
- 2) 実物的な生産性を向上させる技術革新がなくとも、現金の決済効率性が改善することにより経済成長を促すことができる。
- 3) 生産技術革新が現金の決済効率性を促すような金融技術革新に伝播することは、マクロ経済変動の振幅を抑え経済安定化に寄与する。また、現金の決済効率性についての技術革新がかなり大規模なものであっても経済を不安定化させる悪影響は小さく、経済変動のパターンにはほとんど影響を与えない。

2. 理論モデル

本稿で想定する経済は、現金財 (*cash goods*) c_1 、クレジット財 (*credit goods*) c_2 、余暇 $1-h$ から効用を得る同質な家計から成る。現金財は購入にあたって現金通貨で決済する財であり、クレジット財は現金による決済を必要としない財である。各家計は、効用関数⁵

$$U(c_{1t}, c_{2t}, h_t) = \alpha \log c_{1t} + (1-\alpha) \log c_{2t} + \Phi \log(1-h_t) \quad (1)$$

について、無限期間の効用割引現在価値

$$E \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t U(c_{1t}, c_{2t}, h_t) \quad (2)$$

の最大化を図る。 β は主観的割引率であり、 c_{1t} 、 c_{2t} は実質消費、 h_t は t 期の全時間を1として測った労働時間である。

各家計は、期初に通貨 m_t/P_t を保有しており、今期の労働所得 $w_t h_t$ と資本所得 $r_t k_t$ を合わせた範囲内で消費や投資を行い、残りを通貨として保有し翌期へ繰り越す (m_{t+1}/P_t)。このほか、期初には政府発行の通貨が各家計に対し均等移転 (*lump sum transfer*) される。したがって、効用最大化の予算制約条件として

$$c_{1t} + c_{2t} + i_t + \frac{m_{t+1}}{P_t} \leq w_t h_t + r_t k_t + \frac{m_t}{P_t} + \frac{TR_t}{P_t} \quad (3)$$

が課される。なお、小文字が各家計の数値を、大文字がマクロ集計量から算出した一家計当たりの平均値を表し、均衡状態を求めるにあたっては両者が一致するという条件を用いる。物価と政府からの通貨移転は各家計共通であるため大文字で表す。

政府部門は毎期ごとに一家計当たり TR_t の通貨を発行するため、一家計当たりの通貨保有残高 M_t との間には

$$TR_t = M_{t+1} - M_t = (g_t - 1) M_t$$

という関係が成り立つ。 g_t は M_t の伸び率である。

各家計が現金財を消費するには通貨を必要とする。したがって、通貨の決済回転速度 e_t と期中に保有する通貨により現金財の消費に制約が課される。これがキャッシュ・イン・アドバンス (*cash in advance*) 制約

$$P_t c_{1t} \leq e_t (m_t + TR_t) \quad (4)$$

であり、以下CIA制約と呼ぶ。

⁵ 上記の効用関数は、時間に関しての分離可能性 (*time-separability*) と、消費と余暇に関しての分離可能性 ($U_{c_1, h} = U_{c_2, h} = U_{c_1, c_2} = 0$) を仮定している。

CIA制約において通貨の決済効率性を表す e_t は1階の自己回帰過程

$$e_{t+1} = (1-\gamma) + \gamma e_t + \mu_{t+1} \quad (5)$$

$$\mu_t \sim N(0, \sigma_\mu^2)$$

に従う確率変数とする。 μ_t が通貨による決済効率性を向上させる金融技術ショックであり、互いに独立な正規分布として与える⁶。

生産部門として、コブダグラス型生産関数、

$$Y_t = \exp(z_t) K_t^\theta H_t^{1-\theta} \quad (6)$$

を考える。マクロの生産関数は一家計当たりの数量で表現してあり、以下、マクロ変数はすべて一家計当たりで評価する。全要素生産性 $\exp(z_t)$ は確率変数であり、 z_t は1階の自己回帰過程

$$z_{t+1} = \rho z_t + \varepsilon_{t+1} \quad (7)$$

$$\varepsilon_t \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$$

に従い変動する⁷。生産技術ショック ε_t は互いに独立な正規分布である。ただし、マクロの生産技術が金融の決済部門へスピルオーバーする程度をみるため、生産技術ショック ε_t と金融技術ショック μ_t が相関を持つよう両者の共分散を非ゼロとし、これらの相関係数を $Corr$ で定義する。

生産部門における資本ストックの蓄積過程を

$$K_{t+1} = (1-\delta)K_t + I_t \quad (8)$$

で表す。 δ は減価償却率である。

また、企業部門は利潤最大化行動を採っており、1階の条件から労働と資本の限界収益率について

6 (3)式を $(e_{t+1}-1) = \gamma(e_t-1) + \mu_{t+1}$ と変形すると、 $\gamma < 1$ の場合、 e_t が1の回りの定常過程になることがわかる。なお、 e_t には非負条件が必要であり、シミュレーションでは非負条件を満たさない e_t のパスは除去すべきである。実際には、 μ の分散値とシミュレーションの期数から計算すると、非負条件を満たさなくなるケースは稀である。

7 z_t のAR(1)過程にはドリフト項が含まれていないため、必ずしも上方トレンドが生じるとは限らない。このような定式化を選択した理由は3.(2)で述べる。

$$w_t = (1 - \theta) \exp(z_t) \left(\frac{K_t}{H_t} \right)^\theta$$

$$r_t = \theta \exp(z_t) \left(\frac{K_t}{H_t} \right)^{\theta-1}$$

を得る。本稿では両者をそれぞれ生産部門より算出されたインプリシットな実質賃金、実質金利とみなす⁸。

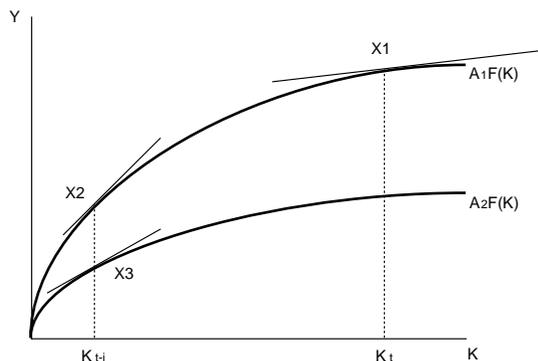
(2) 式のような動学的最適化問題は動的計画法 (Dynamic Programming) によって解くことができる⁹。家計の目的関数を以下のベルマン (Bellman) 方程式を用いて評価関数 v の問題に置き換えると、家計の最大化問題は、

$$v(z, e, K, k, \hat{m}) = \max_{c_1, c_2, i, h} \{U(c_1, c_2, h) + \beta E v(z', e', K', k', \hat{m}')\}$$

8 新古典派の成長モデルにおいて生産関数から資本の限界生産性を計算する場合、次のような問題点があることを King & Rebelo [1993] が指摘している。今、労働力を固定した生産関数 $A_1F(K)$ において点 $X1$ ($K=K_t$) にて生産が行われているとしよう。このときの限界生産性は下図の接線の傾きで表現されている。資本ストックの蓄積過程を過去へ遡った点 $X2$ ($K=K_{t-1}$) では資本の限界生産性が高く、生産性のシフトを考慮し、生産関数 $A_2F(K)$ を考えれば限界生産性は低くなるが、生産性の変化が限界生産性の変化と整合的になっている保証はない。さらに過去へ遡及すると限界生産性が無限大へ発散してしまう。

このほか北村・藤木 [1996a] では、資本ストックに公的資本を含めなかった場合、資本の生産性が過大評価され限界生産性が20%前後に高止まりする問題点が指摘されている。一方、公的資本を考慮した同 [1996b] では、名目金利とインフレ率から求めた実質金利水準とほぼ一致することが示されている。

本稿では、資本蓄積が十分に進行した安定成長期以降の経済を分析対象とし、また、実質金利についても水準ではなくその変動パターンに焦点を当てるため、上記の2つの問題は考慮しない。シミュレーションにおいては、資本の限界生産性が高い初期のデータを除くため、期初から第100期までを捨て101期以降のシミュレーションデータを利用した。



9 動的計画法については Sargent [1987] 参照。

s.t. (5), (6), (7), (8) および

$$c_1 + c_2 + i + \frac{\hat{m}'}{\hat{P}} \leq w_t h_t + r_t k_t + \frac{\hat{m} + g - 1}{g \cdot \hat{P}} \quad (3')$$

$$c_1 = \frac{e(\hat{m} + g - 1)}{g \cdot \hat{P}} \quad (4')$$

$$Y = C_1 + C_2 + I$$

となる。表現の簡略化のため、添字 t を略し翌期値をダッシュ' で示したほか、通貨残高と物価を $\hat{m} = m/M$, $\hat{P} = P/M'$ で表している。評価関数 v は、家計が c_1, c_2, i, h, \hat{m}' を操作変数として当期の効用 U と翌期の評価関数 v' の割引現在価値の和を最大化したものであり、外生的状態変数 z, e とマクロの状態変数 K, k 、各家計の状態変数 k, \hat{m} の関数となっている。予算制約(3')式とCIA制約(4')式のほか、(5)(7)(8)式で示された状態変数 z, e, K, k の運動方程式(Law of motion)や、生産関数(6)式と生産の分配に関する式が制約条件として課される。モデルの均衡条件として、家計が最適化行動の結果として選択した消費量や、投資量、労働時間、翌期に繰り越す通貨残高は、マクロ変数を一家計当たりで評価した値と一致せねばならない。通貨に関する均衡条件は、個々の家計が必要する通貨が m であり、政府が供給した通貨残高を一家計当たりで評価したものが M であるため、 $m = M$ となる。同様に投資については $i = I$ が、労働時間については $h = H$ が均衡条件となる。モデルでは経済が常に均衡状態にあることを前提にしているため、均衡条件は每期成立せねばならない。

Prescott & Mehra [1980] が提唱した逐次競争均衡概念を用いた解法により、上記のモデルの均衡変動経路を以下の式によって記述することができる¹⁰。

10 動的計画法の数値解析方法としては、目的関数が2次関数で制約式が線型の場合、評価関数を均衡点の近傍でテーラー展開して線型近似する手法(線型2次近似法)が知られている。しかし、税や通貨のために歪みが存在する経済や収獲通増モデル、不完全競争モデルなどのようにパレート最適性が均衡において成り立たないモデルを考える場合、線型2次近似法は利用できない。こうしたケースでは、評価関数もしくは目的関数の最大化の1階の条件であるオイラー方程式を線型近似する手法や、逐次競争均衡(Recursive Competitive Equilibrium)という概念を用いた手法が利用される。本稿では後者を用いる。詳細はCooley & Prescott [1995], Hansen & Prescott [1995] を参照。また、線型2次近似法やオイラー方程式の近似等による数値解析法としては北坂 [1993] を参照。

家計の操作変数 c_1, c_2, i, h, \hat{m}' に対する意思決定ルール

$c_1(s), c_2(s), i(s), h(s), \hat{m}'(s)$ (ただし s は家計の状態変数 z, e, k を表すベクトル)
マクロ変数決定ルール $I(S) H(S)$ (ただし S はマクロの状態変数 z, e, K を表すベクトル)

価格決定式 $\hat{p}(S), w(z, K, H), r(z, K, H)$

家計の操作変数選択がマクロ変数と整合的であること (すなわち $i=l, h=H, \hat{m}=1$)

以下では、この結果を用いてシミュレーションを行う。なお、状態変数が一定となったとき、すなわち $e'=e, z'=z, k'=k$ の場合、モデルは定常均衡状態になる¹¹。このとき (5) (7) (8) 式から $e=1, z=0, i=k$ が得られ、これらを用いて家計の操作変数 c_1, c_2, i, h, \hat{m}' の定常均衡値について解くことができる。

3. カリブレーション

シミュレーションを行う前にモデルに含まれるパラメータを特定化せねばならない。特定化の方法には2つの手法がある。

1つは、カリブレーションと呼称される方法であり、以下の手順を踏む。まず、何らかの基準で暫定的なパラメータを設定する。次に、技術ショックなどの確率変数を外生的に与え、モデルに何通りもの経済成長経路を実験的に発生させる。モデルの内生変数の相関や分散により、発生した経済変動の平均的な特徴を現実の経済変動と比較し、パラメータの妥当性を評価する。結果が悪ければパラメータの修正を行い、同様のプロセスを繰り返す。これがカリブレーションであり、理論モデルが正しいことを前提としたパラメータの推定行為の一種と考えることができる。一方、パラメータが現実のデータに基づく推計値として与えられ、その結果を実験データで評価した場合には、理論モデルの妥当性の検証を行っていることになる。

カリブレーションによるパラメータの決定には恣意性があり得るため、理論モデルを基に現実のデータから直接パラメータを推計する手法が用いられることがある。これが2つ目の方法であり、GMM (一般化積率法: *Generalized Method of Moments*) が用いられる¹²。GMMのカリブレーションに対する優位点として、パラメータの推定だけでなくパラメータに関する仮説検定ができる点が挙げられる。ま

11 定常均衡状態では一家計当たりでみた経済に変動は生じない。ただし、マクロ集計量は、家計数の増減によって変動しうる。

12 Christiano & Eichenbaum [1992] により、リアルビジネスサイクルモデルのパラメータをGMMで推計する手法が考案された。なお、GMMはHansen [1982] によって提唱された推計法であり、アンダーライン・パラメータを直接推計できる利点ゆえ、近年のマクロ実証分析では頻繁に利用されている。GMMの解説、応用例は羽森 [1996] 参照。

た、モデル自体の当てはまりの良さに関する検定もJ-testにより行うことができる。しかし、望ましい操作変数の選択や推定値の小標本特性に問題があるため、本稿ではカリブレーションによるパラメータ設定法を用いる。

本節では、まず、1970年代後半以降の安定成長期について景気循環の特徴を概観する。次に、カリブレーションの手法を用いてパラメータを設定する。暫定的なパラメータとして実際のデータから算出したものを利用し、また主観的割引率など直接観察できないパラメータについては先行研究の結果を用いることでシミュレーションを行い、実験的な経済変動データを生成する。その結果を参考に、実際の景気循環と整合的になるようパラメータに若干の調整を施し、これをベンチマークモデルとして採用する。

(1) 景気循環の特徴

景気循環の特徴を観察するために、まずマクロ経済変数の変動をフィルターを用いて成長趨勢とその回りの循環に分解する¹³。多くの先行研究はHPフィルター(Hodrick-Prescott filter)を用いており、比較対照のため本稿でもこれを適用する¹⁴。

1977年第1四半期から1995年第1四半期までの主要な四半期マクロ変数について、HPフィルターにより循環部を抽出する。図1は、実質GDPの対数値を成長趨勢と循環部に分解したものである。左軸に原計数と成長趨勢(単位10億円の対数値)を、右軸に循環部の成長趨勢に対する比率をパーセンテージで示した。循環部の比率の動きをみると、景気の上昇・後退(シャドー部)期と整合的な変動を示している。図2-1は、実質GDP、民間最終消費支出、総固定資本形成、民間資本ストックについて、図2-2は、実質GDP、就業者数、総労働時間、GDPデフレーターについて、各々の循環部の成長趨勢に対する比率を示したものである。

13 ここではマクロ集計量で見た景気循環の特性をみる。後述のシミュレーションでは、一家計当たりのシミュレーション値で景気循環の特性を求めているが、モデルでは同質な家計を仮定しているため、両者を直接比較することができる。

14 HPフィルターは、次の損失関数を最小化するよう原計数 y を成長趨勢 y^g と循環 y^c に分割する。第1項は循環部を小さくするように、第2項は成長趨勢が滑らかになるように働く。 λ は調整パラメータであり、これが大きいほど成長趨勢は線型に近づく。

$$\sum_{t=1}^T (y_t^c)^2 + \lambda \sum_{t=1}^T [(y_{t+1}^g - y_t^g) - (y_t^g - y_{t-1}^g)]^2$$

四半期データを用いた分析では $\lambda = 1600$ に設定されることが多い。これにより8年周期以下の周期変動を抽出することができ、現実の景気循環はほとんどカバーできる(Hodrick & Prescott [1980]参照)。また、抽出する変動周期を指定可能なバンドパス・フィルター(Band-pass filter)の開発も近年進んでいる。なお、階差フィルター(対数値の場合には前期比を生成)は、非常に短い周期変動を抽出するのに適しており、確率トレンドのような非定常データの短期変動を取り除くのに用いられるが、景気循環の周期には適さない。Baxter & King [1995]は、バンドパス・フィルターに関する解説および、HPフィルターや階差フィルターとの比較を行っているほか、数値解析ソフトMATLAB用のバンドパス・フィルターのプログラムソースを掲載している。

図1 実質GDPの成長趨勢と循環部

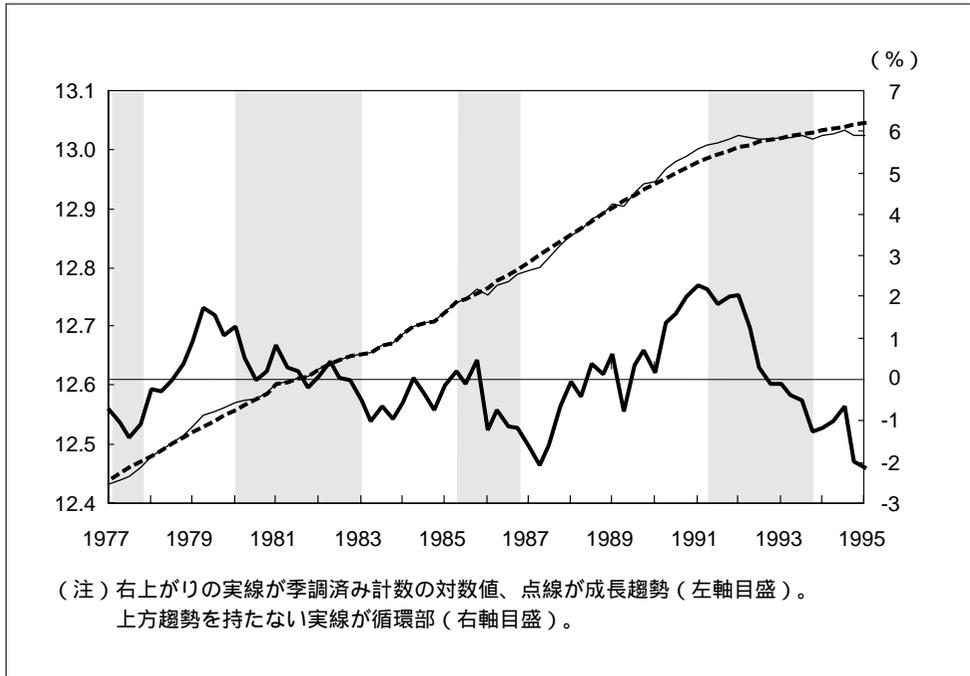


図2-1 循環部の変動（その1）

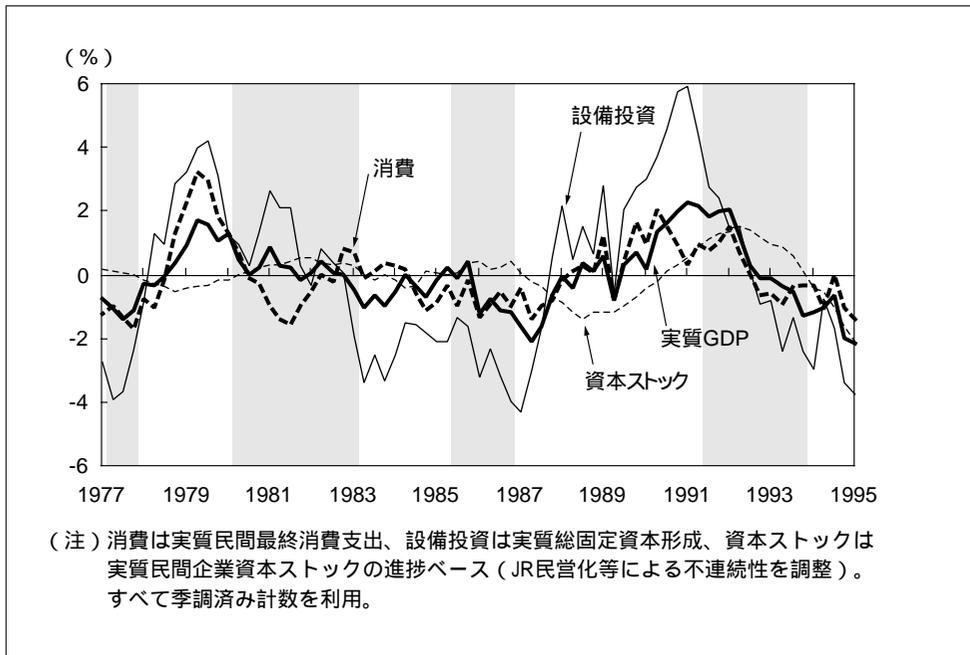
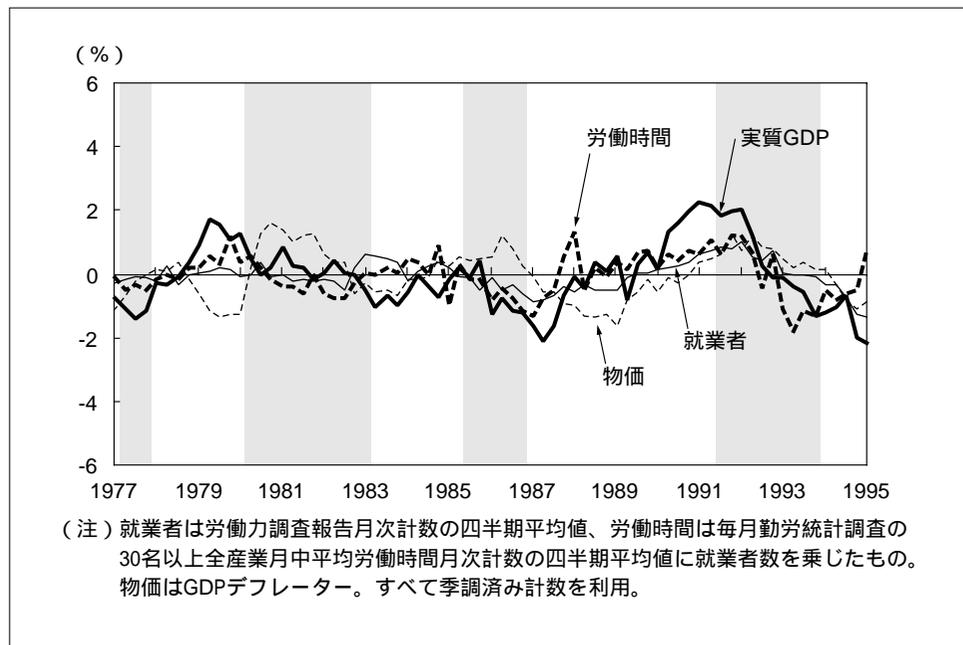


図 2-1 循環部の変動（その 2）



循環部の特徴を統計値によって示したものが表1-1である。まず、成長趨勢の回りの変動の大きさを比較するため、1列目に循環部の成長趨勢に対する比率の標準偏差を示した。2列目以降には、各変数の変動が景気と同調的に変動しているか逆循環しているかをみるために、実質GDPとの時差相関を示した。表中 $t = -6$ の列は、6期前の変数と今期の実質GDPの相関を示す。また、表1-2では各変数の同時点の相関を示した。観察された主要な特徴を順に列挙する。

表1-1 循環変動の標準偏差と時差相関

	標準偏差												時差相関															
	$t = -6$	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	$t = -6$	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6		
実質GDP	1.05	0.13	0.31	0.47	0.61	0.73	0.85	1.00	0.85	0.73	0.61	0.47	0.31	0.13														
実質民間消費	1.07	0.31	0.35	0.39	0.52	0.59	0.61	0.72	0.59	0.46	0.35	0.18	0.04	-0.14														
実質民間投資	2.59	0.38	0.54	0.66	0.75	0.81	0.85	0.87	0.72	0.55	0.37	0.23	0.10	-0.02														
実質資本ストック	0.70	-0.57	-0.47	-0.32	-0.17	-0.01	0.18	0.36	0.47	0.56	0.67	0.74	0.76	0.72														
就業者数	0.44	-0.09	0.05	0.19	0.35	0.48	0.58	0.60	0.65	0.65	0.67	0.61	0.49	0.39														
総労働時間	0.67	0.30	0.40	0.54	0.55	0.65	0.62	0.58	0.47	0.42	0.28	0.13	-0.05	-0.20														
物価	0.80	-0.43	-0.37	-0.26	-0.15	0.00	0.10	0.17	0.23	0.34	0.47	0.56	0.63	0.63														
現金通貨	2.14	0.60	0.65	0.65	0.64	0.58	0.50	0.43	0.34	0.24	0.11	-0.01	-0.11	-0.19														
流通速度	-	-0.59	-0.53	-0.44	-0.35	-0.20	-0.05	0.10	0.13	0.20	0.29	0.35	0.40	0.40														
労働生産性	-	-0.23	-0.09	0.08	0.19	0.36	0.43	0.61	0.76	0.66	0.60	0.53	0.47	0.40														
全要素生産性	-	0.27	0.42	0.48	0.59	0.63	0.75	0.88	0.75	0.59	0.44	0.30	0.16	0.02														
実質金利	-	0.35	0.44	0.52	0.56	0.56	0.56	0.65	0.40	0.22	0.06	-0.10	-0.23	-0.38														
実質賃金	-	0.02	0.15	0.21	0.27	0.40	0.55	0.53	0.53	0.53	0.41	0.31	0.21	0.16														

(注) 実質GDPから現金通貨までの8変数が対数値、残り5変数は原数による。現金通貨は日本銀行マネーサプライ統計の現金通貨(銀行券発行高および貨幣流通高から金融機関保有分を引いたもの)、流通速度は名目GDPを現金通貨で除したもの、労働生産性は実質GDPを就業者数で除したもの、全要素生産性は成長会計より資本ストック、総労働時間を用いて算出、実質金利と実質賃金率はモデルにおける資本・労働の限界生産性とした(生産関数のパラメーターは次節に示した資本分配率を利用)。なお、シャド一部は時差相関のピーク時点を示す。

表1-2 循環変動の同時点相関

	GDP	消費	投資	資本	就業者	労働時間	物価	現金通貨	流通速度	生産性	TFP	実質金利	実質賃金
実質GDP	1												
実質民間消費	0.72	1											
実質民間投資	0.87	0.66	1										
実質資本ストック	0.36	0.00	0.08	1									
就業者数	0.60	0.42	0.39	0.60	1								
総労働時間	0.58	0.54	0.56	-0.08	0.47	1							
物価	0.17	-0.28	0.02	0.74	0.33	-0.15	1						
現金通貨	0.43	0.65	0.64	-0.33	0.09	0.42	-0.46	1					
流通速度	0.10	-0.36	-0.18	0.64	0.26	-0.16	0.79	-0.83	1				
労働生産性	0.61	0.34	0.47	0.60	0.47	0.13	0.38	0.12	0.26	1			
全要素生産性	0.88	0.68	0.80	0.17	0.50	0.39	-0.07	0.52	-0.09	0.53	1		
実質金利	0.65	0.62	0.75	-0.32	-0.03	0.46	-0.20	0.52	-0.23	0.15	0.53	1	
実質賃金	0.53	0.31	0.38	0.33	0.46	0.32	0.02	0.19	0.07	0.41	0.66	-0.09	1

消費、設備投資は生産の循環と強い順循環関係にあり、設備投資には若干の先行性がある。また、生産や消費に比べて投資の循環変動は2倍以上の大きさがある。

資本ストックは生産に遅行する。これは経済がマイナス成長にならない限りストック変数は増加傾向を辿るためである。循環変動が生産より小さい点は、景気後退期に資本ストックの稼働率低下によって生産調整がなされていることを反映していると思われる。

就業者数は生産に対しやや遅行するが、就業者数に平均労働時間を乗じた総労働時間はむしろ先行する。また、循環変動は生産に比べて小さく、とくに就業者数の変動が小さい。これらより、景気拡大期当初には1人当たり労働時間の延長で対応していること、不況期でも労働力が企業内に止まっていること（労働力保蔵）が予想される。

物価水準は生産との同時点相関がゼロに近く、遅行して正の相関が強まる。経済理論では両者は順循環すると思われるが、米国のデータでは大恐慌期と大戦間期以外はむしろ逆循環することが知られている¹⁵。

現金通貨については景気に対する先行性が確認される。また、その変動は生産の2倍と大きい。さらに、現金通貨は生産との同時点間の相関より、消費や投資との相関が強い。

全要素生産性、労働生産性とも生産と順循環しており、とくに前者の相関が強い。これに対し、資本・労働の限界生産力（実質金利、実質賃金）は生産に対して順循環しているものの相関はやや低くなっている。

実質金利（資本の限界生産性）は設備投資と正の同時点相関がある。

ここでの観察では、企業内に労働力を温存していることなど従来指摘されてきた日本の景気循環の特徴と合致する部分もあるが、物価が生産にかなり遅行すること、投資と実質金利には正の同時点相関があること、現金通貨の消費・投資に対する同時点相関は生産に対する同時点相関より高いことなど、必ずしも一般に認知されていないような点が含まれる。これらは興味深いトピックであるが、その原因をここで考察することは避け、以下ではモデルが上述のような景気変動特性を再現できるようなパラメータの設定を行う。

（2）パラメータの選択

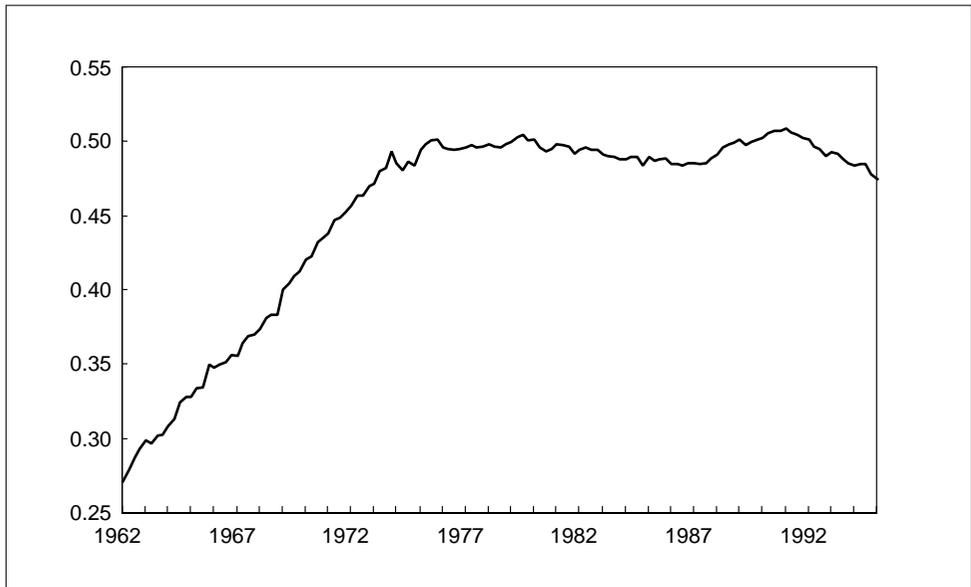
まず、生産関数(6)式について考察する。生産関数の設定は、資本・労働の限界生産性を通じて消費・投資財や余暇の異時点間の最適配分に影響を与える。コブダグラス型生産関数のパラメータ θ は成長会計における資本分配率に等しくなるため、サンプル期間1977年第1四半期から1995年第1四半期までの平均値0.455を利用する¹⁶。全要素生産性 $exp(z_t)$ を決定する確率過程 z_t については、成長会計に基づいて得られた

15 Cooley & Ohanian [1991] 参照。

16 実際には、雇用者所得とGDPから求めた労働分配率を用いて資本分配率を逆算した。

時系列データよりAR(1)過程を推計し、 $\rho = 1.00$ 、 $\sigma_\varepsilon = 0.00524$ となった。一般に生産性は上方趨勢を持つと思われるため、当初の推計ではドリフト項（定常過程の場合は線型トレンドに相当）を含むAR(1)過程を考えたが、有意でなかったためドリフト項なしのモデルを採用した。推計結果はランダムウォーク過程となったが、図3に示した全要素生産性のサンプル期間中の変動は、上述のモデル選択や推計結果と齟齬するものではない¹⁷。成長会計に基づいて計算した全要素生産性の推移を見る限り、安定成長期の経済成長は生産性の向上ではなく労働力や資本ストックという要素投入量の増加に依っていることになる。また、資本ストックの償却率 δ には、期中平均値1.00%（四半期ベース、年率では4.06%）を用いる。

図3 全要素生産性の推移



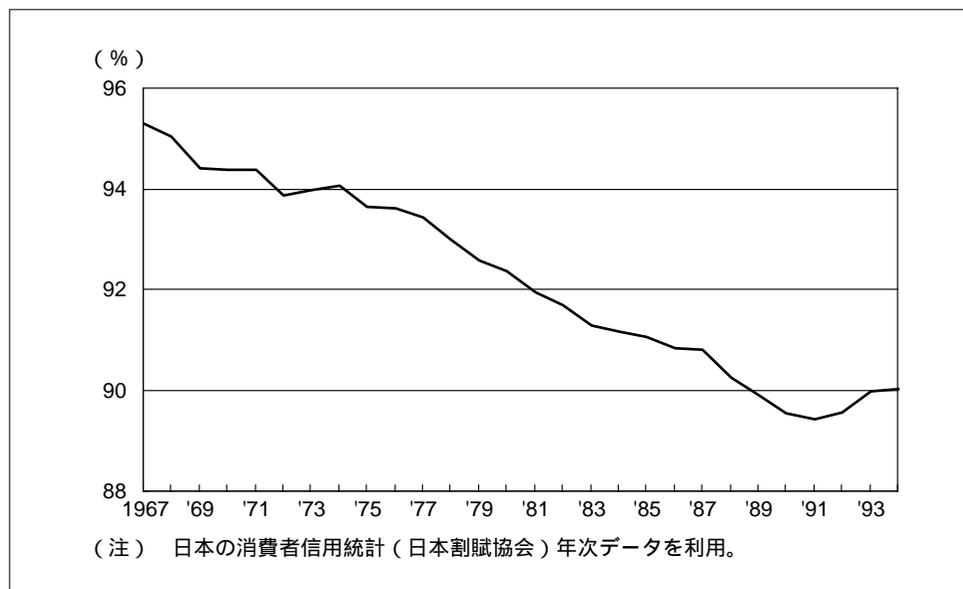
次に、効用関数(1)式のパラメータを設定する。(1)式におけるパラメータ α は、現金財とクレジット財の相対的な重要度を示す。消費財の購入における現金通貨決済の占める割合を*ratio*とすると、モデルの均衡状態下で次の関係式が得られる。

$$\alpha = \frac{g \cdot ratio}{\beta(1 - ratio) + g \cdot ratio}$$

17 ランダムウォーク過程では、時間の経過とともに分散値が無限に増加するが、有限時間内のシミュレーションでは一定の範囲内に収まる。モデル評価には73期のシミュレーションを用いており、標準偏差 σ_ε 0.00524から求めた73期目の z_t の標準偏差は0.0448である。全要素生産性の標準偏差 $exp(0.0448)$ は、図3の1970年代後半以降の振幅を鑑みれば許容される値である。

*ratio*の算出には、日本割賦協会「日本の消費者信用統計」よりクレジットカードおよび割賦による消費財購入金額を用い、民間最終消費支出との差を現金通貨による購入とみなした¹⁸。図4が*ratio*の推移であり、現金通貨による決済の割合が長期的に低下傾向にあることが窺える。*ratio*および現金通貨の伸び率*g*の期中平均値は、それぞれ0.911、1.017（年率換算6.98%）と観測可能であるため、主観的割引率βを仮定することによりαが求められる。主観的割引率βの値は先行研究の結果を参考に0.995に先験的に設定する¹⁹。このとき、αは0.920となる。なお、表2には複数の*ratio*、*g*、βの組合せに対応するαの値を示しており、αは*ratio*の値にほぼ依存していることがわかる。余暇の効用の評価パラメータは、余暇と労働時間の比率から求められる。モデルが定常均衡状態にあるとき労働時間*h*は $h^* = h(\theta, \delta, \alpha, \beta, \Phi)$ となる²⁰。期中の平均値を定常均衡状態とみなすと、 $h^* = 0.2356$ （年間労働時間を1年で除したもの）であり、 $\theta, \delta, \alpha, \beta$ を前述の値とすると*h*は2.525になる。α、βに対応する*h*を表3に示した。

図4 *ratio*の推移



18 財・サービスの消費において現金を決済手段としないものには、クレジットカードや割賦購入のほか、公共料金や通販の振り替え決済などがあるが、ここでは捨象している。

19 シンプルなリアルビジネスサイクル理論を日本経済に適用した大日 [1991] では、四半期データにGMMを用いて $\beta=0.99464$ と推計している。羽森 [1996] では、C-CAPM（消費に基づく資本資産価格モデル）にGMMを用いた月次データによる推計で、0.985～0.999の値を得ている。

20 定常均衡下での労働時間*h**は、以下のように解ける。

$$h^* = \frac{(1-\theta)(1-\alpha+\alpha\beta)(\beta^{-1}-1+\delta)}{\Phi\{\beta^{-1}-1+(1-\theta)\delta\}+(1-\theta)(1-\alpha+\alpha\beta)(\beta^{-1}-1+\delta)}$$

現金通貨の決済効率性を表す e_t の時系列データは、 $ratio$ の算出に用いた現金財の消費額と現金通貨の残高から求める。(5)式により e_t のAR(1)過程を推計した結果、 $\gamma = 0.997$ 、 $\sigma_\mu = 0.0877$ となった。また、 μ_t, ε_t の相関 $Corr$ は0.220である。

表2 パラメータの設定

$\beta = 0.995$		現金財の消費支出に占める割合 $ratio$								
通貨伸び率 g		1.00	0.95	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50	0.40	0.30
年率換算	四半期率									
0.00	0.0	1.000	0.950	0.900	0.801	0.701	0.601	0.501	0.401	0.301
6.98	1.7	1.000	0.951	0.902	0.803	0.705	0.605	0.505	0.405	0.305
12.55	3.0	1.000	0.952	0.903	0.805	0.707	0.608	0.509	0.408	0.307
21.55	5.0	1.000	0.952	0.905	0.808	0.711	0.613	0.513	0.413	0.311
46.41	10.0	1.000	0.955	0.909	0.816	0.721	0.624	0.525	0.424	0.321

$\beta = 0.985$		現金財の消費支出に占める割合 $ratio$								
通貨伸び率 g		1.00	0.95	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50	0.40	0.30
年率換算	四半期率									
0.00	0.0	1.000	0.951	0.901	0.802	0.703	0.604	0.504	0.404	0.303
6.98	1.7	1.000	0.951	0.903	0.805	0.707	0.608	0.508	0.408	0.307
12.55	3.0	1.000	0.952	0.904	0.807	0.709	0.611	0.511	0.411	0.309
21.55	5.0	1.000	0.953	0.906	0.810	0.713	0.615	0.516	0.415	0.314
46.41	10.0	1.000	0.955	0.910	0.817	0.723	0.626	0.528	0.427	0.324

(注) 通貨伸び率 g は%で表示。

表3 パラメータの設定 ($h^* = 0.2356$ $\sigma = 0.455$ $\rho = 0.01$)

β	1.00	0.95	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50	0.40	0.35
0.999	3.012	3.013	3.013	3.013	3.013	3.014	3.014	3.014	3.014
0.995	2.524	2.524	2.525	2.526	2.527	2.529	2.530	2.531	2.532
0.990	2.263	2.264	2.265	2.267	2.270	2.272	2.274	2.276	2.278
0.985	2.125	2.127	2.128	2.131	2.135	2.138	2.141	2.144	2.146
0.980	2.038	2.040	2.042	2.046	2.050	2.054	2.059	2.063	2.065

(3) モデルの評価

以上の設定に基づき、2つの確率変数 z_t, e_t を含む動学マクロモデルに73期間の経済成長パスを100通り発生させた。期数はサンプルの四半期数に合わせて設定している。各成長パスごとに循環変動を抽出し標準偏差等の統計値を求め、それらの平均値を得る。表1-1, 2に示した現実のデータと比較したところ、生産の標準偏差が若干小さかったため、ほぼ等しくなるよう技術ショックの標準偏差を0.00524

から0.00661へ調整し、再計算を行った。以下にパラメータの一覧を示す。

表4 ベンチマークモデルのパラメータ

家計部門			生産部門				金融部門			政府部門	
							μ	Corr	Ratio	g	
0.995	0.920	2.525	0.455	0.010	1.000	0.00661	0.997	0.0877	0.220	0.911	1.017

表5が再計算の結果である。標準偏差から景気変動の大きさをみると、消費の変動が過小になっているものの、設備投資、資本ストック、総労働時間、物価はほぼ現実値に近い値を示している。各変数の生産との時差相関をみると、消費、設備投資、労働時間については現実値と同様、順循環関係にあり、消費が若干遅行性を有している点もうまく捉えている。また、資本ストックについても現実値のように1年程遅れて正の相関が強まるパターンを示している。

一方、物価については完全に生産と逆循環しており、むしろ米国の現実値と類似している。これは、理論モデルにおいて通貨成長率を一定としていること、価格調整の粘着性がないことが理由と思われる。こうしたモデルの特性のため、生産性の向上が通貨の成長以上の生産拡大をもたらした場合、物価水準の低下現象が生じてしまう。また、通貨が循環変動しないため、流通速度は生産と順循環しており、生産に遅行して相関が高まる実際の流通速度の動きを捉えていない。これらの問題に対しては、通貨成長に関するマネタリーなショックをモデル内に取り込むことで対応可能であるが、本稿では通貨の決済効率性の向上が实体经济に及ぼす影響を考察するため、マネタリーショックは扱わない²¹。

表5 ベンチマークモデルの経済変動

	標準偏差			時差相関										
	$t = -6$	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	
実質GDP	1.05	-0.17	-0.11	0.00	0.16	0.38	0.66	1.00	0.66	0.38	0.16	0.00	-0.11	-0.17
実質民間消費	0.47	-0.22	-0.17	-0.06	0.11	0.33	0.63	0.98	0.68	0.42	0.22	0.06	-0.05	-0.12
実質民間投資	2.51	-0.15	-0.09	0.02	0.18	0.39	0.67	1.00	0.65	0.36	0.14	-0.03	-0.14	-0.19
実質資本ストック	0.86	-0.43	-0.47	-0.49	-0.48	-0.41	-0.28	-0.06	0.24	0.43	0.54	0.57	0.55	0.49
総労働時間	0.47	-0.14	-0.08	0.04	0.19	0.40	0.67	0.97	0.62	0.33	0.12	-0.04	-0.15	-0.20
物価	0.50	0.21	0.15	0.04	-0.12	-0.35	-0.64	-0.99	-0.68	-0.41	-0.20	-0.05	0.07	0.13
流通速度	-	-0.14	-0.07	0.04	0.19	0.40	0.67	0.99	0.64	0.34	0.12	-0.05	-0.15	-0.21
労働生産性	-	-0.19	-0.14	-0.03	0.13	0.34	0.63	0.98	0.67	0.40	0.18	0.03	-0.08	-0.14
全要素生産性	-	-0.16	-0.10	0.01	0.17	0.38	0.66	1.00	0.65	0.37	0.15	-0.02	-0.13	-0.18
現金決済効率性	-	-0.06	-0.03	0.01	0.07	0.13	0.20	0.27	0.17	0.09	0.04	0.01	-0.02	-0.05
実質金利	-	-0.20	-0.15	-0.04	0.11	0.33	0.62	0.97	0.67	0.40	0.20	0.04	-0.07	-0.13
実質賃金	-	-0.19	-0.14	-0.03	0.13	0.34	0.63	0.98	0.67	0.40	0.18	0.03	-0.08	-0.14

21 このほか、生産の自己相関は4期ラグでゼロになっており、現実値より循環サイクルがやや短くなっていることも問題点として残っている。

上記パラメータを用いたモデルにより、フィルターで抽出した経済の循環変動の特徴を大まかに捉えることができたため、次節ではこれをベンチマークとして採用し種々のシミュレーションを行う。

4. 金融技術革新の影響

本節では、金融技術革新が実体経済に与える影響を観察する。まず、現金通貨を決済手段として利用しない取引の増加が社会厚生をどれほど向上させるかについて分析する。次に、現金通貨の決済効率性の向上が景気循環にどのような影響をもたらすかシミュレーションを行う。

(1) 社会厚生の上昇

消費財購入において現金通貨を必要としない取引が増加した経済モデルでは、CIA制約がもたらす経済の歪みが低下するため経済厚生が向上する。以下では、消費財に占める現金財の比率 $ratio$ が低下した経済モデルを考え、ベンチマークモデルと経済厚生を比較する。理論モデルでは、現金通貨の成長率 g が β と等しくなったときCIA制約が制約でなくなりパレート最適状態が達成される。また、 g が上昇するにつれパレート最適状態からの乖離が拡大する²²。そこで、比較する2つの経済において定常均衡状態を求め、種々の g についてパレート最適状態の効用 \tilde{U} を補償する消費の増分額を計算する。これを各 g に対応する定常均衡消費・生産高で除したもので経済厚生を測る。補償消費額 $\Delta c (= \Delta c_1 + \Delta c_2)$ 、ただし $\Delta c_1 = \Delta c_2$ は次式より求められる。

$$\tilde{U} = \alpha \log(c_1^* + \Delta c_1) + (1 - \alpha) \log(c_2^* + \Delta c_2) + \Phi \log(1 - h^*)$$

表6で、 $\alpha = 0.5$ ($ratio = 0.5$)としたモデルをベンチマークモデル ($\alpha = 0.92$)と比較した。現金通貨成長率を1.7%、3%、5% (年率換算ではそれぞれ、7%、12.6%、21.6%)とした経済について、定常均衡値、補償消費額、定常均衡消費・生産額に対する補償消費額の比率を示している。いずれの g についても社会厚生はベンチマークモデルより縮小している。例えば、 $g = 1.7\%$ ではベンチマークモデルで生産額比0.44%の損失が生じていたのが0.17%へ半分以上縮小されている。また、どの定常均衡値もパレート最適状態からの低下がベンチマークモデルより小さくなっており、 $g = 1.7\%$ では4.014から4.070へ1.40%の生産拡大が観察される。

22 ここで用いた経済厚生計測法はCooley & Hansen [1991a] が提唱したものであり、彼らは同手法によりインフレの経済厚生コストを分析している。

表6 2モデルの定常均衡値と社会厚生損失

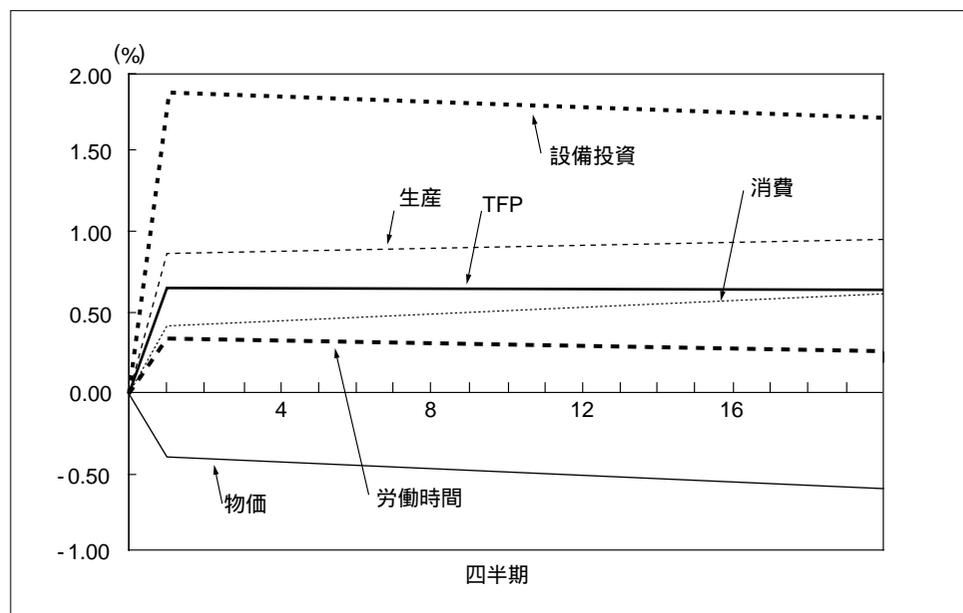
	ベンチマーク			=0.5			
	(年率換算)	7.0%	12.6%	21.6%	7.0%	12.6%	21.6%
通貨成長率 g		1.017	1.030	1.050	1.017	1.030	1.050
定常均衡値							
生産	4.076	4.014	3.978	3.924	4.070	4.036	4.017
消費	2.842	2.798	2.773	2.736	2.837	2.814	2.801
設備投資	1.234	1.216	1.205	1.188	1.232	1.222	1.216
資本ストック	123.436	121.552	120.468	118.842	123.250	122.229	121.644
労働時間	0.236	0.233	0.231	0.228	0.236	0.234	0.233
厚生損失							
補償消費額 C		0.012	0.025	0.053		0.005	0.008
C/C (%)		0.440	0.910	1.920		0.17	0.27
C/Y (%)		0.310	0.630	1.340		0.12	0.19

(注) =0.5のケースでは =2.530となる(表3参照)。

(2) 景気循環への影響

モデルには経済変動を生み出す要因として、生産性に対する確率ショックと現金通貨の決済効率性についての確率ショックが含まれていた。まず、最初に定常均衡状態にある経済にこれらのショックを1度だけ与えた場合、各マクロ変数がどのように反応するかを考察する。図5-1は、生産技術ショックに対するモデルの反応である。全要素生産性 $exp(z_t)$ に対する生産技術ショック ε_t の標準偏差 σ_ε にベンチマークモデルに用いた0.00661を与え、生産、消費、設備投資、労働時間、物価、全要素生産性の変化を示した。なお、決済効率性へのショックはゼロに設定してあり、

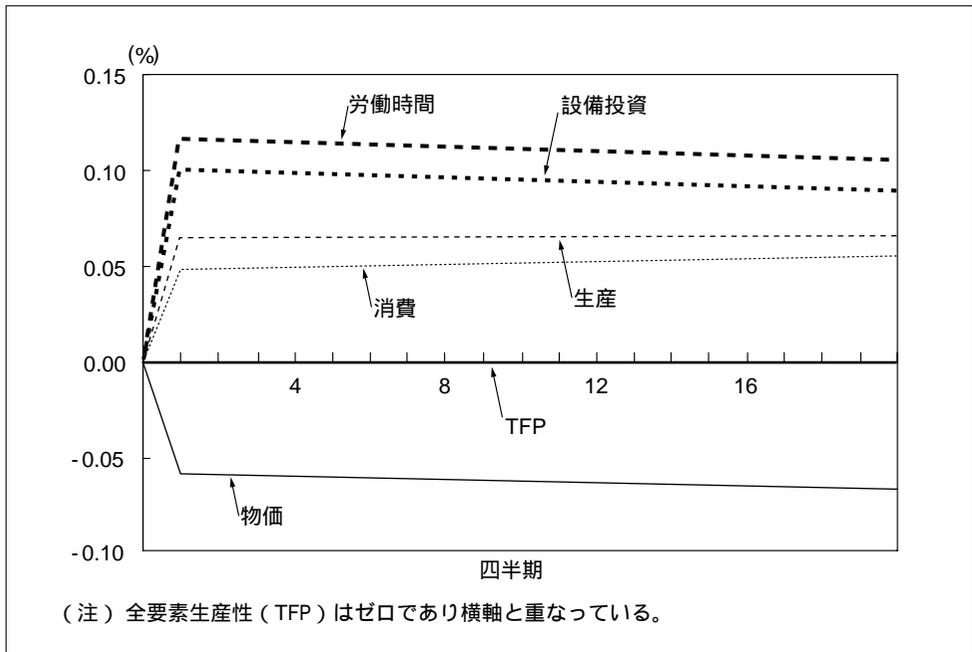
図5-1 生産技術ショックへの反応



縦軸には期初の定常均衡状態からの乖離をパーセンテージでとっている。太い実線が全要素生産性であり、AR(1)過程 z_t の係数 ρ が1であるため、第1期に生じた乖離0.661%は減衰しない。これに対する各変数の反応をみると、まず、資本・労働生産性がともに向上するため、設備投資、労働時間が増加し、生産性の向上と相まって生産額が拡大する。設備投資と労働に資源配分が集中するため、現在の消費は生産の上昇の割に抑制され、現在の余暇も抑えられる。逆に、将来消費は徐々に拡大し、余暇も元の水準に漸次回帰する。また、通貨残高の増加による物価上昇効果を除いた物価水準 $\hat{P} (= P / M')$ については、生産性の向上が物価水準の下落をもたらしている。

図5-2は、生産技術ショックをゼロとし、現金通貨の決済効率性 e_t に対してベンチマークモデルの標準偏差 σ_μ 0.0877分のショックを与えたものである。全要素生産性は変化しないが、設備投資と労働時間が上昇し、生産や消費も漸次増加している。生産性ショックでは、資本の生産性の向上が急激な設備投資の伸びをもたらすのに対し、決済効率性のショックでは、CIA制約によるパレート最適からの乖離を縮小することによる経済の拡張であるため、設備投資が突出して伸びてはいない²³。

図5-2 決済効率性ショックへの反応



23 経済拡張の規模が小さいのも、生産性をダイレクトに拡大するショックと資源配分上の歪みを是正するショックの相違から生じている。

次に、確率ショックの分散や相関をベンチマークモデルから変化させ、これらの経済モデルが生む景気変動について特徴を観察する。表7のように、確率ショックの相関をベンチマーク値と1.00の2通り、決済効率性のショックの分散をベンチマーク値、その50%増、100%増の3通りとし、6つの組合せについて、3.(3)でモデルの評価を行ったのと同様、2つの確率ショックを連続的に生じさせシミュレーションを行った。なお、生産技術ショックはベンチマーク値を用いている。

表7 シミュレーションによる標準偏差

			生産	消費	設備投資	労働時間	物価
ケース1	相関B、分散	B	1.054	0.470	2.511	0.474	0.503
ケース2	相関B、分散	1.5B	1.059	0.474	2.519	0.490	0.509
ケース3	相関B、分散	2.0B	1.064	0.478	2.526	0.505	0.514
ケース4	相関1.00、分散	B	0.862	0.401	1.976	0.425	0.426
ケース5	相関1.00、分散	1.5B	0.873	0.409	1.995	0.445	0.436
ケース6	相関1.00、分散	2.0B	0.883	0.416	2.012	0.464	0.445

(注)相関B、分散Bはそれぞれベンチマーク値のケースを示す。また、分散2Bはベンチマーク値の2倍を示す。

まず、表7で経済変動の大きさに対する影響をみると、2つの確率ショックの相関が大きくなる場合、変動幅が縮小している(ケース1対ケース4等)。一方、決済効率性ショックの規模が増大しても経済変動は若干高まるに止まっており、相関が高まることによる低下に比べ非常に小さい(ケース1対ケース2等)。したがって、生産の技術革新が現金決済の効率性向上を促すような金融技術革新に伝播することはマクロ経済の安定性を高める効果を持ち、また、こうした金融技術革新が経済変動をボラタイルなものにする副作用は比較的小さいといえよう。生産技術革新との相関が経済安定化に寄与する原因については、生産性の向上により景気が拡大しているときにはCIA制約により資源配分上の歪みが一段と大きくなっており、これが生産性ショックがもたらす景気変動以上の不必要な振れを生じさせていると考えられる。生産性技術革新との相関が高まった場合、こうした資源配分上の歪みが小さくなる分、経済の安定化がもたらされると思われる。

次に、決済効率性ショックの変化が経済変動パターンに対して与える影響をみる。確率ショックの相関の大きさや分散の増大が最も極端なケース6(相関1.00、分散100%増)のシミュレーション結果について、時差相関係数を図6-1に示した。図6-2のケース1(相関、分散ともベンチマーク値)と比較すると、生産に対する時差相関係数に相違はほとんどなく、シミュレーションの条件として与えた決済効率性ショックの差は、決済効率性 e_t のみに影響している²⁴。この傾向は、他のケースについても共通して観察された。

24 モデルの設定により生産と全要素生産性の同時点相関がほぼ1に近くなるため、生産性ショックと決済効率性ショックの相関を1としたケース6では生産と決済効率性の同時点相関が1近傍になっており、両ショックの相関をベンチマーク値0.22としたケース1ではベンチマーク値近傍になっている。

図 6-1 シミュレーションによる時差相関係数（ケース 6）

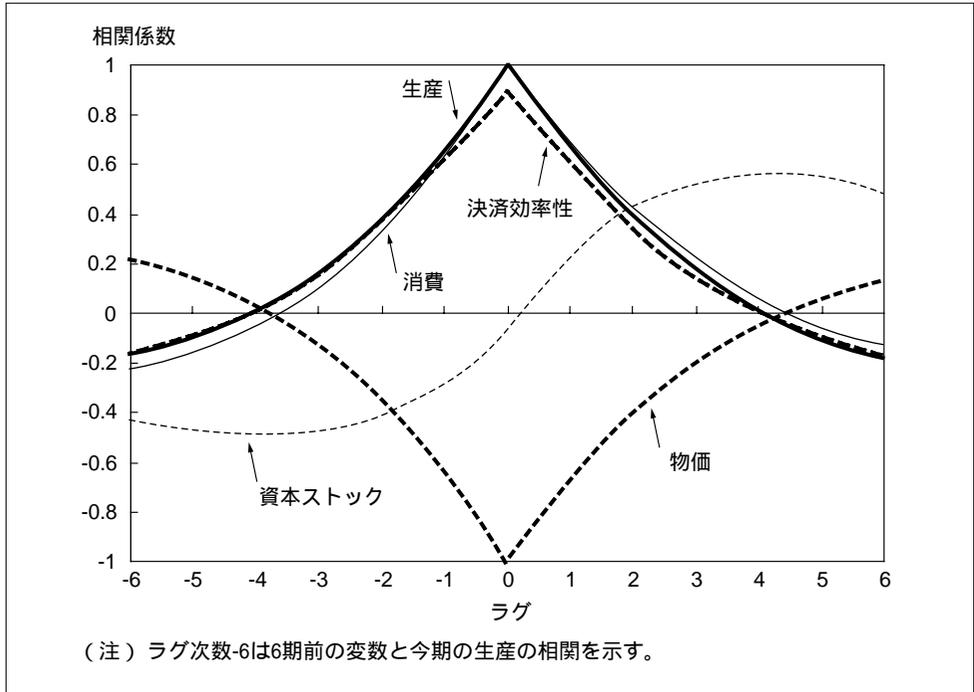
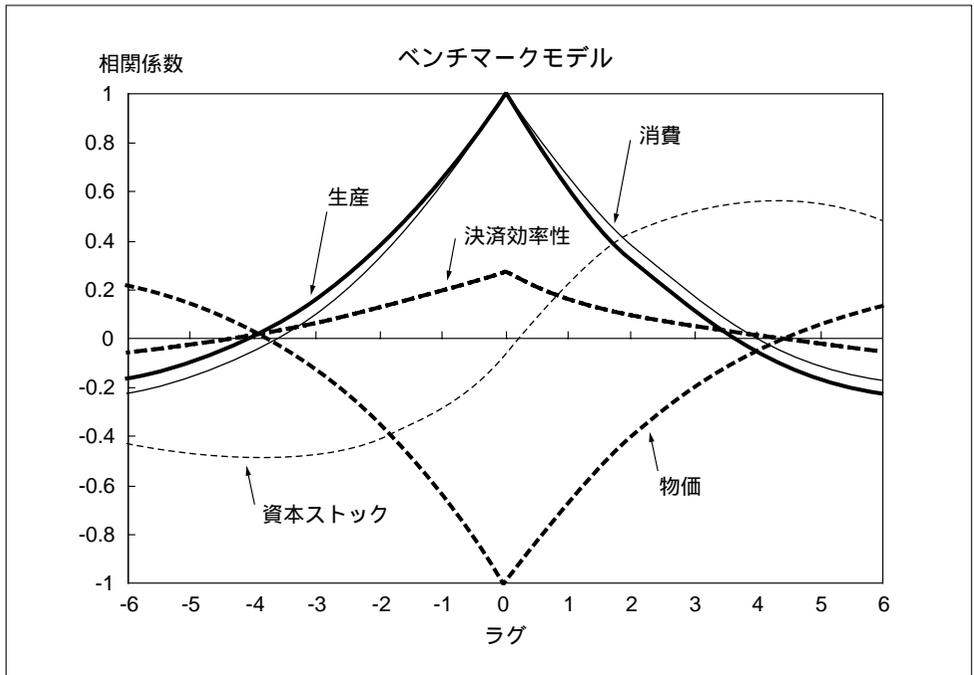


図 6-2 シミュレーションによる時差相関係数（ケース 1）



以上のシミュレーション結果より、現金通貨の決済効率性が向上することは、経済厚生の上昇に寄与することがあっても、経済変動を不安定化させたり経済変動パターンを変えたりする悪影響は小さく、生産技術革新との相関が強まった場合にはむしろ経済安定化をもたらすことが確認された。

5. おわりに

本稿では、金融技術革新のうち個人の消費行動に伴う決済手段に焦点をあて、小口決済システムにおける技術革新が社会厚生や循環変動にどのような影響を及ぼすか、動学マクロモデルを用いたシミュレーションによる分析を試みた。これにより得られた結果を列挙すると、現金決済と代替的な決済手段のウエイトが高まると、資源配分上の歪みが縮小され社会厚生が拡大する。また、生産性を向上させる技術ショックがなくとも、現金の決済効率性が改善することにより経済成長を高めることができる。さらに、生産技術革新が現金の決済効率性を促すような金融技術革新に伝播することは、マクロ経済変動の振幅を抑え経済安定化に寄与するという結果が得られた。

理論モデルにおける現金通貨の決済効率性は、消費で測った通貨の流通速度とみなすこともできる。推計された決済効率性の時系列的特性は、通貨の流通速度は必ずしも安定的ではなく、むしろ非定常過程に極めて近い不安定な確率過程として捉えるべきという含意を示している。この点について、要求払預金や定期預金等、より広義の通貨集計量を考察することは重要なトピックと思われる。本稿のモデルでは、預金創造を行う金融部門を導入しなかったため、主に企業に需要される要求払預金に基づいた決済手段の効率性については分析することができなかった。例えば、Christiano [1991] や Chari, Christiano & Eichenbaum [1995]、Ohkusa [1993] は、金融部門の預金創造過程をリアルビジネスサイクルモデルに導入することで、より広義の通貨集計量の変動を分析している。こうしたモデルに基づき、金融技術革新が広義通貨集計量やその流通速度に与える影響を分析することは今後の課題としたい。

補論 シミュレーションのプログラムソース

補論では、シミュレーションに用いたプログラムソースを全掲する。これは、経済分析ソフトGAUSS上で稼働する。本稿の分析ではGAUSS-386i version 3.2.8をPC上で利用している。シミュレーションにかかる時間は、PCの性能にも依るが、モデルの均衡変動ルールを近似計算するのに1分弱、100回のパスを発生させ統計量を計算させるのに20~30秒程度と非常に短くて済む。メインプログラムのほか、サブルーチン・プログラムRBC.SRCも必要である。なお、プログラムソースはGary Hansen (UCLA) によって書かれたものを、筆者が本稿のモデル用にアレンジしたものであり、ありうべき誤りはすべて筆者に属する。本稿で用いた数値解析手法の理解には、Cooley & Prescott [1995], Hansen & Prescott [1995] が有用である。

メインプログラム

```

@-----@
@ Financial Innovation Main Program @
@ Soejima, June 1 1996 (Final version July 12) @
@-----@
new;

print "This program is based on Cooley&Hansen(1991)JMCB
and modified to apply for Soejima(1996)";

output file=d:\dosutil\%gauss%prg%bench_m.out reset;
nexs=3; @Number of exogenous state variables. {1,e,z}@
nens=1; @Number of endogenous state variables. {k}@
nd=3; @Number of decision variables. {h,i,p}@
ns=nexs+2*nens+1; @Number of state variables. 6;{1,e,z,k,K,m}@
n=nexs+2*(nens+nd)+1; @Number of variables in objective function.12@
nv=n+ns; @Number of variables in tv. 18;{}@
nobs=73; nvars=13; nsim=100;
@Create HP-filter matrix@
hpfilt=hpfl(nobs,1600);

format 9,5;
@ Set parameter values@
let p[11,2]= "Theta" .455 @ 1 production function @
"Delta" .010 @ 2 depreciation rate @
"Phi" 2.525 @ 3 utility function @
"Gamma1" 1.000 @ 4 AR1 coefficient in z process @
"Sigma1" .00661 @ 5 AR1 std in z process @
"Beta" .995 @ 6 subjective discount rate @
"q" 1.017 @ 7 money growth rate @
"alpha" .920 @ 8 utility function @
"Gamma2" .997 @ 9 AR1 coefficient in e process @
"Sigma2" .0877 @ 10 AR1 std in e process @
"Rho_c" .220 ; @ 11 correlation between Sigma1 and 2 @

```

@List of Variables:

$x[1,1] = e$ financial innovation parameter
 $x[2,1] = z$ productivity parameter
 $x[3,1] = K$ per capita capital stock
 $x[4,1] = k$ household capital stock
 $x[5,1] = m$ household cash stock
 $x[6,1] = H$ per capita labor supply
 $x[7,1] = h$ household labor supply
 $x[8,1] = l$ per capita investment
 $x[9,1] = i$ household investment
 $x[10,1] = p$ general price level
 $x[11,1] = m'$ next period cash stock @

@Define Utility Function@

```
fn u(x)=p[8,2]*ln((x[1,1]*x[5,1]+p[7,2]-1)/(p[7,2]*x[10,1]))+(1-p[8,2])*  
ln((1-p[1,2])*exp(x[2,1])*(x[3,1]/x[6,1])^p[1,2]*x[7,1]+  
p[1,2]*exp(x[2,1])*(x[6,1]/x[3,1])^(1-p[1,2])*x[4,1]-  
x[9,1]-x[11,1]/x[10,1])+p[3,2]*ln(1-x[7,1]);
```

@Define laws of motion for state variables

```
y= y  
e'= 1-Gamma2 + gamma2 * e  
z'= Gamma1 * z  
K'= (1-Delta)*K + l  
k'= (1-Delta)*k + i  
m'= m+1 @
```

c=zeros(ns,nv); @ (6,18)matrix for reducing tv dimension @

```
c[1,1]=1;  
c[2,1]=1-p[9,2];  
c[2,2]=p[9,2];  
c[3,3]=p[4,2];  
c[4,4]=1-p[2,2];  
c[4,9]=1;  
c[5,5]=1-p[2,2];  
c[5,10]=1;  
c[6,12]=1;
```

@Compute Steady States

```
xs[1,1]=e,  
xs[2,1]=z,  
xs[3,1]=xs[4,1]=k,  
xs[5,1]=xs[11,1]=1,  
xs[6,1]=xs[7,1]=h,  
xs[8,1]=xs[9,1]=i,  
xs[10,1]=p @  
xs=zeros(n-1,1); @ (11,1) e,z,K,k,s,H,h,l,i,p,s' @
```

rho=1/p[6,2]-1; @ time preference @

```
xs[1,1]=1;  
xs[2,1]=0;  
xs[6,1]=(1-p[1,2])*(p[7,2]*(1-p[8,2])+p[6,2]*p[8,2])*(rho+p[2,2]);  
xs[6,1]=xs[6,1]/(p[3,2]*p[7,2]*(rho+(1-p[1,2])*p[2,2])+xs[6,1]);  
xs[7,1]=xs[6,1];  
xs[3,1]=((rho+p[2,2])/p[1,2])^(1/(p[1,2]-1))*xs[6,1];
```

```

xs[4,1]=xs[3,1];
xs[5,1]=1;
xs[11,1]=1;
xs[8,1]=xs[3,1]*p[2,2];
xs[9,1]=xs[8,1];
xs[10,1]=p[3,2]*p[7,2]/(p[8,2]*p[6,2]*(1-p[1,2])*(xs[3,1]/xs[6,1])^p[1,2]
*(1-xs[6,1]));

print "Solving Dynamic Programming";

q=quad(xs,0.00001,&u);

@Solve dynamic program.@
test=10;
v=ones(ns,ns)*(-1000); format /rd 8,5;  @ ns:state variable 6 @
dosave=10;
iter=0;
format 10,5;
do until test lt 1E-8 or iter >1000;
    tv=q-zeros(n,ns)/zeros(ns,n)-(v*p[6,2]);  @ p47 FBCR text @

    @Reduce out laws of motion for state variables.@
    i=1;
    do until i>ns;
        tv=reduce(tv,c[ns-i+1,1:nv-i]);
        i=i+1;
    endo;

    @Reduce out first order conditions and aggregate decision rules.@
    dsave=zeros(nd,n);
    i=1;
    do until i>nd;
        nrows=rows(tv);
        d=-tv[nrows,1:nrows-1]/tv[nrows,nrows];
        if tv[nrows,nrows]>0; format 3,0; "Second order condition fails!";
            " Decision variable number "; i;"at iteration "; iter;
            format 10,5; "Number checked is equal to "; tv[nrows,nrows];
        endif;

        @Form aggregate decision rule.@
        ad=tv[nrows,];
        if i == 1; ad[1,1]=ad[1,1]+ad[1,ns]+ad[1,n]; nnd=nd-1;
            else; ad[1,1]=ad[1,1]+ad[1,ns]; nnd=nd;
            endif;
        ad[1,ns]=0;
        pcols=seqa(nexs+1,2,nens)/seqa(ns+1,2,nnd-i+1);
        ad[1,pcols]=ad[1,pcols]+ad[1,pcols+1];
        ad[1,pcols+1]=zeros(1,nens+nnd-i+1);
        dsave[nd-i+1,1:n-2*i+1]=ad[,1:nrows-1];
        ad=-ad[1,1:nrows-2]/ad[1,nrows-1];
        tv=reduce(tv,d);
        tv=reduce(tv,ad);
        i=i+1;
    endo;
enddo;

```

```

    endo;
    test=abs(dsave-dosave);
    dosave=dsave;
    v=tv;
    iter=iter+1;
endo; format 4,0;
"Dynamic program required "; iter; "iterations."; ?;
@Produce decision rules.@
decis=dsave;

@Pick out appropriate columns.@
pdcols=seqa(nexs+1,2,nens)||seqa(ns+1,2,nd);
decis=decis[.,1:nexs]-decis[.,pdcols];
decis=-decis[.,1:nexs+nens]/decis[.,nexs+nens+1:nexs+nens+nd];

@Compute steady states from decision rules.@
ssst=1|1|0|(decis[2,1]+decis[2,2])/(p[2,2]-decis[2,4]);
ss=decis*ssst;
ss=ssst|ss;

@Simulate@
@Calculate parameters of normal distribution.@

rndseed 1;
ym1=-(1-p[9,2]);
ys1=p[10,2];
ym2=0;
ys2=p[5,2];
Rho_c=p[11,2];

@Simulate the model.@
corr=0; corrs=0; concorr=0; concorrs=0; sdevv=0; sdevvs=0;
lag=8;
nl=2*lag+1;
nm=nobs+100;
    aa=0.5*Rho_c^2/(1-sqrt(1-Rho_c^2));
    bb=(1-sqrt(1-Rho_c^2))/Rho_c;
isim=1;
print "Creating simulation economy :";nsim;," with period";nobs;?;
do until isim>nsim; format 3,0; output off, isim;;
    @Generate a state matrix.@
    rx1=rndn(nm,1);
    rx2=rndn(nm,1);
    rx1=aa*rx1+aa*bb*rx2;
    rx2=aa*bb*rx1+aa*rx2;
    rx1=ys1*rx1+ym1;
    rx2=ys2*rx2+ym2;
    state=ones(nm,1)-zeros(nm,3); state[1,4]=xs[3,1];
    iobs=2;
    do until iobs>nm;
        state[iobs,2]=1-p[9,2]+p[9,2]*state[iobs-1,2]+rx1[iobs,1];
        state[iobs,3]=p[4,2]*state[iobs-1,3]+rx2[iobs,1];
        state[iobs,4]=(decis[2,.]*state[iobs-1,.]+(1-p[2,2])*
            state[iobs-1,4]);
        iobs=iobs+1;
    endo;

```

```

endo;
state=state[101:nm,];

@@Construct a matrix SIM which contains data from a simulation.@@
@@Variables are: 1. Output                @@
@@                2. Consumption          @@
@@                3. Investment           @@
@@                4. Capital              @@
@@                5. Hours                @@
@@                6. Price Level          @@
@@                7. Inflation            @@
@@                8. C-Y velocity         @@
@@                9. Labor Productivity Y/L @@
@@                10. TFP                 @@
@@                11. Cash Efficiency      @@
@@                12. REAL R              @@
@@                13. REAL W              @@

sim=zeros(nobs,nvars);
temp=ones(nobs-1,1);
mon=seqm(p[7,2],p[7,2],nobs);
price=state*decis[3,];
nompr=price.*mon;
sim[.,6]=nompr;
sim[.,4]=state[.,4];
sim[.,3]=state*decis[2,];
sim[.,5]=state*decis[1,];
sim[.,1]=(sim[.,4].^p[1,2]).*(sim[.,5].^(1-p[1,2])).*exp(state[.,3]);
sim[.,2]=sim[.,1]-sim[.,3];
sim[2:nobs,7]=(sim[2:nobs,6]/sim[1:nobs-1,6])-temp;
sim[.,8]=sim[.,1].*sim[.,6]/mon;
sim[.,9]=sim[.,1]/sim[.,5];
sim[.,10]=exp(state[.,3]);
sim[.,11]=state[.,2];
sim[.,12]=sim[.,10].*p[1,2].*((sim[.,4]/sim[.,5]).^(1-p[1,2]));
sim[.,13]=sim[.,10].*(1-p[1,2]).*((sim[.,4]/sim[.,5]).^p[1,2]);

@@Hit data with filter.@@
sim=ln(sim[.,1:6])-sim[.,7:13];
simd=hpfilt*sim;
simt=sim-simd;

@@Compute statistics from SIMD.@@
sdev=sqrt(((nobs-1)/nobs)*(stdc(simd))^2)*100;
concor=(simd*simd/nobs-meanc(simd)*meanc(simd)')
        ./((stdc(simd)*stdc(simd))*(nobs-1)/nobs);
cor=zeros(nl,nvars);
l=-lag;
do until l>lag;
    js=1; je=nobs;
    if l lt 0; js=1-l; else; je=nobs-l; endif;
    stdl=sqrt(((je-js)/(je-js+1))*((stdc(simd[js:je,]))^2));
    std1=sqrt(((je-js)/(je-js+1))*((stdc(simd[js+l:je+l,1]))^2));

```

```

cor[lag+1,]=((simd[js+l:je+l,1]*simd[js:je,])/ (je-js+1)-
             (meanc(simd[js+l:je+l,1])*meanc(simd[js:je,])))/(
             (std1*stdi));
i=i+1;
endo;

@Cumulate results of this simulation.@

corr=corr+cor/nsim;
concorr=concorr+concor/nsim;
corrs=corrs+cor^2/nsim;
sdevv=sdevv+sdev/nsim;
sdevvs=sdevvs+sdev^2/nsim;
concorrs=concorrs+concor^2/nsim;
isim=isim+1;
endo; ?; output on;
corrs=corrs-corr^2;
corrs=abs(corrs); corrs=sqrt(corrs);
concorrs=concorrs-concorr^2;
concorrs=abs(concorrs); concorrs=sqrt(concorrs);
sdevvs=sqrt(sdevvs-sdevv^2);

@Compute some additional steady states@
yx=xs[3,1]^p[1,2]*xs[6,1]^(1-p[1,2]);

@Produce output.@
"MODEL WITH CASH IN ADVANCE INCLUDING A FINANCIAL INNOVATION";?;
"Steady States for Original Problem:"; format 9,8;
"K = ";xs[4,1];"P = ";xs[10,1];"I = ";xs[9,1];"H = ";xs[7,1];
"Y = ";yx;?;
"Steady States from Decision Rules:";
"K = ";ss[4,1];"P = ";ss[7,1];"I = ";ss[6,1];"H = ";ss[5,1];?;
"Decision Rules:";
"H="";decis[1,1];"+";decis[1,2];"E+";decis[1,3];"Z+";decis[1,4];"K";
"I="";decis[2,1];"+";decis[2,2];"E+";decis[2,3];"Z+";decis[2,4];"K";
"P="";decis[3,1];"+";decis[3,2];"E+";decis[3,3];"Z+";decis[3,4];"K";?;
@ parameter print @

@ P[5,2]=p[5,2]*100; @
"Parameters:"; let mask[1,2]=0 1; let fmt[2,3]="*s:" 7 7
"***" 5 3;
i=1;
do until i>5;
y=printfm(p[i, ],mask,fmt);
i=i+1;
endo;?;
i=6;
do until i>11;
y=printfm(p[i, ],mask,fmt);
i=i+1;
endo;?;?; format 4,0;
@ p[5,2]=p[5,2]/100; @

```

```

@ Std & Correlation(std) print @

"Number of Simulations: ";;nsim;;" Number of Sample Periods: ";;nobs;?;
"Series 1 is Output";"Series 2 is Consumption";"Series 3 is Investment";
"Series 4 is Capital Stock";"Series 5 is Hours";"Series 6 is Price Level";
"Series 7 is Inflation";"Series 8 is Y-C Velocity";
"Series 9 is Productivity (Y/L)";"Series 10 is TFP";
"Series 11 is Cash efficiency";"Series 12 is Real Interest Rate";
"Series 13 is Real wage rate";
?;?;

"
Standard Deviations as Percent "; format /m0 6,3;?;
"Series: 1 2 3 4 5 6 ";?;
"
";:sdevv[1:6];?;
"Series: 7 8 9 10 11 12 13";?;
"
";:sdevv[7:13];?;
"
Contemporaneous Correlation Matrix ";format /m1 5,3;
concorr;?;
"
Correlation (Output(T+J),Series(T));format /m1 5,3;
" J =";
"-6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6";
corr;?;?;
"
STANDARD ERRORS FOR ABOVE";?;
"
Standard Deviations as Percent "; format /m0 6,3;?;
"Series: 1 2 3 4 5 6 ";?;
"
";:sdevvs[1:6];?;
"Series: 7 8 9 10 11 12 13";?;
"
";:sdevvs[7:13];?;
"
Contemporaneous Correlation Matrix";format /m1 5,3;
concorr;?;
"
Correlation (Output(T+J),Series(T));format /m1 /rd 5,3;
" J =";
"-6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6";
corr;
output off;
stop;
end;

```

サブルーチンプログラム RBC.SRC

(quad, reduce, quadp, hpf の 4 つのプロシージャを含む)

```

proc quad(xs,h,&u);
@Calculate Quadratic Approximation

xs=vector containing steady state values.
h=small positive constant
u=statement function to be approximated @

```

```

local i,j,n,q,z,hz,u,fn;
n=rows(xs);
q=zeros(n+1,n+1);
z=zeros(n,n);
hz=abs(h*xs);
z=diagrv(z,hz);
i=1;
do until i>n;
  if hz[i,1]==0; z[i,i]=h; endif;
  q[i+1,i+1]=((u(xs+z[,i])+u(xs-z[,i]))/2-u(xs))/z[i,i]^2;
  j=1;
  do until j==i;
    q[i+1,j+1]=(u(xs+z[,i]+z[,j])-u(xs+z[,i]-z[,j]))
      -u(xs-z[,i]+z[,j])+u(xs-z[,i]-z[,j])/
      (8*z[i,i]*z[j,j]);
    q[j+1,i+1]=q[i+1,j+1];
    j=j+1;
  endo;
  i=i+1;
endo;
i=1;
do until i>n;
  q[i+1,1]=(u(xs+z[,i])-u(xs-z[,i]))/(2*z[i,i]);
  q[i+1,1]=(q[i+1,1]-2*(q[i+1,2:n+1]*xs))/2;
  q[1,i+1]=q[i+1,1];
  i=i+1;
endo;
retp(q);
endp;

proc reduce(r,a);
  @ r is an n x n matrix to be reduced by one row and column
  a is a vector of parameters of a linear equation x(n)=a*[x(1),...,x(n-1)]
  used to eliminate the last row and column of r.  @
local n,x,rnew;
n=rows(r);
x=eye(n-1)|a;
rnew=x*r*x;
retp(rnew);
endp;

proc quadp(xs,h,&u);
  @Calculate Quadratic Approximation

  xs=vector containing steady state values.
  h=small positive constant
  u=proc containing function to be approximated @

```

```

local i,j,n,q,z,hz,u:proc;
n=rows(xs);
q=zeros(n+1,n+1);
z=zeros(n,n);
hz=abs(h*xs);
z=diagrv(z,hz);
i=1;
do until i>n;
  if hz[i,1] == 0; z[i,i]=h; endif;
  q[i+1,i+1]=((u(xs+z[.,i])+u(xs-z[.,i]))/2-u(xs))/z[i,i]^2;
  j=1;
  do until j==i;
    q[i+1,j+1]=(u(xs+z[.,i]+z[.,j])-u(xs+z[.,i]-z[.,j])
      -u(xs-z[.,i]+z[.,j])+u(xs-z[.,i]-z[.,j]))/
      (8*z[i,i]*z[j,j]);
    q[j+1,i+1]=q[i+1,j+1];
    j=j+1;
  endo;
  i=i+1;
endo;
i=1;
do until i>n;
  q[i+1,1]=(u(xs+z[.,i])-u(xs-z[.,i]))/(2*z[i,i]);
  q[i+1,1]=(q[i+1,1]-2*(q[i+1,2:n+1]*xs))/2;
  q[1,i+1]=q[i+1,1];
  i=i+1;
endo;

retp(q);
endp;

```

```

proc hpf(n,l);
  @ Calculates an n x n matrix that can be used to compute
  cyclical component.
  inputs:  n = number of observations in data set
           l = lambda (see Prescott, "Theory Ahead of Measurement..")
  output:  hpfilt = n x n matrix  @
local nobs,a,i,ai;
nobs=n;
a=zeros(nobs,nobs);
a[1,1]=1+l;
a[1,2]=-2*l; a[1,3]=l;
a[2,1]=-2*l; a[2,2]=1+5*l;
a[2,3]=-4*l; a[2,4]=l;
a[nobs-1,nobs-3]=l;
a[nobs-1,nobs-2]=-4*l;
a[nobs-1,nobs-1]=1+5*l;
a[nobs-1,nobs]=-2*l;
a[nobs,nobs-2]=l;
a[nobs,nobs-1]=-2*l; a[nobs,nobs]=1+l;

```

```
i=3;
do until i>{nobs-2};
  a[i,i]=1+5*i;
  a[i,i+1]=-4*i;
  a[i,i+2]=i;
  a[i,i-1]=-4*i;
  a[i,i-2]=i;
  i=i+1;
endo;
ai=eye(nobs)-inv(a);
@ save %gauss%prg%hpfilt=ai; @
retp(ai);
endp;
```

参考文献

- 大日康史、「Real Business Cycle理論の日本経済への適用可能性」、同志社大学『経済論叢』第42巻第2号、1991年、pp. 32-64.
- 北坂真一、「確率的非線型動学モデルの数値的解法について」、名古屋市立大学『オイコノミカ』第29巻第3・4合併号、1993年3月、pp. 11-46.
- 北村行伸・藤木 裕、「経済成長下での実質金利の測定」、mimeo、1996年a
 ・、「サプライ・サイド情報を利用した消費資産価格モデルの推計」、mimeo、1996年b
- 副島 豊、「実質GDP、通貨残高、物価の長期的関係；共和分検定の批判的再検討」、日本銀行金融研究所『金融研究』第14巻第4号、1995年12月、pp. 1-42.
- 羽森茂之・北坂真一、「わが国における貨幣流通速度の変動、インフレーション、金利；Cash-in-Advance Modelによる数量分析」、mimeo（理論計量経済学会報告論文）1994年4月
 ・、『消費者行動と日本の資産市場』、東洋経済新報社、1996年
- Baxter, Marianne and Robert G. King, “Measuring Business Cycles: Approximate Band-Pass Filters for Economic Time Series,” NBER Working Paper, No. 5022, 1995.
- Chari, V. V., Lawrence J. Christiano and Martin Eichenbaum, “Inside Money, Outside money, and Short-Term Interest Rate,” *Journal of Money, Credit, and Banking*, Vol. 27, No. 4, Part 2, Nov. 1995, pp. 1354-1386.
- ・, and ・, “The Welfare Costs of Moderate Inflation,” *Journal of Money, Credit, and Banking*, Vol. 23, No. 3, Aug. 1991a, pp. 483-503.
- ・, and ・, “The Inflation Tax in a Real Business Cycle Model,” *The American Economic Review*, Vol. 79, No. 4, Sep. 1991b, pp. 733-748.
- ・, and ・, “Money and Business Cycles,” in Thomas F. Coolley ed. *Frontiers of Business Cycle Research*, Princeton, 1995.
- ・ and Lee E. Ohanian, “The cyclical behavior of prices,” *Journal of Monetary Economics*, Vol. 28, No. 1, 1991, pp. 25-60.
- ・ and Edward C. Prescott, “Economic Growth and Business Cycles,” in Thomas F. Coolley ed. *Frontiers of Business Cycle Research*, Princeton, 1995.
- Hansen, Gary D. and Edward C. Prescott, “Recursive Methods for Computing Equilibria of Business Cycle Models,” in Thomas F. Coolley ed. *Frontiers of Business Cycle Research*, Princeton, 1995.
- Hamori, Shigeyuki and Shin-ichi Kitasaka, “A Numerical Analysis of the Monetary Aspects of the Japanese Economy: The Cash-in-Advance Approach,” *Applied Financial Economics*, 1996.
- Hodrick, J. Robert and Edward C. Prescott, “Post-war US Business Cycle: An Empirical Investigation,” *Working paper, Carnegie mellon University*, 1980.
- King, Robert G. and Sergio T. Rebelo, “Transitional Dynamics and Economic Growth in the Neoclassical Model,” *The American Economic Review*, Vol. 83, No. 4, Sep. 1993, pp. 908-931.

- Kydland, Finn E. and Edward C. Prescott, "Time to Build and Aggregate Fluctuations," *Econometrica*, Vol. 50, No. 6, Nov. 1982, pp. 1345-1370.
- Lawrence, Christiano J., "Modeling the Liquidity Effect of a Monetary Shock," *Federal Reserve Bank of Minneapolis Quarterly Review*, Winter, 1991, pp. 3-34.
- and Martin Eichenbaum, "Current Real-Business-Cycle Theories and Aggregate Labor-Market Fluctuations," *American Economic Review*, Vol. 82, No. 3, June 1992, pp. 430-450.
- Lucas, Robert Jr. E. and Nancy L. Stokey, "Money and Interest in a Cash-in-Advance Economy," *Econometrica*, Vol. 55, No. 3, May 1987, pp. 491-513.
- Ohkusa, Yasushi, "Money Creation System in the Real Business Cycle Theory," *Economic Letters*, Vol. 42, 1993, pp. 367-371.
- Prescott, Edward C. and Rajnish Mehra, "Recursive Competitive Equilibrium: The Case of homogeneous Households," *Econometrica*, Vol. 48, No. 6, Sep. 1980, pp. 1356-1379.
- Sargent, Thomas J., *Dynamic Macroeconomic Theory*, Harvard, 1987.
- Svensson, Lars. E. O., "Money and Asset Prices in A Cash-in-Advance Economy," *Journal of Political Economy*, Vol. 93, No. 5, 1985, pp. 919-944.