

# Heyes 型 IS-LM-EE モデルの含意と問題点

塩田 尚樹

## 概要

Heyes(2000) 以来, 従来型 IS-LM モデルに『環境ストック』の均衡をあらわす EE 曲線を加えた IS-LM-EE モデルによる財政政策・金融政策の環境中立性についての比較静学分析が行われ, 均衡総生産・均衡利子率を EE 曲線上に誘導するための精確なポリシー・ミックスの必要性などが主張されてきた. しかしながら, 同モデルの環境ストックの均衡は不安定であるため, 比較静学的な考察だけでは政府支出・貨幣供給量変化の環境ストックへの影響を十分に把握することはできない. そこで本稿では, Heyes 型 IS-LM-EE モデルを動学的に拡張して環境ストックなど各変数の時間経路について分析し, 財政政策・金融政策の精確な組み合わせにより新均衡点を EE 曲線上に位置させることが経済成長と環境保全の両立のための必要条件でも十分条件でもないことを示す.

## 1 はじめに

Heyes(2000) 以来, Lawn(2003), Sim(2006) や Decker and Wohar(2012) など, 従来型 IS-LM モデルに『環境ストック』の均衡条件をあらわす EE 曲線を付け加えた IS-LM-EE モデルによる, 生産活動の自然環境への影響を考慮した財政政策および金融政策の持続可能性に関する分析が, いくつか行われている. 従来型 IS-LM モデルは, Blanchard (2017), Mankiw(2019), 宮尾 (2017) や吉川 (2017) などの代表的テキストで確認できるように, 現在においても学部中級レベルの「マクロ経済学」における基礎的な分析ツールであり続けている. 経済的な豊かさの追求と自然環境の保全との両立が全人類的課題となっている今日, 学部中級レベルの「マクロ経済学」に環境制約を明示的に考慮したモデルを導入することは意義深い.

IS-LM-EE モデルを初めて提示した Heyes(2000) は, 生産活動において環境利用と人工資本の利用は代替的であるという仮定のもと, 『環境ストックの水準を一定に保つ』総生産と利子率の組の集合として, IS 曲線・LM 曲線と同一平面上に右下がりの EE 曲線を導出している. そして, EE 曲線の傾きの絶対値が IS 曲線の傾きの絶対値よりも大である場合のみに焦点をあて, 政府支出および貨幣供給量の変化についての比較静学分析を行っている. その結果, 財政当局と金融当局が協力して緊縮的財政政策と拡張的金融政策を精

確に組み合わせることにより、自然環境の状態を維持したまま総生産を増大させることが可能であるという結論をえている。また、拡張的財政政策を実施するかぎり、自然環境の状態を維持しながら総生産を増大させることは不可能であることも示している。

Heyes(2000)の単純な拡張となっている Decker and Wohar(2012)は、EE 曲線導出の際に Heyes(2000)が採用した生産活動における環境利用と人工資本利用の代替性という仮定を見直し、集計的にみると両者はむしろ補完的關係にあるとして、右上がりの EE 曲線を導出している。そして、EE 曲線の傾きが LM 曲線の傾きよりも大である場合のみに焦点をあて、同様の比較静学分析を行っている。その結果、Heyes(2000)とは対照的に、財政当局と金融当局が協力して拡張的財政政策と緊縮的金融政策を精確に組み合わせることにより、自然環境の状態を維持したまま総生産を増大させることが可能であるという結論をえている。さらに、拡張的金融政策を実施するかぎり、自然環境の状態を維持しながら総生産を増大させることは不可能であることも示している。

前述の Heyes(2000) および Decker and Wohar(2012) の議論は、「マクロ経済学」学習者にとってなじみ深い IS 曲線・LM 曲線の図に一本の EE 曲線を加えるだけで展開が可能であり、視覚的に極めて単純・明快である。その政策的含意も、集計的な生産活動における自然環境と人工資本の代替性・補完性を見極めた上で財政政策と金融政策の精確なポリシー・ミックスを実現すれば経済成長と環境保全の両立を図れるという適度に前向きなものであり、財政当局および金融当局の情報収集・処理能力の限界による実現困難性の問題はさておき、心情的に受け入れやすい。しかしながら、Heyes(2000) 以来の一連のモデルは、自然環境の状態変化をあらわすために採用している運動方程式の均衡点が不安定であるため、比較静学分析による結果を再検討する必要があると考えられる。

Heyes 型 IS-LM-EE モデルでは、自然環境を再生可能資源のストックとしてとらえ、環境ストック自体に正比例する成長量と人間による環境利用量との差が環境ストックの純増量になると定式化している。よって、正である各利用量に対して純増量がゼロとなる環境ストックの水準が一意的に存在し、不安定な均衡点を構成する。もし初期において均衡状態にあり、そのまま環境利用量が変化しなければ環境ストックの水準は一定に保たれるが、一時的にでも環境利用量が増加すれば環境ストックは均衡値から乖離していく。Heyes(2000) および Decker and Wohar(2012) の比較静学分析は、新旧均衡点に対応する環境利用量については同一水準にあるという条件を満たして実行されている。けれども、新旧均衡点の間の移行過程における環境利用量についてはまったく考慮されていない。そのため、環境ストックが当初の均衡水準のまま維持されるという保証は全くない。

そこで本稿では、Heyes 型 IS-LM-EE モデルを動学的に拡張し、Heyes(2000) および Decker and Wohar(2012) による比較静学分析の新旧均衡点の間の移行過程における環境利用量および環境ストックの変動を注視しつつ、両研究の主張を再検討する。

まず Heyes(2000) が分析対象とした自然環境と人工資本が代替的であるケースにおいて、推奨されているポリシー・ミックスを実行するときの各変数の時間経路について検討し、総生産の増加と環境ストックの増大が両立することを確認した後、小規模の拡張的金融政策を単独で実施する場合でも同様に、総生産の増加と環境ストックの増大を同時に実現可能であることを示す。これにより、EE 曲線上に新しい均衡点を位置させるよう精確に財政政策と金融政策を組み合わせることが経済成長と環境保全の両立のための必要条件でないことが判明する。

次に Decker and Wohar(2012) が分析対象とした自然環境と人工資本が補完的であるケースにおいて、推奨されているポリシー・ミックスを実行するときの各変数の時間経路について検討し、総生産および利子率の調整速度の大小により、総生産増加と環境ストック増大が両立する場合と、総生産は増加するが環境ストックは消失していく場合に分かれることを確認する。これにより、精確な財政政策・金融政策によって新しい均衡点を EE 曲線上に位置させることが経済成長と環境保全の両立のための十分条件でないことが判る。

## 2 基本モデル

本節では、IS-LM-EE モデルの原点である Heyes(2000) とその単純な拡張となっている Decker and Wohar(2012) の基本構造について確認する。

総生産を  $Y$ 、利子率を  $r$ 、消費関数を  $C(Y)^{*1}$ 、投資関数を  $I(r)^{*2}$ 、政府支出を  $G$ 、名目貨幣供給量を  $M$ 、一般物価水準を  $P$ 、実質貨幣需要関数を  $L(r, Y)^{*3}$  とすると、従来型 IS-LM モデルは周知のとおり、財・サービスの需給均衡条件である IS 方程式：

$$Y = C(Y) + I(r) + G \quad (1)$$

と貨幣の需給均衡条件である LM 方程式：

$$\frac{M}{P} = L(r, Y) \quad (2)$$

によって構成される。

Heyes(2000) は、これらの IS 方程式および LM 方程式に、「自然環境の状態が生産活動による影響にかかわらず一定に保たれる」総生産と利子率の組をあらわす EE 方程式を加えた IS-LM-EE モデルを提唱した。

---

\*1  $C > 0, 0 < C' < 1$ .

\*2  $I > 0, I' < 0$ .

\*3  $L > 0, L_r < 0, L_Y > 0$ .

同モデルは、一定の成長率  $\sigma (> 0)$  で指数関数的に増大する再生可能資源のストックとして『環境』 $E$  を定義し、生産活動における環境利用量を  $E$  からの収穫量とみなしている。そして環境利用量は、利子率に依存して決まる生産活動の環境集約度  $e(r)$  と総生産  $Y$  との積  $e(r)Y$  に等しいとしている。<sup>\*4</sup> によって  $E$  の変動は、微分方程式

$$\dot{E}(t) = \sigma E(t) - e(r(t))Y(t) \quad (3)$$

によってあらわされる。<sup>\*5</sup>

環境集約度  $e(r)$  の形状について Heyes(2000) と Decker and Wohar(2012) は互いに真逆の仮定をおいており、そのことが両者の分析結果に決定的な違いをもたらしている。Heyes(2000) は、環境負荷が大である環境集約的な生産技術と環境負荷が小である人工資本集約的な生産技術との選択を想定し、利子率  $r$  が高いときは人工資本のコストが大となり代替的に環境利用量が増加するため環境集約度が上昇するとして

$$e'(r) > 0 \quad (4)$$

を仮定している。

他方、Decker and Wohar(2012) は、例えば UPS<sup>\*6</sup> の EV トラックが電力を必要とし、その電力の大部分が火力発電でまかなわれている現況を考慮すると、利子率  $r$  が低くなり個々の企業において環境負荷が小である人工資本集約的な生産技術が導入されたとしても経済全体では環境負荷が必ずしも軽減される保証はないと考え、環境利用は人工資本とむしろ補完的な関係にあるとして

$$e'(r) < 0 \quad (5)$$

を仮定している。

いずれにせよ環境ストックが一定水準であるため、すなわち  $E(t) = \text{const}$  であるための必要条件は、(3) より

$$e(r(t))Y(t) = \text{const} \quad (6)$$

である。Heyes(2000) 以来の一連の研究では (6) をさらに限定的にとらえ、政府支出および貨幣供給量変化前の総生産・利子率の均衡値  $(Y_1^*, r_1^*)$  を基準として

$$e(r)Y = e(r_1^*)Y_1^* \quad (7)$$

<sup>\*4</sup> したがって環境集約度  $e(r)$  は、総生産 1 単位当たりの環境利用量にほかならない。

<sup>\*5</sup>  $t(\geq 0)$  は、時刻をあらわす変数である。

<sup>\*6</sup> Decker and Wohar(2012) の本文中には "United Postal Service" と記されているが、内容は United States Postal Service (アメリカ合衆国郵便公社) に関するものではなく、United Parcel Service, Inc. に関するものである。

のみを分析対象としている。なお、 $Y$  および  $r$  が時間の経過とともに変動しうることを明示的に考慮しない静学的分析に終始しているため、時刻をあらわす変数  $t$  は捨象されている。この (7) が EE 方程式であり、そのグラフ  $\{(Y, r) \in \mathbb{R}_{++}^2 \mid e(r)Y = e(r_1^*)Y_1^*\}$  を  $Y$ - $r$  平面上に描いたものが EE 曲線にほかならない。

### 3 Heyes および Decker and Wohar の比較静学分析

Heyes(2000) および Decker and Wohar(2012) の主要部分は財政政策および金融政策に関する比較静学分析であり、総生産増加と『環境中立性』確保の両立可能性が検討されている。そこで本節では、IS-LM-EE モデルを静学的に展開し、両研究の主要命題について確認する。

IS-LM-EE モデルを構成する方程式、すなわち、(1), (2), (7) をまとめて再掲すると以下のとおりである：

$$\text{IS} : Y = C(Y) + I(r) + G \quad (8)$$

$$\text{LM} : \frac{M}{P} = L(r, Y) \quad (9)$$

$$\text{EE} : e(r)Y = e(r_1^*)Y_1^* \quad (10)$$

なお (10) 右辺の  $(Y_1^*, r_1^*)$  は、前述のとおり、政府支出  $G$  および貨幣供給量  $M$  変化前の (8) と (9) の解にほかならない。

$Y$ - $r$  平面に描いた各方程式のグラフ、すなわち、IS 曲線・LM 曲線・EE 曲線の傾きを、それぞれ

$$\left. \frac{\partial r}{\partial Y} \right|_{\text{IS}} = \frac{1 - C'}{I'}, \quad \left. \frac{\partial r}{\partial Y} \right|_{\text{LM}} = \frac{-L_Y}{L_r}, \quad \left. \frac{\partial r}{\partial Y} \right|_{\text{EE}} = \frac{-e(r)}{e'(r)Y}$$

とすると、Heyes (2000) は環境利用と人工資本が代替的である場合、すなわち (4) である場合をさらに限定して

$$\left. \frac{\partial r}{\partial Y} \right|_{\text{EE}} < \left. \frac{\partial r}{\partial Y} \right|_{\text{IS}} < 0 < \left. \frac{\partial r}{\partial Y} \right|_{\text{LM}} \quad (11)$$

である場合のみを取り扱っている。(4) 成立時に、環境集約度の水準  $e(r)$ 、限界消費性向  $C'$  および投資の利子率に対する反応の絶対値  $|I'|$  が相対的に大で、環境集約度の利子率に対する反応の絶対値  $|e'(r)|$  および総生産  $Y$  が相対的に小であれば、(11) が成立する。以下では、(11) が成立する状況を「Heyes 的状況」と略称する。Decker and Wohar(2012) は、環境利用と人工資本が補完的である場合、すなわち (5) である場合をさらに限定して

$$\left. \frac{\partial r}{\partial Y} \right|_{\text{IS}} < 0 < \left. \frac{\partial r}{\partial Y} \right|_{\text{LM}} < \left. \frac{\partial r}{\partial Y} \right|_{\text{EE}} \quad (12)$$

である場合のみを取り扱っている。(5) 成立時に、環境集約度の水準  $e(r)$  および貨幣需要の利子率に対する反応の絶対値  $|L_r|$  が相対的に大で、環境集約度の利子率に対する反応の絶対値  $|e'(r)|$ 、総生産  $Y$  および貨幣需要の総生産に対する反応  $L_Y$  が相対的に小であれば、(12) が成立する。以下では、(12) が成立する状況を「Decker/Wohar 的状況」と略称する。なお、Heyes 的状況および Decker/Wohar 的状況いずれにおいても

$$e'(r)Y[1 - C'] + e(r)I' < 0 \quad (13)$$

$$e'(r)YL_Y - e(r)L_r > 0 \quad (14)$$

が成立することは、容易に確認できる。

(8), (9), (10) をそれぞれ、 $Y, r, G, M$  について全微分して整理すると

$$[C' - 1] dY + I' dr = -dG \quad (15)$$

$$L_Y dY + L_r dr = \frac{1}{P} dM \quad (16)$$

$$e(r)dY + e'(r)Ydr = 0 \quad (17)$$

がえられる。(15) と (16) より、外生的な政府支出の変化  $dG$  および貨幣供給量の変化  $dM$  と均衡総生産の変化  $dY$  および均衡利子率の変化  $dr$  との関係は、周知のとおり

$$dY = \frac{1}{[C' - 1] L_r - I' L_Y} \left[ -L_r dG - \frac{I'}{P} dM \right] \quad (18)$$

$$dr = \frac{1}{[C' - 1] L_r - I' L_Y} \left[ L_Y dG + \frac{C' - 1}{P} dM \right] \quad (19)$$

のように整理することができる。

$G$  または  $M$  の変化により均衡総生産が増加するため、すなわち、 $dY > 0$  となるためには、(18) および  $[C' - 1] L_r - I' L_Y > 0$  より、 $dG$  および  $dM$  は

$$dM > \frac{-PL_r}{I'} dG \quad (20)$$

を満たさなければならない。

他方で、 $G$  または  $M$  の変化にかかわらず同じ環境ストックの水準を維持するには、(17), (18), (19) より、 $dG$  および  $dM$  は

$$dM = \frac{e'(r)YPL_Y - e(r)PL_r}{e(r)I' + e'(r)Y[1 - C']} dG \quad (21)$$

を満たさなければならない。

いま、 $dG$ - $dM$  平面上に (20) と (21) のグラフを描いて、両者を同時に満たす  $dG$  と  $dM$  の組について検討する。

Heyes 的状況においては、 $e'(r)Y[1 - C'] > 0$  および (13) より

$$-e(r)I' > -e(r)I' - e'(r)Y[1 - C'] > 0$$

であり、(14) および  $e'(r)YL_Y > 0$  より

$$e'(r)YL_Y - e(r)L_r > -e(r)L_r > 0$$

であるから、

$$\frac{e'(r)YPL_Y - e(r)PL_r}{e(r)I' + e'(r)Y[1 - C']} < \frac{-PL_r}{I'} < 0$$

が成立している。視覚化すると図 1 のように、(20) の境界線の傾きの絶対値より (21) の傾きの絶対値の方が大である。(20) と (21) を同時に満たす  $(dG, dM)$  は、明らかに第 2 象限にある赤の半直線上の点のみである。

したがって、Heyes 的状況にあるとき、政府支出の変化  $dG$  と貨幣供給量の変化  $dM$  により総生産の増加  $dY > 0$  および環境中立性の確保  $e(r)Y = e(r_1^*)Y_1^*$  を同時に実現するための必要十分条件は、 $dG$  および  $dM$  が

$$(dG, dM) = \left( -v, -\frac{e'(r)YPL_Y - e(r)PL_r}{e(r)I' + e'(r)Y[1 - C']}v \right), \text{ ただし } v \text{ は任意の正の実数}$$

を満たすことである。

このことより、Heyes(2000) の二つの政策的含意がえられる。一つは不可能性命題であり、Heyes 的状況にあるとき、政府支出または貨幣供給量のいずれか一方の変化のみ、あるいは、政府支出増加をともなう貨幣供給量の増減により、環境中立性を確保しながら総生産を増加させることは不可能ということである。もう一つは可能性命題であり、Heyes 的状況にあるとき、政府支出の減少と貨幣供給量の増加を適切な量で組み合わせることにより、環境中立性を確保しながら総生産を増加させることが可能ということである。

Heyes(2000) の可能性命題は、財政当局と金融当局が協力して緊縮的財政政策と拡張的金融政策を『うまく組み合わせる』ことにより、自然環境の状態を維持したまま経済成長することが可能という前向きなものである。ただし、実際に政策を『うまく組み合わせる』には、図 1 が示すとおり、両政策当局が  $Y, r, P$  の値と  $C(Y), I(r), L(r, Y), e(r)$  の形状を少なくとも局所的には精確に把握しておく必要があるため、情報収集・処理能力の限界による実現困難性の問題は避けられない。<sup>\*7</sup>

Decker/Wohar 的状況においては、 $e'(r)Y[1 - C'] < 0$  より

$$-e(r)I' - e'(r)Y[1 - C'] > -e(r)I' > 0$$

<sup>\*7</sup> 同様の指摘は Lawn(2003) p.41 および Sim(2006) p.403 においてもなされている。

であり, (14) および  $e'(r)YL_Y < 0$  より

$$-e(r)L_r > e'(r)YL_Y - e(r)L_r > 0$$

であるから,

$$\frac{-PL_r}{I'} < \frac{e'(r)YPL_Y - e(r)PL_r}{e(r)I' + e'(r)Y[1 - C']} < 0$$

が成立している. すなわち図 2 のとおり, (20) の境界線の傾きの絶対値より (21) の傾きの絶対値の方が小である. (20) と (21) を同時に満たす  $(dG, dM)$  は, 明らかに第 4 象限にある赤の半直線上の点のみである.

したがって, Decker/Wohar 的状況にあるとき, 政府支出の変化  $dG$  と貨幣供給量の変化  $dM$  により総生産の増加  $dY > 0$  および環境中立性の確保  $e(r)Y = e(r_1^*)Y_1^*$  を同時に実現するための必要十分条件は,  $dG$  および  $dM$  が

$$(dG, dM) = \left( v, \frac{e'(r)YPL_Y - e(r)PL_r}{e(r)I' + e'(r)Y[1 - C']} v \right), \text{ ただし } v \text{ は任意の正の実数}$$

を満たすことである.

このことより, Decker and Wohar(2012) の二つの政策的含意がえられる. 一つは不可能性命題であり, Decker/Wohar 的状況にあるとき, 政府支出または貨幣供給量のいずれか一方の変化のみ, あるいは, 貨幣供給量増加をともなう政府支出の増減により, 環境中立性を確保しながら総生産を増加させることは不可能ということである. もう一つは可能性命題であり, Decker/Wohar 的状況にあるとき, 政府支出の増加と貨幣供給量の減少を適切な量で組み合わせることにより, 環境中立性を確保しながら総生産を増加させることが可能ということである.

Decker and Wohar(2012) の可能性命題も, 財政当局と金融当局が協力して拡張的財政政策と緊縮的金融政策を『うまく組み合わせる』ことにより, 自然環境の状態を維持したまま経済成長することが可能という前向きなものである. ただし, 実際に政策を『うまく組み合わせる』には, 図 2 が示すとおり, 両政策当局が  $Y, r, P$  の値と  $C(Y), I(r), L(r, Y), e(r)$  の形状を少なくとも局所的には精確に把握しておく必要があるため, Heyes(2000) の可能性命題と同様に, 情報収集・処理能力の限界による実現困難性の問題は避けられない.

## 4 総生産・利子率の移行過程と環境ストックの変動

本節では, Heyes(2000) および Decker and Wohar(2012) の分析において捨象されている, 各変数の動学的過程に焦点を当てる. まず, IS-LM-EE モデルにおける不均衡時の調整を陽表化して  $Y-r$  平面上に位相図を作成し, Heyes(2000) および Decker and

Wohar(2012) の意味で環境中立的な景気刺激策による総生産・利子率の移行経路を導出する。そしてこの移行経路にもとづき、環境利用量および環境ストックの時間的变化について検討し、Heyes(2000) および Decker and Wohar(2012) の主張を再検討する。

Heyes(2000) および Decker and Wohar(2012) の分析に時間の経過を明示的に導入すると、以下のように展開できる。まず時刻  $\bar{t} (> 0)$  以前における政府支出・貨幣供給量を  $(\bar{G}_1, \bar{M}_1)$  とし、同時期の総生産・利子率および環境ストックは、対応する均衡値  $(Y_1^*, r_1^*, E_1^*)$  にあるとする。すなわち  $(Y_1^*, r_1^*)$  は、 $G = \bar{G}_1, M = \bar{M}_1$  であるときの連立方程式 (1), (2) の解であり、(3) より

$$E_1^* = \frac{e(r_1^*) Y_1^*}{\sigma} \quad (22)$$

である。

その後、時刻  $\bar{t}$  から環境中立性を確保した景気刺激策であるポリシー・ミックスが実施されて政府支出および貨幣供給量が  $(\bar{G}_2, \bar{M}_2)$  に変更され、総生産および利子率の均衡値が  $(Y_2^*, r_2^*)$  に変わるとする。よって、 $(\bar{G}_2, \bar{M}_2, Y_2^*, r_2^*)$  については

$$\begin{aligned} Y_2^* &= C(Y_2^*) + I(r_2^*) + \bar{G}_2 \\ \frac{\bar{M}_2}{P} &= L(r_2^*, Y_2^*) \\ e(r_1^*) Y_1^* &= e(r_2^*) Y_2^* \\ Y_1^* &< Y_2^* \end{aligned} \quad (23)$$

が成立している。

周知のとおり従来型 IS-LM モデルでは、実際の総生産は計画しない在庫減少に応じて、利子率は貨幣に対する超過需要に応じて、それぞれ変動する。よって、総生産の時間変化率を  $\dot{Y}$ 、総生産の調整速度を  $\varphi_Y (> 0)$ 、利子率の時間変化率を  $\dot{r}$ 、利子率の調整速度を  $\varphi_r (> 0)$  とすると

$$\dot{Y}(t) = \varphi_Y [C(Y(t)) + I(r(t)) + G - Y(t)] \quad (24)$$

$$\dot{r}(t) = \varphi_r \left[ L(r(t), Y(t)) - \frac{M}{P} \right] \quad (25)$$

のように不均衡調整過程を定式化できる。(24) および (25) からなる動学体系は局所的に安定であるから、時刻  $\bar{t}$  以降、総生産  $Y$  および利子率  $r$  は新しい均衡値  $(Y_2^*, r_2^*)$  へと収束する。<sup>\*8</sup>さらに環境中立性条件 (23) より、環境利用量  $e(r)Y$  は、 $Y$  および  $r$  の収束にともなってポリシー・ミックス実施前と同じ値  $e(r_1^*) Y_1^*$  へと収束する。

<sup>\*8</sup> 従来型 IS-LM モデルの不均衡調整過程の安定性については、例えば、Chang and Smyth(1972)、斎藤謹造 (1977)、Shone(2002) などで取り扱われている。

ただし、ここで注意しなければならないのは、 $Y$  および  $r$  の値が時刻  $\bar{t}$  において直ちに新しい均衡値  $(Y_2^*, r_2^*)$  へとジャンプするわけではないということである。すなわち、元々の均衡値  $(Y_1^*, r_1^*)$  を離れ新しい均衡値  $(Y_2^*, r_2^*)$  に収束するまでの移行過程が存在する。この移行過程において、環境利用量  $e(r)Y$  が  $e(r_1^*)Y_1^*$  と一致している保証はまったくない。このことは、Heyes(2000) および Decker and Wohar(2012) の分析結果に決定的な影響をもたらす。

Heyes 型 IS-LM-EE モデルにおける環境ストックの運動方程式 (3) では、正である各利用量に対して純増量がゼロとなる環境ストックの水準が一意的に存在し、不安定な均衡点を構成する。よって、もし初期において均衡状態 (22) にあり、そのまま環境利用量が増加しなければ環境ストック  $E$  は均衡値  $E_1^*$  に保たれる。けれども、一時的にでも利用量が増加すれば、 $E$  は  $E_1^*$  から乖離していく。Heyes(2000) および Decker and Wohar(2012) の比較静学分析は、新旧均衡点に対応する環境利用量については同一であるという条件を満たして実行されている。しかしながら、新旧均衡点の間の移行過程における環境利用量についてはまったく考慮されていない。そのため、 $E$  が  $E_1^*$  のまま維持されるという保証は全くない。

そこで以下において、(24) および (25) の位相図を  $Y-r$  平面上に作成して、Heyes(2000) および Decker and Wohar(2012) の比較静学分析における新旧均衡点間の移行経路を陽表化する。そしてこの移行経路にもとづいて各変数の時間的変化を導出し、Heyes(2000) および Decker and Wohar(2012) の主張を再検討する。

Heyes 的状況において推奨されるポリシー・ミックスを実施した場合の総生産・利子率の動きを表した位相図が図 3 である。IS<sub>2</sub> 曲線は  $\bar{G}_2$  に、LM<sub>2</sub> 曲線は  $\bar{M}_2$  に、それぞれ、対応している。<sup>9</sup> 時刻  $\bar{t}$  以降、総生産  $Y$  と利子率  $r$  は旧均衡点  $(Y_1^*, r_1^*)$  をはなれ、赤い曲線のように EE 曲線の左下側を反時計回りに動きながら新均衡点  $(Y_2^*, r_2^*)$  に収束する。本節冒頭で検討したポリシー・ミックス実施前後の時間の経過と赤い曲線であらわされた移行経路を考慮すると、Heyes(2000) における各変数の時間的変化を図 4 から図 9 のようにまとめることができる。政府支出  $G$  および貨幣供給量  $M$  は時刻  $\bar{t}$  において、それぞれ下方・上方へジャンプする。総生産  $Y$  は、時刻  $\bar{t}$  以降、旧均衡値  $Y_1^*$  より小さい値まで落ち込んだ後で増大し、 $Y_1^*$  より大である新均衡値  $Y_2^*$  に収束する。利子率  $r$  は、旧均衡値  $r_1^*$  より小である新均衡値  $r_2^*$  よりさらに小さい値まで落ち込んだ後で増大し、 $r_2^*$  に収束する。環境利用量  $e(r)Y$  は、 $(Y, r)$  が EE 曲線の左下側を通過して EE 曲線上に収束することより、旧均衡値  $e(r_1^*)Y_1^*$  より小さい値まで落ち込んだ後で増大し、 $e(r_1^*)Y_1^*$  と同一水準の新均衡値  $e(r_2^*)Y_2^*$  に収束する。環境ストック  $E$  は、環境利用量が旧均衡値  $e(r_1^*)Y_1^*$  よ

<sup>9</sup> 煩雑化をさけるため、 $\bar{G}_1$  に対応する IS<sub>1</sub> および  $\bar{M}_1$  に対応する LM<sub>1</sub> は描いていない。

り小さくなって、その後も  $e(r_1^*)Y_1^*$  を超えることがなく、環境ストックの成長量  $\sigma E$  を超えることがないため、単調に際限なく増加していく。

以上より、Heyes(2000) の推奨するポリシー・ミックスの動学的な分析結果は、初期における総生産の落ち込み、および、環境ストックの際限のない増加という相違はあるが、環境を悪化させずに総生産の増大が実現するという重要な部分で比較静学分析の結果を追認していることが判る。そのため、Heyes(2000) の主張に全く問題がないように感じられるが、類似した結果を生み出すために新均衡点の EE 曲線上への誘導は必ずしも必要でないことを以下の例で確認しておく。

図 10 は、Heyes 的状況において財政政策は実施せず、『小規模』の拡張的金融政策のみを実施した場合の位相図である。IS<sub>2</sub> は IS<sub>1</sub> と同一であり、新均衡点  $(Y_2^*, r_2^*)$  は EE 曲線よりも右側に位置している。<sup>\*10</sup>時刻  $\bar{t}$  以降、総生産  $Y$  と利子率  $r$  は赤い曲線のように旧均衡点  $(Y_1^*, r_1^*)$  から右下方に動き、LM<sub>2</sub> と交差した後は右上方に動いて  $(Y_2^*, r_2^*)$  に収束する。したがって、各変数の時間的変化を図 11 から図 16 のようにまとめることができる。政府支出  $G$  は終始一定水準である。貨幣供給量  $M$  は時刻  $\bar{t}$  において上方へジャンプする。総生産  $Y$  は、時刻  $\bar{t}$  以降、単調に増加して  $Y_1^*$  より大である新均衡値  $Y_2^*$  に収束する。利子率  $r$  は、旧均衡値  $r_1^*$  より小である新均衡値  $r_2^*$  よりさらに小さい値まで落ち込んだ後で増大し、 $r_2^*$  に収束する。環境利用量  $e(r)Y$  は、 $(Y, r)$  が EE 曲線の左下側を通った後、交差して右上側に収束することより、旧均衡値  $e(r_1^*)Y_1^*$  より小さい値まで落ち込んだ後で増大し、 $e(r_1^*)Y_1^*$  より大である新均衡値  $e(r_2^*)Y_2^*$  に収束する。環境ストック  $E$  は、環境利用量が旧均衡値  $e(r_1^*)Y_1^*$  より小さくなった後、増大して  $e(r_1^*)Y_1^*$  より大となるが『小規模』の仮定より環境ストックの成長量  $\sigma E$  を超えることがないため、単調に際限なく増加していく。

以上より、Heyes 的状況において財政政策を実施せず、『小規模』の拡張的金融政策のみを実施する場合の動学的な結果は、初期における総生産の落ち込みなし、および、環境利用量の収束値の増大という相違はあるが、総生産の増大と環境ストックの際限のない増加という重要な点は、Heyes(2000) が推奨するポリシー・ミックスの結果と同じであることが判った。したがって、EE 曲線上に新しい均衡点を位置させるよう精確に財政政策と金融政策を組み合わせることが経済成長と環境保全の両立のための必要条件ではないといえる。

Decker/Wohar 的状況において推奨されるポリシー・ミックスを実施した場合の総生産・利子率の動きを表した位相図が図 17 である。時刻  $\bar{t}$  以降、総生産  $Y$  と利子率  $r$  は旧均衡点  $(Y_1^*, r_1^*)$  から右上方に動いて新均衡点  $(Y_2^*, r_2^*)$  に収束する。ただし、その移行経

<sup>\*10</sup> 煩雑化をさけるため、LM<sub>1</sub> は描いていない。

路と EE 曲線との位置関係は、総生産および利子率の調整速度  $\varphi_Y, \varphi_r$  の大小により左右される。一般的に利子率の方が総生産よりも調整速度が大とされているが、その差が大である場合、移行経路は緑の曲線のように EE 曲線の左上側を通り、その差が小である場合、移行経路は青の曲線のように EE 曲線の右下側を通る。このことを考慮すると、各変数の時間的変化を図 18 から図 23 のようにまとめることができる。政府支出  $G$  および貨幣供給量  $M$  は時刻  $\bar{t}$  において、それぞれ上方・下方へジャンプする。総生産  $Y$  は、時刻  $\bar{t}$  以降、単調に増加して旧均衡値  $Y_1^*$  より大である新均衡値  $Y_2^*$  に収束するが、調整速度の差が大であれば収束は遅くなる。利子率  $r$  も、時刻  $\bar{t}$  以降、単調に増加して旧均衡値  $r_1^*$  より大である新均衡値  $r_2^*$  に収束するが、調整速度の差が大であれば収束は速くなる。環境利用量  $e(r)Y$  は、調整速度の差が大であるとき、 $(Y, r)$  が EE 曲線の左上側を通過して EE 曲線上に収束することより、旧均衡値  $e(r_1^*)Y_1^*$  より小さい値に落ち込んだ後で増大し、 $e(r_1^*)Y_1^*$  と同一水準の新均衡値  $e(r_2^*)Y_2^*$  に収束する。他方、調整速度の差が小であるとき、 $(Y, r)$  が EE 曲線の右下側を通過して EE 曲線上に収束することより、旧均衡値  $e(r_1^*)Y_1^*$  より大きな値に増えた後で減少し、 $e(r_1^*)Y_1^*$  と同一水準の新均衡値  $e(r_2^*)Y_2^*$  に収束する。環境ストック  $E$  は、調整速度の差が大であるとき、環境利用量が旧均衡値  $e(r_1^*)Y_1^*$  より小さくなって、その後も  $e(r_1^*)Y_1^*$  を超えることがなく、環境ストックの成長量  $\sigma E$  を超えることがないため、単調に際限なく増加していく。他方、調整速度の差が小であるとき、環境利用量が旧均衡値  $e(r_1^*)Y_1^*$  より大きくなって、その後も  $e(r_1^*)Y_1^*$  を下回ることがなく、環境ストックの成長量  $\sigma E$  を下回ることがないため、単調に減少しそのまま消失していく。

以上より、Decker and Wohar(2012) の推奨するポリシー・ミックスの帰結を動学的に分析すると、環境ストックの変動については、総生産および利子率の調整速度の大小によって、劇的に異なる結果が生じることが判った。Decker/Wohar 的状况においては、財政当局と金融当局が協力して拡張的財政政策と緊縮的金融政策を精確に組み合わせたとしても、調整速度の差が小である場合、総生産は増加するが環境ストックは消失していく。したがって、EE 曲線上に新しい均衡点を位置させるよう精確に財政政策と金融政策を組み合わせることが経済成長と環境保全の両立のための十分条件ではないといえる。

## 5 結び

本稿では、Heyes 型 IS-LM-EE モデルを動学的に拡張し、政府支出および貨幣供給量の外生的変化が総生産・環境利用量および環境ストックの時間経路に与える影響に焦点を当て、比較静学分析の結果を根拠とする Heyes(2000) および Decker and Wohar(2012) の推奨政策の妥当性について検討した。その結果、財政政策・金融政策のポリシー・ミッ

クスにより、新均衡点に対応する環境利用量を EE 曲線上に位置させるように均衡総生産を増大させるという Heyes(2000) および Decker and Wohar(2012) の推奨政策は、経済成長と環境保全の両立のための必要条件でも十分条件でもないことを確認した。

Heyes(2000) では、自然環境と人工資本が代替的であるケースにおいて拡張的金融政策を単独で実施すると、たとえ政策規模が小であっても新しい均衡点が EE 曲線より右側に位置するため、均衡総生産は増加するが環境ストックは消失すると考えられていた。しかしながら、本稿の動学的モデルで時間経路を確認すると、均衡総生産が増加するとともに環境ストックが単調に際限なく増大することが判った。これにより、ポリシー・ミックスによる新均衡点の EE 曲線上への誘導は、経済成長と環境保全の両立に必ずしも必要ではないといえる。

Decker and Wohar(2012) では、自然環境と人工資本が補完的であるケースにおいて拡張的財政政策と緊縮的金融政策の精確な組み合わせにより新均衡点を EE 曲線上に誘導すると、総生産の増大と環境ストックの維持が両立されると考えられていた。しかしながら、本稿の動学的モデルで時間経路を確認すると、利子率の調整速度と総生産の調整速度の差が小である場合、均衡総生産は増加するが環境ストックは消失することが判った。したがって、ポリシー・ミックスによる新均衡点の EE 曲線上への誘導は、経済成長と環境保全の両立に十分ではないといえる。

以上のように、Heyes 型 IS-LM-EE モデルを動学的に拡張して各変数の時間経路を実際に検証すると、環境ストックの動きについては、比較静学分析から類推できる結果と大きく異なっている。このような齟齬は、同モデルが採用している環境ストックの運動方程式の均衡点が不安定であるにもかかわらず、比較静学分析を適用していることにより生じている。よって、今後の IS-LM-EE モデルに関わる研究の発展の方向性として、以下の二つが考えられる。

一つは、現在採用している環境ストックの運動方程式はそのまま維持し、比較静学分析に頼らず政策的含意を導くことである。本稿では位相図を使った定性的な考察に終始したが、財政政策および金融政策のさまざまなシナリオについて数値解析を実施し、各変数の時間経路を定量的に比較すれば、より具体的な政策提言が可能であろう。

もう一つは、現在採用している環境ストックの運動方程式そのものを見直すことである。この運動方程式に従えば、環境ストックは人間の利用がなければ等比級数的に増大するが、生物圏が有限であり環境容量に上限があることを思い起こせば、楽観的な粗視化に過ぎるだろう。また、自然環境と人工資本との代替的・補完性についても、集計的生産技術に基づくより緻密な定式化が必要であろう。

## 参考文献

- Blanchard, Olivier (2017) *Macroeconomics*, Seventh Edition, Pearson Education.
- Chang, Winston W. and David J. Smyth (1972) "Stability and Instability of IS-LM Equilibrium," *Oxford Economic Papers*, New Series, 24 (3), 372-384.
- Daly, Herman E. and Joshua Farley (2011) *Ecological economics: principles and applications*, Second Edition, Island Press.
- Decker, Christopher S. and Mark E. Wohar (2012) "Substitutability or Complementarity? Re-visiting Heyes' IS-LM-EE Model," *Ecological Economics*, 74, 3-7.
- Hands, D. Wade (2010) "The Phase Diagram Technique for Analyzing the Stability of Multiple-market Equilibrium," in M. Blaug and P. Lloyd, eds., *Famous Figures and Diagrams in Economics*, Edward Elgar, 280-285.
- Heyes, Anthony (2000) "A Proposal for the Greening of Textbook Macro: 'IS-LM-EE'," *Ecological Economics*, 32, 1-7.
- Lawn, Philip A. (2003) "On Heyes' IS-LM-EE Proposal to Establish an Environmental Macroeconomics," *Environment and Development Economics*, 8, 31-56.
- Mankiw, N. Gregory (2019) *Macroeconomics*, Tenth Edition, Worth Publishers.
- 宮尾龍蔵 (2017) 『コア・テキスト マクロ経済学』 第 2 版, 新世社.
- 斎藤謹造 (1977) 「国民所得 (マクロ分析)」, 二階堂副包 編『数理科学シリーズ 14 経済の数理』 第 2 章 (10~41 頁) 筑摩書房.
- Shone, Ronald (2002) *Economic Dynamics: Phase Diagrams and their Economic Application*, Second Edition, Cambridge University Press.
- Sim, Nicholas C. S. (2006) "Environmental Keynesian Macroeconomics: Some Further Discussion," *Ecological Economics*, 59, 401-405.
- 吉川洋 (2017) 『マクロ経済学』 第 4 版, 岩波書店.

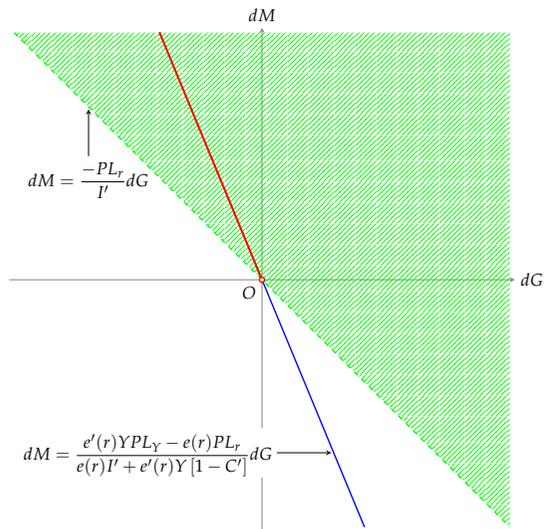


図1 Heyes (2000) のポリシー・ミックス

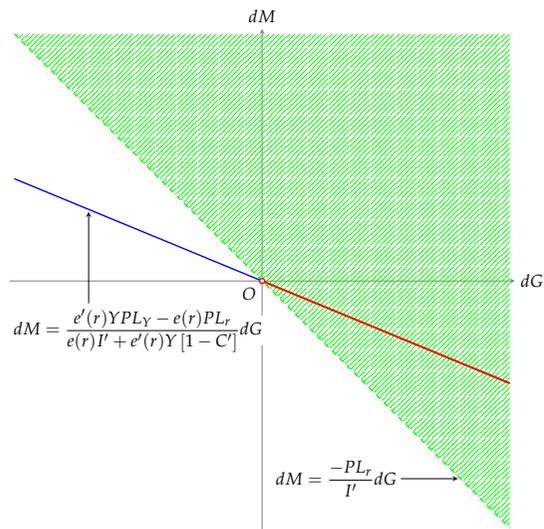


図2 Decker and Wohar(2012) のポリシー・ミックス

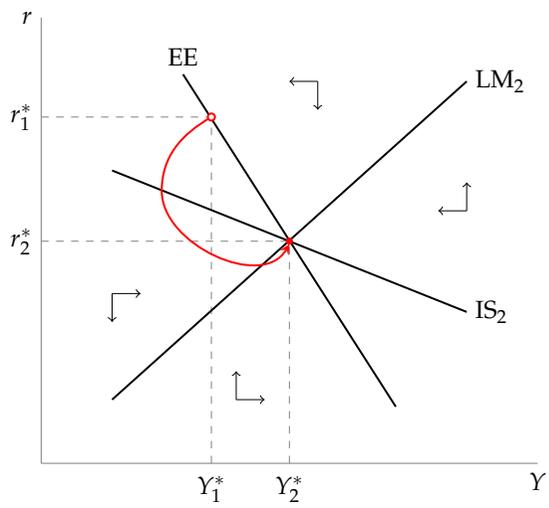


図3 Heyes (2000) の位相図

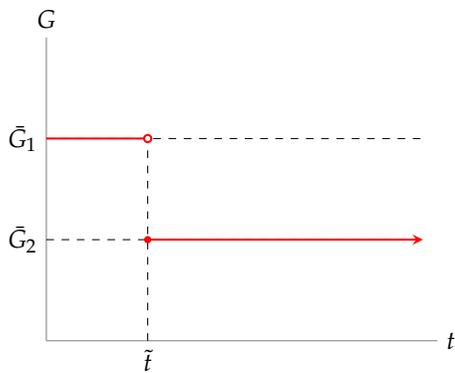


図4 Heyes(2000)における  $G$  の動き.

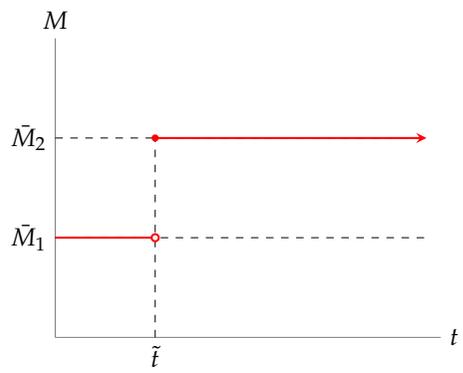


図5 Heyes(2000)における  $M$  の動き.

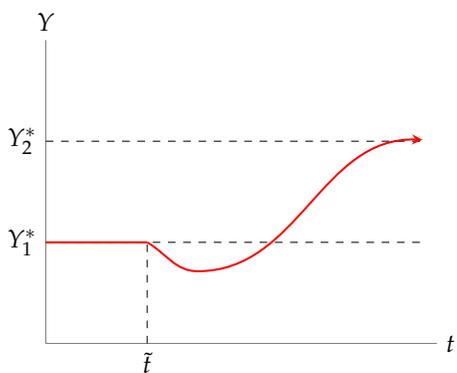


図6 Heyes(2000)における $Y$ の動き.

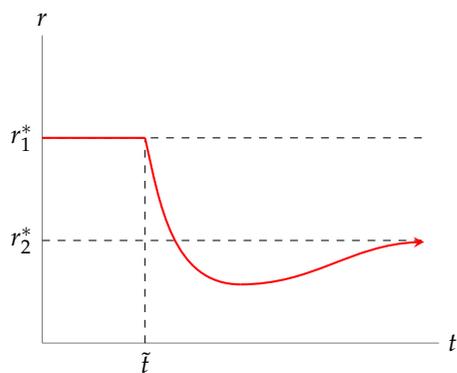


図7 Heyes(2000)における $r$ の動き.

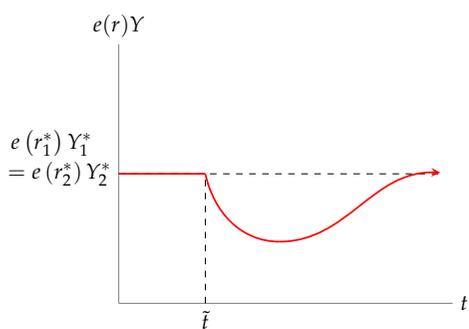


図8 Heyes(2000)における $e(r)Y$ の動き.

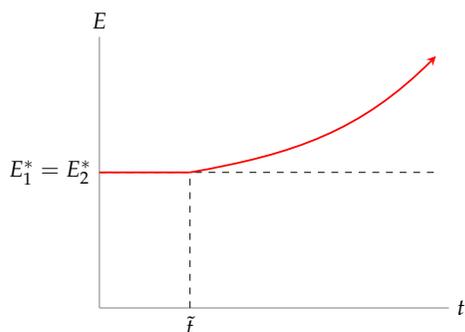


図9 Heyes(2000)における $E$ の動き.

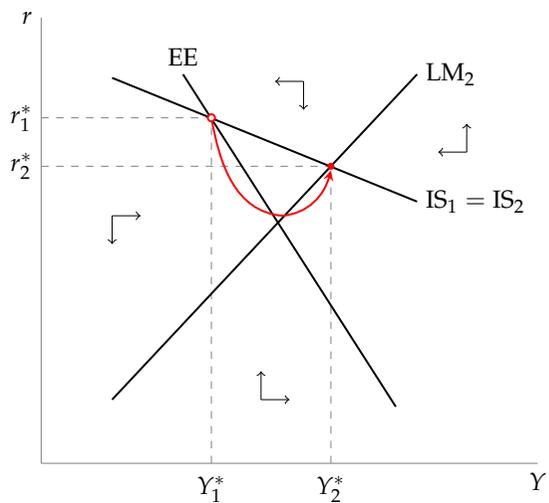


図 10 Heyes 的状況で金融政策のみの位相図

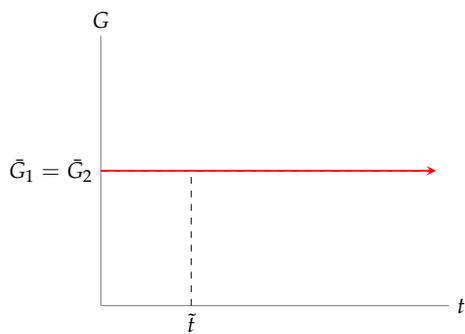


図 11 Heyes 的状況で金融政策のみの  $G$  の動き.

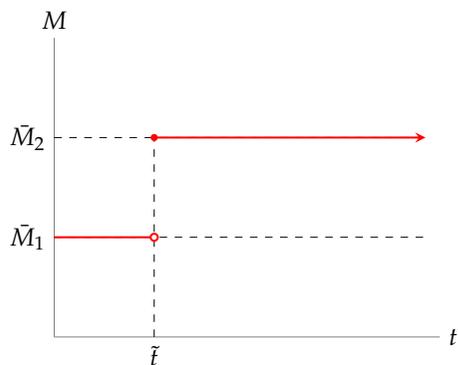


図 12 Heyes 的状況で金融政策のみの  $M$  の動き.

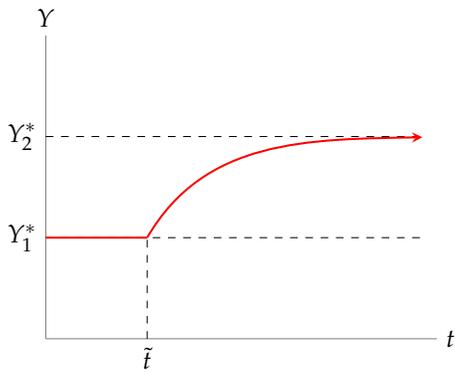


図 13 Heyes 的状況で金融政策のみの  $Y$  の動き.

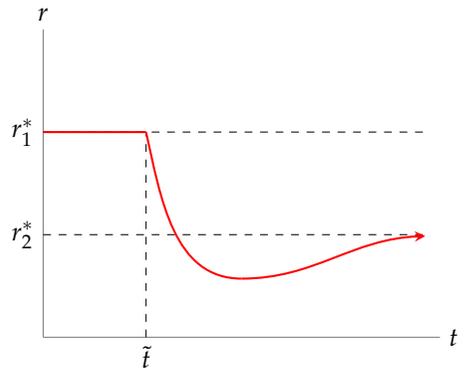


図 14 Heyes 的状況で金融政策のみの  $r$  の動き.

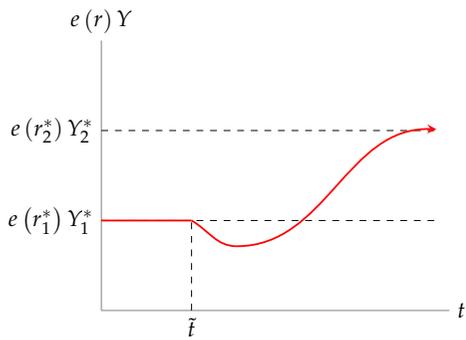


図 15 Heyes 的状況で金融政策のみの  $e(r)Y$  の動き.

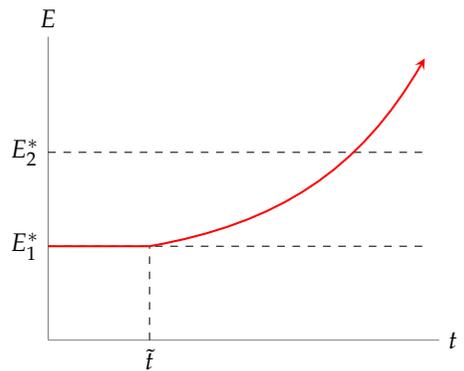


図 16 Heyes 的状況で金融政策のみの  $E$  の動き.

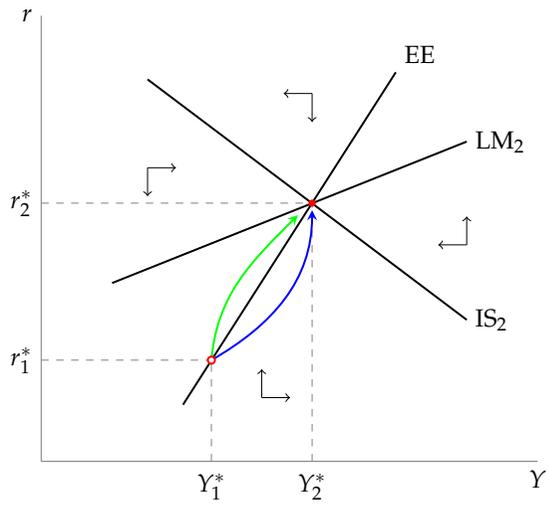


図 17 Decker and Wohar(2012) の位相図

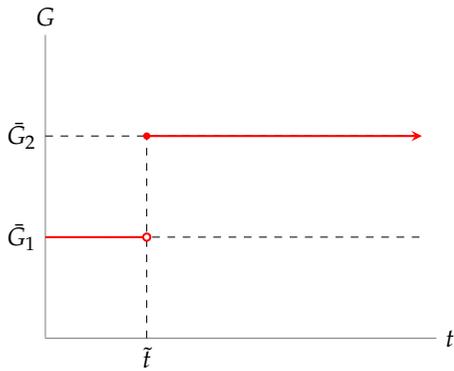


図 18 Decker and Wohar(2012) における  $G$  の動き.

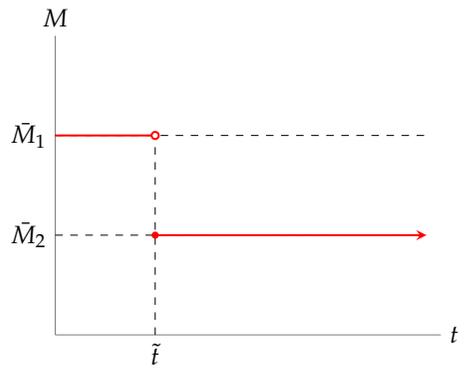


図 19 Decker and Wohar(2012) における  $M$  の動き.

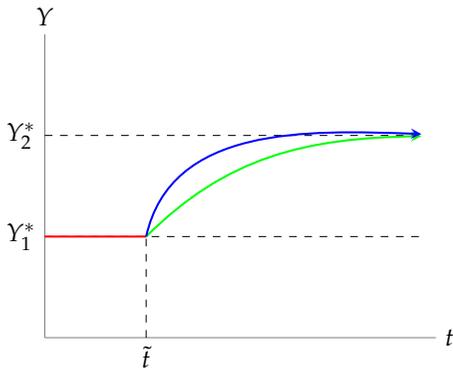


図 20 Decker and Wohar(2012) における  $Y$  の動き.

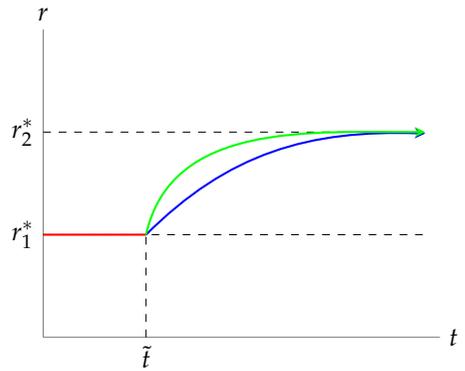


図 21 Decker and Wohar(2012) における  $r$  の動き.

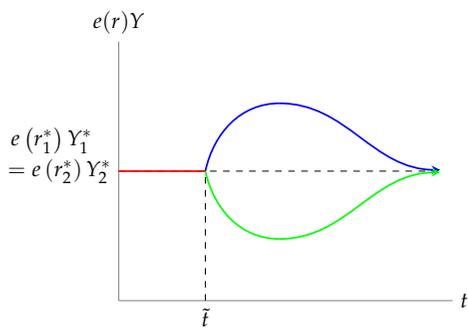


図 22 Decker and Wohar(2012) における  $e(r)Y$  の動き.

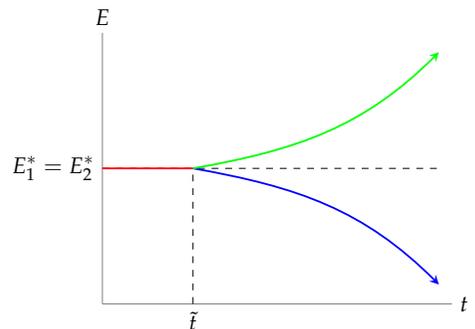


図 23 Decker and Wohar(2012) における  $E$  の動き.

