

# 変動期における経済予測と シミュレータの開発

## The Development of Simulating Machine for the Projection of an Uncertain Future

室 田 泰 弘

We have been developing a new kind of software (eYosoku) for the projection of an uncertain future. We start from the view point that current economic theory and projection methods are based on the implicit assumption of global stability. We discard this assumption and develop a new kind of simulating machine based on the assumption that nothing is clear about the future. We employ IA (Intelligence Amplifier) method to develop this software.

Yasuhiro Murota

JEL : C53

キーワード : 経済シミュレーション、予測ソフト、前方推論方式、モデルのサロゲート化

Keywords : economic simulation, projection software, forward reasoning method, surrogate model

### 0. 概要

2017年2月に、イングランド銀行のチーフエコノミスト・ハルデーンは、英国政府との公式会議で、「現在エコノミストが利用している経済モデルは予測に役立たない」と言明し、その原因は、単なるモデル上の技術的問題ではなく、現在の経済学自体の在り方にあると指摘した (Chris [2017])。

これはエコノミストにとって重大な指摘だ。なぜかといえば、経済学の実用的価値に疑問符がつけられたからだ。経済予測は、経済学の応用分野であり、本来、理論と統計的推定に基づいた“精密なモデル”が、もっとも予測に役立つ

つはずだ。もしそうでなければ、何のために経済学の研究に大量の資源を投じるかが分からなくなる。

本稿では、ハルデーが指摘した問題とそれに対する筆者なりの解を、2つの方向から示す。第一になぜ現在の経済学が実用性を失ったかを、社会変化への非適応という視点からみていき、オルタナティブな見方を提示する。第二に、現在の状況にふさわしい経済予測の方法として、コンピュータの計算能力と人間の認知能力を組み合わせた IA (Intelligence Amplifier) 手法を提唱する (e 予測)。現在この手法に基づくソフトが開発中であり、その仕組みについて簡単に触れる。

以下第 1 節では経済構造が安定期から変動期に入ったことの説明を行う。第 2 節では、その背景にある構造変化を、ゴードン仮説を用いて説明する。第 3 節では、安定期を前提とした経済学がなぜ変動期に役立たないかを、大域的安定性想定の妥当性などから見ていく。第 4 節では、経済学のオルタナティブな見方を、プラトニスト的観点とヘラクレイトス的観点という 2 つの見方を対峙させることにより、明らかにする。第 5 節では、変動期に役立つ予測手法として、現在開発中の e 予測を紹介する。第 6 節は、議論のまとめと今後の展望である。

## 1. 変動期に入った現代経済

### 1.1 安定期の認識と経済学の役割

21 世紀に入って、特に 2008 年の金融危機以降、先進国経済は安定期から変動期に突入した。変動期とは、一つのレジーム (定常状態) から別のレジーム (定常状態) ヘシフトする過程で生じる過渡期のことである (川崎等 [2007])。

ここでは、ゴードン仮説に基づき、安定期を 20 世紀後半から 2008 年の金融危機まで続いたレジームとする (Gordon [2012], [2014])。このレジームにおいては、産業革命の成果を生かして、先進国では持続的な経済成長が続いた。この安定期を象徴する言葉はいくつかある。

代表的なものは、ゴルディオロックス・エコノミーや NICE (noninflationary

consistently expansionary) だろう。ゴルディロックス・エコノミーとは、“インフレもデフレもなく、適度な成長を達成する経済状態”のことを言う。NICEは、イングランド銀行総裁マービン・キング（当時）が英国経済の繁栄を謳歌する際用いた言葉である（Faust and Leeper [2015]）。

今から思えば思い上がりとも言えるが、経済学者は、この安定期は、経済学の進歩によって実現されたと考えた。典型的なのは、バーナンキの「偉大なる中庸論」（the great moderation）である（Bernanke [2004]）。

「過去 20 年のアメリカ経済動向を見ると、マクロ経済の変動（景気循環）が大幅に縮小し、不況の頻度と厳しさが減ったことが見て取れる。これは、主として経済学の進歩によって生じた。つまり経済学者の経済構造に対する理解が深まり、これによって経済を望ましい状態に制御できるようになった。この状態を“偉大なる中庸”と呼ぶ」。

さらにブランシャール（Blanchard [2008]）やラジアー（Lazear [2000]）はこの議論を一步進めた形で、経済学の他の社会科学に対する優越性を説いた。これが金融危機直前の経済学者の主たる見方だった。

## 1.2 金融危機の発生と経済学の枠組みの動揺

しかし 2008 年に金融危機が生じるとこうした楽観論は急速に影を潜める。バーナンキは議会証言で、「金融危機は避けられなかったのか、何らかの予兆はなかったのか」という議員の質問に対し、「よくわからない」と答えて、周囲にショックを与えた（2009 年 11 月）。この点をバーナンキは以下のように述懐している。

「これまで多くの秀才が難しい統計やモデルを用いて将来予測を試みてきた。その結果は失望的である。経済予測は、気象予測と同じく極めて複雑でランダムショックで振られがちなシステムを対象としているからだ」（Bernanke [2009]）。

この指摘は、その後も基本的に改善されることなく、冒頭に述べたイングラント銀行ハルデーンの、既存モデル不信論につながったといえる。どのような理由で、金融危機以降、経済モデルの無力化が生じたのだろうか。ここではその理由を、『既存の経済学が経済の安定期を前提とした構造になっており、安定期の終焉とともにその有効性が失われた』点に求める。

## 2. 安定期を実現した要因とその消失

安定期の終焉は、産業革命の成果の息切れによる経済成長の失速によってもたらされた。この点を、ロバート・ゴードンの「アメリカの経済成長は終わったか」をもとに見ていく (Gordon [2012], [2014])。

ゴードンは、過去数世紀にわたるアメリカの生産性の推移を検討し、21 世紀初頭に、先進国における持続的な生産性上昇の時代は終わったことを見出した。

それは二つの理由による。第一は、過去 120 年間の生産性の伸びは、主として第二次産業革命とその延長版によってもたらされたということだ。その効果が薄れ始めると、成長は減速へと向かわざるをえない。したがって、これまでわれわれが享受してきた成長の持続は、長期的にみれば、一回限りのものだということになる。ノードハウスは、これを「特別な世紀」と呼び、持続的な生産性上昇が特殊な時代であったことを確認している (Nordhaus [2016])。

ゴードンの今後の成長鈍化に関する第二の理由は、今後は「成長への逆風」が吹くということだ。これまで続いた高成長の負の遺産が顕在化し、それが成長にマイナスに働く。たとえば、豊かさに伴う生産人口の減少などの人口要因、教育の質の低下、所得不平等の進行、政府債務の累積、環境問題の顕在化などがそれにあたる。

しかしながら経済学においては、「特別な世紀」が永久に続くものと思い込み、それを暗黙の前提として体系が組み立てられてきた。たとえば経済成長論や、最適成長論などはその典型例だ。安定成長の背景には、効率市場が存在する。こうしてマクロ経済の動向もミクロの最適理論から説明が試みられるようになった。しかし、ゴルディロックス・エコノミーは永遠に続くわけではない。この問題に気付かされたのが、2008 年の金融危機だったと言えよう。

ゴードンの議論はアメリカ経済を対象としているが、その結論は先進国一般に当てはまる。つまりゴードンの分析は、先進国一般における安定成長期の終焉を示唆したといえる。

### 3. 安定期の終わりと転換迫られる経済学

経済学とは、ラジアーの考えるように、いつの時代にも有効性を発揮する超時代的な（言い換えれば物理学のような）存在ではなく、その時代に則した見方を与えるものにすぎない。20世紀後半に主流を占めた経済学の分析手法は、「特別な世紀」の分析には有用だった。しかしそれは、変動期に入ると、急速に有用性を失う。その結果が金融危機におけるFRBモデルの機能不全などであり、ハルデーは、それが単なる技術問題ではなく、経済学の在り方そのものが問われていることを主張している。

したがってわれわれは変動期にふさわしい経済分析と予測の手法を見出さねばならない。その前に、まず安定期の経済学の骨格を振り返ることにする。

#### 3.1 安定期の経済学の骨組みをなす一般均衡論とその問題点

安定期の経済学は、ミクロ経済学もマクロ経済学（いわゆるモダン・マクロ）も一般均衡論を基盤として持つ。一般均衡論は以下のような基本想定（公理）に基づいている。

- (1) 経済システムが均衡体系であることを想定。つまり単一で大域的安定な均衡の存在を前提とする（公理 1）。
- (2) 個々の経済主体（生産者、消費者）は制約条件のもとで最適化行動を取る。これは、価格機構を通じて社会全体の最適化をもたらす（公理 2）。
- (3) 完全予見を前提としている（公理 1A）。これは（公理 1）の裏返しでもある。つまり均衡の大域的安定が保証されれば、一時的なかく乱を除いて、経済システムは安定均衡に留まる。このシステムは時間に依存しないので、完全予見が可能になる。

こうした想定の下に、現在のマイクロ経済学は構築されている。しかしそこには三つの問題がある。第一は、こうした公理群の上に論理構造を組み立てるという思考様式自体である（公理主義アプローチ）。第二は、大域的な安定均衡（単一な安定均衡）を前提としていることの非現実性である。第三は最適性の仮定の妥当性である。

さらにモダン・マクロに関しては、各主体の最適性と集団全体の最適性の関係が不明確という、もう一つの問題がある。以下この四点についてふれる。

### 3.2 一般均衡論と公理主義

公理主義とは、数学者のヒルベルトが 1918 年に唱えた学説（Axiomatische Denken）で、少数の基本命題を公理として置いたうえで、それからすべての命題を証明するやり方である。この考え方自身は、ゲーデルの不完全性定理（1929 年）によって、そのままでは成り立たないことがすでに証明されている。にもかかわらず、この“思想”（考え方）の他分野への影響は大きかった。物理学でも数学でも、公理主義に基づく体系の統合化が試みられた。経済学においても、公理主義は大きな影響を有した。それは数学の公理主義化を通じてである。

数学の公理主義化の試みはフランスで発達した。彼らはブルバキ派と呼ばれ、公理主義に基づく教科書の編纂を試みた。このブルバキ派の数学をエコールノルマル・スペリエールで学んだのが、1954 年にアローと共著で一般均衡の存在を証明したデブルーである（Arrow & Debreu [1954]）。一般均衡の存在を証明する際にデブルーが用いた手法は、公理主義である<sup>1)</sup>。安定期の経済学はかくして公理主義の枠組みのもとに構築された。ラジアーは、（安定期の）“経済学の成功”は公理主義によるものだったと主張している（Lazear [2000]）。

ではなぜ公理主義に基づく命題の展開が問題なのだろうか。その理由は、公理主義に基づく議論が、閉じた体系であり、そこから新たな視点を生み出すことはできないからだ。この点を、不完全定理を証明した数学者のゲーデルは、

1) たとえば Debreu [1983] では、巻頭にヒルベルトの Axiomatische Denken からの引用が記されている。

「体系内では表現できない命題が生じ、それは“直観”で補う必要がある」と述べている（高橋 [2013]）。つまり公理主義に基づく経済学は、その一貫性ゆえに、基本想定が妥当性を失うと、それに対応できず、一種の空集合に転じる。変動期には、ラジアーの指摘する学問体系としての強みが、一転して弱点に転じることになる。

### 3.3 一般均衡論と大域的な安定均衡の存在に関して

3.1に見たように、一般均衡を支える公理 1 は経済システムの単一で大域的な安定を想定する。しかし一般均衡論自体では、この公理は保証されていない。つまり大域安定性は、応用経済学における便宜的な想定にすぎない。

アローとデブルーは、一般均衡の存在は証明したが、解の単一性と安定性は証明していない。安定性に関しては、むしろ逆で、スカーフが大域的不安定性をもたらす例を示している（Scarf [1960]）。これは一般均衡論の最大の弱点とされている（Ingaro and Israel [1990], p29, 296）。つまり一般均衡論は、そのままの形では、（比較静学などの）政策分析には利用できない。したがって、一般均衡を実用向けに、安定系に納めるためには、粗代替性などの特殊な条件を付け加える必要がある（Arrow, Block, Hurwicz [1959]）。

近年 CGE（コンピュータ化された一般均衡モデル）が一般に使われるようになり、政策論議にも用いられるようになってきている。しかし CGE の利用にあたっては、上に挙げた問題が解決されずに、そのまま残っていることに注意する必要がある。

「もし一定のパラメータ群に対して、一つ以上の解が存在するなら、比較静学分析は破綻する。（これは）大域的安定性:粗代替性という非現実的な仮定を置かないと達成されない。・・・現在多くの研究者がスカーフのアルゴリズムを使い、一般均衡モデルの枠組みで政策決定の吟味をしている。しかしこうしたほとんどのモデルでは、得られた均衡が単一であるかどうかを検証する方法はない。しかももっとまずいことに、税、価格硬直性、失業などを入れたモデルでは多重解の可能性はより一般的である」（Kehoe [1985], P326）。

### 3.4 最適化行動想定の妥当性

一般均衡の公理 2 は、生産者や消費者という経済主体が制約条件下で最適化行動を取ることを想定する。この公理も以下に見るように、その妥当性が問われている。

最適化の想定は、意外にそのルーツが古く、モーペルテュイ (1698-1759) の「最小作用の原理」に端を発する (Ekeland [2000])。現在ではこの説は誤りであることが知られている。しかし公理主義と同様、最適化想定も、“思想”として現在でも生き延びている。

しかもこの最適化仮説はあまり実証的背景を持たない。心理学者のシュワルツは、人間が最適行動を取るという想定は現実的でないことを実証している (Schwartz et al [2002])。その主たる原因は、人は選択肢が多すぎると最適化処理できなくなることによる。

### 3.5 ミクロとマクロの問題

成長論の開祖ソローは、ミクロ理論をマクロ経済学の基盤として用いるいわゆるモダン・マクロに厳しい目を向けている (Solow [2008])。

モダン・マクロが理論の堅固な土台の上に立つという主張は、誤りである。またモダン・マクロの論理構造は、①単一の消費者 (=労働者) が、完全予見 (もしくは合理的期待形成のもとに) 無限の将来にわたって効用関数を最大化する、②技術革新などのショックは市場メカニズムで吸収される、という形を取る。

しかし現実のマクロ経済は、消費者、労働者、年金受給者、中小企業者、経営者、企業家、銀行家など様々な主体から成り立つ。そして彼らの相互作業がマクロ経済に変動をもたらす。こうした要因を無視することは、単なる抽象化として片づけられる問題ではない。

ラムゼーモデルは健全なミクロ基盤ではない。モダン・マクロ派は、自らの抽象過程を妥当なものとして主張するかもしれない。しかし SMD 定理のあることを忘れてはならない<sup>2)</sup>。

---

2) Sonnenschein-Mantel-Debreu 定理 (SMD 定理) : ミクロな最適行動 (消費者は効用を最大化し、企業は利潤を最大化) を認めたとしても、それはマクロの集計量では実現されない。(Rizvi [2005])。

## 4. 変動期の経済学と経済予測

### 4.1 経済現象を分析する2つの視点

以上、安定期を分析する経済学の基盤として一般均衡論が存在したこと、しかしその依って立つ公理や想定は、それほど強固な基盤の上にはなく、特にその分析枠組みは変動期にはふさわしくないことを見てきた。

では変動期の経済学はどのようにあるべきだろうか。ここで視点を少し変えてみることにする。遺伝学者のルウォンティンは、科学分析の視点に二つのタイプがあること指摘した (Lewontin [1974])。

第一は、世界を基本的に平衡状態にあるとみる見方である。かりに外部からかく乱が働いても、全体がうまく働いて、世界はオリジナルな均衡に戻る。このタイプの見方を取る学者を、彼はプラトンにちなんでプラトニストと名付けた。

第二は、世界を、構成する物質が絶えず変化し続けるプロセスとしてみる見方である。このタイプの見方を取る学者をヘラクレイトスにちなんで、彼はヘラクレティアンと呼んでいる。

じつは安定期の経済学の背景にあるのは、一般均衡すなわちプラトニストの見方である。これは安定期の経済を分析するには有用な見方だが、変動期の経済の分析視点としては、あまり役立たない。変動期には、万物は流転するというヘラクレティアンの見方が役に立つことになる。

### 4.2 時間軸の導入と歴史の存在

では経済学において、プラトニストの見方からヘラクレティアンの見方への転換をするためには何が必要か。一般均衡論においては、市場メカニズムによって単一均衡が達成されていると仮定されており、仮にかく乱があっても、安定系なので、元の状態に戻ることが想定されている。したがってそこに時間軸の入る余地はない。つまりこの体系の下では、過去と現在、そして将来を区別するものはない。

哲学者カール・ポパーは、このような見方を、「科学決定論」と名付けてい

る (Popper [1999])。ポパー自身は、こうした決定論には全く根拠がなく、過去と未来は非対称であると述べている。つまり過去は閉じており、未来は開かれている (非決定論)。つまりヘラクレティアンの見方が人間社会の本質であるとみるのである。この見方をとれば、そこには時間の流れ (歴史) というものが存在する。これは、人間社会において、①時間が一方向に流れ、②その過程は非可逆であり、その経路は将来において分岐することを認めることでもある。これは数学的に言うとは非平衡領域を認めることになる (藤坂 [1998])。非平衡現象と時間の流れの関係について、統計力学の専門家イリヤ・プリゴジン は以下のように述べている。

「非平衡過程の物理学は一方向的な時間をもたらす効果を記述し、不可逆性に対して新しい意味を付与した」 (Prigogine [1997])。

人間社会の非平衡現象に目を向けると、実はもうひとつ面白い問題が存在する。それは、一個人が人間社会全体の未来選択 (ネクスト・レジーム) に果たす役割についてである。非平衡現象はいわゆるカオスの淵で生じる。そこでは自己組織化という例外事象が生じるが、この現象が生物や人類の進化にかかわることになる (Kaufman [1995])。つまりごく少数の例外的な遺伝子 (生物の場合) やビジョナリー (人間社会の場合) が環境の変化とともに、新たな社会を展開するのに中心的な役割を果たし、人間社会や生物の進化に役立つことになる。ちなみに現在主流となっている経済学においては、個々の主体がマクロの動向に大きな影響を与えることはない。

#### 4.3 ヘラクレティアンの見方と経済予測

プラトニストの見方の場合の予測の論理は簡単である。経済構造が安定しているのだから、その構造を実績データに基づいて推定し、システム外で決まる外生条件を与えることによって、予測結果が計算されることになる。つまりポパーのいう科学決定論が成り立つ領域である。しかし正確に言えば、これは予測ではない。安定システムが、外生条件の変化したとき、たどる軌跡を示すに

過ぎない。ここには時間概念は入って来ない。

ヘラクレティアン的見方の場合はこうはいかない。将来が過去の延長上にないとき、どのような形で将来を見通していけばよいのか。これには二つのやり方がある。第一は、現在の知識に基づいて、レーダー走査のような形で将来の可能性を探索する方式である。これを前方推論方式と呼ぶ。第二は、レジームシフト後の社会に関する将来ビジョンを提示し、それに基づいて将来像を構築することである。これはビジョナリーの役割だろう。変動期の経済予測は、この二つが組み合わされることによって実現される。

#### 1) 前方推論方式 (forward reasoning) に関して

前方推論方式は、政治学者のバーンスタインが提唱した方式である (Bernstein et al [2000])。これは、未知の将来を論理的にとらえるために、将来を形成する様々な事象の連鎖の流れを見出すことで、将来の経路を見出していくやり方である。一種のシナリオライティングともいえるが、そのプロセスに探索プロセスを明示的に含めていることが、従来のシナリオライティングの手法と異なる。つまり様々な事象の原因と結果をつないでいくことによって、複数の将来経路と分岐を浮かび上がらせるのが、この方式の特徴である。

具体的な作業手順は以下ようになる。

- ①将来を実現する駆動力 (driving force) を判別する。
- ②事前に決定される要因 (predetermined elements) を判別する。いわば社会の安定的なトレンドといってもよい。
- ③重要な不確実性 (critical uncertainty) を判別する。
- ④ワイルド・カードの判別を行う。これは分岐を生じる要因で、それが生じることによって、すべてのプロットがひっくり返るような事象のこと。
- ⑤以上を組み合わせで将来への道筋を、分岐を含めて複数プロットする。
- ⑥導かれた複数の将来経路のもつ含意を検討し、そこで生じる問題点とその可能性を検討する。

## 2) 将来ビジョンの設定に関して

本稿の初めに、現在は安定期というレジームの終焉期にあたることを述べた。この場合、先を見通すためには、次なるレジームの明確化すなわちビジョンが必要になってくる。

人間は、これを模索し、様々な仮説を提示することができる。ポパーのいう「人間の自由と創造性」である (Popper [1999]、p170)。

今回の変動期の場合、筆者は、次のレジームを特性づけるのは IT 革新であるとみている (Brynjolfsson et al [2015])。具体的には、

- ・ IT 革新の駆動力は、ムーアの法則とネットワーク化の進行である。
- ・ IT 化の進展により、市場や価格の果たす機能は狭まる (フリーの時代)。
- ・ IT 革新は、国民国家の枠組みを形骸化させる。

いずれにせよ、ネクスト・レジームに関するビジョンの定立は不可欠であり、これを実現するのが、いわゆるビジョナリーと呼ばれる人々だろう。

## 5. 変動期の経済予測に役立つシミュレータの開発

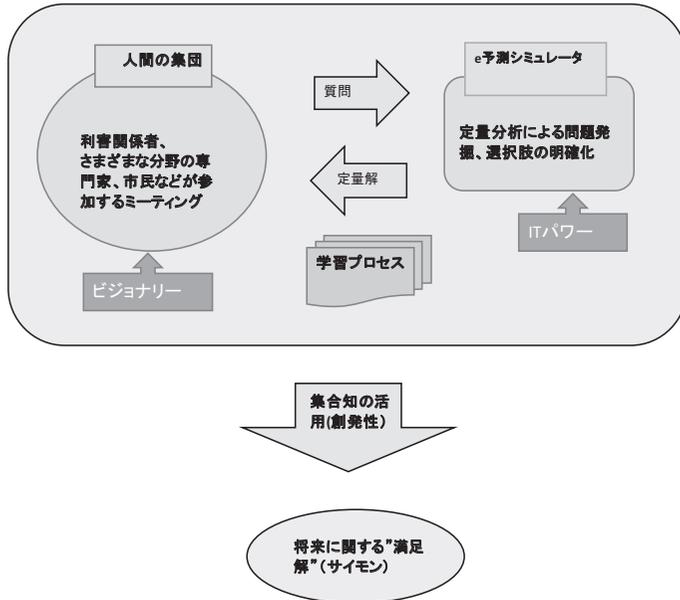
筆者は、以上を踏まえて、変動期の経済予測を行う仕組みとしてシミュレータ (e 予測) を開発中である。これはモデルを用いて前方推論し、それに人々の衆知を組み合わせることによって未来の道筋を模索する仕組みである。

その特色は二つある。第一は、マン・マシン型であること、第二はモデルを高速に解くため、サロゲート化技法を利用していることである。

### 1) マン・マシン型のシミュレータ

その仕組みを図に示す。

### 変動期の経済予測システム



このシミュレータは、人間とコンピュータが補完しあって未来を探索するIA型 (Intelligence Amplifier) である (Vinge [1993])。つまりコンピュータによる高速シミュレーションと人間の創意を組み合わせることで将来予測を行うおうとするものである。

つまり人間が知恵を絞って将来のビジョンを描き (ビジョナリー)、他方でマシンが前方推論方式による将来像を探索する。両者を組み合わせながら、未知の将来への道筋を見出していくのである。

#### 2) モデルのサロゲート化

このシミュレータはリアルタイムに大規模なモデルを解くために、サロゲート・テクニックを用いている。サロゲート化とは、複雑な事象を、ある程度近似化することにより高速に解を求める計算手法である (Gorissen et al [2010])。

今回のモデルは 2025 年までの世界経済・日本マクロ・日本産業構造が、瞬

時で解けるようになってきている。大規模で複雑なモデルを解くためには、これまでのやり方では、モデル運用や計算結果の整理・解釈に時間と人手がかかる。その点をプログラムで克服し、リアルタイムに解を得るための手段がサロゲート化である。

## 6. 終わりに

以上、21 世紀に入って先進国経済が変動期に入ったこと。変動期には、それに適した経済学と経済予測の手法が必要であることを見てきた。

筆者は、変動期の経済予測にふさわしいシミュレータ (e 予測) を開発中である。このソフトは、2017 年後半には一般公開予定である。

先を読むのに難しい時代だが、こうしたときこそ、様々な知恵を生かした、衆知を集約する媒介メカニズムとしてのマンマシン・システムを開発する意味があるのではないだろうか。

### 参考文献

- Adner R. and Levinthal D. [2004] What is not a real option: considering boundaries for the application of real options to business strategy, *Academy of Management Review*, Vol.29 No.1
- Arrow K.J., Block H., Hurwicz L. [1959] On the Stability of Competitive Equilibrium II”, *Econometrica*, Vol.27, pp82-109
- Arrow K.J. & Debreu G. [1954] “The Existence of an Equilibrium for a Competitive Economy, *Econometrica*, Vol.XXII, pp265-290
- Bernanke B. [2004] The Great Moderation, Presented at the Meeting of the Eastern Economic Association, Feb.
- Bernanke B. [2009] Commencement address, May 22
- Bernstein S., Lebow R., Stein J. and Webere S. [2000] God Gave Physics the Easy Problems: Adapting Social Science to an Unpredictable World, *European Journal of International Relations*, Vol.6(1), pp43-76, 2000
- Blanchard O. [2008] The State of Macro, NBER Working Paper No.14259
- Brynjolfsson E. and McAfee A. [2014] The Second Machine Age, W.W.Norton (『ザ・セカンド・マシン・エイジ』、村井章子訳、日経 BP, 2015 年)

- Chris Giles [2017] Bank of England's Haldane admits crisis in economic forecasting, FT, 2017.02.22
- Cronin T.M. [1999] Principles of Paleoclimatology, Columbia Univ. Press
- David Paul [1985] Clio and the Economics of QWERTY, The American Economic Review, Vol. 75, No. 2, (May, 1985), pp. 332-337
- Debreu G. [1983] Mathematical Economics, Cambridge Univ. Press
- Ekeland Ivar [2000], Le Meilleur Des Mondes Possibles, Editions du Seuil (I. エクランド、『数学は最善世界の夢を見るか?』、南條郁子訳、みすず書房、2009年)
- Faust J. and Leeper E [2015]. The Myth of Normal : The Bumpy Story of Inflation and Monetary Policy, FRB Kansas, Jackson Hole Symposium, Aug. 2015
- Gillian Tett [2013] An interview with Alan Greenspan, FT, Oct.25, 2013
- Gorissen D., Coukuyt I., Demeester P., Dhaene T. [2010] A Surrogate Modeling and Adaptive Sampling Toolbox for Computer Based Design, Journal of Machine Learning Research, 11, 201-2055
- Gordon Robert. [2012] Is U.S. Economic Growth Over? Faltering Innovation Confronts the Six Headwinds , NBER Working Paper No. 18315
- Gordon Robert. [2014] The Demise of U.S. Economic Growth: Restatement, Rebuttal, and Reflections ,NBER Working Paper No. 19895
- Haldane A., "The Dog and the Frisbee [2012] FRB Kansas City, Economic Policy Symposium, Aug. 2012.
- Ingrao B. and Israel G. [1990] The Invisible Hand: Economic Equilibrium in the History of Science, MIT Press
- Kaufman Stuart [1995] At Home in the Universe, Oxford Univ. Press (カウフマン、『自己組織化と進化の論理』、米沢富美子監訳、日本経済新聞社、1999年)
- Kehoe T.J. [1985] Multiplicity of Equilibria and Comparative Statics ,Quarterly Journal of Economics, Feb., pp119-147
- Kirman A.P. [1992] Whom or What does the representative individual represent?, Journal of Economic Perspectives, Vol.6. No.2
- Lazear E. [2000] Economic Imperialism, Quarterly Journal of Economics, Vol.115, Issue 1, pp99-146, Feb.
- Lewontin R. [1974] The Generic Basis of Evolutional Change, Columbia University Press,
- Nordhaus W.D. [2016] Why Growth will fall, New York Review of Books, Aug.18

- Prigogine Ilya [1997] *The End of Certainty*, Free Press (イリヤ・プリゴジン、『確実性の終焉』、安孫子・谷口訳、みすず、1997 年)
- Popper Karl [1999] *The Logic of Scientific Discovery*, Routledge Classics (カール・ポパー、『開かれた宇宙』、小河原誠、蔭山泰之訳、岩波、1999 年)
- Rizvi S. [2005] *The Sonnenschein-Mantel-Debreu Results after thirty years*, *History of Political Economy*, 38, DOI 10.1215/00182702-2005-024
- Scarf H. [1960] *Some examples of Global Instability of the Competitive Equilibrium*, *International Economic Review*, Vol.1, No.3, pp157-172
- Scarf H. [1973], *The Computation of Economic Equilibria*, Yale Univ. Press
- Schwartz B., Ward A., Monterosso J., Lyubomirsky S., White K. and Lehman D. [2002] *Maximizing versus Satisficing: Happiness is a matter of Choice*, *Journal of Personality and Social Psychology*, Vo.83, No.5, 1178-1197
- Shoven J.B., and Whalley J. [1992] *Applying General Equilibrium*, Cambridge Univ. Press (シヨウウン J.、ウォーリー J. 『応用一般均衡分析』、小平裕訳、東洋経済新報社、1993 年)
- Simon H.A. *The Sciences of the Artificial*. MIT Press, Cambridge, Mass, 1969 (サイモン H.A. 『システムの科学』、高宮晋訳、ダイヤモンド、1977 年)
- Solow R. [2008] *Comments*, *Journal of Economic Perspectives*, Vol.22, No.1, Winter
- Vinge V. [1993] *Singularity*, Winter 1993 issue of *Whole Earth Review*
- Waldrop Mitchell M. [1992] *Complexity*, Simon & Schuster, (ワールドロップ M., 『複雑系』、田中三彦、遠山峻征訳、新潮文庫、2000 年)
- 藤坂博一 [1998]、『非平衡系の統計力学』、産業図書
- 川崎健、谷口旭、二平章、花輪公雄 [2007] 『レジームシフト — 気候変動と生物資源管理』成山堂書店
- 市井三郎 [1963] 『哲学的分析』、岩波書店
- 高木貞治 [1995] 『近世数学史談』、岩波文庫、
- 高橋昌一郎 [2013] 『ゲーデルの哲学』、講談社現代新書