

平成 23 年度 環境経済の政策研究

持続可能な発展へ向けた環境政策・経済システム研究：

ジェニユイン・セイビング（GS）等の動態分析による政策評価

最終研究報告書

平成 24 年 3 月

京都大学

東京大学

下関市立大学

名古屋学院大学

## 目次

<b>I</b>	<b>研究の成果及び進捗結果</b>	<b>4</b>
1.	研究の成果	4
1.1	研究の背景と目的	4
1.2	3か年における研究計画及び実施方法	6
1.3	本研究の成果	11
1.4	行政ニーズとの関連・位置付け	14
1.5	政策インプリケーション	15
2.	3カ年における進捗結果	17
2.1	3カ年における実施体制	17
2.2	3カ年における進捗状況	23
2.3	ミーティング開催や対外的発表等の実施状況	25
2.3.1	ミーティングの開催状況	25
2.3.2	対外発表状況	32
<b>II</b>	<b>研究の内容</b>	<b>38</b>
	要約	38
1.	序論	42
2.	GSの時系列過程の分析に基づく環境を基盤とした発展パターンの抽出	44
2.1	背景	44
2.2	過去の経路の評価—特にボラティリティに着目して—	45
2.2.1	持続可能性条件の破綻リスク	45
2.2.2	方法とデータ	45
2.2.3	シミュレーション結果	46
2.1.4	小括	52
2.2	安定で持続的な発展経路	53
2.2.1	計量モデル	54
2.2.2	データ	54
2.2.3	結果	58
2.2.4	安定化ターゲットの資本タイプ	59
2.3	結論（行政ニーズとの関連及び政策的インプリケーション）	59
3.	貿易及び経済システムとGSに関する研究	60
3.1	本章の背景と目的	60
3.2	再生可能資源と利潤最大化モデル	61
3.3	資本・再生可能資源モデル（閉鎖経済）	62
3.3.1	最適性と持続可能性	62
3.3.2	最適状態におけるジェニユイン・セイビング	64
3.3.3	一定消費	64
3.3.4	不完全経済	66
3.4	資本・再生可能資源モデル（開放経済）	67
3.5	空間的な外部性と持続可能性	69
3.5.1	二国の場合	69
3.5.2	連続空間の場合	70
3.6	結論（行政ニーズとの関連及び政策的インプリケーション）	72
4.	環境政策（環境基盤投資）シナリオに基づく長期シミュレーションに関する	

る研究	74
4.1 シナリオ分析を行うための GS 推計の問題点の検討作業	74
4.1.1 はじめに	74
4.1.2 Hamilton ら	74
4.1.2 Arrow, Dasgupta ら	75
4.1.3 GS 推計上の問題点の検討	76
4.2 温暖化防止シナリオを考慮したシャドウ・プライスの推計方法の検討作業	76
4.3 シミュレーションモデルを用いた推計作業	76
4.3.1 GS (人口変化率も技術変化率も考慮しない Genuine Saving)	76
4.3.2 フィッシャー的富と、人口変化率を考慮した GS	77
4.3.3 GSnt (人口および技術の変化率を考慮した GS)	77
4.4 テストランと予備的な試算結果の分析整理	78
4.4.1 GS	78
4.4.2 GSn (人口変化率を考慮した GS) と GSnt (人口変化率・技術変化率を考慮した GS)	78
4.5 結論 (行政ニーズとの関連及び政策的インプリケーション)	79
<b>5. 環境経済政策の実施タイミングに関する研究</b>	<b>82</b>
5.1 経済発展に伴う環境新技術の最適導入時期	82
5.1.1 背景と目的	82
5.1.2 分析モデル	83
5.1.3 結果	85
5.1.4 まとめ	86
5.2 内生的時間選好率・割引率と資源消費戦略	86
5.2.1 背景と目的	87
5.2.2 分析モデル	87
5.2.3 結果	90
5.2.4 まとめ	93
5.3 CGE モデル構築におけるパラメータ設定上の課題	94
5.3.1 背景と目的	95
5.3.2 分析モデル	95
5.3.3 結果	97
5.3.4 まとめ	100
5.4 気候変動政策モデルにおける衡平性の取り扱い	101
5.4.1 背景と目的	101
5.4.2 分析モデル	102
5.4.3 結果	104
5.4.4 まとめ	105
5.5 結論 (行政ニーズとの関連及び政策的インプリケーション)	106
<b>6. 国際的スピルオーバーを考慮した環境経済政策の分析</b>	<b>108</b>
6.1 はじめに	108
6.2 小国 2 国モデル	109
6.3 小国 2 国モデルの定常状態と環境政策の効果	112
6.3.1 各期の Nash 均衡	112
6.3.4 環境技術政策の効果	116
6.4 大国 2 国モデル	119
6.4.1 各期の Nash 均衡	120
6.5 シミュレーション分析	122
6.6 政策シミュレーション分析	125

6.6.1 対称な大国 2 国の場合 .....	125
6.6.2 非対称な 2 国モデル .....	132
6.7 結論（行政ニーズとの関連及び政策インプリケーション） .....	137
補論：小国 1 国モデル .....	138
<b>7. GS とその他の持続可能性指標に関する研究.....</b>	<b>141</b>
7.1 GS とその他の持続可能性指標、および関連指標のサーベイ .....	141
7.1.1 グリーン GDP .....	141
7.1.2 包括的福祉指標.....	142
7.1.3 ジェニユイン・セイビング .....	142
7.1.4 ESI (Environmental Sustainability Index).....	143
7.1.5 EPI (Environmental Performance Index).....	143
7.1.6 ERRI (Environmental Regulatory Regime Index) .....	144
7.1.7 EVI (Environmental Vulnerability Index).....	144
7.1.8 NBI (National Biodiversity Index).....	144
7.1.9 エコロジカル・フットプリント .....	144
7.1.10 小括.....	145
7.2 スティグリッツ・レポートの意義.....	147
7.3 GS とその他の指標を用いた持続可能性に関する二次元評価 .....	148
7.3.1 GS 対 ESI.....	149
7.3.2 GS 対 EPI.....	152
7.3.3 GS 対 ERRI.....	155
7.3.4 GS 対 EVI .....	157
7.3.5 GS 対 NBI .....	160
7.3.6 GS 対 EF .....	163
7.3.7 小括.....	165
7.4 持続可能性の複数次元評価.....	166
7.5 GS とその他の持続可能性指標、および客観的福祉の関係 .....	169
7.5.1 客観的福祉の合成指標.....	169
7.5.1 相関分析 .....	170
7.6 結論（行政ニーズとの関連及び政策的インプリケーション） .....	170
<b>8. 結論 .....</b>	<b>173</b>
<b>添付資料 .....</b>	<b>176</b>



# I 研究の成果及び進捗結果

## 1. 研究の成果

### 1.1 研究の背景と目的

これまでの経済システムは大量生産-大量消費-大量廃棄によって成り立ってきたが、いわゆる「成長の限界」が認識されて以来、環境・資源制約下でいかに経済システムを持続可能なものにするかが最重要課題となった。ここでは、環境基盤を健全に保全するような投資によって、国民福祉が持続的に向上していくような経済システムが求められる。さらにグローバリゼーションが進むなかでは、世界各国との相互依存関係を踏まえてこの目的に取り組まなければならない、先進国内だけでなく途上国も含めた国際協調が求められる。

こうした情勢の中で、学術的にも、低炭素や資源循環という環境を基盤として発展する新たな経済システムが、持続可能な社会実現にいかに関与するかを明らかにするための、「持続可能な発展の経済学」が世界的に取り組まれ始めた。近年では、ブルントラント・レポートによる持続可能性の定義などを踏まえた上で、持続可能性を経済学的に再定式化し、経済的効率性と持続可能性を実現する発展経路の分析が精力的に進められている。たとえば、Hamilton and Clemens(1999)に代表されるような世界銀行の取り組み、Arrow et al. (2003)、Arrow et al. (2004)、Dasgupta (2009)などといった優れた理論的ならびに実証的取り組みが始まっている。

持続可能性は、その問題領域の広さのため、これまでの研究では大枠として「経済」、「環境」、「社会」という3つの評価軸で語られることが多かった(古沢 2003)。そこでは経済学だけでなく、さまざまな学問領域を総動員した議論が展開されている。このように「経済」「社会」「環境」という広がり意識して議論を行うことは言うまでもなく重要なのであるが、本研究では分析対象の広がり自体はもちろん、その対象へのあらたな分析的アプローチを提案することを目的とする。特に、環境を基盤として発展する新たな経済システムを研究するためには、自然資本を適正に評価し、環境基盤を形成する環境資本への最適な投資を行うことが重要となるが、その指針となる分析手順と結果を提供する。

発展の持続可能性を考える際、もつべき視点は二つあると考える。その一つ目は、持続可能性を議論する際の空間的ひろがりについてである。ある地域あるいは国の経済発展は持続可能か否かを知りたいときに、さしあたり当該地域/国の諸データを収集し、さまざまな「指標」を構築する。そして、その指標を何らかの基準に照らし合わせて、その国の持続可能性を判断する。しかしながらこれだけでは不十分である。今日のグローバル化によって、他国との結びつきが非常に強くなっている。こうした状況においては、ある国の持続可能性を判断するときに、その国だけに注目して判断することができなくなる。なぜならば、その国が結びついている他の国の持続可能性が、その国の持続可能性に強く関わってくるからである。例えば日本は他国から天然資源を輸入し工業製品を輸出し、海外に投資を行っているという意味で、外国と深いかかわりを持っているため、その依存先の国や地域が持続不可能である場合、たとえ日本のデータが持続可能な発展の様相を示しているとしても、日本は持続可能とは言いにくいわけである。しかしながら、多くの指標は国民国家単位で集計され判断されることが常であり、これまでの研究でもそうした単位で議論される傾向にある。これに対して本研究では、この諸単位同士のつながりを意識した分析を行

うことによって、より妥当性のある持続可能な発展の議論を行うことを目指すものである。

二つ目は、どの程度の時間視野をもって発展を構築していくかという点である。持続可能な発展といったときに、地球温暖化問題のように100年を超えるスパンの問題もあれば、貧困からの脱却や自由で平等な市民社会の構築といったような急を要する問題もある。そうした時間の流れの中で、持続可能な発展に必須の環境政策や技術開発を、どのタイミングで実施するかというのはクリティカルである。こうした問題に対応するためには、動学的分析モデルを組み立て、様々な時点におけるアクションが後の時点にいかなる影響を与えていくかを包括的に分析していくことが求められる。また、超長期の将来展望を見出すためには、大胆にシナリオを切って、計量分析モデルを用いた推計も必要となってくる。

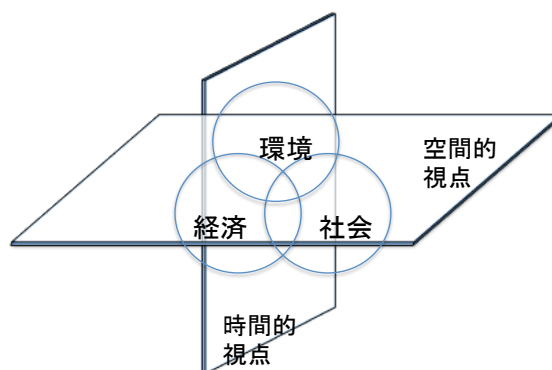


図1 持続可能性の分析視点

こうした視点から、環境～社会～経済という広がりをもつ持続可能な発展について考えるひとつの方法論的枠組みとその実践による政策的含意の導出を本研究で行っていく。そのために、経済理論に基礎づけられた概念として、ピアスとアトキンソンによって提唱された「ジェニユイン・セイビング(GS)」(Pearce and Atkinson, 1993)という概念<sup>1</sup>に着目する。これは資本概念に環境資本や人的資本などを明示的に取り入れたものであり、環境基盤の保全と経済発展の度合いを総合的に分析する上で非常に有用なものであるため、以降、持続可能性の経済分析に頻繁に利用されてきた。例えば、人間福祉の源としての包括的な富を考え、持続可能性のチェックを富の増減で判定するための理論的基礎付けを行ったダスグプタらの研究はベンチマークとなっている (Dasgupta 2004)。

このような経緯から分かるように、持続可能性の概念を中心に据え、GSなどの具体的な指標を参照し、環境基盤への投資が国民福祉を高める経済システムを構築することが重要な課題となっている。また、持続可能な発展を目指した政策形成において必要とされる指標でもある。しかるに、我が国では持続可能な発展の経済分析において、富ならびにGSに関する十分な学術研究の蓄積が少ない上に、政策形成の場での認識もあまり進んでいない。ここに、本研究が必要とされる理由がある。

本研究の目的は、環境基盤への投資が国民福祉の持続可能な向上につながるような経済メカニズムを解明し、その知見を通じて持続可能性を体現した経済システムへの到達方法

<sup>1</sup> Genuine Saving の他に、Genuine Investment, Adjusted Net Saving, Inclusive Investment など様々な呼び名があるが、どれも福祉の源泉たる富の時間変化（時間微分）を表わしている。

や到達度を評価する方法を確立することである。しかも、本研究で扱う論点は、世界的にもまだ十分に解明できていないものであるため、本研究は日本国内の政策研究はもちろん、諸外国に与えるインパクトも期待できる。ここでは、次の二つを目的として設定する。

- (1) 「ジェニユイン・セイビング(GS)」と環境基盤を参照した経済成長モデルの構築
- (2) 環境基盤をもとに持続可能な発展を遂げるための新しい経済システムのデザイン

## 1.2 3か年における研究計画及び実施方法

前項の2つの目的に対応して、以下のとおり研究計画及び実施方法を定める。

(1) 経済理論的基礎を背景に GS は近年欧州を中心に研究が盛んになってきているが、それでも克服されるべき課題は数多く残されている。本研究は、特に環境基盤との関係に焦点を当てながら、GS の動学、すなわち、GS がいかなる経路を辿るか、あるいは辿るべきかという動的な性質を解明すると同時に、望ましい経路を実現する上で環境基盤投資がいかなる有効性を持つかを明らかにする。この動的性質は、実証研究においても深く考慮されず、時間的な平均値あるいは現状値の分析と評価のみが着目されてきた。これに対し本研究では、GS およびそれを内包する経済成長モデルの動学的性質を、環境を基盤とする経済システムを構築する観点から分析する。

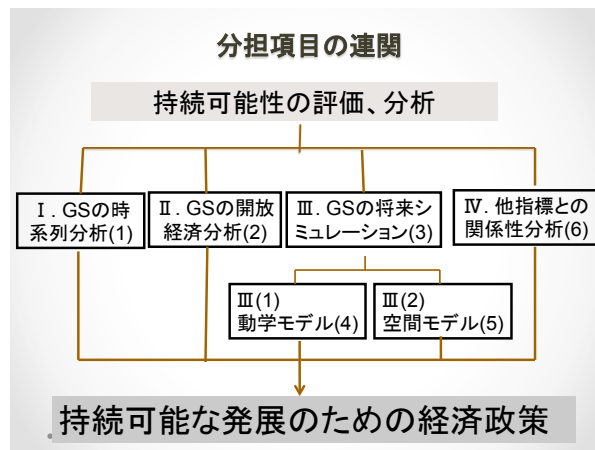
(2) これまでも GS および持続可能性を政策立案・政策評価に適用する試みや研究は多くなされてきているが、それらの多くは純粋理論に従って閉鎖経済を想定するもので、現実味に乏しく、現実的な経済システムをデザインする上で不十分である。そこで、本研究では、貿易を明示的に取り入れた枠組みで、環境基盤の初期配分と、資源・環境の対外依存下にある国家の GS の性質について明らかにする。また、現実には実に多数の持続可能性指標が提案されており、政策立案で参照すべき指標の特定に混乱が生じかねない。そこで本研究では、GS と他の持続可能性指標を対比・比較し、各指標の妥当性を分析する。同時に、GS と環境基盤指標との関係性を明らかにすることで、新たな経済システムを構築するうえでの諸指標の有用性を明らかにする。

具体的には、以下の4つの研究サブテーマ（I～IV）と6つの研究項目(1)～(6)を掲げ、研究を実施する。

- I. GS の時系列過程の分析に基づく環境を基盤とした発展パターンの抽出 (1)
- II. 貿易および経済システムと GS に関する研究 (2)
- III. 環境政策（環境基盤投資）シナリオに基づく長期シミュレーションに関する研究 (3)
  - (III-1)環境経済政策の実施タイミングに関する研究 (4)
  - (III-2)国際的スピルオーバーを考慮した環境経済政策の分析 (5)
- IV. GS とその他の持続可能性指標に関する研究(6)

本研究のサブテーマは次図のようにまとめられる。

図2 各サブテーマの関係



各研究サブテーマは並行して行われる。3年間の研究期間のうち、初年度と次年度（21・22年度）は互いの連携を前提として各分担に注力し、最終年度（23年度）に統合を行う。各研究サブテーマの詳しい内容と計画・方法、および担当者は以下の通りである（最終年以外はサブテーマごとに年間計画を記す）。

#### I GSの時系列過程の分析に基づく環境を基盤とした発展パターンの抽出

この研究項目では、これまで注意が払われてこなかった環境経済システムの発展経路の形状に関して、時系列分析を行うことにより各国の持つ発展経路の多様性を確認する。そして、その中でどのような発展経路が望ましいかについて、環境基盤の健全な保全が国民福祉の持続可能な発展につながっているパターンを抽出し、そうした国の経済システムの特徴を分析する。

#### 平成 21 年度

各国のGSの成長履歴は実に多様である。21年度は、各国の実際のデータについて統計的整理を行い、経路を特徴付けるパラメータを明確にする。さらに、それぞれの国の持つ持続可能性のポテンシャルを分析的に記述していく。それにより、GSの理想的な成長経路に環境基盤が効果的に貢献している経済システムの諸特徴を抽出していく。

それに並行して、GSの成長経路について、成長の安定性を規範とし、その論拠について検討することにより、持続可能性のための諸条件を明らかにしていく。

#### 平成 22 年度

前年度の分析的基礎を踏まえて、各国のGS成長経路にはなぜそのような多様性が存在するのか、そうしたGS成長経路を規定する要因に関する分析を行う。特に自然資本（森林資源、エネルギー資源、鉱物資源、CO<sub>2</sub>排出）に着目し、それらへのどのような投資が健全なGS成長につながっているかについて、VARモデル等を用いて定量的に明らかにする。また、資本の調整コストに着目した経済成長モデルの拡張により、経路の安定性がどのように社会福祉に貢献するかに関わる理論モデルを完成させ、自然資本への投資とGS経路の安定性の関係、および持続可能性への影響を明らかにする。

#### 平成 23 年度

政策効果や政治的・制度的変数の影響を特定化していくこと、ならびに貿易開放度や貿易の内容による影響の分析を進めることで、GSの時系列過程をふまえた持続可能性評価と、持続可能性を促進する政策について提案していく。そのために、ARCH-M

によって、GS を増加させる直接効果と、GS のボラティリティを安定化させることを通じて GS を増加する間接効果を分けて分析する。前年度の基礎的モデルを踏まえて、政策変数を操作することでどれだけ GS が高まるか、また貿易開放は GS を高めるのかということ明らかにしていくことで、政策的インプリケーションを得ることを目的とする。

## II 貿易および経済システムと GS に関する研究

GS は基本的に国民経済計算の拡張であり、外国の状況は明示的に現れてこない。しかしながら、持続不可能な国に依存している持続可能な国というのは、本来的にありえない。この分析では、貿易構造ならびにグローバリゼーションのもとでの経済システムを念頭に置いて、GS との相互作用を検討する。文献・データの収集およびデータ・セットの構築作業は外部研究機関に委託する。

### 平成 21 年度

貿易構造と GS の関係を定式化するための開放経済モデルを構築するための文献研究を行う。特に、人口や資源の豊富さに着目した研究を行い、資源が豊富な国（人口成長率も高い）と資源が貧しい国（人口成長率は低い）といういわゆる北-南モデルの応用可能性を探る。また、産業構造との関連もあわせ、開放経済のもとでの経済システムにおける持続可能性の再定義と理論的基礎の構築に着手する。

### 平成 22 年度

実証的研究に供する資源国際貿易のデータ・セットを構築する。対外資源依存度、食糧自給率、バーチャル・ウォーターやフード・マイレージなどの国際フローについて対外的相互依存関係を定量的に表現する。これにより、特に貿易に着目した経済システムの特徴付けと GS との関連、そして資源保有と持続可能性についての関係が明らかとなる。

### 平成 23 年度

開放経済と財産権の不確定性を取り入れた分析を行い、将来的な消費が減少しないためにどれだけの投資 (GS) を行えば良いかというハートウィック・ルール、資源に対する財産権の付与が不完全である場合の各国 GS と広域的 GS などを導出した。最終年度は、再生可能資源を題材とした GS の理論研究をさらに進め、資産として土地や土地利用変化をどのように含められるかを検討し、モデルの完成度を高める。また、これまでの理論研究の一部内容を反映した GS 数値例の算出を試みる。

## III 環境政策（環境基盤投資）シナリオに基づく長期シミュレーションに関する研究

環境基盤投資としての資源循環政策ならびに温暖化防止政策をシナリオとした GS の将来長期予測に関する研究として、マクロ経済、鉱産物資源、環境影響評価などを組合せた大規模シミュレーションモデルによる試算を行う。これにより、GS の定式化から推計するためのデータまで、当該モデルを用いて一貫して整えることができ、政策目標の設定に向けた基礎情報がまとめられる。コーディングとシミュレーションの実務は外部研究機関に委託する。(III-1)および(III-2)は、政策シナリオの理論的基礎を与えるものであり、密接に関連して進められる。

### 平成 21 年度

エネルギー技術、鉱産物資源、環境影響評価、土地利用、マクロ経済などを明示的に考慮した大規模シミュレーションモデルを用いて GS の将来推計を行うために、先行研究

における GS の推計方法に関するレビュー作業を行うとともに、大規模シミュレーションモデルを用いた GS の推計方法の検討を行う。

#### 平成 22 年度

H22 年度は、H21 年度に実施した GS の推計方法のレビュー作業と、その将来値推計方法の検討作業を踏まえ、実際にシミュレーションのテストランを行い、その推計作業を実施する。

#### 平成 23 年度

H22 年度の検討を踏まえ、最終年度の研究として、人口変化率や技術進歩率など、シナリオを変えた複数ケースを対象とした分析につなげ、政策評価方法を提案する。

### (Ⅲ-1) 環境経済政策の実施タイミングに関する研究

この研究サブテーマでは、環境技術の不連続変化を扱う経済成長モデルの枠組みを提示する。特に、経済成長過程における新技術の導入タイミングを最適時間の選択問題（数学的には、最適停止問題）としてモデル化し分析する。ここで扱う断続的で不連続な技術変化は、これまで提示されてきた GS の概念から抜け落ちている要素である。技術の内生的な変化などに着目しながら Pindyck(2000)等により基礎づけられているモデルを大きく発展させる設定や手法を検討する。本研究は、超長期の時間の地平の中で、比較的短期に起こる大規模な変化を想定する、前例の少ない理論研究である。

#### 平成 21 年度

初年度は、最適停止問題としての環境新技術の導入をモデル化する。具体的には Ramsey モデルに「環境の質」を導入し、効用が消費のみならず、この「環境の質」で決まるように定式化を行う。また、「環境改善技術」を導入し、その技術水準の変化を加速する投資意思決定に焦点を当てる。

#### 平成 22 年度

モデルの動的な性質を理論的に分析する。技術水準の変化率が、新技術への移行によって、不連続に変化すると考え、その最適タイミングを求め、その最適解の性質を感度解析により考察する。併せて、モデルの拡張を行う。一つの拡張の方向は、資本蓄積のダイナミクスに確率過程を仮定することである。もう一つの拡張の方向は、モデルの動的性質を決定付ける社会的時間選好率に「期間構造」を導入することである。

#### 平成 23 年度

本年度は、これまでの研究を統合する形で、気候変動問題において中心的な政策論題となっている割引率やパラメータ設定についてより詳細かつ発展的な分析を進める。具体的には、内生的な割引率のモデルにおいて、バックストップ技術の取扱いにやや不明確な点が残されていたが、これを修正する。これに伴って感度解析を再考し、モデルの動的性質を解明する。こうした分析を通して、環境技術と経済成長をより一般的に捉える枠組みについて考察を深める予定である。

### (Ⅲ-2) 国際的スピルオーバーを考慮した環境経済政策の分析

これまでの GS 研究では 1 国のみからなる閉鎖経済が想定され、環境を通じた国際的な相互依存関係の存在は十分に考慮されていなかった。実際には、多くの環境汚染は国境を越えて広がり、また、温暖化などの地球環境問題は世界全体に影響を与える。このようなスピルオーバーを考慮した場合の最適な環境経済政策のあり方を、グローバル公共財（ま

たは国際公共財)の知見を用いながら分析する。

#### 平成 21 年度

多国経済モデルにおいて、環境を通じたスピルオーバーが存在する場合の最適環境経済政策を定式化するための文献研究を行う。特に、自然資本の蓄積が他国にも便益を与える場合の最適貯蓄について、グローバル公共財(または国際公共財)の研究等を調査し、それらを踏まえて地球環境を含む2国成長モデルを用いて定式化し、均衡と定常状態の性質を分析する。

#### 平成 22 年度

前年度に構築した理論モデルを踏まえて、より望ましい地球環境ストックの蓄積を実現するための国際的政策について分析する。特に、環境技術の改善などにより、ある国の地球環境の改善の効率を高める政策が、各国の厚生や自然資本等の蓄積に与える影響を検討する。

#### 平成 23 年度

前年度までの結果を踏まえて、国際的スピルオーバーを考慮した場合の望ましい環境政策について、環境技術政策の役割に焦点を当てながら分析する。また、政策が各国各世代の厚生に与える影響について分析を行う。併せて、理論モデルについてもさらなる改善を検討する。その上で、関数型を特定化して数値計算を行って、様々な状況に対して環境政策が持つ効果を数値的に示し、政策的含意を得る。

### IV GS とその他の持続可能性指標に関する研究

本サブテーマでは、将来福祉の可能性と当該期の生活の質との間の数量的な関係把握を行う。将来福祉の可能性評価としての持続可能性指標としては、GS、エコロジカル・フットプリント、ESI (Environmental Sustainability Index)、EPI (Environmental Performance Index)、GPI (Genuine Progress Indicator) を取り上げる。当該期の生活の質に関しては、Dasgupta (2001) による当該期福祉の指標を参照し、民間消費、成年識字率、出生時平均余命、非営利組織であるフリーダム・ハウスの政治的・市民的権利指数を取り上げる。また、Political Risk Service が提供する制度指標 (International Country Risk Guide) も活用する。

#### 平成 21 年度

持続可能性指標として、GS、エコロジカル・フットプリント、ESI (Environmental Sustainability Index)、EPI (Environmental Performance Index)、GPI (Genuine Progress Indicator) などに注目し、それらのデータと、当該期福祉の指標群を作成することにより、持続可能性指標と当該期の生活の質の構成指標との関係を定量的に明らかにする。

#### 平成 22 年度

前年度の分析を踏まえて、弱い持続可能性と強い持続可能性、当該期の生活の質といった複数次元の持続可能性評価の体系を精緻化することを試みる。この持続可能性評価体系の構築により、持続可能な発展を可能にさせる政策実施のインプリケーションの導出が期待される。

#### 平成 23 年度

客観的な当該期福祉に関するより広範なデータ(健康、教育、権利、自由)セットと、GS、ESI を中心に、他の代替的な持続可能性指標を取り上げ、より包括的な形で持続可

能性指標と当該期福祉との関係を示す。

#### 平成 23 年度における研究全体の総括計画

最終年度に 4 つの研究サブテーマの統合と総括を行う。前年度までの研究で、Ⅰでは、GS に関わる成長経路の時系列的性質が明らかになっていると期待される。Ⅱでは貿易構造と GS の関係が定式化され、同時に資源国際貿易の相互依存関係が定量的に表現される。そして、Ⅲでは、(Ⅲ-1) から技術変化と政策実施のタイミングについて、(Ⅲ-2) から国際的スピルオーバー下での環境経済システムについての理論モデルに基づきながら、マクロ経済、鉱産物資源、環境影響評価などを組み合わせた大規模かつ詳細なシナリオが出来上がる。そしてⅣでは、環境基盤指標と GS がどのような関係性に基づいて、複数次元を持つ持続可能性評価の体系が精緻化されると期待される。

ⅠからⅣからなる分析枠組で、次の点について、総合的な考察を行う。

- ・環境基盤投資に基づく最適な発展経路と、それを実現するための政策オプション・実施タイミングを考察する。
- ・最適性と世代間衡平性に配慮した環境基盤と経済システムの構築に向けた分析を行う。
- ・開放経済での持続可能な経済発展を評価するために指標の必要な修正を行う。
- ・我が国の現状に照らし、貿易、環境、技術などに関する政策の評価を行う。
- ・我が国の経済成長と長期的な構造変化を再評価し、環境を基盤として発展するための経済システムと最適経路を考察する。
- ・同様のことを、主要先進各国、途上国、経済移行国についても行い、比較分析を行う。
- ・複数の関連する指標を用いた持続可能性の多元的評価を行う。

そして、最終的に、一連の研究成果を体系立ててまとめ、経済発展の方向性を評価する分析枠組を政策担当者等にとって役立つ形で提供する。

### 1.3 本研究の成果

本研究では、4 つのサブテーマを定め、6 つの研究項目を軸に進めていくことで最終的に持続可能な発展へ向けた環境政策・経済システムについて経済学的な成果を提出する。本研究で取り組む 6 つの研究項目とそこから得られる総合的な成果は、以下の通りである。

(1) 政策立案において参照する GS を始めとする指標は、各年のスポット値を独立に、あるいは数年の平均で集計した値だけに着目すると、発展の形状が含んでいる重要な情報を見逃してしまう。これについて、時系列データを詳細に分析することによりこうした失われがちな情報を汲み取る着眼と方法を提唱した。まず、各国について、平均、傾向、分散を分析し、この 3 つの次元に各国の分布を図式化した。そしてこの散らばりを計量経済学的に分析するために時系列分析を行い、これまでの評価視点を拡大することができた。この分析は、持続可能性の実証的な評価において時間的な視点を明確にすることに繋がり、持続可能性という制約の下で環境を基盤として発展する望ましい発展経路パターンの抽出がなされた。これは、これまでの GS 研究に対する確実な貢献であるだけでなく、政策立案において必要な指標の参照の仕方に関する有益な知見であり、新たな経済システムを構築するための重要な情報を与えるものである。最後に、安定で持続的な発展経路に乗せるための要因について、制度・政策変数に着目し、持続可能な発展を実現する際に重要となる政策的に操作可能な要因が分析された。

(2) 我が国の経済システムは、貿易によって獲得される対外資源に依存している。このことは我が国の持続可能性は資源輸出国の持続可能性に影響されていることを意味するが、こ



うした事実に関する分析がこれまでに十分でなかったため、本研究において推進される。

我が国のように資源を輸入に依存する経済がどのように持続可能性を担保していくべきかを分析するため、資本・枯渇可能資源モデルを再生可能資源に置き換えたモデルを構築し、閉鎖経済と開放経済の下でのGSを理論的に考察し、最適経済成長のための必要条件からホテリング・ルールを導出した。この最適状態でのGSは、資本の増分から、再生可能資源の利用量と再生量の差を適切なシャドウ・プライスで価値付けた値を引いたもので計算できる。さらに、乱獲、乱伐、資源放置等が見られる不完全経済でのGSも算出した。

開放経済では、資源輸出国（財の輸入国）のGSは、上記に加えて、キャピタル・ゲイン等を加えたものになり、ホテリング・ルールには、資源が資源輸入国に漏れ出してしまう項が加わる。このことより、森林や漁場は近隣国が協調して管理することで資源価格の急な上昇と早い枯渇を防ぐ必要があるといえる。持続可能性の指標は、漁業資源のように必ずしも財産権が一国に属さない資源の管理が関係する場合、国家単位の指標のみでは不十分であることが分かった。

(3) 本研究項目では、GSの推計方法のレビューと、その将来値推計方法の検討、加えて温暖化防止シナリオを考慮したシャドウ・プライスの推計方法について検討作業を実施した。これにより、GSの定式化から推計するためのデータまで、当該モデルを用いて一通り整えることができた。これらを踏まえ、実際にシミュレーションを行って、GSの将来推計作業を実施した。シミュレーションは、エネルギー資源、環境影響評価、マクロ経済などを組み合わせた大規模シミュレーションモデルを用いた試算を行うものであった。その結果得られたGSの値から、技術進歩率を考慮に入れると持続可能な発展の経路を辿る可能性があることが分かった。温暖化抑制に関しては、経済効率性を最適にする（環境外部費用を内部化する）シナリオにおいて、GSの値が最良となる試算結果が得られた。

(4) 上掲項目(3)に関連して、本研究項目では、環境技術と経済成長モデルの枠組みを中心に、GSの概念を支えるモデリング上の諸問題について理論的な考察を行った。

研究開始初年度から平成22年度にかけては、環境技術の不連続な変化を想定して、環境新技術の最適導入時期を分析した。続いて平成22から23年度にかけては、技術の不連続な変化と最適導入時期という問題を、内生的時間選好率・割引率との関連で考察した。人々の生活習慣や経済発展の度合いによって変化する時間選好率・割引率を考え、それが動的計画の最適パスをどのように変えるか考察するものであった。こうした研究は理論的なレベルに留まるものであるが、政策策定の中に「最適導入時期」や「習慣形成」をどのように取り込むべきかという、より高次元の政策論争に寄与するものであると考えられる。

上記と並行して、平成22～23年度には、モデル構築時に問題となるパラメータについて考察し、本研究のシミュレーションの妥当性を向上させた。昨今は環境政策策定において、コンピュータシミュレーションモデルの弾き出す計算結果が重宝されるような場面がしばしばあり、モデルの中身や構築の手順を理解することは、政策策定にあたる行政にとって大きなニーズになっている。ここでの研究は、環境政策分析コンピュータモデルの骨格、その計算結果の意味するところ、さらには、その計算結果を左右するキーファクターを明らかにした。

(5) 上掲項目(3)に関連して、本研究項目では、GSにおいて扱われる自然資本に関連する地球温暖化問題等の公共財的性質を考慮するために、環境汚染の国際的スピルオーバーが存在するときの環境政策について分析した。2国世代重複モデルを用い、環境技術政策の役割に焦点を当てた。モデルでは、2国がいずれも小国（利子率を所与として行動する国）であるケースと、2国がいずれも大国（自らの政策が利子率に与える影響を考慮する国）であるケースを想定したモデルを構築し分析を行った。分析結果の中でも、特に、一国だけで環境汚染削減技術が改善した場合に、同国の汚染削減の増加を通じて、世界全体の環境が

改善し、資本ストックが増加することを示した。ただし、この場合、汚染削減技術が改善した後の同国の数世代の家計は、汚染削減技術が改善する以前と比べて厚生が悪化するとも示した。このような厚生の悪化は、両国で共に汚染削減技術が改善する場合には生じない。従って、この結果は優れた環境技術を世界に普及させることの重要性を、政策的に含意するものである。

ここでの自然資本から生じる便益に国際的なスピルオーバーが存在する場合の自然資本蓄積についての理論的洞察と政策的知見は、GSを国際的な文脈においてとらえ、グローバルゼーション下における環境経済政策を考察する上で、本研究のシミュレーションの妥当性を向上させると同時に、重要な学術的貢献でもあった。

(6) 本研究項目では、持続可能性指標の体系的整理と、それぞれの指標間の相互関係の把握、ならびに複数指標による多面的な持続可能性評価を行うことで、政策実施の指針となりうる情報を提供した。特に、国際統計の比較に関する分析を通じて、次の3点を明らかにした。第一に、GSを含む持続可能性指標等と現在（当該期）福祉の関係について、制度、教育、健康といった現在福祉の構成要素は、GSの水準の高さ（パフォーマンス）と両立することが示された。その一方で、現在福祉と、エコロジカル・フットプリントや生物多様性指標などのパフォーマンスは両立しないことが明らかになった。第二に、複数の指標に基づいた持続可能性評価の必要性について、各々の持続可能性指標には一長一短が存在することを指摘した。データの利用可能性なども考慮すると、ある1つの指標から持続可能性を評価するよりも、異なった視点を持った複数の指標から評価するほうが、環境政策評価において実用的かつ適切であることが明らかになった。第三に、将来福祉の持続可能性に対する評価指標に加え、現在福祉を構成する項目（特に日常生活に関する主観的福祉の指標）を整備することが、持続可能な発展へ向けた環境政策・経済システムを考察する上で不可欠であることを指摘した。

以上6つ研究項目の成果を有機的に結合することにより、持続可能な発展へ向けた環境政策・経済システムを考察する上で重要な分析視点の体系的整理とその分析枠組を開発した。すなわち、持続可能な発展の分析視点を時間軸および空間軸の両面から体系的かつ総合的に整備した。この体系に基づいて、GSに関する理論的ならびに実証的動学分析を行い、持続可能な発展へ向けた環境政策・経済システムを構築するための環境経済政策に寄与する分析枠組を開発した。この体系と分析枠組は、政策担当者にとっても利用可能であり、政策立案ならびに評価に資するものである。

本研究で整理した分析視点および開発した分析枠組を踏まえ、本研究の主たる知見は以下のようにまとめられる。

#### 1. 持続可能な発展の実現に向けて

- (1) 今日のグローバル経済において、持続可能な発展はどの国も単独で実現できるものではない。各国の持続可能性に関する指標を参照する際には、それぞれ他国に依存していることを忘れてはならない。特に、資源依存の持続可能性への影響は、国民国家ごとの指標では見失われてしまう。そのため、貿易構造を踏まえて、それぞれの国で持続可能性を確保していく必要がある。
- (2) 地球の環境や自然資本は国際公共財的性質を持っており、優れた環境技術を外国に普及させるなど国際的な協力も必要となる。
- (3) 持続可能な発展を実現する際に、技術進歩への投資は重要な役割をもつ。潜在的技術への切り替えを適切に実現するために、政府の技術基準設定、インセンティブ付与のタイミングを資源のシャドウ・プライスに鑑みて設定する必要がある。
- (4) 持続的で安定的な発展経路を実現するための制度・政策要因は重要である。また、貿易開放度や政府支出の大きさについても、発展経路の安定性を考慮する必要がある。

## 2. 持続可能な発展に寄与する政策の立案・評価について

- (1) 持続可能な発展に寄与する政策を考える場合、過去の発展経路を踏まえた上で判断しなければならない。そのとき特に注意すべきなのは、各年の指標の示す数値だけでなく、その動態経路であり、平均・トレンド・ボラティリティをあわせて考慮すべきである
- (2) 将来の政策効果は、シミュレーションによってある程度予測可能である。技術進歩の効果、汚染排出規制の効果は小さくなく、環境要因に関する数値目標を設定する際には、マクロシミュレーションモデルによって、経済システムの相互影響をチェックすることは有用である。
- (3) 持続可能な発展は、経済要因にのみに関わる概念ではない。持続可能な発展の定義は多様であり、GSのような「弱い持続可能性」の視点に加えて、さらに広範な視点で発展動向をチェックする必要がある。そのためには様々な指標間の相互関係を把握しつつ、政策立案時に広範な指標を参照すべきである。
- (4) 政策は、主観的福祉と持続可能性など、異なる指標に同時に異なる影響を与える。1つの指標を改善する政策が他の指標を悪化させる可能性もある。政策立案・評価においては、それぞれどのような影響を与えるのかを、重要な課題として検討しなければならない。

### 1.4 行政ニーズとの関連・位置付け

今日の経済発展の方向性が、果たして社会全体を改善させているのかどうかは、世界的にも非常に重要な関心事である。例えば、欧米では早くも1990年代から世界銀行を中心として、持続可能性についてGS概念を基礎とした新しい分析枠組や指標の研究・開発が進められてきた。また、2009年フランスでは、社会の進歩を環境・社会・経済の多面にわたって診断する必要性を指摘したレポートがサルコジ大統領に提出された。今日、GDPで測った経済発展を唯一最大の目標にすることは弊害があると広く認識されている。我が国でも近年、内閣府等において、GDP以外の指標として「幸福度」についての議論が盛んになってきた。社会全体が目指すべき方向性を評価するための新たな指標や分析枠組への行政ニーズが高まっていると言えよう。

本研究はこのニーズに応えるために、「持続可能性」という視点から、理論的研究ならびにデータに基づく実証研究によって、経済発展のあり方を評価するための分析枠組を提供するものである。本研究では、4つの研究サブテーマを掲げた。それは、GSに関わる成長経路の時系列的性質が明らかにすること(I)、貿易構造とGSの関係が定式化と、資源国際貿易の相互依存関係を定量的に表現すること(II)、マクロ経済、鉱産物資源、環境影響評価などを組み合わせた大規模かつ詳細な環境政策シナリオに基づく長期シミュレーションを行うこと(III)、環境基盤指標とGSがどのような関係性に基づいて、複数次元を持つ持続可能性評価の体系を精緻化すること(IV)である。また、IIIについては、さらにその理論的背景を固めるため、技術変化と政策実施のタイミングについて考察すること(III-1)、国際的スピルオーバー下での環境経済システムについての理論モデルを構築すること(III-2)を行う。

これを通して、以下の行政ニーズに対応することを目指した。

- ・環境基盤投資に基づく最適な発展経路を実現するための政策オプション・実施タイミングの解明。
- ・最適性と世代間衡平性に配慮した環境基盤と経済システムの構築に向けた基礎的考え方の提供。
- ・持続可能な経済発展を、我が国のような資源輸入国において評価するために必要な指標の改善。
- ・貿易、環境、技術など、今後の我が国にとって重要な政策の評価枠組の提示。

- ・国内外の経済成長と長期的な構造変化の再評価を通じた、環境を基盤として発展するための経済システムと最適経路および国際協調のあり方の考察。
- ・環境政策を立案する際に参照すべき複数の関連する指標を用いた持続可能性の多元的評価。

本研究は特に、環境基盤を健全に保全しながら持続的に発展する新しい経済システムを明らかにすることによって、将来世代に健全な人工資本、人的資本、自然資源を残していくための条件ならびに制度を分析するものである。この分析結果は、環境基盤への投資が国民福祉の持続的向上につながる経済メカニズムの解明と、そうした経済システムに速やかに移行するための環境政策効果の評価のつながるものであるため、本研究成果はわが国の環境政策への貢献を含むものである。

第一に、本研究はGSという概念・指標に着目し、経済発展のあり方を評価するための分析枠組を構築して、環境経済学的な政策的含意を引き出している。特に、GSの重要な構成要素である環境基盤の動態について焦点を当てるものである。これにより本研究は、環境基盤の増強に貢献する経済システムの構築や環境政策の立案にとって有用な材料を提供するものである。

第二に、GSとGS以外の多様な指標との関連を精査し、多面的な持続可能性評価のための指標づくりに資する分析枠組を提供するものである。

第三に、本研究で提示する新たな経済システム（すなわち、環境改善技術が重要性を増す新たなシステム）への到達方法を提示することは、世界的に課せられようとしている環境制約のもとにおいて効果的な対策を構築するニーズに対する貢献となりうる。また、資源依存経済の持続可能性に対する貿易のインパクトを踏まえて、新しい経済システムの要件や、環境政策と経済政策の統合的インプリケーションが得られる。同時に、新しい経済システム移行に必要な環境政策について、効率性の観点からの評価だけでなく、政策実施のタイミングという観点からの評価が下される。

最後に、そうした新たなシステムへの到達に伴う具体的な経済成長パターンの長期的な変化を示すことができる。これは、中長期的な環境政策目標を立案しようとしている現在において重要な情報であり、環境政策の立案における政策ニーズに貢献するものである。本研究成果でまとめられた体系は報告書として行政担当者に提供されることにより、政策評価の際に参照可能となる。

## 1.5 政策インプリケーション

本研究は、現状の経済状態が持続可能か否かを評価し、持続可能性を高めるための条件あるいは制度のあり方について分析するものである。既にかいたとおり、本研究の特徴は時間的視点ならびに空間的視点から分析を行い、そこからそれぞれ従来にない政策インプリケーションを導き出している。

第一に、時間的視点に基づいて時系列分析を行った。これまで政策立案で参照されてきた指標は、しばしば毎年のスポットの数値ないし過去数年（数十年）の平均値であった。しかしながら、例えば仮に昨年の数値が優れていたからといって、昨年までに取られた政策が優れていたという判断はできないのである。これは、持続可能な発展という長期的な目標において特に当てはまる。これまで、環境指標や持続可能性指標は、データの蓄積や計測方法の向上により政策立案に重要な情報をもたらすようになってきてはいるものの、その分析において、特にこうした時系列を意識した考察が欠けていた。本研究によって、発展の経路（指標の推移）が評価され、いかなる制度がよりよい発展形態を導くのかを分析したことによって、資源利用、政策立案・制度設計における持続可能な発展の実現にむけたインプリケーションが導出された。政治的パフォーマンス（官僚の質、民主的アカウントビリティ、政治腐敗度など）の重要性が最確認され、また貿易開放の拡大は持続可能

性指標の不安定性を高めるため、持続可能な発展の観点からは無条件に好ましい訳ではないことが示された。

第二に、空間的視点に基づいた開放経済分析を行った。これまでの環境政策で参照されてきた指標・情報は、主に国民経済単位で集計されたものであった。しかしながら、高度にグローバリゼーションが進んだ今日において、集計単位の問題ならびに集計単位相互の依存関係の分析は欠かせない。これは、持続可能な発展という一国だけでは達成し得ない課題において、またわが国のように自然資本を他国に強く依存している国において当てはまる。本研究によって、持続可能性が他国へ依存していること、また集計単位の合成はそれぞれの数値の合成と整合せず、どの範囲で持続可能性を議論するかが問題であることが明らかとなった。このことは、わが国の対外投資のあり方にも含意を提供するものである。例えば、ODAにおける投資対象について、わが国の持続可能性への影響という視点を提供するものである。また、国際協調の効果や技術移転の効果についても理論的な考察が提供されたことにより、今後の持続可能な発展を世界的に目指していく際の具体的なビジョンづくりに資するものである。

第三に、時間的視点ならびに空間的視点に基づいた将来シミュレーションを行った。このシミュレーションでは、環境政策シナリオを設定して、そうした環境政策が将来の持続可能性にいかなる効果をもたらすかを分析しているため、直接的な政策含意が提供された。具体的には、二酸化炭素濃度の制約目標を導入した時のGS指標の将来予測や、技術進歩の重要性、ならびに人口変化の影響などを取り入れた分析により、将来の持続可能性への政策影響が推計された。また、こうした計算モデルが構築されたことにより、今後の環境政策の立案において持続可能性という視点から政策影響の評価が可能となった。

最後に、多目的化する今日の政策において、多指標データを用いた統計分析に基づいて目的間のトレード・オフの研究を行った。今日、幸福度や主観的福祉など現在時点での福祉を高める政策が求められているが、それが持続可能かどうかは重要だが総合的には議論されていない点である。いかなる政策目標が同時達成可能で、いかなる政策目標が同時達成不可能なのかについて、入手可能なデータで分析されたことにより、今後の環境政策目標の設定における検討すべき影響が整理された。

## 2. 3カ年における進捗結果

### 2.1 3カ年における実施体制

本研究は、京都大学、東京大学、下関市立大学、名古屋学院大学の共同研究として、4つのサブテーマ、6つの項目を掲げて実施した。それぞれの担当者と担当項目は以下のとおりである。

- I. GSの時系列過程の分析に基づく環境を基盤とした発展パターンの抽出 (1)
- II. 貿易および経済システムとGSに関する研究 (2)
- III. 環境政策（環境基盤投資）シナリオに基づく長期シミュレーションに関する研究 (3)
  - (III-1)環境経済政策の実施タイミングに関する研究 (4)
  - (III-2)国際的スピルオーバーを考慮した環境経済政策の分析 (5)
- IV. GSとその他の持続可能性指標に関する研究(6)

佐藤真行（京都大学、研究代表者）が(1)~(3)を担当し、前田章（東京大学）が(4)、中川真太郎（下関市立大学）が(5)、佐々木健吾（名古屋学院大学）が(6)を、それぞれ担当した。それぞれの担当項目の実施状況、進捗について、毎月1回程度の研究ミーティングを開催して相互に確認し、全体として有機的に実施していった。

毎年度の研究計画は、前年度末の審査・評価会のコメントを反映させて改善している。平成21年度の審査・評価会のコメントを受けて、平成22年度については以下のように対応し、改善した。

	コメント	対応
1	研究課題が大きくきわめて広いので、 <u>研究全体のつながりを意識するとともに、政策的なインプリケーションを明確にしておいた方がよい</u> のではないかと。	特に日本の持続可能性について、世界とのかかわりという空間的な観点と、発展経路という時間的な観点で研究課題を整理した。今年度以降は環境政策のインパクトの空間的・時間的波及効果を見ることで、わが国の政策的含意の導出を意識した。
2	<u>持続可能性を分析する際に、GSの概念を使うことが、従来の研究とどういった独自のフレームワークや視点を提供し、独自の結論を生み出しているのか理由を明確にしてほしい。</u> 貯蓄が将来の発展に重要なものというまでもないし、社会的に重要な指標の一つと見ることに異論がないが、発展によって生じる負の側面（環境負荷や資源の減少）を貯蓄から引いた概念がGSだとすると、従来の理論的なフレームワークと比べて、どういった点で独自性や重要なメカニズム（あるいは、本質的な違い）があるのだろうか。この分野に詳しくない研究者・政策決定者にもわかるような説明が必要である。	従来の我が国の環境行政と環境改善の測度としては、温暖化問題ではCO2削減量や気温上昇、廃棄物問題ではマテリアルフロー解析など、フォーカスの絞られた指標による検討が行われてきたが、総合的観点である持続可能な発展を経済学的に研究するにあたっては、福祉の非減少性を確認する必要がある。近年の研究により、社会的福祉が増えているかどうかは、GSの符号を調べればわかることが明らかになった。これは、GSが単により適切な貯蓄の指標であるだけでなく、エコロジカル・フットプリント等の物的指標やグリーンGDPなどと比べても、経済理論上では持続可能性と最もよく合致する指標である。従来のGS研究では、①国民国家単位で研究されている、②過去の平均値ないし単年値で研究されていることから、空間的観点および時間的観点

		からの分析が欠けており、その両点において研究は独自の枠組みを提供する。こうした理論上のバリエーションや実際の計測は発展途上であるため、研究の蓄積がもっとも求められている指標である。
3	報告書としてとりまとめる際に、英文の論文を束ねるというやり方はしないでほしい。評価者の負担（必ずしも同じ分野の専門家ばかりではない）を考えた場合、報告書用に日本語で適切な形で書き直したものにしたい。	初年度は、短い研究期間で成果をまとめることを優先した。今年度以降は、評価者の負担を考慮し、英文の論文を束ねるのではなく、各論文の内容を日本語で書き直したうえで体系的に執筆した。
4	「資源輸入国の持続可能性の依存分析」について、このサブ課題の理論分析から、GSは、資源価格、資源ストック、資源採掘費用(E)、生産関数などの形状などに依存して決定されるように導出されている。分析対象としているものが、再生可能資源なのか、そうでないのかという違いがあるかもしれないが、理論研究で検討された結果と、実証研究で用いられているフレームワークは必ずしも同じではない。この二つの研究は、どう連携しているのか？もし同じフレームワークを使えないのであれば、むしろ実証研究で使うフレームワークを理論で導出し、それに基づいて実証研究を展開すべきではないだろうか？そうでないと、なぜこのフレームワークで分析すべきなのかという点に説得力がでないのではないか？	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 理論研究では、枯渇性資源を持つ経済のGSは比較的研究が進んでいたが、再生可能資源については先行研究が全く存在していなかった。しかし、政策的含意の大きいテーマであり、これに取り組んだ。</li> <li>○ 一方、従来の実証研究では再生可能資源が考慮されていないが、これはデータ制約によるものである。まずは理論の発展に取り組み、将来的には実証研究のデータを充実させていくのと同時に、限られたデータでGSを計測する際に生じる理論上との乖離を認識することを考えた。</li> <li>○ 理論と実証との連携が不十分な点はこちら指摘の通りだが、それぞれにおいて意義や貢献度の高い内容を優先し、データ収集を行うことにより、両者の連携可能性について今年度以降さらに検討した。</li> </ul>
5	「資源輸入国の持続可能性の依存分析」について、実証研究のフレームワークで、日本のような資源輸入国の持続可能性の依存分析がなぜできるのか、よく理解できない。理由の一つは、この研究成果が示すように、持続可能性に問題がある資源輸出国からの資源の輸入に頼ることは、資源輸入国の持続可能性に影響を及ぼすことは、先行研究から援用してもいうまでもないことなのではないか？そのような中で、ここでの実証研究の意義を明確にする必要がある。	従来の実証研究では、基本的には国民国家単位で集計された富基盤の増減（すなわちGS）で持続可能性を判定している。GDPのように国内の経済活動の状況を把握することが目的の指標ならばよいが、持続可能性研究の場合は一国だけの持続可能性を取り扱うのでは不十分である。この実証研究では、日本のGSが他国に依存しているか、依存している場合どの資本に依存しているかを分析した。ここで、ある国の持続可能性がどの程度他国の資本を犠牲にしているかは、必ずしも自明ではない。なぜならGSは自然資本だけで構成されるのではなく、人工資本ならびに人的資本によっても構成さ

		<p>れているからである。日本のGSを正に保つことが他国のどの資本に影響を与えているかを分析することは、日本の持続可能性を確実なものとするためにどの資本に注意を払うべきかが分かり、政策ターゲットも明確にする意義がある。</p>
6	<p>「資源輸入国の持続可能性の依存分析」について、この実証研究のモデルのフレームワークは、「GSの時系列過程の分析に基づく環境を基盤とした発展パターンの抽出」のフレームワークとも異なる。これらの二つの実証研究はどのような関係にあるのか？もしこのサブ課題のモデルフレームワークが適切なのであれば、「GSの時系列過程の分析に基づく環境を基盤とした発展パターンの抽出」についても、このフレームワークで分析すべきではないのか？全体的な整合性について、十分検討して欲しい。</p>	<p>○ GSの時系列分析は、時間的観点から従来のGS研究の問題点に取り組んだものである。一方、資源輸入国のGS依存性の分析は、空間的観点（国際関係）から従来のGS研究の問題点に取り組んだものである。指摘の通り現段階では両者のフレームワークは異なるが、どちらの視点も本研究課題が提供する研究枠組みの主要な分析課題である。</p> <p>○ 空間的観点と時間的観点の二つの視点でGS研究を発展させることが本研究課題のフレームワークであるが、このコメントは、この二つの視点を融合させるべきであるという指摘であると理解した。研究の取り組み方として、1つずつ研究を進め最終的に融合させるやり方と、最初から複合的な視点で進めるやり方があるが、この研究では前者のやり方をとっている。最終的には、GSによる持続可能性の判定と、持続可能な発展のための政策分析のために、両視点を融合した枠組みにまとめることを目指す。</p>
7	<p>「理論モデル分析」について、理論的研究において、先行研究と理論フレームワークで、何が違い、どのような結論の違いが出ているのか？確かに、GSを対象にした研究はないのかもしれないが、資本の経路などを対象にした研究はあり、それと本質的に何が違うのか、この研究の独自性について、明確にして欲しい。</p>	<p>ご指摘の通り、消費や資本の経路分析や、国際貿易の影響分析等が行われているが、資源の再生可能性がある場合のGSに的を絞った分析や、実証分析や政策指標に橋渡しする研究は不十分であった。今回の研究はこれらに取り組むものである。</p>
8	<p>「環境政策シナリオに基づく長期シミュレーションに関する研究」について、研究の特徴として、「統合評価モデルを活用すること」で、より理論整合的な推計が可能である、としている。ここでいう統合評価モデルとはどのようなモデルなのだろうか？動学最適化モデルなのか、逐次型の動学モデルなのだろうか？もし前者なら問題ない</p>	<p>一人あたり消費と人口の積により表された効用の割引総和を最大化する、動学最適化モデルである。</p>



	が、後者なら、モデルのフレームワークと本研究のフレームワークは不整合なので、分析上の問題がある。	
9	「環境経済政策の実施タイミングに関する研究」について、報告書を読む限り、ここでの知見は、環境政策とどう関連しているのか明確でない。(英文の内容を読む限り、環境政策との関連は見いだされないが) また、この研究を残り2年間でどのように発展させるのか検討が必要である。	「環境政策」との関連が不明確との指摘について、本項目で取り組んでいるのは正確には「環境経済政策」であり、超長期の経済動学の視点から環境問題と経済政策を考察を目指している。次項のご指摘とも関連するため、言葉使いおよび今後の進め方について、引き続き検討した。
10	この研究では、最適停止問題のフレームワークを用いているが、ここで想定している、最適停止問題のフレームワークは何か? 通常最適停止問題は、不可逆的な現象(固定費用の存在)と不確実性の存在をあわせることで、分析しているが、先行研究と何が違うのか? (英語の論文の定式化を見る限り、通常Pyndicなどによって応用されている最適停止問題の構造がどこに記述されているのかわからない。) 最適停止問題のフレームワークを使わずに分析しているのだろうか? だとすると、なぜ「引き延ばし効果」が生まれてくるのかが、よく理解できない。このフレームワークが、「環境経済政策の実施タイミングに関する研究」にどのようにつながるのか、再検討が必要ではないか。	最適停止という言葉が不適切であれば修正する準備はあるが、数学的には、この言葉は大変幅広い問題群を指すものと理解される(例えば、Sethi and Thompson, 2000: Optimal Control Theory: Applications to Management Science and Economics, 2nd Edition, Springer)。これも含めて、本研究の趣旨としては、時間軸上の最適性に着目して政策的措置の在り方を包括的に分析しようとするものであり、それを「タイミング」という文言に込めている。この文言も不適切であれば修正する準備はあるが、いずれにせよ、Pindyckらの研究と対比することにあまり意味はなく、独自の視点で上記趣旨を模索しようとしている。言葉の使い方も含めて、再検討した。
11	「国際的スピルオーバーを考慮した環境経済政策の分析」について、報告書を読む限り、モデル分析から得られる結論が環境経済政策に対して、どのようなインプリケーションを与えているのか明確でなく(若干政府の役割は出てくるが)、当研究課題で想定している研究成果の方向性につながっていないのではないかと懸念される。例えば本研究成果の一つは、「人口の多い国ほど、ただ乗りのインセンティブが小さく、排出削減努力をし、人口の小さい国ほど、ただ乗	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 本年度は、分析の土台となる基礎的なモデル(複数の国が環境を通して相互にスピルオーバーを与え、かつ、持続可能性を分析できる世代重複モデル)の構築を目標とした。環境経済政策に関する、より実際的な分析はこのモデルを踏まえ、次年度以降で順次実施していく。</li> <li>○ 本研究項目の成果は、(1)効率労働の初期賦存量が二国間でどのように分配されているかに応じて、最終的な定常状態での排出削減行動が決まる(2)二国間で効率労働の初期賦存量の格差が大きい場合、初期賦存量が少ない国が排出削減をしない定常状態に至る、というものであ</li> </ul>

	<p>りのインセンティブが大きく、排出削減努力をしない」というものである。だとすると、なぜインドや中国は、温暖化などで排出削減努力をしようとしないのであるか？確かに、被害を受ける人口が多いほど、ただ乗りしないという側面があるのは否定しないが、このような結論は、OLGとは違った理論フレームワークを用いた先行研究でも十分に明らかにされているのではないのか？だとすると、本研究の独自性は何なのか？また、温暖化のような越境汚染を対象にした環境政策を議論する場合、もう少し異なった方向性での研究に再検討しない限り、意義ある政策提言に結びつくような理論研究にならないのではないのか？</p>	<p>る。インドや中国は先進国と比べ技術水準が低く、従って、効率労働の賦存量は人口の割には多くないと考えられる。従って、インドや中国が排出削減をしない定常状態にいたる可能性も本研究は示唆している。その一方で、定常状態への移行過程では一方の国がただ乗りをするけれども、最終的な定常状態では両国が排出削減をするケースも存在する。本研究ではOLGを用いることで、経済成長に伴う環境政策の変化を内生的に分析できるようになっている。本年度は基礎的モデルの構築にとどまったが、次年度以降、意義ある政策提言に結びつくよう検討しながら研究を進める。</p>
12	<p>国際的なスピルオーバーのモデルについては、各国が私的利益（国益）を最大化にした場合、どのように発展できるのかについて、検討をお願いしたい。</p>	<p>本年度に作成したモデルでも、各国は自国民の厚生を最大化するよう行動する場合を中心に研究してきたが、次年度以降も、各国が私的利益を最大化する政策をとった場合の発展について分析した。</p>
13	<p>持続可能性指標のあり方や、持続可能性を表す指標と個々の指標との理論的な関係について、しっかりと明らかにし、どのような個々の指標が測られるべきで、それらを使って、どのような総合的な指標を作成するかという点は、重要な研究であると思われる。本研究によって、このような点を明らかにできれば、研究の意義は大きいのではないのか。</p>	<p>○ 資本間の代替可能世にまつわる議論からも明らかのように、自然資本と人工資本およびその他の生産に寄与する資本の代替関係については、明確な証拠が存在するとは言いえない。そのような状況においては、単一の持続可能性指標による持続可能性評価は適切とはいえない。したがって、弱い持続可能性指標としてのGS、および強い持続可能性指標としてのエコロジカル・フットプリントを用いて、複数次元から持続可能性を評価するべきであると考え。両指標は、「絶対的な」持続可能性条件を持つと同時に、指標の理論的背景も明確である。これらの指標を基軸とした、多元的な持続可能性評価が有用であると考え。</p> <p>○ 同時に、福祉に関する指標と持続可能性との関係を把握するための、指標体系の充実も不可欠である。この点に関しては、スティグリッツ・レポートでまとめられている客観的福祉と主観的福祉を測定するための指標の整理・整備を行うと同時に、それらの指標と持続可能性指</p>

		<p>標との関係を統計学的に明らかにすることが第一義的に重要と考える。総合的な指標作りに関しては、単に合成指標を作成するというよりむしろ、各々の指標の関係を把握するためのデータベースを構築することを主目的とし、持続可能性指標、客観的福祉（教育、雇用、健康、権利、信頼）、主観的福祉（幸福、満足）、ガバナンス（汚職、統治機構の実効性、民主的説明責任）の関係を定量的に明らかにしている。</p>
--	--	---

また、平成 22 年度の審査・評価会のコメントを受けて、平成 23 年度については以下のように対応し、改善した。

1	(1) 総評（全体的なコメント）	
	○ 非常に抽象度の高い研究領域であるが、研究計画全体に照らし着実に研究が進展していると判断する。また、研究の新規性・発展性を期待できるとともに、今後の政策への活用が確実に見込める水準に到達している。	
2	(2) 次年度に対応すべき研究全体に係る指摘事項	
	審査・評価委員からの指摘事項	指摘事項に対する回答
	(特になし)	(特になし)
3	(3) 次年度に対応すべき研究内容に係る指摘事項	
	審査・評価委員からの指摘事項	指摘事項に対する回答
	○ 開放経済での SD 指標開発は理論的に非常に重要である。先行研究を踏まえ、今日の国際経済の特徴を、GS 指標に盛り込もうとしている計画は意欲的であるので、理論面・実証面での完成を期待したい。	○ 本年度は、理論モデルに基づく実証研究を行い、資本の対外依存関係を含めたときの GS 指標の解釈を行う。
4	○ 本研究は、主に新古典派経済学の枠組で行われているが、さらに視点を幸福度指標まで及ぼそうとしている。幸福度指標の単なる紹介に留まらず、現メンバーの専門性の中で、これらを通規性を持つ形で統合することの実現可能性を吟味され、限られた時間の中で最終成果を彫磨されることを望む。	○ 持続可能性指標は、どの福祉水準で持続するのかについて明示的な取り扱いがない。高い福祉水準で持続できるのかを問うのと同時に、「福祉」の考え方自体を吟味する。その中で、幸福度と持続可能性の関係を分析し、望ましい発展のかたちを考察する。
5	(4) その他確認事項等	
	審査・評価委員からの指摘事項	指摘事項に対する回答
	(特になし)	(特になし)

## 2.2 3カ年における進捗状況

ここでは、各項目について実施した研究の進捗を記述する。研究内容の詳細は、本報告書のⅡ章に記述する。

研究項目(1) GSの時系列過程の分析に基づく環境を基盤とした発展パターンの抽出：

平成 21 年度

これまでの評価視点を拡大した時系列評価の方向性が確立された。各国につき、平均、トレンド、ボラティリティをすべて計算し、持続可能性につき多面的な視点を示した。3軸にプロットされた各国の分布を観察し、次年度以降でモデル化すべき要素を特定した。

平成 22 年度

持続可能な発展経路のボラティリティの悪影響を計量経済モデルで特定化した。そしてどのような国が安定的で望ましい経路に乗っているかについて、ARCH-Mモデルを用いて制度および政策変数を含めた分析枠組みの初期結果を提示した。またVARを用いて安定化すべき資本タイプについての特定を行った。

平成 23 年度

昨年度着手したARCH-Mを完成させ、GSを増加させる直接効果と、GSのボラティリティを安定化させることを通じてGSを増加する間接効果をそれぞれ特定した。また、政策変数を操作することでどれだけGSが高まるかを推定し、持続可能な発展に貢献する制度・政策要因を定量的に明らかにした。その他、貿易開放や生産年齢人口など、政策ターゲットに関わる要因も分析された。

研究項目(2) 貿易及び経済システムとGSに関する研究：

平成 21 年度

資本・資源モデルを再生可能資源に適用したモデルを構築し、最適のための必要条件からホテリング・ルールやGSを導出した。また、再生可能資源を使う国が消費水準を下げないためにすべき貯蓄を示すハートウィック・ルールを導出した。

平成 22 年度

昨年度の理論を開放経済に適用し、資源輸出国や輸入国（財の輸入国や輸出国）のGSとして何を加味すべきかを分析した。また、財産権が不完全な状態を想定し、資源が漏出する場合に両国のGSと各国が独自に最適化したときのGSとの乖離について分析し、持続可能性の指標は、漁業資源のように必ずしも財産権が一国に属さない資源の管理が関係する場合、国家単位の指標のみでは不十分である可能性を検討した。

平成 23 年度

不完全経済でのGSと最適経済でのGSとの乖離を理論的に導出した。また、昨年度の分析を連続空間に拡張し、資源がストックの空間微分に比例して流出入すると仮定した、空間的外部性がある場合のGSの空間的集計を考え、通常の貯蓄に、将来的に生じる空間的な外部性の現在価値を加減したものがGSとなることを示した。

研究項目(3)環境政策（環境基盤投資）シナリオに基づく長期シミュレーションに関する研究：

平成 21 年度

エネルギー技術、鉱産物資源、環境影響評価、土地利用、マクロ経済などを明示的に考慮した大規模シミュレーションモデルを用いてGSの将来推計を行うために、先行研究におけるGSの推計方法に関するレビュー作業を行うとともに、大規模シミュレーション

モデルを用いた GS の推計方法の検討を行った。

#### 平成 22 年度

GS の推計方法のレビュー作業と、その将来値推計方法の検討作業を継続検討した。その検討を踏まえ、技術進歩率や人口変化率の将来シナリオの変化を考慮したシミュレーションのテストランを実際に行い、その推計作業を実施した。

#### 平成 23 年度

GS の将来値推計方法の検討作業に加え、シャドウ・プライスの推計方法に関する検討を行った上で、温暖化抑制等のシナリオを考慮したシミュレーションを実際に行い、その推計作業を実施し、予備的な政策評価の検討を行った。

#### 研究項目(4) 環境経済政策の実施タイミングに関する研究：

##### 平成 21 年度

環境技術の不連続な変化を想定して、環境新技術の最適導入時期を分析した。具体的には Ramsey モデルに「環境の質」を導入し、効用が消費のみならず、この「環境の質」で決まるように定式化を行った。「環境改善技術」を導入し、その技術水準の変化を加速する投資意思決定に焦点を当てた。

##### 平成 22 年度

技術の不連続な変化と最適導入時期という問題を、内生的時間選好率・割引率との関連で考察した。人々の生活習慣や経済発展の度合いによって変化する時間選好率・割引率を考え、それが動的計画の最適パスをどのように変えるか考察するものであった。また、モデル構築時に問題となるパラメータについて考察した。

##### 平成 23 年度

前年度に続いて、人々の生活習慣や経済発展の度合いによって変化する時間選好率・割引率の問題およびモデル構築時に問題となるパラメータについて考察を続けた。こうした分析を通して、環境技術と経済成長をより一般的に捉える枠組みについて考察を深めた。

#### 研究項目(5) 国際的スピルオーバーを考慮した環境経済政策の分析：

##### 平成 21 年度

国際的なスピルオーバーを考慮した場合の最適な環境経済政策のあり方を、グローバル公共財の知見を用いながら分析するため、多国経済モデルにおいて、環境を通じたスピルオーバーが存在する場合の最適環境経済政策を定式化するための文献研究を行った。特に、自然資本の蓄積が他国にも便益を与える場合の最適貯蓄について、グローバル公共財（または国際公共財）の研究等を調査した。また、調査を踏まえ、地球環境を共に享受する 2 国からなる世代重複モデルを構築し各期の均衡や定常状態の性質を分析した。

##### 平成 22 年度

前年度に構築した理論モデルおよび分析成果を踏まえて、先行研究との比較を考慮した新たな 2 国世代重複モデルを構築した。これを用い、望ましい地球環境の推移を実現するための国際的政策について分析した。特に、環境汚染削減技術を改善させる政策について分析し、2 国モデルにおいて、そのうちの 1 国だけで環境汚染削減技術が改善したとしても地球環境が改善し、世界全体の資本蓄積が増加する場合があることを示した。

## 平成 23 年度

前年度までの結果を踏まえて、国際的スピルオーバーを考慮した場合の望ましい環境政策について、環境技術政策の役割に焦点を当てながら分析した。まず、理論モデルについて、これまでの小国の仮定（世界資本市場における価格受容者と仮定）をおいたモデルとは別に、新しく、大国の仮定（世界資本市場における利子率に与える影響を考慮すると仮定）をおいたモデルを構築し、その性質を分析した。また、政策が各国各世代の厚生に与える影響について分析を行った。その上で、関数型を特定化して数値計算を行って、様々な状況に対して環境政策が持つ効果を数値的に示し、政策的含意を得た。

## 研究項目(6) GS とその他の持続可能性指標に関する研究：

### 平成 21 年度

GS とその他の持続可能性指標に関するサーベイを行うと同時に、GS、エコロジカル・フットプリント、ESI (Environmental Sustainability Index)、EPI (Environmental Performance Index) の公表値をデータ・セットとして整備し、次年度研究における実証分析の枠組みを構築した。

### 平成 22 年度

GS とその他の持続可能性指標の関係に関する統計比較を実施した。また、持続可能性指標と当該期福祉の関係について、特に制度的側面に注目し、パネルデータ分析と構造方程式モデリングによる実証分析を行った。

### 平成 23 年度

持続可能性指標の体系的整理と、それぞれの指標間の相互関係の把握、ならびに複数指標による多面的な持続可能性評価を行った。その際、それぞれの持続可能性指標についてサステイナビリティ基準を設定し、各国の持続可能性を多面的に検討した。

## 2.3 ミーティング開催や対外的発表等の実施状況

### 2.3.1 ミーティングの開催状況

研究を開始した 2009 年 10 月 14 日以降、月に 1 回程度の頻度でミーティングを開催し、進捗状況の相互チェックならびに意見交換と方向性についての討論を行った。その内容は以下の通りである。

### 2009 年度

#### 1. 第 1 回研究ミーティング

日時 平成 21 年 10 月 21 日 (月) 18 時 30 分～20 時 30 分

場所 メルパルク KYOTO 6 階会議室 3

内容

- (1) 研究計画確認と環境省における説明会報告(佐藤真行(京都大学))
- (2) メンバー自己紹介および研究担当項目と研究方法の確認  
(佐藤真行(京都大学)、前田章(京都大学)、中川真太郎(下関市立大学)、佐々木健吾(名古屋学院大学)、山口臨太郎(野村総合研究所))
- (3) 関連研究 Vitousek et al. についての検討 (佐藤真行(京都大学))
- (4) 総合討論
- (5) その他の相談と今後の日程の打ち合せ

2. 第2回研究ミーティング

日時 平成21年11月27日(金) 18時30分～20時30分

場所 野村総合研究所丸の内総合センター9階第13会議室

内容

- (1) 研究報告「二国モデルによる国外自然資本依存の分析」  
(中川真太郎(下関市立大学))
- (2) 研究報告「持続可能性指標と豊かさ指標」  
(佐々木健吾(名古屋学院大学))
- (3) GS概念の確認とスティグリッツ・レポート  
(佐藤真行(京都大学))
- (4) 2010年2月ダスグプタ教授来日ワークショップについての打ち合せ  
(佐藤真行(京都大学))
- (5) その他の相談と今後の日程の打ち合せ

3. 第3回研究ミーティング

日時 平成21年12月26日(金) 16時30分～18時00分

場所 京都大学大学院地球環境学堂 4階第453会議室

内容

- (1) 研究報告  
“Sustainability Dependency under International Relationships”  
佐藤真行(京都大学)  
“Transboundary pollution abatement in an overlapping generation model”  
中川真太郎(下関市立大学)  
「持続可能性指標概論」 佐々木健吾(名古屋学院大学)  
「富およびその変分の将来推計」 佐藤真行(京都大学)  
「再生可能資源と開放経済モデルによる持続可能性分析」  
佐藤真行(京都大学)、山口臨太郎(野村総合研究所)
- (2) 総合討論
- (3) 今後の研究日程と次回研究会の打ち合せ

4. 第4回研究ミーティング

日時 平成22年1月22日(金) 15時30分～18時00分

23日(土) 9時30分～12時00分

場所 海峡メッセ下関 806会議室

内容

- (1) 研究報告  
“Sustainability Dependency under International Relationships: Evidence from  
Genuine Savings of Japan”  
佐藤真行(京都大学)  
“Growth and environmental free-riding in an overlapping generation model”  
中川真太郎(下関市立大学)

“Sustainability and Objective Well-being: an Analysis from Plural Dimensions”

佐々木健吾（名古屋学院大学）

“Genuine Savings of Open Economies with Renewable Resources”

佐藤真行(京都大学)、山口臨太郎(野村総合研究所)

- (2) 総合討論
- (3) 今後の研究日程と次回研究会の打ち合せ

## 5. 第5回研究ミーティング

日時 平成22年3月2日（火）15時00分～18時00分

場所 京都大学大学院地球環境学堂 4階 第453会議室

内容

- (1) 研究報告 「クリティカルナチュラルキャピタル論の現状と課題」  
箆橋一輝（京都大学）
- (2) 研究動向「資源の呪い(Resource Curse)」関連の研究動向調査  
山口臨太郎（野村総合研究所）  
「内生的成長理論による持続可能性分析」の研究動向調査  
村上佳代（京都大学）
- (3) ダスグプタ教授セミナーの総括  
佐藤真行（京都大学）
- (4) 今年度の成果とりまとめにむけての打ち合せ  
佐藤真行（京都大学）

## 2010年度

### 1. 第1回研究ミーティング

日時 平成22年4月10日（土）10時00分～12時30分

場所 京都大学大学院地球環境学堂 4階 第453会議室

内容

- (1) 研究報告
  - ① 中川真太郎（下関市立大学）“Growth and Voluntary Abatement of Transboundary Pollution in an Overlapping Generations Model”（ワークショップ論文の改訂版）
- (2) 研究動向調査
  - ① 佐藤真行（京都大学）「主観的ウェルビーイング（SWB）の研究動向」
  - ② 村上佳世（京都大学） Pittel, K. (2002), Sustainability and Endogenous Growth, Edward Elgar. “Chap.3 Models of Endogenous Sustainable Growth”
- (3) 総合討論
- (4) 今後の研究日程と次回研究会の打ち合せ

### 2. 第2回研究ミーティング

日時 平成22年5月24日（月）15時00分～17時30分

場所 京都大学大学院地球環境学堂 4階 第453会議室

内容

- (1) 研究状況確認
- (2) 環境経済の政策研究に関する評価書へのコメント作成について
- (3) 研究動向調査
  - ① 箆橋一輝 “Critical Natural Capital and Sustainable Development: Its theoretical basis and challenges”



- (4) 総合討論
- (5) WCERE にむけての打ち合せ
- (6) 今後の研究日程と次回研究会の打ち合せ

### 3. 第3回研究ミーティング

日時 平成22年6月21日(月) 15時00分～17時30分  
場所 京都大学大学院地球環境学堂 4階 第453会議室  
内容

- (1) 研究報告
  - ① 中川真太郎(下関市立大学) "Growth and Voluntary Abatement of Transboundary Pollution in an Overlapping Generations Model" (WCERE 報告に向けて)
  - ② 山口臨太郎(野村総合研究所) "Discounting, distribution and disaggregation (割引・分配・分割)"
- (2) 総合討論
- (3) WCERE にむけての打ち合せ
- (4) 今後の研究日程と次回研究会の打ち合せ

### 4. 第4回研究ミーティング

日時 平成22年7月22日 15:30～18:00  
場所 京都大学大学院地球環境学堂 4階 第453会議室  
内容

- (1) WCERE の総括、今後の研究に向けて
- (2) 将来シミュレーションモデルの構築
- (3) 総合討論
- (4) 今後の研究日程と次回研究会の打ち合せ
- (5) 同時開催 細田衛士教授講演会 "Recycling of Waste and Downgrading of Secondary Resources in a Linear Production Economy"

### 5. 第5回研究ミーティング

日時 平成22年8月6日(金) 17時30分～20時30分  
場所 野村総合研究所丸の内総合センター 会議室  
内容

- (1) 中間状況確認
  - ① 今年度の研究計画と分担について
  - ② 今年度これまでの成果について
  - ③ 今年度の成果発表方法について
- (2) 総合討論
- (3) その他の打ち合わせ事項と今後の日程

### 6. 第6回研究ミーティング

日時 平成22年9月10日(金)  
場所 名古屋学院大学

- (1) 中間状況確認
  - ① 将来シミュレーションモデルと技術進歩・公共財モデルとの接合について
  - ② 時系列経路の識別・評価について
- (2) 環境経済学会における本研究成果の報告について
- (3) その他の打ち合わせ事項と今後の日程

7. 第7回研究ミーティング

日時 平成22年9月30日(木) 18時00分～20時00分

場所 京都大学大学院地球環境学 4階 第453会議室

内容

(1) 文献紹介

① 籠橋一輝(京都大学) Pittel, K.(2002) "Sustainability and Endogenous Growth,"  
Edward Elgar Chapter 4 Sustainable Growth and Recycling

(2) 総合討論

① 今後の研究について

② 事務スケジュールの確認と作業分担について

(3) 次回研究会の日程調整

8. 第8回研究ミーティング

日時 平成22年10月22日(木) 18時00分～21時00分

場所 野村総合研究所丸の内総合センター9階 第13会議室

内容

(1) 進捗状況報告

① 佐藤真行

② 前田章

③ 中川真太郎

④ 佐々木健吾

(2) 今年度の研究集会/スケジュールについて

① 12月2日 経済学ワークショップ(九州産業大学)のアナウンス

② 1月28日 今年度の成果発表ワークショップ(京都大学)

③ 2月1日 EAERE 論文締め切り

(3) 今後の研究計画/方法の確認

(4) 次回研究会の日程調整

9. 第9回研究ミーティング

日時 平成22年11月26日(木) 18時00分～20時30分

場所 野村総合研究所丸の内総合センター9階

内容

(1) 11月1日 環境省中間報告会の内容報告と対応の検討 佐藤真行

(2) 進捗状況報告

① 佐藤真行「持続可能性指標のボラティリティと制度の質」

② 佐々木健吾「ガバナンスとANS」

(3) 今年度の研究集会/スケジュールについて

① 1月28日 今年度研究発表会(於 京都)

(4) その他

10. 第10回研究ミーティング

日時 平成22年12月11日(土) 14時00分～17時30分

平成22年12月12日(日) 10時00分～13時00分

場所 海峽メッセ下関 802 会議室(12月11日)

下関市生涯学習プラザ 1階 コミュニティプラザ(12月12日)

内容

(1) 進捗状況報告

- ①中川真太郎”A Two-Country Overlapping Generations Model of Environment and Growth”
- ②前田章「持続可能性測定の金融工学的手法について」
- ③山口臨太郎”Genuine Savings of Open Economies with Renewable Resources”
- (2) 今年度の研究成果報告書の作成について佐藤真行
- (3) 今年度の研究成果報告会について佐藤真行
- (4) その他

## 2011 年度

### 1. 第1回研究ミーティング

日 時 平成23年5月30日(月) 17時00分～21時00分  
場 所 野村総合研究所丸の内総合センター9階 第13会議室  
内 容

- (1) 昨年度成果審査の報告
- (2) 今年度の研究方針コメントについて
- (3) 今年度の研究計画の確認・検討
- (4) EAEREにおける成果発表の準備状況
- (5) 今年度の研究費の使用について
- (6) その他

### 2. 第2回研究ミーティング

日 時 平成23年8月8日(月) 15時00分～18時00分  
場 所 京都大学大学院経済学研究科 8階 リフレッシュルーム  
内 容

- (1) 研究状況確認
- (2) EAERE 報告結果の検討
- (3) SEEPSにおける成果発表の準備状況
- (4) 今後の研究計画と成果発表について

### 3. 第3回ミーティング

日 時 平成23年9月30日(金) 17時00分～21時00分  
場 所 野村総合研究所丸の内総合センター9階 第13会議室  
内 容

- (1) 研究報告 (SEEPSにおける議論の検討)  
佐藤真行 (京都大学)  
中川真太郎 (下関市立大学)
- (2) 進捗状況報告  
前田章 (東京大学)
- (3) 環境省中間報告(9月27日)のコメント対応、研究計画の調整  
佐藤真行・前田章
- (4) 今後の予定、その他  
次回の研究ミーティング (10月)  
2012年1月 EAERE サブミット締切り  
2012年2月 EAAERE 発表大会

4. 第4回ミーティング

日時 平成23年10月28日(金) 17時30分～20時30分

場所 野村総合研究所丸の内総合センター9階 第13会議室

内容

(1) 研究報告・意見交換

前田章「世代内衡平性と世代間衡平性の互換性について」

中元康裕「割引について」

(2) 進捗状況報告

中川真太郎

佐藤真行

(3) 総括に向けての研究計画確認

(4) 今後の予定、その他

次回の研究打ち合わせ(11月)

5. 第5回ミーティング

日時 平成23年11月23日(木) 15時00分～19時00分

場所 東京大学教養学部14号館107号室

内容

(1) 研究発表

佐藤真行 “How Technological Progress Contribute to Sustainable Development”

前田章「排出削減目標設定に対する大規模モデル計算の決定要因」

(2) 進捗報告

中川真太郎

佐々木健吾

(3) 最終報告書構想検討

(4) 今後の予定、その他

12月15日環境省中間報告

12月26日研究成果報告会・意見交換会

次回の研究打ち合わせ(1月)

6. 第6回ミーティング

日時 平成24年1月21日(土) 15時00分～19時00分

22日(日) 9時00分～12時00分

場所 下関市立大学

内容

(1) 研究報告

貿易及び経済システムとGSに関する研究

佐藤真行、山口臨太郎

環境政策シナリオに基づく長期シミュレーションに関する研究

佐藤真行

国際的スピルオーバーを考慮した環境経済政策の分析

中川真太郎

(2) 最終年度報告書執筆状況確認

佐藤真行

(3) 最終年度審査・評価会に向けての準備

佐藤真行

### 2.3.2 対外発表状況

#### ワークショップの開催

##### 2009 年度

2010年2月16日に、今年度の成果を対外的に発表するために、本研究分野に関連する研究者で世界的にも最高峰の学者であるパーサ・ダスグプタ教授を招いたワークショップで、本研究の今年度成果の発表会を行い、貴重な助言を得た。ワークショップ全体のプログラムは、以下の通りである。

Kyoto Seminar on Sustainable Economic Development At Kyoto University February 16, 2010 Moderator : Kazuhiro Ueta, Kyoto University	
10:00	“Sustainability Dependency under International Relationship: Evidence from Genuine Saving Indicator of Japan” Masayuki Sato, Kyoto University
11:00	“Sustainability and the Measurement of Wealth” Partha Dasgupta, University of Cambridge
12:30 - 13:45	Lunch
13:45	“Sustainability and Objective Well-being: an Analysis from Plural Dimensions” Kengo Sasaki, Nagoya Gakuin University
14:15	“On the preference constraint for sustainable development to be optimal” Ken-Ichi Akao, Waseda University
14:45	“Genuine Savings of Open Economies with Renewable Resources” Rintaro Yamaguchi, Nomura Research Institute
15:15-15:30	Coffee Break
15:30	“Estimating Impact of GHG Target-Setting on the Macro Economy” Akira Maeda, Kyoto University
16:00	“Growth and Environmental Free-riding in an Over-lapping Generation Model” Shintaro Nakagawa, Shimonoseki City University
16:30	“The Impact of Globalization on Deforestation” Shunsuke Managi, Yokohama National University

##### 2010 年度

2010年1月28日に、今年度の成果を対外的に発表するために、本研究分野に関連する研究者を招いたワークショップを開催し、本研究の今年度成果の発表を行い、貴重な助言を得た。ワークショップのプログラムは、以下の通りである。

プログラム

13:30-13:45	Opening Address	Masayuki Sato (Kyoto U)
13:45-14:15	Presentation1 “Stability of Sustainable Development Path and the Institution”	Masayuki Sato (Kyoto U)
14:15-14:45	Presentation2 “Environment, Growth, and Technology Gap in a Two-Country Overlapping Generations Model”	Shintaro Nakagawa (Shimonoseki C U)
14:45-15:15	Presentation3 “Political Corruption, Environment, and Economic Growth”	Daisuke Ikazaki (Japan Women’s U)
15min coffee break		
15:30-16:00	Presentation4 “Dynamic analysis of a renewable resource in a small open economy: The role of environmental policies for the environment”	Yasuhiro Nakamoto (Kyushu Sangyo U)
16:00-16:30	Presentation5 “Habit Formation of Resource Consumption”	Akira Maeda (Kyoto U)
16:30-17:00	Presentation6 “Institutional Quality and Adjusted Net Savings”	Kengo Sasaki (Nagoya Gakuin U)
17:00-17:30	Presentation7 Canceled	
17:30-18:00	Comments and General Discussion	K. Ueta (Kyoto U), M. Nakada (Nagoya U), and all of participants.
18:00-	Closing	

**All presentations include short discussion time.**

(3) 2011 年度

2011年12月26日に、3年間の研究成果を体系的に報告するために、本研究分野に近い研究者を招いた研究発表会を開催した。あわせて、環境経済学と持続可能な発展に関する幅広い政策的議論も行った。当日は大雪のため、若干のプログラム変更があったが、有意義な議論となった。ワークショップのプログラムは、以下の通りである。

Time Table

13:30-13:45	Opening Address	Masayuki Sato (Kyoto U)
13:45-14:15	Presentation1 “Economic Analysis of Sustainable Development from spatial and temporal points of view”	Masayuki Sato (Kyoto U)
14:15-14:45	Presentation2 “Human Capital, Environment, and Political Corruption in a Growing Economy”	Daisuke Ikazaki (Japan Women’s U)

14:45-15:15	Presentation3 “International Recycling Agreement”	Fidefumi Yokoo (NIES)
15min coffee break		
15:30-16:00	Presentation4 “Estimating Garbage Reduction and Recycling Promotion under Unite-based Pricing by Multivariate Sample-Selection Model”	Tatsuo Suwa (Yamaguchi U)
16:00-16:30	Presentation5 “The Effects of VAs on Environmental Innovation”	Hiroki Iwata (Fukuoka Institute of Technology)
16:30-17:00	Presentation6 “Keys to Smart Home Diffusion:A Stated Preference Analysis of Smart Meters, Photovoltaic Generation, and Electric/Hybrid Vehicles”	Kayo Murakami (Tokyo City U)
17:00-17:30	Presentation7 Canceled	Aiko Azuma (Hokkaido U)
17:30-18:00	General Discussion	

All presentations include short discussion time.

## 著書の発表

### **2009年度**

なし

### **2010年度**

1. 佐藤真行、「持続可能性の測定と環境の経済評価」、佐和隆光(編)『グリーン産業革命』、日経BP、2010年、pp.82-96。

### **2011年度**

2. Masayuki Sato, “Measuring sustainability and economic valuation of the environment,” in Takamitsu Sawa, Susumu Iai and Seiji Ikkatai (eds), Achieving Global Sustainability: Policy Recommendations, United Nations University Press, 2011, pp.87-101

## 論文の発表

### **2009年度**

1. Rintaro Yamaguchi, Masayuki Sato, and Kazuhiro Ueta, “Genuine Savings with Adjustment Costs” , MPRA papers, No.1637, Munich University, 2009
2. Rintaro Yamaguchi and Masayuki Sato, “Genuine Savings of Open Economies with Renewable Resources” KSI Communications 002, 2010
3. Masayuki Sato, Sovannroeun Samreth and Rintaro Yamaguchi, “Sustainability Dependency under International Relationships: Evidence from Genuine Savings Indicator of Japan” KSI Communications 006, 2010

4. Shintaro Nakagawa, Masayuki Sato, and Rintaro Yamaguchi, "Growth and Voluntary Abatement of Transboundary Pollution in an Overlapping Generations Model", KSI Communications 003, 2010
5. Kengo Sasaki, "Sustainability and Objective Well-being: An Analysis from Multiple Dimensions", KSI Communications 001, 2010
6. Katsunori Yamada, Masayuki Sato, and Yasuhiro Nakamoto, "Measurement of Social Preference from Utility-based Choice Experiments," *under peer reviewing*
7. Masayuki Sato, Sovannroeun Samreth, and Katsunori Yamada, "A simple numerical study on sustainable development with Genuine Saving", *under peer reviewing*

#### 2010年度

8. Katsunori and Masayuki Sato, "The Easterlin Paradox and Another Anatomy of Income Comparisons: Evidence from Hypothetical Choice Experiments," ISER Discussion Papers, Osaka University, 795, 2010.
9. 長屋真季子、前田章「経済発展に伴う環境新技術の最適導入時期」『経済政策ジャーナル』7(2): 10-13. 2010.
10. 前田章「排出許可証取引における市場価格規制」『経済政策ジャーナル』7(1): 68-80. 2010.
11. Kijima, M., A. Maeda, and K. Nishide. "Equilibrium Pricing of Contingent Claims in Tradable Permit Markets." *Journal of Futures Markets* 30(6): 559-589. 2010.
12. 佐々木健吾 (2011) 「弱い持続可能性、ガバナンス、社会的緊張—構造方程式モデリングによる実証分析—」『名古屋学院大学論集』第47巻3号、pp.81-90

#### 2011年度

13. Yasuhiro Nakamoto and Masayuki Sato, "Loss Aversion, Social Comparison and Physical Abilities at Young Age", MPRA papers, No.31221, Munich University, 2011.
14. Masayuki Sato, Sovannroeun Samreth, and Katsunori Yamada, "A Numerical Study on Assessing Sustainable Development with Future Genuine Savings Simulation", *International Journal of Sustainable Development* (refereed), forthcoming
15. 佐藤真行、「持続可能な発展の経済分析」、2011年、『季刊環境研究』、161巻、pp.111-115.
16. Maeda, Akira. "Setting trigger price in emissions permit markets equipped with a safety valve mechanism." *Journal of Regulatory Economics*, Published online: 04 November 2011 (Print version: forthcoming in 2012)
17. 中川真太郎「グローバル公共財とグローバル秩序」『経済論叢(京都大学)』forthcoming
18. Yamaguchi, R. and K. Ueta, "Capital Depreciation and Waste Accumulation in Capital-Resource Economies." *Applied Economics Letters* forthcoming.

#### 学会等の発表

##### 2009年度

1. Maeda, A. and M. Nagaya, "Technological Change in Environmental Quality and Economic Growth." *The 8th International Conference of the Japan Economic Policy Association*. 16pp. (CD ROM) November 2009.
2. Maeda, A. and M. Nagaya. "The Optimal Timing of Transition to New Environmental Technology in Economic Growth." *10th IAEE European Conference, International Association for Energy Economics*. 12pp. (Web) September 2009.



## 2010年度

3. Masayuki Sato, Sovannroeun Samreth, and Kengo Sasaki, “Stability of Sustainable Development Path and the Institution”, Environmental Economics and Sustainable Development Workshop, Kyoto, January 28, 2011.
4. 佐藤真行、佐々木健吾「持続可能性指標のボラティリティと制度の質」、応用地域学会、名古屋大学、2010年12月5日
5. 佐藤真行、サムレット・ソワンルン、山口臨太郎「持続可能性の国際依存」、環境経済・政策学会、名古屋大学、2010年9月11日
6. Katsunori Yamada, Masayuki Sato, and Yasuhiro Nakamoto, “Measurement of Social Preference from Utility-Based Choice Experiments”, International Symposium on Econometric Theory and Application, Singapore Management University, Singapore, May 1, 2010.
7. Maeda, A. and M. Nagaya. “Habit Formation of Resource Consumption.” Environmental Economics and Sustainable Development Workshop, Kyoto, January 28, 2011.
8. Maeda, A. and M. Nagaya. “Habit Formation of Resource Consumption.” The 9th International Conference of the Japan Economic Policy Association. 9pp. (CD ROM) November 2010.
9. Maeda, A. and M. Nagaya. “Resource Use under Endogenous Time Preference.” 29th USAEE/IAEE North American Conference. International Association for Energy Economics. (Online Proceedings) 16pp. October 2010.
10. Maeda, A. and M. Nagaya. “Estimation of the Impact of GHG Target-Setting on the Macroeconomy and Its policy implications.” 11th IAEE European Conference, International Association for Energy Economics. 12pp. (CD ROM) August 2010.
11. Maeda, A. “Estimating the Impact of GHG Target-Setting on the Macroeconomy.” International Energy Workshop 2010. 14pp. (Online Proceedings) June 2010.
12. Shintaro Nakagawa, Masayuki Sato, and Rintaro Yamaguchi, “Environment, Growth, and Technology Gap in a Two-Country Overlapping Generations Model,” Environmental Economics and Sustainable Development Workshop, Kyoto, January 28, 2011
13. 中川真太郎、佐藤真行、山口臨太郎「世代重複モデルにおける成長と越境汚染の自発的削減」、環境経済・政策学会、名古屋大学、2010年9月11日
14. Shintaro Nakagawa, Masayuki Sato, and Rintaro Yamaguchi, “Voluntary Abatement of Transboundary Pollution and International Environmental Policy in an Overlapping Generations Model,” 財政学研究会、牛窓研修センター・カリヨンハウス（岡山県）、2010年 8月30日
15. Shintaro Nakagawa, Masayuki Sato, and Rintaro Yamaguchi, “Growth and Voluntary Abatement of Transboundary Pollution in an Overlapping Generations Model”, 4th World Congress on Environmental and Resource Economists, Québec University at Montreal, June 30, 2010
16. Yamaguchi, R. “Discounting, Distribution, and Disaggregation.” 4th World Congress of Environmental and Resource Economists. (Online Proceedings) June 2010.
17. Kengo Sasaki, “Institutional Quality and Adjusted Net Savings”, Environmental Economics and Sustainable Development Workshop, Kyoto, January 28, 2011

## 2011年度

18. Masayuki Sato, Kazuhiro Ueta and Rintaro Yamaguchi, "Measuring Investment in Capital Assets, Evaluating Disaster Reconstruction and Assessing Sustainable Development", 12th Biennial Conference of the International Society for Ecological Economics, Rio de Janeiro, Brazil, 29 May- 1 June 2012, accepted
19. Masayuki Sato, Kenta Tanaka and Shunsuke Managi, "How technological progress contributes to sustainable development?", The 2nd Congress of the East Asian Association of Environmental and Resource Economics, Padjadjaran University, Indonesia, 4 February 2012.
20. Rintaro Yamaguchi and Masayuki Sato, "Genuine Savings of Open Economies with Renewable Resources," to be presented at the 3rd East Asian Association of Environmental and Resource Economics, Padjadjaran University, Indonesia, 3 February 2012.
21. 佐藤真行、サムレト・ソワンルン、佐々木健吾「持続可能な発展と経路の安定性：ARCH-Mによる制度の影響分析」環境経済・政策学会、於長崎大学、2011年9月24日
22. 中川真太郎、佐藤真行、山口臨太郎「技術進歩と地球環境：グローバル公共財としての環境を伴う2国世代重複モデルによる分析」環境経済・政策学会、於長崎大学、2011年9月24日
23. Masayuki Sato, Sovannroeun Samreth and Kengo Sasaki, "Stability of Sustainable Development Path and the Institution", European Association of Environmental and Resource Economists, University of Rome, Italy, July 2, 2011.
24. Shintaro Nakagawa, Masayuki Sato and Rintaro Yamaguchi, "Environment, Growth, and Technology Gap in a Two-Country Overlapping Generations Model", European Association of Environmental and Resource Economists, University of Rome, Italy, July 1, 2011.
25. 前田章「エネルギー環境経済モデルにおける世代内と世代間の衡平性」エネルギー・資源学会第28回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス（CD ROM報告論文集4pp.）2012年1月
26. Maeda, A. and M. Nagaya. "Habit Formation of Resource Use and Technological Change." 34th IAEE International Conference. International Association for Energy Economics. (Online Proceedings 18pp.) Stockholm, Sweden. June 2011.
27. 長屋真季子、前田章「消費の習慣形成を考慮した枯渇性資源の最適利用」日本経済政策学会第68回全国大会（駒澤大学）（CD ROM報告論文集20pp.）2011年5月
28. Maeda, A. and M. Nagaya. "Resource Use and Technological Change with Endogenous Time Preference." International Energy Workshop 2011. Stanford, USA. July 2011.
29. 長屋真季子、前田章 "Resource Consumption with Endogenous Time Preference", 日本経済学会2011年度春季大会（熊本学園大学）2011年5月
30. 前田章「環境エネルギーに対する市場ベースの政策手段—市場安全弁メカニズムを中心に」2011年度中之島ワークショップ『金融工学・数理計量ファイナンスの諸問題2011』（大阪大学）2011年12月3日

## Ⅱ 研究の内容

### 要約

本研究は、持続可能な発展へ向けた環境政策・経済システムを考察する上で重要な分析視点の体系的整理し、その分析枠組を開発するものである。すなわち、持続可能な発展の分析視点を時間軸および空間軸の両面から体系的かつ総合的に整備し、この体系に基づいて、「ジェニユイン・セイビング(GS)」に関する理論的ならびに実証的動学分析を行い、持続可能な発展へ向けた環境政策・経済システムを構築するための環境経済政策に寄与する分析枠組を開発する。この体系と分析枠組は、政策担当者にとっても利用可能であり、政策立案ならびに評価に資するものである。

本研究で着目する GS は、資本蓄積概念に環境資本や人的資本などを明示的に取り入れたものであり、福祉の源泉たる富の時間変分の価値を測ることにより、環境基盤の保全と経済発展の度合いを総合的に分析する持続可能性指標である。GS は将来の福祉の変化を査定する指標であるため、将来世代への配慮を含んだ指標として非常にシンプルでありながら重要な含意をもつものである。つまり、GS は今日とる政策が将来世代の福祉にいかなる影響を及ぼすかについての情報を包含するものであるため、長期的な視点にたつ政策を考える際に参照すべき重要指標であるといえる。もちろん、GS を参照する際には注意する点もある。なかでも、GS がいわゆる「弱い持続可能性」指標である点に注意すべきである。すなわち、この指標は資本間（例えば自然資本と人工資本）の代替可能性を前提に構築されている。しかしながら、資本間の代替可能性を問題視する「強い持続可能性」の立場もある。そこで本研究では、GS を主たる指標として考えながら、強い持続可能性を含めた GS 以外の持続可能性指標との関係を分析することによって議論を補完している。

ところで、発展の持続可能性を指標によって捉える際、もつべき視点は二つあると考える。その一つ目は、持続可能性を議論する際の空間的ひろがりに関わる。二つ目は、どの程度の時間視野をもって発展を構築していくかに関わる。この二つの視点は、これまでの研究で統合的に分析されてこなかったが、今日のグローバル経済と持続可能性という長期的課題を扱う際には極めて重要である。本研究では、こうした視点を明示的に採用し、環境～社会～経済という広がりをもつ持続可能な発展について考えるひとつの方法論的枠組みとその実践による政策的含意の導出を行っていく。

本研究の目的は、環境基盤への投資が国民福祉の持続可能な向上につながるような経済メカニズムを解明し、その知見を通じて持続可能性を体現した経済システムへの到達方法や到達度を評価する方法を確立することである。しかも、本研究で扱う論点は、世界的にもまだ十分に解明できていないものであるため、本研究は日本国内の政策研究はもちろん、諸外国に与えるインパクトも期待できる。ここでは、次の二つを目的として設定する。

- GS と環境基盤を参照した経済成長モデルの構築
- 環境基盤をもとに持続可能な発展を遂げるための新しい経済システムのデザイン

この2つの目的に対応して、以下のとおり研究を実施する。

第一に、本研究は、特に環境基盤との関係に焦点を当てながら、GS の動学、すなわち、GS がいかなる経路を辿るか、あるいは辿るべきかという動的な性質を解明すると同時に、望ましい経路を実現する上で環境基盤投資がいかなる有効性を持つかを明らかにする。この動的な性質は、実証研究においても深く考慮されず、時間的な平均値あるいは現状値の分析と評価のみが着目されてきた。これに対し本研究では、GS およびそれを内包する経済成長モデルの動学的性質を、環境を基盤とする経済システムを構築する観点から分析する。

第二に、貿易を明示的に取り入れた枠組みで、環境基盤の初期配分と、資源・環境の対外依存下にある国家の GS の性質について明らかにする。また、現実には実に多数の持続可

能性指標が提案されており、政策立案で参照すべき指標の特定に混乱が生じかねない。そこで本研究では、GS と他の持続可能性指標を対比・比較し、各指標の妥当性を分析する。同時に、GS と環境基盤指標との関係性を明らかにすることで、新たな経済システムを構築するうえでの諸指標の有用性を明らかにする。

具体的には、以下の4つの研究サブテーマ（I～IV）と6つの研究項目(1)～(6)を掲げ、研究を実施する。

- I. GS の時系列過程の分析に基づく環境を基盤とした発展パターンの抽出 (1)
- II. 貿易および経済システムと GS に関する研究 (2)
- III. 環境政策（環境基盤投資）シナリオに基づく長期シミュレーションに関する研究 (3)
  - (III-1)環境経済政策の実施タイミングに関する研究 (4)
  - (III-2)国際的スピルオーバーを考慮した環境経済政策の分析 (5)
- IV. GS とその他の持続可能性指標に関する研究(6)

以下、研究項目ごとに要約する。

研究項目(1) 政策立案において参照する GS を始めとする指標は、各年のスポット値を独立に、あるいは数年の平均で集計した値だけに着目すると、発展の形状が含んでいる重要な情報を見逃してしまう。これについて、時系列データを詳細に分析することによりこうした失われがちな情報を汲み取る着眼と方法を提唱した。まず、各国について、平均、傾向、分散を分析し、この3つの次元に各国の分布を図式化した。そしてこの散らばりを計量経済学的に分析するために時系列分析を行い、これまでの評価視点を拡大することができた。

この分析は、持続可能性の実証的な評価において時間的な視点を明確にすることに繋がり、持続可能性という制約の下で環境を基盤として発展する望ましい発展経路パターンの抽出がなされた。これは、これまでの GS 研究に対する確実な貢献であるだけでなく、政策立案において必要な指標の参照の仕方に関する有益な知見であり、新たな経済システムを構築するための重要な情報を与えるものである。最後に、安定で持続的な発展経路に乗せるための要因について、制度・政策変数に着目し、持続可能な発展を実現する際に重要となる政策的に操作可能な要因が分析された。

研究項目(2) 我が国の経済システムは、貿易によって獲得される対外資源に依存している。このことは我が国の持続可能性は資源輸出国の持続可能性に影響されていることを意味するが、こうした事実に関する分析により、対外依存経済における持続可能性分析が推進される。

我が国のように資源を輸入に依存する経済がどのように持続可能性を担保していくべきかを分析するため、資本・枯渇可能資源モデルを再生可能資源に置き換えたモデルを構築し、閉鎖経済と開放経済の下での GS を理論的に考察し、最適経済成長のための必要条件からホテリング・ルールを導出した。この最適状態での GS は、資本の増分から、再生可能資源の利用量と再生量の差を適切なシャドウ・プライスで価値付けた値を引いたもので計算できる。さらに、乱獲、乱伐、資源放置等が見られる不完全経済での GS も算出した。

開放経済では、資源輸出国（財の輸入国）の GS は、上記に加えて、キャピタル・ゲイン等を加えたものになり、ホテリング・ルールには、資源が資源輸入国に漏れ出してしまう項が加わる。このことより、森林や漁場は近隣国が協調して管理することで資源価格の急な上昇と早い枯渇を防ぐ必要があるといえる。持続可能性の指標は、漁業資源のように必ずしも財産権が一国に属さない資源の管理が関係する場合、国家単位の指標のみでは不十分であることが分かった。

研究項目(3) 本研究項目では、GS の推計方法のレビューと、その将来値推計方法の検討、

加えて温暖化防止シナリオを考慮したシャドウ・プライスの推計方法について検討作業を実施した。これにより、GSの定式化から推計するためのデータまで、当該モデルを用いて一通り整えることができた。これらを踏まえ、実際にシミュレーションを行って、GSの将来推計作業を実施した。シミュレーションは、エネルギー資源、環境影響評価、マクロ経済などを組み合わせた大規模シミュレーションモデルを用いた試算を行うものであった。その結果得られたGSの値から、技術進歩率を考慮に入れると持続可能な発展の経路を辿る可能性があることが分かった。温暖化抑制に関しては、経済効率性を最適にする（環境外部費用を内部化する）シナリオにおいて、GSの値が最良となる試算結果が得られた。

研究項目(4) 上掲項目(3)に関連して、本研究項目では、環境技術と経済成長モデルの枠組みを中心に、GSの概念を支えるモデリング上の諸問題について理論的な考察を行った。

研究開始初年度から平成22年度にかけては、環境技術の不連続な変化を想定して、環境新技術の最適導入時期を分析した。続いて平成22から23年度にかけては、技術の不連続な変化と最適導入時期という問題を、内生的時間選好率・割引率との関連で考察した。人々の生活習慣や経済発展の度合いによって変化する時間選好率・割引率を考え、それが動的計画の最適パスをどのように変えるか考察するものであった。こうした研究は理論的なレベルに留まるものであるが、政策策定の中に「最適導入時期」や「習慣形成」をどのように取り込むべきかという、より高次元の政策論争に寄与するものであると考えられる。

上記と並行して、平成22～23年度には、モデル構築時に問題となるパラメータについて考察し、本研究のシミュレーションの妥当性を向上させた。昨今は環境政策策定において、コンピュータシミュレーションモデルの弾き出す計算結果が重宝されるような場面がしばしばあり、モデルの中身や構築の手順を理解することは、政策策定にあたる行政にとって大きなニーズになっている。ここでの研究は、環境政策分析コンピュータモデルの骨格、その計算結果の意味するところ、さらには、その計算結果を左右するキーファクターを明らかにした。

研究項目(5) 上掲項目(3)に関連して、本研究項目では、GSにおいて扱われる自然資本に関連する地球温暖化問題等の公共財的性質を考慮するために、環境汚染の国際的スピルオーバーが存在するときの環境政策について分析した。2国世代重複モデルを用い、環境技術政策の役割に焦点を当てた。モデルでは、2国がいずれも小国（利子率を所与として行動する国）であるケースと、2国がいずれも大国（自らの政策が利子率に与える影響を考慮する国）であるケースを想定したモデルを構築し分析を行った。分析結果の中でも、特に、一国だけで環境汚染削減技術が改善した場合に、同国の汚染削減の増加を通じて、世界全体の環境が改善し、資本ストックが増加することを示した。ただし、この場合、汚染削減技術が改善した後の同国の数世代の家計は、汚染削減技術が改善する以前と比べて厚生が悪化する事も示した。このような厚生が悪化する事は、両国で共に汚染削減技術が改善する場合には生じない。従って、この結果は優れた環境技術を世界に普及させることの重要性を、政策的に含意するものである。

ここでの自然資本から生じる便益に国際的なスピルオーバーが存在する場合の自然資本蓄積についての理論的洞察と政策的知見は、GSを国際的な文脈においてとらえ、グローバル化下における環境経済政策を考察する上で、本研究のシミュレーションの妥当性を向上させると同時に、重要な学術的貢献でもあった。

研究項目(6) 本研究項目では、持続可能性指標の体系的整理と、それぞれの指標間の相互関係の把握、ならびに複数指標による多面的な持続可能性評価を行うことで、政策実施の指針となりうる情報を提供した。特に、国際統計の比較に関する分析を通じて、次の3点を明らかにした。第一に、GSを含む持続可能性指標等と現在（当該期）福祉の関係について、制度、教育、健康といった現在福祉の構成要素は、GSの水準の高さ（パフォーマンス）と

両立することが示された。その一方で、現在福祉と、エコロジカル・フットプリントや生物多様性指標などのパフォーマンスは両立しないことが明らかになった。第二に、複数の指標に基づいた持続可能性評価の必要性について、各々の持続可能性指標には一長一短が存在することを指摘した。データの利用可能性なども考慮すると、ある 1 つの指標から持続可能性を評価するよりも、異なった視点を持った複数の指標から評価するほうが、環境政策評価において実用的かつ適切であることが明らかになった。第三に、将来福祉の持続可能性に対する評価指標に加え、現在福祉を構成する項目（特に日常生活に関する主観的福祉の指標）を整備することが、持続可能な発展へ向けた環境政策・経済システムを考察する上で不可欠であることを指摘した。

以上の 6 項目の研究成果から得られた知見は、以下のようにまとめられる。

#### 1. 持続可能な発展の実現に向けて

- (1) 今日のグローバル経済において、持続可能な発展はどの国も単独で実現できるものではない。各国の持続可能性に関する指標を参照する際には、それぞれ他国に依存していることを忘れてはならない。特に、資源依存の持続可能性への影響は、国民国家ごとの指標では見失われてしまう。そのため、貿易構造を踏まえて、それぞれの国で持続可能性を確保していく必要がある。
- (2) 地球の環境や自然資本は国際公共財的性質を持っており、優れた環境技術を外国に普及させるなど国際的な協力も必要となる。
- (3) 持続可能な発展を実現する際に、技術進歩への投資は重要な役割をもつ。潜在的技術への切り替えを適切に実現するために、政府の技術基準設定、インセンティブ付与のタイミングを資源のシャドウ・プライスに鑑みて設定する必要がある。
- (4) 持続的で安定的な発展経路を実現するための制度・政策要因は重要である。また、貿易開放度や政府支出の大きさについても、発展経路の安定性を考慮する必要がある。

#### 2. 持続可能な発展に寄与する政策の立案・評価について

- (1) 持続可能な発展に寄与する政策を考える場合、過去の発展経路を踏まえた上で判断しなければならない。そのとき特に注意すべきなのは、各年の指標の示す数値だけでなく、その動態経路であり、平均・トレンド・ボラティリティをあわせて考慮すべきである。
- (2) 将来の政策効果は、シミュレーションによってある程度予測可能である。技術進歩の効果、汚染排出規制の効果は小さくなく、環境要因に関する数値目標を設定する際には、マクロシミュレーションモデルによって、経済システムの相互影響をチェックすることは有用である。
- (3) 持続可能な発展は、経済要因にのみに関わる概念ではない。持続可能な発展の定義は多様であり、GS のような「弱い持続可能性」の視点に加えて、さらに広範な視点で発展動向をチェックする必要がある。そのためには様々な指標間の相互関係を把握しつつ、政策立案時に広範な指標を参照すべきである。
- (4) 政策は、主観的福祉と持続可能性など、異なる指標に同時に異なる影響を与える。1 つの指標を改善する政策が他の指標を悪化させる可能性もある。政策立案・評価においては、それぞれどのような影響を与えるのかを、重要な課題として検討しなければならない。

## 1. 序論

近年、持続可能な発展へ向けた環境政策と経済システムの必要性が広く認識されるようになってきている。持続可能性については、これまで、ブルントラント・レポートによる定義などを踏まえた上で、その概念を経済学的に再定式化し、その経済的効率性との関連、その下での発展経路などについて、学術的な分析が精力的に進められてきたところである。持続可能性はその問題領域の広さのため、これまでの研究では大枠として「経済」、「環境」、「社会」という3つの評価軸で語られることが多かった（古沢 2003）。そこでは当然ながら経済学だけでなく、さまざまな学問領域を総動員した議論が展開されている。

持続可能性について、このように「経済」「社会」「環境」という広がり意識して議論を展開していくことはもちろん重要である。しかし、この概念に基づいて、環境を基盤として発展する新たな経済システムを実現していく際には、そうした議論だけでは不十分であるといわざるを得ない。実際に社会全体が目指すべき方向性を想定した場合、その道筋を評価するための具体的な指標や分析枠組が必要となる。この点に焦点を絞った研究が強く求められている。

こうした問題意識のもとで持続可能性を捉え直してみると、我々の持つべき視点は二つあると考えられる。その一つ目は、持続可能性を議論する際の空間的ひろがりについてである。ある地域あるいは国の経済発展は持続可能か否かを知りたいときに、さしあたり当該地域／国の諸データを収集し、さまざまな「指標」を構築する。そして、その指標を何らかの基準に照らし合わせて、その国の持続可能性を判断する。しかしながらこれだけでは非常に不十分である。今日のグローバル化によって、他国との結びつきが非常に強くなっている。こうした状況においては、ある国の持続可能性を判断するときに、その国だけに注目して判断することができなくなる。なぜならば、その国が結びついている他の国の持続可能性が、その国の持続可能性に強く関わってくるからである。しかしながら、多くの指標は国民国家単位で集計され判断されることが常であり、これまでの研究でもそうした単位で議論される傾向にある。これに対して、この諸単位同士のつながりを意識した分析を行うことによって、より妥当性のある持続可能な発展の議論を行うことが必要である。

二つ目は、どの程度の時間視野をもって発展を構築していくかという点である。持続可能な発展といったときに、地球温暖化問題のような100年を超えるスパンの問題もあれば、貧困からの脱却や自由で平等な市民社会の構築といったような急を要する問題もある。そうした時間の流れの中で、持続可能な発展に必須の環境政策や技術開発を、どのタイミングで実施するかというのはクリティカルである。こうした問題に対応するためには、動学的分析モデルを組み立て、様々な時点におけるアクションが後の時点にいかなる影響を与えていくかを包括的に分析していくことが求められる。また、超長期の将来展望を見出すためには、大胆にシナリオを切って、計量分析モデルを用いた推計も必要となってくる。

以上のような問題意識と持つべき二つの視点から、本研究では、ピアスとアトキンソン（Pearce and Atkinson, 1993）によって提唱された「ジェニユイン・セイビング（Genuine Savings: GS）」という概念を中心にして、持続可能な発展へ向けた環境政策と経済システムについて検討を行う。ここにいうGS（他に、Genuine Investment, Adjusted Net Saving, Inclusive Investment など様々な呼称がある）とは、資本概念に環境資本や人的資本などを明示的に取り入れた概念であり、環境基盤の保全と経済発展の度合いを総合的に分析する上で非常に有用なものであると考えられる。これに関連する研究として挙げられるのはダスグプタら（Dasgupta 2004）であるが、彼らは、人間福祉の源としての包括的な富を考え、持続可能性のチェックを富の増減で判定するための理論的基礎付けを行なった。こうした研究例は、本研究と目的意識を共有していると言える。

本研究の目的は、環境基盤への投資が国民福祉の持続可能な向上につながるような経済メカニズムを解明し、その知見を通じて持続可能性を体現した経済システムへの到達方法や到達度を評価する方法を確立することである。より具体的には、「ジェニユイン・セイビ

ング(GS)」と環境基盤を参照した経済成長モデルの構築、環境基盤をもとに持続可能な発展を遂げるための新しい経済システムのデザインを目指すものである。

研究全体は、以下の4つの研究サブテーマ（Ⅰ～Ⅳ）と6つの研究項目(1)～(6)として進められる。

1. GSの時系列過程の分析に基づく環境を基盤とした発展パターンの抽出 (1)
2. 貿易および経済システムとGSに関する研究 (2)
3. 環境政策（環境基盤投資）シナリオに基づく長期シミュレーションに関する研究 (3)
  - (Ⅲ-1)環境経済政策の実施タイミングに関する研究 (4)
  - (Ⅲ-2)国際的スピルオーバーを考慮した環境経済政策の分析 (5)
4. GSとその他の持続可能性指標に関する研究 (6)

ここで扱う論点は、世界的にもまだ十分に解明できていないものであり、日本国内の政策研究はもちろん、諸外国に与えるインパクトも大きい。また、既存の経済学領域の幅広い内容に総合的に関わるものであるため、経済学領域における広範な先行研究を基礎とするのと同時に、本研究で進められた研究知見は広範な範囲における学術的貢献となる。特に関わりの深い領域として、経済発展を分析するマクロ経済学、資源の価値および動態を分析する資源経済学、環境影響を考慮して経済メカニズムを分析する環境経済学、国際公共財を分析するための公共経済学、様々なデータを解析する計量経済学、将来シミュレーションを行うための経済システム工学が挙げられ、本研究によってこれらが統合され、「持続可能な発展」を分析し、実現するための政策研究が達成されるように研究体制が敷かれている。

大分類	項目・キーワード
マクロ経済学	経済成長モデル 世代重複モデル 割引率 技術進歩
資源経済学	枯渇性資源・再生可能資源 国際資源移動
環境経済学	資本間の代替可能性 シャドウ・プライス 環境政策・技術採用タイミング 所有権・オープンアクセス・制度
公共経済学	国際公共財 国際的スピルオーバー
計量経済学	時系列分析・ボラティリティ変動モデル 共和分・Granger 因果・衝撃応答
経済システム工学	統合影響評価 環境政策シナリオ



## 2. GSの時系列過程の分析に基づく環境を基盤とした発展パターンの抽出

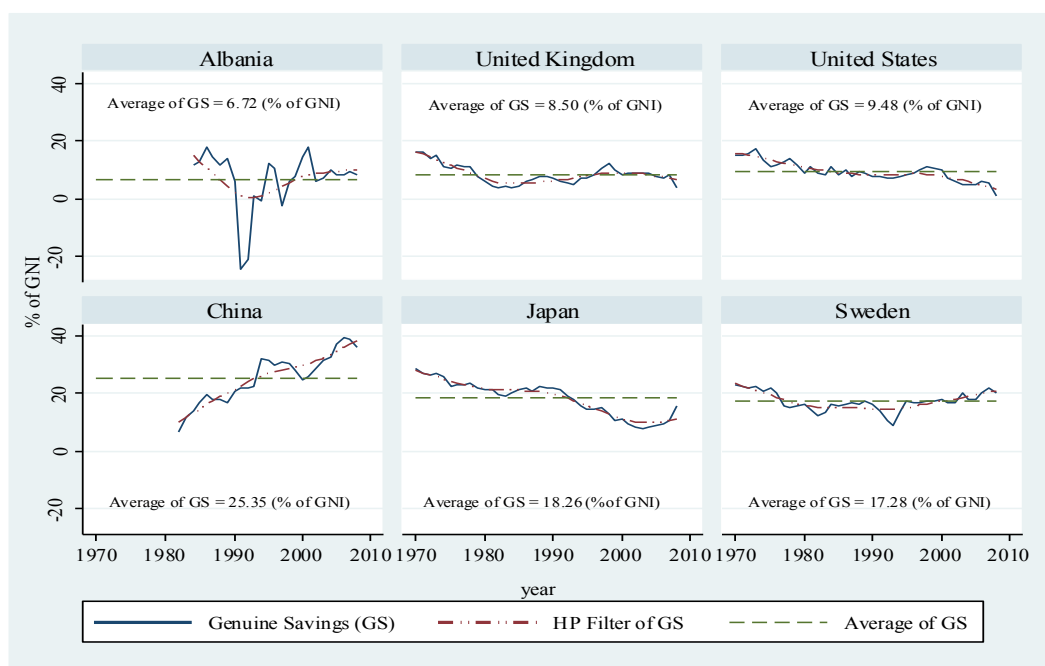
### 2.1 背景

政策の立案、評価にあたっては、これまでも様々な指標が参照されてきた。そうした指標群は、計測精度の向上ならびにデータの蓄積によって、非常に重要な情報を含むものとなってきている。こうした指標の参照なしには政策の立案・評価は不可能とあってよいだろう。

しかしながら、しばしばこうした指標の数値は、毎年ごとの数値、あるいは過去数年（数十年）という任意の時間範囲の平均値などで集計されて用いられることが多い。しかしこの集計の過程で失われる情報も実は多いのである。たとえば、毎年何らかの指標（例えば犯罪率や県民豊かさランキングなど）に基づくランキングが注目され、その情報に基づいた議論がなされることがある。しかし多くの場合において、毎年ごとのスポット値が注目されており、上昇傾向にあるのか下降傾向にあるのか、安定的なのか不安定なのかについては注目が集まりにくい。

こうした情報は無価値ではなく、特に持続可能な発展という長期目標を議論するうえでは、今日の指標だけでなく、今日に至る過去の経路がいかなる形状をとっているかが重要になる。たとえば、本研究で注目するGSの発展経路を見てみよう。図2.1は、その発展経路は各国により実に様々であることを示している。上昇傾向で発展している国もあれば、下降傾向の国もある。また非常に安定的な経路を辿っている国もあれば、不安定な国もある。すでに定義したとおり、GSの理論に基づく持続可能性の評価は、その値が常に非負であることを要請する。ところがこれまでの実証研究では、過去数十年の平均値が非負であるか、あるいは各年の値が非負でないかを検討してきた。そのアプローチにおいては、傾向（トレンド）や安定性（ボラティリティ）についての情報は参照されない。

図 2.1 様々な発展経路



本章では、発展経路の形状を評価に入れたとき、GSに基づく持続可能性評価にいかなる違いが生じるかを明らかにする。そのうえで、GSを始めとする持続可能性指標は、過去の形状を評価に含めることの重要性ならびにそうした情報を評価するための分析方法を提供する。最後に、特にボラティリティに着目して、いかなる国が不安定性を示すのか分類し、安定で持続的な発展経路に乗るための条件を整理する。

## 2.2 過去の経路の評価—特にボラティリティに着目して—

### 2.2.1 持続可能性条件の破綻リスク

これまで述べたとおり、GSという概念は、経済学（経済理論）に基づいて持続可能性を議論しようとする際にしばしば採用される定式化である。今日では、世界銀行はGSのデータベースを提供し、研究者ならびに政策担当者は毎年の情報にアクセスできるようになっている。それによって、GSに基づく実証研究も世界中で蓄積しつつある。これまでの研究で優れた政策的ベンチマークを提供した研究として、Hamilton and Clemens (1999) がある。経済発展により人工資本蓄積が進む一方でどの程度自然資本ならびに人的資本が変動しているかを示した。この研究により、サブサハラ・アフリカ諸国、中東および北アフリカといった石油産出国においてGSが負値をとっていることが証明された。また急速な資源の利用が持続不可能の主たる原因であることを主張し適切な資源価格の設定を主張した。また、Neumayer (2000)は世界銀行とはことなる資源レントの推定方法を採用し、Hamilton and Clemens(1999)で持続不可能と判定された国々のなかには、実は（GSというコンセプトで判断して）持続可能であることを示した。Arrow et al. (2004)も過去30年ほどのGSを観察し、人口変動ならびに技術進歩を踏まえた再評価を行った。

しかし、これまでの研究では過去の経路自体を評価に入れる試みはなかった。前小節で述べたように、持続可能な発展という長期的な課題を議論する上では、どのような経路に乗って発展しているかを確認することは将来ビジョンを設計する上で欠かせない。そこで本章では、過去の時系列的発展経路に基づき、そのトレンドとボラティリティを踏まえた上で将来の持続可能性条件の破綻リスクを定量化するという方法で、過去の発展経路の形状を分析する。具体的には、世界銀行のデータを用いた時系列分析（AR）によりそれぞれの国の確率過程を推定する。その推定された確率過程に基づいて、各国の最新のGS値を初期値として、モンテカルロ法により以下の2つを定量化することで、将来の持続可能性を評価する。

1. 50年以内にGSが負値を経験する確率
2. GSが非負であり続ける平均期間

この2つの測度には、高いボラティリティ・GSの低下傾向・低いGS値をもつ国は将来の持続可能性が低いものと推定される性質をもつ。したがって、過去の経路の情報が含まれているために先行研究の判定結果と異なる可能性がある。これについて先行研究との比較検討を行う。また、将来の持続可能性が低いと判定された国々は、政府による政策介入が求められるだろう。その際に注力すべき資本項目はいかなるものかについても分析する。

### 2.2.2 方法とデータ

現実世界における様々な現象とデータセットが示しているように、ほとんどの国民経済の状態は様々な外的ショックに反応しながら移行している。こうした場合においては、GSが常に非負であるという持続可能性条件は、単に過去の平均値において将来の状態を査定することはできない。そこで本章では、シミュレーション法を用いて将来の状態を査定するアイデアを提供する。

一般に、貯蓄率の移行方程式は非線形であるが、本章ではAR(1)過程によってこの移行を近似できると仮定する。そのために、GSに関する以下のAR(1)過程を考える<sup>2</sup>。

$$GS_{i,t} = const_i + \beta GS_{i,t-1} + \varepsilon_i$$

ただし、 $\varepsilon_i$ は平均0、分散 $\sigma^2$ の正規分布に従うランダム項とする。また  $i$  は国を表すインデックスとする。

本研究では、(1) 50年以内にGSが負値を経験する確率、(2) GSが非負であり続ける平均期間という2つ判断基準は、先行研究による過去のGS値の判断基準の自然な変形である。この基準を掲げたとき、GSの確率過程が相対的に高いボラティリティを持つ場合、また低いGSの定常状態を持つ場合に、持続可能性について否定的な判断が下されると考えられる<sup>3</sup>。

この方法に、世界銀行のWDIデータベースから入手可能なデータを当てはめて分析する<sup>4</sup>。このデータベースにおけるGSデータはGNI比となっている。このデータベースは208の国と地域を含んでいるが、AR(1)を実施するために十分なサンプルサイズを確保するために、20年以上のデータが入手できない国については除去して分析した。その結果、結果の表に見られる85カ国について結果が得られた。

### 2.2.3 シミュレーション結果

結果(表2.1)が示すとおり、ほとんどの国において、トレンド項は1よりも低い正の係数と、正の定数項をもっている事がわかった。こうした国のAR(1)過程はStationaryであり、定常状態において0から1の間の正の値をもつことを意味する。幾つかの国においては、推定された定数項の信頼水準は90%レベルに満たない場合もあるが、もしこうした定数項を除去したとしても、1以下に推定されたラグ係数によってそうした国のGSは明らかにゼロに近づいていく。したがってそうした自明の国もこの表には含めている。なお、こうしたバイアスは持続可能性条件の破綻リスクを下方に評価するため、もしもこの推定値で非持続的と判断された場合は、実際において高い確率で非持続的であると考えてよい。

ここで興味深いのは、初期条件が類似したレベルであっても、高いボラティリティ( $\sigma$ )を持つ国は将来において高い確率で持続可能性条件を破綻させうる点である。また、低い定常状態を持つ国も同様に将来において高い確率で持続不可能となることが示された。本表では代表的な先行研究としてHamilton and Clemens (1999)とArrow et al. (2004)の結果を合わせて紹介しているが、本研究からの判断は、過去の研究と異なる場合があることが見て取れる。この相違は、各国のGSデータの時系列におけるボラティリティを考慮していることに起因しており、本研究の分析枠組みは、持続可能性の評価においてより多い情報を含むものであるといえる。

<sup>2</sup> このようなAR(1)を考える理由は、より複雑なAR過程を推定するのに十分な時系列データがないことによる。ただし、このAR(1)の過去の時系列データへのフィットは良好であることを確認している。図は、推定されたAR(1)過程を用いて、初期条件を最新年のGSとし、モンテカルロ法によって将来の持続可能性についてのGSの経路を予測する。ここでは、10,000回のイタレーションで信頼区間95%範囲を生成して、その範囲内にあることを確認した。

<sup>3</sup> 定常状態は推定されたAR(1)過程から計算される。

<sup>4</sup> このデータベースの全般的な統計分析としては、Hamilton and Atkinson(2006)やGnègnè (2009)に詳しい。

表 2.1 先行研究の持続可能性評価と本研究結果

Table 1: Comparison of GS as percentage of output and simulation results

Country	(1)	(2)	(3)							
	Hamilton and Clemens (1999)	Arrow <i>et al.</i> (2004)	This study				Simulation results			
	GS as percent of GNP	GS as percent of GDP	Estimated results of AR(1) process				Simulation results			
			constant	$\beta$	St. dev. of $\varepsilon$	Steady state GS rate	Initial condition	% of experiencing negative GS in 25 years	% of experiencing negative GS in 50 years	Average years before having negative GS
<i>Latin America and the Caribbean</i>										
Belize	16.7		1.10(2.03)	0.87(0.12)	5.61	8.61	0.4	89.20	93.00	16.09
Bolivia	-15.4		-1.11(0.85)	0.83(0.10)	4.96	-6.66	-18.72	100.00	100.00	N.A. <sup>a</sup>
Brazil	11.8		2.81(1.30)	0.72(0.12)	2.04	9.97	8.31	0.80	1.34	>1000
Chile	13.2		-0.16(0.72)	0.92(0.08)	3.57	-2.13	-4.93	99.70	99.94	N.A. <sup>a</sup>
Costa Rica	14.7 (*)		1.43(0.74)	0.87(0.08)	2.52	11.43	16.62	8.10	22.80	182.07
Dominica			0.08(1.70)	0.84(0.15)	5.55	0.50	-6.42	99.30	100.00	N.A. <sup>a</sup>
Dominican Republic	10.3		12.87(2.35)	-0.00(0.18)	3.33	12.81	7.75	0.20	0.29	N.A. <sup>b</sup>
Ecuador	-4.1		-1.29(0.80)	0.88(0.08)	3.62	-10.68	-14.06	100.00	100.00	N.A. <sup>a</sup>
El Salvador	5.9		1.26(0.97)	0.80(0.11)	3.24	6.26	2.04	77.60	92.20	16.01
Fiji			3.27(1.66)	0.70(0.13)	4.12	10.78	38.80	27.90	53.81	63.87
Guatemala	1.2		0.31(0.36)	0.85(0.09)	1.66	2.11	2.87	81.50	97.40	14.23
Honduras			1.68(1.29)	0.91(0.08)	3.84	17.76	23.29	10.30	24.60	180.49
Jamaica	-2.4		1.50(1.18)	0.85(0.09)	4.88	10.04	14.55	62.20	84.29	28.91
Mexico	3.6		0.38(0.59)	0.88(0.07)	2.64	3.22	4.01	82.70	95.52	14.98
Nicaragua			-2.23(2.44)	0.69(0.13)	13.30	-7.10	5.51	100.00	100.00	N.A. <sup>a</sup>
Paraguay	1.0		5.51(1.72)	0.48(0.15)	3.77	10.56	10.4	13.60	25.82	159.58
St. Vincent and the Grenadines			6.52(2.71)	0.50(0.17)	7.30	13.14	5.66	70.50	90.48	20.48
Tonga			10.68(3.65)	0.35(0.21)	7.38	16.34	22.58	34.50	56.70	55.88
Trinidad and Tobago	-7.9		-3.34(1.66)	0.64(0.14)	7.73	-9.21	-22.90	100.00	100.00	N.A. <sup>a</sup>
Uruguay			2.73(1.38)	0.64(0.14)	4.87	7.55	3.13	84.60	97.07	12.52
Venezuela, RB	-14.5		-1.07(1.09)	0.80(0.09)	6.33	-5.31	-6.91	100.00	100.00	N.A. <sup>a</sup>
<i>East Asia and the Pacific</i>										
China	21.5	22.72	0.86(1.19)	0.97(0.06)	4.18	26.38	33.20	5.30	16.29	218.81
Hong Kong, China	21.7 (**)		14.38(3.51)	0.33(0.16)	2.00	21.42	21.56	0.00	0.00	N.A. <sup>b</sup>
Korea, Rep.	29.6		3.27(1.64)	0.86(0.07)	2.49	23.72	22.12	0.00	0.00	N.A. <sup>b</sup>
Malaysia	18.6		1.22(1.21)	0.90(0.08)	3.46	11.86	9.18	38.00	56.80	62.85
Philippines	8.0		2.89(1.53)	0.83(0.10)	3.33	16.80	21.29	2.10	5.28	747.32
Thailand	28.1		2.98(1.75)	0.85(0.09)	2.20	20.07	18.56	0.00	0.00	N.A. <sup>b</sup>
<i>Middle East/ North Africa</i>										
Algeria	6.7	-7.09	1.88(1.29)	0.73(0.12)	3.94	7.06	-1.73	88.80	96.29	0.00
Israel	16.7		3.64(1.34)	0.45(0.18)	3.81	6.65	9.39	68.00	90.38	22.65
Jordan	13.5		9.53(4.35)	0.36(0.26)	6.46	14.89	0.13	34.80	55.20	65.26
Morocco	15.2		1.55(1.33)	0.92(0.09)	2.54	18.63	23.95	0.30	2.09	>1000
Saudi Arabia	-20.2		-7.03(3.51)	0.65(0.14)	4.60	-20.22	-13.72	100.00	100.00	N.A. <sup>a</sup>
Syrian Arab Republic	-10 (**)		-2.02(1.38)	0.91(0.09)	6.95	-23.60	-38.47	100.00	100.00	N.A. <sup>a</sup>
Tunisia	12.8		2.03(1.24)	0.84(0.10)	1.69	13.04	8.98	0.40	0.10	N.A. <sup>b</sup>

Table 1: Comparison of GS as percentage of output and simulation results (contd)

Country	(1)	(2)	(3)								
	Hamilton and Clemens (1999)	Arrow <i>et al.</i> (2004)	This study					Simulation results			
	GS as percent of GNP	GS as percent of GDP	Estimated results of AR(1) process				Simulation results				
constant			$\beta$	St. dev. of $\varepsilon$	Steady state GS rate	Initial condition	% of experiencing negative GS in 25 years	% of experiencing negative GS in 50 years	Average years before having negative GS		
<i>South Asia</i>											
Bangladesh	2.4	7.14	1.25(0.80)	0.91(0.08)	3.66	13.56	17.51	22.40	43.49	83.72	
India	7.2	9.47	0.82(0.93)	0.95(0.09)	1.90	17.23	19.35	0.20	1.72	>1000	
Nepal	-12.3	13.31	1.43(0.96)	0.94(0.07)	2.79	24.14	23.03	1.30	1.81	>1000	
Pakistan	4.7	8.75	2.12(1.06)	0.76(0.11)	2.90	8.88	2.39	41.10	55.77	71.43	
Sri Lanka	12.4		5.97(2.10)	0.59(0.14)	3.04	14.70	12.47	0.20	0.21	N.A. <sup>b</sup>	
<i>Sub-Saharan Africa</i>											
Benin	0.8	-2.09	0.38(0.66)	0.38(0.16)	3.83	0.61	3.04	100.00	100.00	N.A.	
Botswana			4.46(2.51)	0.87(0.08)	5.91	33.16	39.06	2.20	4.87	835.58	
Burkina Faso	8.6		1.78(1.02)	0.72(0.14)	2.83	6.51	1.54	61.80	83.10	26.39	
Cameroon	-0.6		-0.46(1.02)	0.36(0.16)	5.80	-0.73	-2.57	100.00	100.00	N.A. <sup>a</sup>	
Chad	-8.4		-1.11(1.57)	1.13(0.14)	7.96	8.27	-57.30	100.00	100.00	N.A. <sup>a</sup>	
Congo, Dem. Rep.			-3.31(1.38)	0.28(0.17)	6.45	-4.62	1.86	100.00	100.00	N.A. <sup>a</sup>	
Congo, Rep.	-28.6		-16.84(6.15)	0.35(0.23)	12.67	-26.09	-46.52	100.00	100.00	N.A. <sup>a</sup>	
Cote d'Ivoire	-12.3		1.66(1.35)	0.67(0.17)	5.12	4.99	2.37	97.30	99.40	8.37	
Ethiopia			2.00(1.19)	0.80(0.12)	4.02	9.87	12.65	46.70	73.22	38.74	
Ghana	-4.6		0.54(0.87)	0.83(0.10)	4.95	3.25	13.45	87.90	99.70	7.621	
Kenya	1.4		9.74(2.21)	0.21(0.17)	3.11	12.35	8.46	0.30	0.36	N.A. <sup>b</sup>	
Lesotho			4.02(1.97)	0.80(0.09)	7.35	20.46	19.35	42.20	65.80	50.52	
Madagascar	-0.2		0.40(0.74)	0.49(0.15)	4.30	0.78	5.86	100.00	100.00	N.A.	
Mauritania	-14.9		-12.39(4.08)	0.32(0.17)	16.96	-18.26	-40.21	100.00	100.00	N.A. <sup>a</sup>	
Mauritius	18.3		2.34(1.63)	0.87(0.09)	1.93	17.54	11.57	0.00	98.80	6.61	
Rwanda	-1.4		2.63(1.10)	0.57(0.15)	4.41	6.09	12.45	87.20	98.19	13.67	
Senegal	3.2		0.14(0.73)	0.90(0.08)	4.29	1.32	9.75	87.50	99.20	6.688	
Sierra Leone	-2.7 (**)		-5.42(1.99)	0.19(0.20)	6.73	-6.66	-2.06	100.00	100.00	N.A. <sup>a</sup>	
South Africa	5.2		2.94(1.26)	0.30(0.26)	2.07	4.18	0.40	47.00	71.90	39.73	
Swaziland			2.81(1.64)	0.75(0.12)	4.90	11.17	12.01	55.30	77.76	32.65	
Togo	-12.5		0.76(1.13)	0.55(0.18)	5.07	1.68	0.66	100.00	100.00	N.A. <sup>a</sup>	
Uganda	-8.6		-1.34(0.73)	0.68(0.11)	3.73	-4.15	1.14	100.00	100.00	N.A. <sup>a</sup>	
Zambia	-16.1		-2.77(2.32)	0.73(0.14)	7.40	-10.32	-3.97	100.00	100.00	N.A. <sup>a</sup>	
Zimbabwe	8.7		1.69(2.76)	0.70(0.26)	5.39	5.60	-8.46	98.70	100.00	N.A. <sup>a</sup>	
<i>High-Income Countries</i>											
Australia	5.5		1.43(0.78)	0.77(0.09)	1.69	6.35	3.99	15.20	23.76	193.83	
Austria	16.2		3.65(1.51)	0.73(0.11)	1.34	13.53	15.52	0.00	0.00	N.A. <sup>b</sup>	
Belgium	16.7		2.89(1.42)	0.77(0.09)	2.70	12.70	10.84	4.10	4.97	>1000	
Canada	7.4		1.50(1.06)	0.82(0.10)	1.63	8.46	4.76	2.90	5.62	>1000	
Denmark	14.2		1.20(0.89)	0.89(0.07)	1.39	11.15	14.31	0.20	0.34	N.A. <sup>b</sup>	
Finland	5.5		2.23(1.28)	0.82(0.09)	2.44	12.12	12.30	2.40	5.33	827.13	
France	13.5		1.44(0.84)	0.88(0.06)	1.08	11.61	10.51	0.00	0.00	N.A. <sup>b</sup>	
Greece	8.0		0.60(0.94)	0.93(0.06)	2.13	8.97	8.61	23.80	42.82	95.60	

Table 1: Comparison of GS as percentage of output and simulation results (contd)

Country	(1)	(2)	(3)							
	Hamilton and Clemens (1999)	Arrow <i>et al.</i> (2004)	This study				This study			
	GS as percent of GNP	GS as percent of GDP	Estimated results of AR(1) process				Simulation results			
			constant	$\beta$	St. dev. of $\varepsilon$	Steady state GS rate	Initial condition	% of experiencing negative GS in 25 years	% of experiencing negative GS in 50 years	Average years before having negative GS
<i>High-Income Countries (contd)</i>										
Ireland	17.4		1.41(1.28)	0.92(0.08)	2.15	16.82	21.19	0.30	1.00	>1000
Italy	12.3		2.51(1.05)	0.79(0.08)	0.87	11.71	10.69	0.00	0.00	N.A.
Japan	26.2		1.10(0.97)	0.92(0.05)	1.50	14.46	15.11	0.00	0.19	N.A. <sup>b</sup>
Netherlands	15.6		2.15(1.17)	0.85(0.25)	1.35	14.71	14.67	0.00	0.00	N.A. <sup>b</sup>
New Zealand	13.6		4.13(2.31)	0.60(0.25)	2.13	10.20	15.13		100.00	N.A. <sup>a</sup>
Norway	7.0		1.29(1.04)	0.90(0.07)	1.88	13.03	14.65	0.80	2.08	>1000
Portugal	18.1		1.26(1.16)	0.83(0.12)	2.48	7.55	1.36	58.20	71.33	43.84
Spain	12.3		1.39(1.00)	0.88(0.08)	1.16	11.69	11.96	0.00	0.00	N.A. <sup>b</sup>
Sweden	5.6		3.32(1.53)	0.79(0.09)	1.67	15.99	18.59	0.00	0.00	N.A. <sup>b</sup>
Switzerland	19.9		6.76(2.63)	0.66(0.13)	1.52	19.65	22.02	0.00	0.00	N.A. <sup>b</sup>
Turkey	15.4		2.34(1.50)	0.84(0.10)	2.16	14.99	9.23	0.10	0.44	>1000
United Kingdom	6.6	7.38	1.62(0.70)	0.78(0.08)	1.29	7.38	7.12	0.30	0.63	>1000
United States	9.6	8.94	1.03(0.92)	0.85(0.10)	1.64	7.06	3.31	19.50	28.82	180.39
<i>Other Countries</i>										
Bulgaria			0.5(1.17)	0.88(0.07)	3.90	4.15	6.02	82.00	96.33	12.86
Hungary			3.12(2.14)	0.74(0.16)	2.55	11.80	7.52	2.30	3.68	>1000

**Note:** (1) The first column recaps the result of Hamilton and Clemens (1999). Values presented are their single-year-estimates of GS as Percent of GNP in 1993 with exceptions of (\*) 1992 value, and (\*\*) 1991 value. (2) The second column is for Arrow *et al.* (2004), who calculated the GS as percent of GDP and averaged them over the period from 1970 to 2001. (3) Our results: numbers in parentheses are the standard errors in our AR(1) estimations of GS rate process. Estimated steady state values of the GS rates are also provided. We simulate from the initial conditions which are the latest available values of GS rates in our dataset (2005 value with the exception for Fiji; 2000, Tonga; 2004, Trinidad and Tobago; 2004, Israel; 1998, Saudi Arabia; 2002, Burkina Faso; 2003, Cameroon; 1998, Chad; 2001, and Switzerland; 2003). Calculated two measures of future sustainability are (i) the percentage experiencing negative GS rate over 50 years, and (ii) the average number of years before the first negative GS rate appears in the stochastic process. With respect to (ii), if the probability is either zero (no breaking-the-future-sustainability-condition case) or one, we report it as N.A.

次に、本研究では、結果の相違を生じさせたボラティリティの原因について、いかなる資本を安定化させることが安定で持続的な発展経路を実現させるかをVAR(1)モデルで分析した。これは、環境政策のターゲットを設定する際に有用な情報を提供するものである。表2.2は、人的資本、人的資本、自然資本をそれぞれの残差の標準偏差を示している。ここでは、地域ごとに観察された特徴と、考える対策を検討する。

### (1) ラテンアメリカとカリブ海諸国

Hamilton and Clemens (1999)は、ベリーゼ、ブラジル、チリ、コスタリカ、ドミニカ共和国、エルサルバドル、グアテマラ、メキシコおよびパラグアイは持続可能であると評価しており、ボリビア、エクアドル、ジャマイカ、トリニダード・トバゴ、ベネズエラは持続可能ではないと評価している。しかしながら本研究結果からは、ベリーゼ、チリ、グアテマラおよびメキシコは、それらの国々がこれまで非負のGSを持っているにもかかわらず将来において非常に高い確率で持続可能性条件を破綻させることが予測されている。また、ジャマイカについては、Hamilton and Clemens (1999) は負のGSを示しているが我々のシミュレーションでは、持続可能性の破綻リスクはおおよそ85%であり、この値はHamilton and Clemens (1999)が持続可能と判断したメキシコよりもよい数値である（メキシコは96%）。

パラグアイもまた興味深い結果を示している。パラグアイの持続可能性の破綻リスクはメキシコと比べて相対的に小さい（26%）が、Hamilton and Clemens (1999) では判断の境界線上に位置するものであった。グアテマラはパラグアイと対照的で、Hamilton and Clemens (1999)では判断の境界線上に位置するが本研究結果からは非常に高い確率(97%)で持続可能性条件は破綻してしまうことが示された。

こうした判定の違いは分散の大小に起因している。表2.2から、ラテンアメリカとカリブ海諸国は、人工資本において高いボラティリティが観されることに気づく。メキシコは例外的であり、おそらくエネルギー資源の減耗が不安定性の原因である。

表2.2 VAR推定によるボラティリティの原因

Table A1: Variance of each capital component from VAR(1) estimations

Country	V <sub>KM</sub>	V <sub>KH</sub>	V <sub>ENERGY</sub>	V <sub>MINE</sub>	V <sub>FOREST</sub>	V <sub>CO2</sub>
<i>Latin America and the Caribbean</i>						
Belize	33.78	0.10	N.A.	N.A.	N.A.	0.00
Bolivia	10.93	0.14	8.81	3.28	N.A.	0.00
Brazil	2.72	0.10	0.14	0.05	N.A.	0.00
Chile	4.27	0.05	0.07	3.27	N.A.	0.00
Costa Rica	6.45	0.14	N.A.	0.00	0.03	0.00
Dominica	18.56	0.01	N.A.	N.A.	N.A.	0.00
Dominican Republic	13.94	0.04	N.A.	1.24	N.A.	0.01
Ecuador	10.29	0.14	25.93	0.01	N.A.	0.02
El Salvador	9.40	0.05	N.A.	0.00	0.02	0.00
Fiji	15.88	0.10	N.A.	0.10	N.A.	0.00
Guatemala	2.37	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00
Honduras	11.88	0.03	N.A.	0.40	N.A.	0.00
Jamaica	12.80	0.28	N.A.	5.78	N.A.	0.02
Mexico	3.41	0.10	7.27	0.05	N.A.	0.01
Nicaragua	172.91	0.30	N.A.	0.06	N.A.	0.02
Paraguay	14.82	0.07	N.A.	N.A.	N.A.	0.00
St. Vincent and the GreN.A.	54.91	0.23	N.A.	N.A.	N.A.	0.00
Tonga	33.81	0.03	N.A.	N.A.	0.00	0.00
Trinidad and Tobago	38.59	0.13	65.24	N.A.	N.A.	0.04
Uruguay	16.67	0.04	N.A.	N.A.	0.01	0.00
Venezuela, RB	17.55	0.17	70.17	0.03	N.A.	0.02
<i>East Asia and the Pacific</i>						
ChiN.A.	8.57	0.01	4.33	0.05	0.00	0.05
Hong Kong, ChiN.A.	4.14	0.05	N.A.	0.00	N.A.	0.00
Korea, Rep.	4.62	0.29	0.04	0.00	N.A.	0.00
Malaysia	8.32	0.09	6.83	0.15	0.08	0.01
Philippines	8.98	0.04	0.02	0.12	0.03	0.00
Thailand	4.55	0.04	0.14	0.04	0.00	0.00
<i>Middle/East North Africa</i>						
Algeria	21.84	0.04	27.48	0.00	0.00	0.05
Israel	9.27	0.23	0.41	0.00	0.00	0.00
Jordan	46.28	0.34	0.00	0.06	0.01	0.01
Morocco	4.36	0.10	0.00	2.70	0.00	0.00
Saudi Arabia	22.30	0.22	32.72	N.A.	N.A.	0.01
Syrian Arab Republic	18.85	0.18	21.53	0.01	N.A.	0.03
Tunisia	2.12	0.06	2.48	0.02	0.00	0.00
<i>South Asia</i>						
Bangladesh	9.69	0.01	0.15	N.A.	0.06	0.00
India	2.26	0.03	0.39	0.01	0.03	0.01
Nepal	4.26	0.12	0.00	0.21	0.22	0.00
Pakistan	6.60	0.02	0.38	0.00	0.01	0.00
Sri Lanka	8.34	0.05	N.A.	N.A.	0.04	0.00
<i>Sub-Saharan Africa</i>						
Benin	12.29	0.02	0.89	N.A.	0.13	0.00
BotswanaN.A.	28.20	0.04	0.09	2.53	N.A.	0.00
BurkiN.A. Faso	8.75	0.12	N.A.	N.A.	0.09	0.00
Cameroon	23.10	0.03	15.09	0.01	N.A.	0.01
Chad	13.80	0.05	N.A.	N.A.	N.A.	0.00
Congo, Dem. Rep.	42.14	0.11	0.64	2.46	N.A.	0.00
Congo, Rep.	131.84	1.04	152.58	0.21	N.A.	0.01
Cote d'Ivoire	33.03	0.49	0.41	N.A.	N.A.	0.01

Table A1: Variance of each capital component from VAR(1) estimations (contd)

Country	$V_{KM}$	$V_{KH}$	$V_{ENERGY}$	$V_{MINE}$	$V_{FOREST}$	$V_{CO2}$
<i>Sub-Saharan Africa (contd)</i>						
Ethiopia	8.25	0.03	N.A.	0.00	1.10	0.00
GhaN.A.	12.66	0.16	0.01	0.26	0.21	0.00
Kenya	10.58	0.10	N.A.	0.00	0.10	0.00
Lesotho	44.13	0.21	N.A.	N.A.	0.17	N.A.
Madagascar	14.18	0.08	N.A.	0.00	N.A.	0.00
Mauritania	208.73	0.17	N.A.	24.18	0.00	0.04
Mauritius	2.83	0.08	N.A.	N.A.	0.00	0.00
Rwanda	17.40	0.04	0.00	0.07	0.40	0.00
Senegal	18.47	0.04	0.00	0.17	N.A.	0.01
Sierra Leone	32.99	0.19	N.A.	0.33	0.22	0.01
South Africa	1.68	0.25	0.27	0.14	0.00	0.03
Swaziland	23.75	0.21	0.03	0.99	1.92	0.01
Togo	14.72	0.10	N.A.	0.19	0.30	0.01
Uganda	9.99	0.35	N.A.	0.01	3.31	0.00
Zambia	39.58	0.13	0.02	16.64	N.A.	0.01
Zimbabwe	24.09	0.17	0.44	0.40	N.A.	0.09
<i>High-Income Countries</i>						
Australia	1.54	0.02	0.29	0.12	N.A.	0.00
Austria	1.28	0.03	0.01	0.00	N.A.	0.00
Belgium	7.40	0.24	0.00	0.01	0.03	0.00
CaN.A.da	1.68	0.08	1.31	0.06	N.A.	0.00
Denmark	0.99	0.06	0.07	0.00	0.00	0.00
Finland	5.82	0.08	N.A.	0.00	N.A.	0.00
France	1.29	0.02	0.00	0.00	N.A.	0.00
Greece	4.18	0.03	0.01	0.00	0.05	0.00
Ireland	4.66	0.04	0.02	0.03	N.A.	0.00
Italy	0.47	0.08	0.00	0.00	N.A.	0.00
Japan	1.91	0.03	0.00	0.00	N.A.	0.00
Netherlands	1.42	0.03	0.38	0.00	N.A.	0.00
New Zealand	5.26	0.31	0.07	0.00	0.00	0.00
Norway	7.45	0.08	6.12	0.00	N.A.	0.00
Portugal	5.99	0.03	0.00	0.00	N.A.	0.00
Spain	0.57	0.03	0.00	0.00	N.A.	0.00
Sweden	3.33	0.06	0.00	0.01	0.00	0.00
Switzerland	1.96	0.02	0.00	N.A.	0.00	0.00
Turkey	4.53	0.10	0.02	0.00	N.A.	0.01
United Kingdom	1.09	0.03	0.34	0.00	N.A.	0.00
United States	1.42	0.20	0.36	0.00	N.A.	0.00
<i>Other Countries</i>						
Bulgaria	16.91	0.07	0.07	0.34	N.A.	0.13
Hungary	7.05	0.22	0.14	0.00	N.A.	0.01

**Note:**  $V_{KM}$ ,  $V_{KH}$ ,  $V_{ENERGY}$ ,  $V_{MINE}$ ,  $V_{FOREST}$  and  $V_{CO2}$  are respectively the variance of man-made capital (net national saving), human capital (education expenditure), energy depletion, mineral depletion, forest depletion and CO2 emission. The sample size for conducting VAR(1) estimation is the same as that of AR(1) process. Due to the lack of data, the variances of some components of GS in some countries can not be estimated. We report them as N.A. in the table.

## (2) 東アジアと東南アジア

Hamilton and Clemens (1999)もArrow et al. (2004)も、中国のこれまでの発展経路は持続可能であると判定しており、本研究も同様の評価がなされた。しかしながら、本研究は将来的にはゼロとは言えない確率(16%)で持続可能性条件が破綻することを警告している。また、



我々の結果によれば、香港、韓国、フィリピン、およびタイはかなり良好な評価を表している。これらについては先行研究と同様の結果となったということである。ただしマレーシアだけが例外で、かなり高い確率(57%)で将来的に持続可能性条件が満たされなくなることが示された。この原因は、表2.2からは人的資本とエネルギー資源の不安定性に依存することが示唆される。

### (3) 中東と北アフリカ諸国

Arrow et al. (2004)は、中東と北アフリカ諸国は過度に石油資源に依存しており、一般的に持続不可能としている。一方、Hamilton and Clemens (1999)はやや異なった見解を示しており、アルジェリア、イスラエル、ヨルダン、モロッコおよびチュニジアは持続可能であるという数値を示している。これらに対して我々の結果は、アルジェリアとイスラエルは非常に高い確率(約90%)で持続不可能を示すことになることを主張している。つまり本研究結果は、これら2カ国についてはArrow et al. (2004)に類似した結論となった。ヨルダンについては結論が難しく、我々の結果はおよそ60年後に初めて負のGSを経験することになると予測している。モロッコとチュニジアについては、持続可能であると判定する結果が得られ、Hamilton and Clemens(1999)と同様の結論となった。また表2.2からは、この地域のボラティリティの大きさの原因はエネルギー資源減耗であることが示唆されている。

### (4) 南アジア

Arrow et al. (2004)の数値はすべての南アジア諸国は持続不可能であることを示している。またHamilton and Clemens (1999)はネパールが持続不可能であることを示している。一方でネパールについての我々の結果は、50年間はGSが正值を維持することを予測している。表2.2から、この地域における高いボラティリティの原因は、人工資本投資の不安定性によるものであることが示唆される。

### (5) サブサハラアフリカ諸国

Arrow et al. (2004)は、サブサハラアフリカ諸国の数値は持続不可能であることを示している。我々の推定結果は、ボツワナ、ケニア、モーリシャスは例外であることを示している。Hamilton and Clemens (1999)も、ケニアとモーリシャスは持続可能であると判定しているのと一致した結果であった。しかし我々の結果は、ブルキナファソ、南アフリカ、ジンバブエの発展経路は持続不可能であることを示しており、これらの結果はHamilton and Clemens (1999)と異なるものである。この相違の原因は、これらの国ではGSの定常状態に比べて分散が大きいことによるものと考えられる。表2.2からは、この地域でのボラティリティの原因は自然資本の減耗によるものであることが示唆される。

### (6) 先進国

先進国については、本研究結果は先行2研究と概ね同様の結果を示しているが、いくつか興味深いケースが見出された。例えばポルトガルについては、先行2研究に比べてやや危険含みの評価値が得られた。また、英国と米国は定常状態において似通ったGSの値をとっているが、持続可能性の破綻リスクは米国のほうが英国よりもはるかに高いことが示されている。表2.2から分かる通り、この原因は人的資本投資にあると考えられる。

また、オーストラリア、ギリシャ、ポルトガルは、将来の持続可能性条件の破綻リスクが無視できないことも分かる(それぞれ24%、43%、71%)。これらの国についての政策ターゲットは、人工資本投資である。

#### 2.1.4 小括

この分析では、世界銀行の持続可能性指標(GS)を利用して、将来の持続可能性に関する数値計算分析を行った。この分析の焦点は、GSの過去の平均値でなく、その確率過程にあ

った。これにより、ボラティリティ、定常状態そして初期条件に依存して、幾つかの国では将来において持続可能性条件が破綻することが示された。このように判定された国には、先行研究において持続可能と判定された国も含まれている。本研究で提示された分析枠組みは、過去のものよりもより多くの情報を含んでおり、投資対象あるいは管理対象とすべき資本ターゲットを明確にするなどの政策的含意にもつながるものであった。

## 2.2 安定で持続的な発展経路

前小節までの分析で、持続可能な発展経路を実現するためには、安定化が非常に重要であることが示された。それでは、そうした安定性はいかなる要因によって決定されるのだろうか。

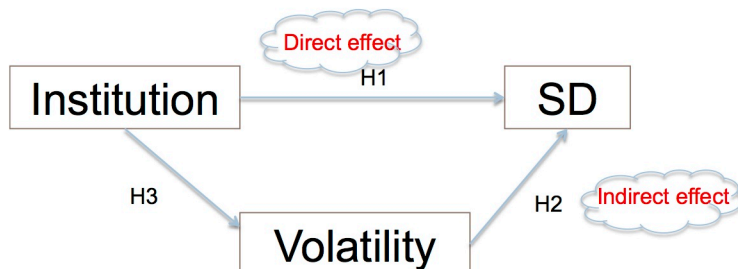
Arrow et al. (2003)が指摘するように、GS 経路の形状は「資源配分メカニズム」によって決定される。もしも資源配分メカニズムが良く機能し、持続可能な発展のための政策が適切に取られているならば、非負の GS が安定的に実現されるはずである。しかし、配分メカニズムが悪ければ、その国の「富 (Inclusive Wealth)」は深刻な悪影響を受け、GS のパフォーマンスは著しく損なわれるはずである。

この考え方にたてば、資源配分メカニズムと GS 値およびそのボラティリティの関係を分析することが必要となる。資源配分メカニズムはいろいろな方法で描写されるが、そのなかでも重要なのは制度と政策的要因である。たとえば、Yang (2008) は民主ラシーとボラティリティの関係を分析することによって、民主ラシーは成長の分散を低下させることを発見した。van der Ploeg and Poelhekke (2009)は別の観点から、成長における資源輸出部門への過度の依存がボラティリティを増加させ、それが成長を抑制し、いわゆる「資源の呪い」となって現れることを主張した。

しかしながら一般に、分散が成長にいかなる影響を与えるかは明確な結論が出ていない。たとえば Bernanke (1983)は成長のボラティリティは成長率を低下せしめることを示す一方、Mirman (1971) はボラティリティの増加による予防的貯蓄の増加を通じて成長が加速させることを主張している。これが単なる経済成長でなく、GS 成長を分析する場合、さらに複雑であり、現時点でも研究されていない。

一方で GS 値と制度(腐敗、corruption)との関係に着目した研究は存在し、Dietz et al. (2007)は制度的改善が GS を増加させ持続可能性を高めることを示した。しかし個々においては、そのボラティリティについての考慮が欠けている。そこで本章では、制度や政策要因による影響を識別し、政策的インプリケーションを導出する。

ここまでの議論を要約すると次のような図 1.2 にまとめられる。



- 仮説 H1 : 高い volatility は、持続可能性を損なう
- 仮説 H2 : 制度は volatility の規定要因である
- 仮説 H3 : よい制度は持続可能性を高める

図 1.2 研究仮説

### 2.2.1 計量モデル

これまでのGS研究と同様に、富を次のように定義する

$$W_t = p_M K_{Mt} + p_H K_{Ht} + p_N K_{Nt} \quad (1)$$

ただし  $K_M$  は人工資本、 $K_H$  は人的資本、 $K_N$  は自然資本を表し、それぞれの  $p$  は計算価格を表す<sup>5</sup>。この時間微分によってGSを定義する。

$$GS_t = \frac{dW_t}{dt} = p_M \frac{dK_{Mt}}{dt} + p_H \frac{dK_{Ht}}{dt} + p_N \frac{dK_{Nt}}{dt} \quad (2)$$

もしもGSが常に正であれば持続可能と判定され、負値をとった場合には持続可能でないと判定される。この指標を使って分析を行う。

そのために、時系列分析手法の一種であるARCH-M (Autoregressive Conditional heteroscedasticity in Mean)モデルを用いる。この計量モデルは以下の連立方程式体型によって記述される。

$$\log(GS_{it}) = c_1 + \beta_1 \sigma_{it} + M_{it} \beta_2 + X_{it} \beta_3 + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$\varepsilon_{it} : N(0, \sigma_{it}^2) \quad (4)$$

$$\sigma_{it}^2 = \exp(c_2 + X_{it} \kappa + Z_{it} \gamma) + \phi_1 \sigma_{it-1}^2 + \phi_2 \sigma_{it-2}^2 + \eta_{it} \quad (5)$$

GSはGDPと異なり負値をとりうるので、(3)式中の $GS_{it}$ は以下のような変換を施したのち値を用いている。

$$GS_{it} = gs_{it} + 1 \quad (6)$$

この $gs_{it}$ はロー・データであり、正值も負値もとりうる。

(3)式中の $M_{it}$ はコントロール変数であり、(3)式のみにはしか現れない。 $X_{it}$ は分散にもレベル値にも影響を与えると予期される変数であり、なかでも制度的変数がこれに相当すると考える。さいごに $Z_{it}$ は分散方程式(5)にはしか現れない、すなわち間接影響しか持たない変数である。

以上のモデルは、制度は2通りのしかたで持続可能性(GS)に影響を与える可能性を検討するものであると要約できる。すなわち、一つ目は、より高い質の制度はより適切な資源配分をもたらし、その結果より高い持続可能性(GS)という結果となるだろうということ、もうひとつは、より高い質の制度は発展経路を安定化させ、これにより間接的に持続可能性が高まるだろう、ということである。

### 2.2.2 データ

この分析のために利用するデータは以下のとおりである。

GSのデータおよびコントロール変数：World Development Indicators (WDI) (2010)<sup>6</sup>

制度のデータ：International Country Risk Guide (ICRG) (2009)

(1) Bureaucracy Quality, (2) Corruption, (3) Democratic Accountability, (4) Ethnic

<sup>5</sup> Dasgupta (2004) は知識もこの計算に含めたが、後に指摘するように分析に使えるデータとして存在しないためにここでは除外した。

<sup>6</sup> 次のウェブサイトから入手できる。 <http://databank.worldbank.org/>

Tension, (5) External Conflict, (6) Government Stability, (7) Internal Conflict, (8) Investment Profile, (9) Law and Order, (10) Military in Politics, (11) Religious Tension, and (12) Socio-economic Condition.<sup>7</sup>

WDI は 2008 年までのデータベースであり、ICRG は 1984 年からのデータベースであるため、分析期間は 1984 年から 2008 年となる。完全バランспネルで分析するため、欠損値を除外することによって、分析対象国は 63 カ国となりそのリストは表 2.3 のようにまとめられる。

表 2.3 分析国一覧

**Table A2: List of countries**

1. Albania	33. Jordan
2. Australia	34. Kenya
3. Austria	35. Mexico
4. Bahrain	36. Morocco
5. Bangladesh	37. Netherlands
6. Bolivia	38. Norway
7. Brazil	39. Pakistan
8. Bulgaria	40. Panama
9. Canada	41. Papua New Guinea
10. Chile	42. Paraguay
11. China	43. Peru
12. Congo, DR	44. Philippines
13. Costa Rica	45. Portugal
14. Cote d'Ivoire	46. Saudi Arabia
15. Denmark	47. South Africa
16. Dominican Republic	48. South Korea
17. Ecuador	49. Spain
18. Egypt	50. Sri Lanka
19. Finland	51. Sudan
20. France	52. Sweden
21. Gabon	53. Syria
22. Ghana	54. Thailand
23. Greece	55. Trinidad and Tobago
24. Guatemala	56. Tunisia
25. Honduras	57. Turkey
26. Hungary	58. Uganda
27. India	59. United Kingdom
28. Indonesia	60. United States
29. Ireland	61. Uruguay
30. Israel	62. Venezuela
31. Italy	63. Zambia
32. Japan	

以上の定式化により、推定すべき計量モデルは次のように定められる。

$$\begin{aligned} \log(GS_{it}) = & c_1 + \beta_1 * \sigma_{it} + \beta_2 * gdp_{it} + \beta_3 * age\_dep_{it} + \beta_4 * urban_{it} \\ & + \beta_5 * inflation_{it} + \beta_6 * trade_{it} + \beta_7 * gov\_size_{it} \\ & + \beta_8 * institution_{it} + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (7)$$

<sup>7</sup> 制度変数の詳細は、ICRG の URL を参照。 [http://www.prsgroup.com/ICRG\\_Methodology.aspx](http://www.prsgroup.com/ICRG_Methodology.aspx).

$$\varepsilon_{it} : N(0, \sigma_{it}^2) \quad (8)$$

$$\sigma_{it}^2 = \exp(c_2 + \gamma * ggdp^2 + \kappa_1 * ggdp + \kappa_2 * trade + \kappa_3 * gov\_size + \kappa_4 * inflation + \kappa_5 * Institution) + \phi_1 \sigma_{it-1}^2 + \phi_2 \sigma_{it-2}^2 + \eta_{it} \quad (9)$$

ここで、“institution” は上述の12種の制度・政治変数である。これらは高い相関を示すため、一つずつ個別に推定されることとなる。変数のリストと期待される符号を整理すれば、次表のようになる。

表 2.4 変数の定義とデータソース

Variable definition and data source

Variable	Definition	Data Source
<b>I. Dependent Variable</b>		
Genuine savings (GS)	The share of “Adjusted Net World Development Indicators (2010) Savings” in GNI.	
<b>II. Independent Variable</b>		
Per capita GDP growth rate ( <i>ggdp</i> )*	The annual growth rate of per World Development Indicators (2010) capita GDP.	
Age dependency ( <i>age_dep</i> )	The share of dependents (people younger than 15 or older than 64) to the working-age population (people ages 15-64)	World Development Indicators (2010)
Urban population rate ( <i>urban</i> )	The share of urban population in total population. The data of urban population and total population for calculating this rate is drawn from World Development Indicators (2010).	World Development Indicators (2010)
Inflation rate ( <i>inflation</i> )*	The annual rate of inflation calculated from GDP deflator.	World Development Indicators (2010)
Trade openness ( <i>trade</i> )*	The share of the sum of export and import of goods and services in GDP.	World Development Indicators (2010)
Government Expenditure ( <i>gov_size</i> )*	The share of general government final consumption expenditure in GDP.	World Development Indicators (2010)
Institution variables* :		
(1) Bureaucracy Quality	Score: 0 (lowest) to 4 (highest)	International Country Risk Guide (2009)
(2) Corruption	Score: 0 (lowest) to 6 (highest)	International Country Risk Guide (2009)
(3) Democratic Accountability	Score: 0 (lowest) to 6 (highest)	International Country Risk Guide (2009)
(4) Ethnic Tension	Score: 0 (lowest) to 6 (highest)	International Country Risk Guide (2009)
(5) External Conflict	Score: 0 (lowest) to 12 (highest)	International Country Risk Guide (2009)
(6) Government Stability	Score: 0 (lowest) to 12 (highest)	International Country Risk Guide (2009)
(7) Internal Conflict	Score: 0 (lowest) to 12 (highest)	International Country Risk Guide (2009)
(8) Investment Profile	Score: 0 (lowest) to 12 (highest)	International Country Risk Guide (2009)
(9) Law and Order	Score: 0 (lowest) to 6 (highest)	International Country Risk Guide (2009)
(10) Military in Politics	Score: 0 (lowest) to 6 (highest)	International Country Risk Guide (2009)
(11) Religious Tension	Score: 0 (lowest) to 6 (highest)	International Country Risk Guide (2009)
(12) Socio-economic Condition	Score: 0 (lowest) to 12 (highest)	International Country Risk Guide (2009)

Note: “\*” indicates the variables which are included in both mean and variance equation in ARCH-M model.

### 2.2.3 結果

ARCH-M モデルによって推定された計量モデルは、表のようにまとめられる。列(1) から列 (12) はそれぞれ別の制度変数を表している。ほぼ、予想通りの有意な符号で推定されていることから、良好な推定結果であるといえる。

1. すべての平均方程式において、GS のボラティリティの係数( $\sigma$ )は有意に負である。このことは、不安定な GS の経路は、持続可能性を促進するのではなく阻害するものであることを意味する。
2. ほとんどの平均方程式で制度変数は有意に正の影響を GS にもたらしていることが分かる。唯一、宗教的緊張状態が有意に負の係数をとっている。しかしながらこの変数は分散方程式において有意に負の係数をとっているため、間接効果は正であるため、持続可能性に与える総合的な影響は不明である。
3. *bureaucracy quality, democratic accountability, government stability, investment profile, law and order, and socio-economic condition* については、仮説 (H1) ~ (H3) がすべて確認された。すなわち、これらの変数については、直接効果だけでなくボラティリティを安定化させることを通じた間接効果が存在する。
4. *corruption, ethnic tension, external conflict, internal conflict, and military in politics* については、分散方程式においては有意に負であったが、平均方程式においては有意な影響を与えていない。これは、この変数群はボラティリティを安定化させるという間接的な効果だけをもつということである。
5. 非労働人口 (*age dependency*) の増加は GS レベルを減少させる
6. 都市化 (*urban populationrate*) の拡大は GS レベルを減少させる。以上の2つは、我が国において顕著な傾向であるため注意が必要である。
7. 貿易の開放 (*Trade*) は GS レベルを引き上げるが、同時に間接効果も持っていることに注意が必要である。したがって、貿易の開放は必ずしも持続可能な発展に向かわせるとはかぎらない。
8. 政府の支出は(*gov\_size*), (1)列 (*bureaucracy quality*) および(3)列 (*democratic accountability*) を除いて、GS のパフォーマンスを改善させる。しかしながら分散方程式において有意に影響をもっているのは列(1, 4, 5, 6, 7, and 11) だけである。他の制度/政策変数と比較して GS に対する影響は曖昧である。このことは、政府サイズがよい影響をおよぼすか否かは、政府のタイプによるのであろうと予想される。これを確かめることは今後の課題として残った。
9. 最後に、分散方程式における経済成長の影響について、推定結果から下に凸の2次関数の形状をとっていることが分かった。このことは、ある程度の経済成長はボラティリティを安定化させるが、それを超えるような急速な経済成長は不安定化させる心配があることを意味する。しかしながら、その閾値は7~8%であり、我々の国で心配する必要はない。

以上のとおり、我々の ARCH-M 推定は制度の質が持続可能な発展において重要な役割を果たすことの十分な証拠を提供したといえる。

#### 2.2.4 安定化ターゲットの資本タイプ

以上の分析によって、GS の安定化を行うことはより望ましい持続可能な経路を実現することにつながる。しかしながら、既に分析したとおり、それぞれの国はそれぞれの異なる状況にあり、様々な特質を持っているため安定化すべき資本タイプは異なる(表 2.2)。先の VAR モデルで分析されたそれぞれの国の GS の変動要因に取り組むことによって、GS に対する直接効果ならびに間接効果を実現できることがわかる。

### 2.3 結論(行政ニーズとの関連及び政策的インプリケーション)

本章では、時系列分析、モンテカルロ・シミュレーション、ARCH-M モデル分析などを通じて、発展経路の形状を持続可能性評価に含める方法を提示し、実証し、政策的含意を得た。持続可能な発展経路の安定化効果には、直接効果と間接効果の2種類があり、制度や政策変数はその両方の効果を持つことが分かった。また、VAR モデルによってそれぞれの国で安定化すべき資本タイプが異なっていることも分かった。もっとも変動の大きい資本を安定化させることが、直接・間接効果を通じて GS を高めるという意味で有効であることが分かる。

政策立案において参照する GS を始めとする指標は、各年のスポット値を独立に、あるいは数年の平均で集計した値だけに着目すると、発展の形状が含んでいる重要な情報を見逃してしまう。これについて、時系列データを詳細に分析することによりこうした失われがちな情報を汲み取る着眼と方法が示された。

この分析は、持続可能性の実証的な評価において時間的な視点を明確にすることに繋がり、持続可能性という制約の下で環境を基盤として発展する望ましい発展経路パターンの抽出がなされた。これは、これまでの GS 研究に対する確実な貢献であるだけでなく、政策立案において必要な指標の参照の仕方に関する有益な知見であり、新たな経済システムを構築するための重要な情報を与えるものである。最後に、安定で持続的な発展経路に乗せるための要因について、制度・政策変数に着目し、持続可能な発展を実現する際に重要となる政策的に操作可能な要因が分析された。



### 3. 貿易及び経済システムと GS に関する研究

#### 3.1 本章の背景と目的

本章では、再生可能資源を題材とした開放経済におけるジェニユイン・セイビング（以下、GS）の理論研究を行う。

現在から将来までのある国における人々の効用総和の割引現在価値を「社会的福祉」と呼ぶことにする。動学的に最適な資源配分が行われている経済を想定し、そこでの条件を使うと、社会的福祉の時間微分は、人々が効用を得る源泉となる資本資産の増分（をお金の単位で示したもの）であることを示すことができる（Aronsson and Lofgren 1998; Asheim and Weitzman 2001; Atkinson and Hamilton 2006）。つまり、様々な資本に対する投資が全体としてマイナスになっていなければ、社会的福祉は増えていることになる。そしてこのことは、適切なシャドウ・プライスを定義すれば、動学的に最適な資源配分が成り立っていない経済についても成り立つことが Arrow, Dasgupta and Maeler (2003) で示された。

上記の定式化に従えば、GS の概念が包含するのは、将来世代の福祉に貢献する全ての資本資産の増加と減耗である。具体的には、物的資本の増減、自然資本の減耗、人的資本の増加などが総体的にプラスになるように経済が発展しているかということのチェックとして使われる。特に、現在世代が枯渇性資源を使いきってしまい（あるいは環境資本を劣化させすぎてしまい）、しかもその代価として後世に何も資本を残さなければ、消費の水準は次第に下がっていってしまうのではないかという理論的・実証的な課題への対応が念頭にある。理論的な課題としては、1960 年代以降に発展した最適成長理論の枠組みの中で、生産過程で（資本だけでなく）枯渇性資源が必要とされるとき、資源の枯渇が進むにつれて消費水準はどうなるかという問題だった。あるいは逆に、ロールズの問題提起に基づいてソローやハートウィックが分析した、各世代で消費水準を同じにするために必要な条件とは何かという問題であった。また実際の経済も、1970 年代以降、資源枯渇に対する懸念が高まっていた。

上記の背景から、GS の理論と実証は、必然的に枯渇性資源を対象に分析が行われてきた。これに対し、漁業資源、森林資源、水、地域生態系、コモンズなど再生可能資源については、その重要性に対応して個々の理論分析や実証研究は発展してきたものの、GS の分析ではほとんど扱われてこなかった。

再生可能資源の理論の特徴は、収穫が努力（フロー）と資源量（ストック）の関数であることと、ストックの成長関数が想定されることである。そのため直感的には、再生可能資源を持つ国は、資源が再生する分をうまく活用して、枯渇性資源のみの経済よりも、より持続可能な発展を遂げることができるかもしれない。このことを調べるため、再生可能資源の新古典派的な利潤最大化モデルをレビューした上で、資本蓄積・資源減耗のいわゆる資本・資源モデルに、再生可能資源の Gordon-Schaefer モデルを組み合わせた経済を

考える。

さらに、上記の分析を2つの小国からなる開放経済にも適用する。開放経済での理論については、Asheim (1996)、Vincent et al. (1997)、Arrow et al. (2003)、Hamilton and Bolt (2004)、van der Ploeg (2010)等で分析が行われてきた。それらによれば、持続可能性指標としての富の増分に着目する際、開放経済においては、キャピタル・ゲインを考慮する必要がある。富は、理論的には価格×量であり、富の増分は、(おおまかには) 価格の上昇分と量の上昇分に分けられるからである。開放経済下の小国は、石油・天然ガス・鉱物資源や金融資産などの価格が世界市場において外生的に決まるという状況に置かれている。そこで Vincent et al. (1997)、Hamilton and Bolt (2004)は、石油や鉱物資源など枯渇性資源を対象として、国際的な天然資源の価格が今後も低迷するという想定の下、キャピタル・ロスを考慮して資源国の持続可能性を検討している。

一方、再生可能資源と開放経済については、持続可能性とは関係のない文脈で分析が進められている。Chichilnisky (1996)は、資源の財産権が不明確な途上国が貿易を始めると、過剰に資源利用が進んでしまうメカニズムを示した。それに基づいて、Brander and Taylor (1997)は、再生可能資源を持つ国が貿易を開始すると、過剰に資源利用が進んでしまう可能性を一般均衡モデルで示している。こうした理論をGSに適用した分析は行われていない。

2つの小国からなる開放経済で示された内容を連続空間に拡張し、資源がストックの空間微分に比例して流出入すると仮定した、空間的外部性がある場合のGSの集計について、時間・空間での最適化を考えた。通常の貯蓄に、将来的に生じる空間的な外部性の現在価値を加減したものがGSとなることを示す。

### 3.2 再生可能資源と利潤最大化モデル

利潤(=資源レント×収穫量-費用)を最大化するという意味で最適を実現する収穫について、Spence (1975)やClark (1976)に基づいてレビューを行った。最適のための必要条件から黄金律が導出され、最適なストック水準になるまで漁獲量をゼロもしくは可能な限り最大にする最速アプローチ経路(MRAP)が望ましいことが明らかにされている。

$$\pi = pR - aE$$

を最大化すると仮定しよう。ここで  $p$  は資源価格、 $R$  は収穫、 $a$  は努力あたりの費用を表すパラメータ、 $E$  は漁船数など努力水準である。今期における資源の採取量を

$$R = qES$$

と仮定する。コストがかからない場合、すなわち  $a=0$  のとき、資源の自己収益率と利子率が等しくなる状態が最適な定常状態であることがわかる。再生可能資源が「過剰」なときは、資源の自己収益率が低い、もしくはマイナスになっているため、最適な収穫量はその期に収穫できる最大値となり、できるだけ瞬時に定常状態に移るのが望ましい。また逆に、再生可能資源が乱獲や乱伐によって過小なときは、資源の自己収益率が高いから、最適な

収穫量はゼロである。収穫しないことによって得られる収益率は利子率より高いからである。このように端点解からジャンプする経路は MRAP、パルス収穫、バンバン制御などと呼ばれている。

再生可能資源の収穫にコストがかかる場合、すなわち  $a > 0$  のときは、シャドウ・プライスに収穫のコストを加えたものが資源 1 単位の価格となる。利子率と等しくなるのは、資源の自己収益率だけでなく、それに限界費用と利子率が等しくなる状態が最適な定常状態であることがわかる。

### 3.3 資本・再生可能資源モデル(閉鎖経済)

#### 3.3.1 最適性と持続可能性

グリーン会計と持続可能性を考えるには、消費や生産が明示されていない前節のモデルは適さない。Dasgupta-Heal-Solow-Stiglitz に代表される資本・枯渇可能資源モデルを再生可能資源に置き換えて最適のための必要条件からホテリング・ルールを導出する。

このモデルでは、資源のシャドウ・プライスが資源のストック量にも依存する。世界銀行等による GS 計算の先行研究では、シャドウ・プライスはストックの量によらず資源ごとに一定とされていた。たとえば Matete, Hamilton and Bolt (2002) では、今期の収穫から資源の本質的成長を除いた分を貯蓄として計上するとされている（但し、資源の成長が収穫を上回る場合、そもそも商用に適さない資源である可能性が高く、別のシャドウ・プライスを使う可能性が示唆されている）。これは Arrow et al. (2010) などの最近の研究でも同様である。

本章では、今期における資源の採取量を

$$R = qES$$

という、いわゆるシェーファー型の関数で表現する。ここで  $E$  は漁船数などの努力を、 $S$  は資源ストック量を表し、 $q$  はパラメータであり、再生可能資源の中でも特に漁業資源によく当てはまるとされている。資本ストック  $K$  と資源ストック  $S$  の動学を次のようにあらわす。 $R$  は今期の資源利用量、 $C$  は消費、 $a$  はパラメータ、 $G(S)$  は資源の成長関数（資源の本質成長率を表すパラメータ  $\gamma$ 、環境容量  $T$ 、を内包する）である。

$$\dot{K} = F(K, R) - C - aE$$

$$\dot{S} = G(S) - R,$$

この制約の下で、現在から将来までの代表的消費者の効用の現在価値、すなわち社会的福祉を最大化することを考える。すなわち、上記3式の下で最適な資源配分をするために必要な条件を導出すると、その結果から、次の式を得る。

$$\frac{d[F_R - f(S)]/dt}{F_R - f(S)} = F_K - \frac{-f'(S)R}{F_R - f(S)} - G'(S),$$

ここで  $f(S) = a/qS$ 、すなわち収穫 1 単位あたりの費用をストックの水準の変数としてみた

ものである。上式は、本報告書の他章でも扱われるホテリング・ルールを再生可能資源に適用したものとなっている。(10)式の左辺は、資源の希少レントの成長率である。これに対して右辺は、再生可能資源を採取せずにそのままにしておくことの機会費用であり、具体的には、再生可能資源を採って得られたはずの収入を資本に投資していたとしたら得られる収益から、採った資源を生産に投入することで限界生産性が低下する効果を引き、さらに資源の自己収益率と収穫の限界生産性との差を引いたものになっている。ハロルド・ホテリングが1931年に明らかにしたルールは、資源の希少性レントの上昇率が資本の限界生産性(効率的な市場での利子率に等しい)と等しくなるという裁定条件であった。上の式はこれを修正するものであり、再生可能資源の希少性レントは、市場利子率よりも低いペースで上昇することを表しており、これは資源の再生可能性そのものが、資源を採掘しないことの機会費用を下げているということである。

また、上記の修正ホテリング・ルールと並んで、最適性のための必要条件として通常のケインズ・ラムゼー・ルールも導出され、これは資本の限界生産性が消費利子率に等しくなるという、最適経路上の消費と投資の費用便益ルールを表している。

さて、上記のホテリング・ルールは、次のようにも解釈できる。

$$\begin{aligned} \text{資源の自己収益率} & - (\text{漁獲量 1 単位の限界費用} \times \text{漁獲量}) / \text{資源レント} \\ & + \text{資源価格の上昇率} = \text{利子率} \end{aligned}$$

ここで自己収益率とは  $G'(S)$ 、つまりストックが少し増えたときに成長率がどれくらい増えるかというものである。資源が増えすぎると、混雑によって成長の機会が阻害されるようになるかと仮定されている。

上式は、直感的には、利子率が資源の成長率より高ければ、資源ストックを減らして貯金で回したほうがよいが、今後資源価格が上がるならストックを温存したほうがよく、またストックが増えるとコストが下がるならストックを増やしたほうが良い、というものであり、最適経済成長理論での黄金律の議論を再生可能資源に拡張したものである。

政府が取るべき最適な収穫の政策は、初期の各資本の状態によってことなり、再生可能資源の自己収益率が暗黙の割引率よりも大きいとき、すなわち

$$G'(S_0) > F_K - \frac{\dot{F}_R}{F_R - f(S_0)} + \frac{f'(S_0)G(S_0)}{F_R - f(S_0)}$$

のときには、乱獲や乱伐が起きていると考えられる。今期の収穫を少し減らして投資に振り向けることで社会的福祉を上げられるから、資源の本質的な成長が収穫を上回る状態がしばらく続くことになる。但し、前節でレビューしたような、最初は収穫最大で、上式の等号が成立したら定常状態という「バンバン制御」になることはない。これは、経常価値ハミルトニアンが収穫  $R$  について線形でないことからわかる。

逆に上式の左辺が右辺より小さい場合、資源の自己収益率が高く、動学的最適のために

はもっと収穫を高めるべきということになる。この場合も、端点解からジャンプすることではなく、徐々に収穫が高まっていき、上記の等号が成立する水準までストックが下がったら定常状態に入るべき、とされる。

この際に興味深いのは、資源の自己収益率が高い場合に、間引きや間伐などによって最適な定常状態を目指して資源ストックを減らしているとき、GS が表面的にはマイナスになることがあると予想される点である。均衡を重視する経済理論ではすぐに定常状態の分析に進むが、定常状態への調整の時間は長くなることもある（Spence 1975 でのシロナガスクジラの例を参照）。このことから、最適性と持続可能性は必ずしも一致しないといえる。

### 3.3.2 最適状態におけるジェニユイン・セイビング

最適のための必要条件を使うと、持続可能性の指標である GS は、次の式のカッコ内、すなわち I であらわされる<sup>8</sup>。

$$H = U + U_C[\dot{K} + (F_R - f(S))\dot{S}] \equiv U + U_C I,$$

上記から明らかなおとおり、I には、通常の資源と異なり、再生可能資源のストック効果が計算価格に影響する。最適な定常状態を仮定すると、I には物的資本への投資しか影響しないことになる。理論分析では、最適な「定常状態」が仮定され、純成長＝漁獲量とされる。これは長期的には成立しうるが、現実には成立しているとは考えにくい上、定常状態を仮定すると GS（への再生可能資源の貢献）が常にゼロになってしまうということになる。データを用いて GS を計算する際には、最適経済を仮定した GS を、レント（＝市場価格－限界費用）×ストックの純成長率（再生量－漁獲量）で計上するのが現実的である。

興味深いのは、定常状態以外、そして不完全経済であり、これについては後述する。

### 3.3.3 一定消費

関心が高いのは、資源に依存する経済は将来にわたって消費や所得が減らないようにすることができるか、という問いである。そこで、将来的に消費が減らないという一定消費経路を実現するのに必要な投資について考察し、いわゆる再生可能資源版ハートウィック・ルールを考える。資源のレントのみならず、将来の自己収益率や収穫費用の低下を控除して考える必要がある。まず、国民所得の動学から、

---

<sup>8</sup> ここで簡単に振り返っておきたい。経常価値ハミルトニアン<sup>9</sup>の時間微分に最適のための必要条件を適用すると、経常価値ハミルトニアンが資本資産に対する収益であることが示せる。前者は今期の効用と（効用単位での）投資の合計、後者は今期の効用と社会的福祉の増分の合計だから、社会的福祉の増分は効用単位での投資に等しくなる。

$$C = F(K, R) - \dot{K} - f(S)R$$

である。我々が知りたいのは、消費水準の変化だから、この両辺を時間で微分すると、

$$\begin{aligned}\dot{C} &= F_K\dot{K} + F_R\dot{R} - \dot{\dot{K}} - f'(S)\dot{S}R - f(S)\dot{R} \\ &= F_K\dot{K} + F_R\dot{R} - \dot{\dot{K}} - f'(S)\dot{S}R - f(S)\dot{R} - \overline{F_R - f(S)\dot{S}} + \overline{F_R - f(S)\dot{S}}\end{aligned}$$

となる。ここで、生産関数は収穫一定を仮定しているの、産出の時間微分は、 $K$ の増分と $R$ の増分をそれぞれの収益率で重み付けした合計になっている。上の式の最後から二つ目の項に、前々節で求めたホテリング・ルールを適用すると、

$$\dot{C} = F_K[\dot{K} + (F_R - f(S))\dot{S}] - d[\dot{K} + (F_R - f(S))(G(S) - R)]/dt = F_K I - \dot{I}$$

となる。これから直ちにいえるのは、局所的な消費が増加するのは、市場の利子率が  $GS$ の伸び率より大きい場合 ( $F_K > \dot{I}/I$ ) であり、その場合に限られる。Hamilton and Hartwick (2005)が示したルールが再生可能資源でも成り立つことがわかった。

このことを別の形で表現すると次のようになる。社会が望む成長率を実現するためにはどれだけ投資すれば良いのだろうか？まずはレントから再生可能資源の成長分を引いた文は全て投資するとして、それに加えて必要な投資を  $\phi$  で表す。

$$\dot{K} = -(F_R - f(S))\dot{S} + \phi$$

である。これを時間微分すると

$$\dot{\dot{K}} = -\overline{F_R - f(S)\dot{S}} - (F_R - f(S))\dot{\dot{S}} + \dot{\phi}$$

を得る。一方で、

$$\dot{K} = F_K\dot{K} + F_R\dot{R} - \dot{C} - f'(S)\dot{S}R - f(S)\dot{R}$$

であるから、上の2式を使うと、

$$\begin{aligned}\dot{\phi} &= \overline{F_R - f(S)\dot{S}} + (F_R - f(S))\dot{\dot{S}} + F_K\dot{K} + F_R\dot{R} - \dot{C} - f'(S)\dot{S}R - f(S)\dot{R} \\ &= (F_K - G'(S))(F_R - f(S))\dot{S} + f'(S)R\dot{S} + (F_R - f(S))\dot{\dot{S}} + F_K\dot{K} + F_R\dot{R} - \dot{C} - f'(S)\dot{S}R - \\ & f(S)\dot{R}\end{aligned}$$

であることがわかる。2行目にはホテリング・ルールを適用している。また、

$$F_K\phi = F_K[\dot{K} + (F_R - f(S))\dot{S}]$$



より、

$$\dot{\phi} - F_K \phi = -\dot{C},$$

$$\phi = \int_t^{\infty} \dot{C}(\tau) e^{-\int_t^{\tau} F_K(t') dt'} d\tau$$

ということになる。以上をまとめると次のようになる。

- 一定消費を実現するには、再生可能資源で得られたレントをすべて投資する必要はなく、そこから再生可能資源の「再生」分だけ少ない投資で済む。
- 将来にわたって一定の消費成長率を実現したいのであれば、その増分の割引現在価値を上記に加えてさらに投資する必要がある。

これらはハートウィック・ルール (Hartwick 1977; Dixit et al. 1980) を再生可能資源に拡張したものである。

### 3.3.4 不完全経済

既に述べたように、経済が依存している水産資源や森林資源、もしくは共有資源などのストックが最適経路、ましてや最適な定常状態にあると暗黙に仮定するのは楽観的に過ぎる。この場合、上記の議論をどのように修正すれば良いだろうか。言い換えれば、乱獲や乱伐、あるいは逆に捕らな過ぎの状態、すなわち不完全経済での GS をどのように計算すればいいだろうか。

不完全経済では、定義上、ホテリング・ルールも成立していないと考えられる。そのため、最適経済で成立する、経常価値ハミルトニアン<sup>1</sup>の時間微分が効用単位で見た GS の収益に等しいという性質を使うことができない。

具体的な不完全経済として、たとえば資源最大持続可能収量 (MSY) を考えよう。MSY は、 $G'(S)=0$ 、すなわち資源の自己収益率がゼロになるような水準で収穫を行うという考え方である。しかし本来の最適な自己収益率がマイナスであるとしよう。すなわち

$$G'(S_0) > F_K - \frac{\dot{F}_R}{F_R - f(S_0)} + \frac{f'(S_0)G(S_0)}{F_R - f(S_0)}$$

という状況を考える。左辺はゼロである。上記の左辺と右辺の差を  $\varepsilon$  と書く。すると、経常価値ハミルトニアン<sup>1</sup>の時間微分は、効用単位で見た GS の収益に、資源ストックの増分（収穫が成長を上回る場合はマイナス）に  $\varepsilon$  と資源のシャドウ・プライスを乗じた項を加えたものになる。

実際の計算では、最適なストックからのかい離による厚生<sup>2</sup>の損失の現在価値を、最適経済での GS から引いたものが、正しい持続可能性指標（つまり社会的福祉の増分）になる。

### 3.4 資本・再生可能資源モデル(開放経済)

2つの小国からなる開放経済で、1国のみGSと2国のGS合計との関係を考察する。

再生可能資源の場合でも、先行研究と同様、キャピタル・ゲインを考慮する必要があることが明らかになった。

では、貿易の存在する状況に拡張するとどうなるだろうか。ここでは、資源を保有する輸出国と、資源を持たざる輸入国という2国経済を想定し、資源輸出国は資源輸入国から工業製品を輸入、両国の経常収支がそれぞれの金融資産(対外純資産)で運用されるという仮定に基づいて分析を続けた(Hamilton and Bolt 2004等の先行研究に基づく)。前節に引き続き、資源輸入国も輸出国も、資本と資源から財を生産し、資源は輸入国のみが保有する。さらに、国際的な財産権の不完全性がある中での持続可能性を考えるため、資源国から輸入国に資源ストックの一定割合が漏出するという仮定も置いた(McKelveyの先駆的研究、およびArrow et al. 2003; van der Ploeg 2010a等の先行研究に基づく)。

以上のことを数式でまとめると、資源輸入国での動学は

$$\begin{aligned}\dot{K}_1 &= F(K_1, R_x + \alpha S) - C_1 - X, \\ \dot{A}_1 &= rA_1 + X - p_R R_x,\end{aligned}$$

また資源輸出国での動学は

$$\begin{aligned}\dot{K}_2 &= F(K_2, R_d) - C_2 - aE + X, \\ \dot{S} &= \gamma S(1 - S/T) - qSE - \alpha S, \\ \dot{A}_2 &= rA_2 - X + p_R R_x\end{aligned}$$

それぞれの社会的福祉は

$$V_1 = \int_0^{\infty} U(C_1)e^{-\delta t} dt, \quad V_2 = \int_0^{\infty} U(C_2)e^{-\delta t} dt,$$

と表される。資源輸入国での経常価値ハミルトニアンは、

$$\begin{aligned}H_1 &= U_1 + U_{C_1}[F(K_1, R_x + \alpha S) - C_1 + rA_1 - p_R R_x] \\ &= U_1 + U_{C_1}(\dot{K}_1 + \dot{A}_1).\end{aligned}$$

であり、これを時間微分すると

$$\dot{H}_1 = U_{C_1}(\delta[\dot{K}_1 + \dot{A}_1] + \alpha F_R \dot{S} + \dot{r}A_1 - \dot{p}_R R_x)$$

を得る。前節までと異なるのは、小国にとって市場利子率と資源価格は外生的な非自律系であるため、最後に二つの非自律系による項が加わっている。それだけでなく、資源の財産権が不完全なため、資源の漏出率 $\alpha$ の項も加わる。経常価値ハミルトニアンを積分し、現在価値ハミルトニアンに割り引いた上で、社会的福祉の収益が効用と社会的福祉の和に等しいことを利用すると



$$\dot{V}_1 = U_{C_1} \left[ \dot{K}_1 + \dot{A}_1 + \int_t^\infty [\alpha F_{R_1}(s) \dot{S}(s) + \dot{r}(s) A_1(s) - \dot{p}_R(s) R_x(s)] e^{-\int_t^s F_{K_1}(\tau) d\tau} ds \right]$$

$$\equiv U_{C_1} G_1,$$

を得る。資源輸入国の（社会的福祉の増分を反映していると言う意味で）正しいGSは、物的資本への投資、金融資本の増分に加え、将来的な利子率の上昇によるキャピタル・ゲイン、将来的な資源価格の上昇によるキャピタル・ロス、将来的に資源が漏出する価値、これらの割引現在価値を加えたものになる。

同様にして、資源輸出国での経常価値ハミルトニアンは、

$$H_2 = U_2 + U_{C_2} [F(K_2, R_d) - C_2 + rA_2 + p_R R_x - aE + (p_R - a/qS) [\gamma S(1 - S/T) - qSE - \alpha S]]$$

$$= U_2 + U_{C_2} (\dot{K}_2 + \dot{A}_2 + (p_R - a/qS) \dot{S}),$$

と表される。この時間的変化は

$$\dot{H}_2 = U_{C_2} (\delta [\dot{K}_2 + \dot{A}_2 + (p_R - a/qS) \dot{S}] + \dot{r} A_2 + \dot{p}_R R_x)$$

輸入国のときと同じ導出により、資源輸出国の正しいGSは

$$G_2 \equiv \dot{K}_2 + \dot{A}_2 + (p_R - a/qS) \dot{S} + \int_t^\infty [\dot{r}(s) A_2(s) + \dot{p}_R(s) R_x(s)] e^{-\int_t^s F_{K_2}(\tau) d\tau} ds$$

となる。

さらに、このような開放経済の状況でホテリング・ルールは

$$\frac{d[F_{R_2} - a/qS]/dt}{F_{R_2} - a/qS} = F_{K_2} - \frac{aE/S}{F_{R_2} - a/qS} - \gamma(1 - 2S/T) + \alpha$$

となる。

以上の結果をまとめよう。

- ① 資源輸入国（財の輸出国）のGS（富の増分をお金の単位で表したもの）は、「資本と金融資産の増分+（現在から将来にわたって）資源国から流出してくる資源の現在価値+利子の上昇によるキャピタル・ゲイン-資源価格の上昇によるキャピタル・ロス」となる。ここでキャピタル・ゲインやキャピタル・ロスは、資源や財の輸出入による経常収支が投資される金融資産に発生する予期された値上がりの割引現在価値である。
- ② 資源輸出国（財の輸入国）のGSは、「資本と金融資産の増分+資源の純増+利子の上昇によるキャピタル・ゲイン+資源価格の上昇によるキャピタル・ゲイン」となる。
- ③ 資源レントの上昇率は、「資本収益率-資源を使ってしまった分の資源生産性低

下—資源の純成長率+他国に漏れ出してしまう率」に等しくなる(ホテリング・ルール)。ホテリング・ルールにより、2国全体の最適政策に比べ、輸出国と輸入国が独自に最適を考慮すると、資源価格の上昇スピードが速くなることが明らかになった。このことより、森林や漁場は近隣国が協調して管理することで資源価格の急な上昇と早い枯渇を防ぐ必要があるといえる。

- ④ 両国が別々に意思決定した時のGSと、(資源の漏出を内部化して)協調した時のGSとは異なる。持続可能性の指標は、どれも国家が単位となっているが、漁業資源のように必ずしも財産権が一国に属さない資源の管理が関係する持続可能性の議論は、国家単位の指標のみでは不十分である。

また、消費を一定に保つためのハートウィック・ルールでは、資源レントをすべて投資すると過剰投資になる。資源の自己収益率、金融資産や資源の将来的な値上がりによるキャピタル・ゲインの分は、差し引いてよい。但し、隣国に資源が漏出する分は、多めに投資しなければならない。

なお、再生可能資源の分析では、社会的な最適とオープン・アクセスという両極端のレジームを比較するのが通例だが、後者はGS分析になじみにくい(資源レントがゼロになるまで企業が参入するのがオープン・アクセスの定義であるため)、ここでの問題意識とも合わないので、2国全体と各国別との比較を行っている。

### 3.5 空間的な外部性と持続可能性

#### 3.5.1 二国の場合

前節までの主な結果として、これまでのGS指標は枯渇性資源を対象とするものだったので、漁業資源を例に、再生可能資源がどのようにGSに計上されるかを考えた。また、ホテリング・ルール(採取費用の効果と資源の収益率効果が含まれる)、一定消費経路でのハートウィック・ルール(枯渇性資源と異なりレントを全て投資しなくても消費一定が保たれる)を導出した。また、前節では、2国間の資源輸出・輸入の2国間で資源の漏出があるケースを例に、全体のGSと個々のGSの関係を考察した。具体的には、

- ・ それぞれの国のGSを消費の限界効用でウェイト付けする(特に、所得の異なる2国の場合)。 $dW/dt = U_{c1}G_1 + a U_{c2}G_2 + \varepsilon \int (U_{c1} FR_1 dS_2/dt) \exp(-\delta(\tau-t))d\tau \geq 0$
- ・ 地域全体のSDを優先する功利主義をとるなら、どちらかの国のSDが負でも(全体がプラスであれば)良い。
- ・  $GS_1 > 0, GS_2 > 0 \Rightarrow GS > 0$  だが、逆は真ならず
- ・ 人口などを考慮して、各国にウェイトをつけることもできる。
- ・ 2国間で流出入する資源の将来までの(シャドー)価値合計を差し引く(将来世代の効用の源泉としての資本が増減するから)。

ということ考えた。つまり、

$$H_{12} = H_1 + H_2 = U(C_1) + U(C_2) + \lambda_{K_1}(K_1 + A_1) + \lambda_{K_2}(K_2 + A_2) + \lambda_S S$$

が輸入国と輸出国を合わせた全体の経常価値ハミルトニアンとなる。ホテリング・ルールは下記のようなになる。

$$\frac{d[F_{R_2} - a/qS]/dt}{F_{R_2} - a/qS} = F_{K_2} - \frac{aE/S}{F_{R_2} - a/qS} - \gamma(1 - 2S/T) + \alpha \left[ 1 - \frac{U_{C_1} F_{R_1}}{F_{R_2} - a/qS} \right]$$

これらを合わせると、両国のGSそれぞれと、二国全体のGS（これをGと表す）との間に乖離が生まれることがわかる。すなわち、

$$G + \int_t^\infty i(s)A(s)e^{-\int_t^s F_{K_1}(\tau)d\tau} ds = G_{12} = G_1 + G_2 - \int_t^\infty \alpha F_{R_1}(s)\dot{S}(s)e^{-\int_t^s F_{K_1}(\tau)d\tau} ds$$

である。

### 3.5.2 連続空間の場合

これをさらに一般化するとどうなるだろうか。そこで、前節で求めた2国間の空間的外部性がある場合のGSの集計について、連続空間に拡張し、時間・空間での最適化を考える。この場合、通常の貯蓄に、将来的に生じる空間的な外部性の現在価値を加減したものが、適切なGSとなることが示される。

具体的には、Brock and Xepapadeas (2008)などにに基づき、上記2カ国の例を連続空間に一般化し、対象となる空間全体 $[0, Z]$ の社会的福祉を最大化すると考えよう。つまり目的関数は

$$\int_0^\infty \int_0^Z u(C(t, z))e^{-\delta t} dz dt,$$

である。資本は、各地点での資本と資源を投入することで生産され、消費分が差し引かれた残りが投資に向かう。資本の移動は考えない。

$$\partial K(t, z)/\partial t = F(K(t, z), R(t, z)) - C(t, z)$$

ここで $t$ は時間を、 $z$ は場所を表す。資源は、ストックの空間微分に比例して流出入すると仮定する。つまり、

$$\partial S(t, z)/\partial t = -R(t, z) + \varepsilon \frac{\partial^2 S}{\partial z^2}$$

とする。環境空間経済学の文献で明らかにされている通り、空間の境界がどのようになっているかを仮定するの必要があり、ここでは

$$\partial S(t, z)/\partial z |_{z=0} = \partial S(t, z)/\partial z |_{z=Z} = 0$$

とする。すなわち、対象空間のへりから向こう側に行っても、資源の量は不変である。

前節までと同様に、まずは最適経済を考える。經常価値ハミルトニアンは

$$H = U(C) + \lambda[F(K, R) - C] + \mu[-R + \varepsilon\partial^2 S/\partial z^2]$$

である。最適のための必要条件は

$$0 = \partial H/\partial C = U_C - \lambda,$$

$$0 = \partial H/\partial R = \lambda F_R - \mu,$$

$$-\partial H/\partial K = -\lambda F_K = \dot{\lambda} - \delta\lambda,$$

$$-\partial H/\partial S = 0 = \dot{\mu} - \delta\mu + \varepsilon\mu_{zz}$$

となる。いずれも標準的な条件だが、資源のシャドウ・プライスの動学に、空間で2階微分した項が加わっている点が新しい。横断性条件は

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \int_0^Z e^{-\delta T} \lambda(T, z) K(T, z) dz = 0,$$

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \int_0^Z e^{-\delta T} \mu(T, z) S(T, z) dz = 0,$$

である。つまり、対象空間を全て足し合わせた状態変数の価値は、最終時点ではゼロになっているのが効率的な資源の使い方である。

上記の条件を使うと、ホテリング・ルールに相当する式は

$$\frac{\dot{F}_R}{F_R} = F_K - \varepsilon \frac{\mu_{zz}}{\mu}$$

$$\frac{\dot{F}_R}{F_R} = F_K - \varepsilon \left[ \frac{U_{CCC} C C_z}{U_C C} + \frac{F_{Rzz}}{F_R} \right]$$

である。

我々の関心の対象である、副詞の増加について調べるため、經常価値ハミルトニアンの時間微分を確かめると

$$\begin{aligned} \partial H/\partial t &= H_C \dot{C} + H_R \dot{R} + H_K \dot{K} + H_S \dot{S} + H_\lambda \dot{\lambda} + H_\mu \dot{\mu} \\ &= \delta(\lambda \dot{K} + \mu \dot{S}) - \varepsilon \mu_{zz} \dot{S} \end{aligned}$$

より、

$$\int_0^Z H(t, z) dz = \delta V + \varepsilon \int_0^Z \int_t^\infty \mu_{zz} \dot{S} e^{-\delta(\tau-t)} d\tau dz,$$

$$\Rightarrow \dot{V} = \int_0^Z U_C(\dot{K} + F_R \dot{S}) dz - \varepsilon \int_0^Z \int_t^\infty \mu_{zz} \dot{S} e^{-\delta(\tau-t)} d\tau dz$$

となる。すなわち、連続時間・連続空間で全体の持続可能性を示す指標は、移動する資本ストックの将来までの（シャドウ）価値合計を加減したものになる。

### 3.6 結論（行政ニーズとの関連及び政策的インプリケーション）

日本のように資源を輸入に依存する経済がどのように持続可能性を担保していくべきかを分析するため、再生可能資源を対象に、閉鎖経済と開放経済の下での GS を理論的に考察した。具体的には、資本・枯渇可能資源モデルを再生可能資源に置き換えたモデルを構築し、まず最適のための必要条件からホテリング・ルールを導出した。すなわち、資源の自己収益率から、漁獲量 1 単位の限界費用×漁獲量の資源レントに対する比を引き、それに資源価格の上昇率を足したものが利子率に等しくなる。次に、この最適状態での GS は、資本の増分から、再生可能資源の利用量と再生量の差を適切なシャドウ・プライスで価値付けた値を引いたもので計算できる。ここでシャドウ・プライスは、資源の限界生産性と資源の限界費用との差であるが、限界費用がストックの水準に依存して決まるのが本モデルの大きな特徴である。さらに、乱獲、乱伐、資源放置等によってこの最適状態が成立していない場合、ストック水準の最適状態からの乖離によって生じる損失の現在価値を、最適での GS から引いたものが実際の GS となる。また消費を一定にする世代間衡平をもたらす条件も考察した。

以上の枠組を開放経済に適用すると、資源輸出国（財の輸入国）の GS は、上記に加えて、金融資産の増分、利子の上昇によるキャピタル・ゲイン、資源価格の上昇によるキャピタル・ゲインを加えたものになる。また、ホテリング・ルールには、資源が資源輸入国に漏れ出してしまう項が加わるため、2 国全体の最適政策に比べ、輸出国と輸入国が独自に最適を考慮すると、資源価格の上昇スピードが速くなる。このことより、森林や漁場は近隣国が協調して管理することで資源価格の急な上昇と早い枯渇を防ぐ必要があるといえる。両国が別々に意思決定した時の GS と、資源の漏出を内部化して協調した時の GS とは異なる。持続可能性の指標は、漁業資源のように必ずしも財産権が一国に属さない資源の管理が関係する場合、国家単位の指標のみでは不十分である。

以上の分析から得られる政策的含意として、第一に、再生可能資源を持続可能性の指標に含める際は、本章で示したような修正が必要になる点が挙げられる。世界銀行のデータベースをはじめとする持続可能性指標には、森林などの再生可能資源は含めた上で計算されているようになっているが、漁業資源のように必ずしも財産権が一国に属さない再生可能資源はあまり議論されていない。ところが世界的に漁業資源の枯渇が（少なくとも一般には）話題となっている中で、再生可能資源を含めた GS の算出が必須である。現状の GS

がプラスであることで、持続可能な経路にあると判断されている経済でも、再生可能資源を多く消費することで持続可能性が低下していないかどうか、検討が必要である。

第二に、日本の資源管理と持続可能性についての示唆である。島国である日本にとって、本章の後半で検討したような再生可能資源の開放経済はリアリティがある。2 国全体の最適政策に比べ、輸出国と輸入国が独自に最適を考慮すると、資源価格の上昇スピードが速くなることが明らかになっており、日本が周辺諸国と漁場や海洋資源を協調して管理することで、資源価格の急な上昇と早い枯渇を防ぐ姿勢を明確にすべきであろう。

なお、GS が対象とする資本資産は、対象とする国・地域の将来世代がどのようなものから効用を得るかということによって替わる。たとえば、本章執筆者らの他の研究によれば、ソーシャル・キャピタルの増分を GS として計上することも理論的に可能である。余暇を使って消費者が行うソーシャル・キャピタルへの投資が外部性を持つ（消費者は資源管理の質の向上に与える影響を知らずに社会活動を行う）ときに、GS をどう補正すべきかを考察できる。

## 4. 環境政策(環境基盤投資)シナリオに基づく長期シミュレーションに関する研究

### 4.1 シナリオ分析を行うための GS 推計の問題点の検討作業

#### 4.1.1 はじめに

既存研究としては、世界銀行の Hamilton らによる GS の推計と、Arrow, Dasgupta らによるジェニュイン・インベストメント (GI) の推計がある。いずれも将来時点を対象としたものではなく、過去ないし現時点における推計である。が、これを出発点として、問題点の検討を進めたい。

両者の推計方法の主な違いは次の 3 点である。第 1 に、GS では動学的に最適化された経済が想定されているが、GI は最適経済・不完全経済のいずれにも適用可能であること。これに関連して、第 2 に、GS では富の増減の価格に最適条件の下での価格が使われている一方、GI では各資本が限界的に増加したときの社会的福祉の変化をシャドウ・プライスと定義し、これが用いられていること。第 3 に、GS が金銭単位、GI が効用単位で表現されていること。但し、後述するように実際の GI 計測は GS が元になっているため、両者とも市場価格を用いた推計が中心になっているのが現状である。

#### 4.1.2 Hamilton ら

Hamilton らは、枯渇性資源と人的資本を含む生産関数と、消費と環境から受け取るサービスからなる効用関数を仮定、効用の無限流列の割引現在価値 (社会厚生) を最大化する定式化より得られる式 (1) の Hamiltonian  $H$  を用いて、次式 (2) のように GS を定義している。

$$H = U + U_c \cdot GS \quad \cdots (1)$$

$$GS \equiv (GNP - C - \delta K) - n(R - g) - b(e - d) + \left( \frac{1/q'}{m/q} - 1 \right) m \quad \cdots (2)$$

(1) 式の  $U_c$  は当該期消費の限界効用、(2) 式<sup>9</sup>の第 1 項は純貯蓄、第 2 項「資源の採取分」と第 3 項「環境の悪化分」を中間投入として純貯蓄から控除し、第 4 項「教育投資相当分」を加算している。

(2) 式の GS の推計においては、国民所得勘定のデータ、資源減耗や環境影響の経済評価には、市場価格などが用いられている。減耗した資源の価格には、ロンドン金属取引所 (LME) での鉱物資源取引価格や原油等のスポット価格などを用いている。環境影響においては温暖化影響と粒子状物質が対象とされ、例えば  $b$  として CO<sub>2</sub> には Fankhauser 1998 による 20\$/tonC を使っている。

<sup>9</sup>  $GNP$ : 国民総生産、 $C$ : 消費、 $\delta K$ : 資本減耗、 $n$ : 資源レント、 $R$ : 資源採取量、 $g$ : 資源ストックの増加量、 $b$ : 汚染対策費、 $e$ : 汚染物質の排出、 $d$ : 汚染物質ストックの自然散逸、 $m$ : 人的資本への投資、人的資本  $H=q(m)$

フローの概念である GS に対応するストックの概念が富、もしくは包括的資本である。富の推計は、やはり Hamilton らの World Bank 2005、Kunte *et al.*, 1998 で行われている。まず自然資本は、Kunte *et al.*, 1998 では、地下の鉱物資源と、地上（土地）の市場財・非市場財のフロー価値の無限流列の割引現在価値として算出されている。フロー価値の計測には市場価格から採取の限界費用を差し引いたホテリング・レントと産出との積により算出されている。次に、物的資本は構造物、機械器具、都市土地を対象として、恒久棚卸法（PIM）により計算されている。最後に、人的資本は、現在から将来までの消費の割引現在価値としてのストックから、物的資本と自然資本を除いた上で、いわば残差的無形資本として求められている。World Bank 2005 と Kunte *et al.*, 1998 の富推計上の大きな違いは、前者ではこの無形資本がコブ・ダグラス型の生産関数により教育・海外送金・制度（法の支配）の 3 要因（このうち最初の 2 要因は人的資本と捉えられる）に分解されている点である。

#### 4.1.2 Arrow, Dasgupta ら

Arrow, Dasgupta らの一連の研究では、式 (3) のように資本ストックの変化量 ( $dK_{it}/dt$ ) と、そのシャドウ・プライス ( $\partial V/\partial K_{it}$ ) から推計することを出発点としている。

$$GI = \frac{dV}{dt} = \sum_i \left( \frac{\partial V}{\partial K_{it}} \right) \left( \frac{dK_{it}}{dt} \right) \quad \dots (3)$$

Dasgupta 2001, Arrow *et al.*, 2004 の推計では、Hamilton らによる GS を出発点として、式 (4) のように GS の対 GDP 比 ( $I_t/Y_t$ ) に富・産出比率 ( $\beta_t$ ) を乗じることで富の成長率を算出したものに、人口変化率  $p$  (および技術変化率) を考慮に入れて GI を算出している。

$$GI = \frac{I_t}{\beta_t Y_t} - p \quad \dots (4)$$

また、Arrow *et al.*, 2007 では式 (3) に基づき、1995 年と 2000 年の 2 時点における自然、物的、人的の 3 つの資本を対象として富の変化率を算出している。具体的には次の手順である。これら資本の 2 時点のストック量とその変化量を求める。その変化量に、1995 年時点での計算価格を乗じることで資本ストックの価値を求める。計算価格には物的資本と自然資本には市場価格を用い、人的資本には給与水準を用いる。この資本ストックの価値に対して、石油による正味のキャピタル・ゲイン、温暖化ダメージを控除する。その控除した値を、1995 年時点のストック総量で除することで 5 年間の変化率を求め、それを 1 年あたり変化率に換算し、人口変化率や技術変化率を加減することで、富の変化率を求める。



#### 4.1.3 GS 推計上の問題点の検討

将来時点のシナリオ分析に対応した GS 推計上の問題として、人口変化率がある場合に、GS をどのように推計するかにある。先行研究において既に検討されている。Arrow *et al.* 2004 によれば、人口変化率は GS の様相を一変させるほど大きな影響を与えるとされる。ただし、人口変化率を厳密に考慮した GS の推計は難問であり、先行研究 (Hamilton 2006, 2007; Dasgupta 2001; Arrow *et al.* 2004) では、次の 3 つの仮定を置いて推計している。

- ・  $n(N_t)$  ( $=N_t$  の変化の百分率) は  $N_t$  から独立である。
- ・ 全ての生産過程は線形である (一次同次を仮定)。
- ・  $c_t=c(k_t)$  である (一人当たり消費は人口規模の関数ではない)。

#### 4.2 温暖化防止シナリオを考慮したシャドウ・プライスの推計方法の検討作業

温暖化防止シナリオを考慮して GS を計算するためには、シャドウ・プライス (あるいは、いわゆる社会的炭素費用 (Social Cost of Carbon; SCC)) として、何をを使うか、という問題がある。Hamilton では前述の通り、Fankhauser 1998 による 20\$/tC を使っている。Arrow らで温暖化ダメージを考慮する際は、Tol 2005 の 50\$/tC を採用している。IPCC-AR4 においてレビューされているように、様々な SCC の推計方法と数値が提示されている。仮に、IPCC-AR4 のレビューにも含まれる、Nordhaus が DICE モデルなどで提示している炭素のシャドウ・プライスを用いることとする。

この場合、効率的な排出経路の場合 (DICE モデルでいう optimal) と比べ、排出削減を厳しくすると炭素のシャドウ・プライスは上昇する。DICE モデルのような結果からすると、その上昇度合いは排出削減度合いを上回るようになることが容易に想像される。すると、環境外部費用は排出量×シャドウ・プライスで表されるため、厳しい排出削減は GS 低下を招くことになる。それは「環境保全行為を行うことは持続可能な発展に寄与するはずなのに、その測度である GS は低下する」ことになりかねない。

あるいは排出抑制が無い BAU ケースの場合は、外部費用を内部化しないため、炭素のシャドウ・プライスはゼロとなる。従って、この方法では、環境物質が出し放題で環境影響が大きいはずの BAU シナリオにおいて、環境外部費用がゼロとなり GS の値が相対的に高くなるという矛盾を引き起こす。

このような回避する方法として、optimal ケースにおいて得られたシャドウ・プライスを非説明変数、大気中 CO<sub>2</sub> 濃度を説明変数とした推計式を作成し、それを適用することで上記のような問題点を回避する方法を考案した。

#### 4.3 シミュレーションモデルを用いた推計作業

##### 4.3.1 GS (人口変化率も技術変化率も考慮しない Genuine Saving)

最適な経済においては、貨幣単位の GS は経常価値ハミルトニアン  $H=U+Uc$  となる。GS

は、内生的に得られる各項の値を用い、次式から算出される。Iは投資、 $\delta K$ は資本減耗、第3項は資源減耗で  $n$  は資源のレント、 $q$  は資源採掘量、DC は環境影響の外部費用、Ie は教育投資額である。

$$GS_{rg,yr} = I_{rg,yr} - \delta K_{rg,yr} - \sum_m (n_{m,rg,yr} \cdot q_{m,rg,yr}) - DC_{rg,yr} + Ie_{rg,yr} \quad \dots (5)$$

#### 4.3.2 フィッシャー的富と、人口変化率を考慮した GS

Hamilton 2003に従い、フィッシャー的富を将来の消費の割引現在価値として計算した。

$$W_{rg,yr} = \sum_{t=0}^9 \frac{C_{rg,yr}^* \cdot (1 + g_{rg,yr})^t}{(1 + r_{rg,yr})^t} \dots (6)$$

ここで

$$C_{rg,yr}^* = C_{rg,yr} - Ie_{rg,yr} \quad \dots (7)$$

$g$  と  $r$  はそれぞれ一人辺り消費の伸び率、純粋時間選好率  $\rho$  (2%/yr)、 $MUC$  は消費の限界効用 (単純化のため 1) である。

$$g_{rg,yr} = \left( \frac{C_{rg,yr+1}/N_{rg,yr+1}}{C_{rg,yr}/N_{rg,yr}} \right)^{0.1} - 1 \dots (8)$$

$$r_{rg,yr} = \rho + MUC \cdot g_{rg,yr} \quad \dots (9)$$

Arrow *et al.* 2004 に従うと、GSn は次式となる。

$$GSn_{rg,yr} = \frac{(GS_{rg,yr}/Y_{rg,yr})}{(W_{rg,yr}/Y_{rg,yr})} - \frac{\dot{N}_{rg,yr}}{N_{rg,yr}} = \frac{GS_{rg,yr}}{W_{rg,yr}} - \frac{\dot{N}_{rg,yr}}{N_{rg,yr}} \dots (10)$$

#### 4.3.3 GSnt (人口および技術の変化率を考慮した GS)

人口および技術変化率を考慮した GS では、TFP 成長率の項を加える必要がある。Arrow *et al.* 2004の方法を踏襲して次式により求めた。

$$GSnt_{rg,yr} = GSn_{rg,yr} + \frac{\gamma_{rg,yr}}{\alpha_{rg,yr}} \quad \dots (11)$$

$$\gamma_{rg,yr} = (A_{rg,yr+1}/A_{rg,yr})^{0.1} - 1 \quad \dots (12)$$

$GSn_{rg,yr}$  は式(10)、TFP の成長率  $\gamma$  は式(12)、 $\alpha = 0.58$  である。

#### 4.4 テストランと予備的な試算結果の分析整理

##### 4.4.1 GS

図1は Gross Saving (点線)、Genuine Saving (GS; 実線)、これらの差分の内訳 (棒線: 資源減耗、環境劣化、資本減耗、教育投資額) を GDP に対する割合で2010年、2050年、2100年について示している。

資源減耗はエネルギー資源、鉱物資源、森林資源に起因する。これらのうち鉱産物資源による減耗は、2010年から2100年に向かい、産出地域のシフトと資源レントの上昇により、構造が変化する。

環境劣化は環境影響物質の排出および土地利用・土地利用変化 (LU&LUC) により影響を受ける。環境影響物質とは、CO<sub>2</sub>、NCGHGs (Non Carbon Greenhouse Gases)、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、ODS (Ozone Depletion Substances) であり、これらの排出により、i)温室効果、ii)オゾン層破壊、iii)酸性雨、iv)都市域大気汚染、を引き起こす。LU&LUC は、v)潜在 NPP と生物多様性、vi)鉱物資源の採取と廃棄へ影響を与える。

Gross Saving から GS (=GS/Y) を下げる最も大きな要因は資本減耗である。World Development Indicator (WDI) によると、過去 40 年間で資本減耗は対 GDP 比で 7~19% で推移してきている。資本減耗の高い割合 (10~60%) であることは、資本・産出比率は 2-3 程度であることから理解される。GS を下げる 2 番目に大きな要因は LU&LUC であるが、これは潜在 NPP の利用による外部コストが大きいためである。3 つ目の要因はエネルギー産出地域における資源減耗である。

##### 4.4.2 GS<sub>n</sub> (人口変化率を考慮した GS) と GS<sub>nt</sub> (人口変化率・技術変化率を考慮した GS)

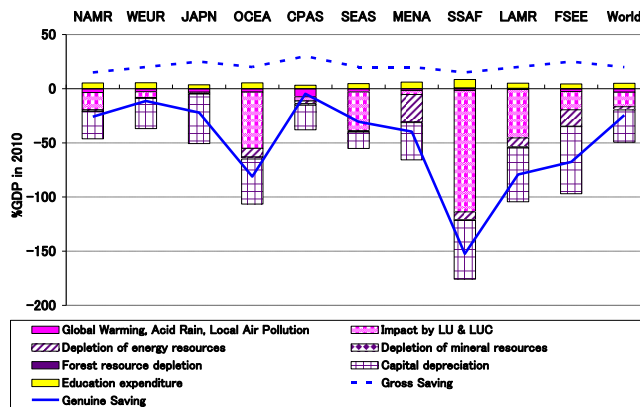
表 2 は世界全体について、GS/Y から GS<sub>n</sub> および GS<sub>nt</sub> を得る過程を、2040 年時点为例として示したものである。この表は Arrow *et al.* 2004 を模したものである。(1)列は図 1 と同じ  $GS_{rg,yr}/Y_{rg,yr}$ 、(2)列は(1)列に富・GDP 比率を乗じたもの、(3)列は人口増加率、(4)列の GS<sub>n</sub> は(2)列-(3)列、(5)列の TFP 成長率( $\gamma$ )は式(12)である。列(6)の GS<sub>nt</sub> は列(4)+ $\gamma_{rg,yr}/\alpha_{rg,yr}$  で  $\alpha_{rg,yr}$  の値は Arrow *et al.* 2004 より 0.58 とした。(2)列で正の値が人口変化率により(4)列で負に転じる (Arrow *et al.* 2004 は Malthusian 効果と称した) のは、全 110 ケース (10 地域+世界全体に対して計算時点 10) のうち 4 ケースだけであった。

図 2 には、GDP 比率で示された GS (GS/Y : ■)、wealth の増加率 (GS/W : □)、GS<sub>n</sub> (GS/W - N'/N : ◆)、GS<sub>nt</sub> (GS/W - N'/N + A'/A : ●) を示す。GS<sub>n</sub> および GS<sub>nt</sub> 導出する手順は表 2 と同様である。GS の値は GS/W から GS<sub>n</sub> へは下がり、GS<sub>nt</sub> へは上がる。そして GS<sub>nt</sub> で測れば世界は持続可能である。GS/Y の挙動の理由 (2040 年頃まで増加して後、減少に転じる) は、GS/Y は I/Y (投資・産出比率) と、それ以外の控除する項 (資源減耗、環境劣化、教育投資) からなり、I/Y は多少の変動はあるがあまり変わらない一方で、他の項を合計するとピークを持つ形をしているからである (LU&LUC は時間軸前半に低減す

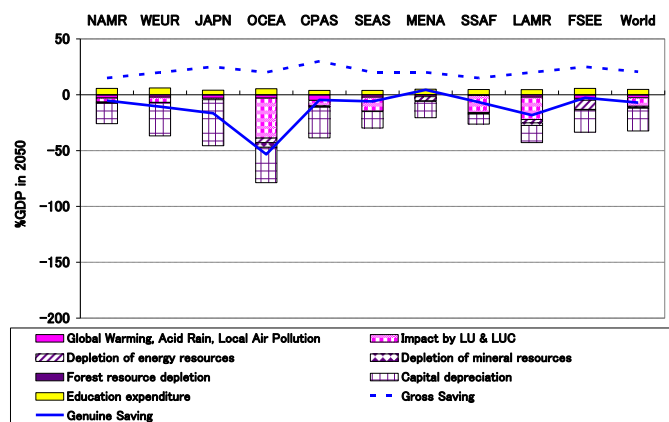
る一方で、資源レントは後半に漸増する)。

#### 4.5 結論(行政ニーズとの関連及び政策的インプリケーション)

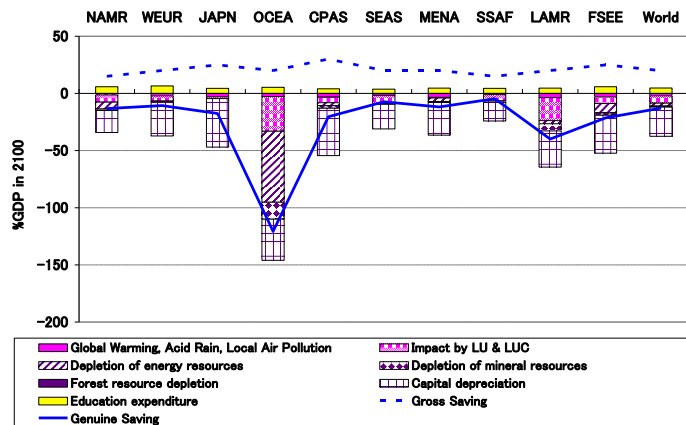
本研究では、将来の持続可能性を評価するために、エネルギー資源、環境影響評価、マクロ経済などを明示的に考慮した大規模シミュレーションモデルを用い、GS の将来推計を行うための分析作業を実施し、試算結果を示した。技術進歩率を考慮に入れると、グローバルに見れば持続可能な発展の経路を辿る可能性が明らかになった。



(a) 2010



(b) 2050



(c) 2100

図1 Gross Saving (点線) と Genuine Saving (実線)、その違いの内訳 (棒グラフ) を、世界 10 地域および 2010 年・2050 年・2100 年について示したもの。地域略称は以下の通り (NAMR: 北米、WEUR: 西欧、JAPN: 日本、OCEA: オセアニア、CPAS: 中国、ESAS: インドを含む東南アジア、MENA: 中東・北アフリカ、SSAF: サブサハラアフリカ、LAMR: ラテンアメリカ、FSEE: 旧ソ連東欧)

表 2 2040 年時点における GS (=GS/Y) から GS/W を経て GS<sub>n</sub> および GS<sub>nt</sub> に至る過程

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	Genuine Saving as Percent of GDP (%) : GS/Y	Growth Rate of Unadjusted Wealth (%) : GS/W	Population growth rate (%)	Growth Rate of Wealth – <i>after</i> adjusted Pop. change - <i>before</i> TFP Adjustment (%)	TFP Growth Rate (%)	Growth Rate of Wealth - <i>after</i> Pop & TFP Adjustment (%)
World	-7.0	-1.0	0.4	-1.4	2.9	3.6

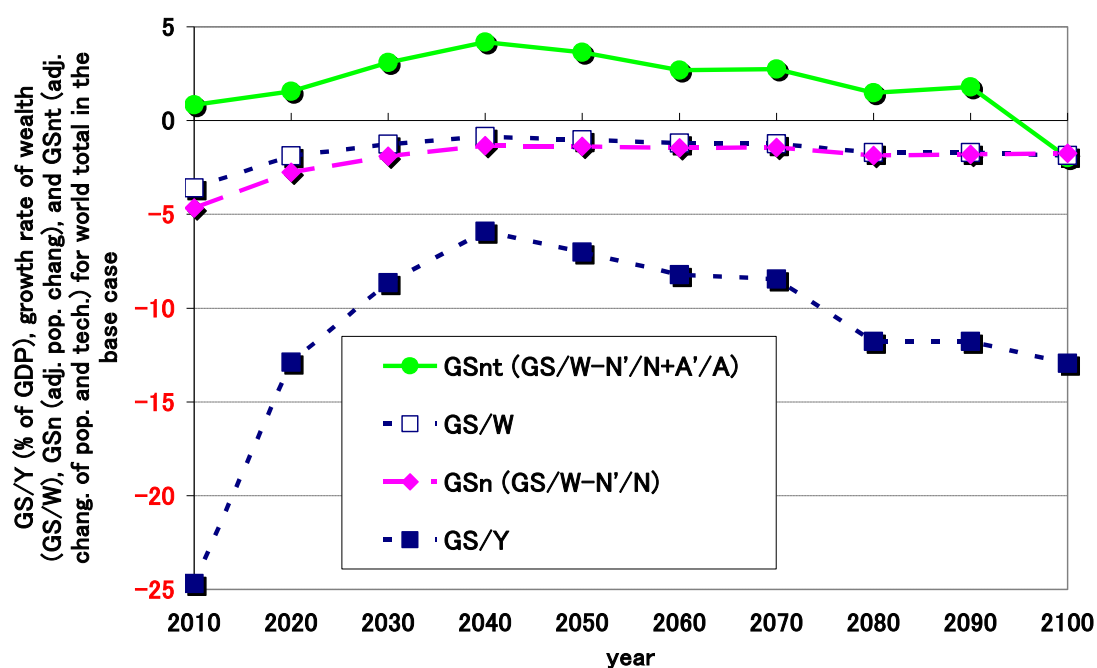


図 2 GDP 比率で示された GS (GS/Y : ■)、wealth の増加率 (GS/W : □)、GS<sub>n</sub> (GS/W - N'/N : ◆)、GS<sub>nt</sub> (GS/W - N'/N + A'/A : ●)

## 5. 環境経済政策の実施タイミングに関する研究

本章では、環境技術の変化を扱う経済成長モデルの枠組みを中心に、GS の概念を支えるモデリング上の諸問題について理論的な考察を行う。5.1 節では、経済発展に伴う環境新技術の最適導入時期（H21～22 年度）、5.2 節では、内生的時間選好率・割引率と資源消費戦略（H22～23 年度）、5.3 節では、CGE モデル構築におけるパラメータ設定上の課題（H22～23 年度）、5.4 節では、気候変動政策モデルにおける衡平性の取り扱い（H23 年度）について、それぞれまとめる。5.5 節では、行政ニーズとの関連及び政策的インプリケーションについて述べる。

### 5.1 経済発展に伴う環境新技術の最適導入時期

本研究項目は H21 年度から開始し、H22 年度まで細部を詰めながら発展・精緻化したものである。H22 年度報告の内容と若干重複するが、以下に簡潔に記す。

#### 5.1.1 背景と目的

経済成長理論の枠組みに資源や環境を取り込む経済研究は、1970 年代に始まる。Dasgpta and Heal (1974)などが資源制約を考察した古典的な研究とされる。その後、1980 年代に入り、環境の制約が考察され始める。

1980 年代後半には Romer (1990)らの研究により、経済成長理論自体が大きく変わり、「内生的技術変化」という概念が中心に据えられるようになった。それ以前の考え方では、経済成長を支えるものは資本の蓄積のみであって、その資本はアプリアリな「技術」を通してしか生産に寄与することはない。そのため、技術に変化があるとすれば、それはいわば「外生的」な技術変化に過ぎなかった。これに対峙する概念として、「内生的」という概念が生まれてきたのであるが、その基本的考え方は、技術や産業構造の変化が経済成長のパターンを変える、その変化のきっかけ自体も経済発展の中に内在されている、という考え方であった。

こうした理論面の進展に伴い、資源・環境を考慮した経済成長の研究も大きく進展することとなった。Tahvonon and Salo (2001)は、内生的経済成長の枠組みで資源制約を考え、技術政策の重要性を示唆した。一方、環境制約については Schou (2000)が、従来の生産部門に加え、「知識」や「ノウハウ」の蓄積による環境制約克服の可能性を論じた。

Cunha-e-Sá and Reis (2007)は経済成長と環境の枠組みの中で、環境に悪影響を与えない技術（クリーン技術）の最適導入時期を考察した。経済発展に伴い、環境汚染が深刻になる。それが成長と社会厚生 of 阻害要因となる。その問題を解決するには、ある時期に、革新的な技術変化が必要である。その時期は、いつか、という問題意識である。Cunha-e-Sá and Reis の研究は、資源・環境を織り込んだ経済成長という連綿とつながってきた研究の

流れの中に、「最適な技術変化の時期」という概念を追加した点で、大きな貢献があったといえる。その一方で、ソロー流の外生的な技術変化やコストの取り扱いについていくつかの課題も残したといえる。

本節での研究は、環境の制約を考慮に入れた経済成長と技術変化について理論分析を行うものである。具体的には、Cunha-e-Sá and Reis (2007)を出発点にして、環境に関する技術変化を内生的に扱い、環境の質を改善する技術変化（以下、単に技術変化）の最適な時期を分析する。これを通して、環境と経済成長の関係や技術変化の性質について考察を行う。

### 5.1.2 分析モデル

閉鎖経済を考え、人口は一定であると仮定する。家計は、社会全体を集計したものが一つの主体として記述されると考える。その効用  $U_t$  は、集約された消費  $C_t$  と環境の質  $Q_t$  から決定される。効用関数は  $C_t$  と  $Q_t$  に関して、次のような増加凹関数であるとする。ただし、 $\sigma$  は消費に対する限界効用の弾力性を表す。

$$U_t = \frac{(C_t Q_t^\mu)^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma}, \quad 0 < \mu < 1, \sigma > 0, \sigma \neq 1 \quad (1)$$

次に、生産と資本蓄積を考える。生産を  $Y_t$  とし、それは資本  $K_t$  に比例して生み出されるとする。生産に対する正の比例係数を  $A$  とする。

$$Y_t = AK_t \quad (2)$$

また、資本は次のような動学に従うとする。

$$dK_t/dt = AK_t - C_t \quad (3)$$

以上の設定は Cunha-e-Sá and Reis (2007)でも用いられているものであるが、ここで本研究では、環境の質を改善する技術変化が時間  $T$  で起こると設定し、「環境の質」について、以下のように内生的な性質を導入する。

「環境の質  $Q_t$ 」は、環境に関する「技術水準  $a_t$ 」と「消費  $C_t$ 」によって決まるとする。これは消費  $C_t$  の増加に伴い低下するが、技術水準  $a_t$  のグレードアップによって向上するものとして、次の関係で表されるとする。

$$Q_t = a_t C_t^{-\alpha}, \quad \alpha > 0 \quad (4)$$

ここで、技術水準  $a_t$  は、資本の蓄積（あるいは経済成長）に伴って上昇し、環境の質  $Q_t$  に対する消費  $C_t$  の悪影響を和らげることができると考える。より具体的には、技術水準  $a_t$  の上昇率が資本  $K_t$  の上昇率に比例すると仮定する。すなわち、

$$(da_t/dt)/a_t \propto (dK_t/dt)/K_t$$



通常の経済では、資本自体は基本的には経済成長にしたがって蓄積されていくので、この技術水準の変化は「内生的」と言える。さらに、技術水準  $a_t$  の上昇率と資本  $K_t$  の上昇率の比例係数を  $\eta$  とし、これが技術変化の起こる  $T$  の前後で大きく変化すると仮定する。すなわち、次式のように表すことにする。

$$\frac{da_t/dt}{dK_t/dt} \frac{K_t}{a_t} = \begin{cases} \eta_0 & \text{for } t \leq T_- \\ \eta_1 & \text{for } t \geq T \end{cases} \quad (0 \leq \eta_0 < \eta_1, \text{ 各々定数}) \quad (5)$$

ここに、 $T_-$  は  $T$  よりも微小時間だけ直前であることを示すものである。

(4)式、(5)式をまとめると、環境の質  $Q_t$  は次の関数で表現される。

$$Q_t = a_t C_t^{-\alpha}, \quad \alpha > 0$$

$$a_t = \begin{cases} \bar{a} K_t^{\eta_0} & \text{for } t \leq T_- \\ \bar{a} K_t^{\eta_1} & \text{for } t \geq T \end{cases} \quad 0 \leq \eta_0 < \eta_1 \quad (6)$$

ここで、 $K_T$  は新技術を導入した直後の資本、 $K_{T-}$  は技術変化直前の資本を表す。後者は  $K_{T-} \equiv \lim_{t \rightarrow T-} K_t$  と定義される。この二者について、さらに次のように設定する。

技術変化が  $T$  で起こることにより、資本  $K_t$  は  $T$  を境に不連続に減少するものとする。それは次式で表現される。

$$K_T = \beta K_{T-}, \quad 0 < \beta \leq 1 \quad (7)$$

技術変化には一時的に多大なコストがかかる。例えば、研究開発 (R&D) や、設備転換にコストが必要となる。また、技術変化以前の資本蓄積が一部、転用不可能な不要物になってしまうことも考えられる。こうしたコストを、 $T$  における不連続な資本減少分として表現する。この資本減少分を  $1-\beta$  で表す。

なお、資本  $K_t$  が  $T$  を境にして、不連続に変化することにより、原理的には技術水準  $a_t$  も不連続に変化してよいことになる。しかし、そのような設定は、環境の質そのものについても不連続な変化を許容するという、一見奇妙な状態を引き起こしてしまう。そこで、こうした不自然さを排除するために、技術水準については、 $T$  で事後的に連続的に接続するものと仮定する。すなわち  $a_{T-} = a_T$ 、あるいは、

$$K_{T-}^{\eta_0} \equiv K_T^{\eta_0} \quad (8)$$

が事後的に成立するものと仮定する。

(1)~(8)式をまとめ、経済全体を次のような動的計画問題として記述する。上述のように家計が一つの経済主体で代表されていると仮定しているので、これは、その経済主体による効用最大化問題となっている。また、 $\rho$  は時間選好割引率を表す。

$$J(K_0) = \text{Max}_{T, \{C_t\}} \int_0^{T-} U_t e^{-\rho t} dt + \int_T^{\infty} U_t e^{-\rho t} dt \quad (9)$$

$$\text{s.t.} \quad U_t = \frac{(C_t Q_t^\mu)^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma}, \quad 0 < \mu < 1, \quad \sigma > 0, \quad \sigma \neq 1$$

$$dK_t/dt = AK_t - C_t$$

$$K_T = \beta K_{T-}, \quad 0 < \beta \leq 1$$

$$Q_t = a_t C^{-\alpha}, \quad \alpha > 0$$

$$a_t = \begin{cases} \bar{a} K_t^{\eta_0} & \text{for } t \leq T_- \\ \bar{a} K_t^{\eta_1} & \text{for } t \geq T \end{cases}$$

(9)の問題は、次のような手順で解くことができる。まず、このモデルは、基本的に制御変数が  $C_t$  および  $T$ 、状態変数が  $K_t$  の連続時間型動的最適化問題となっている。特に、 $T$  については、これを境に動的振る舞いが変わることから、「最適停止問題」と見ることができる。

そこで、 $T$  の前後では、この問題は、基本的には最大原理を用いて解くことができる。ハミルトニアンを設定し、状態方程式、随伴方程式、横断性条件から、すべての動的振る舞いが、 $K$  の初期値で記述されることになる。ただし、「最適停止問題」としての性質を含んでいるので、これについては動的計画法の考え方（後から解く考え方）が必要である。具体的には、技術革新の時期まで ( $t \leq T_-$ ) とその後 ( $t \geq T$ ) の二つの部分に分離して考える。後の部分を、

$$\varphi(K_T) = \text{Max}_{\{C_t\}} \int_T^\infty U_t e^{-\rho(t-T)} dt \quad (10)$$

と定義し、これについて最大原理を用いた求解を行う。その上で、

$$V(T) = \text{Max}_{\{C_t\}} \int_0^{T-} U_t e^{-\rho t} dt + \varphi(K_T) e^{-\rho T} \quad (11)$$

とした問題を解く。これにより、新技術移行時点までの最適経路を算定することができる。これは終端条件のある問題である点が、(10)式と異なる。横断性の条件、 $T_-$  と  $T$  の接続を考慮することによって、すべての動学が最適な導入時期  $T$  についての関数として表されることになる。

最後に、 $T$  について次のように最適化を行う。

$$J(K_0) = \text{Max}_T V(T) \quad (12)$$

### 5.1.3 結果

前節のモデルを分析することによって得られる結果は3つの定理としてまとめられる。

まず、環境の質を改善する新技術が必要か否かを決定付けるのは、社会の環境に対する姿勢と、技術を導入する直前の平均消費性向である(定理 1)。ここで、社会の環境に対する姿勢は  $\sigma$  で表される。これが 1 未満の場合は、社会は環境の質と消費に補完性を持ち、環境を大事にする社会となっている。逆に、これが 1 を超える場合は、社会は環境の質と消費に代替性を持ち、消費が十分にある限りにおいてあまり環境の質に関心を払わない。

前者のような社会で技術変化が起こるとすれば、それは、技術変化の前の時点で消費が低く、その上昇と共に技術変化の必要性が高まるような場合である。逆に、後者のような社会で技術変化が起こるとすれば、それは、技術変化の前の時点で消費が高く、その減少と共に技術変化の必要性が認識されるような場合である。

次に、有限時間で新技術への技術変化が起こるとして、その起こり方には二つのパターンがある。一つは、環境改善のための技術変化に向けて、資本を蓄積し、ある時点で、その変化を成し遂げるパターンであり、もう一つは、過去の発展と栄華によって、資本の取り崩しのみで成り立っている現状ではあるが、衰退とともに、ある時点で大きな変化を必要とするパターンである(定理 2)。

最後に、技術変化の最適時期( $T^*$ )およびそのときの資本水準( $K^*$ )が技術変化の度合い( $\eta_1/\eta_0$ )にどのように影響されるかについても新たな知見が得られた(定理 3)。まず、資本水準( $K^*$ )は技術変化の度合いの減少関数となっている。すなわち、技術変化の度合いが大きいと技術変化を起こすハードルは低くなる。

#### 5.1.4 まとめ

本研究では、環境の制約を考慮に入れた経済成長と技術変化について理論分析を行った。先行研究の Cunha-e-Sá and Reis (2007) を基礎にして、環境の質を改善する技術変化を内生的に扱い、技術変化の最適な時期を分析した。

特に、技術変化の最適時期およびそのときの資本水準が技術変化の度合いにどのように影響されるかについての知見は興味深い。上記のように二つのパターンが存在し、それに対応して、二つの可能性が考えられる。すなわち、技術変化が、経済の成長(資本の蓄積)と共に起こるならば、ハードルの低下は、技術変化時期の早期化につながる。対照的に、技術変化が、経済の衰退と共に起こるならば、ハードルの低下は、技術変化時期の延期につながる。実際、最適時期と技術変化の度合い( $\eta_1/\eta_0$ )の関係は、 $1 > \sigma$  の場合、 $T^*$  は( $\eta_1/\eta_0$ )の減少関数となり、 $1 < \sigma$  の場合、 $T^*$  は( $\eta_1/\eta_0$ )の増加関数となる。

以上のような経済成長のパターンと環境技術変化の対応を明確にした点は、本論文独自のものである。こうした点は、筆者の知る限り、これまでいかなる文献でも指摘されたことはない。直感にも合致した、極めて興味深い結果であると言えよう。

## 5.2 内生的時間選好率・割引率と資源消費戦略

次に、H22~23 年度の中心的課題として、資源消費の鍵となる時間選好率自体の決定メ

カニズムに焦点を当てた。時間選好率を内生的に扱うモデルを拡張し、枯渇性資源の利用とバックストップ技術の導入時期について考察した。このような視点は伝統的な資源経済学や環境経済学の枠組みでは取り扱われることがなかったものである。

### 5.2.1 背景と目的

資源経済学において、「枯渇性資源の希少性レントは、利子率と同じ率で上昇する」という理論は、ホテリング・ルール (Hotelling's rule) として知られている。この他にも、資源の希少性レントと利子率の関係について類似の結果を導き出す多くのモデルが存在するが、その含意はホテリング・ルールと同様である。すなわち、枯渇性資源の利用に関する動学は、利子率によって導き出される、ということである。しかし、その際の利子率がどのような形で決定されるのかという点については、これまで議論されたことがない。

資源経済学とは違い、他の経済学分野では、利子率や時間選好率に対する議論は熱心に取り組まれている。特に、厚生経済学においては、社会的時間選好率の設定は社会厚生の評価を決定づける倫理的な側面を持っている (たとえば、Arrow and Kurz(1970))。また、最近では、超長期的な社会問題 (典型的な例は地球環境問題) の脈絡で、指数関数的な割引に代わる割引率が提案されている (たとえば、Weitzman(2001))。

マクロ経済学においては、時間選好率を経済モデルの内生変数に依存させた形でモデル内に組み込んだ研究が数多く行われている。その中でも、消費習慣が効用に影響を及ぼすという「習慣形成モデル」はよく知られたモデルとなっている (たとえば、Obstfeld(1990))。

本項目での研究目的は、習慣形成モデルの一つである Uzawa-Epstein 型時間選好率 (Uzawa (1968); Epstein and Hynes(1983); Epstein(1987)) の概念を用いて枯渇性資源の利用について理論的な分析を行うことである。これを通して、資源の代替財であるバックストップ技術への切替え時期や、資源利用の消費習慣の性質について考察を行う。具体的には、資源消費の意思決定問題に、時間選好率内生化を組み込んだモデルを構築し、分析を行う。

### 5.2.2 分析モデル

資源消費によってのみ成り立つ経済を考える。人口は一定であると仮定する。この経済では、「枯渇性資源」と「バックストップ技術」(後述)のみが利用可能であり、生産部門は存在しないものとする (ケーキ・イーティング経済)。代表的経済主体を想定し、その枯渇性資源消費による効用最大化問題を考える。これにより、資源消費の動学、資源の希少性レントとの関係が規定され、枯渇性資源からバックストップ技術への切替え時期が導出されることになる。

次の記号を導入する。

$t$ : 時間

$E(t)$ : 時間  $t$  における枯渇性資源の消費量

$S(t)$ : 時間  $t$  における枯渇性資源のストック量

$S_0$ : 初期資源ストック量

$\Delta(t)$ : 時間  $t$  における累積割引率

$u(\cdot)$ : 代表的経済主体の瞬時的効用関数

$r(\cdot)$ : 瞬時的割引率

$P_B$ : バックストップ技術の価格

$T$ : 枯渇性資源の枯渇時点 (バックストップ技術利用への切替え時点)

代表的経済主体は  $0 \sim T$  期までの間で、枯渇性資源を消費し尽くし、それ以降はバックストップ技術の利用に移行するものとする。この移行の時点  $T$  は、後述するように、内生的に決定される。枯渇性資源消費とバックストップ技術利用による効用は、現在価値換算された瞬時的効用の総和として評価される。

その瞬時的効用  $u(\cdot)$  は、時点  $T$  までは枯渇性資源消費  $E(t)$  によって決定され、それ以降はバックストップ技術から得られる等価な資源消費量 (以下では、 $E(t)$  との区別を明確にする場合は  $\varepsilon(t)$  と書くことにする) によって決定される。

瞬時的効用関数は、 $E(t)$  (または  $\varepsilon(t)$ ) に関して、増加凹関数であるとする。

$$u(E) = \frac{E^{1-\eta}}{1-\eta}, \quad \eta > 0, \quad \eta \neq 1 \quad (1)$$

$$u'(E) > 0, \quad u''(E) < 0$$

効用関数における  $\eta$  は異時点間資源消費の代替の弾力性の逆数である。したがって、 $\eta$  が大きいほど、代替の弾力性は小さくなる (非弾力的)。逆に、 $\eta$  が小さくなると代替の弾力性は大きくなる (弾力的)。

代表的経済主体の問題は次式のように表すことができる。

$$\max_{\{E(t)\}} \int_0^T u(E(t)) \cdot e^{-\Delta(t)} dt + e^{-\Delta(T)} V \quad (2)$$

累積割引率  $\Delta(t)$  は  $0 \sim t$  までの資源消費に依存するものとして、次式のように仮定する。ここで、 $r$  は瞬時的割引率を表わす。

$$\Delta(t) = \int_0^t r(E(s)) ds \quad (3)$$

(3)式の累積割引率  $\Delta$  を時間  $t$  で微分すると、次式が成立する。

$$\frac{d\Delta(t)}{dt} = r(E(t)) \quad (4)$$

このように瞬時的効用関数と累積割引率を組み合わせた形式は Uzawa-Epstein 型効用関数の一形態であると言える。Uzawa(1986)、Epstein(1987)、Epstein and Hynes(1983) にならい、瞬時的割引率  $r$  は以下の特徴を持つと仮定する。

$$r(E) > 0, \quad r'(E) > 0, \quad r''(E) \leq 0$$

(2)式の最後の項の  $V$  は、時点  $T$  でバックストップ技術が導入された場合の、それ以降

の全瞬時的効用（現在価値換算済み）の総和を表わす。これ自体は次のような最適化問題の価値関数となっている。

$$V = \max_{\{\varepsilon(\tau)\}} \int_0^{\infty} \left( u(\varepsilon(\tau)) - P_B \varepsilon(\tau) \right) \cdot e^{-\Delta(\tau)} d\tau$$

この値を  $e^{-\Delta(T)}$  で割引くことによって、枯渇性資源消費初期時点における現在価値に換算する。それが(2)式の最後の項となっている。

ここで、枯渇性資源は、消費によってそのストック量が減少するような有限資源である。その消費量  $E(t)$  とストック量  $S(t)$  の関係は次のようになっている。

$$\frac{dS(t)}{dt} = -E(t) \quad (5)$$

$T$  期でのストック量を  $S(T)$  とすると、(5)式は次のように表現することもできる。

$$\int_0^T E(t) dt = S_0 - S(T) \quad (6)$$

時点  $T$  で枯渇性資源が消費し尽くされた場合（すなわち  $S(T)=0$  となる場合）、その後の資源供給はバックストップ技術に代替することになる。ここで、「バックストップ技術」とは、その資源ストック量が無限に存在し、資源制約が一切無い、理想的なエネルギー源を指す。この技術があれば、資源の有限性という問題が一挙に解決されることになる。ただし、問題は、現時点でコスト的に高価である、という点である。現時点においても物理的には利用可能であるが、枯渇性資源と比較すると現在の利用価格が高すぎるものとなっている（具体例としては、宇宙太陽光発電や核融合炉などが考えられる）。将来、枯渇性資源が枯渇に近づき、その資源価格が高価になってくれば、相対的にバックストップ技術が必ずしも高価とは言えない状況になってくる。バックストップ技術の価格が枯渇性資源利用価格よりも相対的に安くなった時点で、バックストップ技術の利用が始まると考えられる。

このことは、直感的には以下のように解釈される。 $q(t)$  を  $t$  における枯渇性資源の希少性レントとする。これは、時間とともに上昇を続け、ある時点でバックストップ技術の利用価格  $P_B$  と等しくなる。その時点をもって、希少性レントの上昇は止まることになる。

一度、バックストップ技術が相対的に安価になると、それ以降、枯渇性資源は使われることはない。そのため、経済主体はバックストップ技術が相対的に安価になる時点  $T$  で枯渇性資源を使いきることとなる（すなわち  $S(T)=0$  となる）。こうして、時点  $T$  は、枯渇性資源からバックストップ技術に切り替わる時期、を表わすことになる。

このことは、次の条件式で表現され、図 1 のように表される。

$$q(T) = P_B \quad (7)$$

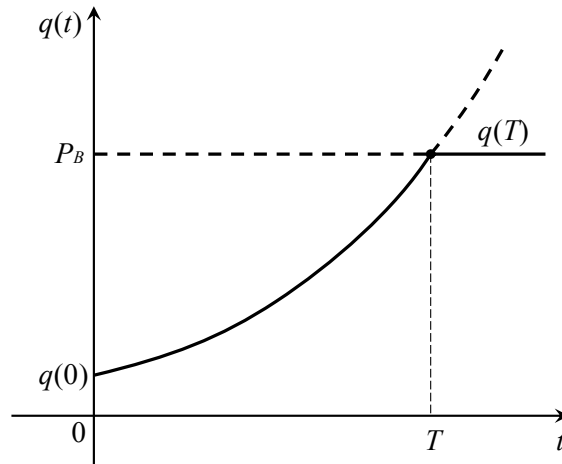


図1 枯渇性資源からバックストップ技術への切替え

モデルの解析的取り扱いを容易にする為に、瞬時的割引率  $r$  について以下の仮定を導入する。

**【仮定】**

瞬時的割引率  $r(E)$  と資源消費  $E$  は線形関係にある。その係数を  $\beta$  とし、「時間選好率係数」と呼ぶことにする。すなわち、

$$r(E(t)) = \beta E(t), \quad \beta > 0 \tag{8}$$

**5.2.3 結果**

以上の設定と仮定の下で、以下の3つの定理が得られる。

**【定理1】**

初期資源ストック量  $S_0$  の増加は、枯渇性資源からバックストップ技術への切替え時期  $T$  を遅らせることになる。すなわち、次の関係式が成り立つ。

$$\frac{dT}{dS_0} = P_B^{\frac{1}{\eta}} e^{\frac{\beta}{1-\eta} S_0} > 0$$

定理1の意味するところは、直感的にも一致した分かりやすいものである。経済における初期資源ストック量が増加すると、資源の利用可能量が増加する。その結果、バックストップ技術への切替え時期が遅くなる。逆に、初期資源ストック量が減少すると、バックストップ技術への切替え時期が早まると考えられる。この結果は、伝統的なホテリング・ルールにも類似する結果である。本稿のように、時間選好率が資源消費量に依存する場合であったとしても、初期資源ストック量が豊富にあるという事実は、常に、代替技術の導入を遅らせるという結果を導く。

次の定理は、切替え時期  $T$  とバックストップ価格  $P_B$  の関係には、正の相関関係があることを示すものである。

**【定理 2】**

バックストップ価格  $P_B$  が上昇すると、枯渇性資源からバックストップ技術への切替え時期  $T$  が遅くなる。 $P_B$  の%変化に対する  $T$  の%変化は  $\eta$  の逆数となり、常に正となる。すなわち、

$$\frac{dT/T}{dP_B/P_B} = \frac{1}{\eta} > 0$$

定理 2 の意味するところも、ホテリング・ルールにも類似している。すなわち、バックストップ価格の上昇は代替財であるバックストップ技術への切り替えハードルを上昇させる。このハードルの上昇は、現在利用中の枯渇性資源の希少性レントの上昇を導くことになる。そして、この希少性レントの上昇は、経済主体に対して、資源の節約インセンティブをもたらし、その結果、枯渇性資源の枯渇時期が遅くなるのである。逆に、バックストップ価格が低下すると、バックストップ技術に乗り換えるハードルが低くなる。したがって、枯渇性資源の希少性が低下し、資源利用を抑えようとするインセンティブが低下する。その結果、資源の枯渇時期 (=バックストップ技術への切替え時期) を早めることになる。

最後に次の定理は、切替え時期  $T$  と  $\beta$  (時間選好率係数：瞬時的割引率の比例係数) との関係を示す。内生的な時間選好率の役割をもっとも顕著にあらわしたものである。

**【定理 3】**

時間選好率係数 (瞬時的割引率の比例係数)  $\beta$  が上昇した場合、枯渇性資源からバックストップ技術への切替え時期  $T$  が早まるか、遅くなるか、という関係は、異時点間の代替の弾力性の逆数  $\eta$  に依存する。すなわち、次の関係式が成り立つ。

$$(1) 1 < \eta \text{ の場合 : } \frac{dT}{d\beta} < 0$$

$$(2) 1 > \eta \text{ の場合 : } \frac{dT}{d\beta} > 0$$

切替え時期  $T$  と時間選好率係数 (瞬時的割引率の比例係数)  $\beta$  との関係は、 $1 < \eta$  の場合 (非弾力的な場合) は負の相関関係 ( $dT/d\beta < 0$ )、逆に、 $1 > \eta$  の場合 (弾力的な場合) は正の相関関係 ( $dT/d\beta > 0$ ) がある。

この定理の含意を考えてみよう。今まで見てきたように、 $\eta$  の大小によって、2 つの場合を考えることができる。

$1 < \eta$  の場合、すなわち、異時点間の消費の代替が非弾力的な場合では、資源消費の累積



がより早くなり、近視眼的な消費習慣に拍車がかかることになる。このことは、図 2 のように考えるとわかりやすい。【仮定】のもとで、累積割引率  $\Delta(t)$  は  $E(t)$  の積分に比例していることになる。すなわち、(3)式より、

$$\Delta(t) = \beta \int_0^t E(s) ds = -(1-\eta) \cdot \ln \left( 1 - \left( 1 - e^{\frac{-\beta}{1-\eta} S_0} \right) \cdot \frac{t}{T} \right)$$

であるが、 $E(t)$  の積分は、図 2 の影をかけた部分の面積にあたる。 $t$  の早い時点から面積がすでに大きくなっていることがわかる。

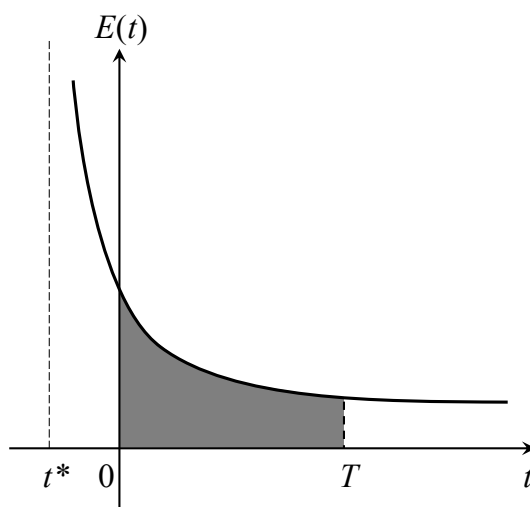


図 2  $1 < \eta$  の場合：  $E(t)$  の積分と累積割引率  $\Delta(t)$

このような累積割引率形成の結果、近視眼的消費習慣を通して、枯渇性資源の枯渇が早まることになり、バックストップ技術への切替え時期の早期化 ( $dT/d\beta < 0$ ) が招かれることになる。

一方、 $1 > \eta$  の場合、すなわち、異時点間の消費の代替が弾力的な場合は、2つの効果が切替え時期  $T$  に対して影響を与える。まず、小さな  $\eta$  により、枯渇性資源の利用は弾力的になっており、異時点間の消費の移動が容易になっている。その結果、資源枯渇をさけるよう延命を図ることが比較的容易になる。これが一つ目の効果である。次に、図 3 で示されている通り、この場合の資源の消費経路では、消費の累積がゆっくり行われる。図 2 と同じく、影をかけた部分の面積が  $E(t)$  の積分であり、累積割引率を決める値となっている。図 2 に比べて、 $t$  の早い時点では面積があまり大きくはなっていないことがわかる。

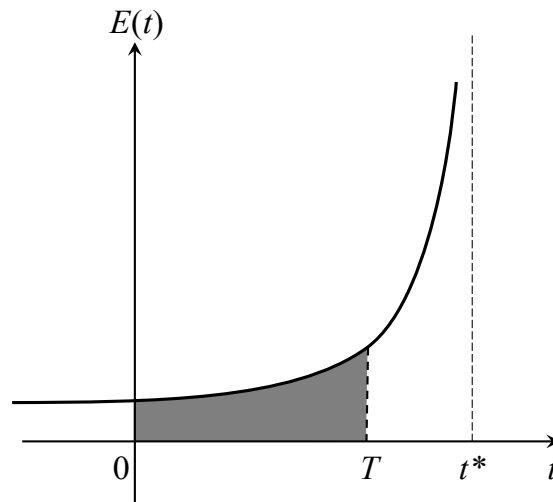


図3  $1 > \eta$  の場合：  $E(t)$  の積分と累積割引率  $\Delta(t)$

このような累積割引率形成の結果、近視眼的な消費習慣はゆっくりと形成されることになる。これが二つ目の効果である。以上の2つの効果により、資源の枯渇は遅れることになり、切替え時期は遅くなる ( $dT/d\beta > 0$ )。

#### 5.2.4 まとめ

本項目での研究では、伝統的な枯渇性資源消費の問題について、消費の「習慣形成」の効果モデル内に取り入れ、理論分析を行った。具体的には、時間選好率が消費に依存するような習慣形成を考え、習慣形成モデルのひとつである Uzawa-Epstein 型効用関数を導入した。

上記のモデルから、枯渇性資源の消費経路には2つのパターンが存在することが分かった。その違いを決定付けるのは、異時点間の代替の弾力性の逆数  $\eta$  である。すなわち、異時点間の消費の代替が非弾力的な場合 ( $1 < \eta$ )、資源の消費量は時間と共に減少する。一方、異時点間の代替に対して弾力的な場合 ( $1 > \eta$ )、資源の消費量は時間と共に上昇していくことになる。

この消費経路に基づいて、枯渇性資源からバックストップ技術への切替え時期について分析を行った。その結果は、3つの定理としてまとめた。

本研究では、枯渇性資源利用と習慣形成に関連して、内生的な時間選好率や割引率に焦点を当てた。これは単に純粋な経済理論としての問題だけでなく、気候変動問題における割引率の取り扱いという高度に政策的な問題にも深く関連している。実際の気候変動問題における政策論争においては、時間選好率と割引率の問題は、極めて大きな争点である。

気候変動の科学的知見、影響、対応策に関する客観的な情報収集と整理を行う「国連気候変動に関する政府間パネル (IPCC)」においても、これまでの報告書 (第2~4次報告書、それぞれ1995、2001、2007年) で、費用便益分析における時間選好率と割引率の設

定が重要な論点となってきた。そうした中で、2006年11月に公表された『スターン報告書 (*Stern Review: The Economics of Climate Change*)』(Stern (2007)) は、時間選好率と割引率を巡る政策的な賛否を顕在化させたと言ってよい。

『スターン報告書』は、英国財務省の依頼を受けて経済学者のスターン博士がまとめた気候変動問題についての研究報告である。これは、気候変動による経済的な影響と対策に要するコストを詳細に分析し、早期の対策の必要性を結論付けるものであった。同時に、これには、英国政府の気候変動政策スタンスを学術的にサポートする意図も込められていた。その主要な結論は、次のようなものである(報告書「Summary of Conclusions」より抜粋)。

“In contrast, the costs of action—reducing greenhouse gas emissions to avoid the worst impacts of climate change—can be limited to around 1 % of global GDP each year.”

“Using the results from formal economic models, the Review estimates that if we don’t act, the overall costs and risks of climate change will be equivalent to losing at least 5% of global GDP each year, now and forever. If a wider range of risks and impacts is taken into account, the estimates of damage could rise to 20% of GDP or more.”

“So prompt and strong action is clearly warranted.”

こうした結論は、英国に限らず世界中で温暖化政策推進派の人々の称賛を浴びた。同時に、これに対する強烈的な批判の声も上がった。そうした批判には、さまざまなものがあるが、学術的に最も正当な批判としては、次のようにまとめられよう。

- ・ 分析の根拠となっている費用便益分析において、算定結果を決定的に左右する「割引率(あるいは社会的時間選好率)」の値がおかしい。設定の論理、具体的な値とも標準的な経済学の考え方とは異なっている。

ノードハウス・エール大学教授をはじめとして、多くの経済学者が『スターン報告書』における「割引率」の扱いを議論しており、それ自体が多くの学術論文になっている(たとえば、Nordhaus (2007))。

本研究は、それ自体、純粋な経済理論に留まっているが、気候変動問題のような超長期の政策形成についても重要な示唆を与えるものと考えられる。

### 5.3 CGE モデル構築におけるパラメータ設定上の課題

H22年度以降は、理論的な分析と並行して、シミュレーションにおける理論モデルの位置づけと役割について検討した。具体的には理論モデルを応用一般均衡(CGE)モデルへと実装する際に必要となるカリブレーションの考え方について、その手法と問題点について考察した。

### 5.3.1 背景と目的

温室効果ガス排出削減数値の経済的な影響については昨今、多くのモデル分析がなされている。ある特定の年度における排出量のある特定のパーセント分削減するような政策を想定し、そうした場合に、国内経済にはどのような影響が出るか算定するのである。その影響とは、概して GDP の低下などマクロ的な悪影響であるが、その他にも、産業構造の変化などが分析対象とされる。その分析結果（想定される GDP の低下など）は、排出削減目標の設定や具体的な政策意思決定にとって極めて重要な意味を持つことになる。

このようなモデル分析には、通常、エネルギー経済モデルが用いられる。その基本構造は、多くの場合、超長期であれば、ラムゼー型の経済成長モデルであり、比較的短期で、かつ、産業構成に焦点を当てるなら、一般均衡モデルが用いられる。前者は、動学的一般均衡モデルとして定式化することも可能であるので、結局、経済体系に焦点を当てる限り、動学的あるいは静学的一般均衡モデルが用いられると言ってよい。そうしたモデル作成と計算の手法は応用一般均衡（CGE）分析として一つの確立された分野となっている。

CGE あるいはそれに類するモデル計算は、科学的根拠という点で政策形成にとって重要な役割を果たすと言える。一方で、そのようなモデルには、恣意的なパラメータ設定が数多く含まれており、それらが計算結果を大きく左右する。モデルの専門家であれば、どのパラメータにどのような恣意性があるか、一つひとつ厳密に理解できる。ところが、政策担当者や政治家や一般市民はそのような専門性を有してはいない。彼らにとって、モデルはブラックボックスである。

政策形成が最終的に国民の合意を得てなされることを考えれば、そうしたブラックボックスのような側面は極力減らされるべきである。具体的にどのパラメータが計算結果に効いてくるのかなど説明の付く形で、モデルの中身は極力透明化されることが望ましい。

本項目の研究は、以上のような問題意識に基づいて、CGE モデルの振る舞いの本質を考察することを目的とするものである。具体的には、CGE モデルのパラメータのどの部分が排出削減政策の影響評価を決めるのかを考察する。簡略化したモデルを用いて、モデル計算を目に見える形で取り扱う。これにより、排出削減に伴う GDP の低下、および、そうした排出削減を誘導するのに十分な環境税率（あるいは排出権取引価格）の算定は、カリブレーション上恣意性の強いモデルパラメータに依存せざるを得ないことを示し、問題提起としたい。

### 5.3.2 分析モデル

二酸化炭素の排出は化石燃料の消費によってのみもたらされると仮定する。日本の場合、その化石燃料はそのほとんどを海外からの輸入に頼っている。そこで、簡略化のため、化石燃料の輸入以外は貿易の無い閉鎖経済を想定する。

最も簡単な経済体系として、一部門モデルを考える。国内での生産は、資本と労働と化石燃料の投入によってなされる。生産物は、その一部が消費され、残りは貯蓄を通して投

資に回されることになる。次のように定義する。

$Q$  : 最終消費財生産量、 $Y$  : 国内総生産、 $K$  : 資本、 $L$  : 労働、 $E$  : 化石燃料消費量、  
 $P_K$  : 資本財価格、 $P_L$  : 賃金、 $P_E$  : 化石燃料価格、 $I$  : 投資、 $s$  : 平均貯蓄性向、  
 $\delta$  : 資本減耗率

生産関数を  $F$  とすれば、

$$Q = F(K, L, E)$$

$$Y = Q - P_E E$$

$$Y = P_K K + P_L L$$

である。また、平均貯蓄性向や資本減耗率の定義から、

$$P_K I = sY$$

$$dK/dt = I - \delta K$$

となっている。

ここで生産関数  $F$  について分離性の仮定を置く。

#### 【仮定 1】(分離性の仮定)

化石燃料投入  $E$  は、資本  $K$  および労働  $L$  から分離されている。すなわち、生産関数  $F$  は次のように記述される。

$$F(K, L, E) \equiv G(R, E) ; R = H(K, L)$$

これは、資本と労働から生産関数  $H$  を通して「合成財」 $R$  が生産され、その合成財と化石燃料  $E$  から生産関数  $G$  を通して、最終消費財が生産されると考える、ということである。このように分離することには以下のような理由がある。

#### 【仮定 2】(CES 型生産関数)

仮定 1 における  $G$  および  $H$  の関数形として、CES 型生産関数を仮定する。すなわち、次のように仮定する。

$$G(R, E) \equiv (a_1 R^\rho + a_2 E^\rho)^{1/\rho}$$

$$H(K, L) \equiv (b_1 K^\theta + b_2 L^\theta)^{1/\theta}$$

最後に、次のように仮定する。

#### 【仮定 3】(定常状態)

経済体系が定常状態にあり、 $dK/dt = 0$  となっていると仮定する。

以上の設定と仮定 1~3 のもとで、この経済体系は、次の連立方程式体系として、記述

される。

$$Q = P_R R + P_E E \quad (1)$$

$$\frac{R}{E} = \left( \frac{a_1}{a_2} \right)^\sigma \left( \frac{P_R}{P_E} \right)^{-\sigma} \quad (2)$$

$$a_1^\sigma P_R^{1-\sigma} + a_2^\sigma P_E^{1-\sigma} = 1 \quad (3)$$

$$R = \left( \frac{P_K}{P_R} \right) K + \left( \frac{P_L}{P_R} \right) L \quad (4)$$

$$\frac{K}{L} = \left( \frac{b_1}{b_2} \right)^\omega \left( \frac{P_K}{P_L} \right)^{-\omega} \quad (5)$$

$$b_1^\omega \left( \frac{P_K}{P_R} \right)^{1-\omega} + b_2^\omega \left( \frac{P_L}{P_R} \right)^{1-\omega} = 1 \quad (6)$$

$$\frac{K}{L} = \frac{1}{\hat{\delta} - 1} \left( \frac{P_K}{P_L} \right)^{-1} \quad (7)$$

ただし、 $\sigma \equiv \frac{1}{1-\rho}$ ,  $\omega \equiv \frac{1}{1-\theta}$ ,  $\hat{\delta} \equiv \delta/s$

(1)~(7)は方程式7本の中に、9つの未知数： $Q$ 、 $R$ 、 $K$ 、 $L$ 、 $E$ 、 $P_R$ 、 $P_K$ 、 $P_L$ 、 $P_E$ を持った連立方程式体系となっている。体系全体が1次同次となっている（ $Q$ 、 $R$ 、 $K$ 、 $L$ 、 $E$ をすべて $N$ 倍しても成立する）ので、一意の解を得るためには $Q$ 、 $R$ 、 $K$ 、 $L$ 、 $E$ のうちどれか一つを外生とする必要がある。仮に $L$ を外生とすると8つの未知数となる。さらに、化石燃料価格 $P_E$ を外生とすると、7つの未知数となり、(1)~(7)は一意の均衡解を与えることになる。

### 5.3.3 結果

以上の仮定と設定より、次の命題が得られる。

#### 【命題】

化石燃料価格 $P_E$ の変化による、均衡解の化石燃料消費量 $E^*$ や国内総生産（GDP） $Y^*$ への影響は、次の関係式で表現することができる。

$$\frac{dP_E}{P_E} = -\frac{1}{\sigma} \frac{Y^*}{Y^* + P_E E^*} \frac{dE^*}{E^*} \quad (8)$$

$$\frac{dY^*}{Y^*} = \frac{1}{\sigma} \frac{P_E E^*}{Y^* + P_E E^*} \frac{dE^*}{E^*} \quad (9)$$

ここで、 $\sigma$ は、資本と労働から成る合成財（ $R$ ）と化石燃料（ $E$ ）の間の代替の弾力性（Elasticity of Substitution）を表わす。

この命題の重要な点は、政府によって二酸化炭素排出削減目標が決定された場合、GDP低下の影響やそれと連動する実質的な化石燃料価格の変化は(8)、(9)式によって算定され、その結果はパラメータ $\sigma$ に依存する、という点である。

(8)および(9)に基づいて概算をしてみよう。我が国は、化石燃料として、原油、石炭、天然ガスを海外から輸入しており、その総額は、それぞれの輸入価格によって大きく左右される。それでも、GDP比率にして、1%弱であることは間違いない。そこで、他の燃料と併せて、次のように概算する。

$$\frac{P_E E^*}{Y^*} = 0.01 \sim 0.02$$

このとき、

$$\frac{Y^*}{Y^* + P_E E^*} \cong 0.99 \sim 0.98$$

$$\text{および } \frac{P_E E^*}{Y^* + P_E E^*} \cong 0.01 \sim 0.02$$

である。そこで、例えば、二酸化炭素排出量を25%削減するならば、(9)よりGDPは

$$\frac{dY^*}{Y^*} \cong -\frac{1}{\sigma} \times 0.0025 \sim -\frac{1}{\sigma} \times 0.005$$

程度低下すると算定される。また、(8)より、そのような二酸化炭素排出量25%削減を引き起こすには、排出権価格や環境税などによって化石燃料価格を、

$$\frac{dP_E}{P_E} \cong \frac{1}{\sigma} \times 0.2475 \sim \frac{1}{\sigma} \times 0.245$$

程度引き上げる必要があると算定される。

いずれの場合も、具体的な数値を大きく左右するのは、 $\sigma$ である。前述のように、 $\sigma$ は、資本と労働から成る合成財と化石燃料の間の代替の弾力性を表わす。よく知られているよ

うに、生産関数  $G(R, E) = (a_1 R^\rho + a_2 E^\rho)^{1/\rho}$  が

- ・線形の時、 $\sigma = \infty$
- ・コブ・ダグラス型の時、 $\sigma = 1$
- ・レオンチェフ型の時、 $\sigma = 0$

である ( $\sigma = (1 - \rho)^{-1}$  であることに注意)。したがって、 $\sigma$ の逆数は、理論上、ゼロ以上の如何なる値も取り得る。逆にいうと、 $\sigma$ を如何なる値に設定するかによって、そのCGEモデルから算定される値はまったく異なったものになるのである。

通常CGEモデルを用いて数値計算を行う際、始めにベンチマークデータによるカリブレーションを行う。これは、モデル内のパラメータを一時点の実データにフィットするように調整することである。このカリブレーションによって、CES型生産関数のシェアパラメータ ( $G(R, E) = (a_1 R^\rho + a_2 E^\rho)^{1/\rho}$  の  $a_1, a_2$ ) は推定が可能である。ところが、 $\sigma$  (あるいは  $\rho$ ) は、こうしたベンチマークデータによるカリブレーションによっても推定され得ない。そもそも  $\sigma$  は代替の弾力性であるから、原理的には「変化」のデータが無いと推定できないのである。

このことについて、さらに詳しく考察しよう。以下のように、単純化されたモデルを考える。

$$\mathbf{F}(\mathbf{x}, \mathbf{q}; \mathbf{a}) = \mathbf{0}$$

$\mathbf{x}$ : 内生変数

$\mathbf{q}$ : 政策変数

$\mathbf{a}$ : モデルパラメータ

すなわち、経済体系は、内生変数  $\mathbf{x}$ 、政策変数  $\mathbf{q}$ 、モデルパラメータ  $\mathbf{a}$  からなる関数  $\mathbf{F}$  として表現される。現在の政策が  $\mathbf{q}^{\text{current}}$  であるとする。この時、この経済体系の均衡解は  $\mathbf{x}^*(\mathbf{q}^{\text{current}}; \mathbf{a})$  と表現される。実際に観察される実データ:  $\mathbf{x}^{\text{realized}}$  があるとすれば、これは理論上の均衡解と一致するものである。すなわち、以下のように表される。

$$\mathbf{x}^*(\mathbf{q}^{\text{current}}; \mathbf{a}) = \mathbf{x}^{\text{realized}}$$

この関係式より、以下のようにパラメータ  $\mathbf{a}$  をカリブレーションによって決定することができる。

$$\mathbf{a}^{\text{calibrated}} = \mathbf{a}(\mathbf{x}^{\text{realized}}, \mathbf{q}^{\text{current}}).$$

この関係から分かるように、パラメータを決定するためには、現実に観察される均衡点データ  $\mathbf{x}^{\text{realized}}$  と現行の政策  $\mathbf{q}^{\text{current}}$  の二つの要素が必要である。言い換えるならば、パラメータがこのような関数形に帰着されることができない場合、パラメータのカリブレーションはできないのである。

では、本稿の場合の  $\sigma$  についてあらためて見てみよう。(2)式より、次の関係が成立する。

$$\frac{d \ln(R^*/E^*)}{d \ln(P_R^*/P_E^*)} = -\sigma$$

$\sigma$  は需要曲線の傾きであることは明らかである。この  $\sigma$  を推計するために必要なものは、曲線の中の「ひとつの均衡点」ではなく、「需要曲線そのもの」である。よって、 $\sigma$  は通常の CGE のベンチマークデータによるカリブレーション手順では決定することができないのである。この様子は、図 1 で示される。

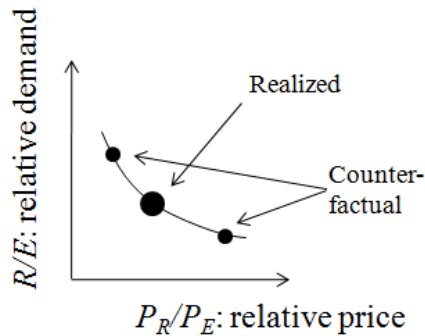


図 1 逆需要曲線と均衡点



この需要曲線の傾き  $\sigma$  を計測する方法としては、時系列データやカウンターファクチュアルデータを用いた計量経済分析が必要となる。しかし、こうした方法は、CGE モデル分析の枠組みでのカリブレーションの方法とは完全に異なったものであり、カリブレーションとは別の分析としてなされるものである。

以上の議論から分かるように、CGE モデル分析の枠組みで、 $\sigma$  をベンチマークデータのみによってカリブレートする方法は存在しないのである。モデル作成者が  $\sigma$  を設定するには、外部の分析結果を参照し、その値を恣意的に選んでくる意外に方法がない。言い換えると、モデル作成者の恣意的な  $\sigma$  の値の設定によって、GDP の変化率や二酸化炭素の価格の計算が左右される、ということである。

ただ、実際の CGE による分析では、 $\sigma$  の設定値を大小に振ってみて、数値計算結果が大きく影響されるか否かを検証するのが普通である。そして、多くの場合、 $\sigma$  の設定値の違いは、計算結果にそれほど大きな影響を及ぼさないことが知られている。そうした経験を踏まえた上で、結局  $\sigma$  の値は、比較的いい加減に決められるが実情である。確かに、燃料価格変化がマクロ経済に与える影響の度合いを調べるような場合は、本モデルにおいても  $\sigma$  の値が計算結果に直接的な影響を及ぼさないことが見て取れる。ところが、二酸化炭素排出削減の影響に関しては、この  $\sigma$  の値が決定的な役割を果たす。翻って、CGE モデルによる計算で、モデル作成者によって結果が大きく異なるようなことがあるならば、その原因は、 $\sigma$  の値の違いである可能性が極めて高いと言える。

#### 5.3.4 まとめ

本稿では、排出削減の実経済への影響の計算が何によって決まるのかについて考察した。極めて簡略化された一般均衡モデルを用いて、CGE モデルによる数値計算の本質を再現した。もちろん、実際の政策分析に使われるような CGE モデルは本稿で示したような単純なものではないことは明白である。それでも、その本質的な振る舞いは、本稿のモデルから大きく外れることはないと考えられる。

得られた洞察は、次のようなものである。

「排出削減に伴う GDP の低下、および、そうした排出削減を誘導するのに十分な環境税率（あるいは排出権取引価格）の算定は、資本と労働から成る合成財と化石燃料の間の代替の弾力性 ( $\sigma$ ) の設定値に根本的に依存する。」

一般に CGE では、代替の弾力性の値はカリブレーションによっては推定されることがない。また、実務上、この値はそれほど重要視されず、アприオリに設定される。こうした実態は、排出削減政策の分析においては由々しき事態と言う他はない。

CGE モデルを離れて、モデル分析一般を考えてみても、上記の洞察 ( $\sigma$  の重要性) は、重大な意味を持っている。最適化モデルとして定式化されることの多いエネルギー経済モデリングでは、多くの場合、線形計画モデルが使われる。線形計画モデルでは、必ず端点が解となる。それは、2 つ以上の超平面が交差している点である。その様子は、曲率が不

連続という点で、基本的にレオンチェフ型の生産関数と同じ形をしている。一方、端点と端点の間は線形関数となっている。したがって、線形計画モデルの解の近傍は、財価格などの微小な変化に対しては  $\sigma=0$  に相当する一方で、大きな変化に対しては  $\sigma=\infty$  が相当することになる。そのため、最適解近傍での感度解析は、想定する幅によって極端に大きな数字になったり、逆に、極端に小さな値になったりする可能性があるのである。

モデル分析は概して、専門家以外の者にとってはブラックボックスである。分析結果に対して、政策担当者や政治家は、それを信じる以外に手立てがない。こうした中で、モデルの振る舞いの本質を知り、それに基づいて論点を明確にすることは政策形成上極めて重要なことであると考えられる。

#### 5.4 気候変動政策モデルにおける衡平性の取り扱い

H23年度には、統合評価モデルを念頭に置いて、政策分析モデルにおけるパラメータ設定について考察した。以下では、世代内、世代間の衡平性を表わす重要なパラメータである不衡平回避係数と時間選好率について、両者の互換性条件を分析する。

##### 5.4.1 背景と目的

エネルギー経済モデルや統合評価モデルの中で重要な役割を果たす部品の一つに社会厚生関数がある。これは現在から将来に渡る各時点（あるいは世代）における各経済主体の消費から社会全体の厚生を算定し、モデルの評価関数とするものである。良く知られているように、この社会厚生関数としては、各時点（世代）における代表的経済主体の瞬時的効用関数に時間割引係数を掛けて総和を取ったものが広く用いられる。多くの場合、瞬時的効用関数は「消費の限界効用弾力性」 $\eta$ によって、また、時間割引係数は「社会的時間選好率」 $\rho$ によって特徴づけられている。言いかえると、この $\eta$ と $\rho$ というたった二つのパラメータによって社会厚生が特徴付けられ、モデルの振る舞い自体がこれらによって決定されるという形になっている。

周知のように $\eta$ と $\rho$ の経済学的意味合いについては長く、かつ、膨大な議論がある。純粋な経済理論の構築の手段としては、十分に確立され、受容されているものであると言える。その一方で、観測される実経済との結びつきや、倫理的・哲学的な概念という点では、諸説あるところである。特に、気候変動問題のように超長期で何世代にも渡る問題の場合、具体的にどのような値を、どのような根拠を持って設定するべきか、という段階で多くの議論が発生し、とても確立され受容されているものとはほど遠い状態となっている。実際のモデル計算においても、著名な気候変動研究の間で大きな隔りがある。Dasgupta (2008)によれば、Cline (1992)では $(\eta, \rho)=(1.5, 0\%)$ 、Nordhaus (1994)では同 $(1, 3\%)$ 、Stern (2007)では同 $(1, 0\%)$ が主として使われており、分析結果が大きく異なる主因となっている。

こうした議論の多い状況は、特に $\rho$ のほうでは深刻である。 $\rho$ は各世代の瞬時的効用関数を重み付けする役割を担っており、世代間の衡平性という倫理的な問題に直接的に関わる

ことになる。そのため、モデル構築上の利便性、現実の経済との整合性、倫理的な規範性の観点から、容易に解けないパラドックスが内包されることとなっている。最近では、先に挙げた Dasgupta (2008)が、それまでの議論を概観した上で、さらにリスクや不確実性という要素が入り込んできた場合、 $\eta$ との関連で $\rho$ の値の設定に様々な制約が発生することを示している。

気候変動と世代間の衡平性を巡って、 $\rho$ に議論が集中する一方で、 $\eta$ の位置付けはややわかりにくい。上述のように $\rho$ と一体となって社会厚生関数を規定することに鑑みれば、世代間の衡平性とは無縁ではありえないと容易に想像が付く。Buchholz and Schumacher (2010)は、こうした点に注意を喚起し、 $\eta$ と $\rho$ の交換可能性について考察した。特に、 $\eta$ の設定が世代間の衡平性という点で、 $\rho$ にとって代わり得ることを示した。

Buchholz and Schumacher (2010)の研究は、気候変動の脈絡で、世代間の衡平性と時間選好の議論に新たな地平を開くものと言える。その一方で、 $\eta$ がそもそもなにを表わすものであるのか、という議論は置き去りにされている感がある。単に社会厚生関数を規定するパラメータであるならば、純粋にパラメータとして $\rho$ と交換可能であることは当然かもしれない。しかし、そこには経済学的に重要な含意は含まれていないと言わざるを得ない。一方、 $\eta$ は、「消費の限界効用弾力性」という名前以外にも、多くの名前を持っている。それらは「(相対) リスク回避係数」、「異時点間資源消費の代替の弾力性の逆数」、「(相対) 不平等回避係数」である。特に、最後の「不平等回避係数」は Atkinson (1970)によって確立された概念であり、その意味において一つの世代内での衡平性を表わしている。

そこで、Atkinson の概念を中心に考えると、Buchholz and Schumacher の研究は、「世代間」の衡平性と「世代内」の衡平性の中に交換可能性がある、ということを指摘しているとも解釈される。

本項目の研究は、以上のような世代間の衡平性と時間選好、さらにそれらと関連する $\eta$ について、議論を整理し、 $\eta$ と $\rho$ の交換可能性について新たな解釈を与えるものである。

#### 5.4.2 分析モデル

まず、「消費の限界効用弾力性」 $\eta$ について、Atkinson (1970)の議論を通して見てみる。Atkinson の研究は、ある時間の断面について、「所得格差」の優劣を付ける方法や指標について考察するものであった。それには、まず、各経済主体の可処分所得を  $y$  として、二つの所得分配の密度関数： $f(y)$ 、 $g(y)$  を考える。この二つのうち、どちらがより望ましいと言えるには、どのような判断基準や指標が必要か、という問題に Atkinson は取り組んだ。したがって、その議論は世代内の衡平性の議論そのものであると言える。

いま、ある時間の断面における社会全体の厚生を次のように考える。これはその時点での各経済主体の可処分所得に基づくなんらかの効用の総和として次のように表わされる。

$$\int_0^{\bar{y}} u(y) f(y) dy$$

とする。ここに、 $u(y)$ は可処分所得  $y$ を持つ経済主体の効用である。式(1)が社会全体の厚生判断基準になりえるには、 $u(y)$ について、特定の性質が必要であろうと推測される。そこで、Atkinson の考え方は、期待効用の考え方がそのまま適用できる、というものであった。上の社会厚生を

$$\int_0^{\bar{y}} u(y) \left( \frac{f(y)}{\int_0^{\bar{y}} f(y) dy} \right) dy = E[u(y)]$$

と書き直せば、不確実性下の意思決定の評価基準（すなわち「期待効用」）と形式上は同じであると考えられる。不確実性下の意思決定では、 $y$  が同じであれば、その不確実性が少ない（すなわち、確率分布の広がりが小さい）方が望ましい、と考えられる。“second order stochastic dominance”および確実性等価の考え方などを適用すれば、次のように言える。

$$\exists y_{EDE} \leq \mu \quad \text{s.t.} \quad u(y_{EDE}) = \int_0^{\bar{y}} u(y) \left( \frac{f(y)}{\int_0^{\bar{y}} f(y) dy} \right) dy \quad \text{and} \quad \mu = \int_0^{\bar{y}} y \cdot \left( \frac{f(y)}{\int_0^{\bar{y}} f(y) dy} \right) dy$$

要するに、期待効用論で使われる「リスク回避」という概念が、可処分所得分配の広がり（所得格差）の概念にそのまま使える、ということである。

そこで、動的モデルで使われる次の評価関数：

$$W = \int_0^{\infty} u(c_t) L_t e^{-\rho t} dt$$

$$\text{ただし、} L_t = e^{nt} \text{ および } u(c) = \frac{1}{1-\eta} c^{1-\eta}$$

において、「各時点における衡平性」は $\eta$ で表わされている一方で、「時間をまたがる衡平性」については、時間選好率 $\rho$ で表現されている、といえる。特に、 $\eta$ は Atkinson に従えば、「相対不平等回避係数」であり、これが大きいほど、不平等を回避することを好む（すなわち、衡平性を尊ぶ）社会、逆に、これが小さいほど、不平等を回避することを好まない（すなわち、不衡平を許容する）社会であると言える。

$\eta$ と $\rho$ の経済的意味合いを前提として、 $\eta$ と $\rho$ の間の交換可能性が経済学的にどのような意味を持つか再考してみよう。いま、 $\eta$ を微小に変化させたと仮定する。これにより、当然ながら、動学モデルの導きだす消費や資本の経路は変化し、社会厚生  $W$  も変化する。そこで、 $\rho$ を同時に（時間に沿って）微小変化させることを考える。この変化によっても動学モデルの導きだす消費や資本の経路は変化する。もし、 $\rho$ の微小変化を適切に選ぶことにより、 $\eta$ の微小変化によって生み出された変化を打ち消すことができるならば、 $\rho$ と $\eta$ はパラメータとして、交換可能ということができよう。より正確に書くと、

$$W\left(\{c_t\}_{t=0}^{\infty}, \eta, \rho, \Delta\eta, \{\delta\rho_t\}_{t=0}^{\infty}\right) \equiv \int_0^{\infty} c_t^{1-(\eta+\Delta\eta)} L_t e^{-\int_0^t (\rho+\delta\rho_\tau) d\tau} dt$$

に対して、

$$\arg \max_{\{c_t\}} W\left(\{c_t\}_{t=0}^{\infty}, \eta, \rho, 0, \{0\}_{t=0}^{\infty}\right) \equiv \arg \max_{\{c_t\}} W\left(\{c_t\}_{t=0}^{\infty}, \eta, \rho, \Delta\eta, \{\delta\rho_t\}_{t=0}^{\infty}\right) \quad (1)$$

となるような  $\Delta\eta$  と  $\{\delta\rho_t\}_{t=0}^{\infty}$  を見つけ出すということである。

### 5.4.3 結果

式(1)は次の条件を意味する。

$$\Delta\eta \cdot \ln c_t + \int_0^t \delta\rho_\tau d\tau \equiv 0 \quad \forall t$$

すべての  $t$  について成り立つべきであることから、これを  $t$  で微分して、

$$\frac{\&}{c_t} \Delta\eta + \delta\rho_t \equiv 0 \quad \forall t$$

さらに、Euler 方程式を考えれば、

$$\left(\frac{r_t}{\rho} - 1\right) \cdot \frac{\Delta\eta}{\eta} + \frac{\delta\rho_t}{\rho} \equiv 0$$

と書ける。これにより、以下のような命題を得る。

#### 【命題 1】

相対不平等回避係数によって表わされる世代内の衡平性と、社会的時間選好率によって表わされる世代間の衡平性とは互換性を持つ。その互換性は次のように特徴付けられる。

- (i) 一人当たり消費が上昇している経済局面において、後世の効用に対する割引を大きくする（社会的時間選好率を大きくする）ことは、各時点における不衡平の上昇を許容する（相対不平等回避係数を小さくする）ことを意味する。
- (ii) 一人当たり消費が下降している経済局面において、後世の効用に対する割引を大きくする（社会的時間選好率を大きくする）ことは、各時点における不衡平の上昇を許容しない（相対不平等回避係数を大きくする）ことを意味する。
- (iii) 一人当たり消費が時間的に不変となった定常状態においては、両者は互換性を保持しえない。

この命題の意味することで重要なことは、次のように言い換えられる。すなわち、動学モデルの下で、経済成長を続ける経済では、後世の効用に対する割引を大きくすることは、各時点における不衡平の上昇を許容することを意味する。

## 【命題 2】

一人当たり消費の変化率が一定の時、そしてその時に限り、 $\eta$ の微小変化の影響を打ち消すような $\rho$ の変化は、指数関数割引の性質を保持する。

逆に、 $c_t$ の変化率が時間的に変化する場合、 $\{\delta\rho_t\}$ も時間的に変化するようになる。新たな割引係数は

$$\phi(t) = \rho t + \int_0^t \delta\rho_\tau d\tau$$

と書ける。このように時間的に変化する割引は、一般双曲割引と呼ばれるものであり、時間整合性を持たないものとなる。このことは、時間整合性を持つ社会厚生関数とそれを持たない関数との間の形式上の互換可能性をも意味していると言える。すなわち、本来時間非整合性の双曲割引に対して、形式上時間整合性を持つ指数割引に直すことが可能となる場合もあると言える。

### 5.4.4 まとめ

本論文では、不平等回避係数( $\eta$ )と社会的時間選好率( $\rho$ )の互換可能性とその経済学的な意味合いについて考察した。この二つは動学モデルの中で、現世代から未来永劫に渡るすべての経済主体について定義された社会厚生関数を形作るパラメータである。具体的な値の設定には、モデル構築上の利便性、現実の経済との整合性、倫理的な規範性が考慮されなければならない。そのため、これまで多くの議論的となってきた。しかしながら、そうした議論は、二つのパラメータそれぞれについてのものであり、両者のワンセットでの設定、および、その経済学的意味合いについてはほとんど議論されることがなかった。

命題 2 で示されたように、両者がパラメータとして完全な互換性を持つためには、モデルで計算される一人当たり消費が一定率で変化する状態になっていることが必要十分条件である。この条件のもとで、たとえば $\rho$ をゼロに近い値に変更し、代わりに $\eta$ を若干大きい値に設定し直す、ということをしてモデル計算の結果は変わらないことになる。しかし、こうした操作には、世代間と世代内という二つの衡平性に関わる倫理的概念が明示的に関わってくる。命題 1 に示されるように、 $\eta$ と $\rho$ の組合せの調整はこの二つの衡平性の変換に等しいのである。また、命題 1 ではそもそも一人当たり消費が一定となる状態であれば、両者に互換性はありません。命題 2 では、命題 1 では示されていないことも示されている。

命題 1, 2 のもう一つの重要な含意は、モデルの時間整合性の保持に関するものである。 $\eta$ と $\rho$ を微小に調整することは、一般的には、指数割引から一般双曲割引へ変換することに等しい。しかし、命題 2 のような場合に限り、指数割引の特性を保持することになる。そうした場合には、 $\rho$ の値の設定に対する論争はあまり意味がないといえるだろう。

## 5.5 結論(行政ニーズとの関連及び政策的インプリケーション)

本章の一連の研究は、環境技術と経済成長モデルの枠組みを中心に、GS の概念を支えるモデリング上の諸問題について理論的な考察を行うものであった。

研究開始初年度から H22 年度にかけては、環境技術の不連続な変化を想定して、環境新技術の最適導入時期を分析した。このような不連続な変化は、環境政策分析のためのコンピュータシミュレーションなどではモデル化が非常に難しいものである。また、GS の概念のなかでも明示的な扱いがなされないものである。

一般に、政策策定というものは、単に「何を」「どのように」すればよいかという問題に留まらず、「いつ」するべきかという点が重要な論点となる。これらを同定することが政策策定を行う行政側のニーズであるとも言える。こうしたとき、対象とする現象が連続的に変化する場合、必要な措置を時系列に並べていくだけでよいかもしいない。しかし、不連続性が強い場合、すなわち、政策的措置と発生事象の組合せにより世界が大きく変わり、後戻りできない状態になるような場合、この「いつ」という政策実施意思決定は極めて重要な論点となる。本研究は理論分析のレベルに留まるものではあるが、「最適導入時期」という考え方の重要性を認識する上で、これまでの GS の概念にはない重大な政策的インプリケーションを与えるものであったといえる。

H22 から 23 年度にかけては、技術の不連続な変化と最適導入時期という問題を、内生的時間選好率・割引率との関連で考察した。一般に、動的計画問題（およそすべての超長期の環境政策問題は、動的計画問題として定式化され得る）において、将来の価値を現在価値に換算する考え方が極めて重要とされる。その際に用いられるのが、時間選好率や割引率である。GS の概念をはじめ、ほとんどの環境政策分析モデルでは、こうした割引率を、普遍的なもの、固定したもの、としてアプリオリに扱ってきた。しかしながら、現実的には、時間選好率・割引率は、人々の生活習慣や経済発展の度合いによって変化する可能性がある。本研究はこれを「内生的」時間選好率・割引率と呼び、それが動的計画の最適パスをどのように変えるか考察するものであった。

この研究も理論的なレベルに留まるものであるが、これまでの GS の概念や環境政策分析モデルにはない考え方であり、政策策定の中に「習慣形成」をどのように取り込むべきかという、より高次元の政策論争に寄与するものであると考えられる。

上記と並行して、H22～23 年度には、CGE モデルを中心に、環境政策分析モデル構築時に問題となるモデルパラメータ推定について考察した。昨今は環境政策策定において、コンピュータシミュレーションモデルの弾き出す計算結果が重宝されるような場面がしばしばある。したがって、こうしたモデルの中身や構築の手順を理解することは、政策策定にあたる行政にとって大きなニーズになっているといえる。本研究は、まさにこうした認識に立ち、CGE モデルの骨格、その計算結果の意味するところ、さらには、その計算結果を左右するキーファクターについて考察するものであった。

最終年度には、環境政策分析モデル構築時に問題となるモデルパラメータ推定について

考察を続けたが、特に、超長期モデルでの社会厚生関数に焦点を当てた。社会厚生関数とは、各時点（世代）における代表的経済主体の瞬時的効用関数に時間割引係数を掛けて総和を取ったものである。多くの場合、瞬時的効用関数は「消費の限界効用弾力性」 $\eta$ によって、また、時間割引係数は「社会的時間選好率」 $\rho$ によって特徴づけられている。言いかえれば、この $\eta$ と $\rho$ というたった二つのパラメータによって社会厚生が特徴付けられ、モデルの振る舞い自体がこれらによって決定されるという形になっている。良く知られているように、スターンレビューに対する賛否の核心は、この二つのうちの一つ、「社会的時間選好率」 $\rho$ の値についての論争となっている。

そうした現状を考えると、 $\eta$ と $\rho$ について理論的背景と値設定の根拠を再考し、整理することは、政策策定の前提として極めて重要な行政ニーズであると言える。本研究は、この二つのパラメータの互換性とその経済学的な意味合い（社会的衡平性へのインプリケーション）を考察するものであり、その政策形成へのインプリケーションも大きいと言える。



## 6. 国際的スピルオーバーを考慮した環境経済政策の分析

### 6.1 はじめに

本研究では、第4、5章に関連して、GSにおいて扱われる自然資本に関連する地球温暖化問題等の公共財的性質を考慮するために、環境汚染の国際的スピルオーバーが存在するときの環境政策について分析する。

これまでのGS研究の多くは、貿易など海外とのやりとりのない閉鎖経済を想定していた。環境もまたその国の中で完結する状況が想定されていた。この場合、環境問題の影響の及ぶ空間的範囲は、当該の1国の主権が及ぶ範囲と一致しており、それぞれの世代内では国境を越えた外部性は存在していない。これは世代間の問題つまり、時間的視野にたった問題に論点を絞る上では有意義な仮定であった。

しかし、実際の経済では、環境汚染が国境を越えて広がることは多し、温暖化をはじめとする地球環境の悪化もまた世界の全ての国に影響を与える。いわば、環境を通じた国際的スピルオーバーが存在しているのである。しかも、現在の国際社会においては、このような問題の対策を、各国の主権を前提として各国がそれぞれ独立して決定している。問題が地球規模であるからといって、地球規模の政府が存在し、地球全体で炭素税を課すなどの課税や規制を行って温暖化対策を実施するわけではない。

従って、現実の国際社会で持続可能な発展を達成するための環境経済政策のあり方を考えるには、国際的スピルオーバーが存在し、かつ、複数の国々が独自に意思決定する状況を分析し、その様な状況でも有効である政策についての知見を得なければならない。それには、1国ではなく複数の国からなる経済モデルを用いこと、そして、将来世代への影響を明示的に考慮できるモデルを用いことが必要となる。

そこで、本研究項目では、以下のように研究を進めた。まず、平成21年度に、世界全体に便益を与えるグローバル公共財的性質を持つ環境ストックが存在する二国経済の世代重複モデルを構築した。そして、そこでの環境ストックの定常状態を分析した(Nakagawa et al. 2010)。

平成22年度は、このモデルを改良した上で、環境ストックの水準を改善する政策について、環境技術政策の役割を中心に分析した。政策を考える上では、政策の長期的な影響を考える必要がある。各期の環境ストックの水準は、前期の環境ストック、当期の汚染物質の排出量、当期の環境改善活動量、当期の自然回復などからなる動学により決定される。長期的には、これらの要素がバランスした定常状態（あるいは均整成長経路）に至るものと考えられる。したがって、短期的な政策の効果は、長期的に定常状態に至る中で消えてしまう。

環境ストックの定常状態を左右する要素として重要なものが、環境や生産に関する技術である。John et al.(1995)は、人工資本ストックと環境ストックとをもつ1国世代重複モデルを用いて、汚染削減費用節約的な環境技術改善により、定常状態の環境の質が改善す

るだけでなく、定常状態の資本ストックも増加することを示した。しかし、2国以上からなる経済における技術変化の効果については、これまで十分に解明されてこなかった。

平成 22 年度の研究では、2国経済モデルで、人工資本ストックと環境ストック（これは両国の国際公共財となる）とをともなうモデルにおいて、環境技術や生産技術の変化が環境と資本蓄積に与える効果を明らかにし、それを通じて環境政策に対する含意を導いた。

これらの分析においては、小国の仮定をおいていた。すなわち、各国は世界市場で決まる利子率を所与として行動すると仮定していた。これは John et al.(1995)とは異なる仮定である。John らは一国モデルでその国の政府が自らの行動が世界市場の利子率に与える影響を考慮するとしていた。しかし、本研究では二国モデルへの拡張に伴う複雑さを軽減するため小国の仮定を導入していたのである。

研究の最終年度たる平成 23 年度は、小国の仮定について再検討し、各国が自らの行動が世界市場の利子率に与える影響を考慮する大国の仮定を置いたケースを分析した。この場合、解析的な分析が困難になる。そこで、数値計算によって政策の効果を分析した。その結果は、概ね小国2国モデルの結果と整合的であった。

以下、順にこれらの研究成果を報告する。報告の構成は次の通りである。次節では基本となる小国2国モデルを構築する。3節では小国2国モデルの定常状態の分析と比較静学により環境技術政策の効果を明らかにする。4節では大国2国モデルを構築する。5節ではシミュレーションを用いて大国2国モデルとそこでの環境経済政策の効果を分析する。6節はまとめであり、行政ニーズとの関連及び政策インプリケーションについても言及する。なお、補題および命題の証明については、紙幅の都合上省略する。対応する論文を参照されたい。

## 6.2 小国2国モデル

2国からなる世界を想定する。この2国を国 A、国 B と表記し、国のインデックスを  $i$  ( $i = A, B$ ) とする。国  $i$  に、第  $t$  期に、 $N^i$  人の経済主体が誕生する。世界全体では毎期、 $N^A + N^B$  人が生まれることになる。ここで、人口を正規化して、

$$N^A + N^B = 1$$

とする。本モデルにおいて、人口は常に一定である。

経済には、私的財と地球環境とが存在するとする。この私的財と環境のいずれも正常財であると仮定する。私的財は、労働と資本から生産され、私的財の消費に伴って汚染が生じるとする。ここで、労働は家計により非弾力的に供給される。また、労働供給は国境を越えては全く移動しないが、資本は完全に移動するとする。地球環境は、排除不可能性と非競合性を持つ公共財であって、環境の質は、前期の環境の質、世界全体で排出される汚染物質の量、両国の政府が行う汚染削減努力の量とから決定される。

第  $t$  期に生まれた経済主体は2期間生存する。第1期目を若年期、第2期目を老年期と呼ぶこととする。各経済主体は、若年期に、1単位の労働を供給し、受け取った賃金から

税を支払い、残った可処分所得を全て貯蓄する。そして老年期に、貯蓄を取り崩して消費し、また、同時に地球環境から便益を得るものとする。

最初に、第 $t$ 期に国 $i$ に生まれた経済主体についてより詳しく見ていこう。この家計の効用関数と予算制約は、それぞれ以下のように表されるとする。

$$\begin{aligned} \text{【生涯効用関数】} \quad U_t^i &= U(c_{t+1}^i, E_{t+1}) \\ &= \log c_{t+1}^i + \log E_{t+1} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{【若年期予算制約】} \quad s_t^i + m_t^i = w_t^i, \quad (2)$$

$$\text{【老年期予算制約】} \quad c_{t+1}^i = (1 + r_{t+1})s_t^i, \quad (3)$$

ここで、各変数の定義は以下の通りとする。

$U(.,.)$  : 生涯効用関数

$U_t^i$  : 第 $t$ 期に国 $i$ に生まれた家計の生涯効用

$c_{t+1}^i$  : 第 $t$ 期に国 $i$ に生まれた家計の老年期の消費

$E_{t+1}$  : 第 $t+1$ 期の地球環境ストック

$s_t^i$  : 第 $t$ 期に国 $i$ に生まれた家計の貯蓄

$m_t^i$  : 第 $t$ 期に国 $i$ で若年家計に課税される一人あたり一括固定税

$w_t^i$  : 第 $t$ 期の国 $i$ での賃金率

(各若年世帯は1単位の労働を供給するので賃金所得と等しい)

$r_{t+1}$  : 第 $t+1$ 期の世界利子率

なお、政府の予算は均衡財政を想定する。そのため、 $m_t^i$ は、国 $i$ における第 $t$ 期の一人あたり汚染削減支出に等しい。注意すべき点として、本モデルでは、家計の消費は予算制約から完全に決定され、家計が最適化を行うことはないという点があげられる。これは、John et al. (1995)などの先行研究にならった仮定であり、分析を単純化する上で大きく貢献している。また、本モデルでは、各国は汚染削減を行わないことも出来るとする。つまり、

$$m_t^i \geq 0 \quad (4)$$

と仮定する。

第2に、地球環境の動学を見てみよう。本モデルでは、John et al. (1995)の動学を2国モデルに拡張したものを用いる。第 $t+1$ 期の環境の質は以下の動学方程式により与えられる。

$$E_{t+1} = (1-b)E_t - \beta \sum_{i=A,B} N^i c_t^i + \sum_{i=A,B} \gamma^i N^i m_t^i \quad (5)$$

ここで、各変数の定義は以下の通りとする。

$b$  : 環境の回復速度。  $b \in (0,1)$  とする。

$\beta$  : 1単位の消費から何単位の汚染が生じるかを表す係数 (外生変数)

$c_t^i$  : 第 $t$ 期に国 $i$ の老年世代が行う消費

$\gamma^i$  : 国 $i$ における汚染削減への支出1単位から何単位の汚染が削減されるか

$m_t^i$  : 第  $t$  期に国  $i$  で若年家計一人あたり汚染削減支出

(若年一人あたり一括固定税に等しい)

(5)式の右辺において、第1項だけでなく第2項についても前期に決定されている点に注意されたい。これは、今期の消費が前期の貯蓄から完全に決定されるためである。ここで、一般性を損なわずに、

$$\frac{1}{N^A \gamma^A} \leq \frac{1}{N^B \gamma^B}$$

と仮定する。この仮定は、納税者一人あたりの限界汚染削減費用が安価な国を国 A とし、高価な国を国 B とすることを意味している<sup>10</sup>。

第3に、私的財の生産について見ておこう。私的財の市場と生産要素の市場はいずれも完全競争市場であるとする。私的財は、両国間で関税や輸送費をかけずに移動し、その結果、両国で私的財価格は同一になるとする。国  $i$  の企業は、私的財の生産に関し利潤を最大化するように行動する。生産関数は、規模に関して収穫一定の新古典派生産関数とする。労働者一人あたりの私的財生産は

$$y_t^i = \alpha f(k_t^i) \quad (6)$$

と与えられるとする。ここで、各変数の定義は以下の通りとする。

$y_t^i$  : 国  $i$  における第  $t$  期の労働者1人当たり私的財生産量

$\alpha$  : 全要素生産性

$k_t^i$  : 国  $i$  における第  $t$  期の労働者1人当たり人工資本ストック

この経済では資本移動が完全であるので、国 A、国 B いずれの企業も同じ利子率に直面する。また(6)式にあるように生産関数は両国で同一と仮定しているので、一人あたり資本ストックも両国で同一となる。さらに、企業の利潤最大化条件より、以下が得られる。

$$k_t = k_t^A = k_t^B \quad (7)$$

$$r_t = \alpha f'(k_t) - \delta, \quad (8)$$

$$w_t^A = w_t^B = w_t = \alpha \{f(k_t) - f'(k_t)k_t\}, \quad (9)$$

ここで、各変数の定義は以下の通りとする。

$k_t$  : 世界全体での第  $t$  期の一人あたり資本ストック

$\delta$  : 資本減耗率

$w_t$  : 第  $t$  期の賃金率。両国で賃金率が同一となるため、その同一の賃金率を表すためにこの変数を用いる。

また、人工資本ストックの動学は、次式で与えられる。

$$k_{t+1} = \sum_{i=A,B} N^i s_t^i \quad (10)$$

<sup>10</sup>国  $i$  が環境ストックを1単位増加させる(すなわち、汚染を1単位減少させる)には、汚染削減のために  $1/\gamma^i$  だけ支出しなければならない。この支出は当該期の若年世代に対する一括固定税でまかなわれる。納税者たる若年世代の人口は  $N^i$  人であるので、納税者1人あたりの限界汚染削減費用は、 $1/(N^i \gamma^i)$  で与えられる。

最後に、各国政府の行動について設定する。本モデルでは、John et al. (1995) にならって、各国の政府は自国の現在生存している家計の効用を最大化するように行動すると仮定する。このうち老年世帯についてはその効用を決定する変数は全て、前期の意志決定によって決定済みであるので、第  $t$  期の政府は若年世代の生涯効用を最大化することになる。国  $i$  の第  $t$  期の政府の最大化問題は以下のように書ける。

$$\begin{aligned} \max_{m_t^i} & U(c_{t+1}^i, E_{t+1}) \\ \text{subject to} & (2),(3),(4),(5) \end{aligned}$$

ここで、国  $i$  の政府は国  $j(j \neq i)$  の削減努力  $m_t^j$ 、賃金率、および利子率を所与として最大化問題を解くものとする。それにより、次の最適汚染削減が  $E_{t+1}$  と  $w_t$  の関数として得られる。

$$m^i(E_{t+1}, w_t) = \begin{cases} w_t - \frac{E_{t+1}}{N^i \gamma^i} & \text{if } \frac{E_{t+1}}{N^i \gamma^i} < w_t \\ 0 & \text{if } \frac{E_{t+1}}{N^i \gamma^i} \geq w_t \end{cases}$$

この最適汚染削減関数と(5)式から、第  $t$  期における、国  $j$  の汚染削減に対する国  $i$  の最適応答関数が得られる。

### 6.3 小国2国モデルの定常状態と環境政策の効果

#### 6.3.1 各期の Nash 均衡

第  $t$  期の汚染削減ゲームの Nash 均衡は、第  $t$  期の環境の質 ( $E_t$ )、資本ストック ( $k_t$ )、賃金率 ( $w_t$ )、利子率 ( $r_t$ ) を所与として、次の連立方程式を  $m_t^A, m_t^B, E_{t+1}$  について解くことで得られる<sup>11</sup>。

$$m_t^i = m^i(E_{t+1}, w_t), i = A, B, \quad (11)$$

$$E_{t+1} = (1-b)E_t - \beta(1+r_t)k_t + \sum_{i=A,B} \gamma^i N^i m_t^i \quad (12)$$

この Nash 均衡は、次の補題により与えられる。

**補題 1** 第  $t$  期の国 A,B の汚染削減の Nash 均衡水準、および、それによって決定される

<sup>11</sup> 第  $t$  期の環境の質と資本ストック、および資本ストックから決まる賃金率と利子率は、第  $t-1$  期の行動から決定され、第  $t$  期の行動には依存しない。

第  $t+1$  期の環境の質と資本ストックの水準は、第  $t$  期の環境の質と資本ストックの水準から以下のように与えられる。

1.  $E_t < \frac{1}{(1-b)} \left\{ (2N^B \gamma^B - N^A \gamma^A) \alpha (f(k_t) - f'(k_t)k_t) + \beta(1 + \alpha f'(k_t) - \delta)k_t \right\}$  が成り立つとき、

$$m_t^i = \alpha (f(k_t) - f'(k_t)k_t) - \frac{E_{t+1}}{N^i \gamma^i}, i = A, B, \quad (13)$$

$$E_{t+1} = \frac{1}{3} \left\{ (1-b)E_t - \beta(1 + \alpha f'(k_t) - \delta)k_t + \left( \sum_{i=A,B} N^i \gamma^i \right) \alpha (f(k_t) - f'(k_t)k_t) \right\}, \quad (14)$$

$$k_{t+1} = w_t - \sum_{i=A,B} N^i m_t^i \quad (15)$$

2.  $E_t \geq \frac{1}{(1-b)} \left\{ (2N^B \gamma^B - N^A \gamma^A) \alpha (f(k_t) - f'(k_t)k_t) + \beta(1 + \alpha f'(k_t) - \delta)k_t \right\}$  かつ

$E_t < \frac{1}{(1-b)} \left\{ N^A \gamma^A \alpha (f(k_t) - f'(k_t)k_t) + \beta(1 + \alpha f'(k_t) - \delta)k_t \right\}$  が成り立つとき、

$$m_t^A = \alpha (f(k_t) - f'(k_t)k_t) - \frac{E_{t+1}}{N^A \gamma^A}, \quad m_t^B = 0, \quad (16)$$

$$E_{t+1} = \frac{1}{2} \left\{ (1-b)E_t - \beta(1 + \alpha f'(k_t) - \delta)k_t + N^A \gamma^A \alpha (f(k_t) - f'(k_t)k_t) \right\}, \quad (17)$$

$$k_{t+1} = w_t - N^A m_t^A \quad (18)$$

3.  $E_t \geq \frac{1}{(1-b)} \left\{ N^A \gamma^A \alpha (f(k_t) - f'(k_t)k_t) + \beta(1 + \alpha f'(k_t) - \delta)k_t \right\}$  が成り立つとき、

$$m_t^A = m_t^B = 0, \quad (19)$$

$$E_{t+1} = (1-b)E_t - \beta(1 + \alpha f'(k_t) - \delta)k_t, \quad (20)$$

$$k_{t+1} = w_t \quad (21)$$

補題 1 より、この経済の動学的振る舞いが決定される。この結果を用いて、経済の定常状態とそこでの環境技術政策の効果を分析しよう。

### 6.3.2 定常状態

本モデルにおいて、定常状態とは、(i)国 A と国 B が Nash 均衡汚染削減行動を行い、かつ、(ii)資本ストックと環境ストックが時間を通じて変化しない状態を意味する。定常状態が一意に存在し、かつ、そこでの資本ストックの水準が正となることを担保するために以下の仮定を置く。

仮定 1 関数  $g_0(k), g_1(k), g_2(k)$  を次のように定義する。

$$g_0(k) = N^B(\gamma^A + \gamma^B)\alpha(f(k) - f'(k)k) - \gamma^A k \quad (22)$$

$$g_1(k) = \left( \sum_{i=A,B} N^i \gamma^i \right) \alpha(f(k) - f'(k)k) - \beta(1 + \alpha f'(k) - \delta)k - \frac{(b+2)\bar{\gamma}}{2} k, \quad (23)$$

$$g_2(k) = (1 + bN^B)\gamma^A \alpha(f(k) - f'(k)k) - \beta(1 + \alpha f'(k) - \delta)k - (b+1)\gamma^A k, \quad (24)$$

ここで、 $\bar{\gamma} = 2\gamma^A \gamma^B / (\gamma^A + \gamma^B)$  とする。いま、 $g_0(k), g_1(k), g_2(k)$  は、以下を満たすと仮定する。

$$g_j'(0) > 0, g_j''(k) \leq 0, g_j(0) = 0, \lim_{k \rightarrow \infty} g_j(k) < 0 \text{ for } j = 0, 1, 2. \quad (25)$$

仮定 1 を置くと、定常状態は次の命題により与えられる。

命題 1 いま、 $g_0(k) = 0$  の解を  $\bar{k}$  とする<sup>12</sup>。  $\bar{k}$  の水準に応じて、定常状態は以下のように決定される。

【1】  $\bar{k}$  が、 $\alpha f(\bar{k}) > -(1 - \delta) + \frac{\gamma^A(N^A \gamma^A - (b+1)N^B \gamma^B)}{\beta(\gamma^A + \gamma^B)N^B}$  を満たすとき、定常状態での環境の質( $E$ )と資本ストック( $k$ )は、次の連立方程式の解として与えられる。

$$[\text{NE1}] \quad k = \frac{2E}{\bar{\gamma}}, \quad (26)$$

$$[\text{SS1}] \quad E = \frac{1}{b} \left\{ \left( \sum_{i=A,B} N^i \gamma^i \right) \alpha[f(k) - f'(k)k] - \bar{\gamma}k - \beta[1 + \alpha f'(k) - \delta]k \right\} \quad (27)$$

【2】  $\bar{k}$  が、 $\alpha f(\bar{k}) \leq -(1 - \delta) + \frac{\gamma^A(N^A \gamma^A - (b+1)N^B \gamma^B)}{\beta(\gamma^A + \gamma^B)N^B}$  を満たすとき、定常状態での環境ストック( $E$ )と人工資本ストック( $k$ )は、次の連立方程式の解として与えられる。

$$[\text{NE2}] \quad k = \frac{E}{\gamma^A} + N^B \alpha[f(k) - f'(k)k], \quad (28)$$

$$[\text{SS2}] \quad E = \frac{1}{b} \left\{ \gamma^A \alpha[f(k) - f'(k)k] - \gamma^A k - \beta[1 + \alpha f'(k) - \delta]k \right\} \quad (29)$$

<sup>12</sup>  $\bar{k}$  は、原論文ではバーの代わりにチルダを用いているが、本報告書ではフォントの都合上、表記を改めた。

命題 1 において、 $\bar{k}$  は外生変数のみから決定されるため、2つのケースのどちらが生じるかも、外生変数から決定される。また、(26),(28)式は、各国の Nash 均衡での汚染削減行動と、資本の動学から導かれており、定常状態が各国の汚染削減行動の Nash 均衡となるべき条件を表している。一方、(27),(29)式は、環境の動学から導かれており、環境が定常状態となるべき条件を表している。

図 1 a, 図 1b は、この定常状態を  $(k, E)$  平面上で図示したものである。

図 1 a 小国 2 国経済の定常状態 (命題 2 【1】 の場合)

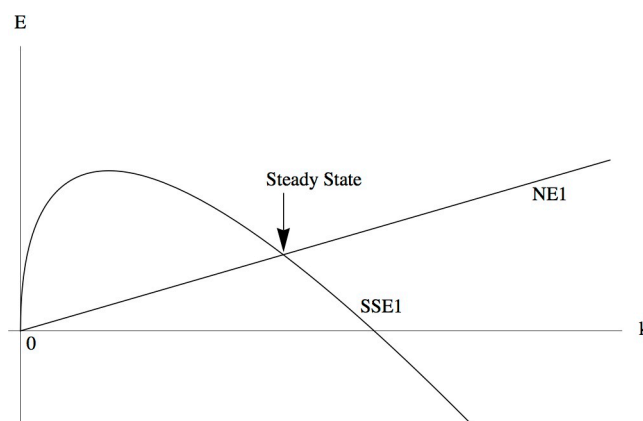
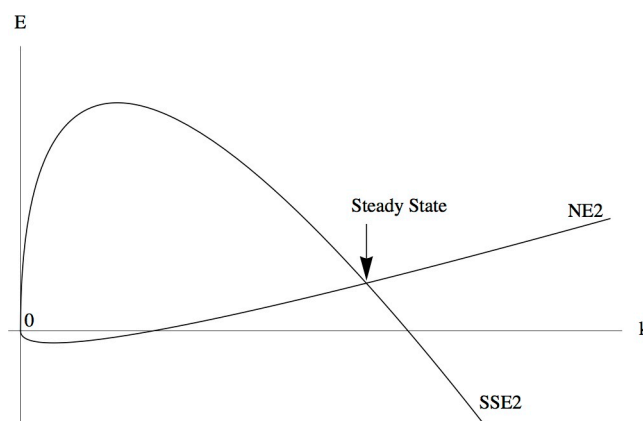


図 1 b 小国 2 国経済の定常状態 (命題 2 【2】 の場合)



命題 1 を先行研究である John et al.(1995)と比較すると、相違点は以下の 2 点である。第 1 には、本モデルでは各国が賃金率や利子率を所与として行動するという小国の仮定をおいているため、John et al.(1995)で見られた利子率や賃金率の変化を通じた効果が(26),(28)式には現れていない。

第 2 には、John et al.(1995)が 1 国モデルであるのに対して、本モデルは 2 国モデルで



あることから、一方の国が汚染削減をしないという定常状態（命題1の2）が存在する。(28)式右辺第2項は、汚染削減していない国Bの貯蓄を表しており、汚染削減をしない分だけ国Bはより多く貯蓄し、資本ストックの増加に寄与していることが分かる。

### 6.3.3 生産要素賦存量の国際的分配と地球環境

次に、こうして得られた定常状態について、まず生産要素賦存量の国際的分配と地球環境の関係について考察してみよう。

系1 いま、汚染削減技術が国A、Bで同一であるとする。

このとき、 $\alpha f(\bar{k}) > -(1-\delta) + \frac{\gamma^A(N^A\gamma^A - (b+1)N^B\gamma^B)}{\beta(\gamma^A + \gamma^B)N^B}$  が成立する範囲内であれば、労働賦存量が世界全体でどのように賦存されていたとしても、定常状態の資本ストックと環境の質は変わらない。

これは、(27)式に  $\gamma^A = \gamma^B$  を代入し、世界の総人口が一定であること ( $N^A + N^B = 1$ ) を用いると、(27)式から各国の人口  $N^A, N^B$  が消えることから分かる。

### 6.3.4 環境技術政策の効果

環境技術政策の効果を調べるために、経済が、当初、定常状態にあるとして、比較静学を行おう。命題1の2つのケースのそれぞれに分けて分析を行うと以下の結果を得る。

【1】  $\alpha f(\bar{k}) > -(1-\delta) + \frac{\gamma^A(N^A\gamma^A - (b+1)N^B\gamma^B)}{\beta(\gamma^A + \gamma^B)N^B}$  が成り立つとき

資本と環境の定常状態  $(k, E)$  は、(26),(27)式で与えられる。これらの式を全微分すると次式を得る。

$$\begin{aligned}
& \begin{bmatrix} 1 & \xi \\ \frac{\bar{\gamma}}{2E^2} & \frac{-1}{k^2} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} dE \\ dk \end{pmatrix} \\
& = \begin{bmatrix} \frac{1}{b} \left( N^i \alpha (f - f'k) - \left( \frac{\partial \bar{\gamma}}{\partial \gamma^i} \right) k \right) & \frac{-(1 + \alpha f' - \delta)k}{b} & \frac{\beta k}{b} & \frac{(\sum_i N^i \gamma^i)(f - f'k) - \beta f'k}{b} \\ \frac{1}{2E} \left( \frac{\partial \bar{\gamma}}{\partial \gamma^i} \right) & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\
& \times \begin{pmatrix} d\gamma^i \\ d\beta \\ d\delta \\ d\alpha \end{pmatrix}
\end{aligned} \tag{30}$$

【2】  $\alpha f(\bar{k}) \leq -(1 - \delta) + \frac{\gamma^A (N^A \gamma^A - (b+1)N^B \gamma^B)}{\beta(\gamma^A + \gamma^B)N^B}$  が成り立つとき

資本と環境の定常状態  $(k, E)$  は、(28),(29)式で与えられる。これらの式を全微分すると次式を得る。

$$\begin{aligned}
& \begin{bmatrix} 1 & \xi \\ \frac{1}{k^2 \gamma^A} & \frac{-(1 + N^B \alpha f'' k)}{k^2} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} dE \\ dk \end{pmatrix} \\
& = \begin{bmatrix} \frac{\alpha(f - f'k) - k}{b} & 0 & \frac{-(1 + \alpha f' - \delta)k}{b} & \frac{\gamma^A (f - f'k) - \beta f k}{b} \\ \frac{E}{(\gamma^A k)^2} & 0 & 0 & \frac{-N^B (f - f'k)}{k^2} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} d\gamma^A \\ d\gamma^B \\ d\beta \\ d\delta \\ d\alpha \end{pmatrix}
\end{aligned} \tag{31}$$

ここで、

$$\xi \equiv \frac{1}{b} \left[ (\beta + \sum_i N^i \gamma^i) \alpha f'' k + \bar{\gamma} + \beta(1 + \alpha f' - \delta) \right],$$

$$\zeta \equiv \frac{1}{b} \left[ (\beta + \gamma^A) \alpha f'' k + \gamma^A + \beta(1 + \alpha f' - \delta) \right],$$

とする。

なお、John et al.(1995)にならって、

$$\xi \geq 0, \zeta \geq 0, 1 + N^B \alpha f'' k > 0 \tag{32}$$

と仮定する。この仮定は、定常状態において、 $(k, E)$ 平面上で、SSE1, SSE2 線がともに正でない傾きを持ち、かつ、NE2 線が正の傾きを持つことを意味する。

(30),(31)式を解くことで、環境技術政策の効果が明らかとなる。分析の結果を命題としてまとめると以下のようなになる。

**命題 2** 国  $i$  において、汚染削減費用節約的な技術進歩 ( $\gamma^i$  の上昇) が生じたとする。この変化は、定常状態に以下のような影響を与える。

$$【1】 \alpha f(\bar{k}) > -(1-\delta) + \frac{\gamma^A(N^A\gamma^A - (b+1)N^B\gamma^B)}{\beta(\gamma^A + \gamma^B)N^B} \text{ が成り立つとき}$$

国  $i$  における汚染削減技術の進歩は、次の条件が満たされるならば、定常状態における環境ストックを改善 ( $E$  の増加) し、かつ、人口資本ストック ( $k$ ) を増加させる：

$$\gamma^i > \left( \sqrt{\frac{2}{N^i}} - 1 \right) \gamma^j, (j \neq i) \quad (33)$$

$$【2】 \alpha f(\bar{k}) \leq -(1-\delta) + \frac{\gamma^A(N^A\gamma^A - (b+1)N^B\gamma^B)}{\beta(\gamma^A + \gamma^B)N^B} \text{ が成り立つとき}$$

汚染削減技術の進歩が、国 A で生じた場合には、定常状態の環境ストックと人工資本ストックがともに増加する。一方、国 B で生じた場合には、定常状態の環境ストックと人工資本ストックのいずれも変化しない。

ここで、国 A と B の人口が等しい場合には、命題 1 より、汚染削減技術がより費用効率的な国 ( $\gamma^i$  が高い国) で、削減費用をより節約するような技術進歩を実現すれば、定常状態の環境ストックと人工資本ストックがともに増加する事が分かる。

私的財の消費からどれだけの汚染が生じるかについての技術水準 ( $\beta$  の大きさ) の変化が、定常状態の環境ストックと人工資本ストックに与える効果についても、比較静学から次の命題を得ることが出来る。

**命題 3** 私的財の消費 1 単位あたりの汚染物質の排出量が減少するような技術進歩 ( $\beta$  の低下) が生じると、定常状態の環境ストックと人工資本ストックはともに増加する。

消費からの汚染が減少することで環境が改善するというのは、直感的にも分かりやすいだろう。汚染係数の低下によって人工資本ストックが増加するのは、汚染の減少が、汚染削減努力の量を減らし、その結果、税負担が軽減され、貯蓄が増えるという効果によって生じるのである。

さらに、資本減耗率の変化が、定常状態の環境ストックと人工資本ストックに与える効

果については次の命題が得られる。

**命題 4** 資本減耗率 ( $\delta$ ) が上昇すると、定常状態の環境ストックと人工資本ストックはともに増加する。

これは、資本減耗率が上昇すると、同じ貯蓄に対して消費できる量が減少する。消費の減少は消費から生じる汚染の減少をもたらす環境を改善するとともに、汚染削減を節約でき、その分、貯蓄をふやすことが出来る。これらの効果の結果として、環境ストックと人工資本ストックがともに増加する事になるのである。なお、本モデルにおいて資本の減耗からは汚染は生じない点に留意されたい。

**命題 5** 全要素生産性 ( $\alpha$ ) が向上したとする。この変化は、定常状態の環境ストックと人工資本ストックに対して次のような効果を与える。

$$\text{【1】 } \alpha f(\bar{k}) > -(1-\delta) + \frac{\gamma^A(N^A\gamma^A - (b+1)N^B\gamma^B)}{\beta(\gamma^A + \gamma^B)N^B} \text{ が成り立つとき}$$

全要素生産性の向上は、定常状態の環境ストックと資本ストックをともに増加させる。

$$\text{【2】 } \alpha f(\bar{k}) \leq -(1-\delta) + \frac{\gamma^A(N^A\gamma^A - (b+1)N^B\gamma^B)}{\beta(\gamma^A + \gamma^B)N^B} \text{ が成り立つとき}$$

全要素生産性の向上は、定常状態の資本ストックを増加させる。また、定常状態の環境ストックが増加する必要十分条件は、定常状態の資本ストック  $k$  が次の不等式を満たすことである：

$$\begin{aligned} & \gamma^A(f(k) - f'(k)) - \beta f'(k)k \\ & + N^B k \left\{ \alpha f''(k) [\gamma^A(f(k) - f'(k)k) - \beta f'(k)] - b \zeta(f(k) - f'(k)k) \right\} > 0. \end{aligned} \quad (34)$$

命題 5 にあるように、全要素生産性の向上は、資本ストックについては増加させるが、環境ストックについては増加させるとは限らない。命題 5 の【1】のケースでは、国 A、国 B の両国が定常状態で汚染削減を行う。このとき、全要素生産性の向上は、両国で財の生産を増加させる。これは消費を増やすことにより汚染物質の排出を増やす効果もあるが、一方で、汚染削減を増加させる効果も持ち、環境が正常財であることから、全体としては環境が改善する。これに対して【2】のケースでは、国 B は定常状態で汚染削減を行っていない。そのため、全要素生産性の向上は国 B については単に消費を増加させ汚染物質の排出を増加させる効果しか持たない。国 B の人口が多いとこの効果が大きくなり、定常状態での環境ストックが減少する結果となる。

#### 6.4 大国2国モデル

前節では、国 A,B は自らの行動が世界市場の利率に影響を与えないと考えて行動するという小国の仮定をおいていた。しかし、実際には、ある国がより多く汚染削減をすると、

その分、より多く若年世帯に課税し、その結果、若年世帯の貯蓄が少なくなり、次の期の資本ストックが少なくなると、利子率が上昇する。このように各国が自らの行動が資本市場を通じて利子率に与える影響を考慮して行動する場合、つまり、大国の仮定をおいた場合について検討してみよう。

このとき、国  $i$  の第  $t$  期の政府の最大化問題は以下のように書ける。

$$\max_{m_t^i} U(c_{t+1}^i, E_{t+1})$$

subject to

$$s_t^i + m_t^i = w_t^i, \quad (2)$$

$$c_{t+1}^i = (1 + r_{t+1})s_t^i, \quad (3)$$

$$E_{t+1} = (1 - b)E_t - \beta \sum_{i=A,B} N^i c_t^i + \sum_{i=A,B} \gamma^i N^i m_t^i \quad (4)$$

$$k_{t+1} = \sum_{i=A,B} N^i s_t^i \quad (9)$$

$$r_{t+1} = \alpha f'(k_{t+1}) - \delta \quad (35)$$

$$m_t^i \geq 0 \quad (5)$$

ここで、(2),(3),(4),(5),(9)式は再掲である。また、(35)式は資本動学である。この問題を解くと、一階条件は、

$$m_t^i = w_t^i - \frac{(1 + r_{t+1})E_{t+1}}{N^i [\gamma^i (1 + r_{t+1}) - \alpha f'' E_{t+1}]} \text{ and } E_{t+1} > \frac{(1 + r_{t+1})\gamma^i N^i w_t^i}{(1 + r_{t+1} + N^i w_t^i \alpha f'')} \quad (36)$$

または、

$$m_t^i = 0 \text{ and } E_{t+1} \leq \frac{(1 + r_{t+1})\gamma^i N^i w_t^i}{(1 + r_{t+1} + N^i w_t^i \alpha f'')} \quad (37)$$

のいずれかが成立することである。ここで、(36)、(37)式の不等号条件は、最大化問題の相補性条件より導かれている。

#### 6.4.1 各期の Nash 均衡

各国の第  $t$  期の最適汚染削減関数より第  $t$  期の Nash 均衡汚染削減量と、第  $t+1$  期の環境の質  $E_{t+1}$  および第  $t+1$  期の資本ストック  $k_{t+1}$  が決定される。(36),(37)式より、次の補題が得られる。

補題2 第  $t$  期の Nash 均衡については端点解も含めると次の4つの可能性がある。

$$\text{【1】 } E_{t+1} > \frac{(1+r_{t+1})\gamma^A N^A w_t}{(1+r_{t+1} + N^A w_t \alpha f'')} \text{かつ} E_{t+1} > \frac{(1+r_{t+1})\gamma^B N^B w_t}{(1+r_{t+1} + N^B w_t \alpha f'')} \text{かつ}$$

$$m_t^i = w_t - \frac{(1+r_{t+1})E_{t+1}}{N^i [\gamma^i (1+r_{t+1}) - \alpha f'' E_{t+1}]} \text{ for } i = A, B \quad (38)$$

$$\text{【2】 } E_{t+1} > \frac{(1+r_{t+1})\gamma^A N^A w_t}{(1+r_{t+1} + N^A w_t \alpha f'')} \text{かつ} E_{t+1} \leq \frac{(1+r_{t+1})\gamma^B N^B w_t}{(1+r_{t+1} + N^B w_t \alpha f'')} \text{かつ}$$

$$m_t^A = w_t - \frac{(1+r_{t+1})E_{t+1}}{N^A [\gamma^A (1+r_{t+1}) - \alpha f'' E_{t+1}]} \text{ and } m_t^B = 0 \quad (39)$$

$$\text{【3】 } E_{t+1} \leq \frac{(1+r_{t+1})\gamma^A N^A w_t}{(1+r_{t+1} + N^A w_t \alpha f'')} \text{かつ} E_{t+1} > \frac{(1+r_{t+1})\gamma^B N^B w_t}{(1+r_{t+1} + N^B w_t \alpha f'')} \text{かつ}$$

$$m_t^A = 0 \text{ and } m_t^B = w_t - \frac{(1+r_{t+1})E_{t+1}}{N^B [\gamma^B (1+r_{t+1}) - \alpha f'' E_{t+1}]} \quad (40)$$

$$\text{【4】 } E_{t+1} \leq \frac{(1+r_{t+1})\gamma^A N^A w_t}{(1+r_{t+1} + N^A w_t \alpha f'')} \text{かつ} E_{t+1} \leq \frac{(1+r_{t+1})\gamma^B N^B w_t}{(1+r_{t+1} + N^B w_t \alpha f'')} \text{かつ}$$

$$m_t^i = 0 \text{ for } i = A, B \quad (41)$$

補題2の4つのケースのうちどれが生じるのかを調べる方法として、1つ考えられる方法は、【1】から順に等号制約と、資本の動学方程式たる(4)式、および環境の動学方程式たる(9)式の連立方程式を解き  $k_{t+1}, E_{t+1}$  を求め、この  $k_{t+1}, E_{t+1}$  が不等号制約を満たしているかを確かめるというものである。例えば、【1】であれば、まず(38),(4),(9)を解いて、

$$m_t^A, m_t^B, k_{t+1}, E_{t+1} \text{ が } E_{t+1} > \frac{(1+r_{t+1})\gamma^A N^A w_t}{(1+r_{t+1} + N^A w_t \alpha f'')} \text{かつ} E_{t+1} > \frac{(1+r_{t+1})\gamma^B N^B w_t}{(1+r_{t+1} + N^B w_t \alpha f'')} \text{ を満たすか否かを}$$

調べる。満たしていれば、その  $m_t^A, m_t^B$  は第  $t$  期の Nash 均衡汚染削減量で、 $k_{t+1}, E_{t+1}$  は Nash 均衡に対応する資本ストックおよび環境の質となる。

しかし、この場合、非線形連立方程式を解いた上で、その解が、非線形の連立不等式を満足するか否かを調べる必要があり、その解析は容易ではない。そこで本稿では、関数型を特定化したシミュレーション分析を行うことにする。

## 6.5 シミュレーション分析

大国2国モデルについて、生産関数の関数型を特定化してシミュレーション分析を行う。具体的には、生産関数  $f(k)$  をコブ・ダグラス型に特定化する。

$$f(k) = k^\phi \quad (42)$$

ここで  $\phi$  は資本分配率となる。

ベースライン・シミュレーションのパラメータは以下のように設定する。

$$b = 0.01, \alpha = 1, \beta = 0.01, \delta = 0.1, \phi = 1/3, N^A = N^B = 0.5, \gamma^A = \gamma^B = 1. \quad (43)$$

この経済の位相図を描いたものが、図3である。この図は  $(k_t, E_t)$  平面上の各点について、

補題2のどのケースが生じるかを数値計算で求め、不等号制約を満たす  $(k_{t+1}, E_{t+1})$  を求め、

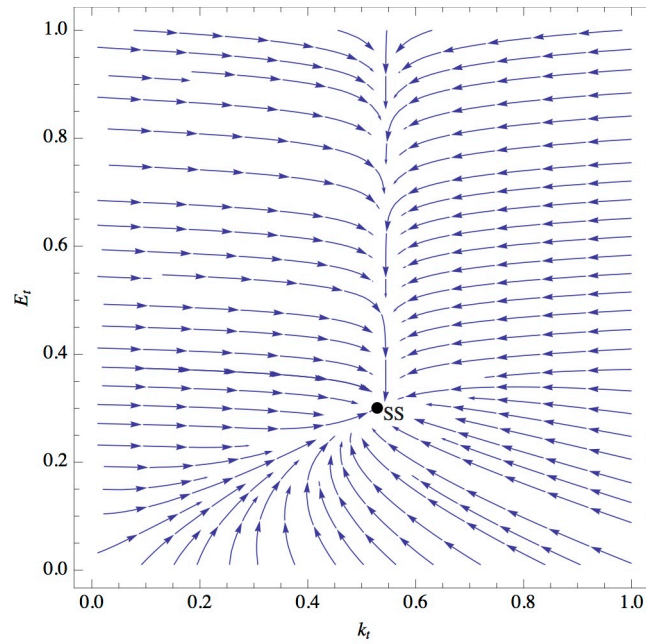
そこから、 $\Delta k_t = k_{t+1} - k_t, \Delta E_t = E_{t+1} - E_t$  を計算して描いている。

図3のSS点が定常状態を表す。定常状態での汚染削減、環境の質、効用は表1の通りである。表にあるように、定常状態で国A,B共に汚染削減を行っている。また、効用は負値となっているが、これは関数が対数型であるため、消費や環境の質が正でも1より小さい場合には負値となってしまうことによる。

表1：対称な大国2国経済の定常状態

$k$	$E$	$m^A$	$m^B$	$U^A$	$U^B$
0.529	0.301	0.010	0.010	-1.496	-1.496

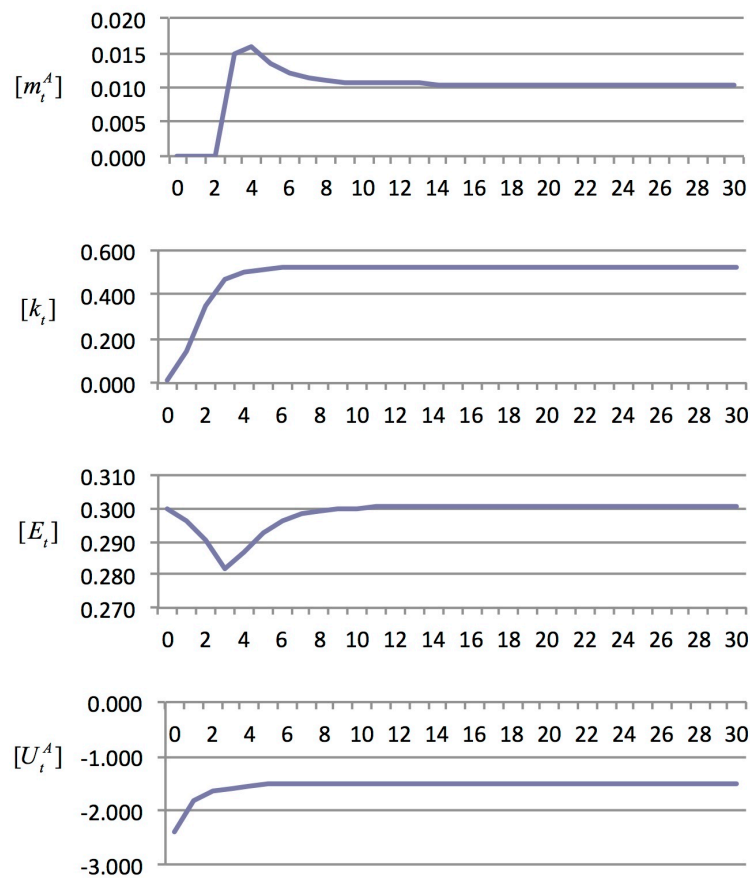
図3 対称な大国2国モデルの経済の位相図



次の図4は、このパラメータ設定のもとで、初期値を  $k_0 = 0.01, E_0 = 0.3$  として30期まで計算した結果である。図の縦軸は順に、 $m_t^A, m_t^B, k_t, E_t, U_t^A, U_t^B$  を表している。図の横軸は何れも時点を表している。なお、このケースでは国Aと国Bは対称なので、 $m_t^B, U_t^B$  は省略している。また、効用については、 $U_t^i$  は、定義より第t期に生まれた世代の生涯効用を表している点に留意されたい。



図 4 対称な大国 2 国からなる経済の推移 ( $k_0 = 0.01, E_0 = 0.3$ )



この初期値設定では、第 0 期の資本ストックが非常に少ない一方で、環境の質は定常状態で実現する水準に近い。このとき、当初、国 A,B ともに汚染削減を行わず、環境の質は悪化する。一方で、汚染削減を行わないことにより、より多くの貯蓄が行われ資本が急速に蓄積される。資本の蓄積と環境の悪化が進む中で、第 3 期から正の汚染削減が行われるようになり、これ以降環境の質は改善する。一方、資本蓄積の速度は鈍化し、第 8 期頃には資本・環境共に定常状態にほぼ近い水準に至る。

この初期値設定での環境の質の変化は、経済発展の初期段階で悪化し、その後改善するという意味で、環境クズネツ曲線に対応する動きであると考えることが出来る。しかし、図 3 から読み取れるように、常にこのような動きが生じるわけではなく、環境の質が定常状態の水準よりも十分高いときには、定常状態に向かって環境の質が悪化し続ける。

## 6.6 政策シミュレーション分析

本節では、5節までに分析してきた大国2国モデルを用いて環境技術政策の効果を分析する政策シミュレーションを行う。最初に2国が対称なケースを分析し、次に2国が非対称で一方の国が他方の国の汚染削減にただ乗りするケースを分析する。

### 6.6.1 対称な大国2国の場合

対称な大国2国の経済において、当初、パラメータが(43)式の通りに設定され、第0期には表1の定常状態にあるとする。この定常状態が続いていくシナリオをベースラインシナリオとする。その上で、第1期にパラメータが変化した場合に、各国の汚染削減行動、資本の水準、環境の質、各国各世代の効用が、ベースラインと比べ、どのように変化するかを見てみよう。

ベースラインでは、汚染削減量、資本、環境、効用の何れも第0期の水準で変化しないとする。従って、次のように乖離率を計算する。ここで効用については対数型効用関数を仮定しているため、負の値を取る可能性が有り、分母は絶対値を取っている。

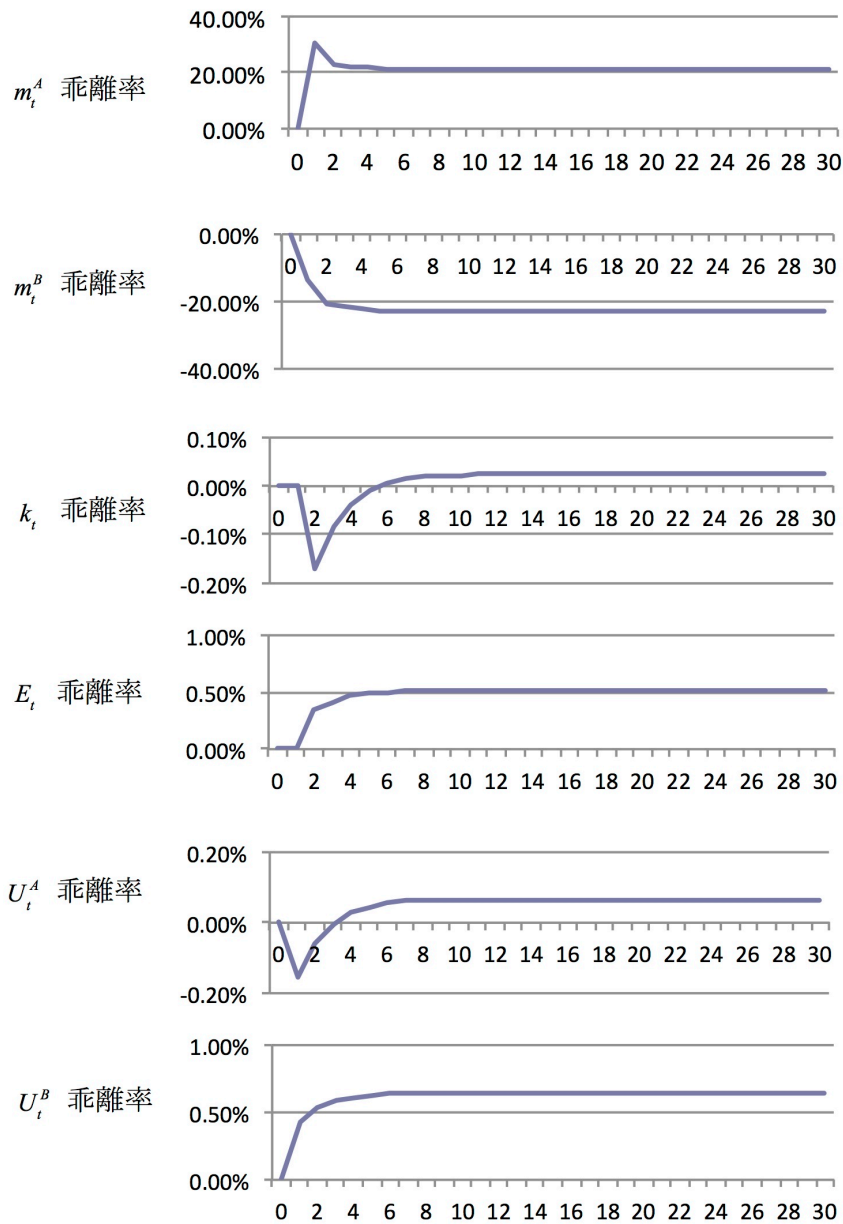
$$\text{汚染削減量のベースラインからの乖離率} = (m_t^A - m_0^A) / m_0^A$$

$$\text{資本ストックのベースラインからの乖離率} = (k_t - k_0) / k_0$$

$$\text{環境の質のベースラインからの乖離率} = (E_t - E_0) / E_0$$

$$\text{効用のベースラインからの乖離率} = (U_t^i - U_0^i) / |U_0^i|$$

図5 国 A における汚染削減技術の改善 ( $\gamma^A$  の増加) の効果 (対称 2 国ケース)



(1) 国 A における汚染削減技術の改善 ( $\gamma^A$  の増加)

資本ストックと環境の質の初期値は表 1 の定常状態で与えられるとする。ここで、第 1 期に国 A の汚染削減技術が 1%改善し、以後は、増加した水準で一定であったとする。このときの、汚染削減行動、資本、環境、効用の変化を描いたものが図 5 である。図にあるように、第 1 期に国 A で汚染削減量が 30%程度増加する。一方、国 B では汚染削減量が 20%以上減少する。これにより環境の質は、第 2 期からベースラインを上回り始め、最終的にはベースラインを 0.52%上回る水準で安定する。一方、第 1 期の汚染削減の増加は、第 1 期の貯蓄を減少させる。これにより、第 2 期から第 5 期まで資本ストックはベースラ

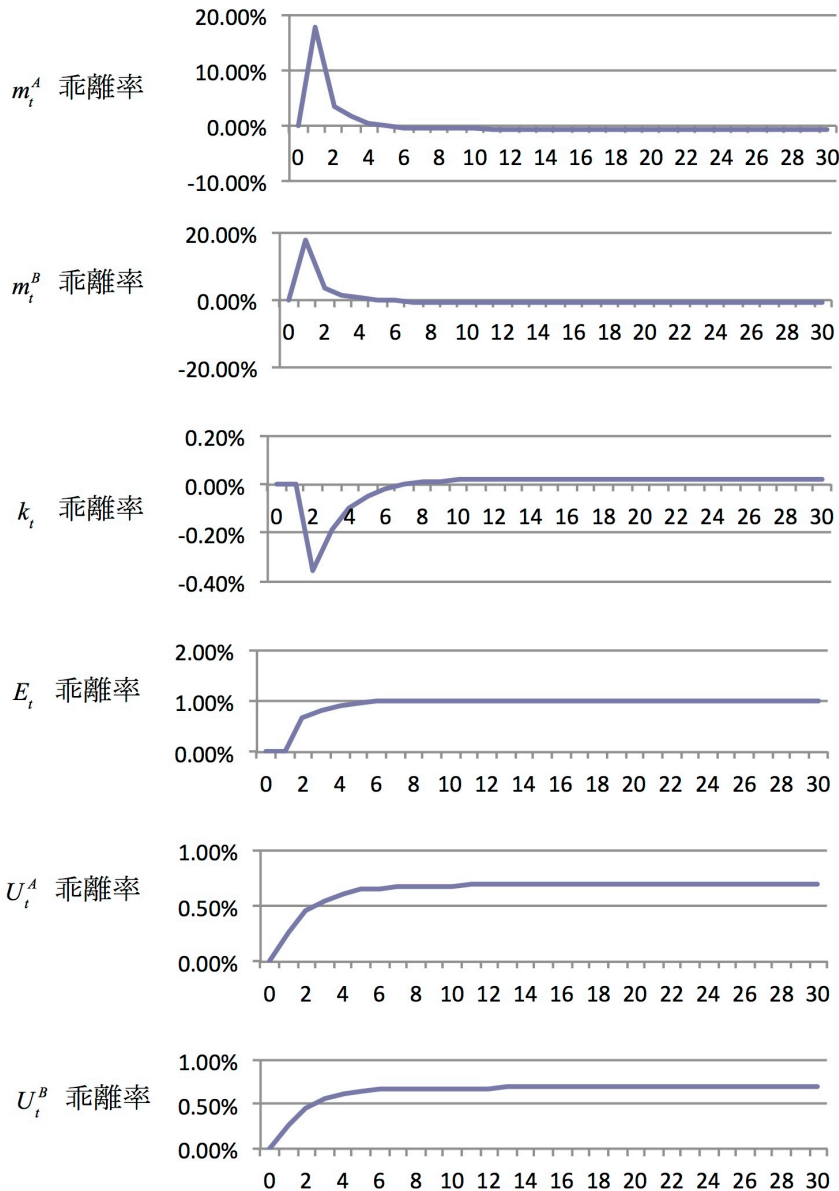
インの水準を下回る。その後、資本ストックはベースラインを上回るようになり、やがてベースラインを 0.02% 上回る水準で安定する。

この結果は、小国 2 国モデルの命題 2 で 2 国が共に汚染削減をしているときに 1 国だけで汚染削減技術が改善したとしても環境の質と資本ストックがともに向上するという結果と定性的には同じ結果である。ただし、各国の厚生に与える効果については注意が必要である。国 A では、第 1 期から第 3 期に生まれた世代については、その効用がベースラインよりも低くなっている。つまり、一国だけで環境汚染削減技術を改善することは、国 A にとって遠い将来の世代の厚生は改善するが、現在および近い将来の世代の効用を悪化させる事になる。一方で、国 B については第 1 期から厚生が改善しており、かつ、その改善の度合いも国 A よりも大きい。これは国 A の汚染削減量の増加にただ乗りしているためと考えられる。

(2) 世界全体での汚染削減技術の改善 ( $\gamma^A, \gamma^B$  の増加)

次に、国 A、国 B で同時に環境汚染削減技術が 1%改善するケースを考えよう。この場合の結果を示したものが図 6 である。図から分かるように、両国共に汚染削減技術が改善するとき、両国は共に汚染削減量を増加させる。これにより、短期的には資本ストックの水準がベースラインから低下するものの、長期的にはベースラインを上回る水準まで回復する。また、各国の厚生はともに第 1 期からベースラインを上回り続ける。

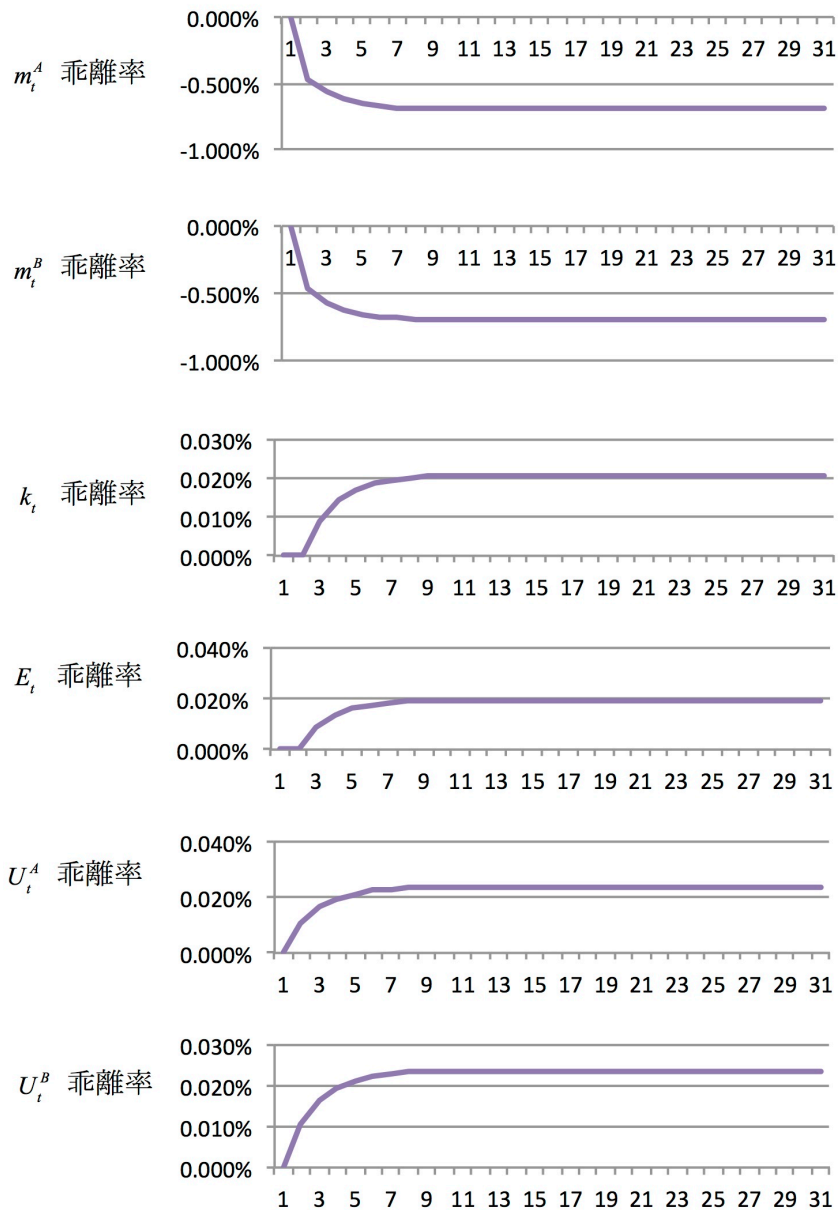
図 6 世界全体における汚染削減技術の改善 ( $\gamma^A, \gamma^B$  の増加) の効果 (対称 2 国ケース)



### (3) 世界全体での消費の汚染度 ( $\beta$ ) の低下

図7は、第1期に消費1単位あたり何単位汚染が生じるかを表す係数である $\beta$ が1%低下する場合の各変数の動きを表している。このとき、各国の汚染削減は減少するが、環境の質は改善し、また、資本ストックも増加し、各国の厚生はともに改善する。この結果は小国2国モデルでの比較静学の結果と整合的であり、また、世代別の厚生については、新しい定常状態に至までの間、将来世代ほど厚生が改善していく。

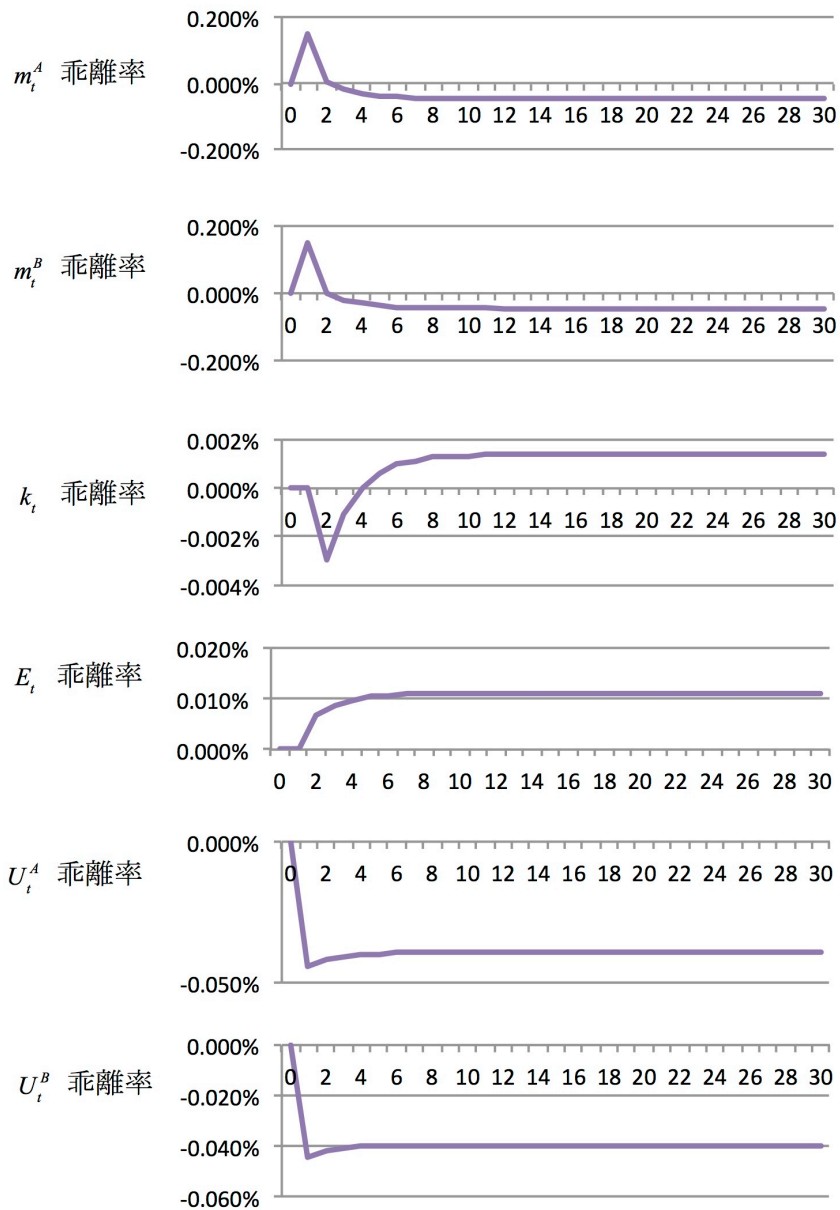
図7 消費の汚染度の改善 ( $\beta$ の低下) の効果 (対称2国ケース)



#### (4) 資本減耗率 ( $\delta$ ) の上昇

図 8 は、第 1 期に資本減耗率が 1% 上昇するケースを描いている。このとき、資本ストックは一時的に減少し、やがて、ベースラインを上回る定常状態に至る。また、環境の質は改善する。この結果は、小国 2 国モデルの結果と整合的である。ただし、このケースでは各国の厚生はベースラインよりも悪化する。これは、資本減耗率の上昇が利子率を引き下げ、消費を下げるためである。

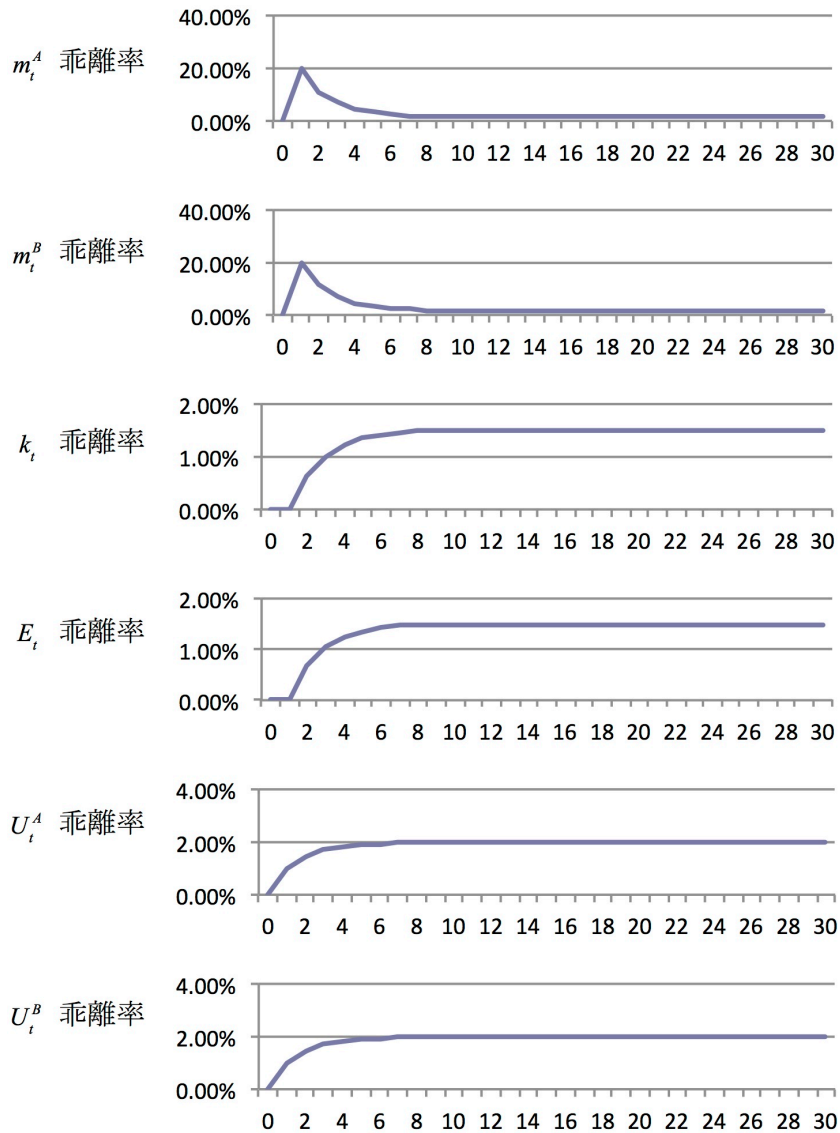
図 8 資本減耗率 ( $\delta$ ) の上昇の効果 (対称 2 国ケース)



(5) 全要素生産性 ( $\alpha$ ) の上昇

図 9 は、全要素生産性が 1% 上昇したときの効果を描いている。このとき、環境の質、資本ストック共に増加し、新しい定常状態に於いて、それぞれベースラインを 1% 以上上回る水準に至る。

図 9 全要素生産性 ( $\alpha$ ) の上昇 (対称 2 国ケース)





### 6.6.2 非対称な2国モデル

次に、国 A,B が非対称なケースを考えよう。ベースライン・シミュレーションのパラメータは以下のように設定する。

$$b = 0.01, \alpha = 1, \beta = 0.01, \delta = 0.1, \phi = 1/3, N^A = 0.6, N^B = 0.4, \gamma^A = \gamma^B = 1. \quad (44)$$

前節との違いは、国 A に世界全体の人口の 6 割が、国 B に 4 割が居住するという人口分布の非対称性を導入した点にある。このとき、次の表 2 の定常状態が実現する。

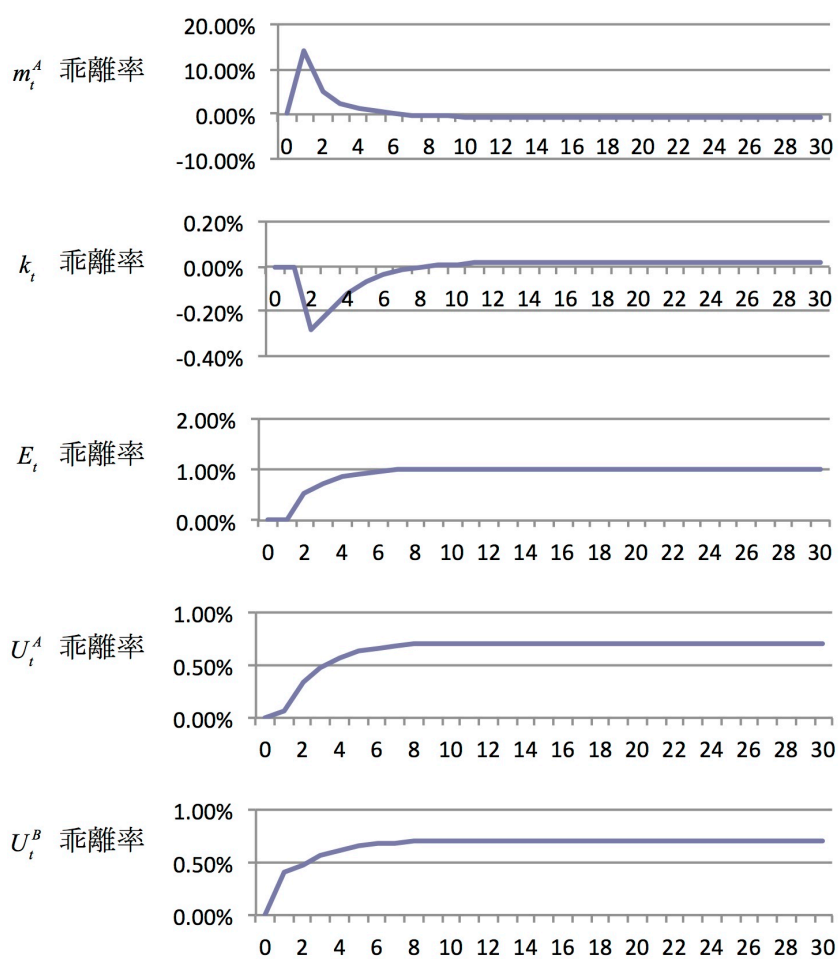
表 2：非対称な大国 2 国経済の定常状態

$k$	$E$	$m^A$	$m^B$	$U^A$	$U^B$
0.528	0.313	0.0176	0.0000	-1.470	-1.437

(1) 国 A における汚染削減技術の改善 ( $\gamma^A$  の増加)

資本ストックと環境の質の初期値は表 2 の定常状態で与えられるとする。ここで、第 1 期に国 A の汚染削減技術が 1%改善し、以後は、増加した水準で一定であったとする。このときの、汚染削減行動、資本、環境、効用の変化を描いたものが図 10 である。なお、国 B の汚染削減については 0 のまま変化しないため図 10 では省略している。対称な 2 国の場合と異なり、このケースでは国 A の厚生が第 1 期から改善している点に留意されたい。

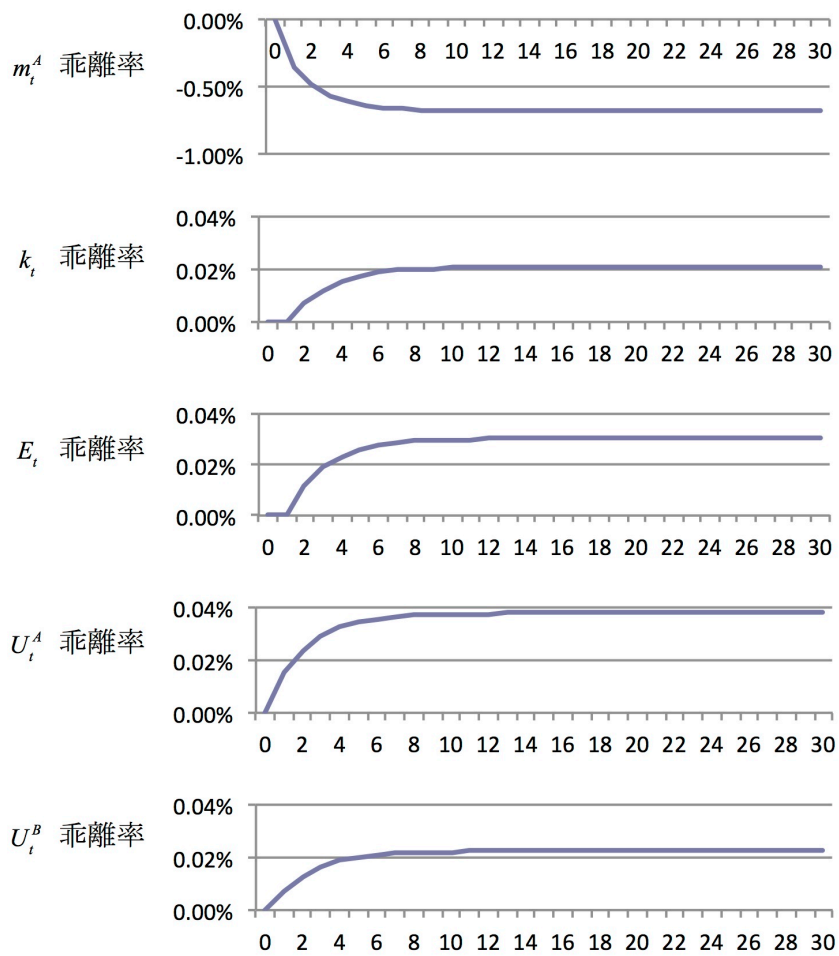
図 10 国 A における汚染削減技術の改善 ( $\gamma^A$  の増加) の効果 (非対称 2 国ケース)



## (2) 世界全体での消費の汚染度 ( $\beta$ ) の低下

図 11 は、非対称な 2 国の経済で、第 1 期に消費の汚染度が 1%低下するケースを描いている。このとき、資本ストックは増加し、環境の質も改善する。また、各国の厚生改善を見ると、国 A の方が改善の度合いが大きいことが分かる。これは、消費からの汚染が減ったことにより、国 A では汚染削減が減少し、その分、消費が増加したのに対して、国 B では、もともと汚染削減をしていなかったために、汚染削減の減少という形での便益を享受できない事による。

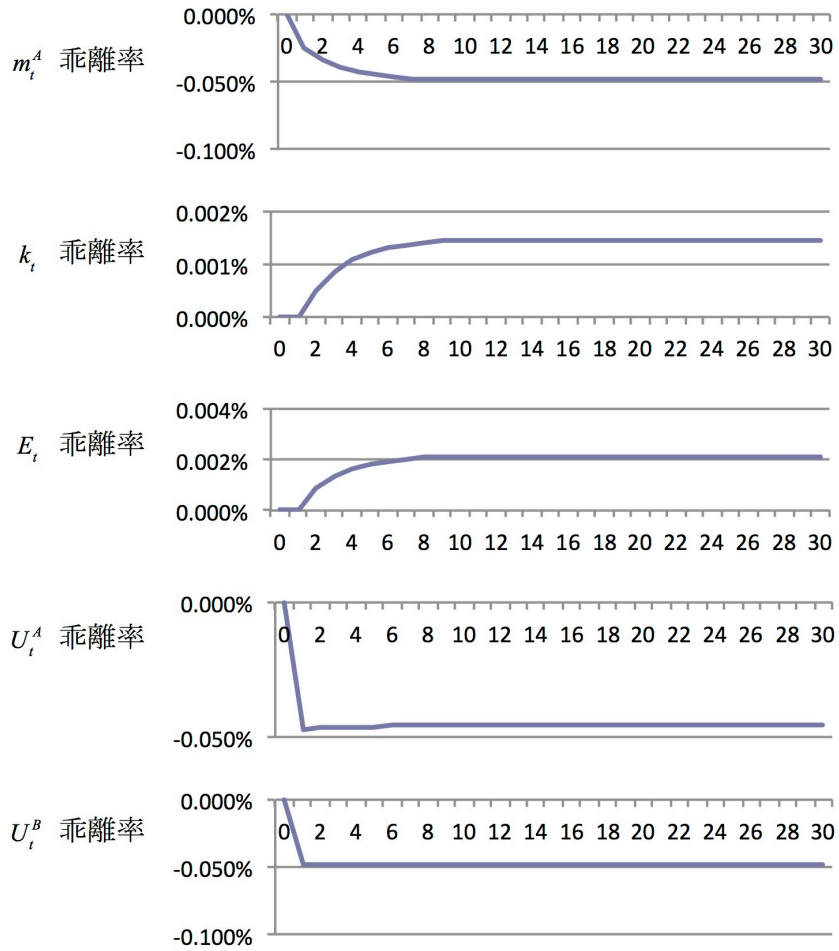
図 11 消費の汚染度の改善 ( $\beta$  の低下) の効果 (非対称 2 国ケース)



### (3) 資本減耗率 ( $\delta$ ) の上昇

図 12 は、第 1 期に資本減耗率が 1% 上昇するケースを描いている。対称な 2 国ケースとは異なり、このとき、資本ストックは第 1 期から増加し、環境の質も改善する。ただし、この非対称 2 国ケースにおいても各国の厚生はベースラインよりも悪化する。

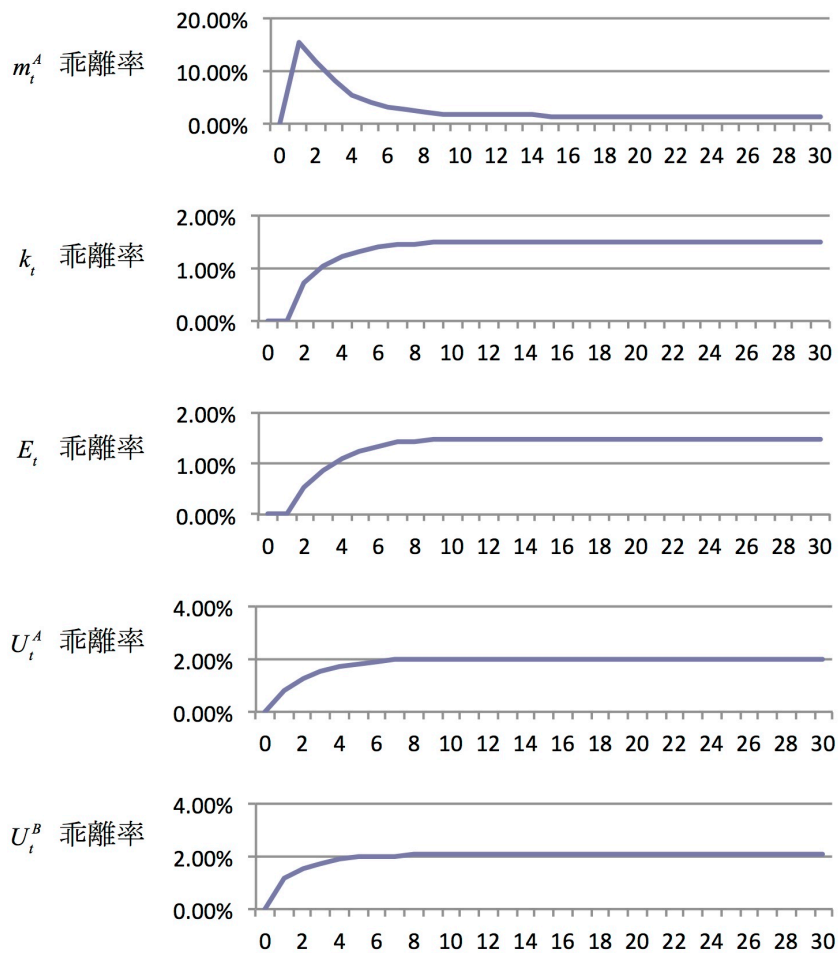
図 12 資本減耗率 ( $\delta$ ) の上昇の効果 (非対称 2 国ケース)



#### (4) 全要素生産性 ( $\alpha$ ) の上昇

図 13 は、第 1 期に全要素生産性が 1% 上昇するケースを描いている。このとき、資本ストックは第 1 期から増加し、環境の質も改善する。

図 13 全要素生産性 ( $\alpha$ ) の上昇 (非対称 2 国ケース)



## 6.7 結論(行政ニーズとの関連及び政策インプリケーション)

本研究項目では、国際的スピルオーバーを考慮した場合の望ましい環境政策について分析した。2国世代重複モデルを用い、環境技術政策の役割に焦点を当てた。モデルでは、2国がいずれも小国(貸金と利子率を所与として行動する国)であるケースと、2国がいずれも大国である(自らの政策が利子率や貸金率に与える影響を考慮する)ケースの2つのケースを想定した2つのモデルを構築し分析を行った。

具体的には、それぞれのケースについて、各国が自らの政策が利子率や貸金率に与える影響も考慮するモデルの定常状態の導出と比較静学を行った。また、シミュレーションを用いて、移行過程や政策のインパクトレスポンスを分析した。この分析を通じて、環境に関する技術の変化が、各国の政策、世界全体の環境の質、資本の蓄積、各国の厚生に与える効果を明らかにした。

本結果の政策的インプリケーションおよび行政ニーズとの関連は以下の通りである。まず、分析結果の政策インプリケーションとしては、特に、一国だけで環境汚染削減技術が改善した場合に、同国の汚染削減の増加を通じて、世界全体の環境が改善し、資本ストックが増加することを示した結果が重要である。この結果は、先進国が独自に汚染削減の効率を高めることが温暖化を防ぐ可能性を示唆している。一方で、一国だけでの汚染削減技術の改善の場合、汚染削減技術が改善した後の同国の数世代の家計の厚生が、汚染削減技術が改善する以前と比べて厚生が悪化することも示した。これは、汚染削減技術が改善しなかった国が、ただ乗り行動をすることにより生じる。つまり、世代内の国際的スピルオーバーによって、世代間の不衡平性が生じる結果となっている。さらに、分析の結果、両国で共に汚染削減技術が改善する場合には、このような厚生の悪化が生じない事が分かった。従って、この結果は優れた環境技術を世界に普及させることの重要性を、政策的に含意するものと言えよう。

行政ニーズとの関連については、本研究項目は、貿易、環境、技術など、今後の我が国にとって重要な政策の評価、および、国内外の経済成長と長期的な構造変化の再評価を通じた、環境を基盤として発展するための経済システムと最適経路および国際協調のあり方の考察という2点を考える上での経済理論に基づく分析枠組みを提示したものである。地球規模の環境問題や、越境性大気汚染問題など国際的スピルオーバーを伴う環境政策については、経済システム・環境システムなどを記述する多数の方程式からなる高度なモデル分析が行われることが多い。このような分析は現実に即した結果を与える点で非常に有意義であるが、結果をもたらすメカニズムが非常に複雑になり、定性的な理解が困難になるという欠点も伴っていた。

本研究項目は、現実に即した高度なシミュレーションと、従来のGS研究の閉鎖経済を想定するなど単純化された理論分析の、中間に位置するものである。これにより、サブテーマⅢ「環境政策(環境基盤投資)シナリオに基づく長期シミュレーションに関する研究」の1つの理論的裏付けを与え、また、当該サブテーマを他のサブテーマと接続する理論的

橋渡しに寄与するものである。そして、それらを通して、理論に裏付けられたシミュレーション分析枠組みを提示し、もって、環境経済政策立案に関する行政ニーズに資するものである。

以上のように、本研究項目で得られた理論的洞察と政策的知見は、GS を国際的な文脈においてとらえ、グローバリゼーション下における環境経済政策を考察する上で、本研究のシミュレーションの妥当性を向上させると同時に重要な学術的貢献でもあるといえよう。

### 補論:小国1国モデル

本稿では、利子率を所与とする国が2国存在する小国2国モデルおよび、利子率への影響を考慮して行動する国が2国存在する大国2国モデルを分析した。これに対して、先行研究である John et al.(1995)では利子率への影響を考慮して行動する国が1国だけ存在する大国1国モデルを分析している。本稿の小国2国モデルの比較静学分析の結果は、先行研究と比較すると2国への拡張だけでなく、大国から小国への仮定の変更という2点で異なっている。そこで先行研究との比較のため、補論として、利子率を所与とする小国1国からなるモデルを分析しておこう。

世界に存在する国は1国のみとする。この国に世界の全人口(2国モデル同様1に正規化する)が居住しているとする。この国の第*t*期の政府の最大化問題は以下のように書ける。

$$\max_{m_t} U(c_{t+1}, E_{t+1})$$

subject to

$$s_t + m_t = w_t, \tag{A1}$$

$$c_{t+1} = (1 + r_{t+1})s_t, \tag{A2}$$

$$E_{t+1} = (1 - b)E_t - \beta c_t + \gamma m_t \tag{A3}$$

$$k_{t+1} = s_t \tag{A4}$$

$$m_t \geq 0 \tag{A5}$$

ここで、1国モデルのため国のインデックス*i*は省略している。この国の最適汚染削減関数は以下のように与えられる。

$$m(E_{t+1}, w_t) = \begin{cases} w_t - \frac{E_{t+1}}{\gamma} & \text{if } E_{t+1} < \gamma w_t \\ 0 & \text{if } E_{t+1} \geq \gamma w_t \end{cases} \tag{A6}$$

(A6)式を(A3),(A4)式に代入すると、第*t*+1期の環境の質と資本ストックが次のように得られる。

【1】  $(1-b)E_t - \beta(1+r_t)k_t < \gamma w_t$  のとき

$$k_{t+1} = \frac{E_{t+1}}{\gamma}, \quad (\text{A7})$$

$$E_{t+1} = (1-b)E_t - \beta(1+r_t)k_t + \gamma w_t - \gamma k_{t+1} \quad (\text{A8})$$

【2】  $(1-b)E_t - \beta(1+r_t)k_t \geq \gamma w_t$  のとき

$$k_{t+1} = w_t, \quad (\text{A9})$$

$$E_{t+1} = (1-b)E_t - \beta(1+r_t)k_t \quad (\text{A10})$$

ここで、【2】 のとき環境の質( $E$ )は悪化を続けるため、長期的には、 $(k_t, E_t)$ は、【2】 の条件となる  $(1-b)E_t - \beta(1+r_t)k_t \geq \gamma w_t$  の範囲から外れて行く。従って、定常状態は【1】 より、

$$k = \frac{E}{\gamma} \quad (\text{A11})$$

$$E = \frac{1}{b} \left\{ \gamma \alpha (f(k) - f'(k)k) - \gamma k - \beta(1 + \alpha f'(k) - \delta)k \right\} \quad (\text{A12})$$

(A11),(A12)を  $E, k, \gamma, \beta, \delta, \alpha$  で微分すると

$$\begin{pmatrix} 1 & \theta \\ \frac{\gamma}{E^2} & \frac{-1}{k^2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dE \\ dk \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\alpha(f - f'k) - k}{b} & \frac{-(1 + \alpha f' - \delta)k}{b} & \frac{\beta k}{b} & \frac{\gamma(f - f'k) - \beta f'k}{b} \\ \frac{1}{E} & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (\text{A13})$$

$$\times \begin{pmatrix} d\gamma \\ d\beta \\ d\delta \\ d\alpha \end{pmatrix}$$

ここで、

$$\theta = \frac{1}{b} \{ (\beta + \gamma) \alpha f''k + \gamma + \beta(1 + \alpha f' - \delta) \} \geq 0 \quad (\text{A14})$$

とする。このとき、 $\gamma, \beta, \delta, \alpha$  の変化は定常状態の環境の質と資本ストックに次のような効果を与える。まず、汚染削減技術については

$$\frac{\partial k}{\partial \gamma} > 0, \quad \frac{\partial E}{\partial \gamma} > 0 \quad (\text{A15})$$

となり、汚染削減技術の改善が定常状態の資本ストックと環境の質を共に改善する。次に、



消費の汚染度については、

$$\frac{\partial k}{\partial \beta} < 0, \frac{\partial E}{\partial \beta} < 0 \quad (\text{A16})$$

より、消費から生じる汚染の度合いを表す  $\beta$  が小さくなるほど、定常状態の資本ストックが増加し、環境の質が改善する。資本減耗率については、

$$\frac{\partial k}{\partial \delta} < 0, \frac{\partial E}{\partial \delta} < 0 \quad (\text{A17})$$

となり、資本減耗率が上昇すると定常状態の資本ストックが増加し、環境の質も改善する。また、全要素生産性については、

$$\frac{\partial k}{\partial \alpha} > 0, \frac{\partial E}{\partial \alpha} > 0 \quad (\text{A18})$$

となり、全要素生産性が向上すると、定常状態の資本ストックが増加し、環境の質も改善する。

## 7. GS とその他の持続可能性指標に関する研究

### 7.1 GS とその他の持続可能性指標、および関連指標のサーベイ

持続可能な発展の指標化は、その概念を定量的に示す試みであるといえる。指標とは、複雑な概念や現象をある1つの方向から可視化するものである。そのようにして得られる要約的な情報は、政策担当者や市民の関心を引き付けることに寄与するとともに、政策実施の指針を与えることが期待される。これまでも、多くの持続可能な発展の指標化が試みられている。この指標化の試みについては、森田・川島（1993）が広範なサーベイを行っているが、これ以降にもさまざまな指標が登場している。ここでは、あたらしく登場した持続可能性指標、もしくはそれに準ずるものに関する整理を試みる。ここで取り挙げるのは、(1) グリーン GDP、(2) 包括的福祉指標、(3) ジェニユイン・セイビング、(4) Environmental Sustainability Index、(5) Environmental Performance Index、(6) Environmental Regulatory Regime Index、(7) Environmental Vulnerability Index、(8) National Biodiversity Index、(9) エコロジカル・フットプリントである。

#### 7.1.1 グリーン GDP

環境劣化や資源減耗等は、本来費用として計上されるべきであり、経済活動水準を測定するためには、これらの費用は GDP から控除される必要がある。このように、既存の国民経済計算に、環境劣化や資源減耗を組み入れたものは、環境・経済統合勘定と呼ばれている。この国民経済計算のグリーン化には、①環境劣化費用と環境便益を GDP に算入する形で修正を加えるものと、②自然資源減耗分を GDP から控除するというものがある。①のアプローチは公害や環境汚染に注目する一方、②のアプローチは自然資源の枯渇や質の低下に注目することで国民経済計算を修正しようとしている。

①の代表例は Peskin(1981)による修正 GNP の試みである。このアプローチの場合、環境はさまざまなサービスを提供する生産部門としてとらえられており、環境の質をある一定の水準に維持するために必要な環境維持費用を推定することで、環境からの便益を測定している。他方、②の代表例は Reppeto et al.(1989)である。このアプローチは、資源劣化に注目するものであり、石油および森林減少、土壌劣化といった自然資源の枯渇やそれらの質の低下を考慮するものである。具体的には、資源の市場価値額から生産・採取費用を差し引いたレントを GDP から控除するという方法が採用されている。レペットらはインドネシアについて NDP (Net Domestic Product, 以下 NDP) の推計を行っている。彼らの推計結果によると、インドネシアは 1971 年から 84 年までの GDP の年平均成長率が 7.1% であったのに対し、資源減耗を組み入れた NDP のそれは 4%にとどまっている。

この国民経済計算のグリーン化は、経済活動水準を正しく測定するためには、市場取引でカウントされない環境・資源劣化の費用を算入する必要があるという観点から、GDP から環境劣化に伴う費用や資源減耗分を控除すると経済活動水準は見かけほど成長していない

点を指摘したという点で意義がある。

### 7.1.2 包括的福祉指標

GDP に対しては、それが経済活動水準に対する指標であって、豊かさや福祉に対する指標ではないという批判がされてきた。たとえば Juster (1970)は、福祉指標として GDP をとらえた際の欠陥として、①非市場的活動を考慮していない、②投資的支出である耐久消費財や研究開発投資の扱い、③政府による財・サービスの扱い、④自然災害や交通事故、通勤時間の増加による GNP 増加の扱いを指摘している。このような観点に基づけば、福祉水準を測定するために、所得以外で福祉に影響を与える要素を考慮する必要がでてくる。すなわち、福祉指標には、防衛的支出や都市化に伴う不快、資源・環境の浪費、市場外活動、余暇時間などの貨幣評価値が反映されなければならない。このような包括的福祉指標としては、Nordhaus and Tobin(1973)の MEW (Measure of Economic Welfare)、経済審議会 NNW 開発委員会 (1973) の NNW (Net National Welfare)、Daly and Cobb(1989)の ISEW (Index of Sustainable Economic Welfare)、Cobb et al.(1995)の GPI (Genuine Progress Indicator) などがある。これらの指標に共通する特徴は、①個人消費を算出の元にしてている、②耐久消費財サービスの算入、③防衛的支出の控除、④都市化に伴う費用の控除、⑤環境維持費用の控除、⑥環境汚染の帰属費用の控除、⑦余暇時間の価値の算入、⑧市場外活動の算入などである。

これらの指標は、たとえば騒音に対処するための二重窓や、交通事故による車の買い替えは GDP を増加させるが、そのような支出は福祉水準の向上を意味しない点に注目し、それらの支出を個人消費から控除している。また、家事労働やボランティアなどの市場外活動の経済的評価を算入し、福祉水準に対する適切な測度を構築しようとするものである。さらには、福祉水準を測定するためには、環境・資源にかかわる社会的費用を控除しなければならない点を指摘したという意味で一定の貢献があるといえる。

### 7.1.3 ジェニユイン・セイビング

この指標は、本研究テーマの主軸をなすものであり、以前の章で既に議論がなされているため、簡単に述べるにとどめる。この指標は、生産要素としての資本に注目し、そのストックが非減少であれば、生産物も非減少となるという想定のもとで持続可能性を判断するものである。この指標をもっとも早い段階で推計したのは、Pearce and Atkinson(1993)である。この推計以降、世界銀行はジェニユイン・セイビングと呼ばれる同様の指標を WDI (World Development Indicators) で公表している。世銀のジェニユイン・セイビングでは、教育支出は人的資本への投資とみなされ国民純貯蓄に加算、エネルギー資源減耗、鉱物資源減耗、森林資源減耗、二酸化炭素排出による被害は自然資本の減耗として国民純貯蓄より減算、浮遊粒子状物質による損害は人的資本の減耗として国民純貯蓄から減算される。推計上のさまざまな問題はあがあるが、生産基盤としての総資本ストックに注目し、そ

れが減少しないことという客観的な判断基準をもつ持続可能性指標である。

#### 7.1.4 ESI (Environmental Sustainability Index)

持続可能な発展が、生態系や環境への配慮を前提に、世代間衡平性と世代内衡平性を同時に達成しうる社会・経済システムであるとするならば、持続可能性を評価する際には、環境のみならず、経済、社会、制度といった関連する諸側面にも注目する必要がある。しかしながら、人口動態や平均余命、栄養状態といった社会的側面や、市民的・政治的権利、腐敗といった制度的側面を貨幣評価することは困難である。このような問題に対処する 1 つの方法として、関連するデータを標準化し、単位をそろえた上で単一の合成指数を作成するというものがある。ESI は、この手法を用いて作成された持続可能性に関する合成指数である。

ESI は 76 のデータを、環境システム (Environmental System)、環境ストレスの削減 (Reducing Environmental Stresses)、人間脆弱性の削減 (Reducing Human Vulnerability)、社会・制度的能力 (Social and Institutional Capacity)、地球規模での責任 (Global Stewardship) の 5 構成要素に含まれる 21 指標の平均値として算出される。この試みは、持続可能性に関する環境、経済、社会、制度の諸指標を集計し、各国の持続可能性を評価しようとする点で興味深い。集計にあたっては、適切なデータ処理を施した上で、z 得点によって標準化し、標準正規パーセンタイルによって得点を算出しており、直感的にはわかりやすい。また、このような集計方法の採用により、貨幣評価指標では扱うことのできない要素を評価に組み込むことを可能にしている。さらに、集計前の指標や、構成要素レベルでの比較も可能である。

#### 7.1.5 EPI (Environmental Performance Index)

イェール大学のプロジェクトチームは、ESI に続いて、健康に対する環境ストレスの削減と生態系活力の促進、および健全な資源管理の達成度を測定する EPI と呼ばれる合成指数を提供している。この指数は、生態系活力と環境衛生の 2 つのサブテーマと、環境衛生、大気質、水資源、生物多様性と生息環境、生産的自然資源、持続可能なエネルギーの 6 つのカテゴリーからなる 16 の指標を、主成分分析と均等ウェイトによって重み付けした指数である。それぞれの指標に対しては、達成すべき目標が設定されており、目標値と実現値との乖離により各指標のスコアが算出される。

もっともはじめのバージョンは 2006 年に公表されており、つづいて 2008 年と 2010 年に更新されている。しかし、更新のたびに参入項目や重みづけに変更がなされているため、異なった年のものを単純に比較することはできない。ちなみに、最新の 2010 年版は、生態系活力のサブテーマに、気候変動、農業、漁業、森林、生態系と生息環境、水、大気汚染のカテゴリーが、環境衛生のサブテーマに、環境衛生、大気汚染、水のカテゴリーが取り上げられている。

### 7.1.6 ERRI (Environmental Regulatory Regime Index)

Esty and Porter(2001)で公表されている環境規制の質を評価する指標である。ERRIは、基準の厳格さ、規制の構造、規制の実施、環境制度、情報、補助金といった6つの観点から評価される。この指標は、持続可能性指標とはいえないが、環境政策のパフォーマンスや、環境ガバナンスの質を測定するものであり、持続可能な発展に必要な関連する政策の促進可能性を評価するものである。各サブ指標は標準化された上でz得点として公表されている。

### 7.1.7 EVI (Environmental Vulnerability Index)

Pacific Island Applied Geoscience Commission (SOPAC)は、自然に関する危険、復元力、損害の3つの脆弱性に対する50指標の算術平均としてEVIを公表している。また、これら50の指標は、気候変動、自然災害の脅威、生物多様性、砂漠化、水、農業・漁業、人の健康的側面に関連する政策の副指数に分類されている。データの収集範囲が80%を超える国の中では、シンガポール(428)、フィリピン(402)、キリバス(395)、日本(389)、オランダ(388)といった国々が環境的に脆弱であると評価されている。各国のスコアの分布をまとめると図11のようになり、サンプル全体の約15%にあたる35カ国は、極めて脆弱(extremely vulnerable)であると評価されている。ただし、ここでの評価は、指数の最大値と最小値を基準に50ポイントごとの5分位に分けただけであり、その意味において相対的な評価である。

### 7.1.8 NBI (National Biodiversity Index)

国際的な生物多様性指数としては、National Biodiversity Indexがある。NBIは、Convention on Biological Diversity (CBD)が提供する国レベルでの生物多様性の評価指数である。この指数は、4網の陸生脊椎動物および維管束植物の豊富さと固有性によって、国内の生物多様性を評価するものである。この指数は1から0で評価され、値が大きいほど多様性がある。

### 7.1.9 エコロジカル・フットプリント

エコロジカル・フットプリントは、Rees and Wackernagel(1994)によって提唱された。この指標は、経済活動を含めた人間の活動を支えるのに必要な土地面積として算出され、原子力フットプリント、炭素フットプリント、市街地フットプリント、漁場フットプリント、牧草地フットプリント、森林フットプリント、農耕地フットプリントの合計として算出される。他方、地球が供給可能な土地面積は、グローバル・バイオキャパシティーと呼ばれ、これを超過するエコロジカル・フットプリントは生態学的負債と呼ばれる。世界のエコロジカル・フットプリント合計は、2001年で1人あたり約2.2gha (global hectare)

である。一方で、グローバル・バイオキャパシティーは1人あたり約1.8ghaであり、現時点における人類の地球に対する生態学的需要はその供給を約22%超過している。

#### 7.1.10 小括

持続可能性指標を、算入項目、標準化、重みづけ、集計方法、持続可能性基準といった観点から整理すると表1のようにまとめられる。算入項目に関しては、どのような項目を持続可能な発展の指標として取り上げるべきかという問題が、持続可能な発展はどのように定義されるべきかという問題と直結していることから、持続可能な発展の定義の在り方について今一度検討が必要であることが示唆される。

標準化の方法に関しては、持続可能な発展と関連しているが、貨幣評価できない要素をどのようにして評価に組み入れることができるかという課題が存在している。そのような要素に関しては、パフォーマンス・ギャップ等の手法を採用することを検討する必要があるだろう。

重み付けに関しては、均等ウェイト、主成分分析等の統計的手法に基づいた客観的なウェイト、専門家によるバジェット・アロケーションといった手法が存在しているが、どのような重み付けをすべきかといった点については、客観的な判断基準が存在しないため、複数の重み付けによる指標を比較し、指標値のロバストネス・チェックをすることが不可欠であるといえる。

集計方法に関しては、集計指数を作成すべきか、指標群を作成すべきかといった課題が存在している。集計指数に関しては、集計による集計前指標値の補償可能性の問題や、集計指標が意味するものは何かといった点についての検討が不可欠である。同時に、指標群に関しては、それが、結果として複数の次元を持ち、複雑な情報をもたらすだけであるともいえ、簡潔で縮約的な情報を提供することを目的とするならば、何らかの形でそれらのデータを加工する必要がある。

持続可能性の判断基準については、絶対基準が存在しない相対評価指標に関して、どのようにして持続可能性の判断基準を設けるかという課題が存在する。この点は、標準化の方法とも関連しており、基準の設定と標準化については、同時に検討を要する。

表1 持続可能性指標の算入項目, 標準化の方法, 重み付け, 集計方法, 持続可能性の判断基準

指標	環境 的要素	経済 的要素	社会 的要素	制度 的要素	標準化	重み付け	集計	持続可能性の 判断基準
グリーン GDP	○	○			貨幣評価	均等	$\sum_{i=1}^N X_i$	通時的 に 非減少
NNW, ISEW,MEW,GPI	○	○	○		貨幣評価	均等	$\sum_{i=1}^N X_i$	通時的 に 非減少
ジェニユイン・ セイビング	○	○			貨幣評価	均等	$\sum_{i=1}^N X_i$	通時的 に 非減少
ESI	○	○	○	○	$\frac{X_i - \mu}{\sigma}$ a	均等, 専 門家によ る判断	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$	無し
EPI	○		○		目標=100 最低=0	均等・主 成分分析	$\sum_{i=1}^N w_i X_i$	無し
NBI	○				最大=1.000 最小=0.000	均等	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$	通時的 に 非減少
EVI	○				最大=7 最小=1	均等	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$	無し
エコロジカル・ フットプリント	○				gha	均等	$\sum_{i=1}^N X_i$	生態学 的 許容量 以下

注:  $X_i$  は第  $i$  ( $=1, \dots, N$ ) 番目のデータ,  $w_i$  は  $X_i$  に付与される重みをあらわす.

a:  $\mu$  は平均,  $\sigma$  は標準偏差をあらわす.

## 7.2 スティグリッツ・レポートの意義

持続可能性は、将来福祉の可能性を評価するものである。WCED(1987)の持続可能な発展の定義によれば、持続可能な発展とは「将来世代が自らのニーズを満たす能力を損なうことなく、現在世代のニーズを満たすような発展」であるとされる。この定義の前半部分は、将来福祉の可能性にかかわるものである。一方、定義の後半部分では、現在世代のニーズを満たすことが指摘されており、この定義に従うならば、持続可能な発展の達成のためには、現在世代のニーズを満たす必要がある。すなわち、持続可能な発展の評価のためには、将来福祉の可能性と、現在福祉の両方を考慮する必要があるといえる。

人々の福祉の評価と持続可能性の評価について、2009年にスティグリッツらを中心としたレポートが発表された (Stiglitz, et al., 2009)。このレポートでは、それらの評価に関する 12 の提言がおこなわれている。その内容を要約すると次のようになる。

- 1) 物質的な福祉の評価の際には、生産物というよりも所得と消費に注目すべきである
- 2) 家計という視点を強調すべきである
- 3) 所得、消費、資産（富）は同時に考慮されるべきである
- 4) 所得、消費、資産（富）の分配により注目すべきである
- 5) 所得測度を市場外活動にまで拡張すべきである
- 6) 生活の質は、人々の客観的な条件と能力に依存する。
- 7) すべての次元をカバーする生活の質の指標は、包括的に不平等を評価すべきである
- 8) 個々人のさまざまな生活の質の領域の繋がりを評価するように調査をデザインすべきである
- 9) 異なった指数を構築できるよう、生活の質のさまざまな次元を集計できるようにデータを整備すべきである
- 10) 客観的福祉と主観的福祉の両方が、ひとびとの生活の質に関する重要な情報を提供する
- 11) 持続可能性評価は、しっかりと識別された指標のダッシュボードを必要とする
- 12) 持続可能性の環境的側面は、よく選ばれた物理的指標に基づいた追跡的観察に向けられるべきである

提言の 1)から 5)までは、これまでの GDP 指標への批判と同様であり、物質的豊かさの計測問題にかかわる指摘といえる。また 6)から 10)は、生活の質の計測にかかわるもので、物質的生活水準や教育、健康、仕事を含めた個人的な活動、政治的発言権、社会的つながり、環境などの複数の次元から評価すべきことが指摘されている。同時に、客観的な情報のみならず、個々人の主観的評価にかかわる情報を用いるべきであると提言している。11)および 12)は、持続可能性の評価に関するものであり、ここでは、指標のダッシュボードの整備と物理的指標による環境的持続可能性評価が強調されているといえる。すなわち、



持続可能性の評価の際には、複数の指標による多面的なチェックと、環境に関する物理的な指標の選定とその利用が重要であることが指摘されている。以降の節では、このステイグリッツ・レポートの提言をベースに分析を進める。

### 7.3 GS とその他の指標を用いた持続可能性に関する二次元評価

ステイグリッツ・レポートで示されているように、持続可能性の評価にはしっかりと識別された指標のダッシュボードと、物理的な環境指標による危険水準のプロキシの必要性が指摘されている。しかしながら、これまでのところ、持続可能性指標に関する確立された指標ダッシュボードがあるわけではなく、国際的な標準が存在するわけでもない。また、危険水準のプロキシとなりうる物理的な環境指標についても、コンセンサスの取れた確立された指標が存在するわけでもない。そこで、ここでは、冒頭でみた持続可能性指標ならびにそれに準ずる指標について、ジェニユイン・セイビング (GS)、Environmental Sustainability Index (ESI)、Environmental Performance Index (EPI)、Environmental Regulatory Regime Index (ERRI)、Environmental Vulnerability Index (EVI)、National Biodiversity Index (NBI)、エコロジカル・フットプリント(EF)の7つの指標を取り上げ、これらの指標に基づいた、持続可能性に関する複数次元評価を行う。

本研究では、上記の指標を用いた相関分析を行い、それぞれの指標が持続可能性の異なった側面をとらえていることを明らかにした。ここでは、その点をより詳細に明らかにする。分析の中で中心的に扱うのは、本研究サブテーマで扱っているジェニユイン・セイビングである。ここでは、ジェニユイン・セイビングと他の指標による2次元評価を行い、それぞれの次元で、どの国が持続可能性基準を満たしうるのかを分析する。ESI および EPI、ERRI は、ジェニユイン・セイビングの代替的な持続可能性指標として位置づけられる。また、EVI および NBI、エコロジカル・フットプリントは、物理的な環境指標としての位置づけを持つ。

ここで取り上げる7つの指標のうち、持続可能性基準を客観的に示すことができるのは、ジェニユイン・セイビングとエコロジカル・フットプリントのみである。GS は、指標値が非負 ( $GS \geq 0$ ) をもって持続可能性を判断できる。すなわち、この値が非負であれば、その国の総資本ストック水準は非減少となるため、持続可能であると考えられる。また、エコロジカル・フットプリントについては、地球の環境容量である1人あたり1.8ghaを許容限界とみなし、これを超える場合には持続可能でないと判断する。この他の指標に関しては、指標値が、その算出の際のサンプル内での相対評価値として示されていたり、持続可能か可能でないかの判断に必要な客観的な基準がないといった問題がある。したがって、分析に用いたサンプルの平均値をベンチマークとして採用することにする。

### 7.3.1 GS 対 ESI

図 1 は、横軸に GS、縦軸に ESI を取った散布図である。軸の交点を GS=0 および ESI=50 となるように取っている。第 1 象限に属する国は両方の基準を満たし、第 2 および第 4 象限に属する国は一方の基準のみを満たし、第 3 象限に属する国はいずれの基準も満たさない。表 2 にそれぞれの象限の指標平均値と国数をまとめている。

図 1 GS（横軸）と ESI（縦軸）の散布図

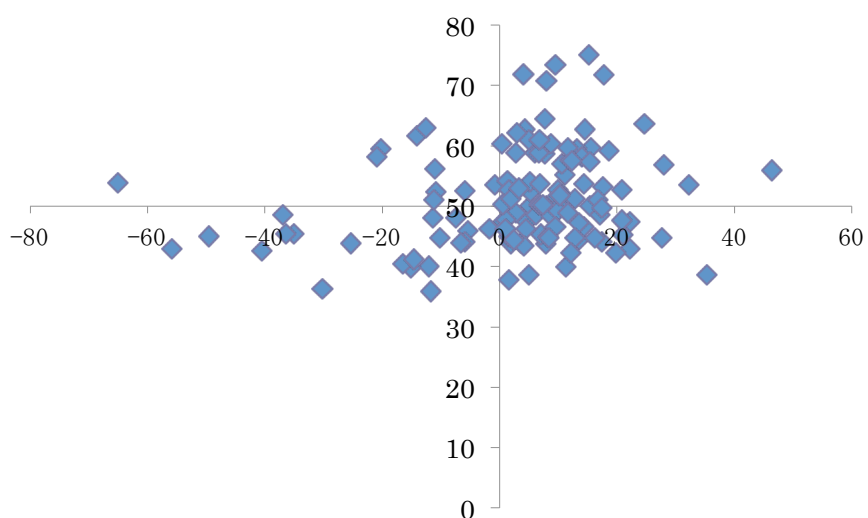


表 2 GS 対 ESI の要約

	第 1 象限	第 2 象限	第 3 象限	第 4 象限
GS 基準	○	×	×	○
ESI 基準	○	○	×	×
GS 平均	10.91	-17.26	-21.44	10.93
ESI 平均	56.95	56.18	43.44	45.19
国数	57 (44.8%)	10 (7.9%)	20 (15.7%)	39 (31.0%)

表 3 は、各象限に属する国のリストである。第 1 象限にはいわゆる先進国が多く属すが、第 2 象限には顕著な特徴はない。第 3 象限にはアフリカ諸国および産油国が、第 4 象限にはアフリカ、中南米、アジア諸国が多く含まれている。

表3 GS と ESI による二次元評価

第1象限	第2象限	第3象限	第4象限
フィンランド	ガイアナ	カザフスタン	タイ
ノルウェー	ガボン	ギニア	マラウイ
ウルグアイ	ボリビア	ベネズエラ	スペイン
スウェーデン	エストニア	ルーマニア	インドネシア
アイスランド	ロシア	アルジェリア	ギニアビサウ
カナダ	コンゴ共和国	アゼルバイジャン	スリランカ
スイス	チリ	ナイジェリア	キルギス
オーストリア	カメルーン	チャド	ヨルダン
アルゼンチン	エクアドル	モザンビーク	ネパール
ブラジル	ザンビア	コンゴ民主共和国	ベナン
ニュージーランド		エジプト	ホンジュラス
オーストラリア		シリア	コートジボアール
ラトビア		アンゴラ	マケドニア
ペルー		モーリタニア	チェコ
パラグアイ		ジンバブエ	トルコ
コスタリカ		レバノン	メキシコ
クロアチア		ブルンジ	南アフリカ
アイルランド		イラン	ケニア
リトアニア		トリニダード・トバゴ	インドネシア
コロンビア		スーダン	ポーランド
アルバニア			ニジェール
中央アフリカ			モロッコ
デンマーク			ルワンダ
パナマ			ジャマイカ
スロベニア			ウクライナ
日本			トーゴ
ドイツ			ベルギー
ナミビア			バングラデシュ
ボツワナ			グアテマラ
フランス			エルサルバドル
ポルトガル			ドミニカ共和国

マレーシア			シエラレオネ
オランダ			韓国
マリ			フィリピン
ブータン			ベトナム
アルメニア			パキスタン
アメリカ合衆国			中国
ベラルーシ			タジキスタン
ガーナ			エチオピア
スロバキア			
ラオス			
ハンガリー			
チュニジア			
グルジア			
ウガンダ			
モルドバ			
セネガル			
タンザニア			
イギリス			
ニカラグア			
マダガスカル			
ギリシャ			
イタリア			
カンボジア			
モンゴル			
ガンビア			
ブルガリア			

### 7.3.2 GS 対 EPI

図 2 は、横軸に GS、縦軸に EPI を取った散布図である。軸の交点を GS=0 および EPI=65 となるように取っている。第 1 象限に属する国は両方の基準を満たし、第 2 および第 4 象限に属する国は一方の基準のみを満たし、第 3 象限に属する国はいずれの基準も満たさない。表 4 にそれぞれの象限の指標平均値と国数をまとめている。

図 2 GS（横軸）と EPI（縦軸）の散布図

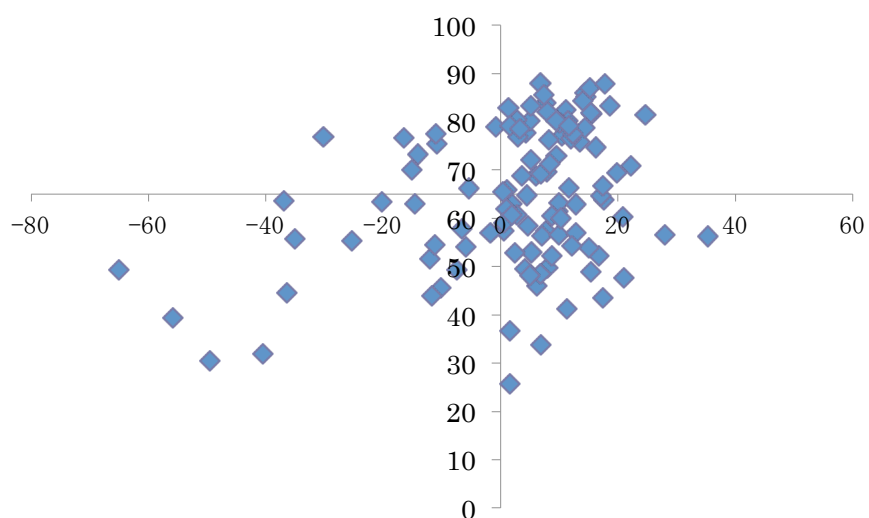


表 4 GS 対 EPI の要約

	第 1 象限	第 2 象限	第 3 象限	第 4 象限
GS 基準	○	×	×	○
EPI 基準	○	○	×	×
GS 平均	10.16	-13.02	-24.80	9.77
EPI 平均	77.71	74.38	50.58	54.01
国数	47 (41.6%)	8 (7.1%)	18 (15.9%)	40 (35.4%)

表 5 は、各象限に属する国のリストである。各象限に属する国の傾向は、ESI の場合と同様である。すなわち、第 1 象限にはいわゆる先進国が多く属すが、第 2 象限には顕著な特徴はない。第 3 象限にはアフリカ諸国および産油国が、第 4 象限にはアフリカ、中南米、アジア諸国が多く含まれている。

表 5 GS と EPI による二次元評価

第 1 象限	第 2 象限	第 3 象限	第 4 象限
ニュージーランド	チリ	カザフスタン	メキシコ
スウェーデン	ロシア	ボリビア	スリランカ
フィンランド	トリニダード・トバゴ	ジンバブエ	アルメニア
チェコ	レバノン	エジプト	ガーナ
イギリス	エクアドル	ルーマニア	エルサルバドル
オーストリア	ガボン	アゼルバイジャン	モルドバ
デンマーク	イラン	シリア	南アフリカ
カナダ	アルジェリア	ザンビア	グルジア
アイルランド		カメルーン	ウガンダ
マレーシア		ブルンジ	インドネシア
ポルトガル		コンゴ共和国	キルギス
フランス		ギニア	ネパール
アイスランド		モザンビーク	チュニジア
日本		ナイジェリア	タンザニア
コスタリカ		スーダン	ベナン
スイス		アンゴラ	コートジボアール
コロンビア		モーリタニア	中央アフリカ共和国
ギリシャ		チャド	ルワンダ
ノルウェー			ナミビア
オーストラリア			マラウイ
イタリア			ケニア
ドイツ			中国
スペイン			ベトナム
スロバキア			スワジランド
オランダ			ラオス
アメリカ合衆国			トーゴ
アルゼンチン			ガンビア
スロベニア			セネガル
ハンガリー			カンボジア
ブラジル			シエラレオネ
パナマ			モンゴル

ポーランド			マダガスカル
ベルギー			タジキスタン
ジャマイカ			インドネシア
トルコ			ギニアビサウ
ブルガリア			バングラデシュ
ウクライナ			パキスタン
ホンジュラス			エチオピア
ドミニカ共和国			マリ
フィリピン			ニジェール
ニカラグア			
アルバニア			
グアテマラ			
タイ			
パラグアイ			
ヨルダン			
ペルー			

### 7.3.3 GS 対 ERRI

図 3 は、横軸に GS、縦軸に ERRI を取った散布図である。軸の交点を GS=0 および ERRI=0 となるように取っている。第 1 象限に属する国は両方の基準を満たし、第 2 および第 4 象限に属する国は一方の基準のみを満たし、第 3 象限に属する国はいずれの基準も満たさない。表 6 にそれぞれの象限の指標平均値と国数をまとめている。

図 3 GS（横軸）と ERRI（縦軸）の散布図

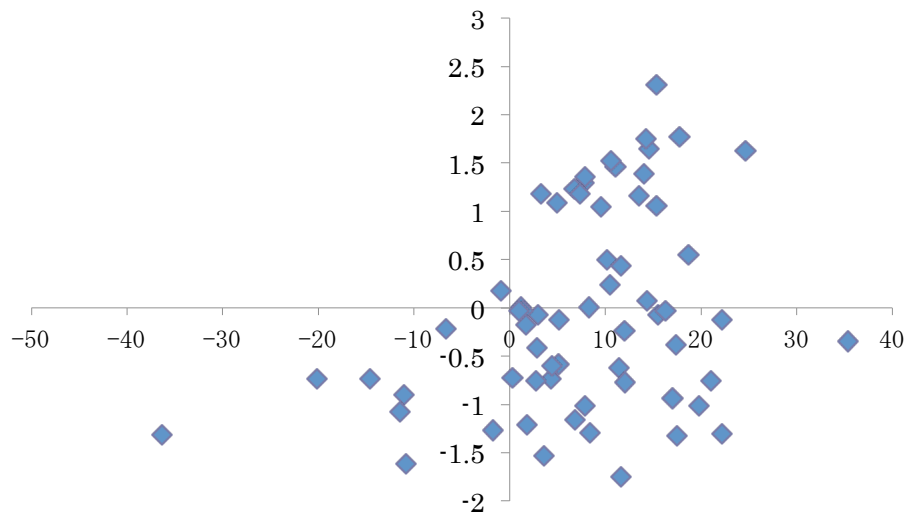


表 6 GS 対 ERRI の要約

	第 1 象限	第 2 象限	第 3 象限	第 4 象限
GS 基準	○	×	×	○
ERRI 基準	○	○	×	×
GS 平均	11.38	-0.92	-14.12	10.39
ERRI 平均	1.08	0.18	-0.98	-0.67
国数	24 (38.1%)	1 (1.6%)	8 (12.7%)	30 (47.6%)

表 7 は、各象限に属する国のリストである。第 1 象限は、チェコ、ハンガリー、ポーランド、ヨルダンを除いたすべてが先進国で占められている。また、第 2 象限には該当するのはチリのみである。第 3 象限は産油国が、第 4 象限は一部の先進国と中南米、アジア諸国が占めている。



表 7 GS と ERRI による二次元評価

第 1 象限	第 2 象限	第 3 象限	第 4 象限
フィンランド	チリ	エジプト	ポルトガル
スウェーデン		ジンバブエ	南アフリカ
オランダ		ボリビア	ジャマイカ
オーストリア		ロシア	ブラジル
スイス		ベネズエラ	コスタリカ
ドイツ		ルーマニア	韓国
フランス		ナイジェリア	マレーシア
デンマーク		エクアドル	スロバキア
アイスランド			パナマ
カナダ			中国
ニュージーランド			タイ
イギリス			コロンビア
アメリカ合衆国			ブルガリア
ベルギー			メキシコ
オーストラリア			ギリシャ
日本			ペルー
ノルウェー			アルゼンチン
アイルランド			インドネシア
イタリア			インドネシア
スペイン			ベトナム
ハンガリー			スリランカ
チェコ			フィリピン
ポーランド			ドミニカ共和国
ヨルダン			ニカラグア
			エルサルバドル
			ウクライナ
			ホンジュラス
			バングラデシュ
			グアテマラ
			パラグアイ

### 7.3.4 GS 対 EVI

図 4 は、横軸に GS、縦軸に EVI を取った散布図である。軸の交点を GS=0 および EVI=300 となるように取っている。EVI は環境脆弱性の指標であり、値が大きいほど脆弱であることを意味するため、図の見方がこれまでとは異なる点に注意されたい。第 4 象限に属する国は両方の基準を満たし、第 1 および第 3 象限に属する国は一方の基準のみを満たし、第 2 象限に属する国はいずれの基準も満たさない。表 8 にそれぞれの象限の指標平均値と国数をまとめている。

図 4 GS (横軸) と EVI (縦軸) の散布図

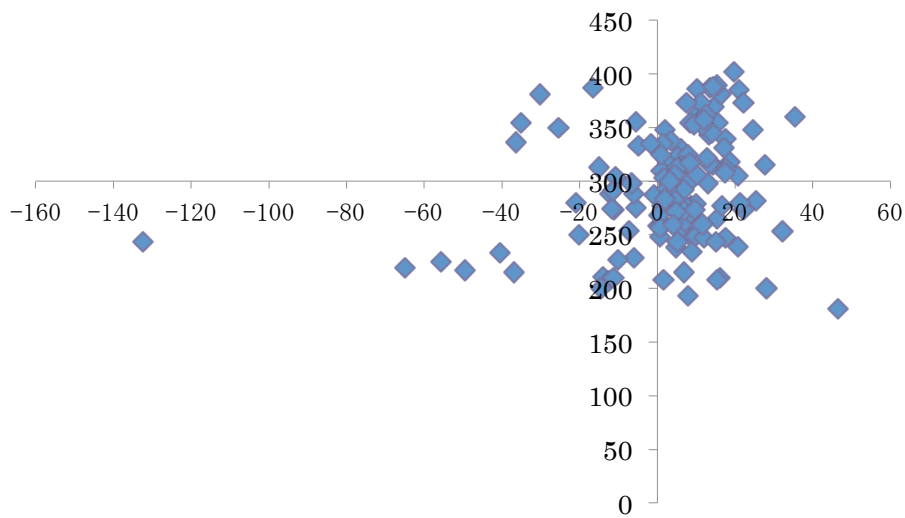


表 8 GS 対 EVI の要約

	第 1 象限	第 2 象限	第 3 象限	第 4 象限
GS 基準	○	×	×	○
EVI 基準	×	×	○	○
GS 平均	12.02	-18.18	-24.46	10.00
EVI 平均	342.56	344.80	247.57	258.67
国数	52 (38.0%)	10 (7.3%)	23 (16.8%)	52 (38.0%)

表 9 は、各象限に属する国のリストである。これまでの結果と異なり、第 4 象限にアフリカ諸国が多く含まれるという特徴はあるが、各象限に属する国々に、所得水準や地理的配置に関する目立った特徴はみられない。

表 9 GS と EVI による二次元評価

第 1 象限	第 2 象限	第 3 象限	第 4 象限
フィリピン	レバノン	エジプト	ルワンダ
日本	トリニダード・トバゴ	ベネズエラ	アイスランド
オランダ	セイシェル	コンゴ民主共和国	コロンビア
ベルギー	アゼルバイジャン	ブルンジ	トーゴ
イタリア	シリア	チリ	ニュージーランド
インド	ナイジェリア	エストニア	アルゼンチン
ジャマイカ	ルーマニア	アルジェリア	シエラレオネ
韓国	フィジー	スーダン	ウガンダ
パキスタン	イラン	ロシア	カーボベルデ
イギリス	エクアドル	ギニア	ブラジル
オーストリア		ボリビア	レソト
ハンガリー		赤道ギニア	ガーナ
スロベニア		モーリタニア	マダガスカル
フランス		カメルーン	ベナン
中国		モザンビーク	セネガル
モーリシャス		アンゴラ	ガンビア
ベトナム		コンゴ共和国	コモロ
ドイツ		チャド	ホンジュラス
コスタリカ		カザフスタン	ノルウェー
ポーランド		ガボン	ニカラグア
ギリシャ		ザンビア	ギニアビサウ
トルコ		ガイアナ	タジキスタン
スペイン		ジンバブエ	ラトビア
スイス			カンボジア
エルサルバドル			ペルー
デンマーク			フィンランド
クロアチア			ケニア
バングラデシュ			グルジア
グアテマラ			パラグアイ
ポルトガル			エチオピア
スリランカ			ウルグアイ
アルバニア			ベリーズ

ドミニカ共和国			タンザニア
南アフリカ			エリトリア
ブルガリア			ブータン
モルドバ			カナダ
アイルランド			マラウイ
ウクライナ			コートジボアール
マケドニア			アルメニア
インドネシア			パナマ
モロッコ			スワジランド
チェコ			ラオス
リトアニア			ベラルーシ
マレーシア			オーストラリア
スウェーデン			キルギス
ヨルダン			マリ
タイ			ジブチ
チュニジア			モンゴル
メキシコ			ニジェール
ネパール			ナミビア
スロバキア			中央アフリカ共和国
アメリカ合衆国			ボツワナ

### 7.3.5 GS 対 NBI

図 5 は、横軸に GS、縦軸に NBI を取った散布図である。軸の交点を  $GS=0$  および  $NBI=0.55$  となるように取っている。第 1 象限に属する国は両方の基準を満たし、第 2 および第 4 象限に属する国は一方の基準のみを満たし、第 3 象限に属する国はいずれの基準も満たさない。表 10 にそれぞれの象限の指標平均値と国数をまとめている。

図 5 GS（横軸）と NBI（縦軸）の散布図

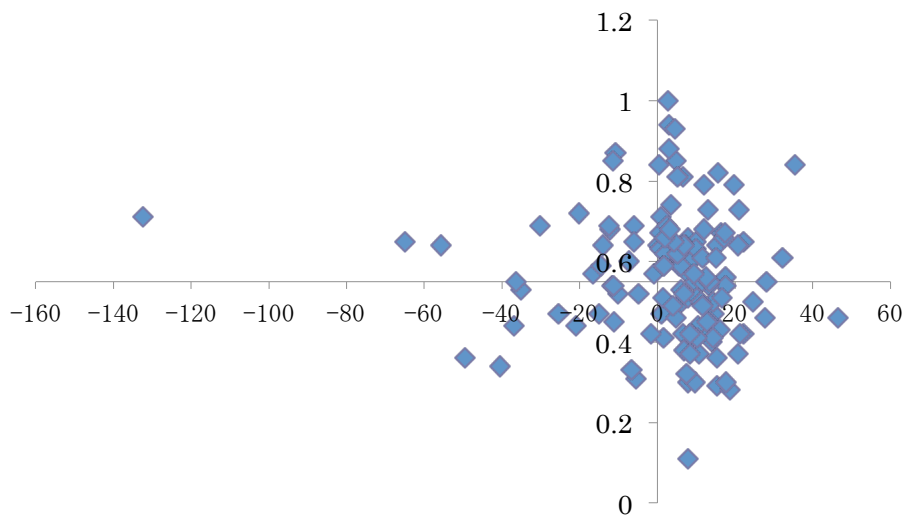


表 10 GS 対 NBI の要約

	第 1 象限	第 2 象限	第 3 象限	第 4 象限
GS 基準	○	×	×	○
NBI 基準	○	○	×	×
GS 平均	9.51	-30.66	-19.64	11.52
NBI 平均	0.76	0.72	0.49	0.49
国数	28 (21.1%)	10 (7.5%)	22 (16.5%)	73 (54.9%)

表 11 は、各象限に属する国のリストである。第 1 象限には、中南米、アジア、一部の 아프리카諸国が多く含まれている。第 2 象限は、中米およびアフリカ諸国が、第 3 象限には産油国とアフリカ諸国が含まれている。第 4 象限にはさまざまな国がふくまれており、所得水準や地理的配置に関する顕著な特徴はみられない。

表 11 GS と NBI による二次元評価

第 1 象限	第 2 象限	第 3 象限	第 4 象限
インドネシア	エクアドル	ガボン	ネパール

コロンビア	ベネズエラ	アンゴラ	日本
メキシコ	ボリビア	ギニア	ケニア
ブラジル	赤道ギニア	ジンバブエ	ニカラグア
オーストラリア	カメルーン	チリ	ベリーズ
中国	ガイアナ	レバノン	マラウイ
ペルー	トリニダード・トバゴ	ナイジェリア	コートジボアール
コスタリカ	ブルンジ	ザンビア	ラオス
マダガスカル	コンゴ民主共和国	スーダン	ベナン
マレーシア	コンゴ共和国	アゼルバイジャン	アルゼンチン
フィリピン		フィジー	エルサルバドル
パナマ		モザンビーク	ブータン
グアテマラ		イラン	スワジランド
インドネシア		シリア	パラグアイ
ルワンダ		ロシア	ガンビア
南アフリカ		エストニア	ギニアビサウ
トーゴ		カザフスタン	エリトリア
ベトナム		ルーマニア	スロバキア
アメリカ合衆国		チャド	エチオピア
タイ		モーリタニア	トルコ
ジャマイカ		エジプト	カンボジア
タンザニア		アルジェリア	アルメニア
スリランカ			スロベニア
ドミニカ共和国			ナミビア
ウガンダ			マケドニア
ホンジュラス			ギリシャ
ガーナ			ゲルジア
シエラレオネ			バングラデシュ
			クロアチア
			アルバニア
			ニュージーランド
			セネガル
			イタリア
			中央アフリカ
			ポルトガル
			スイス

			チェコ
			パキスタン
			スペイン
			ブルガリア
			ウルグアイ
			オーストリア
			ヨルダン
			ボツワナ
			モロッコ
			タジキスタン
			ベルギー
			モルドバ
			ハンガリー
			ジブチ
			韓国
			レソト
			フランス
			ラトビア
			ウクライナ
			リトアニア
			オランダ
			チュニジア
			キルギス
			ニジェール
			デンマーク
			マリ
			ベラルーシ
			ドイツ
			ポーランド
			モンゴル
			イギリス
			スウェーデン
			ノルウェー
			カナダ
			フィンランド

			アイルランド
			アイスランド

### 7.3.6 GS 対 EF

図 6 は、横軸に GS、縦軸に EF を取った散布図である。軸の交点を GS=0 および EF=1.8 となるように取っている。EF は環境負荷の指標であり、値が大きいほど負荷が高いことを意味する点に注意されたい。第 4 象限に属する国は両方の基準を満たし、第 1 および第 3 象限に属する国は一方の基準のみを満たし、第 2 象限に属する国はいずれの基準も満たさない。表 12 にそれぞれの象限の指標平均値と国数をまとめている。

図 6 GS（横軸）と EF（縦軸）の散布図

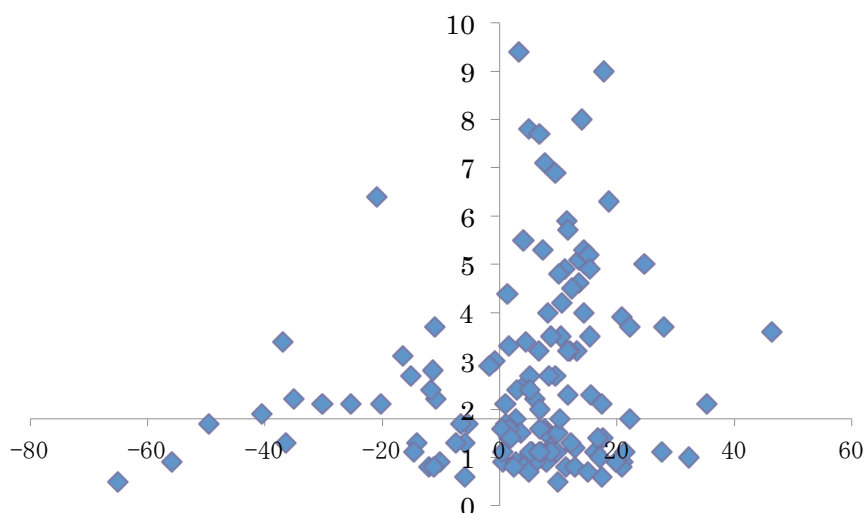


表 12 GS 対 EF の要約

	第 1 象限	第 2 象限	第 3 象限	第 4 象限
GS 基準	○	×	×	○
EF 基準	×	×	○	○
GS 平均	12.04	-19.23	-21.46	9.82
EF 平均	4.21	2.87	1.14	1.12
国数	55 (43.0%)	15 (11.7%)	14 (10.9%)	44 (34.4%)

表 13 は、各象限に属する国のリストである。第 1 象限には、先進国、東欧、中南米諸国が含まれており、第 2 象限には産油国が多く含まれる。第 3 象限は、すべての国がアフリカ大陸に属しており、第 4 象限はアジアおよびアフリカ諸国が多くを占めている。



表 13 GS と EF による二次元評価

第 1 象限	第 2 象限	第 3 象限	第 4 象限
アメリカ合衆国	モーリタニア	コンゴ共和国	ヨルダン
スウェーデン	ボリビア	コンゴ民主共和国	中央アフリカ
デンマーク	シリア	ザンビア	マリ
オーストラリア	タイ	ブルンジ	エルサルバドル
ニュージーランド	エクアドル	モザンビーク	ニジェール
カナダ	アゼルバイジャン	アンゴラ	ペルー
ノルウェー	スーダン	ジンバブエ	ガーナ
アイルランド	イラン	カメルーン	ドミニカ共和国
ギリシャ	ベネズエラ	ギニア	グアテマラ
スペイン	ルーマニア	ガボン	アルメニア
ウルグアイ	チリ	ナイジェリア	セネガル
チェコ	レバノン	アルジェリア	ウガンダ
イギリス	カザフスタン	エジプト	エチオピア
フィンランド	ロシア	チャド	ベトナム
ベルギー	エストニア		モルドバ
スイス			ガンビア
オーストリア			モロッコ
日本			レソト
フランス			ジャマイカ
イタリア			グルジア
マケドニア			キルギス
スロベニア			ケニア
ポルトガル			マダガスカル
ドイツ			エリトリア
オランダ			ラオス
ポーランド			タンザニア
ベラルーシ			ブータン
ナミビア			スリランカ
韓国			ベナン
ボツワナ			インド
モンゴル			フィリピン
ハンガリー			カンボジア
ラトビア			ギニアビサウ

メキシコ			インドネシア
スロバキア			コートジボアール
クロアチア			ネパール
パナマ			ルワンダ
パラグアイ			パキスタン
リトアニア			シエラレオネ
トルコ			トーゴ
ウクライナ			スワジランド
ブルガリア			タジキスタン
アルゼンチン			バングラデシュ
マレーシア			マラウイ
ブラジル			
コスタリカ			
モーリシャス			
アルバニア			
中国			
タイ			
南アフリカ			
ニカラグア			
ホンジュラス			
チュニジア			
コロンビア			

### 7.3.7 小括

ここでは、GS を1つの中心的な持続可能性指標として位置づけた上で、他の持続可能性指標を含めた2次元評価を合わせて6つおこなった。それぞれの評価において横断的に確認できた点をまとめると次のようになる。

- (1) それぞれの2次元評価で両基準を満たす国の比率は、NBI および EF を用いた場合以外では約4割である
- (2) 一方、それぞれの2次元評価で両基準をいずれも満たさない国の比率は、EVIを除くと約15%程度である
- (3) また、いずれか一方の基準のみを満たす国の比率がいずれの場合でも最も高く、4割から6割を占めている
- (4) 6つすべての2次元評価で、2つの基準を同時に満たした国はない

#### 7.4 持続可能性の複数次元評価

前節までの分析で、GSをはじめとする7つの指標を用いた持続可能性に関する2次元評価をおこなった。ここでは、それらの分析をさらに集計的に扱った際にどのようなことがいえるのかを示す。

まず、前節の分析で使用した7つの指標の評価基準を表14に再び示す。

表 14 持続可能性基準

指標	GS	ESI	EPI	ERRI	EVI	NBI	EF
基準	GS $\geq$ 0	ESI $\geq$ 50	EPI $\geq$ 65	ERRI $\geq$ 0	EVI<300	NBI $\geq$ 0.55	EF<1.8

ここで、ある国が上記の1つの指標の基準を満たした場合1点を付与し、満たさない場合には0点を与える。すべての指標の基準を満たせば合計で7点となり、ひとつも満たさない場合には0点となる。すべての指標データがそろっている国だけを分析対象とすると、サンプルが減少するため、データが欠損している場合は0点を充てる。ここで使用した210の国および地域の中で、この指標値が7点である国はひとつもなかった。

最高点の6点を取る国は、オーストラリア、コロンビア、ペルーの3か国であり、5点を取る国はあわせて25か国である。日本はこの25か国の中に含まれており、EVIとEFで基準を満たしていない。このスコアの上位のリストをみると、5点を取る国の中には、アルメニア、ブータン、カンボジア、ガンビア、ガーナ、ニカラグアなどが含まれており、所得水準とランキングとの間に強い関係はみられない（表16-1および16-2）。

以上より、持続可能性の評価の際に、異なった複数の基準を設けた場合、それらのすべてを満たすようなケースは少ないことが明らかになった。

表 15 基準の通過

得点	6点	5点	4点	3点	2点	1点
国数	3	25	39	40	31	20

表 16-1 各国の持続可能性得点（1）

国名	得点	国名	得点	国名	得点
オーストラリア	6	アルゼンチン	5	オーストリア	4
コロンビア	6	アルメニア	5	ベナン	4
ペルー	6	ブータン	5	カメルーン	4
		ブラジル	5	中央アフリカ共和国	4
		カンボジア	5	コンゴ共和国	4

		カナダ	5	コスタリカ	4
		チリ	5	コートジボアール	4
		フィンランド	5	デンマーク	4
		ガボン	5	ドミニカ共和国	4
		ガンビア	5	エリトリア	4
		グルジア	5	エチオピア	4
		ガーナ	5	フランス	4
		ホンジュラス	5	ドイツ	4
		アイスランド	5	ギリシャ	4
		日本	5	グアテマラ	4
		ラオス	5	ギニアビサウ	4
		マダガスカル	5	ハンガリー	4
		ニュージーランド	5	アイルランド	4
		ニカラグア	5	イスラエル	4
		ノルウェー	5	イタリア	4
		パナマ	5	ジャマイカ	4
		パラグアイ	5	ヨルダン	4
		タンザニア	5	ケニア	4
		ウガンダ	5	マラウイ	4
		アメリカ合衆国	5	マレーシア	4
				マリ	4
				ナミビア	4
				オランダ	4
				フィリピン	4
				ルワンダ	4
				セネガル	4
				シエラレオネ	4
				スロバキア	4
				スロベニア	4
				スワジランド	4
				スウェーデン	4
				スイス	4
				トーゴ	4
				イギリス	4

表 16-2 各国の持続可能性得点 (2)

国名	得点	国名	得点	国名	得点
アルバニア	3	アフガニスタン	2	バハマ	1
アルジェリア	3	バングラデシュ	2	ボスニア	1
アンゴラ	3	ケープベルデ	2	ブルキナファソ	1
ベラルーシ	3	チャド	2	キューバ	1
ベルギー	3	中国	2	キプロス	1
ベリーズ	3	コモロ	2	香港	1
ボリビア	3	クロアチア	2	イラン	1
ボツワナ	3	ジブチ	2	イラク	1
ブルガリア	3	エジプト	2	カザフスタン	1
ブルンジ	3	赤道ギニア	2	北朝鮮	1
コンゴ民主共和国	3	エストニア	2	韓国	1
チェコ	3	ハイチ	2	モーリタニア	1
エクアドル	3	レバノン	2	モーリシャス	1
エルサルバドル	3	リトアニア	2	ミャンマー	1
ギニアビサウ	3	マケドニア	2	ニューカレドニア	1
ガイアナ	3	メキシコ	2	サントメプリンシペ	1
インド	3	モロッコ	2	ソマリア	1
インドネシア	3	モザンビーク	2	スーダン	1
キルギス	3	ナイジェリア	2	トルクメニスタン	1
ラトビア	3	オマーン	2	パヌアツ	1
レソト	3	パキスタン	2		
リベリア	3	パプアニューギニア	2		
モルドバ	3	サウジアラビア	2		
モンゴル	3	ソロモン諸島	2		
ネパール	3	南アフリカ	2		
ニジェール	3	トリニダード・トバゴ	2		
ポーランド	3	ウクライナ	2		
ポルトガル	3	アラブ首長国連邦	2		
ロシア	3	ウズベキスタン	2		
スペイン	3	ベネズエラ	2		
スリランカ	3	イエメン	2		
スリナム	3				
タジキスタン	3				

タイ	3				
チュニジア	3				
トルコ	3				
ウルグアイ	3				
ベトナム	3				
ザンビア	3				
ジンバブエ	3				

## 7.5 GS とその他の持続可能性指標、および客観的福祉の関係

WCED の持続可能な発展の定義には、将来福祉の可能性と現在福祉の 2 つの観点が盛り込まれていることは既に議論したとおりである。前節までで、複数の持続可能性指標を検討したが、ここでは、それらの指標と、現在福祉に関する客観指標との間の関係を分析する。そのために、まず、現在福祉に関する合成指標を作成する。

### 7.5.1 客観的福祉の合成指標

スティグリッツ・レポートで示されたように、生活の質の計測に際しては、物質的 생활水準や教育、健康、仕事を含めた個人的な活動、政治的発言権、社会的つながり、環境などの複数の次元を考慮する必要がある。同時に、客観的な情報のみならず、個々人の主観的評価にかかわる情報を用いるべきであると提言している。しかし、国際比較という観点から現時点のデータ整備の状況を考えると、包括的な形でひとびとの生活の質を計測、もしくは評価することは容易でない。たとえば、所得不平等度を測るジニ係数や、教育水準の指標としての成人識字率、国際比較が可能な主観指標などは、データ整備が必ずしも十分ではない。

そこで、ここでは、生活の質を構成する客観的福祉に関する合成指標（Composite Well-being Index, CWI）の構築を試みる。指標の作成にあたっては、データの利用可能性を考慮して指標を選択した。ここで取り上げるのは、粗死亡数（DR）、出生児平均余命（LE）、乳幼児死亡率（iMR）、5歳未満幼児死亡率（u5MR）、HIV 発症率（HIV）、栄養失調人口比率（PUN）、初等教育就学率（pSE）、中等教育就学率（sSE）、失業率（UE）、発言権と説明責任（VA）の 10 指標である。これらの指標を、健康、教育、労働、制度の 4 つサブ・コンポーネントに分類し、均等ウェイトをかけることにより集計する。それぞれの指標は、測定単位が異なるため、HDI (Human Development Index) で用いられている標準化方法のパフォーマンス・ギャップを計算することで、単位をそろえている。実際には次のような計算式に基づいて合成指標を構築する。

$$CWI=1/4*1/6(DR+LE+iMR+u5MR+HIV+PUN)+1/4*1/2(pSE+sSE)+1/4*UE+1/4*VA$$

この集計方法は、健康、教育、労働、制度の4つのコンポーネントを等しく扱い、同時にそのコンポーネントに含まれる各々の指標も等しく扱うという意味を持っている。欠損値を除去した結果46か国について、この客観的福祉に関する合成指標を作成できた。

### 7.5.1 相関分析

前節のように計算された客観的福祉に関する合成指標とこれまで扱ってきた持続可能性指標との相関係数は表17のようにまとめられる。

表17 客観的福祉と持続可能性指標の相関

GS	ESI	EPI	ERRI	EVI	NBI	EF
0.3817	0.5395	0.8397	0.8130	0.1939	-0.3410	0.7477
(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.20)	(0.00)	(0.00)
n=46	n=45	n=42	n=32	n=45	n=45	n=46

\* ()内は p 値、n は観察数。

まず、CWIとGS、ESI、EPI、ERRIは有意に正の相関を示しており、これらのケースでは、将来福祉の可能性と客観的福祉は両立しうることが示される。一方で、CWIとNBIは有意に負の相関を示しており、客観的福祉の水準が高いところでは、生物多様性が脅かされていることがわかる。また、CWIとEFは有意に正の相関を示しており、客観的福祉の水準が高いところでは、地球の環境容量に与える負荷が高いといえる。ここでの結果からわかるように、選択する持続可能性指標によっては、現在の客観的福祉と将来福祉の可能性はトレード・オフを示す場合がある。

### 7.6 結論(行政ニーズとの関連及び政策的インプリケーション)

本サブテーマでの研究の結論とインプリケーションは次のようである。

(1) 持続可能性評価は、多元的な観点から行われるべきである

持続可能な発展の定義が、百以上もあると言われることからわかるように、それぞれの持続可能性指標は、独自の背景枠組を持っている。同時に、それらには各々、一長一短があるといえる。本テーマで中心的に扱っているGSに限ってみても、そのことは明白である。GSは、生産基盤としての資本ストックに注目し、その時間変分の価値を計測することによって、ある経済の持続可能性を判定する。このアプローチは、新古典派経済理論と整合的で、指標の論理的背景が非常に明確であるという点で、他の持続可能性指標を凌いでいるといえる。しかしながら、少なくとも次の2つの点で、議論の余地が残されている。第一の問題は、資本間の代替可能性に関する仮定である。すなわち、ある自然資本や天然

資源の減耗分は、他の資本ストックの蓄積によって相殺できるという想定である。この仮定は、市場メカニズムが万全に機能し、ある資源や環境サービスの希少性が、市場価格に適切に反映される場合にのみ当てはまる。しかし、実際には、資源や環境に関する外部性のほとんどは内部化されておらず、資本間の代替の弾力性に関しては不確実な部分が多く存在するといえる。この代替可能性に関する仮定は、自然環境の物理的側面に注目する強い持続可能性の立場から批判されている。

第二の問題は、各国の相互依存関係に関する情報の欠損である。この点については、本テーマでも、理論的および実証的に検討がなされてきたが、議論の余地は残されている。たとえば、日本のGSは正の値を取り、持続可能であると判断されるが、石油などの多くの天然資源を諸外国に依存している。そして、それらの資源の輸入先のGSは、負の値を取っていることが多く、日本は、持続可能でない国に依存した持続可能な国というトリビアルな評価になる。持続可能性の判定に、どのような空間的範囲を適用するのが適切なのかというこのような問題は解決されていない。この点については、強い持続可能性指標としてのエコロジカル・フットプリントについても当てはまる。すなわち、地球全体でみたときに、人類の活動による環境負荷は地球の環境容量を超えているとされているが、1人あたりのフットプリントは、1人あたりの環境容量である1.8gha(2005年)を超えている国もあれば、超えていない国もあり、さまざまである。このとき、ある国が持続可能であるのか、そうではないのかは、どのように判断すべきかという空間的な問題が生じる。本サブテーマで扱った、GS以外の指標に関しても、同様、あるいは別種の問題点が存在する。また、現時点で、たとえば、スティグリッツ・レポートの12番目の提言で指摘されているような、クリティカルな危険の水準を示す適切な物理的環境指標も存在していない。したがって、持続可能性の評価の際には、ある1つの尺度によって判断を下すというよりも、さまざまな角度から多元的に検討を加えるというのが、実際的かつ適切であるように思われる。各々の指標が、異なった視点を提供しているという点については、本サブテーマで明らかにされてきたとおりである。

## (2) 将来福祉の可能性と現在福祉の関係把握の必要性

WCEDの持続可能な発展の定義にしたがえば、持続可能な発展概念は、「将来世代が自らのニーズを満たす能力を損なうことがない」と、「現在世代のニーズを満たす」ことの両者の達成を意味している。しかしながら、現在の地球環境問題は、現在世代が豊かな生活を実現するためにしてきたことの結果であるともいえる。したがって、将来福祉の可能性と現在福祉とが両立するのかどうかを検討することに意味がある。

スティグリッツ・レポートでも示されているように、ひとびとの生活の質は、物質的生活水準や教育、健康、仕事を含めた個人的な活動、政治的発言権、社会的つながり、環境、個々人の日頃の生活における主観的評価を含む。データの制約から、本サブテーマの研究では、これらのうちの、制度、教育、健康、労働に関する国際統計と、GSをはじめとする持続可能性指標の関係を分析した。ここまでで明らかになったことは、第1に、GSと



現在福祉の構成要素が両立しうること（前年度までの研究および本年度）、第 2 に、選択する持続可能性指標によっては、将来福祉の可能性と現在福祉がトレード・オフの関係を示すこと（エコロジカル・フットプリントについては前年度までの研究および本年度、生物多様性に関しては本年度）である。

ここで重要な点は、持続可能性指標として GS を採用すれば、将来福祉の可能性を予測する GS のパフォーマンスと、現在福祉の構成要素である制度や教育、健康といった指標のパフォーマンスは両立するが、たとえば、地球の物理的な環境容量の指標であるエコロジカル・フットプリントや、生物多様性指標を取り上げると、これらの指標のパフォーマンスと、現在福祉の指標のパフォーマンスが対立してしまうということである。この問題は、持続可能性は複数の指標によって多元的に評価されるべきであるという、本サブテーマの研究結果とも関連する。すなわち、GS が唯一の持続可能性指標であるならば、国際統計の比較から明らかなように、将来福祉の可能性と、現在福祉のパフォーマンスは矛盾しない。また、日本の場合であれば、GS はプラスの値を取っているため持続可能性の問題はなく、かつ現在世代の生活の質も国際的には高水準であるため、なんら問題がないという結論が導かれることになる。しかしながら、持続可能性に関する研究の背景には、現在世代のライフスタイルが将来福祉の可能性を脅かしているという問題意識があり、このような結論はミスリーディングであるといえる。将来福祉の可能性と、現在の生活の質が両立するかどうかについては、さらなる統計的検討が不可欠である。そのためにも、国際的な統計データ整備の充実が望まれる。さらに、スティグリッツ・レポートでも指摘されている人々の日常生活に関する主観的評価に関するデータの整備も望まれる。

## 8. 結論

本研究では、6つの研究項目を定め、それらの成果を有機的に結合することにより、持続可能な発展へ向けた環境政策・経済システムを考察する上で重要な分析視点の体系的整理とその分析枠組を開発した。すなわち、持続可能な発展の分析視点を時間軸および空間軸の両面から体系的かつ総合的に整備した。この体系に基づいて、GSに関する理論的ならびに実証的動学分析を行い、持続可能な発展へ向けた環境政策・経済システムを構築するための環境経済政策に寄与する分析枠組を開発した。この体系と分析枠組は、政策担当者にとっても利用可能であり、政策立案ならびに評価に資するものである。各項目の成果を要約すると以下ようになる。

(1) 政策立案において参照するGSを始めとする指標を考える際に、各年のスポット値を独立に、あるいは数年の平均で集計した値だけに着目すると、発展の形状が含んでいる重要な情報を見逃してしまう危険性がある。本研究項目では、時系列データを詳細に分析することによりこうした失われがちな情報を汲み取る着眼と方法を提唱した。まず、各国について、平均、傾向、分散を分析し、この3つの次元に各国の分布を図式化した。そしてこの散らばりを計量経済学的に分析するために時系列分析を行い、これまでの評価視点を拡大することができた。ここで得られた知見は、これまでのGS研究に対する確実な貢献であるだけでなく、政策立案において必要な指標の参照の仕方に関する有益なものであり、新たな経済システムを構築するための重要な情報を与えるものである。

(2) 我が国のように資源を輸入に依存する経済がどのように持続可能性を担保していくべきかを分析するため、資本・枯渇可能資源モデルを再生可能資源に置き換えたモデルを構築した。閉鎖経済と開放経済の下でのGSを理論的に考察し、最適経済成長のための必要条件からより一般的なホテリング・ルールを導出した。これより、森林や漁場は近隣国が協調して管理することで資源価格の急な上昇と早い枯渇を防ぐ必要があること、持続可能性の指標は漁業資源のように必ずしも財産権が一国に属さない資源の管理が関係する場合、国家単位の指標のみでは不十分であること、などが重要な知見として得られた。

(3) GSの推計方法のレビューと、その将来値推計方法の検討、加えて温暖化防止シナリオを考慮したシャドウ・プライスの推計方法について検討作業を実施した。これにより、GSの定式化から推計するためのデータまで、当該モデルを用いて一通り整えることができた。これらを踏まえ、実際にシミュレーションを行って、GSの将来推計作業を実施した。その結果得られたGSの値から、技術進歩率を考慮に入れると持続可能な発展の経路を辿る可能性があることが分かった。温暖化抑制に関しては、経済効率性を最適にする(環境外部費用を内部化する)シナリオにおいて、GSの値が最良となる試算結果が得られた。

(4) 上掲項目(3)に関連して、環境技術と経済成長モデルの枠組みを中心に、GSの概念を支えるモデリング上の諸問題について理論的な考察を行った。はじめに、技術の不連続な変化と最適導入時期という問題を、環境新技術の存在や内生的時間選好率・割引率との関連で考察した。こうした分析は理論的なレベルに留まるものであるが、政策策定の中に

「最適導入時期」や「習慣形成」をどのように取り込むべきかという、より高次元の政策論争に寄与するものであると考えられる。また、モデル構築時に問題となるパラメータについて考察し、本研究のシミュレーションの妥当性を向上させた。

(5) 上掲項目(3)に関連して、GS において扱われる自然資本に関連する地球温暖化問題等の公共財的性質を考慮するために、環境汚染の国際的スピルオーバーが存在するときの環境政策について分析した。2 国世代重複モデルを用い、環境技術政策の役割に焦点を当てた。自然資本から生じる便益に国際的なスピルオーバーが存在する場合の自然資本蓄積についての理論的洞察と政策的知見は、GS を国際的な文脈においてとらえ、グローバリゼーション下における環境経済政策を考察する上で、本研究のシミュレーションの妥当性を向上させると同時に、重要な学術的貢献でもあった。

(6) 持続可能性指標の体系的整理と、それぞれの指標間の相互関係の把握、ならびに複数指標による多面的な持続可能性評価を行うことで、政策実施の指針となりうる情報を提供した。ここでは、第一に、GS を含む持続可能性指標等と現在（当該期）福祉の関係について、GS の水準の高さ（パフォーマンス）と両立する指標とそうでない指標が明確に区分されることが示された。次に、複数の指標に基づいた持続可能性評価の必要性について、各々の持続可能性指標には一長一短が存在することが示された。最後に、将来福祉の持続可能性に対する評価指標に加え、現在福祉を構成する項目（特に日常生活に関する主観的福祉の指標）を整備することが、持続可能な発展へ向けた環境政策・経済システムを考察する上で不可欠であることが強調された。

以上のような成果をあらためて俯瞰してみると、そこからいくつかの重要な政策的インプリケーションが浮かび上がってくる。第一は、時間的視点の重要性である。これまで政策立案で参照されてきた指標は、しばしば毎年のスポットの数値ないし過去数年(数十年)の平均値であった。データの蓄積や計測方法の向上により政策立案に重要な情報をもたらすようになってきてはいるものの、その分析において、特にこうした時系列を意識した考察が欠けていた。本研究によって、発展の経路（指標の推移）が評価され、いかなる制度がよりよい発展形態を導くのかを分析したことによって、資源利用、政策立案・制度設計における持続可能な発展の実現にむけた指針が導出された。政治的パフォーマンス（官僚の質、民主的アカウンタビリティ、政治腐敗度など）の重要性が最確認され、また貿易開放の拡大は持続可能性指標の不安定性を高めるため、持続可能な発展の観点からは無条件に好ましい訳ではないことが示された。

第二に言えることは、空間的視点に基づいて開放経済を分析することの重要性である。これまでの環境政策で参照されてきた指標・情報は、主に国民経済単位で集計されたものであった。しかしながら、高度にグローバリゼーションが進んだ今日において、集計単位の問題ならびに集計単位相互の依存関係の分析は欠かせない。これは、持続可能な発展という一国だけでは達成し得ない課題において、またわが国のように自然資本を他国に強く依存している国において当てはまる。本研究によって、持続可能性が他国へ依存している

こと、また集計単位の合成はそれぞれの数値の合成と整合せず、どの範囲で持続可能性を議論するかが問題であることが明らかとなった。このことは、わが国の対外投資のあり方にも含意を提供するものである。例えば、ODA における投資対象について、わが国の持続可能性への影響という視点を提供するものである。また、国際協調の効果や技術移転の効果についても理論的な考察が提供されたことにより、今後の持続可能な発展を世界的に目指していく際の具体的なビジョンづくりに資するものである。

第三に特記すべきことは、本研究が時間的視点ならびに空間的視点に基づいた将来シミュレーションを行ったことである。このシミュレーションでは、環境政策シナリオを設定して、そうした環境政策が将来の持続可能性にいかなる効果をもたらすかを分析しているため、直接的な政策含意が提供された。具体的には、二酸化炭素濃度の制約目標を導入した時の GS 指標の将来予測や、技術進歩の重要性、ならびに人口変化の影響などを取り入れた分析により、将来の持続可能性への政策影響が推計された。また、こうした計算モデルが構築されたことにより、今後の環境政策の立案において持続可能性という視点から政策影響の評価が可能となった。

最後に、本研究での多指標データを用いた統計分析を通して初めて、多目的化する今日の政策において目的間のトレードオフが深刻になっていることが明確にされた。今日、幸福度や主観的福祉など現時点での福祉を高める政策が求められおり、それが持続可能か否か判定することが重要であることは言を待たない。しかしながら、具体的な指標について、その持続可能性との関連を総合的に判断する枠組みはほとんど議論されては来なかった。本研究での分析は、今後の環境政策目標の設定にとって重要な示唆を与えるものであると言える。

## 添付資料

## 略語表

BAU : Business As Usual

CBD: Convention on Biological Diversity

CWI: Composite Well-being Index

EF: Ecological Footprint

EPI: Environmental Performance Index

ERRI: Environmental Regulatory Regime Index

ESI: Environmental Sustainability Index

EVI: Environmental Vulnerability Index

GDP: Gross Domestic Product

gha: global hectare

GI : Genuine Investment

GNP: Gross National Product

GPI: Genuine Progress Indicator

GS: Genuine Savings

IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change

ISEW: Index of Sustainable Economic Welfare

LU&LUC : Land use and Land-use change

MEW: Measure of Economic Welfare

MUC : Marginal Utility of Consumption

NBI: National Biodiversity Index

NCGHG : Non Carbon Greenhouse Gases

NDP: Net Domestic Product

NNW: Net National Welfare

NO<sub>x</sub> : Nitrogen Oxide

NPP : Net Primary Productivity

ODS : Ozone Depletion Substances

SCC : Social Cost of Carbon

SOPAC: Pacific Island Applied Geoscience Commission

SO<sub>x</sub> : Sulfur Oxide

TFP : Total Factor Productivity

WCED: World Commission of Environment and Development

WDI: World Development Indicators

## 参考文献

- Acemoglu, D., S. Johnson, J. Robinson and Y. Thaicharoen (2003), "Institutional causes, macroeconomic symptoms: volatility, crises and growth," *Journal of Monetary Economics*, Vol. 50, pp.49-123.
- Agnani, B., M.-J. Gutiérrez, and A. Iza (2005), "Growth in overlapping generation economies with non-renewable resources," *Journal of Environmental Economics and Management* 50: 387-407.
- Ansuategi, A. and C. Perrings (2000) Transboundary externalities in the environment transition hypothesis, *Environmental and Resource Economics*, 17, 353-373.
- Ansuategi, A. and M. Escapa (2002) Economic growth and greenhouse gas emissions, *Ecological Economics*, 40, 23-37.
- Arrow, K. J., P. Dasgupta, L. Goulder, G. Daily, P. Ehrlich, G. Heal, S. Levin, K.-G. Mäler, S. Schneider, D. Starrett and B. Walker (2004) "Are we consuming too much?", *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 18, No. 3, pp. 147-172.
- Arrow, K. J., P. Dasgupta, L. Goulder, K. Mumford and K. Oleson (2010), "Sustainability and the Measurement of Wealth," mimeo.
- Arrow, K. J., P. Dasgupta, and K-G. Mäler (2003), "Evaluating Projects and Assessing Sustainable Development in Imperfect Economies," *Environmental and Resource Economics*, 26, pp.647-685.
- Arrow, K., Dasgupta, P. and Mäler, K-G. (2003) 'The genuine savings criterion and the value of population', *Economic Theory*, Vol. 21, No. 2, pp.217-225.
- Arrow, K.J. and M. Kurz (1970).*Public Investment, the Rate of Return, and Optimal Fiscal Policy*.Johns Hopkins Press for Resources for the Future, Baltimore, MD.
- Arrow, K.J., *et al.*, (2007) China, the U.S., and Sustainability: Perspectives Based on Comprehensive Wealth, Stanford Center for International Development, Working paper No. 313
- Asheim, G. B.(1986), "Hartwick's Rule in Open Economies," *Canadian Journal of Economics*, 19: 395-402.
- Asheim, G. B.(1996), "Capital Gains and Net National Product in Open Economies," *Journal of Public Economics*, 59: 419-434.
- Asheim, G. B. (1994) 'Net national product as an indicator of sustainability', *Scandinavian Journal of Economics*, Vol. 96, No. 2, pp.257-265.
- Atkinson, A.B. (1970). "On The Measurement of Inequality." *Journal of Economic Theory* 2, 244-263.
- Batina, R. G. and T. Ithori (2005), *Public Goods: Theories and Evidence*, Springer,

Berlin.

- Bernanke, B. (1983), "Irreversibility, uncertainty and cyclical investment," *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 98, pp. 85-106.
- Bolt, K., M. Matete, and M. Clemens (2002), *Manual for Calculating Genuine Savings*, Environment Department, World Bank.
- Buchholz, W., J. Schumacher (2010). "Discounting and Welfare Analysis over Time: Choosing the  $\eta$ ." *European Journal of Political Economy* 26, 372-385.
- Bulte, E. B. and E. B. Barbier (2005), "Trade and Renewable Resources in a Second Best World: An Overview," *Environmental and Resource Economics* 30: 423-463.
- Busse, M. and C. Hefeker (2007), "Political risk, institution and foreign direct investment," *European Journal of Political Economy*, Vol. 23, pp. 397-415. Cheltenham.
- Chichilnisky, G. (1994), "North-South Trade and the Global Environment," *American Economic Review*, 84: 851-874.
- Clark, C. G. (2010), *Mathematical Bioeconomics*, 3rd edition, —:Wiley.
- Cline, W.R. (1992). *The Economics of Global Warming*. Washington, DC: Institute for International Economics.
- Cobb, J. B., Halstead, E., Rowe, J. (1995) *The Genuine Progress Indicator –Summary of Date and Methodology*. Refining Progress, Washington, DC.
- Cornes, R., R. Hartley, and T. Sandler (1999), "Equilibrium existence and uniqueness in public good models: An elementary proof via contraction," *Journal of Public Economic Theory* 1, 499-509.
- Cunha-e-Sá, M. and A.B. Reis (2007). "The Optimal Timing of Adoption of a Green Technology," *Environmental and Resource Economics* 36: 35-55.
- Daly, H. E., Cobb, J.B. (1989) *For the Common Good*. Beacon Press, Boston.
- Dasgupta, P. and G.M. Heal (1974). "The Optimal Depletion of Exhaustible Resources," *Review of Economic Studies* 42: 3-28.
- Dasgupta, P. (2004) *Human Well-Being and the Natural Environment*, Oxford University Press, New York.
- Dasgupta, P. (2007) *Economics: A Very Short Introduction*, Oxford University Press, New York.
- Dasgupta, P. (2008). "Discounting Climate Change." *Journal of Risk and Uncertainty* 37, 141-169.
- Dasgupta, P. (2009), "The Welfare Economic Theory of Green National Accounts," *Environmental and Resource Economics*, 42: 3-38.
- Dasgupta, P. and Georey Heal (1979), *Economic Theory and Exhaustible Resources*, Cambridge University Press.
- Diamond, P.A. (1965), "National debt in a neoclassical growth model," *American*



- Economic Review 55: 1126-1150.
- Dietz, S., E. Neumayer and I. De Soysa (2007) "Corruption, the resource curse and genuine saving," *Environment and Development Economics*, Vol. 12, pp. 33-53.
- Dixit, A., P. Hammond and M. Hoel (1980), "On Hartwick's Rule for Regular Maximin Paths of Capital Accumulation and Resource Depletion," *Review of Economic Studies* 47: 551-556.
- Engle, R. (1982) "Autoregressive Conditional Heteroskedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation," *Econometrica*, Vol. 50, No. 4, pp.987-1007.
- Engle, R., D. Lilien and R. Robins (1987) "Estimating Time Varying Risk Premia in the Term Structure: The Arch-M Model," *Econometrica*, Vol. 55, No. 2, pp. 391-407.
- Epstein, L.G. (1987). "A Simple Dynamic General Equilibrium Model," *Journal of Economic Theory*, 41: 68-95.
- Epstein, L.G. and J.A.Hynes(1983). "The Rate of Time Preference and Dynamic Economic Analysis," *The Journal of Political Economy*, 91(4): 611-635.
- Fankhauser, S., (1998) Valuing Climate Change: The Economics of the Greenhouse Effect, The Earth Scan, London.
- Fisher, E. O. and C. van Marrewijk (1998) Pollution and economic growth, *The Journal of International Trade and Economic Development*, 7(1), 55-69.
- Gnègnè, Y. (2009) 'Adjusted net saving and welfare change', *Ecological Economics*, Vol. 68,
- Gordon, S. G. (1954), "The economic theory of a common-property resource: The fishery," *Journal of Political Economy*, 62: 124-142.
- Hamilton, K. and Atkinson, G. (2006) *Wealth, Welfare and Sustainability*, Edward Elgar,
- Hamilton, K. and Clemens, M. (1999) 'Genuine savings rates in developing countries', *World Bank Economic Review*, Vol. 13, No. 2, pp.333-356.
- Hamilton, K. and Clemens, M. (1999) "Genuine Savings Rates in Developing Countries," *World Bank Economic Review*, Vol. 13, No. 2, pp. 333-356.
- Hamilton, K. and J. M. Hartwick (2005), "Investing exhaustible resource rents and the path of consumption," *Canadian Journal of Economics*, 38:2, 615-621.
- Hamilton, K. and K. Bolt (2004), "Resource Price Trends and Development Prospects," *Portuguese Economic Journal*, 3:85-97.
- Hamilton, K., Dietz, S. Neumayer, E. (eds), (2007) *Handbook of Sustainable Development*, Edward Elgar, Cheltenham
- Hamilton, K., (2003) Sustaining Economic Welfare: Estimating Changes in Total and per capita Wealth, *Environment, Development and Sustainability* 5(3/4)419-436
- Hartwick, J. M. (1992), "Deforestation and National Accounting," *Environmental and Resource Economics*, 2: 513-521.
- IPCC-AR4 (2007), Yohe, G. W., and Lasco, R. D. (eds) "Perspectives on Climate Change and

- Sustainability" in *Climate Change 2007: Working Group II: Impacts, Adaption and Vulnerability*, [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg2/en/ch20.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/ch20.html)
- International Country Risk Guide (2009) Political Risk Service
- John, A. and R. Pecchenino (1994) An overlapping generations model of growth and the environment, *The Economic Journal*, 104, 1393-1410.
- John, A. and R. Pecchenino (1997) International and intergenerational environmental externalities, *Scandinavian Journal of Economics*, 99(3), 371-387.
- John, A. and R. Pecchenino, D. Schimmelpfennig, S. Schreft (1995) Short-lived agents and the long-lived environment, *Journal of Public Economics*, 58, 127-141.
- Juster, F. T. (1970) On the Measurement of Economic and Social Performance. *Economics—a Half Century of Research*, 50<sup>th</sup> Annual Report, National Bureau of Economic Research, New York.
- Krautkraemer, J. A. and R. G. Batina (1999), "On sustainability and intergenerational transfers with a renewable resource," *Land Economics* 75: 167-184.
- Kunte, A., *et al.*, (1998) "Estimating National Wealth: Methodology and Results", Environment Department Working Papers No. 57, Washington DC, The World Bank
- Lee, J. (2010) "The link between output growth and volatility: Evidence from a GARCH model with panel data," *Economics Letters*, Vol. 106, pp. 143-145.
- Mirman, L. J. (1971) "Uncertainty and optimal consumption decisions," *Econometrica*, Vol. 39, pp. 179-185.
- Mourmouras, A. (1993), "Conservationist government policies and intergenerational equity in an overlapping generations model with renewable resources," *Journal of Public Economics* 51: 249-268.
- Nakagawa, S., M. Sato, and R. Yamaguchi (2010), "Growth and Voluntary Abatement of Transboundary Pollution in an Overlapping Generations Model," KSI Communications 2010-003, 12-Feb-2010, Kyoto Sustainability Initiative, Kyoto University.
- Neumayer, E. (2000) 'Resource accounting in measures of unsustainability: challenging the World Bank's conclusions', *Environmental and Resource Economics*, Vol. 15, No. 3, pp.257–278.
- Nordhaus, W. D. (2007). "A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change," *Journal of Economic Literature*, Vol. XLV: 686–702.
- Nordhaus, W.D. (1994). *Managing The Global Commons: The Economics of Climate Change*. Cambridge, MA: MIT.
- Nordhaus, W.D., Tobin, J. (1972) Is Growth Obsolete? Moss, M. (ed.), *The Measurement of Economic and Social Performance, Studies in Income and Wealth*, 38, NBER, 509-532.

- Obstfeld, M. (1990). "Intertemporal Dependence, Impatience, and Dynamics," *Journal of Monetary Economics*, 26: 45-75.
- Ono, T. (2005) The political economy of environmental taxes with an aging population, *Environmental and Resource Economics*, 30, 165-194.
- Pearce, D. W., Atkinson, G. D. (1993) Capital Theory and the Measurement of Sustainable Development: an Indicator of 'Weak' Sustainability. *Ecological Economics*, 8, 103-108.
- Peskin, H. M. (1981) National Income Accounts and the Environment. *Natural Resources Journal*, 21, 511-537.
- Ramey, G. and V. A. Ramey (1995) "Cross-country evidence on the link between volatility and growth," *American Economic Review*, Vol. 85, pp. 1138-1151.
- Repetto, R., Magrath, W., Wells, M., Beer, C., Rossini, F. (1989) *Wasting Assets: Natural Resource in the National Income Accounts*. World Resource Institute, Washington, DC.
- Romer, P.M. (1990). "Endogenous Technological Change," *Journal of Political Economy* 98: S71-S103.
- Sato, M., S. Samreth and K. Yamada (2009) "A Numerical Study on Assessing Sustainable Development with Future Genuine Savings Simulation," ISER Discussion Paper No. 728, The Institute of Social and Economic Research, Osaka University, Japan.
- Schneider, S., Starrett, D. and Walker, B. (2004) 'Are we consuming too much?', *Journal of*
- Schou, P. (2000). "Polluting Non-Renewable Resources and Growth," *Environmental and Resource Economics* 16: 211-227.
- Stern, N. (2007). *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Stiglitz, E., Sen, A., Fitoussi, Jean-Paul (2009) Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress (<http://www.stiglitz-sen-fitoussi.fr>).
- Tahvonen, O. and S. Salo (2001). "Economic Growth and Transitions Between Renewable and Nonrenewable Energy Resources," *European Economic Review* 45: 1379-1398.
- Tol, R.S.J., (2005), The marginal damage costs of carbon dioxide emissions: an assessment of the uncertainties. *Energy Policy*, 33, 2064-2074.
- Uzawa, H. (1968). "Time Preference, the Consumption Function, and Optimum Asset Holdings," in: Wolfe, J.N. ed., *Capital and Growth: Papers in Honor of Sir John Hicks* (Aldine, Chicago, IL).
- Valente, S. (2008) 'Optimal growth, genuine savings and long-run dynamics', *Scottish Journal of*

- Political Economy, Vol. 55, No. 2, pp.210–226.
- Vellinga, N. and Withagen, C. (1996) ‘On the concept of green national income’, *Oxford Economic Papers*, Vol. 48, No. 4, pp.499–514.
- Vincent, J. R., T. Panayotou, and J. M. Hartwick (1997), “Resource Depletion and Sustainability in Small Open Economies,” *Journal of Environmental Economics and Management*, 33: 274-286.
- Weitzman, M. L. (2001).“Gamma Discounting,”*American Economic Review*, 91: 260-71.
- World Bank (2005), *Where is the Wealth of Nations? Measuring Capital for the 21<sup>st</sup> century*, Washington, D.C.
- World Commission (1987), *Our Common Future* (Brundtland Report), Oxford University Press.
- World Development Indicators (2010), the World Bank.
- Yamaguchi, R., Sato, M. and Ueta, K. (2009) ‘Genuine saving with adjustment costs’, Paper Presented at the 17th Annual Conference of EARE, VU University, Netherlands.
- Yang, B. (2008), “Does democracy lower growth volatility? A dynamic panel analysis,” *Journal of Macroeconomics*, 30, pp. 562-574.
- van der Ploeg, F. (2010), “Why Do Many Resource-Rich Countries Have Negative Genuine Saving? Anticipation of Better Times or Rapacious Rent Seeking,” *Resource and Energy Economics*, 32: 28-44.
- van der Ploeg, F. (2011), “Rapacious Resource Depletion, Excessive Investment and Insecure Property Rights: A Puzzle,” *Environmental and Resource Economics*, Vol. 48, pp. 105-128.
- van der Ploeg, F. and S. Poelhekke (2009), “Volatility and the natural resource curse,” *Oxford Economic Papers*, 61, pp. 727-760.
- 経済審議会 NNW 開発委員会編 (1973) 新しい福祉指標 NNW. 大蔵省印刷局.

- リサイクル適性の表示：紙へリサイクル可
- この印刷物は、グリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準にしたがい、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料[Aランク]のみを用いて作製しています