

ジェニユイン・セイビングを用いた 温室効果ガス排出削減シナリオの評価

An assessment of the GHG emissions reduction scenario
by using Genuine Savings

公共システムプログラム
11M43342 山中康寛 指導教員 増井利彦
Public Policy Design Program
Yasuhiro Yamanaka, Adviser Toshihiko Masui

ABSTRACT

Adjusted net saving, also known as Genuine Saving, is an indicator of weak sustainability developed by the World Bank, which measures the true rate of savings in an economy after taking into account investments in human capital, depletion of natural resources and damage caused by pollution. In the present study, greenhouse gas emissions scenarios are evaluated with the indicator using computable general equilibrium (CGE) model. The following results emerge from these analyses. (1) In Reference scenario, the Middle East, the benefits of the resources does not lead to the accumulation of human capital, has NOT kept sustainability and intergenerational equity in the year 2020-2030. (2) By taking measures against global warming, global oil consumption will be suppressed, Genuine Savings of Saharan Africa and the Middle East region will be improved. (3) In most areas, GDP will be reduced by measures against global warming, Genuine Savings will be increased in contrast.

1. 研究背景と目的

地球温暖化や化石燃料の枯渇、森林の減少など、様々な環境問題に我々は直面している。これは産業革命以降、現在の我々の生活が地球の環境収容力を超えたものになっていることに起因する。これからも人類が半永続的に繁栄するためには、持続可能な社会の構築が必要であり、それは世界全体の共通目標となっている。

持続可能性はこれまで様々な形で定義されてきた。有名なものでは、ブルントラントレポートによる「将来世代が自らのニーズを満たす能力を損なう事なく、将来世代のニーズを満たすような発展」という持続可能な発展の定義や、バリーによる「ある X の値の維持が我々の能力の範囲内にある限り、無限の将来にわたってその X の値を維持させること」という持続可能性の定義がある。また 1993 年にピアス&アトキンソンによって弱い持続可能性（弱持続可能性）と強い持続可能性（強持続可能性）という概念が提案された。弱持続可能性とは、大気や気候、森林や化石燃料などの自然資本と、橋や道路などの人工資本が代替可能と仮定し、その「自然資本と人工資本の合計の市場価値額が通時的に非減少である」というものである。一方、強持続可能性とは、自然資本の不確実・不可逆的な損失を招かないよう一定に保つ事を優先するもので、自然資本と人工資本は代替せず補完しあうことを前

提としている。

持続可能性の定義と同時に様々な持続可能性指標の開発も行われてきた（表 1）。その中でも本研究は持続可能性指標の一つである Genuine Saving（以下、GS）を取り上げる。

表 1 持続可能性指標の分類

指標	環境的要素	経済的要素	社会的要素	強持続可能性か 弱持続可能性	持続可能性の 判断基準
グリーンGDP	○	○		弱	非減少
Genuine Progress Indicator		○	○	弱	非減少
Ecological Sustainability Index	○	○	○		無し
Ecological Performance Index	○		○		無し
エコロジカルフットプリント	○			強	許容量以下
生物多様性NBI	○			強	非減少
Genuine Saving	○	○	△	弱	正負

近年では、佐藤（2011）が長期シミュレーションで GS の将来推計を初めて行ったが、応用一般均衡モデルではないことなど様々な改善の余地がある。

そこで本研究は、GS の将来推計を可能とする世界多地域逐次動学応用一般均衡モデルを構築することで、持続可能性という観点から政策評価をすることができる分析枠組みの構築を目的とする。

2. Genuine Saving

GS は弱持続可能性の指標で、国民純貯蓄、教育支出の増加分とエネルギー資源枯渇、鉱物資源枯渇、森林純減耗、CO₂ 排出による被害額のマイナスの合計値で定義される。定義式は以下ようになる。

$$\text{Genuine Saving} = \text{NNS} + \text{EE} - \text{NFD} - \text{MD} - \text{ED} - \text{CO2D} \quad (1)$$

NNS: 国民純貯蓄 Net National Saving

EE: 教育支出 Education Expenditure

NFD: 純森林減耗 Net Forest Depletion

MD: 鉱物枯渇 Mineral Depletion

ED: エネルギー資源枯渇 Energy Depletion

CO2D: CO2 排出による被害 CO2 Damage

我々の人間社会の経済活動とは、石油や石炭と言った自然資本を投入して生産活動を行い、最終消費と同時に社会インフラのような人工資本や人的資本を社会に蓄積している。自然資本 K_n と人工資本 K_m 、人的資本 K_h が代替可能であるという仮定の下で、社会全体としてみたとき、資本の合計 K の動向を見て持続可能かどうかを判定するのが GS である。 K を時間微分したものが GS と考えることが出来る。 GS の値が正のとき、総資本 K が増加し、資本を基盤にして生み出される富や厚生も増加すると考えられ、弱持続可能性を満たすと言える。

$$K = K_n + K_m + K_h \quad (2)$$

$$GS = \frac{dK}{dt} \quad (3)$$

GS には (1) 社会全体が持続可能な社会に向かっているのかどうかを確認できる (2) 測ることの難しい総資本 K を測らずに資本の動向を確認できる、など多くの利点がある。

また自然資本を普段意識する事はないが、安定的な気候やきれいな空気や水といったものが生産の基盤である事は明白だ。その基盤は現在世代のみならず将来世代にとっても重要であり、資本基盤を減少させずに次世代に残していくことは世代間の衡平性の観点からも重要である。そのため GS は世代間の衡平性の観点を内包した指標と言える。

3. モデル

3.1. モデルの概要

本研究は、28 地域、20 部門の逐次動学応用一般均衡モデルを用いて分析を行う (表 1)。逐次動学とは、一期間の静学モデルを繰り返し解いていく事で動学化していく手法である。複数期を同時に最適化する動学的最適化よりも、部門数を増やす事、計算時間を短くする事が可能である。また外生変数に対して厳しい仮定を置く必要がある最適化モデルとは異なり、外生変数の経路を比較的自由に決定できるため、より現実的な想定を行うことができる。

3.2. モデルの構造

応用一般均衡モデル (以下 CGE モデル) は、各地域の経済主体として生産部門 (企業) と最終消費部門 (家計と政府) が存在する。生産部門 (企業) は利潤最大化するように生産量や投入量 (中間投入、生産要素) を決定する。最終消費部門は労働や資本と言った生産要素を企業に提供して所得を得る。その所得内で効用を最大化するように消費、貯蓄を行う。各地域は貿易を通じて財のやり取りを行う。全ての財市場と労働市場は完全情報完全競争であり、すべての経済主体はプライス・テーカーとして行動し、全体で一般均衡が実現する

表 2 地域分類

地域	変数名	地域	変数名
オーストラリア	aus	ブラジル	bra
ニュージーランド	nzl	ロシア	rus
中国	chn	中東	xme
日本	jpn	北アフリカ	xnf
韓国	kor	南アフリカ	zaf
インドネシア	idn	サブサハラアフリカ	xss
タイ	tha	その他アジア太平洋	xra
その他東南アジア	xse	西ヨーロッパ15カ国	x15
インド	ind	東ヨーロッパ12カ国	x12
その他南アジア	xsa	その他西ヨーロッパ	xew
カナダ	can	その他東ヨーロッパ	xee
アメリカ	usa	旧ソビエト連邦	xfz
メキシコ	mex	ベネズエラ・ボリビア・エクアドル	xlo
アルゼンチン	arg	中央アメリカ	xlm

また生産・最終消費部門では、エネルギーの投入、消費に伴い、燃料の種類ごとに設定された排出係数から CO_2 排出量が計算される。

ベンチマークデータは GTAP6 のデータベースを利用する。GTAP とは国際貿易における税制の影響を分析することを目的にアメリカ、パデュー大学で開発された CGE モデルのひとつである。

3.3. 生産部門と最終消費部門

生産関数は図 1 のように、資本や労働、エネルギー財や資源などが CES 型関数で合成され、生産要素となる。代替の弾力性は GTAP6 で設定された値を用いる。その生産要素と中間投入がレオンチェフ型関数で合成されるという二段階入れ子型生産関数である。最終消費部門は各消費財を CES 型支出関数で合成し、合成した消費財から効用を得るようになっていく (図 2)。所得の増加による消費財のシェアの変化はシナリオとして外生的に与えている。

3.4. 貿易

「同じ財であっても異なった地域で生産されたものであれば不完全代替とみなす」というアーミントンの仮定を置いてモデルを構築する。これにより完全競争モデルで、同じ分類の財を輸入も輸出も同時に行うという行動をモデルで扱うことが可能となる。各地域から輸入財同士が合成され合成輸入財となり、次に輸入財と国内財の合成財であるアーミントン財を作成する (図 2)。

3.5. 動学化の設定

逐次動学モデルは一時点のモデルを繰り返し解くことで動学化する。静学モデルとモデル構造が基本的に同じため、扱いやすく、また動学的最適化モデルよりも部門数を多くすることが可能である。さらに外生変数に対してかなり厳しい仮定を置く必要がある最適化モデルとは異なり、外生変数の経路を比較的自由に決定できるため、より現実的な想定を行うことができる。具体的には、労働供給成長率、技術進歩率などを地域、部門ごとに自由に決定することが可能である。

動学化するために当該期の投資は来期の資本となるように設定される。投資水準の決定に関しては、地域ごとに経済の

潜在成長率を外生的に与え、その水準のために必要な投資水準が内生的に決定する仕組みとなっている。また Putty Clay Approach という方法を用い、既存資本と新規資本を分けて扱い、既存の資本ストックは部門間の移動が不可能であると仮定する。この制約下では各部門間の資本の調整は新規資本によってのみ行われる。これにより部門間の資本の調整は現実と同じように緩やかに行われる。

3.6. GS に関するモデルの設定

GS に関する部分では、エネルギー資源枯渇、鉱物資源枯渇は、世界銀行は資源のレントを代理変数にしているが CGE モデルでは利潤 0 条件により資源レントを算出できないので、その資源の資本所得と活動量×価格×採掘コスト×資源投入量を代理変数とした。また CO₂ 排出の被害額は世界銀行の定義より炭素トンあたり 20 \$ という値を用い、人的資本の増加の代理変数として公的支出額を利用した。純森林減耗は材木産業の活動量×森林の土地投入量×土地価格を当該期の森林資源のレントとし、その変化量を代理変数とした。

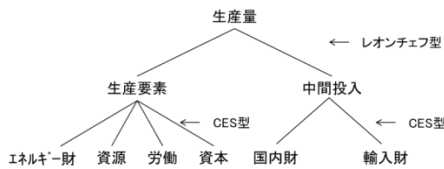


図 1 生産部門

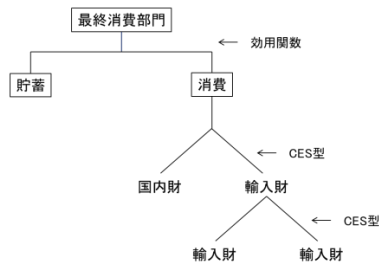


図 2 最終消費部門

4. シナリオの設定

基準シナリオと呼ばれる政策の変更を加えない動学均衡解を求め、次に CO₂ 排出に制約をかけた温暖化対策シナリオの動学均衡解を求め、それらの比較をして温暖化対策が GS やその他の経済指標に与える影響を分析する。大気中の CO₂ 濃度を 450ppm 以下にするという排出経路を制約とする。これは 2050 年までに世界の平均気温の上昇を 2 度以下にするために大気中の CO₂ 濃度を 450ppm 以下で安定化しなければならない、という IPCC 第 4 次報告書によるものである。

5. 分析

5.1. GDP の比較

ΔGDP とは温暖化対策シナリオの GDP と基準シナリオの GDP の差で、 ΔGDP が負ならば温暖化対策することで GDP 減少することを示す。

$$\Delta GDP = GDP_{\text{温暖化対策シナリオ}} - GDP_{\text{基準シナリオ}} \quad (4)$$

温暖化対策をすることで大半の国では GDP が減少することが分かる (図 3)。特にインド、中国では 2050 年にそれぞれ 10691 億 \$、24369 億 \$ と大きく減少する。これは中国など

新興国では、温暖化対策をすることで CO₂ 排出に規制がかかり、エネルギー価格が上昇し、生産コストが増加し、GDP が減少したためである。実際に温暖化対策することで CO₂ 価格が 2010 年 0 から 2050 年 263US\$/tonCO₂ に上昇する。

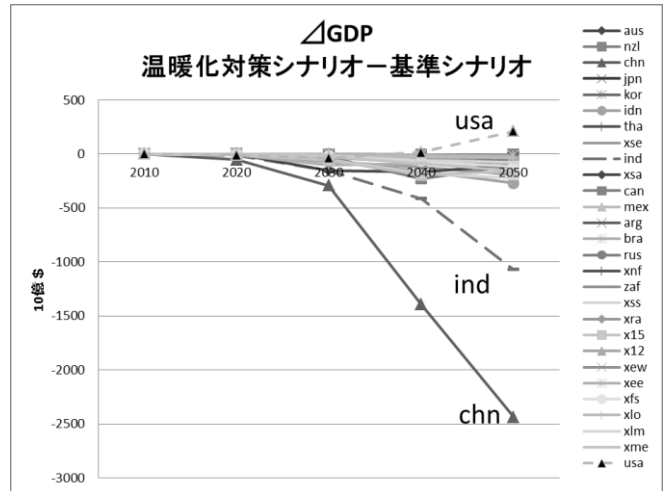


図 3 ΔGDP の推移

5.2. GS の比較

基準シナリオと温暖化対策シナリオにおける将来の GS はそれぞれ図 5、図 6 のように推計された。特に基準シナリオでの GS において、中東地域が 2020 年、2030 年において -506 億 \$、-869 億 \$ と負の値を取っている。これは、このまま温暖化対策を取らなければ、中東地域において弱持続可能性を満たさない、ということを示している。一方、温暖化対策シナリオの GS では、それぞれ -329 億 \$、-110 億 \$ に改善された。ここから温暖化対策をすることで中東地域が弱持続可能な社会に近づいたことを示している。

図 7 は ΔGS の推移である。 ΔGS とは温暖化対策シナリオの GS と基準シナリオの GS の差で、 ΔGS が正ならば、温暖化対策することで GS が増加することを示す。

$$\Delta GS = GS_{\text{温暖化対策シナリオ}} - GS_{\text{基準シナリオ}} \quad (5)$$

ΔGS の推移の図からも温暖化対策を取ることで中東地域、サハラ地域の GS の値が改善していることが分かる。またアメリカが温暖化対策を取ることで GS の値が悪化していることが見て取れる。

そこで、2030 年における GS の内訳を分析した (図 8)。この図から 2030 年の中東において石油枯渇による自然資本の減耗に対して、人工資本、人的資本の蓄積が不足、GS の値が負、つまり総資本で見ると減少方向にあることが確認された。また 2030 年のアメリカにおいて教育支出の減少が GS の悪化の主な要因であることが分かった (図 9)。

さらに、温暖化対策を行うことで中東の GS の値が改善している要因について詳しく分析を行うため中東の ΔGS を構成する内訳の推移を見た。図 10 から温暖化対策を行うことで 2050 年において、中東の GS が約 1554 億 \$ 改善している。改善したうち、石油枯渇が占めるのは 85% (1355 億 \$)、天然ガス枯渇が占めるのは 22% (343 億 \$) である。一方で、教育支出の減少が ΔGS を悪化させている (115 億 \$)。これは

温暖化対策を行うことによる CO₂排出規制が、炭素価格の上昇とそれに伴う世界全体での化石燃料使用量の減少をもたらし、中東地域の石油枯渇、ガス枯渇を減少させるためである。

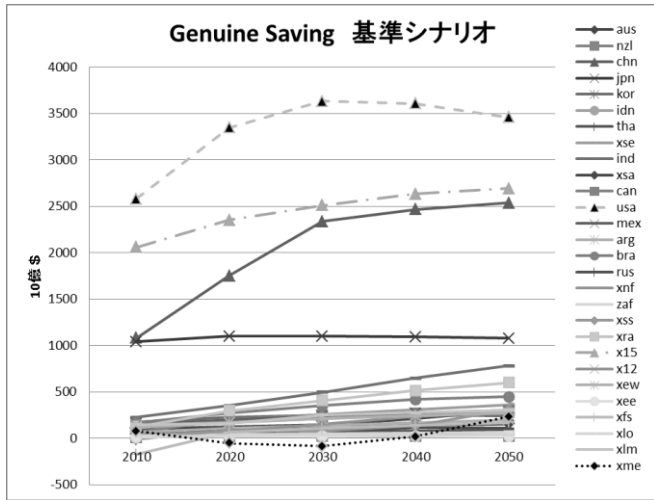


図5 基準シナリオ GS の推移

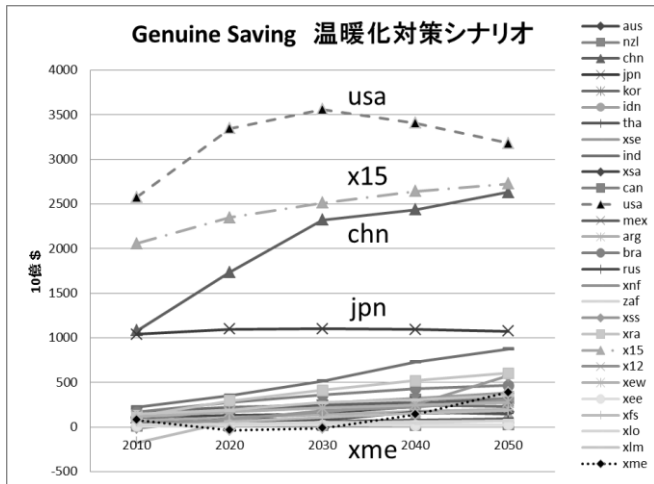


図6 温暖化対策シナリオ GS の推移

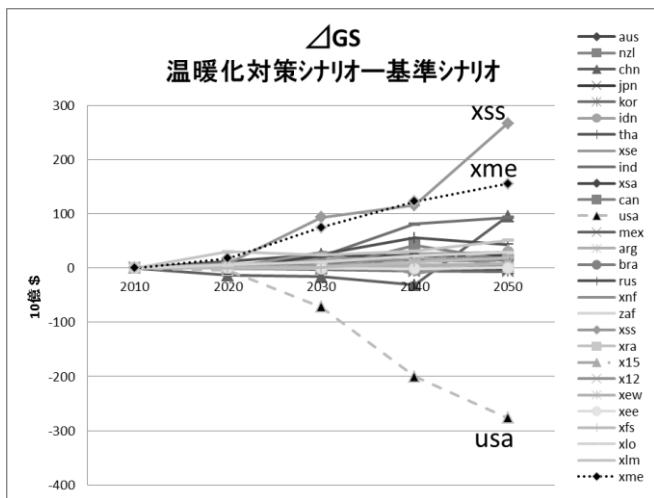


図7 ΔGS の推移

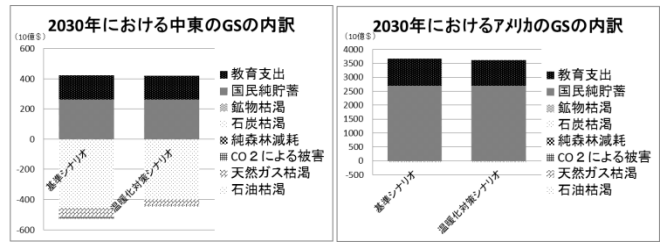


図8 中東 GS の内訳

図9 アメリカ GS の内訳

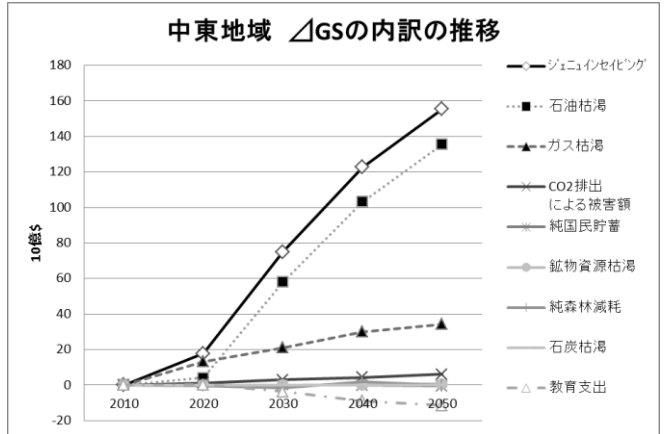


図10 ΔGS の内訳の推移

6. 結論

本研究において、初めて応用一般均衡モデルによって GS を将来推計する分析枠組みが構築された。これにより将来の政策評価においても GS を推計することが可能となり、これまでの CO₂ の排出量や GDP の観点からだけでなく持続可能性さらには世代間の公平性の観点からも分析が可能となった。

実際に GS を推計することで、温暖化対策により大半の地域の GS は上昇し、一方 GDP は減少することが分かった (図 3、図 7)。これは温暖化対策を行う事で CO₂ 排出制約がかかり、エネルギーの使用量が減少によるエネルギー資源枯渇が減少し、同時に CO₂ 排出の被害額が減少して GS が増加するためである。GDP に関しては、温暖化対策を行う事による CO₂ 排出制約が炭素価格の上昇と、それに伴う生産コストの増加と生産量の減少をもたらす GDP を減少させるためである。地域別にみると温暖化対策を行わなければ、中東地域の 2020~2030 年において資源の利益が人工資本の蓄積につながらず、持続可能性、世代間公平性を保った制度になっていないこと、また、温暖化対策を行う事で世界全体の石油使用量が抑制され、中東地域やサハラアフリカ地域の持続可能性指標が改善することが確認された。

主要参考文献

[1]佐藤真行・前田彰・中川真太郎・佐々木吾 (2011)「持続可能な発展に向けた環境政策・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」環境経済の政策研究,13.

[2]Pearce, D.W., Atkinson, G.D. (1993) “Capital Theory and the Measurement of Sustainable Development: an Indicator of “Weak” Sustainability”, *Ecological Economics*, vol.8, issue 2, pp.103-108.