

サステナビリティはどのように評価されうるのか*

—弱い持続可能性と強い持続可能性からの検討—

佐々木 健 吾

1. はじめに

これまでに、持続可能性、サステナビリティ、持続可能な発展といった概念を測定する多くの試みがなされてきた。具体的には、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), Peskin (1981) の修正GNP, Reppeto *et al.* (1989) のNDP (Net Domestic Product), Daly and Cobb (1989) のISEW (Index of Sustainable Economic Welfare), Pearce and Atkinson (1993) のWSI (Weak Sustainability Indicator), Rees and Wackernagel (1994) のエコロジカル・フットプリント, Cobb *et al.* (1995) のGPI (Genuine Progress Indicator), また、最近では, Esty *et al.* (2005) によるESI (Environmental Sustainability Index), Esty *et al.* (2006), Esty *et al.* (2008) のEPI (Environmental Performance Index) などの持続可能性指標が開発された。

森田・川島 (1993) や, Böhringer and Jochem (2007), 佐々木・植田 (2009) らによる持続可能性指標のサーベイによれば, それらの指標は, 標準化, 重み付け, 集計方法によって分類が可能であると同時に, それぞれの指標の背景となっている持続可能性概念によっても特徴づけられる。そして, その持続可能性概念の中で, しばしば対立的に議論されるものとして「弱い持続可能性 (Weak Sustainability, WS)」と「強い持続可能性 (Strong Sustainability, SS)」の概念がある。

弱い持続可能性は, Hartwick (1977) によって示されたように, 「環境 (より広範には生産に寄与する無形資本を含む) 資本を含む総資本ストックのシャドウ・プライスによる評価額が通時的に非減少であること」をもって, ある経済の持続可能性を判断する。一方, 強い持続可能性は, Daly (1991, 1995) らエコロジー経済学者によって示された経済運営上の原則であり「自然資本ストックの物理的量が通時的に非減少であること」をもって, 持続可能性を判断する。両概念の見解の相違は, 自然資本と (無形資本を含む) 人工資本の代替可能性に求められるが, いずれの概念に基づいて持続可能性を判断すべきか, という問題に対するコンセンサスも, 明白な証拠もないように見受けられる。持続可能性はどのように評価されるべきなのか。

以上の問題意識に基づき, 本稿では, 弱い持続可能性指標としてのジェニユイン・セイビング (GS) と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 (EF) を用いることで, 複数次元からなるサステナビリティの評価を試みる。具体的には, まず1人あたりGDP(GDP),

* 本稿は2009年度名古屋学院大学経済学部研究奨励金による研究成果の一部である。

人間開発指数 (HDI), 5歳未満幼児死亡率 (u5mort), 市民的・政治的権利に関する指標 (VA) の4つの経済・社会・制度指標とGS, EFがどのような関係を示しているかをみる。さらに, GSとEFの2次元の観点からそれぞれの国の持続可能性を検討し, 両基準 (GS ≥ 0 , EF $< 1.8\text{gha}$) を満たす国々を特定する。最後に, それら2次元のプロットと上記の4つの指標 (GDP, HDI, u5mort, VA) のパフォーマンスを重ねて検討することにより, 弱い持続可能性と強い持続可能性, および上記4つの経済・社会・制度指標の関連について明らかにする。以上の検討から, 持続可能性を評価する際のインプリケーションの導出を試みる。

2. 弱い持続可能性と強い持続可能性

本節では, 弱い持続可能性と強い持続可能性について概観すると同時に, 弱い持続可能性指標としてのジェニユイン・セイビングと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議論する。

2.1 弱い持続可能性とジェニユイン・セイビング

2度にわたる石油危機が生じた1970年代には, ローマクラブによって, 資源の枯渇に警鐘を鳴らした『成長の限界』(Meadows *et al.* (1972)) が出版された。時を同じくして, 新古典派経済学の分野では, 枯渇性資源制約下における経済の最適経済成長経路の分析が行われるようになった。Dasgupta and Heal (1974), Solow (1974), Stiglitz (1974) に代表される分析は, 人工資本ストックと枯渇性資源ストックという2種類の生産要素が存在する経済を想定し, その最適経済成長経路を特定するというものであった。それらの分析では, 枯渇性資源が存在する経済の最適経路において, ある有限時点以降に消費がゼロに収束することが示されている。

これらの分析の後, Hartwick (1977) は, Hotelling (1931) によって示されたホテリング・ルールが成立している経路に注目し, 枯渇性資源からのレントの全てを人工資本に投資することで, 各時点における効用が通時的に一定という意味での世代間衡平性を満たし, かつ最大の効用が得られることを示した。この投資原則はハートウィック・ルールと呼ばれ, 後にDixit *et al.* (1980) によって, 再生可能資源を含む形で再定式化された。ハートウィック・ルールは, 形式的には次のように定義されるネット・インベストメントを通時的に非負に保つことを意味する。

$$I_t = \sum_i \left(p_{it} \frac{dK_{it}}{dt} \right) + \sum_j \left(q_{jt} \frac{dS_{jt}}{dt} \right) \quad (1)$$

ここで, t を各時点として, I_t はネット・インベストメント, K_{it} は第*i*人工資本ストック, p_{it} は第*i*人工資本ストックのシャドウ・プライス, S_{jt} は第*j*自然資本ストック, q_{jt} は第*j*自然資本ストック

クのシャドウ・プライスである¹⁾。このように、人工資本ストックと自然資本ストックのシャドウ・プライスによる評価額の合計が通時的に非減少であることを持続可能性の条件とする立場を「弱い持続可能性」と呼ぶ。

加重総和によって定式化されている(1)式から明らかなように、弱い持続可能性は、資本間の代替可能性を仮定する。すなわち、ある自然資本の減耗は、他の人工資本の蓄積によって相殺される。この代替可能性の仮定はしばしば批判的となり、その妥当性が問題とされる。しかしながら、理論的には、自然資本が希少になるにつれ、そのシャドウ・プライスは増加するため、(1)式は完全代替を意味することにはならない。

この弱い持続可能性の指標としては、ジェニユイン・セイビングを挙げることができる。Pearce and Atkinson (1993)は、最も早い段階で、18カ国に対するこの弱い持続可能性の指標を推計した。彼らの推計によると、日本、コスタリカ、オランダ、チェコスロバキアなどは正のネット・インベストメントを取り持続可能であるが、マリ、ブルキナファソ、マダガスカル、エチオピアなどは負の値を取り持続可能でないことが示されている。この試みは、Hamilton and Clemens (1999)などによって拡張されるとともに、世界銀行による推計がWDI (World Development Indicators) で公表されている。世界銀行のジェニユイン・セイビングは次のように算出される。

$$\begin{aligned} \text{ジェニユイン・セイビング} = & \text{国民純貯蓄} + \text{教育支出} - \text{エネルギー資源減耗} - \text{鉱物資源減耗} \\ & - \text{森林純減耗} - \text{二酸化炭素排出による被害} - \text{浮遊粒子状物質による損害} \end{aligned}$$

ここで、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。理論的には、これらの項目はシャドウ・プライスによって評価されなければならないが、厳密な意味でシャドウ・プライスを求めるのは困難であるため、近似的に市場価格あるいは被害の推計値が用いられている²⁾。

2.2 強い持続可能性とエコロジカル・フットプリント

自然界の物理的側面に注目するエコロジー経済学の分野では、Daly (1991, 1995)が3つの経済運営上の原則を提唱している。その3原則とは、①汚染物質の排出量は自然吸収量を超えないこと、②再生可能資源の採取量はその再生量を超えないこと、③枯渇性資源の採取量は再生可能な代替資源の創出量に等しいこと、というものであり、デイリーの3原則と呼ばれる。

1) 資本概念を拡張し、人的資本や無形資本を含んだ定式化も可能である。

2) したがって、ある自然資本の市場価格にその自然資本の希少性が適切に反映されていなければ、推計されるネット・インベストメントにはバイアスが生じる。

また、人工資本ストックと自然資本ストックのシャドウ・プライスに基づいた貨幣評価額の合計に注目する弱い持続可能性との対比でいえば、強い持続可能性は、総環境的資産、もしくは自然資本ストックの物理的量を通時的に一定の水準に保つことを要請するものとして定式化できる。強い持続可能性が、人工資本ストックの量とは独立に、環境資本ストックの水準を通時的に一定に保つことを条件とすることからもわかるように、この立場は、人工資本と自然資本を補完的にとらえ、その代替可能性を認めない。

自然界の物理的側面に注目する強い持続可能性の指標としては、エコロジカル・フットプリントを挙げることができる。この指標は、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の合計として算出され、エネルギーフットプリント、生産能力阻害地フットプリント、海洋淡水域フットプリント、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。エコロジカル・フットプリントは、グローバル・ヘクタール (gha) と呼ばれる単位を持ち、地球上の土地および水域の世界的平均生産性を有する仮想的な土地への生態学的需要として算出される。エコロジカル・フットプリントの計算は、リースやワケナゲル自身、WWF (World Wildlife Fund) 等によって、その改良が行われている³⁾。また、エコロジカル・フットプリントが、人類の生態学的需要として算出されるのに対して、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、2003年で1人あたり約2.2ghaである。一方で、グローバル・バイオキャパシティは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%超過していることになる。

2.3 代替可能性

弱い持続可能性と強い持続可能性の相違は、資本間の代替可能性に関する見解に求められる。すなわち、弱い持続可能性が、資本間の代替可能性を仮定する一方で、強い持続可能性はその補完性を前提とする。

自然資本をどのように定義するかという問題を別にして、自然資源やエネルギー投入と、人工資本および労働投入との代替の弾力性の推計に関しては、Markandya and Pedroso-Galinato (2007) で紹介されているようにいくつかの研究が存在している。そこで示された実証結果は、(1) 代替の完全弾力性は、アレンの部分弾力性よりも低く、多くの場合で1未満であること、(2) アレンの部分弾力性が負 (エネルギーと他の資本は補完的) である結果と、アレンの部分弾力性が正 (エネルギーと他資本は代替的) という2つの結果が存在すること、(3) 部分弾力性の推計結果の違いは推計方法に依存していること、といったようにまとめることができる。また、Markandya

3) エコロジカル・フットプリントの解説書として、Wackernagel and Rees (1996), Chambers *et al.* (2000) などを参照。

and Pedroso-Galinato (2007) らの推計によれば、土地と他の生産投入（物的資本、人的資本、エネルギー）との間の代替の弾力性は、概ね1程度であり、これらの資本は代替的であるという結果を得ている。

しかし、この結果の解釈については、著者らが指摘しているようにいくつか注意すべき点が存在する。すなわち、彼らが扱っている土地は、耕地や荒地、保護地が生み出す産出フローの割引現在価値で評価されており、生態系維持サービスのような非市場的サービスを過小評価している可能性がある。また、理想的には、自然資源投入は、農耕地や森林、他のバイオマスに分解するとともに、生物多様性の指標、非商業的な物質測度も含められるべきである。したがって、以上に挙げた推計結果の解釈には一定の留意が必要である。また、自然資本の水準を一定に保つといった際には、①ある特定の資源は、資源消費がゼロならば効用もゼロという意味で必要不可欠なのか、②資源は生産において代替可能でないのか、③資源は消費において代替可能でないのかといった点の峻別も必要である⁴⁾。

以上で見てきたように、資本間の代替可能性に関しては、必ずしも明白な証拠が存在するわけではなく、弱い持続可能性に基づいて持続可能性を判断すべきであるのか、それとも強い持続可能性に基づいて持続可能性を判断すべきなのかという点についてのコンセンサスがあるわけではない。すなわち、既存の技術を所与とすれば、すべての資本が代替的であると考えるのは適切でないが、技術革新による代替可能性を認めないことも同様に適切ではないのである。

3. 持続可能性と経済、社会、制度

本節では、持続可能性と経済、社会、制度との関係について検討する。持続可能性指標については、前節で議論したジェニユイン・セイビング（以下GS）とエコロジカル・フットプリント（以下EF）を取り上げる。また、経済指標として1人あたりGDP（以下GDP）、社会指標として人間開発指数（Human Development Index, 以下HDI）および1000人あたり5歳未満幼児死亡率（以下u5mort）、制度指標として発言権と説明責任（Voice and Accountability, 以下VA）を取り上げる。

弱い持続可能性では $GS \geq 0$ をもって、強い持続可能性では $EF < 1.8$ をもって持続可能性が判断される。以下では、これらの基準と経済、社会、制度指標の関係を検討する。表1に使用するデータをまとめる。なお、以下での分析の整合性を保つため、対象とするサンプルは、GSおよびEFの両データが存在し、かつGDP、HDI、u5mort、VAのデータがそろった国に限っている。観察数は111カ国である。

4) Mäler (2007)。

表 1 データ

指標	コード	出所	参照年
対 GNI 比ジェニユイン・セイビング	GS	World Development Indicators	2004
1人あたりエコロジカル・フットプリント	EF	Living Planet Report	2004
1人あたり GDP	GDP	World Development Indicators	2004
人間開発指数	HDI	Human Development Report	2004
1000人あたり5歳未満幼児死亡数	u5mort	Esty <i>et al.</i> (2005)	2002-2004 ^a
発言権と説明責任 ^b	VA	Kaufmann <i>et al.</i> (2005)	2004

a：2002年から2004年までで参照年の異なるサンプルが含まれる。

b：市民が享受する政治的・市民的権利の度合い、および政府が民主的であるかどうかを評価する指標。

3.1 弱い持続可能性と経済、社会、制度

3.1.1 GDP

GSとGDPとの間に以下の関係を得た⁵⁾。

$$GDP = 218.924GS + 5216.919 \quad R^2 = 0.0657 \quad (2)$$

(2.96) (5.13)
[0.00] [0.00]

推定式より、GSはGDPの分散の約7%を説明している。また、GDPとGSは有意に正の相関をしている。図1は、GDPとGSの散布図である。縦軸を中心に右の領域はGS ≥ 0であり、弱い持続可能性基準を満たす。一方で左の領域はGS < 0であり、弱い持続可能性基準を満たさない。弱い持続可能性を満たすサンプルのGDPの平均は7,906ドルである一方、満たさないサンプルのGDPの平均は2,507ドルである。

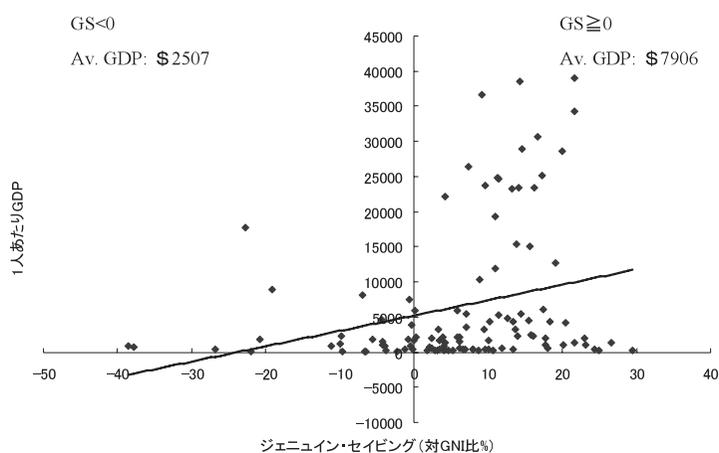


図 1 GS と GDP の散布図

5) 推定式 () 内はt値, [] 内はp値, R^2 は決定係数である。以下同様。

3.1.2 HDI

HDIとGSとの間に以下の関係を得た。

$$HDI = 0.0036GS + 0.7072 \quad R^2 = 0.0529 \quad (3)$$

(2.67)
(38.64)

[0.00]
[0.00]

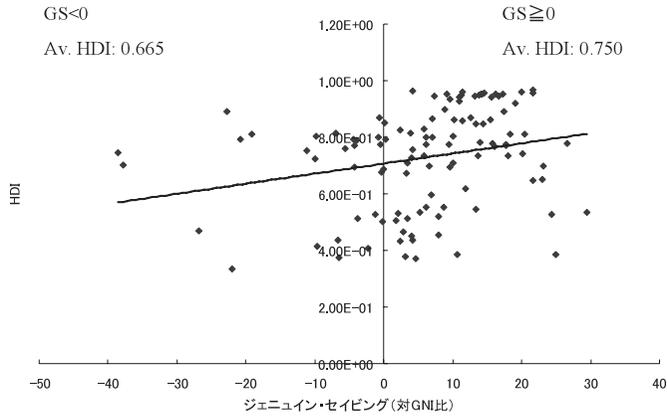


図2 HDIとGDPの散布図

推定式より、GSはHDIの分散の約5%を説明している。また、HDIとGSは有意に正の相関をしている。図2は、HDIとGSの散布図である。弱い持続可能性を満たすサンプルのHDIの平均が0.750である一方、基準を満たさないサンプルの平均は0.665である。

3.1.3 u5mort

u5mortとGSとの間に以下の関係を得た。

$$u5mort = -1.7501GS + 72.1149 \quad R^2 = 0.0948 \quad (4)$$

(-3.54)
(10.62)

[0.00]
[0.00]

推定式より、GSはu5mortの分散の約9%を説明している。また、u5mortとGSは有意に負の相関をしている。図3は、u5mortとGSの散布図である。弱い持続可能性を満たすサンプルのu5mortの平均が52.84%である一方、基準を満たさないサンプルの平均は87.18%である。

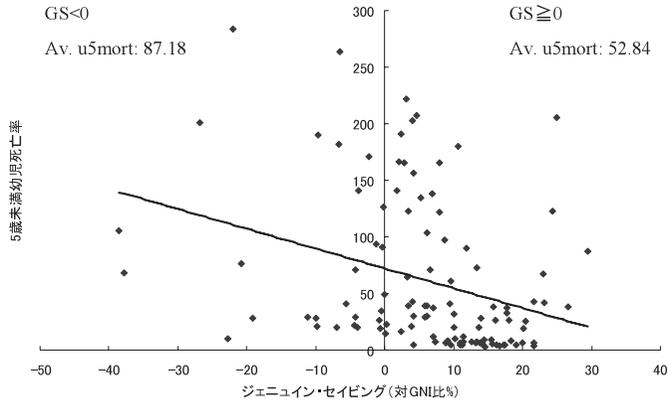


図3 u5mort と GS の散布図

3.1.4 VA

VA と GS との間に以下の関係を得た。

$$VA = 0.0325GS - 0.2083 \quad R^2 = 0.1603 \quad (5)$$

(4.69) (-2.19)
[0.00] [0.00]

推定式より、GSはVAの分散の約16%を説明している。また、VAとGSは有意に正の相関をしている。図4はVAとGSの散布図である。弱い持続可能性を満たすサンプルのVAの平均が0.227であるのに対し、基準を満たさないサンプルの平均は-0.717である。

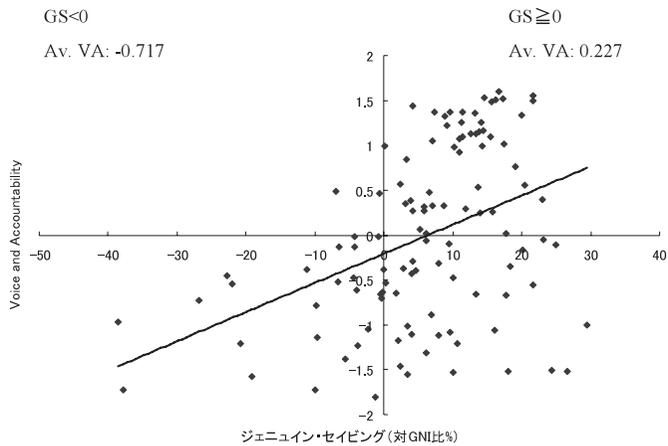


図4 VA と GS の散布図

3.1.5 まとめ

以上の結果が示すように、弱い持続可能性指標としてのGSは、GDP、HDI、VAと有意に正の相関をしており、u5mortと有意に負の相関をしている。また、弱い持続可能性基準を満たす国々のGDP、HDI、VAの平均は、基準を満たさない国々のそれよりも高く、基準を満たす国々のu5mortの平均は、基準を満たさない国々のそれよりも低い。これらの結果から、弱い持続可能性基準を満たす国々の経済、社会、制度パフォーマンスは、基準を満たさない国々のそれよりも高いことが明らかとなった。

3.2 強い持続可能性と経済、社会、制度

3.2.1 GDP

GDPとEFとの間に以下の関係を得た。

$$\ln(GDP) = 1.8812 \ln(EF) + 6.2979 \quad R^2 = 0.7423 \quad (6)$$

(17.83) (58.57)
[0.00] [0.00]

推定式より、EFはGDPの分散の約74%を説明している。また、GDPとEFは有意に正の相関をしている。図5はGDPとEFの散布図である。縦軸を中心に左の領域はEF < 1.8であり、強い持続可能性基準を満たす。一方で右の領域はEF ≥ 1.8であり、強い持続可能性基準を満たさない。強い持続可能性を満たすサンプルのGDPの平均は934ドルである一方、基準を満たさないサンプルのGDPの平均は12,054ドルである。

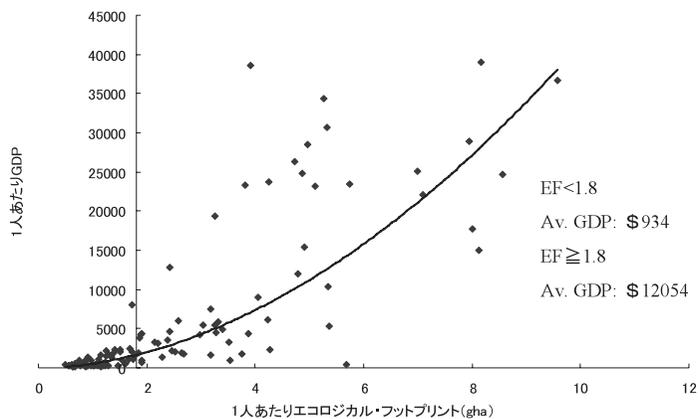


図5 GDPとEFの散布図

3.2.2 HDI

HDIとEFとの間に以下の関係を得た。

$$HDI = 0.1909 \ln(EF) + 0.5957 \quad R^2 = 0.6394$$

$$\begin{matrix} (14.00) & (42.88) \\ [0.00] & [0.00] \end{matrix}$$

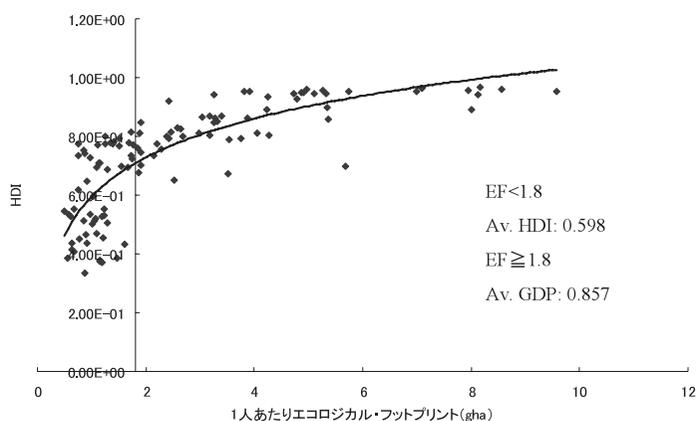


図6 HDIとEFの散布図

推定式より、EFはHDIの分散の約64%を説明している。また、HDIとEFは有意に正の相関をしている。図6はHDIとEFの散布図である。強い持続可能性を満たすサンプルのHDIの平均が0.598であるのに対し、基準を満たさないサンプルの平均は0.857である。

3.2.3 u5mort

u5mortとEFとの間に以下の関係を得た。

$$\ln(u5mort) = -1.3487 \ln(EF) + 4.3785 \quad R^2 = 0.6344 \quad (8)$$

$$\begin{matrix} (-13.85) & (44.14) \\ [0.00] & [0.00] \end{matrix}$$

推定式より、EFはu5mortの分散の約63%を説明している。また、u5mortとEFは有意に負の相関をしている。図7はu5mortとEFの散布図である。強い持続可能性を満たすサンプルのu5mortの平均が102.60%である一方、基準を満たさないサンプルの平均は21.13%である。

サステナビリティはどのように評価されるのか

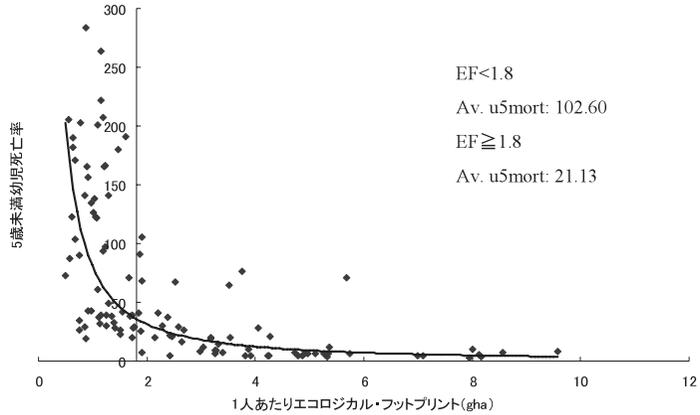


図7 u5mort と EF の散布図

3.2.4 VA

VA と EF との間に以下の関係を得た。

$$VA = 0.8962 \ln(EF) - 0.6361 \quad R^2 = 0.4606 \quad (9)$$

(9.74)
(-6.79)
[0.00]
[0.00]

推定式より、EFはVAの分散の約46%を説明している。また、VAとEFは有意に正の相関をしている。図8はVAとEFの散布図である。強い持続可能性を満たすサンプルのVAの平均が-0.590である一方、基準を満たさないサンプルの平均は0.557である。

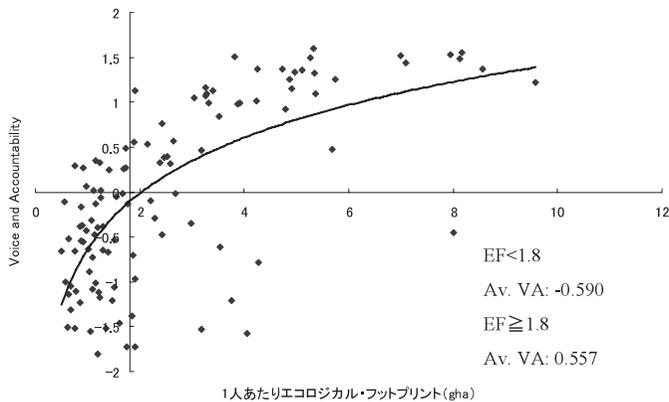


図8 VA と EF の散布図

3.2.5 まとめ

以上の結果がしめすように、強い持続可能性指標としてのEFは、GDP、HDI、VAと有意に正の相関をしており、u5mortと有意に負の相関をしている。また、強い持続可能性基準を満たす国々のGDP、HDI、VAの平均は、基準を満たさない国々のそれよりも低く、基準を満たす国々のu5mortの平均は、基準を満たさない国々のそれよりも高い。これらの結果から、強い持続可能性基準を満たす国々の経済、社会、制度パフォーマンスは、基準を満たさない国々のそれよりも低いことが明らかになった。この結果は、先の弱い持続可能性指標と経済、社会、制度パフォーマンスとの関係の場合と相反している。

4. 持続可能性の二次元評価－弱い持続可能性と強い持続可能性

ここでは、弱い持続可能性指標としてのジェニユイン・セイビングと、強い持続可能性指標としてのエコロジカル・フットプリントの散布図を検討することで、どのような国が、それぞれの基準 ($GS \geq 0$ および $EF < 1.8$) を同時に満たす、あるいは満たさないのかを検討する。図9は、縦軸に1人あたりエコロジカル・フットプリント、横軸に対GNI比ジェニユイン・セイビングを取った散布図である。縦軸と横軸の交点の座標を、($GS = 0, EF = 1.8$) となるように取っている。

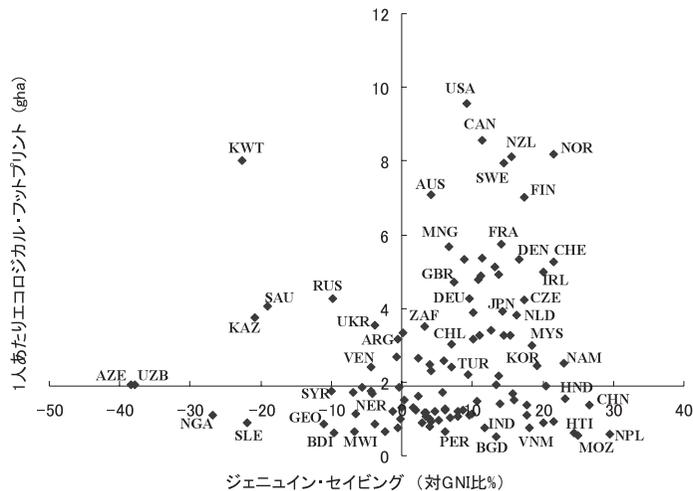


図9 ジェニユイン・セイビングとエコロジカル・フットプリント

注：図中の国名の略号はISO 3166-1 alpha-3 に従っている。

ARG：アルゼンチン AUS：オーストラリア AZE：アゼルバイジャン BDI：ブルンジ BGD：バングラデシュ
CAN：カナダ CHE：スイス CHL：チリ CHN：中国 CZE：チェコ DEN：デンマーク DEU：ドイツ FIN：フィン
ランド FRA：フランス GBR：イギリス GEO：グルジア HND：ホンジュラス HTI：ハイチ IND：イン
ド IRL：アイルランド JPN：日本 KAZ：カザフスタン KOR：韓国 KWT：クウェート MNG：モンゴ
ル MOZ：モザンビーク MWI：マラウィ MYS：マレーシア NAM：ナミビア NER：ニジェール NGA：ナイ
ジェリア NLD：オランダ NOR：ノルウェー NPL：ネパール NZL：ニュージーランド PER：ペルー
RUS：ロシア SAU：サウジアラビア SLE：シエラレオネ SWE：スウェーデン SYR：シリア TUR：トルコ
UKR：ウクライナ USA：アメリカ UZB：ウズベキスタン VEN：ベネズエラ VNM：ベトナム ZAF：南ア
フリカ

第1象限は、弱い持続可能性基準を満たすが強い持続可能性基準を満たさず、第2象限は、弱い持続可能性基準も強い持続可能性基準も満たさず、第3象限は、強い持続可能性基準を満たすが弱い持続可能性基準を満たさず、第4象限は、弱い持続可能性基準も強い持続可能性基準も満たす。

図9より、第1象限は、比較的所得水準の高い、いわゆる先進国を多く含んでいる。また、第2象限には産油国が多く含まれ、第3、第4象限にはアフリカ諸国を中心とする貧困諸国ならびに途上国が多く含まれている。それぞれの象限のジェニユイン・セイビングおよびエコロジカル・フットプリントの平均およびサンプルサイズを表2にまとめる。

サンプルの構成比から、弱い持続可能性と強い持続可能性の両基準を満たす国々は全体の約35%、いずれかの基準を満たす国々は約54%、両方とも満たさない国々は約11%という結果を得た。第1象限と第2象限の比較から、両象限の平均エコロジカル・フットプリントはともに1.8ghaを超過しているが、第1象限の平均ジェニユイン・セイビングが正であるのに対し、第2象限の平均ジェニユイン・セイビングは負であり、他の象限に比べて最も低い。また、第1象限と第4象限の比較から、両者の平均ジェニユイン・セイビングは、ほぼ同水準であるのに対し、第1象限のエコロジカル・フットプリントは約4倍である。すなわち、第1象限の国々は、第4象限の国々と比較して、ジェニユイン・セイビングの蓄積により高い生態学的圧力を必要としている。さらに、第3象限と第4象限の比較から、両象限の平均エコロジカル・フットプリントがほぼ等しいのに対し、平均ジェニユイン・セイビングには大きな差がある。すなわち、第4象限に属する国は、第3象限に属する国に比べて、より低い生態学的圧力で高いジェニユイン・セイビングを達成しているといえる。

表2 ジェニユイン・セイビングとエコロジカル・フットプリントの平均およびサンプルサイズ

象限	第1象限 弱い持続可能性 ： 満たす 強い持続可能性 ： 満たさない	第2象限 弱い持続可能性 ： 満たさない 強い持続可能性 ： 満たさない	第3象限 弱い持続可能性 ： 満たさない 強い持続可能性 ： 満たす	第4象限 弱い持続可能性 ： 満たす 強い持続可能性 ： 満たす
平均ジェニユイン・セイビング	12.09%	- 13.69%	- 7.26%	10.81%
平均エコロジカル・フットプリント	4.39gha	3.29gha	1.12gha	1.12gha
サンプルサイズ	44 [39.63%]	12 [10.81%]	16 [14.41%]	39 [35.14%]

注：[] 内は全サンプルに対する構成比。

ここでの比較より、第4象限に属する国は、弱い持続可能性と強い持続可能性の両基準を満たし、かつ、他の象限に比べて、低い生態学的圧力で高いジェニユイン・セイビングを達成しており、両基準からみれば、持続可能性を達成しうる望ましい状態にあるといえる。しかしながら、以下の検討で明らかにするように、第4象限には、経済、社会、制度のパフォーマンスが低く、WCED（1987）の持続可能な発展の定義が指摘している現代世代のニーズが満たされているとはいえない国々が多く存在している。

5. 持続可能性の3次元評価—弱い持続可能性と強い持続可能性、および経済、社会、制度パフォーマンス

本節では、前節で取り上げた持続可能性の2次元評価に、第3節で検討した経済、社会、制度指標のパフォーマンスを追加軸として取り上げ、弱い持続可能性と強い持続可能性、および4つの経済・社会・制度指標の関連について定量的に議論する。

5.1 弱い持続可能性、強い持続可能性、GDP

4節と同様に、図10は、縦軸に1人あたりエコロジカル・フットプリント、横軸に対GNI比ジェニユイン・セイビングを取った散布図であり、縦軸と横軸の交点の座標を、(GS = 0, EF = 1.8)となるように取っている(以下同様)。また、バブルは1人あたりGDPの水準をあらわしており、バブルが大きいほど水準が高い。

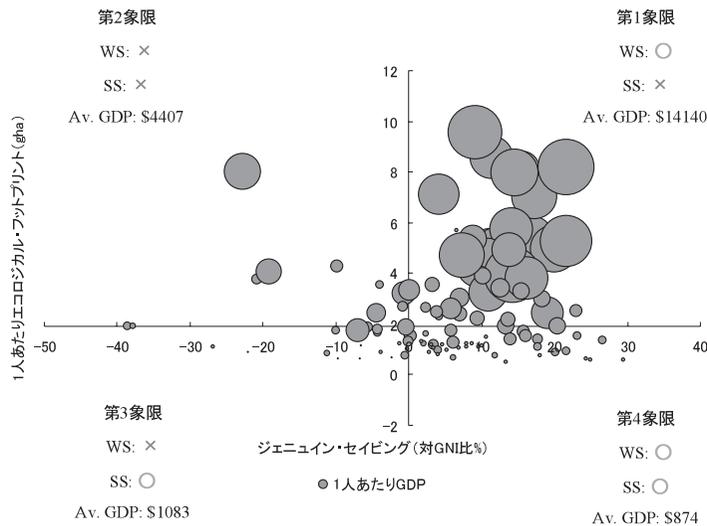


図10 弱い持続可能性、強い持続可能性、1人あたりGDP

各象限の平均GDPは、第1象限が14,140ドルで最も高く、次いで4,407ドルで第2象限、1,083ドルで第3象限、874ドルで第4象限となっている。ここで、弱い持続可能性も強い持続可能性も満たす第4象限の平均GDPは、第1象限の約1/16であり、さらに、両基準を満たさない第2象限のGDPの約1/5である。このように、弱い持続可能性と強い持続可能性の両方の基準を満たす第4象限の平均GDP水準は、他の象限に比べて最も低い。

5.2 弱い持続可能性, 強い持続可能性, HDI

図11は、ジェニユイン・セイビングとエコロジカル・フットプリントの散布図に、HDIのバブルを重ねたものである。バブルが大きいほどHDIは高い。各象限の平均HDIは、第1象限が0.876で最も高く、次いで0.786で第2象限、0.608で第4象限、0.575で第3象限となっている。最も平均が低いのは、第3象限であるが、HDIの場合も、弱い持続可能性と強い持続可能性の両基準を満たす第4象限の平均HDIは、両基準を満たさない第2象限の平均HDIよりも低い。

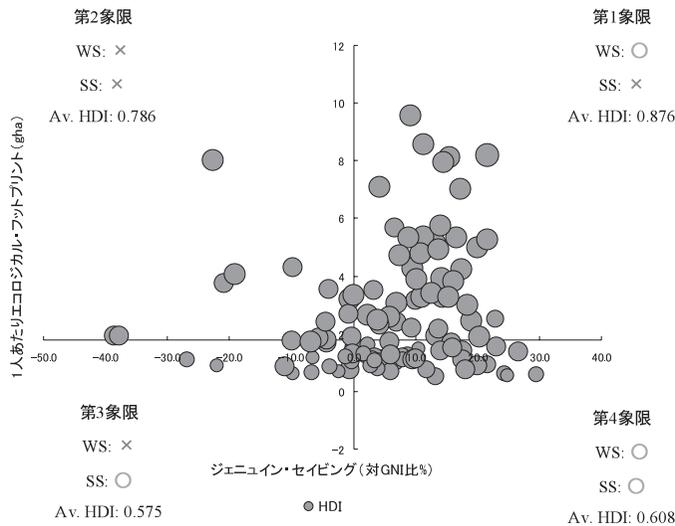


図11 弱い持続可能性, 強い持続可能性, HDI

5.3 弱い持続可能性, 強い持続可能性, u5mort

図12は、ジェニユイン・セイビングとエコロジカル・フットプリントの散布図に、u5mortのバブルを重ねたものである。バブルが大きいほどu5mortは高い⁶⁾。

各象限の平均u5mortは、第3象限が119.63で最も高く、次いで95.62で第4象限、43.92で第2象限、14.92で第1象限となっている。最も平均が高いのは、第3象限であるが、u5mortの場合も、弱い持続可能性と強い持続可能性の両基準を満たす第4象限の平均u5mortは、両基準を満たさ

6) u5mortは、1000人あたり5歳未満幼児死亡数でありバブルが大きいほど死亡率が高いことを意味する。すなわち、バブルが小さいほど、パフォーマンスが高い。

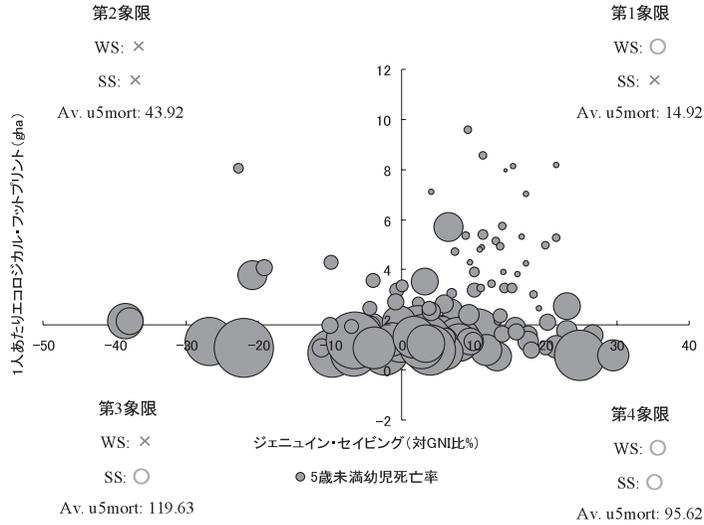


図 12 弱い持続可能性, 強い持続可能性, u5mort

ない第2象限の平均u5mortよりも高く、パフォーマンスが低い。

5.4 弱い持続可能性, 強い持続可能性, VA

図13は、ジェニューイン・セイビングとエコロジカル・フットプリントの散布図に、VAのバブルを重ねたものである。バブルが大きいほどVAの絶対値は高い。

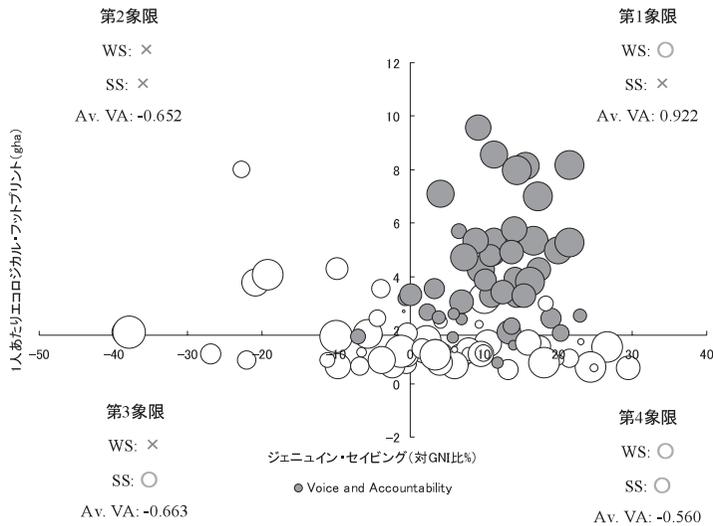


図 13 弱い持続可能性, 強い持続可能性, VA

注：図中の白バブルはVAの値が負であることを意味する。

各象限の平均VAは、第1象限が0.922で最も高く、次いで-0.560で第4象限、-0.652で第2象限、-0.663で第3象限となっている。最も平均が低いのは、第3象限である。VAの場合、弱い持続可能性と強い持続可能性の両基準を満たす第4象限の平均VAは、両基準を満たさない第2象限の平均VAよりも高く、他の経済、社会指標のパフォーマンスと反対の結果が得られている。

5.5 考察

それぞれの象限に属する国々のGDP, HDI, u5mort, VAの平均を表3にまとめる。第1象限に属する国は、他の象限に属する国に比べて、ここで取り上げた4つの全ての指標のパフォーマンスが最も高い。第2象限に属する国は、GDP, HDI, u5mortのパフォーマンスが、第1象限に次いで高い。第3象限と第4象限に属する国は、4つの全ての指標のパフォーマンスが相対的に低い。特に、弱い持続可能性も強い持続可能性も満たす第4象限に属する国に関しては、VA以外の指標のパフォーマンスが、いずれの基準も満たさない第2象限に比べて低いという結果が得られた。すなわち、第4象限に属する国は、弱い持続可能性と強い持続可能性という基準から判断すると、いずれの基準も満たす「持続可能な」国であるように見えるが、それらの国々における現在世代のニーズの充足は、相対的に満たされていないということがわかる。

表3 各象限の平均GDP, 平均HDI, 平均u5mort, 平均VA

象限	第1象限 弱い持続可能性 : 満たす 強い持続可能性 : 満たさない	第2象限 弱い持続可能性 : 満たさない 強い持続可能性 : 満たさない	第3象限 弱い持続可能性 : 満たさない 強い持続可能性 : 満たす	第4象限 弱い持続可能性 : 満たす 強い持続可能性 : 満たす
平均GDP (\$)	14,140	4,407	1,083	874
平均HDI	0.876	0.786	0.575	0.608
平均u5mort (%)	14.92	43.92	119.63	95.62
平均VA	0.922	-0.652	-0.663	-0.560

次に、GDP, HDI, u5mort, VAの4つのデータをクラスター分析にかけた結果が表4である。ここでは、kメディアン法による非階層的クラスター分析の結果を報告する。表から明らかなように、GDP, HDI, u5mort, VAのそれぞれの平均において、クラスター1のパフォーマンスが最も高く、ついでクラスター4、クラスター2、クラスター3となっている。しかしながら、それぞれのクラスターに関する持続可能性指標の平均でみると、クラスター1のGSは最も高いパフォーマンスを示している一方で、EFのパフォーマンスは最も低い（最も値が高く、生態学的負荷が高い）。対照的に、クラスター3のGSは最もパフォーマンスが低い、EFのパフォーマンスは最も高い。さらに、GDP, HDI, u5mort, VAといった指標でみれば、クラスター4のパフォーマンスはクラスター2に比べて高いが、持続可能性の観点からは、順序が逆転する。

さらに、それぞれのクラスターに属する国々を表5にまとめている。表から明らかなように、クラスター1には北・西欧、クラスター2には中・東欧および中南米、クラスター3には、南・

東南アジアおよびアフリカ、クラスター4には中南米および南欧諸国が含まれている。すなわち、経済、社会、制度および、持続可能性のパフォーマンスは地理的配置と関連している。この点をより詳しくみるために、各指標と各国の首都の緯度の絶対値との間の相関係数を求めたのが表6である⁷⁾。

表4 クラスター分析の結果

	クラスター1	クラスター2	クラスター3	クラスター4
平均 GDP (\$)	27,257	2,951	522	9,813
平均 HDI	0.9486	0.7846	0.5672	0.8820
平均 VA	1.2661	0.0382	- 0.6959	0.6655
平均 u5mort (‰)	5.69	30.47	117.31	13.02
平均 GS (%)	11.706	6.840	3.357	5.918
平均 EF (gha)	5.976	2.433	1.207	4.062
GDP	A	C	D	B
HDI	A	C	D	B
VA	A	C	D	B
u5mort	A	C	D	B
GS	A	B	D	C
EF	D	B	A	C
頻度	18	35	47	11

注：表中AからDは、それぞれのパフォーマンスのクラスター間での序列（A：最も高い～D：最も低い）を意味する。

まず、緯度とGSおよびEFは有意に正の相関をしている。すなわち、緯度が高い（比較的温暖な気候帯）国ほど弱い持続可能性は高いが、EFで測定されたより高い生態学的負荷を伴うことが示唆される。また、緯度はGDP、HDI、VAとそれぞれ有意に正の相関を、u5mortと有意に負の相関をしており、緯度が高い国ほど、経済、社会、制度指標のパフォーマンスは高い。

6. 総括

第3節から第5節での分析で明らかになった点は、以下のようにまとめられる。

1. 弱い持続可能性指標であるジェニユイン・セイビングが高い（低い）ほど、経済、社会、制度指標のパフォーマンスは高い（低い）。また、弱い持続可能性基準（ $GS \geq 0$ ）を満たす国々の平均的な経済、社会、制度パフォーマンスは、基準を満たさない（ $GS < 0$ ）の国々のそれに比べて高い。すなわち、弱い持続可能性と経済、社会、制度パフォーマンスは両立する。

7) サンプルには南北に長い国が含まれる。

表5 各クラスターに属する国々

クラスター 1	クラスター 2	クラスター 3	クラスター 4
オーストラリア	アルバニア	アルメニア	アルゼンチン
オーストリア	ベラルーシ	バングラデシュ	チェコ
ベルギー	ブラジル	ベナン	ギリシャ
カナダ	ブルガリア	ボリビア	メキシコ
デンマーク	チリ	ブルキナファソ	ニュージーランド
フィンランド	コロンビア	ブルンジ	ポルトガル
フランス	コスタリカ	コートジボアール	サウジアラビア
ドイツ	ドミニカ共和国	カンボジア	韓国
アイルランド	エクアドル	カメルーン	スペイン
イタリア	エジプト	中央アフリカ共和国	トリニダード・トバゴ
日本	エルサルバドル	中国	ウルグアイ
クウェート	エストニア	エチオピア	
オランダ	ガボン	ガンビア	
ノルウェー	グアテマラ	グルジア	
スウェーデン	ハンガリー	ガーナ	
スイス	イラン	ギニア	
イギリス	ジャマイカ	ハイチ	
アメリカ	ヨルダン	ホンジュラス	
	カザフスタン	インド	
	リトアニア	インドネシア	
	マケドニア	ケニア	
	マレーシア	キルギス	
	ナミビア	マダガスカル	
	パナマ	マラウィ	
	パラグアイ	マリ	
	ペルー	モルドバ	
	ポーランド	モンゴル	
	ルーマニア	モロッコ	
	ロシア	モザンビーク	
	スロバキア	ネパール	
	南アフリカ	ニジェール	
	タイ	ナイジェリア	
	チュニジア	パキスタン	
	トルコ	フィリピン	
	ベネズエラ	ルワンダ	
		シエラレオネ	
		スリランカ	
		スーダン	
		シリア	
		タンザニア	
		トーゴ	
		ウガンダ	
		ウクライナ	
		ウズベキスタン	
		ベトナム	
		ジンバブエ	

注：各国の順序は、クラスター分析での近接度に従っている。すなわち、隣接しているほど4つのデータ（GDP, HDI, u5mort, VA）の構造の近接度が高い。

表6 緯度と持続可能性, 社会, 経済, 制度指標間の相関係数

	Latitude	GS	EF	GDP	HDI	u5mort	VA
Latitude	1.0000						
GS	0.1682 0.0777	1.0000					
EF	0.6365 0.0000	0.1329 0.1644	1.0000				
GDP	0.5389 0.0000	0.2725 0.0038	0.8044 0.0000	1.0000			
HDI	0.6845 0.0000	0.2481 0.0087	0.7188 0.0000	0.6768 0.0000	1.0000		
u5mort	-0.6004 0.0000	-0.3210 0.0006	-0.5484 0.0000	-0.4859 0.0000	-0.9337 0.0000	1.0000	
VA	0.4719 0.0000	0.4097 0.0000	0.6652 0.0000	0.6878 0.0000	0.6496 0.0000	-0.5062 0.0000	1.0000

注：Latitude は首都の緯度の絶対値。上段はピアソンの積率相関係数, 下段は有意確率, サンプルサイズは 111 である。

- 強い持続可能性指標であるエコロジカル・フットプリントが高い（低い）ほど、経済、社会、制度指標のパフォーマンスは高い（低い）。また、強い持続可能性基準（EF < 1.8）を満たす国々の平均的な経済、社会、制度パフォーマンスは、基準を満たさない（EF ≥ 1.8）国々のそれに比べて低い。すなわち、強い持続可能性と経済、社会、制度パフォーマンスは両立しない。
- 弱い持続可能性基準を満たす国が、強い持続可能性基準を満たすとは限らず、強い持続可能性基準を満たす国が弱い持続可能性基準を満たすとも限らない。ここで取り上げたサンプルの中で両方の基準を満たす国々は全体の 35% 強であった。
- 弱い持続可能性基準（GS ≥ 0%）と強い持続可能性基準（EF < 1.8gha）をいずれも満たす国々の、平均的な経済、社会、制度パフォーマンスは、どちらか一方の基準を満たす国々と、いずれもの基準も満たさない国々比べて相対的に低い。
- クラスター分析による分類によると、経済、社会、制度パフォーマンスは、地理的な配置によって特徴づけることができる。また、緯度が高い国ほどジェニユイン・セイビングとエコロジカル・フットプリントの値が高く、経済、社会、制度パフォーマンスも高い。

7. おわりに

冒頭および第2節で議論したように、しばしば対立的に議論される弱い持続可能性と強い持続可能性概念のいずれに基づいて持続可能性を判断すべきかという点については、明白な証拠もコンセンサスもない。本稿では、両基準の指標として、ジェニユイン・セイビングとエコロジカル・フットプリントを、また経済、社会、制度に関する4つの指標を取り上げ、それぞれの関連を分

析した。

ここで示された実例からは、弱い持続可能性と経済、社会、制度パフォーマンスが両立しうる一方で、強い持続可能性と経済、社会、制度パフォーマンスはトレード・オフの関係を示すことが明らかになった。また、弱い持続可能性基準を満たす国が、強い持続可能性基準を満たすとは限らず、強い持続可能性基準を満たす国が弱い持続可能性基準を満たすとも限らない。さらに、弱い持続可能性と強い持続可能性の両基準を同時に満たす国々の平均的な経済、社会、制度パフォーマンスは、いずれかの基準を満たす、あるいはいずれの基準も満たさない国々のそれに比べて低いという結果が得られた。すなわち、両基準を満たす国々の平均GDP (874ドル)、平均HDI (0.608)、平均u5mort (95.62%)、平均VA (-0.560) といった値は、それぞれの国の「現在世代のニーズ」が相対的に満たされているとはいえないことを示唆している。

低開発国の、経済、社会、制度パフォーマンスの改善は、弱い持続可能性のパフォーマンスを高めることに寄与するかもしれないが⁸⁾、そのことが、追加的な生態系圧力の増加をもたらすことで、強い持続可能性のパフォーマンスを低めることが示唆される。そのようなトレード・オフを解消するためには、現在の先進国が歩んできた発展パターンとは異なった発展経路の特定が不可欠であるといえる。

弱い持続可能性と強い持続可能性の概念は、将来世代がみずからのニーズを満たす能力を保持しうるかどうかを評価しようとするものである。一方で、WCED (1987) の定義によれば、持続可能な発展とは「将来世代がみずか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。本稿で示されたように、弱い持続可能性と経済、社会、制度パフォーマンスは両立しうるが、強い持続可能性と経済、社会、制度パフォーマンスはトレード・オフの関係を示すといった場合には、どのようにすれば、適切な持続可能性の評価が可能なのかという問題が生じる。この点は、弱い持続可能性基準と強い持続可能性基準のいずれに基づいて、サステナビリティを評価すべきかという問題とは別に、世代間衡平性と世代内衡平性の概念を含むサステナビリティをどのように評価すべきかという点についても課題をもたらす。本研究では、既存のデータを用いることで、持続可能性評価の際の難点を例証した。ここでの例証を通じて得られた示唆をもとに、持続可能性の評価体系のあり方について、よりいっそうの研究が必要である。

8) たとえば、Soysa and Neumayer (2005) は、ジェニュイン・セイビングと経済開放度との間に有意に正の相関を、また、必ずしもロバストではないが、ジェニュイン・セイビングと民主的指標との間に正の相関をえている。また、Costantini and Monni (2008) は、負値に変換したジェニュイン・セイビングと修正HDIの2次項との間に有意に負の相関（したがって両パフォーマンスは正の相関）を、制度指標としての法の支配との間に有意に負の相関（したがって両パフォーマンスは正の相関）をえている。

参考文献

- Böhringer, C., Jochem, P. E. R. (2007) Measuring the Immeasurable — A Survey of Sustainability Indices. *Ecological Economics*, 63, 1-8.
- Chambers, N., Simmons, C., Wackernagel, M. (2001) *Sharing Nature's Interest: Ecological Footprint as an Indicator of Sustainability*. Earthcan Publications Ltd., London. (五頭美知訳 (2005) エコロジカル・フットプリントの活用—地球1コ分の暮らしへ。合同出版)
- Cobb, J. B., Halstead, E., Rowe, J. (1995) *The Genuine Progress Indicator — Summary of Data and Methodology*. Redefining Progress, Washington, DC.
- Costantini, V., Monni, S. (2008) Environment, Human Development and Economic Growth. *Ecological Economics*, 64, 867-880.
- Daly, H. E. (1991) *Steady-States Economics*. Iceland Press, Washington.
- Daly, H. E. (1995) On Wilfred Beckerman's Critique of Sustainable Development. *Environmental Value*, 4, 49-55.
- Daly, H. E., Cobb, J. B. (1989) *For the Common Good*. Beacon Press, Boston.
- Dasgupta, P., Heal, G. (1974) The Optimal Depletion of Exhaustible Resources. *Review of Economic Studies*, Symposium, 3-28.
- Dixit, A., Hammond, P., Hoel, M. (1980) On Hartwick's Rule for Regular Maximin Paths of Capital Accumulation and Resource Depletion. *Review of Economic Studies*, 47, 551-556.
- Esty, D. C., Levy, M. A., Srebotnjak, T., de Sherbinin, A. (2005) *2005 Environmental Sustainability Index: Benchmarking National Environmental Stewardship*. Yale Center for Environmental Law and Policy, New Haven.
- Esty, D. C., Levy, M. A., de Sherbinin, A., Kim, C. H., Anderson, B. (2006) *Pilot 2006 Environmental Performance Index*. Yale Center for Environmental Law and Policy, New Haven.
- Esty, D. C., Kim, C., Srebotnjak, T., Levy, M. A., de Sherbinin, A., Mara, V. (2008) *2008 Environmental Performance Index*. Yale Center for Environmental Law and Policy, New Haven.
- Hamilton, K., Clemens, M. (1999) Genuine Savings Rates in Developing Countries. *World Bank Economic Review*, 13, 333-356.
- Hartwick, J. M. (1977) Intergenerational Equity and the Investing of Rents from Exhaustible Resources. *The American Economic Review*, 67, 972-974.
- Hotelling, H. (1931) The Economics of Exhaustible Resources. *Journal of Political Economy*, 39, 137-175.
- Kaufmann, D., Kraay, A., Mastruzzi, M. (2005) Governance Matters IV: Governance Indicators for 1996-2004. *World Bank Policy Research Working Paper Series*, No. 3630.
- 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
- Mäler, K-G. (2007) Wealth and Sustainable Development: the Role of David Pearce. *Environmental and Resource Economics*, 37, 63-75.
- Markandya, A., Pedroso-Galinato, S. (2007) How Substitutable Is Natural Capital. *Environmental and Resource Economics*, 37, 297-312.
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., Behrens III, W. W. (1972) *The Limits to Growth*. Universe Books, New York. (大来佐武朗監訳 (1972) 成長の限界：ローマクラブ「人類の危機レポート」。ダイヤモンド社)
- 森田恒幸・川島康子 (1993) 持続可能な発展論の現状と課題。三田学会誌, 85, 4-33.
- Nordhaus, W. D., Tobin, J. (1972) Is Growth Obsolete? Moss, M. (ed.), *The Measurement of Economic and Social Performance*, NBER, 509-532.

- 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.
- Rees, W., Wackernagel, M. (1994) Ecological Footprints and Appropriated Carrying Capacity: Measuring the Natural Capital Requirements of the Human Economy. *Investing in Natural Capital: The Ecological Economics Approach to Sustainability* (Jansson, A. M., Hammer, M., Folke, C. Costanza, R., eds.), 362-390, Island Press, Washington, DC.
- 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.
- 佐々木健吾・植田和弘 (2009) 持続可能性指標の課題と展望。 *KSI Communications*, 2009-004.
- Solow, R. M. (1974) Intergenerational Equity and Exhaustible Resources. *Review of Economic Studies*, Symposium, 29-45.
- de Soysa, I., Neumayer, E. (2005) Fales Prophet, or Genuine Savior? Assessing the Effects of Economic Openness on Sustainable Development, 1980-99. *International Organization*, 59, 731-772.
- Stiglitz, J. (1974) Growth with Exhaustible Natural Resources: Efficient and Optimal Growth Paths. *Review of Economic Studies*, Symposium, 123-137.
- Wackernagel, M., Rees, W. (1996) *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. New Society Publishers, British Columbia. (和田喜彦監訳 (2004) エコロジカル・フットプリント—地球環境持続のための実践プランニング・ツール。合同出版)
- WCED (1987) *Our Common Future*. Oxford University Press, Oxford and New York. (大来佐武朗監修, 環境庁国際問題研究会訳 (1987) 地球の未来を守るために。福武書店)