

〈論 文〉

SDGs の到達度を測る ——正射影ベクトルを用いた統合指標作成の試み——

高 井 亨*

I はじめに

1 持続可能な開発目標

持続可能な開発目標（以下 SDGs）とは、2015年9月に国連総会で採択された「持続可能な開発のための2030アジェンダ」（以下2030アジェンダ）に記載された、2030年までに達成すべき国際目標である。持続可能な世界を実現するための17のゴールと169のターゲット（達成基準）から構成され、地球上の誰一人取り残さないことを宣言する。SDGsは発展途上国のみならず、先進国自身も取り組むべきユニバーサル（普遍的）な目標である。17個のゴールを表1に示した。169個のターゲットについては、UN（2015）を参照されたい。

表1 SDGsの17ゴール

Goal 1：あらゆる場所のあらゆる形態の貧困を終わらせる
Goal 2：飢餓を終わらせ、食料安全保障及び栄養改善を実現し、持続可能な農業を促進する
Goal 3：あらゆる年齢の全ての人々の健康的な生活を確保し、福祉を促進する
Goal 4：全ての人に包摂的かつ公正な質の高い教育を確保し、生涯学習の機会を促進する
Goal 5：ジェンダー平等を達成し、全ての女性及び女児の能力強化を行う
Goal 6：全ての人々の水と衛生の利用可能性と持続可能な管理を確保する
Goal 7：全ての人々の、安価かつ信頼できる持続可能な近代的エネルギーへのアクセスを確保する
Goal 8：包摂的かつ持続可能な経済成長及び全ての人々の完全かつ生産的な雇用と働きがいのある人間らしい雇用（ディーセント・ワーク）を促進する
Goal 9：強靱（レジリエント）なインフラ構築、包摂的かつ持続可能な産業化の促進及びイノベーションの推進を図る
Goal 10：各国内及び各国間の不平等を是正する
Goal 11：包摂的で安全かつ強靱（レジリエント）で持続可能な都市及び人間居住を実現する
Goal 12：持続可能な生産消費形態を確保する
Goal 13：気候変動及びその影響を軽減するための緊急対策を講じる
Goal 14：持続可能な開発のために海洋・海洋資源を保全し、持続可能な形で利用する
Goal 15：陸域生態系の保護、回復、持続可能な利用の推進、持続可能な森林の経営、砂漠化への対処、並びに土地の劣化の阻止・回復及び生物多様性の損失を阻止する
Goal 16：持続可能な開発のための平和で包摂的な社会を促進し、全ての人々に司法へのアクセスを提供し、あらゆるレベルにおいて効果的で説明責任のある包摂的な制度を構築する
Goal 17：持続可能な開発のための実施手段を強化し、グローバル・パートナーシップを活性化する

出所：United Nations（2015）

* 公立鳥取環境大学経営学部准教授

2 持続可能な開発目標の到達度をいかに計測するか

さて、SDGsの達成に向けて各国が取り組みを進めているが、目標到達にどれだけ近づいているのだろうか。言い換えれば「SDGsの意味において」各国は持続可能な状態にどれだけ近づいているのか。これを明らかにするには、国連統計委員会等が承認した232個の指標（Global Indicators）の到達度を計測すればよい。たとえばOECD（2016, 2017, 2019）は、OECD加盟国の様々な指標について、目標値からの乖離をそれぞれ計測し到達度を示している。ただしこの方法ではSDGsが総体としてどれだけ達成されたかわからない。つまり、ひとつでも到達していない目標があれば、不十分と考えることもできる。OECDによる一連の報告はそのような視点によっている。

しかし、232個の指標の到達度を統合的に計測する必要もある。たとえば目標Aの到達度を高めるためには、現実的には他の目標Bの到達度を犠牲にせねばならないことがありうる。そのような帰結をどのように評価（解釈）すべきだろうか。また、さまざまな主体がSDGs到達に向けた取り組みをおこなえば、相互作用はより多くのターゲット間で生じうるだろう。つまり個別に指標を評価するだけでは当該指標以外への波及効果を考慮することができず、必ずしも真の帰結を評価したとは言えない。すなわち帰結を一次元指標によって評価する試みが求められる。現時点では、ベルテルスマン財団およびSDSN¹⁾が公表しているSachs et al.（2016, 2017, 2018, 2019）が唯一の統合的評価の事例である²⁾。

では、SDGsの到達度はいかにして統合的に評価できるのだろうか。一般的にはCI：Composite Indicator（日本語の定訳はなく、複合指標や集計指標と呼ばれるが、以下では統合指標とする）を作成することによってなされる（統合指標の一般的な作成方法についてはⅡ章において述べる）。統合指標とは、簡単に言えば、多様な指標を単一尺度で測定する物差である。

さて、統合指標はその理論、計測事例ともに膨大な研究蓄積を有する。それゆえその枠組みに沿ってSDGsの到達度の統合評価を行うことが一般的であろう。しかしながら既存の枠組みに依拠したSachs et al.の報告書を読み解くと、SDGsの計測に適した評価手法が本来は求められていることが見てとれる。そこで本稿では、SDGsの到達度を一次的に評価する新しい方法論を提案する。この手法は、実は、統合指標を作成するための新しい方法となっており、SDGsの到達度を評価する上で望ましい性質を備えている。

本稿は、SDGsの到達度を評価するための新たな方法論を提案することに重きを置く。とはいえ、当然ながら提案した方法を実際に適用することが重要である。それゆえ、本稿ではSachs et al.（2018）が用いたデータによって統合指標を計測する。既存の評価事例とデータを共有することは、新たな方法の特質を実証的な側面からも明確にするだろう。

3 本稿の構成

本稿の構成は以下のとおりである。Ⅱ章では統合指標の作成方法についての簡単な解説を行うとともにSachs et al.（2018）の方法論をやや詳しく取り上げる。Ⅲ章では、SDGsの到達度を評価す

1) SDSNはSustainable Development Solution Networkの略である。

2) 統合指標の開発に大きな貢献を果たしてきた欧州委員会のJoint Research Centre（JRC）によってSachs et al.（2018）が監査され、その結果はSachs et al.（2019）に反映されている。詳細はPapadimitriou et al.（2019）を参照のこと。

るために、新しい方法を提案することの必要性を述べる。IV章では、新しい方法論の基礎となる個別指標³⁾の標準化方法を新たに提案する。V章では、正射影ベクトルを用いて個別指標を統合する新たな方法を提案する。VI章では、新たな統合指標の基本的性質を明らかにする。VII章では新たな統合指標の値を変動させる要因を静学的分析から明らかにする。VIII章では本稿で提案した方法論を援用し、実際にSDGsの到達度の計測を行うとともに、計測結果についての簡単な分析を試みる。IX章では本稿の結論と今後の課題について述べる。

II 統合指標を用いたSDGsの到達度の計測

SDGsの到達度の計測には、統合指標を用いることが一般的である。そこで本稿では、統合指標の作成方法の一般的な手順について述べる。統合指標はその作成方法についてのきわめて精緻なマニュアルが作成されており、たとえばOECD and JRC (2008)がよく知られる⁴⁾。

また、本稿は新たに提案する方法を用いて実際にSDGsの到達度の計測も試みる。それゆえ代表的な先行研究であるSachs et al. (2018)⁵⁾の方法を概観する。

1 統合指標作成の一般型

通常、多様なデータ(指標)を集約して統合指標(Composite Indicator; CI)を作成するためには、OECD and JRC (2008)に示された以下の手順を踏む⁶⁾。

- ① 統合指標に用いる指標を選択する
- ② 欠損データの処理
- ③ 個別指標の基本的性質(データ間および指標間の関連性)を多変量解析(主成分分析・クラスター分析など)によって明らかにする
- ④ 単位の異なるデータを統合可能とするために個別指標の標準化をおこなう⁷⁾。
- ⑤ 個別指標の重みを決定し、重みづけされた個別指標の集計方法を定める⁸⁾。
- ⑥ 評価結果がデータの補間方法、標準化手法、重みづけおよび集計方法の違いなど違いによって頑健かチェックする
- ⑦ データに立ち返って、どの個別指標が計測結果にインパクトを与えているのかを確認する。少

3) 統合指標と232個のGlobal Indicatorsとの区別を明確にするため、紛らわしい場合は、後者を個別指標とする。

4) この他にSaltzman (2003), Jacobs et al. (2004), Nardo et al. (2005)など、統合指標作成のための一般的手順についての論点を解説したマニュアルが存在しそれぞれ特徴があるものの、これらの論点はOECD and JRC (2008)に反映されているとみてよい。

5) 方法論の詳細はLafortune et al. (2018)に記されている。

6) OECD and JRC (2008)では、以下の①の前に、「理論的枠組みの開発」の段階が記載されている。つまり「測りたい多次元的事象」を明確に理解し定義づける段階である。SDGsの到達度の測定においては、232個の個別指標がすでにリストアップされており、この段階および①は本稿にとっては所与である。

7) 順序、基準値との比、z-score、Min-Maxなどがある。

8) 重みづけ方法および集計方法についてはGan et al. (2017)がわかりやすい。

数の指標によって計測結果が支配されていないか注意する。

- ⑧ 統合指標に含まれない他の既存指標との関連性を、相関分析や回帰分析を用いて検討する
- ⑨ 結果を提示する

①-⑨のうち Sachs et al. (2018) において考慮されている手順について次節で詳しく言及する。

2 ベルテルスマン財団およびSDSNの報告書

筆者の知る限り、途上国を含め世界各国のSDGsの到達度を統合指標によって計測する試みは、Sachs et al. (2016, 2017, 2018, 2019) のみである。I章において言及したOECD (2016, 2017, 2019) がOECD加盟国のみを対象とし、非統合型の評価であったことは大きく異なる。

さて、169のターゲットの到達度を計測する232個の個別指標は、先進国を含め多くの途上国において未整備のものが多い。Sachs et al. の一連の報告書においても、国連統計委員会によって承認された232個の公式指標は必ずしも用いられていない。

(1) 報告書で用いられた指標

Lafortune et al. (2018) によれば、以下の基準を満たすよう指標が選ばれている。

- ① 幅広い適用可能性：国際的にひろく比較可能なこと
- ② 統計的妥当性：有効かつ信頼できる測度であること
- ③ 適時性：最新のものであること。また適度に迅速なスケジュールで公表されていること
- ④ データの質：国内または国際的な公的情報源や査読誌に掲載されていること
- ⑤ 対象範囲：人口が100万人を超える国連加盟149国のうち、少なくとも80%のデータを入手できること

結果としてデータの大部分は、厳密なデータ検証プロセスを有する国際機関（世界銀行、OECD、WHO、FAO、ILO、ユニセフなど）から得られており、その他はGallup World Pollによる調査、OxfamやTax Justice Networkなどの市民社会（Civil Society）が提供するもの、ならびに査読ジャーナルからである。このようにして選ばれた個別指標を表2に示した⁹⁾。

9) 表中には、各指標の詳細な出典は示していないが、詳しくは報告書中のTable 10を参照されたい。

表 2 指標一覧

SDG	Indicator	SDG	Indicator
1	Poverty headcount ratio at \$1.90/day (% population)	9	Population using the internet (%)
1	Projected poverty headcount ratio at \$1.90/day in 2030 (% population)	9	Mobile broadband subscriptions (per 100 inhabitants)
1	Poverty rate after taxes and transfers, Poverty line 50% (% population)	9	Quality of overall infrastructure (1= extremely underdeveloped; 7= extensive and efficient by international standards)
2	Prevalence of undernourishment (% population)	9	Logistics performance index: Quality of trade and transport-related infrastructure (1=low to 5=high)
2	Prevalence of stunting (low height-for-age) in children under 5 years of age (%)	9	The Times Higher Education Universities Ranking, Average score of top 3 universities (0-100)
2	Prevalence of wasting in children under 5 years of age (%)	9	Number of scientific and technical journal articles (per 1,000 population)
2	Prevalence of obesity, BMI ≥ 30 (% adult population)	9	Research and development expenditure (% GDP)
2	Cereal yield (t/ha)	9	Research and development researchers (per 1,000 employed)
2	Sustainable Nitrogen Management Index	9	Triadic Patent Families filed (per million population)
3	Maternal mortality rate (per 100,000 live births)	9	Gap in internet access by income (%)
3	Neonatal mortality rate (per 1,000 live births)	9	Women in science and engineering (%)
3	Mortality rate, under-5 (per 1,000 live births)	10	Gini Coefficient adjusted for top income (1-100)
3	Incidence of tuberculosis (per 100,000 population)	10	Palma ratio
3	HIV prevalence (per 1,000)	10	Elderly Poverty Rate (%)
3	Age-standardised death rate due to cardiovascular disease, cancer, diabetes, and chronic respiratory disease in populations age 30-70 years (per 100,000 population)	11	Annual mean concentration of particulate matter of less than 2.5 microns of diameter (PM _{2.5}) in urban areas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
3	Age-standardised death rate attributable to household air pollution and ambient air pollution (per 100,000 population)	11	Improved water source, piped (% urban population with access)
3	Traffic deaths rate (per 100,000 population)	11	Satisfaction with public transport (%)
3	Healthy Life Expectancy at birth (years)	11	Rent overburden rate (%)
3	Adolescent fertility rate (births per 1,000 women ages 15-19)	12	Municipal Solid Waste (kg/year/capita)
3	Births attended by skilled health personnel (%)	12	E-waste generated (kg/capita)
3	Percentage of surviving infants who received 2 WHO-recommended vaccines (%)	12	Percentage of anthropogenic wastewater that receives treatment (%)
3	Universal Health Coverage Tracer Index (0-100)	12	Production-based SO ₂ emissions (kg/capita)
3	Subjective Wellbeing (average ladder score, 0-10)	12	Net imported SO ₂ emissions (kg/capita)
3	Gap in life expectancy at birth among regions (years)	12	Nitrogen production footprint (kg/capita)
3	Gap in self-reported health by income (0-100)	12	Net imported emissions of reactive nitrogen (kg/capita)
3	Daily smokers (% population age 15+)	12	Non-Recycled Municipal Solid Waste (MSW in kg/person/year times recycling rate)
4	Net primary enrolment rate (%)	13	Energy-related CO ₂ emissions per capita (tCO ₂ /capita)
4	Mean years of schooling (years)	13	Imported CO ₂ emissions, technology-adjusted (tCO ₂ /capita)
4	Literacy rate of 15-24 year olds, both sexes (%)	13	Climate Change Vulnerability Monitor (best 0-1 worst)
4	Population age 25-64 with tertiary education (%)	13	CO ₂ emissions embodied in fossil fuel exports (kg/capita)
4	Population age 25-64 with tertiary education (%)	13	Effective Carbon Rate from all non-road energy, excluding emissions from biomass (€/tCO ₂)
4	Percentage of variation in science performance explained by students' socio-economic status	14	Mean area that is protected in marine sites important to biodiversity (%)
4	Students performing below level 2 in science (%)	14	Ocean Health Index Goal - Biodiversity (0-100)
4	Resilient students (%)	14	Ocean Health Index Goal - Clean Waters (0-100)
5	Estimated demand for contraception that is unmet (% women married or in union, ages 15-49)	14	Ocean Health Index Goal - Fisheries (0-100)
5	Ratio of female to male mean years of schooling of population age 25 and above	14	Percentage of Fish Stocks overexploited or collapsed by EEZ (%)
5	Ratio of female to male labour force participation rate	14	Fish caught by trawling (%)
5	Seats held by women in national parliaments (%)	15	Mean area that is protected in terrestrial sites important to biodiversity (%)
5	Gender wage gap (Total, % male median wage)	15	Mean area that is protected in freshwater sites important to biodiversity (%)
6	For high-income & OECD countries : population using safely managed water services (%)	15	Red List Index of species survival (0-1)
6	For all other countries : Population using at least basic drinking water services (%)	15	Annual change in forest area (%)
6	For high-income & OECD countries : population using safely managed sanitation services (%)	15	Imported biodiversity threats (threats per million population)
6	For all other countries : Population using at least basic sanitation services (%)	16	Homicides (per 100,000 population)
6	Freshwater withdrawal as % total renewable water resources	16	Prison population (per 100,000 population)
6	Imported groundwater depletion (m ³ /year/capita)	16	Proportion of the population who feel safe walking alone at night in the city or area where they live (%)
7	Access to electricity (% population)	16	Government Efficiency (1-7)
7	Access to clean fuels & technology for cooking (% population)	16	Property Rights (1-7)
7	CO ₂ emissions from fuel combustion / electricity output (MtCO ₂ /TWh)	16	Birth registrations with civil authority, children under 5 years of age (%)
8	Share of renewable energy in total final energy consumption (%)	16	Corruption Perception Index (0-100)
8	Adjusted Growth (%)	16	Children 5-14 years old involved in child labour (%)
8	Slavery score (0-100)	16	Transfers of major conventional weapons (exports) (constant 1990 US\$ million per 100,000 population)
8	Adults (15 years and older) with an account at a bank or other financial institution or with a mobile-money-service provider (%)	17	Government Health and Education spending (% GDP)
8	Unemployment rate (% total labor force)	17	For high-income and all OECD DAC countries: International concessional public finance, including official development assistance (% GNI)
8	Employment-to-Population ratio (%)	17	For all other countries: Tax revenue (% GDP)
8	Youth not in employment, education or training (NEET) (%)	17	Tax Haven Score (best 0-5 worst)
		17	Financial Secrecy Score (best 0-100 worst)

出所 : Sachs et al. (2018)

(2) 報告書における欠損データの取り扱い

欠損データ由来のバイアスを最小限に抑えるために、全個別指標の少なくとも 80% のデータを持つ国のみについて統合指標値が算出された。その際、欠損データの補完は、広く同意された手法が存在しないため、いくつかの指標についてのみ行われた¹⁰⁾。このような手順を踏んで、データセットは作成された。

10) 詳細については報告書中の Missing data and imputations の項を参照されたい。

(3) 報告書での標準化の方法

個別指標の標準化は、最悪値が0、最良値（最適値）が100になるよう、以下の Min-Max を用いている。

$$\text{Min-Max} = \frac{\text{データ} - \text{最悪値}}{\text{最良値} - \text{最悪値}} \times 100 \quad (1)$$

ただし、

最悪値：下位 2.5 パーセンタイル点（外れ値に対する頑健性を考慮）

最良値（技術的最良値）：目標値（報告書では技術的最良値もしくは上限とも記される）である¹¹⁾。

ちなみに、下位 2.5 パーセンタイル点を下回るデータは下位 2.5 パーセンタイル点に、目標値を上回るデータは目標値に置き換えることで、Min-Max による変換後の全てのデータは 0-100 の範囲に収まる。

(4) 報告書での目標値の設定方法

2 節 (3) において言及した目標値は以下のように定められる。

- ① SDG やターゲットに記された数値目標を用いる（「貧困ゼロ」「水やトイレへの普遍的アクセス」など）
- ② ①のように明確な数値目標を利用できない場合、極度の貧困への対策、公共サービスおよび基本的インフラへのアクセスに関わる目標については「誰一人取り残さない」という原則を適用する
- ③ 2030 年までに到達すべき科学的根拠のある目標が存在する場合、これらを目標設定に用いる（例：世界の平均気温の上昇を 2℃ 以内に維持する）
- ④ すでに SDG の目標を超えている国がある場合は、上位 5 カ国の平均を用いる（「子供の死亡率」など）
- ⑤ 上記に含まれない指標については、上位 5 カ国の平均を用いる

(5) 報告書での重みのつけ方と統合方法

まず各ゴール（SDG1 から 17）の到達度を算出するために、当該ゴールに属する個別指標に等しい重みを与え算術平均をとる。①等しい重みづけ、②数理的な背景を持つ重みづけ（たとえば主成分分析）、③専門家による重みづけ、④主観的重みづけのいずれも満足いく方法とは見なされず、等しい重みづけが採用された。

その後、上記の各ゴール値に対して再び等しい重みを与え、再度、算術平均を求める。すべての

11) 一般に定義される Min-Max は、 $\frac{\text{データ} - \text{最小値}}{\text{最大値} - \text{最小値}} \times 100$ である。これは値が大きいくほど望ましい指標の標準化を念頭においた表現であり、値が小さいほど望ましい指標の標準化は $\frac{\text{最大値} - \text{データ}}{\text{最大値} - \text{最小値}} \times 100$ とする必要がある。

ゴールに等しい重みを与えるのは「規範的な仮定として、すべてのSDGを平等かつ『統合され不可分の (integrated and indivisible)』 (UN, 2015) 目標群として扱う、という理念を反映する」ためである。

ここで留意したいのは、算術平均は各ゴール間の値の代替性を認める操作に他ならず、弱い持続可能性の計測を前提としていることである。代替可能性をより低くしか認めない、つまり、強い持続可能性の計測を志向するならば、たとえばHDIのように各ゴール値の幾何平均をとることが本来望ましい¹²⁾。報告書では実際に両者を算出し、評価結果に大きな差が見られなかったため、算術平均による結果を示している。

(6) 統合指標の計測結果

標準化後の個別指標値は0-100の範囲に収まるため、その算術平均をもとに算出された各ゴール値と、各ゴール値の算術平均による統合指標値は0-100の範囲にある。そしてこの値は各国の総合的なSDGs到達度を表している。統合指標値が100のとき「SDGsの意味において」強く持続可能な状態である (全ゴールが100でなければ、統合指標値は100とならない)。ゆえに100未満であればいずれかのゴールに未到達のものがある。

計測結果を見ると、最高値はスウェーデンの85であり80を超える国は9カ国ある。上位は北欧諸国を中心に欧州の国々が占める。日本は78.5で15位となっている。一方、最下位は中央アフリカ共和国の37.7であり、下位10カ国はイエメンとアフガニスタンを除いて全てアフリカ諸国である。

Ⅲ なぜ新しい方法が必要か

統合指標の枠組みにおいてSDGsの到達度を評価するとき、いくつか問題が生じる。その一つが重みづけの妥当性である。SDGsの到達度を評価する場合、各ゴールおよび個別指標に等しい重みを与えることには相応の根拠があるように思われるものの、十分に議論されていない。

たとえば、各ゴール (SDG1 から 17) の到達度を算出する際、当該ゴールに属する個別指標に等しい重みを与えた理由は、既存の重みを与える方法が満足ゆくものではないという消極的なものであった。一方、すべてのゴールに等しい重みを与えることは、「すべてのSDGを平等かつ『統合され不可分の』目標群として扱う」ためとされ、一見妥当な理由に思われる。しかし後者にも問題がある。すべてのSDGを平等に配慮することと、等しい重みづけとは単純に結びつかないのではないだろうか。つまり各SDGが等しい重みで配慮されるべき状況は、各ゴールの到達度が等しい (横並び) のときに限られるのであり、規範的な観点からは、到達度の異なるSDGどうしに等しい重みを与えることは結局、平等に配慮したことにはならないのではないだろうか。

そこで本稿では、Sachs et al. (2018) の到達点を認めつつも、主として方法論に論点を絞り、よりSDGsの到達度の計測において説得力をもつ手法を提案する。提案の詳細は2つある。一つは標準化において既存の手法 (特に z-score と Max-Min) の利点を取り入れた新たな方法の提案である。もう一つは、新たな標準化手法を用いて、各SDG (および各指標) を「平等に配慮する」重み

12) 一つでも到達度の低いゴールがあると、幾何平均はその値に強く影響される。

づけを、より SDGs の理念（誰一人取り残さない）にふさわしい形で実現させることである。これは正射影ベクトルを用いたまったく新しい単一指標の構築方法を考案することによってなされる。そして、その結果として得られる統合指標は、規範的に望ましいであろう「達成度の低い目標（指標）に、より重みを置く」ことを可能とする。付言すれば、この方法は内生的に（つまりデータのもつ情報のみによって）重みが決定され、重みづけの恣意性が低いという利点をもつ¹³⁾。

IV データの標準化についての提案

異なる計測尺度の変数どうしを合成して統合指標を作る上で、データの標準化はきわめて重要である。様々な方法があるが、標準化後の数値の意味や操作性の観点から、既存の方法では以下の二つの方法が望ましい。

$$(1) \text{ z-score} := \frac{x - \text{平均値}}{\text{標準偏差}}$$

どんなデータに対しても、平均 = 0、分散 = 1 となる性質を持つ。また、異常値に対して頑健である。

$$(2) \text{ Min-Max} := \frac{x - \text{最悪値}}{\text{最良値} - \text{最悪値}}$$

どんなデータも 0-1 の範囲に収まり、その値は大きいほど望ましく解釈が容易である。ただし異常値に対する頑健性が低い。

さて、本章では z-score と Min-Max の利点、具体的には、①異常値に対する頑健性と、②値が非負かつ大きいほど望ましい性質をあわせもつ指標を特定化する。

1 記法の定義

本稿では以下のとおり記法を定義する。

$x_{ij}(t)$: 時点 t における i 国 ($i=1, \dots, m$) の j 指標 ($j=1, \dots, n$) の値

(時点 t については定義や概念の初出時以外は表記を省略することがある)

x_{cj} : 指標 j の目標値 (x_{cj} は時点に依存しない)

$x_{wj}(t)$: 指標 j の m 個の指標値および目標値 $\{x_{1j}(t), \dots, x_{mj}(t), x_{cj}\}$ の中でもっとも望ましくない値
ただし、

(i) 値が増加することが望ましい指標（以下、+ 指標）のとき、

$$x_{wj}(t) := \min\{x_{1j}(t), \dots, x_{mj}(t), x_{cj}\}$$

(ii) 値が減少することが望ましい指標（以下、- 指標）のとき、

$$x_{wj}(t) := \max\{x_{1j}(t), \dots, x_{mj}(t), x_{cj}\}$$

である。

$x_{bj}(t)$: 指標 j の m 個の指標値および目標値 $\{x_{1j}(t), \dots, x_{mj}(t), x_{cj}\}$ の中でもっとも望ましい値

13) 内生的重みづけ手法として、近年注目を集めている方法に BOD (Benefit of the Doubt) 法がある。BOD 法は各個体にとって「統合指標値」が最大となるよう重みを与える。言い換えれば、都合の悪い目標に重みを置かない。これは SDGs の「誰一人取り残さない」の理念との親和性が低い。

ただし、

(i) +指標のとき、 $x_{bj}(t) := \max\{x_{1j}(t), \dots, x_{mj}(t), x_{cj}\}$

(ii) -指標のとき、 $x_{bj}(t) := \min\{x_{1j}(t), \dots, x_{mj}(t), x_{cj}\}$

である。

$x_j(t)$: 指標 j の m 個の指標値の平均値

$$\text{つまり, } x_j(t) := \frac{1}{m} \sum_i x_{ij}(t)$$

$s_j(t)$: 指標 j の標準偏差

$$\text{つまり, } s_j(t) := \sqrt{\frac{1}{m} \sum_i (x_{ij}(t) - x_j(t))^2}$$

2 本稿で提案する標準化方法

z-score と Min-Max の利点を次の二つの性質に求め、これらの性質を有する標準化方法を考える¹⁴⁾。

性質 1 : 標準化後の値 (z と記す) は、 $|z|$ が大きいほど望ましい

性質 1 を Min-Max は満たすが、z-score は満たさない¹⁵⁾。

性質 2 : 異常値にある程度頑健である

性質 2 を z-score は満たすが、Min-Max は最大・最小値を利用するため満たさない。

まずは性質 1 の要求を満たすことを考える。この性質を満たすためには、たとえば、(i) +指標ならば $z \geq 0$ 、(ii) -指標ならば $z \leq 0$ となるように標準化すればよい。そこで指標値 $x_{ij}(t)$ (x_{cj} 等含む) を最悪値 $x_{wj}(t)$ 周りの距離「 $x_{ij}(t) - x_{wj}(t)$ 」に変換すると、たしかに (i) +指標ならば $x_{ij}(t) - x_{wj}(t) \geq 0$ 、(ii) -指標ならば $x_{ij}(t) - x_{wj}(t) \leq 0$ となっている。

次に最悪値 x_{wj} 周りの距離「 $x_{ij} - x_{wj}$ 」を無名数にする方法の候補を挙げてみよう。第一は、 $(x_{ij} - x_{wj})$ を $(x_{bj} - x_{wj})$ (=最良値 - 最悪値) で除すというものである。しかしこれでは異常値問題は解決しない上に Min-Max 指標そのものである。第二は、通常の標準化方法を援用し、 $(x_{ij} - x_{wj})$ を標準偏差 s_j で除すものである。問題はなさそうだが、実は最善ではない。z-score の場合に標準偏差 s_j で除す理由は、それが分子 $(x_{ij} - x_j)$ の平均的散らばりという、適切な測度になっているからである。

そこで根本的な問を立てよう。いま対象としているのは $(x_{ij} - x_{wj})$ である。これに対応する平均的散らばりとは何だろうか。これは率直に、 x_{wj} まわり平均偏差、つまり x_{ij} が平均的に x_{wj} からどれだけ離れているかを考えればよく、以下のように定義できる。 $s_j^{wv}(t)$ を x_{wj} まわりの平均偏差とすれば、

$$s_j^{wv}(t) := \frac{1}{m} \sum_i |x_{ij}(t) - x_{wj}(t)| = |x_j(t) - x_{wj}(t)| \quad (2)$$

14) z-score の最大の利点はおそらく平均 = 0、分散 = 1 であり、それが条件に挙げられないことは奇異に見えるが、実は、提案する方法を用いると平均は ± 1 であり相応に簡潔な値となる。

15) Min-Max はその値が大きいほど望ましいため、この条件よりも緩やかである。

となる¹⁶⁾。

よって $s_j^w(t)$ を用い、次の量 $z_{ij}(t)$ によって $x_{ij}(t)$ (指標値) の標準化を定義する。

$$z_{ij}(t) := \frac{x_{ij}(t) - x_{wj}(t)}{s_j^w(t)} = \frac{x_{ij}(t) - x_{wj}(t)}{x_j(t) - x_{wj}(t)} \quad (3)$$

また同様に、次の量 $c_j(t)$ によって x_{cj} (目標値) の標準化を定義する。

$$c_j(t) := \frac{x_{cj} - x_{wj}(t)}{s_j^w(t)} = \frac{x_{cj} - x_{wj}(t)}{x_j(t) - x_{wj}(t)} \quad (4)$$

3 標準化指標値の性質

以下に標準化指標値の基本的な性質を示す。

① z_{ij} および c_j は性質1を満たす

(i) +指標ならば $z_{ij} \geq 0$ ($c_j \geq 0$) かつ値が大きいほど望ましく、(ii) -指標ならば $z_{ij} \leq 0$ ($c_j \leq 0$) かつ値が小さいほど望ましい。よって $|z_{ij}|$, $|c_j|$ が大きいほど望ましい。

② z_{ij} および c_j は性質2を満たす

x_{bj} を用いていないため、異常値の候補となりうる一方の値には対処している。

③ z_{ij} の平均 = ± 1 ($z_{ij} \geq 0$ のとき +1, $z_{ij} \leq 0$ のとき -1)

④ z_{ij} の分散 = $s_j^2 / (s_j^w)^2$

①, ②はあらかじめ要求された性質である。③は、z-score においていかなる指標の平均値も0であることに対応する望ましい性質である。ただし④からわかるとおり分散は、もはや単純な値とはならない。

異常値への対応においてその一方の候補である「最悪値 x_{wj} 」を残したことは、実は「誰一人取り残さない」という原則を指標計測の中で体现するための要諦を与える。つまり最悪値を参照点とした標準化によって、全ての指標値と目標値は最悪値とリンクする。逆に言えば、最悪値が指標値や目標値からどれだけ離れているのかが、一目瞭然となる。以上の標準化は、Min-Max に対して外れ値への頑健性を要求しつつ、SDGs の思想を統計指標に組み入れたものといえる。

V 正射影ベクトルによる統合評価

本章では、IV章で考案した標準化法を適用しつつ、「指標値ベクトル」から「目標値ベクトル」(以下で定義)への正射影ベクトルを求めることによって、個別指標の目標到達度を統合的に評価する方法を与える。

1 記法の定義

本稿では以下のとおり記法を定義する。

16) 二乗和の平方根をとらないのは、すべての i に対して $x_{ij}(t) - x_{wj}(t)$ は非負もしくは非正の値しか取りえず、絶対値を用いても煩雑にならないためである。

$\mathbf{z}_i(t)$: 時点 t における i 国のすべての標準化指標値 $z_{ij}(t) (j=1, \dots, n)$ をまとめたベクトル (標準化指標値ベクトル)

つまり, $\mathbf{z}_i(t) := (z_{i1}(t), \dots, z_{in}(t))$

$\mathbf{c}(t)$: 時点 t におけるすべての標準化目標値 $c_j(t) (j=1, \dots, n)$ をまとめたベクトル (標準化目標値ベクトル)

つまり, $\mathbf{c}(t) := (c_1(t), \dots, c_n(t))$

$\langle \mathbf{c}(t), \mathbf{z}_i(t) \rangle$: $\mathbf{c}(t)$ と $\mathbf{z}_i(t)$ の内積

つまり, $\langle \mathbf{c}(t), \mathbf{z}_i(t) \rangle := c_1(t)z_{i1}(t) + \dots + c_n(t)z_{in}(t)$

$|\mathbf{c}(t)|^2$: $\mathbf{c}(t)$ のノルムの二乗

つまり, $|\mathbf{c}(t)|^2 := c_1(t)^2 + \dots + c_n(t)^2$

2 標準化指標値ベクトル $\mathbf{z}_i(t)$ と標準化目標値ベクトル $\mathbf{c}(t)$

さて, 先に定義した $\mathbf{z}_i(t) := (z_{i1}(t), \dots, z_{in}(t))$ とは何だろうか。これは, i 国の標準化された指標値の集合である。ここで注意すべきは, 個々の指標値の絶対値 $|z_{ij}|$ が大きいほど, i 国はのぞましい状態にあることである。

一方, $\mathbf{c}(t) := (c_1(t), \dots, c_n(t))$ とは何だろうか。こちらは, 標準化された目標値の集合であり, 各国の標準化指標値ベクトル $\mathbf{z}_i(t)$ が目指すべき方向を示している。そして, 個々の目標値の絶対値 $|c_j|$ が大きいほど, より高い目標水準にあることを意味している。

では, $\mathbf{z}_i(t)$ は, 個別指標値 $z_{ij}(t)$ の水準ではなく, 指標群全体としてどれだけ目標を達成しているのだろうか。もちろん個々の指標値については, $|z_{ij}| \geq |c_j|$ ならば目標を達成していることは明らかである。

いま仮に, $\mathbf{z}_i(t)$ が $\mathbf{c}(t)$ 方向の, (i) 大きさ $|\mathbf{c}(t)|$ のベクトルならば, 目標をちょうど達成し, (ii) 大きさ $|\mathbf{c}(t)|$ より大きいベクトルならば, 目標を上回る成果となり, (iii) 大きさ $|\mathbf{c}(t)|$ より小さいベクトルならば, 目標を下回る成果となっていることがわかる。なぜなら個々の指標 z_{ij} は, その絶対値 $|z_{ij}|$ が大きいほど望ましいように変換されているからである。

しかしながら $\mathbf{z}_i(t)$ の方向と $\mathbf{c}(t)$ の方向が一致することは通常ありえない。そこで以下では, $\mathbf{c}(t)$ 方向の大きさ $|\mathbf{c}(t)|$ のベクトルの情報が, $\mathbf{z}_i(t)$ に「何個」含まれているかを計測することで, 目標の到達度を測る。この「何個」の情報こそが, 目標到達度である。

3 $\mathbf{z}_i(t)$ から $\mathbf{c}(t)$ への正射影ベクトル

前節の「何個」に相当する情報は $\mathbf{z}_i(t)$ から $\mathbf{c}(t)$ への正射影ベクトルを求め, 正射影ベクトルの大きさを評価すればよい。 $\mathbf{p}_i(t)$ を $\mathbf{z}_i(t)$ から $\mathbf{c}(t)$ への正射影ベクトルとすれば,

$$\mathbf{p}_i(t) := \frac{\langle \mathbf{c}(t), \mathbf{z}_i(t) \rangle}{|\mathbf{c}(t)|^2} \mathbf{c}(t) \quad (5)$$

である。

つまり, 正射影ベクトル $\mathbf{p}_i(t)$ には $\mathbf{c}(t)$ の情報が, $\frac{|\mathbf{p}_i(t)|}{|\mathbf{c}(t)|} = \frac{\langle \mathbf{c}(t), \mathbf{z}_i(t) \rangle}{|\mathbf{c}(t)|^2}$ だけ含まれる。この値によって目標到達度を測ることができるため, 統合指標を $I_i(t)$ とすれば,

$$I_i(t) := \frac{\langle \mathbf{c}(t), \mathbf{z}_i(t) \rangle}{|\mathbf{c}(t)|^2} \quad (6)$$

である。また、 $I_i(t)$ をベクトルの要素を用いて書き改めれば、

$$I_i(t) = \frac{c_1(t)z_{i1}(t) + \cdots + c_n(t)z_{in}(t)}{c_1(t)^2 + \cdots + c_n(t)^2} \quad (7)$$

である。

さて、 $I_i(t)$ の値は時点 t における個体 i の目標到達度そのものであり、その値が大きいほど統合的な目標到達度が高い。ここで統合指標 $I_i(t)$ の大きさによって、目標到達度を分類すると、

- (i) $I_i > 1$ ($\mathbf{c}(t)$ の情報量で測って1個より多い) : 目標を上回る
 - (ii) $I_i = 1$ ($\mathbf{c}(t)$ の情報量で測ってちょうど1個) : ちょうど目標に到達している
 - (iii) $I_i < 1$ ($\mathbf{c}(t)$ の情報量で測って1個より少ない) : 目標を下回る
- となる。

4 $I_i(t) = \frac{\langle \mathbf{c}(t), \mathbf{z}_i(t) \rangle}{|\mathbf{c}(t)|^2}$ の荷重和表現

統合指標 $I_i(t)$ は通常 Composite Indicator (標準化指標の荷重和) として表記できる。具体的には、

$$\begin{aligned} I_i(t) &= \frac{\langle \mathbf{c}(t), \mathbf{z}_i(t) \rangle}{|\mathbf{c}(t)|^2} \\ &= \frac{c_1(t)}{|\mathbf{c}(t)|^2} z_{i1}(t) + \cdots + \frac{c_n(t)}{|\mathbf{c}(t)|^2} z_{in}(t) \\ &= \frac{c_1}{|\mathbf{c}|^2} z_{i1} + \cdots + \frac{c_n}{|\mathbf{c}|^2} z_{in} \quad (8) \end{aligned}$$

であり、 $\frac{c_j}{|\mathbf{c}|^2}$ が各標準化指標 z_{ij} の重みとなっている。

ところで、 $z_{ij}(t) = \frac{x_{ij}(t) - x_{wj}(t)}{|x_j(t) - x_{wj}(t)|}$ 、 $c_j(t) = \frac{x_{ej} - x_{wj}(t)}{|x_j(t) - x_{wj}(t)|}$ であるから、重み $\frac{c_j}{|\mathbf{c}|^2}$ は、内生的に (つまりデータのもつ情報から) 決まっていることがわかる。

VI 正射影ベクトルによる統合指標 I_i の基本的性質

本章では統合指標の性質やその値の意味を検討する。

1 統合指標 I_i の値のとり範囲は非負

I_i は非負である、つまり $I_i(t) \geq 0$ 。

(証明) + 指標ならば $z_{ij} \geq 0$ かつ $c_j \geq 0$ 、また - 指標ならば $z_{ij} \leq 0$ かつ $c_j \leq 0$ 。よって $\langle \mathbf{c}, \mathbf{z}_i \rangle = \sum_j c_j z_{ij} \geq 0$ 。また $|\mathbf{c}|^2 \geq 0$ 。いま $|\mathbf{c}|^2 = 0$ となるのはすべての指標において $c_j = 0$ つまり目標が達せ

られたときであり、通常、評価対象となるデータに対しては $|\mathbf{c}|^2 > 0$ 。よって題意が示せた。

2 統合指標 I_i は SDGs の到達度を測定することに適している

統合指標 I_i は (8) 式からわかるとおり、個別指標間の代替性を認めている。つまり弱い持続可能性を計測する指標である。とはいえ、指標ごとに異なる重みを与えているため、各指標が等価に代替されるわけではない。

特に着目したいのは、重み $\frac{c_j}{|\mathbf{c}|^2}$ において $|\mathbf{c}|^2$ は共通要素であるため、重みは $|c_j| = \frac{|x_{cj} - x_{uj}|}{s_j^{uv}}$

の大きさ、つまり最悪値に対する目標の高さに比例することである。逆に言えば「最悪値が目標値を下回る度合」が強い指標ほど重みをもつ。つまり最悪値を与える国の目標到達度がより低い指標（ゴール）、言い換えればより配慮されるべき指標（ゴール）にこそ、より大きい重みが付されるメカニズムを内包している。それゆえこの重みづけ方法は、Ⅲ章において問題点として指摘した、各ゴールを「平等に配慮する」ための本質的な解決策を与えている。

3 統合指標 I_i は「誰一人取り残さない」の原則を体現している

指標 j の最悪値が目標を達する（よって世界全体として目標を達している）と、 $x_{uj} = x_{cj}$ つまり $c_j = 0$ となり、指標 j の重み $\frac{c_j}{|\mathbf{c}|^2}$ は 0 となる。つまり統合指標 I_i から指標 j は自動的に外れる¹⁷⁾。

つまり、統合指標 I_i とは「目標未到達の国（取り残された国）が存在する指標群について到達度を統合的に評価する」のである。もちろんすでに目標が到達された指標 j において、再び目標値を割り込む国が生じれば、指標 j は自動的に I_i の算定項目に復帰する。これは、内生的重みづけ手法として近年しばしば注目される BOD 法とは逆に、持続可能性をより厳しくチェックする性質をもち、「誰一人取り残さない」の原則を体現している。

また、最後まで未到達の目標が、すべての国において到達されたなら、 $I_i = 0/0$ （定義できない）という計測結果となる。0/0 は、すべての目標到達の瞬間においてのみ起こる。つまり、世界全体の強い持続可能性は“0/0”によって表現される。

4 統合指標 I_i の異時点間比較はできない

統合指標値の異時点間比較は不可能ではないが、時点が変われば重みも変わるため¹⁸⁾、統合指標 I_i の値の変化は、必ずしも状態の変化を意味しない。よって、統合指標 I_i の異時点間比較が必要なならば、

(i) 重みを t_0 時点の $\frac{c_j(t_0)}{|\mathbf{c}(t_0)|^2}$ に固定する方法

(ii) 全期間のデータをプールし、各期の指標値を求める方法

17) 最悪値の定義により、最もパフォーマンスの悪い国が x_{cj} を超えたら、最悪値は目標値に固定される。

18) $x_{ij}(t)$ から $x_{ij}(t+1)$ 、 $x_{uj}(t)$ から $x_{uj}(t+1)$ への変化に伴い、 $z_{ij}(t+1)$ のみならず、重み $\frac{c_j(t+1)}{|\mathbf{c}(t+1)|^2}$ も変化する。

また $k \neq j$ なる重み $\frac{c_k(t+1)}{|\mathbf{c}(t+1)|^2}$ においても $|\mathbf{c}(t+1)|^2$ の変化を通じて影響が生じる。

が考えうる。ただし、いずれの方法にせよ、より目標到達度の低い指標への重みが増す「重みの更新」が起こらず、本手法のメリットを失う。

よって、重みの更新を生じさせつつ、統合指標 I_i の異時点間比較を行うためには、標準化のための尺度（物差 = 標準化指標値の分母）である s_j^w を異時点間で一定にすることが最低限求められる。 s_j^w が異時点間で一定であれば、標準化後の数値の意味は変わらない。

s_j^w の基準値を設定する方法としては、全ての時点の $s_j^w(t)$ をたとえば t_0 時点における $s_j^w(t_0)$ 、つまり

$$s_j^w(t_0) := \frac{1}{m} \sum_i |x_{ij}(t_0) - x_{wj}(t_0)| = |x_j(t_0) - x_{wj}(t_0)| \quad (9)$$

を用いることが考えられる。

Ⅶ 統合指標 I_i を変動させる要因

V および VI 章で、統合指標 I_i の性質やその値の意味を確認した。では I_i はいかなる要因によって変動するのであろうか。本章では指標値および目標値の変化が統合指標値に及ぼす影響を確認する。あらかじめ結論を述べると、統合指標 I_i が統合的な目標達成度を意味することを考慮すれば、1 節から 5 節の分析結果は、統合指標 I_i が指標として望ましい性質を有することを示している。

1 全ての目標値を低く（高く）設定することによる変動

標準化目標値ベクトル $\mathbf{c} = (c_1, \dots, c_m)$ の全要素を一括して r 倍 ($r > 0$) すれば、統合指標値は I_i/r になる。

$$(\text{証明}) \langle r\mathbf{c}, \mathbf{z}_j \rangle / |r\mathbf{c}|^2 = \langle \mathbf{c}, \mathbf{z}_j \rangle / (r|\mathbf{c}|^2) = I_j/r。$$

つまり、

(i) 一括して標準化目標値を高めれば ($r > 1$)、 I_i/r は小さくなる

(ii) 一括して標準化目標値を低めれば ($0 < r < 1$)、 I_i/r は大きくなる

では、どのように個々の目標値を変換すれば、一括して標準化目標値ベクトルを定数倍、つまり

$$r\mathbf{c} = (rc_1, \dots, rc_m) \text{ とできるのだろうか。たとえば、任意の } r (r > 0) \text{ に対して } \frac{(r_j + x_{cj} - x_{wj})}{s_j^w} = rc_j \text{ を満}$$

たす r_j を各目標値 x_{cj} に加えればよい。具体的には $r_j = (r-1)(x_{cj} - x_{wj})$ で与えられる。

2 z_{ij} の変化による変動

統合指標を z_{ij} で微分すると

$$\frac{dI_i}{dz_{ij}} = \frac{c_j}{|\mathbf{c}|^2} \quad (10)$$

である。ここで、 $|\mathbf{c}|^2 \geq 0$ である ($|\mathbf{c}|^2 = 0$ となるのは、すべての目標が達成されたとき)。よって、

(i) +指標 ($c_j \geq 0$) ならば, $\frac{dI_i}{dz_{ij}} \geq 0$ であり, z_{ij} が改善される時 ($dz_{ij} > 0$), I_i は低下しない ($dI_i \geq 0$)。とくに指標 j が未到達目標 ($c_j \neq 0$) ならば I_i は上昇 ($dI_i > 0$) する。

(ii) -指標 ($c_j \leq 0$) ならば, $\frac{dI_i}{dz_{ij}} \leq 0$ であり, z_{ij} が改善される時 ($dz_{ij} < 0$), I_i は低下しない ($dI_i \geq 0$)。とくに指標 j が未到達目標であれば ($c_j \neq 0$) ならば I_i は上昇 ($dI_i > 0$) する。

つまり, 未到達目標の標準化指標値 z_{ij} が改善すれば, I_i は上昇する。

3 x_{ij} の変化による変動

z_{ij} の変動は x_{ij} , x_{wj} に帰着される。ここでは x_{ij} の変動との関係を確認する (x_{wj} の変動は z_{ij} の変動のみならず, c_j の変動をももたらすため後述する)。いま $\frac{dz_{ij}}{dx_{ij}} = \frac{1}{s_j^w(t_0)}$ (> 0) に留意し統合指標を x_{ij} で微分すると¹⁹⁾,

$$\frac{dI_i}{dx_{ij}} = \frac{dI_i}{dz_{ij}} \frac{dz_{ij}}{dx_{ij}} = \frac{c_j}{s_j^w(t_0) |c|^2} \quad (11)$$

よって,

(i) +指標 ($c_j \geq 0$) ならば $\frac{dI_i}{dx_{ij}} \geq 0$

(ii) -指標 ($c_j \leq 0$) ならば $\frac{dI_i}{dx_{ij}} \leq 0$

つまり, 指標値 x_{ij} が改善すれば I_i は低下しない。また, $c \neq 0$ ならば I_i は上昇する。

4 c_j の変化による変動

統合指標を c_j で微分すると

$$\frac{dI_i}{dc_j} = \frac{-z_{ij}c_j^2 - 2\left(\sum_{k \neq j} c_k z_{ik}\right)c_j + z_{ij} \sum_{k \neq j} c_k^2}{|c|^4} \quad (12)$$

である。

(1) 解析的分類

(i) $z_{ij} = 0$ のとき ($x_{ij} = x_{wj}$ つまり x_{ij} が最悪値のとき)

(i-i) +指標 ($c_j \geq 0$) ならば, $\frac{dI_i}{dc_j} \leq 0$ であり, 標準化目標値 c_j が高まる時 ($dc_j > 0$), I_i は上昇しない ($dI_i \leq 0$)。とくに指標 j が未到達目標 ($c_j \neq 0$) ならば I_i は低下 ($dI_i < 0$) する。

(i-ii) -指標 ($c_j \leq 0$) ならば, $\frac{dI_i}{dc_j} \geq 0$ であり, 標準化目標値 c_j が高まる時 ($dc_j < 0$), I_i は上

19) 本章の分析では s_j^w の値を, たとえば (9) 式 $s_j^w(t_0)$ のように固定する。これは標準化が s_j^w の母数の推定値を用いてなされたと考えるならば妥当な仮定である。

昇しない ($dI_i \leq 0$)。とくに指標 j が未到達目標 ($c_j \neq 0$) ならば I_i は低下 ($dI_i > 0$) する。

つまり、未到達目標の標準化目標値 c_j が高まれば、 I_i は低下する。

(ii) $z_{ij} > 0$ ($c_j > 0$) : + 指標のとき

$$\text{いま, } A_1 = -\frac{\sum_{k \neq j} c_k z_{ik}}{z_{ij}} + \sqrt{\left(\frac{\sum_{k \neq j} c_k z_{ik}}{z_{ij}}\right)^2 + \sum_{k \neq j} c_k^2} \text{ とおくと } (A_1 > 0)$$

(ii-i) $0 < c_j < A_1$ ならば, $\frac{dI_i}{dc_j} > 0$

(ii-ii) $c_j = A_1$ ならば, $\frac{dI_i}{dc_j} = 0$

(ii-iii) $A_1 < c_j$ ならば, $\frac{dI_i}{dc_j} < 0$

となる。 c_j の値はすべての i に共通だが, $\frac{\sum_{k \neq j} c_k z_{ik}}{z_{ij}}$ の値は国ごとに異なるため, $\frac{\sum_{k \neq j} c_k z_{ik}}{z_{ij}}$ の値が小さい国ほど, A_1 は大きい。しかしこの情報だけでは, 実際を上記の状態のいずれが生じやすいかはわからない。

(iii) $z_{ij} < 0$ ($c_j < 0$) : - 指標のとき

$$A_2 = -\frac{\sum_{k \neq j} c_k z_{ik}}{z_{ij}} - \sqrt{\left(\frac{\sum_{k \neq j} c_k z_{ik}}{z_{ij}}\right)^2 + \sum_{k \neq j} c_k^2} \text{ とおくと } (A_2 < 0)$$

(iii-i) $A_2 < c_j < 0$ ならば, $\frac{dI_i}{dc_j} < 0$

(iii-ii) $c_j = A_2$ ならば, $\frac{dI_i}{dc_j} = 0$

(iii-iii) $c_j < A_2$ ならば, $\frac{dI_i}{dc_j} > 0$

となる。やはり $\left| \frac{\sum_{k \neq j} c_k z_{ik}}{z_{ij}} \right|$ が小さい国ほど, A_2 は小さい ($A_2 < 0$) もの, 実際を上記の状態のいずれが生じやすいかはわからない。

(2) 幾何的分類

4節(1)は厳密な解析解を求めているものの, (ii) および (iii) については, いずれの条件が実際に生じやすいかわかりにくい (12) 式を変形し考察する。

$$\frac{dI_i}{dc_j} = \frac{-2I_i c_j + z_{ij}}{|c|^2} \quad (13)$$

いま (13) 式の符号条件は,

(i) $z_{ij} > 2I_i c_j$ ならば $\frac{dI_i}{dc_j} > 0$

$$(ii) \quad z_{ij} = 2I_i c_j \text{ ならば } \frac{dI_i}{dc_j} = 0$$

$$(iii) \quad z_{ij} < 2I_i c_j \text{ ならば } \frac{dI_i}{dc_j} < 0$$

である。

さて、 i 国の指標 j の標準化指標値 z_{ij} が仮に i 国の統合的な（平均的な）目標到達度（つまり I_i ）の水準であれば、 $I_i c_j$ となっているはずである。上記符号条件の意味するところは、その2倍の値である $2I_i c_j$ よりも標準化指標値 z_{ij} が大きければ、標準化目標値 c_j が高まるとき I_i も上昇するということである。しかしこの状況は生じがたい。よって、通常、標準化目標値 c_j が高まると I_i は上昇しない。

5 目標値 x_{cj} の変化による変動

c_j の変動は x_{cj} , x_{wj} に帰着される。まずは x_{cj} の変動との関係を確認する。ここで $\frac{dc_j}{dx_{cj}} = \frac{1}{s_j^w(t_0)}$ (>0) に留意し、統合指標を x_{cj} で微分すると、

$$\frac{dI_i}{dx_{cj}} = \frac{dI_i}{dc_j} \frac{dc_j}{dx_{cj}} = \frac{-z_{ij}c_j^2 - 2\left(\sum_{k \neq j} c_k z_{ik}\right)c_j + z_{ij} \sum_{k \neq j} c_k^2}{s_j^w(t_0)|\mathbf{c}|^4} \quad (14)$$

である。

つまり、 x_{cj} 一単位の変化が dI_i に及ぼす影響は、 c_j 一単位の変化が dI_i に及ぼす影響を $1/s_j^w$ 倍するだけであり、符号条件は4節とまったく変わらない。よって、4節(2)のインプリケーションを適用すると、通常、目標値 x_{cj} が高まると I_i は上昇しない。

6 最悪値 x_{wj} の変化による変動

最後に、 x_{wj} の変化が I_i に及ぼす影響を確認する。 x_{wj} の変化は c_j と z_{ij} を経由する効果を合成したものとなることに注意する。ここで $\frac{dc_j}{dx_{wj}} = -\frac{1}{s_j^w(t_0)}$ (<0)、 $\frac{dz_{ij}}{dx_{wj}} = \frac{1}{s_j^w(t_0)}$ (>0) に留意し統合指標を x_{wj} で微分すると、

$$\begin{aligned} \frac{dI_i}{dx_{wj}} &= \frac{dI_i}{dz_{ij}} \frac{dz_{ij}}{dx_{wj}} + \frac{dI_i}{dc_j} \frac{dc_j}{dx_{wj}} \\ &= -\frac{c_j}{s_j^w(t_0)|\mathbf{c}|^2} + \frac{z_{ij}c_j^2 + 2\left(\sum_{k \neq j} c_k z_{ik}\right)c_j - z_{ij} \sum_{k \neq j} c_k^2}{s_j^w(t_0)|\mathbf{c}|^4} \\ &= \frac{(2I_i - 1)c_j - z_{ij}}{s_j^w(t_0)|\mathbf{c}|^2} \quad (15) \end{aligned}$$

である。解析的に条件を求めるためには三次方程式の解を求める必要があるため、3行目の結果をもとに符号を確認すると、

$$(i) \quad c_j + z_{ij} > 2I_i c_j \text{ ならば } \frac{dI_i}{dx_{wj}} > 0$$

$$(ii) \quad c_j + z_{ij} = 2I_i c_j \text{ ならば } \frac{dI_i}{dx_{wj}} = 0$$

$$(iii) \quad c_j + z_{ij} < 2I_i c_j \text{ ならば } \frac{dI_i}{dx_{wj}} < 0$$

である。

さて、 i 国の指標 j の標準化指標値 z_{ij} が仮に i 国の統合的な（平均的な）目標到達度（ I_i ）の水準であれば、 $I_i c_j$ となっているはずである。いま、その2倍の値である $2I_i c_j$ より標準化指標値と標準化目標値の合計値（ $c_j + z_{ij}$ ）が大きければ、標準化目標値 c_j が高まるとき I_i も上昇する。これは比較的生じやすい条件であり、最悪値 x_{wj} が改善されると、他の国の I_i は上昇することが多い²⁰⁾。

Ⅷ SDGsの到達度の計測

1 データおよび方法

国連の定めた232個の公式指標は統計データが揃っていないため、Sachs et al. (2018)（以下、先行研究）が収集したデータを用いた。ただし先行研究と同様、OECD加盟国のみ公表されている変数を除外した88変数を利用した。また、先行研究では公式指標を必ずしも用いていないため、目標値（target）の設定を改めて行わなくてはならない。本研究では先行研究の設定値に従った²¹⁾。

指標の中には「ジェンダー関連の指標」のような「大きければよい」わけでも「小さければよい」わけでもない、中庸が望ましい指標がある。そのような指標を本稿では、 $x_{ij} = |\text{指標値}_{ij} - \text{最適値}_j(\text{目標値}_j)|$ と変換し「-指標」に置き換えた。

指標の標準化は、IV章で述べた方法による。II章2節（4）において、先行研究では個別指標値の最大値が100、最小値が0となることを述べたが、本稿では最良値を目標値とはしないため、指標値に理論的な上限はない。

表3に個別指標の平均値、最悪値、最良値、目標値を記した。

20) 他の変数の変化とは異なり、最悪値 x_{wj} の変化と I_i の変動との間の、規範的な意味での望ましい方向は不明である。

21) ただし169ターゲットのうち2030アジェンダに目標値が文言として明記されていながら、それを設定値として用いていない場合は2030アジェンダの目標値を利用した。

表3 使用した指標と記述統計

SDG	指標	方向	平均値	最小値	最大値	最悪値	目標値
1	貧困率 (%)	-	13.0	0.0	86.0	86.0	0.0
1	2030年の予測貧困率 (%)	-	8.8	0.0	95.5	95.5	0.0
2	栄養不足蔓延率 (%)	-	10.8	0.0	58.6	58.6	0.0
2	5歳未満の子供の発育阻害の蔓延率 (%)	-	18.1	0.0	59.3	59.3	0.0
2	5歳未満の子供の栄養不足の蔓延率 (%)	-	4.9	0.0	22.7	22.7	0.0
2	肥満率 (%)	-	19.5	2.1	61.0	61.0	2.8
2	穀物収穫量 (t/ha)	+	3.5	0.2	24.7	0.2	8.6
2	持続可能な窒素管理指数	-	0.8	0.0	1.3	1.3	0.0
3	妊産婦死亡率 (出生数10万人あたり)	-	170.2	3.0	1360.0	1360.0	70.0
3	新生児死亡率 (出生数1000人あたり)	-	13.3	0.6	45.6	45.6	1.1
3	5歳未満児死亡率 (出生数1000人あたり)	-	30.4	2.1	132.5	132.5	2.6
3	結核の発生率 (10万人あたり)	-	114.8	0.0	781.0	781.0	3.6
3	エイズ罹患率 (1000人あたり)	-	0.5	0.0	8.0	8.0	0.0
3	30-70歳のNCDsによる年齢別死亡率 (10万人あたり)	-	19.2	8.3	36.1	36.1	9.3
3	家庭の大気汚染および大気汚染による死亡率 (10万人あたり)	-	84.2	0.0	261.8	261.8	0.0
3	交通事故死 (10万人あたり)	-	17.0	2.0	45.4	45.4	3.2
3	出生時の平均余命	+	71.3	50.1	83.7	50.1	73.6
3	15-19歳の女性1000人当たりの出産 (1000人あたり)	-	48.0	0.3	194.0	194.0	2.5
3	熟練した医療従事者の立ち会いのものの出産 (%)	+	85.0	9.4	100.0	9.4	100.0
3	WHOが推奨する2つのワクチンを接種された乳児の割合 (%)	+	85.7	19.0	100.0	19.0	100.0
3	世界保健保険トレーサ指数 (0-100)	+	60.2	27.2	100.0	27.2	100.0
3	主観的幸福度 (0-10)	+	5.4	2.7	7.8	2.7	7.6
4	就学率 (%)	+	89.0	32.1	100.0	32.1	100.0
4	平均就学年数 (years)	+	8.3	1.4	13.4	1.4	13.2
4	識字率 (%)	+	87.8	23.5	100.0	23.5	100.0
5	満たされていない避妊への需要 (%)	-	26.0	0.0	82.4	82.4	0.0
5	男性に対する女性の平均就学年数 (%)	N	87.8	27.6	132.1	27.6	100.0
5	男性に対する女性の労働力率 (%)	N	71.5	8.6	110.6	8.6	100.0
5	女性国会議員の割合 (%)	N	21.3	0.0	61.3	0.0	50.0
6	安全に管理された衛生施設を利用する人口 (%)	+	86.1	60.1	100.0	60.1	100.0
6	少なくとも基本的な衛生サービスを使用している人口 (%)	+	57.9	7.1	100.0	7.1	100.0
6	安全に管理された水道施設を利用する人口 (%)	+	96.1	81.5	100.0	81.5	100.0
6	少なくとも基本的な飲料水サービスを使用している人口 (%)	+	76.8	19.3	100.0	19.3	100.0
6	淡水取水量 (%)	-	65.4	0.0	2603.5	2603.5	12.5
6	輸入地下水量 (m3/年/人)	-	10.4	0.1	148.2	148.2	0.1
7	電気へのアクセス (%)	+	80.3	4.5	100.0	4.5	100.0
7	調理のための衛生的燃料と技術 (%)	+	64.2	2.0	100.0	2.0	100.0
7	燃料の燃焼/発電によるCO2排出量	-	1.7	0.0	23.7	23.7	0.0
8	調整成長率 (%)	+	-2.2	-14.8	7.9	-14.8	5.0
8	奴隷制スコア (0-100)	+	65.0	0.0	100.0	0.0	100.0
8	銀行または他の金融機関に口座を持つ成人 (%)	+	58.8	6.4	100.0	6.4	100.0
8	失業率 (%)	-	7.9	0.2	27.7	27.7	0.5
9	インターネット利用率 (%)	+	49.4	0.0	100.0	0.0	100.0
9	モバイルブロードバンド契約数 (100人あたり)	+	53.7	0.0	254.4	0.0	100.0
9	インフラストラクチャ全体の品質 (1-7)	+	4.0	1.5	6.6	1.5	6.3
9	物流パフォーマンス指標 (1-5)	+	2.7	1.2	4.4	1.2	4.2
9	タイムズ高等教育大学ランキング、トップ3大学の平均スコア (0-100)	+	15.8	0.0	92.8	0.0	91.0
9	ジャーナル記事数 (items per bn. PPPS GDP)	+	0.4	0.0	2.5	0.0	2.2
9	政府支出のうち研究開発費 (%GDP)	+	0.7	0.0	4.3	0.0	3.7
10	ジニ係数 (0-100)	-	42.6	26.7	67.1	67.1	27.5
11	都市部のPM2.5濃度 (µg/m3)	-	28.7	3.4	107.3	107.3	6.3
11	都市人口のうち水道施設に接続されている割合 (%)	+	82.7	7.4	100.0	7.4	100.0
11	公共交通機関の満足度 (%)	+	57.4	8.0	85.0	8.0	82.6
12	都市ゴミ (kg/人/年)	-	1.3	0.1	5.7	5.7	0.1
12	電子廃棄物 (kg/人)	-	7.5	0.2	28.3	28.3	0.2
12	排水の処理率 (%)	+	26.1	0.0	100.0	0.0	100.0
12	生産ベースのSO2排出量 (kg/人)	-	13.5	0.4	176.3	176.3	0.5
12	純輸入SO2排出量 (kg/人)	-	1.6	-52.0	60.9	60.9	0.0
12	窒素生産フットプリント (kg/人)	-	28.0	1.0	139.8	139.8	2.3
12	活性窒素の純輸入排出量 (kg/人)	-	6.9	-1223.4	965.4	965.4	0.0
13	1人当たりのエネルギー関連CO2排出量 (tCO2/人)	-	4.5	0.0	45.4	45.4	0.0
13	輸入CO2排出量 (tCO2/人)	-	0.3	-19.5	48.5	48.5	0.0
13	気候変動の脆弱性モニター (0-1)	-	0.1	0.0	0.4	0.4	0.0
13	化石燃料輸出に含まれるCO2排出量 (kg/人)	-	4095.3	0.0	150584.3	150584.3	0.0
14	生物多様性にとって重要な海洋サイトに保護されている平均面積 (%)	+	43.0	0.0	100.0	0.0	100.0
14	海の健康指数-生物多様性 (0-100)	+	88.6	68.0	100.0	68.0	100.0
14	海の健康指数-きれいな水 (0-100)	+	57.3	24.5	100.0	24.5	100.0
14	海の健康指数-漁場 (0-100)	+	47.0	14.3	100.0	14.3	100.0
14	EEZによって過剰利用された、または崩壊した漁業資源 (%)	-	31.5	0.0	100.0	100.0	0.0
14	トロール漁獲率 (%)	-	32.5	0.0	97.4	97.4	1.0
15	生物多様性に重要な陸地のうち保護されている面積の割合 (%)	+	43.9	0.0	100.0	0.0	100.0
15	生物多様性にとって重要な淡水地域で保護されている平均面積 (%)	+	48.9	0.0	100.0	0.0	100.0
15	レッドリスト指数 (0-1)	+	0.9	0.4	1.0	0.4	1.0
15	森林面積の年間の変化 (%)	-	8.1	0.0	103.7	103.7	0.6
15	生物多様性への脅威 (100万人あたり)	-	8.8	0.0	236.9	236.9	0.1
16	殺人数 (10万人あたり)	-	7.9	0.3	108.6	108.6	0.3
16	受刑者数 (10万人あたり)	-	167.3	5.2	766.7	766.7	25.0
16	自らの住む地域で夜間に一人で歩いて安全と感じている人口の割合 (%)	+	61.4	17.0	94.0	17.0	90.0
16	政府の効率性 (1-7)	+	3.6	1.6	5.8	1.6	5.6
16	財産権 (1-7)	+	4.3	1.8	6.6	1.8	6.3
16	5歳以下の子供のうち行政機関に登録された割合 (%)	+	83.4	2.7	100.0	2.7	100.0
16	汚職認知指数 (0-100)	+	42.8	9.0	89.0	9.0	88.6
16	児童労働 (%)	-	11.7	0.0	55.8	55.8	0.0
16	通常兵器の輸出 (10万人あたり US \$)	-	0.3	0.0	7.9	7.9	0.0
17	公衆衛生および教育への政府支出のGDP比 (% GDP)	+	11.3	4.5	23.0	4.5	20.7
17	GNIに占める開発援助割合 (% GNI)	+	0.4	0.1	1.3	0.1	1.0
17	GDPに占める税収 (% GDP)	+	16.3	1.5	37.2	1.5	30.4
17	タックスヘイブンスコア (best 0-5 worst)	-	0.2	0.0	5.0	5.0	0.0

出所: Sachs et al. (2018) のデータをもとに筆者作成

表注: 方向においてNは、+指標でも-指標でもなく中庸が望ましい指標である

指標の重み付けと統合は、V章に述べた方法による。統合は先行研究と同様二段階を踏む。第一段階では、個別指標を(6)式によって、それが属する各ゴールに統合する。つまり17ゴールのゴール値をそれぞれ求める。その後、各ゴール値を(6)式によって統合する²²⁾。

2 計測結果

結果を表4に示した。数値の単位は%である。

表4 計測結果

Rank	Country	Ii	Rank	Country	Ii	Rank	Country	Ii	Rank	Country	Ii	Rank	Country	Ii
1	Switzerland	84.6	40	Andorra	53.5	79	Barbados	43.1	118	Honduras	37.7	157	Lesotho	29.8
2	Denmark	82.9	41	Monaco	53.2	80	Kiribati	43.1	119	Tajikistan	37.4	158	Togo	29.6
3	Sweden	82.8	42	Bulgaria	53.2	81	Azerbaijan	42.8	120	Bhutan	37.4	159	Guinea	29.3
4	Finland	78.3	43	China	53.0	82	Nauru	42.8	121	India	37.0	160	Cameroon	29.3
5	Germany	77.2	44	St. Vincent and the Grenadines	52.8	83	FYROM	42.6	122	Indonesia	37.0	161	Zambia	28.9
6	United Kingdom	77.0	45	Belarus	52.4	84	Ecuador	42.6	123	Botswana	36.8	162	Congo, Rep.	28.9
7	Netherlands	76.8	46	Russian Federation	51.6	85	Sao Tome and Principe	42.5	124	Jamaica	36.8	163	Malawi	28.3
8	Austria	75.5	47	Malaysia	51.4	86	Samoa	42.5	125	Bosnia and Herzegovina	36.5	164	Sierra Leone	28.3
9	Norway	75.0	48	Cyprus	50.6	87	Mexico	42.5	126	Gabon	36.2	165	Myanmar	28.2
10	Belgium	74.1	49	Romania	49.4	88	Uruguay	42.4	127	Guyana	36.0	166	Burkina Faso	27.9
11	Luxembourg	72.6	50	Brazil	48.1	89	Albania	41.9	128	Mongolia	35.9	167	Benin	27.5
12	Australia	72.3	51	South Africa	47.9	90	Egypt, Arab Rep.	41.8	129	Vanuatu	35.5	168	Papua New Guinea	27.5
13	France	70.3	52	Serbia	47.7	91	Montenegro	41.7	130	Kenya	35.1	169	Syrian Arab Republic	27.4
14	Korea, Rep.	69.5	53	Costa Rica	47.6	92	St. Lucia	41.7	131	El Salvador	34.9	170	Nigeria	27.1
15	United States	69.4	54	Tuvalu	47.3	93	Colombia	41.6	132	Uganda	34.7	171	Burundi	27.1
16	Singapore	68.8	55	Kuwait	47.0	94	Armenia	41.4	133	Senegal	34.6	172	Riger	26.9
17	Ireland	67.7	56	Brunei Darussalam	46.6	95	Dominican Republic	41.4	134	Belize	34.4	173	Libya	26.7
18	Canada	67.6	57	Cuba	46.3	96	Seychelles	41.3	135	Nepal	34.3	174	Mali	26.5
19	Japan	67.2	58	Palau	45.8	97	Jordan	41.3	136	Zimbabwe	34.1	175	Sudan	26.5
20	Iceland	66.8	59	Turkey	45.6	98	Tonga	41.1	137	Pakistan	34.0	176	Liberia	26.4
21	Czech Republic	66.7	60	Argentina	45.5	99	Trinidad and Tobago	41.1	138	Gambia, The	33.9	177	Ethiopia	26.4
22	New Zealand	65.6	61	Tunisia	45.5	100	St. Kitts and Nevis	40.9	139	Cabo Verde	33.8	178	Korea, Dem. Rep.	26.0
23	Israel	65.5	62	Thailand	45.4	101	Bolivia	40.9	140	Dominica	33.5	179	Mauritania	25.7
24	Estonia	65.4	63	Lebanon	45.4	102	Suriname	40.8	141	Rwanda	33.1	180	Iraq	25.7
25	Slovenia	64.5	64	Qatar	45.1	103	Fiji	40.8	142	Micronesia, Fed. Sts.	32.6	181	Djibouti	24.8
26	Spain	63.7	65	Bahrain	45.1	104	Vietnam	40.7	143	Tanzania	32.2	182	Madagascar	24.5
27	Italy	62.4	66	Algeria	45.0	105	Namibia	40.2	144	Turkmenistan	32.0	183	Haiti	24.4
28	United Arab Emirates	62.3	67	San Marino	44.9	106	Oman	40.1	145	Cambodia	31.9	184	Angola	23.7
29	Portugal	57.8	68	Saudi Arabia	44.7	107	Antigua and Barbuda	39.8	146	Bangladesh	31.9	185	Somalia	22.9
30	Slovak Republic	56.8	69	Iran, Islamic Rep.	44.7	108	Venezuela, RB	39.7	147	Equatorial Guinea	31.8	186	Guinea-Bissau	21.7
31	Liechtenstein	56.6	70	Peru	44.6	109	Uzbekistan	39.3	148	Lao PDR	31.5	187	Yemen, Rep.	21.5
32	Greece	56.6	71	Bahamas, The	44.6	110	Philippines	39.2	149	Comoros	31.4	188	Chad	20.4
33	Malta	56.5	72	Maldives	44.1	111	Kyrgyz Republic	38.8	150	Swaziland	31.2	189	Congo, Dem. Rep.	19.8
34	Poland	55.7	73	Ukraine	44.0	112	Panama	38.8	151	Timor-Leste	31.0	190	Eritrea	18.9
35	Croatia	55.6	74	Grenada	43.8	113	Mauritius	38.7	152	Mozambique	30.9	191	Afghanistan	18.7
36	Latvia	55.2	75	Moldova	43.3	114	Nicaragua	38.1	153	Guatemala	30.9	192	Central African Republic	18.1
37	Hungary	54.8	76	Kazakhstan	43.3	115	Paraguay	38.1	154	Solomon Islands	30.7	193	South Sudan	13.1
38	Lithuania	54.5	77	Georgia	43.1	116	Ghana	37.9	155	Cote d'Ivoire	30.7			
39	Chile	53.6	78	Morocco	43.1	117	Sri Lanka	37.9	156	Marshall Islands	30.3			

出所：筆者作成

表注：FYROMはFormer Yugoslav Republic of Macedoniaの略である。

本稿で用いた方法では個別指標の標準化において個別指標値の上限を設定しないため統合指標値は100を超えることが可能である²³⁾。しかしSDGsの意味において持続可能な国はなく、80を超える国はわずか3カ国である。上位の顔ぶれは先行研究と似通っているものの、先行研究では7位であったスイスが1位である。内陸国のため、多くの国でその到達度が低い目標14を含んでいないことが数値を上昇させていると考えられる。日本は67.2で19位と数値は10ポイント以上低下し、順位は4つ下がっている。ただし後述図1を確認するとわかるように、ほとんどの国の統合指標 I_i はSachs et al. (2018)の統合指標値であるGlobal Index Scoreよりも低い²⁴⁾。 I_i は達成水準の低い

22) ここで各ゴールとも、その目標値は1である。

23) 100%とは平均的に目標に到達している状態であり、少なくとも弱い持続可能な状態にある。

24) いずれも統合的に目標を到達できれば100であり、そこからの乖離として統合指標値を見ることができると、数値の大小を比較することに意味はある。

目標に重みをおく評価システムであることが影響しているのだろう。下位に目を転じると、最下位は南スーダンの13.1であり、統合的観点からは持続可能性は13.1%しか達成されていない。

統合指標 I_i と Global Index Score とのピアソン積率相関係数は0.90であり、2つの結果はかなり似ている。先行研究の評価結果は信頼性が高いことを勘案すれば、本稿で提案した統合指標の作成方法の妥当性は、実証的に担保されたと考えてよいだろう。

本稿の計測結果は Global Index Score よりも、むしろ SDGs の要求する持続可能性の到達度を適切に評価した結果に近いと考える。後述の図1から明らかのように、 I_i は中低所得国において全体的に20ポイントほど低い。むしろ Global Index Score の値は低い国でも大抵は40以上あることが、現実的な感覚からすると甘い評価のように思われる。

3 GDPは統合指標 I_i を決定する要因か

ここでは紙幅の都合から一人当たりGDPと統合指標 I_i の関係に焦点を絞る。図1に散布図を示した。これを読み解くと、一人当たりGDPが5万ドルまでは、一人当たりGDPと I_i には強い相関が見られる。多くの目標が、経済力を背景としなければ達成できないことが要因であろう。もちろん鉛直方向の分布が10-15ポイントほどばらついていることから、GDP以外にも重要な要因は存在するものの、この関係はかなり明瞭である。SDGsが「開発目標」であることを強く反映しているのだろう。

一方、一人当たりGDPが5万ドルを超えると、2変量間に単純な関係性を見いだすことは難しい。一人当たりGDPが5万ドル以上の国名を図1中に示した。うちスイス、ノルウェー、アメリ

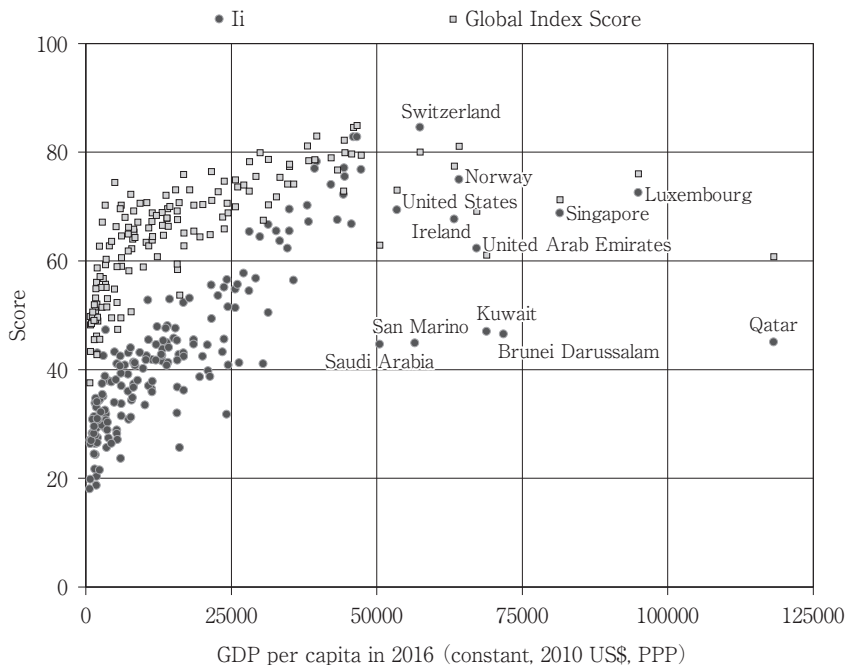


図1 GDPと統合指標値 (I_i) および Global Index Score の関係

出所：筆者作成

カ、アイルランドの4カ国はGDPが5万ドルまでの国が示すGDPと統合指標 I_i の強い相関関係の延長線上にあるように見える。それ以外の国は中東の産油国、都市国家のシンガポール、人口約60万人のルクセンブルク、人口3万人のサンマリノであり²⁵⁾、いずれも特徴だった国々である。

単純な結論を導出することは難しいが、小国でも産油国でもない国々にとって、経済成長はSDGs到達へ近づくための必要条件に見える。しかし、それだけでは目標を達成しないことは現実が示すとおりである。

Ⅹ おわりに

本稿において明らかになった点を簡潔にまとめよう。

- ① 指標の標準化において、z-scoreとMin-Maxの利点をもつSDGsの測定にふさわしい新たな方法を開発した
- ② 統合指標 I_i は達成度の低い目標（困難な目標）に重みを置く評価システムであり、SDGsの理念である「誰一人取り残さない」を体現している
- ③ 統合指標 I_i は重みづけを内生的に行うため、重みづけの恣意性が低い
- ④ 統合指標 I_i についての定性的分析結果より、 I_i は理論的に望ましい性質を持っている
- ⑤ 計測の結果、SDGsの意味において持続可能な国は現時点で存在していない
- ⑥ SDGsの達成には経済成長が必要と考えられるが十分条件ではない

残された課題を述べよう。本稿は新たな方法論の構築を中心的な論題として取り扱ったため、実証分析を十分に行うことができなかつた。第一に本稿では統合指標の作成過程の中でも、特に「標準化」「重みづけと統合」の二段階で新しい方法を提案したものの、計測結果に対しそれらが個別にはどのような役割を果たしたのか明らかではない。第二に統合指標値がどのSDGと強く連関するのか、また各SDGが個別指標とどのような関係にあるのか、これらについても触れていない。以上の論点について今後解答を与える必要がある。

謝辞

本稿執筆の機会を与えてくださった京都大学大学院経済学研究科宇仁宏幸教授と宇仁ゼミOBの先生方に深く感謝申し上げます。本稿の執筆は私の怠惰のゆえに、SDGsから取り残されたものたち（個体としての動物）の犠牲の上になされたことを銘記したい。

参考文献

- Sachs, J., Schmidt-Traub, G., Kroll, C., Lafortune, G., Fuller, G. (2016) SDG Index and Dashboards - A Global Report, Bertelsmann Stiftung and SDSN
- Sachs, J., Schmidt-Traub, G., Kroll, C., Lafortune, G., Fuller, G. (2017) SDG Index and Dashboards Report 2017 Global Responsibilities -International spillovers in achieving the goals-, Bertelsmann Stiftung and SDSN

25) サンマリノは全域をイタリアに囲まれた小国である。多くの指標が未整備であり、わずかな指標を基に計測しているため評価結果の不確実性がきわめて大きい。

- Sachs, J., Schmidt-Traub, G., Kroll, C., Lafortune, G., Fuller, G. (2018) SDG Index and Dashboards Report 2018 Global Responsibilities -Implementing the Goals, Bertelsmann Stiftung and SDSN
- Sachs, J., Schmidt-Traub, G., Kroll, C., Lafortune, G., Fuller, G. (2019) SDG Index and Dashboards Report 2019 Global Responsibilities, Bertelsmann Stiftung and SDSN
- Gan X., Fernandezb C. I., Guoc J.,Wilsond M., Zhaoe Y., Zhou Y., Wu J. (2017) When to use what: Methods for weighting and aggregating sustainability indicators, *Ecological Indicators* Vol. 81 pp. 491-502
- Jacobs R., Smith P., Goddard M. (2004) Measuring performance: An examination of composite performance indicators, CHE Technical Paper Series 29
- Lafortune G., Fuller G., Moreno J., Schmidt-Traub G., Kroll C. (2018) SDG Index and Dashboards Detailed Methodological paper, Bertelsmann Stiftung and SDSN
- Nardo M., Saisana M., Saltelli A., Tarantola S. (2005) Tools for Composite Indicators Building, European Communities
- OECD and JRC (2008) Handbook on Constructing Composite Indicators Methodology and User Guide, OECD Publishing
- OECD (2016) Measuring Distance to the SDGs Targets Pilot Study: A pilot assessment of where OECD countries stand, OECD
- OECD (2017) Measuring Distance to the SDGs Targets: An assessment of where OECD countries stand, OECD
- OECD (2019) Measuring Distance to the SDGs Targets 2019: An assessment of where OECD countries stand, OECD
- Papadimitriou E., Neves A. R., Becker W. (2019) JRC Statistical Audit of the Sustainable Development Goals Index and Dashboards, European Commission Joint Research Centre
- Saltzman J. (2003) Methodological Choices Encountered in the Construction of Composite Indices of Economic and Social Well-Being, Center for the Study of Living Standards
- United Nations (2015) Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, United Nations, A/RES/70/1, United Nations (外務省 (2015) 「我々の世界を変革する：持続可能な開発のための2030アジェンダ」, 外務省)