

国連持続可能な開発目標 (SDGs) 指標値の 正しさを求めて ～15.4.2 (山地グリーンカバー指標) とSDG11.3.1 (人口増加率と土地利用率の比率) 検証作業活動報告～

佐藤 彰洋*

Elaborating to Find the Correct Values for SDGs Indicators: Report on Evaluation Works for SDG15.4.2 (Mountain Green Cover Index) and SDG11.3.1 (Ratio of Land Consumption Rate to Population Growth Rate)

Aki-Hiro SATO*

Abstract– This article reports a validation task and confidential interval estimation for SDG15.4.2 (Mountain Green Cover Index) and SDG11.3.1 (Ratio of land consumption rate to population growth rate) based on earth observation satellite data and Japanese official data and statistics during FY2020 and FY2021. In addition, this article mentions empirical results for these two SDG indicators obtained in the observation data validation WG established in the MIC Meeting for Promotion of the Use of Big Data. Prof. Dr. Aki-Hiro Sato from Yokohama City University and Prof. Dr. Wataru Takeuchi from the University of Tokyo joined in the validation task on recommendation by the Transdisciplinary Federation of Science and Technology and other members belonging to Geospatial Information Authority of Japan, Japan Aerospace Exploration Agency. This article also addresses issues recognized through the evaluation task for two SDG indicators and proposes some solutions.

Keywords– SDG indicators, confidential interval, earth observation data, land cover, confusion matrix

1. はじめに

国連持続可能な開発目標 (SDGs) [1] は、17 のゴールと 169 のターゲットからなる 2030 年までに全世界が達成すべき目標とされている。169 のターゲットそれぞれに、1 ターゲット当たり数種類のターゲットの状態や効果を定量的に測定可能とする数量的指標が設定されており、SDGs 全部で 248 (重複を除くと 231) の指標がある。これら指標は、SDGs の各ターゲットの達成度の把握や意思決定、国ごとの取組を比較することに利用される。

古沢 [2] は、SDGs が国連において議論されてきた経緯として、経済、社会、環境をめぐる危機的事態への全

世界的な対応と考察している。特に、環境的適正性と社会的公正性との間に存在する対立構造を指摘している。

Basiago [3] は経済、社会、環境の側面から持続可能な開発と都市計画の問題について経済、社会、環境それぞれの持続可能性の指標と行動原理を先進的な都市での取り組みの事例からまとめている。持続可能な開発や都市計画を実施していく上で、経済、社会、環境の対立構造を多角的に定量化し、行動へとつなげていく努力が必要である。

SDGs のゴールとターゲットの適切性については、未だ議論は続いているものの、これら環境面と社会面の対立性を克服し、人類の緊急性の高い危機的状況を回避すべく、全世界的に協力がなされている。そして、SDGs のゴール、ターゲットの推進活動が行われ、これを計量する指標が提案され、整備されつつある。

現在、これら SDGs 指標の計算方法、データ源の特定、信頼性の評価方法、試算値の導出などを含むメタデータ

*横浜市立大学大学院データサイエンス研究科 神奈川県横浜市金沢区瀬戸 22-2

*Graduate School of Data Science, Yokohama City University, 22-2 Seto, Kanazawa-ku, Yokohama, Kanagawa

Received: 5 July 2022, Accepted: 16 August 2022.

整備が、国連専門組織および各国政府の協力のもと、試算値の公表と評価作業を伴って実施されている。

この動きを受け、2020年6月に総務省ビッグデータ等の利活用推進に関する産官学協議のための連携会議 [4] 内に観測データ利活用検証 WG [5] が設置された。この WG は、地球観測衛星データをデータ源として用いなければ指標計算が困難とされる SDGs 指標の検証を対象とし、国連専門機関が公表する各国の SDGs 指標試算値の内、日本国内推計値の評価とメタデータの妥当性を検証することを主たる目的と位置付けた。

観測データ利活用検証 WG では、国連持続可能な開発目標 (SDGs) の指標のうち、2 指標 - SDG15.4.2 (山地グリーンカバー指標) [6] と SDG11.3.1 (土地利用増加率と人口増加率の比) [7] - について検証作業を実施した。2020 年度には、SDG15.4.2、2021 年度には、SDG11.3.1 が検証対象として選ばれた。この 2 指標が選ばれた理由は、各国の公的統計で取り扱われる調査項目と範囲では算出が困難な、網羅的な地球観測データが利用できる点が挙げられる。また、SDGs が有する社会、環境、経済の対立構造をグリーンカバー指標と土地利用率、人口増加率から確認できるという点も挙げられる。

SDG15.4.2 (山地グリーンカバー指標) は標高および傾斜角により分類される山地分類 (Kapos 分類) ごとの植生被覆割合として定義 [18] されている。この指標は、SDG15.4 「2030 年までに持続可能な開発に不可欠な便益をもたらす山地生態系の能力を強化するため、生物多様性を含む山地生態系の保全を確実にを行う」のターゲットを計量する多角的指標の一つである。また、SDG11.3.1 (人口増加率と土地利用率の比率) [28] は、SDG11.3 「2030 年までに、包摂的かつ持続可能な都市化を促進し、全ての国々の参加型、包摂的かつ持続可能な人間居住計画・管理の能力を強化する」の達成度を定量的に計量するために設定されている指標の一つである。

SDGs 指標の中で、SDG15.4.2 は Tier I、SDG11.3.1 は Tier II の指標に分類されている。特に Tier II は一般的な公的統計の範囲では計算ができない指標とされ、この算出には、地球観測データなど公的統計以外のビッグデータの利用が必要であることが認識されている。

SDG15.4.2 は国際連合食糧農業機関 (FAO) [13] が各国について指標を算出し公表している。

また、SDG11.3.1 は国際連合人間居住計画 UN-HABITAT [14] が各国について指標を算出し公表している。

著者佐藤彰洋 (横浜市立大学大学院データサイエンス研究科) は、横断型基幹科学技術研究団体連合 [8] からの推薦を受け、日本統計学会 [9] より参加した。また、リモートセンシング学会 [10] より竹内渉氏 (東京大学生産技術研究所) が観測データ利活用検証 WG 構成員

として、この 2 指標の評価検証作業へ参加した。

著者は、2020 年度実施 SDG15.4.2 指標と 2021 年度実施 SDG11.3.1 指標の検証作業において、指標検証作業の全体工程設計、両指標の 95% 信頼区間による指標の統計的誤りの評価と衛星画像の自動分類判別時に生じる分類誤りを考慮した指標補正方式の開発を担当した。更に、科学技術振興機構 (JST) 未来社会創造事業超スマート社会の実現領域【異分野共創型の AI・シミュレーション技術を駆使した健全な社会の構築】「自律分散的世界メッシュ統計基盤アーキテクチャの設計と実証」(研究課題番号: 2020 JPMJMI20B6, 研究代表者 佐藤彰洋, 研究期間: 2020 年度~) [11] の財政的援助を受けて開発と運用実験を行う MESHSTATS [12] 上に、SDG11.3.1 指標のメッシュ統計による、集計・可視化アプリケーションを試作し、メッシュ統計として SDGs 指標を整備することの有効性の検証を行った。

竹内渉氏は、2020 年度実施 SDG15.4.2 指標と 2021 年度実施 SDG11.3.1 指標の検証作業に、総務省ビッグデータ等の利活用推進に関する産官学協議のための連携会議「観測データ利活用検証 WG」構成員として参加し、衛星データの専門性から衛星データに存在する固有性について検討した。

この検証作業には、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) [15] から落合治氏、石田中氏、濱本昂氏が、国土地理院から藤村英範氏が、ビッグデータ連携会議から構成員である国立情報学研究所水野貴之氏が参加した。国連より公開されているメタデータに従い、我が国が保有する源データを用いて、この検証作業に当たった [17]。国連専門機関が公表する試算値とその計算方法を日本固有のデータ源を用いて、日本国内分について再度の算出を行い、比較・検証する作業を行った。この作業には、JAXA が保有する過去 20 年以上にわたる地球観測に関する衛星データ、および、総務省、国土交通省、環境省、農林水産省が作成・保管する公的統計や、行政記録情報を用いた。

本稿では、検証作業の内、特に 2 つの SDGs 指標の信頼区間の検証方法について著者が取り組んだ作業を中心に、作業の流れとその検証作業の結果について報告をする。

2. 指標評価方法

2020 年度に、検証 WG における SDG15.4.2 (山地グリーンカバー指標) の検証作業を開始するに当たり、指標算出値の誤差影響因子を調べ、以下に示すデータ品質、集計誤差、運用上の問題、ソフトウェア上の問題の 4 因子を特定した。

(1) データ品質: 衛星画像より判読される土地利用土地被覆図には分類の判別誤りが存在している。これは、

混同行列（コンフュージョンマトリックス）により評価ができる。また、取り扱っているデータの破損がデータ転送で発生することもある。特に、衛星データは高分解能のものでは含まれるデータ量も多いため、データ転送後のファイル破損に気が付きにくい。パリティチェックなど破損を機械的に特定できる仕組みを導入することが望まれる。

(2) 集計誤差：データの有限性からくる問題である。高分解能の衛星画像と言えども、デジタル化された画像であることから本当は空間的に連続的に変化する反射光の波長変化を離散化している。このことは空間的なある種の一様な抽出であるとも理解することができ、衛星データのピクセルを標本と考えることにより、母数は標本から計算される統計量により推計されていると考える。この仮定により、標本誤差の程度を理論的、数値的に見積もることができる。

(3) 運用上の問題：集計作業操作やファイルの取り扱い、記入の誤りなど操作上の人為的ミスが作業中に含まれる可能性があるというものである。このことは作業の多重確認などにより検出することが可能である。

(4) ソフトウェア上の問題：集計ソフトウェアのアルゴリズムに存在する丸め誤差や桁落ち、ソフトウェアに含まれるバグ、集計作業者の適用理解不足などが挙げられる。集計ソフトウェアのアルゴリズム上の誤差ではソフトウェアのライブラリの挙動についての理解が重要であり、ソフトウェアのバグへの対処法は、ソフトウェアの検定・試験データによる事前検証が有効である。異なる作業者が異なるコンピュータープログラミング言語、または、ソフトウェアを用いて同じ作業を行うことで、ソフトウェアのバグへの対処ができる。また、集計アルゴリズムの適用理解不足への対処方法としては、作業者の訓練、研修、練習がある。これは運用上の問題にも関連する。

これら指標算出時の誤差要因を考慮して、検証作業では、作業工程をいくつかのフェーズに分割し、小規模データセットによる理論検証を繰り返しながら、一定の作業レベルに到達したことを確認したのち、データ種類を増やすなどの拡大作業を繰り返した。更に、作業を異なる作業者で、できる限り多重的に組むように心がけ、多重確認を行いながらこの検証作業に取り組んだ。

3. SDG15.4.2（山地グリーンカバー指標）

3.1 山地グリーンカバー指標とは

SDG15.4.2（山地グリーンカバー指標）指標値の算出には、全球での詳細な地形形状と土地被覆状態の網羅的な観測データを必要とすることから、地球観測衛星から観測された大量の衛星画像より判読作成されたデジタル

Table 1: Kapos mountain classification. Their factors and classification ratio in Japan.

Kapos 山地分類	内容	日本における山地分類比率 (%)
Kapos 0	高度 < 300 m	54
Kapos 1	高度 > 4,500 m	0
Kapos 2	高度 3,500 m - 4,500m	0
Kapos 3	高度 2,500 m - 3,500 m	0
Kapos 4	高度 1,500 m - 2,500 m 及び 傾斜 > 2	2
Kapos 5	高度 1,000 m - 1,500 m 及び 傾斜 > 5 または 局所起伏幅 LER (7 Km 半径) > 300m	6
Kapos 6	高度 300 m - 1,000 m 及び局所起伏幅 LER (7 km 半径) > 300 m	38

標高モデル（DEM, DSM）、および、高解像度土地利用土地被覆図 [19] が推計に利用される。

FAO が公表する試算値 [20] によると **Table 1** に示すように、Kapos 山地分類と呼ばれる標高と起伏形状などから定義される 7 種類の山地分類が定義されている。我が国では最高峰の富士山山頂付近が Kapos2 に若干含まれるが、Kapos1 に該当する領域は存在しない。

2020 年、FAO は、定められた方法及びデータを用いて独自に算出した国別の SDGs 指標 15.4.2 の算出結果（2020 年 6 月 29 日付）を各国に送付し、検証を求めた。総務省観測データ利活用検証 WG においては、2020 年度、FAO のメタデータのデータと方法論に従い、同指標算出の検証を行った結果について報告レポートを作成した。

この検証作業の作業工程は以下に示すように設計をし、2020 年 9 月～2021 年 3 月にかけて評価検証作業を行った。

- (1) データ準備：データ品質の確認
- (2) データ選別・蓄積：高品質データの選別、データ転送時の破損確認
- (3) 集計手順の決定：集計ソフトウェアの検証、集計方法の誤差評価
- (4) 集計の実行：集計手順の文章化、集計の再現性確認
- (5) 集計手順の確認と検査：集計結果の確認、他手法との比較
- (6) 誤差評価：データ欠損の確認、分類誤差の評価値（混同行列）の取得
- (7) 標本誤差：標本誤差の算出、源データ誤り率からの指標補正
- (8) 公表：指標公表のための手続き、指標公表用報告文章の作成

3.2 指標の信頼区間推定値

FAO は、SDG15.4.2 について、Kapos0～Kapos6 に対する指標値を試算し 2019 年から公表を開始した。我が

Table 2: Green Cover Indices computed by FAO for each Kapos mountain classification in 2015.

IPCC分類	Kapos 山地分類					
	1	2	3	4	5	6
Kapos 分類						
森林	0%	20.00%	58.89%	89.37%	94.16%	91.10%
農作地	0%	66.67%	33.57%	6.34%	3.01%	4.94%
草地	0%	0.0%	6.95%	3.57%	2.03%	3.01%
湿地	0%	0.0%	0.35%	0.40%	0.48%	0.08%
市街地	0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.02%	0.51%
その他	0%	13.33%	0.24%	0.32%	0.28%	0.36%
MGCI	0%	86.67%	99.76%	99.68%	99.69%	99.13%
MGCI all				99.23%		

国における 2021 年 10 月当時の FAO 試算値を **Table 2** に示す。

FAO 試算値は、高山地帯に属する Kapos2 (標高 4500m-3500m) (我が国の最高峰である富士山山頂付近に対応する) において、山地グリーンカバー指標の値が約 86 % を示し、Kapos3 (標高 2500m-3500m) (我が国の多くの地域における森林限界以上の高山地帯山地に対応する) においても山地グリーンカバー指標が約 99%と、極めて高い値を示していることが確認された。

これら FAO 試算値は、我が国の前提知識から見て過大評価値であり、十分な検証を必要とすると考えた。特に、指標の信頼性評価を行うためには、点推定値だけではその信頼性が不明確であり、区間推定値により指標の信頼性を定量的に評価するメタデータにはない新たな評価方法の開発が必要であるとの考えに至った。

検証作業の結果、Kapos2 と Kapos3 において、極めて高い山地グリーンカバー指標値を示していた理由は、FAO が用いた土地分類の識別に使った衛星画像に強い季節性が存在していた可能性があったこと、および、Kapos2, Kapos3 は対象領域が極度に狭いため、算出に使用した標本サイズが極めて少なく、区間推定値の幅が大きく、点推定値の信頼性が低いことが原因と結論付けされた。

山地グリーンカバー指標は、山地標高区分ごとに地表面がどの程度植生に覆われているかの比率として計算される。どの程度の植生に覆われていればグリーンと判読するかについては、議論が分かれた。特に湿地分類がグリーンと判読されるべきかについては、意見が分かれた。最終的に、メタデータ改定で湿地がグリーンと判定することになったことを受けて湿地分類はグリーンと定められた。

また、単位面積当たりを算出するための面積の定義についても意見が分かれた。実際には山地は凹凸を有しているため表面積を用いて植生に地表面が覆われている比率を計算しようと試みた。しかしながら、厳密には地表面はフラクタル構造を有していることから、表面積はミクロンオーダーまで見ると極めて大きな値となっている。このことから、山地グリーンカバー指標を計算する

ために、対象とする領域内において確認される植生に覆われた表面積を計算することは実際問題不可能との見解に至った。

そこで、国土交通省国土地理院面積調 [21] の面積定義に従い、地球を標高 0 の仮想面で切断したときの断面面積をその領域での面積と考え、その面積内がどの程度の植生で覆われているかを衛星画像が無作為空間抽出であると仮定して、比率を計算し、それをグリーンカバー指標と定義することとした。

この定義に従うと、衛星画像から判読される植生 (1)/非植生 (0) の画素ピクセルを空間抜き取り標本であると考えることができる。山地分類 i 領域内の観測点 k で植生グリッドなら $X_i(k) = 1$ 非植生グリッドなら $X_i(k) = 0$ とする。母比率の標本比率による推計としてグリーンカバー比率 \hat{q}_i を次式で定義する。

$$\hat{q}_i = \frac{\sum_{k=1}^{N_i} X_i(k)}{N_i} \quad (1)$$

ここで、山地分類 i に分類されるグリッド総数 N_i である。 $X_i(k)$ が互いに独立であるならば、(1) 式が従うべき確率分布は、 $N(\hat{q}_i, \frac{\hat{q}_i(1-\hat{q}_i)}{N_i})$ として近似される。これは、 $Z_i = \sum_{k=1}^{N_i} X_i(k)$ が二項分布 $B(q_i, N_i)$ に従うので、 Z_i は N_i が十分大きいと正規分布 $N(q_i N_i, N_i(1-q_i)q_i)$ からの抽出と近似することができ、 $\hat{q}_i = Z_i/N_i$ の従うべき確率分布は $N(q_i, \frac{q_i(1-q_i)}{N_i})$ となるためである。母比率を標本比率で近似することで (1) 式が得られる。結果、母比率 q_i の 95%信頼区間は

$$\hat{q}_i - 1.96 \sqrt{\frac{\hat{q}_i(1-\hat{q}_i)}{N_i}} \leq q_i \leq \hat{q}_i + 1.96 \sqrt{\frac{\hat{q}_i(1-\hat{q}_i)}{N_i}} \quad (2)$$

となる。(2) 式の区間推定値の幅を計算することで、山地グリーンカバー指標の誤差評価を行うこととした。

更に、衛星画像をもとに作成された高精度土地利用土地被覆図は分類誤りを生じている。これは、混同行列 (コンフュージョンマトリックス) により算出可能である。しかしながら、人手での目視分類により混同行列は算出できるが、評価標本数を増やすには人手が多くかかりすぎる。このため、JAXA 高解像度土地利用土地被覆図ごとに、土地利用分類ごとの混同行列が公開 [22] されているが、評価値点は 2000~4000 ピクセルであり、ある限られたサンプルサイズでの混同行列しか得られていない。そこで、本検証作業では、妥当性のある環境省植生図のポリゴンデータ [25] を正解データとして、土地利用土地被覆図との間で突合分析することにより、混

Table 3: Confusion matrix for the binary classification in terms of vegetation and non-vegetation.

		validated β	
		植生 ($\beta=1$)	非植生 ($\beta=0$)
classified α	植生 ($\alpha=1$)	TP	FP
	非植生 ($\alpha=0$)	FN	TN

同行列のサンプルサイズの増幅方法についても併せて検討を行った。

Table 3 は植生／非植生の 2 値分類を行った場合に、実際には $\beta = 0, 1$, 植生 ($\beta = 1$), 非植生 ($\beta = 0$) である場所を, $\alpha = 0, 1$, 植生 ($\alpha = 1$), 非植生 ($\alpha = 0$) と分類していたことを判定して作成した混合行列を示す。ここで TP, FP, TN, FN はそれぞれの事象数である。

Kapos 山地分類 $i (i = 1 \sim 6)$ ごとの高精度土地利用土地被覆図の植生ピクセル数から (1) 式を使って算出される分類誤りを含む標本比率を \hat{q}_i とすると, **Table 3** の混同行列が与えられる場合, 分類誤りを補正した標本比率 \hat{p}_i は, 以下となる。

$$\hat{p}_i = \frac{\hat{q}_i - \hat{R}(1|0)}{\hat{R}(1|1) - \hat{R}(1|0)} \quad (3)$$

ここで,

$$\hat{R}(1|0) = \frac{FP}{FP+TN} \quad (4)$$

$$\hat{R}(1|1) = \frac{TP}{TP+FN} \quad (5)$$

である。この導出は以下のように説明される。結合確率 $\hat{p}_{AB}(\alpha, \beta)$ として, 条件付き確率の定義

$$\hat{R}(\alpha|\beta) = \frac{\hat{p}_{AB}(\alpha, \beta)}{\hat{p}_B(\beta)} \quad (6)$$

から

$$\hat{p}_{AB}(\alpha, \beta) = \hat{R}(\alpha|\beta) \hat{p}_B(\beta)$$

が成り立つので, $\hat{p}_{AB}(\alpha, \beta)$ を β について和を取り, 周辺分布を求めることで,

$$\hat{p}_A(\alpha) = \sum_{\beta=0,1} \hat{p}_{AB}(\alpha, \beta) = \sum_{\beta=0,1} \hat{R}(\alpha|\beta) \hat{p}_B(\beta) \quad (7)$$

となる。ここで, $\hat{p}_A(1) = \hat{p}_i$, $\hat{p}_B(1) = \hat{q}_i$, $\hat{p}_B(0) = 1 - \hat{q}_i$ であるので,

$$\hat{p}_A(1) = \hat{R}(1|0) \hat{p}_B(0) + \hat{R}(1|1) \hat{p}_B(1) \quad (8)$$

より,

$$\hat{q}_i = \hat{R}(1|0)(1 - \hat{p}_i) + \hat{R}(1|1) \hat{p}_i \quad (9)$$

が成り立つ。この式を \hat{p}_i について整理することで, 結果, (3) 式を得る。

(4), (5) 式で与えられる条件付き確率 $\hat{R}(1|1)$ と $\hat{R}(1|0)$ もまた, 母比率の標本比率による推計であり, 区間推定値が存在する。(2) 式と同様に, 母条件付き確率 $R(1|1)$ と $R(1|0)$ の 95% 信頼区間は次式で求められる。

$$\frac{FP}{FP+TN} - 1.96 \sqrt{\frac{\frac{FP}{FP+TN} \left(1 - \frac{FP}{FP+TN}\right)}{FP+TN}} \leq R(1|0) \leq \frac{FP}{FP+TN} + 1.96 \sqrt{\frac{\frac{FP}{FP+TN} \left(1 - \frac{FP}{FP+TN}\right)}{FP+TN}} \quad (10)$$

$$\frac{TP}{TP+FN} - 1.96 \sqrt{\frac{\frac{TP}{TP+FN} \left(1 - \frac{TP}{TP+FN}\right)}{TP+FN}} \leq R(1|1) \leq \frac{TP}{TP+FN} + 1.96 \sqrt{\frac{\frac{TP}{TP+FN} \left(1 - \frac{TP}{TP+FN}\right)}{TP+FN}} \quad (11)$$

差と比に対する誤差伝播公式

$$(a \pm \delta a) - (b \pm \delta b) = (a - b) \pm (\delta a + \delta b)$$

$$\frac{a \pm \delta a}{b \pm \delta b} = \frac{a}{b} \left(1 \pm \left(\frac{\delta a}{a} + \frac{\delta b}{b}\right)\right)$$

を用いることにより母比率 p_i の 95% 信頼区間は, (2), (3), (10), (11) 式を使って次式で与えられる。ここで, $\delta a \ll a$, $\delta b \ll b$ が仮定される。

$$\frac{a-b}{c-b} \left(1 - \left(\frac{\delta a + \delta b}{a-b} + \frac{\delta c + \delta b}{c-b}\right)\right) \leq p_i \leq \frac{a-b}{c-b} \left(1 + \left(\frac{\delta a + \delta b}{a-b} + \frac{\delta c + \delta b}{c-b}\right)\right) \quad (12)$$

ここで,

$$a = \hat{q}_i, b = \hat{R}(1|0), c = \hat{R}(1|1) \quad (13)$$

であり, $\delta a, \delta b, \delta c$ をそれぞれ (2) 式, (10) 式, (11) 式で計算される母植生率 q_i , 母条件付き確率 $R(1|0), R(1|1)$ の 95% 信頼区間幅の半分とする。

混同行列から分類誤り補正式が導出され, さらに誤差伝播公式を用いることにより, 山地グリーンカバー指標の区間推定値を標本誤差と分類誤りの標本誤差の影響考慮し, 推定する方法を開発して本分析に利用した。

JAXA が SRTM [26] から独自計算した 90m 分解能の Kapos 山地分類と, JAXA 保有の高解像度土地利用土地被覆図 [19] を用いることにより, 我が国が保有するデータから山地分類ごとに山地グリーンカバー指標の点推

Table 4: Green Cover Indices (SDG15.4.2) calculated from our Japanese data through our evaluation task.

Kapos 分類	2006-2011	2014-2016	2018-2022
2	0%	0%	0%
3	14.3% (11.0% 以上 17.6%以下)	32.4% (22.0% 以上 42.9%以下)	24.6% (14.4% 以上 34.9%以下)
4	85.9% (81.7% 以上 90.1%以下)	96.5% (81.4%以上)	94.7% (79.1%以上)
5	98.9% (94.5%以上)	99.4% (84.2%以上)	99.4% (83.5%以上)
6	99.2% (94.7%以上)	99.1% (83.9%以上)	98.7% (82.8%以上)
全体	98.41% (93.31%以上)	98.92%(83.74%以上)	98.47% (82.60%以上)

定値と区間推定値を 100m 解像度データから算出することに成功し、FAO 試算値との比較を行った。その結果、FAO 試算値のうち我が国における分類比率の小さな Kapos 山地分類では指標の信頼区間幅が広く、分類比率の大きな Kapos 山地分類では指標の信頼区間幅が狭くなるのが JAXA の衛星データを使っての算出から評価ができた。

特に、Kapos2 においては、対象となる面積が国内に 1.78km² しか存在しておらず、標本数が不十分であることが確認された。SDG15.4.2 の検証作業中、わが国の FAO による Kapos2 (富士山山頂付近に該当する) の山地グリーンカバー指標試算値で森林と農地が約 86.67% という値が算出されていた。これは、わが国の現状と大きく乖離している試算値であり過大評価値である。Kapos3 についても同様に理由により過大評価試算値が得られたと判断した。この理由が、地球観測データで得られる分類データが該当面積に比例しており、計算に用いられた標本サイズが小さいことに起因していると判断し、修正を求める内容をその報告書 [23] で示した。

指標計算値の詳細については、ビッグデータ等の利活用推進に関する産官学協議のための連携会議の HP [4] 上で公開される、ビッグデータ連携会議レポート 01 [23] にて、SDG15.4.2 の検証結果報告が公表されている。また、算出値とメタデータについては、外務省 JAPAN SDGs Action Platform の HP (指標 15.4.2 の注釈欄) より公表が行われている。本指標の算出に当たって、横断型基幹科学技術研究団体連合の協力を得て精度検証が行われた旨が説明されて、検証レポートへのリンクが掲載されている。

Table 4 に本検証作業により、わが国固有のデータで算出された SDG15.4.2 (山地グリーンカバー指標) の区間推定値と点推定値を示す (ビッグデータ連携会議レポート 01 [23]pp.27-28 より抜粋)。Kapos2 については、冬季期間中凍結するためほぼ 0% であるが、夏季は数%程度と推定 ([環境省報告書]p.53 より) される。Kapos3 については、冬季期間中凍結するため 0% であると推定される。

4. SDG11.3.1 (人口増加率と土地利用率の比率)

4.1 土地利用率と人口増加率とは

SDG11.3.1 (人口増加率と土地利用率の比率) 指標値は、 t 期と $t+n$ 期の 2 時点間の対象領域における都市と特定される面積 Urb_t , Urb_{t+n} と人口 Pop_t , Pop_{t+n} を用いて、(14) 式と (15) 式で土地利用率 (LCR) と人口増加率 (PGR) とを定義し、それらの比 (16) 式により定義される。

$$LCR = \frac{1}{y} \frac{Urb_{t+n} - Urb_t}{Urb_t} \quad (14)$$

$$PGR = \frac{\ln Pop_{t+n} - \ln Pop_t}{y} \quad (15)$$

$$LCRPGR = \frac{LCR}{PGR} \quad (16)$$

ここで y は $t+n$ 期と t 期との年数である。

この指標の検証作業手順を以下のように設計し、2021 年 6 月～2022 年 3 月にかけて作業を行った。

- (1) 指標計算方法の妥当性についての検討
- (2) 指標値の試算：複数自治体での総務省国勢調査と JAXA 高精度土地被覆データによる指標の試算
- (3) 誤差評価方式の開発：3 次メッシュレベルでの LCR 誤差評価方式の開発
- (4) 分類誤り補正方式の検証：3 次メッシュレベルでの分類誤り補正方式の検証
- (5) 場所を限定した指標値の算出と検証：人口集中地域、3 次メッシュレベルでの LCR の算出と推計値の突合検証
- (6) 人口集中地域の指標値の算出と検証：人口集中 7 大都市、政令指定都市の指標算出、メタデータ改定への対応、3 次メッシュレベルでの人口集中地域の検証
- (7) 都道府県レベルでの算出と検証：都道府県レベルでの 3 次メッシュでの LCR/PGR 指標値の算出
- (8) 都市度と境界条件の評価：都市度分類毎の指標計算、境界条件の違いによる影響評価
- (9) 報告書作成：これまでの検証作業を報告書へまとめる作業

SDG11.3.1 メタデータでは本指標値は、LCR と PGR の比を算出する指標とはされている。しかしながら、LCR と PGR は増加率であるため正負の値を取り得る上、0 の値ともなるため、LCR と PGR の単純な費は意味をもたない場合がある。更に、LCR が増加 (都市構造物が増加) して、PGR が増加 (人口が増加) している場合と、LCR が減少 (都市構造物が減少) して、PGR が減少 (人口が減少) している場合とでその意味が異なるにも関わ

Table 5: Confusion matrix for the binary classification in terms of urban and non-urban areas.

		validated β	
		都市 ($\beta=1$)	非都市 ($\beta=0$)
classified α	都市 ($\alpha=1$)	TP_t	FP_t
	非都市 ($\alpha=0$)	FN_t	TN_t

らず、単純な LCRPGR は、その意味を区別できない問題がある。そのため、LCR と PGR を散布図として示すことにより、SDG11.3.1 の目的にかなう指標利用が可能であることを検討 WG として提案した。

3章で述べた山地グリーンカバー指標同様に、LCR の算出には土地被覆状態の網羅的な観測データを必要とする。この算出には、高解像度土地利用土地被覆図を用いるが、山地グリーンカバー指数同様、分類誤りの補正を考慮する必要がある。Table 2 の植生／非植生を都市／非都市に置き換えた二値分類混同行列 (Table 5) を用いる。

時点 t における都市と特定される面積 Urb_t は対象領域が時点によらず変化せず、一定面積 A であるならば、時点 t における対象領域面積内の都市比率 p_t として、

$$Urb_t = Ap_t \quad (17)$$

として計算することができる。結果、(14) 式で定義される LCR は対象領域内の都市比率を使った以下定義と等価である。

$$LCR = \frac{1}{y} \frac{p_{t+n} - p_t}{p_t} \quad (18)$$

SDG11.3.1 検証作業期間中に当初 (14) 式で定義されていた LCR が、(18) 式の定義に改定が行われて、評価値の再計算が必要となった。メタデータの改定作業が行われた場合、指標計算値がその前後で乖離する可能性もある。そのため、SDGs 指標の算出はメタデータの改定が行われるごとに全てやり直しをする必要があることがこの事例から理解できた。

高解像度土地利用土地被覆図上の N_t 個のピクセルを含む対象領域における、ピクセルを考える。時点 t における、観測値点 k のピクセル状態が都市であれば $X_t(k) = 1$ 、非都市であれば $X_t(k) = 0$ とする。

$$\hat{q}_t = \frac{\sum_{k=1}^{N_t} X_t(k)}{N_t} \quad (19)$$

(19) 式に対する、母都市比率 q_t の 95% 信頼区間は

$$\hat{q}_t - 1.96 \sqrt{\frac{\hat{q}_t(1-\hat{q}_t)}{N_t}} \leq q_t \leq \hat{q}_t + 1.96 \sqrt{\frac{\hat{q}_t(1-\hat{q}_t)}{N_t}} \quad (20)$$

となる。さらに、3章の (3) 式と同様の議論により、分類誤りを補正した都市比率 \hat{p}_t は

$$\hat{p}_t = \frac{\hat{q}_t - \hat{R}_t(1|0)}{\hat{R}_t(1|1) - \hat{R}_t(1|0)} \quad (21)$$

と計算される。ここで、

$$\hat{R}_t(1|0) = \frac{FP_t}{FP_t + TN_t} \quad (22)$$

$$\hat{R}_t(1|1) = \frac{TP_t}{TP_t + FN_t} \quad (23)$$

である。また、母条件付き確率の 95% 信頼区間は以下で与えられる。

$$\frac{FP_t}{FP_t + TN_t} - 1.96 \sqrt{\frac{\frac{FP_t}{FP_t + TN_t} (1 - \frac{FP_t}{FP_t + TN_t})}{FP_t + TN_t}} \leq R_t(1|0) \leq \frac{FP_t}{FP_t + TN_t} + 1.96 \sqrt{\frac{\frac{FP_t}{FP_t + TN_t} (1 - \frac{FP_t}{FP_t + TN_t})}{FP_t + TN_t}} \quad (24)$$

$$\frac{TP_t}{TP_t + FN_t} - 1.96 \sqrt{\frac{\frac{TP_t}{TP_t + FN_t} (1 - \frac{TP_t}{TP_t + FN_t})}{TP_t + FN_t}} \leq R_t(1|1) \leq \frac{TP_t}{TP_t + FN_t} + 1.96 \sqrt{\frac{\frac{TP_t}{TP_t + FN_t} (1 - \frac{TP_t}{TP_t + FN_t})}{TP_t + FN_t}} \quad (25)$$

都市比率を使った LCR (18) 式に、(21) 式を代入することにより、LCR の点推定値は

$$\widehat{LCR} = \frac{1}{y} \left(\frac{\hat{q}_{t+n} - \hat{R}_{t+n}(1|0)}{\hat{R}_{t+n}(1|1) - \hat{R}_{t+n}(1|0)} \frac{\hat{R}_t(1|1) - \hat{R}_t(1|0)}{\hat{q}_t - \hat{R}_t(1|0)} - 1 \right) \quad (26)$$

で与えられる。時点 t におけるピクセルから算出される標本都市比率、標本条件付き確率を以下で表示し、

$$a_t = \hat{q}_t, b_t = \hat{R}_t(1|0), c_t = \hat{R}_t(1|1) \quad (27)$$

$\delta a_t, \delta b_t, \delta c_t$ をそれぞれ (19) 式、(24) 式、(25) 式で計算される母都市比率 q_t 、母条件付き確率 $R_t(1|0), R_t(1|1)$ の 95% 信頼区間幅の半分とすると、

$$\begin{aligned} \widehat{LCR} \pm \delta &= \left(\frac{p_{t+n,i} \pm \delta a_{t+n,i}}{p_{t,i} \pm \delta a_{t,i}} - 1 \right) \times \frac{1}{y} = \\ &= \left(\frac{p_{t+n,i}}{p_{t,i}} \left(1 \pm \left(\frac{\delta p_{t+n,i}}{p_{t+n,i}} + \frac{\delta p_{t,i}}{p_{t,i}} \right) \right) - 1 \right) \times \frac{1}{y} = \\ &= \left(\frac{(a_{t+n,i} - b_{t+n})(c_t - b_t)}{(c_{t+n} - b_{t+n})(a_t - b_t)} \left(1 \pm \left(\frac{\delta a_{t+n,i} + \delta b_{t+n}}{a_{t+n,i} - b_{t+n}} \right. \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \left. + \frac{\delta c_{t+n} + \delta b_{t+n}}{c_{t+n} - b_{t+n}} + \frac{\delta a_{t,i} + \delta b_t}{a_{t,i} - b_t} + \frac{\delta c_t + \delta b_t}{c_t - b_t} \right) \right) - 1 \right) \times \frac{1}{y} \end{aligned}$$

となるので、95%信頼区間は以下で与えられる。

$$\begin{aligned} &\left(\frac{(a_{t+n,i} - b_{t+n})(c_t - b_t)}{(c_{t+n} - b_{t+n})(a_t - b_t)} \left(1 - \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \left(\frac{\delta a_{t+n,i} + \delta b_{t+n}}{a_{t+n,i} - b_{t+n}} + \frac{\delta c_{t+n} + \delta b_{t+n}}{c_{t+n} - b_{t+n}} + \frac{\delta a_{t,i} + \delta b_t}{a_{t,i} - b_t} + \frac{\delta c_t + \delta b_t}{c_t - b_t} \right) \right) - 1 \right) \times \frac{1}{y} \\ &\leq LCR \leq \left(\frac{(a_{t+n,i} - b_{t+n})(c_t - b_t)}{(c_{t+n} - b_{t+n})(a_{t,i} - b_t)} \right. \\ &\quad \left. \left(1 + \left(\frac{\delta a_{t+n,i} + \delta b_{t+n}}{a_{t+n,i} - b_{t+n}} + \frac{\delta c_{t+n} + \delta b_{t+n}}{c_{t+n} - b_{t+n}} + \frac{\delta a_{t,i} + \delta b_t}{a_{t,i} - b_t} + \frac{\delta c_t + \delta b_t}{c_t - b_t} \right) \right) - 1 \right) \times \frac{1}{y} \end{aligned} \quad (28)$$

JAXA 高解像度土地利用土地被覆図バージョンごとに、土地利用分類ごとの混同行列が公開されている [27] が、評価値点は 2000~4000 ピクセルであり、ある限られたサンプルサイズでの混同行列しか得られていない。そこで、国土交通省公示地価データ [29] を都市分類の正解データとして、土地利用土地被覆図との間で突合分析し、混同行列のサンプルサイズの増幅を行った。

Fig. 1 は 2010 年~2015 年の 20 箇所の政令指定都市に対する LCR と PGR の散布図である。第一象限は LCR, PGR とともに増加している群であり、成長傾向が判断できる。第二象限では、LCR は減少しているが、PGR は増加している群であり、コンパクトシティー構想にあるような都市活動を行う場所の集積化が進んでいると判断される群である。第三象限では、LCR, PGR とともに減少している群であり、縮小傾向が判断できる。第四象限では、LCR は増加しているものの PGR が減少している群であり、人口減少が進む一方で、都市開発をすすめている状況であると判断される。

UN-Habitat の公表値 [30] は日本国内のいくつかの代表的な場所について指標が算出されているのみである。また、その場所をどのような区画で集計して算出したかについては明らかにされていない。本検証作業で算出した値はこれまでの UN-Habitat に含まれていない 20 箇所の政令指定都市と、47 都道府県および 3 次メッシュレ

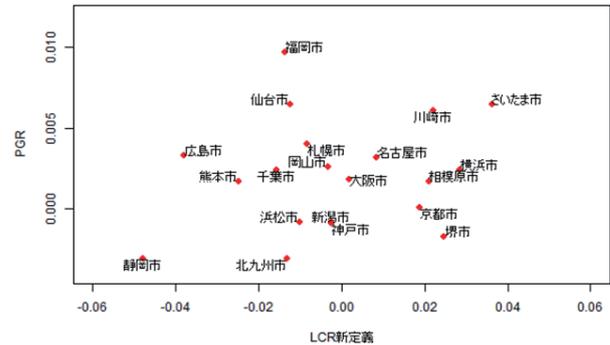


Fig. 1: Scatter plots between LCR and PGR between 2010 and 2015 for twenty government-designated cities.

ベル（日本国内での指標誤差が矛盾を生じない箇所）であり、UN-Habitat の公表値をはるかに超える地点で試算値を得ており、3 次メッシュレベルでは高い空間分解能で LCR と PGR の値から政策意思決定ができるレベルである。

本指標検証作業報告の詳細については 2022 年 3 月に最終報告が行われた [31]。総務省ビッグデータ連携会議レポート 03 として報告内容が公開される予定である。

また、外務省 JAPAN SDGs Action Platform の HP（指標 11.3.1 の注釈欄） [32] から、指標計算値とメタデータが掲載される予定である。また、SDG11.3.1 指標値の算出値については、一般社団法人世界メッシュ研究所 HP [33] を通じて、公開がなされている。

4.2 MESHSTATS 上アプリケーションとしての実装

SDG11.3.1 の LCR と PGR は、都道府県や市区町村といった行政区画で算出することも重要であるが、域内の都市計画区域ごとの状況を詳細に把握できるようにするために、メッシュ統計として算出することが有効であると考えた。ただし、メッシュ統計は 3 次メッシュ（約 1km 四方）であっても大量にメッシュ統計が生成されてしまう問題がある。これを解決するためにメッシュ統計に特化したサービス基盤 MESHSTATS 上にアプリケーションを試作して、その有効性について [12] 検証を行った。

Fig. 2 は MESHSTATS 上に試作したアプリケーションの出力例（東京都）である。行政区画名称（市区町村または都道府県）のボタンをクリックすると、その行政区画に含まれる LCR, PGR 値を抽出して可視化するとともに、メッシュ統計としてメッシュコードと値を CSV ファイルとしてダウンロードすることができる機能を有する。

SDG11.3.1 (LCRPRGR)

csvとしてダウンロード

データソース

1. JAXA高解像度土地利用土地被覆図【2006~2011年】、【2014~2016年】
2. 総務省統計局国勢調査3次メッシュ統計【2010年】、総務省統計局国勢調査3次メッシュ統計【2015年】

北海道 札幌市	宮城県 仙台市	埼玉県 さいたま市	千葉県 千葉市	神奈川県 川崎市	神奈川県 横浜市	神奈川県 相模原市	新潟県 新潟市	静岡県 静岡市	静岡県 浜松市	愛知県 名古屋市	東京都 京都市	
大阪府 大阪市	大阪府 堺市	兵庫県 神戸市	岡山県 岡山市	広島県 広島市	福岡県 北九州市	福岡県 福岡市	熊本県 熊本市	北海道 青森県	岩手県 宮城県	秋田県 山形県	福島県 茨城県	栃木県
群馬県 埼玉県	千葉県 東京都	神奈川県 新潟県	富山県 石川県	福井県 山梨県	長野県 岐阜県	静岡県 愛知県	三重県 滋賀県	京都府 大阪府	兵庫県 奈良県	和歌山県 鳥取県	島根県	
岡山県 広島県	山口県 徳島県	香川県 愛媛県	高知県 福岡県	佐賀県 長崎県	熊本県 大分県	宮崎県 鹿児島県	沖縄県					

13 東京都

計算方法	LCR補正值	LCR最小値	LCR最大値	LCR95%信頼区間	PGR	LCRPRGR補正值	LCRPRGR最小値	LCRPRGR最大値
旧来LCR定義	0.0217	0.0132	0.0301	0.0168	0.0053	4.1048	2.5109	5.6988
新LCR定義	0.0229	0.0135	0.0322	0.0187	0.0053	4.3353	2.5591	6.1115
pixel_count_before	built.up_count_before		pixel_count_after	built.up_count_after		population_before	population_after	
28980000	13380168		3220350	1620615		14235776	14616279	

LCR

LCR LCR2 PGR

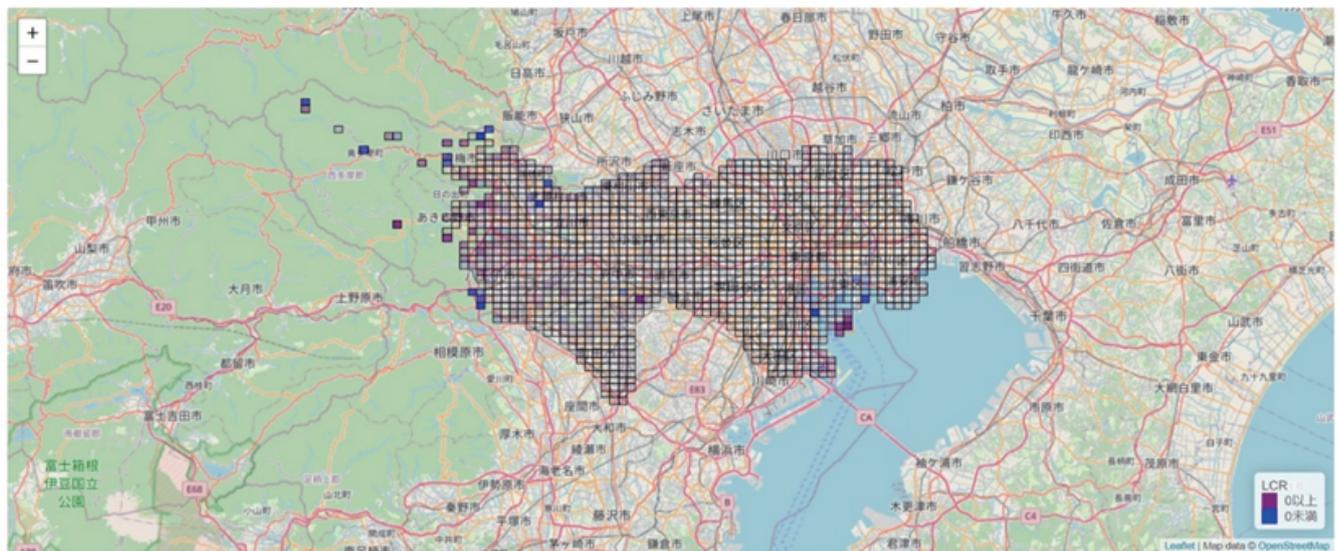


Fig. 2: Prototype application to visualize square grid statistics of SDG11.3.1 constructed at MESHSTATS. The grids represent LCR in Tokyo.

このようなアプリケーションは都道府県や市区町村における行政担当者が、都市計画や、人口政策などの施策を行うべき場所を特定することに有効であり、また、長期間にわたる施策の影響評価をメッシュ単位で行うのに利用が可能と予想する。このようなデータアプリケーションの利用については、実際の行政担当者へのサービス提供を行うとともに、ヒアリングを行ってその妥当性について定性的、定量的に評価を行っていく必要がある。

5. まとめと今後の課題

本稿では、総務省ビッグデータ等の利活用推進に関する産官学協議のための連携会議観測データ利活用検

証WG構成員として、著者が2020年度、2021年度に携わった検証評価作業内容の報告を行った。著者佐藤杉洋は日本統計学会より、検証作業全体における作業工程設計、SDG15.4.2 (山地グリーンカバー指標)とSDG11.3.1 (人口増加率と土地利用率の比率)の指標検証に必要な、指標値の信頼区間推定の方法と分類誤り補正の理論について、この検証作業に貢献した。竹内渉氏は日本リモートセンシング学会からこの検証作業に参加し、衛星データの持つ固有の問題および解釈上の課題について専門知識の観点からこの検証作業に貢献した。

2020年度~2021年度の検証作業を通じて次の事柄が判明した。

- ・SDG15.4.2 (2020年度)：我が国が保有する固有データを用いて再計算を行うことで、FAOが公表している

我が国の試算値のいくつかの試算値に対して修正が必要であること。

・SDG11.3.1 (2021年度) : UN-Habitat が提示するいくつかの行政区画について信頼区間付で指標を算出し、その妥当性の検証を行った。UN-Habitat が未公表の都道府県、政令指定市に対して試算値の算出を行い、土地消費率と人口増加率の散布図プロットにより指標試算対象領域の都市環境の把握が可能となることを示した。

今回の検証作業では、地球観測データの利用が有効とされる2指標 (SDG 15.4.2 と SDG11.3.1) を取り扱い、計算方法の確認、データ源の特定、信頼性評価方法の確立、実効的な計算方式の開発を通じて、国連専門機関が公表する試算値との比較、および、メタデータに従った指標算出方法について検討を行った。

SDGs のゴールとターゲットの実行性を定量的に計測する目的で 231 の SDGs 指標が国連専門委員会において議論がされ導入されてきた。指標の計算方法やデータ源についてはメタデータに記載があるが、現状のメタデータには不完全な箇所もあるため、各国の有識者、専門家による検証に晒されながら、その有効性と妥当性が検討され、メタデータの改定が行われている。メタデータの改定が行われた場合には、過去分も含めて指標の過去分も含めた再計算が必要となることが本作業から判明した。更に、指標の妥当性等については、実際に指標値を用いた意思決定が行われた場合の社会的影響の評価が必要であることから、指標値の社会的利用事例のさらなる収集も必要である。

本検証作業を通じて、SDGs 指標の計算方法に関するメタデータについては、定義が完全でない箇所もあり指標評価作業中にいくつか計算方法について修正や解釈の追加が必要である箇所が見つかった。

比率的指標については、指標を算出する地域 (都道府県、市区町村、メッシュなどの区画) で値が大きく変化し得る。メッシュレベルでの算出は、市区町村レベルの行政担当者が都市計画などの施策がどのような影響を地域で影響を与えているかの判別に利用できる。一方、市区町村、都道府県レベルでの算出は、行政組織ごとの現状比較と類似性に基づく分類に利用できる。他方、市区町村、都道府県レベルでの算出では、域内の細かい状況認識ができないという問題がある。指標の集計、公表単位は使用の目的に応じて作り、使い分けるべきである。

更に、この検証作業を進める中で、指標の信頼性を区間推定により行う方法の検討が極めて重要であることが認識された。また、データに含まれる誤りの程度を正しく定量的に評価する方法として、混同行列の信頼区間評価が有効であることが確認できた。

SDGs 指標は大量のデータを用いて計算を行う必要が

あるが、この作業は複雑で多段の処理過程が必要であることから、操作上の誤り (オペレーションエラー) が発生しやすい。このような、オペレーションエラーを避けるためには、人手の操作を減少させるコンピュータによる自動処理の導入、異なる作業者が独立に異なるソフトウェアを使って、同様のアルゴリズムで計算を行う突合せの作業が極めて有効な方式であることが体感された。

2つのSDGs指標のメタデータに基づく指標計算値を検証するだけでも、地球観測検証WGにおける2年の歳月が必要となる作業量であった。SDGsの17のゴールと169のターゲットを数値的に計量するための指標は231存在している。そのため、SDGsの17ゴールを網羅する全SDGs指標に対する同種の検証作業を行うためには、相当数の専門家集団による協力が必要と見積もる。

そのため、指標検証、データ源の特定、メタデータの確認の作業を行うためには、今回行った作業規模を実施できる専門家から構成される検証WGを総務省以外の省庁においても設置し、複数同時に検証作業を行える体制を産官学が協力して構築し、実施拡大していく必要があると考える。更に、検証作業報告書には、評価作業とその結果のみではなく、今後のメタデータ改定に必要な知見や事例もとりまとめ、日本語による国内報告とともに、英語や多言語による海外への情報発信も必要である。

横幹連合は横断的分野からなる専門家を醸する学術組織として、SDGsの各種指標検証作業に参加ができる、多くの専門人材能力を有している。今後、SDGs指標の検証作業に、より多くの専門家が横幹連合から加わり、231のSDGs指標の検証と、指標値の更新が速やかに行われていく体制が整うことを切に願う。

謝辞: 本研究 (信頼区間推定およびSDG11.3.1のメッシュ統計計算) は2020年度統計数理研究所共同研究プログラム「世界メッシュコード研究会」(2020 - ISMCRP - 5010)、2021年度統計数理研究所共同研究プログラム「世界メッシュコード研究会」(2021 - ISMCRP - 5014)の助成を受けており、JST 未来社会創造事業超スマート社会の実現領域【異分野共創型のAI・シミュレーション技術を駆使した健全な社会の構築】「自律分散的世界メッシュ統計基盤アーキテクチャの設計と実証」(研究課題番号: 2020 JPMJMI20B6, 研究代表者 佐藤彰洋, 研究期間: 2020年度-)の財政的援助を受けています。

参考文献

- [1] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Sustainable Development, <https://sdgs.un.org/goals>, 最終アクセス日 2022年6月4日
- [2] 古沢広祐, 「持続可能な開発・発展目標」(SDGs)の動向と展望~ポスト 2015年開発枠組みと地球市民社会の将

- 来～, 国際開発研究, 第 23 卷, 第 2 号, pp.79-94 (2014).
- [3] A. D. Basiago, “Economic, social, and environmental sustainability in development theory and urban planning practice,” *The Environmentalist*, Vol.19, pp.145-161 (1999).
- [4] 総務省, ビッグデータ等の利活用推進に関する産官学協議のための連携会議, https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/big_data/index.html, 最終アクセス日 2022 年 6 月 4 日
- [5] 観測データ利活用検証 WG について (令和 3 年 6 月 30 日改正), 総務省, ビッグデータ等の利活用推進に関する産官学協議のための連携会議, 観測データ利活用 WG, https://www.soumu.go.jp/main_content/000758248.pdf, 最終アクセス日 2022 年 6 月 4 日
- [6] 外務省, JAPAN SDGs Action Platform, SDG グローバル指標: ゴール 15, 15.4.2 山地グリーンカバー指標, <https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/statistics/goal15.html>, 最終アクセス日 2022 年 6 月 4 日
- [7] 外務省, JAPAN SDGs Action Platform, SDG グローバル指標: ゴール 11, 11.3.1 人口増加率と土地利用率の比率, <https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/statistics/goal11.html>, 最終アクセス日 2022 年 6 月 4 日
- [8] 特定非営利活動法人横断型基幹科学技術研究団体連合, https://www.trafst.jp/about_us/, 最終アクセス日 2022 年 6 月 4 日
- [9] 日本統計学会, <https://www.jss.gr.jp/>, 最終アクセス日 2022 年 6 月 5 日
- [10] 日本リモートセンシング学会, <https://www.rssj.or.jp/>, 最終アクセス日 2022 年 6 月 5 日
- [11] 科学技術振興機構 (JST) 未来社会創造事業超スマート社会の実現領域【異分野共創型の AI・シミュレーション技術を駆使した健全な社会の構築】「自律分散的世界メッシュ統計基盤アーキテクチャの設計と実証」(研究課題番号: 2020 JPMJMI20B6, 研究代表者 佐藤彰洋, 研究期間: 2020 年度～), <https://www.fttsus.jp/jstmirai/>, 最終アクセス日 2022 年 6 月 4 日
- [12] MESHSTATS, <https://www.meshstats.xyz/meshstats/>, 最終アクセス日 2022 年 6 月 4 日
- [13] Food and Agriculture Organization of the United Nations, <https://www.fao.org/home/en>, 最終アクセス日 2022 年 6 月 5 日
- [14] UN-Habitat, <https://unhabitat.org/>, 最終アクセス日 2022 年 6 月 5 日
- [15] 宇宙航空研究開発機構, <https://www.jaxa.jp/>, 最終アクセス日 2022 年 6 月 5 日
- [16] 外務省, JAPAN SDGs Action Platform, <https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/about/index.html>, 最終アクセス日 2022 年 6 月 4 日
- [17] 落合 治, 佐藤彰洋, 観測データ利活用検証 WG の取り組み: 地球観測衛星データを用いた SDG15.4.2 山地グリーンカバー指数の算出及び検証結果, エストレーラ, Vol.334, pp.9-15 (2022).
- [18] United Nations, SDG indicator metadata: SDG 15.4.2 Mountain Green Cover Index, <https://unstats.un.org/sdgs/metadata/files/Metadata-15-04-02.pdf>, 最終アクセス日 2022 年 6 月 4 日
- [19] JAXA 高解像度土地利用土地被覆図, https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/lulc/lulc_jindex.htm, 最終アクセス日 2022 年 6 月 4 日
- [20] FAO, Indicator 15.4.2, Mountain Green Cover Index, <https://www.fao.org/sustainable-development-goals/indicators/1542/en/>, 最終アクセス日 2022 年 6 月 4 日
- [21] 国土交通省国土地理院, 全国都道府県市区町村別面積調, <https://www.gsi.go.jp/KOKUJYOHO/MENCHO-title.htm>, 最終アクセス日 2022 年 6 月 4 日
- [22] 日本域高解像度土地利用土地被覆図【2006 年～2011 年】(2016 年 9 月リリース / バージョン 16.09), ALOS 利用推進研究プロジェクト, https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/jp/dataset/lulc/lulc_jpn_j.htm, 最終アクセス日 2022 年 6 月 30 日
- [23] 藤村英範, 濱本 昂, 石田 中, 川北史朗, 水野貴之, 佐藤彰洋, 竹内 渉, SDG15.4.2 (山地グリーンカバー指数) の検証 (日本語版 PDF), ビッグデータ連携会議レポート 01, https://www.soumu.go.jp/main_content/000763967.pdf, 最終アクセス日 2022 年 6 月 4 日
- [24] モニタリングサイト 1000 高山帯調査 2008 - 2017 年度とりまとめ報告書 (環境省事前環境局生物多様性センター), https://www.biodic.go.jp/moni1000/findings/reports/pdf/h20-h29_alpin_zone.pdf, 最終アクセス日 2022 年 8 月 1 日
- [25] 環境省自然環境局生物多様性センター, 植生調査(1/2.5 万) 都道府県一覧 Shape ファイル, <http://gis.biodic.go.jp/webgis/sc-025.html?kind=vg67>, 最終アクセス日 2022 年 7 月 3 日
- [26] Shuttle Radar Topography Mission, <https://srtm.csi.cgiar.org>, 最終アクセス日 2022 年 6 月 4 日
- [27] 日本域高解像度土地利用土地被覆図【2018～2020 年】(2021 年 11 月リリース / バージョン 21.11), https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/jp/dataset/lulc/lulc_v2111_j.htm, 最終アクセス日 2022 年 7 月 4 日
- [28] United Nations, Metadata on SDGs Indicator 11.3.1, https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/07/metadata_on_sdg_indicator_11.3.1.pdf, 最終アクセス日 2022 年 6 月 5 日
- [29] 国土交通省国土政策局国土情報課, 国土数値情報ダウンロードサービス, 地価公知データ, https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-L01-v2_3.html, 最終アクセス日 2022 年 6 月 5 日
- [30] UN-Habitat urban data site, 11 3 1 Land Consumption Rates 1990, 2000, and 2015, <https://data.unhabitat.org/datasets/GUO-UN-Habitat::11-3-1-land-consumption-rates-1990-2000-and-2015/explore>, 最終アクセス日 2022 年 6 月 5 日
- [31] 落合 治, 佐藤彰洋, 濱本 昂, 地球観測データを用いた SDG11.3.1 (LCRPGR) の試算・検証について (最終報告), 2022 年 3 月 18 日, https://www.soumu.go.jp/main_content/000800178.pdf, 最終アクセス日 2022 年 6 月 4 日

- [32] 外務省 JAPAN SDGs Action Platform, SDG グローバル指標 (SDG Indicators), <https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/statistics/goal11.html>, 最終アクセス日 2022 年 7 月 4 日
- [33] 一般社団法人世界メッシュ研究所 SDG11.3.1 (LCRPGR), https://www.fttsus.org/SDG_11_3_1, 最終アクセス日 2022 年 8 月 1 日

佐藤 彰洋



横浜市立大学大学院データサイエンス研究科教授。総務省統計研究研修所客員教授。博士（情報科学）。2000 年度東北大学大学院情報科学研究科修了。科学技術振興機構さきがけ研究員（2015 年度～2019 年度）などを経て 2020 年度より現職。ビッグデータ、メッシュ統計、データ利活用の研究に従事。日本統計学会正会員、日本計算機統計学会正会員、情報処理学会シニア会員など。
