

SDG15.4.2 (山地グリーンカバー指数) の検証

---

藤村 英範 (FUJIMURA Hidenori)	*
濱本 昂 (HAMAMOTO Ko)	**
石田 中 (ISHIDA Chu)	**
川北 史朗 (KAWAKITA Shiro)	**
水野 貴之 (MIZUNO Takayuki)	***
佐藤 彰洋 (SATO Aki-Hiro)	****
竹内 渉 (TAKEUCHI Wataru)	*****

(アルファベット順)

*	国土交通省国土地理院
**	国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構
***	国立情報学研究所
****	横浜市立大学データサイエンス学部
*****	東京大学生産技術研究所

---

本レポートは、「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」の議論を踏まえ、執筆者による調査・研究の成果をまとめたもので、公的統計の整備に係る各種施策に役立てることを企図としている。なお、レポートの内容や意見は、執筆者個人に属し、総務省の公式見解を示すものではない。

---

## SDG15.4.2 (山地グリーンカバー指数) の検証

2021年6月16日

### 要旨

近年、国連及び各国の統計作成当局は、国連持続可能開発目標(SDGs)指標作成の新たなデータ源として地球観測及び地理空間情報の利活用に取り組み始めている。国連食糧農業機関(FAO)は、衛星データから作成された全球土地被覆データを用いて山地を有する各国のSDG15.4.2(山地グリーンカバー指数; MGCI)を算出して各国に検証を求めている。本報告書ではSDG15.4.2のFAO公表試算値を再現できる計算方法を確認するとともに、わが国が現在保有するデータを用いて同指標を試算し、2020年現在のFAO公表試算値との突合せによる精度検証を行った。この精度検証作業の結果、2020年現在のFAO公表試算値のうち、我が国における保有面積の小さなKapos山地分類(Kapos 2, Kapos 3, Kapos 4)に対するMGCIに対して、FAO公表試算値が過大となっていると判断された。その根拠を定性的、定量的な観点から示すとともに、その代替え値をその精度検証及び向上のための統計的手法とともに提案する。

キーワード： SDGs、山地グリーンカバー指数(MGCI)、地球観測データ、地理空間情報、土地被覆、Kapos山地分類、分類精度

本稿は、総務省において開催している「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」配下のワーキンググループとして立ち上げた「観測データ利活用検証WG」で行った検証の結果をまとめたものである。本稿の作成にあたっては、津村晃、小川友彬、有田知加(以上、総務省)、田殿武雄、落合治、原田まり子(以上、宇宙航空研究開発機構)の各氏から有益な助言を頂いた。また、協力府省の外務省、文部科学省、農林水産省、環境省、植生調査ポリゴンデータを提供いただいた環境省自然環境局生物多様性センター、農地筆ポリゴンデータを提供いただいた農林水産省大臣官房統計部をここに記して感謝したい。ただし、本稿の内容と意見は筆者ら個人に属し、所属組織あるいは総務省の公式見解を示すものではない。また、ありうべき誤りはすべて筆者ら個人に属する。

## 目次

1. はじめに
  - 1.1 SDG15.4.2 の検証作業の背景と目的
  - 1.2 検証作業のながれ
2. SDG15.4.2 の概要
  - 2.1 目標 15 「陸上資源」、ターゲット 15.4 と指数 15.4.2
  - 2.2 SDG15.4.2 メタデータの概要
  - 2.3 使用されるデータ
    - 2.3.1 山地分類データ
    - 2.3.2 土地被覆データ
    - 2.3.3 行政区分データ
  - 2.4 算出方法
    - 2.4.1 山地グリーンカバー指数 (MGCI) の定義
    - 2.4.2 算出方法
3. FAO 推計結果の検証
  - 3.1 面積による MGCI の試算
  - 3.2 画素数による MGCI の試算
4. 我が国が保有する固有代替データを用いた SDG15.4.2 の試算
  - 4.1 使用データ
    - 4.1.1 土地被覆データ
    - 4.1.2 山地分類データ
    - 4.1.3 行政区分データ
  - 4.2 JAXA 土地被覆データによる SDG15.4.2 の試算
  - 4.3 FAO 推計値との比較
5. 標本誤差および分類誤り確率による山地グリーンカバー指数への影響
  - 5.1 母比率の標本比率による推定
  - 5.2 山地グリーンカバー指数推定値の誤差評価
  - 5.3 JAXA 高解像度土地利用土地被覆図を用いた MGCI の推定
    - 5.3.1 JAXA 高解像度土地利用土地被覆図
    - 5.3.2 土地被覆分類の精度検証 (コンフュージョンマトリクス)
  - 5.4 他データとの突合による混合行例の標本誤差の低減
6. まとめ
  - (別紙)
  - (補遺)
  - (参考文献)

## 1. はじめに

### 1.1 SDG15.4.2 の検証作業の背景と目的

2015年9月に国連サミットにより採択された「持続可能な開発のための2030アジェンダ(2030アジェンダ)」は、「誰一人取り残さない(Leave No One Behind)」を基本コンセプトに先進国も開発途上国も含めて国際社会全体が、持続可能な開発を目指して協働して課題解決にあたる決意を表明し、「持続可能な開発目標(SDGs)」をその中核として設定した。2030アジェンダに合意するにあたって各国首脳は、持続可能な開発をエビデンスとデータに基づく戦略によって進めることが必要と考え、そのために17の目標(ゴール)の下に、169のターゲットと、これらのターゲットの進捗状況を評価し報告するための247(重複を除くと231)の指標を設定している。

アジェンダ2030の第76条には、地球観測と地理空間情報等を含む幅広いデータの活用を迫及することが明記されている。なお、この条文交渉において我が国が地球観測を含めることを主張しそれが採用されたことを特記したい。地球観測と地理空間情報は、衛星、航空機、船舶、地上の観測データ及びモデル出力データを含み、地方、国、地域及び全球レベル及びセクターを超えてモニタリングの可能性があるため、国連及び各国の統計部局による地球観測データと地理空間情報の統計への統合への期待が高まっている。地球観測衛星データは、広範囲な地域を均質な品質で繰り返しモニタリングできる特長がある一方、データ容量が膨大で解析が複雑である等の課題がある。また、地球観測衛星データをSDGs指標の算出に使用するためには、その精度を検証して目的に合致するか評価する必要がある。

国連統計局が事務局を務める「SDG指標に関する機関間専門家グループ」(IAEG-SDGs)は、指標枠組みの構築に責任を有している。その下に設置された作業部会の一つである地理空間情報作業部会(WGGI)は、衛星データおよび地理空間情報の指標算定への利用について検討しており、IAEG-SDGsに対して助言とガイダンスを提供している。宇宙航空研究開発機構(JAXA)は、地球観測に関する政府間会合(GEO)のSDGsイニシアチブ「E04SDG」の共同議長を米国航空宇宙局(NASA)及びメキシコ国立統計地理情報院(INEGI)と務めており、このことから国連からGEOを通じて、衛星データの専門家としてNASA及び欧州宇宙機関(ESA)とともに同会議への参加を要請され、地球観測衛星データのSDGs指標評価への適用に関する検討に参加している。国内では、総務省が開催する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[総務省ビッグデータ連携会議]では、観測データ利活用検証WGを設置し、横断的基幹科学技術研究団体連合(日本統計学会や日本リモートセンシング学会など34学会が加盟する連合体)や関係府省の協力の下で、地球観測データや地理空間情報に基づく指標の検証を行い、政府のSDG指標の算定に用いるデータに位置付けることが可能か検討を進めている。

2020年、国際連合食糧農業機関(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各国のSDG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。本稿では、観測データ利活用検証WGにおいて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する。なお、同メタデータは、各国がその国独自の土地被覆データを所有する場合は、その土地被覆データを活用することを推奨している。そこで本報告では、我が国独自

の土地被覆データとして、JAXA 高解像度土地利用土地被覆図データとスペースシャトルレーダ地形データ (SRTM) 標高データを用いて SDG15. 3. 2 指標を再計算するとともに、標高データとして国土地理院の基盤地図情報/高精度標高データ (10m 分解能) を活用し、SDG15. 4. 2 指標の妥当性を検証した。

SDG15. 4. 2 (山地グリーンカバー指数) は、標高や傾斜範囲から分類される山地 (Kapos 山地分類) ごとのグリーンカバー指数 (Mountain Green Cover Index; MGCI) を算出することにより、山地分類ごとの植生の違いを考慮した生物多様性の保護を指標として把握することがその目的である。

特に、今回の作業では、FAO が日本に対して試算している公表値がどの程度我が国の実情と一致しているかについて、我が国が独自に保有するデータを使った指標計算再現による突合せを行う。そして、どの程度の違いが両者に存在しているかを定量的に把握するとともに、FAO 公表試算値の精度評価を行う。更に、FAO が公表する SDG15. 4. 2 の試算値に我が国の現状からみて大きな乖離が見いだされる場合には、その定性的、定量的根拠と、その修正値についてもあわせて算出手順を含め示すことができるようになることを作業の目的と設定した。

## 1.2 検証作業のながれ

指標算出作業の流れを図表 1 に示すように 7 段階 (データ準備、データ選別・蓄積、集計手順の決定、集計の実行、集計手順の確認と検査、誤差評価、公表) に分解して検証作業をすすめた。SDG15. 4. 2 指標の検証作業においては、この各ステップを複数の組み合わせで繰り返し行うとともに、できる限り異なる人員と異なるソフトウェアを使い多重化して作業を行うことで、算出される指標の誤りおよび誤差の評価を行うことを基本方針とした。

図表 1 指標算出作業の概念図



データ準備、データ選別・蓄積ではデータ品質の確認を行うと共に、高品質データの選別、データ転送時の破損確認を行った。更に、集計手順の決定では集計ソフトウェアをいくつか異なるパターンで組み合わせ用い、更に、集計手順の文章化による集計の再現性の確認を行うまたは、異なる集計ソフトウェアで同じ作業を行った結果の突合せを行い集計方法の誤差について検証を行った。

集計手順の決定、集計の実行、集計手順の確認と検査、誤差評価においては、以下の事柄に注意して作業に取り組んだ。

一般に指標算出は、いくつかの異なるデータ源から得られた何種類かのデータを組み合わせで計算がなされる。この算出に利用されるデータは同じ種類のデータといえども、異なる測定手段により得られるいくつかのデータセットが存在している。そのため、使用されるデータセットに依存し

て、算出される指標推計値に、ばらつきが生じる可能性がある。これはデータ品質の問題である。よってデータの信頼性を高めるために、異なるデータ源から収集される同じ意味を有するデータを空間的に突合せし、データ品質を定量的に把握する方法を取り入れた。

特に、山地グリーンカバー指数では、Kapos 山地分類データと、土地利用土地被覆図データが利用される。山地グリーンカバー指数を計算する場合、基本的に、山地分類ごとの土地利用土地被覆図から計算される植生画素数の標本比率により母比率を推計する推測統計学の考え方にに基づきその指標計算がなされる。そのためデータの有限性に起因する標本誤差を見積もることが推計値の誤差評価をする上で大切となる。異なるデータ品質を有するデータを使い、指標算出値の理論から予想される 95%信頼区間を求めることで、点推定ではわからない区間幅による推計指標の使用データごとの信頼性評価を併用した。

更に、土地利用土地被覆図データは衛星画像から分類アルゴリズムを用いて算出されるため、土地分類決定時に生じる判別誤りがあることが知られている。この判別誤りは混合行列（コンフュージョンマトリックス）と呼ばれる、自動分類で作成された分類と、目視により別途検証で得られた分類との違いを算出した行列を使い定量的に評価することが可能である。今回、混合行列から算出される標本条件確率を用いて、母比率の推計値を補正する統計的補正手法を新たに開発し、これを利用することで、土地利用土地被覆図作成時に生ずる判別誤りの影響を補正して MGCI を算出した。

また、衛星データはデータ量が極めて多いため、データ転送時の破損などが生じていても目視でデータの破損を発見することが困難であるという問題があり、データ転送後にパリティチェック（ファイルサイズやファイルチェックサムによる確認）やデータ整合性（転送元と転送先で同じ基本統計量を算出して突合せを行う）の確認などを行うことで、データの破損が生じていないことを確認する対策も必要である。実際、異なる組織に所属する作業者が JAXA 土地被覆データへインターネット経由で FTP サイトを通じてアクセスする際に、受け渡しが行われるべきタイル（タイルとは 1 度×1 度にひとつのファイルとしてまとめられた土地被覆データの基本単位）が日本国内を網羅すべき数に比して不足しているとの報告がなされた。このとき、パリティチェックとデータ整合性確認を相互で繰り返し行うことにより、この問題に対処した。今回の解析全体を通じて頻繁に分析データ容量の確認・比較を行い、転送前後の異なるファイルに対する山地分類ごとのピクセル総数計算を相互で比較することで整合性確認を逐次行いながら作業をすすめた。これはある種の集計作業を行うときの作業フローと運用上の問題であり、データ品質同様に集計作業、データ管理と情報システム上における各種の作業品質についても管理が重要であることが本検証作業により確認された。

指標計算には複数のデータを複数のコンピュータプログラムとソフトウェアで加工を繰り返すことになるため、人間の手作業の部分が多数含まれることで、集計作業中に誤りが起こり得る。これは、集計作業操作の誤りや記入ミスなどにより推計値に誤りが入ることに起因する。作業のコンピュータプログラムによる自動化と作業の多重確認による誤り検出が必要である。更に、ソフトウェアの問題がある。これは集計用のソフトウェアのアルゴリズム上の誤差や、ソフトウェアのバグ、集計アルゴリズムの適用理解不足が考えられる。これらはソフトウェアに対する作業者の理解とソフトウェアの検定・試験データによる事前検証、作業者の訓練、研修、練習による能力開発が極め

て重要となる。

集計手順の確認と検査、誤差評価のために、観測データ等利活用検証 WG において複数名の検証作業委員の意見を聴きながら、検証すべき箇所を絞り込み、検証結果について異なる視点からの意見を検証作業に取り込みすすめた。また、集計作業を異なる人員と異なるソフトウェアを用いる 2 系統で独立に行うことで、集計作業過程や集計プログラムの誤りを確認しながら検証作業を行い検証作業そのものの信頼性確保に努めた。

公表のために、指標公表時の説明文章（本文章）を、検証作業記録から作成することで、指標検証の定量的結果とともに、指標算出作業を説明するための文章の明文化を行った。

## 2. SDG15.4.2 の概要

### 2.1 目標 15「陸上資源」、ターゲット 15.4 と指標 15.4.2

目標 15「陸上資源」において、ターゲット 15.4 は、山地における生態系の維持を目標に、指標 15.4.2 として山地グリーンカバー指数(Mountain Green Cover Index; MGCI)を次のように設定している。[外務省 Japan SDGs Action Platform]

**目標 15「陸上資源」:** 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、砂漠化への対処なら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。

*Protect, restore and promote sustainable use of terrestrial ecosystems, sustainably manage forests, combat desertification, and halt and reverse land degradation and halt biodiversity loss.*

**ターゲット 15.4:** 2030 年までに、持続可能な開発に必須の便益を提供する能力を強化するため、生物多様性を含む山地の生態系の保全を確実に行う。

*By 2030, ensure the conservation of mountain ecosystems, including their biodiversity, in order to enhance their capacity to provide benefits that are essential for sustainable development.*

**指標 15.4.2:** 山地グリーンカバー指数: *Mountain Green Cover Index*

### 2.2 SDG15.4.2 メタデータの概要

SDG15.4.2 山地グリーンカバー指数を計算するには大きく、Kapos 山地分類に関するデータと土地被覆に関するデータが必要である。Kapos 山地分類は、衛星データ由来のデジタル標高データ (DEM) から算出した山地分類図として FAO 及び米国地質調査所 (USGS) により公開されている。

土地被覆データは米国の Landsat 衛星、JAXA の ALOS 衛星、ESA の Sentinel 衛星等の観測データから作成されたものがある。計算に利用するデータの性質または品質により算出される SDG15.4.2

推計値にばらつきが生じる可能性がある。

SDG15.4.2 の国連担当機関（Custodian Agency）である国際連合食糧農業機関（Food and Agriculture Organization of the United Nations; FAO）は、2021年2月14日にSDG15.4.2指標の最新メタデータを公表し、同指標の算出に使用するデータ及び方法論を規定している[FAO HP]。以下の節ではSDG15.4.2を算出する場合に使用されるデータと計算方法について述べる。

## 2.3 使用されるデータ

### 2.3.1 山地分類データ

図表2にFAOが公表するSDG15.4.2で用いられる山地分類（Kapos 山地分類）の標高区分と我が国における山地分類ごとの国土面積比率[FAO Kapos DATA]を示す。図表2に示すように、Kapos等（2000）[Kapos(2000)]は、山地を標高、傾斜及び局所起伏幅（LER: Local Elevation Range）で6つに分類している。日本では、4500m以上の標高はないため、山地分類Kapos 2からKapos 6が該当する。傾斜及び局所起伏幅の要求から、高地であっても平坦な領域は山地から除外される。

Kapos 山地分類データは、FAOのMountain Partnership ホームページ[FAO Kapos]及びUSGSのサイト[USGS Kapos]からダウンロードができる。なお、FAOのデータは最新のメタデータからは削除されていることに注意が必要である。

図表2 Kapos 山地分類、その決定因子と日本におけるKapos 山地分類比率

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 k m 半径) > 300 m	38

日本ではKapos 2は富士山山頂のみに存在しており、Kapos 3は高地山岳地帯である。Kapos 2とKapos 3は日本における面積比率はほぼ0である。300m以下のKapos 0に分類される面積は国土の54%であり、Kapos 4、Kapos 5、Kapos 6はそれぞれ我が国の国土面積の2%、6%、38%となっている。

山地分類データとして衛星画像判読による標高データ源の異なる2種類のKapos 山地分類データがFAO[FAO Kapos]とUSGS[USGS Kapos]から算出されるKapos 山地分類データが示す我が国の山地分

類ごとの面積からデータの性質の違いを確認する。図表 3 に Kapos 山地分類ごとの面積および令和 2 年 7 月 1 日時点の国土面積（国土交通省国土地理院面積調）377,976.94km<sup>2</sup> [国土交通省国土地理院面積調] に対する面積比率を示す。

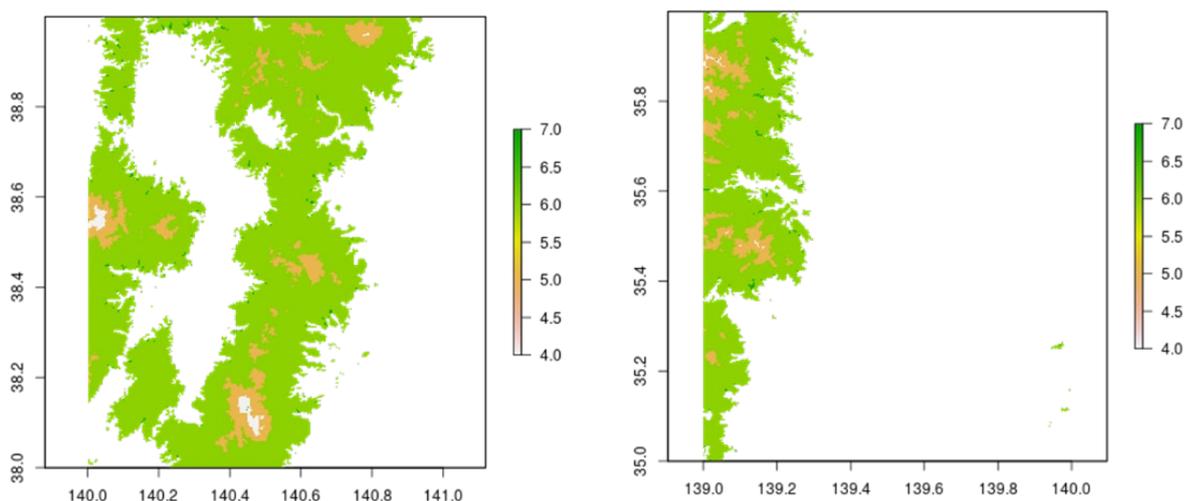
図表 3 Kapos 山地分類データが示す山地分類ごとの面積と日本国土面積に対する比率

Kapos 山地分類	FAO Mountain (km <sup>2</sup> )	USGS K1class データ (km <sup>2</sup> )
Kapos 2	1.94 (5.13 × 10 <sup>-4</sup> %)	1.73 (4.57 × 10 <sup>-4</sup> %)
Kapos 3	309.67 (0.0819%)	314.56 (0.0832%)
Kapos 4	7431.89 (1.966%)	7443.57 (1.969%)
Kapos 5	21970.27 (5.812%)	21914.79 (5.798%)
Kapos 6	143248.83 (37.90%)	145037.73 (38.37%)

図表 3 から、FAO と USGS から独立に公表されている Kapos 山地分類図には、若干のデータの差異が存在していることが確認される。また Kapos 2 と Kapos 3 の占める割合は日本の国土面積に対して極めて小さな面積比率しか存在していないことがわかる。Kapos 2 に分類される個所は富士山山頂付近の 2km<sup>2</sup> 弱の極めて限定的な場所であり、Kapos 3 についても高地山岳地帯の頂上付近であり 310km<sup>2</sup> 前後しか我が国の国土内には存在していない特殊な場所である。

具体的にいくつかのタイル（1 度×1 度）で USGS の Kapos 山地分類図を例示する。図表 4 は宮城県付近 (N38, E140) および神奈川県付近 (N35 E139) である。この例からも分かるように、Kapos 山地分類上より標高が高い分類箇所は山地分類上より標高が低い箇所により囲まれていることが分かる。

図表 4 USGS の提供する Kapos 山地分類図[3]の例（左）宮城県付近（右）神奈川県付近



### 2.3.2 土地被覆データ

土地被覆を植生エリアと非植生エリアに分類する。FAO は、欧州宇宙機関（ESA）の気候変動イニシャチブ（CCI）データ（300m 解像度）[ESA CCI] を使用して、CCI 分類を IPCC 分類に適合させて植

生エリアと非植生エリアに分類している（図表 5）。当初、FAO は IPCC 分類の湿地を非植生としていたが、日本からの指摘を受けて、2020 年 12 月 14 日のメタデータ改訂では、湿地を植生と修正した。

図表 5 ESA 土地被覆データ分類と IPCC 分類及び植生/非植生の関係

ESA CCI 分類	IPCC 分類	植生/非植生
50, 60, 61, 62, 70, 71, 72, 80, 81, 82, 90, 100	森林	植生
110, 120, 121, 122, 130, 140, 150, 151, 152, 153	草地	植生
10, 11, 12, 20, 30, 40	農作地	植生
160, 170, 180	湿地	植生
190	市街地	非植生
200, 201, 202, 210, 220	その他	非植生



### 2.3.3 行政区分データ

国境を定義する行政区分データとして、いくつかの異なるデータセットが存在している。以下のリンクは、全球を網羅する国境を定義する行政区分データの例である。FAO の全球行政区分データセット (GAUL) は、国別にダウンロードが可能である。

- FAO Global Administrative Units Layer (GAUL) <https://data.europa.eu/euodp/data/dataset/jrc-10112-10004>
- Divas-GIS <https://www.diva-gis.org/gdata>
- UN Second Administrative Level Boundaries (SALB) <https://www.unsalb.org/>

## 2.4 算出方法

### 2.4.1 山地グリーンカバー指数 (MGCI) の定義:

SDG15. 4.2 山地グリーンカバー指数 (Mountain Green Cover Index; MGCI) は、山地における植生被覆の割合 (%) で示される。

$$\text{山地グリーンカバー指数 (MGCI)} = \frac{\text{山地の植生被覆面積}}{\text{該当山地分類の全面積}} \times 100$$

最新のメタデータ (2021 年 2 月 14 日改訂版) [FAO Metadata] は、山地植生被覆は、森林、耕作地、草地及び湿地の面積の合計であることを明記している。当初、植生被覆の面積と山地の面積の比率 (%) を計算して MGCI を算出する定義のみであったが、その後、メタデータに画素数に基づく算出方法が明記された (2.4.2 参照) ことから、その算出方法により植生被覆の画素数と山地の総画素数から MGCI を求める方法も公式な方法である。

$$\text{山地グリーンカバー指数 (MGCI)} = \frac{\text{山地の植生被覆画素数}}{\text{該当山地分類の全画素数}} \times 100$$

一般に、面積の計算にはいくつかの方法が存在している。一つめは、面積調でも利用される準拋楕円体面（地球の標高0mの面であるジオイドを近似した地球楕円体）における面積をある地点の面積とする定義である。この面積定義は地形形状に依存しないという利点がある反面、地形形状表面に生える植生の実際表面積を反映していないという問題がある。二つめは、表面積で面積を定義する方法である。表面積による面積定義を用いると、地形凹凸をどの空間分解能でとらえるかに算出される表面積が依存するという問題がある。表面積は一般に地形凹凸をとらえる空間分解能を詳細化すれば単調に表面積が増加する（ミクロン単位まで地表面の凹凸は存在している）。そのため、表面積を正確に算出することは、その原理上実用的でない。

この面積定義の問題を回避するために、空間一様に抜き取り調査を行うことを衛星画像判読による土地被覆分類作業であると考え、母集団に対する標本として土地分類判読画素を考えて、標本比率による母比率の推計として山地グリーンカバー指数を定義する方式が画素数を用いる方法である。

#### 2.4.2 算出方法:

最新のメタデータは、以下のとおり山地グリーンカバー指数の算出が可能であるとしている。

- I. ESA CCI 土地被覆データを IPCC の 6 分類（森林、草地、耕作地、湿地、市街地及びその他）とさらに植生/非植生に分類する。
- II. ステップ 1 のデータに、Kapos 山地分類データを重ねる。
- III. Kapos 山地分類毎に植生被覆と非植生被覆の画素数を合計して、ゾーンヒストグラムを計算する。
- IV. Kapos 山地分類毎に、植生に属する画素数の合計と総画素数（植生＋非植生）の比率（%）から各 Kapos 山地分類クラスの山地グリーンカバー指数を求める。
- V. 同一方法により、山地分類クラス毎に IPCC の土地被覆分類の分布を計算する。

### 3. FAO 推計結果の検証

メタデータに基づき、ESA 土地被覆データ（300m 解像度）、Kapos 山地分類データ（250m 解像度）及び FAO 全球行政区分データ（GAUL）を用いて、2000、2010、2015 及び 2018 年について山地グリーンカバー指数（MGCI）を算出した結果を FAO 推計結果とともに以下に示す。

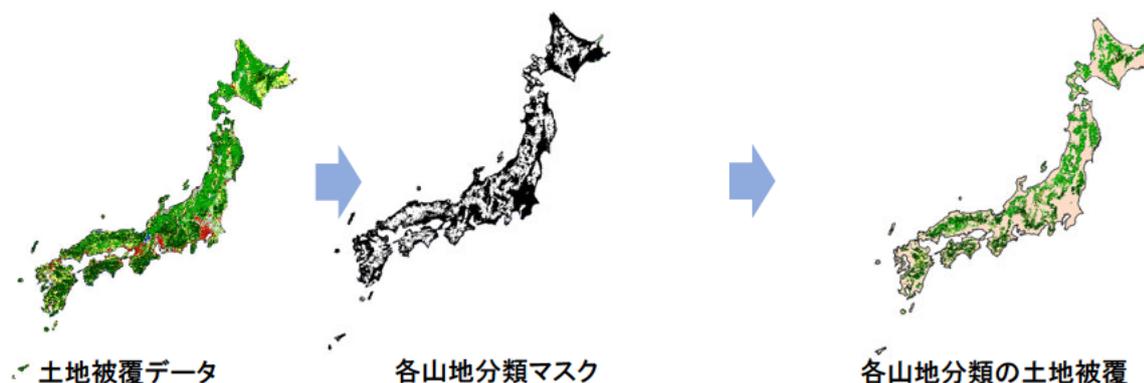
#### 3.1 面積による MGCI の試算

以下に公開無償ソフトウェア QGIS による山地植生被覆の面積と山地の総面積の算出と MGCI の試算の手順を示す。

- ① GAUL の日本域行政区分データにより、ESA（全球）土地被覆データと Kapos 山地分類データから日本域のデータを切り出し

- ② Kapos 山地分類データから、QGIS ラスター計算機により山地分類 1～6 のマスク画像を作成
- ③ 土地被覆データと各山地分類マスクをかけ算し、山地分類 Kapos 1～Kapos 6 毎に土地被覆分類データを作成
- ④ ポリゴン変換の後、土地被覆分類毎の面積を算出（QGIS の GroupStats 機能を使用）
- ⑤ IPCC 分類に従い、植生被覆の面積を合計し、山地面積に対する植生被覆面積の比率（%）を算出する。

図表 6 土地被覆データからの各山地分類の MGCI 算出（図は Kapos 6 の場合）



面積に基づく MGCI 試算の結果を別紙 図表 7 に示す。

#### (a) 湿地を非植生から植生へ変更

FAO の 2020 年 10 月時点での推計結果を検討すると各山地分類における植生被覆（Forest, Cropland, Grassland）の合計が当該山地分類の MGCI と合致しないことが判明、さらに FAO の推計結果が湿地（Wetland）を植生に含めて算出していることが判明した。FAO に確認すると、IPCC の基準では湿地は植生に含まれているとし、メタデータの記述との齟齬が明らかになった。

そのため、SDG15.4.2 の試算に湿地（Wetland）を含めて再計算すると、FAO 推計とほぼ一致する結果が得られた（別紙 図表 2 参照）。その後、FAO は 2020 年 12 月 14 日付けでメタデータを改訂、湿地を植生と定義し直した。

#### (b) 地図座標系の適用方法の見直し

地図座標系については、UTM54 系を適用して日本全域の面積を計算していたが、面積を求める場合には、本来、対象地域を分割して UTM52/53/54 系を適用すべきである。UTM54 系を一律に適用した場合と、地域を分割して UTM52/53/54 系を適用した場合の面積と MGCI 推計への影響を評価した結果を補遺 A.3 に示す。また、UTM52/53/54 系を適用した MGCI の試算結果を図表 7 に示す。

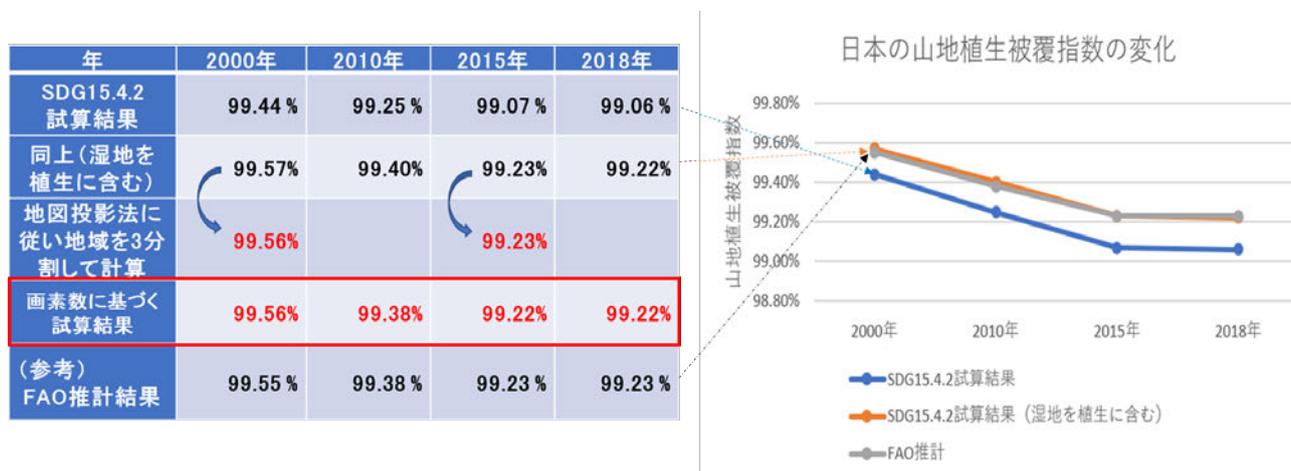
### 3.2 画素数による MGCI の試算

3.1 の面積に基づく MGCI の試算において、①の土地被覆データと②の各山地分類（Kapos 1～Kapos 6）のマスク画像から、QGIS のゾーンヒストグラム機能を使用することにより土地被覆分類毎の画素

数を算出して、山地植生被覆の画素数と山地の総画素数の比率(%)を算出した(図表7及び別紙 図表2)。

FAO 推計との違いは0.1%以下であり、FAO 推計とほぼ一致した。このことからSDG15.4.2のメタデータに指定されたデータと算出方法でFAO推計の結果が再現できることが確認されたと考えられる。

図表7 FAO 推計の検証結果のサマリ(左)と日本の山地グリーンカバー指数の変化(右)



FAO 公表試算値[FAO SDG15.4.2 DATA]のうち、2015年における我が国のSDG15.4.2試算値を図表8に示す。日本における山地分類 Kapos 2 (3500m-4500m)は富士山山頂付近のみであり、面積にして、約1.96km<sup>2</sup>が該当している。詳細は4章で詳しく述べるが、環境省のレポート[環境省報告書]における富士山山頂付近の植生は季節変動を有しており、夏場(6月から11月)は数パーセントからコケ類を含めると10%前後まで植生が存在するようである。そのいずれもが裸地である。そのため、森林、農地は0%であり、我が国における山地分類 Kapos 2のSDG15.4.2指標は数%程度とするのが妥当と考えられる。

図表8 FAOによる日本のSDG15.4.2公表値(2015年)

IPCC 分類	Kapos 山地分類					
	1	2	3	4	5	6
Forest	0.00	20.00	58.89	89.37	94.16	91.10
Cropland	0.00	66.67	33.57	6.34	3.01	4.94
Grassland	0.00	0.00	6.95	3.57	2.03	3.01
Wetland	0.00	0.00	0.35	0.40	0.48	0.08
Settlement	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.51
Other land	0.00	13.33	0.24	0.32	0.28	0.36
MGCI(全体)	0.00	86.67	99.76	99.68	99.69	99.13

#### 4. 我が国が保有する固有代替データを用いたSDG15.4.2の試算

FAO のメタデータは、各国独自の土地被覆データがある場合は、その使用を推奨している。ここでは、JAXA の高解像度土地利用土地被覆図データ（以下「JAXA 土地被覆データ」、250m、100m、50m/30m 解像度）を用いた。

土地被覆データの解像度に合わせて、山地分類データについても FAO の Mountain Partnership による Kapos 山地分類データ (Kapos-FAO、430m 解像度)、USGS の Kapos 山地分類データ (Kapos-USGS、250m 解像度)、さらに JAXA がスペースシャトル地形レーダミッション (SRTM) 90m データ [SRTM] から作成した日本域の Kapos 山地分類データ (Kapos-SRTM、90m 解像度-補遺 A. 2 参照) を使用した。

行政区分データについては、FAO 全球行政区分データ (GAUL) は、北方領土や小笠原諸島、先島諸島等が含まれておらず適切でないことから、国土地理院から提供された日本域海岸線データ (解像度 10m 以下-補遺 A. 1 参照)、地球地図 (1km 解像度) [地球地図] 及び国土交通省国土数値情報行政区分データ [国土交通省国土数値情報] を使用した。

#### 4.1 使用データ:

##### 4.1.1 土地被覆データ

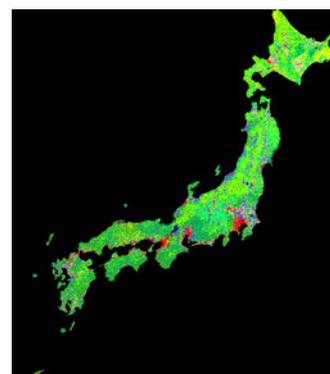
JAXA 土地被覆データ (2006-2011 年、2014-2016 年及び 2018-2020 年、250m、100m 及び 50 m/30m 解像度版、なお 2006-2011 年データと 2018-2020 年のオリジナル解像度は、10m、2014-2016 年データのオリジナル解像度は、30m である<sup>1)</sup>) を使用する。図表 9 に JAXA 土地被覆データの IPCC 分類と植生・非植生分類との関係および日本における土地被覆状況の可視化結果を示す。

[https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/lulc/lulc\\_jindex.htm](https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/lulc/lulc_jindex.htm)

図表 9 JAXA 土地被覆データの IPCC 分類と植生・非植生分類との関係

JAXA 分類 (データ値)	IPCC 分類	植生/非植生
6, 7, 8, 9, 11*	森林	植生
5	草地	植生
3, 4	農作地	植生
該当なし	湿地	植生
2	市街地	非植生
1, 10, 12*	その他	非植生

\*11(竹林)及び12(ソーラパネル)は、2018-2020のみ



##### 4.1.2 山地分類データ

Kapos-FAO 山地分類データ (430m 解像度) は、FAO Mountain Partnership の HP にある DOWNLOAD

<sup>1)</sup> 使用する衛星データの分解能に依存する。

DATA SETS GIS raster Mountain area[FAO Kapos]から取得可能である。Kapos-USGS 山地分類データ(250m 解像度)は、USGS が提供している。Kapos-SRTM 山地分類データ (90m 解像度)については、補遺 A.2 を参照のこと。

#### 4.1.3 行政区分データ

国土地理院から提供された日本域海岸線データ (解像度: 10m 以下)、地球地図(解像度: 1km)及び国土交通省国土数値情報行政区分データを使用した。日本域海岸線データについては補遺 A.1 を参照のこと。

### 4.2 JAXA 土地被覆データによる SDG15.4.2 の試算

我が国が保有する上述のデータを用いた算出結果のサマ리를図表 10 に示す。

JAXA 土地被覆データ (2006-2011 年、2014-2016 年、2018-2020 年、250m、100m、50m/30m 解像度) を使用して MGCI を算出したところ、FAO 推計 99.23~99.38 に対して、面積に基づく試算結果で 98.23~98.67、画素数に基づく試算結果で 98.22~98.63 と 1%以上低い数値となった (図表 10)。また、土地被覆データ及び山地分類データの解像度が高いほど、MGCI が小さくなる傾向が見られた。

山地分類 Kapos 2 (3500m-4500m) における MGCI が 0 になったほか、山地分類 Kapos 3 (2500m-3500m) においても MGCI が FAO 推計値から大幅に減少した。これらの山地分類の地域において JAXA 土地被覆データがより正確な土地被覆の状態を再現していると考えられる。山地分類 Kapos 4、Kapos 5 及び Kapos 6 においても、MGCI は FAO 推計値よりも小さい値となっている (別紙 図表 2 及び図表 3)

図表 10 JAXA 土地被覆データを使用した SDG15.4.2 試算結果サマリ

	山地分類データ	土地被覆データ解像度	2006-2011	2014-2016	2018-2020
面積に基づく試算結果	Kapos-FAO (430m)	250m	98.57 %	98.65 %	
		100m	98.37%	98.67%	
		100m	98.35%	98.63%	
		50/30m	98.23%	98.61%	
画素数に基づく試算結果		250m	98.51%	98.62%	
		100m	98.31%	98.62%	
	Kapos-USGS (250m)	250m	98.52%	98.63%	98.48%
		100m	98.33%	98.63%	98.30%
	Kapos-SRTM (90m)	100m	98.32%	98.63%	98.30%
	50/30m	98.22%	98.63%		
(参考) FAO推計		300m	(2010年) 99.38 %	(2015年) 99.23 %	(2018年) 99.23%

地図投影法に応じて地域を3分割しかつ Kapos-SRTM 山地分類データを使用

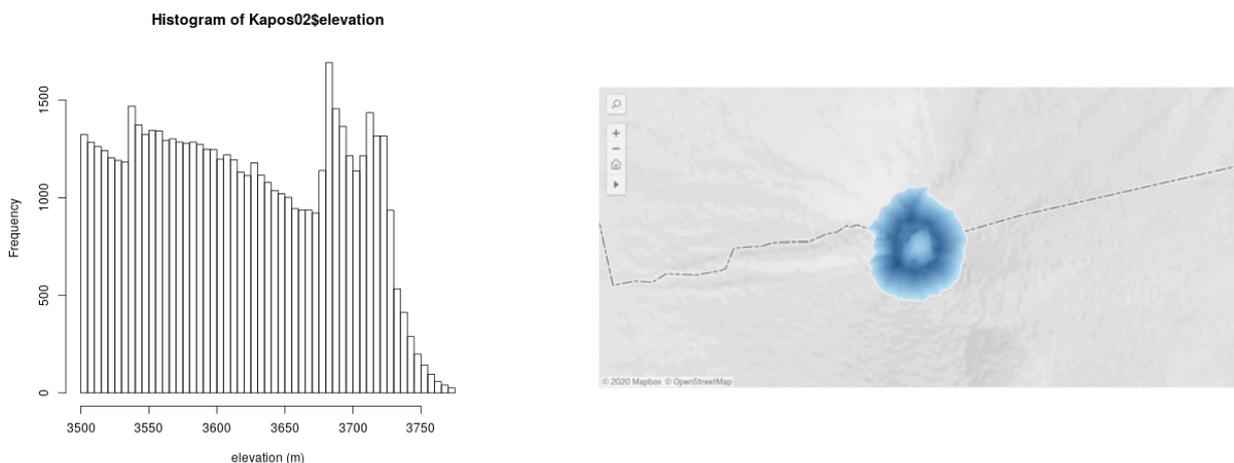
全解像度版について、画素数に基づき指数を求めた。100m 以下については Kapos-SRTM 山地分類データを使用

### 4.3 FAO 推計値との比較

FAO は各国の SGD15.4.2 山地植生指数 (MGCI) を年次ごとに試算値を公開している [FAO Kapos DATA]。2015 年の Kapos 山地分類ごとの土地被覆分類比率と山地グリーンカバー指数は図表 8 に示したとおりである。この表から日本における山地分類 Kapos 2 (3500m-4500m) は富士山山頂付近のみであり、この場所はほとんど植生のない裸地であるにもかかわらず 86.67%の MGCI と算出されており、更には、富士山山頂に 66.67%の農地が存在していると表示されている。これは過大評価の可能性がある。同様に Kapos 山地分類 3 (2500m-3500m) においては 99.76%の MGCI であり、58.89%が森林、33.57%が農地に分類されている。日本における森林限界は日本アルプスや中央アルプスで 2500m-2800m、九州や四国では 2000m 程度であるため、山地分類 Kapos 3 のほとんどの場所が森林限界より上部に位置しているにも関わらず山地や農地の占める比率が大きすぎ、MGCI が過大評価されている恐れがある。これらのずれも、FAO が算出に用いた植生被覆データの判別誤りが大きいまたは、緯度経度ともにずれを生じている可能性が危惧される。

このことを詳細に調べるために、日本における山地分類 Kapos 2 の箇所である富士山山頂付近を国土地理院が航空測量により決定している国土地理院国土基盤情報 [国土地理院国土基盤情報] 基盤地図情報 5A を用いて特定してみる。図 11 は山地分類 Kapos 2 の 0.2 秒度角標高データによる 57245 グリッド (0.2 秒度×0.2 秒度)、面積 1.781510km<sup>2</sup> の領域とその頻度プロットである。

図表 11 日本における山地分類 Kapos 2 の領域。国土地理院国土基盤情報基盤地図情報 5A (0.2 秒度角標高データ) から該当箇所を抜粋



現状を把握するために、この富士山山頂の地上観測に基づく植生調査結果について参照した。該当箇所として、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 (環境省自然環境局生物多様性センター) の pp. 52-55 [環境省報告書] に該当箇所の記載がある。富士山山頂付近には環境省プロット A, C, D の現地観察調査結果が報告されており、これによると、サブコードあたりの平均出現種数は 0.4 種、0.6 種、0.7 種、植被率は 1.5%、1.9%、1.2% と低いのに対して岩石・砂礫率は 96.9%、82.4%、85.2% とそれぞれ高く、その他にコケ類が 1.6%、15.8%、12.5% みられたとある。更に、11 月ごろから 5 月ごろまでは凍結しており、植被率の季節性変動も存在す

ると推察される。

図表 12 は環境省自然環境局生物多様性センター資料中にある富士山サイト（山頂付近の 2011 年 8 月 27 日撮影）の様子を示す写真である。この写真からも富士山山頂付近は、ほぼ岩石・砂礫で覆われておりその合間に若干の植生が確認されるのみであることが理解できる。

図表 12 富士山山頂の様子（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；環境省自然環境局生物多様性センターより抜粋）

## 6. 富士山サイト



山頂付近  
(2011 年 8 月 27 日撮影)

FAO の公表試算値[FAO Kapos DATA]のうち、日本における山地分類 Kapos 2 における山地グリーンカバー指数公表値は 2000 年、2015 年、2018 年いずれも、86.667%となっている。これは、夏場の富士山山頂の様子とからもかけ離れた試算値であり、環境省の高山地帯観測サイトのうち富士山山頂における推計値から、この試算値は夏季では数%前後、冬季では凍結することから 0%が妥当と考える。

更に、FAO が試算に使用した欧州宇宙機関 (ESA) の気候変動イニシャチブ (CCI) データ (300m 分解能) [ESA CCI]について該当箇所の分類値の特定を行った。その結果、位置合わせについては、誤差がほとんどないことが判明した。しかしながら、欧州宇宙機関(ESA)の気候変動イニシャチブデータ(300m 分解能)の富士山山頂付近 Kapos 2 に分類される領域の土地被覆分類は水域(3 画素; 7%)、畑または草原(26 画素;66.6%)、モザイク状の森林植生(10 画素;25%)であることが判読された。すなわち、FAO が試算に用いた[ESA CCI]データは裸地に対してその土地被覆分類精度が現実との乖離が大きいことが、過大評価である主要な原因であると特定される。一般に、森林限界以上の高地は裸地と分類されるほぼ植生が確認されない土地被覆状態であるので、[ESA CCI]データを用いた分類に基づく植生/非植生による二値化処理は、多くの高地山岳地帯において、FAO 試算値は過大評価であることが危惧される。

## 5 標本誤差および分類誤り確率による山地グリーンカバー指数への影響

山地グリーンカバー指数を画素数の比率により算出方法では、衛星観測による土地分類画素を空間から均等に抜き取られた標本にとらえ、標本比率による母比率の推計として山地グリーンカバー指数を観測される標本から推計している。更に、衛星画像の自動判読から作成される土地被覆データには、分類誤りが存在しており混合行列（コンフュージョンマトリクス）により、分類精度が算出されている。ここでは、標本誤差および分類誤りを補正するための数理統計的な理論式を示すと共に、95%信頼区間を算出することで、区間推定による指標の誤差評価値を示す。

### 5.1 母比率の標本比率による推定

山地グリーンカバー指数（MGCI）は衛星画像から判読される土地分類図グリッドデータが与えられている場合、山地分類  $i$  に対する全画素数  $N_i$  とした場合の、植生グリッド画素数との比として次式で算出される。

$$\hat{p}_i = \frac{\sum_{t=1}^{N_i} X_i(t)}{N_i}$$

ここで、山地分類  $i$  領域内の観測地点  $t$  で植生グリッドであれば  $X_i(t)=1$ 、非植生グリッドであれば  $X_i(t)=0$  とする。これは、グリッドデータを、空間をほぼ一様に格子状に抽出したある種の空間一様な抽出を行った標本であるとみなし、母比率  $p$  を真の MGCI としたときの標本比率  $\hat{p}$  による母比率の推定である。 $R(a|b)$  を実際 (validated) は  $b=\{\text{植生, 非植生}\}$  であるが、データ上での分類ラベル (classified) は  $a=\{\text{植生, 非植生}\}$  である条件付き確率として定義する。いま、 $X_i(t)$  を確率変数とすると、

$$X_i = \begin{cases} 1 & \text{w.p. } R(1|1)p_i + R(1|0)(1 - p_i) \\ 0 & \text{w.p. } R(0|0)(1 - p_i) + R(0|1)p_i \end{cases}$$

と書くことが出来る。すなわち、山地グリーンカバー指数の誤差は標本誤差と分類誤差の2つの誤差に起因するとモデル化する。 $R(a|b)$  は混合行列を図表 13 のように記した場合に、次のように計算される。

$$R(0|0) = \frac{TN}{FP + TN}, \quad R(1|0) = \frac{FP}{FP + TN}$$
$$R(0|1) = \frac{FN}{TP + FN}, \quad R(1|1) = \frac{TP}{TP + FN}$$

ここで、 $TP, FP, TN, FN$  はそれぞれ確認作業を行った場合におけるそれぞれの事象数である。

図表 13 植生/非植生による二値分類における混合行列

		validated <i>b</i>	
	<i>a</i> / <i>b</i>	植生 ( <i>b</i> =1)	非植生 ( <i>b</i> =0)
classified <i>a</i>	植生 ( <i>a</i> =1)	<i>TP</i>	<i>FP</i>
	非植生 ( <i>a</i> =0)	<i>FN</i>	<i>TN</i>

条件付き確率の定義により以下の性質が導かれる。

$$R(a|b) = \frac{p_{AB}(a, b)}{p_B(b)}$$

$$p_{AB}(a, b) = R(a|b)p_B(b)$$

$$p_A(a) = \sum_b p_{AB}(a, b) = \sum_b R(a|b)p_B(b)$$

$$p_A(1) = \sum_{b=0,1} R(1|b)p_B(b) = R(1|1)p_B(1) + R(1|0)p_B(0)$$

$$p_A(0) = \sum_{b=0,1} R(0|b)p_B(b) = R(0|0)p_B(0) + R(0|1)p_B(1)$$

ここで、 $p_B(1) = p_i$ ,  $p_B(0) = 1 - p_i$ である。

## 5.2 山地グリーンカバー指数推定値の誤差評価

$X_i(t)$ を前述のとおり以下のベルヌーイ型確率変数とする。

$$X_i = \begin{cases} 1 & \text{w. p. } R(1|1)p_i + R(1|0)(1 - p_i) \\ 0 & \text{w. p. } R(0|0)(1 - p_i) + R(0|1)p_i \end{cases}$$

このとき、

$$Z_i = \sum_{t=1}^{N_i} X_i(t)$$

とすると、 $Z_i$ は二項分布 $B(N_i, R(1|1)p_i + R(1|0)(1 - p_i))$ に従う。更に、 $N_i$ が十分大きいと、 $Z_i$ は平均： $N_i(R(1|1)p_i + R(1|0)(1 - p_i))$ 、分散： $N_i(R(1|1)p_i + R(1|0)(1 - p_i))(R(0|0)(1 - p_i) + R(0|1)p_i)$ の正規分布により近似できる。よって、標本比率

$$\hat{p}_i = \frac{\sum_{t=1}^{N_i} X_i(t)}{N_i}$$

は平均： $R(1|1)p_i + R(1|0)(1 - p_i)$ 、分散： $(R(1|1)p_i + R(1|0)(1 - p_i))(R(0|0)(1 - p_i) + R(0|1)p_i)/N_i$ の正規分布で近似できる。これより、標本比率の平均値を $E[\hat{p}_i]$ とすると、

$$E[\hat{p}_i] = R(1|1)p_i + R(1|0)(1 - p_i)$$

となるので、母比率 $p_i$ は、

$$p_i = \frac{E[\hat{g}_i] - R(1|0)}{R(1|1) - R(1|0)}$$

と補正される。

更に、図表 13 に示した混合行列もまた母比率の標本比率による推定であり、標本誤差を有している。よって、 $R(a|b)$  の 95% 信頼区間は以下で計算される。

$$\begin{aligned} \frac{TN}{FP + TN} - 1.96 \sqrt{\frac{TN}{FP + TN} \left(1 - \frac{TN}{FP + TN}\right) / (FP + TN)} &\leq R(0|0) \\ &\leq \frac{TN}{FP + TN} + 1.96 \sqrt{\frac{TN}{FP + TN} \left(1 - \frac{TN}{FP + TN}\right) / (FP + TN)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{FP}{FP + TN} - 1.96 \sqrt{\frac{FP}{FP + TN} \left(1 - \frac{FP}{FP + TN}\right) / (FP + TN)} &\leq R(1|0) \\ &\leq \frac{FP}{FP + TN} + 1.96 \sqrt{\frac{FP}{FP + TN} \left(1 - \frac{FP}{FP + TN}\right) / (FP + TN)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{FN}{TP + FN} - 1.96 \sqrt{\frac{FN}{TP + FN} \left(1 - \frac{FN}{TP + FN}\right) / (TP + FN)} &\leq R(0|1) \\ &\leq \frac{FN}{TP + FN} + 1.96 \sqrt{\frac{FN}{TP + FN} \left(1 - \frac{FN}{TP + FN}\right) / (TP + FN)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{TP}{TP + FN} - 1.96 \sqrt{\frac{TP}{TP + FN} \left(1 - \frac{TP}{TP + FN}\right) / (TP + FN)} &\leq R(1|1) \\ &\leq \frac{TP}{TP + FN} + 1.96 \sqrt{\frac{TP}{TP + FN} \left(1 - \frac{TP}{TP + FN}\right) / (TP + FN)} \end{aligned}$$

ところで、四則演算(+−×÷)に対する誤差伝播公式は以下で与えられることが知られている。

- 加算誤差の伝播

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

- 減算誤差の伝播

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

- 乗算誤差の伝播

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

- 除算誤差の伝播

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

この誤差伝播公式を用いることにより、

$$p_i = \frac{E[\hat{p}_i] - R(1|0)}{R(1|1) - R(1|0)}$$

の 95%信頼区間は

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

で与えられる。ここで、四則演算に対する誤差の伝播公式より

$$a = E[\hat{p}_i], b = R(1|0), c = R(1|1)$$

$\delta a, \delta b, \delta c$  をそれぞれ  $E[\hat{p}_i], R(1|0), R(1|1)$  の 95%信頼区間幅の半分とする。

### 5.3 JAXA 高解像度土地利用土地被覆図を用いた MGCI の推定

#### 5.3.1 JAXA 高解像度土地利用土地被覆図

ここでは、JAXA 高解像度土地利用土地被覆図（2006-2011 年、2014-2016 年及び 2018-2020 年）[JAXA] を使って、山地グリーンカバー指数（MGCI）を異なる空間分解能で Kapos 山地分類ごとに計算をし、95%信頼区間も推定する。JAXA 高解像度土地利用土地被覆図は図表 14 に示すように 2006-2011 年及び 2014-2016 年は 10 種類の分類、2018-2020 年は 12 種類の分類からなる。

図表 14 JAXA 高解像度土地利用土地被覆図で用いられる主要分類（#11 及び 12 は、2018-2020 年データのみ）

データ値	土地分類	植生/非植生
1	水域 (Water)	非植生
2	都市 (Urban and built-up)	非植生
3	水田 (Rice paddy)	植生
4	畑地 (Crops)	植生
5	草地 (Grassland)	植生
6	落葉広葉樹 (DBF)	植生
7	落葉針葉樹 (DNF)	植生
8	常緑広葉樹 (EBF)	植生
9	常緑針葉樹 (ENF)	植生
10	裸地 (Bare land)	非植生
11	竹林 (Bamboo)	植生
12	ソーラパネル (Solar panel)	非植生

### 5.3.2 土地被覆分類の精度検証(コンフュージョンマトリクス)

図表 15 は 2018-2020 年 JAXA 土地被覆データ (100m解像度) と検証データ点の例を示している。目視で確認される検証データ点における土地被覆分類と衛星画像の自動分類で作成された JAXA 土地被覆図上の分類を比較することで、精度検証が行われる。

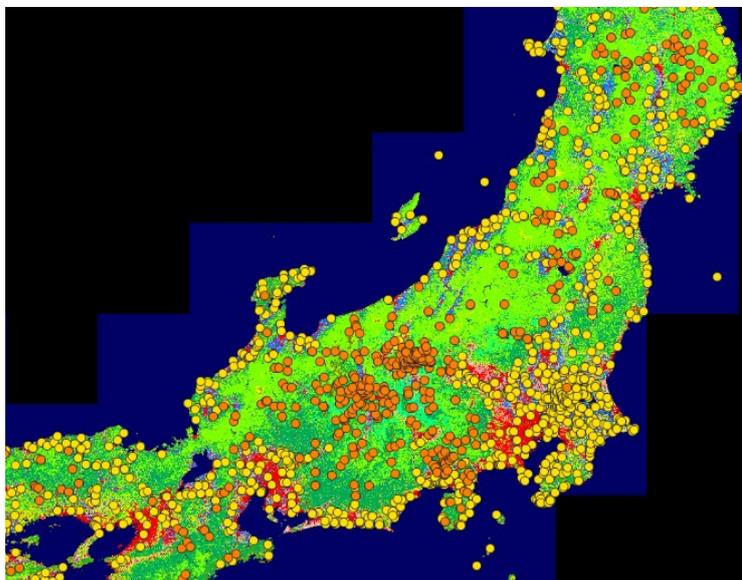
JAXA は、教師情報とは独立している約 2700 か所の検証情報を用いて、高解像度土地利用土地被覆図データ (ver21.03, 2018-2020 年, 10m 解像度) の精度検証を行ったところ、12 カテゴリ分類で全体精度 84.8%を得ている [JAXA ALOS ver21.03]。

同 ver18.03, 2014-2016 年, 30m 解像度データについては、約 3000 箇所の検証情報を用いて、全体精度 81.6%を得ている [JAXA ALOS ver18.03]。

また、同 ver16.09, 2006-2011, 10m 解像度データについては、約 1400 箇所の検証情報を用いて、全体精度 78.0%を得ている [JAXA ALOS ver16.09]。

今回、2006-2011 年、2014-2016 年及び 2018-2020 年の土地被覆データの山地の検証サイトを抽出して、山地の土地被覆分類のコンフュージョンマトリクスを 250m、100m 及び 50/30m 解像度データ毎に作成した。その結果を以下の図表 16~18 に示す。10~12 分類では 53~82%の分類精度が植生・非植生分類では 90~99%に大きく向上し、かつデータの解像度が高いほど分類精度も高くなること分かる。

図表 15 2018-2020 年 JAXA 土地被覆データ (100m解像度) と検証データ (山地の検証サイト: オレンジ色、平地の検証サイト: 黄色)



図表 16 2018-2020 年 JAXA 土地被覆データ (100m 解像度、山地) のコンフュージョンマトリクス

		Validation												Total	User's accuracy (%)			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12					
Classified	1	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	28	96.4
	2	0	9	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	16	56.3
	3	0	0	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	11	36.4
	4	0	1	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	17	82.4
	5	0	0	0	4	40	1	2	0	0	2	1	1	1	1	1	51	78.4
	6	0	0	1	1	2	118	25	1	6	0	2	4	160	73.8	160	73.8	
	7	1	0	0	0	1	2	124	0	0	2	0	0	130	130	95.4		
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	7	1	0	2	0	10	10	70.0	
	9	0	0	0	0	0	11	5	1	98	0	7	1	123	123	79.7		
	10	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	38	0	0	42	42	90.5	
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	11	0	12	12	91.7	
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	11	100.0	
Total		31	10	5	26	43	132	156	9	106	45	23	25	611				
Producer's accuracy		87.1	90.0	80.0	53.8	93.0	89.4	79.5	77.8	92.5	84.4	47.8	44.0			82.0		

実際 (validation)				実際 (validation)			
分類	非植生	植生	合計	分類	非植生	植生	合計
非植生	95	2	97	非植生	0.855856	0.004	
植生	16	498	514	植生	0.144144	0.996	
合計	111	500	611				

図表 17 2014-2016 年 JAXA 土地被覆データ (100m 解像度、山地) のコンフュージョンマトリクス

		Validat on										Total	User's accuracy (%)		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Classif ed	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
	1	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	34	100.0
	2	0	7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4	12	58.3
	3	1	0	9	4	0	0	0	0	0	0	2	16	16	56.3
	4	0	0	0	23	0	1	0	0	0	0	2	26	26	88.5
	5	0	0	0	3	63	6	2	0	1	2	77	77	81.8	
	6	1	0	1	0	8	125	38	2	7	1	183	183	68.3	
	7	0	0	0	3	1	35	169	1	7	1	217	217	77.9	
	8	0	0	0	0	0	5	2	15	12	0	34	34	44.1	
	9	0	0	0	0	0	27	11	13	102	2	155	155	65.8	
	10	0	3	0	1	1	0	0	0	0	39	44	44	88.6	
Total		36	10	10	34	73	200	222	31	129	53	798			
Producer's accuracy		94.4	70.0	90.0	67.6	86.3	62.5	76.1	48.4	79.1	73.6			73.4	

実際 (validat on)				実際 (validat on)			
分類	非植生	植生	合計	分類	非植生	植生	合計
非植生	87	3	90	非植生	0.878788	0.004292	
植生	12	696	708	植生	0.121212	0.995708	
合計	99	699	798				

図表 18 2006-2011 年 JAXA 土地被覆データ (100m 解像度、山地) のコンフュージョンマトリクス

		Val dation										Total	User's accuracy (%)		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Classified	1	55	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	57	96.5	
	2	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	100.0	
	3	1	0	24	3	0	0	0	0	0	0	0	28	85.7	
	4	0	1	5	6	2	2	0	0	2	0	18	18	33.3	
	5	0	0	3	9	11	1	0	0	2	2	28	28	39.3	
	6	0	1	0	2	0	25	0	0	5	0	33	33	75.8	
	7	0	0	1	1	1	6	7	0	6	0	22	22	31.8	
	8	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	3	3	33.3	
	9	0	0	0	1	0	4	0	5	72	0	82	82	87.8	
	10	0	2	0	0	1	0	0	0	0	5	8	8	62.5	
Total		56	24	34	24	15	38	7	6	88	7	299			
Producer's accuracy		98.2	83.3	70.6	25.0	73.3	65.8	100.0	16.7	81.8	71.4			75.3	

実際 (validat on)				実際 (val dation)			
分類	非植生	植生	合計	分類	非植生	植生	合計
非植生	82	3	85	非植生	0.942529	0.014151	
植生	5	209	214	植生	0.057471	0.985849	
合計	87	212	299				

図表 19 JAXA 土地被覆データ(山地)の分類精度

年	解像度	検証サイト数	12/10 分類精度* (%)	植生・非植生 分類精度 (%)
2018-2020	100m	611	82.0	99.6
2014-2016	250m	798	66.1	96.1
	100m	798	73.4	98.1
	30m	798	76.9	98.8
2006-2011	250m	299	53.7	90.6
	100m	299	75.3	97.3
	50m	299	79.6	97.7

\*2018-2020 年は 12 分類、2014-2016 年及び 2006-2011 年は 10 分類

図表 19 に示すように、300m, 250m, 100m, 50m(2014-2016 および 2018-2020), 30m(2006-2011) など異なる空間分解能で計算したところ、空間分解能が詳細であるほどに 95%信頼区間が狭くなることが確認できた。Kapos 山地分類図の最小空間分解能として独自に SRTM90m データから算出した 90m 空間分解能のものが利用できたため[川北]、100m の空間分解能のものがもっともよい推計値を示すことが判明した。

その結果、100m空間分解能での JAXA 高解像度土地利用土地被覆図を使った 2006-2011、2014-2016 及び 2018-2020 における Kapos 山地分類ごとの MGCI の点推定値と区間推定値はそれぞれ以下図表 20~22 のようになった。

図表 20 2006-2011 JAXA 高解像度土地利用土地被覆図(100m 解像度)を使った推計値

Kapos 分類	MGCI	MGCI95%下限	MGCI95%上限	FAO 推計 2010(参考)
Kapos 1				0
Kapos 2	0	0	0	0.8667
Kapos 3	0.479932454	0.388758862	0.571106046	0.9976
Kapos 4	0.920235576	0.802742209	1.037728943	0.9969
Kapos 5	1.000198807	0.877558557	1.122837599	0.9971
Kapos 6	1.001861798	0.879194204	1.124529392	0.9931
全体	0.997114	0.874775	1.119454	0.9938

図表 21 2014-2016 JAXA 高解像度土地利用土地被覆図（100m解像度）を使った推計値

Kapos 分類	MGCI	MGCI95%下限	MGCI95%上限	FAO 推計 2015(参考)
Kapos 1				0
Kapos 2	0	0	0	0.8667
Kapos 3	0.324336795	0.219973983	0.428699608	0.9976
Kapos 4	0.964553709	0.814380131	1.114727287	0.9968
Kapos 5	0.99418406	0.84194352	1.146424599	0.9969
Kapos 6	0.991236695	0.839297171	1.143176218	0.9913
全体	0.989222	0.837443	1.141000	0.9923

図表 22 2018-2020 JAXA 高解像度土地利用土地被覆図（100m解像度）を使った推計値

Kapos 分類	MGCI	MGCI95%下限	MGCI95%上限	FAO 推計 2018(参考)
Kapos 1				0
Kapos 2	0	0	0	0.8667
Kapos 3	0.246453693	0.144044964	0.348862423	0.9976
Kapos 4	0.947168659	0.791180728	1.103156589	0.9969
Kapos 5	0.994111550	0.834573777	1.153649323	0.9969
Kapos 6	0.986879668	0.828002972	1.145756364	0.9931
全体	0.984724	0.826035	1.143413	0.9923

図表 20～22 の推計値のうち山地分類 Kapos 5 と Kapos 6 における MGCI は FAO 試算値とわが国の独自試算値とはほぼ一致しており、95%信頼区間内にも FAO 試算値は含まれている。また、2006-2011 における推計値が、図表 20～22 の推計値から、山地分類 Kapos 2 における全期間において 0 と算出されていることが読み取られる。これは Kapos 2 に該当する領域内における JAXA 高精度土地利用土地被覆図の土地利用分類が全て裸地（非植生）であるためである。この値は、前述の環境省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（環境省自然環境局生物多様性センター）[環境省報告書]による富士山山頂モニタリングサイトで実地観察値から見て過少評価である。この原因としては、今回使用した JAXA 高精度土地利用土地被覆図土地利用分類の空間分解能は 100m

(最小空間分解能 30m~50m) であることから、富士山山頂で夏季に散発的に生ずる植生を捉えるには十分な空間識別精度を有していないことと予想される。

さらに議論すべきは SDG15.4.2 のメタデータで定義されている MGCI 算出方法それ自身である。この MGCI 算出方法では、現実的には季節変動性を有し被覆密度が異なる土地利用土地被覆状態を、離散的な名義尺度である土地被覆分類へ変換し、これをさらに、植生/非植生の二値分類にし、これを基に MGCI を算出している。この算出方法には、原理的に離散化誤差が内在しており、MGCI 真値が小さいときに顕在化してしまい、過小評価値が推計されてしまう原因と考える。

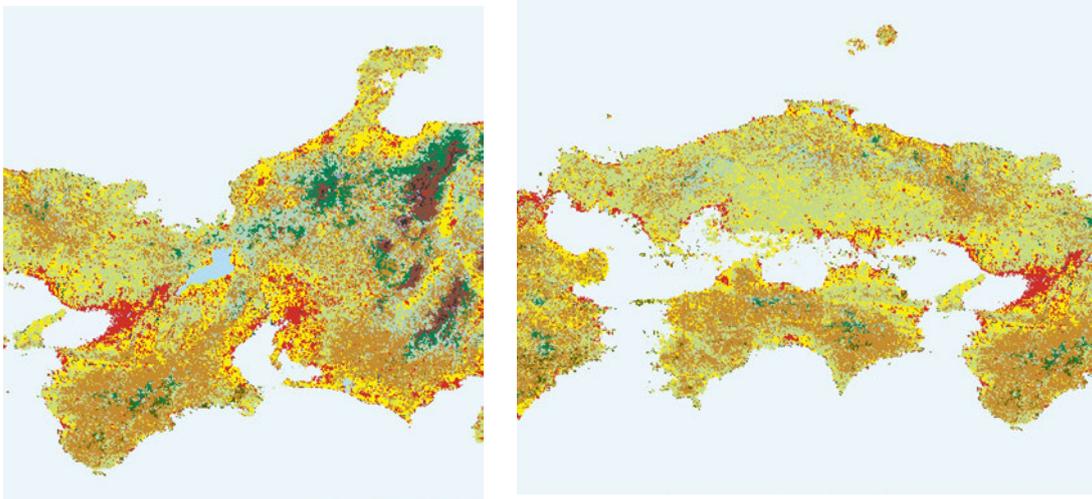
そのため、現在の MGCI 算出方法では、実際には連続量である植生割合を観測点において植生/非植生に二値化することにより離散化をする方式が採用されていることから、MGCI が著しく小さく、また、標本サイズが小さい(該当する山地分類存在面積が小さい)場合には、算出方法に起因する離散化誤差の影響を免れないことが想定される。この影響は、Kapos 2 だけでなく、わが国において存在面積が少ない Kapos 3、Kapos 4 においても誤差因子のひとつとして認識すべきである。離散化誤差の影響を低減する方法として、例えば、土地被覆分類ごとに植生/非植生の異なる重みを 0~1 の値で設定し、MGCI を推計する方法が考えられる。このような FAO メタデータの拡張的なより高精度の MGCI 推計方法の開発については今後の課題である。

#### 5.4 他データとの突合による混合行列の標本誤差の低減

植生図ポリゴンや農地筆ポリゴンなどと土地利用被覆分類図グリッドデータとを突合せして分類精度の検証を行う。特に他データとの突合を行うことにより、混合行列の標本サイズを増加させ、分類誤りの推計精度を高めることで MGCI の信頼区間幅を低減できることを示す。

ここでは、突合対象データとして環境省自然環境局生物多様性センターが公開する植生調査(1/2.5万)都道府県一覧 Shape ファイル[環境省植生調査ポリゴンデータ]を用いる。植生調査は環境省自然環境保全基本調査[環境省自然環境保全基本調査]による調査により植生の領域をポリゴンデータとして表現したものである。図表 23 は環境省自然環境局生物多様性センターが提供する植生図の一部抜粋である。

図表 23 植生図の一部抜粋 (出典：環境省 自然環境局 生物多様性センター)



環境省植生図はポリゴンデータと JAXA 高解像度土地利用土地被覆図のグリッドデータとを突合せし、JAXA 高解像度土地利用土地被覆図の分類植生/非植生と環境省植生図の分類植生/非植生との間で混合行列（コンフュージョンマトリックス）を計算することで、混合行列の標本サイズを増加させることを行う。いくつかの山地において植生図ポリゴンと 2006-2011 100m JAXA 高解像度土地利用土地被覆図との突合を行うことで混合行列の標本サイズを増加させ、条件付き確率  $R(1|0)$  と  $R(1|1)$  の点推定および 95%信頼区間を計算した。図表 24 は混合行列と条件付き確率の点推定値、区間推定値である。

図表 24 に示すように、検証箇所を増やして、推計誤差を低減させた条件付き確率  $R(a|b)$  を使うことで、2006-2011 100m Kapos 山地分類ごとの MGCI の点推定値と 95%信頼区間を計算した。図表 25 に推計値を示す。図表 25 で示される MGCI の 95%信頼区間幅は図表 20 で示された MGCI の 95%信頼区間幅と比較して小さくなっている。すなわち、混合行列を作成するため教師情報のサイズを増加させることにより、MGCI の評価値の信頼性を高めることができることが分かる。

図表 25 で示される 2006-2011 100m Kapos 山地分類ごとの 95%信頼区間区間推定値のうち、山地分類 Kapos 3, Kapos 4 に対しては、FAO が示す MGCI 試算値は、我が国が保有する固有データと知識から推計される MGCI 推計値の 95%信頼区間の外側にある値が試算されていると判断される。これらのことから、わが国において存在面積の小さな Kapos 山地分類 (Kapos 2, Kapos 3, Kapos 4) においては、FAO が示す SDG15. 4. 2 試算値は過大推計値を提案していると結論付ける。

今回の指標検証作業のスケジュールと、人員、予算規模では全ての組み合わせでこの検証を完全には完了させることはできなかったが、データを整備することで土地被覆図の正確な教師情報のサイズを増加させることで、植生/非植生の分類精度にある一定の誤差があったとしても、推計値の誤差を低下させることが技術的には可能であることを示すことができた。

図表 24 環境省植生ポリゴンと 100m JAXA 高解像度土地利用土地被覆図との突合調査により算出された混合行列

	植生	非植生
植生	98133	2562
非植生	767	3516

	平均値	95%信頼区間下限	95%信頼区間上限	95%信頼区間の幅の半分
$R(1 0)$	0. 42152	0. 409105743	0. 433934731	0. 012414494
$R(1 1)$	0. 992245	0. 991697969	0. 992791414	0. 000546723

図表 25 2006-2011 100mKapos 山地分類ごとの MGCI の点推定値と 95%信頼区間

Kapos 分類	2006-2011 JAXA 土地被覆データ			FAO 推計 2010(参考)
	MGCI	MGCI95%下限	MGCI95%上限	
Kapos 1				0
Kapos 2	0	0	0	0.8667
Kapos 3	0.142818164	0.10970299	0.17593334	0.9976
Kapos 4	0.859043387	0.81684609	0.90124068	0.9969
Kapos 5	0.989115507	0.94467302	1.033558	0.9971
Kapos 6	0.99182182	0.94746112	1.03618252	0.9931
全体	0.984099	0.939909	1.028290	0.9938

## 6. まとめ

本検証作業により、SDG15.4.2（山地グリーンカバー指数（MGCI））の最新メタデータの指定するデータと指標の算出方法に基づき、FAO の推計結果を確認した。

JAXA 土地被覆データを使用して山地グリーンカバー指数を試算したところ、FAO 推計結果よりも小さい結果を得た。教師情報とは独立の検証情報を用いて、混合行列（コンフュージョンマトリックス）を作成、土地被覆分類の精度を検証した。土地被覆データの解像度が高いほど、分類精度が高く指数が小さくなる傾向があり、高解像度のデータを使用すべきと考えられる。使用する山地分類データについても同様である。

我が国が保有する 100m 空間分解能の衛星データ由来土地分類図の精度評価から算出できる山地グリーンカバー指数（SDG15.4.2）の値として以下の推計値を得た。

- ・ 2006-2011 MGCI(全体) 0.984099 (0.939909 以上)
- Kapos 2: 0 (ただし冬場は凍結するためほぼ 0 であるが夏場は数%程度)
- Kapos 3: 0.143 (0.110 以上 0.176 以下 ; ただし冬季は凍結するためほぼ 0 が妥当)
- Kapos 4 : 0.859 (0.817 以上 0.901 以下)
- Kapos 5 : 0.989 (0.945 以上)
- Kapos 6 : 0.992 (0.947 以上)

・ 2014-2016 MGCI(全体) 0.989222 (0.837443 以上)

Kapos 2: 0 (ただし冬季は凍結するためほぼ0であるが夏場は数%程度)

Kapos 3: 0.324 (0.220 以上 0.429 以下 ; ただし冬季は凍結するためほぼ0が妥当)

Kapos 4: 0.965 (0.814 以上)

Kapos 5: 0.994 (0.842 以上)

Kapos 6: 0.991 (0.839 以上)

・ 2018-2020 MGCI(全体) 0.984724 (0.826035 以上)

Kapos 2: 0 (ただし冬季は凍結するためほぼ0であるが夏場は数%程度)

Kapos 3: 0.246 (0.144 以上 0.349 以下 ; ただし冬期は凍結するためほぼ0が妥当)

Kapos 4: 0.947 (0.791 以上)

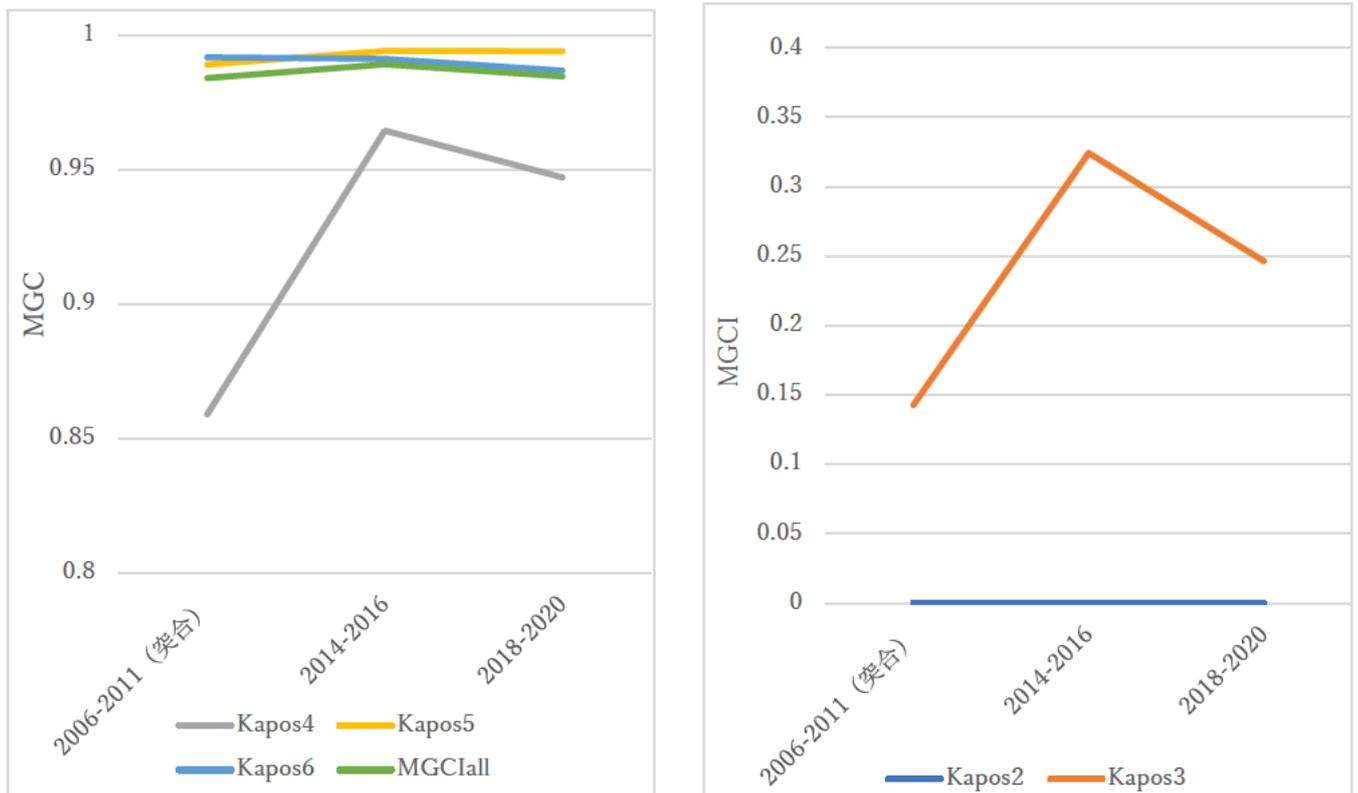
Kapos 5: 0.994 (0.835 以上)

Kapos 6: 0.987 (0.828 以上)

ただし、分類誤りの影響評価は、我が国が保有する他データと突合分析を繰り返すことにより高精度化が可能であり、推計される山地グリーンカバー指数の信頼区間幅を狭くしMGCI推計値の信頼性を高めることが可能である。

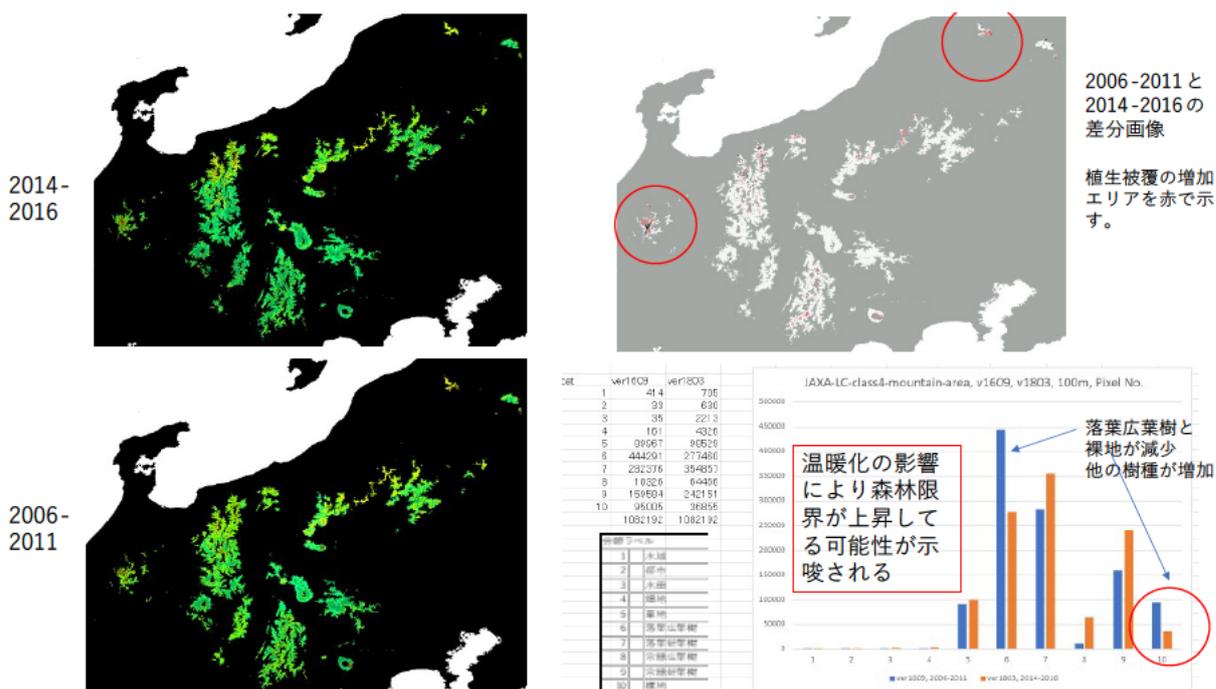
今回の試算結果のうち点推定値を図表 26 に MGCI の経年変化としてまとめて図示する。この図より山地分類 Kapos3, Kapos 4 の MGCI について 2011 年以降で大きな上昇変化が確認される。

図表 26 JAXA 高解像度土地利用土地被覆図 (100m解像度) による各 Kapos 山地分類における MGCI 推計値の変化(a)Kapos 4, Kapos 5, Kapos 6, 全体 MGCI, (b)Kapos 2, Kapos 3



この原因を検討するために、図表 27 に 2006-2011 と 2014-2016 の 100m JAXA 高解像度土地利用土地被覆図のうち山地分類 Kapos 4 に含まれる箇所の植生を比較した図を示す。この図から、この両期間における山地分類 Kapos 4 における土地被覆分類ごとの画素数を比較すると、この間で落葉広葉樹林と裸地が減少し、他の樹種が増加していることが判読された。この結果は、温暖化の影響によりこの間で森林限界が高地側へ上昇している可能性が示唆されるものである。山地分類 Kapos 3 においても、図表 26 から同様の事象が発生していると推察される。

図表 27 2006-2011 と 2014-2016 の 100m JAXA 高解像度土地利用土地被覆図のうち Kapos 4 に分類される場所の差分画像と各土地被覆分類画素のヒストグラムの比較



以下に使用したデータと指標の算出方法の評価を示す。

(データの評価)

- 土地被覆分類データ

国独自の土地被覆データが精度検証の観点から有用であり、検証データとともに定期的な土地被覆データの整備が必要と考えられる。特に国土が狭く土地利用が複雑な日本の場合、高解像度の土地被覆データが必要である。

今回、欧州宇宙機関の気候変動データセット (300m) に比較して、JAXA 高解像度土地利用土地被覆データの優位性 (解像度、精度及び検証データの入手性) と課題 (頻度、継続性) が確認できた。

- Kapos 山地分類データ

日本の山地分類のためには、F A0 及び USGS から提供されている Kapos 山地分類データ (430m 及び 250m 解像度) よりも高分解能のデータが必要と考えられる。今回、SRTM90m データを基に Kapos 山地分類データ (Kapos-SRTM : 90m 解像度) を作成した。より高い解像度が望まし

いことから今後 SRTM30m データや国土地理院 10m 標高データ等を用いた山地分類データの作成が推奨される。

- 行政区分データ

FAO の全球行政区分データ (GAUL) は、北方領土や先島諸島、小笠原諸島の硫黄列島他が含まれておらず、使用は適当でないと考えられる。今回、国土地理院から高解像度の国内海岸線データを提供いただき、日本域のデータの切出しに使用した。しかし、高解像度のため長時間の処理時間を要したため、その後の処理には主として地球地図を使用した。今後は、国土地理院から提供された海岸線データを最大限活用することが推奨される。

(指数算出方法の評価)

- 山地と植生被覆の面積の比率による方法と画素数の比率による試算を行った。
- 面積の比率による方法は、面積推定のために地図投影が必要であり、地図投影の末端の誤差や、データ変換に伴う誤差が生じる。その点、画素数による方法は、地理座標系で地図投影が不要であり、その分誤差も少なく、データ解析もシンプルで作業の所要時間も少なく、推奨される。

図表1 SDG15.4.2 (山地グリーンカバー指数) の試算実績一覧

土地被覆データ	解像度	算出方法	地図投影法	山地分類データ	行政区分データ	試算実績			
						2000	2010	2015	2018
欧州気候変動イニシャチブ ESA CCIデータ	300m	面積比	UTM54	Kapos-FAO (430m)	FAO全球行政区分データ (GAUL)	○	○	○	○
	300m					○	○	○	
	300m	画素数	地理座標			○	○	○	○
250m	面積比			UTM54	地球地図及び 国土地理院提供海岸線 データ	(2006-2011)	(2014-2016)		
100m		○	○						
50/30m		○ (50m)	○ (30m)						
250m		○	○						
100m		○	○						
50/30m		○	○						
250m		画素数	地理座標			国土数値情報行政区分 データ	○	○	
100m							○	○	
50/30m							○	○	
250m							○	○	
100m	○			○	(2018-2020) ○				
50/30m	○			○	○				

図表2 FAOによる山地グリーンカバー指数 (MGCI) (左) と、ESA 土地被覆データと Kapos 山地分類データ (FAO Mountain Partnership) を用いて面積により算出した MGCI (中央)、同画素数により算出した MGCI (右)

FAO推計							面積に基づく推計 (湿地を植生に含む)							画素数に基づく推計 (湿地を植生に含む)						
Year 2000							Year 2000							Year 2000						
IPCC class	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6		
Forest	0.00	20.00	55.30	88.73	94.64	91.15	0.00	17.39	54.19	88.75	94.56	91.01	0.00	28.57	54.57	88.64	94.62	91.16		
Cropland	0.00	66.67	35.57	6.17	2.55	5.09	0.00	78.26	44.44	9.39	4.53	8.35	0.00	62.86	44.10	9.45	4.45	8.20		
Grassland	0.00	0.00	8.54	4.40	2.15	3.20	0.00	0.00	0.71	1.16	0.30	0.09	0.00	0.00	0.74	1.23	0.25	0.09		
Wetland	0.00	0.00	0.35	0.39	0.39	0.07	0.00	0.00	0.33	0.41	0.39	0.07	0.00	0.00	0.34	0.41	0.41	0.07		
Settlement	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13		
Other land	0.00	13.33	0.24	0.31	0.27	0.36	0.00	4.34	0.30	0.27	0.19	0.34	0.00	8.57	0.25	0.28	0.26	0.35		
MGCI	0.00	86.67	99.76	99.69	99.72	99.52	0.00	95.65	99.67	99.71	99.78	99.52	0.00	91.43	99.75	99.72	99.73	99.52		
MGCI all				99.55						99.57						99.56				

図表3 画素数による MGCI 算出—JAXA 土地被覆データ (250m、100m解像度) 及び Kapos-USGS 山地分類データ (250m 解像度) 使用

250m解像度															
2006-2011年						2014-2016年					2018-2020年				
Kapos mountain class						Kapos mountain class					Kapos mountain class				
(%)	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6
Forest	0	46.06	83.95	92.15	93.17	0	27.67	86.85	93.20	91.00	0.00	31.40	88.95	96.69	93.89
Cropland	0	0.00	0.01	0.32	2.85	0	1.41	0.61	0.82	3.11	0.00	0.00	0.00	0.46	2.21
Grassland	0	3.43	7.69	6.32	2.91	0	12.37	9.01	5.04	4.69	0.00	3.57	6.58	2.09	2.55
Wetland	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Settlement	0	0.00	0.00	0.01	0.38	0	0.04	0.07	0.06	0.44	0.00	0.00	0.00	0.02	0.70
Other land	100	50.51	8.35	1.19	0.69	100	58.51	3.46	0.88	0.76	100.00	65.03	4.47	0.74	0.65
MGCI	0	49.49	91.64	98.79	98.93	0	41.45	96.47	99.06	98.80	0.00	34.97	95.53	99.24	98.65
MGCI all			98.5235					98.6327					98.4819		
100m解像度															
2006-2011年						2014-2016年					2018-2020年				
Kapos mountain class						Kapos mountain class					Kapos mountain class				
(%)	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6
Forest	0	46.29	82.80	91.39	92.18	0	28.07	86.78	93.18	90.98	0.00	31.44	87.77	95.90	93.01
Cropland	0	0.01	0.02	0.38	3.01	0	1.43	0.60	0.82	3.12	0.00	0.00	0.01	0.51	2.38
Grassland	0	4.89	8.34	6.80	3.56	0	12.74	9.03	5.05	4.69	0.00	4.74	7.29	2.68	3.09
Wetland	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Settlement	0	0.01	0.00	0.03	0.44	0	0.04	0.06	0.06	0.44	0.00	0.00	0.00	0.04	0.80
Other land	100	48.79	8.84	1.39	0.81	100	57.72	3.53	0.88	0.77	100.00	63.81	4.94	0.87	0.72
MGCI	0.00	51.20	91.16	98.58	98.75	0.00	42.24	96.41	99.06	98.79	0.00	36.19	95.06	99.09	98.48
MGCI all			98.3285					98.63					98.3018		

図表4 画素数による MGCI 算出—JAXA 土地被覆データ (100m、50/30m 解像度) 及び Kapos-SRTM 山地分類データ (90m 解像度) 使用

100m解像度															
2006-2011年						2014-2016年					2018-2020年				
Kapos mountain class						Kapos mountain class					Kapos mountain class				
	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6
Forest	0	45.55	82.85	91.43	92.44	0.00	26.22	86.76	93.22	91.31	0.00	30.72	87.83	95.94	93.29
Cropland	0	0.01	0.02	0.37	2.86	0.00	1.43	0.60	0.81	2.94	0.00	0.00	0.01	0.50	2.24
Grassland	0	4.74	8.31	6.80	3.46	0.00	12.83	9.10	5.03	4.55	0.00	4.69	7.27	2.65	2.96
Wetland	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Settlement	0	0.01	0.00	0.03	0.45	0.00	0.02	0.06	0.06	0.44	0.00	0.00	0.00	0.04	0.80
Other land	100	49.69	8.82	1.37	0.80	100.00	59.49	3.47	0.88	0.75	100.00	64.59	4.90	0.86	0.72
MGCI	0	50.30	91.18	98.60	98.76	0.00	40.48	96.47	99.06	98.80	0.00	35.41	95.10	99.10	98.48
MGCI all			98.3170					98.6282					98.2987		
50m解像度															
2006-2011年						2014-2016年					2018-2020年				
Kapos mountain class						Kapos mountain class					Kapos mountain class				
	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6
Forest	0.00	45.94	82.15	90.93	91.86	0.00	26.92	86.79	93.21	91.31	0.00	31.00	87.16	95.47	92.90
Cropland	0.00	0.02	0.03	0.41	2.87	0.00	1.41	0.60	0.81	2.94	0.00	0.00	0.01	0.52	2.29
Grassland	0.00	5.77	8.81	7.14	3.93	0.00	12.81	9.07	5.04	4.55	0.00	5.41	7.67	3.01	3.20
Wetland	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Settlement	0.00	0.02	0.01	0.04	0.47	0.00	0.03	0.06	0.06	0.44	0.00	0.00	0.00	0.06	0.84
Other land	100.00	48.25	9.01	1.48	0.87	100.00	58.83	3.47	0.88	0.75	100.00	63.59	5.15	0.94	0.76
MGCI	0.00	51.73	90.99	98.48	98.66	0.00	41.14	96.47	99.06	98.80	0.00	36.41	94.84	99.00	98.40
MGCI all			98.2183					98.6299					98.2071		

図表 5 SDG15. 4. 2 試算に使用したデータ

土地被覆データ

名称	対象域	対象期間	解像度	分類数	使用衛星データ等
ESA-CCI 土地被覆データ	全球	1992 - 2018年の各年	300m	22	AVHRR, SPOT, PROBA-V, MERIS, Sentinel-3
JAXA高解像度土地 利用土地被覆図	日本域	2006 - 2011年 (メインは2010年)	10, 50, 100, 250, 500m	10	ALOS/AVNIR-2/PRISM, ALOS-2/PALSAR-2
		2014 - 2016年 (メインは2015年)	30, 100, 250, 500m	10	Landsat-8/OLI, ALOS-2/PALSAR-2
		2018 - 2020年 (メインは2020年, 2021年3月5日公開)	10, 50, 100, 250, 500m	12	Sentinel-2, Landsat-8/OLI, ALOS-2/PALSAR-2
環境省植生調査 ポリゴンデータ	日本域	第6回 (1999-2005) 第7回 (2005-2012)	100m程度	植生区分: 10 大区分01-58	植生図作成に利用可能な空中 写真及び衛星画像

山地分類データ、標高データ

名称	対象域	解像度	標高精度	作成方法
Kapos山地分類データ	全球	430、 250m	約5m	スペースシャトルレーダ地形ミッション(SRTM) (2000年2月)
SRTM90m データ	+/-60緯度	90m	約5m	同上

行政区分データ

名称	対象域	解像度	作成方法	備考
FAO全球行政区分レイヤ (GAUL)	全球	1km以上	各国情報と衛星データ	
国土地理院提供海岸線データ	日本域	10m以上	基本測量	
国土交通省国土数値情報行政区分データ	日本域	10m程度	同上	
地球地図	全球	1km	各国情報と衛星データ	

図表 6 IPCC/ESA-CCI/JAXA 土地被覆分類の対応関係

IPCC土地被覆分類	ESA-CCI土地被覆分類 *1		JAXA高解像度土地利用土地被覆データ		
1. 農地	10, 11, 12	Rainfed cropland	4	畑地(crops)	
	20	Irrigated cropland	3	水田(Rice paddy)	
	30	Mosaic cropland (>50%) / natural vegetation (tree, shrub, herbaceous cover) (<50%)			
	40	Mosaic natural vegetation (tree, shrub, herbaceous cover) (>50%) / cropland (< 50%)			
2. 森林	50	Tree cover, broadleaved, evergreen, closed to open (>15%)	8	常緑広葉樹(DBF)	
	60, 61, 62	Tree cover, broadleaved, deciduous, closed to open (> 15%)	6	落葉広葉樹(DNF)	
	70, 71, 72	Tree cover, needleleaved, evergreen, closed to open (> 15%)	9	常緑針葉樹(ENF)	
	80, 81, 82	Tree cover, needleleaved, deciduous, closed to open (> 15%)	7	落葉針葉樹(DNF)	
	90	Tree cover, mixed leaf type (broadleaved and needleleaved)			
	100	Mosaic tree and shrub (>50%) / herbaceous cover (< 50%)			
	160	Tree cover, flooded, fresh or brakish water			
	170	Tree cover, flooded, saline water			
		11 *2	竹林 (Bamboo)		
3. 草地	110	Mosaic herbaceous cover (>50%) / tree and shrub ((<50%)			
	130	Grassland	5	草地 (Grassland)	
4. 湿地	180	Shrub or herbaceous cover, flooded, fresh-saline or brakish water			
5. 居住地	190	Urban	2	都市 (Urban)	
6. その他	Shrubland	120, 121, 122	Shrubland		
	Sparce vegetation	140	Lichens and mosses		
		150, 151, 152, 153	Sparse vegetation (tree, shrub, herbaceous cover)		
	Bare area	200, 201, 202	Bare areas	10	裸地 (Bare land)
	Water	210	Water	1	水域 (Water)
			12 *2	ソーラパネル (Aolar panel)	

\*1: [http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download/ESACCI-LC-Ph2-PUGv2\\_2.0.pdf](http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download/ESACCI-LC-Ph2-PUGv2_2.0.pdf)

\* 2 : Ver21.03 (2018-2020年) のみ

## 補遺

### A.1 日本の海岸線データの作成について

日本において、国土面積の算出は人口統計と並ぶ歴史を持っており、1960年からは国土地理院が全国都道府県市区町村別の面積調を毎年公表している。面積調は国勢調査報告における人口密度算出や地方交付税算定の基礎データともなっている。

面積調は、次のリンク先から入手可能である。

<https://www.gsi.go.jp/KOKUJYOH/MENCHO-title.htm> (in Japanese)

SDG15.4.2（山地グリーンカバー指数；MGCI）をはじめとする、陸域面積を用いるSDGインディケータを算出するにあたって、我が国の国土面積算出の根拠となっている地理空間情報を用いることが適当である。この観点から、SDG15.4.2の算出のため、国土地理院は、日本の公的な位置の基準である基盤地図情報（FGD）から作成できる海岸線データを総務省統計委員会担当室に提供した。

上述の基盤地図情報は、次のリンク先から入手可能である。

<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>

## A.2 SRTM90mデータによる Kapos 山地分類データ(90m解像度)の作成について

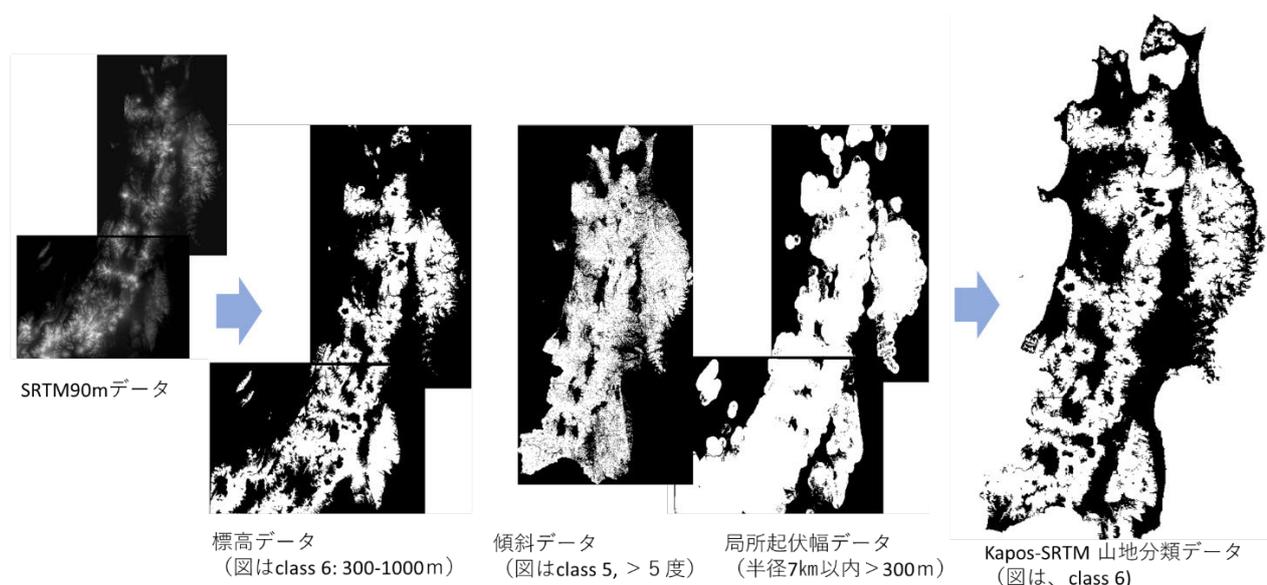
スペースシャトルレーダ地形データ (SRTM) 90m データを用いて、高度、傾斜及び局所起伏幅 (LER) を計算、さらにこれらのデータから日本全国の Kapos 山地分類データ (Kapos-SRTM、90m 解像度) を作成した。

以下に作成のプロセスを示す。

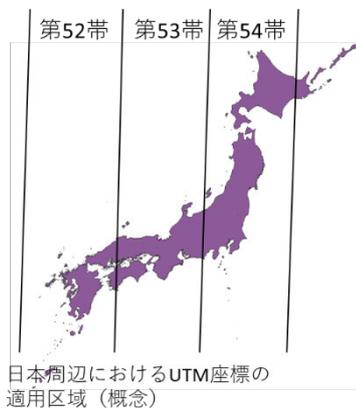
- 1) SRTM より日本全国の 30mDEM をダウンロード。
- 2) 日本全国を地方サイズ区分 (北海道は3つ, その他は, 東北, 関東, 中部と地方レベル)
- 3) 区分した DEM データを resize で 90mDEM にデータを削減。
- 4) ある位置 (画素) の標高データ, その位置から半径 7 km以内に標高差が 300 m あるかどうかを条件に処理. ある場合は 1, ない場合は 0 とする. プログラム言語は python, 計算処理時間短縮のため GPU (Graphic Processing Unit) を用いた。
- 5) 4) の処理を区分した各 DEM(90m)にて実施。
- 6) 5) で処理した局所標高地図をマージし, 全国の局所起伏幅地図を求めた。

高度、傾斜については、QGIS で SRTM90m データから直接算出が可能であるが、局所起伏幅は、各画素位置から半径 7 km以内に高低差 300m が存在するかどうかを、全画素に対して計算する必要がある、膨大な計算時間を必要となる。例えば、今回の検討では機械学習などで広く用いられている Python によるプログラムを、計算処理速度を早くするために GPU を用いて実行した[川北]。それでも日本全国の局所起伏幅を求めるに半月程度必要であったため、今回の検討では 90m データ解像度までしか作成できなかった。土地被覆データの解像度が最大 50m/30m であることから、Kapos 山地分類データについても 30m 級の解像度が望ましく、お高速処理に適したハードウェアを準備することや、計算アルゴリズムを改善するで解決できると考える。

図表 1 SRTM90m データからの Kapos 山地分類データの作成



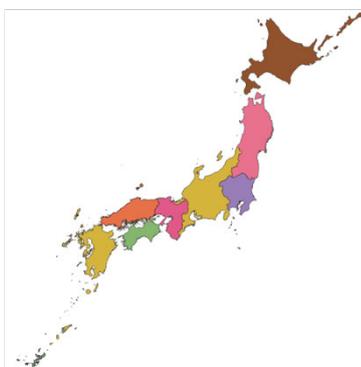
### A.3 UTM 座標の適用の差異が山地グリーンカバー指数(MGCI)に及ぼす影響について



国土数値情報の行政区域（ポリゴン）データ（世界測地系、令和2年）を使用して、UTM座標系の適用の差異による国土面積算出結果を比較した。UTM第54帯を共通的に適用した場合と、地方毎に異なるUTM座標系を適用した場合で、全国面積で0.5%程度の差異が生じる。

図表2 UTM座標系の適用の違いの算出面積への影響

対象	UTM第54帯を共通的に適用した場合の算出面積(km2)	異なるUTM座標系を適用した場合の算出面積(km2)		面積の変化率
		適用したUTM座標系	面積(km2)	
全国	379325			
北海道	83428	第54帯	83428	1
東北	66900	第54帯	66900	1
関東	32420	第54帯	32420	1
中部	72692	第53帯	72638	0.9993
近畿	27506	第53帯	27332	0.9937
中国	32342	第53帯	31932	0.9873
四国	19016	第53帯	18798	0.9885
九州	43183	第52帯	42228	0.9779
沖縄	1927	第52帯	1834	0.9517
合計	379414	第52帯	377510	0.9950



UTM座標系に沿って、日本を3つの地域に分割して、UTM座標帯の適用の山地及び植生被覆の面積推定と山地グリーンカバー指数(MGCI)への影響を検討した。MGCIの推計において0.02%の差が生じた。

図表3 UTM座標系の適用の違いと山地グリーンカバー指数(MGCI)

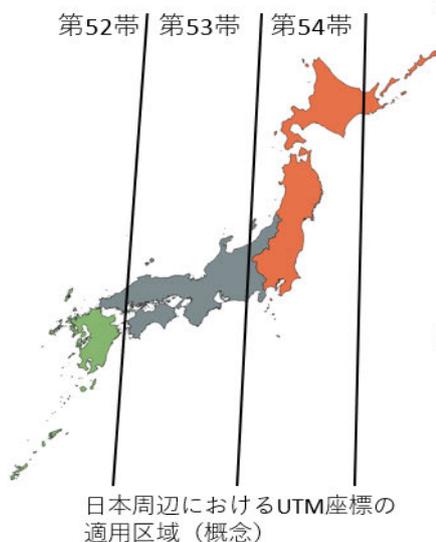


表1 UTM座標第54帯を共通的に適用した場合の面積とMGCI

	九州、沖縄	中国、四国、近畿、中部	北海道、東北、関東	合計
UTM座標帯	第54帯	第54帯	第54帯	
山地面積(km2)	15550.41	82336.65	76638.74	174525.80
植生被覆面積	15470.86	80843.30	75821.33	172135.49
MGCI	0.9949	0.9819	0.9893	<b>0.9863</b>

表2 UTM座標第52帯、53帯、54帯をそれぞれ適用した場合の面積とMGCI

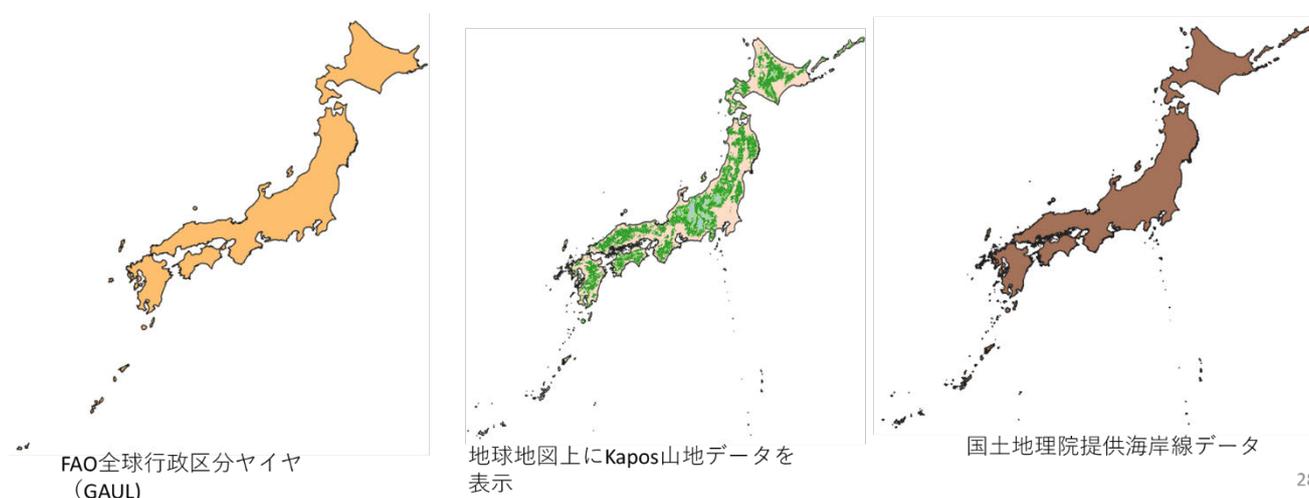
	九州、沖縄	中国、四国、近畿、中部	北海道、東北、関東	合計
UTM座標系	第52帯	第53帯	第54帯	
山地面積(km2)	15550.41	81934.23	76638.74	174123.38
植生被覆面積	15435.49	80443.24	75821.33	171700.06
MGCI	0.9926	0.9818	0.9893	<b>0.9861</b>

#### A.4 国行政区分データの扱いについて

FAO は、国の行政区分データとして全球行政区分レイヤ (GAUL) を使用しているが、北方領土や小笠原諸島、その他小さな島が欠落しており、適当でないと考えられる。

今回、国土地理院から高解像度の国内海岸線データを提供いただき、日本域のデータの切出しに使用した。しかし、高解像度のため長時間の処理時間を要したため、その後の処理には主として地球地図を使用した。最近の埋め立て地が反映されていない等の問題はあるが、内陸の山地を解析するうえでは問題ないと考えられる。今後は、国土地理院から提供された海岸線データを最大限活用することが推奨される。

図表 4 国行政区分データ



## 参考文献

[ESA] ESA (2017) Land Cover CCI Product User Guide Version 2. Tech. Rep. Available at: [maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download/ESACCI-LC-Ph2-PUGv2\\_2.0.pdf](https://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download/ESACCI-LC-Ph2-PUGv2_2.0.pdf)

[ESA CCI] ESA の CCI 土地被覆分類データ (300m 解像度) , [Download CCI LC Products | ESA CCI Land cover website \(esa-landcover-cci.org\)](https://esa-landcover-cci.org/)

[Kapos(2000)] Kapos, V., Rhind, J., Edwards, M., Prince, M., & Ravillous, C. (2000). Developing a map of the world's mountain forests. In M. F. Price , & N. Butt (Eds.), *Forests in Sustainable Mountain Development: A State-of-Knowledge Report for 2000* (pp. 4-9). Wallingford: CAB International.

[FAO HP] Sustainable Development Goals, Food and Agriculture Organization of the United Nations, <http://www.fao.org/sustainable-development-goals/indicators/1542/en/>

[FAO Kapos] FAO Mountain Partnership HP :  
<http://www.fao.org/mountain-partnership/our-work/focusareas/foodsecurity/2015-mountain-vulnerability-study/en/>

[FAO SDG15. 4. 2 DATA] FAO による SDG15. 4. 2 試算公表値,  
<http://www.fao.org/sustainable-development-goals/indicators/1542/en/>, 最終アクセス日 2021 年 2 月 28 日

[FAO Kapos DATA] FAO による Kapos 山地分類面積および比率試算公表値,  
[http://www.fao.org/fileadmin/templates/mountain\\_partnership/doc/focusarea/foodsecurity/mountainarea/Mountain\\_areas\\_-\\_light.xlsx](http://www.fao.org/fileadmin/templates/mountain_partnership/doc/focusarea/foodsecurity/mountainarea/Mountain_areas_-_light.xlsx), 最終アクセス日 2021 年 2 月 28 日

[FAO Metadata] FAO Metadata, <https://unstats.un.org/sdgs/metadata/files/Metadata-15-04-02.pdf>

[JAXA] JAXA 高解像度土地利用土地被覆図, [https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/lulc/lulc\\_jindex.htm](https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/lulc/lulc_jindex.htm)

[JAXA ALOS ver21.03] JAXA ALOS ver21.03,  
[https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/lulc/lulc\\_jindex\\_v2103.htm](https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/lulc/lulc_jindex_v2103.htm)

[JAXA ALOS ver18.03] JAXA ALOS ver18.03,  
[https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/lulc/lulc\\_jindex\\_v1803.htm](https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/lulc/lulc_jindex_v1803.htm)

[JAXA ALOS ver16.09] JAXA ALOS ver16.09, [https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/lulc/jlulc\\_jpn.htm](https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/lulc/jlulc_jpn.htm)

[SRTM] Space Shuttle Radar Mission

<https://srtm.csi.cgiar.org>

[USGS Kapos] USGS Mountain Explorer

Global Mountain Explore Home :

[Global Mountain Explorer Home \(usgs.gov\)](#)

Kapos mountain classification visualization:

<https://earthmap.org/?aoi=ar&boundary=level2&layers=%7B%22Kapos%22%3A%7B%22opacity%22%3A1%7D%7D&map=%7B%22center%22%3A%7B%22lat%22%3A-40.43594909816739%2C%22lng%22%3A-63.58954919773806%7D%2C%22zoom%22%3A4%2C%22type%22%3A%22roadmap%22%7D&scripts=%7B%7D>

Kapos classification (GME\_K1, K2, K3 Datafiles) :

<https://rmgsc.cr.usgs.gov/outgoing/ecosystems/Global/>

[環境省自然環境保全基本調査] 環境省自然環境保全基本調査 調査方法,

[http://gis.biodic.go.jp/webgis/files/sc-012\\_sakusei\\_youryou\\_H31.pdf](http://gis.biodic.go.jp/webgis/files/sc-012_sakusei_youryou_H31.pdf)

[環境省植生調査ポリゴンデータ] 環境省自然環境局生物多様性センター, 植生調査都道府県一覧 Shape

ファイル, <http://gis.biodic.go.jp/webgis/sc-025.html?kind=vg67>

[環境省報告書] 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)

[川北] Kapos 山地分類のための局所起伏幅 (LER) の計算コード

[https://github.com/shirokawakita/Kapos\\_calculation\\_example/blob/main/local\\_elevation\\_calculation\\_example.ipynb](https://github.com/shirokawakita/Kapos_calculation_example/blob/main/local_elevation_calculation_example.ipynb)

[外務省 Japan SDGs Action Platform]

[JAPAN SDGs Action Platform | 外務省 \(mofa.go.jp\)](#)

[国土交通省国土数値情報]

<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>

[国土交通省国土地理院面積調] 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>

[国土地理院基盤地図情報] 国土交通省国土地理院基盤地図情報,

<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>

[総務省ビッグデータ連携会議]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](https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/big_data/index.html)

[地球地図]

[https://www.gsi.go.jp/kankyochiri/gm\\_jpn.html](https://www.gsi.go.jp/kankyochiri/gm_jpn.html)