

SDG11.3.1 (人口増加率と土地利用率の比) の検証

藤村 英範(FUJIMURA Hidenori)	*
濱本 昂(HAMAMOTO Ko)	**
水野 貴之(MIZUNO Takayuki)	***
落合 治(OCHIAI Osamu)	**
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。

目次

1. はじめに
 - 1.1. SDG11.3.1 の試算・検証の背景と目的
 - 1.2. 試算・検証の流れ
2. SDG11.3.1 の概要
 - 2.1. ゴール 11「住み続けられるまちづくりを」、ターゲット 11.3 と SDG11.3.1
 - 2.2. SDG11.3.1 メタデータの概要
 - 2.3. UN-Habitat による計算値
3. 使用データセット
 - 3.1. 人口データ
 - 3.2. 土地被覆データ
 - 3.3. 行政区境界データ
4. 誤差評価手法の構築
 - 4.1. 都市母比率の 95%信頼区間
 - 4.2. LCR の 95%信頼区間
 - 4.3. 分類誤りを考慮した LCR の 95%信頼区間
 - 4.4. 改定後メタデータによる LCR 定義
 - 4.5. 評価・検証
5. 3次メッシュでの試算・検証
 - 5.1. SDG11.3.1 の 3次メッシュ可視化アプリケーション
 - 5.2. 突合分析
 - 5.3. 全国 3次メッシュレベルでの推計
6. 政令指定都市での試算・検証
 - 6.1. 計算プロセス
 - 6.2. LCR 新旧定義の比較
 - 6.3. 境界条件の比較・評価
 - 6.4. LCRPGR 二期間の比較
7. 都市度分類での試算・検証
 - 7.1. 計算プロセス
 - 7.2. 都市度分類結果及び都市度分類毎の LCRPGR
8. まとめ
(別紙)
(参考文献)

1. はじめに

1.1. SDG11.3.1 の試算・検証の背景と目的

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」（以下「2030アジェンダ」という。）は、「誰一人取り残さない」（Leave No One Behind）を基本コンセプトに、先進国及び開発途上国を含めた国際社会全体が持続可能な開発の達成を目指し、協働して課題解決にあたる決意を表明したものであり、「持続可能な開発目標」（SDGs）がその中核として設定されている。SDGsは17のゴール及び169のターゲットで構成され、その進捗状況を測定するため248（重複を除くと231）の指標が設定されており、高品質で、アクセス可能な、時宜を得た細分化されたデータが必要であるとされている。

2030アジェンダの第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、これらを用いることで地方、国、地域及び全球レベル及びセクターを超えたモニタリングの可能性があることから、国連及び各国の国家統計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。この中でも、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SDGグローバル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。

国連統計部が事務局を務める「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イニシャチブ「EO4SDG」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、国連からも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SDGグローバル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、総務省が主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）の下に観測データ利活用検証WG（観測データ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グローバル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。

SDG11.3.1は国連人間居住計画（UN-Habitat）が国連担当機関（Custodian agency）となって方法論を開発し、公表している。国連統計部のホームページに公開されているメタデータ（2021年3月1日改訂版）によると、SDG11.3.1は人口増加率と土地利用率の比率（LCRPGR）として定義されており[1-1]、指標の計算に当たっては衛星データの活用も提示されている。

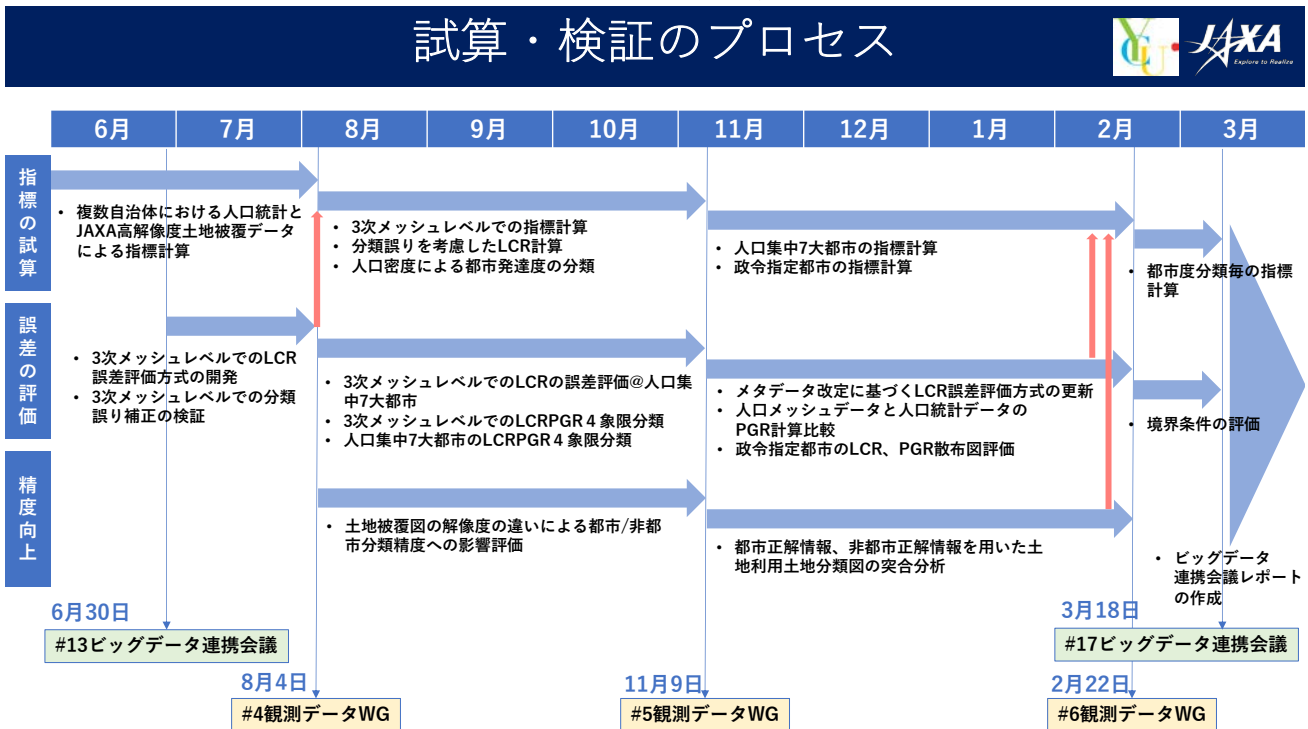
また、このSDG11.3.1は国連人口居住計画から各国の代表的地域に対する試算値が公表されているが[1-2]、その試算値の妥当性の確認や、政策や商工業活動のための施策での利用のためには、試算値の計算範囲を広げることと、算出値の信頼性評価を各国で行う必要がある。

このため、観測データ利活用検証WGは、2021年度にJAXA衛星データを含む我が国固有のデータを用いたSDG11.3.1の試算・検証を実施した。本報告書は、この作業において実施した内容を記述するとともに、SDG11.3.1に含まれる重要指標である土地利用率（LCR）、人口増加率（PGR）、人口増加率と土地利用率の比率（LCRPGR）の算出方法、誤差評価方法、誤差評価の結果、試算されたSDG11.3.1関連指標値、誤差推計値、使用した我が国固有のデータについて示している。

1.2. 試算・検証の流れ

SDG11.3.1 の試算・検証作業は、図表 1-1 に示す様に、指標の試算(2021年6月～7月)、誤差の評価(2021年8月～11月)、精度向上(2021年11月～2022年1月)の3つの観点でプロセスを分解し並行して進めた。

図表 1-1 SDG11.3.1 指標の試算・検証スケジュール



2. SDG11.3.1 の概要

2.1. ゴール 11「住み続けられるまちづくりを」、ターゲット 11.3 と SDG11.3.1

ゴール 11「住み続けられるまちづくりを」の下において、ターゲット 11.3 は、参加型、包摂的かつ持続可能な人間居住計画・管理の能力を目標に、指標 11.3.1 として「人口増加率と土地利用率の比率」を次のように設定している。[2-1]

ゴール 11「住み続けられるまちづくりを」：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。

Make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable.

ターゲット 11.3：2030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。

By 2030, enhance inclusive and sustainable urbanization and capacity for participatory, integrated and sustainable human settlement planning and management in all countries.

SDG11.3.1: 人口増加率と土地利用率の比率

Ratio of land consumption rate to population growth rate

2.2. SDG11.3.1 メタデータの概要

SDG11.3.1 は国連人間居住計画 (UN-Habitat) が国連担当機関 (Custodian agency) となっており、国連統計部から公開されているメタデータ (2021年3月1日改訂版) [1-1]では、人口増加率と土地利用率の比率 (LCRPGR) は、人口増加率 (PGR: Population Growth Rate) と土地利用率 (LCR: Land Consumption Rate) の比として定義されている。(2.1)式で示される通り、 PGR_t は対象とする地域 (国、都市など) のある期間における1年当たりの人口の変化であり、対象とする期間の終了時点の人口に対する開始時点の人口の割合の自然対数を期間の年数で割ったものとして表される。一方、 LCR_t は(2.2)式で示されるとおり、ある期間における1年当たりに市街地や都市の占有面積が変化する割合であり、対象とする期間の開始時点の市街地及び都市の占有面積に対する期間中の市街地及び都市の占有面積の変化の割合を期間の年数で割ったものとして表される。

$$PGR_t = \frac{\ln(Pop_{t+n}) - \ln(Pop_t)}{y} \quad (2.1)$$

$$LCR_t = \frac{Urb_{t+n} - Urb_t}{Urb_t} \times \frac{1}{y} \quad (2.2)$$

$$LCRPGR_t = \frac{LCR_t}{PGR_t} \quad (2.3)$$

(2.1)、(2.2)式で用いる Pop_t は、初年度若しくは過去の都市の総人口、 Pop_{t+n} は最終年若しくは現在の都市の総人口、 Urb_t は初年度若しくは過去の市街地及び都市の総面積、 Urb_{t+n} は最終年もしくは現在の市街地及び都市の総面積、 y は人口と都市面積の測定期間の年数を示す。ここで、 $\ln(x)$ は自然対数を意味する。

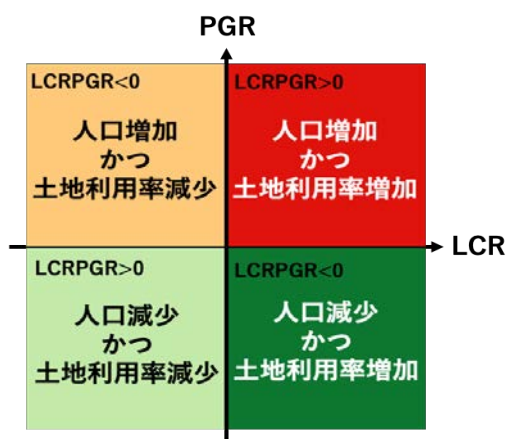
(2.3)式の $LCRPGR_t$ の計算には、人口データと市街地及び都市の面積データが必要となり、メタデータではグリッド化された人口データセットや、土地被覆図等の中高分解能の衛星データの利用が提案されている。

SDG 指標のメタデータ及び指標の計算式等については定期的に見直され、更新されることがある。SDG11.3.1については、2021年3月1日の改訂以前では、(2.3)式の LCR_t の計算式は(2.4)式と定義されていたため[2-2]、本紙では日本において旧版と改訂版の比較も行う。

$$LCR_t = \frac{\ln(Urb_{t+n}) - \ln(Urb_t)}{y} \quad (2.4)$$

(2.3)式で示される通り、 $LCRPGR$ は PGR と LCR の比であるため、図表2-1で示す通り、例えば PGR_t と LCR_t が正の値の場合と PGR_t と LCR_t が負の値の場合のどちらも $LCRPGR_t$ は正の値となる。そのため、複数の都市間や異なる期間における $LCRPGR_t$ を比較する場合には PGR_t と LCR_t それぞれの値を評価する必要がある。

図表 2-1 LCRPGR の 4 象限分類



2.3. UN-Habitat による計算値

UN-Habitat は各国の代表的な都市に対する LCR、PGR 及び LCRPGR の試算値を公表しており、日本に対しては東京、大阪、福岡、岡山、山口が対象となっている[1-2]。図表 2-2 で示す通り、対象の都市が限定的であり計算期間の間隔が15年と長期間である、政令指定都市をはじめとした日本の主要都市の比較や政策意思決定等に用いる上では、指標の時間分解能や対象都市数が不足していると考えられる。そのため、指標 11.3.1 の国内での活用に向けて、自国の状況を踏まえた対象都市の設定や計算が必要である。

図表 2-2 UN-Habitat による LCRPGR 計算値（日本の都市の抜粋）

都市	LCR_1990_to_2000	LCR_2000_to_2015	PGR_1990_to_2000	PGR_2000_to_2015	LCRPGR_1990_to_2000	LCRPGR_2000_to_2015
東京	0.014851	0.0173	0.008484	0.00658	1.75038	2.62831
大阪	0.015277	0.005407	0.002587	0.00092	5.90565	5.88961
福岡	0.030163	0.008188	0.003192	0.00032	9.44867	25.27458
岡山	0.006747	0.005681	0.000163	-	41.38004	-
山口	0.017941	0.003232	-	-	-	-

3. 使用データセット

3.1. 人口データ

PGR の計算に必要な人口データについて、3 次メッシュ単位及び行政区単位で試算を行うことを踏まえ、以下の人口 3 次メッシュ統計データ及び人口行政区統計データを使用した。

人口 3 次メッシュ統計データ：

総務省の e-Stat（政府統計の総合窓口）/地図で見る統計(統計 GIS)[3-1]から以下の 3 次メッシュ（1km グリッド）の全国の人口統計データを API により取得して使用した。

- 総務省 平成 22 年国勢調査-世界測地系(1km メッシュ) 男女別人口総数及び世帯総数[3-2]（H22 国勢調査人口 3 次メッシュ統計データ）
- 総務省 平成 27 年国勢調査-世界測地系(1km メッシュ) その 1 人口等基本集計に関する事項 [3-3]（H27 国勢調査人口 3 次メッシュ統計データ）

人口行政区統計データ：

総務省の e-Stat（政府統計の総合窓口）から以下の行政区毎の人口統計データを取得し、政令指定都市の 2010、2015、2020 年の人口総数を使用した。

- 総務省 国勢調査 / 平成 22 年国勢調査 / 人口等基本集計（男女・年齢・配偶関係、世帯の構成、住居の状態など）全国結果[3-4]（H22 国勢調査人口行政区統計データ）
- 総務省 国勢調査 / 平成 27 年国勢調査 / 人口等基本集計（男女・年齢・配偶関係、世帯の構成、住居の状態など）全国結果[3-5]（H27 国勢調査人口行政区統計データ）
- 総務省 国勢調査 / 令和 2 年国勢調査 / 人口等基本集計（主な内容：男女・年齢・配偶関係、世帯の構成、住居の状態、母子・父子世帯、国籍など）[3-6]（R2 国勢調査人口行政区統計データ）

3.2. 土地被覆データ

LCR の計算に必要となる市街地及び都市の面積（対象領域内の市街地が占める割合）に関するデータとして、JAXA の高解像度土地利用土地被覆図[3-7]（HRLULC Map: High-Resolution Land Use and Land Cover Map）の図表 3-1 に示す期間（バージョン）のデータを使用した。なお、LCR の試算において、JAXA HRLULC Map の分類カテゴリの内、人工構造物とソーラーパネルを市街地及び都市とする。

図表 3-1 JAXA 高解像度土地利用土地被覆図一覧

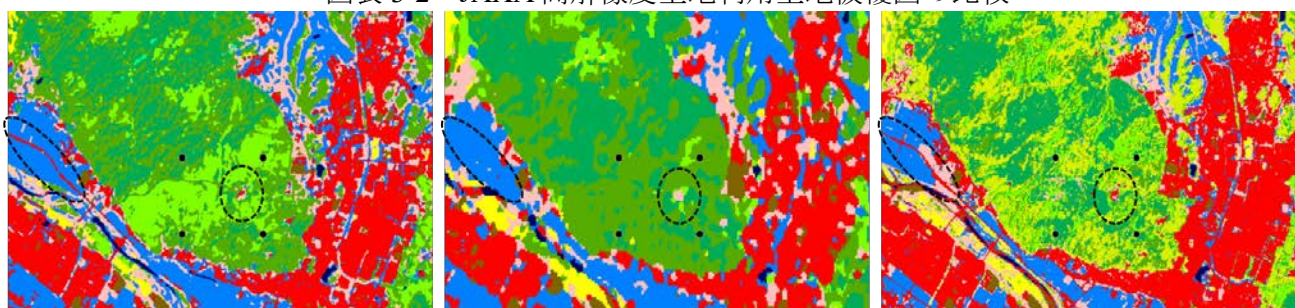
期間 (バージョン)	分解能	分類	全分類の全 体分類精度	人工構造物分類のプロ デューサー精度*
2006-2011 年 (ver.16.09)	10m	10 カテゴリ (水域、人工 構造物、水田、畑地、草 地、落葉広葉樹、落葉針 葉樹、常緑広葉樹、常緑 針葉樹、裸地)	78.0%	96.5%
2014-2016 年 (ver.18.03)	30m	10 カテゴリ (ver16.09 と 同じ)	81.62%	81.8%
2018-2020 年 (ver.21.11)	10m	12 カテゴリ (ver16.09 + 竹 林、ソーラーパネル)	88.85%	95.3%

*人工構造物の検証データ点の内、実際に人工構造物として分類できた割合を示す（再現率）。各バージョンのコンフュージョンマトリクスを元に計算。

JAXA HRLULC Map は、目視確認された検証データ点における土地被覆分類と衛星画像から自動分類された土地被覆分類を比較する精度検証が行われ、その結果は別紙 図表 A-1、図表 A-2、図表 A-3 で示す混同行列(コンフュージョンマトリクス)に整理され公開されている [3-8][3-9][3-10]。

JAXA HRLULC Map は対象の期間毎に分類に使用している衛星データが異なるため、図表 3-1 で示される通り、対象の期間毎に分解能と人工構造物に対する分類精度が異なっている。実際に、土地被覆図を期間毎に比較すると、図表 3-2 で見られるように、2006-2011 年 (Ver16.09) と 2018-2020 年 (ver.21.11) の土地被覆図で捉えられていた山間部や農地 (水田) に細かく分布する人工構造物が 2014-2016 年 (Ver18.03) では捉えられていない事例が確認された。このことから山間部や都市周辺部では解像度の違いによる人工構造物の検知/非検知の誤りが生じる可能性が考えられるため、LCR の試算に当たっては土地被覆図の分類精度を考慮した誤差評価が必要となる。

図表 3-2 JAXA 高解像度土地利用土地被覆図の比較



Ver16.09, 2006-2011年, 10m分解能

Ver18.03, 2014-2016年, 30m分解能

Ver21.09, 2018-2020年, 10m分解能

画像中の 4 点 (黒) は 3 次メッシュコード「2052364018」の 4 隅を示す。破線 (黒) で囲われた箇所で 2014-2016 年 (Ver18.03) のみ人工構造物 (赤) の分類が見られない。

3.3. 行政区境界データ

行政区単位の PGR 及び LCR を試算するにあたり、人口 3 次メッシュ統計データと土地被覆図を行政区毎に切り出すために、国土交通省 GIS ホームページ[3-11]から「国土交通省 国土数値情報 行政区データ (令和 3 年)」[3-12] (R3 行政区データ) を入手して使用した。

4. 誤差評価手法の構築

4.1. 都市母比率の 95%信頼区間

領域 w_i で指示される区画内での年 t における都市比率の 3 次メッシュ統計を $p_{t,i}$ とする。改訂前メタデータの(2.4)式の定義より、年 t における都市と分類される面積を $m_t(w_i)$ とすると、領域 w_i における t 年と $t+n$ 年との間の LCR は、

$$LCR(w) = \frac{\ln m_{t+n}(w_i) - \ln m_t(w_i)}{y} \quad (4.1)$$

となる。領域 w_i の面積を $A(w_i)$ とすると、年 t における領域内で都市と分類される面積 $m_t(w_i)$ は w_i 内の都市比率 $p_{t,i}$ により、

$$m_t(w_i) = A(w_i)p_{t,i} \quad (4.2)$$

と書き表される。(4.2)式を(4.1)式に代入することにより、元来都市面積の対数増加率で定義される LCR は、

$$LCR(w) = \frac{\ln(A(w_i)p_{t+n,i}) - \ln(A(w_i)p_{t,i})}{y} = \frac{\ln p_{t+n,i} - \ln p_{t,i}}{y} \quad (4.3)$$

となることから、都市比率の比の対数を使って領域 w_i の LCR を計算することが可能であることが分かる。

更に、 t 年の土地被覆図により識別された領域 w_i 内総ピクセル $N_{t,i}$ と都市識別ピクセル数 $n_{t,i}$ により計算される標本都市比率 $\tilde{p}_{t,i} = n_{t,i}/N_{t,i}$ により、都市母比率 $p_{t,i}$ を推計することを考える。このとき、十分大きな $N_{t,i}$ に対して二項分布 $B(p_{t,i}, N_{t,i})$ を正規分布 $N(N_{t,i}p_{t,i}, N_{t,i}p_{t,i}(1-p_{t,i}))$ で近似することができるので、都市母比率 $p_{t,i}$ の 95%信頼区間は以下で与えられる。

$$\tilde{p}_{t,i} - 1.96 \sqrt{\frac{\tilde{p}_{t,i}(1-\tilde{p}_{t,i})}{N_{t,i}}} \leq p_{t,i} \leq \tilde{p}_{t,i} + 1.96 \sqrt{\frac{\tilde{p}_{t,i}(1-\tilde{p}_{t,i})}{N_{t,i}}}$$

4.2. LCR の 95%信頼区間

ここで、任意の 2 回以上微分可能な連続関数 $f(x)$ に対して、 x_0 に比べて十分微小な誤差 ε_x がどのように誤差伝播するかについて考察してみる。変換 $z=f(x)$ の関係があつて、 $x = x_0 \pm \varepsilon_x$ のとき、 $z_0 = f(x_0)$ とする。このとき、 z の誤差伝播は $z = z_0 \pm \left. \frac{df}{dx} \right|_{x=x_0} \varepsilon_x$ となる。 $f(x) = \ln(x)$ とすると、 $\frac{d}{dx} \ln(x) = \frac{1}{x}$ なので、

$$\ln(x_0 \pm \varepsilon_x) = \ln(x_0) \pm \frac{\varepsilon_x}{x_0}$$

である。よって、年 $t+n$ と年 t との都市母比率をそれぞれ、 $p_{t+n,i}$ と $p_{t,i}$ として、95%信頼区間幅の半分をそれぞれ $\delta\alpha_{t+n,i}$ と $\delta\alpha_{t,i}$ することで、標本 LCR は、

$$\widetilde{LCR}(w_i) = \frac{\ln(p_{t+n,i} \pm \delta\alpha_{t+n,i}) - \ln(p_{t,i} \pm \delta\alpha_{t,i})}{y} = \frac{\ln(p_{t+n,i}) - \ln(p_{t,i})}{y} \pm \frac{1}{y} \left(\frac{\delta\alpha_{t+n,i}}{p_{t+n,i}} + \frac{\delta\alpha_{t,i}}{p_{t,i}} \right)$$

と記載される。ここで、母 LCR を

$$LCR(w_i) = \frac{\ln(p_{t+n,i}) - \ln(p_{t,i})}{y} \quad (4.4)$$

と記載することにより、母 LCR の 95%信頼区間は、

$$\widetilde{LCR}(w_i) - \frac{1}{y} \left(\frac{\delta\alpha_{t+n,i}}{p_{t+n,i}} + \frac{\delta\alpha_{t,i}}{p_{t,i}} \right) \leq LCR(w_i) \leq \widetilde{LCR}(w_i) + \frac{1}{y} \left(\frac{\delta\alpha_{t+n,i}}{p_{t+n,i}} + \frac{\delta\alpha_{t,i}}{p_{t,i}} \right) \quad (4.5)$$

と求められる。ここで、 $\delta\alpha_{t+n,i} = 1.96 \sqrt{\frac{p_{t+n,i}(1-p_{t+n,i})}{N_{t+n,i}}}$ 、 $\delta\alpha_{t,i} = 1.96 \sqrt{\frac{p_{t,i}(1-p_{t,i})}{N_{t,i}}}$ であることから、

$$\widetilde{LCR}(w_i) - \frac{1.96}{y} \left(\sqrt{\frac{1 - \widetilde{p}_{t+n,i}}{n_{t+n,i}}} + \sqrt{\frac{1 - \widetilde{p}_{t,i}}{n_{t,i}}} \right) \leq LCR(w_i) \leq \widetilde{LCR}(w_i) + \frac{1.96}{y} \left(\sqrt{\frac{1 - \widetilde{p}_{t+n,i}}{n_{t+n,i}}} + \sqrt{\frac{1 - \widetilde{p}_{t,i}}{n_{t,i}}} \right)$$

で求めることができる。ここで、標本 LCR は土地被覆図により識別された領域 w_i 内総ピクセル $N_{t,i}$ と都市と識別されたピクセル数 $n_{t,i}$ により

$$\widetilde{LCR}(w_i) = \frac{\ln(n_{t+n,i}/N_{t+n,i}) - \ln(n_{t,i}/N_{t,i})}{y} \quad (4.6)$$

で計算される。

4.3. 分類誤りを考慮した LCR の 95%信頼区間

SDG15.4.2[4-1]で用いた分類誤りの混同行列（コンフュージョンマトリックス）による補正方法を用いる。都市(1)/非都市(0)の2値分類に対する2×2混同行列から条件付き確率 $R(a|b)$ を算出することで、都市/非都市2値分類問題における都市被覆比率の分類誤り補正を行う。3次メッシュごとに都市/非都市の分類誤りを補正した LCR の 95%信頼区間を算出する。

図表 4-1 2値分類での都市と非都市の混同行列

コンフュージョン マトリックス	a/b	validated b	
		都市 (X=1)	非都市 (X=0)
classified a	都市 (X=1)	TP	FP
	非都市 (X=0)	FN	TN

図表 4-1 に示すように2値分類での混同行列を考える。 t 年における領域 w_i の真の都市母比率を $p_{t,i}$ とし、 $R_t(a|b)$ を実際の被覆(validated)は $b=\{1(\text{都市}), 0(\text{非都市})\}$ であるが、被覆分類データ(classified)上は $a=\{1(\text{都市}), 0(\text{非都市})\}$ である条件付き確率として定義する。条件付き確率の定義

$$R_t(a|b) = \frac{p_{AB,t}(a,b)}{p_{B,t}(b)} \quad (4.7)$$

から、条件付き確率 $R_t(a|b)$ の標本比率による点推定値は、

$$R_t(0|0) = \frac{TN_t}{FP_t + TN_t}, R_t(1|0) = \frac{FP_t}{FP_t + TN_t}$$

$$R_t(0|1) = \frac{FN_t}{TP_t + FN_t}, R_t(1|1) = \frac{TP_t}{TP_t + FN_t}$$

と求められる。(4.7)式から、

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

が成り立つので、特に、

$$p_A(1) = \sum_{b=0,1} R_t(a|b)p_B(b) = R_t(1|1)p_B(1) + R_t(1|0)p_B(0) \quad (4.8)$$

である。 t 年における領域 w_i の真の標本都市比率を $p_{t,i}$ とすると、 $p_B(1) = \hat{p}_{t,i}$, $p_B(0) = 1 - \hat{p}_{t,i}$ であるので、分類誤りを含んで観測される状況で算出される標本都市比率 $\tilde{p}_{t,i} = n_{t,i}/N_{t,i}$ は、

$$\tilde{p}_{t,i} = R_t(1|1)\hat{p}_{t,i} + R_t(1|0)(1 - \hat{p}_{t,i})$$

となる。よって、

$$\hat{p}_{t,i} = \frac{\tilde{p}_{t,i} - R_t(1|0)}{R_t(1|1) - R_t(1|0)} \quad (4.9)$$

により、分類誤りを含んで推計される標本比率から真の標本都市比率を補正するほうがよいかもしいない。ここで、 $\tilde{p}_{t,i} \geq R_t(1|0)$ である領域のみを推計対象とする。

更に、 $R_t(a|b)$ の混同行列からの推計は標本比率なので区間推定値がある。95%信頼区間は、

$$\frac{TN_t}{FP_t + TN_t} - 1.96 \sqrt{\frac{TN_t}{FP_t + TN_t} \left(1 - \frac{TN_t}{FP_t + TN_t}\right) / (FP_t + TN_t)} \leq R_t(0|0) \leq \frac{TN_t}{FP_t + TN_t} + 1.96 \sqrt{\frac{TN_t}{FP_t + TN_t} \left(1 - \frac{TN_t}{FP_t + TN_t}\right) / (FP_t + TN_t)} \quad (4.10)$$

$$\frac{FP_t}{FP_t + TN_t} - 1.96 \sqrt{\frac{FP_t}{FP_t + TN_t} \left(1 - \frac{FP_t}{FP_t + TN_t}\right) / (FP_t + TN_t)} \leq R_t(1|0) \leq \frac{FP_t}{FP_t + TN_t} + 1.96 \sqrt{\frac{FP_t}{FP_t + TN_t} \left(1 - \frac{FP_t}{FP_t + TN_t}\right) / (FP_t + TN_t)} \quad (4.11)$$

$$\frac{FN_t}{TP_t + FN_t} - 1.96 \sqrt{\frac{FN_t}{TP_t + FN_t} \left(1 - \frac{FN_t}{TP_t + FN_t}\right) / (TP_t + FN_t)} \leq R_t(0|1) \leq \frac{FN_t}{TP_t + FN_t} + 1.96 \sqrt{\frac{FN_t}{TP_t + FN_t} \left(1 - \frac{FN_t}{TP_t + FN_t}\right) / (TP_t + FN_t)} \quad (4.12)$$

$$\frac{TP_t}{TP_t + FN_t} - 1.96 \sqrt{\frac{TP_t}{TP_t + FN_t} \left(1 - \frac{TP_t}{TP_t + FN_t}\right) / (TP_t + FN_t)} \leq R_t(1|1) \leq \frac{TP_t}{TP_t + FN_t} + 1.96 \sqrt{\frac{TP_t}{TP_t + FN_t} \left(1 - \frac{TP_t}{TP_t + FN_t}\right) / (TP_t + FN_t)} \quad (4.13)$$

となる。

(4.9)式に(4.4)式と(4.11)式、(4.13)式を適用することにより、四則演算に対する誤差の伝播公式より、 t 年における領域 w_i の標本比率、混同行列から計算される条件付き確率をそれぞれ、

$$a_{t,i} = \tilde{p}_{t,i}, b_t = R_t(1|0), c_t = R_t(1|1)$$

と置き、 $\delta a_{t,i}, \delta b_t, \delta c_t$ をそれぞれ $\tilde{p}_{t,i}, R_t(1|0), R_t(1|1)$ の95%信頼区間幅の半分とすると、期間 t における領域 w_i の都市母比率 $p_{t,i}$ の信頼区間は以下で与えられる。

$$\frac{a_{t,i} - b_t}{c_t - b_t} \left(1 - \left(\frac{\delta a_{t,i} + \delta b_t}{a_{t,i} - b_t} + \frac{\delta c_t + \delta b_t}{c_t - b_t}\right)\right) \leq p_{t,i} \leq \frac{a_{t,i} - b_t}{c_t - b_t} \left(1 + \left(\frac{\delta a_{t,i} + \delta b_t}{a_{t,i} - b_t} + \frac{\delta c_t + \delta b_t}{c_t - b_t}\right)\right) \quad (4.14)$$

(4.4)式と(4.5)式に対して、それぞれ、(4.9)式と(4.14)式を当てはめる。ここで、

$$\hat{p}_{t+n,i} = \frac{a_{t+n,i} - b_{t+n}}{c_{t+n} - b_{t+n}}$$

$$\hat{p}_{t,i} = \frac{a_{t,i} - b_t}{c_t - b_t}$$

$$\delta\alpha_{t+n,i} = \frac{a_{t+n,i} - b_{t+n}}{c_{t+n} - b_{t+n}} \left(\frac{\delta a_{t+n,i} + \delta b_{t+n}}{a_{t+n,i} - b_{t+n}} + \frac{\delta c_{t+n} + \delta b_{t+n}}{c_{t+n} - b_{t+n}} \right)$$

$$\delta\alpha_{t,i} = \frac{a_t - b_t}{c_t - b_t} \left(\frac{\delta a_t + \delta b_t}{a_t - b_t} + \frac{\delta c_t + \delta b_t}{c_t - b_t} \right)$$

であるので、標本 LCR と母 LCR の 95%信頼区間は

$$\widetilde{LCR}(w_i) = \frac{\ln\left(\frac{a_{t+n,i} - b_{t+n}}{c_{t+n} - b_{t+n}}\right) - \ln\left(\frac{a_{t,i} - b_t}{c_t - b_t}\right)}{y} \quad (4.15)$$

$$\widetilde{LCR}(w_i) - \frac{1}{y} \left(\frac{\delta a_{t+n,i} + \delta b_{t+n}}{a_{t+n,i} - b_{t+n}} + \frac{\delta c_{t+n} + \delta b_{t+n}}{c_{t+n} - b_{t+n}} + \frac{\delta a_{t,i} + \delta b_t}{a_{t,i} - b_t} + \frac{\delta c_t + \delta b_t}{c_t - b_t} \right) \leq LCR(w_i) \leq \widetilde{LCR}(w_i) + \frac{1}{y} \left(\frac{\delta a_{t+n,i} + \delta b_{t+n}}{a_{t+n,i} - b_{t+n}} + \frac{\delta c_{t+n} + \delta b_{t+n}}{c_{t+n} - b_{t+n}} + \frac{\delta a_{t,i} + \delta b_t}{a_{t,i} - b_t} + \frac{\delta c_t + \delta b_t}{c_t - b_t} \right) \quad (4.16)$$

となる。

4.4. 改定後メタデータによる LCR 定義

改定後のメタデータ[2-2]である(2.2)式に従うと、領域 w_i の LCR は、

$$LCR(w_i) = \frac{m_{t+n}(w_i) - m_t(w_i)}{m_t(w_i)} \times \frac{1}{y} \quad (4.17)$$

として、(4.1)式に代わり定義される。ここで、 $m_{t+n}(w_i)$ と $m_t(w_i)$ は領域 w_i における $t+n$ 年の都市と分類される面積と t 年の都市と分類される面積である。ここで、 y は $t+n$ 年と t 年の間の年数である。(4.2)式を(4.17)式に代入することにより、

$$LCR(w_i) = \frac{A(w_i)p_{t+n,i} - A(w_i)p_{t,i}}{A(w_i)p_{t,i}} \times \frac{1}{y} = \frac{p_{t+n,i} - p_{t,i}}{p_{t,i}} \times \frac{1}{y} = \left(\frac{p_{t+n,i}}{p_{t,i}} - 1 \right) \times \frac{1}{y} \quad (4.18)$$

である。(4.18)式に(4.14)式を適用し、さらに、比の誤差伝搬公式

$$\frac{\alpha \pm \delta\alpha}{\beta \pm \delta\beta} = \frac{\alpha}{\beta} \left(1 \pm \left(\frac{\delta\alpha}{\alpha} + \frac{\delta\beta}{\beta} \right) \right)$$

を使うことにより

$$\widetilde{LCR}(w_i) \pm \delta = \left(\frac{p_{t+n,i} \pm \delta p_{t+n,i}}{p_{t,i} \pm \delta p_{t,i}} - 1 \right) \times \frac{1}{y} = \left(\frac{p_{t+n,i}}{p_{t,i}} \left(1 \pm \left(\frac{\delta p_{t+n,i}}{p_{t+n,i}} + \frac{\delta p_{t,i}}{p_{t,i}} \right) \right) - 1 \right) \times \frac{1}{y} = \left(\frac{(a_{t+n,i} - b_{t+n})(c_t - b_t)}{(c_{t+n} - b_{t+n})(a_t - b_t)} \left(1 \pm \left(\frac{\delta a_{t+n,i} + \delta b_{t+n}}{a_{t+n,i} - b_{t+n}} + \frac{\delta c_{t+n} + \delta b_{t+n}}{c_{t+n} - b_{t+n}} + \frac{\delta a_{t,i} + \delta b_t}{a_{t,i} - b_t} + \frac{\delta c_t + \delta b_t}{c_t - b_t} \right) \right) - 1 \right) \times \frac{1}{y} \quad (4.19)$$

となるので、LCR の 95%信頼区間は以下で与えられる。

$$\left(\frac{(a_{t+n,i} - b_{t+n})(c_t - b_t)}{(c_{t+n} - b_{t+n})(a_t - b_t)} \left(1 - \left(\frac{\delta a_{t+n,i} + \delta b_{t+n}}{a_{t+n,i} - b_{t+n}} + \frac{\delta c_{t+n} + \delta b_{t+n}}{c_{t+n} - b_{t+n}} + \frac{\delta a_{t,i} + \delta b_t}{a_{t,i} - b_t} + \frac{\delta c_t + \delta b_t}{c_t - b_t} \right) \right) - 1 \right) \times \frac{1}{y} \leq LCR(w_i) \leq \left(\frac{(a_{t+n,i} - b_{t+n})(c_t - b_t)}{(c_{t+n} - b_{t+n})(a_t - b_t)} \left(1 + \left(\frac{\delta a_{t+n,i} + \delta b_{t+n}}{a_{t+n,i} - b_{t+n}} + \frac{\delta c_{t+n} + \delta b_{t+n}}{c_{t+n} - b_{t+n}} + \frac{\delta a_{t,i} + \delta b_t}{a_{t,i} - b_t} + \frac{\delta c_t + \delta b_t}{c_t - b_t} \right) \right) - 1 \right) \times \frac{1}{y} \quad (4.20)$$

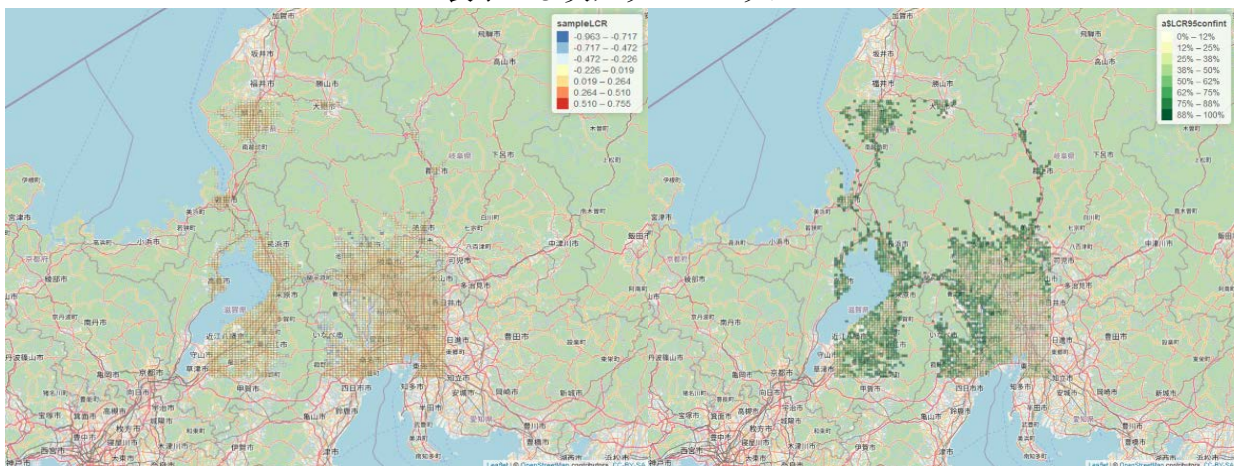
4.5. 評価・検証

実際に 4.3 節で導出した(4.15)式、(4.16)式の標本 LCR と 95%信頼区間を実際のデータを使って計算する。この計算を行うために JAXA HRLULC Map[3-7]の Ver16.09(2006 年-2011 年)と Ver18.03(2014 年-2016 年)に対する混同行列公表値[3-8][3-9]を基に、都市と非都市の 2 値分類混同行列を導出し、そこから条件付き確率 $R_t(1|0)$ と $R_t(1|1)$ の点推定値、95%信頼区間幅を算出した。図表 4-2 にそれぞれの期間に対する条件付き確率を示す。また、図表 4-3 は N35E136 タイルについて標本 LCR と 95%信頼区間幅を計算した結果を示す。

図表 4-2 (左)Ver16.09(2006 年-2011 年) と(右)Ver18.03(2014 年-2016 年)に対する条件付き確率 $R_t(1|0)$ と $R_t(1|1)$ の点推定値と 95%信頼区間幅

	Ver16.09(2006 年-2011 年)		Ver18.03(2014 年-2016 年)		
	点推定値	95%信頼区間幅		点推定値	95%信頼区間幅
$R_t(1 0)$	0.005937235	0.004385289	$R_{t+n}(1 0)$	0.01832061	0.005135234
$R_t(1 1)$	0.9652174	0.02368022	$R_{t+n}(1 1)$	0.8178808	0.04352868

図表 4-3 N35E136 タイルにおける (左) 標本 LCR(補正值)と (右) 95%信頼区間幅の 8 分位点表示の 3 次メッシュマップ

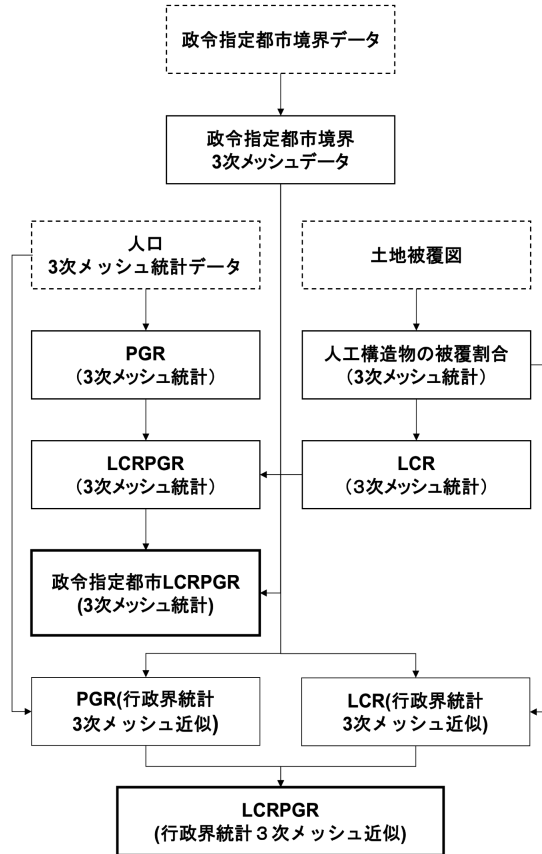


5. 3 次メッシュでの試算・検証

5.1. SDG11.3.1 の 3 次メッシュ可視化アプリケーション

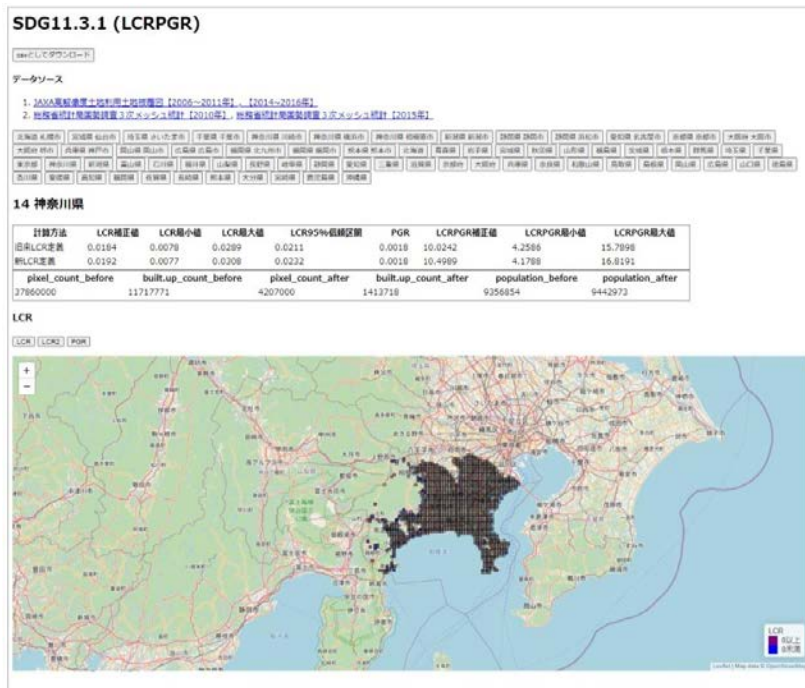
図表 5-1 に示す計算のプロセスに従い、JAXA HRLULC Map[3-7]から LCR (3 次メッシュ統計) を、総務省 国勢調査人口 3 次メッシュ統計データ[3-2][3-3]から PGR (3 次メッシュ統計) を算出するアルゴリズムを構築した。このアルゴリズムを組み込んだアプリケーションを JST 未来社会創造事業「自律分散的世界メッシュ統計基盤アーキテクチャの設計と実証」において試作中の MESHSTATS 上で開発した。

図表 5-1 LCRPGR (3次メッシュ統計) の計算プロセス概要



このアプリケーションは、一般社団法人世界メッシュ研究所より算出した指標値とともにオープンデータ・オープンソースとして公開している[5-1]。このアプリケーションを利用することにより、図表 5-2 に示すように、3次メッシュ統計レベルで LCRPGR 指標を算出・可視化するとともに、行政区画での合算も可能である。

図表 5-2 LCRPGR 指標可視化アプリケーション



5.2. 突合分析

3次メッシュレベルで算出した LCR の妥当性を検証するため、異なるデータ収集方法で作成された土地建物年代に関するデータとの突合分析を行った。利用したデータは三井住友海上提供火災保険業務データ由来の郵便番号別の建物年代、面積データ統計データ[5-2]である。図表 5-3 は三井住友海上火災保険業務データ由来の郵便番号別建物年代データを3次メッシュへ近似変換して得た、2010年代建設着工された建物数と3次メッシュレベル LCR (補正值) のメッシュマップである。

図表 5-3 (左) 2010年代着工の建物個数の3次メッシュデータと(右) LCR(補正值)の3次メッシュデータのメッシュマップ

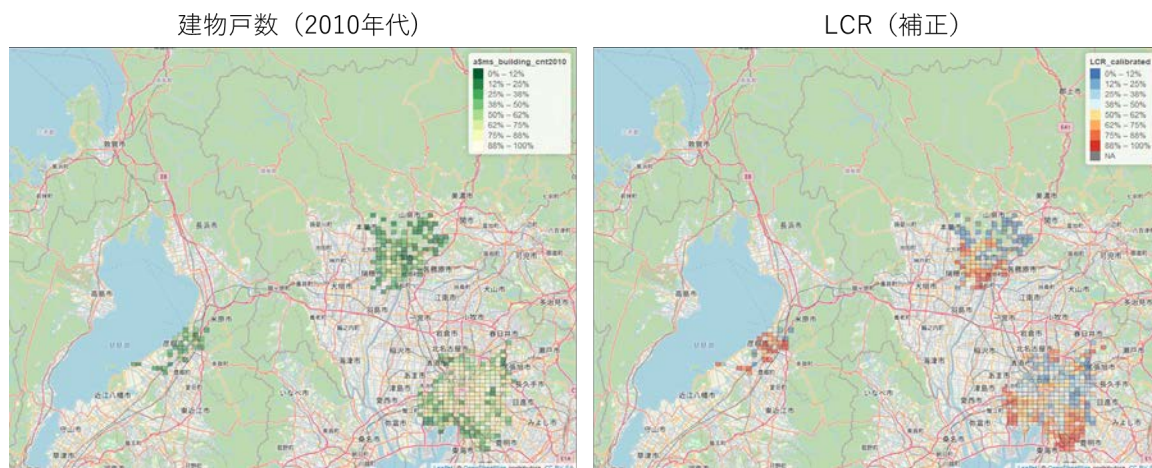


図 5-4 2010年代新築建物個数の3次メッシュデータと LCR(補正值)の3次メッシュデータの散布図

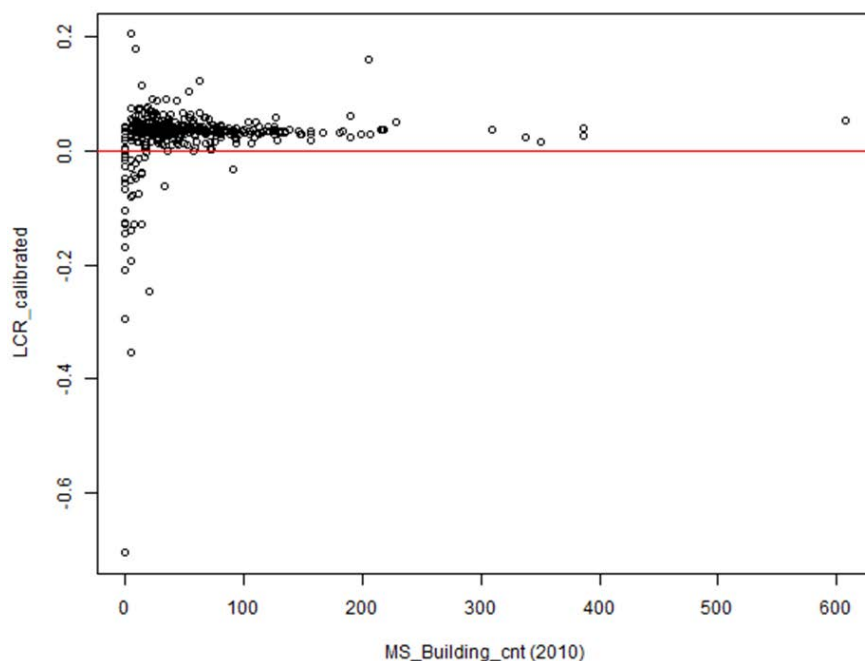


図 5-4 は三井住友海上提供建物面積年代統計データから得られた 2010 年代着工建物個数の 3 次メッシュデータと 3 次メッシュレベル LCR（補正值）の散布図である。この散布図から LCR（補正值）が 0 以上の 3 次メッシュの 98.28%において 2010 年代に新築された建物が存在していることが分かった。

分類誤りを考慮した標本 LRC の補正と 95%信頼区間の算出するために、国土交通省国土政策局国土政策課国土数値情報公示地価データ（2010 年、2015 年、2020 年）の住宅位置座標[5-3]と、JAXA HRLULC Map(2006-2011 年、2014-2016 年、2018-2020 年)との突合分析により算出した混同行列（別紙 図表 A-4、図表 A-5、図表 A-6）から計算される条件付き確率を用いる。

図表 5-5 に示す $R_t(1|0)$ 、 $R_t(1|1)$ とそれぞれの 95%信頼区間幅の計算値を用い、(4.15)式、(4.16)式と(4.18)式、(4.20)式により計算を行った。

図表 5-5 国土交通省地価公示(2010 年、2015 年、2020 年)と JAXA HRLULC Map(2006-2011 年、2014-2016 年、2018-2020 年)との突合分析により算出した $R_t(1|0)$ 、 $R_t(1|1)$

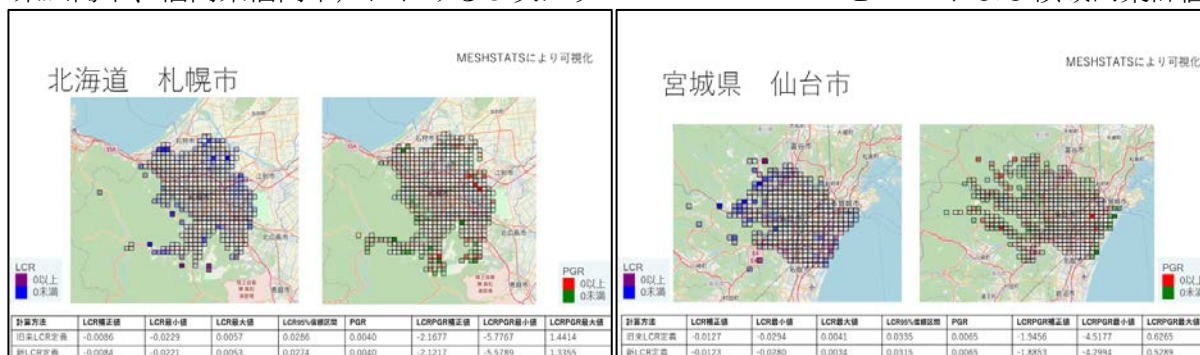
		点推定値	95%信頼区間幅
2006-2011年	$R_t(1 0)$	0.00594	0.00439
	$R_t(1 1)$	0.89135	0.00364
2014-2016年	$R_t(1 0)$	0.01832	0.00514
	$R_t(1 1)$	0.86368	0.00437
2018-2020年	$R_t(1 0)$	0.00801	0.00369
	$R_t(1 1)$	0.94365	0.00279

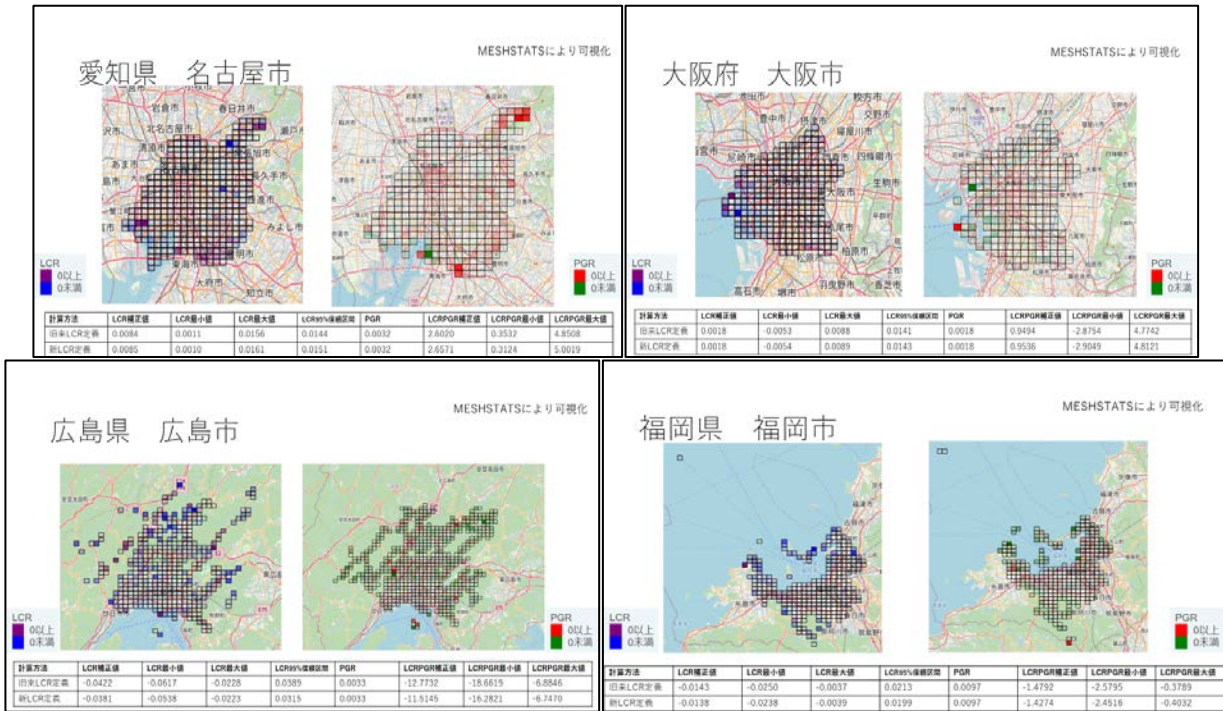
以降の推計計算では、分類誤りを補正するために使用する混同行列から算出される条件付き確率として、図表 5-5 に示す、 $R_t(1|0)$ 、 $R_t(1|1)$ を用いた。

5.3. 全国 3 次メッシュレベルでの推計

次に、3 次メッシュレベルで PGR と LCR の誤差評価を人口集中 7 都市で検証を行う。図表 5-6 は北海道札幌市、宮城県仙台市、愛知県名古屋市、大阪府大阪市、広島県広島市、福岡県福岡市における 3 次メッシュの LCR と PGR の可視化結果と、その領域内集計値である。

図表 5-6 7 大都市圏（北海道札幌市、宮城県仙台市、愛知県名古屋市、大阪府大阪市、広島県広島市、福岡県福岡市）における 3 次メッシュレベルの LCR と PGR および領域内集計値



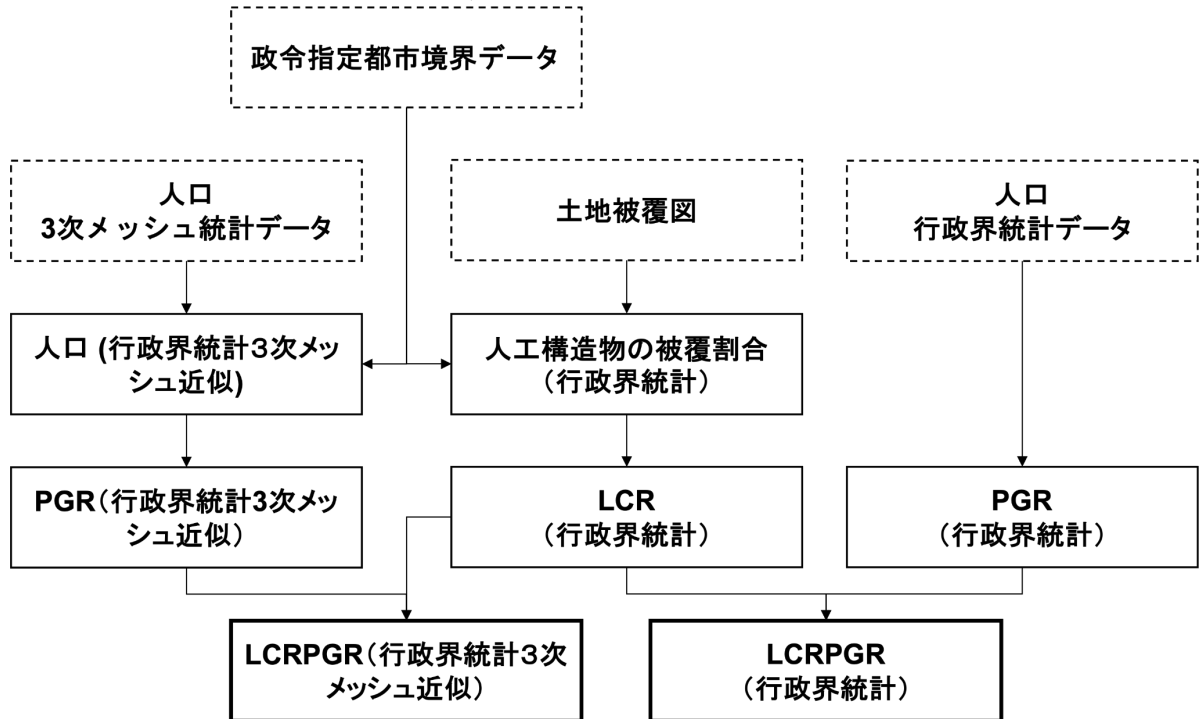


6. 政令指定都市での試算・検証

6.1. 計算プロセス

我が国の主要都市のLCRPGRを比較するために、各地方を代表する主要都市として別紙図表A-7に示す政令指定都市20都市を対象として、各都市のLCR、PGR及びLCRPGRを3章で述べたデータを用いて、以下の手順（図表6-1）に従って計算を行った。なお、LCRの計算に当たっては(4.16)式、(4.20)式及び、図表5-5の値を用いて、標本LCRと95%信頼区間幅を計算した。

図表 6-1 政令指定都市のLCRPGR計算プロセスの概念図

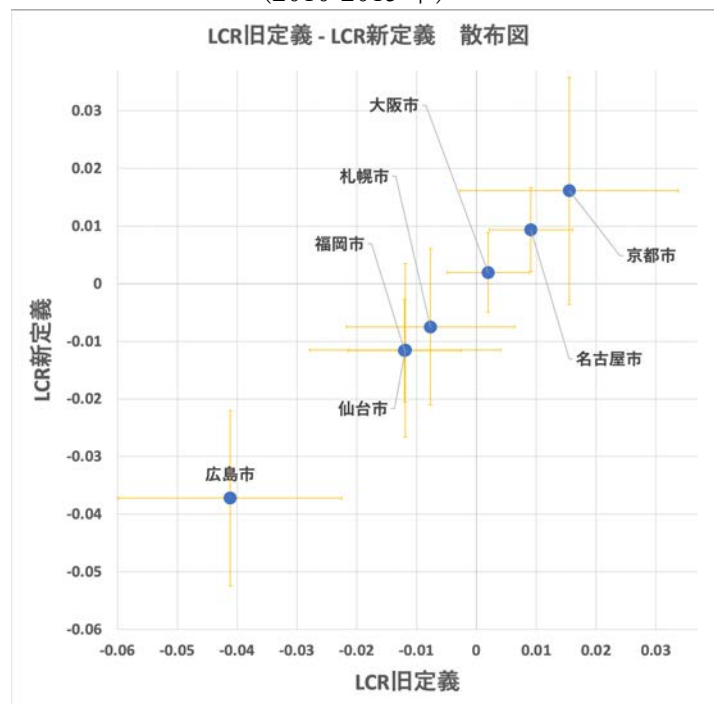


- 手順(6-1) 国土交通省 国土数値情報 行政区域データ (令和 3 年) [3-12]から各政令指定都市の境界データを作成
- 手順(6-2) 総務省 H22 国勢調査人口 3 次メッシュ統計データ[3-2]、H27 国勢調査人口 3 次メッシュ統計データ[3-3]と手順(6-1)の結果を用いて、各政令指定都市境界内の人口総数を計算
- 手順(6-3) 手順(6-2)の結果を用いて PGR (行政界統計 3 次メッシュ近似) を計算 (1 期間 : 2010-2015 年)
- 手順(6-4) 総務省 H22 国勢調査人口行政界統計データ[3-4]、H27 国勢調査人口行政界統計データ[3-5]、R2 国勢調査人口行政界統計データ[3-6]から取得した政令指定都市の総人口を用いて、PGR (行政界統計) を計算 (2 期間 : 2010-2015 年、2015-2020 年)
- 手順(6-5) JAXA JAXA HRLULC Map[3-7]と手順(6-1)の結果を用いて、政令指定都市境界内の全ピクセル数に対する人工構造物 (2020 年はソーラーパネルの分類を含む) のピクセル数の割合を計算
- 手順(6-6) 手順(6-5)の結果を用いて LCR (行政境統計) を計算 (2 期間 : 2010-2015*、2015-2020 年)
*2010-2015 年の期間については新旧両方の LCR 計算式で計算
- 手順(6-7) 手順(6-3)と手順(6-6)の結果を用いて LCRPGR (行政界統計 3 次メッシュ近似) を計算
- 手順(6-8) 手順(6-4)と手順(6-6)の結果を用いて LCRPGR (行政界統計) を計算

6.2. LCR 新旧定義の比較

6.1 項の計算プロセス手順(6-6)で得られた LCR (行政界統計) について、代表的な都市の LCR 補正值について、LCR 旧定義-LCR 新定義の二軸を用いた散布図にプロットした結果を図表 6-3 に示す。LCR 新旧定義において点推定値はほぼ同じ値となることが確認された。更に、LCR 新旧定義における 95%信頼区間幅については、LCR 新定義の値の方が LCR 旧定義よりも僅かに大きい値を示すことが確認された。

図表 6-3 代表的な政令指定都市の LCR 旧定義-LCR 新定義散布図 (2010-2015 年)



エラーバーは LCR 新旧定義における 95%信頼区間幅を示す。

6.3. 境界条件の比較・評価

政令指定都市等の行政単位での LCR（行政界統計 3 次メッシュ近似）、PGR（行政界統計 3 次メッシュ近似）を計算する際に、図表 6-4 で示す A、B の 2 つの異なる境界条件が考えられる。A は行政区画領域内のピクセルまたはグリッドを利用してポリゴン集計の近似値とする方式である。B は行政区画領域と重複を有するピクセルまたはグリッドを利用してポリゴン集計値の近似値とする方式である。実際の集計値はこれらの値の間に必ず位置している。

図表 6-4 PGR の境界条件の比較



A：行政区境界内にピクセル/グリッドの中心が位置する土地被覆図及び3次メッシュ人口データを計算対象とする

B：行政区境界内及び境界と交差を有する3次メッシュ毎に集計された土地被覆図及び3次メッシュ人口データを計算対象とする。

本紙の試算・検証においては、5.1 項で得られた LCR（行政界統計 3 次メッシュ近似）、PGR（行政界統計 3 次メッシュ近似）は境界条件 B を、6.1 項で得られた LCR（行政界統計 3 次メッシュ近似）、PGR（行政界統計 3 次メッシュ近似）は境界条件 A を用いて計算されている。これらの計算結果について、代表都市として神奈川県と福岡県で比較した結果を図表 6-5 に示す。

図表 6-5 境界条件の比較結果（上：神奈川県、下：福岡県）

神奈川県							
	国勢調査2010	https://www.e-stat.go.jp/stat-search/file-download?statInfId=000012660889&fileKind=0					
	国勢調査2015	https://www.e-stat.go.jp/stat-search/file-download?statInfId=000031495550&fileKind=0					
境界条件	LCR補正值	LCR最小値	LCR最大値	PGR	LCRPGR補正值	LCRPGR最小値	LCRPGR最大値
A	0.01996499	0.008768204	0.03116177	0.001705654	11.70518	5.140671	18.26969
B	0.0192	0.0077	0.0308	0.0018	10.4989	4.1788	16.8191

神奈川県人口：9048000 (2010), 9126000 (2015), PGR = 0.001716749

境界条件	pixel_count_before	built_up_count_before	pixel_count_after	built_up_count_after	population_before	population_after
A	34527477	11380055	3836380	1374150	8950887	9027549
B	37860000	11717771	4207000	1413718	9356854	9442973

Bは、3次メッシュごとに集計された値使いを都道府県境界に含まれるメッシュで集計

福岡県							
	国勢調査2010	https://www.e-stat.go.jp/stat-search/file-download?statInfId=000012660889&fileKind=0					
	国勢調査2015	https://www.e-stat.go.jp/stat-search/file-download?statInfId=000031495550&fileKind=0					
境界条件	LCR補正值	LCR最小値	LCR最大値	PGR	LCRPGR補正值	LCRPGR最小値	LCRPGR最大値
A	-0.01215291	-0.03382473	-0.003805619	0.001194026	-15.75776	-28.3283	-3.187215
B	-0.0202	-0.0361	-0.0043	0.0011	-18.9223	-33.7963	-4.0483

福岡県人口：5072000 (2010), 5102000 (2015), PGR = 0.001179481

境界条件	pixel_count_before	built_up_count_before	pixel_count_after	built_up_count_after	population_before	population_after
A	69694845	12370110	7743857	1290936	5007024	5037006
B	76395000	12501814	8488850	1304583	5099268	5126575

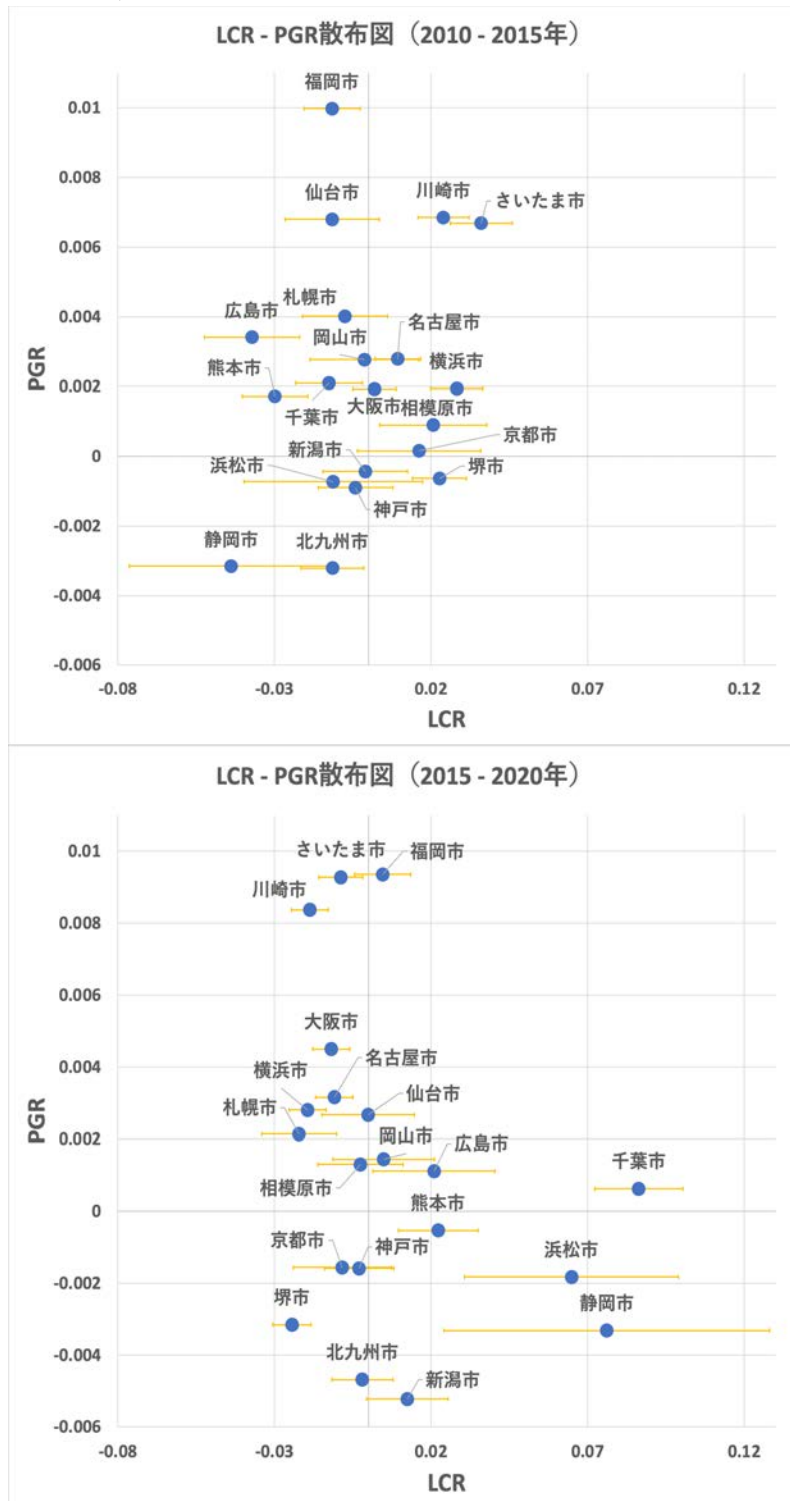
Bは、3次メッシュごとに集計された値使いを都道府県境界に含まれるメッシュで集計

図表 6-5 が示す通り、境界条件の計算方法が異なることから LCRPGR 補正值、LCRPGR 最小値、LCRPGR 最大値は若干異なるものの、おおよそ同じオーダーの値を示した。A と B の境界条件での計算に当たっては異なる 2 つのプログラムを実装し計算結果を出力していることから、両方式ともに計算ロジック上の誤りはないと判断した。

6.4. LCRPGR 二期間の比較

6.1 項の計算プロセス手順(6-4)、(6-6)で得られた、PGR（行政界統計）、LCR（行政界統計）補正値の二期間（2010-2015年、2015-2020年）の結果について、LCR-PGRの二軸を用いた散布図にプロットした結果を図表 6-6 に示す。（計算結果の一覧は別紙 図表 A-8、図表 A-9 に示す）

図表 6-6 政令指定都市の LCR-PGR 散布図（上：2010-2015年、下：2015-2020年）

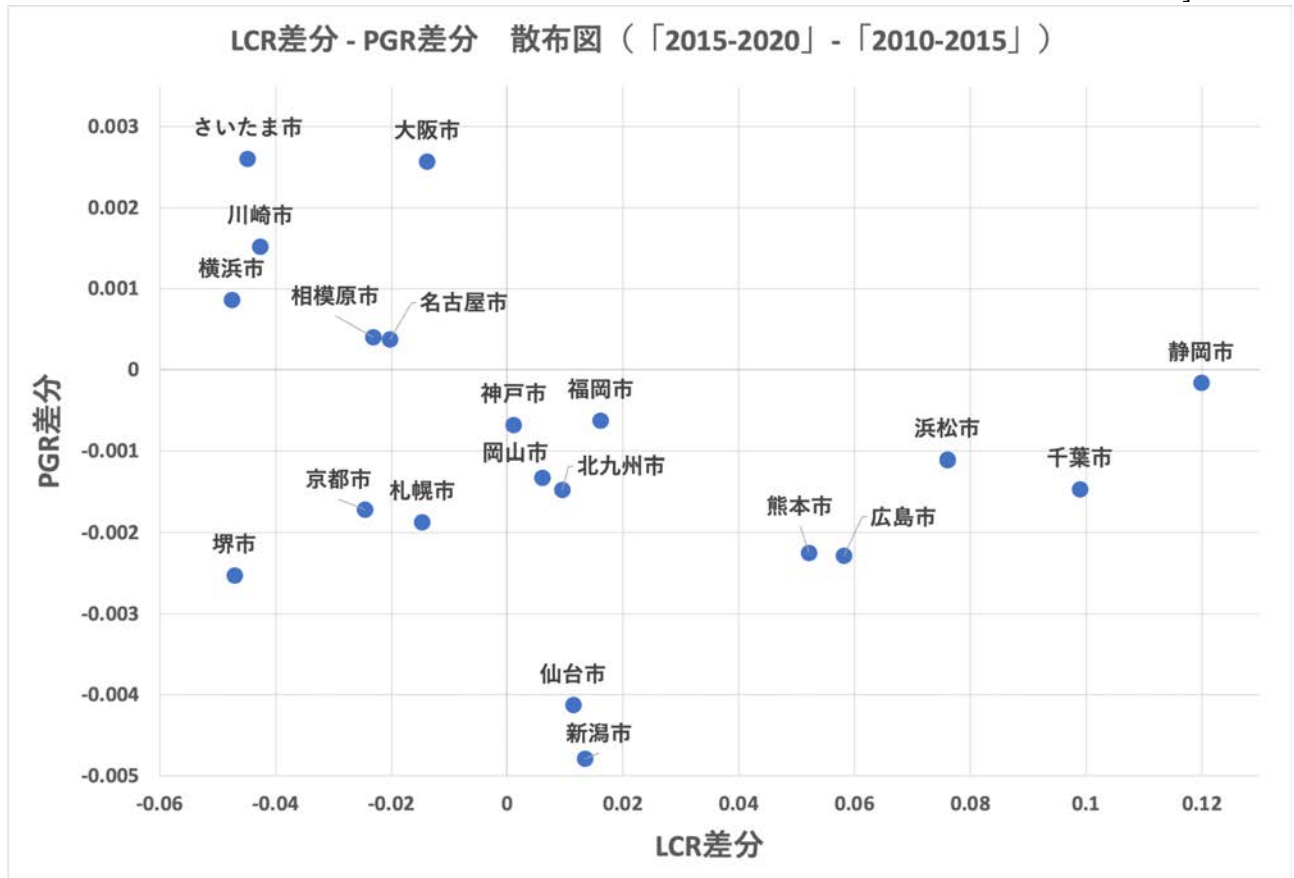


エラーバーは LCR 補正値の 95%信頼区間幅を示す

図表 6-6 が示す通り、LCR が正、PGR が負を示す都市について、2010-2015 年では堺市のみが該当するのに対して、2015-2020 年では、新潟市、浜松市、静岡市、熊本市の 4 都市が該当するなど、傾向の変化が確認された。

二期間の変化の傾向を把握するため、2010-2015 年と 2015-2020 年の二期間における LCR（行政界統計）補正值の差分と PGR（行政界統計）補正值の差分を、LCR-PGR の二軸の散布図にプロットしたものを図表 6-7 に示す。

図表 6-7 政令指定都市の LCR 差分-PGR 差分散布図（「2015-2020 年」 - 「2010-2015 年」）



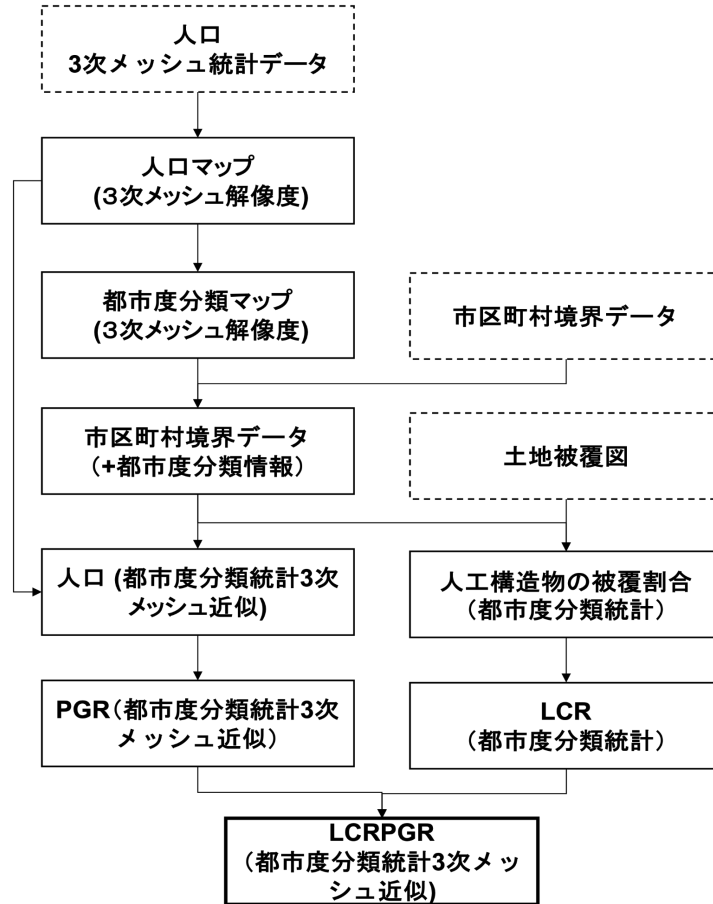
図表 6-7 が示す通り、政令指定都市毎の LCR、PGR の変化の傾向を比較することが可能であることが確認されると共に、LCR 補正值と PGR 補正值が共に増加する傾向を示す政令指定都市が無いことが確認された。

7. 都市度分類での試算・検証

7.1. 計算プロセス

SDG11.3.1 のメタデータ[1-1]では、LCR/PGR の計算対象範囲を単一の行政区境界のみではなく、3 次メッシュレベルでの人口密度を用いた都市領域の設定手法の利用が提案されている[7-1]。本紙では以下の手順（図表 7-1）で日本全域の都市度分類を行った上で LCR/PGR の計算を行った。なお、LCR の計算に当たっては(4.20)式と図表 5-5 の値を用いて、標本 LCR と 95%信頼区間幅を計算した。

図表 7-1 政令指定都市の LCRPGR 計算プロセスの概念図



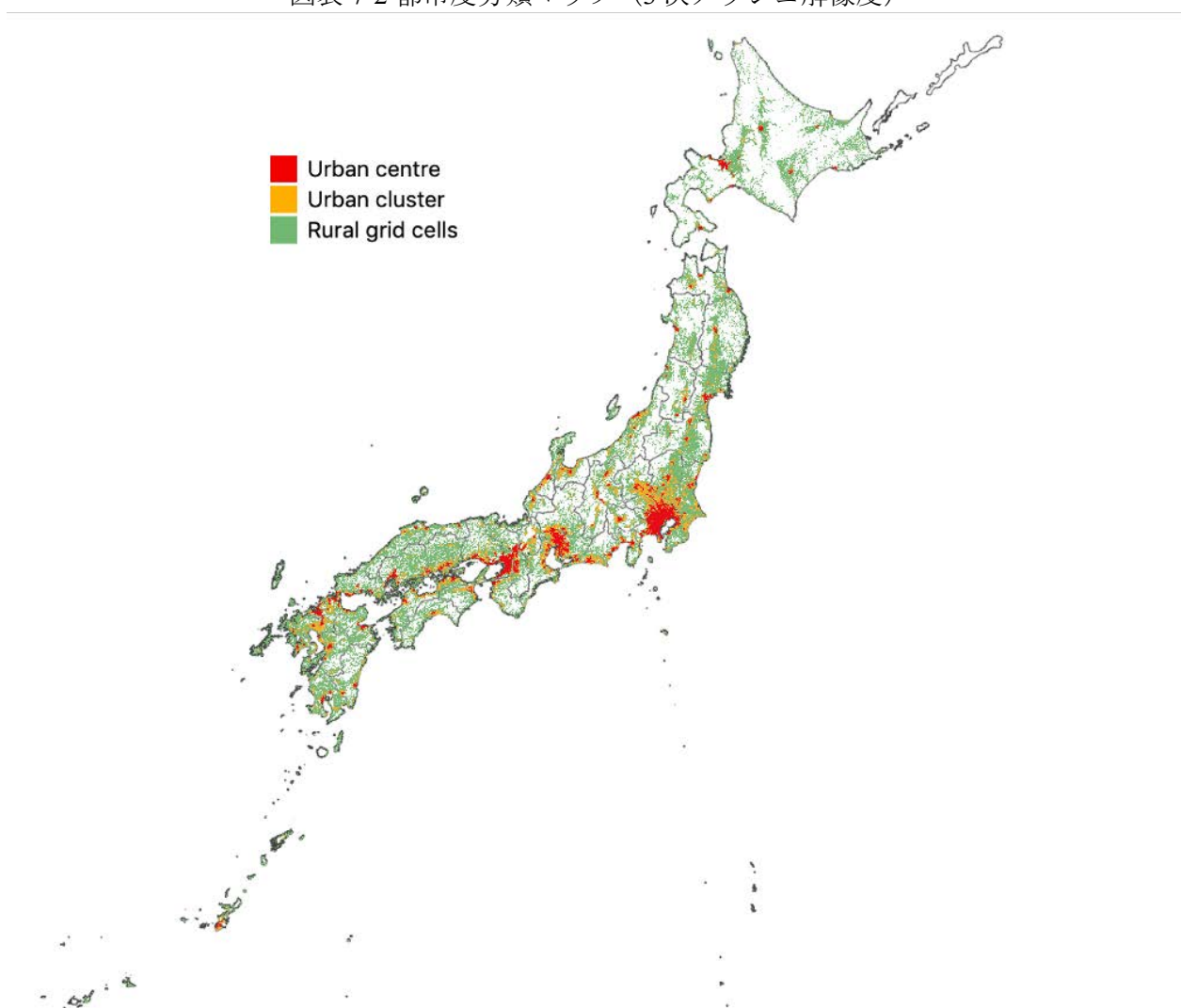
- 手順(7-1) 総務省 H22 国勢調査人口 3 次メッシュ統計データ[3-2]、H27 国勢調査人口 3 次メッシュ統計データ[3-3]を用いて 3 次メッシュ解像度の全国の人口マップを作成
- 手順(7-2) 手順(7-1)で得られた人口マップ (H27) を 3 次メッシュ単位で以下の条件で 3 つのカテゴリに分類：
- 1 **Urban centre** :
人口密度 1,500 人/km²以上の隣接 (4 隣接を使用) する人口グリッドセルで、対象領域内の合計人口が 50,000 人以上
 - 2 **Urban cluster** :
人口密度 300 人/km²以上の隣接する人口グリッドセルで、対象領域内の合計人口が 5,000 人以上 (urban centre の領域を内包する)
 - 3 **Rural grid cells** :
Urban cluster に属しない残りの人口グリッドセル
- 手順(7-3) 手順(7-2)で得られた都市度分類マップと国土交通省 国土数値情報 行政区域データ (令和 3 年) [3-12]の市区町村の行政区境界を用いて、以下の条件で全国の市区町村を 3 つのカテゴリに分類：
- 1 **Cities (or densely populated areas)** :
Urban centre グリッドの総人口が境界内の総人口の 50%以上。
 - 2 **Towns and semi-dense areas(or intermediate density areas)** :
Urban centre の総人口が境界内の総人口の 50%未満、且つ、Rural grid cells の総人口が境界内の総人口の 50%未満
 - 3 **Rural areas (or thinly populated areas)** :
Rural grid cells の総人口が境界内の総人口の 50%以上

- 手順(7-4) 手順(7-1)の結果と手順(7-3)の結果を用いて、Cities と Towns and semi-dense areas と分類された市区町村の人口総数を計算
- 手順(7-5) 手順(7-4)の結果を用いて、PGR（都市度分類統計3次メッシュ近似）を計算
- 手順(7-6) JAXA HRLULC Map[3-7]と手順(7-3)の結果を用いて、Cities と Towns and semi-dense areas と分類された市区町村の人工構造物の被覆割合を計算
- 手順(7-7) 手順(7-6)の結果を用いて、LCR（都市度分類統計）を計算
- 手順(7-8) 手順(7-5)と手順(7-7)の結果を用いて、LCRPGR（都市度分類統計3次メッシュ近似）を計算

7.2. 都市度分類結果及び都市度分類毎の LCRPGR

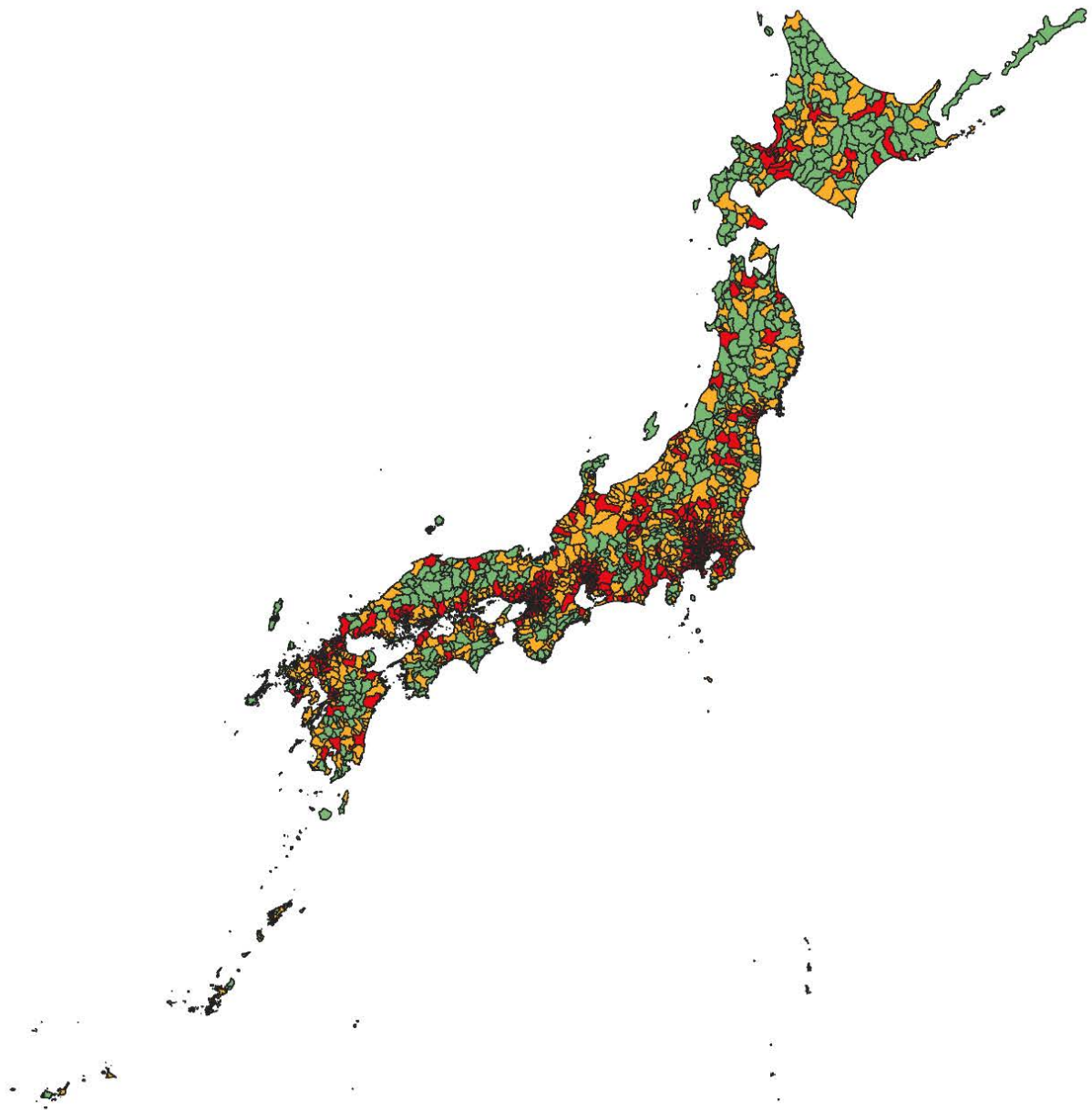
図表 7-2 に都市度分類マップ（3次メッシュ解像度）を、図表 7-3 に市区町村の都市度分類結果を示す。

図表 7-2 都市度分類マップ（3次メッシュ解像度）



赤色は Urban centre、橙色は Urban cluster、緑色は Rural grid cells、白色は人口数 0 の 3 次メッシュを示す。

図表 7-3 市区町村の都市度分類結果

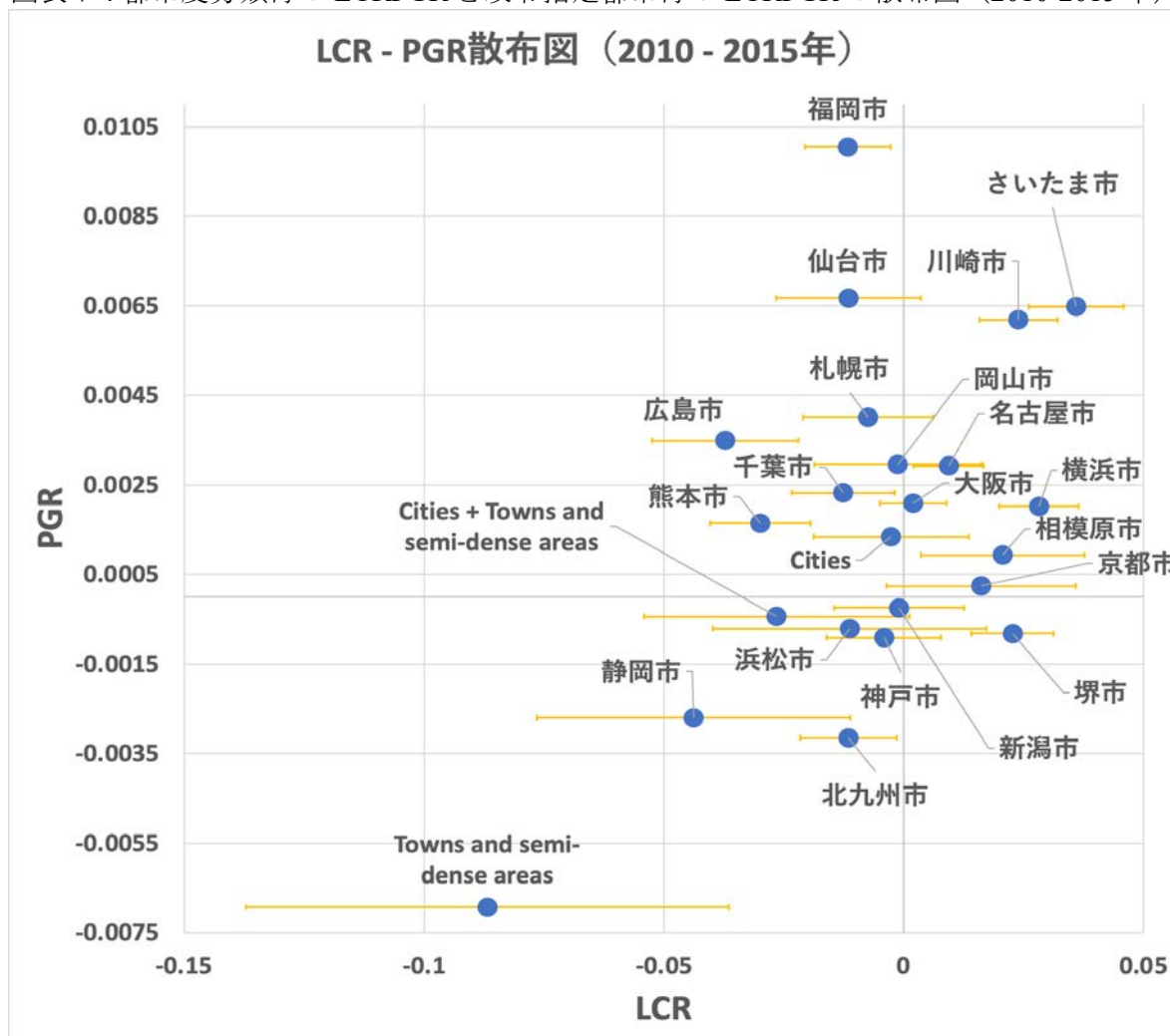


赤色は Cities (or densely populated areas)、橙色は Towns and semi-dense areas(or intermediate density areas)、緑色は Rural areas (or thinly populated areas)を示す

図表 7-2 が示すように、Urban centre や Urban cluster の 3 次メッシュは政令指定都市等の大都市周辺に多く分布することがわかる。一方、図表 7-3 が示すように、市区町村単位での分類においては、最も都市化が進んでいる分類である Cities (or densely populated areas)は、政令指定都市周辺に多く分布しつつも、地方にも分布していることが確認された。また、Towns and semi-dense areas(or intermediate density areas)は Cities (or densely populated areas)の周辺に加え地方にも広く分布していることが確認された。

次に、LCR（都市度分類統計）と PGR（都市度分類統計 3 次メッシュ近似）の値を、6.1 項で得られた 2010-2015 年の期間の政令指定都市の LCR（行政界統計）、PGR（行政界統計 3 次メッシュ近似）と共に、LCR-PGR の二軸の散布図にプロットした結果を図表 7-4 に示す。また、計算結果の一覧については別紙 図 A-10 に示す。

図表 7-4 都市度分類毎の LCRPGR と政令指定都市毎の LCRPGR の散布図（2010-2015 年）



エラーバーは LCR 補正值の 95%信頼区間幅を示す。

図表 7-4 が示す通り、都市度分類 Cities は政令指定都市の平均的な値を示す一方で、都市度分類 Towns and semi-dense areas は LCR と PGR 共に大きく負の値を示すことが確認された。これらの傾向は図表 7-3 で見られた、Cities が政令指定都市周辺に多く分布し、Towns and semi-dense areas が比較的的地方に多く分布する傾向と整合することが確認された。

8. まとめ

本紙の試算・検証において、2021 年 3 月の改訂前後のメタデータ[2-2]に基づき、JAXA の高解像度土地利用土地被覆図と総務省 3 次メッシュ人口データ、人口統計情報を用いて、3 次メッシュ、政令指定都市、都市度分類毎に人口増加率と土地利用率の比率（LCRPGR）を試算できることを確認した。

指標試算にあたり、都市母比率の統計誤差と土地被覆図の分類誤りについて、95%信頼区間を計算する誤差評価式を構築し、LCR、PGR、LCRPGR の補正值、95%信頼区間最小値・最大値が計算できることを確認した。

都市/非都市の条件付き確率の 95%信頼区間を狭め、LCR の 95%信頼区間を狭めることを目的に、都市正解データと土地被覆図を突合して標本数を増やした結果、都市/非都市の条件付き確率の 95%信頼区間を狭められることを確認した。

メタデータの改訂前後の指標の計算結果を比較した結果、LCR 新旧定義において点推定値はほぼ

同じ値となることが確認された。更に、LCR 新旧定義における 95%信頼区間幅については、LCR 新定義の値の方が LCR 旧定義よりも僅かに大きい値を示すことが確認された。

境界条件の取り扱いにより LCR、PGR の計算結果が変わるものの、同じオーダーの値を出力することを確認できた。また、使用する人口データ（人口行政界統計データと人口 3 次メッシュ統計データ）によっても PGR の計算結果が変わるものの、同じオーダーの値を出力することを確認できた。さらに、計算リソースの観点から、指標の試算検討・計算の範囲を拡大する場合など、3 次メッシュデータによる近似的な指標の計算の有用性も確認ができた。

UN-Habitat が公表する我が国における LCRPGR の値は、対象の地域・都市が限定的であり、また対象領域内の全体をカバーするような LCR、PGR の空間的分布の情報がないため、都市間の俯瞰的な比較あるいは都市内の局所的な分析の観点から我が国の人口と土地利用の状況を把握するには十分ではなかった。今回の試算・検証により、我が国独自の地球観測衛星によるデータ、地理空間情報及び 3 次メッシュ人口データを用いて、ほぼ全ての可住地に対する 3 次メッシュレベルにおける LCR、PGR、LCRPGR の値を点推定値、95%信頼区間推定値で算出できた。これによって、任意の行政区域や商業圏における人口動態と土地利用状況の把握が可能となり、政策や商業活動の意思決定等に対する際に、LCR、PGR、LCRPGR の値の信頼性を考慮した利用の可能性が示された。

今後の課題として、継続的な指標の計算及びその精度向上にあたっては、高解像度土地利用土地被覆図の継続的作成及び土地被覆図の検証データ（都市/非都市正解データ）の収集及び更新が挙げられる。

別紙

図表 A-1 JAXA 高解像度土地利用土地被覆図 2006-2011年 (ver.16.09)
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			
Classified	1	193	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	197	98.0
	2	2	222	2	1	0	0	0	0	0	0	2	229	96.9
	3	1	2	260	18	6	2	0	1	0	1	291	89.3	
	4	1	2	28	76	41	4	1	9	1	5	168	45.2	
	5	0	0	10	14	42	4	2	8	0	1	81	51.9	
	6	0	1	2	8	5	74	13	15	13	0	131	56.5	
	7	0	0	0	0	1	1	11	0	1	0	14	78.6	
	8	0	0	0	0	1	5	1	32	16	0	55	58.2	
	9	1	0	0	1	0	11	4	30	167	0	214	78.0	
	10	0	2	1	1	3	0	0	0	0	22	29	75.9	
Total		198	230	304	119	99	101	32	95	198	33	1409		
Producer's accuracy (%)		97.5	96.5	85.5	63.9	42.4	73.3	34.4	33.7	84.3	66.7		78.0	

都市
非都市

図表 A-2 JAXA 高解像度土地利用土地被覆図 2014-2016年 (ver.18.03)
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		
Classified	1	276	1	1	0	0	0	0	1	3	0	282	97.9
	2	3	247	2	7	1	0	0	0	0	35	295	83.7
	3	0	5	284	5	1	1	1	0	0	1	298	95.3
	4	1	3	31	218	26	4	3	1	1	6	294	74.1
	5	0	2	6	14	240	14	0	8	0	5	289	83.0
	6	0	0	0	0	9	236	29	13	11	0	298	79.2
	7	0	0	0	1	4	24	252	4	14	0	299	84.3
	8	0	1	0	1	2	15	7	207	49	0	282	73.4
	9	0	0	0	0	1	6	4	24	264	0	299	88.3
	10	15	43	6	14	23	8	3	6	7	161	286	56.3
Total		295	302	330	260	307	308	299	264	349	208	2922	
Producer's accuracy (%)		93.6	81.8	86.1	83.8	78.2	76.6	84.3	78.4	75.6	77.4		81.6

都市
非都市

図表 A-3 JAXA 高解像度土地利用土地被覆図 2018-2020年 (ver.21.11)
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		
Classified	1	153	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	154	99.35
	2	0	243	1	2	0	0	1	0	0	8	1	261	93.10
	3	0	0	235	17	3	0	0	0	0	0	0	255	92.16
	4	0	0	11	188	16	2	1	0	0	5	1	224	83.93
	5	0	0	0	19	202	2	1	1	0	4	1	234	86.32
	6	0	0	0	2	5	193	39	6	3	0	8	256	75.39
	7	0	0	0	0	0	3	162	0	0	0	0	165	98.18
	8	0	0	0	1	1	0	0	126	10	0	4	142	88.73
	9	0	0	0	1	0	9	7	16	214	1	12	260	82.31
	10	3	11	0	6	0	0	0	0	199	0	3	222	89.64
	11	0	0	0	1	0	1	0	17	0	0	137	157	87.26
	12	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	171	172	99.42
Total		156	255	247	237	227	210	211	166	227	218	164	2502	
Producer's accuracy (%)		98.08	95.29	95.14	79.32	88.99	91.90	76.78	75.90	94.27	91.28	83.54		88.85

都市
非都市

図表 A-4 国土交通省国土政策局国土政策課国土数値情報公示地価データ（2010年）と JAXA 高解像度土地利用土地被覆図 2006-2011年（ver.16.09）の突合分析による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			
Classified	1	193	108	1	0	0	0	0	0	0	0	2	304	63.5
	2	2	24988	2	1	0	0	0	0	0	0	2	24995	100.0
	3	1	1269	260	18	6	2	0	1	0	1	1558	16.7	
	4	1	1224	28	76	41	4	1	9	1	5	1390	5.5	
	5	0	20	10	14	42	4	2	8	0	1	101	41.6	
	6	0	158	2	8	5	74	13	15	13	0	288	25.7	
	7	0	30	0	0	1	1	11	0	1	0	44	25.0	
	8	0	72	0	0	1	5	1	32	16	0	127	25.2	
	9	1	53	0	1	0	11	4	30	167	0	267	62.5	
	10	0	112	1	1	3	0	0	0	0	0	22	139	15.8
Total		198	28034	304	119	99	101	32	95	198	33	29213		
Producer's accuracy (%)		97.5	89.1	85.5	63.9	42.4	73.3	34.4	33.7	84.3	66.7		88.5	

都市
非都市

		Validation			User's accuracy (%)
		都市	非都市	合計	
Classified	都市	24988	7	24995	99.97199
	非都市	3046	1172	4218	27.78568
	合計	28034	1179	29213	
Producer's accuracy (%)		89.13462	99.40628		89.54917

	点推定値	95%信頼区画幅
R(1 0)	0.00594	0.00439
R(1 1)	0.89135	0.00364

図表 A-5 国土交通省国土政策局国土政策課国土数値情報公示地価データ（2015年）と JAXA 高解像度土地利用土地被覆図 2014-2016年（ver.18.03）の突合分析による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			
Classified	1	276	49	1	0	0	0	0	1	3	0	330	83.6	
	2	3	20439	2	7	1	0	0	0	0	0	35	20487	99.8
	3	0	890	284	5	1	1	1	0	0	1	1183	24.0	
	4	1	1602	31	218	26	4	3	1	1	6	1893	11.5	
	5	0	63	6	14	240	14	0	8	0	5	350	68.6	
	6	0	111	0	0	9	236	29	13	11	0	409	57.7	
	7	0	60	0	1	4	24	252	4	14	0	359	70.2	
	8	0	22	0	1	2	15	7	207	49	0	303	68.3	
	9	0	12	0	0	1	6	4	24	264	0	311	84.9	
	10	15	417	6	14	23	8	3	6	7	161	660	24.4	
Total		295	23665	330	260	307	308	299	264	349	208	26285		
Producer's accuracy (%)		93.6	86.4	86.1	83.8	78.2	76.6	84.3	78.4	75.6	77.4		85.9	

都市
非都市

		Validation			User's accuracy (%)
		都市	非都市	合計	
Classified	都市	20439	48	20487	99.76571
	非都市	3226	2572	5798	44.36012
	合計	23665	2620	26285	
Producer's accuracy (%)		86.36805	98.16794		87.54423

	点推定値	95%信頼区画幅
R(1 0)	0.01832	0.00514
R(1 1)	0.86368	0.00437

図表 A-6 国土交通省国土政策局国土政策課国土数値情報公示地価データ（2020年）と JAXA 高解像度土地利用土地被覆図 2018-2020年（ver.21.11）の突合分析による 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	153	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	154	99.35
	2	0	24769	1	2	0	0	1	0	0	8	1	5	24787	99.93
	3	0	100	235	17	3	0	0	0	0	0	0	0	355	66.20
	4	0	1043	11	188	16	2	1	0	0	5	1	0	1267	14.84
	5	0	31	0	19	202	2	1	1	0	4	1	4	265	76.23
	6	0	83	0	2	5	193	39	6	3	0	8	0	339	56.93
	7	0	10	0	0	0	3	162	0	0	0	0	0	175	92.57
	8	0	9	0	1	1	0	0	126	10	0	4	0	151	83.44
	9	0	27	0	1	0	9	7	16	214	1	12	0	287	74.56
	10	3	102	0	6	0	0	0	0	0	199	0	3	313	63.58
	11	0	35	0	1	0	1	0	17	0	0	137	1	192	71.35
	12	0	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	171	210	81.43
Total		156	26248	247	237	227	210	211	166	227	218	164	184	28495	
Producer's accuracy (%)		98.08	94.37	95.14	79.32	88.99	91.90	76.78	75.90	94.27	91.28	83.54	92.93		93.87

都市
非都市

Classified	Validation			User's accuracy (%)
	都市	非都市	合計	
都市	24769	18	24787	99.92738
非都市	1479	2229	3708	60.11327
合計	26248	2247	28495	
Producer's accuracy (%)	94.36528	99.19893		94.74645

	点推定値	95%信頼区画幅
R(1 0)	0.00801	0.00369
R(1 1)	0.94365	0.00279

図表 A-7 政令指定都市の一覧*

都市	移行年月日	指定政令
大阪市	昭和31年9月1日	昭和31年 政令第254号
名古屋市	昭和31年9月1日	
京都市	昭和31年9月1日	
横浜市	昭和31年9月1日	
神戸市	昭和31年9月1日	
北九州市	昭和38年4月1日	昭和38年 政令第10号
札幌市	昭和47年4月1日	昭和46年 政令第276号
川崎市	昭和47年4月1日	
福岡市	昭和47年4月1日	
広島市	昭和55年4月1日	昭和54年 政令第237号
仙台市	平成元年4月1日	昭和63年 政令第261号
千葉市	平成4年4月1日	平成3年 政令第324号
さいたま市	平成15年4月1日	平成14年 政令第319号
静岡市	平成17年4月1日	平成16年 政令第322号
堺市	平成18年4月1日	平成17年 政令第323号
新潟市	平成19年4月1日	平成18年 政令第338号
浜松市	平成19年4月1日	
岡山市	平成21年4月1日	平成20年 政令第315号
相模原市	平成22年4月1日	平成21年 政令第251号
熊本市	平成24年4月1日	平成23年 政令第323号

*「総務省 指定都市一覧」から抜粋[6-1]

図表 A-10 政令指定都市の LCRPGR（行政界統計 3 次メッシュ近似）試算値（2010-2015 年）と
都市度分類の LCRPGR（都市度分類統計 3 次メッシュ近似）試算値（2010-2015 年）

		built-up_ratio_before	built-up_ratio_after	LCR	LCR_calibrated	LCR_min	LCR_max	LCR_95%_interval	population_before	population_after	PGR	LCRPGR	LCRPGR_calibrated	LCRPGR_min	LCRPGR_max
札幌市	Sapporo	0.22166501	0.216543723	-0.004620744	-0.007523352	-0.021071283	0.006024578	0.027095861	1905922	1944610	0.004019112	-1.149692695	-1.871894021	-5.242770256	1.498982215
仙台市	Sendai	0.191863194	0.185581224	-0.006548385	-0.011555003	-0.026607938	0.003497932	0.03010587	1033824	1068891	0.006671423	-0.981557476	-1.732014788	-3.988345363	0.524315786
さいたま市	Saitama	0.512127305	0.588538623	0.029840751	0.035967973	0.02606424	0.045871706	0.019807466	1203953	1243604	0.006480661	4.604584379	5.550046782	4.021848898	7.078244665
千葉市	Chiba	0.335648972	0.313186737	-0.013384361	-0.012665428	-0.023376486	-0.00195437	0.021422116	946956	957994	0.002317777	-5.774654126	-5.464472021	-10.0857352	-0.843208843
川崎市	Kawasaki	0.716120131	0.777380188	0.017108877	0.023887894	0.015739719	0.032036068	0.016296348	1409849	1454173	0.00619095	2.763530434	3.858518533	2.542375655	5.174661411
横浜市	Yokohama	0.654411308	0.724609962	0.021453986	0.028147221	0.019836395	0.036458047	0.016621652	3689004	3726553	0.002025435	10.59228571	13.89687718	9.793646953	18.00010741
相模原市	Sagamihara	0.192972892	0.215299373	0.023139499	0.020610244	0.003525085	0.037695402	0.034170317	684846	688043	0.000931468	24.84196638	22.12662307	3.784440173	40.46880597
新潟市	Niigata	0.23314282	0.234099305	0.000820514	-0.001061433	-0.014609872	0.012487005	0.027096877	805146	804181	-0.000239852	-3.420918788	4.42536987	-52.06132767	60.91206741
静岡市	Shizuoka	0.068697135	0.065113582	-0.010432905	-0.043812565	-0.076422457	-0.011202674	0.065219783	698489	689126	-0.002699061	3.865383864	16.23252426	4.150582607	28.31446592
浜松市	Hamamatsu	0.087129557	0.091471165	0.009965868	-0.011268674	-0.039772026	0.017234678	0.057006704	800716	797865	-0.000713383	-13.96986137	15.79609754	-24.15906619	55.75126126
名古屋市	Nagoya	0.771455495	0.783363755	0.003087219	0.009341438	0.002069073	0.016613803	0.01454473	2243914	2276979	0.00292558	1.05250051	3.19302032	0.70723491	5.67880573
京都市	Kyoto	0.149819743	0.166764157	0.022619734	0.016115725	-0.003588345	0.035819795	0.039408141	1469291	1471087	0.000244322	92.58151563	65.96090905	-14.68693035	146.6087484
大阪市	Osaka	0.829237854	0.812036539	-0.004148705	0.001944189	-0.004972028	0.008860405	0.013832433	2651108	2678946	0.002089154	-1.985830456	0.930610773	-2.379924402	4.241145947
堺市	Sakai	0.647325698	0.700091336	0.016302655	0.02266009	0.014105246	0.031214934	0.017109687	830187	826797	-0.000818355	-19.92123975	-27.68978933	-38.14349094	-17.23608772
神戸市	Kobe	0.282205777	0.276630501	-0.003951213	-0.004143546	-0.016064387	0.007777295	0.023841682	1534597	1527617	-0.00091176	4.33361003	4.544557119	-8.529978318	17.61909256
岡山市	Okayama	0.165601394	0.169818073	0.005092565	-0.001239488	-0.018619866	0.01614089	0.034760756	703772	714282	0.00296468	1.717744924	-0.418084935	-6.28056426	5.444394389
広島市	Hiroshima	0.169687299	0.145581539	-0.028411979	-0.037203172	-0.052396867	-0.022009656	0.030387031	1171002	1191603	0.003487933	-8.145791871	-10.66625071	-15.02227296	-6.310228456
北九州市	Kitakyushu	0.36214055	0.33880103	-0.012889758	-0.011535023	-0.02152279	-0.001547256	0.019975533	968611	953460	-0.003153123	4.087934207	3.658285562	0.490706021	6.825865103
福岡市	Fukuoka	0.450218278	0.417839883	-0.014383421	-0.011632388	-0.020557147	-0.002707629	0.017849518	1416260	1489271	0.010053429	-1.430698051	-1.157056809	-2.044789657	-0.269323961
熊本市	Kumamoto	0.309185376	0.26459949	-0.028840876	-0.029879374	-0.040338031	-0.019420717	0.020917314	724508	730511	0.001650297	-17.47617221	-18.10545143	-24.44289032	-11.76801254
1: Cities	1: Cities	0.167794176	0.170812905	0.003598133	-0.002644769	-0.018776391	0.013486852	0.032263243	93731182	94360751	0.001338859	2.687462549	-1.975390613	-14.02417529	10.07339407
2: Towns and semi-dense areas	2: Towns and semi-dense areas	0.038797722	0.036075007	-0.014035436	-0.086810454	-0.13718531	-0.036435598	0.100749712	26239578	25346613	-0.006924754	2.02684976	12.53625096	5.26164509	19.81085683
1+2	1+2	0.082540424	0.081765057	-0.001878755	-0.026503972	-0.054129763	0.001121819	0.055251582	119970760	119707364	-0.000439583	4.273947959	60.29343353	-2.552007299	123.1388744

参考文献

- [1-1] United Nations Statistics Division (UNSD), Department of Economic and Social Affairs (DESA), SDG Indicators Metadata repository, Indicator 11.3.1, <https://unstats.un.org/sdgs/metadata/files/Metadata-11-03-01.pdf>, 最終アクセス日 2022 年 4 月 27 日
- [1-2] UN-Habitat, Urban Indicators Database, 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/about>, 最終アクセス日 2022 年 5 月 2 日
- [2-1] 外務省 Japan SDGs Action Platform, <https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/statistics/index.html>, 最終アクセス日 2022 年 4 月 27 日
- [2-2] United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat), Metadata on SDGs Indicator 11.3.1 Indicator category: Tier II, <https://data.unhabitat.org/documents/GUO-UN-Habitat::metadata-on-sdg-indicator-11-3-1/explore>, 最終アクセス日 2022 年 4 月 27 日
- [3-1] 総務省 e-Stat (政府統計の総合窓口) 地図で見る統計(統計 GIS), <https://www.e-stat.go.jp/gis>, 最終アクセス日 2022 年 4 月 27 日
- [3-2] 総務省統計局 平成 22 年国勢調査-世界測地系(1km メッシュ) 男女別人口総数及び世帯総数, <https://www.e-stat.go.jp/gis/statmap-search?page=1&type=1&toukeiCode=00200521&toukeiYear=2010&aggregateUnit=S&serveyId=S002005112010&statsId=T000608>, 最終アクセス日 2022 年 4 月 27 日
- [3-3] 総務省統計局 平成 27 年国勢調査-世界測地系(1km メッシュ) 男女別人口総数及び世帯総数, <https://www.e-stat.go.jp/gis/statmap-search?page=1&type=1&toukeiCode=00200521&toukeiYear=2015&aggregateUnit=S&serveyId=S002005112015&statsId=T000846>, 最終アクセス日 2022 年 4 月 27 日
- [3-4] 総務省 国勢調査 / 平成 22 年国勢調査 / 人口等基本集計 (男女・年齢・配偶関係, 世帯の構成, 住居の状態など) 全国結果, https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00200521&tstat=000001039448&cycle=0&tclass1=000001045009&tclass2=000001046265&stat_infid=000012460662&tclass3val=0, 最終アクセス日 2022 年 4 月 27 日
- [3-5] 総務省 国勢調査 / 平成 27 年国勢調査 / 人口等基本集計 (男女・年齢・配偶関係, 世帯の構成, 住居の状態など) 全国結果, https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00200521&tstat=000001080615&cycle=0&tclass1=000001089055&tclass2=000001089056&stat_infid=000031473210&tclass3val=0, 最終アクセス日 2022 年 4 月 27 日
- [3-6] 総務省 国勢調査 / 令和 2 年国勢調査 / 人口等基本集計 (主な内容: 男女・年齢・配偶関係, 世帯の構成, 住居の状態, 母子・父子世帯, 国籍など), https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00200521&tstat=000001136464&cycle=0&tclass1=000001136466&stat_infid=000032142402&tclass2val=0, 最終アクセス日 2022 年 4 月 27 日
- [3-7] JAXA 高解像度土地利用土地被覆図, https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/jp/dataset/lulc_j.htm, 最終アクセス日 2022 年 4 月 27 日
- [3-8] JAXA 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), https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/jp/dataset/lulc/lulc_jpn_j.htm

[3-9] 日本域高解像度土地利用土地被覆図【2014～2016年】（2018年3月リリース / バージョン18.03）, https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/jp/dataset/lulc/lulc_v1803_j.htm

[3-10] 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

[3-11] 国土交通省 GIS ホームページ, <https://nlftp.mlit.go.jp/index.html>, 最終アクセス日 2022年4月27日, 最終アクセス日 2022年4月27日

[3-12] 国土交通省 国土数値情報 行政区域データ（令和3年）行政区域データ, https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N03-v3_0.html#prefecture00, 最終アクセス日 2022年4月27日

[4-1] 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, ビッグデータ連携会議レポート01, (2021)
https://www.soumu.go.jp/main_content/000763967.pdf

[5-1] SDG11.3.1 (LCRPGR), 一般社団法人世界メッシュ研究所, https://www.fitsus.org/SDG_11_3_1/, 最終アクセス日 2022年5月15日

[5-2] 三井住友海上, <https://www.ms-ins.com/>, 最終アクセス日 2022年4月18日

[5-3] 国土交通省国土政策局国土情報課国土数値情報地価公示データ, https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-L01-v2_3.html, 最終アクセス日 2022年1月20日

[6-1] 総務省 指定都市一覧, https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/jichi_gyousei/bunken/shitei_toshichiran.html, 最終アクセス日 2022年5月11日

[7-1] European Commission (EC), Eurostat, A recommendation on the method to delineate cities, urban and rural areas for international statistical comparisons, <https://unstats.un.org/unsd/statcom/51st-session/documents/BG-Item3j-Recommendation-E.pdf>, 最終アクセス日 2022年4月27日