

公益財団法人 国土地理協会

2019 年度 学術研究助成

研究成果報告書

申請課題

VGI のデータ品質評価に関する研究

申請者

山下 潤

共同研究者

岩崎亘典 西村雄一郎 瀬戸寿一

学術助成研究の概要

近年、先進国や発展途上国を問わず、各国の空間データ基盤の整備機関が策定せず、主に一般市民によるクラウドソーシングによって構築された「ボランティアな地理空間情報 (Volunteered Geographical Information, VGI)」という種類のデータ利用が活発化している。例えば、世界的な旅行ガイドブックの一つである「ロンリープラネット」等でも背景地図として採用されている、オンラインカスタムマップの大規模プロバイダである Mapbox 社は、この VGI の代表例でもある「OpenStreetMap (OSM)」のデータベースを早くから活用し、Facebook 社や Pokémon GO を提供する Niantic 社などでも活用されており、VGI 利用の活発化の証左といえる。これまで、日本を始め海外においても主に公共機関によって提供される地理データは、法律等で定められているデータ品質基準に沿って作成されるため、地理情報の品質が担保されてきたが、VGI の作成主体は主に一般市民であり、必ずしも地理学的知識や測量に関するスキルが備わっていない場合もあることから、彼らが作成したデータの品質が必ずしも保証されているとは限らない。とはいえ、近年の情報技術の進展に伴い、例えば Google Maps の日本における利用データの大幅な変更などに伴う新たな側面も起こりつつある。このような VGI や Web 地図に関する動向を踏まえて、世界的には VGI データの品質や信頼性に関する研究が活性化されており、本研究においても、これまで実施してきた VGI の品質の評価や品質保証の主体に関する研究をさらに深化させ、国際標準化機構 (ISO) が定める品質評価基準以外の要素に着目し、これらの要素で VGI のデータ品質の評価を試みることを主な目的とすることを交付申請書で記した。

上記の目的を明らかにするため、VGI の評価指標・手法を再整理した上で、VGI の特性によってデータ品質を評価した。まず VGI の評価指標・手法を再整理に関しては、近年、信頼性、信ぴょう性、評判といった、ISO 19157:2013 で示された品質要素以外の要素と、これらの要素の評価手法が提示されつつある。しかし、これらの評価要素と手法が十分に整理されていない状況にあるため、VGI の評価指標や手法を再整理した。これは第 1・2 章にあたる。

つぎに VGI 作成者の特性によるデータ品質の評価に関して、公共機関や民間企業により作成されることで、公共の地理空間情報のデータ品質は保証されており、このことは、データの作成者への信頼が、データ自体の品質を保証していることを意味する。そこで、信頼性といった VGI の特性に着目し、これらの特性をもとに考案されたデータ品質指標や手法を用いて、VGI のデータ品質を評価することで、これらの指標や手法の実用性を検討した。これは第 3～6 章にあたる。

1. はじめに

市民科学のなかでも、市民を通じたデータ収集活動は、市民の関与の度合いが高い活動である。市民が地球上で広範囲に分布しているために、彼らが収集したデータは網羅的である。このような網羅性から、市民が、VGIで代表される地理情報の重要な情報源となりつつある。VGIは網羅的である一方で、ボランタリーに作成されたという特性から、VGIのデータ品質が疑問視されてきた。

近年、OSMで代表されるVGIに関する学術的研究が蓄積されつつあり、その一分野がVGIのデータ品質評価に関する研究である。この分野で研究が進展した背景として、VGIの作成主体（先述したOSMの場合はOSMマッパー、OSM contributor）が主に一般市民であることから、彼らが作成したデータの品質が必ずしも保証されるものではないことがあげられる。

VGIのデータ品質を担保するため、ISO 19157:2013等のデータ品質要素が長らく評価指標としてVGIのデータ品質評価研究で利用されてきた。これらデータ品質要素は完全性、論理一貫性、位置正確度、時間正確度、主題正確度等で構成される。国土地理院[1]によれば、完全性は、アイテム（地物、地物属性及び地物関係）の存在及び欠落を、論理一貫性は、データ集合、地物、属性及び関係に関する論理的規則の遵守の度合いを、位置正確度は、地物の空間位置の正確度を、時間正確度は、地物の時間属性及び時間関係の正確度を、主題正確度は、空間属性及び時間属性以外の地物の属性の正確度を表す。なお地理情報の品質評価に関しては国際基準（ISO 19157:2013）があるが、国土地理院は、地理情報標準に関する国際・国内規格を踏まえて、これらのなかから必要最小限の部分を抽出・体系化した規格である地理情報標準プロファイル（JPGIS2.0）を2014年に提示し、その活用を推奨している。このうち地理情報の品質に関しては、地理情報標準に関する国際・国内規格で示された品質に関する「品質原理」を踏まえて、JPGIS2.0では「附属書3：品質」で地理情報の品質を扱っている。なお附属書3において、具体的な評価・報告手法等に関しては、2005年に刊行され、2007年に一部改正された国土地理院の技術資料に準拠するように示されている[1]。

ISO 19157:2013で示されたデータ品質要素を評価指標として、主にOSMデータを用いたVGIの品質評価に関する研究が蓄積されつつある。これらの研究のなかで、Haklay [2]を嚆矢として、特に位置正確度に関する研究は国内外を問わず多い[3,4]。Haklay [2]は、Goodchild and Hunter [5]に依拠し、バッファを用いて、公共データとVGIの精度を比較した。すなわちGoodchild and Hunter [5]は、ラインデータである海岸線を対象として選定した上で、参照データセットとしてデジタル化した1/25000の地形図を、一方試験データセットとしてOSMを用い、バッファを分析手法として用いることで、OSMのデータ品質を明らかにした。これを踏まえて、Haklay [2]は同じラインデータである高速道路（Motorway）データを対象とし、参照データセットとしてイギリスの陸地測量部作成のデータセットを、試験データセットとしてOSMを用い、同じくバッファにより、OSMの位置正確度を検討し、平均してOSMの8割程度が正確であると結論づけた。

このようなデータ品質要素でデータ品質が担保された公的データが整備されている場合、このデータを参照データとして用いてVGIと比較することで、VGIのデータも担保することが可能である。しかしこのような公的データが専門的な利用できない場合や、利用で

きても多額の費用を要する場合は、このような公的データを用いた VGI のデータ品質保証ができないという欠点がある [6]。この点は、データ品質要素以外の VGI の固有の要素を用いて、VGI のデータ品質を保証する必要があることを示唆している。

近年 VGI のデータ品質評価研究では、ISO19157:2013 以外の品質要素を用いて、VGI のデータ品質を評価しようとする試みがみられる。ISO19157:2013 以外の品質要素として、credibility (信憑性), reputation (評判), trust(worthiness) (信頼性・信頼) 等があることが指摘された [7]。Keßler and De Groot [8] は、Sztompka [9] による定義 (p. 25) を踏まえて、trust を他人の将来的な偶発的行動に関する賭け (bet) と定義した。他方、彼らは、trust と類似した概念である reputation を、Mezzetti [10] による定義を踏まえて、ある人物や物事の歴史的行動に関する情報から推測される信頼 (trustworthiness) の主観的な認識と定義した (pp. 23-24)。一方、評判には、資格、空間データの処理経験、活動スペースが含まれると考えられる [11]。

これらの新たな品質要素に研究のなかで信頼性を扱った研究は多く、特に Keßler and De Groot [8] が示した信頼性指標に言及されることは多い。しかしこの信頼性指標の有効性を検証した研究は限られており、当該分野での研究の蓄積は多くない。またこの指標が VGI の品質の予測に足ることを示した研究は管見の限りない。この点に鑑み、以下では、公共データと VGI を比較し、対象とする VGI で ISO 上のデータ品質が担保されていることを確認した上で、VGI のデータ品質保証に関して、VGI の固有の特性にもとづいて、上述した 5 つの信頼性指標の有用性を明らかにする [6]。この点を明らかにするため、次章でまず ISO19157:2013 以外の品質要素と VGI の品質保証へのアプローチの仕方について展望した後、この展望を踏まえて、3 章で研究方法を示す。続く 4 章で、研究結果を示し、5 章で、この結果を検討するとともに、6 章で今後の課題についても述べる。

2. 従来の研究

ISO19157:2013 以外の品質要素として提示された credibility (信憑性), reputation (評判), trust(worthiness) (信頼性・信頼) の定義に関して種々の見解がある。credibility は、意図的もしくは意図しない誤り、省略、または誇張を考慮しつつも、その情報の一部を信じることができるか否かを説明するための主観的な概念と定義された [12] (p. 43)。この定義を踏まえて、各種の VGI の credibility のうち、画像型 VGI (主に Flickr 画像) とテキスト型 VGI (主にジオタグ付き Twitter メッセージ) の credibility を中心に従来の研究がある程度展望された [5]。さらに credibility が trust(-worthness) と expertise (専門性) で構成されていると考えられた [13] (p. 141)。

このように trust は credibility よりも限定的な概念であるが、Bishr and Kuhn [14] によってデータ品質の代替尺度として trust が提案されて以降、trust に関する研究が深化されつつある。一般に信頼性は人に対してだけ限定的に用いられてきたが、同様に、Golbeck [15] や Vahidi et al. [16] は、信頼性の概念を拡張することで、VGI コントリビュータの特定の特性が、VGI の信頼性とデータ品質を表す代替指標として使用可能であることを指摘した。VGI コントリビュータに関する信頼性を、当該コントリビュータが作成した VGI のデータ品質を表す代替指標と見なすことができるとする理論的な背景として、Bishr and Janowicz [17] は、この VGI コントリビュータが、信頼性を含む様々な指標にも

とづいて信頼できると判断された場合, この信頼できるコントリビュータによって作成された VGI のデータ品質は担保されると判断してもよいという考え方があると指摘した.

信頼性が VGI のデータ品質を表す代替指標であるとの主張を踏まえて, 様々な信頼性指標が開発されている. 当初は単一指標による VGI のデータ品質の評価が試みられた[18, 19]. その後単一指標に代わって, VGI 固有の特性にもとづく, 編集履歴等の複数の指標で構成される信頼性指標が提案された[20]. Keßler and De Groot[8]は, 5 指標で構成される信頼性指標を提案した. これ以外にも, VGI の幾何学的な, また意味論的な特性を用いて信頼性を表す試みもある[21]. VGI コントリビュータの信頼性に加えて VGI の空間的と時間的な信頼性の 3 つの信頼コンポーネントからなる信頼性モデルが提示された[22]. さらにデータセット全体から信頼性を見出す VGI データ品質研究もなされるようになった[23].

このような VGI 固有の特性にもとづく信頼性指標の構築とは異なり, 他の参照データとの比較で VGI の信頼性を担保しようとする研究もある. OSM データのうち POI データに関して, Kashian et al. [24]は, ある特定の POI データの信頼性を当該データの周囲の地物との関係で自動検証するツールを提案した. 当該ツールを用いた彼らのケーススタディの結果から, 彼らは当該ツールの実用性の高さを検証した. この検証を踏まえて, 彼らは, OSM や他の VGI の信頼性を担保する品質保証システムの開発が必要であることを指摘した. しかし他の地物を利用する彼らの方法では, 他の地物が利用できない場合, 当該データの信頼性を検証することは不可能である. 同様に, Brovelli et al. [25]は, 参照データと比較することで, 建築物データの位置正確度を検証するためのマッチング手法を提案した. しかし建築物のようなジオメトリが複雑なデータであれば, 彼らが提案した検証方法は優れているといえるが, POI データのようなジオメトリが単純なデータに彼らの方法を適用することは難しい. このように, データ品質評価に関する定性的な品質要素による実証研究は進められつつあるが, 十分に蓄積されているとはいえず, 今後当該分野における研究をさらに深化させる必要がある.

一方, データ品質要素以外から VGI のデータ品質の保証に接近しようとした研究として, 品質保証へのアプローチの仕方に着目する研究があげられる. Haklay et al. [26]は, リーナスの法則に基づき, クラウドソーシングによる VGI の品質保証を, OSM の道路データを用いて検討した. Goodchild and Li [27]は VGI の品質保証に関する 3 つのアプローチを示したが, このうち, ある個人の投稿者による誤りを集団で検証・訂正する方法がクラウドソーシング・アプローチである. Haklay et al. [26]は, 結果として, OSM マッパーの数と位置正確性の関係は統計的に有意でないことを示すことで, クラウドソーシングによる VGI のデータ品質保証に疑義を呈した. また Goodchild and Li[27]も, 地理的事実に対して, Raymond [28]によって定式化されたリーナスの法則は有効ではないと主張した. 同様に, Yamashita et al. [29]は, クラウドソーシングによる品質保証に関して, OSM 利用者ととも OSM マッパーがデータ品質要素を意識していないことから, クラウドソーシング以外のアプローチならびに上述した 5 つのデータ品質要素以外の要素での VGI の品質評価の必要性を指摘した.

Goodchild and Li [27]が示したクラウドソーシングアプローチ以外のアプローチの一つがソーシャル・アプローチである. 彼らは, 当該アプローチを, VGI への貢献という点で高く評価され, 信頼できる個人が, 他の投稿者による VGI のゲートキーパーの役割を果

表 1 分析で用いた信頼度指標

バージョン数
ユーザー数
編集確認回数
タグ修正回数
ロールバック数

たし、VGI の品質を維持・制御することと定義した。この点を踏まえて、Moréri et al. [30]はソーシャル・アプローチにもとづき、trust と reputation を組み込んだ TR モデルを用いて、土地区画に関連する広範な地理空間データの処理が適正に行われているかを分析し、当該モデルの有用性を検証した。

このように、上述したように公的データや他の VGI データを参照することで、対象とする VGI データの品質を担保する方法と同様に、VGI のゲートキーパーという外部者を通じて、VGI のデータ品質を担保できるという長所がソーシャル・アプローチにはある。しかし VGI の固有の特性を用いて、当該単独で、信頼性 (trust) を評価することは困難である。これに対して、Keßler and De Groot[8]が示した信頼性指標を用いた場合、VGI 単独でそのデータ品質を保証できるという長所がある。

3. 研究方法

VGI の信頼性に関しては、Keßler and de Groot[8]が提示した 5 指標（バージョン数、ユーザー数、編集確認回数、タグ修正回数、ロールバック数）を用いた（表 1）。バージョン数は、地物が改訂された回数で表される。彼らは、バージョン数が大きいほど、地物の信頼性が高まると考えた。ユーザー数は、地物の作成に関与したユーザーの数で表される。Haklay et al. [26]が指摘したように、リーナスの法則が働き、ユーザー数が多いほど、信頼性は向上する。編集確認回数は、当該地物の最後の編集以降に、当該地物から半径 50m 以内でのすべての地物の編集回数で表される。編集確認回数が多いと、信頼性も高まると考えられた。タグ修正回数は、地物のタグが変更された回数で定義される。この回数が多い場合、地物の分類があいまいであることを表し、信頼性を低下させると考えられた。ロールバック数は、タグ修正の一種であり、地物のタグを以前のタグに戻した場合、1 回と数えられる。タグ修正回数と同様に、ロールバック数も地物分類のあいまいさを表し、この回数が多いと、信頼性が低くなると考えられた。

日本国内の OSM の山の名称を研究対象として、これら 5 指標の値を計算した。ここで、OSM の山の名称とは、OSM データのなかで、タグが natural=peak となるノードデータの名称 (NAME=*) を指す（以下 OSM-NM データと略）。これらのノードデータに対して、上記の 5 指標の値を算出するにあたり、2020 年 7 月 21 日現在での OSM のヒストリー ダンプデータを用いた[31]。山頂データは他の地物から孤立しており、当該データの特性のみを用いて、当該データの信頼性を検証するには最適なデータであることが本データを対象とした最大の理由である。この理由に加えて、当該データを選択した理由はさらに 2 つある。すなわち、日本において、登山に伴う地理情報の収集活動は、アウトドアのマッピング活動として古くから着目されてきたことと、登山アプリ等での OSM の利用に高い関心が集まっ

ていることである。前者の例として、2017 年以降、日本における公的な地図作成機関である国土地理院と民間企業の登山道情報に関する協力協定があげられる。この協定を結んだ民間企業を通じて、市民である登山者から提供される移動経路情報などのビッグデータを国土地理院が受けることで、これらのデータを活用して地形図の登山道情報を更新・修正していることがあげられる。2018 年には、当該協定を通じて取得したビッグデータを用いて修正された登山道が初めて国土地理院のウェブ地図である地理院地図で公開された。

日本国内での山の表記という POI データの収集は、OpenStreetMap を基盤とした市民科学としてのデータ整備であるといえる。このような市民を通じたデータ収集は、市民科学において市民の関与が高い段階にあると考えられている。Haklay [32]は、VGI 活動の中で市民科学が最も長く続いている活動である可能性が高いことを指摘した上で、市民科学における市民の関与の程度を 4 段階に分けた。そのなかで、データの収集は二番目に市民の関与の度合いが高い第 3 段階（participatory science の段階）にあたる。Haklay[29]が指摘するように、市民科学でのデータ収集に関しては、市民が地球全域の広範囲に分布しているために、彼らからもたらされるデータの網羅性が高いという点から、市民が地理情報の重要な情報源となりつつあることが指摘されている[33]。

市民科学によるデータ収集は網羅性の側面で長所を有するが、データの精度、例えば主題正確度 [34]や完全性 [35]が疑問視されてきた。このような精度の問題は日本の山の表記でも観察されており、特に低山の表記に関しては、公的な地図作成機関によって管理されていない場合も多いことから、正式名称や山頂が明確でないため、表記が多様であることが多く、地図によって異なることも多々ある。このため、本研究で取り扱う OSM の山データに関しても、その品質を検討する必要がある。

このほか、OSM の信頼性指標の算出に加えて、OSM の位置正確度と主題正確度も吟味した。その際、国土地理院ベクトルタイル提供実験で提供されている「地名情報（自然地名）」の「山」ノードデータ（以下公的 NM データと略）を用いた[36]。品質を検討する際に、測量ベースの情報では国土地理院のデータがもっとも信頼性が高く、近年、ベクトルタイル提供実験で、山頂データがオープンデータになったことから、POI データの品質の検証に適していると判断し、このデータを参照データとして用いた。まず位置正確度に関して、公的 NM の緯度経度を参照データとして用い、この緯度経度と OSM-NM データの緯度経度を比較した。つぎに主題正確度に関して、公的 NM データの「名称」を参照データとして用い、この名称と OSM-NM データの名称（NAME=＊）を比較した。

上記のデータに対して、以下の 3 つの分析を行った。第 1 に、参照データと OSM データを比較した。具体的には、公的 NM データと比較し、OSM-NM データの位置・主題正確度を調べた。位置正確度に関しては、OSM-NM データと対応する公的 NM データを抽出し、両者の直線距離を求めた。距離が短いほど、OSM-NM データの位置正確度は高いと判断した。一方主題正確度に関しては、OSM-NM データと対応する公的 NM データの名称を比較し、一致もしくは不一致であるかを調べ、一致する場合、主題正確度が高いと判断した。

第 2 に、公的 NM データとの関係で、上記 5 指標と信頼性の関係を明らかにした。その際、位置正確度と主題正確度に二分し、重回帰分析を用いて、5 指標の影響を吟味した。位置正確度に関しては、上述した OSM-NM データと公的 NM データの距離を従属変数とした。

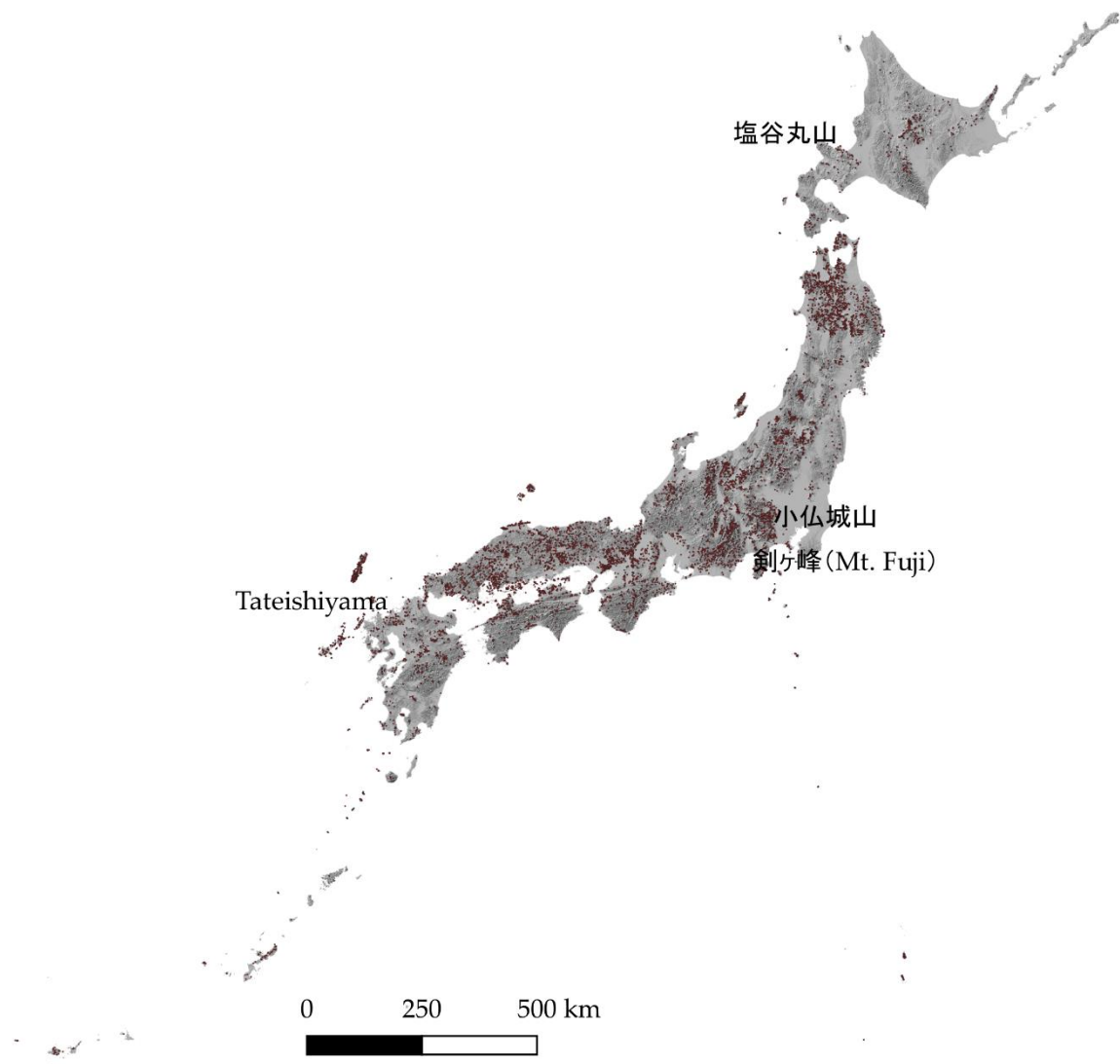


図1 OSM-NM データの分布 (N = 6,903)

一方，主題正確度に関しては，公的 NM データの山の名称と一致・不一致した場合，それぞれ 1 と 0 で表すダミー変数を従属変数とし，5 信頼性指標を独立変数として，重回帰分析を行った．位置正確度と主題正確度の双方で，5 指標の偏回帰係数が統計的に有意である場合，有意となった指標は信頼性を表すと解釈できる．

第3に，重回帰分析の結果，上記5指標が信頼性を表す指標であることが検証された場合，これらの指標によって位置正確度と主題正確度を予測できるかを検討し，これらの指標の頑健性（robustness）を検討した．重回帰分析の結果，5指標の偏回帰係数が統計的に有意となった指標のみを用いて，位置正確度と主題正確度を予測した．予測の際に，まず OSM-NM データのうち，公的 NM データと合致しないデータで，日本語で山の名称が記載されているデータ（OSM-NMJ データと略）を抽出した．これらに対して，重回帰分析で得られた5変数の偏相関係数を用いて位置正確度と主題正確度の予測値を計算した．後述するように，OSM-NM データに対応した公的 NM データは限られていたことから，OSM-NMJ データの予測値に対応させる新たな参照データが必要であった．

新たな参照データとして，国土地理院が作成した基盤地図情報の基準点データを用いた[37]．基準点（control point）とは，地球上の位置や標高が正確に測定された電子基準点，

表 2 位置正確度の評価

階級	度数	構成比 (%)
-0.5 以上 0.0 未満	5,929	85.9
0.0 以上 0.5 未満	531	7.7
0.5 以上 1.0 未満	127	1.8
1.0 以上 1.5 未満	55	0.8
1.5 以上 2.0 未満	46	0.7
2.0 以上 2.5 未満	28	0.4
2.5 以上 3.0 未満	28	0.4
3.0 以上	159	2.3
合計	6,903	100.0

(平均=19.13m, 標準偏差=54.34m)

三角点、水準点等から構成され、地図作成や各種測定の基準となる地点を指す。これらの基準点は、すべての測定の基礎として、公共測量、地籍測量、地殻変動観測等で使用されている。個々の OSM-NMJ データから発生させた、第 1 番目の分析結果で得られる OSM-NM データと公的 NM データの直線距離の平均値のバッファならびに（平均＋標準偏差）のバッファに含まれる基準点データを、個々の OSM-NMJ データに対応する基準点データであると考えた。これら OSM-NMJ と基準点データの直線距離と、両データの名称の一致・不一致が、上記の予測値と一致するか不一致かを吟味することで、5 指標の頑健性を明らかにした。

4. 研究結果

4.1. OSM の位置・主題正確度

結果として、OSM-NM データ（図 1）は位置・主題正確度の双方で高い値を示したことから、ISO 上のデータ品質が担保されているといえる。まず位置正確度に関して、OSM-NM データと公的 NM データの平均距離は 19.13m、標準偏差は 54.34m であった。この平均と標準偏差の値を用いて標準化し、0.5 間隔で両データの距離の度数分布表を作成した（表 2）。この表でわかるように、±0.5 以内に 93.6%が分布し、著しく逸脱した値をとっていないことがわかる。さらに OSM-NM データの約 86%は、公的 NM データとの距離が平均値より短いことから、公的 NM データに極めて近い場所に位置づけられていることもわかる。したがって、OSM-NM データの位置正確度は高いと判断した。一方主題正確度に関しては、OSM-NM データと公的 NM データが一致するケースが全体の 95.3%であり、この点から、OSM-NM データの主題正確度も高いと判断できる（表 3）。

主題正確度に関して、不一致であったケースに着目すると、いくつかの傾向がみられ

表 3 主題正確度の評価

	度数	構成比 (%)
一致	6,576	95.3
不一致	327	4.7
合計	6,903	100.0

る．第1に，日本語特有の漢字の表記の差異がみられるケースがある．「嶺」と「巔」，「ヶ」と「ヶ」，「峰」と「峯」，「川」と「河」などがその例であり，発音も意味も同じであるが，表記が異なるケースがこれにあたる．第2に，発音は同じであるが，公的 NM データが漢字表記となっているところを，OSM-NM データがローマ字表記にしているケースがこれにあたる．例えば，「火山」と「Hiyama」や，「立石山」と「Tateishiyama」がその例である．第3のケースとして，他地域に多くみられる地名のために，OSM-NM データで地域名を付加したケースがある．例えば，「丸山」と「塩谷丸山」，「城山」と「小仏城山」がこのケースにあたる．最後に，OSM-NM データの表記と公的 NMI データの表記が全く異なるケースである．一致しなかったケースのうち第4のケースはわずかであり，地名の表記の相違で，読みが公的 NM データと合致している OSM-MN データは多いことから，OSM-MN データの主題正確度は極めて高いといえる．

4.2. 信頼性指標の有効性

表4 信頼性指標の位置・主題正確度への影響

a) 位置正確度			b) 主題正確度		
1) 全体			1) 全体		
偏回帰係数			偏回帰係数		
バージョン数	20.595	***	バージョン数	0.877	***
ユーザー数	-2.730		ユーザー数	0.083	***
編集確認回数	2.746		編集確認回数	-0.014	*
タグ修正回数	-5.051	*	タグ修正回数	-1.017	***
ロールバック数	-1.503		ロールバック数	0.496	***
調整済み決定係数	0.115	***	調整済み決定係数	0.953	***
2) 一致			2) 一致		
偏回帰係数			偏回帰係数		
バージョン数	6.908	***	バージョン数	0.990	***
ユーザー数	1.232	*	ユーザー数	0.009	***
編集確認回数	-0.045		編集確認回数	0.001	
タグ修正回数	-6.036	***	タグ修正回数	-0.991	***
ロールバック数	2.545	***	ロールバック数	0.475	***
調整済み決定係数	0.555	***	調整済み決定係数	0.997	***
3) 不一致			3) 不一致		
偏回帰係数			偏回帰係数		
バージョン数	194.950	***	バージョン数	1.816	***
ユーザー数	-19.350		ユーザー数	0.168	***
編集確認回数	12.010		編集確認回数	0.011	
タグ修正回数	-170.980	***	タグ修正回数	-1.882	***
ロールバック数	62.160		ロールバック数	1.096	***
調整済み決定係数	0.628	***	調整済み決定係数	0.996	***

Signif. : *** < 0.01, ** < 0.05, * < 0.1.

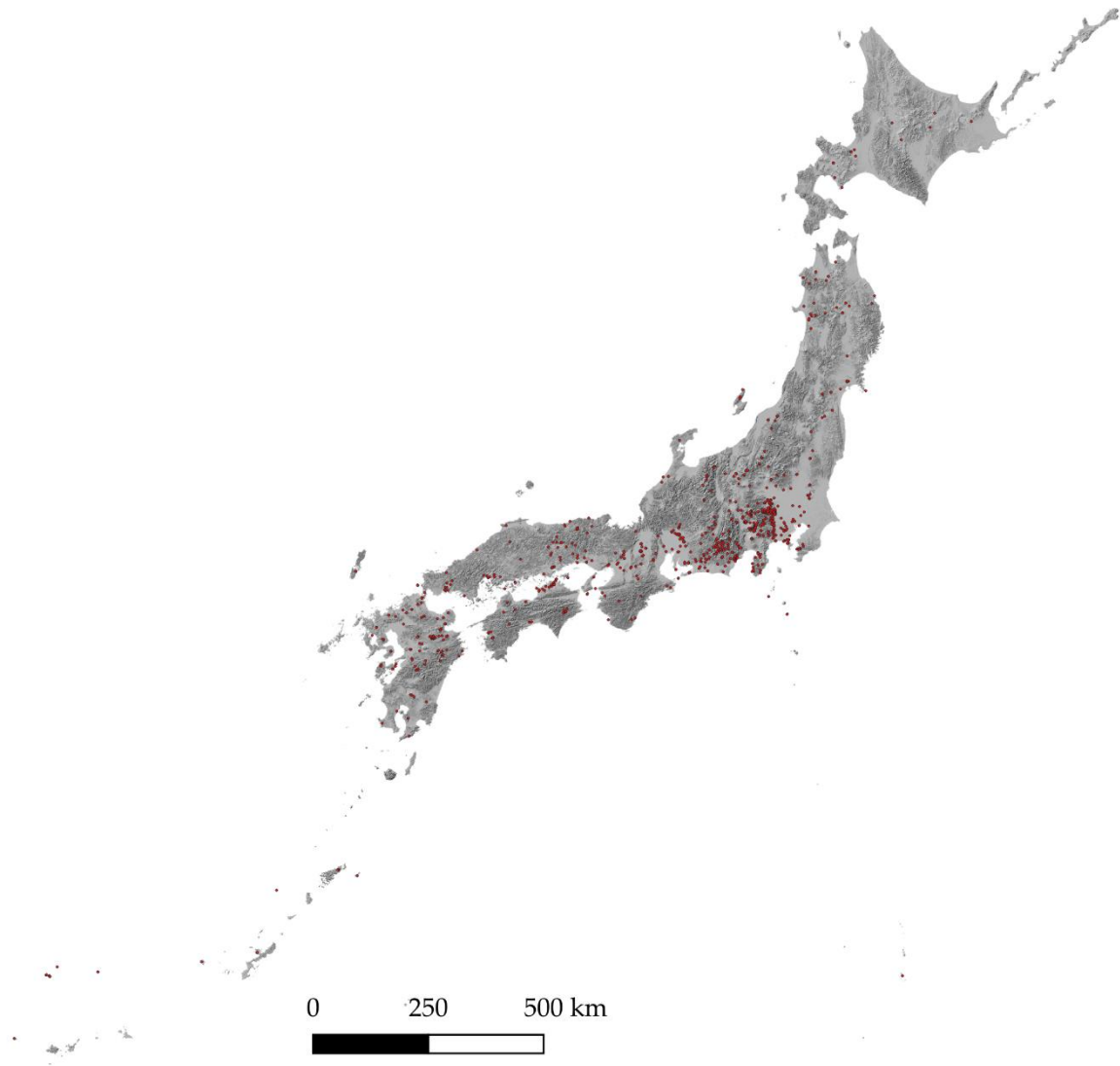


図2 OSM-NMJデータの分布 (N = 810)

位置・主題正確度と5指標の関係を、位置・主題正確度それぞれに、全6,903データを対象としたケース、一致したケース、不一致したケースの3ケース、計6ケースで検討したが、これらのケースの結果から、5指標が、VGIのデータ品質を保証するための信頼性を表す指標であるとは言い難い(表4)。まず重回帰モデルの説明度に関して、決定係数は全6ケースとも1%水準で統計的に有意であることから、5指標による説明率は高いといえる。特に主題正確度に関しては、従属変数がダミー変数であったこともあり、説明率は非常に高い。

つぎに重回帰モデルのなかの5変数に関して、位置正確度では、主にバージョン数とタグ修正回数によって、一方主題正確度は、編集確認回数を除く他の4指標に規定されたと考えられる。これらの指標以外では、位置正確度に関する一致したケースでユーザー数とタグ修正回数が、主題正確度に関する全データを対象としたケースで編集確認回数が、少なくとも10%水準で統計的に有意であり、これらの指標も位置・主題正確度に影響を与えたと考えられる。

しかし位置・主題正確度への5指標の影響は、Keßler and de Groot[8]の仮説とは異なる

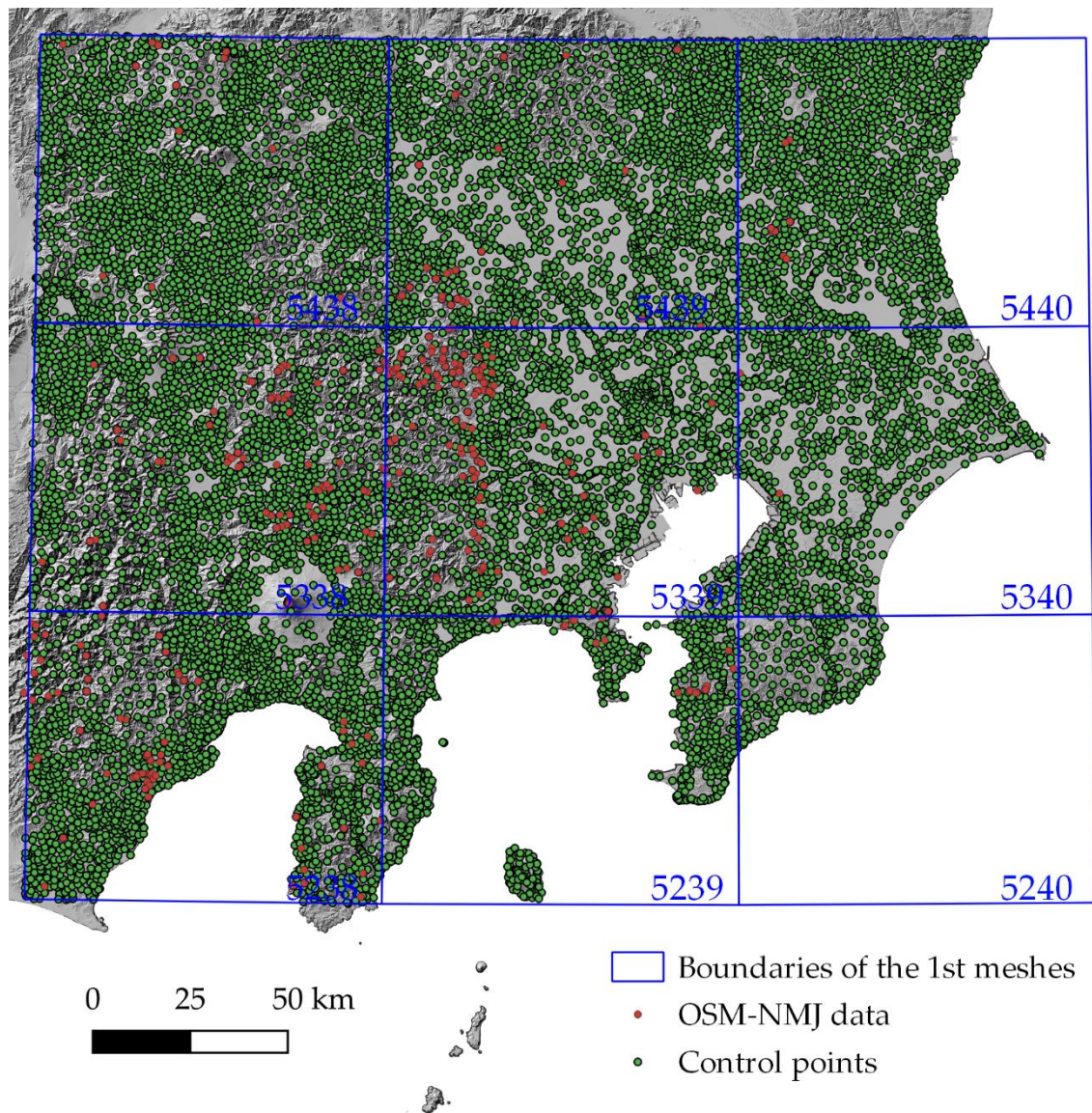


図3 9つの1次メッシュ内のOSM-NMJデータと基準点（control point）データの分布

った。まず位置正確度に関して、バージョン数とタグ修正回数は少なくとも10%水準で統計的に有意であったのにもかかわらず、彼らの仮説にもとづけば、バージョン数は位置正確度を表す変数として使ったOSM-NMデータと公的NMデータの距離とは負の相関を、逆にタグ修正回数は正の相関を示すべきであるが、重回帰分析の結果から、前者の符号は正であり、後者は負であり、彼らの仮説に反する。唯一、一致のケースのロールバック数のみ、符号が正であり、かつ1%水準で統計的に有意であることから、彼らの仮説と合致する。以上から、位置正確度に関しては、5指標は信頼性を表す指標であるとは言い難い。

他方主題正確度に関して、編集確認回数を除く、バージョン数、ユーザー数、タグ修正回数、ロールバック数が、3ケースすべてにおいて1%水準で統計的に有意であった。しかしKeßler and de Groot[8]の仮説にもとづけば、公的NMデータとの一致・不一致をそれぞれ1と0で表したことから、ロールバック数は負の相関を示すべきであるが、重回帰分析の結果、ロールバック数の符号は正であり、彼らの仮説に反する。一方バージョン数、ユーザー数、タグ修正回数のうち、前二者は正の、タグ修正回数は負の符号を有し、彼ら

の仮説と合致する．以上から，主題正確度に関しては，5 指標のうちバージョン数，ユーザー数，タグ修正回数が信頼性を表す指標であると考えられる．

上記の重回帰分析の結果から，位置正確度に関して 5 信頼性指標を用いた予測値を算出しなかった．他方，主題正確度に関しては，表 4b-1 で示したバージョン数，ユーザー数，タグ修正回数の偏回帰係数を用いて，OSM-NMJ データと基準点データが一致・不一致するかを予測した．

4.3. 信頼性指標の頑健性

OSM-NM データから，公的 NM データと合致しないが，日本語の山の名称を有する 810 個の OSM-NMJ データを抽出した（図 2）．さらに，この OSM-NMJ データのうち，9 つの 1 次メッシュに含まれるデータのみを抽出し，予測の研究対象とした．ここで，地域メッシュとは，緯度と経度にもとづいて定義されるメッシュで分割された区域をさす．地域メッシュのうち，最大の面積を有する 1 次メッシュは，緯度方向に 4 0 分，経度方向に 1 度で区切られている．このような単位で定義される 1 次メッシュの 1 辺は約 80km であることから，本研究で用いた 9 メッシュの 1 辺，すなわち 1 次メッシュ 3 区画分は約 240km である．各 1 次メッシュは以下のような方法で 4 桁のコードが付されている．すなわち，1 次メッシュコード = (緯度 $\times$ 1.5 $\times$ 100) + (経度-100)，である．

810 個の OSM-NMJ データのうち，9 つの 1 次メッシュ（5238, 5239, 5240, 5338, 5339, 5340, 5438, 5439, 5440）に含まれる 340 個の OSM-NMJ データを抽出した（図 3）．さらに，これらの OSM-NMJ データに関して，予測値，すなわち OSM-NMJ データの山の名称と基準点データ（control point）の山の名称が一致（予測値=1）か不一致（予測値=0）を計算した．

340 個の OSM-NMJ データから，位置正確度を評価した際に見いだされた OSM-NM データと公共 NM データの直線距離の平均値（19.13m）と平均値+標準偏差（46.30m）にそれぞれ 86 と 94 の基準点データが含まれた．これらの基準点データと対応する OSM-NMJ データの山の名称を比較し，さらに予測値と比較した．比較の結果を表 5 に示した．この表の 3 - 4 行目で示した「山の名称」の一致は，OSM-NMJ データと基準点データの山の名称が一致したケース（3 行目）を表す一方で，不一致は，両データが一致しないケース（4 行目）を表す．他方 3 - 4 列目と 6 - 7 列目で示した「予測」は，平均値（=19.13m）のバッファ内で抽出された 86 の基準点（4 - 5 列目）と平均値+標準偏差（=46.3m）のバッファ内で抽出された 94 基準点に関して，対応する OSM-NMJ データと重回帰分析の結果得られた偏回帰係数を用いて算出した一致（=1）と予測されたケース（3，6 列目）と不一致（=0）と

表 5 位置正確度の予測値と実測値の比較

	a) buffer	予測		b) buffer	予測	
	=19.13 m	一致	不一致	=46.30 m	一致	不一致
山の名称	一致	8	0	一致	10	0
	不一致	77	1	不一致	82	2
正判定 (%)		9 (10.5)			12 (12.8)	
誤判定 (%)		77 (89.5)			82 (87.2)	
合計 (%)		86 (100.0)			94 (100.0)	

予測されたケース（4，7 列目）を示している．OSM-NMJ データと基準点データの一致・不一致を正確に判定した，すなわち正判定した割合はそれぞれ 10.5%と 12.8%であった．両ケースともに 10%強しか正確に判定しておらず，正判定の確率が低いことから，3 指標を主題正確度の予測指標とすることは難しいと結論づけられる．

5. 考察

ここでは，本研究でえられた知見を，次の 3 つの側面から検討する．すなわち VGI の位置正確度と主題正確度，VGI の品質保証の代替指標としての信頼性指標，信頼性指標の頑健性である．

第 1 に，VGI の位置正確度と主題正確度に関して，クラウドソーシングアプローチに関する従来の研究の見解とは異なる結果となった．すなわち本研究で用いた OSM-NM data の位置・主題正確度はともに正確であった．先述したように，リーナスの法則は，地理空間情報の品質を担保するのには有効ではないと Goodchild and Li [27]は主張し，彼らは，クラウドソーシングアプローチに関して否定的であった．当該アプローチのうち，位置正確度に関して，Haklay et al. [26]は，初期の少数の地図作成者が，位置正確度を強化する一方で，多数の貢献者が逆に位置正確度に悪影響を与える可能性があることを示唆した．彼らの見解は部分的に Spielman [38]に支持された．複数の地図作成者のグループで生成された地理空間情報の位置性正確度は高くなる傾向にあることが示唆された．これらの主張に反して，本研究で取り上げた OSM-NM データの位置正確度が高かった理由は山の名称という特殊性に起因していると考えられる．たとえば，レストランやカフェといった店舗や施設などの POI データは地理空間上に一様に位置することができる．このような一般的な POI データに対して，本研究が扱った山の名称データは基本的に山頂付近に一つしか代表的に位置づけられない．このような理由から，OSM-NM データの位置正確度が高かったと推測される．

一方，主題正確度に関して，Haklay et al. [26]は，イギリスにおける事例研究を踏まえて，貢献者の数と主題正確度には統計的に相関関係がないことを明らかにした．彼らの見解は，Foody et al. [18]によって支持された．土地被覆のマッピング活動における VGI の主題正確度に関して，Foody et al. [18]は，少数の貢献者から高い精度の地理空間情報がえられる一方で，大多数の貢献者は精度の低い情報しかもたらさないことを指摘した．これらの主張に反して，本研究におけるデータの主題正確度が高かった理由は，レストランやカフェといった一般的な POI データの名称や通り名の付け方と異なり，山の名称は多くの人々にとって表記のゆらぎの少ない共通のランドマークとして位置づけられるため，OSM-NM データに山の名称を記載する際にも，公的 NM データの山の名称と大きく異なることは無かったと考えられる．したがって，上述したように，漢字表記やローマ字表記の差異の「ぶれ」は見られるものの，山の名称が大きく異なって OSM-NM データに記載されることがなかったことから，OSM-NM データの主題正確度が高かったと推測される．

このことから，基準点データ予測に関して，主題の不一致が観測されたが，単純にデータの不一致としてとらえてよいのだろうか．上述したように，基準点データの予測と同様に，参照データとした公的 NM データと OSM-NM データの主題，すなわち山の名称に関する不一致と同様の傾向がみられた．具体的には，漢字の表記の差異があるケース，発音は同

じだが、漢字ではなく、ローマ字表記としているケース、山の名称に地域名を付加したケースである。しかし公的 NM データと OSM-NM データを比較した場合と異なり、全く異なるケースが多くみられる。本研究では基準点データの地点の名称を「真値」として取り扱い、この真値と一致しない OSM-NM データを不一致データと判断した。しかし不一致データとして取り扱うのではなく、すなわち公的データを「真値」データ、不一致したデータを誤差として取り扱うのではなく、両者は併存し、OSM-NM データは基準点データに新たな価値を与えるデータとして取り扱うことも考えられる。

この点に関して、Brovelli et al. [25]は、イタリア・ロンバルディ地方の OSM 上の建物形状データを分析した際に、公的な参照データには存在せず、OSM にのみ存在する建物データが全体の 9 % 程度であったことに着目した。この研究では、公的データが完全であると考えerのではなく、OSM データをこれらの公共データと統合して使用できることを指摘した。このような公的データと OSM に代表されるような VGI の統合利用 (integrated usage) は、Ghaffarina et al. [39] のように災害後の建物推計に関する深層学習に関する研究でも試みられており、新しいアプローチと捉えられる。したがって、OSM を中心とする VGI と公的データの統合利用という観点について、今後の研究でさらなる検討が必要であると考えられる。このような統合利用の可能性が仮に保証されるならば、測量や地図作成の専門性が高くない市民の関与が高いデータ収集段階を通した市民科学としての価値も高まると考えられる。

第 2 に、VGI の品質保証の代替指標としての、バージョン数、ユーザー数、タグ編集回数の 3 信頼性指標に関する本研究の結果は、上記の主題正確度の関する本研究の知見と、他の先行研究の成果で支持されると考えられる。まず信頼性指標としてのユーザー数の妥当性は、上述した主題正確度に関するクラウドソーシングアプローチに関する知見と軌を一にする。その理由は、クラウドソーシングアプローチでは、ユーザー数が多いと主題正確度が高いことを仮定しているが、この仮説が公的 NM データと OSM-NM データを比較した本研究で検証されたことにある。公的 NM データと OSM-NM データの比較では検証されていないが、ユーザー数と同様に、クラウドソーシングの文脈から、バージョン数の増加が主題正確度の向上をもたらすことも想像することができる。最後にタグ編集に関して、Mooney and Corcoran [40]は過度にタグを編集された地物が正確度に関して問題を含んでいることを指摘した。このことは、タグ編集回数が少ないほど地理空間情報の精度は高いことを意味している。この点は、本研究の知見と合致する。

第 3 に、主題正確度を測る代替指標としての上記 3 信頼性指標の頑健性はカッパ係数 (Kappa coefficient) と称されるコーエンの一致係数 (Cohen's coefficient of agreement) によって検証可能である [41]。実際、VGI の品質保証のための指標として、カッパ係数が既往研究でも使われてきた [18, 42]。カッパ係数は、ある現象を 2 人の観察者が観察した場合の結果がどの程度一致しているかを表す統計量である。この値は 0 から 1 の値を取り、0 の場合、全く一致していないことを表す一方で、1 の場合、完全に一致していることを示す。表 5 で示した 2 つのケースのカッパ係数はそれぞれ 0.0024 と 0.0052 であり、ほとんど 0 に近い。このことから、3 信頼性指標によって、基準点データを全く予測できなかったことを意味し、3 信頼性指標の頑健性は著しく低いことが検証された。なお信頼性指標の頑健性を強化する方法としては、信頼性指標以外の指標を組み合わせた

信頼性モデルが提案している[20, 22, 43, 44]. いずれの場合も VGI 作成者の活動を通じた評判 (reputation) が信頼性モデルに組み込まれており, 信頼性指標の頑健性を増すためには, 評判を組み込んだ信頼性指標モデルの検討が必要と考えられる.

6. おわりに

本研究では, 国土地理院の地名データ (公共データ) と OSM データ (VGI) を比較し, 対象とする VGI で ISO 上のデータ品質が担保されていることを確認した上で, VGI のデータ品質保証に関して, Keßler and de Groot[8]が提示した 5 つの信頼性指標の有用性を明らかにすることを目的とした. 結果として, VGI として取り上げた OSM の位置・主題正確度はともに高かったことが明らかとなった. しかし重回帰分析の結果から, 5 指標を, VGI のデータ品質を保証するための信頼性を表す指標であるとは言い難い結果となった. これらの指標のうちバージョン数, ユーザー数, タグ修正回数の 3 指標が主題正確度の信頼性を表す指標となりうると考えられたことから, これら 3 信頼性指標による予測値と観測値の比較から, その頑健性を検討したが, 3 指標を主題正確度の予測指標とすることは難しいと結論づけた.

最後に, 本研究では VGI 固有の特性にもとづく信頼性指標を用いて VGI のデータ品質を担保しようとしたが, 芳しい結果を得られたとは言い難い結果となった. 他方, この結果を通じて, VGI 固有の特性以外の特性にもとづく信頼性を表す新たな指標を開発する余地があることを同時に示しているとも考えられる. 考察を通じて, 新指標開発の方向性は大きく 2 つあると考えられる. 一つは, 信頼性指標単独で, VGI のデータ品質を担保することが難しいと本研究で示唆されたことから, 外部評価者にもとづくソーシャル・アプローチの有用性[6, 27]を検討することにある. もう一つは, VGI 固有の特性に依存しない信頼性以外の VGI 作成者の活動を通じた評判 (reputation) といった新たな指標を用いることで, VGI のデータ品質を実証的に評価することである[45]. 今後これらの方向を加味して, VGI データの信頼性指標の開発が, 実証研究を通してより深く検討されるべきであると考えられる.

謝辞

本研究を進めるにあたり, ジオリパブリック・ジャパンの飯田哲氏と松澤太郎氏に技術的なご支援をいただいた. 記してお礼を申し上げます.

参考文献

1. 国土地理院, 「品質の要求, 評価及び報告のための規則」(国土地理院技術資料 A・1 -No. 306), 国土地理院, 2005.
2. Haklay, M. How Good is Volunteered Geographical Information? A Comparative Study of OpenStreetMap and Ordnance Survey Datasets. *Environ Plann B Plann Des* 2010, 37, 682-703, doi:10.1068/b35097.
3. Fairbairn, D.; Al-Bakri, M. Using Geometric Properties to Evaluate Possible Integration of Authoritative and Volunteered Geographic Information. *IJGI*

- 2013, 2, 349-370, doi:10.3390/ijgi2020349.
4. Seto, T.; Kanasugi, H.; Nishimura, Y. Quality Verification of Volunteered Geographic Information Using OSM Notes Data in a Global Context. *IJGI* 2020, 9, 372, doi:10.3390/ijgi9060372.
 5. Goodchild, M.F.; Hunter, G.J. A simple positional accuracy measure for linear features. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 1997, 11, 299-306, doi:10.1080/136588197242419.
 6. Moreri, K.K.; Fairbairn, D.; James, P. Volunteered geographic information quality assessment using trust and reputation modelling in land administration systems in developing countries. *International Journal of Geographical Information Science* 2018, 32, 931-959, doi:10.1080/13658816.2017.1409353.
 7. Senaratne, H.; Mobasher, A.; Ali, A.L.; Capineri, C.; Haklay, M. (Muki) A review of volunteered geographic information quality assessment methods. *International Journal of Geographical Information Science* 2017, 31, 139-167, doi:10.1080/13658816.2016.1189556.
 8. Keßler, C.; de Groot, R.T.A. Trust as a Proxy Measure for the Quality of Volunteered Geographic Information in the Case of OpenStreetMap. In *Geographic Information Science at the Heart of Europe*; Vandenbroucke, D., Bucher, B., Cromptvoets, J., Eds.; Lecture Notes in Geoinformation and Cartography; Springer International Publishing: Cham, 2013; pp. 21-37 ISBN 978-3-319-00614-7.
 9. Sztompka, P. *Trust: A Sociological Theory*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 1999; pp. 25-29 ISBN 0-521-59144-9.
 10. Mezzetti, N. A Socially Inspired Reputation Model. In *Public Key Infrastructure*; Katsikas, S.K., Gritzalis, S., López, J., Eds.; Lecture Notes in Computer Science; Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg, 2004; Vol. 3093, pp. 191-204 ISBN 978-3-540-22216-3.
 11. Goodchild, M.F. The Quality of Geospatial Context. In *Quality of Context*; Rothmel, K., Fritsch, D., Blochinger, W., Dürr, F., Eds.; Lecture Notes in Computer Science; Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg, 2009; Vol. 5786, pp. 15-24 ISBN 978-3-642-04558-5.
 12. Longueville, B.D.; Luraschi, G.; Smits, P.; Peedell, S.; Groeve, T.D. Citizens as sensors for natural hazards: A VGI integration workflow. *Geomatica* 64, 41-59, doi:10.5623/geomat-2010-0005.
 13. Flanagan, A.J.; Metzger, M.J. The credibility of volunteered geographic information. *GeoJournal* 2008, 72, 137-148, doi:10.1007/s10708-008-9188-y.
 14. Bishr, M.; Kuhn, W. Geospatial Information Bottom-Up: A Matter of Trust and Semantics. In *The European Information Society*; Fabrikant, S.I., Wachowicz, M., Eds.; Lecture Notes in Geoinformation and Cartography; Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg, 2007; pp. 365-387 ISBN 978-3-540-72384-4.

15. Golbeck, J. Computer Science: Weaving a Web of Trust. Science 2008, 321, 1640-1641, doi:10.1126/science.1163357.
16. Vahidi, H.; Klinkenberg, B.; Yan, W. A fuzzy system for quality assurance of crowdsourced wildlife observation geodata. In Proceedings of the 2017 International Electronics Symposium on Knowledge Creation and Intelligent Computing (IES-KCIC); IEEE: Surabaya, 2017; pp. 55-58.
17. Bishr, M.; Kuhn, W. Geospatial Information Bottom-Up: A Matter of Trust and Semantics. In The European Information Society; Fabrikant, S.I., Wachowicz, M., Eds.; Lecture Notes in Geoinformation and Cartography; Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg, 2007; pp. 365-387 ISBN 978-3-540-72384-4.
18. Foody, G.M.; See, L.; Fritz, S.; Van der Velde, M.; Perger, C.; Schill, C.; Boyd, D.S. Assessing the Accuracy of Volunteered Geographic Information arising from Multiple Contributors to an Internet Based Collaborative Project: Accuracy of VGI. Transactions in GIS 2013, 17, 847-860, doi:10.1111/tgis.12033.
19. Jackson, S.; Mullen, W.; Agouris, P.; Crooks, A.; Croitoru, A.; Stefanidis, A. Assessing Completeness and Spatial Error of Features in Volunteered Geographic Information. IJGI 2013, 2, 507-530, doi:10.3390/ijgi2020507.
20. D' Antonio, F.; Fogliaroni, P.; Kauppinen, T. VGI Edit History Reveals Data Trustworthiness and User Reputation. 2014, 5.
21. Fogliaroni, P.; D' Antonio, F.; Clementini, E. Data trustworthiness and user reputation as indicators of VGI quality. Geo-spatial Information Science 2018, 21, 213-233, doi:10.1080/10095020.2018.1496556.
22. Severinsen, J.; de Roiste, M.; Reitsma, F.; Hartato, E. VGTrust: measuring trust for volunteered geographic information. null 2019, 33, 1683-1701, doi:10.1080/13658816.2019.1572893.
23. Du, H.; Anand, S.; Alechina, N.; Morley, J.; Hart, G.; Leibovici, D.; Jackson, M.; Ware, M. Geospatial Information Integration for Authoritative and Crowd Sourced Road Vector Data. Transactions in GIS 2012, 16, 455-476, doi:10.1111/j.1467-9671.2012.01303.x.
24. Kashian, A.; Rajabifard, A.; Richter, K.-F.; Chen, Y. Automatic analysis of positional plausibility for points of interest in OpenStreetMap using coexistence patterns. null 2019, 33, 1420-1443, doi:10.1080/13658816.2019.1584803.
25. Brovelli, M.; Zamboni, G. A New Method for the Assessment of Spatial Accuracy and Completeness of OpenStreetMap Building Footprints. IJGI 2018, 7, 289, doi:10.3390/ijgi7080289.
26. Haklay, M. (Muki); Basiouka, S.; Antoniou, V.; Ather, A. How Many Volunteers Does it Take to Map an Area Well? The Validity of Linus' Law to Volunteered Geographic Information. The Cartographic Journal 2010, 47, 315-322,

- doi:10.1179/000870410X12911304958827.
27. Goodchild, M.F.; Li, L. Assuring the quality of volunteered geographic information. *Spatial Statistics* 2012, 1, 110-120, doi:10.1016/j.spasta.2012.03.002.
 28. Raymond, E.S. *The Cathedral and the Bazaar: Musings on Linux and Open Source by an Accidental Revolutionary*; Oreilly & Associates Inc: Beijing; Cambridge, Mass, 1999; ISBN 978-1-56592-724-7.
 29. Yamashita, J.; Seto, T.; Nishimura, Y.; Iwasaki, N. VGI contributors' awareness of geographic information quality and its effect on data quality: a case study from Japan. *International Journal of Cartography* 2019, 5, 214-224, doi:10.1080/23729333.2019.1613086.
 30. Moreri, K.K.; Fairbairn, D.; James, P. Volunteered geographic information quality assessment using trust and reputation modelling in land administration systems in developing countries. *International Journal of Geographical Information Science* 2018, 32, 931-959, doi:10.1080/13658816.2017.1409353.
 31. Planet OSM. (<https://planet.openstreetmap.org/planet/full-history/> , 2020 年 7 月 21 日閲覧) .
 32. Haklay, M. Citizen science and volunteered geographic information: Overview and typology of participation. In *Crowdsourcing Geographic Knowledge: Volunteered Geographic Information (VGI) in Theory and Practice*; 2013; Vol. 9789400745872, pp. 105-122.
 33. See, L.; Mooney, P.; Foody, G.; Bastin, L.; Comber, A.; Estima, J.; Fritz, S.; Kerle, N.; Jiang, B.; Laakso, M.; et al. Crowdsourcing, Citizen Science or Volunteered Geographic Information? The Current State of Crowdsourced Geographic Information. *IJGI* 2016, 5, 55, doi:10.3390/ijgi5050055.
 34. Laso Bayas, J.; See, L.; Fritz, S.; Sturn, T.; Perger, C.; Dürauer, M.; Karner, M.; Moorthy, I.; Schepaschenko, D.; Domian, D.; et al. Crowdsourcing In-Situ Data on Land Cover and Land Use Using Gamification and Mobile Technology. *Remote Sensing* 2016, 8, 905, doi:10.3390/rs8110905.
 35. Jacobs, C.; Zipf, A. Completeness of citizen science biodiversity data from a volunteered geographic information perspective. *Geo-spatial Information Science* 2017, 20, 3-13, doi:10.1080/10095020.2017.1288424.
 36. 国土地理院ベクトルタイル提供実験 (地名情報). (https://github.com/gsi-cyberjapan/experimental_pni , 2020 年 7 月 21 日閲覧) .
 37. 基盤地図情報ダウンロードサービス.
(<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php> , 2020 年 7 月 21 日閲覧) .
 38. Spielman, S.E. Spatial collective intelligence? Credibility, accuracy, and volunteered geographic information. *Cartography and Geographic Information Science* 2014, 41, 115-124, doi:10.1080/15230406.2013.874200.

39. Ghaffarian, S. ; Kerle, N. ; Pasolli, E. ; Jokar Arsanjani, J. Post-Disaster Building Database Updating Using Automated Deep Learning: An Integration of Pre-Disaster OpenStreetMap and Multi-Temporal Satellite Data. *Remote Sensing* 2019, 11, 2427, doi:10.3390/rs11202427.
40. Mooney, P. ; Corcoran, P. The Annotation Process in OpenStreetMap: The Annotation Process in OpenStreetMap. *Transactions in GIS* 2012, 16, 561-579, doi:10.1111/j.1467-9671.2012.01306.x.
41. Cohen, J. A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educational and Psychological Measurement* 1960, 20, 37-46, doi:https://doi.org/10.1177%2F001316446002000104.
42. Moreri, K. ; Fairbairn, D. ; James, P. Issues in developing a fit for purpose system for incorporating VGI in land administration in Botswana. *Land Use Policy* 2018, 77, 402-411, doi:10.1016/j.landusepol.2018.05.063.
43. Gao, S. ; Li, L. ; Li, W. ; Janowicz, K. ; Zhang, Y. Constructing gazetteers from volunteered Big Geo-Data based on Hadoop. *Computers, Environment and Urban Systems* 2017, 61, 172-186, doi:10.1016/j.compenvurbsys.2014.02.004.
44. Vahidi, H. ; Klinkenberg, B. ; Yan, W. Trust as a proxy indicator for intrinsic quality of Volunteered Geographic Information in biodiversity monitoring programs. *GIScience & Remote Sensing* 2018, 55, 502-538, doi:10.1080/15481603.2017.1413794.
45. Bordogna, G. ; Carrara, P. ; Criscuolo, L. ; Pepe, M. ; Rampini, A. A linguistic decision making approach to assess the quality of volunteer geographic information for citizen science. *Information Sciences* 2014, 258, 312-327, doi:10.1016/j.ins.2013.07.013.