

「メッシュ統計の国際利活用検討会」第 5 期
報告書

一般社団法人世界メッシュ研究所

Research Institute for World Grid Squares

2025 年 10 月

【目次】

- 1 はじめに
- 2 検討作業工程
- 3 検討結果
 - 3.1 メッシュ統計の統計品質の特定
 - 3.2 地理空間情報のデータ品質
 - 3.3 データ品質に関する関連用語について
 - 3.4 逆距離加重法による不確かさを考慮した高さの推定
- 4 まとめ

参考文献

※本報告書内容の著作権は一般社団法人世界メッシュ研究所が保持しています。利用に当たっては、次のとおり出典を明記してください。

一般社団法人世界メッシュ研究所, 「メッシュ統計の国際利活用検討会」第5期報告書 (2025)

本件に関するお問い合わせは、次のフォームにてご連絡ください。

https://www.fttsus.org/worldgrids/ja/contact_us/

1 はじめに

一般社団法人世界メッシュ研究所は、世界規模でのメッシュ統計の作成とその流通、利活用促進を支援することを主たる目的として、2020年11月に設立された非営利組織である。

2022年度、メッシュ統計の利活用を世界規模で検討する目的で一般社団法人世界メッシュ研究所「メッシュ統計の国際利活用検討会」を設置して以来、これまで継続してメッシュ統計の国際利活用に関する検討会を開催し議論を行ってきた。

- ・ メッシュ統計の国際利活用検討会：第1期（2022年8月～2022年10月）
- ・ メッシュ統計の国際利活用検討会：第2期（2023年1月～2023年3月）
- ・ メッシュ統計の国際利活用検討会：第3期（2023年9月～2023年11月）
- ・ メッシュ統計の国際利活用検討会：第4期（2024年9月～2024年11月）

本報告書は2025年4月～6月まで開催された、メッシュ統計の国際利活用検討会（第5期）で議論された検討結果をまとめたものである。第5期検討会は主として、メッシュ統計の分析手法や、応用方法について検討された。

表1には、メッシュ統計の国際利活用検討会（第5期）の構成員および陪席員を示す。産学からなる構成員により本検討作業が行われた。

表1 メッシュ統計の国際利活用検討会（第5期）委員構成および陪席者（所属と職名は検討会当時）

役割	氏名	所属・役職
委員長	佐藤 彰洋 氏	横浜市立大学大学院データサイエンス研究科・教授
委員	太田 守重 氏	国際航業株式会社・名誉フェロー
委員	渡邊 剛史 氏	国際航業株式会社・チームリーダー
陪席者	西 文彦 氏	一般社団法人世界メッシュ研究所・理事、横浜市立大学大学院データサイエンス研究科・客員教授
陪席者	武田 浩志 氏	国際航業株式会社先端技術開発部/IPA 独立行政法人情報処理推進機構デジタルアーキテクチャデザインセンター（第2回）

2 検討作業工程

表2にメッシュ統計の全3回の国際利活用検討会で取り扱った内容について列挙する。本検討会は1ヶ月に1度の割合で委員長、委員、陪席者が参加し、メッシュ統計の国際利活用に必要なと考えられるトピックについて調査し、その調査結果を委員会で共有することにより議論を深めた。

表2 メッシュ統計の国際利活用検討会（第5期）で議論した内容

開催回	開催日時	検討内容
第1回	2025年4月30日 (水)	メッシュ統計の国際利活用検討会（第5期）委員長、委員の挨拶につづき、議論の進め方、対象について選定を行った。メッシュ統計の作成時および変換時における不確実性の評価方法について検討すべきテーマの選定を行った。
第2回	2025年5月26日 (月)	ISO/TC211の国際標準文章におけるデータ品質についてISO 19157 Data Qualityを中心として検討を行った。
第3回	2025年6月30日 (月)	メッシュ統計の評価方法に関する検討を行うとともに、一般社団法人世界メッシュ研究所公開用報告書原案について検討した。

3 検討結果

3.1 メッシュ統計の統計品質の特定

ISO/24108シリーズで開発が想定されるメッシュ統計の方法論について、議論しておくべき論点を整理した。そこで、メッシュ統計の評価を行う上で必要となるメッシュ統計の品質項目について議論することが重要であると判断した。

その中でも今回の検討会では、メッシュ統計の不確かさに着目した。メッシュ統計の不確かさとして、次の5種類の不確かさを特定し、これらの不確かさを分けて評価する必要があると判断した。

- ・メッシュ統計を作成する元の地理空間情報データに起因するメッシュ統計作成時に混入する不確かさ
- ・推測統計としてメッシュ統計を作成する場合における標本サイズに依存するメッシュ統計作成時に混入する不確かさ

- ・メッシュ変換アルゴリズムによる不確かさ
- ・グリッド分割の空間解像度に伴う変換時の不確かさ
- ・数値誤差（浮動小数点演算における丸め誤差、桁落ち）

本検討会では、主としてメッシュ統計を作成する元の地理空間情報データに起因するデータの不確かさまたは誤差を主題とし、地理空間情報のデータ品質について調査を行うこととした。

3.2 地理空間情報のデータ品質

TC211 Geomatics/Geographical Information が策定している国際標準文章 ISO 19157 Data Quality では、地理空間情報の品質に関する記述があり、メッシュ統計の品質評価方法の国際標準を検討する上で、メッシュ統計を作成する場合に生じる不確かさと関連性がある。ISO 19157 は、主に収集された地理データを対象とする品質評価指標を定めるものであるが、メッシュの属性を求める際に、元データの品質を考慮する場合がある。メッシュ統計の品質を検討する場合に、誤差伝播などについては元のメッシュ統計の統計品質について検討することが必要となるため、ISO 19157 で取り扱われるデータ品質についてここではまとめておく。

3.2.1 データ品質とは

ISO 19157 では、データ品質は「データの固有の特徴の集合が要求事項を満たす程度」として定義される。品質の構成要素として次の 6 種類の品質概念が存在する。

- 1 完全性 (completeness) 人数が一致しているか
- 2 論理一貫性 (logical consistency) 論理的に矛盾がないか
- 3 位置正確度 (positional accuracy)
- 4 時間品質 (temporal quality)
- 5 主題品質 (thematic quality)
- 6 メタ品質要素 (meta-quality element)

3.2.2 完全性

完全性とは、地物（または地物の集まり）を表わすデータ集合（またはデータ集合の集まり）がそのデータ集合の作成時点で予想される全ての属性、および、関連する実体インスタンスの値を持つ度合い（ISO 8000-2, ISO/IEC 25012）を意味する。地物の存在

数が現実と一致しているかを意味しており、ISO 8000-2 からこの完全性の定義が用いられている。

完全性の指標には過剰(commission)と漏れ(omission)がある。推測統計では過剰や漏れはある程度の範囲に入っていると考えて、利用するので、推測統計を利用するメッシュ統計において、完全性の概念は統計的な緩和を行うことが考えられる。

3.2.3 論理一貫性

地理データを表現する場合、データ構造として XML によるツリー構造を用いる。論理一貫性は XML での記述される論理構造に矛盾がないことを言っている。定義域一貫性(domain consistency)、書式一貫性(format consistency)がある。このような一貫性を考える背景として、データ互換性(data portability)を必要とすることがあげられる。ISO/IEC 19941 Information technology におけるデータ互換性においては、記述(syntactic)、意味(semantic)、方針(policy)の3種類のファセット(facet)が満足される必要があるとされる。この他幾何属性の位相的な性質を評価する位相一貫性(topological consistency)もある。

3.2.4 位置正確度と時間品質

位置正確度、時間品質とは、位置、時間の正確性に関する GIS データの品質要求についての述べているもので、統計的な品質とは異なり元データの品質要求を意味している。

位置正確度(positional accuracy)とは、位置測定の正確度(ISO/IEC GUIDE 98-3, ISO/IEC GUIDE 99)であり、地物の測定位置の正確度(絶対正確度、相対正確度、グリッド位置正確度)である。正確度(accuracy)は誤差の平均値と標準偏差でしめすことができ、誤差の標準偏差は精度(precision)と言われる。これに加えてグリッドデータ位置正確度(grid data positional accuracy)という概念がある。これは、間位置の値が真として受け入れられる値にどれだけ近いかを意味する。不確かさは「GUM」の影響を受けている。不確かでは真の値は考慮しない。標準の不確かさ(標準偏差)によりばらつきを指標化し、統計的方法(タイプ A)と統計以外の方法(タイプ B)からなるとする。

時間品質(temporal quality)とは、時間属性及び他の地物との時間関係の品質である。時間測定の正確度、時間一貫性、時間妥当性などが含まれる。

3.2.5 主題品質とメタ品質

主題品質 (thematic quality) とは分類の正確性、定量的属性・質的属性の正確性のことである。分類の正確性 (classification correctness) は、地物またはその属性に割り当てられたクラス及び対象領域のグラントゥールースデータまたは参照データとの比較により決定される。そのため、真の値がわかることを前提として主題品質が評価される。

また、メタ品質要素として、信頼性 (confidence)、代表度 (representativity)、均質度 (homogeneity) がある。これらの品質を評価する方法として、直接評価法 (direct evaluation method) と完成評価法 (indirect evaluation method) とがある。

直接評価法とは、データ集合内部情報及び/又は外部の参照情報との比較を通じて品質を判断する評価法である。また、間接評価法とは、典拠 (lineage) などの引用情報を用いてデータ品質を推測又は推定する方法である。

3.2.6 メッシュ統計とデータ品質の関係について

メッシュ統計における「統計」という行為のためにはデータが必要となる。空間統計であるメッシュ統計の作成のためのデータには地理空間情報が含まれている。何のメッシュ統計をとるのか (データの種別を考える場合属性の品質が必要である)、指標そのものを考えるのか、指標は既知とするのかによって組み立て方が変わる。

特に、統計値の完全性については考慮が必要である。位置や時間の正確度と精度についての問題は重要である。主題正確度についても検討が必要である。元データの正確度とデータ変換後の正確度について分離して検討する必要がある。

3.3 データ品質に関する関連用語について

3.3.1 誤差 (error) の定義について

ISO/TS 19159-1:2014 4.18 では measurement error, error of measurement の同義語として error を次のように定義している。また、その引用元は ISO/IEC Guide 99:2007, 2.16 である。つまり VIM である。また、deviation (偏差: 測定値と母平均の差) や residual

(残差:測定値と標本平均の差)なども真値からの乖離を定量的に捕らえる場合に利用可能としている。

measured quantity (4.27) value minus a reference quantity value

Note 1 to entry: The concept of "measurement error" can be used both

a) when there is a single reference quantity value to refer to, which occurs if a calibration is made by means of a measurement (4.16) standard with a measured quantity value having a negligible measurement uncertainty (4.38) or if a conventional quantity value is given, in which case the measurement error is known, and

b) if a measurand is supposed to be represented by a unique true quantity value or a set of true quantity values of negligible range, in which case the measurement error is not known.

Note 2 to entry: Measurement error should not be confused with production error or mistake.

[SOURCE:ISO/IEC Guide 99:2007, 2.16]

3.3.2 不確かさ (Uncertainty) の定義について

不確かさ (uncertainty) は、「測定の結果に付随した、合理的に測定量に結び付けられ得る値のばらつきを特徴づけるパラメータ」と定義される。この不確かさの定義は、ISO/IEC Guide 98-3:2008 Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM) に基づく。ISO 19116:2019 Positioning service の 3.28 と ISO 19157-1:2023 Data quality の 3.27 などにも採用されている。TC211 規格群では、個々の規格によって uncertainty (不確かさ) の定義に独自の注記が付記されているので、必ずしも統一した見解を示しているわけではないと思われる。不確かさについて、最もふさわしい注記を付記して、定義している。TC211 規格ごとの、Uncertainty の定義及び注記をここでは紹介する。

ISO 19101-2:2018 3.40

uncertainty

parameter, associated with the result of measurement (3.20), that characterizes the dispersion of values that could reasonably be attributed to the measurand (3.21)

Note 1 to entry: The parameter may be, for example, a standard deviation (or a given multiple of it), or the half-width of an interval having a stated level of confidence.

Note 2 to entry: Uncertainty of measurement comprises, in general, many components. Some of these components may be evaluated from the statistical distribution of the results of series of measurements and can be characterized by experimental standard deviations. The other components, which can also be characterized by standard deviations, are evaluated from assumed probability distributions based on experience or other information.

Note 3 to entry: It is understood that the result of the measurement is the best estimate of the value of the measurand, and that all components of uncertainty, including those arising from systematic effects, such as components associated with corrections and reference standards, contribute to the dispersion.

[SOURCE:ISO 19116:2004, 4.26, modified – Notes 1-3 to entry have been added.]

ISO 19116:2019 Positioning service 3.28

uncertainty

parameter, associated with the result of measurement, that characterizes the dispersion of values that could reasonably be attributed to the measurand

Note 1 to entry: When the quality of accuracy or precision of measured values, such as coordinates, is to be characterized quantitatively, the quality parameter is an estimate of the uncertainty of the measurement results. Because accuracy is a qualitative concept, one should not use it quantitatively, that is associate numbers with it; numbers should be associated with measures of uncertainty instead.

ISO 19157-1:2023 Data quality 3.27

uncertainty

measurement uncertainty

parameter, associated with the result of measurement, that characterizes the dispersion of values that could reasonably be attributed to the measurand

Note 1 to entry: Uncertainty of measurement comprises, in general, many components. Some of these components may be evaluated from the statistical distribution of the results of series of measurements and can be characterized by experimental standard deviations. The other components, which can also be

characterized by standard deviations, are evaluated from assumed probability distributions based on experience or other information.

[SOURCE:ISO 19116:2019, 3.28, modified – Note 1 to entry has been removed and replaced with Note 2 to entry from ISO 19101-2:2018, 3.40.]

3.4 逆距離加重法による不確かさを考慮した高さの推定

ランダムに配置された複数の点の高さ (height) に基づいて、あらかじめ水平位置のみが決まっている点 c の高さ及びその分散を推定する。そのために、ここでは逆距離加重法 (Inverse Distance Weighted: IDW) をもちいる。高さの内挿は、ランダムに分布する点群から、規則的なグリッドを作る場合などに行われる。逆距離加重法はその一つであり、もとの点群の密度が結果として得られる点の密度よりも高いかそれに近い場合の、低解像度での補間に役立つと言われている[11]。

なお、[10]では、測定量の「真の値」を知ることにはできないという見解に基づき、誤差という用語の使用を控え、標準偏差を「標準不確かさ」、標準不確かさの二乗を「分散」、信頼区間を「拡張不確かさ」、それを求めるための標準偏差の係数は「包含係数」としている。ここでは[10]の用語を使用する。

ランダムに配置された n 個の点 $\mathbf{p}_i$ ($i = 1, \dots, n$)は直交座標系に従い、水平位置 (x_i, y_i) 及び高さ z_i の組として次のように表現する。

$$\mathbf{p}_i = (x_i, y_i, z_i)$$

ここで、点 c の高さ z_c を、点 $\mathbf{p}_i$ からの水平距離 r_i の二乗の逆数を重みとした加重平均として求めるとした場合、その値は次に示すように求められる。

$$\begin{aligned} r_i &= \sqrt{(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2} \\ w_i &= \frac{1}{r_i^2} \\ R &= \sum_{k=1}^n w_k \\ z_c &= \frac{1}{R} \sum_{i=1}^n (w_i \cdot z_i) \end{aligned}$$

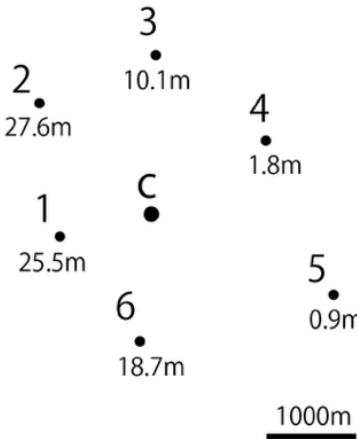
この加重平均のばらつきは、加重分散として次のように表現できるであろう¹。その平方根は加重標準不確かさになる。

$$\sigma^2(z_c) = \frac{1}{\left(\frac{n-1}{n}\right)R} \sum_{i=1}^n w_i \cdot (z_i - z_c)^2$$

さらに、この値を使用して、測定値の大部分が含まれる区間を表す拡張不確かさを求めることができる。これは、標準不確かさに包含係数（coverage factor）と呼ばれる係数 k をかけて、一定の信頼水準（confidence level）で不確かさの範囲を示したものである。

例題

高さ z_c が未知の点 c の周辺にある複数の点を使って、 z_c 及びその標準不確かさ $\sigma(z_c)$ を推定する。



この例では、それらの推定値は $17.0 \pm 11.0\text{m}$ になる（下表を参照）。さらに、包含係数 k を 2 とすれば、 z_c の真の値 Z は（95%信頼区間に相当する）拡張不確かさ $\pm 22.0\text{m}$ の範囲、つまり $-5.0 < Z < 39.0$ に入ることになる。

表 1 加重平均と加重標準不確かさの推定

i	x_i	y_i	z_i	$\frac{1}{r_i^2}$	$w_i \cdot z_i$	$z_i - z_c$	$w_i \cdot (z_i - z_c)^2$
1	2,457	3,735	25.5	8.63503×10^{-7}	2.20193×10^{-5}	8.5404051	6.29825×10^{-5}
2	2,223	5,259	27.6	3.10964×10^{-7}	8.5826×10^{-6}	10.6404051	3.52067×10^{-5}
3	3,552	5,809	10.1	3.05326×10^{-7}	3.0838×10^{-6}	-6.8595949	1.43669×10^{-5}

¹ 平均値を使った残差による通常の分散の場合は、残差平方和を $(n - 1)$ で割るが、加重分散の場合は、 $\left(\frac{n-1}{n}\right)R$ で割ることによって、同様の効果が得られる。

4	4,809	4,831	1.8	4.15966×10^{-7}	7.48739×10^{-7}	-15.159595	9.55946×10^{-5}
5	5,582	3,070	0.9	1.92322×10^{-7}	1.73089×10^{-7}	-16.059595	4.96018×10^{-5}
6	3,368	2,536	18.7	4.62809×10^{-7}	8.65452×10^{-7}	1.7404051	1.40184×10^{-6}
			合計	2.55089×10^{-6}	16.95960167		0.000259154
				R	z_c	$\sigma^2(z_c)$	121.9124974
						$\sigma(z_c)$	11.04139925

4 まとめと今後の課題

メッシュ統計の国際利活用検討会（第5期）では、メッシュ統計を作成するときに地理空間情報が元来有する不確かさを判読する方法として、TC211で開発されている国際標準の用語を中心として調査を行った。ISO/IEC Guide 98-3:2008 Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)の考え方に従った不確かさについて、メッシュ統計の品質評価への利用の可能性について議論した。推測統計を伴うメッシュ統計作成時の品質評価については、引き続き検討を必要とするため、今後の課題として次回のメッシュ統計の国際利活用検討会へ議論を送る。

参考文献

- [1] 19157-1:Data quality-Part:1 General requirements (データ品質)
- [2] ISO 19103:2015 Conceptual schema language (UML 概念スキーマで指定)
- [3] ISO 19109:2015 Rules for application schema (地理データの構造はUMLを使用し、この規格の規則に従う必要がある)
- [4] ISO 19115-1:2014: Metadata: Part 1 Fundamentals (メタデータには、品質の表現のための規則が規定されている)
- [5] ISO/DIS19123-1 Schema for coverage geometry and functions: Part 1 Fundamentals (位置の正確性について)
- [6] ISO/FDIS 19131 Data product specifications (品質要求の記述に関係する)
- [7] ISO 19156 Observations and measurements (測定方法の規定が含まれる)
- [8] ISO 19160-3:2020 Addressing Part 3: Address data quality (住所のデータ品質)
- [9] 19157-2:-Data quality -- Part:2 XML schema implementation

- [10] 小池昌義, 計測における不確かさの評価と表現の手順, 計測と制御, 第 37 巻, 第 5 号 (1998) pp. 312-317.
- [11] Mitasova, Helena. Interpolation. Kemp, Karen (ed). Encyclopedia of geographic information science. pp.237-241. Sage, 2008.
- [12] ISO/IEC Guide 98-3:2008 Guide to Uncertainty in Measurement (GUM)