基盤地図情報標高データに基づく建物地盤高推定に関する基礎的研究

阪田　知彦・寺木　彰浩

Study for Estimation of Ground Level of Buildings using Digital Elevation Data on Fundamental Geospatial Data

Tomohiko SAKATA and Akihiro TERAKI

Abstract: This paper deals with a fundamental sutdy for estimation of ground level of building using digital elevation(DEM) data on Fundamental Geospatial Data. First, we analyzed about relations between building polygon data and DEM data demonstratively. Second, we examined of the statistical technique for estimates of ground levels. Last, we conclude with suggestions for future study.

Keywords: 建物地盤高 (Ground Level of Building), 標高データ (Elevation Data), 基盤地図情報 (Fundamental Geospatial Data)

1. はじめに

本研究は，建築・都市計画分野での基盤地図情報の活用に関する研究の一環として，基盤地図情報の標高データを活用した建築物の地盤高を推定する手法の基礎的検討に関するものである．

近年，様々な3次元都市モデルに関する研究が行われている．レーザー測量技術などによる，3次元でのデータ取得が進み，地形・地物の3次元データが整備されつつあることが理由としてあげられる．建築・都市計画分野でも，ヒートアイランド対策や，防災シミュレーションなどにおける利活用に向けた研究が進められている．しかし，整備が格段に進んだとはいえ，広域的な解析に必要な3次元都市データの入手には，いまだコストがかかるというのが実態であり，これらの解析技術の普及に向けてはこうしたコストとのトレードオフが課題となってくる．一方，2008年3月より公開が開始された地理空間情報活用推進基本法に基づく基盤地図情報は様々な分野での適用が期待されている．これには，地図情報レベル2500程度の建築物の外周線や，詳細な数値標高モデル（Digital Elevation Model，以下DEM）などの整備が進められており，インターネットを介して無償で入手することが可能である．そこで，これら基盤地図情報として提供されるデータを利用し，建築物を主とする3次元都市モデルを構築することが選択肢として上がってくる．

そこで問題となるのが，建築物の高さの取得である．建築物の高さに関しては，建築基準法施行令第2条において，地盤面からの高さをとることになっており，地盤面は同条第2項において「建築物が周囲の地面と接する位置の平均の高さにおける水平面をいい，その接する位置の高低差が3メートルを超える場合においては，その高低差3メートル以内ごとの平均の高さにおける水平面」と定義されている．つまり，建築物の高さと一口

阪田：〒305-0804 茨城県つくば市旭1
国土技術政策総合研究所総合技術政策研究センター
建設経済研究室
Construction Economics Division,
Research Center for Land and Construction Management,
National Institute for Land and Infrastructure Management
1 Asahi Tsukuba, Ibaraki pref. 305-0804 Japan
Tel. 029-864-7457　E-mail:sakata-t92ta@nilim.go.jp
寺木：独立行政法人建築研究所住宅・都市研究グループ

に言っても，地盤面より上方の建築物の高さと地盤面自体高さの２点がある．実際に広域的に建築物の高さを取得する際には，前者については階数と平均階高から推定する簡易な方法がとられることが多いが，後者については地形図上の等高線やDEMなどから取得することになる．しかし，地形図上の等高線やDEMなどから，地盤面自体の高さを取得する際の知見は，十分に蓄積されているとは言い難い．

以上のような問題意識より，本稿では基礎的知見の蓄積を目的として実施中の，地盤面自体の高さ（以下，地盤高とする）を基盤地図情報より取得する方法についての基礎的検討の概要について報告する．

以下，本稿では，

○基盤地図情報を活用した地盤高の実証分析

○建築物地盤面の平坦性を考慮した地盤高推定のための一手法

の検討についての概要について整理し，最後にまとめと今後の課題について述べる．

2. 基盤地図情報を活用した地盤高の実証分析

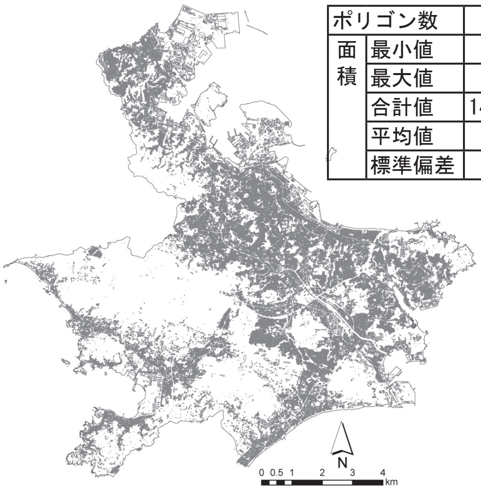
ここでは，地盤高推定に関しての手がかりとして，基盤地図情報を活用した実証分析の概要を整理する．

2.1 データ

現在，前述の基盤地図情報（2500 レベル）に関しては，28 市分が公開されている．また，DEMについては5m（0.2秒間隔）ごとに，16 地区分が公開されている．DEMについては，航空レーザ測量を基に作成したもの，写真測量を基にしたものの2種類がある．

今回の分析においては，公開されている地区のうち，比較的起伏に富んだ地形を有する地域という観点より，横須賀市のデータを例とすることにした（図１）．この地域のDEMは写真測量をもとに作成されたものである．

建物データは，地理院で公開されているコンバータによりshp形式に変換し，DEMデータはスクリプトによりポイントデータとして変換し，いずれもGIS上で扱える形式にした．



ポリゴン数		151,146 個
面積	最小値	0.06 ㎡
	最大値	47357.37 ㎡
	合計値	14,381,843.2 ㎡
	平均値	95.2 ㎡
	標準偏差	358.3 ㎡

図１　横須賀市建物データ

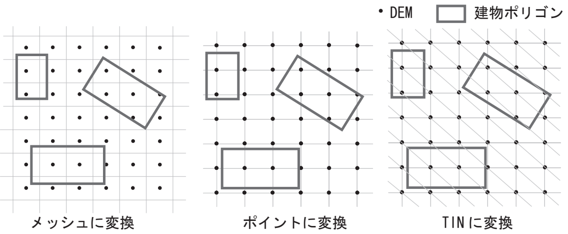


図２　建物外周線と DEM のオーバーレイ

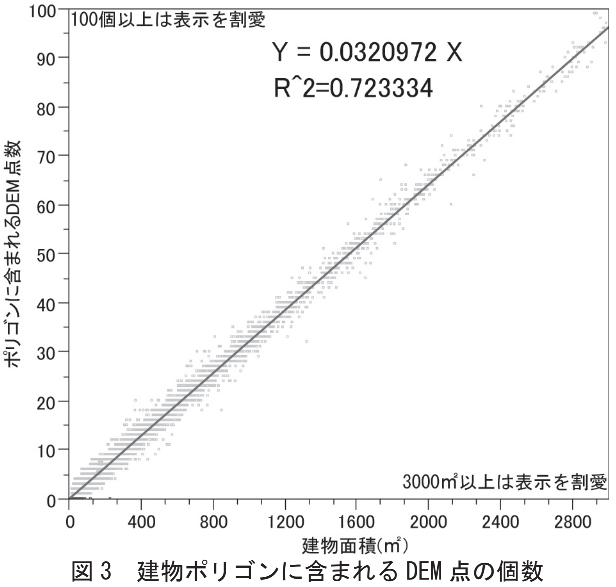


図３　建物ポリゴンに含まれる DEM 点の個数

2.2　DEM と建物ポリゴンのオーバーレイ

上記のデータにより，建物ポリゴン内に入る各DEMの標高値を取得することになるが，今回はDEMデータを図２に示す３つの方法で建物ポリゴンとオーバーレイさせた．このうち,DEMをポイントデー

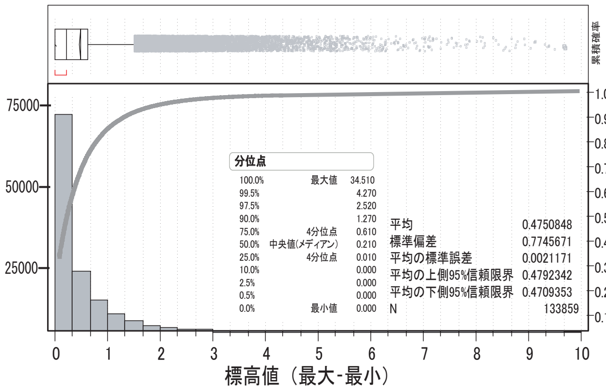


図 4　建物内標高の最大最小差

タとして扱った場合をみていこう．

図 3 は 1 つの建物に含まれる DEM ポイントの数と建築面積との関係を示したものである．この地域では，概ね平均的な建築面積の建物に対して概ね 3 個程度のポイントが含まれるということがわかるが，予想よりもやや少ないという印象がある．その理由としては，1 つも DEM 点と交差しないポリゴンが相当数ある可能性がある．たしかに，ポイントとポリゴンのオーバーレイの場合，建物ポリゴンの位置や形状との関係によってはポリゴン内に 1 つのポイントも持たない場合（標高点が取得できない場合）がある．今回は，17,287 個（11.4%）のポリゴンで確認できた．

2.3　建物内の標高の平坦性

次に各種の統計量に対し系統的な整理を行った．そのうち，建物内に 1 個以上の DEM 点を持つ建物ポリゴンに対して，最大標高と最小標高の差をとったのが図 4 である．

これより，全体の約 3 割の建物ポリゴンでは，この差は 0 であるが，1m 以上の差を持つ建物ポリゴンも約 1 割あること，つまり建物ポリゴン内で標高点が平坦でないという場合も相当数あるということがわかる．この地域内においても，海岸沿いと山側で傾向の違いが見られる．

これが建物の地盤高の平坦性を示す 1 つの傾向であるとみることもできるが，これには実際の地形条件と DEM のもつ高さ方向の誤差などを勘案する必要がある．そこで次章では，この平坦性を勘案し地盤高推定の一手法について検討を行うことにする．

3. 建築物地盤面の平坦性を考慮した地盤高推定のための一手法

ここでは，地盤高を DEM から推定するにあたり，標高点の高さの平均値を用いることが妥当であるか，統計的手法に基づき検証を行う．

地盤高を推定するのに用いる地図データ（以下，「対象データ」と呼ぶ）について以下の仮定を置く．

仮定１：建物ポリゴンに包含される標高点（以下,「建物内標高点」と呼ぶ）の高さは，屋上・屋根などの標高ではなく，地盤高を示す．

仮定２：地図データの標高点の誤差について

１）水平方向については建物の大きさに対して十分小さい．すなわち，標高点が建物ポリゴンに包含されるかどうか，地図データを用いて判断しても誤りは生じない．

２）高さ方向については互いに独立に正規分布に従い，その分散 σ_0^2 は対象データに関するメタデータにより与えられる．

通常，一棟の建物に対して地盤高は一定である．

ある建物 B_i の建物内標高点の個数を n_i とする．$n_i = 1$ のとき，すなわち建物内標高点がただひとつのときはその点の標高を地盤高とすればよい．以下 $2 \leq n_i$ のときを考える．

対象データにおいて建物内標高点が適切に作成されているならば，建物内標高点の高さ $z_{ij}, j = 1, \cdots, n_i$ は正規分布 $N(Z_i, \sigma_0^2)$ に従う．ただし Z_i を B_i の地盤高とする．逆に適切に作成されていないならば z_{ij} はそれぞれ必ずしも同一でない値 $Z_{ij}, j = 1, \cdots, n_i$ に基づく分布 $N\left(Z_{ij}, \sigma_0^2\right)$ に互いに独立に従う．

建物内標高点の高さの平均値と分散の最尤推定量を $\hat{z}_i$ と $\hat{\sigma}_i^2$ とする．以上の議論から $\hat{z}_i$ を地盤高の推定値として用いることが妥当であるか検討するに当たり，本来ならば z_{ij} が σ_0^2 を分散とする単一の正規分布に従う標本なのか，それとも複数の正規分布から得られた標本なのか，個別の建物について検討する必要がある．

しかしながら，現在，市街地を面的にカバーし，地盤高を推定するデータとして用いることができるデータは限られている．本稿で使用する基盤地

図情報はその代表的なもので，5m 間隔の格子点の標高値を与えている．この間隔は建物に対して比較的大きいため n_i の値は数個程度であることが多いことは，前章での分析からも明かである．そのため，統計学的な視点からの精緻な議論は困難であるため，簡便法として以下の２つのモデルの比較を AIC を用いて行う．

Model$_{\mathrm{i}}$(1)： z_{ij} が $N\left(\widehat{z}_i, \sigma_0^2\right)$ に従う場合

Model$_{\mathrm{i}}$(2)： z_{ij} が $N\left(\widehat{z}_i, \widehat{\sigma}_i^2\right)$ に従う場合

以上の仮定に基づき，これらをの２つのモデルを比較するために，AIC（赤池情報量規準）を元に考えてみよう．AIC は最尤法であてはめられたモデルが複数個あるときに一つを選択する規準である．次の式で与えられ，最小とするモデルが最適であると考えられる（坂元ほか，1983）．

AIC ＝ －２ ×（モデルの最大対数尤度）

＋２×（モデルの自由パラメータ数）

本稿のモデルにおいて B_i のそれぞれのモデルの AIC は以下のように計算される．

$$\begin{aligned}
\mathrm{AIC_i}\,(1) &= -2 \times \left[-\frac{n_i}{2}\log 2\pi - \frac{n_i}{2}\log\sigma_0^2 - \frac{n_i}{2\sigma_0^2}\widehat{\sigma}_i^2\right] + 2\times 1 \\
&= n_i\left[\log 2\pi + \log\sigma_i^2 + \frac{\widehat{\sigma}_i^2}{\sigma_0^2}\right] + 2 \\
\mathrm{AIC_i}\,(2) &= -2 \times \left[-\frac{n_i}{2}\log 2\pi - \frac{n_i}{2}\log\widehat{\sigma}_0^2 - \frac{n_i}{2}\right] + 2\times 2 \\
&= n_i\left[\log 2\pi + \log\widehat{\sigma}_0^2 + 1\right] + 4
\end{aligned}$$

差をとると

$$\mathrm{AIC}_i\,(2) - \mathrm{AIC}_i\,(1) = n_i\left[\log\frac{\widehat{\sigma}_i^2}{\sigma_0^2} - \frac{\widehat{\sigma}_i^2}{\sigma_0^2} + 1\right] + 2$$

ここで $0 < n, F$ の範囲で

$f\,(F) = n\,(\log F - F + 1) + 2$ について考えると

$$\begin{aligned}
\frac{\mathrm{d}f}{\mathrm{d}F} &= n\left(\frac{1}{F} - 1\right) \\
\lim_{F\to 0_+} f\,(F) &= -\infty \\
f\,(1) &= 0 \\
\lim_{F\to\infty} f\,(F) &= -\infty
\end{aligned}$$

であり，$f\,(F) = 0$ は２つの開区間 $(0, 1)$ と $(1, \infty)$ において，それぞれただ一つの解を持つ．各々の解を与える $\widehat{\sigma}_i^2$ を順に $\dot{\sigma}_{i1}^2$，$\dot{\sigma}_{i2}^2$ とすると，増減表は以下のようになる．

$\widehat{\sigma}_i^2$	0_+		$\dot{\sigma}_{i1}^2$		σ_0^2		$\dot{\sigma}_{i2}^2$		∞
F	0_+				1				∞
$f\,(F)$	$-\infty$	−	0	+	2	+	0	−	$-\infty$
$\frac{\mathrm{d}f}{\mathrm{d}F}$		+		+	0	−		−	

したがって，

- $\dot{\sigma}_{i1}^2 < \widehat{\sigma}_i^2 < \dot{\sigma}_{i1}^2$ のとき：Model$_{\mathrm{i}}$(1) が選択される．
- $\widehat{\sigma}_i^2 < \dot{\sigma}_{i1}^2$ または $\dot{\sigma}_{i2}^2 < \widehat{\sigma}_i^2$ のとき：Model$_{\mathrm{i}}$(2) が選択される．

本稿では $\widehat{z}_i$ を地盤高の推定値として用いることが妥当であるかを検討することに主眼がある．その場合，Model$_{\mathrm{i}}$(2) が選択されても $\widehat{\sigma}_i^2 < \dot{\sigma}_{i1}^2$ であるならば妥当であると考えられる．$\dot{\sigma}_{i2}^2 < \widehat{\sigma}_i^2$ のとき，すなわち $\mathrm{AIC}_i\,(2) < \mathrm{AIC}_i\,(1)$ かつ $\sigma_0^2 < \widehat{\sigma}_i^2$ のときのみ妥当でないとする．

４．まとめと課題

以上，建物地盤高を基盤地図情報より取得する方法についての基礎的検討について，紙幅の関係上，その一部について報告した．後者の手法検討に関しては，実データへの適用を今後進めて行く予定である．また，前段の実証分析に関しては，アプローチ自体はこれまでにも事例が見受けられるが，総括的な整理がされたものは管見では見受けられないため，引き続き検討を進めて行く予定である．

【参考文献】

坂元慶行・石黒真木夫・北川源四郎（1983）情報量統計学，共立出版．