街路全方位画像から抽出した建物外観の印象に基づく地域分析：深層学習ベースの建物外観印象評価推定モデルの応用

今出川　祐亮[1]・沖　拓弥[2]・小川　芳樹[3]・趙　琛渤[4]

[1]非会員　東京工業大学　環境・社会理工学院建築学系（〒152-8550 東京都目黒区大岡山二丁目 12-1）
E-mail: yusuke1210305@gmail.com

[2]非会員　東京工業大学　環境・社会理工学院建築学系（〒152-8550 東京都目黒区大岡山二丁目 12-1）
E-mail: oki.t.ab@m.titech.ac.jp (Corresponding Author)

[3]非会員　東京大学　空間情報科学研究センター（〒153-8505 東京都目黒区駒場四丁目 6-1）
E-mail: ogawa@csis.u-tokyo.ac.jp

[4]非会員　東京大学　生産技術研究所（〒153-8505 東京都目黒区駒場四丁目 6-1）
E-mail: cbzhao@iis.u-tokyo.ac.jp

昨今，大量のストリートビュー画像と深層学習技術を景観分析に応用する研究が増加している．しかし，街路進行方向の画像を用いた場合，沿道建物が画像に占める割合は比較的低く，建物外観が景観に及ぼす影響は過小評価されている可能性がある．そこで本研究では，東京都大田区を対象地域として，まず，Ogawa ら（2023）の手法をもとに街路全方位画像と建物 GIS データを機械的に結合させ，3 階建て以下の様々な用途の建物外観画像を機械的に抽出する．次に，今出川ら（2023）が街路全方位画像と Web アンケートをもとに学習させた，深層学習ベースの「建物外観印象評価推定モデル」を応用し，各街路の沿道建物の外観印象評価スコアを推定する．さらに，推定した印象評価スコアをもとに，その空間分布特性などについて基礎的な分析を行う．

Key Words: *street image, building exterior, deep learning, landscape evaluation, regional analysis*

1. はじめに

昨今，大量のストリートビュー画像と深層学習技術を景観分析に応用する研究が増加している．しかし，街路進行方向の画像を用いた場合，沿道建物が画像に占める割合は比較的低く，建物外観が景観に及ぼす影響は過小評価されている可能性がある．

そこで本研究では，東京都大田区を対象地域として，まず，Ogawa ら [1)]の手法をもとに街路全方位画像と建物 GIS（地理情報システム）データを機械的に結合させ，3 階建て以下の様々な用途の建物外観画像を機械的に抽出する．次に，今出川ら [2)]が街路全方位画像と Web アンケートをもとに学習させた，深層学習ベースの「建物外観印象評価推定モデル」を応用し，各街路の沿道建物の外観印象評価スコアを推定する．さらに，推定した印象評価スコアをもとに，その空間分布特性などについて基礎的な分析を行う．

なお，本研究は，東京工業大学「人を対象とする研究倫理審査委員会」の承認の下で実施している（承認番号：第 2022204 号）．

2. 分析の方法

(1) 街路全方位画像

正距円筒図法（equirectangular projection）でパノラマ化された，株式会社ゼンリン提供の画像（縦 2,700 [pixel]×横 5,400 [pixel]）を使用した（図-1）．専用車両の屋根上部に搭載した 360 度カメラで撮影されたもので，撮影高さは地上約 2.0 [m]，撮影間隔は 2.5 [m]である．また，撮影日時や撮影位置（緯度・経度），車両の走行方向（北を 0 度として時計回り）などの属性情報も含まれる．

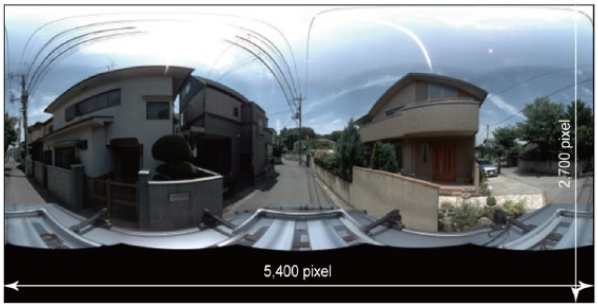


図-1　街路全方位画像の例

(2)　対象建物と GIS データ

建物 GIS データには，東京都都市計画 GIS データに含まれる平成 28 年建物現況調査データ（建物ポリゴン Shape および属性テーブル）を使用した．そして，属性データに含まれる建物用途コードをもとに，主要な 6 種類の建物用途（事務所建築物，専用商業施設，住商併用建物，独立住宅，集合住宅，住居併用工場）に該当する建物を抽出した．さらに，走行車両から撮影された街路全方位画像を用いる場合，階数の多い建物については，上階ほど画像の歪みが大きくなり，分析の精度に影響を及ぼす可能性がある．そこで本稿では，分析の対象を 3 階建て以下の建物に限定した．

また，住宅地図データベース Zmap Town II の道路境界線データをもとに作成した，幅員情報付きの道路中心線データを用いた．

(3)　建物 GIS データと街路全方位画像の結合

まず，街路全方位画像の撮影点の位置情報（緯度・経度）をもとに，各撮影点のポイントデータを作成し，GIS の空間結合機能（最近接ツール）を用いることで，(2)節で生成した道路中心線と結合させた．これにより，各撮影地点に，どの道路中心線上にあるかを示す属性を付与した．次に，各建物の前面道路を判定した上で，前面道路ごとに最近隣の撮影点を取得した．このとき，単に最近接ツールを用いるだけでは，交差点付近で 2 面以上に接道している場合などに対応できないことから，以下の①②の手順で前面道路情報を付与した（図-2）．

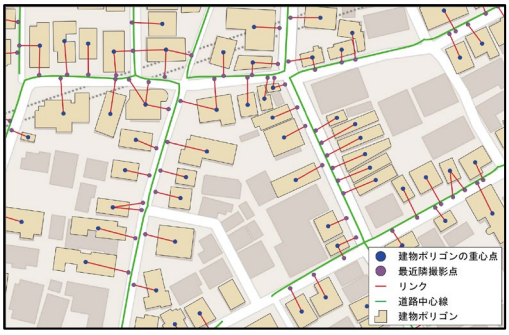


図-2　建物と前面道路の結合例

① 薄井・浅見 [3]の手法を参考に，各道路中心線から，(道路幅員)/2+4 [m]の幅のバッファを発生させる．

② 各建物ポリゴンと空間的に重なるバッファを特定し，対応する道路中心線をその建物の「前面道路」（換言すると，その道路の「沿道建物」）と定義する．

(4)　街路全方位画像上での建物同定

この段階で得られている，各建物の最近隣撮影点に対応する街路全方位画像には，当該建物以外の建物も映り込んでいる．したがって，当該建物の外観画像だけを切り出すにあたり，Ogawa ら [1]の手法を参考に，画像内に映り込んでいる全ての建物の中から，以下の手順で当該建物を同定する作業を行った．

①各建物について，最近隣撮影点（前面道路ごと）と当該建物ポリゴンの各頂点の方向ベクトルを求める．そして，車両の走行方向（街路全方位画像の中央）を基準に，最近隣撮影点から見た各頂点の角度 φ を算出する．このとき，角度が最大（最小）となる頂点の角度を φ_{max}（φ_{min}）と定義する．最大値 φ_{max} と最小値 φ_{min} の可視化例を図-4 に示す．

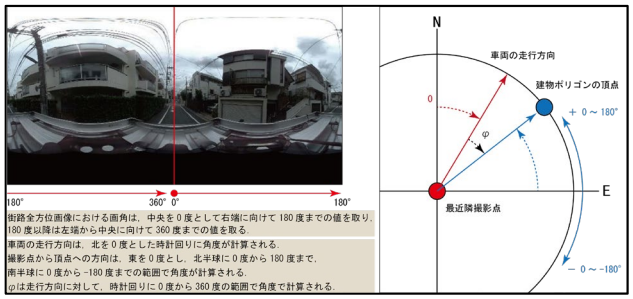


図-3　角度の定義

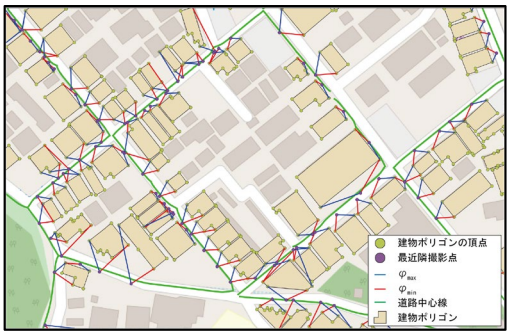


図-4　最近隣撮影点から見た各頂点の角度の可視化例
（最大値 φ_{max}，最小値 φ_{min}）

②①で用いた撮影点に対応する街路全方位画像に，インスタンスセグメンテーション（instance segmentation）を適用し，画像内に映り込んだ全ての建物に対してバウンダリボックス（boundary box）を生成する．インスタンスセグメンテーションは深層学習を応用した画像処

理タスクの一つで，画像内の物体の領域特定と，個体（インスタンス）ごとの領域分割，および物体の種類の認識をあわせて行うものである．本稿のインスタンスセグメンテーションには，COCO データセット [4]で学習済みの Mask R-CNN モデル [5]を，本稿と同様の街路全方位画像をもとに作成した建物アノテーションデータセット（計 275 枚）[6]でファインチューニングしたモデルを用いた．実際のインスタンスセグメンテーション結果の例を図-5 に示す．

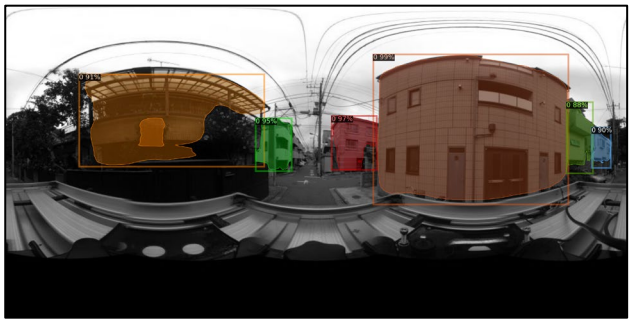


図-5　街路全方位画像のインスタンスセグメンテーションの例

③②で得られたバウンダリボックスのピクセル座標をもとに，街路全方位画像の中央を 0 度，そこから右端に向けて角度が大きくなり（右端が 180 度），さらに左端（180 度）から中心に向けて角度が大きくなるという定義の下で，街路全方位画像上での各建物の画角 θ（$\theta_{max}-\theta_{min}$）を求める．

④2 種類の画角 φ と θ の差が最小となるバウンダリボックスを求め，対応する建物 ID を取得する．すなわち，ID は次の式(1)で定義される．

$$ID = \arg\min\{(|\varphi_{max} - \theta_{max}| + |\varphi_{min} - \theta_{min}|)\} \quad \cdots(1)$$

(5)　画像変換と建物外観画像の切り出し

(4)節において，各建物の街路全方位画像上でのバウンダリボックスが得られているが，これをそのまま切り出すと，正距円筒図法特有の歪みを含んだ建物外観画像となってしまう．そこで，今出川ら [2]の提案手法を適用し，まず，道路中心線と直交する方向へのパース画像（perspective image）に変換した．次に，変換後のバウンダリボックスに外接する（このとき，上下左右に 50 [pixel]ずつ余裕を持たせる）矩形を求め，その矩形をもとに建物外観画像を切り出した（図-6）．

実際に切り出した結果の例を見ると（図-7），歪みの少ない建物外観画像を抽出できていることがわかる．

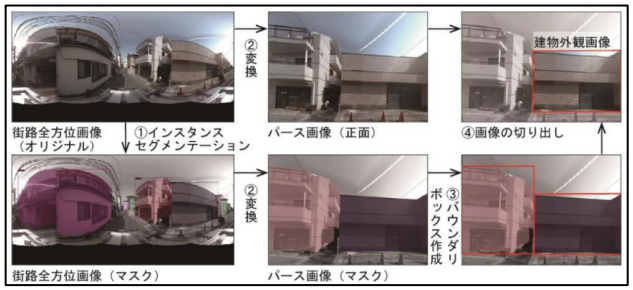


図-6　画像変換と建物外観画像切り出しの流れ



図-7　**図-5** から切り出した建物外観画像の例

(6)　建物外観印象評価の推定

今出川ら [2]が構築した，深層学習ベースの建物外観印象評価推定モデルを援用した．このモデルは，東京都大田区全域の 3 階建て以下の建物から，本稿と同じ 6 種類の建物用途と，障害物（電柱など）の映り込みの有無，および撮影角度（正面・正面以外）を考慮してランダムに抽出した 1 千枚の画像を用いて，計 16,722 人を対象に一対比較による 22 項目（表-1）の印象評価 Web アンケートを実施し，その結果を Vision Transformer ベースの深層学習モデル（ConvNeXt [7]）に学習させたものである．今出川ら [2]の検証によれば，モデルの正解率（accuracy：ここでは，アンケートの回答[一対の画像のうち，どちらの画像をより高く評価したか]の再現精度）は，6 種類の建物用途の平均で 78.6%（正面画像 79.0%，正面以外の画像 78.2%）と良好であることが示されている．

表-1　印象評価項目の一覧（22 種類）

Q1	好きだ	Q12	趣がある
Q2	面白い	Q13	清潔感がある
Q3	複雑だ	Q14	おしゃれだ
Q4	柔らかい	Q15	活気がある
Q5	現代的だ	Q16	高級感がある
Q6	温かい	Q17	魅力がある
Q7	安心だ	Q18	入りたい
Q8	快適だ	Q19	秩序がある
Q9	均整がとれている	Q20	親しみがある
Q10	有機的だ	Q21	斬新だ
Q11	繊細だ	Q22	重厚感がある

3. 結果

(1) 分析対象地域

東京都大田区全域では 921,454 枚の画像が存在し，撮影時期は 2013 年 7 月である．本稿では，第 2 章に示した基準で抽出した建物のうち，大田区内の中央四丁目に存在する計 459 棟（建物外観画像は 580 枚）を分析対象とした．その内訳は，事務所建築物 9 棟，専用商業施設 2 棟，住商併用建物 82 棟，独立住宅 293 棟，集合住宅 67 棟，住居併用工場 6 棟である．

中央四丁目は，大半が第一種住居地域に指定されており，一部は，第一種低層住居専用地域および近隣商業地域となっている．また，東京都の「木造住宅密集地域」に指定されており，『地震に関する地域危険度測定調査（第 9 回）』（令和 4 年 9 月公表）においても，建物倒壊危険度 3，火災危険度 4，総合危険度 4 と，大地震発生時の危険性が相対的に高いとされている地域である．そうした危険性を低減させるために，今後，建物の建て替えが進んでいくことが予想されるが，現時点における沿道建物の外観の印象を，提案手法を用いて分析することが，このケーススタディの趣旨である．

(2) 建物外観印象評価スコアの推定結果

第 2 章(5)で切り出した建物外観画像を上述の学習済みモデルに入力することで，表-1 に示す 22 種類の観点から対象建物の外観印象評価スコアを推定した．

図-8 に，推定した建物外観印象評価スコアの分布を示す．この図は「バイオリンプロット」と呼ばれるもので，平均値や値の分布を比較的わかりやすく可視化することができる．スコアは，前述の Web アンケートで用いた 1,000 棟の値で基準化している（平均 0，標準偏差 1 となる）．すなわち，大田区全体の平均的な傾向よりも高評価か，あるいは低評価かを把握できる．

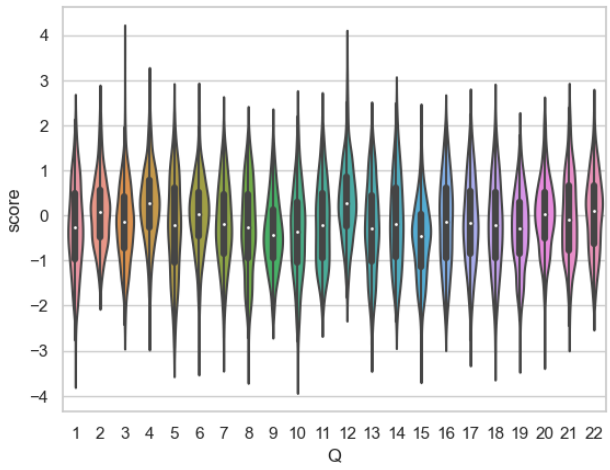


図-8 建物外観印象評価スコアの分布（バイオリンプロット，中央四丁目の沿道建物 459 棟）

図-8 を見ると，多くの項目は大田区の平均より低評価傾向と推定されている．一方で，Q4（柔らかい）や Q12（趣がある）については比較的高評価である点が，本地域の特徴と考えられる．

空間分布でも確認すると，「Q4（柔らかい）」印象評価スコアの高い建物は，中央四丁目全体に分布している様子が見てとれる（図-9）．「Q12（趣がある）」印象も，スコアの高い建物が広く分布しているが，町丁目南端の幹線道路（池上通り）沿いの建物が低評価傾向にある（図-10）．防災・減災計画において重要な緊急輸送道路沿道の耐震化・不燃化の際にも，外観デザインに配慮することが望まれる．

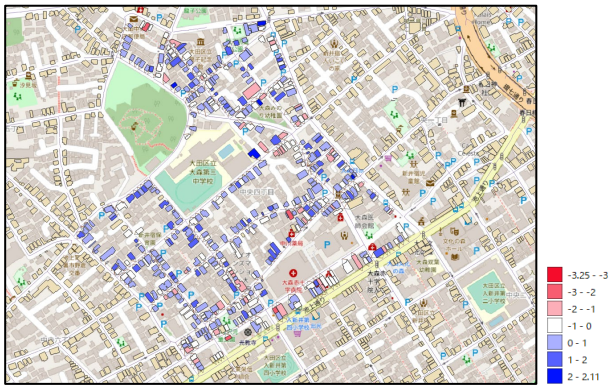


図-9 「Q4_柔らかい」印象評価スコアの空間分布

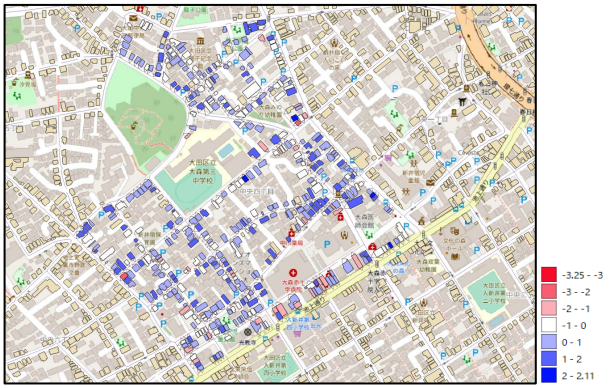


図-10 「Q12_趣がある」印象評価スコアの空間分布

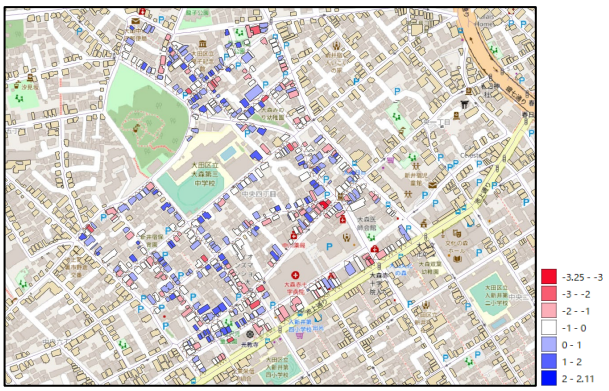


図-11 「Q17_魅力がある」印象評価スコアの空間分布

また，「Q17（魅力がある）」の空間分布を見ると，交差点付近の建物の評価が低い傾向が見られる（図-11）．どのような要因によって評価が下がっているのかを詳細に確認する必要がある．

4. まとめ

街路全方位画像と建物 GIS データ，および，道路境界線データから生成した道路中心線データを用いて，歪みの少ない方法で建物外観画像を機械的に抽出する方法を構築した．また，東京都大田区中央四丁目を例に，抽出した画像を建物外観印象評価推定モデルに入力することで得られるスコアを用いて，地域分析を行った．

謝辞：本研究は，科研費 22K04490 の助成を受け，東大 CSIS 共同研究 No.1042 の一部として実施した．街路全方位画像を提供して頂いた株式会社ゼンリン，アンケート調査の実施に協力頂いた楽天グループ株式会社，および，アンケートに回答頂いた方々に謝意を表する．

REFERENCES

1) Ogawa, Y., Zhao, C., Oki, T., Chen, S. and Sekimoto, Y.: Deep learning approach for classifying the built year and structure of individual buildings by automatically linking street view images and GIS building data, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, Vol. 16, pp. 1740-1755, 2023.
2) 今出川祐亮，沖拓弥，小川芳樹，趙琛渤：街路全方位画像ビッグデータを用いた建物外観の主観的印象評価推定モデル，2023 年度人工知能学会全国大会（第 37 回）論文集，4F3-GS-10-04，pp. 1-4，2023. [Imadegawa, Y., Oki, T., Ogawa, Y. and Zhao, C.: Estimation model for subjective impression evaluation of building's exterior appearance using big data of street omnidirectional image, *Proceedings of the 37th Annual Conference of JSAI*, 4F3-GS-10-04，pp. 1-4，2023.]
3) 薄井宏行，浅見泰司：GIS を用いた建物敷地の接道判定方法に関する研究，*CSIS Discussion paper*，No. 95，2009. [Usui, H. and Asami, Y.: Study on methods of judging adjacency of lots to roads by using GIS, *CSIS Discussion paper*, No. 95, 2009.]
4) Lin, T., Maire, M., Belongie, S. J., Hays, J., Perona, P., Ramanan, D., Dollar, P. and Zitnick, C. L.: Microsoft COCO: common objects in context, *ECCV*, pp. 740–755, 2014.
5) He, K., Gkioxari, G., Dollar, P. and Girshick, R.: Mask r-cnn, *IEEE international conference on computer vision*, pp. 2961–2969, 2017.
6) 小川芳樹，沖拓弥，陳聖隆，関本義秀：街路の全方位画像と建物 GIS データの結合手法，地理情報システム学会講演論文集，Vol. 30，2021. [Ogawa, Y., Oki, T., Chen, S. and Sekimoto, Y.: A method for combining omnidirectional street images and building GIS data, Papers and Proceedings of the 30th annual conference of Geographical Information Systems Association, Vol. 30, 2021.]
7) Liu, Z., Mao, H., Wu, C. Y., Feichtenhofer, C., Darrell, T. and Xie, S.: A ConvNet for the 2020s, *arXiv preprint*, arXiv:2201.03545, 2022.