

令和 5 年 5 月 22 日現在

機関番号：24405

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04872

研究課題名（和文）空間の有するテクスチャ・幾何・構成的な情報を統合して扱う新たな空間分析手法の開発

研究課題名（英文）Development of a new spatial analysis method that integrates texture, geometry and structural information of space

研究代表者

瀧澤 重志（Takizawa, Atsushi）

大阪公立大学・大学院生活科学研究科・教授

研究者番号：40304133

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、3D Isovistを基盤とした局所的な空間分析モデルを基盤として、空間構成全体を評価できる二つのスケールのモデルを開発した。まず都市スケールのモデルでは、3D Isovistモデルに相当するCNNモデルを提案し、RGBではなく深度やセグメンテーションなどの画像を使用することで、空間性の印象評価や歩行者数の推定をある程度の精度で行えることを示した。次に間取りの空間構成分析モデルを開発した。3LDKの賃貸住宅の間取り画像から、アクセスグラフを自動的に抽出し、グラフ畳み込みネットワークによって間取り価値を推計し、ヘドニックモデルで間取り価値が高い説明力を有していることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

建築・都市計画・不動産などの分野では、膨大かつ詳細な空間データが容易に得られるようになってきており、そうしたデータに基づく空間評価の重要度が増してきている。しかし既存の空間分析では、分析目的に応じて空間の特徴量を都度定義・計測するといったアドホックな対応がとられることが多かった。本研究では、深層学習に基づくデータリッチな時代の新たな3次元空間分析手法として、3D Isovistを基盤とした局所的な空間分析モデルをネットワーク的に扱い、空間構成全体を評価できる新しいモデルを開発した。このモデルでは、空間データの情報量をあまり落とすことなく予測や説明ができ、今後の学術的・社会的な応用が期待できる。

研究成果の概要（英文）：Based on a local spatial analysis model based on 3D Isovist, we developed two scale models that can evaluate the entire spatial configuration. First, for the urban scale model, we proposed a CNN model equivalent to the 3D Isovist model, and showed that by using images such as depth and segmentation instead of RGB, it is possible to evaluate the impression of spatiality and estimate the number of pedestrians with a certain degree of accuracy. Next, we developed a model for analyzing the spatial configuration of floor plans, automatically extracting access graphs from images of floor plans of a three-bedroom rental house and estimating the floor plan value using a graph convolution network, and showed that the hedonic model has high explanatory power for floor plan value.

研究分野：建築情報学

キーワード：空間情報解析 畳み込みニューラルネットワーク グラフ畳み込みネットワーク フロアプラン アクセスグラフ 賃料推計 印象評価 ウォーカビリティ

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

建築計画や都市計画分野では、人の行動と空間の関係を調査・分析することは基本的な問題であり、例えば、使われ方調査など古くから多くの研究がなされてきている。そして、その知見の一部は実際の建築計画や設計に反映されたり、空間のマネジメントにも利用されつつある。また、建築・都市計画分野だけでなく、不動産の分野でも、近年の不動産テックの機運の高まりとともに、詳細な物件データに基づく空間評価の重要度が増してきている。このような調査研究のためには、空間のデータとモデルが必須であるが、多くの場合、図面から分析目的に応じて空間の特徴量を都度定義・計測するといったアドホックな対応がとられることが多い。近年では、フォトグラメトリやレーザースキャナなどから構成される 3 次元モデル、全方位カメラ、Building Information Modeling (BIM) の普及により、それまでの図面と比較して、膨大な情報量を有した 3 次元の空間データが利用可能な状況になりつつある。さらに現代の空間は、たとえば、リビング、ダイニングといったような名前で示されるような空間単位があいまいになってきており、大まかに明確に空間を分節化した上で分析を行う既存の方法では限界に達している。

空間のデータは、目に映る建築の部材や周辺環境の状況から構成される視覚的特徴と、目に見えない空間それ自体の特徴やそれらの構成の情報からなっている。視覚的特徴を分析するには、画像などから対象空間の構成要素の数や量を求めるといった方策がとられるが、計量行為が時として非常に労力がかかる作業になっている。一方、空間自体の特徴は、主に UCL の Bill Hillier らによる Space Syntax と呼ばれる一連の空間分析方法によりモデル化され、自動的な解析により指標を出力することができる。代表的な手法として、空間を見通す最小限の連結した視線のネットワークで空間を特徴づける Axial line、ある点から見渡せる空間の可視領域を抽出する Isovist、可視点同士をネットワーク化した VGA といった分析方法がある。これらの方法は、前述した空間の持つ性質を分析するためのものであるが、前者の特徴はいわば画像解析的なアプローチ、後者は、幾何的・位相的なアプローチがとられるため分析モデルの枠組みが異なり、両者を統合する空間モデルはこれまで存在しなかったといえる。

このような背景の中、申請者は 2016 年頃から、局所的な空間の持つ画像的な特徴と幾何的な特徴を画像情報としてまとめ、深層学習により同じ分析の枠組みでとらえる方法を研究している。これらの研究では、仮想空間において、ある地点から全方位の画像を撮影し、その際、空間の奥行きを表現する全方位の深度画像も撮影し、幾何情報も画像情報として、一般的な畳み込みニューラルネットワーク(CNN)で分析する手法を提案した。いわば、Street View と 3 次元 Isovist を統合したような空間分析モデルとなっている。このモデルに街路空間の印象評価実験のデータを学習させたところ、事前に空間特徴量を定義することなく、暗く(画像的な情報)、圧迫感(幾何的な情報)を感じるといった、人の解釈に似た空間評価を行う CNN を学習できることがわかり、新たな空間分析方法としての可能性を見出した。しかしここで開発した手法はあくまで局所的な空間モデルにとどまっており、空間構成全体を表現するモデル開発と、リアリティの高い空間での検証が課題として残っていた。

## 2. 研究の目的

本研究では、深層学習に基づくデータリッチな時代の新たな 3 次元空間分析手法として可能性を見出した、3D Isovist を基盤とした局所的な空間評価モデルから、空間構成全体を評価できるモデルへと発展させ、実空間をスキャンした仮想空間内で検証することを主な目的とする。筆者が既往研究で提案した局所的な空間評価モデル自体が、幾何情報と画像情報を統合する空間モデルとして高い独自性と創造性を有しているが、本研究により、空間構成というこれまで抽象的なグラフモデルとしてしか分析できなかった領域に、空間を表現する豊かなデータを、高い普遍性を有したままモデルに取り込めるようになることが期待できる。このような試みは世界的に見ても例が無く、本研究は高い独自性と創造性を有していると考えている。なお、本研究で構築するグラフモデルと従来の VGA との大きな違いとして、本研究のモデルは、各ノードに全方位の画像情報が圧縮された高次元の視覚特徴量が付与されていること、VGA よりも空間的なまとまりをもった単位としてノードが定義されること、グラフの分析のためにグラフデータを対象とした新しい深層学習を利用し、グラフ上での回帰問題などの新しいタスクが適用可能になる点などが挙げられる。

## 3. 研究の方法

本研究では、都市スケールと室内スケールの空間分析モデルをそれぞれ別個に開発し、検証を行った。それらについて説明する。

### 3. 1 都市スケールの全方位画像を用いた空間分析モデルの開発

まず都市スケールの空間分析モデルでは、これまで研究を行ってきた 3D Isovist 型の画像解析モデルを改良した。具体的には、深度画像の生成方法として、それまでの解像度が低い pix2pix から高解像度に対応した pix2pixHD に変更した。さらに学習させる CG の RGB 画像は、実写風にスタイル変換を施した。次に、大阪市住吉区の街路上の 200 地点で全方位画像を撮影した。こ

の画像に対して、前述した手法で深度画像を生成するとともに、セマンティック・セグメンテーションや白黒画像に変換して多様な画像チャンネルを用意した。なお、セマンティック・セグメンテーションは本来3チャンネルの画像だが、チャンネル数を節約するために、1チャンネルの画像に情報を圧縮した。撮影した全方位画像から、空間の立体感、開放感、まとまりの3種類の印象評価アンケートを行い、それらの平均値を目的変数、全方位カメラの画像チャンネルの組み合わせを説明変数として、CNNで学習を行った。既往研究で、球面CNNの精度が悪かったので、CNNとして一般的な平面画像を対象としたResNetを用いたうえで、球面画像を等面積で正方形平面に投影するTobler変換を用いて、正距円筒図法画像のゆがみを低減させたうえで入力画像とした。このようにして、異なる画像チャンネルの組み合わせのデータを用いてCNNを学習させ、交差検証で精度を比較した。

最終年度はこれまで開発した深層学習モデルを発展させ、ポイント型流動人口データから得られた大阪市北区の歩行者数を推計した。

### 3.2 間取りの空間構成に関する分析モデルの開発

東大の山崎研究室が開発した、不動産の間取り画像から間取りのアクセスグラフを抽出する深層学習の手法を用いて、LIFUL Homesデータセットに収録された5万枚を超える大阪府内の3LDKの賃貸住宅の間取り画像から、それらのアクセスグラフを自動的に抽出した。筆者が使ったのは東大で開発された初期バージョンのアクセスグラフの抽出手法であり、やや誤判定が目立ったので、画像処理やグラフ化のルールベースに独自の改良を加えて、抽出精度の向上を図った。

抽出されたアクセスグラフに対して同型性判定を行い、同型なアクセスグラフに対して、基礎統計や中心性などのネットワーク統計量を把握した。次に、アクセスグラフと、面積や築年などの物件の属性から賃料推計を行うグラフ畳み込みネットワーク(GCN)モデルを開発し、間取りが賃料に及ぼす大きさ(間取り価値)を推計した。このネットワークモデルは、画像を対象としたCNNとして有名なVGGの構造をGCNに応用しており、様々なグラフデータに対して安定して高い精度で学習できる。入力されるグラフデータは、10種類の室用途ラベル付きのノードと、ノードの隣接関係を無向グラフとして表すエッジからなる。このモデルで学習を行い、学習済みのGCNの部分だけを使って各物件の間取り価値を推計した。次に表形式データとして、賃料推計に必要かつ欠損が少ないものとして、9個の説明変数を採用し、それを用いて、一般的な線形重回帰による賃料推計モデルを構築した。10回交差検証で学習させ、各テストデータの間取り価値を推計し、賃料推計モデルに間取り価値を入れない場合と入れた場合とで精度評価を行った。また、Integrated Gradientsを用いて、アクセスグラフの推計根拠説明を行った。

## 4. 研究成果

まず都市スケールの空間分析モデルの研究成果として、印象評価実験の結果を学習させたCNNの精度は、チャンネルの組み合わせとして、深度、グレースケール、セグメンテーションのチャンネルを組み合わせたdysモデルが良好な精度を収めた。dysモデルはResNet18というコンパクトなCNNで高い精度を示した。印象評価の中では、開放感の交差検証の精度が最もよく、R2で0.62となった。以上、空間性の評価において、RGB画像をそのまま用いるのではなく、深度やセグメンテーションといった、意味的に加工した画像を使うほうが説明力が向上した。また、ポイント型流動人口データから得られた街路の歩行者数の推定でも、RGBではなくdysモデルと呼ぶCNNを含む回帰モデルによってよく推計できることを示した。

間取りの空間構成の分析モデルの研究成果として、改良した間取りの抽出手法は全体として0.35程度の正解率となったが、大量のデータを対象とするので、統計的な分析が可能なレベルであった。ヘドニックモデルで間取り価値を推計した結果、間取り価値の説明力は、地価、面積、築年について、4番目に大きく、賃貸住宅といえども間取りが賃料に大きな影響を与えることが分かった。また、間取り価値を入れたモデルと入れないモデルの精度は、前者のモデルが有意水準0.001で有意に高かった。間取り価値が最高、平均、最低の間取りをサンプル的に把握したところ、結果はいずれも納得感があるものであった。Integrated Gradientsによるグラフの説明を個別/全体でおこなったが、ベランダへのアクセス性、収納の数、独立したトイレ、連続した和室といった空間構成が賃料に大きく影響していることが確認できた。

以上、本研究では、これまで定量化することが困難であった、空間の立体的な属性や空間のつながり方といった構造を有した複雑な情報を、元のデータを大きく加工することなく、自然な形で入力データとする、精度や説明力に優れた空間分析モデルを開発することに成功した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Hina Kinugawa and Atsushi Takizawa	4. 巻 6
2. 論文標題 First-Person Viewpoint Type Spatial Analysis Method Based on Deep Learning Integrating Texture, Semantic, and Geometric Spatial Features	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 13th Space Syntax Symposium, Bergen, Norway	6. 最初と最後の頁 1-18
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Atsushi Takizawa	4. 巻 -
2. 論文標題 Extracting real estate values of rental apartment floor plans using graph convolutional networks	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 arXiv	6. 最初と最後の頁 1-23
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.48550/arXiv.2303.13568	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 衣川雛，瀧澤重志
2. 発表標題 深層学習による全方位深度画像の生成と街路空間の評価モデルの開発 - 生成された深度画像と球面CNNの検証 -
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演（関東）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 衣川雛，瀧澤重志
2. 発表標題 全方位画像から生成した深度マップを用いた3D都市景観を再構築する深層学習モデルと視覚的嗜好予測への応用
3. 学会等名 日本建築学会第43回情報・システム・利用・技術シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 瀧澤重志, 川上宥子, 山崎 俊彦
2. 発表標題 大阪府内における住宅系不動産の間取り画像からのアクセスグラフの自動作成と分析
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会(東海)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 瀧澤重志, 衣川 雛
2. 発表標題 深層学習による全方位深度画像の生成と街路空間の評価モデルの開発 - 生成された深度画像と球面CNNの検証 -
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演(関東)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 瀧澤重志, 山崎俊彦
2. 発表標題 グラフ量み込みネットワークを用いた賃貸住宅の間取りの不動産的価値の推計方法
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演(北海道)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小田原英義, 瀧澤重志
2. 発表標題 最小2次元Isovistグラフによる平面被覆問題
3. 学会等名 日本建築学会第45回情報・システム・利用・技術シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小田原英義, 瀧澤重志
2. 発表標題 最小2次元Isovistグラフを用いた 空間分析手法に関する研究
3. 学会等名 建築情報学生レビュー2022
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 瀧澤重志
2. 発表標題 グラフ量み込みネットワークを用いた賃貸住宅の間取りの不動産的価値の推計方法の改良
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演(近畿)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 加美綾音, 瀧澤重志
2. 発表標題 一人称視点モデルに基づく大阪市北区の街路上での2019年の歩行者数の推定
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演(近畿)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>居住空間情報学研究室  <a href="http://inhabitationsys.life.osaka-cu.ac.jp/">http://inhabitationsys.life.osaka-cu.ac.jp/</a></p>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------