

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26820259

研究課題名(和文) 開放感の評定に基づく知覚空間の構造に関する研究

研究課題名(英文) Exploring the structure of perceptual space through rated feelings of spaciousness

研究代表者

稲上 誠 (INAGAMI, Makoto)

名古屋大学・未来社会創造機構・研究員

研究者番号：40597803

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、人が感じる開放感と物理的な空間構成との関係をモデル化することにより、知覚空間(身体の周囲に意識されている空間)の構造を調べることである。実験1では、屋外の複数の場所において、被験者に開放感を評定していただいた。実験2では、簡易なバーチャルリアリティ装置を用いて、同様の評定を行った。さらに、3Dレーザースキャナーを用いて各場所の空間構成を計測した。以上のデータを分析した結果、知覚空間が垂直方向よりも水平方向に広がっていること、また、上方向よりも下方向に広がっていることが分かった。このように非等質的な構造は、知覚空間が日常的な移動の様式を反映していることを示唆している。

研究成果の概要(英文)：This study investigated the structure of perceptual space by analyzing the feeling of spaciousness that is generated by daily environments. In Experiment 1, participants (N=30) rated spaciousness at 42 outdoor locations that varied in terms of spatial layout. In Experiment 2, participants (N=23) observed the environments using a desktop virtual reality system to rate spaciousness in the same way. In addition, a 3D laser scanner was used at each location to measure its spatial layout. Then, we analyzed the structure of perceptual space by creating a model of the relationship between calculated spatial volume and rated spaciousness. The obtained model indicates that perceptual space is more extensive in the horizontal than vertical direction and also in the lower than upper direction. This distorted structure suggests that the space reflects people's locomotion pattern in their daily lives.

研究分野：環境心理学

キーワード：知覚空間 全体構造 非等質性 異方性 開放感 レーザースキャナー

### 1. 研究開始当初の背景

優れた環境をデザインするためには、完成後に利用者が感じる印象を、正確に予測する必要がある。特に全体的な空間構成については、後から修正することが困難であるため、より慎重に決定することが求められる。しかし、それを難しくしている原因として、人によって知覚される空間が、図面上の物理的空間と完全には一致しないという問題がある。知覚空間の構造については、ユークリッド空間のように等方的・等質的に広がっているのではなく、歪みを帯びているということが古くから論じられてきた<sup>①</sup>など。そして、近年の認知科学においても数多くの実験が行われていて、知覚空間の幾何学的構造が明らかにされつつある<sup>②</sup>など。

しかし、これまでの空間知覚の研究で得られた知見は、ほとんど環境デザインには活用されていない。その原因の一つとして考えられるのは、実験心理学が主な対象としてきたのが、空間の知覚というよりも、物体の空間的特性(形、大きさ、距離など)の知覚であったという事実である<sup>③</sup>。環境心理学者のIttelson<sup>④</sup>は、“物体”と“環境”の知覚を明確に区別する中で、環境の特徴として「知覚者の周りを取り囲んでいる」という点を挙げている。これまでの研究では、“環境”に相当する空間の知覚、つまり、身体の周囲に広がる空間への意識は、ほとんど扱われて来なかった。なぜなら、適切な実験方法が無いため、そのような漠然とした意識をとらえることが出来なかったからである。

### 2. 研究の目的

そこで本研究では、周囲に広がる空間への意識を「開放感」としてとらえることを試み、知覚空間の全体構成を明らかにすることを目的とした。開放感に関する研究は、建築学や環境心理学の分野において、古くから数多く報告されている<sup>⑤</sup>など。今回の実験では、実空間およびバーチャルリアリティ(VR)空間において、被験者に様々な場所の開放感を評定していただいた。さらに、それらの場所の物理的な空間構成を計測するため、3Dレーザースキャナーを利用した。それらのデータを分析することにより、開放感と空間構成の関係のモデル化を通して、知覚空間がもつ非等質性について検討した。対象とする非等質性とは、身体から遠ざかるにつれて圧縮されるという特性や、方向によって広がり方が異なるという特性である。著者らが予備的に行った先行研究<sup>⑥</sup>では、既にそのような特性の存在が示唆されている。今回の研究では、より厳密な条件で実験を行うことにより、さらに精密な知覚空間のモデル化を試みた。

### 3. 研究の方法

#### (1) 実空間実験(実験1)

大学キャンパス内の屋外空間において、開放感を評定する実験を行った。空間構成が多

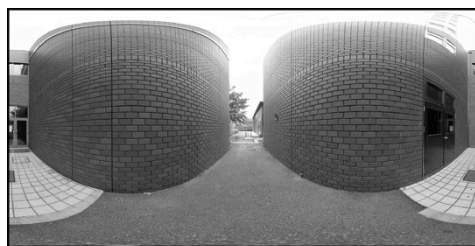


図1 実験場所の例(正距円筒図法のパノラマ画像)

様になるように、42カ所の実験場所を選定して用いた。図1に示したパノラマ画像は、評定された開放感のレベルが異なる、3カ所の代表な場所である。30名(男性23名、女性7名)の学生および研究員が、被験者として実験に協力した。被験者には拘束時間に相当する謝礼を支払った。一度に1名から4名の被験者が参加し、それぞれの実験場所を歩いて回り、周囲の環境から感じる開放感の大きさを評定した。開放感を「その場所から周囲全方向に感じられる空間の大きさ」と定義した上で、難しく考えず直感的に答えるように教示を与えた。評定には0から100の点数を使用した。その基準として、狭い部屋の中と広い運動場の中央をイメージしてもらい、それぞれの開放感を0と100に割り当てるように説明した。

#### (2) VR実験(実験2)

実験1で用いた42カ所において、周囲の環境を複数の写真として記録し、後で加工して一枚のパノラマ画像とした(図1)。そして、簡易なVR装置(図2)で提示することにより、実験1と同様の評定実験を行った。VRパノラマという技術により、被験者はテンキーの上下左右ボタンを操作して、周囲を自由に観察することができる。なお、このVR技術では、図1のような投影の歪みを生じさせることなく、周囲全方向の環境を提示できる。実験2には、23名の学生および研究員(男性16名、女性7名)が参加した。各被験者は、42カ所の環境をランダムな順序で観察し、それぞれの開放感を評定した。

### (3) 空間計測

実験場所の物理的な空間構成を調べるため、3D レーザースキャナー (Leica Geosystems, ScanStation C10) による計測を行った。この機器は、周囲の環境へ向けて距離測定を繰り返すことにより、空間構成を大量の点群データとして記録する。カバーしている計測方向は、足元を除く周囲全方向 (水平 360°、垂直 135°) である。計測可能な距離は、レーザーを照射する表面の状態にもよるが、計測地点から約 200m までの範囲である。今回の計測では、それぞれの実験場所において、地面から 1.5m の高さに機器を設置し、約 0.1° の間隔で周囲をスキャンした。

記録された点群データについては、下記のサンプリング処理を行うことで、分析を進めやすい密度に調整した。周囲全方向を 1,944 の方向 (水平 72×垂直 27) に分割し、それらの方向にある点群のみを抽出した。水平方向は 5° の等間隔に分割したが、垂直方向は、頭上および足元 (垂直角 ±90°) に近づくとつれて間隔が広がるようにした。このように方向を調節することにより、それぞれの点群が等密度の立体角で分布するようにした。なお、計測されない足元付近 (垂直角 -45° 以下) については、地面が水平であると仮定してデータを補間した。

## 4. 研究成果

### (1) 空間量と開放感の関係

始めに、それぞれの実験場所の物理的な空間の大きさを求め、評定された開放感との対応関係を確認した。今回の分析では、身体を中心とした周囲の空間の広がりとして、計測地点から全ての点群までの距離の平均値を求めた。この値を本研究では“空間量”と定義した。なお、空間計測の範囲内 (半径約 200m 以内) に表面が存在しない方向については、点群データが記録されていないため、暫定的に距離を 200m に設定した。そして、算出した空間量と開放感との関係を調べるため、全被験者の評定値の平均を目的変数として単回帰分析を行った。図 3 はその結果を示すグラフであり、決定係数 ( $R^2$ ) が 0.67 ほどであったことから、開放感の変動を概ね説明できていると判断できる。

### (2) 非等質性を考慮したモデル

次に、知覚空間の非等質的な構造を考慮することにより、上記の回帰モデルの精度を向上させることを試みた。身体を中心とした空間の広がりとは、近くと遠くとで異なって感じられると予想される。そのような特性を表現するため、Gilinsky<sup>®</sup>によって考案された知覚距離のモデルを活用した。そのモデルでは、物理的な距離を  $D$  とすると、知覚される距離  $d$  は下記の式で表される。

$$d = A \times D / (A + D)$$



図 2 簡易な VR 装置を使用した実験 2 の様子

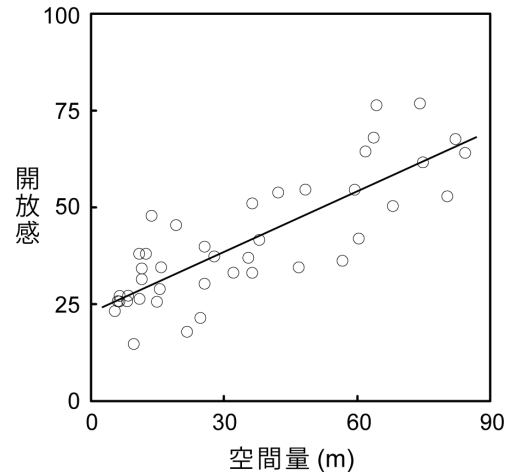


図 3 物理的な空間量と開放感の評定値との関係

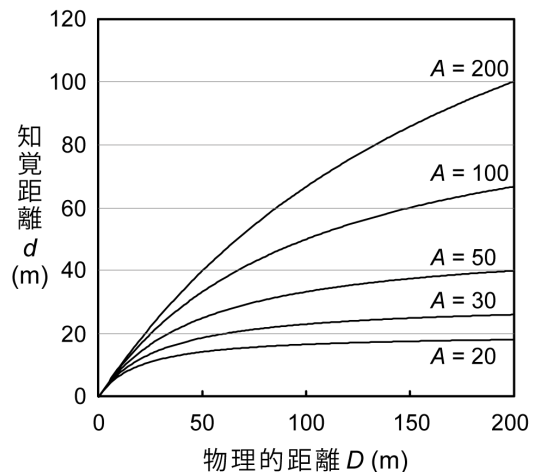


図 4 Gilinsky の式による物理的距離と知覚距離の関係

パラメーター  $A$  は知覚距離の最大値であり、 $D$  が増加するにつれて、 $d$  は  $A$  に漸近的に近づく (図 4)。すなわち、このモデルは、遠ざかるにつれて知覚空間が圧縮されるという特性を表現しており、 $A$  はその圧縮の度合いを表している。この式を利用することにより、計測地点から各点群までの距離を、物理的距離から知覚距離へ変換した。その上で全方向の距離を平均することにより、知覚空間の非等質性を考慮して空間量を算出した。

さらに今回のモデルでは、知覚空間の異方性についても考慮するため、方向によって  $A$  の値を変化させた。図 5 に示したように、水平方向（垂直角  $0^\circ$ ）の値を  $A_h$ 、上方向（垂直角  $90^\circ$ ）の値を  $A_u$ 、下方向（垂直角  $-90^\circ$ ）の値を  $A_l$  とした。それらの方向の間の角度については、楕円状に  $A$  の値を変化させた。したがって、垂直角  $\theta$  における  $A$  の値 ( $A_\theta$ ) は、下記の式によって与えられる。

$$A_\theta = \begin{cases} \frac{A_h \times A_l}{\sqrt{(A_h \sin \theta)^2 + (A_l \cos \theta)^2}}, & \theta < 0 \\ \frac{A_h \times A_u}{\sqrt{(A_h \sin \theta)^2 + (A_u \cos \theta)^2}}, & \theta \geq 0 \end{cases}$$

以上のように、方向ごとに  $A$  の値を変化させることによって、水平・垂直方向および上・下方向における知覚空間の広がりの違いを表現した。

続いて、開放感との対応関係を調べることで、各方向のパラメータ  $A$  の値を推定した。 $A_h$ 、 $A_u$ 、 $A_l$  のそれぞれを 5m の間隔で 5m から 200m まで変化させることによって、合計 64,000 ( $40^3$ ) 通りの条件で空間量を算出した。そして、開放感の評定値を目的変数とする単回帰分析を行い、決定係数を指標として精度を比較した。その結果、表 1 に示すように、 $A_h = 145\text{m}$ 、 $A_u = 5\text{m}$ 、 $A_l = 20\text{m}$  の時に最大の精度が得られた ( $R^2 \approx 0.92$ )。これらのパラメータの推定値は、知覚空間が垂直方向よりも水平方向に広がっていること、さらに、上方向よりも下方向に広がっていることを示している。図 6 のグラフは、それらのパラメータの設定値で行った回帰分析の結果である。図 3 と比較すると明らかのように、非等質性を考慮して空間量を算出した結果、より高い精度で開放感の変動を説明することが可能になった。

### (3) 実空間と VR 空間の違い

実験 2 で得られた評定データについても、上記の分析と同様に、非等質性を考慮したモデルを適用し、パラメータ  $A_h$ 、 $A_u$ 、 $A_l$  を推定した。その結果、表 2 に示すように、 $A_h = 90\text{m}$ 、 $A_u = 5\text{m}$ 、 $A_l = 10\text{m}$  の時に最大の精度が得られた ( $R^2 \approx 0.92$ )。図 7 のグラフは、それらの推定値で行った回帰分析の結果であり、実空間のグラフ（図 6）と比べて、同等の精度で開放感を説明できている。以上の結果は、実空間の結果と同様に、知覚空間が垂直方向よりも水平方向に広がっていること、さらに、上方向よりも下方向に広がっていることを示している。しかし、実空間とパラメータの値を比べると、 $A_h$  と  $A_l$  が低く、つまり水平方向および下方向への広がりが小さい。この原因としては、VR 環境では得られる視覚情報が限られており、距離感が十分に再現できなかったためと考えられる。

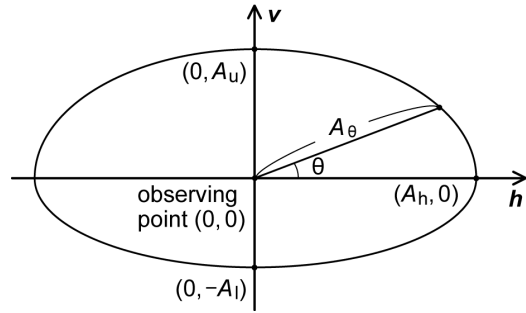


図 5 各方向のパラメータ  $A$  による異方性の表現

表 1 パラメータを変化させた時のモデル精度の比較

| 順位    | $A_h$ | $A_u$ | $A_l$ | $R^2$  |
|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1     | 145   | 5     | 20    | 0.9153 |
| 2     | 150   | 5     | 20    | 0.9153 |
| 3     | 140   | 5     | 20    | 0.9153 |
| 4     | 155   | 5     | 20    | 0.9152 |
| 5     | 135   | 5     | 20    | 0.9151 |
| 6     | 160   | 5     | 20    | 0.9151 |
| 7     | 150   | 5     | 15    | 0.9150 |
| ⋮     | ⋮     | ⋮     | ⋮     | ⋮      |
| 63999 | 140   | 200   | 5     | 0.6537 |
| 64000 | 145   | 200   | 5     | 0.6537 |

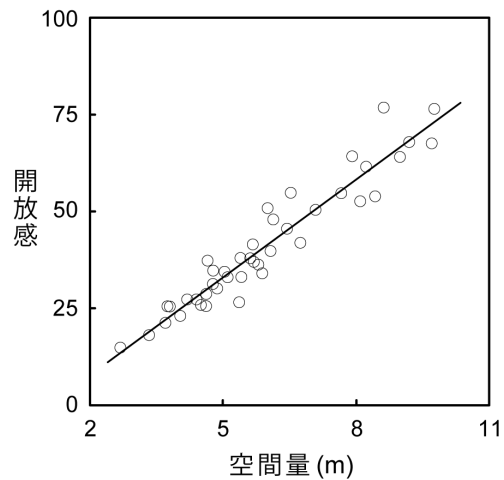


図 6 非等質性を考慮した空間量と開放感との関係

表 2 VR 実験のデータによるモデル精度の比較

| 順位    | $A_h$ | $A_u$ | $A_l$ | $R^2$  |
|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1     | 90    | 5     | 10    | 0.9167 |
| 2     | 95    | 5     | 10    | 0.9167 |
| 3     | 85    | 5     | 10    | 0.9166 |
| 4     | 100   | 5     | 10    | 0.9166 |
| 5     | 80    | 5     | 10    | 0.9165 |
| ⋮     | ⋮     | ⋮     | ⋮     | ⋮      |
| 64000 | 115   | 200   | 5     | 0.6682 |

#### (4) 結論

本研究では、人が感じる開放感と物理的な空間構成との関係をモデル化することにより、知覚空間の構造について検討した。その結果、実空間とVR空間のどちらにおいても、身体を中心とする距離や方向によって広がり方が異なるという、知覚空間の非等質性が示された。知覚空間の幾何学的構造についての既往研究では、その歪みをアフィン変換や射影変換による写像として解釈している<sup>②</sup>など。一方で著者は、今回の研究で示された非等質性を、人の行動様式を反映した特性として解釈している。我々の日常生活では、垂直方向よりも水平方向の移動の方が多く、また、全ての移動は上下方向の重力の影響を受ける。生態学的視覚論<sup>⑨</sup>の提唱者であるGibsonは、空間知覚を「周囲の環境が提供する移動の可能性の知覚」として新たに概念化しようとした<sup>⑨</sup>。その観点に立つとしたら、知覚空間の非等質的な歪みは、知覚システムの不正確さというよりも、知覚と行動の密接な関係を示唆していると言える。

#### <引用文献>

- ① ポアンカレ (河野伊三郎 訳)、科学と仮説、岩波書店、1902/1938
- ② 渡辺利夫、視空間および認知空間の幾何学モデル、認知科学、15 (1)、2008、62-74
- ③ 荻阪良二、空間の認知、鳥居修晃 (編)、現代基礎心理学3 知覚2 認知過程、東大出版会、1982、182-231
- ④ Ittelson, W. H., Environment perception and contemporary perceptual theory, Proshansky, H., Ittelson, W., and Rivlin, E. (eds.), Environmental Psychology: People and Their Physical Settings (2nd ed.), Holt, Rinehart and Winston, 1976, 141-154
- ⑤ Gärling, T., Studies in visual perception of architectural spaces and rooms, Scandinavian Journal of Psychology, 10, 1969, 250-526
- ⑥ 稲上 誠、金子寛彦、大野隆造、身体の周囲に意識される空間の異方性および非等質性、電子情報通信学会技術研究報告、110(279)、2010、75-79
- ⑦ Gilinsky, A. S., Perceived space and distance in visual space, Psychological Review, 58 (6), 1951, 460-482
- ⑧ J. J. ギブソン (古崎 敬、古崎愛子、辻 敬一郎、村瀬 旻 訳)、生態学的視覚論：ヒトの知覚世界を探る、サイエンス社、1979/1985
- ⑨ Gibson, J. J., Visually controlled locomotion and visual orientation in animals, British Journal of Psychology, 49 (3), 1958, 182-194

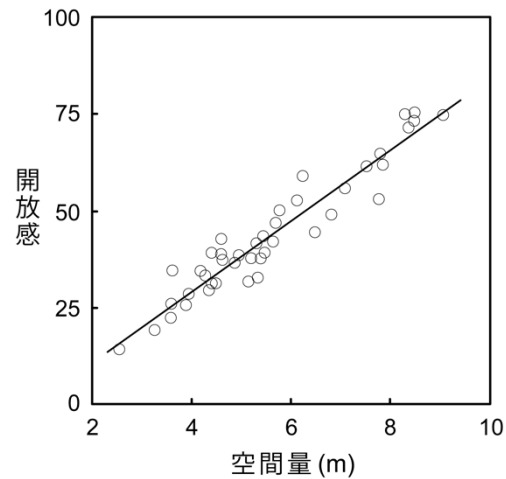


図7 非等質的な空間量とVR実験の開放感との関係

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計3件)

- ① 稲上 誠、開放感の分析に基づく知覚空間のモデル化、日本図学会学術講演論文集、査読なし、2015、89-92
- ② Inagami, M., An affordance-based model of the relationship between environmental surface and perceived spaciousness, Studies in Perception and Action XIII, 査読あり、2015、195-198
- ③ Inagami, M., Relationships between spatial and aesthetic feelings in Japanese Zen gardens, Proceedings of the 23th Biennial Congress of the International Association of Empirical Aesthetics, 査読あり、2014、485-489

[学会発表] (計4件)

- ① Inagami, M., Exploring the structure of perceptual space through rated feelings of spaciousness, 31st International Congress of Psychology, 2016年7月、パシフィコ横浜 (神奈川県・横浜市)
- ② 稲上 誠、開放感の分析に基づく知覚空間のモデル化、日本図学会秋季大会、2015年11月、大阪大学 (大阪府・吹田市)
- ③ Inagami, M., An affordance-based model of the relationship between environmental surface and perceived spaciousness, 18th International Conference on Perception and Action, 2015年7月、Minneapolis (US)
- ④ Inagami, M., Relationships between spatial and aesthetic feelings in Japanese Zen gardens, 23th Biennial Congress of the International Association of Empirical Aesthetics, 2014年8月、New York (US)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

稲上 誠 (INAGAMI、 Makoto)

名古屋大学・未来社会創造機構・研究員

研究者番号：40597803