

屋外オープンスペースにおける積雪寒冷移行期の利用行動
- 積雪寒冷都市における都市デザイン その 28 -

オープンスペース 滞留行動 機械学習
動画解析 物体検出 トラッキング

正会員 ○ 戒能 陽香*
同 瀬戸口 剛**
同 渡部 典大***
同 林 拓実****

1. 研究背景と目的

現在まちなかに賑わいを創出することが多くの都市に共通して求められており、都市空間の再編を通して人中心の「居心地が良く歩きたくなるまちなか」の創出に取り組む必要がある。¹⁾ また都心再開発では機能の複合化による建物の高層高密度化と、快適な屋外環境やアメニティを向上させる屋外オープンスペース（以下 OS）が求められている。しかし積雪寒冷都市では厳寒で積雪のある気候条件により、1 年のうち利用されない時期が長く、冬季に豊かなアクティビティを誘発する屋外 OS のデザインが必要となり、そのためには屋外 OS の利用行動の把握が重要である。²⁾ 行動調査は人の手により行われており、多くの労力と時間が必要とされていた。しかし近年では、機械学習の技術の発展に伴い、これを応用した物体検出や物体追従、行動分析を行おうとする研究がみられる。

よって本研究では、積雪寒冷都市の屋外 OS において、気温が大きく低下する秋季から冬季にかけての利用行動の変化を把握及び機械学習による行動認識を目指す。



図 1. 札幌市北 3 条広場の状況

2. 研究の方法

2-1. 調査概要

本研究では、積雪寒冷都市の中で特に人口が多く積雪量が多い、札幌市都心の北 3 条広場を対象とした。

北 3 条広場にカメラを計 10 台設置し（図 2）、撮影した動画データによる人流解析・行動分類を行った。動画撮影は、2023 年のうち、気温が移り変わり、積雪が発生する 10 月後半から 12 月後半において全 17 日行った^{注 1)}。撮影日にはキッチンカーの出店日やイルミネーションの実施など、イベントが行われていた日程も含まれる^{注 2)}。なお、撮影時間については 10:00 から 19:30 とした。

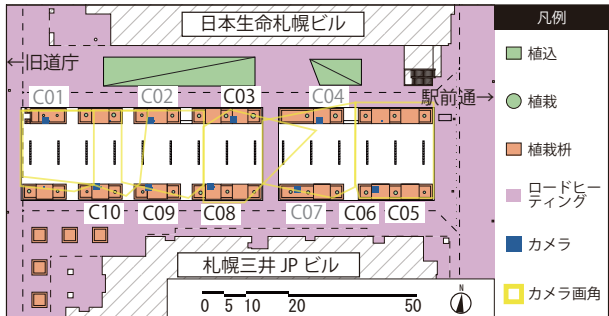


図 2. 調査対象地区概要

2-2. 分析方法

1) 機械学習による解析

気温 5 度以上を温暖期、5 度以下を寒冷期とし、雪がみられる寒冷期については積雪期とした。以上の期分けをもとに調査データのうち 8 日分を分析対象として選定した。

人流解析では撮影した動画データのうち、最も多い利用者が想定される 12:00 から 13:00 を分析対象とし、カメラ C03, C05, C06, C08, C09, C10 のデータで分析を行った。^{注 3)}



図 3. 機械学習による分析

利用行動の基礎的なデータとして、機械学習を用いて広場利用者の人数計測を行った。対象カメラの撮影データにおいて 10 分ごとの広場滞在者の数値をカウントした。分析フローを図 3 に示す。Yolo v8 を用いて人の物体検出及びトラッキングを行った。出力された 1/6 秒ごとのデータを 2 秒ごとのデータとして抽出し、エラー値の処理のため 1 フレームのデータを除外する。以上のデータをもって Grasshopper を使い、カメラ画角として表示した画像上を通過したバウンディングボックスの座標を図示し、数量をカウントする。なお、Yolov8 には物体認識として標準的なデータセットである MSCOCO³⁾ のデータセットで事前学習させた。Yolo v8 によって抽出された各バウンディングボックスの座標データのうち、任意のエリア内にある座標のみを図示し、カウントすることで広場の滞在者数を把握した。

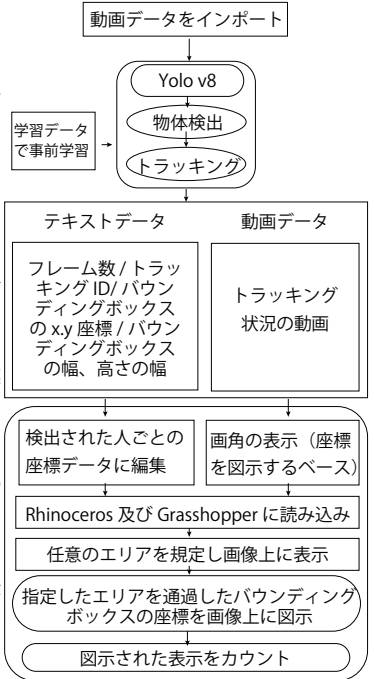


図 4. 機械学習を用いた行動分析プロセス

2) 目視による行動種別抽出

撮影開始日の10月25日から積雪が見られる11月30日までの9日間におけるC02の動画データを10時、12時、14時、16時、18時、19時の6つの時間帯において最初の15分間を観察し、北3条広場での利用者の行動種別データを抽出した^{注4)}。

表 1. 調査日の概況

撮影日	曜日	最高 気温	最低 気温	気温 (12時)	天気 (12時)	イルミ ネーション	積雪	イベント等
10月25日	水	19.6	13.3	19.4	晴	×	×	キッチンカー出店
10月31日	火	16.8	11.2			×	×	ハロウィーン
11月4日	土	10.6	5.2	10.1	晴	×	×	
11月16日	木	11.7	5.5		晴	×	×	
11月19日	日	12.2	8.2	11.8	雨のち晴	×	×	
11月22日	水	13.8	8	13.3	晴	○	×	イルミネーション初日
11月23日	木・祝	17.2	12.3			○	×	
11月24日	金	5.8	-0.1			○	○	初積雪
11月30日	木	-3.2	-5.1			○	○	
12月2日	土	2.7	-0.1	2	くもり	○	×	
12月6日	水	10	5.1	8.1	くもり	○	×	
12月9日	土	11.1	7.2			○	×	
12月13日	水	0.2	-3.7	-0.5	くもり	○	○	
12月16日	土	0.6	-2	-0.8	雪	○	○	
12月20日	水	-1.3	-5.7			○	○	
12月23日	土	-3.7	-6			○	○	
12月27日	水	-0.8	-3			○	○	

現時点ではデータセットの不足により、機械学習を用いてカメラの撮影画角による頭上からの映像で人の行動種別判断をすることや、冬季及び積雪に関連した利用行動を判別することは難しい。そのため行動種別に関しては目視での分析を行った。その際、広場の大部分を撮影しているC02を対象として選択した。(11月30日はC02の撮影不備のためC08の動画データを代替として調査した。)

抽出された行動種別を調査日の気温に準じて並べ、気温による行動種別の変化を分析した。また、行動種別データを調査日のとおりに並べ替え、一日における時間帯ごとの行動種別について、一日の中の時間帯と行動種別の変化の関係性を分析した。

3. 調査結果と分析

3-1. 調査日ごとの広場利用者数

調査対象日の気象条件と、機械学習によりカウントした広場滞在者数を以下に示す(図5)。調査対象日における気象データとして、気温については気象庁のデータより12:00-13:00の10分間隔のデータを用いてその平均を計算した。天候は気象庁のデータ⁴⁾より12時のデータを参照した。

滞在者数の最高値は10月25日の238人、最低値は12月13日、16日の22人で、平均値は162.5人だった。これより、冬季に向かう時期の変化によって、広場の滞在者数が一定に減少するわけではないことがわかる。

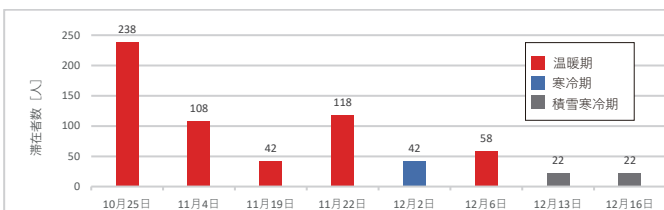


図 5. 調査対象日の広場滞在者数

3-2. 気温の低下と滞在者数の関係

広場の滞在者数と広場の気温について、調査日の8日間をプロットした図を以下に示す(図6)。広場の滞在者数と広場の気温には、決定係数が0.72と、強い相関関係がみられた。既往論文⁵⁾による気温が20℃より低くなると滞在者数が減少するという記載と同じ傾向がみられる。

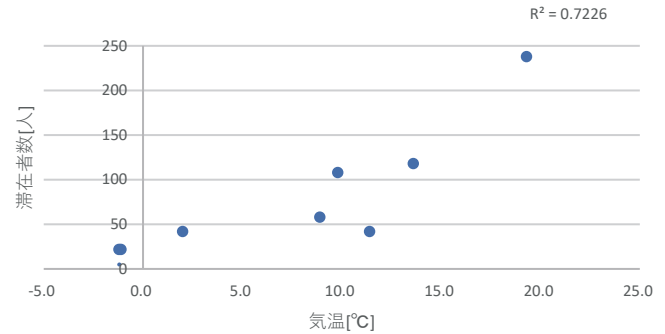


図 6. 気温と広場滞在者数

3-3. 広場内の利用行動

目視分析によって見られた行動について以下にまとめる。一般に、都市での活動は大きく滞留行動と通行行動に二分される。さらに滞留行動は必要性の度合いから必要行動、任意行動、社会行動に分類される⁶⁾。そのうち余暇的な性格の強い任意行動及び社会行動の数が多くなることで、都市に賑わいがもたらされる。任意行動としては写真撮影や落ち葉、積雪を用いた遊びなどを含め多数見受けられたほか、社会行動に関しても、他者への写真撮影の依頼など、偶発的なコミュニケーションが確認された。

1) 気温の低下に伴う利用行動の変化

北3条広場における行動種別を歩行・起立・着座・寝転ぶ・しゃがむの5つの姿勢ごとに分類し、その後行動種別データを調査日の気温順に並べ替え、気温の低下に伴う行動種別の変化を図示した(表2)。

歩行・起立状態での行動は、「食べ歩き」「キッチンカーの列に並ぶ」「キッチンカーの看板を見る」のような、イベント(キッチンカー出店)の日のみ発生する行動種別があった。一方で、着座・寝転ぶ・しゃがむの3つの姿勢では、イベント開催日のみ発生する行動は見られなかった。このことから、他の姿勢での行動と比べて、イベント(キッチンカー出店)により影響を受け発生する行動が多いことがわかる。

着座・寝転んだ状態での行動種別について、平均最高気温が17.9℃の第一期(10/25、11/23、10/31)では平均10種類が確認されたが、平均気温が12.6℃の第二期(11/22、11/19、11/16、11/4)では平均5種類、平均気温4.4℃の第三期(11/24、11/30)では平均2種類と減少したこれより着座・寝転んだ状態での行動種別は、気温が低下すると減少することがわかる。さらに着座・寝転んだ状態でみられる行動種別に関して、食事など長時間の滞在に関連するものは約15℃を下回ると減少に転じる。このことから着座・寝転んだ状態での行動は気温の低下の影響を受けやすいといえる。加えて、最低気温が氷点下を下回った11/24、11/30では積雪に関連した行動しか発生しないことから、寒冷期の着座・寝転んだ状態の行動種別は積雪に影響を受け発生することがわかる。

表 2. 行動種別一覧 ●全日観測●日中のみ観測●日没後のみ観測

	日時	第一期			第二期			第三期		
		10/25	11/23	10/31	11/22	11/19	11/16	11/4	11/24	11/30
利用行動	最高気温	19.6	17.2	16.8	13.8	12.2	11.7	10.6	5.8	-3.2
	最低気温	13.3	12.3	11.2	8	8.2	5.5	5.2	-0.1	-5.1
	イベント	キッチンカー	×	ハロウィン	イルミ	×	イルミ初日	イルミ	積雪作業	イルミ
	環境	紅葉		紅葉		紅葉	紅葉	紅葉	積雪	積雪
歩行	会話	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	飲み物を飲む	●	●	●	●	●	●			●
	追いかけっこ	●		●				●	●	●
	席の移動	●	●	●		●	●			
	食べ歩き	●						●		
	犬の散歩	●		●			●	●		●
	スキップする				●					
	落ち葉の上を歩く							●		
	銀杏を蹴り歩く					●				
	雪の上を走る								●	●
起立	会話	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	写真撮影	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	読書	●								
	スマホを置き写真撮影	●	●	●	●	●	●	●		
	ダンスを踊る	●	●		●	●	●	●	●	●
	掃除をする	●			●					
	上着を着る		●							
	デッキの上に上る	●	●	●		●		●	●	●
	キッチンカーの列に並ぶ	●								
	看板を見る	●								
	ジャンプする			●			●		●	●
	落ち葉を見る		●							
	雪を足でかき分ける								●	●
	雪を拾う・投げる								●	●
	デッキの積雪に文字を書く								●	●
	雪に手形をつける								●	●
着座	会話	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	食事	●	●	●	●	●	●	●		
	身だしなみを整える	●	●	●	●	●	●	●		
	スマートフォンを見る	●	●	●	●	●	●	●		
	電話	●	●	●	●	●	●	●		
	景色を見る	●	●		●	●	●	●		
	布を敷いて座る	●		●						
	座りながら寝る	●	●	●						
	あぐらをかいて座る	●	●	●						
	タバコを吸う	●		●	●					
寝転ぶ	広場に座り込む								●	●
	デッキに寝転ぶ	●	●	●						
	スマホを見る	●	●	●						
しゃがむ	雪の上に寝転ぶ								●	●
	写真撮影		●		●			●		
	子どもを見守る	●								
	落ち葉を拾う							●		
自転車	銀杏を拾う					●				
	雪を拾う								●	
	走行	●	●	●	●	●	●	●	●	
	自転車と人が並走		●					●		
その他	自転車を停める			●		●				
	ウィリー			●						
	ウェディングフォト	●		●						
その他	仮装			●						
	スケートボード		●							

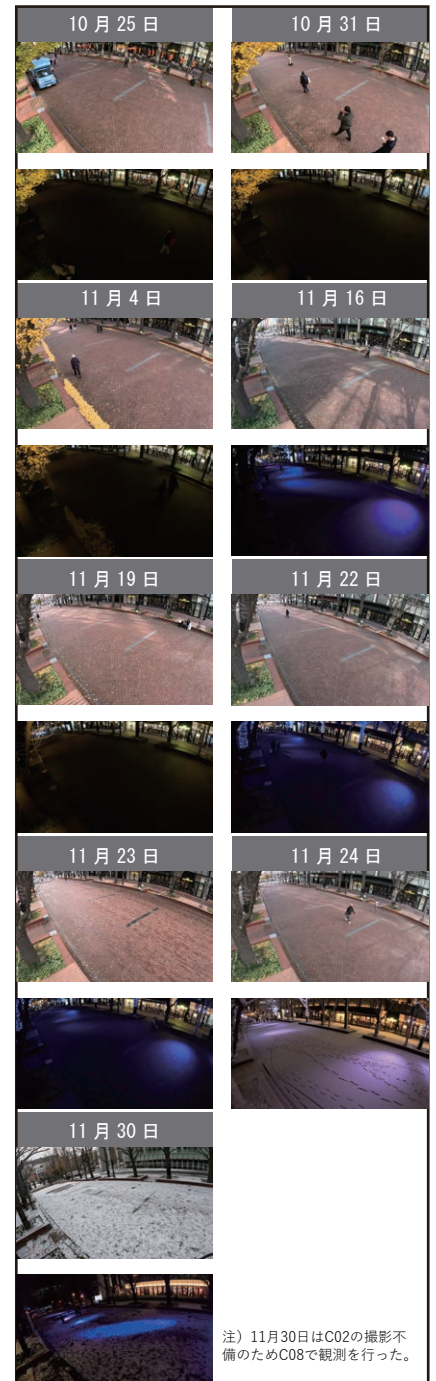


図 7. 調査日・時間帯ごとの広場状況

しゃがんだ状態でみられる行動種別は落ち葉や銀杏、積雪など、広場の落下物によって引き起こされているものの割合が多い。これより、しゃがんだ状態での行動種別は広場の落下物に影響を受けて発生することが多いとわかる。また、見られる行動種別の数は気温に関わらず0～2種類であることから、気温との関係はほとんどないと言える。

すべての姿勢の共通点として、「雪の上を走る」「雪玉を投げる」「広場の雪の上に座り込む」「雪の上に寝転ぶ」「しゃがんで雪を拾う」のように、積雪により新しい行動種別が発生していることから、積雪がすべての姿勢において行動の発生起因になっていることがわかる。

また、自転車走行は路面上に積雪が常時見られた11月30日以外で調査日すべてで見られた。広場内の自転車走

行は路面状況に影響を受けていると考えられる。

2) 時間帯による利用行動の変化

抽出した利用行動のうち、日中に見られた行動、日没後にみられたものを以下に整理した(図8, 9)。

会話、写真撮影は日中・日没後問わず常に観測されたことから、これらの行動種別は時間帯による影響はほとんど受けないといえる。

イルミネーションの実施日と、実施されていない日を比較すると、イルミネーションの実施日は「ジャンプする」や「ダンスを踊る」など日中は観測されず、日没後にしか観測されない行動を引き起こしていることがわかる。イルミネーションによる光や音がこれらの行動を引き起こしていると考えられる。



図 8. 日中に観測された行動



図 9. 日没後に観測された行動

日中には見られていた紅葉、落ち葉などの広場の環境変化による行動（積雪以外）は日没後に見られなくなることから、積雪以外の広場の環境変化による行動は時間帯の影響を受けていると考えられる。

一方で、日没後においても「雪を拾う」「雪の上に寝転ぶ」「雪に手形をつける」など、積雪によるアクティビティは多く発生するため、積雪によるアクティビティと時間帯の関連性は少ないと考えられる。

ウェディングフォトやスケートボード、ウィリーなど、稀にみられる活動と、それがみられる時間帯については、現時点で関係性を見ることが出来なかった。

4. まとめ

以上の分析から寒冷移行期における広場の利用行動について、以下の11点を明らかにした。①気温の低下と広場利用者数は相関関係がある。②季節による広場の環境変化（紅葉・積雪）は広場の利用行動種別に影響を与える。③イベント開催は広場の利用行動種別に影響を与える。④起立状態の利用行動種別は最も種類が多い。⑤着座・寝転ぶ状態の利用行動種別は気温の低下の影響を最も受ける。⑥着座・寝転んだ状態の利用行動種別に関して、長時間の滞在に係る行動種別は約15度以下では発生しなくなる。⑦しゃがんだ状態での利用行動種別は広場の落下物（落ち葉・積雪）に影響を受ける。⑧夜間は広場の落下物（落ち葉・積雪）によって引き起こされる行動が減少する。⑨すべての姿勢において、積雪により新しいアクティビ

ティが発生する。⑩日没後の行動種別はイルミネーションの実施において増加する。⑪日没後も積雪によるアクティビティは増加する。

これより、広場の利用者の滞留行動を促進するための広場の運営手法として以下のことが言える。

【共通事項】広場における利用行動は気温と相関関係があり、特に着座・寝転んだ状態において長時間の滞在に係る行動種別は約15度を下回ると利用行動が減少する。そのため気温に応じた広場運営が必要となる。また、落ち葉や積雪などの広場の落下物により新たな行動が引き起こされているため、広場の落下物と触れられるような箇所を用意することは利用行動の増加に有効であるといえる。加えて落下物によって引き起こされる行動はしゃがむ状態のものがみられるため、それらは通行を妨げない箇所に用意するべきだと考えられる。

【イベント時】イベント開催によって、歩行・起立状態における行動種別が増加するため、イベント時は歩行・起立状態の行動を促進、もしくは阻害しない広場

運営が必要となる。

【積雪期】積雪によりすべての姿勢における行動種別が増加する。そのため通行・滞留のための空間の両方を用意することで、双方を阻害しない広場運営が可能になると言える。

【日没後】日没後はイルミネーションによって行動種別が増加しているため、イルミネーションは広場の賑わい創出に有効であると言える。

広場の質の調査には広場内の利用行動について把握することが必要である。従来の人力による分析方法では膨大な時間と労力を要するため、今後機械学習による分析の活用がより求められる。今後の方針として、本調査で明らかにした行動種別、特に積雪寒冷地特有の行動についてデータベースの作成を行い、機械学習を用いた行動分析の実用化を目指す。

【注釈】注1) C04の撮影データは、カメラの不具合により11月19日以降破損したものが多い。注2) 11/16はテスト点灯のため、イルミネーション開始日より前だが点灯されていた。注3) 10/25については、キッチンカーの影が入らないようC03の代わりにC07の映像を分析対象とした。注4) 11/30の行動種別については、撮影不備のためC03の映像を対象とした。

【参考文献】1) 国土交通省都市局：「「居心地が良く歩きたくなる」まちなかづくり～ウォーカブルな街中の形成～」https://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_machi_tk_000072.html(最終閲覧2025/4/2) 2) DEGUCHI Atushi, et al.:「ストリートデザイン・マネジメント」, Gakugei Shuppansha Co., Ltd., 2019 3) T. Y. Lin et al., Microsoft COCO: Common Objects in Context, arxiv.org:1405.0312, 2014 4) 気象庁HP「過去の気象データ」https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php(最終閲覧2025/4/2) 5) SASAKI Takashi, et al.: The Proposal of Design Guidelines for Downtown Public Spaces Based on The Human Behavior in Winter The Urban Design on Winter Cities #25, Summaries of technical papers of annual meeting, Architectural Institute of Japan Vol.2020, pp831-832, 2020(in Japanese)(佐々木嵩 ほか：積雪寒冷都市の屋外オープンスペースにおける冬季利用行動とデザインガイドラインの提案, 日本建築学会学術講演梗概集, 2020 巻, pp831-832, 2020) 6) Jan Gehl, KITAHARA Toshio, 「人間の街 公共空間のデザイン」, Kajima Institute Publishing Co., Ltd., 2014

* 北海道大学大学院工学院 修士課程

** 北海道大学 理事・副学長 / 大学院工学研究院 教授 博士（工学）

*** 北海道大学大学院工学研究院 准教授 博士（工学）

**** 清水建設株式会社 工修

* Master Course, Graduate School of Eng., Hokkaido Univ.

** Executive Vice President, Prof., Faculty of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.

*** Assoc. Prof., Faculty of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.

**** Shimizu Corporation, M. Eng.