

# AI分析を用いた積雪寒冷都市の屋外オープンスペースにおける利用行動分類 -積雪寒冷都市における都市デザイン その34-

正会員 ○大友 堅心\*  
正会員 瀬戸口 剛\*\*  
正会員 渡部 典大\*\*\*

積雪寒冷都市 屋外オープンスペース 歩行者行動  
機械学習 物体検出 トラッキング

## 1. 研究の背景と目的

都市における屋外オープンスペース（以下 OS）では、その都市の気候風土を考慮したデザインが求められる<sup>1)</sup>。特に積雪寒冷都市においては冬季の厳寒な気候から、屋外空間の利用者数の低下や利用体験の質の不足などが課題とされてきた。一方で、冬季には雪を利用したアクティビティなどの特有の利用行動が見られ、これらの活動を促進することで OS の質を向上させることが可能である。

従来は目視での行動調査により、空間の利用状況を把握していた。しかし近年ではAIによる解析を用いることで、対象日時や場所を拡大する手法がみられる。林<sup>2)</sup>らはAI分析を用いて街路空間における利用者の歩行経路や速度、滞留時間等を明らかにし、滞留者の姿勢を「起立」と「着座」に分類して自動で検知した。また山脇<sup>3)</sup>らはオープンデータと深層学習を用いて18種類の行動を検知し、街路空間の利用状況把握と制度の評価を行った。

以上のような既往研究を踏まえ、本研究では積雪寒冷都市における OS 利用者の基本的な行動を機械学習によって検知し、それらと環境要素との関係性を明らかにすることを目的とする。

## 2. 研究の方法

### 2.1 調査方法

本研究では、札幌市都心部にあり唯一の都市計画広場として整備された北3条広場を対象に、秋季から冬季にかけての利用状況をカメラで撮影した<sup>註1)</sup>。カメラは街灯に設置し、広場内を俯瞰する画角で撮影を行った。また広場内のエリアを西からA-Gの順で名前付けし、エリアごとに分析を行った。

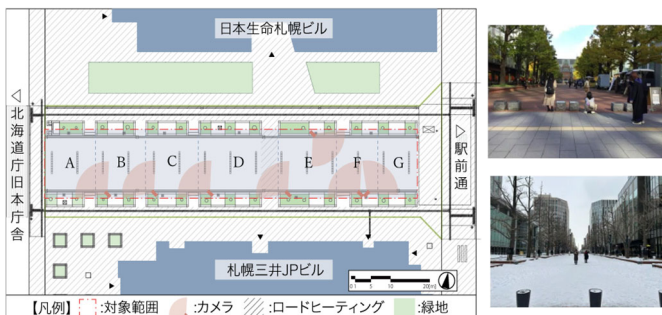


図1 広場の状況

### 2.2 分析方法

検出する基本行動を「起立」「着座」「自転車に乗る」「しゃがみ」「寝転び」の5種類に分類した。対象とする行動は既往研究<sup>3)</sup>での分類（表1）を参考に、「走る」「歩く」を「起立」として含め、積雪期に雪遊びや写真撮影などでよく見られる「しゃがみ」を基本行動に追加した<sup>註2)</sup>。



図2 検出する基本行動

図3 分析画面

分析には既存モデル（yolo11l.pt）に独自のデータセットを追加学習させたモデルを用いた。データセットは北3条広場内の動画の切り抜きに加え、オープンデータ画像（MSCOCO）に骨格検知処理を施したものを補う形で作成した。

続いてYOLO11の環境で行動の推定とトラッキング（図3）を行い、検知したフレーム数、行動、バウンディングボックスの座標、人物ごとのIDの情報を得た。コンピュータ上で図表へ出力するまでの過程をフローに簡潔に整理する（図5）。

表1 既往研究における分類

基本行動(7種)				詳細行動(11種)						
歩く	立つ	座る	走る	スマホを見る	電話する	食べる	飲む	読む	写真を撮る	
自転車に乗る	寝たわる	しゃがみ	話す	ペットと遊ぶ	車を押す	手押し車を押す	杖をつく	ベビーカーを押す		

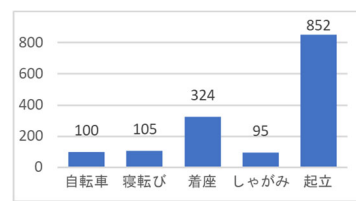


図4 アノテーションデータ数

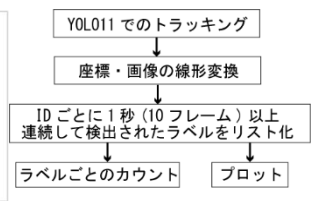


図5 解析フロー

### 2.3 モデルの精度検証

今回の分析ではモデルを主に3種類のパターンに分けて作成し、最も検知精度が高かったものを採用した。1.「オープンデータ画像のみ」2.「広場内画像のみ」3.「両者の混合」それぞれでパラメータを調節し、最終的には広場内画像に学習データ数の少ない「寝転び」のオープンデータ画像を補ったデータセットを用いた。

表2 各行動の適合率

行動内容	適合率
起立	66.7%
着座	82.5%
自転車に乗る	79.2%
しゃがみ	83.3%
寝転び	85.2%

表2に各行動の適合率を示す。適合率はAIが正確に検知した数を、不正解含むAIの総検知数で除した値で、「起立」は背景との誤検知が多く出現した。このような適合率が低い行動の部分的なエラーをはじくため、1秒以上連続で検知されたラベルにカウントを限定した。

3. 利用行動の分析

3.1 調査時の概況

表2に分析対象とした日時の環境条件を示す。気温と天気については気象庁のホームページを参考にした<sup>3)</sup>。また、積雪がない日を無雪期に、ある日を積雪期に分類した。

3.2 総滞留時間と気温の関係

検知されたフレーム数の総量を総滞留時間と読み替え、各時間帯の気温とともにプロットした(図)。気温が低下するにつれ滞留時間は減少するものの、0℃付近ではある程度の下げ止まりが見られた。

3.3 基本行動のカウント

表4.5に1秒・1行動ごとのカウント<sup>注3)</sup>結果を示す。各期の平均をとると無雪期から積雪期にかけて、利用者数の減少に伴い全体的なカウント数は減少しているものの、「起立」「しゃがみ」のカウント数の減少はゆるやかであった。

以下に、カウント結果から得られた知見を示す。

- 1) 無雪期から積雪期にかけて、気温の低下により利用者数が低下するために全体の検知数は減少するものの、「起立」や「しゃがむ」といった姿勢は積雪期にもよく見られる。
- 2) 「寝転び」の姿勢について、無雪期には一箇所で長時間、積雪期には複数エリアで短時間の検知があるため、それぞれが質の違う「寝転び」状態であったと考えられる。
- 3) 積雪期には昼間に比べ、夜間は駅前通側での「起立」「しゃがむ」姿勢での滞留が比較的多く検知されていることから、イルミネーションや雪などを背景とした写真撮影が促進されていると考えられる。
- 4) 通常積雪がある場所で自転車を使用することは稀であるが、広場が都心部にあり付近にロードヒーティングがあ

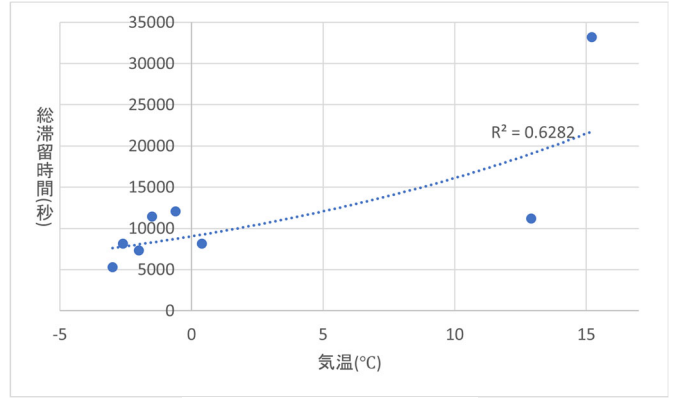


図6 総滞留時間と気温の関係

ることから、積雪期にも少数の「自転車」の検知がみられていると考えられる。

- 5) 気温低下に伴い利用者数や滞留時間は減少するが、積雪期にはある程度下げ止まりする。

3.4 基本行動ごとの滞留地点

日時ごとに各行動が検知された地点を色分けし画像上にプロットした(図7)。以下に特徴的な結果を示す。

- 1) 無雪期には広場北側のベンチでの「着座」が多いが、積雪期にはほぼ見られない。
- 2) 無雪期にはベンチ付近に滞留が偏在するが、積雪期には駅前通側のエリア(F,G)での滞留が目立つ。
- 3) 無雪期の夜間に自転車を複数人で乗るといった利用行動がみられた(図4-b)。
- 4) 積雪量が少ない広場の中央では「起立」が多い。昼間には積雪が多いエリアで「寝転び」や「しゃがみ」を検知した(図4-c)。「寝転び」の滞留状況を確認したところ、無雪期にはベンチの上で、積雪期には雪の上で検知された。

表3 分析日の概況

日付	10/31	12/13	12/15	1/8
積雪	-	○	○	○
気温(°C)	15.2	-1.5	0.4	-0.6
天気	晴れ	曇り	雪	曇り
12:00				
気温(°C)	12.9	-3.0	-2.6	-2.0
天気	曇り	雪	雪	晴れ
18:00				

表4 行動の変化(人数×秒)

	無雪期	積雪期	増減(%)
自転車	220	21	-91%
寝転び	539	26	-95%
着座	20086	1	-100%
しゃがむ	1758	841	-52%
起立	21784	16578	-24%

表5 エリア別姿勢カウント(人数×秒)

撮影日時	10/31 - 無雪期														12/13 - 積雪期														
	12:00-13:00							18:00-19:00							12:00-13:00							18:00-19:00							
エリア	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G	
自転車	4	29	0	1	11	5	68	0	2	79	4	16	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
寝転び	0	537	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	23	0	0	0	0	1	0	0	0	
着座	3985	4886	4578	2385	1192	0	1038	94	94	439	32	172	0	1191	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
しゃがむ	95	2	41	179	41	0	135	55	537	47	110	342	0	174	31	0	82	110	143	89	23	30	0	0	1	1	97	106	
起立	3201	1267	1203	1969	2080	332	3916	632	733	1303	2014	1406	88	1640	1520	729	1146	3118	2043	1311	1036	589	190	169	139	122	1451	2402	
撮影日時	12/15 - 積雪期														1/8 - 積雪期														
時間帯	12:00-13:00							18:00-19:00							12:00-13:00							18:00-19:00							
エリア	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G	
自転車	0	0	9	2	3	3	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	13	1	0	-	0	0	0	0	0	16	0	-
寝転び	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	29	0	0	-	0	0	3	0	4	0	-	0
着座	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-	0	0	0	0	0	0	0	-
しゃがむ	10	37	40	65	7	2	1	14	6	5	0	6	186	156	171	153	507	35	49	-	12	8	4	22	240	37	-	38	
起立	883	1647	942	2927	477	297	806	1796	541	469	744	540	1321	2368	2073	4084	1382	1567	836	-	1140	747	632	440	1002	2287	-	1822	

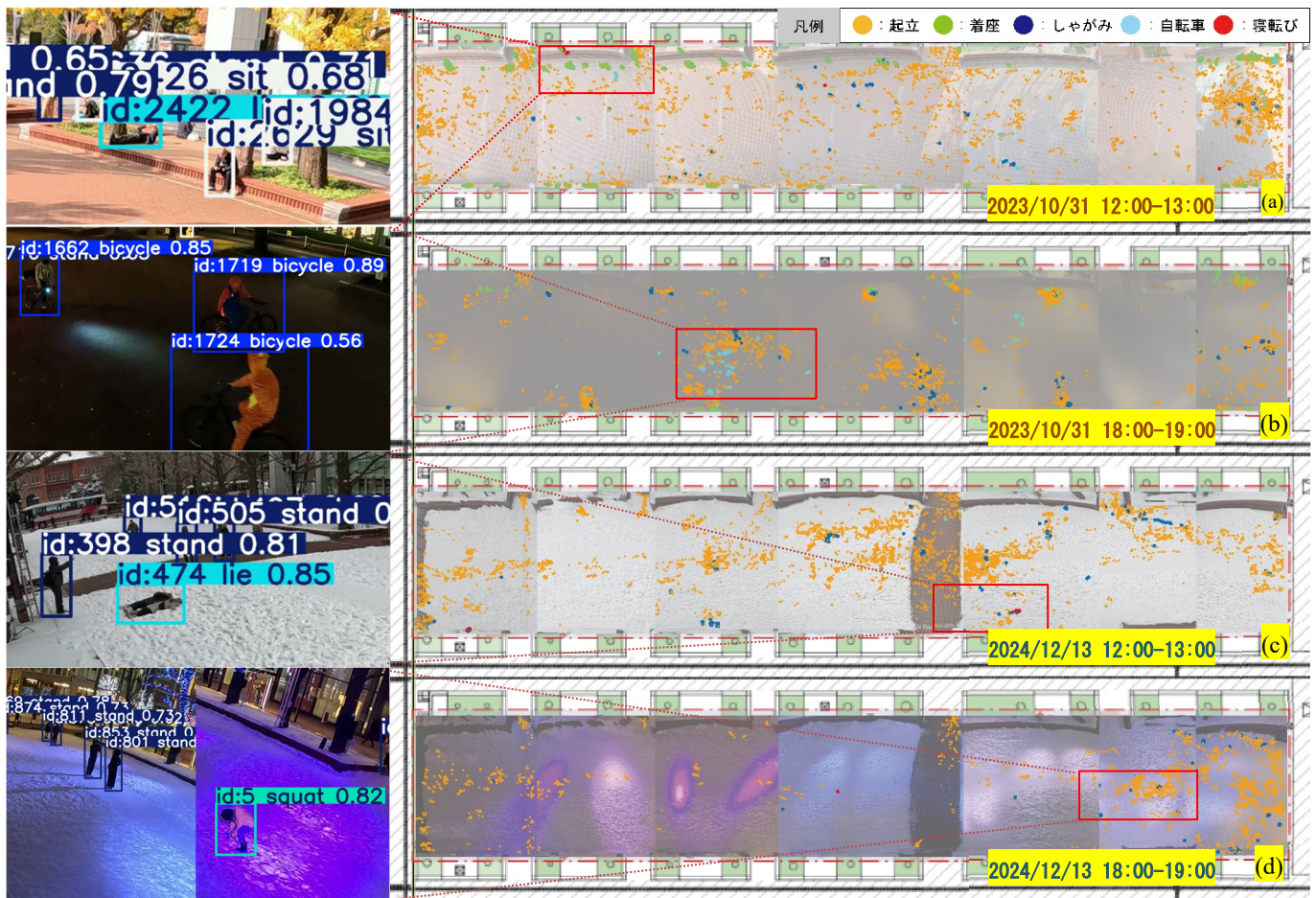


図 7 実際の解析画面(左)と行動ごとの滞留地点(右):(a) 無雪期昼;(b) 無雪期夜;(c) 積雪期昼;(d) 積雪期夜

### 3.5 積雪量と滞留行動の関係

積雪期の3日間について、行動地点ごとにプロットした図に測定した積雪量の情報を加え、積雪量と滞留行動の関係性について分析する(図9)。12/13が最も積雪量が多く、昼間には10cmを超える新雪部分が広場脇に残っていた。また広場の中央は通行のため除雪されており、積雪量が少ない。

以下に各時間帯での行動特性を示す。

#### 【昼間 12:00-13:00】

- ・「しゃがみ」はベンチ付近の堆雪エリアに多い。
- ・10cmを超える積雪エリアでは「しゃがみ」があまりみられない。
- ・「寝転び」は積雪量に関係なく、ベンチ付近のエリアで突発的に見られる

#### 【夜間 18:00-19:00】

- ・積雪量が7cmを超えるエリアでは「しゃがみ」が見られない。
- ・積雪量が少ない広場中央のエリアで「寝転び」が突発的に見られた。
- ・積雪量が4-6cmほどのベンチ側のエリアで「しゃがみ」がよく見られた。

続いて、以上の結果から得られた関係性の考察を以下に述べる。

- 1) 「しゃがみ」が駅前通りのエリアとベンチ付近のある程度雪が積もっている地点に分布していることから、写真撮影や雪を触るための滞留が起こっていると考えられる。
- 2) 「寝転び」は無雪期には「着座」の延長としてベンチ上で見られ、積雪期には積雪量に関わらず突発的に行われる行為であると言える。
- 3) 「起立」の分布状況から、雪遊びやイルミネーション等の影響で寄り道的な歩行・滞留が起こっていると考えられる。
- 4) 雪が多く積もっている地点よりも、主要動線の付近での滞留が多く見られたため、積雪期の利用行動の促進には、除雪や動線の誘導といったマネジメントの方法を工夫することが重要である。

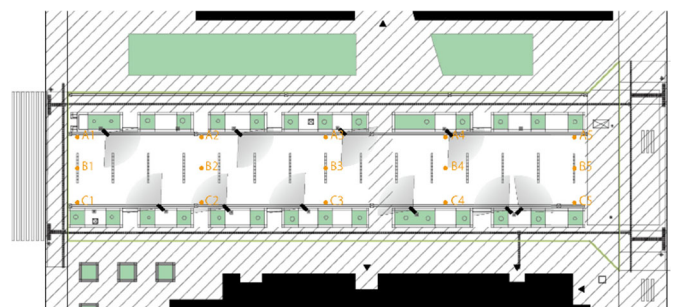


図 8 積雪量の測定

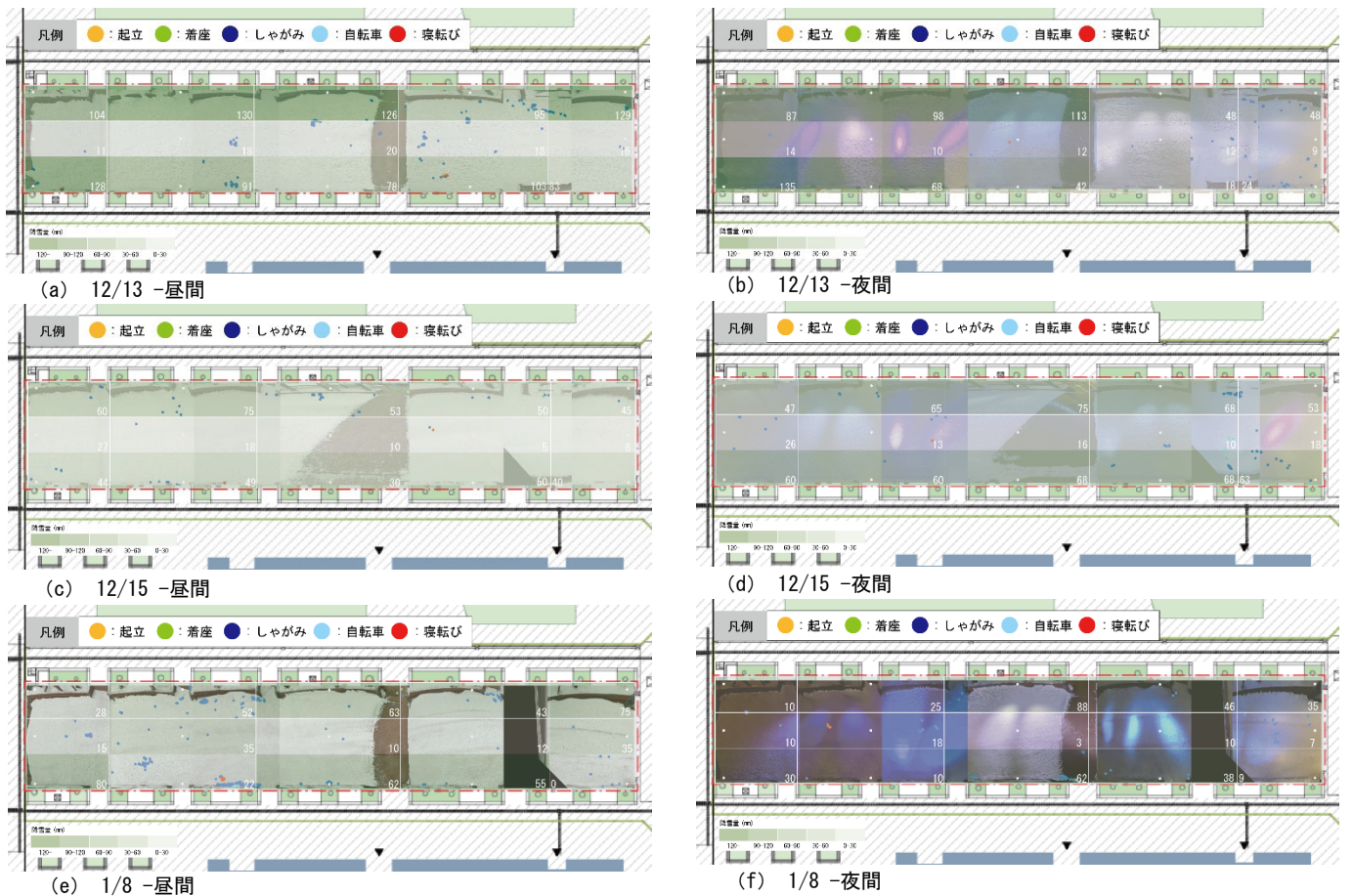


図 9 積雪量と基本行動の位置関係（「起立」を除く）

#### 4. 結論

##### 4.1 本研究における成果

本研究ではデータ数が少ない行動の学習をオープンデータで補うことで検知精度を高め、5種類の行動分類を可能にした。特に、積雪期の雪遊び等を反映する「しゃがみ」「寝転び」を定量的に評価することが達成された。

##### 4.2 積雪期の滞留行動特性の考察

「しゃがみ」や「寝転び」といった行動は積雪期にも、雪遊びや写真撮影などを通じてみられるため、一部に堆雪エリアを設けることが有効である。またイルミネーションにより日没後も広場の見通しが良く、無雪期よりも一部のエリアでの夜間における活動が増加した。したがって冬季の利用を促進するためにイルミネーションを実施することが望ましい。

##### 4.3 課題点と今後の展望

暗い場所やカメラの画角・天候等の影響による誤検知、またデータ数が少ない行動が検知できていない場面がみられた。今後は既往研究<sup>2)</sup>の分類（7×11種類）を一つの目標としつつ、「走る」など動きのある滞留行動も含め、冬季の利用行動を反映する具体的な行動を捉えるための手法を開発・検討する。また対象とする空間や環境の変化と利用行動の関係分析を通

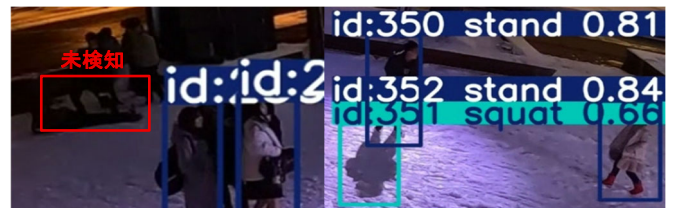


図 10 寝転びの未検知

図 11 影の誤検知

じて、実際の計画や社会実験の評価への応用が期待される。

#### 参考文献

- 1) N. プレスマン：北国の街づくりと景観，北海道大学図書刊行会，2002
- 2) 林 拓実ほか：積雪寒冷期の屋外オープンスペースにおける滞留行動特性とデザインガイドライン-積雪寒冷都市における都市デザイン その29-，日本建築学会大会学術講演梗概集 都市計画 p775-778, 2025
- 3) 山脇 正嗣ほか：AIによる人間の行動検知に基づく街路空間の利用状況把握に関する基礎的研究，AI・データサイエンス論文集 5巻1号，2024

#### 注釈

- 1) 撮影は2023/10/25~12/27, 2024/11/24~2025/1/8にかけて行った
- 2) 「話す」は動作に重複があるため、除外した
- 3) 画面で検知された2人が10秒間座っていた場合、 $2 \times 10 = 20$ というカウント結果となる

\*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）

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

\*\*Executive Vice President,

Hokkaido Univ., Prof., Dr. Eng.

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