

# 高次脳機能障害者のための仮想環境における 外出行動のトレーニングシステムに関する研究

荒木 沙紀<sup>1,a)</sup> 大井 翔<sup>1,b)</sup>

**概要：**本研究では、高次脳機能障害者が安全かつ現実に近い環境で外出行動を訓練できる VR リハビリテーションシステムを開発した。高次脳機能障害では、注意障害や遂行機能障害などにより、信号確認や周囲の状況把握といった外出行動が困難となる場合が多い。特に外出場面では、歩行者や車両の動きなど、変化する環境に応じて注意を配分し、適切に判断・行動することが求められる。提案システムでは、信号、歩行者、車両などを含む交通環境を VR 空間上に再現し、利用者が日常生活に近い状況で外出行動を体験できるようにした。これにより、本研究では、高次脳機能障害者が VR 上の外出行動場面において、どのような行動上の課題や注意配分の特徴を示すかを明らかにすることを目的とする。本研究では、外出行動の達成度を評価シートに基づいて評価することを主とし、その解釈を補助する情報として訓練中の視線情報を取得した。実験の結果、健常者と高次脳機能障害者の間で、経路情報や地面への注視割合に違いがみられる傾向が確認された。

## 1. はじめに

高次脳機能障害は、交通事故や脳出血などにより脳の一部が損傷することで生じる障害であり [1]、主な症状として注意障害、記憶障害、遂行機能障害などが挙げられる。これらの症状は日常生活における自立的な行動を著しく困難にする。また、厚生労働省による令和 4 年「生活のしづらさなどに関する調査」では、医師から高次脳機能障害と診断された人は約 22.7 万人と推計されており [2]、社会的にも無視できない規模の課題となっている。

実生活では、図 1 に示す神経心理ピラミッド [3] のように、注意や記憶といった基本的な認知機能から、計画を立てる力や判断力などの遂行機能まで、さまざまな認知の働きが組み合わさって使われている。特に外出行動のように周囲の状況が変化する場面では、歩行者や車の動きに合わせて注意を切り替えたり、複数の情報を同時に確認したり、周囲の状況を常に把握したりする必要がある。

しかし、従来の認知リハビリテーションにはいくつかの課題が存在する。例えば、コンピュータを用いた訓練は実際の生活場面との乖離が大きく、応用が難しいと指摘されている [4]。また、日常生活行動を取り入れた訓練（例：買い物）は有効であるが、認知機能が低下した患者にとっては転倒リスク [5] や、それに伴う外出頻度の低下と運動不

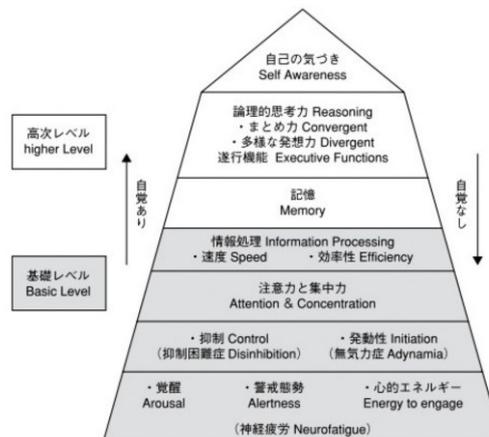


図 1 神経心理ピラミッド [3]

足 [6] といった問題も指摘されている。

近年、これらの課題を解決するアプローチとして、VR 技術を用いたリハビリテーションの研究が注目されている。岡橋らの研究 [7] では、VR 空間で「買い物」を再現し、患者の認知能力を評価する試みがなされた。また、山田ら [8] や蓮ら [9] は、VR による「観光」体験システムを開発し、安全な環境での活動機会を提供している。これらの先行研究は、特定のタスクにおける VR の有用性を示してきた。

加えて、従来の高次脳機能検査は静的な状況を前提としており、日常生活における動的かつ予測困難な状況を十分に再現・評価することが困難であるという課題もある。これに対し、VR では安全性を確保しながら、信号、歩行者、

<sup>1</sup> 大阪工業大学

<sup>a)</sup> saki.araki@mix-lab.net

<sup>b)</sup> sho.ooi@outlook.jp

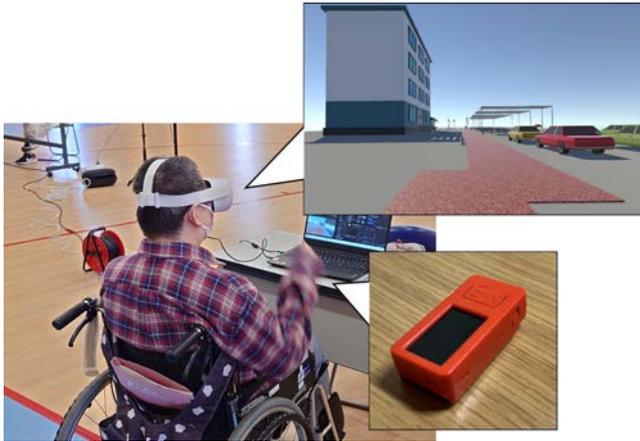


図 2 本研究で開発した VR 訓練システムの概要図

車両などがリアルタイムに変化する交通場面を模擬することが可能であり、そのような環境下で求められる複合的な認知機能、特に注意の持続および配分能力の評価や訓練の手法として有用性が期待される。

本研究の目的は、VR 上で再現した外出行動場面において、高次脳機能障害者の外出行動の達成度を評価シートに基づいて定量的に確認し、行動上の課題や特徴を明らかにすることである。また、行動評価の解釈を補助する情報として視線データを併せて取得し、行動と注意の関係について考察する。

この目的を達成するために、視覚・聴覚・空間認識などの複数の感覚刺激を統合した環境を VR 上に構築し、外出行動に近い状況を模擬する訓練システムを開発した。図 2 にシステムの全体像を示す。

## 2. 関連研究

岡橋らの研究 [7] では、日常生活の中で重要な「買い物」行動を仮想環境で再現し、高次脳機能障害者の認知能力を評価することを目指している。従来の高次脳機能検査は静的なテストや質問紙を用いることが多く、日常生活の動的な場面を十分に反映できていないという問題があった。これに対し、VR 技術を用いることで、よりリアルな環境下での評価が可能となり、患者の実際の生活に即した能力を測定できるようになった。この研究では、買い物課題を通じて得られたデータを分析し、注意や記憶障害を持つ高次脳機能障害者の能力評価に適用できることが示唆されている。しかし、仮想環境内での行動が現実の行動と完全に一致するとは限らず、得られたデータの一般化には限界がある。また、VR システムの操作習熟や使用に伴うストレス、さらにシステム構築・維持にかかるコストと技術的な専門知識の必要性が課題として挙げられる。

VR を活用した観光システムに関する研究として、山田らの研究 [8] では、座位足踏み運動による仮想空間内での移動システムが開発された。特に、高齢者や運動制限のあ

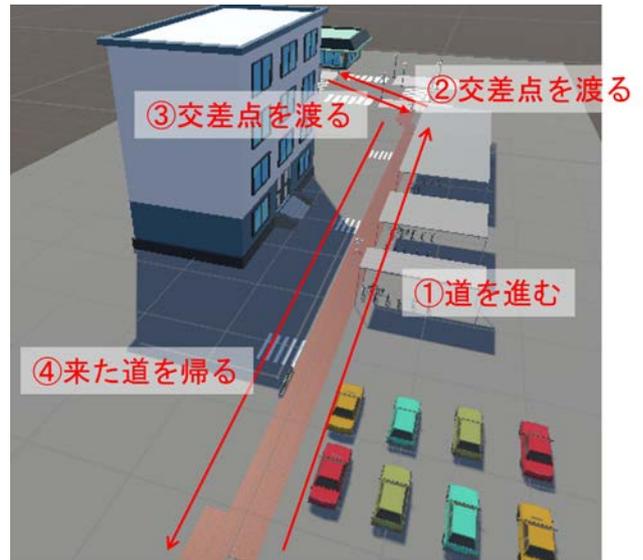


図 3 VR 空間内の俯瞰図

る人々が安全かつ手軽に観光体験を楽しめることを目的としている。従来の VR 観光システムでは動きが制限されることが多く、身体的な制約を持つ人々にとって利用が難しいという問題があった。本研究では、座位足踏み運動を取り入れることで、身体的負荷を軽減しながらもリアルな移動体験を提供することが可能となった。さらに、足踏み運動が健康維持やリハビリテーションにも効果的であることが示唆されており、特に高齢者の身体機能維持・向上に寄与することが期待されている。

## 3. 提案手法

本研究では、高次脳機能障害者を対象とした外出行動トレーニングを想定し、施設から近隣のスーパーまでの歩行経路を VR 空間上に再現した。図 3 に、VR 空間内に構築した外出経路の俯瞰図を示す。この経路は実際の外出訓練で用いられる場面を基に設計しており、利用者が目的地へ向かう際に必要となる周囲の状況把握や注意の向け方を評価できるように構成している。

仮想環境は Unity を用いて作成し、道路、歩道、建物などを配置した。ヘッドマウントディスプレイの視線計測機能により、歩行中の視線方向および注視位置を記録可能とした。

### 3.1 システム全体構成

本システムは、Meta Quest 2 を用いた VR 環境、歩行入力を取得する M5StickC Plus、および PC 上で動作する Unity により構成される。利用者は Meta Quest 2 を装着し、仮想空間内に構築された外出経路を移動しながら訓練を行う。移動操作は M5StickC Plus を用いた腕振り入力によって行い、視線情報、歩行挙動、イベント反応などの行動ログは Unity 上で取得・保存する。

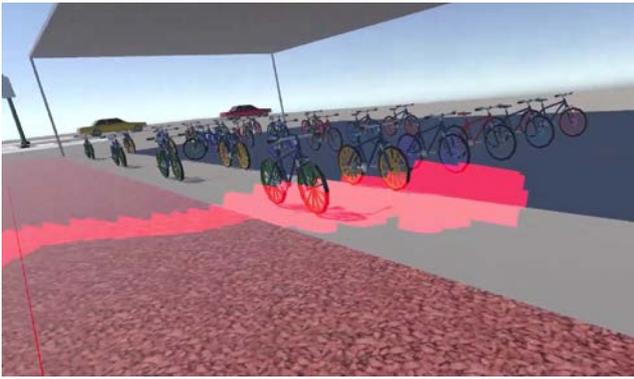


図 4 VR 空間内における視線計測結果の可視化例（自転車周辺への注視）

従来の研究では、360 度カメラによる全天球映像を用い、足踏みによる移動感覚の提示を主眼としていた [10] が、本研究では仮想環境上に道路、建物、歩行者、車両などを配置し、動的に変化する外出環境を再現している。これにより、単なる移動感覚の提示に留まらず、注意配分や判断を要する状況下での行動評価が可能となった。

### 3.2 視線データの取得方法

視線データの取得には Meta Quest 2 を用いた。Unity 上では、HMD の視線方向に基づいて前方へレイを発射し、最初に衝突したオブジェクトを注視対象として記録する方式を採用した。図 4 に、歩行中に取得した視線データをヒートマップとして可視化した例を示す。

取得した注視対象は、経路関連 (Route)、信号・車両 (SignalCar)、地面 (Ground)、目的地 (Goal) などのカテゴリに分類し、各カテゴリごとの注視時間および注視割合を算出した。このカテゴリ設計は、昨年度の研究および情報処理学会関西支部大会での発表において用いた分類を基に、外出行動において注意が向けられる代表的な対象を整理したものである。

### 3.3 M5StickC Plus を用いた歩行入力取得

歩行入力の取得には M5StickC Plus を用い、内蔵されている 6 軸 IMU センサのうち、加速度センサの値を使用した。各軸 (X, Y, Z) の加速度成分から合成加速度を算出し、腕振り動作の強さを表す指標として用いた。

合成加速度は高頻度で計算され、一定時間 (100 ms) ごとの時間における最大値を抽出した。この最大値をその区間における腕振り強度として扱い、USB シリアル通信を介して PC に送信した。時間の最大値のみを送信することで、瞬間的なノイズの影響を抑えつつ、リアルタイム性を確保している。本方式は、昨年度に用いていた Wi-Fi 通信方式から改良したものであり、通信遅延や環境依存性を低減することを目的としている。

### 3.4 Unity における歩行制御

PC 側では Unity 上でシリアル通信を行い、M5StickC Plus から送信された腕振り強度をリアルタイムに受信する。受信した値が設定したしきい値を超えた場合に、一步の動作が発生したと判定し、仮想空間内のキャラクタを前方へ移動させる。

さらに、本研究では腕振りの強さに応じて歩行挙動が連続的に変化するように設計した。具体的には、受信した加速度値を基に補間係数を算出し、歩幅および歩行テンポ（次の一步までの待ち時間）を同時に制御した。これにより、弱い腕振りでは小さな歩幅かつ低速な移動となり、強い腕振りでは大きな歩幅かつ高速な移動となる。この制御方式により、利用者の身体動作に応じた自然な移動感覚を実現するとともに、個人差への対応も可能となった。

### 3.5 システム設計に至る経緯

本システムは、著者らがこれまでに段階的に取り組んできた VR を用いた外出行動支援・訓練に関する研究を基盤として設計された。従来の研究では、360 度カメラによる全天球映像を用い、足踏み動作に基づく移動感覚の提示を主眼とした VR システムを構築した。しかし、外出行動中における注意配分や周囲環境への反応を評価することは困難であった [10]。

その後、従来の研究では、車いす利用者を対象とした VR 外出トレーニングシステムを構築し、歩行中の行動を複数の評価項目に基づいて得点化する手法を提案した [11]。この研究を通じて、実際の外出行動に即した状況設定や、注意を要する場面を含むシナリオ設計の重要性が明らかとなった。

さらに、これらの研究成果を踏まえ、施設職員とのミーティングを通じて実際の外出訓練における課題を整理した結果、往路と復路では求められる注意や行動が異なること、また環境情報が単調である場合には訓練効果が限定的になることが指摘された。

これらの指摘を踏まえ、本研究では往路・復路を含むシナリオ構成を導入し、歩行者や車両、自転車の飛び出しといった注意を要するイベントを追加した。また、建物モデルを配置することで景観のリアル化を行い、現実の外出環境に近い仮想空間を構築した。

加えて、ヘッドマウントディスプレイを用いた視線取得機能と、M5StickC Plus を用いたシリアル通信による歩行入力方式を統合することで、利用者の行動と注意の両面を同時に評価可能なシステムへと発展させた。

このように、本研究は、昨年度までの移動感覚の提示を中心とした VR システムおよび、行動評価に主眼を置いた外出トレーニングシステムを基盤としつつ、外出行動中における注意機能の評価および訓練を目的とした統合的な VR システムへと発展させた点に特徴がある。

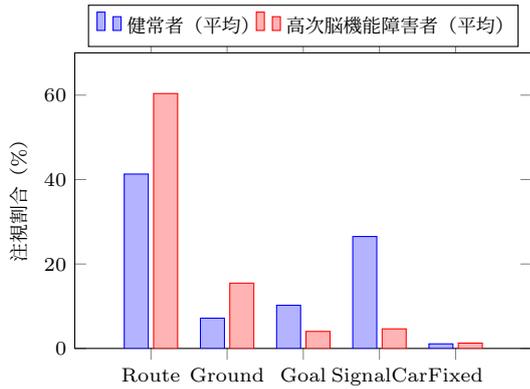


図 5 カテゴリ別平均注視割合の比較

## 4. 実験

本実験は、大阪工業大学ライフサイエンス実験倫理委員会の承認（承認番号 2024-29-1）に基づき実施した。本実験は、協力者全員に、事前に研究内容の説明を行い、実験参加への同意を得た。本研究では、外出行動の達成度を評価シートに基づいて評価することを主とし、視線データは行動評価の背景を理解するための補助的情報として取得する。

### 4.1 健常者を対象とした実験

本実験では健常者 5 名を対象として実験を行った。参加者には、高次脳機能障害者に行う外出経路の約半分に相当する区間（往路相当）を対象として実験を行った。

取得したデータとして、視線のヒートマップ、注視時間の分布、および視線映像を記録した。一方で、環境内の一部オブジェクトでは衝突判定が適切に設定されていない箇所が存在しており、その影響が視線データに反映されている可能性がある。

### 4.2 高次脳機能障害者を対象とした実験

2025 年 12 月 10 日と 17 日の 2 日間にわたり、施設に通院する高次脳機能障害者 3 名を対象として実験を行った。参加者は施設職員によって選定され、いずれも車いすを使用する利用者であった。各参加者は同一条件で 2 回実施し、往路・復路それぞれについて評価シートに基づき達成度を記録した。

## 5. 結果

本章では、評価シートに基づく外出行動の達成度および、その解釈を補助するために取得した視線データの結果を示す。なお、本研究では外出行動の達成度評価を主目的としており、視線データは行動評価の解釈を補助する目的で用いている。図 5 は、健常者と高次脳機能障害者におけるカテゴリ別平均注視割合を比較した結果を示す。

### 5.1 健常者を対象とした実験結果

信号機オブジェクトは衝突判定の設定が不十分だったため、注視時間が過大に計測された可能性がある。また、すれ違う歩行者キャラクタについてはコライダー設定が不十分であったため十分に視線データが計測できていない可能性がある。

本研究では、5 名の視線データをカテゴリ別に集計し、平均注視時間および平均注視割合を算出した。平均注視時間を表 1、平均注視割合を表 2 に結果を示す。なお、Exclude はレイがいずれの対象にも衝突しなかった時間を示しており、分析対象外として扱った。最も注視時間が長かったカテゴリは経路関連 (Route) であり、平均 58.05 秒であった。このことから、歩行に直接関係する道路や横断歩道などの情報に多くの注意が向けられていたことが分かる。

次に長かったのは信号・車両 (SignalCar) であり、平均 34.27 秒であった。これは信号機や車両といった安全確認にかかわる要素に対して視線が集中する場面が多かったことを示している。また、目的地 (Goal) への注視時間は平均 13.16 秒となり、歩行の後半にかけて目的地に注意が向けられる傾向が確認された。

一方で、歩行とは直接関係がない地面 (Ground) への注視時間は 9.74 秒、固定物 (Fixed) への注視時間は 1.46 秒と短く、不要な情報への視線は限定的であった。これらの結果から、健常者は外出行動中に必要な情報を選択的に注視していることが示唆される。

### 5.2 高次脳機能障害者を対象とした実験結果

本節では、高次脳機能障害者 3 名を対象とした実験結果について示す。参加者 A・B・C の 1 回目の実験結果を表 3、2 回目の実験結果を表 4 に示す。

本実験では、システムの実装状況および参加者の行動状況により、一部の評価項目について行動が観測されない場合があった。復路における「自転車の飛び出しを視認」および「自転車との衝突回避」については、システム上、復路の当該事象を実装できていなかったため、全参加者で評価対象外とし、「-」として記録した。また、参加者 B の帰路における「歩きスマホへの声掛け」は、到着が早く当該歩行者が出現しなかったため評価できなかった。参加者 C の往路における「歩きスマホへの声掛け」については、途中で VR 機器を外して休憩を行っている間に当該歩行者が通過したため、行動が観測されず、「-」として記録した。なお、「-」は失敗を示すものではなく、評価対象となる事象が発生しなかった、もしくは評価できなかったことを意味する。

また、視線データをカテゴリ別に集計し、平均注視時間および平均注視割合を算出した結果を、表 5 および表 6 に示す。

平均注視時間について見ると、最も注視時間が長かつ

表 1 カテゴリ別の平均注視時間（健常者 5 名，単位：秒）

カテゴリ	参加者 A	参加者 B	参加者 C	参加者 D	参加者 E	平均 (Mean)	標準偏差 (SD)
経路関連 (Route)	30.27	111.27	29.53	56.30	62.90	58.05	33.33
地面 (Ground)	5.92	9.60	7.21	14.30	11.70	9.74	3.38
目的地 (Goal)	15.67	3.87	13.00	20.87	12.40	13.16	6.18
信号・車両 (SignalCar)	36.13	24.30	59.33	32.97	18.60	34.27	15.64
固定物 (Fixed)	0.50	0.00	1.87	3.10	1.83	1.46	1.23
Exclude	17.23	13.37	15.80	18.27	25.03		
合計値	105.72	162.40	126.74	145.80	132.47		

表 2 カテゴリ別の平均注視割合（健常者 5 名，単位：%）

カテゴリ	参加者 A	参加者 B	参加者 C	参加者 D	参加者 E
経路関連 (Route)	28.63	68.51	23.30	38.61	47.48
地面 (Ground)	5.60	5.91	5.69	9.81	8.83
目的地 (Goal)	14.82	2.38	10.26	14.31	9.36
信号・車両 (SignalCar)	34.18	14.96	46.82	22.61	14.04
固定物 (Fixed)	0.47	0	1.47	2.13	1.38
Exclude	16.30	8.23	12.47	12.53	18.90

表 3 参加者 A~C の第 1 回実験結果（往路 / 復路）

評価項目	参加者 A (往路 / 復路)	参加者 B (往路 / 復路)	参加者 C (往路 / 復路)
車との衝突回避	1 / 0	1 / 1	0 / 1
歩行者との衝突回避	1 / 0	1 / 1	0 / 0
他者との距離保持	1 / 0	0 / 1	0 / 0
歩行者を早期発見し 早めに進路変更	1 / 0	0 / 1	0 / 0
歩きスマホへの声掛け	1 / -	0 / -	- / 0
自転車飛び出しを視認	1 / -	- / -	0 / -
自転車との衝突回避	1 / -	1 / -	1 / -
横断歩道で停止	1 / -	1 / 1	1 / 1
左右確認	0 / -	1 / -	- / 0
信号確認	1 / -	1 / 1	- / 1
道の逸脱がない	0 / -	0 / -	0 / 0
速度調整	0 / -	1 / 1	- / 0

※ 「-」はシステム上の未実装や休憩等により評価対象外となった項目を示す。

表 4 参加者 A~C の第 2 回実験結果（往路 / 復路）

評価項目	参加者 A (往路 / 復路)	参加者 B (往路 / 復路)	参加者 C (往路 / 復路)
車との衝突回避	1 / 1	1 / 1	0 / 0
歩行者との衝突回避	1 / 1	1 / 1	1 / 1
他者との距離保持	1 / 0	1 / 1	1 / 0
歩行者を早期発見し 早めに進路変更	1 / 0	1 / 1	1 / 0
歩きスマホへの声掛け	1 / 1	- / -	1 / 0
自転車飛び出しを視認	1 / -	0 / -	0 / -
自転車との衝突回避	1 / -	1 / -	1 / -
横断歩道で停止	1 / 1	1 / 1	1 / 1
左右確認	0 / 0	1 / 1	1 / 0
信号確認	1 / 1	1 / 1	1 / 1
道の逸脱がない	0 / 0	0 / 0	0 / 0
速度調整	0 / 0	1 / 1	1 / 0

※ 「-」は、システム上の未実装、または休憩等により評価対象外となった項目を示す。

たカテゴリは経路関連 (Route) であり，平均 265.86 秒であった。次いで地面 (Ground) が 73.06 秒と長く，健常者と比較して，歩行に直接関係しない情報への注視が多い傾向が見られた。一方で，信号・車両 (SignalCar) への平均注視時間は 16.84 秒と比較的短かった。

図 5 に示すように，平均注視割合においても同様の傾向が確認され，経路関連 (Route) が全体の約 60 % を占めていたのに対し，信号・車両 (SignalCar) への注視割合は低い値を示した。また，地面 (Ground) への注視割合は 10~18 % と比較的高く，参加者間でばらつきが見られた。

これらの結果から，高次脳機能障害者においては，外出行動中における視線の向け方に個人差が大きく，特に注意の配分に偏りが生じている可能性が示唆される。

## 6. 考察

本研究では，健常者 5 名の視線データをカテゴリ別に分析し，外出行動時の注意の向け方について検討した。その結果，経路関連 (Route) への注視時間が最も長く，進行方向や道路状況といった歩行に直接必要な情報に注意が向けられていることが示された。この傾向は，日常的な外出行動において安全かつ効率的に移動するために重要な情報を優先的に処理していることを反映していると考えられる。

また，信号・車両 (SignalCar) への注視時間も比較的長く，参加者が横断場面における安全確認を自然に行っていたことが示唆された。信号機のコライダ設定に不備があったため，一部で注視時間が過大に計測された可能性はあるが，全体的な傾向には大きな影響を及ぼしていないと考えられる。

一方で，地面 (Ground) や固定物 (Fixed) への注視は短く，不必要な情報への注意が抑制されていることが確認された。これらの結果は，健常者が外出場面において必要な情報を選択的に注視し，効率的な注意配分を行っている

表 5 カテゴリ別の平均注視時間（高次脳機能障害者 3 名, 単位：秒）

カテゴリ	参加者 A	参加者 B	参加者 C	平均 (Mean)	標準偏差 (SD)
経路関連 (Route)	374.87	115.20	307.50	265.86	134.75
地面 (Ground)	99.73	21.27	98.17	73.06	44.86
目的地 (Goal)	11.43	13.10	18.13	14.22	3.49
信号・車両 (SignalCar)	15.20	14.40	20.93	16.84	3.56
固定物 (Fixed)	8.07	2.13	7.07	5.76	3.18
Exclude	72.83	28.30	83.30	61.48	29.21
合計値	582.13	194.40	535.10		

表 6 カテゴリ別の平均注視割合（高次脳機能障害者 3 名, 単位：%）

カテゴリ	参加者 A	参加者 B	参加者 C
経路関連 (Route)	64.40	59.26	57.47
地面 (Ground)	17.13	10.94	18.35
目的地 (Goal)	1.96	6.74	3.39
信号・車両 (SignalCar)	2.61	7.41	3.91
固定物 (Fixed)	1.39	1.10	1.32
Exclude	12.51	14.56	15.57

ことを示している。

健常者では、歩行に必要な情報と安全確認対象に注意が適切に配分されていたのに対し、高次脳機能障害者では、経路や地面といった限られた対象に注意が集中する傾向がみられた。

高次脳機能障害者では、地面への注視割合が比較的高い参加者がみられ、その一部では左右確認の達成が十分でない場面が観察された。ただし対象者数が少なく、評価対象外（-）も含まれるため、両者の関係は今後の検証が必要である。

## 7. まとめ

本研究では、VR 上で再現した外出行動場面において、高次脳機能障害者の外出行動の達成度を評価シートに基づいて確認し、外出行動中の課題や特徴を整理した。そのための環境として VR システムを構築した。健常者 5 名及び高次脳機能障害者 3 名を対象とした実験の結果、健常者は経路情報を優先的に処理する一方、高次脳機能障害者は地面への注視割合が高いといった視線特性の違いを確認できた。

これらの結果から、健常者の外出時の注意配分の特徴を明らかにすることができ、本システムを用いた訓練の基礎データとして有用であると考えられる。

## 参考文献

[1] 種村純, 福永真哉, 大槻美佳, 河村満, 熊倉勇美, 熊倉真理, 小林祥泰, 七條文雄, 渋谷直樹, 下村辰雄, 先崎章, 田川皓一, 立石雅子, 能登谷晶子, 濱田博文, 原寛美, 原田浩美, 深津玲子, 藤田郁代, 前島伸一郎, 三宅裕子. 高次脳機能障害全国実態調査報告. 高次脳機能研究, Vol. 36, No. 4, pp. 492-502, 2016.

[2] 厚生労働省. 令和 4 年生活のしづらさなどに関する調査（全国在宅障害児・者等実態調査）

結果の概要. [https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/seikatsu\\_chousa\\_list.html](https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/seikatsu_chousa_list.html), 2024.

[3] 早川裕子. 作業療法士の立場から. 高次脳機能研究, Vol. 38, No. 3, pp. 292-296, 2018.

[4] 大沢愛子. 脳卒中による高次脳機能障害に対するリハビリテーション治療の実際. 高次脳機能研究, Vol. 44, No. 1, pp. 5-10, 2024.

[5] Helena M Blumen, Michele L Callisaya, Anne-Marie De Cock, Reto W Kressig, Velandai Srikanth, Jean-Paul Steinmetz, Joe Verghese, Olivier Beauchet, Biomathics Consortium, Gilles Allali, and Cyrille P Launay. Falls, cognitive impairment, and gait performance: Results from the good initiative. multicenter study. *Multicenter Study*, Vol. 18, No. 4, pp. 335-340, 2017.

[6] Helena M Blumen, Michele L Callisaya, Anne-Marie De Cock, Reto W Kressig, Velandai Srikanth, Jean-Paul Steinmetz, Joe Verghese, Olivier Beauchet, Biomathics Consortium, Gilles Allali, and Cyrille P Launay. Influence of outdoor activity and indoor activity on cognition decline: Use of an infrared sensor to measure activity. *Telemedicine and e-Health*, Vol. 16, No. 6, 2010.

[7] 岡橋さやか, 関啓子, 長野明紀, 種村留美, 小島麻木, 羅志偉. パーチャルリアリティ技術を用いた買い物課題による高次脳機能検査の開発. 高次脳機能研究, Vol. 32, No. 2, pp. 302-311, 2012.

[8] 山田夢一途, 上田雄大, 土谷匠磨, 大井翔, 河合紀彦, 佐野睦夫. Vr を活用した観光システムのための座位足踏み運動に関する研究. 電子情報通信学会, 2022.

[9] 蓮雄一, 加藤直樹. 星空ビジョン: 仮想空間での星空を介したコミュニケーションを支援するツールの開発. Technical Report 2021-CE-162 No.18, 2021-CLE-35 No.18, 情報処理学会, December 2021. 2021 年 12 月 4 日.

[10] 荒木沙紀, 小松稔惇, 大井翔. 全天球映像を活用した vr 空間におけるお出掛け歩行訓練システムに関する研究. インタラクション 2025 論文集, pp. 1348-1353, 2025.

[11] 荒木沙紀, 大井翔. 仮想環境を活用した高次脳機能障害による車いす利用者のための外出トレーニングに関する検討. 2025 年度 情報処理学会関西支部 支部大会, 2025.