



バーチャルリアリティを用いた自転車運転時の 注意機能の評価法の開発

金谷崇文¹⁾, Yong-Hao HU¹⁾, 中村拓人¹⁾, 松本啓吾¹⁾, 鳴海拓志¹⁾, 葛岡英明¹⁾

1) 東京大学 (〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, kanaya-nii, yh-haoareyou, n.takuto, matsumoto, narumi, kuzuoka@cyber.t.u-tokyo.ac.jp)

概要: 屋外運動時の注意機能の低下は重大な事故の原因となり得る。しかし、従来は歩行のような低い運動負荷で注意機能の評価する手法しか提案されてこなかった。そこで本研究ではバーチャルリアリティ技術と自転車エルゴメーターを用い、擬似的な市街地で自転車運転時の注意機能評価を行う環境を提案する。今回は予備実験として健常者の注意機能の評価を行ったが、有効な評価環境と言える結果は見られなかった。

キーワード: 注意障害, 注意機能評価, 自転車運転, バーチャルリアリティ

1. はじめに

注意は「必要な標的に着目して情報の入力, 処理, 出力を行う脳機能のプロセス」と定義される [1]。その障害は多くの日常・社会生活を阻害し, 食事に集中できない, 電話に気づかない, 歩行時につまづく, 運転中の事故といった問題を引き起こす。Sohlberg ら [2] の分類では注意障害は集中的注意, 選択性注意, 持続性注意, 転換性注意, 配分性注意の 5 つに分けられる。集中的注意とは視覚・聴覚・触覚などの感覚刺激に個別に意識を集中すること, 選択性注意とは複数の情報の中から必要な情報を見つけること, 持続性注意とはある対象に注意を向け続けること, 転換性注意とはその対象から注意を外すこと, 配分性注意とは複数の対象に同時に注意を向けることである。注意障害ではこれらが複合的に障害されることで日常生活への悪影響を及ぼす。本邦でよく利用される注意機能の評価は, 簡便な方法として Trail Making Test (TMT), 注意機能のコンポーネント毎の詳細な検査として Clinical Assessment for Attention (CAT) が挙げられ, いずれも机上で行い, 年齢ごとの標準化データと比較することができる。

注意障害は脳の障害のみならず, 健常な高齢者でも低下することが知られており, 社会的な問題となっている高齢運転者の交通事故と注意機能との関連性が報告されている [3]。しかし, 近年ではメディアによる啓蒙などにより免許証の返納件数が増えており [4], 高齢運転者の死亡事故件数の割合は年々減少している [5]。一方で, 高齢者の自転車運転についての問題提起はあまりみられない。自転車運転の平成 27 年から令和元年の 5 年間の年齢層別死亡事故件数の割合を見ると, 65 歳以上の高齢者が 66.5% を占め, その割合はそれ以前の 5 年間と比べて増加している [5]。

自動車の運転に比べて, 歩行などの屋外運動時には運動機能が求められるため複雑なマルチタスクとなる。屋外運動時の評価は, これまで低速で移動する歩行時の注意機能評価環境が提案されてきたが, 高速な自転車運転時の評価

環境は見られない。自転車運転は歩行と比べて, より高い運動能力と素早い判断が求められるため, 難易度の高い課題となるが, 事故に繋がるリスクがどの程度異なるのかは明らかにされていない。そこで本研究では, 自転車の運転という自身が高速で移動する際の注意機能の新たな評価方法の開発を目的とする。事前にリスクを評価できれば, 注意障害が疑われる者の自転車運転の可否を検討して事故を未然に防ぐ意義が期待される。

2. 関連研究

田村らは空間性注意障害である半側空間無視を有する参加者に対して, バーチャルリアリティ (VR) 技術を用いた歩行デュアルタスク下での評価を行っている [6]。この研究では健常者と半側空間無視を有する参加者を対象に, VR 環境で歩きながら左右から現れる車や歩行する人に注意を向けるという課題を行っている。この評価環境では, 半側空間無視を有する参加者で無視側のみならず, 非無視側の見落としの増加も認められた。Zukowski らは, 高齢者の転倒歴がある者と無い者とで, 座位で行う認知課題 (物品呼称) のシングルタスクと歩行のシングルタスクおよびそれらを同時に行うデュアルタスクとの比較を行っている [7]。その結果, 転倒歴に関わらず認知機能および歩行機能の評価指標の一部に有意差があったことを報告している。また, 松浦らは, 認知機能の識別を行うために計算課題のシングルタスクと足踏みを行うシングルタスクおよびそれらを同時に行うデュアルタスクの評価環境を提案し, 認知機能の識別が出来るか評価を行っている [8]。その結果, シングルタスクに比べてデュアルタスクの課題で認知機能の識別能が向上する可能性を報告している。

これらは認知機能の評価であるが, 高次脳機能の中でも注意機能は他の認知過程の根幹であるとされる [9] ため, 注意機能の評価においてもデュアルタスクが機能を低下させる可能性が考えられる。小西らは, 健常人に対して 2 桁の



図 1: 操作画面

暗算課題が注意機能の低下に影響を与えるか評価を行い、注意機能を評価する机上課題を行いながら聴覚的な暗算課題を行うと選択性注意が低下することを確かめた [10].

我々が提案する VR 評価環境ではこれらを参考として、自転車の運転と周囲の事象に注意を向けるというデュアルタスクを行うことで注意機能の識別が可能であるか検討した。今回は予備実験として健常者を対象とし、暗算課題により注意機能を低下させることを試みた。

3. 提案手法

本研究の提案手法について説明する。評価環境として擬似的な市街地の 3D モデルを用意し、そこに色の付いた車を 15 組（1 組に車 4 台以上）を左右の側道にランダムに配置した。参加者は VR 技術を使ってその市街地の中に没入して自転車の 3D モデルに乗って走行する（図 1）。田村ら [6] の研究を参考として、車に一定の距離まで近づくと、その車の組が左右の側道から、自転車が走行する道路に進入してくることとした。参加者は画面中のヒントにより指定された色の車に視線を向けることを指示される。各車の組を通り過ぎたら画面中のヒントが指定する色が変わり、次の車の組が進入したら同様に指定された色の車に視線を向ける。これを 15 回繰り返して終点に到着したら評価終了とする。評価指標として、15 組の車の中で正しく視線が向いた車の数の割合を達成率と定義し、この達成率が高いほど注意機能が高いと仮定した。

Zukowski ら [7] はシングルタスクよりデュアルタスクで認知機能が低下する可能性を報告している。本研究でもシングルタスクとデュアルタスクを導入し、それぞれ Sitting mode と Cycling mode と呼称する事とした。Sitting mode では参加者が椅子に座ったままで自動で自転車が進み、参加者は前述の車を探すのみというシングルタスクを行った。Cycling mode では参加者が自転車エルゴメータに乗って実際にペダルを漕ぐことで自転車を進ませるタスクを行いつつ車を探すというデュアルタスクを行った。

4. 実験

4.1 目的

本研究の目的は自転車運転というタスクが注意機能を低下させるかを検証することである。本手法においては Sitting mode というシングルタスクに自転車運転のタスクを追加す



図 2: 実験風景

る事 (Cycling mode) で達成率という評価指標に差が生じるかを検証する。

4.2 実験参加者

本研究では、注意障害を有する参加者を募集し、提案手法を使って参加者の注意機能を評価することを最終目標としているが、今回は予備実験として 20 代の若年健常者である参加者 10 名で実験を行った。残留効果を考慮して Sitting mode を先に行う群と Cycling mode を先に行う群とでそれぞれ 5 名を割り当てた。

4.3 実験構成

4.3.1 実験装置

提案手法は以下の装置を使用して実装した（図 2）。ハードウェアとしては、使用者の視線を計測できる Head mounted display (以下 HMD) である HTC Vive Pro Eye, HTC Viveトラック、Stages 社の自転車エルゴメータ¹を用い、ソフトウェアはゲームエンジンの Unity と実世界の秋葉原駅周辺地域に基づいた市街地 3D モデル²を用いた。参加者は HMD を装着し、市街地の 3D モデルに没入する。トラックを自転車エルゴメータのペダルに装着し、ペダルの回転量を VR 空間内の自転車の移動速度に反映した。

4.3.2 注意機能評価手法

注意機能の評価には既存手法の一つである TMT を使用した [11]。TMT には、TMT-A と TMT-B の二つの評価がある。TMT-A では参加者が紙上に配置された数字を順番通りにペンで線を引き、その経過時間を測定する。TMT-B では参加者が紙上に配置された数字とひらがなを交代で順番通り（1 → あ → 2 → い → ...）にペンで線を引き、その経過時間を測定する。TMT-B は TMT-A より複雑なタスクであり、より高い注意機能が求められるとされている。

4.3.3 擬似的な注意障害の生成手法

今回は健常者を対象としており、擬似的な注意障害を生成するために小西ら [10] の手法を参考とした。実験中、各タスクを行いながら、二桁の数字同士の加算・減算の計算問題の音声聞いて口頭で答えるという計算課題を参加者に行ってもらった。計算課題には難易度があり（表 1 を参照）、実験開始時には難易度 Normal の 20 問の計算課題を聞いて、口頭で回答してもらった。正答率が 75% 未満の場合

¹<https://brand.intertecinc.co.jp/c/stages/stagesbike>

²<https://assetstore.unity.com/packages/3d/environments/urban/japanese-otaku-city-20359>

合は Easy, 75%以上 90%未満の場合は Normal, 90%以上の場合は Hard の計算課題を実験中に使用することとした。

表 1: 計算課題の難易度

難易度	出題の間隔 (s)	解に負号	解の桁数
Easy	3	なし	2
Normal	3	あり	3
Hard	1.5	あり	3

4.4 作業仮説

仮説 提案手法の Cycling mode 時に評価された TMT 指標は Sitting mode 時より低い

松浦ら [8] は認知課題のシングルタスクに比べて運動を伴うデュアルタスクで認知機能の低下を識別できることを報告している。先に述べた通り注意機能は認知機能の根幹である。本研究の提案手法では、シングルタスクである Sitting mode 時に評価された注意機能より、デュアルタスクである Cycling mode 時に評価された注意機能が低いと期待し、仮説を立てた。この仮説が証明されれば、本研究の提案手法は自転車運転時における注意機能評価手法として有効性を持つと考えられる。

4.5 手順

実験参加者は実験内容の説明を受け、VR 経験・自転車運転経験・自動車運転経験に関してアンケートに回答した。次に参加者は計算課題用の音声の例を聞き、音量と速度を確認した。さらにセクション 4.3.3 で説明した通り、参加者に 20 問の計算問題を口頭で回答してもらい、実験中に使用する計算課題の難易度を決めた。机上課題では、参加者は TMT-A の説明を受けて既定の練習を行った上で、計算課題と同時に本番の TMT-A の評価を行った。TMT-B の評価も同じ手順で行った。

表 2: TMT の標準値

年代	平均値 (標準偏差)[s]	
	TMT-A	TMT-B
20 代	29.1(8.1)	42.1(11.5)
30 代	28.8(8.2)	44.9(10.3)
40 代	30.3(7.5)	49.0(11.9)
50 代	33.7(6.2)	60.4(14.0)
60 代	34.9(7.2)	62.6(12.7)
70 代	46.5(10.5)	88.8(24.7)
80 代	51.1(9.2)	103.8(24.3)

[11] より引用

TMT の評価が完了した後に、参加者は VR 評価用の椅子に移動して VR 機器の HMD を装着し、正しく視線を測定するため、アイトラッキングのキャリブレーションを行った。続いて、本研究の提案手法の練習モードに進み、擬似的な市街地の環境および自転車の移動速度を確認しつつ、左右の側道から進入してくる車の組 (1 組に 4 台以上) の中から、画面中のヒントにより指定された色の車を探し、その車に視線を向けて 0.5 秒以上見続ける、という課題の練習を

表 3: TMT の結果

ID	TMT-A [s]	> +2SD*	TMT-B [s]	> +2SD*
1	41.10	F	168.60	T
2	31.64	F	130.16	T
3	59.99	T	188.83	T
4	23.50	F	92.24	T
5	59.93	T	139.91	T
6	57.05	T	130.25	T
7	33.94	F	121.78	T
8	64.37	T	184.17	T
9	103.21	T	157.90	T
10	18.07	F	83.78	T

* 同年代+2SD より大きければ T, 小さければ F と表記する。

5 組の車で行った。視線が偶然に指定された車に当たって判定されることを防ぐため、車に視線を向けてから 0.5 秒以上見続けないと判定されない実装とした。

練習が終わると、半分の参加者はまず座ったまま提案手法である Sitting mode として練習モードと同じ課題を車 15 組で評価を行い、次に自転車エルゴメータに移動して提案手法である Cycling mode として自転車を漕ぎながら練習モードと同じ課題を車 15 組で評価を行った。残り半分の参加者は先に自転車エルゴメータに移動して Cycling mode で評価を行った後に椅子に戻って Sitting mode で評価を行った。評価終了後に参加者は VR 機器を外し、TMT 課題・VR 課題の感想を回答した。

4.6 結果

TMT 日本版のマニュアルより引用し、表 2 に机上検査における年代別の TMT-A および TMT-B の平均値および標準偏差を示す [11]。また、表 3 に本実験での TMT-A および TMT-B の結果を示す。机上課題と計算課題とのデュアルタスクにおいて TMT-A の終了までの秒数は 10 名中 5 名で同年代 (20 代) の平均値+2SD 以上延長し、TMT-B では 10 名全員が同年代の平均値+2SD 以上延長した。

車に正しく視線を向けられた達成率は Sitting mode に比べて Cycling mode では 10 人中 6 名で低下が認められ、2 名は変化が無かった。結果を図 3 に示す。縦軸はスコア (正しく視線を合わせられた割合)、エラーバーは標準誤差を表す。これに対して Wilcoxon 符号付き順位和検定を行ったところ、Cycling mode における平均 (84.00 ± 11.84 %) および中央値 (86.67%) は Sitting mode における平均 (88.67 ± 9.96 %) 及び中央値 (90.00%) より低下したが、条件間の有意差は見られなかった ($p = 0.261$)。

5. 考察

実験タスクにおいて Sitting mode と Cycling mode を比較した結果、Cycling mode において 10 名中 6 名で課題達成率の低下が認められたが、有意な差は認められず、仮説を支持する結果とはならなかった。今回の実験は注意機能障害を有する者ではなく、健常若年者を対象として実験を行った。田村らの実験では、歩行 VR 課題での健常高齢群と健常若年群では課題の所要時間において差を認めた [6]。これ

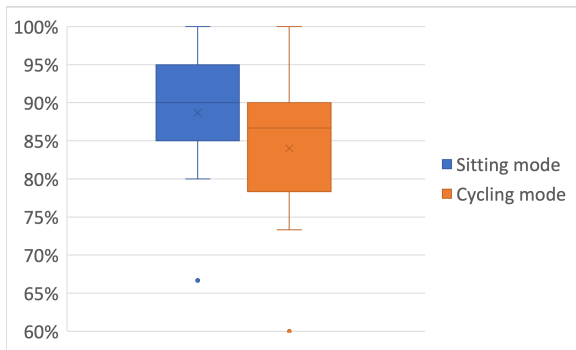


図 3: 正しく車に視線を向けた達成率

は、若年者より高齢者では歩行による身体的負荷が高かったと考えられる。本研究においても、Cycling mode で参加者の注意機能が Sitting mode より有意に低下しなかった原因として、自転車を漕ぐ運動が今回の参加者である健常若年者にとって十分な身体的な負荷になっていない可能性がある。また、計算課題を用いて注意機能を低下させる際に、個人差を解消する試みとして実験開始時に個人の計算能力に基づいて難易度別の音声課題を決定したが、TMT の結果から見ると注意機能の低下は均一ではなかった可能性がある。

計算課題を用いて注意機能を低下させる試みについて、先行研究 [10] によると低下が認められたのは選択性注意のみであった。今回の評価環境では視覚と聴覚に意識を集中させる集中的注意、複数の車に注意を向ける配分性注意、車を探す選択性注意、車へ注意を向け続ける持続性注意、その車から注意を外す転換性注意と複合的な注意機能が求められる。そのため選択性注意を低下させる計算課題のみでは注意障害を再現できなかった可能性が考えられる。

なお、運動機能や自転車運転経験などによる個人差が注意機能の評価結果にも影響したとも考えられる。運転する頻度が高い参加者の一人は、自分が道路の環境に慣れているため、走行しながら車に視線を向けるタスクは容易であったと述べていた。また、実験を実施した時間も統一していなかったため、一日の中の疲労度合いも注意機能の評価結果に影響したと考えられる。

以下では提案手法の改善について考察する。参加者に関しては、最終的には高齢者もしくは注意障害を有する者を募集する予定だが、健常若年者を対象とする場合は、注意機能を低下させる手法について再検討する必要があると考えられる。身体的負荷を大きくするため、自転車エルゴメータのワット数を増加することが考えられる。さらに、より詳細な評価手法である CAT など他の評価により、計算課題が適切であるか検討する必要があるだろう。また、自転車運転経験など参加者の条件を揃える必要もある。

評価環境に関しては、自転車運転時の実環境をより再現するため、自転車の走行パターン(右左折・停止など)を増やす必要があるかもしれない。市街地モデルにおいて車のみを探索対象とするのは配置のランダム性を制限してしまうため、対策として歩行者など他の対象の導入が考えられる。

6. おわりに

本研究では注意障害を有する高齢者などを想定して自転車運転時の注意機能を評価する環境を提案した。これは交通安全上のリスクを事前に予見することで事故を未然に防ぐ意義が期待される。結果として、今回の実験は十分に注意障害を評価する環境とは言えなかった。現実の環境を想定して VR 環境を設計したがまだ改善の余地がある。また今回は少数の健常者を対象としたため、今後は参加者を増やし注意障害を有する者も対象としていきたい。

謝辞 この成果の一部は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務 (JPNP21501015-0) の結果得られたものです。

参考文献

- [1] 豊倉稔. 注意障害の臨床. 高次脳機能研究 (旧 失語症研究), Vol. 28, No. 3, pp. 320-328, 2008.
- [2] McKay Moore Sohlberg and Catherine A Mateer. Improving attention and managing attentional problems: Adapting rehabilitation techniques to adults with add. *Annals of the New York Academy of Sciences*, Vol. 931, No. 1, pp. 359-375, 2001.
- [3] 殿村隆太, 松田雅弘, 大保武慶, 万治淳史, 久保田直行. 自動車運転再開への新たな指標に関する注意機能評価支援システム. 日本交通科学学会誌, Vol. 18, No. 2, pp. 3-12, 2019.
- [4] 警察庁. 運転免許統計 (令和 3 年版), 2022.
- [5] 内閣府. 令和 2 年交通安全白書, 2020.
- [6] 田村正樹, 白川真, 羅志偉, 種村留美. 二重課題条件下である歩行中にバーチャルリアリティ課題を用いた半側空間無視に対する評価. 認知リハビリテーション, Vol. 27, No. 1, pp. 1-12, 2022.
- [7] Lisa A Zukowski, Jaclyn E Tennant, Gozde Iyigun, Carol A Giuliani, and Prudence Plummer. Dual-tasking impacts gait, cognitive performance, and gaze behavior during walking in a real-world environment in older adult fallers and non-fallers. *Experimental gerontology*, Vol. 150, p. 111342, 2021.
- [8] 松浦拓, 満上育久, 大倉史生, 八木康史. デュアルタスク体験システムによる認知症高齢者データの収集とその解析. 研究報告デジタルコンテンツクリエーション (DCC), Vol. 2017, No. 10, pp. 1-7, 2017.
- [9] M Sohlberg. Theory and remediation of attention disorders. *Introduction to Cognitive Rehabilitation Theory & Practice*, pp. 110-135, 1989.
- [10] 小西英樹, 橋本務, 島田永和, 中土保. 視覚探索課題において計算による干渉が注意機能に与える影響について - D-CAT を用いた正常人の注意機能評価. 第 42 巻, p. 792. 社団法人日本リハビリテーション医学会, 11 2005.
- [11] 一般社団法人日本高次脳機能障害学会 (編). Trail Making Test 日本版 マニュアル. 新興医学出版社, 2019.