

## [研究助成 (A)]

## 高齢者の視機能領域の拡大を目的とした 視覚トレーニングシステムの開発

Development of a visual training system to expand the visual function domain of the elderly

2201006



研究代表者

富山県立大学  
工学部情報システム工学科

講師

木下史也

### [研究の目的]

認知機能の低下の遅延に関しては、健常と認知症の境目に位置する軽度認知障害 (Mild Cognitive Impairment; MCI) の早期発見が重要である [1]。MCI は 1999 年に米国の Ron Petersen が確立した概念で「正常とはいえないが認知症ともいえないほど軽度の認知障害」である [2]。MCI と診断された患者は、その後の認知症へ移行するリスクが高いことから、MCI は認知症の前段階であると考えられている。本来 MCI は、記憶障害に重きを置いた概念であったのだが、最近では、記憶障害を主体とする「健忘型 MCI」とそれ以外の遂行、注意、言語、視空間認知などの障害を規定する「非健忘型 MCI」に分類されている。定義上「独立して日常生活を営むこと」には支障がない状態であるため、その診断には「以前の本人が保っていたレベルと比較して悪化している」ことをよく知る人物からの聴取が必須である。MCI の診断において客観的認知機能検査は重要で、記憶、言語、遂行機能、視空間認知、注意など多くの認知ドメインの多面的評価が必要である。認知機能の評価バッテリーとしては、Montreal Cognitive Assessment 日本語版 (MoCA-J) が MCI の検出に優れているとされ、広く普及している [3]。しかしながら、記憶に対する負荷を利用するスクリーニングテストは健忘型 MCI の検出には有効であるものの、非

健忘型 MCI に対しては検出精度が高くない。MCI から認知症への伸展率は年間 10% 前後と低い数値であることから、非健忘型 MCI を早期発見できる検査方法を確立することは重要な課題である。

アルツハイマー型認知症には、図形を描くのが苦手になる、運転で道に迷う、車庫入れができなくなるといった初期症状が、視力障害がなくても出現することが知られている [4]。これらの症状は視空間認知障害と呼ばれ、早期診断のための重要な臨床症状である。大脳皮質における視覚情報処理には、2つの経路が存在する [5]。一つは、対象物を同定するための情報を処理する「腹側視覚路」である。腹側視覚路は一次視覚野から始まり側頭葉皮質を通過して前頭前野に至る経路である。もう一つは、物体の位置・奥行きなどの情報を処理する「背側視覚路」である。背側視覚路も一次視覚野から始まるが、この視覚路は頭頂葉皮質を通過して前頭前野に至る経路である。この2つの経路から入った視覚情報は前頭前野で再び収束し、視覚情報処理が行われる。アルツハイマー型認知症においては、海馬周囲の障害に加え、頭頂-後頭葉の血流が低下することが知られている [6]。すなわち、アルツハイマー型認知症にみられる頭頂-後頭葉の血流低下は、背側視覚路の機能低下に影響を及ぼしており、これが責任病巣となり「その物が何であるかは理解できるが、正確な位置や奥行きなどの空間的情報がわからなく

なる」といった臨床症状が出現すると考えられる。視空間認知障害は、アルツハイマー型認知症だけでなく、MCIにも認められる臨床症状である。そのため、視空間認知障害を定量的に評価することができればMCIの早期発見にも有用である。そこで本研究課題では、利用者の奥行き知覚能力を定量的に評価することができるVRコンテンツの開発を行った。

### [研究の内容, 成果]

本研究課題では、視線計測機能付きHMDで動作する視覚トレーニングシステムの開発と、開発したVRコンテンツを用いて健康な若年者群および高齢者群を対象とした生体機能計測を行った。

#### ① VRコンテンツの開発

開発したVRコンテンツの例を図1に示す。このコンテンツはUnityを用いて開発し、球体オブジェクトをVR空間上に最大3つまで表示させることができる。変更可能なパラメータは、球体オブジェクトの数、色、大きさ、速度、範囲、初期位置とした。作成したVRコンテンツは視線計測機能の付いたHMDから提示することによって、球体オブジェクトを注視している際の視線情報を取得できる。本研究では、視線計測機能付きHMDとしてHTC社製のVive Pro Eyeを使用した。このHMDはアイトラッキング世界最大手のトビー・テクノロジー社のアイトラッカーを搭載しており、時間分解能



図1 開発したVRコンテンツの例

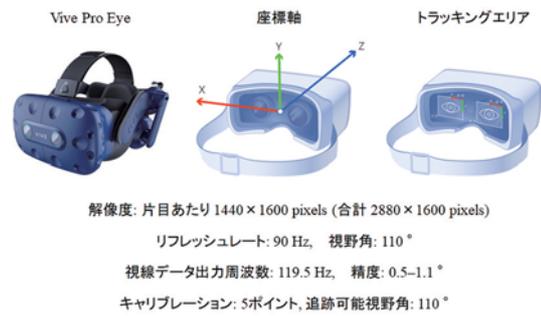


図2 Vive Pro Eyeの概要

119.5 Hzで両眼の視線情報を取得することができる(図2)。Vive Pro Eyeから取得できる視線情報には、視線ベクトル、眼球位置、瞳孔位置、瞳孔径、眼の開閉などの情報が取得できる。

本システムで取得した視線ベクトル、眼球位置、瞳孔位置の例を下記に示す。

**【視線ベクトル】** Vive Pro Eyeでは左右眼の視線方向を、それぞれ独立した単位ベクトルで取得できる。図3はx軸方向に球体オブジェクトを移動させた際の、左右眼における視線ベクトルの動きである。

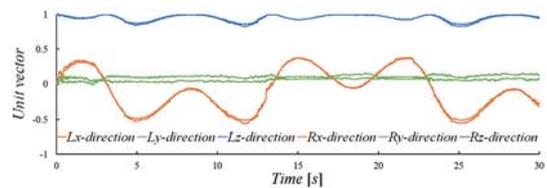


図3 取得した視線ベクトルの例

**【眼球位置】** 眼球位置は視線ベクトルの始点である。Vive Pro Eyeから取得できる値は、左右レンズの中心から等距離の位置を原点(0, 0, 0)とするmm単位である。図4はx軸方向に球体オブジェクトを移動させた際の、左右眼におけるx方向の眼球位置の動きである。

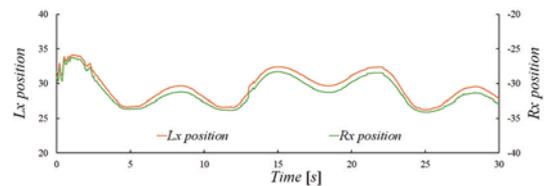


図4 取得した眼球位置の例

【瞳孔位置】 瞳孔位置はトラッキングエリア内における左右眼の位置をそれぞれ取得する。トラッキングエリアは0-1に正規化された二次元座標系である。図5はx軸方向に球体オブジェクトを移動させた際の、左右眼における瞳孔位置の動きである。

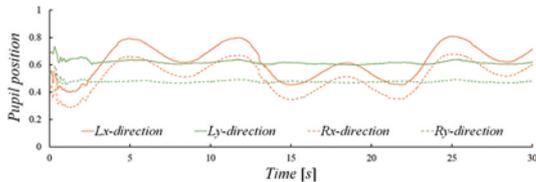


図5 取得した瞳孔位置の例

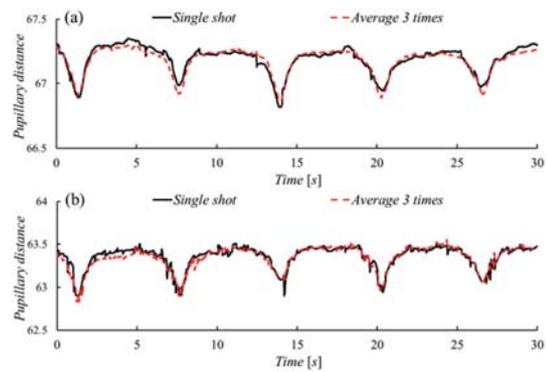
## ② 生体機能計測 I

はじめに、予備実験として健康な若年者群と高齢者群を対象に今回開発したVRコンテンツで奥行き知覚能力を評価することが可能か検討した。被験者は若年者群15名と高齢者群15名を対象とした。予備実験では球体オブジェクトを画面中央に1つだけ表示し、30秒間に5回の頻度で奥行き方向から手前方向へ周期的に移動するように設定した(図6)。飛び出し量については、球体オブジェクトの大きさを1とした場合で、手前位置を1、奥行き位置を15という値に設定した。各被験者で計測は3回ずつ



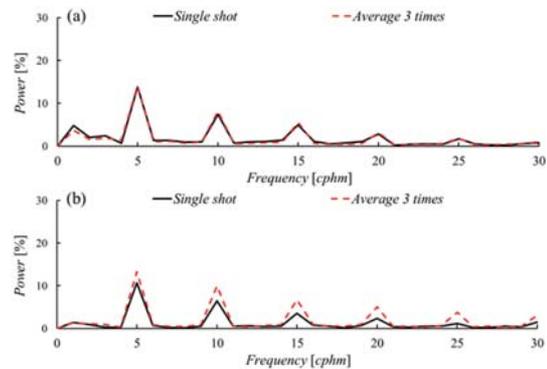
(上) 手前位置1, (下) 奥行き位置15

図6 予備実験用のVRコンテンツ



(a) 若年者, (b) 高齢者

図7 瞳孔間距離データの例



(a) 若年者, (b) 高齢者

図8 パワースペクトルの例

行い、球体オブジェクト注視時における瞳孔間距離の時間変化(輻輳開散運動)を特徴量とすることで、利用者の奥行き知覚能力を定量評価することが可能か検討した。

取得した瞳孔間距離の時系列データの例を図7に示す。どちらの被験者群においても球体オブジェクトが近づくにつれ、瞳孔間距離が短くなる傾向(輻輳運動)が確認できる。次に、離散フーリエ変換を用いて時系列のピーク周波数を算出した(図8)。その結果、すべての被験者で5 cphm (cycle per half minute) にピークが検出されることが確認された。

## ③ 生体機能計測 II

次に、今回開発したVRコンテンツではパラメータを自由に設定出来るため、どのようなパラメータが最も視覚トレーニングシステムに最適か、若年健常者群15名を対象に実験を行っ

た。はじめに球体の数を因子とし、球体を1つ表示した場合と球体を3つ表示した場合で局所脳血流量の計測を行った。局所脳血流量の計測には、島津製作所社製のfNIRSを使用し、前頭葉と後頭葉にプローブを配置した。その結果、球体を3つ表示したパターンの方が局所脳血流量が増大することが確認された。次に、VR空間内における3つの球体の配置位置が生体どのような影響を及ぼすのかについて、重心動揺計を用いて比較を行った。この実験では、パターン1:1つの球体が画面内を複雑に動き回る映像、パターン2:パターン1にさらに2つの球体を追加し、追加された球体はそれぞれ独立して画面内を動き回る映像、パターン3:パターン2で追加した2つの球体の初期位置を遠方に配置することで、飛び出し量と奥行き量を被験者に感じにくく設定した映像、の3つの条件を用いて比較を行った。コンテンツ視聴時では、すべての映像に表示されている球体を被験者が追従視することで、周辺視野の違いが体平衡機能へ及ぼす影響を調査した。その結果、追従視して球体を視聴しているにも関わらず、周辺視野領域に配置した球体の飛び出し量によって重心動揺に現れるパターンが変化することが確認され、パターン3の映像で最も身体の動揺量が大きくなった。

#### [今後の研究の方向、課題]

本研究課題では、利用者の奥行き知覚能力を定量的に評価することができるVRコンテンツの開発を行い、健康な若年者群と高齢者群を対象にVRコンテンツの評価実験を行った。その結果、利用者の瞳孔間距離の時間変化を特徴量とすることで、奥行き知覚能力の定量評価することが可能であった。また、球体オブジェクトを複数表示することで、局所脳血流量が増大することが確認された。今後はMCI患者の計測を行うことで、今回開発したVRコンテンツがMCIの早期発見に有効か検討を行う。また、

今回開発したVRコンテンツは、HMDを装着するだけで利用可能なため、実験スペースを省空間化することができる。そこで、在宅でのリハビリテーショントレーニングに向けた応用にも取り組んでいく。

#### [参考文献]

- [1] 日本神経学会(監),「認知症疾患診療ガイドライン」作成委員会(編):認知症疾患診療ガイドライン2017. 医学書院, 2017.
- [2] R. C. Petersen, G. E. Smith, S. C. Waring, R. J. Ivnik, E. G. Tangalos, E. Kokmen, "Mild Cognitive Impairment: Clinical Characterization and Outcome", *Archives of Neurology*, 56(3), pp. 303-308, 1999.
- [3] 鈴木宏幸, 安永正史, 長沼亨, 藤原佳典, "認知機能の継時的変化を評価する際の日本語版 Montreal Cognitive Assessment (MoCA-J) の有用性——MCIと軽度アルツハイマー病患者を対象とした縦断的検討", *老年精神医学雑誌*, 22(2), pp. 211-218, 2011.
- [4] M. F. Mendez, J. L. Cummings. *Dementia: A Clinical Approach*. 3rd ed., Butterworth-Heinemann, Boston, 2003.
- [5] M. A. Goodale, A. D. Milner, "Separate visual pathways for perception and action", *Trends Neurosci* 15, pp. 20-25, 1992.
- [6] S. N. Thiyagesh, T. F. D Farrow, R. W. Parks, et al., "The neural basis of visuospatial perception in Alzheimer's disease and healthy elderly comparison subjects: an fMRI study", *Psychiatry Res.*, 172(2), pp. 109-116, 2009.

#### [成果の発表、論文等]

- 1) **F. Kinoshita**, H. Okuno, H. Touyama, M. Takada, M. Miyao, H. Takada "Effect of Background Element Difference on Regional Cerebral Blood Flow While Viewing Stereoscopic Video Clips", *Universal Access in Human-Computer Interaction. Design Approaches and Supporting Technologies (UAHCI/HCI 2020)*, 12188, pp. 355-365, 2020.
- 2) **F. Kinoshita**, R. Ono, K. Ichikawa, K. Hirayama, M. Takada, H. Takada, "A Study of Evaluation of Vision Training System to Prevent Mild Cognitive Impairment", *Published in Proceedings of 15th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE 2020)*, pp. 53-56, 2020.

- 3) **F. Kinoshita**, Honoka Okuno, Hideaki Touyama, Hiroki Takada, "Effect of the peripheral visual field elements of 3D video clips on body sway" Universal Access in Human-Computer Interaction. Design Methods and User Experience (UAHCI/HCI 2021), 12768, pp. 394-404, 2021.
- 4) **F. Kinoshita**, H. Takada, "A Study on the Development of VR Content for Quantitative Evaluation of Impaired Visuospatial Ability" Universal Access in Human-Computer Interaction. Design Methods and User Experience (UAHCI/HCI 2022), in Press.