

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：12501

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2010～2013

課題番号：22686056

研究課題名(和文) 中心視と周辺視による空間把握のメカニズムの解明

研究課題名(英文) Mechanism of Spatial Perception with Central Vision and Peripheral Vision

研究代表者

吉岡 陽介 (Yohsuke, Yoshioka)

千葉大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：00361444

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 20,100,000円、(間接経費) 6,030,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、探索歩行時の空間把握における中心視と周辺視の機能の解明を目的とする。ヘッドマウントディスプレイを改造することで視野の任意の部分を制限することのできる実験装置を開発し、装着時に生じる被験者の行動の変化を観察することで制限された視野の部分が本来担っていた役割を推察する。被験者数20人規模の仮想迷路歩行実験を繰返すことによって行き止まりなどにおける中心視および周辺視の働きについて定量的分析を実施した。

研究成果の概要(英文)：We have attempted to examine the functions of the central and peripheral visual field by conducting an experiment with 20 participants using a specially designed head-mounted virtual reality system consisting of a wide-view head mounted display and eye tracker. The system can restrict an arbitrary area of the human visual field by modifying the display in concert with the precise position of the subject's fixation in real-time. The function of the central and peripheral visual field could then be examined by comparing the fixation patterns and the behaviour under the following conditions: one requires the subject to behave under normal visual conditions; the other restricts the peripheral visual field.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学

キーワード：中心視 周辺視 探索歩行 仮想空間 ヘッドマウントディスプレイ

## 1. 研究開始当初の背景

人間の視覚機能は、複数の感覚機能の総合体として成り立っており、大きくは、中心視と周辺視という二つの情報処理の機能に大別できる。

中心視とは、視野中央の最も視覚解像度の良い部分（中心視野）で対象の詳細な情報を捉える機能のことであり、周辺視とは、その周辺の、視力の劣る広大な領域（周辺視野）で対象や空間の全体を捉える機能のことであり、この2つの視覚機能が相補的に働きあい協調することで、日常生活における多様な知覚活動が支えられている。

これまで我々は人間の視野機能に関するいくつかの実験的研究を行い、中心視と周辺視、それぞれの機能的な特性を明らかにすることを試みてきた。そしてその過程で、中心視と周辺視それぞれの独立した機能でなく、互いの機能が相互に協調して作用しなければ実現できないような特性も数多く見出されてきた。

中心視と周辺視の機能について、個別の視覚機能に加えて、それぞれの視覚機能の相互作用の重要性にも着目し、それによって成立している人間の空間認知の特性や空間内行動の特性を明らかにしたいと考える。

## 2. 研究の目的

本研究は、探索歩行時の空間把握における中心視と周辺視の機能の解明を目的とする。ヘッドマウントディスプレイに視線追尾装置を内蔵することで、視野の任意の部分を制限することのできる実験システムを開発する。視野制限によって生じる被験者の行動の変化を観察することで、制限された視野の各部分が本来担っていた役割を推察する。

## 3. 研究の方法

本研究の前半では、広角視野ヘッドマウントディスプレイを改造することによって、視野の任意の部分を制限することのできる実験システムの開発を行った。

この実験システムによって被験者の視野のいろいろな部分を制限し、その状態で仮想空間を歩行してもらい、制限によって生じる被験者の行動の変化を観察することで、制限された視野の部分が本来担っていた役割を抽出する。この方法によって、中心視と周辺視それぞれの視覚機能の精査、特に二つの視覚機能の協調関係についての定量的な分析が可能となる。

### (1) ヘッドマウントディスプレイ

本研究で開発した実験システムは広視野角ヘッドマウントディスプレイ（nVisor-SX11:Nvis）を改造したものである。左右の眼球それぞれに、分解能 1280 × 1024 ピクセルの独立した2つのディスプレイが用意されており、2つのディスプレイの映像が輻輳す

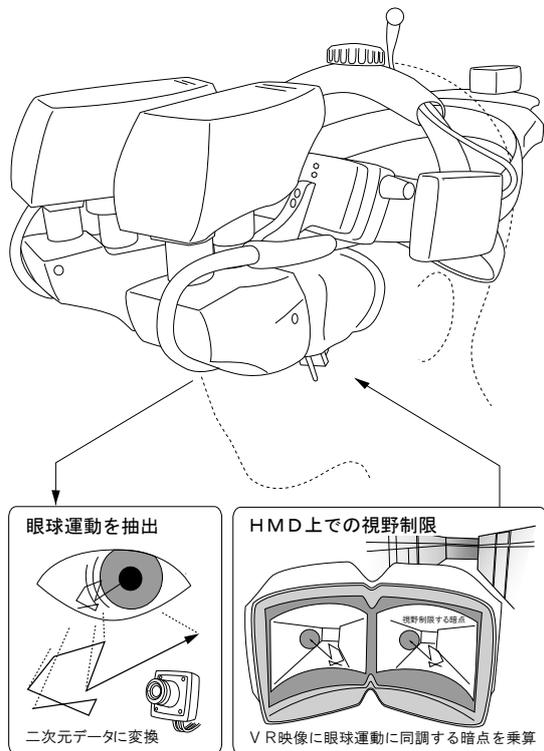
る中央約 60 度四方の範囲では両眼立体視が可能である。両眼のディスプレイを合わせた視野の大きさは、対角視野角 111 度（垂直視野角 64 度、水平視野角 102 度）であり、広大な周辺視野領域を包含した没入感のある仮想空間を提示することができる。

### (2) ポジショントラッキング

ヘッドマウントディスプレイの頭頂部にはLED光源が取り付けられている。実験室にはその周縁部に4台のモーションキャプチャ用の高精細カメラが設置されており、4台の映像を、専用のソフトウェア（PPT:World Viz）で統合し画像解析することで、光源の3次元位置情報をリアルタイムで取得することができる。

取得した光源の位置情報は、ヘッドマウントディスプレイに接続された映像出力用のワークステーションに送信される。この位置情報を元にヘッドマウントディスプレイ内に、装着者の位置移動に同調した仮想空間が生成される。

また後頭部には3軸角度センサー（InertiaCube2:InterSense）が取付けられており、装着者の頭部の向きを測定する。この情報も前述のワークステーションに送られ、装着者の頭部方向に同調した仮想空間の映像が生成される。なお仮想空間の生成にはVizard4.0（WorldViz）を用いている。



### 使用機材一覧

- |                            |                              |
|----------------------------|------------------------------|
| ・ Head Mount Display       | : nVisor SX111(Nvis)         |
| ・ Eye tracking System      | : B-nvis (ArringtonResearch) |
| ・ Position Tracking System | : PPT(World Viz)             |
| ・ VR application           | : Vizard(World Viz)          |
| ・ Orientation Sensor       | : InertiaCube2(InterSense)   |

図 1 実験システム（ヘッドマウント部分）

### (3) 眼球運動の抽出と視野制限

ヘッドマウントディスプレイの接眼部分の下方から、両眼の眼球運動を抽出するためのデバイス (ViewPoint EyeTracker B-Nvis: Arrington Research) を取付けた。遠赤外線イルミネータと小型カメラ、2 枚の反射鏡がセットになったもので、装着時のディスプレイ内での眼球の映像を 220Hz で撮影し伝送することができる (図 1)。

撮影された映像は、ヘッドマウントディスプレイに有線接続された前述のワークステーションに送られ、画像解析ソフトウェア (ViewPoint: Arrington Research) で解析にかけられる。画像解析によって抽出された眼球運動の 2 次元データは、独自開発したキャリブレーションプログラムによる較正データと照合され、ヘッドマウントディスプレイ内の画面上での注視位置データに補正される。

左右それぞれの眼球に対して算出した注視位置データを基準点として、仮想空間内に、眼球運動に同調して動く暗点を乗算する。このことによって、常に、視野の中のある特定の部位だけが遮蔽されている、という状態を作り出すことができる。すなわち、この暗点の大きさや位置を調節することによって、たとえば注視点を中心に直径 10 度の中心視野機能だけを制限したり、あるいは、注視点から 10 度下の下半の周辺視野機能だけを制限したりといったことが自在にできる。

## 4. 研究の成果

### (1) 実験 I

開発した実験システムを用いて、仮想空間内での探索歩行実験を実施した。ヘッドマウントディスプレイ内の仮想平面に 3000mm×5000mm の実験用迷路を作成し、20 名の被験者に、視野の中央部分を制限された状態で、スタートからゴールまで複数回歩行してもらった。

#### ① 実験用迷路

迷路の形状を図 2 に示す。スタート地点が三叉路になっており、3 つの選択肢のうち 1 つだけがゴールへと続く経路となる。比較的奥行きが深い行き止まりを前にして、どの地点で被験者がその経路を行き止まりであると判断するか、その判断にかかる時間がどの程度であるかを、各制限視野状態での結果を比較しながら観察する。

なお実験迷路 a、b、および c、d は、それぞれスタート地点からみて左右対称の迷路であり、被験者がスタートした時点では左右どちらの経路が行き止まりになるかまだ決定していない。被験者がはじめに選択したほうの経路に、進入したと同時にゴールへの経路を塞ぐ壁が立ち現れ、はじめて迷路が完成する。このシステムによって、全ての試行において常に、行き止まりに対する被験者の探索行動の検証ができるように設計している。

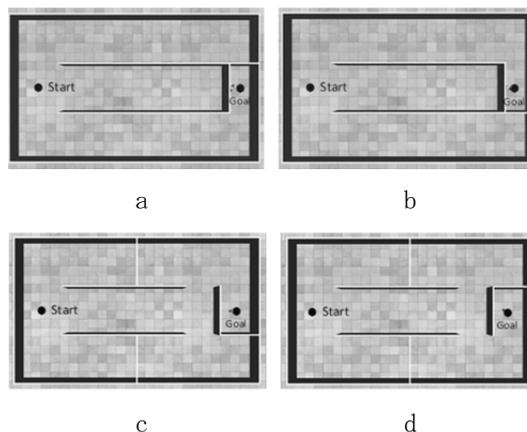


図 2 仮想空間内に作成した迷路の俯瞰

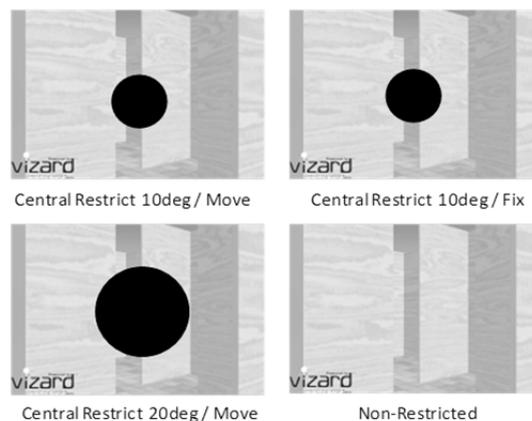


図 3 視野制限の種類 (実験 I)

### ② 中心視野制限

実験 I で用意した視野条件の種類を図 3 に示す。視野中央を制限する条件については、制限範囲の大きさと、制限範囲が眼球運動に追従するか否かによって、3 種類を用意した。

Central Restrict 10deg/Move では、暗点は被験者の眼球の動きに追従して動き、常に注視点の周囲直径 10 度の範囲を遮蔽し続ける。Central Restrict 20deg/Move ではその暗点の大きさが直径 20 度に広がる。一方、Central Restrict 10deg/Fix では、制限範囲は直径 10 度のまま、その制限範囲がディスプレイ全体の中央に固定される。

被験者には、これらの 3 つの視野制限条件に、視野制限のない状態で歩行する Non-Restricted を加えて、合計 4 種類の視野条件で、それぞれの実験用迷路を各 1 回ずつ歩行してもらった。

### ③ 実験結果

本報告では特に、図 2 の a、b の仮想迷路における歩行時間の分析をまとめる。なお統計処理においては、分散分析で帰無仮説の棄却を確認したのち、ボンフェローニ法による多重比較検定をおこなっている。

図 4 に各視野条件における迷路全体の歩行時間の平均値を示す。視野制限のない Non-Restricted 条件に比べると、制限範囲が眼球運動に追従する二つの視野制限条件、Cent

ral10/Move および Central30/Move において、統計的に有意な歩行時間の伸長が確認された ( $p=0.045$ ,  $p=0.002$ )。視野中央を制限されることによって、探索歩行に何らかの困難が生じていることが考えられる。ただし上記の傾向は、制限範囲が動かない Central10/Fix においては確認されていない。

ここで Central10/Fix と Central10/Move とを比較すると、Central10/Move のほうが歩行時間は有意に長いことがわかる ( $p=0.001$ )。即ち、単に視野の中に直径 10 度の制限範囲があるだけでは、それほど大きな困難は生じず、その制限範囲が眼球運動に追従して動き、中心視野の機能が選択的に制限されたときに、はじめて顕著な困難が生じているといえる。今回開発した実験システムの特性が導き出した新しい知見である。

つづいて、より詳細な分析を行うため、実験用迷路を経路場面ごとに 3 つのエリアに分割し、それぞれの経路エリアにおける時間を計上した (図 5)。経路全体において見られた視野制限による歩行時間の顕著な増加は、分割された経路エリアのうち、行き止まり経路において再び確認することができた。

さらに特筆すべきは、二つの眼球運動追従型の視野制限において、歩行時間の有意な変化が認められたことである。追従型の視野制限において、視野角 10 度の制限条件よりも、視野角 20 度の制限条件のほうが、行き止まり経路を歩行するのに掛かる時間が増加している ( $p=0.029$ )。視野角 10 度の制限よりも 20 度の制限のほうが課題の困難度が増加する。即ち、行き止まり空間を短時間で効率よく認識するためには、視野角 10 度~20 度近傍の視野領域を有効に使えることが重要であることがわかる。

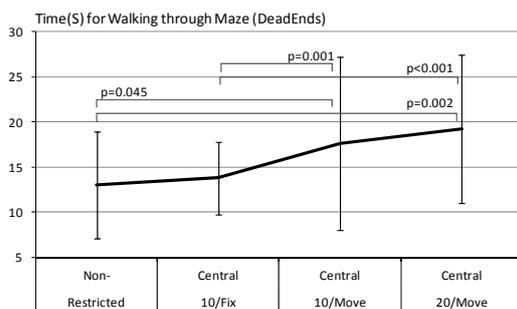


図 4 迷路全体における歩行時間

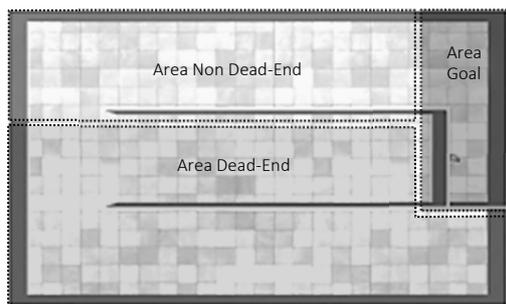


図 5 経路エリアの分割

## (2) 実験 II

### ① 周辺視野制限

実験システムを用いて視野周辺を制限し、同様の探索歩行実験を行った (図 7)。

### ② 実験結果

図 8 に各視野条件における壁面上の注視高さの平均値を示す。視野制限のない Non-Restricted 条件に比べると、視野制限が大きい二つの視野制限条件、Peripheral15/Move および Peripheral15/Fix において、注視高さの平均が統計的に有意に低下する傾向にあることが確認された ( $p=0.036$ ,  $p=0.007$ )。加えて、この二つの視野制限条件における、注視高さは、Peripheral30/Move における注視高さよりも有意に低くなることを確認された ( $p=0.049$ ,  $p=0.045$ )。

これらの結果は、制限視野下では、被験者が仮想環境中のより下方へ視覚的注意を向かわせる傾向にあることを示している。環境中のより下方に歩行にとって重要な情報があり、かつその情報は、通常の視野状態では周辺視によって捉えられているものであることが示唆される。さらに視野角 30 度の制限条件においては、注視高さの低下が見られなかったことから、こうした環境下方にある環境情報は、30 度の視野範囲でも充分効率よく捉えられるものであることが示唆される。

また Peripheral15/Fix において被験者は、頭部運動を用いて仮想環境を見回さなければならないにもかかわらず、Peripheral15/Move との間に、注視高さの変化は見られなかった。頭部を動かしてまで確認しなければならない情報が、環境下方に存在していることが強く示唆される。

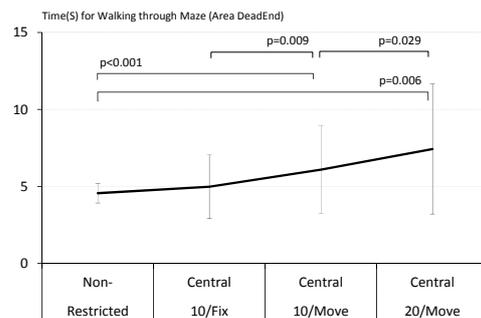


図 6 行き止まりエリアでの歩行時間

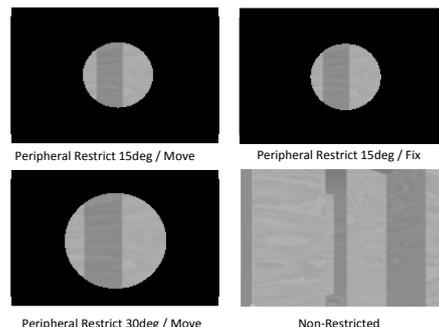


図 7 視野制限の種類 (実験 I)

仮想迷路の壁面を上段、中段、下段の三つの領域に分割し、それぞれの領域に対する注視点の滞留時間を計上した(図9)。

まず、Peripheral15/Moveにおける下段エリアへの注視時間は、Peripheral30/Moveにおける下段エリアへの注視時間よりも有意に長くなることわかる( $p=0.016$ )。逆に中段エリアへの注視時間は、Peripheral15/MoveよりもPeripheral30/Moveのほうが有意に長いことわかる。

Peripheral15/Moveの結果だけを見れば、中段エリアよりも下段エリアに、探索歩行時に検出しなければならない視覚情報があることがわかる。しかし、このことは直ちに、中段エリアに取得すべき重要な情報が含まれていないことを示すものではない。

獲得できる視覚情報が通常時に比べればやはり格段に制限されているPeripheral30/Moveにおいて、一時的にはあるが、中段エリアへの注視時間が増加していることから、下段エリアにおける情報が最優先だとしても、中段エリアにその次に重要な情報が含まれている可能性は残された。

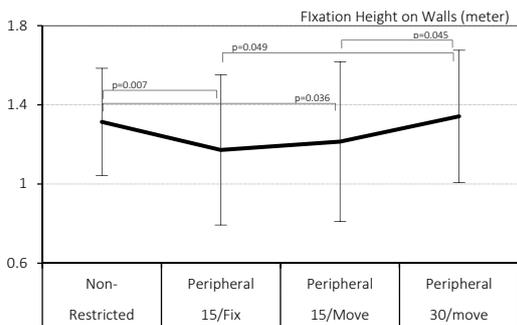


図8 壁面上の注視点高さ

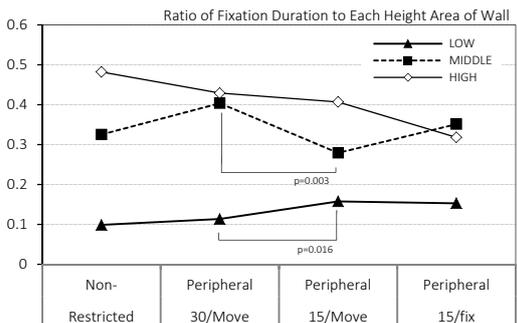


図9 壁面高さ別の注視点の滞留時間

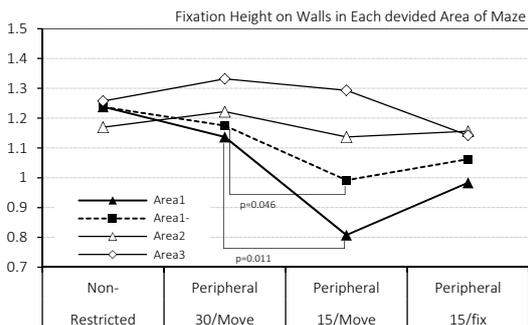


図10 各経路場面における注視点高さ

図10に各経路エリアにおける平均注視点高さを示す。全経路の分析においてPeripheral15/MoveとPeripheral30/Moveの間に見出された注視点高さの変化は、行き止まりの是非の識別をせまられる領域であるエリア1とエリア1-において有意な差をもって再確認することができる。

この結果から、奥行きが深い行き止まりなど、少し離れた距離から詳細な形状を識別することが要求される空間においては、環境中のより下方に識別のための重要な情報が存在していることが示唆される。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① Yohsuke Yoshioka: Fixation Height in Way-finding while Peripheral Visual Fields are Restricted with Synchronously Moving Virtual Holes, AHFE International 2014 Conference Proceedings, 2014.7
- ② Yohsuke Yoshioka, Colin Ellard: Walking Speed in VR Maze while Central Visual Fields are Restricted with Synchronously Moving Black Circles, HCI International 2014 Conference Proceedings, 2014.6
- ③ 吉岡陽介, 高橋正樹, 渡辺秀俊, 佐野友紀, 遠田敦: 柱列の密度が人間の速度感覚に与える影響, 日本バーチャルリアリティ学会第22回研究会論文集, Vol. 18, pp. 45-46, 2013.10
- ④ 吉岡陽介: ヘッドマウントディスプレイを利用した視野機能を計量するための実験システムの開発, 信学技報 113(128), 45-48, 2013.7

[学会発表] (計 2 件)

- ① 高橋勇人, 吉岡陽介: 垂れ壁の配置や寸法が仮想空間における空間重心の認識に与える影響, 2014年度日本建築学会全国大会(神戸), 2014.9.12
- ② Yohsuke Yoshioka: Functions of Central Visual Field in Walking through VR Environment, International Conference of Environmental Psychology 2013, 2013.10.24

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 視野制限画像データ作成プログラム及びこれを用いた視野制限装置

発明者: 吉岡陽介

権利者: 国立大学法人 千葉大学

種類: 特許 番号: 2013-141794

出願年月日: 平成25年7月5日

国内外の別: 国内

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉岡 陽介 (Yohsuke Yoshioka)

千葉大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号: 00361444