



# 複合現実技術 (MR) を用いた転倒予知予防技術開発 フィジビリティスタディ

竹市博臣<sup>1)</sup>, 石井智康<sup>1,2)</sup>, 野田茂穂<sup>1)</sup>, 姫野龍太郎<sup>1)</sup>

1) 理化学研究所 情報システム本部 (〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1, takeichi@riken.jp)

2) 東京都市大学 メディア情報学部 (〒224-8551 神奈川県横浜市都筑区牛久保西 3-3-1, tomoyasu.ishii@riken.jp)

**概要:** 歩行脆弱化予知予防 (転倒防止・リスク軽減) 技術開発のため, MRを用いた障害物回避シミュレーション実証試験を行った. W市在住 67~83歳の自立高齢者33名を対象に, 3mの歩行路上の直線歩行の様態を, モーションキャプチャと加速度角速度センサを併用して計測した. 同時に, 知覚されたMR障害物の高さをリアル障害物とのマッチングで推定した. MR・リアル障害物の知覚の等価性が示唆され, 技術開発の応用へ向けたフィジビリティが確認された.

**キーワード:** 転倒, ビデオスルー, CG合成, 高齢者

## 1. はじめに

バーチャルリアリティ (VR) 技術は, ハードウェア・インタフェース・ソフトウェアの性能向上やコスト低下を背景に, 医療介護を含む多様な分野で応用が進んでいる. コンピュータグラフィックス (CG) を組み合わせた複合現実 (MR) 技術は, さらに大きな可能性を持つ.

わが国を含む主要国では, 社会の高齢化が大きな問題となっているが, とくに加齢にともなう健康脆弱化の予知予防では, MR技術の応用に大きな期待を持つことができる. 健康脆弱化により感覚運動機能に大きな変化が生じるが, とくに運動器の機能評価 (検査) や運動機能の維持改善 (トレーニング・リハビリテーション) は, すでに機能が低下した運動器にさらに負荷をかけるため, リスクを伴い, デザインも難しい. MR技術を用いたシミュレーションによって, 格段に安全な検査やリハビリテーションが実現できると期待できる.

転倒の予知予防に関しては, 被検者に実際に転倒させたり, 被検者を転倒しそうな場面においたりすることはできない. これまでは, 間接的な観察研究や, 長期間にわたる追跡研究が中心であった. 重要な変数や, それらの操作による直接的な検証ができないため, 弱いエビデンスをもとに議論せざるを得なかった.

理化学研究所・情報システム本部では, 加齢に伴う運動器の脆弱化, とくに転倒の予知予防研究と関連技術開発を進めている[1][2][3]. 東京都市大学メディア情報学部との共同研究では, グループで, MR技術を用いた障害物シミュレーションシステムの構築試作を進めており, 転倒予知

予防にむけた障害物回避動作計測の実証試験を行った. 実証試験の目的は, 試作システムを用いて, 被検者が歩行中に仮想的に提示された障害物回避動作を行い, その様態の運動計測から, 転倒リスク評価に資する指標が得られるかどうかを検証すること, および関連する問題点を明らかにすることであった. 今回は, 実証試験の一部として行った, 障害物シミュレーションシステムのリアリティ評価について報告する.

## 2. 方法

### 2.1 対象者

東京近郊のW市在住で, 介助を受けずに自立して生活している 55歳から 84歳の男女からボランティアを募り, 循環器疾患 (不整脈, 狭心症など) もしくは精神神経疾患 (認知症など) のある方を除外して, 35名を対象者とした. うち2名は対象者の都合で, 不参加となった. 参加33名は男性14名女性19名, 67~83 (中央値: 73.5歳) であった. 33名のうち, さらに, 1名はヘッドマウントディスプレイの装着になじめなかったため, 実証試験の被検者は32名となった. 実証試験は事前に理化学研究所の研究倫理委員会で審査・承認を受け, 対象者からは書面で同意を得た.

### 2.2 転倒シミュレーションシステム

障害物シミュレーションシステムの詳細は別に発表報告するので, ここでは概略のみを示す. システムは, Intel Core i7 プロセッサ, 16GB メモリ, ならびに NVIDIA GeForce GTX 1060 6Gb GPU を搭載した Dell ALIENWARE (Windows10) 上で, Unity 2018.2 を用いて構築した. ヘッドマウントディスプレイには Oculus Rift, ステレオカメラとして Ovrvision Pro MR を用いて, 実際の計測室の

Hiroshige TAKEICHI, Tomoyasu ISHII, Shigeho NODA, and Ryutaro HIMENO

風景と仮想障害物の CG 合成により、ビデオスルー型の MR を実装した。Ovrvision Pro にかかる開発には Ovrvision Pro SDK 1.9 を用いた。

ヘッドマウントディスプレイを装着した状態では、被検者には、ステレオカメラで撮影され、CG 合成で三次元的に再現された計測室が提示される。仮想障害物のない条件では、計測室のみが見え、仮想障害物のある条件では、歩行路上に、図 1 のように木片状の障害物が見えるようにした。

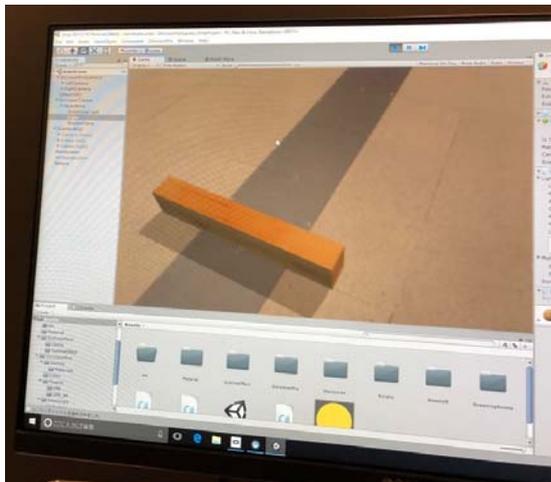


図 1: MR で提示した障害物

障害物の高さは 0cm から 15cm の間を 5cm 間隔の 4 段階とし、光景全体にスケールしてシミュレートした。陰影・明るさ・色調など質感に関する項目は、再現された計測室と違和感がないように調節した。

### 2.3 運動計測

運動計測についても別に発表報告するが、計測の全体像が知覚評価に関連するので、必要な範囲で詳述する。運動計測は、計測室内にて、光学式モーションキャプチャ (Optitrack) および加速度角速度センサ (ATR Promotions) を用いて行った。モーションキャプチャのマーカは、ヘッドマウントディスプレイがモーションキャプチャ計測の支障とならないように、両足部のみに装着した。加速度角速度センサは、腰仙骨部付近および両足甲に 1 つずつ合計 3 つ装着した。光学モーションキャプチャ・障害物シミュレーション MR システムは、いずれも赤外線を用いるが、波長が異なり、相互の干渉はなかった。

被検者ごとに、モーションキャプチャのマーカおよび加速度角速度計の装着後、バランス能力測定のため、開眼片足立ちを行い、その後歩行計測を行った。歩行路は、直線状に配置され、表面をつや消し黒色にした 8 枚のフォースプレート上  $0.4 [m] \times 8 [枚] = 3.2 [m]$  とした。被検者には、歩行路上を、対向する壁面に向かい、ふだんと同じ速さで同じように歩くよう教示した。仮想障害物が提示される場合は、仮想障害物にあたらないように足をあげる回避動作を行うよう教示した。回避動作を含めた歩行中は、対向する壁面上の、床面から約 160cm の高さで四隅を黒色テープ

でマークされた領域に目を向け、足元を見ないように教示した。往路片道のための計測とし、目標点から出発点へ戻る際にはデータ採取は行わなかった。

5 つの計測条件を設けた: 1. 非 MR 条件下, 2. MR 条件下で仮想障害物なし, 3. MR 条件下で仮想障害物あり, 4. MR 条件下で仮想障害物なし (2 回目), 5. 非 MR 条件下 (2 回目)。5 条件はこの順で実施した。

うち、3. MR 条件下で障害物ありでは、仮想障害物のシミュレートした高さを、はじめ 15cm から 0cm まで降順で、続いて 0cm から 15cm まで昇順で提示した。下降系列降順終わりの高さ 0cm の仮想障害物と上昇系列はじめの高さ 0cm の仮想障害物は、前後に同じ刺激が続く 2 試行とした。したがって、MR 条件は、全部で 10 試行であった。

被検者には、試行ごとに仮想障害物の高さが変わることは教示の中で伝えたが、高さがどの程度であるか、どのように変化させるかは、伝えなかった。

また、1. 非 MR 条件下と 2. MR 条件下で障害物なしの間、および、4. MR 条件下で障害物なし (2 回目), 5. 非 MR 条件下 (2 回目) の間で、ヘッドマウントディスプレイの着脱を行った。



図 2: 仮想障害物回避のようす

### 2.4 仮想障害物の知覚の評価

運動計測終了後、仮想障害物の知覚がヴェリディカルであったかどうかを評価した。なお被検者が高齢であること、15 から 30 分を要した歩行計測の後であること、VR 経験がないことを考慮し、短時間で負担が少ないことを優先した評価方法をとった。

#### 2.4.1 刺激

歩行路上に黒色スポンジを積み上げ、上部に板状の模様をつけて、仮想障害物を模した実障害物を用いた。図 3 に例を示す。実障害物の高さは、試行ごとに積み上げるスポンジを組み替えて調節し、9cm から 21cm の間を 2cm 間隔で 7 水準とした。



図 3: 評価に用いた実障害物

#### 2.4.2 データ収集

被検者 32 名のうち 5 名は、心理物理学における極限法（高いものから低いものへ、またはその逆順で系統的に提示する）、27 名は、同じく恒常法（被験者間では固定された疑似ランダム順に提示する）に準拠し、7 水準の高さをそれぞれ 2 回ずつ、合計 14 回を 14 試行で提示した。

試行ごとに、仮想障害物のうち最も高かったもの、すなわち、最後に提示された仮想障害物（シミュレートされた高さは 15cm）と、試行ごとに提示される実障害物（9cm から 21cm まで）の高さ（鉛直上下方向のスケール）を比較し、どちらが高いと感じるかを、二件法（実障害物が高い、もしくは、仮想障害物が高い）・口頭で尋ねた。被検者の回答に時間がかかるなど、回答をためらう場合は、質問には正解がないこと、回答の一貫性を考慮する必要のないこと、直観的な印象判断を求めていることを告げ、それでも判断に迷う場合「同じ」も認めた。

#### 2.4.3 データ解析

標本数が少ないため、7 種類の刺激それぞれにつき、被検者 33 名の反応を、それぞれ 2 試行の回答から、1. いずれも「仮想>実」である場合、2. 「仮想>実」および「実>仮想」が 1 試行ずつ、ないしは、「同じ」がある場合、および、3. いずれも「実>仮想」である場合の 3 つにカテゴリー化し、カテゴリーごとに得点を 1, 2, 3 として採点した。7 種類の刺激それぞれにつき、被検者間で合計を求め、合計について心理測定関数を構成し、主観等価点、すなわち、知覚された仮想障害物の高さを求めた。

### 3. 結果

得られた心理測定関数は図 4 のようになり、主観等価点、すなわち、知覚された仮想障害物の高さは、今回の被検者 32 名をプールしてグロスに見た場合、シミュレートした

15cm とほぼ等しいことが示された。

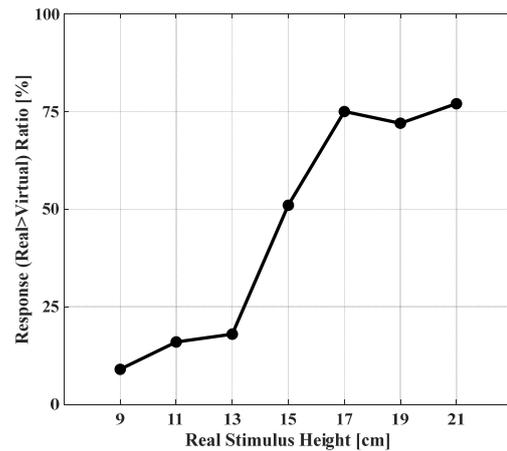


図 4: 評価結果

### 4. 考察

今回の実証試験では、MR の、高齢者を対象とした健康脆弱化予知予防、とくに、転倒リスク評価に用いる技術としてのフィージビリティを検討した。その結果、1. 対象者 33 名のうち、VR 酔いなど、MR 技術の基幹的事項に関する問題は見出されなかった。2. 同様に、対象者 33 名のうち 1 名（3%相当）がヘッドマウントディスプレイ上に提示された映像を鮮明に見ることができないと訴えたため、評価を行わなかった以外に、障害物回避動作を行う上で、主観的な困難を示した被検者はなかった。3. 障害物回避に要求されるクリアランス、すなわち、どの程度足をあげないとつまづくか、という主観的な見通しにおいて、仮想提示が実物と同様の知覚を生む、すなわち、リアルであることを支持するデータが得られた。これらは、MR 技術を用いた加齢に伴う運動器の脆弱化や転倒リスク評価のフィージビリティを示すものである。

いずれも、現在の MR 技術水準を考えた場合、当然の結果である、ないしは、本報告はあまりに予備的すぎるとの印象を与えるかもしれない。しかし、加速して進行する高齢化社会での実用化を考えた場合、時間的経済的なリソースは限られており、社会実装上のコストパフォーマンスを考慮した有用性は高いのではないかと考え、今後も研究技術開発を進めたい。

### 5. 結論

歩行脆弱化予知予防（転倒防止、リスク評価・軽減）技術開発のため、MR を用いた障害物回避シミュレーション実証試験を行った。MR・リアル障害物の知覚の等価性が示唆され、この分野での応用のフィージビリティが確認された。

**謝辞** 実証試験にご協力いただいた被検者のみなさま、ならびに、自治体のご関係のみなさまに感謝いたします。

## 参考文献

- [1] Masumoto, G., Okuno, K., Takeichi, H., Sun, Z., Noda, S., Himeno, R., Cichocki, A.: Relationship between minimum foot clearance, waist rotation, and aging: toward fall prediction and prevention. 15th International Symposium on Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering and 3rd Conference on Imaging and Visualization, 26 March 2018, Lisbon, Portugal.
- [2] Sun, Z., Takeichi, H., Masumoto, G., Noda, S., Himeno, R., Cichocki, A.: Dynamic stability of daily-life walking using inertial measurement unit. 15th International Symposium on Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering and 3rd Conference on Imaging and Visualization, 26 March 2018, Lisbon, Portugal.
- [3] Sun, Z., Masumoto, G., Takada, M., Takeichi, H., Cichocki, A., Noda, S., Himeno, R.: Fall risk assessment with gyro and accelerometer sensors: minimum foot clearance and its variability. 8th World Congress of Biomechanics, 9 July 2018, Dublin, Ireland.