

空間的ブックマーク： VR空間内でウェブ検索結果を整理させることによる記憶定着支援

武内悠美穂[†] 莊司 慶行[†] MartinJ. Dürst[†]

[†] 青山学院大学 理工学部 〒252-5258 神奈川県 相模原市 中央区 淵野辺

E-mail: [†]takeuchi@sw.it.aoyama.ac.jp, ^{††}{shoji,duerst}@it.aoyama.ac.jp

あらまし 本論文では、調べた Web ページを VR 空間内に自由に配置可能にすることで、検索結果を思い出しやすくする「空間的ブックマーク」を提案する。記憶を助ける技術の一つに、脳内に空間をイメージして、覚えたいものを場所に紐づけて覚える場所法（メモリーパレス法）と呼ばれるものがある。VR 空間内でゲームやモデリング作業中に Web 検索を行う機会が増えているが、VR 空間では文字入力しがづらく、再検索が高コストである。場所法に基づいて、検索結果の Web ページを VR 空間内に配置し、動かして整理させることで、検索結果をより強く記憶に残し、VR 作業中の検索回数を減らせると考えられる。実験のため、VR 空間内に抽象的な部屋や現実を模した部屋を複数用意して、実際に Web から情報収集させる被験者実験を行った。被験者実験を通して現実を模した部屋が検索結果の内容の量に影響を与えた可能性が明らかになった。

キーワード 記憶、場所法、メモリーパレス、VR、ブックマーク

1 はじめに

近年、VR 機器が急速に普及し、VR 空間上で作業する機会が増加している。もっとも一般的なゲーム目的での使用だけでなく、建築用やペイント目的、体験に基づく訓練などの、実用的なソフトウェアのために活用される場合も増加している。こういった普及の背景には、実際に現物がその場になくとも作業でき、失敗した場合でもすぐに元に戻すことが可能であるという、VR 空間の性質が挙げられる。VR を使うことで、実際に立体的に確認することができるため、実物との差が少なくかつ安全に作業することができる。具体的な VR の活用事例として、教育訓練 VR というものがある。この教育訓練 VR では踏切事故緊急対応体験 VR であったり、落下事故対応体験 VR といった事例を、実際に VR 空間内で体験できる。VR 空間内で体験することにより、あとで実際に作業を行う際に安全に行うことができる。

このように体感的で便利な VR 空間だが、一方で、従来のコンピュータ画面上的作業と異なり、作業中の検索がしづらいという欠点もある。もっとも極端な例だと、VR 作業中に検索を行う際には、ヘッドマウントディスプレイを外して別のコンピュータやスマートフォンで検索する場合がある。また、ヘッドセットをとらずに検索を行うにしても、作業していたソフトを閉じて検索ブラウザを立ち上げて検索を行うか、VR 空間内に検索機能を組み込んだ場合も、VR 空間内で入力が行いにくい中で文字入力を行い、検索する必要がある。現実ではその場でスマートフォンやパソコンで検索可能であるが、現時点の VR 技術は、快適に検索が行える状態までは達していない。

このような VR 空間内での検索の困難性の問題を解決するためには、いくつかの解決策が考えられる。文字の入力の煩雑性

に注目すると、例えば、

- 入力の手間を減らす
- 文字入力の頻度を減らす、
- 検索の回数そのものを減らす

などの工夫が考えられる。これらは大きく分けると入力での手間を減らす、再検索しないようにする、といった2つのアプローチがある、VR 空間内での入力の手間を減らし、文字入力を快適にするアプローチは多く研究されている [1-3]。例として、ハンドトラッキングを活用したキーボード [4] などがある。ピンチ入力式と呼ばれるソフトウェアキーボードでは、親指とその他の指で作る輪がキーボードの配列に対応している。この形式だと、ソフトウェアが文脈を判断して単語を表示するため、予測変換のような感覚で低コストで文字を入力できる。クエリ推薦などの情報検索技術を用いることで、文字入力の頻度を減らすという方法も考えられる。こういった技術は VR 空間に限らず、文字入力の煩雑なモバイルデバイス向けの検索エンジンなどで、一般的に行われている。

一方で、いくら文字を入力しやすくしたり、文字入力の手間を省いても、VR 体験中に作業を中断して検索を行う必要があることは変わりがない。そこで本研究では、検索の回数そのものを減らすアプローチをとる。従来の手法では、検索における入力をより快適にすることを目的としてきた。一方で、そもそも検索回数そのものを減らすことができれば、VR 環境下での検索の煩雑さを間接的に解決できると考えられる。従来の Web 検索において、検索クエリの多くは一度調べた情報をもう一度探すためのものだと言われ、Teevan [5] らの調査によるとクエリの4割が再検索クエリだとされる。再検索をなくすことができれば、たとえ VR 環境下で文字入力や検索の手順が煩雑であったとしても、煩雑な手順をこなす機会そのものを最大で4割減らすことができる。

そこで本研究では、検索結果をより記憶に残りやすくすることで、一度調べた内容を再検索する必要をなくす手法について提案する。複数の情報を調べる際、調べた内容は、人の記憶にすぐには定着しない。具体例として、織田信長について調べようとする場合を考える。織田信長には身長、年齢、名を上げた戦などの多くの情報がある。それらすべてを覚えるのは困難であり、短期記憶として、その場では覚えられたと感じても、多くの場合、数日後には忘れてしまっている。

このような検索内容を記憶により深く残す方法として、本研究では、記憶法の中でも特に有名な場所法 (Method of Loci, メモリーパレス法) [6] に注目した。場所法は、人が物事を記憶する際に、頭の中でそれらを場所と紐づけて覚えることで記憶に定着しやすくする方法のことである。具体的には、脳内に博物館や美術館をイメージして、覚えたい内容を空間ごとにまとめたり、順路ごとに思いだしたりする。こうすることで、脳の空間把握に使われる部位も併用して記憶に用いることができ、より覚えやすく、思い出しやすくなるとされる [7, 8]。そこで、VR 空間内に自由に検索結果の Web ページを配置できるようにし、動かして整理させる環境を作成する。こうして VR 空間内に検索結果を場所と紐づけて整理させることで、場所法に基づいて、検索結果をより強く記憶に残し、VR 作業中の検索回数を減らせることが期待できる。

提案手法は、VR 空間上で検索を行うことができる Web ブラウザを使用し、VR 空間内にブックマークのように保存できるようにする。場所法に基づく記憶定着として、どのような空間が記憶定着を促進させるのかを検証するために、

- 従来のブックマークのような順序だけを持つ空間、
- 空間的には自由に配置可能だが、自分の向いている方向の分からない空間、
- 空間的に自由に配置可能で、四方の壁が塗り分けられた空間、
- 実際の部屋のように、様々なオブジェクトが置かれた空間

をそれぞれ作成した。自由にウィンドウを空間内に配置できるブラウザを実装し、それぞれの空間内で実際に被験者に検索タスクを行わせる実験を通して、どのような要素が記憶への定着促進を助けるかと、手法の有効性について検証した。

以下に本論文の構成を示す。本論文は全 6 章からなる。本章では実験を行うに至った背景と研究目的について述べる。第 2 章では、本研究に関連した研究について紹介する。第 3 章では、本研究の提案手法について述べる。第 4 章では、仮説を立証するために行った提案手法の評価実験の方法と結果について述べる。第 5 章では、評価実験にて出された結果についての考察を述べる。第 6 章では、本研究のまとめと今後の展望を述べる。

2 関連研究

本研究は、VR 環境下での検索をより実用的にするために、検索結果を記憶に残りやすくする手法について提案している。そのため、VR におけるウェブブラウジング支援に関する研究

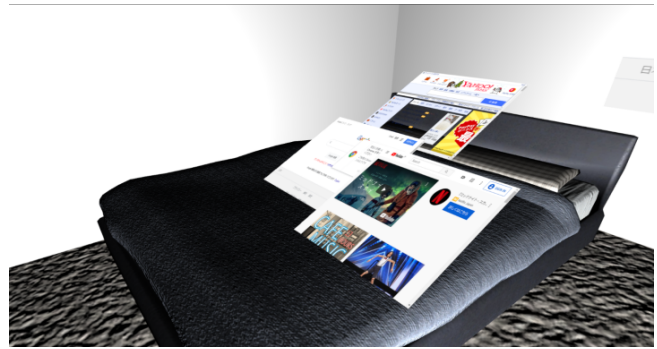


図 1 VR 空間上の検索ブラウザ

と、アクセスした情報の記憶への定着について、関連する研究を紹介して本研究を位置付ける。

2.1 VR におけるウェブブラウジング支援

VR 空間内での検索の困難性の問題の解決策としてウェブブラウジングの支援がある。その中でも、主に研究がなされているのは VR 上での入力の手間を減らす方法である。Speicher ら [2] は 6 つの入力手法を比較調査した。調査の結果、VR コントローラのレイキャストを用いたポインティングによりキーを選択する手法の入力性能が最適であると述べられている。Boletsis ら [3] はコントローラをドラムのスティックに見立て、ドラムをたたく動きをキー入力に対応付けることにより、文字入力を可能にする手法を提案した。本研究では、文字入力やブラウジングの快適さとは別次元で、VR 空間内での情報アクセスを助けることを目的としている。そのため、これらの VR 空間内でのインタフェースの改善をそのまま併用可能である。

2.2 情報の記憶への定着

情報をより記憶に定着させる方法は多く研究されている。Bui ら [9] と Einstein ら [10] の研究ではメモを取ることでより記憶力を向上することを明らかにした。Gordon ら [11] は自身の自己概念もしくは自身のエピソードに関連しているとき、記憶が強化する可能性を明らかにした。

VR 空間と記憶を紐づけた研究もすでに行われている。Krokos ら [12] は視覚的に没入感のある VR 空間で記憶に関するタスクを被験者に行わせ、VR 空間内で場所法に基づく記憶法が有効であることを確認している。この実験を通して、前庭知覚と小脳知覚が実際に記憶への定着に影響していることも指摘している。本研究では、より具体的に、Web ページでの調べものというタスクにおいて VR 空間内での場所法を適用し、どのような空間が有効であるかを明らかにする。

一方で、Hine ら [13] は、VR を用いた記憶に関する実験において、現実とは異なる影響を与えることを指摘している。すなわち、アクティブビューとパッシブビューで、記憶を定着させやすさに差があることを明らかにしている。ほかに、Unsworth ら [14] は仮想環境で提供される視覚的忠実度とアクティブナビゲーションの影響について研究している。本研究では、将来的な本技術の活用として、VR でのゲーム中や作業中の検索を対象としている。実際にこういった VR 空間特有の記憶や印象へ

の影響は、今後研究を進めるうえで十分に考慮する必要があると考えられる。

3 手 法

本章では、本研究の提案手法を述べる。本研究では、場所法に基づいた記憶定着支援を提案している。空間に配置することで記憶定着を図るが、場所法に基づいて、VR 内に再現された空間にブラウザを自由に配置してブックマークのように保存したり、検索結果をその場で整理できるようにする。この際、配置する空間について、壁も天井も真っ白な空間にブラウザを配置したとすると東西南北が分からず、どこに配置したのか不明になる。そこで4色の色を付けた壁がある空間にブラウザを配置する。しかしこの空間でも色を付けただけでは抽象的で場所が分かりにくい。そこで、家具などを空間内に配置することで、場所を言葉で言い表しやすくした空間にすればよいと仮説を立てた。この仮説を検証するために、提案手法に基づく3つの空間と、従来のブックマークをVR空間内で再現した1つの空間を作成した。また、これらの空間を使って検索を行った際に、利用者の検索行動を分析可能にするための記録機能を追加した。

3.1 空間的ブックマークの概要

本研究では、空間内にウェブページのスクリーンショットそのものを配置し、整理できるようにする。これは、通常のコンピュータでのブックマークがリストやフォルダ分けされたツリーとして表されるのに対し、ブックマークを空間内の座標として保持する。このようなブックマークを空間的に扱うことの利点として、場所法と呼ばれる記憶法に基づいて、検索結果をより記憶に残すことで、再検索の手間を減らせると考えたためである。

場所法は、Yates が 1966 年に書籍「The Art of Memory」にまとめたことで有名になった古代ローマから伝わっている記憶法である [6]。別名として、一般的にメモリーパレス法や記憶の宮殿、ジャーニー法とも呼ばれている。この方法では、ものを覚える際に、任意の場所を思い浮かべ、覚えたい対象をその場所のどこに配置したかと紐づけて記憶する。この際、思い浮かべる場所は自宅のように実在する場所や、架空の場所、あるいは体の部位でも良い。このように、場所と記憶対象をペアとして記憶するため、記憶を想起、再認する際に思いだすための手掛かりが多くなり、思いだしやすくなると考えられる。

3.2 空間内に配置できるブラウザの作成

実際に、空間内に複数のブラウザウィンドウを生成し、自由に配置できる環境を作成した。この環境では、ユーザはVRトラッキングデバイスを使って、自由に移動して、自由な場所にシングルタブブラウザのウィンドウを1枚生成できる。生成したブラウザは、その場に残すことができる。これにより、その場に見ていたウェブサイトのスクリーンショットをそのまま配置したように見えるし、再度そのブラウザに触れれば、そのブラウザでのブラウジングを再開できる。

ブラウザ自体は、従来のブラウザとできることは変わらない

が、VR空間内で複数のブラウザを空中に配置して使ううえで、いくつかの制限を加えた。まず、戻るボタンをコントローラ上の1つのボタンに割り当て、そのほかのナビゲーション機能（すなわち、進む、更新など）は排除した。これは、実際の検索時には、検索結果ページから個別の情報の書かれたページにアクセスし、残したい情報がなければ検索結果ページに戻り、残したい情報があればウィンドウごとVR空間内に配置して新しいウィンドウを立ち上げてもらうためである。同様の理由で、閉じるボタンも排した。VR空間内にブックマークとして残したいウィンドウ以外は、上書きで再利用してもらいたいからである。また、今回は情報検索をメインのタスクとしているため、URLの直接入力にはできないようにした。最後に、リンクをクリックした際の、新しいタブで開く、新しいウィンドウで開く機能は排した。今回の実験では、すべてのブラウザはシングルタブで動作する。これは、1つのウィンドウ内に複数のタブを開く代わりに、複数のウィンドウをVR空間内に配置させるためである。

実際のVR機器上でのブラウザの操作として、ユーザはVRゴーグルをかぶり、上下左右に顔の向きを変えたり、ケーブルの許す範囲で空間内を歩き回ることができる。ブラウザの操作は、主に両手に持ったVRコントローラで行う。コントローラは、今どこにコントローラの先が向けられているかという位置検出と、人差し指で引けるトリガ、握りを検出するサイドボタン、親指で押せるタッチパッドボタンという3つの物理ボタンが有効化されている。トリガを押すと、ブラウザ内では左クリックの役割を持つ。また、新しいウィンドウを生成する場合や、すでに生成したウィンドウをアクティブにする場合にも用いる。サイドボタンを押すと、ブラウザウィンドウをつかむことができる。ウィンドウをつかんだ状態で移動し、つかむのを解除することで、ウィンドウを好きな場所に配置できる。この際、コントローラは両手に持っているため、左右の手でウィンドウをつかみ、引き伸ばしたり縮めたりすることで、ウィンドウを拡大縮小できる。この機能を使うことで、ブラウザウィンドウ内で検索しているときは大きい状態で、空間に配置する場合には小さく縮めて配置することができる。親指で押せる位置にあるタッチパッドは、タッチパッドとしてではなく、押下の検出だけを行う物理ボタンとして用いた。ブラウザを操作している状態でタッチパッドを押すと、履歴を一つ戻ることができる。

3.3 ブックマークを配置する空間の作成

作成した空間内にブックマークとしてウィンドウを配置可能なブラウザに対して、実際にウィンドウを配置するための空間をいくつか用意した。本研究の目的として、どのような空間が場所法に基づいて検索内容を記憶しやすくなるかを明らかにすることである。Yatesによる場所法に関する原書では、記憶したいものを位置付ける空間は博物館や宮殿など、どこでもよいとされているが、VR空間内では、実際の身体的動作や機器的な制限もあるため、最適な空間が変わってくる可能性がある。例えば、長い経路を歩いて部屋ごとに記憶を配置するような空間は、VRでは再現困難である。

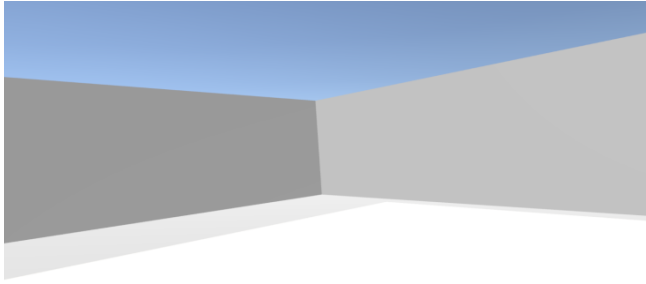


図 2 もっとも抽象的な真っ白で方向が分からない空間

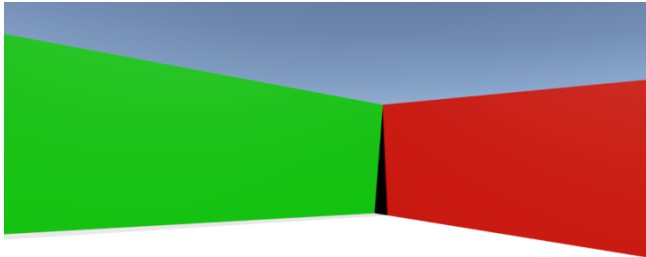


図 3 やや抽象的な壁 4 色に色分けされた空間

そのため、本研究では、段階的に

- もっとも抽象的な、方向が分からない空間、
- やや抽象度の下がった、4 色に塗り分けられた空間、
- 具体的な、場所配置を言葉で表しやすい空間

という 3 つの空間を用意し、それぞれの空間内で検索と結果の整理を可能にした。各空間では差が出ないように、空間の広さは同じ面積にした。

3.3.1 抽象的な空間

もっとも原始的な情報を整理するための空間として、ただ VR 空間内で検索と検索ブラウザを動かすことができるだけの空間を 2 つ作成した。これらの空間では、被験者は何もない空間にウィンドウを生成して検索を行い、気に入ったウィンドウを空間内の好きな場所に配置できる。

1 つめの抽象的な空間は、完全に前後左右の区別のつかない、白い壁だけで四方を囲まれた空間である。実際の空間の画像を図 2 に示す。この空間内では検索を行い、検索ブラウザを好きな場所に配置することはできるが、方向が分からないため、ブラウザ同士の配置はすべて相対的なものになる。そのため、「さっきのページの左に置いた」などという覚え方はできても、「西の方角に置いた」などという覚え方はできない。

2 つめの空間は、1 つめの空間に、方向の概念だけを与えた空間である。実際の空間の画像を図 3 に示す。この空間では、四方の壁が、赤、青、黄、緑の 4 色に色分けされている。これにより、ブラウザの配置が相対的なものだけでなく、絶対位置としての意味を持つようになる。この空間では、例えば、「このトピックに関連するページは赤い壁の方角に、別のトピックに関連するページは青い壁の方角に置こう」というように、方向にあわせた情報の整理ができるようになる。

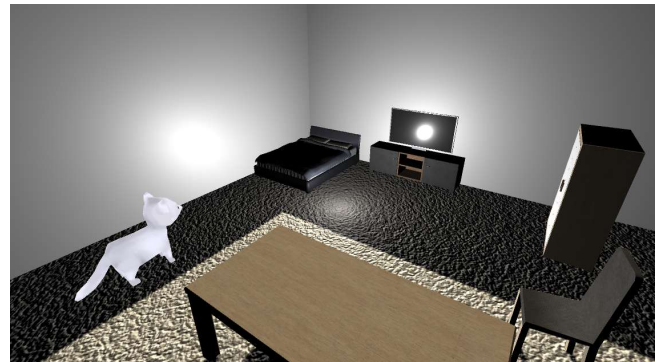


図 4 具体的で言葉で表しやすい家具ありの空間



図 5 既存のブックマークのように順序だけ持つ空間

3.3.2 具体的な空間

2 つの抽象的な空間とは別に、実際の部屋をモチーフにした、具体的な空間を用意した。実際の空間の画像を図 4 に示す。この空間には、本棚、ベッド、机、椅子などの単純な家具が配置されている。この空間では、空間内の座標は、相対的な位置のほかに、方向としての絶対位置を持ち、さらに「この家具の近くに置いた」というような細粒度の絶対位置を持つ。

この空間に配置した家具類は、誰が見てもその名前が思い浮かびやすい家具に限定し、逆に名前を思い浮かべにくい他の物は配置しなかった。これは、人が後から自分がどこに何を置いたかを思い出す際に、家具の名前を手掛かりにすると考えたためである。

この空間では、例えば、「このトピックのこの観点については、テレビのところの左上に置こう」、「別のトピックのこの観点については、ベッドの上に置こう」というように、どのオブジェクトに紐づけて、どう置いたかといったような情報整理が可能になる。

3.3.3 比較実験用の順序だけを持つ空間

従来のウェブブラウザにおけるブックマークは、順序や階層構造だけを持ち、空間的な座標をもたない。比較実験のために、VR 空間上で、順序だけを持つブックマークを再現する空間を作成した。実際の空間の様子を図 5 に示す。

この空間では、ブックマークに残したいと思ったページがあった際に、お気に入りボタンを押すと隣に新しいウィンドウが一つ開く。ユーザはそちらのウィンドウで、検索を続けるこ

とができる。この空間では、ユーザはブラウザを自由に動かすことはできない。そのため、あるページは「あのページより前にブックマークした」、「最初にブックマークした」などの、系列内での順序によってのみ記憶される。

3.4 分析用のログ収集

いずれの空間の検索ブラウザも操作ログが残る。ログには時間、移動した座標、調べた URL が記録される。時間として記録する要素として、ウェブブラウザを生成した時刻や、アクティブ状態になっている時刻が記録される。ブラウザを整理するために動かした場合も、そのブラウザがどこからどこに、いつ移動されたかを記録する。最後に、ブラウザ内のふるまいとして、実際にアクセスしたページについて URL を記録する。

また、VR 空間内で実際に利用者が見ている画面は動画としてキャプチャ可能である。これら 3 つのログと画面キャプチャを合わせることで、ブラウザがどんなウェブページを開きどのように動かされたといった空間内での振る舞いも知ることができる。

4 評価実験

実際にどの空間内で検索させた際にもっとも検索内容が記憶に残るかを確認するために、提案手法を実装し、被験者実験を通じてそれぞれの空間を評価する。

4.1 実装

提案する VR 空間内にブラウザを配置できるようにするため、Unity を使ってシステムを実装した。実装には OpenVR と SteamVR を用いた。本実験では実験用ヘッドマウントディスプレイとして HTC Vive、HTC Vive Cosmos をそれぞれ使用した。実装の際にはルームスケールでのトラッキングを行えるようにし、コントローラによる移動でなく実際に物理的に歩き回って室内にブラウザを配置できるようにした。ブラウザの実装として、Unity 用のアセットとして一般に販売されている Embedded Browser を用いた。Embedded Browser ではデスクトップ用の Chromium ブラウザを VR 空間内で使えるようにしたものである。そのままだと 1 つのブラウザ内で複数のタブが開け、メニューにもアクセス可能であったので、これらの機能は制限するように設定した。

比較手法を含む 4 つの空間をそれぞれ VR 空間内に再現し、

- **真っ白**：方向が分からない空間、
- **壁 4 色**：4 色に塗り分けられた空間、
- **家具あり**：場所配置を言葉で表しやすい空間、
- **既存**：自動でブラウザが水平方向に配置される空間

としてそれぞれ実装した。ひとつめの**真っ白**の空間は縦横 6 メートル、2 メートルの高さを持つ空間である。四方を白色の壁で囲われており、利用者は方向が分からないようになっている。**壁 4 色**の空間も同様に縦横 6 メートル、2 メートルの高さを持つ空間である。空間の構造自体は**真っ白**と変わらないが、四方を囲う壁がそれぞれ赤、青、黄、緑に塗られている。**家具あり**の空間は、縦横 6 メートルの室内に、様々な家具を配置し

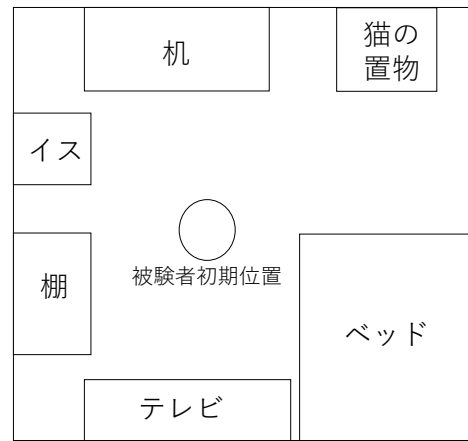


図 6 家具あり空間の見取り図



図 7 実験風景

た空間である。図 6 に示されるとおり、室内にはテレビ、ベッド、棚、机、猫の置物が配置されている。

被験者実験は、専用の実験室で、6.4m × 6.8m の VR 実験用スペースで行われた。実際の実験の様子を図 7 に示す。実際の実験用のセッティングとして、3m 間隔で HTC Vive のトラッキング用センサを置き、被験者はその間で自由に立ち歩いてウェブ検索と結果の整理を行えるようにした。

4.2 実験設定と手順

VR 空間内で検索を行う際に、場所と紐づけて情報を覚えることでより長期的に記憶に定着するかどうか、その度合いを評価した。そのため、6 名の被験者に VR 内で検索タスクを行わせ、ログを収集し、その 1 週間後に検索内容をどれほど覚えていたのかを再度確認した。検索タスクの所要時間は、1 人あたり 2 時間である。

被験者に行わせる検索タスクは、情報を幅広く収集し、整理し、最終的に結論を出すようなタスクとした。被験者は、収集した情報の中から、最終的には意思決定を行い、1 つのランキングを作成する。具体的には、「日本で最もデートに適していると考えられる観覧車」のように、まず候補となる観覧車の一覧を作成し、次に候補に含まれるそれぞれの観覧車について立地

や設備を調べ、最後に適している順に並び替えさせた。

このような検索タスクは、普段の生活の中で、一般的に行われている検索行動を模している。例えば、スマートフォンを新しく買うとする。そのときにはスマートフォンの画質や性能等の情報を集めた上で、どのスマートフォンがいいのかを決定する。このように検索を行う際に情報を多く集め、求めている情報を自分の中で精査し取捨選択する行動は、自然な検索行動である。

実際の実験手順として、はじめに被験者は事前に検索の操作方法と VR を使用したことがあるのか等のアンケートを回答した。次に被験者は VR の操作に慣れるために 30 分間提案システムを操作して、自由にウェブブラウジングを行った。その後 30 分の休憩をとったのち、1 時間にわたって 4 つの空間において検索タスクを行った。検索タスク終了後、被験者は検索を行った内容から自分なりの検索結果を順位付けし、上位 3 件を選んだ。そして、1 週間後に、検索結果の上位 3 件をどれだけ覚えていたかを回答した。

4.3 実験タスク

被験者が多くの情報を調べ、情報を取捨選択し、意思決定を行う検索タスクとして、

- **観覧車**：日本でデートに適していると考えられる観覧車、
- **移住先**：30 歳が移住した際に、仕事と子育てに適した九州の県

のそれぞれ上位 3 件を選ぶという検索タスクを設定した。

この 2 つのタスクでは複数の検索を行わないとランキングを作成できない。観覧車のタスクでは、“最もデートに適している”という抽象的な検索目的が与えられ、複数の観覧車に関する Web サイトを次々に閲覧し、被験者自身がデートに適していると思われる情報を調べる必要がある。移住先のタスクでは、“仕事と子育てを行うのに適した”という検索目的から、九州の各県について、様々な観点から仕事と子育てそれぞれに適しているかを調べさせる。それらの情報を比較し、精査したうえで、最終的に 3 位までのランキングを作成させる。被験者自身の意思決定を行わせるために、まとめサイトやランキングサイトのみを閲覧してランキングを作成することを禁止した。

4.4 被験者

順序効果を考え 4 つの空間の組み合わせを作成した。各手法の優劣を議論するうえでは最低 12 名の被験者が必要なため、表 1 に表される組み合わせについてのみ検証した。このタスクでは、最初に提案手法を行う被験者と後で提案手法を行う被験者が同数ずついることになる。またタスクも 2 種類、空間が 4 種類あるため、12 人の被験者で空間の前後とタスクの前後を入れ替えた順序で行った。

4.5 当日と 1 週間後の評価

当日の評価では、被験者が行った検索タスクでのランキングの上位 3 件を回答させた。1 週間後の評価では、被験者がどれだけ覚えていたかを回答させた。

ランキング項目以外に、どの情報をどこに置いたのかを覚え

表 1 実験時のタスクと空間の組み合わせ

| | 先のタスク | 後のタスク | 先の空間 | 後の空間 |
|--------|-------|-------|-------|-------|
| 被験者 1 | 観覧車 | 移住先 | 家具あり | 壁 4 色 |
| 被験者 2 | 観覧車 | 移住先 | 家具あり | 真っ白 |
| 被験者 3 | 観覧車 | 移住先 | 家具あり | 既存 |
| 被験者 4 | 観覧車 | 移住先 | 壁 4 色 | 家具あり |
| 被験者 5 | 観覧車 | 移住先 | 真っ白 | 家具あり |
| 被験者 6 | 観覧車 | 移住先 | 既存 | 家具あり |
| 被験者 7 | 移住先 | 観覧車 | 家具あり | 壁 4 色 |
| 被験者 8 | 移住先 | 観覧車 | 家具あり | 真っ白 |
| 被験者 9 | 移住先 | 観覧車 | 家具あり | 既存 |
| 被験者 10 | 移住先 | 観覧車 | 壁 4 色 | 家具あり |
| 被験者 11 | 移住先 | 観覧車 | 真っ白 | 家具あり |
| 被験者 12 | 移住先 | 観覧車 | 既存 | 家具あり |

ているかについても、それぞれ回答させた。また、思い出す際にどのように思い出せたのかを回答させた。これらは想起と再認を判断するためである。想起を確認するためにランキングそのものを覚えているかを聞き、再認を確認するためにどこに置いたのかを覚えているかを聞いた。

4.6 実験結果

本実験では記憶がどれほど定着できたのかを計測するために、検索タスクでのランキングが当日と 1 週間後で一致しているかを判断する。今回の実験では、被験者の記憶定着度合いは検索タスクのランキングでは評価できなかったが、情報をどれ程記憶できているかという質に違いが見られた。被験者 u があるタスク t で作成したランキングの i 位の要素について、作業直後の回答を a_{morrow} 、1 週間後の回答を a_{later} とおくと一致度 $co(u, t, i)$ は

$$\begin{cases} 1 : a_{\text{morrow}} = a_{\text{later}}, \\ 0 : \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

と定義できる。このとき、あるタスク t の検索結果が被験者 u の記憶に定着した度合いを、一致度の平均として

$$f_{\text{task}}(t, u) = \sum_{i=1}^{\text{ranknum}} \frac{co(u, t, i)}{\text{ranknum}} \quad (2)$$

と定義する。ただし今回は $\text{ranknum} = 3$ と設定した。この値を空間ごとにまとめると、その空間 r で行われたタスクを集合を $T(r)$ と表した場合、

$$\sum_{t \in T(r)} \frac{f_{\text{task}}(t, u_t)}{|T(r)|} \quad (3)$$

となる。この際、その部屋で行われたあるタスクの実行者を u_t と表した。

表 2 から、家具ありの空間は真っ白な空間よりも記憶定着は支援できるが壁 4 色の空間よりは定着率が劣る結果となっている。

各空間における情報を置いた場所を覚えている人数と調べた情報を覚えている人数を表 3 に示す。情報を置いた場所を覚えているかでは全ての情報を覚えている人数の割合が最も高い

表 2 各空間の記憶定着度

| 空間 | 1 位 | 2 位 | 3 位 | 全て |
|-------|------|------|------|------|
| 家具あり | 0.91 | 0.83 | 0.91 | 0.89 |
| 壁 4 色 | 1.00 | 1.00 | 0.75 | 0.91 |
| 真っ白 | 0.50 | 0.50 | 0.75 | 0.58 |
| 既存 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 |

表 3 各空間の情報記憶定着人数

| 空間 | 情報を置いた場所 | | どんな情報を調べたのか | |
|-------|----------|--------|-------------|--------|
| | 覚えている | 覚えていない | 覚えている | 覚えていない |
| 家具あり | 11 | 1 | 11 | 1 |
| 壁 4 色 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 真っ白 | 2 | 2 | 1 | 3 |
| 既存 | - | - | 1 | 3 |

のは家具ありの空間であった。また、どんな情報を調べたのかを覚えている人数の割合も最も高いのは家具ありの空間である。

5 考 察

本章では、実験結果から各空間の情報定着の支援、VR 慣れ、順序効果、記憶の 4 段階に着目し提案手法が記憶定着を支援したかを議論する。全体を通して、すべての部屋において検索結果の 1 週間後の記憶度合いが高かった。提案手法である**家具あり**の部屋での記憶タスクについて、全被験者を平均すると特に記憶定着度が高くなる傾向はなかったが、どれだけ検索結果の細部を覚えているかに差が見られた。

初めに各手法ごとに結果を議論する。**家具あり**の空間では、全空間内で 2 番目に記憶定着度が高くなった。また、情報を置いた場所を覚えているかでは最も高い割合となった。**家具あり**では既存手法と比べ、被験者が検索中に動いていた範囲が多い。このことから空間の差に加え、身体を動かすという身体動作が記憶定着へ影響を与えた可能性が考えられる。注意したい事項として、この組み合わせで実験を行った被験者のうち 1 名が、情報と言葉を紐づけて覚えるという独自の記憶法を用いていた、具体的には、**家具あり**の空間において、家具に配置した場所と情報で語呂合わせを作って覚えていた。この被験者は、**既存**の空間でも、ランキングの順位と県名を語呂合わせにすることで、無理矢理覚えていた。このような覚え方をした際にも、**家具あり**の空間では調べた情報を全て覚えていたのに対し、**既存**の空間では一部の情報を忘れていた。語呂合わせなどの既存の記憶法と結びつけるとしても、言葉に表しやすいものと VR 空間内で関連付けさせることは、記憶定着に有効であると考えられる。

壁 4 色の空間では全空間内で最も記憶定着度が高かったが、情報を置いた場所や調べた情報を覚えているかどうかでは半分の人数が覚えていないと回答していた。**家具あり**の空間と比べ、置いた場所を間違えて覚えていることが多く、具体的には、本来は 2 位であるはずの観覧車の情報を置いた場所と、3 位の観覧車の情報を置いた場所を逆に覚えていた。

真っ白の空間では、他のすべての空間に比べて、記憶定着度が最も低くなった。これは**家具あり**や**壁 4 色**と比べてブラウザと自身の位置が設定しづらく、どこに何を置いたのかを纏めることが大変だったためである可能性がある。具体的には、ある被験者は**真っ白**の空間で自身の右に全国の観覧車のまとめを置き、左側に各観覧車の情報を置いたと回答していたが、左右の情報の配置を間違えて覚えておりその内容も詳細には覚えていなかった。

既存の空間は、被験者が検索結果を覚えていない場合が一番多かった。これは、**家具あり**のようにブラウザを動かさずまとめる動作ができなかったからだと考えられる。具体的には、ある被験者に注目すると、移住先タスクにおいて、働きやすさ、交通の便、子育てへの影響が良い場所の 3 つを調べていたが、1 週間後ではどのような情報を調べたのか覚えていなかった。一方で、記憶定着度に注目すると、**真っ白**の空間よりも記憶定着度が高くなった。これは、**真っ白**の空間では被験者が能動的に纏めるという動作が作業的に負荷が高かったため、操作に注力してしまい、結果的に楽だった**既存**の空間の方が情報に注目しやすく、より記憶に定着したのではないかと考えられる。

VR 慣れについて、1 回目のタスクよりも後のタスクの方が慣れて操作しやすくなったと、被験者全員が回答した。VR 慣れによる影響として、後に行った結果の方がより記憶定着傾向が高くなる可能性がある。多くの被験者は、後に行った検索タスクよりも前に行った検索タスクの方が情報の記憶定着度合いが高かった。一部の被験者は先に行った検索タスクの方が後に行った検索タスクより情報を詳細に覚えていた。1 名の被験者は全体的に両タスクで結果を記憶していなかったため、異常値として除いて考えると、後に行った検索タスクが異常に結果が高くなっているわけではない。このことから VR 慣れでの影響は少ないと考えられる。

順序効果も記憶への定着に影響を与えた可能性がある。VR 体験が初めての被験者が多かったため、最初に行ったタスクにおける検索結果が強く記憶に残った可能性がある。今回の実験では、先に**家具あり**の空間を体験した被験者は、後の空間での記憶力が相対的に低くなった。先に行った検索タスクの方がより新鮮さがあり、ランキングに顕著に差が出たのではないかと考える。その上で**家具あり**の空間を後に行った被験者では、先に行った検索タスクの情報より後に行った検索タスクの情報の方が記憶に定着していた。そのため順序効果は結果に影響を及ぼしているが、順序効果を考慮した上でも**家具あり**の空間では記憶定着を支援できると考えられる。

本研究では記憶の定着を支援することを目的としている。そのため記憶の 4 段階のうち、想起と再認を確認する。想起はランキングを覚えているかどうかで確認した。しかし、今回の実験ではどの空間を行った被験者も記憶精度の差は大きくでなかった。それは今回の検索タスクが簡単であったことが考えられる。簡単な検索タスクの上位 3 件であることと、普段体験しない VR という体験からより記憶に残っていたために差がでなかった。そのため、提案手法である**家具あり**の空間でより想起が行われたかどうかは判断できない。一方で、再認では、家

具ありとそれ以外の空間で、情報を置いた場所や調べた情報を記憶しているかの違いが表れた。家具ありではそれ以外の空間よりも情報を置いた場所を覚えており、かつ調べた情報をより詳細に覚えていた。家具ありではそれ以外の空間よりも再認がより行われたと考えられる。

これらのことから、場所法に基づく記憶支援の可能性について、想起できる検索結果の数には大きな差は見られないが、覚えている内容の量に影響を与えた可能性が示唆された。

6 まとめと今後の課題

本研究では場所法に基づき VR 空間内で検索を行った検索ブラウザを自身で配置することにより検索結果を思い出しやすくする「空間的ブックマーク」を提案した。言葉で表しやすい空間、4色に色分けされた空間、一面真っ白な空間、既存手法という4つの空間をVR空間内に作成し、実際にWebから情報収集させる被験者実験を行った。実験から1週間後に、アンケート調査によって、検索内容についてどれだけ覚えているかを調査した。実験結果からは、検索タスクがあまりにも簡単であったので、ランキングの当日と後日の評価を正確に計測することが出来なかった。しかし、各空間ごとに情報の定着の質が異なった。家具ありでは調べた情報の内容を詳細に覚えており、置いた場所も正確に覚えていた。壁4色と真っ白では情報がうろ覚えであったり、情報を置いた場所を忘れていたりした。既存では調べた情報の一部を忘れていた。これらの手法の内、家具ありが一番情報の記憶定着に有効であった。

本研究では、実験での検索タスクが簡単すぎたためランキングでの正確な記憶定着が計測できなかった。そのため今後行う際には検索タスクの困難さの調節が必要である。さらにランキングの個数も検討が必要である。本実験では上位3つを被験者に作成してもらったが、VR体験に慣れていない被験者からすると体験自体が印象に残り、上位3件程度であれば比較的容易に思い出せた可能性がある。そのため上位3つ以上のランキングの作成も考慮する。また被験者も本実験では最少人数で行ったため、今後行う際には被験者の人数を増やす必要がある。

謝 辞

本研究はJSPS科研費18K18161(代表:莊司慶行), 18H03243(代表:田中克己)の助成を受けたものです。ここに記して謝意を表します。

文 献

- [1] Lewis Carter and Leigh Ellen Potter. Spatial Virtual Keyboard for Wand Based Virtual Reality. In *Proceedings of the 5th Symposium on Spatial User Interaction*, pp. 161–161, 2017.
- [2] Marco Speicher, Anna Maria Feit, Pascal Ziegler, and Antonio Krüger. Selection-based Text Entry in Virtual Reality. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–13, 2018.
- [3] Costas Boletsis and Stian Kongsvik. Text Input in Virtual Reality: A Preliminary Evaluation of The Drum-like VR Keyboard. *Technologies*, Vol. 7, No. 2, p. 31, 2019.
- [4] Jacqui Fashimpaur, Kenrick Kin, and Matt Longest. Pinchtype: Text Entry for Virtual and Augmented Reality Using Comfortable Thumb to Fingertip Pinches. In *Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '20, pp. 1–7, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery.
- [5] Jaime Teevan, Eytan Adar, Rosie Jones, and Michael AS Potts. Information re-retrieval: Repeat queries in yahoo's logs. In *Proceedings of the 30th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval*, pp. 151–158, 2007.
- [6] Frances Amelia Yates. *The Art of Memory*, Vol. 64. Random House, 1992.
- [7] Tom Hartley, Colin Lever, Neil Burgess, and John O'Keefe. Space in The Brain: How The Hippocampal Formation Supports Spatial Cognition. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, Vol. 369, No. 1635, p. 20120510, 2014.
- [8] Vincent Hok, Etienne Save, Pierre-Pascal Lenck-Santini, and B Poucet. Coding for Spatial Goals in The Prelimbic/Infralimbic Area of The Rat Frontal Cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 102, No. 12, pp. 4602–4607, 2005.
- [9] Dung C. Bui, Joel Myerson, and Sandra Hale. Note-Taking with Computers: Exploring Alternative Strategies for Improved Recall. *Journal of Educational Psychology*, Vol. 105, No. 2, p. 299, 2013.
- [10] Gilles O. Einstein, Joy Morris, and Susan Smith. Note-Taking, Individual Differences, and Memory for Lecture Information. *Journal of Educational psychology*, Vol. 77, .
- [11] Gordon H. Bower and Stephen G. Gilligan. Remembering Information Related to One's Self. *Journal of research in personality*, Vol. 13, No. 4, pp. 420–432, 1979.
- [12] Eric Krokos, Catherine Plaisant, and Amitabh Varshney. Virtual Memory Palaces: Immersion aids Recall. *Virtual Reality*, Vol. 23, No. 1, pp. 1–15, 2019.
- [13] Kyoko Hine and Hodaka Tasaki. Active View and Passive View in Virtual Reality Have Different Impacts on Memory and Impression. *Frontiers in psychology*, Vol. 10, , 2019.
- [14] Nash Unsworth and Randall W. Engle. The Nature of Individual Differences in Working Memory Capacity: Active Maintenance in Primary Memory and Controlled Search from Secondary Memory. *Psychological review*, Vol. 114, No. 1, p. 104, 2007.

- [1] Lewis Carter and Leigh Ellen Potter. Spatial Virtual Keyboard for Wand Based Virtual Reality. In *Proceedings of the 5th Symposium on Spatial User Interaction*, pp. 161–161, 2017.
- [2] Marco Speicher, Anna Maria Feit, Pascal Ziegler, and Antonio Krüger. Selection-based Text Entry in Virtual Reality. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–13, 2018.
- [3] Costas Boletsis and Stian Kongsvik. Text Input in Virtual Reality: A Preliminary Evaluation of The Drum-like VR