

VR で提示する環境的文脈が記憶に与える影響

瑞穂嵩人, 鳴海拓志, 葛岡英明

東京大学大学院 情報理工学系研究科

概要: 人間の記憶は環境の影響を受けることが知られている。しかし, VR で提示する環境が, 現実の環境と同等に記憶に作用するかどうかは明らかでない。そこで本研究では, ひらがな三文字の単語の記憶課題において, VR 内で記銘を行う条件と現実内で記銘を行う条件を設定し, 参加者内比較を行った。全く新しい現実環境において自由再生テストを行った結果, VR 内記銘条件で有意な記憶成績の低下が見られた。この結果から現実と VR では異なる心的文脈が記憶に符号化される可能性が示唆された。

キーワード: 文脈依存記憶, 環境的文脈, バーチャルリアリティ

1. はじめに

エピソード記憶は焦点情報と文脈から構成される。焦点情報とは「何が起ったか」というエピソードの中心情報であり, 文脈とは「どこで」「いつ」のようなそれ以外の偶発的な情報である。文脈は焦点情報とともに記憶に符号化され, 焦点情報の想起において手がかりとして機能することが知られている [1, 2]。例えば故郷を訪れたとき, 過去の記憶が自然と思い出された経験はないだろうか。この例は, 故郷の風景という文脈が手がかりとして機能し, 当時の出来事の想起が促されたと説明される [3]。このように記憶活動が文脈の影響を受けることを記憶が文脈に依存しているといい, そのような性質を持つ記憶を文脈依存記憶と呼ぶ。

あるエピソードの場所や時間といった周囲の環境情報およびその表象のことを特に環境的文脈という。環境的文脈依存記憶研究では, 場所, 音, 匂い, 他者などの物理的な環境を操作する方法や [4, 5, 6], 写真や動画, 特定の問答によって頭の中にイメージさせた心的な環境を操作する方法が用いられてきた [7, 8, 9]。これらに続く新たな文脈操作手法として, バーチャルリアリティ (VR) 技術の利用が検討され始めている [10]。

VR による環境的文脈操作は大きく二つの利点を持つ。一つはコストが極めて低い点である。例えば従来の場所文脈操作は必ず移動を必要としたが, VR ではこれを省略することができる。もう一つは習熟によらず文脈が操作可能な点である。写真や動画を用いた方法では映像の環境に自己を投影する心的過程を必要とするが [2], VR は直接的に環境に没入したような体験を与える。しかし VR で提示する環境的文脈が従来の環境的文脈と同等に記憶に作用するかは明らかではない。そこで本研究では, VR 内で記銘を行う条件と現実内で記銘を行う条件で, 最終的な想起テストの成績に差異があるかを検証し, VR による環境的文脈操作が記憶に与える影響を明らかにすることを目指す。

2. 関連研究

環境的文脈依存記憶研究の中で最も研究されてきたのは復元効果である。復元効果とは記銘時の文脈が想起時の文

脈と一致していると, 一致していない場合に比べて高い記憶成績が確認されるという効果である。想起時に記銘時の文脈が与えられることを復元という。Godden & Baddeley は陸上と水中という二つの相異なる文脈を用いて復元効果を確認した [4]。水中における自由再生テストでは, 水中で記銘を行った条件の方が陸上で記銘を行った条件に比べて正答率が高かった。また陸上における自由再生テストでは, 陸上で記銘を行った条件の方が水中で記銘を行った条件に比べて正答率が高かった。このように復元効果および文脈依存記憶は, 実験操作によって相異なる環境的文脈を作り出すことで実験的に観測することができる。

しかしどの環境要素の操作によって確実に文脈を操作できるのかは明らかになっていない。Smith は場所, 音, 匂いのような物理的な要素と気分, 感情のような内的な要素を統合した心的文脈という概念を用いて, 文脈依存記憶は心的文脈が操作された場合にのみ確認されるという説を提唱している [11]。この考えは陸上と水中のように文脈変化が極端に大きい場合や [4], 大学と自宅を用いて場所と内的状態を同時に操作した場合 [12], 場所, 実験者, 取り組む課題を複合的に操作した場合 [13] に安定した文脈依存記憶が確認されることから支持されている。

VR による環境的文脈操作は未だほとんど研究が行われていない。唯一 Lanen & Lamers はある同じ環境 A の現実版 (R_A) と VR 版 (V_A) を用意し, 二つの環境的文脈の間で復元効果が生じるかどうかを検証した。その結果 V_A における想起テストでは, V_A で記銘を行った条件の方が R_A で記銘を行った条件に比べて正答率が高かった。また R_A における想起テストでは, R_A で記銘を行った条件の方が V_A で記銘を行った条件に比べて正答率が高かった。以上の結果から現実内記銘では現実という文脈が符号化され, VR 内記銘ではそれとは全く異なる VR という文脈が符号化される可能性が示唆された。しかし単に R_A と V_A が視覚的に同一でなかったことに由来する復元効果であるという解釈を否定できない。 V_A として全天球写真やフォトリアリスティックな CG を使用すれば復元効果が見られなくなる可能性は

十分に考えられる．そこで本研究では視覚情報による復元効果を排除し，リアルな環境的文脈と VR の環境的文脈に視覚以上の本質的な差異があるかどうかについて検証する．

3. 実験方法

現実内記銘と VR 内記銘で符号化される環境的文脈に差異があるかを検証した．実験参加者はヘッドマウンテッドディスプレイ（HMD）を用いて VR 内で 15 単語，平面ディスプレイを用いて現実内で別の 15 単語を覚え，最後に完全に新しい現実環境において全 30 単語の自由再生を求められた．再生された単語のうち，VR 内で覚えた単語の数と現実内で覚えた単語の数を比較した．実験手順は Smith, Glenberg & Bjork [6] や Smith & Manzano [8] を参考にした．

3.1 実験参加者

東京大学の日本語を母語とする男子大学生，大学院生 8 名が実験に参加した．男性に限定したのは，VR 内記銘におけるアバタが男性アバタであり，アバタと実際の性別の不一致が意図せず認知に影響を与える可能性を排除するためである．また日本語母語話者に限定したのは，記銘材料である単語リストに対する親和度を統一するためである．実験参加者は，実験終了後，謝礼として 3000 円を支払われた．

3.2 実験条件および実験装置

実験は参加者内計画で行い，以下の二条件を設定した．

- VR 内記銘条件（図 1）

単語の記銘を HMD（HTC Vive Pro）を用いて VR 内で行った条件．アバタは IKINEMA 社提供の男性アバタを使用し，IKINEMA 社のアプリケーション Orion を用いたフルボディモーショントラッキングを行った．SONY WH-1000XM3 ヘッドホンでバーチャル環境の環境音を提示した．

- 現実内記銘条件（図 2）

単語の記銘を平面ディスプレイを用いて現実内で行った条件．平面ディスプレイは BenQ ET-0027（幅 570mm × 高さ 412.6mm，24 インチ，解像度 1920 × 1080）を使用した．SONY WH-1000XM3 ヘッドホンでバーチャル環境の環境音を提示した．

実験参加者の半数の 4 名が VR 内記銘条件-現実内記銘条件の順で，残り 4 名が現実内記銘条件-VR 内記銘条件の順で実験を行うことで順序のカウンターバランスをとった．

各ディスプレイ上には Unity を用いて，記銘材料である単語と環境的文脈を描画した．単語の見かけ上の位置，大きさ（視野角 3 度以内），色（黒）は参加者間および条件間で統制した．単語に隣接した背景は，条件間で同一とする両条件の単語群が同じ背景と結びついて符号化される可能性があり [14] 仮説検証に不適であったため，各条件にそれぞれ異なるバーチャルな環境的文脈を利用した．用意した二つのバーチャルな環境的文脈と各条件の組み合わせという要因は参加者間でカウンターバランスをとり統制した．



図 1: VR 内記銘条件および実験装置．

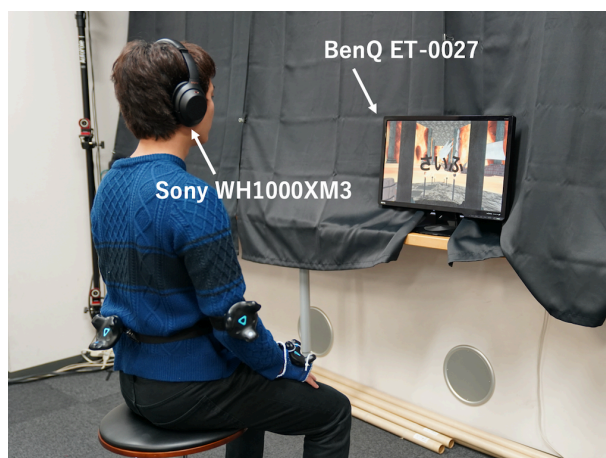


図 2: 現実内記銘条件および実験装置．

3.3 記銘材料

実験参加者は，単語間や単語-文脈間に意味的な関係のない，一般的な，ひらがな 3 文字の日本語名詞 30 語を記憶するよう指示された（表 1）．提示順序は固定され，前半の 15 単語と後半の 15 単語がそれぞれ異なる条件に割り当てられた．単語は Smith, Glenberg & Bjork [6] や Isarida & Isarida [14] を参考に選定し，事前の予備実験を通じてその妥当性を調整した．単語間の意味的な関係の有無については，実験終了後のアンケートによっても確認した．

表 1: 単語リスト．単語間や単語-文脈間に意味的な関係のない，一般的な，ひらがな 3 文字の日本語名詞 30 語で構成した．提示順序は固定．

前半			後半		
1	えいが	9	おとな	1	かぶと
2	ぐんま	10	でんわ	2	はがき
3	かがみ	11	いちご	3	すいそ
4	こたえ	12	からす	4	まつり
5	きつね	13	えほん	5	えがお
6	あたま	14	もみじ	6	ばいく
7	みなみ	15	ほたる	7	おなら
8	くらげ			8	いるか
				9	うどん
				10	まくら
				11	ふすま
				12	うきわ
				13	おかね
				14	くるみ
				15	とかい



図 3: Context Magma の全天球写真。マグマが流れる洞窟内。橙色を基調とし、ゴーゴーと地鳴り音が聞こえる。

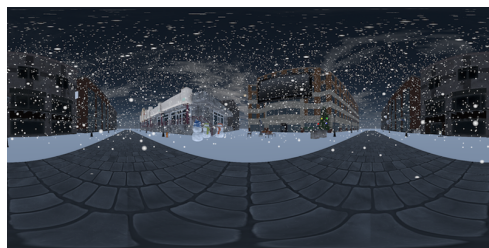


図 4: Context Snow の全天球写真。雪が降る夜の街。白色を基調とし、ヒューヒューと風切音が聞こえる。

3.4 文脈

記銘は東京大学工学部 2 号館 9 階の一室の一角で行った。他方想起テストは東京大学 2 号館 9 階の別の一室で行った。テスト時の部屋は記銘時の部屋と色合いや大きさ等が異なり、かつ 5 分以内で移動可能な場所として選出した。

提示したバーチャルな環境的文脈は次の二つである。一つはマグマのたぎる洞窟である (Context Magma, 図 3)。色は黄色やオレンジを基調とし、視覚情報と整合性のあるゴーゴーという地鳴り音を提示した。他に岩、木製の船、松明、樽、宝箱などを配置した。もう一つは雪の降る夜の街である (Context Snow, 図 4)。色は白を基調とし、視覚情報と整合性のあるヒューヒューという風の音を提示した。他に雪だるま、ベンチ、女神像、街頭テレビ、クリスマスツリーなどを配置した。以上二つは屋内/屋外、明るさ、色合い、音、視覚的な温度、置いてあるものなどが互いに異なるように設計した。以上に述べた全ての環境的文脈は、全実験参加者にとって初めて訪れた/見た環境であった。

3.5 手続き

実験参加者はまず初めに研究内容について説明され、実験参加に同意する旨の書類に署名した。続いてまず一つ目の条件で 10 分程度のインプットセッションを行った。一度部屋を退出し廊下で 5 分待機した後、部屋に戻り二つ目の条件で 10 分程度のインプットセッションを行った。その後 5 分の保持インターバルの間に部屋を移動し、15 分程度のテストセッションを行った。実験終了が告げられ、最後に実験全体に関するアンケートに回答した。

インプットセッションではまず装置の装着と動作確認を行った。VR 内記銘条件ではアバタに慣れるために鏡を見ながら 30 秒ほどの準備運動を行った。準備運動が意図せず記憶成績に影響を与える可能性を排除するために現実内記銘条件でも同様の準備運動を行った。この時ディスプレイ上に

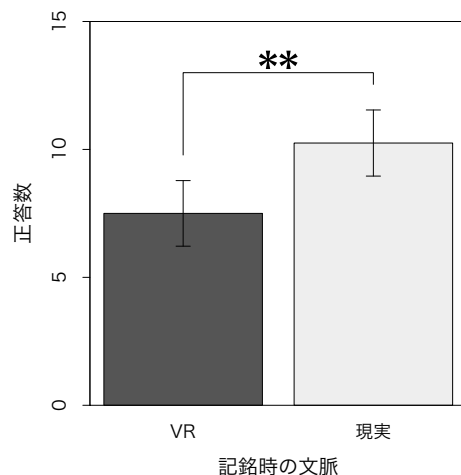


図 5: 各条件の自由再生テストの正答数。エラーバーは標準誤差。VR 内記銘条件に比べて現実内記銘条件の方が正答数が高かった (** $p < .01$)。

は適当な環境が表示されていた。続いてディスプレイ上に Context Magma あるいは Context Snow が表示され、「これから単語が提示されるので出来るだけ多く覚えてください。順番は問いません。」と指示された。その後 1 単語あたり 5 秒の速度で計 15 単語が提示された。

テストセッションでは参加者は「実験中に覚えたひらがな 3 文字の単語を全て書き出してください。順番は問いません。」と指示され、10 分間の自由再生テストを行った。回答はノートパソコンにタイピングすることで行った。

3.6 仮説

評価指標はテストセッションにおける自由再生テストの正答数とし、現実内記銘条件の方が VR 内記銘条件に比べて正答数が多いを仮説として設定した。現実内記銘条件と VR 内記銘条件で符号化される環境的文脈は異なると考えられる。現実内記銘条件では記銘時に現実であるという環境的文脈が符号化され、テスト時には現実であるという環境的文脈が復元されるため、高い正答数が期待される。他方 VR 内記銘条件では記銘時に VR であるという環境的文脈が符号化され、テスト時に VR であるという環境的文脈が復元されないため、低い正答数を示すと考えられる。

4. 結果と考察

自由再生テストの正答数を図 5 に示す。全 15 単語中、VR 内記銘条件では平均 7.50 単語 ($SD = 3.63$)、現実内記銘条件では平均 10.25 単語 ($SD = 3.65$) であった。各条件の正答数についてシャピロ-ウィルク検定を行ったところ正規性が確認されたため ($ps > 0.1$)、二条件の平均値の差について対応のある t 検定を行った結果、有意に現実内記銘条件の方が正答数が多かった ($t(7) = 3.92, p < .01$)。

現実内記銘条件の方が VR 内記銘条件に比べて高い正答数を示し、仮説を支持する結果が得られた。どちらの条件も同じ部屋内での記銘であったにもかかわらず想起成績に差が生じたことから、VR によって現実の部屋とは別の環境

的文脈での体験を与えることができていたと言える。またどちらの条件も記憶時の風景や音などの環境的文脈は想起時に復元されなかったため、もし現実の環境的文脈とVRの環境的文脈が等質ならば、復元効果に基づきどちらの条件でも同程度低い記憶成績を示すはずである。しかし条件間の想起には有意な差が確認された。したがって現実とVRの環境的文脈は等質ではなく、それらの間には風景や音といった物理的文脈以外の差異が存在することが示唆された。

これは Smith の心的文脈 [11] の概念で説明できる可能性がある。現実の環境的文脈は現実であるという心的文脈を、VR の環境的文脈は VR であるという心的文脈を含んでおり、これら二つは異なるものとして認知されていたと考えられる。すなわち、現実内記憶条件が高い記憶成績を示し VR 内記憶条件が低い記憶成績を示したのは、想起テスト時に現実であるという心的文脈が復元され、VR であるという心的文脈が復元されなかったからであると考えられる。現実であるという心的文脈は普段意識しないような物の見え方であったり、整合性を持った知覚情報であったり、日常生活の平穏な心持ちであったりといった様々な要素が複合して構成される。他方 VR であるという心的文脈は HMD をかけている感覚であったり、CG 世界に没入している感覚であったり、それに伴う高揚感であったりといった様々な要素が複合して構成されると考えられる。

別の解釈として、VR 内記憶の方が現実内記憶に比べて記憶に符号化される情報の量が少なかった可能性も考えられる。本実験系ではこの解釈を否定する根拠を持たないが、Lanen & Lamers の研究では VR 内記憶と現実内記憶で記憶量に差はないとしている [10]。よって本実験においても記憶量に差があった可能性は低いと考えている。

現実であるという心的文脈は、従来の環境的文脈依存記憶研究においてどの条件にも共通する文脈であったため意識されることがなかった。その点 VR による環境的文脈操作の登場は、単に従来の文脈操作を容易にすることにとどまらず、現実であるという新たな環境的文脈を浮き彫りにしたと言える。現実とは異なる VR という新たな環境的文脈の特性については、今後一層明らかにしていく必要がある。

5. むすび

本稿ではひらがな 3 文字の単語リストの記憶課題において、現実内で記憶を行う条件と VR 内で記憶を行う条件を比較し、現実内記憶条件の方が現実における自由再生テストで高い成績を示すことを確認した。このことから現実の環境的文脈と VR の環境的文脈では、物理的環境以上に心的文脈に差異がある可能性が示唆された。この結果は VR による記憶支援の可能性を閉ざすものではない。例えば様々な文脈で学習を行うことで記憶の文脈依存性が消失し記憶が定着する効果が知られており [6, 7]、多様な文脈を低コストで提示することができる VR 技術とは相性がよい。さらなる実験によって VR による環境的文脈操作が記憶に与える影響を明らかにし、VR を用いた様々な記憶支援の形を探っていく。

謝辞 本研究に適切なアドバイスをいただいた武見充晃氏に謝意を表す。本研究の一部は JST さきがけ JPM JPR17J6 (17939529) の支援を受けておこなわれた。

参考文献

- [1] S. M. Smith & E. Vela. Environmental context-dependent memory: A review and meta-analysis. *Psychonomic bulletin & review*, 8(2), 203–220, 2001.
- [2] S. M. Smith. Effects of environmental context on human memory. In *The SAGE Handbook of Applied Memory*, 162–182, 2013.
- [3] S. M. Smith. Environmental Context-Dependent Memory. In *Memory in Context: Context in Memory*, 13–34, 1988.
- [4] D. R. Godden & A. D. Baddeley. Context-dependent memory in two natural environments: On land and underwater. *British J. of Psychol.*, 66(3), 325–331, 1975.
- [5] T. K. Isarida et al. Reexamination of mood-mediation hypothesis of background-music-dependent effects in free recall. *Quarterly J. of Exp. Psychol.*, 70(3), 533–543, 2017.
- [6] S. M. Smith, A. Glenberg & R. A. Bjork. Environmental context and human memory. *Memory & Cognition*, 6(4), 342–353, 1978.
- [7] S. M. Smith & J. D. Handy. The crutch of context-dependency: Effects of contextual support and constancy on acquisition and retention. *Memory*, 24(8), 1134–1141, 2016.
- [8] S. M. Smith & I. Manzano. Video context-dependent recall. *Behavior Research Methods*, 42(1), 292–301, 2010.
- [9] S. M. Smith. Remembering in and out of context. *J. of Exp. Psychol.: Human Learning and Memory*, 5(5), 460–471, 1979.
- [10] M. Lanen & M. H. Lamers. Context-Dependent Memory in Real and Virtual Reality. In *Euro VR 2018*, 177–189, 2018.
- [11] S. M. Smith. Mood is a component of mental context: Comment on Eich (1995). *J. of Exp. Psychol.: Gen.*, 124(3), 309–310, 1995.
- [12] 漁田武雄, 漁田俊子. 授業と自宅学習の間で生じる文脈依存記憶. *静岡県立大学短期大学部研究紀要*, 13(2), 205–211, 1999.
- [13] 漁田俊子, 漁田武雄. 記憶文脈の物理的および心的復元がカテゴリーリストの自由再生におよぼす効果. *静岡県立大学短期大学部研究紀要*, 12(2), 25–34, 1999.
- [14] T. Isarida & T. K. Isarida. Environmental context effects of back-ground color in free recall. *Memory & Cognition*, 35(7), 1620–1629, 2007.