



# 360 度動画 VR を用いた環境的文脈操作が 対連合学習に与える影響

瑞穂嵩人<sup>1)</sup>, 鳴海拓志<sup>1)</sup>, 葛岡英明<sup>1)</sup>

Takato MIZUHO, Takuji NARUMI, and Hideaki KUZUOKA

1) 東京大学大学院情報理工学系研究科

(〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, {takato, narumi, kuzuoka}@cyber.t.u-tokyo.ac.jp)

**概要:** 学校で習った内容を自宅や図書館で復習するといったように、環境を様々に変えながら学習を行うと記憶の定着が促進される。本研究では、360 度動画で構成した 7 つの相異なる実写 VR 環境を用いて、多様なバーチャル環境下での学習体験を与えることでも、同様の記憶定着効果が生起するか検証する。同時に、現実での体験と同様に、学習時と同一環境下では想起成績が向上するという記憶の環境的文脈依存性が認められるか検証する。

**キーワード:** 環境的文脈依存記憶, 脱文脈化, 360 度動画, バーチャルリアリティ

## 1. はじめに

母校を訪れて教室や恩師の顔を見ると、当時のことがまざまざと思い出される。これは「何が起こったか」という情報と紐づいてその時の周辺環境の情報が記憶に取り込まれることに由来する現象である。この周辺環境情報を環境的文脈という。母校の例のように、符号化 (憶える) 時の環境的文脈と想起 (思い出す) 時の環境的文脈が一致している方が、一致していない場合よりも想起が容易であることが知られている。これを復元効果といい、復元効果が認められるとき、記憶は環境的文脈に依存しているという [1]。

通常、エピソード記憶は環境的文脈に依存している。他方、環境的文脈依存性が消失する条件も知られている。その一つは、同一の出来事を多様な環境的文脈下で繰り返し経験することである。多様な文脈下で反復学習する方が、単一の文脈下で反復学習するよりも、保持成績が高い (忘れにくい) ことが知られており、これを脱文脈化効果という [2]。

先行研究は、場所を移動したり (場所文脈操作) [3], PC 画面に投影する動画を切り替えたりして (ビデオ文脈操作) [2], 復元効果や脱文脈化効果を確認した。本研究では、この 2 つの効果は、360 度動画 VR を用いた環境的文脈操作によっても同様に生起するかを検証する。VR を用いた環境的文脈操作は、移動や環境整備等が不要で、場所文脈操作に比べて極めてコストが低い。また、提示刺激の全方位性や高いプレゼンス (そこにいる感覚) から、ビデオ文脈操作に比べて効果を向上できる可能性がある。そこで、VR を用いた環境的文脈操作と記憶の関係を明らかにし、VR による学習支援・記憶支援に役立てることを目指す。

## 2. 環境的文脈依存記憶と VR

### 2.1 復元効果

符号化時の環境的文脈が想起時にも提示されることを復元といい、復元条件が非復元条件に比べて想起成績が高い効果を復元効果という。復元効果の最も代表的な研究の一つは、Godden & Baddeley の研究である [3]。実験参加者は、水中または陸上で英単語 40 語を覚え、保持インターバル後、水中または陸上で自由再生テストを行なった。水中で符号化した条件では水中で想起する方が陸上で想起するよりも正答率が高く、陸上で符号化した条件では陸上で想起する方が水中で想起するよりも正答率が高かった。

### 2.2 脱文脈化効果

多様な環境的文脈下で反復学習すると、環境的文脈依存性が消失し、いかなる文脈下でも想起成績が向上する効果を脱文脈化効果という。Smith & Handy はビデオ文脈操作を用いて脱文脈化効果を検証した [2]。実験参加者は、まず日常風景を切り取った動画に重畳表示された顔-名前ペアを 20 個学習し、想起練習を 5 回を行い、2 日後に手がかり再生テストを行なった。想起練習では、手がかり再生 (顔画像のみが提示されて、対応する名前を回答する) を行い、直後に正解のフィードバックが与えられた。5 度の想起練習において、毎回初期学習時と同一の動画文脈が提示される条件 (Constant 条件) と毎回新規の動画文脈が提示される条件 (Varied 条件) を参加者間比較した。2 日後の最終テスト時の文脈は、いずれの条件でも新規の動画文脈が使用された。5 度目の想起練習の正答率から 2 日後の最終テストの正答率を引いて求めた忘却量を比較した結果、Varied 条件が Constant 条件に比べて有意に忘却量が少なかった。

### 2.3 VRを用いた環境的文脈操作

HMDを用いた没入型VRによって、今実際にいる環境とは異なる環境的文脈での学習体験、想起体験を与えることができる [4, 5]. 他方、VRによる環境的文脈操作が、現実環境を用いた従来の文脈操作と同等かどうかは明らかとなっていない。Shin et al. の研究 (火星 CG 環境, 水中 CG 環境) では、一部の復元効果が認められたが [6], Wälti et al. (森 CG, 海 CG) [7] や瑞穂ら (海辺 360 度画像, 部屋 360 度画像) [8] の研究では、先行研究と同一の実験パラダイムにおいて復元効果が認められていない。

本研究は、以上の研究に続いて、360 度動画 VR を用いた環境的文脈操作によって復元効果を確認できるか検証する。実写 360 度動画を用いれば、VR 体験のリアリティや没入度が向上し、現実環境とバーチャル環境の差異が縮小することで、復元効果を確認しやすくなる可能性がある。また、先行研究らはいずれも 2 種類のバーチャル環境を使用して検証を行なったのに対して、本研究では 7 種類のバーチャル環境を使用し、得られた成果の一般性について保障を試みる。さらに、本研究では復元効果と同じく代表的な効果である脱文脈効果についても検証を行う。VR を用いた脱文脈化効果の検証は、本研究が初めて行う。

### 3. 実験方法

Smith & Handy に倣った実験手順を用いた [2]. その理由は、(1) 復元効果と脱文脈効果の一つの実験で同時に検証できるため、(2) 5 度の想起練習で最大まで覚えさせたあとの忘却量を評価指標とすることで、参加者間の記憶能力の差の影響が小さいため、(3) 何度も反復学習するというパラダイムが本研究成果の応用先として想定する場面に合致しているためであった。以下では、実験手順に不備がないかを確認するために行なった予備実験について述べる。

#### 3.1 実験参加者

東京大学大学院の男子学生 9 名 (平均 23.3 歳) が参加した。日本語訳の記憶課題のため、日本語母語話者に限定された。また、各自自宅等で実験を行う遠隔実験であったため、実験に使用するヘッドマウントディスプレイ (HMD) 等の機材を所持している者に限定された。実験 2 日目終了後、謝礼として Amazon ギフト券 3000 円分が支払われた。

#### 3.2 実験条件

実験は 3 条件参加者間計画で行なわれた (図 1)。

**Constant-Reinstated 条件** 想起練習 5 回と最終テストを全て初期学習時と同一の文脈下で行なった条件。

**Constant-NotReinstated 条件** 想起練習 5 回を初期学習時と同一文脈下、最終テストを新規文脈下で行なった条件。

**Varied 条件** 想起練習 5 回を毎回新規の文脈下で行い、最終テストも新規の文脈下で行なった条件。

#### 3.3 記銘材料

タガログ語-日本語ペアを 20 ペア用意した。まず小柳らの名詞リスト [9] から熟知価 6.00-6.99 のカタカナ 3 文字の

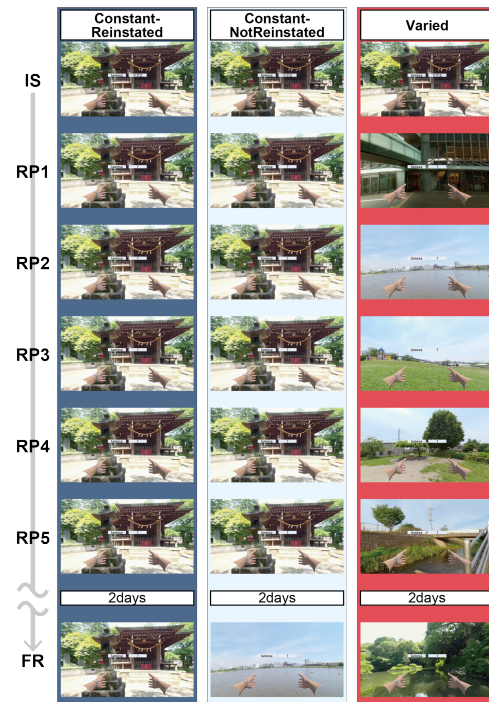


図 1: 実験デザイン。IS は Initial Study, RP は Retrieval Practice, FR は Final Recall の略。

名詞を選び、Google 翻訳・Glosbe<sup>1</sup>でタガログ語に翻訳した。次にアルファベットから日本語訳が予想できてしまう単語を除外し、残った中から 2-4 音節の名詞を 20 個選択した。例えば、lamesa-ツクエヤ isda-サカナなどであった。

#### 3.4 環境的文脈

KANDAO 社の Qookam8k で撮影した、7 つの 8K360 度動画を使用した。それぞれ海、川、池、神社、公園、建物内、草原の映像で (図 1)、カメラ内蔵マイクで録音したモノラル環境音も提示した。提示順序はランダムにし、参加者間でカウンターバランスをとった。

#### 3.5 実験システム

HMD は Oculus Quest2 を使用し、HMD 内映像は Unity で構成された。イヤホンまたはヘッドホンは各自用意したものを HMD に接続し、音量は環境音が小さすぎず大きすぎない程度に調整した。2 つの Oculus Touch コントローラを使用して両手の動きをトラッキングし、RootMotion 社の FinalIK を用いてアバタに動きを反映した。アバタは Microsoft Rocketbox Avatar Library から自身と同性的のアバタを使用した [10]。実験中は、HMD 内の映像および口頭再生の音声、HMD の録画機能によって記録された。

#### 3.6 手順

本実験は遠隔実験で、参加者は配布された手順書を読みながら、各自で実験を行った。説明書・同意書・手順書 (実験準備用, 1 日目用, 2 日目用)・謝礼は全てメールでやりとりされた。参加者が適切に実験を遂行したか否かは、HMD 映像の録画から判断した。実験は合計 2 日間で、以下の 4 つのセッションを順に行なった。

<sup>1</sup><https://ja.glosbe.com/tl/ja>

### 3.6.1 順応セクション

実験開始時の体調, 前日の就寝時間と起床時間を Google Form で回答した。HMD を装着し, 提示されたバーチャル環境を 1 分間見回した後, HMD を外しプレゼンスを計測する質問紙である IPQ (邦訳版) に回答した。これを 7 種類の環境的文脈に対して, 各 1 回ずつ行なった。

### 3.6.2 初期学習セクション (Initial Study; IS)

HMD を装着し, バーチャル環境を 30 秒間見回した後, タガログ語-日本語ペアを 5 秒/ペアの速さで 20 ペア連続で提示され, これを覚えるよう指示された。提示順序はランダムであった。参加者は事前に, あとでタガログ語のみが提示されその日本語訳を回答するテストがあることを知らされていた。提示終了後, 一度 HMD を外した。

### 3.6.3 想起練習セクション (Retrieval Practice; RP)

HMD を装着し, バーチャル環境を 30 秒間見回した後, 想起練習を行なった。想起練習では, まずタガログ語が一つ提示され, これに対応する日本語訳を口頭で回答した。回答時間は 5 秒で, 5 秒後に正解のタガログ語-日本語ペアが 5 秒間提示された。正解が提示されている間に, 合っていれば○の書かれたキューブを, 間違っていれば×の書かれたキューブをアバタの手でタッチした。以上を 20 ペア全てに対して繰り返した。提示順序はランダムであった。想起練習終了後, 一度 HMD を外した。

以上の手順を 5 回連続で行なった。終了後, VR 酔いを計測する質問紙である SSQ に回答し, 実験 1 日目を終了した。

### 3.6.4 最終テストセクション (Final Recall; FR)

想起練習セクションの 2 日後 (より正確には約 47 時間後), 初めに実験開始時の体調, 前日の就寝時間と起床時間を Google Form で回答した。参加者は HMD を装着しバーチャル環境を 30 秒間見回した後, 手がかり再生テストを行なった。手がかり再生テストでは, タガログ語が 1 つ提示され, 対応する日本語訳を口頭で回答した。回答時間は 5 秒/ペアで, 20 ペア連続で行なった。提示順序はランダムであった。終了後, HMD を外し, IPQ, SSQ, 実験全体に関するアンケートに回答し, 実験 2 日目を終了した。

## 4. 仮説および結果

### 4.1 手がかり再生成績

想起練習 (Retrieval Practice; RP) 5 回と, 最終テスト (Final Recall; FR) の正答数を図 2 に示す。以下では, 各評価指標について行なった統計分析について述べるが, 予備検討段階であるためサンプルサイズが  $N = 9$  と極めて小さい点に注意を要する。なお, 正規性は Shapiro-Wilk 検定で, 等分散性は Levene 検定で検定する。

#### RP1 の正答数

仮説は「Constant 条件の方が Varied 条件に比べて正答数が高い (復元効果)」であった。正規性 ( $p = .282$ ), 等分散性 ( $p = .662$ ) が仮定できたため, 一元配置分散分析を行なった結果, 条件間に有意な差は認められなかったが効果量は大きかった ( $F(2,6) = 3.03, p = .123, \eta^2 = .50$ )。

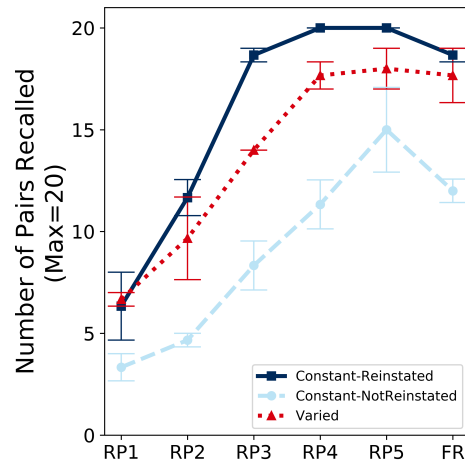


図 2: 想起練習と最終テストの正答数。エラーバーは標準誤差。

### RP1 から RP5 までの正答数の推移

仮説は「Constant 条件の方が Varied 条件に比べて学習が早い (復元効果)」であった。正規性が棄却されたため ( $p < .01$ ), 整列ランク変換を施したのち, 条件 × 想起練習 (RP1-5) の二元配置分散分析を行なった。結果, 条件の主効果 ( $F(2,6) = 46.33, p < .001, \eta_p^2 = 0.94$ ), 想起練習の主効果 ( $F(4,24) = 66.70, p < .001, \eta_p^2 = 0.92$ ), 交互作用 ( $F(8,24) = 2.85, p = .022, \eta_p^2 = 0.49$ ) が有意で, いずれも効果量が大きかった。

### 最終テスト FR の正答数

仮説は「Constant-Reinstated 条件の方が Constant-Not Reinstated 条件よりも正答数が高い (復元効果)」, 「Varied 条件の方が Constant-NotReinstated 条件よりも正答数が高い (脱文脈化効果)」であった。正規性が棄却されたため ( $p = .023$ ), 整列ランク変換を施したのち, 一元配置分散分析を行なった。結果, 条件間に有意な差が認められた ( $F(2,6) = 8.51, p = .018, \eta_p^2 = 0.74$ )。Holm 法による多重比較を行なった結果, Constant-Reinstated 条件が Constant-NotReinstated 条件よりも有意に正答数が高かった ( $p = .03, r = .83$ )。また, Varied 条件が Constant-NotReinstated 条件よりも有意に正答数が高かった ( $p = .03, r = .81$ )。Constant-Reinstated 条件と Varied 条件の差は有意でなかった ( $p = .80, r = .11$ )。

### 忘却量・忘却率

忘却量 (RP5 から FR までに忘れた単語数) を図 3 に示す。仮説は「Constant-Reinstated 条件の方が Constant-NotReinstated 条件よりも忘却量が少ない (復元効果)」, 「Varied 条件の方が Constant-NotReinstated 条件よりも忘却量が少ない (脱文脈化効果)」であった。正規性 ( $p = .31$ ), 等分散性 ( $p = .29$ ) が仮定できたため, 一元配置分散分析を行なった結果, 条件間に有意な差は認められなかったが効果量は大きかった ( $F(2,6) = 0.79, p = .49, \eta^2 = .21$ )。

忘却率 (RP5 の正答数に対する忘却量の比率) についても, 同様の仮説であった。正規性 ( $p = .39$ ), 等分散性 ( $p =$

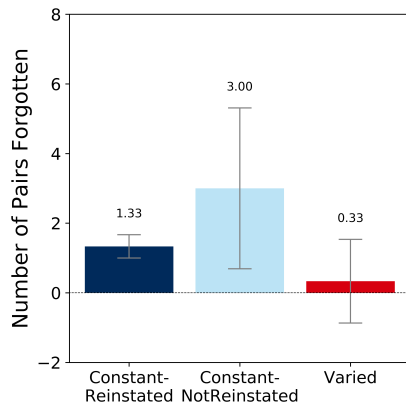


図 3: 忘却量。RP5 から FR までに忘れた単語数。エラーバーは標準誤差。

.27) が仮定できたため、一元配置分散分析を行なった結果、条件間に有意な差は認められなかったが効果量は大きかった ( $F(2,6) = 0.67, p = .55, \eta^2 = .18$ )。

#### 4.2 プレゼンス

順応セクションの各環境的文脈の IPQ スコアを参加者内比較した。1名の参加者は一部のデータ測定に不備があったため、プレゼンスを含む解析からは全て除外した。Friedman 検定の結果、条件間に有意な差は認められなかった ( $\chi^2(6) = 4.41, p = .622, \eta^2 = 0.09$ )。

#### 4.3 VR 酔い

SSQ トータルスコアについて、整列ランク変換後、条件  $\times$  タイミング (1 日目, 2 日目) の二元配置分散分析を行なった結果、タイミングの主効果が有意であったが ( $F(1,6) = 15.34, p = .008, \eta_p^2 = 0.72$ )、条件の主効果 ( $F(2,6) = 2.08, p = .206, \eta_p^2 = 0.41$ ) および交互作用 ( $F(2,6) = 2.59, p = .155, \eta_p^2 = 0.46$ ) は有意でなかった。1 日目のスコアの方が 2 日目のスコアよりも有意に高かった。1 日目のスコアの最大値は 71.06 で、これは上限値 235.62 に比べて 3 分の 1 程度と低く、VR 酔いは総じて小程度であったと言える。

### 5. 考察

RP1 において復元効果は認められなかった。特に Constant-NotReinstated 条件に比べて Varied 条件が高い成績を示したことは、復元効果と真逆の結果であった。他方、この時点までは Constant-Reinstated 条件と Constant-NotReinstated 条件は等価な操作であったことを考えると、この差は単に参加者の元々の記憶能力の差を示している可能性も高い。

RP1~RP5 までの推移について、Constant-Reinstated 条件で最も早く学習が進んだ傾向は仮説を支持する。他方、Constant-NotReinstated 条件が他 2 条件より学習が遅かったことは仮説に反する結果で、環境的文脈操作の効果というよりは各参加者の記憶能力の差を示している可能性がある。

最終テストでは復元効果および脱文脈化効果が認められた。ただし、RP5 時点での成績が大きく影響するため、この結果が環境的文脈操作の効果を示しているかは明らかでない。一方、忘却量と忘却率は RP5 を基準とした指標であり、参加者の能力差の影響を受けにくいと考えられる。Constant-

NotReinstated 条件が Constant-Reinstated 条件に比べてより多く忘れた傾向は復元効果を支持する結果であった。また、Constant-NotReinstated 条件が Varied 条件に比べてより多く忘れた傾向は脱文脈効果を支持する結果であった。効果量が大きく、適切なサンプルサイズの実験では条件間に有意な差が認められる可能性が高いと考える。

本実験では、主に忘却量・忘却率において復元効果および脱文脈化効果を支持する結果を得た。適切なサンプルサイズ ( $N = 42$  程度) にて同様の実験を行い、VR の教育応用に貢献する成果が得られればと思う。

謝辞 本研究の一部は JST ムーンショット型研究開発事業 (JPMJMS2013-11) および科研費 挑戦的研究 (萌芽)(21K19784) の支援を受けて行われた。

### 参考文献

- [1] S. M. Smith and E. Vela: Environmental context-dependent memory: A review and meta-analysis, *Psychonomic Bulletin & Review*, 8(2), pp. 203–220, 2001.
- [2] S. M. Smith and J. D. Handy: Effects of varied and constant environmental contexts on acquisition and retention, *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 40(6), pp. 1582–1593, 2014.
- [3] D. R. Godden and A. D. Baddeley: Context-dependent memory in two natural environments: On land and underwater, *British Journal of Psychology*, 66(3), pp. 352–331, 1975.
- [4] M. H. Lamers and M. Lanen: Changing Between Virtual Reality and Real-World Adversely Affects Memory Recall Accuracy, *Frontiers in Virtual Reality*, 2:602087, 2021.
- [5] 瑞穂, 鳴海, 葛岡: VR で提示する環境的文脈が記憶に与える影響, 第 25 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2020.
- [6] Y. S. Shin et al.: Context-dependent memory effects in two immersive virtual reality environments: On Mars and underwater, *Psychonomic Bulletin & Review*, 28(2), pp. 574–582, 2021.
- [7] M. J. Wälti, D. G. Woolley and N. Wenderoth: Reinstating verbal memories with virtual contexts: Myth or reality?, *PLOS ONE*, 14(3):e0214540, 2019.
- [8] 瑞穂, 鳴海, 葛岡: VR における記録-想起間の環境的文脈変化が自由再生に与える影響, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, 26(3), 2021 (in press).
- [9] 小柳, 石川, 大久保, 石井: 日本語三音節名詞の熟知価, *心理学研究*, 30(5), pp. 357–365, 1960.
- [10] Gonzalez-Franco et al.: The Rocketbox library and the utility of freely available rigged avatars, *Frontiers in Virtual Reality*, 1, 561558, pp. 1–23, 2020.