

# 思い出を体験する VR 日記

劉 天鑑<sup>1,a)</sup> 加藤 邦拓<sup>1,b)</sup> 太田 高志<sup>1,c)</sup>

**概要：**本稿では、過去の振り返りに新たな体験を提供し、デジタル技術を活用した記憶保存と振り返りの手法を支援することを目的とする。従来のスマートフォン上でのデジタルの日記アプリでは主に、テキストや写真を中心に日記を記録することができるが、それらだけではその日の空間的な環境や雰囲気を十分に想起することが困難であった。そこで本研究では、ユーザが記録した写真の EXIF 情報（撮影地、時刻）などをもとに、日記のエントリに対応する情景や雰囲気を VR 空間内で再現し、そのときの気持ちや記憶を追体験できるシステムを開発した。これにより、ユーザは VR 空間で、過去の出来事をより没入感のある形で、感情的にも深く体験し直すことが可能となる。

## 1. はじめに

日記は、一日の出来事や感情、旅行の思い出、仕事の進捗など、多様な体験を継続的かつ容易に記録するための媒体として古くから利用されてきた。近年のデジタル技術の発展により、日記アプリはテキストや写真に加え、検索機能や位置情報、撮影時刻などのメタ情報を併せて扱えるようになった。さらに、動画（Vlog など）も日常生活の記録手段として普及しており、従来の紙媒体より多面的な内容を記録することが可能となっている。しかし、後から日記を読み返し、思い出を振り返る際、テキストと写真のみでは当時の状況を十分に再現できず、体験の一部が欠けてしまう。当時の状況や雰囲気を再現することができれば、記憶の回想がより没入的なものとなり、過去の出来事への理解や共感が深まると考えられる。

認知科学や心理学の研究によれば、記憶の回想や感情が環境に影響されることが示唆されている。例えば、Smith と Vela は学習時および想起時の環境の一致性が回想に影響することを示した [8]。また Johnsen らは自然環境が感情調整に効果があり、ポジティブな感情の増幅やネガティブ感情の緩和につながる可能性を示した [5]。さらに、Denissen らは天気や気温、日照時間がネガティブ感情に有意な影響を及ぼすことを報告している [2]。したがって、当時の状況や雰囲気を再現することが、より鮮明かつ情緒的な回想を促す上で重要である。

一方、仮想現実（Virtual Reality、以下 VR）は、ユーザ

に多感覚的で没入感の高い仮想空間を提示する技術であり、現実では再現が難しい環境をある程度再構築することができる。本研究では、VR の特性を活用し、日記閲覧時に撮影当時の環境的背景を視覚的に再現する試みを行った。具体的には、日記にアップロードされた写真の位置情報を基に Google Street View API<sup>\*1</sup>を利用してパノラマ画像を取得し、ユーザが撮影時の場所や周囲の環境を 360 度で視覚的に確認できるようにする。また、パノラマ画像をより当時の状況に近づけるために、深層学習を用いて画像修正を試みた。例えば、日記の写真が夜の街であり、Street View から取得したパノラマ画像が昼の場合、夜の雰囲気に近づけるよう修正を行う。これにより、当時の状況や雰囲気を視覚的に再現し、ユーザがテキストや写真だけでは得られない、記憶の回想を支援する手法の可能性を示す。

本稿では、ユーザの記憶を追体験できる「VR 日記」システムを提案する（図 1）。評価実験ではシステムを用いることでユーザが記憶をよりリアル、感情的に再体験できるかを検証する。



図 1 提案手法。

<sup>1</sup> 東京工科大学

a) m0a2131897@edu.teu.ac.jp

b) kkunihir@acm.org

c) takashi@stf.teu.ac.jp

<sup>\*1</sup> Google Street View: <https://developers.google.com/maps/documentation/streetview>

## 2. 関連研究

### 2.1 VRにおける情報提示

Bujić らは異なるメディア形式（テキスト記事、360 度動画、モバイル VR）がユーザの情緒的反応と記憶に与える影響を比較した [1]. 87 名の被験者を対象とした実験の結果、より高い没入感を持つ VR や 360 度動画は、テキスト記事に比べて強いネガティブな情緒変化を引き起こすことが明らかとなった. 森田らは HMD を用いた全天球画像の提示が実空間再現性に与える影響を検証し、HMD による提示が静止画やモニタ表示に比べて空間記憶や配置把握能力を有意に向上させ、現実感や没入感も高まることを示した [13]. これらの研究は、VR の没入的な体験がユーザの感情や記憶に与える影響を示し、VR 日記システムを構築する上での基盤となる.

### 2.2 日記システムの提案

日記システムに関する研究として、Stahl らは皮膚電気反応測定センサとスマートウォッチを活用した「Affective Diary」を提案した. 身体的な体験や感情をセンサによって記録し、時系列で可視化することで、ユーザが自身の体験や感情のパターンを直感的に振り返ることを支援している [9]. Zhou らはカメラ、GPS センサ、加速度センサ、マイクを用いたデジタル日記システムを開発した. 取得したデータをもとに、機械学習で日常活動を分類し、「移動」「休息」「交流」などのカテゴリを物語的に再構成することで、記憶回想の効率を向上させた [12]. さらに、Memon らは位置情報、人物、物体といった文脈要素を記録し、現在の文脈に基づいて過去の出来事を検索できるライフログデバイスを提案し、複数要素の組み合わせによって記憶の正確な呼び起こしを可能にした [6].

これらの研究では、ユーザの記憶や感情の回想を促進するために、テキストや画像、センサによるデータ可視化など、さまざまな手法を用いてきた. 一方、本研究はユーザの日記データ（写真、テキスト）を活用し、特に撮影当時の環境を VR 空間内で再構築することに焦点を当てることで、記憶回想をより直感的かつ情緒的に強化することを目指す.

## 3. 提案手法

提案するシステムは、ユーザが日常的に記録したテキストと写真（図 1(a)）、さらに写真に付随する EXIF 情報（撮影地、時刻）を活用し、VR 空間内に当時の環境を再構築して提供する. ユーザは後日、VR ヘッドマウントディスプレイ（以下 HMD）を装着し、以下のステップで体験を行う（図 1(b)）.

まず、VR 空間内にユーザの日記が表示される. ユーザはハンドトラッキングを用いた直感的操作で日記のページ

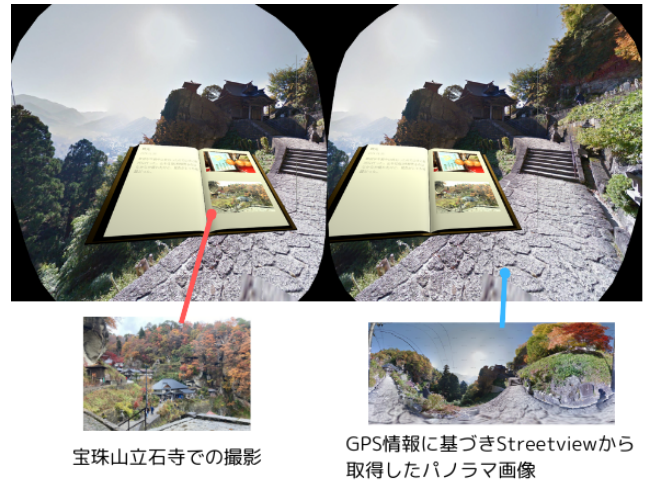


図 2 VR 空間で日記エントリに関連する場所を表示.

をめくり、記録当時のテキストと写真を順に閲覧できる. 特定の写真を選択すると、撮影時刻や位置情報に基づき、当時に関連するパノラマ画像が VR 内に提示される（図 2）. ここで用いるパノラマ画像は、ユーザの撮影時刻に近い時間帯の表現に修正することを試みている. 具体的には、GAN（敵対的生成ネットワーク [3][7]）を用いて昼から夜への変換を行い、撮影時の雰囲気近づける. さらに、GAN による変換結果の画質が低いため、SR（超解像 [4][11]）モデルを適用して画質を向上させている. ユーザは 360 度視点操作でその場の雰囲気を感じ取り、当時の状況をよりリアルに思い起こすことが可能となる.

## 4. システム構成

本章では、VR 日記システムの実装プロセスについて詳述する（図 3）.

### 4.1 日記アプリと EXIF 情報の解析

ユーザの日記データ（テキスト、写真）および写真の EXIF 情報（撮影地、時刻）を収集・保存するために、Android Studio で Java を用いてスマートフォンアプリを開発した（図 4）. これらの日記テキスト、写真、および写真から取得した EXIF 情報は Firebase<sup>\*2</sup>にアップロードされる.

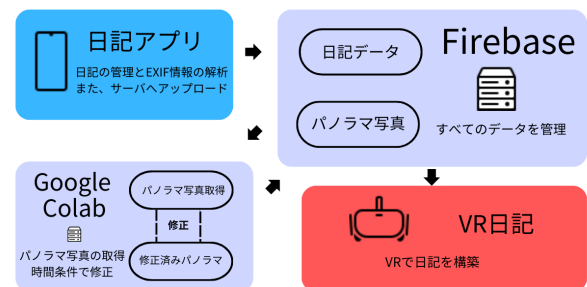


図 3 システム構成.

\*2 Firebase: <https://firebase.google.com/>

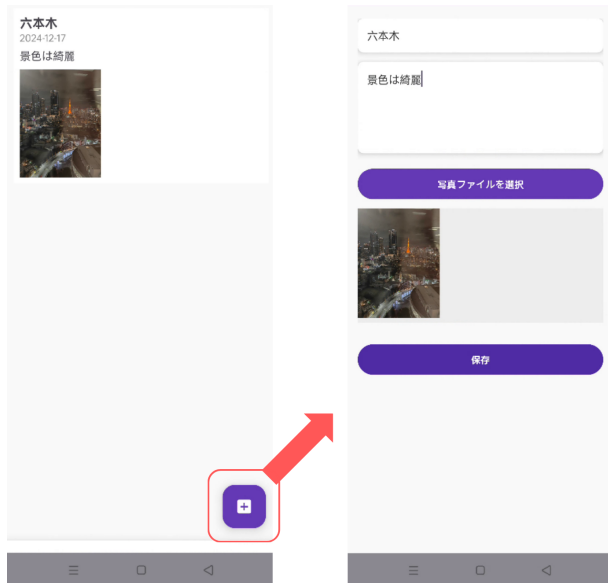


図 4 android アプリ.

#### 4.2 パノラマ画像の取得と処理

本システムでは、ユーザがアップロードした画像と EXIF データを利用し、Google Street View API を用いて位置情報に基づくパノラマ画像を取得する。さらに、Visual Crossing Weather API<sup>\*3</sup>で当日の日没時間を取得し、撮影時間と比較し、処理条件の一部とされる。取得したパノラマ画像は GAN モデルで処理を行うが、その結果生成される画像は解像度が低いため、VR 体験の質を向上させるために、さらに SR モデルを用いて画質を向上させる。処理後の画像は Firebase Storage にアップロードされ、Firestore が更新される。撮影時間に基づいて画像の色調および明るさを調整することで、ユーザに対してより過去の条件と近い環境を提供する。なお、当初の目標であった GAN モデルによる時間条件のシミュレーションは、データセットの収集およびモデルの学習に必要な計算能力の制約により、日没以外の処理条件については Python の Pillow ライブラリ<sup>\*4</sup>を用いて処理を行った。

#### 4.3 VR 環境の構築

システムは Unity<sup>\*5</sup>と MetaSDK<sup>\*6</sup>を用いて開発し、ハードウェアには Meta 社の Quest 3<sup>\*7</sup>を使用した。VR 内の日記は、Unity のアセット「Endlessbook」<sup>\*8</sup>をもとに制作され、左ページにテキスト、右ページに写真を表示する構成となっている（図 5）。



図 5 VR 日記の構成.

インタラクション部分は、日記の移動、ページめくり、写真の選択といったジェスチャを実装した。具体的には、手を開くジェスチャで日記が目の前に移動し、本の上に手を振るジェスチャでページをめくる動作を実装している。また、写真をクリックすると写真に関連するパノラマ画像に切り替わり（図 2）、自然なジェスチャによる直感的なインタラクションが可能となる。

Unity 内で Firebase SDK を利用し、データのリクエストとレスポンスを管理している。システム起動時には、Unity スクリプトが Firebase にリクエストを発行し、Firestore から保存された日記の文字内容や写真、パノラマ画像および Colab で修正を行ったパノラマ画像をキャッシュとして取得し、利用する。

### 5. 評価実験

評価にあたり、日記の内容をテキストおよび写真から関連するパノラマ画像を提示することで、ユーザが過去の体験を振り返る際の記憶の鮮明さ、感情の再現性、および没入感を効果的に高めることが可能かを検証した。また、撮影時の状況に応じて加工されたパノラマ画像がオリジナルと比較して、より優れたユーザ体験を提供できるかを評価した。最後に、VR 日記システムに対するユーザの主観的満足度、システムの使いやすさ、および今後の利用意欲などを評価した。

実験には、日記を書く習慣がある 20 代（平均年齢 22.2 歳、標準偏差 1.1 歳）の大学生および大学院生、合計 12 名（男性 8 名、女性 4 名）が参加した。実験前に、2024 年 11 月から 12 月上旬にかけて、回答のコピーを送信しない Google フォームを用いて、被験者の日記およびそれに対応する写真を提出してもらい、日記を収集した。実験実施までの期間を統一するため、最後の日記を提出後、一週間の期間を設けた。収集した日記の内容に基づき、被験者に VR 日記システムを体験させ、アンケートの回答に基づき、ユーザの回想体験とシステムの総合評価を行った。回想に関するアンケートは Memory Experience Questionnaire (MEQ)[10] を参考に作成し、「記憶の鮮明さ」、「感情の再現性」、および「没入感」の三つの評価項目を含めた。こ

<sup>\*3</sup> Visual Crossing Weather: <https://www.visualcrossing.com/weather-api>

<sup>\*4</sup> Pillow: <https://python-pillow.org/>

<sup>\*5</sup> Unity: <https://unity.com>

<sup>\*6</sup> MetaSDK: <https://assetstore.unity.com/packages/tools/integration/meta-xr-interaction-sdk-265014>

<sup>\*7</sup> Quest3: <https://www.meta.com/jp/quest/quest-3/>

<sup>\*8</sup> Endlessbook: <https://assetstore.unity.com/packages/3d/props/endlessbook-134213>

での「没入感」とは、VR 体験そのものではなく、被験者が記憶を回想する際に感じる没入感を指す。また、順序効果を抑えるためにカウンターバランスを採用し、被験者は3つの条件を6通りの異なる順序で体験した。各順序には均等に2名が割り当てられた。

実験は、以下の3つの主要な条件に基づいて構成される：

- **条件 C1:** テキストと通常の写真のみを表示する日記コンテンツを提供した。
- **条件 C2:** 条件 C1 に加えて、写真をクリックすることで関連する場所のパノラマ画像が表示される。
- **条件 C3:** 条件 C1 に加えて、写真をクリックすることで修正されたパノラマ画像が表示される。

### 5.1 実験の流れ

実験の流れとしてはまず、著者が被験者に対して VR 環境における本システムのインタラクション方法についてデモンストレーションを行い、アンケート回答のタイミングについて説明する。被験者はそれぞれの条件下で提示された情報に基づいて、その時のことを回想させる。回想が十分と主観的に感じた時点で体験を終了し、アンケートの回答を求める。

被験者は、まず基本情報として同意確認、年齢、性別、VR 使用経験、日記の記述頻度などを記入する。その後、ランダムに割り当てられた条件順序に従って、各条件 (C1, C2, C3) を順番に体験し、条件ごとに2つの日記を閲覧す



図 6 被験者が日記を見る様子。

表 1 C1, C2, C3 共通の記憶・感情・没入感に関する評価項目。

| 評価指標   | 質問内容                               |
|--------|------------------------------------|
| 記憶の鮮明さ | 思い出の時間や場所、人物がどの程度はっきりと思い出せる。       |
| 記憶の鮮明さ | この体験を通して、当時の出来事や細部をより鮮明に思い出せたと感じる。 |
| 感情の再現性 | 当時感じていた感情や雰囲気を再び感じた。               |
| 没入感    | 今回の体験でも、当時の場面に存在しているように感じた。        |
| 没入感    | 実験室にいることを忘れ、当時の場所に入り込むような感覚があった。   |

る。各条件の体験を終了した直後に、記憶の鮮明さ、感情再現性、没入感に関する評価項目 (表 1) に対してリッカートスケール (1~7) を用いたアンケートに回答する。ここで、1は「全くそう思わない」、7は「非常にそう思う」と定義し、被験者には自身の主観的な体験に基づいて評価するよう指示した。また、実験中には被験者が日記の回想について自由に感想を述べる時間を設け、そのフィードバックを基に評価の一貫性を確認・調整した。全ての条件の体験を終えた後に、システム全体の体験を評価する総合的なアンケートと自由記述に回答し、ユーザの回想体験とシステムの総合評価を行った。

### 5.2 結果

C1 条件 (テキストと写真のみの提示)、C2 条件 (オリジナルパノラマ画像の提示)、および C3 条件 (修正したパノラマ画像の提示) の一部の評価項目において、スコア分布が正規分布に従わなかったため、Friedman 検定を用いてデータ分析を実施した (表 2)。その結果、記憶の鮮明さ、感情再現性、および没入感 (のいずれにおいても有意な差が確認された。

また、Nemenyi 事後検定を実施し、条件間の具体的な差異を明らかにした (表 3)。記憶の鮮明さにおいては、C1 と C2 の間で有意差が確認され ( $p = 0.0086$ )、C1 と C3 ( $p = 0.0638$ )、および C2 と C3 ( $p = 0.75$ ) の間には有意差が見られなかった。また、感情の再現性に関しては、C1 と C2 ( $p = 0.0022$ )、C1 と C3 ( $p = 0.0022$ ) の間に有意差が確認された一方で、C2 と C3 の間には差が認められなかった ( $p = 1.0000$ )。最後に、没入感については、C1 と C2 ( $p = 0.0044$ )、および C1 と C3 ( $p = 0.0010$ ) の間で有意差が確認されたが、C2 と C3 の間には有意差は見られなかった ( $p = 0.9122$ )。これらの結果は、感情再現性および没入感の評価において、C1 条件と比較して C2 および C3 条件が有意に高い評価を得たことを示している。一方で、C3 条件が C2 条件と比べて明確な優位性を持つことは確認されなかった (表 3) (図 7)。

さらに、条件 C2 および C3 における「パノラマ画像の関連性」と「記憶の鮮明さ」、「感情再現性」、「没入感」と

表 2 Friedman 検定結果。

| 評価項目   | $\chi^2$ 値 | 自由度 (df) | p 値         |
|--------|------------|----------|-------------|
| 記憶の鮮明さ | 11.74      | 2        | $p < 0.01$  |
| 感情再現性  | 16.88      | 2        | $p < 0.001$ |
| 没入感    | 16.68      | 2        | $p < 0.001$ |

表 3 Nemenyi 事後検定結果 (p 値)。

| 比較項目     | 記憶の鮮明さ | 感情再現性  | 没入感    |
|----------|--------|--------|--------|
| C1 vs C2 | 0.0086 | 0.0022 | 0.0044 |
| C1 vs C3 | 0.0638 | 0.0022 | 0.0010 |
| C2 vs C3 | 0.7549 | 1.0000 | 0.9122 |

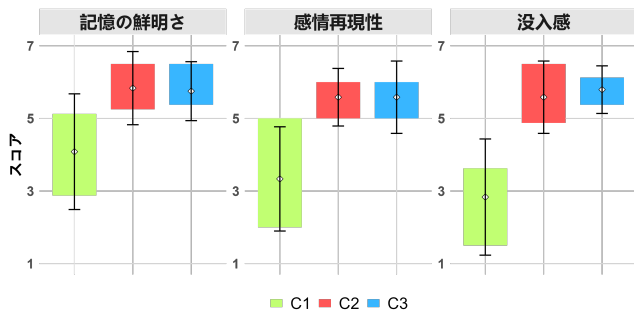


図 7 各条件の得点の分布図.

表 4 条件 C2/C3 の「パノラマ画像の関連性」項目と共通の評価項目の Spearman 順位相関係数 ( $\rho$ ) および  $p$  値.

| 条件 | 記憶の鮮明さ                       | 感情再現性                       | 没入感                         |
|----|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| C2 | $\rho = 0.23$<br>$p = 0.47$  | $\rho = 0.02$<br>$p = 0.96$ | $\rho = 0.52$<br>$p = 0.08$ |
| C3 | $\rho = -0.02$<br>$p = 0.94$ | $\rho = 0.12$<br>$p = 0.70$ | $\rho = 0.12$<br>$p = 0.70$ |

の関連性を検証するために、Spearman の順位相関係数を用いた分析を実施した (表 4). その結果, C2 条件では, 「パノラマ画像の関連性」と「没入感」の間に中程度の正の相関 ( $\rho = 0.52$ ) が観察されたが, 統計的に有意な結果 ( $p > 0.05$ ) は得られなかった. 一方, 「記憶の鮮明さ」 ( $\rho = 0.23$ ,  $p = 0.47$ ) および「感情再現性」 ( $\rho = 0.02$ ,  $p = 0.96$ ) については相関が弱く, 有意性も認められなかった. また, C3 条件においても, 「パノラマ画像の関連性」と各評価項目の相関は低い値を示し, 「記憶の鮮明さ」 ( $\rho = -0.02$ ,  $p = 0.94$ ), 「感情再現性」 ( $\rho = 0.12$ ,  $p = 0.70$ ), および「没入感」 ( $\rho = 0.12$ ,  $p = 0.70$ ) のいずれについても統計的有意性は確認されなかった.

### 5.3 考察

結果として, C1 条件 (テキストと写真のみの提示) と比較すると, C2 条件 (オリジナルパノラマ画像の提示) および C3 条件 (修正したパノラマ画像の提示) では, 記憶の鮮明さ・感情再現性・没入感がいずれも有意に向上することが確認された. 全体的な満足度や操作性, 将来的な利用意欲に関しても肯定的な評価が得られ, 本システムの有効性と受容性の高さが示唆された. また, パノラマ画像の関連性と回想における有用性についても高評価を得ていたが, オリジナルパノラマ画像に修正したパノラマ画像の優位性は確認できなかった. また, パノラマ画像の関連性が記憶の鮮明さ, 感情再現性, 没入感への影響を検証した結果, 弱い相関が確認されたが, 統計的に有意な結果は得られなかった. パノラマ画像がユーザに豊かな環境情報を追加に提示により, その場面に没入しやすくなると考えられる. しかし, 統計的有意性が得られなかった理由として, サンプルサイズの不足や被験者間の個人差 (記憶力, 活動の内容の違い) が影響している可能性がある.

自由記述では, C3 条件に対して「当時の場所に立っている感覚が強く得られ, 日記を書いたときの気持ちをよみがえらせることができた」など肯定的な意見がある一方で, 「若干場所や時期が異なる場合があり, 自由に移動して視点を調整できればもっと良い」「季節が反映されず, 当時の状況とは違った」「コンサート会場の写真のときは中にいたため, 外とイベントの関連が少なかった」といった指摘も見られた.

これらの結果から, GAN モデルによる画像修正は昼夜などの時間帯を再現する点では一定の効果が認められるものの, 天候や季節などの要素を反映するにはまだ不十分であると考えられる. これらの環境要素を考慮した修正を追加することで, より豊かな回想体験を提供できる可能性がある. さらに, 撮影場所の位置情報と Street View のパノラマ画像が微妙にずれている問題もあるが, ユーザが移動できる機能など, インタクションを拡充する手段を導入すれば, 環境の観察や記憶の回想をより効果的に行えると考えられる. また, 屋外の環境は比較的再現しやすい一方で, 特定のイベントや個人的な体験が室内で行われた場合など, Street View だけでは状況を十分に再現できないケースも残る. これらの課題は今後の改良と検討が必要と考えられる.

## 6. おわりに

本稿では, VR 技術を用いて日記の追体験を豊かにするシステムを提案し, その有効性を検証した. 従来の日記は文章や画像といった平面的な情報提示に留まり, 当時の環境や情緒的变化を十分に回想するには限界があった. 本稿が提案する VR 日記システムは, ユーザの日記データおよび写真の EXIF 情報を活用し, 振り返る際に, 関連する環境情報を提示する. 過去の出来事をより没入感のある形で, 感情的にも深く体験し直すことが可能となる.

実験の結果から, VR によるパノラマ画像提示は日記の回想において記憶の鮮明さや感情の再現性, そして没入感を有意に高めることが示された. また, パノラマ画像が日記写真と関連づけられることで, ユーザはより効果的に当時の思い出を呼び起こせることが確認された. 一方で, 季節や天気といった要素の再現が必要であり, さらなる技術的な改良が必要であることも明らかとなった.

また, 本稿で提案した手法は現状 VR 環境に限定されているが, 今後はスマートフォンや PC など, 他のデバイスへの対応も検討することで, HMD 着用せずに本システムを利用できるようになると期待される. また, 日記テキストの活用が十分ではない点も課題として挙げられる. 自然言語処理技術を導入し, テキスト中の感情や出来事の詳細を抽出することで, 撮影されなかった出来事であっても日記の記述から再構成し, 一日の流れをより包括的に再現できる可能性がある. 今後の研究では, 環境再現の精度向上

や多感覚の統合, さらに日記テキスト内容の活用により, 個人なりの日記に関する「再体験」を実現することを目指す。

## 参考文献

- [1] Bujić, M., Salminen, M. and Hamari, J.: Effects of Immersive Media on Emotion and Memory: An Experiment Comparing Article, 360-video, and Virtual Reality, *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 179, pp. 103–118 (2023).
- [2] Denissen, J. J. A., Butalid, L., Penke, L. and van Aken, M. A. G.: The Effects of Weather on Daily Mood: A Multilevel Approach, *Emotion*, Vol. 8, No. 5, pp. 662–667 (2008).
- [3] Goodfellow, I. J., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., Courville, A. and Bengio, Y.: Generative Adversarial Nets, *Proceedings of the NeurIPS Conference*, Vol. 27, pp. 2672–2680 (2014).
- [4] Ho, J., Jain, A. and Abbeel, P.: Denoising Diffusion Probabilistic Models, *CoRR*, Vol. abs/2006.11239 (2020).
- [5] Johnsen, S. c. K. and Rydstedt, L. W.: Active Use of the Natural Environment for Emotion Regulation, *Europe's Journal of Psychology*, Vol. 9, No. 4, pp. 798–819 (2013).
- [6] Memon, M. A., Bhatti, S. and Mahoto, N. A.: A Digital Diary: Remembering the Past Using the Present Context, *Mehran University Research Journal of Engineering & Technology*, Vol. 35, No. 2, pp. 275–286 (2016).
- [7] Parmar, G., Park, T., Narasimhan, S. and Zhu, J.-Y.: One-Step Image Translation with Text-to-Image Models (2024).
- [8] Smith, S. M. and Vela, E.: Environmental Context-Dependent Memory: A Review and Meta-Analysis, *Psychonomic Bulletin & Review*, Vol. 8, No. 2, pp. 203–220 (2001).
- [9] Ståhl, A., Höök, K., Svensson, M., Taylor, A. S. and Combetto, M.: Experiencing the Affective Diary, *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol. 13, No. 5, pp. 365–378 (2009).
- [10] Sutin, A. R. and Robins, R. W.: Phenomenology of autobiographical memories: The Memory Experiences Questionnaire, *Memory*, Vol. 15, No. 4, pp. 390–411 (2007).
- [11] Yue, Z., Wang, J. and Loy, C. C.: Efficient Diffusion Model for Image Restoration by Residual Shifting (2025).
- [12] Zhou, L., Cheng, Y., Gurrin, C. and Qiu, Z.: From Lifelog to Diary: a Timeline View For Memory Reminiscence, *Proceedings of the iHCI'13 Conference* (2013).
- [13] 森田裕介, 長濱 澄, 大秦一真, 田尻圭佑: ヘッドマウントディスプレイを用いた全地球画像の提示による実空間再現性に関する一考察, *日本教育工学会論文誌*, Vol. 43, No. Suppl., pp. 129–132 (2020).