

遺跡におけるVR/AR技術利用の現状

曾根 俊則（株式会社ジーン 第1開発事業部 APP開発室）

1. はじめに ～ 遺跡活用における課題

近年、遺跡・史跡活用における新たな取り組みとして、VR/AR技術を使ったデジタルコンテンツの導入事例が着々と増えていっている。これは、現状の遺跡・史跡が抱える以下の課題についての解決手段の1つとしての期待をかけてのことと思われる。

①かつて存在した建造物の現物復元

- ・膨大な初期投資、結構な維持費。
- ・一度作れば改修は困難。そして後年の調査研究結果によってはもう、目もあてられないことに。

②埋蔵文化財、発掘調査

- ・埋め戻した後は発掘調査時の姿を現地で観ることができない。

③遺跡・史跡の来訪者

- ・観光地となっている箇所を除けば高齢者が中心で、幅広い世代の方が観に来るとは言い難い。

この取り組みについて、VR/AR導入・デジタルコンテンツ開発の立場から技術等について説明し、留意点・問題点等を伝えることで、関係者による今後の検討の一助になれば幸いである。



図1 「歴なび多賀城」多賀城廃寺VR復元



図2 「AR蒙古襲来」元寇船団AR復元

2. VR/ARとは？

VR/ARを正確に表現すると以下ようになる。

VR：Virtual Reality 仮想現実 人工現実

仮想物（人工物）のみによって情報、空間、世界を構成して表現する（図1）。

AR：Augmented Reality 拡張現実（感）

現実世界に仮想物を付加して表現する（図2）。

他に、「MR：Mixed Reality 複合現実（感）」という概念も存在する。専門的にはMRとARの区別はできるが、現在一般的にはMRとARをまとめて“AR”として表現されており、専門家でない限りはその認識でいても特に問題はないため、以下MRも含めてARとして表現する。これを、遺跡・史跡での活用として表現するならば以下ようになる。

VR

CG等で作られた仮想現実を体験する。仮想物のみで構成された光景を体験者の視野に映しあたかも現実の世界のような風景として体感できる。

AR

現実世界にCG等で作られた仮想物を反映させて体験する。現実の風景にCGや写真等の画像を重ねたり文字情報を表示させることで、実際に見ている光景以上の情報が付加された光景として体感できる。

言葉が長くなって複雑になった感があるが、要は、

全てCG = VR

現実 + CG = AR

と考えておけば問題はない。

このVR/ARを導入することによって様々なことが実現可能となる。代表的な事例としては以下になる。これらは「はじめに」で述べた3つの問題点への対応になる。

①かつての建築物・光景の現地での復元体験・体感
「AR難波宮」「AR長岡宮」「タイムスコープ平安京」「歴なび多賀城」「AR蒙古襲来」「タイムスコープ安土城」「VR名護屋城」「松島ダテナビ」「よみがえる丸亀城」etc.

②発掘調査状態を現地での体感

「MなびAR」(南アルプス市)

「金沢城ARアプリ」「よみがえる丸亀城」etc.

③現地で各種情報の取得

史跡アプリ・観光アプリ等多数存在

3Dモデル、2D画像・写真、テキストをVR/ARで表示することで、上記を実現している。その他、VR/ARによって実現されていくことは、技術の進歩に伴って今後どんどん増えていくと思われる(図3)。

3. VR/ARの比較

遺跡・史跡でのVR/ARの最も効果的な活用としては、建築物等や光景の現地での復元体験である(図4)。その場合におけるVR/ARを比較した場合のそ



図3 「よみがえる丸亀城」発掘調査写真AR

れぞれのメリットは以下のようになる。

VR

- ・当時の光景全てが復元され、没入感が高い。
- ・表示位置の“ズレ”の発生に気づきにくい。

AR

- ・現実の光景にCGが重なって表現されるため、“現地性”が高い。
 - ・CGと一緒に写っての記念撮影ができる(図5)。
- 比較した場合のそれぞれのデメリットは、互いのメリットの逆ということになる。つまり、VRでは一緒に写っての記念撮影はできないし、ARではVRほど没入感が高くなく、表示位置の“ズレ”の発生がわかりやすくなる(“ズレ”については後述)。



図4 「AR長岡宮」朝堂院VR復元



図5 「AR長岡宮」AR桓武天皇との記念撮影

ARでは現実の光景も映るため、その部分に人が入りこめばCGと一緒に記念撮影ができることになる。また、現実の光景の中にCGが出現するということは、現実の光景の中にCGが出現する様子が表示されるため、目の前のその場所にかつて建築物があったということが、光景全てをCGにしたVRよりも直観的にわかりやすくなる（＝“現地性”が高い）。

4. VR/ARの起動技術

VR/ARを現地で体験できるようにするには、その現地でVR/ARが起動する仕掛けが必要になる。その仕掛け（システム）としては以下のものがあり、それぞれの長所・短所とを併せて記す。

（1）GPSによる位置認識

【長所】 暗い中でも利用可能。リアルタイムの位置追従も可能であるため、利用者が自由に動いてVR/ARを楽しむ仕様の実現が可能。

【短所】 天候やGPS受信衛星数等による精度の変化から、ある程度の誤差（ズレ）が発生する可能性がある。屋内では使用不可。

（2）Beaconによる位置認識

発信端末を設置し、モバイル機器等でBluetoothによってその信号を受信

【長所】 暗い中でも利用可能。屋内でも位置情報が取れる。リアルタイムの位置追従も可能であるため、利用者が自由に動いてVR/ARを楽しむ仕様の実現も可能（但しそのためには多数の発信端末が必要になり、また、GPS利用時ほどのリアルタイム性は望めない）。

【短所】 発信端末の設置・保守が必要。

（3）マーカーによる画像認識

マーカーをカメラで認識することで自身の位置を特定する（図6）。

【長所】 認識精度が高い。“ズレ”が発生しない。

【短所】 マーカーの設置・保守が必要。一地点に留まって利用することになり、利用者はシステムを利用しながら移動できない。

（4）マーカーレス画像認識

その場にある平面デザインや物体を登録しておき、それを認識することで自身の位置を特定する。

【長所】 現環境に手を加える必要がない。“ズレ”が発生しない。

【短所】 マーカーに比べて認識精度に劣り、一定以上複雑なデザインでないと認識できない。



図6 大阪歴史博物館内「AR難波宮」用マーカー

一地点に留まって利用することになり、利用者は移動できない。

以上の仕掛けによって利用者の平面位置を特定することで、VR/ARを起動することになる。なお、VR/ARの表示においては、平面位置情報に加えて端末の向き・角度の情報が必要になるが、それらは端末内のセンサー（コンパス、加速度センサー、地磁気センサー等）から取得することになる。屋外ではGPS、屋内ではマーカーが使用されることが多い。

5. VR/ARの復元CG描画方法

VR/ARにおいて、復元CGの描画方法としては以下の2種類がある。

(1) プリレンダリングによる復元

“予め作られた1枚の画像としての復元CG”を固定地点にて表示する。端末側では高度な処理は必要なく、ただ画像を表示するだけなので、端末の性能とは関係なく、どこまでも高精細なCGを表示することが可能。

但し、予め作られた画像であるゆえに復元CGに変化を起こすことはできず、利用者が移動しても画像は変化しないため、体験地点は固定地点となる(図7)。



図7 「よみがえる丸亀城」プリレンダリング復元

(2) リアルタイムレンダリングによる復元

復元CGをリアルタイムでレンダリング（＝描画）する方法。利用者が移動するのに応じて正しいアングルになるように常に（約1/60秒ごとに）復元CGが描き替えられる。これにより、例えば画面内に表示された復元建築物に向かって歩いていけば、だんだんとその復元建築物は大きくなっていく。復元建築物に寄りたいたいと思ったら寄って、すぐそばから見上げることもできる。復元CGの世界の中を自分の足で自由に歩き回ることができ、復元建築物を自由な距離・位置から自由なアングルで観て、撮影ができる。

但し、CG描画がスマートフォンの描画能力によるので、画像の精細さに制限がかかることになる。

リアルタイムレンダリングによる復元の場合には画像の精細さに制限がかかることになるが、アプリ開発の技術力次第でスマートフォンで楽しむには十分に高精細な復元CGを実現できる。実際に「AR長岡宮」(図8)、「歴なび多賀城」にてリアルタイムレンダリングによる長岡宮、多賀城・多賀城廃寺の復元体験ができるようになっているが、その復元CGの質は好評を得ている。また、平成27年度に弊社にて開発させていただいた「AR蒙古襲来」「松島ダテナビ」「よみがえる丸亀城」においてもリアルタイムレンダリングによる復元仕様を実装しているが、いずれもプログラム細部を改めてブラッシュアップすることで、従来のリアルタイムレンダリング復元CGよりも高精細な復元CGを表示することに



図8 「AR長岡宮」リアルタイムレンダリング復元

成功している。特に、いわゆる“近世城郭”復元アプリはこれまでもいくつか公開されているが、その中でリアルタイムレンダリングにおける復元CGの高精細ぶりでは「よみがえる丸亀城」がNo.1である。他の近世城郭復元アプリでは描画処理の技術的な問題であろうか瓦や石垣など省略されている箇所が散見されるが、「よみがえる丸亀城」ではそのような箇所はなく、近世城郭アプリにおけるリアルタイムレンダリングのレベルをさらに一段上げたものとなっている（図9）。

プリレンダリングによる復元は、どこまでも高精細なCGを表示することが可能な反面、固定地点からしか楽しめないため自由に移動して復元CGを楽しむことはできず、自由なアングルで復元CGを楽しめるというわけにもいかない。しかし、その固定地点を多数用意し、固定地点同士の間隔を小さくすれば、ある地点での復元CGを楽しみながら歩いてすぐ次の地点での復元CGを楽しめることになるので、“自由に歩き回っての復元CG体験”に近づくことにはなる。しかしこの場合には、異なる地点間移動の際に復元CGの切り替えが発生するため復元光景をスムーズに体験できるとは言い難く、また、歩いても画像が変わらないという時間が生じ、それが利用者の酔いの原因にもなりかねないため、開発者としてはお薦めはできない。

プリレンダリングとリアルタイムレンダリングの



図9 「よみがえる丸亀城」リアルタイムレンダリング復元

どちらが良い悪いということではなく、それぞれに異なるメリットがあることから、仕様として何を優先すべきか、復元対象建築物・光景の様子、現地体験の状況などを総合的に判断して、どちらの方法を採用するかを決めるべきだと考える。

6. VR/ARの使用機器

VR/ARを体験するデバイス（スマートデバイス）としては以下のようなものがある。

- ・スマートフォン
- ・タブレット端末
- ・ヘッドマウントディスプレイ、スマートグラス（図10）
- ・簡易VRゴーグル（図11）

このうち、ヘッドマウントディスプレイは視界を完全に塞ぐことから着けたまま移動するのは危険なため、座って体験することが推奨される。また、見える映像が3D映像になるため、酔いの防止という観点からも移動せずに体験することが求められる。

VRによる映像作品を遺跡・史跡近傍の施設内シアター等で上映することは上記のデバイス登場以前から存在しているが、スマートデバイスを使った取り組みとしては、遺跡・史跡の現地にてVR/ARを体験できるスマートフォン・タブレット端末向けアプリケーション（iOS・Android向け）を制作し、それをApp Store、Google Playにて無料配信することで利用者個人のスマートフォンにて当該アプリケーションを使用していただくことが主流になって

いる。スマートフォンをお持ちでない遺跡・史跡訪問者のために、アプリケーションインストール済のタブレット端末を貸し出しているところもある（向日市、名護屋城博物館）。

また、同じくタブレット端末を地元の小学校の校外学習に活用している例もある（向日市、丸亀市）。

そして、アプリケーションの一般配信は行わず、有料でのタブレット端末の貸し出し・有人ガイドによる城内ツアーのみを行っているところもある（福岡城、熊本城）。

スマートグラスを使ったものとしては平成22年の平城遷都1300年祭の頃より奈良県内にてVR/ARを体験できるイベントが開催されたり、また最近では

VR体験ツアー（有料）（江戸城）も開催されたりしている。

また、アプリケーションではなくwebでVR体験をできるようにすることもできる（仙台城、萩城）。

現地に設置したQRコードで認識させて当該webページを表示し、VRを見ることができる。

但し、webであるがゆえにARやリアルタイムレンダリングもできず、アプリほど色々な仕様を付加できるわけでもない。また、現地に行く行かないとは関係なく使用できることになるので、導入に際してはその事業の目的を踏まえて判断する必要がある。

7. VR/ARの注意点

VR/ARにては以下の点に注意する必要がある。

（1）ARではCGが必ず手前になる

ARはデバイスのカメラに映った現実の光景の上に重ねてCGを表示することになるので、必ずCGが手前に表示されることになる（図12）。

（2）GPSの誤差による“ズレ”

現在のスマートフォン等で扱えるGPSは精度が良い状況でも2～3mの誤差発生の可能性があり、それによってCG表示位置がズレることがある。カーナビではこの程度の誤差は問題にならないが、遺跡にARでCGを表示した場合にはその誤差による“ズレ”は気づきやすいものである。例えば図13の画像は向日市朝堂院公園における「AR長岡宮」朝堂復元ARのとある瞬間の画面写真であるが、現実に基づき土で表現された位置とCGの出現位置が少



図10 ヘッドマウントディスプレイによる丸亀城復元完全VR体験の様子



図11 「松島ダテナビ」用簡易VRゴーグル“ダテメガネ”



図12 大極殿復元CGと人が重なっている



図13 朝堂復元CGが少しズれている

しズれていることが分かる（画面右にズれている）。

例えば発掘現場写真のような比較的小さいものをARで表示する場合にはこのズレが大きな影響を与えてしまうのでよろしくない。よって、ズレが発生しないマーカー認識の手法が望ましい。

しかし、大きな建築物が目の前にARで出現した場合には画面にCGが大きく表示されるので、実際にその場でアプリを体験すると、そのズレは見た目程には気にならなくなる（長岡宮の場合も同様）。

また、VRの場合には現実の部分が見えないためズレが発生しても気づきにくい。

（3）建築物のAR復元に不向きな場合

上述の長岡宮朝堂跡のように、跡地が平面表示整備されていたり、跡地空間に何もなかったところはAR復元を行うのにうってつけのところである。しかし、跡地の現在状況が当時とは全く変わっており、その空間に別の建築物等が存在していれば、AR復元には不向きな場合がある。例えば図14の左の写真とはある市街地であるが、もしここにかつて大極殿が建っていたとしてARで大極殿を出現させても、絵として美しいとは言えず興醒めになる。このような場所で建築物復元体験を行うには、ARではなくVRの方が適していることになる。

8. VR/ARアプリケーション制作・配信等の留意点・注意点

スマートフォン・タブレット端末向けVR/ARアプリケーション制作における各種留意点・注意すべ



図14 とある市街地に復元CGがARで出現したイメージ画像

きこととして以下のようなことがある。

（1）開発費の調達

建築物の現物復元と比較すれば遥かに低い費用で制作できるといっても、それなりの費用はかかることになるため、文化庁等の補助金の活用を検討する必要がある。

（2）建築物等の復元CG

復元対象物の規模にもよるがこの制作だけで数百万円以上の費用が必要になることが多い。例えば復元CGを大学に作成してもらうことでその費用を抑えるという方法はあるが、この場合にはその著作権・使用权等権利関係について事前に明確にしておく必要がある。

また、以前に作成された既存のCGを活用したい場合には、その権利関係を確認する必要があるだけでなくデータ形式や解像度にも気をつける必要がある。どんな形式のCGでもスマートフォン・タブレット端末向けアプリケーションに流用できるというわけではなく、FBX形式に変換できるかどうかは1つの目安となる。また、そのCGの作成当時にはそれで必要十分な解像度・質のものであっても、現在の基準で考えれば質が低く、アプリケーションへの使用は控えるべき場合もある。但しその場合であっ

ても、新たに質の高い復元CGを作成する際の参考資料にはなる。

(3) 仕様書・契約

仕様書の内容は、事前に開発者とディスカッションし、書き込むべきことを判断すると良い。

開発業者選定手法としては、柔軟な発想の開発のためにはプロポーザルが望ましい。通常の入札とする場合は事前に事細かな仕様書を作成しておく必要があるが、このようなモノづくりにおいてはテキストでは完全に表現しきれない仕様もあるため、完璧な仕様書を事前に作成することはほぼ不可能である。ましてや開発期間中の技術の進化や発想の展開を事前の仕様書に記載することは絶対に不可能であるため、通常入札の場合には開発期間中に行うべき“より良いモノづくりを行うための柔軟な対応”という面で劣ることになる上、VR/AR開発の技術力が劣る業者が結果的に落札し、満足なモノが実現できなくなるというリスクもある。また、アプリ制作を単独事業とするのではなく、ハード面の整備・活用事業に含め、建築コンサルタントの下にアプリ開発会社が入る事例も出てきている。

(4) アプリケーションの配信

現在のスマートフォンのシェアから考えて、アプリケーションはiOS (iPhone/iPad)、Android向けに制作すれば良い。iPhone/iPadに対してはApp Store、Android端末に対してはGoogle Playにてアプリを配信することになる。アプリの配信にはそれぞれアップル、グーグルに対してアプリ開発者として登録（有料）する必要があるため、アプリの著作権は発注者が持ちながら、アプリ開発会社がApp Store、Google Playでのアプリ配信者となる場合が多い（アプリ開発者として登録するには基本的にクレジットカードが必要になる）。

(5) 遺跡周辺の通信環境とアプリの利用

1) アプリダウンロード時

アプリサイズが100M以下の場合には通信環境には特に気を払う必要はない。しかしアプリサイズが100M以上になると、

・ iPhone/iPadの場合

App StoreからはWi-Fi接続でなければアプリをダウンロードできない。

・ Androidの場合

Google Playからのアプリダウンロードにおいてはアプリサイズによる制限はないが、100M以上のサイズのアプリダウンロードを3G回線で行うにはかなりの時間がかかる。LTE回線にて電波状況が良ければ時間はかなり短縮されるが、Wi-Fiが使えるに越したことはない（図15）。

よって、フリーのWi-Fiスポットの整備が望まれる。ただ、現在は街中にフリー Wi-Fiスポットは数

【アプリサイズが 100M 以下の場合】



【アプリサイズが 100M 超の場合】



図15 アプリダウンロード回線概念図

多く存在し、Wi-Fiを自宅に持つ人も増え、さらに持ち歩く人もいる。実際に、史跡を対象としたアプリにおいてアプリサイズが100Mを超えた場合にダウンロード数が減るという傾向が顕著に見られるわけでもないため、アプリサイズ100M超の場合でも、Wi-Fi環境を新たに整備することは（できるに越したことはないが）必須とまでは言えないと考えて良いと思われる。

なお、外国人観光客は通常は日本の通信回線と契約していないため、アプリサイズが100M以下か超かに関係なく、フリー Wi-Fiスポットでしかアプリダウンロードができないことになる。

2) アプリ使用時

大容量の動画や音声等をアプリに実装するとアプリサイズがかなり大きくなる。アプリサイズを増大させずに多大なデータ（復元CG、動画、音声等）をアプリで扱えるようにするために、そのアプリ専用のサーバを立ち上げ、アプリで使用するデータをアプリ本体に内包せずにサーバに置いておき、アプリ使用中に随時サーバから必要なデータをダウンロードするという手法がある。この場合、通信圏外の地点ではデータをダウンロードできなくなる。そ



図16 専用サーバ使用の場合の概念図

してその通信（サーバからのデータダウンロード）には使用者個人の通信費用が発生することになるが、多くの使用者は通信費用を定額契約しているため、さほど気にする必要はないと思われる（図16）。

(6) アプリの機能と運用

- ・自由に歩き回ってのVR/AR体験では「歩きスマホ」となるため、周辺の安全性の確保が必要となる。例えば「AR難波宮」では難波宮跡公園に復元された大極殿基壇の位置にARで大極殿が出現するようになっているが、基壇は高さ約2mでその上部には柵もないため、もしも基壇上で端末画面を見ながら歩き回ると足を踏み外して2m下へ落下する危険性がある。よって「AR難波宮」は基壇上ではARは体験できない仕様となっている。
- ・スマートフォン・タブレット端末を所持していない来訪者や教育利用などに向けて、貸し出し用端末を用意することが望ましい。この場合、アプリ使用時に通信費がかかる仕様の場合にはもちろん通信費は貸し出し側にかかることになる。ランニングコストをかけたくない場合には、貸し出し用端末においては通信不要の機能に限定するなどの工夫が考えられる。
- ・新しくフリー Wi-Fiスポットを設置するならばそのランニングコストは必要となる。
- ・AR体験ではカメラのついた端末を様々な方向に向けることになる。AR体験場所が住宅地等の場合には、貸し出し端末の裏面に「AR体験中」などと表示するなどの対策により、カメラ画像に移りこむ個人・個人宅等のプライバシーに配慮する工夫が必要となる。

(7) 保守

- ・専用サーバを立てた場合、サーバ保守を行う必要が生じる（ランニングコスト発生）。
- ・専用サーバを立てず、かつ開発会社からのアプリ配信とすれば、特に有償なミドルウェア等をアプリに使用していない限り、常態的なランニングコストは発生しなくなる。
- ・但し、アプリの対応OSがバージョンアップした

場合（iOS/Android OSともに大きなバージョンアップは年1回程度）、その内容に応じてアプリの更新の必要があるかどうかその都度判断し、更新が必要ならその対応作業のために別途費用が発生する。OSバージョンアップの詳細内容が事前には不明なために、更新の必要が生じるか否かは事前には予測できない上、対応が必要な場合のその作業量もそのときになってみないと正確にはわからない。この点については予めOSバージョンアップへの対応更新を行う保守契約を定額で開発会社と結んでおくという手法もある。

9. おわりに

以上、VR/AR技術やそのアプリケーション等に関して留意すべきこと、注意すべきことを記載した。しかし、この分野における技術は日進月歩であり、今までできていなかったことも突然明日にはできるようになることもある世界である。そしてその技術の用途としての創造性・拡張性は計り知れない。また、OSに関する規約等が変更になる可能性もある。ゆえに、本稿で記載した内容について明日にも陳腐化する可能性があることはご容赦願いたい。

本稿が、各方面において今後の検討材料の1つとして役立てば幸いである。