

VR/AR技術を活かした 丸亀城体験アプリ作成とその活用

— 観光的活用と教育的活用 —

後藤 幸功（丸亀市教育部総務課文化財保護室）

1. はじめに

丸亀市は、香川県のほぼ中央部に位置し、北は風光明媚な瀬戸内海国立公園、南は讃岐山脈に連なる山々、中央部に讃岐平野の一部である平坦な田園地帯が広がる中西讃地域の中核都市である。規模は東西24.16km、南北23.82km、面積は111.80km²で、市の中央に標高422mの飯野山（別名讃岐富士）が聳え、その北方に青ノ山、中心には土器川が流れ、平野部には瀬戸内式気候の温暖少雨に備え多数の溜め池が点在する讃岐特有の空間が見られる。

瀬戸内海に面する亀山に丸亀城が築城されると同時に城下町が形成され、江戸時代後期にはこんぴらさんへの玄関口として繁栄した。明治維新後は、城跡や武家屋敷跡に歩兵第12連隊が置かれ、軍都として発展し、終戦後、跡地には官公庁が置かれ周辺には中心市街地が広がっている。

平成の大合併により、平成17年3月22日に旧丸亀

市、旧綾歌町、旧飯山町が合併し、新「丸亀市」として新たに発足し、中西讃地区では初めて人口が10万人を超える人口約11万人となり、香川県第2の都市として現在も重要な役割を担っている（図1）。

2. 史跡丸亀城跡について

（1）丸亀城の歴史

丸亀城は、天正15年（1587）讃岐一国の領主となった生駒親正・一正親子によって、中世の城跡があったといわれる亀山（波越山）に、西讃岐を治めるため慶長2年（1597）から5年がかりで近世城郭が築かれたことにはじまる。元和元年（1615）の一国一城令により一度は廃城となるも、生駒氏の改易によって讃岐は東西に二分され、東に松平氏、西に山崎氏が入封することとなり、西讃岐5万3千石の藩主となった山崎家治が生駒氏の城跡を利用して寛永20年（1643）に築城を開始したのが、現在残る丸亀城である。

山崎氏は藩主が夭折し3代で改易となり、万治元年（1658）に丸亀藩主となった京極氏が、明治維新まで7代210年余りに渡って統治した。維新後は陸軍の所管するところとなり、明治9年（1876）ごろまでに現存する天守、大手門、藩主玄関先御門を残してすべての櫓や門が取り壊されてしまった。また、現在、丸亀市立資料館が建っている場所にはかつて藩主が住んでいた御殿があったが、明治2年（1869）の出火により、残念ながら焼失してしまった。戦後は、内堀（水濠）以内の城の全域が亀山公園として一般開放され、市民の憩いの場として現在に至って



図1 丸亀市街地（空撮） 中央右寄りに丸亀城跡



図2 史跡丸亀城跡（空撮）

いる。

（2）丸亀城の概要

内堀で囲まれた東西約540m、南北約460m、約204,756㎡が昭和28年3月31日に国の史跡に指定されている。敷地内には正保年間の創建と考えられる重要文化財の天守、寛文10年（1670）建築の重要文化財の大手門、また江戸初期の建築と考えられる県指定文化財の藩主玄関先御門などの建造物が残っている。

敷地中央に標高66mの亀山が聳え、山上の最も高い場所に天守が建つ本丸を配置し、下から順に、山下曲輪、帯曲輪、三の丸、二の丸、本丸へとつづく、輪郭式と梯郭式を組み合わせた縄張りをとっている（図2）。丸亀城の見所はなんと言っても石垣であり、その高さは25mに及ぶ場所もあり、見事な石積みみの曲線美は「扇の勾配」と呼ばれ賞されている（図3）。また、高石垣が山全体を取り囲む姿は見事であり、現存する木造天守とあいまって美しい景観を作り出し、市のシンボルとなっている（図4）。

（3）整備事業の概要

寛永年間の築城から約370年を経過した石垣は、至るところに経年や樹木の影響による石材の割れや孕みが見られるようになり、このままでは崩壊などの危険性もあることから、文化財保護と安全性の確保の点から、平成3年に城郭整備に関する有識者からなる史跡等整備懇談会を設置し、丸亀城の保存整備についての基本計画策定を行った。



図3 三の丸高石垣（北西部）



図4 史跡丸亀城跡（大手から天守を望む）

その中で石垣の解体修理事業を中心に、城内にある動物園や遊園地、城内グラウンドなど様々な施設も順次、閉鎖・撤去し、江戸時代の丸亀城の姿を復元することを目指して整備を進めていたところであったが、丸亀市においても財政難のため平成17年から平成22年まで石垣修理事業が凍結される状況となっていた。しかし、ようやく平成23年度から事業が再開されることとなり、今年からは約7年がかりで三の丸坤櫓石垣の修理に着手しており、今後も順次、事業を進めていく予定である（図5）。

また、整備を進めるのと平行して、かつて山上にあった櫓群を復元し、丸亀城の往時の姿を復元すべく、平成16年から復元に必要な古写真や資料等に1千万円の懸賞金をかけ、全国的に探しているところ



図5 石垣毀損状況

ろではあるが、現在まで発見には至っていない。

3. アプリ導入の経緯・目的

(1) 経緯

丸亀城には、かつて山上の本丸に残る三層三階の天守を含めた12の櫓が建ち並び、その櫓を渡櫓でつなぐ形態をとっていた（図6）。具体的には、本丸と二の丸は五間四方の二重櫓が四隅に建ち、それらの櫓を渡櫓がつなぎ、本丸と二の丸の曲輪全体を取り囲んでいた。三の丸については、北東を除く3カ所に同じく五間四方の二重櫓が独立して建っていた。また、三の丸から少し下がった桁の木門（搦手門）を見下ろす位置にも平屋の建物（藩主玄関先御門）が残っていたが、先述のように天守、大手門、藩主玄関先御門を残してすべて取り壊されてしまった。

このようなかつての様子は、文化財担当者のほか丸亀城ボランティアガイドや歴史研究家などの一部の文化財愛好家にしか知られていないことは、誠に残念な限りであった。そのような状況であることから、以前から文化財の見学会や発掘調査の説明会など様々な機会を捉えて、各方面の研究者が作成された復元図などを用いて普及啓発を行ってはいたが、十分ではなかった。

また、丸亀城は城内に24時間自由に無料で出入りできることから市民の憩いの場となっているが、これは市民にとってはあまりにも身近すぎて、その重



図6 市指定文化財 丸亀城木図（山上部分）



図7 史跡丸亀城跡（北側から）

要性・価値を認識している人は大変少ないように思われる。市民からも「丸亀には小さな天守しかない」「あれは天守ではない」というような言葉をいろいろな場面で聞いており、このような状況を招いていることは、文化財担当者としてはかねてから忸怩たる思いであった。大手門越しに見上げる天守と高石垣だけでもその姿は美しく（図7）、「全ての櫓が残っていたらどれだけ素晴らしい眺めだっただろう」「何とかしてその姿を復元できないか」と文化財関係者で話す機会はこれまで何度もあった。

(2) 目的

そこで、近年の目覚ましい技術革新により、スマートフォンやタブレットを活用した歴史体験アプリが全国の城郭や遺跡で導入が始まっていることを知り、丸亀城においてもCGによってかつての櫓群が建ち並ぶ姿を復元し、体験できるアプリを作成できないかという話が持ち上がった。

丸亀城は年間10万人の入場者がある市内では最も

重要な観光スポットではあるが、さらに観光客を呼び込むという観光的側面と、丸亀城の往時の姿を広く市民に知っていただく、特に将来を担う子どもたちに正しく知ってもらい、郷土に愛着と誇りを持ってもらうという教育的側面の両面から大変有効ではないかと判断し、今回のアプリ導入を決定した。

丸亀市においては、平成27年度の地域活性化交付金を活用できることとなり、丸亀市を中心とする中讃地域2市3町の定住自立圏で取り組む観光活性化事業として、各地域の特色ある歴史や文化を題材として取り上げたアプリを共同で開発することとなった。

4. アプリの内容と特徴

(1) 内容

今回、開発することとなった「よみがえる丸亀城－丸亀歴史体感アプリ－」は、丸亀城を中心とする城下町に点在する文化財を紹介するとともに、今は失われた櫓などの風景をVR（Virtual Reality、仮想現実）やAR（Augmented Reality、拡張現実）などの技術を活用して疑似体験できることを目的に作成したものである。

1) 丸亀城復元VR

内容の最も中心的な部分となっているのは丸亀城復元VRである。これは、かつて山上にあった建物群をCGによって復元し、スマートフォンやタブレットを通して見ると当時の様子が体験できるというものである。その手法にはプリレンダリングとリアルタイムレンダリングという手法があり、丸亀城の復元VRにはその両方を採用した。

まず、プリレンダリングという手法は予め作成された360°の復元CGを定点で体験するというものであり、丸亀城においては本丸VR、二の丸VRという形で採用した。これはプリレンダリングという手法が、ある1ヶ所の定点での周囲360°の復元CG画像を体験することができるものであることから、周囲を二重櫓と渡櫓などの建物で取り囲まれ、いろいろな地点から見てもあまり変化がない本丸と二の丸の



図8 本丸VR

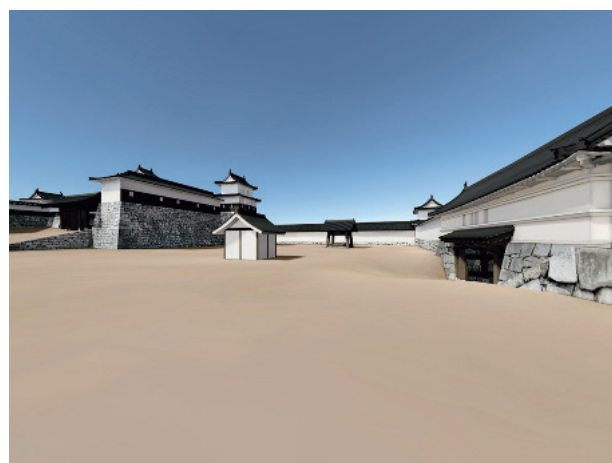


図9 二の丸VR

内側においては、この手法が適していると判断したからである。これによって本丸、二の丸では体験する人の持つ端末機の位置情報をGPSで確認し、定点での周囲360°の復元画像を体験することが可能となった（図8・9）。

また、これと違ってリアルタイムレンダリングという手法は、GPSと連動することによって見学者の位置が移動すると瞬時にそれを端末機が処理し、復元CGをリアルタイムに再現して画面上に表示するというものであり、丸亀城においては三の丸以下の城内及び大手周辺で採用した。これは変化に富む石垣や様々に連なる建物群を、自由なアングルで楽しむことができるのに最適であることから採用した。

これにより、三の丸以下の城内及び大手周辺ではスマートフォンやタブレットをかざして自由に歩き

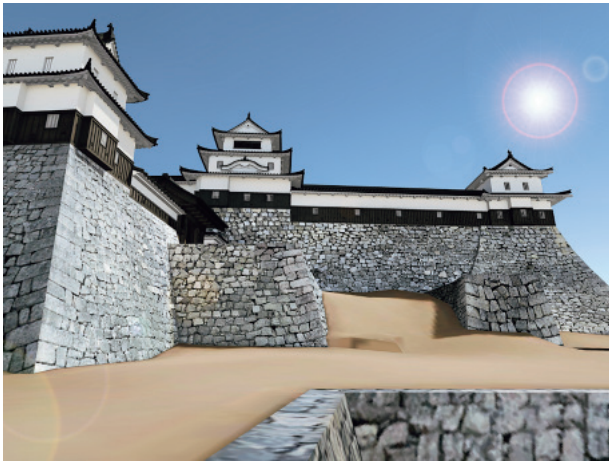


図10 三の丸VR



図11 丸亀城復元CG (山上部分)

回りながら当時の城の様子を自分の好きなアングルから視覚的に体験できるようになった。これらは三の丸VRと大手門VRとしてまとめている（図10・11・12・13）。

特に大手門VRでは現存する大手門と今は無くなってしまっている土堀をCG復元し、枡形内に入ると周囲の土堀の狭間からは鉄砲で撃たれ、大手門の石落しからは石や檜で攻撃されるという体験ができるシステムとした。これにより、防御の設備が実際にどのように使われていたかを具体的に体験できるようになった（図14）。

CG作成には城郭研究の権威である広島大学大学院の三浦正幸教授に、丸亀城の地形測量図や現在残る天守や大手門などの図面、城絵図などを参考に復元図を作成していただくとともに、監修をお願いした。何分、明治初期に櫓群が取り壊されていること

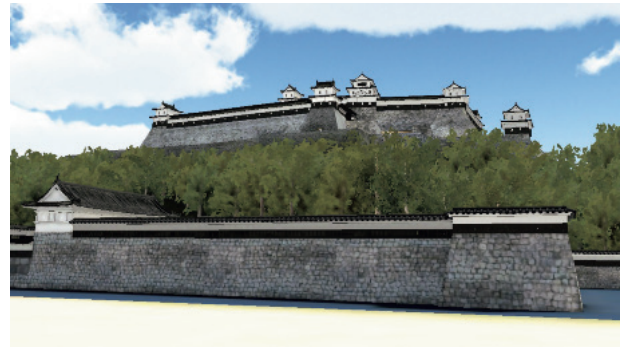


図12 丸亀城復元CG (大手付近から)

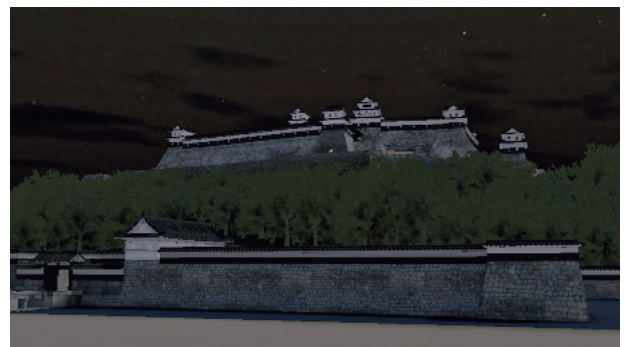


図13 丸亀城復元CG (夜景モード)



図14 大手門VR

もあり、以前から資料収集は行ってきてはいるが、古文書類や古写真などの資料は少なく、発掘調査の成果と城絵図に頼らざるを得なかった。幸い丸亀市には丸亀市指定文化財の「丸亀城木図」が残っており、これが復元の際に大変参考になった。この木図は、寛文10年（1670）に現在も残る大手門を建設する際に幕府に提出したものの控えと見られる立体模型で、1/650のスケールで精密に作られたものである。しかし、この木図には御殿は表現されておらず、本来ならもう少し時間をかけて、資料調査を行ったうえでこの御殿などの復元もしてみたかったところ



図15 VR風AR（二の丸大手門）

ではあるが、時間や費用などの制約もあり今回は断念せざるを得なかった。

また、今回の丸亀城復元VRは周囲に高い建物が少ない平山城である丸亀城の特性を活かして、CG復元した建物の背景を現実の風景に画面を切り替えることにより、VRのようなAR体験ができる工夫をした。これによってよりリアルに、CG復元した建物を現実的に体感することが可能となった（図15）。

2) 丸亀巡り

このほかにも丸亀巡りというメニューでは、独自に作成した丸亀城の地図データとアップルマップ・グーグルマップを併用した地図上に、丸亀城や城下町に残る寺社仏閣など様々な文化財や見所のポイントを表示し、そのポイントをタップすると写真や文章でその内容を説明する機能を持たせた。ポイントの中にはARのポイントも設けており、その場に行きGPSが位置を確認すると、写真や2D（二次元）画像を現実の光景に重ねて表示する機能も備えている（図16）。

具体的には、長年行ってきた発掘調査や石垣修理事業によって発見のあった写真などをその場で表示し当時の様子を知ることができる「発掘AR」（図17）や、後世の改変などにより地形や昔の様子が変わってしまった城内や城下町の様子を昔の古写真を表示させ現場で見ることができる「古写真AR」である（図18）。

そのほか、丸亀にゆかりのある人物の2D画像を、人物ゆかりの場所で出現させ、一緒に記念撮影を楽

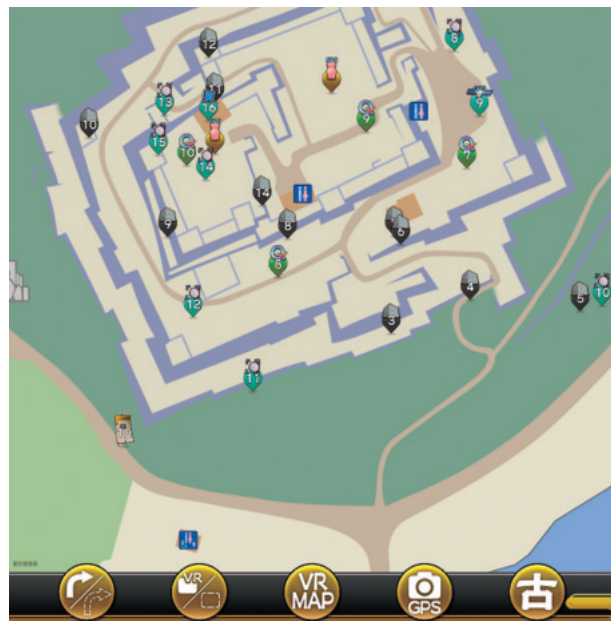


図16 マップ画面（通常表示）



図17 発掘AR（本丸北側渡櫓跡）



図18 古写真AR（丸亀城見返り坂）

しむと同時に、その人物についても学習できる「ゆかりの人物AR」の機能も備えている（図19）。

また、マップについては江戸時代の古地図に表示を切り替えることもでき、丸亀城だけではなく周辺の城下町も含めて古地図上を散策するような体験が



図19 ゆかりの人物AR（金毘羅船と弥次喜多）

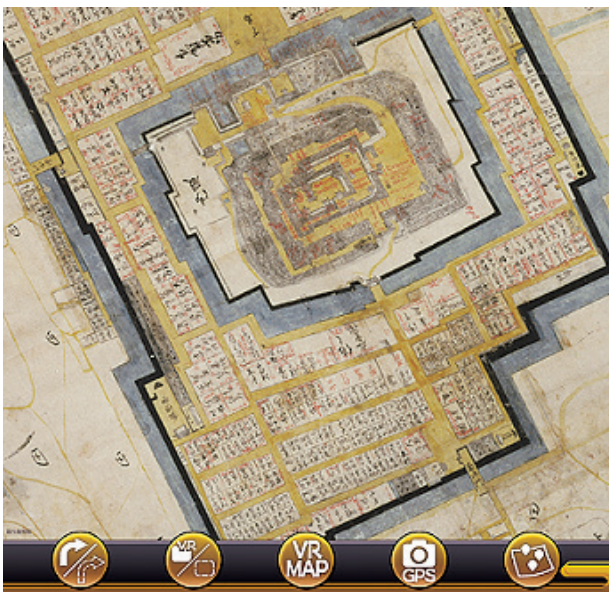


図20 マップ画面（古地図表示）

できる工夫をした（図20）。その他、近年のインバウンドにも対応するべく内容表示については英語、中国語（繁体字、簡体字）、韓国語の4ヶ国語にも対応させている。

3) 丸亀城クイズ、おまけ

子どもたちに楽しんでもらえるよう丸亀城内にクイズのポイント10ヵ所に設け、正解するごとに昇格していくようにし、全問正解すると丸亀城グッズをプレゼントすることとしており、誘客を図るとともに楽しんでもいただけるような工夫もしている。

そのほか、おまけとしてアプリのARカメラを起動して、マーカーカードと呼ばれるマークを写すと手のりサイズの丸亀城天守の3D（3次元）画像や、近年オンラインゲームで擬人化され注目を浴びている、丸亀市が所有する名刀「ニッカリ青江」の実物



図21 マーカーカード（2種類）



図22 手のり丸亀城天守AR



図23 名刀「ニッカリ青江」AR

大3D画像が現実のように飛び出してくる機能も持たせており、それらと一緒に記念撮影することもできる。また、マーカーカードを配布することでアプリのPRを図っている（図21・22・23）。

（2）ヘッドマウントディスプレイ「Oculus Rift」

今回のスマートフォン、タブレット用アプリの開発と合わせて、今後のイベントや資料館で教育普及活動を実施することを目的として、視野角が最も広いヘッドマウントディスプレイ「Oculus Rift」を

利用し、その場に居ながら丸亀城の360°復元CG、つまり視野全てが映像で埋まる言わば「完全VR」として体験できるシステムについても開発・導入することとした。また、3D復元したデータを活用して名刀「ニッカリ青江」を自分が手に持ち、名称の由来となった幽霊退治の伝説を体験できるシステムもあわせて開発した（図24）。

これらに関しては、毎年ゴールデンウィークに開催される丸亀市の一大イベント「丸亀お城まつり」においてOculus Riftを使用して体験会を実施し、多くの方に体験していただいた。参加者は一様にその迫力に驚きを見せるとともに、大変好評であった（図25）。



図24 ニッカリ青江体験



図25 Oculus Rift体験会

5. 今後の課題

（1）公開・活用

アプリの公開に関しては今年の4月からの運用開始で、iOSとAndroidに対応するため、App StoreとGoogle Playの両方で公開しており、現在のところは両方あわせて月170件から350件を越えるダウンロード数があり、ペース的には多くの方に利用していただいているようである。今後はイベントごとにアプリ体験会を開催し、利用者の拡大を図って行きたいと考えている。アプリの利用者の反応としては、やはり自由に歩き回りながら自由なアングルで復元CGを楽しめることから概ね好評を得ている。また、スマートフォンを持っていない世代向けにはタブレットを20台用意しており、丸亀市観光協会などの協力を得て、観光案内所などで貸出を実施し、活用に努めて行きたいと考えている。ほかにも、丸亀城にはボランティアガイドが活動しており、アプリを活用したガイドができるよう研修会を実施するとともに、児童生徒の校外学習にも利用していただくなど、様々な場面で活用していただくことを期待している。

また、これらのアプリの存在を知ってもらい、活用を推進していくため、先述のマーカーカードを使って、広くPRを図って行きたいと考えている。担当者としては、更なる誘客という観光的側面と丸亀城の真の姿を知っていただきたいという教育的側面の両面において大きな期待を寄せている（図26）。

（2）課題

今回は歴史をあまり知らない人たちや子どもたちを中心に、楽しんでもらいながら学習体験をしてもらうことを主眼にアプリを作成したこともあり、いわゆる歴史マニアの人には物足りなさを感じる部分もあろうかとも思われるが、内容的には盛りだくさんのものとなったと感じている。

アプリ開発の期間が短期間であったため、推敲期間があまりとれなかったことは自分としても少し問題を感じている。



図26 校外学習活用状況

また、丸亀城と城下町にスポットを当てたため、そのほかの重要な遺跡や文化財を掲載することができなかったことや、城内の御殿や武家屋敷の復元、他にも現在は埋め立てられ道路になってしまっている外堀跡や藩主の船入跡のCG復元など、今後も新たな情報を追加し、アプリの改良を図って行きたいと考えている。

ほかにもランニングコストを抑えるため、サーバーなどは設けなかったことにより、データ量が多くなりすぎてダウンロードしにくいことや、GPSの誤差により、ARの際にどうしても画像がずれてしまうなどの問題も残る。それに付随して、画像のズレを防止するため、マーカーカードによる手法とすると文化財への設置方法に配慮しなければならないという問題も発生する。また、Oculus Riftはゲーム性もあり大変、面白いものではあるが、視覚発達が未熟な小さい子どもが利用できないなどの点もあり、今後の技術革新によりこれらの問題も解決できるようになることを望んでいる。

6. 最後に

今後さらに技術の革新が進むことにより、いろいろな問題点も解消されより使いやすく、より新たな面白いことが可能になることが予想される。また、他市の先進事例によるとアプリを導入し復元CGを体験することによって、建物をより具体的にイメージできるようになったことに伴い、建物復元を望む市

民の声も上がるようになってきていることも聞いており、本市としても以前から目指している櫓復元の起爆剤にもなればと期待をしているところである。

今回の開発で感じたことは、視覚的に文化財を見せるということは、今は失われてしまっている文化財を理解してもらうためには非常に有効な手段であり、また景気の好転が望めない中、文化財保護は財政的にますます難しくなっており、そのような状況の中で文化財保護の必要性を訴え、理解を得ていかなければならないという状況下では大変有効な手段であると感じた。

そのほか、どうしてもこのような文化財関係のアプリ開発に関しては、文化財担当者の考え方が大きなウェイトを占めることとなり、専門的な細かな部分にとらわれて、いろいろな人に使ってもらえるような面白い内容にならないなどの問題があるように思える。文化財担当者もある程度、割り切る部分が必要であると感じている。一方で、観光部局が担当するとやはり文化財の復元や説明などの部分が不十分で、観光的要素が強くなってしまっているように感じる。観光部局などの市長部局との連携は、事業実施においては必要不可欠であり、それは内容の精査、公開活用、資金調達など様々な点にわたって連携を図り、バランスを取りながら事業を遂行していくことが、今後さらに重要になると痛感した。今回もアプリを利用するためのWi-Fi整備や公開活用等に関して、関係各課の協力がありなんとか事業完了までたどり着くことができ、大変ありがたく感じている。

最後に、広島大学大学院の三浦正幸教授や各方面の方にご協力をいただいたことに厚く御礼申し上げたい。特に担当業者である株式会社Xeenには短期間の間に様々な提案をしていただくとともに、こちらの要望事項を盛り込み、なんとか事業を遂行していただいた。この場を借りて御礼を申し上げたい。