

# 時計台プロジェクト

巳波 弘佳

キーワード：プロジェクトマッピング, Project Based Learning, 負荷分散, アルゴリズム,  
待ち行列

## 1. はじめに

最近、各地でプロジェクトマッピングの上映が流行しています。プロジェクトマッピングとは、建物や物体、空間などの実物に対して、コンピュータグラフィックス映像をプロジェクタなどで投影する手法のことです。

関西学院大学では、創立 125 周年である 2014 年度から、クリスマス祝賀イベントとして、国の重要文化財でもある大学時計台に投影するプロジェクトマッピングを実施してきました。美しい映像と大学時計台のコラボによる幻想的な世界を広大な芝生広場の空間に創り出すこのイベントは、高い評判を呼び、Facebook の「いいね！」は 1 万件を超え、また 1 万人を超える来場者を集め、海外の TV ニュースでも放映されるビッグプロジェクトです。しかし、これは単なるエンターテインメントを目的としたイベントではありません。実は、一種の PBL (Project Based Learning) なのです。

PBL やアクティブラーニングというキーワードは、OR 分野のみならず、近年の大学教育を賑わせていますが、関西学院大学も重点項目の一つとして取り組んでいます。本稿の筆者の巳波は、学長補佐、アカデミックコモンズ活性化委員会委員長、そして時計台プロジェクトマッピング総合プロデューサーなどの様々な立場で、多くの実験的な取り組みを行ってきました。

本稿では、これらの取り組みを紹介し、さらに時計台プロジェクトマッピングプロジェクトで開発された技術について紹介します。

## 2. 関西学院大学アカデミックコモンズ

文科省中教審答申 [1] において、大学教育では専門的知識や技能の習得のみならず、学生が主体的に問題

を定めてその解決に取り組むこと、またそのために主体的に学習する機会を保証し促進することが重要な課題として挙げられました。そのためのアプローチとして、PBL やアクティブラーニングなどがありますが、これらは一方向の知識伝達型授業の改善として導入されたものであり、課題解決のためにプレゼンテーションやディスカッションなどを通して学生を主体的に学習させることを重視しています。これらは基本的に正課授業において実施される教育手法です。

一方、授業と直接的な関連がない正課外の学習活動に着目するものがあります。これまで、サークルやクラブ活動など正課外の活動は、大学が積極的に支援すべき学習の機会として位置づけられてきませんでした。学生が主体的な活動であること、学生が実社会と接点をもつ機会も多いことから、その意義が見直されてきており、また教育学分野において研究も始まりつつあります [2, 3]。

正課外の学習活動では、学生は大学の意図に沿って活動しなければならないという制約はありません。そのため、学生が学習活動に取り組むこと自体も、学生の主体性に依存します。成績評価や報酬による強制力もない状況で主体的な学習活動を促進することは容易ではないため、そのような試みはこれまでほとんどありませんでした。しかし一つの例として、関西学院大学の理工学部と総合政策学部の学生約 5,000 人が学ぶ神戸三田キャンパスに 2013 年 4 月に開設されたアカデミックコモンズが挙げられます。

アカデミックコモンズは、授業課題の学習場所という位置づけに留まらず、授業に限らず学生が興味・関心をもったことにグループで取り組み、企画立案・研究開発・広報を行っていくことも広く大学での学び（インフォーマル・ラーニング）と捉え、むしろ積極的にこのような活動を取り込んで展開する場として位置づけました。一般的には正課授業に関連する課題に取り組む場として活用されることが多いラーニングコモンズとは異なり、正課授業と直接的に関連づかない学生

みわ ひろよし  
関西学院大学 理工学部  
〒 669-1337 兵庫県三田市学園 2-1  
miwa@kwansei.ac.jp

の活動も展開している点が、アカデミックコモンズの大きな特徴です。

主体的な学習活動を促進する仕掛けとして、グループが一定期間で達成する目標を掲げて挑戦する「プロジェクト」があります。選考のうえ、活動場所や経費補助、広報など様々な支援も受けられる「リード・タイプ」プロジェクトや、経費補助はつかないもののスキルアップ支援などが受けられる「チャレンジ・タイプ」のプロジェクトなど複数のタイプがあります。これらのプロジェクトは一年限りであり、自動的な継続は認められません。グループとして継続して活動する場合は、発展的な目標を新たに設定しなければならないため、プロジェクトのこれまでの成果と今後の進め方について否が応でも再考し、企画して申請書をまとめる過程が必要となります。また、ある学生の活動によりほかの学生の活動を生み出すという連鎖反応を引き起こすことを目的として、プロジェクトにはアカデミックコモンズ内で成果を披露・還元するためのワークショップや発表会を開催することを奨励・促進しています。

プロジェクトに対する重要な支援の一つとして、コーディネータの関与があります。コーディネータによる面談や助言による活動の促進、ワークショップの活性化などに関するスキルアップ講座の提供、プロジェクトと適切な学内外の専門家との橋渡しといった様々な支援をすることにより、目標への早期到達や目標レベルの引き上げが期待できます。コーディネータは学内の教職員ではなく、あえて学外の専門家としています。これにより、どのプロジェクトとも適度な距離感をもって客観的立場から関わることができ、学生への過度の関与や強制、偏った誘導などが回避できるようにしています。

リード・タイプのプロジェクトとしては、2013年度6グループ、2014年度11グループ、2015年度7グループ、2016年度では11グループがあります。今年度（2016年度）は学生約100人が参画し、そのうち四つのグループは新入生・編入生を中心としたメンバによるものです。プロジェクトの例として、子どもや一般人向けにプログラミングワークショップを開催することを目的としているものがあります。これは、ICT技術の普及と人材の裾野の拡大を目的とするだけでなく、自らのプログラミングスキルの向上のみならず、ワークショップのファシリテーション能力の向上も目指しているものです。ほかにも、理工系のテーマのものであれば、身近な機材でロボットを作るワークショップ

を開催するプロジェクト、オリジナルOS開発を目指すプロジェクト、映像制作を行うプロジェクトなどもあります。学生が主体的に実社会と接点をもつという観点からORの実践とも相性がよいため、様々なプロジェクトに対して、OR的な知識を学んで活用するような助言をする場合もあります。

これまでの一般的な正課外の学習活動としては、国際ボランティアなど「文系的な」グループが多く、理工系のテーマのものはグループ数もテーマ数も少ないというのが実態でしょう。しかし、アカデミックコモンズでプロジェクトを募集すると、理工系テーマのプロジェクト申請も多く、参加している総人数では文系的なテーマのプロジェクトのものとはほとんど変わりません。これは、特に理工系の学生の中に、積極的にグループを結成して活動するためのハードルの高さに躊躇していた学生層があること、また適切な環境があれば彼らを誘い出せることを示唆しています。また、文系理系問わず多くの学生がプロジェクトに関わっていることは、強制や報酬がなくても、より高い達成感を得られると判断したら活動する学生層があることも意味しています。アカデミックコモンズの仕掛けは、学生の中にある、「『やらされる』のではなく主体的に『何かをやってみたい』『やり遂げたい』」という思いを引き出し、実現するための仕組みとして機能していると考えられます。これは、正課授業で得られる能力を補完し、教育的効果を相乗的に高めることができる可能性があります。アカデミックコモンズにおける正課外の主体的な学習活動を促進するプロセスや要因については広く関心を集めており、これまで国内外から600人以上の視察・見学があり、研究対象としても注目されています。

### 3. 関西学院大学時計台プロジェクト ピングプロジェクト

#### 3.1 プロジェクトとOR

アカデミックコモンズの成功もあり、時計台プロジェクトも同様のスタイルで進められることになりました。神戸三田キャンパスにあるアカデミックコモンズに関わる学生だけでなく、全学的な学生の協力が必要であるため、学長室が主導で学生を募集してプロジェクトを構成しています。

プロジェクトには、数十人のコアメンバのほか、大学聖歌隊や交響楽団などの協力者も多数関わっています。まず全体の企画方針を決め、全員で何度もディスカッションを通して詳細なシナリオや絵コンテを作成

します。それと並行して、コンテンツ制作のためのスキルも学びます。映像制作のみならず大部分の音楽は作曲・編曲するため、美術・作曲・プログラミングなど様々な能力・スキルが必要となります。しかし、多くは初心者なので、映像・音楽制作手法や、ネットワークプログラミング技術も学びます。当初は夏休み中に制作をすべて済ませることを目標とするものの、シナリオ決定の遅れや見直しなど様々な不測の事態が多々発生するため、実際には9月以降が山場となりますが、12月上旬の試写までにはコンテンツ制作はすべて終えます。実施前日には、プロジェクトやスピーカ、オペレーションセンタとなるテントなどを設営し、夜を徹して投影に向けた最終調整を行います。そして、金曜の夜から土曜・日曜と続く3日間の上映を迎えるという流れになります。なお、当日には関連イベントとしてワークショップも開催しており、これらも同時並行で別メンバによって準備がなされ、実施されます。

プロジェクト遂行のための様々なOR手法がありますが、これまでは残念ながら実際に活用するまでには至りませんでした。学部・学科どころかキャンパスも異なる大勢のメンバが、成績評価や報酬のような何の強制力も促進力もないにもかかわらず、正課授業と両立させつつ、全貌が見えない高負荷の巨大プロジェクトを試行錯誤しながら遂行しなければならないため、効率追及を考える以前に自転車操業的に進めざるを得ないからです。OR手法を適用するためには、業務が定まっただけで客観的に分析対象としてみる事ができる状況が必要です。

しかし、コンテンツ制作においては研究開発要素もあるため、そこに数理モデルやアルゴリズムの知識とその活用が必要となる場合もあります。ここでは、特に2015年度の時計台プロジェクションマッピングの一部のパートで実施したインタラクティブプロジェクションマッピングについて紹介します。

### 3.2 インタラクティブプロジェクションマッピング

インタラクティブプロジェクションマッピング(IPM)とは、プロジェクションマッピングと様々なセンシング技術・通信技術を組合せたものです。観客が参加・体験できるインタラクティブなパフォーマンスやメディアアートにも用いられ、注目されています。IPMには、少数の観客のみが参加できるものと、多数の観客が参加できるものがあります。前者は参加者を限定しているため、特別に用意された機材やセンサを用いて観客の動作などをリアルタイムに収集して処理することにより、高度な映像効果を演出することも可能です。一

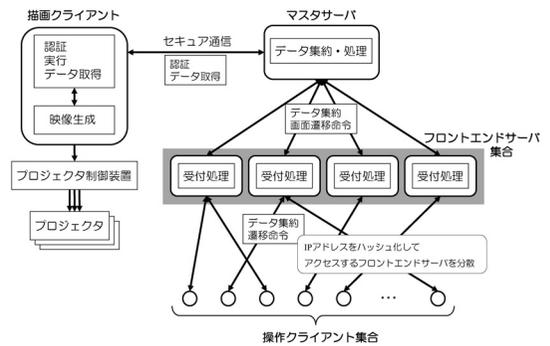


図1 リアルタイムインタラクティブプロジェクションマッピング制御システム

方、後者は膨大なトラフィック・処理要求が限られた空間内で短時間に発生するため、適切な制御を行わなければならない。しかし、これに適した制御システムはこれまでありませんでした。これは、プロジェクションマッピングはアート性が強いものであるため、少数の観客が高度な映像効果を楽しむコンテンツが主流であったことと、多数の観客が関わるものは単純なコンテンツに限られていたことが理由です。

2015年度の時計台プロジェクションマッピングでは、まずコンテンツとしての美しさや斬新さの観点から、多数の観客によるリアルタイムインタラクティブプロジェクションマッピングの実施を計画しました。しかし、その実現の困難さがわかるにつれて、制御システムから新たに研究開発する必要がありました。そこで担当チームは、負荷分散制御や関連するアルゴリズム、待ち行列についても学びつつ、並行して実際のシステムを設計し開発を進めました。

このIPMは、観客が各自のスマートフォンから操作データを送り、その操作データに基づいた映像がプロジェクタにより投影されるというものです。スマートフォンからの操作データの送信には、新たなアプリをインストールするのではなく、ブラウザ（以下、操作クライアント）を用いることにしました。スマートフォンからは携帯通信網を通じてインターネット上のサーバにデータが送られることになります。

負荷が集中するサーバがボトルネックとなることを避けるために、図1のような制御システムを設計しました。

本システムは、まず、操作クライアント集合をIPアドレスのハッシュを用いて分割することで、各クライアントがアクセスするフロントエンドサーバを分散させます。クライアント数やアクセス頻度に応じてフロントエンドサーバ数を調整することにより、受付処理

の負荷を適切に抑制することができます。次に、マスタサーバを操作クライアントの操作データの処理のみに特化させることにより、最小限の負荷に抑制します。操作クライアント間の操作データを独立して処理できるコンテンツであれば、マスタサーバも複数化することにより、それぞれの処理負荷をさらに軽減できます。また、映像生成に特化した描画クライアントを別途設けました。生成する映像にもよりますが、描画クライアントの負荷は極めて大きくなります。そこで、ほかの機能と分離することによって、より高度な映像の生成が可能となりました。フロントエンドサーバとマスタサーバは、インターネット上に配置され、描画クライアントは会場に配置され、これらの間はセキュアな通信によりデータが転送されます。

操作クライアントからのアクセスのたびに受付処理・映像生成を行う単純な構成であっても、参加者数が少なれば動作しますが、アクセス頻度が大きい場合は、それでは処理が追いつきません。そこで本システムでは、受付処理・操作データ処理・映像生成処理の機能を分離することによって、それぞれの機能の負荷を下げています。この構成には別のメリットもあります。本システムにおいて、フロントエンドサーバ・マスタサーバがダウンした場合でも、少なくとも映像生成が途切れることは絶対に避けなければなりません。フロントエンドサーバ・マスタサーバのダウンなどの異常を検知すると、描画クライアントに予め用意しておいた自動映像生成機能を即座に動作させることにより、違和感なく映像の投影を継続することが可能となります。

以上のシステムの開発により実現できたりアルタイム IPM を一部のパートとして組み込み、2015 年度の時計台プロジェクションマッピングは次のような構成となりました。まず、カウントダウン映像と音楽のうち、キリスト降誕映像など、クリスマス祝賀の様々な映像・音楽パートの後、IPM のパートが続く、そのパートの最終部分から再び通常映像に移行して終了します。図 2、図 3 に、上映された主な映像を挙げます。

IPM は二つのサブパートからなっています。一つ目のサブパートは、観客が様々な色と形の図形を選択してスマートフォン上の時計台の絵の適当な位置に置くと、実際の時計台のその位置に選択した図形が投影されるというものです（以下、図形パート）。図 4 および図 5 に、実際に上映された際の映像の一部を挙げます。

図 6 に、観客のスマートフォン上に表示した画面を挙げます。ここでは、選択できる図形を 6 種類、選択できる色を 9 種類とし、それぞれラジオボタンで選択



図 2 受胎告知パート



図 3 デザインパート



図 4 図形パート疎状態

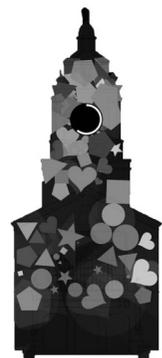


図 5 図形パート密集状態



図 6 図形パート操作クライアント画面

できるようになっています。観客は、画面上のラジオボタンをタップすることで図形の色と形を選択し、時計台の画像をタップすることで、選択した図形と色をモーダルウィンドウに表示してサーバにデータを送信します。

もう一つのサブパートは、観客がスマートフォン上に指で描いた軌跡に応じて、実際の時計台上にその軌跡が描かれ、その軌跡に沿って光の玉が動き、終端で氷の花が開くというものです。さらに、開いた氷の花の数に応じて時計台が周囲から次第に凍りついていきます（以下、氷の花パート）。図 7 および図 8 に、実際に上映された際の映像の一部を挙げます。



図7 氷の花パート疎状態 図8 氷の花パート密集状態



図9 氷の花パート操作クライアント画面

図9に、観客のスマートフォン上に表示した画面を挙げます。観客のスマートフォンの画面中央にキャンバスを配置したものとなっています。観客は、スマートフォン上の中央にあるキャンバス上に指先で軌跡を描いて指を離すと、軌跡のデータを区分的直線データとして簡略化したものをスマートフォン画面に表示し、軌跡データをサーバ側に送信します。

2015年に行われたプロジェクションマッピングの観客数は、一上映当たり1,000人~3,000人程度でしたが、実際にIPMに参加した観客数は最大で500人ほどであり、予想された人数を大幅に下回りました。これは、上映されている映像の撮影とIPMへの参加を1台のスマートフォンでは同時にはできないため、多くの観客は映像の撮影を優先したからだと思われます。しかし、この程度のアクセス数であっても描画クライ

アントの負荷は極めて大きいため、なんらかの制御を行わなければスムーズに動く映像を上映することは困難でしたが、開発したシステムにより、違和感のない自然で美しい映像を実現することができました [4]。

#### 4. まとめ

本稿では、関西学院大学時計台プロジェクションマッピングプロジェクトと、その原型となった、神戸三田キャンパスのアカデミックコモンズにおけるプロジェクトのコンセプト、そしてリアルタイムインタラクティブプロジェクションマッピングの実現のために学生チームによって開発された技術について紹介しました。

PBLやアクティブラーニングの実践方法は多々ありますが、正課外の学習活動支援に着目することで、学部・学科を越え、学習到達目標という制約すら超えた成果を引き出す可能性があること、またその例が実際に存在することを示しました。特に理工系をテーマとするプロジェクトにおいては、個々の技術においてORの導入・実践が可能であることも示しました。学生が実社会の課題と向き合いながら主体的に学ぶプロジェクトにおいて、実社会とのつながりを重視するORの有効性が示されたといえるでしょう。

なお、今年度の時計台プロジェクションマッピングは、2016年12月17、18日に一般公開されます<sup>1</sup>。ぜひお越しいただき、美しい世界をご堪能ください。

#### 参考文献

- [1] 文部科学省, “新たな未来を築くための大学教育の質的転換に向けて一生涯学び続け、主体的に考える力を育成する大学へ,” [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1325047.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1325047.htm)
- [2] 文部科学省, “大学における学生生活の充実方策について一学生の立場に立った大学づくりを目指して,” [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chousa/koutou/012/toushin/000601.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/koutou/012/toushin/000601.htm)
- [3] 時任隼平, 久保田賢一, “卒業生を対象とした正課外活動の成果とその要因に関する研究,” 日本教育工学会論文誌, **36**, pp. 393-405, 2013.
- [4] 関西学院大学時計台プロジェクションマッピング 2015, [http://www.kwansei.ac.jp/news/2015/news\\_2015\\_1221\\_011839.html](http://www.kwansei.ac.jp/news/2015/news_2015_1221_011839.html)

<sup>1</sup> 興味のある方は「関西学院大学 時計台 プロジェクションマッピング」で検索してください。