

特別  
講演AR (拡張現実) と先端測量技術  
～大規模屋外構造物のモデル化とその応用～

東京大学大学院 情報学環 教授 池内 克史

只今ご紹介いただきました池内です。ご紹介いただきましたように、東京大学大学院卒業後に MIT とか電子技術総合研究所、カーネギーメロン大学等を経て、現在東大にいますが、やってきたことは、コンピュータービジョンといまして、ロボットの目を作ろうと言うような分野をやっています。一枚の白黒画像からどうして奥行きが分かるかというような明るさ解析やロボットの目にもそれを使うということによってロボットの目を作る研究をしています。東大に来てからは ITS と呼ばれる分野で主に地図作りもやっています。この辺のご縁で今日はきっと呼ばれたのではないかと考えております。所属は東京大学大学院情報学環という東京大学の全部局から全員が寄って大学院を作ろうという大学院で研究をしています。行っている分野は、画像処理の基本に基づきまして、文化財のモデル化に使ったり、町のモデル化に使ったり、人間の行動をみるようなロボットに使ったりするバーチャルリアリティーの研究をやっている人間です。

### 1. プロローグ…仮想化空間について

今日は基本的な考え方を述べまして、その後、仮想化空間という物をご説明したいと思っております。そのために二次元の仮想化空間、三次元の仮想化空間それから四次元の仮想化空間というように進めていきたいと思っております。

こういったクラウドコンピューター上に地

図情報などを乗せて、それを使うことによって、特に、我々の分野ですと高度交通システムなどに寄与していこうというような分野の研究についてご紹介します。そのクラウド上の地図のことをかっこ良く「四次元仮想化都市空間」と呼んでいます。少しだけ ITS の宣伝をしますが、ITS (高度交通システム) とは何かというと、都市と車と道路を情報で結んで、快適な移動情報空間を作ろうというものです。特にこの分野では最近、自動運転というのが騒がれています。自動運転とは何かと言うと、車自身を自動化して、それで行きたいところに行こうと言うようなことをやる分野です。

これは自動走行のグーグルのビデオですが、このドライバーは一応目が見えないということになっています。そういう人でもこういった車に乗ることによって、目的地に行くことができます。この時はタコベル (タコっていうメキシコ料理) を買いに行くというシナリオになっています。自動運転は非常に良いものですが、例えば、車が停まった時に、何で停まったのだろうか、機械の故障で停まったのか、停止線で停まったのか、それとも事故回避なのだろうかを、やっぱり教えてあげないとドライバーが不安になるのではないかと思います。それからあともう少しすると、タコベルの店に行くわけですが、どうやってタコベルに着くことを教えるのだろうか。それからタコベルの中の駐車場まで地図にしてしまうのか。あるいは、これはドライブスルーの前で

停まっていますが、一体これがドライブスルーだと認識しているのだろうか。あるいはタコを受け取ったということまで自動で認識して車が運転する必要があるのだろうか。要するに自動運転を考える場合には、人間と車の役割分担をきちんと考えて、シームレスなコントロールの切り替えをやるべきだろうと思います。そのためにこそ、インフラの情報を使う必要があって、それが四次元仮想化都市空間とカーナビの役割ではないかと考えます。この四次元仮想化都市空間とカーナビのようなものを通して、将来の地図を考えてみたいというのが今日のお話でございます。

先ほども言いましたように、四次元仮想化都市空間とは一体何かと言うと、クラウド上の仮想都市空間の表現です。実際二次元ではもう既に実現しています。二次元仮想化都市空間というのは一体何かと言うと、実は、それはカーナビです。カーナビや携帯ナビというのは、ここにいらっしゃるような測量会社の皆さんが一生懸命地図を作って、それをクラウド上に置いて、それをGIS・GPSで単に読み出すだけの話なわけです。従って、このような二次元仮想化都市空間は現に出来ていて、今日の話は二次元にとどまらずに、三次元、四次元に持っていくことによって、どんな応用ができるかということを考えてみたいというのが今日のお話でございます。



図1 仮想化空間

## 2. 二次元仮想化都市空間

ただ、その三次元、四次元に行く前に、二次元でも色々まだまだやる必要があるというお話を少ししたいと思います。少し変わった使い方として、我々のグループではこんなことをやっています。これはポンペイの遺跡ですけれど、この人はヘルメットをかぶって、ヘルメットの上には全方位カメラ Ladybug が乗っているのですが、格好悪く歩き回ります。それでこのビデオをアップロードして、地図情報とこのビデオをリンクすることによって、地図情報をクリックするとその中を歩いて行っているようなビデオが出てくる。仮想ポンペイ探索が簡単にできてしまうようなシステムを作っています。尚、これは360度の映像を画面で見ているからこのようになるわけですが、この画像をダウンロードして、マウントディスプレイで見ると、見た方向の部分が切り出されて、いかにもポンペイ遺跡の中に見えるように見ることができます。

それからもう一つやりましたのは、これはあの震災の記憶ということで、東日本大震災が起こったときに、我々のグループの持っている安物のMMSの上にテレビカメラを置いて、北は八戸から南は三陸まで走り回りました。最初は震災直後の4.11にやって、その次は9.11にやって、その次の年の3.11にやって、毎年3.11にはこの地域に行ってそのデータを取るということをやっています。一部のビデオはこれですが、これは山元町の駅です。このときに思ったのは、ニュースの映像を見て、現場に行くことができなかったりするわけですが、この場面では全く逆で、ニュースの映像で見てもなんだという感じが、ここで走ってみると行けども、行けどもこのような瓦礫のシーンが続いている。このようなものを記録するのは360度の映像しかないのではないかと考えて、走れる道は全て走り

ました。これは、仙台市の宮城野区の映像ですが、臭いが伝えられないのですけれども、津波で冷凍庫が止まってしまい、魚が全部腐ってすごい臭いがしていました。今後どうしていくかということですが、一つは地図情報にこの映像をドッキングすることができておりますので、地図をクリックすると見たいところの映像が出てくるので、とても便利だというコメントもいただきました。それからあともう一つは、地図情報とドッキングすることによって、1年目、2年目、3年目でおおの場所がどうなっていたかの比較ができると思っています。まだ手動でやっているだけなので、課題はありますが、震災直後の4月にはこんな瓦礫がありました、9月に行った時には完全にもうそこはきれいになっていました。4月は警察とか自衛隊が走り回っていて、何かいろいろな音がありました、9月に行ったときには完全にシーンとした世界で、かえって不気味な印象を受けました。内陸部では小さなスーパーが、もう活動を始めていまして、人というのはたくましく生きているという印象を受けました。その内陸部と

沿岸部の違いを比較ができたのかなと思っています。こういったデータを10年ぐらい撮り貯めて、そのあとそれぞれの部分の変化を解析して、復旧の活動の道りを再現できるのではないかと考えています。ただ、これは10年間塩漬けにする途中なので、まだ途中結果でしかありません。

ここまでの二次元仮想化都市空間の話は単にビデオを撮って、それを再生するという話に尽きるわけですが、折角ならもう少し複雑なことをしようということでやったのが、次の仕事です。先ほどのシステムは、そこを走ったらそのアウトプットしか出てこないわけですね。実際に走って見えているような映像を生成できないかというのが次のトピックになります。どうするかというと、道路上を全方位画像で走っていきます。その映像のA地点のこの方向の映像部分をとってきて、この映像っていうのはB地点のこの視線だっということがわかっているのでそれをとってきて、さらにC地点のこの視線をとってきてそれを貼り付けると、そうすると新しい視点での映像が出てくるということになります。



図2 MMSによる計測

実際にやったのがこれで、これは駒場の我々の裏の道路を直線運動したわけですが、まだ、モロモロしますが、千鳥足の再生をすることができました。折角できたので、何か使い道がないかなということ考えたのですが、一つ思ったのが切り貼りによる背景です。ITSセンターにはドライビングシミュレーターがございまして、そのドライビングシミュレーターの背景に使おうと言うことになりました。今のところ CAD で作っているのですが非常に大変なわけですが、これを1回走るだけでこのような背景ができれば、それに越したことは無い訳です。実際にやってみたのが警察庁との共同研究で、池上通りの信号の配置をチェックして欲しい、できればそれをドライビングシミュレーターに乗っけようということで実際にやったのがこれです。この道路はCGで、このバスもCGですが、後ろ側にあるのが実際の画像です。この信号もまたCGです。若干まだモロモロするようなどころがありますが、このようなことが出来るというのが一つの話です。二次元仮想化都市空間とは一体何か、要するにそのビデオの映像をWEBに置いておいて、それをダウンロードすることによって見ようという携帯ナビの話なわけで、それでもまだまだやる必要がありますと言いたかったのがポイントです。この時はまだビデオの二次元だったわけですが、これを三次元にしようという話にします。



図3 ドライビングシミュレーター

### 3. 三次元仮想化都市空間

これも結構やられつつありますが、一体何をすべきかと言うと、一つはこういった町を走り回って、三次元の仮想空間をWEB上に作る。それからもう一つ重要なのが、活動の情報をやはりWEB上に置く必要があるという二つのことを考えなければなりません。まず、三次元地図をグーグルが作ったり、アップルが作ったりしていますが、まだ、現状の三次元地図は、直方体ばかりであまり面白くありません。また、色をどうやって貼るのか、まだ手で貼っているはずなので、どうやって自動で行えるかが問題です。この直方体ばかりということに関しましては、我々のグループでやっているのは、このように横向きにレーザーを発して、それであと縦向きのレーザーでケージを測って、横向きのレーザーで速度を測って、きちっとした三次元データを作って、DP マッチング (Dynamic Programming/動的計画法によるマッチング手法) することによって、おのおの直方体の複雑な形状が出てくるようになってきました。しかし、どうせ地図情報を作るのだったら、地図に貼り付けるのではなくて、一から取ってみようということを行いました。MMS は結構行われているので、GPS の信号のあるところだと面白くないので、GPS の信号が届かないところでやることになり、トンネル内で測定しました。IMS は誤差が蓄積するので使わないということで、プアマンズ東京大学 MMS というのがあるのですけれど、こんなものを作りました。これはまだ連続的に測れないので、ちょっとズルイけれども、ストップ&ゴーで20mごとに走っては、データを取るということをやりました。当然それらの間の位置関係を計算する必要があるのですが、これは画像中のこういった特徴点を対応付けることによって、位置関係をソフト的に計算しました。GPS を利用した高速の

位置合わせと、並列同時位置合わせをすることによって、全部の誤差を平均化するようなアルゴリズムも作りました。

例えば、これは、大橋のジャンクションの中のモデルです。これは一晩で作りましたが、まだちょっと穴があいたりしていますが、それなりの三次元データが取れました。大橋ジャンクションが1キロ程度なので、ちょっと面白くないので、もっと長いのをやろうと言っていたら、たまたま NEDO の方から、それなら今度金谷トンネルの中で自動走行するから、その中の三次元地図を作ってくださいという要望が来ました。このトンネルの中の形状というのは、確かに CAD モデルはあるのですが、本当にその CAD どおりにシールドマシンが走っているかどうかかわからないし、中の形状がどうなっているか誰も知らないということで、やっぱりその三次元データ、三次元地図を作ることは意味があるのではないかとということでやりました。例えば、4.6kmのデータを全部合わせて行こうとすると、特徴点を対応付けると言っても、データ量がすごく多量になってしまいます。もう一つはそのトンネルの中というのはご存知のように丸っこいものになっているので、円形のものと同円形のものとの位置合わせしようとする、どうしてもビビギ点が発生するので、特に特徴のある縦のエッジっていうものを抽出して、この縦のエッジのところだけでその位置合わせをしました。まだ、この段階では、空中に浮いている三次元データなので、トンネルの端の出口2箇所です GPS のデータを取って、誤差が一ヶ所に固まらないように、グローバルな位置合わせで誤差を平均化して、トンネルの中のケージを作りました。出来たデータは、やっぱり評価する必要があるだろうということで、三次元データなので中央点を出してみました。まず、床面を出して、床か

ら 1.6m の高さの断面を三次元データで切って、その中点を出して、それから中央点を出しました。トンネルの中央点に関しては CAD データの中にあるので、どれくらいずれているかを調べたら、若干恥ずかしいのですが、4.6km の間で最大 4 m ほどずれていたというのが現状です。これもグローバルにずれているだけなので、走っていく分にはほとんど影響ないので、自動走行に使えるのではないかと考えています。また、果たして我々のデータがずれているのか、CAD データがずれているのか、あるいはシールドマシンがずれているのかは、よく分からないところもあります。もう一つ、どうもトンネルの曲率の高いところで位置ずれがすごく出てくることから、まだ我々の位置合わせのアルゴリズムには問題点があるのかなと思っています。

以上が形を合わせる方法ですが、次に、やっぱり色をつける必要があって、幾何モデルとカラー情報を合わせる問題があります。地図ですと先ほどの全方位画像を使ってデータを取っておいて、この全方位画像の中の特徴点、これを我々は EPI (Epipolar Plane Image/エピポーラ平面画像) と呼んでいます、EPI と、それから地図情報から出てくる EPI をマッチングすることによって、絵のどの部分がどの建物かということが分かります。これをやっておいて、次にこの全方位画像のこの横断面が、その EPI なわけなのですが、この縦断面の部分にこんなテクスチャーが出ていますから、この線が一体どのビルの線かということが分かり、それを切り出すことによってテクスチャーが貼れることになるわけです。

次にもう一つ問題点は、これはまた遺跡の写真で申し訳ないのですが、朝の画像と夕方の画像が違うというような問題があります。これは何かって言うと、観測される画像というのは元々の光源の色と、その物体そのもの

の色が混ざり合った色になることで起こります。要するに夕方の太陽と朝の太陽では太陽の色が違うので色が違ってくるといった問題があります。これをどうやって入力画像から太陽の影響を取り除くかが研究のトピックになります。我々の研究室のドクター論文で、川上さんという方がやった研究ですが、同じところを2回撮っておいて、それをある種の空間に投影することによって、入力光のスペクトルがキャンセルできるという理論を作りまして、実際にやってみたのがこれで、確かにそういうことができたというのが二つ目の課題です。

三つ目の課題として、RGBで十分かという問題があります。RGBというのは連続光の中の、ご存知のように電磁波で、こちら側に行くとX線やガンマ線があったり、反対側に行くと可視光や赤外光があったり、あるいは電波があるわけですが、非常に長いスペクトルの一部分だけを取ってきたわけです。それでもやっぱり連続スペクトルなわけです。撮るカメラによってフィルターの特徴が違うので、特性が違ってくるといった問題があります。何とかその本来のスペクトルが測れないかということでやったのがこの仕事です。インターフェイスフィルターといいまして、通る場所に応じてスペクトルが違うようなフィルターを、カメラの前に貼って撮ると物体そのもののスペクトルが出てきます。これを何とか車に積んで走り回って、色の問題をどのように解決するかと言う話です。

このようにして、静的なモデルは出来るわけですが、仮想化空間の中のもう一つ重要なポイントは、どうやってこの活動を仮想化空間に投影するかという課題です。どんな仮想化空間の活動が考えられるかと言うと、例えば、違法駐車がどんなところにいるか、歩行者がどのように流れているか、あるいは交通

量がどのように流れているかを仮想化空間へ投影できるのではないかと思います。違法駐車に関しては、センサーでバーッと走って、地上に空いている穴から一体どこに車が何台停まっているかがわかる。あるいはその走ったレーザーのピークを調べると、最初のピークがきっと駐車した車両の側面であろうということから、うまく駐車車両の領域が抽出できて、一回車を走らせただけで、どこに何台の駐車車両が停まっているかを仮想化空間に投影することができます。

これは固定カメラで申し訳ないのですが、固定カメラで人の特徴を調べることによって、人が歩いていることが分かる。同じように、これは駿河台下の監視カメラから撮った車の軌跡ですが、このように車が走っていくことが分かれば、車の流れを仮想化空間に投影することができる。しかし、車の流れをビルの上から見ているだけでは面白くないので、どのような応用がきくかということを考えてみたい。例えば、ドライバー席に視点を持ってくると、このように事故が起こったことを再現できて、ドライビングシミュレーターで体験してみるとか、事故を検証することができる。これはオフラインなわけですが、オンラインすることによってビルを半透明にすることができますので、その時にこのビルが邪魔だなという事故解析ができる。あるいは、先ほどの例でグーグルの車が自動運転で停まっていたが、向こう側に車がいるということがわかったのできっと停まったというような事故の防止あるいはドライバーの安心を高めるようなシステムを作ることが出来る。このように、色々な応用があるのではないかと思います。

これで三次元の仮想化空間の話は終わりますが、三次元のモデル化をやっていた時に、震災で町を走り回って、大槌町に伺った時に町



図4 震災遺構

役場の方から、大槌町役場をモデル化してくれないかという話がきました。何でそんな話がきたかって言うと、実は大槌町というのは、みなさんもお存知だと思いますけれども、最後までアナウンスをして津波に巻き込まれ殉職された女の方とか、町長他40人ほどの方が亡くなった役場です。この役場をどのように保存していくかということで、町は非常に揺れているとのことでした。震災の記憶を考えた場合に、昔はこういった石碑ですとか、語り部であった。しかし、近代のITが発達した状況においては、少し違う方向性のモニュメントというのも考えられるのではないかと。それを我々は仮想モニュメントと呼んでいるわけですが、確かにこういったベルリンの壁ですとか、原爆ドームなんていうのは、実在感はあるのですが、維持管理にコストがかかってしまう。あるいは見たくない人にも見えてしまう。その点、こういった仮想モニュメントでは見たくない人には見えない、あるいは、それほど維持管理に金がかからないという面があるので、この仮想モニュメントと現実モ

ニュメントをドッキングしたようなモニュメントを考えてみたいということでした。

現在どのように考えているかという、大槌町役場をモデル化して、その正面玄関だけ残し、正面玄関に立った時に、正面玄関は実物だけれども、メガネをかけるとその裏側に全部が見えるというシステムにしたいと考えています。ただ解体が進む前にデータをとる必要があるため、一生懸命大学院の学生が計測屋さんになって計測をしました。このように屋根に登ったりして、データを取りました。中も非常にひどい状態でした。これが町役場の1階の点群データで、これが2階の点群データです。

次にこの震災遺構に関するビデオをご覧ください。

このように、震災の記録というのは、やはり見たくない人、遺族の方もいらっしゃいますので、一部分を残して、残りをこういった仮想的な表現でもって表現しつつ、震災遺構として保存するモデルケースとして位置付けられています。

## 4. 大規模屋外構造物のモデル化とその応用

同じような考え方で、文化遺産のモデル化もやっています。こういった文化遺産は、人類の宝ですから、日々無くなっていくものを仮想空間にモデル化するというのとは一つの方角ではないかと思っております。やっておりますのが、ビデオにも出てきたのですが、アンコールトムのバイヨン寺院です。アンコールトムの中央に位置するバイヨンは、12世紀末頃に建設されたといわれる古代インドの宇宙観とクメールの深い伝統が融合し、アンコール朝の危機を救済する願いを込めて構築された巨大な寺院遺跡です。これをモデル化しているわけですが、何でモデル化しているかというと、中央塔が年々傾いてきているのでやはり存在している間に三次元データを撮ろうというのがポイントです。

いざやってみると色々な段階で問題が出てきました。例えば、新しいセンサーを設計する必要があったとか、新しいソフトウェアを設計する必要があったとか、大学院の人間にとっては非常にうれしい問題がいっぱいありました。センサーに関しては、高いところを測る必要があったので、レンジセンサーを気球にぶら下げて色々なところを測りました。そんなことをすると、こんなデータになるので、この歪みをどうやって取るかというのが研究トピックになって、めでたく二人ドクターが誕生しました。

それから、長い廊下があったりしますが、普通のレンジセンサーでデータを取れないことはないのですが、例えば、正面から取るとこの辺は精密に取るが、端の方にいくと不揃いになって非常に非効率である。また、近距離用のセンサーで測っても良いのですが、これをやると非常に時間がかかるということで、こんなレールの上にセンサーを置いて、横

向きにレーザー光を飛ばしながら Ladybug で速度を測るという先ほど出てきたような方法を用いることによって、壁をかなりきれいに取ることが出来ました。また、狭い空間になっている部分は、はしごを上下しながら計測を行う木登りセンサーを作りました。

こんなことをやってデータを取って、その次に、位置合わせも今までのソフトウェアではハンドルが出来なかったので、GPS を利用した高速位置合わせとか、精密位置合わせを開発することによって、ドクターが出ると同時にこんなモデルも出来たというのが5、6年前の話です。これは150m×150m×40mの構造物が大体1cm精度で表現できているというモデルになっています。

それから似たような話で、プレアビヘア寺院というのがあり、カンボジアとタイの国境に属してしまっていて、こちらがタイ側でこちらがカンボジア側で、国境線は普通こう走っているのですが、カンボジアがフランス領だったときにフランスが国境線をこのように曲げてしまった。どうしてかと言うと、要するに仏領に入れてこの寺院を研究したかったのでこんなことをしたのです。そのためにタイとカンボジアの間では5年に1回戦争が起こるといような寺院です。従って、その戦争が起こっていない間にデータを取っておかないと、いつ何時、大砲の弾が当たるかもしれないの

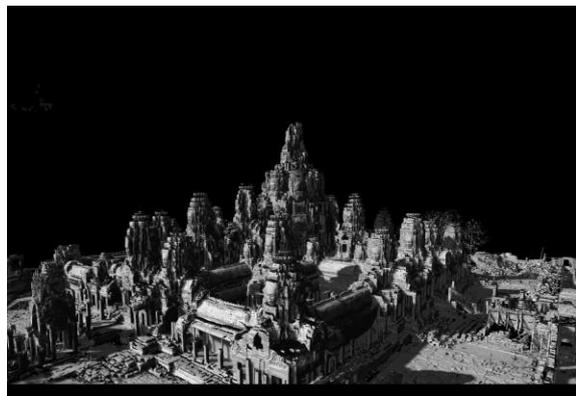


図5 バイヨン寺院のデジタル化

でやっておく必要がありました。また、大抵のカンボジアの寺院っていうのは東西が基調になっているのですが、これは珍しく南北軸だということもありました。折角やるのだから、新しいセンサーを設計しようということで、リヤカーに移動型距離センサー Velodayn を乗せて測ったのですが、結局、Velodayn の精度が悪く、しかたなく普通の方法に戻ったということです。このビデオは地上から測ったデータを、視点を変えてこのようなフライのビデオにしています。これは北から南にずっと2キロほどの寺院のデータを表現しています。

もう少し脱線しますが、その三次元データをどう使うか、確かにビデオコンテンツを作ることはできます。例えば、月下のバイオンを歩くとこのように見えますとか、あるいは、夕食時にメナンドルさんの家に招かれたら、その壁画がどのように見えたかと言うようなビデオができるわけですが、ビデオを作るだけならこんな方法で簡単にできてしまう訳です。ところが、その三次元データならではのメリットが実はあるというのがこれからの話です。それを我々はサイバー考古学と呼んでいるのですが、その三次元データを解析することによって、色々なことが分かってきます。例えば、バイオンには、173 の尊顔が現存しています。観光ガイドなどには、よく 173 の観世音菩薩像などとかいてあるのですが、武蔵野美大の朴先生らとコンピュータを用いてデータ解析してみると、3つのグループに分かれます。この軸が男性の神（デーヴァとアシュラ）と女性の神（デヴァター）を分ける軸、これが男性の神（デーヴァ）と兵士（アシュラ）を分ける軸が求まります。すなわち、この 173 の顔はデーヴァ（男神）の顔か、デヴァター（女神）の顔か、アシュラ（悪魔）の顔の三種類に分かれる神々の顔であって、観

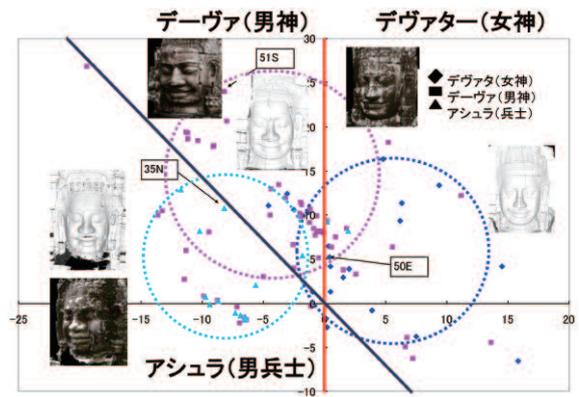


図6 サイバー考古学

世音菩薩ではございません。それから顔の類似図を調べてみると、近いところにどうも近い顔があるということが分かってきました。位置的に近い塔の間で尊顔が類似している。実は言い伝えて、バイオン寺院っていうのは複数の尊顔作製チームがいて、顔を削ったというようなことが言われていまして、この話とこれとをドッキングさせることによって、第一の尊顔作製チームがこれを作った、第二の尊顔作製チームがこれを作った、第三の尊顔作製チームがこれを作った、第四の尊顔作製チームがこれを作ったというような解釈が成り立ちます。

また、興味深いことにペディメント（切妻壁飾り）のデータを取ることが出来ました。何故目出度いかと言うと、実は、現在バイオン寺院に行っても、このペディメントは見ることができません。何故かと言うと、その大半が光の届かない狭隘部にあり、普通の人が行ってもコウモリなんかがいる、真っ暗で何も見ることが出来ません。バイオンには 30 ぐらいのペディメントがあることは知られていたのですが、写真すら存在しませんでした。このペディメントの中に鏡を置いて、鏡を通してレンジセンサーでデータをとることによって、擬似的に構成画像を作ったと言うのがこれです。従って「世界で初めての写真」ということになります。カルフォルニア大学バー

クレイ校で講演した時に、そこの仏教家の先生がこの写真は、彼の解釈なのですが、明らかにブッダが削り取られ、ヒンズー教のシバ神のリングが彫られた様子が写っているということで、この疑似合成写真が、バイヨン寺院が仏教からヒンズー教に変遷していった証拠だと言ってくれました。すなわち、三次元データがこのような証明になるということです。

それから、ポンペイの例ですけれども、ポンペイのメナンドルさんの家のデータを取ったのですが、雨水を集める池があって、ダイニングルームがあって、庭があってと折角データが取れたので、平面図を作りました。我々の平面図とイタリア政府が持っていた平面図を比べると若干後ろの方でずれていました。この辺は測量する方に聞きたいと思うのですが、多分我々の解釈では、後ろの方が坂になっていて、多分、測量する時に、トライポットを立てて、この距離を測っているのではないかと思います。一方、我々の方法というのは、三次元データを取っておいて、壁の垂直間距離を測っているのです、その差が出たのではないかと解釈をしています。これは素人の考えで、後ほど懇親会で測量の専門家に聞いてみたいと思いますが、多分そういうことではなかろうかという気がしています。

それから色の話を少しだけしますと、スペクトルを取っておくというのは非常に重要なことだと思います。実はご存知かどうかよく分からないのですが、九州の北部には20ほどの色の着いた古墳がございます。一般公開はされていないのですが、そのデータを取ろうという目的で中に入りました。壁画がどのような状態で描かれたかということに諸説があります。一つの説は、太陽光のもとで描かれた。もう一つは松明のもとで描かれた。マジョリティーはこの松明でかれたということですが、

どうもスペクトルをとってみると、太陽光のもとでしか見えないような線が存在するということが分かりました。すなわち太陽光のもとで描かれた可能性が非常に高いということです。それはどういうことを意味するかと言うと、もし松明のもとで描かれたとすると、まず古墳全部を作っておいて、松明を持って中に入って絵を描くことになります。一方、太陽光のもとで描こうとすると、一部分だけ古墳を作っておいて、壁画を作成して、それで屋根を置いて、全体の古墳を完成したということになる。あるいは別なところで石に色を塗って持ってきたということになるということで、こういったスペクトルを解析することによって古墳の作り方の新しい解釈が生まれることになるわけです。ということで少し脱線しましたが、このようにして三次元の仮想化空間、あるいはそのデータ自身を解析することによって、単にビデオコンテンツを見るだけではなく、色々なことが分かりますよと言いたかった訳です。

## 5. 四次元仮想化都市空間

次に、四次元のお話をします。四次元とは一体何かと言うと、これは先ほど言いましたように、その仮想化空間の中で予測エンジンあるいはアーカイブすることによって、将来の状況も見られ、あるいは過去の状況を見ることが出来るのではないかとというのが一つのポイントです。例えば、千里眼機能ですとか、仮想化空間を通して、ビデオで出てきたような透視機能が実現できるとか、あるいは1時間後にどうなるかなんて予測できるようになる。そんな一つの事例を紹介しますと、柏で行ったのですが、固定センサーから情報を取ってきて、それを仮想化空間に入れてそこでCO<sub>2</sub>のシミュレーションを行って、現在のCO<sub>2</sub>がどうなっているか、あるいは将来の

## 4次元仮想化都市：人間の情報収集能力の向上 (千里眼・透視・タイムマシン)

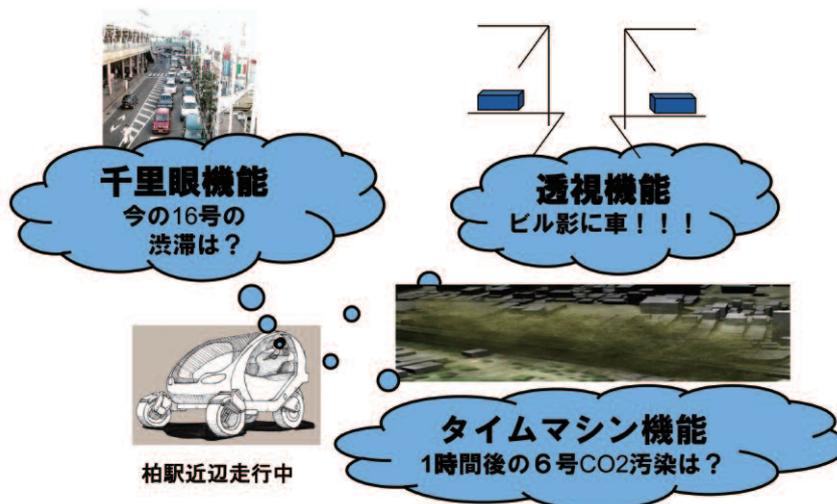


図7 四次元仮想化都市空間

CO<sub>2</sub>がどうなるかということをも市民に配信する。その結果として、CO<sub>2</sub>を削減しようとする市民の行動を起こさせるようなプロジェクトをやりました。センサーはこういったインフラからのセンサーを用いて、仮想化空間に市民の活動を取り入れ、仮想化空間上にある色々なデータを統合します。この得られたデータをトラフィックシミュレーションに入れることによって、それぞれの部分での交通量がどうなるかが分かる、それに基づいてどの部分でCO<sub>2</sub>が発生するかが分かり、それを市民に見せようというようなシステムを作りました。このようなシステムを作って、将来の状況を人々に見せることによって人々の行動を変えて行こうというのがこのポイントです。

### 6. エピローグ

以上のように仮想化空間というものに、現在・過去・未来を表現することによって、例えば、遠く離れたところが見える、ビルの向こう側が見られる、タイムマシン機能が実現できることになっていくのではなんでしょう

か。そのためのインフラとして、仮想化空間というものをどんどん作っていくべきではなからうかと考えています。今日のお話は、二次元の仮想化空間、要するにあのカーナビの話、三次元の仮想化空間の話、そこで少し変わった使い方、それから三次元の町のモデルと活動のモデルというようなものを利用して、そこに検索エンジンなり、予測エンジンを入れることによって、四次元化することで、現在・過去・未来が見られるようなシステムにすることができるという、仮想化空間の話を見せていただきました。どうもご清聴ありがとうございました。



■ 講演者

池内 克史 (いけうち かつし)  
東京大学大学院情報学環 教授

本稿は平成26年7月4日、当協会の第36回測量調査技術発表会において特別講演をしていただいた池内教授のご講演内容を、本誌編集委員会にてまとめたものです。