

# 都市 3 次元 GIS/VR による京都バーチャル時・空間の構築

## Kyoto virtual time space

矢野 桂司・中谷 友樹・磯田 弦・河角 龍典・高瀬 裕 (立命館大学 地理学教室)

Keiji YANO, Tomoki NAKAYA, Yuzuru ISODA, Tatsunori KAWASUMI and Yutaka TAKASE (Ritsumeikan University)

**要旨:** 本研究では、都市 3 次元 GIS と VR モデリングの最新技術を用いて、世界的な歴史都市京都のバーチャル時・空間(現在から過去にわたる 3 次元 GIS)を構築する。具体的には、現在の京都の高精度な都市 3 次元都市モデルである MAP CUBE™をベースとして、現在から、戦後、明治・大正期、そして近世までの京都の町並みの景観復原を試みる。三方を山に囲まれた歴史都市京都は戦災をほとんど免れたこともあり、戦前の京町家、神社・寺院をはじめ近世・近代の建築物が現在も数多く残存している。本研究では、地籍図、古写真などの歴史資料を最大限に活用しながら、三山も含めた京都の町並みの景観を構成する様々なコンテンツをデジタル化する。さらに、それらのコンテンツの時・空間属性を GIS で整理し、MAP CUBE と統合していく。

**Abstract:** The purpose of our research is to restore the whole city of historical city, Kyoto, in a virtual reality space. Our goal is to construct Kyoto Virtual Time Space in which we can walk through the streets of Kyoto from the olden days to the present and to the future on a computer display. The project involves 3D modelling of the present day Kyoto, and then restoring the city back to the pre-war period and to the mid-Edo era. Highly efficient GIS and VR technology are used throughout the project; (a) to store location and attributes of current buildings including *Machiya*, shrines and temples; (b) to archive and geo-reference any materials including *Yamahoko* at the *Gion* festival, as well as cadastral maps, street photos and aerial photos; and (c) to estimate and simulate landscape changes over the periods using aforementioned materials.

### I はじめに

1980 年代後半に始まる地理情報システム(GIS) 革命以降、コンピュータの性能が飛躍的に向上し、また新しい測量技術の開発や高解像度の衛星データの出現などにより、様々な地理情報が膨大に蓄積されつつある (Longley et al., 2001)。このような GIS 環境の高度化によって、3 次元 GIS やバーチャル・リアリティ (VR) 技術による都市景観のモデル化は、その質と操作性の両面で実用化の段階に入りつつある。本研究では、こうした新しい 3 次元 GIS/VR 環境を最大限に活用して、歴史都市京都の町並み景観の復原を目的とする。

1200 年の歴史の都である京都は、第二次世界大戦の戦災の被害が最小限であったこともあり、戦前からの大路・小路、神社・寺院、京町家、近代建築物などの建造物が多数現存している。そこで本研究では、まず、現在の京都の町並みの景観をバーチャル・シティーとして構築し、現在から過去にさかのぼる形で、戦後、大正・明治、そして

江戸までの京都を再現し、京都バーチャル時・空間をコンピュータ上に構築していきたい。

なお、本研究で構築する京都バーチャル時・空間は、次世代における京都の 3 次元デジタル地図のベースとすることを目標としている。今後、多様なコンテンツをデジタル化することにより、それらコンテンツを容易にこの京都バーチャル時・空間の中に取り込むことができるよう、ソフト面・ハード面を工夫する。さらにはこれを利用する社会的な協働をも可能とするような仕組みも今後はあわせて考えていきたい。

### バーチャル・シティーとは?

バーチャル・シティー<sup>1)</sup>という言葉は、近年、WWW 上で広く用いられているが、Dodge et al. (1997)は、それを以下の 4 つのカテゴリーに分けている。1) Web Listing Virtual Cities (都市の様々な情報をリスト化し、リンクをはったもの)、2) Flat Virtual Cities (模式的な地図上に、より詳

細なオンライン情報へのグラフィカルなインターフェイスとして、ランドマークや建物などを配したものの、3) 3D Virtual Cities (精度や現実感の差はあるものの、VR 技術を用いて都市の建物などの 3 次元モデル化を行ったもの)、4) True Virtual Cities (十分に現実的な建物を含み、多様なサービス、機能、情報コンテンツをもって、ウォークスルーなどを可能にする現実の都市を効果的にデジタル化したもので、そこでは他者との社会的な相互作用をも可能とするもの)。

本研究は、2) Flat Virtual Cities を基礎としながら、3) 3D Virtual Cities のバーチャル・シティーを構築し、最終的には、4) True Virtual Cities を目指すものである。

3次元のバーチャル・シティー(3次元都市モデル)の構築に関しては、現実性(コンテンツの量)、入力データのタイプ(高さや外見情報の取得)、機能性(実用性と分析的特性)の3つの視点が重要である(Shiode, 2001)。特に、現実性の度合いは、バーチャル・シティーの中に取り込まれ幾何学的コンテンツの詳細さの度合いといえる。幾何学的な詳細の違いによって、Shiode(2001)は、6つの段階分けを行っている。1) 2次元地図とデジタル・オルソ化(空中写真などを補正したもので、3次元特性はもたない)、2) Image base rendering(パノラマ・イメージのモデリングにより、擬似的3次元モデルで、自由に視点を移動できない)、3) Prismatic building block models(2次元GISの家屋形状に基づく、3次元ブロック形状)、4) Block modeling with image-based texture mapping(Prismatic building block modelsに、建物の側面のイメージをテクスチャ・マッピングしたもの)、5) Models with architectural details and roof morphology(建物の詳細や屋根形状を盛り込んだ3次元モデル)、6) Full volumetric CAD models(個々の建物のCADデータと空中写真を結合させた3次元モデル)。幾何学的なコンテンツ情報が多くなるにしたがって、

データ作成の自動化が難しく、コストも大きくなる。

本研究では、京都市域全域を対象として、可能な限りの2次元GIS上での地理情報を収集し、まずは、現在の3) Prismatic building block modelsに対応する京都のバーチャル・シティーを構築する。さらに、必要に応じて、特定の建物に関してテクスチャ・マッピングや詳細な作りこみを行ったCADデータによる3次元VRモデルを取り入れ、4) 5) 6)の段階に対応するモデルを配置したシステムを構築する。

ここでは、その3次元GISのベースとして、現時点で最も精度の高い3次元都市データ構築システム(キャドセンター(社)技術)を用いたMAP CUBEを用いる(矢野ほか、2003)。MAP CUBE(図1)は、高精度なレーザー・プロファイラー・データ(パスコ(社)製)と2次元ベクター地図(インクリメントP(社)製、以下iPC)をベースに作成されたものであり、レーザー・プロファイラーで取得した点群データの高さ誤差は $\pm 15\text{cm}$ 、水平間隔は1~2.5mである(現在では1m間隔まで計測可能)。



図1 京都のMAP CUBE

MAP CUBE データは、京都市域を 250m x 250 m の区画ごとに分割したもので、建物部分と地表面部分の 3 次元モデルからなる。前者に関しては建物の屋上部分(空中写真)や側面の画像を、後

者に関しては空中写真を、それぞれテクスチャ・マッピングすることができる。MAP CUBE のデータは、専用のビューア・ソフトである Urban Viewer で表示することができる。そして、3次元形状モデルの作成やテクスチャ・マッピングの作業は、OBJ形式を扱うことができるCG/VRソフト(form.Z、MultiGen Creatorなど)を用いて行うことができる。

### 現在の景観コンテンツの2次元GIS

京都のバーチャル時・空間のコンテンツとして、本研究では現在から過去に向かって景観復原を行っていくことから、過去から現在まで現存している建物を重点的にモデル化する。

#### 1) 現在の京町家の空間的分布

本研究で用いる京町家のデータベースは、平成10年度の京都市「京町家まちづくり調査」と平成7、8年度「トヨタ財団助成による市民調査」によって得られた外観調査に基づくものである(以下、両調査をあわせて「京町家外観調査」と呼ぶ)。調査範囲は、京都市の都心4区内にあり、明治後期に市街化していた元学区である。

この「京町家外観調査」では、調査員が住宅地図をもとに街中の街区を悉皆調査し、京町家1戸1戸の外観を「建物調査シート」(建物類型調査、保存状態、建物状態など)に記録し、データベースが作成された。その結果、対象元学区地域で21,820軒の京町家が特定された(京都市、1999)。

平成7、8、10年度に実施されたこれらの調査は、当時、存在していた京町家の数を正確に把握することを主な目的としており、GIS上でそれらの位置を正確に把握することは必ずしも目的ではなかった。その結果、GISデータとしては不完全な状態のものであり、それを、MAP CUBEと対応させるためには、ベースとなるIPCの住宅地図上に、これらの町家調査のデータをマッチングさせる必要がある。そこで、マッチングできなかったものに対しては再調査を行い、京町家データベ

ースのGIS化を完成させつつある(図2)。その際、平成7、8、10年以降の京町家の減少に関する、あわせて調査し、特定非営利活動法人京町家再生研究会の協力を得ながら、京町家モニタリング・システムを構築しつつある(河原ほか、2003)。

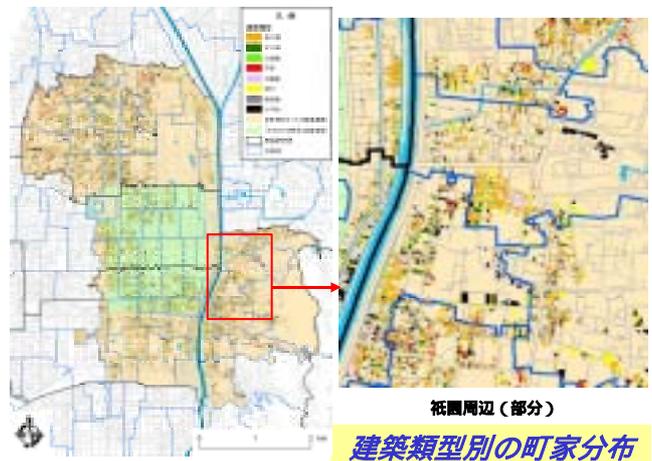


図2 現在の京町家の空間的分布

#### 2) 現在の神社・寺院の空間的分布

ここでは、現存する神社・寺院をMAP CUBE上で特定するために、それらの正確な位置と名称に関する情報を収集する必要がある。既存のデジタル地図では、『数値地図10000(総合)』やゼンリンの『ZmapTOWN-II』などで神社・寺院を識別できる。このほか、インターネットタウンページ(<http://itp.ne.jp/>)で、神社(179件)、寺院(1,646件)を検索し、その住所からアドレスマッチングを行う方法が考えられる。

『数値地図10000(総合)』の場合は、点データとして、「神社」、「寺院」が存在しており、それらの位置をGISデータとして利用できる。また、ゼンリンの『ZmapTOWN-II』の場合は、表札名から判断して特定することになる。この他、『数値地図25000(地名・公共施設)』では、注記のある神社・寺院を特定できるものの、それらは比較的規模の大きなものに限定される。そこで、ここでは、京都市域にかかる7つの図郭の『数値地図10000(総合)』の神社(352)と寺院(1,308)を用いて、IPC地図と合わせることにする(図3)。

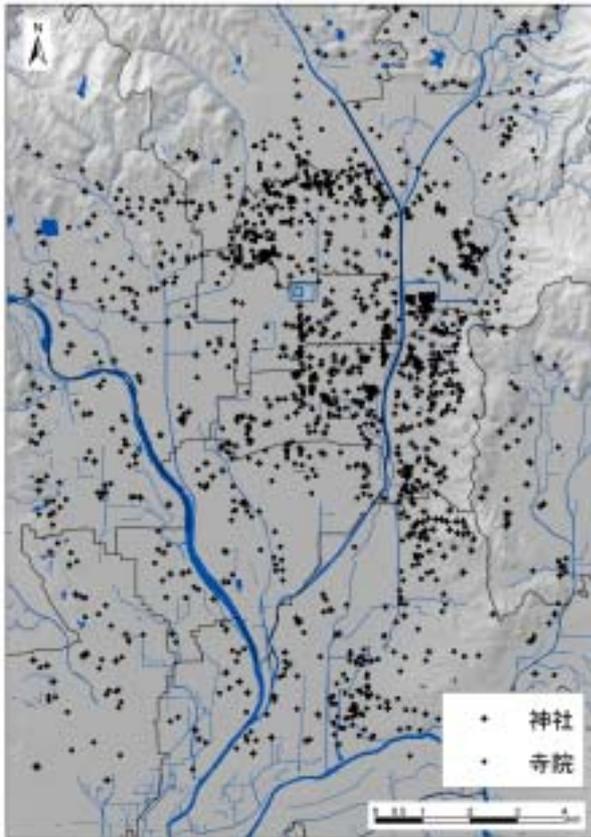


図3 寺院・神社の2次元GIS

### 3) その他の景観コンテンツ

西洋の技術を活用して、幕末から戦前にかけて建てられた近代建築物に関しては、『日本近代建築総覧』（日本建築学会編、1983）に約570収録されているが、2003年度の京都市の調査では、2,000を超えるといわれる（京都新聞、2003年3月29日）。なお、『日本近代建築総覧』からは、建築名、所在地（地番なし）、建築年、構造概要、設計者、施工者などの情報を得ることができる。

また、文化財に関しては、京都市の文化財保護課のWebサイトから、現在登録されている文化財の一覧を入手することができる（<http://www.city.kyoto.jp/bunshi/bunkazai/index.html>）。有形文化財の建造物としては、京都市内で、指定と登録あわせて87件（社寺建築47、町屋建築12、民家建築12、近代洋風建築13、近代和風建築2、その他1）が特定されており、名称、年代、所在地、など

の情報が公開されている。

したがって、これらの近代建築物や文化財建造物に関しては、所在地などの住所からアドレスマッチングを行い、IPC住宅地図の2次元の家屋形状とマッチングさせることが可能となる。

### 過去の景観コンテンツの2次元GIS

過去の景観コンテンツのうちここでは、京都の過去の大路・小路と、過去の町家の空間的分布に関するGISデータの作成について概観する。

#### 1) 過去の大路・小路

現在のデジタル化された京都市域の地図として、『数値地図25000（地図画像）』『数値地図25000（空間データ基盤）』『数値地図2500（空間データ基盤）』『数値地図10000』などが利用できる。

そして、京都の戦前の旧版地形図や都市計画図としては、『仮製2万分の1』（明治中期）『正式2万分の1』（明治42年）『1万分の1』（昭和13・26年）『2万5千分の1地形図』（大正末期以降）『3千分の1都市計画基本図』（昭和10・28年）などが存在する。これらの地図をデジタル化し、GISソフトウェアArcMap（米国ESRI社）上のジオリファレンス機能を用いて、現在の『数値地図25000（地図画像）』に一致するように変換を行った。

#### 2) 過去の地割

京都の明治・大正期の地籍図に関しては、『明治17年地籍図』と、『大正元年地籍図』が利用できる。明治17年地籍図は、京都府総合資料館に所蔵されるが、台帳が存在していない。ここでは、立命館大学附属図書館所蔵の『大正元年地籍図』（縮尺は約1,300～1,500分の1）をデジタル化し、京町家の2次元GISとの重ね合わせを行った。京都の大通りは、現在のものと位置や幅員なども大きく異なるため、通りを基にした重ね合わせは困難である。しかし、地籍図の特徴として町丁界の折れ点の形状が比較的正確である点が挙げられる。

そこで、現在の町丁界の折れ点に合わず形で、地籍図と現在の地形図・住宅地図との重ね合わせを、大路・小路の重ね合わせと同様に ArcMap のジオリファレンス機能を用いて行った。そしてさらに、重ね合わせた後、地籍図の一筆ごとにポリゴンを作成した。これは土地の境界であり当時の家屋形状とは異なるが、現在ほとんどの町家が消滅した四条通の景観を復原する際に手掛りとなる(図4)。



図4 『大正元年地籍図』の2次元GIS化

### 3) 過去の京町家の空間的分布

ここでは空中写真の判読から、過去の京町家の空間的分布を特定する。京都市都心部の空中写真は、米軍、国土地理院、民間企業などによって数年ごとに撮影されている。本研究では、1948(昭和23)年の米軍撮影空中写真、1961(昭和36)年の国土地理院撮影空中写真、1974(昭和49)年の国土地理院撮影空中写真、1987(昭和62)年国土地理院撮影空中写真、2000(平成12)年中日本航空撮影空中写真の53年間13年ごと5期の空中写真について判読を実施した<sup>2)</sup>。

空中写真の判読によって京町家の正確な空間的分布を特定するためには、まず、空中写真のゆがみを取り除く幾何補正の作業を行い、オルソ画像を作成する必要がある。本研究では、空中写真のスキャンの後、ArcMap のジオリファレンス機能を用いて幾何補正を行った。京町家の判読は、ArcMap 上で表示された補正済みの空中写真画像上にて行い、京町家の家屋形状をトレースし、ポリゴン化した(図5)。

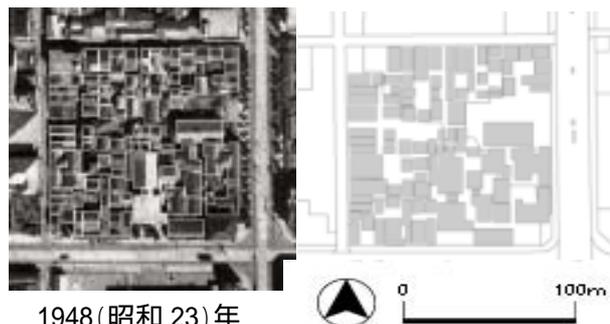


図5 空中写真による京町家判読

一般的に京町家の屋根の形態は、「平入り」の「瓦葺」のものが多くを占めることから、空中写真による京町家の特定はこの2つの指標を基準に行った。京町家以外の建築物として、屋上が平面である中高層建築物の判別は容易であり、京町家との区別は容易であった。それに対して、寄棟の瓦屋根の建物は、西洋風の建築物、日本家屋、京町家の一部にも存在し判別が困難であるため、ここでは「寄棟」の建物は京町家から除外することにした。このように、空中写真からの情報のみに頼る京町家の判読には限界があり、こうした点を様々な資料から補わなければならない。建物の側面の形態に関する情報や建物の用途に関する情報として、過去の風景写真や昭和30年代から存在している京都吉田地図株式会社の住宅地図などがある。京町家の判別は、こうした情報も参考にしながら行った(河角ほか、2003)。

### 景観コンテンツの3次元VRモデル

ここでは、2次元GIS上に特定された景観を構成するコンテンツの3次元VRモデル化について概観する。現在の建物、現在そして過去の京町家の3次元VRモデルを構築するとともに、時代を通じて存在するものとして、祇園祭の山鉦の3次元モデルを構築した(矢野ほか、2003)。

なお、過去の景観復原の事例としては、江戸の古地図を地形図と重ねた清水ほか(1999)や大坂の元禄空間の復原を行った奥住・吉川(2000)、また、江戸時代の妻籠の街道筋の景観復原を行った Suzuki and Chikatsu(2002)などの研究がある。

### 1) 現在の建物の3次元VRモデリング

MAP CUBEの3次元形状モデルは、前述のように、iPC住宅地図の2次元家屋形状に、レーザー・プロファイラーから取得した高さデータ付加して3次元モデル化したものである。テクスチャ・マッピングに関しては、デジタルカメラによって撮影された画像を、CG/VRソフトによって貼り付け作業を行った(図6)。



図6 現在の建物のテクスチャ・マッピング

なお、MAP CUBEデータは、iPC住宅地図で建物以外の場所は、空中写真をテクスチャ・マッピングしているが、道路や路地などの画像に置き換えることもできる。

### 2) 京町家の3次元VRモデリング

京町家のVRモデルに関しては、設計図から3次元CADを用いて作成する方法や、現存する京町家をレーザー・スキャンする方法などが考えられる。ここでは、典型的な京町家の建物類型である総二階、中二階、三階建、平屋建のそれぞれの特徴を有した簡易な3次元VRモデルを作成し、それを2次元GISの地割位置に当該の京町家の建物類型を対応させて自動発生させる「家屋VRモデル作成マクロ」をExcelVBAを用いて作成した(図7)。このマクロでは、ArcMapのスクリプトを活用して、GISデータから、京町家の位置と形状ポリゴン(間口方向、間口幅、奥行き)そして建物類型の情報を取得し、一度に多数の京町家のVRモデルをOBJ形式で出力できる。

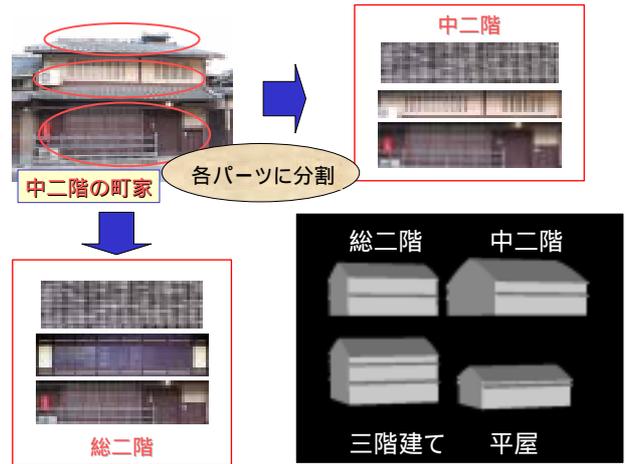


図7 京町家の簡易VRモデル

マクロで自動的に京町家のVRモデルを大量に作成する利点は、現存する京町家はもちろん、過去の地割の推定と、京町家の建物類型が分かれば、ある程度の町並みの景観を再現できる点にある。いいかえれば、複数のシナリオの下で、過去の町並みを容易に再現できるということにある。もっとも、ここで再現できるのは多数の建築物からなる「町並み」であって、個々の建築物についての厳密な復原ではないことは言うまでもない(図8)。



図8 現在の京町家の3次元GIS

### 3) 祇園祭の山鉾の3次元VRモデル

本研究では、京都の中心部で9世紀後半以降行われている祭事として、祇園祭をとりあげる。現在のような形態となったのは14世紀半ばで、何度かの中断を挟みながら、ほぼ同じ大きさの山鉾が京都の街中に置かれてきた(足利、1994)。それゆえ、山鉾は、時代を通して京都の町並みを構成

する重要なコンテンツの1つであると考えられる。

山鉾の3次元VRモデルの作成に関しては、ミニチュアをレーザー計測し、祇園祭の最中に実物のデジタルカメラ撮影により取得した画像をテクスチャ・マッピングして、山鉾の3次元VRモデルを作成した(矢野ほか、2003)。この山鉾の3次元VRモデルを、現在そして過去のバーチャル・シティーに置くことによって、山鉾を通して、町並みの変遷をみることができる。

### 京都バーチャル時・空間でみる町並みの変遷の構築

ここでは、バーチャル時・空間を通して、京都の町並みの変化を見てみることにする。

まずは、四条通りの現在、大正初期、江戸期の町並みを比較してみる。現在に関してはMAP CUBEをベースに、通り沿いのビルに対して、テクスチャ・マッピングを行ったものを、大正初期に関しては『大正元年地籍図』の地割をベースとして「家屋VRモデル作成マクロ」を用いて作成したものを、そして、江戸期のものは平屋建ての京町家と仮定した。さらに遠景として京都を取り囲む三山を両時点に含め、祇園祭の函谷鉾のVRモデルを四条通り上に配置した。Urban Viewer上では、あらゆる視点からの町並みを表示できるが、現在のビルの谷間に埋もれる山鉾が、大正期には、極めて大きなオブジェクトであったことや、東山の稜線の可視範囲が大きく異なることがわかる(図9)

次に、戦後の京町家の衰退を京都バーチャル時・空間を通してみる。年次別に空中写真から特定した京町家の位置に、同じく「家屋VRモデル作成マクロ」を用いて、京町家を配置し(京町家のタイプは任意)京町家以外の建物に関しては、MAP CUBEから現在の建物を配置した。その結果、通り側から京町家が減少していく様子や、高層のビルに埋もれていく様子が見られる(図10)。



現代



大正初期



江戸期

図9 四条通りのバーチャル時・空間  
(四條富小路より東を望む)

### おわりに

本研究では、歴史都市京都を対象に、町並みの景観を構成する様々なコンテンツをデジタル化し、現在から過去の京都のバーチャル時・空間を構築している。これまでの都市の3次元モデル化は、主にそのデータ量の膨大さから、都市域の一部であるとか、広域の場合もその正確な位置やVRモデルのクオリティが十分ではなかった。本研究では、現時点で最も高精度でかつ広範囲を対象とした3次元GISデータであるMAP CUBEを京都のバーチャル時・空間のプラットフォームとした。



1948



1961



1974



1987

図 10 京町家のバーチャル時・空間変化  
(四条河原町より西北を望む)

今後は、2次元 GIS としてのデータベースの精緻化、景観コンテンツの時・空間情報の量とクオリティのさらなる充実を図っていく。そのためには、この京都バーチャル時・空間をクローズドなものとするのではなく、産官学で協働・共有できるような枠組みも構築したいと考えている<sup>3)</sup>。

注:

- 1)バーチャル・シティーという言葉に関しては、仮想空間、バーチャル・スペース、デジタル・シティー、サイバー・スペースなど多くの類似した用語があるが(西尾ほか、1999; Dodge and Kitchin、2001)ここでは、存在するあるいは存在していた現実空間を、GIS などを用いて、コンピュータ上に再現した都市空間と広義に定義する。
- 2)戦前の空中新写真としては、京都市役所(1929):『空中写真より見た京都市街図 写真』による昭和3年当時の京都市域を対象としたものがある(京都大学所蔵)。現在、この空中写真をデジタル化し、京町家の空中写真判読作業を開始している。
- 3)現在、立命館大学では、四条通り、河原町通り、御池通り、烏丸通りに囲まれた京都市中心部の MAP CUBE データをオープンソース化し、3次元 GIS の活用の実証研究として、利用者を募っています(問合せ先: yano@lt.ritsumei.ac.jp)。

文献:

足利健亮編(1994):『京都歴史アトラス』、中央公論社、155頁。  
 奥住洋介・吉川眞(2000):『元禄空間の復元』、地理情報システム学会講演論文集9、113~118頁。  
 河角龍典・矢野桂司・河原大・井上学・岩切賢(2003):『空中写真を利用した京町家時・空間データベースの構築』、人文科学とコンピュータシンポジウム論文集、情報処理学会シンポジウムシリーズ Vol.2003、No.21、111~118頁。  
 河原典史・矢野桂司・古賀慎二・高瀬裕・河角龍典・井上学・河原大・岩切賢(2003):『4次元 GIS を用いた京町家モニタリング・システムの構築』、民俗建築124、13~22頁。  
 京都市(1999):『京町家まちづくり調査集計結果』、京都市都市計画局、44頁。  
 清水英範・布施孝志・森地茂(1999):『古地図の幾何補正に関する研究』、土木学会論文集625/-44、89~98頁。  
 西尾章治郎・岸野文郎・塚本昌彦・山本修一郎・石田亨・川田隆雄(1999):『相互の理解』、岩波書店、222頁。  
 日本建築学会編(1983):『日本近代建築総覧:各地に遺る明治大正昭和の建物』、技報堂出版、487頁。  
 矢野桂司・高瀬裕・磯田弦・河原大・井上学・岩切賢・古賀慎二・河原典史・河角龍典(2003):『京都バーチャル時・空間の構築:四条通り界隈を中心に』、人文科学とコンピュータシンポジウム論文集、情報処理学会シンポジウムシリーズ Vol.2003、No.21、103~110頁。  
 Dodge, M. and Kitchin, R. (2001): *Mapping Cyberspace*. Routledge, 260p.  
 Dodge, M., Smith, A. & Doyle, S. (1997): Urban science. *GIS EUROPE* 6-10, pp.26-29.  
 Longley, P. A., Goodchild, M. F, Maguire, D. J. and Rhind, D. W. (2001): *Geographic Information Systems and Science*. John Wiley & Sons Ltd., 454p.  
 Shiode, N. (2001): 3D urban models: recent developments in the digital modeling of urban environments in three dimensions. *GeoJournal* 52, pp.263-269.  
 Suzuki, S. and Chikatsu, H. (2003): *3D modeling and landscape simulation of a historical row of houses in Tsumago*. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol.XXXIV, Part5/W3, CD-ROM, Kunming, 2002.

付記:

京町家外観調査のデータベースを利用させていただいた、京都市都市づくり推進課、特定非営利活動法人京町家再生研究会に感謝いたします。なお、本研究は平成14-18年度文部科学省21世紀COEプロジェクト「京都アート・エンタテインメント創成研究」(研究代表者:川嶋将生)の研究成果の一部である。