

4D-GIS によるバーチャル・シティの構築：

歴史都市京都のバーチャル時・空間

矢野桂司 磯田弦 河原大 河角龍典 井上学 中谷友樹 高瀬裕
立命館大学文学部地理学教室

本研究では、歴史都市京都のバーチャル・シティを構築するために、まず、京都の景観要素を構成する様々なコンテンツをデジタル・アーカイブ化し、それらを 2D-GIS 上で精確に特定する。そして、3D-VR モデルによって、建築物などの景観要素の 3次元化を行い、さらに、複数の時間断面ごとでの 3D-GIS を作成する。そして最終的に、4D-GIS としての京都バーチャル時空間を構築する。

Kyoto virtual time space based on 4D-GIS

Keiji Yano, Yuzuru Isoda, Dai Kawahara, Manabu Inoue, Tomoki Nakaya and Yutaka Takase
Department of Geography
Ritsumeikan University

To accomplish our goal of building a virtual city of Kyoto (the historical capital of Japan), we first identify various elements that constitute the city on (2D) GIS. Exploiting a combination of GIS and VR technologies, 3D models of those elements are then created, and placed into a 3D virtual urban space. Finally, the exercise is repeated for multiple time dimensions to complete the 4D-GIS of virtual Kyoto. Our virtual Kyoto can be walked-through, and its time-dimension can be changed with a mouse-click.

1. はじめに

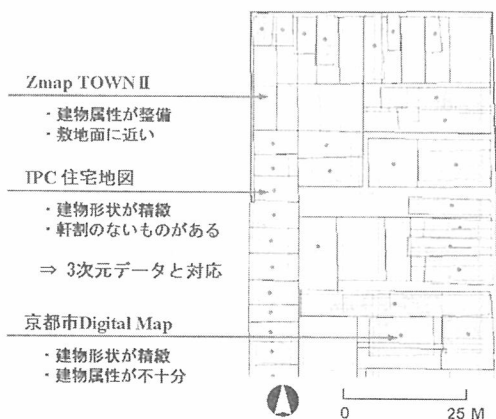
歴史都市京都のバーチャル・シティを構築するためには、京都の視覚的な都市景観を構成する様々なコンテンツを特定し、それらをデジタル・アーカイブ化する必要がある〔1〕-〔8〕。この場合のデジタル・アーカイブ化とは、それらコンテンツの形状を精確に 3D-VR モデルとして構築するのに加え、当該コンテンツの時間的・空間的位置情報をデータベース化することである。

本研究では、三方を山々に囲まれる京都盆地全体という空間スケールから、1つの街区あるいは通り、さらには1つの建築物といった空間スケールまでの、シームレスな都市景観の復原を想定している。そして、時間スケールでは、現在から、昭和期、大正期、明治期までを暫定的に設定している（最終的には、江戸期、さらには平安期までを視野に入れている）。

本研究の構成は以下の通りである。まず、1) バーチャル・シティの基礎となる 2D-GIS の構築の概要を述べ、2) 時間次元を取り入れた 2D-GIS を構築する。そして、3) 建築物の 3D-VR モデルを取り入れた 3D-GIS 化、さらに、4) それらを統合した 4D-GIS の構築、を行う。

2. バーチャル・シティ構築のための 2D-GIS

都市域レベルでの都市景観を対象とするバーチャル・シティの構築のためのデジタル地図としては、1軒ごとの建築物の家屋形状が特定できる精度のものが必要である。京都市域の家屋形状をすべてベクタ・データ（ポリゴン）として含む既存のデジタル地図には、京都市 DM、(株)ゼンリン『Zmap-TOWN II』、インクリメント・ピー(株)『IPC 住宅地図』などがある。



第1図 家屋形状に関するデジタル地図

著者所属：立命館大学文学部地理学教室
(Dept. of Geography, Ritsumeikan University)

いずれも 2500 分の 1 精度のものであり、家屋形状以外に、街区のベクタ・データを含む。しかしながら、作成主体が異なることから、かかる 3 者の家屋形状ポリゴンは精確には一致していない（第 1 図）。さらに、家屋の属性としては、いずれのデジタル地図も、公共建物か否かや構造の種類の区別はできるものの、『Zmap-TOWN II』以外は、一般建物の名称は付いていない。また、建築物の高さに関しては、『Zmap-TOWN II』では建物階数を、『IPC 住宅地図』では、後述の MAP CUBE™からのレーザ一計測された高さデータを用いて表示される。

なお、デジタル地図の更新頻度に関しては、京都市 DM は、随時更新されているものの、一般への提供を前提としていないこともあり、経年的にデータを得ることはできない。『IPC 住宅地図』も MAP CUBE™の作成時に使用されたものであり、更新時は明確ではない。それらに対して、『Zmap-TOWN II』は、比較的、頻繁に更新されており、現在、3 時点のものを利用可能である（『Zmap-TOWN II』は過去のものは基本的には販売されない）。

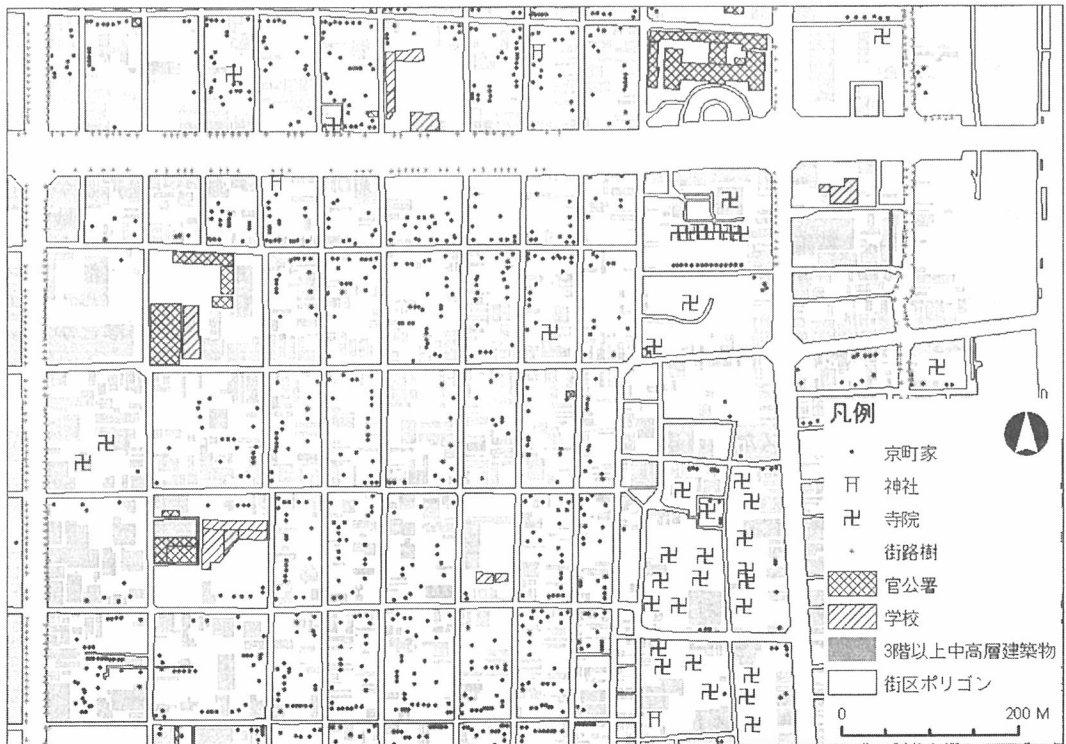
本研究では、後述の 3D-GIS である 3 次元都市データ MAP CUBE™が、『IPC 住宅地図』をベースとしていることから、最終的には、『IPC 住宅地図』に統合する必要がある。しかし、そ

れぞれのデジタル地図の持つ多様な属性データの利用を考えれば、ポリゴンデータから点データへの変換や、ポイント・イン・ポリゴンによる空間検索などにより、いずれのデジタル地図で作成されたものであっても、相互に利用することが可能である。

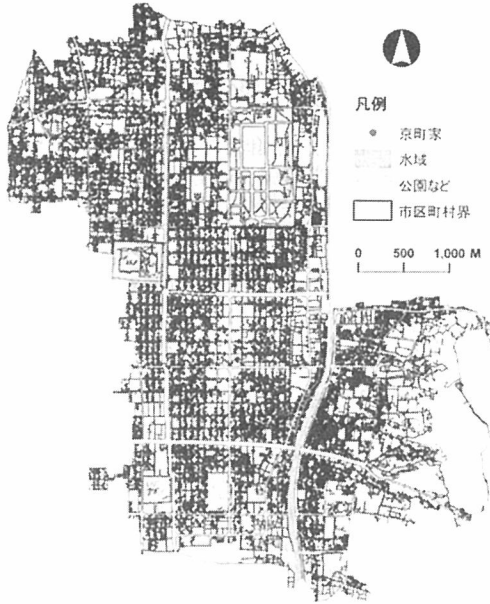
本研究では、1) 京町家データベース [2]、2) 神社・寺院データベース、3) 公共建物データベース、4) 3 階建て以上の中高層建築物データベース、5) 街区ポリゴン、などの現在の建築物などの 2D-GIS を整備した（第 2 図）。

本研究の大きな特徴の 1 つは、悉皆調査によって得られた、現存する全ての京町家の空間的分布を 2D-GIS としてデータベース化し、特定している点にある。京町家モニタリング・システムと呼ぶ [2]、このデータベースには、現存する京町家の 1 軒ごとの位置情報に加え、類型、状態、保存状態などの外観調査による属性が含まれているほか、第 I 期調査（平成 7・8・10 年度）から第 II 期調査（平成 15・16 年度）への変化の情報（京町家の存続や、他の建築物への変化など）が把握されている [7]（第 3 図）。

この京町家モニタリング・システムは、京町家を点データとして 2D-GIS 化しており、かかる『IPC 住宅地図』や『Zmap-TOWN II』の家屋形状と重ね合わせることで、当該の京町家の



第 2 図 現在の建築物などの 2D-GIS



第3図 京町家モニタリング・システム

間口・奥行などを特定することができる。こうした個々の京町家の敷地や家屋形状に関する情報は、類型属性と合わせて、後述の京町家の3D-VRモデル作成の基礎となる。

3. 時間次元を取り入れた2D-GISの構築

2D-GISに時間次元を取り入れるためには、基本的には、いくつかの時間断面ごとの2D-GISが整備されなければならない。本研究は、現在から明治期にさかのぼる形での時間軸を想定しているが、ここでは、現在から、大正元年までの期間を設定する。

過去の建築物を特定することは、非常に難しい。しかし、京都は第二次世界大戦時における

被害が少なかったために、戦前からの建築物が改修を加えられつつも多く残存している。したがって、現在から過去にさかのぼり、残存の状況を把握することによって、それぞれの時間断面における2D-GISデータを整備することができる。

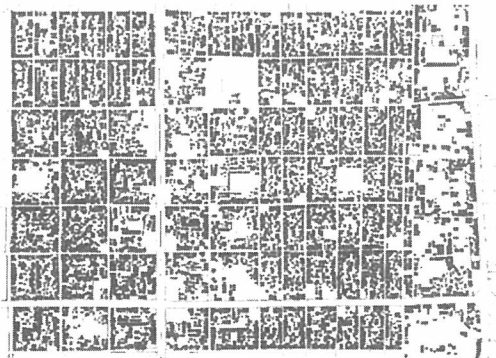
なお、都市景観の変化に大きな影響を与えるものとして、道路の拡幅などによる街区形状の変化があげられる。街区の変化に関しては、旧版地形図などをベースとして、その変更を把握することにする〔2〕。

具体的な時間断面の設定としては、京町家の消滅に特に焦点を当て、以下の様な資料を基に2D-GISデータを整備している（住宅地図に関しては、ゼンリンと京都吉田地図のものを利用）。

- 1) 2002（平成14）年：空中写真，住宅地図，『Zmap-TOWN II』
- 2) 2000（平成12）年：空中写真，住宅地図，『Zmap-TOWN II』
- 3) 1998（平成10）年：京町家調査，住宅地図，『Zmap-TOWN II』
- 4) 1987（昭和62）年：空中写真，住宅地図
- 5) 1974（昭和49）年：空中写真，住宅地図
- 6) 1961（昭和36）年：空中写真，住宅地図
- 7) 1948（昭和23）年：空中写真
- 8) 1928（昭和3）年：空中写真
- 9) 1912（大正元）年：『京都地籍図』

各年次の空中写真の判読からは、京町家特有の瓦屋根と平入りの特徴から、個々の京町家を特定することができる。具体的な作業としては、空中写真をデジタル画像化し、ESRI社 ArcGIS上でジオ・リファレンス機能を用いて『IPC住宅地図』と重ね合わせ、1軒1軒の京町家を特定した〔1〕〔4〕（第4図）。

また、京都市域のうち最も古いと思われる1928（昭和3）年の空中写真（第4図）以前の京町家の分布に関しては、精確な情報を得ることができない。しかし、1筆ごとの敷地や土地利用に関しては地籍図の利用が考えられる。



第4図 京町家の空中写真判読
（1928（昭和3）年）



京都に関する地籍図は、明治中期に作成された公図が、現在でも京都地方法務局において閲覧できる、しかし、現物はかなり劣化しているものが多く、分筆・合筆によって地割が大幅に変化している。

一方、明治末期において市街地の拡大に伴い、土地の分筆・合筆の増加が予想されたことから土地取引の円滑化を目的として、京都商工会議所などが中心となって作成された、大正元年『京都地籍図』がある。土地法典のひとつであるこの地籍図は、当時の市街地に加え、市街地の拡大が予想される周辺の町村もカバーする南北約 9km、東西約 6km の範囲を対象として、縮尺はおおむね 1200～2000 分の 1 で作成されており、375 枚からなる約 20cm×約 27cm のカード式の紙地図で構成されている。さらに、個々の地割に対応した付録土地台帳（地番、等級、地目、反別、地価、住所、地主姓名）が完備されている〔9〕。大正元年『京都地籍図』は公図のように登記の変化が記載されないため、1時点における地割の状況が図化されており、デジタル化に最も適した資料である。

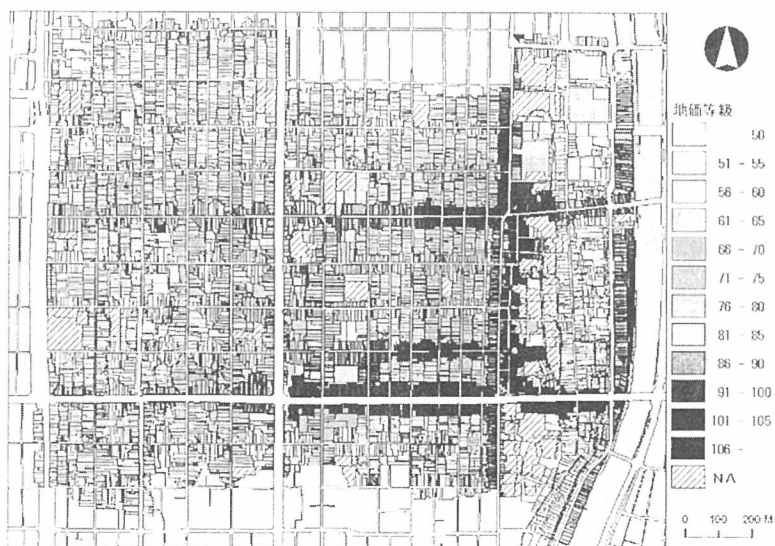
そこで、本研究では、『京都地籍図』の 1 筆ごとの地割に基づいて、当時の京町家の空間的分布を复原することにする。カード式の紙地図すべてをスキャナにてデジタル化し、1 筆 1 筆の地割をポリゴン化した。そして、それらの地割ポリゴンを、空中写真と同様に、ESRI 社 ArcGIS 上のジオ・リファレンス機能を用いて『IPC 住宅地図』と重ね合わせた。また、同時に、付録土地台帳のデータベース化を行い、地目、地価、等級などの主題を地図化できるように、大正元年『京都地籍図』の 2D-GIS 化を行った（第 5 図）。

4. 建築物の 3D-VR モデルを取り入れた 3D-GIS 化

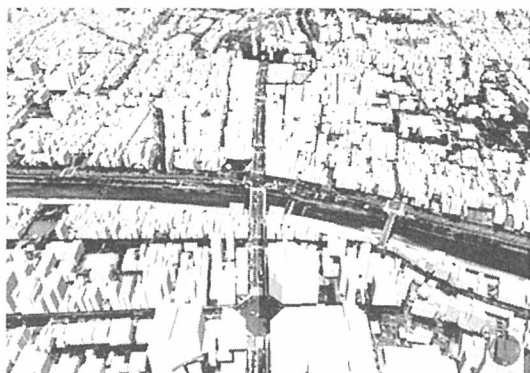
本研究では、現在の建築物の 3D-GIS として、MAP CUBE™ を用いる。京都市域を対象とした MAP CUBE™ は、2002 年夏にレーザー計測された高さデータ（高さ精度 15cm 誤差、点サンプル 2.5 m）と『IPC 住宅地図』に基づいて作成されたデータであり、建築物に関しては、2 次元の『IPC 住宅地図』の家屋形状に高さデータを加えて 3 次元形状モデルを作成し（テクスチャなし）、地表面は、カラーの航空写真のオルソ画像データがテクスチャとして施されている（第 6 図）。

MAP CUBE™ のデータ構造は、250m 四方のメッシュを 1 つのファイル単位として、建築物ファイルと地表面ファイルから構成されている（ZMD という独自フォーマットで作成されている）。建築物ファイルには、当該メッシュに含まれる建築物の 3 次元形状モデルと各建築物の外面のテクスチャが含まれ、当該メッシュの地表面ファイルは、地表面の 3 次元モデルと航空写真のデジタル画像が含まれている。これらのデータは、一般的な CAD/CG ソフトで処理可能な OBJ 形式でも提供されている。本研究では、auto des sys 社の form・Z や、独自開発の Excel マクロなどによって、それら OBJ 形式のファイルの作成や加工を行っている。

また、提供されている京都の MAP CUBE™ には、京都市域外の比叡山や北山など市域から離れた山間部のデータが欠落している。これらの山々は京都市域から望むことができ、京都の景観の遠景をなすもので、景観復原には不可欠な要素である。そこで、レーザー計測ではなく、



第 5 図 大正元年『京都地籍図』（等級分布）

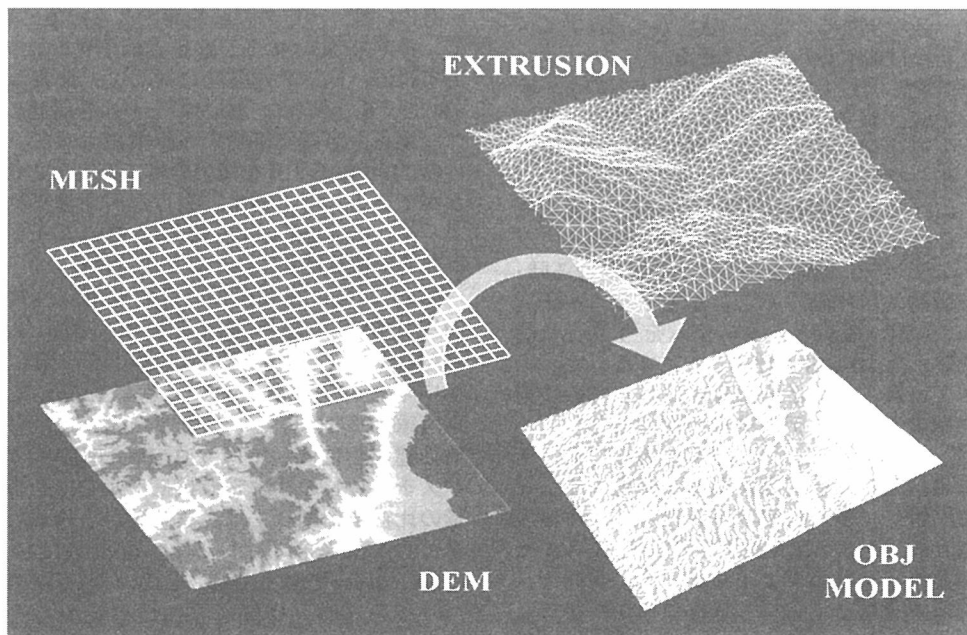


第6図 MAP CUBE™
 (上段：テクスチャなしの形状のみの建築物；
 下段：テクスチャ・マッピングを行なった建築物)

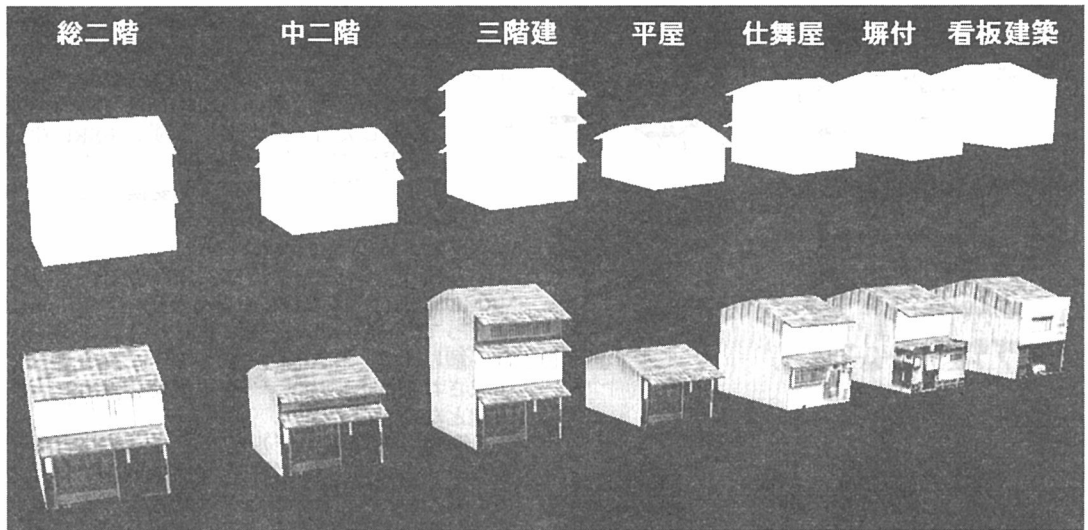
『数値地図 50 mメッシュ (標高)』などの既存の数値データを活用して、新たな地表面ファイルを作成した。具体的には xy の座標値に関しては、MAP CUBE™ で用いられている平面直角座標系に設定した上で行う。まず、ESRI 社の ArcGIS を用いて、『数値地図 50 mメッシュ (標高)』の点データをラスタ変換する。その標高値を取得した作成領域をカバーするメッシュを ESRI 社の ArcScene を用いて 3 次元地表面として変換し、VRML 形式で保存する。そして、VRML 形式ファイルは、auto des sys 社の form-Z によって、OBJ 形式に変換する。これらの一連の手順により、MAP CUBE™ のデータと外部で作成された OBJ 形式データを同時に扱うことが可能となる (第7図)。

建築物の 3D-VR モデルは、この MAP CUBE™ をベースとして、2D-GIS 上での建築物の種類によって、1) テクスチャなしの形状のみの建築物、2) 用途による擬似テクスチャ・マッピングを行なった建築物、3) 現地撮影のデジタル画像のテクスチャ・マッピングを行なった建築物、を使い分け、さらに、京町家、近代建築物、ランドマークなどの特徴的な建築物に関しては、個別に、3D-VR モデルを作り込むことにする。

なお、京町家に関しては、2D-GIS によって、特定された、間口、奥行、京町家類型など、に基づいて、OBJ 形式の京町家の 3D-VR モデルを構築している (第8図) [10]。なお、消滅した京町家の類型は、現時点では不明のためランダムに類型を割り当てている。



第7図 ArcScene から OBJ 形式へ (『数値地図 50m メッシュ (標高)』)



第8図 京町家の3次元VRモデル

5. 京都バーチャル時・空間 4D-GIS の構築

3D-GIS を用いたバーチャル・シティーは、(株)キヤドセンターの Urban Viewer™ を用いて、表示することができる(独自フォーマットの ZMD 形式以外に、OBJ 形式などの 3D-CG ファイルを読み込むことができる)。Urban Viewer™ は、当該 3D-GIS のバーチャル・シティーの中で任意に視点を移動させ、自由自在にウォーク・スルーすることができ、かつ 3D アニメーションを付加することもできる。

視点機能に関しては、3次元空間上での xyz 座標値、方位、俯角などを任意に設定でき、視点のルートを事前に設定して、同一ルートのフライ・スルーを再生することもできる。

さらに、複数の時間断面での 3D-GIS を用意すれば、それら 3D-GIS 間を瞬時に切り替える「シーン・エディタ」機能を有しており、異なる時・空間を瞬間的に移動することができる。本研究では、この時・空間表示システムを 3次元に時間軸を加えた 4D-GIS と呼ぶことにする。

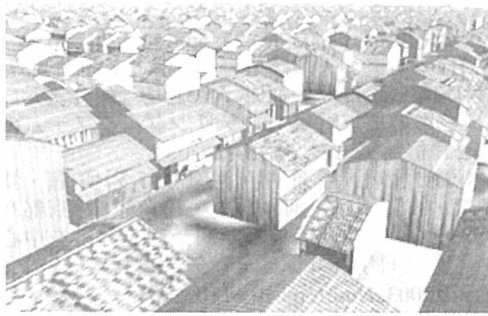
バーチャル・シティーの表示に際しての技術的な問題の 1 つは、データ量が膨大となり、ハイスペックのコンピュータ環境にあっても、データ量の増大に伴って動作環境が悪化することである。特に、多くのポリゴンを含み、解像度の高いテクスチャを含む複雑な建築物 3D-VR モデルが多く含まれるファイルを、広い範囲で、一度に表示させる場合に大きな負荷がかかることが問題である。

Urban Viewer™ は、全てのデータを取り込まずに、視点から任意の範囲までのデータのみを取り込み、表示する機能を有している。その機能をうまく活用しながら、かかる問題を回避することになる。

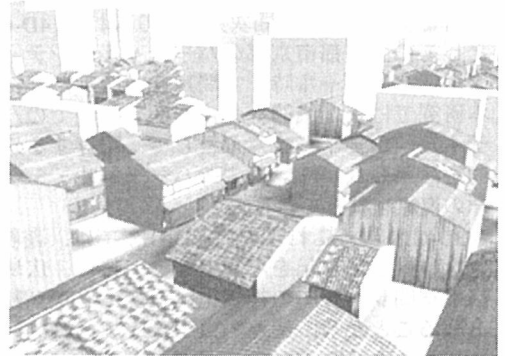
しかし、京都のバーチャル・シティーの場合、遠景となる三山は不可欠であり、簡素化した地表面モデルを作成し、操作性を向上させる必要がある。

あるいは、一定の距離範囲にある対象に対して、特定の 3D-VR モデルを表示させるように設定すれば、同一の建築物に対して、簡素な 3D-VR モデルと精巧な 3D-VR モデルを用意しておき、視点と当該建築物との距離によって、それらの 3D-VR モデルを使い分けて、表示させることができる。その結果、視点が対象建築物に近づくことによって、より精巧な 3D-VR モデルに自動的に切り替えていくことができる。

第 9 図は、京都市都心部の東洞院六角近辺の空中から、北東方向を眺めた都市景観の 4D-GIS の静止画である。京町家に関しては、空中写真判読から当該の年次に存在していた京町家の 3D-VR モデルを取り込み、京町家以外の建築物に関しては、MAP CUBE™ のテクスチャなしの 3次元形状モデルを、そして遠景の比叡山に関しては、数値図から作成した簡易 3D-VR モデルが、取り込まれている。Urban Viewer™ で上では、この 4D-GIS の京都バーチャル時・空間を自由に移動することができる。



1928



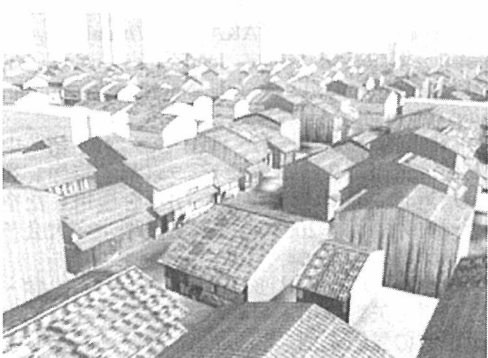
1974



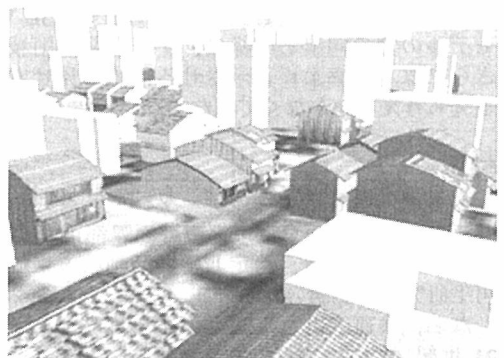
1948



1987



1961



2000

第9図 4D-GISの事例（京町家の景観変遷）
（東洞院六角近辺の上空より北東方向を望む）

6. おわりに

本研究で、最新の 2D-GIS、3D-GIS と 3D-VR 技術を駆使して、時間次元を取り入れた 4D-GIS としての歴史都市京都のバーチャル・シティー（京都バーチャル時・空間）を構築した。特に、本研究では、広域的な都市空間レベルでのバーチャル・シティーを対象として、現存する建築物を活用しながら、過去のバーチャル・シティーの復原を試みている。

3D-GIS は、これまでの 2D-GIS では、表現できない景観の表示を可能とする。特に、広域の都市空間レベルでの視覚化は、データ量が膨大となることから、個々のコンテンツの質的向上に加え、遠景の 3D-VR モデルの簡素化や視点と対象コンテンツ間の距離に即した形での表現方法を工夫していかななくてはならない。

さらに、時間次元を取り入れた 4D-GIS の展開としては、多くの時間断面ごとの 3D-GIS を作成し、時・空間的に自由自在に移動可能なシームレスなバーチャル・シティーに発展させていく必要がある。

今後の課題としては、古写真などを活用して、現存しない過去の京町家を含む建築物の 3D-VR モデルの精度を高めることや、建築物以外の都市景観を構成する要素の 3D-VR モデルの構築なども合わせて行うことが必要である。

さらに、産官学地連携を活用しての協同による京都バーチャル時・空間の構築に関する仕組みづくりも不可欠といえる。

なお、Urban ViewerTM を拡張して、4D-GIS のデジタル・シティーを Web 配信するシステムも現在構築中である〔11〕。その場合も、3D-VR モデルの質の向上と同様に、データ量の削減、さらには、効率よく表示させるための見せ方の工夫も考えていかななくてはならない。

付記：

京町家外観悉皆調査のデータベースを利用していただいた、京都市都市計画課都市企画部都市づくり推進課、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 プログラム「京都アート・エンタテインメント創成研究」（研究代表者：川嶋將生）、及び平成 13-17 年度文部科学省「私立大学学術高度化推進事業」オープン・リサーチ・センター整備事業「デジタル時代のメディアと映像に関する総合的研究」（研究代表者：川嶋將生）の研究成果の一部である。

参考文献

[1]河角龍典・矢野桂司・河原大・井上学・岩切賢：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，Vol.2003，No.21，pp. 111-118，2003。

[2]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：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，pp.13-22，2003。

[3]矢野桂司・高瀬裕・河原大・岩切賢・井上学・古賀慎二・河原典史・河角龍典：京都バーチャル時・空間の構築—四条通り界限を中心に—，人文科学とコンピュータシンポジウム論文集，Vol.2003，No.21，pp.103-110，2003。

[4]河角龍典・矢野桂司・磯田弦・河原大・河原典史：昭和・平成期の京町家バーチャル時・空間—京町家時・空間データベース及びVR技術を用いた京町家の減少過程の復原—，民俗建築，（印刷中）。

[5]矢野桂司・中谷友樹・磯田弦・河角龍典・高瀬裕：都市3次元GIS/VRによる京都バーチャル時・空間の構築，情報処理学会研究報告，Vol.2004，No.6，pp. 97-104，2004。

[6]矢野桂司・中谷友樹・磯田弦・河角龍典・高瀬裕・河原大・井上学・岩切賢・塚本章宏：京都バーチャル時・空間，「東洋学へのコンピュータ利用」研究セミナー論文集，pp. 47-56，2004。

[7]矢野桂司・河原大・磯田弦・中谷友樹・宮島良子：GISを用いた京町家モニタリング・システムの構築—産官学地連携としての試み—，第13回地理情報システム学会学術研究発表大会講演集地理情報システム学会講演論文集，Vol.13，pp. 459-462，2004。

[8] Keiji YANO, Tomoki NAKAYA, Yuzuru ISODA and Yutaka TAKASE: Virtual Kyoto: restoring historical urban landscapes using VR technologies, Proceedings of the Nara Symposium for digital silk roads, pp.429-438, 2004.

[9]井上学・矢野桂司・磯田弦・高瀬裕・中谷友樹・河原典史・塚本章宏：『京都地籍図』を用いた近代京都の景観復原—GISを援用した空間データの整備—2004年度人文地理学会大会予稿集（印刷中），2004。

[10]河原大・磯田弦・河角龍典・井上学・中谷友樹・矢野桂司・高瀬裕：バーチャル京都—歴史都市の景観変遷—，日本バーチャルリアリティ学会第9回大会論文集，pp. 179-182，2004。

[11]高瀬裕・曾根敦・畑中達也・銀木護・益見貴光：Web3D技術による3次元都市地図配信システムの開発，日本バーチャルリアリティ学会第9回大会論文集，pp. 53-56，2004。