

## GIS を用いた建造物の三次元データベースの構築

広島大学大学院 教育学研究科  
助教授 前空英明

## 目次

1. はじめに	1
1-1 研究の目的と意義	1
1-2 研究の概要	2
2. 多年次の空中写真を使った建造物の三次元 GIS の作成	3
2-1 使用する空中写真	3
2-2 広島市市街地のオルソ画像の作成	4
2-3 広島市市街地のオルソモザイク画像の作成	5
2-4 広島市市街地中心部の空中写真の標定	7
2-5 広島市市街地中心部のオルソモザイク画像の作成	11
2-6 広島市市街地中心部の建造物三次元データの収集	12
2-7 建造物の三次元モデル作成に利用する建造物の写真の収集	13
2-8 三次元モデルに対する建造物テクスチャ画像の適用	14
2-9 建造物三次元モデルの作成	15
3. 昭和 20 年代の米軍撮影空中写真資料の調査	17
3-1 米国国立公文書館所蔵空中写真標定図の GIS 化	17
3-2 次年度以降の調査対象地の選定	18
4. 建造物三次元モデルを使った景観変遷の復元	19
4-1 三次元モデルの公開手法	19
5. おわりに	29
5-1 結果	29
5-2 展望と課題	29
参考文献	30
Summary	31

## 1. はじめに

### 1-1 研究の目的と意義

本研究は、都市景観保全データベース構築のため、また美しい国づくりのための基礎データとして活用するため、都市景観の三次元データベースを過去にさかのぼって作成することを目的としている。今年度はその第一歩として、世界最初の被爆地「広島」において主に研究を行っている。

世界最初の被爆地「広島」では、戦後 60 年を迎えるにあたり、原爆の惨状と平和の尊さを 21 世紀に語り継ぐ被爆遺跡（被爆建造物）が、近年の急速な都市化によって次々に姿を消している。被爆建造物はモノトーンの無機的な都市景観の中であって、ある意味で美的な「景観資源」であると同時に、平和の尊さを直接視覚に訴えることができる知的な「景観資源」であるともいえる。世界遺産に登録された「原爆ドーム」をはじめ、広島にはさまざまな被爆建造物が残されている。本研究は、これらの建造物における被爆の状態から現在にいたる変化の過程を、空中写真や現地における対象建造物の踏査資料を材料にして、デジタル技術を使って鮮明に復元し三次元データベース化することを目的としている。

本研究によって構築されるデータベースは、次世代に残すべき情報資源として十分意義があると考えられるし、加えて、景観保全データベース構築に関する方法モデルを確立できる点の意義も大きい。また、前述のように被爆建造物が次々になくなっている現状では、現地調査の可能性が年々失われてきており、可及的速やかに本研究に取り掛かることが必要であると考えられる。本研究によって被災建造物の三次元データベースモデルが確立されれば、大規模な震災、火災、風水害に遭った都市や劇的に変化する地域でも、同様な復元作業が可能になり、その成果は美しい国づくりのための基礎データとして活用できるものと期待される。

### 1-3 研究の概要

過去に撮影された空中写真と最近撮影された空中写真を利用して「景観資源」となる対象を抽出し、いったん網羅的に「景観資源」を把握したうえで、保全すべき「景観資源」としての検討を行い、国土交通省が進める「美しい国づくり政策大綱」で掲げられる「保全すべき景観資源のデータベースの構築」を行う。構築された「データベース」は GIS 利用を前提とし、三次元位置情報を持たせる。ここで作成された三次元モデルは、公共事業の景観評価システムの評価要素や観光資源情報に対して利便性をもたらせると考えられる。また、時期の違う写真を利用することによって、戦災などによる「景観資源」の破壊、または、戦後以降の街なみの復興などにみられる「景観資源」を成立させている街なみの変化に対する把握も可能である。本研究では、人類史上初の原子爆弾が投下された 1945 年 8 月 6 日当時からすでに繁華街であった広島市中心部市街地を対象範囲として、現存する被爆建造物を対象に、既存の調査資料などに基づいて空間情報を取得し三次元モデルを作成する。情報取得に使用する空中写真は、原爆投下前後と現在に至る時期も含めた 6 時期としている。原爆投下直前の写真では被爆前の状態を、投下直後の写真においては被爆による被害を受けた状態を、現在に至る時期の写真においては現在の街なみを形成していく過程の景観資源としての状態を、それぞれ GIS で利用可能な空間情報を持った三次元モデルを作成する。最終的には GIS を使った空間データベー

スを構築し、閲覧や保存・検索機能を付加して、情報資源としての活用を図りたい。終戦直前に日本の各地で、米軍によって空中写真が撮影されていたことが、最近わかってきており、戦後に大きな災害（震災、火災、風水害）を被った都市や劇的な変化を遂げる地域においても、同様なデータベースを構築できる可能性があり、研究をさらに展開させるため予備的な調査も行う。

## 2. 多年次の空中写真を使った建造物の三次元 GIS の作成

### 2-1 使用する空中写真

本研究では，原爆投下の直前（1945年7月25日）と直後（1945年8月11日）・戦後復興期（1947年）・高度経済成長期（1962年）・バブル景気初頭（1986, 1988年）・現在（2000年）の計6時期を，データ作成の対象時期とし，それぞれの時期においてオルソモザイク画像と建造物三次元モデルを作成し，各時期の景観データベースを構築する。

表 2-1-a 使用空中写真（1962年以降撮影分）

	コース番号	写真番号	解像度	焦点距離	写真縮尺
CG62-08 (1962年撮影)	c14	10 - 12	10 $\mu$ m	152.95mm	1 : 10000
	c15	8 - 13			
	c16a	8 - 14			
	c17a	7 - 11			
	c17b	1 - 4			
	c18	2 - 6			
	c19	2 - 3			
CG86-3X (1986年撮影)	c10a	13 - 14	10 $\mu$ m	153.16mm	1 : 20000
	c11	13 - 16			
	c12	11 - 15			
	c13	13 - 14			
CCG88-1 (1988年撮影)	c10	24 - 25	20 $\mu$ m	153.27mm	1 : 10000
	c11	25 - 26			
株パスコ撮影 (2000年撮影)	c10	1000-5403 - 1000-5407	40 $\mu$ m	153.05mm	1 : 10000
	c11b	1102-5383 - 1102-5389			
		1102-5385 - 1102-5387			
	c12b	1202-5485 - 1202-5493			
		1202-5487 - 1202-5489			
	c13	1300-5465 - 1300-5473			
		1300-5469 - 1300-5471			
	c14	1400-5503 - 1400-5511			
c15b	1502-5561 - 1502-5563				

2000年撮影分は，三次元計測の関係するものは，解像度 20  $\mu$  m の写真を使用した。デルタ地域のオルソモザイク作成には，解像度 40  $\mu$  m の写真を使用した。

表 2-1-b 使用空中写真（1945, 1947年撮影分）

撮影年月日	ミッション番号等	焦点距離	撮影高度	写真縮尺	画面サイズ
1945年7月25日	28PRS 5M 335	24 inch	24,600 feet	1 : 12,600	9 × 18 inch
1945年8月11日	6PG 25PS 5M 223 Z3	24 inch	28,000 feet	1 : 14,000	9 × 18 inch
1945年4月11日	9PRS M251 314CW	153.1 mm	6,250 feet	1 : 12,500	9 × 9 inch

戦後に撮影された空中写真は、一般に購入が可能である国土地理院ならびに株式会社パスコによる撮影のものを使用した。原爆投下前後に撮影された 1945 年の空中写真は、米国国立公文書館が所蔵するものを入手した。国土地理院では、1945 年に撮影された空中写真をすでに入手しており、「米軍撮影 広島原爆投下前後の空中写真」として、財団法人日本地図センター、広島の中国書店等で、戦後撮影の空中写真同様に購入可能である (<http://www.jmc.or.jp/photo/gsi.html>)。ただし、本研究において使用した写真は、国土地理院が入手したものではなく、独自に入手したフィルムである。そのフィルムを空中写真用スキャナでスキャンしたデータを使用している。8 月 11 日に撮影された空中写真は、国土地理院が入手したものと同一ミッションで撮影されたものではあるが、写真番号が異なるものである。使用した空中写真のうち、1962 年以降に撮影されたものを、表 2-1-a に示す。また、1945 年、1947 年に撮影された空中写真は写真番号を省略したものを表 2-1-b に示す。

1945 年撮影の空中写真については、すでに三次元データが作成済みであり、後述する 2-2 ~ 2-4 の作業工程は不要と判断していた。ところが、作成されたオルソモザイク画像、DM データを精査すると、精度的には地図縮尺 1/25000 程度のもので判断され、対象地域の三次元モデルとしてそのまま利用するには精度不足等が考えられた。したがって、1945 年の原爆投下前後の三次元モデルについては、再度作成し直すことにした。

また、バブル初頭期を対象とした 1980 年代後半において、オルソモザイク画像の作成と三次元モデル作成は、作成意図に適するように撮影時期を変えて空中写真を使用している。広島三角州のほぼ全域を対象とした広島市街地におけるオルソモザイク画像の作成については、広範囲にわたる画像作成になるので、1986 年撮影、写真縮尺 1/20,000 のモノクロ空中写真を使用した。一方、中心部市街地を対象とした建造物三次元データ作成には、データ収集が正確で容易になるように大縮尺カラー空中写真である 1988 年撮影、写真縮尺 1/10,000 のカラー空中写真を使用した。

## 2-2 広島市市街地のオルソ画像の作成

広島市市街地のオルソ画像は、広島における市街地の経年変化に対する概観把握が主たる目的であるので、地図縮尺 1/25,000 程度の精度が確保できれば可とした。作成には、米国 Leica Geosystems 社製 GIS ソフト ERDAS IMAGINE を使用した。

1962 年、1986 年、2000 年に撮影された空中写真のオルソ画像作成は、単画像オルソ幾何補正により作成した。リサンプリング時の解像度（出力ピクセルサイズ）は 0.50 とした。位置参照する基準となる地図データは、地図縮尺 1/2,500 の DM データを利用した。DEM データは、国土地理院発行の「数値地図 50m メッシュ(標高)」を利用した。DM データの縮尺により地図縮尺 1/25,000 以上の精度が充分あり、1/10,000 程度の精度も確保できたと判断している。1945 年 7 月 25 日の原爆投下前に撮影された空中写真については、竹崎ほか(2004)により、1/2500 の広島市 DM データを用いて位置参照した標定作業をすでに済ませていた。標定結果は、地図縮尺 1/5,000 以上の精度を確保しており、その成果をもとにオルソ画像を作成した。1945 年 8 月 11 日と 1947 年の米軍撮影分は、すでにオルソモザイク画像が作成され、すべて地図縮尺 1/25,000 程度の精度があると判断されたので、市街地におけるオルソモザイク画像も、これをそのまま使用することにし、本工程は省略した。ただし、国土地理院、(株)パスコ等が撮影した 1960 年以降の空中写真と同様な精度は確保できていない。市街地中心部を例に各時期の画像を示す(図 2-2)。同

一範囲，同一縮尺にしてある。



1945年撮影

1945年日撮影

1947年撮影



1962年撮影

1986年撮影

2000年撮影

図 2-2 撮影時期別のオルソ画像例

### 2-3 広島市市街地のオルソモザイク画像の作成

2-2 により作成した単画像オルソ画像を元に，広島市の市街地を形成している直径 7km 程度の円内（図 2-3-a）を含む地域を対象としてオルソモザイク画像を作成した。作成作業は，2-2 同様米国 Leica Geosystems 社製 GIS ソフト ERDAS IMAGINE を使用して行った。図 2-3-b に作業画面を示す。さらに図 2-3-c に，1945 年，1947 年撮影の三時期も含めて，各時期のオルソモザイク画像の全範囲を示す。各図は，枠の広さと画像の縮尺をすべて統一してあり，作成範囲が比較可能である。

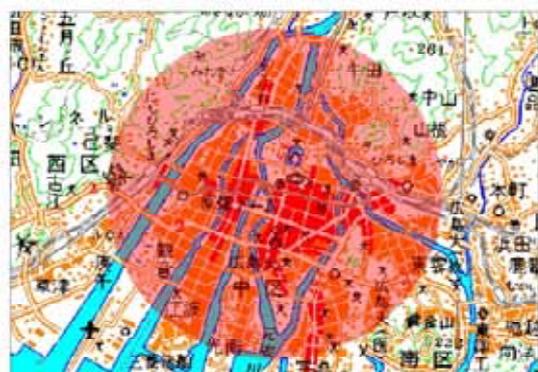


図 2-3a オルソモザイク画像作成範囲

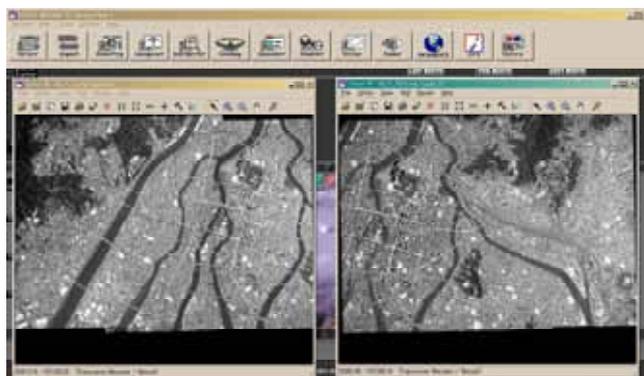
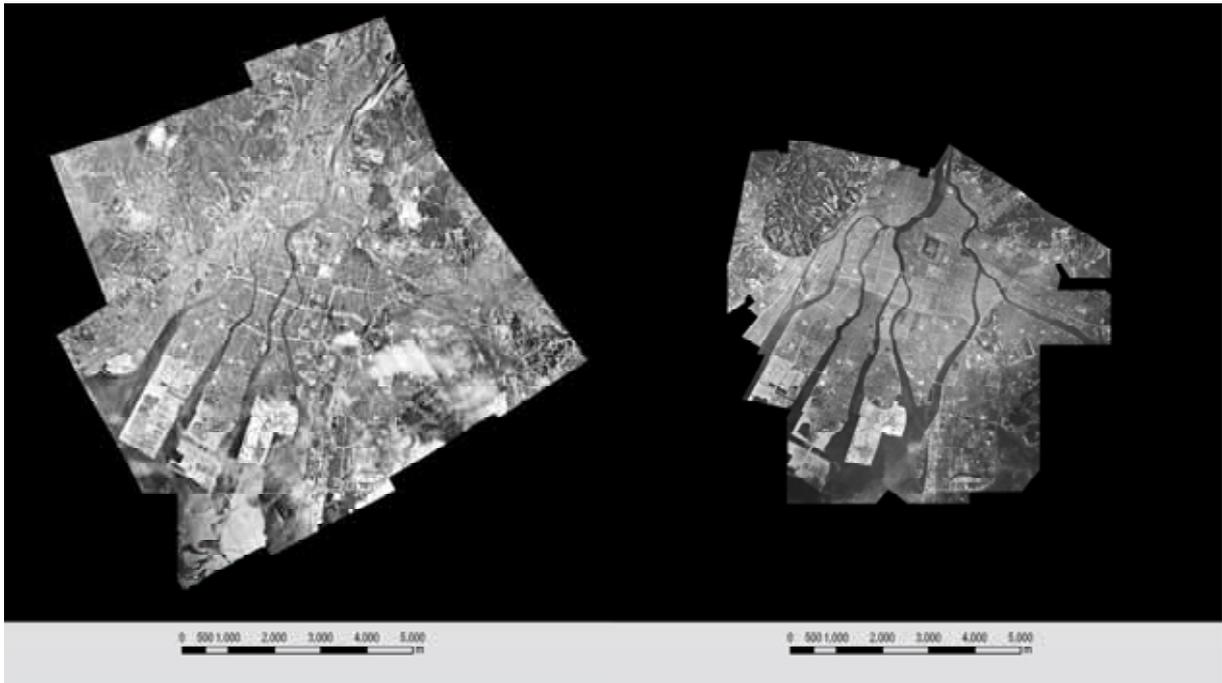
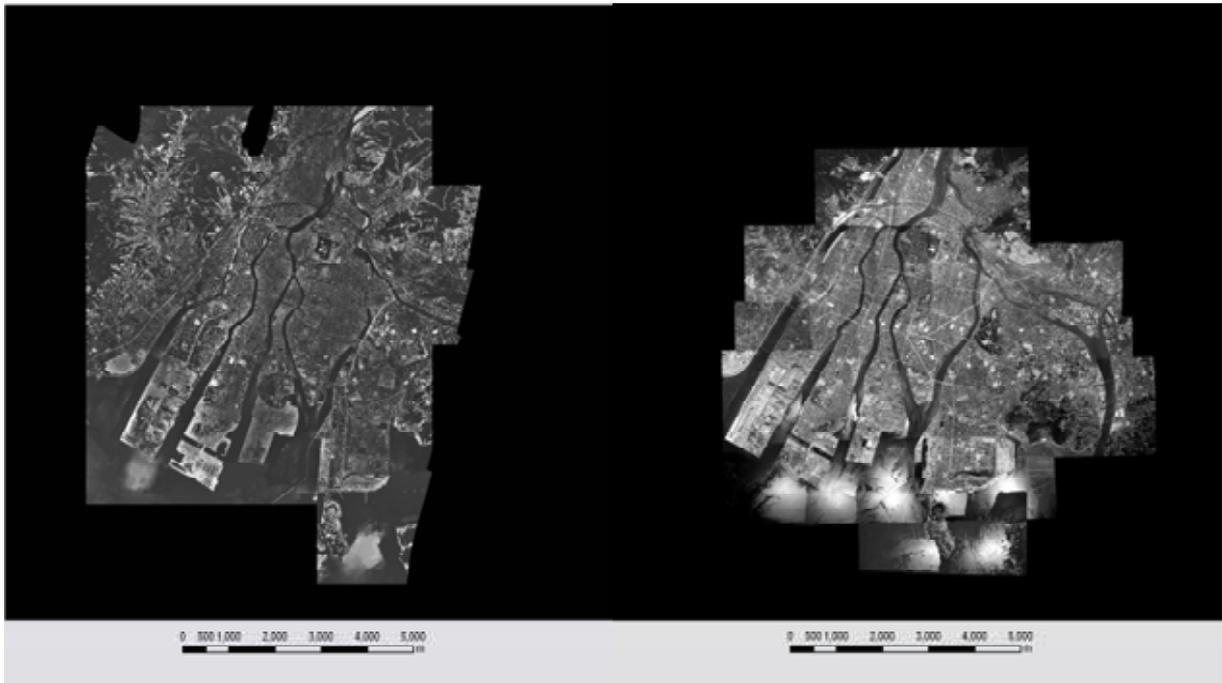


図 2-3b モザイク作業



1945年7月25日撮影

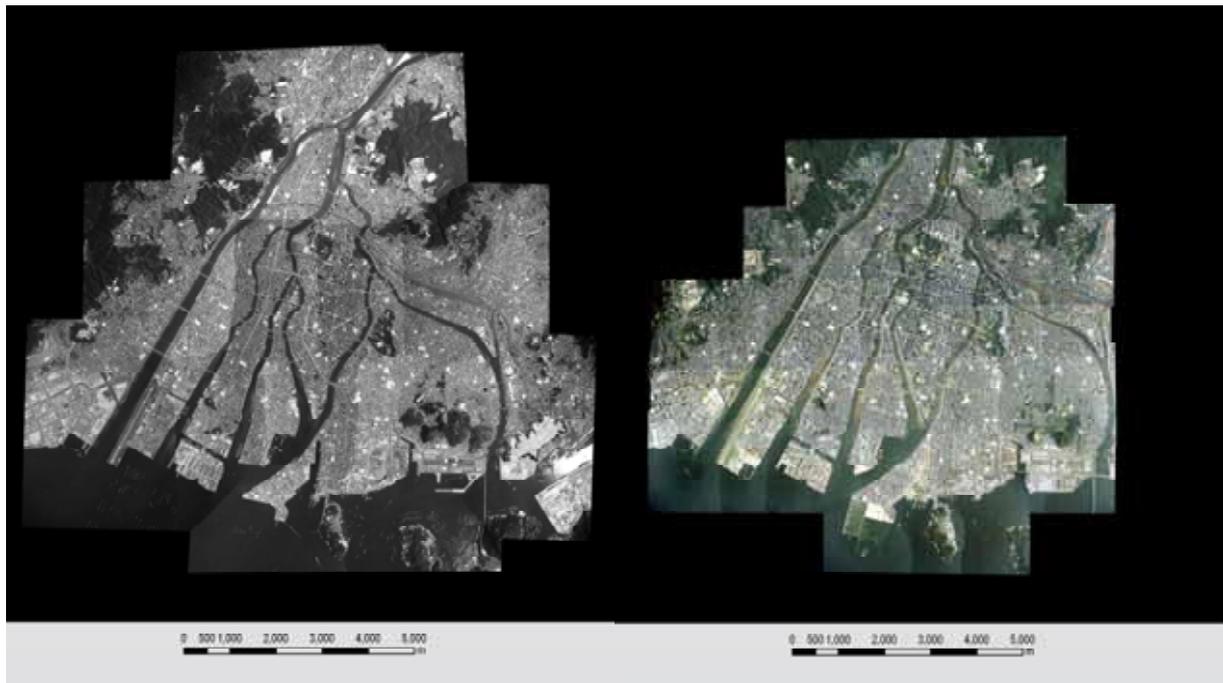
1945年8月11日撮影



1947年撮影

1962年撮影

図 2-3-c(1) 各時期のオルソモザイク画像の全範囲



1986年撮影

2000年撮影

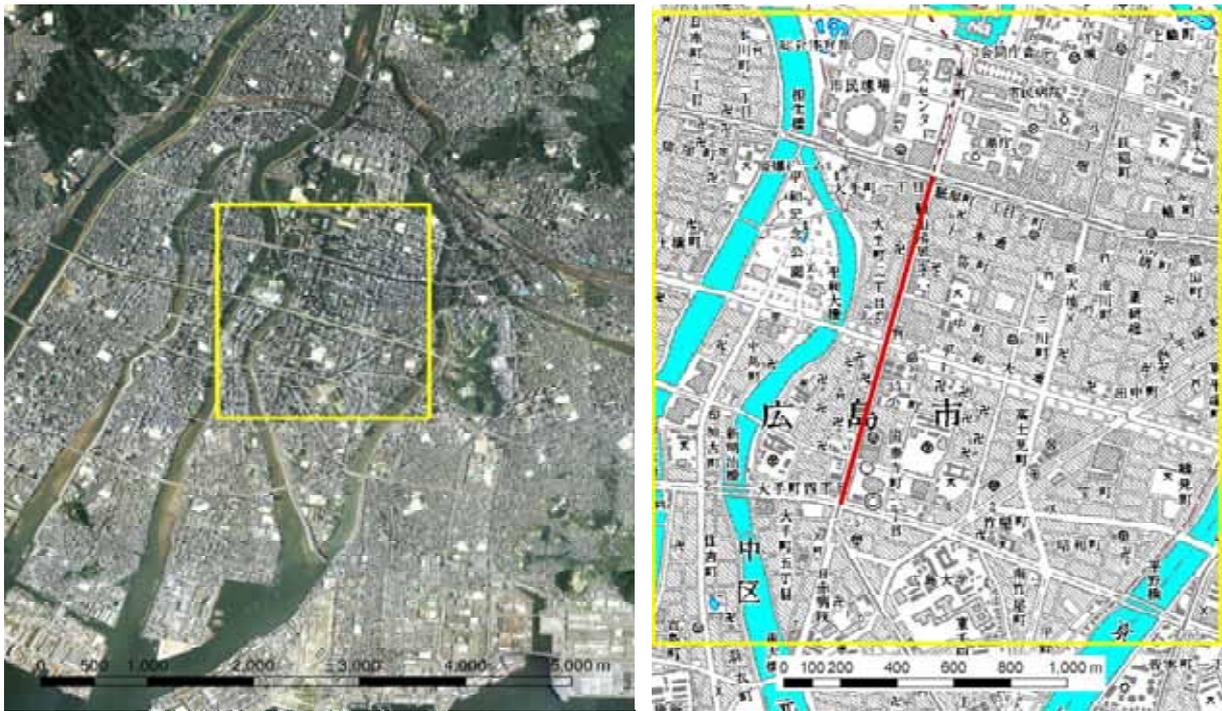
図 2-3-c(2) 各時期のオルソモザイク画像の全範囲

#### 2-4 広島市市街地中心部の空中写真の標定

建造物三次元データの収集作業にはステレオ実体視をする必要があるため、対象地域については、前もって空中写真の標定を行っている。本研究において標定作業を行った写真を表 2-4 に示す。2-1 でもすでに述べたとおり、バブル期初頭である 1980 年代後半としては、1988 年撮影の大縮尺空中写真を使用した。また、本工程において前もって標定作業を行った範囲は、本研究における建造物三次元モデルの作成対象地域であるだけに限らず、さらに三次元モデルの作成において範囲の拡大にも対応可能である。

表 2-4 標定作業を行った空中写真

	コース番号	写真番号	モデル数
CG62-08	c15	10 - 12	2
	c16a	10 - 12	2
CCG88-1	c10	24 - 25	1
	c11	25 - 26	1
(株)パスコ撮影	c11b	1102-5385 - 1102-5387	2
	c12b	1202-5487 - 1202-5489	2
	c13	1300-5469 - 1300-5471	2



**図 2-4-a 対象地域（黄色の枠）**

左のモザイク画像に示す黄色の枠が、右の地図に示す黄色の枠に同じ。

背景の地図は、国土地理院発行の数値地図 25000（地図画像）「広島」を使用。

1962年、1988年、2000年撮影の空中写真の標定作業に対して、1945年に撮影された空中写真の標定は、戦時中に撮影されたこともあり、現在の空中写真と大きく違った点が数多くある。たとえば、本来地上にあるべき三角点といった基準点が当然存在しない。撮影高度 28,000 フィートといった超高々度から撮影されている。焦点距離 24 インチといった超望遠レンズが使用されている（他に、40 インチレンズの記録もある）。さらに、画面サイズが通常の空中写真 2 枚分に相当する 9 × 18 インチのフィルムに撮影されている。あるいは、わずかに左右に振られたカメラを同時に利用して、2 倍の面積を撮影する。また、密着フィルムの作成作業においては、通常サイズと同様な半分のサイズに半面ずつが複製してある。しかも、画面の周囲にマスクを使用するなど、精度維持にあきらかに影響があるような方法がとられている（測量成果というよりも歴史的資料としての存在）。すなわち、現在行われている空中写真測量の想定にないものが数多くあったのである。しかも、原爆投下前の広島を撮影した 1945 年の空中写真として見るならば、その街なみの映る画像は精細なものといえるが、現在の空中写真と比較すると、画質そのものは見劣りしてしまう。したがって、標定作業は困難なものであった。

7月25日撮影分については、2-2 ですでに述べたとおり標定済みであったので、その成果をもとにオルソ幾何補正を行った。8月11日に撮影されたものについては、本研究であらためて標定作業を行った。本作業は、7月撮影分とは違って、2000年に撮影された写真の標定結果を利用した位置参照を行って基準点を取得して標定を行った。標定作業は三次元モデル作成対象地域をカバーするだけの1モデルに対してのみ行った。どちらの標定作業も、原爆投下前から存在する建造物を基準点として利用している。基準点取得における位置参照の際には、被爆建造物編集委員会編（1996）によって建造物を確

認したり，当時の街なみを知る住民などからもアドバイスを受けている。また，研究者のひとりには被爆二世で，出生時からの広島在住者で土地勘があり様子を熟知していたことが，基準点取得におおいに役立っている。

さらに，米国国立公文書館に所蔵される空中写真に対しては，より精度が高くなる方法を現在も検討を続けている。

三次元モデルの作成区間は，1945年8月6日の原爆投下により，ごく一部の非木造建築物を除いて，完全に焼失した地域である。しかし，被爆当時から中心市街地の目抜き通りの一角を形成する地域であり，現在もそれは変わらない。北端の「紙屋町」交差点は，広島市有数の交通量を有する交差点である。また，広島電鉄市内線の一号線も該当区間を通過している。「紙屋町」交差点から約200mあまり南の交差点は，中国地方一の繁華街である本通商店街を横切る「本通」交差点である。さらに南の中間地点にあたる「白神社前」交差点では，幅員100mの平和大通りを横切る。南端は，国道2号と交わる「市役所前」交差点で，その北東には被爆にも耐えた広島市役所旧庁舎が1985年まで位置していた。現在は鯉城通りと呼ばれる通りの一部で，約1kmの区間である（図2-4-aの赤線部分）。原爆が投下された1945年8月6日を挟み，戦後復興期以降，現在に至る各時期を比較しても大きな変貌を遂げる地域であり，データベース構築に好適な区間と判断し，本研究における対象区間とした。

時期別の対象地域の画像を示す（図2-4-b）。各図は，枠の広さと画像の縮尺をすべて統一しており，作成範囲の比較が可能である。また，図2-4-aの地図と同一の図郭にしてある。



1945年7月25日撮影

1945年8月11日撮影

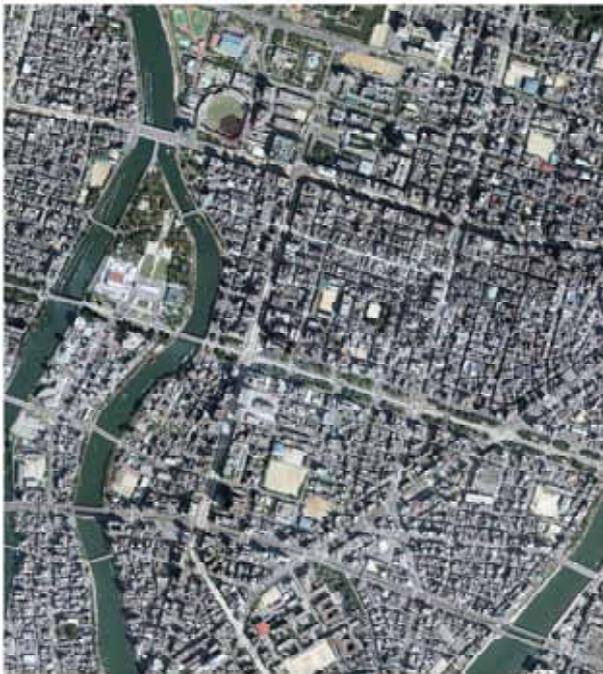
図2-4-b(1) 時期別の対象地域



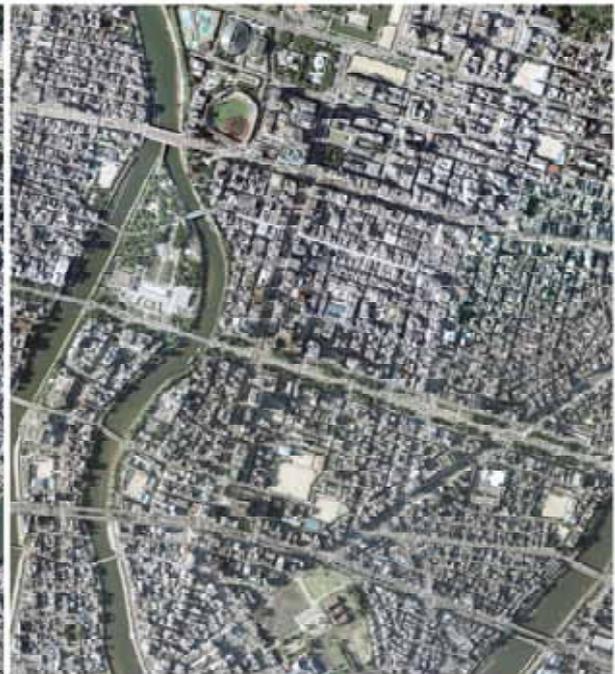
1947年撮影



1962年撮影



1988年撮影

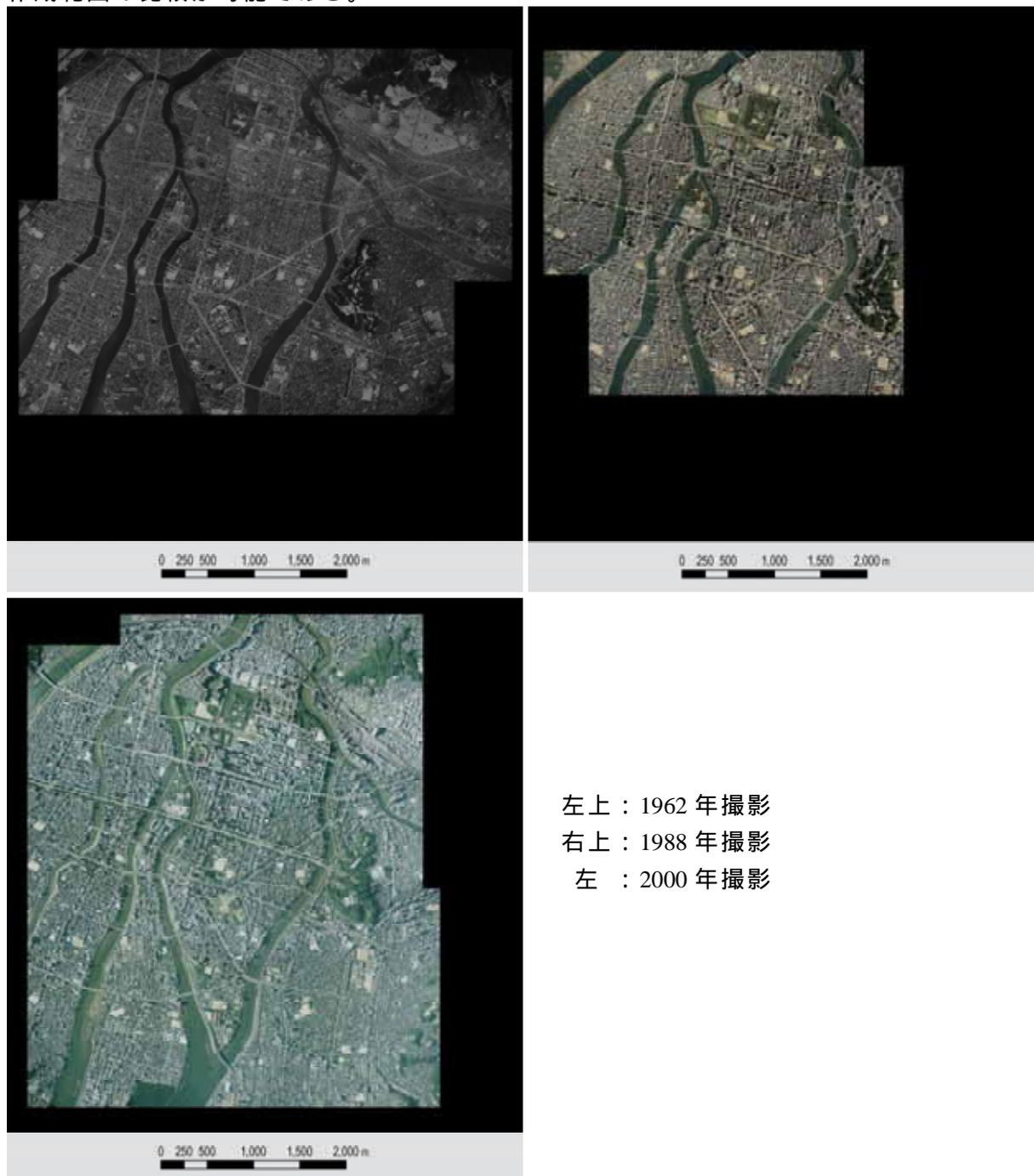


2000年撮影

図 2-4-b(2) 時期別の対象地域

## 2-5 広島市市街地中心部のオルソモザイク画像の作成

広島市市街地中心部についても、2-4で行った標定結果を利用してオルソモザイク画像を作成することにした。本工程で作成するオルソモザイク画像は、2-3において作成した単画像オルソ幾何補正画像をもとにしたモザイク画像よりも精度が高いので、さらに精度の高い二次元地図情報のGISデータとして利用可能である。各時期のオルソモザイク画像を作成した範囲を示す(図2-5)。なお、各時期で範囲が違ってくるのは使用した空中写真の範囲によるものである。各図は枠の広さと画像の縮尺をすべて統一してあるので、作成範囲の比較が可能である。



左上：1962年撮影  
右上：1988年撮影  
左：2000年撮影

図2-5 各時期別のオルソモザイク画像を作成した範囲

## 2-6 広島市市街地中心部の建造物三次元データの収集

2-4で標定作業を行った空中写真を元に、1947年以外の、1945年7月、8月、1962年、1988年、2000年撮影分について建造物の三次元データ収集を行った。収集作業は、米国 Leica Geosystems 社製 GIS ソフト ERDAS IMAGINE の拡張ソフト Stereo Analyst for IMAGINE を使用した。実際の作業は、PC用のCRT画面に装着された偏光シャッターと、偏光メガネを用いて、ステレオ実体視が可能になっているシステムを使用して行う(図2-6-a)。そのシステムのPC画面に映る標定済みの空中写真から、三次元的な位置(X, Y, Z)の計測を行い、三次元的なベクトルデータのデジタイズをして、三次元データを収集する。



図 2-6-a ステレオ実体視の装置

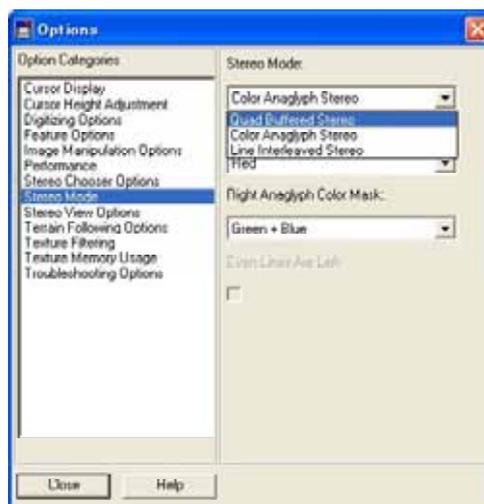


図 2-6-c ステレオ実体視の設定

(<http://www.indyzone.co.jp/shopping/products/stereographics/zscreen.html> より)

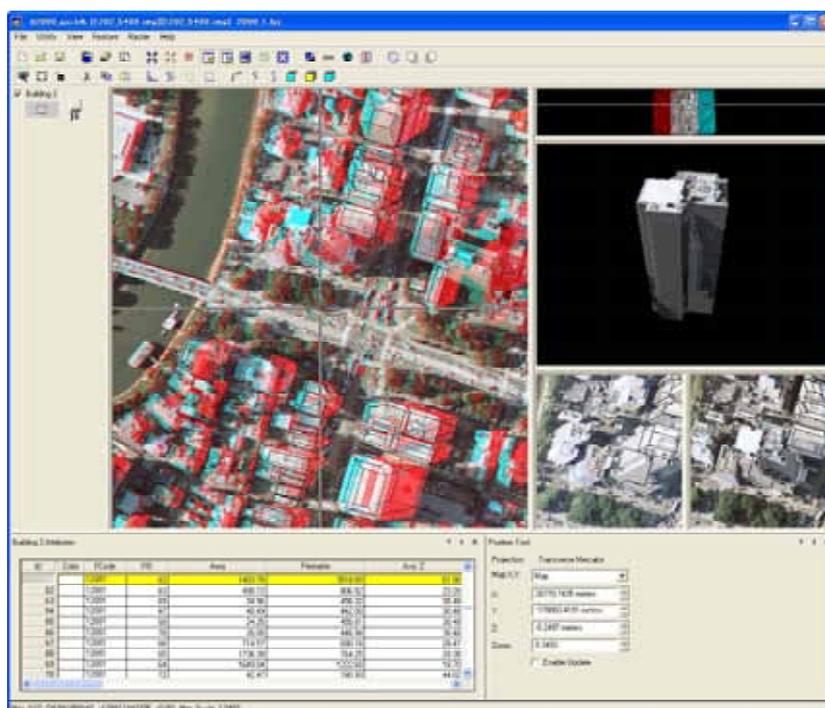


図 2-6-b 建造物三次元データの収集作業

三次元データ収集にあたり，1962年以降の撮影分については他年次へのデータの複製，流用も技術的には可能である。しかしながら，空中写真のみから建造物の形状データをどの程度取得できるかも検討する意図があった。したがって，複数時期に存在する同じ建造物であっても，各年次の標定済み空中写真画像からそれぞれ計測しデータ収集を行った。一方，1945年，1947年撮影の空中写真は，1962年以降撮影分と比較すると，必ずしも鮮明と言いつらい。したがって，1945年7月25日に撮影された写真にも映っていて，さらに被爆にも耐え1962年にも残存する建造物については，1962年の写真を使用して収集した三次元データを流用した。

また，米国公文書館所蔵の空中写真は，写真測量に対応可能な撮影がなされているものの，2-4で触れたように，現在行われている空中写真測量の想定外となる要素が数多くある。したがって，高さデータの精度は，1962年以降のものに比較すると誤差が大きくなると判断される。また，1945年8月11日撮影分については，焼失を免れた建造物がわずかに残るだけであるので，三次元モデル作成対象区間だけに限らず，それ以外の範囲の建造物に対しても三次元データの収集を行った。

高層ビルは，それぞれが独得の意匠を有するので，その形状を忠実に表示するようにデータ収集を行った。一般民家と判断される瓦葺きの屋根を持つ家屋は，木造建築の民家型モデルとして判断し，屋根の形状は切り妻型に表示するにとどめた。独得の意匠を持つ神社等は，高層ビル同様，その形状を忠実に表示するように試みた。ところが，高層ビルと比較すると，建物の規模が小さいため，写真から判読するには限界があった。建造物三次元データの収集作業を行う際の画面を図2-6-bに示す（画面右側中央が三次元モデル）。ただし，図2-6-bでは，ステレオ実体視環境が紙面でも再現できるように，余色立体画像（Color Anaglyph Stereo）にしてある。本研究で利用したシステムにおいても，図2-6-cに示すように，偏向シャッター，偏光レンズを使用する設定（Quad Buffered Stereo）に選択が可能である。

## 2-7 建造物の三次元モデル作成に利用する建造物の写真の収集

空中写真は垂直撮影のため基本的には建造物の天井しか映っていない。建造物の三次元モデルを作成した場合，壁面の画像はごく一部映り込んでいる壁面部分を強制的に引き延ばして利用するため，伸びて縞模様状になってしまう。したがって，対象建造物の壁面が完全に映っている写真画像を利用して，テクスチャ画像を壁面に適用し三次元モデルを作成することになる。モデル化に際しては，テクスチャ画像に使用する各時期に対応する建造物の写真を収集する必要がある。

当然，空中写真が撮影された年次に撮影された写真が最適であるのは言うまでもないが，こだわれば収集の選択を狭めるだけであり，対象となる建造物の三次元モデルが作成できれば，必ずしも厳密に整合性をとる必要はない。ただし，多年時の三次元モデルを作成するので，現実を反映させるようになるべく近い時期に撮影された写真を収集した。原爆投下前の写真入手は非常に困難であり収集は断念した。また，原爆投下後の写真も被爆記録に関する資料に掲載される写真があったが，三次元データ収集における高さデータの誤差を考慮して，被爆前と同様あえて使用していない。しかしながら，被爆に耐えた建造物を中心として，多年時にわたる建造物の三次元モデルを用いた街なみの景観データベースとしては充分機能するものと判断している。とくに，戦後復興期を乗り越え，市街が変貌していく高度経済成長時以降の景観の再現は成されている。

## 2-8 三次元モデルに対する建造物テクスチャ画像の適用

当初，地上から撮影した建造物一棟，一軒ごとの写真と，補助的に飛行機から撮影された街なみの俯瞰写真との併用を検討していた。ところが，俯瞰空中写真であっても，建造物個々に対して適用することが可能であり，三次元モデルとしても充分利用に耐えると判断された。しかも，俯瞰空中写真の収集は容易であった。また，2-6で検討した新規撮影は，対象範囲が高層ビルの林立する業務地区になっており，道路から空を見上げるようにして撮影する写真では利用に適さないので実施しなかった。したがって，本研究では，俯瞰写真だけによるテクスチャ画像の適用で三次元モデルを作成することにした。利用した各年次の俯瞰空中写真の一部を図 2-8 に示す。写真の収集では，1962 年用は中国新聞社に，1988 年，2000 年用は写真家の井出三千男氏に協力していただいた。



1964 年撮影



1986 年撮影

図 2-8(1) 各年次に利用した俯瞰空中写真の例



2003 年撮影

図 2-8(2) 各年次に利用した俯瞰空中写真の例

俯瞰空中写真の収集状況は、撮影対象、方向、地域に大きな偏りがあり、三次元モデルの完成度にも偏りが生じる結果となる。テクスチャ画像がない場合、建造物として現実感のない真っ白な三次元モデルとなってしまう、一棟あるいは一軒の建造物に限った問題ではなく、全体の完成度を損ねる結果になってしまう。三次元モデル作成地域全体にわたる写真の収集が絶対に必要になってしまうという懸念が起きた。ところが、三次元データを収集する際に利用した標定済み空中写真画像からもテクスチャ画像を取得する方法があり、これを採用することで少なくともテクスチャ画像の無い真っ白い三次元モデルが存在するという不自然な現象を解消できた。しかも、1988年、2000年に撮影された空中写真に映っている建造物は、高層ビルが多く、四方すべての壁面というわけにはいかないまでも壁面が映っているので、テクスチャ画像として利用するにも充分対応できることが判明した。したがって、三次元モデル作成にあたっては、収集した俯瞰空中写真だけでなく、標定済みの空中写真そのものの画像も利用可能である。図 2-6-b の右側中央画面に映るビルは、標定済み空中写真画像を利用したものが表示されている。

## 2-9 建造物三次元モデルの作成

建造物三次元モデルの作成要領を以下に記す。作成作業は、米国 Leica Geosystems 社製 GIS ソフト ERDAS IMAGINE の拡張ソフト Stereo Analyst for IMAGINE を使用した。

2-6 に記す工程で、標定済み空中写真を実体視した画面から、各建造物を計測して三次元データを収集し、3D シェイプファイル (\*.shp) を作成する。

で収集した建造物三次元データ (\*.shp) と、対応する標定済み空中写真の設定ファイル (\*.blk) によって、いったん空中写真の画像をテクスチャ画像に適用した建造物の三次元モデルを作成する。

で作成した三次元モデルに対して、各建造物の壁面に相当する部分に俯瞰空中写真をテクスチャ画像として適用し、建造物の三次元モデルを完成させる。図 2-9 に適用作業をしている画面を示す。各画面の中央にあるのが三次元モデルで、背面

にテクスチャ画像が見えている。画面中央の三次元モデルの角から延びている黄色の線と、対応するテクスチャ画像である建物の角にあたる印とを合わせていく。また、以上の工程で作成した三次元モデルは、各時期毎にそれぞれの作成にあたって考慮された状況により、作成手法に少しずつ違いがある。

- ・原爆投下前（1945年7月25日）：1962年撮影の空中写真に映る被爆建造物は、1962年分で作成した三次元モデルを流用する。これ以外の建造物は、1945年7月25日撮影の空中写真にもとづいて三次元モデルを作成する。
- ・原爆投下後（1945年8月11日）：投下前と同様に、1962年撮影の空中写真に映る被爆建造物は、1962年撮影分より作成した三次元モデルを流用する。これ以外の建造物は、1945年8月11日撮影の空中写真により作成する。
- ・戦後復興期（1947年）：すでに作成していた三次元データを利用する。しかも、他の時期と違い2-6以降の工程を経て作成したものではない。戦後復興期にある建造物は、被爆後残ったわずかの建造物を除けば、被爆直後に建てられた家屋であり、大半がその後建て直されるものばかりであろうと推測され、あえてあらためて作成する必要がないと判断した結果である。
- ・高度経済成長期（1962年）・バブル景気初頭（1988年）・現在（2000年）：2-6以降のすべての工程に則って三次元モデルを作成する。

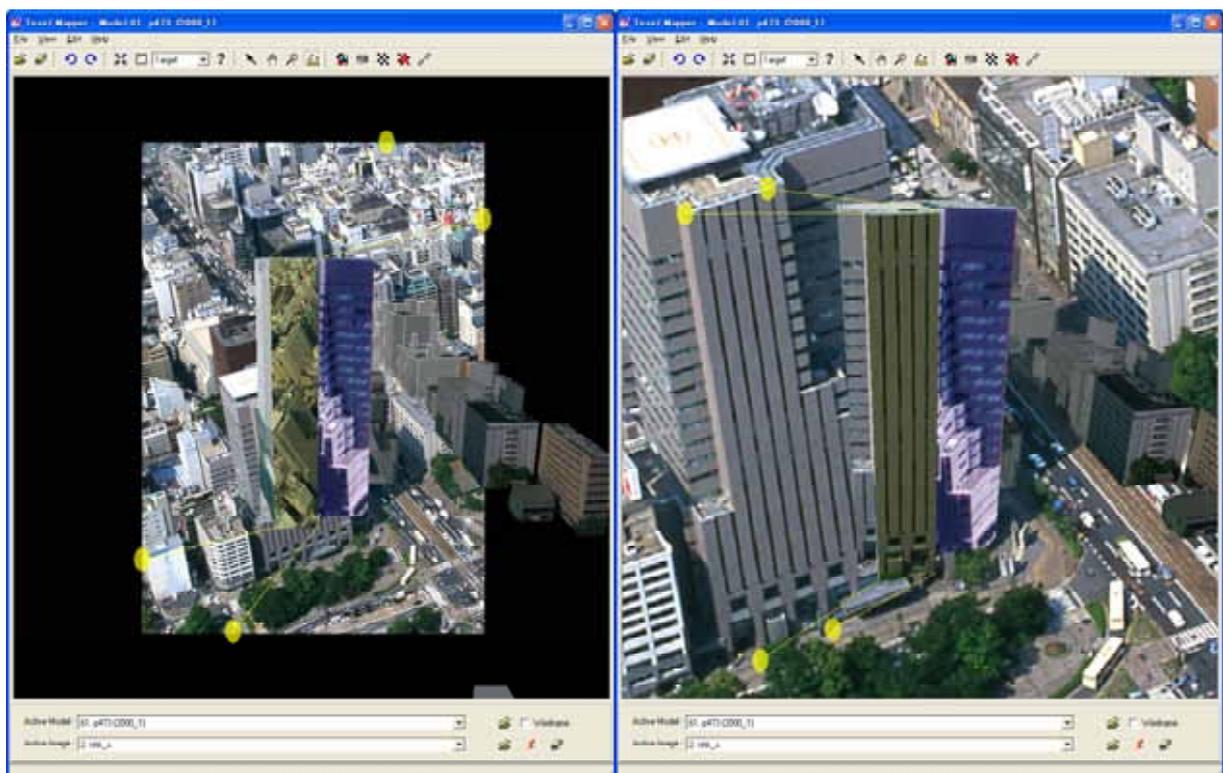


図 2-9 建造物テクスチャ画像の適用作業画面

### 3. 昭和 20 年代の米軍撮影空中写真資料の総合的調査

#### 3-1 米国国立公文書館所蔵空中写真標定図の GIS 化

財団法人日本地図センターでは、米国国立公文書館所蔵空中写真の販売を行う予定があり、すでに長崎の原爆投下前後については、2005 年 8 月 1 日より販売が開始された（<http://www.jmc.or.jp/photo/NARA.html>，<http://www.jmc.or.jp/photodata/NARA.html>，財団法人日本地図センター，2005），さらに、今後他地域についても随時取りかかることが判明した。したがって、所蔵空中写真の入手ルートが確立される見込みがついたので、昭和 20 年代の米軍撮影空中写真の総合的調査については、検討しないことにした。本研究における呉地域の空中写真については、財団法人日本地図センターが販売計画に際して試験的に入手する際に併せて、本研究者の依頼によって入手されたものである。

標定図の GIS 化は、すでに入手済みである東経 132 ~ 133 度、北緯 34 ~ 35 度の各 1 度幅の範囲内を示した標定図についてのみ実施した。幾何補正した Tiff 形式の画像データとして利用可能である。幾何補正作業は米国 ESRI 社製 ArcGIS9 を使用した。図 3-1 標定図と表示例を示す。



図 3-1 標定図

左上：原図 中央上：GIS 化データとしての表示例 右上：広島市付近の表示例

下：撮影記録部分（原図の赤枠部分）

背景の地図は、国土地理院発行の数値地図 200000（地図画像）「日本」を使用

### 3-2 次年度以降の調査ターゲットの選定

広島市以外の都市について、データベース作成可能な都市を選定した。選定地域は、広島市の南東部にある呉市である。三次元モデルの作成を検討しているのは、JR 呉線の呉駅の東側にある、約 500m にわたる区間である。

該当区間は、1945 年 3 月 19 日～ 7 月 28 日の間、米軍により計 6 回の空襲を受け、ほとんどの家屋が消失した地域である。旧海軍の呉鎮守府司令長官官舎（現：入船山記念館）や下士官集会所（現：海上自衛隊呉集会所）などがある眼鏡橋地区から、かつての目抜き通りであった本通りの金融街である呉商工会議所ビル付近までの約 500 m の地区である。空襲までは百貨店や銀行、商店が立ち並んでいたが、戦後の復興期、またバブル経済後の転換期にかけて、オフィスからマンションに変わってきた地区であり、またそのような景観の変化が激しいにもかかわらず、わずかに空襲までの建物が残されている場所でもある。ここも、戦後復興期以降、各時期間を比較しても大きな変貌を遂げる地域であり、データベース構築に好適な区間と判断した。また、表 3-2-a と 3-2-b に示す空中写真が入手済みである。入手した空中写真のうち、1988 年以降に撮影されたものを、表 3-2-a に示す。また、1945 年 4 月に撮影された空中写真は写真番号を省略したものを表 3-2-b に示す。1945 年撮影の空中写真は、広島と同様米国国立公文書館に所蔵される写真である。なお、呉については、スキャンデータで入手することができた。フィルムで入手する場合と違い、画面の周囲のマスクは使用されず、写真縁辺も充分写り込んでいる。広島の作業と違い、精度維持にかかる不確かさに対する考慮が不要であると期待される。

1988 年撮影の空中写真については標定を行った。したがって、1945 年の 4 月 12 日と、終戦記念日前日の 8 月 14 日に撮影された空中写真の標定に利用可能になり、全時期における建造物三次元モデルの作成に対応できると判断している。1945 年撮影分は広島と同様に 1988 年に撮影された大縮尺空中写真の標定結果を利用した位置参照を行って基準点を取得して標定を行う予定である。ただし、基準点として利用される戦前から残る建造物など、当時から現在まで位置の変わらないものを確認することが非常に重要である。こういった位置参照点となるものを確認することは、景観保全の面からも非常に重要である。広島市と同様な記録集の刊行が待たれる。

表 3-2-a 入手空中写真（1988 年撮影分）

コース番号	写真番号	解像度	焦点距離	写真縮尺	
CCG88-01	c29	4 - 5	20 $\mu$ m	153.27 mm	1 : 10000

表 3-2-b 入手空中写真（1945 年撮影分）

撮影年月日	ミッション番号等	焦点距離	撮影高度	写真縮尺	画面サイズ
1945 年 4 月 12 日	3PR 21BC 5M 135	40 inch	32,000 feet	1 : 9,600	9 × 9 inch
1945 年 8 月 14 日	6PG 25PS 5M 296	24 inch	25,000 feet	1 : 12,500	9 × 18 inch

## 4. 建造物三次元モデルを使った景観変遷復元手法

### 4-1 三次元モデルの公開手法

建造物三次元モデルの公開は，三次元モデルそのものの閲覧を目的とした公開と，データの利用を目的とした公開とを想定している。

三次元モデルの閲覧を目的とした公開には，PC 利用が前提なので，すべての PC 利用者にとって，すでに環境が整っている Web ブラウザの Microsoft Internet Explorer の利用を想定した手法がもっとも適していると考えている。したがって，閲覧を目的とした公開には，Microsoft Internet Explorer を通じて閲覧を可能とする IMAGINE Virtual Delivery の利用を検討している（[http://www.esrij.com/products/imagine\\_addon/virtualdelivery/virtualdelivery.html](http://www.esrij.com/products/imagine_addon/virtualdelivery/virtualdelivery.html)）。IMAGINE Virtual Delivery は，米国 Leica Geosystems 社製 ERDAS IMAGINE VirtualGIS の機能拡張オプションモジュールである。本製品は，IMAGINE VirtualGIS のある環境でしか利用できなかった，三次元鳥瞰図表現やフライスルーなどのインタラクティブな三次元の視覚化を，Web 配信による閲覧だけでなく，CD，DVD などのメディア供給による閲覧も可能としている。

本研究における三次元モデルは，ERDAS IMAGINE と，その機能拡張オプションモジュールである StereoAnalyst for IMAGINE によって作成した。しかも，作成した三次元モデルは，先述の IMAGINE VirtualGIS によって，すでに利用可能な環境にある。したがって，本研究における環境では，IMAGINE Virtual Delivery を利用しての公開がもっとも適していると判断している。ただし，IMAGINE Virtual Delivery は近日発売とされ，現在のところ入手できない。

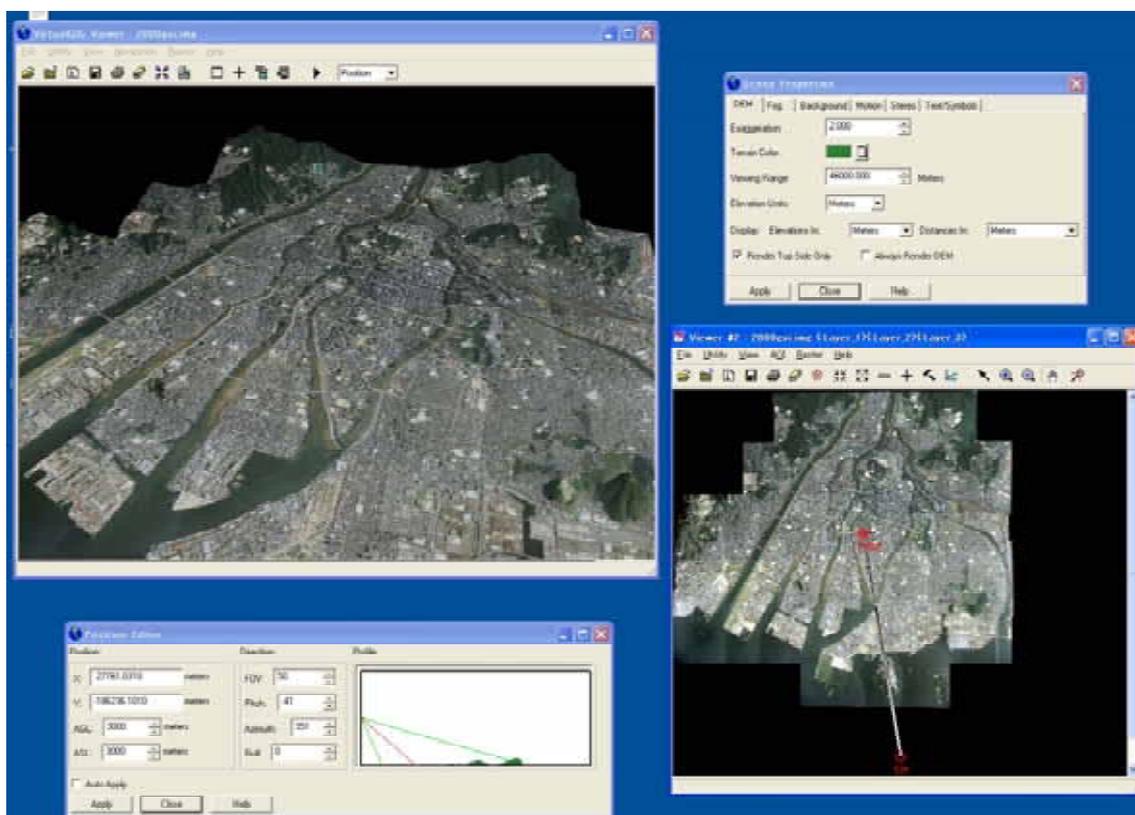


図 4-1-a IMAGINE VirtualGIS による表示と表示設定

IMAGINE VirtualGIS を利用した表示と表示設定の一部を図 4-1-a に示す。左上が対象画像を表示する VirtualGIS Viewer で、図 2-3-c に示した 2000 年撮影のオルソモザイク画像が三次元表示されている。右下は、VirtualGIS Viewer にリンクした二次元の画像を表示する Viewer で、南側にある観測位置（Eye）から、北側の視点（Target）が示されている。左下は、Position editor と呼ばれるダイアログで、観測位置、視点に関する方向角などが設定できる。右上は、Scene Properties と呼ばれるダイアログで、標高データ（DEM）の強調設定や、背景などが設定できる。その他にも、DEM や画像の解像度や太陽の位置などが設定できる。さらに、指定したフライトパスの飛行シーンの三次元表示や、飛行シーンのビデオ録画も可能である。

また、三次元データの利用を目的とした公開には、利用者における利便性を考慮し、普及率の高い GIS ソフトウェアに使用されるフォーマットが望ましいと判断した。すなわち、世界的にも普及率が高いと言われている ArcGIS で使用されるフォーマットによるデータでの公開がもっとも適していると考え、対応データは 3Dshape として作成されている。したがって、ArcGIS の機能拡張ソフトである 3DAnalyst での利用が可能となっている。また、三次元モデル自体も、業界標準でもある OpenFlight フォーマットで作成され、必要であれば、VRML、3D Studio Max フォーマットでの作成にも対応可能である。

図 4-1-b に、IMAGINE VirtualGIS を利用した表示例を示す。作成した 6 時期すべての三次元モデルを、2000 年から時期を遡って示している。国道二号の少し北側、高度 150m から北を望む。各時期ともすべて同一位置から同一方向を望んだ設定にしてある。



図 4-1-b-1 2000 年



图 4-1-b-2 1988 年



图 4-1-b-3 1962 年



图 4-1-b-4 1947 年

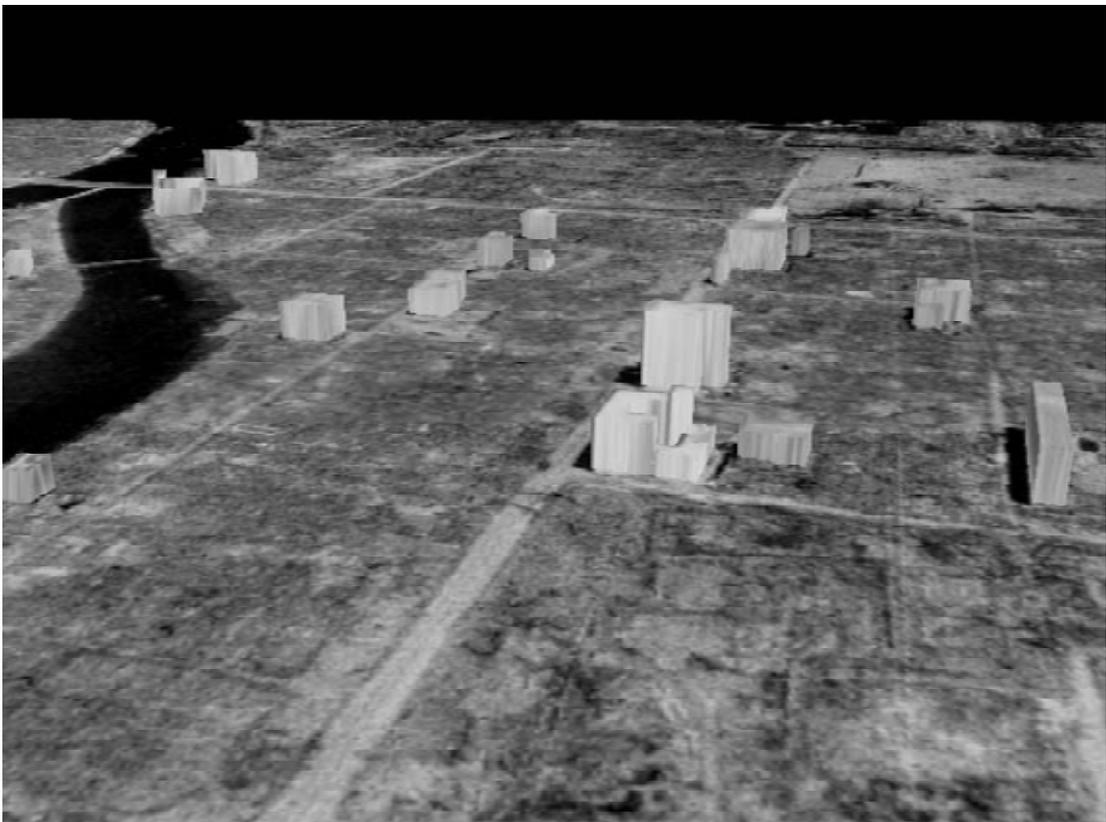


图 4-1-b-5 1945 年 8 月 11 日



図 4-1-b-6 1945 年 7 月 25 日

図 4-1-b を，被爆前から時期の古い順に見ていくと，1945 年 7 月 25 日は，戦時とはいえ街なみに市民の生活が感じられる。原爆が投下された 1945 年 8 月 6 日を挟んで，8 月 11 日は原子野と呼ばれた死の街がひろがる。街なみと呼ばれるものはない。1947 年には家屋が建ちならび始める。1962 年になると，市街地と呼ばれるほどになっているが，原爆を乗り越えた建造物が，まだその威容を誇れるほどに周囲の建物の高さは低い。モノクロ画像からカラー画像へ変わったとたん，1988 年には，今まで威容を誇っていた被爆建造物は建て替わり，残っている被爆建造物でさえ周囲にそびえる高層ビルの中に埋もれてしまっている。2000 年には，さらにビルの高層化がすすみ，高層ビルが林立する通りに変貌してしまった様子が見て取れる。なかでも，平和大通り北側に建設された NHK 広島放送センタービルがその高さを誇っている。

図 4-1-c では，2000 年，1988 年，1962 年の 3 時期を示す。こちらは，紙屋町交差点の少し北側，高度 150 m から南を望む。1962 年は，平和大通りの南側では通りの西側には民家が目立っていたが，北側と同様に，高層ビルの建ち並ぶ通りへと変化していく。1988 年では，三次元モデル作成区間の最南端には広島市役所新庁舎が，手前には中国電力新本社ビル完成している。2000 年では，NHK 広島放送センタービルの陰になり見通しがきかなくなっている。



图 4-1-c-1 2000 年

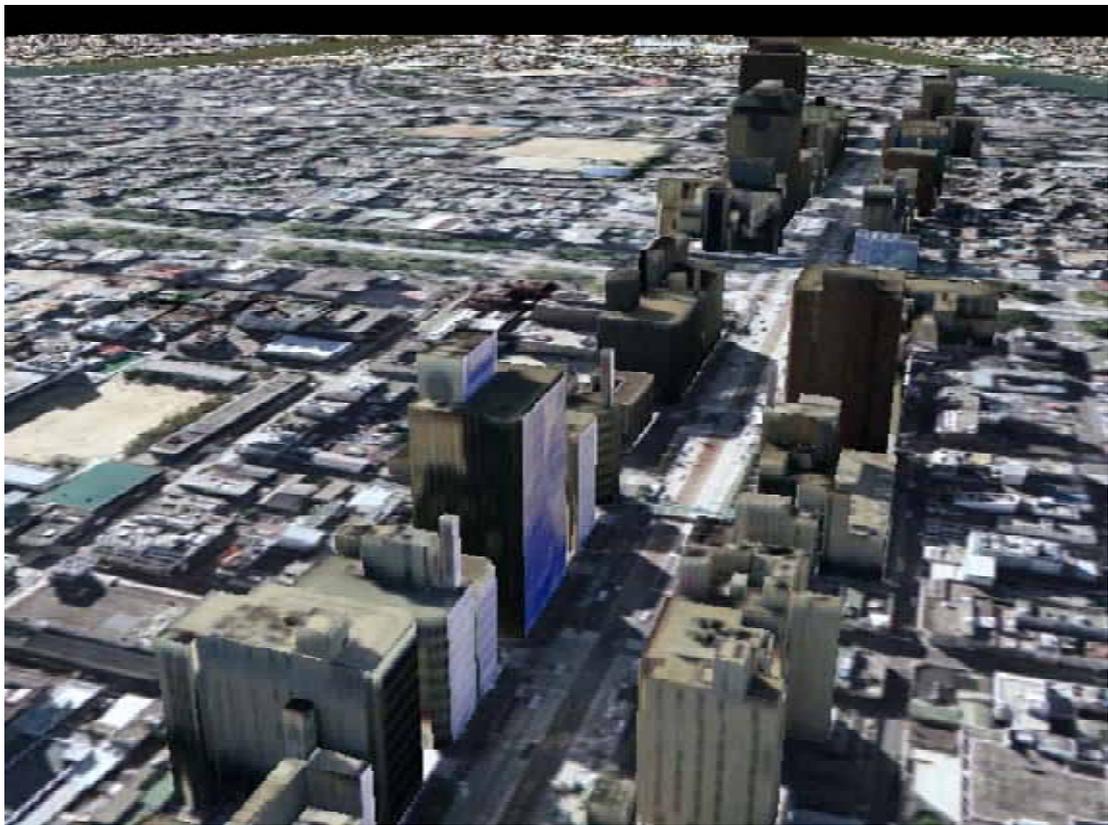


图 4-1-c-2 1988 年



図 4-1-c-3 1962 年

さらに，図 4-1-d では，2000 年，1988 年，1962 年の 3 時期を視点を変えて示す。平和大通りの少し南側，高度 150 m から北方を望む。また，表現手法の展開のひとつとして，IMAGINE VirtualGIS の出力設定にある余色立体画像での表示も各時期併せて示してある。



图 4-1-d-1 2000 年



图 4-1-d-2 1988 年

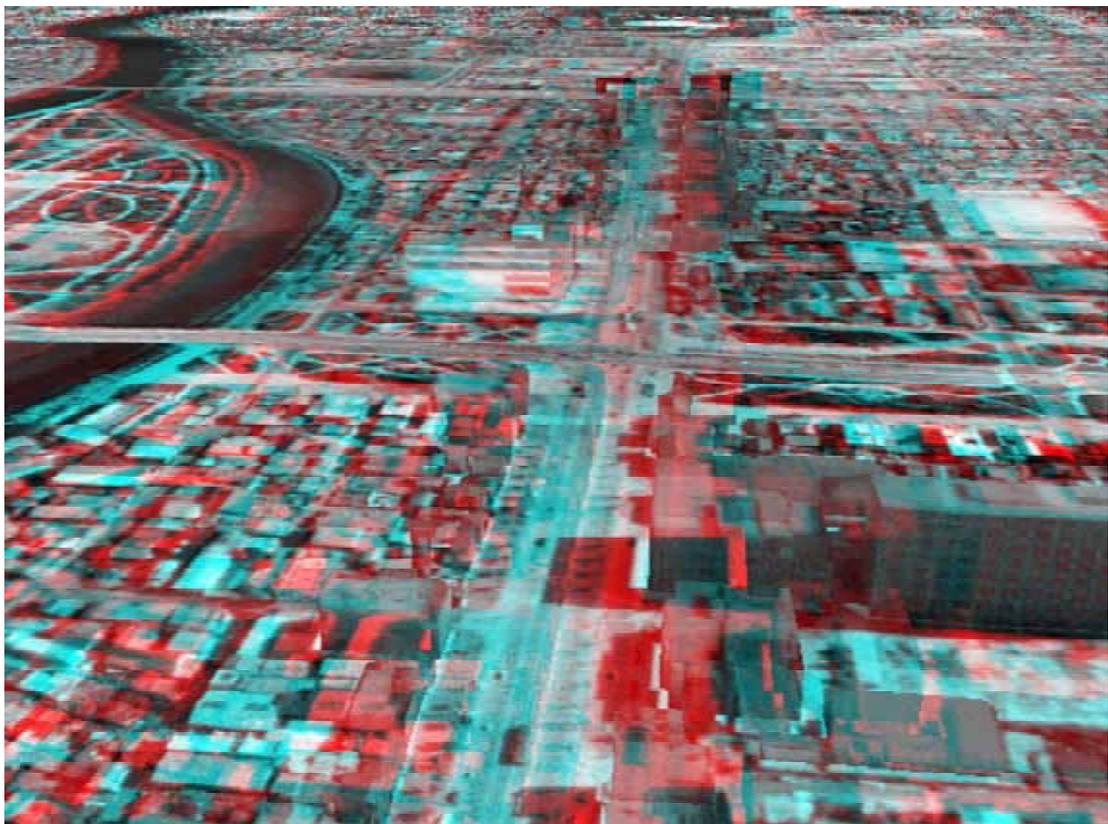


图 4-1-d-3 1962 年

## 5. おわりに

### 5-1 まとめ

本研究における成果は、以下のようにまとめられる。

1. 1945年7月25日, 1945年8月11日, 1947年, 1962年, 1986年, 2000年に撮影された空中写真を利用して, 広島市市街地のオルソモザイク画像を作成した。
2. 1945年7月25日, 1945年8月11日, 1947年, 1962年, 1988年, 2000年に撮影された空中写真を利用して, 広島市市街地中心部のオルソモザイク画像を作成した。
3. 広島市市街地中心部における対象地域の空中写真の標定を行った。1945年7月25日, 1945年8月11日, 1962年, 1988年, 2000年に撮影された空中写真を利用した。
4. 1945年7月25日, 1945年8月11日, 1947年, 1962年, 1988年, 2000年に撮影された空中写真を利用して, 広島市市街地中心部の紙屋町交差点から市役所前交差点までの約1km区間における建造物三次元モデルを作成した。

以上の成果によって, 複数年次の空中写真解析から得られた建造物三次元情報を統括して時系列化し, 景観データベースの三次元構造のモデルを設計・開発した。データベースは, 閲覧, 検索, 三次元表示, 分析などに対応が可能である。

さらに, データの共有性確保, データベースの更新における容易性, データベースの内容充実が, GISデータであることによる汎用性と利便性となる。

### 5-2 展望と課題

原爆投下前の1945年7月25日から2000年までに至る6時期に渡る鯉城通りの1km区間の三次元モデルが完成した。とくに1962年以降は, 標定精度も高く, 高精度の建造物の三次元モデルになっている。景観データベースとして, 期待される機能を持ったものになったと判断できる。一方, 1945年は7月25日撮影分は, ある程度の標定精度は確保できたものの, 高さデータの取得に不十分さが残る。しかし, 精度をどこまで確保するかといった問題は, 市街の景観変遷をみるデータベース構築における本来の問題と, また別の問題と捉えるべきであろう。

また, 1939年に日本の陸軍によって撮影された空中写真も国土地理院から入手可能である。さらに遡った三次元モデル作成も期待される。

空中写真の撮影範囲であり, 撮影回数が重ねてあれば, 本研究と同様なデータベースが作成可能である。ただし, 作成範囲が広くなれば, それだけ時間と労力が必要となる。同時に, 単なるCG画像とは違って, GISデータとしての共有性として精度の確保に問題意識が必要である。さらに, データベースの完成度は, 鮮明な写真の確保と標定精度の高水準での維持と, そして, 現実感のあるモデル作成のため, 建造物に適用するテクスチャ画像の収集率の高さに大きく依存している。

本研究では, 高価なGISソフトの利用環境が整っていたが, 普及率の高いソフトを使用することで, 他地域での構築も限定的ではない。さらに, データベースとしての未完成な部分は, 公開することによって, 一般市民の参加により充実させていくことも可能である。また, データベース構築に, 市民参加の意識と方法も重要であると考えられる。

竹崎・祖田(2001)による, 広島原爆の被害に関するGISを利用した視覚化の報告があるが, 本格的な三次元的な展開は未着手である。本研究の成果が, 被害の視覚化のひとつとしても, 被爆体験継承の一助になることを期待したい。

## 参考文献

- 財団法人日本地図センター 2005 . 『地図中心 2005 号外 被爆 60 年増刊号』財団法人日本地図センター
- 竹崎嘉彦・祖田亮二 2001 . 『広島原爆デジタルアトラス』広島大学総合地誌研究資料センター
- 竹崎嘉彦・吉田成人・池内実・末永昌美・早川式彦 2004 . 広島原爆被爆者における放射線被曝線量推定の検討 - 第 1 報 : 被爆距離の再測定 - . 広島医学 57 ( 4 ) : 365-367
- 被爆建造物調査研究会編 1996 . 『被爆 60 年 ヒロシマの被爆建造物は語る - 未来への記録』広島平和記念資料館