

# 歩行者 ITS のためのパノラマ画像を用いた 3 次元地図表示方式

久永 聡<sup>†</sup> 菅沼 優子<sup>†</sup> 前原 秀明<sup>†</sup>  
脇本 浩司<sup>†</sup> 田中 聡<sup>†</sup>

携帯電話や PDA (personal digital assistant) といった携帯端末を用いて 3 次元地図を表示することで、都市の様々な地点において、目の前の景観を手元の携帯端末に表示しながら道案内をする歩行者 ITS が実現できると考えられる。しかしながら、携帯端末は 3 次元データの表示能力に限界があり、そのため十分な範囲の 3 次元地図を表示することができない。我々は、遠近法を用いた 3 次元地図表示方式を開発した。これにより、携帯端末においても、歩行者 ITS に必要な 3 次元地図を表示することが可能となった。本方式では、遠景をパノラマ画像として表示し、近景を 3 次元地図として表示することにより、少ないデータ量で、リアルな近景とともに、遠景の再現を可能にしている。本方式の有為性を確認するため、歩行者 ITS において重要な交差点における周辺景観を見回す表示と、経路に沿った表示について被験者評価を行い、その結果表示の有効性を確認した。

## Synthetic Display of Rendered Panoramic Image and Three-dimensional Map for a Mobile Terminal

SATOSHI HISANAGA,<sup>†</sup> YUKO SUGANUMA,<sup>†</sup> HIDEAKI MAEHARA,<sup>†</sup>  
KOJI WAKIMOTO<sup>†</sup> and SATOSHI TANAKA<sup>†</sup>

Three-dimensional spatial map on Cellular phone / Mobile terminal, which can visualize a stereoscopic landscape, is required for Pedestrian ITS (Intelligent Transportation Systems). However, those terminals have a limitation to display three-dimensional data and cannot visualize a wide range of spatial area in real time. We have developed a new three-dimensional displaying method using perspective, which is useful for Pedestrian ITS. It enables to display a stereoscopic landscape with a small amount of data, which visualizes a realistic short-distance view with three-dimensional objects and a long-distance view with panoramic images. Furthermore, we verified the effectiveness of our method, by evaluating the displayed images at traffic intersection and along the routing line, which are key elements for pedestrians.

### 1. はじめに

近年、第 3 世代携帯電話が急激に普及し、携帯電話の広帯域通信環境が整ってきた<sup>1)</sup>。これにともない携帯電話の新しいサービスとして GPS (Global Positioning System) 受信機能を活用した人や物の探索サービスが出現し、今後社会に普及すると考えられている<sup>2)</sup>。一方で、位置表現に用いられる地図も高度化し、3 次元地図が普及しはじめている<sup>3)</sup>。3 次元地図の特長はリアリティの高い景観表現であり、カーナビゲーションの分野において実用化がすすんでいる。一方、歩行者の移動の安全性や利便性を向上させるための様々な歩行者 ITS (Intelligent Transport Systems: 高度道路交通システム) の研究がなされている。歩行者の多

くが持ち歩いている携帯電話や、手帳のかわりにビジネスマンが所持している PDA (personal digital assistant) といった携帯端末に、都市の様々な地点の景観を、3 次元地図を用いて立体的に表示することが可能になれば、歩行者の視点にたった都市情報の提供や道案内が実現できる。しかしながら、携帯端末は 3 次元データの表示能力に限界があり、十分な範囲の 3 次元地図を表示することができない。そこで我々は、遠近法を用いた 3 次元地図表示方式により、携帯端末における 3 次元地図の表示方式を開発した。

本稿では、2 章に歩行者 ITS における 3 次元地図表示の要求と課題について記す。この章では、歩行者が 3 次元地図に期待する点について記し、次に携帯端末を用いた 3 次元地図の表示性能評価によって得られた 3 次元地図表示の課題を記す。3 章において、イメージと 3 次元地図を合成するアプローチに基づく携帯端末向けの 3 次元地図表示方式を提示する。4 章におい

<sup>†</sup> 三菱電機株式会社情報技術総合研究所  
Information Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corporation.

て、提案方式の評価と考察を示す。

## 2. 歩行者 ITS における 3 次元地図表示の要求と課題

### 2.1 歩行者 ITS における 3 次元地図表示の要求

人々は、都市を path, node, landmark, edge, district といった 5 つの構成要素としてイメージすると考えられている<sup>4)</sup>。さらに 3 次元仮想空間内を道案内する研究として、これらの要素を 3 次元仮想空間内で表現する提案がなされている<sup>5)</sup>。また、道案内に不可欠な現在位置や方向を 3 次元仮想空間内に表示する方式の有効性が確認されている<sup>6)</sup>。しかしながら、3 次元地図を用いて、現実の空間の道案内を行う実験は行われていない。我々は、3 次元地図の歩行者 ITS への適用に向け、3 次元地図が現実空間の道案内にどのように役立つか実験を行った。道案内の認知課題として、プランニングや現在の自位置の把握、ルートの維持が必要であるという考察がなされている<sup>7)</sup> ため、我々は、目的地やルートの設定といったプランニングではなく、実際に実空間の中を歩いているときに必要な、自位置の把握やルートの維持といった、歩行者が移動中の際の道案内としてどのような 3 次元地図を表示するのがよいかを検討することにした。実験地域として、道案内への要求や課題を得るために、初めて訪れる人が多い東京丸の内を選定した。当該地域は、大きなビルが多いため、一定面積あたりの建物件数が少なく 3 次元地図のデータ容量が少ないという特性がある。これにより、3 次元データの表示容量に制約のある携帯電話上に 3 次元地図を表示することが可能となった。実験内容として、対象地域の地理に慣れていない被験者に携帯電話を渡し、携帯電話に表示した 3 次元地図の経路案内に沿って目的地まで歩いてもらった。携帯電話に表示する 3 次元地図は、実空間と同じ建物の形状と表面テクスチャ、道路、歩道が再現されている(図 1 携帯電話における 3 次元地図の表示例参照)。なお本実験では、携帯電話へ狭い範囲の 3 次元地図を事前にダウンロードして表示している。被験者に渡した端末には、携帯電話のボタンを 1 回押すと、出発地から目的地まで、経路に沿って視点がおよそ 10 メートル進む道案内表示機能を設けた。道案内のために、経路上の交差点の位置に曲がる方向を示す三角印を表示した。さらに、3 次元地図の表示機能として任意の地点において水平方向 360 度を自由に見回す表示機能と、視点の高度を人の目の高さである地上 1.5 メートルと上空約 20 メートルに切り替える機能も実装されている。被験者に携帯電話上の 3 次元地図の表示する経路



図 1 携帯電話における 3 次元地図の表示例

Fig. 1 3-dimensional map on the The screen of a cellular phone.

表 1 視点の高さの違いによる視認しやすさ

Table 1 The understandability depend on viewpoint height.

	地上視点 [回答人数]	上空視点 [回答人数]
a. 分かりやすい	11	4
b. やや分かりやすい	42	18
c. どちらでもない	31	30
d. やや分かりにくい	20	30
e. 分かりにくい	2	21
f. 未回答	2	5

(108 人回答)

に沿って歩いてもらい実験後にアンケートをとった。これにより、歩行者 ITS における 3 次元地図への要求を評価した。なお、被験者数は 108 人である。

まず、3 次元地図を表示する視点の高さの違いによる道案内の分かりやすさを尋ねた。表 1 は、“視点位置は行き先の案内として分かりやすかったかどうか?” という内容の設問の結果である。地上から見た視点では、“分かりやすい”と“やや分かりやすい”と回答した被験者は 53 人であったが、上空から見た視点では 22 人であり、今回の実験では、地上の視点から見た景観の方が、上空の視点から見た景観に比べ道案内として分かりやすいことが分かる。この実験システムでは、視点の高さを 2 段階で表示したが、より高層の 10 階や、低層の 3 階の視点高についてさらに尋ねることにより、道案内における 3 次元地図の表示方法についての要求を調査した。“視点の高さはどのくらいがよいか?” という設問に対する回答結果を表 2 に示す。これによると“自分の位置を知る”、“行き先方向を探す”といった目的に対して過半数の被験者が“人の目の高さ”の視点高で表示したいという要求があることが分かった。

次に、3 次元地図の利点を尋ねた。表 3 に、“3 次元地図を使ってよかった点”に対する回答結果を示す。これによると“周囲の景観と同じ景観表示を見られる”と“見る方向を自由に変えられる”の回答が多

表 2 目的の違いによる 3 次元地図表示視点の高さ要求

Table 2 The demand in the viewpoint height by the difference in the purpose.

	自位置	行き先	周辺を
	把握 [人]	方向把握 [人]	眺める [人]
a. 人の目の高さ	78	62	49
b. 建物 3 階の高さ	21	34	27
c. 建物 10 階の高さ	5	8	26
d. 上空高い位置	4	3	3
e. 未回答	0	1	3

(108 人回答)

表 3 3 次元地図の有効性 (複数回答)

Table 3 Validity of a 3-dimensional map.

	回答 [人]
a. 周囲の景観と同じ表示を見られる	49
b. 見る方向を自由に換えられる	42
c. 曲がった先の景色を表示できる	21
d. その他	1

(108 人回答)

表 4 分かりやすい 3 次元地図のランドマーク (複数回答)

Table 4 The understandable landmark of a 3-dimensional map.

	回答 [人]
a. 有名な目立つ建物	67
b. 曲がりたい交差点にある建物	77
c. 目の前の建物	48
d. 次の交差点辺りまでにある建物	40
e. 道の向かい側の建物	29
f. 建物のテキストチャ (建物面の写真)	29

(108 人回答)

表 5 3 次元地図の表示形態 (複数回答)

Table 5 The method of a display of a 3-dimensional map.

	回答 [人]
a. 地上から眺める	40
b. 道路に沿って自由に歩ける	73
c. 上空から一帯を眺める	55
d. 空を飛びまわれる	22
e. 建物の中通ることができる	40

(108 人回答)

く、3 次元地図の特長として景観の再現性の高さとは任意方向の景観を表示できる点が期待されていることが分かった。また、“分かりやすい 3 次元地図の表示にはどのような内容が必要か?” という設問に対する回答結果を表 4 に示す。これには“有名な目立つ建物”、“曲がりたい交差点にある建物”といった回答が多かった。さらに、“3 次元地図は、どのように表示したいか”という設問に対する回答結果を表 5 に示す。“道路に沿って自由に歩ける”という回答が 73 人と最も多く、次いで、55 人が“上空から丸の内一帯を眺める”

という回答であった。

これらの結果をふまえて、携帯できる端末へ 3 次元地図を表示する道案内の表示方式として、自分の位置や行き先の方向が分かりやすいように地上視点の高さで 3 次元地図を表示することが最も良いと判断した。また、これにおいて 3 次元地図の視点移動範囲は、道路に沿って移動する範囲とした。これにより道路上にいる歩行者が、携帯する端末にリアルな 3 次元地図を表示し、周囲の景観と見比べることにより、交差点付近の建物や有名な目立つ建物を目印に目的地まで進む道案内を実現する方式の開発を目標とした。

## 2.2 歩行者 ITS における携帯端末の表示性能

道案内に必要な知識は大きく 2 つのタイプがあるという研究結果がある<sup>8)</sup>。1 つは目的地までのルートの知識であり、もう 1 つは周辺の空間の地理を把握するサーベイ知識である。本稿は、携帯端末に周辺の景観と同じ 3 次元地図を表示して進行方向を説明することを想定し、歩行者がルートの知識を得られることを目指す。一方、道案内のプロセスについての研究がある<sup>9)</sup>。この中で、ルートの知識の獲得には、目印としてのランドマークの認識と、ルートの設定が必要であるとしている。また、色や大きさ、構造に特徴のある構造物がランドマークとして認識されるという研究がある<sup>10)</sup>。また、ランドマークとなる建物のデザインガイドラインの研究では、周辺の建物と区別しやすい建物をあげている<sup>11)</sup>。2.1 節の実験のアンケートにある“有名な目立つ建物”があると行き先が分かりやすいという回答は、これらのランドマークの特徴と一致するので、ランドマークの特徴としては、これらの研究結果を手本とする。

我々は、歩行者の多い都市部の鉄道駅付近の道案内用途を想定し、歩行者が 3 次元地図を用いた景観を見て、ランドマークを認識できるような 3 次元地図の表示範囲について検討した。都市によって都市形状の特徴が異なるといった課題があるので、特徴的な都市の例として、大きなビルの多い東京駅近くと、いろいろな大きさのビルが混在する堺駅近くの 3 次元地図を対象とした。

交差点周辺の景観を評価するために、3 次元地図上の交差点の中心から一定距離の半径にある建物および道路を表示した。距離半径は、50 メートルから 200 メートルまで 50 メートルずつ変化させた。図 2、図 3、図 4 は表示範囲の異なる 3 次元地図表示例である。図 2 は、大きなビルの多い東京駅近くの地点 1 の地図である。図 3 は幅の広い幹線道路沿いの地点 2 の地図である。図 4 は比較的狭い道路沿いの地点 3 の地図で

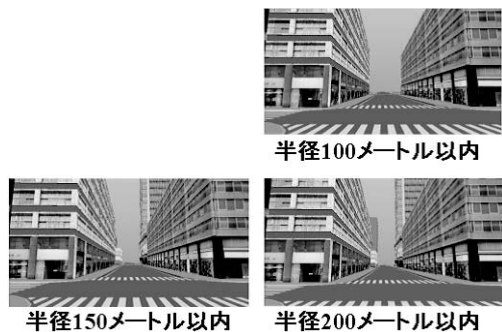


図 2 3 次元地図表示例 1 (地点 1)

Fig. 2 Example1: 3-dimensional Map(1) with different display range.

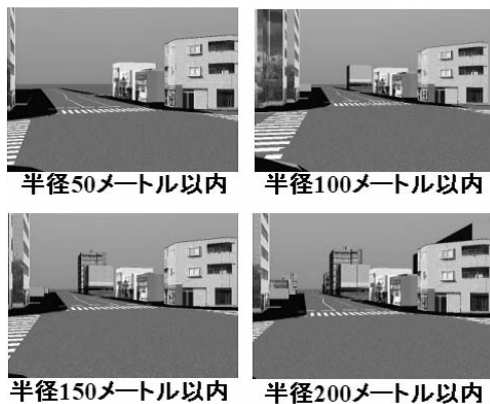


図 4 3 次元地図表示例 1 (地点 3)

Fig. 4 Example3: 3-dimensional Map(3) with different display range.

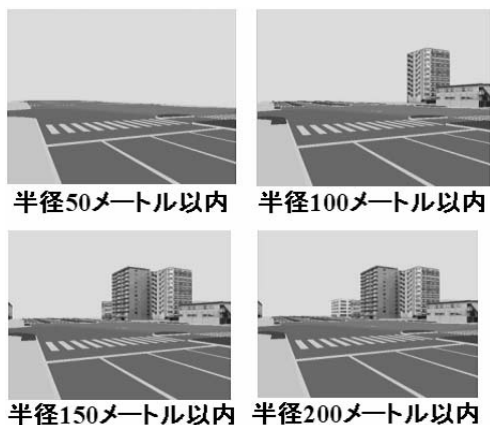


図 3 3 次元地図表示例 1 (地点 2)

Fig. 3 Example2: 3-dimensional Map(2) with different display range.



図 5 比較用実写画像

Fig. 5 Compared photographs.

表 6 3 次元地図と実写画像撮影位置が同一であることを認識できた人数

Table 6 The number of people who identified 3-dimensional Map with each corresponding photograph.

3 次元地図 表示範囲 [m]	50	100	150	200
地点 1	-	4	8	17
地点 2	0	0	6	12
地点 3	2	2	9	11

(17 人回答)

ある。地点 2 と地点 3 は堺駅の近辺である。図 5 に 3 次元地図景観とほぼ同じ視点位置から実空間を撮影した実写画像を示す。地点 1 付近は、1 つ 1 つの建物が大きいので、半径 50 メートル以内の 3 次元景観と半径 100 メートル以内の 3 次元景観に違いがなかった。地点 2 は、幅の広い幹線道路の交差点であったので、半径 50 メートル範囲に建物がなかった。地点 3 の実空間から撮影した実写画像には、木が建物を遮蔽する形で数多く写っている。

17 人の被験者に実写画像と 3 次元地図を見せてアンケートをとった。“同じ地点であると認識できる画像はどれか？”という設問の回答結果を表 6 に示す。地点 1 では、200 メートル範囲の回答が 17 人で多く、次いで 150 メートル範囲の回答が 8 人であった。目の前にある左右の建物の 3 次元地図だけで認識できると答えた人は 4 人であった。これは、3 次元地図では同じように見えるビルが左右に映っていて、実写画像と比較してもそれが本当に同じかどうか不安になるとい

う理由で、遠方道路右側の建物または、遠方の道路左右の建物を見て認識した人が多かったからである。地点 2 では、150 メートル範囲の回答は 6 人であった。これは、背の高い数件の建物によって認識できるという回答であった。さらに、200 メートル範囲の回答が 12 人であった。150 メートル範囲と比べて、背の高い建物だけではなく、その先に見える中層の建物との組合せで認識できたという回答を得た。一方で、どの範囲でも認識できないと答えた人が 5 人いた。この理由としてあげられたのは、3 次元地図の中の建物と実写画像の建物を比較すると、機械室の有無や看板の有無といった違いがあり、かえってこれが不安になる原因だとしている。地点 3 では、150 メートル範囲で読み取れる遠方の背の高い建物が実写画像に上の部分が写っているので認識できるという回答が 9 人であった。

表 7 携帯端末の表示性能評価データ量

Table 7 Relation between the display range and the amount of data.

表示半径 [m]	面数 [枚]	テキストチャ数 [枚]	テキストチャ容量 [KB]
50	75	26	261
100	230	96	1,173
150	503	172	2,298
200	1,032	287	3,870

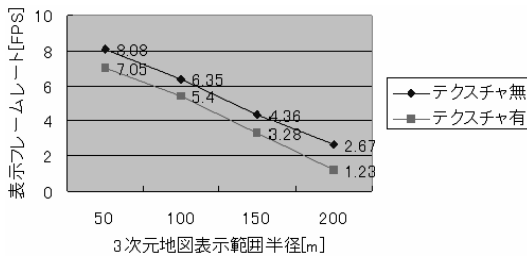


図 6 携帯端末における 3 次元地図表示性能検証結果

Fig. 6 The display range and a frame rate.

目前の右側の建物だけで認識できると答えた人は 2 人であった。木による遮蔽によりまったく認識できないと答えた人は 6 人であった。

これらの結果から、歩行者が 3 次元地図と実空間を比較して自位置を知るためのランドマークは、その場所の建物の建ち方や、被験者の意識によりまちまちであることが分かった。遠方の大きな建物はランドマークとなりうることで、一方で目の前の建物だけを見て認識できるケースもあることが分かった。3 次元地図の表示範囲については、今回の評価地点のケースであれば、ランドマークとなる建物の表示を欠かさないためにも、200 メートル範囲の 3 次元地図の表示は必要であることが分かった。ただし、遠方の建物がランドマークとなりうることから、200 メートルよりも遠い建物においてもランドマークとなりうる可能性もある。

実際に携帯端末でどの程度の範囲の 3 次元地図を表示できるかどうかを検証した。歩行者が交差点付近で左右を見回しながら、携帯端末に表示した 3 次元地図の表示視線をこれに合わせて左右に向ける操作を想定した。地点 3 の 3 次元地図を携帯端末に表示し、視線方向を左右に向ける操作を行い 1 秒あたりのフレームレートを計測した。表 7 に表示したデータの量を示す。携帯端末として、Hewlett-Packard 社の iPAQ Pocket PC h5550 を用いた。3 次元ビューアには、Parallel Graphics 社の Pocket Cortna<sup>12)</sup> を用いた。携帯端末における表示性能について、図 6 に計測結果を示す。

表示性能については、交差点の中心から半径 150 メートル以内のテキストチャ付 3 次元地図を表示する場

合、視線の方向を変更する操作を行い、操作にあわせて視線の向きに表示が更新されるまでの時間が約 0.3 秒である。半径 200 メートル以内の 3 次元地図表示では、端末操作をしてから視線方向が更新されるまでの時間間隔は 1 秒近くかかる。ここで、17 人の被験者に実際に端末に表示した 3 次元地図の視線方向の変更操作を見せ、“交差点で左右を見るときに、この操作で耐えられるか?” というアンケートをとった。結果として、半径 50 メートル以内では、全員が耐えられると回答した。“耐えられない”と回答したのは、半径 100 メートル以内では 1 人、半径 150 メートル以内では 4 人、半径 200 メートル以内では 17 人であった。

これらの結果から、歩行者が交差点で周辺を見回しながら、これに合わせて 3 次元地図の表示視線を任意の方向へスクロールする操作においては、半径 150 メートル範囲が快適に利用できるデータ量の限界であると考えられる。ただし、表示範囲と表示性能の関係は、3 次元地図データの密度や端末性能によって違いがある。また、歩行者が 3 次元地図と実空間を見比べるための端末操作インターフェースによって、表示レスポンスの許容範囲も異なるため、これらを解決することが今後の課題と考えている。

表示範囲と表示性能の検討結果から、ランドマークとなる建物の表示を欠かさないためにも、半径 200 メートル範囲の 3 次元地図は表示した方が良いが、携帯端末では、歩行者が快適に操作できる 3 次元地図の表示範囲はこれより狭いという課題があることが分かった。

### 3. 携帯端末向け 3 次元地図表示方式

#### 3.1 イメージと 3 次元地図の合成表示方式

従来、広範囲の空間を少ないデータ量で表現する手法として、実空間の様々な地点で周囲を撮影した画像を記録し、これを表示することにより、任意位置の景観を表示するイメージベースアプローチがなされている<sup>13)</sup>。また、3 次元地図を用いたイメージベースアプローチとしては、あらかじめ 3 次元地図を道路に沿って視点移動する映像データに変換して蓄積しておき、この映像データを端末へ配信する方式も考えられている<sup>14)</sup>。しかしながら、これらのイメージベースアプローチは、表示視点の位置や視線方向を自由に換えることができない。そのため、我々はこれらのイメージベースアプローチによるデータ量の削減効果を維持したうえで、3 次元地図の特長である任意視点位置からの任意視点方向の景観の再現を可能とすることを目的とし、イメージと 3 次元地図を合成して表示する方式

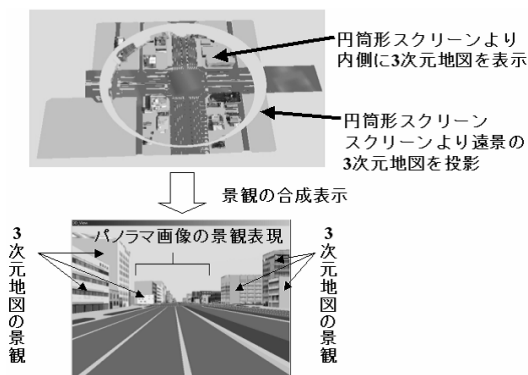


図 7 パノラマ合成表示

Fig. 7 The synthetic display of a panoramic image and a 3-dimensional model.

を提案する。

歩行者 ITS の道案内に必要な景観として、実空間の周辺の建物と見比べることができるリアルな景観と、遠方のランドマークとなる地物の景観があげられる。視点位置から近距離にある建物は、景観が忠実に再現されていないと、実空間との対比が難しくなってしまう。そこで、視点位置から近距離にある建物は、3次元地図で表示する。これにより、地上を歩き回る自由な視点位置から、見上げたり、見回したりする自由な視点方向に対応し、正確な景観を再現することができる。一方、前に述べたとおり、視点位置から遠距離にある地物の中には、ランドマークとしての役割を果たすものがある。3次元地図として表示した遠方に見える大きなビルの形や並び方を、実際の景観と対比することで、現在位置や目的方向の把握に役立つからである。一方、視点位置が移動した場合において、遠距離にある地物は、近距離にある地物に比べて、景観の視差が比較的小さくなる特徴がある。そこで、視点位置から遠距離にある地物は、あらかじめレンダリングしたイメージとして表示する。遠方の景観は、パノラマ画像の形式で周囲 360 度を表現する。

これらの遠近双方のデータを合成して表示するために、3次元地図を表示した周囲に円筒形のパノラマ画像を表示するスクリーンを設置する(図 7 パノラマ合成表示参照)。パノラマ画像は、スクリーンの中心位置でかつ、3次元地図上に人の視点の高さを投影中心点として、円筒形スクリーンに遠景にある 3次元地図を投影したイメージを展開することで生成する。投影対象となる 3次元地図の地物は、円筒形スクリーン設置位置の外側にある地物とする。表示視点を円筒形スクリーンの内側に設置することで、パノラマ画像により広範囲の 3次元地図の背景を表示でき、これと

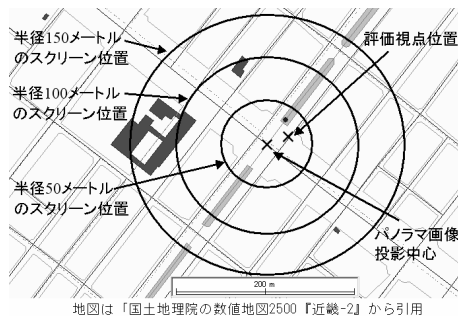


図 8 評価視点位置

Fig. 8 The position of an evaluation viewpoint.

時に近景の地物を立体的に再現することができる。また、交差点の中心をパノラマ画像の投影中心点とすることにより、交差点から周辺を見回す景観における遠近地物の視差はなくなる。これにより、歩行者 ITS における交差点の周辺の景観を少ないデータ量でリアルに表現できる。

この合成表示方式のもう 1 つの特長は、円筒形スクリーンの設置半径を増減させることにより、表示する 3次元地図のデータ容量を制御できることである。円筒形スクリーンの半径を狭めれば、表示する 3次元地図の量が減り、表示性能に限界のある携帯端末で表示できる。さらに、円筒形スクリーンの内側にある 3次元地図の地物もパノラマ画像へ投影することにより、パノラマ画像のみで 3次元地図景観を表示できる。

### 3.2 交差点景観の再現

まず、交差点において周辺景観を見回す表示を対象として、3次元地図とパノラマ画像の合成表示方式における景観再現性を検証した。検証用データとして、実空間と同じ建物の形状と表面テクスチャ、道路、歩道を再現した約 1km × 2km の範囲の 3次元地図を用いた。この検証には、3次元地図の任意地点を投影中心として、指定距離以遠にある 3次元地図を投影したパノラマ画像を生成する検証ソフトウェアを用いた。我々は、合成表示方式で表示した景観とすべての 3次元地図を表示した景観を表示し、被験者によりこれらの方式の違いによる視認性を比較した。被験者数は 21 人である。図 8 に評価視点位置を示す。交差点におけるパノラマ画像の投影中心は、全方向が歪みなく見える点として交差点の中心を選んだ。評価視点位置は人が歩く歩道の位置とした。この位置を中心として、周囲を見回す景観画像の再現性を、道案内の観点から被験者が 5 段階で評価した。合成表示方式の比較対象は、円筒形スクリーンの半径 50メートルから 150メートルである。遠方まで 3次元地図を用いて表

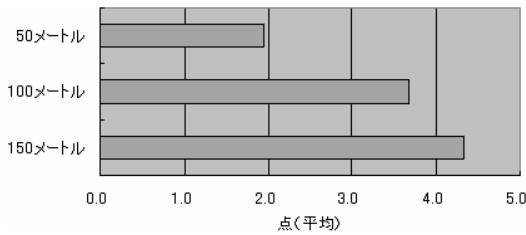


図 9 パノラマ半径の違いによる景観表示の再現性評価  
Fig.9 Evaluation reappareance (Pan view).

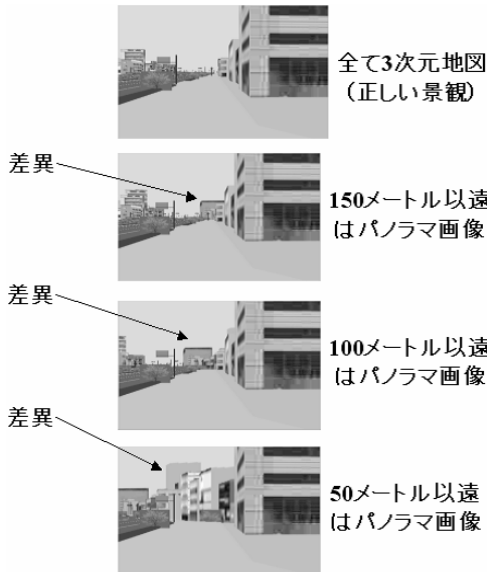


図 10 景観再現における視差の例

Fig. 10 The difference in a scene depend on the difference in the radius of a panoramic image (Pan view).

示した景観を正しい景観として 5 点とした場合、合成方式で表示する景観を見て景観の分かりやすさを 5 点以内で被験者が回答した。間違うことがある景観を含む再現性は 3 点、多くの人が間違えるような景観を含む再現性は 1 点とした。点数の被験者平均を図 9 に示す。この結果から、円筒形スクリーンの半径が小さくなるほど、道案内としての景観再現は難しくなることが分かった。これは図 10 のような視差が顕著な景観が再現されるからである。視差は図 11 のように円筒形スクリーンの半径が小さいほど生じやすい。このことから、データ削減を目的とした合成表示におけるパノラマ画像のスクリーンの半径は、携帯端末の表示性能と、3 次元地図の 2 次元範囲あたりのデータ容量密度に対応して変更する必要があると考えられる。一方で、被験者からは、近景がリアルに表現されていれば遠景の視差は気にならないとの意見もあり、特別なランドマークの有無によって、視差を考慮してスクリー

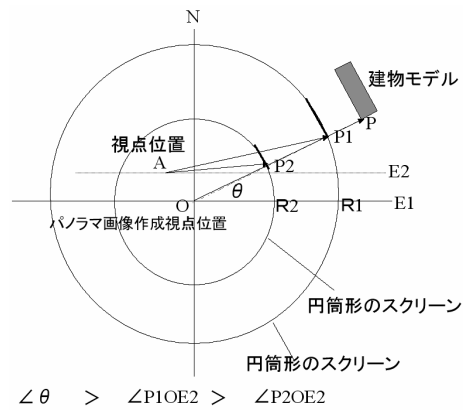


図 11 本方式を適用した場合の視差の説明  
Fig. 11 Azimuth difference by the panorama diameter.

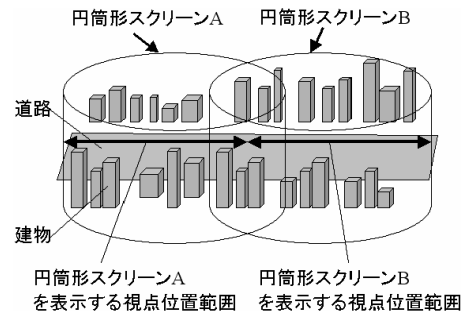


図 12 経路に沿った景観の表示方式  
Fig. 12 Walk-through display method.

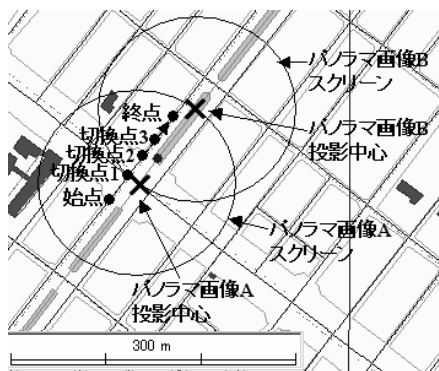
んの半径を選択する方式も有効であると考えられる。

### 3.3 経路に沿った景観の再現

我々は、2.1 節の検討結果をふまえて、自位置から目的地までの経路上の地上視点から見た景観を表示する方式により道案内を実現することを目標としている。歩行者の移動経路が 3 次元地図内の道路位置の範囲上に限られるという制約条件を適用することにより、経路に沿った景観の再現についても本方式の適用を検討した(図 12 経路に沿った景観の表示方式参照)。

経路に沿った一定間隔の位置に投影中心点を設置し、円筒形スクリーンが重なるように設置する方法を適用した。この方法では、経路に沿って景観を表示するために、つねに視点位置から最も近い投影中心点から作成したパノラマ画像とその内側にある 3 次元地図を表示する。これにより、経路上の視点移動であれば、連続的に周辺の経路表示が可能となり、経路に沿った景観を、経路付近の 3 次元地図データとパノラマ画像で再現できる。

経路に沿った景観の再現について、視点位置の移動にともないパノラマ画像スクリーンの切り替わる前後における景観表示の再現性について被験者評価を行っ



(地図は「国土地理院の数値地図2500『近畿-2』から引用

図 13 パノラマ画像の切替点 (地図は「国土地理院の数値地図 2500『近畿-2』から引用)

Fig. 13 The switching point of a panorama picture.

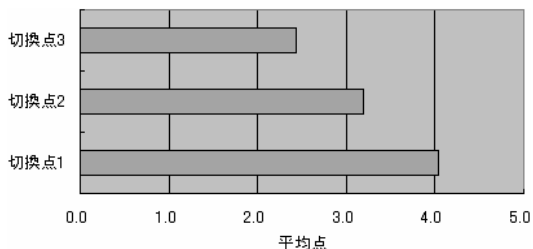


図 14 パノラマ画像の切替え位置の違いによる景観表示の再現性 評価

Fig. 14 Evaluation reappearance (Walk-through view).

た．被験者数は 21 人である．図 13 に経路に沿った視点移動において，パノラマ画像スクリーンを A から B へ切り替える切替点を示す．切替点 1 は，B のパノラマ画像スクリーンの内側に入った位置である．切替点 1 で切り替える方式は，視線方向に見えるパノラマ画像スクリーンの距離をつねに長くとることにより，経路に沿った視線の視差を少なくすることができる．切替点 2 は A の投影中心からの距離と，B の投影中心からの距離が 1 対 2 になる点である．切替点 3 は A，B の投影中心から等距離にある点である．切替点 3 で切り替える方式は，経路上の任意の地点において視点を止めて見回したときに最も近いパノラマ画像スクリーンが遠景として表示され，景観の再現性が最適に保たれる方式である．遠方まで 3 次元地図を用いて表示した景観を正しい景観として経路に沿った視点移動の画面をこれと比較して，景観の分かりやすさを 5 点以内で被験者に点数を入れてもらった．点数の被験者平均を図 14 に示す．図 15 に，それぞれの切替点の視点位置から，すべて 3 次元地図を用いて再現した景観例と本方式を用いてパノラマ画像と 3 次元地図

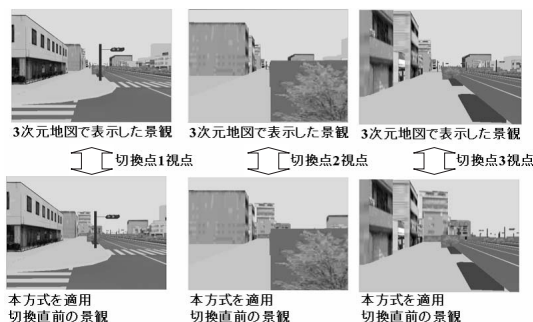


図 15 本方式を適用した景観と 3 次元地図景観の比較例

Fig. 15 The difference between a 3-dimensional map scene and the scene which applied this system (Walk-through view).

を合成しかつパノラマスクリーンを切り替える直前の景観再現例を示す．これによると切替点 1 の景観が最も景観の差異がないことが分かる．この結果から，切替点 1 においてパノラマスクリーンを切り替える方式の特長は顕著であり，経路に沿った表示に適していることが分かった．実際に歩行者 ITS へ本方式を適用する場合には，経路に沿った視点移動の場合と，視点を止めて周りを見回す場合によって，表示するパノラマスクリーンを切り替えるといった操作に応じた最適表示方式の選択も必要である．

#### 4. 評価と考察

我々は提案方式を携帯端末へ実装する可能性を評価するため，この方式を用いた景観表示を PDA 上に実装した．これは PDA を持った利用者へ道案内することを想定したためである．表示方式としては，出発地点と目的地を設定し，この間の道路沿いの景観をパノラマ画像スクリーンを用いて表現している (図 16 PDA 上の 3 次元地図ウォークスルー表示例参照)．評価用のデータとして，約 1.5 キロメートルの道路沿いの景観を再現するために 13 枚のパノラマ画像を生成した (図 17 円筒形スクリーン配置位置の例を参照)．この図 17 の範囲で総データ容量は 77 メガバイトであった．これを，本稿で提案する方式によって，総データ容量 10 メガバイトのパノラマ画像によって表示することを可能にした．ただし，道路上の位置により，その周辺一定半径範囲の 3 次元地図のデータ容量密度に疎密の差があるので，パノラマスクリーンの径を可変としている．リアルに景観を再現できるパノラマスクリーンの半径を決定するために，道路上の様々な視点位置において，いくつかの半径のパノラマ画像を作成し，パノラマ画像と 3 次元地図を合成して表示した．

PDA の実装では，経路上の任意の地点から周囲を



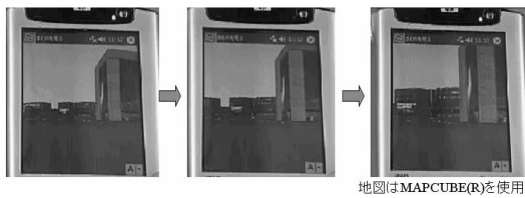


図 16 PDA 上の 3 次元地図ウォークスルー表示例  
Fig. 16 The walk-through display in PDA.

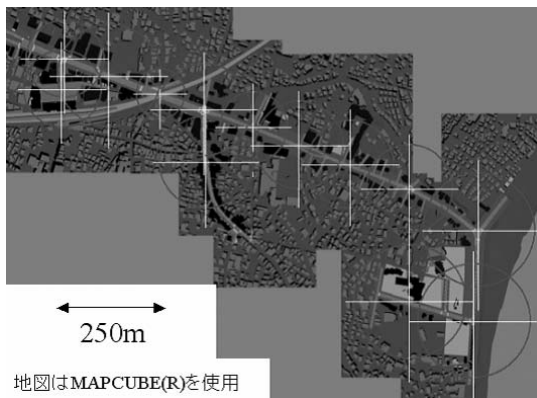


図 17 円筒形スクリーン配置位置の例  
Fig. 17 An example of screen arrangement.

見回すことを可能とした．1 枚のパノラマ画像は 1 MB に満たないデータ容量となった．これにより，道路上の任意地点から見た景観の再現に必要なデータの容量は，パノラマ画像のスクリーン半径内にある 3 次元地図とパノラマ画像のデータ容量をあわせた値になるため，パノラマスクリーンの半径を調整することにより，2.2 節において検討した携帯端末の表示性能に対して，利用者が許容できるデータ量の範囲で PDA に景観を表示できることが分かった．

次に我々は，パノラマ画像と 3 次元地図を合成して表示する方式の，歩行者向け道案内への適用可能性について検討した．提案の方式は，3 次元地図を用いているために仮想の情報と重畳することが容易である特徴をかんがみて，災害情報提供とあわせた避難経路誘導に着目した．たとえば，避難が必要となるような大規模災害発生時に必要な減災情報システムの解説がなされている<sup>15)</sup>が，この中で，避難支援目的として，ITS における歩行者情報提供システムと，ハザードマップや避難ルートナビゲーションの枠組みをあわせることにより，危険情報を提供する必要があると考えられている．これをふまえて我々は，災害予測情報や，避難場所，避難方向といった情報を 3 次元データとして配信して表示する実験を行った（図 18 防災避難誘導の表示例参照）．遠景はパノラマ画像を用いて表示し

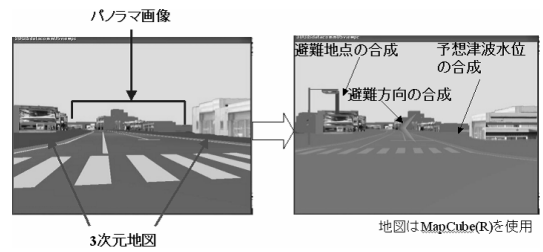


図 18 防災避難誘導の表示例  
Fig. 18 An example of evacuation guidance.

ているので，ランドマークとなる可能性がある遠方の建物も表示することができた．視点位置付近の地物は 3 次元地図を表示しているため，津波予測水位や避難場所，避難方向といった付加情報を 3 次元データとして合成することを可能としている．これにより，周辺の建物と見比べてどの位置まで水が来るであろうかといった情報を読み取ることができると考えられる．パノラマ画像と 3 次元地図を合成して表示する方式を用いることで，遠方にあるランドマークや，3 次元地図と合成した災害予測情報を限られたデータ容量で同時に表示することができるようになるので，これにより，大規模災害発生時における避難支援を目的とした歩行者情報提供システムとして，歩行者の位置に応じた避難経路や災害予測情報を，歩行者の持つ携帯端末へ提供することができるように考えている．

## 5. まとめ

携帯端末を用いた歩行者 ITS を実現するための 3 次元地図の表示方式として，パノラマ画像と 3 次元地図を合成する方式を提案した．提案した方式は，携帯端末の表示性能にあわせて表示データ量の制御が可能であり，表示する景観の再現性を維持することができる．この方式を用いて携帯端末で 3 次元地図を表示することにより，どこにいても目の前の景観と同じ景観を手元の携帯端末に表示することができるようになり，道案内をはじめとする様々な位置情報の提供が容易になると考えている．

近年，携帯電話や PDA に GPS が搭載され，または接続が容易になってきている．また，通信インフラの整備により，いつでもどこでも情報を手に入れる環境が整ってきている．ユビキタス環境における歩行者 ITS の実現に向けて，地図配信，位置情報配信の実現を目指していく．

謝辞 本研究は，平成 15 年度から平成 17 年度まで実施した総務省「次世代 GIS の実用化に向けた情報通信技術の研究開発」の一環として行ったものである．

本実験における 3 次元地図は、総務省「3 次元 GIS 構築のための情報通信技術の研究開発」の成果を利用した。総務省および研究参加機関には多大なご協力をいただいた。ここに感謝の意を表する次第である。

### 参 考 文 献

- 1) 総務省：情報通信白書平成 17 年度版，総務省 (2005).
- 2) ユビキタスネット時代における宇宙通信の在り方に関する研究会：ユビキタスネット時代における宇宙通信の在り方に関する研究会報告書，総務省報道資料，pp.69-80 (2005).
- 3) Ishida, T.: Digital City Kyoto: Social Information Infrastructure for Everyday Life, *Comm. ACM*, Vol.45, No.7, pp.76-81 (2002).
- 4) Lynch, K.: *The Image of the City*, The MIT Press (1960).
- 5) Charitos, D. and Rutherford, P.: Ways of Aiding Navigation within VRML Worlds, *Proc. 6th International EurolA Conference*, pp.119-132 (1997).
- 6) Darken, R.P. and Sibert, J.L.: Wayfinding Strategies and Behaviors in Large Virtual Worlds, *Proc. ACM SIGCHI 96*, pp.142-149 (1996).
- 7) 村越 真：ナビゲーションのための地図読み，信学技報，HIP 2003-11，電子情報通信学会 (2003).
- 8) Satalich, G.A.: Navigation and Wayfinding in Virtual Reality: Finding Proper Tools and Cues to Enhance Navigation Awareness (1995). <http://www.hitl.washington.edu/publications/satalich/>
- 9) Siegel, A.W. and White, S.H.: The Development of Spatial Representation of Large-Scale Environments, *Advances in Child Development and Behavior*, Reese, H.W. (Ed.), Vol.10, Academic Press, New York (1975).
- 10) Weisman, J.: Evaluating architectural legibility: Wayfinding in the build environment, *Environment and Behavior*, Vol.13, No.2, pp.189-204 (1981).
- 11) Vinson, N.G.: Design Guidelines for Landmarks to Support Navigation in Virtual Environments, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, ACM, New York, pp.278-285 (1999).
- 12) <http://www.parallelgraphics.com/products/cortanace/>
- 13) Chen, S.E.: QuickTime? VR: an image-based approach to virtual environment navigation, *SIGGRAPH*, pp.29-38 (1995).
- 14) 古川久雄，宮崎陽司，神谷俊之，國枝和雄：3 次

元都市空間基盤「地球ナビゲータ TM」の構成技術と応用，日本 VR 学会サイバースペースと仮想都市研究会，CSVC2002-21 (2002).

- 15) 仲谷善雄：大規模災害に対する減災情報システム (後編)，情報処理学会誌，Vol.45, No.12, pp.1255-1265 (2004).

(平成 18 年 4 月 1 日受付)

(平成 18 年 10 月 3 日採録)



久永 聡 (正会員)

1989 年中央大学理工学部数学科卒業。同年三菱電機株式会社入社。現在，情報技術総合研究所勤務。画像処理技術，空間情報処理技術の研究に従事。



菅沼 優子

1997 年東京理科大学理学部第一部物理学科卒業。1999 年東京工業大学大学院総合理工学研究科物理情報工学専攻修士課程修了。同年三菱電機株式会社入社。現在，情報技術総合研究所勤務。コンピュータグラフィックス応用技術，空間情報処理等の研究開発に従事。電子情報通信学会，画像電子学会各会員。



前原 秀明

1990 年三菱電機株式会社入社。2000 年 Mitsubishi Electric Research Laboratories, Inc. 客員研究員。2003 年宇都宮大学大学院工学研究科博士後期課程修了 (工学博士)。現在，三菱電機株式会社情報技術総合研究所主席研究員。画像を扱う情報システムの研究に従事。2006 年 R&D 100 Awards 受賞。電気学会会員。



脇本 浩司 (正会員)

1983 年京都大学工学部情報工学科卒業。1985 年同大学院工学研究科修士課程修了。同年三菱電機株式会社入社。現在，情報技術総合研究所勤務。画像情報システム，地理情報システム等の研究に従事。工学博士。映像情報メディア学会，電子情報通信学会各会員。



田中 聡（正会員）

1982年大阪大学大学院基礎工学  
研究科前期（修士）課程修了．同年  
三菱電機株式会社入社．現在，情報  
技術総合研究所勤務．パターン認識  
技術，地理情報処理技術の研究開発

に従事．電子情報通信学会，画像電子学会各会員．

---