

次世代 GIS の実用化に向けた情報通信技術の研究開発

平成 1 7 年度 成果報告書

平成 1 8 年 3 月

三菱電機株式会社 株式会社 N T T ドコモ 株式会社 パスコ

目次

第一章 序論	1
1 研究開発の目的	1
2 3次元GISの動向	3
2.1 国の施策	3
2.2 標準化の動向	4
2.3 技術動向	9
第二章 研究開発概要	13
第三章 研究開発内容	17
1 3次元GISデータの圧縮技術	17
(1) 従来技術	17
(2) 研究開発内容	17
(3) まとめ	67
2 各種のモバイル端末に適応できる空間データ適応管理技術	68
2.1 空間データ管理技術	68
(1) 従来技術	68
(2) 研究開発内容	71
(3) まとめ	84
2.2 メディア複合技術	85
(1) 従来技術	85
(2) 研究開発内容	86
(3) まとめ	112
3 モバイル端末向けの空間データ配信技術	113
3.1 空間データ伝送技術	113
(1) 従来技術	113
(2) 研究開発内容	113
(3) まとめ	123
3.2 配信データ圧縮技術	124
(1) 従来技術	124
(2) 研究開発内容	125
(3) まとめ	136
第四章 実証実験	137
1 被災時移動支援の実験	137
2 被災時移動支援のニーズ・ユーザビリティ調査	154
3 被災時画像情報提供のニーズ調査	170

第五章 結論	183
1 研究開発成果	183
2 実用化に向けての課題	184
3 今後の展望	186
参考文献	189
付録 1 次世代 GIS の実用化に向けた情報通信技術の研究開発委員会	193
付録 2 学会発表および特許出願	195
付録 3 用語の説明	197

第一章 序論

1 研究開発の目的

地理情報システム(GIS)は、位置とその属性データからなる地理的空間データを統合的に管理・運用し可視化することにより、行政、企業活動や市民生活の多様な局面において、業務上や個人生活上の意思決定を支援するシステムであり、高度情報社会における情報基盤として必須のものとなりつつある。

現在、2次元 GIS については既に多様な商用化が進むなど実用段階に入ったといえる。3次元 GIS では、シミュレーション等の分野で、3次元表示の活用も始まっており、3次元空間データを利用する研究開発も進んでいる。3次元 GIS は景観の再現や、高架、地下といった立体的な表現が可能であり、より高度な解析・シミュレーションや直感的に分かり易い表現が可能である。

その期待される主な利用分野は、以下の例が考えられる。

空間の解析

災害(地すべり、河川氾濫、延焼、高波被害)、避難経路、交通、公害汚染範囲、電波伝播、日照等のシミュレーション

景観の解析

用途地区変更、風致地区建設等のシミュレーション、景観デザインのためのシミュレーション

ナビゲーション

カーナビゲーション、バリアフリーナビゲーション、都市・観光地の案内誘導、災害時避難路誘導等

位置情報管理

山林、海岸等の設備や状況、地下資源・海底資源、地下埋設物、建造物配管管理等の3次元情報管理

このなかには移動体上あるいは移動中の個人への情報供給が可能になることで、その特長や利点を最大限に発揮できるものが多い。例えば、災害発生時、個人の所持する端末を通して避難路を誘導することができれば、二次災害の防止に大いに役立つであろう。

しかるに当然3次元 GIS では2次元よりも取り扱うデータ量が格段に増大し、一般に固定された端末と比較して計算処理能力および表示能力が低く、通信路のデータ転送能力が少ない移動体端末を対象としようとする多くの課題が残されている。また普及や利便性のためには、あらゆる場所で確実に情報を配信可能とする必要がある。

総務省は3次元 GIS の構築に向けての研究開発を平成11年度から平成14年度までの4年間にわたって行い、データ獲得・更新、表現伝送、空間検索等の技術課題について研究開発をすすめ、データガイドラインおよび技術ガイドラインを策定した。

本研究開発は、この研究開発成果を踏まえ、とくにモバイル環境において3次元の空間データを容易に利用可能とする「次世代 GIS」を構築するために必要となる空間データ等の圧縮、管理、配信等のための技術を研究開発し、基盤技術を確立することを目的とした。

研究開発の範囲は、モバイル環境での通信回線を用いる、携帯電話・車載パソコン・PDA 等の携帯情報端末、ノートパソコン等の端末への配信を対象とした、空間データの構築管理、配信に関わる以下の技術である。

3次元 GIS データの圧縮技術

各種のモバイル端末に適応できる空間データ適応管理技術

モバイル端末向けの空間データ配信技術

平成 15 年度は、それぞれの技術の基礎部分を研究開発した。平成 16 年度はこれらを組み合わせて実際にモバイル端末へ、モバイル回線を介して空間データを伝送、表示するための研究開発を行った。また、あわせて店舗案内への応用を想定した実証実験を行った。そして平成 17 年度は、平成 16 年度までの研究開発の成果を集めて各技術を完成させた。さらに本プロジェクトで開発した技術を融合し、防災への応用を想定した実証実験を行った。

本報告書では、上記3年間の研究開発のうち、最終年度である平成 17 年度の研究開発成果について報告する。

2 3 次元 GIS の動向

2.1 国の施策

政府は平成 7 年「GIS 関係省庁連絡会議」を設置して、GIS の整備とその相互利用の推進への取り組みを開始し、国土空間データ基盤の整備・普及を推進してきた。これとは別に日本全体の IT 化推進の取り組みとして、平成 6 年度から高度情報通信社会推進本部を内閣に設置するなどの施策をすすめていたが、平成 12 年に高度情報通信ネットワーク社会形成基本法 (IT 基本法) を成立させ、e-Japan 戦略および重点計画を決定した。この e-Japan 重点計画に対応した形で、平成 14 年度には 4 ヶ年計画の GIS アクションプログラム 2002-2005 がスタートし、平成 18 年度までに GIS に関する社会基盤の整備と標準化、普及支援、GIS を利用した質の高い行政サービスの提供等の実現を目指している。このように、国は GIS 基盤確立・普及に強力な施策を行っている。その中で総務省はとくに 3 次元 GIS の構築に向けての研究開発を平成 11 年度から平成 14 年度までの 4 年間にわたって進め、技術ガイドライン、データガイドラインを策定した。本研究はこれらの成果を踏まえて行われるものである。また、本研究は、[e-Japan 重点計画 - 2004]にあるように「2005 年度までに、モバイル端末でも 3 次元 GIS の利用が可能な次世代 GIS の基盤技術の研究開発を行う。」という施策に対応するものである。

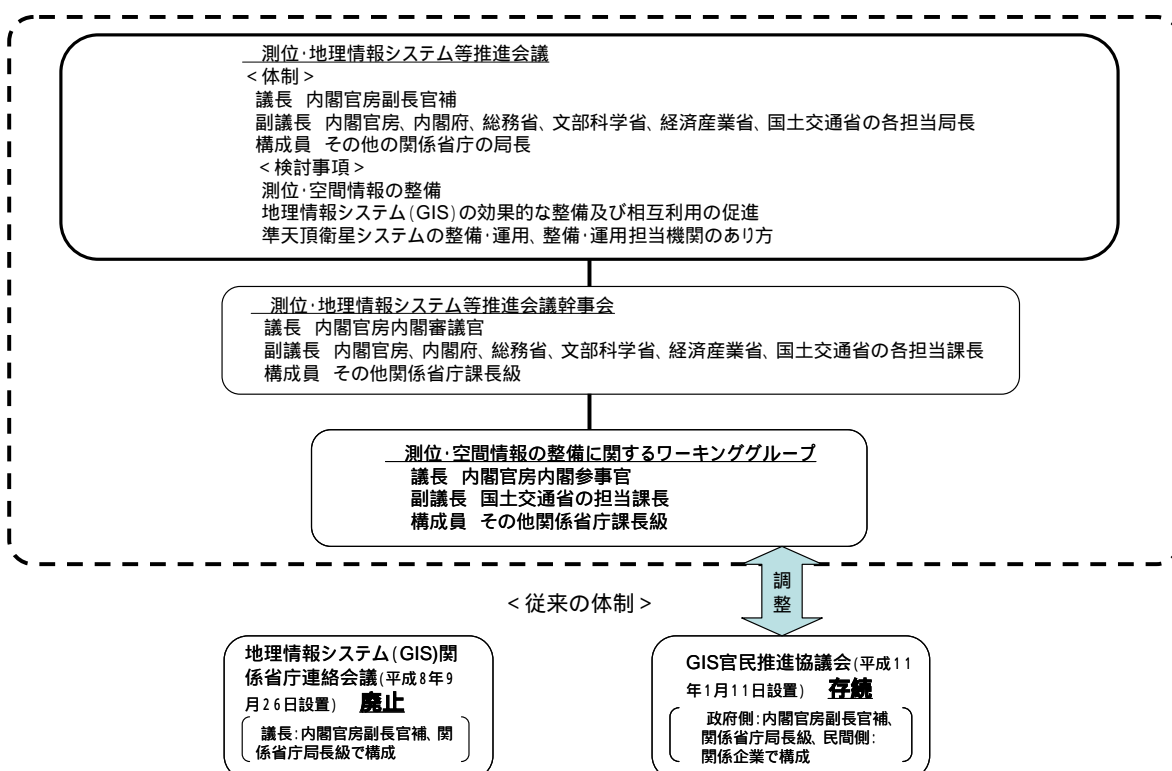


図 2.1-1 わが国における GIS の新たな取組体制
 (測位・地理情報システム等推進会議資料を基に作成)

政府は、現行の「GISアクションプログラム 2002-2005」が本年度末で終了した後は、次世代の基盤空間情報整備(NEXT-GIS)の策定が必要であると認識し、「測位・地理情報システム等推進会議」で、新計画の策定にあたっての論点を、平成 17 年 12 月に以下のように整理している。尚、「測位・地理情報システム等推進会議」の設置に伴い、「GIS 関係省庁連絡会議」は平成 17 年 9 月に廃止された。

■ 基本方針案の検討

- ・ 基盤空間情報の位置付け及び、公的機関における基盤空間情報の提供のあり方
- ・ 縮尺 1/500 相当の情報整備の推進
- ・ 電子納品の義務化
- ・ 基盤空間情報の技術仕様の標準化
- ・ 基盤空間情報の利用者へのワンストップ型提供システムの構築
- ・ 基盤空間情報の利用・提供手続きのあり方
- ・ 民間の測量成果の品質認証制度 等

■ 今後のスケジュール

平成 18 年度早期に、次世代の基盤空間情報の整備に関する方向付け(新計画の骨格的内容、立法措置についての考え方等)を行う。

2.2 標準化の動向

(1) 地理情報データの標準化活動

地理情報の標準化活動は、ISO/TC211(地理情報/ジオマティックス)の TC(専門家委員会)が中心となって進められている。ISO/TC211 の TC は、1994 年 ISO(国際標準化機関)に地理情報の標準化に関する専門委員会として設立された。当初 20 本の作業項目で出発した TC も、多くは IS(International Standards:国際規格)となり、現在は、その後提案された新しい作業項目の審議と各作業項目が同時並行的に審議を行ったために生じた、作業項目間の微妙な違いの修正作業へ移行しつつある。

最近提案され、審議が進んでいる作業項目では、画像に関する 4 項目、位置に関する 4 項目が代表的である。

画像データに関する作業項目

- | | |
|---------|---------------------------|
| 19101-2 | 参照モデル第 2 部:画像 |
| 19115-2 | メタデータ第 2 部:画像及びグリッドデータ |
| 19129 | 画像、グリッド及び被覆データの枠組み |
| 19130 | 画像及びグリッドデータのためのセンサーデータモデル |

これらの作業項目は、新しい規格を作成するというのではなく、従来使用されてきた画像データの交換仕様をまとめたユーザサービスのための規格書である。

位置に関する作業項目

6709rev	座標による地理的位置の標準表記
19111rev	座標による空間参照の改訂
19132	場所に基づくサービス - 参照モデル
19134	場所に基づくサービス - 複数モードの経路探査

位置に関する作業項目は、ITS(Intelligent Transport Systems:高度道路交通システム)の国際規格を検討している ISO/TC204 と緊密な連絡のもとに審議が行われている。

(2) JIS 化を中心とした日本国内の標準化活動

国内における地理情報の標準化活動は、国土交通省を中心とした ISO/TC211 の IS となった作業項目(地理情報標準と呼ぶ)、及び ISO/TC204 にて検討が進んだ作業項目から JIS(Japanese Industrial Standards:日本工業規格)化する動きと、経済産業省を中心とした財団法人データベース振興センターが検討を行い、JIS 化する動きがある。

ISO/TC211 に対応し、わが国では「適合性および試験」と「品質評価手順」の 2 項目の標準化作業のプロジェクトリーダーを担当した。国内では 1995 年財団法人日本測量調査技術協会が、日本工業標準調査会(JISC)から国内審議団体として認定を受け、ISO/TC211 に対応する国内委員会および幹事会を設けている。国土交通省国土地理院では ISO における標準化と連携を取りつつ、空間データ交換のための標準化および空間データ作成のための標準化に取り組み、2000 年(第 1.1 版)～2001 年(第 2 版)にかけて「地理情報標準」を策定した。この標準は国土空間データ基盤の技術的な標準として、測位・地理情報システム等推進会議に参加する各省庁の活動等に活用されている。

ISO/TC211 からの流れで、JIS 化したものには次の作業項目がある。

- ・ 適合性と検証
- ・ 品質原理
- ・ 空間スキーマ
- ・ 時間スキーマ
- ・ メタデータ
- ・ 地物カタログ化法
- ・ 座標による空間参照
- ・ 地理識別子による空間参照

ISO/TC204 の検討により JIS 化したのは、次の作業項目である。

- ・ 自動車 - カーナビゲーションシステム用地図データ格納フォーマット(KIWI)

ただし、この作業項目は国内委員会における審議により JIS 化したものであり、国際的な TC の検討を経たものではない、あくまで、国内仕様である。

データベース振興センターの審議を経て JIS 化したものには、次の作業項目がある。

- ・ 地理空間データ交換用 XML 符号化法(略して G-XML と呼ぶ)

この作業項目は、後にアメリカを中心とする地理情報の国際審議機関である OGC (Open Geospatial Consortium) の提案する GML という作業項目に吸収され、現在 ISO/TC211 で審議が進んでいる。

なお、3次元 GIS に関しては総務省が平成 11 年度から 14 年度にかけて策定した「3次元 GIS データガイドライン」、「3次元 GIS 技術ガイドライン」がある。

(3) 空間データ相互運用の標準化

OpenGIS (Open Geodata Interoperability Specification) は、1994 年米国で設置された非営利団体 OGC がまとめている空間データの相互運用仕様である。OpenGIS は、データ交換仕様 GML (Geography Markup Language) を発表している。国内においては、経済産業省 (旧通産省)、財団法人データベース振興センター他が、1999 年の G-XML 仕様 1.0 の発行をはじめとして、同様に GIS コンテンツの相互流通のためのプロトコル開発を進めており、現在 3.0 版まで拡張されている。また、G-XML プロトコルと GML 間で統一的国際標準を作るため OGC と財団法人データベース振興センターの間では仕様整合化の合意がされている。

(4) 新しい標準化の動向

以上の検討の他に、次のような新しい動きが見られる。

・JPGIS (地理情報標準プロファイル) の作成

国土交通省の主導する地理情報標準 (ISO/TC211 の IS となった作業項目群) には膨大なものがあり、その使用に際しての利便性や読みやすさ等を考慮したものではなかった。そのために JIS 化したものの利用者が少なく、普及の速度は芳しいものではなかった。そのため国土交通省は、従来の官民共同研究という形式を改め、地理情報標準に特化した技術者による地理情報標準の簡易版を作成する作業を進め、平成 17 年 3 月に 1.0 版が完成した。内容は、ISO/TC211 にて検討を終えた時間スキーマ、空間スキーマ、応用スキーマのための規則、地物カタログ化法、メタデータ、座標による空間参照、地理識別子による空間参照、品質原理までをカバーしている。

・LBCS の作成

G-XML の国際規格化にて、OGC に先を越されたデータベース振興センターは、その後 LBCS (Location Based Contents and Services) という作業をまとめ、新たな JIS 化、あるいは国際規格化を目指す動きとなっている。これは、POI (Point Of Interest: 対象とする地点) から、目的地までのコンテンツ (データ) と位置情報サービスに関する作業項目の検討であり、16 年度末には LBCS データ仕様書が発表された。その機能、カバーする領域、将来性等に関して、世界の注目を浴びている。

また、ISO/TC211 にて検討してきた地理情報におけるモデル (空間スキーマ、時間スキーマ等) は、当初から三次元構造データの記述を前提に作成されたモデルであるが、最近の総会にて新たに承認されたものに、次の作業項目がある。

19141 Schema for moving features

この作業項目の当初案には、Spatio-Temporal (時空間) を管理するモデルの記述が盛り込まれていたが、現在の技術では実現が難しいということでこの Spatio-Temporal の内容は削除され、Time Stamp に基づく時間、空間データのモデル作成になった。このように、多次元地理情報は、国際標準化

活動の中でも魅力ある技術であるが、未だ確固とした技術力を背景とするモデルの構築までには時間を要する内容であると言える。

最後にまとめて、GIS 標準化関連図を図 2.2-1 に、LBCS の標準化関連図を図 2.2-2 に示す。

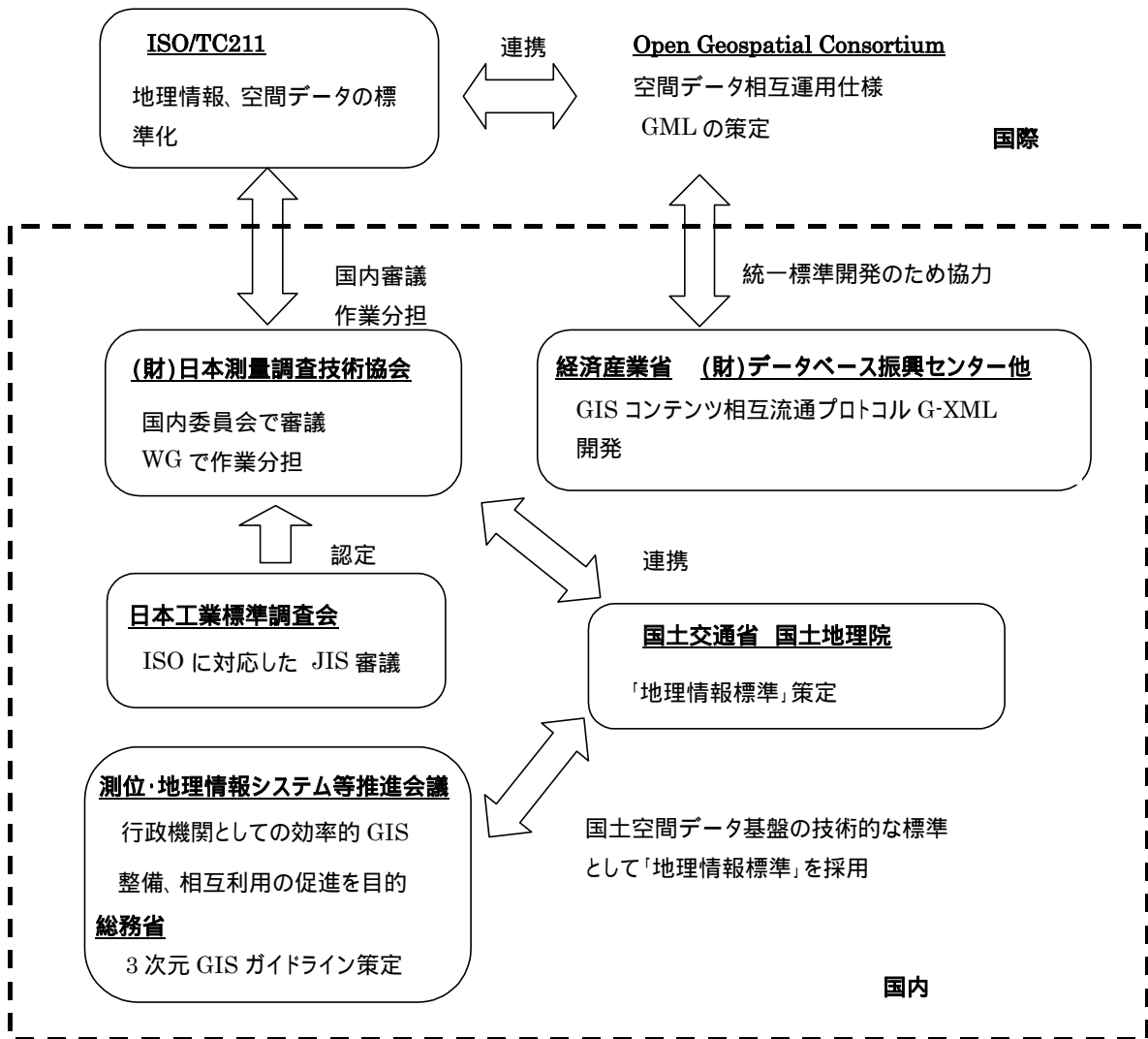


図 2.2-1 GIS 標準化関連図

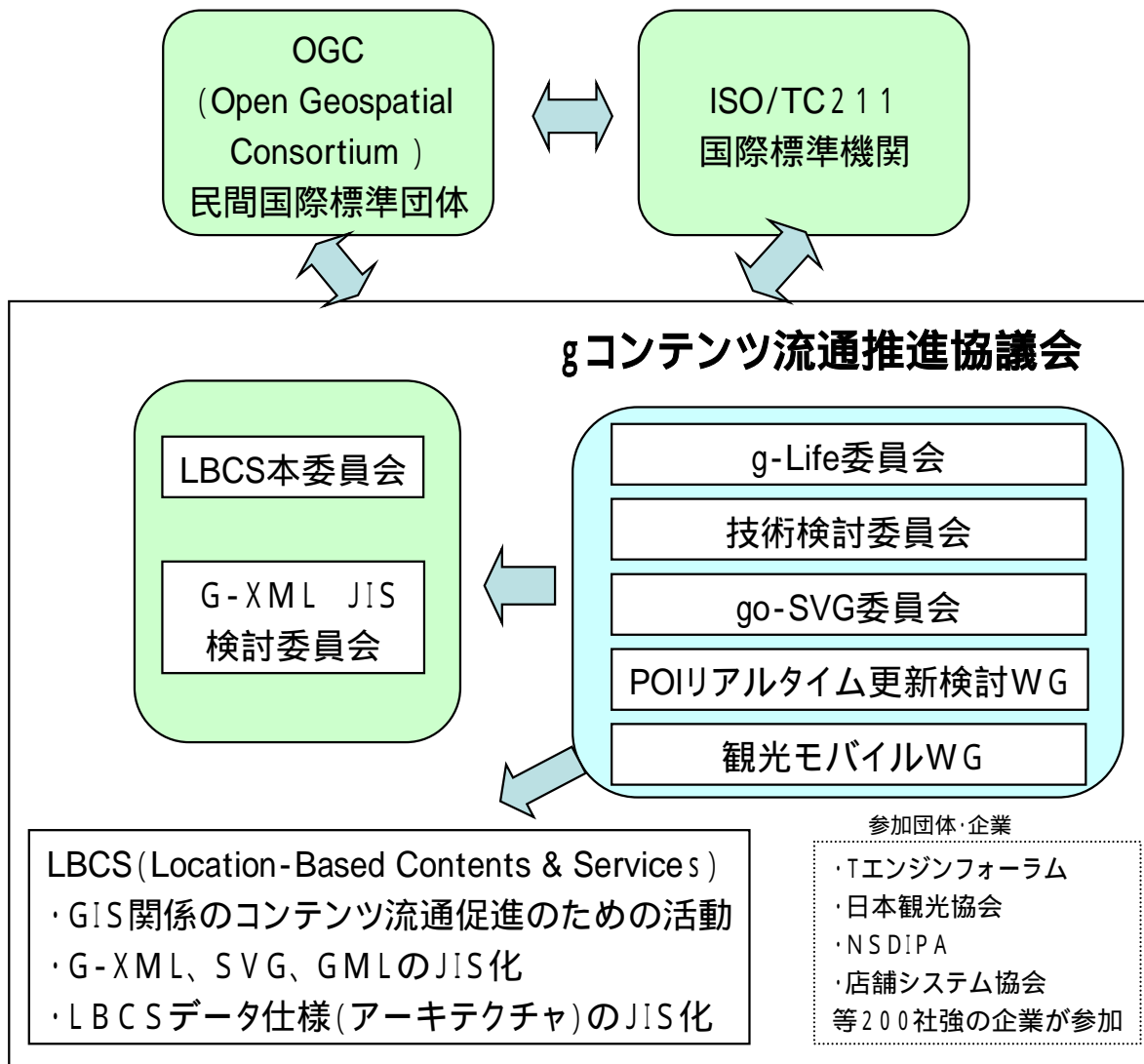


図 2.2-2 LBCS の標準化相関図

(出典: gコンテンツ流通推進協議会、(財)データベース振興センター)

2.3 技術動向

(1) 各国の 3 次元 GIS への取り組み

各国における 3 次元 GIS への主な取り組みについて示す。

ア 中国

1995 年に、国土資源部測絵局(SBSM:State Bureau of Surveying and Mapping)の下で、国家地球情報センター(NGCC:National Geomatics Center of China)が設置され、空間データベースの開発と保守を行うようになった。

1999 年には、中国国務院に国家地理情報調整委員会(NGSICC:National Geo-Spatial Information Coordination Committee)を設置し、国家地理情報戦略や計画、法規の策定を行うようになった。

イ フィンランド

国土測量局(NLS)が中心となり、1980 年代から全土レベルの空間データの整備が進められている。国がデータ収集を行い、民間がデータ更新を行うケースと、国と民間が共同企業体としてデータの販売を行うケースがある。

ウ イギリス

イギリス政府が掲げている電子化政策のもと、NLPG(National Land and Property Gazette:イギリス全土の土地及び不動産の電子目録)や、NLUD(National Land Use Database:イギリス全土の土地利用データ)等、各種の空間データの整備が進められている。地方公共団体でも GIS の導入が進んでいる。

ロンドン大学先端空間分析センター(CASA:The Centre for Advanced Spatial Analysis)における研究において、ロンドンの 3 次元モデルの例を図 2.3-1 に示す。



図 2.3-1 ロンドンの 3 次元モデル例

(<http://www.casa.ucl.ac.uk/3dcities/london3d.htm> から引用)

エ カナダ

1999年に設置された「ジオ・コネクション」を中心にGISに関する施策が推進されている。ジオ・コネクションは、空間データをインターネット上で利用可能とするための各プロジェクトを調整する組織である。連邦政府や州、民間企業等で構成される諮問委員会のサポートを受け、アクセス、フレームワーク、ジオ・パートナーズ、ジオ・イノベーション、地域発展、全国地図、技術ネットワークの7つのプログラムを実施している。

オ アメリカ

連邦政府等のすべての地理情報とサービスを登録するウェブサイトとして、GOS (Geospatial One-Step)のポータルサイト geodata.gov が開設されている。GOSは、連邦政府、州政府、地方公共団体の代表によって構成される執行委員会において、連邦地理情報委員会 (FGDC)との協力のもとに推進している。

米国地質調査所 (USGS) は、地理情報作成者 (連邦や州、地方公共団体、民間) と連携して地形図データをインターネットで無料公開する活動を始めている。

カ オランダ

オランダ国土空間基盤情報 (NSDI) は、1993年にオランダ不動産情報委員会 (RAVI) によって開始され、2002年に政府機関によって全国統一の大規模主要データベースとして完成された。1/10000のベクトル地図をベースマップとしている。

キ フランス

空間データ基盤の整備と普及に関わる公共機関の取り組みでは、地理情報国家評議会 (CNIG) が、大縮尺空間地理情報プロジェクト (RGE) において地形データベースや行政界データベース、オルソフォト等の整備を推進している。新規に整備するデータと既存の海図、社会経済データ等の編集も行われている。

ク マレーシア

空間データ基盤 (MyGDI) は、土地に関する省庁の地理情報整備促進を目的として定められている。マレーシア空間データ基盤センター (MaCDGI) の調整のもとに、地理データの標準化や基本データセットの整備等が行われている。

(2) インターネット、LAN を用いた 3 次元配信の動向

現在利用可能なサービスや、製品について示す。

ア データ配信サービス 財団法人日本地図センター

財団法人日本地図センターによる、25000 段彩陰影画像・JMC マップ・衛星画像・空中写真をデジタルデータとして配信するサービスであり、オンラインでのダウンロードまたはメディアでのオフライン配送がある。詳細は、<http://net.jmc.or.jp/selectionContentsGuide.asp> を参照。

イ piXterra 日立ソフト

日立ソフトによる、61cm 分解能を誇る QuickBird の衛星画像と、付加価値情報をインターネットで配信するサービスである。付加価値情報としては、国土地理院数値地図 2500、都市計画図、ポイント情報（コンビニエンスストア、学校、銀行等の所在を示す情報）等がある。

詳細は、<http://pixterra.net/whats/>を参照。

ウ 空中写真閲覧サービス(試験公開)国土地理院

国土地理院が保有する空中写真のオンライン閲覧サービスである。約 100 万枚に及ぶ空中写真に関し、デジタル化の完了したのものから順に公開している。

詳細は、http://mapbrowse.gsi.go.jp/airphoto/indexmap_japan.html を参照。

エ Google Earth

米 Google 社は、2005 年 6 月に地球上の任意の地域を検索し、衛星/航空写真と組み合わせて地表の様子を 3 次元表示するサービス Google Earth をインターネット上で開始した。

詳細は、<http://earth.google.com/> を参照。

(3) デジタルシティ

国内外において、デジタルシティに関する研究が行われている。デジタルシティとは、福祉、行政、防災、店舗等の日常生活に役立つ都市情報を集積し、地域コミュニティのネットワークに市民の交流の場を創り出し、情報提供の基盤となるものである。3次元モデルを用いて物理的な都市とのリンクを強め、都市の社会情報基盤の構築を目標とする試みも行われている。

以下では、3次元モデルを利用したデジタルシティについて示す。

ア バーチャルヘルシンキ

1996 年に、電話会社である HPY を中心とした「ヘルシンキアリーナ 2000 プロジェクト」が発足した。このプロジェクトは、ヘルシンキ市民に広帯域の次世代メトロポリタンネットワークを提供しようとする試みであり、ヘルシンキ市全体の 3 次元モデルを構築している。図 2.3-2 に、ヘルシンキの 3 次元モデルの例を示す。



図 2.3-2 ヘルシンキの 3 次元モデル例
(<http://www.virtualhelsinki.net/english/> から引用)

イ デジタルシティ京都

NTT オープンラボと京都大学との共同研究プロジェクトとして 1998 年から実験が開始された。街の最新情報を常に反映した、生きた都市をインターネット上に再現し、都市のデジタル情報をネットワーク内に集積して提供することを目標とした。四条通り 2km を実装している。

ウ 京都アート・エンタテインメント創生研究

立命館大学では、文部科学省の 21 世紀 COE プログラムとして「京都アート・エンタテインメント創生研究」に取り組んでおり、その中で「京都の歴史空間を旅する 4 次元 GIS プロジェクト」を進めている。現在の京都をレーザプロファイラによる高精度な 3 次元モデルで再現し、明治以降の地籍図のデジタル化を行い対応づけて京都の町並み景観の復原を進めている。特に、京都の代表的な建造物である「京町家」について平成 7 年以降の継続的な調査結果がデータベースとなって反映されている。

詳細は、http://www.ritsumeai.ac.jp/acd/cg/lt/geo/coe/pdf/08_001.pdf を参照。

第二章 研究開発概要

本研究開発では、伝送容量や性能に制約がある移動体端末などを含む多様な利用環境で 3 次元 GIS を利用可能にすることを目的として、平成 15 年度から平成 17 年度まで 3 年間の計画で基盤技術の開発をおこなった。図 1 に研究開発の概要を示す。

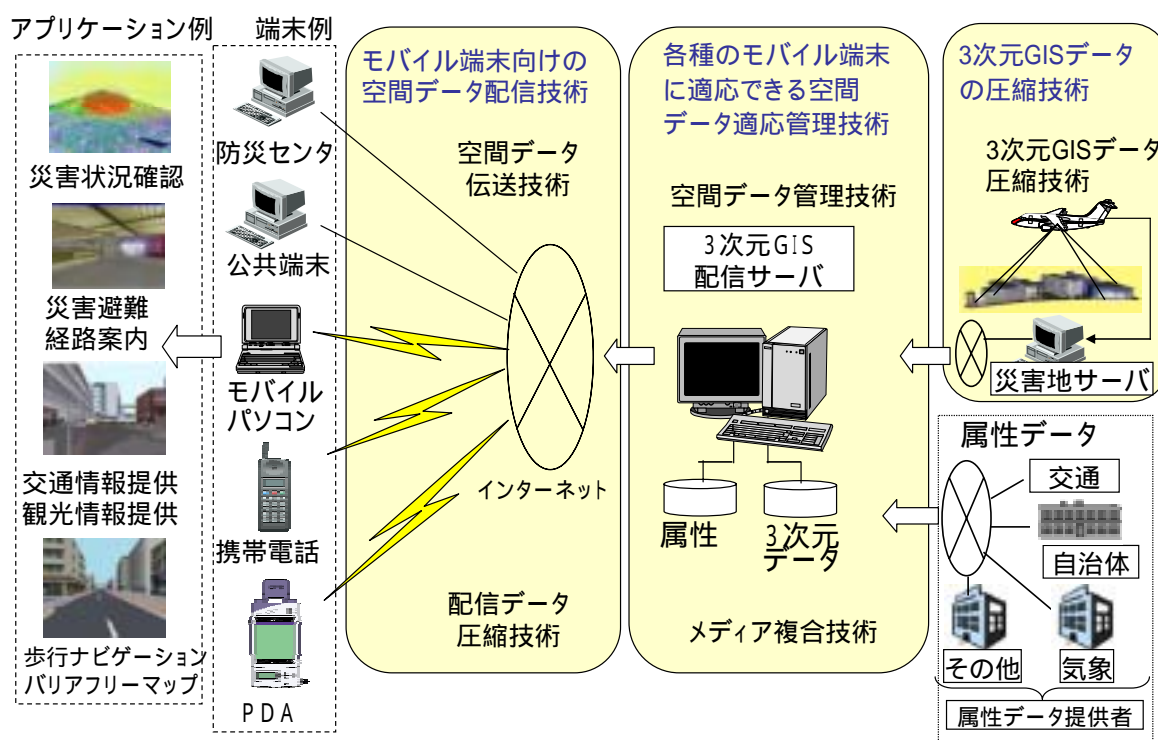


図 1 研究開発の概要

3次元GISデータ圧縮技術は、例えば地震等の災害発生直後、災害状況をいち早く知りGIS化できるようにするために、航空機から取得した地形、建物の3次元形状を伝送しやすいように圧縮する技術である。

各種のモバイル端末に適応できる空間データ適応管理技術は、3次元空間データをモバイル端末へ配信できるようにするために、蓄積管理する技術として、2つの技術項目からなる。ひとつは、3次元空間データを蓄積し、必要な空間データを高速で抽出するための空間データ管理技術である。もうひとつは、モバイル端末で表示が可能なように、空間データを映像形式に変換して蓄積してあるような場合であっても、空間データの中の例えば特定の建物といった地物の属性データを関連つけて取り出せるように組み合わせる技術である。

モバイル端末向けの空間データ配信技術は、モバイル端末に向けて、空間データを効率的に配信するための技術である。この技術は、2つの技術項目からなる。ひとつは、機能・性能の異なる端末や、伝送容量の異なる伝送路を利用する場合であっても、最適な配信方式を選択することにより、効率的な空間データの伝送を可能にする空間データ伝送技術である。もうひとつは、小容量の伝送路に対応して、配信するデータを圧縮するための配信データ圧縮技術である。

次に、次世代 GIS の実用化に向けた情報通信技術の研究開発の各技術開発項目における平成 15 年度から平成 17 年度までの目標を図 2 に記す。

		平成15年	平成16年	平成17年
各年次の目標		目標達成のための基本的に研究すべき項目について、研究開発する。	研究開発の拡充と性能向上	到達目標達成 各々の技術の融合
3次元GISデータの圧縮技術 (パスコ)		レーザ測量システム取得空間データ 1/2に圧縮、圧縮時間30分	レーザ測量システム 取得空間データ 1/5圧縮 圧縮時間30分	画像センサ 取得空間データ 1/5圧縮 圧縮時間30分
各種のモバイル 端末に適応できる 空間データ 適応管理技術	空間データ管理技術 (三菱電機)	空間データの最適化抽出 20%のデータ量を削減して抽出 (最適に抽出する手法を確立 した後、高速に抽出するための 手法を研究開発する。)	40%のデータ量を 削減して抽出	フリスルー視点表 示のための 空間データの蓄積 (1秒以内に抽出)
	メディア複合技術 (NTTドコモ)	キャプションの自動挿入 (メディア複合の基本部分)	クリックブル オブジェクトの 自動挿入	属性データ表示 高速化(1秒以内)
モバイル端末向け の空間データの 配信技術	空間データ伝送技術 (三菱電機、NTTドコモ)	端末の性能や視認性の違いに 対応(空間データ伝送の基本部分)	伝送路の違い に対応	伝送路の状態の 変化に対応
	配信データ圧縮技術 (三菱電機)	テキストデータを1/2程度に圧縮 (圧縮可能なテキストの範囲を限定し て基本的な圧縮技術を確立)	テキストデータを 1/100程度に圧縮	伝送路特性の違い に対応した圧縮
実証実験 (三菱電機、NTTドコモ、パスコ)		個別の研究項目毎の検証	観光案内を想定とした マンナビゲーション の実証実験	防災救援を想定とした 総合的な実証実験

図 2 各技術開発項目に対する年次目標

以下に、各技術項目について、上記の目標に対する3年間の研究開発の成果をまとめる。

3次元GISデータの圧縮技術

航空機で取得したレーザデータおよび画像データを、通信衛星を利用してリアルタイム伝送することを想定し、データの圧縮技術を開発した。

圧縮率は、レーザデータに対し10%以内、パングロマチック画像に対し1.1%以内、カラー画像に対し2.2%以内という、当初目標を上回る数値を達成し、3Mbpsの実効伝送速度においてリアルタイム伝送が可能となる水準を確保した。

また、このデータを利用した建物変化検出を試み、災害時の被害把握へ適用可能であることを確認した。

空間データ管理技術

3次元グラフィックス表示性能がデスクトップPCと比べて低く、また伝送速度が限定されるモバイル端末への3次元地図の配信、表示を可能とするために、サーバに蓄積した空間データから必要な空間データだけを迅速に抽出し、配信する空間データ管理技術を開発した。

開発した技術は、必要な景観情報を残しつつ配信する空間データ量を1/10程度に削減することが可能であり、当初の目標を上回った。また、データ抽出に要する時間は1秒以内という当初の目標を達成した。

メディア複合技術

3次元グラフィックスの高速表示機能を備えていない端末に対して、映像データに変換した空間データと、これに関連付けした各種マルチメディアデータを最適に組み合わせ呼び出し可能とする技術を開発した。

具体的には、キャプション機能、クリックオブジェクト機能、周辺景観確認機能、3Dプレビュー機能を開発し、有効性を確認した。また、高速なレスポンスを実現するための先読み方式を開発し、当初目標としたレスポンス時間を達成した。本技術は、携帯電話を利用した歩行ナビゲーション等へ適用可能である。

空間データ伝送技術

伝送路容量や端末の性能に応じて最適な配信の方式を選択し、端末に対して効率的にデータを伝送する技術を開発した。具体的には、近景は3次元モデル、遠景は静止画で表現し、両者を組み合わせて伝送する伝送方式を開発し、端末に応じて自動的に3次元モデルと静止画の割合を変えることにより端末に適した伝送方法を選択可能であることを確認した。

本方式により、伝送路容量や端末の性能が異なるさまざまなモバイル端末が混在する環境でも適切に伝送方法を選択し安定して空間データを伝送・表示することが可能となる。

配信データ圧縮技術

3次元GISデータに多量に含まれるテクスチャを対象とし、3次元表示における視認性を維持したまま、テクスチャのデータ容量を1/100以下に削減することを目標とし、テクスチャデータの構造化圧縮伝送方式を開発した。本方式は、建物側面テクスチャを窓・看板・出入り口などの構成要素に分解し、種類と表示属性および構成情報を伝送、端末側で部品画像を用いてテクスチャを再構成する方式である。試作・検証の結果、目標の圧縮率を達成した。

実証実験

研究開発した技術の有効性の検証と課題・ニーズの抽出を目的に、典型的な応用を想定した実証実験を実施した。平成16年度は、店舗案内を想定した実証実験を実施し、また、平成17年度は防災を想定した実証実験を実施した。

実証実験により、開発した技術の有効性を確認することができた。また、実用化に向けての課題やニーズが明らかになった。

以上の要素技術の開発および実証実験を通じ、3次元GISをモバイル環境で利用可能とするための基盤技術を確立することができたものとする。今後、本研究開発の成果は、携帯電話を利用した歩行者ナビゲーションや、災害時の移動支援サービスなど、多様な応用への適用が期待される。

以下、第三章では、各研究開発項目について、3年間の研究開発の最終年度である平成17年度の研究開発内容を報告する。また、第四章では、平成17年度に実施した防災を想定した実証実験について詳細を述べる。第五章では、今年度の研究開発成果をまとめるとともに、実用化に向けての課題、および今後の展望についてまとめる。

第三章 研究開発内容

1 3次元 GIS データの圧縮技術

(1) 従来技術

地震等、自然災害発生直後の災害情報取得について、航空写真を始めとしたリモートセンシングデータが大きな注目を集めている。これは、従来の現地調査と比べて、リスクが少なく、迅速かつ広範囲に渡る被害確認が可能であることが理由として挙げられる。航空測量では、地物の高さ情報を取得可能な航空機レーザ測量システム並びにパノクロマチック画像、RGB カラー画像等の航空機画像センサが利用される。

現在の被害情報の検出手法は、間接的あるいは直接的な手法^{[1][17]}が用いられている。既存の研究例を挙げると、当初は夜間の生活光などの間接的な手法^[2]によって建物被害が推測されていた。その後、建物被害は画像内の特定の特徴に基づき直接的に検出されるようになった^[3]。単一時期のデータを用いた解析では、災害が発生した後に得られたデータによって被害が検出されるが、多時期のデータを用いた解析では、数回にわたって得られた既存データ、特に災害直前のデータと災害後のデータから被害が検出されるようになった。

これらの手法は、広域被災情報の解析・評価を目的として利用されており、中には衛星写真を用いたものや、複数の手法を組み合わせている^[4]ものがある。また、より詳細な結果を得るために、レーザ測量データ^{[5] [6]}、航空機画像、レーザ測量データと空間データの組み合わせ^[7]のように、様々なデータが用いられる手法も存在する。しかし、これらの手法はリアルタイムでの解析・評価が不可能である。

さらに、従来の手法では画像間での倒壊建物検出に焦点を当てているが、様々な要因から、十分な効果を得ることが出来ない。また、オルソ画像の特徴点对建物ポリゴンデータや、DSM 対 DSM などの手法を利用する場合は、データ処理時間が非常に長いため、航空機が飛行している間に処理を終えることが出来ない。そこで本研究では、航空機上でリアルタイム伝送が可能な圧縮率、圧縮時間を実現する処理、および災害情報の取得に対して有効性の高い解析方法について検討・開発を行った。

(2) 研究開発内容

本研究で 3 次元 GIS データの圧縮技術を開発する目的は、台風や津波などの自然災害、特に地震災害による都市建造物の変化を迅速に検出することである。災害が発生した場合、情報の取得を迅速に行うことが効率的な救助および二次被害防止につながるため、正確かつ信頼性の高い被災情報が早急に必要となる。

被災情報の収集には、高い解像度で広範囲の情報を取得できる航空機リモートセンシングが有効である。この際、緊急性に対応するために、航空機からの撮影と並行して地上へ向けてリアルタイムで伝送を行い、地上で速やかな情報解析を行うことが望ましい。しかし、航空機リモートセンシングは有用な情報

を提供することが出来る一方、転送帯域が十分でなく、伝送の対象となる 3 次元データの容量は膨大であるため、既存通信手段ではリアルタイム伝送を行うにあたり、データ圧縮が必須となる。よって、航空機上で取得した 3 次元データを、既存の通信手段で、リアルタイム伝送を行うことができる容量にまで圧縮する技術が必要となる。システムの全体概要図を図 1-1 に示す。

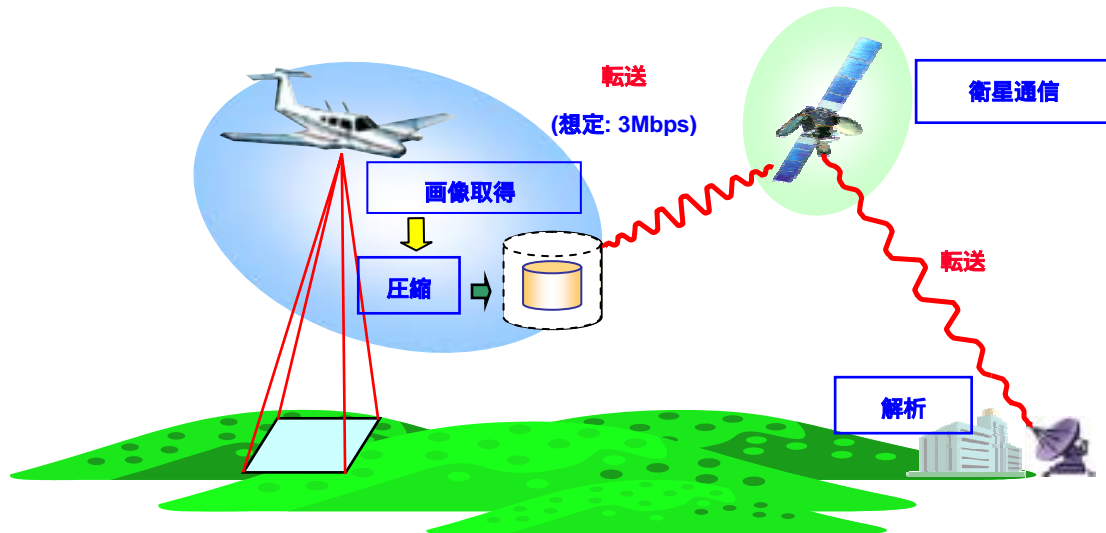


図 1 1 システムの全体概要図

ここでは、航空機レーザ測量システムおよび航空機画像センサにより取得された 3 次元データの圧縮技術に関し、平成 17 年度の研究報告を行う。なお、本文で述べている 3 次元データとは、航空機に搭載した計測器により取得したデータを表現したものであり、後述の「航空機レーザ測量システム」、もしくは「航空機画像センサ」により取得されたデータを指し示す。

平成 17 年度の研究開発では、高層ビル街・住宅地域・緑地を含む 100km² のデータで、衛星通信を利用した伝送を想定すると、パנקロマチック画像は圧縮率約 1.1%以下、カラー画像は圧縮率約 2.2%以下とすることを目標とする。また圧縮処理時間の目標はリアルタイムとする。

さらに、レーザ測量データとパנקロマチック画像とを用いて、既存の建物 3 次元 CAD データを利用し、建物変化検出の実験を行った。

ア 航空機画像センサ取得空間データの圧縮

(ア) 概要

航空機画像センサで取得されるデータは、パנקロマチック画像とカラー画像の 2 種類がある。パנקロマチック画像は、同条件で取得したカラー画像と比較すると地上解像度が高いため、高精度な地物情報が取得でき、一方カラー画像は色情報を有するという点で視認性に優れている。

パנקロマチック画像は、航空機上で画像から地上構造物の特徴情報を取得し、そのデータを伝送することによって地上で既存の構造物情報と比較し、構造物情報が変化した箇所を取得する目的で利用する。

カラー画像は、パングロマチック画像の情報では把握しきれない地上の変化を、目視によって確認する目的で利用する。

(イ) 使用画像データ

航空機搭載デジタルセンサが商用化されて数年が経過しており、国内でも数種のラインセンサ、エリアセンサが稼働している状態である。デジタルセンサの特徴は一貫したデジタル処理と、これによる自動化処理を可能としている点である。本研究開発では複合型のラージフォーマットデジタルエリアセンサ ULTRACAMD により対象エリアの高解像度画像データを取得した。

ULTRACAMD 画像は従来の航空写真と同じ中心投影幾何を持ち、APPLANIX 社の直接定位システム POS と連動しており、高精度な外部標定要素を取得可能である。また、非常に短いシャッター間隔での撮影が可能であるため、高密なオーバーラップを持つ画像の取得が可能となり、オクルージョンの軽減に寄与する。さらに高解像度の撮影が可能で、R、G、B および近赤外画像も同時取得することができる。R、G、B および近赤外画像の取得範囲はパングロマチック複合画像とほぼ同じ範囲となる。地上解像度はパングロマチック画像の地上解像度に対して約 3.6 倍の粗さとなる。ULTRACAMD は主に大縮尺図化作業及びオルソ画像の作成を中心に活用されている。表 1-1 と 1-2 はそれぞれ本研究に使用された ULTRACAMD デジタルセンサの仕様と画像の取得諸元を示す。また、図 1-2 と 1-3 はそれぞれ飛行機の中に搭載された ULTRACAMD デジタルセンサの様子とセンサユニットを示す。

表 1 1 ULTRACAMD センサ仕様

センサ形式	複合エリアセンサ
焦点距離:パングロマチック マルチスペクトル	101.40mm
	28mm
画角(飛行直角方向/飛行方向)	55°/37°
画素数:パングロマチック マルチスペクトル	11,500 × 7500
	4008 × 2672
ピクセルサイズ	9 μ m
色深度	12 bit
データ容量	1TB
最大記録可能面積	2700(ノーマルモード)
	1850(非圧縮)

表 1 2 本研究に使用した画像の取得諸元

対象地域	東京丸の内	平均地上解像度	20cm(パンクロ)
撮影年月日	2005 年 4 月	対地高度	2222m
画像サイズ	11,500 × 7,500 ピクセル	オーバー・サイドラップ	80%



図 1-2 飛行機に搭載された ULTRACAMD

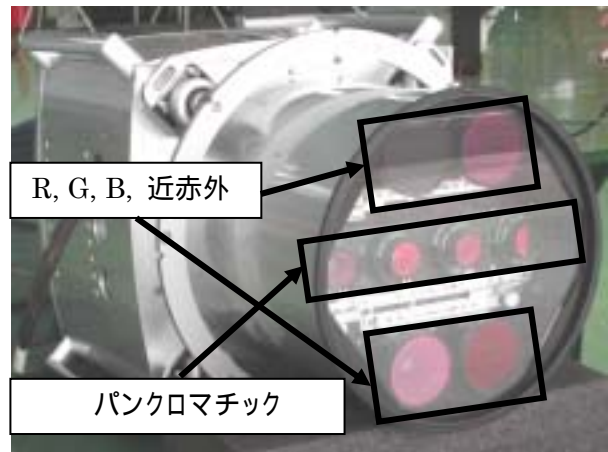


図 1-3 ULTRACAMD センサユニット

(ウ) パンクロマチック画像の圧縮

A 機上処理の概要

機上にて、リアルタイム伝送可能な容量に圧縮するにあたり、地上構造物のエッジ(境界線)、すなわち特徴情報を取得する必要がある。特徴情報は、建物などの地上構造物形状を表す重要な情報である。画像から特徴情報のみを抽出することにより、情報量を維持しつつ、データ量を大幅に減少させることが可能となる。

機上での処理能力や時間の制限を考慮して、機上処理は次の必要事項を満たす必要がある。

- (1) 処理は短時間であること
- (2) 転送するための最終データはサイズが小さいこと
- (3) 情報量が可能な限り保有されること

航空機画像はデータ量が非常に大きいため、タイル単位での処理が用いられる。図 1-4 に機上処理のフローチャートを示す。

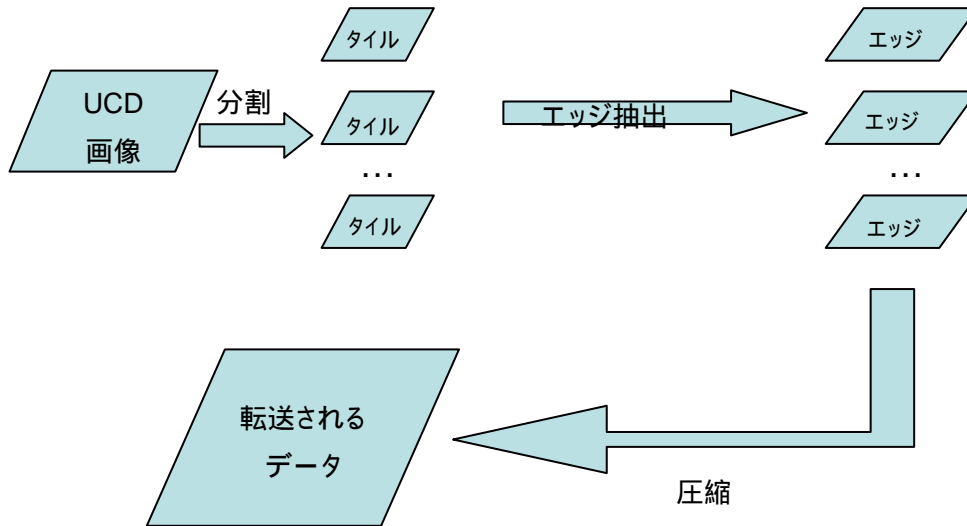


図 1 4 機上処理工程

B 画像の前処理

画像のコントラストを高めるため、ヒストグラム平滑化を行う。この処理を行う目的は、全体の輝度スケールにおいて輝度レベル分布が等しい画像を生成するためであり、コントラストを最大輝度値付近から最小輝度値付近まで広げることが可能である。ヒストグラム平滑化は次のように実行される。

- (1) $N \times M$ (縦×横) の G 階調 (一般的には 256) のグレイスケール画像において、値 0 で初期化された長さ G の配列 H が生成される。
- (2) 画素 p において輝度レベル g_p の場合、 $H[g_p]=H[g_p]+1$ が実行される。これにより画像ヒストグラムが作成される。この処理を全ての画素に対して行う。
- (3) 累積画像ヒストグラム H_c の作成
- (4) $H_c[0]=H[0]$
 $H_c[p]=H_c[p-1]+H[p]$ ($p=1,2,\dots,G-1$)
- (5) $T[p]=\text{round}((G-1) \cdot H_c[p] / (N \cdot M))$
- (6) 輝度レベルの変換 $g_q=T[g_p]$ が行われる。

図 1-5 に、平滑化前後のヒストグラムを示す。

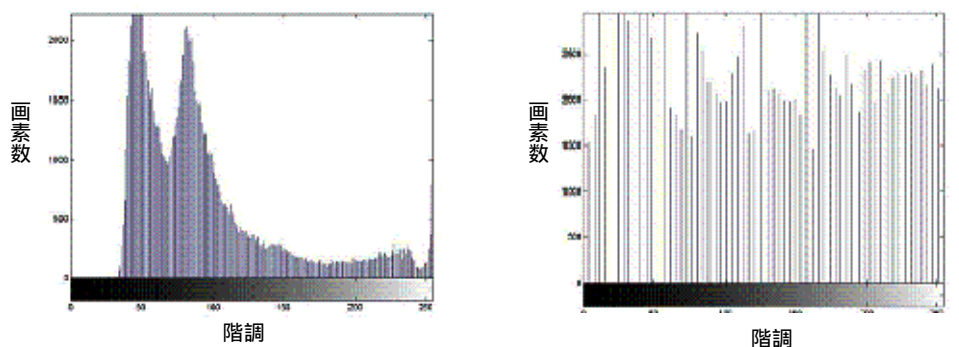


図 1 5 平滑化前(左)及び平滑化後(右)のヒストグラム

C タイル単位での処理

下記の理由により、タイル単位での処理が行われる。

- (1) 航空機画像の異なるパート間のコンディション、特に平均輝度値は大きく異なる。したがって、1 つの画像を全体の処理単位として扱うことは適切ではない。
- (2) 約 180MB のサイズを有するパナクロマチック画像を対象に、特別な手法を利用せず処理を行う場合、一般的なコンピュータではメモリの消費が大きすぎる。
- (3) タイル単位での処理は並列処理が容易であり、マルチ CPU コンピュータの能力を最大限利用することが出来る。

図 1-6 で示すように、画像は境界付近がオーバーラップするようにタイルのセットで分割される。次に、それぞれのタイルにおいて特徴点が抽出される。

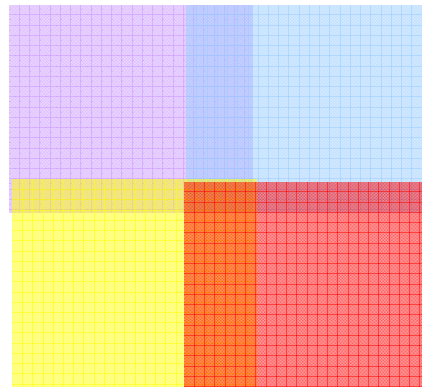


図 1 6 タイル単位での処理

D エッジ抽出

エッジ抽出処理は、不要な情報を削除することでデータ量を大幅に削減しつつ、画像内の構造的な特性を保存する手法であり、本研究において重要な役割を担っている。今までに多くのアルゴリズムが開発されているが、最も一般的に利用されており、優れた手法である Canny エッジ抽出アルゴリズム^[12]を用いてエッジ抽出を行う。

Canny エッジ抽出は様々な処理技術を導入することで開発されたアルゴリズムであり、次の特徴を持っている。

- (1) エッジ検出率の精度が高い。
- (2) 検出されたエッジの位置精度が高い。
- (3) 1つのエッジ領域に対して1つのエッジ抽出しかない。

Canny エッジ抽出は、複数の処理段階で構成されており、その処理の流れは次のようになる。

- (1) ガウシアンフィルタを用いた画像の平滑化 (image smoothing)
- (2) 微分処理 (differentiation)

- (3) 非最大値の除去 (non-maximal suppression)
- (4) 閾値によるエッジ抽出 (edge thresholding by hysteresis) の設定

Canny エッジ抽出フィルタの効果は、平滑化の際に用いられるガウシアンマスクの幅 (sigma)、エッジ抽出の際に用いられる上限の閾値 (high threshold) 及び下限の閾値 (low threshold) の 3 つのパラメータによって決定される。

ガウシアンフィルタを用いた画像の平滑化により、ノイズを減少することができるが、ガウシアンマスクの幅を大きく設定すると、画像情報の喪失が大きくなってしまいう上に、検出されたエッジの位置誤差も増加する。

ヒステリシス閾値は、エッジを確定するための上限と下限の閾値を設定することで、エッジ抽出の精度を高めるとともに、詳細なコントロールを可能にする。下側の閾値より画素値が小さい場合は、非エッジとし、上側の閾値よりも画素値が大きい場合は、エッジと判断する。また、2 つの閾値の間に値がある場合は、対象画素の近隣画素を探索して、エッジ画素と繋がる場合はエッジと判断し、繋がらない場合は非エッジとする。

通常は良い結果を得るために、上限の閾値は非常に高く、下限の閾値は非常に低く設定する。これは、下限の閾値の設定が高すぎるとノイズを含んだエッジを多く抽出してしまい、上限の閾値の設定が低すぎると、誤検出の数が増加してしまうからである^[16]。

Canny 法によって抽出されたエッジに対して、細線化処理として数学的モルフォロジ手法が用いられる。これは、図 1-7 で示されるように”L”と”E”の構造要素系列の変化を用いることにより、細線化を行うというものである。

図 1-8 にパンクロマチック画像、図 1-9 にエッジ抽出画像を示す。

0	0	0
*	1	*
1	1	1

*	0	0
1	1	0
*	1	*

.....

A. “L”構造要素

(他の6つの構造要素は回転により得られる)

*	1	*
0	1	0
0	0	0

0	*	*
0	1	0
0	0	0

.....

B. “E”構造要素

(他の6つの構造要素は回転により得られる)

図 1 7 エッジ細線化に用いる構造要素

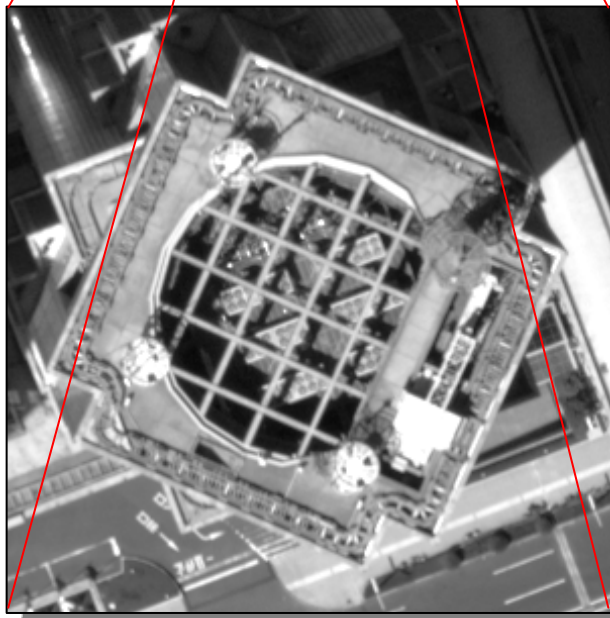


図 1 8 パンクロマチック画像



图 1 9 特征抽出画像

E 圧縮手法の概要

パנקロマチック画像から抽出された特徴データは、その多くが建物の輪郭を表しているという特性がある。画像中の特徴情報だけを取り出した場合、画像データと比較してデータ量を削減でき且つ必要な情報を過不足無く保存することができると考えた。ここで、輪郭情報が直線の組み合わせであることに注目すると方向と長さを持つベクトル型のデータで表現することができることから、ベクトル情報を圧縮データとして保存する。圧縮手法の概念図を図 1-10 に示す。

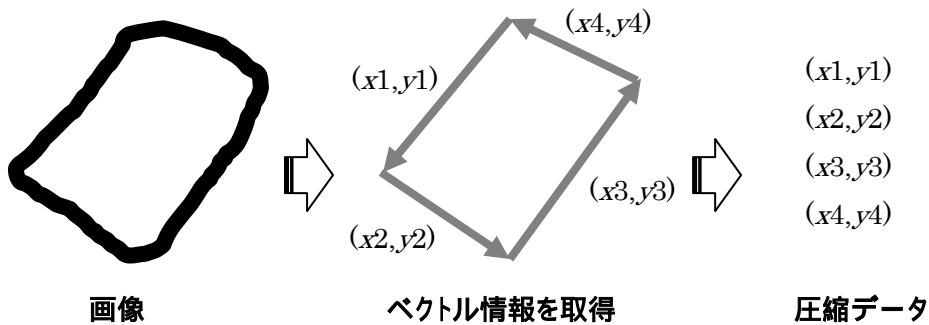


図 1 10 圧縮手法の概念図

平成 16 年度の研究開発では、特徴情報をベクトルデータに変換して符号化を施すことで 4.89%の圧縮率に到達した。平成 17 年度の研究開発では、データフォーマットの再検討と特徴情報の取捨選択により圧縮率の向上をはかった。

F 目標圧縮率の設定

航空機からのデータ伝送は、6Mbps の衛星通信を想定し実質伝送効率を 50%つまり 3Mbps の伝送速度であると仮定する。リアルタイム伝送を想定した場合、次の画像が撮影されるまでの間に伝送処理が完了することを条件としたことから、伝送可能データ量は撮影間隔によって算出され、撮影間隔は航空写真間のオーバーラップ率によって決定される。パנקロマチック画像の利用は、抽出した特徴データをリアルタイム伝送する以外に通常の利用も考慮したことから、撮影機材の仕様によりオーバーラップ率は約 80%とした。この時の撮影間隔は約 5.4 秒となる。したがって、伝送可能データ量は約 1.93MB となり、この時の圧縮率は約 1.17%と算出される。

G データフォーマットの再検討

(A) 輪郭始点座標を差分値に変換

1 つの輪郭データは、「色情報」、「輪郭開始 x 座標」、「輪郭開始 y 座標」、「輪郭座標」から構成されている。このうち、平成 16 年度の研究開発では、「輪郭開始 x 座標」、「輪郭開始 y 座標」を画像データの絶対座標値で保存していた。そこで平成 17 年度の研究開発では、両輪郭開始座標を前の輪郭からの相対座標とすることで、データ量を削減し圧縮率の向上をはかった。

輪郭の開始座標は、輪郭が画像の何処に位置するのかを定める重要な情報であるが、画像の絶対座標を用いると航空写真のような大きな画像の場合、必然的に大きな値となりデータ量を増大させることと

なる。輪郭の開始座標を相対座標とする事により、最大でもその値は絶対座標と同じであり、輪郭が密になればなるほど相対座標値は小さくなることからデータ量を削減できると考えた。

図 1-11 は、輪郭開始座標を絶対座標とした場合の模式図である。図 1-12 は、輪郭開始座標を相対座標とした場合の模式図である。青い線で表した輪郭開始座標までの距離の合計を比べると、相対座標のほうが絶対座標の場合より短くなっていることを表している。

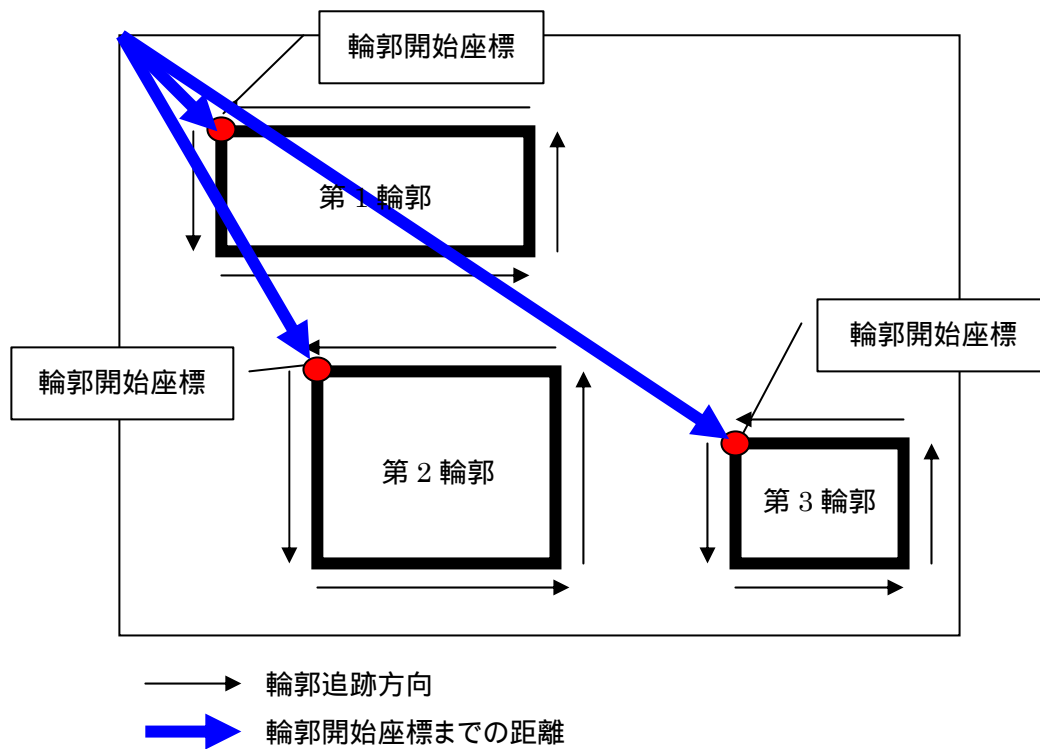


図 1 11 絶対座標の模式図

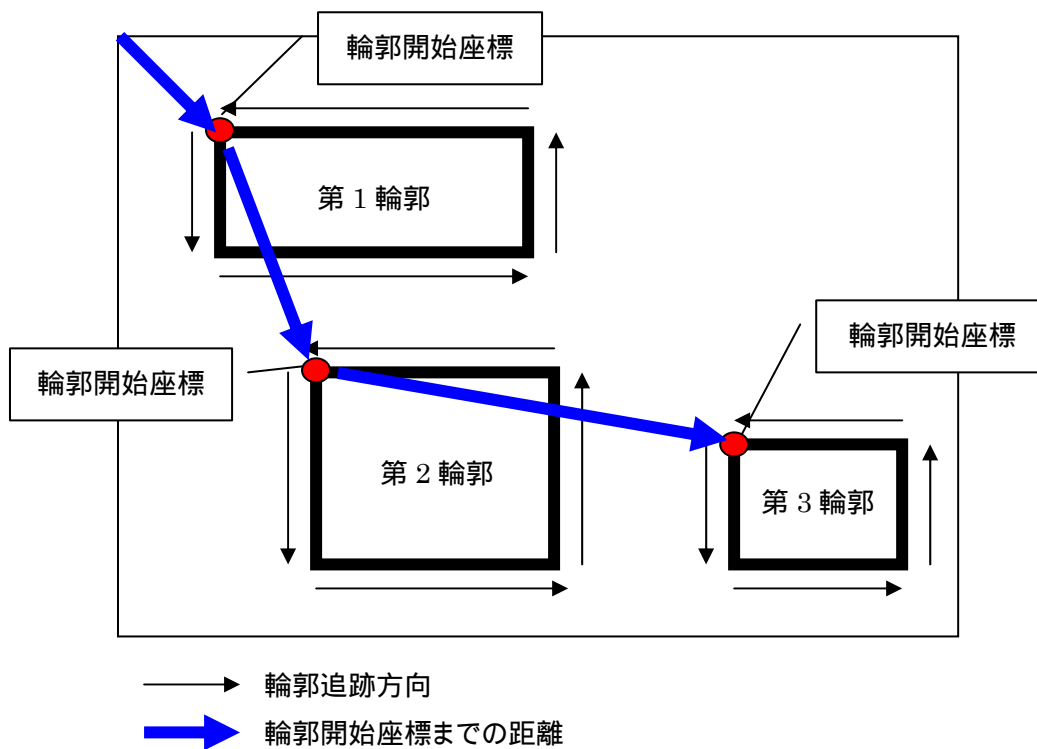


図 1-12 相対座標の模式図

(B) ベクトルデータの最適化

ベクトルデータは、各輪郭データ内の座標間で(x, y)の差分を計算したものである。平成 16 年度の研究開発では、1 画素以上のベクトルデータ作成では水平方向・垂直方向の単純なものは可能であったが、1 画素以上の斜め方向のベクトルデータ作成には至っていなかった。そこで平成 17 年度の研究開発では、1 画素以上の斜め方向ベクトルデータを作成することによってデータ量を削減し圧縮率の向上をはかった。

1 画素以上の斜め方向ベクトルデータを作成することにより、単純にベクトルデータのデータ量を減らすことができる。例えば、斜め 45 度に 3 つの輪郭データが 1 画素毎に存在した場合、これまでは 2 つのベクトルデータが必要であったが、1 画素以上の斜め方向ベクトルデータでは 1 つのベクトルデータとなり、斜め方向ベクトルデータ量は半減する。

図 1-13 に斜め方向ベクトルデータ改良の模式図を示す。

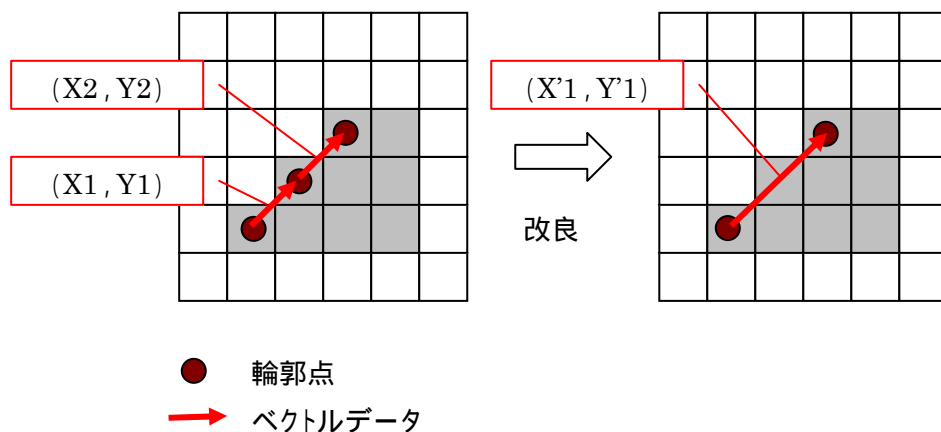


図 1 13 斜め方向ベクトルデータの模式図

(C) データ種別毎にまとめて符号化

一般的に、符号化処理は同じデータパターンが連続して続くほど圧縮率が高くなる傾向がある。そこで圧縮フォーマットの中で同じ様なデータ性質を持つ部分を抜き出してデータ群を作成し符号化を行うことで圧縮率の向上をはかった。

ここでは、4つのデータ群、つまり「色情報」、「開始 x 座標」、「開始 y 座標」、「輪郭座標」を作成し、この順序でデータ群を結合し圧縮処理を施した。

図 1-14 に各輪郭情報からデータ群を作成、圧縮データ作成までの模式図を示す。

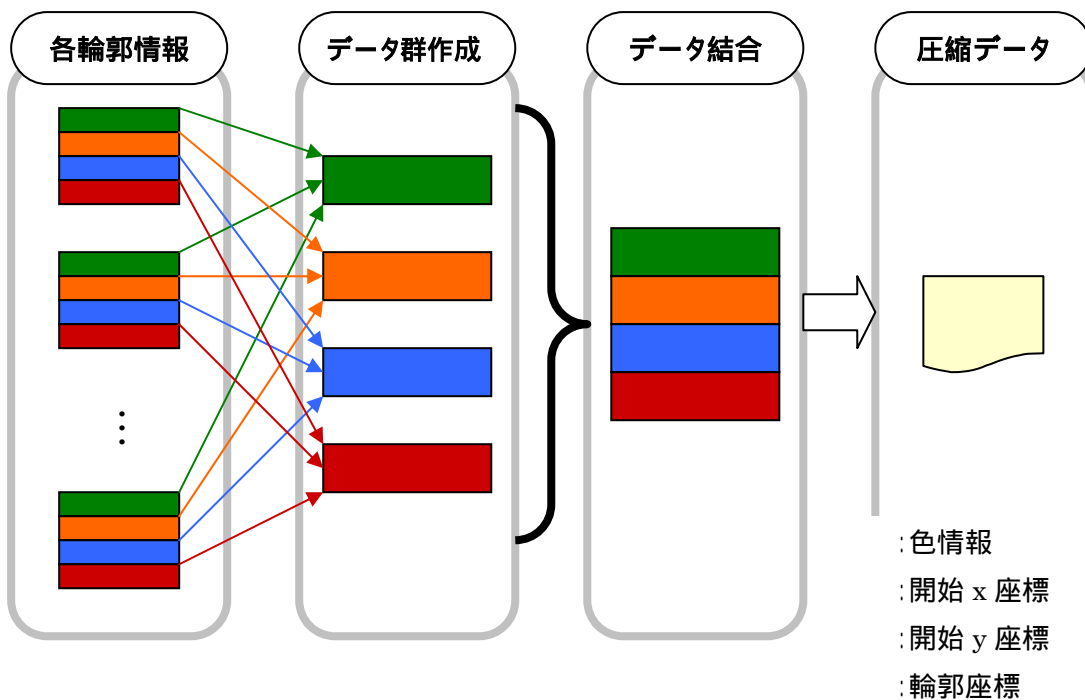


図 1 14 データ群から圧縮ファイル作成の模式図

H 微小特徴情報の削除

パナクロマチック画像から生成された特徴情報には、既存の構造物情報と比較する際に直接関係の無いと考えられるごく小さなものが含まれている。そこで、微小な特徴情報をデータ圧縮時に削除し不要な輪郭情報の生成を回避することで伝送されるデータ量を直接削減し圧縮率の向上をはかった。

ここで、ごく小さな特徴情報とは画像上に数画素で構成されるものであり、輪郭データを作成するとき画素数を計算することにより削除するかどうかを判断できる。

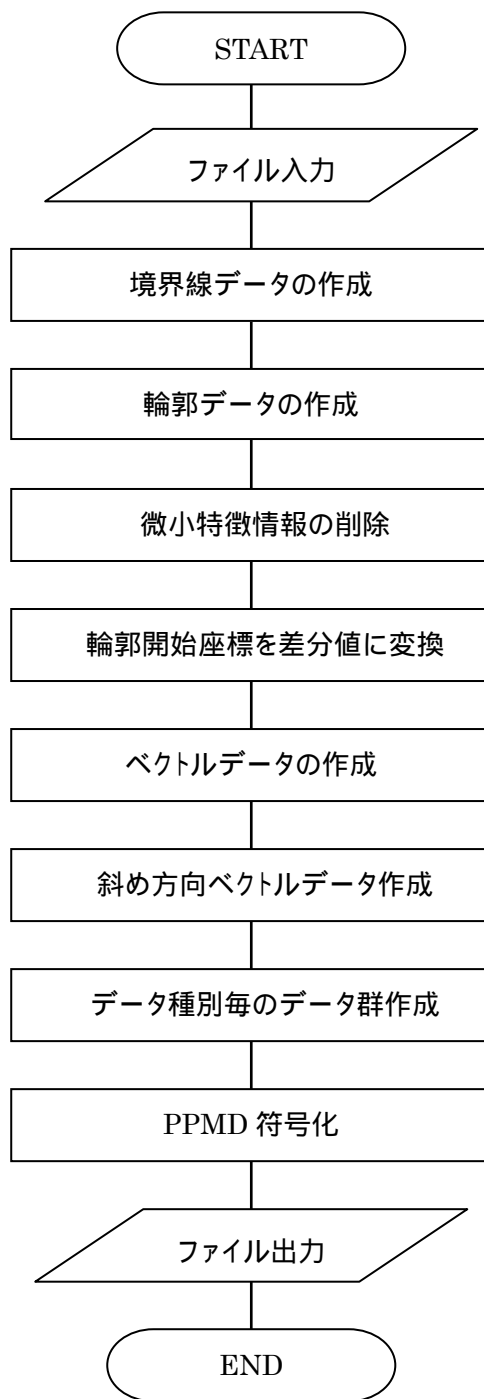
図 1-15 に微小な特徴情報を削除した場合のサンプル画像を示す。



図 1 15 微小な特徴情報を削除したサンプル画像

I 圧縮データ作成フロー

特徴データの圧縮方法のフローチャートを図 1-16 に示す。

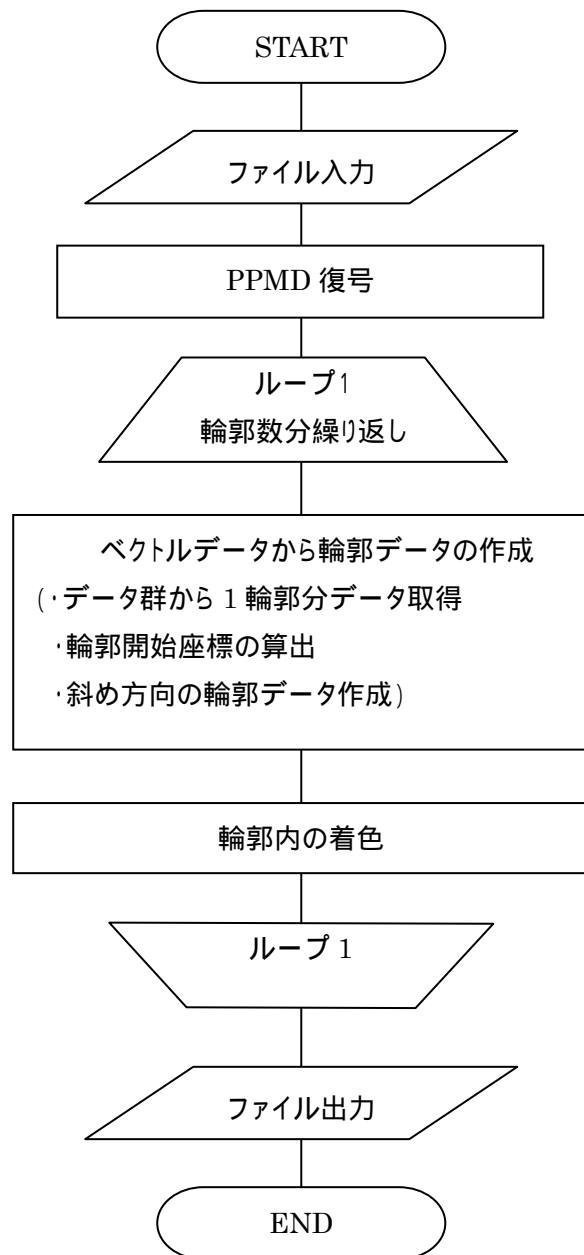


平成 17 年度改良箇所

図 1 16 圧縮フローチャート

J 復元データ作成フロー

特徴データの復元方法のフローチャートを図 1-17 に示す。



平成 17 年度改良箇所

図 1 17 復元フローチャート

K 圧縮結果

航空機上で取得されたサンプル画像を上記手法により圧縮した結果を表 1-3 に示す。表中のパンクロマチック画像の項目は、航空機上で取得した画像データのオリジナルデータ量である。特徴抽出データ項目は、オリジナル画像から特徴抽出した画像データのデータ量である。また改良圧縮フォーマット項目は、特徴抽出データにデータフォーマットの改良を適用した結果である。最後の微小特徴情報の削除項目は、データフォーマットの改良を適用したものに特徴情報の削除をさらに適用した結果である。参考のために平成 16 年度の圧縮結果を表 1-4 に示す。

表 1 3 圧縮結果

	データサイズ	パンクロマチック画像からの圧縮率
	バイト	%
パンクロマチック画像(16bit)	172,500,000	100.00
特徴抽出データ(8bit)	86,250,000	50.00
改良圧縮フォーマット	2,697,767	1.56
微小特徴情報の削除	1,307,514	0.75

表 1 4 平成 16 年度の圧縮結果

	データサイズ	パンクロマチック画像からの圧縮率
	バイト	%
平成 16 年度の圧縮結果	8,435,398	4.89

特徴抽出データから輪郭情報を抽出しベクトル型のデータ構造を適用させて改良した圧縮アルゴリズムで圧縮した結果、データサイズは約 2.5MB となり、パンクロマチック画像から 1.56%に圧縮することができた。さらに微小特徴情報を削除した場合、データサイズは約 1.2MB となり、パンクロマチック画像から 0.75%に圧縮することができた。

次に、100km²を撮影したデータについて圧縮実験した結果を示す。平均データサイズ及び平均圧縮率は、各ファイルのデータサイズ又は圧縮率の算術平均である。表 1-5 に該当範囲について行った圧縮実験結果を示す。表 1-6 は、改良圧縮フォーマットと微小特徴情報の削除項目の圧縮率について、最大値と最小値を示している。

表 1 5 100km²のデータ圧縮結果

	平均データサイズ	平均圧縮率
	バイト	%
パングロマチック画像(16bit)	172,500,000	100.00
特徴抽出データ(8bit)	86,250,000	50.00
改良圧縮フォーマット	3,505,774	2.03
微小特徴情報の削除	1,409,901	0.82

表 1 6 改良圧縮フォーマット及び微小特徴情報削除項目の圧縮率の最大値・最小値

	圧縮率の最大値	圧縮率の最小値
	%	%
改良圧縮フォーマット	2.33	1.74
微小特徴情報の削除	1.67	0.64

広域な撮影データで同様の圧縮を行った結果、改良した圧縮アルゴリズムを適用した場合、平均データサイズは約 3.3MB となり、パングロマチック画像から 2.03% に圧縮することができた。さらに微小特徴情報を削除した場合、データサイズは約 1.3MB となり、パングロマチック画像から 0.82% に圧縮することができた。微小特徴情報を削除したデータの圧縮率の最大値は、1.67% であり、最小値は 0.64% であった。

リアルタイム伝送に必要な圧縮率は 1.17% であるが、今回の圧縮実験で微小特徴情報を削除することにより圧縮率 0.82% を達成していることから必要な圧縮率を満たすことができた。微小特徴情報の圧縮率の最大値は、1.67% でリアルタイム伝送に必要な圧縮率に満たないが、これは、全ファイル中 1 ファイルのみの結果であり、その他のファイルは全て 1.1% 以下であることから特殊なケースと考えられる。画像を確認した結果、河川部分を多く含む画像であり、水面を複雑な輪郭として取得していることがわかった。伝送時には、多少の遅れが発生するが、他のデータが高圧縮なため、その遅れを取り戻すことは十分に可能である。

L リアルタイム伝送

パנקロマチック画像のリアルタイム伝送は、並列処理とパイプライン処理により実施する。パイプライン処理のために処理工程を次の4つに分割した。1つ目はパנקロマチック画像から特徴情報を抽出する処理、2つ目は抽出された特徴情報を確定する処理、3つ目は確定された特徴情報を圧縮する処理、最後は圧縮されたデータを伝送する処理である。

各処理工程は、パנקロマチック画像の撮影間隔内の時間で処理を行うものとする。つまり、1枚目の撮影終了から2枚目の撮影までの間に1枚目の特徴情報の抽出処理を行い2枚目と3枚目の撮影の間に1枚目の特徴情報の確定をし、3枚目と4枚目の撮影の間に1枚目の圧縮処理をし、4枚目と5枚目の撮影の間に1枚目の伝送処理を行う。2枚目の処理は、撮影終了と同時に1枚目と同様に処理をする。3枚目以降もこの処理工程を繰り返す。このようなパイプライン処理をすることで撮影された画像をほぼリアルタイムで地上に伝送することができると考えた。

撮影間隔は、圧縮率の設定の際に5.4秒と設定した。この時間内に各処理工程が終了することを確認するために、高層ビル街・住宅地域・緑地を含む100km²を撮影したパנקロマチック画像を用いて時間計測を行った。表1-7に計測に用いたマシンの概要を示す。また計測結果を表1-8に示す。

表1-7 計測マシンの概要

計測マシン概要	
製品名	Dell PRECISION 650
CPU	Intel Xeon 2.80GHz
RAM	4GB
OS	Windows 2000 Professional

表1-8 各処理工程の平均処理時間

処理工程	平均処理時間
	秒
特徴情報の抽出処理	4.87
特徴情報の確定処理	1.93
圧縮処理	2.43
伝送処理	2.06

各処理工程の平均処理時間をみると、全ての処理工程で撮影間隔の5.4秒より短い時間で処理が終了していることが確認できた。また、最大値も5.4秒を超えなかった。特徴情報の抽出処理以外は、非常に処理が高速であり、2番目と3番目もしくは3番目と4番目の処理を1つの処理工程にまとめても撮影間隔5.4秒を満たすことがわかった。処理をまとめることにより、伝送時間は1工程分短くなり、そのため圧縮伝送システムの規模は4工程のときよりも小さくなると考えられる。工程が少なくなることによる時間短縮の効果は、航空機が数時間の撮影を行うことを考えると非常に小さいものであると考えられる。

M まとめ

パנקロマチック画像の圧縮においては、地上構造物の特徴情報を取得し、ベクトル型データにデータ変換し、エントロピー符号化を施すことで衛星通信を想定した無線伝送が可能なデータ量に圧縮する技術を確立した。今回はオーバーラップ率を80%に設定しているが、オーバーラップ率60%程度の設定であれば、微小な特徴情報を削除すること無しに特徴情報を無線伝送することも可能である。

また圧縮時間については、並列処理とパイプライン処理を行うことでリアルタイム処理は可能である。

特徴情報画像は撮影されたパנקロマチック画像と比べて情報量は劣るが、伝送された先でのデータ解析方法により有用な情報を取得することは十分に可能である。

(エ) カラー画像の圧縮

A 圧縮手法の概要

カラー画像は、パנקロマチック画像で把握しきれない地上構造物の変化を目視確認することを目的として利用する。平成 16 年度の研究開発では、航空機上のデータを最適化し、非可逆圧縮を施すことで 4.83%の圧縮率を達成した。

カラー画像には非可逆圧縮を採用したが、この場合、圧縮パラメータの設定により圧縮率を向上させることができる。しかしながら、圧縮率と画像の品質はトレードオフの関係にあるため、圧縮率を上げるに伴って画像の品質は劣化してしまい、リアルタイム伝送ができるデータサイズに圧縮したとしても画像の内容が不鮮明になってしまう可能性がある。

B 目標圧縮率の設定

本研究で利用する画像センサでは、カラー画像とパנקロマチック画像が同時に撮影されるため、撮影条件は同様の内容となる。取得データ容量との関係から、リアルタイム伝送に必要な圧縮率は 2.2%以下となる。

C 圧縮結果

平成 16 年度の研究成果より、階調補正および不要チャンネルの削除を行うことで最適化したデータに対して、圧縮パラメータを設定することで、目標圧縮率である 2.2%以下となるデータサイズに圧縮を行った。

表 1-9 は 100km²を撮影したデータについて行った圧縮実験の結果である。表 1-10 は、撮影範囲でのカラー画像の圧縮率について、最大値と最小値を示している。

表 1 9 100km²のデータ圧縮結果

	平均データサイズ	平均圧縮率
	バイト	%
カラー画像 (16bit)	70,737,263	100.00
最適化	26,526,474	37.5
画像圧縮 (パラメータ設定)	1,467,115	2.07

表 1 10 圧縮率の最大値・最小値

	圧縮率の最大値	圧縮率の最小値
	%	%
画像圧縮 (パラメータ設定)	2.27	1.98

目標圧縮率である 2.2%を越えたデータは 1 ファイルのみであった。その他のデータは 2.0%前後に分布していることから、全体を通しての伝送は、リアルタイムを達成可能であると判断できる。

D リアルタイム伝送

カラー画像のリアルタイム伝送は、パンクロマチック画像同様、パイプライン処理により実施する。処理工程は、画像データの圧縮処理と、圧縮データの伝送処理の2つとする。

表 1-11 に計測マシンの概要を示す。

表 1 11 計測マシンの概要

計測マシン概要	
製品名	Dell PRECISION 650
CPU	Intel Xeon 2.80GHz
RAM	4GB
OS	Windows 2000 Professional

最適化および画像圧縮までの全工程について確認した結果、平均で約 4.1 秒という結果が得られた。圧縮処理および伝送処理の両工程が、いずれも 5.4 秒以内に終了可能であることから、リアルタイム伝送が可能であると判断できる。

E 画像品質の検証

上述の通り、圧縮率、処理時間ともに目標を達成したが、圧縮率を高めることにより画像品質の劣化が発生した。そのため、この時の画像品質がカラー画像の利用目的に適合しているのかを確認する必要がある。

平成 17 年度の研究開発では、実際の災害時の航空写真を用いて、目視判読により品質の検証を行った。なお目視判読に用いた画像の地上解像度は、平成 15 年度の研究開発から得られた知見により、約 80cm である。解像度 80cm のカラー画像と圧縮した伝送データサイズを満たすカラー画像から、別々に目視判読を行い倒壊建物を抽出し、あらかじめ高解像度の画像から判読しておいた倒壊建物と両者の抽出結果を比較することにより、画質が劣化した画像の有効性の検証を行った。図 1-18 に検証に用いた災害時の航空写真を示す。ここで図中の赤枠は、検証範囲を示している。また、図 1-19、図 1-20 に検証範囲の被災前、被災後の画像を示す。



図 1 18 災害時の航空写真



図 1-19 被災前



図 1-20 被災後

F 目視判読の基準

目視判読による倒壊建物の抽出を行う上で、まず建物の倒壊基準を設定した。倒壊基準は、3つの項目、つまり建物の輪郭・建物の角度・建物の色の变化で定義した。倒壊前の画像と比較して、变化したと判断した項目があれば倒壊建物とした。

図1-21～1-23に各項目の代表的な画像を示す。左は災害前画像、右は災害後の画像である。



図 1-21 輪郭変化



図 1-22 角度変化



図 1-23 色変化

G 倒壊建物基礎情報の取得

目視判読により画像品質の検証を行うにあたり、倒壊建物の正しい抽出結果が必要となる。そこで、高解像度の画像を用いて比較対象となる倒壊建物基礎情報を取得した。図 1-24 は、高解像度の画像から倒壊建物を抽出した結果である。赤枠で囲まれた建物が倒壊と判断されたものである。この結果を抽出率 100%と定義した。



図 1-24 高解像度画像による
倒壊建物抽出結果

H 倒壊建物の抽出実験

次に、解像度 80cm のカラー画像と伝送データサイズを満たすカラー画像を用いて、倒壊建物の抽出を行った。図 1-25 は解像度 80cm のカラー画像での抽出結果であり、図 1-26 は伝送データサイズを満たすカラー画像での抽出結果である。



図 1-25
解像度 80cm のカラー画像による倒壊建物
抽出結果



図 1-26
伝送データサイズを満たすカラー画像による
倒壊建物抽出結果

I 倒壊建物抽出の結果

解像度 80cm のカラー画像と伝送データサイズを満たすカラー画像とで抽出された倒壊建物をそれぞれ高解像度データでの抽出結果と比較し、倒壊建物が正しく抽出されているかどうかの確認を行った。確認方法は、倒壊建物を抽出できていないケースと、実際には倒壊していないのに倒壊していると誤って判断してしまったケースを合計し、高解像度データの倒壊建物数から差し引いて、正しく抽出された建物の割合を求めることとした。その結果を表 1-12 に示す。

なお、高解像度カラー画像は、元々圧縮率とは無関係であるため、“-”とした。

表 1 12 抽出結果

	高解像度カラー画像	解像度 80cm カラー画像	伝送データサイズを 満たすカラー画像
圧縮率(%)	-	15.2	2.1
正解数(棟)	148	104	103
倒壊抽出率(%)	100.00	70.27	69.59

高解像度カラー画像で抽出した 148 棟中、解像度 80cm のカラー画像は、正しく抽出できた割合が 104 棟、伝送データサイズを満たすカラー画像は、正しく抽出できた建物が 103 棟という結果になった。どちらも約 7 割程度の判読率が確認できたことから、伝送データサイズを満たすカラー画像の画質でも倒壊建物の判読は可能であると考えられる。

なお、解像度 80cm のカラー画像と伝送データサイズを満たすカラー画像で両方とも抽出できなかった倒壊建物について確認したところ、屋根に形状変化が認められない建物や小さい面積で密集している建物が多かった。図 1-27 に未抽出の建物についての例を示す。



図 1-27 未抽出倒壊建物の例

上図のように、上側の建物は位置がわずかにずれていることを除き、屋根の被害が確認できない状態である。また、下側の 2 棟についてはわずかに色や角度が変化しているものの、面積も小さく、主だった被害を確認することが難しい。

J まとめ

カラー画像の非可逆圧縮において、目視判読により検証を行った結果、伝送データサイズを満たすカラー画像でも判読性が損なわれておらず、有効性を確認することができた。

ただし、今回利用した画像の地上解像度では倒壊建物の判読は可能であるが、電柱や樹木といった高くて面積が小さい地物による、道路被害の目視判読は不可能である。電柱に関しては、電線の埋設が進められており、将来的には除かれる課題ではあるものの、鉄塔や樹木等による避難経路遮断や物資の輸送経路遮断の課題は残されている。

イ 航空機測量データと既存の建物 3 次元 CAD データの比較による建物変化検出

本研究で開発した圧縮技術を適用することにより、パנקロマチック画像およびカラー画像について、リアルタイム伝送が可能な容量に圧縮できることが確認された。また、レーザ測量データにおいても、平成 16 年度の研究開発にて、リアルタイム伝送が可能な容量に圧縮できることが確認されている。

ここでは、レーザ測量データおよび航空機画像センサのデータを利用した建物変化検出手法について確認する。

建物 3 次元 CAD データ

本研究で使用した建物 3 次元 CAD データはレーザ測量データと 2 次元ベクター地図をベースに構築し、高さ方向誤差 $\pm 15\text{cm}$ 以内を実現している。図 1-28 は建物 3 次元 CAD モデルの生成を示している。



図 1 28 レーザ測量データと 2 次元ベクター地図による建物 3 次元 CAD モデルの生成

建物 3 次元 CAD データの座標系は平面直角座標系(公共座標系)に準拠する。図 1-29 に示したように、データの X 軸は地図における東西の方向を表し、東向きが正方向となる。同様に Y 軸は地図における南北の方向を表し、北向きが正方向となる(旧日本測地系に準拠)。Z 値は東京湾平均海面からの高さとなる(航空機を利用した高精度レーザ測量により直接的に取得した標高値)。また、建物形状データは、建物を構成するポリゴン、およびポリゴンを構成する頂点で定義される形状データである。各建物固有のユニークな ID を持ち、1 棟の建物をひとつのオブジェクト単位とする。

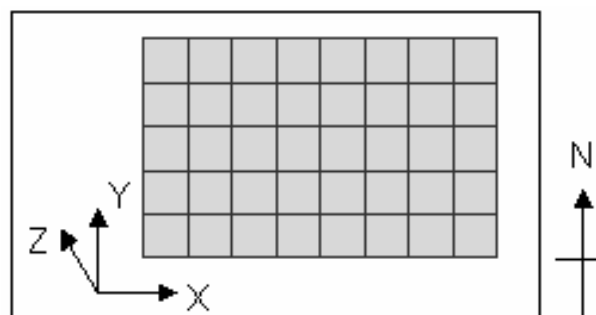


図 1 29 地図の東西南北と、XYZ の関係

検証エリア

検証エリアは東京駅東側とした。選定理由としては、データ範囲内に面積、高さ、形状について比較的多種多様な建物が存在することが挙げられる。検証用の建物 3 次元データを図 1-30 に示す。



図 1-30 検証用建物 3 次元 CAD データ

範囲は航空機画像取得センサにより得られた 1 枚の画像サイズ(約 2.3km×約 1.5km)とした。図 1-31 に検証に使用したパングロマチック画像を示す。



図 1 31 検証範囲

(ア) レーザ測量データを利用した建物変化検出

A 概要

平成 16 年度の研究開発では、レーザ測量データと既存の建物モデルである建物 3 次元 CAD データが持つ高さ情報を比較したが、レーザ測量データの特長上、道路や建物の側面等を計測している可能性があるものも含まれている。そこで、平成 17 年度では建物上部を計測したデータのみを選定する方法を考案した。

B レーザ測量データの検証

(A) 建物領域内に存在するレーザ測量データの特徴解析

平成 16 年度の研究から、レーザ測量データは建物 3 次元 CAD データの高さを正確に比較できないケースが存在することが確認された。そこで、対象建物の高さと同様に対象建物の領域内に存在するレーザ測量データの高さとで確認を行った。

この結果、建物 3 次元 CAD データは、レーザ測量データとの比較時、位置座標が完全に一致しないことによって座標誤差が発生することがわかった。また、建物上部に存在するフェンス等の細かい設置物まで 3 次元化を行っていないことや、建物同士の隙間に入り込んだレーザ測量データが、側面を計測してしまうことによって高さ誤差も発生するため、必ずしも正確な高さを確認できるわけではない。

図 1-32、1-33 は、対象建物が含まれる建物 3 次元 CAD データと、対象建物領域内に存在するレーザ測量データを表示した結果であるが、両者の座標位置がずれているものや、建物上部の高さ誤差、側面計測による高さ誤差を確認することができる。

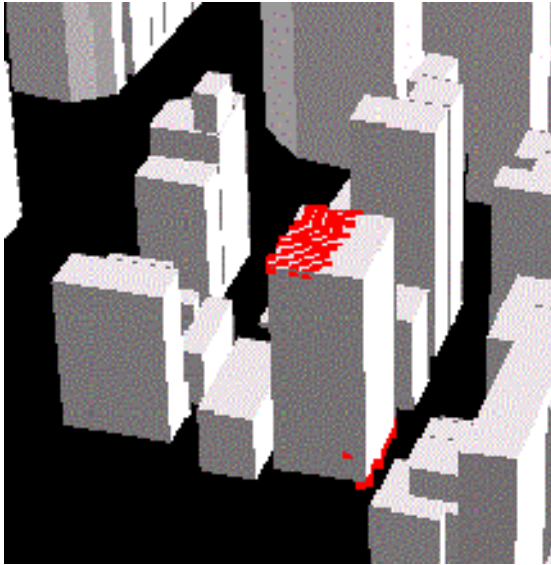


図 1-32 座標のずれによる誤差

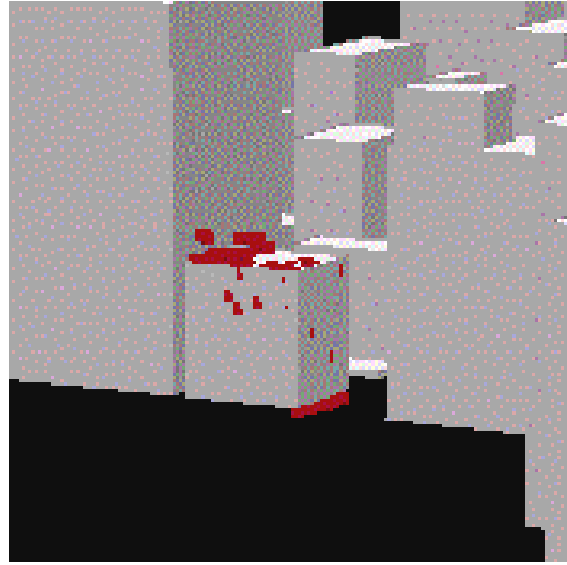


図 1-33 建物上部の詳細変化と建物側面の計測による高さ誤差

上記の問題を解決するため、対象建物の領域内に存在するレーザ測量データの高さについて解析を行った。図 1-34 にある建物領域内に存在するレーザ測量データを、高さについて昇順で並べて作成したグラフを表示する。

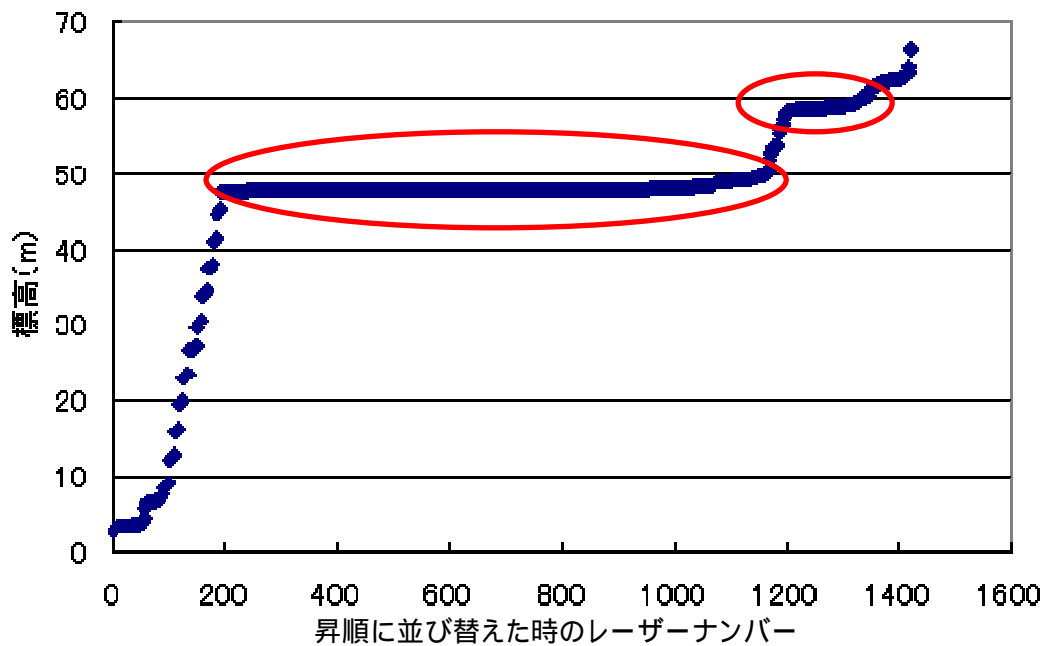


図 1-34 レーザ測量データ標高値

分布状況を解析した結果、図中の赤枠で囲まれた範囲のように標高値が連続している部分がある。建物3次元CADデータが持つ高さと比較したところ、値が近いことから、この部分が建物上部を計測したレーザー測量データであると考えられる。なお、この建物は異なる数値の高さ情報を2つ所持しており、連続している部分も2つであることから、建物3次元CADデータと正しく比較を行うには、これらのレーザー測量データを抽出すればよいと考えられる。

以上の解析結果より、建物上部を計測したレーザー測量データのみを自動抽出する手法を考案した。

(B) 建物上部を計測したレーザー測量データの自動抽出方法

対象建物領域内に存在するレーザー測量データの特性を確認できたことから、図 1-35 のような手順で抽出を行った。

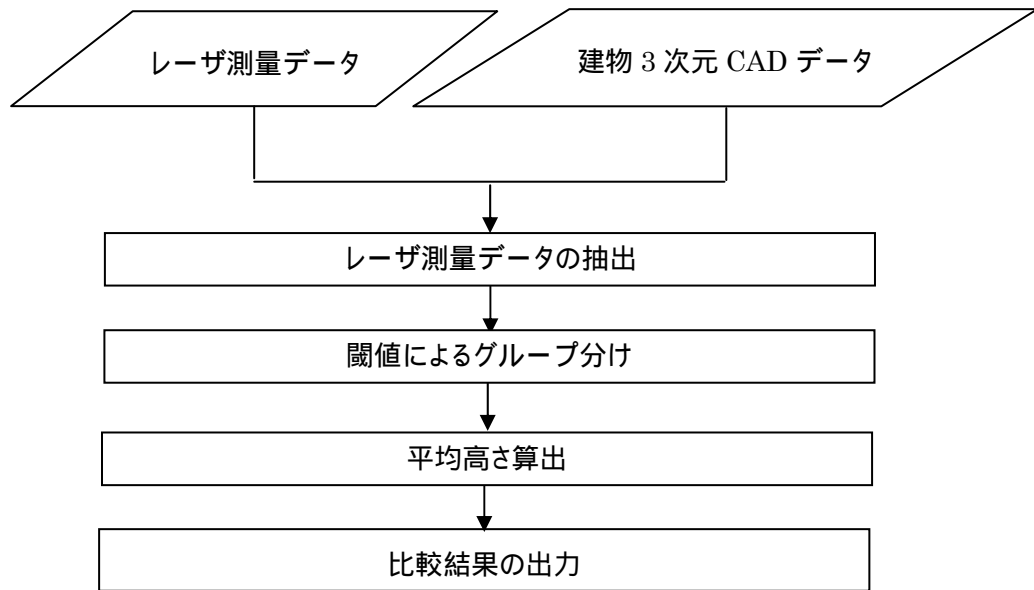


図 1-35 処理フロー

(C) 詳細説明

レーザ測量データ

航空測量により取得されたレーザ測量の成果であり、最新の高さ情報を有する。

建物 3 次元 CAD データ

既存の建物 3 次元 CAD モデルであり、2 次元的な建物の位置とその高さ情報を有する。

レーザ測量データの抽出

建物 3 次元 CAD データの 2 次元位置の領域内に存在するレーザ測量データを検索により全て抽出する。

グループ分け

抽出したレーザ測量データを対象としてグループ分けを行う。グループ化を行うために閾値を設定し、閾値の範囲内に含まれるデータを抽出するという方法を考案した。本研究開発では建物 1 階分の高さに対応する 3m を閾値として設定し、上下方向のどちらにも対応可能な $\pm 3m$ とした。一点一点のレーザ測量データと他のレーザ測量データ全てとで比較を行い、比較時の高さ差分値が閾値である $\pm 3m$ 以内に含まれるデータについてカウントする。カウント数が等しく、データ数が多い方から選定することでグループ分けを行う。

平均高さ算出

建物 3 次元 CAD モデルの高さ情報数を確認し、同じ数だけグループを作成する。グループ分けされたレーザ測量データについて、高さの平均値を最終的な高さとして算出した。

比較結果の出力

対象の建物 3 次元 CAD データに対して、高さ抽出を行ったレーザ測量データの平均値とで比較を行った結果を出力する。

(D) 自動抽出手法の精度検証

検証エリア内から、異なる面積、高さで選定した 50 棟の建物 3 次元データが持つ 61 個の高さ情報に対して、建物範囲内に含まれるレーザ測量データの平均値および、抽出したレーザ測量データの平均値との比較を行った。結果を表 1-13 に示す。表中の全データ平均値は建物範囲内に含まれるレーザ測量データの平均値であり、抽出データ平均値は建物範囲内に含まれるレーザ測量データのうち、建物上部を計測したと考えられるレーザ測量データの平均値である。また、それぞれの高さ誤差を昇順に並び替えたグラフを図 1-36、1-37 に示す。

表 1 13 建物 3 次元 CAD データとの比較結果

	最小誤差 (m)	最大誤差 (m)	平均誤差 (m)
全データ平均値	0.18	46.8	8.4
抽出データ平均値	0.01	24.9	2.7

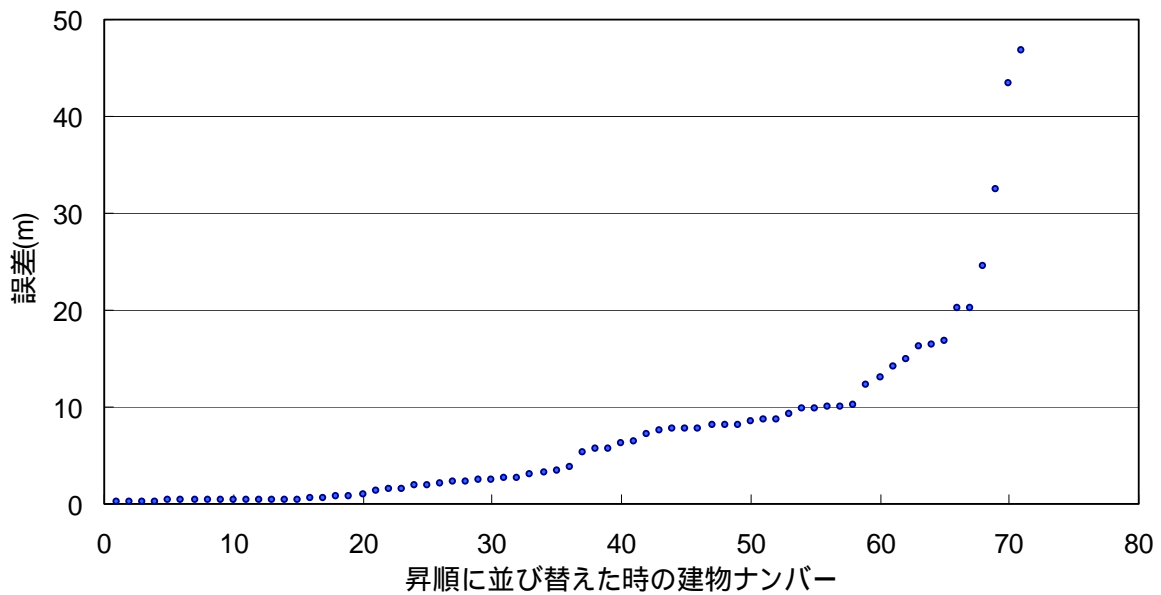


図 1-36 全データ平均値の高さ誤差

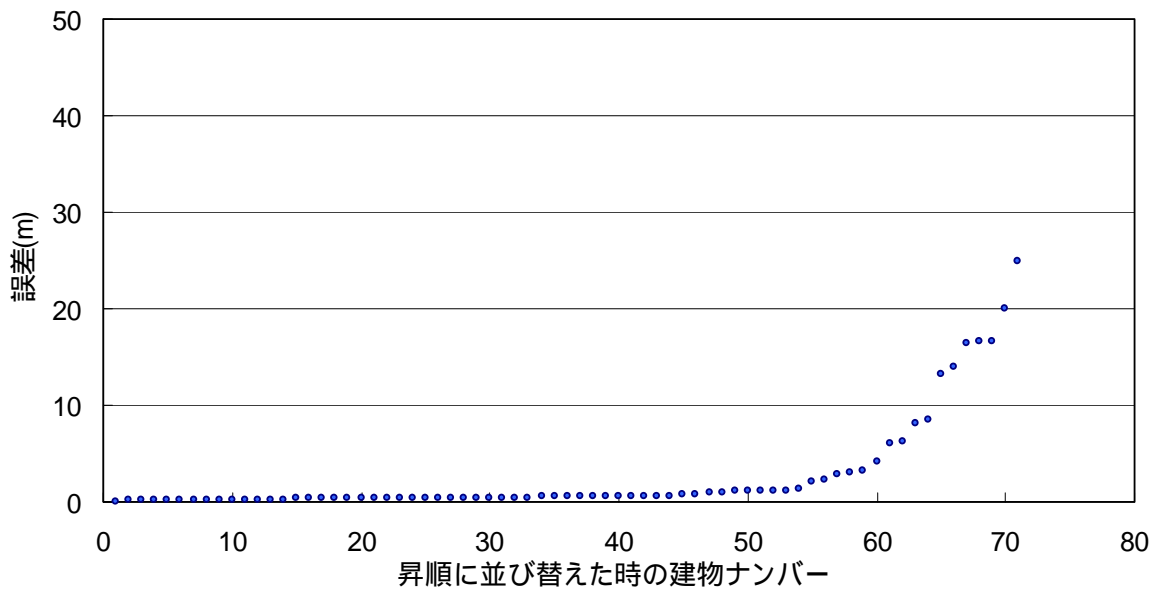


図 1-37 抽出データ平均値の高さ誤差

グラフを見ると、対象建物領域内に含まれる全レーザ測量データの平均値を利用した時の高さ誤差に比べ、自動抽出されたレーザ測量データの平均値は全体的に小さくなったことがわかる。しかしながら、誤差が6m以上のレーザ測量データも11点存在する。これらのレーザ測量データと、建物3次元CADデータについて確認を行った。

誤差が6m以上となったレーザ測量データのうち、5点については、建物3次元CADデータとレーザ測量データを対応させて確認した結果、経年変化であることが確認できた。

経年変化以外の点では、高さ情報を複数持つ建物3次元CADデータは複数の3次元CADモデルから構成されているが、低い位置のCADモデルに比べると高い位置のCADモデルの面積が小さいため、正確な位置を特定できなかったケースであることが確認できた。図 1-38 に、経年変化を除いて最も大きい誤差が発生した建物の航空機画像、建物3次元CADデータを示す。



図 1-38 誤差が大きい対象建物画像

図 1-38 の建物 3 次元 CAD データが所持する高さ、選定した各グループの平均値について比較した結果を表 1-14 に示す。

表 1 14 グループ分けの結果

	建物 3 次元 CAD データ標高値	レーザ測量データ標高値
高さ情報 1	33.211	31.997
高さ情報 2	44.898	45.525
高さ情報 3	47.809	55.949
高さ情報 4	59.784	59.367

結果を見ると、高さ情報 3 の比較において、非常に大きな誤差が出た。原因は候補データの選定ミスであることがわかった。そこで、グループ分けの際に建物 3 次元 CAD データの標高値を教師データとして、再度グループ分けを行った。図 1-39 にグラフおよびグループ分けの概略を示す。また、再グループ分けして建物 3 次元 CAD データと比較した結果を表 1-15 に示す。

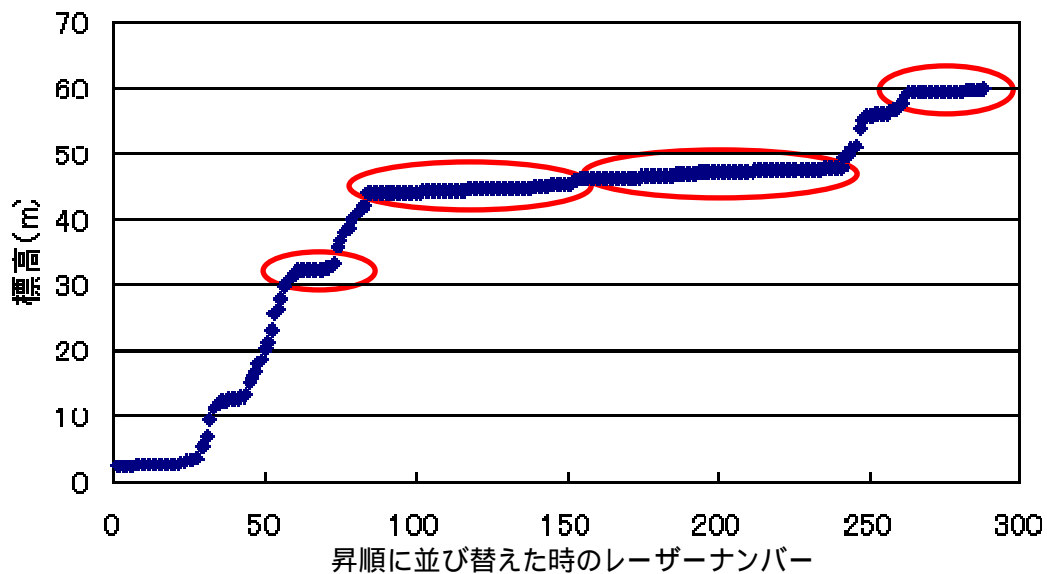


図 1-39 レーザ測量データ標高値と建物上部候補範囲

表 1 15 再グループ分けの結果

	建物 3 次元 CAD データ標高値	レーザ測量データ標高値
高さ情報 1	33.211	31.997
高さ情報 2	44.898	44.272
高さ情報 3	47.809	47.143
高さ情報 4	59.784	59.367

教師データを用いて再度グループ分けを行った結果、高さ情報 3 に対応するレーザ測量データと建物 3 次元 CAD データ標高値との誤差が 70cm 程度となり、精度が向上した。経年変化以外のデータに対してこの手法でグループ分けを行った結果を表 1-16 に示す。

表 1 16 再グループ分け後の建物 3 次元 CAD データとの比較結果

	最小誤差 (m)	最大誤差 (m)	平均誤差 (m)
全データ平均値	0.18	46.8	8.4
抽出データ平均値	0.01	1.2	0.99

表 1-16 の結果から、高精度な高さ情報の取得が可能であることが確認できた。

以上の結果から、建物 3 次元 CAD データの高さ情報と正確に比較を行うことができるレーザ測量データの平均値の算出が可能となった。選定した 50 棟の建物 3 次元 CAD データと、抽出したレーザ測量データを比較し、差が $\pm 3\text{m}$ 以内であれば変化無しとして抽出した結果を表 1-17 に示す。

表 1 17 選定した 50 棟の抽出結果

経年変化	高さ変化有り(誤検出)	高さ変化無し(正常検出)
3 棟	2 棟	45 棟

また、経年変化、誤検出のデータを除き、ランダムに選定した 30 棟の建物 3 次元 CAD データに対して、輪郭の変化が無く、高さだけが変化した倒壊を想定して 3m、6m、10m と高さを変更した。この数値は、建物 1 階分～3 階分の高さに相当する。

このように高さを変更した時、高さ変化の検出が可能であるか確認した。抽出したレーザ測量データの平均値と、高さを変更した建物 3 次元 CAD データの高さ情報を比較し、 $\pm 3\text{m}$ 以上を越えた場合、変化有りとして検出した。変化有りと検出した結果は、3m、6m、10m の変化に対して 29 棟、30 棟、30 棟であった。

(イ) パンクロマチック画像の特徴データを利用した建物変化検出

A 概要

地上を撮影した画像に存在する地物のエッジ(境界線)、すなわち特徴情報は、建物などの地物形状を表す重要な情報である。画像から特徴情報のみを抽出することにより、情報量を維持しつつ、データ量を大幅に減少させることが可能となる。このことから、抽出した特徴情報を用いて地物形状の変化を判読し、被害情報を取得する手法について研究開発を行った。

被害情報として地物、特に建物を対象とした形状変化が挙げられる。形状変化の自動抽出を実現させるため、抽出された特徴データと既存の建物 3 次元 CAD データを利用した。

まず、特徴情報として抽出されたエッジ情報に対して細線化、線分抽出などの処理を行い、建物の輪郭情報の抽出を行った。次に、既存の建物 3 次元 CAD データを、航空機デジタルセンサの位置、姿勢を表す外部標定要素を用いて投影することで、2 次元画像への変換を行った。最後に、特徴点から抽出された建物輪郭データと投影された建物 3 次元 CAD データとのマッチングを行った。以上の処理によって建物の変化を検出できると考えられる。

航空機デジタルセンサにより取得された画像から特徴点が抽出され、リアルタイム伝送が可能な容量にまで圧縮される。抽出された特徴点は衛星通信を利用してリアルタイムで地上に伝送され、地上にて特徴点情報と建物 3 次元 CAD データとを比較することで建物変化の検出がなされる。

この処理の結果について精度検証を行うため、機上及び地上でのデータ処理・解析に焦点をあてた実験システムを開発した。

B 自動変化抽出手法

(A) 地上処理

抽出された画像の特徴情報を地上で受信した後、図 1-40、1-41 に示される処理フローにより変化検出が行われる。

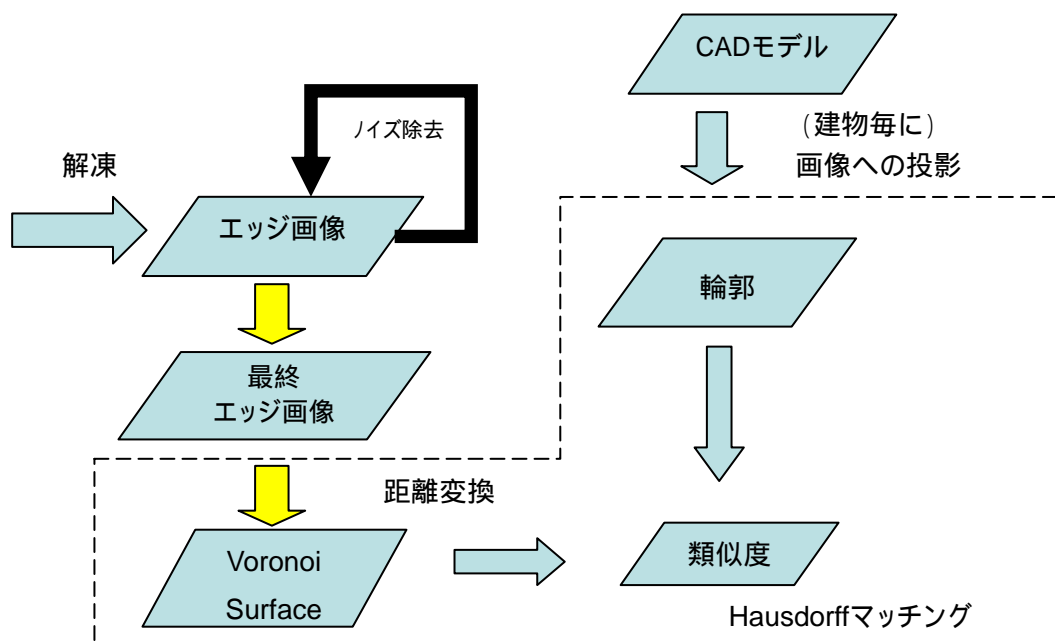


図 1 40 地上処理工程

エッジ画像と建物 3 次元 CAD モデルの類似性を比較する際、図 1-41 の処理フローにより、建物が変化しているかどうか決定される。

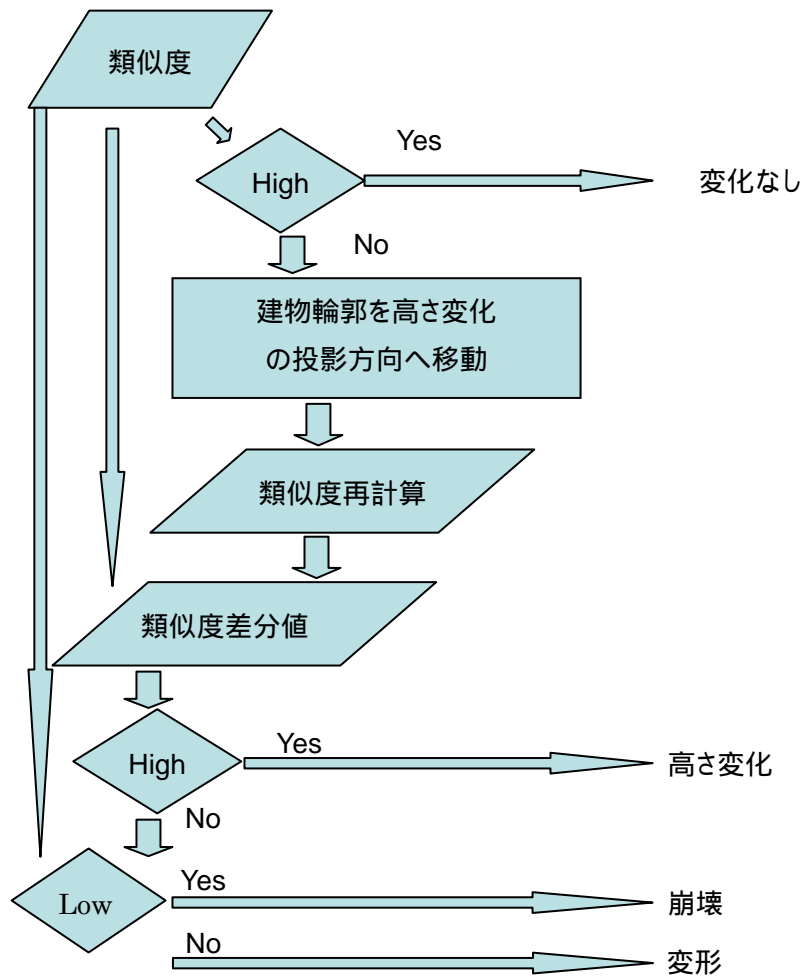


図 1 41 建物変化検出工程

(B) 特徴点ノイズの除去

画像から Canny エッジ抽出フィルタを用いて抽出されたエッジは、建物の輪郭だけではなく、様々な地物のエッジが含まれている。これらのエッジは、最後に行われる 3 次元 CAD データとの比較結果に悪影響を及ぼすため、ノイズとして除去を行う必要があるが、その際エッジ追跡と分割(Track and Split)フィルタが用いられる。これらを用いて、以下のようにノイズなどの影響を軽減することが可能である。

- (1) 建物のエッジは直線または曲率が大きくない曲線から構成されることが多い。エッジ追跡を行った後、エッジの始点と終点とを直接連結することによって直線セグメントが形成される。このとき、エッジを構成する全ての点から直線セグメントまでの距離は、設定された画素数閾値 (maximum distance) より大きくなければならないことから、エッジ中のある点からある直線セグメントまでの距離を算出する^[13]。算出した距離が閾値に達していない場合、エッジは図 1-42 のようなプロセスで強制的に分割される。
- (2) 上記の処理ステップにより分割されたエッジに対してフィルタリングをかけ、設定された閾値 (minimum length) より多い画素数で構成されたエッジが残される。

以上のように、エッジ追跡と分割フィルタは近接エッジピクセルを追跡し、エッジはほぼ直線となるようなエッジに分割され、短すぎるエッジがノイズと見なされ除去されることで、高精度な建物輪郭を抽出することができる。

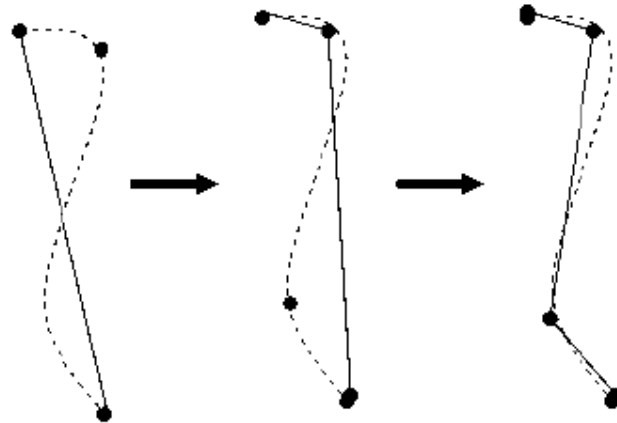


図 1 42 エッジ分割

(C) 建物 3 次元 CAD データの投影

建物 3 次元 CAD データは、航空機カメラの内部標定要素と外部標定要素のパラメータを用いた写真測量法によって、画像に投影することが可能である。カメラモデルと GPS/IMU で計測されたカメラの位置および姿勢に基づき、建物 3 次元 CAD モデルの座標(X, Y, Z)は下式によって画像空間の座標(x, y)に変換することが出来る。

$$\begin{aligned}
 x &= -c \frac{m_{11}(X - X_0) + m_{21}(Y - Y_0) + m_{31}(Z - Z_0)}{m_{13}(X - X_0) + m_{23}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)} \\
 y &= -c \frac{m_{12}(X - X_0) + m_{22}(Y - Y_0) + m_{32}(Z - Z_0)}{m_{13}(X - X_0) + m_{23}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)}
 \end{aligned} \tag{1}$$

ここで、

$$\begin{aligned}
 m_{11} &= \cos\phi \cos\kappa + \sin\phi \sin\omega \sin\kappa & m_{12} &= -\cos\phi \sin\kappa + \sin\phi \sin\omega \cos\kappa & m_{13} &= \sin\phi \cos\omega \\
 m_{21} &= \cos\omega \sin\kappa & m_{22} &= \cos\omega \cos\kappa & m_{23} &= -\sin\omega \\
 m_{31} &= -\sin\phi \cos\kappa + \cos\phi \sin\omega \sin\kappa & m_{32} &= \sin\phi \sin\kappa + \cos\phi \sin\omega \cos\kappa & m_{33} &= \cos\phi \cos\omega
 \end{aligned}$$

$$x_{final} = x + Y_{-ppa}$$

$$y_{final} = y - X_{-ppa}$$

内部標定パラメータはカメラにより決定される。したがって、1 つのカメラに 1 セットのパラメータが存在する。式(1)において、投影変換に必要とされる内部標定パラメータは下記の通りである。

- 焦点距離 c
- X 軸方向の主点ずれ量 X_{ppa}
- Y 軸方向の主点ずれ量 Y_{ppa}

外部標定パラメータは画像取得時のカメラ姿勢により決定される。したがって、それぞれのイメージごとにパラメータのセットが存在する。式1において、投影変換に必要とされる外部標定パラメータは下記の通りである。

- 画像取得時のカメラの X 座標 X_o
- 画像取得時のカメラの Y 座標 Y_o
- 画像取得時のカメラの Z 座標 Z_o
- カメラ回転要素 ω
- カメラ回転要素 φ
- カメラ回転要素 κ

(D) 輪郭抽出

画像上に投影された建物 3 次元 CAD データは建物の輪郭である。本研究で開発されたシステムは建物の全体輪郭と屋根輪郭の 2 種類の輪郭を使用できる。その二つの輪郭の概略を図 1-43 に示す。

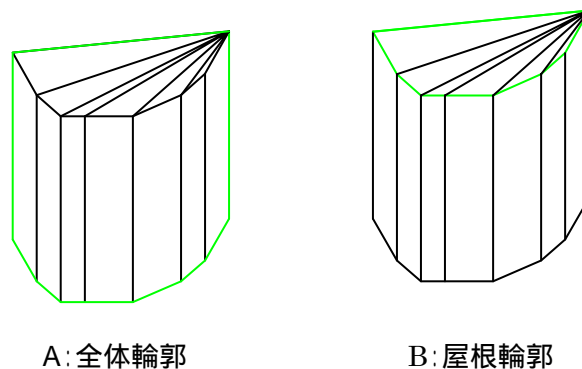


図 1-43 建物の輪郭(緑線で描画される輪郭)

建物変化検出を行う際、全体輪郭と屋根輪郭の両方を使用する。これには、それぞれ以下のような利点と欠点を持っていることが理由として挙げられる。

- (1) 全体輪郭は屋根輪郭よりも多くの情報(高さ情報など)を持っていることから、理想的な状況下では全体輪郭はより良い結果を導くと考えられる。
- (2) 屋根輪郭はノイズに対して耐性を持っている。
 - 屋根は常に建物の他の部分より輝度が高いため、屋根輪郭はより容易に高精度で抽出することが可能である。

- 屋根輪郭はオクルージョンの影響が小さい。
 - 屋根輪郭は影の影響が小さい。
- (3) 屋根輪郭を用いることで、容易に高さ変化を検出することが可能である。
- 高さのみが変化した場合、輪郭は変わらず位置のみが移動する。この移動量から、カメラモデルを用いることで高さ変化を計算できる。ただし、悪条件時を除く。

建物輪郭は図 1-44 で示されるフローチャートに沿って抽出される。処理結果は、1 画素幅の画像が輪郭として抽出される。

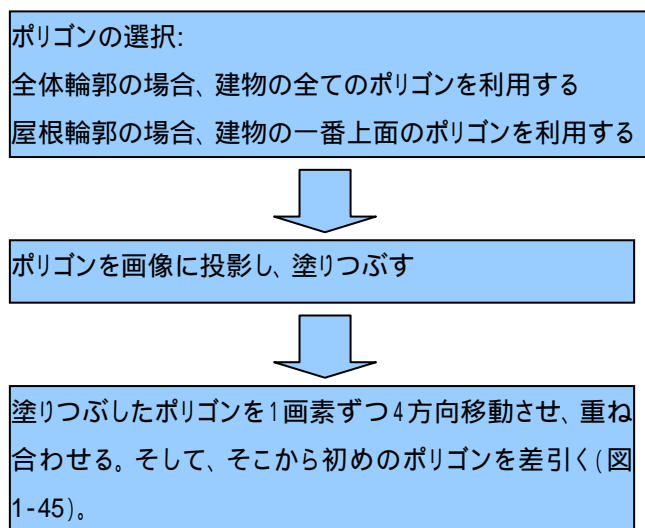


図 1-44 輪郭抽出のフローチャート

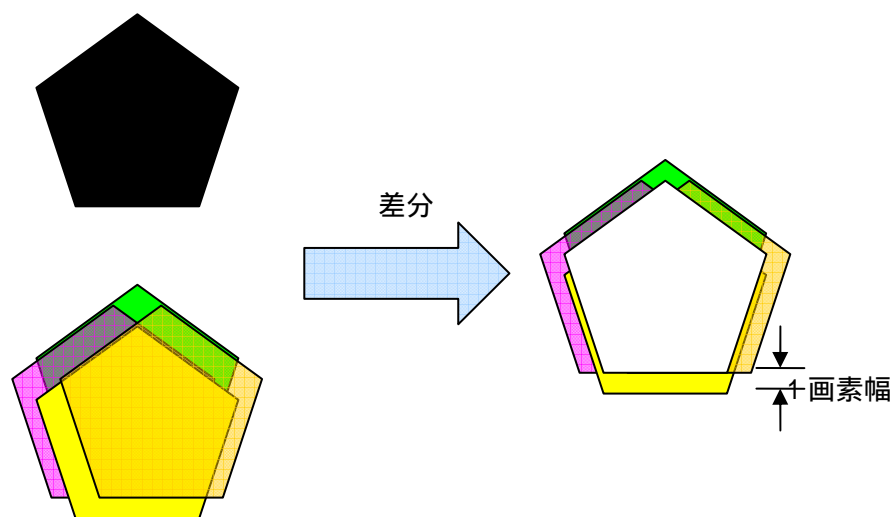


図 1-45 差分による輪郭抽出

(E) Hausdorff マッチング

距離変換

Hausdorff 距離は、画像上に投影された建物 3 次元 CAD モデルにおける各点と、画像から抽出されたエッジにおける各点での距離を表す。この距離を用いることで、二つのオブジェクトを重ね合わせた時の類似度を決定することができる。

図 1-46 で点集合と対応する Voronoi Surface を示す。Voronoi Surface は距離変換の結果として、点集合に含まれるある点からその最近隣点までの距離を与えるものである^{[14] [15]}。

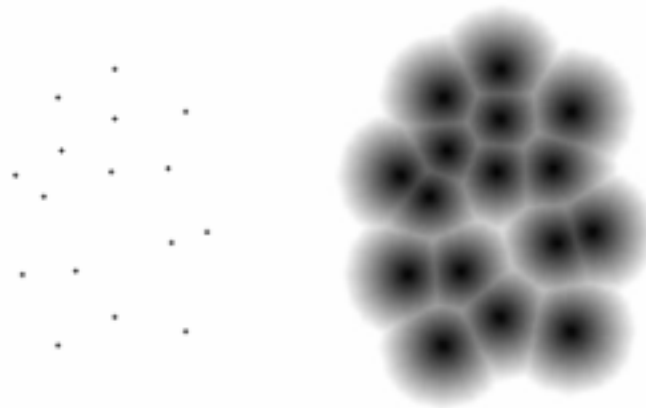


図 1-46 点集合と対応する Voronoi Surface

Hausdorff マッチング

各建物の輪郭単位での距離情報を算出し、変化検出を行うため、輪郭をマスクとして Voronoi Surface 上に被せる。N 画素のマスクに対して、Voronoi Surface 上で対応する画素数 n が、設定された Hausdorff 距離閾値 (Hausdorff distance) より小さくなる場合、類似度 S は $S=n/N$ となる。

建物毎に計算された類似度と与えられた閾値 (Similarity Threshold) とを比べることにより、建物の変化検出を行う。

建物変化検出

図 1-40 に示したように、対象建物において、投影された輪郭に対応した画像間の位置ずれを考慮し、Hausdorff マッチングが適用される。建物毎に計算された類似度と、予め設定した閾値とを比較することで、建物の倒壊・半倒壊検出を行う。変化検出のステップは以下となる。

- (1) Voronoi surface 上にマスクを重ね、類似度 S_{normal} を計算する。
- (2) 類似度 S_{normal} が設定された閾値 S_{high} より高い場合は、変化なしとする。
- (3) 類似度 S_{normal} が設定された閾値 S_{high} より低い場合は、マスクを周辺領域で動かし、類似度を再計算する。再計算した類似度 S_{best} と元の類似度 S_{normal} との差分が設定された閾値 $S_{difference}$ より高い場合は、建物半倒壊とし、低い場合は、ステップ(1)に戻る。

- (4) 類似度 S_{normal} が設定された閾値 S_{low} より低い場合は、建物半倒壊とする。
- (5) 類似度 S_{normal} が設定された閾値 S_{low} より高い場合は、建物形状変化または建物 3 次元 CAD モデルの投影データの位置ずれとする。

C 精度検証

(A) 検証データ

図 1-31 に示した検証範囲内から、異なる高さ、面積の 50 棟の建物に対してマッチング処理を行い、変化無しと判断されるかどうかを確認した。変化検出に使用されたパラメータを表 1-18 に示す。

表 1 18 変化検出時に使用されたパラメータ

パラメータ	値	注
ガウシアンマスクの幅 σ	3	Canny エッジ抽出フィルタ
上限閾値 $high_threshold$	0.4	Canny エッジ抽出フィルタ
下限閾値 $low_threshold$	0.1	Canny エッジ抽出フィルタ
直線までの最大距離画素数閾値 $maximum_distance$	3	エッジ追跡と分割フィルタ
エッジ最短画素数閾値 $maximum_length$	15	エッジ追跡と分割フィルタ
類似度閾値 S_{high}	0.8	建物変化なし判別
類似度閾値 S_{low}	0.35	倒壊建物判別
類似度差分閾値 $S_{difference}$	0.2	半倒壊建物判別

表 1-19 に変化検出の結果を示す。

表 1 19 選定した 50 棟の確認結果

経年変化	高さ変化有り(誤検出)	高さ変化無し(正常検出)
3 棟	3 棟	44 棟

(B) 建物変化の検出

次に、レーザ測量データと同様に建物の変化検出を行う。対象となる建物に関しては、前述で選定した計 50 棟のうち、誤検出された 6 棟を除き 30 棟を選定した。

選定した建物に対して、レーザ測量データの検証時と同様に、建物 3 次元 CAD データに対して 3m、6m、10m と高さを変更した。このように高さが変化した状態で、正確に倒壊状況を判断可能か否かを確認することで精度検証を行った。検証の結果、30 棟の検証対象建物のうち、変化有りと検出した結果は、3m、6m、10m の変化に対して 12 棟、13 棟、15 棟であった。

D 結果分析

(A) 処理時間

本実験では、撮影された1枚のパンクロマチック画像と2885棟の建物を含む領域の建物3次元CADデータを用いて建物の変化検出を行った。表1-20に実験に用いたマシンの概要を示す。

表 1 20 計測マシンの概要

計測マシン概要	
製品名	Dell PRECISION 650
CPU	Intel Xeon 2.80GHz
RAM	4GB
OS	Windows 2000 Professional

エッジフィルタリング、投影変換、マッチングによる類似度計算及び変化検出の全処理工程の処理時間は約2分であった。航空機からデータが送信されることを想定した場合、上記4台程度のマシンによる並列処理を行うことで、撮影終了から数分で本処理を完了することが可能と考えられる。これにより、本アルゴリズムを用いて非常に高速な建物変化の情報抽出ができるということが確認できた。実際に災害が起きた場合は、航空機でのリアルタイムなデータ取得と伝送は重要であるが、地上でのデータ解析も迅速に行わなければならないため、本アルゴリズムの有効性が確認された。

(B) 変化検出の性能

検証の結果、30棟の検証対象建物に対する変化検出率は50%程度となった。これは複数の要因が変化検出の性能に影響したためだと考えられる。典型的な要因について、以下にまとめる。

- エッジ抽出の性能
- 建物の二重エッジ
- ノイズエッジの影響
- 対象建物がカメラの直下付近である場合は、建物の高さの変化があっても、画像上の投影位置の変化が小さい
- 建物のオクルージョン

エッジ抽出の性能

航空機画像から伝送された情報はエッジのみである。そのため、エッジ抽出の性能は、変化検出結果に大きな影響を及ぼす。

建物が密集し、隣接した建物との間隔が非常に小さい場所では、影の影響や、隣接建物のエッジ(ノイズ)等の要因から、理想的なエッジを抽出することが困難となる。また、Cannyフィルタによるエッジ抽出は、設定されたパラメータによって結果が大きく変わるため、よりよい結果を得るために、様々な組み合わせを試し、最適なパラメータ設定を行う必要がある。

建物の二重エッジ

図 1-47 の例では、対象建物の屋根の境界が厚く、2 つの平行なエッジを発生した。2 つのエッジのどちらが正しいエッジなのかを判断することができず、正しい結果を得ることが難しい。

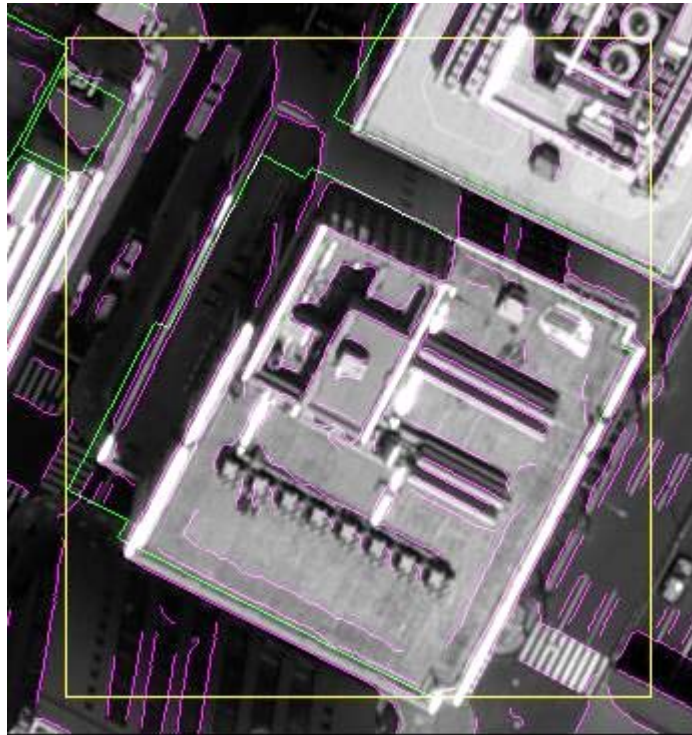


図 1 47 建物の二重エッジ

ノイズエッジの影響

近接する建物のエッジやほかの地物のエッジが、高さを変化させた建物を投影した際に重なっている場合、間違った結果を引き起こすことがある。

撮影位置

対象建物がカメラの直下付近である場合は、建物の高さに変化があっても、画像上の投影位置の変化は小さい。

建物の高さ変化量が小さい、あるいは建物が画像の中心付近にある場合、高さが変化しても、画像上に投影された建物 3 次元 CAD モデルの建物輪郭位置の変化が微小であり、変化前後の投影の位置がほとんど変わらないため、変化の有無を判断することが難しい。

建物のオクルージョン

図 1-48 にオクルージョンが発生した例を示す。異なる建物の投影輪郭が重なっていることがわかる。



図 1-48 オクルージョン

オクルージョンは、隣接した建物の高さが異なる時に発生する現象である。低い建物の近くに高い建物がある場合は、画像撮影の方向によってオクルージョンが生じるケースがある。オクルージョンの影響を小さくすることは可能であるが、この場合はより多くの処理が必要とされる。

また、オクルージョンが発生した場合、隣接する建物上に大きい建物の影が重なるケースが多々ある。これにより高さの低い建物が見えなくなってしまうことから、影響を小さくするための処理はさらに複雑となる。

(C) 今後の課題

今後の課題としては、オクルージョン対策やエッジ抽出性能の改善などが挙げられる。

オクルージョン対策

検証データより、高さの低い建物については一部オクルージョンが発生している。変化検出システムの性能を高めるために、この問題を解決する必要がある。

解決策として、前述したように異なる方向で撮影した画像を使用することにより、オクルージョンの影響を軽減させる方法が考えられる。また、コンピュータグラフィック手法で隠れた表面の除去 (hidden surface removal) によく使われている Depth buffer 技術を利用するという方法が考えられる^[8]。

アクティブ・コンター (Active contour) の使用

画像から抽出された建物のエッジがノイズのために正確に抽出されず、エッジの一部が消失しているケースが存在する。その結果類似度が低下するため、変化していないにも関わらず、変化したと誤って判断されて、倒壊建物として検出される可能性がある。また、建物の輪郭でないエッジ、あるいは対象建物ではなく、隣接した建物のエッジや、建物以外の地物のエッジも変化検出の性能に影響を与える。

この問題を解決する方法として、アクティブ・コンター手法^{[9][10][11]}が挙げられる。高精度の建物 3 次元 CAD モデルから建物の輪郭が得られるので、画像上の建物輪郭について、おおむね正確な位置を確認することが可能である。建物 3 次元 CAD モデルから得られた建物の輪郭をアクティブ・コンター手法の計算の初期値として使うことにより、正確な建物輪郭を抽出することが容易となり、より正確な結果を得ることができる。

典型的なノイズの除去

典型的なノイズとは、特定のパターンを持ったノイズを指す。例えば、道路の両サイドの縁は長く、しかも隣接した建物のフットに非常に近い。また、建物屋根の二重エッジは、ほとんどの状況において、平行に表示され、距離も非常に近い。このようなパターンを持つノイズは、各パターンに対応したノイズ検出アルゴリズムを開発することによって除去することが可能である。

(ウ) 建物変化検出のまとめ

レーザ測量データおよび、パנקロマチック画像から取得した特徴データを利用して建物変化検出を行った。検出結果より、両者を利用して建物変化検出の特性を確認することができた。

A レーザ測量データによる建物変化検出の特性

レーザ測量データの検証を行った結果、全データを平均するよりも、抽出データを利用する方が高精度な高さ情報を取得可能であり、建物の高さ変化の検出も非常に高精度であることが確認された。結論として、以下の内容が挙げられる。

- ・ レーザ測量データを利用した建物の高さ変化検出は高精度であり、非常に有効性が高い。
- ・ 単独利用では経年変化と災害による変化を見分けることが難しい。
- ・ 高さ情報を複数持つ 3 次元 CAD データとの比較時、グループ分けが難しい。

B パנקロマチック画像による建物変化検出の特性

取得した特徴データを利用して検証を行った結果、レーザ測量データに比べると、高い数値が得られなかったが、道路データ等の GIS データの併用や、エッジ抽出処理のアルゴリズムの改善、ノイズのパターンマッチングによる除去等、改善すべき項目を洗い出すことができた。結論として、以下の内容が挙げられる。

- ・ 建物変化検出のアルゴリズムは、合理的なものである。
- ・ 非常に高速な建物変化の検出が可能である。
- ・ 変化検出アルゴリズムの性能を向上させるためには、多くの課題が残されている。

(3) まとめ

平成 17 年度の研究開発では、パנקロマチック画像およびカラー画像に対して、リアルタイム伝送が可能な容量への圧縮が可能となる圧縮技術の開発を行った。結果を表 1-21 に示す。

表 1 21 圧縮結果

	目標圧縮率 (%)	到達圧縮率 (%)	圧縮時間
パנקロマチック画像	1.1	0.8	リアルタイム
カラー画像	2.2	2.1	リアルタイム

開発した圧縮手法を適用することで、パנקロマチック画像は目標圧縮率 1.1%に対し、平均圧縮率で 0.8%という結果を得た。カラー画像においては目標圧縮率 2.2%に対し、2.1%という結果を得た。なお、両データに対する圧縮処理時間は、並列処理とパイプライン処理により、リアルタイム伝送が可能な処理時間であることを確認した。

また、レーザ測量データとパנקロマチック画像とを用いて、建物変化検出の実験を行った。

実験の結果、レーザ測量データによる建物変化検出は非常に有効であることが確認できた。ただし、災害による変化と経年変化との判別が難しいことや、高さ情報を複数持つような建物について、グループ分けが難しいという傾向がある。有効性は高いが、完全ではないことから、カラー画像を用いた目視判読を併用することで、より精度の高い結果が求められると考えられる。

パנקロマチック画像による建物変化検出は、投影された建物 3 次元 CAD データと、パנקロマチック画像から抽出された特徴情報との類似度計算により行われ、非常に高速な建物変化検出が可能であることが確認できた。ただし、対象の建物がカメラの直下付近にある場合は、建物の高さの変化があっても画像上の投影形状・位置が小さく、変化検出が難しくなる。また、オクルージョンの影響により、低い建物については検出出来ないケースも存在する。したがって、一枚の画像のみを利用するのではなく、連続して撮影される航空機画像を利用して、1 つの建物を複数枚の画像により建物変化の評価を行うことで、建物変化の検出率を向上させられると考えられる。

2 各種のモバイル端末に適応できる空間データ適応管理技術

2.1 空間データ管理技術

ここでは歩行者向け移動経路提示(歩行者ナビゲーション)を主たるアプリケーションと想定して、空間データを効率的に検索するための管理技術を課題とした研究成果について報告する。この技術は、歩行者ナビゲーションに必要なオブジェクトを選択的に抽出するための重要度設定、重要度や空間データを管理するインデックス生成、重要度を用いた空間データの抽出とから成る。以下、(1)に歩行者ナビゲーションに関する従来技術、(2)に研究開発内容、(3)にまとめを示す。

(1) 従来技術

ア 歩行者ナビゲーションに関する従来技術

従来、2次元案内地図や、風景画像と経路案内文等を用いた歩行者ナビゲーションシステムの研究が行われている。これらの手法の課題を下記に示す。

(ア) 2次元案内地図を用いる手法

携帯電話の小さな画面では詳細な地図情報は分かりにくいとして、案内地図として必要な情報のみを詳細な地図から選択し、2次元の案内地図を生成する手法が提案されている^[1]。交差点をノード、道路をリンクとするグラフ構造を持つ道路ネットワークデータを用い、交差点や建物等を再配置したデフォルトマップを作成する。デフォルトマップを用いた案内では、経路案内文を使用する案内に比べて移動の失敗が少ないという実験結果が得られているが、被験者からは、「外観や形状といった視覚的に利用しやすい情報を提示してくれるのがよい」という声が寄せられていることが報告されており、実風景から得られる視覚的な情報の利用も求められている。

(イ) 風景画像と経路案内文を用いる手法

視覚的な情報を簡易的に与える手法として、風景画像を使用する手法が提案されている^[2]。経路中の目印となる地点に関して予め風景画像を撮影し、目的地点に行くまでの経路案内文と併用してナビゲーションする手法である。文献^[2]では、目印地点における風景画像を目的地となる店舗等が作成することで、データ作成者が画像を自由に更新できるため、ナビゲーションが利用可能な範囲が雪だるま式に増えるという利点を挙げている。しかし、目的地毎に目印となる地点の風景画像を予め用意しておく必要があるため、経路から外れてしまい、風景画像が作成されていない場所に迷い込んでしまった場合には、目的地に到達することが困難となる。また、路地のような細い道路では、目印となる対象物が少ないため、目印地点を適切に設定できないという問題がある。

イ 3次元モデルを用いた歩行者ナビゲーションにおける課題

3次元モデルを用いた歩行者ナビゲーションでは、歩行者ナビゲーションに関する従来技術で示した、2次元案内地図や風景画像を用いる手法に比べ、次の二つの利点がある。まず一点目は、2次元案内

地図を用いる手法では視覚的な情報を利用することが困難であるのに対し、3次元モデルを用いる場合は、建物の形状や色彩(3次元モデルの表面に貼り付けられた実物と同様の絵柄等による)等の視覚的な情報が利用可能となる点である。二点目は、風景画像を用いる手法では風景画像を用意していない場所に迷い込んだ際に経路案内が困難となるのに対し、3次元モデルを用いる場合は、歩行者が迷い込んだ場所に応じて柔軟に3次元モデルによる景観を提示することが出来るという点である。

一方、3次元モデルを用いる場合には、データ量の問題を解決する必要がある。広範囲の都市地図には多数の地物が含まれるため、データ量が多い。このため、表示データ量が多い場合には、データの伝送と表示に多くの時間を費やすという問題があり、特に、パーソナルコンピュータに比べて表示性能が低いモバイル端末を利用する場合にはデータ量の削減が必要である。

広範囲の中から表示に必要な地物を選択する従来手法としては、メッシュ等のブロック化された領域を用いる手法や視野に基づく手法が知られているが、各々下記に示す問題点がある。

(ア) メッシュを用いる手法

空間を格子状に分割し、視点が存在するメッシュ内の地物を表示対象とすることにより、広範囲の中から表示データを簡易的に取得する手法である。表示対象とするメッシュの個数を変えることで表示範囲を変えることが出来るが、表示データ量がメッシュ単位で増減するため、端末の表示性能や回線の伝送速度等に応じて表示データ量を詳細に制御することが困難である。

(イ) 視野に基づく手法

視野内に存在する地物を表示地物とする手法である。広範囲の空間の中から視点の付近に存在する地物を限定することが出来るが、視点の付近に多数の地物が存在する場合には表示データ量が多くなる。このため、表示性能が低い端末の場合には、遠方までの景観表示に多くの時間を要する。また、表示時間を優先して視野を狭めた場合、視点付近のごく数件のみの表示となり、画質が劣化する。

このように、メッシュや視野に基づいて表示地物を選択する手法では、広範囲の中から視点の位置に基づいて地物を選び出すことができるが、表示性能の低い端末を使用する場合でも高速表示できるようにデータ量を削減することが困難である。また、これらの手法は表示対象とする地物を選択する手法であるが、建物等の3次元モデルは図2.1-1に示すように複数のポリゴンから構成されており、一般的に表示ポリゴン数が多いほど表示時間を要するため、選択した地物に関しては表示に不要なポリゴンを除き、表示ポリゴン数を削減することが必要である。

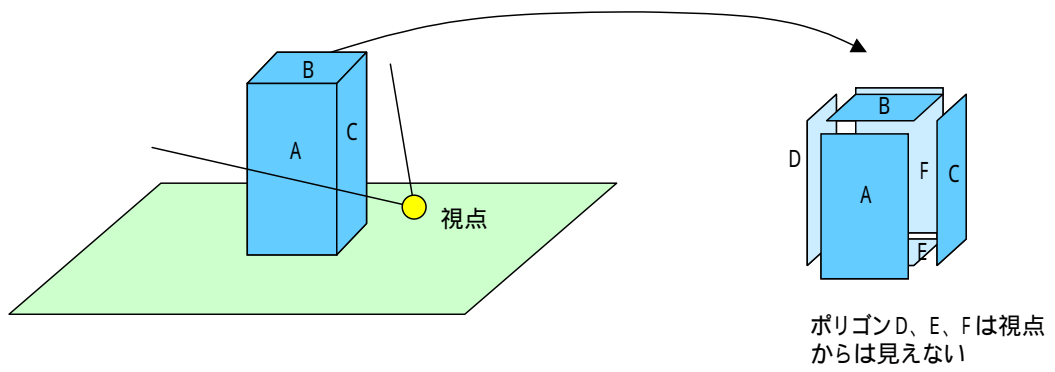


図 2.1-1 ポリゴンと3次元モデル

(2) 研究開発内容

前述の従来技術で述べた課題に対し、3次元モデルを用いた歩行者ナビゲーションを想定し、モバイル端末での表示を想定して経路案内に必要なデータを選択的に抽出するデータ削減技術の研究開発を行った。空間データ管理技術の概要を図 2.1-2 に示す。歩行者ナビゲーションの要求としては、「現在地の周辺を確認したい」、「現在地から正しい方向へ移動するための位置関係を把握したい」という要求がある。歩行者は、歩行開始前あるいは歩行中の任意の場所で、現在居る場所を確認し、目的地への正しい移動方向を把握する必要がある。本手法では、3次元モデルを用いた景観表示において、データ削減後の場合でも景観のシルエットが欠落しないように建物を抽出することで、歩行者が目の前の風景と画面上の3次元表示とを見比べる際に、個々の建物を見比べる他に、景観のシルエットを利用して現在地の周辺を把握出来るようにした。また、端末の表示サイズに応じて抽出内容を最適化することで、モバイル端末の小さな画面の場合には画面上で見えにくい建物を不要に抽出することを回避し、データを軽減できるようにした。3次元都市地図から、表示に必要なポリゴンを選択するための重要度情報(ポリゴン重要度)と、景観シルエットを維持可能な重要度情報(建物群重要度)を事前に算出する。GISデータベースには、これらの2種類の重要度情報を用いて景観表示に必要なデータを選択するための管理インデックスを構築する。

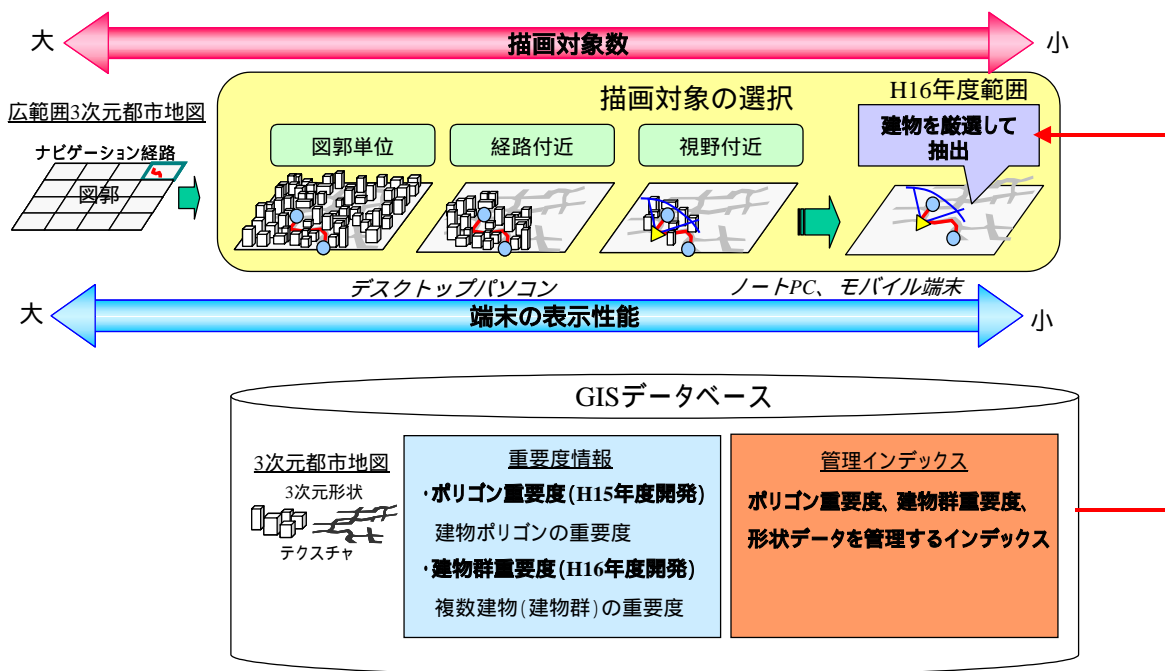


図 2.1-2 空間データ管理技術の概要

ア シルエットと表示サイズを考慮したデータ削減

(ア) 概要

モバイル環境で3次元都市地図を利用するためには、描画データを効率的に選択してデータ量を軽減する必要がある。本節では、ウォークスルー表示において、現在地の把握に有効なオブジェクトを抽出するための重要度設定について述べる。

現在地の把握に有効なオブジェクトとしては、一般的に、ランドマークや、銀行・コンビニエンスストアといったシンボリックな建物、形状や色彩が視覚的に目立つ建物等が考えられる。これらの建物が、歩行者から見えている場合には、周囲の位置関係の把握に役立つと思われる。しかし、これらの建物は、必ずしも歩行者が現在居る位置から見えているとは限らない。例えば、歩行者の前方数メートル先にランドマークがあったとしても、その手前の大きなビルが歩行者の視界を遮っている場合には、ランドマークは歩行者にとって位置関係の把握に有効な建物となることが難しい。

本方式では、歩行者が、実空間における目の前の風景とモバイル端末に示された景観とを見比べることにより、現在地を把握できることを考えた。そこで、位置関係の把握に有効な情報として、景観のシルエットを用いる。本報告書で使用する「景観のシルエット」とは、景観再現時の、オブジェクトと空との境界を指す(図 2.1-3)。実風景との差異が大きいシルエットの場合、目の前の建物が実風景と同じであったとしても、周囲の位置関係や目的地への移動方向を正確に捉えることが困難となる。一方、景観のシルエットが再現されている場合には、歩行者は、目の前の風景と端末に表示された景観のシルエットを見比べることで、画面に表示された場所と実空間内の場所が同じ付近であるかどうかを、感覚的に得ることが可能になる。この場合、ランドマークや銀行等の個々の建物を頼りにして位置関係を確認しなくとも、周囲の様子を感覚的に取得できると思われる。

そこで、建物を複数ずつまとめた建物群を作成し、建物群を用いてシルエットとなる建物を抽出することで、データ削減後も景観のシルエットを維持できるようにした。事前に、端末の表示サイズに応じて建物群に対する重要度を算出しておき、景観再現時には表示サイズに応じた重要度を用いて重要な建物群及びシルエットとなる建物を優先的に抽出する。このようにして、景観のシルエットを維持して位置関係の把握に有効な建物を抽出しつつ小さな画面上では見えにくい建物を不要に抽出することを回避し、データを効率的に削減できるようにした。

以下、(イ)では、景観のシルエットに基づく建物群の作成、(ウ)では、建物群に基づく重要度の生成、(エ)では、重要度に基づくインデックスの構築について述べる。(オ)では、構築したインデックスを用いた重要度に基づく抽出について述べる。

景観のシルエット



図 2.1-3 景観のシルエット

(イ) 景観のシルエットとなる建物に基づく建物群の作成

建物等の3次元モデルの見え方は、3次元空間内における視点の位置及び視線方向によって変化する。このため、景観のシルエットも、視点の位置や視線方向の変化に伴って変化する。本研究開発では、歩行者ナビゲーションを想定し、視点の移動は、現在地から目的地にいたる移動経路に沿った歩道上での視点移動として簡易化した。

この簡易化の下、歩道上での視点前進に伴い景観のシルエットが変化する様子を図 2.1-4～図 2.1-6 に示す。図 2.1-4～図 2.1-6 から、次の2点がわかる。第一に、歩道から見た景観表示では、歩道側の建物と車道を挟んだ向かい側の建物とが、非対称的な表示となり、歩道側の建物に比べて車道を挟む向かい側の建物の視認性が高まる点が挙げられる。この点は、車道からの景観表示(図 2.1-7)と比較することで、歩道から見た表示の特徴的な点であることがわかる。第二に、車道を挟む向かい側の景観では、視点前方の比較的遠方までの建物がシルエットとなっており、さらに、シルエットを形成する建物が視点の移動に伴って変化する点が挙げられる。例えば、図 2.1-4 に示す景観では、“建物 A”、“建物 B”、“建物 C”、“建物 D”がシルエットを形成する建物となっている。図 2.1-4 の視点位置から視点を前進させ、図 2.1-5 の状態になると、図 2.1-4 の状態ではシルエットでなかった“建物あ”が、新たにシルエットを形成する建物となる。さらに図 2.1-5 の視点位置から視点を前進させ、図 2.1-6 の状態になると、図 2.1-4 や図 2.1-5 の状態ではシルエットでなかった“建物い”や“建物う”が、新たにシルエットを形成する建物となる。

上記の2点を考慮して、本研究開発では、歩道から見た景観表示に重要である、車道を挟む向かい側の景観に関して、視点が移動した際にも視点の移動に対応して景観のシルエットを維持するために、遠方からの見え方に基づいて建物群を作成することとした。建物群は、遠方から見た際にシルエットとなる建物を検出し、検出した建物に基づいて付近の建物をまとめることで作成する。図 2.1-4～図 2.1-6 に示されるように、遠方から見た際にシルエットとなっている建物は視点が近づいた際にもシルエットであり、一方、遠方からはシルエットとならない建物は、視点が前進し各建物に近づく過程で、順次シルエットとなるためである。建物群として、例えば、“建物あ”は、遠方から見た際にシルエットとして検出された“建物 B”に分類され、この結果、“建物あ”と“建物 B”で構成される建物群が作成される。



図 2.1-4 視点の移動に伴う景観のシルエットの変化(初期視点)



図 2.1-5 視点の移動に伴う景観のシルエットの変化(図 2.1-4 の状態から視点を前進)



図 2.1-6 視点の移動に伴う景観のシルエットの変化(図 2.1-5 の状態から視点を前進)



図 2.1-7 車道から見た景観表示

(ウ) 重要度の生成

複数の建物をまとめた建物群と、建物のポリゴンに対する重要度を算出する。

A 建物群に対する重要度

各建物群を遠方から表示した際の見え方に基づいて各建物群に対する重要度を数値化する。遠方からでも大きく表示される建物群には重要度の数値が大きい値となるようにし、建物群に関する重要度を利用することにより、表示距離のみを用いて抽出する従来手法に比べて、画面上では見えにくい遠方の建物を不要に抽出することを回避できるようにした。

B 建物ポリゴンに対する重要度

建物のポリゴンに対しては、表示上の重要性に基づく重要度を算出する。表示上の重要性は、ポリゴンの重要性評価(画素数や表示時間等)により数値化する。以下では、表示上の重要性に基づく重要度を「表示上重要度」と表記する。

(エ) インデックスの構築

歩行者ナビゲーションにおける景観表示に必要な空間データを高速に抽出可能とするインデックスを生成し、GIS データベースに格納する。建物のポリゴンに関する重要度である表示上重要度と、建物群に対する重要度の2種類の重要度情報を事前に算出し、格納する。これらの重要度は、3次元空間内の方向に応じて数値化しているため、方向に基づく管理を行い、3次元空間内で視点が定まった際に視点位置及び視線方向に応じて重要性の高い空間データを高速に抽出できるようにした。また、歩道上を視点移動することから、建物等の地物を道路に基づいて管理した。道路に基づく管理の概要を図 2.1-8 に示す。建物を一定件数ずつグループ化し、道路に沿う複数のグループを作成する。また、各道路に対してグループどうしの接続関係を作成し、景観表示の際に、表示対象となる領域を接続関係に基づいて特定できるようにする。

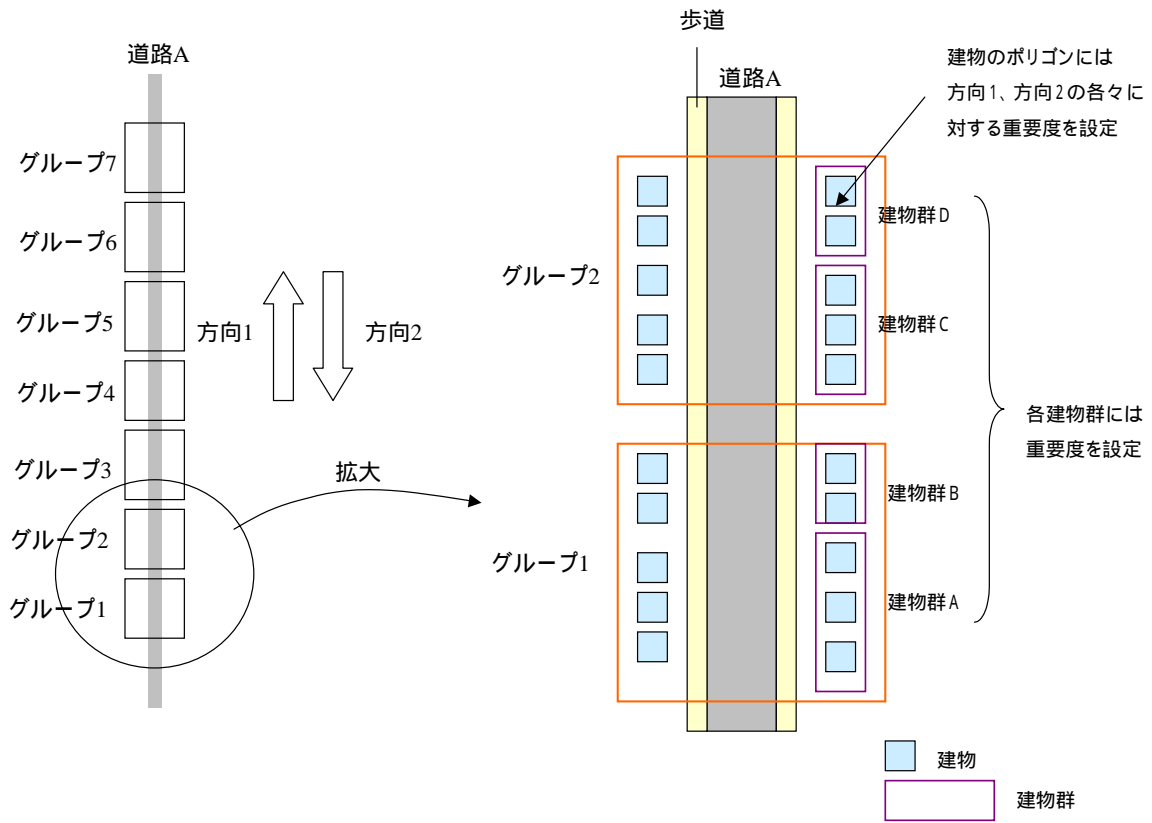


図 2.1-8 道路に基づく地物の管理

(オ) 重要度を用いた抽出

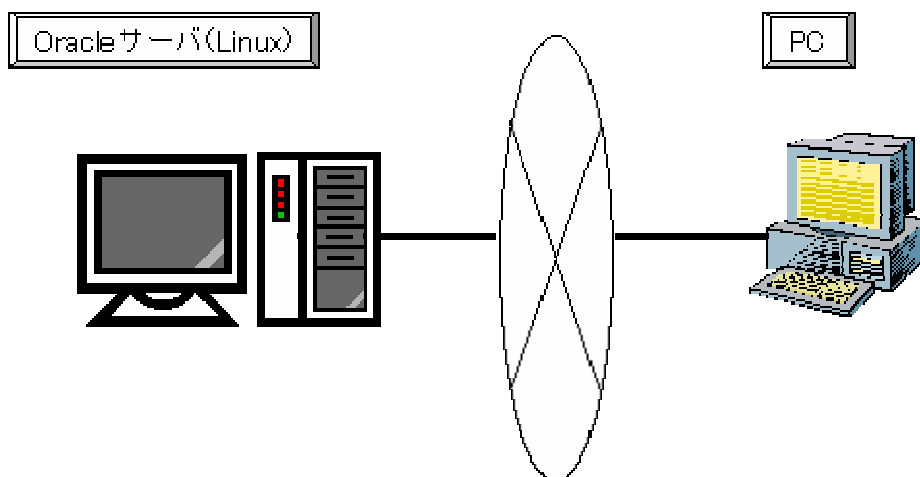
歩行者ナビゲーションにおける景観再現においては、表示上重要度と建物群に関する重要度の 2 種類の重要度を用いて抽出を行う。3 次元空間内で視点と視線方向が定まった後、建物群に関する重要度を用いて視点の位置からでも大きく表示される可能性が高い建物群を選択し、建物群の中から景観のシルエットとなる建物を優先的に選択する。また、各建物群からは端末の表示性能等に応じて表示上重要なポリゴンを抽出する。

このようにして、景観のシルエットとなる建物を非抽出とすることなく確実に抽出し、その他の重要性の低いデータを非抽出とすることで、歩行者ナビゲーションにおいて位置関係の把握に有効な建物を少ない件数で抽出できるようにした。

イ 性能改善および評価

(ア) プロトタイプの評価

空間データ管理モジュールは、上述の通り、歩行者ナビゲーションを目的として伝送の必要なデータの絞り込みを行うことにより、回線速度・計算能力の低い情報端末においても、ハイエンド端末と同レベルのクオリティのアプリケーションを実現するための機能を実現した。しかし、伝送に必要なデータの抽出時間に問題があると、応答性の問題が浮上する。そこで、ナビゲーション・アプリケーションにおいて標準的に必要な 200m 四方の空間データの検索所要時間を評価することとした。システムの構成を図 2.1-9 に示す。実験用のデータとして、平成 16 年度実験に使用した丸の内地区の 3 次元都市地図を用い、建造物 20 件(直方体モデルにおいて、1 直方体あたり 5 面、1 面あたり 2 ポリゴンにより、200 ポリゴン)の検索時間を測定した結果、約 2.2 秒という結果を得た。



<PC>

PC 本体	デスクトップ型 PC
CPU	Pentium IV 2.8GHz HyperThreading
メモリ	512MByte
OS	Windows XP Professional Edition SP2
通信インターフェース	Ethernet (100baseTX)

<Web サーバ>

PC 本体	ラックマウント型 PC
CPU	Pentium III 1GHz × 2
メモリ	1GByte
OS	RedHat Linux 7.2J
通信インターフェース	Ethernet (100baseTX)
ソフトウェア	Oracle9i

図 2.1-9 実験システムの構成

(イ) 時間性能の改善検討

ここで、理想的な応答性の基準として、伝送に必要なデータの検索に要する時間を 1.0 秒以内という目標を設け、検索時間短縮のための検討を行った。検索ルーチン中のサブタスク毎にタイムスタンプ機能を付加し、サブタスク毎の所要時間と処理回数を計測した。この結果、比較的所要時間の大きい処理はデータベースのクエリー投入から結果を得るまでの待ち時間にあることがわかった。なお、クエリー投入の回数はポリゴンの頂点数と同値(1 ポリゴンあたり3 頂点であり、200 ポリゴンで 600 回)である。また、空間データ管理モジュールでは、データの絞り込みを行うためにポリゴンを管理単位とする伝送条件に応じた管理テーブル(インデックス)を予め作成しておき、これを参照することでポリゴンの検索を行っているので、クエリー投入はポリゴン単位で行っても同じ検索結果を得ることができる。以上のことから、次の 2 つの改善手法に基づき改修することとした。

改善手法 1

頂点単位での検索の代わりに、ポリゴン単位の検索を行う。

改善手法 2

改善手法 1 に加え、各ポリゴンを定義する頂点情報をデータベースとは異なるデータ構造(ポリゴン ID 毎に頂点座標を記録した表形式のオリジナルフォーマット)で記憶し、これを参照して頂点を取り出す。

(ウ) 改修モジュールの評価

改修後のモジュールに対し、平成 16 年度モジュールと同様に、丸の内地区の 3 次元都市地図データを用いて建築物 45 件分の検索を行い、所要時間の計測を行った。この結果、改善手法 1 においては 0.39 秒、改善手法 2 においては 0.22 秒という結果が得られた。加えて、検索する建造物件数と検索時間、および空間データ全体のポリゴン数と検索時間の関係を明らかにする評価について、新・旧モジュールの比較を行った。まず、データ母数と検索時間の関係では、データ母数が増えても検索時間はほぼ一定に保たれることが確認できた(図 2.1-10)。次に、検索対象数と検索所要時間の関係は、検索数に対しほぼ線形に所要時間が増加することが確認できた(図 2.1-11)。これらの結果から、改修後のモジュールでは、データベースに記録されているデータ母数が拡大されても、歩行者ナビゲーションに必要な 1000 ポリゴン程度のデータの検索は 1 秒以内に行えることが確認できた。

表 2.1-1 新旧モジュールにおける検索所要時間比較

	建物抽出速度 改善手法 1	建物抽出速度 改善手法 2	改善前
抽出時間[ms]	391	219	2156

建物抽出速度改善手法 2 は OS によるファイルキャッシュにより、同じ処理を繰り返すと抽出時間が速くなる。この結果は、抽出を繰り返して OS によるファイルキャッシュが有効になった状態で得られた結果である。1 回目の抽出速度は 1204ms であった。

登録ポリゴン数	建物抽出時間[ms]		
	建物抽出速度 改善手法 1	建物抽出速度 改善手法 2	改善前
1000	359	187	2125
2000	375	203	2125
3000	375	203	2125
3901	391	219	2156

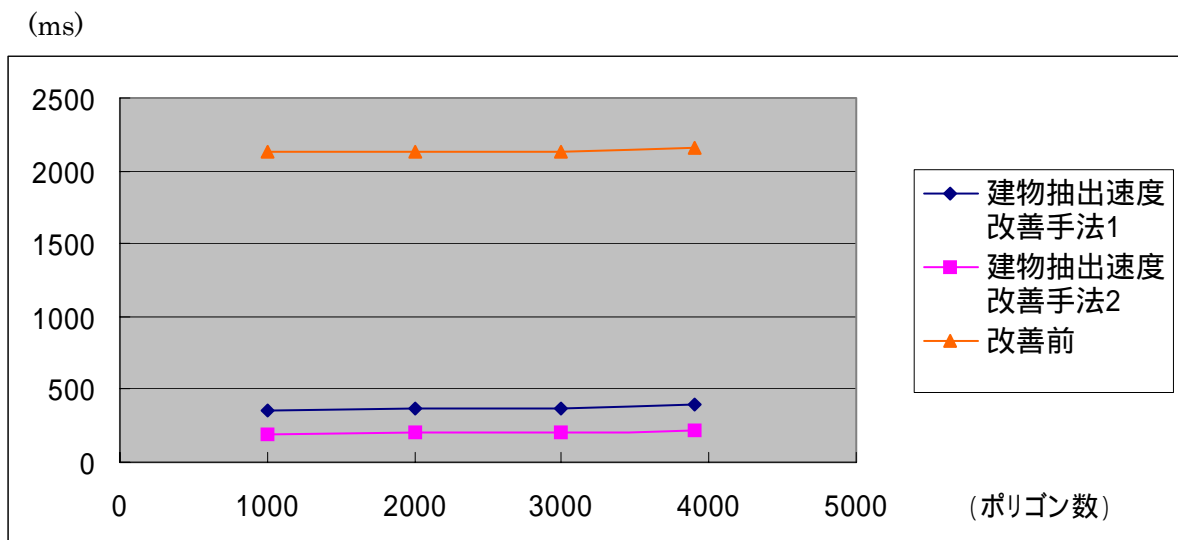


図 2.1-10 データベース登録数と検索所要時間の比較

抽出ポリゴン数	建物抽出時間[ms]		
	建物抽出速度 改善手法 1	建物抽出速度 改善手法 2	改善前
100	234	156	1469
1000	1578	828	14297
2000	2922	1500	28375
3000	4297	2188	42453
3901	5296	2953	55328

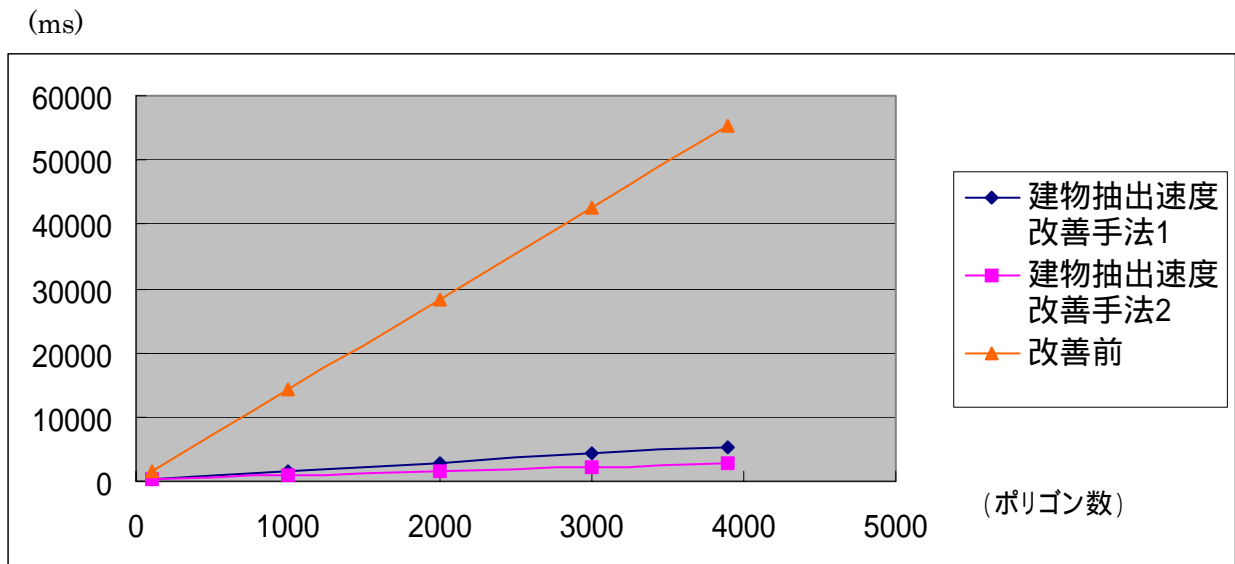


図 2.1-11 検索件数と検索所要時間の関係

(3) まとめ

歩行者向けの移動経路提示(歩行者ナビゲーション)を主たるアプリケーションとして想定し、情報提示に必要な空間データを効率的に検索可能とする空間データ管理技術の研究成果について報告した。

歩行者ナビゲーションに必要なオブジェクトを選択的に抽出するための重要度設定と、重要度や空間データを管理するインデックス生成を行った。歩道上から見た景観を再現する実験を行い、検証した結果、データ削減後の景観においても、位置関係の把握に有効と思われる景観シルエットが維持できること、端末の表示サイズに応じた抽出が可能であること、表示サイズが小さい場合には、視点前方の見通しを考慮した範囲の約 3%の建物を抽出することにより再現した景観であっても、全建物により再現した景観と同様の景観を再現できることを確かめた。

また、検索所要時間について評価し、理想的な応答性の基準として、伝送に必要なデータの検索に要する時間を 1.0 秒以内という目標を設け、検索時間短縮のための検討を行った。この検討結果に基づく改修モジュールでは、データベースに記録されているデータ母数が拡大されても必要なデータの検索を 1.0 秒以内に行えることが確認でき、データの抽出効率と応答性を兼ね備えた空間データ管理技術の確立を確認した。

2.2 メディア複合技術

(1) 従来技術

デジタル化された 3 次元の地理的空間データを様々なデータと組み合わせて総合的に管理、運用する 3 次元 GIS は、災害対策、都市計画、流通等広範な分野での利用が期待されており、これらは画面情報量の豊富なデスクトップ PC 環境において実用化が進められつつある。また GIS が 3 次元化されたことで、新たに災害対策、移動支援等の現場ニーズが注目されるようになり、利用端末をモバイル端末化することへの期待が高まってきているが、現状まだ実現はされていない。

一方で、モバイル端末は近年小型・高性能・多機能になってきており、主に携帯電話端末は年々、著しく向上し続けている。視覚的な表現に関しては、近年の携帯電話端末では、液晶画面のカラー化、大型化、高画質化が進み、高性能で多彩な表現が可能になった。基本的な静止画、動画に関して言えば、高品質な表現が可能になり、GIS で要求される画面情報量がある程度確保できるところまで進んできている。

同時に、モバイル端末のグラフィックス性能に対する要求も更に拡大しており、3 次元グラフィックスの利用を目的とした小型かつ高性能なグラフィックスエンジンが搭載されるなどの技術進化を経て、少量の 3 次元オブジェクトを扱うレベルから徐々に負荷の高いグラフィックス表現が実現されつつある。

しかし、現状の携帯電話端末では通信帯域や CPU 能力、記憶容量などの制約があって、3 次元 GIS (地理情報システム) の膨大なデータを処理するにはまだ性能が十分とはいえない。また、携帯電話端末ごとで 3 次元グラフィックスエンジンや表示領域、発色数の性能差がある為、端末によって著しく動作速度が異なる等の機種依存も発生する。

以上の事を考慮し本研究開発は、メディア複合技術として、3 次元グラフィックスの高速表示機能を備えていない端末であっても、映像表示が可能であれば空間データや属性データ、音声・画像などの関連データを素早く取り出して利用可能とする技術を確立する。

平成 16 年度までは静止画コマ送りの歩行者ナビゲーションによるメディア複合技術の研究を進めてきたが、この 1~2 年でモバイル端末の動画表示機能が標準的な実装となってきた。動画を利用することは、映像の連続性を高め、視認性を大きく向上させる可能性があると考えられる。

そこで、平成 17 年度では平成 16 年度までに研究したキャプション・クリックブルオブジェクトの自動挿入技術を保持しながら、動画メディアを対象に加えたメディア複合技術を研究した。さらに、利用者に対して情報提示のレスポンスを高める技術を検討することで、メディア複合技術の実用化に向けた研究を行った。

平成 17 年度では以下の研究開発を行った。

- ・ **動画メディア複合の実現検討**

様々な視点から動画メディアの有効性、特性を調査し、メディア複合に有効な動画メディアの生成・活用方法を検討した。

- ・ **高速なレスポンスに向けた検討**

モバイル端末における静止画、動画表示のレスポンス現状調査を行い、メディア複合システムにおけるレスポンス高速化部分の明確化、高速化の方式を検討した。

- ・ **動画メディア、レスポンスの高速化を考慮した歩行者ナビゲーションの実現検討**

“動画メディアの複合”、“レスポンスの高速化”の検討結果を考慮した、歩行者ナビゲーションの実現方式を検討した。

(2) 研究開発内容

ア 動画メディア複合の実現検討

(ア) 概要

静止画コマ送りの歩行者ナビゲーションへ動画メディアを組み込むにあたり、まず動画というメディアの表現、機能について把握する必要がある。

この検討では、以下の視点で調査・検討を行い、その結果からもっとも効果的な動画メディア複合方式を策定した。

- ・ 動画メディアの有効性・特性の調査
- ・ 移動支援における動画活用場面の検討
- ・ 携帯動画の現状や特性から動画活用の適性検討

(イ) 動画メディアの有効性・特性

様々な文献・論文資料を基に動画の有効性・特性の調査を行った。

まず、動画も含めた各種メディアによる情報伝達の特徴を表 2.2-1 に示す。^[1]

表 2.2-1 各種メディアによる情報伝達の特徴

項目		メディア種別 (:該当 / マイナス面で該当)			
		文字	音声	静止画 (画像)	動画
大項目	小項目				
媒体分類	視覚(動的)				
	聴覚(動的)				
	視覚(静的)				
情報の傾向	速報伝達				
	詳報伝達				
データ量	少ない				
	やや多い				
	多い				
速読性	一見して理解				
	理解に時間がかかる				
環境の影響 (周囲の騒音等の外乱)	影響を受けない				
	影響を受ける				
メディアの統合可否	文字・音声・静止画の統合				
	文字の統合				
	統合不可				
色彩の可否	色彩表現可能				
	色彩表現不可				

動画は文字、音声、静止画などの要素を取り込み、より多くの情報を伝達することが可能である。また文字や静止画による理解は概念であり、情報の受け手である利用者の概念範囲でしか想像は及ばないが、映像、すなわち動画では疑いの余地なく事実の承認を迫ってくる為、現有の認知構造の変容を促すことができる。^[2]

この”認識度の高さ”が動画の特徴と考えられる。さらに動画の利用用途が適していると考えられる条件として以下のものが考えられる。^[3]

- 人の発言にリアリティ、抑揚などを持たせたい場合
- 動きや仕組みを正確に表現したい場合
- 場の雰囲気、臨場感を正確に伝えたい場合

このような事から、状況の変化や雰囲気などより現場に近い情報を、文字や静止画による概念提供ではなく、事実として正確に伝えることで受け手の理解度を高めることが動画を活用する有効性と考えられる。

この動画の有効性・特性を踏まえて、歩行案内経路における動画の活用方法について検討を行った。

(ウ) 移動支援における動画活用場面の検討

状況の変化や雰囲気など現場に近い情報を、正確に受け手に伝えることが動画の有効性・特徴であると前項で述べた。では、移動支援において受け手へ正確に伝えるべき情報にどのようなものがあるか、また平成 16 年度の実証実験で得られた要望・改善点から受け手が求めている情報は何かという部分に着目し、調査した。

A 移動支援で受け手に伝えるべき情報

まず人が目的地に向かって移動する場合、街の景観を形成する様々な情報に着目し、その情報を手掛かりにしている。

実際、人が移動する上でどのような情報に着目しているか分析した結果、以下のような分類ができる。

[4]

表 2.2-2 ルート上で注目している情報の分類

landmark	object	特定の建造物、店の看板など
	shape	道路の形状に関すること:道路の太さ、T字路、カーブなど
	その他	商店街、住宅街、場所の雰囲気など
orientation	移動方向に関すること:右折、左折など	
others	次回訪れたときには変わってしまう情報など	

表 2.2-2 に示すように、場所を特定するために利用している情報(landmark)と、移動方向に関する情報(orientation)、その他、次回訪れたときには変わってしまうはずの情報など(others)に大きく分類できる。

また道に迷いやすい人と迷いにくい人で着目する情報に関して、以下のような違いがある。[5]

表 2.2-3 道に迷いやすい人と迷いにくい人での着目情報の違い

道に迷いやすい人	道に迷いにくい人
landmark 情報より、次回訪れると変わってしまう情報 (others) に着目する方が多い (横断歩道を渡っている人がいる、反対車線が混んでいる、天気が悪い感じがするなど)	landmark 情報で着目する object 数、shape 数が多い (建物、交通標識、道路の形状など)
着目した情報は同じパス上に集まっており、移動方向に関する情報 (orientation) と結びつかないものが多い	着目した情報は各交差点を特定される形で、注目しており、移動方向に関する情報 (orientation) と結びつくものが多い

つまり、道に迷いにくい人は移動の役に立つ情報 (landmark や orientation) に着目しているのだが、道に迷いやすい人は移動の役に立つ情報には注意が向いてないと言える。

以上のことから、目的地へ正しく導く為の移動支援では、場所を特定させる為の情報 (landmark) や移動方向に関する情報 (orientation) といった移動の役に立つ情報を正確に受け手へ提示し注目させることが重要であり、認識度の高い動画活用が適しているのではないかと考えられる。

B 移動支援で受け手が求めている情報

平成 16 年度では、各種キャプション (文字、音声、矢印) やクリックオブジェクトの妥当性・必要性評価を行う為に、観光案内をモチーフとした移動支援の実証実験を行ったが、その際に、被験者から様々な要望、改善点の意見を得ることができた。

まず平成 16 年度の実証実験で得られた要望、改善点をまとめたものを、表 2.2-4 に示す。

表 2.2-4 実証実験で得られた要望・改善点

種別	主な要望・改善点
経路全体	・全体地図表示 (2 次元地図との切り替え) ・目的地までの距離・到着時間の表示
景観・表現	・進行方向以外の左右の周辺景観表示 ・夜景の景観表示
操作性	・GPS と連動による自動移動 ・経路を間違えた時の再検索 (リルート)
安全性	・車、信号等の危険注意、警告 ・信号機との連動
コンテンツ	・周辺情報の詳細化 (交通・路線情報など) ・現在位置情報の詳細化

このように様々な要望・改善点を得られたが、この中でも特に多くの被験者が求めた情報は以下の2つである。

経路全体を把握する情報の提示

開始地点から目的地までの距離(感)、歩行時間など全体の雰囲気把握出来る情報の提示

現在地を確認する情報の提示

GPS 機能、周辺景観の表示等による現在地が把握できる情報の提示

このような多く求められている情報に対して、認識度の高い動画が活用できれば効果的であると考えられる。

次は携帯端末というプラットフォームにおける動画の適性について検討した。

(工) 携帯端末の機能に基づく動画メディアの適性検討

携帯端末で動画メディアを活用する為に、携帯端末上でどのような表現、制御が行えるのか、携帯端末の現状や特性の調査・検討を行った。

A 携帯動画の現状

近年、携帯端末は第2世代携帯から第3世代携帯へと移行が進み、動画再生機能が標準装備されている端末が約5割まで普及してきている。世代別の携帯電話契約数の推移を図2.2-1に示す。

また第3世代によるデータ通信の高速化、パケット料金の定額制、1セグ放送サービスの開始などインフラやサービスが充実し、動画配信サービスの需要は年々拡大している。

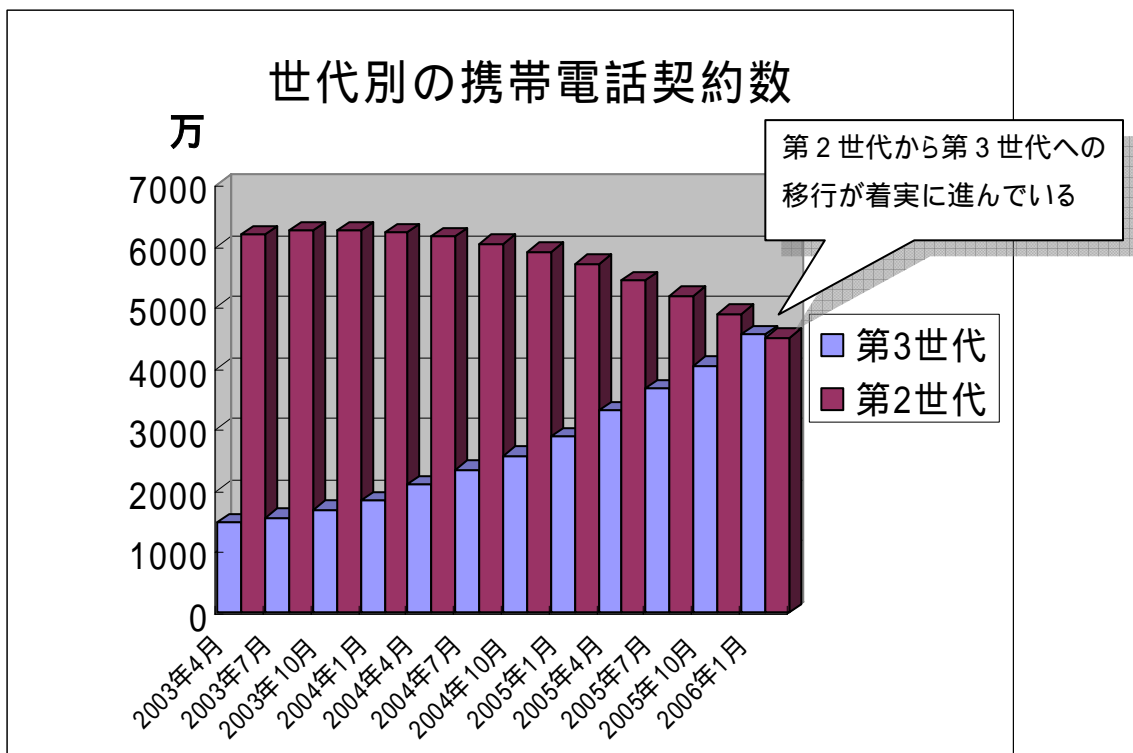


図 2.2-1 世代別携帯電話契約数の推移

現在、各キャリアにおける動画配信仕様の調査を行い、比較を行った。
比較結果を、表 2.2-5 に示す。

表 2.2-5 キャリア別動画配信仕様の比較

	i モーション (NTT ドコモ)	EZ ムービー (au by KDDI)	ムービー写メール (ボーダフォン)
再生方式	ダウンロード再生 ストリーミング再生 プログレッシブダウンロード再生(1)	ダウンロード再生 ショートストリーミング再生 (2)	ダウンロード再生
最大ファイルサイズ	ダウンロード再生: 500KB(901i 以降) 300KB(900i 以前) ストリーミング再生: 2MB	ダウンロード再生: 1.5MB(W シリーズ) 240KB(A シリーズ) SS 再生: 140KB	300KB
動画コーデック	MPEG-4 H.263 baseline	MPEG-4	MPEG-4 H.263
音声コーデック	AMR, AAC	AMR, AAC	AMR
ファイル形式	3GPP(Mobile MP4)	3GPP2	MP4
テロップ機能	Timed Text Format	Timed Text	×
動画再生中の制御	一時停止、早送り、巻き戻し、コマ送り、スロー再生(機種依存あり)	一時停止、早送り、巻き戻し、コマ送り、コマ戻し、スロー再生(機種依存あり)	一時停止、早送り、巻き戻し、コマ送り、コマ戻し、スロー再生(機種依存あり)
表示領域への図形描画	×	×	×
表示領域へのインタラクティブ操作	×	×	×
アプリでの動画再生	動画プレーヤー呼び出しにより可能 (容量制限あり)	特定の BREW アプリ制作キットにより組み込み可能	動画プレーヤー呼び出しにより可能 (機種依存あり)
<p>(1) プログレッシブダウンロード再生は取得した i モーションデータを逐次キャッシュメモリ上に蓄積し、i モーションの再生を行う。キャッシュメモリ上のデータを端末内に保存可能</p> <p>(2) ショートストリーミング再生は EZ ムービーデータを取得した直後、自動再生を行う。 取得したデータは再生終了後、自動消去され保存することはできない。</p>			

B 携帯動画の特性(利点・欠点)

表 2.2-5 の動画配信仕様から携帯端末の特性を検討した結果、以下の利点、欠点があると考えられる。

携帯動画の利点

- ・ 場所・時間を選ばない、簡単な動画再生操作による感覚的な情報収集
携帯端末による動画再生は場所や時間を選ばず、再生、一時停止、停止といった簡単な操作で情報量の多い動画を閲覧可能。
- ・ 外部機能との連携が容易
携帯端末上で動作する Java、BREW 等のアプリケーションから動画再生するといった連携が容易であり、各種マルチメディアを組み合わせた動画利用が可能。

携帯動画の欠点

- ・ 動画フォーマットの不統一
キャリア毎で動画のフォーマットが異なる為、情報提示する場合、キャリア毎の動画を用意しなくてはならない。
- ・ 動画再生制御に関する機種依存
動画再生制御に関して、"再生"、"一時停止"、"停止"はどの端末でも行うことが可能であるが、"早送り"、"巻き戻し"、"コマ送り"、"コマ戻し"、"スロー再生"は端末毎に異なる。広く活用できる技術を目指す観点では機種依存しない限られた制御範囲で動画の用法を検討することになる。
- ・ 表示領域への図形・文字描画不可
動画再生中、映像表示領域に図形や文字などを重ねて表示することができないので、映像内のオブジェクト等を外部から特徴付けることができない。
(図形・文字描画を行う場合は映像の中に組み込んだ形で、動画を作成する必要がある)
- ・ 動画再生中のインタラクティブ操作の不可
動画再生中、映像表示領域に対して操作ができないので、映像内のオブジェクトをクリックするなどのインタラクティブな操作ができない。

- 画質の制約

ファイルサイズに制限があることから、動画は静止画よりも解像度・鮮明度の面で劣る。動画と静止画の画質比較イメージを、図 2.2-2 に示す。



図 2.2-2 動画と静止画の画質比較

以上の利点・欠点から携帯動画において動画を活用する場面は、インタラクティブ性を必要としない用途の中で、“再生動作だけで機能が果たせるもの(確認作業など)”が望ましいと考えられる。

(オ) 動画メディア複合方式の策定

(イ)～(エ)の各視点での調査・検討結果をまとめたものを、表 2.2-6 に示す。

表 2.2-6 各視点の調査・検討結果

項目	調査・検討結果
動画の有効性・特性	状況の変化や雰囲気など現場に近い情報を、正確に受け手に伝えることができる“認識度の高さ”
移動支援で受け手に伝えるべき情報	場所を特定させる為の情報や移動方向に関する情報といった移動の役に立つ情報
移動支援で受け手が求めている情報	経路全体を把握する情報や現在位置を確認する情報
携帯動画の特性	動画活用場面はインタラクティブ性を必要としない用途の中で、“再生動作だけで機能が果たせるもの(確認作業など)”が望ましい

以上の調査・検討結果から、動画メディア複合方法を以下の2つに策定した。

全体経路を把握させる為のプレビュー表示

全体の距離感や右左折の回数など全体経路を把握してもらう為に、開始地点から目的地までの歩行経路を動画再生する。

人が移動する前に表示(プレビュー表示)することで、あらかじめ経路を記憶してもらい、歩行経路の認識の誤りを減少させることを目的としている。[5]

現在地を確認する為の周辺景観表示

自分の居る場所の360度パノラマ景観を動画再生する。

360度の周辺景観を表示することで、実際の景観と見比べて現在位置、または自分の移動すべき方向を把握してもらうことを目的としている。

(カ) 成果

様々な視点から動画メディアの有効性・特性、活用場面を調査・検討し、その結果を基に動画メディア複合方式を策定することができた。

この動画メディア複合方式を組み込んだ形で、歩行者ナビゲーションを実装し、動画メディアの有効性を実証実験にて検証した。

イ 高速なレスポンスに向けた検討

(ア) 概要

メディア複合技術のテーマの1つとして“レスポンスの高速化”がある。これは有線ネットワーク環境と比較して回線リソースの制約が多い移動体通信網で高速な情報提示を行う技術の確立を目的としている。

そこで本項では、現状の携帯端末のターンアラウンドタイムを調査し、その調査結果から高速化する為のレスポンス評価部分を見極め、レスポンスの高速化を実現する方式の検討を行った。

目標は“要求から応答開始まで 1 秒以内”とする。

(イ) ターンアラウンドタイムの現状調査

まず、携帯端末で情報提示を行う場合、“操作(表示要求)”、“データ通信”、“応答結果表示”、“応答結果確認”の4つのプロセスが繰り返し行われるものであると考えられる。このプロセスの進行イメージを図 2.2-3 に示す。

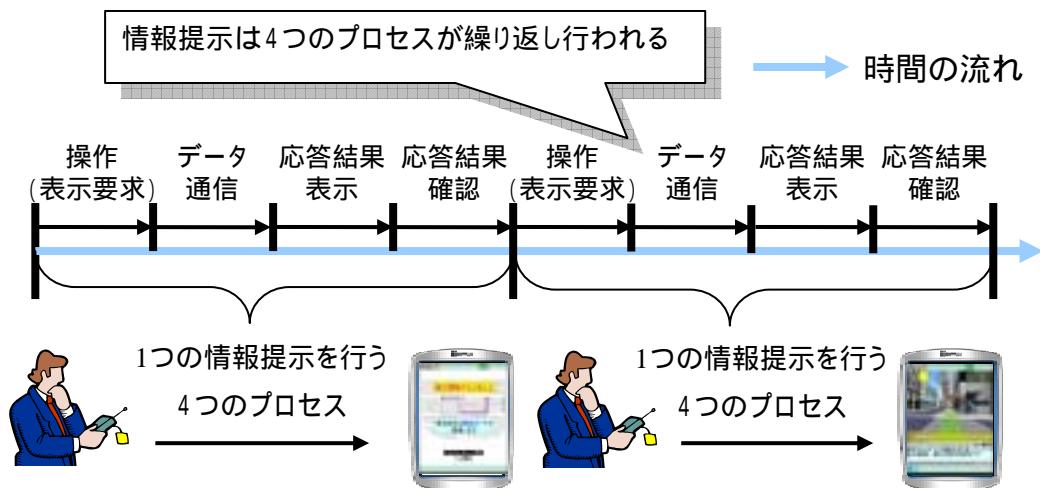


図 2.2-3 情報提示のプロセス

この 4 つのプロセスの中で“表示要求から応答結果表示まで”といった端末・サーバの処理時間(“データ通信”と“応答結果表示”)を計測することで、レスポンスタイムを含む現状のターンアラウンドタイム性能を調査した。

ターンアラウンドタイム性能の調査は以下の評価方式で行った。

A 評価方式

携帯端末から Web サーバにあるコンテンツをアクセスし、表示要求から応答結果を表示するまでの時間を計測する。

“ パケット網接続“に関しては 1 度接続した後は、パケット網接続状態となることから、パケット網接続無しからの計測時間(~)とパケット網接続状態からの計測時間(~)の 2 通り測定することで、パケット網への平均接続時間を算出した。時間計測する区間を図 2.2-4 に示す。

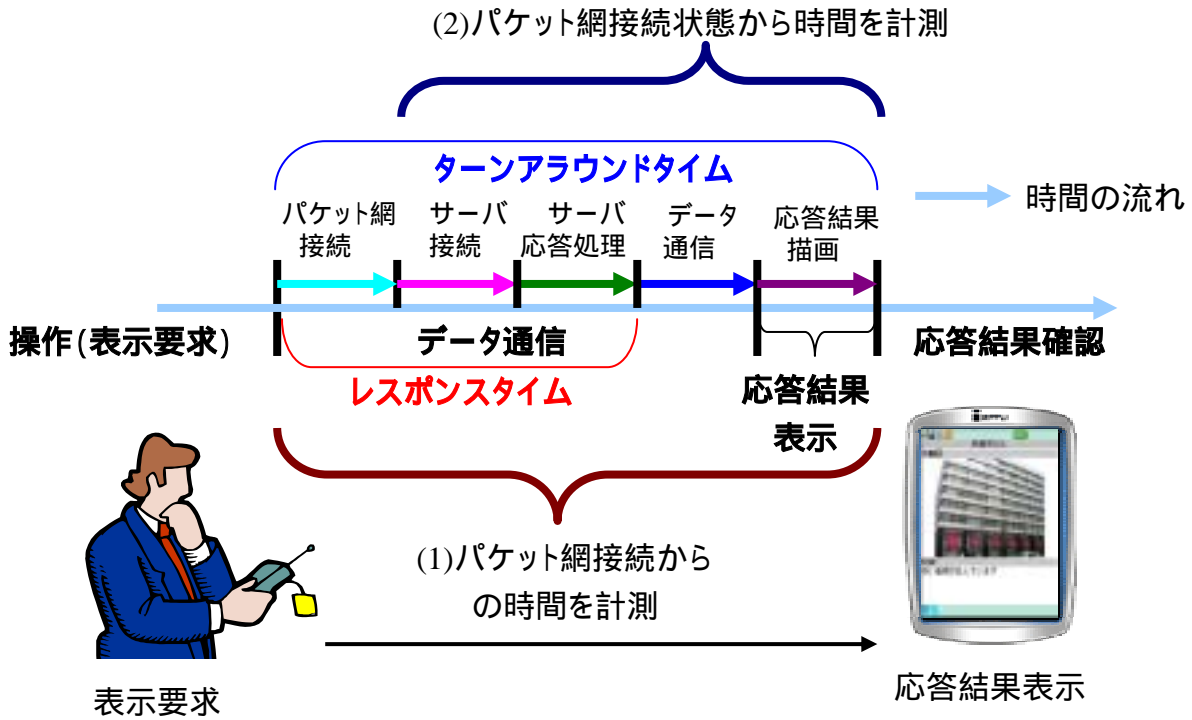


図 2.2-4 時間計測する区間

B テスト環境

時間計測を行うテスト環境を、図 2.2-5 に示す。

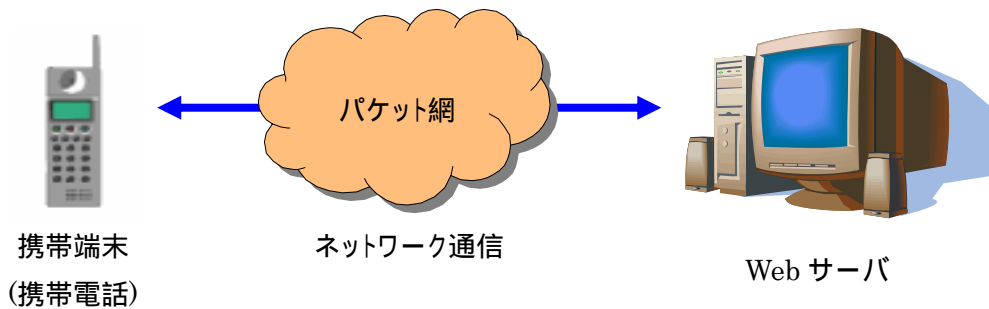


図 2.2-5 テスト環境

システムを構成する Web サーバ機の内訳を、表 2.2-7 に示す。

表 2.2-7 Web サーバの内訳

No.	分類	名称	仕様
1	ハードウェア	PC/AT 互換型 PC	下記仕様の PC/AT 互換機 CPU: Intel Pentium 4 3GHz メモリ: 1GB HDD: 120GB
2	基本ソフトウェア	OS	Windows 2000 Server Service Pack 4
3		WWW サーバ	IIS Web サーバ Ver.5.0

システムを構成する携帯端末の内訳を、表 2.2-8 に示す。

表 2.2-8 携帯端末の内訳

No.	分類	名称	仕様
1	ハードウェア	携帯電話	NTT DoCoMo N902i

アクセスするコンテンツは、移動支援を想定して、以下の 3 種類とする。

表 2.2-9 アクセスするコンテンツ一覧

コンテンツ名	構成ファイル	サイズ
ランドマークの属性情報 (以下、属性情報と略す)	静止画 (jpg) + テキストファイル	約 6KB
3 次元景観画像 (以下、景観映像と略す)	静止画 (jpg) ファイル	約 8KB
3D プレビュー動画 (以下、動画と略す)	動画 (3gp) ファイル	約 150KB

C 計測結果

コンテンツ毎に 5 回計測し、その平均計測時間を算出した。

計測結果を、表 2.2-10 に示す。

表 2.2-10 計測結果

コンテンツ	計測区間	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目	平均計測時間
属性情報	～	6.3 秒	5.9 秒	6.0 秒	6.1 秒	6.2 秒	約 6.1 秒
	～	2.5 秒	4.5 秒	4.2 秒	5.3 秒	4.7 秒	約 4.2 秒
景観画像	～	5.4 秒	5.4 秒	5.5 秒	5.5 秒	5.5 秒	約 5.5 秒
	～	4.1 秒	3.8 秒	3.5 秒	3.7 秒	3.6 秒	約 3.7 秒
動画 (ストリーミング)	～	-	-	-	-	-	- (1)
	～	4.1 秒	5.4 秒	6.1 秒	5.7 秒	5.7 秒	約 5.4 秒
動画 (ダウンロード)	～	9.6 秒	9.8 秒	9.6 秒	10.8 秒	9.3 秒	約 9.8 秒
	～	8.0 秒	8.1 秒	9.8 秒	7.5 秒	7.5 秒	約 8.2 秒
(1)ストリーミング再生は最初、再生ページにアクセスする為、既にパケット網には接続状態である。							

計測結果から、全体的に平均 4～6 秒、動画のダウンロード再生に関しては平均 10 秒ほど時間がかかっていることがわかった。

またパケット網接続無しからの計測時間とパケット網接続状態からの計測時間の差が約 1～2 秒程度あり、パケット網接続するのに時間がかかっていることがわかった。

また属性情報(Web ページ)が、サイズの大きい景観画像(静止画ファイル)よりも時間がかかったという結果が得られた。これは属性情報が Web ページ(静止画ファイル+html ファイルの複合コンテンツ)であるため、携帯端末上で描画するのに時間がかかっていると考えられる。

以上のことからレスポンスタイムを含む携帯端末の現状のターンアラウンドタイムは、インフラ部分である“携帯端末の描画性能”や“パケット網の通信性能”に大きく依存していると考えられる。

しかし、インフラ部分の描画・通信性能は今後、更なる技術発展により向上するものと考えられる。

(ウ) メディア複合システムのレスポンス高速化検討

ターンアラウンドタイム現状調査の結果から、メディア複合システムにおけるレスポンス評価部分を明確化し、レスポンス向上に向けた方式を検討した。

A レスポンス評価部分の明確化

端末・サーバ処理時間に関してレスポンスタイムを含む携帯端末の現状のターンアラウンドタイムは、インフラ部分である描画・通信性能に大きく依存することがわかった。

そこで、情報提示における4つのプロセスを“人が動作している時間”と“端末・サーバが処理している時間”の2つに大きく分けた形でレスポンス評価部分を検討した。それぞれの時間の中で4つのプロセスが処理されてゆく過程を図 2.2-6 に示す。

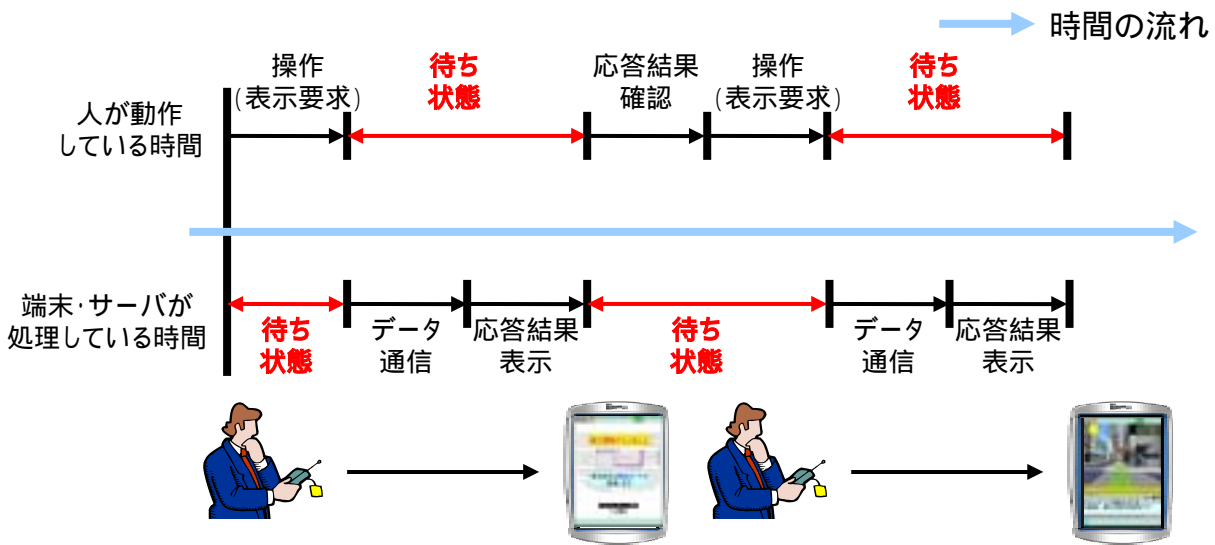


図 2.2-6 “人が動作している時間”と“端末・サーバが処理している時間”

図 2.2-6 からわかるように、お互いの処理が交互に行われる形で、片方が動作(処理)している時は、待ち時間が発生していることがわかる。この待ち時間を有効利用することで、“要求から応答開始まで 1 秒以内”が実現できるのではないかと考えられる。

つまり以下の方式を検討することで、レスポンスの高速化を図った。

描画、通信技術に依存せず、待ち時間を有効利用し効率良く情報を保持することで、迅速に応答結果を表示する方法

B 先読み機能を最大限活用した表示方式

迅速に応答結果を表示する方法を考えた場合、以下の方法が効果的であると考ええる。

利用者が応答結果確認している間に、次に表示するデータの通信を開始する方式 (**先読み機能**)

先読み機能を最大限に活用した表示方式のイメージを、図 2.2-7 に示す。
イメージ図にある ~ は、図 2.2-4 で示した処理と同じである。

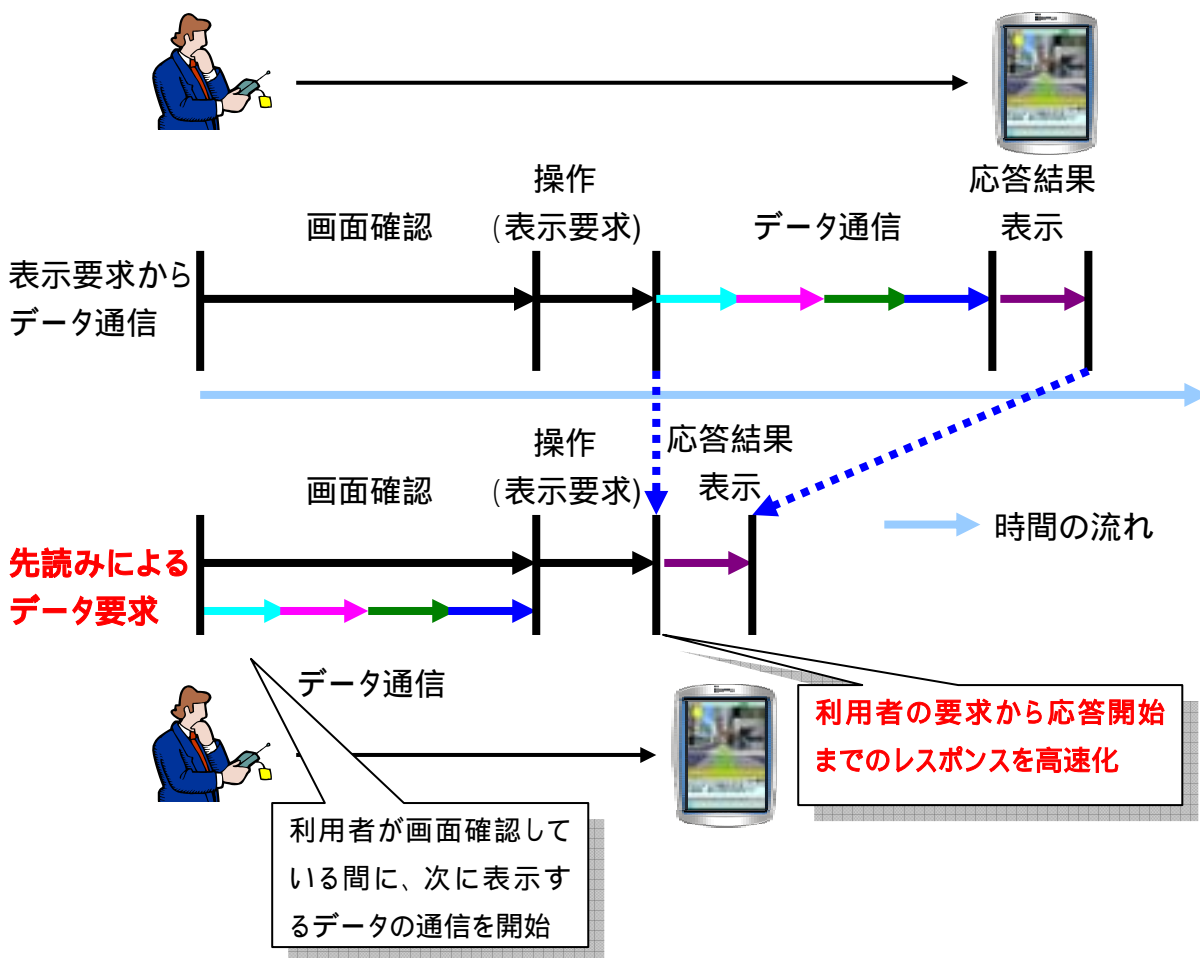


図 2.2-7 先読み機能を最大限活用した表示方式

図 2.2-7 のように、利用者が応答結果確認を行っている間にデータ通信を行い、あらかじめ次に表示するデータを保持しておくことで、表示要求の操作に対し、“ 応答結果描画”の処理だけを行う形にする。

こうすることによって、要求から応答開始までのレスポンスを高速化させることができると考えられる。

C 先読み機能の実装によるレスポンス調査

この先読み機能を実装したと仮定し、既にコンテンツを端末に保持している状態で“ 応答結果描画”の時間計測を行った。

計測結果を、表 2.2-11 に示す。

表 2.2-11 ” 応答結果描画”の時間計測結果

コンテンツ	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目	平均計測時間
属性情報	0.7 秒	0.7 秒	0.7 秒	0.7 秒	0.7 秒	約 0.7 秒
景観画像	0.7 秒	0.7 秒	0.7 秒	0.7 秒	0.7 秒	約 0.7 秒
動画	1 秒	0.8 秒	0.8 秒	0.7 秒	0.9 秒	約 0.8 秒

上記の結果から、“ 応答結果描画”の計測時間は“要求から応答開始まで 1 秒以内”の目標を達成することができ、先読み機能を行うことで要求から応答開始までのレスポンスを高速化できると考えられる。

(工) 成果

現状調査から携帯端末におけるレスポンスが、描画・通信技術に大きく依存していることがわかり、先読み機能を最大限活用した表示方式を実装することで表示要求に対するレスポンス高速化に有効な技術であることが確認できた。

この先読み機能をメディア複合方式に組み込んだ形で、歩行者ナビゲーションを実装し、情報提示の速度(利用者から見た情報提示の快適度)を実証実験にて検証した。

ウ 動画メディア、レスポンス高速化を考慮した歩行者ナビゲーションの実現検討

(ア) 概要

平成 17 年度では動画メディア複合の実現検討や、レスポンス高速化に向けた検討を行った。これらの研究成果を平成 16 年度の歩行者ナビゲーションに組み込んだ形で、実用化に向けた方式検討を行った。

また平成 17 年度の研究成果を実装した歩行者ナビゲーションによる実証実験を行い、動画メディアの有効性、レスポンスの高速性について評価を行った。(詳細は「第四章 実証実験」を参照)

静止画コマ送りの歩行者ナビゲーションに追加した機能、改善した機能は以下の通り。

3D プレビュー表示機能

静止画コマ送りのナビゲーションを行う前に、全体経路を把握してもらう為に開始地点から目的地までを動画再生する機能を追加。

またプレビュー表示を組み合わせたことによる、静止画コマ送りの景観間引き間隔の変更。

周辺パノラマ動画機能

経路途中で現在地を確認する為、周辺を見渡せる 360 度景観のパノラマを動画再生する機能を追加。

先読み機能によるレスポンスの高速化

平成 16 年度の歩行者ナビゲーションでは、ナビ開始要求から初期化～ナビゲーションデータダウンロードを行っていたが、平成 17 年度は利用者がナビ案内画面を確認している時に、バックグラウンドで初期化～ナビゲーションデータダウンロードを行い、ナビ開始要求から迅速に 3 次元景観静止画を表示するよう改善。

これら3つの機能の概要を、図 2.2-8 に示す。



図 2.2-8 歩行者ナビゲーションの追加機能、改善機能

(イ) 3D プレビュー表示機能

3D プレビュー表示機能を実現する上で、以下のことを考慮して、作成した。

また 3D プレビュー表示機能を実現することで、静止画コマ送りの景観間引き間隔の変更を行った。

A データサイズの制限

3D プレビュー表示機能は携帯端末の Java アプリケーションから動画プレーヤーを呼び出すことで動画再生する事が可能である。しかし Java アプリケーションからの動画再生には以下の制限がある。^[6]

<i>アプリコンテンツ開発ガイドより抜粋</i>

i>アプリから再生可能なi>モーションのデータサイズは、MediaManager.getImage()メソッドに HTTP スキームのi>モーション URL を指定する場合には最大 150KB までです (本書 5.1 項に記載の HTTP(S)通信サイズの制約を受けます)。

以上の制限により、動画のサイズは最大で 150KB でデータを作成する必要がある。

B 景観静止画を利用した動画作成

動画生成手法

3D プレビュー動画は、歩行者ナビゲーション用に抽出した景観静止画を繋ぎ合わせて作成した。作成の際には滑らかな映像にする為に、直進は 1m 間隔で、交差点等の右左折は 15 度間隔で景観静止画を使用した。

またデータサイズの制限をうけることから画質または動画の進行速度を調整し動画を作成した。

3D プレビュー動画の設定を、表 2.2-12 に、また 3D プレビュー動画の作成方式を、図 2.2-9 に示す。

表 2.2-12 3D プレビュー動画の設定一覧

項目	値
データレート	約 55 ~ 61Kbps
フレーム	12 or 15 フレーム / 秒 (1)
サイズ	176 × 144pixel (縦 × 横)
再生時間	約 19 ~ 21 秒 (1)
(1) 経路によって距離が異なる為	

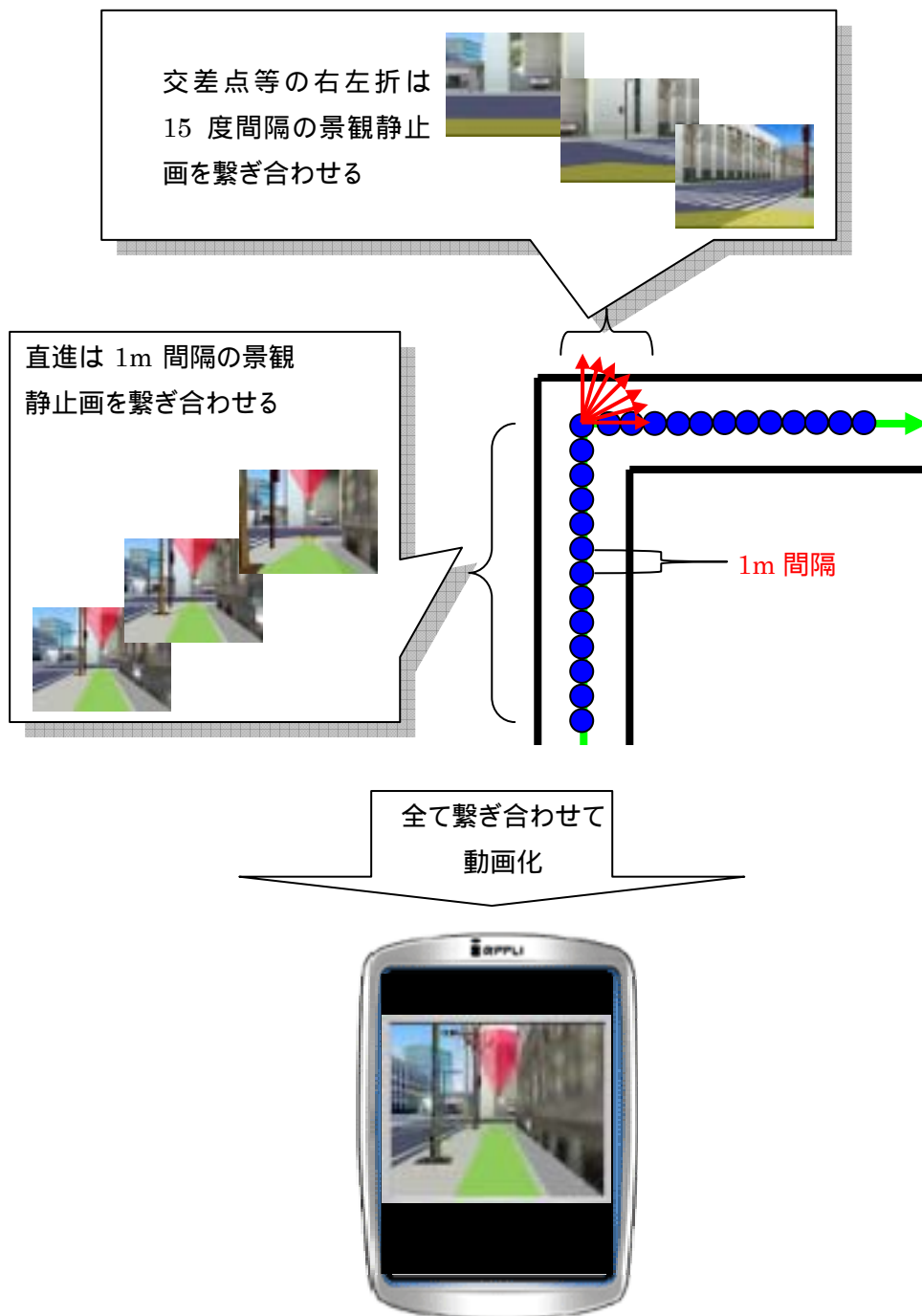


図 2.2-9 3D プレビュー動画作成方式

データサイズ制限を考慮した静止画間隔調整手法

3D プレビューでは、限られた動画データサイズ内で一定距離の経路景観表現を実現しなければならない。そこで、見た目の移動速度・動画表示時間を一定とした場合、コマ静止画の距離間隔をどのくらいにすると圧縮率の高い動画が生成できるか検証した。この動画データの圧縮効率に関する検討結果を、図 2.2-10 に示す。

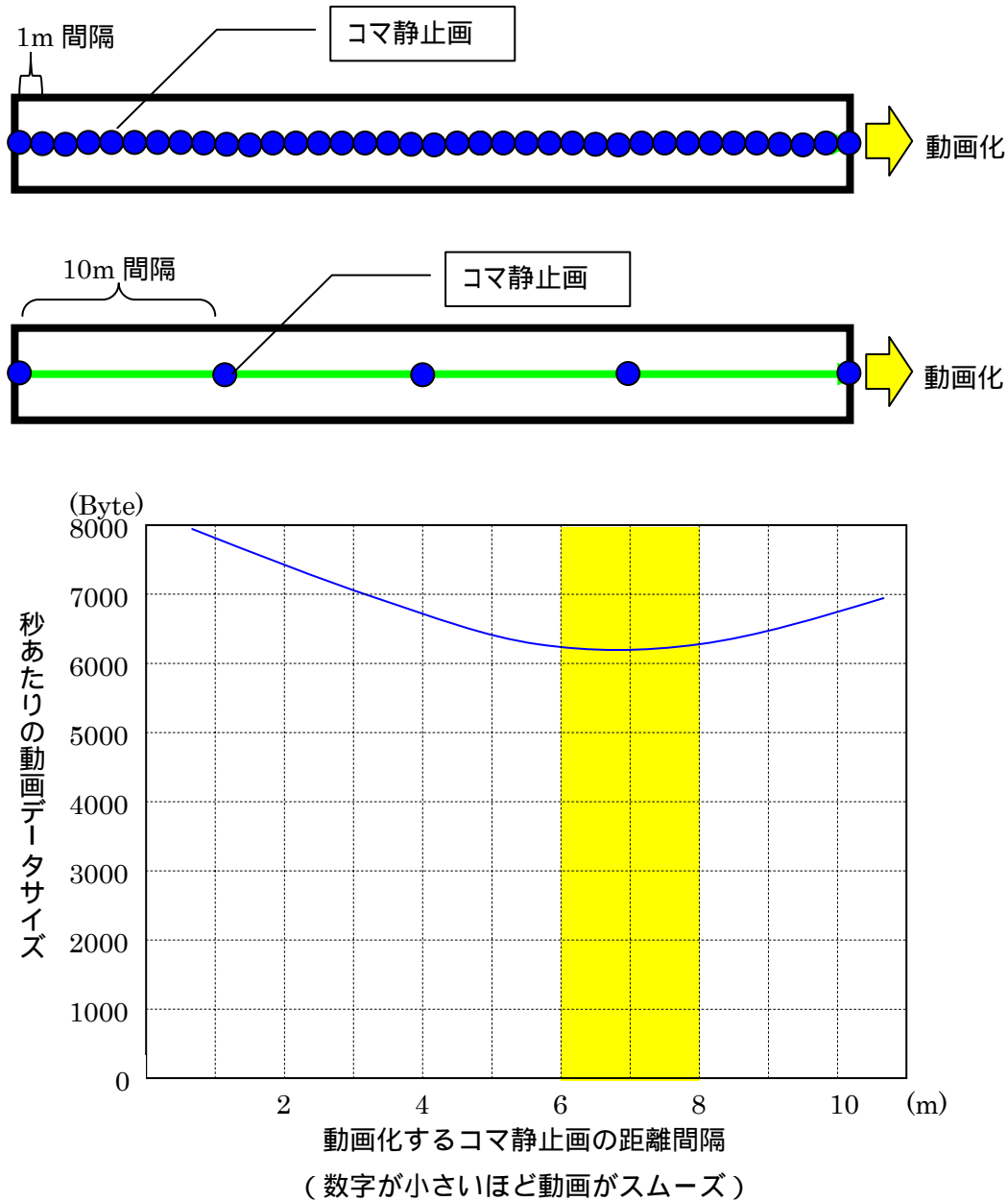


図 2.2-10 コマ静止画の距離間隔と動画データサイズの関係

この結果より、まずコマ静止画数を減らした粗い動画にしても、動画を小さくできるとは限らないことがわかった。コマ静止画数を 2m ~ 6m 間隔程度に減らす場合は、映像の小さな差分情報数が減ることの効果で動画サイズを圧縮できるが、10m 間隔まで減らすと映像変化が激しくなり圧縮できる差分映像がなくなることがこの原因と考えられる。

連続した景観映像を動画化する場合、スムーズな動画を生成するのであれば静止画 1m 間隔程度でデータ化するのが望ましいが、限られたデータサイズで少しでも長距離分の動画を生成するには、静止画間隔を 6m～8m 位にすると圧縮率の高い動画を生成できることがこの分析でわかった。

C 景観間引き間隔の変更

3D プレビュー表示により、利用者にはあらかじめ全体経路を把握させることで、経路中間の景観静止画を大きく間引いてもナビゲーション理解度の支障はきたさないと考えられる。そこで直進経路の静止画データ量を削減する為に、平成 16 年度まで静止画間引き間隔が、ノード付近 10m 間隔、直線 20m 間隔であったものを、平成 17 年度ではノード付近 15m 間隔、直線 30m 間隔に変更した。間引き間隔の変更方法を、図 2.2-11 に示す。

<平成 16 年度までの方式>

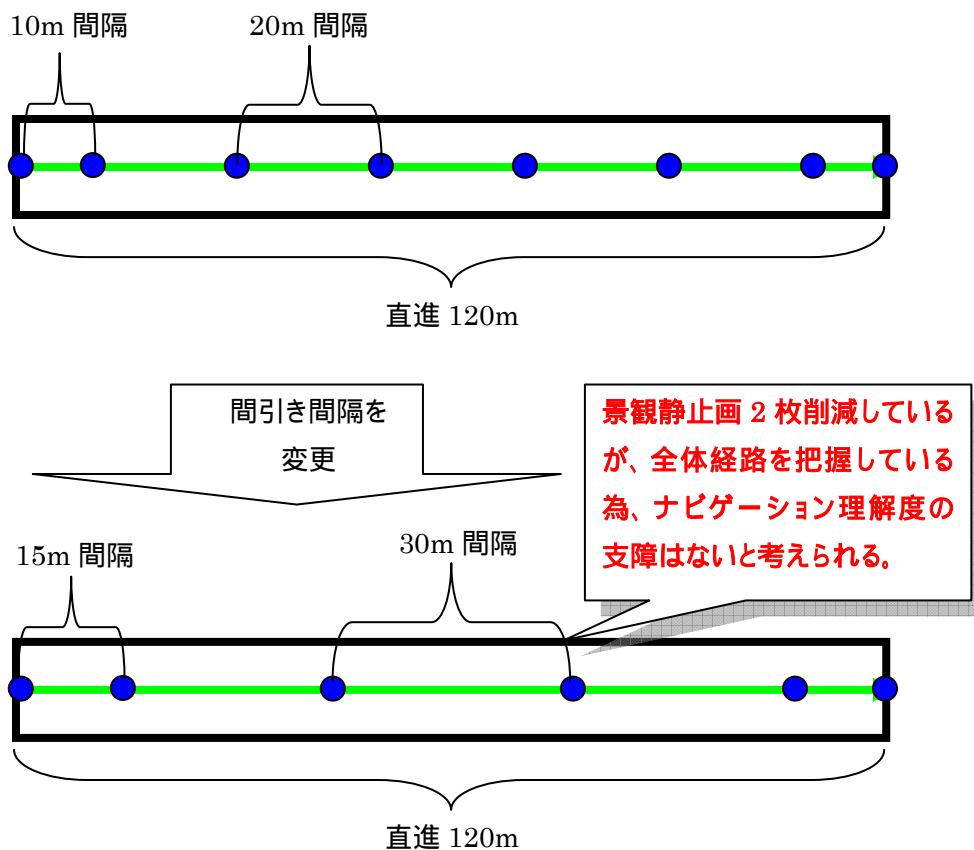


図 2.2-11 直進経路間引き間隔の変更

(ウ) 周辺パノラマ動画機能

周辺パノラマ動画機能を実現する上で、以下のことを考慮して、作成した。

A 景観静止画を利用した動画作成

周辺パノラマ動画は、歩行者ナビゲーション用に抽出した交差点 360 度の景観静止画を繋ぎ合わせ

て作成した。作成の際には細かい角度で周辺が確認できるように、15度間隔で景観静止画を使用した。

さらに、周辺を分かり易く確認してもらう為に、高画質な動画を作成した。しかし3Dプレビュー動画同様、データサイズの制限があるため、最大でも150KBに収まるよう作成した。

また周辺パノラマ動画を利用する場合に、すべて同じ条件で周辺確認できるように、右回りで動画の進行速度は1回転6秒で統一した。

周辺パノラマ動画の設定を、表2.2-13に、また周辺パノラマ動画の作成方式を、図2.2-12に示す。

表 2.2-13 周辺パノラマ動画の設定一覧

項目	値
データレート	約 178 ~ 189Kbps
フレーム	15 フレーム / 秒
サイズ	176 × 144pixel(縦 × 横)
再生時間	約 6 秒

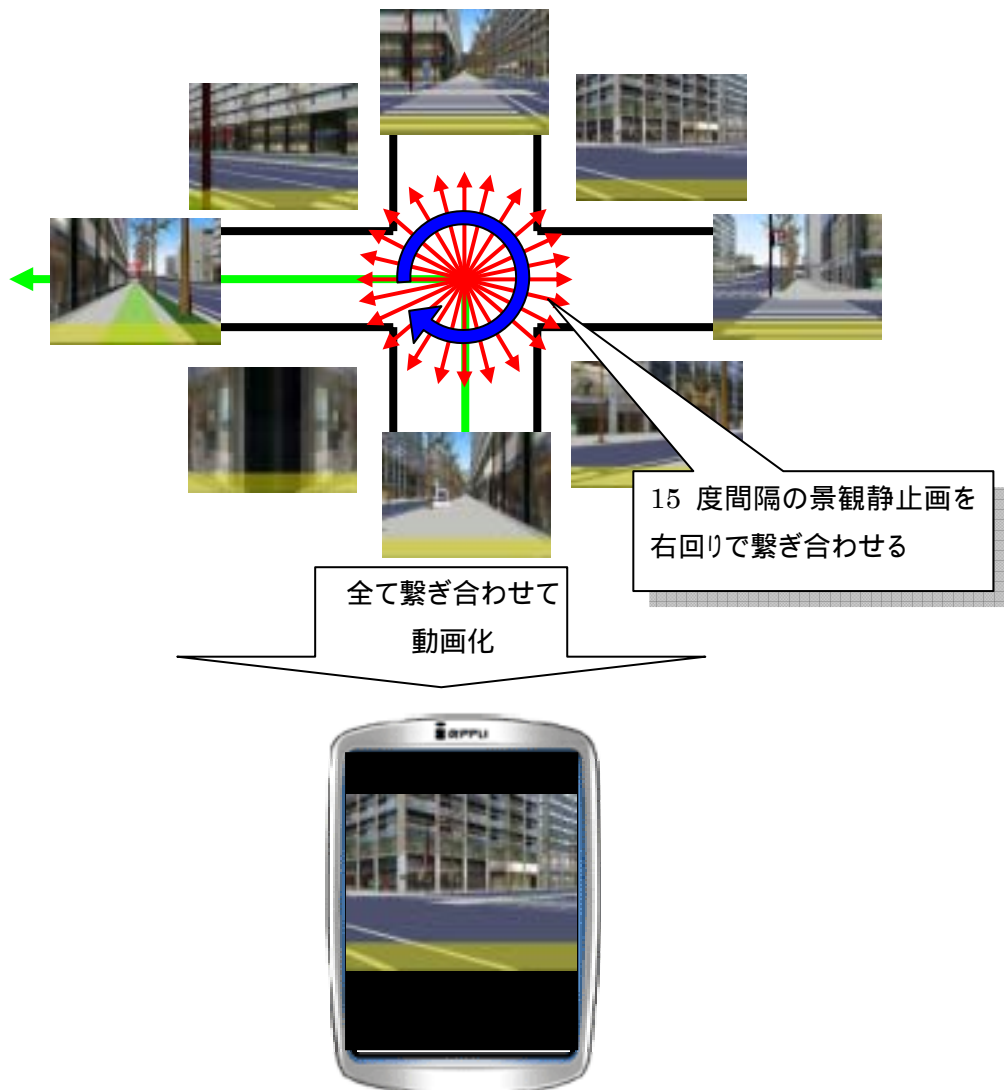


図 2.2-12 周辺パノラマ動画作成方式

(工) 先読み機能によるレスポンス高速化

先読み機能によるレスポンス高速化を実現する上で以下のことを考慮して、作成した。

A 通信接続数の制限

先読み機能によるレスポンスの高速化は利用者が画面確認中にバックグラウンドでデータをダウンロードしておくことで、表示要求の操作に対する迅速な応答結果の表示を行うことが可能である。しかし Java アプリケーションに以下の制限がある。^[6]

<i アプリコンテンツ開発ガイドより抜粋 >

1 つの i アプリから同時に接続可能な HttpURLConnection の数は1つだけです。

つまり、「イ 高速なレスポンスに向けた検討」で行った、各種コンテンツを同時にダウンロードすることはできない。接続数が 1 つであることから、順番にダウンロードを行った場合、利用者が画面確認している間に全てがダウンロードできない可能性がある。

全てのコンテンツを先読みするのではなく、先読みすべき情報を見極める必要がある。

B 先読み機能における特性・留意点

先読み機能を歩行者ナビゲーションへ実装していく上で以下の特性・留意点を確認することができた。

フォアグラウンド処理への影響

バックグラウンドでダウンロードする為のスレッド初期化中に、キー操作ができないなどのフォアグラウンド処理への影響がある。

動画再生方式の制限

ストリーミング再生前のバッファリングをバックグラウンド実行することで先読み効果を得ようとしたが、バックグラウンドでは API 仕様上ダウンロード再生しかできない為、先読みできない。

ダウンロード再生による操作への影響

先読みによるストリーミング再生ができない為、バックグラウンドで動画をダウンロードし先読み効果を得ようとしたが、データ容量の大きい動画をダウンロードするのはかなりの時間がかかる。このため、ナビ案内画面の確認が終わっても動画のダウンロードが完了しないことがあり、その待ち時間は動画再生の操作ができなくなる。

先読みすべき情報の見極め

「イ 高速なレスポンスに向けた検討」でランドマークの属性情報も先読みすべき情報の対象としていたが、実際の移動支援では属性情報を閲覧しない人もいる為、使用されないデータを先読みして、通信に負荷をかけてしまう恐れがある。

C 先読み機能の実装

先読み機能の特性・留意点から移動支援でレスポンス高速化を図る部分は、ナビゲーション開始時に必ず利用する3次元景観静止画が適していると考えられる。

そこで平成17年度では、ナビ開始要求から初期化～ナビゲーションデータダウンロードを行っていた部分を、利用者がナビ案内画面を確認している間に行い、ナビ開始要求から迅速に3次元景観静止画を表示するよう改善した。今年度の先読み機能の改善ポイントを、図2.2-13に示す。

また、「イ 高速なレスポンスに向けた検討」で先読みすべき情報として挙げていた3Dプレビューや周辺パノラマ動画は表示要求があってからストリーミング再生を行い、ランドマークの属性情報は表示要求があってからダウンロードする形で歩行者ナビゲーションに実装した。

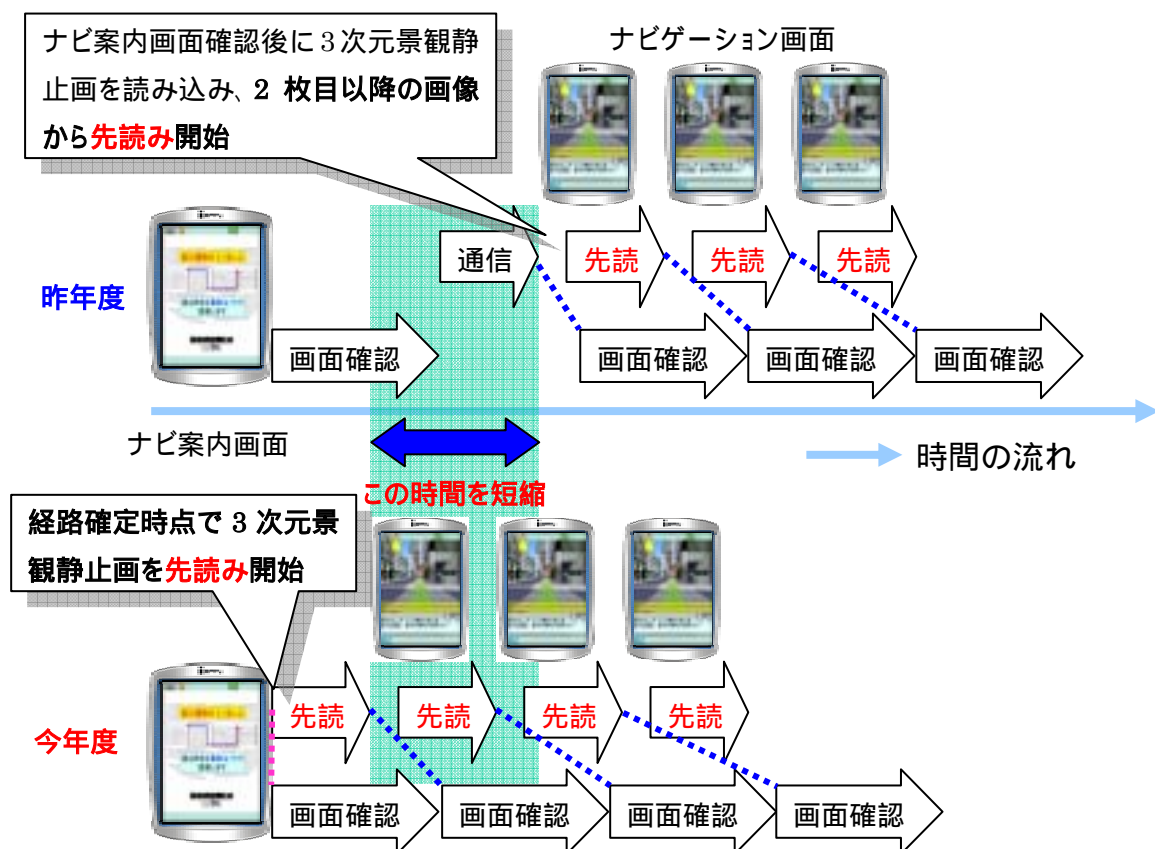


図 2.2-13 先読み機能によるレスポンス高速化

(オ) 実証実験の評価結果

上記の追加機能、改善機能を組み込んだ歩行者ナビゲーションによる実証実験を行い、動画メディアの有効性、レスポンスの高速性について評価を行った。

評価結果を「第四章 実証実験」より一部抜粋する。

A 動画メディアの有効性に関する評価結果

動画メディアの有効性に関する評価結果を、表 2.2-14 に示す。

表 2.2-14 動画メディアの有効性評価結果

	プラス評価率	
	理解し易さ	必要性の度合い
動画による3D プレビュー		
周辺パノラマ動画		

: プラス評価 : マイナス評価

	プラス評価率
	満足度の度合い
3D プレビューや周辺パノラマ動画の表示速度	

: プラス評価 : マイナス評価

アンケート結果より、3D プレビュー、周辺パノラマ動画の必要性は認められているが、その必要性に比較して今回の実験における表現方法は、3D プレビュー、周辺パノラマ動画とも「表示速度が速すぎる」という意見が多かった。

B レスポンス高速性に関する評価結果

レスポンス高速性に関する評価結果を、表 2.2-15 に示す。

表 2.2-15 レスポンスの高速性評価結果

ナビ開始要求から 3 次元景観画像表示までの時間 (平均)	約 0.5 秒
-------------------------------	---------

	プラス評価率
	満足度の度合い
キーやボタンの応答速度	

: プラス評価 : マイナス評価

歩行者ナビゲーションのナビ開始要求から 3 次元景観画像表示までの時間を計測した結果、平均約 0.5 秒で表示できたことから、“要求から応答開始まで 1 秒以内”の目標を達成する事ができた。

またアンケート結果より、キーやボタンなど利用者の要求に対する情報提示のレスポンスは満足度が高いという結果が得られた。

(カ) 成果

動画メディア複合の実現検討や、レスポンス高速化に向けた検討で得られた結果を基に、歩行者ナビゲーションに組み込む為の方式検討を行い、実装することができた。また、実装した歩行者ナビゲーションを利用して実証実験を行った結果、動画メディア複合に関して必要性は認められたものの、表示速度に課題があり、利用者が理解しやすい表現について更なる検討が必要な事がわかった。

またレスポンスの高速化についてはナビ開始要求から 3 次元景観画像表示までの時間を計測した結果、“要求から応答開始まで 1 秒以内”の目標を達成することができ、また被験者から高い満足度評価を得ることで、先読み機能によるレスポンス高速化の効果が確認できた。

(3) まとめ

平成 16 年度実現した歩行者ナビゲーションを基盤に、近年普及が進んだ動画メディアの複合を実現する事ができた。

また先読み機能により、利用者の要求に対するレスポンスの高速化を図ることができた。

3 モバイル端末向けの空間データ配信技術

3.1 空間データ伝送技術

モバイル環境において 3 次元 GIS に基づく実用的なアプリケーションの開発を可能とするためには、伝送路の特性や端末の機能・性能に応じて最適な配信の方式を選択し、端末に対して効率的にデータを伝送する空間データスケラブル伝送技術の確立が必要である。この課題に対する本年度成果について報告する。

(1) 従来技術

空間データをサーバ側でレンダリングして伝送する技術としては、サーバサイドレンダリング^[1]が考えられている。端末の要求に応じて、サーバにおいて、空間データをレンダリングして端末へ伝送する手法である。この手法では、サーバのレンダリング処理能力の限界から、複数のモバイル端末へ同時に空間データを伝送することはできない。また、空間データをいったん動画像に変換して蓄えておき、端末の要求に応じて動画像を配信する処理^[2]も研究されている。この手法は、再現する視点移動経路を想定して動画像を事前に作成する必要がある、再現できる視点移動経路は限定されるという課題がある。

(2) 研究開発内容

ア 基本方式

空間データスケラブル伝送技術は、次の 2 つの課題により構成される。

端末や回線の違いに適応した空間データ伝送方法

PHS、携帯電話、無線 LAN、ADSL といった通信速度 32kbps から 12Mbps までの伝送路を用いて、携帯電話、PDA、ノートパソコンといった、性能や画面サイズの異なるさまざまな端末へ、最適な空間データの伝送方式を選択し、効率的にデータを伝送する。

伝送路の状態の変化に対応した空間データ伝送方法

伝送速度が動的に変化するような場合であっても、動的に空間データの抽出規準を変化させて常に最適な伝送方式を選択し、途切れなく安定した空間データの伝送を実現する。

以下、それぞれの課題における基本方式を示す。

(ア) 端末や回線の違いに適応した空間データ伝送技術

空間データのデータ量を少なくするアプローチとして、空間データ管理技術において提案している 2 つのアプローチを合わせて利用する。一つは、空間データを間引いて伝送する方式である。これは、3 次元の形状モデルとしての特長を維持しているため、自由にいろいろな角度から空間データを表示できる。しかしながら、空間データを間引くには限界があり、ある程度以上間引いてしまうと、必然的に空間データを表示したときに、間引きをおこなっていない元データを表示した場合との違いが歴然としてしまう。

データ削減のもう一つのアプローチは、事前にレンダリングした画像、すなわち空間データ(3次元都市地図)を用いて固定視点によって定義され合成される360度景観画像(以下、パノラマ画像)を用いる。パノラマ画像であれば、視点の方向が自由に変わったり、狭い範囲であれば視点が移動しても高精細な空間データを表示できる。しかしながら、3次元形状を表示しているわけではないので、狭い路地を歩くような表示といった立体的な表示をするには、新たにパノラマ画像を伝送しなおさなくてはならない。そこで、この2つのデータ削減アプローチを合成することにより、2つのアプローチのもつ特長を合わせて利用できるようにする。パノラマ画像を背景として表示し、視点の近くは、形状データとして表示することにより、操作性が高くかつ遠方の空間データまできれいに表示することができる。また、形状データに間引きを行うことにより、所望のデータ量で空間データを表示することができる。この合成の利点を活かして、パノラマ画像と形状データを合成して伝送し、形状データのデータ量を制御することにより、端末や回線に最適な空間データの伝送を実現する(図3.1-1)。また、伝送データの制御においては、端末の画面サイズに対応して、表示する空間の視野角を自動的に変更することにより、見やすい空間データの表示を実現する。

(イ) 回線の状態の変化に対応した空間データ伝送技術

モバイル回線の回線速度が変化した場合等、動的に、で提案した伝送するデータ量の調整を行うようにする。さらに、回線の状況により、一時的に回線速度が遅くなった場合でも、それまでに表示していた表示レスポンスを維持して空間データを表示する。この手法として、データ管理技術の研究開発にて提案した、領域に沿った空間データの蓄積管理、経路に沿った空間データの蓄積管理の手法を用いて以下の手法を提案する。モバイル端末において、経路上を移動しているように空間データを表示する操作をしているような場合、経路の先にある空間データを先読みすることにより、回線の状況が変動しても滞りなく、経路上を進んだ位置の空間データを表示できる。先読みの手法としては、伝送路の帯域が空いている場合は、サーバからモバイル端末へ伝送してキャッシングしておく。伝送路の帯域が一杯に使用されている場合は、サーバ側で次に伝送するであろうデータとしてキャッシングする。

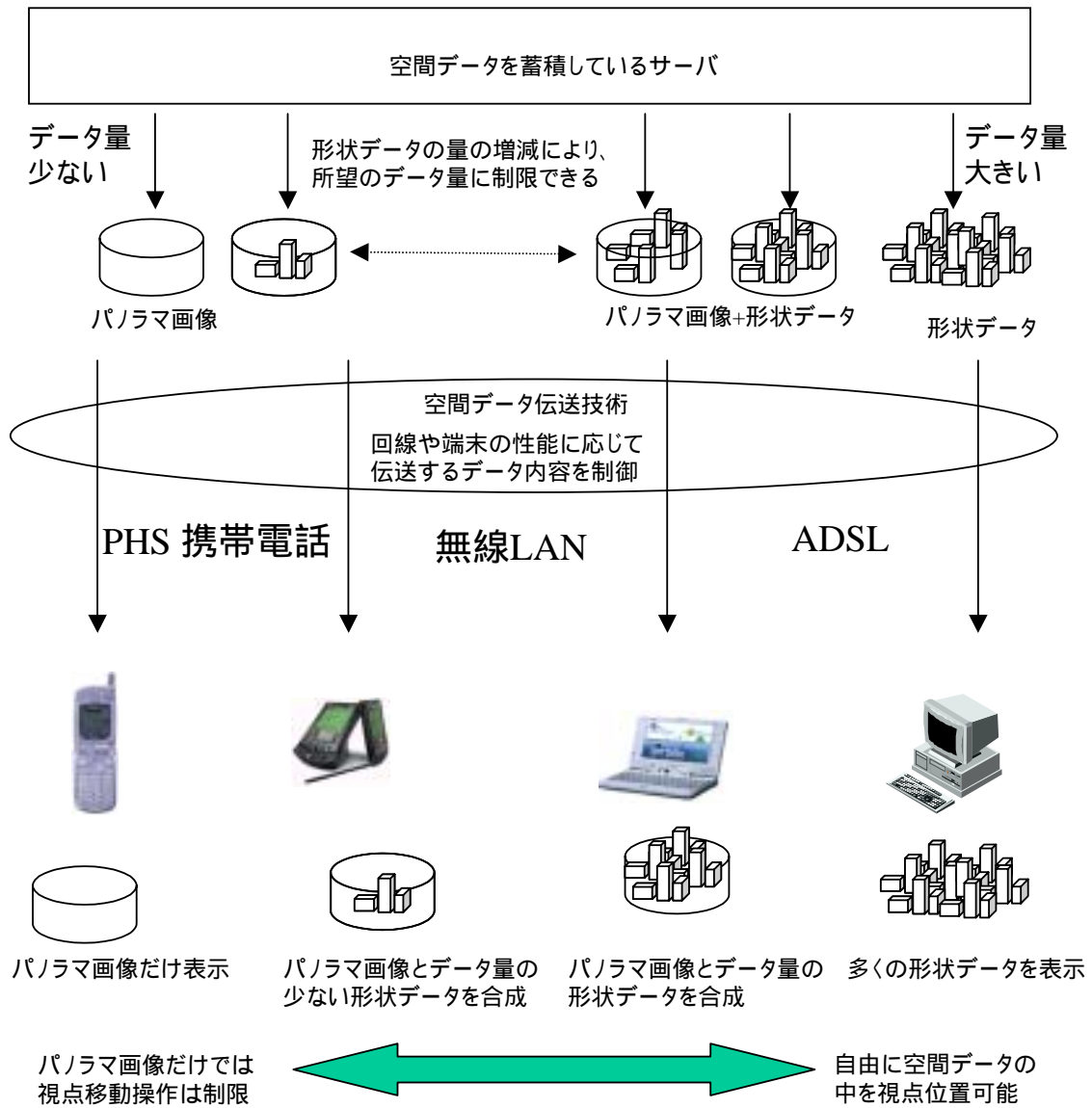


図 3.1-1 端末や回線の性能に応じた伝送内容の制御

イ プロトタイピング

ここでは、パノラマ画像と形状データを合わせて伝送することを想定しているが、これらの範囲や位置を正確に合わせて表示する必要があるという課題がある。回線の種類や状況によって、伝送できる空間データの範囲は変わる。また、個々の機器の性能によって、表示できる空間データの範囲も変わる。空間データを伝送する方式は、回線や端末の性能だけで決められるのではない。伝送している空間データの位置によって、ある場所は建物が密集しているが、ある場所は少ないといったデータ量の違いもある。これらの時々刻々と変化するデータ量に追従して、空間データの伝送方式を最適に制御する課題がある。

また、視点位置が地上から上空へ変化したり、上空から地上に降りたりするような場合において、表示するパノラマ画像や表示する形状データの範囲や種別が切り替わっても、なめらかに連続して表示できるように制御することが課題である。以下、プロトタイピングにおける設計結果を示す。

(ア) パノラマ画像の利用方法

端末の表示性能や回線の容量に制限のあるモバイル環境において、空間データを配信、表示できるようにするために、空間データを画像に変換して伝送する手法を考えた。空間データ構造化抽出技術においては、3次元データを表示する性能に制約のある端末において、あたかも3次元データを表示しているように空間データを表示するために、画像を表示しても、なるべく立体的な表示効果を保つことができる画像形式に変換した空間データを抽出できるようにした。

画像形式に変換した空間データを用いて、リアルな空間データを表現する手法を検討した。モバイル端末で空間データを表示することができれば、自由な視点から、自由な方向の景観を再現することができる。ところが、モバイル端末の表示性能の制限から、現状の携帯電話やPDAでは十分な範囲の空間データを表示できない。

モバイル端末において、仮想空間内の特定の視点位置からレンダリングした画像を表示すると、空間データをそのまま表示したような景観を再現することができる。ところが、画像をレンダリングした視点位置から見た景観しか再現できない。特定の経路を通る視点でレンダリングした動画についても同じである。レンダリングした経路からみた景観しか再現できない。パノラマ画像に変換した空間データを用いると、パノラマ画像1枚で、全周囲方向の景観が再現できる。パノラマ画像の拡大縮小を用いると、パノラマ画像を作成した視点位置だけではなく、視点位置周辺の位置からみた景観まで再現することができる。

(イ) パノラマ画像の特長

パノラマ画像を用いた景観の再現の特徴として、1枚の画像で全方位の景観を再現できることに着目した。1枚のパノラマ画像でどの程度の範囲の景観が再現できるかを検討した。

第一にパノラマ画像生成時の視点位置に着目した。道路が集まっている交差点のような場所で作成したパノラマ画像は、全方位の景観がきれいに再現できる。道路のある方向や、交差点のコーナーの建物の方向の画像を拡大して表示すると、あたかもその方向へ進んでいるような景観の表示が可能である。パノラマ画像1枚で、交差点付近の視点位置からの景観の再現が可能になる。両脇に建物が並ぶ道路の途中の視点位置から作成したパノラマ画像の場合、道路方向の景観は、拡大や縮小をすることで再現できる。一方で、道路両側の建物の方向については、視点位置が移動すると、視差が大きくなってしまふ。

例えば、南北に伸びている道路沿いのある建物をパノラマ画像に写す場合、パノラマ画像の視点位置が、建物の正面、建物より南側、建物より北側によって、建物の写り方が明確に違う。ある建物よりやや南側の視点位置で作成したパノラマ画像を用いて、建物より北側から見た景観を再現するのは困難である。建物が並ぶ道路上の景観の再現には、狭い間隔の視点位置からパノラマ画像を作成する必要がある。

パノラマ画像の作成視点位置と異なる視点位置から見た景観をパノラマ画像を用いて表示するには、被写体の近くに設置したスクリーンに写ったパノラマ画像を景観として表示した方が、被写体から離れた位置に設置したスクリーンに写ったパノラマ画像と比べて、被写体の見える方向の誤差が小さくなることわかる。また、パノラマ画像作成視点位置からパノラマスクリーンの位置と比べて十分長い距離に位置する被写体は、パノラマ作成視点位置と異なる視点位置から見ても、視点方向があまりかわらない。

(ウ) パノラマ画像の生成方式

次に、パノラマ画像の特長を考慮して、景観をきれいに再現するためのパノラマ画像の生成方式を検討した。

第一にパノラマ画像の作成点について検討した。パノラマ画像の特長から、交差点付近をパノラマ画像生成点とする。パノラマ画像を作成したときに、景観に大きな影響をあたえるものは、道路や地面よりも、建物である。交差点 A におけるパノラマ生成点は、交差点の真中にあることを想定している。交差点の真中の定義として、道路の先が見渡せる位置とした。交差点付近のビルの頂点からほぼ等距離にある点を生成点として、パノラマ画像を生成すると、建物の間から道路の先までみわたせる。道路上の景観においては、幅の広い建物等は建物の正面でパノラマ画像を生成すると、その建物の全体を写したパノラマ映像を取得することができる。ビルとビルの隙間が見える位置でパノラマ画像を生成すると、景観も、ビルとビルの隙間の見える位置から見た視点として再現されてしまい、パノラマ画像作成点からずれた位置の景観を再現できなくなる。大きなビルの正面または、複数のビルの正面から等間隔にある点を候補点として選び、パノラマ画像の作成点の間隔が均一になるように作成点を設定する。

第二の検討項目として、パノラマ画像における遠近感の表現の課題を検討した。手法の一つとして、パノラマ画像の作成視点位置から遠方にある空間データと、パノラマ画像の作成視点位置に近い空間データを、別々のパノラマ画像として記録することを検討した。説明上、パノラマの被写体を建物の空間データとする。パノラマ画像作成視点位置から、一定の距離の辺りに例えば低層ビルが建っているような場合、パノラマ画像作成視点位置から低層ビル群の距離とほぼ同じ距離の半径のパノラマスクリーンに低層ビル群を射影して、パノラマ画像を生成する。低層ビルから離れた距離に、高層ビルが固まってたっているような場合、同様に、パノラマ画像作成視点位置から高層ビルのビル群までの半径のパノラマスクリーンに高層ビル群の像を射影する。景観の表現時には、近景のパノラマ画像と遠景のパノラマ画像を重ね合わせて表示する。パノラマ画像は、近景、遠景の距離に応じて拡大または縮小して重ね合わせることにより、遠近感の再現が可能である。例えば、両脇に低層の商店の建ち並ぶ道の上からの景観をパノラマ画像を用いて再現することを考える。数百メートル先に高層ビルが立ち並んでいるとする。道路脇の低層の商店を近景のパノラマ画像で再現し、高層ビルを遠景のパノラマ画像として記録する。景観の視点位置を道路上で移動させても、近景の商店街の絵は素早くながれるが、遠景の高層ビルはゆっくりと流れるといった遠近感の再現が可能である。視点が移動すると、目の前のビルと、遠方に立っている建物群の流れ方が異なるように景観を再現できる。生成したパノラマ画像の例を図 3.1-2 に示す。



(a) パノラマ画像の例



道路方向の画像拡大



コーナーの建物方向の画像拡大

(b) パノラマ画像に基づく3次元都市地図の表示例

図 3.1-2 パノラマ画像と表示例

(エ) パノラマ画像と空間データの合成

パノラマ画像を使用して、質の高い景観を再現する方式について検討した。パノラマ画像だけを用いて景観を再現した場合、自由な視点位置からの景観再現には限界がある。そこで、パノラマ画像を主に背景や遠景といった表現のために使用し、近景は空間データを用いて表現することで、目の前の空間データの3次元的な表示効果を高め、かつ、遠方の空間データまで見渡すことができる。これは、広範囲の空間データをパノラマ画像という形式に集約することで、擬似的に圧縮と同じようなデータ削減を図る。プロトタイピングによる合成表示の例を図 3.1-3 に示す。

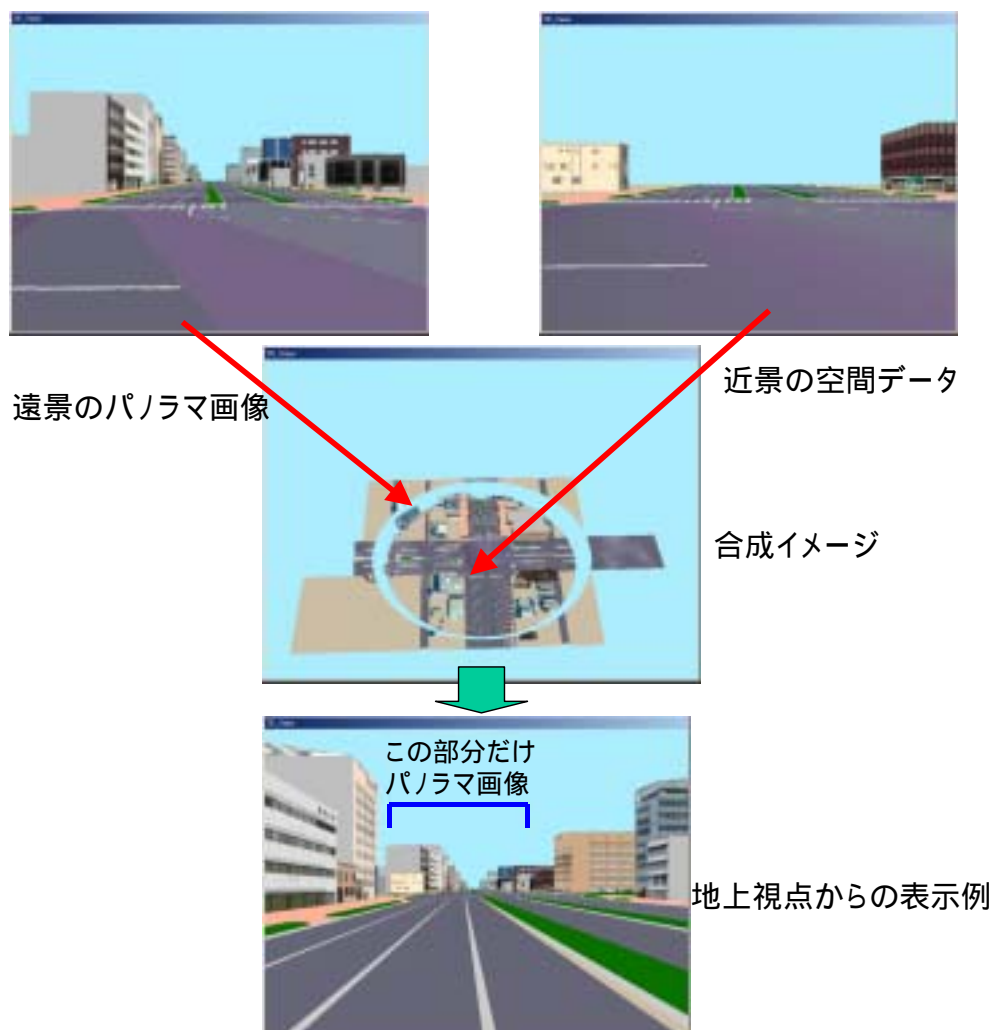


図 3.1-3 スケーラブル伝送方式に基づく 3 次元都市地図表示の例

ウ 伝送方式の選択方法の検討

前述の基本方式により、通信回線の容量や計算能力の異なる情報端末に対して、3次元都市地図をベースとした同様の情報サービスを行うことが可能となる。ここで問題となるのは、端末の通信回線の容量や計算能力をどのように数量化しどのようにサーバに送るかということである。通信回線の容量や計算能力は端末の構成に固定というわけではなく、回線の混雑の度合いや端末上の他のプロセスの状態によって時々刻々と変化する。そこで、端末からデータ送信要求を出す前の段階において、その時点で利用可能な通信容量と計算能力を評価する小負荷のプロセスを実行し、その結果をデータ送信要求と併せてサーバに送信する機能を備えることにより、情報端末の動的な状況変化に対応可能な方式として伝送方式の有効性を高めることとした。

(ア) 実験システム仕様

3次元都市地図などの3次元モデルデータに基づくアプリケーションにおいて計算機の負荷状態を知るためによく利用される指標は、3次元描画の更新速度(フレームレート)である。そこで、データの送信要求に先立ち、直前の3次元都市地図表示におけるフレームレート(評価フレームレート)を取得し、この数値をデータの送信要求に付属させて送信する機能を付加した。また、サーバ側には、受信した送信要求に含まれる端末の計算能力値に基づいて伝送方法を決定し、それに基づいて要求されたデータの伝送を行う機能を備えた。なお、今回の試作では端末の計算能力に関する実装のみを範囲とした。

(イ) まとめ

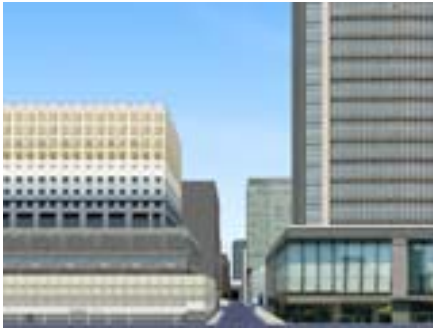
実証実験用に作製したサーバおよび情報端末用アプリケーションに前述の機能を付加し、情報端末(PDA)の計算能力を指定することによって擬似的に計算能力が異なる環境を作製し、アプリケーションの状態比較を行うこととした。使用したPDAはDELL AXIM X51vであり、このハードウェアには、CPUクロックを208・520・624MHzの3段階に切り替える機能を持つのでこれを利用した。評価フレームレートとそれに基づいて決定するデータ伝送レベルの対応を表3.1-1に示す。データ伝送レベルは、視点から何区画までをジオメトリで送りそれ以降をパノラマ画像として送るかを示すもので、1~3の3段階と定めた。これに基づき、設定したCPUクロックと選択されたデータ伝送レベル、および伝送されたデータの種別と種別毎の容量、および表示時のフレームレートを表3.1-2に示す。例えば、最大性能の624MHz時には静止画像データ20KBと合計500KBの3次元モデルデータおよびテキストチャが送られ、最小性能の208MHz時には静止画データ15KBと合計180KBの3次元モデルデータとテキストチャが送られている。これらのケースにおけるアプリケーション画面の例を図3.1-4に示す。最小性能時には若干の品質劣化が見られるが、ほぼ同一の情報提供が行えていることがわかる。以上により、伝送方式の自動選択機能を備えた空間データ伝送方式の有効性を確認した。

表 3.1-1 評価フレームレートに基づくデータ伝送レベルの設定ルール

フレームレート (fps)	≥ 2.5	$2.5 > f \geq 1.5$	$1.5 >$
データ伝送レベル (街区深度)	3	2	1

表 3.1-2 データ伝送レベルとフレームレートの実測結果

	データ 伝送レベル	フレーム レート (fps)	ポリゴン数	建物側面 テクスチャ数
CPUクロック 624MHz	3	2.75	619	36
CPUクロック 520MHz	2	3.41	607	24
CPUクロック 208MHz	1	2.79	595	12



(a) データ伝送レベル 3



(b) データ伝送レベル 2



(c) データ伝送レベル 1

図 3.1-4 表示に用いたパノラマ画像(部分)と表示画面の例

(3) まとめ

モバイル環境における空間データの伝送方式として、空間データをレンダリングしたパノラマ画像として蓄積し、これを配信する手法について検討した。また、モバイル環境における端末と回線の制約を考慮して、空間データの一部をパノラマ画像として配信することを検討し、パノラマ画像の取得位置・生成方法について検討した。

さらに、端末からデータ送信要求を出す前の段階において、その時点で利用可能な通信容量と計算能力を評価する小負荷のプロセスを実行し、その結果をデータ送信要求と併せてサーバに送信する機能を備えることにより、情報端末の動的な状況変化に対応可能とする方式について検討し、試作により期待通りの性能が得られた。

以上の成果により、端末・通信路性能並びに通信回線状況に応じた伝送方法を備えるとともに、それらの条件に応じて伝送方法を適切に選択することのできる空間データ伝送方式の確立を確認した。

3.2 配信データ圧縮技術

(1) 従来技術

3次元都市地図は、従来の平面地図に比較して効率良く人に地理情報を伝達できることが実験により確認されているが^[1]、表示に必要な計算能力とメモリ空間が平面地図に比べて桁違いに大きいという特徴を持つ。一般に、平面地図が画素の2次元配列であるのに対し、3次元都市地図は個々の建造物を最小単位とする3次元形状情報(以下、ジオメトリと記す)と、ジオメトリの表面にマッピングされる画像(以下、建物画像と記す)から構成される。特に、建物画像は、ジオメトリの表面属性を定義し都市景観の再現性を高めるという重要な働きを持つが、個々の建造物毎に異なる画像を必要とするため、平面地図の数十から数百倍のメモリ空間が必要となる。このため、ネットワーク伝送を前提とする3次元都市地図の実用的なアプリケーションの開発はこれまで困難と考えられてきた。これまでも、携帯電話機へのGPSと3次元コンピュータグラフィクス表示機能の実装という動向に着目し、3次元都市地図を利用した歩行者ナビゲーションのコンセプトを提案したが^[2]、今のところ実用化に至っていない。この課題を解決する方法として、複数パターンの視点移動を伴う3次元都市地図の表示を動画像として予めサーバ側に蓄積しておき、端末側の要求に応じて選択的に伝送する方式が提案されている^[3]。しかしながら、この方式では任意視点の画像を提示できないため、利用者の現在位置から見える景観に適合する画像を合成することによって直感的で理解しやすい情報提示を行うという、3次元都市地図の特長的な効果が損なわれるという問題がある。一方、建物画像を予め定義した窓・看板・出入口・上部構造物などの部品の組み合わせ表現によって符号化して保持することにより、メモリ空間を縮小する方法も提案されている^[4]。しかし、このような符号化を手作業によって行うとすれば、多大な人的コストを要するという新たな課題が生じるため、画像を構成要素に分割し部品の割り当てを行う自動処理が不可欠となる。

以上のような背景により、3次元都市地図の特長を維持したまま、ネットワーク型の3次元都市地図アプリケーションを実用化する方法について検討している。ここでは特に、3次元都市地図のデータ量の90%以上を占める建物画像のメモリ空間が問題となる。そこで、前出の符号化アプローチを範とした上で、建物画像を外壁・窓・出入口などの構成要素に分解するとともに、構成要素の種類と表示属性および構成情報からなる符号に自動変換して伝送し、端末側で建物画像を合成して表示に用いる3次元都市地図の伝送方式を想定する。この方式では、表示において必要となるメモリ空間を縮小することはできないが、通信コストを縮小することが可能となる。また、この伝送方式のプロトタイプを行い、伝送に必要なデータ量を1/100以下に削減することができること、および復号したテクスチャを使った3次元都市地図を用いてもオリジナルテクスチャを使った場合と同等の歩行者移動支援が可能であることを、実験により確認した結果を報告する。

(2) 研究開発内容

ア 通信コストの削減を可能とする 3次元都市地図の伝送方式

建物画像に対する予備実験により、解像度よりも減色によって情報量を削減した建物画像を用いた 3次元都市地図の方が、地理情報の伝達効率を大きく低下させるという知見が得られている^[5]。言い換えれば、色情報が適切に保存されていれば、細部の形状情報を削減しても地理情報の伝達への影響は少ない。そこで、建物画像を外壁・窓・出入り口などの構成要素に分解するとともに、構成要素の種類と色などの表示属性、および位置・繰り返しなどの構成情報からなる構造記述データに変換(符号化)しておき、端末からの要求に基づいてこれらを伝送し端末側で再構成する方法を検討した。システム構成を図 3.2-1 に示す。

(ア) サーバ側構成

セグメンテーションモジュール

建物画像を構成要素に相当する小画像に分割する。

共通部品画像データセット

外壁・窓・出入り口など建物画像の構成要素に対応する平均的な画像(部品画像)をまとめたものである。

構造記述変換モジュール

建物画像の分割画像と部品画像を照合し、種類と表示属性および構成情報からなる符号化データを生成する。

構造記述データ

構造記述変換モジュールによって生成された符号化データを記録したものである。

データ送信モジュール

端末からの要求に基づき、ジオメトリデータと構造記述データを取り出して端末に送信する。

(イ) 端末側構成

データ受信モジュール

サーバから送られてきたジオメトリデータと構造記述データを受信する。

共通部品画像データセット

サーバ側と同じデータを備える。

建物画像再構成モジュール

構造記述データに基づき、部品画像を用いて建物画像を再構成する。

アプリケーション

ジオメトリと再構成した建物画像を用いた 3次元都市地図表示に基づく情報提供を行う。

以上の構成により、建物画像を構造記述データに変換して送るため、小さい通信コストで端末側の3次元都市地図表示が可能となる。

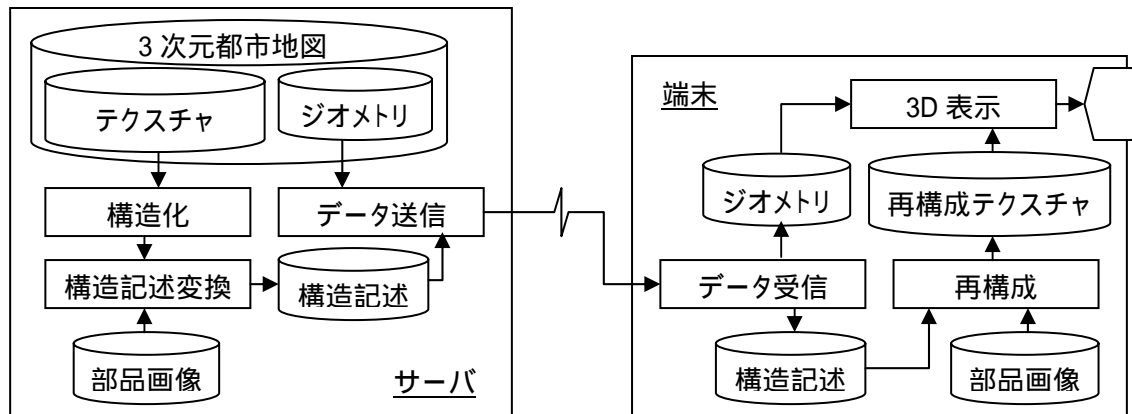


図 3.2-1 建物画像のセグメンテーションに基づく3次元都市地図の伝送方式

イ プロトタイピング

(ア) 建物画像のセグメンテーション

建物画像は次のような特徴を持つ(図 3.2-2(a)参照)。

- ほとんどの構成要素は垂直・水平のエッジを持つ。
- 小規模の建造物を除き、垂直または水平方向へ同一の構成要素が並ぶ繰り返し構造がある。
- 一般に撮影画像の加工によって得るため、電柱や街路樹等の写り込みによるノイズや凹部分の見え方の変化により、繰り返し構造は不規則性を持つ。

一方、画像のセグメンテーション手法として、クラスタリング・領域拡張法・エッジベース法を基本とする多様なものが提案されている^[6]。これらの手法は画像の種類を限定しないが、建物画像のような特殊性を持つ画像を対象とする場合は、その性質を利用した方が良い結果を期待できる。また、符号化を目的とする場合には、繰り返しパターンを抽出することが重要となる。前述の通り、一般的な建物画像においては、窓や出入り口などの構成要素は垂直または水平のエッジを持ち、また、繰り返し構造が形成されている。さらに、構成要素は壁面とは異なる色情報を持つ。従って、色情報に基づいて画像の垂直および水平方向への分割を繰り返すことにより、構成要素に相当する画像が得られる。また、建物画像が繰り返し構造を持つ場合、繰り返しの方向に対して直角の方向に並ぶ画素は類似の色情報を持つ。図 3.2-2(b)は、建物画像において水平方向に並ぶ画素の RGB 値をそれぞれ平均し、垂直軸上にプロットした結果である。ノイズや不規則性が見られるが、自己相関を調べることで容易に繰り返し構造の有無を検査でき、扱いも容易である。ここではこれを1次元画像と呼び、セグメンテーションに用いることとする。一方、繰り返し構造は不規則性を持ち、単純なテンプレートマッチングでは繰り返し構造を抽出できないので、1次元画像を文字列に置き換え、DP マッチングを適用する。アルゴリズムの詳細を以下に示す。また、図 3.2-2(a)の画像の分割結果の例を図 3.2-3 に示す。

Step1: 分割方向の決定と終了判定

垂直および水平の1次元画像を作成し、それぞれのRGBの標準偏差を求める。最も大きい標準偏差が得られた1次元画像の向きを分割方向と定める。また、このときの標準偏差が閾値以下の場合は本プロセスを終了する。

Step2: 1次元画像の文字列化

1次元画像に対し、隣接する画素間においてRGB空間におけるユークリッド距離を評価し、これに基づいて n 個のグループへ分割する。また、各グループを文字に対応させ、これを文字 n 個からなる文字列 S とする。なお、各文字には対応するグループに含まれる画素の平均RGB値を特徴量として与える。

Step3: 繰り返しパターンの抽出

文字列 S の自己相関をDPマッチングにより評価し、繰り返しパターンの繰り返し数 m ・平均画素数 p を算定し、Step4へ進む。繰り返しパターンが無い場合は、文字列 S を中央から前方と後方に2分割し、それぞれの文字列に対応する部分画像(前方画像、後方画像)を生成し、各画像に対し本プロセスを適用する。

Step4: 繰り返し範囲の決定

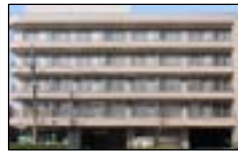
平均画素数 p に相当する文字列を文字列 S の後方から除去した部分文字列 A と、前方から除去した部分文字列 B を作成し、DPマッチングを行って類似する部分と類似しない部分に分離する。

Step5: 前方・中間・後方画像の生成

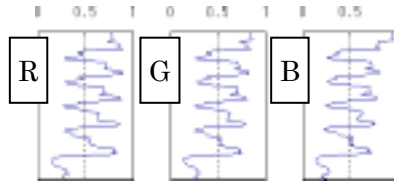
部分文字列 A において類似しない部分とされた文字列を前方文字列、部分文字列 B において類似しない部分とされた文字列を後方文字列、これらを文字列 S から除いた部分を中間文字列とし、これらにそれぞれ相当する部分画像(前方画像、中間画像、後方画像)を生成する。

Step6: 平均画像の作成

中間画像を繰り返しパターン数 m と平均画素数 p に基づいて m 分割し、平均画像を作成する。前方画像・後方画像および平均画像のそれぞれに対し、本プロセスを適用する。

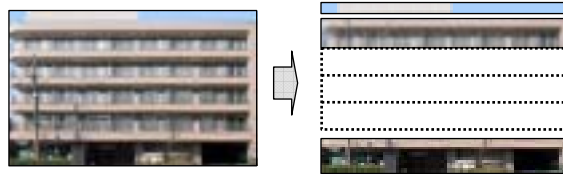


(a)

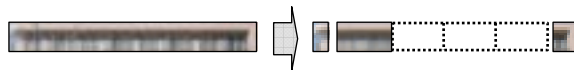


(b)

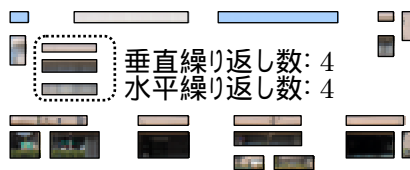
図 3.2-2 建築物側面画像と一次元画像の例



(a)



(b)



(c)

図 3.2-3 分割処理の例

(イ) 共通部品画像データセット

本節では、テクスチャを圧縮形式に変換する符号化処理と圧縮形式をテクスチャに再構成する復号処理で共通に用いる部品画像セットについて述べる。本稿の伝送方式では、非伝送側の端末に予め符号化されたテクスチャを復号するための部品画像セットを備えておく必要がある。従って、部品画像セットは比較的メモリ空間的にコンパクトであることが必要である一方、オリジナルのテクスチャの特徴を適切に表現可能であるように多様なパターンを含んでいる必要がある。そこで、実際に 3 次元都市地図のデータとしてデジタル写真を加工して作製したテクスチャから、手作業によって建造物側面画像の窓・壁・屋根・出入口などの主要な構成要素を抽出するとともに、それらを類似性に基づいてグループ分けし、さらに典型的な形状の部品画像を作製するという手順により、部品画像セットを作製することとした。サンプルとして使用したテクスチャは、東京都中央区銀座・墨田区立花・千代田区丸の内周辺の 3 次元都市地図に含まれる建造物側面画像約 1200 枚からランダムに抽出した 200 枚である。まず、サンプルテクスチャに含まれる高さまたは幅が 1m を超える構造物をすべて列挙し、それらが個々のサンプルテクスチャに 1 つ以上含まれる割合を調査した。この結果を表 3.2-1 に示す。これらのうち、5%以上のテクスチャに含まれるものを部品画像の種類と定めた。次に、部品画像の種類毎にサンプルテクスチャから構成要素の抽出を行い、類似性に基づいていくつかのグループにまとめた。得られたグループ毎に代表的な形状のモノクロ部品画像を作製した。以上の作業により、屋根・屋上、外壁、窓、バルコニー、開口部・エントランス、看板の 6 種からなる部品画像セットを作製した。この例を図 3.2-4 に示す。なお、1 ピクセルが実際の 10cm 程度となるよう正規化した。

表 3.2-1 建物画像に含まれる構造物の種類と分布

名称	外壁	屋根	屋上	バルコニー	窓	庇	エントランス	開口部	カーポート	看板・文字	植木	外階段	シャッター	煙突	ショーウィンドウ	自販機	商品棚	掲示板	柵	塀
頻度 (単位: %)	95.5	8.0	7.0	7.5	84.5	3.0	74.0	9.5	4.5	21.0	4.0	3.0	3.0	1.0	4.0	2.0	1.5	0.5	1.0	1.0

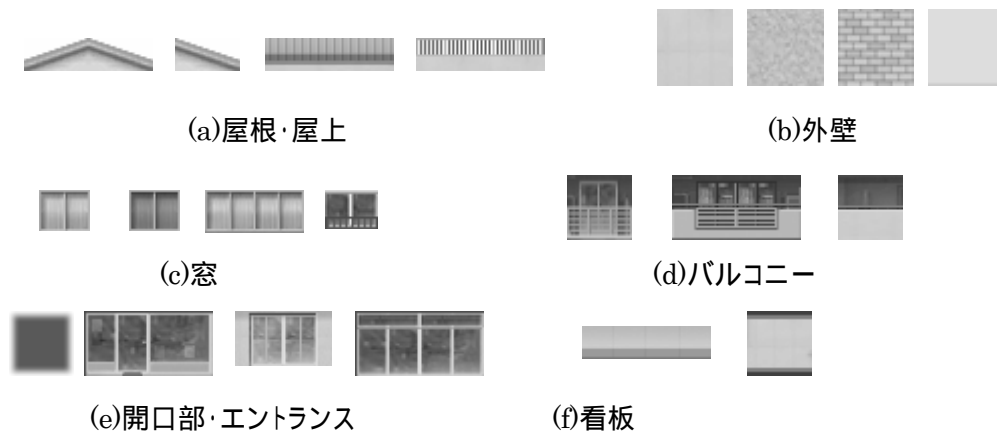


図 3.2-4 共通部品画像の例

(ウ) 分割画像と部品画像の対応付け

本稿の伝送方式では、テクスチャのピクセル情報を送らずに、構成要素の種類・大きさ・位置・表示属性を送るとともに、予め備えられている部品画像セットを用いて端末側でテクスチャを再構成することにより高圧縮を実現する。従って、テクスチャが構成要素へ適切に分割されることが重要であるが、次に構成要素の種別が適切に識別されることも重要となる。ここでは、経験的な判断に基づき、個々の分割画像と部品画像に対して次の特徴量を計算し、ユークリッド距離に基づき分割画像に対して部品画像の対応付けを行った。

- ・ 建造物側面における部位(上部・中間部・下部の3値)
- ・ 一様性
- ・ 上下対象性
- ・ 左右対称性
- ・ 縦横比
- ・ 面積
- ・ 明度平均

(エ) 符号化処理

抽出された繰り返し数を含む画像の分割履歴データと、個々の分割画像について、対応付けされた部品画像の種別・分割位置・縦横ピクセル数・代表色を記録した分割画像データを符号化データとして出力する。分割処理によって得られた分割画像にはユニークなIDを割り振ることとし、分割履歴には、分割画像のIDとそれらの元の画像のIDが記録される。このとき、分割の方向・繰り返し数・繰り返しにおける剰余ピクセル数(繰り返し部分の平均化画像を繰り返し数分配置した場合の繰り返し方向のピクセル数と、繰り返し部分の繰り返し方向のピクセル数の差)が同時に記録される。分割画像データにおける代表色は、分割画像中の全ピクセルを対象にマンセル表色系の色相ヒストグラムを作製し、ピークの値を色相として、明度と彩度については全ピクセルの平均を代表色と定めた。なお、圧縮効率を高めるため、それぞ

れ分割画像 ID・親画像 ID・分割方向・繰り返し数・剰余ピクセル数は各 1byte で記録される。また、個々の分割画像については、部品画像 1byte・分割位置 2byte・縦横ピクセル数 2byte、代表色 (マンセル表色系の色相・彩度・明度) 3byte で記録する。

(オ) 復号処理

端末は符号化データを受信したら、以下の再帰的手続きにより部品画像を用いて 3 次元都市地図表示に必要な建造物側面画像の生成を行う。

・対象画像 ID の初期値を 0 として、次の手続きを起動する。

履歴データにおいて対象画像 ID が親画像 ID となっているすべての分割画像について、次の処理を行う。

- A. 当該 ID が分割データに含まれる場合、分割データから部品画像種別・基準位置・縦横ピクセル数・平均色、履歴データから分割方向・繰り返し数・剰余ピクセル数を参照して、ピクセルアレイを生成する。このとき、部品画像のピクセル数と分割データに記録されているピクセル数に差がある場合は、画素数変換を行って一致させる。また、各ピクセルの色相と彩度は平均色で与えられた値と同じとし、明度は平均色の指定値に部品画像の相当位置のピクセルの明度 (値域は 0.0 ~ 1.0) を乗じたものとする。
- B. 当該 ID が分割データに含まれていない場合、当該 ID を対象画像 ID として、本手続きを再帰的に起動する。

各ピクセルアレイを合成して 1 つのピクセルアレイとする。

図 3.2-2 に例示した建造物側面画像を以上の手続きで符号化・復号した結果を図 3.2-5 に示す。



図 3.2-5 建物画像の再構成の例

ウ 実験と考察

(ア) 符号化・復号実験

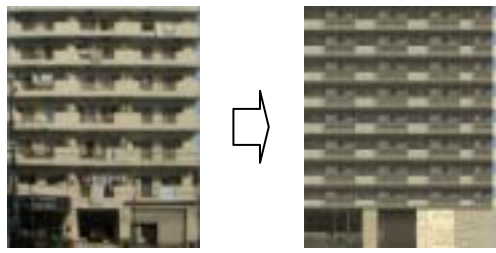
共通部品画像データセットを作製したときに用意したサンプルテクスチャから、繰り返し構造を持つもの 6 枚と持たないもの 2 枚の画像を選定し、プロトタイプシステムで処理を行った。再構成の結果を図 3.2-6、オリジナルのデータ量と圧縮後のデータ量の比較を表 3.2-2 に示す。Pentium(R)4、2.59GHz クロックのマシンでの平均復号速度は 25ms であった。

図 3.2-6(a)～(h)において、左側に入力したテクスチャ、右側に再構成結果を配置している。(a)～(e)において、繰り返しパターンが抽出されており、これらのうち(a)および(c)では垂直方向に加えて水平方向の繰り返しも抽出されている。抽出された繰り返しパターンに着目すると、(b)～(d)については、建造物の 1 階部分を除いた同一構造の階数と繰り返しパターン数が一致していることがわかる。しかし、(e)では、1 階の出入り口部分が繰り返し領域として誤って抽出されている。また、(d)および(f)～(h)においては、電柱や樹木などの写り込みがあるが、繰り返しパターンや構成要素の抽出は正しく行われている。従って、(c)のような誤った結果が生成される場合もあるが、セグメンテーションはノイズや変形に対して頑強性を持ち、再構成されたテクスチャはオリジナルの特徴を望ましい状態で再現している。圧縮率については、(f)のケースを除いてすべて 1%以下となっており、1/100 の圧縮性能が得られた。

表 3.2-2 符号化による圧縮率の例

	オリジナルサイズ(KB)	可逆圧縮時サイズ(KB)	構造化圧縮時サイズ(KB)	構造化圧縮時圧縮率(%)
(a)	136	72	0.253	0.19
(b)	145	83	0.478	0.34
(c)	121	72	0.614	0.52
(d)	19	15	0.141	0.76
(e)	28	20	0.189	0.69
(f)	61	40	0.805	1.35
(g)	13	11	0.092	0.72
(h)	19	15	0.087	0.47

脚注：圧縮率は、圧縮時サイズ/オリジナルサイズとして定義した。



(a)



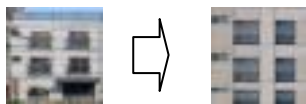
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

図 3.2-6 符号化と復号の結果

(イ) 復号テキストチャを用いた移動支援実験

本方式により伝送に必要なデータ量を 1/100 程度に減少させることができることについては前節の実験により確認したが、この方式が実用に供するかどうかを判断するためには、復号したテキストチャの品質が適当なレベルに保たれていることについて客観的な評価を行う必要がある。そこで、符号化・復号によって得られたテキストチャが歩行者ナビゲーションなどの用途において利用可能であるかどうかを検証するため、復号テキストチャを用いて歩行者向け移動支援を行う携帯情報端末アプリケーションを試作し、被験者の誘導実験を計画した。ここでは、オリジナルテキストチャを用いたアプリケーションも用意し、両者の比較を行う。図 3.2-7 は、試作したアプリケーションの表示画面の例を示す。図 3.2-7(a)はオリジナルテキストチャを用いたもの、図 3.2-7(b)は復号テキストチャを用いたものである。20 代と 30 代の男女計 20 名を被験者とし、東京都千代田区丸の内地区において 2 箇所の分岐点を含む 225m の移動経路を設定し、その経路上の移動をアプリケーションを用いて誘導し、始点から終点までの移動所要時間を計測することとした。なお、被験者を同数の A および B の 2 グループに分けるとともに移動経路を区間 1 および区間 2 に 2 分割し、A グループは経路の前半、B グループは経路の後半にオリジナルテキストチャに基づく提示が行われるようにした。各区間におけるグループ毎の移動所要時間の最小値・最大値と平均値を図 3.2.8 に示す。両グループとも終点にたどり着けなかった被験者は無かった。また、区間毎にグループ平均値間について 5%水準の検定を行ったところ有意な差は認められなかった。このことから、符号化・復号によって合成されたテキストチャは、歩行者ナビゲーションなどの用途において十分な品質を備えていると言える。



(a)オリジナルテクスチャを用いたもの



(b)復号テクスチャを用いたもの

図 3.2-7 比較実験用アプリケーションの表示画面例

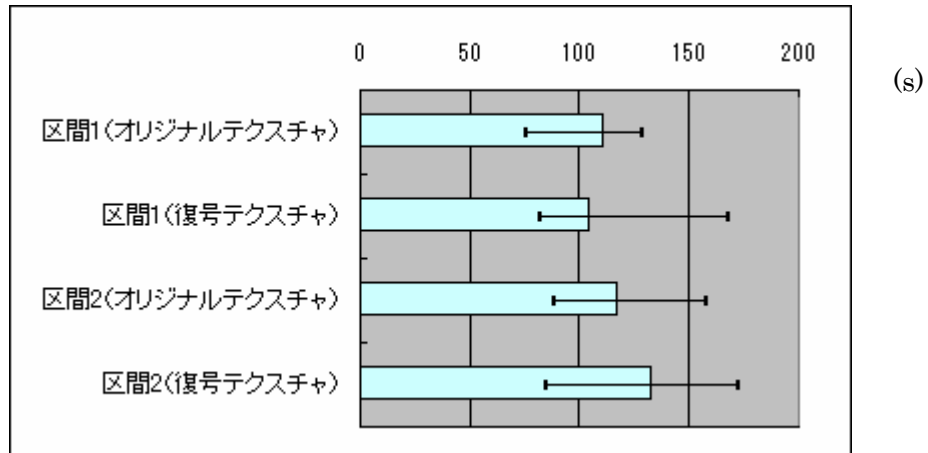


図 3.2-8 オリジナルテキストチャと復号テキストチャを用いた比較移動実験結果
(各区間におけるテキストチャ種別毎の移動時間最小値・最大値および平均値)

(3) まとめ

3次元都市地図を用いた携帯情報端末アプリケーションの開発を目標として、テキストチャを外壁・窓・出入口などの構成要素に分解するとともに、構成要素の種類と表示属性および構成情報を伝送し、端末側でテキストチャを再構成するデータ削減方法について述べた。この方法に基づき実験システムを製作して実験を行った結果、オリジナルテキストチャの特徴を望ましい状態で再現する再構成テキストチャが得られ、圧縮性能は 1/100 となった。歩行者ナビゲーションを対象のアプリケーションと仮定した場合、最低限必要となる 100m 四方の 3次元都市地図に含まれる 100 枚程度のテキストチャの端末における再構成の所要時間はおよそ 3 秒であり、応答性能についても実用的なレベルを実現できたと考える。

第四章 実証実験

研究開発した技術の検証と実用化に向けてのニーズ、課題の抽出を目的として、次世代 GIS の典型的な応用である防災を想定した実証実験を行った。

実証実験の概要を以下に示す。

(1) 期間

平成 18 年 1 月 31 日～2 月 2 日

(2) 場所

東京丸の内地区

(3) 被験者数

93 名

(4) 実施内容

被験者による実験と、アンケート方式によるニーズ、課題の抽出を実施した。具体的には、以下の 3 項目を実施した。

被災時移動支援の実験

被災時を想定し、モバイル端末への 3 次元地図配信に基づく歩行移動の実験を行い、有効性を確認した。

被災時移動支援のニーズ調査

上記歩行移動の実験の後、被験者に対するアンケートを実施し、ニーズおよび課題の抽出を行った。

被災時画像情報提供のニーズ調査

災害発生後に航空機から取得した被災地の画像を携帯端末に提供するサービスを被験者に提示した後で、アンケートを実施し、ニーズおよび課題の抽出を行った。

これらのそれぞれについて以下に記述する。

1 被災時移動支援の実験

(1) 概要

災害発生時において徒歩移動者の安全な移動を支援する情報システムについて検討した。地震など自然災害の発生では時間と場所の特定が困難であるため、オフィスや学校などの OA 環境によって情報サービスを行うだけでは不十分であり、携帯電話などの携帯型情報機器によってサービスの提供が可能であることが重要である。

一方、カーナビゲーションに類する移動支援ツールとして、歩行者ナビゲーションの研究が多く行われ

ている^[1-12]。例えば、GPS から取得したユーザの現在位置と音声入力された目的地の情報をキーとしてインターネット検索を行うことにより情報を提供するもの^[1]、経路の提示方法として大縮尺の 3 次元地図を用いたもの^[2, 12]、歩行中の安全に考慮し音声によって経路情報を提供するもの^[4]など、多様な試みが報告されている。また、省庁や自治体による取り組み^[6, 8, 10]もある。しかしながら、被災時の誘導に焦点を当てた事例は見当たらない。被災時の歩行者移動支援は、カーナビゲーションとの差もさることながら、平常時の誘導とも異なる配慮・工夫が必要と考えられる。本章では、まず、カーナビゲーションと歩行者ナビゲーションの違いおよび平常時と被災時の歩行者の移動支援における差について検討する。次に、これに基づき被災時の歩行者移動支援における課題を整理し、これらを解決する歩行者移動支援システムについて提案する。さらに、このシステムのプロトタイプを使って実験を行い有効性を証明する評価結果を示す。

(2) 被災時の歩行者誘導における要件の検討

ア カーナビゲーションとの相違

移動を支援する情報システムとしてはカーナビゲーションシステム(以下、カーナビ)が先行している。本節では、カーナビと歩行者ナビゲーションシステム(以下、歩行者ナビ)の相違について検討する。

地図の詳細度

歩行者は、車に比べて移動の自由度が大きい。車は基本的に道路の左車線だけを走行できるが、歩行者は左右のどちらの歩道も歩くことができ、また、建物の中や横断歩道など、カーナビでは扱われていない経路が多種存在する。従ってカーナビより大縮尺で地物の種類も多い地図を用意する必要がある。

測位精度

カーナビで用いられている単独測位方式の測位では数 m ~ 数 10m の誤差が生じるが、カーナビではマップマッチング(車が道路上を走行することを利用して地図上の道路位置との照合により測位結果を補正する方法)や慣性航法装置との連動により誤差の補正が可能である。歩行者ナビでは同様のことを行うのは難しく、歩行者ナビではユーザは自分の大まかな位置しかわからないという課題がある。

装置の保持

カーナビ端末は車体に設置されており、ユーザは装置のディスプレイを見るために装置を保持することについて考える必要がないが、歩行者ナビでは通常モバイル PC や携帯電話などの情報端末を手で持ちディスプレイを顔の方法に向けるという動作負荷が必要である。歩行中にこのような負荷を受けることは交通事故などの遠因となりかねず、歩行者ナビにおいてはなんらかの考慮が必要である。

メモリ

携帯情報端末にはカーナビのように大容量記憶を持たせることは困難であり、経路提示に使用される地図データをローカルに保持することはできない。従って、地図データを端末に伝送するサーバサブシステムと伝送サブシステムが必須となる。また、このことから通信可能範囲などのアベイラビリティも課題となる。

電源

カーナビでは電力は車体から供給されるので、常に稼働状態にしておくことが可能であるが、歩行者ナビはバッテリーで駆動するため、長時間駆動させるためには必要な時以外は消費電力を下げるなどの工夫が必要となる。また、この問題は、歩行者ナビにおいて常時電源を入れておくことを許さず、使用時毎にシステムの起動が必要となるため、応答性にも影響を与えている。

イ 平常時の歩行者ナビゲーションとの相違

次に、平常時と被災時の歩行者ナビとの違いについて検討する。

心理状態、肉体的・精神的疲労の度合い

被災者は生命の危険などの不安を感じていたり、避難行動による肉体的・精神的疲労状態にあるため、平常時に比べて認知能力が低下することが推測される。従って平常時より直感的でわかりやすい情報提示および操作性が必要と考えられる。

緊急性

平常時の移動と異なり、一刻を争う移動が必要な場合も少なくないと推測できる。従って、応答性に優れていること、提示した情報をすばやくユーザが理解できることが必要である。

確実性

誤った情報提示や誤解を生じやすい情報提示は、ユーザを危険に近付ける可能性があり二次災害の原因となるので、正しい情報を確実に伝達することが必要である。

移動の効率性

交通機関が停止するような大規模災害の場合、被災者は徒歩で長距離を移動することになるため、最短距離であることより、平坦な迂回路など、距離と歩きやすさの両方を勘案し肉体的な負荷の少ない経路が選択されて提示されることが望ましい。

情報の確かさ・鮮度の重要性

移動の支援は通常地図などの空間情報に基づいて行われるが、空間情報はある時点における現実世界のモデルであるので、一般的には現状との相違が含まれる。これは情報を誤って伝える原因となるため、平常時より鮮度の高い情報が必要である。交通規制などの防災情報とのリンクも重要である。

ウ 被災時の歩行者移動支援の要件

前節の検討結果より、被災時における歩行者の移動支援の要件は次のように整理できる。

応答性に優れていること。

提示された情報が短時間で理解されるように直感的またはわかりやすいこと

誤解を与える可能性が少ないこと

移動中の使用において安全が考慮されていること

提示される経路が安全であるだけでなく、時間的・物理負荷的に効率的であること

防災情報と連携した情報提供が可能であること

(3) 被災時の歩行者移動支援システム

ア アプローチ

本章では、前章までに検討した要件を満足する被災時の歩行者移動支援システムを開発するためのアプローチについて述べる。

サーバ-クライアント構成と防災情報との連動

移動支援に用いる広域の空間データをローカルに保持できないため、サーバ-クライアント形式とし、また、無線でデータの双方向伝送が可能である構成とする。さらに、必要最小限のデータ伝送を可能とするため、防災情報はサーバ側で受け取り、それに基づいて必要なデータだけをクライアントに送信することとする。

3次元都市地図の利用

地物の3次元モデルとそのモデルに地物表面の写真をマッピングしてリアルな景観を表現する3次元都市地図は、従来の平面地図よりも進行方向の判断などを直感的に伝達することができ、地理的情報の伝達性が優れていることが実験により確認されている^[12]。このことは、被災時の心理状態においても有効であると期待できる。ただし、3次元都市地図に基づく情報提示には、数10～数100倍のメモリ空間と計算リソースが必要になるという新たな課題が発生するので、これについての対処方法については後述する。

Memory&Walk 移動法

ユーザの安全を確保するためには移動中に端末の表示画面を見なくても済むようにすればよいが、このためには、表示画面に提示された経路情報をユーザが容易に記憶できるように工夫する必要がある。そこでまず、出発地点から目標地点までの間に中間の目標地点を設定し、それらの目標地点で移動経路を分割して提示することを考える。次に、中間の目標地点を記憶する手がかりとなる地物を定める。従って、区間毎に目視確認できる目標地物が存在するように区間の分割を行う。中間の目標地点の記憶を容易とするために、文章や音声などの補助メディアを付加することも有効である。これにより、ユーザは現在位置から中間目標地点までの経路を記憶してから端末を停止させて移動を行い、記憶した中間目標地点まで移動したら、再び端末を操作して次の中間目標地点までの移動経路を記憶して移動する、というサイクルを繰り返しながら最終的な目標地点までの移動を行う方法を検討した。この方法をMemory&Walk 移動法と名付ける。このプロセスに従って移動すれば、移動中に端末の表示画面を見る必要が無いため、安全に移動することが可能となり、また消費電力の低減も可能となる。また、ユーザの移動中の時間を利用して先読みを行うようにすれば、3次元都市地図による経路誘導には多大な通信リソースが必要という課題も同時に解決できる。さらに、この方法によれば、ユーザは中間目標毎に自分の現在地を確認できるので、GPSなどの測位デバイスは不要となる。

なお、今回は安全で効率的な経路を選択する機能については検討の範囲外とした。

イ システムの概要

前節のアプローチに基づき、被災時における歩行者移動支援システムを設計した。システム構成を図 1-1 に示す。

サーバ側システム

ユーザからのリクエストに基づいて移動経路を提示するための情報を端末に伝送するナビゲーションサーバと、どの経路が安全に歩行できるかなどの被災情報をナビゲーションサーバに伝送する災害情報サーバからなる。ナビゲーションサーバは、ユーザ端末からサービス要求を出発地点と目標地点の情報と一緒に受け取ると災害情報サーバに対して被災情報の提供を要求し、それを受け取ると出発地点から目標地点までの安全な経路を探索し、端末システムへ情報を伝送する。災害情報サーバでは、入力された災害情報と平常時の地理データの比較を行い、その結果に基づき移動に支障のある経路を判定し、その結果は被災情報としてナビゲーションサーバへ伝送される。

端末側システム

ユーザ端末には、広域で無線によるサーバ側システムとのデータ送受信を行うための仕組みが必要であるため、無線通信基地局を介して通信を行う構成とした。また、ユーザ端末のソフトウェア(端末アプリケーション)は、前述の通り 3 次元都市地図をベースに Memory&Walk 移動法に基づいて移動支援情報をユーザに提供する。

端末アプリケーション

次の機能を備える。PDA 版の表示画面例を図 1-2(a)、携帯電話版の表示画面例を図 1-2(b)に示す。

a. 3 次元都市地図表示

地物の 3 次元形状データとその表面画像データから 3 次元都市地図を読み込み、定義された視点位置(3 次元座標および 3 軸方位)からの透視投影座標を生成する。地物の種類としては、車道・車道上の白線・歩道・ビル・街路樹・信号機がある。また、予め定められた経路上で視点の座標と yaw 方位(水平位置での左右方向角度)の変更が、ユーザのボタン操作によって可能である。図 1-2(a)は視点がユーザの現在地に相当する座標にある場合、図 1-2(b)は視点が中間目標に相当する座標にある場合の表示例である。

b. 現在地表示

ユーザが現在立っているべき地表面上の位置から 1m 程度上に相当する 3 次元都市地図中の座標に中心を一致させた黄色半透明の円盤を地面と平行に配置して表示する。3 次元都市地図表示における視点が現在地に相当する位置にあるとき、円盤の一部が見えている状態となる(図 1-2(a)参照)。

c. 中間目標表示

中間目標位置として定めた地表面上の位置から 1m 程度上方に相当する 3 次元都市地図中の座標に中心を一致させた赤色半透明の円盤を地面と平行に配置して表示する。3 次元都市地図表示における視点が中間目標に相当する位置にあるとき、円盤の一部が見えている状態となる(図 1-2(b)参照)。

d. 経路表示

現在地から中間目標までの徒歩移動経路を緑色の矢印状の図形で表示する。右左折する場合は、別の矢印図形が追加表示される。

e. 目標地物表示

中間目標の記憶を容易とするために目標として定めた建物であり、オリジナルの表示と赤系の表示を一定間隔で切り替えて表示(点滅表示)する。

f. テキスト表示

中間目標の位置と経路について文章で示したものを表示する。

g. 区間切り替え

表示されている区間を1つ進めるまたは1つ戻す。

h. 区間インジケータ

現在提示されている区間が、出発地点から目標地点までのどこに相当するか(何番目にあたるか)を示す。

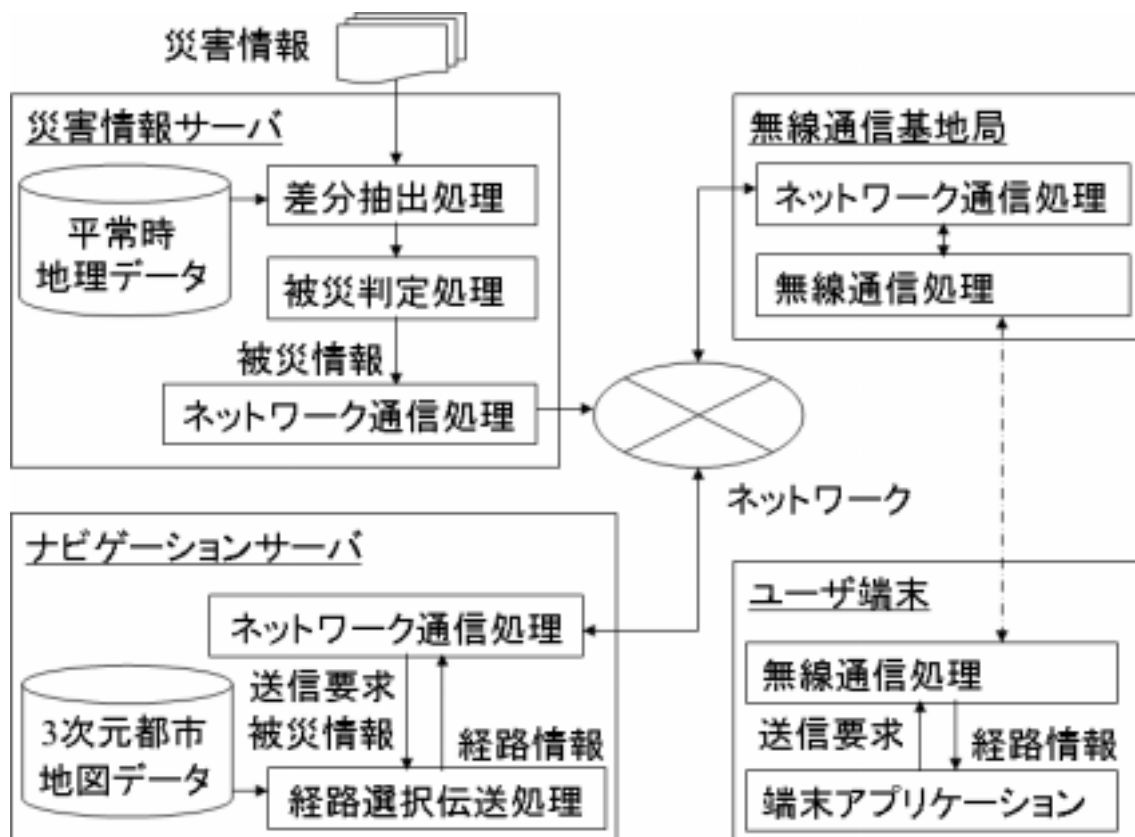


図 1-1 システム構成



(a)PDA 版



(b)携帯電話版

図 1-2 端末アプリケーションの表示画面例

(4) 予備実験

ア 実験システム

予備実験では、PDA(Personal Digital Assistant)を用いる構成とした。災害情報については、平常時には入手できないため、実験エリア内にいくつかの災害発生箇所を想定した被災パターンを複数作成しておき、ユーザ要求時にランダムに選択されるようにした。また、誘導経路については、予め複数のパターンを作成しておくとともに、被災パターンとの対応付けを行っておき、選択された被災パターンによって誘導経路が定められるようにした。なお、無線通信手段として携帯電話網を利用し、基地局・ナビゲーションサーバ・災害情報サーバはインターネットを介して接続する構成とした。

イ 実験仕様

東京都千代田区丸の内 2 丁目周辺を実験エリアと定めて被災事例データと移動支援データを作成し、試作システムを用いて被験者の出発地点から目標地点までの移動を支援する実験を計画した。被験者は、丸の内を生活拠点としない、20代および30代の男女計8名である。被験者にはこの実験が被災時における徒歩移動を想定したものであるとの状況設定について予め説明した。被災パターンおよび誘導経路は4種類ずつとし、各誘導経路を2名ずつの被験者に割り当てることとした。また、実験のはじめに誘導経路の出発地点まで被験者を移動させる際、複数の被験者が同時刻に同じ誘導経路上を移動しないよう調整した。

ウ 結果と考察

実験の結果、8名全員が想定した時間内に目標地点に到達し、プロトタイプシステムを用いて歩行者誘導が可能であることが確認できた。ルート毎の移動距離を表 1-1、各被験者の移動所要時間を図 1-3 に示す。また、被験者毎の所要時間にはばらつきがあるが、端末アプリケーションに備えた操作ログと被験者コメントより、ばらつきの原因は信号待ちなどの交通事情であり、移動支援は円滑に行われたこともわかった。この実験では被災時の心理状態などを十分に再現できていないとは言えないが、歩行者を出発地点から目標地点まで所定の経路によって移動させることに成功しており、被災時の移動支援を目的とする本稿の方法の有効性を示す基礎的な評価結果が得られたと考える。

表 1-1 実験ルート仕様

	距離(m)	道路横断数	信号数	曲がり角数
ルート1	300	0	0	2
ルート2	327	1	0	2
ルート3	353	1	1	2
ルート4	393	3	1	2

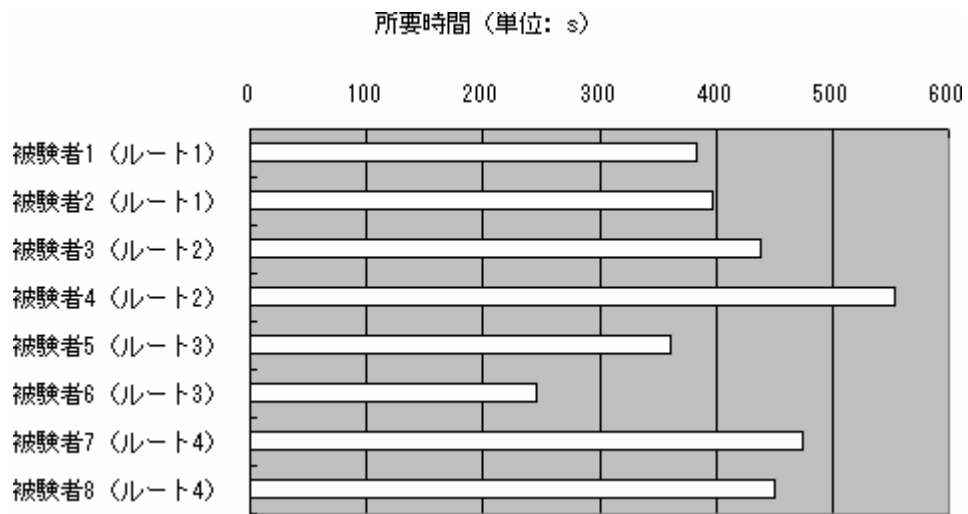


図 1-3 被験者別移動所要時間

(5) 本実験

ア 実験システムおよび仕様

実験システムは、予備実験において用いたものと同じである。被災パターンと誘導経路についてはそれぞれ 8 種類とした。一方、試作した歩行者移動支援システム(PDA 版および携帯電話版)の有効性を検証するため、従来型の平面地図に基づいて移動支援を行うシステムを追加試作し、移動支援の効果を比較する実験を計画した。以下、検証対象のシステムを検証システム、平面地図に基づくシステムを従来システムと呼ぶ。従来システムの表示画面の例を図 1-4 に示す。正しい比較結果を得るため、検証システムと従来システムにおいて同等の情報提示が行われるよう次の点に留意した。

情報の種類

検証システムで提示する地物・現在地マーカ・目標地点マーカ・ランドマーク・経路図形・ガイド文字列を、従来システムにおいて同様に提示する。また、検証システムでは建造物の表面の形状や色・高さを識別可能であるので、従来システムでは建造物の全体を撮影した写真を建造物の位置に配置し、同等の情報を得られるようにした。

操作性

検証システムと同様に、地図上に視点を定義し、現在地マーカから目標地点マーカの間を経路に従って視点を移動させられるようにした。なお、画面中央と視点の座標が一致することとし、視点の移動に併せて地図全体をスクロールする仕組みとした。

なお、被災情報については、予備実験と同様に仮想的なパターンを複数用意し、乱数によって選択される仕組みとした。



(a)視点が現在地にある場合



(b)視点が中間目標にある場合

図 1-4 従来システム(平面地図に基づく移動支援を行うもの)の端末表示画面の例

イ 実験結果

PDA 版では、丸の内地区を生活拠点としない 20 代および 30 代の男女計 47 名を被験者として、各被験者が検証システムと従来システムを 1 回ずつ使用して移動を行うフィールド実験を行った。なお、被験者をほぼ同数の 2 グループに分け、それぞれ検証システムによる移動後に従来システムによる移動を行うグループ、従来システムによる移動後に検証システムによる移動を行うグループとした。携帯電話版では、同様に 46 名を被験者として、各被験者が 2 種類の経路上を移動することとした。実験フィールドは東京都千代田区丸の内 2 丁目周辺とし、PDA 版と携帯電話版でそれぞれ 8 種類のルートを用意し、選択された仮想の被災情報に基づいて、ルートの 1 つが提示される仕組みとした。各ルートには出発地点と目標地点を 1 つずつ定め、フィールド実験では、出発地点から目標地点までの移動の成否・正しい経路選択の成否・移動所要時間を評価することとした。移動の成否は被験者の申告によるものとし、所要時間については端末装置における操作ログから取得することとした。ルート 1~4 および 9~12 は 3、ルート 5~8 および 13 から 16 は 4 の中間目標地点を含む(以下、各中間地点までの移動経路を区間と呼ぶ)。予備実験の結果から、1 区間の正常な移動に要する時間の最大値を 200 秒と定め、正しい経路選択の成否については、1 区間の移動平均が 200 秒以内に移動が完了した場合を成功、それを超えた場合を失敗として評価することとした。

PDA 版の検証システムによる結果を表 1-2、従来システムによる結果を表 1-3、携帯電話版システムによる結果を表 1-4 に示す(注: 操作誤りなどの原因により計測結果において、PDA 版で 8 回、携帯電話版で 7 回分の抜けがある)。目的地への移動の失敗数は PDA 版の検証システムで 0 件(0%)、従来システムで 3 件(7%)、携帯電話版システムで 4 件(4%)であった。正しい経路選択の失敗数については、PDA 版の検証システムで 1 件(2%)、従来システムで 6 件(13%)、携帯電話版システムで 10 件(11%)という結果が得られた。また、1 区間あたりの所要時間平均は、PDA 版の検証システムで 150 秒、従来システムで 157 秒、携帯電話版システムで 154 秒であった。また、移動実験中に被験者と車両との接触などの交通事故は発生しなかった。

表 1-2 検証システムによる移動所要時間の計測結果

経路番号	所要時間	備考
1	98	
1	89	
1	104	
1	133	
1	138	
1	197	
2	142	
2		データ無し
2	132	
2	475	不良
2	192	
2	121	
3	178	
3	195	
3	147	
3	129	
3	93	
3	131	
4	174	
4	160	
4	179	
4	167	
4	157	
4	198	
5	98	
5	172	
5	128	
5	99	
5		データ無し
5	121	
6	152	
6	170	
6	157	
6	147	
6	128	
6	137	
7	123	
7		データ無し
7	129	
7	144	
7	143	
7	134	
8		データ無し
8	174	
8	128	
8	137	
8	89	
8		データ無し

表 1-3 従来システム(平面地図に基づく移動支援を行うもの)による
移動所要時間の計測結果

経路番号	所要時間	備考
1	99	
1	167	
1	112	
1	125	
1		データ無し
1	126	
2	164	
2	182	
2	190	
2	200	不良
2	169	
2	177	
3	136	
3		データ無し
3	281	不良
3	176	
3	149	
3	248	不良
4		データ無し
4	247	不良
4	183	
4	172	
4		失敗
4	239	不良
5	109	
5	101	
5	99	
5	118	
5	108	
5	376	不良
6	129	
6		失敗
6	114	
6	193	
6		失敗
6	102	
7	153	
7	150	
7	117	
7	172	
7	84	
7	125	
8	169	
8	122	
8	108	
8	147	
8	118	
8	135	

表 1-4 携帯電話版システムによる移動所要時間の計測結果

経路番号	所要時間	備考	経路番号	所要時間	備考
9		データ無し	13		データ無し
9	130		13	104	
9		失敗	13		データ無し
9	98		13	101	
9	154		13	121	
9		データ無し	13		
9		失敗	13		データ無し
9	289	不良	13	190	
9	176		13	130	
9	130		13	129	
9	211	不良	13	176	
9	171		13	99	
10	133		14	152	
10		データ無し	14	387	不良
10	88		14	113	
10	106		14	140	
10	111		14	122	
10	87		14	130	
10	144		14	208	不良
10	112		14	116	
10	147		14	189	
10	100		14	378	不良
10	183		14	196	
10	112		14	231	不良
11	134		15	115	
11	135		15	157	
11	118		15	123	
11	167		15		失敗
11	136		15	93	
11	164		15	141	
11	152		15	140	
11	180		15	169	
11	173		15	136	
11	172		15	118	
11	210	不良	15	151	
11	235	不良	15	190	
12	179		16	126	
12	192		16	239	不良
12	95		16	154	
12	85		16	131	
12	79		16	102	
12	78		16	196	
12	147		16	175	
12	167		16	187	
12	153		16	173	
12		データ無し	16		失敗
12	147		16	148	
12	109		16	255	不良

ウ 考察

実験における移動支援の成功率は、PDA 版の検証システムおよび携帯電話版システムでは 95%を超える高率であり、従来システムでは 80%程度に留まった。また、正しい経路選択の成功率は PDA 版の検証システムで 98%、携帯電話版で 89%、従来システムで 86%であった。3次元都市地図を用いたシステムは、高い成功率で正しい経路に基づく移動支援が可能であることが実証できた。

これらのことから、次のことが言える。

サーバクライアント構成により、大容量記憶を持たない携帯型情報機器を用いて、歩行者の移動支援が可能であること。

防災情報を反映して決定した経路に従って、歩行者を誘導可能であること。

移動所要時間の短縮効果は認められなかったが、3次元都市地図を用いることにより、平面地図に基づく従来の方法より、確実な目的地までの移動支援が可能であること。

Memory&Walk 移動法により、GPS などによる測位情報を利用しない場合でも歩行者の移動支援が可能であること。

(6) まとめ

本章では、地震などの大規模災害時における情報サービスの 1 つとして、被災時に歩行者の移動支援を行うシステムを対象とし、まず、カーナビゲーションシステムや平常時の歩行者誘導との比較を行い、了解性の改善など課題の抽出を行った。次に、課題を解決するために 3次元都市地図を利用するなどのアプローチについて検討し、システムの試作を行った。さらに、実験システムを用いたフィールド実験において、平面地図に基づく従来型の歩行支援方法との比較を行い、検討したシステムにより安全・確実に歩行者の移動支援が可能であることを示す評価結果を得た。

2 被災時移動支援のニーズ・ユーザビリティ調査

(1) アンケート

被災時移動支援のニーズ・ユーザビリティ調査では、平成 18 年 2 月 1 日(水)～2 月 2 日(木)に実施した本実験、および平成 18 年 1 月 31 日(火)開催の GIS フォーラムで実施した公開実証実験に参加された被験者に対してアンケートを実施し、その回答を集計した。

被験者数は本実験 46 名、GIS フォーラムで実施した公開実証実験 27 名の計 73 名であった。

アンケート項目において被験者がわかりやすいように研究開発における用語を以下のように表した。

研究開発用語	アンケート項目の表記
(文字・矢印による)キャプション	行き先指示
クリックブルオブジェクト	ランドマークの目印情報

GIS フォーラムの公開実証実験では本実験の一部を体験していただくことで、被験者から移動支援情報や実用化に関する内容に絞って意見収集を行った。

幾つかの意見を、以下に示す。

■ 移動支援情報に関する意見

- GPS、ジャイロ等による現在地、視点方向を把握する情報がほしい
- 3次元景観だけでなく2次元地図も参照できると良い
- 周辺情報を充実してほしい(建物名、給水ポイント、トイレ等)

■ 実用化に関する意見

- 初めての土地や不慣れな場所で利用したい
- 自治体等、公共機関で利用整備してほしい

続いて(2)以降で、本実験における各設問とアンケートの集計結果を示す。

(2) 3D プレビュー(全体経路案内)、周辺パノラマ動画に関する設問

ア 動画による 3D プレビューについて

(ア) 目的

移動支援において全体経路を把握させる為の 3D プレビューの表現について被験者に問い、動画による 3D プレビューの妥当性・必要性を調査する。

者にとって不満の残る内容であったということが推測できる。

理解に時間がかかった理由として、移動実験の感想や、2)の2 - 2)の結果から、3D プレビューの表示速度が速過ぎるという意見が多く挙げられた。これは表示速度が速い場合は現在地からどの方面に向かって進行しているのか、実際の景観と見比べて確認するのが難しいということが推測できる。

また被験者が移動したルート別に分析した結果、スタート時細い道を案内するルートでは理解し易いと回答する被験者がいないという結果に至った。このルートでは3D プレビューで表現した景観の道幅が実際の景観よりも広がった為、景観の違いが被験者を混乱させてしまい、理解するのに時間がかかってしまったということが推測できる。

以上のことから、被験者が景観を確認できる表示速度の調整と、景観確認で混乱させないよう正確な3次元空間データで表現することが、3D プレビューの妥当性向上に繋がると考えられる。

イ 出発地点、またはチェックポイントでの周辺パノラマ動画について

(ア) 目的

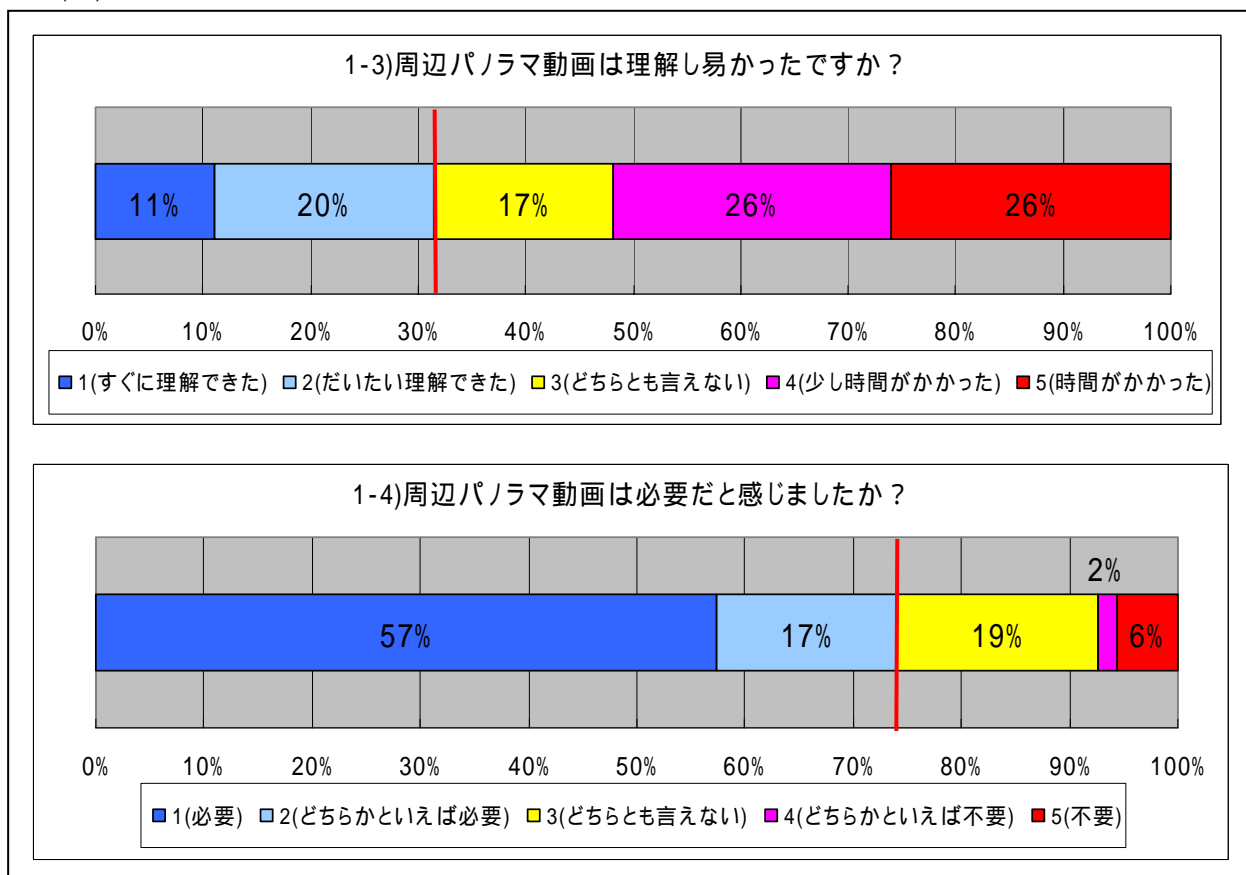
移動支援において出発地点、またはチェックポイントで周辺を確認する為の周辺パノラマ動画について被験者に問い、周辺パノラマ動画の妥当性・必要性を調査する。

(イ) 方法

アンケート内で次の問いかけを行った。

1 - 3) 出発地点、またはチェックポイントでの周辺パノラマ動画は理解し易かったですか？				
すぐに理解できた		どちらともいえない		理解するのに時間がかかった
1	2	3	4	5
1 - 4) 出発地点、またはチェックポイントでの周辺パノラマ動画は必要だと感じましたか？				
必要		どちらともいえない		不必要
1	2	3	4	5

(ウ) 結果



青系色の多いグラフは高い評価を得られていることを示す。

(エ) 考察

1 - 3) の設問に関しては「理解できた」という回答に類する「1」と「2」の合計で 31%と半数に満たなかった。また1 - 4) の設問に関しては「必要」という回答に類する「1」と「2」の合計で 74%に至った。

二つの結果から、多くの方が周辺パノラマ動画の必要性は感じているが、今回の表現方式においては利用者にとって不満の残る内容であったということが推測できる。

理解に時間がかかった理由として、移動実験の感想や、2)の2 - 2)の結果から、表示速度に関する意見と、表現方式に関する意見が多くあった。

表示速度に関しては動画による3Dプレビュー同様に表示速度が速過ぎる為、景観と見比べて確認するのが難しいという意見が挙げられた。

表現方式に関しては音声解説など、360度の周辺景観以外の情報付加を望む意見が挙げられた。また自動で周辺の景観を表示する動画再生の他に、左右キー等のボタン操作を手動で行うことで、自由に周辺の景観を確認できる方式が良いという意見も挙げられた。これは実際に周辺景観確認する場合、画面に映る3次元景観映像と実際の景観を繰り返し見ながら確認する為、360度を自動再生し覚えてから見渡すのでは難しいということが推測できる。

以上のことから、被験者が景観を確認できる表示速度の調整、景観以外に周辺を把握させる為の情報付加、周囲の景観を自由に確認することができる仕組みを考慮することで周辺パノラマ動画の妥当性向上に繋がると考えられる。

(3) 情報提示の速度に関する設問

ア キーやボタンの応答速度について

(ア) 目的

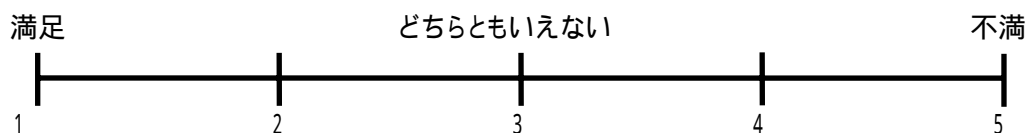
移動支援においてキーやボタンを押下してから情報提示するまでの応答速度が満足できるものであったか被験者に問い、利用者の要求に対するレスポンスの高速性を調査する。

(イ) 方法

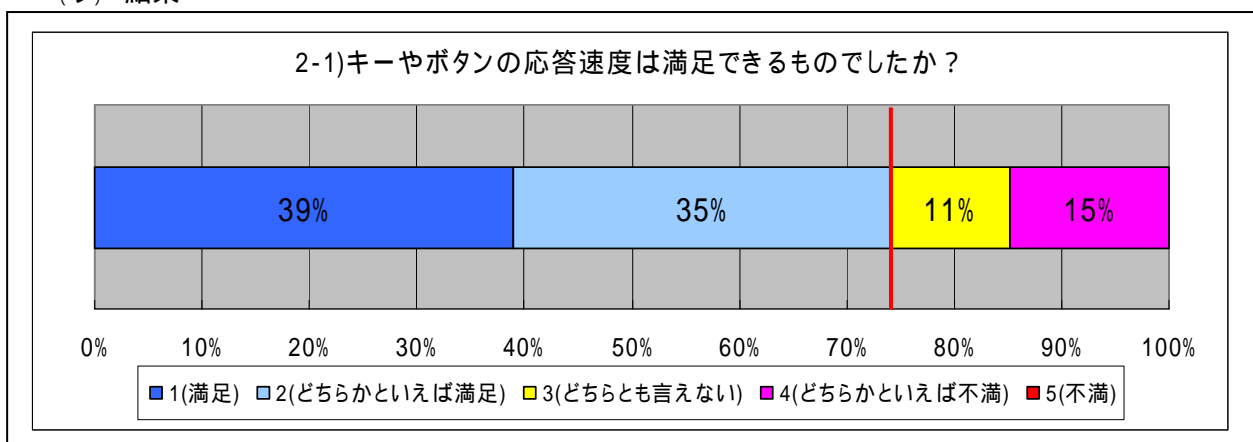
アンケート内で次の問いかけを行った。

2) 情報提示の速度について

2 - 1) キーやボタンの応答速度は満足できるものでしたか？



(ウ) 結果



青系色の多いグラフは高い評価を得られていることを示す。

(エ) 考察

2 - 1)の設問に関しては「満足」という回答に類する「1」と「2」の合計で 74%に至り、利用者の要求に対するレスポンスの高速性は高いものと考えられる。

不満と回答した方の理由として、3D プレビューや周辺パノラマ動画など動画再生までの待ち時間が長いという意見が多く挙げられた。また周辺パノラマ動画は繰り返し閲覧しながら実際の景観と見比べて確認する為、毎回ダウンロードするのは面倒であるという意見も挙げられた。

以上のことから、動画メディアの扱いにおいて効率良く情報を端末に保持することで高速性の向上に繋がると考えられるが、端末内で保持できるデータ量や、データをダウンロードするタイミングなどの問題を解決する工夫が必要となる。

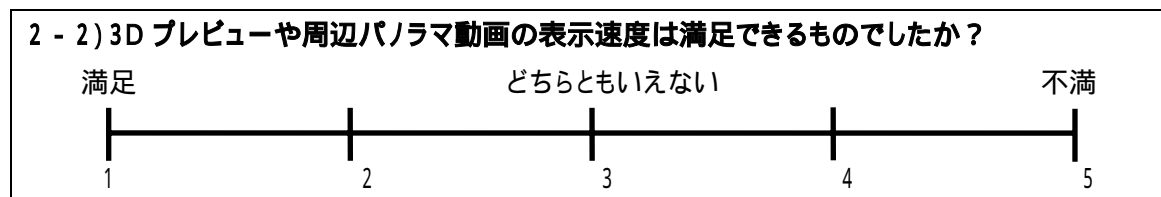
イ 3D プレビューや周辺パノラマ動画の表示速度について

(ア) 目的

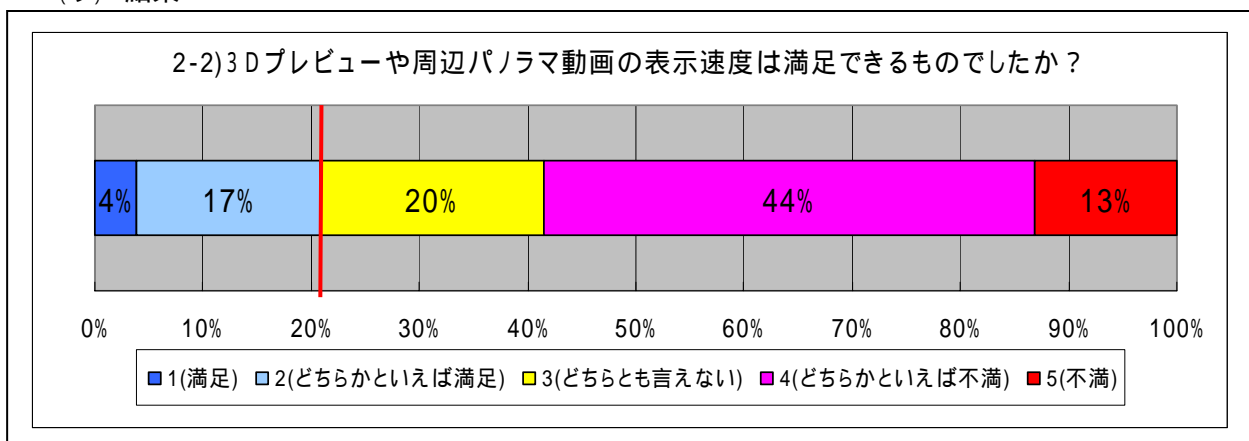
移動支援において3D プレビューや周辺パノラマ動画の表示速度(進行速度)が満足できるものであったか被験者に問い、3D プレビューや周辺パノラマ動画における表示速度の妥当性を調査する。

(イ) 方法

アンケート内で次の問いかけを行った。



(ウ) 結果



青系色の多いグラフは高い評価を得られていることを示す。

(エ) 考察

2 - 2)の設問に関しては「満足」という回答に類する「1」と「2」の合計で僅か 21%と半数に満たなかった。

不満と回答した方の理由として、「(2)ア、イ」の考察でも述べたが、表示速度が速すぎるという意見が多く挙げられた。

この表示速度は3D プレビューや周辺パノラマ動画の表現の妥当性に大きく影響することから今後、被験者が景観を確認できる表示速度の調整を行う必要がある。

(4) 歩行経路案内情報に関する設問

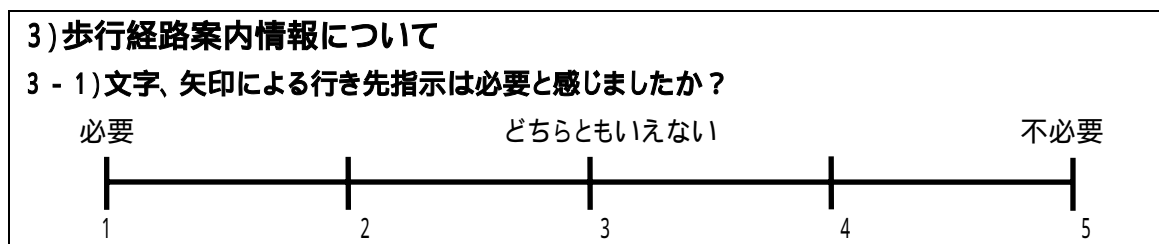
ア 文字、矢印による行き先指示について

(ア) 目的

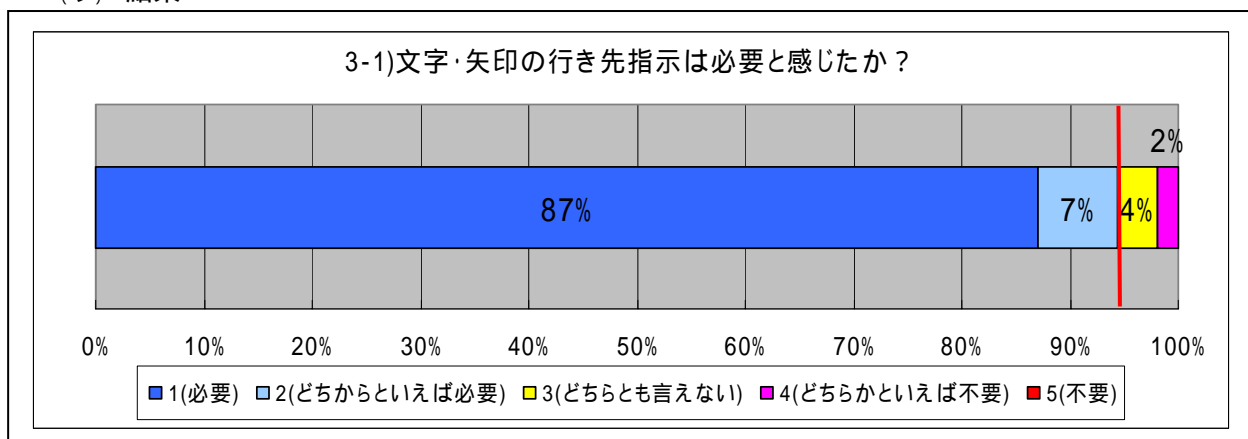
移動支援において文字、矢印による行き先指示が必要と感じるかを被験者に問い、文字・矢印キャプションの必要性を調査する。

(イ) 方法

アンケート内で次の問いかけを行った。



(ウ) 結果



青系色の多いグラフは高い評価を得られていることを示す。

(エ) 考察

3 - 1)の設問に関しては「満足」という回答に類する「1」と「2」の合計で 94%に至り、文字・矢印キャプションの必要性が昨年度の結果を上回り、非常に高いことを確認した。

(昨年度は文字キャプション:79% 矢印キャプション:87%)

また移動実験の感想では、「音声による案内もほしい」との意見もあり、昨年度の実証実験で実装した音声キャプションについても、利用者が必要性を感じていることが再認識できた。

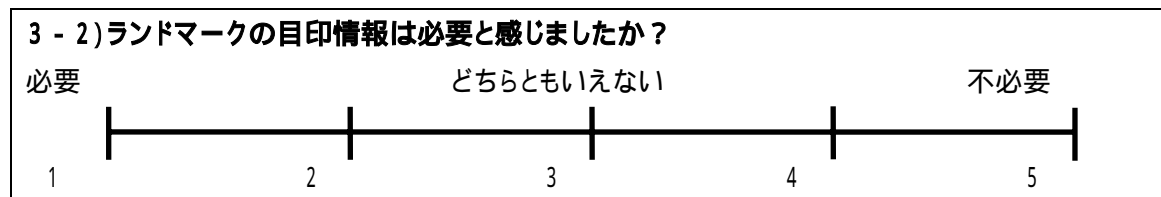
イ ランドマークの目印情報について

(ア) 目的

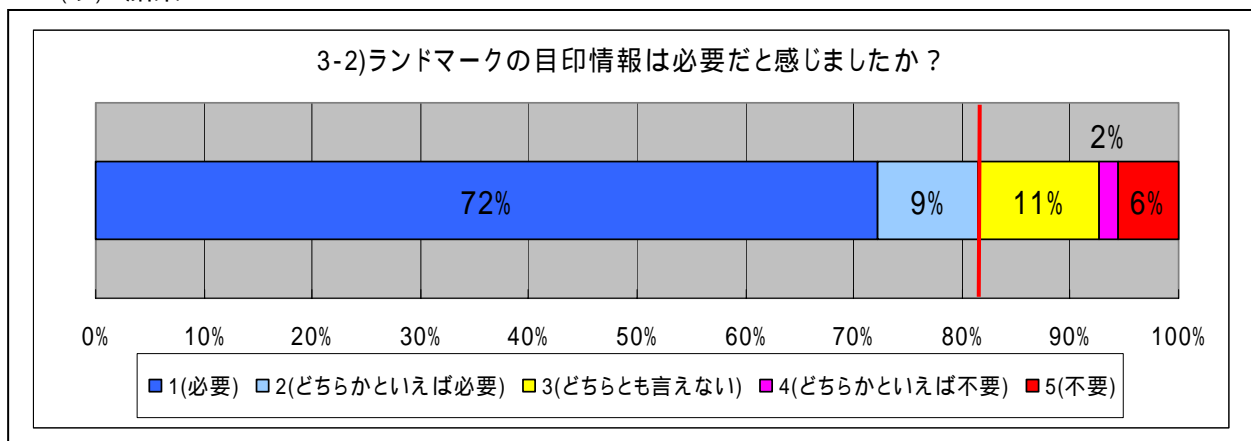
移動支援においてランドマークの目印情報が必要と感じるかを被験者に問い、クリックブルオブジェクトの必要性を調査する。

(イ) 方法

アンケート内で次の問いかけを行った。



(ウ) 結果



青系色の多いグラフは高い評価を得られていることを示す。

(エ) 考察

3 - 2)の設問に関しては「満足」という回答に類する「1」と「2」の合計で 81%に至り、クリックブルオブジェクトの必要性が昨年度の結果を上回り、非常に高いことを確認した。

(昨年度のクリックブルオブジェクトの必要性は 66%)

移動実験の感想に、「目印として表示された建物の外観映像は歩行者が見ているのとほぼ同じ方向のものであったので分かり易かった」や「駐車場の出入口など、目立つポイントが目印として表示されているのが良かった」など、昨年度よりも属性情報の詳細化・充実化を考慮したことが必要性向上に起因したものと考えられる。

ウ 歩行経路案内情報における必要な情報について

(ア) 目的

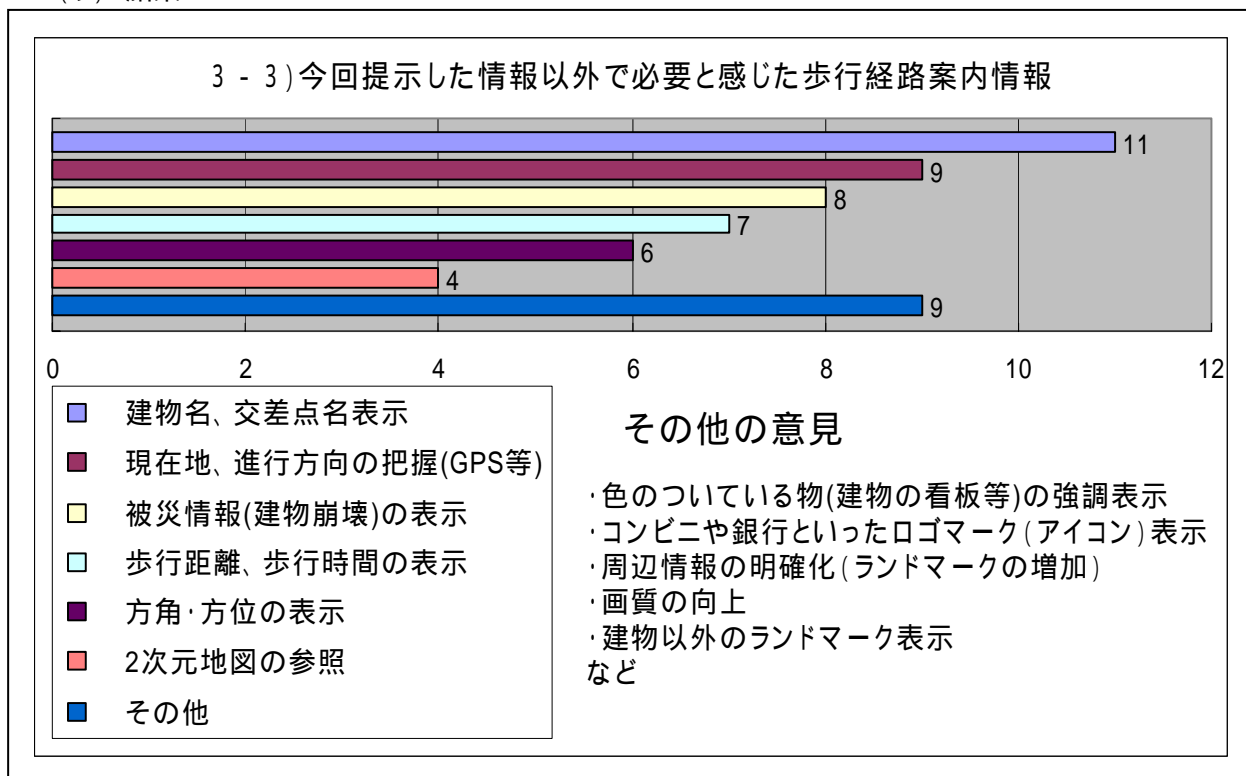
今回、評価アプリケーションで提示した歩行経路案内情報以外で、必要だと感じる情報があるかを被験者に問い、歩行経路案内における情報のニーズを調査する。

(イ) 方法

アンケート内で次の問いかけを行った。

3 - 3)今回提示された歩行経路案内情報以外で必要だと思う情報があればお答えください。

(ウ) 結果



(エ) 考察

上記のグラフは自由記入で回答して頂いた被験者の意見から同じ内容をまとめたものである。

まずアンケート結果から、
、
に関して、各種方法は異なるがこれらは利用者が現在位置や自分が進むべき方向を把握する為に必要だと感じている情報であり、3次元による歩行経路案内において最も重要な要素であると考えられる。特に今回の実験で提示された歩行経路案内情報だけでは出発地点の位置、歩き出す方向が分かり難かったとの意見が多かったので、今後これらの情報を考慮する必要があると考えられる。

また、
の災害状況を把握する為のリアルタイムな情報や、
の全体を把握する為の情報が要求されていることが確認できた。

(5) 災害時避難経路案内アプリケーションに関する設問

ア 実用化された時の利用ニーズについて

(ア) 目的

災害時避難経路案内アプリケーションが実用化された場合に使用したいかを被験者に問い、実用化された時の利用ニーズを調査する。

(イ) 方法

アンケート内で次の問いかけを行った。

4) 災害時避難経路案内アプリケーションについて

4 - 1) 今後、このようなアプリケーションが実用化された場合に使用したいと思いますか？

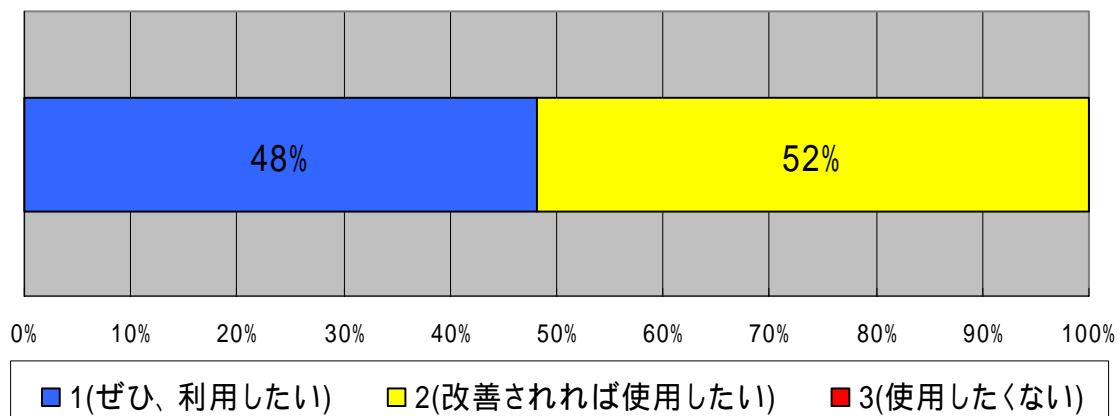
理由についてもお答えください。

1. ぜひ、利用したい
2. 改善されれば利用したい
3. 利用したくない

理由)

(ウ) 結果

4-1)実用化された場合に使用したいと思いますか？



(エ) 考察

4 - 1) の設問に関しては約半数の被験者が「ぜひ、利用したい」、残りの約半数が「改善されれば使用したい」と災害時避難経路案内アプリケーションの利用ニーズが非常に高いことが確認できた。

理由としては「知らない場所などに居る場合、非常に便利」、「効率良く避難したいので必要」など良好

的な意見が多く挙げられた。

しかし、災害時の通信状況、端末の電池の持ち、機種や携帯会社が限定されないサービスとして利用など、実際の災害時に利用できるのかと不安を抱いている被験者がいることが認識できた。これらの不安要素を取り除くことができれば更なる利用ニーズの拡大に繋がると考えられる。

また、その他に「災害時以外の平常時でも利用できそうだから」、「災害時に限らず、通常のナビとしても利用したい」など平常時の経路案内としても実用化のニーズがあることを確認できた。

(6) マルチキャスト配信に関する設問

ア マルチキャスト配信時の情報ニーズについて

(ア) 目的

常に携帯端末で災害に関する情報が受け取れる場合、必要な情報は何かを被験者に問い、マルチキャスト配信時の情報ニーズを調査する。

(イ) 方法

マルチキャスト配信で受け取った情報を歩行者ナビゲーション画面上に表示するデモンストレーションを被験者に見せ、アンケート内で次の問いかけを行った。



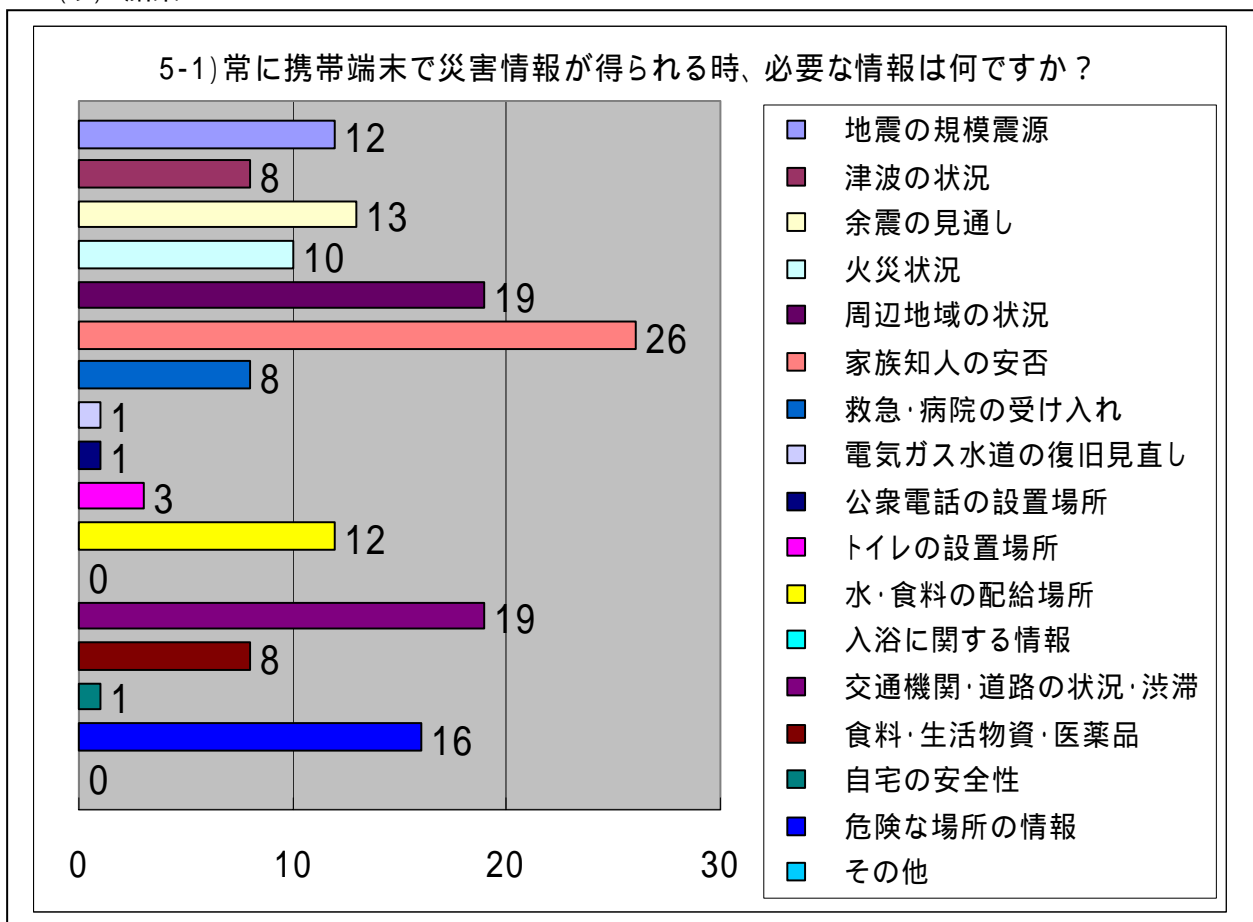
5) 以下の質問には説明をお聞きになった後にお答えください。

5 - 1) 常に携帯端末で災害に関する情報が得られる場合、必要だと思う情報は何ですか？

以下の項目から選択してください(最高3つまで)

1. 地震の規模震源
2. 津波の状況
3. 余震の見通し
4. 火災状況
5. 周辺地域の状況
6. 家族知人の安否
7. 救急・病院の受け入れ
8. 電気ガス水道の復旧見通し
9. 公衆電話の設置場所
10. トイレの設置場所
11. 水・食料の配給場所
12. 入浴に関する情報
13. 交通機関・道路の状況・渋滞
14. 食料・生活物資・医薬品
15. 自宅の安全性
16. 危険な場所の情報
17. その他()

(ウ) 結果



(エ) 考察

今回、マルチキャストでの配信が考えられる情報だけでなく、災害時に必要と考えられる情報を全て選択項目に載せた形でアンケートを行った。

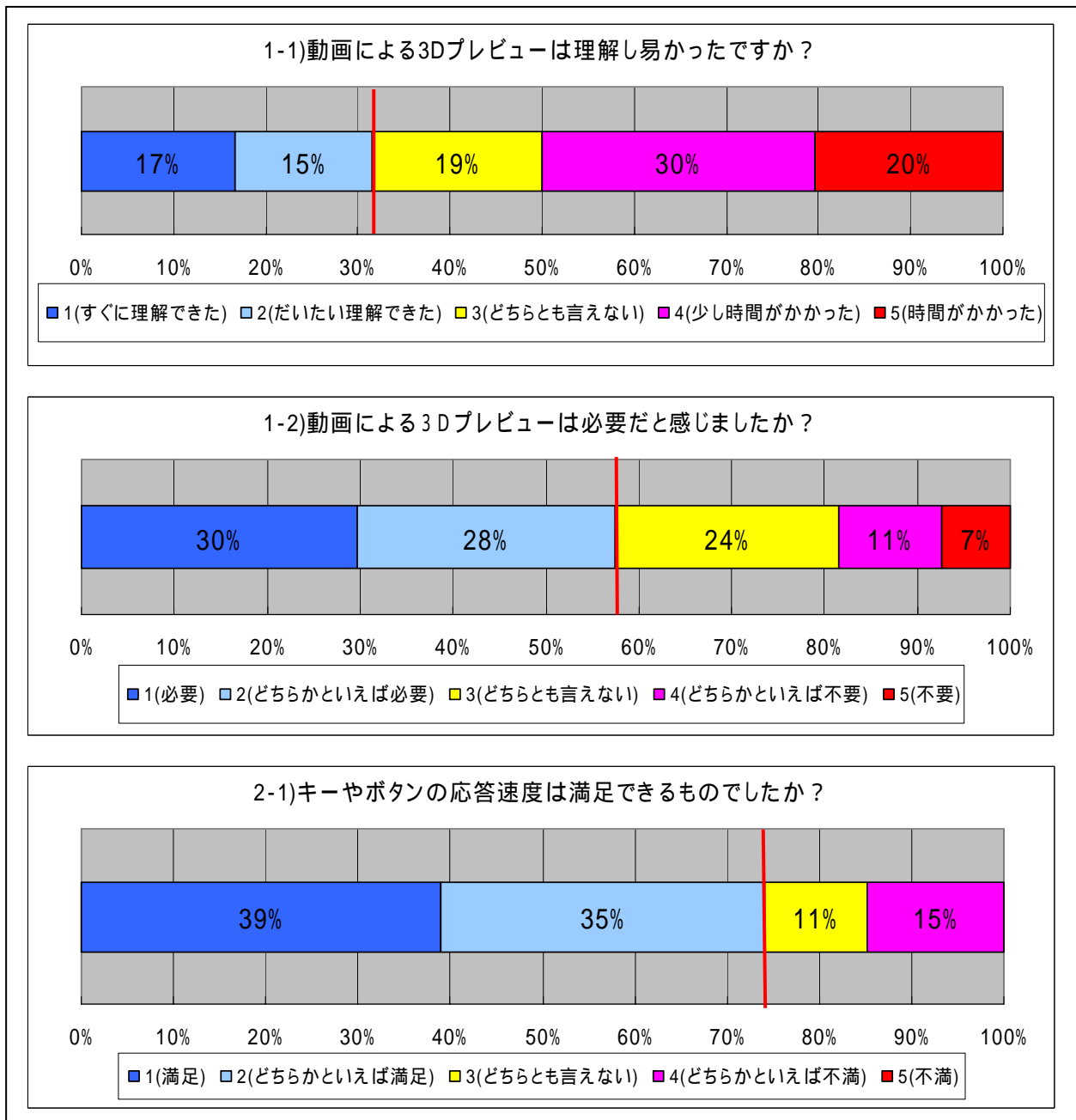
その結果、最も必要とされている情報は「家族知人の安否」であったが、「周辺地域の状況」、「交通機関・道路の状況・渋滞」、「危険な場所の情報」といった周辺の地域情報を多くの方が必要としていることが確認できた。

今後、歩行経路案内を行う上で、周辺の地域情報を効率良く配信することが重要であると考えられる。

(7) 総合考察

本項では被災時移動支援のニーズ・ユーザビリティ調査を行った。

ユーザビリティの調査に関しては動画による3Dプレビュー、周辺パノラマ動画が移動支援の認識度と与える効果の度合いと、情報提示のレスポンスの高速性を評価した。評価方法として被験者に対するアンケートを行い、3Dプレビュー、周辺パノラマ動画は与える情報の「理解し易さ」「必要性」、情報提示のレスポンスは「満足度」について5段階評価で回答を収集し、その結果は下記のようなグラフで集計した。



青系色の多いグラフは高い評価を得られていることを示す。

集計においては、プラス評価の水準を評価1、2までと設定し、被験者数全体におけるプラス評価者数の比率で評価を行った。評価結果を以下に示す。

	プラス評価率	
	理解し易さ	必要性の度合い
動画による3D プレビュー		
周辺パノラマ動画		

: プラス評価 : マイナス評価

この結果より、3D プレビュー、周辺パノラマ動画の必要性は認められていることがわかった。しかしその必要性に比較して今回の実験における表現方法は、多くの課題を抱えていることがわかった。

	プラス評価率
	満足度の度合い
キーやボタンの応答速度	
3D プレビューや周辺パノラマ動画の表示速度	

: プラス評価 : マイナス評価

この結果より、キーやボタンなど利用者の要求に対する情報提示のレスポンスは満足度が高いということがわかった。しかしながら今回の実証実験における3D プレビュー、周辺パノラマ動画の表示速度は満足度が低く、実用面での課題を抱えていると言える。

ニーズの調査に関しては、実用化された時の利用ニーズや、今回提示した情報以外で必要だと感じた移動支援情報ニーズ、さらにマルチキャスト配信で常に情報が得られる場合の情報ニーズを調査した。調査方法としては、被験者に対するアンケートを用いて情報収集を行った。

情報収集した結果、実用化された時の利用のニーズに関しては、約半数の被験者が「ぜひ、利用したい」、残りの約半数が「改善されれば使用したい」と非常に高い結果が得られた。しかし実際の災害時に利用できるのかと不安を抱いている被験者もいたことから、これらの不安要素を取り除く事が更なる利用ニーズの拡大に繋がることがわかった。

移動支援情報のニーズに関しては、現在位置や自分が進むべき方向を把握する為の情報を必要だと感じている被験者が多く、これらが3次元の移動支援において最も重要な要素であると思われる。

マルチキャスト配信時の情報のニーズに関しては、周辺の地域情報を必要だと感じている被験者が多く、一斉同報を生かした周辺情報配信に寄せられる期待感を確認することができた。

3 被災時画像情報提供のニーズ調査

災害が発生した直後に、被災地の状況を航空機から取得するが、この際に得られたデジタル航空写真を速報的な情報として、携帯端末で閲覧可能なサイズに変更して、配信を行うことを想定した。これは、避難誘導を二次情報配信とした時、一次情報配信としての位置付けであり、利用者の現在地周辺についての状況確認や、これから向かう先、例えば自宅、職場、避難所等が存在する方面が、どのようになっているかを確認する際に有効活用できると考えられる。

本アンケート調査では、航空写真1枚(3680ピクセル×2400ピクセル:約2.3km×約1.5km)をVGAサイズ(640ピクセル×480ピクセル)に合わせて、640ピクセル×418ピクセルに縮小した画像を広域画像と定義した。また、広域画像の約1/4の範囲の画像(640ピクセル×418ピクセル:約1.15km×約0.75km)を詳細画像として定義した。これら2つの画像を2種類のモバイル端末、すなわちPDAと携帯電話上に表示し、利用者にとっての配信情報の有効性をアンケート調査により評価を行った。

(1) 調査内容

実証実験は、PDAグループと携帯電話グループの2つのグループを設定して行った。そのため、それぞれの端末上で表示できるように端末専用の画像を作成した。表示アプリケーションについても端末毎に別々のものを作成した。PDAではOS標準のWEBブラウザを用いてアプリケーションを作成した。携帯電話ではJavaを用いてデータ閲覧用のビューアアプリケーションを作成した。

ア 広域画像

広域画像は、現在地周辺および移動先方向のおおまかな被災状況を把握することを目的としている。航空写真は非常に大きな画像であるため、一般のモバイル端末にそのままのサイズで表示することは困難である。そのため、ここでは1枚の航空写真をモバイル端末で表示可能なVGAサイズに縮小したものを用意した。アンケート調査の内容は、画像サイズの観点から作成した航空写真が、利用者の視点で表示範囲・画像解像度の面で十分であるかどうかを確認するものである。

PDAではあらかじめ拡大、或いは縮小した画像を複数枚用意し、それぞれにリンクするような構成とした。図3-1に初期画面および広域画像表示時のイメージ図を示す。

一方、携帯電話ではJavaアプリケーションにより、1枚の広域画像を拡大・縮小する機能を付加した。図3-2に広域画像表示時のイメージ図を示す。



図3-1 初期画面および広域画像表示画面イメージ(PDA)

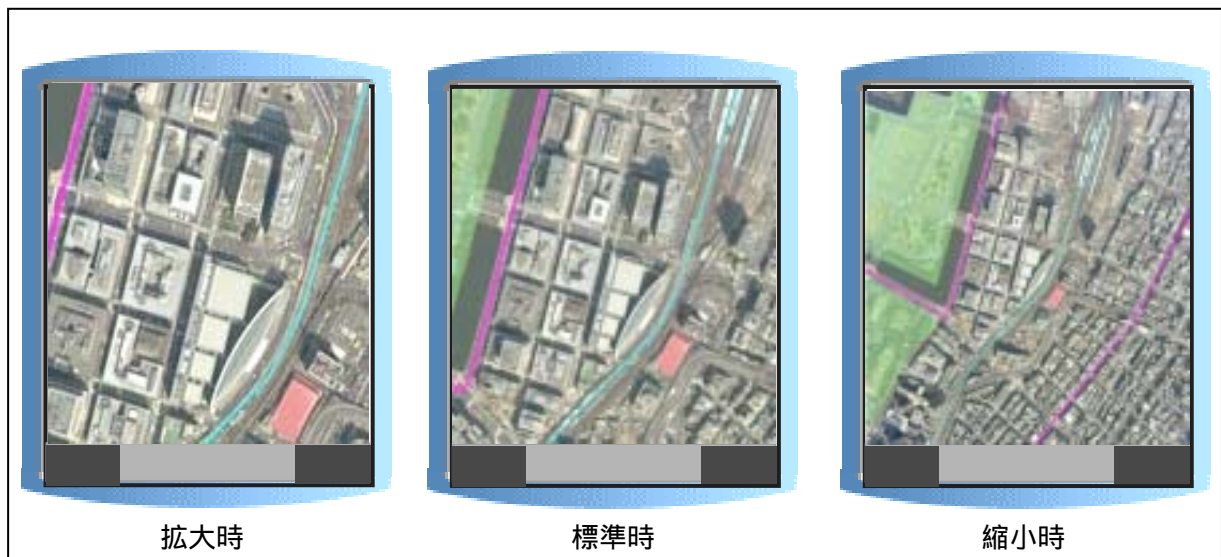


図 3 2 広域画像表示画面イメージ(携帯電話)

イ 被害度画像

被害度画像は、広域画像の上にあらかじめ計算された災害時の被害度予測をメッシュデータとして重ねたものである。これは普段から利用の少ない航空写真だけでは、利用者が被害の状況を判読し辛いと考え、補助情報として利用されることを想定としている。ここでは、被害状況を被害大、被害中、被害小の3段階にランク分けした。アンケート調査の内容は、被害度予測メッシュのメッシュサイズが、利用者の視点で見た場合、航空写真の撮影範囲と比較して適正な大きさであるかどうかを確認するものである。今回のアンケートでは、メッシュデータの一边を約500mとした。図3-3に被害度メッシュ画像を示す。



図 3 3 被害度メッシュデータ

ウ 詳細画像

詳細画像は、広域画像のおよそ倍の画像解像度を持ち、災害時に徒歩で避難又は帰宅する場合に道路の状況把握をすることを目的としている。広域画像では、おおまかな被災状況を把握できたとしても、道路の状況を確認することは難しい。そこで、表示範囲が少し狭くなったとしても道路の状況を把握できる解像度を得るために詳細画像を用意した。アンケート調査の内容は、解像度を高くすることによって狭くなった画像範囲が、利用者の視点で十分であるかどうかを確認するものである。

詳細画像の表示範囲は、広域画像の約 1/4 の面積であり、画像解像度は約 4 倍である。図 3-4 に詳細画像データを示す。



図 3 4 詳細画像データ

エ 表示情報

表示情報とは、航空写真上に表現された地理情報のグラフィックである。広域画像及び詳細画像には、主要道路・鉄道・広域避難場所の地理情報を表現した。災害を想定した時、利用者が前記 3 項目以外に必要であると感じる地理情報についての情報を得る目的でアンケート調査を行った。

オ 配信データ

配信データとは、前述の 3 つの画像(広域画像・被害度画像・詳細画像)を 1 つのセットにしたものである。アンケートの内容は、配信データの有効性を確認するものである。

(2) 調査結果

ア コンテンツ表示サイズの評価

(ア) 目的

被験者に対して、前述の広域画像と詳細画像の表示範囲および被害度のメッシュサイズが適切であるかを問い、各目的に沿う適切なコンテンツの範囲やサイズを調査する。

(イ) 方法

アンケート内で次の問いかけを行った。

(A) 広域画像について(最初に表示された画像)
・被災地周辺を把握するための写真として、表示範囲は、

広すぎる 少し広い ちょうど良い 少し狭い 狭すぎる

1 2 3 4 5

(B) “被害度”の表示方法について
・被災地周辺の被災状況を知るための被害度表示として、ひとつのメッシュの大きさは、

1/3 程度に細かく 1/2 程度に細かく ちょうど良い 2 倍程度に荒く 3 倍程度に荒く

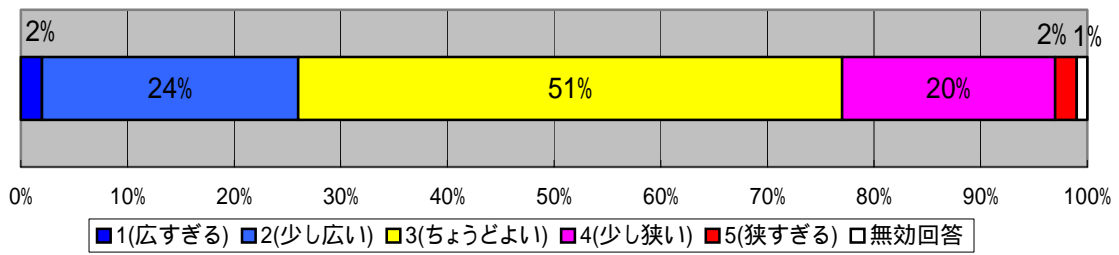
1 2 3 4 5

(C) 詳細画像について(次に表示された画像)
・知りたい場所の被災状況を更に細かく表示します。表示範囲について、

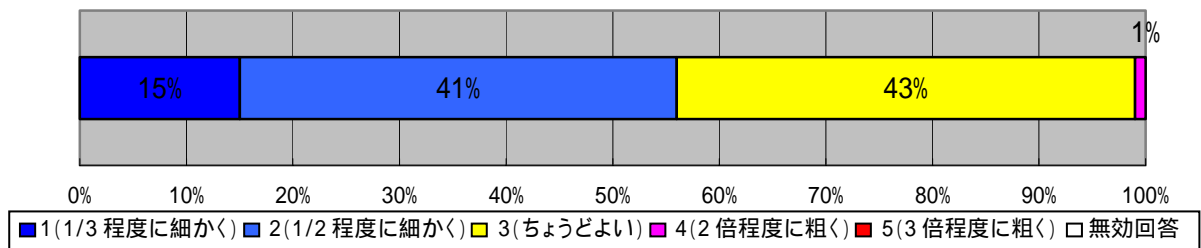
広すぎる 少し広い ちょうど良い 少し狭い 狭すぎる

1 2 3 4 5

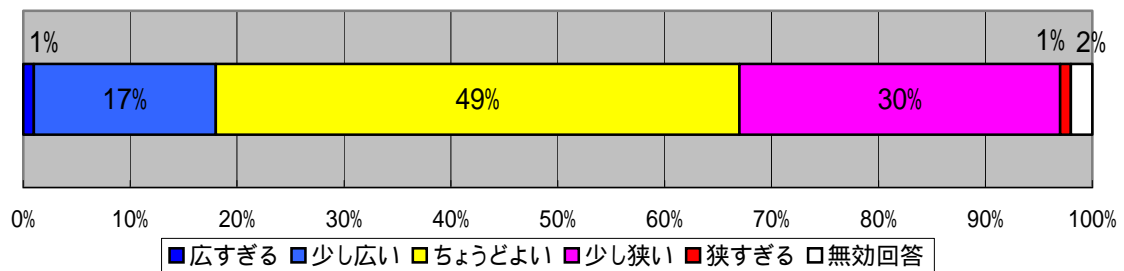
(ウ) 結果



(A)広域画像の範囲



(B)被害度のメッシュサイズ



(C)詳細画像の範囲

(工) 考察

(A)、(C)ともに半数程度の被験者から、ちょうどよい範囲であるという評価を得られた。また、性別、職種、年齢層等で比率を確認したが、どれも傾向に大差はなかったことから、今回表示した航空写真の範囲の有効性が確認された。

ただし、後述の自由記述にて、「詳細画像をもっと詳しく見たい」、「画像が荒れないように拡大してほしい」等の意見が多く出ていたことから、詳細画像についてはさらにもう一段階作成・表示することも必要であると考えられる。

(B)については、1/2 ないし 1/3 程度に細かく表示する方がよいという意見が、ちょうどよいという意見よりも多く挙がった。なお、この問いにおいても性別等の項目別に比率を確認したが、どれも傾向に大差はなかった。このことから、現状の一辺 500m のメッシュサイズを、200～250m へ変更することが望ましいと考えられる。

イ 表示情報

(ア) 目的

広域画像および詳細画像上に別途掲載した主要道路、鉄道、避難所以外に必要な情報を被験者に問い、画面に表示すべき情報を調査する。

(イ) 方法

アンケート内で次の問いかけを行った。

表示情報について

今回の写真では、鉄道を【水色】、主要道路を【紫色】で表示しました。他に表示したい情報はありますか。以下の項目で必要な情報があれば、印をつけて下さい。(3つまで回答可)

駅

トイレ

橋

飲み物の自動販売機

コンビニ

病院

消防署

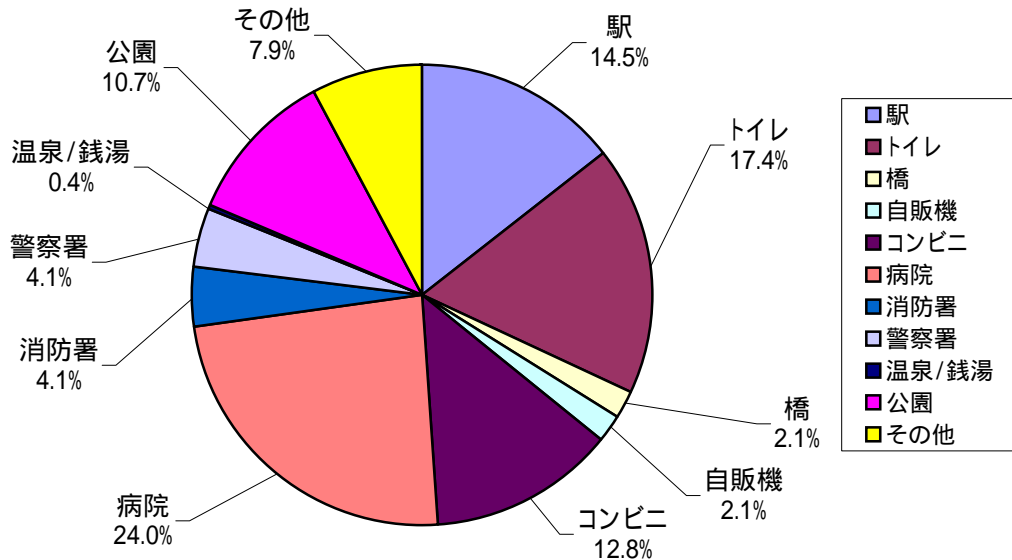
警察署

温泉・銭湯

公園

その他()

(ウ) 結果



(A) 選択項目別

項目	回答数
配給所(水、食料)	2
避難所(学校、公園等)	6
銀行	1
主要ランドマーク	2
応急処置、給水が可能な場所(コンビニ、ガソリンスタンド)	2
自宅	1
川	1
道路名称	2
交差点名称	1
橋	1
公共施設(役所等)	2
建物名称	1
現在地	1
道路状況(通行止め等)	1
子供の世話が出来る場所	1

(B) “その他”項目欄の詳細

(エ) 考察

選択項目では、病院が最も多く選択され、次いでトイレ、駅、コンビニ、公園の順で多く、これらは全体回答数の10%以上であった。なお、その他項目では避難所が最も多く、配給所等の物資の入手可能な場所も多く挙がっている。同様に、道路や建物、交差点名称等の、場所を特定可能な情報も必要とされている。これらの回答は、通常見ることの少ない航空写真だけを利用するのは難しいと考える人が多いという結果につながると推測される。よって、上位に挙がった情報の掲載、および現在地と表示位置がわかるような情報掲載、あるいは通常の地図との切替えなどが必要になると考えられる。

ウ 配信情報

(ア) 目的

本アプリケーションに対するニーズを問い、現時点での有効性および改良点を調査する。

(イ) 方法

アンケート内で次の問いかけを行った。

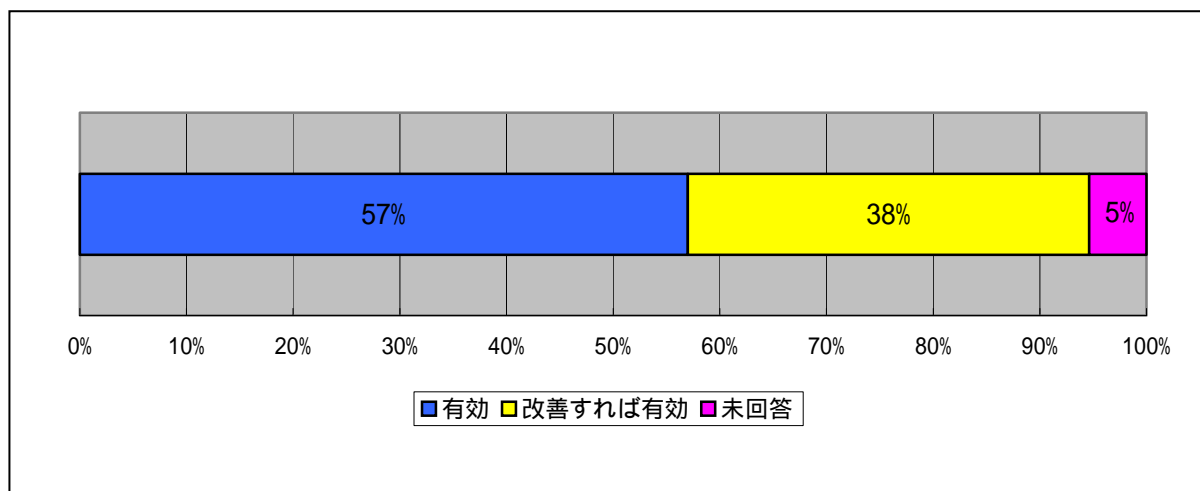
配信データ(航空写真および主要道路等)について

被災時に、この配信データは有効利用できますか？

- 1. 有効利用できる
- 2. 下記の点を追加・改善すれば有効利用できる。

()

(ウ) 結果



画像表示

- ・もっと拡大したい。(8人)
- ・もっと細かい解像度(高品質)で見たい。(5人)
- ・もっと多くの拡大・縮小ができるとうい。
- ・最初に表示される画面は詳細表示の方が良い(自分の周り)

(モバイル端末そのものについての意見や、感想は省略)

位置情報

- ・現在位置の表示があると良い。(5人)
- ・GPS機能との併用。(2人)

(感想は省略)

被害度

- ・広域にメッシュをかぶせると画面が見えなくなるので、メッシュを薄くする、枠線で囲むなどの方が見えやすいと思う。
- ・被害度のメッシュの色が濃すぎるので薄くした方がよい。
- ・写真データだけでは判断が難しい。被害度表示が有効(必要)である。

画像以外の表示情報

- ・何か言葉で説明を足して欲しい。(8人)
(そのうち、建物名の表示は5人)
- ・道路通行可能かの情報。(2人)
- ・地図と重ねて表示したい。(3人)。
- ・被災前データとの比較。(2人)
- ・最初の全体図でも同様、道路情報など反映してほしい。
- ・火災現場等、をアイコンにて表示されていると、危険地域がわかりやすくなると思われる。

(感想は省略)

操作性

- ・操作説明が慣れないと難しそう。
- ・スクロールは減らして欲しい。
- ・拡大等ボタンの表示説明も画面表示してほしい

技術的要求

- ・情報の配信をもっと早くする。(3人)
- ・複数情報の組み合わせ表示。
- ・現況のリアルタイム性の確保と通信環境の安定性。

(感想は省略)

“下記の点を追加・改善すれば有効利用できる。”欄の詳細

(工) 考察

A 画像範囲

最初の問いにおいて、ちょうどよいという意見が多数を占めたものの、より詳細に確認したいという意見が多数あった。具体的な拡大率としては、道路の被災状況を確認できる、或いは建物単位で確認できるレベルと記述されている。

これらの意見から、現状の構成を維持する場合、拡大率を大きくするとともに、よりよい画質での確認を可能にする、或いは縮尺の切替えを数段階に分けることが必要であると考えられる。

B 位置情報

自分の現在位置がわかる、或いは現在位置を表示するようになってほしいという意見が多数あった。これは、既存のサービスである 2 次元地図表示時の基本機能が念頭にあると推測される。また、GPS 機能との併用を希望している具体的な記述もあり、災害時という背景はあるものの、航空写真による 2 次元ナビゲーションへのニーズも伺えた。これらの結果から、普段利用の少ない航空写真から自分の位置を正確に把握することは難しいと考えられ、GPS 機能との併用或いは現在地を確認する工夫が必要である。

C 被害度

表示/非表示の切替えが可能であるため、メッシュの濃さは問題ないと考えていたが、メッシュを表示したまま被災情報を確認したい利用者も存在することが確認できた。また、被害度表示の必要性が高いという意見もあったことから、航空写真に加え、被害度メッシュデータ等、感覚的に理解できる情報が必要であると考えられる。

D 画像以外の表示情報

多く挙げられた意見として、地図との比較、被災前/被災後の航空写真の比較、文字情報等がある。感覚的に理解できるように、日常的に利用している地図、文字情報を利用することが望ましいことや、被災前後の状態を比較し、主観的ではなく客観的に確認したいというニーズがあると想定される。

特に文字情報については、道路の状態(通行の可否等)、被災に関する情報へのニーズが多かった。流す情報について、随時更新をかけるような形が望ましく、プッシュ形式、マルチキャスト配信等による情報提供が望ましいと考えられる。

E 操作性

操作性に関する意見は全体数と比較しても少なく、大きな不満はないと判断できる。ただし、少数ではあるものの、操作方法の表示を希望する意見や、慣れるまで難しいかもしれないといった意見があることから、説明方法に改善の余地があると考えられる。

F 技術的要求

情報配信されるまでの時間をもっと早めてほしいという意見が最も多く挙がっていることから、被災前の航空写真や地図に病院等の位置情報を重ねて表示し、被災直後に配信するという手法も効果があると推測される。

被災直後に、避難場所や病院を加えた地図情報配信を行い、時間の経過に伴って一次情報配信を行うことで、さらに一次情報の有効性が増すのではないかと考えられる。

(3) 調査のまとめ

本アンケート調査により、画像の表示範囲は適切であるということ、および現時点でのアプリケーションが被災直後の情報取得に有効であるという結果が得られた。一方で、表示倍率や表示情報については多くの要望が挙がっている。特に、被験者は現在位置の確認機能を強く望んでおり、将来的には GPS との連動が必要であると考えられる。

第五章 結論

本研究開発では、伝送容量や性能に制約がある移動体端末などを含む多様な利用環境で 3 次元 GIS を利用可能にすることを目的とした基盤技術の確立をめざした。

本章では、3 年計画の最終年度である本年度の研究開発成果をまとめるとともに、3 年間の研究開発成果を踏まえ、実用化に向けての課題、および今後の展望についてまとめる。

1 研究開発成果

図 1 に平成 17 年度の研究開発成果を示す。3 年計画の研究開発の最終年度である本年度は、3 次元 GIS データの圧縮技術、空間データ管理技術、メディア複合技術、空間データ伝送技術、配信データ圧縮技術の各技術項目について、それぞれ当初の目標を達成した。また、防災を想定した実証実験を実施し、研究開発した技術の検証と実用化に向けてのニーズ、課題の抽出を行った。

		平成17年度目標	研究開発内容	平成17年度成果
3次元GISデータの圧縮技術 (パソコ)		バンクロー画像圧縮率:1.1% カラー画像圧縮率:2.2% 処理時間:リアルタイム	圧縮アルゴリズムの改良と 建物変化検出への適用	圧縮率の目標達成 建物変化検出への適用 可能性を確認
各種のモバイル 端末に適應できる 空間データ 適應管理技術	空間データ管理技術 (三菱電機)	データ量削減した空間デー タを1秒以内に抽出	空間データ抽出の高速化方 式の検討と試作	空間データ抽出時間の 目標を達成
	メディア複合技術 (NTTドコモ)	動画メディアの複合 レスポンス高速化 (1秒以内)	動画メディアを活用した 歩行者ナビゲーションの 試作と先読み機能による レスポンス高速化	試作システムにより 有効性を確認
モバイル端末向け の空間データの 配信技術	空間データ伝送技術 (三菱電機、 NTTドコモ)	端末・伝送路の種類の違い に対応して最適な方式を 自動的に選択	伝送方法自動選択方式の 試作	方式の効果を確認
	配信データ圧縮技術 (三菱電機)	伝送路の特性に応じた 最適な表示データの圧縮	復号処理の高速化 符号化・復号結果の妥当性 の確認	復号速度25msを達成 移動実験により妥当性を 確認
実証実験		防災を想定した 総合的な実証実験	各研究開発技術を融合し、 東京丸の内地区で 実証実験を実施	研究開発技術の 有効性を確認し、 ニーズを抽出した

図 1 平成 17 年度研究開発成果

2 実用化に向けての課題

ア 3次元地図の整備

3次元地図を用いたナビゲーションは、従来の2次元地図と比べて経路案内情報の理解が容易であることが知られている。例えばカーナビでは、主要交差点での経路案内等部分的な利用ではあるものの3次元地図を利用することが一般化しつつある。

また、地震や豪雨災害が頻発する中、国民の防災に対する意識が向上するとともに、行政や企業においても災害に対する危機管理体制の構築が進んでいる。地震、津波、洪水などを想定した防災システムでは、災害前のシミュレーションや災害発生後の被害把握等の解析のため自然地形に加え構築物や建物の3次元形状などの情報が必要となる。

広範囲の空間データ取得には衛星、航空機等による上空からの撮影が一般的であるが、高精度3次元空間データの取得手段として現在最も注目されているのはレーザ測量方式(航空機搭載レーザスキャナ)である。この他に、デジタルカメラ方式(CCD方式)や、画像レーダ方式として最近実用化された航空機搭載合成開口レーダ(InSAR: Interferometry Synthetic Aperture Radar)などの利用により、3次元空間データの取得に対して技術的な目処がついてきた。現在は東京都23区および全国政令指定都市が整備済みであり、それらの地域を中心に整備がすすめられているが、将来的には地下街も含めた国土レベルでの3次元地図の整備が期待されるところである。

イ いつでもどこでも正確に位置を知ることができるモバイル端末の普及

今回の研究開発で開発した技術は、GPS等の測位機能を持ったモバイル端末を前提としたものではない。実証実験においても、測位機能を持たないモバイル端末を利用して3次元地図を用いたナビゲーションが可能であることを確認している。しかしながら、今回開発した技術と測位機能を持ったモバイル端末とを組み合わせれば、利便性がさらに高まることが想定される。例えば、モバイル端末に位置と向きを検知する機能が搭載されれば、ユーザの目の前の景観に合致する3次元地図表示を自動的に生成して端末に表示することも可能となる。

一方、携帯電話の普及が9千万台を超え、携帯電話からの110番通報が固定電話のそれを上回るようになったことを背景に、2007年4月より日本版E911(E110/119/118:携帯電話を用いた高精度位置情報を伴う緊急通報システム)が開始される。これにより、GPS携帯電話が急速に普及し、2011年には加入者に対するGPS携帯電話の普及率が90%を超えるものと予想されている。従って、今後はGPS携帯電話と今回の研究成果とを組み合わせたサービスの検討が進むものと考えられる。

次に、GPS携帯電話は屋内、地下などで正確に位置を取得することが難しい、という課題を持つ。3次元GISをいつでもどこでも利便性高く利用可能にするためには、屋内、地下などにおける位置取得の方法を確立することが必要であり、このような課題への取り組みも既に始まっている。屋内や地下で位置を取得するためには、衛星の位置を基準とした測位は困難であり、衛星に代わる位置の基準を設ける必要がある。屋内空間や地下空間の3次元地図は、この衛星に代わる位置の基準を提供するために必要となる。屋内や地下での測位技術が確立した際には、今回研究開発したモバ

イル 3 次元 GIS の技術が一層重要な役割を果たすものと思われる。

今回の研究開発成果と測位機能を持ったモバイル端末を組み合わせることにより実現可能となる応用としては、下記のようなものが想定される。

災害が発生した時に、対象となる地域のみエリアを限定した、防災センターからの災害通報や避難誘導などの情報送信や、対象となる地域の位置情報を加えた情報送信を行うことで、ユーザが当該地域に対応した情報を入手することができる、いわゆるリバース E911 (米国では一部の州で実用化されている) のサービスがある。このサービスにおいては、航空機等で迅速に被害情報を取得する技術や、空間情報をユーザの端末に効率的に伝送する技術が重要となる。日本版 E911 とリバース E911 のシステムイメージを図 2 に示す。

また、非常時の緊急通報以外でも、地下街や駅構内など複雑な構造を持った空間における経路案内に対して高いニーズが存在する。モバイル端末への 3 次元地図配信の技術と、屋内外での高精度な測位を可能にする技術を組み合わせることにより、このようなニーズに応えるサービスを提供することが可能になるものと考えられる。

ウ 災害時などにおける通信路の確保

災害時には通信回線の寸断の可能性に加え、幸いにも通信回線が利用できたとしても、多数のユーザが行う安否確認の連絡等によって通信の輻輳が起り、通信路を確保できない事態が想定される。安否確認だけでなく、被災情報の確認や公共機関による災害対策用の連絡等を行うためにも、通信路の確保は重要な課題となる。

音声通話で利用している回線交換方式は 1 回線を 1 ユーザが占有的に使用するのに対し、メールや WEB アクセスで採用されているパケット交換方式では 1 回線を複数ユーザで共有できる。そのため、回線の輻輳に対しては、パケット交換方式の方が回線交換方式より通信の確立する可能性が高い。インターネットでは、このパケット交換方式が利用されており、また、ルータの利用により経路選択機能の自由度が高いという特徴がある。情報伝達の際、一般の電話回線と比較するとインターネットの方が優位性が高いことは阪神淡路の大震災にて実証されている。

また、前述したリバース E911 のようにセンター側から多数のユーザに一斉通報するためには、1 対 1 で通信路を確保するのではなくマルチキャストによる通信 (有線によるインターネットでは一部、実用化されている) により通信回線の輻輳を軽減できるため、特に携帯電話を利用した一斉通報、マルチキャスト通信の実用化が期待される。

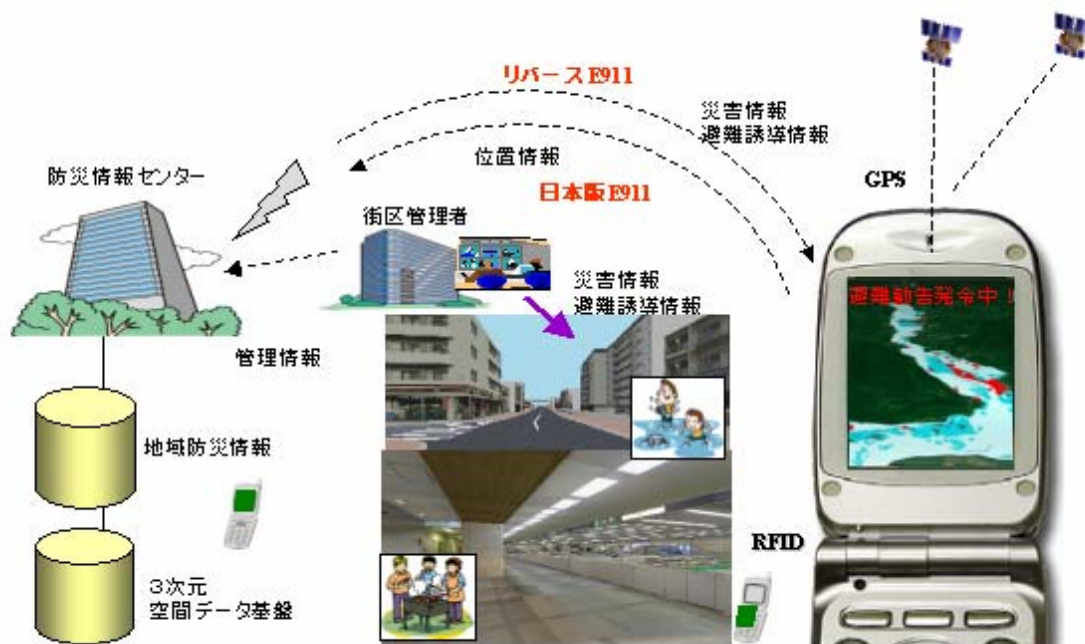


図2 日本版 E911 とリバース E911 のシステムイメージ

3 今後の展望

地理情報システム(GIS: Geographic Information Systems)は、「地理的位置や空間に関する情報を持った自然、社会、経済等の属性データ(空間データ)を統合的に処理、表示するコンピュータ情報処理体系」である。これらの地理情報にリアルタイムで位置情報とコンテンツ情報を融合し、モバイル通信技術を用いて防災、セキュリティ、交通等の様々な分野での利用を示す新しい概念として、Location Based Services(LBS)という言葉が用いられるようになってきている。

LBSの実現に必要な社会基盤と主要な技術課題に、高精度3次元空間データ、屋外・屋内を含む広範囲の空間で位置を取得することができるシームレス測位システム、通信システム、端末・表示技術などがある。LBSにおける現在の取り組みは、基盤構築の分野が中心になっているが、目指すところはいつでもどこでも享受することが可能な位置情報に基づくサービスである。LBSでは、ユーザの位置や環境に応じて適切なサービスとコンテンツが提供される。これらは特定の分野だけでなく、位置情報を媒体として異なったサービスの統合や異なる情報の統合にも広げることができる。このためには、他の様々なサービスを統一的なインターフェースで利用できることが必要であることから、2.2で述べたようにLBCS(Location Based Contents and Services)の標準化も進められている。



図3 次世代GISが実現する新しいサービス・ソリューション

本研究開発で開発した基盤技術によって次世代のGISが実現すれば、図3に示したような防災、安全・安心や効率・利便性、快適性の向上など、新しい付加価値をつけたサービス・ソリューションが生み出されることが期待される。

参考文献

第三章 研究開発内容

1 3次元 GIS データの圧縮技術

- [1] Improved disaster management through post-earthquake building damage assessment using multi-temporal satellite imagery. Proceedings of the ISPRS XXth. Congress Volume XXXV, Istanbul, 2004
- [2] Hashitera, S., Kohiyama, M., Maki, N. and Fujita, H., 1999. Use of DMSP-OLS images for early identification of impacted areas due to the 1999 Marmara earthquake disaster, Proceedings of the 20th Asian Conference on Remote Sensing, Hong Kong, 1291-1296.
- [3] Chiroiu, L. and Andre, G., 2001. Damage assessment using high resolution satellite imagery: application to 2001 Bhuj, India. Proceedings of the 7th US National Conference on Earthquake Engineering, Boston.
- [4] X. Q. WANG. Application of RS and GIS in Extraction of Building Damage Caused by Earthquake. ACRS 2003 ISRS, November 2-8, Busan, Korea
- [5] D. Girardeau-Montaut. Change Detection on Points Cloud Data Acquired with a Ground Laser Scanner. ISPRS WG III/3, III/4, V/3 Workshop "Laser scanning 2005", Enschede, the Netherlands, September 12-14, 2005
- [6] T. Vögtle, E. Steinle Detection and Recognition of Changes in Building Geometry Derived from Mutitemporal Laserscanning Data. IAPRSIS, Vol. XXXV, Part B (Comm. II), CD-ROM. WIESEL, J.
- [7] Leena Matikainen, Juha Hyyppä, Harri Kaartinen. Automatic Detection of Changes From Laser Scanner and Aerial Image Data for Updating Building Maps. Proceedings of the XXth International ISPRS Congress, July 2004, Istanbul, Turkey
- [8] F.S. Hill, JR. Computer Graphics Using OpenGL, Second Edition. Prentice Hall, 2001.
- [9] M. Kass, A. Witkin, and D. Terzopoulos. Snakes: Active contour models. Int. J. Computer Vision,1(4):321-331, 1987.
- [10] C. Xu and J. L. Prince. Snakes, shapes, and gradient vector flow. IEEE T. Imag. Proc., 7(3):359-369, 1998.
- [11] Laurent D.Cohen. On Active Contour Models and Ballons. In Computer Vision, Graphics, and Image Processing: Image Understanding, 53(2):211-218, March, 1991.
- [12] Canny J.F. A Computational Approach to Edge Detection. IEEE Trans on PAMI, 1986, 8(6): 679-698
- [13] Jain, Rangachar, and Schunck. Machine Vision, pp.194-196. McGraw-Hill, 1996.

- [14] O. Cuisenaire, Distance transformations: fast algorithms and applications to medical image processing, Ph.D thesis, Oct. 1999 Communications and Remote Sensing Laboratory, Universite Catholique de Louvain.
- [15] Daniel P. Huttenlocher. Comparing Images Using the Hausdorff Distance. CUCS TR 91-1211, Department of Computer Science, Cornell University.
- [16] Bob Fisher, Simon Perkins, Ashley Walker and Erik Wolfart. Canny edge detector. <http://www.cee.hw.ac.uk/hipr/html/canny.html>.
- [17] 三富創・松岡昌志・山崎文雄 最近の地震災害の空撮画像を用いた建物被害地域の自動抽出の試み 土木学会論文集, No.703 / I-59, pp.267-278, 2002.4
- [18] 原島博 監修 画像情報圧縮 オーム社, 1991
- [19] 山口富士夫 監修 セイコー電子工業[株]電子機器事業部 訳 実践 コンピュータグラフィックス 日刊工業新聞社, 1987
- [20] 昌達K'z 圧縮アルゴリズム ソフトバンクパブリッシング株式会社, 2003

2 各種モバイル端末に適応できる空間データ適応管理技術

2.1 空間データ管理技術

- [1] 藤井, 杉山: “携帯端末向け案内地図生成システムの開発”, 情報処理学会論文誌 Vol.41, No.9, pp.2394-2403, 2000
- [2] 茂呂, 田中, 歌川, 重野, 松下: “携帯電話向け歩行者ナビゲーションシステムとそのデータ定義”, モバイルコンピューティングとワイヤレス通信 18-9, pp.61-67, 2001

2.2 メディア複合技術

- [1] 福田真嗣: “受け手を意識して分かりやすく伝える力の育成”岡山県情報教育センター 平成 16 年度 研究成果, 2004
- [2] 下孝一: “認知の質に及ばず映像の効果 - 強力な認知的不協和を喚起する力について - ”, 教育メディア研究 vol.6 No.1, 43-46
- [3] 大塚藍: “大学基礎情報処理授業におけるテキスト教材と動画像教材の比較”, 動画ビジネスのアプローチと利用者の傾向 JAGAT info 2004 年 10 月号, 2004
- [4] 新垣紀子, 野島久雄: “道に迷うのはなぜか: 方向音痴の認知的側面と社会的側面”, NTT R & D Vol.49 No.5, pp. 252-262, 2000
- [5] 緒方誠人, 井端勇介, 蔵野文子, 今後羊司, 森本一成, 黒川隆夫: “街路ナビゲーション特性に対するリハーサルの効果” 情報処理学会ヒューマンインタフェース研究会・情報メディア研究会資料, 84-4・35-4, 19-24, 1999.8.
- [6] NTT ドコモ: “i アプリコンテンツ開発ガイド for DoJa-4.x 詳細編 第 3.0 版” 2005.10.19.

3 モバイル端末向けの空間データ等の配信技術

3.1 空間データ伝送技術

- [1] 3次元 GIS 技術ガイドライン 平成 15 年 3 月 NTT コミュニケーションズ, 2003
- [2] 古川, 宮崎, 神谷, 國枝: “3次元年空間基盤「地球ナビゲータ TM」の構成技術と応用”, サイバースペースと仮想都市研究会 CSV2002-21, 2002

3.2 配信データ圧縮技術

- [1] 前原秀明, 臼井澄夫, 鎌田一雄: “歩行者ナビゲーションを目的とした 3 次元地図表示の視認性改善”, 映像情報メディア学会論文誌, Vol. 56, No. 11, pp. 58-63, 2002
- [2] 前原秀明, 脇本浩司: “三次元地図を用いた歩行者ナビゲーション Mobile 3D Map の提案と考察”, 映像情報メディア学会画像情報システム研究会, Vol. 25, No. 85, pp. 53-58, 2001
- [3] 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”, 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会, CSV2002-21, 2002
- [4] T. Yoshida, Y. Karasuya and Y. Okazaki: “Three-Dimensional Object Modeling in a Three-Dimensional Urban Map”, The International Workshop on Urban Multi-Media/3D Mapping (UM3 '98), Tokyo, Japan, pp. 55-62, 1998
- [5] W. Skarbek and A. Koschan: "Colour image segmentation - A survey", Technical Report, 94-32, Technical University Berlin, October 1994

第四章 実証実験

- [1] 長尾確, 暦本純一, 伊藤純一郎, 早川由紀, 八木正紀, 安村通晃: “ウォークナビ: ロケーションウェアなインタラクティブ情報案内システム”, 田中二郎(編), インタラクティブシステムとソフトウェア III, 近代科学社, pp.39-48, 1995
- [2] 飯村伊智郎, 飯干直樹, 大塚由美, 宮村祐二, 加藤誠巳: “広域地図から屋内までを対象としたシームレスな案内による3次元歩行者用経路案内システム”, 情報処理学会第 60 回全国大会, 2X-4, 2000
- [3] 長谷川保, 谷川智秀, 杉山博史, 土井美和子: “歩行者用道案内に適した道案内文の自動作成方法”, 情報処理学会第 60 回全国大会, 3Q-1, 2000
- [4] 杉山博史, 松下宗一郎, 長谷川保, 土井美和子: “歩行状況センサーを利用した歩行者用音声対話道案内システム”, 情報処理学会第 60 回全国大会, 3Q-2, 2000
- [5] 斎藤謙一, 鷹取功人, 大野次彦, 下間芳樹: “Java ベースの携帯電話向け歩行者ナビゲーション”, 情報処理学会第 62 回全国大会, 7U-2, 2001
- [6] 菊地春海, 山本巧, 森望, 池田裕二: “国土交通省における歩行者 ITS への取り組みについて”, 2001 年電子情報通信学会総合大会, SA-9-4, 2001
- [7] 久保田浩司, 前田典彦, 菊池保文: “歩行者ナビゲーションシステムの提案と評価”, 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.7, pp.1858-1865, 2001
- [8] 堀内俊一, 今長信浩, 藤高勝己, 松宮直規, 小川寛一: “スマートウォークつくばの概要”, シンポジウム「ケータイ・カーナビの利用性と人間工学」研究論文集, pp.143-146, 2001

- [9] 伊東紀子, 二瓶克己, 茶園篤: “モバイル情報配信プラットフォーム TPOCast”, シンポジウム「ケータイ・カーナビの利用性と人間工学」研究論文集, pp.151-154, 2001
- [10] 柴田好範: “蒲郡市におけるモバイル観光の試み”, シンポジウム「ケータイ・カーナビの利用性と人間工学」研究論文集, pp.125-128, 2001
- [11] 宮尾克: “ひとナビゲーションの現状と期待”, シンポジウム「ケータイ・カーナビの利用性と人間工学」研究論文集, pp.81-86, 2001
- [12] Hideaki Maehara, Koji Wakimoto, Satoshi Tanaka, Usui Sumio and Kazuo Kamata, “Pedestrian Navigation Based on 3D Map and Mobile Interaction”, IAPR Workshop on Machine Vision Application (MVA 2002), Nara, Japan, November 12, 2002

付録1 次世代GISの実用化に向けた情報通信技術の研究開発委員会

設置要項

(目的)

第1条 総務省の平成17年度「次世代GISの実用化に向けた情報通信技術の研究開発」において、次世代GISを構築するために必要となる基盤技術の研究を行うことを目的とする。

(名称)

第2条 本委員会は「次世代GISの実用化に向けた情報通信技術の研究開発委員会」(以下、「委員会」という。)と称する。

(研究事項)

第3条 委員会は、第1条の目的を達成するため、三菱電機株式会社、株式会社NTTドコモ及び株式会社パスコから構成される研究開発グループが実施する次の技術の研究開発について検討し、その結果を取りまとめる。

- (1) 3次元GISデータ圧縮技術
- (2) 各種のモバイル端末に適応できる空間データ適応管理技術
- (3) モバイル端末向けの空間データの配信技術

(設置期間)

第4条 委員会の設置期間は、平成18年3月31日までとする。

(構成及び運営)

第5条 委員会の構成及び運営は、次のとおりとする。

- (1) 委員会の構成は別紙のとおりとする。
- (2) 委員会には座長を置くこととし、構成員の互選により定める。
- (3) 座長は、委員会を招集し、主宰する。
- (4) 座長は、構成員以外の者を招聘することができる。
- (5) その他、委員会の運営方法は、座長が定めるところによる。

(事務局)

第6条 事務局は、三菱電機株式会社が行う。

開催日および委員会名簿

1. 研究開発委員会開催日

第1回	平成17年7月20日
第2回	平成17年11月22日
第3回	平成18年3月16日

2. 研究開発委員会名簿(敬称略)

座長

伊理 正夫 東京大学 名誉教授

委員

碓井 照子 奈良大学 文学部地理学科 教授
大澤 裕 埼玉大学 工学部情報システム工学科 教授
柴崎 亮介 東京大学 空間情報科学研究センター 教授
福井 弘道 慶応大学 総合政策学部 教授
森川 博之 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 助教授

オブザーバ

西本 修一 総務省 情報通信政策局 宇宙通信政策課 課長
渡辺 照重 総務省 情報通信政策局 宇宙通信調査室 課長補佐
大木 章一 国土交通省 大臣官房技術調査課 課長補佐

付録2 学会発表および特許出願

特許出願

- [1] 3次元モデル情報生成装置、インデックス生成装置、検索装置、配信装置、並びに情報配信システム, 2004年2月24日出願
- [2] 景観表示装置, 2004年3月1日出願
- [3] レーザ計測方法, 2004年3月18日出願
- [4] 航空レーザ測量における閲覧用レーザデータ生成方法, 2004年12月17日出願
- [5] 3次元地図配信用データベース構築装置および3次元地図配信サーバ, 2005年1月28日出願
- [6] 画像送受信システム、画像送受信方法、並びに画像送信手順と画像受信表示手順を実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体, 2005年2月4日出願
- [7] 情報生成装置、検索装置、配信装置、ならびに情報配信システム, 2005年2月24日出願
- [8] 略地図生成装置, 2005年2月24日出願
- [9] 建物変化検出方法, 2006年3月17日出願

学会発表

- [1] 前原秀明, 菅沼優子, 久永聡, 脇本浩司, 田中聡: “3次元都市地図の携帯情報端末向け配信を目的としたデータ削減のための基礎的評価”, 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会, CSVC2004-33, 2004
- [2] 久永聡, 菅沼優子, 前原秀明, 脇本浩司, 田中聡: “表示性能の低い端末向けの3次元空間データ伝送表示方式”, 情報処理学会第66回全国大会, 2E-2, 2004
- [3] 中村孝久, 市瀬耕志郎, 鈴木偉元, 早川暁: “携帯電話における3次元GISナビゲーション方式の検討”, 電子情報通信学会, A-17-22, 2004
- [4] 笹川正, 浅沼俊一: “航空機レーザスキャナ取得データの圧縮方式の研究”, 日本写真測量学会, 2004
- [5] 笹川正, 浅沼俊一: “Research on compression system for airborne laser scanner data”, Map Asia, 2004
- [6] 菅沼優子, 久永聡, 前原秀明, 脇本浩司, 田中聡: “表示上の重要度に基づくウォークスルーのための都市景観再現手法”, 電子情報通信学会総合大会, D-11-129, 2004
- [7] 前原秀明, 菅沼優子, 久永聡, 脇本浩司, 田中聡: “3次元都市地図の携帯情報端末向け配信を目的としたデータ削減のための建築物画像の構造化手法”, 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会, CSVC2005-6, 2005
- [8] 久永聡, 菅沼優子, 前原秀明, 脇本浩司, 田中聡: “Evacuation Route Guidance via Mobile Phones based on Three-dimensional Geographical Information Delivery”, HCII2005

- [9] 中村孝久,加瀬邦雄,鈴木偉元,早川暁:“3次元景観ナビゲーションへのマーク挿入方式の検討”,電子情報通信学会,A-17-2,2005.
- [10] 笹川正,浅沼俊一:“航空機レーザスキャナ取得データの圧縮・伝送方法の研究”,第27回測技協技術発表会,2005
- [11] 前原秀明,菅沼優子,久永聡,脇本浩司:“建造物側面画像のセグメンテーション手法”,電気学会論文誌C,125巻,11号,pp.1780-1781,2005
- [12] 前原秀明,嶺岸則宏,菅沼優子,脇本浩司:“建造物側面画像のセグメンテーション”,電気学会研究会資料,情報システム研究会,IS-05-46,2005
- [13] 菅沼優子,久永聡,前原秀明,脇本浩司,田中聡:“ポリゴンの重要性評価に基づく都市景観再現”,画像電子学会誌 Vol.34, No.5, pp.671-679,2005
- [14] 菅沼優子,久永聡,前原秀明,脇本浩司,田中聡:“表示サイズに適応したポリゴン選択に基づく都市景観再現”,信学技報 EID2005-21, pp.29-32,2005
- [15] 朱林,笹川正,浅沼俊一,寺岡延尉,夏目佳史:“航空機画像と既存3Dデータによる建物変化検出”,日本写真測量学会,2006
- [16] 中村孝久:“3次元景観ナビゲーションにおける付加価値情報の認識度評価”,電子情報通信学会2005年ソサイエティ大会,2005
- [17] 中村孝久:“携帯電話アプリケーションにおけるデータ先読み処理の要点”,電子情報通信学会2006年総合大会,2006
- [18] 前原秀明,嶺岸則宏,菅沼優子,脇本浩司:“建造物側面画像のセグメンテーションに基づく3次元都市地図の圧縮伝送”,電気学会研究会資料,情報システム研究会,2006

その他の発表

- [1] 田中聡:“次世代GISの実用化に向けた情報通信技術の研究開発”,GISフォーラム,2005
- [2] 久永聡:“3次元GISへの取り組み”,埼玉県GIS普及推進研究会,2004
- [3] 田中聡:“次世代GISの研究成果 モバイル端末への3次元地図伝送技術”,GISフォーラム,2006
- [4] 松木彰:“次世代GISの研究成果 モバイル端末へ適用できるメディア複合技術”,GISフォーラム,2006
- [5] 浅沼俊一:“次世代GISの研究成果 災害情報の早期伝達のための航空測量データ圧縮技術”,GISフォーラム,2006

付録3 用語の説明

- **3次元モデル**

オブジェクトの立体的な表現。コンピュータグラフィックスを用いると、3次元モデルを視覚的に表現できる。

- **GPS/IMU**

Global Positioning System / Inertial Measurement Unit の略称。航空機に搭載したGPS(全地球測位システム)とIMU(慣性計測装置)を用いて、航空機に搭載した計測器の正確な「位置(x, y, z)と傾き(ω , φ , κ)」を得るシステムである。

- **航空機レーザ測量システム**

航空機(飛行機またはヘリコプター等)に搭載したレーザ測距儀から、地上に向けてレーザパルスを発射し、地表面や地物で反射して戻ってきたレーザパルスから3次元地形標高データを取得するためのシステム。

- **航空機画像センサ**

従来アナログ撮影により取得していた航空写真を、デジタルデータとして取得するデジタル写真測量に利用されるセンサ。

- **バンクロマチック画像**

白と黒の2色の色深度から作成される画像。例えば16bit画像の場合、完全な白から完全な黒までの間を65536段階の濃淡で分けて表現している。

- **RGBカラー画像**

光の三原色である、赤、青、緑の色深度から作成されるカラー画像。これらの色を重ね合わせることで、人間の視覚と同様の色状態を表現することが可能である。

- **IMU**

航空機の各ジャイロ・加速度計から3軸(ローリング、ピッチング、ヘディング)の姿勢と加速度を計測している。取得間隔は数10分の1秒～数100分の1秒。

- **PPM法**

Prediction by Partial Matching 法の略称。1984年にJ. G. Cleary と I. H. Witten によって提案されたアルゴリズムで、文脈から作られる統計的モデルによって次の文字の出現確率を予測する方法である。現れていない記号はエスケープ記号とし、このエスケープ記号を使って符号化する。

- **パルスレート**

航空機から地上に向けて発射される1秒間のレーザパルス数。例えば50KHzの場合、1秒間に50000発のレーザが発射され、エラーが無ければ50000点の高さ情報が取得できる。

- **スキャンレート**
1 秒間あたりの、レーザスキャナが走査する回数。
- **レーザサイドラップ**
レーザ測量時における平行した 2 本の撮影コース間の重複度。横の重複度あるいはコース間重複度ともいう。
- **近赤外線画像**
可視光ではなく、近赤外線により取得した画像のことを言う。赤外線は可視光に比べて波長が長い散乱しにくい性質があり、薄い雲の影響を受けず、また昼夜を問わず撮影することが可能である。
- **3次元空間**
コンピュータグラフィックスを用いて、3次元モデルを表現する空間。
- **ウォークスルー**
コンピュータグラフィックスで都市の 3次元モデルを表示し、道路上を歩くように視点を移動させること。
- **インデックス**
索引のこと。インデックスを利用すると、膨大なデータの中から目的とするデータを高速に検索することができる。
- **メッシュ**
2次元の領域を格子状に分割したときの各領域のこと。
- **IMT2000**
International Mobile Telecommunication 2000。国際電気通信連合が標準化を進めている携帯電話の通信方式。
- **ジオメトリファイル**
空間データの形状を表現するための、例えば頂点座標といったジオメトリ(幾何)情報を蓄積した電子ファイル。
- **モバイルGIS**
オフィスや家庭などデスクトップ PC での利用を前提としていた従来の GIS から利用環境を拡大して、移動環境において活用できることを目指した、利用場所を選ばない GIS のこと。
- **無線LAN(IEEE802.11b)**
無線通信でデータの送受信をする LAN のこと。「IEEE802.11b」規格は、2.4GHz 帯の無線で約 11Mbps の通信を行う。
- **近似曲線**
データの傾向を視覚的に表し、データの予測の問題を分析する場合に使用する曲線のこと。グラフの近似曲線を実測値よりも延長してパラメータ値を変えた場合の値を予測することができる

- **誤り回復**

配信された情報の誤りを回復すること。無線網は有線網に比べて一般的に誤り率が高く、遅延のバラツキが大きいといった特性があり、モバイル端末に対するマルチキャストでは誤り耐性の向上は重要な課題の一つである。

- **DPマッチング**

DP は Dynamic Programming(動的計画法)の略で最適解を求める手法の 1 つ。DP マッチングは、DP に基づいて 2 つのパターンの要素間の対応付けを行う手法。

- **HSV値**

H(Hue;色相)、S(Saturation;彩度)、V(Value;明度)によって任意の色を表現する体系を HSV 表示系と呼び、HSV 値はある色を $H \cdot S \cdot V$ の 3 値で表現したもの。