

博士学位論文
システムエンジニアリング学

グラスルーツ屋内地図データ作成手法の提案
および音声経路案内への適用

Grassroots Indoor Map Data Creation Method
and Its Application to Audio Navigation System

指導教員 春山 真一郎 教授

2013年9月

慶應義塾大学大学院
システムデザイン・マネジメント研究科

中島 円

論 文 要 旨

学籍番号	80952129	氏 名	中 島 円
論文題目： グラスルーツ屋内地図データ作成手法の提案および音声経路案内への適用			
(内容の要旨)			
<p>本論文は屋内空間における位置情報サービスの実現に必要となる「屋内地図データの作成手法」と「音声経路案内システム」について主に論述する。</p> <p>位置情報サービスはGPS (Global Positioning System) に代表される軍事用に開発された衛星測位システムの民生への開放と、商用の地図データがフリーでインターネットに公開されたことにより、飛躍的な発展を続けている。現在では車や船舶、飛行機といった移動体によるナビゲーションに留まらず、スマートフォンやデジタルカメラ、ゲーム機を通じて、人やモノの位置を特定したコミュニケーションツールとして利用されている。</p> <p>このような中、都市生活者は大半の時間を屋内で過ごしており、また、ショッピングモールや駅ナカ（駅構内の商業施設）といった屋内空間は、緩やかに増加の傾向にある。今後、都市空間は駅を中心に、百貨店や地下街、ホテルやオフィスなどが直結していき、より一層複雑な屋内空間を形成する可能性があり、新しいビジネスのみならず防災の観点からも、屋内における位置情報サービスの実現が期待されている。しかし、屋内空間はGPSの電波が正確に届き難く、位置情報を取得することが困難である。そのためGPSの代替となる測位システムとして、無線LANやRFIDといった電波を利用した手法が提案されているが、利用できるエリアは限定的であり、精度にバラツキがある。一方、百貨店やショッピングモールなど商業施設には紙ベースの地図（フロアマップ）が作成されているが、表記やスケールが不統一で使い勝手が悪い。また、屋内地図のデジタル化は屋外空間と比べ、権利関係が複雑であり、建て替えも頻繁に起こるため、最新の建築図面が揃い難く、整備が遅々として進まない。近年では、カメラやレーザスキャナを利用した測量手法が実用化されつつあるが、商業施設の場合、画像に写った人や看板を削除するなど後工程で発生する作業コストや、計測する時間やエリアが限られるといった作業上の制限がある。</p> <p>そこで本論文ではまず、屋内地図データの作成手法にフォーカスして、法務局に保管される「各階平面図」を用い、簡易的に作成できる新しい手法について提案する。実際に東京都内にある商業施設</p>			

の屋内地図データを作成し、地図ポータルサイトとして公開することで、その有用性について論ずる。次に、屋内地図を見ることが難しい視覚障害者に対して、可視光通信技術を用いた測位システムをベースに音声で案内する経路案内システム提案し、実証実験を通じ、その有用性について論ずる。

以下、本論文の構成について説明する。本論文ではまず1章で、位置情報サービスの背景について述べ、屋内空間における位置情報サービスのニーズと課題について調査、整理する。次に2章で課題の一つである屋内地図データの作成手法について述べる。提案する新しい手法を用いることで、容易に日本国内の商業施設等の屋内地図データを作成することが可能であることを示す。実際に東京都内の商業施設の屋内地図データを作成し、App Store (Apple が運営する、iPhone・iPod touch・iPad 向けアプリケーションのダウンロードサービス) に公開した。3章では、屋内地図を見ることが困難な視覚障害者に向けた「音声経路案内システム」を提案する。視覚障害者にスマートフォンとヘッドホンを装着してもらい、音声による案内で商業施設内を自由に移動できることを目標としている。屋内の測位システムとしてLED照明による可視光通信技術と地磁気センサを使い、視覚障害者の現在位置と進む方向の検知を可能にしている。さらに、実証実験を通じ、システムの使い勝手や改善点をまとめている。4章では研究全体の考察を行い、最後に5章で本論文の結論と屋内位置情報サービスの今後の展開について述べる。

キーワード(5語)

屋内位置情報サービス, 屋内地図データ, 音声経路案内システム, 視覚障害者, 可視光通信

SUMMARY OF DOCTORAL DISSERTATION

Student Identification Number	80952129	Name	Madoka Nakajima
Title: Grassroots Indoor Map Data Creation Method and Its Application to Audio Navigation System			
(Abstract)			
<p>This paper mainly proposes a new method for creating indoor map data, needed to implement an indoor Location Based Services (LBS), and an audio navigation system.</p> <p>LBS continue to develop rapidly through the civilian release of Global Navigation Satellite Systems (GNSS) that were developed for military use as represented by GPS (Global Positioning System), and through the costless release onto the internet of map data for commercial use. This is not only used for navigation of moving objects such as cars, ships or airplanes but is currently also starting to be used as a communication tool that identifies the position of people or objects through smartphones, digital cameras or games consoles.</p> <p>It is against this background that city dwellers spend the better part of their time indoors, while moreover indoor spaces such as shopping malls and “eki-naka” (shopping facilities within a train station) show a slight tendency to grow. There is the possibility that in the cities of the future, department stores and underground shopping precincts, hotels, and offices will be directly linked centering around the station, thus forming even more complicated indoor spaces, and we can expect indoor LBS to be implemented not only as new businesses but also from the point of view of disaster prevention. GPS radio waves do not properly reach indoors however, which makes it difficult to obtain positional information. Wireless LAN and RFID, which use radio waves, have therefore been proposed as alternative positioning systems to GPS, but the areas where they can be used are limited and their accuracy is variable. Paper maps (floor guides) are created on the other hand for commercial facilities such as department stores or shopping malls, but their inconsistent notation and scale makes them user-unfriendly. Indoor map data is, compared to outdoor data, even more complicated with regards to rights, the latest architectural drawings are difficult to complete because of frequent rebuilds, and upgrading progresses at a slow pace. In</p>			

recent years surveying methods using cameras or laser scanners are being implemented, but in the case of commercial facilities the labor costs involved in the after process of deleting people or signs depicted in the photographs, and the fact that the time and area to take measurements is restricted are limitations.

This paper therefore focusses firstly on a method to create indoor map data, and proposes a new method to create these easily using floor plans kept at the Legal Affairs Bureau. We will discuss the usefulness of actually creating indoor map data and publishing it as a map portal site. We then propose, for visually impaired people who have difficulty reading indoor maps, a spoken navigation system based on a positioning system that uses visible light communication technology, and discuss its usefulness through field tests.

In this paper we firstly describe, in chapter 1, the background of LBS, and deal with the issues of indoor LBS. In chapter 2, we propose new methods to create indoor map data, which is one of the issues. We show that, by using the proposed new method, it is possible to easily create indoor map data for commercial facilities in Japan. We will create indoor map data for an actual commercial facility in Tokyo, release it in the App Store (the application download service for iPhone, iPod Touch and iPad run by Apple) and study it. In chapter 3 we propose an audio navigation system for visually impaired people who have difficulty reading indoor maps. By asking visually impaired people to carry a smartphone and wear headphones, we aim for them to be able to move freely within the commercial facility through spoken guidance. The visually impaired person's current position and direction of travel can be detected using visible light communication technology through LED lights and geomagnetic sensors as an indoor LBS. We further review, through field tests, the user-friendliness of the system and its points of improvement. In chapter 4, we discuss the new approach and evaluation to an issue. Lastly in chapter 5 we present our conclusions and describe future development of indoor LBS.

Key Word(5 words)

Indoor Location Based Service, Indoor Map Data, Audio Navigation System, Visually Impaired People, Visible Light Communication

目次

目次.....	5
図表目次	8
1 章 序論.....	12
1.1 論文の構成.....	12
1.2 研究の背景.....	14
1.2.1 測位システムの歴史	16
1.2.2 地図の歴史	18
1.2.3 測位システムの現状	19
1.2.4 地図データの現状	21
1.2.5 位置情報サービスの現状.....	23
1.2.6 位置情報サービスの課題.....	25
1.3 屋内位置情報サービス.....	29
1.3.1 屋内測位システムの課題.....	32
1.3.2 屋内地図データの課題.....	36
1.3.3 屋内位置情報サービスの要求分析.....	40
1.4 研究の目的と目標.....	59
2 章 屋内地図データの作成手法.....	61
2.1 屋内地図データの作成手法を提案するにあたり	61
2.1.1 屋内地図の表現方法.....	61
2.1.2 従来の屋内地図作成手法.....	65
2.1.3 屋外・屋内のシームレス化の必要性.....	66
2.2 平面図を用いた新しい屋内地図データの作成手法	68
2.2.1 屋内地図データ作成手法の設計	68
2.2.2 屋内地図データの実装.....	73
2.3 地図ポータルサイトへの適用とアプリケーションへの展開	75
2.3.1 地図ポータルサイトへの適用(シームレス化)	75

2.3.2	屋内地図アプリケーション「Indoors」	79
2.4	屋内地図データ作成手法の評価	82
2.5	屋内地図データ作成手法の考察	84
2.6	屋内地図データの作成手法のサマリー	86
3章	音声経路案内システム	88
3.1	音声経路案内システムの開発にあたり	88
3.2	音声経路案内システムの要求分析	92
3.3	屋内地図と可視光通信および地磁気センサを用いたアプローチ	95
3.3.1	可視光通信による位置測位の優位性	95
3.3.2	屋内地図データの作成	97
3.3.3	地磁気を用いた進行方法と距離算出	97
3.4	音声経路案内システムの開発	100
3.4.1	音声経路案内システムの設計	100
3.4.2	音声経路案内システムの実装	101
3.5	実証実験と結果	103
3.5.1	実証実験	103
3.5.2	実験結果	108
3.5.3	インタビュー結果	109
3.6	考察	111
3.6.1	音声経路案内システムの考察	111
3.6.2	インタビューの考察	112
3.7	音声経路案内システムのサマリー	114
4章	本研究全体の考察	115
5章	結論と今後の展開	120
5.1	結論	120
5.2	屋内地図データ整備の今後の展開	121
5.3	音声経路案内システムの今後の展開	123
	参考文献	125

研究業績	134
謝辭.....	136

図表目次

図 1 論文の構成	13
図 2 通行実績・通行止め情報	15
図 3 Harrison's Marine Chronometer number 1 - H1	17
図 4 Rock Drawings in Valcamonica	19
図 5 GNSS 運用推移	21
図 6 渋谷駅前の 3D 地図データ	23
図 7 位置情報サービス応用の変遷	24
図 8 位置情報サービスの体系	25
図 9 位置情報取得可能な事業者	27
図 10 Google Trend indoor positioning, indoor navigation, Jan. 2010-Jun. 2013	31
図 11 ショッピングセンターの数の推移 (米国)	31
図 12 複雑な大型駅の構造 (渋谷駅構内立体図)	32
図 13 Place Engine の測位結果	35
図 14 The Plan of St. Gall (ザンクト・ガレン修道院の平面図)	38
図 15 Open Floor Plan Display for Firefighter Tracking	39
図 16 要求分析のフロー	40
図 17 位置情報サービス創出ワークショップ	43
図 18 ユーザ編 シナリオ 1	44
図 19 ユーザ編 シナリオ 2	45
図 20 設管理者編 シナリオ 1	46
図 21 施設管理者編 シナリオ 2	47
図 22 ユーザに対するアンケート調査	56
図 23 要求分析の整理	58
図 24 位置情報サービスの顧客価値連鎖分析 (一例)	59
図 25 本研究のスコープ	60

図 26 アンケート画面.....	63
図 27 世界測地系座標変換ツール.....	66
図 28 現状の屋内地図検索の Web 遷移.....	67
図 29 各階平面図.....	69
図 30 本手法における屋内地図作成手順.....	71
図 31 屋内地図のデータ構造（平面）.....	71
図 32 屋内地図のデータ構造（ネットワーク）.....	72
図 33 地図ポータルサイトからの Web 遷移.....	73
図 34 完成後の屋内地図データ.....	74
図 35 Google Maps への屋内地図の重ね合わせ.....	75
図 36 屋内経路探索結果.....	76
図 37 屋外と屋内の疎結合.....	77
図 38 シームレスな最短経路.....	78
図 39 経路探索システムのシステム構成.....	78
図 40 Apple Store に登録中の「Indoors」画面.....	79
図 41 Indoors の画面イメージ.....	80
図 42 屋内版の触地図.....	90
図 43 埼玉アリーナの触地図.....	91
図 44 可視光通信の利用イメージ.....	96
図 45 屋内地図データ.....	98
図 46 進行方向と距離算出の手順.....	99
図 47 音声経路案内システムの構成図.....	101
図 48 音声経路案内システムのシーケンス図.....	102
図 49 可視光通信の位置精度.....	104
図 50 地磁気データ.....	104
図 51 左：受信器一体型スマートフォンとヘッドホン 右：装着時.....	106
図 52 実験コース.....	106
図 53 実験会場.....	107

図 54 実験シーン	108
図 55 地磁気の補正結果	109
図 56 地磁気の誤差の要因	112
図 57 スマートフォン固定時の地磁気の誤差.....	112
図 58 屋内位置情報サービスの顧客価値連鎖分析（一例）	117
図 59 OSM による渋谷ヒカリエのマッピング	122
図 60 イメージセンサによる実験	124

表 1 GNSS を用いた測位システム	20
表 2 屋内測位システム	34
表 3 ワークショップ内容	41
表 4 ステークホルダー一覧	48
表 5 事前ヒアリングシート	49
表 6 ユーザを対象にしたアンケート調査	56
表 7 アンケート結果.....	56
表 8 フロアマップの要素分類.....	62
表 9 フロアマップの要素と水準	63
表 10 アンケート内容.....	64
表 11 フロアマップのサンプル	64
表 12 コンジョイント分析の結果	64
表 13 屋内地図データベースの構成と内容.....	70
表 14 屋内地図作成環境	74
表 15 東京ミッドタウンの作成評価.....	82
表 16 屋内地図作成手法の比較.....	85
表 17 各階平面図を利用する本手法の優位性.....	87
表 18 インタビューの被験者属性	93
表 19 音声案内リスト.....	94
表 20 可視光 ID システム	96
表 21 開発環境.....	102
表 22 実証実験内容	105
表 23 実証実験に関するインタビュー結果.....	110
表 24 本システムの評価のまとめ	114
表 25 場所情報コードの拡張コード（詳細位置情報）仕様（案）	119

1 章 序論

1.1 論文の構成

はじめに、本論文の構成とポイントについて説明する（図 1 参照）。1 章の序論では、位置情報サービスの背景について、測位システムと地図データの歴史から現状に至るまで述べた後に、屋内空間における位置情報サービスのニーズと課題について調査、整理する。次いで 2 章では、現状分析とニーズ調査において明らかになった「屋内地図データの作成手法」について述べる。ポイントは、法務局に保管される各階平面図を用いることであり、専門家や建物の関係者でなくとも容易に、日本国内の商業施設等の屋内地図データを作成することが可能となる。実際に東京都内の商業施設の屋内地図データを作成し、地図ポータルサイトへの親和性を確認した。さらに、App Store（Apple が運営する、iPhone・iPad touch・iPad 向けアプリケーションのダウンロードサービス）に公開し、利用者からの意見を確認した。3 章では、屋内地図を見ることが困難な場面や、視覚障害者の利用を想定した「音声経路案内システム」を提案する。ここでの新規性は、LED 照明による可視光通信と地磁気センサ、さらに 2 章で示した手法で作成した屋内地図を組み合わせて実現していることである。視覚障害者にスマートフォンとヘッドホンを着用してもらい、音声による案内で商業施設内を自由に移動することを目指す。具体的には、屋内の測位システムとして可視光通信技術により位置検出を行い、スマートフォンに内蔵された地磁気センサの値を補正することにより方向検出を可能にしている。実際に、大阪市内の商業施設の屋内地図データを作成し、実証実験を通じて、システムの使い勝手や改善点をまとめている。4 章では研究全体の考察を行い、最後に 5 章で本論文の結論と屋内位置情報サービスの今後の展開について述べる。

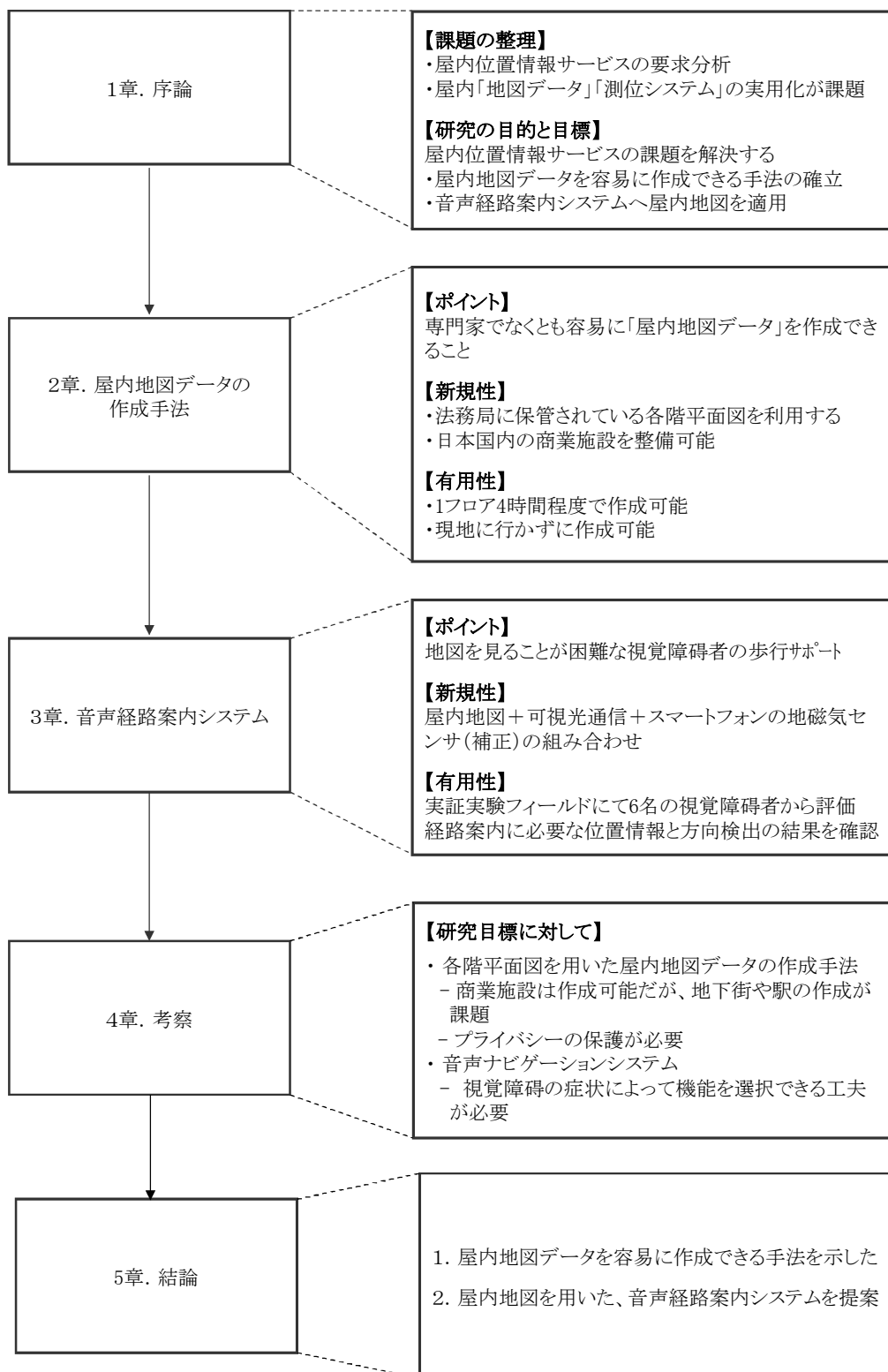


図 1 論文の構成

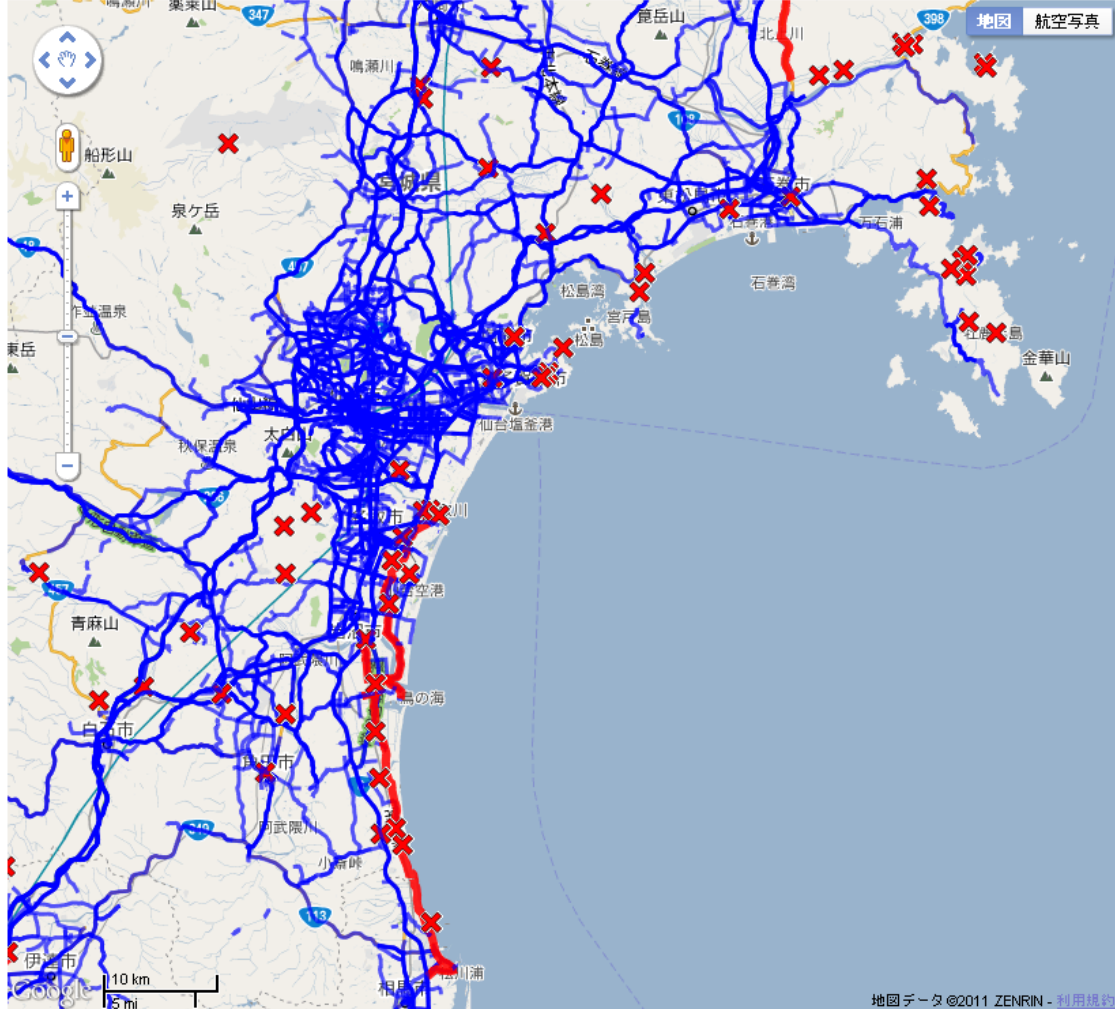
1.2 研究の背景

位置情報サービスはカーナビゲーションをはじめ、航空機、船舶、トラクターといった移動体のトラッキングから、子供や高齢者の見守り、ジョギングによる健康管理、さらにはゲームやお掃除ロボットに至るまで、幅広い生活シーンにおいて展開されている。大きな転機は2001年9月11日に米国で起きた同時多発テロである。瓦礫の中から携帯電話を使った救助作業がメディアに流れ、その後E911（Enhanced 911：携帯電話による緊急通報システム）やEurope's E112を推進する声が大きくなり、携帯端末へのGPS受信デバイス搭載が加速した[1]。

我が国では、2007年4月1日以降に発売された第三代携帯電話（3G携帯端末）には、原則としてGPS受信デバイスの搭載が義務付けられているが[2]、2011年3月11日に東日本で起きた大震災において位置情報サービスは、ソーシャルメディアと協調し大きな役割を果たした。例えば、sinsai.infoと呼ばれるサイトは震災当日にサーバを立ち上げ、Twitterで拡散されていた位置情報付きの災害情報を収集し、地図をベースに共有した。サイトは震災後の1ヶ月間に100万ページビューを記録し、投稿された救助要請を自衛隊に連絡した事例も報告された[3]。また、特定非営利活動法人ITS Japanではトヨタ自動車、本田技研工業、日産自動車、パイオニアからプローブ情報を集め、被災地域でのスムーズな移動を支援する目的で、通行実績・通行止め情報をWebサイトに公開した（図2参照）。後に本田技研工業が「通行実績情報マップ」として、2011年度グッドデザイン大賞（内閣総理大臣賞）を受賞しているが、位置情報サービスの基盤があったことを忘れてはならない。

このように我々の生活に欠かせなくなりつつある位置情報サービスだが、人間が自分や他人、そしてモノの位置を知りたいといった欲求はいつ頃から始まり、どのように現在の位置情報サービスに変化していったのか。さらには今後どのように発展していくのか。筆者の博士研究の動機はこの「位置」について深く知りたいといったことから端をなしている。

下記マップ中に青色で表示されている道路は、2011/4/13の0時～24時の間に通行実績のあった道路を示しています。また、赤色で表示されている道路と通行止マークは、「東北地方道路規制情報 災害情報集約マップ(国土交通省国土地理院)」のデータによる通行止区間・箇所を示しています。(通行止め情報の最終更新日時:2011/4/13 17:00)



通行実績データ提供: 本田技研工業(株)・パイオニア(株)・トヨタ自動車(株)・日産自動車(株)
 通行止データ提供: 東北地方整備局、岩手県、宮城県、福島県、NEXCO東日本
 データ統合: 特定非営利活動法人 ITS Japan

この「自動車通行実績・通行止情報」は、被災地域内での移動の参考となる情報を提供することを目的としています。ただし、個人が現地に向かうことは、体系的な救援・支援活動を妨げる可能性がありますので、ご注意ください。

図 2 通行実績・通行止め情報

出所 [ITS Japan 通行実績・通行止情報, <http://www.its-jp.org/saigai/>, 2013年7月8日]

説明: 青色の道路は運行実績があることを示し、赤色の道路と×点は通行止めの道路を示す。

1.2.1 測位システムの歴史

古来より人は自分の現在位置を知るために大きな情熱を傾けてきている。大航海時代以前、既にフェニキア人やヴァイキング、ポリネシアやミクロネシアの航海民族は、簡単な天測用具で測定した緯度の情報に、さらに経験によって蓄積された、海域ごとの風向や潮流、水深、海水の色などの知識を組み合わせ、陸地の見えない大洋上でもかなり正確に自船の位置を知ることができたと考えられている[4]。11世紀に入ると中国では、磁石の針を水に浮かべる形の原始的な羅針盤が発明された。この原始的な羅針盤は船の揺れに弱いという欠点があったため、その後、ヨーロッパで、揺れる船の上でも使用可能な実用的な羅針盤が開発され、航海術が著しく発展、大航海時代が幕を開けることになる[5]。

しかし、船から見た方位と緯度は羅針盤と天体観測により計測できたが、経度を正確に計測する方法がなかった。そのため船の速度を推定して地図上に位置を書き込むといった地道な作業を繰り返し、航海を行っていた。18世紀になっても経度が分からないことから、陸や浅瀬に近づいているかが分からず、座礁するなど航海事故が起きた。この問題を解決するために欧州では大金をかけて国家プロジェクトとして取り組み、イギリス人のジョン・ハリソンがクロノメーターを開発した(図3参照)。そして、本初子午線が英国のグリニッジ天文台に設置されることになるが、緯度・経度の正確さが増したことにより、位置情報を共有する仕組みが確立した。さらにジャイロコンパスや加速度計の発明により慣性航法が可能になり、大海原や大砂漠であっても遭難する危険性が低くなった。20世紀になり、各国で超長波を利用した電波航法が開発され、ロランやオメガといった測位システムにより位置精度が飛躍的に上がり[6]、1994年に米国がGPSの運用を始めるまでに至った。

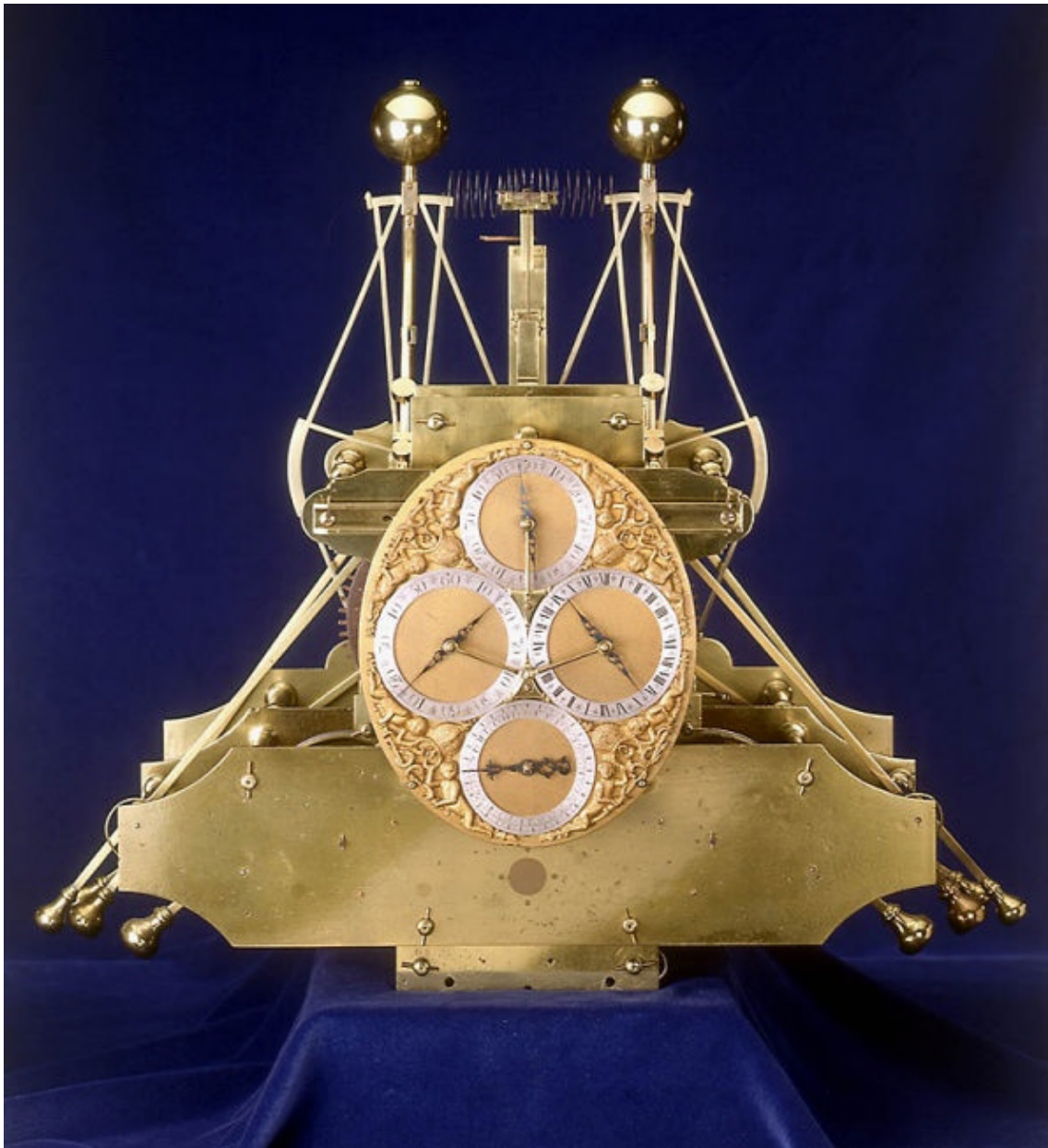


図 3 Harrison's Marine Chronometer number 1 - H1

出所 [Repro ID D6783-1 © National Maritime Museum, Greenwich, London, MoD Art Collection, <http://www.rmg.co.uk/server/show/conMediaFile.2757>, 2013年7月8日]

説明: 写真では分かりにくいですが, H1 は奥行きが約 50 cm の立法体に近い形状であり, 重量は 34kg もある. 2つのバネ (上部に1つが見えている) とバランス・ホイールにより振り子となって時間を刻む. 正面には時間, 分, 秒, そして日付を表す4つの文字盤がある.

1.2.2 地図の歴史

一方、現在位置を分かりやすく表現するために、地図は有効な手段のひとつである。人は文字より先に地図を使ってコミュニケーションしていたという説もあり、紀元前 1500 年頃に描かれたイタリア・カモニカ溪谷の世界最古の地図（岩絵）には、記号を使い土地に関する情報を伝達していたのではないかとされている（図 4 参照）[7]。また、古くから絵地図（または絵図）といった表現方法があるが、絵地図は地理空間の状況を他者に伝える言葉とも考えられている[8]。人が地図を描き、読み、伝えることは、空間認知能力と深い関係があるが[9]、我々は「緯度・経度」といった数値はもとより、日常多くの人が使っている「住所」や「郵便番号」といった位置情報に比べても、地図を使って位置を確認する方が理解しやすい。そのため、大航海時代から探検家たちは苦難の末に集めた情報を基に、多くの世界地図を描いている。

本格的な測量による地図作成は 17 世紀にフランスから始まったが、その後、前述したクロノメーター等や測量技術の向上により、陸地だけでなく海の地図（海図）の精度が上がった[10]。現代では人工衛星に搭載される観測センサと、GPS を活用した測位システムにより、地球をそのまま測量し、デジタル化された地形図を作成することができるまでになった。

現在位置を知ることで地図を作成することが出来るようになり、地図があることで現在位置を分かりやすく表現できる。このように測位システムと地図は表裏一体の関係にある。



図 4 Rock Drawings in Valcamonica

出所 [Parco archeologico comunale di Seradina-Bedolina, http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Composizione_geometrica_chiamata_mappa_di_Bedolina_-_Bedolina_R_1_-_Capo_di_Ponte_%28Foto_Luca_Giarelli%29.jpg, Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported license., 2013年7月8日]

説明：岩に描かれた記号は、周囲の地図を表したものと言われる。写真には道や住居、畑（穀物の束を示したドット）のようなものが見える。

1.2.3 測位システムの現状

人工衛星による測位システムは全地球測位システム（Global Navigation Satellite Systems, 以下 GNSS）と呼ばれ、GPS を代表とした、現代の測位システムの主流となっている。GNSS は地球の軌道上に測位用の人工衛星を打ち上げて、地上の測位を地球レベルで実現するシステムである。通常 3 機の人工衛星を捕捉することで各衛星からの距離を得ると

ともに、4つ目の人工衛星からの信号で時刻合わせを行い、位置を特定している。GNSSは単独測位の場合、精度誤差が生じる場合があるが、基準局からのディファレンシャル情報を利用する方式や、搬送波の位相を用いた RTK-GPS 方式が実用化されており、センチメートルオーダーの精度を実現している[11] (表 1 参照)。2012 年末現在、GNSS は、米国の GPS、ロシアの GLONASS が運用をしている他、欧州ではガリレオ、中国ではコンパスと呼ばれる GNSS の試験運用が開始されている。

表 1 GNSS を用いた測位システム

方式	内容	精度	用途
自律型	衛星からデータだけで測位する	10m-20m	カーナビ
アシスト	衛星からの時刻信号と、モバイル網からの補正データ等で測位する	数 m-数 10m	携帯電話によるナビゲーション
ディファレンシャル	基準局での GPS 測位により衛星毎の誤差成分を検出し補正情報として送信。この補正情報で補正し測位する	数 cm-数 m	航行船舶
RTK (リアルタイムキネマティック)	基準点との相対測位	数 cm	測量

我が国では 2010 年 9 月 11 日、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) によって準天頂衛星「みちびき」が 1 機打ち上げられた。準天頂衛星システムは今後 4 機体制となる予定だが、GPS を補完・補強する役割を担っており、日本の真上を通る軌道から信号を送信することで、地上から常に 1 機の準天頂衛星を見通せることができるようになる。また、GPS に対し距離測定精度を改善するディファレンシャル情報や信頼性改善のための信号 (L1-SAIF) を送信し、GPS の誤差を補正する。

GNSS は図 5 で示す通り、確実に増加している。しかし、現状は各国独自に運用され、ま

た、本来の目的が軍事的な利用であることから、技術的には機密事項が多く、信頼性の問題が指摘されている[12]。また、人工衛星の打ち上げのコストはもちろん、運用コストの負担も大きいと、将来において一国で維持していくことへの懸念がある。そのため、各国ではGNSSを相互運用することを目指したマルチGNSSが検討されている[13]。日本では国家の独自性を保ちながら、世界共通の基盤システムであるGNSSに対し、各国と連携しながら国際貢献をしていく意向が報告されている[14]。

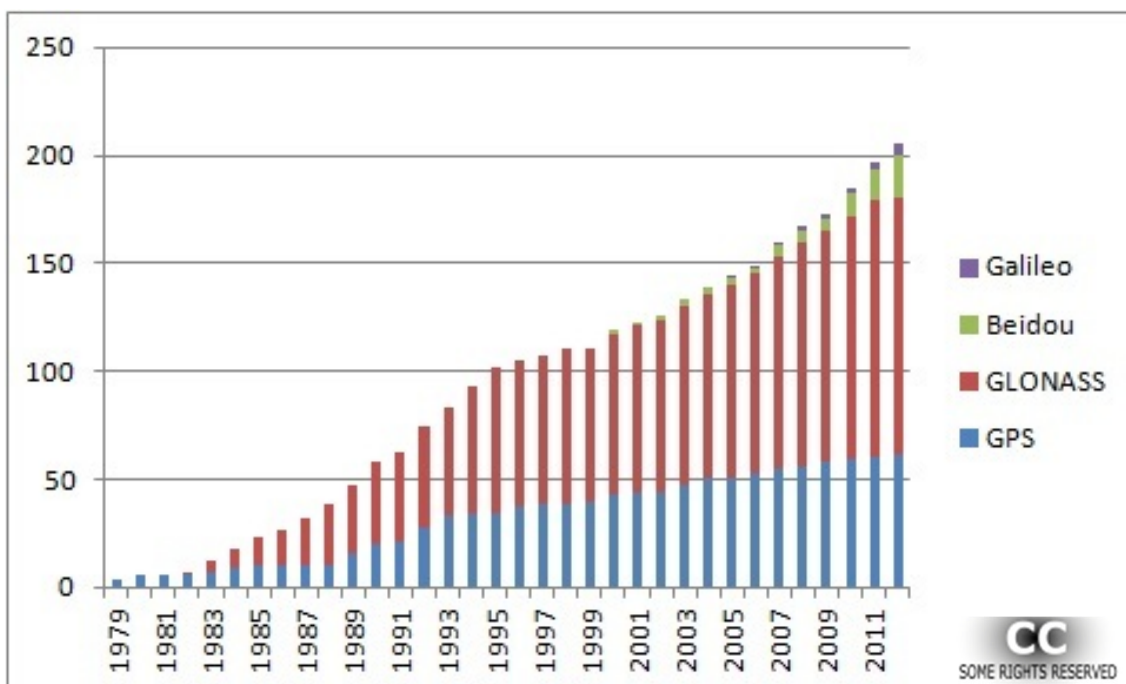


図 5 GNSS 運用推移

出所 [launched GNSS satellites 1978 to 2012, https://en.wikipedia.org/wiki/File:Launched_GNSS_2012.jpg, Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported license, 2013 年 7 月 8 日]

1.2.4 地図データの現状

インターネットが登場して以降、地図サービスは多くのユーザに利用されており、Google Maps のユーザ数は携帯端末だけでも 4 億人に達したと報告されている[15]。我々はいつでもどこでも、世界中の地図や衛星写真を見ることができ、今では精密な地形や建

物の形状まで表現した3Dマップを(図6参照),スマートフォンなど高機能な携帯端末を通じて見るできるようになった.

しかしながら地図を作成するのは,古今東西,膨大な労力と時間を有する.17世紀後半,ルイ14世のもとカッシニー族の働きにより,フランス全域の精密な地形図を作成した時は,完成までには一世紀以上の年月がかかっている[16].今では,人工衛星に搭載された光学センサにより,地球全体を短時間で観測できるようになったが,JAXAが打ち上げた「陸域観測技術衛星だいち」ですら,地球全体を観測するのに46日間かかる[17].また,地球上の全ての地物(例えば道路や建物)を自動判読し地形図を作成することは,いまだ実現しておらず,主題を加えた地図の作成となると,多くの情報を人手によって入力する必要がある.さらに,マイクロ波センサは,建物の3次元形状のみならず,森林や雪氷が覆う地表面を計測できるようになったが,屋内空間や地下空間を計測することは難しい.

一方,準天頂衛星システムに期待されている位置精度は,1メートル以内と言われているが,地理空間情報活用推進基本法(平成19年法律第63号)で定義される基盤地図情報の精度は,都市計画区域内で±2.5メートル以内となっている.つまり準天頂衛星システムにより測位精度が上がることで,表現する地図データに対する要求も高くなることが予想される.

今後の地図データは,より正確に,より鮮度が高く,地球の隅々まで知りたいといった要望に応えていくことになる.

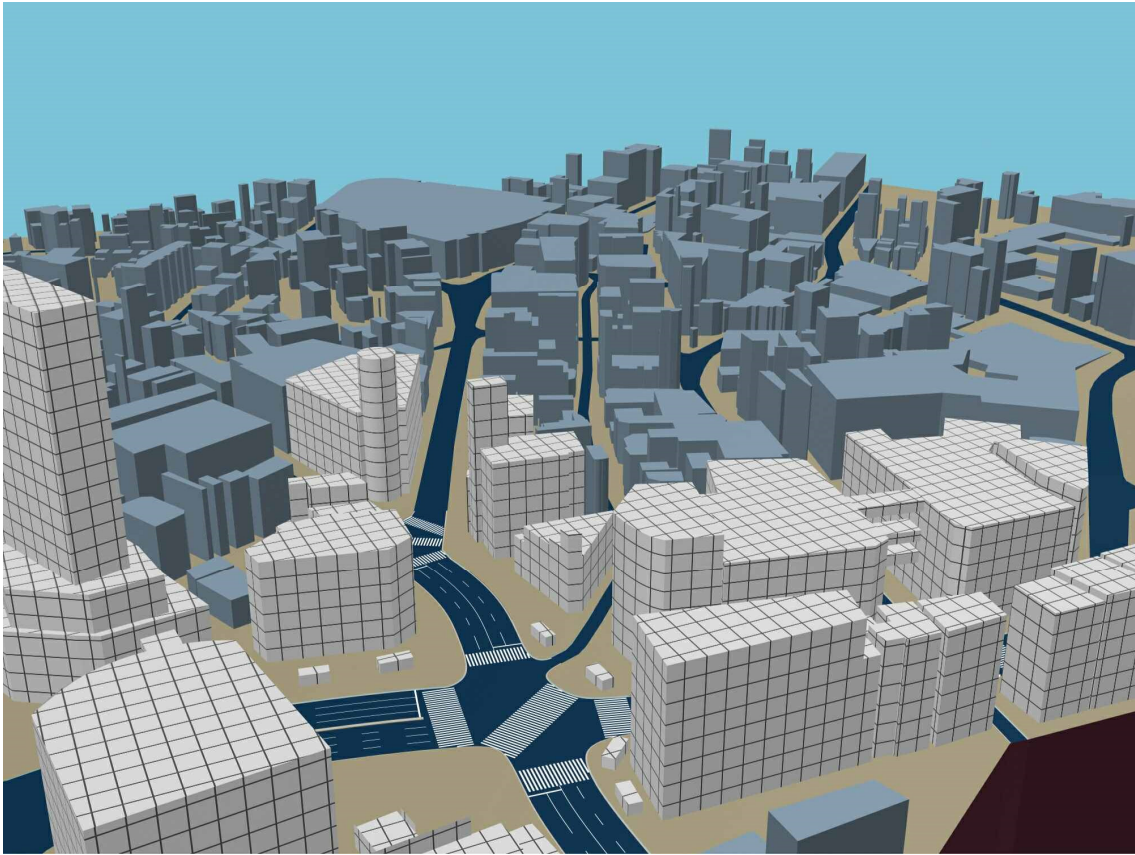


図 6 渋谷駅前の 3D 地図データ

説明：航空機搭載型レーザスキャナを用いて、道路や建物の形状や高さ情報を取得している。既に 2000 年より技術の実用化は始まっている。

提供 国際航業株式会社

1.2.5 位置情報サービスの現状

位置情報という言葉の定義は諸説あるが、国内では 2004 年に総務省が定めた「個人情報の保護に関するガイドライン[18]」に、位置情報とは「移動体端末を所持する者の位置を示す情報」と示されている。実際、位置情報サービスや Location-Based Services という言葉が一般に使われるようになったのは、2004 年より前、携帯端末に GPS の受信機能が搭載されるようになった 2000 年頃からである。それ以前からカーナビゲーションなど GPS を利用した位置情報サービスは多くのユーザに使われていたが、携帯電話といった常に身につけているデバイスにより自分の位置が分かることから、一般化されたと考えられる。

位置情報サービスは、Jonathan Raper ら[19]が整理、報告している通り、2007年時点において多数市場に提供されている。その後も、見守りサービスや位置情報ゲーム、ロケーション広告、AR(Augmented Reality: 拡張現実感)と様々なアプリケーションが登場し、今日ではソーシャルメディアとの連携が進み、チェックインサービスが登場している(図7参照)。

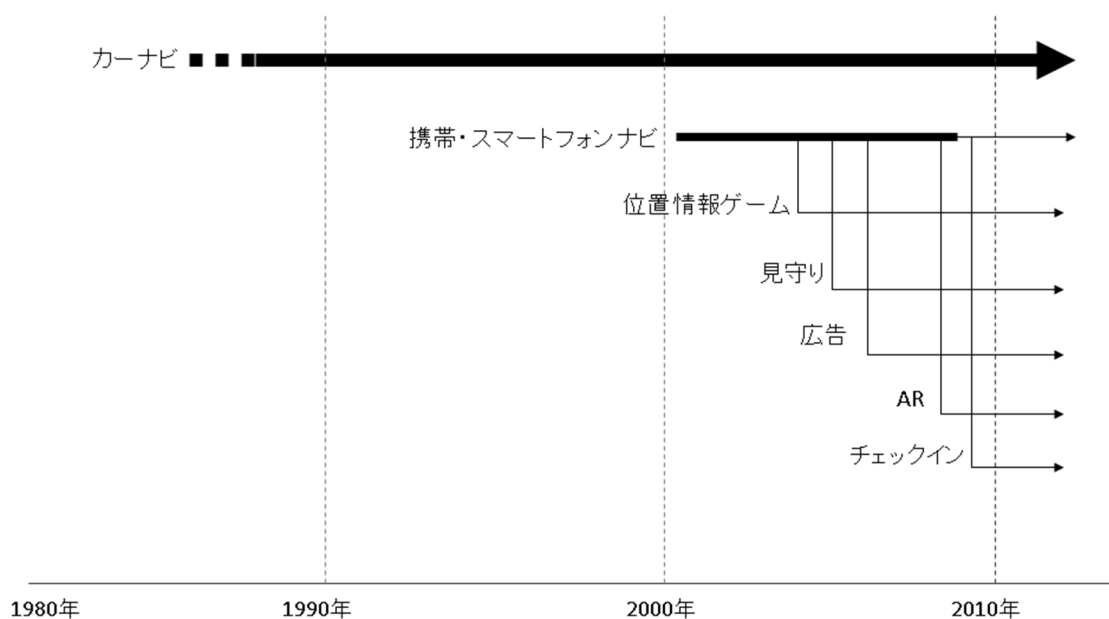


図 7 位置情報サービス応用の変遷

位置情報サービスは図8に示すように、測位システムにより取得された位置情報を、処理・解析して、地図データ等に表現し、携帯端末等へ出力する仕組みになる。最近では一連の処理をクラウドコンピューティングの環境で行うことが多い。具体的な処理・解析としては、測位により取得した座標を、住所など別の位置情報に変換するジオコーディングや、現在位置から周囲1km以内にある人やモノを探し出すバッファリング処理、現在位置から目的までの経路を探索するといった空間解析機能がある。近年は、人の行動パターンや、その前後状況(ロケーション・コンテキスト、あるいはロケーション・コンテキストとも呼ぶ)を分析し、リコメンド情報を生成する事例も増えている。アプリケーションは、この測位システムと処理・解析を組み合わせることで利用者にサービスを提供することになる。例えば、携帯端末によるナビゲーションを実現するためには、GPSや無線測位システムで

取得した現在位置情報を表示するだけでなく、目的地を選択する際、ジオコーディングや経路探索機能を用いて実現する。また、位置情報ゲームやロケーション広告の開発には、ソーシャルメディアとの連携やログ解析機能を用い、クーポンなどリコメンド情報を送信している。

2008年に運営開始したApp StoreやAndroid Market（現在はGoogle Play Store）には、ナビゲーションや交通、ライフスタイル等のカテゴリに位置情報サービスを利用したアプリケーションが数多く登録されているが、今後も位置情報サービスは、利用者の目的により適した要素技術や機能を結びつけ、多種多様なアプリケーションが登場するだろう。

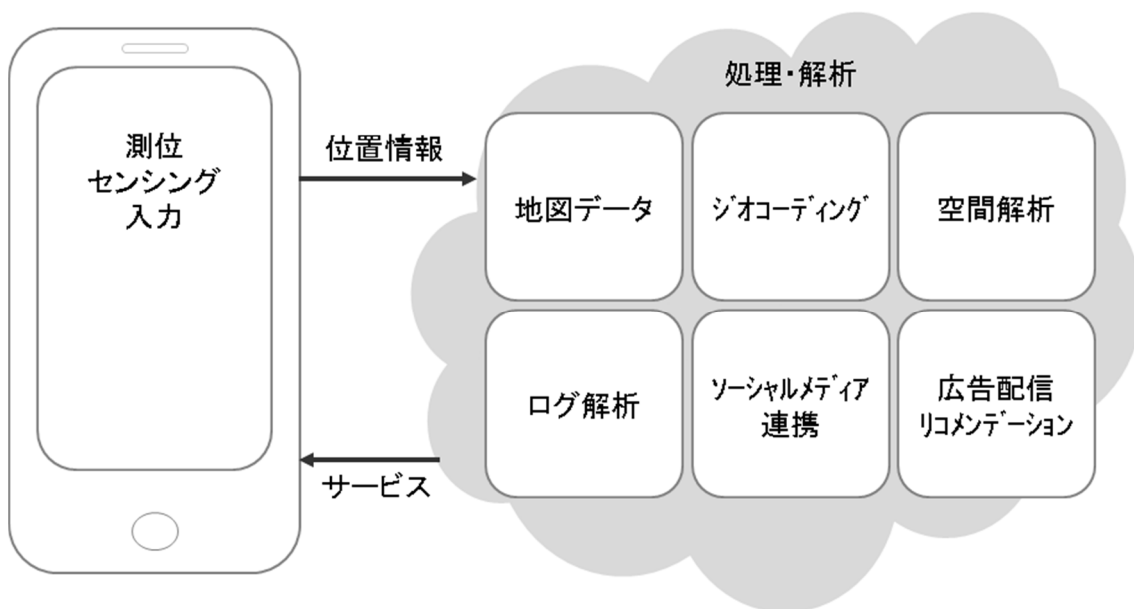


図 8 位置情報サービスの体系

説明：一般的な位置情報サービスは、携帯電話やスマートデバイスにより位置情報を取得し、クラウドコンピューティング環境により、処理や解析を行い、その結果を携帯電話やスマートデバイスに送信する仕組みとなっている。

1.2.6 位置情報サービスの課題

位置情報サービスは個人の行動と密接に関係するため、個人情報の問題やリスクが常に隣り合う。2011年9月、「彼氏を追跡する」アプリがマスコミに大きく取り上げられた。

行き過ぎた監視機能の中に位置情報を利用したものが一部にあり、個人情報の侵害に当たると非難を受けた。筆者は2005年にGPS携帯の位置情報機能を利用して、災害時に家族の居場所を共有するアプリを開発したが、仕組みはとても似ている。恋人同士はダメで家族は大丈夫、というデリケートな問題が位置情報には内在する。

欧米に遅れること数年、2005年に日本において個人情報保護法が全面施行された。個人情報とは「生存する個人に関する情報であつて、当該情報に含まれる氏名、生年月日その他の記述等により特定の個人を識別することができるもの（他の情報と容易に照合することができ、それにより特定の個人を識別することができることとなるものを含む。）」と定義している。この文章では位置情報に係る文言は確認できない。個人情報と位置情報に関する規則については、前述した総務省が2004年に告示した電気通信事業における個人情報保護に関するガイドラインの26条（2012年改正）に記述がある。主に電気通信事業者に対する位置情報の取り扱いについて述べている。ここで注意しなければいけないことは、位置情報を取得することができる事業者はもはや電気通信事業者、つまり通信キャリアとISP（インターネットサービスプロバイダ）だけではなくなっている点である。図9に示す通り、今日のスマートフォンやタブレットで取得した位置情報は、OS提供者やアプリ提供者も保持することができる。

位置情報単体では個人情報と言えないが、ここに個人が特定できる情報、例えば電話番号や端末IDが加わることで個人情報となる。そのため各事業者は位置情報と個人が特定できる情報はリンクしないで保持しており、本人の同意なくして第三者に個人情報を提供することは原則行わないとしている。しかし、”Your Apps Are Watching You”と題したThe Wall Street Journal（2010年12月17日）の記事によると、「人気スマートフォンの101本のアプリの内、47本のアプリは携帯電話の位置情報を何らかの形で他者に送信していた。」といった報告がある。さらに、2011年4月にはiPhoneが無断でユーザの位置情報を収集していたと指摘する問題が起きた。そのため米国政府は「消費者プライバシー権利章典」（A Consumer Privacy Bill of Rights）を2012年2月23日に発表し、事業者によるネット上の追尾・追跡（トラッキング）をユーザが拒否できる「Do Not Track」というオプトアウト方式の義務付けを推奨した。事業者の対応はまちまちだが、ユーザ自身で自分の位置情報を守ることが可能となる方向性を示すきっかけになった。リスクとセキュリティ

イの問題でしばしば出てくる「包丁は便利な道具なのか？それとも凶器か？」といった例え話があるが、位置情報サービスを便利な道具としていくには、政府と事業者、そしてユーザの合意形成を成熟させていく必要がある。

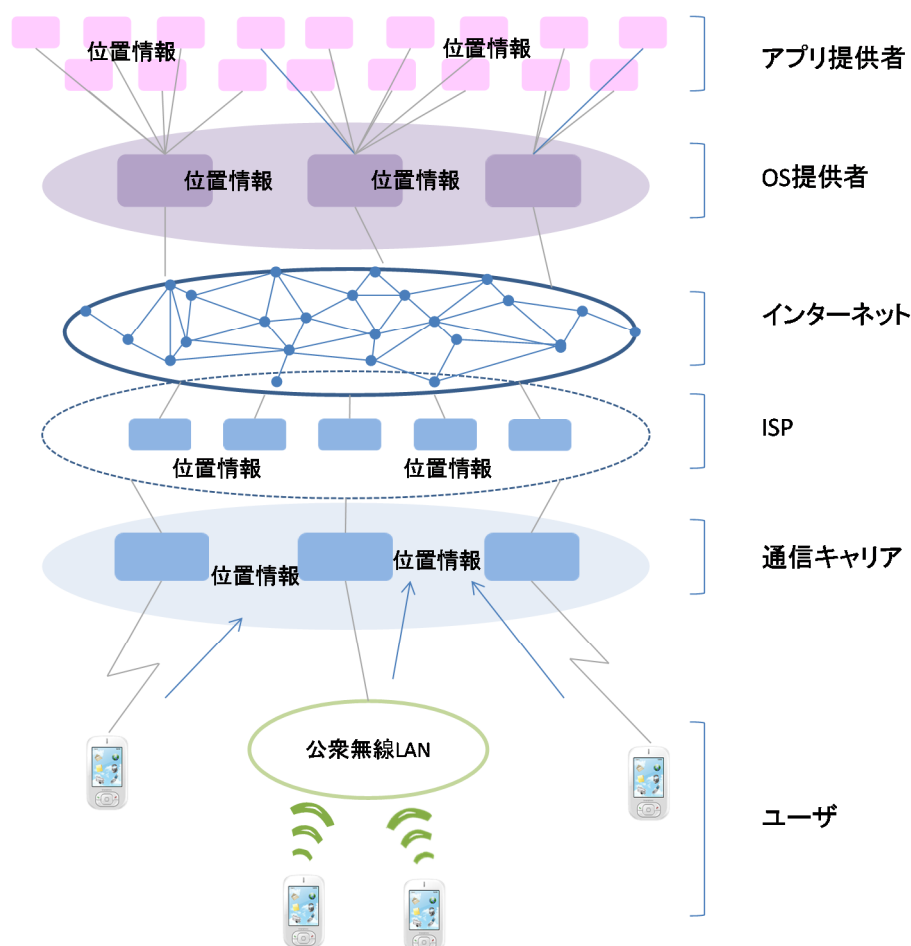


図 9 位置情報取得可能な事業者

また、「Fake Location」「Location Spoofer」と呼ばれるアプリがあるが、これらのアプリを使うと、現在位置を任意の位置に変更することができる。例えば、現在位置に連動しているラジオアプリに適用すると、全国のラジオ放送が聞けるようになる。友人や恋人を驚かすといったジョーク的な使い方をする場合もあるだろう。しかし、位置情報を利用したゲームにこのようなアプリを適用するとなると位置を「変更する」ではなく「改ざんする」あるいは「詐称する」ことになる。このような位置詐称の問題は数年前から起きて

いるが、アプリメーカーは通信基地局の情報を使い不正情報の対策をしているので、今ではあまり大きな問題になっていない。しかし、位置情報の価値が上がれば上がるほど、位置を詐称して悪用するケースは起こりうるし、技術的にも可能であろう。

一方、悪意のあるなしに関わらず、位置情報が「変更」される場合がある。スマートフォンの位置情報の取得には A-GPS と呼ばれるアシスト方式を使うが（表 1 参照）、携帯電話のネットワークだけでなく、Wi-Fi のネットワーク情報を利用する。OS 提供者は、GPS 機能と Wi-Fi 機能を同時に使っているユーザが GPS の測位状況が良く高い精度で測位できた場合、そこから近くに設置されている Wi-Fi の MAC アドレスや SSID 等と座標を紐付けてデータベース化している。そのため、Wi-Fi の設置場所を移動すると、位置情報が大きくずれることがある。このような問題は、GPS 提供者からの情報を正として使うアプリの場合、例えば見守りアプリにとっては致命的である。

以上のように位置情報が社会インフラとして利用されればされるほど価値は上がり、精度をどう保証するのかといった問題がついて回る。GPS の電波をジャミングするようなケースは特別だとしても、Wi-Fi や測位システムに利用する無線機器の電波状況が変わる、設置場所が変わる、または機器が故障、廃棄されるといった問題は常に起きうる。それだけに、位置情報を担保するのは難しいと考える。

1.3 屋内位置情報サービス

ここ数年、屋内位置情報サービスへの期待が高まっている[20]。図 10 は、2010 年から 2013 年 6 月までに、Google で「indoor positioning」「indoor navigation」というキーワードで検索した回数が増減を示したグラフである。期間内の最大回数を 100 として 3 年間のトレンドを表しているが、徐々に増加していることが見て取れる。また、グラフ上の A-G はヘッドラインとして取り上げられた時期にあたるが、2012 年に入り、その回数が増えていることが分かる。

このように屋内位置情報サービスが注目を集める理由は、都市生活者は屋外より屋内空間における滞在時間が長いといった報告や[21][22]、ショッピングセンターやショッピングモール（ここではショッピングセンターとする）と呼ばれる大型商業施設の増加傾向(図 11 参照)から、ビジネスチャンスが見込まれているからである。世界最大のショッピングセンターとして有名な中東のドバイモールのフロア面積は、約 55 万平方メートルもある。東京ディズニーランドに屋根を付けたような広さであり、屋外空間といっても過言ではない広さである。

また、ネット上（オンライン）で情報接触行動をもって、ネット（オフライン）で購買行動に影響を与えるような施策のことを Online to Offline（オーツーオー/O2O）と呼び、米国では Shopkick と呼ばれる O2O サービスが注目を集めている。Shopkick は利用者がショッピングセンターに入り、例えば衣類を試着するといった行動に応じてポイント（Kickbucks と呼ばれる）が与えられ、ギフトカードと交換することができる。このようなサービスを実現するためには、屋内空間のあるエリアに利用者があることを把握する必要があるが、特定範囲内で電波や超音波を受信できるように設定する技術を「ジオフェンス（またはジオフェンシング）」と呼ぶ。

さらに、災害やテロ対策の観点からも、屋内位置情報の整備が急がれている。2011 年 1 月に行われた米国オバマ大統領の一般教書演説では、建物の図面を消防士が携帯端末にダウンロードできるように言及している[23]。実際、2012 年 10 月ニューヨークで起きたハリケーン・サンディでは、地下鉄の改札が水没し被害が出ており、今後は地上だけでなく、地下や屋内空間での対策も必要となる

一方、我が国では、2000年代より駅構内のスペースに「駅ナカ」が登場し、大型ショッピングセンターとともに発展を続けている[24]。また、2011年3月に開通した札幌駅前通地下歩行空間は歩行者の8割が地下空間を歩行していると報告されているが[25]、天候や交通状況に左右されない地下空間は歩行者にとって安全にショッピングやイベントに参加できる場所である。このようなショッピングセンターや駅ナカ、地下街といった屋内商業空間を移動する人は、ほんのわずかな刺激、例えば広告やクーポンで、購買活動に繋がる可能性が高いと言われ[26]、デジタルサイネージやソーシャルメディアと組み合わせた取り組みが各地でなされている。

また、大規模な駅地下空間と駅ナカやショッピングセンターと接続したことにより、駅周辺は非常に複雑な構造になっている（図12参照）。そのため、火災や洪水といった災害時の対策としても、分かりやすい避難経路やサインシステム、屋内地図の整備が急がれている[27]。このような中、政府は2007年より経済産業省や国土交通省において屋内空間のインフラ整備について議論が始まった。この流れは地理情報推進活用基本法[28]から来ており、経済産業省ではG空間プロジェクト[29]と称する実証実験を、2009年は東京駅の地下街、2010年は横浜みなとみらい、2011年は二子玉川の商業施設で行っている。また、国土交通省国土地理院では、位置情報の表現方法や運用に関する標準化について「場所情報コードの利用技術に関する共同研究[30]」としてスタートしている。場所情報コードは、ある場所に固定されたモノを識別子、位置に関する情報を結びつけるコードであり、ucodeに準拠している[31]。2011年度は、場所情報コードを使用した実験が自治医科大学の病院内で行われた。

人気度の動向 ?

100 が検索インタレストの最大値です

ニュースのヘッドライン 予測 ?

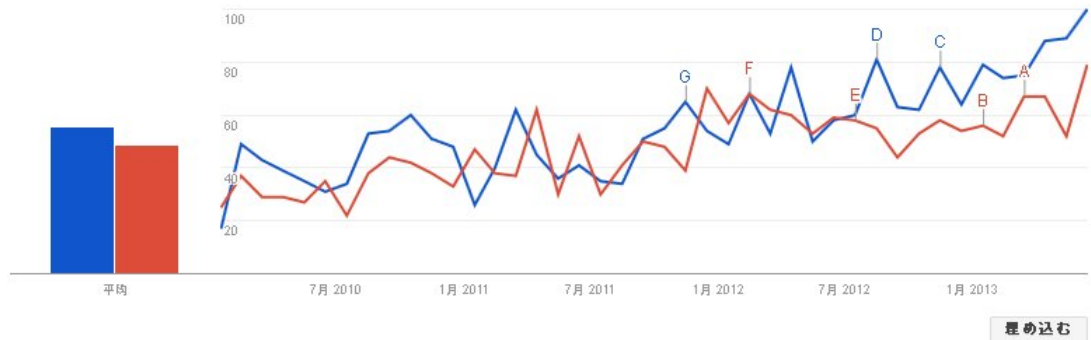


図 10 Google Trend indoor positioning, indoor navigation, Jan. 2010-Jun. 2013
 説明:青線は” indoor positioning” で検索した回数の動向,赤線は” indoor navigation”
 で検索した回数の動向になる.

Total Number of Shopping Centers • 1986-2010

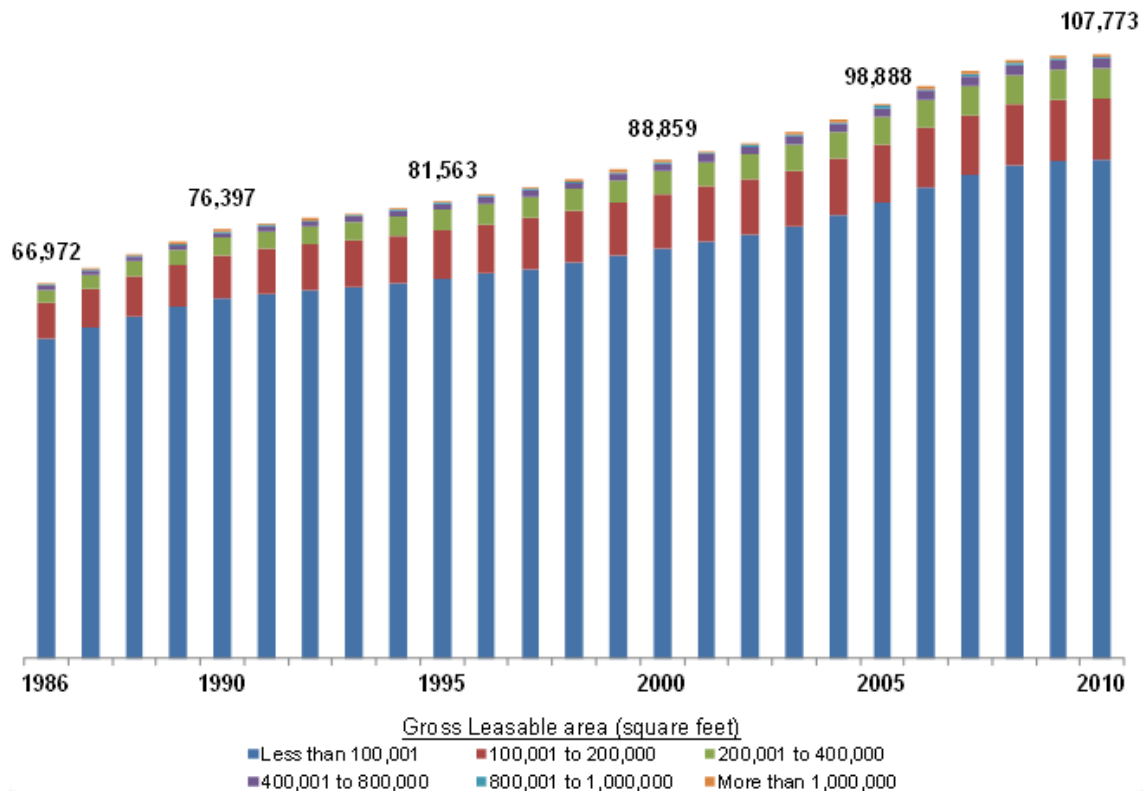


図 11 ショッピングセンターの数の推移 (米国)

出所 [U.S. Census Bureau and CoStar Group, Inc., <http://geometrx.com/2012/04/shopping-centers-in-the-u-s-expansion-continues/>, 2013年7月8日]

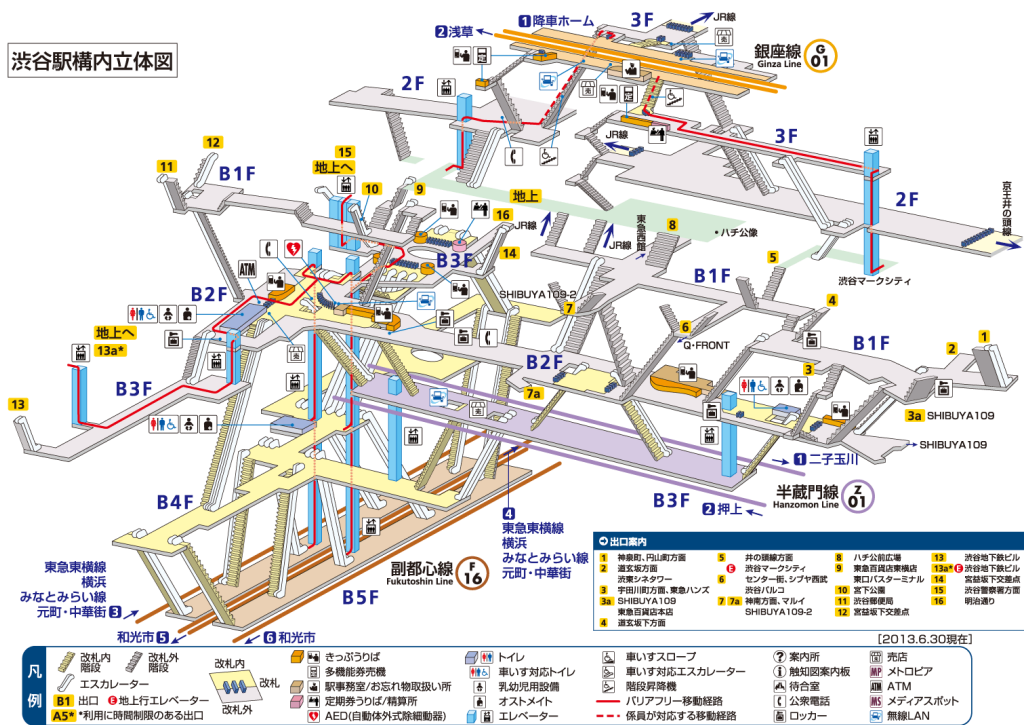


図 12 複雑な大型駅の構造（渋谷駅構内立体図）

出所 [東京メトロ, <http://www.tokymetro.jp/station/shibuya/yardmap/>, 2013年7月8日]

説明：渋谷駅の地下鉄は地下5階，地上3階にホームがあり，7路線が交わっており，階段やエスカレータ，エレベータが迷路のように張り巡らされている。

1.3.1 屋内測位システムの課題

前述した通り，屋内空間はGPSの電波が正確に届き難く，位置情報を取得することが困難である．そこで屋内空間における測位システムは表2に示す通り，複数の手法が提案され，一部で実用化され始めている．しかし，位置精度や信頼性，利用エリアが限定されるといった網羅性の問題がある．

これまでに，無線電波の強度や時間差を利用した無線測位 (Wireless LAN Positioning) [30]や，RFID (Radio Frequency Identification) にコードを埋め込み，IDを受け取った後，サーバにアクセスし位置情報を取得する方法[31]など様々な方式が提案されている．

中でも実用化に最も早く取り組んだサービスは、米国の「skyhook」とソニーコンピュータサイエンス研究所が開発した「PlaceEngine」と呼ばれる Wi-Fi を利用した無線測位である。複数の Wi-Fi の電波強度とアクセスポイントの位置情報（座標）を独自のデータベースに登録していき、無線測位の精度の向上を図っている[32]。この方法は後に Google や Apple も OS レベルで実装することになり、特別な受信デバイスを使わずに既に設置してある Wi-Fi を利用して測位できることから、多くのユーザが利用することとなる。しかしながら、Wi-Fi の設置密度によっては位置精度が安定しないケースや、アクセスポイントが移動した場合、精度が急激に悪くなる問題点が指摘されている[33]。フロア位置精度を上げるには、Wi-Fi の設置箇所を増やせばいいのだが、コスト増に繋がるだけでなく、商業施設の場合、アクセスポイントが乱立することから利便性を損なう恐れがある。また、屋内ではフロアの階数を検出する場合があるが、吹き抜け構造になっている建物などは、高さ方向の位置検出が難しい場合がある（図 13 参照）。

一方、我が国独自の測位技術の研究開発も進んできている。3 章で詳述するが LED 照明機器を利用した可視光通信により位置情報を取得する技術は、産学連携の可視光通信コンソーシアムを中心に 2003 年より実用化に向けて活動をしている。さらに、JAXA によって仕様が提案された Indoor Messaging System (IMES) は、GPS と同様の電波信号を送る仕組みであり、屋外と屋内のシームレスな測位方法として期待されている。

ナビゲーションなどのサービスを実現する場合、屋外から屋内空間へ水平方向だけでなく、垂直方向にもシームレスに移動する必要がある。カメラを利用した位置検出方法は、マーカを使った方式や画像データベースを使った研究が進んでいるが、一般的に計算処理のコストが高いために、リアルタイムで案内をするナビゲーションではまだ実用化されていない。また、自蔵センサ（加速度センサやジャイロセンサ）を用いた推測航法（Dead Reckoning: デッドレコニング、または Pedestrian Dead Reckoning: 歩行者デッドレコニング）は無線方式と異なり、送信機等を設置することなく測位を可能にするといった優位性がある。しかし、推測航法は長距離歩行による誤差が蓄積されているため、絶対位置取得手段による補正（キャリブレーション）が必要になる。また、推測航法の誤差はカルマンフィルター等で補正することも可能だが、車や船舶と異なり、人の歩行動作は繊細かつ不規則であることから処理が難しく、現時点ではほぼ商品化されていない。

表 2 屋内測位システム

	無線測位	近距離無線測位	画像処理	自蔵センサ
測位方法	電波強度，到来時間より推測	電磁・電波より座標や ID を送信	マーカ，マーカレス AR	推測航法，慣性航法
測位精度	数 m-数 10m	数 cm-数 m	数 cm	100m 歩いて 1m 程度
フロア認識	困難	可能	可能	可能
測位時間	数秒	1 秒以下	リアルタイムでの測位は困難	リアルタイム
品質	障害物等により影響がでる	障害物により影響がでる	マーカ数や学習時間により異なる	歩行条件により異なるが，誤差が蓄積される
送信方法	Wi-Fi	RFID, UWB, Bluetooth, ZigBee, 超音波, IMES, 可視光	不要	不要
設置場所	送信機の電源やスペースの確保が必要	送信機の電源やスペースの確保が必要な場合がある	不要	不要
デバイス	スマートフォン	スマートフォン，専用端末	パソコン	スマートフォン，専用デバイス(加速度・ジャイロ・地磁気センサ)



日吉東急1F入り口



6Fを示している



図 13 Place Engine の測位結果

説明：写真上，PSP（プレイステーション・ポータブル）の「みんなの地図」（（C）ZENRIN CO.，LTD.（C）2005 Sony Computer Entertainment Inc）より Place Engine を使用して測位を行ったところ，およそ 200m 位置がずれている．写真下，Windows Mobile 版 Place Engine を使用して測位を行ったところ，高さ（フロア）が大きく異なる．

以上のように、屋内測位技術の方式は様々な研究開発が進んでいるが、インフラとなる測位システムを構築するには、膨大なコストが生じる。そのため、誰が機器設置の費用を負担するのか、また、位置情報の信頼性の担保やメンテナンスなど運用の仕組みをどうするのか、課題は多い。例えば、Wi-Fi など無意識または故意に、誤位置情報が送信される場合も考えられる。誰がどのように機器を設置し、保守・運用し、廃棄するのかといったルールを作成、位置情報や精度の保証といった品質の問題など、システムで対策を講じつつ、開発者や、事業者、利用者のセキュリティへの意識を高めることが必要となる。

1.3.2 屋内地図データの課題

屋内測位システムと同様に、屋内地図データの整備も遅々として進んでいない。図 14 は、9 世紀に作成されたスイスのサンクトガレン修道院(St. Gall)だが [34]、世界の有名な建築図面は博物館や図書館等に存在する。近年では設計図面は CAD で作成されており、建築事務所や施工会社が保有するケースも多くある。しかし、近代の建築物は配線や配管など詳細情報が図面に記載されているため、セキュリティ上の問題からそのまま公開するのは難しい。また、公共空間と個人空間の線引きが難しいケース、例えば、駅とホテル、ショッピングセンターとマンションが複合される施設などもあり、プライバシー問題も内在している。

一方、技術的な課題として、屋外の地図データ作成のように、空中写真から図化をするといった手法が困難であるため、地上測量やモバイルマッピングといった台車にレーザスキャナやカメラを搭載して計測する方法が試されている。しかし、これらの手法は機材が高価である上に、習得に時間がかかる。また、商業施設など一般顧客がいる時間や場所で作業を確保するのは困難である。さらには、写真やレーザが捉えた人や看板など不要な情報を削除する後工程によるコストも発生する。

また、ほとんどの商業施設にはフロアマップ（ガイドマップ、フロアガイドとも呼ぶ）が置いてあり、一見、どれも同じような内容に思えるが、デザインや情報量、記号等が統一されていないため、利用者に負担をかけている。その上、フロアマップは著作物であるがゆえ、二次加工をすることは許されていないため、このまま屋内地図データとして整備

するのは難しい。

このような中、前述した 2011 年 1 月に行われた米国オバマ大統領の一般教書演説を契機にして、屋内地図データの議論と構築が活発化された。地理空間情報の標準化を推進する Open Geospatial Consortium (OGC) では、2012 年 1 月より、屋内地図データの構造について記述をするために IndoorGML[35]の SWG(Standards Working Group)においてディスカッションを始めた。既に OGC では、三次元構造の記述として CityGML[36]と呼ばれるフォーマットを提案しており、相互運用しながら実用化を目指している。また、カーネギメロン大学では消防士への提供を目指した” Open Floor Plan Display for Firefighter Tracking” と呼ぶプロジェクトがスタートしている (図 15 参照)。さらには 2011 年 11 月にグーグルが屋内地図のサービス” Google Indoor maps” を開始した。大都市の商業施設と駅構内の屋内地図を整備し公開しているが、閲覧方法や閲覧箇所が限定されている(2013 年 7 月現在)。

一方国内では、2007 年 12 月「Yahoo!地下街」が開始しており、主要な地下街の地図を公開している。2013 年 7 月現在、東京駅、名古屋駅をはじめ、全国 24 駅の地下街地図が整備されているが、商業施設等の屋内地図は一部に限定されている。また、2008 年 2 月にはナビタイムジャパンが携帯端末向けの「駅構内ルート」サービスを開始した。公式サイトでの発表では 2009 年 4 月現在、全国 34 駅に対応しており、駅構内の電車乗換ルートの案内が可能である。ルート案内には駅構内の地図上にルートとなる矢印が描かれており、距離やランドマークに応じて複数の地図画像が表示されるが、「Yahoo!地下街」とは異なり、駅全体の平面図の提供は行っていない。また、商業施設内の地図やナビゲーションも限定されている。

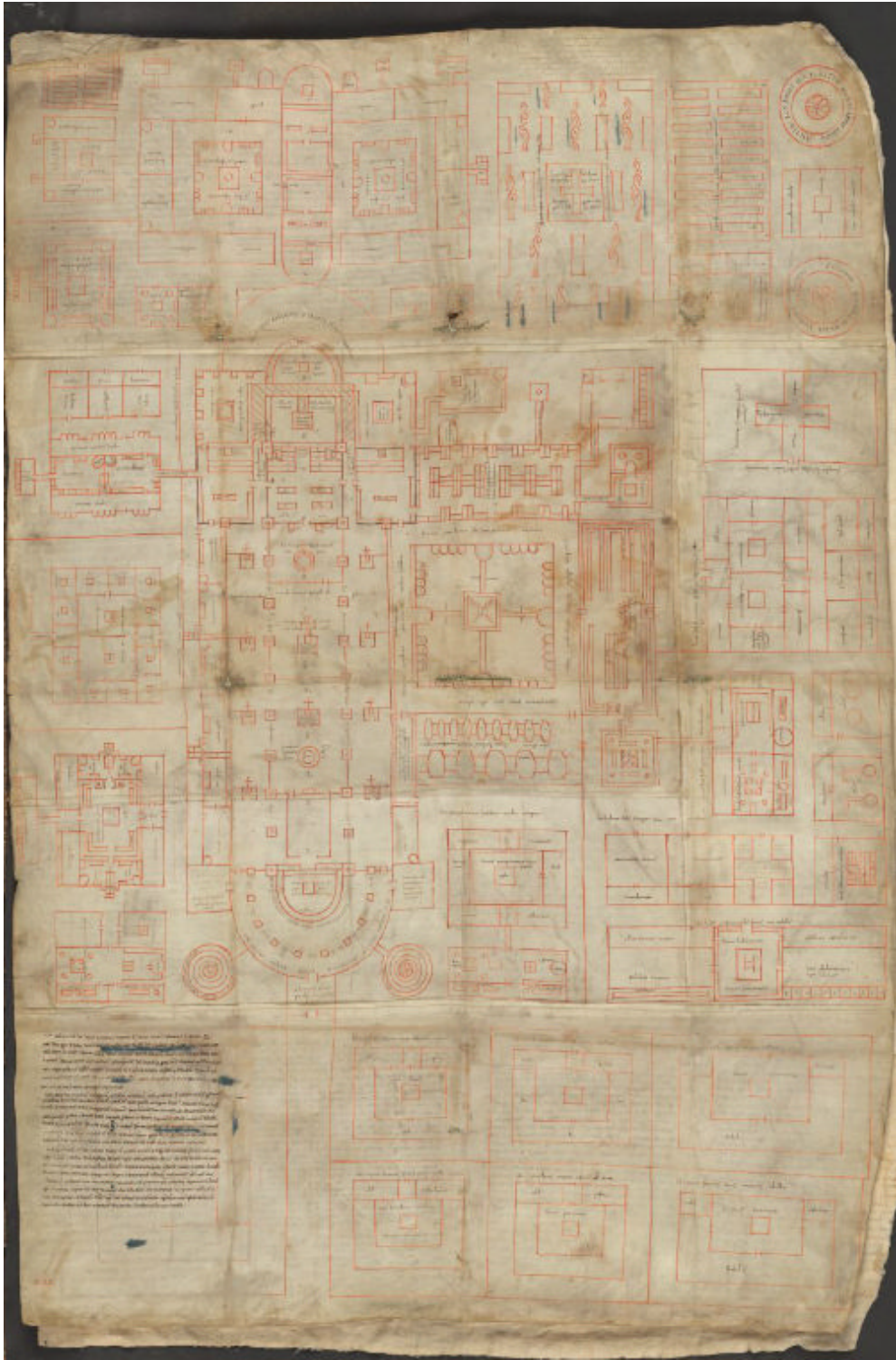


図 14 The Plan of St. Gall (ザンクト・ガレン修道院の平面図)

出所 [Carolingian Culture at Reichenau St. Gall, <http://www.stgallplan.org/>, 2013年7月8日]

説明：約77cm×112cmの羊皮紙に約1/200のスケールで描画されている。



図 15 Open Floor Plan Display for Firefighter Tracking

出所 [Carnegie Mellon University, <http://www.cmu.edu/silicon-valley/research/floor-plan/>, 2013年7月8日]

説明：航空写真画像にフロア2階の平面図を重ね合わせている。

1.3.3 屋内位置情報サービスの要求分析

屋内空間における位置情報サービスのユーザニーズを正確に確認することを目的として、要求分析を行った。分析は図 16 に示す通り、3 フェーズごと順に行った。はじめに屋内位置情報サービスのユースケースシナリオを思考し、ビデオ動画を作成した。ユースケースシナリオは、ワークショップを行い、専門家を含む多くの関係者を集め、導き出した。次に作成したビデオ動画をプロジェクトメンバで共有し、位置情報サービスのステークホルダーとなる、「位置情報サービス提供会社」、「施設管理者」、「ユーザ」に対しヒアリングを行った。そして最後に、屋内位置情報サービスの要求を整理した。

なお、ワークショップは経済産業省「平成23年度産業技術実用化開発事業費補助金(次世代高信頼・省エネ型IT基盤技術開発・実証事業<G空間プロジェクト>)」の一環として行った[37]。

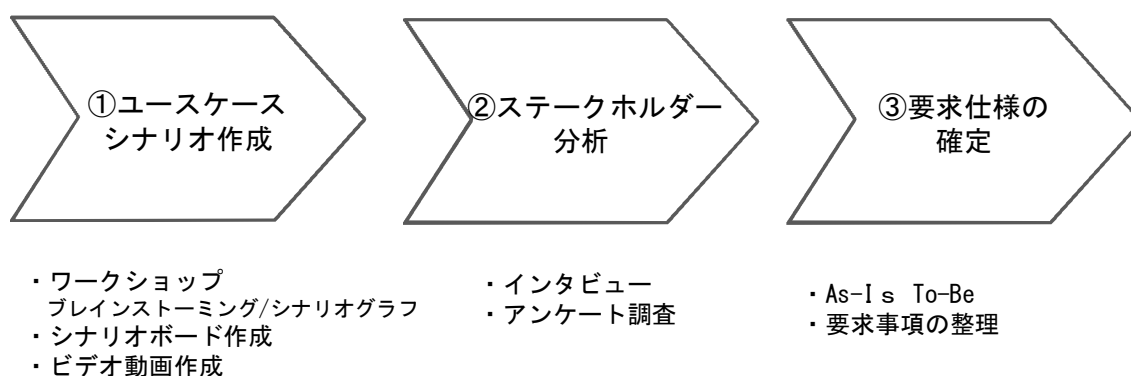


図 16 要求分析のフロー

手順1：ユースケースシナリオ作成

ユースケースシナリオの作成にあたり、位置情報サービスの専門家をはじめ、企業、学生から広く人を集め「位置情報創出ワークショップ」を開催した(図 17 参照)。ワークショップでは位置情報サービスの利用シーンを限定せずに、今後どのようなサービスを利用したいか、また実現したいかについて活発に議論を行った。議論の手法として、システムデザイン開発手法であるブレインストーミングやシナリオグラフ[38]を用い、新しいアイデ

ア創出を試みた。表 3 にその内容を示す。

表 3 ワークショップ内容

位置情報サービス創出ワークショップ	
日 時	2011 年 8 月 1 日 (月) 13:00-16:00
場 所	二子玉川ライズ・オフィス棟 8F「カタリスト BA」スタジオ
テーマ	二子玉川ライズで欲しい！位置情報サービス
参加者	15 人 (企業 3 名, 大学教員 1 名, 大学生 11 名)
結 果	位置情報サービスに関するアイデア [ショッピング] <ul style="list-style-type: none">・ ファミリーがソファの空き状況やトイレの場所がわかるアプリ・ ユーザが情報に触れる際, 負担を減らすためにサイネージ, 壁面を利用する・ 利用者がコーヒー一杯でクーポンがもらえるチェックイン・ 管理者がライズ全体に買い物客がどこにいるのか? 顧客分布が分かる [生活] <ul style="list-style-type: none">・ ママが子どもの位置情報: 迎いのバス情報が分かる・ 買い物客が渋滞・混雑状況 (駐車場含む) がリアルタイムで分かる・ 買い物客がライズにいてゲリラ雷雨が分かる [ゲーム] <ul style="list-style-type: none">・ セカイカメラのような屋内でも対応したサービスを使う・ 皆がしていると思わず自分もしたくなるアプリ・ ライズを海, 自分を魚と考え, 泳ぐアプリ・ 宝探し ゲーム感覚+特典アプリ・ AR がスカウターで実現できれば面白い・ 自分で街を育てるというコンセプトのサービス・ お店ランキングに参加できる ゲーム感覚のもの

[その他]

- ・ ユーザからの入力，行動ログの収集
- ・ リアルタイム性，回遊情報を使う

[課題]

- ・ ゲームアプリはアクセスが面倒であり，飽きやすい
 - ・ 便利でも分かりづらいと普及しない
 - ・ 操作性は重要である
 - ・ お店のメリットを考える必要がある
 - ・ お店の方を交えてワークショップを開催
 - ・ 携帯電話を常に見ながらナビすることは難しい
 - ・ チェックインは面倒
 - ・ 常時接続しているのには抵抗がある：個人情報がずっと流出するのではない
か
 - ・ ゲーム感覚でチェックインを促進させる仕掛けが必要
 - ・ 従来のポイント制はゴールが遠いので，継続する魅力が小さい
 - ・ スカウターは未来的過ぎるのではないか？
 - ・ プライバシー保護の問題も考える必要がある
-



図 17 位置情報サービス創出ワークショップ

説明：二子玉川地域における位置情報サービスのアイデアを発表している。ブレインストーミングとシナリオグラフ手法によりホワイトボードにアイデアを出し合っている。

次に、生み出されたアイデアを参考にして、二子玉川エリアにおける位置情報サービスイメージを明確にするため、シナリオに書き起こした。シナリオは、ユーザと施設管理者向けに2つずつ、合計4編を作成した。図18-21にシナリオを示す。

No.	内容	絵コンテ	時間	配役	字幕	撮影場所	備考
1	二子玉川ライズ		10:30		二子玉川ライズ到着	ライズ	
2	自家用車で駐車場に到着					ライズ駐車場	・屋内外をシームレスにつないだナビゲーション。店舗の商品棚までナビゲーションしてくれる。 ・子供の位置を端末上で確認できる。(IDは都度発行される一時的なもの)
3				** 様親子			
4	駐車場からH&Mまでナビゲーション			** 様	駐車場から館内の目的地までナビゲーション		
5	建物に入る時、子供用のワッペンをもらい、IDを端末に登録する。いつでもどこでも子供の位置を確認できる。			** 様親子スタッフ	子供用のワッペンをもらおう。これでどこでも子供の位置を確認できる。	ライズの入り口付近で撮影ができるか？	
6	H&Mで買物中、子供がトイレに行きたいと言い出したので、端末で最寄り施設を検索すると、1番近いトイレはタウンフロントの2F子供用トイレということが分かった。子供に端末を渡す。		11:00	** 様親子	え～トイレ！？		
7	子供は地図が読めないが、目印ナビならナビゲーションしてくれる。				トイレまでナビゲーション		・複数の建物・階をまたいだ最寄り施設検索。 ・施設の混み具合が3段階程度で表示される。 ・地図だけではなく、目印や文章を使ったユニバーサルナビ ・特定エリアでのクーポン配信
8				** 様親子	トイレ到着！！	ライズのトイレで撮影ができるか？	
9	子供用トイレに行くと、子供用のクーポンが配信された。あとで覗いてみよう。			** 様親子	トイレでクーポンがもたらえた！！	小道具・クーポン用のポスター	
10	ぶらぶらと歩いていると、ハンバーグのQRコードを発見。アクセスしてクーポンをゲット。今日はハンバーグを食べよう。		12:00		QRコードでクーポンもGET!!	小道具: QRコード	・QRコード、NFC等を使ったデータ取得。
11	子供とバーチャルスタンプラリーに参加。指定箇所で端末をかざすとキャラクターが見えてヒントをくれる。バーチャルスタンプを集めながら、ウィンドウショッピングを楽しむ。		14:00	** 様親子	バーチャルスタンプラリーに参加		・測位とARを組み合わせたゲーム。
12	天気予報のアラートが届く。二子玉川近辺に夕方からゲリラ豪雨の予報が出たらしい。今日は早めに引き上げるか。自分の車までナビゲーション。どこに停めたかを覚えておくのも良い。		15:00		「わ～、ゲリラ豪雨の注意報だ！」		・当日エリア内にいるユーザのみ情報配信 ・駐車場の車の位置までナビゲーション

図 18 ユーザ編 シナリオ 1




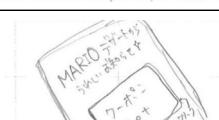
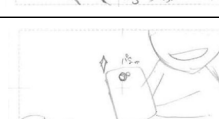


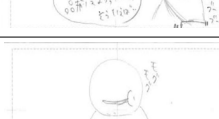


No.	内容	絵コンテ	時間	配役	字幕	撮影場所	備考
1	ライズ到着		15:00	**さん	今日もたくさん買物しよう	ライズ ガレリア	
2	到着と同時に天気予報のアラートが届く。二子玉川近辺に夕方からゲリラ豪雨の予報が出たらしい。今日は夕飯もここで済ませよう。				あっ！ゲリラ豪雨予報が出てる。今日は夕飯もここで済ませよう！	ガレリア	当日エリア内にいるユーザーのみへの情報配信
3			15:30		(アラート)何だろう。	ガレリア	
4	前回行って美味しかったお店から新作ケーキ登場のお知らせとティーセットのクーポンが携帯に届いた。早速食べてみる。新作ケーキの写真を撮ってその場でSNSにアップする。				前回行ったお店からだ。クーポンもらった。	ガレリア	当日エリア内にいるユーザーへ情報配信 複数のSNSへの同時配信
5					美味しー!!! SNSにアップしよう。	レストラン	
6						スマホ撮影	
7	ウィンドウショッピングをしていたら、あるお店の近くでアラートが鳴る。そういえば以前品揃えが良いとテレビで紹介されていた。携帯でこのお店を登録していた。ちょっと覗いていこう。		17:30		(アラート)そういえばあのお店前回来て、登録しておいたんだっ。ちょっと覗いていこう。	ガレリア	
8	夕飯を食べていると、緊急地震速報を受信。同時に非常口や消火栓と現在位置が記載されたフロアマップが届いた。今回は震度3くらいの揺れだから大丈夫だったけど、いざというときのサービスは助かる。		19:30		食事美味しいし、ユックリできたわ。	レストラン	測位と店舗情報の連動
9					(アラート)緊急地震速報だ！	レストラン	
10	運行情報が配信された。いつのまにか雨も止んで、電車にも遅れはないらしい。安心して帰れる。		20:30		(電車の運行状況が配信)雨も止んだし、安心して帰れる。	ガレリア	当日エリア内にいるユーザーのみへの情報配信

図 19 ユーザ編 シナリオ 2

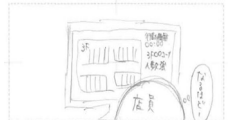



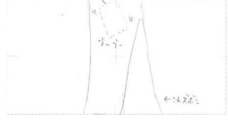

No.	内容	絵コンテ	時間	配役	字幕	撮影場所	備考
1	開店準備。エアコンの設定を確認する。利用者の行動履歴を元に曜日や時間帯に応じて強弱を使い分けられるようになった。危機管理マニュアルを確認する。行動履歴により、曜日や時間帯ごとの行動傾向が分かるため、それに応じた避難誘導体制、方法を設定でき、具体的に参考になる。		8:00	スタッフ	開店準備 エアコンの設定 利用者の行動履歴を元に曜日や時間帯に応じて使い分け		行動ログを使った効率的な施設管理と細やかな危機管理
2	今日から始まる子供向けイベントを設置。家族連れが多いので、行動履歴から回避行動を促進するとともに、買い物客との混雑を避ける場所を選定した。テナントからも立ち寄り利用者が増えたと好評である。開店。今日は正面入り口で長い客列ができた。イベントキャラクターに正面で入り口で出迎えさせる。		9:30 10:00	キャラクター	今日から子供向けイベント 回避を促進するイベントを実施	ライズ	測位を使ったイベント実施 行動ログを使った、効率的効果的なイベント運営
3	警備員から午前の巡回結果の報告結果が配信される。特に問題はないようだ。今日は〇曜日、午後は〇階の利用者が増える事から、すりやひったくり等の犯罪に気をつけるよう、警備員に注意メッセージを送信する。		12:00	スタッフ	お客様が多くなってきた。警備員にすりなどの犯罪に気をつけるよう伝達		リアルタイムの集客状況把握 警備員の巡回ログ確認 行動ログを使った防犯 よう伝達
4	施設内の現在の集客状況を確認する。イベント初日のため、会場周辺が想定よりも混雑しているようだ。会場周辺の空調を強めることとする。		13:00				リアルタイムの集客状況把握
5					(アラート)		
6	アラームが作動。1階の男性トイレで1時間以上動かない端末がある。警備員に向かわせると、忘れ物の端末を発見。取得物として預かる。		14:00		1Fの男性トイレで1時間以上動かない端末がある。警備員が向かう。		リアルタイムの動態把握(緊急時のみ)

図 20 設管理者編 シナリオ 1

No.	内容	絵コンテ	時間	配役	字幕	撮影場所	備考
1	開店準備。施設管理者から提供された月次のマーケティングデータ(来店客数や店舗前の通過客数、SC利用者の回遊行動パターン)をもとにチームMTGを行う。チームで分析した結果、来店した場合の購入率は高いため、より来店客数を増やすようなプロモーションをする事に決定した。		9:00				行動ログを使ったマーケティング、プロモーション活動(デジタルサイネージとの連動)
2	ターゲット客層の回遊行動パターンから3カ所に広告を出す事を検討する事とした。		10:30	スタッフ ** 様親子	開店 今日回遊行動パターンを分析し、広告設置を開始	ライブ	
3	今日最初のお客さんは、先月も来て下さった方だった。SGに入ったときに、秋物の新作の広告が届いたので、暇にきてくださったらしい。				ライブ入店と同時にメッセージを配信。受信したお客様がお店に来てくれた。		当日エリア内にいる登録ユーザーのみへの情報配信
4	現在の集客状況を確認。〇階に多いようなので、販促用の開店5周年記念のキャラクターグッズとクーポンを〇階にあるアライアンス先のお店に配信する。			スタッフ ** 様親子	2Fにお客様が少ないので、販促品を2Fで配布	ライブ	リアルタイムな集客状況を活用したプロモーション活動
5	小さなお子さん連れの家族が来店。授乳スペースや子供用トイレに立ち寄った人にクーポンが配信されるので、その後立ち寄ってくれる。		14:00		授乳スペースや子供用トイレに立ち寄った人にクーポンを配信		特定エリアに限定した情報配信
6			15:00		施設管理者側は災害の際の避難場所を案内できるように備えておく		災害時に備えた情報配信、リアルタイムな集客把握による資産管理
7							
8				スタッフ	館内の集客状況も把握。事件事故に対応できるように備えておく		
9							

図 21 施設管理者編 シナリオ 2

以上、4つのシナリオについて再度検討を行い、ユーザ編とユーザ・施設管理者編の3-5分間のビデオ動画を作成した。

参考 URL/ユーザ編シナリオ：<http://youtu.be/ufQ1K-R07-Q>

参考 URL/ユーザ・施設管理者編シナリオ：<http://youtu.be/vSm-pFCsnkM>

手順2：ステークホルダー分析

ステークホルダーのヒアリングは、位置情報サービス提供会社2社、施設管理者2社、一般ユーザ32人に対して行った（表4）。屋内位置情報サービスの実現に特に重要となる位置情報サービス提供企業へのヒアリングは、手順1で作成したシナリオをベースにヒアリングシート作成し事前に配布した上で、動画を紹介しながらインタビューを行った（表5参照）。

表4 ステークホルダー一覧

ヒアリング対象	カテゴリ	実施日
1 大手不動産会社	施設管理者	2011年9月7日
2 位置情報ゲームメーカー	位置情報サービス提供会社	2011年9月7日
3 インターネット地図配信会社	位置情報サービス提供会社	2011年9月8日
4 建設設計コンサルタント会社	施設管理者	2011年10月12日
5 32人（男性8人，女性24人）	一般ユーザ	2011年8月11日

表 5 事前ヒアリングシート

	質問内容	目的
1	どの程度の会員増が実現すると、魅力を感じますか？	屋内位置情報サービスによる会員増への要求を把握したい
2	どのようなコンテンツや機能が有効でしょうか？	ニーズ、コンテンツ（ショップ情報、マップ等）や機能を検討するためのインプットとしたい
3	測位に求める精度、受信速度等を教えてください。	異種測位機能をデザインする際のインプットとしたい
4	位置情報を取得できるようになると、どのような付加価値を期待されますか？	ニーズ、サービスによる質の向上への要求を把握したい
5	サービス名、エリア、スタート時期、売上、システム構成など	基本情報として
6	ビジネスのスタートのきっかけは？	事業化の参考
7	アウトソースするとしたらどの部分ですか？	システム開発の参考
8	今後どのように展開していく予定ですか？	事業化の参考
9	採算のポイントは？ アプリの数？ コスト？ 横展開？	事業化の参考
10	キラーアプリはありますか？	システム開発の参考
11	クレームや要望はどのようなものが多いですか？	事業化の参考
12	屋内の地図情報はどうやって整備していますか？	ニーズ、システム開発の参考
13	屋内の測位技術は何を使っていますか？	ニーズ、システム開発の参考

ステークホルダー 1：大手不動産会社とのインタビュー結果（特に重要なコメントを太字にしている）

(1) 屋内でも屋外と同様に位置情報サービスが展開されることへの期待

- ・屋内では場所よりも、むしろ時間のほうが貴重に感じている。

時間で情報が変わることが多い。例えば、電話で営業時間を聞く人が多い。

商業施設は衝動買いが醍醐味（売り上げの5割程度）であり、これを妨げてはならない。

何か目当ての商品などがあって、より安い店舗を探せるような使い方が限度のように感じる。

⇒位置情報が主役にならないようにすべきである。

- ・屋外と屋内を同じレベルで展開するのか、それとも切り分けるのかを整理した上で、屋内の位置情報を議論すべきである

- ・**位置情報が屋内で分かれば、商品の陳列なども変わると考えられる。そういう自然な形を目指すべき。**

人間の五感に違和感を与えずに、位置情報を使って補完する方向で検討すべき。

(2) 施設管理者としての、ソーシャルメディア（Twitter, Facebook, mixi 等）への関心

- ・全世界に発信できることは魅力である。その反面、どこまでの範囲に発信するか考えないといけない。

- ・チラシの電子版が入ってくる程度であればよいかもしれない。

(3) 現在の施設運営上の課題（販促面／安全安心・警備面／管理面）

- ・テナントは常に入れ替わるので、店舗情報等の更新作業が大変である。

- ・行動ログは、サービスの影響を受けるのでブラッシュアップが必要である。

(4) 屋内位置情報サービスの展開に向けた店舗情報やフロアマップの提供、費用負担について

- ・**施設内の位置情報をどこまでオープンにできるかが課題である。**

少なくともパブリック、セミパブリックな情報は出してもよい。

その他の消火器や非常口の位置といったセキュリティに関わる情報は出す、出さないの線引きが難しい。

(5) 3.11 で明らかになった施設管理者としての課題

- ・防災機能は地域ブランド。その中でそれぞれの建物が関係をなしている。
屋内から屋外に情報発信ができれば価値はある。
- ・建物内では様々な取り組みがなされている。AED、ペットボトルや自家発電はどこにあるのか。
⇒東日本大震災をモデルとして、同じような災害が起きた場合を想定して検証するといいかもしれない。

ステークホルダー 2：位置情報ゲーム会社とのインタビュー結果

- (1) 屋内でも屋外と同様に位置情報サービスが展開されることへの期待
- ・前提の確認だが、今後、国の施策として屋内での測位環境が整備されるのか。
⇒標準化するかもしれないが、現状のところ整備予定はない。
****大学の寄付研究部門を通じて施策提案することは可能かもしれない。
 - ・屋内測位は防災に役立つと思っている。
例えば、震災で火事があった場合、どこに人が取り残されているか把握し、救助に向かうことが出来るとメリットが出る。
⇒標準的にできていることが必要であり、全国的にやらないと意味がない。
最近設置が義務づけられた、火災報知器のようなものであり、セットで IMES も入れるスキームを組めるとよいのではないか。
 - ・今後、日本でしか使えない技術に対応する端末は出てこない（グローバルに使えないと出ない）。
例えば「フェリカ」は衰退する見込み。
そういう意味では「みちびき」1 体では端末は出てこないと考えている。ぜひ、グローバルに整備して欲しい。
 - ・端末で標準的に使えることが、屋内位置情報サービス構想の大前提だと感じる。
⇒NFC はおそらく世界的に広まっている。NFC に対して優位性を示せるか。フェリカ受信端末は 1 万円ほどの安さ。
サイネージと測位がセットだとヒットするかもしれない。

(2) 位置情報サービスの運営上の課題 (コンテンツの維持管理/運用コスト/個人情報保護/クレーム対応)

- ・特に日本人は位置情報を取られることに抵抗がある。

位置情報はセンシティブなものであり、無駄には取らないよう十分に配慮している。データとして個人が特定できないようにしている。

⇒長々と書かれた規約に同意をもらえばよい話ではなく、ユーザがどう感じるかである。

先日のカレログ事件はかなり位置情報サービスへの印象を悪くした。防災と同じ使い方も見せ方が悪い。

- ・オート GPS のような位置情報の取り扱いを国はどう考えているのか。

⇒ガイドラインを示そうとしている。オプトインしていれば使ってよいのではという意見もある。

- ・AR には問題がある。周囲に端末を向ける姿勢に対して社会的コンセンサスが取れていない。

AR の振りをしてビデオをとることもできるので、今後もコンセンサスは取れないだろう。

⇒AR にこだわらず、シンプルにタイムセールなど広告をポップアップするだけでもよいのではないか。

- ・AR と屋内ストリートビューがセットであればよさそうだが、外資系は看板を出したがない。

- ・ユーザメリットが鍵。店舗メリットは、ユーザを囲い込めば自ずとついて来る。

- ・匿名のコミュニケーションから、実名のコミュニケーション (facebook) が流行ったのは、そのほうがユーザは楽しいため。

- ・屋内でのユーザメリットはナビゲーションだと考える。その他に挙げるのであれば地図とゲームがあるといい。

- ・店舗メリットとして、初めて来店した人、リピータにポイントを付与したいと考えている。

⇒東急電鉄で行われている改札との連動で十分である

滞在時間の合計や累計でのクーポン配信はあるかもしれない。

(3) 3.11 で明らかになった位置情報サービス提供会社としての課題

- ・防災はユーザニーズがはっきりしていてあったほうが良いと感じる。

災害時に家族が何処にいて何処に避難したかなど、さらに細かく状況把握できるイメージ。

(1) 屋内での位置情報サービス展開の課題と展望

- ・屋内での位置情報が取得できると、これまでできなかったことができるので展望はある。
- ・昨年度の****を実施しての感想だが、今までのユーザは街の雰囲気を感じ取って終わりだった。

屋内を歩き、新しい店を見つけられることで、また来たいと思うユーザが多かった。

- ・測位精度が上がると防災では役立つだろうが、レジャーではそこまでいらない。
- ・ナビがなくても例えばフロアマップを現地でダウンロードできるだけで有効ではないか。認知しないと行く気が起きないが、手元で全体を把握できれば行くだろう。
- ・国は屋内の施設に住所のようなものは振らないのか。

地図上で緯度経度マッピングしないといけないわけではないと考えている。

(2) 位置情報サービスの運営上の課題（コンテンツの維持管理/運用コスト/個人情報保護/クレーム対応）

- ・様々な測位技術がある中で、個々の事業者がすべてに対応はできない。

普通ユーザが多いものから対応していくことになる。

⇒施設に合わせ、IMES など特定の測位技術をピックアップして API レベルで使えると確かによい。

- ・個人情報ではないが、位置情報については嫌がる人がかなり多い。
- ・生データのログであれば使いづらいが、解析されたものであれば使うかもしれない。ログが溜まりすぎて解析できないのが現状。全ユーザの動態管理は非現実的である。動線でその人の属性を読み取ることは難しい。会員属性と組合せのほうが楽である。

- ・エンドユーザに気持ち悪いと思われるとサービスは終わってしまう。

NAVITIME とカレログ（ともに位置情報アプリという意味で）は同じだが、印象によってユーザの反応が違う。

- ・ほんの一握りのクレマーのために 24 時間体制で監視しているが、正直やめたい。

⇒そういう意味で、情報銀行のようにユーザに個人情報の取り扱いを判断させたいというのがある。

- ・位置情報の課題として、偽装するユーザが一握りだが存在する。

ゲームなのでそこまで被害は深刻ではないが、ナビゲーションであれば深刻。

- ・施設管理者や自治体等にとってログは価値が大きいかもしれない。
- ・現状のログは結果論でしかない。予測できるとよいのだが。
- ・施設に関する基本情報として営業時間がある。

営業中の店舗だけを表示するなどしたいが、なかなかイレギュラーなケースが多くて標準化できない。

- ・食ベログやぐるナビなどを利用して2次配信している。

提供元の情報が間違っているとこちらにクレームが来る。

⇒そういった情報の交通整理ができると大変うれしい。

依頼をすると、更新されるが、モノによっては時間がかかる。

ビジネスがからむ場合は対応が大変。提供元と一緒に謝罪することも。

- ・完全無比なジオコードがあるとうれしい。
- ・施設管理者や自治体がコンテンツを管理できるツールがあるとよいと考えている。

サービスとの間で管理する存在があると、きれいなデータ、検索しやすいデータが網羅的に整ってくる。

データを格納するための統一的なフォーマットが必要である。

- ・メンテナンス、更新頻度は日時。問合せフォームから来たものについて、3名程度の体制で実施しているが、さばききれない。

WEBで真偽を確認する程度で、現地調査まではしない。

削除については間違っているわけではないので、積極的にしている。

- ・他社と協力してメンテナンスという話はあるのか？

更新情報は*****にフィードバックしている。全部が通るわけではないが。

コンテンツで競争というよりは、誰かがやればよいという発想。

ただ、採用基準がバラバラなのが課題。

- ・位置情報サービスの機能に優先順位をつけるなら、場所識別子、地理情報、マップ建物のIDを投げると、フロアマップが返却されるとうれしい。

⇒SVG（地図フォーマット）は標準化されているが、実用ベースで検証は必要。

自分たちのサービスにない情報を受け取りたい。

WEB アプリケーションから使いやすいものであってほしい。例えば REST を使う。

ソーシャル情報は便利だが、整理の仕方が難しいと感じていて使えていない。

(3) 3.11 で明らかになった位置情報提供会社としての課題

- ・震災の際、PV が非常に増えた。

災害情報にはニーズがある。今後も通行実績等を積極的に出していきたい。

- ・何気ないことでも情報を貯めておかないといけないと感じた。

そうしないと震災前後など比較することができない。

- ・津波の影響で、標高の問い合わせが増えた。そのほかにも有用な情報はあはず。

私たちは、座標から標高を返すサービスをしている。

- ・何か起こってからではなく、事前に作っておいて早期に共有できる仕組みが必要である。

ステークホルダー 4 : 建設コンサルタント会社

- ・地下街の設計やメンテナンスを行っているため、屋内空間は専門だ

- ・屋内で位置情報サービスを展開したいがリソース（費用、人材）が問題

- ・地下街など権利が複雑で図面が揃わない

- ・低予算で外部委託できるのなら、商業施設や商店街に勧めたい

- ・札幌地下街であればソリューションを提案したい

- ・地下街の整備については韓国が先進的に行っているため参考になる

ステークホルダー 5 : ユーザ

位置情報サービスの現ユーザ、将来的なユーザに対して、位置情報サービスをどのように捉えているかを把握するため、二子玉川の商業地域において表 6 に示す内容のアンケート調査を実施した（図 22 参照）。アンケートの結果を表 7 に示す。

表 6 ユーザを対象にしたアンケート調査

アンケート内容	
日 時	2011年8月11日(木) 10:00~12:00
場 所	東京都世田谷区二子玉川地域
被験者	32人(男性8人, 女性24人)
内 容	基本情報 来街頻度 モバイルの種類 モバイルの使い方 屋内位置情報サービスについて 屋内空間で不便に感じること(など全28問)



図 22 ユーザに対するアンケート調査

表 7 アンケート結果

質問内容	回答
街にいるときに、その街のタイムセール情報や、時間限定	思う 16 人
クーポンの情報が入ってくるサービスは魅力的だと思いますか.	思わない 4 人 分からない 12 人
自分の購買履歴に即して、自分にあった商品やサービスの	思う 18 人
情報が提供されるサービスは魅力的だと思いますか.	思わない 13 人 分からない 1 人
店内で買い物をしている時に、近隣にある他店のおススメ	思う 20 人
情報が提供されるサービスは魅力的だと思いますか.	思わない 12 人 分からない 0
街にきたときに、近隣で行なわれているイベント情報など	思う 18 人
の街のトピックスが提供されるサービスは魅力的だと思いますか.	思わない 5 人 分からない 9 人
街で災害が起きたときのことを考え、何か対策していますか?	している 14 人 していない 18 人
周辺の避難所がどこにあるか分かりますか?	分かる 0 分からない 32 人

以上のアンケートの結果から、屋内においてユーザの位置に連動した情報を受け取ることに対して、サービスの提供を希望するといった意見が上位となった。

手順 3：要求分析の整理

手順 2 のステークホルダー分析を通じ、位置情報サービス提供会社の現状は、多様化する測位システム環境に対応が求められていることが分かった。また、施設管理者は、新たな測位システムの環境構築や運用を独自で行うにはコストなど大きな問題があることがわかった。同様に位置情報サービス提供会社も施設管理者も、ユーザが望むようなサービスを展開したいと考えてはいるが、屋内位置情報サービスへ新規に参入するには大きな障壁があり、特に、正確な測位環境とコンテンツ（ショップ情報や屋内地図データ）の整備を行う

のは困難であることが分かった。一方で、ユーザはいま自分がいる場所に関するクーポンなど、新しいサービスに魅力を感じている反面、災害時の情報については対策が遅れていると感じている。屋内位置情報サービスの現在の問題点と、解決するための要求事項をまとめると、図 23 に示す通り「屋内地図データとショップ情報」と「屋内測位システム」の整備が必要であることが明らかになった。

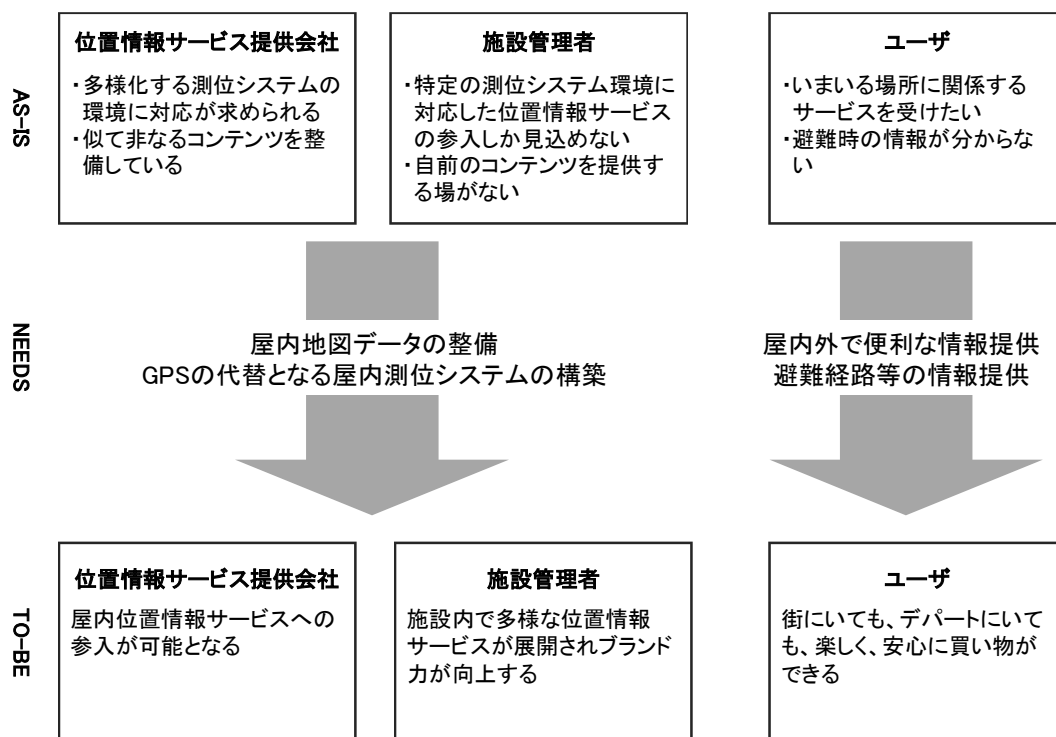


図 23 要求分析の整理

1.4 研究の目的と目標

ここまで位置情報サービスの背景と屋内位置情報サービスの要求事項について整理してきたが、本研究の目的は、屋内位置情報サービスの実現にある。図 24 は現在の屋外を中心とした位置情報サービス、主にロケーション広告や無料のナビサービスに関する、顧客価値の連鎖分析を図に表現したもの (CVCA: Customer Value Chain Analysis) [39]である。GPS を主とした測位システムを利用し、カーナビをはじめ、様々なサービスを利用している。GPS は米国民の税金によって運用されているため、我々は無料で位置情報サービスを受けることができる。屋内測位システムを実現するためには、GPS に替わる測位システムが必要となるが、技術的な課題のみならず、導入費用や運用費用といったコストを誰がどう負担するのか、といった大きな問題がある。さらには、位置精度や情報内容といった品質をどう担保するのか、といった社会のルールに関する問題もある。

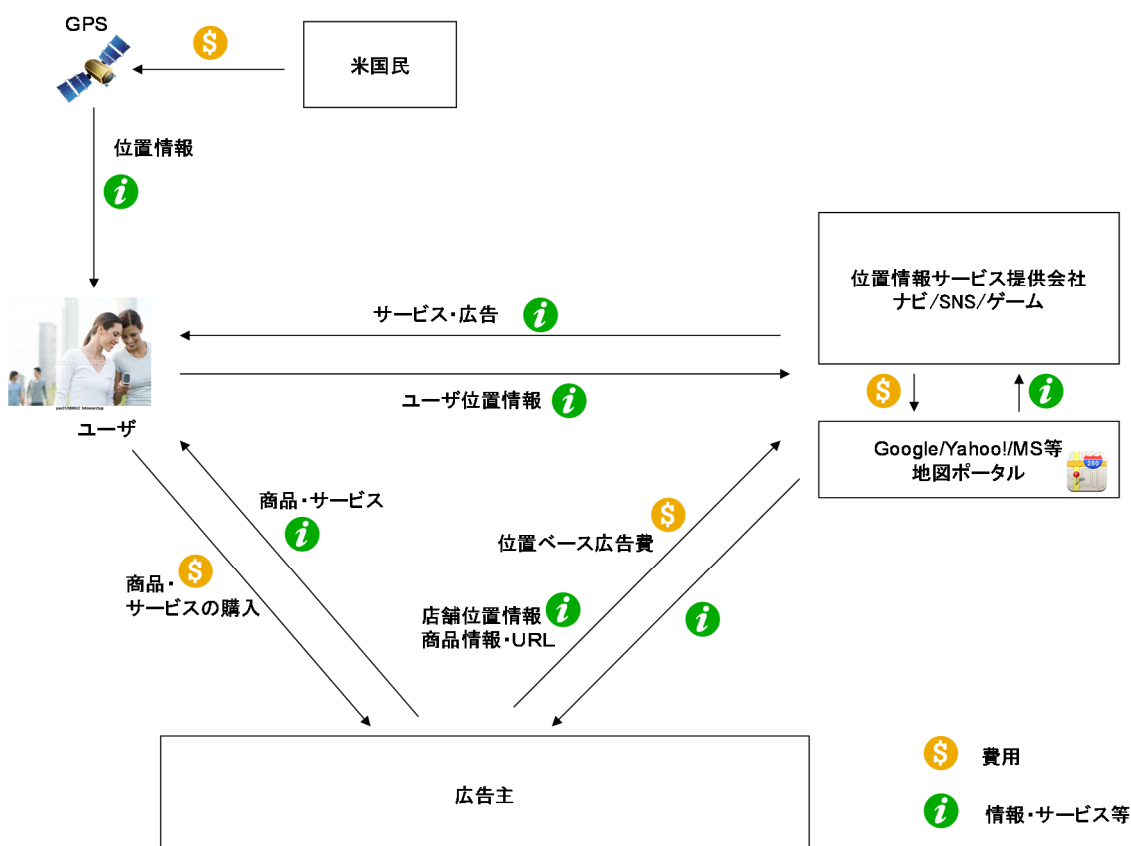


図 24 位置情報サービスの顧客価値連鎖分析(一例)

また、1章2節2項でも述べたが、屋内空間においても、測位システムと地図は表裏一体の関係にある。どちらかが欠けてしまえば、屋内位置情報サービスの実現は難しい。理想的には、屋内測位システムと屋内地図が同時に整備され、運用されることが望ましい。しかし、屋内測位システムのインフラ整備には前述のような大きな問題がある。そこで、本研究は、図25に示す通り屋内位置情報サービスの実現という目的に対し、地図といった人類共通のコミュニケーションツールの中でいまだ実現していない「屋内地図データの作成手法」といった課題を解決することを、第一の目標（研究目標1）として取り組むこととした。具体的には、屋内地図データを容易に作成することができる新しい方法について明らかにし、作成した屋内地図はインターネットや携帯端末を用いて、いつでも、どこでも利用できるデータと作成し、その有用性について考察する。そして研究目標2は、屋内地図データを目で見るのが困難な場面や、視覚障害者を想定し、屋内地図データを適用した音声による経路案内システムを開発し、屋内空間での歩行支援の問題を解決することとした。音声経路案内システムは実際に視覚障害者に使ってもらい、その有用性を確認し考察する。

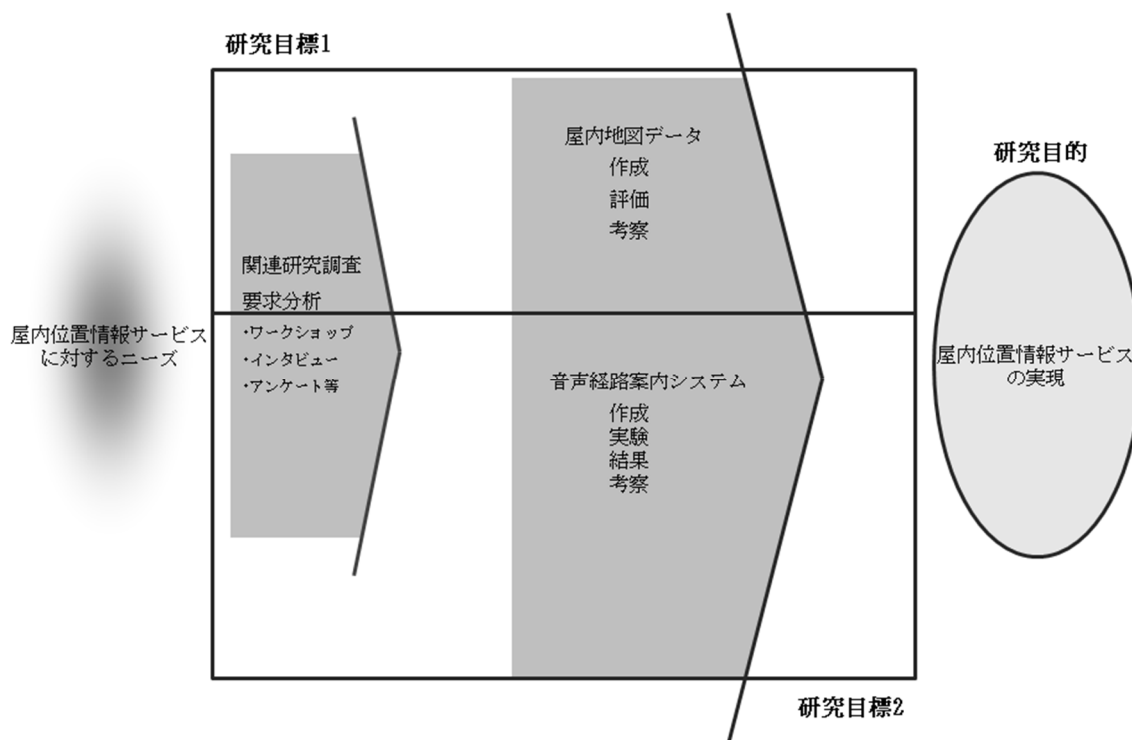


図 25 本研究のスクープ

2 章 屋内地図データの作成手法

2.1 屋内地図データの作成手法を提案するにあたり

前述の通り、GPS の民生への開放と地図データのフリー公開により、位置情報サービスは多くの分野で利用が進んでいる。しかし、その提供範囲は屋外空間が殆どであり、さらなる位置情報サービスの発展のためには、屋外のみならず誰もが利用できる屋内の地図データベースが必要となる。米国ではショッピングモール等のデータベース化が始まっているが、日本における整備は殆ど進んでいない。屋外が公共空間であることに比べ、屋内空間は権利が複数に跨ることもあり、データベースとして一元化し、整備するのは難しい。この課題に対する本研究のゴールは、地図ポータルサイトに屋内地図データを組み込み、運用することである。それに対し本章では、法務局が管理している「各階平面図」を利用した容易に屋内地図データベースを作成できる手法を提案し、既存の地図ポータルサイトをベースにして、屋外から屋内をシームレスに移動できる経路探索システムを実装する。屋外と屋内地図データを正確に重ね、ネットワークを繋ぐことにより、地図ポータルサイトとの親和性について評価する。

本手法の実現にあたっては、まず初めに、屋内地図の適切な表現方法について調査をし、屋内地図に必要な要素を明らかにした。次に、屋内地図データの作成手法について調査をし、課題を抽出した。その上で、屋外と屋内のシームレスな利用の実現について検討した。

2.1.1 屋内地図の表現方法

本研究ではまず、屋内地図の調査対象として公共性が高く、地図の更新頻度が比較的頻繁であるという理由から、デパートやショッピングセンターといった商業施設の屋内地図について対象を絞って調査した。一般に商業施設では紙ベースのフロアマップ（フロアガイド、フロアプランなど呼び方は様々あるが、本論文ではフロアマップで統一する）が配布されているが、表現されている文字や記号、スケールや方位が統一されていないため、利用者に対して適切な情報伝達が行われているとはいえない [40]。そこで利用者が屋内地

図に対しどのような表現方法を求めているのか、調査とアンケートに基づき分析を行った。具体的な手順を、以下4つのステップで記述する。

手順1：フロアマップの要素の分類

はじめに、社団法人日本ショッピングセンター協会のショッピングセンター一覧表を利用して、首都圏内にある50の商業施設のフロアマップを入手し、地図表現に有効となる要素を分類した。その結果、フロアマップに共通する要素として、ショップ名等を示す文字や凡例、トイレや非常口を示すピクトグラム、スケール、出入口等を示す方向、カラーがあることが分かった(表8)。また分類していく中で、ショップ名はマップに文字を配置するだけでなく、インデクスとして表記していることや、屋外地図には重要となるスケール、例えば「縮尺1/2500」といった数値を示したフロアマップが少ないことが分かった。

表8 フロアマップの要素分類

要素	要素が表現されている商業施設の数(Total 50)
文字(ショップ名)	30
凡例	20
ピクトグラム	50
スケール	2
出入口/方向	45
カラー	40

手順2：フロアマップの要素水準の設定

次に、ピクトグラムは全てのフロアマップに含まれていることから必須と見なし、要素を文字と凡例、スケール、出入口と方向、カラーの4つに絞り込む。さらに、その要素に対して表9の通り水準を設定し、最も重要度が高い要素と魅力的な要素の水準を見つけ出すことに適した、コンジョイント分析[41]を採用した。

表 9 フロアマップの要素と水準

要素		水準	
文字/凡例	多い	中	少ない
スケール	大	中	小
出入口/方向	3 方向以上	1 方向	方向なし
カラー	4 色以上	3 色	2 色

手順 3 : アンケートの実施

コンジョイント分析を行うために、L9 直交表を使用したアンケートを設計し(図 26)、121 人に対してオンラインのアンケートを実施した(表 10)。アンケートは最初、表 11 に示す 4 つの要素に対し、異なる水準をもったフロアマップをサンプルとして見てもらった。同時に被験者に要素と水準について説明した後、図 26 の 9 つの設問に回答してもらった。

手順 4 : 分析の結果

最後にアンケート結果からコンジョイント分析を行い、屋内地図の表現に有効となる要素について明らかにする。表 12 に示す通り、フロアマップの要素として出入口/方向の重要度が最も高いことが分かった。また、出入口が 4 箇所以上表記されるフロアマップが最も魅力度が高いことが分かった。このことから、本研究で作成する屋内地図にはショップ名など文字だけでなく、出入口/方向をいかに分かりやすく表示するかを重視することとした。

	1 とても分かりやすそう	2 分かりやすそう	3 どちらとも言えない	4 分かりにくそう
1. 文字が多い × スケールが大きい × 出入口が4箇所表記 × カラフル →	○	○	○	○
2. 文字が多い × スケールが中位 × 出入口が2箇所表記 × 3色カラー →	○	○	○	○
3. 文字が多い × スケールが小さい × 出入口が未表記 × 白黒 →	○	○	○	○
4. 文字は普通 × スケールが大きい × 出入口が2箇所表記 × 白黒 →	○	○	○	○
5. 文字は普通 × スケールが中位 × 出入口が未表記 × カラフル →	○	○	○	○
6. 文字は普通 × スケールが小さい × 出入口が4箇所表記 × 3色カラー →	○	○	○	○
7. 文字が少ない × スケールが大きい × 出入口が未表記 × 3色カラー →	○	○	○	○
8. 文字が少ない × スケールが中位 × 出入口が4箇所表記 × 白黒 →	○	○	○	○
9. 文字が少ない × スケールが小さい × 出入口が2箇所表記 × カラフル →	○	○	○	○

図 26 アンケート画面

表 10 アンケート内容

テーマ	フロアマップの見やすさについて			
調査方法	オンライン(株式会社ドゥ・ハウス「my アンケート利用」)			
期間	2010年9月24日 - 2010年9月28日			
サンプル数	121(送付数: 600)			
性別	男性: 59(48.8%) 女性: 62(51.2%)			
年齢	20-29:12(9.9%) 30-29:37(30.6%) 40-49:36(29.75%) 50-59:30(24.8%) 60-69:4(3.3%) 70-:2(1.65%)			

表 11 フロアマップのサンプル

	文字/凡例	スケール	出入口/方向	カラー
A 東京ミッドタウン	多	中	3方向以上	多色
B 玉川高島屋	少	大	方向なし	3色
C クイーンズ伊勢丹	普通	小	1方向	多色
D 赤坂 Biz Tower	普通	中	3方向以上	2色

表 12 コンジョイント分析の結果

文字/凡例	スケール		出入口/方向		カラー	
多い	0.286	大きい 0.264	4箇所以上	0.586	多色	0.25
普通	0.125	中位 0.154	2箇所	0.413	3色	-0.06
少ない	0.158	小さい 0.161	0箇所	0.151	白黒	0.23
	(12.71%)	(5.44%)		(42.39%)		(39.46%)

※ 数値は効用値……その水準に対する魅力度 () 内は寄与率……各要素の重要度

2.1.2 従来の屋内地図作成手法

屋外の地図作成は空中写真を元に図化をする航空写真測量が主流となっているが、屋内の地図は上空からの撮影が困難であることから作成手法が限定される。現状では、台車にレーザスキャナやカメラを搭載して計測するMMS(Mobile Mapping System)を応用した研究[42]や、ロボットの自己位置推定と地図構築を同時に行なうSLAM(Simultaneously Localization And Mapping)の事例が報告[10]されている。また、建築図面として作成されたCADを流用する方法[37]も報告されている。MMSを応用した事例ではTrimbleが2011年に「Trimble Indoor Mobile Mapping Solution[43]」を発表しているが、例えば商業施設を計測する場合、カメラ映像に写った人や広告を削除する後工程での作業コストや、計測する時間やエリアが限られるといった作業上の制限がある。一方、高精度なCADを流用することができればコスト面では有利だが、引き出し線など不要なオブジェクトが多く、地理的座標を持たないデータがある、といった課題がある。この課題は経済産業省が開発した「世界測地系座標変換ツール」[44]（図27参照）を利用することで技術的には解決できるが、CADデータの所有者を探し出すコストの問題や、仮に探し出せたとしても、複製の許可を得ることができるのか、といった権利やセキュリティの課題が残る。

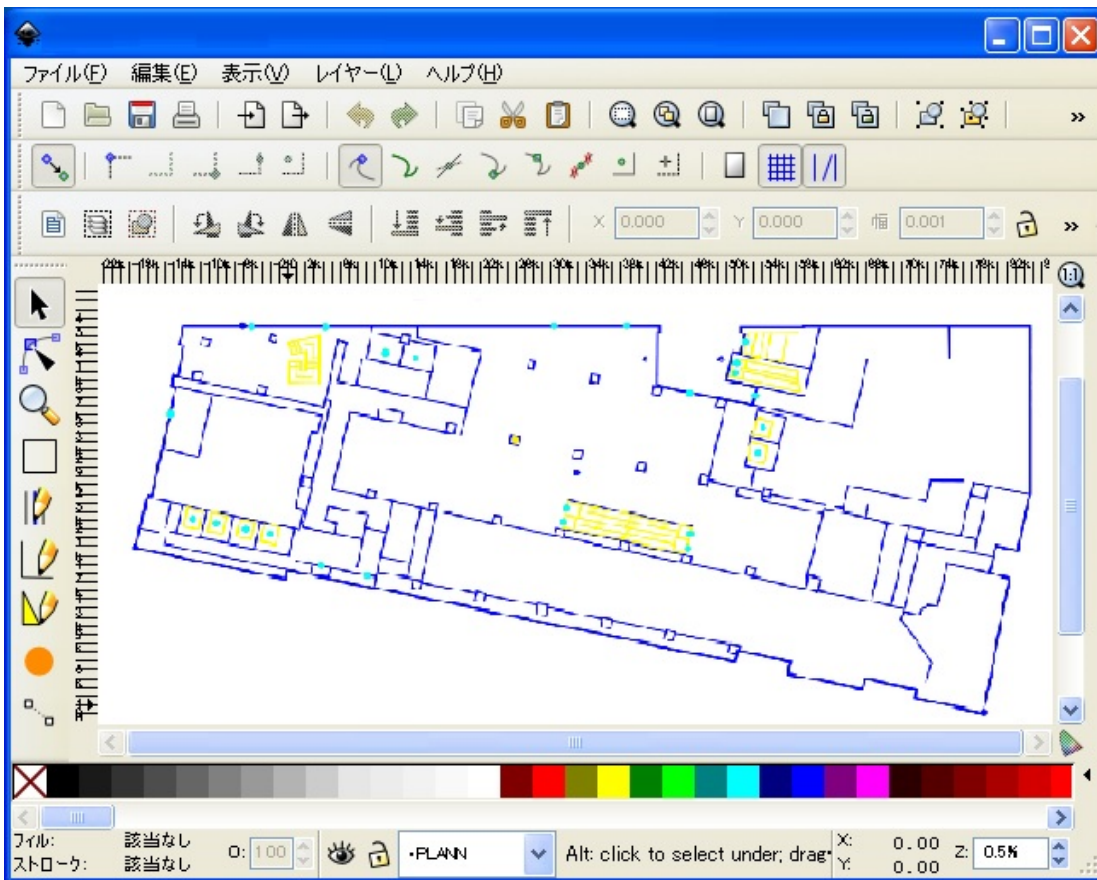


図 27 世界測地系座標変換ツール

2.1.3 屋外・屋内のシームレス化の必要性

既に何度か述べているように、屋外空間における位置情報サービスは利用が進んでいるが、屋内空間における位置情報サービスは実現していない。屋外と屋内空間をシームレスに繋ぐことができれば、歩行者ナビゲーションや子供や高齢者の見守りサービスの実現範囲が広くなり、さらに役立つ可能性がある。そのため屋内測位技術の研究開発が進められているが[45]、屋外地図と屋内地図のシームレス化も重要な課題である。屋外と屋内の地図データが異なることは、利用者にとって利便性が損なわれる恐れがあるためである。例えば、我々がデパートやショッピングモールに出掛ける際には、運営主体の Web サイトなどで詳細情報を事前に確認することができる。しかし、運営主体ごとに屋内地図を用意していることから表現方法が異なり、正確な位置を把握できない場合がある。これは前述し

た紙ベースのフロアマップと同様の問題であるが、デジタルであってもファイルフォーマットが「image」、「PDF」や「Flash」と混在し、使い勝手が悪い。一方、図 28 の通り地図ポータルサイトを使えば、ショッピングモールの正確な位置や周辺状況を確認することができる。しかし、地理的に隣にあるショッピングモールの情報を確認する時には、運営主体が異なることから、再度、サーチエンジンからショッピングモールの運営サイトを検索する必要がでてくる。これではオペレーションが複雑になり、利用者に負担がかかってしまう。

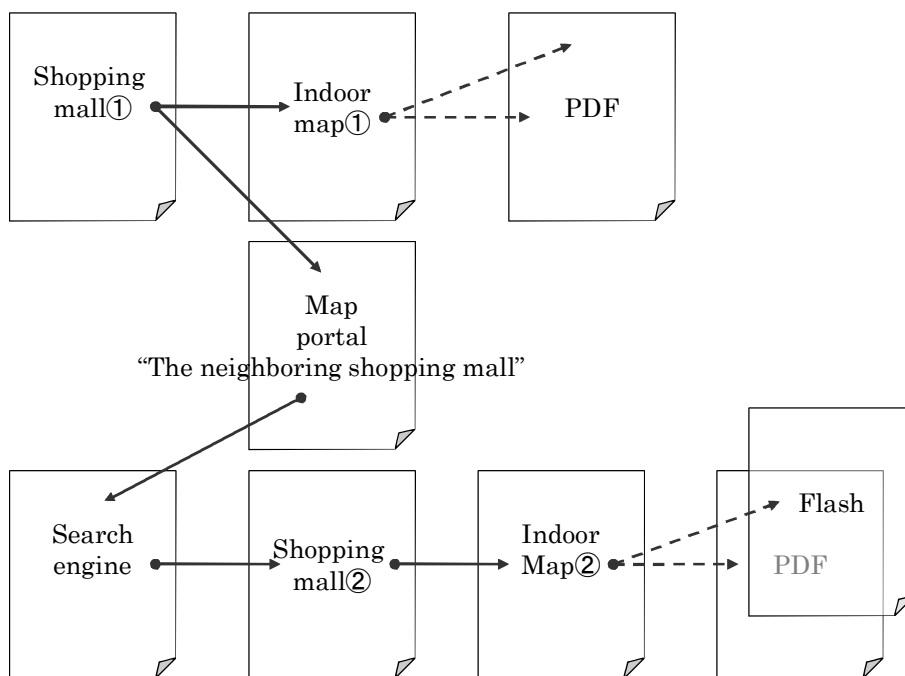


図 28 現状の屋内地図検索の Web 遷移

2.2 平面図を用いた新しい屋内地図データの作成手法

現状の屋内地図データ作成手法の課題を解決するために、新しい屋内地図作成手法の設計を行った。次に本手法を用いて、東京都港区にある「東京ミッドタウン」の屋内地図を対象にして実装した

2.2.1 屋内地図データ作成手法の設計

屋内地図データを構築する方法として、建物の登記の際に添付する各階平面図を使った新しい手法を提案する。各階平面図は「一個の建物の各階ごとの平面の形状を明らかにする図面」と不動産登記法（不動産登記規則）で定められており、日本では2010年の改正により、縮尺が250分の1といった高い精度の作成が原則規定されている[46]。また、各階平面図には寸法も記載されている（図29参照）。建物を登記することは、国が固定資産税や都市計画税を徴収するための現況把握が第一の目的であり、不登記には罰則を定めている。

各階平面図は2013年7月時点、オープンデータとして公開されているわけではない。しかし、各階平面図は設計図面の一部であり、登記を目的とした図面であることから、獨創性を主張した著作物として保護するのは難しいと考える。もし、著作物であるとすれば、作成者（建築事務所等）が法務局に提出する際に、著作権の譲渡や放棄を確認しなくてはならないが、明確な決まりがない。さらに、その二次利用についても明記されていない。この点について東京法務局に確認をしたところ、法務局として著作権を主張することはなく、二次加工を制限することもないという見解を得た。このように著作権について完全にクリアはされていない点はあるものの、各階平面図を用いて商業施設の屋内地図データ作成の利点を整理すると、以下の3点となる。

- 利点1：各階平面図は誰もが入手することができる
- 利点2：現地調査せず高精度の屋内地図を作成できる
- 利点3：日本全国の屋内地図データを作成できる可能性が高い

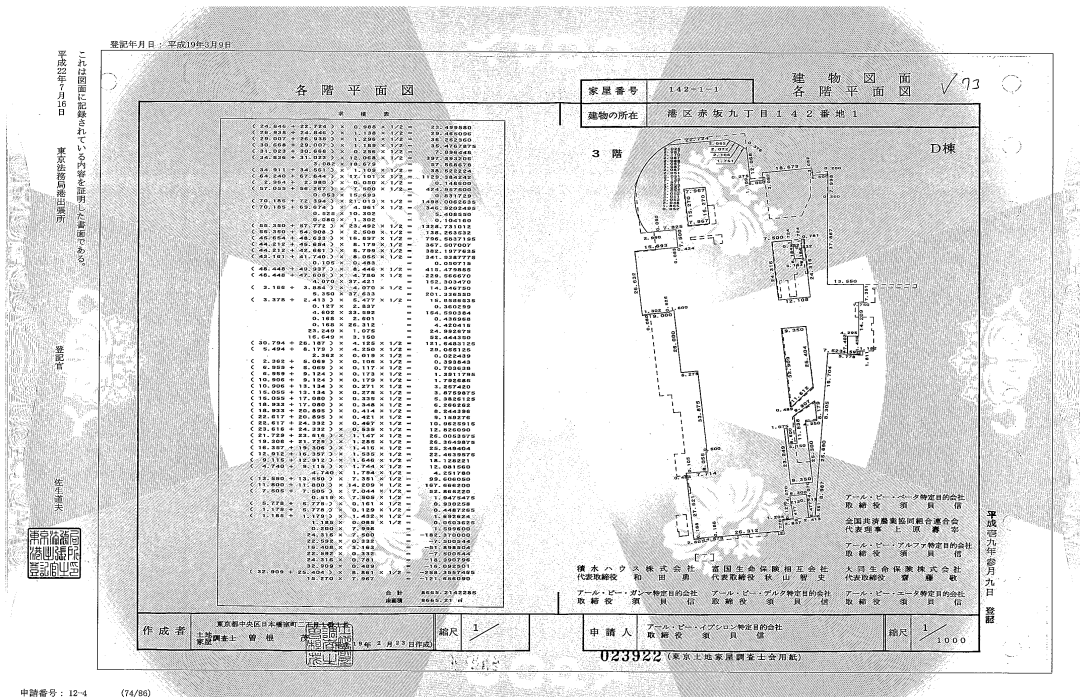


図 29 各階平面図

説明：図右側の平面図には壁の形状，エレベータ，エスカレータと形状が示されており，寸法も表記している．図左は求積表．

屋内地図を作成するにあたり，フロアマップの要素を含み，かつ既存の地図ポータルサイトとシームレスにネットワークを繋げることを考慮し，屋内地図データの設計をする(表13参照)．設計にあたり，前述した IndoorGML で提案されている記述方式を参考にした．屋内地図データの要素としては建物情報と POI(Point Of Interest)情報，そして経路探索に要するネットワークから構成される．建物情報の形状は屋外とは異なり，壁により仕切られている部屋のような空間になるが，ポリゴンデータとして表し，ショップやトイレを識別するカテゴリ情報を含む．POI 情報にはポイントデータとしてショップ名，ショップカテゴリ情報，名称，電話番号が含まれる．ネットワークデータには建物やショップの出入口といったノードに加え，エレベータやエスカレータ，階段など屋外の道路にあたる移動通路をリンクとしている．また，エレベータやエスカレータ，トイレ等を示すアイコンは JIS Z8210 の標準案内用図記号を用いた．

表 13 屋内地図データベースの構成と内容

要素	型	内容
建物情報	ポリゴン	カテゴリ(ショップ/トイレ/エレベータ/エスカレータ/階段/他)
POI 情報	ポイント	ショップ名, ショップカテゴリ(レストラン/ファッション/インテリア/サービス/他), カナ, 電話番号
ネットワーク	ライン (リンク)	通路, 階段, エスカレータ, エレベータ
	ポイント (ノード)	建物の玄関, ショップ出入口, ショップ中心点, エスカレータ・エレベータ昇降箇所/階段, Google Maps の終点ノード

次に、屋内地図の作成手順を図 30 に示す。はじめに法務局に保管されている各階平面図を入手し、スキャナーで読み取りラスターデータにする。ここで画像処理ソフトウェアを利用し、フォーマットを変換し、不要な画像を削除する。次に前述した「世界測地系座標変換ツール」を参考にして、GIS ソフトウェアからジオリファレンス(地理的座標の付与)を行う。さらにラスターデータからベクターデータに変換するが、この処理は GIS ソフトウェアで自動的に行うことができる。変換後は、引き出し線など不要な情報を目視で消去する。次に、紙のフロアマップを入手して、ショップの境界線や通路の情報を参考に追加する。さらに、ショップ名やトイレ、エレベータなど位置に紐づいた情報、POI を追加する(図 31-32 参照)。最後にフロアのネットワークデータを作成するが、この時、屋外と屋内を繋ぐ玄関ノードを用意する。また、屋内ではフロア階の移動が重要になるため、階段、エスカレータやエレベータといったノードを追加する(図 32 参照)。以上により、各階平面図から屋内地図データが作成可能となる。

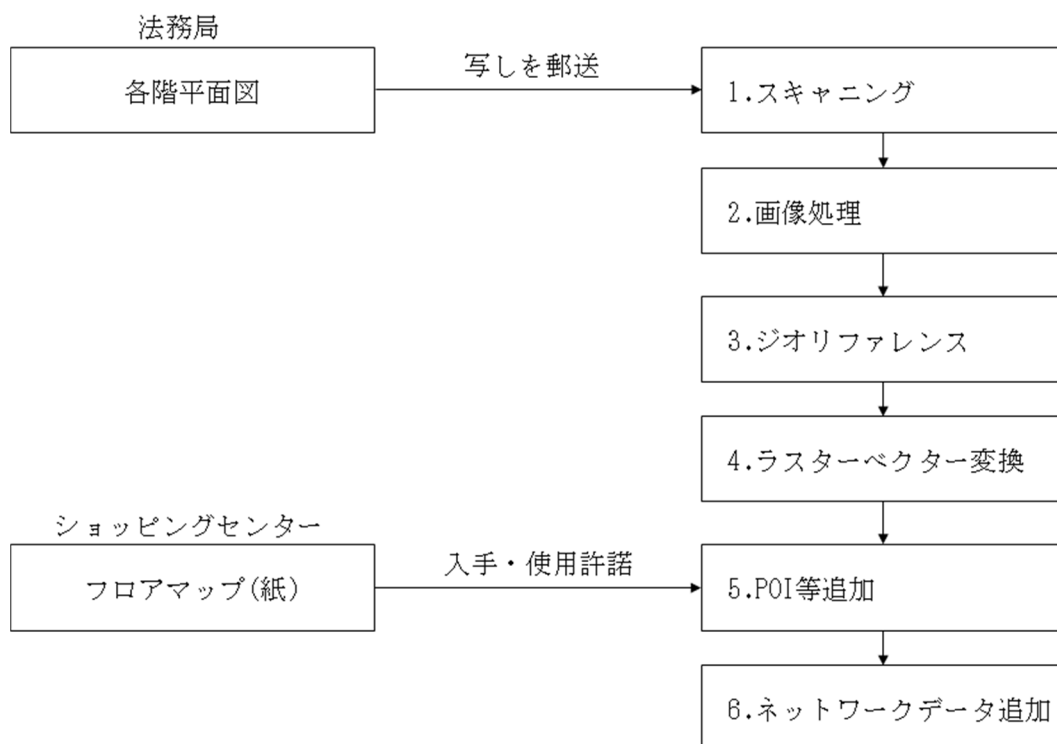


図 30 本手法における屋内地図作成手順

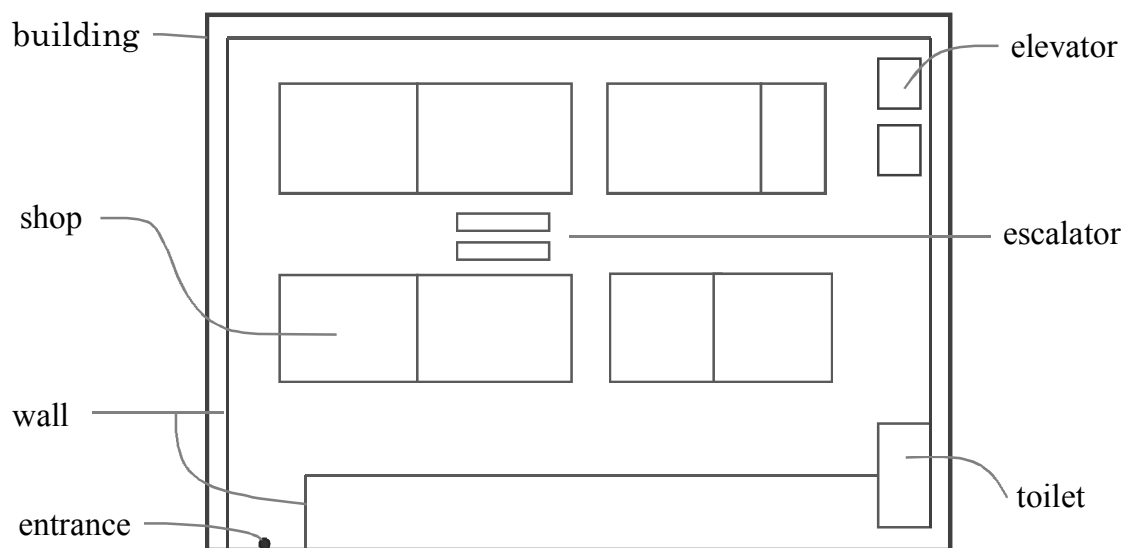


図 31 屋内地図のデータ構造 (平面)

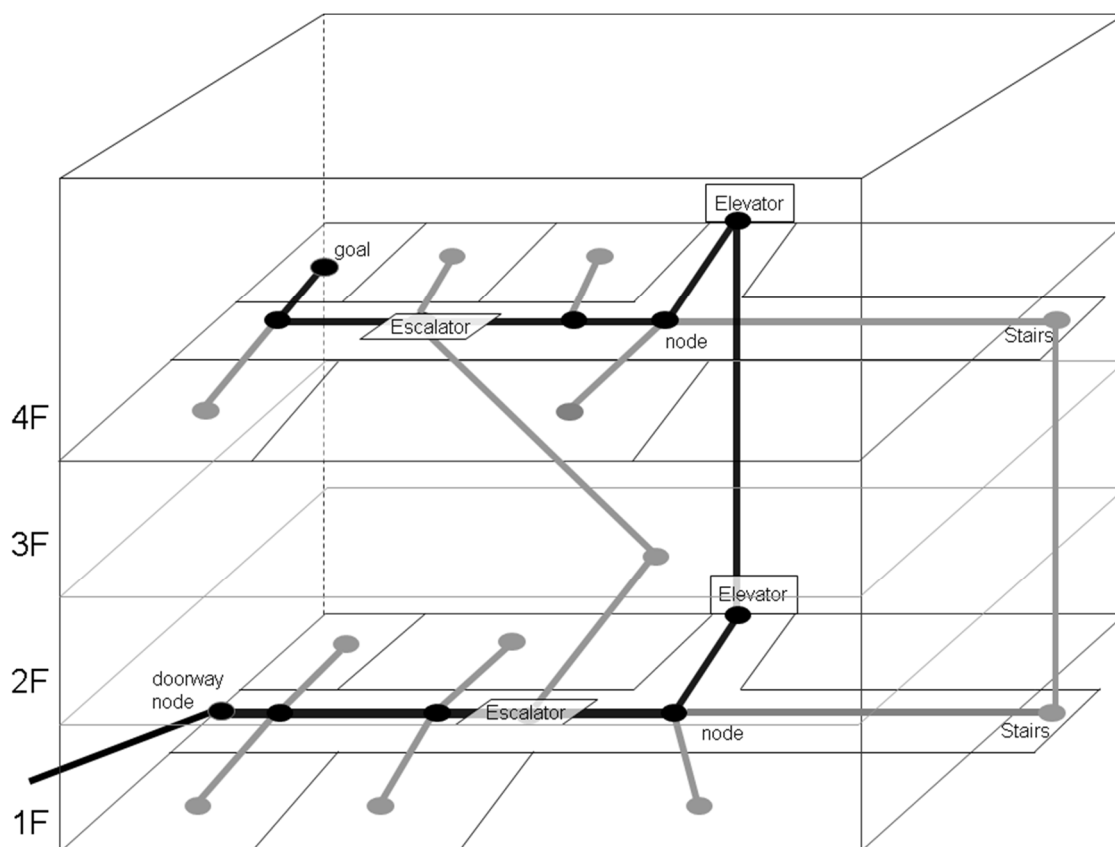


図 32 屋内地図のデータ構造 (ネットワーク)

一方、屋外・屋内地図のシームレス化の課題であるが、屋内地図データを地図ポータルサイトへ組み込む方法を提案する。作成した屋内地図は、地理的座標を持ち、かつ、高い精度を保持している。そのため屋内地図データを地図ポータルサイトで読み込めるデータフォーマットに変換することができれば、正確に地図同士を重ね合わせることが可能となり、図 33 の通り、地図ポータルサイトから複数の屋内地図やショッピングモールへのオペレーションは単純化される。

筆者はこの地図ポータルサイトに屋内地図データを正確に組み込むことが、屋外と屋内地図のシームレス化の第一歩だと考えている。

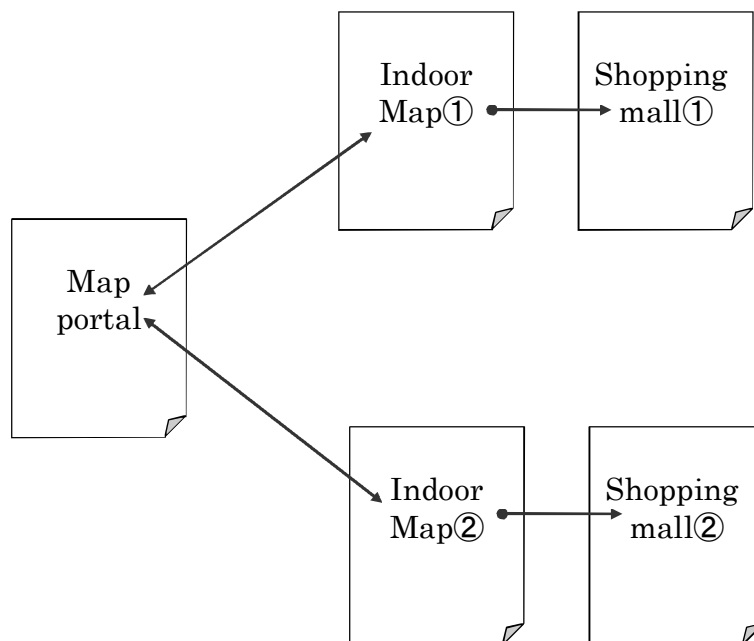


図 33 地図ポータルサイトからの Web 遷移

2.2.2 屋内地図データの実装

本手法を用いて実際に屋内地図データを作成した。はじめに、資料として東京法務局より東京ミッドタウンのD棟(ガレリア)各階平面図と、東京ミッドタウンの現地にてフロアマップ「東京ミッドタウンフロアガイド[47]」を入手し、東京ミッドタウンのカスタマーセンターにメールで連絡を取り、使用許諾を得た。作成に当たっては、表 14 に示した通り、パーソナルコンピュータに、GIS ソフトウェア、画像処理ソフトウェアをインストールし、表 13 に示した屋内地図データの構成と図 30 に示した作成手順に従い作成した。その結果、図 34 に示すように東京ミッドタウンのガレリアの屋内地図データが完成した。

表 14 屋内地図作成環境

コンピュータ	インテル Core 2 Duo プロセッサ P8700 (2.53 GHz)
OS	Windows Vista Home Premium
GIS ソフトウェア	ArcGIS 10 [48]
画像処理ソフトウェア	GIMP2.6.11
スキャナー	DocuCentre II 600×600dpi
データ	各階平面図, フロアマップ

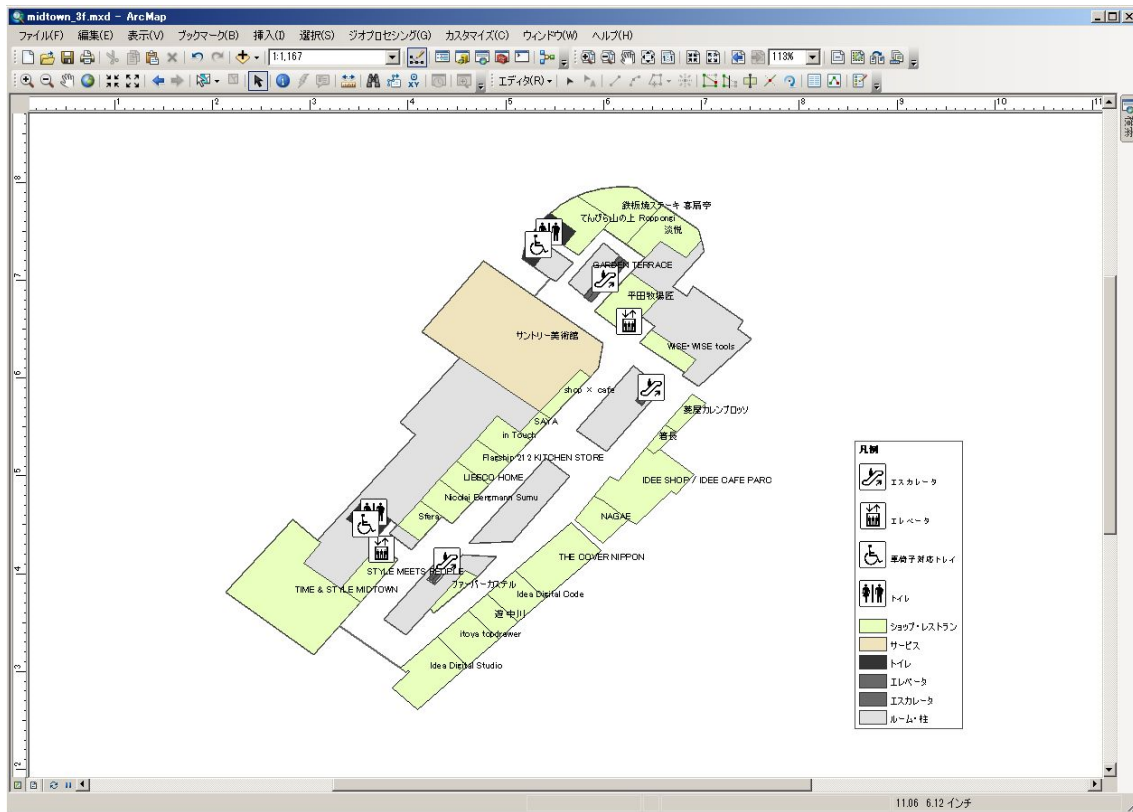


図 34 完成後の屋内地図データ

2.3 地図ポータルサイトへの適用とアプリケーションへの展開

2.3.1 地図ポータルサイトへの適用(シームレス化)

本手法によって作成した屋内地図は様々な適用事例が考えられる。例えば、ショッピングセンター内を案内しながら、QRコード等を使ってクーポンを発行する広告配信サービスや、ショッピングをすることでポイントを獲得するといった位置情報ゲームなどに応用できる。また今後、屋内測位技術の精度が高くなれば、前述した歩行者ナビゲーションや、子供や高齢者の見守りサービスの実現性も高くなる。このようなナビゲーションや行動履歴の分析を行うためには、屋外地図と屋内地図を正確に重ね合わせ、ネットワークをシームレスに繋ぐ必要があるが、作成した屋内地図であれば、地理的座標で作られているため屋外地図と正確に重ね合わせることが出来る。またネットワークデータとして、建物の出入口やショップの中心点にノードを、通路や階段にリンク情報を実装していることから、屋外と屋内をシームレスに結合することも容易である。そこで本研究では、今回作成した屋内地図を既存の地図ポータルサイトにマッシュアップし、経路探索を可能とするアプリケーションを実装した。具体的な実装手順を、以下4つのステップで記述する。

手順1：地図ポータルサイトへの重ね合わせ

地図ポータルサイトとしてGoogle Mapsを利用し、屋内地図としてあらかじめシェープファイルから変換したKML(Keyhole Markup Language)ファイルを、重ね合わせる(図35参照)。

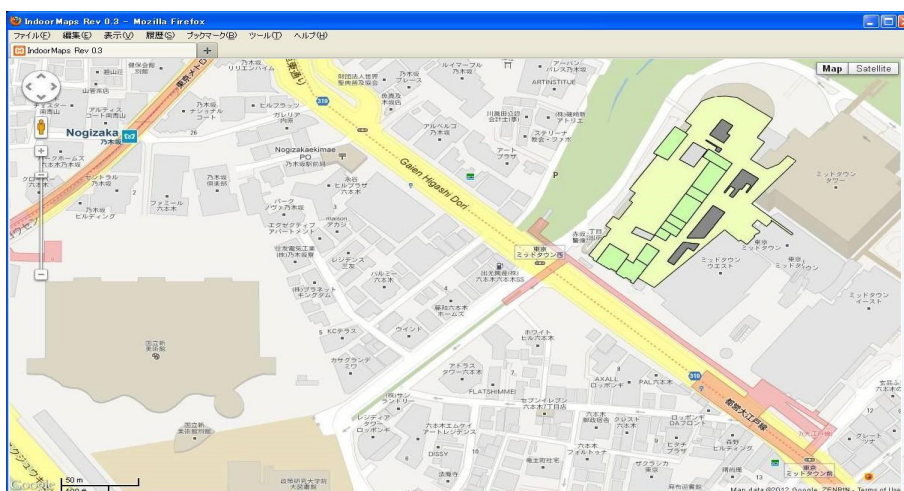


図 35 Google Maps への屋内地図の重ね合わせ

手順 2 : 屋内の経路探索処理

オープンソースである GIS ソフトウェアの MapServer [49] と PostGIS [50], 経路探索エンジンとして pgRouting [51] を利用し, 屋内地図の経路探索処理と経路の描画処理を行う (図 36 参照). 経路探索のアルゴリズムは pgRouting に実装されているダイクストラ法をベースにしており, pgRouting から返ってくる経路を KML に変換して表示する.

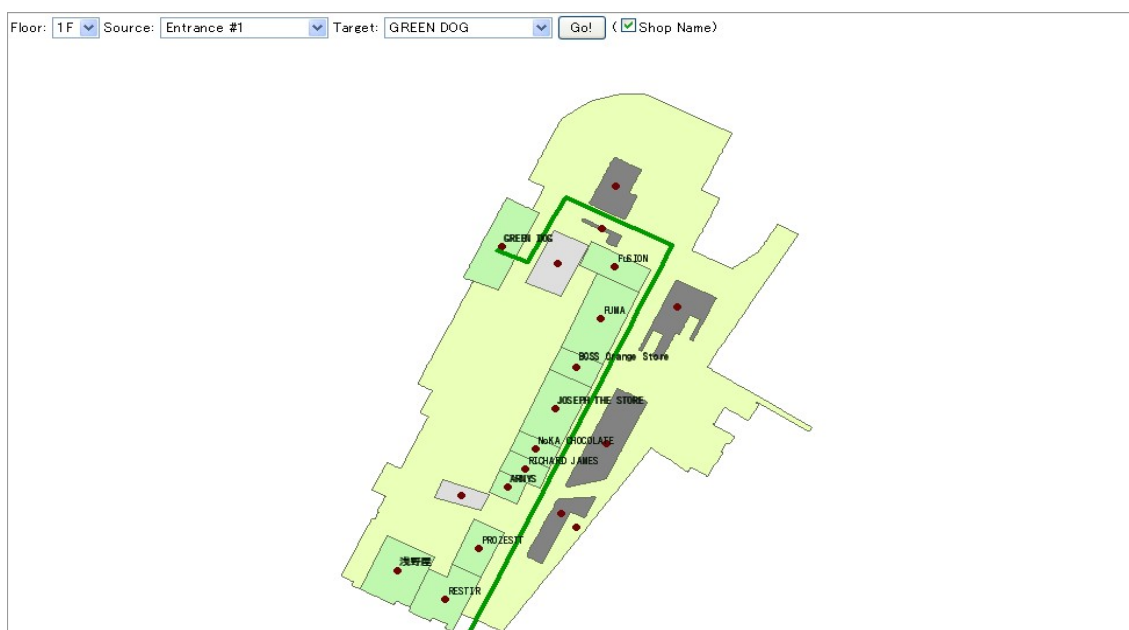
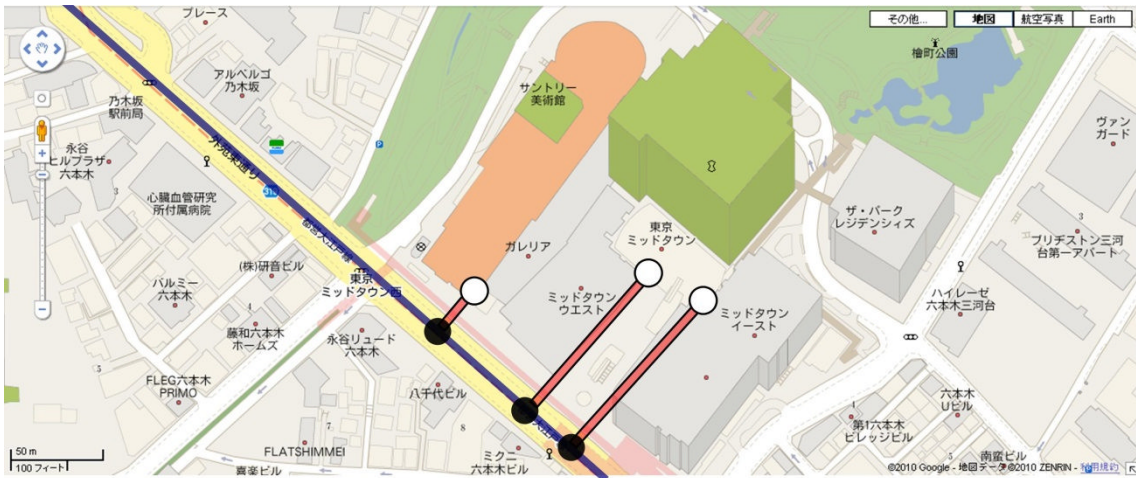


図 36 屋内経路探索結果

手順 3 : Google Maps ノードとのリンク

屋外と屋内のルートを繋ぐ処理として, 表 13 に示したデータベースに格納した Google Maps の終点ノードと, 建物の玄関ノードを繋ぐリンクを発生させる (図 37 参照). Google Maps の経路探索システムは, 終点ノードをランドマーク (建物名等) もしくは, 座標で指定することができるが, ランドマークの場合, 建物の玄関から遠い位置にノードがある場合がある. そのため今回は, 建物の玄関に最も近く, かつ経路上に位置する座標点を終点ノードとし, あらかじめデータベースに登録している.



- Google nodes
- doorway nodes
- links

図 37 屋外と屋内の疎結合

手順 4：屋外と屋内ネットワークの疎結合

玄関ノードによって、屋外と屋内のネットワークを疎結合させる。これにより、例えば、乃木坂駅から東京ミッドタウンのギャラリーにある「GREEN DOG」までの屋外と屋内のシームレスな経路探索が可能となる(図 38 参照)。

以上が経路探索システムの実装手順であるが、手順に沿った内容で、システムの構成とデータの受け渡しについて、図 39 にまとめる。

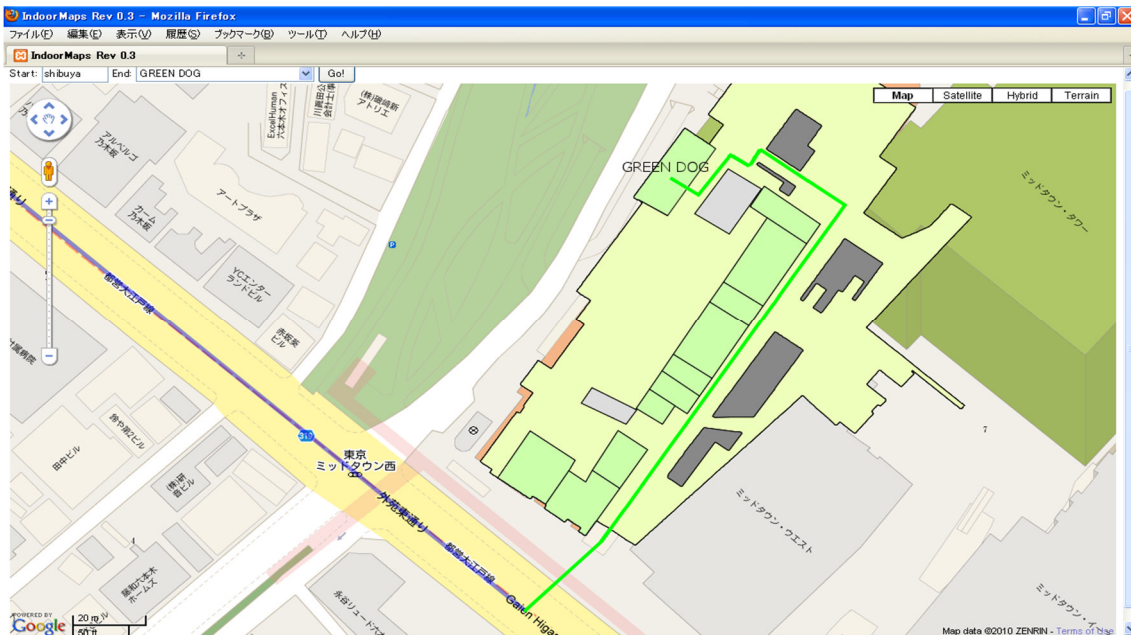


図 38 シームレスな最短経路

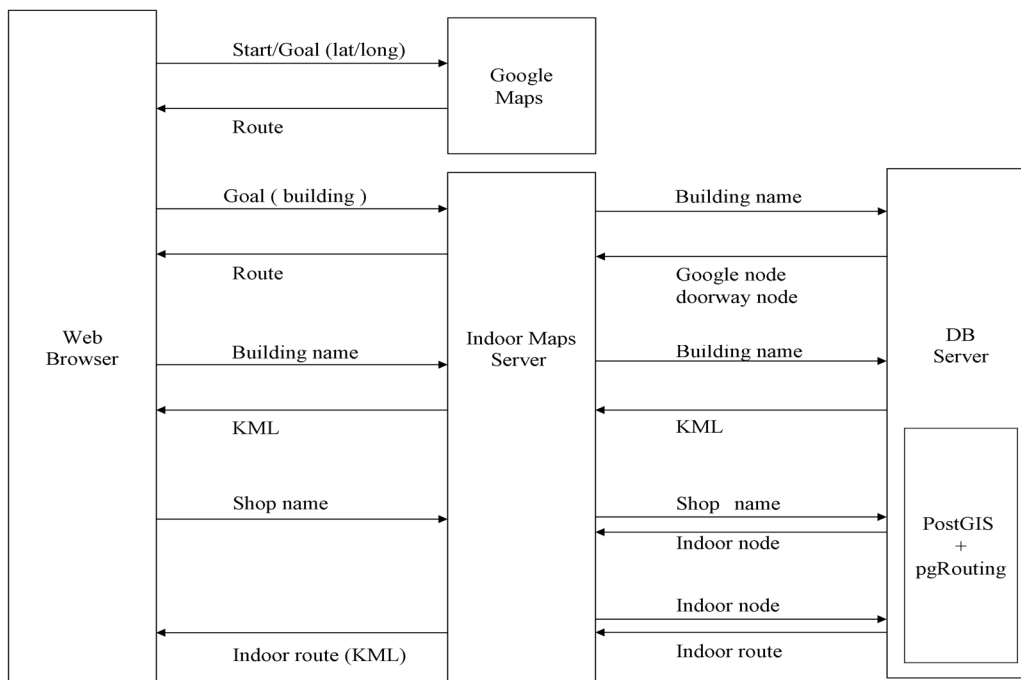


図 39 経路探索システムのシステム構成

2.3.2 屋内地図アプリケーション「Indoors」

本手法の有用性を確認するための一つとして、東京都内の商業施設を対象に本手法を適用した屋内地図を作成し、アプリケーション「Indoors (インドアーズ)」を Apple Store (アップルが運営する、iPhone・iPod touch・iPad 向けアプリケーションのダウンロードサービス) に 2011 年 11 月にフリーで公開した (図 40 参照)。作成した商業施設は、

- ・ 東京ミッドタウン
- ・ 六本木ヒルズ
- ・ 丸ビル
- ・ 新丸ビル
- ・ 赤坂 Biz タワー
- ・ コレド室町
- ・ コレド日本橋
- ・ 二子玉川ライズ

の計 8 つの商業施設である。



図 40 Apple Store に登録中の「Indoors」画面

Indoors の機能だが、利用者は現在位置から近い商業施設を検索することができる。商業施設を選択すると、商業施設内のショップリストがフロア毎に表示される。利用者はショップ名を選択すると Google Maps 上に屋内地図が重なった形で表示される。同時に、ショップの位置にバルーン型のアイコンが表示される(図 41 左参照)。アイコンをタップすると、ショップのカテゴリ(レストランや雑貨など)と電話番号が表示される。さらに、チェックインを選択すると、Twitter や facebook といった SNS に連携し、メッセージを送ることができる。また、商業施設内において、ショップからショップまでの移動経路を探索することもできる(図 41 右参照)。

公開から1年半後の2013年5月現在、indoors のダウンロード数は900超である。特別な宣伝はしていないが、コンスタントにダウンロードされ、かつ毎月百人前後のアクセスがあることを確認できた。



図 41 Indoors の画面イメージ

説明：地図ポータルサイトに屋内地図を重ね、ショップの内容を表示(左図)、ショップとショップの移動経路を計算(右図)している

また、Indoors を AppStore に公開したことで、メールを通じ国内外から数件の反応があった。著作権や情報源に関する問い合わせもあったが、最も多かったものは、広告配信サービス業者からの連絡で、自社の広告サービスと屋内地図データのタイアップに関する話しである。具体的には、位置情報をベースにした広告配信で実績のある複数の会社から、屋外だけでなく屋内でも広告配信を実現したいので、屋内地図の提供や広告配信モジュールを組み込むことを検討して欲しい、といった内容である。屋内空間で利用者の位置が正確に分かれれば、広告効果は向上するだろう。なぜなら、駅や地下街にある商業空間は利用者との距離が近い場所にあるからである。しかし、Indoors は iOS（アップルが開発・提供する OS）による測位システムを利用しているため、屋内における測位精度は高くない。そのため、現状のままでは広告効果を出すのは難しい。後述する、より高精度な屋内測位システムの普及が望まれる。

一方、屋内地図データはビジネスとして利用されるだけではない。歩行者の利便性や安全性の確保といった公共性の高い利用方法も考えられる。また、一度利用が始まれば、データの更新を確実に行っていく必要もある。そのため、例えば、国や地方自治体と一緒に屋内地図データを整備・維持する方法を模索する必要があると考えている。

2.4 屋内地図データ作成手法の評価

各階平面図を利用した屋内地図データの作成手法について、その特徴である「容易に作成できる」、「地図ポータルサイトの親和性」の2つの視点から評価と考察を行う。

はじめに、屋内地図データの作成について必要となる「各階平面図」と「フロアガイド」であるが、今回は容易に入手することができた。また、図 30 に示した作業について、フロア階毎に地図の要素数と作成時間をまとめた(表 15)。「東京ミッドタウン」のガレリアは、一部の形状が曲線となっているなど、やや複雑なため、作成には一定時間かかるものの、作成手順 2 から 4 の作業の大半はソフトウェアで自動処理できる。一方、作成手順 5 の POI 等追加と 6 のネットワークデータ追加はフロアマップを見ながらの手作業になる。そのため表 15 に示す通り、POI 等とネットワークデータのデータ量に応じて、作業時間が変動した。

表 15 東京ミッドタウンの作成評価

	建物情報 ポリゴン/バイト数	POI 等の情報 ショップ数/バイト数	ネットワーク ノード数/バイト数	作成時間(分)
1F	53 / 10,305	56 / 6,676	56 / 16,384	240
2F	50 / 9,417	55 / 6,550	54 / 16,384	220
3F	38 / 7,968	44 / 5,551	38 / 16,384	120
4F	9 / 2,869	9 / 1,426	8 / 8,192	60

一方、作成した屋内地図を地図ポータルサイトである Google Maps に正確に重ねることができた。また、屋内のネットワークデータを構築することにより、出入口から目的地までルートを表示することができた。さらに、Google Maps の終点ノードと建物の出入口ノードを繋げることで、屋外と屋内の経路探索を自然に行うことが可能となった。また、屋内地図として必要である出入口/方向を確認することができた。例えば、図 35 では画像左側上部に乃木坂駅が、右下付近には大江戸線の駅を示すポリゴンが確認できる。また、図 37 の通り、屋外と屋内をシームレスに繋ぐために玄関ノードを発生させたことにより、出

入口を明示することができた。さらに玄関から出るとすぐに「外苑東通り」と繋がっていることも確認できた。

2.5 屋内地図データ作成手法の考察

各階平面図とフロアマップを用いた本手法と、MMS を応用した屋内地図作成手法の違いについて表 16 の通り整理した。MMS は Trimble が 2012 年 6 月 18 日に国際航業・東京事業所（府中市）の地下駐車場にて行ったデモンストレーションおよび、ヒアリング結果を参考にした。今回、法務局に直接行き各階平面図を 500 円支払い入手したが、遠方であれば郵送で入手することも可能である。また、会員になる必要があるが、一般財団法人民事法務協会のオンラインサイトから 350 円（税抜き）でダウンロードも可能である。ネットワークデータの詳細だが、例えばバリアフリーやエスカレータの乗降箇所といった、実際に現地へ行かないと判断が難しい情報もあるが、表 13 に示した基本情報であれば、各階平面図とフロアマップから読み取れるため、現地に行く時間は必要ない。このことは MMS を応用した屋内地図作成等が商業施設との計測許可の交渉を前提としていることに比べ、短い工程で作成できる可能性ある。また、MMS による計測をする場合、計測機材が高価であることに加え、測量士など専門家による作業が必須となるが、本提案手法であれば、GIS ソフトウェアのオペレータ教育を受けさえすれば、誰もがパソコンを利用して短時間で屋内地図を作成することができる。今回は「東京ミッドタウン」の屋内地図データを作成したが、他の商業施設の場合も、屋内地図データを構成する要素の多くは共通している。そのため作成するコストは POI 等とネットワークデータ、つまりショップの数と通路の数や複雑さによって変動すると考えられる。

一方、多くの方が容易に屋内地図データを作成できるように、今後、屋内地図データの品質の確保が問題になる可能性がある。ベースとなる資料は同じであっても、作成手順や作成環境が異なれば、品質にバラつきが出る恐れがあるからである。また、商業施設ではなく個人の建物の屋内地図を公開することが可能になるなど、プライバシーの問題も考えなくてはならない。この問題に対しては、ルールや法律の整備も検討する必要があるが、OpenStreetMap（オープンストリートマップ）[52]のような、多くのボランティアが地図データを作成、改編、監視できるといった、自由の中にも秩序を形成していく仕組みを使い、解決できるのではないかと考えている。

また、商業施設以外の屋内地図データの作成について課題を残している。地下街や駅構

内の各階平面図は存在しないからである。日本全国の屋内空間をデータベース化すると、この地下街や駅構内の整備方法を議論する必要があるが、優先順位としてまず、商業施設のデータベース化を進め、利用者の利便性を確認する方法が良いと考える。その後、地下街や駅構内のデータベース化への最適な手法を選択し、整備を推進することが望ましい。

表 16 屋内地図作成手法の比較

	本手法	MMS を応用した手法
使用機材	パソコン、スキャナー、GIS ソフトウェア（フリーソフトも可）	レーザスキャナ、カメラ、台車 GIS ソフトウェア
作業日数	1-4 時間/フロア (図 30, 表 15 参照)	計測許可の交渉：数日 走行計測：100*100m/日 取得データの後処理：走行時間と同程度
精度	スケール 1/500-1/1000 程度	10cm 以内（10 分毎に初期化の場合）
作業員	GIS ソフトウェアを習得したオペレーター	測量士等の資格を持った専門家
制約事項	現地に行く必要は少ない	現地にて行う必要がある

一方、地図ポータルサイトとの親和性については、屋内地図だけでは最寄りの駅の方向や出入口がわからない場合があったが、地図ポータルサイトに屋内地図を正確に重ね合わせたことで、方向や出入口をわざわざ屋内地図に表示することなく、利用者に知らせることができた。さらに、屋外と屋内をシームレスに繋ぐ経路探索を実現したことにより、屋内測位技術と組み合わせることで他のシステム、例えば歩行者ナビゲーションへの適用の有用性を示すことができたと考える。また、今回は東京ミッドタウンのガレリアのみ作成したが、近隣の商業施設の屋内地図データを作成すれば、地図ポータルサイトから容易に移動や検索をすることが可能となる。

2.6 屋内地図データの作成手法のサマリー

本研究では、新しい屋内地図の作成方法として、法務局に登録されている各階平面図を利用することで、容易に屋内地図データベースの構築が技術的に実現可能であることを示した。表 17 に本研究手法の優位性について整理した通り、CAD には機密性の取り扱いに大きな問題がある。また、MMS は作業コストが大きいことから日本全国の屋内地図を整備するのは困難であるが、各階平面図は建物の登記の際に必ず添付する資料（不動産登記法、不動産登記規則：第八十三条）であることから、日本全国を網羅し屋内地図データベースを構築できる可能性がある。ただし、地下街や駅舎など建物を登記されない屋内空間については、さらに調査が必要である。また、前述した通り、各階平面図はオープンデータとして公開されてはいないが、著作物として保護するのは難しいことから、使用許諾について障害は低い。また、オンラインサイトから誰でも入手が可能な点も、他の手法と比較して容易である。

表 17 各階平面図を利用する本手法の優位性

	本手法	CAD	MMS(測量)
精度	○	◎	◎
情報量	△(3D 情報は無し)	◎(引き出し線等不要 情報有り)	◎(写真画像含む)
網羅性	△(地下街・駅舎の作成 は困難)	○	×(現地作業必須)
準備の容易さ	△(フロアガイドの使 用許諾)	△(使用許諾を得るの は困難)	△(作業許可を得るの は困難)
加工の容易さ	△(GIS ソフト利用)	△(CAD ソフト利用)	×(測量機器・GIS ソフ ト利用)
機密情報の扱い	○(公開情報)	×(配線・配管情報有)	△(画像に映っている 情報有)
コスト	○	△	×

◎：高スペック ○：必要十分 △：一部困難 ×：困難

3 章 音声経路案内システム

3.1 音声経路案内システムの開発にあたり

前章では屋内地図データの新しい作成手法について論述したが、混雑した駅や商業施設内においてスマートフォン等で屋内地図を確認するのは難しい。また、目の不自由な視覚障害者にとっては、屋内地図を見ることは困難である。視覚障害者は、点字を応用した触地図（「触知地図」や「触覚地図」とも呼ばれる）を利用し、触覚により空間認識を行っているケースがある[53]（図 42-43）。しかし、触地図は習得するまで時間がかかり、特に中途失明者にとっては困難が伴う。また習得したとしても、触って理解するまでに時間がかかるため、歩行しながら使用するのは困難である。そこで視覚障害者の歩行支援を目的としたサービスとしては、誘導用ブロック、盲導犬や介助者によるサポート、音響式信号機や誘導チャイム等が広く利用されている。米国では既に赤外線と専用端末による音声情報案内システムが実用化されており、サンフランシスコを中心とした公共空間において利用することができる[55]。

一方、我が国では様々な環境下における音声案内の調査研究が進んでおり[55][56][57]、GPS 携帯による屋外でのナビゲーション方法やインターフェースの改良が進んでいる[58][59]。また、視覚障害者を対象とした調査では、建物内における情報案内が必要と報告されており[60]、今後は屋外のみならずショッピングセンターや駅構内、地下街といった屋内空間において適切な歩行支援の仕組みが必要となる。しかし、屋内空間において誘導ブロックの整備は進んでおらず[61]、盲導犬によるサポートは、障害物等を避けるための安全な歩行には有効であるが、目的地を探し出して案内することはできない。また、GPS は屋内空間では衛星からの信号が届きにくいいため、正確に測位ができないといった問題がある。そのため、無線 LAN や RFID、UWB 等の無線通信技術を応用した位置測位技術が提案されてきた[62][63]。しかし、これらの方法は反射波や障害物によって位置精度が変動する課題や、精度を高くするためには装置を多数設置することになり、初期費用や維持コストの負担問題が生じる。

このような課題に対し筆者は、視覚障害者が介助者に頼らず屋内空間で歩行できるシステ

ムの実用化をゴールとした研究を行っている。視覚障害者の歩行能力は個人差が大きいため、研究を進めるにあたり、まず、視覚障害者および専門家にインタビューを行いシステムの要求分析を行った。その結果、屋内空間の歩行においては、現在位置、進行方向、目的地までの距離、バリア情報、周辺の情報など、様々な要求事項がある中、特に正確な現在位置と進行方向、距離の案内が重要であることが分かった。そこで本研究では、この現在位置と進行方向に重点を置いて取り組んだ。屋内空間における正確な位置測位手法としては、既にインフラである照明設備を利用した可視光通信技術に着目した。照明は一般的に通路天井部に設置されていることから、利用者の頭上から自然に、位置情報を送信することができる。また、進行方向を検知する方法としては、スマートフォンに内蔵される地磁気センサを利用した。ただし、地磁気センサは屋内空間では鉄筋の影響等で正確な方向を検出できないといった問題があるため[64]、照明下の地磁気情報をあらかじめ取得し補正するといった手法で、方向精度の向上に取り組んだ。

以下、本章の構成について説明する。まず3章2節で視覚障害者と専門家へのインタビューを通じて得た音声経路案内システムへの要求や知見をまとめる。次に3章3節で音声経路案内システムに必要な要素となる、位置測位の技術手法について先行研究を明らかにし、新たに提案する可視光通信技術の優位性について述べる。さらに方向検出について、正確な屋内地図データと地磁気の色を補正し利用する方法について詳述する。3章4節で音声経路案内システムの設計と実装方法について記述し3章5節で音声経路案内システムを用いた実証実験の内容と結果について示す。そして3章6節で本システムの考察について述べ、3章7節でまとめと今後の課題について述べる。

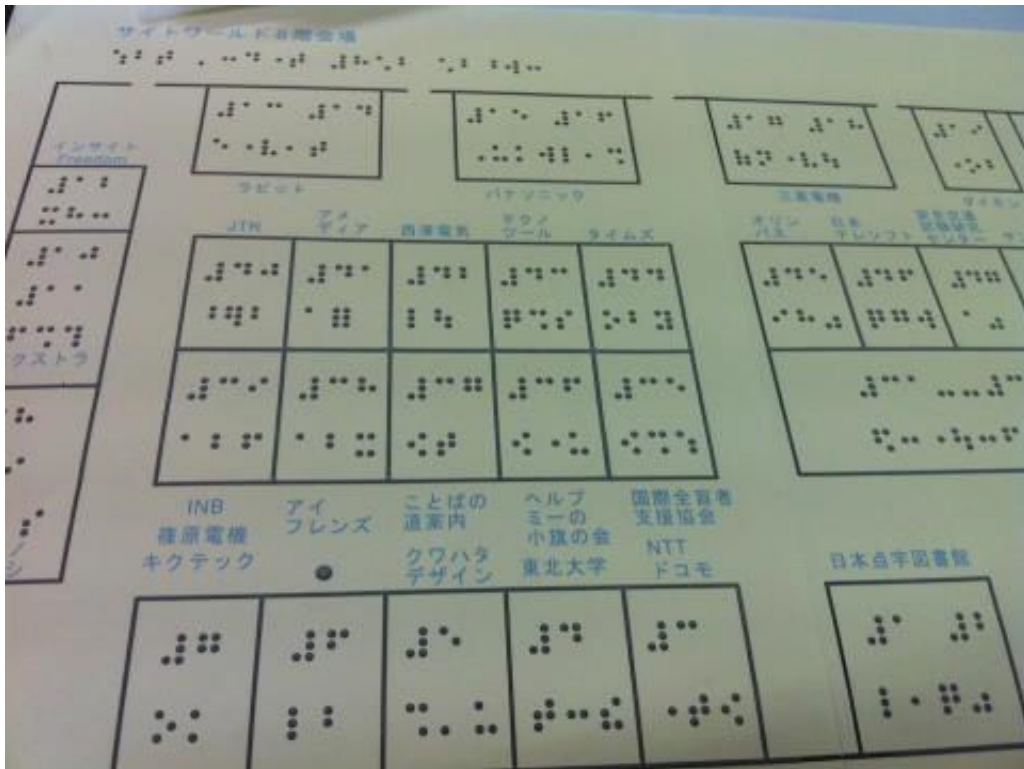


図 42 屋内版の触地図

説明：展示会場の屋内地図だが，通路や出入口，ランドマークを示す凸がない。

提供 新潟大学 工学部 福祉人間工学 渡辺研究室

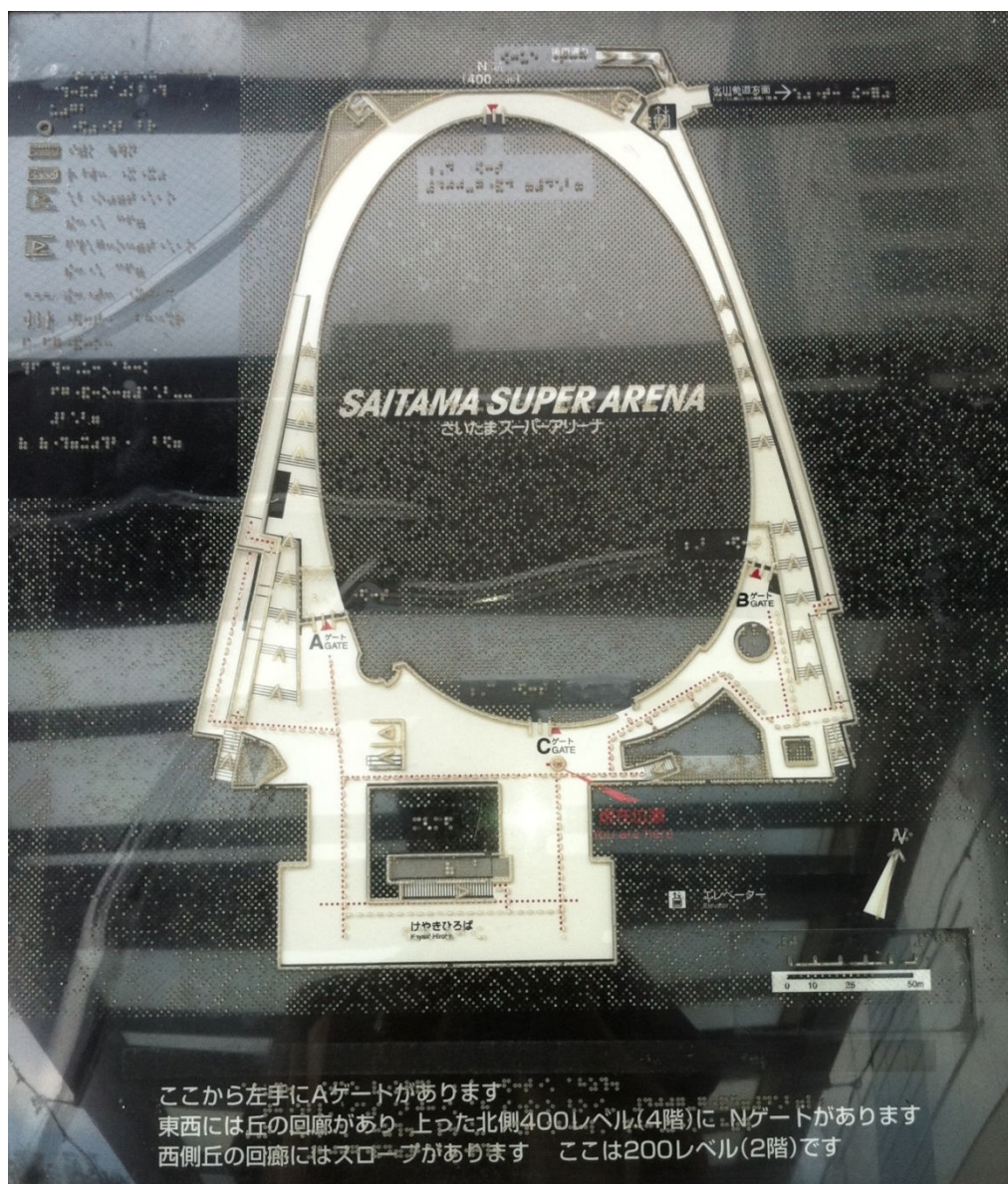


図 43 埼玉アリーナの触地図

説明：写真の白い部分が凸になっており，指で触れて読み取る．この触地図は情報量が多く，読み取るには時間がかかる．

3.2 音声経路案内システムの要求分析

音声による案内システムは、「音声案内システム」、「音声ガイドシステム」「音声アシストシステム」など、様々な呼び方があるが、本論文では、位置情報や進行方向といった経路を中心に案内することから「音声経路案内システム」と呼ぶことにする。

音声経路案内システムの要求分析として、視覚障害者6名（弱視者4名、全盲者2名：表18参照）と視覚障害者のサポート経験と知識を持つ専門家1名にインタビューを行った。既に厚生労働省の調査において、視覚障害者の音声案内システムに対する要望は様々あることが報告されており、必要な情報として「現在位置」が上位に示されている(7)。また、柳原ら[65]の研究によると、視覚障害者は歩行能力や方向感覚の違いによって、音声案内に求める機能の評価が異なるといった指摘がされているが、実験の結果「自己位置の把握（現在位置）」については評価の差が出たものの、「進行方向の確認」と共に評価が高かった。そこで本研究では、屋内空間に限定した音声経路案内システムの要求について、特に「現在位置」と「進行方向」に関する案内方法について、視覚障害者に要望を伺った。具体的には、屋内空間をサポートするシステムであることを説明した上で、実際にヘッドホンを着用し、表19に示す「進行方向」「距離」「行動」「接続詞」の組み合わせで録音した音声を聞いてもらった。音声案内の表現方法については、NPO 法人ことばの道案内で公開している「ことばの地図」を参考にした[66]。インタビューの結果、全員から歩行中や目的地に到着した時の位置情報や、曲がる時に方向や距離の案内が重要であるといった意見を確認することができた。また、専門家からは赤外線を利用したサービスを例にして、音声により進む方向が分かるようにすることと、歩行途中の階段やスロープといったバリア情報の案内が重要であるといった助言を得た。以上の結果から、本研究では正確な現在位置の情報と、曲がる方向と距離を案内するシステムを実現するものとする。具体的には、(1)曲がる方向の案内方法としてクロックポジション(30° =1時間)の採用、(2)歩きながら目的地までの残りの距離を案内、(3)目的地の到着を知らせる機能を実装することとする。

表 18 インタビューの被験者属性

被験者	A	B	C	D	E	F
性別	女性	女性	女性	男性	男性	女性
年齢	40代	50代	60代	60代	50代	50代
視力の状況	弱視 視野が狭い	弱視 後天的に視 覚障害を持 つ	弱視 後天的に視 覚障害を持 つ	弱視 明るさが分 り難い	全盲 40代で失明	全盲 中途失明
歩行状況	単独	単独	単独	単独	単独	ヘルパー同 伴
白杖の使用	使用	慣れていな い場所では 使用	慣れていな い場所では 使用	使用しない	使用	使用
商業施設の利 用	月に4回程 度	月に1-3回 程度	月に1-3回 程度	月に1-3回 程度	月に4回以 上	年に数回程 度

表 19 音声案内リスト

進行方向	距離	行動	接続詞
1 時方向に	およそ 1 メートル	進んで下さい	次に
2 時方向に	およそ 2 メートル	戻って下さい	そうしますと
3 時方向に	およそ 3 メートル	曲がって下さい	
4 時方向に	およそ 4 メートル	トイレがあります	
5 時方向に	およそ 5 メートル		
6 時方向に	およそ 6 メートル		
7 時方向に	およそ 7 メートル		
8 時方向に	およそ 8 メートル		
9 時方向に	およそ 9 メートル		
10 時方向に	およそ 10 メートル		
11 時方向に	およそ 15 メートル		
12 時方向に	およそ 20 メートル		

3.3 屋内地図と可視光通信および地磁気センサを用いたアプローチ

本章では、「音声経路案内システム」の構成要素である可視光通信による位置測位方法と屋内地図データの作成方法、さらに地磁気を使った方向検出方法について記述する。

3.3.1 可視光通信による位置測位の優位性

屋内の位置測位を実現する方法は、前述した通り、無線 LAN や RFID を使う方法が実用化されている。無線 LAN を利用した方式は、電波強度や到来時間から距離を割り出し、位置を推定する。既に商用のサービスも始まっているが、反射波や障害物等、周囲の環境によって位置精度が変動する問題が指摘されている[68]。RFID を利用した方式も同様に、環境による位置精度が変動する問題や、リーダ同士の干渉の問題が指摘されている[68][69]。また、UWB(Ultra Wide Band)による方式は高い測位精度を実現しているが[70]、通信距離が約 10 メートルと短いため[71]、すべてのエリアにおいて精度よく測位をする場合、多数の機器を設置することとなり、設置スペースや電源を確保する必要がある[69]。その他、カメラを利用した画像処理により位置を検出する方法や[72][73]、複数のセンサを組み合わせた研究も進んでいるが[74]、計算処理の負荷が高く、歩行しながら位置を正確に検出しつづけるのは難しい[75][76]。そこで LED 照明を利用した可視光通信技術に着眼した。照明は屋内の通路であれば天井部の至る所に設置されているため、利用者の頭上から障害物等の影響を受けることなく、安定的に情報を送信することができる。また、LED 照明の照射範囲にもよるが、1 から 3 メートル程度の範囲内で利用者の位置を特定することが可能となる。さらに、既に設置されている照明設備をそのまま利用出来るため、他の無線による方式に比べ、設置に対する障壁は低く優位である。具体的な利用イメージを図 44 に示す。

既に日本国内では JEITA (Japan Electronics and Information Technology Industries Association/一般社団法人電子情報技術産業協会)において可視光通信の標準化が行われており、可視光通信システム (CP-1221)、可視光 ID システム (CP-1222) として誰もが利用できる。位置情報を取得するには、可視光 ID に位置情報(経緯度など)を埋め込み、直

受信器に送信する方法もあるが、今回は、よりデータ量の小さいユニークな ID を送信し、受信した後に外部サーバを経由して位置情報を取得する方法とした。そのため、本研究では可視光 ID システムを一部改良して使用する(表 20 参照)。

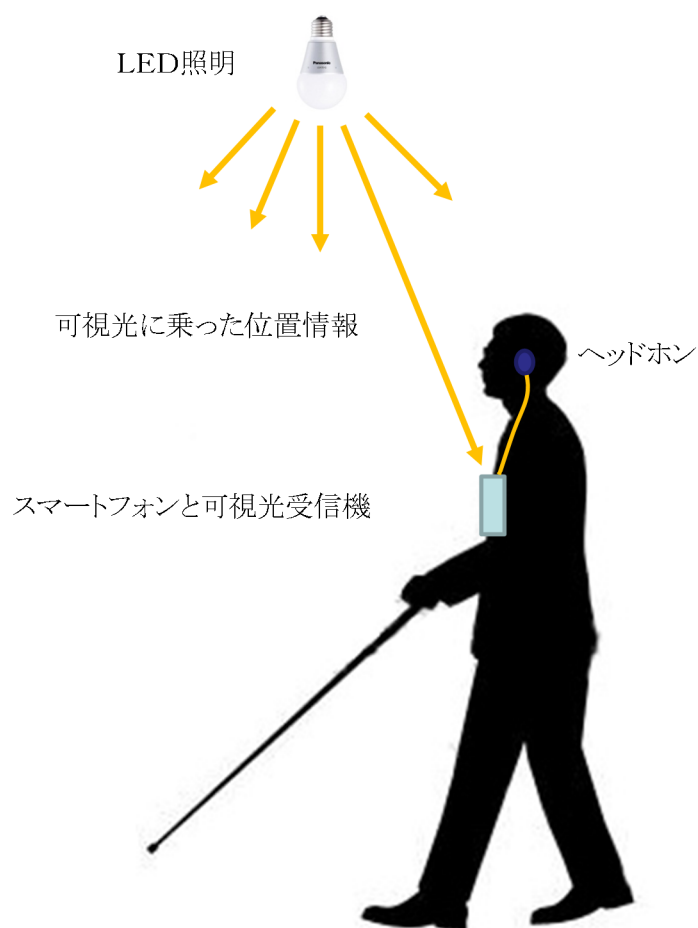


図 44 可視光通信の利用イメージ

表 20 可視光 ID システム

	本研究仕様	JEITA CP-1222
副搬送波周波数	—	28.8[kHz]
データ速度	4.8[kbps]	4.8[kbps]
伝送方式	4PPM	副搬送波 4PPM
送信データ	128bits	512bits

3.3.2 屋内地図データの作成

視覚障害者が直接マップを見ることは困難であるが、正確な位置情報や進行方向、距離を算出し案内するには、正確な屋内地図データが必要となる。屋内地図データは地理参照をしないローカル座標系で表すこともできる。しかし、マップポータルサイトをはじめ、屋外のマップデータを利用する場合、地理座標系で表現することが多い。例えば、屋外から屋内へのシームレスなナビゲーションを考えると、地理座標系で統一する方が望ましい。そこで、本研究で利用する屋内地図データの座標系は地理座標系とする。屋内地図データは、2章で示した法務局に管理されている各階平面図を基に図化する手法で作成する[77]。各階平面図は縮尺が250分の1といった高精度の作成を原則としており、寸法も記載されている。また、誰もが法務局より入手することが可能なため、容易に正確な屋内地図データを作成できる。また、音声案内には目的地までの経路探索が必要となることから、LED照明の位置を現地で計測し、ノードとする。さらに、LED照明間の通路をリンクとしたネットワークデータを作成する(図45参照:右側にある小さい丸点がLED照明を表している)。

3.3.3 地磁気を用いた進行方法と距離算出

利用者が進む方向を検出する方法として、例えばカーナビゲーションシステムではGPSと加速度センサから進む方向を検出している。また、伏見ら[78]は蛍光灯からの可視光通信により位置検出を行い、進行方向の案内は履歴情報に基づき利用者の向きを判定している。さらに工藤ら[79]は地磁気センサを利用し、ジャイロセンサと移動経路のマッチングで方向を補正する方法で進行方向を案内している。しかしどちらの方法も、利用者が動き出さないと方向が分からないといった課題がある。地磁気センサは地球の磁力線の方法を検出することで絶対方位を案内するが、前述した通り、鉄筋の柱などがある屋内空間では磁場が乱れることが分かっている。そこで、あらかじめLED照明下において地磁気データを取得してデータベースに格納し、この値を使い補正処理をする工夫をした。また、同時に屋内地図データから距離を算出して案内することにした。進行方向と距離の算出方法を図46に示す。はじめにLED照明より送られる可視光IDから経緯度情報を取得する。次

に、地磁気センサから LED 照明下の地磁気を取得する。この時、取得済みの地磁気の色をデータベースから取得して、この色を使い補正処理を行う。次に、目的地への経路から次の LED 照明の経緯度情報を取得し、進行方向の角度と距離を算出する。

以上のことから、本研究では、屋内空間において困難であった正確な位置情報と進行方向を同時に解決するため、可視光通信技術と屋内地図データと地磁気の補正を組み合わせた方法で音声経路案内システムの実現を目指す。

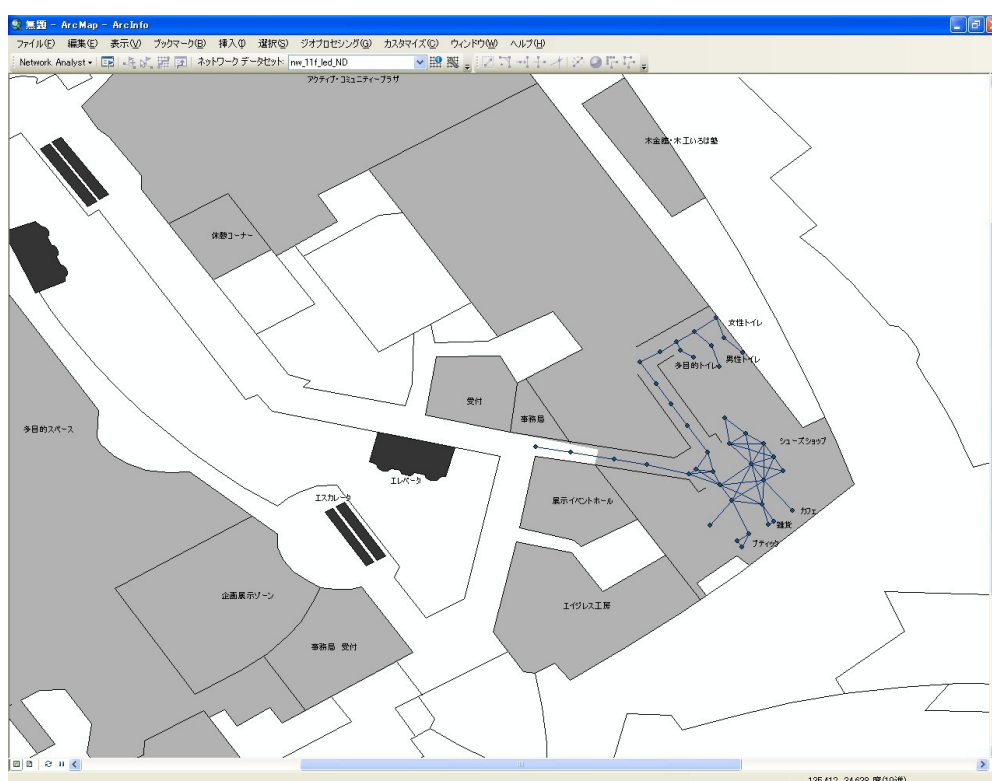
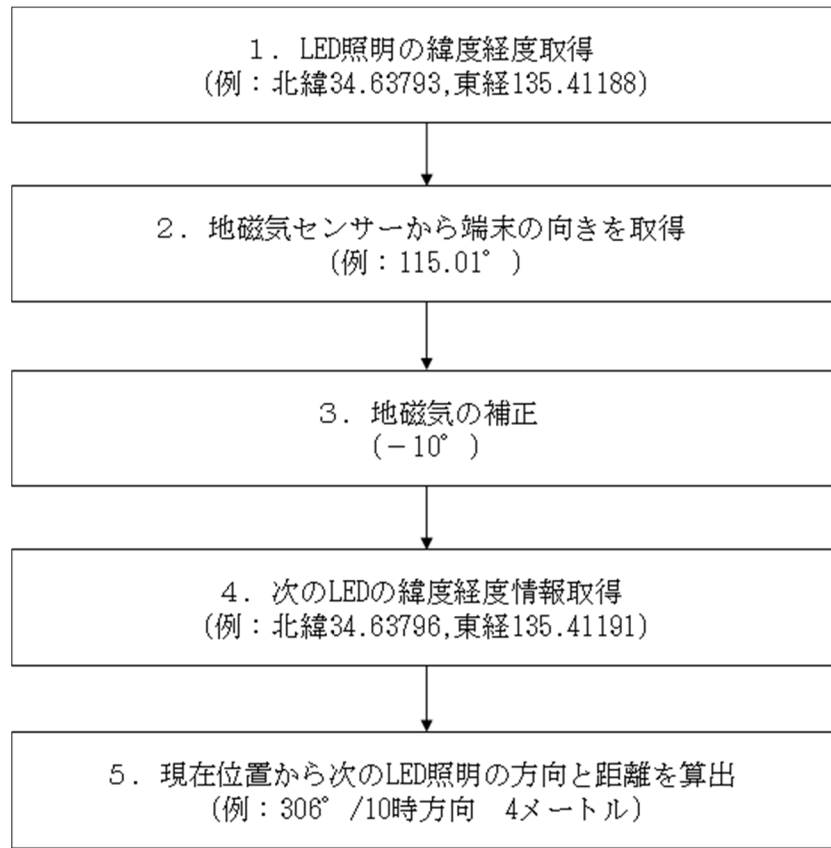


図 45 屋内地図データ

説明：地図の右に見える青い点が LED 照明の位置。青い線はネットワークデータ。トイレや仮想ショップまでネットワークデータが繋がっている。



$$d = \text{mod}((a - (s - j) + 360), 360)$$

a : 現在地 → 目的地の方位角 (0-360)

s : 端末の向き (0-360)

j : 補正角 (0-360)

d : 最終的な方位角 (0-360)

図 46 進行方向と距離算出の手順

3.4 音声経路案内システムの開発

本章では、音声経路案内システムの設計内容と実装方法について述べる。

3.4.1 音声経路案内システムの設計

3章3節で示した要素技術を用い、音声経路案内システムの設計を行った。システムは図47に示す通り、LED照明と受信器一体型のスマートフォン、ヘッドホンで構成される。スマートフォンの普及が進む中、ラジオや書籍、電卓の読み上げ機能を持った便利なアプリケーションが増えている。しかし、従来型の携帯電話で使えたボタンによる入力ができない等、視覚障害者にとって不便な点もある。そこで本システムでは、画面全体をタッチするだけで操作ができるように工夫をし、利便性の向上を図った。音声の読み上げはスマートフォンの標準機能を使い、位置情報の取得や経路探索の算出には位置情報基盤と呼ばれるパナソニック社のクラウド環境を利用した。LED照明は可視光通信により可視光IDを送信し、受信器はこれを受け取る。スマートフォンはBluetoothにより受信器から可視光IDを受け取る。スマートフォンはWi-Fi経由で位置情報基盤から、位置情報等を受け取り、案内の内容に合わせて、あらかじめ録音した音声ファイルを合成し、ヘッドホンに送信する仕組みになっている。

次にシステム全体のシーケンスを図48に示す。初めに利用者はスマートフォンの画面を長く押し、音声経路案内の開始を指示する。スマートフォンから利用者へ、目的地の候補が案内されるので、利用者は音声認識機能を使用し目的地を音声により入力を行う。次にスマートフォンは目的地を位置情報基盤に送信し、全体経路を受け取り、利用者へ案内する。案内終了後、利用者は歩行を開始する。歩行中、LED照明から可視光IDを受信すると、図46に示した手順により、進行方向と距離を算出して、利用者へ案内をする。この処理を目的地まで繰り返し、目的地に到着したら利用者はスマートフォンの画面を長く押し、案内を終了する。

3.4.2 音声経路案内システムの実装

3章4節1項で示した設計内容に基づきシステムの実装を行った。システムの開発環境は、Android OS で動作することが必要となるため、親和性の高い統合開発環境に Eclipse を使用し、Java 言語によりアプリケーションを開発した。スマートフォン側は実証実験で利用するパナソニック社製の P-07C を使用した。また、テスト環境ではもう 1 台スマートフォンを用意し、送信器の代わりとして本研究仕様の可視光 ID のデータフレームを作成し、Bluetooth 経由で送信した（表 21 参照）。

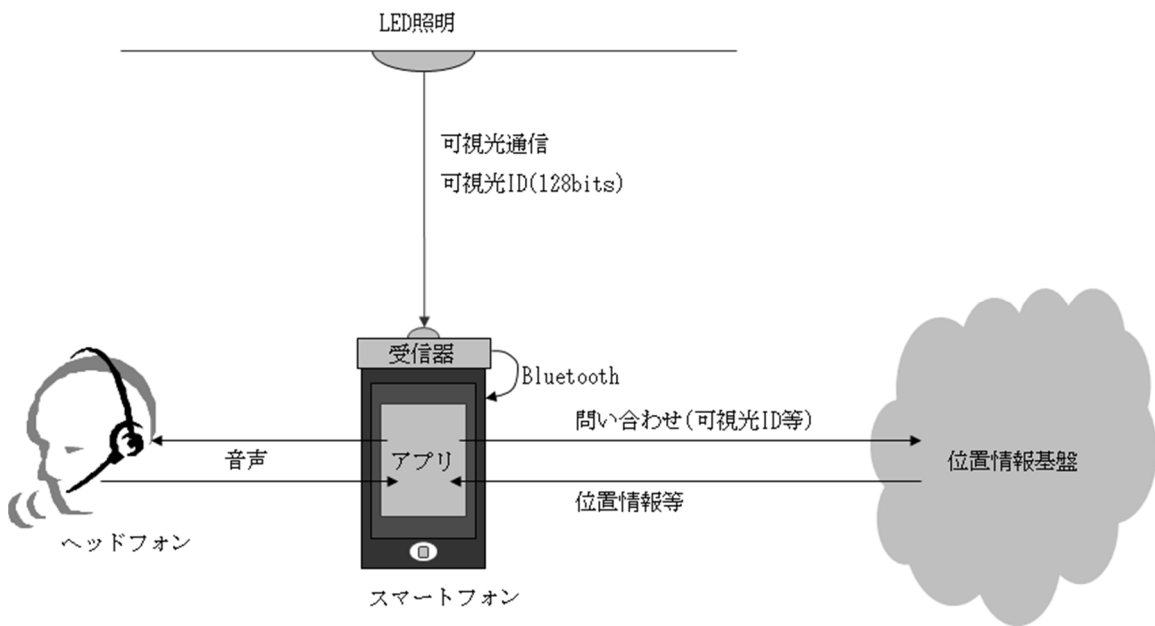


図 47 音声経路案内システムの構成図

説明：図右の雲形の図形が位置情報基盤と呼ばれるパナソニック社のクラウド環境である

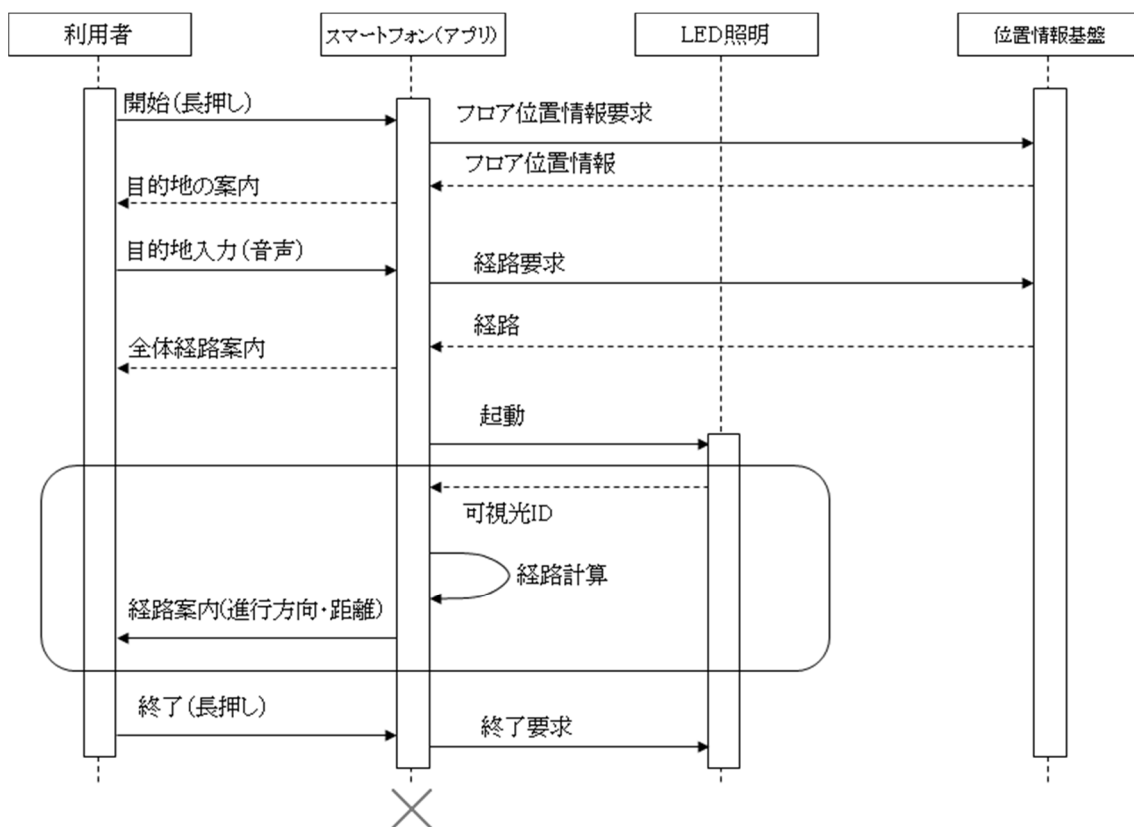


図 48 音声経路案内システムのシーケンス図

表 21 開発環境

パーソナルコンピュータ	インテル Core2 Duo プロセッサ P8700(2.53GHz)
OS	Microsoft Windows XP Professional
統合開発環境	Eclipse3.7.1 , Android Development Tools, JDK6.X 以上
スマートフォン	Panasonic P-07C CPU OMAP3630 1.0GHz
OS	Android 2.3

3.5 実証実験と結果

本章では、実証実験の内容を示し、検証としてログの分析結果と被験者のインタビューについて整理する。実証実験の目的は、本研究で提案する音声経路案内システムの有用性について確認することである。

3.5.1 実証実験

はじめに、可視光 ID を送信する LED 照明器具を天井に取り付けた。照明範囲は図 49 の通り、地上 1400mm の高さで、直径 1076mm となるように設定し、この範囲内で可視光 ID を受信可能とした。さらに LED 照明下の地上 1400mm の高さにおいて、磁気コンパスを使い真北を基準にし方位角を計測した。その結果、 40° から -157° の範囲で地磁気の乱れが確認できた（図 50 参照）。この数値を補正值として進行方向を算出して案内を行う。

次に、実際に視覚障害者に本システムを体験してもらい、可視光 ID の受信と地磁気センサのログを取得するとともに、被験者にインタビューを行った。実証実験は、社団法人大阪市視覚障害者福祉協会の協力を得て、6 名の視覚障害者を対象に行った。被験者の属性、実験機器等については表 22 に示す。

被験者は、受信器一体型のスマートフォンを首から提げて、ヘッドホンを耳に装着する。歩行中、外部からの音声が聞こえ難くならないように、ヘッドホンはオープンエア型とし、ヘッドバンド部分にスポンジを付け、耳を塞がないように工夫した（図 51 参照）。

実験コースは図 52 に示す通り、受付の先をスタート地点(S)にして、多目的トイレをゴール(G)とした。スタート地点から約 25 メートル直進して、U ターンをするように左に曲がる。その後、約 20 メートル直進したところで右に曲がり、5 メートル直進した右側が多目的トイレになる。

実験は被験者 1 名ずつ行い、はじめに操作手順の説明をし、その後音声経路案内システムを使って目的地到着まで歩行した（図 53-54 参照）。歩行中、LED 照明下で取得した可視光 ID と地磁気の数値から、図 46 で示した手順で処理を行い、被験者に進行方向と距離を案内した。

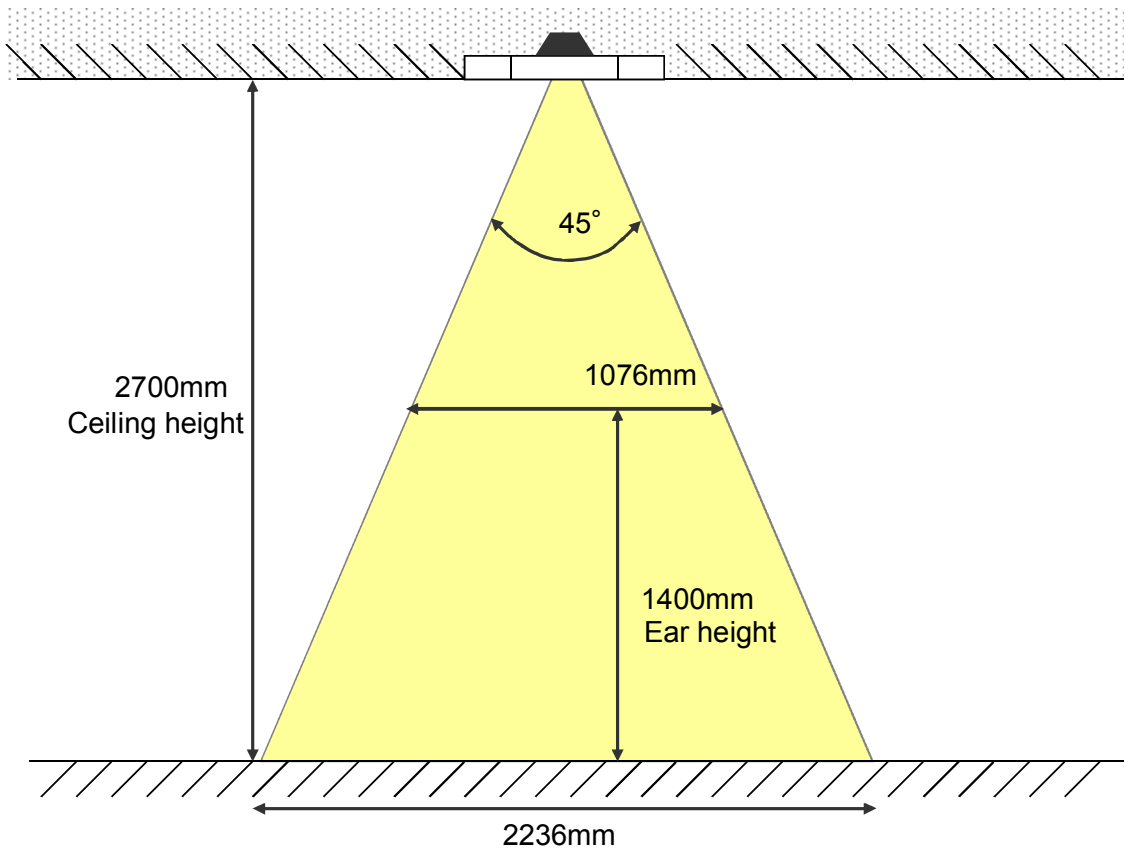


図 49 可視光通信の位置精度

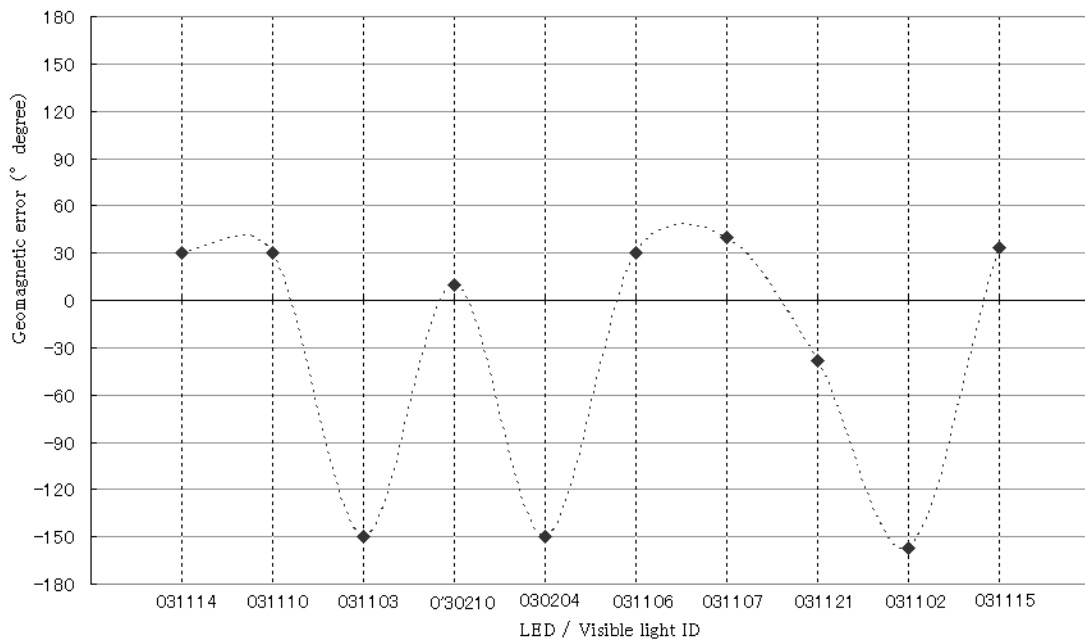


図 50 地磁気データ

表 22 実証実験内容

被験者	A	B	C	D	E	F
性別	女性	女性	男性	女性	女性	男性
年齢	50代	60代	60代	50代	60代	60代
視力の状況	弱視	弱視	弱視	全盲	全盲	全盲
	後天的に	後天的に	明るさが	中途失明	子供の頃	子供の頃
	視覚障害	視覚障害	分かり難		に失明	に失明
	を持つ	を持つ	い			
歩行の状況	単独	単独	単独	ヘルパー	ヘルパー	ヘルパー
				同伴	同伴	同伴
白杖の使用	慣れてい	慣れてい	使用しな	常に使用	常に使用	常に使用
	ない場所	ない場所	い	する	する	する
	では使用	では使用				
商業施設の	月に1-3回	月に1-3回	月に1-3回	月に1-3回	月に1-3回	年に数回
利用	程度	程度	程度	程度	程度	
期間	2012年2月14日-15日					
場所	大阪 ATC エイジレスセンター					
内容	音声経路案内システム体験, その後にインタビュー					
実験コース	フロントデスク~多目的トイレ (5分程度)					
実験機材	LED照明一体型可視光通信送信機(NNN72075), 受信器一体型スマートフォン (P-07C/Panasonic), ヘッドホン(SENNHEISER)					



図 51 左：受信器一体型スマートフォンとヘッドホン 右：装着時

説明：ヘッドホンには耳を完全に塞がないよう、スポンジが着いている

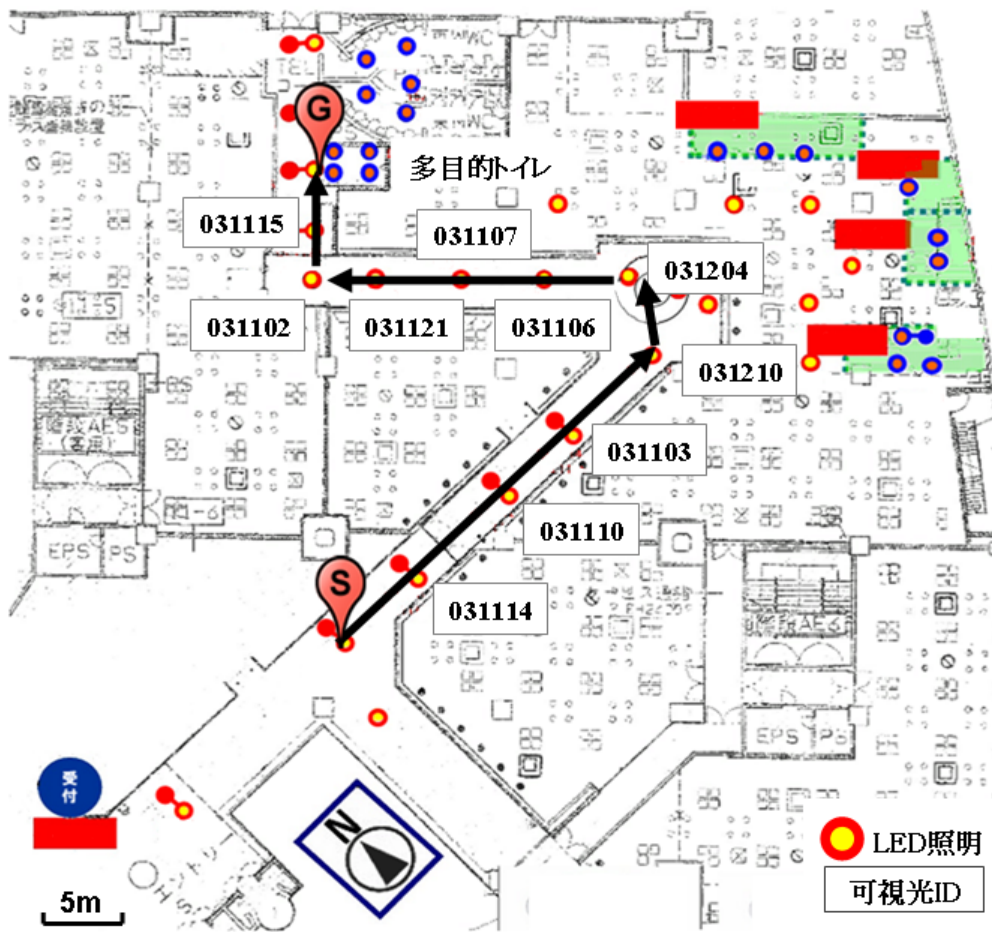


図 52 実験コース



図 53 実験会場

説明：図 52 に示す 031103 の LED 照明からスタート地点に向けて撮影。天井の赤い円内に可視光通信用の LED 照明（031110, 031114）が見える。



図 54 実験シーン

説明：男性・全盲者（オレンジ色のシャツ）が白杖を持ち音声案内に従い歩行中。万が一の事故を考慮して，筆者が前を歩いている。

協力：社団法人大阪市視覚障害者福祉協会

3.5.2 実験結果

実験の結果，3名の弱視者はサポートなしにゴールまで到達した。全盲者の3名は途中，通路の壁を白杖で確認しながら，ゴールに辿り着いた。進行方向のログとして，被験者ごとにLED照明下の可視光IDと地磁気の値を取得した。結果は，図55のグラフに示す通り，全てのLED照明直下で可視光IDを正確に取得することができた。また方向については全体では 66° から -59° の範囲で補正し案内した。LED照明の位置ごとに方向の誤差が異なり，最も誤差の範囲が小さかったのは可視光ID「031103」を受信した位置となり， 10° から -9° となった。また，被験者ごとに誤差のバラつきがあることも確認できた。最も安定した方

向の誤差を記録したのは被験者 C(弱視者)であり、 13° から -16° となった。一方、最もバラつきがあったのは被験者 E(全盲者)であり、 66° から -37° となった。

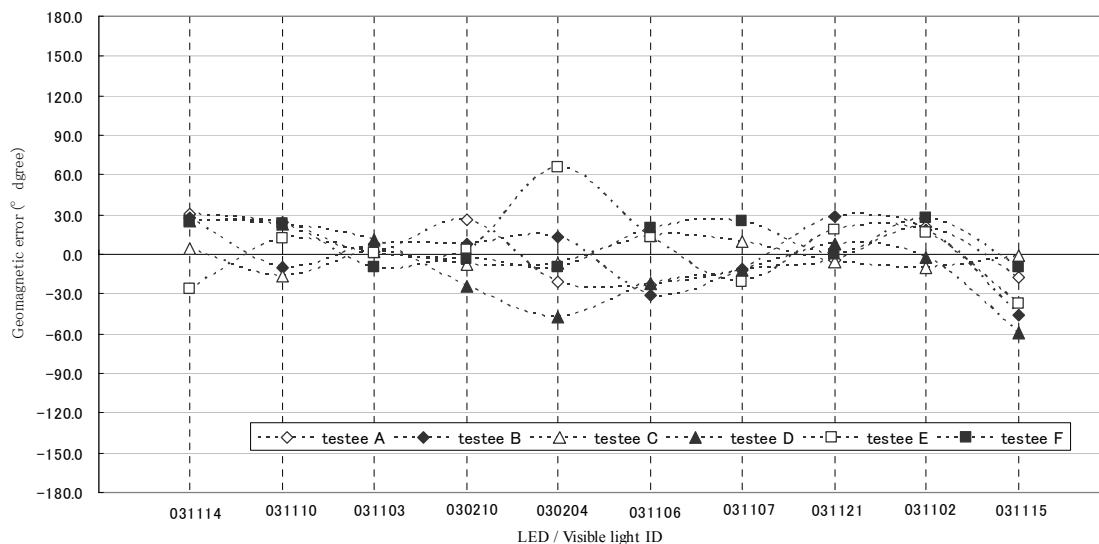


図 55 地磁気の補正結果

3.5.3 インタビュー結果

実験終了後、被験者全員にインタビューを行った。内容は多岐に渡ったが、本論文では位置と進行方向、距離に関する機能に絞った内容について整理する（表 23 参照）。弱視の方全員から、全体経路や距離の案内については良く分かったといった意見が出た。一方、全盲者からは、進行方向や案内のタイミングをより正確に合わせる必要があるといった意見が出た。

表 23 実証実験に関するインタビュー結果

被験者	案内機能(位置, 進行方向, 距離)に対する意見
A	経路や案内は良く分かった クロックポジションによる案内もいいが, 8方向でも良い
B	方向や残りの距離の案内は良く分かった 音声操作も問題なかった
C	全体経路の案内は長いと覚えられないが, 想像できて良い
D	経路や案内方法はいいが, 進行方向が変化する場合(障害物があったり, 人にぶつかった時)にも対応して欲しい
E	経路に対して正しく(真っ直ぐ)歩行しているか常に確認できるようにして欲しい
F	進行方向はより常に正しく, 歩くタイミングに合わせて案内して欲しい

3.6 考察

本章では音声経路案内システム，特に位置情報と進行方向の機能について考察を述べる．また，実証実験後のインタビュー結果の考察について述べる．

3.6.1 音声経路案内システムの考察

全てのLED照明から可視光IDを取得することができ，ロスなく安定して位置情報を案内することができた．また，地磁気の補正処理をすることで誤差範囲を小さくすることができた．しかし，可視光ID「030204」，「031115」のLED照明の位置で $\pm 30^\circ$ （1時間）以上の誤差が出たことで，全盲者にとっては安全な歩行を確保できなかった．この原因は，図56に示す通り，スマートフォンを首からストラップで提げて歩行していることで，揺れにともない地磁気の値が変化することに起因していると考えられる．特に誤差が大きかった可視光ID「030204」を受信した箇所は，被験者が連続して曲がる付近になることから，大きくスマートフォンが揺れてしまったと考えられる（図52参照）．

これらの推測を確認するために，実証実験終了後，スマートフォンを手に持ち，固定した状態で歩行した．その結果，図57に示す通り，地磁気の誤差が 8° から -28° （1時間以内）の範囲に収まった．白杖を持ちながらスマートフォンを手で固定し，歩行することは困難であるが，可視光を遮ることなく，ベルトやバッグ等に固定する仕組みであれば対応できると考える．

以上のことから，本システムは可視光通信により安定的に位置情報を取得することができ，地磁気を補正することで進行方向と距離を音声により案内することが可能であることを示すことができた．



図 56 地磁気の誤差の要因

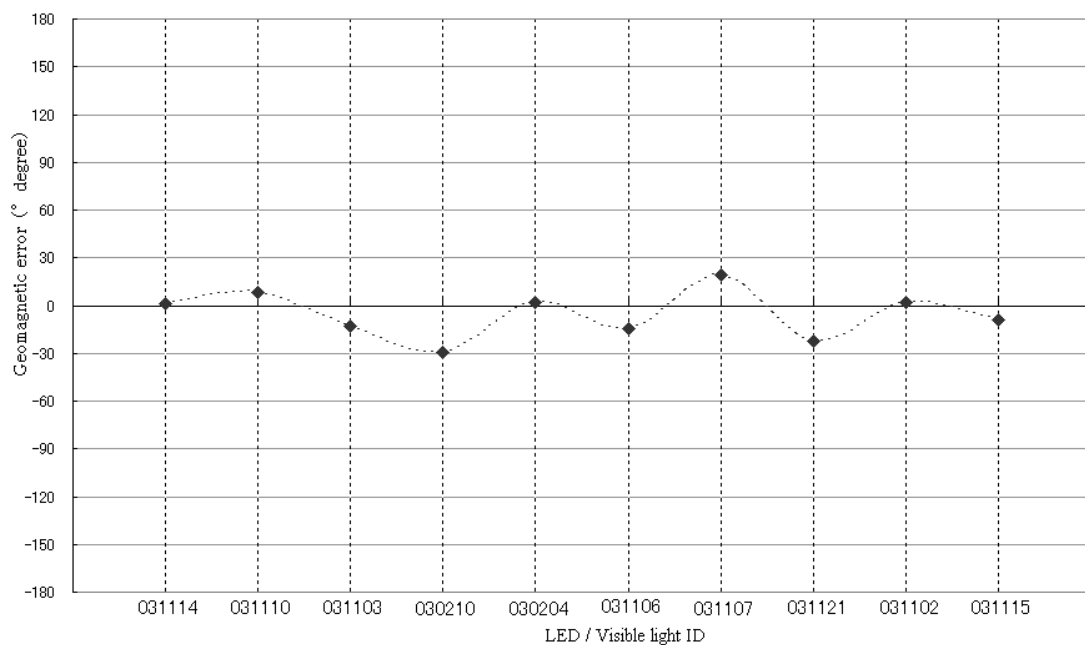


図 57 スマートフォン固定時の地磁気の誤差

3.6.2 インタビューの考察

弱視者からは位置情報，進行方向ともに一定の評価を得ることができた．進行方向の案内方法はクロックポジション以外に，例えば8方向（前方，後方，左・右，左・右斜め前方，左・右斜め後方）程度の精度で案内するモードを用意して，利用者を選択できるように

にする工夫が考えられる。また、視覚障害者は歩行速度に個人差があるため、音声案内のタイミングについては歩行速度に出来るだけ合わせる必要がある。例えば、曲がる直前で案内するのではなく、歩行速度に合わせ、1 から 4 メートル程度手前で案内を調節する仕組みを考える必要がある。一方、全盲者からは、短い距離であっても真っ直ぐ歩くことが困難であるといった意見があったことから、LED 照明間においても案内が必要だと考える。そのためには、例えば加速度センサやジャイロセンサを利用した推測航法を組み合わせ、体の向きが変化した場合、補正情報を知らせるといった歩行支援機能を検討したい。

以上のことから、本研究で提案する音声経路案内システムは、弱視者においては、前述したスマートフォンの固定方法に加え、進行方向の案内方法や案内のタイミングを改善することで、また、全盲者においては、LED 照明間の歩行支援をすることで、さらに有用性が高まると考える。

3.7 音声経路案内システムのサマリー

本研究では、LED 照明を利用した可視光通信と、屋内地図データおよび、汎用性の高いスマートフォンに内蔵される地磁気センサを用い、視覚障害者向けの音声経路案内システムを開発した。

本システムの評価を表 24 にまとめる。実証実験を通じて、LED 照明から送られる位置情報と地磁気 の値を補正処理することで、位置情報が 1-2m の範囲で正確に受信されることが確認できた。次に進行方向と距離を案内（ガイダンス）できることを確認した。全体を俯瞰する屋内地図と、ルートを案内するネットワークデータの両方があることで、案内できることも確認した。また、インタビューより、操作性や案内は弱視者に良好であること、全盲者には改善の余地があることを確認した。

表 24 本システムの評価のまとめ

評価項目	内容
位置精度	1-2m
方向精度	ストラップ：66° - -59° 手に固定：8° - -28°
可視光 ID 受信ロス	0 回
案内（ガイダンス）	弱視者：良好 全盲者：改善の余地あり
操作性	弱視者：良好 全盲者：改善の余地あり

今回の実証実験では問題にはならなかったが、現実空間ではフロアの模様替えや磁気を帯びた機材が置かれるなど、磁場が変化して補正が機能しない状況が起きる可能性がある。解決するには、その都度、地磁気 の値を取得する必要があるため、地磁気を常時自動的にセンシングする方法やボランティアによって情報を収集しデータベース化するなど、仕組みを考えたい。

4章 本研究全体の考察

本研究の目的は、屋内位置情報サービスの実現であり、そのためには、屋内測位システムと屋内地図データの整備が必要となる。

そこで本論文では、地図といったコミュニケーションフォーマットに着目し、容易に屋内地図データを作成することを目標として、2章で論じた。屋内地図データの作成にあたり、法務局に保管されている図面を用いることで、日本全国の商業施設の屋内地図データを構築する可能性を示した。提案した手法は従来の測量による作業に比べ、現地に行くことなく短い工程で作成できることを、実際に屋内地図データを作成することで示した。一方、建物として登記されない商業施設、例えば地下街や駅舎などを作成することが困難であるといった課題が残った。また、専門家でなくとも容易に屋内地図を作成できるということは、商業施設以外のプライベート空間の屋内地図を作成することが可能となる。そのため、公共空間、商業空間、プライベート空間の区分や、作成のルール化など必要になってくると考える。

今後、屋外の地図データと同様に屋内地図データは、インターネットを通じて様々な携帯端末に配信されていくと予想されるが、作成コストを抑えることは屋内位置情報サービスの実現には重要な要素である。各階平面図は現在オープンデータではないが、2013年2月1日から2月28日までの間、政府が実施したオープンデータに関する意見募集サイト「オープンデータアイデアボックス」には、公開を検討すべきであるといった意見が集まった。また、健全な市場競争を考えると、屋内地図データを特定の企業によって作成、維持管理される状況は好ましくない。このような点からも各階平面図をオープンデータにすること、そしてオープンデータを利用して屋内地図データを構築する意義は高いと考える。特に、我が国の場合、屋外空間の基盤となる地図データ（基盤地図情報）は地理空間情報活用推進基本法で定められているため、屋内空間データもある標準的なルールに沿って、誰もが作成、運用できる状況が望ましい。そのために、ボランティアによって世界中の地図を作成し維持管理していく OpenStreetMap (OSM) の仕組みは有用だと考える。OSM はオープンデータベースライセンス (ODbL) 1.0 であり [80]、商用・非商用を問わずにデータの自由な利用と再配布が可能であり、作成ルールや運用ルール作成に誰もが参加できるよう

に公開している。

次に、屋内測位技術を屋内地図と併せ適用し、音声による経路案内システムを開発し、3章で提案した。音声経路案内システムは実証実験を通じ視覚障害者に使ってもらい、その有用性を確認した。本研究のゴールは、視覚障害者が介助者のサポートなしで歩行を実現することだが、実験前後のインタビューから、弱視者と全盲者は症状の度合いによって、音声経路案内に対する要求事項が異なることが分かった。音声経路案内の利用後、弱視者からは、現在位置が分かるだけでいいという意見や、行きたい場所や目的地に到着したことを説明してくれるだけでも便利になるといった、意見があった。このような意見に対して、2章で作成した屋内地図の機能は十分に要求を満たしたと考える。一方、全盲者からは更なる精度の高い方向情報や、自分の姿勢情報を知らせる仕組みが欲しいといった意見が出た。姿勢や方向検出の精度を高めるためには、カメラ画像による解析方法が研究されているが、現在はハードウェアの処理能力や使用する条件に制約があり、実現するためには課題がある。今回、提案した可視光通信技術は高い位置精度を検出することができるが、方向精度をより向上させる必要がある。また、可視光通信は設置コストの点で他のセンサ方式に比べ優位ではあるが、全ての屋内空間にあるLED照明に高密度で設置するのは困難である。そのため、スマートフォン等の自蔵センサ（加速度センサやジャイロセンサ）による自律航法を併用した音声経路案内を検討することも必要だと考える。

一方、技術志向による実現方法だけでなく、利用者を増やすことでコストダウンを計る必要もある。そのためには、全盲者のみ利用可能な高い品質のサービスを提供するのではなく、その症状や経験度合いによって機能を調節できるようにし、弱視者も含めた市場を広げることも必要となる。また、晴眼者が利用しても便利となるデュアルユースの検討も必要である。今回作成した音声経路案内システムは、晴眼者への適用も可能だが、実用化に向けては方向や距離だけでなく、例えばランドマークを案内するなど工夫が必要になる。さらに、利用者に地図やナビゲーションといった新しいサービスに慣れてもらうために、トレーニング可能な機能やサービスを付加することも大切になる。

ここまで、屋内位置情報サービスの実現に向けて、屋内地図データの作成手法と、音声経路案内システムの提案をし、考察を述べた。屋外の位置情報サービスの顧客価値の連鎖については、図24に示した通りだが、屋内空間で位置情報サービスを実現するためには、

テクノロジーだけではなく、新しいビジネスモデルを生み出す必要がある。図 58 は屋内位置情報サービスの顧客価値連鎖図である。この図からは、従来の位置情報サービスと比較し、新しい会社を創出し消防や警察といった機関からの投資も必要となることが分かる。凡例に示したように、赤枠の \$ マークと矢印は、新しい顧客からの費用の流れである。屋内空間は大きなビジネスを創出する場所であるとともに、災害が起きた場合に危険な場所でもある。そのため、商業施設など広告主体だけでなく、消防や警察で利用されるよう推進する必要がある。そのためには災害時や緊急時に停電が起きた場合でも、ある一定時間は正常に稼動する屋内測位システムが求められる。

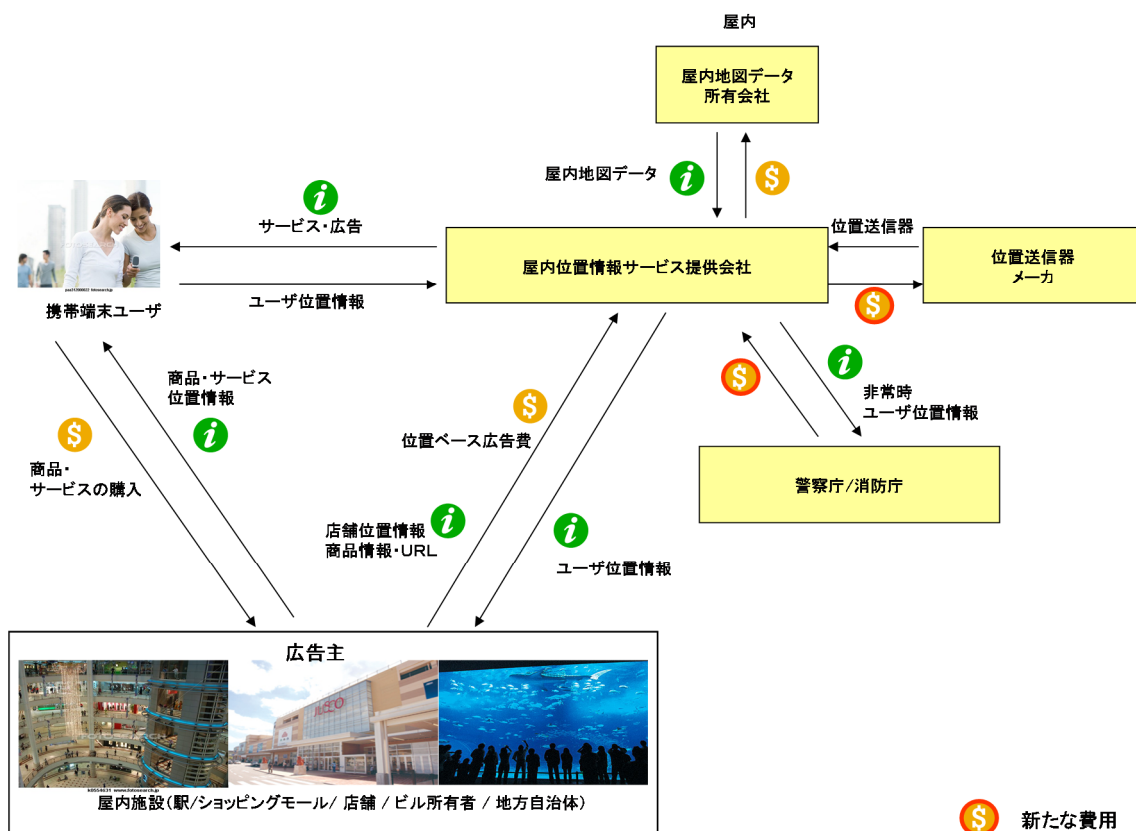


図 58 屋内位置情報サービスの顧客価値連鎖分析 (一例)

説明：屋内位置情報サービスを担う新しい会社の登場が必要となる。新会社は屋内地図データと屋内測位システムを調達、もしくは独自で運用するための新たな費用（赤枠のドルマーク）が発生する。その費用を屋内施設と警察・消防といった税金から得る。

また、1章3節1項で述べたように、ビジネスモデルと並行して議論が必要なのが、位

置情報の信頼性の担保やメンテナンスなど運用の仕組みである。誰がどのように機器を設置し、保守・運用し、廃棄するのかといったルール作成、位置情報や精度の保証といった品質の問題など、システムで対策を講じる必要がある。筆者は2011年度、国土交通省国土地理院がスタートした「場所情報コードの利用技術に関する共同研究[30]」に参加し、場所情報コードの拡張コードの記述仕様を提案した[81]。記述仕様の中には、設置日や製造メーカーコード、設置管理者を記述する項目を設けている(表25参照)。このような保守・運用ルールを取り決めた上で、屋内位置情報サービスを展開していくことが望ましい。

表 25 場所情報コードの拡張コード（詳細位置情報）仕様（案）

	名称	ビット数	内容
0	表現形式	1	0：標準 1：ショートタイプ
1	有効桁位置（緯度用）	3	緯度の有効桁の位置を指定（秒単位の小数点以下0-5桁）
2	北緯／南緯指定	1	0：北緯, 1：南緯
3	緯度値（0.00001秒表記）	3 5	$< 90 \times 3600 \times 100000 = 324000.00000$ 秒
4	有効桁位置（経度用）	3	経度の有効桁の位置を指定（秒単位の小数点以下0-5桁）
5	東経／西経指定	1	0：東経, 1：西経
6	経度値（0.00001秒表記）	3 6	$< 180 \times 3600 \times 100000 = 648000.00000$ 秒
7	有効桁位置（高度用）	4	高度の有効桁の位置を指定（0-7桁）
8	標高識別指定	1	0：プラス標高, 1：マイナス標高
9	高度（0.01cm表記）	2 7	$< 2^{27} = 13421.7728$ m
10	設置日	2 0	位置情報点の設置日を修正ユリウス日で設定（無効指定の場合は, 0xFFFF を設定）
11	最終更新日	2 0	位置情報点の最終更新日を修正ユリウス日で設定（無効指定の場合は, 0xFFFF を設定）
12	媒体種別	8	デバイスの種別を示す（0-255） 2.3 デバイス種別コードを参照
13	製造メーカーコード （企業コード）	4 0	製造メーカーを識別するコード 2.4 製造メーカー識別コードを参照
14	商品コード	1 6	製造メーカーが商品に付与するコード
15	製造番号	3 2	製造メーカー商品コード毎に製造メーカーが付与するコード
16	設置管理者	2 6 4	33バイトの文字列（UTF-8）

5 章 結論と今後の展開

5.1 結論

屋内位置情報サービスの実現には、屋内地図データの整備と屋内測位システムが必須となるが、いまだ実用化に向けた有効的な手法は確立されていない。本研究は、この屋内地図データの問題を解決することを主目的として、屋内地図を容易に作成できる手法を提案し、その新規性と有効性、信頼性を示した。

具体的には、法務局に登録されている各階平面図を利用することで、測量など専門知識や機材を用いることなく、また、専門家や商業施設の関係者にも頼ることなく、屋内地図データベースの構築が実現可能であることを示した。各階平面図は不動産登記法において、建物の登記の際に必ず添付する資料であることから、日本全国の屋内地図データベースを構築できる可能性がある。さらに今回筆者は「東京ミッドタウン」の屋内地図を作成し、既存の地図ポータルサイトに正確に重ねた。そして、ネットワークデータにより屋外と屋内をシームレスに繋ぐことにより、地図ポータルサイトとの親和性があることを示した。

また、地図を見ることが困難な場面や、視覚障害者に屋内地図情報を提供するために、可視光通信を利用した位置情報と音声による経路案内システムを提案した。視覚障害者に地図を提供する方法には触地図といったものもあるが、移動しながら地図（もしくは周囲や進行方向）を確認することが必要と判断し、音声経路案内システムを開発し、実証実験を通じてその有効性を示した。具体的には LED 照明を利用した可視光通信技術と、各階平面図より作成した屋内地図データおよび、汎用性の高いスマートフォンに内蔵される地磁気センサを組み合わせ、視覚障害者専用の音声経路案内システムを開発した。そして、大阪市とパナソニックの協力を得て、LED 照明を ATC エイジレスセンターに設置し、被験者 6 名に対し実証実験を行った。実験の結果、LED 照明から送られる位置情報と地磁気の色を補正処理することで、進行方向と距離を案内できることを確認した。この音声経路案内システムを利用すれば、視覚障害者だけでなく、晴眼者への利用の可能性も広がる。

5.2 屋内地図データ整備の今後の展開

本研究では容易に屋内地図データを作成できる手法を提案したが、今後はデータの品質をどう保証していくのか議論が必要になる。また、今回のような商業施設だけでなく地下街や駅構内、さらには海外など、各階平面図をベースに作成することが難しい屋内空間のデータベース化についても考えなくてはならない。一方で、屋内地図データの簡易作成手法を示してきたが、膨大なデータを一体誰が整備するのか、といった問題は解決されない。前述した通り、Google は既に屋内地図データの作成に取り組んでいるが、閲覧方法や閲覧エリアが制限されている。また、閲覧だけなら無料であるが、屋内地図を利用してサービスを行うためには、費用が発生する場合がある。

そこで筆者は OpenStreetMap (OSM) の仕組みを利用することを考え活動を始めた。4 章で述べた通り OSM は、地図のウィキペディアとも呼ばれ、ボランティアによって作成される完全フリーの地図データである。一例だが、2010 年 1 月のハイチ地震において、現地に詳細な地図がない中で、現地救援活動等に利用できるよう、地図が作成された。作成された地図は、国際赤十字が救援活動に使用するなど、大きく貢献している。また、東日本大震災でも、OSM は sinsai.info に地図データを提供し、成果を上げている [3]。さらに Google Maps が 2011 年よりページビューにより有料化を実施したため、Apple や Yahoo! Japan などがサービスの一部で OSM を採用したことから注目をされている。筆者はこの仕組みを利用するために、屋内地図データの作成ボランティアのプロジェクトを立ち上げた。このプロジェクトは 2012 年 6 月にスタートし、東急電鉄の支援を受け、渋谷、二子玉川エリアの駅構内、および商業施設の屋内地図データを作成している (図 59)。作成に当たって、本研究で提案する手法の一部を適用している。具体的には平面図を OSM にオーバーレイをして、JOSM (OSM の作成ソフトウェア) を利用している。

今後は地下街や駅構内の地図作成手法を模索するとともに、今後、OSM を利用した屋内地図データベースを一般に公開していく。一般公開していく中で、プライバシーの保護の問題を含む利用方法や、更新方法について広く意見を求めるとともに、屋内の測位技術についても研究を進め、屋内外の位置情報サービスのさらなる発展に貢献する考えである。

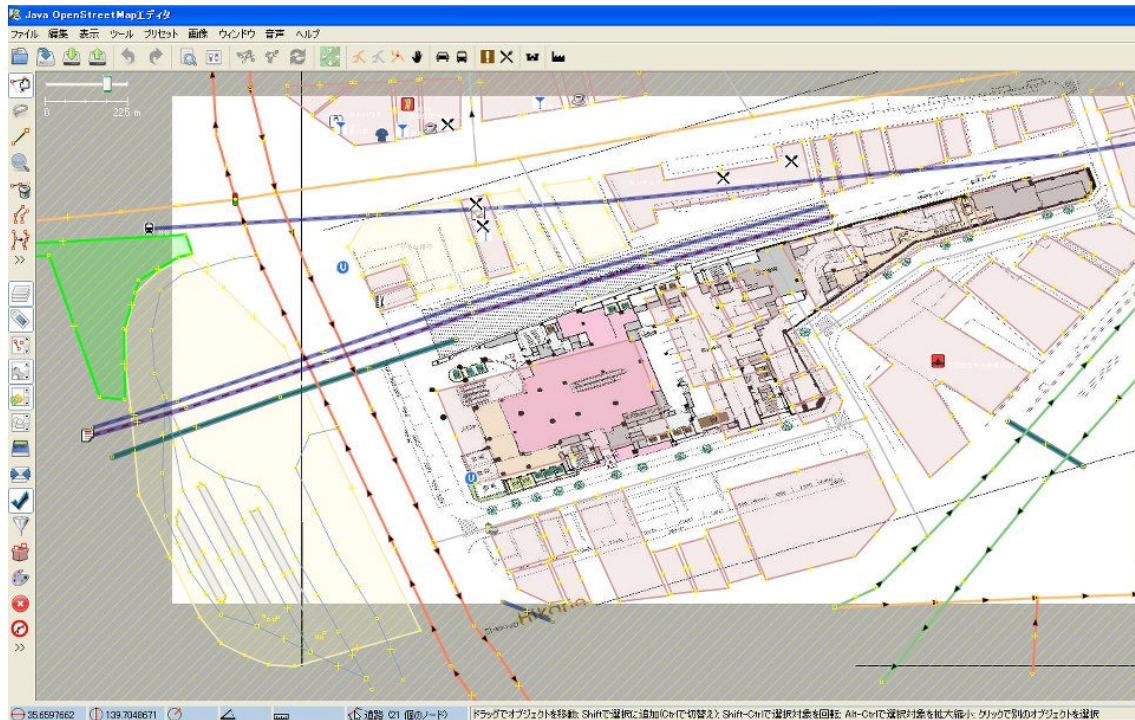


図 59 OSM による渋谷ヒカリエのマッピング

提供 東京急行電鉄株式会社

説明：渋谷ヒカリエの平面図（中央）をオープンストリートマップに正確に重ね合わせている。この後、ソフトウェア（JOSM）を使って平面図をトレースしていく。

5.3 音声経路案内システムの今後の展開

視覚障害者が商業施設など屋内空間を自由に歩行するためには、音声経路案内システムの更なる品質向上が必要となる。特に全盲者が介助者のサポートなしで歩行するためには、方位精度の向上が必須となる。我々はイメージセンサを用いて LED 照明から送られる位置情報を受信し、正確な到来方向を検出する研究を行っているが[82]、この手法を用いれば、歩行中に進行方向が変化した場合であっても対応可能であることから、今後実用化に向けて研究開発を進めていきたい(図 60 参照)。また、現実空間では歩行中に障害物や人など、視覚障害者にとって危険な状況が多くある。この状況を回避するためには、画像処理システムが必要と考える。例えば、前述した PTAM(Parallel Tracking and Mapping) や SLAM(Simultaneous Localization and Mapping) など既存の技術を応用し、リアルタイムに障害物を感知し、知らせる仕組みを確立する必要がある。

また、弱視者に向けた音声経路案内は、他のサービスと同様に音声認識や音声合成技術の向上とともに実現が近づいていくと思われる。屋内空間においては、筆者が提案した可視光通信と地磁気センサを組み合わせて技術以外にも、Wi-Fi や超音波、IMES と推測航法の組み合わせによる商業施設における実験が始まっている。今後は一般的な音声経路案内を拡張する形で、弱視者専用のナビゲーションサービスを実用化するのが、コスト面からも実現性が高いため、注力していきたい。

今回は視覚障害者の歩行に関して、可視光通信技術や地磁気センサの補正といった工学的手法で解決を図ったが、視覚障害者は、その症状や経験、環境によって個人差が大きい。そのため、より多くの視覚障害者の意見から事例を集めていくことや、環境情報(音や空気の流れ等)をセンサより集め、分析する方法、さらには心理面を考慮する研究や学習方法を工夫するといったアプローチにも取り組みたい。



図 60 イメージセンサによる実験

説明：移動車に搭載したカメラで天井の照明位置を認識（ディスプレイに照明が映っている）し、スマートフォンから位置を指示することで正確にその場所まで移動する

参考文献

- [1] Lrzysztof W. Kolodziej.; Johan Hjelm. Local Positioning Systems LBS Applications and Services. Taylor&Francis. 2006, 445p.
- [2] 総務省第五十三条. “事業用電気通信設備規則(昭和60年4月1日郵政省令第30号)”. 総務省. 2007-04-01. <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S60/S60F04001000030.html>, (参照 2013-07-10) .
- [3] 関治之. 東日本大震災支援プラットフォーム sinsai.info の成り立ちと今後の課題. 情報処理学会デジタルプラクティス. 2011, Vol.2, No.4, p.237-241.
- [4] Sobel, Dava. 経度への挑戦(Longitude: The True Story of a Lone Genius Who Solved the Greatest Scientific Problem of His Time). 翔泳社. 1997, 205p., ISBN 4-88135-505-8.
- [5] アミール・D. アクゼル. 羅針盤の謎—世界を変えた偉大な発明とその壮大な歴史. アーティストハウスパブリッシャーズ. 2004, 212p., ISBN 978-4048981736.
- [6] 山本昇. ナビゲーション「位置情報」が世界を変える. 集英社. 2012, 176p., ISBN 978-4-08-720655-5.
- [7] 森田喬. 神の眼 鳥の眼 蟻の眼. 毎日新聞社. 1999, 223p., ISBN 4-620-31323-8.
- [8] 有川正俊, 太田守重. GIS のためのモデリング入門. ソフトバンククリエイティブ. 2002, 279p., ISBN 978-4-7973-4277-2.
- [9] 岡本耕平, 若林芳樹, 寺本 潔. ハンディキャップと都市空間 —地理学と心理学の対話—. 古今書院. 2006, 195p., ISBN4-7722-7019-1.
- [10] 土井美和, 柴崎亮介, 西尾修一. 位置情報の活用と流通. オーム社. 2010., 228p., ISBN978-4-274-20945-1.

- [11] 白井 澄夫. 高精度衛星測位技術の動向と応用. 電子情報通信学会誌. 2009, Vol. 92, No. 9, p. 768-774.
- [12] 玉真哲雄. 測位・航法システムにおける民生/安保の接点と日本の状況. 電子情報通信学会論文誌「通信：B」. 2001, VOL. J84-B, No. 12, p. 2076-2081.
- [13] 小暮聡. ”アジア・オセアニア地域におけるマルチ GNSS の状況”. 第 5 回準天頂衛星システムユーザミーティング, 2010-03-30. http://qz-vision.jaxa.jp/USE/is-qzss/QZSSUM_05_04.pdf, (参照 2013-07-11) .
- [14] 宇宙開発戦略専門調査会. “中間報告（案）「我が国測位衛星システムの事業計画の検討の基本的考え方について” . 内閣官房, 2011-04-22. <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/utyuu/QZSkaihatsu/dai6/siryuu2.pdf>, (参照 2013-07-11).
- [15] Mg Siegler. “Google Maps For Mobile Crosses 200 Million Installs; In June It Will Surpass Desktop Usage” . TechCrunch. 2011-05-25. <http://techcrunch.com/2011/05/25/google-maps-for-mobile-stats/>, (accessed 2013-07-11).
- [16] ヴィンセント・ヴァーガ, アメリカ議会図書館. 地図の歴史. 東洋書林. 2009, 495 p., ISBN978-4-88721-757-7.
- [17] 宇宙航空研究開発機構(JAXA). “人口衛星・探査機 陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)” . JAXA. 2011-10-20. <http://www.jaxa.jp/projects/sat/alos/>, (参照 2013-07-14).
- [18] 総務省告示第 695 号. “電気通信事業における個人情報保護に関するガイドラインの解説” . 総務省. 2004-08-31. http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/d_syohi/pdf/051018_1.pdf, (参照 2013-07-11).
- [19] Jonathan Raper; Georg Gartner; Hassan Karimi; Chris Rizos. Applications of location-based services: a selected review. Journal of Location Based Services. 2007. Vol.1. No2., p. 89-111.

- [20] 一般財団法人日本情報経済社会推進協会. “22-H004 時空間情報サービスの技術と市場に関する調査報告書”. 一般財団法人日本情報経済社会推進協会. 2011-03. <http://www.jipdec.or.jp/pdf/project/jka/2010/22-h004report.pdf>, (参照 2013年7月11日).
- [21] Klepeis NE; Nelson WC; Ott WR; Robinson JP; Tsang AM; Switzer P; Behar JV; Hern SC; Engelmann WH. The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*. 2001, Vol.11, No. 3, p.231-252.
- [22] 塩津弥佳, 吉澤晋, 池田耕一, 野崎淳夫. 生活時間調査による屋内滞在時間量と活動量 屋内空気汚染物質に対する曝露評価に関する基礎的研究 その1. 日本建築学会計画系論文集. 1998, No. 511, p. 45-52.
- [22] The White House. “Remarks by the President in State of Union Address”. The White House Office of the Press Secretary. 2011-01-25. <http://www.whitehouse.gov/the-press-office/2011/01/25/remarks-president-state-union-address>, (accessed 2013-07-11).
- [23] 竹田育広. 駅ナカ・マーケティング : 日本の鉄道産業におけるビジネスモデル革新. 商経学叢. 2011, Vol. 57, No. 3, p. 897-922.
- [25] 国土交通省北海道開発局. “地下歩行空間開通後の利用状況をお知らせします” 国土交通省北海道開発局. 2011-09012. <http://www.sp.hkd.mlit.go.jp/press/pdf/11091202.pdf>, (参照 2013-07-11).
- [24] 加藤肇, 中里栄悠, 松本阿礼. 移動者マーケティング. 日経 BP コンサルティング. 2012, 232p., ISBN978-4-86443-006-7.
- [25] 防災分野におけるシームレス測位技術の利活用に関する研究会, 報告書資料. 財団法人衛星測位利用推進センター. 2010-06. 49p.

- [26] 柴崎亮介. 地理空間情報活用推進基本法入門. 日本加除出株式会社. 2008, 250p., ISBN-13 978-4817813534.
- [27] G空間プロジェクト. “地理空間情報の活用推進”. 経済産業省. http://www.meti.go.jp/policy/it_policy/GIS/, (参照 2013-07-11)
- [28] 国土交通省国土地理院. “場所情報コードを活用した位置情報サービスの実現—場所情報コードの活用促進—”. 国土交通省国土地理院. 2010-05. <http://www.gsi.go.jp/common/000055759.pdf>, (参照 2013-07-11).
- [29] 越塚登. “ユビキタス ID 技術の相互運用性 に関する研究開発”. 総務省. 2008-12-12. [http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/scope/event/h23yokousyu/C1-3\(pre\).pdf](http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/scope/event/h23yokousyu/C1-3(pre).pdf), (参照 2013-07-11).
- [30] 大槻知明. “位置推定技術”. 電子情報通信学会信学技法. 2009, <http://www.ohtsuki.ics.keio.ac.jp/theme/localization.pdf>, (参照 2013-07-11).
- [31] 越塚登, 坂村健. ユビキタス ID 技術とその応用. 電子情報通信学会誌. 2004, Vol. 87, No. 5, p. 374-378.
- [32] 暦本純一, 塩野崎敦, 末吉隆彦, 味八木崇, “PlaceEngine:実世界集合知に基づく WiFi 位置情報基盤”. インターネットコンファレンス. 2006, p. 95-104.
- [33] 何韜, 梶克彦, 河口信夫. “位置推定のための無線 LAN 観測データベースの健全性維持手法”. 情報処理学会第 73 回全国大会講演論文集. 2011, vol. 3, p. 281-282.
- [34] 藤本康雄, 西田 嗣, ザンクト・ガレン修道院平面図について : その描かれ方と尺度用法(建築史・建築意匠・建築論). 日本建築学会. 1989, Vol. 29, 計画係, p. 941-944.
- [35] IndoorGML. “IndoorGML SWG”. Open Geospatial Consortium, <http://www.opengeospatial.org/projects/groups/indoorgmlswg>, (accessed 2013-07-11).
- [36] CityGML. “Virtual 3D City Models”. Open Geospatial Consortium, <http://www.citygml.org/>, (accessed 2013-07-11).

- [37] 一般財団法人日本情報経済社会推進協会. 平成 23 年度産業技術実用化開発事業費補助金 (次世代高信頼・省エネ型 I T 基盤技術開発・実証事業) <G 空間プロジェクト分野> 事業報告書. 一般財団法人日本情報経済社会推進協会. 2012-03. 96p.
- [38] Kim, Sun K.; Ishii, K.; Beiter, K. “Scenario Graph: Discovering new business opportunities and Failure Modes”. Proceedings of ASME International Design Engineering Technical Conferences. Las Vegas, NV, Sept. 2007, DETC2007-34967, ISBN 0-7918-3806-4.
- [39] Krista M. Donaldson; Kosuke Ishii; Sheri D. Sheppard. “Customer Value Chain Analysis”. Research in Engineering Design. 2006, 16, p.174-183.
- [40] 森田 喬. “主題図の地図設計 : 地図情報の作り手の論理と受け手の論理 : 「地図と地理認識」”. 地理科学. 1990, Vol.45, No3.3, p.144-150.
- [41] Luce, R. D; Tukey, J. W. Simultaneous Conjoint Measurement: A New Type of Fundamental Measurement. Journal of Mathematical Psychology. 1964, Vol.1, p.1-27.
- [42] 平岡透, 若松浩二. 屋内環境下での 3 次元地図点群データからの 2 次元地図ベクトルデータの作成. 写真測量とリモートセンシング. 2007, Vol.46, No.4, p.66-70.
- [43] Trimble. “Indoor Mobile Mapping Solution”. Trimble. <http://www.trimble.com/Indoor-Mobile-Mapping-Solution>, (accessed 2013-07-12).
- [44] 経済産業省. “G 空間プロジェクト 3 次元地理空間情報データベース構築関連”. 経済産業省. http://www.meti.go.jp/policy/it_policy/GIS, (参照 2013-07-11).
- [45] Naohiko Kohtake; Nobuaki Minato. “Flexible Technical System Design for Indoor and Outdoor Seamless Positioning System with GPS Technology”. Tenth Global Conference on Flexible Systems Management. GLOGIGT2010. Yokohama, Japan, 2010.
- [46] 法務省. “不動産登記規則”. e-Gov. <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H17/H17F12001000018.html>, (参照 2013-07-12).

- [47] 東京ミッドタウン. “フロアガイド”. Tokyo Midtown. <http://www.tokyo-midtown.com/jp/shop-restaurants/floor/index.html>, (参照 2013-07-12).
- [48] Environmental Systems Research Institute Inc. “大学・短期大学・専門学校. esri ジャパン”. <http://www.esri.jp/industries/education/university/>, (参照 2013-07-12).
- [49] University of Minnesota, “MapServer open source web mapping”. MapServer. <http://mapserver.org>, (accessed 2013-07-12).
- [50] OSGeo Project, “PostGIS”. PostGIS. <http://postgis.refractor.net>, (accessed 2011-07-12).
- [51] pgRouting Community, “pgRouting Project”. pgRouting. <http://pgrouting.org/>, (accessed 2013-07-12).
- [52] Mordechai (Muki) Haklay; Patrick Weber. OpenStreetMap User-Generated Street Maps. IEEE Pervasive Computing. 2008, Vol.7, No.4, p.12-18.
- [53] 矢入(江口)郁子. 視覚障害者移動支援のためのアシスティブテクノロジー研究開発の動向. システム制御情報学会誌. 2010, Vol.54, No.9, p.354-359.
- [54] W. Crandall; B.L. Bentzen; L. Myers; J. Brabyn. New orientation and accessibility option for persons with visual impairment: transportation applications for remote infrared audible signals. Clinical and experimental OPTOMETRY. 2001, Vol.84, No.3, p.120-131.
- [55] 戸澤清茂, 今宮淳美, 小谷信司. “視覚障害者の歩行時での有効な音声情報の分析”. 電子情報通信学会技術研究報告 WIT 福祉情報工学. 2006, Vol.106, No.144, p.43-48.
- [56] 浅野裕子, 橋本修, 井上勝夫. “視覚障害者の鉄道駅利用に対するアンケート調査: 視覚障害者の移動支援計画における聴覚情報利用に関する研究”. 日本建築学会 学術講演梗概集. 2007, p.965-966.

- [57] 岡本卓馬, 太田篤史. “歩行空間における音環境のデザイン: 視覚障害者と晴眼者の捉え方を比較して”. 日本建築学会学術講演梗概集. 2010, p. 47-48.
- [58] 石川准, 兵藤安昭. “GPS による視覚障害者歩行支援システムの開発”. 電子情報通信学会技術研究報告. 2005, Vol.104, No. 554, p. 51-56.
- [59] 菅野智行, 秋山真也, 井上直樹, 曲谷一成. “GPS と携帯電話を用いた視覚障害者誘導システムの開発”. ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集. 2009, “1A1-C09 (1) ”-“1A1-C09 (4) ”.
- [60] 厚生労働省, 特定非営利活動法人プロジェクトゆうあい. “平成 21 年度障害者保健福祉推進事業 視覚障害者の歩行移動を支援するための, 音声案内システムの現状及び今後のあり方に関する調査”. 障害者福祉: 平成 21 年度障害者自立支援調査研究プロジェクト成果物一覧. http://www.mhlw.go.jp/bunya/shougaihoken/cyousajigyoku/jiritsushien_project/seika/research_09/dl/result/08-09a.pdf, (参照 2013-07-11).
- [61] 国土交通省. “平成 21 年度国土交通省事後評価実施計画”, 国土交通省. <http://www.mlit.go.jp/common/000056483.pdf>, (参照 2013-07-11).
- [62] Hui Liu; Houshang Darabi; Pat Banerjee; Jing Liu. Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and System. IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS-PART C: APPLICATIONS AND REVIEWS. 2007, Vol.37, No.6, p.1067-1080.
- [63] DeWayne R Brown; Derrek B Dunn. “Classification schemes of positioning technologies for indoor navigation”. Proceedings of IEEE. 2011, p.125-130.
- [64] 鵜沼宗利, 倉田謙一郎, 外山敦也, 堀江武. 特集, 空間情報認知特性の基礎と応用論文: 人の歩行動作認識技術を応用した自律的位置検出手法(位置検出). 電子情報通信学会論文 A. 2004, 基礎・境界, Vol. J87-A, No. 1, p. 78-86.
- [65] 柳原崇男, 三星昭宏, 北川喜代治. “視覚障害者の歩行能力を考慮した音声案内システムの評価に関する研究”. 土木計画学研究・講演集. 2005, Vol. 32, No. 90.

- [66] 東京都, NPO法人ことばの道案内. “東京都における視覚障害者のための道案内システムの実験”. 道路行政セミナー. 2011, 11月号, 6p.
- [67] 服部聖彦, 藤井哲也, 門洋一, 張兵. “2次元マーカを用いた屋内ユーザー位置・方向推定システムの検証”. 情報処理学会研究報告. 2008, UBI, ユビキタスコンピューティングシステム, Vol.2008, No.18, p.203-207.
- [68] 小室信喜, 六田智之, 待井一樹, 白石剛大, 上田裕巳, 河西宏之, 坪井利憲. “UHF帯 RFID を用いる屋内位置推定の推定精度向上法”. 電子情報通信学会技術研究報告. 2009, Vol.109, No.116, , p.41-46.
- [69] 小室信喜, 白石剛大, 十文字弘道, 上田 裕巳, 河西宏之, 坪井利憲. “複数の RFID リーダを用いる屋内位置推定におけるリーダ間干渉の影響”. 電子情報通信学会技術研究報告. 2010, Vol.110, No.117, p.73-78.
- [70] 谷口健太郎, 石橋功至, 河野隆二, “UWB 型センサネットワークにおけるセンサ指向性を考慮した位置検出法(アダプティブアンテナ, MIMO 及び無線信号処理技術”. 電子情報通信学会技術研究報告. 2006, Vol.106, No.305, p.73-78.
- [71] 総務省移動企画課. “平成 22 年度 UWB 無線センサネットワークの周波数共用条件に関する調査検討会 UWB 無線システムの動向について”. 総務省. 2010-09-03. <http://www.soumu.go.jp/soutsu/kinki/studygroup/2010/UWB/1-5.pdf>, (参照 2013-07-14).
- [72] 中里祐介, 神原誠之, 横矢直和. ウェアラブル拡張現実感のための不可視マーカと赤外線カメラを用いた位置・姿勢推定. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌. 2005, Vol.10, No.3, p.295-304.
- [73] Klein, G.; Murray, D. “Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces”. ISMAR '07 Proceedings of the 2007 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality. 2007, p.1-10.

- [74] 大田周, 坂本竜基, 小暮潔, 藤波努. “画素位置取得可能な光 ID タグとフロアセンサを統合した複数人物追跡”. 情報処理学会研究報告. 2006, Vol.2006, No. 25, p.309-314.
- [75] 蔵田武志, 興梠正克, 石川智也, 亀田能成, 青木恭太, 石川准. “視覚障害者歩行支援システム ～測位と障害物検知に関する予備評価～”. 電子情報通信学会技術研究報告. 2010, Vol.110, No.238, p.67-72.
- [76] 亀田能成. “マーカーレスAR”. 映像情報メディア学会学会誌.2012, Vol.66, No.1, p.45-51.
- [77] 中島円, 神武直彦, 春山真一郎. IMCM:各階平面図を利用した屋内地図データ簡易作成手法. ヒューマンインタフェース学会論文誌. 2012, Vol.14, No.2, p.121-130.
- [78] 伏見竜, 牧野秀夫, 長添和史. “視覚障害者歩行支援の蛍光灯通信位置情報システム”. パナソニック電工技報. 2009, Vol.57, No.4, p.53-52.
- [79] 工藤淳平, 牧野秀夫, 鈴木祥之, 前田義信. “蛍光灯通信を用いた屋内案内における方位取得方法”. 第4回 明日を拓く高度情報通信シンポジウム. 2007.
- [80] 東修作. “OpenStreetMapの事例を通じて考えるオープンデータのライセンス設定”. 情報管理. 2013, Vol.56, No.3, P.140-147.
- [81] エル・エス・アイ ジャパン. “場所情報コード利用技術に関する共同研究WG1 報告書”, 国土交通省国土地理院. 2012-03.
- [82] Toshiya Tanaka; Shinichro Haruyama. “New Position Detection Method using Image Sensor and Visible Light LEDs”. IEEE Second International Conference on Machine Vision. 2009, Dubai, the United Arab Emirates(UAE), p.150-153.

研究業績

学会誌等における誌上発表(投稿中を含む)※筆頭著者のみ

Refereed journal papers (as the first author)

- IMCM：各階平面図を利用した屋内地図データ簡易作成手法，中島 円，神武 直彦，春山 真一郎，ヒューマンインタフェース学会論文誌，Vol.14, No.2, pp.121-130, May 2012.
- New Indoor navigation system for visually impaired people using visible light communication, Madoka Nakajima, Shinichiro Haruyama, EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking”, EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking 2013, Feb 2013.
- 視覚障害者の屋内歩行支援を目的とした音声ナビゲーションシステムの提案と実証実験による検証，中島 円，神武 直彦，春山 真一郎，電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌) Vol.133, No5, pp.922-929, May 2013.

国際会議発表(投稿中を含む)※筆頭著者のみ

Reviewed International Conference (as the first author)

- PATH PLANNING USING INDOOR MAP DATA GENERATED BY THE PLAN VIEW OF EACH FLOOR” (平面図を用いた屋内地図による経路探索)，Madoka Nakajima, The 25th International Cartographic Conference, Proceedings (ISBN: 978-1-907075-05-6), Paris, July. 3-8, 2011.
- Indoor navigation system for visually impaired people using visible light communication and compensated geomagnetic sensing (可視光通信と地磁気補正を利用した視覚障害者向け屋内ナビゲーションシステム)，Madoka Nakajima, Shinichiro Haruyama, IEEE ICC 2012 “COMMUNICATIONS FOR A SUSTAINABLE FUTURE”, Beijing China, Aug. 15-17, 2012
- System Design Approach derives a New type of Insurance (システムデザイン手法による新保険タイプ)，Madoka Nakajima, Hiroyuki Yagita, Shoichi Sasaki, 5th International Conference on Business and Technology Transfer(ICBTT2010), York UK, Dec. 2-4, 2010.

筆頭著者でない学会誌における紙上発表，国際会議発表，国内会議・研究会発表

Refereed journal papers, Reviewed or Non-Reviewed Conferences (as the coauthor)

- Calibration of Dead Reckoning with IMES for Indoor Pedestrian Navigation (屋内ナビゲーションのために推測航法の補正)，Masaki Hidaka*, Madoka Nakajima, Naohiko Kohtake, 2012 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, Sydney, Nov 13-15, 2012.

- 池田樹実彦*, 中島円, 田中康平, 日高正貴, 田端謙一, 尾崎準一, 政木英一, 神武直彦, 位置情報サービスプラットフォームおよび検証ツールの設計, 情報処理学会第74回全国大会, 2012年3月.
- Hiroyuki Yagita*, Akira Tose, Madoka Nakajima, Sun K, Kim, Takashi Maeno, A Validation Regarding Effectiveness of Scenario Graph (シナリオグラフの効果性に関する検証), Proceedings of the ASME 2011 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, IDETC/CIE 2011, Washington, DC, USA, Aug. 29-31, 2011.

その他(著書, 特許, 開発実績, 受賞等)

- 2012年度 社団法人日本機械学会「技術と社会部門」優秀講演論文賞
- App Name: Indoors, App Version Number: 1.0, App SKU: indoors20111118, App Apple ID:481944342, 2011/11/24.

謝辞

本研究論文は慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科（慶應 SDM）後期博士課程在籍中の2009年4月から2013年夏までの、約4年半の研究内容を主にまとめたものである。

屋内位置情報サービスは未だ多くのユーザに利用される状況には至っていないが、本研究成果が屋内位置情報サービス実現に必ず役に立つと信じるとともに、この4年半の間にお世話になった方々に御礼を申し上げたい。

はじめに、指導教員の春山真一郎教授に心から御礼申し上げます。入学前から約5年間、能力の足りない私に根気良くご指導下さり、また時に厳しく、時に優しく接して頂き、本当に有難うございました。特にこの研究成果である各階平面図を利用した屋内地図の作成手法については、まだオープンデータという言葉が流行りだす前から、終始一貫して評価して頂きました。先生の研究に対する情熱は限りなく熱く、研究に迷った時は先生の汗する姿を思い出すことで頑張ることができたと思っています。

ご多忙の中、副査を引き受けて下さった、神武直彦准教授、法政大学の森田喬教授、東京大学の有川正俊教授に、深謝致します。

神武直彦先生には研究のみならず、位置情報サービスの国家プロジェクトをいくつもご一緒させて頂きました。先生のお陰で最先端の技術を利用した研究開発に携わることができました。また、私の稚拙な研究姿勢に対し、研究の基本について繰り返し、繰り返し教えて頂きました。「研究をする時は、何が問題で、どのような解決方法があって、その中で中島さんはどうやって解決するのかを示して、その結果に対してどのように考えているかを常に述べるようにして下さい。」と、何度もお話頂きました。本当に有難うございました。

日本地図学会会長の森田喬教授は、地図学の分野で大変な実績と人脈をお持ちで、私のような若輩者の副査を引き受けて下さり大変光栄に思っております。先生の地図への思い、知識はとても深く、論文や書籍はとても面白く、それでいて誰にでも笑顔で話をしてくださる姿に感激して、図々しくも副査をお願いしました。有益なコメントをたくさん頂き、有難うございました。

有川正俊教授はとても古くからお付き合いを下さっている先生です。現在は東京大

学の空間情報科学研究センター (CSIS) にて研究をされていますが、CSIS が設立される以前から、地理情報システム学会でお世話になっております。昨今では、国際学会でフランス・パリとオーストリア・ウィーンでもご一緒させて頂きました。先生の研究はいつも新鮮かつビジネスへのヒントも豊富です。今回も貴重なコメントをたくさん頂きまして、本当に有難うございました。

慶應 SDM 初代研究科委員長の狼嘉彰先生をはじめ、小木哲朗先生、佐々木正一先生、高野研一先生、手嶋龍一先生、中野冠先生、西村秀和先生、日比谷孟俊先生、牧野泰才先生には研究発表会等で貴重なコメントを頂きました。深く感謝を申し上げます。また、講義やイベント等でお世話になりました、当麻哲哉先生、白坂成功先生、保井俊之先生、西山敏樹先生、湊宣明先生に感謝申し上げます。

前野隆司研究科委員長には慶應 SDM の哲学を教えて頂くとともに、先生がご指導されていた車椅子の穂苺正樹さん (2012 年秋修了) の研究をお手伝いする機会を頂きました。この時、先生の教育への情熱を身近で感じる事ができたことは、何より貴重な時間でした。あらためて御礼申し上げます。

慶應日吉の学生部の皆様にも多くのサポートをして頂きました。感謝を申し上げます。

春山研究室と神武研究室の助教、先輩、現メンバーに御礼申し上げます。特に、有田武美さん、森谷英一郎さん、浦邊秀樹さん、田中稔也さん、肥後尚之さん、廖翊君さん、松永和正さん、池田樹実彦さん、日高正貴さんとは、位置情報サービスの実験に向けて大変多くの時間を共有させて頂きました。

また、同時期に慶應 SDM で過ごした多くの仲間に感謝します。ALPS (Active Learning Project Sequence) やデザインプロジェクトを共にし、時に深夜まで熱く議論をし、時に励まし合ったことは忘れられません。特に、八木田寛之さん、野村真也さん、穂苺正樹さんには、修了されてからも有益なアドバイスや新しい刺激をたくさん頂きました。博士課程の醍醐奈生子さんには無理を言って、位置情報サービスのシナリオビデオ撮影に協力して頂きました。都丸孝之さんは博士課程の先輩でもあり、多くのアドバイスを頂きました。

可視光通信技術を用いた音声経路案内システムの構築に向けた実証実験では、大阪市都市型産業振興センター、ロボットラボラトリー、パナソニック、社団法人大阪市視覚障害者福祉協会に御礼致します。また、不勉強な私に、視覚障害に関する知識を細かく指導下

さった、社会福祉法人日本点字図書館の和田勉氏、バリアフリー映画鑑賞推進団体シティライツ副代表の斉藤恵子氏、水越直之氏に感謝致します。

長年に渡り、技術者としての土台を築いてくれた勤務先の国際航業株式会社と日本アジアグループ株式会社の経営陣、先輩、同僚の皆様に感謝申し上げます。特に技術開発センターの大島洋志最高顧問、太田守重フェローには、5年もの長き間、激励を頂くとともに、温かく見守って頂きました。御二人が会社にいらっしゃらなければ、今の自分はなかったと思います。本当に有難うございました。

弁理士の甲斐哲平さんには、著作権の問題で大変お世話になりました。有難うございました。有限会社アトリの内田良宏さんは、私の我侷な要望を叶えて下さる、スーパープログラマです。いつもの確かなサポートをして下さいまして、有難うございます。慶應義塾外国語学校の Paul Ginn 先生には英会話の指導を、日本大学の Clive Langham 教授にはプレゼンテーションの指導を頂きました。

国家プロジェクトや委員会等でお世話になった、経済産業省、一般財団法人日本情報経済社会推進協会 (JIPDEC)、東急電鉄、国立情報学研究所、カシオ計算機 宇宙航空研究開発機構 (JAXA)、JR グループ、国土交通省国土地理院、東京大学・柴崎研究室、新潟大学、名古屋大学・河口研究室の皆様にご礼申し上げます。ウィーン工科大学の Georg Gartner 先生、香港中文大学の Angela Ying Jun Zhang 先生には、国際会議で貴重な意見を頂きました。日本機械学会の技術と社会部門でお世話になった諸先生方、また、日本地図学会やジオメディアサミットで交流した皆様にご礼申し上げます。

OpenStreetMap との出会いも大変大切なものになりました。東日本大震災の時に、宮古市の地図作成に携わったことから始まり、現在は屋内地図作成で共に活動しています。

最後に、40歳を超えてから博士学位取得という我侷をすることになり、父や母、兄にも心配をかけました。父は公聴会の前日、2013年7月19日に他界したため、博士号取得の報告をできませんでしたが、きっと喜んでくれていると思います。そして誰よりも常に傍で支えてくれた妻と、天国にいる娘に心から感謝します。在学中、何度か心折れそうになりましたが、ここまで辿り着けたのは、二人がいてくれたお陰です。

2013年9月

中島 円