

氏名（本籍）	シミズ トモヒロ 清水 智弘（福井県）
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	工博甲第63号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当者
学位授与の年月日	平成27年3月13日
学位論文題目	鉄道空間における空間情報技術と位置情報の活用に関する研究
論文審査委員	（主査）教授 吉川 眞 教授 井上 晋 教授 吉村 英祐 教授 田中 一成

論文の内容の要旨

都市や地域の開発プロジェクトは、社会基盤の構築という重要な役割を果たしてきた。量的に豊かになった現在、人々は質的に豊かな社会基盤の整備を進めてきている。従来型の経済一辺倒の豊かさではなく、良好な自然環境や美しい景観の形成、安全かつ快適でゆとりのある生活空間の形成、環境負荷の低減、ユニバーサルデザインの推進などが求められるようになってきた。くわえて、人口減少が急速なペースで進んでいることから、人々が生活するために必要となる各種サービスを効率的に提供できるよう都市・地域をコンパクト化（集約化）していく必要がある。しかし、単なるコンパクト化では、圏域・マーケットが縮小し、地域・都市の孤立化が進み、結果として提供するサービスの質的レベルを維持することができなくなる可能性がある。そこで、コンパクト化した都市や地域を交通ネットワークでつなぎ、各種都市機能に応じた圏域人口を確保するという考え方が重要となる。すなわち、都市や地域をコンパクト化していく中で個性を深め、多様性を再構築し、主体的に自らの資源に磨きをかけ、さらには、それら都市や地域間で連携を強化し、人・モノ・情報の交流を活発化させることが重要であり、今後ますます環境デザイン・都市デザインの果たすべき役割は大きいといえる。

また、都市・地域間の連携の強化を図り、人・モノ・情報を交流させるためには、交通ネットワークにくわえて情報ネットワークが重要な役割を果たす。情報通信技術（Information and Communication Technology : ICT）分野の発展により、通信の高速化などによる情報ネットワークを通じて人・モノ・情報の交流が可能となり、物理的な距離の隔たりが意味をなさなくなっている。さらに、交通ネットワークでも今後、LCC（Low Cost Carrier : 格安航空会社）の普及やリニアモーターカーの実用化などによって利便性が向上していく中で、物理的な「距離」だけでなく時間「距離」や手続的「距離」といったあらゆる「距離」の制約を克服していくことになる。交通ネットワークや情報ネットワークの高度化によって「距離」の存在が大きな障害とならなくなっていく中で、その場所の事象を示すための人・モノ・情報の「位置」情報そのものが重要となる。その中で、地理情報システム（Geographic Information System : GIS）や計算機援用設計システム/コンピュータグラフィックス（Computer Aided Design system/ Computer Graphics : CAD/CG）をはじめとする空間情報技術を活用した位置情報の高度活用が今後ますます重要となってくる。

また、少子高齢化が進む中、都市・地域の多様性を高め、都市・地域間の連携を強化していくために交通インフラが重要である。とくにCO₂排出量の少ない鉄道空間を拠点とすることで、環境負荷の小さい低炭素型の都市・地域づくりが可能となる。さらに都市・地域間と連携させる交通ネットワークという観点でも高齢者をはじめとする人々が自家用車に過度に依存するのではなく、鉄道のような公共交通を促進していくことが重要となる。

以上の点を踏まえ、本研究は、「鉄道空間における空間情報技術と位置情報の活用に関する実証的研究と位置情報システムの開発」を目的としている。その中で、鉄道幹線や沿線

環境、さらには駅前広場などの「屋外」環境と駅構内や駅ビル・駅ナカといった「屋内」環境の両面から鉄道空間を捉えることで、鉄道空間全体として安全でやさしい空間の創出を目指した位置情報活用のあり方について考察している。

本論文は全4章で構成されている。まず、第1章では、社会的背景と空間情報技術の動向について紹介し、「鉄道空間における空間情報技術と位置情報の活用」に関わる課題を提起し、本研究の位置づけと目的を明確にしている。

第2章では、鉄道空間の中でも屋外環境における空間情報技術と位置情報を活用することによる施設などの管理手法について述べている。とくに、老朽化が急速に進展していることから、喫緊の課題として解決が求められているインフラ構造物に着目した。インフラ構造物の急速な老朽化だけでなく、国土の脆弱性にくわえ人口減少や厳しい財政制約などインフラ構造物の取り巻く環境がますます厳しいものになる中で、インフラ構造物の状態を客観的に把握・評価し、将来の健全度を予測し、必要な補修・補強等の措置の最適な時期と方法と判定して、経済的制約の中でライフサイクルコストが最小となるよう管理計画を実現させる「アセットマネジメント」を推進していくとともに、損傷が著しくなってきたら対策を行うという「事後的管理」から損傷の早期発見・早期改修という「予防保全的管理」に転換していくことが重要となる。すなわち、維持管理・更新のPDCAサイクルに対して計画的かつ戦略的に取り組んでいく必要がある。その中で、単に既存の技術やシステムを前提としているだけでは不十分であり、先進技術やシステムを積極的に活用し、より頭脳化された「スマート・インフラ」へと進化させていくことが求められる。そこで本研究では、写真測量技術と3次元プロダクトモデル、いわゆるCIM（Construction Information Modeling/Management）に着目し、「位置情報」をキーとして融合的に活用することによって適切かつ効率的な維持管理手法を開発している。具体的には、記録として撮影した写真やその撮影位置、さらには点検・工事履歴、図面などの維持管理に関するさまざまな情報に対して位置情報をキーとした一元管理が可能となるシステムを開発している。本研究によってストックされた社会インフラをより効率的かつ有効に活用できる仕組み、既存ストックを最大限に活用できる仕組みとしての3D空間情報プラットフォームの構築が有用であることを明らかにしている。

第3章では、鉄道空間の中でも屋内環境における空間情報技術と位置情報を活用した測位手法について述べている。屋外における「測位」技術は、全地球測位システム（Global Positioning System：GPS）や準天頂衛星システム（Quasi-Zenith Satellite System：QZSS）などの衛星測位システム（Global Navigation Satellite System：GNSS）がデファクトスタンダードな手法になっているのに対して、屋内での測位に目を転ずれば、これまでもさまざまな仕組みが構築されてきたものの、各方式とも一長一短あり、いずれかに絞られる段階には至っておらず、今後も屋内による測位は、場所や用途に応じてふさわしい方式を選択して使用することになっていく可能性が高い。そこで本研究では、鉄道空間にふさわしい屋内環境における高精度な測位システムの開発を試みている。具体的には、サインの設置位置や形状、内容に関わるさまざまな位置情報をサインデータベースとして構築し、画像処理技術や写真測量技術を用いて、さらには、サインデータベースをもとにした屋内

空間のボロノイ分割とドローネ三角網によるネットワーク分析を活用することで屋内位置推定のための一連の流れを実証するとともに、従来の屋内測位技術にはない方式の測位手法を提案している。

第4章では、本研究によって得られた結論をまとめ、得られた新たな知見を整理するとともに、今後の課題・展望について述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、「屋外」環境と「屋内」環境の両面から鉄道空間を捉え、鉄道空間全体として安全でやさしい空間を関係者あるいは利用者に提供するための支援方法や仕組みづくりについてまとめたものであり、位置情報を活用した支援システムの開発を具体的な目的としている。本研究の成果を各章で要約すると以下ようになる。

まず、第1章では、社会的背景と空間情報技術の動向について述べている。さらに、「鉄道空間における空間情報技術と位置情報の活用」に関わる課題を提起し、鉄道空間における位置情報の活用を屋内外で捉えることの重要性を明らかにしている。

第2章では、鉄道空間における屋外環境としてインフラ構造物に着目し、写真測量技術と3次元プロダクトモデル、いわゆる CIM (Construction Information Modeling/Management) を活用した維持管理手法を提案している。国土の脆弱性にくわえ、人口減少や厳しい財政制約など、社会インフラをとりまく環境がますます厳しいものになる中、インフラ構造物に対しては、効率的に維持管理していくことが重要となる。とくに、早期に修復が必要な箇所を発見することにより、構造物の長寿命化を測る「予防保全的管理」が、今後のアセットマネジメントに求められている。これらを要件として本研究では、空間情報技術を活用した維持管理システムを開発している。

撮影された記録写真とその撮影位置、点検・工事履歴、さらには図面といった維持管理に関するさまざまな情報を、位置情報を用いて連携させることによって一元的な管理が可能となり、効率的に管理する環境を構築している。また、点検・工事箇所などの正確な位置と寸法が経年的にかつ高精度に捉えられることで、インフラ構造物の状態を客観的に把握・評価し、将来の健全度を予測し、必要な補修・補強などの措置に対する最適な時期と方法を判定する仕組みを実現している。すなわち、ストックされた社会インフラをより効率的かつ有効に活用できる仕組み、既存ストックを最大限に活用できる仕組みとして、3D空間情報プラットフォームが有用であることを明らかにしている。

第3章では、衛星測位が困難な屋内環境において自己の位置情報を取得するために、サインデータベースをはじめとする空間情報技術と画像処理技術や写真測量技術を融合的に活用した屋内測位手法を提案している。具体的には、スマートデバイス、とくにスマートフォンで撮影された画像を用いて、「画像処理によるサイン（ピクトグラム）の抽出」、「人間の視覚構造とサインの空間構造によるエリア範囲（おおまかな位置）の推定」、「写真測量技術を活用したポイント位置（詳細な位置）の推定」の技術検討を行い、屋内位置推定のための一連の流れを検証し、屋内測位技術の手法として有効であることを立証している。

とくに特筆すべきは、サインデータベースをもとにした屋内空間のボロノイ分割とドローネ三角網によるネットワーク分析という計算幾何学 (Computational Geometry) 分野の手法を活用し、既存の屋内測位技術にはない方式の測位手法を提案している点である。また、

本手法は、設置されたサインを活用するため、専用の位置情報インフラ（送信機）が不要となるため手ごろな手法となり実用化が比較的容易であることを見出している。

第4章では、本研究によって得られた結論をまとめ、得られた新たな知見を整理するとともに、今後の課題・展望について述べている。

以上の成果から結論として導かれる主要な論点を要約すると以下のようになる。

- ① 空間情報技術と位置情報を活用し、さまざまな要素技術を有機的に連携・融合させる手法（空間情報デザイン）が、安全でやさしい鉄道空間の創出を目指していくために有効な方法であることを実際の支援システムに関する開発と技術的検討を通じて明らかにした。
- ② G空間社会（空間情報高度活用社会）の構築が求められる中で、本研究における「空間情報デザイン」を一つの応用例として示すことができている。

もちろんのこと、本研究は鉄道空間の中でも、屋外ではインフラ構造物の維持管理（アセットマネジメント）について、屋内では駅空間における屋内測位手法といった、ごく一部の局面だけを対象としたものである。したがって得られた成果は、限定的なものにすぎない。

しかしながら少なくとも、鉄道空間において現時点で解決すべき重要な課題として代表的なものを取り上げて実証的に技術的な検討を行い一応の知見を得たこと、また、それらすべての検討項目で空間情報技術と位置情報を活用したシステム開発が有効であることを立証し、さらには、得られた知見から空間情報デザインの新たなプラットフォームを構想しており、空間情報技術と位置情報の活用に関して得られた知見は、鉄道空間のみならず都市空間において、数多くの場面で適用できる高い可能性をもつものと考えられる。

したがって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。