

貨物輸送の実態を把握するための地理情報システムの開発

厲 国権*

A Geographic Information System to Understand the Actual Situation of Freight Transport

Guoquan LI

Because the situations of logistics and freight transport have less opportunity to be exposed to the popular eyes of society, it is difficult to appropriately evaluate the transport means such as rail freight train and truck. Therefore, in this study, a geographic information system of freight transportation by utilizing the existing data concerning freight transport has been developed, in order to understand the actual transport conditions toward the increase of the efficiency of freight transport. For the transport needs of the shippers from the sending sites to the receiving sites using this GIS system, truck types & road routes, and freight station & freight train on the map can be examined and suitably selected. At the same time, by the relevant transport simulation, the freight transport conditions are visually presented, the comparative analytical evaluations between the rail freight and truck are performed and the relevant indices are calculated. The information to be obtained by using the developed GIS can be used for the decision support to beneficial transport planning of the users and operators.

キーワード：貨物輸送，輸送実態，既存データ，貨物輸送版の地理情報システム，シミュレーション

1. はじめに

貨物輸送効率化は、地球温暖化や少子高齢化などの社会問題に対応する有力なソリューションの1つであると考えられるが、貨物輸送の効率向上に向けては、まず輸送の実態を把握することが必要である。しかし、物流・貨物輸送の状況については、普段社会の目に触れる機会が少なく、鉄道やトラックなどの輸送手段に対する適切な理解と評価を行うことが困難であった。

そこで、本研究では、地理情報システム（Geographic Information System: GIS）の基本概念に基づいた貨物輸送の実態を把握するための貨物輸送版GISを開発する。まず、貨物輸送に関わる各種既存データを用いた貨物輸送の地理空間データベースを整備する。次に、貨物の発送地から到着地までの荷主の輸送ニーズに対して、トラック車種・道路経路や貨物駅・貨物列車などを地図上で設定・選択し、輸送シミュレーションを行う。それによって異なる輸送手段を対比評価する。そして鉄道輸送における貨物列車の積載状態を視覚的に表示する。本システムは、鉄道貨物輸送などの利用者や事業者への有益な分析・判断情報の支援に活用できると考える。

2. 地理情報システムについて

地理情報システム（GIS）は、地理空間情報活用基本法（平成19年法律第63号）第2条において、「地理空

* 信号・情報技術研究部

間情報の地理的な把握又は分析を可能とするため、電磁的方式により記録された地理空間情報を電子計算機を使用して電子地図上で一体的に処理する情報システム」と定義されている。1960年代から地図データをコンピュータで扱うシステムとして始まったGISは、地理的位置を手がかりに、位置に関する情報を持ったデータ（空間データ）を総合的に管理・加工し、視覚的に表示し、高度な分析や迅速な判断を可能にする技術^{1) 2)}として、道路、水道、電気、ガスなどの社会インフラの管理および都市計画、施工管理、店舗の出店計画や顧客管理などのエリアマーケティング、災害時を想定した防災計画に広範に利用される³⁾。

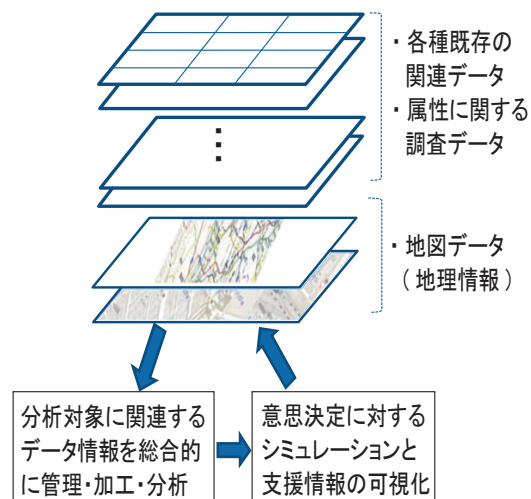


図1 地理情報システムの基本概念

特集：輸送計画技術

また、カーナビゲーションシステム、オンライン地図システムやハザードマップ、スマートフォンの普及など情報技術や情報化社会の進展により、GISはより身近な存在になりつつある。図1に示すように、地理情報をはじめとした既存データを用いて、図形や属性の作成・編集、空間データの分析・解析、シミュレーション結果の表示などを地図上に示す形で行うことによって、意思決定に対する有益な支援情報を提供することができ、様々な分野で関連の研究開発、基盤整備そして利用などが活発に進められている^{4)~7)}。

さらに交通運輸の分野にも、コンクリート系建設材料の廃棄物発生地の地理的分布とその輸送状況についてデータ整備と可視化を行い、統計データを建設企業や自治体に利用しやすい形で整備し、視覚的に分かりやすく提示するシステムの開発事例がある⁸⁾。このほかカーナビゲーションシステムをはじめ、自動車ルート探索や配車計画など、多くの用途がある⁹⁾。

一方、物流・貨物輸送においては、物流効率向上、CO₂排出量削減や少子高齢化によるトラックドライバー不足などへの対応策として、鉄道などの大量輸送手段の活用が有効と考える。従って、貨物の輸送状況を分かりやすい形で表示し、鉄道貨物に対して適切な理解や評価をすることが必要不可欠である。

そのために、貨物輸送に関連する様々な既存データを加工・分析することによって、貨物の発送地から到着地までの輸送ニーズに対して、各種輸送機関の輸送状況が、地図上で視覚的にわかりやすい形で表示することができれば、利用者や事業者にとっては、貨物輸送を行う際に、有効かつ明瞭な判断情報を得ることが可能となる。

そこで、本研究では、輸送実績データ、貨物時刻表、運賃料金制度そして国土地理院に公表された地理空間データなどを用いて貨物輸送のGISデータベースを整備し、貨物の輸送状況を表示できる地理情報システムを開発する。これによって、地図上で、道路輸送については、トラック車種や走行経路を設定し、鉄道輸送については、発着駅や利用列車を選択し、輸送シミュレーションによって異なる輸送機関の貨物輸送の得失を複数の指標で定量的に示す。また、個別の貨物列車を選択すると、始発駅から終着駅までの列車の貨物積載率やコンテナの占有率を計算し、地図上の通過線区に積載状況が表示される。

それらの結果として、輸送ニーズに対する貨物の輸送状況を地図上で定量的かつ視覚的に把握することができ、異なる輸送手段との比較に基づいて輸送効率・サービス水準をより向上させる輸送改善案を策定するための有益な支援情報を提供でき、鉄道の潜在的な貨物需要の開拓に資すると思われる。

3. 貨物輸送のGISデータベースを整備するための既存データ

本研究は、陸上貨物輸送を中心とする前提条件に基づいている。貨物輸送の地理情報システムを構築するにあたって、鉄道貨物と道路貨物に関する既存データが含まれる。それらのデータを利用・活用し、貨物輸送のGISデータベースを整備する。

3.1 鉄道貨物輸送に関わる既存情報データ

3.1.1 鉄道貨物の情報データ

鉄道貨物のコンテナ輸送では、異なる荷主から出荷された様々な商品をコンテナなどの容器に収め、貨物列車に積込んで、目的地まで輸送する。それに関連する既存のデータは、以下のとおりである。

- (1) 貨物の基本データ
 - (a) 貨物の分類
 - 荷主の商品を品類・品目に分類する基準データ
 - (b) コンテナ種類
 - JRコンテナ、私有コンテナ、大型コンテナ、ISOコンテナ、海上コンテナなどの種類を示すデータ
 - (c) コンテナ営業ガイド
 - ① コンテナタイプと積載トン数との換算などの基準データ
 - ② 鉄道コンテナ輸送に関する運賃料金表のデータ
 - ③ その他
- (2) 貨物列車に関わる情報
 - (a) 貨物列車時刻表とコンテナ時刻表
 - 貨物列車の運行路線やコンテナ輸送パターン（直行か継送かそして代行輸送）を示すデータ
 - (b) 貨物列車に関する作業情報
 - 途中駅での貨物列車に関する作業（荷役作業・入換え作業・通過・待避）状況を示すデータ
 - (c) 鉄道路線における貨物輸送条件
 - 各線区の牽引定数¹⁰⁾による貨物列車の標準組成車両数を示すデータ
- (3) 貨物輸送の実績データ

鉄道貨物輸送は、基本的に利用運送事業者を経由して行うが、貨物輸送実績データには、表1に示すように貨物輸送の受付からコンテナ種類や始発・終着駅、そして利用した貨物列車の状況が含まれる。

表1 貨物輸送の実績データフォーマット

輸送番号	コンテナ番号	コンテナ種類	輸送商品名	利用運送事業者	発着駅	終着駅	最初利用列車	継送駅(一)	継送列車(一)	:	継送駅(二)	継送列車(二)	:	継送駅(三)	継送列車(三)

3.1.2 鉄道貨物輸送の空間データベースを整備するための既存情報データ

貨物列車は、各旅客鉄道会社が保有する幹線鉄道路線などのインフラを用いて運行しているが、貨物ターミナル駅などの貨物取扱駅および貨物駅と幹線鉄道路線との連絡線は、貨物鉄道会社が保有している。鉄道貨物輸送の空間データベースには、これらのデータを有効に活用する必要がある。また、地理情報システムの基盤データは、GIS 汎用ソフトウェアの使用が必要である。

(1) 鉄道貨物施設データ

(a) 幹線路線や貨物駅との接続等に関する基本情報

幹線鉄道路線において貨物列車が運行されている幹線線区、貨物取扱駅を幹線鉄道路線と接続する施設に関する既存インフラデータ。

(b) 鉄道貨物に関わる駅の情報データ

鉄道貨物に関わる駅は、貨物ターミナル駅などの貨物取扱駅、通過駅、待避駅、入換え作業駅、信号場などがある。

貨物取扱駅では、E&S 駅（貨物列車の着発線部分にコンテナホームを設けて直接荷役作業を行う駅：Effective & Speedy Container Handling System）と、ORS（鉄道貨物駅の一形態、貨物列車の発着がない駅で、最寄りの拠点貨物駅との間にトラック便の設定により 1 日数往復を行う。なお、発着貨物の運賃料金は、鉄道営業キロを使用して算出される。オフレールステーション：Off Rail Station）が含まれている。

(c) 鉄道路線の輸送条件に関する情報

線区別の制約条件を示す既存情報データ。

(2) 鉄道路線に関する情報データ

国土地理院には、主に旅客鉄道会社が保有する幹線鉄道路線の基本データを含む国土関係の地理情報空間データが整備されている。本研究では、これらのデータを活用する。

(3) 地理情報システム (GIS) の基盤データ

GIS 汎用アプリケーションについては、「SuperMap Objects. NET 6R」(日本スーパーマップ社製)を使用する。

3.2 輸送シミュレーションを行うための既存データ

陸上貨物輸送では、基本的に鉄道貨物と道路貨物がある。貨物輸送シミュレーションを行う基本データを整備するためには、次のような既存データを活用する。

- (1) 鉄道輸送とトラック輸送運賃・料金を算出するための関連情報データ
- (2) 輸送経路に対応する輸送距離を算出するための関連情報データ
- (3) 輸送時間を算出するための関連情報データ

(4) 貨物輸送の法律・規制に関する情報データ

(5) 荷主（市区町村）から貨物ターミナル駅や高速道路インターチェンジ (I.C.) などの輸送施設までのアクセス条件に関する情報データ

(6) その他（属性などのデータ）

4. 貨物輸送の実態を把握する地理情報システムの基本機能

本研究で開発した貨物輸送の地理情報システムでは、まず貨物輸送の空間データベースを整備する。それに基づいて、貨物輸送に関わるデータを総合的に管理・加工・分析を行う機能、分析対象とする貨物列車の積載状態の計算・統計分析とグラフ化、地図上で表示する機能、そして輸送シミュレーションによる異なる輸送機関間の定量的な比較分析を行う機能が設けられる。

以下は、本システムにおける主な機能について述べる。

4.1 貨物輸送に関する空間データの整備機能

貨物輸送の GIS 空間データベースは、図 2 に示すように、前述した各種既存情報データベースを活用することによって、国土地理院から公表された地理情報データベースに、貨物輸送に関連する特有の各種情報データベース、例えば、鉄道貨物施設データベースなどを加えて整備するものである。それに基づいて、各種データベースを編集・修正したり、鉄道輸送の運転計画や貨物種類などの輸送データベースを入力したりするシステムメンテナンスを行う。

4.2 パソコンの地図上で操作機能

貨物輸送の GIS としては、貨物の輸送ニーズに対する以下のような操作を、パソコンの地図上で自由に行う。

- (1) 発着荷主の所在地の選定
- (2) 輸送事業者の営業エリアの表示
- (3) 輸送ネットワークの表示
- (4) 輸送経路の設定
- (5) 地図の拡大・縮小の調整など

4.3 輸送シミュレーション機能

荷主は自社の商品輸送を行う際、様々な輸送計画や輸送手段の選択などを考慮する。そのために、本システムでは、貨物の輸送ニーズに対する輸送経路の設定や、輸送手段の選択など、図 3 に示すような輸送シミュレーションの機能を備え、貨物輸送のケーススタディを行う。

まず、地図上で、荷主から出荷された商品の発送地および到着地、出荷時刻、輸送トン数などに関する輸送ニーズ情報を入力する。

次に、道路輸送の場合は、トラック車種、輸送経路における経由箇所（一般道路の交差点や高速道路のイン

特集：輸送計画技術

ターチェンジ) やドライバーの労働時間に開する規制そしてフェリーの利用条件などを地図上で設定する。

さらに、鉄道輸送の場合は、貨物の発送地と到着地における貨物駅や留置時間などを設定するとともに、利用列車を選択する。

以上の設定に基づいて、荷主の輸送ニーズに対する道路輸送と鉄道輸送との輸送シミュレーションを行い、輸送費用・料金、輸送時間、二酸化炭素(CO₂)排出量、貨物輸送に関わるエネルギー消費量、そして貨物の発送地および到着地(発・着荷主の所在地)から貨物駅あるいは高速道路インターチェンジまでのアクセス状況などを算出する。



図2 地図上で表示する貨物輸送ネットワーク

4.4 輸送実績等の既存貨物データに対する総合的な管理・加工機能

鉄道貨物輸送の場合には、前述したように貨物の基本データ、貨物列車に関わる情報、貨物輸送の実績データなど、様々な輸送情報がある。本システムでは、通過線区における貨物列車の積載状態を地図上に示すため、それらの既存データを統合的に管理・加工する。

図4に示すように貨物ベースの輸送情報データを、列車ベースの輸送情報データに整合することによって、表1に示した貨物輸送実績データが、線区ごとにそれぞれの貨物列車に対して日別に整理される。

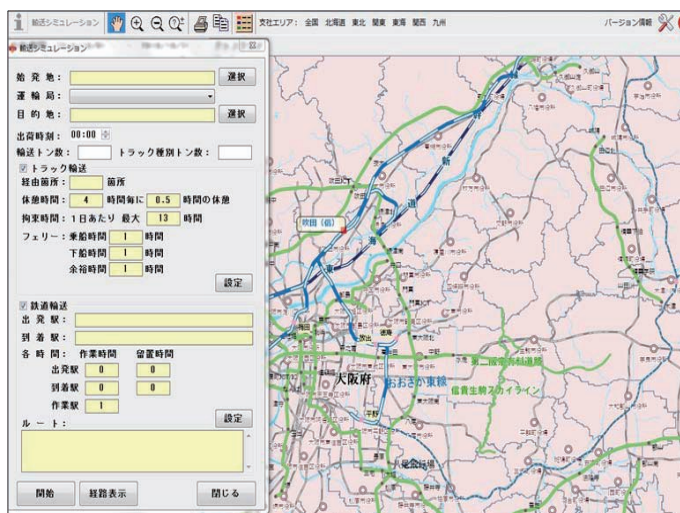


図3 貨物輸送のシミュレーション

4.5 貨物列車の積載状態の計算および統計分析機能

貨物列車は、始発駅から終着駅までの途中で、荷役作業(コンテナを、列車から卸したり、列車に積み込んだりする作業)、入換え作業(貨車を、列車から解放したり、列車に連結したりする作業)などの様々な作業があるため、同じ線区を通過する貨物列車でも列車ごとに地理的位置によって輸送条件などが異なる。貨物列車の始発駅から終着駅までの走行経路において、途中駅で荷役作業や入換え作業などの貨物列車作業がない直行列車の積載状態は、始発駅からの荷積みやローカル貨物列車からの積替えなどによって統計的に分析する。一方、貨物列車が途中駅で荷役作業や入換え作業などの列車作業がある場合の貨物列車の積載状態は、作業が発生する駅間の区間ごとに統計分析を行う。図5は、これら貨物列車が通過線区の地理的位置に対する

輸送番号	コンテナ番号	コンテナ種類	輸送商品名	利用運送事業者	発送駅	終着駅	最初利用列車	継続列車(一)	継続列車(二)	継続列車(三)	継続列車(四)	継続列車(五)

貨物の基本データ <ul style="list-style-type: none"> 輸送商品の品類・品目分類表 コンテナ種類 <ul style="list-style-type: none"> JRコンテナ・私有コンテナ 大型コンテナ・ISOコンテナ コンテナ営業ガイド コンテナタイプと積載トン数との換算 鉄道輸送の運賃料金基準表 	貨物列車に関わる情報 <ul style="list-style-type: none"> 貨物列車番号・分類 貨物時刻表 列車作業に関する情報 <ul style="list-style-type: none"> 入替え作業：解放・連結・通過 通過線区の輸送条件 コンテナ時刻表 <ul style="list-style-type: none"> 直行輸送・継続輸送・代行輸送
--	--

貨物ベースの輸送情報を列車ベースの輸送情報に整合

図4 輸送実績等の既存貨物データの総合的な管理・加工

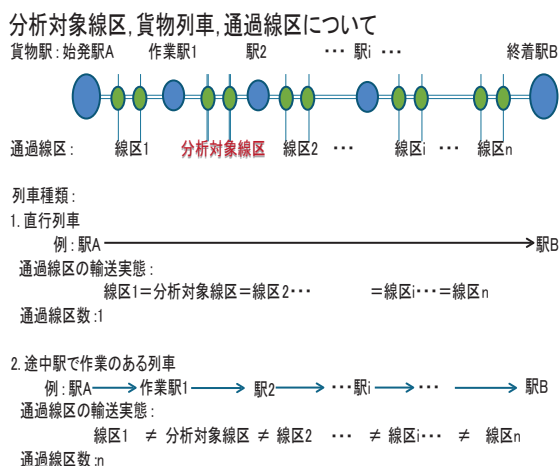


図5 貨物列車の積載状態の計算と統計分析

様々な事情に応じて積載状態を計算することを示す。

それら一連の計算・分析を行った結果は、分析対象とする通過線区に対する地図上の地理的位置に表示し、貨物列車の積載状態を視覚的に把握する。

5. 貨物輸送の GIS を用いた輸送実態の考察

本研究で開発した貨物輸送の GIS としての主な用途は、貨物の輸送実態を考察し把握することである。「貨物の輸送実態」には2つの意味が含まれている。1つは、荷主などの利用者が自社の貨物輸送ニーズに対する各種輸送計画や輸送手段を考察することである。もう1つは、鉄道輸送の場合は、利用された貨物列車の積載状態を計算し把握することである。即ち、本システムは、荷主と鉄道事業者に対する有用な情報を提供するツールとして考えられる。

まず、荷主が本システムを利用して貨物輸送のケーススタディを行うことについて説明する。

表2に示すKS地域からKT地域までの10トン貨物(15:00に出荷された)の輸送ニーズを、パソコンの地

表2 貨物の輸送ニーズ(例)

基礎情報	出発地	KS 地域
	到着地	KT 地域
	出荷時間帯	15:00
	出荷量	10 トン
道路輸送の場合	車種	10 トントラック
	輸送経路	高速道路利用
鉄道輸送の場合	発送駅	OST
	到着駅	KGY
	利用列車の種類	直行
	列車の出発時間帯	18:00
	列車の到着時間帯	5:00

図上に関連操作(図3)を行うことによって入力する。それに基づいた輸送シミュレーションを実行すると、図6に示すような結果が得られる。即ち、鉄道輸送と道路輸送の経路やそれに関連した輸送情報などが地図上で表示されるとともに、貨物の輸送状況を表す指標値が定量的に出力される。これらの結果によると、同輸送ニーズに対しては、道路輸送の場合には、輸送時間が短い、高速道路までのアクセスが近い、そして距離制運賃¹¹⁾による下限輸送費用が安いというメリットがある。一方、鉄道輸送の場合には、実態輸送費用¹²⁾が安い、CO₂排出量やエネルギー消費量が少ないというメリットがあるが、ドアツードア間の輸送時間が長いことや駅までのアクセス距離がやや遠いという課題がある。図6に示したような鉄道輸送と道路輸送との比較は、荷主の意思決定を行うときの判断材料としての支援情報につながると考えられる。

貨物列車の走行路線およびトラックの走行経路と関連指標値



	鉄道輸送		トラック輸送	
	輸送費用(円)	実態輸送費用	88,064	実態輸送費用
	コンテナ運賃料金表による輸送費用	115,840	距離制運賃による輸送費用	上限 151,620 下限 104,520
輸送時間(時間)	15		7	
CO ₂ 排出量 (g-CO ₂)	170,935		680,012	
エネルギー消費量 (kcal)	876,271		2,865,439	
アクセス状況(km)	出発駅までの集貨距離	16	発送地のインターチェンジまでの距離	1
	到着駅からの配達距離	23	到着地のインターチェンジまでの距離	10

図6 鉄道輸送と道路輸送の比較

また、鉄道事業者にとって輸送改善対応策を効率的に策定する際の重要な判断根拠は、荷主の輸送ニーズに対して利用された貨物列車が各々の線区を通過するときの積載率を把握することである。

図7は、本システムにより、表2の輸送ニーズに利用された貨物列車の積載状態を示している。

すなわち、15:00の時間帯に出荷した貨物がOST貨物駅で18:00の時間帯に出発する貨物列車に積み込まれ、翌日5:00の時間帯にKGY貨物駅に到着する貨物

特集：輸送計画技術

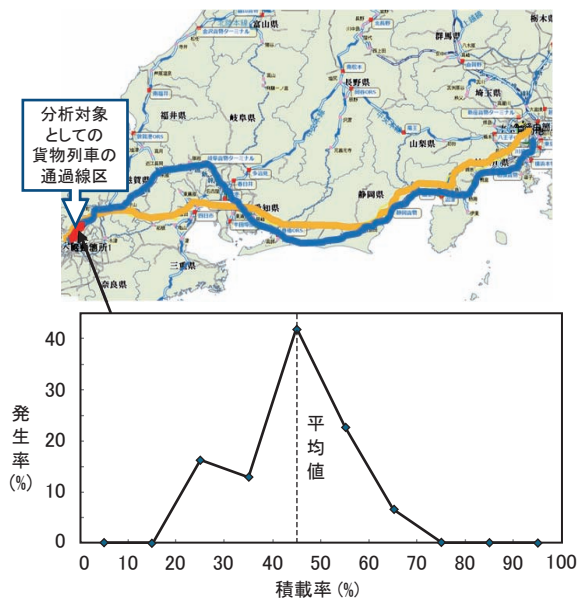


図7 分析対象としての通過線区における貨物列車の積載率分布

列車に対する、一定期間の輸送実績データを用いて、ある線区を通過するときの積載状態を統計的に分析し、地図上に表すことができる。

同列車の積載率とその発生率を地図上で明瞭かつ視覚的に示した結果としては、同貨物列車においては、「積載率の平均値が45%であり、活用の余地があること」がわかった。

以上より、本研究で開発した貨物輸送のGISを利用して、貨物の発送地から到着地までの鉄道輸送と道路輸送との輸送状況や貨物列車の積載状態などを定量的に考察し把握するとともに、鉄道輸送のメリットと改善すべき問題点を明らかにすることができた。これは、荷主や事業者に対する意思決定の有効な支援情報であると考えられる。

6. まとめ

大量輸送手段の活用による貨物輸送の効率化は、地球温暖化や少子高齢化進展などの社会問題に対する有効な対応策として期待されている。これは、通常のモーダルシフトという概念より意味が深い。

本研究では、普段社会の目に触れる機会が少ない貨物

輸送を分かりやすい形で地図上に表示するための貨物輸送の地理情報システムを開発した。それに基づいて貨物輸送シミュレーションを行い、貨物の鉄道輸送と道路輸送に対して比較・考察した。また、鉄道輸送の場合においては、貨物列車の積載状態を、通過線区ごとに計算し把握した。それらの結果は、利用者や事業者にとって、有益な分析・評価・判断情報であると考えられる。

今後は、貨物輸送の効率向上に向けた輸送実態の把握や評価に関する研究をさらに深度化したい。

文献

- 1) 国土地理院：<http://www.gsi.go.jp/GIS/whatisgis.html> (参照日：2014.4.1)
- 2) 柴崎亮介, 村山裕司：GISの技術, 朝倉書店, 2009
- 3) 国土交通省：<http://www.mlit.go.jp/> (参照日：2016.4.1)
- 4) Carol A. Johnston: Geographic Information System in Ecology, Blackwell Science Limited, Oxford England, 1998 (小山修平, 橘淳治：GISの応用, 森北出版株式会社, 2005)
- 5) 貞広幸雄, 岩本晃一：配置規定要因分析に基づく施設再配置計画立案支援, GIS—理論と応用 (Theory and Applications of GIS), Vol. 19, No.1, pp.37-46, 2011
- 6) 桐村 喬, 中谷友樹, 矢野桂司：市区町村の区域に関する時空間的な地理情報データベースの開発— Municipality Map Maker for Web —, GIS—理論と応用 (Theory and Applications of GIS), Vol. 19, No. 2, pp. 83 - 92, 2011
- 7) 酒井聡一, 坪井壘太郎, 後藤真太郎：Web-GISにより期待される地域効用の規定要因分析—伝統行事へのWeb-GISの適用事例から—, GIS—理論と応用 (Theory and Applications of GIS), Vol. 20, No.2, pp.13- 22, 2012
- 8) 野口 貴文：GISを用いた静脈物流の資源循環支援システムのためのコンクリート系廃棄物発生量の予測とその輸送に関する調査研究, 東京大学研究報告, 2007
- 9) 増田悦夫：物流におけるGIS活用の現状と今後の課題, 日本物流学会誌, 第13号, pp.191-198, 2005
- 10) 停車場線路配線研究会編：新停車場線路配線ハンドブック, 吉井書店, 1995
- 11) 交通日本社・刊：貨物運賃と各種料金表, 2007
- 12) 厲国権, 武藤雅威：中長距離陸上貨物輸送の鉄道利用による物流費用の低減効果, 鉄道総研報告, Vol.22, No.6, pp.41-46, 2008