

首都圏鉄道計画分析評価のためのGISの構築*

A GIS-Based Metropolitan Railway Planning Process*

内山 久雄**, 星 健一***

By Hisao UCHIYAMA**, Ken-ichi HOSHI***

1. はじめに

都市圏の交通政策において、自動車から鉄道などへの公共交通機関へのモーダルシフトは、道路の渋滞対策、資源・エネルギー問題、地球環境の保全という観点から非常に注目されている。しかしながら、鉄道整備は道路整備と異なり、その事業採算性が厳しく問われ、整備実現に至るのは容易でない。一方、首都圏などの都市域では鉄道が比較的高密度に整備され、鉄道利用者は複数の路線や駅を選択することが可能となっている。こうした状況では、如何にしてより多くの乗客を確保するかが、鉄道事業成立の大きな鍵となる。鉄道整備の確保には、所要時間の短縮や列車の増発といった鉄道サービスの向上のみならず、駅における乗換抵抗の軽減、駅周辺の道路の新設、バス系統の再編といった駅端末のアクセス環境の改善など鉄道利用に付随するサービスレベルLOS (Level of Service) を向上させることが必要不可欠である。しかしながら、従来の鉄道需要予測は、通常市区町村を最小単位とするゾーンをベースに行われており、アクセスに関するサービスレベルはゾーン中心から代表駅の間で一定と想定し、より詳細なアクセス施設整備による影響を考慮できない。つまり、アクセスを含めた鉄道利用に付随するサービスレベルの変化に伴う需要の変化を把握することは不可能である¹⁾²⁾。したがって、今後の鉄道需要予測や鉄道計画では、アクセスに関するサービスの变化もラインホール(鉄道の発駅から着駅まで)のそれと同様に考慮されなければならない。

本研究では、鉄道整備に伴う首都圏全体からみた従来からのマクロな分析に基づく需要の変化だけでなく、鉄道乗換施設の改善などラインホール上でのサービス変化やアクセス施設を中心とした駅周辺の交通計画に伴うミクロな鉄道需要の変化も考慮に入れた首都圏鉄道計画の分析・評価を支援するためのシステムを開発することを最終的な目的としている。本稿では、こうしたシステムが具備すべき条件を示すとともに、その条件に対応して必要となる地理情報にはどのようなものがあり、その地理情報を如何にシステム化し、どういったデータ構造となっているのかを示すことにする。

2. システムが具備すべき条件

鉄道新線計画に対して、いくつかの計画代替案が用意されるが、その主たるものは新線の計画路線やその運行条件に関するもの、新駅の地理的な位置やその構造に関するもの、新駅を含んだ周辺のまちづくり計画に関するものである。このうち後者のまちづくり計画案は、新駅周辺の人口の定着の程度のみならず、駅へのアクセス経路の整備状況までも含み、鉄道新線の成立にとって極めて重要な役割を演じることになる。こうした背景から近年、個々のトリップメーカーを対象として、その行動を追跡する非集計行動分析が計画分野に適用されるようになったが、個々の鉄道旅客の行動を逐一分析するには、鉄道OD表等の集計精度に制約され、現実には完全な形で非集計分析をそのまま援用することはできない。上述のようなOD表の制約を受けつつ、かつ非集計分析の利点を最大限に活用することを念頭に置くと、鉄道需要分析を支援するシステムが具備すべき条件として、少なくとも以下に示すような6つが挙げられる。

*キーワード: GIS、鉄道計画、公共交通需要

**フェロー会員 工博 東京理科大学理工学部土木工学科教授

*** 正会員 工修 東京理科大学理工学部土木工学科助手

(〒278-8510 千葉県野田市山崎2641

TEL:0471-24-1501 FAX:0471-23-9766)

- ① OD 交通量、人口分布、土地利用分布などの各種統計データの利用と、上述の個人単位での分析に可能な限り接近するという2つの視点から、分析単位を100メートルメッシュとすること
- ② このメッシュ図に道路網やバス網等が付加された地図としての機能を持っていること
- ③ この地図上で各メッシュから各駅に至るアクセス情報（アクセス経路やその LOS）が検索できること
- ④ 首都圏全域を網羅する鉄道ネットワーク上で、各駅から各目的地に至る経路情報（鉄道経路やその LOS）が検索できること
- ⑤ 各メッシュ代表点から目的地に至る全体の経路から推定される鉄道と自動車の分担モデルが作動すること
- ⑥ ⑤で得られる鉄道利用者（鉄道 OD）に対し、各駅へのアクセスや最終目的地を考慮して選択される駅を推定できるモデルが作動すること

⑤及び⑥は、本システムの外部モジュールとしても位置づけられるので、その詳細については紙面の都合上、別の機会にゆずることとする。

3. 地理情報とそのシステム化

GIS は、地図を媒介にしてさまざまな情報を総合化するコンピュータシステムである。GIS で扱う地理情報には、空間データ基盤及び空間データと呼ばれる2種類のデータがある³⁾。空間データ基盤は、行政区域、道路、河川、鉄道、各種施設といった基本的には点列として表現されるデータに対応し、空間データとは、人口や土地利用などのある領域内の各種の統計データに対応している。こうしたデータは、建設省などの関係省庁を中心として統一的な形式で GIS の基盤データとして徐々に整備されつつあるが、必ずしも鉄道計画を支援するための各種の分析にそのままの形式で適用はできない。

そこで、こうした分析を支援するために必要となる地理情報はこういったものであり、それらの地理情報を如何にシステム化するとよいかを2.で示した条件と照らし合わせて明確化することを試みる。

具備すべき条件の①は、土地利用や人口（夜間人

口、就業者数等）、地価などの社会経済データで、一般に空間データと呼ばれる地理情報である。こうしたオリジナルの地理情報の分析・加工を行うことにより、100メートルメッシュに対応した新たな空間データを得ることは可能である。

条件②は、いわゆる空間データ基盤と呼ばれている地理情報であり、国土地理院刊行の数値地図2500などの市販ソフトとして整備されている。これは、汎用的に使用できるような形式であり、市販の GIS ソフトに取り込むことは可能である。

条件③は、②の地理情報を用いて、最短経路探索を行うことにより満足される。しかしながら、GIS ソフトに、こうした探索を可能とするネットワーク解析機能が必要となる。

条件④は、③と基本的に同様であるが、①②③の条件とはそのスケールにおいて異なる。

以上の4つの条件は、図1のような地理情報として捉えられる。

条件① 100mメッシュデータ

条件② 局地道路ネットワーク（道路・バス）

条件③ アクセス情報の検索

鉄道路線
計画代替案

条件④ ラインホール情報の検索

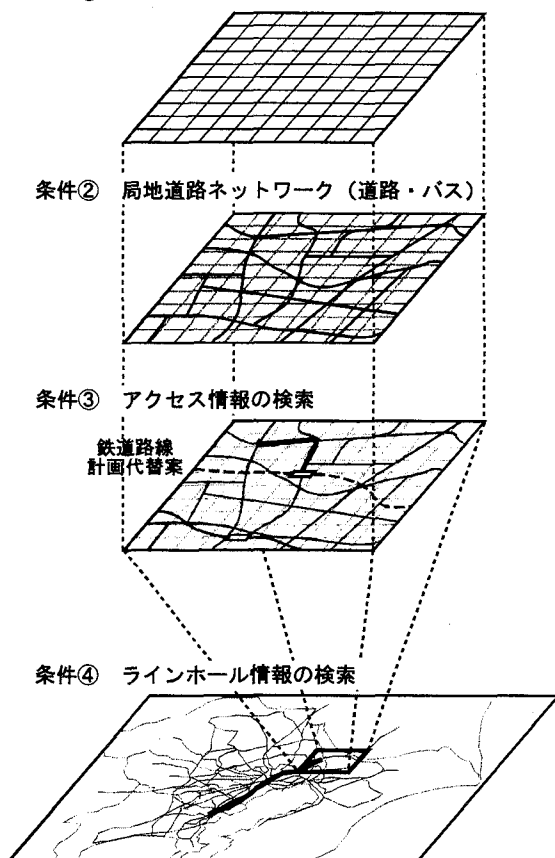


図1 各条件のイメージ

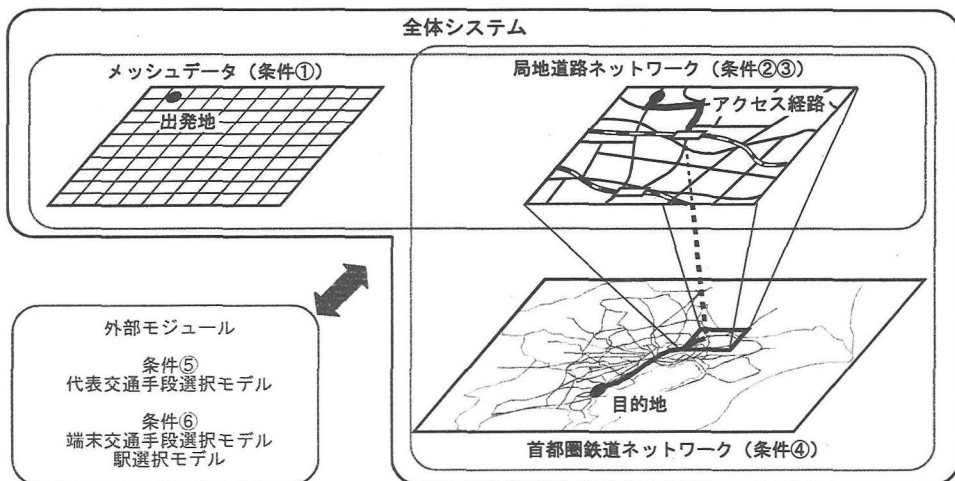


図2 システムの全体構成

こうした種類やスケールの異なる地理情報を統合的に処理できるようにシステム化を図る。

まず、第1に、前述のように非集計分析の利点を活用するために、OD 交通量そのものを既存の利用可能な統計データに基づいて、後述のように100メートルメッシュを発地とするようなデータに変換することである。

第2に、任意のトリップ発生地点から、トリップが終了する目的地に至る複数の経路(アクセス経路、最寄駅、ラインホール経路)に付与されるサービスレベルが検索できることである。本システムでは、大縮尺(1/2500程度)の局地道路ネットワークと、小縮尺(1/50000程度)の首都圏鉄道ネットワークの2段階からなるネットワークとすることで、有機的に結合しながらトリップ発生地点からその目的地までの経路とそのサービス水準が検索されることに

なる⁴⁾。

第3に、本研究では外部モジュールとして扱っているが、上述のように検索されたサービスレベルの変化に伴う交通機関や鉄道駅の選択行動の変化を非集計分析に基づいて分析することにより、鉄道需要の変化を捉えることが可能となる。

このようなシステムの全体構成の概念を示したのが図2である。

4. 地理情報のデータ構造

(1) メッシュデータ

現在、全国規模で整っている数値地図情報として「標準地域メッシュ」があるが、これは一定間隔の経緯度により地域を分割する方法であり、第1次メッシュ(第1次地域区画)から第3次メッシュ(第

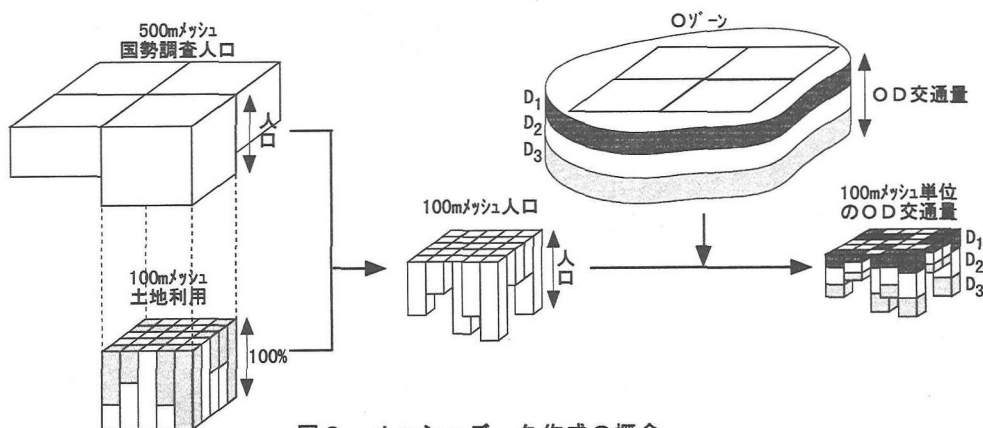


図3 メッシュデータ作成の概念

3 次地域区画)、分割メッシュおよび統合地域メッシュの階層的な地域区画で分割されている。国勢調査の夜間人口は、地域メッシュ統計データとして約 500m×500m の第 3 次メッシュまでデータが整備されている。また、細密数値情報では、第 3 次メッシュよりも細かい単位でのメッシュデータが整備されている。

100m メッシュ単位の人口や OD 交通量は、これらの既存の社会経済データを用いて作成される。100m メッシュ人口の作成では、細密数値情報の土地利用区分における建物用途へ 500m メッシュ人口を配分する。建物用途は、更に高密度と低密度の 2 つの区分に分かれており、2 つの建物用途に重みを付けて 100m メッシュへ人口を配分する。

また、100m メッシュを発地とする D 別の通勤通学交通量は、例えば町丁目別の国勢調査通勤通学 OD 交通量を上述の 100m メッシュ人口で按分することにより作成される。図 3 は、人口および OD 交通量データのメッシュへの配分の概念が示されている。こうして作成されたデータは、最終的に表 1 のようなデータ構造を持つこととなる。

表 1 メッシュデータ形式

メッシュ 番号	人口	D 別通勤通学交通量		
		D ₁	D ₂	...
1	75	12	3	...
2	138	20	5	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

(2) 局地道路ネットワーク

局地道路ネットワークでは、各メッシュ毎に各駅までのアクセス経路や LOS といったアクセス情報の検索が容易に実行されなければならない。したがって、国道や県道といった主要幹線道路のみならず、市町村道などの細街路を含めた道路ネットワークを持ち、かつバスの LOS が検索可能にするためバスネットワークをもっていなければならない。

また、ネットワークデータと

して、GIS 上に表示するための表示用データと、アクセス経路や LOS を検索するための計算用データが必要となる。しかし、ここでは、表示用、計算用ともに本研究で用いている GIS ソフト SPANS に沿った形式で作成する。

ネットワークデータは、ノードデータとリンクデータからなる形式とする。まず、ノードとして、道路交差点、道路の始点・終点などとともにバス停をとり、リンクには、主要幹線道路と細街路、バス路線をとる。ここでは、市販の電子地図ソフト（ゼンリン電子地図）より、各ノードの緯度、経度データが取得され、計算のためにバス停コードが属性データとして入力されている（表 2）。また、ノードが含まれているゾーン番号は GIS ソフト上で検索が可能である。リンクデータは、始点と終点のノード番号、距離やバス系統、道路種別などのリンクの属性が入力されている（表 3）。

表 2 ノードデータ形式（局地道路ネットワーク）

ノード 番号	緯度(北緯)			経度(東経)			バス停 コード	メッシュ 番号
	度	分	秒	度	分	秒		
1	139	58	27				0	3
2	139	59	30				1	5
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

表 3 リンクデータ形式（局地道路ネットワーク）

リンク 番号	始点 ノード	終点 ノード	距離	属性	
				バス系統	道路種別
1	1277	2770	90.1	1	県道
2	2770	3541	150.3	1	市町村道
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

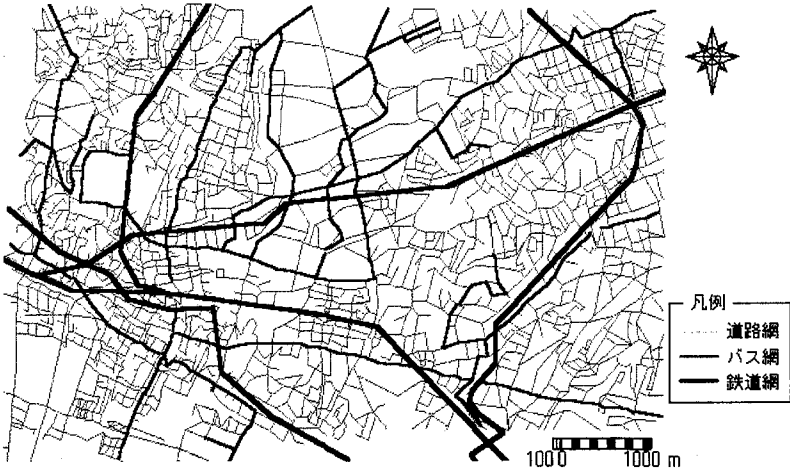


図 4 局地道路ネットワーク

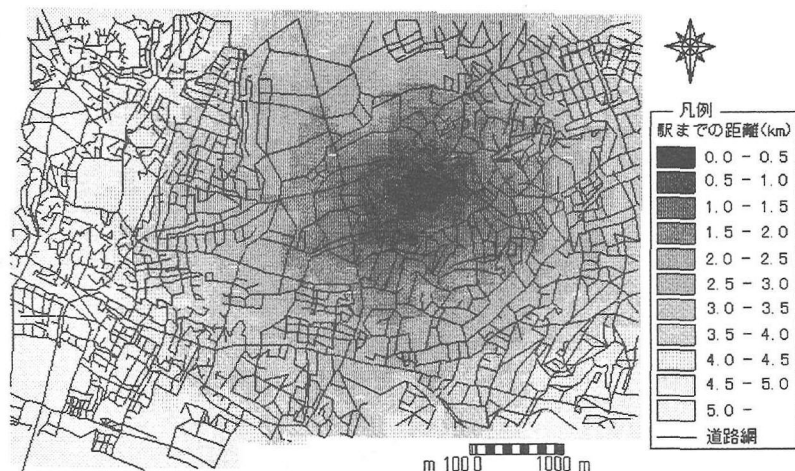


図5 最寄駅までの距離分布（メッシュ代表点から）

図4は、千葉県船橋市周辺の局地道路ネットワーク図であり、ここでは電子地図ソフトを用いずに1/2500の国土基本図をベースに作成した例である。この例では、ノード数 2,768、リンク数 3,625 の道路ネットワークとして構成されている。

このネットワークデータを用い、ダイクストラ（Dijkstra）法による最短経路探索を行うことによって各メッシュから各駅までのアクセス情報が検索可能となる。実際のメッシュから駅への LOS の検索では、各駅を始点とし全ノードまでの経路探索を行い、メッシュに含まれているノードをメッシュ代表点と考えることによって、メッシュの LOS としている。なお、複数のノードが含まれるメッシュは、その平均値を代表値とし、ノードが含まれないメッシュは、近隣のノードからメッシュ中心へ仮想のノードを設けている。バスの LOS は、鉄道駅へのアクセスではバス同士の乗り換えがないと仮定し、バス停までの LOS にバス停から各駅までのバス所要時間や費用を加えることによって算出している。図5はある鉄道駅までのメッシュからの距離をランク別に示した出力例である。なお、道路種類別・交通手段別にリンクの速度設定を行うことにより、各交通手段のアクセスに関する LOS が検索可能となる。また、ネットワークデータを修正することにより、道路の新設やバスネットワークの再編による LOS の変化が把握可能である。

こうした経路探索機能が GIS ソフト

に付与されている場合には、その機能を活用することが可能であるが、本研究で用いている GIS ソフト SPANS には、そういった機能がないため、外部モジュールとして経路探索システムを開発している。

（3）首都圏鉄道ネットワーク

首都圏鉄道ネットワークでは、トリップの発生地点の最寄駅から各目的地（目的地の

最寄駅）までの経路や LOS などの経路情報の検索が可能で、かつターミナル駅の構造改善などの乗換抵抗の軽減による経路変化が考慮されるような構造になっていなければならない。

局地道路ネットワークと同様に、ネットワークデータには、表示用、計算用のデータが必要となる。計算用データを作成するにあたっては、各鉄道会社が運行している優劣の異なる列車（各停、急行、準急等）や駅における乗換（各停→急行、A 駅→B 駅）による時間を考慮しなければならない。したがって、計算用データは図6に示すように、優劣の異なる列車毎にリンクを設定し、さらに駅における列車同士の乗換や駅同士の乗換には、乗換歩行リンクを設定し作成する。ノードデータは、座標とそのノード種別、リンクデータは、リンク種別や所要時間、断面容量、路線コードなどの属性データを入力する（表4、5）。首都圏 1,801 駅を対象にデータを作成した結果、ノード数 3,842、リンク数 19,042（うち乗換

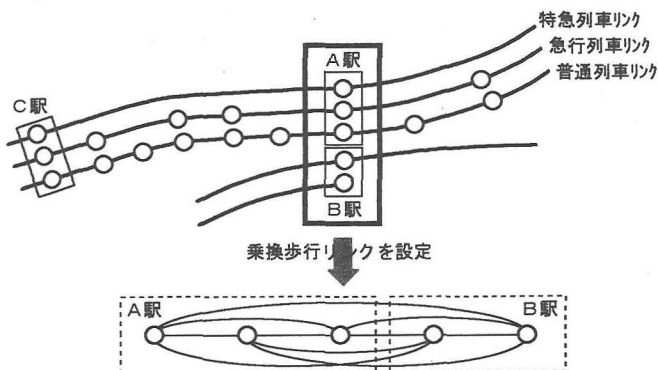


図6 首都圏鉄道ネットワーク（計算用）の考え方

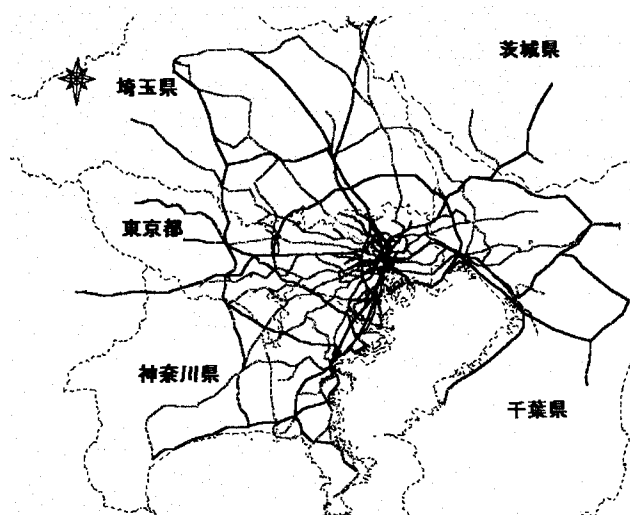


図7 首都圏鉄道ネットワーク

表4 ノードデータ形式 (首都圏鉄道ネットワーク)

ノード 番号	緯度 (北緯)			経度 (東経)			ノード 種別
	度	分	秒	度	分	秒	
1	139	58	45	35	42	10	駅
2	139	57	55	35	41	50	乗換
:	:	:	:	:	:	:	:

表5 リンクデータ形式 (首都圏鉄道ネットワーク)

リンク 番号	始点 ノード	終点 ノード	属性				
			リンク 種別	所要 時間	断面 容量	路線 コード	会社 コード
1	3	5	急行	10	10000	2	1
2	5	10	準急	5	15000	1	5
:	:	:	:	:	:	:	:

歩行リンク 14,101) のネットワークとして構成され、図7に例示する。

5. 分析事例

(1) 鉄道利用者の変化予測

本稿で提案しているシステムを用いて、鉄道新線整備によりその周辺地域の鉄道利用者分布にどのような影響が見られるかを検討することにより、本システムの有用性を検証する。

ケーススタディとして、平成8年4月に開通した東葉高速鉄道を取り上げ、その整備前後における鉄道利用者分布の変化を見る。検討対象範囲は、千葉県船橋市周辺の東西約8km、南北6kmの範囲とし、この対象範囲内を発地とする通勤・通学者の対象地

域内に含まれる18の駅別鉄道利用者を予測している。なお、通勤・通学ODは平成2年国勢調査のデータをベースとし、最終的には発地を100mメッシュ、着地を方面別地域別に集約した40駅とするODデータに変換し予測に用いている。なお、整備前後で総OD交通量は変化しないと仮定している。また、鉄道の選択確率や駅・アクセス交通手段の選択確率の推計には、別途開発した非集計モデルを用いている⁹⁾。

図8、9は、北習志野駅を例として整備前・後における鉄道利用者の分布を示している。北習志野駅周辺の鉄道利用者が増加していることが見出せる。その内訳を見ると、整備前には新京成電鉄の北習志野駅を利用し新津田沼でJRに乗り換えなければならないためバスで船橋駅へアクセスし鉄道に乗り換える利用者が多く見られたが、整備後は、そうした利用者の多くが東葉高速鉄道の北習志野駅利用に転換していることが見て取れる。



図8 北習志野駅鉄道利用者分布 (整備前)



図9 北習志野駅鉄道利用者分布 (整備後)

(2) ネットワーク配分

首都圏鉄道ネットワークデータが機能しているかどうかを確認するため、ケーススタディとして小田急線複々線化事業（東北沢～和泉多摩川間）を取り上げ、小田急線および並行路線の断面交通量や混雑率がどのように変化するかをネットワーク配分により検討する。なお、配分計算は外部モジュールとして扱い、本システムで構築したネットワークデータをそのまま用いることができるように開発している。

ここで、配分を行う OD データは、平成 2 年度大都市交通センサスデータをピーク 1 時間交通量に換算したものをを用いる。また、等時間原則による 8 分割の分割配分を行う。なお、本研究では、混雑率 100% 以上の場合には、以下の式により列車の混雑の増大を所要時間の増大に換算している⁶⁾。

$$\Delta T = 0.01 \times T \times \{\exp(0.0197 \times C) - 1\}$$

ΔT : 混雑による不効用（時間の増分）

T : 乗車時間

C : 混雑率

また、ラインホール時間 1.5 分を乗換時間 1 分と

換算し時間に重み付けを行う⁷⁾。シミュレーションの際には、複々線化により輸送力増強が図られること、各駅停車の急行・準急の待避がなくなることから、複々線化区間のネットワークデータの断面容量および所要時間を変更する。上述のような配分原則に基づき、事業前後の配分を行った結果が、図 10、11、12、13 である。小田急線複々線化により並行路線の利用者が小田急線を利用することにより、並行路線の利用者が減少していることが見て取れる。小田急線では、各駅停車の混雑率は 30% 程度減少するものの、急行・準急のそれは微増の傾向にあることが見出される。

6. おわりに

本研究では、駅端末のアクセス交通を考慮した首都圏鉄道計画分析評価のための GIS が具備すべき条件を示すとともに、その条件に対応して必要となる地理情報とそのシステム化、さらに地理情報のデータ構造について詳述した。

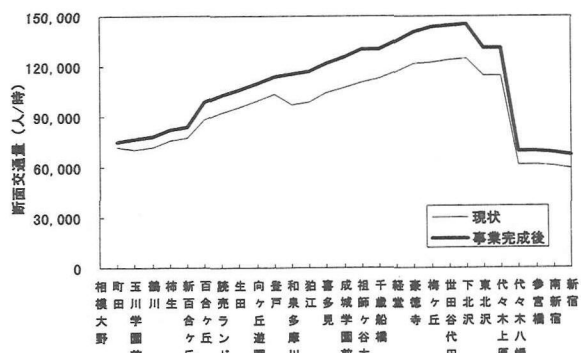


図 10 複々線化による小田急線断面交通量の変化

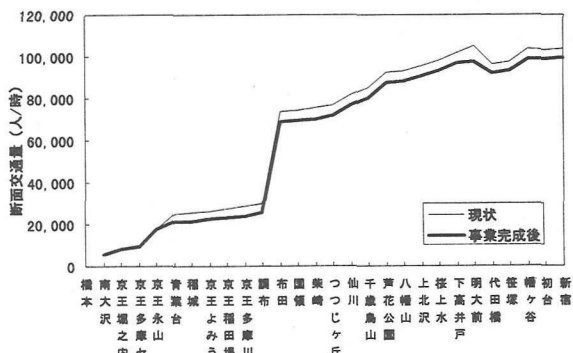


図 11 複々線化による京王線断面交通量の変化

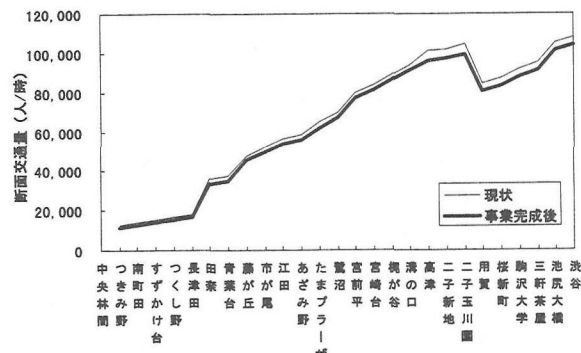


図 12 複々線化による東急線断面交通量の変化

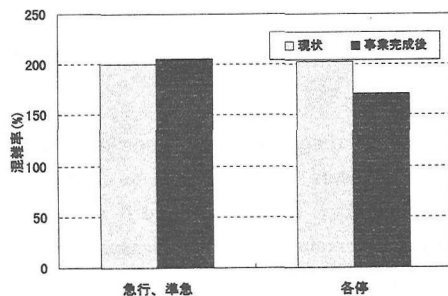


図 13 世田谷代田→下北沢間の混雑率の変化

局地道路ネットワークと首都圏鉄道ネットワークの2つの地理情報を2段階に有機的に結合させることにより、よりミクロなOD間の情報(出発地から目的地までのサービスレベル)が効率的かつ容易に検索可能であることを示し得た。こうして検索されたサービスレベルに外部モジュールとしての各種の選択モデルを適用することにより、駅へのアクセスを考慮した鉄道利用者の変化が把握可能となる。また、局地道路および首都圏鉄道ネットワークを利用した分析事例からは、ここで構築した地理情報が、首都圏鉄道計画分析評価の主な目的であるアクセスを考慮した鉄道需要の予測のみならず、関連する各種の分析に適用可能であることも示し得た。

また、提案したシステムを用いることによって、鉄道計画のみならず、沿線のアクセス施設整備を中心とした地区交通計画の計画立案をも支援し、総合的なプランニングを行い得ることも同時に示唆しており、その汎用性の高さが明示されていると言えよう。

謝辞：本研究は中村英夫(運輸政策研究所所長)を委員長とする「都市鉄道計画分析評価システム研究会」の成果の一部であり、データの提供等におい

て協力していただいた日本鉄道建設公団東京支社をはじめとする関係各機関各位に感謝の意を表する。また、膨大な量のデータ作成及びその処理さらにプログラム開発は当時の研究室に在籍していた学生の子神尾崇氏、木村圭蔵氏、佐藤寛恵氏、日比野直彦氏、古木直樹氏の献身的な努力なくしては達成し得なかった。ここに付記し深謝する次第である。

参考文献

- 1)八十島：東京の通勤鉄道路線網計画に関する研究，土木学会論文集 No.375/IV-5，pp.31～43，1986。
- 2)運輸政策審議会答申第7号：東京圏における高速鉄道を中心とする交通網の整備に関する基本計画について，1985。
- 3)建設省国土地理院：GISの標準化に関する調査報告書，国土地理院技術資料 No.246,251，1997。
- 4)Felias,H.,Uchiyama,H., "Towards a PC-Based Digital Road Map System(DRMS) for MetroManila", Selected Proceedings of the 6th World Conference on Transport Research, Vol.2, Lyon, pp.1101～1111, July, 1992。
- 5)星・日比野：アクセスを考慮した都市鉄道計画のためのGIS，第4回鉄道技術連合シンポジウム，pp.533～536，1997。
- 6)志田・古川・赤松・家田：通勤鉄道利用者の不効用関数パラメータの移転性に関する研究，土木計画学研究講演集 No.12，pp.519～525，1989。
- 7)内山・武藤・桜井：鉄道の乗換抵抗に関する研究，土木計画学研究講演集 No.12，pp.229～234，1989。

首都圏鉄道計画分析評価のためのGISの構築

内山久雄、星 健一

首都圏などの都市域では鉄道が高密度に整備され、鉄道利用者は多くの路線や駅を選択することが可能である。一方、鉄道事業は道路とは異なり、事業採算性が厳しく問われる。このような状況の下、今後の鉄道計画では、如何により多くの乗客を確保するかが重要であり、アクセス整備などの鉄道利用に関連するサービスを向上させることは重要である。本研究では、このようなアクセス施設整備による鉄道需要の変化も把握することを目的とした首都圏鉄道計画の分析・評価を支援するためのシステムをGISの概念に基づいて構築し、その概要及び汎用性の高い適用可能性を示している。

A GIS-Based Metropolitan Railway Planning Process

Hisao UCHIYAMA and Ken-ichi HOSHI

As the result of aggressive development and improvement of a railway network in Tokyo Metropolitan Area, the railway users have been able to choose several railway lines and their stations. On the other hand, the railway project is strictly required to satisfy financial conditions. It accordingly becomes to be important to obtain more amount of railway passengers by offering much better level of services(LOS) not only in line-haul of the railway line itself but also in access to the available railway stations. This study is to propose a GIS-Based Metropolitan railway planning system and to shows its outline as well as much higher applicability.