

移動が限られた都市における 沿道土地利用を考慮した道路渋滞解消の一提案

A PROPOSAL FOR SOLVING THE TRAFFIC CONGESTION IN A CITY WHERE THE MOVE IS LIMITED CONSIDERING THE LAND-USE OF ROADSIDES

小内遼

Ryo ONAI

指導教員 五島洋行

法政大学大学院工学研究科システム工学(経営系)工学専攻修士課程

In this research, we propose to reduce the time loss by traffic congestion in a city where the move is limited by a railway. In the city near the metropolitan area, our inquiry clarified that the traffic congestion becomes worse around the roads near the railroad-crossings during morning commuting hours, when the peaks of the number of trains and cars are overlapped. Thus, we consider a case in which only one railroad-crossing can be replaced with an underpass or overpass to solve the traffic congestions around these hours. Since the traffic volume may depend on the land-use around the roads, it is possible to carry out a realistic simulation if we consider the land-use around the roads. From several experiments, we achieved to propose the reduction of approximately 0.4% of the total travel time in the city. If we aim to reduce the time loss by traffic congestion owing to railroad-crossings with a smaller cost, this research would be useful.

Key Words :traffic congestion, land-use, road network, urban planning, railroad-crossing

1. 研究背景

近年、首都圏やその近郊都市では通勤や通学のために電車を利用する人が多く、その利用客の多さのため朝や夕方のピークとなる時間帯には電車の本数が多く設定されている。特に首都圏近郊では、通勤や通学、それに伴う送迎などの理由から電車と同様の時間帯で車の台数が増えるのではないかと仮定の元に JR 時刻表[1]、道路交通センサス[2]、のデータを調べたところ首都圏近郊の一つである神奈川県相模原市では午前 7~8 時に両方のピークが発生することが分かった。

これらの結果から踏切付近の渋滞が最もひどくなると考えられる午前 7~8 時の時間を対象として、神奈川県相模原市内における踏切について、踏切遮断による渋滞解消を目的として、既存の踏切を一つだけ立体交差に替える場合に、どの踏切を立体交差に替えることが交通渋滞による損失時間を最も減らすことができるかについての提案を行う。

2. 先行研究

道路のネットワーク構造の分析、評価は、交通工学や都市計画、オペレーションズリサーチなどの分野で研究されている。その中でも移動が限られた都市の道路ネットワークの問題について分析した先行研究として栗原[3]は、河川により地域移動が困難な特殊地形都市における道路ネッ

トワーク構造において、移動が困難な理想都市（道路ネットワークの構造が格子状に接続している都市）のモデルを作成し、最大道路混雑度の増減で評価を行い、特殊地形都市の道路ネットワークの改善案として新たな橋を作る提案をしている。

しかし、本研究では河川に架かる橋のようにどんな時刻においても期待される移動時間が不変ではなく、踏切といった時刻により待ち時間が変化し、移動時間が変わるような特殊地形都市における道路ネットワーク構造の評価、渋滞解消につながる提案を行う。

また、本研究では、土地利用と道路の交通量には相関があると考え、交通密度と細密数値地図 5000 から推計を行っている福智[4]の研究の推計方法を参考に土地利用分類ごとの道路に補正値を掛けて渋滞解消案の評価を行った。

3. 予備知識

本研究内容の以降の説明で必要となる知識について簡単に述べる。

3. 1 数値地図 2500(空間データ基盤)

数値地図 2500 は日本の地理を 2500 分の 1 の大きさで表す数値地図データであり国土地理院が発行している。データはベクター形式であり、交差点、道路が曲がっている場合の中間点などの座標、道路の起点、終点の番号を主に用いた。

表 1. 土地利用分類と分類番号

分類番号	大	中	小
1	山林・ 農地等	山林・荒地等	
2		農	田
3		地	畑・その他の農地
4	造成地	造成中地	
5		空地	
6	宅地	工業用地	
7		住宅地	一般低層住宅地
8			密集低層住宅地
9			中高層住宅地
10		商業・業務用地	
11	公共公益 施設用地	道路用地	
12		公園・緑地等	
13		用地	
14	河川・湖沼等		
15	その他		
16	海		
17	対象地域外		

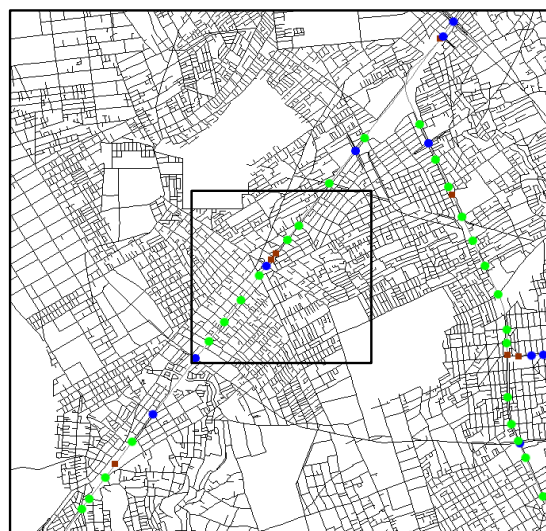


図 1. 小田急相模原駅を中心とした対象地域・エリア 0

3. 2 細密数値地図 5000(10m メッシュ土地利用)

細密数値地図 5000 は日本の土地がどのように使われているかを示したデータであり、国土地理院が発行している。データはラスタ形式であり、10×10m のメッシュがどのような用途で使われているかを 17 個に分類しており、分類内容と分類番号については表 1 に示す。表 1 は大中小の分類に分けられている。この分類の用途により道路混雑度の補正を行い、対象エリアの仮想消費時間の算出に用いた。

3. 3 道路交通センサス

道路交通センサスとは、5 年ごとに国土交通省が行っている交通量調査の総称で、地方道路整備局が調査を行っている。交通量のピークとなる時間帯の調査、踏切の待ち時間による損失距離、対象エリアの仮想消費時間を算出に用いた。

3. 4 最短経路問題

最短経路問題とはグラフ理論の問題で、ノード（点）の集合を N 、ノードから伸びる長さを持つリンク（枝）の集合を B として、有向グラフ $G = \{N \cup B\}$ において起点と終点が与えられたとき、二点間を結ぶ経路に含まれる各点間の辺の長さの総和を最小にする経路を求める問題である。本研究では各ノードを道路の交差点、各リンクを交差点間を結ぶ道路、辺の長さは移動距離として、各対象地域内のすべての交差点間の距離を求める全頂点最短経路問題を解く。問題を解くアルゴリズムとして、ダイクストラ法を用いる。なお、ダイクストラ法のアルゴリズムについては文献[5]を参考にした。

3. 5 道路混雑度

ある地域内の交差点を点、交差点から延びる道路を枝として、すべての点から点への最短経路問題を解き、個々の枝が最短経路で使われた回数を数え、最短経路問題を解き終った時にその数字が道路混雑度になる。これは、車や人が地域内の出発地点から目的地点に行く場合に、最短経路を使用すると考えられるためである。仮想消費時間を算出することに用いる。

4. 実験・分析

4. 1 対象都市・対象地域、エリア

本研究で対象としたのは神奈川県相模原市である。小田急線小田急相模原駅を中心の 4.5×4.5km の範囲を対象地域 0 とし、その中心である 1.5×1.5km を対象エリア 0 とした。対象エリア 0 の外側に対象地域 0 を設ける理由として、対象エリア外からの通過交通を考慮するためである。この対象地域、エリア 0 の数値地図情報を数値地図 2500 から抽出したものを図 1 に示す。図 1 で表わされる全体が対象地域 0 であり、内側の四角で囲まれた部分が対象エリア 0 となる。塗りつぶされた四角点は駅、色の濃い丸点は立体交差などで踏切と交差するが電車の通過待ち時間を考慮する必要がない道路である。また、色の薄い丸点は踏切を表している。丸点・四角点の並びのとおりに延びているのが線路であり、途中で二股に分かれ、左下へ向かうのが小田原線、右下へ向かうのが江ノ島線である。

4. 2 対象都市・対象地域、エリアの踏切

本研究の対象地域 0 にある踏切は全部で 26 個であった。それぞれの踏切に小田原線の北にあるものから順番に 1 から番号を振っていき、次に途中で分岐する江ノ島線の踏切に対しても同様に番号を振った。小田原線には踏切 1～12、江ノ島線には踏切 13～26 があり、対象エリア 0 に含まれる踏切は踏切 3～8 であった。また、本研究の提案の確証性を検証するためにこの対象エリア 0 内において中心となる点を踏切 3～8 に移動させた対象地域、エリアでもそれぞれ実験を行うことにした。この移動させた対象地域とエリアを踏切 3, 4, 5, 6, 7, 8 それぞれを中心とする対象地域、エリアを対象地域 3～8、対象エリア 3～8 と呼ぶこととする。

次に、対象地域内における踏切待ち時間を考慮するにあたり、小田急線時刻表[6]より表定速度を用いて、すべての踏切に対して午前 7 時から 8 時の各踏切の道路における踏切の遮断による損失距離を算出した。

踏切が遮断された時刻(遮断開始時刻)から通行可能になる時刻(遮断終了時刻)の間の踏切待ち時間は次の三つの合

計時間で構成される。一つ目に遮断開始時刻から電車が到着するまでの待ち時間、二つ目に電車の踏切通過時間、三つ目に電車が踏切を通過してから遮断終了時刻までの待ち時間があり、一つ目は法律で遮断機が下がってから電車の到着は最低 15 秒後でなければならないと定められている。また、三つ目は計測した結果約 2 秒であることが分かった。

二つ目の時間は踏切で電車が道路を横切る長さであり、電車の速度、車両数により変化する。本研究では一つ目を 15 秒、三つ目を 2 秒に設定し、二つ目の時間を構成する電車速度は表定速度と道路ネットワークデータ、小田急時刻表を用いて算出した。また、踏切付近で電車が上下線で重なる場合の遮断終了時刻は後から踏切へ進入する電車の遮断終了時刻に修正されることになるため、その考慮が必要となる。

踏切を通行することによる損失距離の算出の流れを以下に示す。

- ① 時刻表から電車の車種(特別急行、急行、各駅停車など)の表定速度を算出する。
- ② 時刻表と表定速度を用いて午前 7 時から 8 時に各対象地域内の踏切を通過するすべての電車の時刻を算出する。
- ③ 電車が上下線で重なる場合の遮断時刻を修正したのちに踏切待ち時間を算出し、1 時間内の踏切総待ち時間を算出する。
- ④ 1 時間内の総待ち時間から、踏切の道路利用者が踏切待ちに遭遇する確率、平均待ち時間を乗算し、期待踏切待ち時間を算出する。
- ⑤ 期待踏切待ち時間と踏切を交差する道路における主要土地利用の旅行速度管理表(表 2)から導出した速度を乗算し、踏切による損失距離を算出する。

次に、主要土地利用について説明する。主要土地利用とは、道路の沿道の土地利用で数が最も多い土地利用分類をその道路の主要土地利用とする。この主要土地利用ごとの旅行速度を、道路交通センサス[2]の旅行速度管理表の一般道路計から相模原市における昼間混雑時間帯の旅行速度を抽出し、道路種別ごとに分類した旅行速度管理表の項目、旅行速度、項目ごとの土地利用分類番号に振り分けた内容を表 2 に示す。表 2 の DID とは人口集中地区(Densely Inhabited District)を指す。上記①～⑤の手順により算出された踏切の損失距離で、対象エリア 0 内の 6 個の踏切を抽出したものを表 3 に示す。

表 2. 相模原市の旅行速度管理表、土地利用分類番号

道路種別	速度(km/h)	土地利用分類番号
DID(商業地域)	16.7	10
DID(商業地域を除く)	19.7	6,7,8,9
その他市街部	29.1	11,12,13
平地部	41.3	2,3,4,5,14,15,16
山地部	33.8	1

表 3. 対象地域 0 内の各踏切における損失距離

路線	踏切番号	損失距離(m)
小田原線	3	107.3
	4	37.3
	5	41.7
	6	102.3
	7	43.1
	8	78.1

4. 3 道路混雑度の算出

各対象地域、エリアに対して道路混雑度を算出した。算出の流れは、抽出した各対象地域、エリアの数値地図データに踏切損失時間を加味し、改変された数値地図データのすべての交差点について最短経路問題を解き、道路混雑度を算出する。

4. 4 細密数値地図 5000 による補正

算出した道路混雑度に福智[4]の研究の自動車の存在台数の算出式をもとに沿道土地利用数から各道路ごとのウェイトを求め、道路混雑度に掛ける補正值を決める。

補正の流れは以下のとおりである。なお、沿道土地利用数とは、道路中心線の左右の土地利用をカウントし、その分類番号ごとのデータ数を指す。

ある対象エリア内の道路の集合を L とするとき y_i を道路の存在台数とし、 $x_1, \dots, x_{16}$ をそれぞれの土地利用番号の説明変数として沿道土地利用数を与え、説明変数の係数を $a_1, \dots, a_{16}$ として道路 i の存在台数 y_i の算出式を以下に示す。

$$y_i = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_{16}x_{16} \quad (i \in L) \quad (1)$$

福智[4]の研究では、大きなゾーン内の自動車の存在台数の算出を行い、ゾーン内の各道路の沿道土地利用数の総和を説明変数として算出していた。しかし、本研究で福智の算出式を規模の小さい各道路に対して用いた結果、存在台数は微小になってしまったが、存在台数の分布は維持されるものと考え、道路ごとの存在台数の分布を比率として補正值に変換することにした。存在台数から補正值への変換と道路混雑度への補正の流れは以下のとおりである。

- ① 道路ごとの比率を求めるために、存在台数の分布の上下 1～10%を誤差として、外れた値を両端の値に合わせ、0～1 の間に調整する。
- ② 補正值と道路混雑度を乗算する。

推計値の道路数上下 1, 5, 10%の 3 パターンの整え方として、境界線の数値を統一することにした。

4. 5 評価方法

本研究の評価方法としては、道路の主要土地利用ごとの旅行速度、細密数値地図 5000 により補正された道路混雑度、道路の長さ対象エリア 0, 3, 4, 5, 6, 7, 8 の仮想消費時間を用いて評価を行う。仮想消費時間とは、対象エリア内の道路混雑度をエリア内を走る車の交通量と仮定し、その交通量の総消費時間を指し、仮想消費時間の変化量により評価を行う。

仮想消費時間の対象エリア内の道路の総数を n ，対象エリアの任意の道路を j として、算出式を以下に示す。

$$\text{仮想消費時間} = \sum_{j=1}^n \frac{\text{道路の長さ}j \times \text{道路混雑度}j}{\text{旅行速度}j} \quad (2)$$

また、仮想消費時間は自動車の偏りを考慮していることから、対象エリア内の交通量から算出される全自動車の移動時間の減少率と仮想消費時間の減少率は同様であるとも考えられる。

4. 6 実験結果、分析

第 1 節から 5 節までの手順を経て、踏切 3～8 をそれぞれを待ち時間の無い立体交差に替えた場合の仮想消費時間を算出し、踏切の損失距離を加算した道路ネットワークデータを元データとして、それぞれの踏切を待ち時間の無い道路にした場合の元データからの減少率について算出した。対象エリア 0 について、補正値を算出する際の自動車存在台数の誤差を両端 1, 5, 10% で区切った場合の減少率を表 4 に示す。

表 4 内の値は、どの踏切も立体交差に替えなかった場合と替えた場合とを比較し、仮想消費時間がどの程度削減されたかを減少率で表している。また、値が太字になっているものはそれぞれ 1, 5, 10% の場合で踏切を変更したケースで最も減少率が高いものである。網掛けとなっているものは、対象エリア 0 と 3～8 の減少率の平均が最も高くなったケースである。1% 区切りでは踏切 5 が、5, 10% の場合では踏切 7 が平均で最も仮想消費時間を削減していることが分かった。対象エリア 0 を中心に考えた場合では、1% では踏切 4 が、5%, 10% では踏切 7 が最も仮想消費時間を削減していることが分かる。

表 4 対象エリア 0 における仮想消費時間減少率(%)

誤差区切り 踏切変更	1%	5%	10%
踏切3	0.127	0.232	0.518
踏切4	-0.146	-0.074	0.214
踏切5	-0.011	-0.002	0.004
踏切6	0.256	0.331	0.571
踏切7	-0.124	-0.206	-0.432
踏切8	0.381	0.390	0.333

5. おわりに

実験結果から、小田急相模原駅を中心とした対象地域 0、対象エリア 0 を中心とするならば、踏切 4 か 7 を立体交差へ変更することが地域内の渋滞損失時間を削減するには望ましいと考えられる。踏切 4 と踏切 7 の損失距離は他の踏切と比べると比較的小さいため仮想消費時間の削減効果は薄いと考えていたが、踏切 3 や 6 といった損失距離の大きい踏切は立体交差に替えた場合でもあまり効果が見られなかった。これらのことから、踏切の損失距離よりもその踏切の使用頻度やその踏切を代替する道路の有無など、道路の使われ方により削減効果が変動すると考えられる。

自動車存在台数の分布は 1, 5, 10% のパターンを用いたが、10% では分布が大きく削られ、道路の沿道土地利用による補正は道路ごとの混み具合の特徴が失われてしまった可能性がある。逆に 1% では存在台数の算出式に大きく依存しており、算出式の正当性があれば誤差として上下を削る必要なく補正値を決定することができると考える。

なお、中心点どうしが最も遠い対象エリア 3 から 8 との直線距離は約 1.2km であり、この長さを変化させても仮想消費時間の減少率が大きい踏切 5 や 7 といった踏切があることから、対象としたエリアの中心ほど渋滞解消効果が高いわけでは無いことが分かる。また本研究では、先行研究のスケールの違う自動車存在台数の算出式を用いたことから、その値について誤差が発生するものとして扱い、算出式の確証性をいくつかの場合に分け提案した。そのため、提案内容は曖昧なものとなってしまった。これらのことから、各道路の自動車存在台数の算出式、存在台数から補正値への変換、補正値と道路混雑度の乗算、仮想消費時間という指標には、妥当性の検証の余地があると考えられる。

参考文献

- [1]JR 東日本、駅の時刻表、<http://www.jreast-timetable.jp/>、2014 年 2 月 14 日確認
- [2]道路交通センサス、平成 22 年度道路交通センサス、<http://www.mlit.go.jp/road/census/h22-1/index.html>、2014 年 2 月 14 日確認
- [3]栗原弘昌：地域内移動が困難な都市における道路ネットワークの構造評価、長岡技術大学工学部課題研究論文、2011
- [4]福智一正：土地利用情報を用いた交通量の推計、中央大学理工学部課題研究論文、2004
- [5]古林隆：ネットワーク計画法、培風館、1984
- [6]小田急電鉄、各駅時刻表、<http://www.odakyu.jp/station/timetable/>、2014 年 2 月 14 日確認

2013 年度 修士論文

移動が限られた都市における

沿道土地利用を考慮した渋滞解消の一提案

法政大学大学院 工学研究科

システム工学(経営)専攻 修士課程

学籍番号 11R6206

オナイ リョウ

氏名 小内 遼

指導教員 五島 洋行 教授

論文要旨

本研究では、線路によって地域内の移動が限られた都市における踏切付近の自動車の移動時間を削減するための提案を行う。

線路により移動が限られた都市は線路を横断するための踏切と立体交差の数が限られる。そのため、線路を越えて移動する自動車はこれらのどちらかを利用する必要がある。そのことから踏切と立体交差は交通が集中し、渋滞が起りやすい傾向にある。また、線路により移動が限られた都市の中でも本研究で対象とした首都圏近郊都市では、調査の結果から電車のダイヤのピークと自動車の交通量のピークが重なることが分かり、踏切付近での深刻な渋滞が想定される結果となった。

そこで本研究では、踏切を立体交差化し踏切の待ち時間による損失時間を削減することで踏切付近での渋滞を解消しようと考えた。また、踏切を立体交差化するには莫大な費用がかかることが想定されるため、既存の踏切を一つだけ立体交差化した場合に最も費用対効果が高い提案を行うこととした。

道路ネットワークの評価において、道路ごとの交通量は一定として評価が多く行われてきた。しかし、自動車での移動を考えた場合に、近隣を移動する際に使われる細街路と呼ばれる道路の交通量は、その道路周辺の土地の使われ方によって影響を受けると考えられる。

そこで、本研究では道路ごとの土地利用によって影響が想定される交通量の偏りに対して補正を行うことで、より現実的な交通を想定しシミュレーションを行うことにした。

提案の特徴の一つ目として、踏切の待ち時間の期待値は時刻表と駅間の距離から算出できる表定速度を用いて算出した。その期待値と道路交通センサスのデータから選出した旅行速度を用いて踏切を利用する場合の損失距離に変換した。二つ目は、土地利用による影響を考慮するために先行研究の自動車存在台数の算出式を用いて、道路ごとに道路混雑度を補正する値を算出した。三つ目は、踏切の立体交差化により移動時間の削減効果を見るための指標として、道路混雑度と道路の長さ、旅行速度を用いて仮想的な移動時間を比較することで評価を行うこととした。

シミュレーションの結果、踏切の立体交差化により地域内の総移動時間を最大約 0.4%削減することができると見込みとなった。また、この踏切を立体交差に替える提案により、その地域の全体的な道路交通量は減少するが、立体交差化した踏切付近における一部の道路交通量が増加することが想定される結果となった。

本研究は、電車の利用、自動車の交通量の両方が多い地域において、踏切付近での渋滞が問題となり、少ない工事費用で費用対効果の最も高い工事を行いたいときに役立つと考えられる。

キーワード: 渋滞解消, 土地利用, 道路ネットワーク評価, 都市計画

目次

第1章 序論.....	1
1.1 研究分野と背景.....	1
1.2 道路渋滞と線路の因果関係.....	2
第2章 道路整備と渋滞.....	6
2.1 提案選定の経緯.....	6
2.2 道路整備率と整備費用.....	6
2.3 道路渋滞による損失.....	8
2.4 道路整備と渋滞損失時間.....	10
2.5 渋滞の種類.....	10
第3章 先行研究.....	13
3.1 道路ネットワークの評価の指標に関する研究.....	13
3.2 移動が困難な都市に関する研究.....	13
3.3 土地利用分類別の交通量に関する研究.....	13
3.4 先行研究と本研究の独自性.....	14
第4章 予備知識.....	15
4.1 最短経路問題.....	15
4.2 数値地図.....	16
4.3 土地利用データ.....	17
4.4 道路交通センサス.....	18
第5章 研究対象地域.....	19
5.1 対象地域.....	19
5.2 神奈川県相模原市.....	19
第6章 提案方法.....	22
6.1 沿道土地利用数, 主要土地利用計測.....	22
6.2 踏切の待ち時間.....	23
6.3 踏切待ち時間を距離に変換.....	28
6.4 道路混雑度の算出.....	30
6.5 土地利用データによる道路混雑度の補正.....	30
6.6 評価手法.....	33
6.7 分析の流れ.....	33
第7章 分析結果.....	35
7.1 分析手法.....	35
7.2 対象エリア内の道路混雑度の分析.....	36
7.3 まとめ.....	38
第8章 おわりに.....	39
参考文献.....	40
謝辞.....	41

第 1 章 序論

1.1 研究分野と背景

本研究は都市計画という分野に含まれる。都市計画は主に都市の景観保護や交通改善、公害などの環境汚染の改善、防犯対策などについての研究がされており、都市計画の本筋は都市の様々な問題を解消することである。本研究ではその中の一つである交通の改善についての研究を行った。

交通の改善のために行うこととして、都市内の渋滞の解消や私・公営バスの巡回路の改善、歩行者の安全な通行を確保するための道路改善など様々なものが挙げられる。本研究は、その中で道路渋滞の解消に着目した。

現代の日本では交通の利便化を図るために主要都市の電車をはじめとした交通手段の整備が進んでいる。また、第二次世界大戦後の日本では高度経済成長による物流量の急増や社会基盤の整備の一環として道路整備が積極的に進められてきた。しかし、時代の経過と共に自動車保有台数の急増による交通量の大幅な増加により、様々な要因のもと渋滞が発生している。例えば、ニュースなどで知られるような事故や工事、お盆の帰省ラッシュのように一時的な交通量の増加によるものなどがある。また、1 日のうち決まった時間・場所で発生する慢性的な渋滞もある。

本研究では、前者のような一時的な事象ではなく、後者のような慢性的な渋滞の解消について考える。その理由として、一時的な事象による渋滞は時間経過と共に解消されるが、慢性的な事象による渋滞は道路構造の欠陥であると考えられ、また、その欠陥は解消できると考えるためである。

ところで、慢性的な渋滞の原因は交通量の増加だけではなく渋滞を引き起す要因があると考えられる。これらは大まかに自然的な要素と人工的な要素の二つに分けられる。自然的な要素では、山や川、海、湖などこれらの要素に対して車や人が通行する道路を造るには莫大な費用がかかる。そのためこれらの要素に対応する道路は数が限られており、車や人の交通がその限られた道路に集中することにより、渋滞が発生し易い。

人工的な要素は、幹線道路や線路、大規模な公園や学校、基地など人工物ではあるが規模が大きいことからこれらの要素に対して車や人が通行する道路を造るには自然的な要素と同様に莫大な費用がかかる。それに加え、土地の機能を損なわないようその人工物を回避して道路を作る必要があるため、一般的な道路を作るよりも多額の費用がかかることになる。

これら自然的要素と人工的要素を渋滞要因とする場合の特徴として、道路工事の内容にもよるが何もない平坦な空地に道路を作るより大幅に費用がかかる点で一致する。費用の高さから、これらの要素が原因で交通を滞らせている場所においては安易に道路工事を行うことはで

きない。

本研究では、その中で電車の通行する線路について着目し、道路と交差する踏切を立体交差に替えることにより、ある地域内の踏切が要因となり引き起こされる渋滞の解消について提案を行う。

特に主要都市の近郊の地域では人口が密集しており、通勤や通学に電車や車が使われることも重なり、立体交差や踏切付近での慢性的な渋滞が多々見られる。この慢性的な渋滞に関する改善の提案を行うにあたり、電車の本数と車の交通量のピークが重なることが顕著である主要都市近郊においては、踏切付近での渋滞がより深刻なものになると考えた。そこで主要都市と主要都市近郊のデータについて調査を行った。

1.2 道路渋滞と線路の因果関係

本節では、主要都市やその近郊都市での通勤と通学の時間で電車の本数と車の台数が多くなると考え、その検証のために主要都市とその近郊都市を選び、その詳細な調査を行った。

1.2.1 電車の本数についての調査

主要都市、主要都市近郊の電車の本数について調査を行った。調査対象として JR 時刻表 [5]より主要都市は JR 中央線御茶ノ水駅を例とし、主要都市近郊として JR 横浜線相模原駅を例として、両駅を発着する電車の本数を 図 1, 図 2 にまとめた。

両駅を選定した理由として、両駅ともに路線の急行電車が発着する駅であるためである。調査の集計数は、図 1 御茶ノ水駅(上り電車本数(赤線):304 本, 下り電車本数(青線):283 本), 図 2 相模原駅(上り電車本数(赤線):158 本, 下り電車本数(青線):159 本)となった。

図 2 から、主要都市近郊での電車の本数は 7 時台に上り、20 時台が下りにおいて電車の本数が最も多くなる時刻となり、図 1 から主要都市では、上りも下りも 8 時頃で最も多くなり、次には 17 時頃が上り下りともに高いことが分かる。

電車の本数が多く設定されている理由は多くの利用客が見込まれるためであると考えた。両図から考えられることとして、主要都市近郊では早い時刻に利用客のピークを迎え、利用客の多くは主要都市へ向かう通勤通学を目的とした利用者であり、勤務時間や学校の授業が終了する夕方頃に主要都市から帰ってくる利用者が多いことがある。また、主要都市では主要都市近郊に比べ上りと下りの電車の本数にあまり差異が無いように見られる。これは調査対象とした御茶ノ水駅は主要都市のターミナル駅である新宿駅と東京駅の間の位置にあり、利用者が東京を中心に上りと下り両方向の主要都市近郊に向かって分配されることにより、上り下り本数の差異が少ないと考えられる。

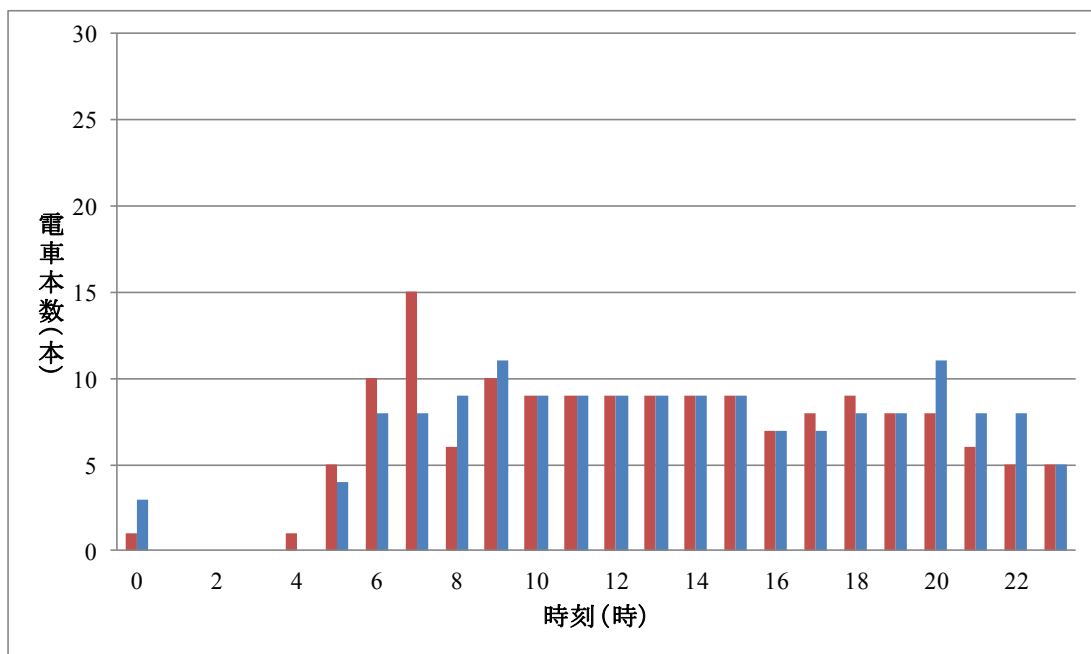


図1 JR 御茶ノ水駅における時間帯別電車本数(赤線:上り電車, 青線:下り電車)

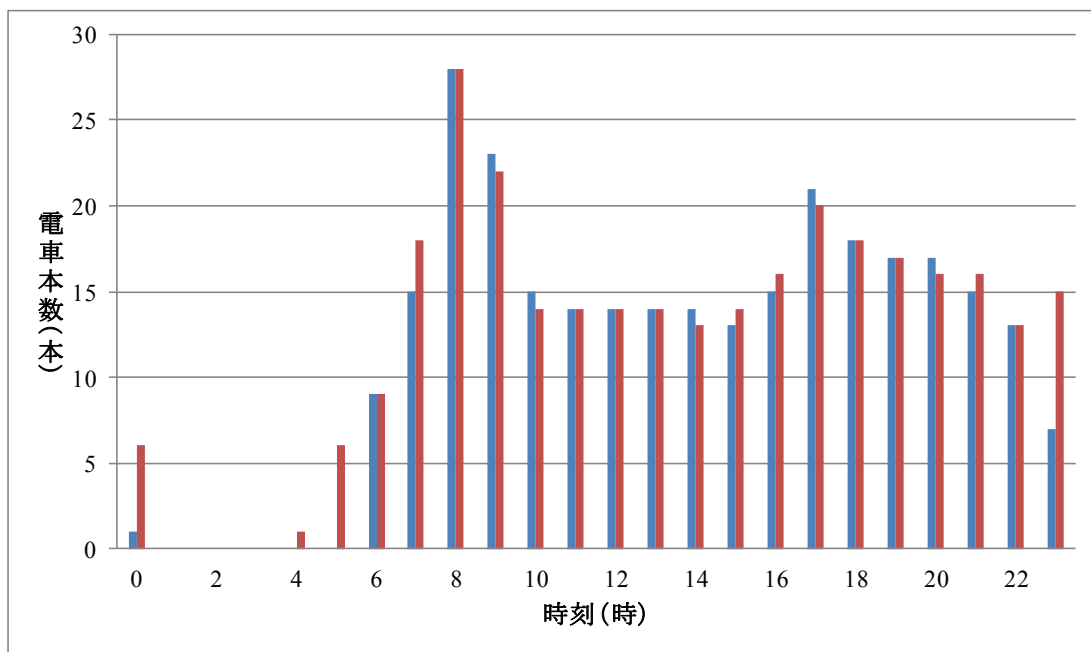


図2 JR 相模原駅における時刻別電車本数(赤線:上り電車, 青線:下り電車)

1.2.2 交通量についての調査

主要都市, 主要都市近郊の交通量について調査を行った。調査方法として道路交通センサス[7]より各道路の時間帯別交通量を各道路における 24 時間の交通量で正規化し(全時間の累積が 100%), 時間帯の交通量の比較を行った。主要都市, 主要都市近郊の例として東京都, 神奈川県を調査したものが以下の 図 3, 図 4 である。調査対象として, 図 3 東京都(東

京都(23 区以外)道路本数(赤線):*228 本, 東京都 23 区道路本数(青線):*909 本), 図 4 神奈川県(神奈川県(後の 3 市を除く)道路本数(赤線):*223 本, 横浜市道路本数(青線):*223 本, 川崎市道路本数(緑線):*104 本, 相模原市道路本数(濃青線):*24 本)とし, 両図ともに平均を橙の折れ線で示した.

* 道路交通センサス[7]より 24 時間の交通量が測定されている道路のみ調査した.

図 4 から相模原市は神奈川県の中では調査対象の道路が少ないことから, 横浜市, 川崎市と比べ多少の違いは見られるものの神奈川県全体を通して 7 時と 17 時にピークを迎えていることが分かる. 図 3 から東京都は神奈川県に比べ多少全体に緩くなっているが, 東京都(23 区を除く)も同じ様に 7 時と 17 時にピークを迎えており, 23 区内ではさらに全体に緩やかになっていることが分かる.

これらのことから, 神奈川県全体(主要都市近郊道路)の交通量は特に出勤・帰宅の時間帯に多く, 東京(23 区を除く)も同様の傾向が見られる. 23 区内ではピークとの差が少なく, 7 時から 19 時まで全体が高い比率を占めているように見られる. これは, 企業の始業とともに営業車やタクシー, 運搬車などが営業時間内で移動していることから出た結果だと考えられる.

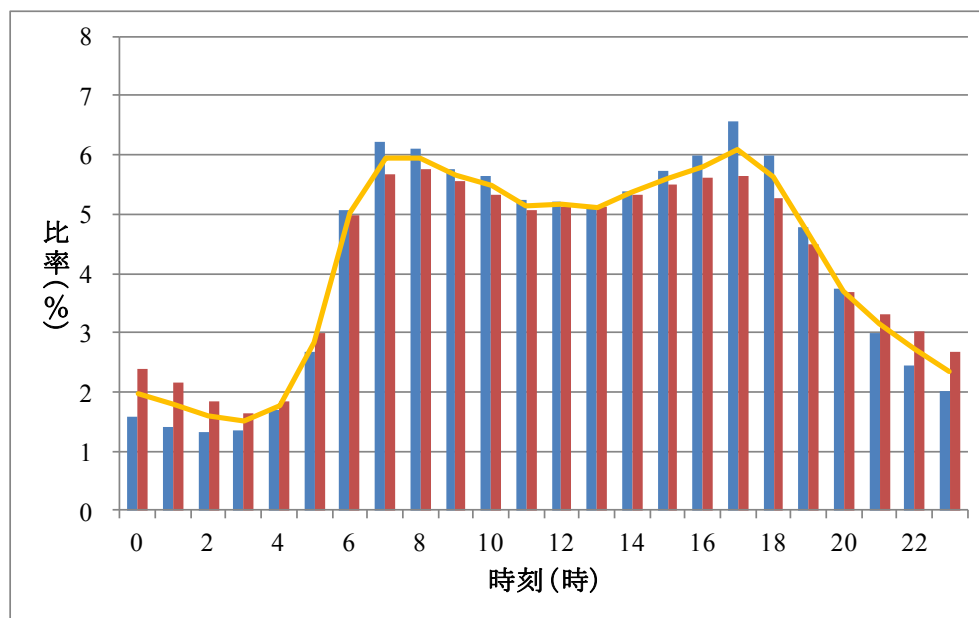


図 3 東京都の時間帯交通量の比率(赤線:東京都(23 区以外) 青線:東京都 23 区)

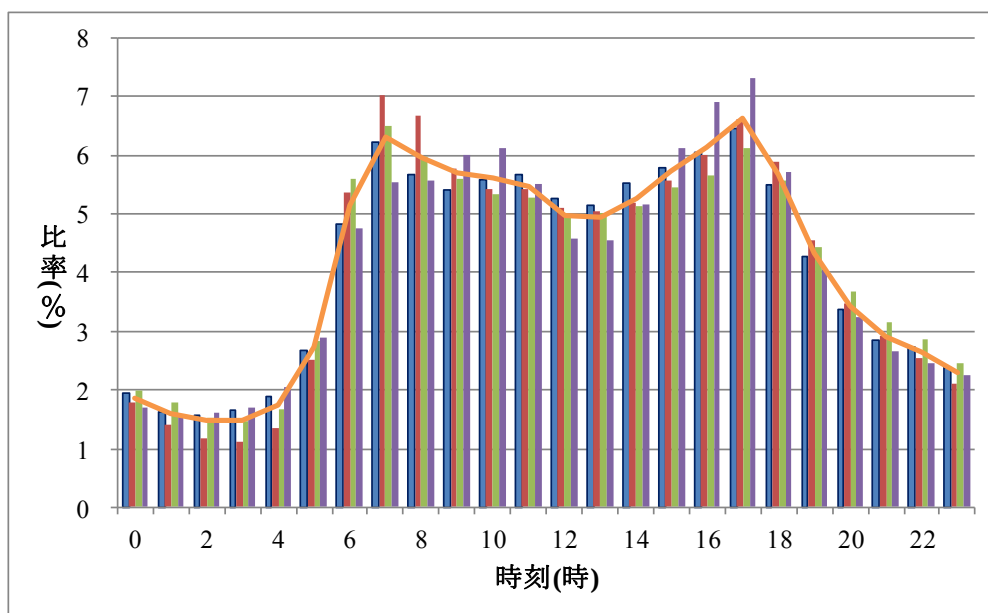


図 4 神奈川県の時時間帯交通量の比率
 (赤線:神奈川県(横浜市, 川崎市, 相模原市を除く), 青線:横浜市道路本数,
 緑線:川崎市道路本数, 濃青線:相模原市道路本数)

これらの調査結果から, 主要都市近郊道路の交通量は特に通勤と通学の事象が発生する 7 時~8 時が時間帯に多い. また, 電車の本数においても通勤と通学のピークである 7 時~8 時が最も多いことから, これらの事象が重なる 7 時~8 時の時間帯において渋滞が発生し易く深刻な事態を招いていると考えられる. そのため, 通勤と通学の時間に焦点を当てることで最も渋滞が発生し易い時間帯における踏切の待ち時間に焦点を当て実験を行う.

第2章 道路整備と渋滞

2.1 提案選定の経緯

本研究では、地域内の既存の踏切を1つだけ立体交差に替えた場合の渋滞による損失時間の減少効果が最も高い提案を行う。この提案に至った経緯として、日本の道路整備費用と渋滞に大きな関係があると考えたためである。本節では日本の道路整備状況と渋滞の関係性について述べる。

2.2 道路整備率と整備費用

はじめに日本の道路整備状況について説明する。以下に示すのは環境省都道府県別道路整備状況・普及率[8]より作成した近年の日本全国と神奈川県道路整備率の推移である。ただし、神奈川県の平成22年度は例年と道路延長が大きく違う値であったため誤植として考え、このグラフからは省いた。

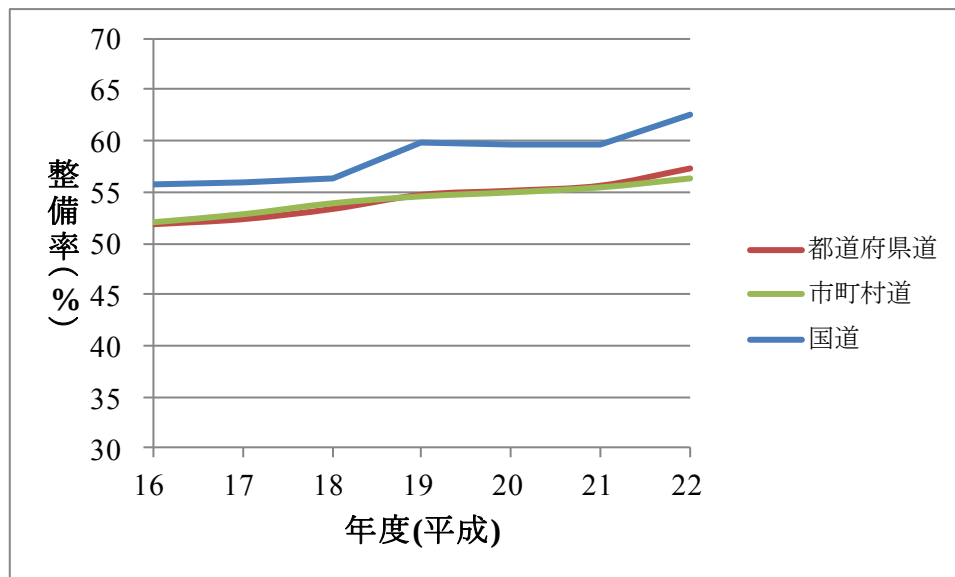


図5 全国道路整備率の推移

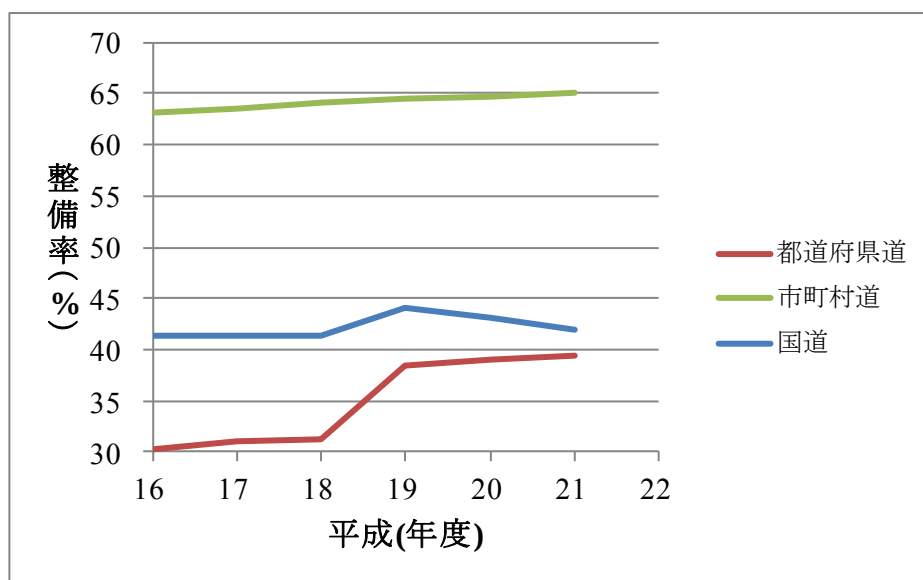


図 6 神奈川県道路整備率の推移

図 5 から分かることとして、全国的には国道が優先して整備されていることが分かり、他の 2 種は同じ様な整備率である。また、全体としては増加傾向にあることが分かる。

図 6 では都道府県道の整備率が低く、それに続いて国道が全国値よりも低い。逆に市町村道の整備率は全国よりも高いが伸び率としては小さく横這いである。これらのことから神奈川県では、これまで市町村道の整備に力を入れてきており、国道、都道府県道沿いは住宅・商業用地等の土地利用が他と比べて進んでおり、既存の道路を拡張するための土地の確保が難しいことがあることが考えられる。

なお、ここで述べる道路整備率とは、道路の混雑の度合いを考えたときに、交通量が交通容量を超えるような道路の部分で、整備されていない道路延長として、全道路延長と整備されている道路延長の比率を指す。

次に、道路整備に使われる費用の推移を国土交通省発表の、一般、有料、地方単独別の道路投資額の推移[9]より作成した道路の新設、危険な道路の改善、未整備道路の整備など全ての道路整備に使われている費用の推移を以下に示す。

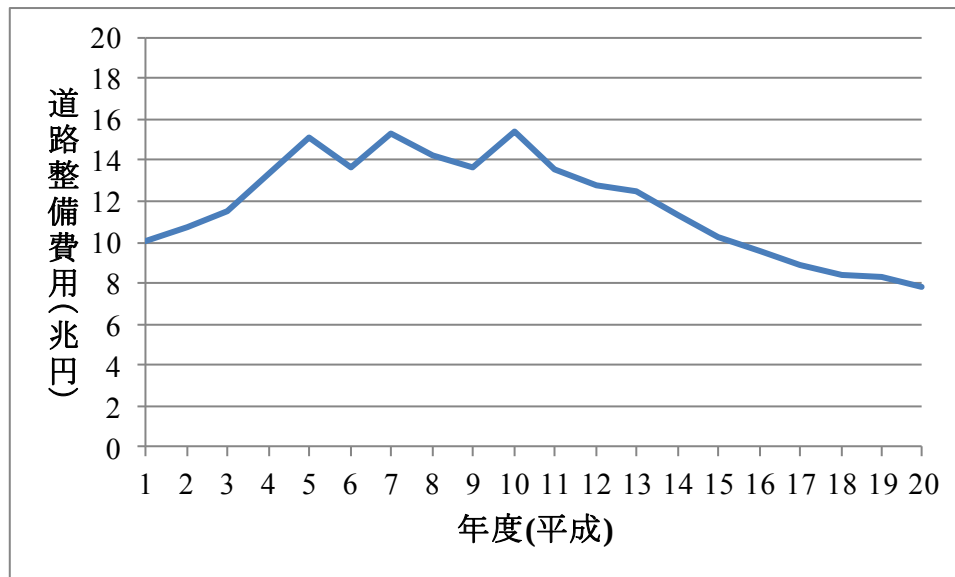


図 7 道路整備費用の推移

図 7 から道路整備に使われている費用は平成 10 年度を境に減少傾向にあることが分かる。これらの図から整備費用は減少傾向にあるが、道路の整備率は上昇傾向にあることが分かった。また、これらの推移から道路を新設する必要性は少なくなっており、既存の道路を整備することが現在の傾向であることが読み取れる。道路の整備費用に関して、今後も減少傾向に進むのであれば、大規模な工事を行うためには厳しい状況になることが想定される。

2.3 道路渋滞による損失

近年の日本では、交通の利便化を図るために主要都市の電車をはじめとした公共の交通手段が整備されている。また、高度経済成長から物流量が急増して道路整備が積極的に進められてきた。しかし、時代の経過と共に自動車の保有台数の増加による交通量の増加から現代の日本における道路渋滞は深刻な金額や時間の損失を生みだしている。国土交通省[10]の報告では、全国の渋滞による損失時間は年間 38.1 億人時間とされ、一人当たりでは年間約 30 時間の損失を生みだしていることになる。また、この時間を貨幣価値に換算すると約 12 兆円にも上る。

渋滞による損失時間と金額の導出方法については、関東地方整備局[11]より、

$$1 \text{ 台当りの渋滞損失時間} = \frac{\sum[(\text{実際の旅行時間} - \text{基準旅行時間}) \times \text{交通量}]}{\sum \text{交通量}}$$

渋滞損失金額(円/12h)

$$= \sum [(\text{実際の旅行時間} - \text{基準旅行時間}) \times \text{交通量}] \times \text{時間評価値}$$

としている。渋滞損失時間は実際の旅行時間から、基準となる旅行時間の遅れ分の総和の時

間となり、1 台当りに換算するには交通量の総和で除する。また、渋滞損失金額は実際の旅行時間が、基準となる旅行時間の遅れ分の総和に車種や車の用途に合わせた時間評価値を乗ずることで金額を算出する。ここで、平成 18 年度道路業績達成報告書[12]より作成した都道府県別年間渋滞損失時間と都道府県のモデリング区間における渋滞損失時間の総計の推移を以下に示す。

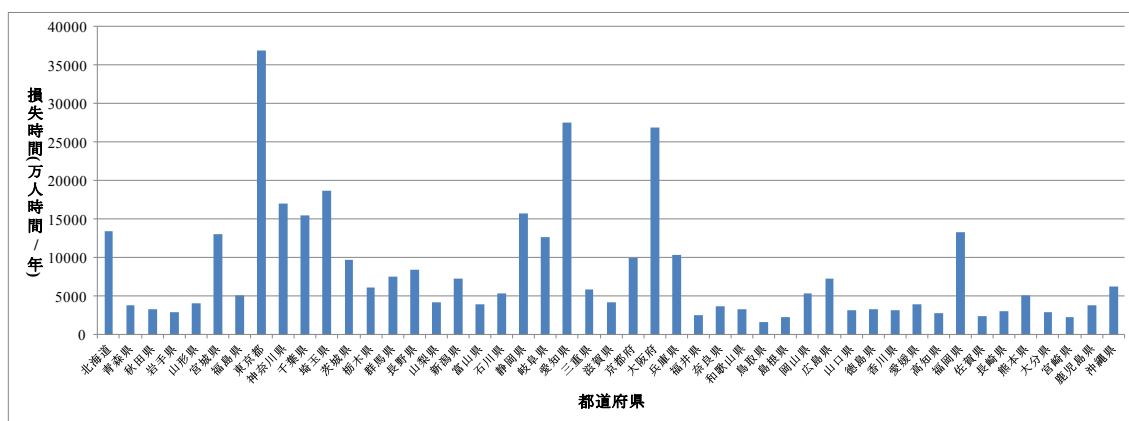


図 8 都道府県別年間渋滞損失時間

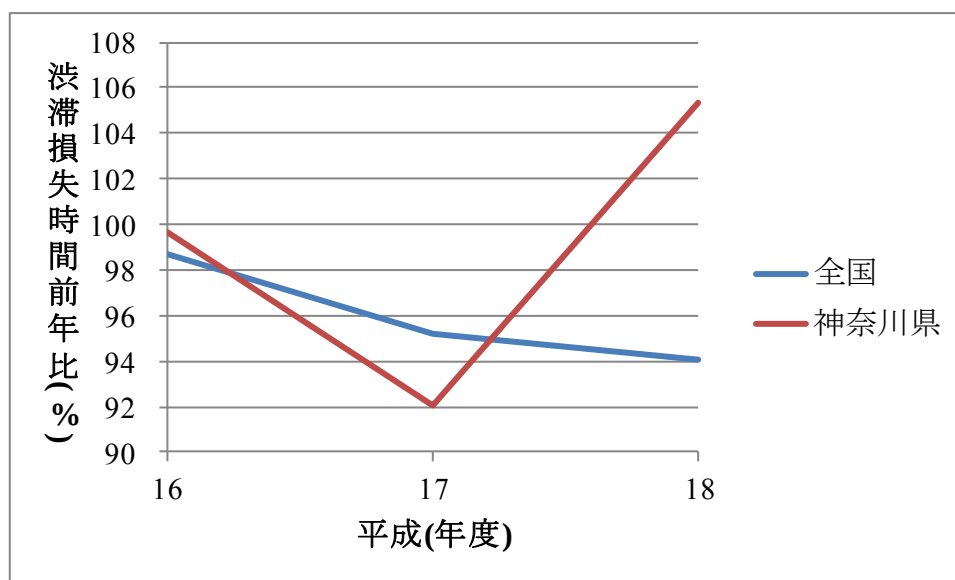


図 9 渋滞損失時間前年比

図 8 から分かることとして、上位 3 県は東京都、愛知県、大阪府といった都道府県の中でも経済規模の大きい都市圏に集中し、続いて埼玉県、神奈川県といったそこに隣接する都道府県の損失時間が大きいことが分かる。さらに細かく見ると地方の主要都市とその都市近郊での損失時間が大きい。次にモニタリング区間の渋滞損失時間について前年度との比較を行った図 9 では、モニタリング区間が見直されたこともあり、渋滞による損失時間は減少傾向にある。神奈川県のみで見ると平成 16, 17 年度は前年から減少していたが、18 年度には増加している。

2.4 道路整備と渋滞損失時間

2.1, 2.2より道路整備において、現代の日本では道路の新設よりも既存の道路の改善について重点的に考えられており、その改善理由は渋滞解消や環境保護、歩行者の安全など様々あるが、渋滞解消に着目した場合、道路整備を行う各行政では道路整備による渋滞損失時間の観点から毎年の損失時間の削減が課題としてあり、整備率向上のための整備が行われていることが分かる。しかし、整備費用全体では減少傾向にあることから大規模な道路工事を行うことは難しくなっていくことが考えられる。

ここで、本研究で対象としている神奈川県に着目した場合に、全国的に見てみると渋滞による損失時間が大きい県であり、モニタリング区間において損失時間が増加していることから想定される理由として、県内の移動において車での利用が増加しているためであると考えられる。

これらのことから、渋滞解消への道路整備を行うことは必要なことではあるが、整備費用は減少傾向にあるため、大規模な工事を行うことは難しい状況にある。そのため、本研究では費用対効果の観点から線路により移動が限られた都市の踏切を1つだけ立体交差に替えた場合の渋滞解消効果について提案を行うことにした。

2.5 渋滞の種類

渋滞の要因は大きく二つに分けられる。一つ目に交通容量(道路が単位時間にどれだけの車が通行できるかの量)を超え、渋滞が発生する場合。二つ目に交通容量を超えていない道路において何らかの要因で発生する渋滞がある。これらの渋滞の特徴と対策を以下に挙げる。

2.5.1 交通容量を超える渋滞

①線路による渋滞

地域内に電車が通行する線路がある場合に、電車は路面電車を除き車と同じ場所を走ることがなく、電車が通行する線路については踏切を除き立ち入り禁止である。そのため、線路を横断するには、線路を避けて上下のどちらかに通る立体交差や一時的に線路の上を通行できる踏切での通行を使用することになる。また、踏切や立体交差は数が限られることから、その付近の道路では線路を越えて移動をする車や歩行者が集中することにより交通容量を超え、渋滞や道路混雑が発生する。

この渋滞の対策について、以下で例として採り上げる線路と駅の高架化や立体交差と踏切の数を増やすことが挙げられる。

②河川による渋滞

地域内に河川がある場合には河川を越えるためには橋を使うことで通行が可能となるが、その橋の本数は限られることから河川を越えて通行する車や歩行者人が橋に集中することで交通容量を超えてしまうことにより渋滞が発生する。

この渋滞の対策について栗原[3]が河川により移動が制限される都市についての道路ネットワーク評価を行い、新たな橋を架ける提案を行っている。

③信号待ちによる渋滞

道路では移動する車や歩行者の方向が様々であることから、主要道路においてはその方向が異なる道路が交差する部分には信号機が付けられていることが多い。信号機は主に交差する部分を方向の違う道路同士が共有する。例えば二つの道路が交わっている十字路では共有部分の交通容量は2分の1となり、それ以上の道路が交差する場合はさらに小さくなる。また、そこに信号機が取り付けられている場合には交通容量がそれぞれに配分される。そこで主に交通量が多い道路に青の配分を多くするよう信号機の時間が制御されているが、その時間は頻繁に変えることはなく、配分の少ない道路に交通の需要が集中した場合などに渋滞が起こる。

この渋滞の対策として、信号機の制御をリアルタイムで管理し、渋滞が発生しそうな道路の信号機で青の配分を多くするという研究がされている。

④その他要因による渋滞

一般道には道路から接続する他の道路や店舗の出入り口など様々な渋滞を招く要素であることから、右折や左折の際に対向車や歩行者などで待ち時間が発生する場合や、店舗の出入り待ちにより道路の通行が滞り発生する渋滞、道路工事や交通事故で道路の幅員減少により通行が滞ることで起こる渋滞などがある。

2.5.2 交通容量を超えていない渋滞

①サグによる渋滞

高速道路など高速走行が可能な道路においては、起伏の多い土地の区間で交通の流れを良くするために勾配の急な道路ではなく、緩やかな坂になっていることがあり、その部分はサグと呼ばれる。ここでは車の運転者が坂になっていることに気付きにくく、登りのサグで速度の低下が起こり、後続車との車間が詰まりそれが多量となり渋滞が引き起こされる。

この渋滞の対策として、高速道路などでは速度を回復するよう呼び掛ける看板や山間部だと知らせる看板がある。

②トンネルによる渋滞

高速道路など長距離の移動に使われる道路では、車の移動を円滑にするために山間部では山を迂回せずにトンネルによって山の中を通行することが多い。トンネルでは車の運転者が内部の暗さから視界が狭くなったように感じ、速度を落としやすい傾向にある。それにより後続車との車間が詰まり渋滞が起こる。

この渋滞の対策として、トンネル内を明るくすることが考えられる。

③年中行事等の特別期間における渋滞

帰省ラッシュと呼ばれる時期や大型連休で行楽地に向かう人が多く交通機関の利用者が集中する時期に一般道の幹線道路や高速道路の交通容量を超えて発生する渋滞がある。この渋滞は地域内を通過する車が大半であり、また、道路は方向により道路の混み方が大きく変

わってくるといった特徴がある。他の要因と併発することでより深刻な渋滞を招くことがある。

この対策として、多くの従業員を抱える大企業では休日を他の企業とずらすことで軽減されることが考えられる。

本研究では交通容量を超える渋滞(2.5.1 の①)について考える。①の例として、数年前に問題となった JR 中央線沿線の開かずの踏切と呼ばれる踏切があったが、この踏切は、踏切が開く頻度と時間が極端に少ないために踏切付近での道路渋滞による混雑が慢性的に発生していた。その問題を解決するために JR 中央線の線路と駅の高架化の工事を行った結果、現在ではほとんどの踏切が無くなり、踏切の待ち時間による道路渋滞は発生しなくなった。このようなケースで道路渋滞が解消された事例もあるが、高架工事を行うには莫大な費用がかかることからすべての路線で行うことは難しいと考えられる。

しかし、現実には深刻な道路渋滞が発生しているにもかかわらず解決できていない路線もあることから、踏切付近での深刻な道路渋滞が発生している地域において、渋滞解消のために踏切を立体交差に替える計画がある場合に、渋滞解消効果を最も見込むことのできる踏切の立体交差化について本研究で提案する。

第3章 先行研究

本研究の先行研究として、都市計画の分野において道路ネットワーク評価、改善案の提案は数多く研究されている。

3.1 道路ネットワークの評価の指標に関する研究

道路ネットワーク評価の点において、その指標となるものに道路混雑度というものがある。道路混雑度とは、田口[4]らが提案した枝の重みを指し、ある区切られた地域の交差点を点(ノード)、それを繋ぐ道路を枝(リンク、アーク)として全頂点对最短経路問題を解き、各道路が最短経路に含まれた回数を道路混雑度と呼ぶ。これが道路ネットワーク評価の指標となる理由として、区切られた地域の交通を考えたとき、車や人が交差点から出発し、地域内のある交差点を到着地点として移動をする場合に最短経路を移動すると考え、この地域内の移動において使われやすい(混雑度が高い)道路が混雑すると考えられるためである。

3.2 移動が困難な都市に関する研究

本研究で考える地域内の移動が困難な都市とは、渋滞を起こしやすくする自然的、人工的な要素があり、その要素に対して道路の数が少ないことから、道路がボトルネックとなって渋滞が引き起こされる都市を指す。例えば、河川により移動が分断された都市がある。栗原[3]は河川により地域移動が限られた都市における道路ネットワーク評価を行っている。この研究は、新潟県長岡市、広島県広島市において、河川により地域が分断され河川に架かる橋の数が限られる地域において、橋は混雑することが見込まれるとして、現状の移動困難な都市における分断された理想都市のモデルを作成し、現状の橋の位置と最適な橋の位置の道路ネットワークの分析を道路混雑度と最短経路の分布を用いて両者を比較し、最大道路混雑度の増減で道路ネットワーク評価を行っている。また、現状の渋滞を解消するために新たに橋を掛ける場合にどこへ橋を掛けるのが最大道路混雑度の減少になるかの提案を行っている。

3.3 土地利用分類別の交通量に関する研究

地域内の渋滞を考慮するためには、道路の混み方も考慮する必要がある。道路が混む理由としては、道路の交通容量を超える交通量になることで渋滞することが考えられる。また、道路の交通量は道路1本ごとの周辺の土地の使われ方(土地利用)による影響が大きいと考える。土地利用により交通量が変化する例として、商業地や住宅地は車の出発地点、目的地点に選ばれやすい傾向にあることなど挙げられる。

ところで、一般県道、国道、高速道路などの利用者の多い道路については国土交通省の交通量の計測が行われている。また、これらの道路は主要道と呼ばれ主に遠距離の移動にも使われることが多い道路である。上記の道路以外に細街路と呼ばれる道路がある。この道路は主に地域内の移動に使われる一般道である。道路全体では主要道と細街路の道路延長の長さ比べると細街路の方が長い地域が多く、本研究で用いる。対象地域でも細街路の方が圧倒的に長い。そこで対象地域内のすべての道路に補正を掛けるためには、対象地域内のほとん

どの道路に対して細街路の土地利用を考慮する必要がある、道路交通センサスデータから得られる交通量から土地利用の補正値を算出しても本研究で用いることは難しい。なぜなら、前述のとおり主要道は長距離の移動にも使われる道路であり、主要道の周辺の土地利用と交通量との関連性は薄いことから、計測交通量を用いて補正値を算出するモデルを作成し、地域内の道路ネットワークに補正を掛けることは有意性に欠ける。そのため細街路に合わせた周辺土地利用を考慮したモデルを用いて道路ごとの補正値を算出することが重要となる。

そこで、細街路の土地利用が交通量近い指標である自動車の存在台数を推計する福智の研究[4]がある。この研究は、土地利用データ、道路ネットワークデータ、道路交通センサス[7]の地域内交通密度を用いて自動車存在台数の推計を行っており、1km×1km の交通密度調査から東京都区部と多摩地区のいくつかに分けられたゾーン内の自動車存在台数を、ゾーン内の道路総延長、沿道土地利用の総数を用いて土地利用と地域内自動車存在台数の相関を調べ、沿道土地利用数から自動車存在台数を算出する提案を行っている。

3.4 先行研究と本研究の独自性

これまで田口ら[4]が考案した道路混雑度を用いた道路ネットワーク評価において、道路混雑度により補正をする研究はほとんど行われてこなかった。本研究において道路混雑度に補正を行う理由として、田口らの研究においては道路混雑度は交差点で発生するすべてで同じであるとしている。しかし、実際の交通量は道路によって大きく変化すると考えられ、例として地域内で大きな幹線道路から発生する交通と農村付近の交差線から発生する交通を同価値として道路ネットワーク評価を行うことは、実際の交通量を考慮出来ていないと考えられる。

また、前述のとおり地域内の移動が限られる都市において、河川の橋がボトルネックとなって起こる渋滞の解消については提案がされているが、線路の踏切がボトルネックとなる渋滞については考慮されていない。踏切の待ち時間は電車のダイヤグラムに依存することから時間帯により交通量と電車のダイヤの変化を考慮する必要があるが、今回対象とした都市では偶発的なものと考えられるため特に考慮はしなかった。

次に線路の踏切の待ち時間による損失も考慮する必要がある。踏切では通行が遮断されている時間があることにより、踏切を利用する自動車や歩行者は時間を損失している。そのような時間の損失を移動の観点において距離に変換することで、踏切を利用することのデメリットを加味した。また、現状の踏切付近における渋滞を解消する案として、既存の踏切で一つだけ待ち時間の無い立体交差に仮想的に替えた場合の道路ネットワーク評価を行い、最も改善効果の高い提案を行う。一つだけ立体交差に替える理由は、第2章のとおりである。

これら、これまで考慮されてこなかった道路混雑度の補正、踏切を利用することによる損失を考慮した道路ネットワークの評価を行うことが本研究の独自性と考える。また、本研究では混雑度の補正を行うことにより、より現実的な道路の混み方を考慮した踏切付近での渋滞に対して、渋滞解消効果の高低をシミュレーションできるといった利点があると考えられる。

第4章 予備知識

4.1 最短経路問題

本節では最短経路問題についての説明をする。最短経路問題とはグラフ理論の問題でノード(点)の集合を N , ノードから伸びる長さを持つリンク(枝)の集合を B として, 有向グラフ $G = \{N \cup B\}$ において起点と終点が与えられたとき, 二点間を結ぶ経路に含まれる各点間の辺の長さの総和を最小にする経路を求める問題である。本研究では各ノードを道路の交差点, 各リンクを交差点間を結ぶ道路とし, 辺の長さは移動距離としてこの問題を解く。また, 最短経路問題は導出する解の範囲において種類が以下に分けられる。

- ① 二頂点对最短経路問題, ある二点間の経路の距離を最短にする経路を求める問題である。
- ② 単一始点最短経路問題, ある点とその他の点間の経路の距離を最短にする経路を求める問題である。
- ③ 全頂点对最短経路問題, 全ての点間の経路の距離を最短にする経路を求める問題である。

②の問題を解くアルゴリズムとして代表的なものとしては, ダイクストラ法や A*法やベルマンフォード法などが良く知られている。また, ③の問題を解くアルゴリズムとして良く知られるのは, ウォーシャルフロイド法が挙げられる。本研究では対象地域内のすべての交差点間の距離を求める③の全頂点对最短経路問題を解く。本研究で用いるアルゴリズムは, 運用の容易さからダイクストラ法を用いる。

4.1.1 ダイクストラ法のアルゴリズム

ダイクストラ法のアルゴリズムの概要として, ノードにラベルを付ける貪欲解法の一つである。また, 最適解を見つけるために負の閉路が存在しないという前提条件がある。負の閉路とは, リンクの長さが負であり, ノードの始点と終点と同じである経路の事を指す。

ノード i とノード j 間の距離を c_{ij} ($i, j \in N$) で表す。ここで, ノードの数を n とし, 制約条件としては任意の隣り合うノード i とノード j の間の距離 c_{ij} は, 全て非負でなければならない。ノード i のラベルが持つ情報は, 開始ノード s からノード i までの距離の和 $d(i)$ とノード i の直前のノード p の2つから構成される。 $i, j, p, s \in N$ のもと全頂点对最短経路を求めるアルゴリズムは以下のとおりである。

- ① 開始ノード $s=1$ とし, $s=n$ になるまで以下の②～③を繰り返す。
- ② 初期設定として全てのノード i に対して計算を行う。
 $i=s$ に対して $d(i)=0$, $i \neq s$ に対して $d(i)=\infty$ を行う。 s にラベル $\{0, -\}$ を付け, 最後にラベルの付いたノード $t=s$ とする。

- ③ ラベルの付いていない全てのノード i に対して, $d(i) = \min\{d(i), d(t) + c_{it}\}$ と再定義する. また, ラベルの付いていない全てのノード i が $d(i) = \infty$ となっていれば, s からラベルの付いていないノードへの経路は存在しないので終了する. そうでない時, ラベルの付いていないノードは, $d(i)$ が最小のノードにラベルを付ける. p は $d(i)$ を決定するにあたって用いたリンクの始点を選び, $t=i$ とする.
- ④ 全てのノードにラベルが付いたら⑤へ行く. この時, s から i のラベル $\{d(i), p\}$ の経路が, s から全てのノードへの最短経路となる. それ以外は②に戻る.
- ⑤ $s = s+1$ とし, ②に戻る.

4.2 数値地図

数値地図は, 地図データを数値化しデータを加工することで GIS などを用いて様々な分野で活用されている. 数値地図のデータはベクタ形式であり, 地図上の物が線の座標, 向き, 大きさなどで表現されている. 本研究で用いる数値地図 2500(空間データ基盤)は, 基本的に 2500 分の 1 の解像度の数値地図であるが, 一部では 10000 分の 1 や 25000 分の 1 を元データとして拡大した地域もある. 数値地図 2500(空間データ基盤)のデータ項目は以下のとおりである.

表 1 数値地図 2500(空間データ基盤)のデータ項目

パッケージ名	地物名	幾何形状	主な属性
行政	行政界	アーク	種別(都府県、郡市・特別区 等)
	行政区域	ポリゴン	種別(市区町村、大字・町丁目)、行政コード、名称
	街区界	アーク	
	街区区域	ポリゴン	行政コード、名称、街区符号
交通施設	鉄道	アーク	名称
	駅	アーク	名称
	道路線	アーク	名称
	道路節点	ポイント	
場地	場地界	アーク	種別(鉄道敷、都市公園、学校敷地 等)
	場地区域	ポリゴン	種別(鉄道敷、都市公園、学校敷地 等)、名称
水部	水部界	アーク	種別(水涯線、海岸線 等)
	水部区域	ポリゴン	種別(水涯線、海岸線 等)、名称
建物	公共建物界	アーク	
	公共建物区域	ポリゴン	種別(郵便局、警察署、学校、博物館、図書館 等)、名称
基準点	三角点	ポイント	点コード、点名、等級種別(一等三角点、二等三角点、電子基準点 等)、地図コード、経緯度、標高
管理	図彙情報		系番号、使用承認、図歴
	閉合界	アーク	種別(座標系界、都府県界、その他)
	連結	アーク	対象区域

この表の注釈として, 本研究で主に用いる交通施設の道路線と道路接点に関して, これらの項目は道路の中心線を基準として, 接点ごとに他の道路との接続情報を保持している. 道路の太さや進行方向の情報は無く, 道路は通し番号で管理しており, また主要な道路は名称の情報を持っている.

4.3 土地利用データ

土地利用データとは、国土地理院の定めた分類に従って土地がどのように使われているかを分類したデータとなる。データはラスタ形式であり、10m のメッシュ状で土地利用分類が記されている。本研究で用いる数値地図 5000(土地利用)の土地利用は地理が 5000 分の 1 で表現され、すべて以下の分類に分けられる。

表 2 数値地図 5000(土地利用)の土地利用分類

分類番号	大	中	小
1	山林・農地等	山林・荒地等	
2		農地	田
3			畑・その他の農地
4	造成地	造成中地	
5		空地	
6	宅地	工業用地	
7		住宅地	一般低層住宅地
8			密集低層住宅地
9			中高層住宅地
10		商業・業務用地	
11	公共公益施設用地	道路用地	
12		公園・緑地等	
13		その他の公共公益施設用地	
14	河川・湖沼等		
15	その他		
16	海		
17	対象地域外		

表 2 の土地利用の分類の詳細について説明する。土地利用はそれぞれ大、中、小の分類に分けられ詳細については以下のとおりである。

＜山林農地等＞……山林や荒地、農業利用をする土地

分類番号 1 樹林地、竹林、篠地、笹地、野草地(耕作放棄地を含む)、裸地、ゴルフ場等。

分類番号 2 農業利用する土地のうち、水稻、蓮、慈姑(くわい)等を栽培している水田(短期的な休耕田を含む)をいい、季節により栽培する畑作物も含める。

分類番号 3 農業利用する土地のうち、普通畑、果樹園、桑園、茶園、その他の樹園、苗木畑、牧場、牧草地、採草放牧地、畜舎、温室等の畑及びその他の農地をいう。

＜造成地＞……人工的に作られた埋め立て地

分類番号 4 宅地造成、埋立て等の目的で人工的に土地の改変が進行中の土地をいう。

分類番号 5 人工的に土地の整理が行われ、現在はまだ利用されていない土地及び簡単な施設からなる屋外駐車場、ゴルフ練習場、テニスコート、資材置場等を含める。

＜宅地＞……工業用地・住宅の建物に利用される敷地

分類番号 6 建物の敷地のうち、住宅で使われる土地で製造工場、加工工場、修理工場等の用地をいい、工場に付属する倉庫、原料置場、生産物置場、厚生施設等を含める。

分類番号 7 建物の敷地のうち、住宅で使われる土地で、3 階以下の住宅用建物からなり、1

区画あたり 100 平方メートル以上の敷地により構成されている住宅地をいい、農家の場合は、屋敷林を含め1区画とする。

分類番号 8 3 階以下の住宅用建物からなり、1 区画あたり 100 平方メートル未満の敷地により構成されている住宅地をいう。

分類番号 9 4 階建以上の中高層住宅の敷地からなる住宅地をいう。

分類番号 10 は小売店舗、スーパー、デパート、卸売、飲食店、映画館、劇場、旅館、ホテル等の商店、娯楽、宿泊等のサービス業を含む用地及び銀行、証券、保険、商社等の企業の事務所、新聞社、流通施設、その他これに類する用地をいう。

＜公共公益施設用地＞……公共施設に使われる土地

分類番号 11 有効幅員 4m以上の道路、駅前広場等で工事中、用地買収済の道路用地も含む。

分類番号 12 公園、動植物園、墓地、寺社の境内地、遊園地等の公共的性格を有する施設及び総合運動場、競技場、野球場等の運動競技を行うための施設用地をいう。

分類番号 13 公共業務地区(国、地方自治体等の庁舎からなる地区)、教育文化施設(学校、研究所、図書館、美術館等からなる地区)、供給処理施設(浄水場、下水処理場、焼却場、変電所からなる施設地区)、社会福祉施設(病院、療養所、老人ホーム、保育所等からなる施設地区)、鉄道用地(鉄道、車両基地を含む)、バス発着センター、車庫、港湾施設用地、空港等の用地をいう。

＜河川・湖沼等＞

分類番号 14 河川(河川敷、堤防を含む)、湖沼、溜池、養魚場、海浜地等をいう。

＜その他＞

分類番号 15 防衛施設、米軍施設、基地跡地、演習場、皇室に関係する施設及び居住地等をいう。

＜海＞

分類番号 16 海面をいう。

＜対象地域外＞

分類番号 17 以上の分類番号 1 から 16 に含まれない土地をいう。

4.4 道路交通センサス

道路交通センサスとは、国土交通省の道路局が 5 年ごとに道路の交通量を調査、発表を行うもので、都市計画の分野で活用されている。本研究では、道路交通センサスの発表する平成 22 年度道路交通センサスより、旅行速度整理表(都道府県別道路種別別)を主に使用した。

旅行速度管理表データは、DID*の商業地、DID*商業地以外、その他都市部、平地部、山地部、の分類ごとの都道府県別各種道路の旅行速度を記したデータである。この表を用いて本研究では、遮断機が下りた時の踏切の待ち時間の損失距離を算出するために用いる。

* 人口集中地域(Densely Inhabited District)

第 5 章 研究対象地域

5.1 対象地域

本研究で対象地域を $4.5\text{km} \times 4.5\text{km}$ の道路ネットワークとし、対象地域の中心 $1.5\text{km} \times 1.5\text{km}$ を対象エリアとした。対象エリアの外側に対象地域を設ける理由として、対象エリア外側から通過する車の道路混雑度への影響を考慮するためである。対象地域と対象エリアのイメージ図を以下に示す。

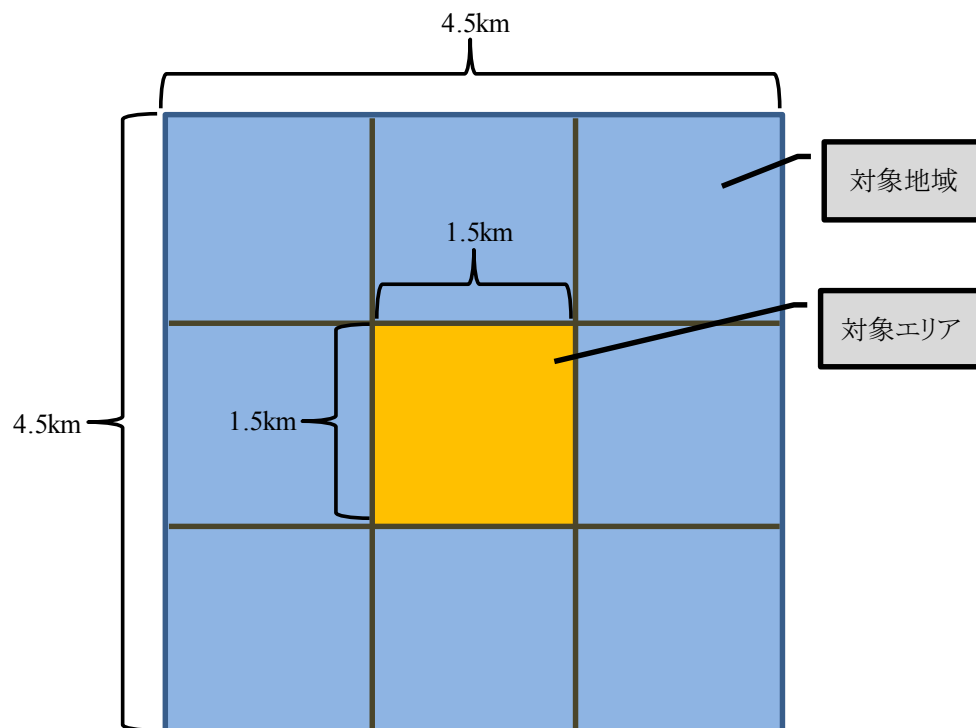


図 10 対象地域, 対象エリアイメージ図

5.2 神奈川県相模原市

本研究として対象都市とした神奈川県相模原市は人口 70 万人からなり、神奈川県において横浜市、川崎市に次ぐ第三位の人口の都市であり、全国の市の中では 18 番目の人口となる。平成 21 年度に政令指定都市として認定され、緑区、中央区、南区の 3 区から構成される。隣接する東京都町田市や多摩地区との結びつきが強く、ベッドタウンとしての機能が強い都市である。また、都心へ 1 時間弱でアクセスできることから電車の利用者数も多い。新宿と小田原を結ぶ私鉄の小田急線では、神奈川県相模原市の相模大野駅と、隣り合う東京都町田市の町田駅を合わせた一日の乗降者数は 40 万人超にも上り、小田急線の駅の中で最も利用客が多い新宿駅にも迫る数の利用者がある。

本研究で対象地域としたのは、相模原市内にある小田急線の駅の中で中間に位置する小田急小田原線の小田急相模原駅中心の地域を対象地域 1 とした。対象地域 1 を図 11 に示す。

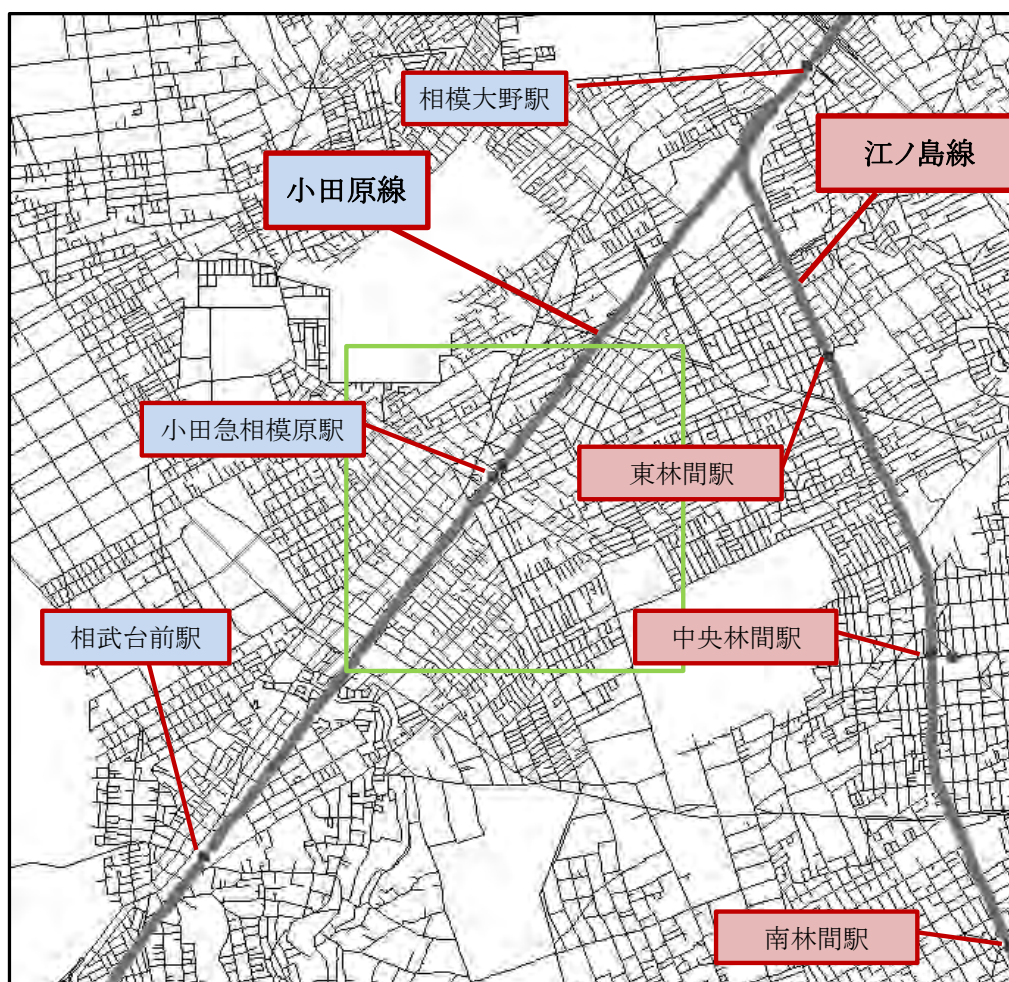


図 11 対象地域

この図の灰色線は線路, 赤い四角点は電車の駅となっており, この対象地域の小田急線には小田原線, 江ノ島線の二つの路線があり, 相模大野駅は江ノ島線の始発駅としても機能している. 本研究では, 踏切の待ち時間を考慮した提案を行うため, 対象地域内にある全ての踏切を抽出した. そのうち, 待ち時間を考慮する必要のある踏切の地点を以下に示す.

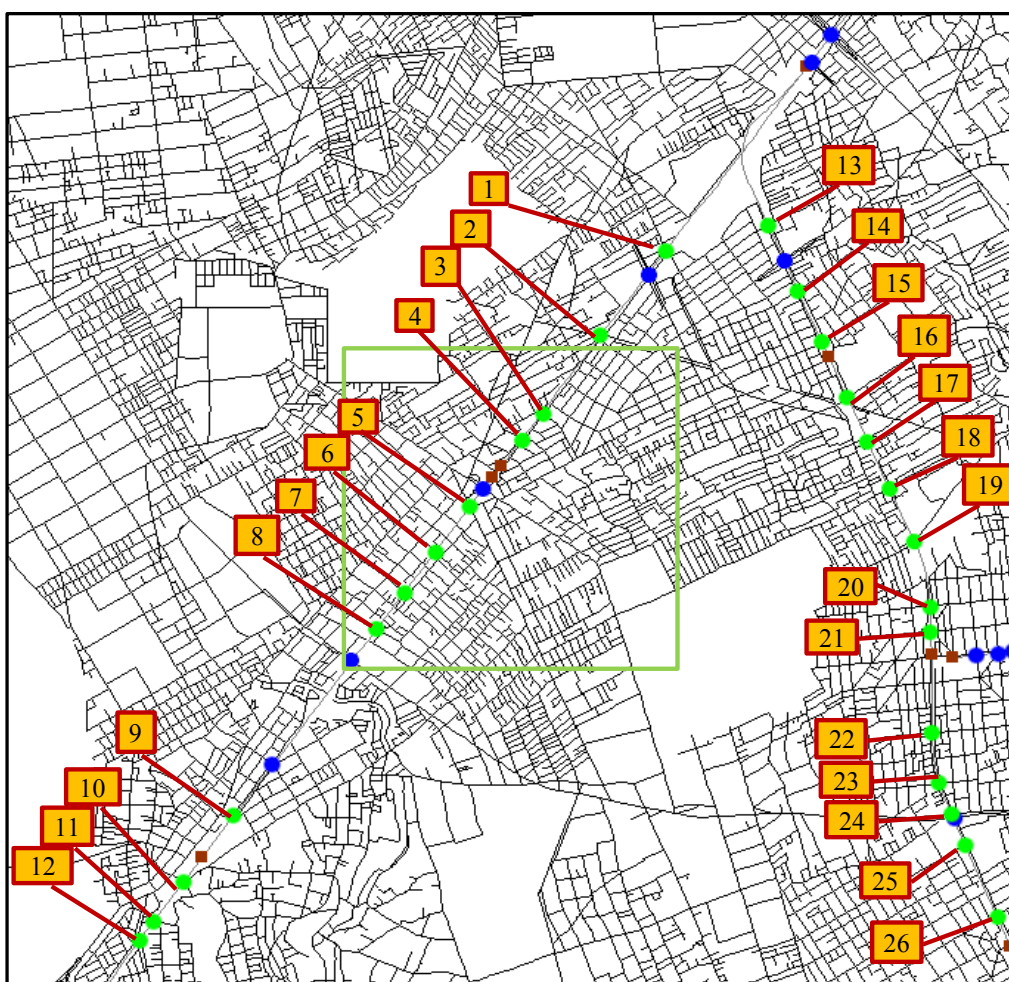


図 12 対象地域の踏切

図 11 と図 12 の相違点は、図 12 内の青色の丸点は、踏切と交差する道路が立体交差により待ち時間を考慮する必要がない道路である。また、黄緑色の丸点は線路と交差する道路が踏切であることを表し、それぞれの踏切に付いている番号がその踏切の番号を表わし、本書においては個々の踏切を指す場合には踏切(数字)と表記する。また、対象エリア内ある踏切は踏切 3, 4, 5, 6, 7, 8 であり、踏切を仮想的に立体交差に替える提案としてはこれらを対象として評価を行う。

ここで、このような道路ネットワークの評価を行うにあたっては、区切られた地域の中心付近の道路混雑度が高くなりやすい傾向にある。なぜなら、道路混雑度と言う指標はすべての交差点に対して最短経路の探索をすることから、区切られた地域内とその外との境界付近の道路では、中心の道路と比べると選ばれにくくなるためである。その問題を解消するため、本研究では仮想的に立体交差に替える踏切 3,4,5,6,7,8 の踏切のそれぞれを中心とした対象地域、エリア 3,4,5,6,7,8 を新たに作成し、対象地域、エリア 1 だけでなくその他の 6 個の対象地域、エリアでも評価を行う。それにより、踏切を中心とした対象地域、エリアでは対象地域 1 の踏切の他に待ち時間を考慮する必要がある踏切が新たに含まれることになる。今回のケースでは、対象地域 3 でのみ新たな踏切があり、これを踏切 1'と呼ぶことにした。

第 6 章 提案方法

本章では、本研究の提案手法を説明する。はじめに、本研究で前提とした規定を説明し、その後提案の分析手法を説明する。

6.1 沿道土地利用数, 主要土地利用計測

はじめに、沿道の土地利用から道路ごとの補正值, 旅行速度を決めるために、ある道路の沿道の土地利用数のカウント, その道路の主な用途のラベル付けを行う。図 13 は数値地図データと土地利用データを重ね合わせた一つの道路の例である。赤点が道路の起点終点であり、青点が道路の屈折点となっている。赤青点に接続する黒の実線は道路の中心線を表している。メッシュとなっているのは土地利用データより、土地利用分類番号ごとに色分けしたものである。また、道路の軌道と平行となる沿道の軌道を灰色の実線で表した。

本研究で用いる数値地図 2500 では道路幅のデータは収録されていない。そのため、今回は一般的な 1 車線道路幅(歩道含む)4~5m と 2 車線道路(歩道含む)7~8m の中間である 6m に道路幅を設定し、沿道土地利用数を沿道の軌道上の土地利用からカウントする。

沿道軌道上にあるメッシュを灰色で塗りつぶし、塗りつぶされたメッシュの土地利用分類ごとの数の合計がその道路の土地利用数となり、土地利用数が最も多い土地利用番号を主要土地利用とする。

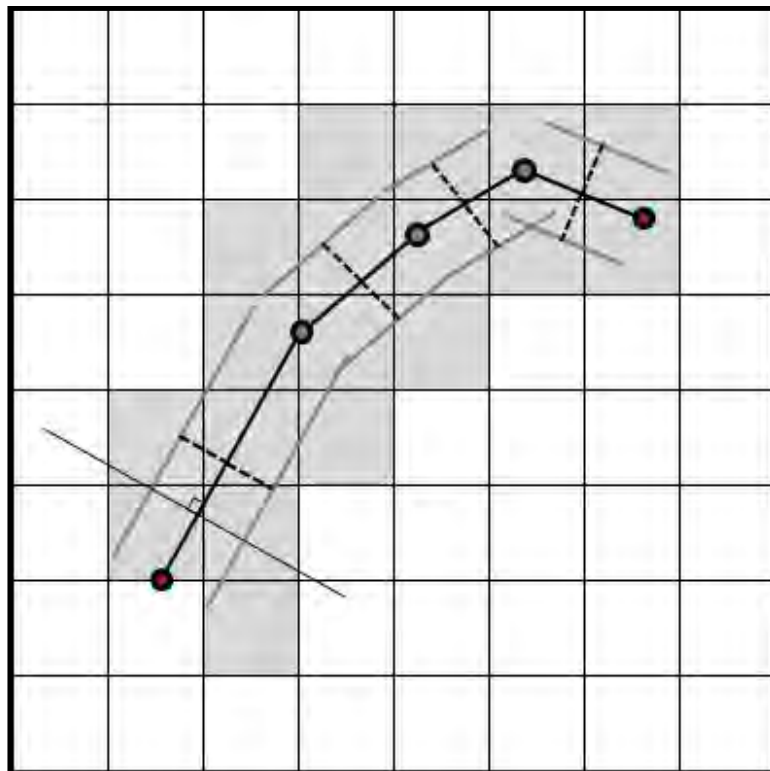


図 13 数値地図, 土地利用データ合わせの例

6.2 踏切の待ち時間

踏切は遮断機が下りてから電車が通過するまでに標準で 20 秒間、最低でも 15 秒間空けなければいけないという規定があり、現在は大手私鉄と JR の一部では 15 秒が採用されている。また、電車が完全に踏切を通過してからおよそ 2 秒後に踏切があることが計測から分かった。遮断機が下りてから上がるまでを踏切遮断時間として、関係式を以下に記す。

$$\begin{aligned} & \text{踏切遮断時間} = 15 \text{ 秒(踏切に電車が進入する時間)} \\ & + \text{電車の踏切通過時間} \\ & + 2 \text{ 秒(電車が踏切を通過後遮断機が上がるまでの時間)} \end{aligned}$$

6.2.1 電車の通過時間の設定方法

電車の踏切通過時間の決め方について説明する。はじめに踏切を構成する道路の名称について以下の簡略的な図 14 を用いて説明する。

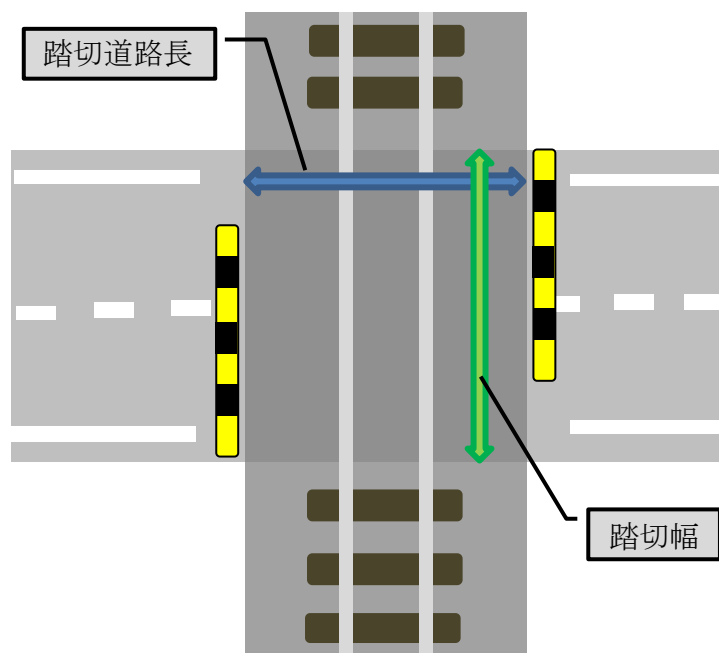


図 14 踏切の簡略図

図 14 の横に延びている灰色の長方形が道路である。縦に延びている長方形が電車の線路軌道区画であり、その中心を縦に二本延びているのが線路を表わす。ここで、本研究では線路軌道区画と重なる部分の道路幅を「踏切幅」と呼ぶことにする。また、道路と重なる電車の軌道区画の幅を「踏切道路長」と呼ぶこととする。

6.2.2 表定速度を用いた電車通過時間の推定

表定速度とは、正式には運転時刻表制定速度といい、時刻表の出発時間と到着時間から区間の所要時間を求め、停車時間を含めたすべての時間を区間距離で除算することにより求められることができる。この表定速度は、鉄道会社が運航計画を立てる際などに使われている。また、停車時間を除いた時間は平均速度といい、表定速度とは意味が異なる。表定速度を求める際

に、一般的には外的影響のない時間帯の時刻表で算出されるが、本研究では 7~8 時台の電車を対象として表定速度を算出した。外的影響のない時間で算出する一般的な表定速度に対し、本研究で選んだ 7~8 時台の電車の本数が多い時間では、電車利用客が多いことや、ダイヤ本数も多いことにより時刻表上はそれらを見込んだ時間設定となっているため、一般的な表定速度よりも遅く設定されている。

以上の推測をもとに、小田急小田原線、江ノ島線の対象時間にエリア内を通過するすべての電車種について表定速度を算出した。また、表定速度を算出をする際に電車種ごとに走る距離が異なることがないように、対象時間に走る電車の最大となる出発、到着駅を設定した。小田原線では本厚木から新宿駅の上下線、江ノ島線では大和駅から相模大野駅の上下線で算出し、中間駅、または他の路線から合流する電車は省くことにした。その算出式を以下に示す。

$$\text{電車種ごとの表定速度} = \frac{\text{駅間距離} \times \text{電車本数}}{\sum(\text{到着時刻} - \text{出発時刻})}$$

上式により、算出された電車種ごとの表定速度を以下の表に示す。

表 3 電車種ごとの駅間表定速度、平均時間

路線名	電車種	出発・到着駅		新宿	本厚木
		距離km		45.4	
		上り		下り	
		表定速度(km/h)	平均時間(分)	表定速度(km/h)	平均時間(分)
小田原線	特急	56.75	48.00	61.91	44.00
	急行・快速急行	45.18	60.29	52.84	51.56
	各駅停車・準急	34.48	79.00	35.04	77.75
路線名	電車種	出発・到着駅		相模大野	大和
		距離(km)		7.4	
		上り		下り	
		表定速度(km/h)	平均時間(分)	表定速度(km/h)	平均時間(分)
江ノ島線	急行・快速急行	49.33	8.20	54.15	9.00
	各駅停車	38.28	10.70	41.50	11.60

表 3 の電車種ごとの表定速度を基に、各踏切の電車種 1 本ごとの通過待ち時間を算出した。算出の際に電車種ごとの車両数はこの時間帯の主な車両数とした。内訳は特急 10 両編成、急行・快速急行 10 両編成、各駅停車 8 両編成である。算出された各踏切の電車種 1 本ごとの電車通過待ち時間を表 4 に示す。表 4 のさがみ 57,68 号、はこね 1 号は表 3 の特急に分類される。

表 4 表定速度を用いた電車種 1 本あたりの通過待ち時間(s)

踏切番号	車種	特別急行			急行小田原線		急行江ノ島線		各駅停車	
		本厚木 新宿	相模大野 本厚木	町田 本厚木	昇り	下り	昇り	下り	下り	昇り
1		13.07	11.98	11.98	16.42	14.04			17.07	17.34
2		12.92	11.85	11.85	16.23	13.88			16.82	17.09
3		13.07	11.98	11.98	16.41	14.04			17.06	17.33
4		12.89	11.82	11.82	16.19	13.85			16.77	17.04
5		13.23	12.13	12.13	16.62	14.21			17.32	17.60
6		12.85	11.78	11.78	16.14	13.80			16.71	16.98
7		12.86	11.79	11.79	16.15	13.81			16.72	16.99
8		13.00	11.91	11.91	16.32	13.96			16.94	17.22
9		13.13	12.04	12.04	16.49	14.10			17.16	17.44
10		13.25	12.15	12.15	16.64	14.23			17.36	17.63
11		13.00	11.91	11.91	16.32	13.96			16.94	17.22
12		13.32	12.21	12.21	16.73	14.31			17.47	17.75
13							14.97	13.64	14.33	15.54
14							14.97	13.64	14.33	15.54
15							15.37	14.00	14.80	16.05
16							15.19	13.84	14.59	15.82
17							14.82	13.50	14.15	15.34
18							14.89	13.56	14.23	15.42
19							14.80	13.48	14.12	15.31
20							14.96	13.63	14.31	15.52
21							15.21	13.86	14.62	15.85
22							15.12	13.78	14.51	15.73
23							14.98	13.65	14.34	15.55
24							14.78	13.47	14.11	15.29
25							15.19	13.84	14.59	15.82
26							15.07	13.73	14.45	15.66

6.2.3 踏切付近で上下の電車が交差する場合

本節では電車が上下線で交差する場合について考える。線路は、路線の種類やその路線が使う線路の本数により大まかに次の二種類に分けられる。一つは単線と呼ばれ、その路線では1本しか線路を持たず電車の上下線で1本の線路を共有するものがある。二つ目は複線と呼ばれ、電車の上下線で別々の線路を使い、複数の線路を持つ路線がある。対象地域、エリア内を走る小田急小田原線と江ノ島線は複線の路線であり、それぞれの上下線で1本ずつの線路を持っているため、それぞれの上下線がもう一方の影響を受けないダイヤグラムで走っていることから、線路や駅など基本的には交差する際の制限は無いが、交差のタイミングが踏切付近である場合には踏切の遮断機は先に進入した電車を通すだけでなく、後から進入する電車の通過を待ってから遮断機を上げなければならない。そのため、上下線での交差のタイミングを考慮し、期待踏切待ち時間を算出する。

踏切の付近で上下線が重なる場合について考慮するため、小田急小田原線、江ノ島線のそれぞれ7～8時台の対象地域内を通行する電車のダイヤグラムを作成した。ダイヤグラムをそれぞれ図15、図16に示す。

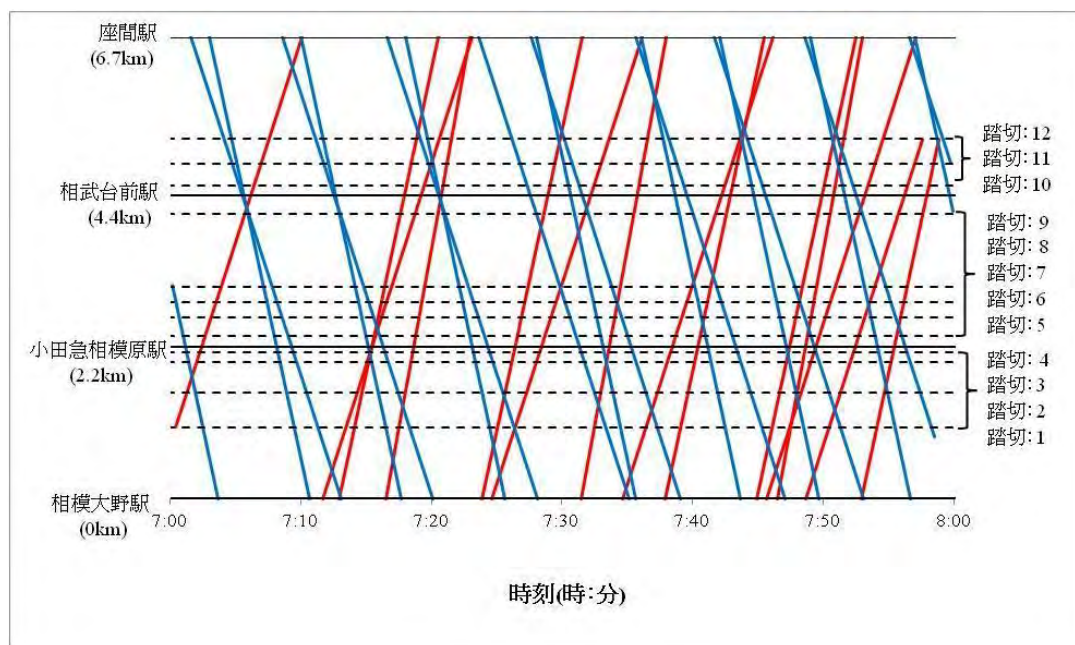


図 15 小田原線 7～8 時台, 相模大野～座間駅間ダイヤグラム

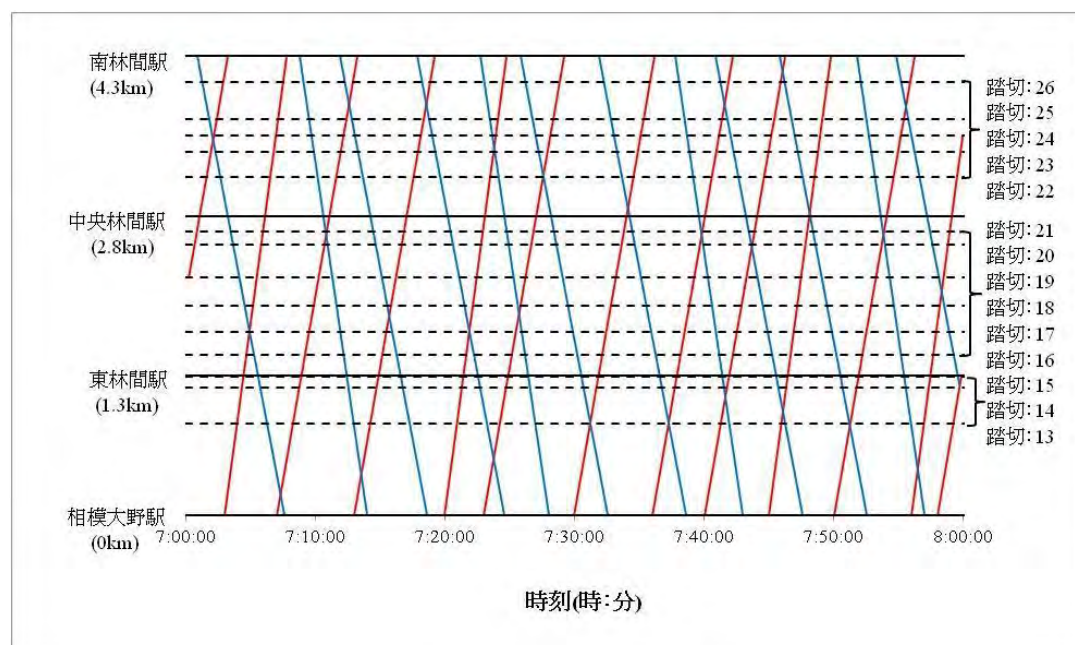


図 16 小田原線 7～8 時台, 相模大野～南林間駅間ダイヤグラム

この二つのダイヤグラムの左の縦軸は距離を表し、それぞれ相模大野駅を起点として、各駅の累積距離であり、黒の実線でグラフの横に延びている。右の縦軸はそれぞれ踏切番号の踏切が起点からどの程度の距離であるかを黒の破線で表している。また、横軸は7時から8時の間の時刻を表しており、赤の実線は下り電車を青の実線は上り電車を表し、2色の交点が上下線で交差する時刻と位置を表している。また、同色同士で交わるのはある駅で上位電車(各駅停車の電車から見た急行電車など)に追い越されことを表わすが、今回の調査では駅でない

位置での追い越しが発生していることになるが、対象地域内では線路は 2 本しかないため表定速度を用いた事による誤差だと考えられる。この場合について、本研究への影響は微細であるため特に修正は行わなかった。

次に図 15, 図 16 を用いて踏切の総待ち時間を算出する。算出手段は図 17, 図 18 を用いて説明する。

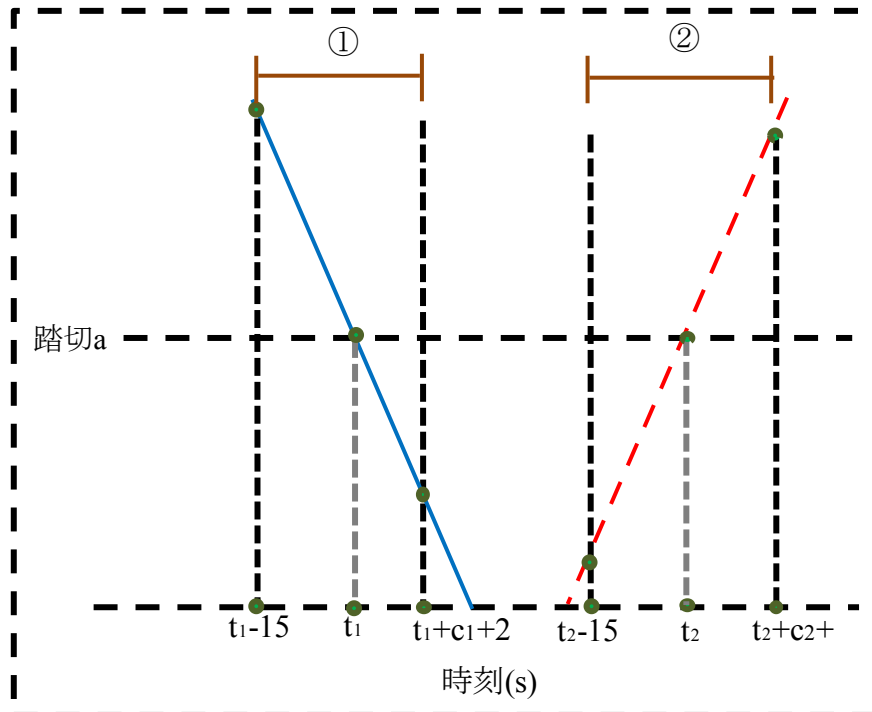


図 17 踏切遮断時間パターン①, ②

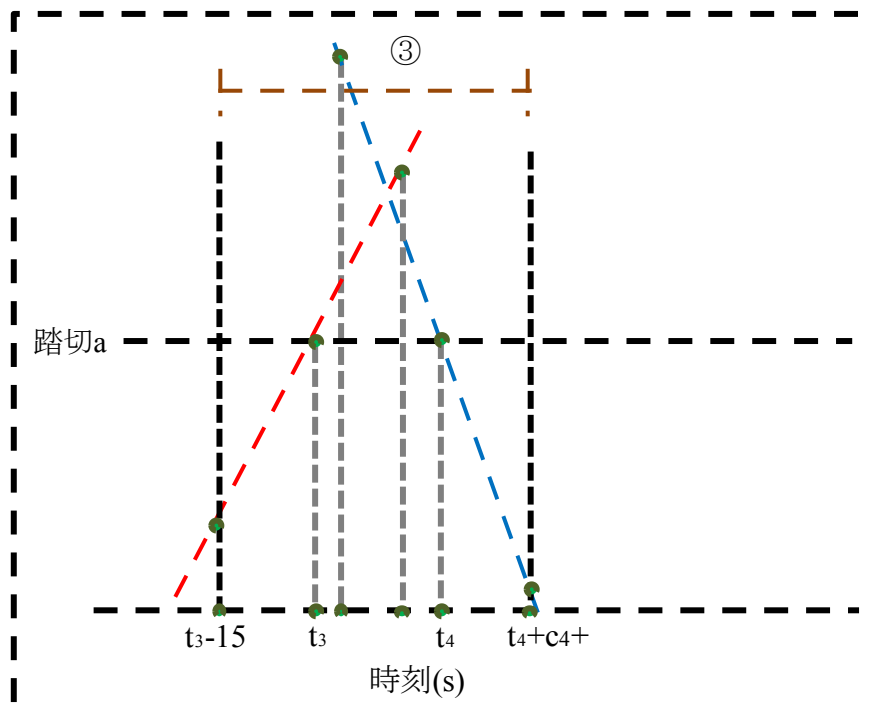


図 18 踏切遮断時間パターン③

はじめに、図 17、図 18 は図 15 を拡大したものである。相違点として、縦軸に延びる黒の破線で挟まれた範囲は遮断機が下りて車が通れない時間であり、灰色の破線は到着時間など、それぞれの基準となる時刻を表している。電車の到着時刻は $t_1 \sim t_4$ としている。また、この時の到着時刻というのは電車の先頭が踏切に差しかった時間であり、それから電車が通過し終わるまでの通過時間がある。通過時間をそれぞれ $c_1 \sim c_4$ とする。

次にそれぞれのケースについて説明する。

①上り電車の遮断時間について考えたケースであり、 t_1 の 15 秒前から通過時間 c_1 に 2 秒を加えた時間が遮断時間となる。②は下り電車の遮断時間について考えたケースであり、①と同様に、遮断時間はそれぞれ前 15 秒と通過時間 c_2 に 2 秒を加えた時刻となる。③は踏切付近で上下線の電車が交差する場合について考えたケースである。このケースとなるのはある 2 本の電車が踏切付近で遮断時間が重なる場合であり、上り電車の到着時刻 t_3 の前 15 秒から、下り電車の到着時刻の t_4 、通過時間 c_4 に 2 秒を足した時刻までが遮断時間となる。なお、上り線が先に進入する場合も下り線が先に進入する場合も同様に算出する。

次にその踏切を使った場合にどの程度の待ち時間が発生するか期待される時間(踏切期待待ち時間)を算出する。算出の流れを以下のとおりである。

踏切番号を i , とした場合の踏切期待待ち時間の算出式は次のとおりである。

$$\begin{aligned} \text{踏切期待待ち時間}i &= \text{①踏切}i \text{ 待ち遭遇確率} \times \text{②踏切}i \text{ 期待待ち時間} \\ &= \text{①} \frac{\text{踏切総待ち時間}i}{3600(\text{s})} \times \text{②} \frac{\text{踏切総待ち時間}i}{\text{遮断回数(回)}} \end{aligned}$$

① 踏切待ち遭遇確率

踏切総待ち時間を1時間を秒に換算した 3600 で除算し、ある車が踏切に到着した際に踏切の電車の通過待ちに遭遇する確率を指す。

② 踏切総待ち時間を1時間に踏切の遮断機が下りる回数で除算し、遮断機が1回下りるときの平均待ち時間を算出する。

6.3 踏切待ち時間を距離に変換

算出した踏切期待待ち時間を距離に変換する。その理由として、踏切を通行する場合踏切の待ち時間がなければどの程度の距離を走ることができたかを考慮するためである。その変換方法は以下のとおりである。

はじめに、道路交通センサス[7]より旅行速度が計測されている。以下に示すのは旅行速度の抜粋である。今回は対象時間を午前 7~8 時台と設定したことから、相模原市の昼間混雑時旅行速度を抽出した。

表 5 道路交通センサス旅行速度表

都道府県 市町村	道路種別	昼間非混雑時旅行速度 (km/h)				
		DID (商業地域)	DID (商業地域 を除く)	その他 市街部	平地部	山地部
相模原市	高速自動車国道	-	-	-	-	77.6
	一般国道の自動車専用道路	-	-	-	-	-
	高規格幹線道路	-	-	-	-	77.6
	都市高速道路	-	-	-	-	-
	高速道路計	-	-	-	-	77.6
	高速道路計(一般国道の自動車専用道路を除く)	-	-	-	-	77.6
	一般国道(直轄)	-	18.8	27.0	-	28.0
	一般国道(その他)	-	20.2	32.8	-	34.7
	一般国道計	-	19.3	30.7	-	33.1
	主要地方道(都道府県道)	17.0	19.2	27.0	-	34.1
	主要地方道(指定市道)	-	-	-	-	-
	主要地方道計	17.0	19.2	27.0	-	34.1
	一般都道府県道	13.9	20.5	29.6	41.3	34.0
	地方道計	16.7	19.9	28.2	41.3	34.1
	一般道路計	16.7	19.7	29.1	41.3	33.8
	合計	16.7	19.7	29.1	41.3	35.4
	指定市の一般市道	20.0	9.1	-	-	-
						10.6

表の中で今回対象としたエリアは、表の一般道路計を用いた。踏切を持つ道路に前節で説明した主要土地利用ラベル付けを行う。そのラベルごとに道路交通センサス平成 22 年度[7]が行った旅行速度管理表から神奈川県相模原市の混雑時間旅行速度を割り振り踏切期待待ち時間を乗ずる。旅行速度管理表の項目ごとに土地利用分類番号を割り振った。番号を割り振った旅行速度管理表を以下に示す。

表 6 相模原市の旅行速度管理表, 土地利用分類番号

道路種別	速度(km/h)	土地利用分類番号
DID(商業地域)	16.7	10
DID(商業地域を除く)	19.7	6,7,8,9
その他市街部	29.1	11,12,13
平地部	41.3	2,3,4,5,14,15,16
山地部	33.8	1

それぞれの土地利用分類番号の割り振りを表 6 の道路種別へそれぞれ割り振った。これを踏切期待損失距離として、元の道路ネットワークデータの踏切を持つ道路の距離に加える。前節と本節の処理によって算出された踏切番号、損失距離、各踏切がどの対象地域に含まれるかの対象地域番号を以下に示す。

表 7 踏切損失距離, 対象地域番号

路線	踏切番号	損失距離(m)	対象地域番号
小田原線	1'	40.7	3
	1	97.4	1,3,4,5,6,7,8
	2	59.6	1,3,4,5,6,7,8
	3	107.3	1,3,4,5,6,7,8
	4	37.3	1,3,4,5,6,7,8
	5	41.7	1,3,4,5,6,7,8
	6	102.3	1,3,4,5,6,7,8
	7	43.1	1,3,4,5,6,7,8
	8	78.1	1,3,4,5,6,7,8
	9	47.3	1,3,4,5,6,7,8
	10	74.9	1,3,4,5,6,7,8
	11	76.4	1,4,5,6,7,8
	12	47.1	1,5,6,7,8
江ノ島線	13	33.2	1,3,4,5,6,7,8
	14	33.9	1,3,4,5,6,7,8
	15	29.7	1,3,4,5,6,7,8
	16	33.7	1,3,4,5,6,7,8
	17	31.6	1,3,4,5,6,7,8
	18	27.9	1,3,4,5,6,7
	19	34.6	1,3,4,5,6
	20	35.2	1,3,4,5,6
	21	53.5	1,3,4,5,6
	22	35.7	1,3,4,5,6
	23	71.8	1,3,4,5,6
	24	54.5	1,3,4,5,6
	25	53.7	1,3,4,5
	26	29.2	1,4

6.4 道路混雑度の算出

田口ら[4]が考案した道路ネットワーク評価の指標においては, ある地域内の交差点を点, 交差点から延びる道路を枝として, すべての点から点への最短経路問題を解き, 個々の枝が最短経路で使われた回数を数え, 最短経路問題を解き終った時にその数字が道路混雑度になるとしている. これは, 車や人が地域内の出発地点から目的地点に行く場合に, 最短経路を使用すると考えられるためである. 本研究では仮想消費時間を算出することに用いる.

6.5 土地利用データによる道路混雑度の補正

これまでの研究において仮想的に一定としてきた道路混雑度に対し, 土地利用データを用いて混雑度に補正を掛け, シミュレーションを行う. その理由として, 実際の道路において車の混雑度数はその周辺の土地利用状況や車が向かう目的地の土地利用などにより偏りがあることが考えられるためである. その補正について本研究では, はじめに数値地図 2500 から抽出

した道路の起点と終点の座標に合わせ、次に細密地図 5000 より道路混雑度に乗ずる補正値を決めていく。

6.5.1 土地利用データの補正値

土地利用データから各道路の補正値を決定するにあたり、福智[4]の研究の多摩地区部のゾーン別存在台数の算出式を変形し用いた。多摩地区は、神奈川県相模原市に近いことや、首都圏近郊都市として機能していることから両都市が類似していると考え、多摩地区の推計式を参考にすることにした。

はじめに福智の多摩地区の自動車存在台数の推計の流れを以下に記す。多摩地区をボロノイ図によりいくつかのゾーンに区切りそのゾーンの集合を Z とする。あるゾーン $i (i \in Z)$ に存在する道路の集合を L_i として、ゾーン i のある道路 $j (j \in L_i)$ の沿道土地利用数を土地利用分類番号 k ごとに $x_{j1}, \dots, x_{jk}, \dots, x_{j16}$ とする。そのときのゾーン i の沿道土地利用数を $X_{i1}, \dots, X_{i16}$ とするとき、ゾーン i の沿道土地利用数は、次のように示せる。

$$X_{ik} = \sum x_{jk} \quad (\forall j, k)$$

ゾーン i の沿道土地利用数を説明変数として、説明変数の係数を $a_1, \dots, a_{16}$ としたときのゾーン内の自動車存在台数の推計値 $\hat{Y}_i$ は次の推計式で表すことができる。

$$\hat{Y}_i = a_1 X_{i1} + a_2 X_{i2} + \dots + a_{16} X_{i16}$$

また、多摩地区における説明変数の係数は 1km 内の交通密度調査から変数増加法を用いて以下の表のように定めている。

表 8 説明変数の係数値

a	1	2	3	4	5	6	7	8
係数値	-0.670	0.141	0.007	0.386	-0.005	0.004	0.003	0.023
a	9	10	11	12	13	14	15	
係数値	0.039	0.062	0.113	-0.014	-0.009	0.056	-5.799	

次に本研究でこの算出式を参考にし、変形させた変形した算出式は以下のとおりである。道路 j の自動車の仮存在台数を y_j とする。道路 j の沿道土地利用数 $x_1, \dots, x_{16}$ を説明変数として、説明変数の係数を、 $a_1, \dots, a_{16}$ で与える。道路 1 本の自動車の仮存在台数 y_j の算出式は以下のとおりとなる。

$$y_j = a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_{16} x_{16}$$

自動車の仮存在台数を上記とした理由は、説明変数の係数 $a_1, \dots, a_{16}$ 福智の算出式の値を用いることから、ゾーンの算出式ではなく道路一本の算出式となるためである。それゆえ y_j は極小の値となり、単体の値では意味を持たない。しかし、道路へ与える土地利用の比は

同価値といえると考え、道路どうしの自動車存在台数の比は保存されているものとし、対象地域内の道路と仮存在台数の分布を用いて補正值を決定していく。

道路と存在台数の例として、対象地域 1 の仮自動車存在台数と仮自動車存在台数の 0.1 刻みの道路本数の分布を以下に示す。

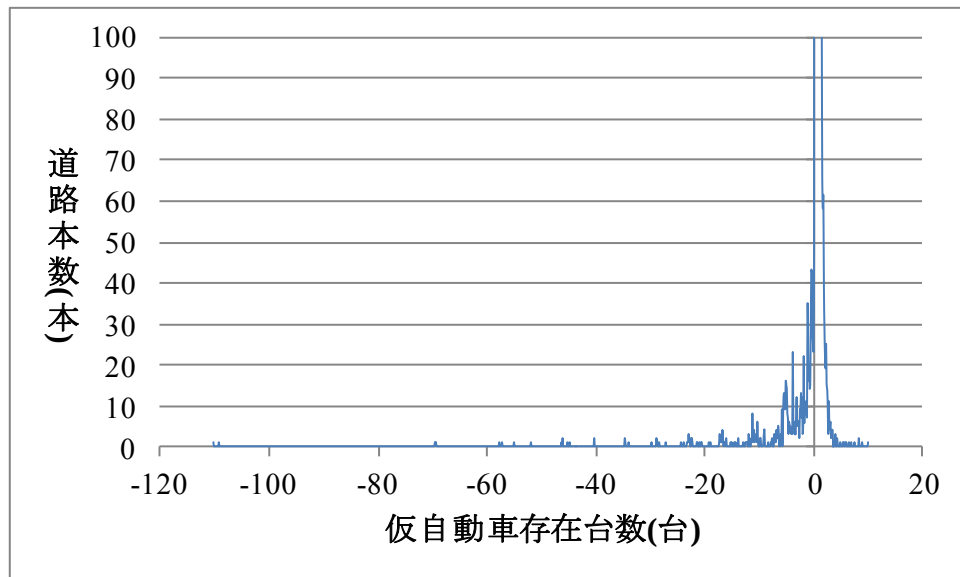


図 19 対象地域 1 の仮自動車存在台数の分布

図 19 では、本来は仮自動車存在台数が 0 付近の道路は 1000 以上あるため図の上限から見切れている。補正值を決定するにあたり、福智の算出式の使い方は広域ゾーンの自動車存在台数を推計するものであったため、仮自動車存在台数は誤差が含まれていることが考えられる。そのため、本研究においてはその誤差の調整を行う。誤差の調整の方法を以下の図を用いて説明する。

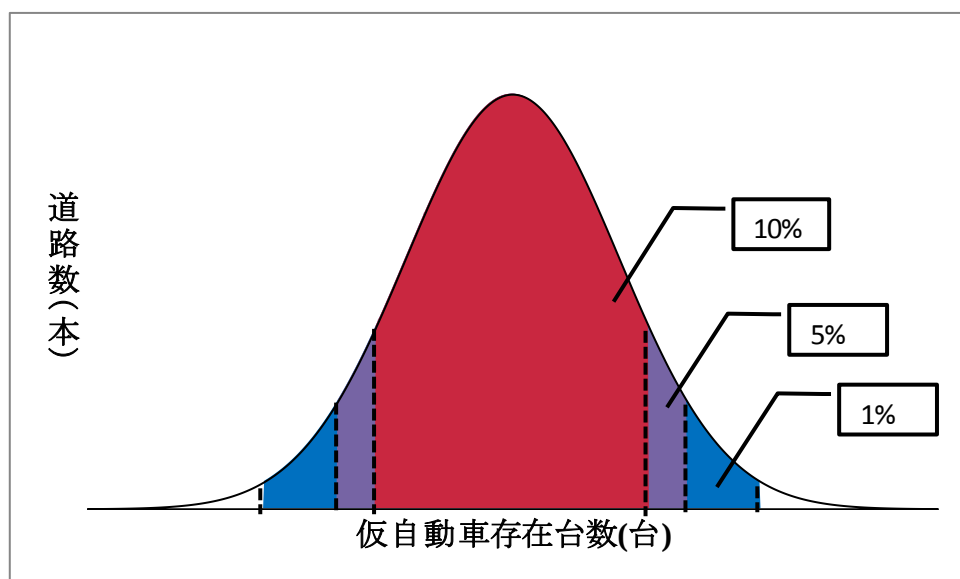


図 20 仮自動車台数の例

図 20 は仮自動車台数と道路の分布の例である。この分布の上下 1,5,10%を破線で示し、誤差を調整するためにそれぞれの境界の外に仮自動車存在台数の値とする道路数の境界値で統一する。図で示したように本研究では、分布の値の 80, 90, 98%を信頼するものとしてこれら 3 パターンで補正值を決定する。本研究の補正值の扱い方として、道路混雑度に掛け合わせる。そのための補正值は沿道土地利用が道路に与える影響を倍率で表す。手順としては、仮自動車台数の誤差を調整した分布を 0~2 の範囲で再分布させた。この理由として、対象地域内の道路は大半が 1 車線の道路となるからである。なお、道路には自動車が単位時間に走ることでできる量を表す交通容量というものがある。この二つの要素から道路の交通容量を超えるような自動車存在台数は無いものとして、下限は自動車存在台数最小の 0, 上限は 1 車線の最大交通容量の 2 に定めた。また、それぞれの道路の補正值と道路混雑度を掛け合わせ補正後の道路混雑度として扱う。

6.6 評価手法

本研究の道路ネットワークの評価方法として、仮想消費時間といった指標を用いる。仮想消費時間とは、本研究で考案した指標で、道路ネットワークの各交差点から他の交差点への最短経路に用いる回数(道路混雑度)を道路一台の交通と仮定した場合に、その経路を用いる自動車の移動時間を対象エリア内のすべての道路における合計時間を指し、各交差点から元の道路ネットワークと改善後の道路ネットワークとでどの程度その道路ネットワークで利用する自動車の消費時間を減らすことができたかを評価する。仮想消費時間の算出に用いる要素として、対象エリアの各道路延長、補正後の道路混雑度、各道路旅行速度がある。ここで、対象エリア i ($i=1,3,4,5,6,7,8$) に含まれる道路の集合を L_i とし、その総数を m_i ($m_i = |L_i|$) とする。その対象エリアに含まれる、ある道路を j ($j \in L_i$) とするとき、対象エリア i における仮想消費時間 i は以下の算出式で算出する。

$$\text{仮想消費時間 } i = \sum_{j=1}^m \frac{\text{道路延長 } j}{\text{旅行速度 } j} \times \text{補正後の道路混雑度 } j$$

また、仮想消費時間は自動車の偏りを考慮していることから、対象エリア内の交通量から算出される全自動車の移動時間の削減率と仮想消費時間の削減率は同様であるとも考えられる。

6.7 分析の流れ

本節では、これまでの分析の流れのまとめをする。5.2 にて、対象地域、エリアの抽出する。抽出することで対象地域、エリア 1,3,4,5,6,7,8 の道路ネットワークデータが完成する。

- ① 6.1 にて、沿道土地利用を計数する。計数することで各道路の沿道土地利用数、主要土地利用を得る。

- ② 6.2, 6.3 で, 踏切の期待損失時間と6.1 で計数した主要土地利用を旅行速度管理表に当てはめた旅行速度を用いて各踏切の損失距離を算出し, 元の踏切を持つ道路延長に加算する. その後, 踏切を変更しない場合, 踏切 3,4,5,6,7,8 をそれぞれ立体交差に替えた道路ネットワークデータの作成をする.
- ③ 6.4 にて各道路ネットワークデータでそれぞれ道路混雑度を算出する.
- ④ 6.5 にて, 6.1 で計数した沿道土地利用数を用いて, 各道路の仮自動車存在台数の算出をする. これにより各道路の道路混雑度に掛ける補正値を決定し, 各道路混雑度に掛け合わせる.
- ⑤ 6.6 にて, 補正後の道路混雑度, 旅行速度, 道路延長を用いて, 各踏切を変更した場合の仮想消費時間をそれぞれ算出し, 踏切を変更しなかった場合とそれぞれ比較する. 比較後最も消費時間が削減された場合を提案として採用する.

上記について本研究の分析の流れを以下に示す.

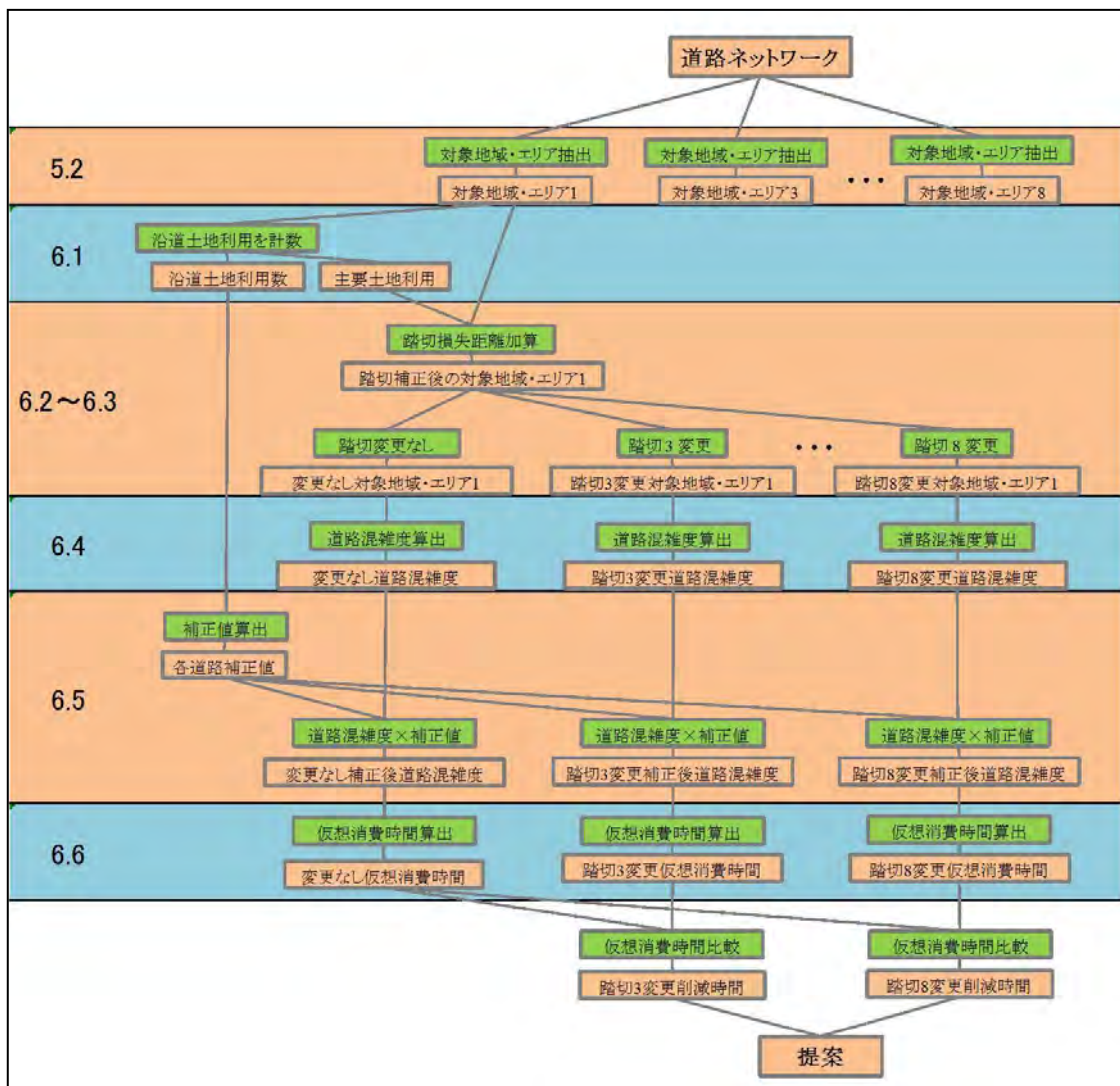


図 21 分析の流れ図

第7章 分析結果

本章にて分析結果を示す。また、道路混雑度の変化を視覚的に表現する図を作成した。これらを用いて、立体交差に変更する踏切の提案、道路混雑度の変化の傾向を考察する。

7.1 分析手法

第6章で述べたように、分析で用いる道路ネットワークデータは対象地域、エリア1と対象エリア1内に含まれる踏切3,4,5,6,7,8を中心にした対象地域、エリアの7パターンである。仮想的に立体交差に替える踏切はそれぞれの対象地域、エリア、で比較を行い、踏切を変更しない場合と踏切3,4,5,6,7,8を立体交差に変更した場合の7パターンである。また、仮自動車存在台数の誤差を考慮し、仮自動車存在台数の上下1,5,10%を誤差とするときの3パターン、補正値の振り分けを0~1, 0~2にするときの2パターンにおいて踏切を変更しない場合との仮想消費時間の比較を行う。ただし、補正値の振り分けの2パターンは結果が変わらなかったため表では区別しない。また、表9、表10、表11は踏切の変更による仮想消費時間の削減効果がどれだけがあるかを百分率で表す。

表9 1%区切りの仮想消費時間削減率(%)

対象エリア 変更	1	3	4	5	6	7	8	平均
踏切3	0.127	0.232	0.231	0.122	-0.034	0.071	0.016	0.109
踏切4	-0.146	0.028	0.043	-0.186	-0.221	-0.022	0.169	-0.048
踏切5	-0.011	-0.366	-0.052	-0.060	-0.098	-0.127	-0.147	-0.123
踏切6	0.256	-0.032	0.037	0.275	0.100	0.194	0.238	0.153
踏切7	-0.124	0.212	-0.103	-0.171	-0.036	-0.112	-0.239	-0.082
踏切8	0.381	0.568	0.903	-0.073	0.449	0.268	0.020	0.360

表10 5%区切りの仮想消費時間削減率(%)

対象エリア 変更	1	3	4	5	6	7	8	平均
踏切3	0.232	0.331	0.338	0.220	0.045	0.066	0.019	0.179
踏切4	-0.074	0.023	0.051	-0.108	-0.143	0.000	0.171	-0.011
踏切5	-0.002	-0.228	-0.050	-0.062	-0.095	-0.117	-0.139	-0.099
踏切6	0.331	-0.029	0.052	0.373	0.207	0.278	0.313	0.218
踏切7	-0.206	0.176	-0.171	-0.261	-0.111	-0.182	-0.309	-0.152
踏切8	0.390	0.571	0.950	-0.074	0.517	0.401	0.135	0.413

表11 10%区切りの仮想消費時間削減率(%)

対象エリア 変更	1	3	4	5	6	7	8	平均
踏切3	0.518	0.618	0.585	0.517	0.212	0.041	0.025	0.359
踏切4	0.214	0.285	0.286	0.225	0.102	0.074	0.165	0.193
踏切5	0.004	0.152	-0.066	-0.092	-0.110	-0.107	-0.136	-0.051
踏切6	0.571	-0.021	0.089	0.713	0.571	0.598	0.551	0.439
踏切7	-0.432	0.048	-0.366	-0.512	-0.316	-0.354	-0.449	-0.340
踏切8	0.333	0.552	1.035	-0.151	0.579	0.550	0.199	0.443

表の赤字は削減率、黒字は増加率をそれぞれ表し、太字はその対象エリアで最も削減率が高かった場合である。また、灰色の帯となっているのはそれぞれの対象エリアで平均の削減率

が最も高かった場合である。これらの表から読み取れることとして、1%区切りでは踏切 5 が対象エリアの平均で最も削減率が大きく、5,10%区切りでは踏切 7 が最も削減率が多かった。ただし、元となる対象エリア 1 のみで考えると、1%区切りでは踏切 4 が最も削減時間が大きいことが分かる。また、踏切 5 は平均的に仮想消費時間が削減される場合が多かった。

7.2 対象エリア内の道路混雑度の分析

削減率の変化量は道路延長の長さで補正された道路混雑度に依存している。また、踏切を変更しない場合と変更する場合を比較する際に、道路延長は踏切を変更する場合の 1 本のみ道路延長が変化し、他は変化しないため、大きな影響を与えるのは道路混雑度である。そのため、道路混雑度の変化量の傾向を知ることによって仮想消費時間への影響を知ることができると考え、道路混雑度をいくつかのクラスに分け、色の移り変わりで視覚的に道路混雑度の高低を表した図を作成した。

今回、対象エリア 1 での踏切を変更しなかった場合からの削減時間が最も大きかった代表的なものとして、踏切 7 を変更した場合の補正值 10%区切りの道路混雑度の変化量について考えた。対象エリア 1 補正值の誤差 10%区切りの踏切を変更しなかった場合の道路混雑度と、踏切 7 を変更した場合の差分を色分けした図を以下に示す。

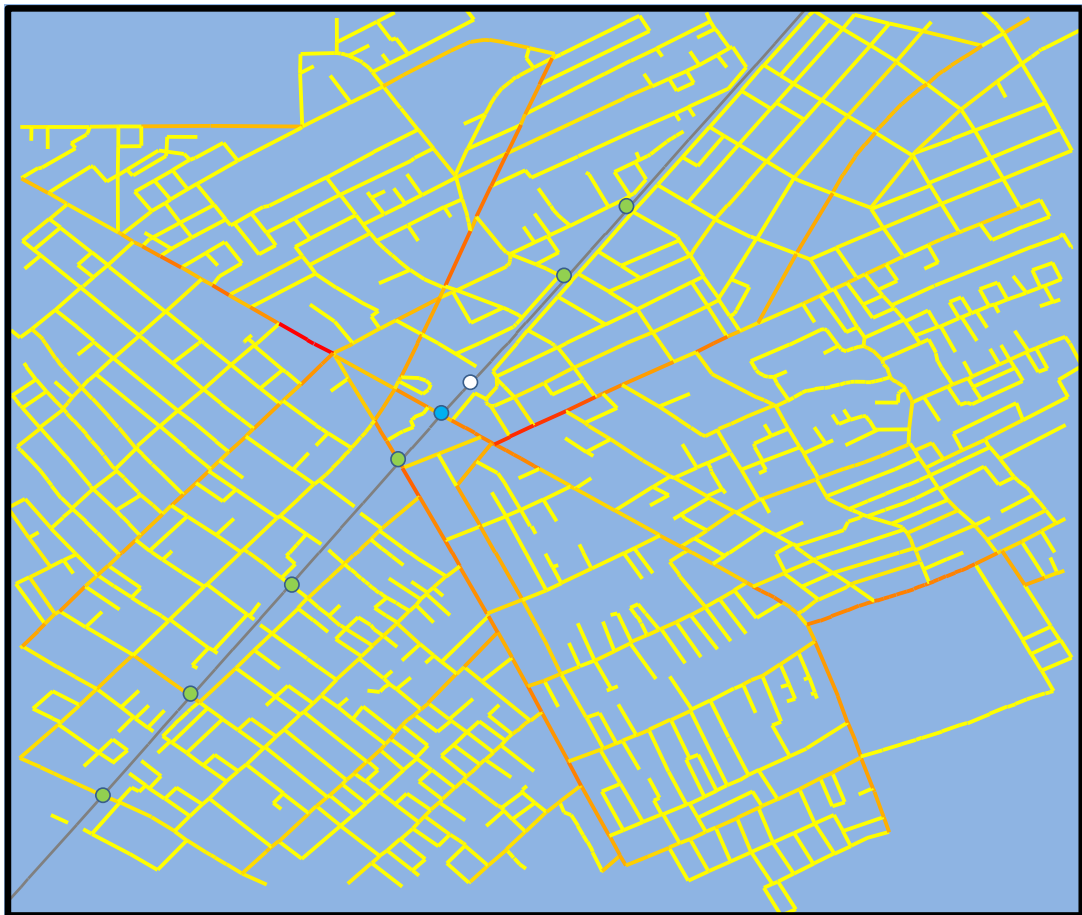


図 22 10%区切り, 踏切変更なし, 対象エリア 1 の道路混雑度色分け

図の黄色から赤の直線は道路を示し、黄色から赤にかけて道路混雑度が高い道路となる。灰色の細い線で表したものが小田原線の線路となる。踏切 3~8 を図の上から黄緑の丸点で表し、青い丸点は既に立体交差となっている地点を表し、白丸点が小田急相模原駅となる。図 22 では、中心付近の踏切 5 と立体交差へ向かうような道路の道路混雑度が踏切 5 と立体交差の左右で高く表現されており、踏切を変更していない場合では、踏切 5 が最も道路混雑度が高く、次に踏切 7 が高くなっている。また、踏切 5 の右上にある立体交差の道路混雑度も高く表現されている。

次に踏切を変更しなかった場合と踏切 7 を変更した場合の道路混雑度の差分を色分け図を示す。また、道路混雑度の変化がなかった道路は描写せず、差分が明確になるよう背景色を変更した。

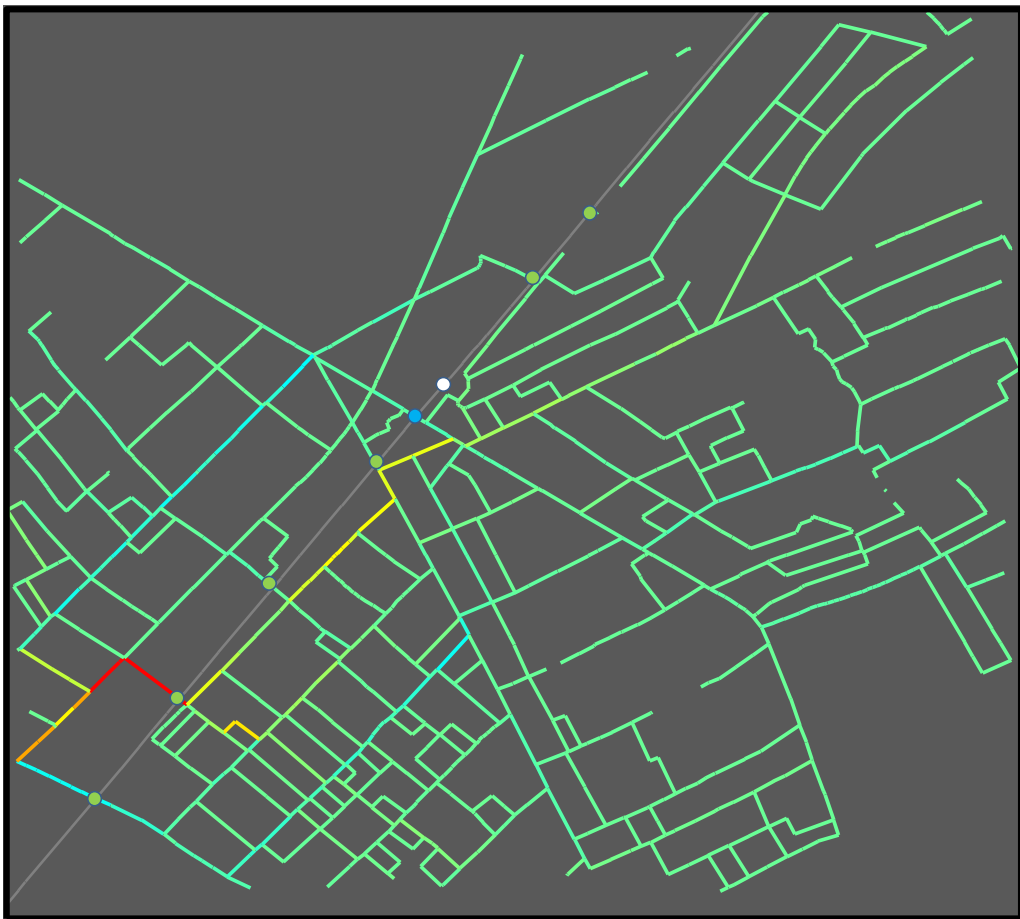


図 23 10%区切り、踏切 7 変更、道路混雑度差分色分け

図では踏切を変更しなかった場合を基準として、踏切 7 を変更した場合で道路混雑度が減少したのについては緑線から青線へ、増加したのについては黄線から赤線へそれぞれ変動が大きくなるにつれ色を変化させた。図 23 から最も変化の大きい道路は踏切 7 付近の道路であり、踏切 5,6 を避けるように線路と並ぶような道路も増加している。減少が大きかった道路に関しては、踏切 7 を中心として増加した道路から少し離れた道路が大きく減少している。これ

は、踏切 7 のコストが下がったことにより、迂回路として使われていた道路が使われなくなったためだと考えられる。

7.3 まとめ

以上の結果から、仮自動車存在台数の誤差区切り 1%では対象エリア 1 における踏切 4 を、誤差 5,10%区切りでは踏切 7 を立体交差化することで仮想消費時間の大きな削減になることが分かった。また、地域内における自動車の移動による総移動時間では、1,5,10%で順に 0.146%, 0.206%, 0.432%の削減ができると考えられる。

今回の対象エリア 0 における損失時間の減少を考えた場合では、補正值の算出式が正しいものとした場合、誤差の切り捨て分が小さい踏切 4 を立体交差化することが対象エリア内の総移動時間を削減できると考えられる。また、対象エリア 1 においては中心付近に位置する踏切 5 は既存の立体交差する道路へつながる道路混雑度が大きく、踏切 7 を立体交差化した場合においては、道路混雑度は増加するがエリア内の全体と他の踏切の利用が減ることにより対象エリア内の仮想消費時間の減少につながると考えられる。

第 8 章 おわりに

本研究で、対象エリア 1 では踏切 4 を立体交差化することが対象エリア内の総移動時間を削減するためには最も効果が得られるという結果となった。また、補正值の誤差が大きいものとした場合では、踏切 7 を立体交差化することにより地域内移動時間の削減率が約 0.43% となり、踏切 4 を立体交差化することよりも望ましいという結果であった。踏切 7 を変更することは、対象エリア 1 だけでなく他の対象エリア 3～8 全体に仮想消費時間の削減効果があり、他のエリアを考慮した総移動時間を減らすためには踏切 7 を立体交差化することが望ましいと考えられる。

仮自動車存在台数において、誤差の区切りごとに結果が変わってしまった理由として考えられることは、道路混雑度に掛ける補正值の確証性が低く、誤差を切り捨ててシミュレーションを行うことになってしまったためだと考えられる。補正值の誤差の混入を防ぐために補正值の算出式、補正方法の正しさを再検証する必要がある。

また、仮想消費時間が変更前と後で増えるという結果になった理由は、踏切を変更することによる影響が対象エリア外に分散してしまい対象エリア内の仮想消費時間への影響が少なくなってしまったこと、道路混雑度算出後に土地利用による補正を掛けたことから、最短経路の導出における各道路の土地利用による影響が考慮されにくくなってしまったためだと考えられる。

本研究で用いた仮想消費時間という指標に対して、仮想消費時間は各道路延長、道路の旅行速度、補正後の道路混雑度の要素から導出されるが、前述のように補正方法に改善の余地があることや、道路の主要土地利用によって決められた旅行速度に関する振り分け方が確かであるとは言えないことから、各道路でそれぞれ旅行速度を計測することは難しいとの結果となった。

本研究では新規性を求め過ぎてしまい、それぞれの新規要素の確証性を検証できないまま研究を進めたことにより実験結果の妥当性が低い結果となってしまった。今後、検討の余地がある要素について確証性を高めるようなデータが入手できるようになり、妥当性の高い提案が行えるようになることに期待する。

参考文献

- [1] 古林隆: ネットワーク計画法, 培風館, 1984
- [2] 田口東, 大山達雄: ネットワーク構造に基づく道路の重要度評価: 都市内道路への適用例, オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学 VOL.38-No.9, pp465-470, 1993-09-01
- [3] 栗原弘昌: 地域内移動が困難な都市における道路ネットワークの構造評価, 長岡技術大学工学部課題研究論文, 2011
- [4] 福智一正: 土地利用情報を用いた交通量の推計, 中央大学理工学部課題研究論文, 2004
- [5] JR 東日本, 駅の時刻表, <http://www.jreast-timetable.jp/>, 2014 年 2 月 14 日確認
- [6] 小田急電鉄, 各駅時刻表, <http://www.odakyu.jp/station/timetable/>, 2014 年 2 月 14 日確認
- [7] 道路交通センサス, 平成 22 年度道路交通センサス, <http://www.mlit.go.jp/road/census/h22-1/index.html>, 2014 年 2 月 14 日確認
- [8] 環境省, 都道府県別道路整備状況・普及率, <http://www.env.go.jp/doc/toukei/contents/>, 2014 年 2 月 16 日確認
- [9] 国土交通省, 一般, 有料, 地方単独別の道路投資額の推移, <http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-funds/ir-funds.html>, 2014 年 2 月 16 日確認
- [10] 国土交通省, 効果的な渋滞対策の推進, <https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-perform/h18/07.pdf>, 2014 年 2 月 16 日確認
- [11] 関東地方整備局, 渋滞損失時間に関する指標の解説, http://www.ktr.mlit.go.jp/toukoku/09about/jutai_kankyo/jyutai/mobility/sihyou.htm, 2014 年 2 月 16 日確認
- [12] 国土交通省道路局, 業績計画書/達成度報告書, <http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-perform/ir-perform.htm>, 2014 年 2 月 16 日確認