

路面電車の道路併用区間における自動車の動線との交錯

On the traffic lane crossing with LRT tracks in joint-use segment on the road

金 亨柱¹, 鈴木 勉²
Hyoungju KIM¹ and Tsutomu SUZUKI²

¹筑波大学大学院 システム情報工学研究科 リスク工学専攻

Department of Risk Engineering, Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

²筑波大学大学院 システム情報工学研究科 リスク工学専攻

Department of Risk Engineering, Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

In this paper, we pay attention to section for exclusive use of combined section of LRT tracks and traffic lane. Based on geographical feature, we grasp the status of mixture of the streetcar track and the traffic lane, and analyze relations with the quantity of accidents that is considered to be related to population or economic activities within the outskirts area. Also the effect of center-polarization of the track floor and side-reservation is treated as effective countermeasure to the risk of contact dangers.

Keywords : LRT, accident, risk, safety, facilities, GIS

1. はじめに

近年、環境負荷の軽減、バリアフリー及び交通渋滞緩和など、モータリゼーションの進展による環境問題や都市が抱えた課題を解決するための一方策として、路面電車（LRT; Light Rail Transit）が注目され、地方中核都市等の幹線的公共交通機関や大都市郊外の住宅地と鉄道駅を結ぶ中量輸送システムとしての導入への期待が高まっている。LRT 導入は中心市街地の活性化やまちづくりに寄与すると期待され、複数の都市で計画されているが、そのような動きは、昨年 12 月、路線の縮小により、運転系統が消滅していた富山地方鉄道の環状線が 37 年ぶりに復活されるなど、少しずつ実現されつつある。それにも関わらず、極めて重要である安全性と道路交通環境に及ぼす影響についての研究は十分に行われているとは言えない。

本研究では、路面電車の軌道専用区間と道路併用区間に着目し、自動車と電車との交差による接触危険性を地理情報システム（GIS）を用いて実態把握を行い、軌道敷のセンターポール化（センターリザベーションの一方）やサイドリザベーション化および緑化などの接触危険性低減効果について考察することを目的とする。

日本における路面電車の路線は、平成 20 年現在で 17 都市 19 事業者、路線延長約 237km が運行されている。これらを対象とし、鉄道統計年報の事故データ、国土数値情報の鉄道データ、Mapple 社の道路ネットワークデータ、国勢調査の人口データ、国土地理情報の公共施設データ、東洋経済新報社の大型商業施設データを用いて、周辺地域の人口の分布と施設分布を考慮した推定交差量と事故の多発との関係を分析し、路面電車のセンターポール化、サイドリザベーション化及び軌道敷緑化などの路線の形態と道路併用区間における相互関係と安全性を定量的に明らかにする。

2. 路面電車の設置状況

運行路線の構成としては、軌道法に従い、道路に敷設された「併用軌道」、道路以外の専用敷地に敷設された「専用軌道」に分かれる。路線により異なるが、平均総延長約 13km の内、半数以上が道路併用区間である。

そのような道路併用区間を、今回分析に用いるために、区間ごとの特徴を Google マップ、航空写真、国土数値情報を土台に各路線の構成を 4 種類に分類し、測定を行った。路線構成分類と延長を表 - 1 に示す。全ての路線に適用されていないが、各地域の特性及び安全面を考慮し、11 事業者にセンターリザベーションかサイドリザベーションの設置が見られる。

表 - 1 日本の路面電車の路線情報

都市	事業者	系統数	停留場	路線延長 (km)	道路併用 区間(km)	軌道専用 区間(km)	道路併用区間 路線構成
札幌市	札幌市交通局	1	23	8.41	8.41	0	複線(CR)
函館市	函館市交通局	2	26	10.90	10.9	0	複線
富山市	富山地方鉄道	2	20	6.40	6.4	0	単線、複線
高崎市	万葉線株式会社	1	25	12.80	6.7	6.1	単線、複線
富山市	富山ライトレール	1	13	7.60	1	6.6	単線(SR)
東京23区	東京都交通局	1	30	12.20	0.5	11.7	複線(CR)
東京23区	東京急行電鉄	1	10	5.00	0	5	—
豊橋市	豊橋鉄道	2	14	5.40	5.4	0	単線、複線(CR)
福井市	福井鉄道	1	22	21.40	2.8	18.6	単線、複線(CR)
京都市	京福電気鉄道	2	21	11.00	0.9	10.1	複線
京都市	京阪電気鉄道	2	27	21.60	1.5	20.1	複線
大阪市	阪堺電気軌道	3	40	18.70	6.7	12	複線(CR)
岡山市	岡山電気軌道	2	16	4.70	4.7	0	複線(CR)
広島市	広島電鉄	8	62	19.00	18.2	0.8	複線(CS)複線(CR)
松山市	伊予鉄道	5	24	9.60	6.6	3	単線、複線
高知市	土佐電気鉄道	3	34	25.30	12.1	13.2	単線、複線
長崎市	長崎電気軌道	4	37	11.50	10.2	1.3	複線(CR, SR)
熊本市	熊本市交通局	2	35	12.10	11.77	0.33	複線
鹿児島市	鹿児島市交通局	2	36	13.10	8.92	4.18	複線(CR)

*CR:センターリザベーション式を含む、SR:サイドリザベーション式を含む

3. 路面電車の原因分析及び推定

(1) 路面電車の他交通手段との事故比較分析

鉄軌道輸送統計と交通事故統計による日本全国の平成

11～19年の路面電車を除いた鉄道全体と自動車と路面電車の列車走行100万km当たりの事故件数を図-1に示す。路面電車の安全面については、路面電車の事故件数の比較により、路面電車の方が鉄道より約7倍ほど高く、近年増加する傾向が見られる。

図-2には旅客10億人キロ当たりの事故件数の比較を示す。旅客の人数とその旅客を輸送した距離(km単位)を掛け合わせたものの旅客輸送量の指標である旅客人キロで事故の発現状況を比較を行うと、路面電車は他の交通手段より桁違いに大きい数字である。

その理由としては、事故発生頻度の割には旅客輸送量は低いことが挙げられる。しかし、鉄道が被害の大きい事故になる確率は低い反面、路面電車は道路併用区間などでの小規模な衝突や接触事故が数多くあると考えられる。

路面電車事故の種類と割合を図-3に示す。事故の各項目ごとの割合を見ると路面電車事故の特徴である「道路障害」事故が、平成11～20年までの10年間に発生した総事故846件中、632件で約75%を占めている。道路障害は、「鉄道事故等報告規則」に定められている重大事故(列車衝突、列車脱線、列車火災などの事故)に属しない、踏切道以外の道路において、列車又は車両が道路を通行する人又は車両等と衝突し、又は接触した事故を示す。一般鉄道では滅多に発生しない事故である。

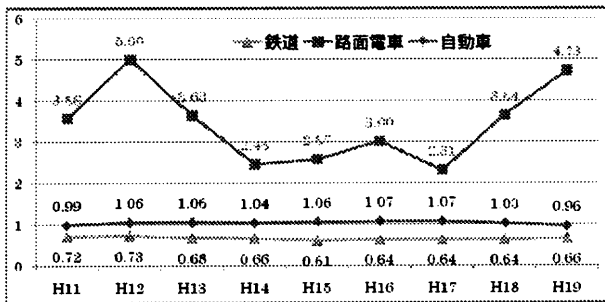


図-1 走行100万キロ当たりの事故件数比較

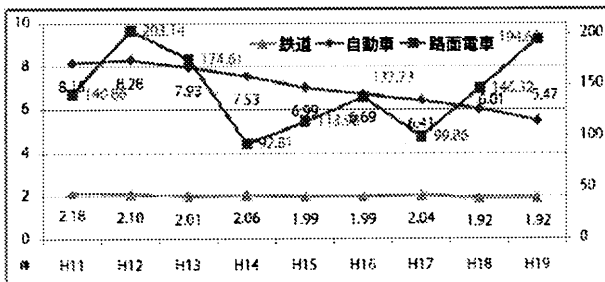


図-2 旅客10億人キロ当たりの事故件数比較

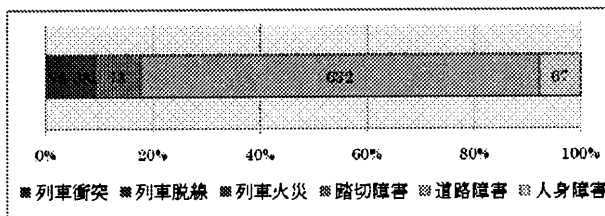


図-3 路面電車事故の種類と割合 (平成11～20年)

路面電車事業者と運転士へのヒアリング調査を行った結果、主な原因は以下のようである。

- ・ 頻繁なダイヤ：中小都市にある鉄道より頻繁である。

- ・ 都市道路環境からの影響：交通量が多い道路を併用している。
- ・ 自動車運転手の電車接近の認知遅れ

(2) 推定交差量と事故分析

周辺地域の人口の分布と施設分布を考慮した推定交差量と事故の発生との関係を分析を行なうため、以下のデータの基に、GIS(地理情報システム)を用いて分析を行った。

【使用データ】

- ・ 国勢調査(平成17年)、人口データ
- ・ 国土数値情報、公共施設データ(平成18年)
- ・ 国土数値情報、鉄道データ(平成18年)
- ・ 東洋経済新報社、大型商業施設データ(平成18年)

道路併用区間における路面電車と自動車との交錯を把握するにあたって、一部の区間のみでデータが存在するため、上記で示したデータを基に、道路併用区間の一定半径内に属する人口と施設の数を集計し、交通量を推定した。しかし、得られた沿線周辺の人口と施設の数値と路面電車の事故の関係について回帰分析を行った結果、相関は低く、周辺地域の人口の分布と施設分布だけで交差量を推定するのは難しいことがわかった。

表-2 道路障害事故と推定交通量の回帰分析結果

モデル1	道路障害事故件数	係数	標準化係数	t値
R2=0.266	説明変数			
調整済みR2=0.109	公共施設_半径500m	1.36E-05	0.024	0.052
	沿線周辺人口_半径500m	0.713	0.301	0.635
	商業施設_半径500m	0.083	0.21	0.363
	(定数)	9.909		0.734

4. 交差点における交差数の計測及び方法

路面電車沿線周辺地域の各特性による影響関係について行った回帰分析の結果では説明できなかった原因の一つとして、各路線の併用区間における自動車との動線の交錯を把握する必要がある。そこで本章では、併用区間内で軌道路線と自動車の動線の交差点内の各動線の交差数を計測し、定量的に評価する。

交差の数え方を図-4に示す。路面電車と自動車の動線が交わる地点を一つの交差点ポイントと考え、交差点ごとに交差点ポイント数を数えあげる。今回の分析では、実道路環境での路面電車と自動車の動線の交差点ポイント数を計測するために、以下のデータとGISを用いることにより、現実に近い道路ネットワークを構築した。図-5にGISを用いた分析例を示す。

【使用データ】

- ・ 昭文社、MAPPLE道路ネットワークデータ(MRD)
 - ・ 国土数値地図、鉄道データ
 - ・ 路線の形態による分類(鉄道データの基に作成)
 - ・ 交差点座標データ(Googleマップ)
- また、Googleマップや航空写真を用いて、車線数の検証を行った。

交差の基本算定方法は以下のようである。

$$CP = (C_1 + C_2 + P_1) \times T$$

CP：交差点ポイント数

C₁：交差する道路の右折レーン数

C₂：交差する道路の直進レーン数

P₁：軌道路線と平行な道路の右折レーン数

T：軌道路線の単・複線

【計算過程】

今回の分析においては、データの限界があり、以下のルールを設定し、集計を行なう。また、軌道路線全区間が専用区間になっている路線は排除して分析を行う。

- (1) 右折をするレーンは1つのレーンのみに設定する。
交差する道路の右折レーン(C_1)と軌道路線と平行な道路の右折レーン(P_1)においては1に固定する。
- (2) 交差する道路の直進レーン(C_2)に関しては、今回用いた道路ネットワークデータには車線数が含まれず、幅員データのみで幅員13.0m以上は一定であるため、道路幅員区分コード、道路種別コードに従い、道路種類が「5. 主要地方道(政令市道)」以下は、交差する道路の右折レーン(C_1)と交差する道路の直進レーン(C_2)を1に固定する。表-3にコード表を示す。
- (3) 軌道路線の単・複線(T)は、単線の場合1を、複線の場合2を代入し、計算する。
- (4) 一方通行に関しては、交通規制種別コードに従い、交差数に反映する。
- (5) 道路種別コードにより定義された国道と主要地方道(都道府県道)と、カーブやセンターポール、サイドリザーベーション設置区間に関しては、地図や航空写真などを用いて車線数を確認し、推計を行う。

表 - 3 コード表

E: 道路種別コード	K: 道路幅員区分コード	M: 交通規制種別コード
1 高速自動車国道	1 幅員13.0m以上	1 規制無し
2 都市高速道路	2 幅員5.5m以上~13.0m未満	2 通行禁止 (条件無し)
3 国道	3 幅員4.0m以上~5.5m未満	3 通行禁止 (条件付き)
4 主要地方道 (都道府県道)	4 幅員4.0m未満ReBより新設	4 一方通行 (正方向、条件無し)
5 主要地方道 (政令市道)	0 未調査	5 一方通行 (逆方向、条件無し)
6 一般都道府県道	※概用する地形図により、13.0mは11.0mに、3.0mは2.5mに読み替える場合がある。	6 一方通行 (正方向、条件付き)
7 政令市の一般市道		7 一方通行 (逆方向、条件付き)

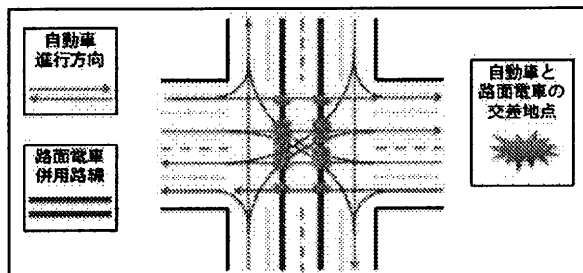


図 - 4 交差数の考え方

5. 交差点ポイント数を考慮した分析

路面電車と自動車の平面交錯が発生している地点は、1562箇所存在し、その地点内の交差量は10,648箇所となった。一方通行など自動車の通行と単線・複線・中央分離式・サイドリザーベーションなどの路線形態を取り入れた計測を行い、現実に近い道路併用区間における路面電車と自動車との相互関係と安全性を定量的に把握した。

(1) 交錯と道路障害事故

道路障害事故と交差密度(併用区間1kmあたり交差量)との関係を図-5に示す。路面電車の道路障害事故件数は、自動車との交差量に相関を持ち、道路の規模と路面電車と自動車の動線の交差が道路障害事故と強い影響関係を持っていると考えられる。残差に関しては、地域の特性により、実際の道路状況と自動車の交通量などが影響していると考えられる。

道路障害事故密度と交差密度を図-6に示す。各路線ごとの路面電車の道路障害事故密度(道路併用区間1kmあたりの道路障害事故件数)と交差密度(道路併用区間1kmあたりの交差数)の関係でも、特定の地域を除いて、

ある程度同様な傾向であると考えられる。

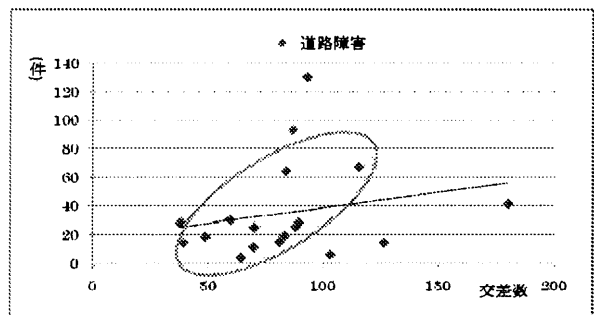


図-5 道路障害事故と交差密度

(2) 路線分離による接触危険性低減効果

路線分離式と併用区間1kmあたり交差量を図-6に示す。今回の分析では、各路線に設置されたセンタポールやサイドリザーベーションなどの特性を取り入れた交差点における交差数の計測を行っており、各路線ごとに密度に反映されている。

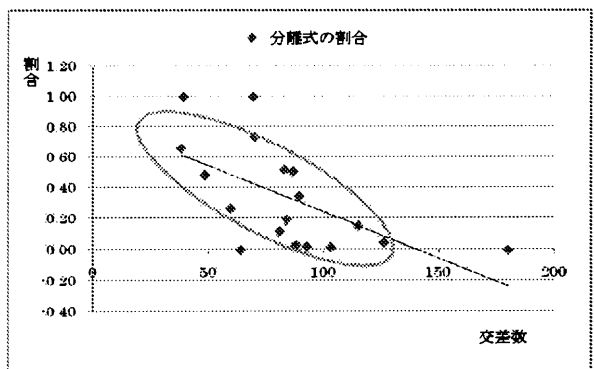


図 - 6 路線分離式と交差量

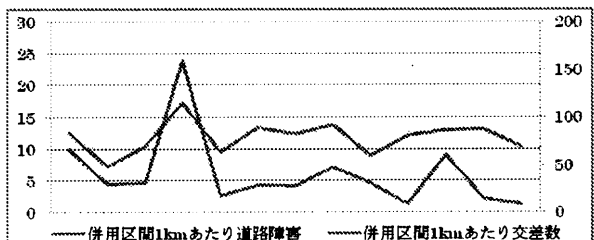


図 - 7 道路障害事故密度と交差密度

* 図-7では、各路線ごとの都市名と事故件数を省略し、順序とは関係ない。

その結果、各路線が持つ軌道路線と自動車の空間的な分離により、自動車との交差量を減らすことで、道路障害事故の防止に効果があると考えられる。

(3) 周辺地域の人口と施設分布を考慮した推定交差量

路面電車の道路併用区間周辺人口(半径500m)と交差数との関係を図-8に、併用区間周辺施設(半径500m)と交差数との関係を示す。回帰分析では、相互関係があまり見られなかった道路障害事故と路面電車の併用区間半径500m内の人口と施設数による推定交通量について説明できなかったが、交差数と周辺人口の相関関係であることにより、周辺人口も道路障害事故に一定の影響関係があると考えられる。

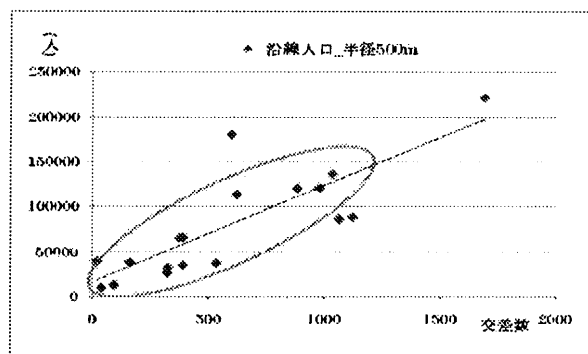


図-8 沿線周辺人口(半径500m)と交差数

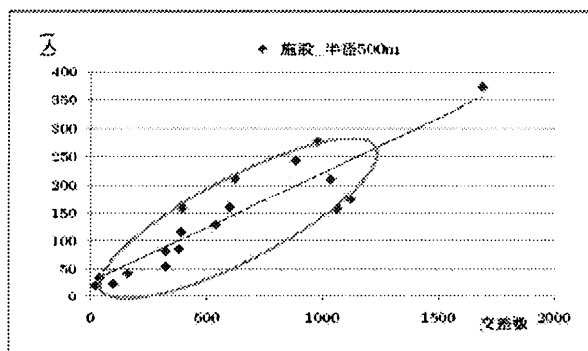


図-9 沿線周辺施設(半径500m)と交差数

6. おわりに

本研究では、路面電車の道路併用区間における自動車の動線との交錯との影響関係を把握するために、各交差点内には存在する交差を定量的に把握分析した。

その結果、路面電車の道路障害事故の発生は、道路併用区間における自動車との交差点の交差量に密接な関係を持ち、交差密度は道路障害事故密度と強い相関関係が見られることが明らかになった。そして、そのような危険性を道路と軌道区間を分離したセンターポールやサイドリザベーション化などの設置により、事故の防止が可能であり、併用区間内での表定速度の向上に効果があると考えられる。自動車と路面電車の空間を分離することにより、安全性を確保し、より快適な道路環境を作ることができると考えられる。

本稿では、数値情報と地理情報システムを用いて併用区間における路面電車と自動車の交錯による危険性について分析したが、今後は同種の分析を蓄積すると共に、そうした分析結果に各都市の実道路環境に存在するそれぞれの特性を加え、含意をさらに検討していくことが必要である。

参考文献

- [1] Hedelin, A., Bjornsrig, U. and Bristmar, B. (1996) : Tram-risk factor for pedestrians, *Accident Analysis and Prevention*, Vol.28, No. 6, pp.733-738.
- [2] Cameron, I.C., Harris, N.J. and Kehoe, N.J.S. (2001): Tram-related injuries in Sheffield, *International Journal of the Care of the Injured*, Vol.32, pp.275-277.
- [3] 辻裕樹・宮下清栄・高橋賢一 (1999) : 「路面電車保有都市の都市形態に関する研究」、日本都市計画学会学術研究論文集、No. 34, pp.991-996.
- [4] 宇都宮浄人(2003) : 「路面電車ルネサンス」。新潮社。

- [5] 国土交通省鉄道監修：平成11～20年鉄道統計年報。
- [6] TCRP Synthesis79 (2009): Light rail vehicle collisions with vehicle signalized intersections. http://www.tcrponline.org/publications_home.shtml
- [7] 交通事故統計、警察庁ホームページ。 <http://www.npa.go.jp/toukei/index.htm#koutsuu>
- [8] LRTの導入支援、国土交通省道路局。 http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/lrt/lrt_index.html
- [9] 鉄道事故調査報告書、運輸安全委員会。 <http://www.mlit.go.jp/jtsb/index.html>
- [10] 安全報告書、各路面電車事業者のホームページ。

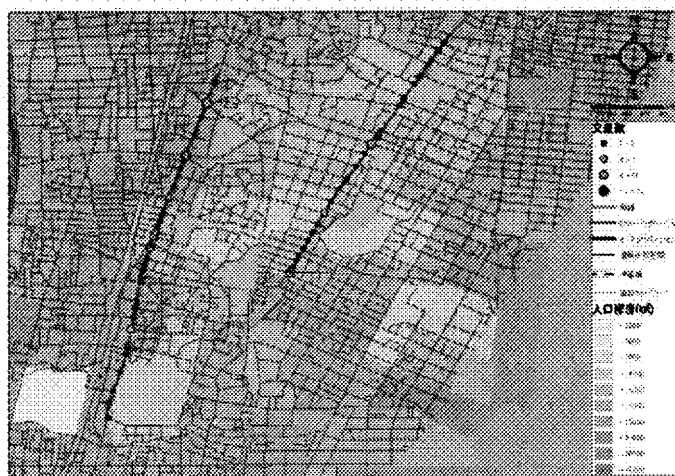
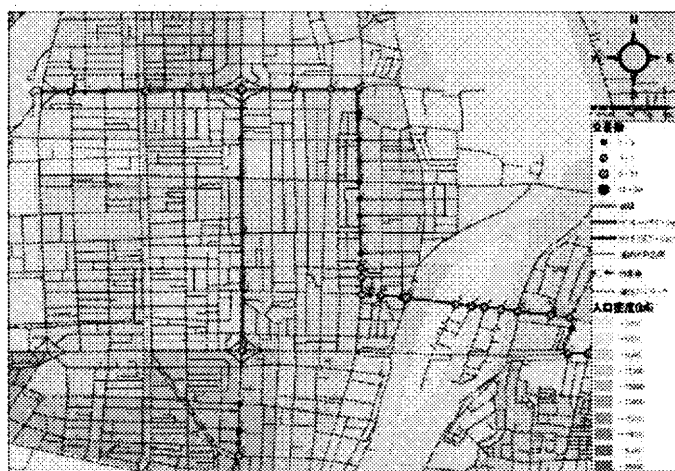
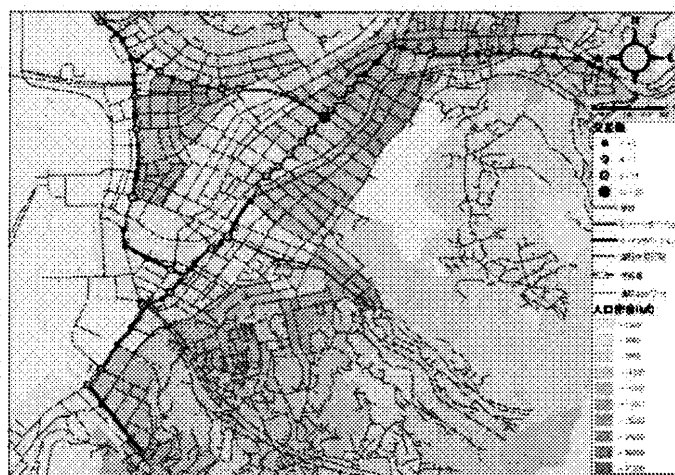


図-5 GISを用いた分析