

時間帯別交通量配分と交通シミュレーションを用いた 動学的ミクロ交通流解析法の街路整備計画への適用*

A Practical Study on the Applicability of Macro & Microscopic Combined Approach for Micro-Dynamic Traffic Flow Analysis*

溝上章志**・中山直智***

By Shoshi MIZOKAMI**・Tadatoshi NAKAYAMA***

1. はじめに

ここ数年の間に、道路インフラ整備や交通規制、信号制御など各種の交通運用策の設計と評価のために、ミクロ交通シミュレーションが実務でも数多く利用されるようになってきている。それは交通シミュレーションが交通状態の変化を動的に分析することが可能で、渋滞長や旅行時間の変化などを細かく再現し、評価できるためである。その上、コンピュータの技術発展とともに、ミクロ交通シミュレーションが適用できるネットワーク規模も大きくなり、多様な交通政策の設計と評価にも対応できるようになってきた。また、渋滞などの現象をアニメーションを使って視覚的に表示できるので、プレゼンテーション能力に優れており、評価の結果を一般市民にも分かりやすく伝えるツールとしても利用可能性は高い。これらの理由から、今後ミクロ交通シミュレーションの適用はますます増えると考えられる。

ミクロ交通シミュレーションは、限定的な分析対象地域内における信号パラメータや交差点構造などの道路交通運用計画を分析するのに有効である。しかし、道路網や交通施設の整備に伴う広域的なネットワークフローの変化を考慮する必要がある場合には、通常、外生的な対象地域内の OD 交通量（あるいは流出入交通量）そのものが変化するために、その適用は難しい。この課題を解決するために、溝上¹⁾は 2003 年に時間帯別均衡配分法と交通流シミュレーションを組み合わせた交通流動の動学的ミクロ分析法を提案し、熊本市の新水前寺駅周辺結節点整備事業を対象としてその適用可能性を検証した。この事業は、ミクロシミュレーションの適用地域内の信号パラメータや車線運用の変更と同時に、地域外で入力 OD 交通量の変化を生じさせるような道路整備が実施さ

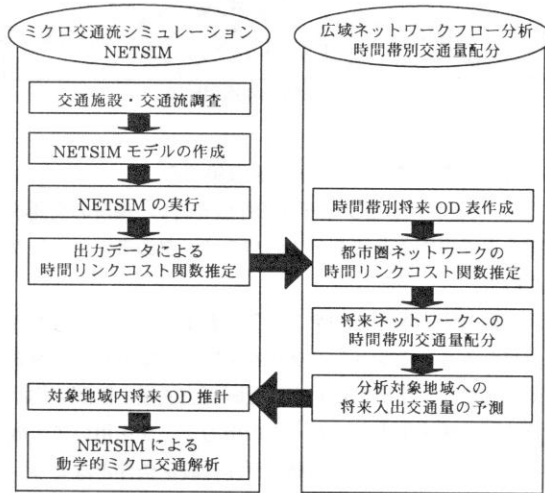


図-1 マクロ-ミクロ結合分析法の概要

れる。しかし、このような事例に対する適用例はこの一例しかなく、この分析法の移転可能性の検証はなされていなかった。

本研究では、この分析法を長崎市中心部で計画されている街路整備事業に適用してその移転可能性の検証を行うことを目的とする。

2. ミクロ-マクロ結合分析法

(1) ミクロ-マクロ結合分析法

本分析法は、図-1に示すように、局所的な交通流の分析に有効なミクロ交通流シミュレーションと広域ネットワークフローの準動学的配分を行うことが可能な時間帯別交通量配分手法を整合的に結合し、広域的なネットワークフローの変化を考慮しながら、局所的なネットワークにおける詳細な交通流動分析を可能にする実用的な方法（以下、マクロ-ミクロ結合交通流動分析法と記す）である。本分析法は以下のようなフローとなっている。

1) まず、現地調査などからミクロ交通シミュレーション

*keywords: 時間帯別交通量配分, ミクロ交通流シミュレーション, ミクロ-マクロ結合分析

**正員 工博 熊本大学大学院自然科学研究科 (熊本市黒髪 2-39-1, Tel:096-342-3541, E-mail:smizo@gpo.kumamoto-u.ac.jp)

***学生員 熊本大学大学院自然科学研究科

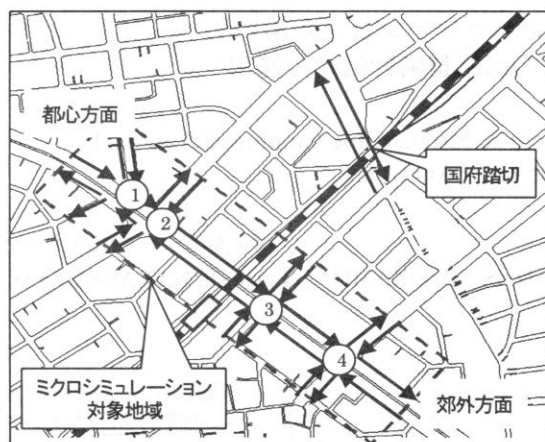


図-2 2003年適用地域

のモデル作成に必要なデータを収集する。

- 2) シミュレーションモデルの作成を行い、現況の交通状態をよく表すようにモデルのパラメータのチューニングを行う。
- 3) 高い現況再現性を持つようにチューニングされたマイクロシミュレーションモデルを用いて、総トリップ数を変化させながらそれに対応した断面交通量と区間平均所要時間の組を出力させる。この出力データを用いて広域ネットワークフローの予測モデルの設定条件となるリンクコスト関数を推定する。
- 4) 推定されたリンクコスト関数を現況の都市圏ネットワークに設定し、時間帯別交通量配分を行って、配分交通量などの現況再現性を検証する。
- 5) 高い再現性が得られれば、広域ネットワークフローを変化させるようなマイクロシミュレーションの適用対象地域外の道路などを将来ネットワークに追加設定し、再度、時間帯別交通量配分を行って将来の時間リンク交通量を求める。
- 6) この配分結果からマイクロシミュレーションモデルの入力となる将来の準動学的 OD 交通量を求める。
- 7) 得られた OD 交通量を入力として将来の道路交通運用案のマイクロシミュレーションを実施する。

このように、時間帯別交通量配分とマイクロシミュレーションとを整合的に結合することで、広域ネットワークフローの変化を考慮した交通流動の動学的マイクロ分析が可能になる。

本分析法を2003年に新水前寺駅周辺地区整備事業に適用した際、上記 5)の時間帯別交通量配分から得られるリンク交通量を 6)の時間 OD 交通量に変換するのに、対象地域の現況 OD パターンを先見とし、時間帯別交通量配分から得られる時間帯別の流出・流入リンク交通量の予

測値に一致するように、フレータ法を用いた OD 交通量推計を行った。

(2) ミクロ-マクロ結合分析法の適用事例

本分析法を適用した新水前寺駅周辺地区交通結節点整備事業は下記のようなものである。

- a) 市電水前寺駅通り電停を JR 豊肥線新水前寺駅側へ移設し、デッキによって新水前寺駅と直接連結することにより JR と市電の乗り換え利便性を向上させる。
- b) JR 豊肥線のガード架け替えによる橋脚の除去により、県道熊本高森線水前寺駅前交差点方面から白山交差点への完全 4 車線化が可能になる。
- c) 横断歩道橋を除去し、その位置へバス停を移設することによってバス乗り換え利便性も向上する。
- d) 新電停に平面アクセスできる横断歩道を設置する。
- e) 周辺の信号交差点のパラメータを調整する。

これらの整備と同時に、図-2に示すようにマイクロ交通シミュレーションの適用対象地域の外側で、一方通行であった国府踏切の往復交通を可能にする新規道路整備が計画されていた。

マイクロ交通シミュレーションの出力結果から推定されたリンクコスト関数は $\alpha=1.39$ 、 $\beta=1.87$ であった。そのリンクコスト関数を用いて時間帯別交通量配分を行った結果、文献 2) や修正 BPR 関数を用いたときよりも、観測リンク交通量との適合性がより高い配分結果が得られた。また、国府踏切を加えた将来ネットワークへの時間帯別交通量配分結果からは、整備の前と後でシミュレーションネットワークフローが大きく変化し、マイクロ交通シミュレーションの適用地域への流出入交通量も大きく変化することが明らかになった。

3. NETSIMによるシミュレーションモデル

(1) 実証分析の対象地域と事業の概要

本分析法の移転可能性を検証する地域は長崎市中心部の国道 34 号線とそれに並行する公会堂前通りで構成された道路網であり、周辺の道路ネットワークを図-3に示す。長崎市中心部の国道 34 号線と公会堂前通りは共に片側 2 車線ずつの 4 車線道路である。国道は断面交通量が約 35,000 台/日と車の往来が激しい道路である。国道の上り方向 (①馬町交差点→④市役所前交差点) は、④市役所前交差点や③県税事務所角交差点での右折車が多いため、混雑時には直進が可能なのは外側 1 車線だけになっている。その結果、車線毎に交通量が偏在し、上り方向の外側車線では断面交通量の 3 割以上を処理している状

況である。また、ピーク時には渋滞も発生している。この国道の沿道地域では博物館の建設や電線共同溝事業が行われ、車線運用の見直しが検討されている。

一方、分析対象地域の外では都市間高速道路とこの地域をつなぐ日見バイパス（図-4参照）の4車線化工事が行われている。工事が完了すると広域のネットワークフローが大きく変化することが予想されることから、広域ネットワークフローの変化を考慮したマイクロシミュレーションによる交通流動のマイクロ動学分析が必要となる。

(2) NETSIMモデルの構築と現況再現性

ここでは、シミュレーションツールとしてNETSIMを使用した。NETSIMは汎用的なマイクロ交通シミュレーションであり、世界で広く利用されている。経路選択モデルを内包しないものの、分析対象地域内に代替経路が無いような簡単なネットワークにおける動的交通流動を分析するのに有効である。

NETSIMモデルを構築するのに必要なデータを入手するために、主要交差点方向別交通量、交差点流入交通量、交差点流出交通量などを現地で観測した。

シミュレーションの実行は交通量の変動が大きい午前7時から9時までの2時間とした。図-5に示すように、対象地域のA-A'断面とB-B'断面の交通量は7:00～9:00の間に時間的にかなり変動している。この間、流入交通量も時間的に変動しているが、NETSIMは1時間の間に時間変動する流入交通量を考慮することができない。そこで、本モデルは図-6のように、10分間断面交通量によって時間流入交通量を10分毎に比例配分し、7:00～7:20、7:20～7:30、…、8:50～9:10という様に20分を単位時間として10分ずつスライドさせた5つのOD表を作成し、それぞれを3倍した時間OD表をNETSIMへの入力OD交通量とする。各モデルのシミュレーション開始直後は、実際には生じているその前の時間帯の交通流による影響が反映されないため当該時間帯の渋滞現象が再現しにくい。そこで、それぞれのモデルの後半10分だけのシミュレーション結果をつなぎ合わせることによって、流入交通量の時間的な変動を考慮することが可能なシステムに改良した。

本来なら、図-3に示す分析対象道路網をモデル化すべきである。しかし、単一路線ではなく道路網としてモデル化されたNETSIMモデルの性能やパラメータの調整方法についての知見がないことから、今回は①馬町交差点～④市役所前交差点間と⑤公会堂前交差点～①馬町交差点間の2つの地域に分けて、それぞれ単一路線としてNETSIMモデルを作成した。

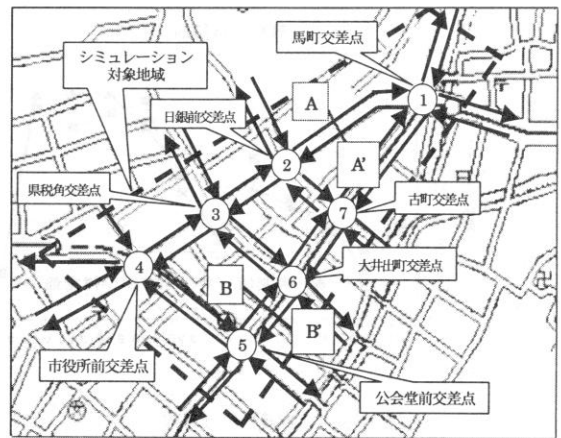


図-3 実証対象地域

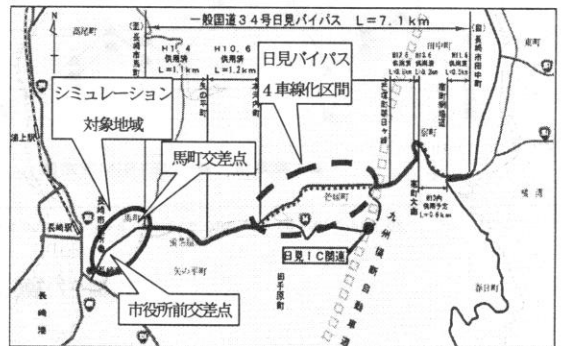


図-4 日見バイパス

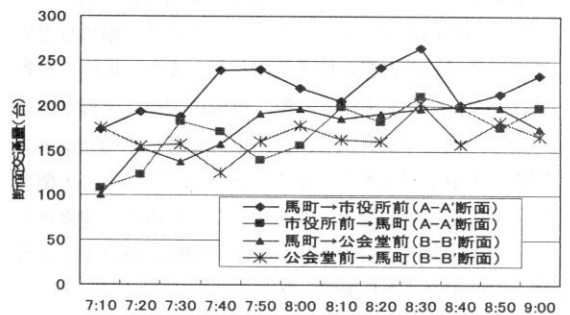


図-5 断面交通量の時間変動

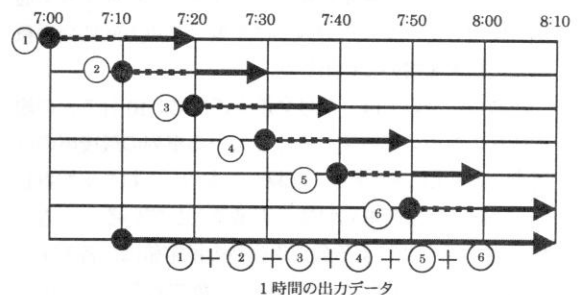


図-6 モデルの作成イメージ

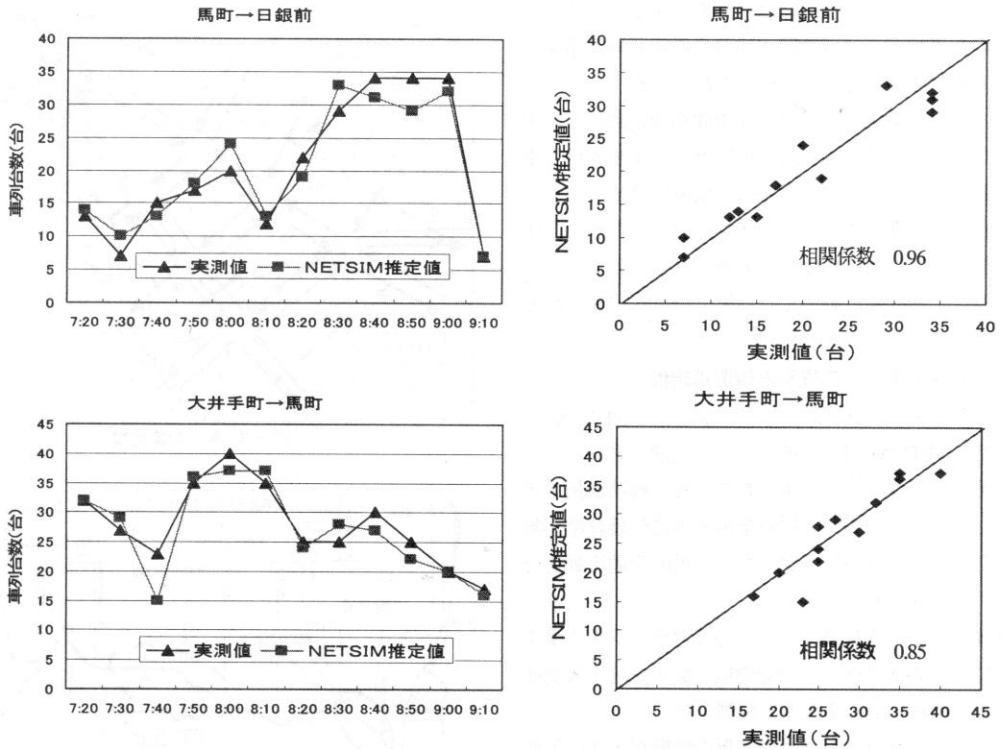


図-7 現況再現の検証の結果

ネットワークモデルの設定を行うには、対象となる路線の道路状況、交通規制、信号パラメータなどのデータが必要である。このうち、車線数や交通規制、信号パラメータは現地調査により収集した。道路長や幅員などの道路特性は道路台帳の値を使用した。また、車両の挙動特性パラメータを設定する際、現況再現性に影響が大きいのは、既存の研究より、自由走行速度と平均発進車頭間隔、大型車混入率であることが分かっている。大型車混入率には現地観測データを用いた。自由走行速度と平均発進車頭間隔は最大車列台数が実測値に適合するように、試行錯誤により調整した。

次に、対象地域への流入交通量と交差点分岐率を入力する。ミクロシミュレーション対象地域への流入交通量には、分析対象地域境界にある交差点の流入交通量を使用した。交差点分岐率は主要交差点方向別交通量調査の結果を用いて算出した。

渋滞長については、信号交差点ごとに、10分ごとの観測時刻の直近の赤時間に停止している車列の最後尾の位置を、地図上に5m単位で記録しており、これを平均車長6mで割った値を車列台数の実績値としている。一方、NETSIMモデルによる最大車列長の推定値は、各モデルの終了直前の赤時間での信号待ち台数である。2ヶ所の主

要交差点において、両者を比較したものを図-7に示す。時間の経過に従って大きく変動する10分毎の最大車列長を非常によく再現できている。動学的な交通流動を表現する重要な指標の一つである最大車列長について、本モデルは高い現況再現性を持っているといえる。

4. 時間リンクコスト関数の推定

NETSIMでは断面交通量と平均所要時間とをリンク毎に出力させることができる。もし、構築されたNETSIMモデルが現実の交通流動をうまく再現することができる

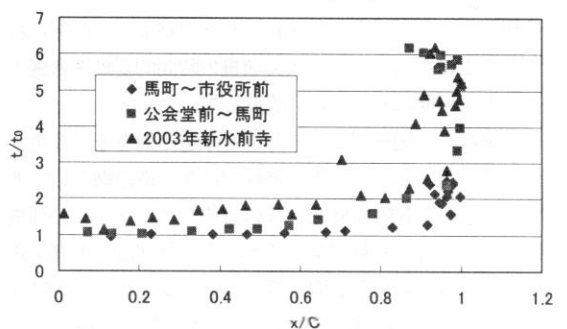


図-8 NETSIMによる出力データ

表－１ リンクコスト関数の推定結果

パラメータ	馬町－市役所前	公会堂前－馬町	馬町－市役所前 & 公会堂前－馬町	新水前寺駅周辺 (2003 年)	文献 2)	修正 BPR 関数
α	1.14 (0.41)	1.92 (1.84)	1.38 (1.26)	1.39 (14.5)	0.96 (3.79)	2.62
β	2.08 (6.35)	1.86 (8.31)	1.88 (8.31)	1.87 (9.60)	1.20 (4.82)	5.0

注) () 内は t 値を示す

のであれば、従来は観測によって収集していた交通量と所要時間のデータの代わりに、NETSIM からの出力されるこれらのデータを用いて時間リンクコスト関数を推定することができるはずである。ここでは、3 章で構築した NETSIM モデルを用いて、OD パターンは現況のままとして、総トリップ数を、..., 0.9 倍, 1.0 倍, 1.1 倍, ... というふうに変化させながら、それに対応した平均所要時間と断面交通量データを出力する。ここでは 7:10 から 8:10 の 1 時間の出力データを使用した。

このとき、リンク単位では距離が 150m ほどしかないため、信号待ちのタイミングなどによって出力される所要時間が大きな変動を示すことがある。そこで、リンクコスト関数を推定するための平均所要時間は、馬町交差点から市役所前交差点までの 4 リンクを、公会堂交差点から馬町交差点までの 3 リンクを一体とした道路区間の所要時間を用いた。推定には馬町～市役所前交差点間、公会堂前～馬町交差点間のデータ、そしてより汎用的な推定値を得るために、両区間のデータをプールしたものをを用いて 3 種のパラメータを推定した。当然ながら、平均所要時間は観測区間にある交差点数や信号パラメータなどに影響を及ぼされる。これらの影響については、より詳細な分析を行う必要があろう。

時間交通量と平均所要時間の関係を図－8 に示す。図の横軸は時間交通量 x をその最大値（時間可能交通容量に相当） C で除した混雑率 x/C 、縦軸はゼロフロー時の所要時間 t_0 に対する平均所要時間 t の比率 t/t_0 である。比較のために 2003 年の新水前寺駅周辺地区で構築した NETSIM モデルからの出力結果も一緒に示している。これより、時間交通量の増加に伴って平均所要時間は単調に増加し、時間交通量が最大値をとった後は、平均所要時間は増加するものの交通量は減少していくという、交通量－所要時間の関係を良く表している。

これらを観測データとして、 $t = t_0 \{1 + \alpha(x/C)^\beta\}$ なる BPR 型時間リンクコスト関数のパラメータ α 、 β を推定した。NETSIM の実行結果から得られる最大交通量は馬町交差点～市役所前交差点間、公会堂前交差点～馬町交差点間で、それぞれ 968 台/時と 1021 台/時であった。時間帯別交通量配分を行うためには、全てのリンクに時間可能交通容量を設定する必要がある。NETSIM の実行結果から得られる時間最大交通量をこの時間可能交通容量とするには、全てのリンクで NETSIM を実行しなければならず、現実的でない。そのため、2003 年の適用時と同様に、ここでもすべての道路区間に設定されている日可能交通容量から時間可能交通容量に変換する方法を用いる。これは、日可能交通容量 43,200 台/日（両方向）を片側方向の日可能交通容量に換算した後、文献 2) に示す日換算係数の平均値 17.0 で除した 1,270 台/時（一方向）を時間可能交通容量とするものである。

パラメータの推定結果を表－1 示す。馬町～市役所前交差点間と公会堂前～馬町交差点間とで区間ごとに推定した α の値は互いにやや異なっているが、 β の値はおおよそ一致している。両区間のデータをプールして得られたパラメータは 2003 年に新水前寺で推定された値とほぼ一致している。このように、観測データの代わりに、現況再現性の高い NETSIM モデルによるシミュレーション結果から出力された交通量と平均所要時間データを用いて推定された時間リンクコスト関数のパラメータの安定性は高いと言える。以後の分析では、両区間のデータをプールして推定したリンクコスト関数を用いて時間帯別交



図－9 配分対象ネットワーク

表-2 リンク交通量の適合度

評価指標	12時間交通量 (午前7時～午後7時)				ピーク時間帯 (最も混雑する1時間)			
	本モデル	2003年	文献2)	修正 BPR	本モデル	2003年	文献2)	修正 BPR
平均 推計値	23077	23167	22755	21410	3718	3820	3805	2466
観測値			22553				2385	
標準 推計値	17436	17482	18161	14972	2385	2314	2422	1369
偏差 観測値			11764				1200	
相関係数	0.75	0.75	0.74	0.68	0.64	0.64	0.65	0.54
a	1.12	1.12	1.15	0.87	1.23	1.23	1.31	0.62
b	-2189	-2114	-3304	1672	778	873	661	975
F 値	58.7	58.1	56.1	39.5	33.0	30.7	32.7	18.9
RMSE	11641	11709	12318	11150	2209	2326	2376	1246
AE ² (%)	0.2	0.2	0.1	1.1	36.3	38.0	35.7	0.42
DSD ² (%)	23.7	23.8	26.9	8.3	23.0	22.9	26.4	1.8
CV ² (%)	73.8	73.7	70.8	88.5	38.4	36.8	35.7	95.5

通量配分を行い、推定されたリンクコスト関数の適合性を検証することによって、本ミクロ-マクロ結合分析法の適用可能性を実証する。

5. 結合分析法の適用

(1) 推定されたリンクコスト関数の適用可能性

推定した時間リンクコスト関数を広域道路ネットワーク(図-9)に設定して時間帯別均衡配分(OD修正法)を行った。このネットワークは平成6年長崎都市圏PTネットワークであり、リンク総数2463、ノード数1031、セントロイド数117で構成されている。

時間帯別交通量配分によるリンク交通量の適合度は平成11年道路交通センサスの12時間交通量とピーク時間帯1時間の交通量との比較によって評価する。適合度評価結果を表-2に示す。12時間交通量に対する評価値は、本モデル、2003年推定値、文献2)のいずれを使って配分しても推計値平均は実測値平均に近い値となったが、修正BPR関数だけが過小推計となった。推計値と実績値との相関係数は、本モデルと2003年推定値を用いた場合が最も高い。誤差成分を見ると、本モデル、2003年推定値、文献2)の3つの推定誤差はバイアスの比率が小さく、ランダム誤差の比率が大きい。本モデルと2003年推計値はどの評価指標を見てもほとんど差がない。

ピーク時間帯については、本モデル、2003年推定値、文献2)を用いた推計値平均は実測値平均より過大に推計されている。推計値と実績値との相関係数、および回帰係数は本モデルを用いた場合が最も良好である。ただし、誤差成分には修正BPR関数に比してバイアス成分が大きくなっている。

このように、2003年の適用について述べた文献1)と同

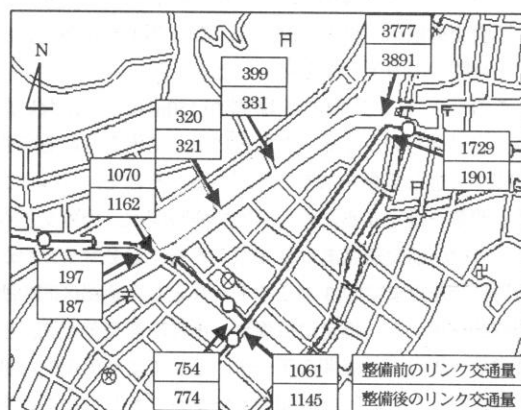


図-11 バイパス整備による流入量の変化

様、今回の長崎市での適用においても、NETSIMの出力結果から推定されたパラメータを用いて時間帯別交通量配分を行ったときのリンク交通量の適合度は非常に高い。これより、推定されたBPR関数の適合性は高いといえる。

(2) 日見バイパス整備後の時間帯別配分とミクロシミュレーションの実行結果

日見バイパス整備後の広域ネットワークフローを予測した結果を図-11に示す。図中の数値は整備前、後の7時台の時間交通量である。日見バイパスの整備によって、その下流側にある馬町交差点への流入交通量が1,729から1,901へ、公会堂前交差点へのそれも1,061から1,145へ、それぞれ9.9%、7.9%も増加している。また、北、および南方向からの流入交通量も当然ながら異なってくるので、将来のミクロな交通流動は、現況の流入交通量を入力としてシミュレーションを実行した場合とはかなり異なってくると思われる。

これらの将来の流入交通量を用いて街路整備計画案を

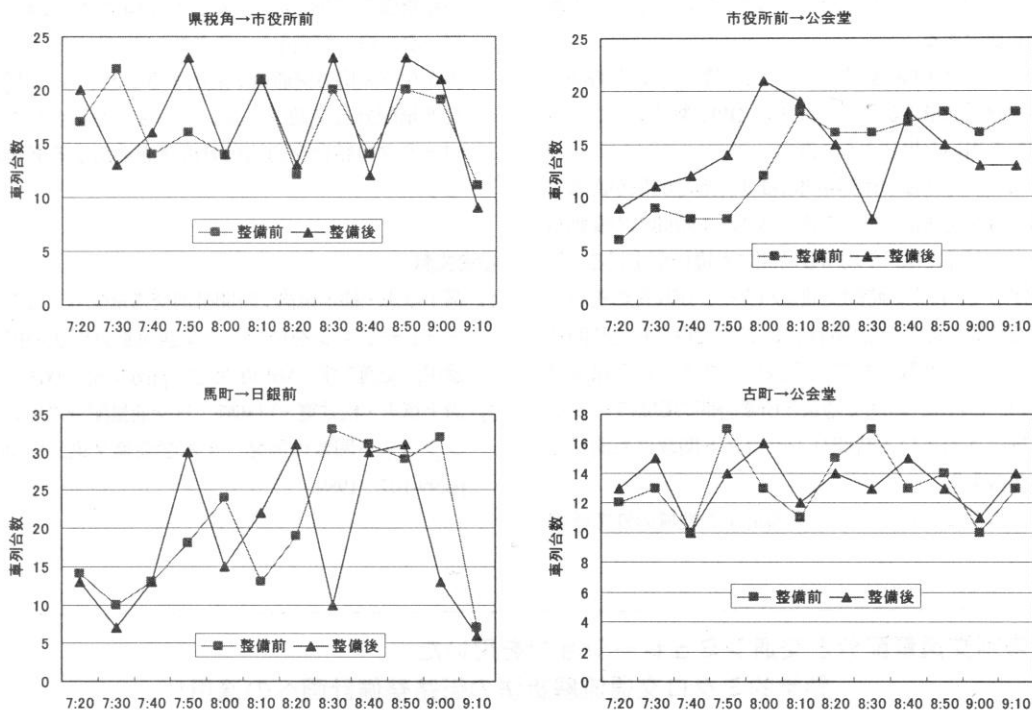


図-12 日見バイパス整備前・後の渋滞長変化

想定したミクロ交通流シミュレーションを実行した。本事業の車線運用に関する主要な見直し案は、1) 国道 34 号線馬町交差点～市役所前交差点間を上下 1 車線ずつにして車線幅員を広げると同時に、上り方向の各交差点に右折車線を設置すること、2) 公会堂前通りを国道 34 号線の代替路線とする運用を図るというものである。将来の時間的に変動する流出入交通量は、当該時間帯における交通量の時間変動パターンは現況と同じと仮定して、3 章の (2) で解説した方法で作成している。図-12 に NETSIM から出力された街路整備前、後の交差点における車列台数の時間変動を示す。シミュレーション実行の結果、車線運用の効率化と適切な信号パラメータの設定を行ったとしても、国道 34 号線の各交差点における車列台数は改善しないか、あるいは時間帯によってはより悪化する。その影響を受けて、7 時台には、代替経路として想定していた公会堂前通り上の各交差点や市役所交差点～公会堂前交差点間での交差点待ち車列台数が増加するという結果が得られた。これらは、事業そのものによるだけではなく、広域ネットワークフローの変化による時間帯別の流入交通量に大きな変動があったことによるところが大きいと考えられる。

6. おわりに

本研究では、JR 新水前寺駅周辺地区交通結節点整備事業の評価のために開発されたマクロ-ミクロ結合交通流動分析法を長崎市中心部の街路整備事業に適用し、その移転可能性についての検証を行った。その結果、以下のような知見を得ることができた。

- 1) 本分析法から得られた BPR 型リンクコスト関数のパラメータは $\alpha=1.38$, $\beta=1.88$ であった。この値は JR 新水前寺駅周辺地区を対象にして推定されたパラメータ $\alpha=1.39$, $\beta=1.87$ とほぼ同じ値である。これより、観測に代わってミクロシミュレーションから所要時間と交通量データを生成する本分析法は、リンクコスト関数の推定に有効であり、かつ移転可能であると考えられる。
- 2) 両端を信号交差点とするような道路区間では、信号のタイミングによっては NETSIM から生成される走行所要時間が極めて長くなる場合がある。本研究では、3, 4 本の連続した道路区間 (約 400m) を走行したときの平均所要時間をリンクコスト関数推定のための所要時間データとした。このように、所要時間と断面交通量データを生成するための道路区間は、信号待ちな

どによる所要時間の変動が卓越しないくらいの距離が必要である。

- 3) 推定された BPR 型リンクコスト関数を用いた時間帯別配分交通量の適合性は従来の BPR 型リンクコスト関数を用いた場合よりも高い。
- 4) ただし、交通量と所要時間とは非線形な関係があるため、時間交通量が同じであっても、1 時間内の変動パターンが違えば、平均所要時間にも違いが生じる。したがって、将来の時間交通量パターンが現況のそれと大きく異なるような場合には、ここで得られた時間リンクコスト関数をそのまま適用できるという保証はない。これは、時間交通量と所要時間の観測データから推定されている時間リンクコスト関数にも同じことが言える。
- 5) ミクロシミュレーションを適用する地域の外で幹線

道路整備などが同時に実施される場合は、広域ネットワークフローが変化し、ミクロシミュレーションの入力となる入出力交通量が変化することから、時間帯別交通量配分と交通シミュレーションを結合したマクロミクロ結合交通流動分析法を適用する必要があるだろう。

参考文献

- 1) 溝上章志・柿本竜治：時間帯別交通量配分とミクロシミュレーションを結合した交通流動分析法の提案と適用，交通工学，Vol.40, No.3, pp.65-75, 2005.
- 2) 溝上章志・松井寛・可知隆：日交通量配分に用いるリンクコスト関数の開発，土木学会論文集，No.401, pp.99-107, 1989.

時間帯別交通量配分と交通シミュレーションを用いた 動学的ミクロ交通解析法の街路整備計画への適用*

溝上章志**・中山直智***

本研究では、JR 新水前寺駅周辺地区交通結節点整備事業の評価のために開発された時間帯別交通量配分と交通シミュレーションを結合したマクロミクロ結合交通流動分析法を長崎市中心部の街路整備事業に適用し、その移転可能性についての検証を行った。その結果、以下のような知見が得られた。1) 観測に代わってミクロシミュレーションから所要時間と交通量データを生成する本分析法は、リンクコスト関数の推定に有効であり、かつ移転可能である。2) ミクロシミュレーションを適用する地域の外で幹線道路整備などが同時に実施される場合は、広域ネットワークフローが変化し、ミクロシミュレーションの入力となる入出力交通量が変化することから、時間帯別交通量配分と交通シミュレーションを結合したマクロミクロ結合交通流動分析法を適用する必要がある。

A Practical Study on the Applicability of Macro & Microscopic Combined Approach for Micro-Dynamic Traffic Flow Analysis*

By Shoshi MIZOKAMI**・Tadatoshi NAKAYAMA***

The aim of this paper is to verify the applicability and transferability of our proposed Macro & microscopic combined approach for Micro-dynamic traffic flow analysis. Consequently, we can get following findings; 1) instead of observation data on travel time and traffic volume, those data generated by our proposed approach is useful for the estimation of link cost functions. 2) In the case that new road is constructed outside the area to which a micro-simulation is applied, our proposed Macro & microscopic combined approach is effective for Micro-dynamic traffic flow analysis, because input flow data change according to the change of wide area network flow.