

都市内道路ネットワーク・パフォーマンスとその特性*

Network Performance in Urban Road Network and Their Characteristics*

李 薫基**, 室町泰徳***, 原田 昇****, 太田勝敏*****

By Hunki LEE, Yasunori MUROMACHI, Noboru HARATA, Katsutoshi OHTA

1 はじめに

限られたコストや時間の制約の中で、多様な交通政策が分析できる戦略交通モデルの開発がイギリスなどで検討されている。そのモデルでは、都市内道路ネットワークをマクロ的に表現した集計 Q-V 式を用いており、従来 4 段階推定モデルで使われていたリンク・ベースモデルと比較すれば、推定にかかる時間と費用が削減され、多様な分析ができる。¹⁾

Q-V 曲線はモデル構築のための実測データの入手が容易である一方、渋滞流域における関係性が明確でない。それに対し、K-V 曲線は密度に関するデータの測定が難しいものの、渋滞流域における関係性が明確である。渋滞流域における関係性が明確であるということにより、都市内道路ネットワークにおいて、集計 K-V 曲線を用いたネットワーク・パフォーマンスの構築を試みる。

ネットワーク交通サービスを表す際、一般に平均旅行時間が用いられるが、停車時間と旅行時間との関係を通してネットワーク・パフォーマンスを表現するモデルとして 2 流体モデルが存在する。特に排出モデルにおいて stop-start は重要な変数であり、2 流体モデルで表現されたネットワーク・パフォーマンスを排出モデルなり燃料消費モデルに利用できると考えられる。

そこで、集計 K-V 曲線と 2 流体モデルを用いてネットワーク・パフォーマンスを表現する試みの中で、シミュレーションを通して集計 Q-V 曲線、集計 K-V 曲線、そして 2 流体モデルの特徴を探り、交通要因がネットワーク・パフォーマンスに与える影響を分析検討することに本研究の目的がある。

*キーワード: ネットワーク・パフォーマンス、交通流変数、2 流体モデル

** 学生員、工修、東京大学工学部都市工学科
(東京都文京区本郷7-3-1 TEL03-3812-2111、FAX03-5800-6958)
*** 正員、工博、東京大学工学部都市工学科 (同上)
**** 正員、工博、東京大学工学部都市工学科 (同上)
***** 正員、Ph. D、東京大学工学部都市工学科 (同上)

2 理論的な考察

マクロレベルにおけるネットワーク・パフォーマンスを構築する際、考慮すべき交通流の変数としては、平均速度(V)、密度(K)、交通量(Q)、停車車両の割合(f_s)、そして、車両の旅行時間(T)、走行時間(T_r)、停車時間(T_s)が考えられる。ここでは、各変数の定義と簡単に理論的な考察を行なう。

2.1 ネットワークにおける速度、密度と交通量の定義

ネットワークにおける基本的な交通流変数として、速度、密度、そして交通量が考えられる。各変数は、観測時間 (τ) の間に、ネットワークを移動する全車両に対する平均値として求められる。

平均速度(V, km/h)は、全車両の台時に対する台キロの比である。平均密度(K, vehs/lane-km)は、単位車線延長当りの台数であり、全車両の台時を車線延長(L)と観測時間(τ)の積(τL)で割ることにより求められる。交通量(Q, vehs/lane-hr)は、ネットワークを通過する平均車両数であり、台キロを車線延長で割ることにより求められる。

2.2 2 流体モデル³⁾

2 流体モデルの概念は、道路ネットワークの上を走っている車両を走行車両と、混雑、交通信号、交通事故等による停車車両に分け、その割合によってネットワーク・パフォーマンスを表現するものである。2 流体モデルは 2 つの仮定に基づいている。第 1 に、走行車両の平均速度(V_r)は、全車両に対する走行車両の割合(f_r)に依存すると仮定する。

$$V_r = V f_r^{-1} = V_m f_r^n = V_m (1 - f_s)^n \quad (1)$$

ここで、V は全車両に対する平均速度を、 V_m は停車車両の割合が 0 である時の速度を表す平均最大走行速度パラメータを、そして n は平均旅行時間に影響するパラメータを表す。

第 2 に、ネットワークを通行する車両 i に対する停車時間の割合((T_s/T_i))は、母集団に対する停車車両の

平均割合($\langle f_s \rangle_p$)と等しいと仮定する。

$$\langle f_s \rangle_p = \left(\frac{T_s}{T} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

この二つの仮定に基づき、次のような関係式が導かれる。

$$T_r = T_m^{\frac{1}{n+1}} T^{\frac{n}{n+1}} \quad (3)$$

$$T_s = T - T_m^{\frac{1}{n+1}} T^{\frac{n}{n+1}} \quad (4)$$

(ただし、 $f_r + f_s = 1$, $V_m = 1/T_m$,

$$V_r = 1/T_r, \quad V = 1/T, \quad T = T_r + T_s)$$

ここで、 T_m は平均最短旅行時間をあらわすパラメータであり、 T_r 、 T_s 、 T はそれぞれ平均走行時間、平均停車時間、平均旅行時間を表す。 T, f の添字 r, s はそれぞれ走行車両、停車車両を表す。パラメータ T_m と n は、旅行時間と走行時間が与えられると式 (3) から回帰分析で求めることができる。

式 (4) により、

$$f_s = 1 - (T_m/T)^{\frac{1}{n+1}} \quad (5)$$

$$\text{or } T = T_m (1 - f_s)^{-(n+1)} \quad (6)$$

となる。式 (5) 及び (6) からわかるように、パラメータ T_m と n 値が高くなるにつれ、平均旅行時間は増え、ネットワーク交通サービスは低下することになる。従って、 T_m と n 値が小さければ交通サービス質は高いと評価される。

3 ネットワーク・パフォーマンスに影響する交通要因

表1に示したように、ネットワーク・パフォーマンスに影響を与える交通要因は大きく供給サイドと需要サイドに分けることができる。供給サイドはまた、車線延長密度や交差点密度のような道路網の特性と、交通信号制御のような交通管理/運営に分けられる。本研究では供給サイドと需要サイドの代表的な交通要因を取り上げ、その影響を分析した。

表1 ネットワーク・パフォーマンスに影響する交通要因

供給サイド	需要サイド
<ul style="list-style-type: none"> 道路網の特性 (車線延長密度、交差点密度、ネットワークタイプ、平均ブロック長等) 交通管理/運用の特性 (交通信号制御、一方通行道路の割合、路上駐車可能な道路の割合、路上駐車密度等) 	<ul style="list-style-type: none"> 総OD交通量(トリップ総数) 時間帯別OD交通量(時間帯変動) ODパターン(目的地、経路)

4 シミュレーション実験

ネットワーク交通流変数間の関係を分析するため、過飽和ネットワークシミュレーションモデル⁴⁾を用いた。このモデルはシミュレーションモデルと経路選択モデルの2種類からなり、2種類のモデルを繰り返し適用する構造となっている。過飽和ネットワークにおける渋滞長や旅行時間の時間変化をダイナミックに再現でき、本研究の分析に適していると思われる。

図1 仮想道路ネットワーク

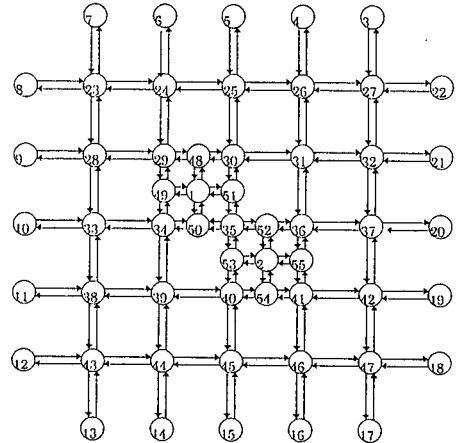


図1に示すように、本研究に用いた仮想道路ネットワークは25個所の交差点を持った5×5グリッド・パターンを想定しており、400mのリンク長と4車線を標準ケースとして設定した。内部ゾーン数は2で、外郭ゾーン数は20であり、供給サイドの要因をシミュレーションする際、内部2ゾーンは除いた。OD交通量は同じで、密度が2.5、5、7.5、10、12.5、15、20、25、30veh/s/lane-kmに近づくよう交通量を想定し、9回繰り返しシミュレーションを行なった。交差点での交通量処理に対して、直進交通量、左折交通量、右折交通量の割合をそれぞれ60%、18%、22%と設定した(モデルに用いられた東京都の一部分のネットワークでの振り分け交通量の平均値)。

本シミュレーションでは最大自由流走行速度が40km/hと設定されており、その時 T_m は1.5min/kmである。データの利用に当たっては、シミュレーションモデルの制約上、各リンクにおける自由流旅行時間の合を走行時間(T_r)として利用し、パラメータ T_m と n を推定した。

5 シミュレーション結果

5.0 f_s -K、集計K-V、集計Q-Vの関係

標準ケースのシミュレーション結果から求められた、 f_s -K、集計K-V、集計Q-Vの関係を図2、3、4に示す。図2は密度が増加するにつれ、停車車両の割合も一定に増加することを示す。図3及び4はリンクベースK-VとQ-Vに類似していることを示しており、特に渋滞領域におけるネットワークパフォーマンスとして集計K-Vの適用可能性を確かめた。

図2 f_s -K 曲線：標準ケース

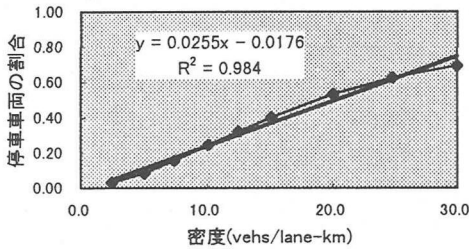


図3 集計V-K 曲線：標準ケース

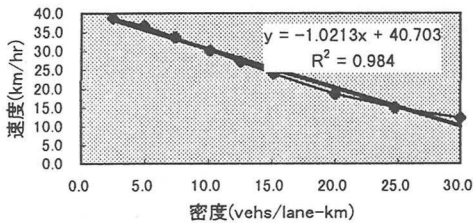
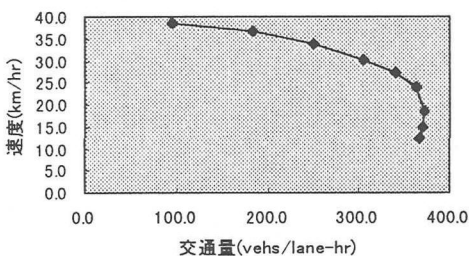


図4 集計Q-V 曲線：標準ケース



5.1 供給サイドからの要因

①リンク長の変化：200m、400m、800m とリンク長を変え、リンク長の変化による交通流変数の影響を分析した。各リンク長に対するV-K、Q-Vの曲線を図5、6に示す。同じ密度に対し、リンク長が長くなるにともなって、ネットワーク・パフォーマンスは増加

した。

2 流体モデルのパラメータを推定した結果を表2に示す。平均最短旅行時間を表す T_m 値は、リンク長が長くなるにともない、減少する傾向を示す。

図5 集計V-K 曲線：リンク長の変化

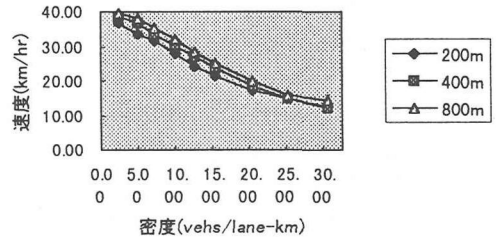


図6 集計Q-V 曲線：リンク長の変化

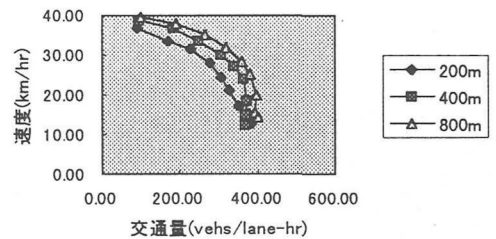


表2 リンク長の変化による2流体モデルのパラメータ

リンク長(m)	n	T_m (min/km)
200	1.28	1.69
400 (標準)	1.15	1.61
800	1.30	1.57

②車線数と交差点数の変化：リンク車線数をそれぞれ2、4、6線に、また交差点数を25箇所と49箇所に想定し、シミュレーションを行なった。それぞれの結果については、発表の時説明する。

5.2 需要サイドからの要因

①OD交通量の変化：OD交通量が均一、都心への交通量が10%及び20%である場合を想定し、分析した結果を図7、8に示す。都心への集中交通量が増加するに伴い、速度は大きく低下した。

表3は2流体モデルの推定パラメータの結果を示す。都心への交通量が集中するにつれ、 T_m 値は増加し、ネットワーク・パフォーマンスが落ちてしまう。またn値は小さくなるが、均一パターンの場合、混雑に対して敏感に反応する結果を示している。

図7 集計V-K 曲線：OD交通量の変化

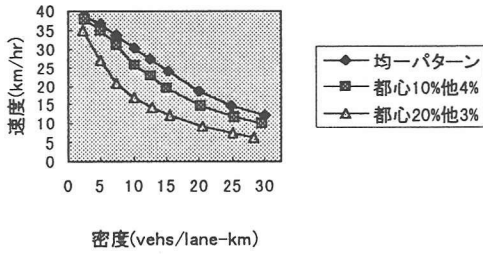


図8 集計 Q-V 曲線 : OD 交通量の変化

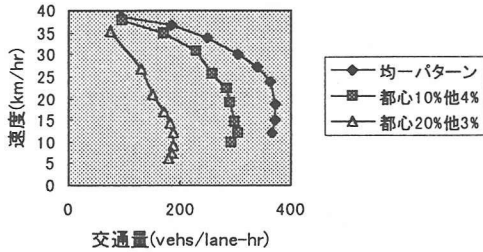


表3 OD 交通量の変化による2流体モデルのパラメータ

ODパターン	n	T_n (min/km)
均一	1.15	1.61
都心 10%他 4%	0.78	1.67
都心 20%他 3%	0.48	1.78

②交通量の時間的変動：変動係数が 0、0.17、0.36 の場合を想定し(表4)、交通量の時間的変動に対する影響を分析した。その結果を図9、10に示す。自由流領域では時間的変動による影響はそれほど大きくない。しかし、渋滞流領域に近づくにつれ、時間的な変動による影響は大きくなった。

表4 時間的変動交通量の割合

時間帯	1	2	3	4	5	6	7	8	変動係数
割合	1	1	1	1	1	1	1	1	0
パターン1	0.8	0.9	1.1	1.2	1.2	1.1	0.9	0.8	0.17
パターン2	0.6	0.75	1.25	1.4	1.4	1.25	0.75	0.6	0.36

図9 集計 V-K 曲線 : 交通量の時間的変動

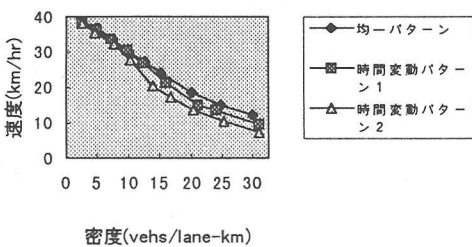


図10 集計 Q-V 曲線 : 交通量の時間的変動

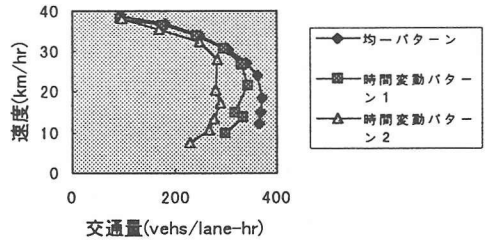


表5に2流体モデルの推定パラメータ値を示す。変動係数が大きくなるにつれ、 T_m 値は増加し、ある時間帯に集中する交通量が大きければ、それによってネットワーク・パフォーマンスは減少する。それに対し、n値は減少しているが、均一パターンのケースが混雑に敏感に反応していることを示す。

表5 時間的変動パターンによる2流体モデルのパラメータ

時間的変動パターン	n	T_n (min/km)
均一パターン	1.15	1.61
パターン1	0.83	1.63
パターン2	0.53	1.66

6 結論と今後の課題

集計 K-V 曲線はリンク K-V 曲線の形に似ており、渋滞流領域におけるネットワーク・パフォーマンスとして集計 K-V 曲線の適用可能性を確認した。

2流体モデルの推定パラメータは、供給サイドに関わる交通要因だけでなく、需要サイドに関わる交通要因とも影響されることが確認できた。

今後の課題として、シミュレーションモデルの制約上、リンク自由流走行時間を T_r として用いており、そもそも2流体モデルでの T_r の定義とずれがあることにより、改善余地が残っている。

本研究にあたって、過飽和ネットワークシミュレーションモデルを提供していただいた東京大学生産技術研究所の桑原先生と吉井先生に感謝の気持ちを表します。

参考文献

- 1) May AD(1991); Integrated Transport Strategies: A New Approach to Urban Transport Policy Formulation in the UK, Transport Reviews, 11(3), 223-247
- 2) 李 薫基、室町泰徳、原田 昇、太田勝敏(1996); 渋滞領域を考慮した集計 Q-V 式の構築に関する研究、51 回年次学術講演会概要集
- 3) Ardekan, S. and Herman, R.(1985); A Comparison of the Quality of Traffic Service in Downtown Network of Various Cities around the World, Traffic Engineering, December
- 4) 吉井稔雄、桑原雅夫等(1995); 都市内高速道路における過飽和ネットワークシミュレーションモデルの開発、交通工学, Vol.30, No.1