

MFDを用いた一般道路の性能照査型道路計画設計の運用管理に関する提案

葛西 誠¹・小田 崇徳²・高宮 進³

¹正会員 東京理科大学 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)
E-mail: kasai@rs.noda.tus.ac.jp

²正会員 社会システム株式会社 (〒153-0043 東京都目黒区東山1-5-4 中目黒ビジネスセンタービル)
E-mail: t_oda@crp.co.jp

³正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 道路研究室 (〒305-0804茨城県つくば市旭1)
E-mail: takamiya-s92tc@nilim.go.jp

性能照査型道路計画設計の方法を確立するには、道路が提供するサービスがどの程度実現されているか性能照査を行う必要がある。しかし、一般道路においては交通混雑の他、トラフィックアクセス交通の混在、路上駐車、信号交差点など様々な要因が影響しており、既存の単路単位でのサービス評価を行うことが容易ではない。

そこで、本稿では特定範囲内の交通変量をマクロ的に取り扱うMFDの考え方を応用し、1)MFDを用いた運用管理の考え方、2)特定範囲内の道路サービスの評価方法について試案を示す。さらに、現状入手可能な道路交通センサ等データからMFDを描くことで、MFDの考え方を応用したサービスの評価方法の可能性と課題をいくつか指摘する。

Key Words : *quality of service, measure of effectiveness, macroscopic fundamental diagram (MFD)*

1. はじめに

日本の道路の計画設計において、定められた目標の通り性能が発揮されるか否かあらかじめ確認する、いわゆる性能照査型設計¹⁾の考え方が普及しつつある。性能照査型設計に用いる性能を予測するための知見や方法もここ10年で整備されつつあり、例えばトラフィック機能が卓越する自動車専用道路の容量についての知見²⁾、交通流率の増加に対する速度の低下量等は比較的早期に整備された内容と言える^{3,4)}。一方、道路交差を伴う一般道では、自動車専用道路より影響する要因が多岐にわたるため、知見も限られており、ようやく拠点間のある経路における旅行速度を算出し、性能照査として活用する方法が確立しつつある段階にある。

こうした拠点間のある経路に着目した評価は、道路利用者全員が同一の着地・発地に着目した分析であるが、実際には着地・発地が面的に広がっており、一般道による道路の性能には面的な計測の方がより望ましい。また、リダンダンシーの観点から、道路はネットワークでこそ意味を持つため、ネットワーク単位での評価も必要になってくることも補助的な理由となり得る。

本稿は、面的な性能を表す方法としてMacroscopic Fundamental Diagram (MFD)を参考にし、面的評価方法、および計画・設計に反映させる方法について試案を述べる。

2. 面的な性能照査の考え方

(1) MFDに着目する動機

街路ネットワーク形状や信号制御に関するパラメータ、あるいは需要の時空間的構が均一であると想定される範囲内を対象に⁵⁾、ネットワーク内の交通量(台キロ)と存在台数(台)の各総和をプロットしたMacroscopic Fundamental Diagram (MFD)を描くと、あたかも単路の断面で描かれたかのようなFundamental Diagram (FD)が描写されることが知られている⁶⁾。概念としては古くから提唱されていたとされるが、2007年頃から実データを元に検証ができるようになり、MFDの实在が広く知られることとなった^{7,8)}。

MFDの既往文献では、MFDの性質に関する継続的な研究と、その実装技術の研究が蓄積され始めてきており、大都市中心部の信号制御や流入制御といった交通管

理の側面から、性能照査と広義の交通制御において威力を発揮すると考えてられている。

(1) 日本の性能照査型計画設計への活用想定例

筆者らは、日本の性能照査型計画設計でMFDを活用できる場面は以下の2つと考えている。

a) 大都市中心部のへの適用

1つは、交通管理の観点で比較的狭い範囲（1～5km四方程度）を対象に、これまで蓄積されてきたMFDの適用事例に従って、活用するものである。

信号交差点の影響そのものは、一般道における主要な旅行速度低下要因であることがこれまでの膨大な研究で明らかとなっており、最近の道路計画設計に係わる知見は拠点間の移動に着目して知見が蓄積されはじめられている。しかし、交差点、特に信号交差点が密集するような地域では、多岐にわたる影響要因も相互に干渉しており、既往研究に見られるような拠点間での性能照査の方法では評価が容易ではない。また、アクセス機能については、性能をどのように規定し計測するか明らかにされていない部分も多くあり、難しい問題として知られている。

上記のような地域は、性能照査型設計における市街地のC-IV相当の階層に多くみられるが、交差点や交通状況が一様に見られるような地域では、MFDのこれまでの知見を応用して、面的な照査、管理にMFDが活用できる可能性がある。

b) 市区町村程度の広さを有するエリアへの適用

性能照査型計画設計では、ネットワークとしての性能を十分に引き出すために、道路を性能（特に旅行速度）毎に階層分化させ、道路階層を段階的に利用させる方法が提案されている。

具体的には、長距離の移動には高い旅行速度を担保できる設計を行ってトラフィック機能に特化した道路の利用を促し、発地や着地ではトラフィック機能優先の道路に直接アクセスせず、発地側では地先の道路から徐々に旅行速度の高い階層を利用させ、着地側で旅行速度の低い階層を利用させるというものである。

この思想は、トラフィック機能とアクセス機能を明確に分化させる狙いに由来する。トラフィック機能を主として担保する道路、アクセスを担保する道路とそれぞれ守備範囲を明確にし、さらにこれらは相互に直接接続されることは、互いの性能を低下させるので望ましくないとする考え方である。

ここでMFDに期待されるのは、階層分化が適切になされているかを判断するための利用である。これまでの性能評価は道路区間単位がもっぱらであり、階層間の相互作用、具体的には交差点の存在や交差形式、信号制御によっては相互に非効率となり、ネットワーク全体の性

能を落としている場合がある。このような場合には、ネットワーク単位での評価が必要であり、MFDによる適用が望ましい。

従来のMFDの利用方法とは異なるが、階層毎に道路を束ねてMFDを描き、各階層の旅行速度が明確に分離されているかを判別することで適切に道路の機能が果たしているかを検証する方法を取る。

3. 広い範囲を対象としたMFDの描写時の前提

(1) エリアの広さ

日本における性能照査型設計と、それを担保するための階層型道路計画設計を面的に行うことを考えると、必然的に既往のMFD適用事例に比べて広くかつ異質なネットワークを対象とすることとなる。

どの程度の広さは、評価する拠点間の範囲に依存し、評価する道路の階層が担うべき「代表的な連絡スケール」に準拠して、範囲を定める。

例えば市区町村の拠点間連絡と考えれば、概ね30km四方の範囲が対象エリアとして設定される。

(2) エリア内総交通量、総台数

対象とする範囲に対して、ある時間帯 j 、交通調査区間 i の交通量データが $q_{i,j}$ と与えられているとする。区間 i の交通調査区間延長を l_i 、車線数を n_i とすれば、時間帯 j の当該エリアの重み付き交通量 Q_j は

$$Q_j = \frac{\sum_i q_{i,j} n_i l_i}{\sum_i n_i l_i} \quad (1)$$

となる。次に道路の性能を評価する指標としては旅行速度を用いる。時間帯 j 、交通調査区間 i のプローブの旅行速度を $v_{i,j}$ とすると、対象エリア内の空間平均速度 V_j は下式で算出する。すなわち下式となる。

$$V_j = \frac{1/\sum_i n_i l_i}{1/\sum_i v_{i,j} n_i l_i} \quad (2)$$

4. 神奈川県政令指定都市を対象とした例

以降では、入手可能であった神奈川県内のデータを利用してMFDを描き、比較的広いエリアに対して解釈可

能な結果が得られるか否かを検討する。

(1) 利用データ

第2章第2節の要請から、Daganzo & Geroliminis⁶⁾が試行した横浜の事例よりも広い範囲をカバーするデータを用いる。本稿では道路交通センサによる時間帯別交通量データ、民間プローブによる旅行時間データを用いた。なお、データ集計は、以下に基づいて行った。

- 1) 交通調査基本区間 i が、1時間帯でも交通量、速度に欠測値がある場合は、時間帯毎でサンプル数の整合が区間で取れなくなるため対象区間としないものとする。
- 2) 道路交通センサでは、交通調査基本区間毎に調査日が異なる場合があるが、ここでは調査日の違いによる交通量および速度は無視できるとして、調査日に関わりなく式(1)および式(2)を適用する。
- 3) 本稿で用いる民間プローブデータはDRM単位で管理されているが、道路交通センサの交通調査基本区間に対応した速度として代表できるものとする。

(2) 川崎市、横浜市および相模原市のMFD

図-1は上記の操作によって描かれたMFDである。昼間12時間(7~18時台)を対象にプロットしており、1点のプロットが1時間帯のエリア内平均速度、エリア内平均交通量を示している。ここで着目すべきは以下の3点と思われる。1)いわゆるWell-definedなMFDにくらべて凸性が不明確である、2)相模原市や横浜市の方が川崎市に比べて交通量レベルが高いにもかかわらず、川崎市の旅行速度が低い。3)面的なサービスの状態を表しているようにも思えるが、例えばここからサービスの状態良くするための施策を立案できるかは難しい。以上の結果から、性能照査型計画設計の概念のうち重要な位置となる階層型設計にどのように活用できるかは、このままでは判断し難い。

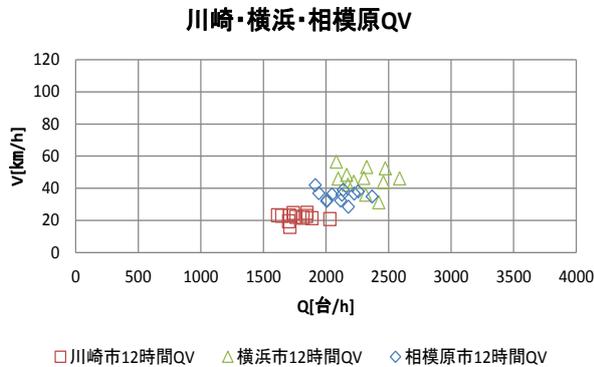


図-1 川崎市、横浜市、相模原市におけるMFD (欠測時間帯がある区間は利用しない)

次に、現状の道路網が各階層で機能しているかに着目し、道路交通センサにおける交通調査基本区間の「種別」毎(表-1)にMFDを作成した。

図-2および図-3は、それぞれ川崎市、横浜市を対象に、交通調査基本区間の種別毎(表-1)のMFDを、同一の平面上に重ねて表示したものである。

図を見ると、比較的高いトラフィック機能が期待される高規格の道路はエリア内旅行速度が高く、アクセスの機能が重要視されるはずの市区町村道等はエリア内旅行速度が低くなっている。従って、この図からサービスレベル(エリア内交通量に対するエリア内旅行速度)が明確に異なっていれば階層化が適切に機能しており、そうでなければ対象エリアの道路階層の見直しが必要ということが言えそうである。

表-1 道路交通センサにおける交通調査基本区間の種別

種	種別
1	高速自動車国道
2	都市高速道路
3	一般国道
4	主要地方道(都道府県道)
5	主要地方道(指定市市道)
6	一般都道府県道
7	指定市の一般市道

川崎道路種別12時間QV

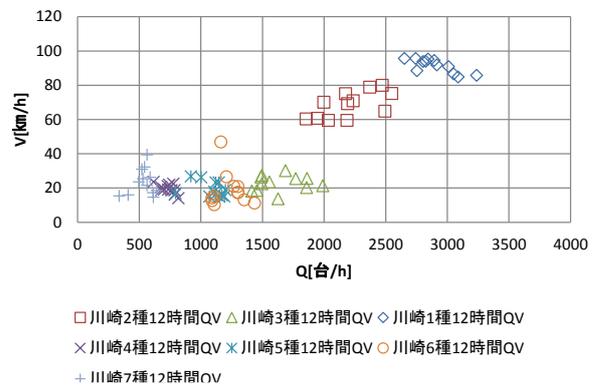


図-2 川崎市の交通調査基本区間の種別毎のMFD (欠測時間帯がある区間は利用しない)

横浜道路種別12時間QV

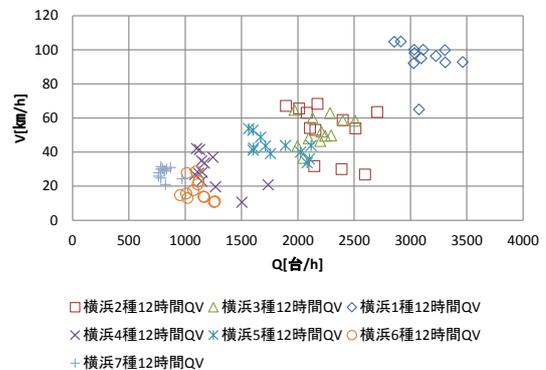


図-3 横浜市の交通調査基本区間の種別毎のMFD (欠測時間帯がある区間は利用しない)

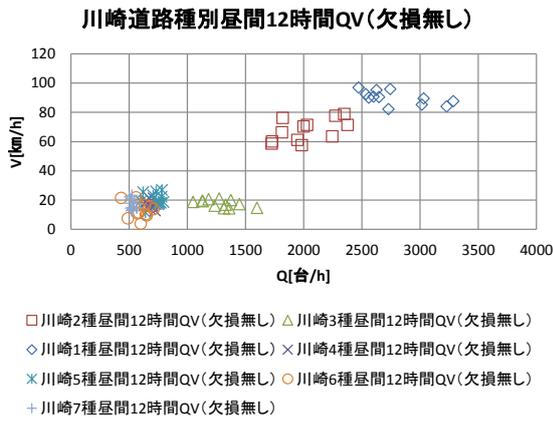


図-4 川崎市の交通調査基本区間の種別毎のMFD (欠測時間帯のみ和を取らない)

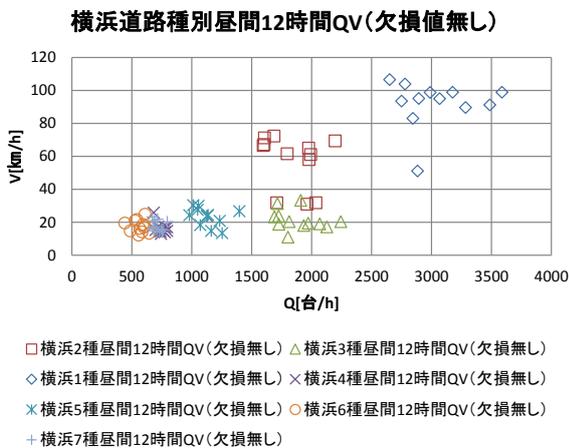


図-5 横浜市の交通調査基本区間の種別毎のMFD (欠測時間帯のみ和を取らない)

なお道路交通センサスの「種別」は道路構造令における道路種別とは異なっており、当然対応しない。したがって、図-2および図-3を見て直接に階層分化が図られているかについては議論はできない。しかし、道路の本来的な意義に照らしてみると、一般国道はそれより下位の種別よりトラフィック機能を有するべきであり、その観点では、川崎市(図-2)では一般国道のエリア内旅行速度は下位の種別と同水準であることから十分なトラフィック機能を担保しているとは言い難いことを示している。

一方、横浜市(図-3)の一般国道のエリア内旅行速度が比較的高く、主要地方道以下の種別は一般国道のそれより低いため、実態として階層分化が自然と達成されていると言えないこともない。

図-3については、着目すべき点が2つあり、1)4種(県道)や5種(指定市市道)は右肩下がりプロットされているように見えることである。これは需要に対してネットワーク容量の足りない時間帯が存在し、該当の階層は飽和していることを意味する。もう1点は、しかしながら、2)一般国道は同一の交通量レベルに対して旅行速度のばらつきが大きく、単にMFDに見られるヒステリ

シス現象⁸⁾⁹⁾が現れているか、下位の道路階層との相互干渉が影響している可能性がある。

(3) 欠損時間帯を含む区間も対象とした場合

旅行速度データには欠損値があるため、この欠損値の取扱いによってMFDの形状も変わってくる。上記(2)では、交通量または速度が1時間帯でも欠測値がある交通調査区間は対象外としている。しかし、実務的には一般に高価なプローブ速度データを最大限に活用する観点から、欠損のある時間帯だけ総和するサンプルに入れない方法も考えられるだろう(各時間帯のプロットでサンプル数が異なることを意味する)。

データを最大限利用して作成したMFDを図-4および図-5に示す。図-2と図-4を比較すると、特に5種から7種の区分ではデータを最大限活用する方が交通量レベルが低くなっており、図-3と図-5の比較でも同様の傾向を示している。また、図-4、図-5ではデータが増加したことによって値の変動が小さくなり、時間帯毎の旅行速度のばらつきも減る方向に推移している。これらの結果は、交通量が少ない区間ではプローブの混入台数の期待値が小さくなるため、区間数が少なくなってしまうことに起因する。このように、MFDを性能照査に活用するためには、データの十分な取得も重要な要素となりうる。

5. おわりに

本稿は、性能照査型設計を進めるうえで、面的な性能評価を行うための一つの方法として、Macroscopic Fundamental Diagram (MFD)を参考とする照査の考え方を述べた。これらは、交通管理の観点と、階層型道路計画設計の考え方において、ネットワーク単位の性能を計測、評価する方法が必要であるという考えに基づく。

また、道路交通センサスと民間プローブデータを活用し、神奈川県政令指定都市を対象としたMFDの作成、及び評価方法の可能性について述べた。神奈川県政令指定都市のMFDを作成した結果、既成のネットワークに対して階層分化が行われているかどうかを判別する方法について示した。また、ある階層の時間帯のみ旅行速度が低い場合は、その階層は飽和状態を示し、例えば下位階層から上位階層へあふれ出る状況が想定され、階層間で相互干渉が生じている可能性が高いことを述べた。

本稿で示したような市区町村程度の広さを対象としてMFDを描くことは、通常想定されるMFDの適用範囲より広く、前提として担保されなければならないエリア内の均一性などはほとんど満たされていないと思われる。したがって、これまでに得られているMFDの性質をそのまま利用できるとも限らないし、ここで示したような

階層別のMFDを作成することはそもそもMFDと呼ぶか否かも、議論の余地を残している。しかし、断面の諸量(Q-V)を面的に集計する(あるいは重み付き平均)手法とみなせば古典的なMFDの適用スケールに拘る必要もないものと考えられる。

より積極的に、階層型設計に基づくネットワークの構築方法を模索する観点では、1)性能目標としてのネットワーク全体の理想的なMFDの作成と、2)階層毎の理想的なMFDの作成、3)異なる階層を考慮したMFDの合成方法の構築、が必要と思われる。これらは、異なる階層間の干渉をどう扱うかが問題であるが、日本全国の階層別MFDと階層を区別しないMFDを解析することによって、相互作用に相当する性能低下分を抽出できるものと考えられる。

謝辞：本論文は、平成24年度～平成26年度交通工学研究会基幹研究「道路の交通容量とサービスの質に関する研究グループ 交通容量分科会」における議論を基に得られた成果の一部である。関係各位に深謝する。

参考文献

- 1) 例えば、中村英樹、大口敬：-Editorial- 性能照査型道路計画設計の導入に向けて、土木学会論文集D3, Vol.67, No.3, p.198, 2011.
- 2) 大口敬、中村英樹：日本における交通容量・サービスの質に関する研究の概観と展望、土木学会論文集 D3, Vol.67, No.3, pp.217-229, 2011.
- 3) 中村英樹、小林正人、Catbagan, J. L.: 追従車密度を考慮した往復 2 車線道路における付加追越車線の設置水準に関する研究、土木学会論文集 D3, Vol.67, No.3, pp.270-282, 2011.
- 4) 内海泰輔、浜岡秀勝、中村英樹：往復分離 2 車線自専道の速度性能曲線の定式化、土木学会論文集 D3, Vol.67, No.3, pp.261-269, 2011.
- 5) Daganzo, C.F. and Geroliminis, N.: An analytical approximation for the macroscopic fundamental diagram of urban traffic, *Transportation Research Part B*, Vol.42, pp.771-781, 2008.
- 6) Geroliminis, N. and Daganzo, C.F.: Existence of urban-scale macroscopic fundamental diagrams: Some experimental findings, *Transportation Research Part B*, Vol.42, pp.759-770, 2008. Daganzo, C.F.: Urban gridlock: macroscopic modeling and mitigation approaches, *Transportation Research Part B*, Vol.41, pp.49-62, 2007.

- 7) Geroliminis, N. and Sun, J.: Properties of a well-defined macroscopic fundamental diagram for urban traffic, *Transportation Research Part B*, Vol.45, pp.605-617, 2011.
- 8) Gayah V.V., and Daganzo C.F.: Clockwise hysteresis loops in the Macroscopic Fundamental Diagram: An effect of network instability, *Transportation Research Part B*, Vol.45, pp.643-655, 2011.
- 9) Geroliminis, N. and Sun, J.: Hysteresis Phenomena of a Macroscopic Fundamental Diagram in Freeway Networks, *Procedia Social and Behavioral Sciences*, Vol.17, pp.213-228, 2011.
- 10) Leclercq, L. and Geroliminis, N.: Estimating MFDs in Simple Networks with Route Choice, *Procedia Social and Behavioral Sciences*, Vol.80, pp.960-979, 2013.
- 11) Aboudolas, K. and Geroliminis, N.: Perimeter and boundary flow control in multi-reservoir heterogeneous networks, *Transportation Research Part B*, Vol.55, pp.265-281, 2013.
- 12) Leclercq, L., Chiabaut, N. and Trinquier, B.: Macroscopic Fundamental Diagrams: A cross-comparison of estimation methods, *Transportation Research Part B*, Vol.62, pp.1-12.
- 13) Keyvan-Ekbatani, M., Yildirimoglu, M., Geroliminis, N. and Papageorgiou, M.: traffic signal perimeter control with multiple boundaries for large urban networks, *Proceedings of the 16th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp.1004-1009, 2013.
- 14) De Jong, D., Knoop, V.L. and Hoogendoorn, S.P.: The effect of signal settings on the macroscopic fundamental diagram and its applicability in traffic signal driven perimeter control strategies, *Proceedings of the 16th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp.1010-1015, 2013.
- 15) Chow, A.H.F.: Generalized network fundamental diagram for motorway traffic management, *Proceedings of the 16th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp.1016-1021, 2013.
- 16) Hajiahmadi, M., Knoop, V.L. and De Schutter, B. and Hellendoorn, H.: Optimal dynamic route guidance: a model predictive approach using the macroscopic fundamental diagram, *Proceedings of the 16th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp.1022-1028, 2013.
- 17) Tsubota, T., Bhaskar, A., Chung, E. and Geroliminis, N.: Real time information provision benefit measured by macroscopic fundamental diagram, *Proceedings of the 13th World Conference on Transport Research*, 12pages, 2013.

(2014. 4. 25 受付)

PERFORMANCE MEASUREMENT OF MANAGEMENT AND PLANNING ARTERIAL ROADS BASED ON THE CONCEPT OF MACROSCOPIC FUNDAMENTAL DIAGRAMS

Makoto KASAI, Takanori ODA and Susumu TAKAMIYA