

交通量感知器データを用いたマクロ交通流特性についての一考察*

A Study on Macroscopic Traffic Flow Characteristics Using Traffic Detector Data*

倉内文孝**・飯田恭敬***・嶋田博文****・イザベラケイロス*****

By Fumitaka KURAUCHI**・Yasunori IIDA***・Hirofumi SHIMADA****・Isabela QUEIROZ*****

1. はじめに

近年の計算機技術の発展により交通流シミュレーションモデルの開発が盛んである。シミュレーション計算を実施する際、モデルのインプットパラメータとしての交通容量は、モデルパフォーマンスに大きな影響を及ぼす。そのため、交通量検知器などで観測されたデータを用い、細心の注意をもって容量設定を実施することとなるが、観測機器設置位置によっては観測可能な交通状態が限られてくることなど、地点データ観測に起因するバイアスなどの問題点についての議論は希薄である。本研究においては、Lighthill and Whitham¹⁾の成果に立ち返り、波動理論によって導き出される地点交通流特性と実際の観測量との比較を通じて理論と現実の整合性を確認するとともに、地点データ観測の限界について議論する。

2. 波動理論を用いた bottleneck 付近の交通挙動

(1) 波動理論

M.J.Lighthill と G.B.Whitham は流体力学の考え方を、道路の単路部における交通流の問題に適用することにより、交通流を動的かつマクロ的に表現するという理論的なアプローチを試みた¹⁾。これが波動理論 (Kinetic Wave theory) と呼ばれるものであり、以下の3原則に基づいている。

交通量の連続式が成り立つこと、

$$\partial k(x,t)/\partial t + \partial q(x,t)/\partial x = 0 \quad (1)$$

交通量の基本関係式が成り立つこと、

$$q = kv \quad (2)$$

速度は密度の関数となること。

$$v = v(k) \quad (3)$$

なお、変数定義は以下の通りである。

q : ある地点を通過する交通流率 (台/h)

k : 空間平均密度 (台/km)

v : 車両の空間平均走行速度 (km/h)

c : 密度波の速度 (km/h)

x : 地点

t : 時刻

波動理論の特徴としては、各地点において密度波がそれぞれの伝播速度を持っており、また密度波 c 上ではその交通量が常に一定であるということがあげられる。図1は $Q-K$ 図上での速度および密度波速度について示したものである。

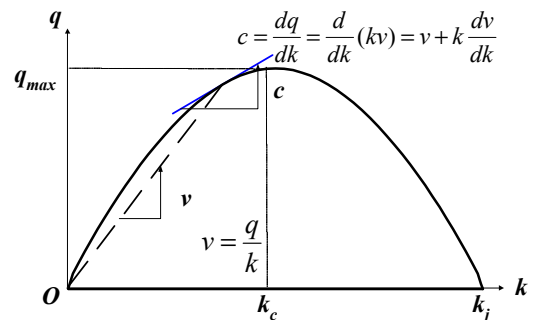


図1 $Q-K$ 図上での空間平均速度および密度波速度

図1より明らかなように、臨界交通密度 k_c を超えると密度波速度は負となり、上流側へと伝播する。上流側に非渋滞領域が存在するとき、それらの密度波は下流に伝播し、渋滞領域からの上流への密度波と衝突する。この2つの密度波がぶつかり合うことによって、衝撃波 (Shockwave) が生成される。このときの衝撃波の速度は、上流側の非渋滞領域 A と下流側の渋滞領域 B によって表現される (図2参照)。

*キーワード：交通容量，交通流，波動理論

**正員，修士（工），京都大学大学院工学研究科土木工学専攻（京都市左京区吉田本町 Tel: 075-753-5126, Email: kurauchi@urbanfac.kuciv.kyoto-u.ac.jp）

***フェロー，工博，京都大学大学院工学研究科土木工学専攻

****正員，工修，国土交通省大臣官房技術調査課

*****MSc，京都大学大学院工学研究科土木工学専攻

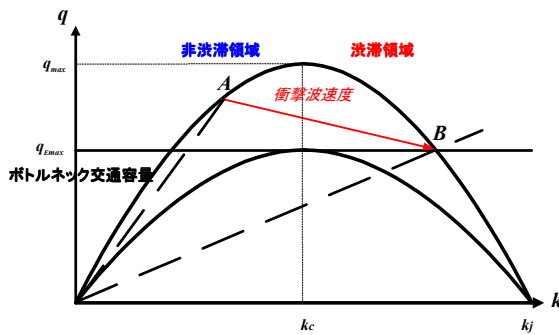


図2 衝撃波の速度

(2) bottleneck 付近の交通挙動

波動理論を用いて、図3に示すような条件のときの交通挙動について考えてみたい。道路構造としては、地点Bに明確なボトルネックが存在するとする。このような道路に対して、ある一定時間だけ地点Bの交通容量を超える交通需要が到着したと仮定する。このときのA、B、C地点における交通状況の推移について考察を加えることとする。時間を追ってA～Cの各地点での交通状況を Q - K 曲線上にプロットしたものを図4に示す。この図から得られた主たる知見は次の通りである。

- 1) 渋滞状態が発生するのはボトルネックより上流側の地点のみである。ボトルネック直下および下流においては、全てのプロットは非渋滞領域に存在し、ボトルネック下流においてはボトルネックの交通容量以上の渋滞側の領域は観測されない、
- 2) 各地点で観測される交通状態は、当該地点の交通特性を表現する Q - K 曲線上に存在する、
- 3) ボトルネック上流地点においては、その地点の最大交通密度周辺および渋滞領域側の比較的交通密度の低い領域のデータは観測されない。

これらの得られた知見が意味するところを整理したい。まず、1)については、交通量検知器の設置位置によっては、 Q - K 曲線を明確に描くことができないことは多くの実務に携わる方々にとっては周知のことであろう。この知見で重要なことは、ボトルネックにおいても渋滞領域は観測されない、ということである。次に、2)についてであるが、図4のように地点Bにおいて最大交通容量が規定されているとき、地点A、地点Cでは交通量は Q_c^B で規定されるが、それによって実現される交通状態、

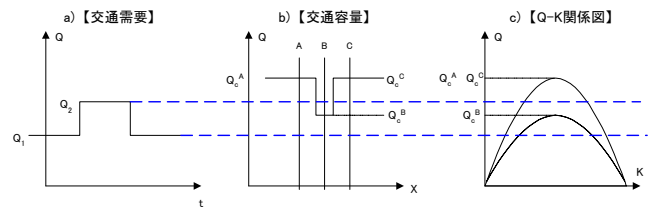


図3 条件設定

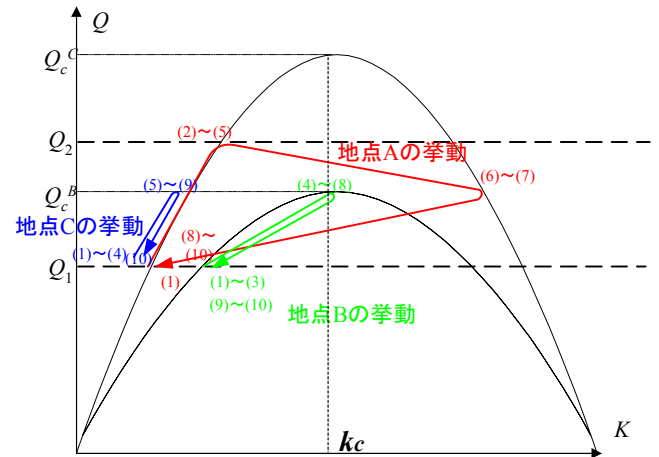


図4 各地点における交通状況の推移

すなわち空間平均速度や交通密度の関係は、各地点の Q - K 曲線上に現れる。最後に、3)についてであるが、一般に Q - K 曲線は、臨界密度 k_c 付近で不連続といわれている²⁾。一方、3)の知見によれば、 k_c 付近の渋滞領域エリアの交通状態を観測することができないため、一見 Q - K 曲線に不連続な点が生じているように見えている可能性があるといえる。

3. 観測データを用いたマクロ交通流特性の検証

ここでは、波動理論より導かれるボトルネック付近の交通状況について、観測データを用いて検証を試みる。なお、2.の議論は、明白なボトルネックが存在している場合におけるその上下流での交通状態を考えたものであった。このようなケースとして、道路工事により1車線が閉塞されていたケースを分析対象とした。このケースでは道路工事の実施期間が限られ、多くのデータを収集することができないため、合流摩擦に起因するボトルネックにおける交通挙動についても併せて分析した。利用データは阪神高速道路公団において車両検知器により観測されたものである。阪神高速道路公団では500mごとに超音波式の車両検知器を設

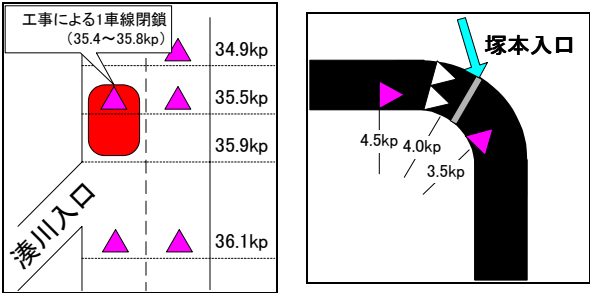
置し、各地点における時間オキュパンシーおよび高車・低車ごとの交通量を観測し、さらにそれらの値に加え、高車・低車ごとの平均車長を仮定することによって空間平均速度を推定している。ここでは、交通量を空間平均速度で除した空間平均密度と交通量の関係により分析を進めることとした。

(1) 工事による1車線閉塞状態

工事による1車線の閉塞状態における交通挙動については、3号神戸線上り湊川入口付近で観測されたデータを用いることとした。図5(a)に分析地点を示す。工事は比較的交通量の多い、平日の午前10:10～11:15にわたり実施された。工事時間帯には湊川入口は閉鎖されており、さらに工事区間に検知器が存在していることより、この地点を検証対象とした。図6に工事地点直上流にあたる36.1kpの2車線の1時間交通流率と空間平均密度の関係を示す。データは1ヶ月分の5分間データから計算されたものである。図7は、工事地点上下流における速度の推移を示している。なお、1車線区間である35.5kpにおける工事時間中の交通流率は1,600(台/時)であった。図6、7より、以下のことが読みとれる。

- 1) 工事時間帯において、ボトルネック地点である35.5kpやその下流の34.9kpでは渋滞発生していない(図7)。
- 2) 工事期間中において、36.1kpでは交通流率が1,600(台/時・2車線)、空間平均密度が160(台/km・2車線)程度であった。この点は、36.1kpのQ-K曲線に近いところに位置すると思われる(図6)。

以上より、ボトルネック地点では渋滞が発生しないこと、ボトルネック上流地点においてはボトルネック交通量と当該地点のQ-K曲線の交点によって交通状態が決定づけられること、などの知見



(a) 工事による1車線閉鎖 (b)合流摩擦

図5 考察対象地点

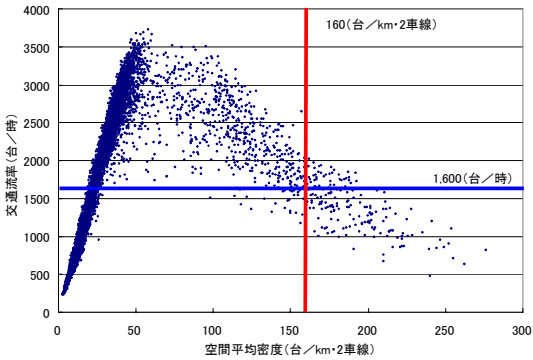


図6 Q-K図上の交通状態の推移(36.1kp)

は、波動理論から得られたものと整合するものである。

(2) 合流摩擦によるボトルネック

分析は、ピーク時間帯においてほぼ日常的に渋滞が発生している、11号池田線上りの塚本入口付近を対象とした。渋滞原因は、池田線では上流側より大量の交通が流入しており、さらに塚本ランプからの流入交通量も多いため、その流入交通との摩擦により、本線交通が影響を受けるためと考えられている。

なお、まれに環状線からの渋滞の延伸が塚本入口まで到達することがある。ここでは塚本入口の合流摩擦をボトルネックとして分析するために、このようなデータは除去して考えることとした。解析データは、2000年1月の2週間にわたって収

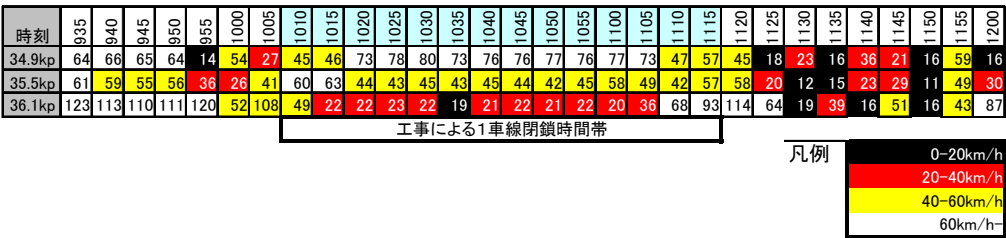


図7 工事地点上下流における速度の推移

集された 30 秒間隔の検知器データである。30 秒データをそのまま利用した場合、データの変動が激しかったため、5 分間平滑、30 秒ごとに更新した 5 分間交通データに変換して利用した。サンプル数は約 32,000 である。3.5kp, 4.1kp の追い越し車線に設置された 2 つの車両検知器を用いて分析を進める。図 8 に、合流地点直上流である 4.1kp 地点の Q - K 関係図を示す。この図においては、阪神高速道路公団の渋滞判定基準に従った渋滞判別ごとに色分けしてプロットしている。データプロットは広範に分布しているように見える。一方、この図を頻度分布図に変換したものが図 9(a)である。図中白いセルはデータ数が 10 以下の領域であり、全体のサンプル数が 32,000 個程度であることを考えれば、渋滞時のデータプロットは密度 60 (台/km/車線)、交通流率 1,750 (台/時/車線) のところに集中しているといえる。一方、図 9(b)は、3.5kp における Q - K プロットの頻度分布図である。これを見ると、3.5kp においてはほとんど渋滞領域のプロットが存在しないことがわかる。なお、頻度分布図において最大交通流量付近で平行に分布していることより、この地点の交通容量はボトルネックの容量と等しいと考えられる。以上より、ボトルネック上流では、臨界交通密度付近の交通状況は観測されないことが確認できたといえる。

4. おわりに

本研究では、マクロ交通流特性について波動理論を用いた分析手法を再整理し、観測データを用いてその妥当性を確認した。一連の分析より、観測地点とボトルネックとの位置関係によって観測され得ない領域が存在することが明らかとなった。これより、現在多く活用されている車両検知器などの地点観測データにおいては、このようなデータプロットの偏りを念頭において分析を進めていくことが必要と考える。地点観測にとらわれず、例えばビデオカメラにより面的に交通データが収集されれば、より正確な交通状況把握が可能と考えられよう。今後は、このようなビデオデータを用いて合流部などの交通錯綜部における容量について解析を進めて行く予定である。

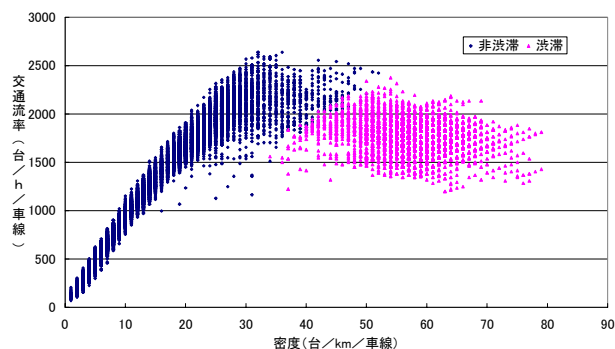
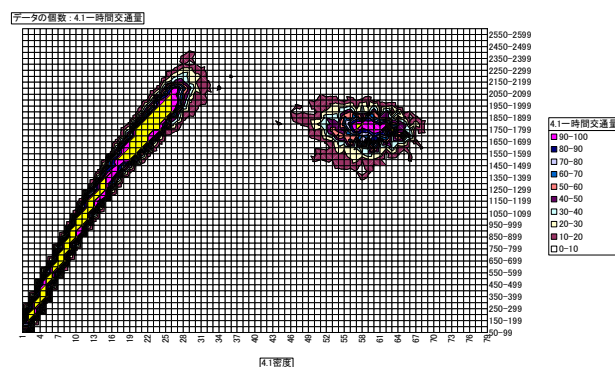
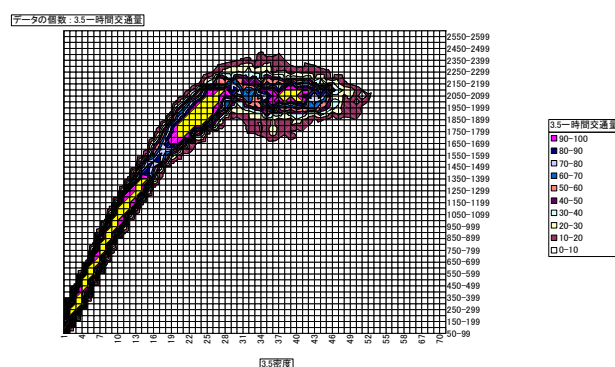


図 8 4.1kp 地点における Q - K 分布図



(a) 4.1kp 地点



(b) 3.5kp 地点

図 9 Q - K 頻度分布図

謝 辞

本研究においては、データの収集に関して阪神高速道路公団および(株)都市交通計画研究所、(株)交通システム研究所に多大なご協力を頂いた。ここに記して深謝致したい。

参考文献

- 1) Lighthill, M. J., and Whitham, G. B, "On Kinetic Waves II: A Theory of Traffic Flow on Long Crowded Roads" Proc. Royal Society, London, Series A, Vol. 229 (1178), pp. 317-345, 1955.
- 2) 例え Edie, L. C., "Car-Following and Steady-State Theory for Non-congested Traffic", Opns. Res., 9, 1, Am. 3, pp. 147-167, 1961