

都市高速道路における臨界速度の自動設定法の開発とボトルネック容量分析への適用

*千葉工業大学大学院 正会員 ○白石智良
千葉工業大学 正会員 赤羽弘和
首都大学東京 正会員 小根山裕之
横浜国立大学 正会員 田中伸治

1. はじめに

我が国の都市高速道路においては、渋滞が慢性的に発生し、旅行時間の損失や、安全面、環境面においても大きな影響を与えている。渋滞が発生すると、その緩和や解消を目的とし、交通管制官によって交通規制や情報提供などによる交通流制御が実施される。

渋滞の要因となるボトルネック箇所の検出や、そのボトルネックの交通容量は、交通集中に起因する通常時の渋滞であれば、ある程度の長い期間で蓄積された統計データから推定することが可能である。しかし、交通事故や工事規制等による突発渋滞に関しては、それぞれの事象において発生条件が異なってしまう為、統計的手法による予測が困難である。

近年、オンラインで取得した車両感知器の情報を基に、短期的将来の交通状況を推定する交通流シミュレーションをベースとした予測システムの開発が進められており、更なる渋滞の軽減が期待されている。突発渋滞の先頭部における交通容量は、車両感知器で実測せざるを得ないが、その他のボトルネックにおける交通容量も、このシミュレーションの精度に関わる重要なパラメータであり、交通集中による渋滞発生状況に基づいて、予め設定される必要がある。また、新規路線の建設や、車線構成の変更等の要因により、ボトルネック箇所やその交通容量は、短期的および中期的にも変動すると想定すべきである。したがって、これらのパラメータは、定期的に設定しなおす必要がある。

ボトルネック箇所の特定は、各車両感知器設置断面において一定期間の交通量-密度曲線を作成し、路線に沿って並べることで特定することが可能である。しかし、本研究が対象とする首都高速道路では、本線上に 2,500 か所を上回る車両感知器の設置断面が存在し、それら全てにおいて人手による、ボトルネック箇所特定や、交通容量の推定を行うことは困難である。

本研究では、リアルタイムに取得される車両感知器データと、過去の蓄積データを基に自動的に車両感知器設置断面ごとの臨界速度を推定することで、臨界状態、すなわち渋滞先頭において交通容量状態で取得された交通

量データのみを抽出する手法を開発した。また、この手法を応用的に使い、ボトルネック交通容量を推定する方法についても検討を行った。

2. 既存の研究

前述したように、ボトルネック箇所は道路環境等の条件に応じて、変化するため、本研究では、自動的に判定する手法を考える必要がある。

船岡¹⁾らは、時間帯・箇所毎に設定した臨界速度を基に、観測された速度データとの比較によって渋滞を判定する手法を提案した。しかし、臨界速度を設定した手法についての記述が特にされず、交通量-速度関係図等から判断した固定値を事前に設定しているものと思われる。本論文では、渋滞を判定する際の臨界速度についても周囲の状況の変化によって、時間的に変化していくものと考え、オンライン取得できる感知器データ等から、論理的に作成する手法を提案した。

赤羽²⁾ら、古川³⁾らは、臨界速度が、交通流の特性自体のみではなく車両感知器の特性較差にも起因して、地点によって異なると想定すべきであるとした。そのため、臨界速度の設定方法として画像処理分野において、白黒二値化に使用されている大津の閾値設定法を適用した。その上で、渋滞と判定された区間を連ねた最下流のリンクをボトルネック箇所とする手法を提案した。

大津の閾値設定法を用いた手法は、ある速度によって観測値群を分割してできる2つのクラスにおいて、クラス間分散が最大となる閾値速度を臨界速度と定めるものである。本研究では、オンライン予測システムを設定する上で、このような論理的手法は有効であるため、同種の手法を採用することとした。しかし、これらの論文では、大津の閾値設定法のみでは、設定の精度が十分でなく、それを補うための二次的な処理が行われている。

画像処理分野において、近年の画像処理分野では、大津の閾値設定法のような白黒二値化手法は幾つか存在し、処理の対象となるデータに適した手法を選択して使用している⁴⁾。本論文では、その一つである Kittler 法⁵⁾について、大津の閾値設定法と比較し、適用可能性と大津の閾値設定法に対する優位性について評価した。

ボトルネック容量を推定する手法としては、古川³⁾らが、渋滞区間を通過するための旅行時間を評価指標とし

+Keywords: ボトルネック容量, シミュレーション, キャパシティボール

* 連絡先: s1079502JG@it-chiba.ac.jp

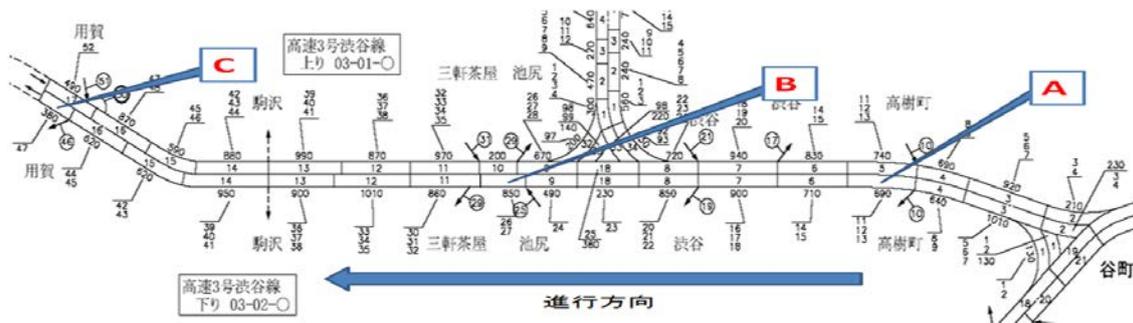


図-1 高速3号渋谷線全体図

て、ボトルネック容量を自動的にチューニングする手法を提案している。しかし、オフライン的な調整を想定しており、複数回シミュレーションを実行してパラメータを収束的に得るなど、リアルタイム処理には適していない。本研究では、リアルタイム処理の観点から、論理的な手法によってボトルネック容量を算出でき、オンライン予測システムのパラメータとして設定可能な手法を考慮した。

3. 対象データ

本研究では、首都高速道路の交通管制システムにより収集される車両感知器データのうち、地点5分間の交通量および速度データを使用する。これは、同一断面に設置された複数の感知器によるデータを道路横断方向に集計したものである。データの収集期間は、平成21年12月16日～3月26日の約3か月である。

4. 渋滞判定方法の開発

図-1は、首都高速3号渋谷線を示す。谷町ジャンクションから用賀へ向かう下り線では、図中Bの地点で織みとサグによるボトルネック箇所が存在し、ここを先頭とした渋滞が頻繁に発生している。

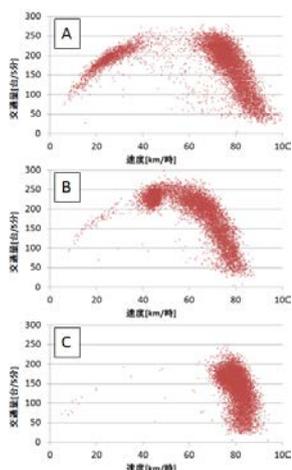


図-2 各地点での交通量-速度関係

図-2は、図中A～Cの地点での、交通量と走行速度の関係を示している。A地点は、ボトルネックの上流区間であり、非渋滞流と渋滞流の分布がはっきりと分かれて観測され、臨界状態は観測されていないことが判る。

B地点は、渋滞の原因となるボトルネック近傍の観測点であるが、臨界状態が観測され、周囲に比べて非渋滞での速度も低くなっているのがわかる。

C地点は、ボトルネック下流側の地点であり、ほとんどの時間帯で非渋滞流が観測され、速度の観測頻度が、高速域に偏っていることが判る。

本研究では、この特徴的な3つの地点について、Kittler法を用いて、大津の閾値設定法と比較した。

図-3に、本研究で使用するKittler法による臨界速度の決定イメージを示す。Kittler法は、対象領域の濃淡値と背景の濃淡値がともに正規分布に従うとの仮定のもとで、平均誤識別率に関する基準を最小とするような閾値選定法である。本研究では、渋滞流と非渋滞流の観測データの速度分布に2峰性があり、それぞれが正規分布に従うと仮定し、各地点で観測された濃淡値を速度に置き換えて適用した。渋滞側のサンプル数の少ない場合でも対応できる手法であると期待される。

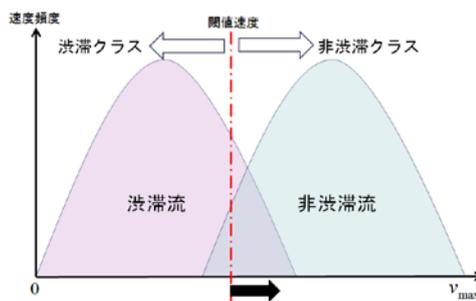


図-3 Kittler法による閾値決定のイメージ

5分間の観測周期内に渋滞流～非渋滞流間の遷移が発生すると、感知器データはいわゆる外れ値をとる。感知データ渋滞判定精度を向上させるために、この外れ値を除外する手法を採用した。

この手法では、速度区分毎に交通量の発生頻度を集計し、その中で最大の頻度に対して頻度が一定割合以下速度区分の観測データを除去する。これは、画像処理におけるエッジ強調処理に相当する。図-4の下図に、同処理の効果例を示す。エッジ強調処理前と同処理後とを比較すると、低密度の分布領域が消え、高密度領域のみが強調されていることが分かる。エッジ強調を行う割合に

よって除外結果に大きな変動が見られなかったため、今回は30%と定めた。

図4に大津の閾値設定法と Kittler 法、Kittler 法とエッジ強調処理を組み合わせた方法 (以後、Kittler+法とする) による、臨界速度を算出した結果を示す。

A 地点、B 地点においては、大津の閾値設定法と Kittler+法との結果の相違はほとんど無かったが、Kittler+法は、渋滞・非渋滞の速度の計測頻度分布の形状のより低い部分に設定されており、大津の閾値設定法よりも適切な閾値が得られているものと思われる。C 地点では、大津の閾値設定法においては、明らかに非渋滞と思われる部分に値が設定されているが、Kittler+法による設定値は、渋滞流と非渋滞流の間の臨界状態付近と思われる速度となった。この結果から、ボトルネック下流のような、ほとんど渋滞の起こらない箇所において、特に二次的な補正処理を加えずに適用できる可能性を示すことができた。但し、これらの箇所において Kittler 法をそのまま適用した場合と、エッジ強調を加えた場合では、全く同じ設定値となり、その効果は確認できなかった。

5. ボトルネックの検出と容量の設定

本研究が対象とする交通シミュレーションにより、渋

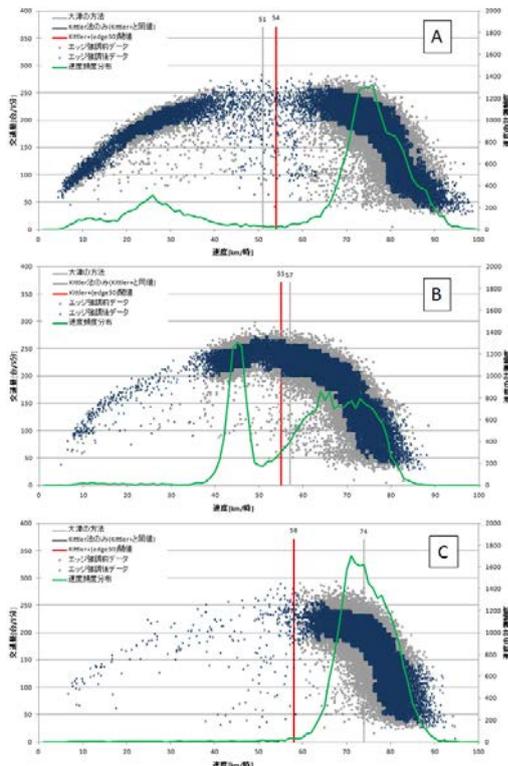


図4 各地点での手法による臨界速度の比較

滞状況や旅行時間の予測を行う上で、ボトルネック容量が重要なパラメータである。

割田ら⁹⁾の研究によると、ボトルネックの直下流では、交通量-速度関係図上の臨界状態においてキャパシティ

ボールと呼ばれる分布域が存在し、この分布域の交通量方向の幅がボトルネック容量の変動領域を示すと考えられると報告されている。

このキャパシティボールに相当する速度域は、その周囲と比較して発生頻度が高くなっていると考えられる。

また、ボトルネックの直近下流部について Kittler+を適用した場合、キャパシティボールの右、つまり非渋滞領域と臨界状態の領域の境界を示していると考えられる。

図4のB地点をみると、ボトルネック箇所において、Kittler+法を適用すると、臨界状態と非渋滞状態の閾値が得られると考えられる。これは、臨界状態での速度の計測頻度が高く、渋滞側の速度の計測頻度が極端に小さいために、2峰性を前提とした Kittler 法では、臨界状態と非渋滞状態の頻度の山の間に最適値が設定されたものである。同図のC地点では、非渋滞状態のわずかな計測頻度についても評価できることがわかっている。そこで、ボトルネック箇所では、Kittler+法を適用して得られた渋滞領域の観測データのみについて、更に Kittler+法を適用することで、臨界状態の観測データのみを抽出できると考えられる。抽出した臨界状態の感知交通量分布域が、ボトルネック容量の変動域に相当する。このようにアルゴリズム化が可能な手法によって、ボトルネック容量を推定することは、本研究が対象とする予測システムにおける、ボトルネック容量の自動パラメータ調整のために有効である。

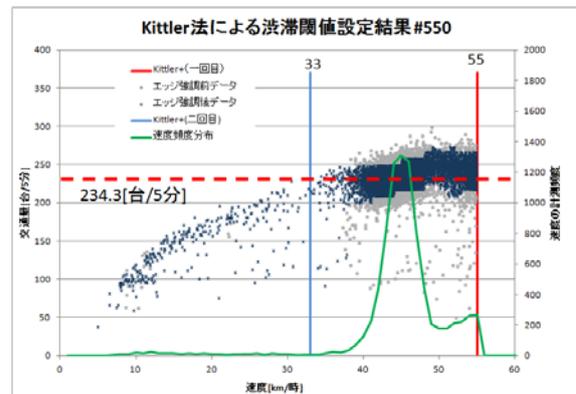


図6 臨界状態の抽出とボトルネック容量の設定例

抽出した臨界状態の感知交通量分布域が、ボトルネック容量の変動域に相当する。図6の例では、この領域の平均値の感知交通量の平均値としてボトルネック容量が234.3[台/5分]と設定された。しかし、ボトルネック容量の変動域は50~300台/5分と非常に幅広く、そのすべてにおいて1つの値で代表させるのは、予測システムの渋滞再現精度上好ましくない。そこで、ボトルネック容量の変動が起こりうる条件別に計測データを分割し、それぞれの交通量の50%タイル値を採用することとした。

条件として、以下の要因を考慮した。

- ・日種別 (平日、休日、土曜日)

- ・昼（日の出～日の入）、夜（日の入～日の出）
- ・降雨有無（降雨無し、0mm以上の降雨有）

表-1は、各条件の組み合わせで、B地点の臨界状態の観測データを分割し、それぞれの条件でのボトルネック容量を算出した結果である。

表-1 B地点での条件別ボトルネック容量

日種	昼夜	降雨	BN容量[台/5分] (サンプル数)
平日	昼	なし	242 (1,303)
		あり	223 (64)
	夜	なし	233 (4,151)
		あり	215 (243)
休日	昼	なし	240 (797)
		あり	{ 221 (5) }
	夜	なし	223 (1,079)
		あり	{ 217 (16) }
土曜日	昼	なし	236 (1,097)
		あり	{ 210 (23) }
	夜	なし	232 (847)
		あり	{ 228 (2) }

※{}は、サンプル数50以下

尚、予測システムの運用では、今回の分析でサンプル数が少なかった条件の組み合わせにおいても、継続的に運用し、蓄積した長期間のデータを使用することで、調整可能である。

ボトルネック容量が変動する条件について。シミュレーションにおいては、図-6のように、この領域の平均値をボトルネック容量として設定することとした。

ボトルネックの検出は、Kittler+法を一回適用して臨界速度を算出し、それに基づいた渋滞地点を路線に沿って並べ、その先頭部分をボトルネックと定めた。ボトルネックと判定された地点のみを取り出し、再度、Kittler+法を適用して臨界状態を抽出、上記の手法でボトルネック容量を算出する。

6 再現性の検証

図-7は、首都高速道路3号渋谷線下り線の1日(2012/1/18)の車両感知器データを使用して、一般に情報提供の際に用いられる渋滞、混雑の定義である20km/h、40km/hを閾値として渋滞判定を行ったものと、Kittler+法によって臨界速度を算出し、それに基づいて渋滞判定を行ったものである。渋滞と判定された地点を路線に沿って並べて、渋滞している区間のうち最下流の地点をボトルネック位置として特定する。この時、20km/h、40km/hで別けた場合には、ボトルネック箇所とみられるB地点(地点0550)の一つ上流側の地点を検出した。一方、Killer+法では、

B地点を得ることができた。

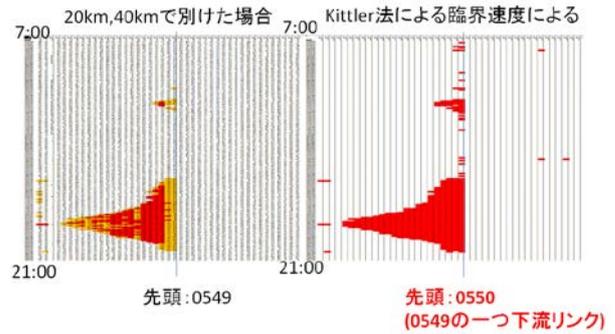


図-7 抽出ボトルネック箇所の比較

7. まとめ

画像処理分野の閾値設定法である Kittler 法を用いて、臨界速度を算出し、それを基に渋滞判定を行う手法(Kittler+法)を開発した。Kittler+法によって判定された渋滞箇所を路線に沿って連れ、その最下流の渋滞地点をボトルネックとして抽出したところ、通常情報提供で使用されている渋滞定義によって得られるボトルネック箇所よりも正しい地点を抽出できる可能性がある。今後は、検証の範囲を広域に広げ、他の路線における適用可否を調べるとともに、手法の更なる改良を進めていきたい。

謝辞

本研究においては、首都高速道路株式会社様より車両感知器データ等のご提供をいただいた。ここに記し、感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 船岡直樹, 割田 博, 桑原雅夫, 佐藤光: 首都高速道路における突発的ボトルネック判定手法構築に関する研究、平成23年度建設コンサルタント業務・研究発表会 [第11回] 論文集、pp.5-8、2011.
- 2) 古川 誠, 山崎 徹, 吉井稔雄, 赤羽弘和, 桑原雅夫: 交通流シミュレータのパラメータチューニングの自動化、土木計画学研究・講演集 No.22(2)、pp.841-844、1999.
- 3) 赤羽弘和, 越 正毅: 渋滞検出閾値のオンライン設定法、土木学会第42回年次学術講演会、第IV部門、pp.70-71、1989.
- 4) Geovanni Martinez: Criterion for Automatic Selection of the Most Suitable Maximum-Likelihood Thresholding Algorithm for Extracting Object from their Background in a Still Image, Proceedings of the IAPR Conference on Machine Vision Application(IAPR MVA 2005), pp.476-479,2005
- 5) J.Kittler and J.Illingworth: MINIMUM ERROR THRESHOLDING, Journal Pattern Recognition, Vol.19, No.1, pp.41-47, 1986
- 6) 割田博, 赤羽弘和, 船岡直樹, 岡村寛明, 森田緯之: 首都高速道路におけるキャパシティボールの抽出とその特性分析、土木計画学研究・講演集、VOL.29, 2004