

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 18 日現在

機関番号：32503

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560630

研究課題名(和文) 実時間交通シミュレーションのオンラインキャリブレーション

研究課題名(英文) online calibration for real-time traffic simulation

研究代表者

赤羽 弘和 (AKAHANE, Hirokazu)

千葉工業大学・工学部・教授

研究者番号：60184090

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、都市高速道路の実時間交通シミュレーションの精度向上のため、各種パラメータを自動設定、更新する手法を開発した。これにより、従来の所要時間の時間変動パターン等に基づく統計的な手法では対応し得ない事故等による突発渋滞発生時に、交通状況の高精度短期予測を実施し、利用者への適切な経路誘導等により時間損失等を軽減することを目指した。

具体的には、渋滞の有無を判定する閾値、センサーによる交通量計測値に含まれる偏りを渋滞時/非渋滞時別に補正する係数、渋滞先頭での交通処理能力、事故渋滞時の精度を向上させた交通量-交通密度モデルを、自動設定/更新する手法を提案し、一部の精度を首都高速道路対象に検証した。

研究成果の概要(英文)：In this study, I developed methods for automatically setting and updating various parameters in order to improve the precision of the real time traffic simulation of the urban expressways. Traffic conditions after occurrence of traffic congestion due to incidents cannot predict through the use of existing statistical techniques based on patterns of time fluctuations of travel times. The developed method aims at reducing time losses by adequate route guidance based on precision prediction of the traffic conditions. The methods can automatically set and update threshold values for detecting traffic congestion, coefficients that correct bias errors in detected volumes of free flow and congested flow individually, traffic capacity at tops of traffic congestion, and volume-density relationships that were improved in precision during traffic congestion due to incidents. In addition, some of the methods evaluated on the Tokyo Metropolitan Expressways.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学 土木計画学・交通工学

キーワード：交通シミュレーション 高速道路 突発事象 交通管制 予測 パラメータ同定

1. 研究開始当初の背景

(1) 突発渋滞発生時の交通管理における交通シミュレーション有用性

都市高速道路は一般道よりも高い水準の速達性と信頼性が要求される一方で、交通事故等の「突発事象」による交通障害の影響が極めて大きい。

突発渋滞の発生自体は予測困難であり、その発生を即時検出したうえで、それ以降の交通状況の短期的変化を、交通シミュレーションにより予測、把握することが有力な対応策の一つである。

すなわち、予測した交通状況に基づいて、迂回先で新たな渋滞を発生させないように配慮をしつつ、利用者を適切に経路誘導する等により、時間損失等の軽減を図ることが、交通サービスの信頼性向上や渋滞による追加的排出量の削減に直結する。

(2) オンライン自動キャリブレーションによるパラメータの精度管理の必要性

都市高速道路を対象として交通シミュレーションを実施するには、各ボトルネックの交通容量、道路区間毎の交通量-交通密度曲線等、多数のパラメータを設定する必要がある。しかも、これらのパラメータ値は箇所毎に、かつ時間帯毎に設定する必要があるばかりか、中・長期の変動にも追従させる必要がある。これらの精度管理を人手で実行することはほぼ不可能であり、オンライン収集データを適用してパラメータ値を継続的に自動更新することが必須である。

(3) 感知交通量の偏り補正の重要性

パラメータ値のオンライン更新における主要なデータは、車両感知器による交通量の計測値である。

本線上の分・合流部近傍のように車線変更が集中する箇所では、同一車両の各車線での重複感知あるいは不感知が発生し、感知交通量に偏りが発生することが避けられない。また、車両感知器自体の特性変化による感知領域の増減等が、偏りの発生をもたらす可能性もある。

この偏りを放置することは、交通量と車両保存則とが矛盾を来し、出入りのない区間で車両が出現、消失することになり、シミュレーションには全くなじまない。

2. 研究の目的

(1) 感知交通量の偏りの発生状況をビデオ実測で明らかにし、道路網全体での偏り補正効果を検証する。

(2) ボトルネック容量、道路区間毎の交通量-交通密度曲線等の交通流に関わるパラメータ値の時空間的な変動特性を、感知データ等の分析とビデオ実測で明らかにする。

(3) シミュレーションにおける各種設定パラメータ精度の感度分析、及び提案キャリブレーション手法による包括的な予測精度改善効果を検証する。

3. 研究の方法

(1) 渋滞検出閾値の自動設定・更新

交通量-速度の散布図に、画像工学の二値化処理を施した上で、二峰性速度分布の閾値選定法に、Kittlerの方法を適用し、渋滞検出閾値(臨界速度)を自動設定・更新する。

(2) 感知交通量の偏り補正係数の自動設定・更新

従来の放射線のみを対象にした設定・更新方法を、JCTの接続路に設置された車両感知器も補正対象とすることにより、首都高速道路網全体を補正対象とする。そのため、隣接断面間の偏り補正後の交通量の比較関係を示すカルマンフィルタの観測方程式および観測誤差共分散の定義を拡張する。その推定結果を、ビデオ実地観測により検証する。

(3) ボトルネックの自動判定と同交通容量の自動設定・更新

車両感知器の各設置点に設定した渋滞検出閾値を適用し、同時刻に渋滞が検出された地点を空間的に連ね、その下流端を渋滞先頭としてボトルネックを自動判定する。次いで、ボトルネック地点が実際に渋滞の先頭となっている時点での感知交通量を、ボトルネック容量のサンプル・データとして収集・蓄積する。平均値またはモード値としてボトルネック容量を推定する。

(4) 交通量-密度関係の設定

本研究においては、首都高速道路にオンライン実装されている交通流シミュレーションモデル RISE を対象とする。RISE は、車両移動計算に非渋滞側と渋滞側をそれぞれ直線で近似した交通量-密度(Q-K)関係を用いる。本研究では、Q-K関係における設定断面選択手法の改良と、渋滞時のQ-K関係を交通量の高低ごとに3本の直線で近似して、特に突発渋滞発生時の旅行時間推定の再現精度向上を目指す。

4. 研究成果

(1) 渋滞検出閾値の自動設定

図1に、既存研究で適用された大津の閾値設定法と、本研究が提案するKittler法及び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)を、首都高速3号下り線の3断面に適用した結果を示す。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閾値選定法である。

A(高樹町)断面は、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明確に区分されて観測され、臨界状態は観測されていない。B(池尻)断面は、渋滞の原因となるボトルネック近傍の観測点であり、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。C(用賀)断面は、ボトルネック下流側の地点で、ほとんどが非渋滞状態の観測値で、平均速度の観測頻度が高速域

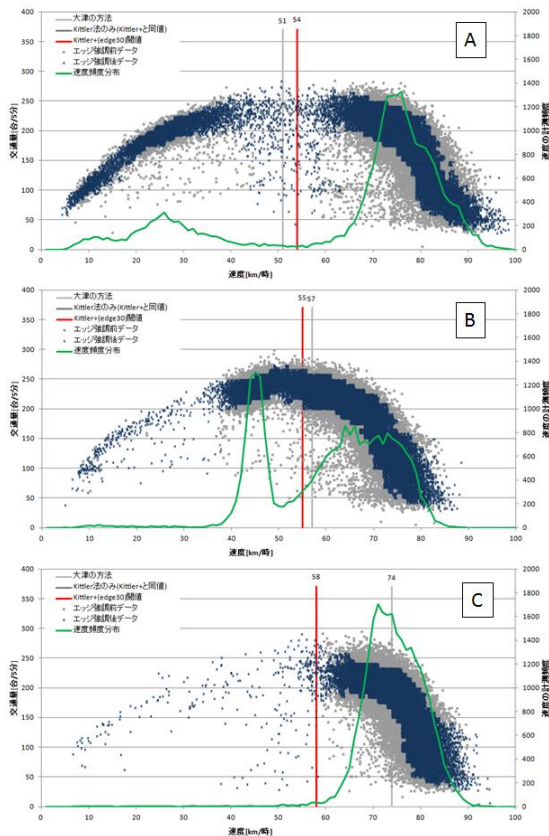


図1 渋滞検出閾値の自動設定例

に偏っている。

A及びB断面においては、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いることから、大津の閾値設定法よりも適切な閾値が設定できていると判断される。C断面では、大津の閾値設定法においては、明らかに非渋滞と推定される領域に閾値が設定されている。しかし、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判断される速度となった。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、同じ設定値となり、外れ値の除去による精度向上の効果は確認できなかった。

(2) 臨界状態の抽出と交通容量の自動設定

渋滞の先頭、すなわちボトルネックに対して、Kittler+法を適用して得られた臨界域と渋滞域の観測データを対象に、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した。このようにアルゴリズム化が可能な手順によって、ボトルネック容量を推定することは、ボトルネック容量の自動設定/更新に有効である。図2の例では、このようにして33km/時と55km/時との間を臨界領域として設定している。

図3は、首都高速道路3号渋谷線下りの1

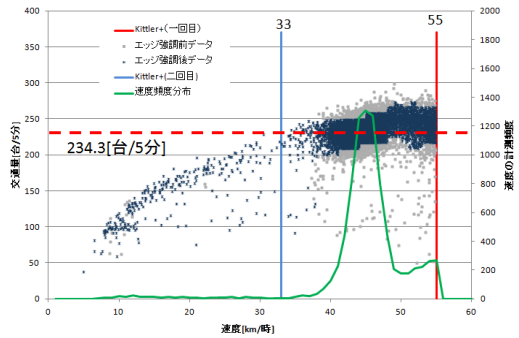


図2 臨界状態の抽出と交通容量の設定例

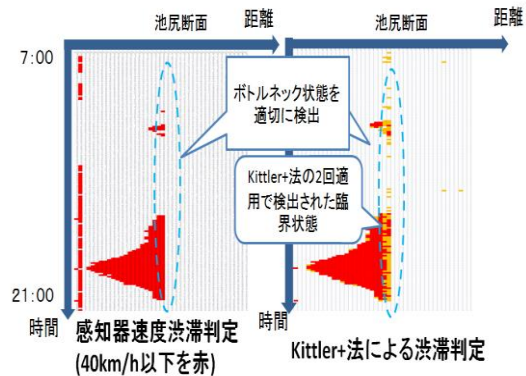


図3 抽出されたボトルネックと感知速度分布

表1 B断面の交通容量と変動要因

日種	昼夜	降雨	観測数	交通容量 [台/時]	※1
平日	昼	なし	1276	2889.3	100.0-
		あり	52	2743.6	95.0*
	夜	なし	4009	2801.5	97.0*
		あり	177	2658.7	92.0-
休日	昼	なし	401	2877.3	99.6-
		あり	3	2716.0	94.0-
	夜	なし	551	2718.0	94.1*
		あり	2	2801.5	97.0-
土曜	昼	なし	1020	2829.1	97.9*
		あり	13	2654.8	91.9-
	夜	なし	824	2779.8	96.2*
		あり	2	2736.0	94.7-

※1 平日・昼・降雨なしのBN容量を100とした時の割合

* 平日・昼・降雨なしの容量値との平均値の差の有意確率が1%未満

日(2012/1/18)の車両感知器データを使用し、臨界状態の検出精度を検証した結果である。同図では、Kittler+法を適用して得られた渋滞状態を赤で、Kittler+法の2回適用により検出された臨界状態を黄で示す。提案手法によって、ボトルネック近傍の単断面の感知器データより、臨界状態を適切に検出できることが分かる。

表1は、図2の例を日種、昼夜、降雨の有無の変動要因別に、臨界状態の感知交通量を層別した結果である。ボトルネック容量値に

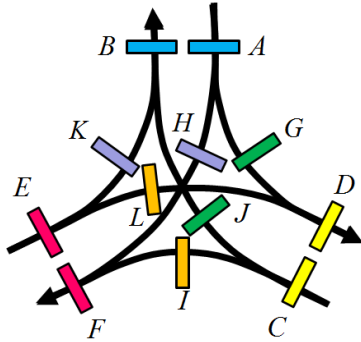


図4 JCT部の感知器設置断面

表2 バイアス補正に適用したデータ

収集項目	東京線の交通量と平均速度
収集周期	5分間
収集期間	2012年12月～2013年1月
収集断面	840

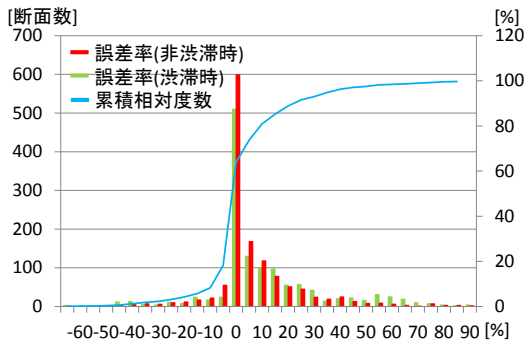


図5 全断面のバイアス誤差率の分布

は、各層の臨界状態時の観測交通量の50%タイル値を設定した。

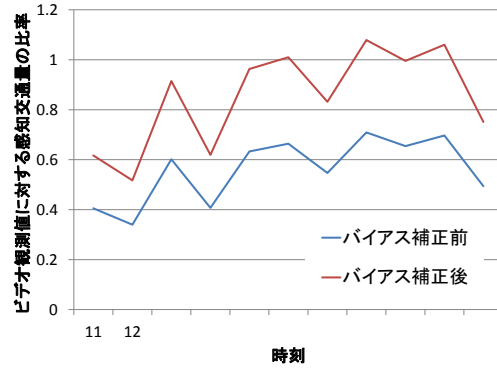
平日においては、降雨の影響で、昼、夜共に交通容量が5%程度低下している。また、曜日に関わらず、昼より夜の容量が、数パーセント程度低下している。これらの平均値の差は、統計的にも有意となった。さらに、平日と土曜にも、統計的に有意な差が確認された。

(3) 感知交通量のバイアス補正

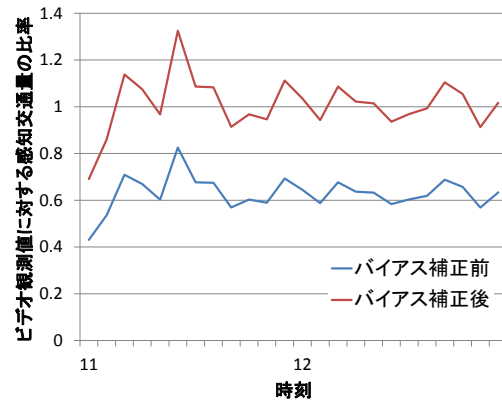
図4に、首都高速道路の一般的なジャンクション部と感知器設置断面を示す。は、それぞれの車両感知器設置断面での時間的に連続して同時に計数された通過車両台数とする。

隣り合った感知器設置断面間の交通密度が、計測開始時と計測終了時で等しいと仮定したときには、ジャンクション分流部及び合流分において、計6等式が成立する。式(1)～(3)の関係が成り立つ。

これらに、上記の交通密度差および感知交通量の偶然誤差を仮定し、非渋滞時と渋滞時の別に、各感知器設置断面の感知値交通量をカルマンフィルタにより最小二乗推定するアルゴリズムを定式化した。



(中央環状線外回り船堀・2013年1月8日・非渋滞時)



(中央環状線外回り船堀・2013年1月11日・渋滞時)

図6 補正精度の検証例

表2に、バイアス補正値の推定に用いたデータを示す。図5に、対象区間で推定したバイアス誤差率の分布を示す。補正値の分布形状を見ると、感知交通量は、実際の交通量よりも多く計数している傾向があり、分布の幅は実際の通過交通量の倍半分に達していることが分かる。

図6には、中央環状線でのビデオ観測値に対する感知交通量の比率の時間変動を示す。バイアス補正後に同率が1.0前後で推移しており、補正効果が確認できた。高速5号池袋線上り西神田の渋滞時には、バイアスを補正しきれなかった。高速3号渋谷線上り高樹町では、ビデオ観測箇所選定時の推定結果とは異なり、バイアス誤差がほとんど発生していなかったが、補正係数値もほとんど1.0と適切に推定できた。高速6号向島線上り箱崎では、実際のバイアス誤差の発生状況と矛盾する補正係数値となった。この近傍の断面では連続してバイアス誤差が大きく推定されたため、推定設定の再確認が必要である。

(4) 渋滞側二層型交通量・密度関係

RISEでは、複数の感知器設置断面を合わせて1道路区間(リンク)と見なしている。各リンクにおいてQ-K関係を設定するための感知データを収集する代表断面は、これまで経験的に選択されてきた。本研究では、交通シミュレーションの精度向上を目指し、代表断面を以下の条件で選定することとした。

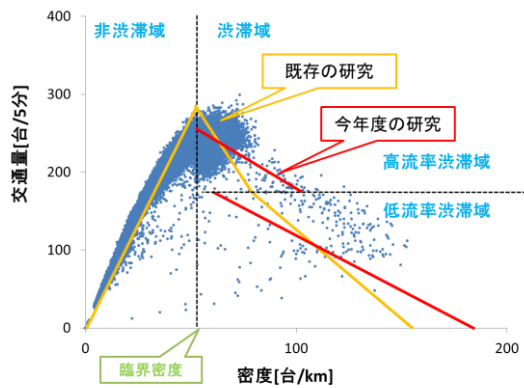


図7 渋滞側二層型のQ-K関係例

表3 Q-K関係設定用データ

データ収集期間	2009/12/16~2010/3/26
対象区間数	411
対象地点数	1092
データ種別	5分間交通量
	5分間平均速度

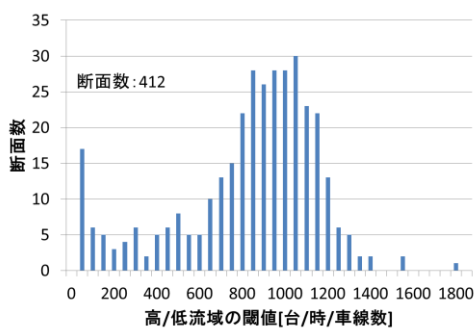


図8 高/低流率閾値の分布

- ① 渋滞時の感知交通量のバイアス誤差率(偏り)が渋滞-20%~40%の範囲にある。
- ② Kittler+法による臨界速度が、同じ路線の連続した断面における平均値から標準偏差の2倍以内である。
- ③ ①および②を満足する断面中でリンク中心に最も近接していること。

本研究では、当初は渋滞側を2本の直線で近似しつつも、高流率近似直線は非渋滞側近似直線と臨界密度で交差、高/低流率近似直線で交差するように制約していた。しかし、図7に示すように、このような制約は、交通シミュレーション上は不要である一方で、近似精度を低下させるのみため、最終的には廃止した。ただし、低流率近似直線は高/低流率の境界線と臨界密度より高い密度で交差するように制約した。

Kittler+法を渋滞時の交通量の頻度分布に適用し、高流率渋滞と低流率渋滞とに区分する閾値を設定した。表3に使用データを、図8に高/低流率閾値の分布を示す。

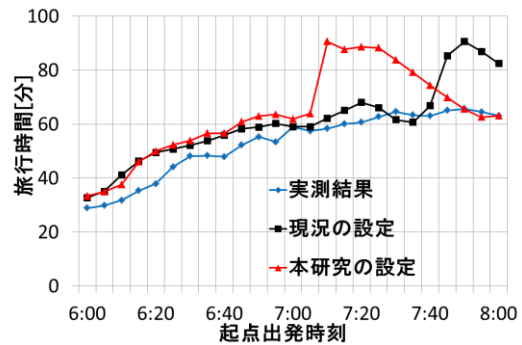


図9 迂回経路における旅行時間の比較

2010年2月24日に都心環状線外回りの竹橋JCT下流において発生した事故渋滞の再現シミュレーションを実施した。図9に、迂回経路の旅行時間の比較結果を示す。現況の設定と比べ、本研究設定では7:00ごろまでの旅行時間が実測結果に近づいた。7:00以降も発生時間帯は異なるものの実測結果の最大旅行時間を概ね再現できた。これは渋滞末尾が熊野町JCTの上流に延伸し、迂回経路の疎通を妨げているためと推定される。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計3件)

- ① Tomoyoshi SHIRAIISHI, Hirokazu AKAHANE, et al.: METHOD OF AUTOMATICALLY SETTING CRITICAL SPEEDS OF URBAN EXPRESSWAYS: ALGORITHM AND ITS APPLICATION, Proc. of 9th European ITS Congress, 査読有, CD-ROM, 2013.
- ② 白石智良, 赤羽弘和, 他: 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, 交通工学研究会, 第32回交通工学研究発表会論文報告集, 査読有, CD-ROM, 2012.
- ③ 白石智良, 赤羽弘和, 他: 都市高速道路の感知交通量のバイアス補正手法の開発, 交通工学研究会, 第32回交通工学研究発表会論文報告集, 査読有, CD-ROM, 2012.

[学会発表] (計1件)

- ① Tomoyoshi Shiraiishi, Hirokazu Akahane: DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM OF AUTOMATICALLY SETTING CRITICAL SPEEDS ON URBAN EXPRESSWAYS, Proceedings of 18th World Congress on Intelligent Transport Systems, CD-ROM, 2011.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

赤羽 弘和 (AKAHANE, Hirokazu)

千葉工業大学・工学部・教授

研究者番号: 60184090