

スマートトラフィックセンサーを活用した渋滞末尾位置の予測と情報提供について Prediction and Information Provision of Traffic Jam Tail Positions Using Smart Traffic Sensors

塩原 正夫¹, 鈴木 道弘¹, 本多 浩², 戸津 貴弘², 佐野 可寸志³

Masao SHIOHARA¹, Michihiro SUZUKI¹, Hiroshi HONDA², Takahiro TOTSU² and Kazushi SANO³

都市間高速道路の重交通を担う路線では、平日の朝夕の混雑時間帯において、サグ部などをボトルネックとする交通集中渋滞が恒常的に発生している区間が少なくない。渋滞発生状況は、車両感知器で計測されたデータを基に生成・提供しているが、整備間隔は概ね2 kmであり、実際の渋滞発生状況に合致した情報を利用者に提供することが難しい。

この課題の解決策として、マイクロ波によるスマートトラフィックセンサーを用い、道路延長方向の“一定範囲の交通密度 κ を把握する”ことで、ショックウェーブ（衝撃波）理論式から渋滞末尾の位置を予測して、利用者により細やかな情報を提供することを検討した。

本稿は、スマートトラフィックセンサーの機器性能ならびに既往の現地実測データを基に、本検討形式のロジックを報告するものである。

Keywords: 交通集中渋滞, 交通密度, ショックウェーブ, スマートトラフィックセンサー

1. はじめに

都市間高速道路の中でも東名高速道路や名神高速道路などの重交通を担う路線では、平日の朝夕の混雑時間帯において、サグ部や分合流部をボトルネックとする交通集中渋滞が恒常的に発生している区間が少なくない。

首都高速道路や阪神高速道路などの都市高速道路では、交通量や占有率（オキュパンシー）を計測するための車両感知器が概ね300m~600mの間隔で整備されており、1基当たりの勢力範囲が狭いことから、実際の渋滞発生状況にほぼ合致した情報提供を行うことができる。

一方、都市間高速道路では、重交通路線においても車両感知器は概ね2 km間隔の整備であり、1基当たりの勢力範囲が広いことから、実際の渋滞発生状況に合致した情報を利用者に提供することが難しい。「IC入口情報板で渋滞2 kmと表示されていたので、このぐらいならと高速に入ろうとしたら、料金所情報板では渋滞4 kmになっていた。僅か数秒で2 kmも延伸しないだろ。ちゃんとした情報を提供してほしい。」といった内容の苦情が、利用者から寄せられることもしばしばである。

利用者に提供するイベント情報は、車両感知器などの路側情報設備から道路管制センターに送信された情報を、中央情報処理システムで演算・生成する。渋滞発生後の渋滞末尾の情報は、中央情報処理システムでの自動イベ

ント生成による提供の他、CCTVカメラなどの映像を補完して、道路管制センターの司令が手入力イベントを提供することもできる。しかしながら、この手法で対応できるのは各種設備が整った一部区間に限られ、人的な面からも一般的な手法とはなり得ない。

他方、交通工学においては、渋滞末尾の延伸・縮小伝搬速度は、ショックウェーブ（衝撃波）理論式により求めることができる。この理論式の適用に当たり、最も重要なパラメータが“交通密度 κ ”である。交通密度は交通量とは異なり、道路延長方向の一定区間内に存在する車両を同時に観測して台数計測する必要があるため、従来の道路横断方向に設置されている、“点または線”で計測する車両感知器での“直接観測”は困難であった。

この課題の解決策として、マイクロ波を道路延長方向に照射し、“一定区間内の交通密度 κ を把握することができる”、スマートトラフィックセンサーを用い、ショックウェーブ（衝撃波）理論式から渋滞末尾の位置を予測して、利用者により細やかな情報を提供することを検討した。

本稿は、スマートトラフィックセンサーの機器性能ならびに現地実測データを基に、本検討形式のロジックを報告するものである。

1 正会員, セフテック株式会社 (〒113-0033 東京都文京区本郷 5-25-14 Phone: 03-3811-3188)

e-mail: m-shiohara@saftec.co.jp

2 賛助会員, セフテック株式会社

3 正会員, 博士 (工学), 長岡技術科学大学大学院

2. スマートトラフィックセンサー

2.1 従来の車両感知器との相違

従来の車両感知器とスマートトラフィックセンサーとの相違の概念図を、**図1**に示す。

従来の車両感知器が、“道路横断方向に設置されて点または線で計測する”のに対し、スマートトラフィックセンサーは、“道路延長方向の一定区間に存在する車両を同時検出できる”ことが、最も大きな相違点である。

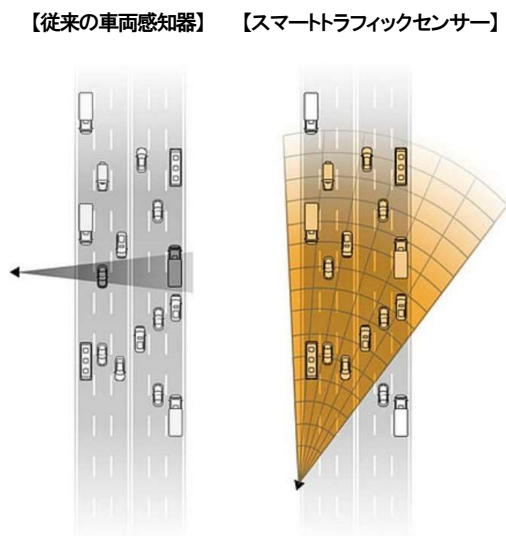


図1 従来の車両感知器との相違概念図

2.2 機器性能および仕様

弊社の受注業務において、現在使用している「TYPE29」モデルの外観および機器性能を、**図2**に示す。

マイクロ波（利用周波数24GHz）を道路延長方向に照射し、各物体からの反射波を受信する。車両検出可能範囲は道路延長方向で160m、道路横断方向では最大4車

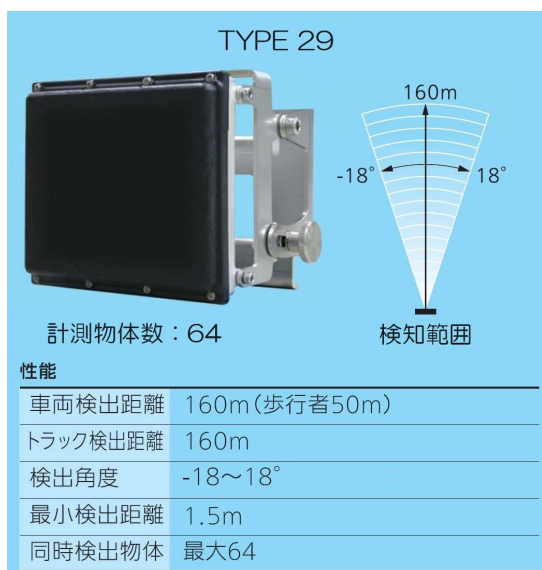


図2 TYPE29の外観および機器性能

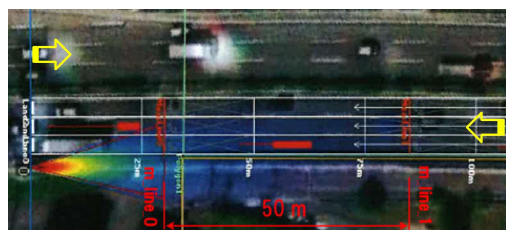
線（上下方向合計または片側方向）までの範囲で、車線別、車種別（普通車、大型車、二輪車、歩行者）に移動物体を計測することができる。検出した物体に、0番から63番までのIDを付与することで、最大64物体を同時検出できる。このID付与は、計測時間中は無限に自動ループしていく。

2.3 計測方法

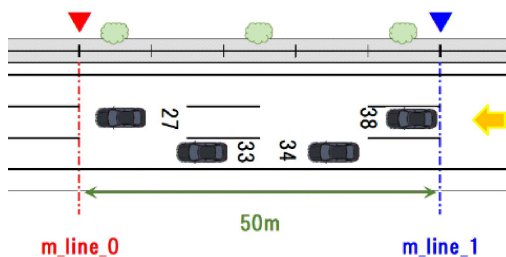
道路延長方向の車両検出可能範囲内に、最大4本の計測線（m_line:メジャーライン）を設置することが可能で、この計測線をID付与車両が通過した際に、通過時刻（yyyy/m/d hh:mm:ss）や速度（m/s）が記録される。

計測結果の事例として、長岡技術科学大学が、2022冬期に国道8号下り線（片側3車線区間）において計測したデータ（2023年1月30日18時20分）の模式図を、**図3**に示す。ここでは、上流側と下流側に、50m離して2本の計測線（m_line_1~m_line_0）を設定した。この50m区間内を1秒毎に計測・集計して1分間平均値を求め、上流側の交通流も同様であると仮定して、1km区間の交通密度 κ に変換（20倍:1,000m/50m）することとした。

集計した結果、50m区間内の車両は3車線合計で165pcu台/分であり、1秒間平均は2.75pcu台/秒となる。よって、18時20分断面での交通密度 κ は、 $2.75 \times 20 = 55$ pcu台/kmとなる。降雪日でもあり、各車が車間距離を確保しながら安全な速度で走行していることが窺える。



【18:20:13 断面】



【18:20:38 断面】

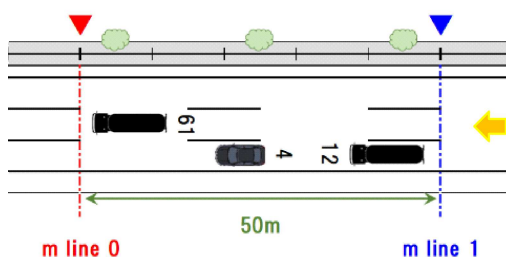


図3 国道8号の計測結果の模式図

3. ロジックの概要

3.1 検討の流れ

スマートトラフィックセンサーを用いて交通密度 κ を計測し、ショックウェーブ（衝撃波）理論式に代入して渋滞末尾の位置を予測するロジックの構築について、検討の流れを、図4に示す。

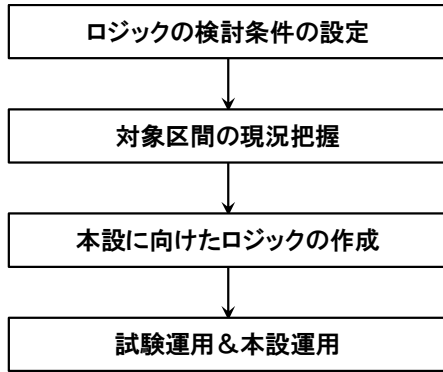


図4 検討の流れ

(1) ロジックの検討条件の設定

- ① 首都高速道路等を対象とした既往の交通シミュレーションモデルを参考
- ② インプット・アウトプット法 (IOM) の適用検討
- ③ 対象ボトルネック区間の上流側へのショックウェーブ式の構築
- ④ 対象区間の現況把握に必要なスマートトラフィックセンサーの配置計画

(2) 対象区間の現況把握

- ① 仮配置
検討から求めた配置計画によるスマートトラフィックセンサーの仮配置
- ② 通常期の状況把握
平日渋滞区間では月曜～金曜の渋滞発生状況を“面的に”把握

③ 回帰式の算定

対象区間のボトルネック交通容量 Q_{cb} および $q-\kappa$ 関係を回帰

(3) 本設に向けたロジックの作成

① ロジックの作成

求められた回帰式を基にロジック（演算式、トリガー、仮設情報板での提供内容 等）を作成

② 本設配置計画

スマートトラフィックセンサーの設置位置、設置台数および仮設情報板の位置等を決定

(4) 試験運用 & 本設運用

① 試験運用

ロジック（演算結果による渋滞末尾位置 等）と現況（渋滞発生状況）に乖離がないかを確認

② ロジックのブラッシュアップ

試験運用結果を基に、その区間の渋滞発生状況に合致したロジックにブラッシュアップ

3.2 インプット・アウトプット法 (IOM) の適用

インプット・アウトプット法 (IOM) を用いた基本的な考え方を、図5に示す。

渋滞発生後の情報提供を、1分を目途に更新していくことを考慮し、ボトルネック地点から上流側に1km区間毎に“一つの車群”として捉え、あるスキャン時間 dt に移動するこの車群をインプット交通量、ボトルネックから流出する車群をアウトプット交通量、ボトルネックに留まる交通量を待ち行列とする。

3.3 対象区間の現況把握

通常期の現況把握に必要なスマートトラフィックセンサーの配置計画を、図6に示す。対象ボトルネック区間の上流側へのショックウェーブ（衝撃波）理論式の構築には、ボトルネック地点から2km程度上流側の範囲を“同一時刻歴で面的に捉える”必要がある。よって、配置間隔を500mとしてこの区間の現況を把握するものとする。

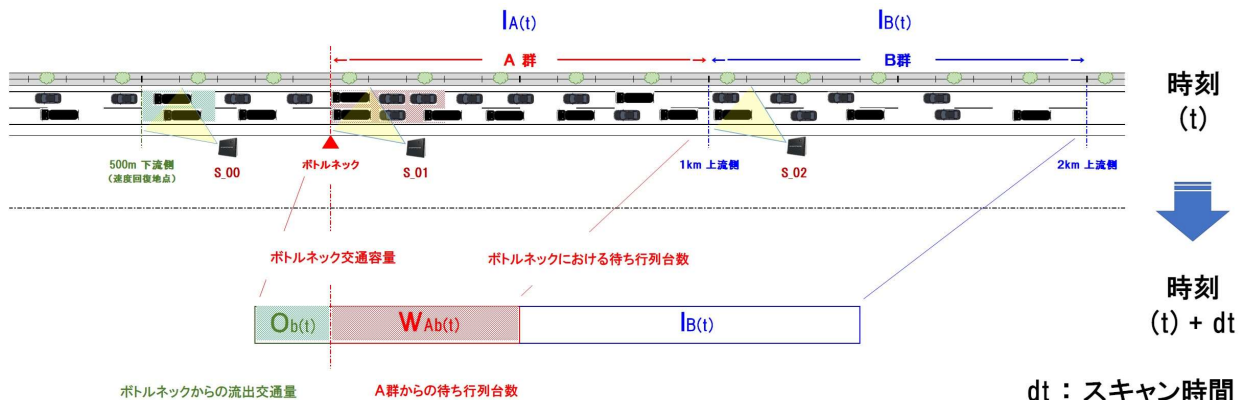


図5 インプット・アウトプット法 (IOM) を用いた基本的な考え方

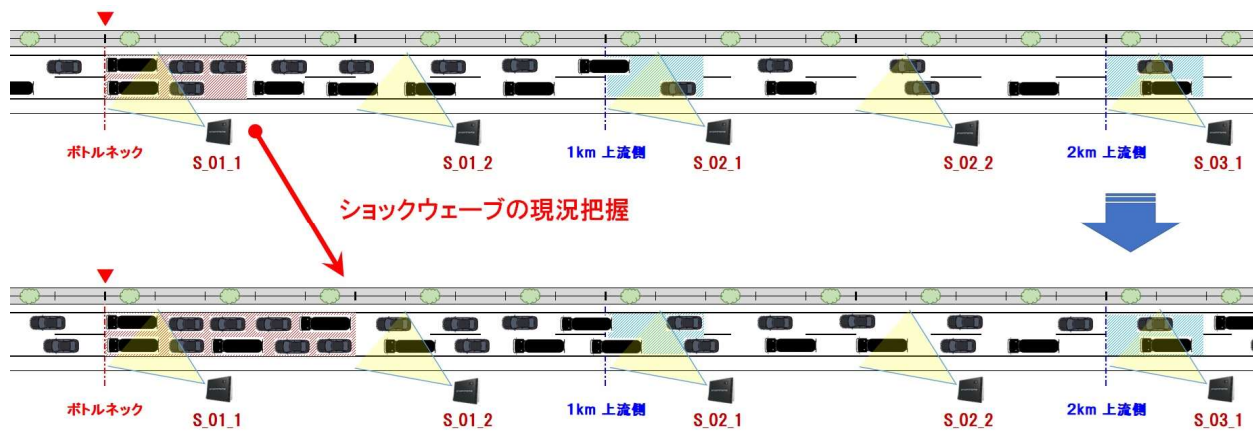


図6 現況把握に必要なスマートトラフィックセンサーの配置計画

3.4 回帰式の算定

(1) ショックウェーブ（衝撃波）理論式

本検討に用いるショックウェーブ（衝撃波）理論式は次式(1)のとおりである。この理論式に、以下に述べる回帰されたパラメータを代入することで、延伸・縮小の伝搬速度を求めることができる。

$$u_s = \frac{A - Qc}{k_1 - k_2} \quad (1)$$

伝搬速度： u_s

渋滞流区間：ボトルネック交通容量 Qcb 、交通密度 k_2

非渋滞流区間：交通需要 A 、交通密度 k_1

(2) 交通容量 Qcb の回帰

500m 間隔で配置したスマートトラフィックセンサーで計測されたデータから、それぞれの箇所 $q-v$ 関係図を作成し、最も捌け交通量が小さな箇所をその対象区間のボトルネックとして、交通容量 Qcb を回帰する。

なお、前後区間に連絡等施設の分合流や、他のサグ・クレストが存在する場合には、渋滞発生後にボトルネック位置が上流側や下流側に大きく移動したり、渋滞の車群が分散・一体化を繰り返す場合が散見される。

回帰に当たっては、こうした状況が発生する頻度やその状態の継続時間なども検証し、ロジックの作成にどう反映させていくのかを考慮する必要がある。

(3) $q-\kappa$ 関係式の回帰

本検討に用いる $q-\kappa$ 関係式の概念図を、図7に示す。 $q-\kappa$ 関係式は通常2次曲線で近似されるが、演算時間の短縮・簡便化を考慮して、直線的に置き換えるものとする。回帰された $q-\kappa$ 関係式は実台数から構成されているため、大型車混入率による変動を考慮し、乗用車換算台数 pcu へ変換する。今回は演算時間の短縮・簡便化を考慮して、換算係数は2.0を採用する。

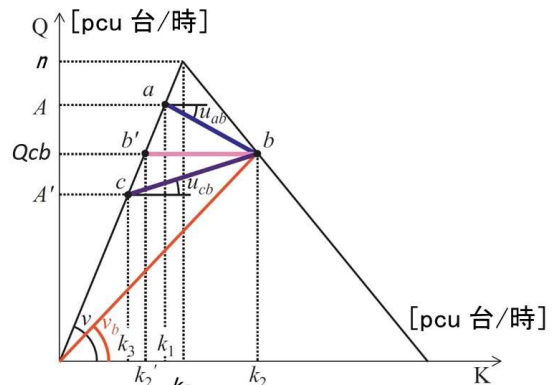


図7 $q-\kappa$ 関係式の概念図

3.5 本設に向けたロジックの作成

試験運用ならびに本設運用の概念図を、図8に示す。

求められた回帰式を基にロジック（演算式、トリガー、情報提供内容等）を作成する。

(1) 現況再現におけるパラメータの設定

交通集中渋滞発生後の捌け交通量が、渋滞発生時容量よりも低下する現象（Capacity Drop）が見られる。これは、渋滞延伸に伴い渋滞巻き込まれ時間が長くなるため、運転手が疲労して追従挙動が緩慢になることが要因とされている。現況再現に当たっては、ボトルネック交通容量 Qcb ならびに $q-\kappa$ 関係式を、渋滞発生経過時間とともにアジャストさせていくパラメータの設定が必要となる。

(2) システム構成

システム構成の概念図を、図9に示す。弊社の受注業務において、現在使用している「スマートカウント」システムを利用し、スマートカウントサーバーの演算機能を強化させたものとする。

(3) 仮設情報板での提供内容

仮設情報板によるお客さまへの情報提供内容は、以下のループを基本とする。

- ① 交通需要 A がボトルネック交通容量 Qcb に近づいてきたら、上流側の情報板で「渋滞予測あり」を点灯

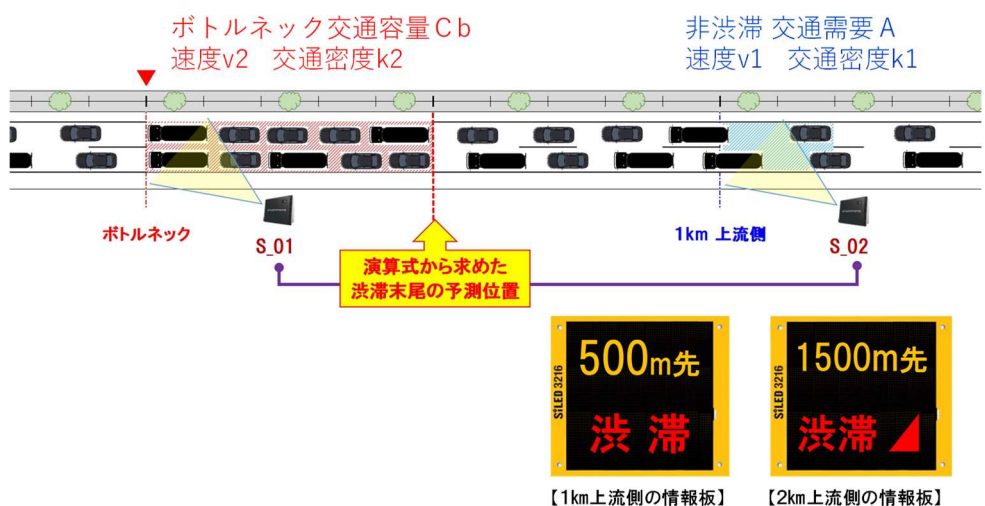


図8 試験運用ならびに本設運用の概念図

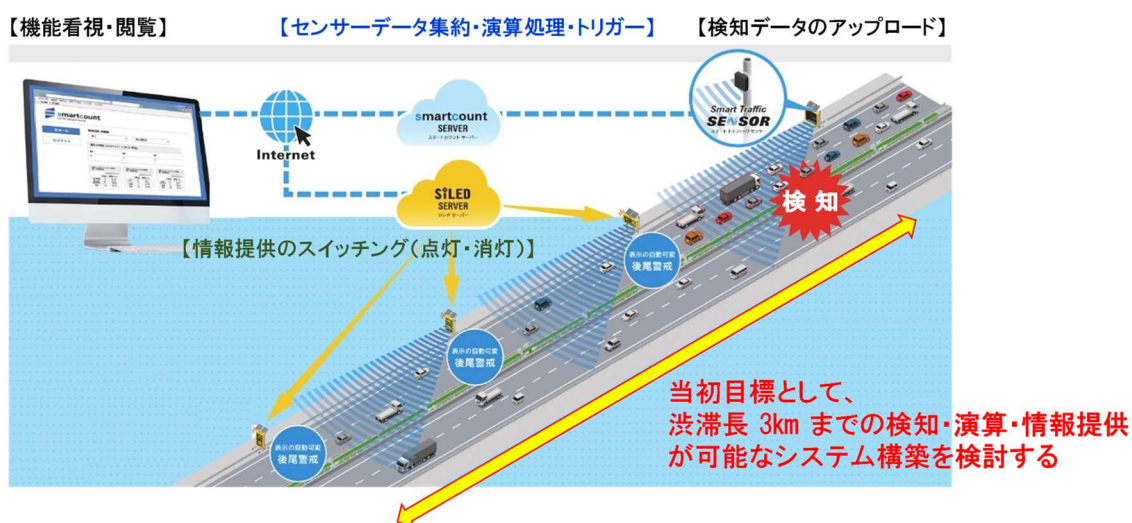


図9 システム構成の概念図

- ② 閾値速度からの速度低下状態を確認したら、上流側の情報板で「この先 渋滞」を点灯
- ③ 渋滞発生中は、渋滞区間および非渋滞区間の交通量 Q 、交通密度 κ 、速度 v の計測・演算を、1分を目途に更新
- ④ 更新されたパラメータをショックウェーブ理論式に代入して伝搬速度を求め、現在位置からの渋滞末尾の延伸・縮小演算結果を、上流側の情報板で「〇〇m先 渋滞」を点灯
- ⑤ 閾値速度からの速度回復状態を確認したら、上流側の情報板を消灯

4. おわりに

本稿では、従来の車両感知器での“直接観測”が困難であった“交通密度 κ ”を、マイクロ波を道路延長方向に照射する、スマートトラフィックセンサーを用いることで計測が可能となり、ショックウェーブ理論式から渋滞末尾の位置を予測して、利用者により細やかな情報提

供ができる検討結果を報告した。

また、スマートトラフィックセンサーについては、道路延長方向の車両検出範囲の延長や同時検出物体数の拡張など、現行のTYPE29モデルよりも高度な計測・分析が期待できる後継モデルを、受注業務での現場配置に向けて準備中である。

参考文献

- 1) 一般社団法人 交通工学研究会：道路交通技術必携 2018, 丸善出版株式会社, 2018.