

都市高速道路の感知交通量のバイアス補正手法の開発

*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
アイ・トランスポート・ラボ 正会員 森田緯之
アイ・トランスポート・ラボ 正会員 堀口良太

1. はじめに

都市高速道路の管制システムでは、車両感知器からの情報を処理することにより、交通量、速度などの交通状態量を算出している。算出した交通状態量により、道路網全体の交通状況が把握され、それに基づいて流入制御や交通情報の提供などの交通流制御が行われている。

近年、交通流シミュレーションをベースとし、最新の交通状態量と事故等の突発事象の情報から、2時間程度先までの短期的将来における交通状況を自動的に予測し、迂回経路情報の提供などの交通管理を支援するためのシステムが開発されつつある。

この交通シミュレーションには、ボトルネック容量、交通量-密度関係、渋滞時の合流比率など、交通流の挙動を規定する各種パラメータを一定の精度で設定する必要がある。この設定の大部分は、車両感知器データのオンライン処理に依拠している。

一方、都市高速道路の車両感知器による通過車両台数の計数値には、補正を要するほどの大きなバイアス（偏り）が存在することが知られている。隣接する断面間でこのバイアスの影響により感知交通量に不整合があると、交通シミュレーションにおける車両保存則が成立しないデータに基づいて、各種パラメータが設定されることになる。これは、パラメータ設定処理を不安定化し、その精度を大きく低下させる結果となる。

このバイアスは、その場所の交通流特性によるもの、道路線形によるもの、特殊な形状の車両通過によるもの、車両感知器自体の設置角度や感知範囲等の設定、車両感知器の経年変化に従って感知特性が変化することなどが原因として考えられる。

例えば、車線変更する際に、感知器設置地点で車線境界線をまたいだ状態で通過することが要因の一つに挙げられる。この場合、車両感知器の感知領域が横方向に広ければ過大評価となり、狭ければ過小評価になる。車線変更の発生頻度は分/合流部の近傍で相対的に高くなる傾向があり、その結果としてバイアスの発生状況も地点により異なる。この感知交通量のバイアスを補正することで、予測システムの再現精度は向上し、よりの確で迅

速な交通管理が可能となると期待される。

本研究では、車両感知器から算出した交通状態量をオンラインで取得できる環境において、都市高速道路ネットワーク全体を対象として、感知交通量のバイアス設置断面毎に、かつ非渋滞時と渋滞時の別に補正するための係数値を、自動的に設定、更新するアルゴリズムを開発し、ビデオ観測によってその検証を行った。

2. 感知交通量のバイアスの発生要因

首都高速道路における車両感知器は、超音波パルスを放射し車体からの反射波を捕えることにより、車両の存在を感知する仕組みになっている。この感知信号を処理することにより得られた感知交通量には、以下のような要因による計数誤差が含まれていると考えられる。

① 車線境界線をまたいだ走行

首都高速道路においては、ドライバが希望する経路を選択するため、ジャンクション分合流近傍で車線変更を必要とする箇所が多く存在する。

このように車線変更などのために車線境界線をまたいで走行する車両は、左右双方の車線に設定された車両感知器に感知されて過剰な計数値になったり、どちらの車線の車両感知器にも感知されず過小な計数値になったりすることが考えられる。

一般的には、このバイアスの大きさや、過剰計数になるのか、あるいは過小計数になるのかは、通行車両の車種、走行速度、走行軌跡などの交通状況と、感知器の設置状況や感度分布に依存すると考えられる。

② 大型車、特殊形状車

大型車や、トレーラーなどの形状が特殊な車両が車両感知器地点を通過することにより、感知信号を誤って、複数の小さい車両として処理してしまうことが考えられる。

③ 道路線形

急カーブ部などの道路線形に特徴のある地点では、車両の走行軌跡が車線中央から乖離し、バイアスも大きくなることが考えられる。

④ 車両感知器の設置角度や感知範囲等の設定

車両感知器の設置角度や、感知範囲の調整が不足している場合や、調整後でも通過車両や飛来物の衝

Keywords: 交通管制, 渋滞対策

* 連絡先: s1079502JG@it-chiba.ac.jp

(Phone) 047-478-0444

突により感知器の向きが変化してしまうことが考えられる。

⑤ 車両感知器の経年変化によるもの

車両感知器自体にも寿命が存在し、継続して使用を続けていく上で、車両を感知する感度や、精度が変化していくことが考えられる。

交通流の密度が高い時と低い時とでは、あるいは速度が低い時と高い時とでは、車両の走行挙動あるいは走行軌跡は大きく異なると考えられるので、同じ感知器であっても、感知交通量のバイアスが交通状況によって変化すると考えられる。よって、感知交通量のバイアスは、車両感知器設置断面毎かつ渋滞／非渋滞別に補正する必要があると考えられる。

本研究では、まず、車両感知器設置断面毎に Kittler+法²⁾を適用して渋滞／非渋滞の交通状態を判定し、渋滞／非渋滞のそれぞれにおいて感知交通量のバイアス補正値を設定、最適化することとした。

3. バイアス補正のオンライン処理の必要性

2. で述べたように交通量の計数値のバイアスの発生は、道路、交通条件に依存する。これらの条件は、以下に示すように路線上の各地点で異なるため、バイアスの発生状況も感知器設置断面により異なると考えられる。

- ① 分合流部の前後においては、車線変更行動が多く発生する。その他の車両走行状況も地点によって異なる。
- ② 大型車あるいは、特殊形状車などの混入率は、各路線によって異なる。
- ③ 車両感知器の感知特性は、設置時に適切に設定されていても、振動や車両接触等による感知範囲のズレなどにより、時とともにばらつきが出てくると考えられる。

したがって、交通量の計数値の補正係数は、感知器設置断面ごとに設定する必要がある。

バイアスの発生状況は、以下に示すように経年変動するものとも考えられる。

- ① 道路網の拡張や、沿道の開発などにより OD パターンは変化する。OD パターンが変化すると分合流部における車線変更の発生や大型車混入率も変化する。
- ② 感知器の特性は、劣化により経年変化する。

したがって、補正係数は、継続的に見直す必要がある。

このように、バイアス補正係数は、断面ごとに、継続的に見直す必要がある。しかし、現在、首都高速道路には、2,500 か所を上回る感知器設置断面が存在するため、人手によりオフラインで、しかも個別の補正係数を設定あるいは更新することは極めて困難である。したがって、これらの補正係数をオンラインで自動的に設定、更新することが、現実的には必須となる。

4. 既存の研究

赤羽ら¹⁾は、車両感知器により計数された通過車両台数のバイアスを補正するために、渋滞検出の結果を利用して精度良く最適係数値を推定・更新するアルゴリズムを提案した。この方法は、車両感知器データを逐次処理する方法であり、計算時間および所要主記憶容量を十分に小さくし、オンライン処理を意識したアルゴリズムである。しかし、この手法の対象は、ジャンクションを含まない放射線部に留まっており、首都高速道路のネットワークに存在する全ての感知器設置点について、バイアス補正係数を同時推定することはできない。

本研究では、この手法をジャンクション部に適用できるように拡張し、首都高速道路のような複雑なネットワークを補正対象とすることを目的とした。

5. バイアスの補正方式と補正係数値の推定原理

式(1)に示すように、ある感知器設置断面を通過する車両台数の係数値を、渋滞時または非渋滞時用の補正係数を乗じて補正することとする。

$$\rho_l(t) = \begin{cases} c_l m_l(t) [\text{非渋滞時}] \\ d_l m_l(t) [\text{渋滞時}] \end{cases} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 m は、単位時間内の断面通過台数の計数値、 ρ は、計数値 m の補正值、 t は時間、 c は非渋滞時補正係数、 d は、渋滞時補正係数、そして添字 l は、それぞれの感知器設置地点の断面番号を示す。補正係数を断面毎に、かつ渋滞時および非渋滞時の別に設定する必要性は、前述の通りである。

式(1)により補正された感知交通量を一定時間以上連続して積算した値を照合すると、隣り合う感知器設置断面同士では、車両保存則により一致するはずである。その際の比較誤差は、計数開始時と終了時との感知断面間の存在車両数の較差に依拠する。この較差を抑制する方法は、後述する。

ある隣り合う感知器設置断面の同士の、たとえば下流側の断面における補正係数値は、その断面のさらに下流側で隣接する断面との補正済み積算交通量の照合にも適用される。ただし、これら二つの隣接断面对において交通量の積算値を照合する時間帯は独立に設定できる。これが、車両感知データの欠損や、交通状態の時空間変動に関わらず、高速道路網全体を対象として、補正係数値を設定、更新できる、本方法の特徴である。

上記の原理により、補正係数値の相対的關係は推定できるが、絶対値は設定できない。本研究ではさらに、既存の研究¹⁾と同様に、以下の条件で本線料金所およびオンランプにおける感知交通量を、補正係数値の絶対値の推定に利用する。

- ① 本線料金所や、オンランプの通過台数の計数値は、料金徴収結果と常に照合され、それに基づいて感知特性が調整されている。さらに、料金所を通過する際の車両の走行軌跡は本線における軌跡より安定度が高く、感知器の感知範囲のほぼ中央を通過している。このため、流入台数の計数値は、実用上十分に高精度であると見なせる 0.3%程度に管理されているため、補正はしない。
- ② 各オフランプからの流出台数は、本線通過台数の高々数%とわずかであるため、その係数値は補正しない。また、前述のように交通量の比較は隣接断面間で独立に行う原理のための、ランプ流出台数を無視することによる推定誤差は、下流側断面に向かって累積しない。

6. 補正係数の推定問題の定式化

ジャンクション部に設置される各車両感知器の通過車両台数の関係から補正係数の推定問題を定式化する。

式(1)により、ある断面における通過車両台数の計数値を補正したとき、式(2)が成り立つような補正係数を推定する。

$$n_i(t) = \rho_i(t) + \zeta_i(t) \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 $n_i(t)$ は、単位時間内の断面通過台数の真値であり、 $\zeta_i(t)$ は、通過台数の補正誤差であり、平均値 0 の白色雑音と仮定する。

図 1 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。A~L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。

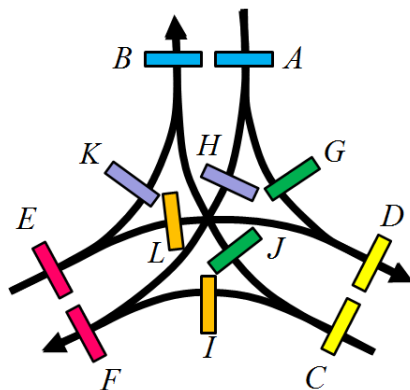


図 1 JCT 部の感知器設置断面

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、ジャンクション分岐部においては、式(3)の関係が成り立つ。

$$\begin{cases} A = G + H \\ C = J + I \\ E = L + K \end{cases} \dots \dots \dots (3)$$

また、同条件においてジャンクション合流部においては、同様に式(4) 式の関係が成り立つ。

$$\begin{cases} B = J + K \\ D = G + L \\ F = H + I \end{cases} \dots \dots \dots (4)$$

実際には、隣り合った感知器設置断面間には、計測開始、終了時とでは交通密度、したがって存在台数に較差が生じる想定すべきである。この2つの時刻における存在車両の差を考慮し、図 2 のような1つの分流部について着目すると、式(3)は式(5)のように表現できる。

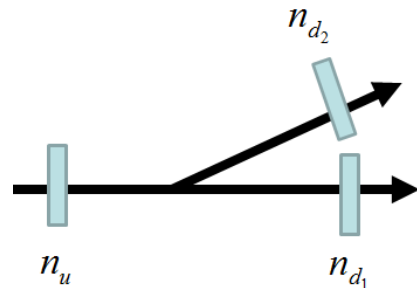


図 2 分流部での感知器設置断面間

$$\sum_{t=s_l}^{u_l} \left\{ n_u(t) - \sum_{M=1}^2 n_{d_M}(t) \right\} + \eta_l = 0 \dots \dots (5)$$

ここに、 s_l は隣接する感知器設置断面間での連続計数開始時刻、 u_l は連続計数終了時刻、 M は分岐先の路線数、 η_l 計数開始時および終了時における区間内の車両台数差である。

同様に、式(4)から図 3 のジャンクション部合流部において、式(6)が成り立つ。

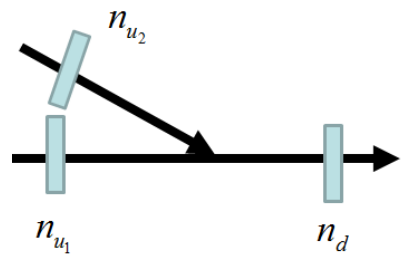


図 3 合流部での感知器設置断面間

$$\sum_{t=s_l}^{u_l} \left\{ \sum_{N=1}^2 n_{u_N}(t) - n_d(t) \right\} + \eta_l = 0 \dots \dots (6)$$

ここに、 N は合流する路線数である。

式(1)、式(2)、式(5)から、分流部では次式が得られる。

$$0 = c_u p_u + d_u q_u - \sum_{M=1}^2 (c_{d_M} p_{d_M} + d_{d_M} q_{d_M}) + \varepsilon_l \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$\varepsilon_l = \eta_l + \sum_{t=s_x}^{u_x} \left\{ \zeta_u(t) - \sum_{M=1}^2 \zeta_{d_M}(t) \right\} \quad \dots\dots\dots (8)$$

ここに、 p は非渋滞時の計数值 m の和、そして q は渋滞時の計数值 m の和である。この時、誤差項 $\zeta_u(t)$ 、 $\zeta_{d_1}(t)$ 、 $\zeta_{d_2}(t)$ 、 η_l は、互いに無相関であると仮定する。

同様に、式(1)、式(2)、式(6)から、合流部では次式が得られる。

$$0 = \sum_{N=1}^2 (c_{u_N} p_{u_N} + d_{u_N} q_{u_N}) - c_d p_d - d_d q_d + \varepsilon_l \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$\varepsilon_l = \eta_l + \sum_{t=s_x}^{u_x} \left\{ \sum_{N=1}^2 \zeta_{u_N}(t) - \zeta_d(t) \right\} \quad \dots\dots\dots (10)$$

この時、誤差項 $\zeta_{u_1}(t)$ 、 $\zeta_{u_2}(t)$ 、 $\zeta_d(t)$ 、 η_l は、互いに無相関であると仮定する。

図 4 に示すような分合流部以外の単路部区間については、分合流部の特殊な形として定義する。この時に、感知器設置区間の中に入路および出路が存在することを仮定し、式(11)～式(13)のように定式化できる。

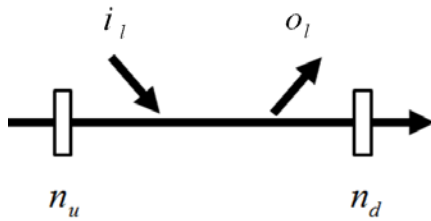


図 4 単路部での感知器設置断面間

$$y_l = c_u p_u + d_u q_u - c_d p_d - d_d q_d + \varepsilon_l \quad \dots\dots\dots (11)$$

ここに

$$y_l = \sum_{t=s_l}^{u_l} \{o_l(t) - i_l(t)\} \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$\varepsilon_l = \eta_l + \sum_{t=s_l}^{u_l} \{ \zeta_u(t) - \zeta_d(t) \} \quad \dots\dots\dots (13)$$

である。この時、誤差項 $\zeta_u(t)$ 、 $\zeta_d(t)$ 、 η_l は、互いに無相関であると仮定する。

式(7)、式(9)、式(11)を路線上に隣接する各断面における感知器計数值に適用すると、各断面の補正係数 c および d を未知数とする連立方程式が得られる。

式(7)、式(9)、式(11)から、ジャンクション部分合流、その他の単路部に関し、同様に扱うことができるように、以下のような式で表した。分合流の本数は、首都高速道路においては最大3分岐なので、それに対応した。

$$y_l = \sum_{N=1}^3 (c_{u_N} p_{u_N} + d_{u_N} q_{u_N}) - \sum_{M=1}^3 (c_{d_M} p_{d_M} + d_{d_M} q_{d_M}) + \varepsilon_l \quad \dots\dots\dots (14)$$

ここに

$$y_l = \sum_{t=s_l}^{u_l} \{o_x(t) - i_x(t)\} \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$\varepsilon_l = \eta_l + \sum_{t=s_x}^{u_x} \left\{ \sum_{N=1}^3 \zeta_{u_N}(t) - \sum_{M=1}^3 \zeta_{d_M}(t) \right\} \quad \dots\dots\dots (16)$$

この時、誤差項 $\zeta_{u_N}(t)$ 、 $\zeta_{d_M}(t)$ 、 η_l は、互いに無相関であると仮定する。

式(14)の計数開始時刻 s_l および終了時刻 u_l は、隣接断面のおおのの対において任意に定めることができる。したがって、車両感知器の故障などのために通過台数の計数が一時的に中断した時には、中断した時刻から非渋滞時の時刻まで遡って計数終了時刻として、式(14)を適用する。中断後の取扱いも同様に処理できる。

式(14)の誤差項 ε_l の分散および共分散は、 ζ_{u_N} 、 ζ_{d_M} 、 η_l が互いに独立な白色雑音であるとの仮定と、式(14)と式(16)とから、以下のように評価できる。

$$E\{\varepsilon_l^2\} = E\{\eta_l^2\} + \sum_{t=s_l}^{u_l} \left[\sum_{N=1}^3 E\{\zeta_{u_N}^2(t)\} + \sum_{M=1}^3 E\{\zeta_{d_M}^2(t)\} \right] \quad \dots\dots\dots (17)$$

区間 l と u_N で隣接する上流区間を区間 l' とすると、

$$E\{\varepsilon_l \varepsilon_{l'}\} = E\{\varepsilon_l \varepsilon_{l'}\} = - \sum_{t=s_l}^{u_l} E\{\zeta_{u_N}^2(t)\} \quad \dots\dots\dots (18)$$

区間 l ではなく、区間 l の上流側に隣接していない区間を区間 l'' とすると、

$$E\{\varepsilon_l \varepsilon_{l''}\} = E\{\varepsilon_l \varepsilon_{l''}\} = 0 \quad \dots\dots\dots (19)$$

となる。ここに E は期待値を示す。さらに、計数開始時刻 s_l および終了時刻 u_l は、区間 l' の上流側断面と下

流断面における計数時間と区間 l の上流側断面と下流側断面における計数時間とに重複がある場合に、その重複の開始時刻および終了時刻とをそれぞれ示す。

各誤差項について、以下のように仮定する。

- ① 補正誤差 $\zeta_l(t)$ は、計数值 $m_l(t)$ に比例する。
- ② 区間内の車両台数差による誤差 η_l は、下流断面における計数開始時および終了時の計数值の較差に比例する。

これらの仮定から、式(17)、式(18)は、計数值 m により次式のように表わせる。

$$E\{\varepsilon_l^2\} = \alpha^2 \left\{ \sum_{M=1}^3 m_{d_M}(s_l) - \sum_{M=1}^3 m_{d_M}(u_l) \right\}^2 + \beta^2 \sum_{t=s_l}^{u_l} \left[\sum_{N=1}^3 \{m_{u_N}^2(t)\} + \sum_{M=1}^3 \{m_{d_M}^2(t)\} \right] \dots\dots\dots (20)$$

$$E\{\varepsilon_l \varepsilon_{l'}\} = E\{\varepsilon_l \varepsilon_{l'}\} = -\beta^2 \sum_{t=s_l}^{u_l} \{m_{u_N}^2(t)\} \dots\dots\dots (21)$$

ここに、 α および β は、比例定数である。また、式(21)の N' は、隣り合った感知器設置断面間の区間 j と区間 l' との両方に共通する設置断面の定義によって、1 から 3 の間で定められる。

7. バイアス補正値の更新手法

(1) 計数時間に関する条件設定

本研究が目的とする、感知交通量バイアスの補正係数は、感知器の経年変化などによる時間的な変化は長期的にゆっくり変化するものであると考えられる。そのため、リアルタイムでの運用を考え、1日1回程度の更新頻度で十分であると判断した。また、日々の更新は、夜間の交通量が少なく、他の計算処理による負荷が小さい時間帯に行うことを前提とした。

前章では、ジャンクションの分岐部、合流部と単路部において、車両感知器設置断面の間の区間について、それぞれの場合の定式化を行ってきた。その中で考慮している誤差には、計数開始時および終了時における区間内の車両台数差が含まれる。この車両台数差を小さくすることにより、推定の精度を向上することができると考え、以下のような条件に従って計数を行った。

- ① 隣接する断面間において計数值を比較する。
- ② 1時間以上連続して計数した通過台数を比較する。
- ③ 隣接する2断面間において渋滞が発生していないときに計数を開始し、同断面間において渋滞が発生していない時に計数を終了する。

(2) 更新アルゴリズム

感知交通量の補正係数は、経過時間に応じて変化すると見なす必要があり、これに対応させるために、補正係数 および の推定誤差共分散行列の値を定期的に調整するなどの操作が必要になる。この処理は、必ずしもオンライン処理に適しているわけではない。補正係数値に対応でき、オンライン処理に適した処理として、ここでは、カルマンフィルタを適用した推定・更新アルゴリズムを導く。

カルマンフィルタは、次式のようにシステムの状態の最小二乗推定量を与える。

$$x(k+1) = F(k)x(k) + G(k)\omega(k) \dots\dots\dots (22)$$

$$y(k) = H(k)x(k) + v(k) \dots\dots\dots (23)$$

ここに、 k は時間、ここでは、日を表すものとする。また、 $x(k)$ はシステムの状態を示す n 次元ベクトル、 $y(k)$ は、 p 次元の計測値ベクトル、 $\omega(k)$ 、および、 $v(k)$ は、白色雑音ベクトル、 $F(k)$ 、 $G(k)$ 、 $H(k)$ は、要素の値が既知の係数行列である。

式(22)の状態ベクトル $x(k)$ は、直接計測できないが、式(23)の観測ベクトル $y(k)$ は、 $x(k)$ の線形変換で表され、誤差はともなうものの直接観測可能である。

更新開始日から k 日後までの計数值 $y(0)$ 、 $y(1)$ 、 \dots 、 $y(k)$ が得られた時、システムの状態 $x(k)$ の最小二乗推定量を $\hat{x}(k/k)$ とすると、 $\hat{x}(k/k)$ は、不偏であり、かつ推定誤差共分散行列

$$P(k/k) = E\{[x(k) - \hat{x}(k/k)][x(k) - \hat{x}(k/k)]^T\} \dots\dots\dots (24)$$

を最小化する

更新開始日から $k-1$ 日後までの計数值に基づく、 k 日後の状態 $x(k)$ の推定量 $\hat{x}(k/k-1)$ は、次式のように表すことができる。

$$\hat{x}(k/k) = \hat{x}(k/k-1) + K(k)[y(k) - H(k)\hat{x}(k/k-1)] \dots\dots (25)$$

$K(k)$ は、カルマンゲインで、この要素の値はカルマンフィルタのアルゴリズムにより与えられる。

更新開始日から k 日後の補正係数値、1日分の計数值、あるいは誤差項などを、以下のように置く。

ここで、下式のようにベクトルおよび行列を定義する。

$$x(k) = \begin{bmatrix} \vdots \\ c_{u_1} \\ d_{u_1} \\ \vdots \\ c_{u_3} \\ d_{u_3} \\ \dots \dots \dots (26) \\ c_{d_1} \\ d_{d_1} \\ \vdots \\ c_{d_3} \\ d_{d_3} \\ \vdots \end{bmatrix}$$

$$H(k) = \begin{bmatrix} \vdots \\ h_t \\ \vdots \end{bmatrix} \dots \dots \dots (27)$$

$$y(k) = \begin{bmatrix} \vdots \\ y_t \\ \vdots \end{bmatrix} \dots \dots \dots (28)$$

$$v(k) = \begin{bmatrix} \vdots \\ \varepsilon_t \\ \vdots \end{bmatrix} \dots \dots \dots (29)$$

ここに、

$$h_t = \begin{bmatrix} \vdots \\ p_{u_1} \\ q_{u_1} \\ \vdots \\ p_{u_3} \\ q_{u_3} \\ \dots \dots \dots (30) \\ -p_{d_1} \\ -q_{d_1} \\ \vdots \\ -p_{d_3} \\ -q_{d_3} \\ \vdots \end{bmatrix}^T$$

である。このとき連立方程式 (14) は、式(23) と等しく表記できる。さらに、補正係数値が毎日少しずつ変化していくものと仮定して、次式のように表す。

$$x(k+1) = x(k) + \omega(k) \dots \dots \dots (31)$$

ここに、 $\omega(k)$ は、補正係数値の日変動幅を規定する

項であり、白色雑音要素からなるベクトルである。

式(31)は、式(22)において $F(k)$ および $G(k)$ を単位行列に置き換えたものである。よって、式(23)、式(31)にカルマンフィルタを適用することにより、補正係数値をシステム状態変数として、逐次的に推定、更新できる。

8. 実データを用いたバイアス補正値の推定

前章までに開発した手法を用いて実データを用いて補正値の推定を行った。

バイアス補正値の推定は、図 5 の首都高速道路 3 号上り線と、谷町 JCT 付近の都心環状線の車両感知器を対象として行った。

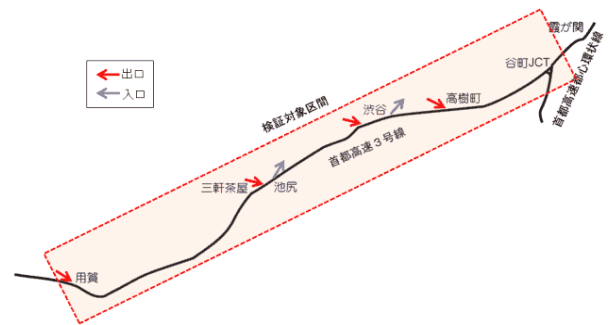


図 5 検証対象区間

その他の検証データの条件は以下の通りである。

表 1 検証データの条件

| | |
|--------|-------------------------------------|
| 対象区間 | 3号渋谷線上り～谷町JCT～都心環状線(外、内回り)への合流部下流まで |
| データ種別 | 感知交通量データ(5分間集計データ) |
| データ期間 | 2010年2月(1か月間) |
| 更新周期 | 1日1回 |
| 感知器地点数 | 52地点 |

渋滞/非渋滞の判別には、感知器設置断面の感知器特性、交通状況に適合した臨界速度を設定する必要がある。このため、上記期間内に感知器設置断面ごとに得られる交通量、速度の分布状態に基づき渋滞を判定する Kittler+法²⁾を適用し、図 6 に示すように感知器設置断面ごとにそれぞれの臨界速度を設定した。

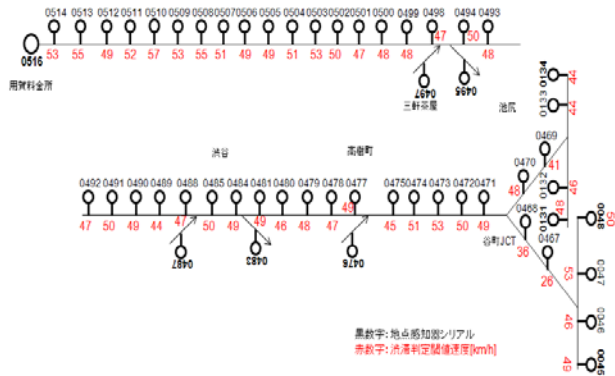


図 6 対象区間内の感知器地点と Kittler+法による臨界速度 (赤字)

これらの入力データにおいて、前章までに開発したアルゴリズムを適用し、図7に示すように、それぞれの感知器における渋滞時、非渋滞時の交通量バイアスの補正値を推定した。

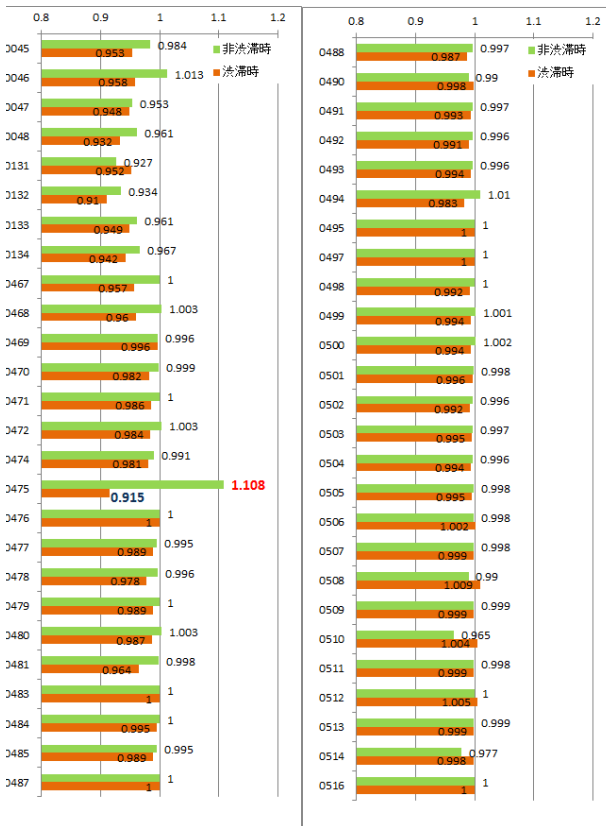


図 7 各感知器のバイアス補正係数値推定結果

その結果、バイアス誤差の補正値が大きかった感知器地点 0475 では、非渋滞時の補正係数値は 10%以上の過小計数を示している。また、同断面では渋滞時には、逆に 8.5%程度の過剰計数が推定されている。

この断面で推定された補正値が適切であるかを検証する為に、次章においてビデオ観測を実施した。

9. ビデオ観測による補正値の検証

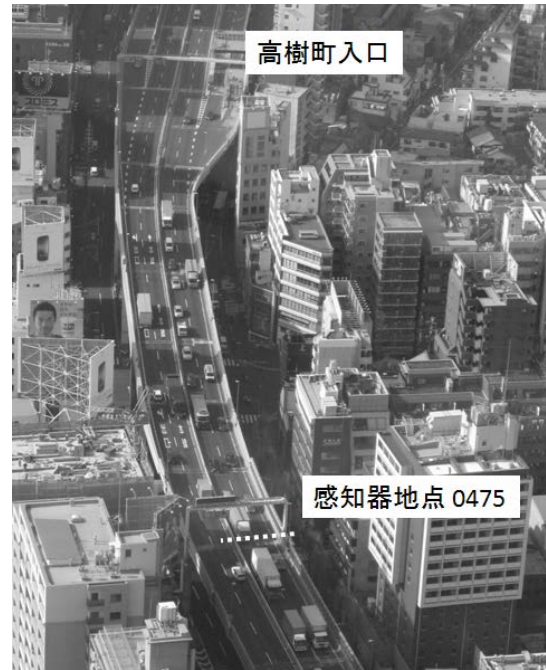


図 8 感知器地点 0475 の観測状況

図 8 は、感知器地点 0475 は、首都高速 3 号渋谷線上りの高樹町入口の下流に存在する。この地点を近隣高層ビルよりビデオ撮影を行い、同日の車両感知器データと交通量の比較を行い、推定された補正値が適切かどうかを確認した。ビデオ観測の概要は以下の通りである。

表 2 ビデオ観測概要

| | |
|------|----------------------------|
| 撮影日時 | 2012/1/18(水) 10:30 ~ 15:30 |
| 天候 | 晴れ |
| 撮影場所 | 近隣高層ビル展望台より撮影 |

図9は、観測時間帯の交通状況である。この日は撮影後すぐに、Kittler+法を用いて算出したこの感知器地点での渋滞判定閾値を超え、ほとんどが非渋滞の状態となった。

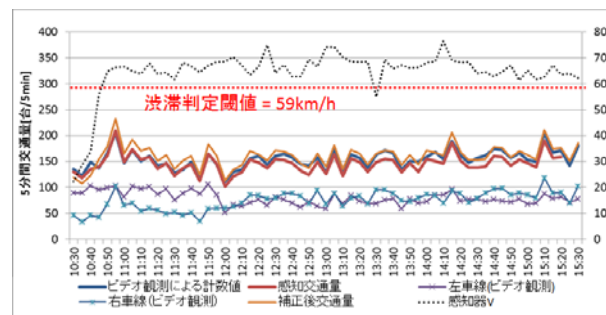


図 9 観測時間帯の交通状況

図-10においては、13時からの累積交通量を感知交通量、ビデオ観測による計数値、バイアス補正係数による補正後交通量を比較した。15時30分までの2時間半において、感知交通量に対するビデオ観測による計数値の

比率は1.076、推定されたバイアス補正係数が1.108 となった。これは、約10%の過小計測が、補正により3% 過剰となるが、バイアス誤差の絶対値は7割減少したことを意味する。

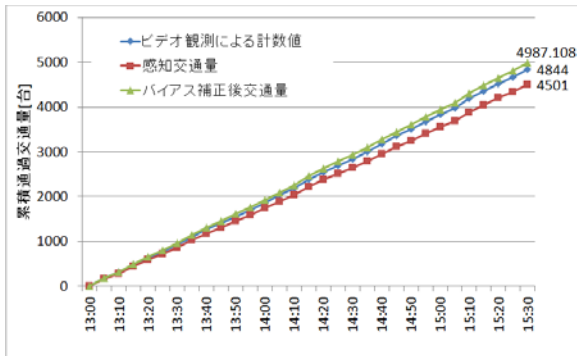


図 10 非渋滞時の累積通過台数比較

図-11 は、10:30 から 12:00 までの累積交通量を感知交通量、ビデオ観測による計数值、バイアス補正係数による補正後交通量についての比較である。開始直後の渋滞状態、その後の非渋滞状態についても、適切に補正できていない。

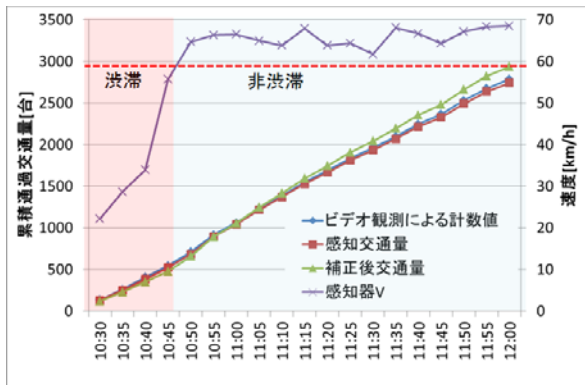


図 11 非渋滞時の累積通過台数比較

この地点は、下流に谷町ジャンクションの分岐があり、分岐の先が渋滞していると、そちら側の車線のみが影響を受け、渋滞が延伸する箇所である。

図-12 は、当該箇所の感知器の設置状況を示す。車両感知器の形式は、左車線がサイドファイア方式のダブルヘッド、右車線は、オーバーヘッド方式のシングルヘッドである。シングルヘッドでは、速度が計測できないため、この地点の感知速度は左車線の感知器速度を流用し



図 12 非渋滞時の累積通過台数比較



図 13 ビデオ観測日の 11:40 頃の状況

ているものと想定される。

ビデオ調査当日は、図-13 のようにビデオ観測開始時点から 12:00 頃まで、右車線の渋滞は継続していたことが、ビデオ解析から確認される。この時間は、非渋滞時の計数によって補正している。このような場合には、左右の車線別の渋滞/非渋滞の組み合わせ毎に補正係数を設定する必要があると考えられる。これに対応した補正係数推定アルゴリズムの定式化は、十分可能である。

10. まとめ

本研究では、オンラインで感知データが取得できる環境において、都市高速道路ネットワーク全体を対象として、感知交通量のバイアス設置断面毎に、かつ非渋滞時と渋滞時の別に補正するための係数値を、自動的に設定、更新するアルゴリズムを開発した。

首都高速 3 号渋谷線を対象とし、開発したアルゴリズムを適用させ、バイアス補正量を算出した。

バイアス補正值のうち最も大きい地点について、ビデオ観測を行い、その値についてその検証を行い、ほぼ適切に補正されていることを確認した。

今後は、検証の範囲を広げていくと共に、対象とするエリアも拡大する方針である。

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。

参考文献

- 1) 赤羽弘和, 越 正毅: 車両感知バイアスのオンライン自動補正, 土木学会論文集, 第 407 号/IV-11, 1989.
- 2) Tomoyoshi Shiraishi, 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), Orlando, 2011.