

テクニカルノート

## 新興国の交通流と交通渋滞の解析

坪井 務<sup>1,2,a)</sup> 小栗 宏次<sup>2</sup>

受付日 2016年6月2日, 採録日 2016年8月10日

**概要:** 本論文はインドの市内で展開した ITS 実証事業による大量な交通データをもとに交通流の解析を行うとともに、先行研究による交通データの特長に基づく解析で得られた交通基本特性を活用し、求められた自由速度と実際の平均車速比を交通渋滞パラメータとして利用する可能性を統計処理検定で渋滞閾値を特定した。また、2014年10月より開始した ITS 事業による効果を、取得した2月と6月の各1カ月間のビックデータ比較から交通量、車速の変化率を組み合わせた解析により、市内10カ所による面として市内交通状況推移から検証を行った点でユニークとなっている。本手法は、今後の新興国における交通解析への活用方法の一例として報告する。

**キーワード:** 交通管理, 情報提供, 交通渋滞

## Analysis of Traffic Flow and Traffic Congestion in Emerging Country

TSUTOMU TSUBOI<sup>1,2,a)</sup> KOJI OGURI<sup>2</sup>

Received: June 2, 2016, Accepted: August 10, 2016

**Abstract:** This manuscript describes Traffic Congestion analysis in India by traffic vehicular velocity ration between free speed and actual average speed based on ITS business in a city big data traffic flow analysis. Free speed is calculated by traffic flow analysis from basic traffic characteristic which is studied by previous research. And this research shows traffic condition improvement by one month traffic data comparison between February and June of 2015 of Indian ITS business which has been started since October 2014. It is unique analysis by using traffic condition transition analysis based on combination of traffic volume and velocity at ten monitored points as city level space. This study reports free speed and average traffic velocity ration is effective as one of traffic congestion analysis method especially under emerging countries.

**Keywords:** traffic management, traffic information, traffic congestion

### 1. はじめに

近年の交通渋滞課題は、これまでの先進国において経験してきた状況から、経済成長が著しい新興国において特に深刻さを増している。とりわけ中国やインドにおいては5%を超える経済発展の成長を背景に人や物の輸送の増加が著しい反面、インフラ整備が間に合わない新興国の事情から交通渋滞をまねいている。これらは経済の損失だけで

なく排気ガスなどによる環境破壊にまで影響を及ぼすとともに、インドにおいては交通事故による死亡者は年間23万人を超える(世界保健機関(WHO) [1])という報告もなされている。経済損失に関しては、交通渋滞による環境破壊から約6,000億円という分析 [2] 報告もある。このためこうした新興国での交通制御は緊急課題であると同時に、そのための実際の交通事情の把握が重要となっている。一般的にインフラ整備されていない新興国での交通状態の把握が困難となっているのが現状である。最近ではSalimら [3] のインド交通解析や神垣ら [4] のインドネシアにおける交通流解析の解析など行われているがいずれも観測データがわずかな期間であり十分な解析に至っていない。

本論文ではインドのアーメダバード市における2カ月の

<sup>1</sup> 名古屋電機工業株式会社  
Nagoya Electric Works Co. Ltd., Ama, Aichi 490-1294, Japan

<sup>2</sup> 愛知県立大学  
Aichi Prefectural University, Nagakute, Aichi 480-1198, Japan

a) tsuboi790@gmail.com

実証事業のデータをふまえての交通解析と渋滞に関する研究を報告する。本実証は、市内に14台の交通モニタカメラを設置し、そこから得られる交通情報をもとに交通情報板に交通状態を表示することで、住民への初めてのリアルタイム交通情報提供サービスを2014年10月より開始した事業であり、独立行政法人国際協力機構（JICA）の「民間型普及・実証事業プログラム」として2014年10月に開始したものである。本論文に先立ち、著者ら[5]が、大量な交通密度と交通量の関係や交通密度と車速の関係とそのデータの特異性より基本交通観測式の導入することで観測地点における基本交通特性を求めた。さらに交通渋滞を表す指標として平均車速と基本特性より得た自由速度の車速比の有効性を示した。この車速比の検討では実際の渋滞した道路の交通量および車速の24時間の変化により渋滞の判断を示したが、本論文では車速比により渋滞パラメータとしての具体的な閾値の確定と市内交通状態を面で把握する手法を示すことを特長としている。2月、6月それぞれ1カ月間の速度観測データ（標本値）の標本平均の差としたとき、2月、6月の母集団にも差が現れるかを検定する統計処理を行うことで車速比による渋滞判定可能な閾値を求め、その妥当性を示した。2月から4カ月経過した6月時点における交通量の変化を交通量差分と平均車速差分による分散分析を行うことで複数の観測ポイントでの解析から総合的に面としての市内交通解析を行った。これらの解析事例は今後アーメダバード市で開始したITS事業の当該地域からインド他の都市での応用の可能性を示すとともに、さらに他の新興国での交通解析手法として有効であると考えられる。

## 2. インドITS実証事業

### 2.1 実証事業概要

本研究に活用したインドITS事業は、2011年で人口600万人を超え、車の増加も255万台から年間10万台増加をたどっているインドグジャラート州アーメダバード市を対象に、交通渋滞問題が顕在化しつつある背景に、日本国内では一般的である画像トラフィックモニタカメラおよびタクシープローブでリアルタイムに収集した交通情報をもとに交通渋滞情報を市内に設置した情報板に表示することで、住民への空いている道路への誘導を促すシステムとして構築した。

### 2.2 システム概要

ITS実証システムの構成は、交通情報入力には市内14カ所に設置した画像モニタカメラ、タクシープローブおよびGPS搭載携帯電話ユーザから受け、インターネット上に設けたクラウドシステム経由で情報から交通解析した結果を情報板に3分おきに更新する。交通警察官はタブレット端末で状況の確認および緊急時の情報入力（事故や交通規制）が行える。システム概要を図1に示す。



図1 ITS実証事業システム構成

Fig. 1 System configuration of ITS field business.

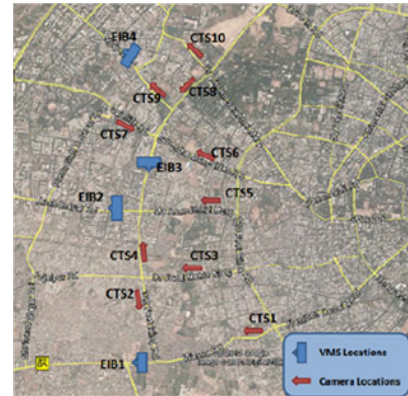


図2 ITSシステム配置

Fig. 2 ITS system location.

表1 ITSシステム設置位置

Table 1 ITS system position.

| No. | Name   | Longitude | Latitude  |
|-----|--------|-----------|-----------|
| 1   | CTS#1  | 72.551851 | 23.003068 |
| 2   | CTS#2  | 72.533957 | 23.004489 |
| 3   | CTS#3  | 72.541823 | 23.008767 |
| 4   | CTS#4  | 72.532764 | 23.006812 |
| 5   | CTS#5  | 72.539645 | 23.016932 |
| 6   | CTS#6  | 72.538800 | 23.022838 |
| 7   | CTS#7  | 72.527752 | 23.025180 |
| 8   | CTS#8  | 72.534051 | 23.032038 |
| 9   | CTS#9  | 72.528715 | 23.029604 |
| 10  | CTS#10 | 72.532804 | 23.035910 |
| 11  | EIB#1  | 72.535150 | 22.995969 |
| 12  | EIB#2  | 72.527704 | 23.014099 |
| 13  | EIB#3  | 72.530080 | 23.020356 |
| 14  | EIB#4  | 72.524131 | 23.033628 |

### 2.3 ITS実証システム設置箇所

システムの設置はアーメダバード市の中心部を流れる川を挟んだ西側地区とし、システムの設置状況を図2に示す。また、それぞれの位置情報を表1に緯度経度（10進数）情報を示す。交通モニタカメラ（図中CTSと記載）10台および交通情報板（図中EIBと記載）4台となっており、情報板にもモニタカメラが設置されていることからカメラは合計14台となる。観測される交通データは毎分の車両数、車速、車頭距離、GAP、交通密度、オキュパンシ、車長などのパラメータを路線ごとに蓄積されている。今回集

積されたデータはカメラ1台で約4万ポイント/月×2カ月×8項目×(2~3車線)×14カ所=約2,200万ポイントに及ぶことになる。

### 3. 先行研究の結果

#### 3.1 交通量と車速の把握

先行研究では、測定ポイントにおける分単位の交通密度 ( $k$ )-交通量 ( $q$ ) 特性および交通密度 ( $k$ )-車速 ( $v$ ) 特性を求め、K-Q 特性である境界線以上のデータが存在しない特長を利用し、観測データから得られる境界線から基本特性観測式との比較より、自由速度、飽和密度を見積もり K-Q 特性を示す式 (1) および K-V 特性の Greenshields の式 (2) を導入することができた。図 3 にカメラ#1 における交通基本特性を示す。

ここで、一般的に用いられる Q-K 曲線を用いていない理由は K-Q 曲線の方が境界線式を交通密度 ( $k$ ) の 2 次式で表記できる容易さを利用したためである。

$$q(k) = -\frac{v_f}{k_j} \left( k - \frac{k_j}{2} \right)^2 + \frac{v_f v k_j}{4} \quad (1)$$

$$v(k) = -\frac{v_f}{k_j} k + v_f \quad (2)$$

ここで、図 3 の交通基本特性におけるデータ内容の解説を以下に示す。交通量 ( $q$ ) と交通密度 ( $k$ ) に関し、車両単位として pcu を用いたが、ここではインド交通で特有な 3 輪自動車 (リクシャー) の台数が多く占めており、4 輪車両における小型車との区別をせず台数に加えているため数量としては 1 カウントであり、基本的に台としてもよい。また、プロットされたデータは 2015 年 6 月 1 カ月の測定間隔 1 分間による測定値を用いている。さらに、測定箇所は片側車線 2 車線であり、その車両数の加重平均を用いた。車両に関しては、車線を越えて割り込む車両 (特にリクシャー) の判定は困難であったためすべての車両数はデータに含まれない可能性は大きい。このため観測データにのらない車両も含まれるため、実際の交通渋滞における過密度状態は現れにくいと推定される。また、測定には 2 輪車が含まれず、リクシャー以上に一般車両の隙間を走行する台数の継続ができていないことも過密度状態を見えにくくしていると思われる。ここで K-V 曲線において、観測値から求められた境界線による近似式 (2) と最小自乗法から求められる近似式を表しており、近似式 (2) では測定点における境界を示しており、最小自乗法による近似式は平均を表すものと考えられる。しかしながら、近似式 (2) と最小自乗法による近似式から求められる自由速度 ( $v_f$ ) の本来の定義を考慮した場合、近似式 (2) を用いた自由速度は K-V 曲線での境界線近似との整合性の観点から本論文での自由速度 ( $v_f$ ) とするのが望ましいと判断した (図 3 K-V 曲線参照)。

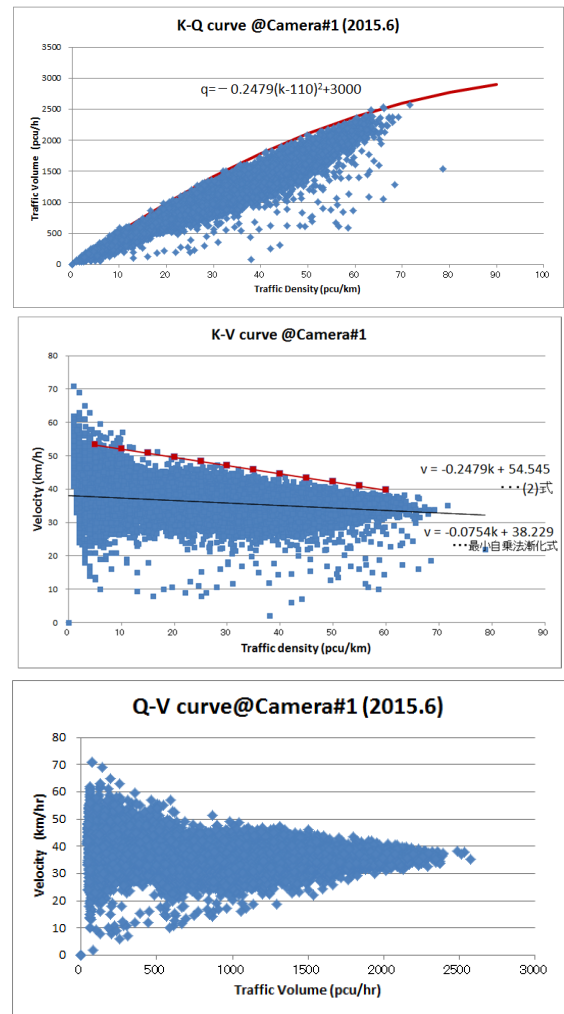


図 3 カメラ#1 の交通基本特性と近似式  
Fig. 3 Basic traffic characteristics and approximation.

#### 3.2 渋滞の評価

先行研究における渋滞の評価は、測定データより導入した交通基本特性式 (1) から得られる自由速度 ( $v_f$ ) に対する測定ポイントにおける平均車速との比をパラメータとして判定した。これは当該道路の平均車速が混雑のない理想自由速度に対する度合い (車速比) (式 (3)) をみることでその混雑度を相対的に判定するものである。この妥当性として、元の観測データから得られた時間ごとの交通量および車速の変化を総合的に比較することで判定することができる。図 4 には各測定点での 2 月と 6 月の車速比を示す。また、それぞれの観測点でのデータを表 2 に示す。測定データは測定期間 1 カ月における毎分の観測データより平均値を求めている。

図 4 より特に渋滞として顕著な傾向のあるカメラ#2 の時間ごとの交通量と平均車速の変移を図 5 に示す。この図 5 において 20 時で車速の低下、交通量の増加がみられ、渋滞が発生している様子が見られる。

$$\text{Velocity ratio} = \frac{\text{Average}}{\text{Free speed}} = v_{ave}/v_f \quad (3)$$

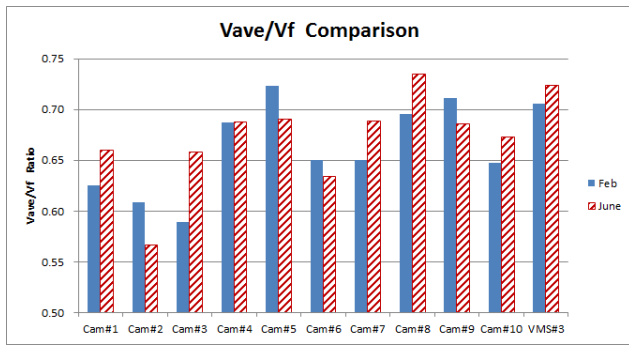


図 4 各測定点の車速比

Fig. 4 Vehicle velocity ratio at each location.

表 2 各測定点での観測データと自由速度

Table 2 Traffic data and free speed at each location.

| Location | 2015.02 |      |         |         |      | 2015.06 |      |         |         |      | no. of Lane |
|----------|---------|------|---------|---------|------|---------|------|---------|---------|------|-------------|
|          | Vf      | Vave | Vave/Vf | Qave    | Kave | Vf      | Vave | Vave/Vf | Qave    | Kave |             |
| Cam#1    | 56.0    | 35   | 0.63    | 1768.00 | 52   | 54.5    | 36   | 0.66    | 2268.00 | 64   | 2           |
| Cam#2    | 50.9    | 31   | 0.61    | 1438.00 | 52   | 45.9    | 26   | 0.57    | 1472.00 | 62   | 2           |
| Cam#3    | 50.9    | 30   | 0.59    | 1344.00 | 40   | 51.7    | 34   | 0.66    | 1366.00 | 40   | 2           |
| Cam#4    | 64.0    | 44   | 0.69    | 1808.00 | 44   | 64.0    | 44   | 0.69    | 1774.00 | 42   | 2           |
| Cam#5    | 63.6    | 46   | 0.72    | 1854.00 | 42   | 66.7    | 46   | 0.69    | 1854.00 | 42   | 2           |
| Cam#6    | 60.0    | 39   | 0.65    | 2236.00 | 62   | 61.5    | 39   | 0.63    | 2370.00 | 64   | 2           |
| Cam#7    | 60.0    | 39   | 0.65    | 1842.00 | 50   | 56.7    | 39   | 0.69    | 1842.00 | 50   | 2           |
| Cam#8    | 61.8    | 43   | 0.70    | 2175.00 | 57   | 64.0    | 47   | 0.73    | 2298.00 | 54   | 3           |
| Cam#9    | 67.5    | 48   | 0.71    | 2058.00 | 45   | 68.6    | 47   | 0.69    | 1932.00 | 42   | 3           |
| Cam#10   | 57.1    | 37   | 0.65    | 1833.00 | 51   | 55.0    | 37   | 0.67    | 1839.00 | 51   | 3           |
| VMS#3    | 56.7    | 40   | 0.71    | 1826.00 | 60   | 56.7    | 41   | 0.72    | 2184.00 | 60   | 2           |

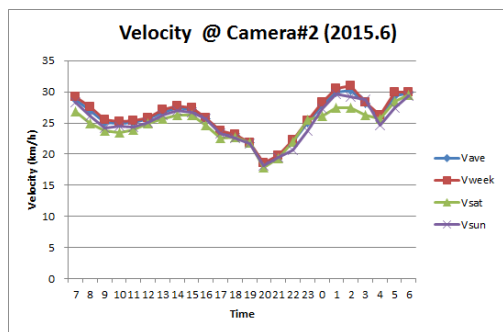
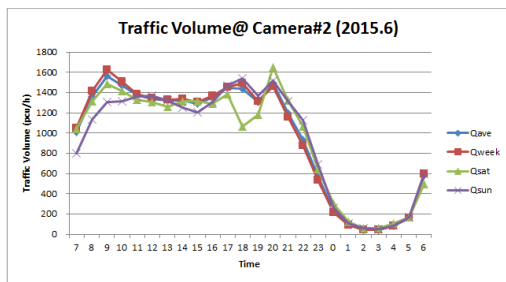


図 5 カメラ#2 の交通量と車速特性 (2015.6)

Fig. 5 Traffic volume and velocity characteristics at camera#2 (2015.6).

## 4. 交通渋滞解析

### 4.1 渋滞パラメータ

図 4 に示した測定点ごとの 2 月と 6 月の車速比の変移を散布図として図 6 に示す。図の破線部は 2 月と 6 月の変化がない境界を示しており、破線部より上部は 6 月にて渋滞が緩和され、下部ではその逆を意味している。

図 6 よりカメラ#2 で顕著に混雑が増加していることが

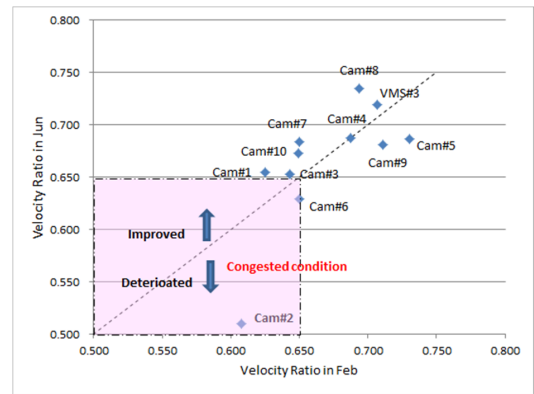


図 6 2 月-6 月での車速比変移

Fig. 6 Velocity ration change between Feb. and Jun..

容易に判定される。図 6 では車速比が 0.65 以下の部分を渋滞として仮定するとカメラ#1, #2, #3, #6 がその対象境界にあることが分かるが、車速比 0.65 が混雑を表す閾値として妥当かを次節で検証する。

### 4.2 車速比閾値の有効性

車速比閾値 0.65 の有効性は以下のように検定することができる。すなわち、2 月と 6 月の車速観測データ群をそれぞれの領域の標本データとし、その標本平均速度が 2 月と 6 月のそれぞれの母集団の平均速度と有意差検定を行うことになる。この検定には母集団が等分散であるか仮定せず検定できるウェルチ検定 [6] が適用できる。

同じ母平均を持つ 2 つの正規母集団 (ここでは 2 月の母集団と 6 月の母集団) から、大きさ  $(n_F)$ ,  $(n_J)$  の標本を抽出したとすると、ウェルチ検定はその統計量  $T$  は自由度  $(\nu)$  の  $t$  分布に従うことになる。

$$T = \frac{V_J - V_F}{\sqrt{\frac{S_J^2}{n_J} - \frac{S_F^2}{n_F}}} \quad (4)$$

$V_F$ : 2 月の平均速度,  $V_J$ : 6 月の平均速度  
 $S_F$ : 2 月データの不偏分散,  $S_J$ : 6 月データの不偏分散

$$\nu = \frac{\left(\frac{S_J^2}{n_J} + \frac{S_F^2}{n_F}\right)^2}{\left(\frac{S_J^2}{n_J}\right)^2 + \left(\frac{S_F^2}{n_F}\right)^2} \quad (5)$$

ただし、自由度  $(\nu)$  は式 (5) の最も近い整数をとる。

### 4.3 渋滞パラメータとしての車速比検証

交通渋滞の定義は論理的には、待ち行列理論での非定常状態とされ、交通需要を対象とする処理系では処理できずにオーバーフローした状態を表し、「処理能力の超過」状態であると考えられている [7]。また公益財団法人日本交通情報センター [8] においては表 3 に従い渋滞・規制図では渋滞を「赤色」、混雑は「橙色」で表示している。さらに

表 3 国内における渋滞判定例

Table 3 Traffic congestion guideline in Japan.

| 区分 | 高速道路     | 都市高速道路   | 一般道路     |
|----|----------|----------|----------|
| 渋滞 | 時速40km以下 | 時速20km以下 | 時速10km以下 |
| 混雑 | —        | 時速40km以下 | 時速20km以下 |

表 4 カメラ#1のウェルチ検定結果

Table 4 Results of velocity Welch. tests of camera#1.

|                | 2月           | 6月          |
|----------------|--------------|-------------|
| 平均 (V)         | 34.72359837  | 36.27387668 |
| 分散 (s)         | 25.05227874  | 16.70453806 |
| 観測数            | 35211        | 35211       |
| 仮説平均との差異       | 0            |             |
| 自由度 (v)        | 67714        |             |
| T              | -45.01789209 |             |
| 有意水準 (p)       | 0.01         |             |
| P(t<=T) 片側 (t) | 0            |             |
| 片側 p%          | 2.326401293  |             |
| P(t<=T) 両側     | 0            |             |
| 両側 p% (t)      | 2.575901901  |             |

表 5 カメラ#2のウェルチ検定結果

Table 5 Results of velocity Welch. tests of camera#2.

|                | 2月          | 6月          |
|----------------|-------------|-------------|
| 平均 (V)         | 30.5758773  | 25.70891305 |
| 分散 (s)         | 55.03323207 | 58.84100446 |
| 観測数            | 35211       | 35211       |
| 仮説平均との差異       | 0           |             |
| 自由度 (v)        | 70341       |             |
| T              | 85.58242674 |             |
| 有意水準 (p)       | 0.01        |             |
| P(t<=T) 片側 (t) | 0           |             |
| 片側 p%          | 2.326400868 |             |
| P(t<=T) 両側     | 0           |             |
| 両側 p% (t)      | 2.575899189 |             |

NEXCO 中日本/東日本/西日本が管理する高速道路における渋滞とは、時速 40 km 以下で低速走行あるいは停止発進を繰り返す車列が、1 km 以上かつ 15 分以上継続した状態を渋滞としている。このように国内をはじめとする先進国では道路によってこれまでの経験からある程度の渋滞状態の共通認識が可能であるが、インドをはじめとする新興国での交通渋滞定義の一般化は困難な状況となっている。

よって、本論文では当該道路での平均車速と測定データから得られた観測式による自由速度の車速比を検討し、走行する車の速度が、本来その道路における混雑のない自由速度走行に対してどの程度の速度差があるかによって渋滞を表すパラメータの1つとして検証する。

2月と6月の標本データとしてそれぞれの1カ月分の交通データを抽出し、これをもとに、式(3)、(4)に従い有意水準1%を算出する。算出結果により帰無仮説(2月と6月の母集団平均車速は等しい)を検定する。図6より渋滞の可能性が高いカメラ#1、#2、#3、#6のウェルチ検定結果を表4、表5、表6、表7に示す。これらの検定により両側1%有意水準における棄却領域にあるにはカメラ#1、#2、#6となり、帰無仮説は棄却され、平均車速はそれぞれの母集団では等しくないことが検定される。よってカメラ#1、#2、#6では平均車速は6月の時点で変化していることになる、カメラ#1では渋滞改善がみられ、カメラ#2、#6で渋滞が起きている結果となった。また、カメラ#3に関しては2月と6月では渋滞に関しての変化はないと判定される。これにより車速比閾値として0.65の妥当

表 6 カメラ#3のウェルチ検定結果

Table 6 Results of velocity Welch. tests of camera#3.

|                | 2月          | 6月          |
|----------------|-------------|-------------|
| 平均 (V)         | 34.21717258 | 34.21155467 |
| 分散 (s)         | 17.79878633 | 21.56289142 |
| 観測数            | 35211       | 35211       |
| 仮説平均との差異       | 0           |             |
| 自由度 (v)        | 69782       |             |
| T              | 0.168026218 |             |
| 有意水準 (p)       | 0.01        |             |
| P(t<=T) 片側 (t) | 0.43328157  |             |
| 片側 p%          | 2.326401293 |             |
| P(t<=T) 両側     | 0.86656314  |             |
| 両側 p% (t)      | 2.575899749 |             |

表 7 カメラ#6のウェルチ検定結果

Table 7 Results of velocity Welch. tests of camera#6.

|                | 2月          | 6月          |
|----------------|-------------|-------------|
| 平均 (V)         | 38.85434778 | 38.56103452 |
| 分散 (s)         | 56.57147404 | 49.69016442 |
| 観測数            | 37818       | 37818       |
| 仮説平均との差異       | 0           |             |
| 自由度 (v)        | 75318       |             |
| T              | 5.533408335 |             |
| 有意水準 (p)       | 0.01        |             |
| P(t<=T) 片側 (t) | 1.57554E-08 |             |
| 片側 p%          | 2.326397365 |             |
| P(t<=T) 両側     | 3.15109E-08 |             |
| 両側 p% (t)      | 2.57589457  |             |

表 8 測定点ごとの車速比一覧

Table 8 Velocity ratio comparison table in each location.

| Time     | Location | Cam#1 | Cam#2 | Cam#3 | Cam#4 | Cam#5 | Cam#6 | Cam#7 | Cam#8 | Cam#9 | Cam#10 | VMS#3 |
|----------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| Feb 2015 | Vave     | 35    | 31    | 35    | 44    | 46    | 39    | 39    | 43    | 48    | 37     | 40    |
|          | Vf       | 56    | 51    | 55    | 64    | 63    | 60    | 60    | 62    | 68    | 57     | 57    |
| Jun 2015 | Vave     | 36    | 26    | 34    | 44    | 46    | 39    | 39    | 47    | 47    | 37     | 41    |
|          | Vf       | 55    | 51    | 52    | 64    | 67    | 62    | 57    | 64    | 69    | 55     | 57    |
| Feb      | Vave/Vf  | 0.625 | 0.608 | 0.643 | 0.688 | 0.730 | 0.650 | 0.650 | 0.694 | 0.711 | 0.649  | 0.707 |
|          | Vave/Vf  | 0.655 | 0.510 | 0.653 | 0.688 | 0.687 | 0.629 | 0.684 | 0.734 | 0.681 | 0.673  | 0.719 |

速度単位: km/hr

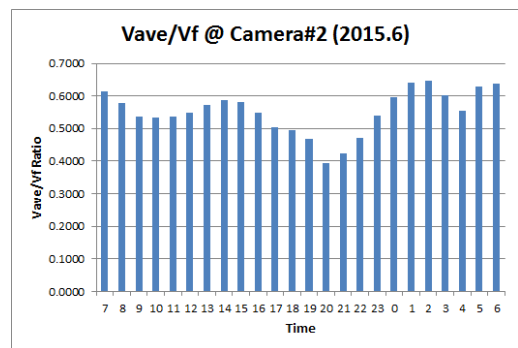


図 7 カメラ#2の時間帯別車速比 (2015.6)

Fig. 7 Hourly traffic velocity ratio at camera#2 (2015.6).

性が証明された。データのまとめを表8に示す。

ここで用いた車速比は、当該道路における平均車速は測定期間1カ月における走行車両の平均速度と自由速度の比を用いてきた。これによりマクロ的に渋滞状態をウェルチ判定で有意差を示すことができた。渋滞状況は図5でみたように時間帯による交通量により変化しており、経過時間を考慮することでより渋滞状況を詳細にとらえることが可能となる。表5における車速比の有意差がみられたカメラ#2に関して、図5で示した時間ごとにおける車速に注目し、自由速度に対する時間帯別車速比を図7に示す。

図7より時間帯別車速比を導入することで、それぞれの道路における渋滞する様子が容易に把握できる。平均車速

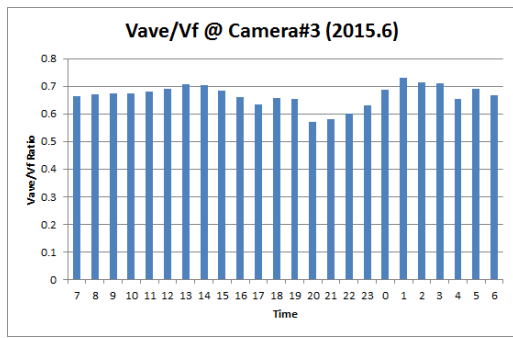


図 8 カメラ#3 の時間帯別車速比 (2015.6)

Fig. 8 Hourly traffic velocity ratio at camera#3 (2015.6).

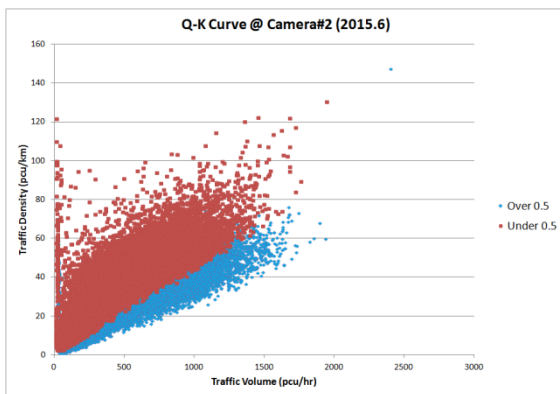


図 9 カメラ#2 の Q-K 特性と渋滞領域

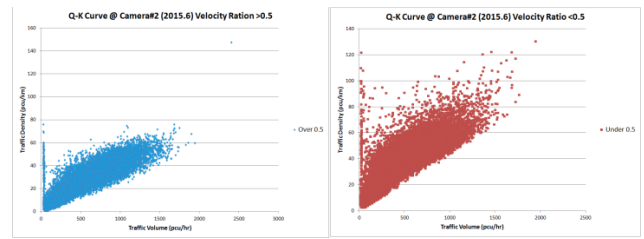
Fig. 9 Traffic congestion area at Q-K curve of camera#2.

と自由速度比の閾値は 0.65 としているが、時間帯車速と自由速度比の閾値は図 7 から 0.5 前後とすることでより明確に渋滞状態を示すことができると考えられる。ちなみに Welch 有意差判定で有意差があまりみえなかったカメラ #3 における時間帯別車速比を図 8 に示す。

図 8 より時間帯別車速比が 0.5 以下となる部分は存在せず、カメラ#3 の位置での渋滞が起きている判別は難しいことが明らかとなった。

ここで用いた車速比および時間帯別車速比に関して、交通基本特性 (Q-K 曲線) との関係を検証する。Q-K 曲線としてカメラ#2 の 2015 年 6 月 1 カ月における毎分データを利用し、閾値として時間帯別車速比で使用した 0.5 を用いることで、0.5 以上とそれ以下の場合の分析を示すことにする。図 7 で閾値 0.5 以下で渋滞が起きている状態となっているので、滞留の起きている状態が Q-K 曲線でのどの領域にあたるかを図 9 に示す。

図 9 より、アーメダバード市における渋滞は Q-K 曲線の一般的に考えられる渋滞領域には存在しないことが判明した。これはカメラ#2 における渋滞している領域 (閾値 0.5 以下) は閾値 0.5 を超える交通状態の良い状態と比較し、交通密度 ( $k$ ) の交通量 ( $q$ ) に対する値が高い傾向にあることが図 9 より判明する。図 9 を閾値 0.5 で分けて示すと図 10 のようになる。



(A) 車速比閾値 0.5 以上 (B) 車速比閾値 0.5 未満

図 10 カメラ#2 の車速別 Q-K 曲線

Fig. 10 Q-K curve of camera#2 by velocity ratio.

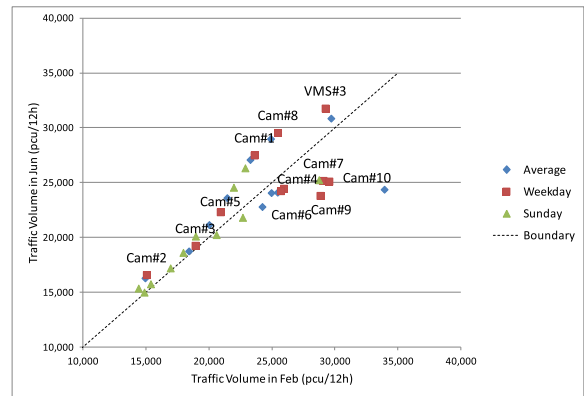


図 11 市内交通量変移 (2015 年 2 月対 6 月)

Fig. 11 Traffic volume change (Feb. vs. June 2015).

図 9, 10 はアーメダバード市で生じている渋滞は、交通の過飽和状態 (渋滞領域) で発生しているとは限らないことを示している。渋滞発生メカニズムに関しては、今後の詳細な調査研究によるものとする。

#### 4.4 地域交通の把握

交通渋滞の解析において実際の交通量 ( $q$ ) の推移は車速とならんで重要なパラメータとなる。図 11 に昼 12 時間交通量の各測定ポイントにおける変化を 2 月と 6 月の散布図として示す。図 7 より交通渋滞と判断されたカメラ#2 では 2 月と 6 月の時点の交通量変化はないものの、カメラ#1 は交通量の増加にもかかわらず渋滞状況は改善されていることが判明した。

一方で交通渋滞の状況の把握として、交通量 ( $q$ ) の変化量と平均車速 ( $v$ ) の変化量の関係に着目する。ここでそれぞれの変化量として、交通量 ( $q$ ) の変化率 (Q.Ratio) を式 (6)、平均速度の変化率 (V.Ratio) を式 (7) とし、2 月と 6 月における散布図を図 12 に示す。

$$Q\_Ratio = (6 \text{ 月平均交通量} / 2 \text{ 月平均交通}) - 1 \quad (6)$$

$$V\_Ratio = (6 \text{ 月の平均車速} / 2 \text{ 月の平均車速}) - 1 \quad (7)$$

図 12 の状態を整理すると以下のようにまとめられる。

- 第 1 象限: 改善領域

交通量の増加にもかかわらず平均車速が速く交通渋滞が改善されている領域 (カメラ#1, #3, #8, VMS#3)

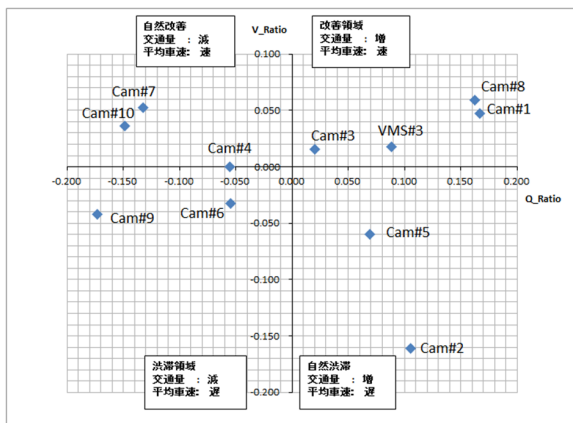


図 12 市内交通状態推移 (2015 年 2 月対 6 月)

Fig. 12 Traffic condition change (Feb. v.s. Jun. 2015).

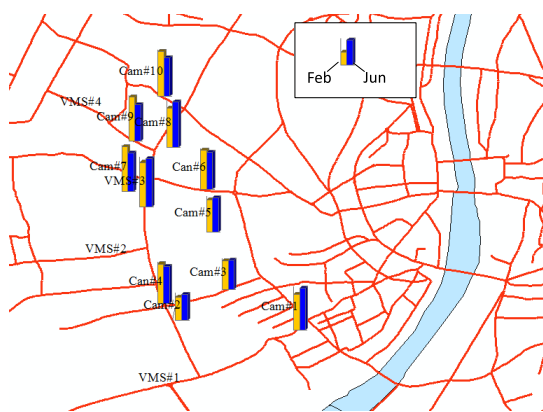


図 13 アーメダバード市内交通状態マップ

Fig. 13 Traffic condition mapping in Ahmedabad city.

- 第 2 象限：自然改善領域

交通量の減少により平均車速が速く交通渋滞が起きていない領域 (カメラ#4, #7, #10)

- 第 3 象限：渋滞領域

交通量の減少にもかかわらず平均車速が遅くなっており渋滞が生じている領域 (カメラ#5, #9)

- 第 4 象限：自然渋滞領域

交通量が増加しており平均車速が遅くなっており渋滞が生じている領域 (カメラ#2, #6)

このように交通量と車速の変化率をおさえることで市内の交通状態を俯瞰することが可能となり、カメラ#2, #6 のポイントは改善策が必要であり、カメラ#1 では改善できていることが判明した。簡易的な交通渋滞を示す他のパラメータとして時間あるいは空間的な車両占有率 (オキュパンシ) を用いることも可能ではあるが、オキュパンシの測定の高確率に課題もあり、交通量と車速を用いることはデータの確実性からみても妥当と判断できる。本論文での紹介は省略するがオキュパンシ測定において 100% を超えるデータが存在していた。

参考として今回の観測対象範囲における 2 月、6 月の平日の交通量の推移を地図上に展開したものを図 13 に示す。

必ずしも交通量の増加が渋滞を招いているとは限らない点は、今後の交通改善へのヒントが含まれているといつてよいと考える。

## 5. おわりに

経済成長による交通増加が引き起こす渋滞は、新興国において深刻な問題となっており、その打開は急務となっている。本論文により、これまで見えにくかった新興国市街地の交通状態を一定の期間にわたって調査することができ、それらのデータをもとにビジュアル化することができるとともに、主要ポイントでの交通データ収集により交通量や平均速度の変移をおさえることで面的に把握することが示された。また、渋滞としては平均車速と交通流解析による自由速度との車速比の閾値 (今回の観測地では 0.65) また時間帯別車速との車速比の閾値 (今回の観測値では 0.5) が求められ判定する手段を得た。また、車速比による閾値別に示した Q-K 曲線では、今回発生している渋滞は渋滞領域以外に存在している結果を得ることができ、今後の渋滞解析とその解決への手がかりを見つけることへの応用が期待できる。

データ観測は今後も継続調査が必要であるとともに、実際の交通状況の把握として住民への交通ヒアリングを実施するなどのデータのさらなる蓄積が重要となる。また情報板による住民への交通情報提供の効果など渋滞緩和に向けた効果の確認や地域行政のフィードバックにより具体的な交通流の把握を行うことを今後の研究の課題としたい。またアーメダバード市から ITS システムの拡張要請を受けており、より広範囲における人の動きの把握が可能となる状況となっている。これらの活動を通し今後の都市計画への情報としての活用が期待される。またデータのより正確な把握としてはカメラによる 2 輪車の画像認識の精度向上や公共車両やタクシーなどのプローブデータの活用が期待される。また、渋滞解析では実際に渋滞している箇所におけるデータ分析とともに実際に渋滞が発生している詳細な状況の収集を行うなど、その原因と交通流に及ぼす影響の把握を行っていくものとする。

## 参考文献

- [1] World Health Organization: Number of road traffic deaths, Global Health Observatory (GHO) data, available from ([http://www.who.int/gho/road\\_safety/mortality/traffic\\_deaths\\_number/en/](http://www.who.int/gho/road_safety/mortality/traffic_deaths_number/en/)) (2010).
- [2] Businessweek: The Trouble with India, available from (<http://www.bloomberg.com/news/articles/2007-03-18/the-trouble-with-india>)
- [3] Salim, A., Vanajakshi, L. and Subramanian, C.: Estimation of Average Space Headway under Heterogeneous Traffic Conditions, *International J. Recent Trends in Engineering and Technology*, Vol.3, No.5 (2010).
- [4] 神垣裕輝, 吉井稔雄, 高山雄貴: 混合交通流における交通流解析, 第 20 回土木学会四国支部技術研究発表会, IV-19,

pp.219–220 (2014).

- [5] 坪井 務, 小栗宏次: 新興国における交通流解析, 情報処理学会論文誌, Vol.57, No.4, pp.1284–1289 (2016).
- [6] Welch, B.L.: On the comparison of several mean values: An alternative approach, *Biometrika*, Vol.38, pp.330–336 (1951). 桜井貴文 (訳): 直観主義論理と型理論, 情報処理, Vol.30, No.6, pp.626–634 (1999).
- [7] 久保田尚, 大口 敬, 高橋勝美: 交通工学・交通計画, pp.30–33, 理工図書 (2010).
- [8] 公益財団法人日本道路交通情報センター: JARTIC インフォメーション, 入手先 (<http://www.jartic.or.jp/jartic-web/others/faqs.html>)



坪井 務 (正会員)

名古屋電機工業. 1979年日立製作所入社. 1997年 Hitachi Semiconductor America New Business Development Manager. 2000年日立製作所半導体事業部部長. 2003年ルネサステクノロジ新事業開発本部部長. 2010年日立製作所スマートシティ事業統括本部担当部長. 2012年東京大学大学院工学系研究科修了. 2012年(公財)浜松地域イノベーション推進機構プロジェクトディレクター. 2014年名古屋電機工業海外事業室長, 現在に至る. 2007年 Car to Car Communications Consortium 委員 ITS 関連技術プロジェクト参画, 次世代車載無線システム開発研究およびインド国 ITS 事業従事. IEEE 会員.



小栗 宏次 (正会員)

愛知県立大学. 1990年名古屋工業大学大学院博士後期課程修了. 同年名古屋工業大学助手. 1994年愛知県立大学助教授. 1998年同大学情報科学部教授. 1999~2000年ドイツ連邦ミュンヘン大学計測科学研究所客員教授. 2013年情報科学共同研究所所長, 現在に至る. 生体信号処理, 知的情報処理に関する研究に従事. 工学博士. 1996年日本エム・イー学会研究奨励賞, 1999年永井科学技術財団学術賞各受賞. 日本生体医工学会評議員, IEEE, 電子情報通信学会, 自動車技術会各会員.