

# ETC2.0 による OD 交通量推定のための 入力情報の作成

加藤 雅仁<sup>1</sup>・倉内 文孝<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 システム科学研究所 調査研究部 (〒604-8223 京都府京都市中京区新町通四条上ル小結棚町 428)

E-mail: m-katou@issr-kyoto.or.jp

<sup>2</sup>正会員 岐阜大学教授 工学部社会基盤工学科 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1)

E-mail: kurauchi@gifu-u.ac.jp

本研究では、高精度で実用的な OD 交通量推定モデルを構築することをめざし、その重要なインプット情報であるリンク利用率の算定や目的地選択確率の更新を ETC2.0 データにより作成する方法の検討を行った。まず、リンク利用率の算定に関して、Dial 型経路配分アルゴリズムや Markov 型経路配分アルゴリズムの妥当性を、ETC2.0 データにより検証した。その結果、Dial のアルゴリズムでは ETC2.0 で観測されているリンクの利用状況をうまく表現できなかった。循環経路を排除するため有効経路に含まれるリンクが限定的であることが原因として考えられる。また、全リンクを対象とした Markov 配分アルゴリズムは、分散パラメータの値によっては計算が不安定になることが明らかとなった。そのため、ETC2.0 データにより利用が確認されたリンク集合を用い、循環経路を許容する Markov 配分アルゴリズムにより配分する手法を検討した。目的地選択確率の更新に関しては、ベイズ更新の考え方を援用した手法を提案した。

**Key Words:** ETC2.0 data, Dial's Efficient Path, Markov algorithm, Bayes' theorem

## 1. はじめに

ETC2.0とは、従来のETC規格に代わるDSRC (Dedicated Short-Range Communication) 通信を用いた料金収受システムを指す。路側のアンテナとITS車載器間で高速通信を行うことでノンストップでの料金収受を実現している。平成29年12月段階で、およそ320万台が普及している<sup>1)</sup>。また、高速で大容量での双方向通信が可能であることから、ITS車載器から路側のアンテナに車両軌跡(プローブ) データを送信することが可能である。プローブデータは基本情報、走行履歴、挙動履歴からなっている。基本情報には製造メーカー、型番等の車載器やカーナビに関する情報、車両に関する情報などが含まれている。走行履歴には時刻、緯度経度等の情報が含まれており、これらの情報から走行経路を把握することが可能である。緯度経度情報は車載器のGNSS (Global Navigation Satellite System : 全地球航法衛星システム) 測位機能により取得される。走行履歴は前回記録した地点から200m走行、もしくは進行方向が45度以上変化した時点で記録される。車載器における走行履歴の最大蓄積容量は走行距離約80km相当分である。車載器に蓄積されたプローブデー

タは、車両が路側のアンテナの直下20m程度の範囲である通信領域を通過した際に送信される。送信されたプローブデータはプローブ統合サーバで集計、保管されイントラを通じて道路管理者のもとで利用可能となる<sup>2)</sup>。これらのデータには暗号化された車両固有のIDが付与されるため、このIDによりデータをマッチングすることで各車両の情報を知ることができる。これらETC2.0のデータにより交通状況を把握することが可能と期待されている。

OD (Origin-Destination) 交通量は将来の交通量需要設計、交通施策等の事前事後評価や交通計画の分野において重要な基礎データである。OD 調査は主にパーソントリップ調査や道路交通センサスの起終点調査により把握されている。しかし、近年の調査票の回収率の低下などによりその正確性に課題点がある<sup>3)</sup>。また OD 交通量推定のモデルは様々なものが提案されているが、そのほとんどが仮想ネットワーク対象としているため実務においての適用が少ない要因となっている<sup>4)5)</sup>。本研究では、近年の ETC2.0 の普及によるプローブデータの収集状況を踏まえ、これらのデータを OD 交通量推定へ活用することを検討する。動的な OD 交通量を推定するにあたり、インプット情報として必須であるリンク利用率と目的地

選択確率について着目する。

リンク利用率については、経路選択の行動規範に関する妥当性を ETC2.0 データを用いて検証した結果を報告する。具体的には、Dial の有効経路の考え方を前提とした場合の経路利用率と実際の利用率の違い、また実際の経路や Dial で算出された経路を、有効経路とした場合の Markov による経路利用率と実際の利用率の違いについて報告する。目的地選択確率については、ETC2.0 データによるペイズ更新の考え方を援用して算出した推計比率と、センサスにより算出したセンサス比率との比較について報告する。

なお、本研究は、国土交通省「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」に関する技術研究助成（「観光流動把握を目的とした交通流動推定システムの研究開発（研究代表者：宇野伸宏京都大学教授）」）の一部として実施している。この研究課題の自動車交通流のトリップパターンを推定する部分について、そのインプットデータを ETC2.0 を用いて整備可能かどうかを検討したのが本稿の位置づけとなる。

## 2. 確率的経路配分モデルの概要

確率的経路配分モデルは、経路変数を用いて表現されている。そのため交通量を定義式から計算しようとするとき経路を列挙しなければならない。しかしながら実際的な交通ネットワークでは経路の個数は膨大であり、その列挙は不可能である。従って確率的経路配分モデルを一般的なネットワークで利用するためには、経路交通量を直接計算するのではなくリンク交通量のみを効率的に計算する方法が求められる。経路を列挙せずロジット型の確率的配分計算を行う方法として、経路を限定する Dial のアルゴリズム、経路を限定しない Markov 型経路配分がある<sup>6,7)</sup>。Dial のアルゴリズムは選択経路上、後戻りがおきないよう経路を効率的経路と定義して、配分経路を合理的に限定した実用的配分計算法である。式(1)より Dial のアルゴリズムは、ロジット型確率配分モデルと等価なリンクフローを出力することが確認でき、経路の列挙を必要とせず極めて効率的に経路利用率を計算することができる。

$$P_k = \frac{\exp[-\theta c_k]}{\sum_k \exp[-\theta c_k]} \quad (1)$$

ここで、 $P_k$  : 経路  $k$  の選択確率、 $c_k$  : 経路  $k$  のコスト。

Markov 型経路配分は、巡回経路を含むすべての利用

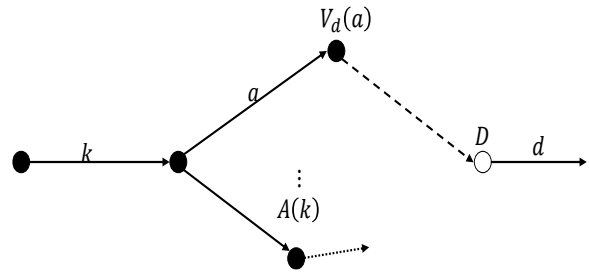


図1 ネットワークの考え方



図2 対象 OD ペア

可能な経路を認めることで、各リンクに特定の重みを設定すれば、目的地を吸収点とする吸収 Markov 過程により各 OD のリンク・ノード遷移確率を求めることができ、簡単な行列計算で解を求めることができる。図1では、 $k, a \in A$  とし、リンク  $k$  の終点ノードを起点にもつリンクの集合を  $A(k)$  とおく。経路は、リンクのつながり  $(k_0, \dots, k_l)$ ,  $k_{i+1} \in A(k_i)$  for all  $i < l$  と定義されるものとする。リンク  $k$  にいる状態からリンク  $a$  を選択する確率は式(2)で表わされる。

$$P_d(a|k) = \frac{e^{\frac{1}{\mu}(v_d(a|k) + V_d(a))}}{\sum_{a' \in A(k)} e^{\frac{1}{\mu}(v_d(a'|k) + V_d(a'))}} \quad (2)$$

このときリンク  $k$  における期待効用  $V_d(k)$  は式(3)で表わされる。

$$V_d(k) = \begin{cases} \mu \ln \sum_{a \in A} \delta(a|k) e^{\frac{1}{\mu}(v_d(a|k) + V_d(a))} & \forall k \in A \\ 0 & k = d. \end{cases} \quad (3)$$

移動者が、期待効用を最大化するように下流側のリンクを選択するものとするとき、再起方程式として式(4)が表わされる。

$$V_d(k) = E \left[ \max_{a \in A(k)} (v_d(a|k) + V_d(a) + \mu \varepsilon(a)) \right], \forall k \in A \quad (4)$$

この際の  $v_d(a|k) + \mu \varepsilon(a) = u_d(a|k)$  であり、各ノードにおいて次のリンクを選択する瞬間の効用である。 $v_d(a|k)$  はリンク  $k$  から  $a$  へ移動する際の効用の確定項であり、 $v_d(a|k) = v_d(x_{a|k}; \beta) < 0$  で表わされる。ただし、 $x_{a|k}$  はリンクペア  $k, a$  に関連する特性、 $\beta$  は未知のパラメータである。

### 3. ETC2.0 データを用いたリンク利用率算定手法の妥当性検証

#### 3.1. データ概要

2016 年の 1 年間の ETC2.0 データのうち、比較的交通量が多くて移動距離も長い京都府京都市内の九条大宮交差点を出発地とし、大阪府高槻市内の八丁交差点を目的地とした車両を対象として分析を進める。なお、2016 年の 1 年間のサンプル数は 815 である。

#### 3.2. Dial のアルゴリズムと ETC2.0 リンク利用率の整合性検証

ここでは Dial のアルゴリズムにより算出したリンク利用率と、実際に利用された ETC2.0 データから算出したリンク利用率との関係性を考察することとする。815 サンプルのうち 1 番サンプル数の多い 18 時台で考察する。130 サンプルある。なお、ETC2.0 データは走行経路の途中のリンクにおいて観測欠損が生じることが多々ある。そのため、リンク利用率について、ノード間で保存則が成立しないことに留意してデータを比較する必要がある。Dial のアルゴリズムによるリンク利用率を求めるために必要な分散パラメータは、実務レベルにおいて配分されたリンク交通量にあまり差異のない 0.1 とし、各リンクの所要時間は日平均値を用いた。高速道路料金については、時間価値を 52.04 (円/分) としてリンクに負荷している。各リンク利用率の凡例は表 1 のとおりとし、リンク利用率が 5% 以上のもののみを地図に示している。その結果を図 3 に示す。その結果、図 3(a) の Dial のアルゴリズムでは、阪神高速京都線から久御山 JCT を経由して、京滋バイパスを利用する経路しか利用されていなかった。その一方で、図 3(b) の ETC2.0 リンク利用率では、京都南 IC を経由した名神高速道路の利用や国道 171 号の利用がみられ、Dial の図では観測されていない箇所も利用されている。またリンク利用率の色で着目すると、国

表 1 リンク利用率の凡例

利用率(%)	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
凡例	茶	紫	紺	青	水色	黄緑	黄	橙	桃	赤



(a) Dial のアルゴリズムによるもの



(b) ETC2.0 リンク利用率によるもの

図 3 Dial と ETC2.0 によるリンク利用率の比較

道 171 号の利用率の方が高い。Dial のアルゴリズムでは、循環経路を排除するために出発地からリンク終点までの所要時間がリンク始点までのそれよりも大きければそのリンクは利用されない。結果的に効率的経路に含まれるリンク（以下有効リンクと称する）が限定的になるため、実際の多様な経路の利用を表現することができていないことが原因として考えられる。したがって、利用経路が異なることから Dial の効率的経路の仮定が現実を表していない可能性が示唆される。

#### 3.3. Markov のアルゴリズムと ETC2.0 リンク利用率の整合性検証

Markov 型経路配分では、本来すべてのリンクを選択肢集合に設定する。しかし Markov 型経路配分では、遠

回りする経路を認めるため、ETC2.0 で観測されていないリンクも有効リンクに含まれる。そのため Markov 型経路配分により算出されたリンク利用率と、ETC2.0 データにより算出されたリンク利用率との誤差が大きくなる可能性がある。一方で、推移行列から不要なリンクを削除することで利用リンクを限定することも可能である。そのため、ここでは、Dial のアルゴリズムや ETC2.0 により実際観測されたリンクを対象に有効リンクを設定した場合の経路利用率の結果を比較する。

### 3.3.1. Dial のアルゴリズムによる効率的経路集合を用いた Markov 型経路配分

まずは、Dial のアルゴリズムによる効率的経路の集合について検討する。ここでは、24 時間の 1 時間帯ごとのリンク所要時間の平均値により算出されたリンク利用率の結果がゼロでないリンクすべてを有効リンク集合とした。その結果を図 4 に示す。国道 171 号、京都府道 123 号水垂上桂線、旧京阪国道、阪神高速京都線などに位置するリンクが有効リンクに含まれている。しかし、名神高速道路のリンクは含まれていない。この有効リンクを用い、Markov のアルゴリズムによるリンク利用率を求める計算を行った。分散パラメータについては、ETC2.0 により観測されたものと Markov のアルゴリズムのそれとの RMSE (Root Mean Square Error) 値が最小となるように設定した。その結果、RMSE が 0.039 で 1 番小さい、分散パラメータ 176.05 を採用した。Markov 型経路配分による結果と、ETC2.0 による結果を図 5 に示す。今回の ETC2.0 による結果は、24 時間分の結果としている。また、各リンク利用率の色は、表 1 に従いリンク利用率が 5% 以上から地図に示している。図 5(a) の Markov 型経路配分による計算結果をみると、ほぼ国道 171 号の経路に集中していることがわかる。しかし、利用率が 5% 未満のため地図には示されていないが、旧京阪国道の利用も確認することができた。また、異なる分散パラメータでも検証を行った結果、分散パラメータが増加するにつれて、国道 171 号の利用率が増加することが確認できた。その一方で、図 5(b) の ETC2.0 データによる実測値を見ると、国道 171 号や旧京阪国道の利用がみられ、Markov 型経路配分による計算結果と類似した経路を利用している。しかし走行経路の途中のリンクにおいて、観測欠損がやや生じている。相関係数は 0.820 であった。

### 3.3.2. ETC2.0 の実績集合による Markov 型経路配分

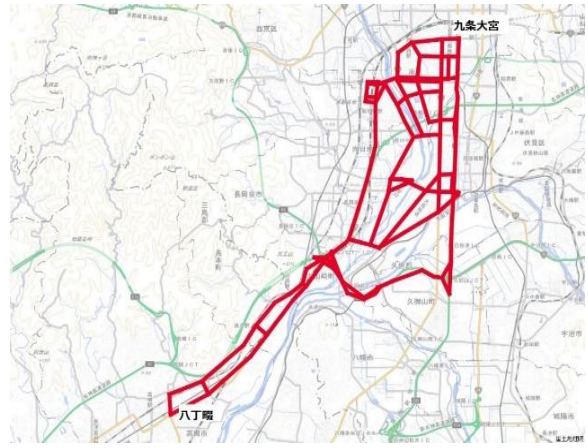
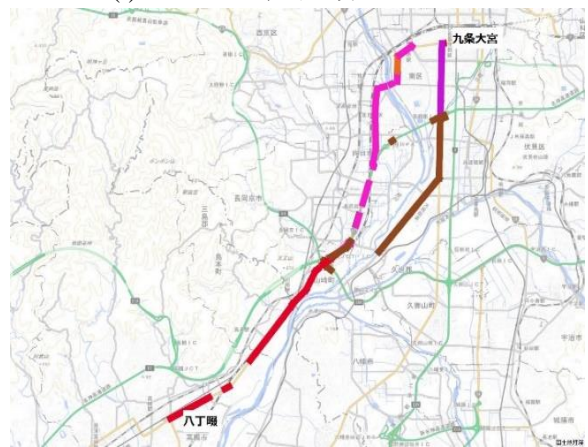


図 4 Dial のアルゴリズムによる有効リンク



(a) Markov 型経路配分によるもの



(b) ETC2.0 リンク利用率によるもの

図 5 Markov 型経路配分と ETC2.0 によるリンク利用率の比較

今後 ETC2.0 の活用が広がることを想定すれば、ETC2.0 データにより利用が確認できたリンク集合をそのまま有効リンク集合にすることも可能であろう。そのため、ここでは ETC2.0 により少しでも利用がみられたところを有効リンクとし、Markov 型経路配分を実施した。なお、計算過程において、ETC2.0 リンク利用率は電子道路地図 (Digital Road Map, DRM) を元としたネットワークを、Markov 型経路配分は道路交通センサステ

ータ分析時のネットワークを用いており、それらは異なる。ここではこの2つを結合し、関係性を考察するが、交差点やインターチェンジの取り扱いの関係上、ETC2.0で観測欠損がされているリンクも有効リンクとして含まれる可能性がある。その結果を図6に示す。国道171号、旧京阪国道、国道1号のリンクが含まれている。また、名神高速道路では茨木ICまで走行し八丁畷交差点まで戻るリンクも含まれており、かなり、Dialのアルゴリズムによる有効リンクとは異なっていることがわかる。分散パラメータは、先ほど用いたRMSE値が1番小さくなる385.45を採用した。その際のMarkovのアルゴリズムによる結果と、ETC2.0による結果を図7に示す。その結果、図5(a)と同様、国道171号の経路に集中していることがわかる。また今回は、京都市内久世殿城交差点以南の利用率が100%であることから、名神高速道路や旧京阪国道での利用はみられなかった。

また、相関係数は0.846であった。Dialのアルゴリズムによる有効リンクとくらべて、ETC2.0による有効リンクは非常に限定的であることに加え、実際に利用があるリンクを用いているため高くなっていると考えられる。以上より、Markov型経路配分の分散パラメータを調節することで、ETC2.0で観測されているリンクの利用状況に近づけることができることが確認できた。しかし今回は、ETC2.0で観測されているリンク利用率に近づけると、どちらの場合も分散パラメータが大きくなってしまった。分散パラメータが大きくなると経路選択枝が限定されるため、ある経路に集中する。今回は国道171号に利用率が集中してしまった。そのため、様々な経路を描くには、リンクの所要時間のみの要因ではない可能性がある。別のODパターンでも、同様に検証を行い、様々な経路を描く要因をみつける必要がある。

#### 4. ETC2.0を活用した目的地選択確率の更新

次に目的地選択確率の更新について着目する。一般的に、目的地選択確率は既存のODデータがある場合にはそのデータを使用する方が、推定精度が良い<sup>9)</sup>とされているため、道路交通センサスの起終点調査やPT(パーソントリップ)調査のODデータをもとに設定されている。しかしこれらの調査は5年に1度のサンプル調査のため、日々の変動や年変動などを把握することができない。そのため本研究では非常に計算が簡単で、更新しやすいベイズ更新手法を用い目的地選択確率の更新を行う。

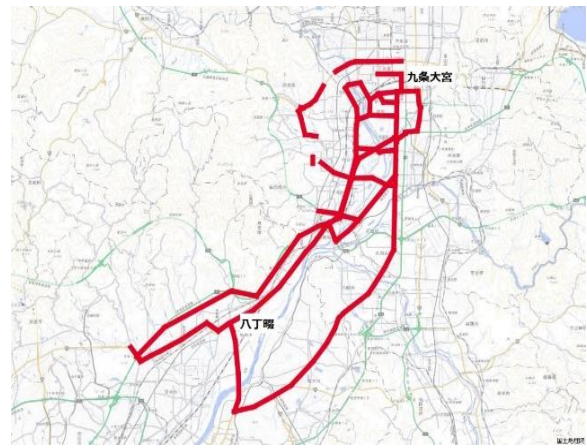


図6 ETC2.0利用実績による有効リンク



図7 ETC2.0利用実績を用いたMarkov型経路配分の結果

#### 4.1. ETC2.0による観測の前提

ETC2.0による目的地選択確率の更新を行う際には、観測の前提として次の3つの事象を仮定する。まず出発地 $o_w$ 、目的地 $d_w$ であるODペア $w$ の交通は、セントロイド $o_w$ 、 $d_w$ のいずれかでETC2.0をセットアップしたものととし、それ以外のものは少量であり、無視可能であることとする。すなわちODペア $w$ の車両の装着率は、その起終点における装着率に依存するものとする。また、ETC2.0装着率は、ETC2.0セットアップ件数を、当該自動車保有台数により除算したもので求められるものとする。なお、この計算での暗黙の仮定は、ETC2.0装着車両と非装着車両の運転頻度が同じ、ということである。この点について、もし装着と非装着で明らかに運転頻度が異なる場合、ETC2.0装着率を用いて補正することも可能と考えられる。上記の仮定に従えば、ODペア $w$ のETC2.0装着率 $g_w$ は、式(5)で示すことができる。この際、それぞれのセントロイドにおける発生比率 $e_i$ は式(6)を満たす。

$$g_w = \frac{e_{o_w} f_{o_w} + e_{d_w} f_{d_w}}{e_{o_w} + e_{d_w}} \quad (5)$$

$$\left( \sum_{i \in O} e_i = 1 \right) \quad (6)$$

ここで、 $f_{o_w}$  : 出発地の装着率、 $f_{d_w}$  : 目的地の装着率、 $e_{o_w}$  : 出発地の発生交通比率、 $e_{d_w}$  : 目的地の発生交通比率である。この定式化の意味であるが、OD ペア  $w$  の中で、ETC2.0 をセットアップした場所が  $o_w$  あるいは  $d_w$  である確率はそれぞれの発生交通量比率

$$\left( \frac{e_{o_w}}{e_{o_w} + e_{d_w}}, \frac{e_{d_w}}{e_{o_w} + e_{d_w}} \right) \text{ に依存し、それぞれの装着率が}$$

$f_{o_w}$ ,  $f_{d_w}$  であることから求められる、交通量を重みにした平均的な装着率を表している。さらに、走行している車両がどこかで観測され、ETC2.0 の起終点データベースに登録される確率である捕捉率は、OD パターンごとに一定とする。すなわち捕捉率に地域的な偏りはないものとする。

#### 4.2. 目的地選択確率の試算

ベイズ更新の考え方を援用した手法で、ETC2.0 データにより目的地選択確率の更新を行うにあたり、まずは近畿地方のネットワークでの試算を行った。算出した推計比率が ETC2.0 によって更新することができたのかを検証するために、センサスにより算出した比率と推計比率、及び ETC2.0 により算出した比率とセンサスにより算出した比率でそれぞれ相関係数を算出した。その結果を図 8 にあらわす。センサスと推計比率の相関係数は 0.870、センサスと ETC2.0 の相関係数は 0.945 であった。その結果、センサスと ETC2.0 の相関係数の方が高いため、センサスデータに近づいたとはいえない。今回、実際のセンサスデータから誤差を引いた真値の値がわからないため、今後の課題として、まずセンサスが実施されている 10 月分の ETC2.0 データや、数か月分のデータを用いて何度も検証を行い、おおまかな真値を求めることが必要である。またその真値の結果がでた上で、ベイズの定理により更新された推計比率と、真値との値を比較する必要がある。

#### 5. おわりに

本研究では、動的な交通流動の把握を行うために ETC2.0 データを活用することを想定したより高精度で実用的な動的 OD 交通量推定モデルの構築に向けて、重

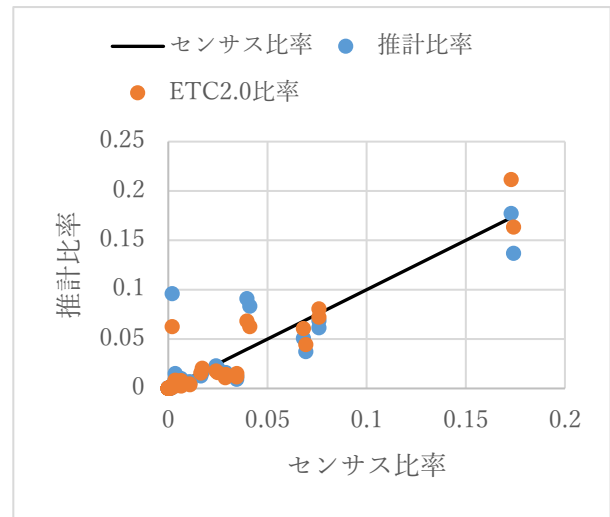


図 8 推計比率とセンサス比率の比較

要な入力情報であるリンク利用率の算定や目的地選択確率の更新を ETC2.0 データにより作成する方法の検討を行った。この作成したデータをもちいて、OD 交通量推定を行うと、既存 OD 交通量推定の結果より、正確な値が得られると考えられる。しかしいくつか課題点も残った。

まず ETC2.0 によるリンク利用率の整合性検証について、Markov のアルゴリズムの分散パラメータを調節することで、ETC2.0 で観測されているリンクの利用状況に近づけることが可能となることが明らかになった。しかし今回は、ETC2.0 で観測されているリンク利用率に近づけると Dial のアルゴリズムによる有効リンク、また ETC2.0 による有効リンク共に分散パラメータが大きくなってしまった。分散パラメータが大きくなると経路選択枝が限定されるため、国道 171 号に利用率が集中してしまった。そのため、様々な経路を描くには、リンクの所要時間のみの要因ではない可能性が考えられる。その中でも高速道路料金の要因が可能性として考えられるため、今後の課題として、現在 1 分あたり 52.04 円として計算している時間価値を調整して計算する必要がある。また別の OD パターンでも、同様に検証を行い分散パラメータの値によって、どのような結果が出るのか検証をいくつか行い、様々な経路を描く要因を見つける必要がある。またいくつかの検証結果から、最終的に分散パラメータ値をいくつにするのか、決定を行う必要がある。

次に ETC2.0 データを活用して目的地選択確率をベイズの定理によって更新したものについて、推定比率を求めたが、センサスデータの誤差を引いた真値の値がわからないため、今回はこの結果で問題がないとしたが、今後の課題として、おおまかな真値を求めることや、その

真値の結果が出た上で、ベイズの定理により更新された推計比率と、真値との値を比較する必要がある。

#### 参考文献

- 1) ETC/ETC2.0(DSRC)普及状況, ETC 総合情報ポータルサイト, <http://www.go-etc.jp/fukyuu/> (2018/1/20 アクセス)
- 2) 築地貴裕, 鈴木彰一, 牧野浩志: ETC2.0 を活用した大型車両の走行経路把握に関する基礎的分析, 第12回 ITS シンポジウム 2014, 2014.12
- 3) 飯田恭敬: 交通計画のための新パラダイム—交通ネットワーク信頼性と OD 交通量逆推定—, 技術書院
- 4) 立石亮祐: 観測交通量を用いた OD 交通量推計手法の実務適用に関する研究, 九州工業大学 博士論文, 2014-06-09
- 5) 小野剛史: 区間旅行時間観測値を活用した動的交通流把握手法の開発, 岐阜大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻学位論文, 2016
- 6) 原祐輔, 赤松隆, Network GEV 型経路選択モデルを用いた確率的利用者均衡配分, 土木計画学研究・論文集 31, pp611-620, 2014
- 7) 土木学会: 交通ネットワークの均衡分析—最新の理論と解法—, pp167-171, 1998
- 8) 佐佐木綱, 飯田恭敬: 交通工学, 国民科学社, 1992

## INPUT DATA CREATION FOR TRIP TABLE ESTIMATION USING ETC2.0 DATA

Masahito KATO and Fumitaka KURAUCHI