階層ネットワークを用いた データ指向型動的交通量配分

石原　雅晃[1]・井料　隆雅[2]・玉川　大[3]・中井　万理子[3]

[1]正会員　東北大学　大学院情報科学研究科（〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06）
E-mail: ishihara.masaaki.r7@dc.tohoku.ac.jp

[2]正会員　東北大学　大学院情報科学研究科（〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06）
E-mail: iryo@tohoku.ac.jp

[3]阪神高速道路株式会社　計画部

近年，プローブデータの取得対象車両が増加し，旅行時間をよい精度で観測できるようになった．観測旅行時間を用いれば，施策前後の旅行時間が大きく変化しないという前提において，観測旅行時間に基づいて算出した経路選択確率に応じた動的交通量配分による各種施策の事前評価が可能となろう．しかし経路選択確率の算出には経路列挙を要するため，現実の道路ネットワークをそのまま対象とした計算は容易ではない．本稿では，ネットワークを階層化し，交通量配分する対象リンクを限定して経路列挙を可能とする方法を提案する．関西圏の道路ネットワークを対象にしたケーススタディを実施し，結果，リンク単位の観測交通量と提案手法による推計交通量の相関が高いことを確認した．また，観測交通量と推計交通量の乖離が大きい路線を特定することができた．

Key Words: *Data-oriented, ETC2.0, DTA, network hierarchization, route choice model*

1. はじめに

道路の施策を実施する際には，施策前後の交通状況の評価が求められる．渋滞等の交通事象は，時間によって状況が変化するため，静的な交通流モデルではその特徴を正確に記述できない．よって，動的な交通流モデルを用いた動的交通量配分問題を用いることが必要となる．

動的交通量配分問題のうち配分原理として利用者均衡を採用したものは一般的に動的利用者均衡配分と呼ばれる．動的利用者均衡配分問題はその解の一意性や安定性が必ずしも保証されないことが指摘されている [1]．この問題は，マルコフ連鎖を用いた均衡の概念の拡張により解決する方法が提案されている [2),3)]．一方このような計算には大量の計算コストがかかる．加えて，動的な交通流モデルのパラメータは，動的な計算における全ての時間帯ごとに計算対象とする全てのリンクに対して設定する必要があるが，それには多大な労力を要する．

動的交通量配分問題で一般的に用いる交通流モデルに代えて，観測データを用いて交通量をネットワークに配分する方法が上述の問題の解決手段として考えられる．交通容量等の交通量に関連するものを推定するには全数観測が必要である．定点に設置された車両検知器から取得される交通量は，地点ごとには全車両の情報を取得可能であり，高速道路では概ね全てのランプ間に設置されている．しかし一般道では設置個所が限定的である．一方，旅行時間は，サンプルデータでも一定の精度で把握できる．よって ETC2.0 のようなプローブデータから道路ネットワーク内の動的な旅行時間を網羅的に取得することは十分可能である．

プローブデータから取得した観測旅行時間を用いた研究として，OD 交通量を逆推定する手法が提案されている [4]．これは，観測旅行時間や観測交通量を用いて OD 交通量を推定するアプローチであるが，施策前後の交通状況を評価するものではない．施策前後の交通状況を評価する方法として，観測旅行時間を一般化交通費用として交通量配分を行う方法が考えられる．この方法では，交通流理論による旅行時間の評価が不要であるが，経路選択モデルの正確性が課題となる．交通流モデルを用いた交通量配分では，交通量が増加した経路は旅行時間が大きくなりドライバーに経路選択される確率が低下するが，観測旅行時間を用いて旅行時間が最小の経路を選択することは All-or-nothing 配分にほかならず，観測旅行時

間の差に対する感度が大きく出てしまう．この問題の対応として，ドライバーに所要時間が最小ではない経路も一定の割合で選択させる確率的な経路選択モデルが必要である．確率的な経路選択モデルでは，ある起終点間を結ぶ経路を全て列挙することが往々にして障害となる．経路列挙を要しない方法としては，Dial の方法 [5]，マルコフ連鎖による方法 [6]，Network GEV を用いる方法 [7]なども提案されている．しかしこれらの方法は Cyclic path の除去に課題（Cyclic path を除去できないか，あるいは Acyclic path の一部を除去してしまう）があり，正確な結果を常には提供しない．また，動的なネットワークに対する実装は必ずしも容易ではないし，現実の有料道路ネットワークにおける通行料金の不可算性への対処も簡単とは言えない．

全ての経路列挙数が困難である問題を回避する方法としては，「最短経路から順番に可能な限りの本数の経路を列挙する」が考えられる．一般化交通費用が最短経路と比較して過大な経路は，確率的経路選択モデルであっても選択確率は大きく下がるので列挙は不要だろう．利用者が選択し得る経路の一般化交通費用を下回る経路の本数が現実的な時間で計算可能な範囲に収まればこの方法は適用可能となる．この条件が成立するかどうかはネットワークの構造に依存して決まる．ネットワークが密であると，最短経路の費用と同程度の費用でも，多数の経路選択肢が存在する可能性が高い．しかし，細街路を含む密なネットワークを対象とした計算が常に必要というわけではない．例えば道路会社などネットワークの主要部のみを管理する主体は細街路の交通流の評価を必要としないことも多い．池田ら [8]や石原・井料 [9]は，ネットワークの主要部分のみを対象とした動的交通量配分について，経路列挙数を限定することにより複数の確率的な経路選択モデルによる影響を検討している．

一方で，現実のネットワークには主要部分以外のネットワークも含まれており，ネットワークを利用する車両はその両方を利用する．主要部分以外のネットワークも考慮するには，主要部分とそれ以外の部分で処理内容を切り分けて計算するアプローチが有効と考えられる．本研究では，ネットワークの主要部分を「上位ネットワーク（以下，上位NW）」，「下位ネットワーク（以下，下位 NW）」とする 2 階層の階層ネットワークを設定し，それぞれに対して計算方法を切り分ける手法を提案する．提案手法について，関西圏のネットワークを対象としたケーススタディを行う．有料道路網の計画運用のために交通量配分を行うことを想定し，有料道路を主とするネットワークを上位 NW として設定する．ETC2.0 で取得したプローブデータから旅行時間を交通センサスの OD 交通量を用い，本手法で算出したリンク交通量と車両検知器での観測交通量を比較することで評価を行う．

本論文の構成は以下の通りである．2 章で計算手法の手順ついて説明する．3 章でケーススタディにおける設定を示す．4 章でケーススタディの計算結果を示す．5 章でまとめと今後の課題を示す．

2. 階層ネットワークを用いたデータ指向交通量配分の計算の方法

本研究では，上位 NW と下位 NW の 2 階層に分割した階層ネットワークを用いて計算を行う．階層ネットワークのイメージを図-1 に示す．

上位 NW は，経路列挙を行う際に経路内の合計一般化交通費用に上限を定めた上で経路列挙することを前提に，本手法によって交通流の評価を必要とする道路をネットワークとして設定する．経路列挙を伴う経路選択は計算負荷が大きいため，上位 NW に対してのみ行うこととする．OD 交通は上位 NW の中を最大 1 度のみ利用する前提とし，複数回の利用の可能性がある箇所については経路上の道路を全て上位 NW 内に含むように設定する．

下位 NW は，起点から上位 NW 入口までと，上位 NW の出口から終点までをつなぐ経路として設定する．下位 NW 内の経路選択については，最短経路探索により経路を特定する．そのため，下位 NW 内の各道路の交通量の計算結果については，交通状態を評価する際には利用できないことに留意する必要がある．

本研究での計算手法の手順を以下に示す．

(1) OD データの作成
(2) ネットワークデータの作成
(3) 上位 NW のランプペア抽出
(4) ランプペア間の経路列挙
(5) 下位 NW での旅行時間の計算
(6) 交通量配分

各手順について，以下の各節で具体の内容を示す．

(1) OD データの作成

OD 交通量は国土交通省が実施している道路交通センサスの自動車起終点調査の結果から算出する．道路交通センサスの自動車起終点調査のデータでは，発生・集中交通量が B ゾーンと呼ばれる単位で時間帯別に設定され

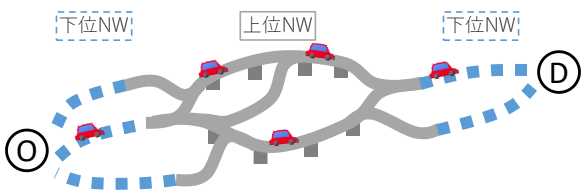


図-1 階層ネットワークのイメージ図

ている．そのまま用いるとすると，各ゾーンの面積が大きいことや，各ゾーンによって形状が異なることでセントロイドの設定が複雑となるという課題が存在する．本研究では，井料ら [10]と同様に，3 次メッシュからの発生・集中に変換するために，OD 交通量を空間的に按分する．空間按分に際しては，ETC2.0 のデータから時間帯ごとの道路ごとの車両の滞在数を取得し用いる．3 次メッシュごとの相対的な ETC2.0 の時間帯別滞在数（以下，滞在偏在度）を算出し，空間按分する．具体的には以下の手順で行う．

I. ETC2.0 による分配の対象とする範囲を市区町村単位で設定し，その中で B ゾーンに分けられたデータを各市区町村に集約する．
II. I.の範囲の 3 次メッシュを各市区町村等に紐付ける（複数の市区町村等に跨っているときは，市区町村コードが小さいほうに紐付ける）．
III. I.の市区町村について，時間帯ごとに各 3 次メッシュ内に滞在している ETC2.0 の台数（以下，滞在数）を計算する．
IV. 各 3 次メッシュの滞在数を，Ⅱ.で紐付けたの市区町村の合計滞在数で割る．これがそのメッシュの市区町村別OD交通量に対する重み（相対滞在数）になる．
V. IV.で計算した重みに，各市区町村のメッシュ数を掛けた値を「滞在偏在度」として算出する．
VI. 道路交通センサスにおいて各市区町村間を各時間帯に出発したと記録されている車両 1 台毎について，滞在偏在度に比例した確率で，その出発メッシュと到着メッシュを乱択により決定する．この結果を集計することで，各 3 次メッシュのセントロイドで発生・集中するOD交通量とする．

(2) ネットワークデータの作成

前章でも述べたように，本提案手法では，ETC2.0 のプローブデータから算出した各リンクの旅行時間に基づいて OD 交通に経路選択を行わせる．そのため，対象とする期間においてリンク交通量が少ない若しくはゼロの時間帯があった場合，当該リンクの正確なリンク旅行時間は取得できない．また，細道路等も含めて全道路を対象とすると，経路探索等の処理に負荷がかかる．Yasuda et al.[11]は，ETC2.0 データからネットワークの中で走行台数の多い主要部のみを切り出す手法を開発しており，本研究でもその手法を用いて上位 NW と下位 NW の双方を含むネットワークを作成し，ETC2.0 のリンクごとの時間帯別の平均旅行時間を抽出する．走行台数の少ないリンクは除外されてしまうため，ネットワーク内で接続されていない箇所が存在する．接続されていない箇所のうち，特に経路選択に影響しそうなものについては手作業でリンクを接続し，リンク旅行時間を個別に設定する．

3 次メッシュのセントロイドとネットワークは接続されていないため，セントロイドから最近接の下位 NW のノードにダミーリンクを追加して接続させる．ただし，下位 NW と上位 NW の結合するノードは接続させない．

(3) 上位 NW のランプペア抽出

下位 NW に設置された起終点間の経路のうち上位 NW を通過するものは，当然ながら下位 NW から上位 NW，あるいはその逆に移動する地点を少なくとも 1 回ずつ通過する．以降では，下位 NW から上位 NW，また上位 NW から下位 NW に移動する点をオンランプ，オフランプと便宜的に呼ぶこととし，これらの組み合わせをランプペアと呼ぶこととする．

上位 NW を 1 回だけ通る起終点間の経路を列挙するには，その経路の持つランプペアを特定しなくてはならない．このペアの数はオンランプ数とオンランプ数の積だけ存在する．このあとにランプペア間の経路を列挙することを考えると，このランプペア数は過大である．これらの中には全くもって現実的には利用されないものもあり，そのようなものは予め列挙しないようにすることが必要である．

本研究の提案手法では，各起終点間で使用され得るランプペアを選択するために，起終点間の最短経路（一般化交通費用が最小になる経路）を計算し，その経路に含まれるランプペアを抽出することを行う．ただし単に最短経路を使っただけでは当然ながら 1 個のランプペアしか抽出できない．実際に利用者に選ばれ得るものを複数個抽出するために，複数の時間価値と複数の出発時刻を設定し，それぞれについて各リンクにランダムに一般化交通費用を追加したネットワークを用意し，それに対する最短経路を計算することを繰り返すことによりランプペアを複数個抽出する．リンクにランダムな一般化交通費用を追加し繰り返し計算を行うので，この方法は一種の乱択法と言えよう．

上述の乱択法によるランプペア抽出を行った際に用いた具体的な設定値は以下のとおり．

I. 時間価値：5 種類（1,800; 2,400; 3,000; 3,600; 4,200（円／時））
II. 出発時刻：5 種類（6; 9; 12; 15; 18 時）
III. 乱数の強度：4 種類（一般化交通費用の 0.1, 0.5, 1.0, 2.0 倍の一様乱数を各リンクに追加）．

上記の条件の組み合わせ（100 通り）それぞれについて 20 回の試行を行うことで，計 2000 個の抽出結果を得られる．抽出結果に含まれるランプペアのうち，出現回数が 10 個以上のものを選定し，それに対応する起終点を使用し得るランプペアとして設定する．最短経路として

下位NWのみを利用したものが抽出されることももちろんあり，場合によっては上位NWを経由する経路が一度も選ばれないことがある．この場合は当該起終点間について上位NWを経由する経路は経路選択肢に入らないことになる．一方で，下位NWと上位NW間の移動を2回以上繰り返す経路が列挙されることもある．このときは最初に上位NWに入った箇所と最後に下位NWから出た箇所をランプペアとする．

(4) ランプペア間の経路列挙

前節で列挙されたランプペアを対象に上位NWにおける経路列挙を行う．上位NWの規模によっては，実用的な上限の一般化交通費用までであっても，全ランプペアについて経路を列挙することは計算に多大な時間を要する．本研究では，石原・井料 [9]と同様に，経路列挙する本数を一般化交通費用が小さいものに制限する．具体的には，ランプペア間を上位NW経由で結ぶ全ての経路のうち，一般化交通費用が最短経路のそれの 1.3 倍以下のもののみを列挙する．設定する倍数については，上位NWの規模に応じて設定する必要がある．

一般化交通費用は時間帯により異なるため，列挙される経路も時間帯により異なる．提案手法では，午前4時台から21時台まで各時30分間隔の出発時刻についてそれぞれ列挙し，各時間帯のうち1回でも列挙された経路は全て経路列挙の結果に含めるようにしている．経路列挙時の時間価値は2,400円／時に設定した．

(5) 下位NWでの旅行時間の計算

a) 上位NWを利用する場合

起終点間の一般化交通費用を計算するには，上位NWにおける経路の一般化交通費用だけでなく，下位NWにおけるオンランプまでのアクセス経路と，オフランプからのイグレス経路の一般化交通費用も知らなくてはならない．提案手法では，これらの一般化交通費用については最短経路の経路旅行時間をそのまま用いるようにしている．下位 NW は上位 NW に比べてはるかに複雑であり，経路選択が実質的に不可能であることが，このような方法を採用した理由である．本手法の下位NWでは交通量配分を行わないため，利用経路を最短経路以外に分散させる必要もないこともこの理由である．各アクセス経路の最短経路と旅行時間は午前 4 時台から 21 時台まで各時30分間隔の出発時刻について計算する．

b) 上位NWを利用しない場合

上位NWを通過しない経路の旅行時間は，これまでの手順では考慮されていない．このため，これについては別途計算する必要がある．前項と同じ理由（下位NWでは経路列挙は実質不可能）により，下位NWのみの経路については最短経路のみでその一般化交通費用を評価する．各起終点間の最短経路と旅行時間は午前4時台から21時台まで各時30分の出発時刻について計算する．

(6) 交通量配分

前節までの結果を用いて，以下 I および II の経路選択肢のそれぞれの一般化交通費用を，午前4時台から21時台まで各時 30 分の出発時刻について計算し，それに基づいて上位 NW への動的交通量配分を行う：

I. 下位 NW のみを通る経路
II. 各ランプペアに対して列挙された各経路を通る経路

経路選択確率は多項ロジットモデルで計算する．分散パラメータは 1（／分）としている．なお最短経路より一般化交通費用が 10 分相当よりも大きい選択肢は選択肢から外している．経路選択確率の計算の際には本来は経路の類似度を考慮することが望ましい．ただし，この計算には負荷がかかる一方で，上位NWの構造を複雑にしないことにより，経路の類似度の影響が限定的であることが期待されることから，経路の類似度を考慮した方法は採用していない．

経路上の各リンクに交通量を配分する際には，経路を進むにつれて各リンクへの流入時刻が変わっていく効果を正しく反映した計算を行う．具体的には，毎時の OD 交通量はその時間帯の初期と終期の間を一様に出発するとし，初期と終期の車両の走行軌跡を，1 時間おきに計算した旅行時間を補間することにより設定し，そのあいだに毎時の OD 交通量を均一に配分するようにする．これにより，ピーク時のように所要時間が大きく変動する時間帯でも，時間帯別交通量を偏りなく各リンクに配分することを可能としている．

3. ケーススタディの設定

(1) 上位NWの設定

ケーススタディの対象として，阪神高速道路での一部のランプの新設や通行止め等，ネットワークの小規模な変化はあるが旅行時間には大きく影響しないことが想定される施策の評価に活用する想定のもと，関西圏の道路網に対して提案手法で計算を行う．上位NWには，阪神高速道路だけでなく，阪神圏の有料道路を主としたネットワークを設定する（**図-2**）．阪神高速には乗り継ぎ制度が存在するため，上位NWは最大1度のみ利用するという前提を満たすように乗り継ぎ制度による乗り継ぎの際に用いる一般道も上位NWに包含させる．

一般化交通費用には旅行時間だけでなく通行料金も必要となる．道路会社によって詳細な料金設定や割引制度が異なるが，本ケーススタディでは簡単のために下位

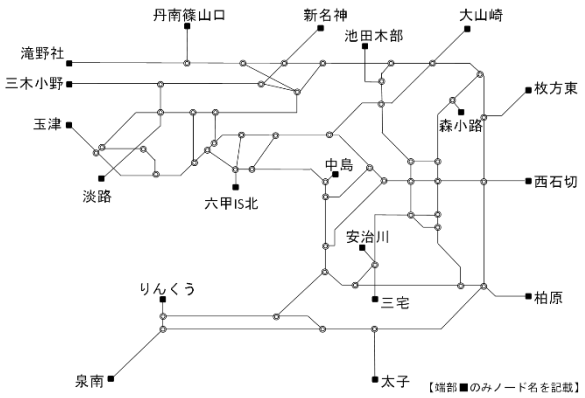


図-2　上位 NW の概略図

表-1　対象範囲外 OD 交通量のセントロイドへの割り当て

都道府県	セントロイド
京都府，滋賀県，岐阜県，福井県，石川県，富山県，新潟県	京都南 IC 付近
和歌山県，奈良県，愛知県	各県庁
四国各県	淡路 IC 付近
兵庫県北部と山陰地方各県	加西 IC 付近
兵庫県南部 (3 次メッシュ対象外の市町村)	加古川駅付近
上記以外の東側の都道府県	愛知県庁
上記以外の西側の都道府県	加古川北 IC 付近

NW から上位 NW に移動する際にターミナルチャージとして 200 円がかかることとし，上位 NW 内は全リンクにおいて一律 25 円／km と設定した．

(2)　下位 NW を含む対象ネットワークの設定

ETC2.0 データからネットワークを抽出する際には，ノードとリンクの交通量が一定以上のものを抽出する．ノードでは，周囲の 3 つのノードとτ_1の交通量のリンクで結ばれているノードを主要ノード，主要ノード同士の間のリンクでτ_2以上の交通量のものを主要リンクとする[11]．本稿では，τ_1，τ_2ともに 20 台／日としてネットワークを抽出した．ネットワークの抽出においては，2020 年 10 月から 2021 年 3 月の大阪府及び兵庫県の ETC2.0 のプローブデータを用いた，自動的な抽出により，主要ノード数が 11,114 個，主要リンク数が 19,833 本のネットワークが抽出された．抽出後に手作業で接続したリンクの旅行速度は一律 30km/h として旅行時間を設定した．

ETC2.0 データから抽出したネットワークに，OD 交通量の発生・集中するセントロイドと接続するダミーリンクを接続する．OD 交通量について，ETC2.0 による空間按分の対象とする市区町村は，大阪府の全市区町村，兵庫県の尼崎市，伊丹市，猪名川町，川西市，宝塚市，西宮市，芦屋市，三田市，神戸市，明石市，三木市，加東市，小野市としている．これら以外の市区町村の発生集中交通量については，設定した 8 点のセントロイド（愛知県庁付近，京都南 IC 付近，加西 IC 付近，淡路 IC 付

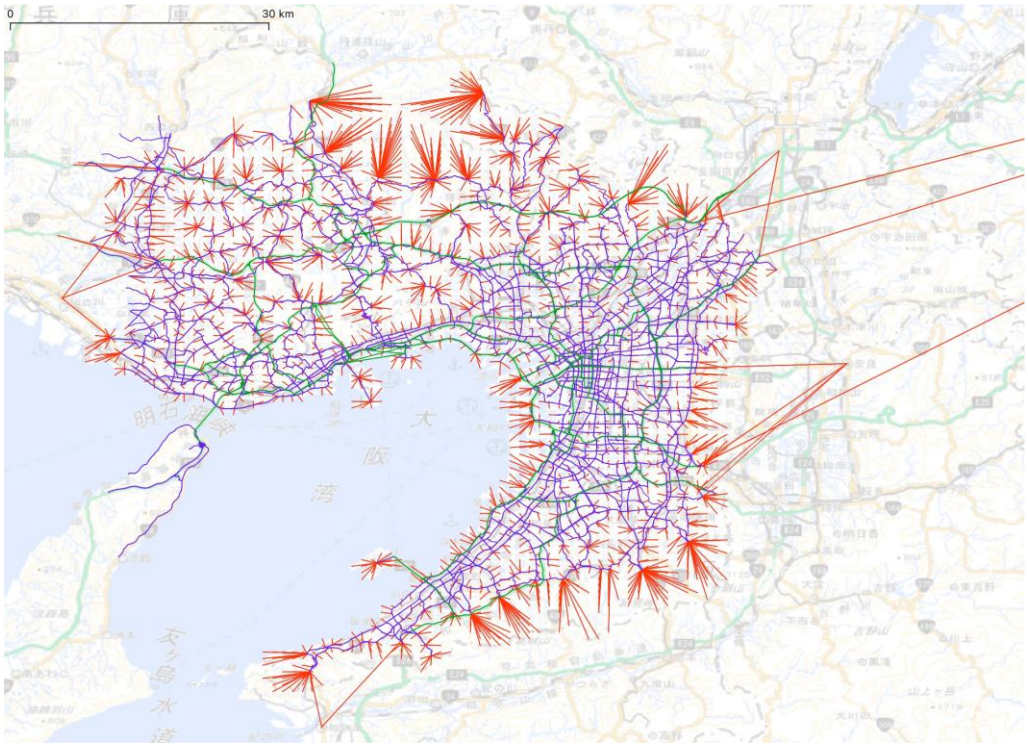


図-3　計算対象ネットワーク（緑：上位 NW，紫：下位 NW，赤：セントロイドと結合するダミーリンク

近，加古川北 IC 付近，奈良県庁付近，和歌山県庁付近，加古川駅付近）をネットワークの外側に設定する．道路交通センサスにある大阪府および兵庫県以外の各都道府県を起点または終点とする交通量は，**表-1** のとおり紐付けて各セントロイドに割り当てる．また，ネットワーク外部に設置したセントロイドはそれぞれに付近の結合点で分析対象ネットワークと結合する．作成したネットワークを**図-3** に示す．

(3) 対象期間

ETC2.0 のプローブデータは，2020 年 10 月～2021 年 3 月のデータを利用してネットワークを作成した．また，2020 年 10 月のデータを利用して OD 交通量の空間按分を行う．OD 交通量は 2015 年の道路交通センサスの自動車起終点調査の結果を用いた．また，計算結果の各リンク交通量を観測交通量と比較するために，阪神高速道路上の車両検知器で取得した交通量（2020 年 10 月）を用いた．

4. ケーススタディの計算結果と考察

本ケーススタディでは高速道路を含むネットワークを対象としていることから，一般化交通費用に旅行時間と通行料金を含んでいる．そのため，時間価値が現実から乖離していると経路選択確率を求める際の一般化交通費用も現実から乖離してしまう．ケーススタディの対象として，複数の指標で試算した中で阪神高速道路での施策を評価することの再現性が比較的良好であった 2,400 円／時（前章での経路列挙時と同様）と，その 0.9 倍である 2,160 円／時を用いた．後者は経路列挙に用いた値とは異なるが，経路列挙そのものは経路選択確率の計算には影響しないため，本稿では単純に双方の結果を比較した．

図-4，5 に，リンク日交通量（6 時台～21 時台）について，2 通りの時間価値での配分交通量と車両検知器から取得した観測交通量を比較する 2 次元ヒストグラムを示す．この結果を見ると，やや配分交通量が過大なリンクが多く見受けられる傾向があるものの，全体としては配分交通量と観測交通量はそれほど乖離していないことがわかる．また，それぞれの時間価値における RMSE を求めると，時間価値が 2,400 円／時の場合は 892，時間価値が 2,160 円／時の場合は 821 であり，時間価値が 2,160 円／時の方が RMSE が低いことがわかる．

図-6，7 に観測交通量に対する配分交通量の比を時間価値ごとに地図上に可視化した結果を示す．いずれの場合でも，ネットワークの中心付近では，配分交通量が観測交通量と同等かそれより低い箇所が多く，ネットワークの端部付近では配分交通量が観測交通量より高い箇所が多いことがわかる．特に，阪神高速 6 号大和川線では，配分交通量が観測交通量に比べて 3 倍を超える過大な量となる区間があるが，本路線は 2020 年 3 月に全線開通した路線であり，利用者の選択経路候補として十分に認知されていない可能性が考えられる．

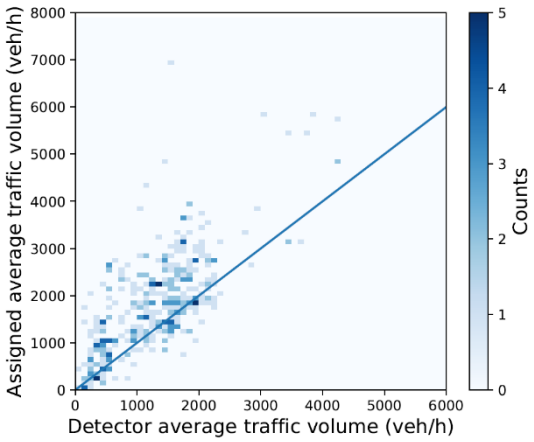


図-4 時間価値 2,400 円／時での計算結果

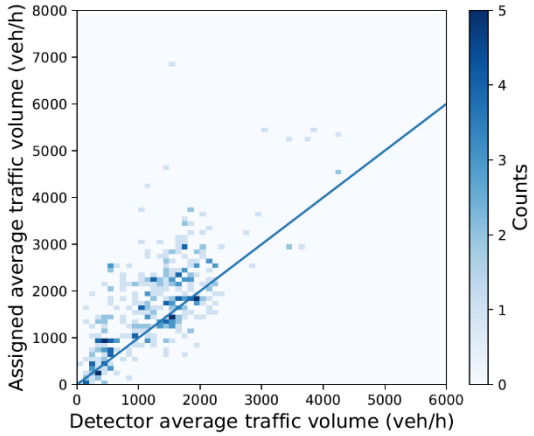


図-5 時間価値 2,160 円／時での計算結果

阪神高速 7 号北神戸線でも同様に過大な推計結果となっている．この理由には，複数の理由が可能性として考えられる．北神戸線は他路線に比べると人口密度の低い山間部を通過する一方で，関西地区の西方から当方へ向かう交通の経路選択肢に入りやすい場所にあるという特徴も持つ．これらのことから，以下の要因が考えられよう．

I. 周辺の交通需要が過大に推計されている
II. 時間価値が都心部に比べて小さい
III. 現況において広域を移動する交通が神戸線を過大に選択している

Ⅰ.は道路交通センサスの精度の問題である．大和川線のケースに比べれば異なる沿道の状況のために可能性としてはあるがあまり高いものではないと考えられる．Ⅱ.と Ⅲ.は比較的可能性が高い．ただし，広域交通につい



図-6　時間価値 2,400 円／時での配分交通量
（凡例の数字：日配分交通量／日観測交通量）



図-7　時間価値 2,160 円／時での配分交通量
（凡例の数字：日配分交通量／日観測交通量）

てはネットワークの外側のセントロイドやダミーリンクの設定による影響もあることが予想されることに注意が必要である．

図-8 から**図-11** に，時間価値が 2,160 円／時での計算結果について，いくつかの代表的な断面での時間帯別交通量の比較を示す．凡例中のパーセントは日観測交通量に対する日配分交通量の比率を示す．池上 1.4kp や神上 17.0kp のように比較的よく適合しているところもあるが，多くのところで配分交通量が過大な傾向がある．特に，大和川線（和上 2.5kp）では 3.7 倍の交通量が配分されておりかなり過大であることがわかる．また，時間帯ごとの交通量が上下する地点もあり，時間帯別交通量の時間軸方向の分布にムラがある可能性がある．

5.　まとめと今後の課題

本研究では，データ指向動的交通量配分の計算方法として，ETC2.0 のプローブデータから取得したリンク旅行時間を用いて，旅行時間が観測旅行時間から変化しないという前提で確率的経路選択によって経路選択確率を算出する手法を提案した．その中で，計算コストを現実

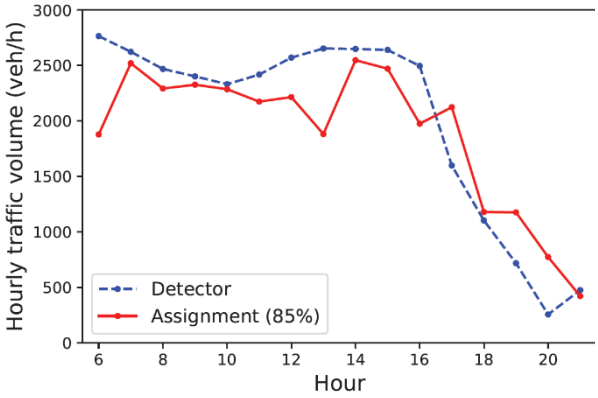


図-8　時間帯別交通量（池上 1.4kp）

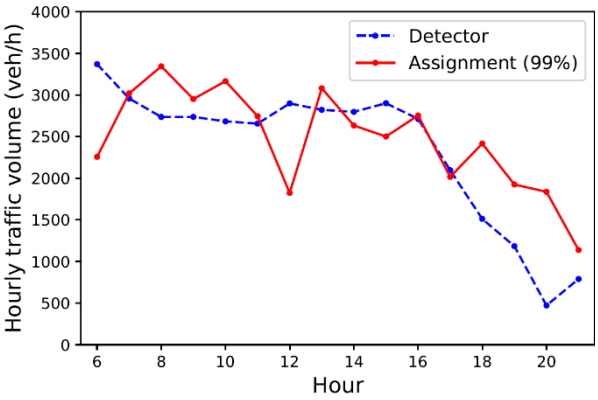


図-9　時間帯別交通量（神上 17.0kp）

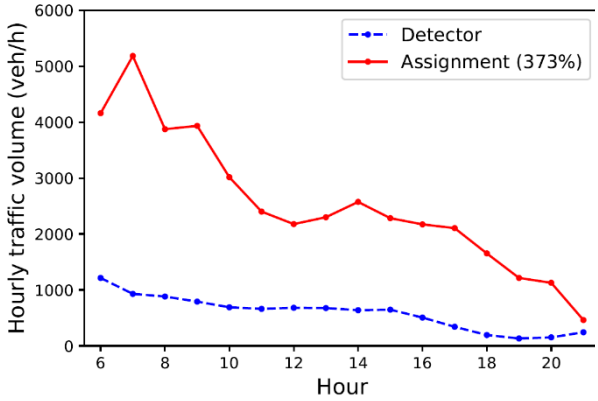


図-10　時間帯別交通量（和上 2.5kp）

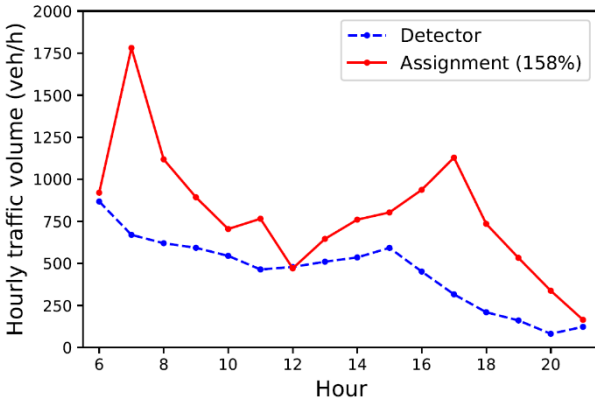


図-11　時間帯別交通量（北上 9.7kp）

的に計算可能なものにするためにネットワークを階層化する手法を取り入れた．また，提案手法で現実のネットワークを対象に交通データを用いて計算を実施し，結果について観測交通量と比較することで，一定の再現性が見られることを確認した．

結果の精度をより高めるためには分析対象ネットワークより外側からの交通についてもより精緻な扱いをすることが要求される．今回はネットワーク外部には適当にセントロイドを配置したが，このような方法は精度を悪くするだけでなく結果の客観性も損ねる．もっとも簡単なアプローチは，関西圏のネットワークに限らず，全国大半のネットワークを分析対象にしてしまう方法である．ただし，計算負荷が大幅に増えることが予想され，それに応じたアルゴリズムの工夫は必要となろう．しかし，分析対象となるネットワークだけを上位 NW のような形で切り出せば，経路数の爆発のような問題は回避でき，実現可能な範囲の計算量に収めることは十分可能であると考える．また，道路交通量センサスの自動車起終点調査の精度や時間価値について，地域差が存在する可能性が示唆されたため，観測データを分析して問題の所在を明確化することも重要である．

今回は 2020 年 10 月のみを対象としているが，今後は日変動にも対応した方法論の開発が欠かせない．特に新型コロナのような長期にわたって交通需要に影響を与える事象にも対応できるような方法論の開発が重要である．このためには，OD 交通量の計算における道路交通センサスへの依存度をより下げることも重要であろう．

謝辞：本稿の研究は阪神高速道路株式会社の支援によりなされた．この場を借りて感謝の意を表する．

参考文献

1) Iryo, T.: Properties of dynamic user equilibrium solution: existence, uniqueness, stability, and robust solution methodology, Transportmetrica B: Transport Dynamics, 1(1), pp. 52-67, 2013.
2) 石原雅晃, 井料隆雅：マルコフ連鎖による動的ネットワーク交通量配分, 土木学会論文集 D3, 71(5), pp. I_503-I_509, 2015.
3) 福田和輝, 井料隆雅, 浦田淳司, 石原雅晃：渋滞の延伸を考慮したマルコフ連鎖による動的利用者均衡配分, 土木学会論文集 D3, 73(5), pp. I_633-I_641, 2017.
4) Tsanakas, N., Gubdlegard, D., and Rydergren, C.: O-D matrix eatimation based on data-driven network assignment, Transportmetrica B: Transport Dynamics, 11, pp. 376–407, 2023.
5) Dial, R.B.: A probabilistic multipath traffic assignment algorithm which obviates path enumeration, Transportation Research, 5(2), pp. 83-111, 1971.
6) Akamatsu, T.: Cyclic flows, Markov process and stochastic traffic assignment, Transportation Research Part B, 30(5), pp. 369-386, 1996.
7) 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, 土木学会論文集 D3, 70(5), pp. I_611-I_620, 2014.
8) 池田賢史, 安田昌平, 井料隆雅, 石原雅晃：実旅行時間データを用いた都市高速道路の新規ランプ開設の影響評価，第 62 回土木計画学研究発表会，2020.
9) 石原雅晃, 井料隆雅：動的交通量配分における確率的経路選択モデルの比較, ITS シンポジウム, 第 20 回, 2022.
10) 井料ほか：ETC2.0 データの活用と評価を通じた次世代 ETC の基本設計提案，https://www.mlit.go.jp/road/tech/jigo/r04/pdf/report31-1.pdf, 2022.
11) Yasuda, S., Iryo, T., Sakai, K., and Fukushima, K.: Data-oriented net-work aggregation for large-scale network analysis using probe-vehicle trajectories; 2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC), pp. 1677-1682, 2019.

（2023. 10. 13 受付）

DATA-ORIENTED DYNAMIC TRAFFIC ASSIGNMENT USING HIERARCHICAL NETWORKS

Masaaki ISHIHARA, Takamasa IRYO, Dai TAMAGAWA and Mariko NAKAI