

# 混雑の時空間移動を考慮した準動的配分モデル の分担・配分統合モデルへの拡張

小池 光右<sup>1</sup>・中山 晶一郎<sup>2</sup>・山口 裕通<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 金沢大学大学院 自然科学研究科 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail:kkoike.0601@gmail.com

<sup>2</sup>正会員 金沢大学 理工研究域 地球社会基盤学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail:nakayama@staff.kanazawa-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 金沢大学大学院 自然科学研究科 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail:hyamaguchi@se.kanazawa-u.ac.jp

交通需要予測には伝統的な4段階推定法が広く用いられている。しかし発生・分布・分担・配分の各段階を独立で扱うことが多く、全体を通じて理論的な一貫性が保証されないという問題点を持つ。さらに、多くのモデルは一日の中の平均的な状態を取り扱うか、1時間単位で分割してその中の平均的な状態を扱っている。実際の交通状況を考えると、朝夕のピーク時間帯には渋滞が発生するなど、時間推移による影響は大きい。つまり、混雑の時空間移動や渋滞現象を記述できないと、扱える課題の範囲は小さいものとなる。本研究では、リンクベースの準動的配分モデルを用いて、分担・配分統合均衡モデルへの拡張を試みている。本稿では、対象とする準動的配分モデルの概要と、統合均衡モデルへの拡張に関して述べる。

**Key Words :** *semi-dynamic traffic assignment model, combined equilibrium model,*

## 1. はじめに

実務で交通需要の予測を行う場合には、均衡モデルによる日単位の交通量配分が主として用いられている。日単位での交通量配分では、交通量は定常状態であると仮定され、一日の平均的な交通量が算出される。しかし、現実の交通ネットワークでは、朝や夕方方の通勤・帰宅ラッシュの時間帯と、日中の閑散時間帯とでは交通量や交通流の方向などが大きく異なる。また、交通渋滞等の時間によって発生する事象もある。一日の交通量を定常状態と仮定した場合、渋滞のような現象を考慮することが出来ない。このため、一日を1つの時間帯で扱う均衡配分では、現実の交通状態を十分に反映できていないと言えよう。少子高齢化の進行により、公共事業に対する効率化が近年益々要求されている。このような状況の中で、効率的な道路事業を実施するためには時間的に精度良く交通量を予測できるモデルが必要となろう。

現実の交通状態を十分に反映するため、時間的に精度良く交通量を予測できるモデルとして、これまでに動的均衡配分などが提案されている。交通量は動的であるため、動的な配分を行うことで尤もらしい結果を得ることができる。しかし、動的均衡配分は、そのモデルが複雑

であることから計算機への負荷が大きく、計算が容易ではないこと、モデルの内容がブラックボックスになりやすく、再現性に疑問が残るなどの問題点がある。動的均衡配分を用いる場合、かなり詳細なODデータを必要とするが、このようなデータは、近年普及が進み、データの公開も進められているプローブカーデータや、ETC2.0のデータなど、ごく限られた区間のODデータしか入手できない。現時点では動的均衡配分に見合うだけの高精度のODデータが十分に整備されていないと言える。実際に入手可能なODデータとしては、パーソントリップ調査や道路センサス等で得られる1時間単位の、詳細であっても30分単位程度などの比較的粗いデータであろう。このような場合、交通量を数分単位で算出する動的均衡配分は詳細すぎるため、非合理的である。合理的に配分を行う場合にはODデータに見合った配分モデルを選択する必要がある。

計算負荷の小さい静的配分の特性を活かしつつ、交通流の時間的な変化などの動的な現象を反映できるモデルとして、時間帯別均衡配分が開発されている。これらは一日を一定時間の時間帯に区切り、各時間帯内で静的な配分を行うものである。このため、静的、動的両方の特徴を持つことから、準動的な配分と呼ばれることもある。

準動的配分は、各時間帯内にトリップを終了できない交通、いわゆる残留交通量を次の時間帯の交通量として扱うことで、時間帯内のフローのダイナミクスを取り扱っている。準動的配分モデルは、この残留交通量の扱い方によってリンク修正法、OD修正法、待ち行列法の3種類に区分することができる。またこのモデルは、現在実務において多用されている静的配分(日配分)のモデルの考え方をベースにしていることから、交通手段選択を内生化するなど、拡張が比較的容易に行える。

また近年ではLRTなどの新交通システムに注目が集まっている。新交通システムの導入に当たっては、自動車交通への影響分析や、既存の公共交通網の再編が必要となろう。また新交通システムの需要予測をもとに、マイカーからの転換を促す施策や、パークアンドライドなどのTDM施策が立案される。そのためこれらを同一に扱うモデルが必要である。

## 2. 既往研究と本研究の位置づけ

準動的配分は、渋滞などの時間帯に依存した現象を扱うことが可能であるため、渋滞を扱っている研究が多数ある。また、ネットワーク内に有料道路を組み込んだ拡張型のモデルも提案されている。藤田ら<sup>1)</sup>は、高速道路への転換確率を生生化した時間帯別均衡配分モデルを構築し、従来型の時間帯別均衡配分モデルを高速料金等を考慮できるモデルへの拡張を行っている。この研究では、転換率を生生化したものと転換率を考慮していないモデルを作成しており、転換率を生生化したモデルの方がより現実に近い値が得られると結論付けている。

準動的配分のモデルとしては、赤松ら<sup>2)</sup>がリンクベースの配分モデルを提唱している。このモデルは、従来型のモデルの問題点を満たす配分モデルと計算方法の確立を行っている。リンクベースの準動的配分モデルについてはこのほかにも赤松・桑原<sup>3)</sup>、桑原・赤松<sup>4)</sup>など、数多くある。しかしいずれの研究でも、解の一意性が検討されていない点が課題として挙げられる。少子高齢化社会の進行に伴い、公共事業に対する投資の効率化や透明化などが求められる現在において、誰が計算しても解が一意に定まるモデルは必要不可欠であると言えよう。そこで中山<sup>5)</sup>は、残留交通量を扱うことで混雑の時空間移動を記述し、解が一意的なリンクベースの準動的配分モデルを開発した。先述したように、渋滞の分析などの観点から、配分を行う場合には日単位での配分では不十分となる場合が多い。そのため本研究では準動的配分モデルを用いることとする。

都市圏の交通需要予測には4段階推定法が用いられるが、各段階を独立で扱うことによる理論的一貫性の欠如、

時間軸の欠落といった問題点が指摘されている。この問題点に対し、4段階推定法のいずれかの段階を同一モデル内で扱う、統合モデルが理論的に確立されている。また、配分レベルで準動的配分モデルを用いることで、混雑の分析を行う事例も見られる。円山ら<sup>6)</sup>の研究では、既存の研究で統合均衡モデルの理論は確立されているが、実際都市への適用事例が少ないことを挙げている。この研究では、発生-分布-分担-配分の4段階をNested Logitで記述し、更に自動車と鉄道の混雑状況を確立均衡モデルで表現した統合モデルを構築している。このモデルを東京都市圏ネットワークに適用している。金森ら<sup>7)</sup>は、4段階推定法の6つの問題点<sup>8)</sup>(①ゾーン単位の統計量への集約による非効率なデータ利用、②行動論的基盤の欠落、③各段階間の交通ネットワークサービスレベルの不整合、④誘発需要の把握負荷、⑤時間軸の欠落、⑥トリップ単位の解析)を全て解消もしくは緩和した統合均衡モデルの構築を行っている。この研究でも発生-分布-分担-配分の4段階を統合している。円山らの研究の課題と先述した⑤時間軸の欠落に対し、時間帯別配分モデルを用いることで時間軸の考慮を行っている。円山ら及び金森らの研究は、統合モデルの一種の発展型といえよう。時間帯別配分モデルを統合モデルへ拡張した例として、中井ら<sup>9)</sup>の研究がある。この研究では、OD間の交通需要が正規分布に従うものと仮定し、確率的に交通量を配分するモデルを、OD修正法を用いて時間軸を導入している。この時間帯別配分モデルを分担・配分統合モデルへと拡張している。

準動的配分モデルを統合交通ネットワーク均衡モデルを組み合わせることにより、時間軸を考慮したTDM施策の評価・検討を行うことが可能となろう。本稿では、中山のモデル<sup>5)</sup>を統合交通ネットワーク均衡モデルに拡張することを目指し、既存の統合交通ネットワーク均衡モデルについて整理する。その上でモデルの概念や利点、問題点等を明らかにし、モデルの拡張の方法に関して検討する。本研究で作成するモデルは、30分から1時間程度の時間帯の区切り幅を対象とするため、従来の時間帯別配分を用いた分担・配分統合モデルよりも細かな時間粒度での施策の議論が可能となる。

## 3. 統合交通ネットワーク均衡モデル

前章で述べたように、都市圏の交通需要予測には4段階推定法による段階的な需要推計が行われるケースが多い。しかしこの方法は交通現象を簡略的に扱うため、いくつかの問題点が指摘されている。北村<sup>10)</sup>は、4段階推定法が抱える重大な問題点として6つの問題点を指摘している。統合交通ネットワーク均衡モデルは、4段階のう

ちのいずれかの段階を統合して一つのモデルの枠組で需要予測を行うモデルであり、分担・配分統合モデルや、4段階全てを統合したモデルなどが存在する。

本研究では、近年導入の検討が進められているLRTやBRTといった、専用軌道を有する新交通システムの導入効果を評価することを目指し、公共交通と自動車交通を統一的に扱うことを考える。そのため、様々な統合交通ネットワーク均衡モデルの内、手段分担と配分段階を統合したモデル(分担・配分統合モデル)に焦点を当てる。この分担・配分統合モデルは、以下に述べるように従来から数多くの研究がなされている。

河上・溝上<sup>10)</sup>は、リンク走行コストや経路選択規範が異なる多種の交通手段が同一リンク上に存在する場合に、互いにそのサービス水準に影響を与え、手段分担需要が変動するケースの均衡状態を予測するモデルを構築している。河上・溝上はこのモデルを発展させ、中京都市圏への適用を行っている<sup>11)</sup>。これらの研究では、自動車とバスのように、同一リンクを共用して走行する場合を考えている。このとき、各モードの交通量が互いのリンクコストに相互に影響を与えることになる。このような道路ネットワークにおける2手段の分担・配分統合均衡モデルを定式化している。数理的には、変分不等問題として均衡状態を定式化し、Beckmann型の最適化問題に変換している。実都市圏への適用の結果からは、分担率や交通量、手段別交通量などの推定結果は良好であることが得られている。またこの研究では、従来はPT調査やアンケート調査から得る必要があった交通手段選択に関するパラメータを、一部の観測可能なデータを用いて均衡計算と同時に推定を行っている。また、河上・高田<sup>12)</sup>は、需要変動型利用者均衡モデルに一般化費用の概念を導入し、且つ路線バスの旅行時間が道路網の混雑による影響を受けることを考慮したモデルを提案している。分担・配分統合モデルは、自動車と公共交通のリンクコスト関数をどのように設定するかが問題となる場合が多い。専用軌道を有する交通機関であれば道路ネットワークの混雑の影響を受けにくい、路線バスのように自動車と走行空間が同一な交通機関では影響を受ける。また、路線バスの混雑が自動車交通にも影響を与えうる。そのため、こうした統合モデルを扱う場合、交通機関相互の影響を考慮したリンクコスト関数の設定が必須である。河上ら<sup>13)</sup>は、車種間相互影響を考慮した、車種別のリンクコスト関数を提案している。また、需要変動型の配分問題へと拡張して名古屋の道路ネットワークに適用し、実証的な研究を行っている。

これ以外にも多数のモデルが存在するが、いずれも静的な配分を行うものであり、混雑などの動的現象は再現されていない。時間帯別配分を拡張した例としては中井らの研究がある。このモデルではOD修正法を拡張して

おり、金沢都市圏へ適用し、LRT導入効果の分析を行っている。このモデルではOD修正法を用いているため、混雑が適切に扱われていないことや、自動車と路線バスのリンクコスト関数が独立的に扱われている(厳密には路線バスのリンクコスト関数は自動車のリンクコスト関数にパラメータを乗じて与えている)ため、再現性には疑問が残る。本研究で用いるモデルはリンクベースの準動的配分モデルであるため、混雑の時空間移動をリンク毎に記述することができる。

#### 4. モデルの概要

本章では、本研究で用いるモデルの定式化に当たっての仮定、残留交通量の表現、均衡条件などのモデルの概要について述べる。

##### (1) 定式化に当たっての仮定

定式化するに当たり、以下の前提や仮定をおいている。

1. 一日をある一定長の複数時間帯に分割
2. 旅行時間は時間帯内では一定
3. 流入した時間帯内にそのリンクを脱出できなかった交通量は次の時間帯に残留する
4. リンクに流入した交通量は流入した時間帯かその次の時間帯にリンクを流出する
5. リンク旅行時間はそのリンクの流入交通量の関数で与える
6. リンク旅行時間の関数は連続かつ狭義単調である
7. リンク上の残留交通量は、次の時間帯ではそのリンクの終点ノードからの発生交通量として扱う
8. フロー保存条件式が常に成立する

このモデルで扱う時間帯の区切り幅は、数分単位の詳細なものではなく、30~60分程度の比較的粗い区切り幅での適用を想定している。これは、実務での利用を念頭に置き、実際に入手可能な交通量データの時間の区切り幅に順じているためである。より詳細な時間帯幅で計算を行いたい場合には、動的配分や交通流シミュレーションを用いればよい。

##### (2) 残留交通量の表現

時間帯幅を $\lambda$ とし、ある時間帯 $t$ におけるリンク $ij$ の旅行時間を $H_{ijt}$ 、流入交通量を $X_{ijt}$ とおくと、単位時間当たりのリンク交通量は $X_{ijt}/\lambda$ と表現できる。ここで、リンク $ij$ からの流出交通量を $Z_{ijt}$ で表すと、残留交通量は流入交通量と流出交通量の差で表現できるので、以下のようになる。

$$X_{ijt} - Z_{ijt} = H_{ijt} X_{ijt} / \lambda$$

以降、左辺の流入交通量と流出交通量の差を、 $Y_{ijt}$ として記すこととする。また、添え字は対象とするリンク

やノードに応じて変化する。

### (3) 均衡条件の定式化

均衡状態において、道路利用者がノード*i*から目的地ノード*n*に移動する際にリンク*ij*を通過する条件は、ノード*i*からノード*n*までの最小旅行時間 $\bar{T}_{int}$ が、リンク*ij*の旅行時間 $H_{ijt}$ とノード*j*からノード*n*までの最小旅行時間 $\bar{T}_{jnt}$ との和に等しいことである。また、モデルは準動的であるため、次の時間帯の最小旅行時間の影響も考慮する必要がある。そのため、リンク*ij*の終端ノード*j*からノード*n*までの最小旅行時間 $\bar{M}_{ijnt}$ は、時間帯毎の交通量の比率により内分を行い、以下のように表現する。

$$\bar{M}_{ijnt} = \frac{Z_{ijt}}{X_{ijt}} \bar{T}_{jnt} + \frac{X_{ijt} - Z_{ijt}}{X_{ijt}} \bar{T}_{jnt+1}$$

上記を用いて均衡状態を表現すると、以下のようになる。

$$\begin{cases} \bar{T}_{int} = H_{ijt} + \bar{M}_{ijnt} & \text{if } X_{ijnt} \geq 0 \\ \bar{T}_{int} \leq H_{ijt} + \bar{M}_{ijnt} & \text{if } X_{ijnt} = 0 \end{cases}$$

### (4) 交通量・旅行時間の表現

ある時間帯*t*にリンク*ij*に流入して目的地ノード*n*に向かう交通量について考える。ここでは、前述のような交通量を $X_{ijnt}$ と表現する。

本モデルでは、リンク*ij*の旅行時間 $H_{ijt}$ は、BPR 関数を用いて次のように表現する。

$$H_{ijt} = t_{ij0}(1 + \alpha X_{ijt}^\beta / c_{ij}^\beta)$$

ここで、 $t_{ij0}$ はリンク*ij*の自由旅行時間であり、 $c_{ij}$ はリンク*ij*の交通容量である。 $\alpha, \beta$ はBPR関数のパラメータであるが、本研究では $\alpha = 0.15$ 、 $\beta = 4$ の標準BPR関数のパラメータを用いて計算を行っている。

### (5) フローの保存条件

仮定8に示したように、配分を行うためにはフローの保存条件が成立する必要がある。フローの保存条件は、「目的地ノード*n*を除く全てのノードについて、ノードに流入する目的地別流入交通量と、流出する目的地別流出交通量が等しくなければならない」と表現する。前述した仮定7より、残留交通量はリンク終点ノードからの発生交通量の一部に含まれる。従って、リンク*ij*の始点ノード*i*に関する時間帯*t*における目的地ノード*n*への発生交通量 $Q_{int}$ は、時間帯*t*におけるODペア*in*間の交通量 $D_{int}$ を用いて以下のように表される。

$$Q_{int} = D_{int} + \sum_k Y_{kint-1}$$

以上を踏まえ、フローの保存条件を定式化すると以下のようになる。

$$\sum_k Z_{kint} + Q_{int} = \sum_j X_{ijnt}$$

### (6) 相補性問題としての定式化

これまで述べてきた均衡条件及びフローの保存条件を相補性問題として定式化する。相補性問題として定式化する事で、たとえば2乗FB関数等を用いて解を得ることが可能となる。均衡状態を定式化しなおすと以下のように表現できる。

$$X_{ijnt}(H_{ijt} + \bar{M}_{ijnt} - \bar{T}_{int}) = 0$$

$$\text{但し, } X_{ijnt} \geq 0, H_{ijt} + \bar{M}_{ijnt} - \bar{T}_{int} \geq 0$$

フローの保存条件は以下のように表現される。

$$\bar{T}_{int}(\sum_j X_{ijnt} - \sum_k Z_{kint} - Q_{int}) = 0$$

$$\text{但し, } \bar{T}_{int} \geq 0, \sum_j X_{ijnt} - \sum_k Z_{kint} - Q_{int} \geq 0$$

## 5. 分担・配分統合モデル

### (1) 定式化

前章で述べた準動的配分モデルを統合モデルに拡張することを考える。なお、本研究では自動車と路線バス、軌道系公共交通の3手段を考える。モデルに単純に手段選択を組み込めば分担は考慮できるが、道路ネットワークが混雑すると公共交通へ、公共交通の利用者が増えると自動車交通へ、というように乗換えが頻繁に発生してしまうことが考えられる。これを防ぐため、自動車ネットワークと公共交通のネットワークを分離して考える。図-1は、下層の実線のネットワークが自動車ネットワークを、上層の破線のネットワークが公共交通のネットワークを示している。乗り換えが出来る拠点のみ、自動車から公共交通へ一方通行のダミーリンクを付し、乗り換え行動を考慮できるようにする。このように自動車から公共交通への転換のみを考慮できれば、先述した乗換えが頻繁に発生することなく配分を行うことができる。なお、このように自動車と分離できる公共交通は、LRTなどのように専用軌道を有するもののみである。下層のネットワークでは、既存の研究に倣い、自動車と路線バスが相互に影響し合うリンクコスト関数を設定する必要がある。下層と上層の均衡条件は以下のように与えられる。ここで、上付き添え字が **car** のものは自動車(下層ネットワーク)を、**public** のものは公共交通(上層ネットワーク)を意味しており、式中の文字は前章で定義したものに準

じる。

$$\begin{cases} \bar{T}_{int}^{car} = H_{ijt}^{car} + \bar{M}_{ijnt}^{car} & \text{if } X_{ijnt}^{car} \geq 0 \\ \bar{T}_{int}^{car} \leq H_{ijt}^{car} + \bar{M}_{ijnt}^{car} & \text{if } X_{ijnt}^{car} = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \bar{T}_{int}^{public} = H_{ijt}^{public} + \bar{M}_{ijnt}^{public} & \text{if } X_{ijnt}^{public} \geq 0 \\ \bar{T}_{int}^{public} \leq H_{ijt}^{public} + \bar{M}_{ijnt}^{public} & \text{if } X_{ijnt}^{public} = 0 \end{cases}$$

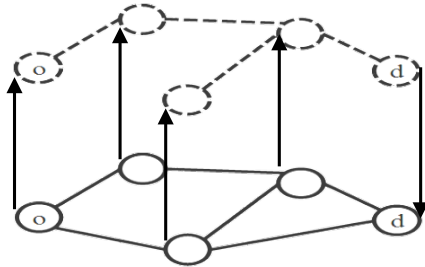


図-1 自動車と公共交通の統合ネットワーク

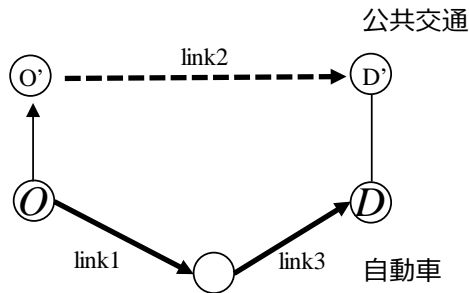


図-2 仮想ネットワーク

表-1 リンクパラメータ

リンク番号	自由旅行時間(分)	交通容量(台/hr)
1	10	5000
3	10	6000

## (2) 数値計算例

前節で述べたモデルの数値計算を行う。ここでは図-2に示す1ODの単純仮想ネットワークに適用する。単純化のため、交通機関は公共交通とマイカーの2種類とする。自動車ネットワークは2リンク、公共交通ネットワークは1リンクである。また自動車ネットワークのリンクパラメータは表-1の通りとする。またその他の仮定は以下のように設定する。

- ・自動車のリンクコスト関数のパラメータは標準BPR関数( $\alpha = 0.15, \beta = 4$ )を用いる。
- ・公共交通の旅行時間は40分とする。
- ・時間価値は40(円/分)とする。
- ・時間帯の幅は60分とする。

表-2 リンク交通量

リンク	時間帯1	時間帯2
1(自動車)	6529.3	6281.3
2(公共交通)	1470.7	718.7

表-3 リンク旅行時間

リンク	時間帯1	時間帯2
1(自動車)	10.01	10.00
2(公共交通)	45.0	45.0

- ・OD需要は時間帯1に8000台、時間帯2に7000台発生し、目的地ノード(D, D')に向かう。
- ・OとO', DとD'は同じ位置に存在するノードであるが、O'とD'は公共交通に関するノード、OとDは自動車に関するノードである。

以上の条件で配分を行った結果、リンク1とリンク2の交通量は表-2のように、リンク旅行時間は表-3のようになった。ここでは自動車と公共交通の選択割合に着目したいため、リンク3の結果は省略する。公共交通の旅行時間が45分となっているのは、出発地での乗り換え抵抗が含まれているためである。

今回の数値計算例では、旅行者は旅行時間を予測して手段選択を行うという前提であるため、旅行時間(旅行コスト)の小さい自動車に利用が集中している。モデルの確率化などは今後の課題としたい。

## 6. おわりに

本稿では、交通ネットワーク統合均衡モデルの内、分担・配分統合モデルに焦点を当て、既往研究の整理を行った。その上で、混雑の時空間移動を考慮した準動的配分モデルを分担・配分統合均衡モデルへ拡張する方法に関して述べ、単純仮想ネットワークでの数値計算例を示した。今後の展望としては、手段選択部分の確率化や、より大きなネットワークへの適用が挙げられる。これまでの研究で、4章で示したモデルは都市圏レベルのネットワークに適用可能であることが示されているため、同一ネットワークへの適用を目指す。適用の結果については、パーソントリップ調査の結果と比較することでモデルの妥当性について検証する。

## 参考文献

- 1) 藤田素弘, 雲林院康宏, 松井寛: 高速道路を考慮した時間帯別均衡配分モデルの拡張に関する研究, 土木計画学研究・論文集 Vol.18,no.3,pp563-572,2001年
- 2) 赤松隆, 牧野幸雄, 高橋栄行: 時間帯別 OD 需要とリンクでの渋滞を内生化した準動的配分, 土木計画学研究・論文集 No.15,pp535-545,1998年
- 3) 赤松隆, 桑原雅夫: 渋滞ネットワークにおける動的利用者均衡配分-1 起点・多終点および多起点・1 終点 OD ペアの場合-, 土木学会論文集, No.488,pp21-30,1994年
- 4) 桑原雅夫, 赤松隆: 多起点多終点 OD における渋滞延伸を考慮したリアクティブ動的利用者最適交通量配分, 土木学会論文集, No.555,pp91-102,1997年
- 5) 中山晶一朗: 混雑の時空間移動を考慮した準動的配分モデル, 土木学会論文集 D, Vol.64, No3, pp340-353, 2008年
- 6) 円山琢也, 原田昇, 太田勝敏: 大規模都市圏への交通需要統合型ネットワーク均衡モデルの適用, 土木計画学研究・論文集, Vol19 no.3, pp551-560, 2002
- 7) 金森亮, 三輪富生, 森川高行: 活動選択を考慮した時間帯別・統合均衡モデルの構築と適用, 土木計画学研究・論文集, 2007
- 8) 北村隆一: 交通需要予測の課題: 次世代手法の構築に向けて, 土木学会論文集, No.530/IV-30, pp.17-30, 1996
- 9) 中井惇弥, 中山晶一朗, 高山純一, 長尾一輝: 道路旅行時間の不確実性を考慮した時間大別均衡配分モデル及びその金沢都市圏における LRT 導入計画への適用, 土木計画学研究・論文集, Vol67 No.5, ppL465-L472, 2011
- 10) 河上省吾, 溝上章志: 分担・配分過程結合交通需要結合モデルとそれを用いた最適バス輸送計画策定手法の開発, 土木学会論文集, No.353/IV-2, pp101-109, 1985
- 11) 河上省吾, 溝上章志: 手段分担・配分過程結合モデルを用いた手段選択関数と均衡交通量の同時推定法, 土木学会論文集, No.371/IV-5, pp79-87, 1986
- 12) 河上省吾, 高田篤: 都市圏における公共輸送機関の料金システムおよび輸送計画の評価に関する研究, 土木学会論文集, No.431/IV-15, pp77-86, 1991
- 13) 河上省吾, 徐志敏, 広島康裕: 車種別均衡配分モデルに関する実証的な研究, 土木学会論文集, No.431/IV-15, pp57-66, 1991
- 14) Fernandez,E., Joaquin, D.C., Florian,M. and Cabrera,E.E.: Network equilibrium models with combined modes, *Transportation science*, Vol.28,No.3,pp.182-192, 1994
- 15) Safwat,K. N. and Magnanti, T.L.: A combined trip generation, trip distribution, model split, and trip assignment model, *Transportation science*, Vol.18, No.3, pp.551-560, 2002

(?)受付

DEVELOPMENT OF SEMI-DYNAMIC TRAFFIC NETWORK COMBINED  
EQUILIBRIUM MODEL CONSIDERING SPACE-TIME PROPARGATION OF  
TRAFFIC CONGESTION

Kosuke KOIKE, Shoichiro NAKAYAMA and Hiromichi YAMAGUCHI