

ネットワークの連続体近似による交通量配分

Traffic Assignment by Continuum Approximation of Network

飯田恭敏*, 朝倉康夫**, 楊 海***, 進士肇****

By Yasunori IIDA, Yasuo ASAKURA, Hai YANG and Hajime SHINJI

This paper presents a macroscopic traffic assignment model for computing the traffic distribution over large and dense urban space. The study area is divided into a series of rectangular elements, and a simplified network representation of the element flow is introduced. Furthermore, an area-wide performance model is developed to describe the relation between average element travel time and total element flow. Employing the proposed element performance model, the traffic assignment is executed over the simplified network and hence leads to a considerable reduction in computation burden.

Keywords: traffic assignment, element performance model.

1. はじめに

広域高密度都市圏を対象とした交通量配分には、多大な計算時間と計算機容量が必要であり、データ作成、計算結果の表示・評価のための作業量も膨大なものとなる。このため、大規模交通網への交通量配分を効率的に行うために、ネットワーク表示の簡略化、配分計算の効率化等に関する手法の開発が望まれており、これまでに様々の手法が提案されている。

① ネットワーク集計化： ネットワーク集計化の目的は、実際の交通網より規模（リンク、ノード数）の小さい計算用ネットワークを合理的に作成することにある。具体的には実ネットワークから不必要なリンク（細街路）を削除する或は必要なリンク（例えば、幹線道路）を抽出することである。このような単純な集計化により、計算用ネットワークの規模

を減らすことができる。しかし、集計作業は、経験的に行われており、集計化の客観的な基準が何に基づくか、配分交通量の推定精度が確保されるかと言う問題点を抱えている。

② ネットワークの分割・階層化： ネットワークの分割、階層化或は両者の組合せによる方法論が最近展開されており、Daganzo(1980)、Hearn(1984)、林(1982)、飯田・高山(1985)等の研究がある。これらは、ネットワークをいくつかのサブネットワーク（ブロック）に分割し、ブロックごとに簡略化（あるいは集計化）されたネットワークからなる上位ネットワークとブロック内詳細ネットワークからなる下位ネットワークに分けて配分計算を行うものである。その基本的特徴は、上位ネットワークを用いた全体配分と、その配分結果を下位ネットワークへ再配分する詳細配分の2段階の配分計算を交互に繰り返すことである。十分に繰り返す計算を行えば、配分精度の確保には問題はないが、必要なメモリサイズが増加し、計算時間の短縮が期待できない場合も起こりうることは、すでに飯田・朝倉ら(1988)によって報告されている。このため、ブロック境界ノー

*正会員 工博 京都大学工学部 教授
(〒606 京都市左京区吉田本町)

**正会員 工博 愛媛大学工学部 講師
(〒790 松山市文京町3)

***学生会員 工修 京都大学大学院工学研究科
****学生会員 京都大学大学院工学研究科

ドの集計化（バンドリング）による交通量配分計算の簡略化の新しい方法が提案されている。

③ ネットワークの連続体近似： ネットワークの連続体近似による交通流解析は、ネットワーク交通流をマクロに解析する上で一つの有力な方法と考えられる。例えば、田口(1978)、Daganzo(1980)、Dafermos(1980)、Yang(1989)等の研究がある。現在までのところ、複数のODペアを持ったフローを取り扱うことができないという難点を抱えている。

以上に述べた各手法の問題点を踏まえて、本研究では、マクロなレベルの交通計画への適用を目的としたネットワークの連続体近似の考え方に基づき、交通量配分計算を効率的に行う新しい方法を提案する。具体的には、対象領域を要素ごとに分割し、シミュレーションを組み込んだ要素レベルの走行時間関数を作成して、交通量配分計算の連続体近似モデルを作成する。さらに細街路を連続体近似し、幹線道路を通常のネットワーク表示する、2レベルネットワークを用いた配分計算も検討する。本研究で提案する連続体近似モデルは、従来の研究と異なる二つの大きな特徴を有している。

① 単純に細街路を削除してネットワークを集計化するものではなく、細街路を連続体に近似することにより、細街路の配分結果への影響を考慮しながら、配分精度の確保と計算費用の節約を同時に達成しようとするものである。

② 幹線道路からなる上位ネットワークと細街路の連続体近似からなる下位ネットワークとの間の配分計算は、交互に繰り返して行うものではなく、ダミーリンクを用いて、上・下位ネットワークを統合し、同時に行うものである。

2. ネットワーク連続体近似の手法

2.1. 連続体近似の考え方

既存の連続体モデルは、実空間の連続変数を用いて数学的に厳密に記述されており、離散問題に変換して数値解析を行っているが、交通計画で対象とする複数のODペアを取り扱うものではない。そこで、本研究は、数値的な処理の容易性に重点を置き、要素通過フローを変数とした交通量配分の連続体近似モデルを提案する。

対象領域を四角形要素を用いて分割する。要素の各辺ごとに流入・流出する交通量を明示的に区分し、図示すれば、Figure 1 のようになる。一般に、ある

要素を通過するのに要する時間は、要素への流入・流出方向、トリップの性質(内々交通、内外交通等)によって変化し、個々に記述することは不可能である。ここでは一つの要素を通過するのに要する時間は、交通の流入・流出方向、交通の起・終点によらず、すべて等しいものとする。この仮定により、要素各辺を横切る流入・流出交通を明示的に区分した

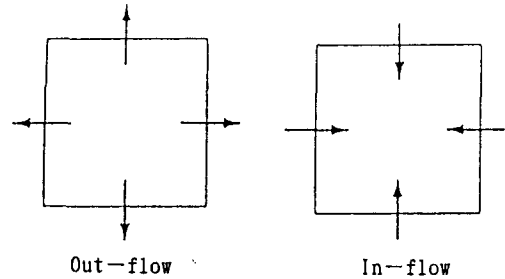


Figure 1. Flow through an element.

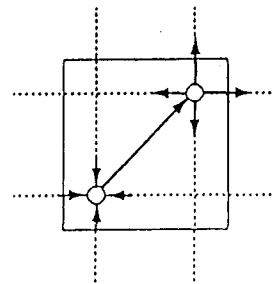


Figure 2. Network representation of element flow.

要素フロー関係は、Figure 2 に示すような簡略化ネットワークで表示できる。この図の中央の矢印は要素通過リンクで、このリンクを通過するフローに走行時間（要素通過時間）がかかるものとする。それ以外の矢印は要素同士を結ぶ流出入リンクで、走行時間が0のダミーリンクである。

2.2. 要素通過時間関数の設定

要素の平均通過時間と要素通過フローとの関係を表す要素通過時間関数の設定を行なう。要素に含まれる詳細ネットワークの個々のリンクの走行時間関数は、すべて次のような修正 B. P. R. 関数とする。

$$T_i = T_{0i} \times \{1.0 + r (V_i / C_i)^k\} \quad (1)$$

T_i : リンク i の所要時間 T_{0i} : リンク i の自由走行時間
 V_i : リンク i の交通量 C_i : リンク i の交通容量
 r, k : パラメータ $r=2.62; k=5.00$.

要素 e の通過時間関数 $Se(Ve)$ は、要素通過フロー Ve の単調増加関数と考えられることから、式(1)をもとに、次のように設定する。

$$Se(Ve) = \alpha \frac{De^{1/2}}{v_{0e}} \left\{ 1 + \beta \left(\frac{Ve}{Ce} \right)^\gamma \right\} \quad (2)$$

Ce : 要素 e の交通容量

De : 要素 e の面積

v_{0e} : 要素 e の自由走行速度

α, β, γ : 単位を持たないパラメータ

ただし、要素の自由走行速度は、要素内のリンク長で重みづけした平均速度として次のように定義する。

$$v_{0e} = \frac{\sum_i L_i}{\sum_i (L_i / v_{0i})} \quad (3)$$

L_i : 要素内リンク i のリンク長

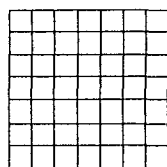
v_{0i} : 要素内リンク i の自由走行速度

明らかに、要素内のリンク自由走行速度がすべて同じである場合、要素の自由走行速度は、リンクの自由走行速度に等しくなる。

さらに、要素の容量を、次のように定義する。

$$Ce = \frac{\sum_i L_i C_i}{De^{1/2}} \quad (4)$$

Ce は、要素内の道路密度とリンク容量に関連しており、通常の交通容量単位を持つ。その妥当性を検討するために、Figure 3 のような対称、均質な格子状ネットワークを考えよう。



area = De
m-undirected links
per side.

Figure 3. Square grid network

ネットワークの一边のリンク数を m 、各リンクの容量を C (両方を合計)、長さ L とすると、(4)式は次のようになる。

$$\begin{aligned} Ce &= \frac{\sum_i L_i C_i}{De^{1/2}} = \frac{2m(m+1)LC}{mL} \\ &= 2(m+1)C \end{aligned} \quad (5)$$

明らかに、この場合の Ce はネットワークの処理できる最大交通量『全てのリンク交通量が容量値に達する時のネットワークの通過総交通量』である。

2.3. シミュレーションによるパラメータの推計

要素走行時間関数のパラメータ α, β, γ は、要素内のネットワーク形態、要素内のリンク自由走行時間・リンク容量のばらつき、内々・内外交通の割合、交通の流入・流出方向等の分布に影響を受ける。そこで、これらの要因を変動させ、シミュレーションにより、パラメータ値を推計するものとした。なるべく現実に即したシミュレーションを行うために、Figure 4 に示すネットワークを二次元(x, y) 平面に配置して、ノードの座標とネットワークの占める面積を変化させ、ランダムネットワークを作り、要素内のネットワークの形態と密度がパラメータに与える影響を検討する。

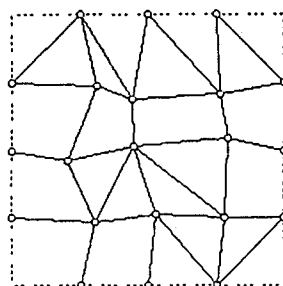


Figure 4. Simulation network with random nodes and links.

シミュレーションネットワークにおいて、リンク容量、自由走行時間、OD交通量をランダムに与えて、利用者均衡配分を行う。個々の配分で、一組の平均要素通過時間 $Se(Ve)$ と、要素の総通過交通量 Ve が得られる。なお交通の発生・集中ノードは、要素境界に位置するノードとしたが、要素内からの発生・集中交通量を考慮するために、要素内ノードと境界ノードの間にも適当な割合のOD交通量を与えている。

パラメータ α は、次のように計算できる。

$$\alpha = \frac{v_{0e} T_0}{De^{1/2}} \quad (6)$$

ここに、 T_0 の値は、要素通過交通の平均自由走行時間であり、単位ランダムODパターンをネットワークに配分することによって求めることができる。

$$T_{ij} = \frac{\sum_{ij} T_{0ij} \cdot V_{ij}}{\sum_{ij} V_{ij}} \quad (7)$$

T_{0ij} と V_{ij} は、それぞれ境界ノード i と j 間の自由走行時間と流れるフローである。

パラメータ β 、 γ の値を推計するために、要素の走行時間関数(2)式を、次のように変換する。

$$\left(\frac{Se(Ve) \cdot v_{0e}}{\alpha De^{1/2}} - 1 \right) = \beta \left(\frac{Ve}{Ce} \right)^\gamma$$

上式の両辺の自然対数を取ると

$$\ln \left(\frac{Se(Ve) \cdot v_{0e}}{\alpha De^{1/2}} - 1 \right) = \ln \beta + \gamma \ln \left(\frac{Ve}{Ce} \right)$$

という線形式になる。利用者均衡配分より得られた要素の平均通過時間 $Se(Ve)$ と要素の総通過交通量 Ve に関する複数組のデータポイントを用いて、最小二乗法により、パラメータ β 、 γ が推計できる。

表1. シミュレーションによる各パラメータの推計値

α	1.10~1.22
β	6.00~7.00
γ	3.60~4.50

2.4. シミュレーション結果についての考察

表1にパラメータ推計結果を示す。シミュレーション結果より次のことが考えられる。

① パラメータ α は、ほぼ1である。これは、四角形要素の場合、 $De^{1/2}/v_{0e}$ が近似的に要素の自由走行時間を表しているためである。また1よりやや大きいのは、要素通過において走行した距離の平均が四角形要素の一边の長さより長くなったためと考えられる。

② パラメータ β は、リンク走行時間関数のパラメータ r に相当するが、その数倍程度に大きくなっている。各リンク容量をランダムに与えることにより、要素の実際容量は、式(4)の値よりも小さくなるため、逆に、パラメータ β の値が大きくなったものと考えられる。

③ パラメータ γ は、リンク走行時間関数のパラメータ k に相当するが、 k が5であるのに対し、 γ が4程度となっている。これは個々のリンクの自由走行時間、容量の間の差異が大きくなるにしたがっ

て、合成走行時間関数が滑らかになり、5次以下の関数になることを示している。また要素内ではOD交通量の増加にしたがって、交通が次第に多くの経路に配分されるので、要素の平均走行時間は、単一リンクの場合ほど増加しないためである。

表1からわかるように、各パラメータの値は、一つの値に決めることができないが、ネットワークの特徴やODパターン等による変動は小さく、ほぼ安定した値を取っているため、一般的な場合に適用できると言える。なお、Figure 5は、シミュレーション結果の一例を図示している。要素走行時間関数は、要素通過フローと要素平均通過時間との関係をよく表している。

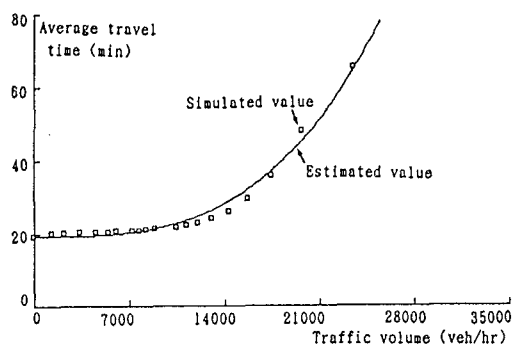


Figure 5. Comparison of element performance model with simulation result.

3. 連続体近似モデルによる配分計算

作成された要素通過時間関数と推計されたパラメータの値を用いて、連続体近似モデルを仮想的なネットワークに適用し、連続体近似の効果を数値的に調べる。

3.1. 計算手順

連続体近似モデルを用いた交通量配分計算の手順は、次の通りである。

Step1: 四角形要素を用いて対象領域の離散化を行い、要素間のフロー関係をダミーリンクを含めた通常のネットワークで表示する。

Step2: 要素内のリンク容量、リンク長、自由走行速度 (or 時間) を用いて 要素ごとの容量、自由走行速度を求め、要素走行時間関数を作成する。

Step3: 連続体近似ネットワークを用いて通常交通量配分計算 (分割配分 or 利用者均衡配分) を行う。

3.2. 前提条件

数値計算で用いたネットワークは、一辺20リンクの仮想的な格子状ネットワーク(Figure 6)であり、

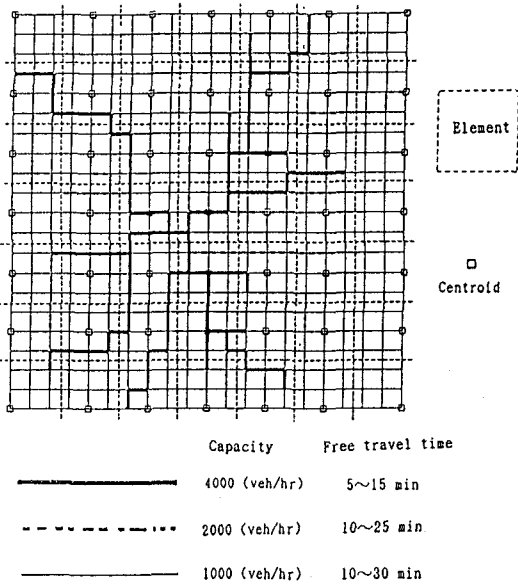


Figure 6. Detailed network configuration

49個の等面積の正方形要素を用いて分割した。各リンクの自由走行時間は、リンク容量に応じた図示の範囲内でランダムに与え、O D交通量は、ネットワークの平均的混雑率が0.6程度となるように与えている。配分手法はI A法であり、繰り返し回数は10回である。また提案された要素通過時間関数に次のようなパラメータ値を与えた(すべての要素に同一のパラメータ値を与える)。

$$\alpha = 1.20; \beta = 7.00; \gamma = 4.00.$$

3.3. 計算精度の評価指標

ネットワークの連続体近似による配分の効果を検討するために、連続体近似の計算結果と詳細ネットワークによる計算結果を要素レベルで比較・考察する。交通量配分結果の精度を評価する指標として以下に示すものを用いる。

R : 相関係数

RMSE : 残差平方和平均

AE : 平均値の差 (システム誤差)

DSD : 標準偏差の差 (システム誤差)

CV : 共分散 (ランダム誤差)

$$RMSE = \sqrt{\sum (V_c - V_d)^2 / (N-1)}$$

$$RMSE(\%) = (RMSE) / \bar{V}_d \cdot 100$$

$$RMSE^2 = (N/N-1)AE^2 + DSD^2 + CV^2$$

$$AE = \bar{V}_c - \bar{V}_d$$

$$DSD = SD_c - SD_d$$

$$= \sqrt{\sum (V_c - \bar{V}_c)^2 / (N-1)} - \sqrt{\sum (V_d - \bar{V}_d)^2 / (N-1)}$$

$$CV = \sqrt{2(1-R) \cdot SD_c \cdot SD_d}$$

V_d : 基準値 (連続体に近似しない場合の換算要素通過フロー)、平均値は $\bar{V}_d$

V_c : 比較値 (連続体近似した場合の要素通過フロー) 平均値は $\bar{V}_c$

N: 要素の数

3.4. 計算結果

① 計算時間・メモリサイズの比較: ネットワーク規模および計算時間の比較は表2に示すとおりである。連続体近似を行うと、ネットワーク規模が詳細ネットワークよりかなり小さくなり(本計算例ではネットワークのノード・リンク数が約20%に減少した)、全計算時間は、連続体に近似しない場合の約1/5~1/6と、大幅に短縮されていることがわかる。特に最短経路探索においてその効果が顕著である。

表2 ネットワーク規模及び計算時間の比較

	連続体近似 しない場合	連続体近似 した場合
ノード数	441	98
リンク数	1680	217
セントロイド数	49	49
必要メモリー	67KB	20KB
繰り返し1回当たり 平均計算時間 うち最短経路探索 によるもの 全計算時間	(単位ミリ秒) 218 192 2420	30 16 434

② 要素レベルの通過フローの比較: I A法による計算の要素通過フローの精度を表3に示した。比較対象基準値は、連続体に近似しない場合のネットワークフローを要素通過フローとして集計したものである(計算された詳細ネットワークフローを、要素各辺ごとに流出・流入フローとして加算し、1/2倍することによって算出した)。この表によると、各精

度指標ともかなりよい値を示している。一方、システム誤差の割合が高いことから、モデルの改良の余地はまだ残されているものと思われる。

Figure 7 は要素通過フローの、連続体に近似した場合と連続体に近似しない場合との相関関係を示している。この図より、フローの小さい要素では、かなり良い精度であるが、大きい要素では、やや過小評価となっていることがわかる。また、両者の相関係数は、0.93 と高く、かなり信頼性のおける結果であることがわかる。

③ トリップ所要時間の比較：表3からわかるように、連続体近似した場合の総走行時間の相対誤差は、3.4%であり、かなり小さい値になっている。要素走行時間関数のパラメータの値をうまく調整すれば、総走行時間の誤差を完全に避けることができる。Figure 8 は、トリップ所要時間の分布を表している。これによると、ネットワークの連続体近似は、短トリップ数を過少に評価し、長トリップ数をやや過多に評価しているものの、全体として連続体に近似しない場合とほぼ一致している。

④ 計算結果の表示：Figure 9 は連続体近似によって求められた交通強度（要素通過フローを要素面積で除したもの）の分布を表している。フローの大きい中心部では、交通強度の山が高くなっている。このような二次元的表示により、計算結果の視覚的検討が容易となる。

以上の検討結果からネットワークの連続体近似を行うと計算時間は大幅に短縮され、また、要素レベルの通過フロー及びトリップ所要時間は、連続体近似しない場合と比較して、その精度が悪くないことがわかる。

3.5. ネットワーク混雑率の連続体近似法への影響

ネットワークの混雑率が連続体近似法の推計精度にどのような影響を及ぼすかを検討するために、O D交通量を変化させながら、各混雑レベルにおける要素通過フローの推計精度 (R , $RMSE\%$, $(AE^2 + DSD^2)\%$, $CV^2\%$) を求めて、Figure 10 に示した。ネットワーク混雑率の増加にしたがって相関係数は単調に増加するものの、 $RMSE\%$ は必ずしも単調に減少していない。これは、トータル誤差 $RMSE$ の内、システム誤差とランダム誤差の割合から説明できる。

Figure 10 より、混雑率の増加にしたがって、システム誤差の割合($AE^2 + DSD^2\%$)が単調に増加し、ラ

表3. ネットワークの連続体近似による推計精度

R	RMSE(%)	総走行時間誤差率	
0.934	21.70%	+3.40%	
AE	DSD	CV	RMSE
-1500	-930	1550	2300
AE ² %	DSD ² %	CV ² %	RMSE ² %
42.5%	16.3%	44.4%	21.5%
システム誤差とランダム誤差の占める割合			
システム誤差：58.8%；ランダム誤差：44.4%			

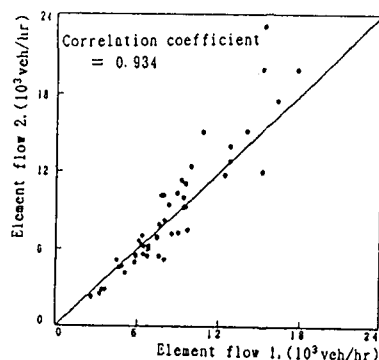


Figure 7 Relationships between element flow 1 obtained by continuum approximation and element flow 2 obtained by detailed network.

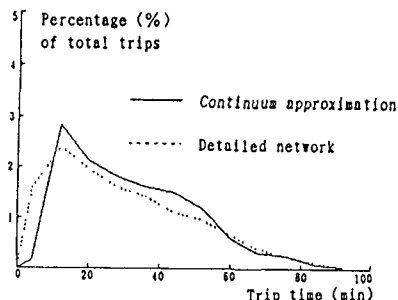


Figure 8 Comparison of trip time distributions between continuum approximation and detailed network.

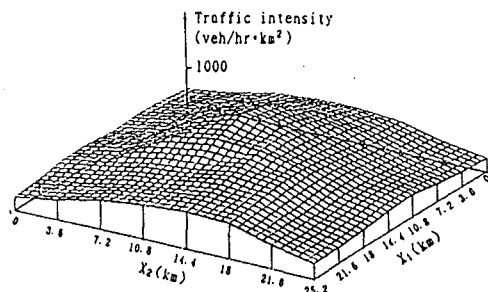


Figure 9 Traffic-intensity distribution over urban space.

ランダム誤差の割合 $CV^2\%$ が単調に減少していくことがわかる。システム誤差は、推計結果の全体的なシフトを表しており、推計結果の相関係数にはほとんど影響を与えないのに対し、ランダム誤差は、推計結果の共分散関係により生じる変動成分であり、相関係数に大きな影響を与える。したがって混雑率の増加によるランダム誤差の減少にともなって、相関係数が増加していくわけである。

一方、平均混雑率が高くなるとシステム誤差が大きくなる理由としては、次のものが挙げられる。

連続体に近似しない場合、OD間に多くの選択経路が存在するから、混雑率が大きくなると配分経路が増加し、迂回するフローが多く発生する。したがって交通量がネットワーク全体に分散する。しかしながら、連続体に近似した場合、混雑率が大きくなってもOD間の交通が幾つかの有限の経路に配分されるので、迂回フローが発生しにくい。そのため、要素通過フローを過小に評価することになる。この誤差は、混雑率が大きい場合に一層顕著となることが考えられる。

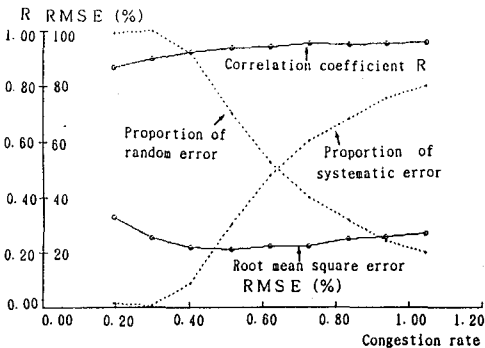


Figure 10. Estimated results at various levels of mean network congestion rate.

4. 2レベルネットワークを用いた交通量配分計算

本研究で提案した要素走行時間関数を用いて交通量配分計算を行うとかなり計算時間の節約が可能であり、また比較的良好な精度の要素通過フローが得られる。しかしながら、ネットワークの連続体近似による方法は、要素内ネットワークが不均質な要素（リンク容量、リンク長及びリンク自由走行速度のばらつき）において誤差が大きく、また要素内の概略のフローは得られるが詳細なリンクフローが得られない、という欠点を持っている。これを解消するためのより実用的な方法として、細街路のみを連続体

に近似（下位ネットワーク）して、幹線道路（高速道路）を通常のネットワーク（上位ネットワーク）として表示する、2レベルネットワークを用いる配分計算法が考えられる。この方法を用いると、要素内のネットワークを均質化し、計算精度が上がるだけでなく、幹線道路については詳細リンクフローを得ることができる。

2レベルネットワークを用いたネットワーク表示の一例をFigure 11に示した。2レベルのネットワークを用いた計算結果を検討するために、先の数値計算例で用いたネットワークに高速道路（田字形）ネットワークを付け加えて、平面街路を連続体近似した場合と連続体近似しない場合の配分計算を行い、高速道路のリンクフローの推計結果を考察する。

Figure 12は、高速道路ネットワークのリンクフロー値を表している。この図からわかるように平面街路を連続体近似すると、高速道路のリンクフローは、全体として過大に評価されている。これは、要素走行時間関数のパラメータが高速道路と平面街路との間の交通量分担に影響しているためであるが、

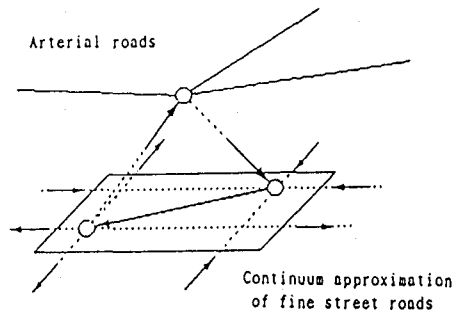


Figure 11 Combination of two-level networks

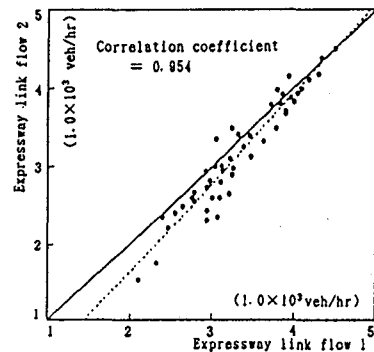


Figure 12. Relationships between expressway link flow 1 with continuum approximation of street network and flow 2 without continuum approximation of street network.

パラメータの適当な調整によって解消できると考えられる。

5. おわりに

得られた主な成果は、次の通りである。

(1) 提案した要素走行時間関数は、ネットワークレベルでの平均走行時間と通過フローとの関係を表すことができるだけでなく、ネットワークパフォーマンスの総合評価に用いることもできる。

(2) 連続体近似モデルにおいて、必要な情報は、リンク長、リンク容量、及び自由走行速度等である、詳細なネットワーク表示の必要はなく、モデル構築に用いる作業は少ない時間で済む。

(3) 対象とする細街路がどのように密になっても、モデルが依然として適用可能である。細街路が密になるとともに、計算精度は上がると考えられる。

(4) ネットワークの連続体近似では、配分計算に必要な計算時間は、詳細ネットワークの規模によらず、要素の数のみに依存し、計算時間の面では、大幅に効率化を図ることができる。

(5) 連続体近似モデルは、かなり良好な計算精度でマクロな交通流解析上で必要な要素レベルのフローと重要な幹線道路の詳細リンクフローを同時に求めることができる。また計算結果を、二次元的に表示することにより、視覚的な検討が容易となる。今後に残される課題は、以下の通りである。

(1) 提案された要素走行時間関数のパラメータについてより広範囲のネットワークを対象として検討する必要がある。

(2) 対象領域分割の細かさ（計算費用の大きさ）と推計精度の間のトレードオフ関係を調べる必要がある。

(3) 計画対象地域は詳細ネットワークのままで残り、周辺地域を連続体近似として配分計算を行うことも可能であり、このような方法について検討する必要がある。また要素通過フローを要素内詳細ネットワークへ変換する方法も検討すべきである。

最後に本研究を遂行するにあたり、暖かくご指導を頂いた京都大学工学部の佐佐木綱教授に深く感謝するとともに、数値計算等でご協力を頂いた京都大学大学院生鷹尾和享君に感謝の意を表します。また本研究は、文部省科学研究費（一般研究C）を得た研究成果の一部であり、ここに記して感謝を申し

上げます。

参考文献

- [1] Bovy P. H. L. & Jansen G. R. M. (1983): Network Aggregation Effects upon Equilibrium Assignment Outcomes; An Empirical Investigation. Transp. Sci., Vol. 17, pp. 240-262.
- [2] Dafermos S. C. (1980): Continuum Modeling of Transportation Networks. Transp. Res., Vol. 14B, pp. 295-301.
- [3] Daganzo C. F. (1980): Network Representation, Continuum Approximation and a Solution to the Spatial Aggregation Problem of Traffic Assignment. Transp. Res., Vol. 14B, pp. 229-239.
- [4] Yang Hai. (1989): Continuum Modeling of Large Scale Traffic Assignment. Kyoto Univ. Master Thesis.
- [5] Eash R. W., Chon K. S., Lee Y. J., Boyce D. E. (1983): Equilibrium Traffic Assignment as an Aggregated Network for Sketch Planning. Transp. Res. Rec., 944, pp. 30-37.
- [6] Hearn D. W. (1984): Practical and Theoretical Aspects of Aggregation Problems in Transportation Planning Models (Florian ed.) North Holland, pp. 257-287.
- [7] 林・林・野口(1982): 階層的経路探索を用いた大規模道路網配分計算の簡略化手法、JSCE年次学術講演会概要。IV, pp. 395-396.
- [8] 飯田・朝倉・広川・鷹尾(1988): ネットワーク分割及びバンドリングによる交通量配分計算の簡略化。土木計画研究・講演集, No. 11, pp. 227-234.
- [9] 飯田・高山・横山(1985): メッシュ分割によるネットワーク表示の簡略化手法を用いた交通量配分計算法。土木計画研究・論文集 No. 2, pp. 149-156.
- [10] 加藤・宮城・松葉・真野(1987): Bendersの分解原理を応用した交通量配分手法の実用性。土木計画学研究・講演集, No. 10, pp. 377-384.
- [11] 田口東(1978): 交通網の分析手法。OR学会志 12, pp. 756-763.
- [12] 溝上・松井・二宮(1987): 道路網の集約化が配分交通量の推計精度に与える影響。土木計画研究・講演集, No. 10, pp. 377-384.