

都心道路網における交通流

— 渋滞度と道路拡幅計画 —

湯原 慎二 (沼田一道助教授, 松垣正浩助手)

1. はじめに

自動車はわが国における主要な輸送手段の一つである。しかし自動車交通量の増加に対して道路網の整備が間に合わず都市部における道路の恒常的渋滞という問題が生じている。渋滞を緩和することは交通・道路計画において重要な課題であるが、問題解決のためにはどのような交通要求によってどの箇所が渋滞するかを明らかにすることから始める必要がある。

交通量によって所要時間の変化する道路網上で複数の始終点の組と始終点間の移動要求量が与えられたとき、各自動車によりどのような交通流が生じるかは交通量配分問題を解くことによりある程度推測することができる。

本研究では現実の道路網をモデル化したネットワーク上で交通量配分問題を解き、各道路の渋滞度を推定して渋滞緩和のための道路拡幅計画に数値的な指針を与える。さらに拡幅前後の交通流を比較して拡幅の効果を確認する。

2. 交通量配分問題と定式化

道路網の交差点をノード、その交差点間の道路をリンクとし、それぞれの集合を N, L とする。道路網をモデル化したネットワークを有向グラフ $G = (N, L)$ で表す。始点 (Origin) と終点 (Destination) の対を OD ペア、その間の移動要求量を OD 量と呼ぶ。有向グラフ G 上に p 個の OD ペアが存在するとし、第 k 番目の OD ペアの始終点を $s^k, t^k (\in N)$ 、OD 量を Q^k とする ($k \in P = \{1, 2, \dots, p\}$)。ノード $i (\in N)$ から出るリンクの集合を Γ^+ 、ノード $i (\in N)$ にはいるリンクの集合を Γ^- とする。またリンクを通過するのに要する走行所要時間を費用とし、各リンクに固有の費用関数が存在すると仮定する。第 k 番目の OD 量によるリンク j の上流れを x_j^k とすると、リンク j を流れる全交通量は $x_j = \sum_{k \in P} x_j^k$ である。リンク j の費用関数を $f_j(x_j)$ で表す。

このとき、各道路の利用者が道路の混雑状況を知った上で個人の所要時間を最小にするように経路を選択すると仮定すると道路網上で実現する交通流は、次の数理計画問題の最適解で与えられる。

$$\left\{ \begin{array}{l} \min \quad \sum_{j \in L} \int_0^{x_j} f_j(\xi) d\xi \\ \text{sub. to} \quad \sum_{i \in \Gamma^+} x_i^k - \sum_{i \in \Gamma^-} x_i^k = Q^k \quad (i = s^k, k \in P) \\ \sum_{i \in \Gamma^+} x_i^k - \sum_{i \in \Gamma^-} x_i^k = -Q^k \quad (i = t^k, k \in P) \\ \sum_{i \in \Gamma^+} x_i^k - \sum_{i \in \Gamma^-} x_i^k = 0 \quad (i \neq s^k, t^k, k \in P) \end{array} \right. \quad x_i = \sum_{k \in P} x_i^k, \quad x_i^k \geq 0$$

この最適解は、次のような等時間原則を満たす。

<等時間原則> 道路網の任意の OD ペアを結ぶ経路のうち、利用されている経路に沿っての所要時間の和は互いに等しく、利用されていない経路に沿っての所要時間の和より大きくない。

等時間原則を用いた交通量配分の解法として次の I A 法がある。

3. I A 法 (Incremental Assignment method)

I A 法は初期配分した各経路の配分量を全て一定の割合で減少させたときの最短時間路に、減少さ

せた流量を流すことを繰り返しながら等時間原則を満たすような各経路の流量を求める近似解法である。

まずある一組のODペアについて考える。ODペアについて与えられたOD量を N 等分し最短時間路となるリンクに割り当て、これをOD量を流しきるまで繰り返す (phase 1)。phase 1で得られた各リンクの流量を一齐に一定の割合 ($1/N$ より小さい正数) で減少させ、そのときの最短時間路に減少分の流量を流す。これを等時間原則が成り立つまで繰り返す (phase 2)。

< phase 1 >

step 1: OD間の最短時間路を探す。

step 2: step 1で得られた経路にOD量/ N を割り当てる。

step 3: OD量を流しきれば終了。OD量が残っていればstep 1へ。

< phase 2 >

step 0: phase 1で得られた流れを初期解とする。

step 1: 各経路の流量を一齐に $(1-\epsilon)$ 倍し、所用時間を更新する。最短時間路を求める。

step 2: step 1で得られた経路に削除した流量を流し、所用時間を更新する。

step 3: ODペアについての経路の所用時間が許容範囲内の誤差になれば終了。そのほかはstep 1へ。

これを各ODペアについて各リンクの流量の収束するまで繰り返すことにより複数 (ネットワーク上のすべて) のODペアについてOD量を道路網に配分することができる。phase 1, 2のstep 1における最短時間路の探索にはDijkstra法を用いる。

4. 現実道路網への適用

現実の道路網として東京23区内の主要幹線道路網 (図1) をモデル化する。この道路網は、交差点 (ノード) 85と交差点間の道路 (リンク) 144×2 (上下車線) から成る。

環状線は、内側から、内堀通り・外堀通り・明治通り・山手通り・平和橋通り・環状七号線・環状八号線、放射線は、南西部から時計回りに第一京浜・第二京浜・桜田通り・玉川・青山通り・甲州街道・青梅街道・新青梅街道・目白通り・川越街道・中山道・北本通り・日光街道

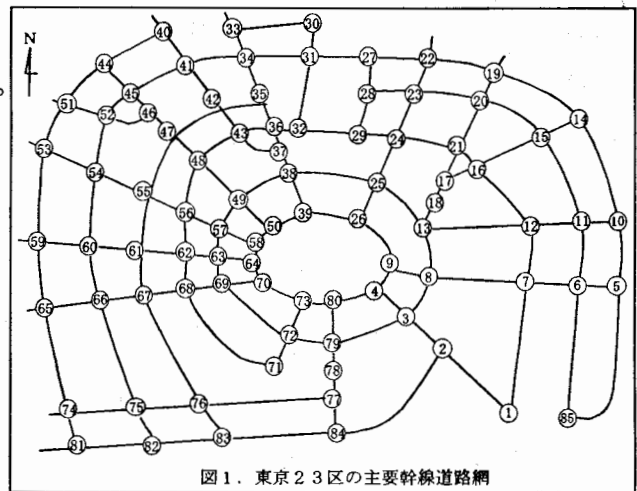


図1. 東京23区の主要幹線道路網

一日比谷通り・水戸街道-昭和通り・蔵前橋通り・京葉道路・葛西橋-永代通り・晴海通りである。

< ODペアとOD量 >

本研究の範囲で各ODペアに対して実際のOD量を調査して与えるのは、時間・労力的に無理である。そこで道路網状のある地点ごとの交通量を調べることによりOD量 (1時間当たりの台数) を推測し100台/h・50台/h・10台/hの三段階の値を与えることとする。実際の道路網は図1で示したものに留まらず更に広がっており、他県から他県へと東京を通過する交通量が多いので図1の外

側同士（ノード番号：1, 2, 5, 10, 14, 19, 22, 27, 30, 31, 33, 34, 40, 41, 44, 51, 53, 59, 65, 74, 81, 82, 83, 84, 85）のODペアに重点を置き実験する。

<費用関数>

リンク(i, j)を通過する総交通量を x_{ij} とすると、リンク(i, j)の費用関数 $f_{ij}(x_{ij})$ をアメリカ連邦交通局のモデル[6]を参考し、次の4次の関数で与えた。

$$f_{ij}(x_{ij}) = a_{ij} \cdot x_{ij}^4 + b_{ij}$$

a_{ij}, b_{ij} はリンクに固有の正の定数である。以下、費用関数の単位は時(hour)で表わす。

費用関数を決めるうえで、交通流に影響を与えるものとして道路（リンク(i, j)）の距離 $D_{ij}(>0)$ 、法定速度 $S_{ij}(>0)$ 、車線数 $L_{ij}(>0)$ を考慮する。なお、車線数 L_{ij} は実地調査した路上駐車割合で、実際の値を補正している。例えば、実際には3車線あったとき、路上駐車で最も左車線の6割以上道路が埋まっていれば2車線に補正し、3割程度であれば2.5車線などとした。

b_{ij} ：交通量が0のときの所要時間であるから $b_{ij} = D_{ij}/S_{ij}$ で与える。

a_{ij} ：リンク(h, k)とリンク(l, m)の車線数をそれぞれ L_{hk}, L_{lm} とする。また両リンクの距離・法定速度は等しいと仮定する。このとき、リンク(h, k)に交通量 x_{hk} が加わったときの所要時間と、これを L_{lm}/L_{hk} 倍した交通量 $(L_{lm}/L_{hk})x_{hk}$ がリンク(l, m)に加わったときの所要時間は、等しいと考えられるので $a_{hk}/a_{lm} = (1/L_{hk})^4 / (1/L_{lm})^4$ である。よって $a_{ij} = \alpha(D_{ij}, S_{ij}) \cdot (1/L_{ij}^4)$ と書ける。

ここで道路上の混雑度（交通量/車線数）が等しいときの所要時間が、距離に比例し、法定速度に反比例することから、 $a_{ij} = \beta(D_{ij}/S_{ij}) \cdot (1/L_{ij}^4)$ と考えられる。

β は平均的なリンクの交通量と所要時間から見積もる。図1のネットワークにおける平均的な道路としてリンク(12, 7)（距離 $D_{12,7} = 2.5\text{km}$ 、法定速度 $S_{12,7} = 50\text{km/h}$ 、車線数 $L_{12,7} = 2.5$ ）において交通流が1000台/hのとき所要時間が0.1hとして $\beta = 0.39 \cdot 10^{-10}$ と見積もる。以上より図1のネットワークの各リンクの費用関数を、

$$f_{ij}(x_{ij}) = 0.39 \cdot 10^{-10} \frac{D_{ij}}{S_{ij}^4 L_{ij}^4} x_{ij}^4 + \frac{D_{ij}}{S_{ij}}$$

で与える。

<渋滞度と拡幅優先順位>

あるリンク(i, j)における渋滞度の指標として、交通量 x_{ij} のときの所要時間は $f_{ij}(x_{ij})$ を交通流0のときの所要時間 b_{ij} で割った値 $\gamma = f_{ij}(x_{ij})/b_{ij} (\geq 1.0)$ を採用する。

渋滞緩和のための道路拡幅計画の数値的な指針を渋滞度で与え、ワースト20の道路について車線の拡幅を考える。

表1. 渋滞度ワースト20

5. 結果及び考察

渋滞度の大きな道路は、ネットワークの外側（環状七号線から外）に多く現れるという結果が得られた（表1）。これを表2の距離制約付き最大流問題における道路が飽和した回数[3]と表3の実際の渋滞発生状況と比較してみる。

渋滞する道路が表2では環状七号線に集中しているのに対し、表1では環状八号線に集中して現れている。実

渋滞道路	路線	渋滞道路	路線
(3, 2)	晴海	(51, 53)	環八
(2, 3)	晴海	(53, 51)	環八
(53, 59)	環八	(10, 11)	京葉
(59, 53)	環八	(11, 10)	京葉
(52, 51)	新青梅	(56, 62)	明治
(51, 52)	新青梅	(41, 34)	環七
(53, 54)	青梅	(62, 56)	明治
(54, 53)	青梅	(40, 44)	環八
(44, 45)	目白	(77, 84)	第一京
(45, 44)	目白	(44, 40)	環八

際の渋滞発生場所も環状八号線に集中しているので表1の方がより現実に近いと言える。さらに表3の渋滞に絡んでいる交差点も表1に多く現れている。このことから、本実験の結果は[3]よりも渋滞の状況を良く表現していると考えられる。

表2. 文献[3]の結果 (ワースト20)

渋滞道路	路線	渋滞道路	路線
(34, 41)	環七	(52, 45)	環七
(41, 34)	環七	(27, 22)	環七
(31, 34)	環七	(45, 52)	環七
(34, 31)	環七	(79, 78)	桜田
(41, 45)	環七	(51, 52)	新青梅
(45, 41)	環七	(52, 51)	新青梅
(62, 56)	明治	(78, 79)	桜田
(25, 26)	日比谷	(3, 2)	晴海
(40, 44)	環八	(22, 27)	環七
(44, 40)	環八	(56, 62)	明治

表3. 渋滞発生状況ワースト20

交差点	方向	路線	交差点	方向	路線
65	←59	環八	44	←51	環八
51	←44	環八	56	←62	明治
34	←41	環七	51	←53	環八
55	←47	山手	66	←65	玉川
82	←75	環七	45	←52	環七
81	←82	第一京	78	←77	桜田
59	←65	環八	62	←61	甲州
22	←23	日光	45	←44	目白
9	←4	内堀	54	←53	青梅
59	←62	環八	11	←12	京葉

ワースト20の道路に1車線の拡幅を行い渋滞度を求めた結果、拡幅前のワースト20の道路の渋滞度は各路とも約半減した。また拡幅後に現れたワースト20の渋滞度の平均値も拡幅前のワースト20に比べ約半分になった。ネットワーク上の全ての道路についても拡幅前後で比較してみると、約二割の道路ではわずかながら渋滞度が増しているが全体的に比較するとかなり減少している。

本実験では現実のネットワークにおいて交通量配分問題を解き渋滞する道路を特定し、拡幅することでネットワーク全体の渋滞を緩和できることが確認できた。

6. 終わりに

本研究では、現実道路網における渋滞しやすいところを特定するため、IA法を用いた交通量配分問題を解くことを考えた。また各路の求められた所要時間を交通流が0のときの値で割ったものを渋滞度とし、この値を拡幅工事の着工順の指標として利用することを考えた。

この解法は、十分実用的であることが確認できた。また提案した指標は工事費や高速道路を考慮していないので、公共機関の決めた着工順と異なるのはやむを得ないと思われる。しかし提案された指標は確実に渋滞を緩和させることができ、道路拡幅計画における指標の1つとして十分に意味があると考えられる。

【参考文献】

- [1] 林康一郎：“IA法による交通流計算”，電気通信大学卒業研究論文，1992.
- [2] 野々峠裕文：“道路網における交通量配分算法の比較”，東京理科大学卒業研究論文，1993.
- [3] 水野啓之：“道路拡幅計画における優先順位について”，東京理科大学卒業研究論文，1993.
- [4] 伊理正夫：“数値計画法の立場から見たIA法”，オペレーションズ・リサーチ，vol. 22, No. 12, pp. 695-701, 1977.
- [5] 警視庁交通年鑑 平成3年度版，警視庁交通部，pp. 276-310, 1992.
- [6] 東京50キロ圏の将来交通量，東京都首都整備局，1968.
- [7] Larry J. LeBlanc, Edward K. Morlok, William P. Pierskalla: “An Efficient Approach To Solving The Road Network Equilibrium Traffic Assignment Problem,” Transpn. Res., vol. 9, pp. 309-318 (1975).