

K番目最短経路の実用的探索法とそれらへの配分

Practical Search Method of K-th Best Paths and Assignment to Their Paths.

星野哲三*

○井上義晃**

By Tetsuzo Hoshino

By Yoshiaki Inoue

It is considered that traffic assignment methods to road network as final stage of forecasting traffic volume can be divided into two methods such that one is All or Nothing Method by using min path and the other is Assignment Ratio Method. In the latter, it is necessary to search route and there have been criticism that route search by planner is subjective and arbitrary. The present paper proposes the method to make route search practically and automatically to avoid it, to put into practice this method in the real road network and to get the assignment traffic volume.

Hoshino's assignment method by the Simultaneous Equations Model is used, and some better results are obtained from this method than the All or Nothing Method.

1. まえがき

交通量推定作業の最終段階に行なう道路網への交通量配分手法は大別して最短経路法と配分率法があると考えられる。前者は最短経路探索のアルゴリズムに従い電算でそれを求め、これにAll or nothingにOD間交通量を流していく。勿論、交通量の変動による走行速度の変化をいわゆるQ-V式で考慮するため、分割配分の場合は、分割の各回で経路が異なることは有り得る。一方後者の配分率法はDIAL¹⁾の方法を除き、予めOD間交通量が適当と思われる経路を何等かの方法で先決し、いわゆる経路表を作成しておかなければならない。そしてこれらの経路に何等かの配分率式を

を用いてOD間交通量を配分することになる。経路表を作成する場合、OD1つにつき十分多数の経路を設定すれば、遠回りの経路には配分量が僅かとなり、実用上は事足りると考えられるが、人手に頼る場合にそれに耐えられない。そこで機械的に決定する方法があれば、大変好ましいわけである。そのための方法として、今回取り上げたのが距離的に最短経路から、順次長い経路をK番目まで機械的に電算で探索していく方法である。勿論実務的には、Kの値を如何に決定していくかが、問題となるが、OD毎にその間の道路網の複雑さ、そのOD間交通量の大小などを考慮して計画者が決定することにはなる。本論文では、石井博章氏のK番目最短経路探索の最良法を実用的に簡略化した方法を提案すると共に、神奈川県東部を対象とした実際道路網に適用し、配分手法には、星野の連立方程式法²⁾を用い配分計算を行ない、従来の経路表を計画者が決定する方法、ならびに一般によく用いられている最短経路に基づく

* 正会員 工博

〒406 甲府市和戸町404-17

** 日本建設コンサルタント

〒143 大田区中馬込2-12-4 いそみ荘18号

分割配分法による配分結果と比較してみた。なお配分率式には、ロジック型の式を用いている。

2. K番目最短経路探索の厳密法

K番目最短経路の探索方法は、最短経路を求めた後、又は最短木を求めることをしてから、それらを利用してK番目最短経路を探索するようになっているアルゴリズム^{3), 4), 5)}等が存在する。

その中で鉄道技研の石井博章氏のK番目最短経路の探索方法は理解し易く注目すべきものと考えられる。その方法は、ループを持つパスを考えず、図-1において1から7に向う①-③-⑥の最短経路からなる木をつくり、その木を利用する。図-1のような木に含まれない弦を正しく1本含む、図-2に示されるような閉路を取り出す。取り出された閉路と最短経路との重複するリンクをとり除いた数本の経路(図-2の場合3本)を比較することによりK番目の経路を導き出すものである。

3. K番目最短経路探索の実用的方法

本論文では、石井氏によるK番目最短経路探索のアルゴリズムを簡易化したものである。まず最短経路を探索する。その最短経路を構成するリンクの1本1本(図-1では、①-③、③-⑥)のうち正しく一本のリンクを取り除く。リンクの取り除かれたネットワークにおいて、再び最短経路を探索する。これらのネットワークは、最短経路を構成するリンクの数だけ異なるわけである。そのすべてのネットワークにおいて同様に最短経路を探索する。その結果より得られた経路を比較することによりK番目の経路を求める。

しかし、この探索では、最短経路上の同じリンクをもつ図-2のa), b)のような閉路の比較ができないという問題がある。つまりb)の閉路上の経路が、a)の閉路上の経路より短い場合①-③③-⑥のリンクを各々取り除いても①-②-⑤-⑥の経路しか探索されない。より多くの経路の探索を行なうには、次に述べるような現実のネットワークから仮想のネットワークを構成する必要がある。

○発生ノード(始点)と、集中ノード(終点)には、3本以上のリンクが接続しないようにする、

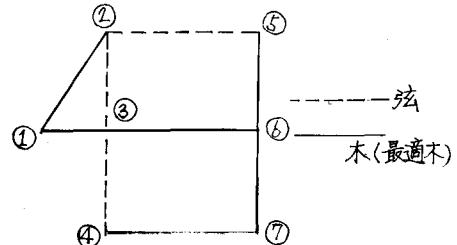


図-1 ネットワーク図

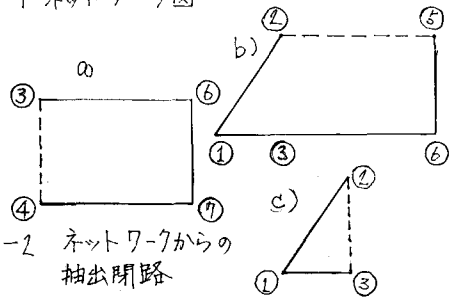


図-2 ネットワークからの抽出閉路

つまり図-3のb)のような仮想ノードをつくりa)のようなリンク接続はしない。

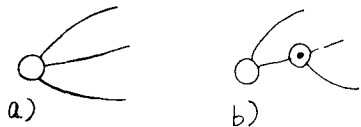


図-3 起終点の仮想ノード

○: 仮想ノード
○: 発生集中ノード

○発生ノード(始点)、集中ノード(終点)を除くノードについては、4本以上のリンクが接続しないように、図-4のb)のように仮想ノードを作り、a)のようなリンクの接続はしない。

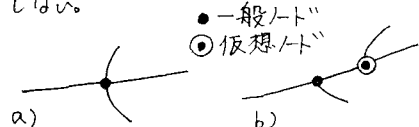


図-4 一般ノードの仮想ノード

この方法でK番目最短経路を探索すると厳密法より、探索される経路数は少なくなるが交通量配

計算に必要な経路の本数には十分な本数の経路を得ることが出来た。

4. 実際道路網への経路探索と交通量配分

(1) 連立方程式系による配分式

連続, 累加, 配分, 評価, $Q-T$ の各方程式を連立させて, $OD(i, j)$ 毎のルート (r) 別交通量 rQ_{ij} , 各道路区間 (l) の断面総交通量 (g_l), 配分率 $r\gamma_{ij}$, 走行時間 t_{ij} を求める連立方程式手法において, 既知数などとして与えるべきものは, OD 間交通量 Q_{ij} , 各道路区間の局地交通量 g_l , 配分率式の形とパラメータ, 各道路区間の延長と $Q-V$ 式ならば OD 別の経路表である。なお本論文においては, 配分率式は下記のロジット型を用いた。

$$\gamma = \frac{1}{\sum_{r=1}^R \text{EXP} \left[\beta_i \{ (T_r - T_*) + \beta_f (F_r - F_*) + \beta_p (P_r - P_*) \} \right]}$$

T : T_r : OD 毎の r 経路の走行所要時間 (時)

F : F_r : OD 毎の r 経路の有料道路の料金 (円)

P : P_r : OD 毎の r 経路の有料延長率 = OD 間距離 / 有料道路延長

β_i : 乗用車 -15.2, 小型貨物車 -11.6, 普通貨物車 -9.2

β_f : 乗用車 1/2000, 小型貨物車 1/1600, 普通貨物車 1/20

β_p : 乗用車 1/20, 小型貨物車 1/13.3, 普通貨物車 1/5.55

なおパラメータ $\beta_i, \beta_f, \beta_p$ は日本道路公団の転換率式に合致するように選んだものである⁶⁾。

ここで問題となるのが局地交通量 g_l であるがこれは元来「当該道路区間の代表地点における問題」として配分対象 OD 間交通量 Q_{ij} 以外の局地的交通量」として定義付けられている。しかしこの値は特別な OD 調査がなされなければ取り揃えることはできない。よって実用的には、全国的に3年毎に行われる全国交通情勢調査による普通交通量

(断面交通量) の値を先づ g_l として設定する。そしてその上に OD 間交通量 Q_{ij} を連立方程式法により配分する。これが $\sum rQ_{ij}$ である。次に観測された普通交通量より $\sum rQ_{ij}$ を差引き, これを真の局地交通量 g_l と仮定する。そしてこの上に再び連立方程式法により Q_{ij} を配分する。そして得られた rQ_{ij} と g_l とを加え合わせた総交通量と比較するわけである。神奈川県東部 (図-5 参照) に適用した。結果は表-1 の通りでかなりよい適合度を示している。

(2) 配分計算の諸条件

(a) 配分対象道路網

神奈川県東部横浜市中区を中心とした地域を対象とした。そのため上記地域の道路網は比較的詳細に描かれている。昭和52年10月を配分対象の時点としているので高速道路も相当完成しており, 当該地域に直接関係する東名, 名神道は全通し, 中国道も岡山県北房 I.C まで完成している。よって本来は OD 間交通量の経路が分岐する岡山県近辺から, 道路網を設定すべきであるが簡単化のため京都を最西部の発生地とした。そして当該地域から離れるに従い順次ゾーンを, したがって道路区間 (リンク) を粗くしていくことを原則とした。又, 対象道路は簡単化のため問題はあつたが主要地方道以上とした。図-6 参照。

(b) 配分対象 OD 間交通量

ゾーンは道路網と同様当該地域を細かくして元のゾーン数を神奈川県48, 東京都27, 埼玉県14, 千葉県3, 静岡県3, その他の地域14, 計109とし, OD 間交通量の経路から考えて, 統合できるものは統合し, 最終的に神奈川県19, 東京都13, 埼玉県3, その他の地域5, の計40ゾーンとした。ゾーン間交通量は, 昭和52年度の全国交通情勢調査に基づいて作成された関東地域自動車 OD 報告書, 及び東海地域自動車 OD 調査報告書から, 乗用車, 小型貨物車, 普通貨物車の3車種に分類統合して作成した。

(c) 道路区間局地交通量

これは, 4の(1)で述べたようにその道路区間の代表地点の断面交通量 (普通交通量) を採用するので, 昭和52年度の全国交通情勢調査の値を,

そのまま使用した。

(d) 道路区間Q-V式

Q-V式については、以前高速道路については主として計算に基づいて作成したもの⁸⁾、一般道については実測によるQ-V式を用いた。これらによりQ-V式の型は全部で5の種類を使用している。Q-V式の形は図-5に示すようなものを用いたがこゝで (V_{MIN}, Q_{MAX}) の点が、いわゆる可能交通容量の点を示している。

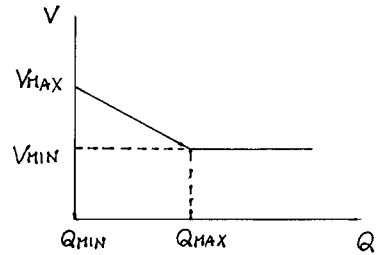


図-5 Q-V式の型

(e) その他

各道路の延長は市販の道路図により、有料道路の料金は各関係発行及び市販の表によった

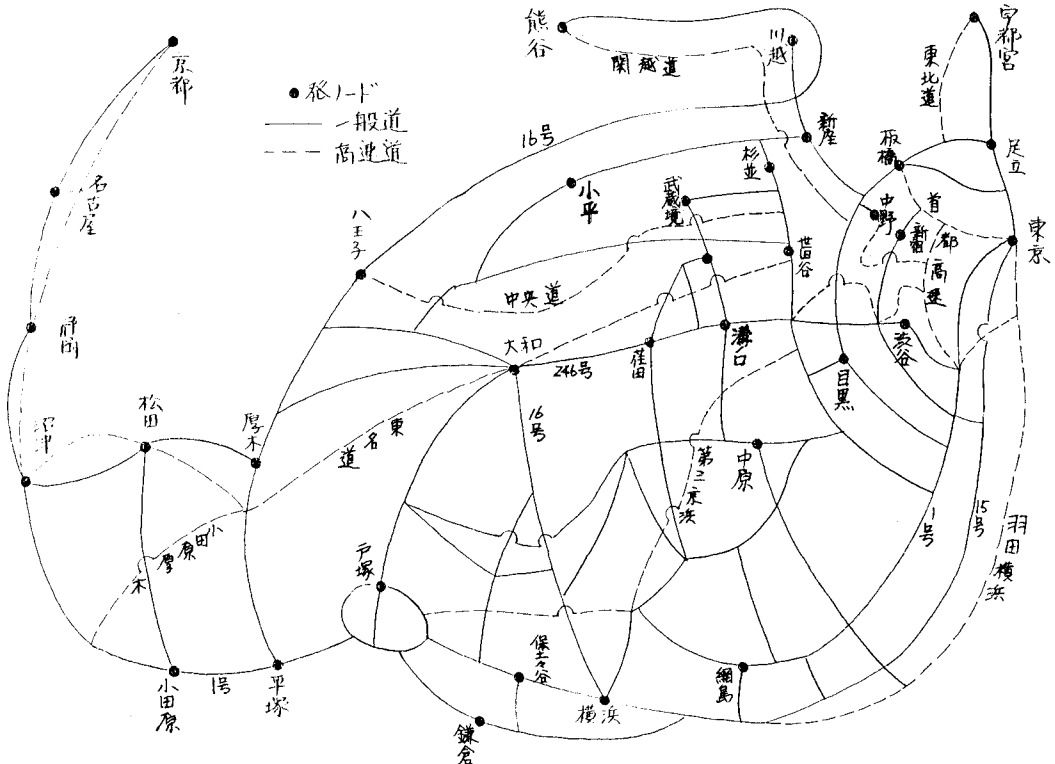


図-6 配分ネットワーク図

(3) 配分結果と考察

5. 結論

K番目までの最短経路を機械的に求めることにより配分率法において従来問題となっていた、計画者による経路選定の恣意性を克服することができた。又求められたK番目最短経路へ連立方程式法により配分した結果は、最短経路に基づく all or nothing 法にくらべ精度がよいことが分った。

6. あとがき

実際道路にK番目最短経路の探索を実施した場合、網が複雑な当該道路網のような場合、1 OD の探索に10数分を要する(インプットからアウトプットまで)。これは如何にもかかり過ぎるので、OD毎に道路網の一部を削除して無駄な探索を回避するなどの処置をとることが考えられる。

道路網への交通量配分の問題は、経路探索以外にOD表の統合、配分率式とそのパラメータ、Q-V式ならびに容量超過時の処理など多く存するが、本稿では、経路探索に焦点をしぼり論じた。

連立方程式法による配分計算の電算プログラムについて助手であった大矢正樹氏(現システム科学研究所)、山梨大学学生であった山本芳幸(北海道開発コンサルタント)、翠川深(宇谷商会)、風間義博(横浜市)の諸君、および山梨大学職員の廣嶋くに代、横内滋里の両氏らの御盡力に負うところが多く、プログラム特にデータ作成について(学生)の今枝浩二(日本電々)、小田切仁(日立物産)の両者の多大な盡力の結果であるので、ここに厚く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) R, B. DIAL: A Probabilistic multi path Traffic Assignment model which obviates path enumeration, Trans, Vol.5, pp 83~111, 1971
- 2) 星野哲三: 道路網における交通量配分の方法と理論, 道路, 9月, pp 10~18, 道路, 11月, pp 25~33, 道路, 12月, pp 108~118, 1969
- 3) S, CLARK. and A, KRICKRI-AN. and J, RAUSEN: Computing the N best loopless paths in network, J. SOC indust appl math. No.5, 1963
- 4) Hiroaki, Ishi: A new method finding Kth best path in graph, Journal of the operations research society of Japan, Vol.21 NO.4, 1978
- 5) Maurice Pollack: Solutions of the K best route through a network, Journal of mathematical analysis and applications, pp 547~559, 1961
- 6) 星野哲三: 配分率にロジックモデルを用いた道路網への交通量配分, 第16回日本道路会議論文集, 10月, 1985
- 7) 高速道路調査会自動車研究部会: 名神高速道路の従断面配を想定した自動車走行性能の算定: 高速道路と自動車, Vol.2, NO.8, 8月, pp 17~24, 1959
- 8) 星野哲三: 高速道路における交通量と走行速度との関係, 高速道路と自動車, Vol.8, NO.11, 11月, pp 19~27, 1970