

IV-16 隣接環を考慮した配分交通量推計法について

北海道大学工学部 学生員 柴田哲史
 北海道大学工学部 正会員 佐藤馨一
 北海道大学工学部 正会員 五十嵐日出夫

1. はじめに

配分交通量推計は4段階交通需要推計プロセスにおける最終段階の連続であり、現在までに最短経路法を中心に時間比配分法、等時間配分法など種々の手法が提案されている。本研究では総交通仕事量が一定となると仮定した北大方式配分理論により配分交通量の算出をおこない、この北大方式配分理論による配分交通量が、Flow-independentの場合には「時間比原則」による配分となり、Flow-dependentの場合には「等時間原則」による配分となっていることを示したものである。さらにこの北大方式配分理論を用いて、往復交通流を考慮した配分交通量推計をおこないより実的な配分交通量の算出法を提示したものである。

2. 隣接環を考慮した北大方式配分理論

北大方式配分理論とは次の2つの仮定に従った交通量配分理論であり、水理学における管網流量計算法の一つである Hardy-Cross 法に示唆を受けている。

仮定1 ----- 連続の定理より、交通量の発生・集中ノード以外の各ノードでは流入交通量と流出交通量とは相等しい。

仮定2 ----- 交通量の配分のされ方は、対象経路の走行時間と交通量の積の総和、すなわち総交通仕事量が一定となるような配分となる。

総交通仕事量を G とし式で表わすと

$$G = \sum [\text{各経路の交通量}] \times [\text{各経路の走行時間}] \cdots \cdots (1)$$

となる。

2-1 配分交通量の算出手順

道路網が n 個の環 (内側にリンクが存在しない単純なサイクル) で構成され、 α 番目の環には $K(\alpha)$ 本のリンクが属しているとする。表記法は、 α 番目環を $\{i\}$ 、 α 番目環の α 番目リンクを (i, j) 、 α 番目ノードを $\odot$ と記すこととし例を図-1に示す。また、リンク (i, j) の持つ諸々のデータを $[X(i, j)]$ で表わし、計算の繰返し回数を記号の右上に記すことにする。以下に算出の手順を示す。

手順1 ----- 各環で右回り交通を正、左回りを負として初期リンク仮定交通量 $[Q^{(0)}(i, j)]$ を各ノードで流入・流出交通量が等しくなるように配分する。

手順2 ----- 各リンクの交通流の走行速度 $[V^{(1)}(i, j)]$ を容量制限式などから求める。

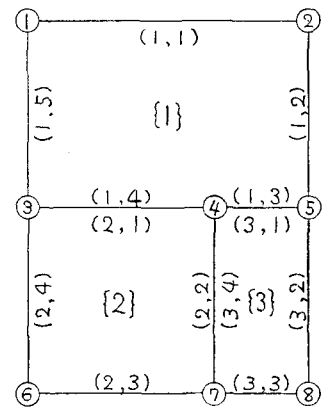


図-1; 環・リンク・ノードを表記した道路網図-I

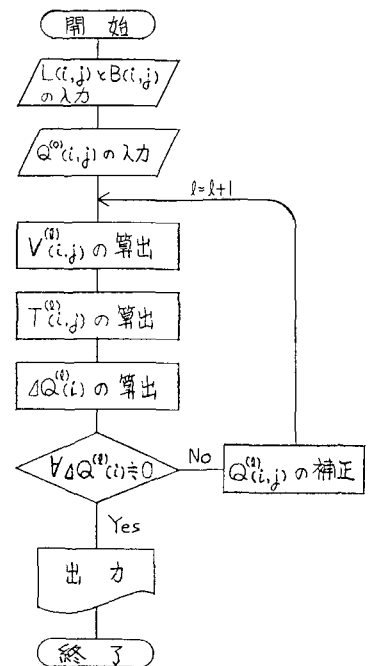


図-2; 配分交通量算出のフローチャート

手順3-----交通流が各リンクを通過するのに費す時間、すなわちリンク走行時間 $[T^{(0)}(i,j)]$ を次式により求める。

$$T^{(0)}(i,j) = L(i,j) / V^{(0)}(i,j) \quad \text{---- (2)}$$

ここで $[L(i,j)]$ はリンク (i,j) の実際の長さ、つまりリンク実長である。

手順4-----各環の交通量補正值 $[\Delta Q^{(0)}(i)]$ を次式により求める。

$$\Delta Q^{(0)}(i) = \left\{ \sum_{j=1}^{K(i)} Q^{(0)}(i,j) \cdot T^{(0)}(i,j) \right\} / \left\{ \sum_{j=1}^{K(i)} T^{(0)}(i,j) \right\} \quad \text{---- (3)}$$

手順5-----各リンク仮定交通量を補正する。

ここで隣接環について説明しておく。環 $\{i\}$ がリンク (i,j) を共有して環 $\{k\}$ と隣接しているとき、環 $\{k\}$ をリンク (i,j) の隣接環といい $[B(i,j)]$ で表わしその値を $\{k\}$ とする。ただし、リンクに隣接する環がなくそのリンクが道路網の外枠であるときは、便宜上道路網の外側を0番目環とし隣接環の値を零とする。さらに環 $\{0\}$ の交通量補正值 $[\Delta Q^{(0)}(0)]$ の値も零とすると、リンク仮定交通量の補正式は次式で表わされる。

$$Q^{(1)}(i,j) = Q^{(0)}(i,j) - \Delta Q^{(0)}(i) + \Delta Q^{(0)}(B(i,j)) \quad \text{---- (4)}$$

手順6-----すべての環について交通量補正值が無視できるほど小さくなるまで手順2から手順5を繰り返し、収束させる。

以上に述べた手順についてまとめたものが図-2のフローチャートである。

表-1; 道路網図-IIにおける各リンクのデータ

i	j	B(i,j)	L(i,j) (km)	T(i,j) (h)	$Q^{(0)}(i,j)$ (台/h)	$Q^{(1)}(i,j)$ (台/h)
{1}	1	0	20.0	2.0	0.0	285.7
	2	2	10.0	1.0	-1000.0	-571.4
	3	1	10.0	1.0	1000.0	571.4
{2}	4	0	40.0	4.0	0.0	192.9

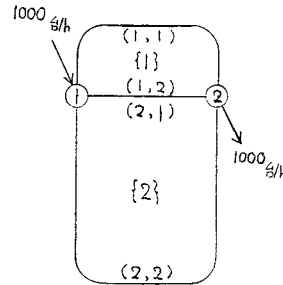


図-3; 道路網図-II

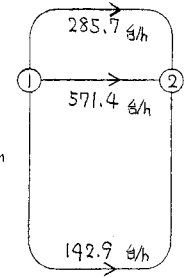


図-4; 配分交通量算出結果-I

3. Flow-independentの場合の配分交通量の算出

Flow-independentの場合、すなわち走行速度が交通量によって規定されない場合についての配分交通量を算出してみよう。

図-3のような道路網について2節で述べた手順に従い配分交通量を計算する。環番号、リンク番号、ノード番号は図-3に示すとおりであり、各リンク実長、隣接環番号を表-1に示す。

手順1-----1000 台/h の交通量がノード①で発生しノード②に集中するとして初期リンク仮定交通量を定める。これは連続の定理さえ満たしていればよいので表-1の $[Q^{(0)}(i,j)]$ のように定めておく。

手順2-----Flow-independentの場合なのでリンク走行速度は交通量によらず一定である。ここではすべてのリンク走行速度を10 km/hと仮定した。

手順3-----リンク走行速度が一定なのでリンク走行時間 $[T(i,j)]$ も各リンクごとに一定であり、表-1のようになる。

以下手順に従い繰り返し計算をおこなった。収束したリンク交通量 $[Q^{(1)}(i,j)]$ を表-1と図-4に示す。

次に時間比配分法により図-3の道路網について配分交通量を計算してみよう。ノード⑤、④間にP本の経路があり、分布交通量 $[QT(s,t)]$ が存在するときにt番目の経路に配分される交通量 $[QT(s,t,t)]$ は次式により求められる。

$$QT(s,t,t) = \frac{1}{\left\{ \sum_{t=1}^P \frac{1}{D(s,t,t)} \right\}} \times QT(s,t) \quad \text{---- (5)}$$

ここで $[D(s, t, v)]$ はノード③から①へト番目の経路を経由したときの走行時間である。

図-3の道路網でリンク(1,1)を経路1、リンク(1,2)と(2,1)を経路2、リンク(2,2)を経路3として各経路の交通量を(5)式により算出すると、

$$\text{経路1: } \frac{\frac{1}{2.0}}{\frac{1}{2.0} + \frac{1}{1.0} + \frac{1}{4.0}} \times 1000 = \frac{2}{7} \times 1000 = 285.7 \text{ 台/h}$$

$$\text{経路2: } \frac{\frac{1}{1.0}}{\frac{1}{2.0} + \frac{1}{1.0} + \frac{1}{4.0}} \times 1000 = \frac{4}{7} \times 1000 = 571.4 \text{ 台/h}$$

$$\text{経路3: } \frac{\frac{1}{4.0}}{\frac{1}{2.0} + \frac{1}{1.0} + \frac{1}{4.0}} \times 1000 = \frac{1}{7} \times 1000 = 142.9 \text{ 台/h}$$

となり、北大方式配分理論により算出した配分交通量と一致する。

4. Flow-dependent の場合の配分交通量の算出

以下Flow-dependentの場合、すなわち走行速度が交通量によって規定される場合についての配分交通量を算出していく。図-1に示されているような道路網について考える。環番号、リンク番号、ノード番号は図-1に示されているとおりであり、各リンク実長、隣接環番号については表-2に示す。次に2節の手順に従い計算する。

手順1---1000 台/h の交通量がノード①で発生しノード⑧に集中するとして初期リンク仮定交通量 $[Q^{(0)}(i, j)]$ を表-2のように配分する。

手順2---容量制限式を図-5のグラフのように定め、各リンク仮定交通量よりリンク走行速度 $[V^{(1)}(i, j)]$ を求める。

手順3---各リンク走行時間 $[T^{(1)}(i, j)]$ を(2)式より求める。

手順4---各環の交通量補正値 $[\Delta Q^{(1)}(i)]$ を(3)式より求める。

以下手順に従い繰返し計算をおこなった。収束したときのリンク交通量 $[Q^{(e)}(i, j)]$ 、リンク走行速度 $[V^{(e)}(i, j)]$ 、リンク走行時間 $[T^{(e)}(i, j)]$ を表-2に示し、リンク交通量とリンク走行時間をまとめて図-6に示す。このようにして算出された配分交通量が「等時間原則」に従っているかを調べると次のようになる。

経路 ①→②→⑤→⑧; $0.0555 + 0.0370 + 0.0378 = 0.1303 \text{ h}$

経路 ①→③→④→⑤→⑧; $0.0393 + 0.0362 + 0.0170 + 0.0378 = 0.1303 \text{ h}$

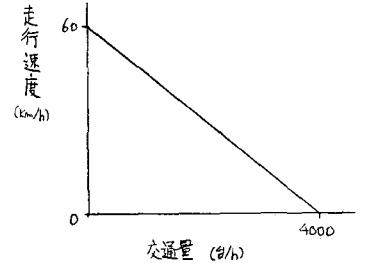


図-5; 容量制限式

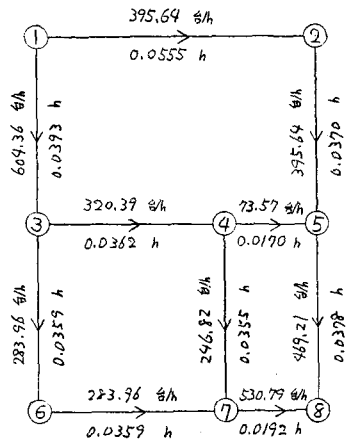


図-6; 配分交通量算出結果-II

表-2; 道路網図-Iにおける各リンクのデータ

i	j	B(i, j)	L(i, j) (km)	$Q^{(0)}(i, j)$ (台/h)	$V^{(0)}(i, j)$ (km/h)	$T^{(0)}(i, j)$ (h)	$\Delta Q^{(1)}(i)$ (台/h)	$Q^{(1)}(i, j)$ (台/h)	$V^{(1)}(i, j)$ (km/h)	$T^{(1)}(i, j)$ (h)
{1}	1	0	3.00	1000.00	45.00	0.0667	571.43	395.64	54.07	0.0555
	2	0	2.00	1000.00	45.00	0.0444		395.64	54.07	0.0370
	3	3	1.00	0.00	60.00	0.0167		-73.57	58.90	0.0110
	4	2	2.00	0.00	60.00	0.0333		-320.39	55.19	0.0362
	5	0	2.00	0.00	60.00	0.0333		-604.36	50.93	0.0373
{2}	1	1	2.00	0.00	60.00	0.0333	0.00	320.39	55.19	0.0362
	2	3	2.00	0.00	60.00	0.0333		246.82	56.30	0.0355
	3	0	2.00	0.00	60.00	0.0333		-283.96	55.74	0.0359
	4	0	2.00	0.00	60.00	0.0333		-283.96	55.74	0.0359
{3}	1	1	1.00	0.00	60.00	0.0167	400.00	73.57	58.90	0.0110
	2	0	2.00	1000.00	45.00	0.0444		469.21	57.96	0.0378
	3	0	1.00	0.00	60.00	0.0167		-530.79	52.04	0.0192
	4	2	2.00	0.00	60.00	0.0333		-246.82	56.30	0.0355

経路①→③→④→⑦→⑧; $0.0393+0.0362+0.0355+0.0192$
 $=0.1302 \text{ h}$

経路①→③→⑥→⑦→⑧; $0.0393+0.0359+0.0359+0.0192$
 $=0.1303 \text{ h}$

となり、すべての経路で総走行時間が等しく Wardrop
 のいう「等時間原則」による配分となっている。

5. 複数ノードから一括流入のある場合の配分交通 量の算出

すべてのリンク実長が等しい図-7のような道路網
 を考える。この道路網のノード①から⑬までのすべて
 に100台/hの交通量が発生、ノード⑬に合計1500台/hの
 交通量が集中し、発生・集中交通量が破線について線
 対称になるようにすると、道路網も対称なため収束し
 たときのリンク交通量などの解も破線について線対称
 となるはずである。初期リンク仮定交通量 $[Q^{(0)}(i,j)]$
 を表-3のように定めて計算してゆく。なお、環番号、
 リンク番号、ノード番号は図-7に示されているとよ
 りであり、容量制限式は図-5のグラフを用いた。

繰返し計算の結果、リンク交通量 $[Q^{(n)}(i,j)]$ 、リ
 ンク走行時間 $[T^{(n)}(i,j)]$ は表-3のようになり、これ
 らをまとめて図-8に示す。この図-8よりリンク交
 通量もリンク走行時間も予想どおり破線について線対
 称となっている。この収束解の対称性は北大方式配分
 理論による計算解の安定性を示すものであり、理論の
 信頼性を立証するものと考えられる。さらに算出され
 た配分交通量が「等時間原則」に従っているかどうか
 をノード①からノード⑬への総走行時間を例として計
 算すると

経路①→②→⑥→⑦→⑪→⑬→⑬; $0.01688+0.01697+0.01719$
 $+0.01766+0.01789+0.02051=0.10710 \text{ h}$

経路①→②→③→⑦→⑧→⑫→⑬; $0.01688+0.01700+0.01716$
 $+0.01715+0.01840+0.02051=0.10710 \text{ h}$

経路①→③→④→⑧→⑫→⑬; $0.01688+0.01700+0.01694$
 $+0.01738+0.01840+0.02051=0.10711 \text{ h}$

経路①→③→⑥→⑦→⑪→⑬; $0.01688+0.01697+0.01719$
 $+0.01715+0.01840+0.02051=0.10710 \text{ h}$

となり、任意の経路で総走行時間が等しくなっている。
 このことは他のノード間でも成立しており、このケ
 ースについても「等時間原則」にかなっていることがわ
 かる。

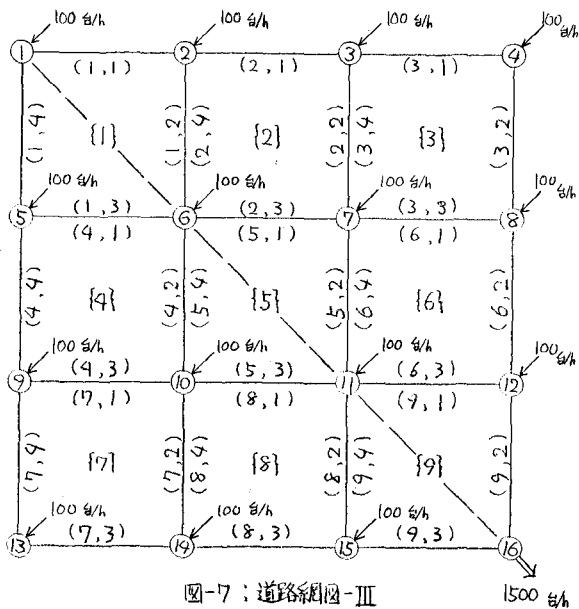


図-7; 道路網図-III

表-3; 道路網図-IIIにおける各リンクのデータ

i	j	$B(i,j)$	$Q^{(0)}(i,j)$ (台/h)	$Q^{(n)}(i,j)$ (台/h)	$T^{(n)}(i,j)$ (h)
{1}	1	0	100.00	50.00	0.01688
	2	0	0.00	71.63	0.01697
	3	4	-100.00	-71.63	0.01697
	4	0	0.00	-50.00	0.01688
{2}	1	0	200.00	78.36	0.01700
	2	3	0.00	115.07	0.01716
	3	5	-200.00	-121.69	0.01719
	4	1	0.00	-71.63	0.01697
{3}	1	0	300.00	63.29	0.01694
	2	0	400.00	163.29	0.01738
	3	6	-300.00	-112.81	0.01715
	4	2	0.00	-115.07	0.01716
{4}	1	1	100.00	71.63	0.01697
	2	5	0.00	121.64	0.01719
	3	7	-100.00	-115.06	0.01716
	4	0	0.00	-78.36	0.01700
{5}	1	2	200.00	121.64	0.01719
	2	6	0.00	223.90	0.01766
	3	8	-200.00	-223.90	0.01766
	4	4	0.00	-121.65	0.01719
{6}	1	3	300.00	112.81	0.01715
	2	0	300.00	376.10	0.01840
	3	9	-300.00	-273.90	0.01789
	4	5	0.00	-223.90	0.01766
{7}	1	4	100.00	115.06	0.01716
	2	8	0.00	112.80	0.01715
	3	0	-100.00	-163.30	0.01738
	4	0	0.00	-63.30	0.01694
{8}	1	5	200.00	223.90	0.01766
	2	9	0.00	273.90	0.01789
	3	0	-200.00	-376.07	0.01840
	4	7	0.00	-112.80	0.01715
{9}	1	6	300.00	273.90	0.01789
	2	0	1200.00	1750.00	0.02051
	3	0	-300.00	-1750.00	0.02051
	4	2	0.00	-273.90	0.01789

網、発生・集中交通量ともに破線について線対称となっているので、収束結果も破線について線対称となることが予想される。先に述べた手順に従い計算し、収束した結果を正方向・負方向リンク全交通量・リンク走行時間について表-4に示した。またこれらをまとめたのが図-9である。この図-9を見ると予想どおりに破線について線対称の結果となっていて、往復交通流を考慮した配分交通量算出方法の安定性・信頼性を示している。

7. おわりに

今まで述べてきたように北大方式配分理論はFlow-independentの場合も、Flow-dependentの場合もすべて図-2に示すようなアルゴリズムで計算することが可能であり、基本プログラムを用意すれば、たとえ環ヤリリンクの数が増え道路網が複雑なものになっても入力データを増やすだけで対応できる。また環番号ヤリリンク番号の付け方はまったく不規則に付けても算出の手順、収束するまでの繰り返し回数などに変化はなく計算時間にも影響しない。しかし、特にFlow-dependentの場合、すべてのケースで収束解が得られるわけではなく、流入交通量が増加し走行時間が長くなってくると発散もしくは振動してしまう。このように解が収束しないということは、道路網にその容量以上の交通量が流入しようとして逆法現象を生じている状態を意味しているように思われ、収束限界交通量がその道路網の交通容量になると考えられる。また交通量配分をおこなうと、道路網を構成するすべての経路に交通量を配分するため対象経路の選べ方が計算結果に大きく影響する。そのため対象経路の選択方法が重要な問題となってくる。今後はこれらの問題について研究していく所存である。

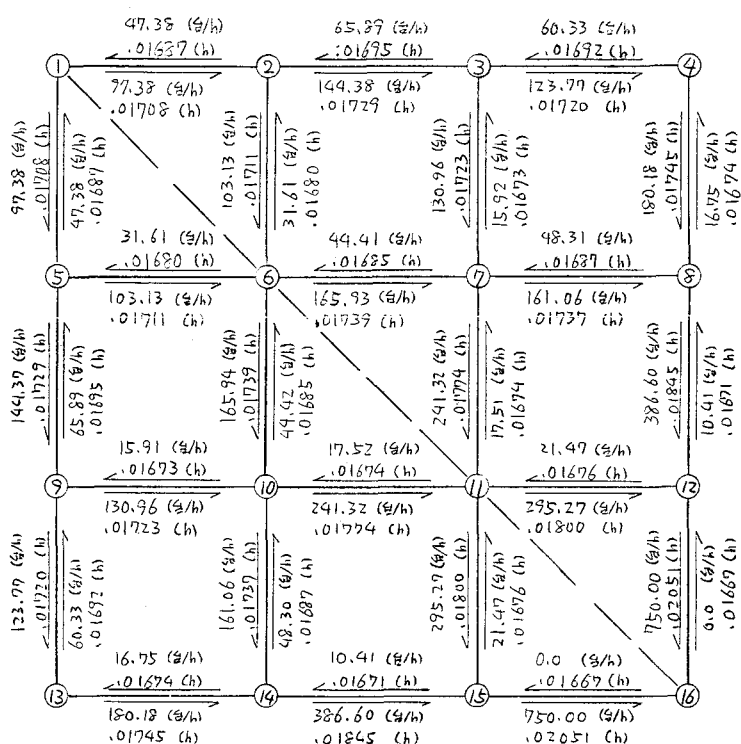


図-9 ; 配分交通量算出結果-Ⅳ