

道路網探索手法に関する考察

—車線数の制限を考慮した場合について—

苫小牧工業高等専門学校 正員 ○ 柳 本 有 三
北海道庁 野 坂 俊 夫
北海道大学工学部 加 来 照 俊

1. まえがき

道路網探索問題の解決については、前報¹⁾にも述べたように従来から多くの研究がなされてきた。これらの研究の問題設定においては種々の制約条件、目的関数(評価基準)等が考えられてきたが、その中でも特に制約条件において各リンクの建設可能な車線数の制限についてはほとんど考慮されておらず、すなわち、各リンクは区間需要交通量に見合うだけ建設できるものとされている。しかし、道路網新設計画においては用地取得の困難性、地域住民の生活環境の保持、交通騒音・振動および排気ガスによる環境悪化、さらに過度の交通集中を避けるためなどから建設可能な車線数には限りがあると思われる。さらに、この事は既存の道路網の改築計画、道路網運用計画、あるいは除雪路網計画等と考える場合にはより実際的な問題となりモデルに組み込んでいかなければならないと思う。

前報において、著者等はある需要交通量を効率的に処理するための道路網探索アルゴリズムについて目的関数として道路建設費用と道路利用者費用との和とした場合について考察した。その問題設定において各リンクは区間需要交通量に見合うだけ建設できるものとした。そこで、本研究は前報の探索アルゴリズムをさらに前述の各リンクの建設可能な車線数の制限を考慮している場合についても適用できるように拡張させた道路網の探索手法について考察したものである。

2. 道路網探索アルゴリズムについて

1) 問題の設定について

ある需要交通量(O/D交通量)を効率的に処理するにはどのような道路網構成が最適かは、ある制約条件の下である目的関数を最大なり最小にするかについて考察する。

いま、与えられた建設可能な最大道路網を M 個のノード ($M \in N$) と m 個のリンク ($A_{ij} \in A$) とするネットワーク $G(N, A)$ とし、この道路網に q 個の O/D 交通が存在するものとする。まず制約条件として各 O/D 交通は (1) 式で示される各リンクの建設可能な車線数を考慮して配分される。前報において各 O/D 交通は最短経路に配分されると仮定して

$$X_{ij} = \sum_{r=1}^q \sum_{t=1}^{M_r} q_{\delta r}^t \cdot Y_{ij}^r \leq C_{ij} \cdot x_{ij} \quad (1)$$

ここで

X_{ij} : リンク ij の区間交通量 Y_{ij}^r : 対象番目の O/D 交通のある走行ルート r の交通量

$q_{\delta r}^t$: O/D 交通 t のあるルート r からリンク ij を走行ルートとして含むとき、そうでないとき 0 である定数

左辺から右辺の X_{ij} 、すなわち区間需要交通量を満たすために必要な車線数が決定されたが、本研究では逆に右辺の与えられた建設可能な車線数 (C_{ij})、すなわち与えられた交通容量から左辺の各 O/D 交通の配分交通量が決定される。従って、各 O/D 交通は (1) 式の制約を受けるため (2) 式で示されるように数本のルートに分割されて配分される

$$Y_{ij}^r = \sum_{t=1}^{M_r} Y_{ij}^r \quad (2)$$

Y_{ij}^r : 対象番目の O/D 交通量 M_r : O/D 交通 t が走行するルート数

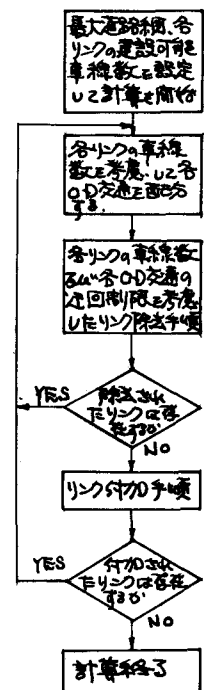


図1 フローチャート

3. そうすると、ここで区間所要交通量が交通容量を越えるリンクが出現したとき、交通容量に合うようにそのリンクを走行する各OD交通をどのように分割するかという問題が生じる。この問題に対していくつかの方法が考案されているが、目的関数を考慮して次の様な配分手順によつて行なう。

a) ある設定された道路網において各OD交通は、まずその最短経路に配分される。

b) 区間所要交通量が交通容量を越えるリンクが出現したとき、そのリンクを走行するOD交通を記憶しておく。

c) 容量を越えたリンクを走行する各OD交通のうちから交通量が大きいものから優先的に配分する。

d) 配分される過程で容量に達したときには、その時点で分割されるOD交通も含めて以後のOD交通はその容量に達したリンクを除去した道路網に再配分されるためa)にもどる。

e) a) から d) を対象とするOD交通がすべて配分されるまでくり返す。なおこの手順において、以前に配分された区間交通量は何んも影響を受けないものとする。

次に目的関数として、前報と同様(3)式で表わされる道路利用者の定価便益と道路建設の総費用を考慮したすなわち道路利用者の年間費用と年間道路建設費用の和である総費用(T)を最小にするとして、

$$T = 365 \cdot g \cdot U \cdot \sum_{ij} \sum_{k=1}^{A_{ij}} \sum_{l=1}^{A_{ij}} s_{ij}^k \cdot Y_{ij}^k \cdot d_{ij} + K \sum_{ij \in A} \{ H + \alpha (x_{ij} - 1) \} \cdot d_{ij} \quad (3)$$

ここで

g : 単位時間交通量を年平均日交通量に換算する

ための係数

U : 利用者費用(円/km台)

K : 資本回収係数

H : 1車線当りの建設費用(円/km)

α : 1車線追加せよのに必要と建設費用(円/km)

d_{ij} : リンク ij の距離(km)

A_{ij} : ある道路網 G^L を構成するリンクの集合

2) 改善変数について

改善変数なるものは、ある計算段階における道路網からあるリンクを除去するか、あるいは付加することによつて建設費用および利用者費用の変化が目的関数値にどのような影響をもたらすかを分析するために、さらに解の収束を早めるために用いられる。まず、リンク除去手順における改善変数について考える。いまある計算段階において得られた道路網を G^L とし、さらにこの道路網 G^L からあるリンク $A_{ij} (\in A)$ を除去して得られる道路網を G_{ij}^L とする。この道路網 G^L から G_{ij}^L への変換に伴って、リンク A_{ij} を走行していたOD交通は G_{ij}^L 上の各OD交通の走行ルートに再配分される。従つて、このリンク除去による建設費用の増減と利用者費用の増加との比較という形で改善変数 Δ_{ij} が求められる。(4)式のようになる。この Δ_{ij} の値が正となる場合には、リンク A_{ij} を除去することによ

$$\Delta_{ij} = 365 \cdot g \cdot U \cdot \sum_{mn \in A_{ij}} (X_{mn} - X'_{mn}) \cdot d_{mn} + K \sum_{mn \in A_{ij}} (M_{mn} - M'_{mn}) \cdot d_{mn} \quad (4)$$

ここで

X_{mn}, M_{mn} : リンク A_{ij} を含む道路網におけるリンク A_{mn} の区間交通量および建設費用

X'_{mn}, M'_{mn} : リンク A_{ij} を除去した道路網におけるリンク A_{mn} の区間交通量および建設費用

A_{ij} : リンク A_{ij} を除去すると、区間交通量および建設費用に変化をうけるリンクの集合

の増加する利用者費用よりも建設費用が低いことを意味し、目的関数値が最小の方向へ改善される。逆に、負の場合には何んも改善されないことになる。

次に、リンク付加手順における改善変数について考える。この手順はリンク除去手順を終えて得られた道路網 G^L に、除去手順で除去されたリンクを再び付加することによつて生ずる総費用への影響を分析する。計算方法の概念は前述の除去手順の方と同様であるが、この場合は建設費用の増加と利用者費用の減少との比較という形で行なわれる。いま道路網 G^L にリンク A_{ij} を付加したことによつて生ずる利用者費用の変分を $\bar{U}_{ij}$ とし、(5)式で求める。ここでこの手順において計算の対象となるリンクの集合 A_{ij} は、除去手順で除去されたリンクである。そう

$$\bar{U}_{ij} = 365 \cdot g \cdot U \cdot \sum_{mn \in A_{ij}} (X_{mn} - X'_{mn}) \cdot d_{mn} \quad (5)$$

すると、付加手順における改善変数 S_{ij} は(6)式で求められる。なお(5)、(6)式中における各変数は(4)式の各

$$\Delta q_j = \max[0, V_{q_j}] - K \sum_{m \in A_{q_j}} (M_{\max} - M'_{\max}) \cdot d_{mm}$$

— (6) —

変数と同様考えで求めることができるものだが、ダウズエがついていない変数の道路網 G^k において計算されるもので、ついでものはリンク $q_j \in E$ に付した道路網 $G^k_{q_j}$ において計算される。この Δq_j が正のときは、 G^k にリンク E を付加することによって目的関数 Z が改善されるもので、負のときは何んも改善されない q_j を付加しないという事になる。

以上の探索アルゴリズムの中心にあるリンク除去・付加手順があるが、いずれもリンクの除去・付加に伴う生ずる建設費用の変化と利用者費用の変化という形で目的関数 Z がどのように展開される。

3) リンク除去手順における配分手順および迂回制限について

リンク除去手順における配分手順は、道路網 G^k からあるリンク $q_j \in E$ を除去した道路網 $G^k_{q_j}$ において前述の(2)から(5)の手順が再び行われる。さらに、この手順はある計算段階において対象となるすべてのリンクに対して行われる。

前報においては車線数の制限を考慮しなかったため、すべてのOD交通はある設定された道路網上の最短経路に配分されるとした。しかし、本研究は車線数の制限を考慮するうちリンクの容量制限を考慮しているため、各OD交通は可能なすべての最短経路に配分される最短経路を走行せざるを得なくなる。そこで、各OD交通の走行便益を考慮してこのように本車と異なるルートに迂回するべく迂回制限値 (α) を定めるものとした。この迂回制限値は(7)式で求められる値 (B) と比較してリンクを除去しないかどうかの判定に用いられる。この比較において、 $\alpha > B$ のときは前述の Δq_j を計算して除去されるかどうかの判定されるが、 $\alpha < B$ のときは除去されない。すなわち、除去すれば最短経路を走行するOD交通が出現することと意味する。なお、付加手順においては各OD交通の走行距離は短くなることはあることも長くなることはない q_j で、迂回制限について考慮する必要はない。

$$B = r_k / r'_k \quad \text{--- (7) ---}$$

ここで

r_k : リンク $q_j \in E$ を走行するOD交通のリンク q_j が除去される前の走行距離

r'_k : 除去された後の走行距離

4) 探索アルゴリズムについて

以上述べた事を十分吟味して本問題に対する探索アルゴリズムについて考察すると次の様な手順が考えられる。

- (1) 建設可能な最大道路網 G^0 上に各OD交通を上述の配分手順によって配分して(3)式の値を求める。
- (2) ある計算段階 l での道路網 G^l に対して(1)と同様各OD交通を配分して(3)式の値を求める。
- (3) 計算段階 l において除去されたいリンクの集合 E^l 、除去されたいリンクの集合 $A^l_{q_j}$ として求める。ここで、 Δq_j を算出する。
- (4) 道路網 G^l からあるリンク $q_j \in E^l$ を除去した道路網 $G^l_{q_j}$ 上に各OD交通を配分して(7)式の値を求める。さらに迂回制限値 (α) と比較において $B > \alpha$ のときは(5)へ、 $B < \alpha$ のときはリンクを除去しないということ Δq_j を算出する適当な正負の値として(6)へ進む。
- (5) $G^l_{q_j}$ 上に配分された区間交通量から(4)式の Δq_j の値を求める。
- (6) (4)、(5)の計算過程 E^l の要素であるすべてのリンクについて行う。
- (7) もし A^l の要素の中で(4)式の Δq_j の値が正であるリンクがある場合は、その中で一番大きい値を取りリンク $q_j \in G^l$ から除去して、道路網 G^l から $G^{l+1} (= G^l - q_j)$ へと変換して(2)へ進む。すべてのリンクの Δq_j の値を正とするときは、この以上リンク除去手順を行っても目的関数値は何んも改善されないということ $G^l \in G^E$ として(8)へ進む。
- (8) (2)から(7)の手順において除去されなかったリンクの集合 E^l 、除去された集合 $A^l_{q_j}$ として求める。ここで、 Δq_j を算出する。

(9) 道路網 G^k にリンク $a_{ij} \in A_f$ に付加した道路網 G^{k+1} 上に各OD交通を配分し、(5)、(6)式より δ_{ij} の値を求める。

(10) (9)の計算を A_f の要素であるすべてのリンクに対して行う。

(11) もし A_f の要素の中で(6)式の δ_{ij} の値が正の値となるリンクがあれば、その中で一番大きい値を取るリンク $a_{ij} \in G^k$ に付加し、道路網 G^k から $G^k(G^k + a_{ij})$ へと交換し(2)へ進む。すべてのリンクに対して δ_{ij} が負であれば、これ以上リンク除去・付加手順を行わず、2回目の関数を何回も改善することができないということから計算を終了する。

、これが手順(8)にて得られた道路網 G^k から得られる最適道路網となる。

3. 計算結果

図-2の建設可能最大道路網、表-1の需要交通量(OD交通量)およびリンク距離と与えて、前節の探索アルゴリズムを用いて最適道路網の探索を試みた。なお、表-1における右上半分はOD交通量であり、左下半分はリンク距離で、0はノード間にリンクが存在しないことを示す。また、図-2における数字は各リンクの建設可能車線数である。さらに、各リンクの車線数と交通容量、建設費用との関係を表-2に示した。(3)、(4)式等を用い、4.2という時間係数、資本回収係数(耐用年数30年、利率6%とする)、利用者費用(円/km)はそれぞれ18.28、0.07265、40.0とした。

最大道路網における総費用、建設費用、利用者費用はそれぞれ268.8、65.4、203.4億円が得られた。このうち、順次除去手順が行われた図-3に示す道路網が得られた。この道路網における各費用はそれぞれ243.4、34.7、208.7億円であり、また各リンクの交通量、車線数は図-3に示した。なおこの例において付加されたリンクはなかった。また、今回制限値を種々変えて計算した結果、 α が1.2以下の値において道路網構成に変化がみられた。次に、前報に2考察した車線数の制限を考慮しない場合の結果として図-4を得た。このときの各費用は240.6、29.1、211.5億円を得、さらに各リンクの車線数、交通量は図-4に示した。

4. あとがき

以上本研究は、従来の種の問題においてほとんど考慮されていなかった各リンクの建設可能車線数の制限と、それに伴う2考察をすればならない利用者の走行便益を考慮した迂回制限とを加味した道路網探索アルゴリズムについて考察した。本研究における配分交通量に対する取次方としてリンクフローを通じて考えたが、今後は経路時間の問題なども考慮して事前に各OD交通の走行可能なルートを探し出すルートフローで考えるアルゴリズムへと拡張してゆきたい。

<参考文献>

- 1) 村松 長義 加来; 道路網探索手法に関する考察, 土木学会北海道支部論文報告集第30号, 1976
- 2) 村松 有子; 道路網構成問題の解法について(I), 苫小牧高専要報第12号(投稿中)。

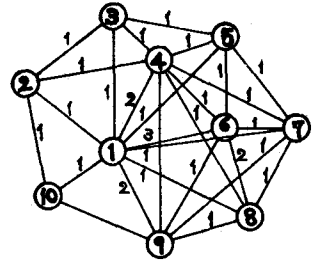


図-2 最大道路網

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		600	100	1400	100	1600	200	200	1200	500
2	5		500	300	50	100	50	0	100	150
3	8	5		350	250	100	50	150	0	50
4	2	6	2		400	150	150	100	50	100
5	9	0	4	3		700	100	50	0	0
6	6	0	0	6	4		400	600	150	50
7	7	0	0	8	6	3		300	200	50
8	7	0	0	11	0	5	6		400	300
9	6	0	0	13	0	7	8	3		300
10	4	8	0	0	0	0	0	0	0	

表-1 OD交通量およびリンク距離

表-2 車線数と交通容量、建設費用との関係

車線数	1	2	3	4	5
交通容量	1000	2000	3000	4000	5000
建設費用	5	7	9	11	13

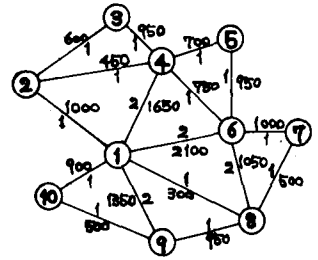


図-3 最適道路網

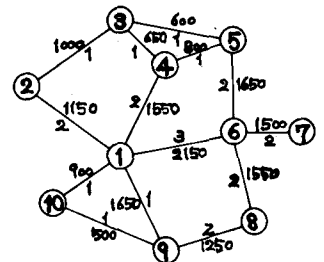


図-4 車線数の制限を考慮しない場合の最適道路網