

IV—16 一方通行システム導入による道路網容量の増強について

苫小牧工業高等専門学校 正会員 ○ 樹谷 有三
北海道大学工学部 加来 照俊

1. まえがき

交通需要の増加に伴って交通混雑や渋滞、さらには道路環境の悪化など種々の交通問題が生じており、これにいかに対処するかは今日の道路交通問題の重要な課題である。この対策としては、交通規制・制約の改善と強化による道路網の効率的運用、道路建設による自動車交通のための容量増強、さらには総合交通体系の面から大量輸送機関の開発を促進して自動車交通の分担を軽減させるなど対策とする都市の特性に応じた種々の手法が考えられる。本研究はこれらの手法のうち道路網の効率的運用の面から、すなわち既存道路網に一方通行システムを導入することによって道路網容量の増強を図る方法について考察する。前報にても述べたように、既存道路網に各種の手法を適用する場合には、まず増加する交通需要に対して既存の道路網がどの程度までの交通需要も処理できるのかという道路網容量を求めて既存道路網の特性を把握しなければならぬ。また、一方通行システム導入のように各リンクの容量変化が伴う問題の場合には、さらに道路網容量を増加させる可能性のあるリンクを効率的に探索するという問題についても吟味されなければならない。そこで、本研究は一方通行システム導入問題を線形計画問題（以下LP問題という）として定式化して道路網の感度分析を行ない、この感度分析を通して道路網容量を増強させるリンクを探索する方法について考察する。

2. 一方通行システムについて^{1),4)}

一方通行システムは、交通安全確保と渋滞および自動車排気、騒音などの交通公害の解消を図る目的ですでに各都市の幹線街路において実施されている。しかし、幹線街路の一方通行システム導入により、いろいろの利点および問題点が生じ、地域住民や交通車両への影響は相当大きく、もって市民生活のシステム変化を要求される要素を伴っている。一方通行システム導入による利点を挙げると、(1) 街路および交差点の交通容量の増大、(2) 走行速度の上昇と遅滞の減少、(3) 騒音・排気ガス、交通事故の減少、(4) 駐車規制および右折禁止を緩和する可能性の存在と規制遵守の可能性、(5) 信号制御による面制御が容易となることなどである。一方、欠点としては(1) 目的地までの走行距離の増大、(2) ウィービングによる接触事故の危険性が高まり、交通容量の増加効果が幾分減衰される可能性、(3) 路線バス、緊急自動車に与える影響、(4) 沿道商店の営業への影響などである。従って、一方通行システムの実施にあたっては、各種の調査、対策を必要とする。

また、幹線街路の一方通行計画において、バアの選定にあたっては次のような点に考慮を払うべきと指摘されている。(1) 幹線を利用できなくなるODがあることはならない。(2) バアの一方通行街路は偶数本であり、反対向きになる路線の車線数は互いにほぼ等しいことが望まれる。これをバアの原則という。(3) バア路線の間隔は密なほどよい。従来から、これらのバア選定にあたっての留意点を踏まえて、分岐限界法を用いた方法⁵⁾、グラフ理論を用いた方法⁶⁾、あるいは道路網の感度分析を用いた方法などいくつかの研究があるが、いかに一方通行の方向づけについて考察しており、道路網容量については言及していない。道路網容量の観点から一方通行システムについて考察した研究としては、わずかに飯田の研究がある。しかし、この研究においてはいくつかの代表的パターンを選定して、いずれのパターンが道路網容量増強を期待できようかどうかを考察している。一般に本来のリンクからなる道路網においては2^個のパターンが考えられるので、どの様に数多く考えられるパターンから道路網容量増強が可能なパターンを探索するかという問題がある。本研究は道路網の感度分析を通して、まず一方通行システムの導入による道路網容量の増強が可能かどうかについて考察する。さらに、LP問題の相補性定理より道路網容量の増強につながるリンクを逐次探索する方法について考察する。

3. 一方通行システム導入問題の定式化

いま、道路網上に g 個の OD 交通が存在するものとし、 k 番目の OD 構成地を P_k とする。このとき、各 OD 交通の配分交通量の変数としてルートを交通量あるいはリンク交通量が考えられるが、次の点からルート交通量を用いる。(1) すでに多くの OD 交通が存在する道路網上にない走行経路を有していること。(2) 一方通行の導入によって大幅に走行距離が増加する OD 交通をなくするため、すなわち配分対象経路を事前に指定することによって各 OD 交通の走行便益を考慮することが出来る。(3) リンク交通量にくらべて取扱う変数や制約条件式の数を大幅に減らせることが出来る。 k 番目の OD 交通の走行可能な経路の本数を μ_k 、そのうちあるルートに配分される交通量を Y_k^r とする。まず、制約条件として (1) 式の OD 交通に関する連続条件がある。次に、(2) 式の各リンクの方向別区間交通量を考え、(3)~(6) 式の交通容量制限に関する条件がある。また、(3)~(6) 式の右辺の各変数の間には (7) 式の条件式が考えられる。さらに、一方通行の導入本数に関する (8) 式も制約条件として考える。(9)~(12) 式は各変数に関する条件である。目的関数として (13) 式の処理交通量(道路網容量) F を最大化とする。

$$\begin{aligned} \sum_{r=1}^{\mu_k} Y_k^r &= P_k \cdot F & (k=1, 2, \dots, g) & \text{--- (1)} & X_{ij} &= \sum_{r=1}^{\mu_k} \sum_{q=1}^{\mu_k} \delta_{ij}^q \cdot Y_k^r & \text{--- (2)} \\ X_{ij} &\leq C_{ij} \cdot x_{ij} & (ij=1, 2, \dots, m) & \text{--- (3)} & X_{ij} &\leq C'_{ij} \cdot y_{ij} & (ij=1, 2, \dots, m) & \text{--- (4)} \\ X_{ji} &\leq C_{ji} \cdot x_{ji} & (ji=m, m+1, \dots, 2m) & \text{--- (5)} & X_{ji} &\leq C'_{ji} \cdot y_{ji} & (ji=m, m+1, \dots, m+2) & \text{--- (6)} \\ x_{ij} + y_{ij} + y_{ji} &= 1 & (ij=1, 2, \dots, m) & \text{--- (7)} & Y_k^r &\geq 0 & (r=1, 2, \dots, \mu_k) & \text{--- (9)} \\ x_{ij} &\geq 0 & (ij=1, 2, \dots, m) & \text{--- (10)} & y_{ij} &\geq 0 & (ij=1, 2, \dots, m) & \text{--- (11)} & y_{ji} &\geq 0 & (ji=m, m+1, \dots, 2m) & \text{--- (12)} \\ \sum_{q=1}^{\mu_k} (y_{ij} + y_{ji}) &\leq Y & & \text{--- (8)} & F &\rightarrow \text{最大化} & & \text{--- (13)} \end{aligned}$$

ここで、 C_{ij} リンク ij の交通容量、 C'_{ij} リンク ij を一方通行にしたときの交通容量、 x_{ij} リンク ij に 2 方向システムのままにしておくかどうかを表わす変数、 y_{ij} , y_{ji} リンク ij を ij 方向か ji 方向かに一方通行システムを導入するかどうかを表わす変数

従来の道路網構成問題と大きく異なる点は、一方通行システムを導入するかどうかを表わす変数 y_{ij} , y_{ji} を考えることとあり、また同時に (7) 式も制約条件として定式化している点がある。(7) 式はリンク ij に既存のシステムのままにしておくか、あるいは一方通行システムを導入するとすれば ij 方向なのか ji 方向なのか、三者択一に関する条件である。これを定式化された問題は、変数 x_{ij} , y_{ij} , y_{ji} を 0-1 整数変数とすると混合整数計画問題として定式化出来る。そして、一般には分岐限界法を用いて解くことも出来るが、本研究においては次の点から変数 x_{ij} , y_{ij} , y_{ji} を連続変数とすると LP 問題として定式化して考察する。(1) 一方通行システム導入の場合、前述のバアの原則によって多くの対称的な道路網パターンが考えられるため、分岐限界法を用いても多大の計算時間を必要とする。(2) 前述のように、一方通行システム導入にあたっては多くの問題点があるため、ある目的関数を最適化するパターンを簡単に採用することはできなく、種々の要因を通じて総合的に判断されるべきである。従って、本研究では道路網容量を増強させるいくつかの道路網パターンを探索する方法について考察するものである。そこで、本研究においてはまず既存道路網の特性および一方通行システム導入の可能性について検討ため、先に定式化された (1), (2), (3), (5), (9), (10) 式に加え (4) 式も制約条件として (13) 式を目的関数とする LP 問題

$$\sum_{q=1}^{\mu_k} x_{ij} \leq L \quad \text{--- (14)}$$

を定式化する。そして、(14) 式の右辺の L をパラメータとするパラメトリック LP を行なうことにより、既存道路網の感度分析を行なう。この分析を通じて、一方通行システムを導入するときの程度まで道路網容量を増強できるかを推定することが出来る。また、同時に少なくとも一方通行システムを導入しなければならぬリンク(最小カットを構成するリンク)も探索出来る。次に、先に定式化された一方通行システム導入問題を LP 問題として定式化した次の手順で逐次一方通行を導入しなければならぬリンクを探索する。(1) 既存道路網の最小カットに一方通行を導入して(最小カットを構成するリンクの本数によっていくつかの対称的なパターンを考慮

れが、前述のバアの原則を踏えてこの一方通行パターンを設定する)、(8)式のYをパラメータとするパラメトリックLPを行なう。このとき、Yの初期値は最小カットを構成するリンク数とする。(2)パラメトリックLPの結果を用いて感度分析を行ない、次に一方通行を導入しなければならぬリンクを探索する。(3)(4)の一方通行パターンを考慮して、さらに既存道路網に一方通行を導入する。さらに、Yを初期値のままに一方通行に変更されたリンク数に設定してパラメトリックLPを行なう。(4)(2)~(6)を道路網容量の増強が可能かどうかを調べる。そうすると、(4)~(4)の過程で一方通行されたリンクの種類が方向づけにより、各道路網パターンが探索できる。従って、一方通行システム導入問題は数回のパラメトリックLPを行なうことにより、考えることができる。また、ここで行なうパラメトリックLPは各リンクの交通容量の上限(一方通行を導入したときの交通容量)が設定されているため、前述の既存道路網のパラメトリックLPより計算する回数は少ない。(4)~(4)を行なう、つまり計算は、基本的には一方通行を導入しなければならぬカットを探索し、これを繰り返すこと以外ない。

4. 計算例

表一/O D 構成比とリンク距離 (Km)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		0.0475	0.0385	0.0475	0.0420	0.5020	0.0280	0.0070	0.0085	0.0025
2	5.0		0.0190	0.0110	0.0060	0.0065	0.0030	0.0	0.0120	0.0005
3		5.0		0.0250	0.0080	0.0075	0.0025	0.0025	0.0	0.0015
4	8.0		3.0		0.0145	0.0110	0.0035	0.0020	0.0100	0.0005
5				3.0		0.0340	0.0065	0.0015	0.0	0.0
6	6.0			6.0	4.0		0.0160	0.0015	0.0020	0.0010
7						2.0		0.0065	0.0025	0.0005
8						5.0	6.0		0.0055	0.0005
9	6.0							5.0		0.0020
10	4.0								7.0	

簡単な例題を通して一方通行システム導入問題について行なう。図1の既存道路網(図中の数字はリンク番号)、表1のO D構成比およびリンク距離を与えて行なう。また、各O D交通の走行可能な経路は最短、次最短経路を中心に3~6

本を設定した。まず、既存道路網の特性を把握するため、および一方通行システム導入の可能性を探索するため既存道路網の感度分析を行なう。ここでは、各リンクの容量変化が道路網容量にどのような影響を与えるかという感度分析のみについて考察する。

また、既存道路網の各リンクの交通容量を1,200台とする。

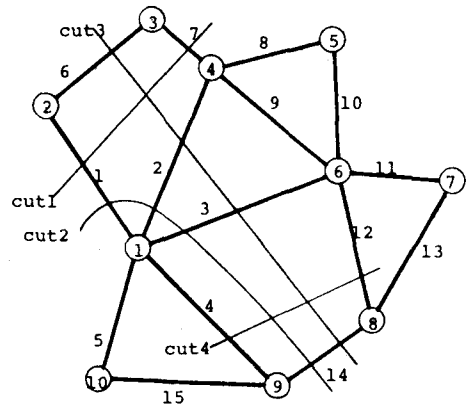
(4)式の右辺のLをパラメータとするパラメトリックLPを行ない、LP解の双対変数の値を利用して交通需要を増加させるとき逐次発生するカットが求められる。図1には一方通行システム導入に必要と思われるカット1~3のみを示した。各カットの処理可能交通量 F_i は(15)式で求められる。従って、このカ

$$F_1 = 24,000 / 0.1720 = 13953 \text{ 台}$$

$$F_2 = 48,000 / 0.2990 = 16054 \text{ 台}$$

$$F_3 = 48,000 / 0.2845 = 16872 \text{ 台}$$

— (15)



図一/ 既存道路網とカット

ットの探索からカット1~3を構成するリンクに一方通行を導入すれば道路網容量の増強が可能であることがわかった。といて、少なくともカット1を構成するリンク1、7には一方通行を導入しなければならぬ。次に、これらの各カットにバアの原則を踏えて一方通行システムを導入すればどの処理可能交通量 F_i が増加するかを求める。いま、各リンクに一方通行にすると容量は2割増加可能とする。そうすると、各カットの F_i は(16)式となる。(16)式の分母の値が(15)式の値より増加しているのは、前述の一方通行システム導入の欠点でも指摘したように走行距離の増加によってロスが生じるO D交通が出現するためである。すなわち、既存道路網に

$$F_1 = 2,880 / (0.1720 + 0.0190) = 2,880 / 0.1910 = 15078 \text{ 台}$$

$$F_2 = 5760 / (0.2990 + 0.0645) = 2,880 / 0.3635 = 15846 \text{ 台}$$

$$F_3 = 5760 / (0.2845 + 0.1055) = 2,880 / 0.3900 = 14769 \text{ 台}$$

— (16)

これは通過しなくともよかったカットも一方通行を導入したと通過しなければならなくなるためである。たとえば、カット1に1→2, 3→4方向に一方通行を導入すると、新たに0日交通3→2(0日構成比0.019)がカット1を通過することになる。(16)式の各カットの右の値から、図1の既存道路網に一方通行システムを導入したときの期待される道路網容量の増加は最悪の場合カット3により14769台程度である。次に、3.2.2定式化された問題を通じて逐次一方通行を導入しなければならぬリンクを探索する。まず、既存道路網の最小カット(カット1)のリンク1, 7に一方通行(1→2, 3→4方向)を導入する。そして、Yの初期値を2.0とするパラメトリックLPを行なうとLP解の双変数から新たに図1に示されるカット2が求められる。さらに、カット1に入れた一方通行を考慮してカット2のリンク2, 3, 6, 14に一方通行(1→2, 3→4, 1→6, 8→9方向)を導入し、パラメトリックLPを行なうと図1に示されるカット4が求められる。カット4に一方通行を導入してさらにパラメトリックLPを行なっても道路網容量の増加は不可能であった。こうすると、図1の既存道路網に一方通行システムを導入したとき、道路網容量は(16)式のカット3の右の値より14769台まで増大可能である。そして、増大可能な一方通行システムのパターンは、各カットに導入可能な一方通行システムの種類の組合から図2, 3の4つが考えられる。図2はそのうち総走行距離最小化のパターンを各リンクの交通量配分とともに示した。この計算例においては、4回のパラメトリックLPを解くことにより道路網容量を増大させる各種の一方通行システムのパターンを求めることができる。従って、いずれのパターンを採用するかは前述の各種の利点、問題点を十分吟味した上で決定されるべきである。なお、3.2.2定式化された問題を混合整数計画問題を分枝限界法を用いて解くと、131回の非整数最速解1→2

図2 総走行距離最小化の一方通行システムのパターン

図一.2 総走行距離最小化の一方通行システムのパターン

5. あとがき

図一3 他の一方通行システムのパターン

システム導入のためのコスト探索という2つに分けて、いずれも線形計画問題を通して考察した。その結果、数回のLP問題を解くことにより、導入可能な各種の一方通行システムを考察することができるといえる。今後は、さらに他の交通規制および交通制令と有機的に組合せて考察する必要がある。

- 1) 横谷有三・加来照俊：道路網容量に関する研究，土木学会北海道支部論文報告集，第17号，1981
- 2) 横谷・加来：道路網の感度分析について，第4回土木計画学研究会講演集，1982
- 3) 交通工学研究会：交通工学ハンドブック（第14章，一方通行），技報堂，1984
- 4) 佐佐木 綱：都市交通計画（第11章，一方通行システム），国民科学社，1988
- 5) ALAN MARTIN HERSHDORFER：Optimal Routing of Urban Traffic，M.I.T. 1965
- 6) 佐佐木綱・近藤勝直：幹線道路網の一方通行づけについて，第10回日本道路学会論文集，1971
- 7) 飯田恭教・峰村博行：道路網容量からみた一方通行システム，土木学会今年次学術講演会概要集第17部，1974