

IV-40

道路網の交通処理能力からみた交通需要抑制策について

室蘭工業大学工学部	学生員	増田 耕治
苫小牧工業高等専門学校	正員	下夕村 光弘
専修大学北海道短期大学	正員	榎谷 有三
室蘭工業大学工学部	正員	田村 亨
室蘭工業大学工学部	正員	斎藤 和夫

1. まえがき

道路交通システムは、災害時における避難路あるいは復旧機材や生活物資の輸送路として重要な機能を担っていることから、災害に伴ってシステムの機能が低下したときでも交通渋滞や麻痺を引き起こすことなく円滑な交通機能を確保することが必要である。交通渋滞及び混雑は、機能低下に伴う交通需要と交通供給（各道路区間の交通容量及び道路網）のアンバランスの結果生じることから、円滑な交通機能及び交通安全を確保するためには交通供給に応じて交通需要を抑制しなければならない。著者等は、各種の災害時に交通処理能力が大きく低下した道路網において需給のバランスを図るためには、どのような交通需要抑制策を施すべきを考えるうえで基礎となる発生・集中可能交通量の算定についてLP（線形計画）問題を基礎に種々考察を試みてきた。

従来の研究においては、救援物資搬送等の緊急輸送車両とマイカー等の一般車両とを区別することなく各OD間の発生・集中可能交通量の算定を行ってきた。しかしながら、災害時においては前述のように緊急車両の通行および救援物資搬送の円滑化を図る必要があることから、被災地域においては緊急車両に対する円滑かつ安全な輸送路の確保のために一般車両の規制・制御が必要である。すなわち、機能低下した被災地域の道路網においては、優先的に輸送路を確保すべき緊急車両を踏まえたうえで他の一般車両の交通需要抑制策を考えるべきである。そこで、本研究では緊急車両と一般車両とを区分した2モードの多品種流問題をLP問題として定式化して、特に一般車両に対する発生・集中可能交通量の算定手法について種々考察を試みた。

2. 交通需要抑制策について

災害時における交通機能確保のための交通需要抑制策を考えるためには、機能低下した道路網においてどの程度の交通処理能力、すなわちどの程度のOD交通（交通需要）の発生・集中が可能かどうか、いわゆる発生・集中可能交通量について十分把握する必要がある。発生・集中可能交通量は道路網容量と同様に、各リンクはどの程度の交通容量を有しているかなどを表わすネットワーク特性およびOD交通としてのフロー特性等によって規定されてくる。本研究においては、ある災害に伴って各リンクの交通容量が低下した道路網における交通需要抑制策を考えるための発生・集中可能交通量の算定を試みる。このときに、フロー特性としてはOD交通の発生・集中源の配置（土地利用パターン）、分布パターン（OD交通量）、交通機関別分担交通量および経路配分量等が考えられているが、ここでは分布交通量としてのOD交通パターンを対象に考察を行う。

OD交通パターンについても既に、OD構成比（OD交通量の相対的比率）および目的地選択比率（ゾーンごとの行き先別比率）等が考えられている。本研究においてはこれら2つの比率とともに、災害時においてはOD交通パターンも平常時と異なってくることを踏まえた発生・集中可能交通量の算定を試みた。すなわち、ひとつはOD交通パターンについては何ら制約を設けず各OD交通の上下限值だけを設定した場合である。他の2つは、OD構成比および目的地選択比率と各OD交通の上下限値の設定とを組合せた場合である。そして、本研究では、これらのOD交通パターンとともに優先的に確保すべき緊急自動車OD交通をも考慮した。

Traffic Control Policy considering Road Network Capacity

by Kouji MASUDA, Mitsuhiro SHITAMURA, Yuzo MASUYA, Tohru TAMURA and Kazuo SAITO

3. OD交通量の上下限值設定による発生・集中

可能交通量の算定

道路網全体で発生・集中可能な交通量は、前述のように OD 交通パターンに対する考え方によって種々の算定が可能である。ここでは、災害時においては OD 交通パターンも平常時と多少異なってくる、あるいは各 OD 交通に対して災害時においてもある程度の発生・集中可能な交通量を確保すべきこと等を考慮して各 OD 交通量の上下限值定による発生・集中可能交通量最大化の定式化を行う。そうすると、救援・救急あるいは物資輸送車等の優先的に輸送路を確保すべき緊急車両 E_j を踏まえた LP 問題の定式化は以下ようになる。

$$\sum_{r \in n_k} U_r^k = U_k \quad (k \in K) \dots \dots (1)$$

$$\sum_{i=1}^m E_{ij} \geq E_j \quad (j = 1, 2, \dots, n) \dots \dots (2)$$

$$\sum_{j=1}^n E_{ij} \leq E_i \quad (i = 1, 2, \dots, m) \dots \dots (3)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{r \in n_k} a \delta_r^k \cdot U_r^k + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{r \in e_{ij}} a \delta_r^k \cdot E_{ij} \leq C_a \quad (a \in A) \dots \dots (4)$$

$$U_r^k \leq U_k \leq U_r^l \quad (k \in K) \dots \dots (5)$$

$$U_r^k \geq 0 \quad (k \in K, r \in n_k) \dots \dots (6)$$

$$E_{ij} \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n) \dots \dots (7)$$

$$\sum_{k \in K} U_k \rightarrow \text{Max} \quad \dots \dots (8)$$

ここで、

U_k : k 番目の OD 交通の発生・集中可能な交通量

U_r^k : k 番目の OD 交通の r 番目の経路の経路交通量

E_{ij} : 中継基地 i と需要点(避難場等) j 間の緊急車両数

E_i : 中継基地 i で供給可能な緊急車両数

E_j : 需要点 j で要求される緊急車両数

m : 中継基地の数

n : 避難所等の需要点の数

C_a : リンク a の交通容量

$a \delta_r^k, a \delta_r^l$: k 番目の OD 交通 (ij 間の緊急車両) の r 番目の経路交通量がリンク a を通過するとき 1、そうでないとき 0 を取る定数

n_k, n_{ij} : k 番目 (ij 間の緊急車両) の OD 交通の走行経路の集合

U_k^L : OD 交通 k の発生・集中可能交通量の下限値

U_k^U : OD 交通 k の発生・集中可能交通量の上限値

N : ゾーンの集合

A : リンクの集合

K : OD 交通の集合

式 (1) は、OD 交通量に関する連続条件式である。式 (2) および (3) が緊急車両に関する制限式である。式 (2) は各需要点で物資輸送あるいは救急・救援等のために必要な緊急車両の数である。また、式 (3) はデポ (配送拠点) 等の各中継基地において供給可能な緊急車両の数である。さらに、式 (4) は各リンクの交通容量に関する条件式であり、ここでは各 OD 交通とともに緊急車両についても考慮している。発生・集中可能交通量は、式 (6) の経路交通量の変数に関する条件も含め、式 (1) ~ (7) を制約条件として式 (8) の目的関数を最大化する問題として求めることもできる。しかしながら、各 OD 交通量に何ら制約 (式 (5) の上下限值) を設けないときには、計算するまでもなくリンクによって隣接するノード間の OD 交通量 (当該リンクの交通容量に等しい) のみが存在するときに最適解 (リンクの交通容量の和) が求められる。一方、トリップ長が長い OD 交通に大きな下限値を設定すると、道路網全体の発生・集中可能な交通量の値は小さくなっていく。したがって、発生・集中可能交通量の値は、式 (5) で設定される各 OD 交通の上限値および下限値によって異なってくる。すべての OD 交通に同じ値の上下限值を設定することも可能であるが、各 OD 交通をどの程度発生・集中させるべき等を勘案のうえ適宜上下限值を設定すればよい。

なお、各ゾーンの発生・集中可能交通量 O_i は、各ゾーンを発生・集中している OD 交通量の和によって式 (9) で求めることができる。

$$O_i = \sum_{k \in N_i} U_k \quad (i \in N) \dots \dots (9)$$

ここで、

N_i : ゾーン i を発生・集中している OD 交通の集合

4.目的地選択比率を考慮した発生・集中可能
交通量

前章では、各 OD 交通に上下限值の設定のみで、各 OD 交通間の相対的比率を考慮しないときの発生・集中可能交通量の算定を行った。ここでは、あるゾーンから他のすべてのゾーンへの OD 交通量の相対的比率（各ゾーンの総発生・集中トリップ数に対する各 OD 交通量の相対比で、目的地選択比率という）をも考えたときの発生・集中可能交通量の定式化を試みる。このとき、各 OD 交通の発生・集中可能な交通量は大きく 2 つの交通量によって算定される。ひとつは、各ゾーンの目的地選択比率を踏まえた需要交通量である。他のひとつは、需要交通量がすべて配分されたうえで、各リンクの残余容量を利用して 2 で述べたできるだけ多くの OD 交通を発生・集中させようとしたときの交通量である。これらの OD 交通量とともに前述の緊急車両 E_{ij} を考慮した発生・集中可能交通量最大化の LP 問題は以下の

$$\sum_{r \in n_k} Y_r^{ik} = p_{ik} \cdot Q_i \quad (k \in N_i, i \in N) \dots (10)$$

$$\sum_{r \in n_k} U_r^k = U_k \quad (k \in K) \dots (11)$$

$$\sum_{i=1}^m E_{ij} \geq E_j \quad (j = 1, 2, \dots, n) \dots (2)$$

$$\sum_{j=1}^n E_{ij} \leq E_i \quad (i = 1, 2, \dots, m) \dots (3)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{r \in n_k} \delta_r^k \cdot U_r^k + \sum_{i \in N} \sum_{k \in N_i} \sum_{r \in n_k} \delta_r^{ik} \cdot Y_r^{ik} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{r \in e_{ij}} \delta_r^{ij} \cdot E_{ij} \leq C_a \quad (a \in A) \dots (12)$$

$$Q_i^L \leq Q_i \leq Q_i^U \quad (i \in N) \dots (13)$$

$$U_k \geq 0 \quad \dots (14)$$

$$U_r^k \geq 0 \quad \dots (15)$$

$$Y_r^{ik} \geq 0 \quad \dots (16)$$

$$E_{ij} \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n) \dots (7)$$

$$\sum_{k \in K} U_k \rightarrow \text{Max} \quad \dots (17)$$

ように定式化できる。

ここで、

Q_i : 目的地選択比率に対するゾーン i の需要交通量

Q_i^L : ゾーン i の需要交通量の下限値

Q_i^U : ゾーン i の需要交通量の上限値

P_{ik} : ゾーン i から他のゾーンへの目的地選択比率
($\sum P_{ik}=1$)

Y_r^k : k 番目の OD 交通の r 番目の経路交通量

式 (10) は、目的地選択比率を考慮した各ゾーンに対する OD 交通に関する連続条件式である。また、式 (12) は OD 交通量 Y_r^k および U_r^k 、さらに緊急車両 E_{ij} をも踏まえた容量制限式である。式 (13) は目的地選択比率に対する各ゾーンの需要交通量の上下限值である。上下限値は、各ゾーンからどの程度発生・集中させるべきかを勘案のうえ適宜設定すればよい。そうすると、式 (2)、(3)、(7) とともに式 (10)~(16) を制約条件として式 (17) の目的関数を最大化する問題となる。

各 OD 交通の発生・集中可能な交通量 V_k は式 (18) となり、さらに、各ゾーンの発生・集中可能な交通量 O_i は式 (19) となる。また、道路網全体で発生・集中可能な交通量は O_i の和となる。

$$V_k = U_k + p_{ik} \cdot Q_i \quad (k \in K) \dots (18)$$

$$O_i = \sum_{k \in N_i} V_k \quad (i \in N) \dots (19)$$

5.各 OD 交通の構成比を考慮した発生・集中
可能交通量

ここでは、災害後ある程度復旧した段階で、平常時の道路サービスも要求されるような時の発生・集中可能交通量の算定について考える。このとき発生・集中可能交通量は、4.と同様に大きく 2 つの交通量によって算定される、ひとつは平常時の各 OD 交通の相対的比率としての OD 構成比を踏まえた需要交通量である。他のひとつは、需要交通量がすべて配分されたうえで、前述のように各リンクの残余容量を利用してできるだけ多くの OD 交通を発生・集中させようとしたときの交通量である。そうすると、発生・集中可能な交通量と緊急車両を考慮した LP 問題は以下のように定式化できる。

$$\sum_{r \in n_k} Y_r^k = p_k \cdot F \quad (k \in K) \dots (20)$$

$$\sum_{r \in n_k} U_r^k = U_k \quad (k \in K) \dots (21)$$

$$\sum_{i=1}^m E_{ij} \geq E_j \quad (j = 1, 2, \dots, n) \dots (2)$$

$$\sum_{j=1}^n E_{ij} \leq E_i \quad (i = 1, 2, \dots, m) \dots (3)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{r \in n_k} a \delta_r^k \cdot U_r^k + \sum_{k \in K} \sum_{r \in n_k} a \delta_r^k \cdot Y_r^k + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{r \in e_{ij}} a \delta_r^k \cdot E_r^{ij} \leq C_a \quad (a \in A) \dots (22)$$

$$F \geq F^L \quad \dots (23)$$

$$U_k \geq 0 \quad \dots (24)$$

$$U_r^k \geq 0 \quad \dots (25)$$

$$Y_r^k \geq 0 \quad \dots (26)$$

$$E_{ij} \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n) \dots (7)$$

$$\sum_{k \in K} U_k \rightarrow \text{Max} \quad \dots (27)$$

ここで、

p_k : k 番目の OD 交通の構成比 ($\sum p_k = 1$)

F : 需要交通量

F^L : 需要交通量の下限値

式 (20) は需要交通量 F を配分するために、満足しなければならない OD 交通量に関する連続条件式である。基本的には、4. で述べた定式化と同様に式 (2)、(3) および (7) とともに式 (20) ~ (26) を制約条件として式 (27) を最大化する問題となる。なお、各 OD 交通および各ゾーンの発生・集中可能な交通量は、それぞれ式 (28)、(29) となる。また、道路網全体で発生・集中可能な交通量は 4. と同様に O_i の和となる。

$$V_k = U_k + p_k \cdot F \quad (k \in K) \dots (28)$$

$$O_i = \sum_{k \in N_i} V_k \quad (i \in N) \dots (29)$$

6. あとがき

以上、本研究は LP 問題を基礎に、災害時における道路網の交通処理能力を考慮した交通需要抑制策のための発生・集中可能交通量の算定手法について種々考察を試みた。本研究においては、特に災害時において優先的に輸送路を確保すべき緊急車両をも踏まえた問題の定式化を行った。また、OD 交通パターンとしては、OD 交通間に何ら制約を設けない場合および OD 構成比 (OD 交通量の相対的比率) および目的地選択比率 (ゾーンごとの行き先別比率) が考えられることから、本研究では各 OD 交通に上下限值だけを設定した場合、OD 構成比および目的比率選択比率と各 OD 交通の上下限値の設定とを組合せた場合等 3 つの問題の定式化を行った。

今後は、双対問題をも定式化して、双対変数および余裕変数等からも考察を試みて行く。また、大規模な道路網に適用可能なアルゴリズムの開発についても考察を試みて行く。さらに、中継基地の空間的配置によって救援・救急および物資輸送等の緊急車両の必要台数および総走行台キロなどが異なってくるとともに道路網の交通処理能力にも大きな影響を及ぼすことから、これらの視点をも考慮した中継基地の配置についても考察を試みていく。

参考文献

- 1) 富田・林：震災後の交通システム機能障害一需要と供給のミスマッチー、土木学会誌、第 80 巻 6 号、1995
- 2) 朝倉・柏谷：路外駐車容量制約を考慮した LP による道路網最大容量推定、交通工学、第 26 巻 6 号、1994
- 3) 榎谷・斎藤：道路交通システムの機能性能に関する耐震性評価法、交通工学、第 24 巻 3 号、1989
- 4) 榎谷・田村・斎藤：交通需要抑制策のための発生可能交通量について、土木学会北海道支部論文報告集、第 52 号、1996
- 5) 榎谷・下夕村・田村・斎藤：災害時における発生・集中可能交通量について、土木計画学研究・講演集、No.19,1996
- 6) 小谷通泰：阪神・淡路大震災における救援物資の都市内輸送の実態と今後の課題、交通科学、Vol.25、1996
- 7) ALI HAGHANI・SEI-CHANG OH: FORMULATION AND SOLUTION OF A MULTI-COMMODITY, MULTI-MODAL NETWORK FLOW MODEL FOR DISASTER RELIEF OPERATIONS, Trasn. Res-A, Vol.30, No.3, 1996