

IV-51

交通需要抑制策のための発生可能交通量について

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、ガス、上下水道あるいは電力など、いわゆるライフラインシステムは、各種の災害によってシステムの一部が損壊するとネットワーク全体の機能（都市機能）が麻痺し、市民生活から産業活動に至るまで広範囲の分野で大きな影響を与える。特に、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。それゆえ、災害に伴って道路交通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。そして、円滑な交通機能及び交通安全を確保するためには、すなわち災害時に交通渋滞や麻痺を回避するためには、交通需要を交通供給（各道路区間の交通容量及び道路網）に応じて抑制する必要がある。交通渋滞及び混雑は、機能低下に伴う需給のアンバランスの結果生じるものであり、したがって災害時の道路網の交通処理能力を上回る交通需要は何らかの抑制策を施さなければならない。そこで、本研究は各種の災害時に道路自体の損壊等によって道路容量が大きく低下した道路網において、需要と供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可能交通量の算定について種々考察を試みた。

2. 発生可能交通量について

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）が発生・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。災害時における道路網の交通処理能力あるいは発生・集中可能交通量に関する研究としては、道路網

容量、発生可能交通量及び極限道路網容量等の機能評価要因を通じた研究がある。道路網容量を評価要因とした研究は、ある OD 交通が走行不可能になったとき、他のすべての OD 交通も一定の割合で発生・集中の抑制を受けるとしたときの道路網全体で処理可能な交通量である。したがって、この評価要因では、交通容量に達していないリンクを通過して走行可能な OD 交通については考慮できないことから、災害後の道路網の効率的な運用面からみた各 OD 交通の発生・集中可能な交通量を算定することができない。また、発生可能交通量の場合は発生・集中の抑制を受ける OD 交通を少なくし、できるだけ多くの交通量を発生・集中させようとする一つの抑制方法を通して算定している。このため、この算定方法も、災害に伴って道路網の交通処理能力が低下したとき、各 OD 交通が交通混雑・渋滞に遭遇することなく発生・集中可能な交通量あるいは円滑な走行状態を確保するためには、各 OD 交通に対してどの程度の発生・集中の抑制を行えばよいかなどについては必ずしも十分に考察できない。なお、ここで言う発生可能交通量は、文献2)で定義したものである。一方、すべての OD 交通量がその上限に達したときの道路網容量である極限道路網の考え方を基礎にした算定手法は、災害時における道路網全体の交通処理能力のみならず、各 OD 交通が道路網の交通処理能力の面から抑制対象となる頻度、各 OD 交通の発生・集中可能な交通量あるいは抑制すべき交通量の期待値などを求めることができる。また、各 OD 交通の値から各ゾーンごとの発生・集中可能な交通量あるいは抑制すべき交通量なども算定できるとしている。

しかしながら、これらの評価要因は平常時の OD 構成比を基礎にしていることから、災害直後のように交通需要が大きく変化するような状況においては必ずし

Estimation of Optimal Trip Matrices considering Traffic Control Policy

by Yuzo MASUYA, Tohru TAMURA and Kazuo SAITO

も適切に発生可能な交通量を算定することができない場合もある。本研究では、発生可能交通量が OD 交通の発生・集中源の配置、分布パターン及び配分経路等によって異なることを踏まえて、発生可能交通量最大化のモデルを LP（線形計画）問題として定式化を試みて種々考察を行った。

3.LP問題による発生可能交通量の算定

道路網全体で発生・集中可能な交通量は、前述のようにフロー特性としての各ゾーンの発生・集中交通量、OD交通量および配分交通量（経路交通量）によって規定される。本研究では、これら各ゾーンの発生・集中交通量 O_i 、OD交通量 U_k および経路交通量 U_r^k を変数とするLP問題として定式化して発生可能交通量の算定を試みる。

$$\sum_{k \in N_i} U_k = O_i \quad (i \in N) \dots\dots(1)$$

$$\sum_{r \in n_k} U_r^k = U_k \quad (k \in K) \dots\dots(2)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{r \in n_k} a \delta_r^k \cdot U_r^k \leq C_a \quad (a \in A) \dots\dots(3)$$

$$O_i^L \leq O_i \leq O_i^U \quad (i \in N) \dots\dots(4)$$

$$U_k \geq U_k^U \quad \dots\dots(5)$$

$$U_r^k \geq 0 \quad \dots\dots(6)$$

$$\sum_{i \in V} O_i \rightarrow Max \quad \dots\dots(7)$$

ここで、

O_i : ゾーン i の発生可能交通量

U_k : k 番目の OD 交通の交通量

U_r^k : k 番目の OD 交通の r 番目の経路の経路交通量

C_a : リンク a の交通容量

$a \delta_r^k$: k 番目の OD 交通の 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

O_i^L : ゾーン i の発生可能交通量の下限値

O_i^U : ゾーン i の発生可能交通量の上限値

U_k^L : k 番目の OD 交通の下限値

N : ゾーン の集合

A : リンク の集合

K : OD 交通 の集合

n_k : k 番目の OD 交通の走行経路の集合

式 (1) は、各ゾーンの発生可能交通量と OD 交通量の関係式であり、式 (2) は OD 交通量に関する連続条件式である。また、式 (3) は各リンクの交通容量に関する条件式である。発生可能交通量は、式 (6) の経路交通量の変数に関する条件も含め、式 (1) ~ (3) を制約条件として式 (7) の目的関数（各ゾーンの発生可能交通量の和）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、発生可能交通量及び OD 交通量に何ら制約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。したがって、現実的な発生可能交通量を求めるためには、式 (4) 及び (5) の上限値あるいは下限値等の設定が必要である。そうすると、式 (1) ~ (6) を制約条件として、式 (7) を目的関数（最大化）とする LP 問題を解くことによって、各ゾーンの発生可能交通量、OD 交通量および経路交通量を算定することができる。なお、ここでは定式化していないが、OD 交通パターン（相対的比率）としての OD 構成比（総トリップ数に対する相対比率）あるいは目的地選択比率（各ゾーンの発生トリップ数に対する OD 交通量の相対比率）等を組み込むことも可能である。しかしながら、平常時と大きく異なると思われるこれらの比率をどのように設定できるかという課題もある。特に、災害直後のように人命救助も含めた緊急車優先時においては、このような各 OD 交通の相対比率を考えない問題設定のアプローチも必要と思われる。

4.各 OD 交通の構成比を考慮した発生可能交通量

前章では、各 OD 交通の相対的比率を基本的に考慮しないときの発生可能交通量の算定を行った。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可能交通量の算定について考える。このとき、発生可能交通量は大きく 2 つの交通量によって算定される、ひとつは平常時の

各 OD 交通の相対的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 3. で定式化したようにできるだけ多くの OD 交通を発生・集中させようとしたときの交通量である。

$$\sum_{k \in N_i} U_k = O_i \quad (i \in N) \dots \dots (1)$$

$$\sum_{r \in n_k} Y_r^k = p_k \cdot F \quad (k \in K) \dots \dots (8)$$

$$\sum_{r \in n_k} U_r^k = U_k \quad (k \in K) \dots \dots (2)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{r \in n_k} \delta_r^k \cdot U_r^k + \sum_{k \in K} \sum_{r \in n_k} \delta_r^k \cdot Y_r^k \leq C_a \quad (a \in A) \quad \dots \dots (9)$$

$$O_i^L \leq O_i \leq O_i^U \quad (i \in N) \dots \dots (4)$$

$$U_k \geq U_k^U \quad \dots \dots (5)$$

$$U_r^k \geq 0 \quad \dots \dots (6)$$

$$F \geq F^U \quad \dots \dots (10)$$

$$Y_r^k \geq 0 \quad \dots \dots (11)$$

$$\sum_{i \in N} O_i \rightarrow \text{Max} \quad \dots \dots (7)$$

ここで、

Y_r^k : k 番目の OD 交通の r 番目の経路交通量

p_k : k 番目の OD 交通の構成比

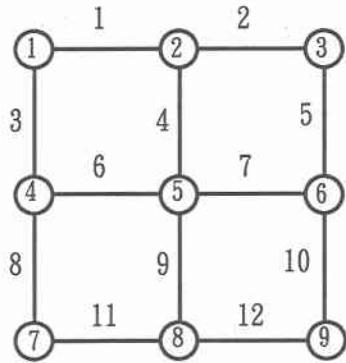
F : 需要交通量

F^U : 需要交通量の上限値

式 (8) 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、3. で述べた定式化に式 (8)、(9)、(10) および (11) が加わったものである。したがって、問題は式 (10) の需要交通量を満たしながら式 (7) の目的関数を最大化することとなる。なお、この問題の場合は、3. に比べて式 (8) を満足することが必要なことから、最適解を得るためには式 (4) 及び (5) の上・下限値等の設定には注意が必要である。

5. 計算例

簡単な例題として、図一 1 に示す道路網および表一 1 の OD 構成比を対象に分析を行う。また、各リンクの交通容量は平常時には 18000 台とする。そして、平常時における道路網容量を表一 1 の OD 構成比一定の下で算定したところ 129437 台となった。この交通量



図一 1 計算対象道路網

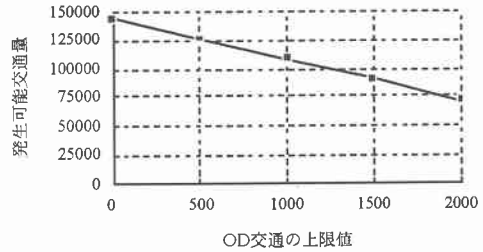
表一 1 各 OD 交通の構成比(右上半分)および需要交通量(左下半分)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	合計
1		0.0427	0.0294	0.0427	0.0301	0.0157	0.0294	0.0157	0.0107	0.1082
2	5529		0.0427	0.0191	0.0396	0.0191	0.0157	0.0191	0.0157	0.1069
3	3799	5529		0.0157	0.0301	0.0427	0.0107	0.0157	0.0294	0.1082
4	5529	2476	2035		0.0396	0.0191	0.0427	0.0191	0.0157	0.1069
5	3901	5122	3901	5122		0.0396	0.0301	0.0396	0.0301	0.1394
6	2035	2476	5529	2476	5122		0.0157	0.0191	0.0427	0.1069
7	3799	2035	1391	5529	3901	2035		0.0427	0.0294	0.1082
8	2035	2476	2035	2476	5122	2476	5529		0.0427	0.1069
9	1391	2035	3799	2035	3901	5529	3799	5529		0.1082
合計	14009	13839	14009	13839	18045	13839	14009	13839	14009	

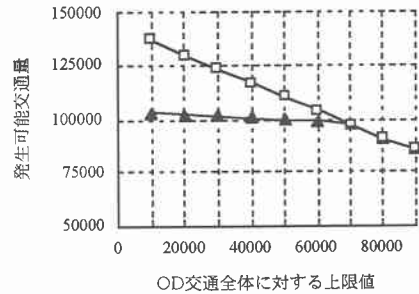
を平常時の交通需要として各 OD 交通量を求めた結果が表一 1 の左下半分である。

いま、災害に伴い各リンクの交通容量が減少して、すべてのリンクの交通容量が 12000 台になったときの発生可能交通量の算定について考察を試みる。まず、各 OD 交通の相対的比率を考慮しないときについて考える。このとき、前述のように各ノードの発生可能交通量および OD 交通量に何ら制約を設けないときには、図一 2 の上限値 0 に対する値 (144000 台) が示すように発生可能交通量はリンクの交通容量の和 (=12*12000 台) 等しく、また OD 交通量もリンクによって連結しているノード間のみが発生可能であった。3. で定式化した LP 問題を通して発生可能交通量を算定したが、式 (5) の各 OD 交通の上限値を考慮した結果が図一 2 である。図一 2 が示すように各 OD 交通の上限値の値を大きくすると、トリップ長の長い OD 交通も多くなることから発生可能交通量の値も小さくなる。この例において、すべての OD 交通の発生可能な交通量が等しくなるのは上限値が 2000 台のときである。このときの発生可能交通量は当然 72000 台 (=2000*36OD ペア) である。

次に、各 OD 交通の相対的比率としての OD 構成比を考慮したときの発生可能交通量について考える。まず、式 (5) の各 OD 交通の上限値を 0 として、平常時と同様な算定で道路網容量、すなわち発生可能交通量を求めると 86291 台となる。この値を基準に、逐次式 (10) の上限値を小さくして発生可能交通量を求めた結果が図一 3 である。図一 3 の□印は、少なくとも式 (10) の上限値を満たすように各 OD 交通に発生・集中させる以外、OD 交通間に何ら制約を設けていないときである。上限値の値を小さくすると発生可能交通量は大きくなっているが、図一 2 と同様に発生・集中している多くの交通量は、残余容量の大きいリンクで隣接されているノード間の OD 交通からなっている。一方、▲印は式 (10) の上限値はもとより、さらに残余容量を利用して発生・集中する OD 交通量にも式 (5) に示す上限値 (1000 台) を設定した場合である。図一 3 の結果が示すように、OD 間に何らの制約を設けない場合に比べて発生可能な交通量は小さいが、各 OD 交通には少なくとも一定程度の発生・集中を保証していることになる。



図一 2 OD 交通の上限値と発生可能交通量



図一 3 構成比を考慮したときの発生可能交通量

6. あとがき

以上、本研究は LP 問題を基礎に交通需要抑制策のための発生可能交通量の算定手法について考察を試みた。本研究では、各 OD 交通の相対的比率を考慮しないときと、ある交通需要量を配分するため相対的比率としての OD 構成比を考慮したときの 2 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、相対的比率としての各ゾーンごとの目的地選択率をも考慮した問題の定式化についても考察を試みて行く。

参考文献

- 1) 梶谷・田村・斎藤：道路網感度分析のためのカット行列および OD-カット行列の作成手法に関する研究、土木学会論文、No.494/IV-24、1994
- 2) 梶谷有三：LP 問題による道路網容量の算定に関する研究、土木計画学研究・論文集、No. 3、1986
- 3) 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
- 4) 梶谷有三：震災時における道路網の機能性能の評価法、交通工学、第 19 巻 5 号、1984
- 5) 梶谷・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