

災害時における発生・集中可能交通量について

Estimation of Optimal Trip Matrix in Natural Disaster

梶谷有三*・下村光弘**・田村 亨***・斎藤和夫****

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

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・集中可能交通量の算定について考察を試みた。本研究では、発生・集中可能交通量を最大化するLP（線形計画）問題の定式化を通して種々考察を行った。

2. 発生・集中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）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。災害時における道路網の交通処理能力あるいは発生・集中可能な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4)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

キーワード：ネットワーク分析、発生・集中可能交通量、LP問題

* 正会員 工博 専修大学北海道短期大学教授
土木科（〒079-01 美唄市光珠内町）

(TEL 01266-3-0250, FAX 01266-3-4071)

** 正会員 工修 苫小牧工業高等専門学校講師
環境都市工学科（〒059-12 苫小牧市錦岡 443）

*** 正会員 工博 室蘭工業大学助教授
建設システム工学科（〒050 室蘭市水元町 27-1）

**** 正会員 工博 室蘭工業大学教授
建設システム工学科（〒050 室蘭市水元町 27-1）

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。

これらの評価要因はいずれも平常時の OD 構成比を基礎にしているが、本研究では発生・集中可能交通量の値はフロー特性としての OD 交通の発生・集中源の配置、分布パターンおよび配分経路等によって異なることおよび道路網の効率的な運用等を踏まえて発生・集中可能交通量最大化のモデルを LP 問題として定式化して種々考察を試みた。

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）等によって規定される。ここでは、まず各 OD 交通における発生・集中交通量の上下限值設定による発生・集中可能交通量最大化の定式化を行う。

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

$$\sum_{k \in K} \sum_{r \in n_k} a \delta_r^k \cdot U_r^k \leq C_a \quad (a \in A) \cdots \cdots (2)$$

$$U_r^L \leq U_r \leq U_r^U \quad (k \in K) \cdots \cdots (3)$$

$$U_r^k \geq 0 \quad (k \in K, r \in n_k) \cdots \cdots (4)$$

$$\sum_{k \in K} U_k \rightarrow \text{Max} \quad \cdots \cdots (5)$$

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

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

n_k : k 番目の OD 交通の走行経路の集合

U_r^L : OD 交通 k の発生・集中可能交通量の下限値

U_r^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。

また、式 (2) は各リンクの交通容量に関する条件式である。発生・集中可能交通量は、式 (4) 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 (5) 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 (3) 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 (3) 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 (6) で求めることができる。

$$O_i = \sum_{k \in N_i} U_k \quad (i \in N) \cdots \cdots (6)$$

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交通量を考慮した発生・集中可能交通量最大化の定式化は以下となる。

$$\sum_{r \in n_k} Y_r^{ik} = p_{ik} \cdot Q_i (k \in N_i, i \in N) \dots (7)$$

$$\sum_{r \in n_k} U_r^k = U_k (k \in K) \dots (8)$$

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

$$Q_i^L \leq Q_i \leq Q_i^U (i \in N) \dots (10)$$

$$U_k \geq 0 \dots (11)$$

$$U_r^k \geq 0 \dots (12)$$

$$Y_r^{ik} \geq 0 \dots (13)$$

$$\sum_{k \in K} U_k \rightarrow \text{Max} \dots (14)$$

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(7)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(9)はこれらの条件式に対する変数 Y_r^k をも踏まえた容量制限式である。さらに、式(10)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値である。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助案のうえ適宜設定すればよい。そうすると、式(7)～(13)を制約条件として式(14)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(15)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(16)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。

$$V_k = U_k + p_{ik} \cdot Q_i (k \in K) \dots (15)$$

$$O_i = \sum_{k \in N_i} V_k (i \in N) \dots (16)$$

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、3.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。

$$\sum_{r \in n_k} Y_r^k = p_k \cdot F (k \in K) \dots (17)$$

$$\sum_{r \in n_k} U_r^k = U_k (k \in K) \dots (18)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{r \in n_k} a \delta_r^k \cdot U_r^k + \sum_{k \in K} \sum_{r \in n_k} a \delta_r^k \cdot Y_r^k \leq C_a (a \in A) \dots (19)$$

$$F \geq F^L \dots (20)$$

$$U_k \geq 0 \dots (21)$$

$$U_r^k \geq 0 \dots (22)$$

$$Y_r^k \geq 0 \dots (23)$$

$$\sum_{k \in K} U_k \rightarrow \text{Max} \dots (24)$$

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 (17) 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.で述べた定式化と同様に式 (17) ~ (23) を制約条件として式 (24) 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 (25)、(26) 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。

$$V_k = U_k + p_k \cdot F \quad (k \in K) \cdots \cdots (25)$$

$$O_i = \sum_{k \in K_i} V_k \quad (i \in N) \cdots \cdots (26)$$

6. 計算例

簡単な例題として、図-1 に示す道路網および表-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-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-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・集中可能交通量の算定について考察を試みる。ここでは、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。式 (20) の需要交通量の下限値を 86291 台 (災害時の道路網容量) として、逐次下限値を小さくして道路網全体の発生・集中可能交通量を求めた結果が図-3 である。図-3 の□印は、少なくとも式 (20) 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。下限値の値を小さくすると発生・集中可能交通量は大きくなっているが、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 (20) の下限値はもとより、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 (21) に示す下限値 (1000 台) を設定した場合である。図-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。

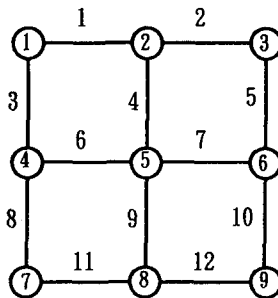


図-1 計算対象道路網

表-1 OD 構成比及び需要交通量

	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	

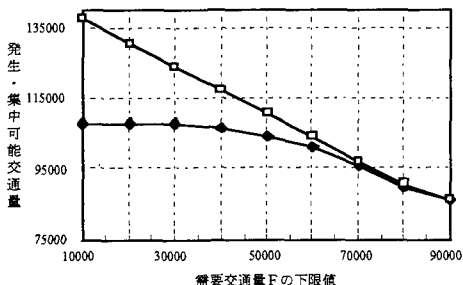


図-2 構成比を考慮したときの発生・集中交通量

7. あとがき

以上、本研究は LP 問題を基礎に災害時における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、ある交通需要量を配分するため相対的比率としての目的地選択比率および OD 構成比を考慮したときの 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。

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) 桝谷・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