

緊急車両を考慮した震災時における発生・集中可能交通量について

Estimation of Optimal Trip Matrix Considering Emergency Vehicles in Earthquake Disaster

榎谷有三*・下村光弘**・浦田康滋***・田村 亨****・斎藤和夫*****
by Yuzo MASUYA, Mitsubiro SHITAMURA, Kouji URATA, 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、震災に伴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震災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、震災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、すなわち震災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、したがって震災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^{1), 2)}。そこで、本研究は震災時に道路自体の損壊等によって交通機能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。

震災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、発生可能交通量および極限道路網容量等の機能評価要因を通じた研究^{3), 4)}、あるいは発生可能交通量最大化のモデルをLP（線形計画）問題として定式化した研究⁵⁾などがある。しかしながら、これらの研究においては救援物資輸送等の緊急輸送車とマイカー等の一般車両とを区別することなく各OD交通の発生・集中可能交通量の算定を行っている。震災時においては、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^{6) ~ 8)}、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問題として定式化するとともに、マイカー等の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。また、多品種流としての一般車両、すなわち自動車OD交通の発生・集中可能交通量を算定するときには、OD交通パターンについても考えなければならない。本研究においては、震災時における自動車OD交通パターンも地震災害の規模あるいは震後の時間経過（復旧過程）等によって平常時とは異なってくることを踏まえて、OD交通パターンに何らかの制約を設けず上下限值だけを設定した場合、OD交通パターンの相対的比率としての目的地選択比率およびOD構成比を設定した場合それぞれの問題の定式化を試みた。そして、これら3つのOD交通パターンを通して震災時における交通需要抑制策のための発生・集中可能交通量について種々考察を試みた。

キーワード：ネットワーク交通流、防災計画、交通制御

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

（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番地）

*** 正会員 北海道開発コンサルタント㈱
交通計画部（〒062 札幌市豊平区月寒4-9）

**** 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）

2. 発生・集中可能交通量について

震災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一般車両の発生・集中が可能かどうか、いわゆる各 OD 交通（交通需要）の発生・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⁹⁾。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、本研究では分布交通量としての OD 交通量を対象に考察を行う。すなわち、ある震災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各 OD 交通（一般車両）に対する発生・集中可能交通量の算定を試みる。

自動車 OD 交通の相対的比率を表す OD 交通パターンは、前述のように震災時においては平常時と異なってくることから、本研究においてはまず OD 交通パターンについて何ら制約を設けず各 OD 交通の発生・集中可能な交通量の上・下限値だけを設定した場合の道路網全体の発生・集中可能交通量の算定について考えた。ここで、上限値は特定の OD 交通に片寄ることなく、他の OD 交通を考慮して発生・集中させることのできる交通量の最大値である。一方、下限値は他の OD 交通にかかわらず各 OD 交通において確保すべき発生・集中可能交通量の最低限度である。次に、OD 交通パターンも復旧過程とともに変化すること、および OD 交通パターンについては既に目的地選択比率（ゾーンごとの行き先別比率）¹⁰⁾ あるいは OD 構成比（OD 交通量の相対的比率）⁹⁾ 等が考えられていることから、これら 2 つの比率と各 OD 交通の上下限値の設定を組み合わせた場合についても考察した。ここで、前者の目的地選択比率は、災害後ある程度復旧した時期において各地域（ゾーン）から発生・集中する企業活動の交通あるいは通勤・通学交通等の交通量を想定したものである。また、後者の OD 構成比は、さらに回復して交通需要が増加するとともに平常時の道路サ

ービスが要求されるような時期の発生・集中可能交通量の算定を考えたものである。そして、本研究ではこれらの 3 つの OD 交通パターンとともに優先的に確保すべき救急・救援車、復旧車あるいは物資輸送車等からなる緊急車両をも考慮した 2 モードの多品種流問題を LP 問題として定式化して、震災時における一般車両の発生・集中可能交通量について種々考察を試みた。

3. OD 交通量の上下限値設定による発生・集中可能交通量の算定

震災時における一般車両としての各 OD 交通の発生・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、震災時においては OD 交通パターンも平常時と異なってくる、あるいは各 OD 交通に対しては震災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 OD 交通パターンに何ら制約を設けずに、各 OD 交通量の上下限値だけを設定した発生・集中可能交通量の算定について考える。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_{mn} を踏まえた一般車両 U_{ij} の発生・集中可能交通量の和を最大化する 2 モードの LP 問題は以下のように定式化できる。

$$\sum_{r \in e_{ij}} U_r^j = U_{ij} \quad (i \in I, j \in J) \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\sum_{m=1}^M E_{mn} \geq E_n \quad (n = 1, 2, \dots, N) \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\sum_{n=1}^N E_{mn} \leq E_m \quad (m = 1, 2, \dots, M) \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{r \in e_{ij}} a \delta_r^{ij} \cdot U_r^j + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{r \in e_{ij}} a \delta_r^{ij} \cdot E_r^j \leq C_a \quad (a \in A) \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$U_{ij}^L \leq U_{ij} \leq U_{ij}^U \quad (i \in I, j \in J) \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$U_r^j \geq 0 \quad (i \in I, j \in J, r \in n_{ij}) \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$E_{mn} \geq 0 \quad (m = 1, 2, \dots, M, n = 1, 2, \dots, N) \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} U_{ij} \rightarrow \text{Max} \quad \dots\dots\dots(8)$$

ここで、

U_{ij} : OD 交通 ij の発生・集中可能な交通量

U_{ij}^r : OD 交通 ij の r 番目の経路の経路交通量

I : 発ゾーンの集合

J : 着ゾーンの集合

E_{mn} : 中継基地 m と需要点(避難場等) n 間の緊急車両数

E_m : 中継基地 m で供給可能な緊急車両数

E_n : 需要点 n で要求される緊急車両数

E_{mn}^r : 緊急車両 mn の r 番目の経路の経路交通量

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

$\delta_{ij}^r, (\delta_{ij}^{mn})^r$: OD 交通 ij (緊急車両 mn) 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

$u_{ij}, (e_{mn})$: OD 交通 ij (mn 間の緊急車両) の走行経路の集合

U_{ij}^L : OD 交通 ij の発生・集中可能交通量の下限値

U_{ij}^U : OD 交通 ij の発生・集中可能交通量の上限値

A : リンクの集合

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約条件式である。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数に関する条件式であり、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数に関する条件式である。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。そして、各 OD 交通の発生・集中可能な交通量は、式 (6) の各 OD 交通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) の道路網全体で発生・集中可能な交通量の和を最大化する問題として算定することができる。

OD 交通パターンに何ら制約を設けない場合には、式 (5) の各 OD 交通量の上下限值によって各 OD 交通の発生・集中可能な交通量も大きく異なってくる、たとえば、式 (5) の上下限值に何ら設定しないときには、計算するまでもなくリンクによって隣接するゾーン間の OD 交通量 (当該リンクの交通容量に等しい) だけが発生・集中可能な最適解となり、式 (8) の道

路網全体の発生・集中可能な交通量の和も各リンクの交通容量の和となる。一方、トリップ長が長い OD 交通に多くの交通量を発生・集中させるように下限値を設定 (大きな値) したときには、当該 OD 交通の道路網への負荷が多くなるため道路網全体で発生・集中可能な交通量の和は小さくなっていく。また、各 OD 交通の発生・集中可能な交通量をすべて等しくするな上下限值の設定も可能である。したがって、各 OD 交通の上下限値は、震災時において各 OD 交通にどの程度の交通量を確保すべきかを踏まえて適宜設定しなければならない。

なお、各ゾーンの発生・集中可能な交通量 O_i は、式 (9) に示すように各ゾーンの発生・集中している OD 交通量の和によって求めることができる。また、道路網上を走行する緊急車両をも含めた全車両数 NV は式 (10) となる。

$$O_i = \sum_{j \in J} U_{ij} + \sum_{j \in I} U_{ji} \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$NV = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N E_{mn} + \sum_{i \in I} O_i \quad \dots\dots\dots(10)$$

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 交通の上下限值設定のみで、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、ある復旧過程の時期に一般の企業活動あるいは通勤・通学等に関する交通が発生・集中する場合、すなわち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としての目的地選択比率 q_{ij} (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) をも考えたときの各 OD 交通の発生・集中可能交通量の算定を試みる。このとき、一般車両に対する各 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交通量 $q_{ij} \cdot Q_i$ であり、他のひとつは、目的地選択比率に対応する交通量が配分されたうえで、さら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 W_{ij} である。そうすると、目的地選択比率を踏まえた交通量ととも

に前述の緊急車両 E_{mn} を考慮した OD 交通量 W_{ij} の和を最大化する LP 問題は以下のように定式化できる。

$$\sum_{r \in n_j} X_r^{ij} = q_{ij} \cdot Q_i \quad (i \in I, j \in J) \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$\sum_{r \in n_j} W_r^{ij} = W_{ij} \quad (i \in I, j \in J) \quad \dots\dots\dots(12)$$

$$\sum_{m=1}^M E_{mn} \geq E_n \quad (n = 1, 2, \dots, N) \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\sum_{n=1}^N E_{mn} \leq E_m \quad (m = 1, 2, \dots, M) \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{r \in n_j} \delta_r^{ij} \cdot W_r^{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{r \in n_j} \delta_r^{ik} \cdot X_r^{ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{r \in e_j} \delta_r^k \cdot E_r^{ij} \leq C_a \quad (a \in A) \quad \dots\dots\dots(13)$$

$$Q_i \geq Q_i^L \quad (i \in I) \quad \dots\dots\dots(14)$$

$$W_{ij} \geq 0 \quad \dots\dots\dots(15)$$

$$W_r^{ij} \geq 0 \quad \dots\dots\dots(16)$$

$$X_r^{ij} \geq 0 \quad \dots\dots\dots(17)$$

$$E_{mn} \geq 0 \quad (m = 1, 2, \dots, M, n = 1, 2, \dots, N) \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} W_{ij} \rightarrow \text{Max} \quad \dots\dots\dots(18)$$

ここで、

X_r^{ij} 、 W_r^{ij} : OD 交通 ij の r 番目の経路の経路交通量

q_{ij} : OD 交通 ij の目的地選択比率

$$\left(\sum_{j \in J} q_{ij} = 1 \quad i \in I \right)$$

Q_i : 目的地選択比率に対するゾーン i の発生可能交通量

Q_i^L : 発生可能交通量 Q_i の下限値

式 (11) 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 (13) は各 OD 交通量の経路交通量 X_r^{ij} および W_r^{ij} 、さらに緊急車両の経路交通量 E_{mn} をも踏まえた各リンクの容量制限式である。式 (14) は目的地選択比率に対する各ゾーンの発生・集中可能交通量の下限値に関する

条件式であり、下限値は各ゾーンからどの程度の交通量を発生・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(11)～(17)を制約条件として式(18)の OD 交通量 W_{ij} の和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_{ij} は式 (19) 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 (20) となる。また、道路網全体で発生・集中可能な一般車両の OD 交通量は O_i の和となるが、さらに道路網上を走行する全車両数 NV は式 (21) となる。なお、定式化にあつては式 (19) の V_{ij} に関して上下限値を設定することも可能である。

$$V_{ij} = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (W_{ij} + q_{ij} \cdot Q_i) \quad \dots\dots\dots(19)$$

$$O_i = \sum_{j \in J} V_{ij} + \sum_{i \in I} V_{ji} \quad \dots\dots\dots(20)$$

$$NV = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N E_{mn} + \sum_{i \in I} O_i \quad \dots\dots\dots(21)$$

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、各 OD 交通の発生・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、相対的比率としての OD 構成比を踏まえた交通量 $p_{ij} \cdot F$ であり、他のひとつは、前述のように OD 構成比に対応する交通量が配分されたうえで、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 Z_{ij} である。そうすると、各 OD 交通の構成比を踏まえた交通量および緊急車両を考慮した LP 問題は以下のように定式化することができる。

$$\sum_{r \in n_j} Y_r^{ij} = p_{ij} \cdot F \quad (i \in I, j \in J) \quad \dots\dots\dots(22)$$

$$\sum_{r \in n_j} Z_r^{ij} = Z_{ij} \quad (i \in I, j \in J) \quad \dots\dots\dots(23)$$

$$\sum_{m=1}^M E_{mn} \geq E_n \quad (n = 1, 2, \dots, N) \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\sum_{n=1}^N E_{mn} \leq E_m \quad (m = 1, 2, \dots, M) \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{r \in u_{ij}} \delta_r^{ij} \cdot Z_r^{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{r \in u_{ji}} \delta_r^{ik} \cdot Y_r^{ij} \\ & + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{r \in e_{ij}} \delta_r^k \cdot E_r^{ij} \leq C_a \quad (a \in A) \quad \dots\dots\dots(24) \end{aligned}$$

$$F \geq F^L \quad \dots\dots\dots(25)$$

$$Z_{ij} \geq 0 \quad \dots\dots\dots(26)$$

$$Z_r^{ij} \geq 0 \quad \dots\dots\dots(27)$$

$$Y_r^{ij} \geq 0 \quad \dots\dots\dots(28)$$

$$E_{mn} \geq 0 \quad (m = 1, 2, \dots, M, n = 1, 2, \dots, N) \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Z_{ij} \rightarrow \text{Max} \quad \dots\dots\dots(29)$$

っては式 (29) の V_{ij} に関して上下限値を設定することも可能である。

$$V_{ij} = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (Z_{ij} + p_{ij} \cdot F) \quad \dots\dots\dots(30)$$

$$O_i = \sum_{j \in J} V_{ij} + \sum_{i \in I} V_{ji} \quad \dots\dots\dots(31)$$

$$NV = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N E_{mn} + \sum_{i \in I} O_i \quad \dots\dots\dots(32)$$

6. 計算例

本研究では、図-1に示す9ノードモデルおよび表-1のOD構成比(右上半分)を対象に震災時における発生・集中可能交通量の算定を試みる。図-1に示す各リンクの交通容量は、平常時には1800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12944台となった。この道路網容量に相当する交通量を平常の交通需要として各OD交

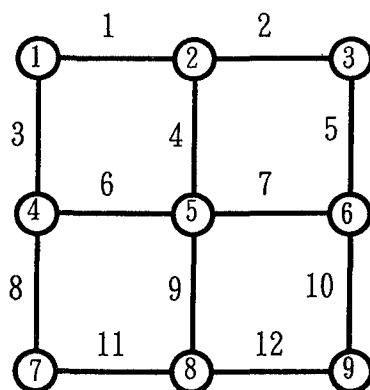


図-1 計算対象道路網

表-1 OD構成比および需要交通量

	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	553		0.0427	0.0191	0.0396	0.0191	0.0157	0.0191	0.0157	0.1069
3	380	553		0.0157	0.0301	0.0427	0.0107	0.0157	0.0294	0.1082
4	553	248	204		0.0396	0.0191	0.0427	0.0191	0.0157	0.1069
5	390	512	390	512		0.0396	0.0301	0.0396	0.0301	0.1394
6	204	248	553	248	512		0.0157	0.0191	0.0427	0.1069
7	380	204	139	553	390	204		0.0427	0.0294	0.1082
8	204	248	204	248	512	248	553		0.0427	0.1069
9	139	204	380	204	390	553	380	553		0.1082
合計	1401	1384	1401	1384	1805	1384	1401	1384	1401	

ここで、

Y_r^{ij} 、 Z_r^{ij} : OD交通ijのr番目の経路の経路交通量

p_{ij} : OD交通ijの構成比 $(\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} p_{ij} = 1)$

F : OD構成比に対する需要交通量

F^L : OD構成比に対する需要交通量の下限値

式 (22) はOD構成比に対する需要交通量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 (22) ~ (28) を制約条件として式 (29) を最大化する問題となる。

各OD交通および各ゾーンの発生・集中可能な交通量は、4.で述べたようにそれぞれ式 (30)、(31) となる。また、道路網全体で発生・集中可能な一般車両のOD交通量は O_i の和となるとともに、道路網を走行する全車両数NVは4.と同様に式 (32) となる。なお、定式化にあ

通量を求めた結果が表-1の左下半分である。

いま、震災に伴い中心ノード5を出入りするリンクの交通容量は1200台、他のすべてのリンクは600台にそれぞれ減少したときの被災パターンを対象に種々の計算を行う。このとき、表-1の平常時のOD構成比を一定としたときの道路網容量は5282台と大きく平常時の半分以下に減少する。救急・救援車あるいは物資輸送車等の緊急車両については、ノード2および8を中継基地として次のような3つのケースを考えた。ケース1は、緊急車両の影響程度を考察するために緊急車両を考慮しない場合である。ケース2は、ノード2、8を中継基地として他のノード（避難場所）へそれぞれ100台ずつ緊急車両を走行させる場合である。そして、ケース3は、ノード2のみを中継基地として他のノードへ100台走行させる場合である。

まず、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について計算を行う。ここでは、各OD交通をできるだけ発生・集中させようとする点から、各OD交通の上限値は表-1の平常時のOD交通量とした。また、下限値は表-2および図-2に示す0、50、および100台とした。表-2および図-2には緊急車両のケースごとに各下限値に対する式（8）の発生・集中可能交通量の和を示した。これらの結果からも緊急車両および中継基地の数等が一般車両の発生・集中可能交通量に影響を及ぼすことが理解できよう。また、各OD交通の下限値を大きくすると道路網全体の発生・集中可能交通量の和は減少していく。このことは、下限値が小さいときには特定のOD交通のみが発生・集中可能となり道路網全体の値は大きくなるためである。一方、下限値を大きくするとトリップ長の長いOD交通も多くの交通量が発生・集中可能となってくることから、逆に道路網全体の発生・集中可能な交通量は減少していく。なお、緊急車両を考慮せず、また上限値を設定しないときには前述のように発生・集中可能交通量の和は9600台（各リンクの交通容量の和）となる。また、各OD交通の発生・集中可能な交通量もOD1-2の600台、OD2-4の1200台のようにリンク両端間のOD交通のみが発生・集中可能となっている。この例において、

各OD交通の発生・集中可能交通量がすべて等しくなるのは133台のときである。図-3には、ゾーン1を発生・集中しているOD交通を中心に、ケース2の緊急車両に対する各下限値ごとの各OD交通の発生・集中可能交通量を示した。これらの結果からも、下限値の設定値あるいは各OD交通のトリップ長（たとえばOD1-3と1-4）等によって各OD交通の発生・集中可能な交通量も異なってくることが理解できよう。このように、上下限值設定の場合は下限値の設定によって各OD交通および道路網全体の発生・集中可能交通量の和も異なってくるとともに、トリップ長によっても

表-2 上下限值設定による発生・集中可能交通量の和

交通量の下限値	0	50	100
ケース1	8036	7224	6000
ケース2	7480	6574	5100
ケース3	7172	6143	4500

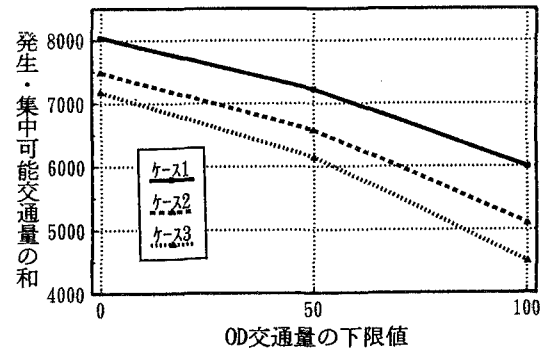


図-2 上下値設定による発生・集中可能交通量の和

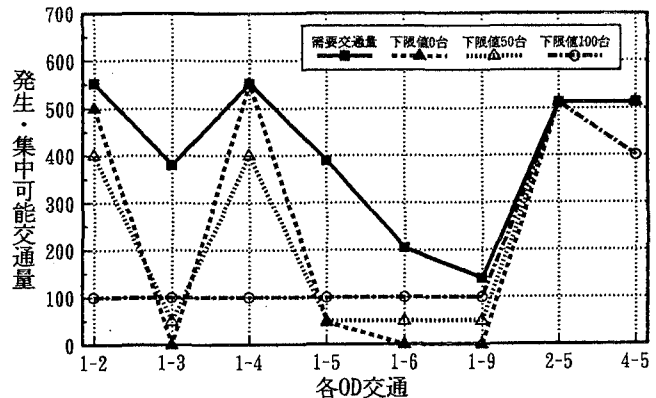


図-3 各OD交通の発生・集中可能交通量

当該OD交通の発生・集中可能交通量は異なってくる。したがって、震災時の交通需要抑制策を考えるときには各OD交通に対してどの程度の交通量を確保すべきを十分踏まえて上下限値を設定しなければならない。

次に、OD交通パターンは表-1の平常時のOD構成比を基に各ゾーンごとに表-3に示す比率を設定した。また、各OD交通の発生・集中可能な交通量の上限値としては、式(19)の V_{ij} に対して前述のOD交通量の上下限値設定と同様に表-1のOD交通量とした。また、目的地選択比率に対する各ゾーンの発生可能交通量 Q_i の下限値は表-4および図-4に示す0、100、200、300、400台とした。表-4および図-4には、緊急車両のケースごとに各下限値に対する式(20)から算定できる道路網全体で発生・集中可能な交通量の和を示した。上下限値設定の場合と同様に、緊急車両を考慮することによって一般車両の発生・集中可能な交通量も減少するが、特に中継基地の数は下限値の増大とともにその影響は大きくなっている。また、下限値の増大、すなわち各ゾーンからの発生可能交通量を増

大させることによって道路網全体で発生・集中可能な交通量の和は減少しているが、その減少程度は下限値の増大とともに大きくなっている。図-5には、各OD

表-3 各OD交通の目的地選択比率

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	合計
1	0.0000	0.1974	0.1356	0.1973	0.1392	0.0726	0.1356	0.0726	0.0496	1.000
2	0.1998	0.0000	0.1997	0.0895	0.1850	0.0895	0.0735	0.0895	0.0735	1.000
3	0.1356	0.1973	0.0000	0.0726	0.1392	0.1973	0.0496	0.0726	0.1356	1.000
4	0.1998	0.0895	0.0735	0.0000	0.1850	0.0895	0.1998	0.0895	0.0735	1.000
5	0.1081	0.1419	0.1081	0.1419	0.0000	0.1419	0.1081	0.1419	0.1081	1.000
6	0.0735	0.0895	0.1998	0.0895	0.1850	0.0000	0.0735	0.0895	0.1998	1.000
7	0.1356	0.0726	0.0496	0.1973	0.1392	0.0726	0.0000	0.1973	0.1356	1.000
8	0.0735	0.0895	0.0735	0.0895	0.1850	0.0895	0.1997	0.0000	0.1998	1.000
9	0.0496	0.0726	0.1356	0.0726	0.1392	0.1973	0.1356	0.1973	0.0000	1.000

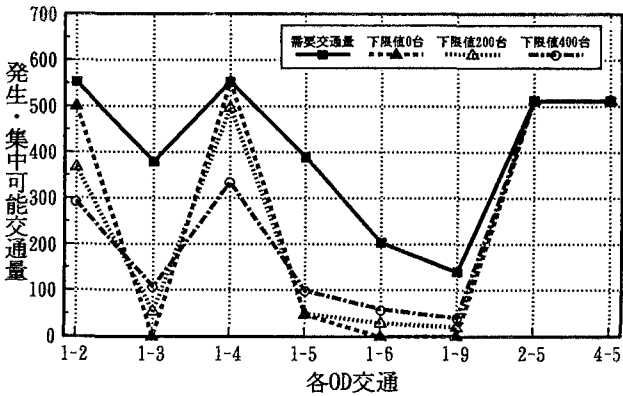


図-5 各OD交通の発生・集中可能交通量

表-4 目的地選択比率設定による発生・集中可能交通量の和

需要交通量 Fの下限値	0	1000	2000	3000	4000
ケース1	8036	7856	7489	7121	6753
ケース2	7480	7206	6839	6471	6025
ケース3	7172	6845	6462	6034	5425

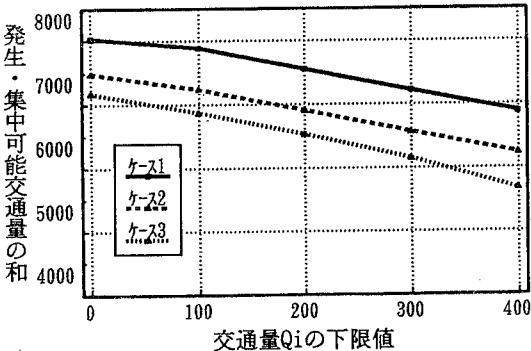


図-4 目的地選択比率設定による発生・集中可能交通量の和

表-5 OD構成比設定による発生・集中可能交通量の和

交通量Qi の下限値	0	100	200	300	400
ケース1	8036	7890	7555	7221	6887
ケース2	7480	7240	6905	6571	6237
ケース3	7172	6869	6537	6147	5667

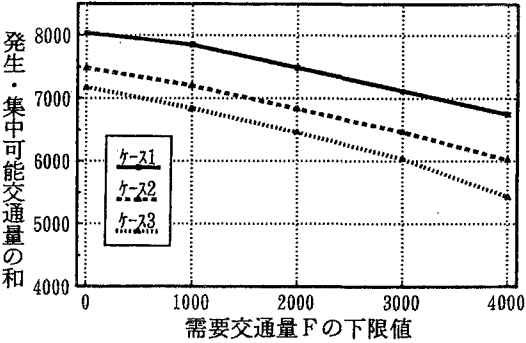


図-6 OD構成比設定による発生・集中可能交通量の和

交通の発生・集中可能な交通量を緊急車両ケース2を対象に示した。各OD交通は、目的地選択比率にしたがって発生・集中可能な交通量の最低限は確保されているが、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はトリップ長によって異なってくる。たとえば、表-4のQ1400台に対してOD交通1-4と1-6を比較したとき、トリップ長の短いOD1-4は図-5に示すように334台($=79(400 \times 0.1973) + 255$)であるのに対してトリップ長の長いOD1-6は58台($=29(400 \times 0.0726) + 29$)である。したがって、各OD交通にどの程度の交通量を確保すべきかを十分踏まえて各ゾーンの目的地選択比率に対する発生可能交通量の下限値および各OD交通の目的地選択比率を設定しなければならない。

表-5および図-6は、各OD交通の構成比を考慮したときの結果を取りまとめたものである。需要交通量の下限値を増大するとともに、道路網全体の発生・集中可能交通量も前述の震災時の道路網容量5282台に近くなっている。表-5および図-6に示すように、緊急車両に関する影響程度および道路網全体の発生・集中可能交通量の減少傾向などは目的地選択比率の場合と同じようである。このことは、目的地選択比率をOD構成比を基に設定したこと、あるいは各のゾーンの発生可能交通量の下限値をすべてのゾーンとも同じ値にしたためでもある。したがって、各OD交通の発生・集中可能な交通量の全体的傾向も目的地選択比率の場合と同様であった。

7. あとがき

以上、本研究は震災時に道路の損壊等によって交通機能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、救急・救援および物資輸送等の優先的に輸送路を確保すべき緊急車両とマイカー等の一般車両とを区分した2モードの多品種流問題をLP問題として定式化するとともに、一般車両の発生・集中可能交通量の算定手法について考察した。また、一般車両に対するOD交通パターンとしては、OD交通パターンに何ら制約を設けず上下限値だけを設定した場合、相対的比率としての目的地選

択比率およびOD構成比を設定した場合それぞれの問題の定式化を試みた。

これら各種の定式化によって算定されたOD交通量に各OD交通を発生・集中抑制するためには、情報通信手段の確保、被災地域内の企業活動の停止、食糧および水の備蓄などによる自動車交通量の削減、あるいは公共交通の利用情報の提供、各種の交通需要マネジメント手法などによる旅客輸送の効率化等自動車交通需要抑制策が必要である。また、顕在化した交通需要を規制・制御するためには、ボトルネック箇所の確認と迂回対策、ITSなど最新情報による情報提供などによる交通流管理が必要である。さらに、自動車交通需要としてのOD交通パターンも復旧過程とともに変化することから、震災後の時間経過に伴う自動車の利用状況および交通行動等についても考察が必要である。今後は、これらの点をも十分踏まえた発生・集中可能交通量の算定手法について考察するとともに緊急車両の中継基地の空間的配置等が発生・集中可能交通量へ及ぼす影響などについても考察を行っていく。さらに、道路網の規模とともに取り扱う変数も莫大となることから、大規模な道路網へ適用可能なアルゴリズムについても考察を進めて行く。

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) 富田・林・家田・中川:自動車交通の削減可能性からみた兵庫県南部地震後における交通行動実態分析1996年度第31回日本都市計画学会学術研究論文集、1996
- 3) 榎谷有三: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
- 4) 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
- 5) 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
- 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) 中川・伊藤・若山:シミュレーションを用いた震災時の緊急輸送計画に関する研究、土木計画学研究・講演集、No.19(1)、1996
- 8) ALI HAGHANI・SEI-CHANG OH: FORMULATION AND SOLUTION OF A MULTI-COMMODITY, MULTI-MODAL NETWORK FLOW MODEL FOR DISASTER RELIEF OPERATIONS, *Transp. Res.-A*, Vol.30, No.3, 1996
- 9) 榎谷・加来:道路網容量による道路網の感度分析について、土木学会論文報告集、第343号、1984
- 10) 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29巻6号、1994

緊急車両を考慮した震災時における発生・集中可能交通量について

榎谷有三・下タ村光弘・浦田康滋・田村 亨・斎藤和夫

本研究は、震災時における交通需要抑制策を図るための発生・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、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問題として定式化するとともに、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した。また、一般車両に対するOD交通パターンとしては、OD交通パターンに何ら制約を設けず上下限值だけを設定した場合、相対的比率としての目的地選択比率およびOD構成比を設定した場合それぞれの問題の定式化を試みた。

Estimation of Optimal Trip Matrix Considering Emergency Vehicles in Earthquake Disaster

Yuzo MASUYA, Mitsuhiro SHITAMURA, Koji URATA, Tohru TAMURA and Kazuo SAITO

This paper presents the estimation method of optimal OD trips matrix for the traffic control policies in relief management of earthquake disaster. The problem to be addressed is a multi-commodity, 2-modal network flow considering the emergency vehicles (supplies and relief personnel) and private cars. The formulation of problem is based on the concept of network flow theory and Linear Programming. The OD traffic pattern of private cars is analyzed by the upper and lower bound of OD traffic volumes and two kind of unit OD traffic volumes.
