

数理計画モデルとシミュレーションモデルの連携による避難支援策の策定手続きに関する研究

大畑 長¹・桑原 雅夫²

¹正会員 株式会社オリエンタルコンサルタンツ (〒980-0811 宮城県仙台市青葉区一番町4丁目6-1)
E-mail: ohhata@oriconsul.com

²正会員 東北大学大学院情報科学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06)
E-mail: kuwahara@plan.civil.tohoku.ac.jp

本研究は、規範的な避難行動を仮定した数理計画モデルと避難交通シミュレーションモデルとを連携させた避難支援策の策定手法を提案する。当策定手法では、まず、宮城県石巻市をケーススタディに、線形計画問題として定式化する数理計画モデルを解くことで、総避難時間を最小化させる規範的な避難行動パターンを求める。この行動パターンを考察することで当該地域の住民にとって望ましいと考えられる避難行動パターンを導出する。この望ましい避難行動パターンを「推奨される避難行動」と定義する。続いて、行政から地域住民に「推奨される避難行動」を提示し、両者の間で避難時の行動選択について合意形成を図っていくことを考える。この手続きは、避難交通シミュレーションモデルを用いて「推奨される避難行動」の安全性・優位性を示し、さらに、来訪者や通過交通など不確実な交通需要を考慮し避難インフラを検討するものである。

Key Words : *evacuation operation, normative models, liner programming, dynamic network, traffic simulation*

1. はじめに

東日本大震災では、避難者の多くが避難手段として自動車を利用したことにより、各地で激しい交通渋滞が発生し、避難途中で津波に巻き込まれる等、多くの犠牲者を出した。大規模地震時の交通渋滞は、避難の遅れだけでなく、交通事故の誘発や緊急車両の通行障害など、様々な影響をもたらす。被害想定地域においては、自動車避難という現実的な課題を踏まえつつ、避難者が迅速かつ確実に避難するための実効性の高い計画を策定する必要がある。このような中、自治体では、東日本大震災以降、防災計画を見直すとともに、ソフト対策並びにハード対策を着実に進めてきた。結果、ハード面からの避難インフラの整備やソフト面からの情報提供システム、支援体制などが充実してきたものの、平成28年11月22日福島県沖地震時、津波警報が出た宮城県・福島県沿岸地域では、再び自動車避難による交通渋滞が相次いだ¹⁾。この渋滞の要因が、避難者の行動選択に偏りがあったためか、それとも避難道路の容量が不足していたためかは定かではない。ただ、このような渋滞を回避するためには、ソフト対策として、避難者が適切に避難行動を実行できるよう支援しつつ、かつ、ハード対策として避難インフ

ラを確保しておくなどの避難支援策を計画しておくことが重要であると考えられる。

筆者らはこれまで、このような避難計画の検討に役立つ手法として、まず、避難計画を設計する上でベンチマークとなるFirst-Bestな避難シナリオを提供するため、規範的な避難行動を仮定した数理計画モデル²⁾を構築している。当モデルは、避難者一人一人の避難行動（避難者の移動手段や避難開始時刻、避難経路、避難先等）を完全に制御できる状況を仮定し、目的関数に応じた最適な行動を出力することが可能である。また、大規模地震時のプローブデータの分析や被災地の住民の避難行動に関する調査結果等を踏まえ、避難者の行動内容をシナリオとして設定可能な避難行動モデルを組み込む避難交通シミュレーションモデル³⁾⁴⁾を構築してきた。

本研究では、数理計画モデルと避難交通シミュレーションモデルとを連携させ、規範的な避難行動をベンチマークとする避難支援策の検討手続きを提案する。本検討手続きは、まず、数理計画モデルから得られる規範的な避難行動から「推奨される避難行動」を導出し、その行動内容に基づき、地域住民と避難行動について合意形成を図ることを考える。さらに、必要に応じて避難インフラの改善を検討していくものである。

2. 避難支援策の検討手続きの概要

本章では、本稿で提案する避難支援策の検討手続きの概要を述べるとともに、当手続きで用いる数理計画モデルと避難交通シミュレーションモデルを概説する。

避難支援策の検討は、数理計画モデルから得られる規範的行動をベンチマークとしながら、避難交通シミュレーションを活用し、施策内容を選定・決定していくことを考える。避難支援策の中には、避難者自身の避難行動の改善を必要とするものなど、地域との合意形成が欠かせないメニューも多くある。よって、本稿で提案する検討手続きは、地域住民との合意形成過程を念頭に置いた手続き・内容としている。当該手続きの流れを図-1に示す。

当フローに示す「(1)既設インフラの限界能力評価」では、数理計画モデル $P_i(Q, v)$ を用いて、対象地域の持つ既設避難インフラの限界能力を評価する。ここで、計算結果として得られる目的関数 T が避難目標を満足していないのであれば、対象地域の避難インフラはそもそも不足していると判断できる。避難支援策は、ソフト施策やハード施策の双方から検討する。また、数理計画モデル $P_i(Q, v)$ を計算することで、規範的な避難行動の内容や避難インフラ上の改善すべき箇所が示唆される。これらの計算結果を用いて「(2)地域との合意形成による避難支援策の検討」を考える。当検討は、まず、数理計画モデルから得られる規範的避難行動を基に「①推奨される避難行動の提示」を行い、次いで、地元住民と「②避難行動の改善に向けた協議」を行う。地元住民の避難行動を改善した上で、それでも避難目標を達成できない場合は、「③避難目標達成のためのインフラ整備」の検討に進む。①～③の自治体と地元住民の調整手続きの具体的な内容を図-2に記載する。

3. 数理計画モデル

本章では、図-1に示す(1)既設インフラの限界能力評価及び(2)地域との合意形成による避難支援策の検討で用いる数理計画モデルについて概説する。

(1) 本モデルの考え方

当数理計画モデルは、避難者一人一人の移動手段（徒歩 or 車）や出発時刻、利用する経路といった行動内容を完全に制御し、最も効率的な行動をとるという規範的な避難行動を考える。このような行動を仮定することで、避難行動の不確実性を取り除き、かつ、避難者全員の総避難時間を最小化させる。

規範的な避難行動を表現するにあたっては、時間的・空間的に動的なネットワークモデルを用いて、総避難時

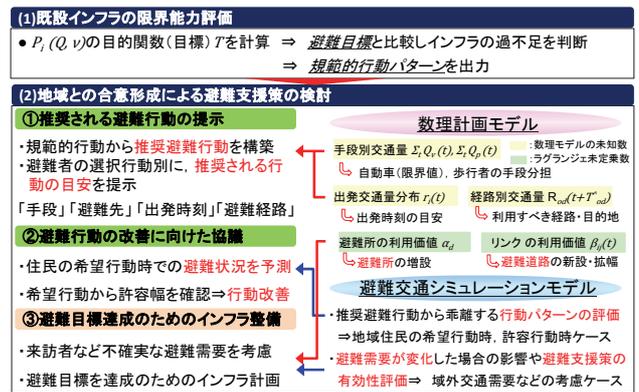


図-1 避難支援策の検討手続きの流れ

表-1 地域との合意形成による避難支援策の検討の内容

① 推奨される避難行動を提示		
1.	自治体	地域住民と避難目標を共有し、その目標を達成するための「推奨される避難行動」を提示する。
② 避難行動の改善策の検討		
2.	住民	推奨される避難行動を踏まえて、地区単位に地区内の個人・団体の避難行動の意向を共有し、自治体に提出する。
3.	自治体	自治体は、自治体全域の地元住民の希望行動を集約し、「推奨される避難行動」との乖離を確認する。
4.	自治体	避難交通シミュレーションを用いて「地域住民の希望避難行動ケース」を分析し、分析結果を地元住民に提示する。 ⇒自治体エリア全域で避難目標の達成度を評価 ⇒各地区の避難目標の達成度
5.	住民	※避難目標を達成できない場合 避難目標の達成度を踏まえ、許容（努力目標）できる行動を協議する。
6.	自治体	自治体全域の住民全ての許容行動をとりまとめ、避難交通シミュレーションにて分析する。 ⇒避難目標の達成度を評価
③ 避難目標の達成のためのインフラ整備		
7.	自治体	6.で避難目標が未達ならば、不足分をカバーするための避難インフラを整備を考える。 その際は、地元住民の移動に加えて、地域への来訪者や域内外や域外外交通需要の存在を併せて考慮した上で、避難目標の達成度を分析する。

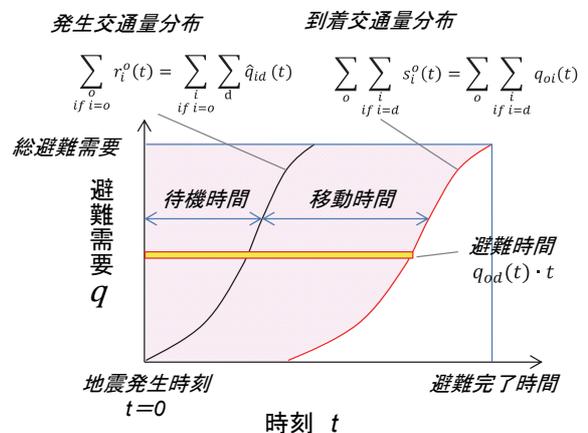


図-2 避難避難時間概念

間 $\sum_t \sum_{o,d} q_{od}(t) \cdot t^n$ を目的関数にとり、時刻 $[t, t + \Delta t]$ の間に各起点 o を出発し、道路リンク $\lambda_{ij}(t)$ に流入する交通量並びに避難先 i への集中交通量 $q_{oi}(t)$ を未知数とする線形計画問題として定式化する。なお、目的関数に示される避難完了時刻 t の n 乗 ($n \gg 1$)は、時刻 t をべき乗化することで、遅い時刻に避難所に到着するペナルティを大きくすることとなる。

当問題を解析するにあたっては時間軸を Δt 単位に離散化している。また、道路ネットワークをリンクとノードで表現する。道路区間を表すリンクは両端のノードを用いてリンク (i, j) と記述する。当モデルで扱うネットワークは車線構成や信号制御などは考慮しない。

ここで、図-2に避難時間の概念を示す。図の横軸は地震発生からの経過時間を表し、縦軸に累積の避難需要を表す。左側の曲線は起点からの累積発生交通量の分布を、右側の曲線は終点である避難所への到着交通量の分布を表している。目的関数である総避難時間を示す $\sum_t \sum_{o,d} q_{od}(t) \cdot t^n$ はピンクに着色する部分の面積となる。

当モデルは、ネットワーク上の待ち行列によるリンク容量の障害を発生させないように、起点別の避難需要 $r^o_i(t) = \sum_d q_{id}(t)$ について利用するリンク $\lambda^o_{ij}(t)$ と出発時刻 t を制御する。そのため、起点上で出発までの待ち時間が発生する。

求解の手順として、起点（避難者の出発地）からの避難需要は所与であり、これらの需要は目的関数が最小となるように移動手段と出発時刻、利用経路、目的地を選択する。その他に、目的地となる避難所は収容台数の容量を持ち、各道路リンクの所要時間 T_{ij} 及び交通容量 v_{ij} は所与とする。さらに避難所以外でのノードにおいて流出する交通は存在しないものとする。

(2) 定式化

当モデルは線形計画問題として以下のとおり定式化される。

$$\min \sum_m \sum_t \sum_{o,d} q_{od}^m(t) \cdot t^n, \quad n > 1 \quad (1)$$

subject to

$$-\sum_k \lambda_{ki}^{o,m}(t - T_{ki}^m) + \sum_j \lambda_{ij}^{o,m}(t) + q_{oi}^m(t) = 0 \quad (2)$$

$$T_{ki} = \text{given}, \quad \forall i \in N, \quad i \neq o, \quad \forall o \in O, \quad \forall m \in \text{Mode}, \quad \forall t$$

$$\sum_m \sum_t q_{id}^m(t) = Q_i \quad Q_i = \text{given}, \quad \forall i \in O \quad (3)$$

$$\sum_m \sum_o \lambda_{ij}^{o,m}(t) \leq v_{ij}, \quad \forall (i, j) \in L, \quad \forall t \quad (4)$$

$$\lambda_{ij}^{o,m=\text{vehicle}}(t) = v_{ij} - \frac{1}{5} \lambda_{ij}^{o,m=\text{pedestrian}}(t) \quad (5)$$

$$\lambda_{ij}^{o,m}(t) \geq 0, \quad \forall (i, j) = L, \quad \forall o \in O, \quad \forall t$$

$$\sum_m \sum_t \sum_i q_{oi}^m(t) \leq \delta_i, \quad \delta_i = \text{given}, \quad \forall i \in D \quad (6)$$

$$q_{od}^m(t) \geq 0, \quad \forall m \in \text{Mode}, \quad \forall t \quad (7)$$

$$q_{oi}^m(t) = \begin{cases} \geq 0, & \forall i \in O, \forall t \\ = 0, & \forall i \notin O, \forall t \end{cases} \quad (8)$$

$$q_{id}^m(t) = \begin{cases} \geq 0, & \forall i \in O, \forall t \\ = 0, & \forall i \notin O, \forall t \end{cases} \quad (9)$$

ただし、

N :ノード集合, O :起点集合, D :終点集合, L :リンク集合, Mode :移動手段集合 (*vehicle, pedestrian*)

t :地震発生時刻からの経過時間, T :避難完了時刻

$q_{od}^m(t)$:起点 o を出発し時刻 $[t, t + \Delta t]$ の間に避難所 d に到着する移動手段別の避難需要

$\lambda^o_{ij}(t)$:起点 o を出発し時刻 $[t, t + \Delta t]$ の間にリンク (i, j) に流入する交通量

T_{ki}^m :移動手段 m のリンク (k, i) の所要時間 (所与)

$q_{oi}(t)$:起点 o を出発し時刻 $[t, t + \Delta t]$ の間にノード i (=避難所 d)からネットワークを流出する避難需要

$q_{id}(t)$:起点 i を出発し時刻 $[t, t + \Delta t]$ の間にノード i からネットワークを流入する避難需要

Q_o :起点 o の避難需要 (所与)

v_{ij} :リンク (i, j) の容量制約 (所与) . 歩行者と自動車の錯綜を考慮し、自動車リンクの交通容量 $v_{v(i,j)}$ は、歩行者交通量 $\lambda_{ij}^{o,m=\text{pedestrian}}$ に応じて減少するものと仮定。

δ_i :避難所 d の容量制約 (所与)

まず、目的関数である式(1)は、 $q_{od}^m(t)$ が目的地 d に時刻 $[t, t + \Delta t]$ の間にに到着した避難需要を表していることから、待ち時間と移動時間とを合わせた総避難時間を表している。次に制約条件である式(2)は、起点 o を除く任意のノード i における移動手段 m 別の交通量保存則を表している。ここで、 $\lambda_{ki}^{o,m}(t - T_{ki}^m)$ は起点 o を出発し時刻 $t - T_{ki}^m$ にリンク (i, j) に流入した交通が時刻 $[t, t + \Delta t]$ にリンク (i, j) を流出する交通量を表している。このことは、当問題では待ち行列の発生を許していないこと、さらに、FIFOの条件下ではリンク所要時間 T_{ki}^m は一定値をとることから、時刻 $(t - T_{ki}^m)$ に流入した交通はリンク (k, i) を T_{ki}^m の所要時間をかけて通過し時刻 t にリンク (k, i) を流出することとなる。式(3)は起点 o が所与の避難需要に関する制約を表している。式(4) (5)は、リンク (i, j) の交通容量制約を表し、式(6)は避難所 i の収容容量

制約を表している。また式(6) (7)は未知数の非負制約を表す。以上より、当定式化は道路リンク $\lambda_{ij}(t)$ に流入する移動手段別かつ起点別交通量並びに避難先 i への集中交通量 $q_{oi}^m(t)$ を未知数として、式(2)~式(9)の制約条件下で目的関数を最小化する線形計画問題となる。

なお、当問題の最適性条件であるKarush-Kuhn-Tucker条件を導出し、その解が持つ性質を考察すると、道路リンクの容量制約や避難所容量の制約にかかるLagrange未定乗数からは、制約条件を資源と見たときの利用価値(潜在価格)と捉えられることができ、避難施策の改善方向性が得られる。

4. 避難交通シミュレーションモデル

本章では、図-1に示す(2)地域との合意形成による避難支援策の検討で用いる避難交通シミュレーションモデルについて概説する。

(1) 本モデルで表現する事象

大規模地震時の交通実態や被害内容を踏まえると、交通の観点からは以下の課題が生じると考えられる。

1. 歩行者、自動車錯綜による道路の容量の低下
2. 信号の滅灯や高速道路・緊急輸送路の規制に起因する一般道路の渋滞
3. 火災・建物倒壊・地盤崩壊による道路閉塞
4. 公共交通のマヒによる帰宅困難者の発生
5. 最終目的地への避難前の一時避難所等への一時避難
6. 家族・友人などの救助を目的としたピックアップ行動のための都心内への交通流入

このような1~6の課題に挙げられる交通現象を考慮した上で交通状況の評価するため、平常時の自動車交通流モデルSOUND⁴⁾をベースとして、表-2に示す機能を備える避難交通シミュレーションモデルを構築した。これらの機能は大きく以下の2つのイベントに大別できる。

- [1] 災害イベント(No.2, 3) : 地震による道路閉鎖、津波による道路浸水等をシナリオとして設定する。各時刻における道路閉鎖をシミュレーションへの与件とする。
- [2] 避難行動シナリオ(No.1, 4, 5, 6) : 発災時以降の人々の避難行動選択(手段, 出発時刻, 目的地, 経路)の様子をシナリオとして設定する。

避難行動シナリオは、「被災者属性」「避難有無」「避難手段」「目的地選択」「鼓動開始時刻選択」「経路選択」の6つの項目から行動内容を指定することが出来る(表-3)。

表-3 避難行動シナリオの設定メニュー

行動選択	シナリオ設定内容
被災者属性	・被災者の属性を設定 - 地元住民, 来訪者など - 地震発生前のトリップ有無, トリップ目的など
避難有無	・「避難する/しない」の意思決定を確率的に選択
避難手段	・徒歩, 自動車
目的地選択	・被災者の属性別に目的地集合を指定し確率的に選択 - 最寄りの避難先, 自宅, 特定の避難先などを指定
行動開始時刻選択	・地震が発生してから行動を開始するまでの時間を設定(時間経過別避難開始割合, 当初出発予定時刻の変更割合) ・避難前の家族友人などの立寄り行動の選択割合の指定
経路選択	・地震前: ロジック型経路選択モデル ・避難時: 最短コスト経路選択モデル(コスト: 最短距離, 現在旅行時間により設定), 経路固定モデルなど

表-2 6つの大規模地震時の交通課題と避難交通シミュレーションの機能

No.	表現する事象	開発モデル	内容
1	歩行者と自動車の錯綜を表現する機能	①単路部の自動車道容量低下モデル	・歩行者道路の密度に応じた自動車道路の容量低下を表現
		②交差点内の歩車交錯による車両停止モデル	・交差点内の歩行者と自動車の交錯による自動車の移動停止を表現
2	災害時特有の交通規制を表現する機能	③交通規制モデル	・時間や道路リンクを指定して当該区間の通行止めを表現。 ・信号を滅灯し, 容量低下を表現。
3	インフラ被害に伴う道路閉塞などを表現する機能	④被災道路リンク閉塞モデル	・被災危険度に応じて確率的に道路リンクの通行止め(又は容量低下)を表現。
4	地震発生後に避難行動を開始する潜在的な避難需要を生成する機能	⑤潜在避難需要発生モデル	・発災後に自動車, 歩行者の避難(帰宅)需要を道路ネットワーク上に発生
5	一時避難所などへの立ち寄りを表現する機能	⑥避難需要の目的地切り替えモデル	・避難交通需要の目的地を一時避難所などの目的地に切り替え。
6	家族・友人の救助のためのピックアップ行動を表現する機能		・被災エリアに滞在する家族, 友人などを救助するためのピックアップ行動を表現。 Ex. 学校にいる子供を迎えに行き自宅に戻る行動。

5. 地域との合意形成による避難支援策検討への適用

本章では、図-1に示す(2)地域との合意形成による避難支援策の検討の一連の手續きにおいて、どのような避難行動の方針を提示し、どのような戦略の下で地域住民の避難行動の改善を図るのか、石巻市の中心部に位置する錦町周辺地区(図-3)をケーススタディにその考え方を解説する。

対象地区にとって推奨される避難行動を求めため、まず、数理計画モデルを計算することで規範的避難行動を求めた。計算に当たっての入力データは、道路ネットワークデータは大石ら²を、自動車の避難所に関する位置・収容台数などの条件は長尾ら³をベースとした。さらに徒歩避難者を扱うため、歩行者リンクコストを一律4km/hとして設定し、図-4に示すように歩行者専用の避難所を32箇所(500人/箇所)与えた。



図-3 対象地区とネットワーク

このような条件のもと当モデルを計算することで、起点別の避難需要に対して、最適な出発時刻並びに避難経路、避難先、さらに、歩行者と自動車の移動手段を選択させた避難行動パターンを出力することができる。すなわち、「手段別、起点別、終点別、利用経路別、出発時刻の避難者数が求まる。これを規範的な行動パターンと捉え、全ての行動パターンの中から「頻度の高い行動パターン」や「その行動から乖離した際にも待ち行列を引き起こしにくいと考えられる行動パターン」という点に着目しつつ、地域住民に提示するための「推奨される避難行動」を構築する。本稿では、石巻市錦町周辺地区を例に、「(1)避難手段の選択」「(2)避難先と避難経路の選択」「(3)出発時刻の選択」の観点から、推奨される避難行動とその考え方を示す。

(1) 避難手段の選択

当該地区の避難者にとって望ましいと考えられる移動手段分担を図-5に示す。これは、数理計画モデルから出力された避難行動パターンについて、「手段別」に避難者数を集約したものである。

この手段別交通量から窺える自動車利用人数については、「自動車利用の限界量」を示していると捉えることが出来る。これは評価対象とした避難インフラ条件において、この利用者人数以上の避難者が自動車を利用すると待ち行列が発生し、避難者全体にとってマイナスに作用すると考えられる。

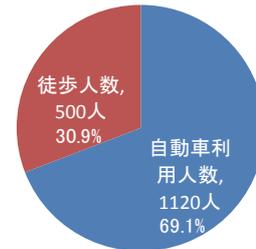


図-4 推奨される避難手段割合

(2) 避難先と避難経路の選択

当該地区の避難者にとって望ましいと考えられる避難先及びその経路を図-6に示す。これは、数理計画モデルから出力された、当該地区から出発した避難者の向かった避難先とそこに至るまでに利用した経路のうち、避難先および経路が集中しないように配慮し選定したものである。

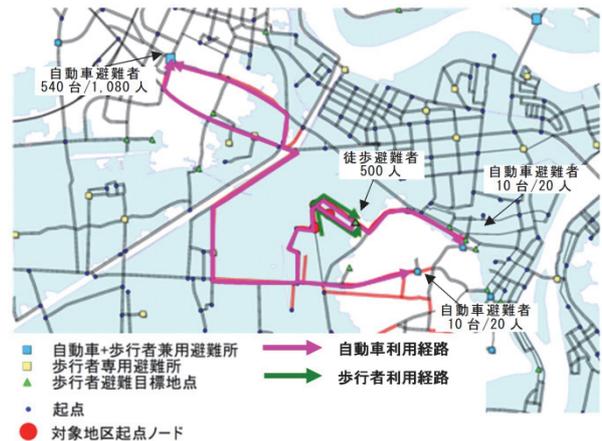


図-5 推奨される避難手段割合

徒歩避難者は最寄りの歩行者避難目標地点である日和山登山り口までの経路として2本の経路を案内する。また、自動車避難者に対しては、日和山内の駐車場を備える避難所2箇所及び蛇田方面の浸水域外エリアへ案内することが望ましいという結果となった。

なお、国や自治体の公表する従来の施設整備指針⁵⁾⁶⁾や避難計画を見ると、避難経路に関する記述としては幹

線道路を避難路として表記されるに留められている。この表記について考えると、地震時、避難者の多くがそのような避難路を利用した場合、避難需要が避難路に集中することで待ち行列が発生し、ネットワーク流率の低下が懸念される。このような状況を回避するため、数理計画モデルから得られる推奨される避難行動パターンに従い、予め避難者に具体的な経路を示し推奨される経路を割り当てることが必要と考えられる。

(3) 推奨される出発時刻

当該地区の避難者にとって望ましいと考えられる出発時刻を図-7に示す。これは、数理計画モデルから出力された規範的避難行動パターンについて、任意の時間単位に出発時刻別の避難者数を集計したものである。規範的避難行動では Δt 秒単位に出発する時刻が求まる場所、実際の避難を想定した場合、あまりにも細かい時間間隔だと、避難開始時刻のルールとしては現実的ではないと考えられる。そのため、推奨行動として提示する時間間隔は、津波到達までの時間などの避難目標を踏まえつつ、ある程度幅を持たせて設定することが望ましいと考えられる。地元住民に対して、このような幅を持った時間単位の出発人数を示した上で、各世帯や企業単位に、各々がどの時間帯に出発するかを協議していくことが望ましいと考えられる。

6. おわりに

本稿では、規範的な避難行動を仮定する徒歩と自動車の避難手段の最適化を図る数理計画モデルを示し、かつ、これまでに構築してきた避難交通シミュレーションモデルとを連携させた避難支援策の検討手続きを提案した。

従来、多くの自治体の防災計画においては、避難時の行動選択の取り決めは移動手段や避難先までであったのに対し、本件等手続きの特徴としては次の2点がある。

①数理計画モデルから、避難行動の方針を示した。具体的には、避難の目的地と移動手段だけでなく、避難経路を指定しておく必要性と避難時刻の重要性を示した。

②自治体を通して住民との合意形成を、①の避難方針をベースとして行う。地域住民の希望する行動を聞き取り、4章で示す避難交通シミュレーションモデルにおいてその行動内容を避難行動シナリオで指定することで、

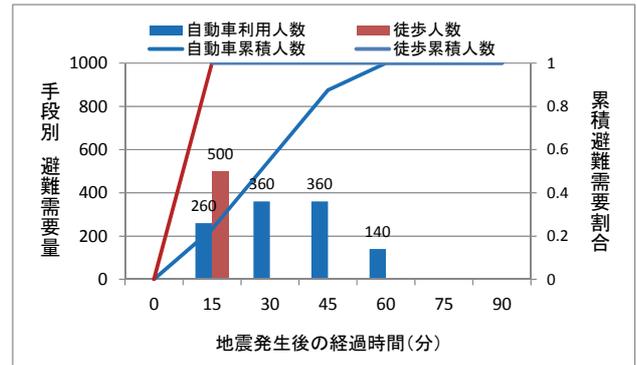


図-7 推奨される出発時刻分布

そのような行動時の交通影響を確認できる。このような手続きをとることで、住民の理解を得ながら行動内容の改善を図っていくことが可能になると考えられる。

さらに、避難インフラの整備が必要となる場合は、数理計画モデルのベンチマークからクリティカル箇所が示唆される。加えて、避難交通シミュレーションモデルを用いることで、不確実な交通需要の存在による避難状況への影響を踏まえた評価も可能になるものである。

参考文献

- 1) 河北新報: <福島沖地震>津波で車避難 震災教訓どこへ、2016.12, http://www.kahoku.co.jp/tohokunews/201612/20161201_73005.html
- 2) 大石雪絵, 桑原雅夫, 大畑長: 規範的避難オペレーションに基づく避難インフラの限界能力評価, 第 53 回土木計画学研究発表会・講演集, pp.2553-2560, 2016.
- 3) 長尾一輝, 大畑長, 柿元祐史, 花房比佐友, 二上洋介, 江藤和昭, 桑原雅夫: 大規模地震時における自動車避難行動に基づく避難施策の評価, 第 49 回土木計画学研究発表会講演概要集, CD-ROM, 2013
- 4) Tohisu Yoshii, SOUND: A Traffic Simulation Model for Oversaturated Traffic Flow on Urban Expressways, WCTR, 1995
- 5) 国土交通省 都市局 都市安全課・街路交通施設課, 協力: 日本都市計画学会・土木学会: 津波防災まちづくりの計画策定にかかる指針, 2013.6.
- 6) 石巻市: 避難困難区域での地区防災計画への取り組み, 2016.3, http://www.bousai.go.jp/kyoiku/chikubousai/pdf/20160312forum/panel_discussion1/sankoshiryo11-01.pdf.

(2017.4.28 受付)

Study on the evacuation planning method by the cooperation of a mathematics model and traffic simulation model

Takeshi OHATA, Masao KUWAHARA