高齢社会における車両による避難誘導について

看舎 邦亮¹・松見 吉晴²・達川 剛³・藤井 俊久⁴・太田 隆夫⁵

¹正会員 大阪府庁 (〒540-8570 大阪市中央区大手前2丁目)

E-mail: KanshaK@mbox.pref.osaka.lg.jp

²正会員 鳥取大学大学院教授 工学研究科社会基盤専攻 (〒680-8522 鳥取市湖山町南4丁目101)

E-mail: matsumi@sse.tottori-u.ac.jp

³鳥取大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 (〒680-8522 鳥取市湖山町南4丁目101)

E-mail: m12t7013y@edu.tottori-u.ac.jp

⁴日立ソリューションズ (〒140-0002 東京都品川区東品川4-12-7)

E-mail: m11t7006b@edu.tottori-u.ac.jp

⁵正会員 鳥取大学大学院准教授 工学研究科社会基盤専攻 (〒680-8522 鳥取市湖山町南4丁目101)

E-mail: ohta@sse.tottori-u.ac.jp

災害時の避難対策としては、地域の住民の年齢構成を考慮した徒歩や車による避難誘導や、地理的条件を考慮した避難所設定など、地域特性に依存した避難行動について、ハードおよびソフト防災の両面から検討する必要がある。本研究は、まず高齢社会での災害への備えに関する地域住民の実態調査結果より車での避難誘導の必要性を明らかにし、ついで徒歩と車による避難が混在した条件下での避難行動時の人と車の流れを時々刻々再現できる「動的な避難行動シミュレーション」の構築より、地域の道路事情に基づいた災害時要援護者に対する車での避難誘導方法についても考察したものである。

Key Words : people in need of aid during disasters, vulnerable person, evacuation conduct by cars

1. はじめに

地震、津波、洪水、土砂崩れ、豪雪など、わが国は様々な災害に幾度となく見舞われてきた災害列島である。2011年3月に発生した東日本大震災は東北地方沿岸部のみならず、震源から遠く離れた都市の脆弱性をも改めて浮き彫りにし、様々な地域で災害に対する備えを進める必要性が再認識された。

都会と地方では、土地利用形態や人口が大きく異なるため災害への備え方も自ずと異なる。例えば、地方でも過疎地域では道路の途絶による集落の孤立、高齢者の迅速な避難には困難が想定され、これらの備えは重要である。このような地域で災害が昼間に発生した場合、高齢者の避難については、若者が遠方の勤務地で就労中であり、集落に高齢者しかいないという状況下で避難しなければならない可能性が高い。このように、地域の災害に対する耐力（防災力）が高齢化に伴って弱体化することは、過疎地域だけに限らず、高齢化が進む地方において固有の課題がある。すなわち、自然災害の猛威が今後仮に今と変わらなくても、それに対抗する地域の人的な防災力が弱くなれば、災害で困難に直面する人が増え続け

るという事態になる。

このようなことより、自然災害から地域を守るには、自然現象を理解し、それによる地域への影響を抑えるという視点も重要であるが、地域の人的な弱点を知った上で地域の耐力を高めるための仕組みづくりを始めることも地域防災力の向上化に対する本質的な視点となろう。

本研究は、まず高齢者の運動能力や高齢社会での災害への備えに関する地域住民の実態調査結果より、高齢者の避難に対する自助の難しさと、地域の共助としてのコミュニティの重要性を検証し、ついで高齢者や災害時要援護者の避難対策としての自動車による避難誘導の実現性を検討するため、人と車の流れを時々刻々再現できる「動的な避難行動シミュレーション」の構築より、地域の道路事情に基づいた災害時要援護者に対する車での避難誘導方法についても考察したものである。

2. 避難の観点から高齢者の運動能力について

文部科学省による平成22年度体力・運動能力調査¹⁾によると、体力について普通、もしくは不安と回答した高

齢者の10m 障害物歩行, 6分間歩行のそれぞれの平均値を示したのが図-1の(a)と(b)である. 10m 障害物歩行とは, 2m間隔で6個設置した障害物(幅10cm, 高さ20cm)をまたぎ越すのに要する時間である. 6分間歩行とは, 1周30m以上の周回路または50m以上の折り返し直線路を利用して, 普段歩く速さで6分間の歩行距離である. まず図(a)より体力が普通と回答された方の内, 65~69歳という比較的若い高齢者と, 今後人口の増加が予想される後期高齢者(75~79歳)の体力を比べてみると, 10m 障害物歩行では男性で1.15倍, 女性で1.17倍の時間を要している. さらに, 体力が不安と回答されたかと比較すると, 男性で1.27倍, 女性で1.37倍と所要時間は増加する. この結果より, 壮年層の男性が20分で避難できるところを後期高齢者では体力にも関係するが, 23~27分以上要することになる.

また, 避難先までの距離が長ければ, 持久力の衰えも重なり, さらに多くの時間を要する可能性が十分に考えられる. このことは, 図(b)に示す6分間歩行の結果からも窺える. 後期高齢者の男女ともに65~69歳と比べて90%の距離しか到達できない. したがって, 避難所への数分の遅れが致命的になりうる過酷な環境下では, 運動能力のハンディキャップをカバーするために十分な早期の避難が必要となる. そのためには, 災害への物的な備えや, 防災意識の維持といった心理的な備えを平素から期することが若者以上に重要となる.

3. 災害への備えの実態調査

ここでは, 平成20年に鳥取県境港市のある地区で実施したアンケート²⁾より, 高齢者のみの世帯(サンプル数はn=70), 高齢者と非高齢者から成る世帯(n=210), 高齢者がいない世帯(非高齢者のみの世帯, n=250)という3種類の世帯の災害に対する普段の備えについて着目する.

運動能力ならびに家族の助力が得られる可能性を踏まえると, 普段の備えに対する回答率について「高齢者のみの世帯>高齢者と非高齢者から成る世帯>非高齢者のみの世帯」という大小関係があれば, 普段の備えを活かして迅速に避難することで, 運動能力が低いという高齢者のハンディキャップは(少なくとも部分的に)カバーされることになろう.

図-2は, このような仮説の検証結果を示すもので, 自然災害に対する普段の備えについて, それぞれ世帯種別に集計したものである. 「d: 警報や注意報に注意を払う」, 「e: 日本に上陸しそうな台風に注意を払う」, 「f: インターネットから情報を入手」を除いては, ほぼ仮説の大小関係が成立している. 「d: 警報や注意報

図-1 高齢者の運動能力

項目番号	質問内容
a	災害に備えて保険に加入
b	防災訓練や防災活動に参加
c	高潮発生時の自宅危険性を想像できる
d	警報や注意報に注意を払う
e	日本に上陸しそうな台風に注意を払う
f	インターネットから情報を入手
g	テレビやラジオから情報を入手
h	避難場所と避難経路決めてる
i	非常時飲食物や物品を用意
j	防災マップを所持

図-2 自然災害に対する普段の備え

に注意を払う」, 「e: 日本に上陸しそうな台風に注意を払う」については, 世帯属性の間に大差な大小関係が成立していないが, 回答率が8割以上と備えを行っている世帯数の割合自体は高い.

次に, 避難を決意してから持ち出し品などの準備を終えて家を出るまでに要する時間を図-3に示す. この時間は, 平素からの物的な備えや災害に対する危機意識が高

図3 避難を決意から家を出るまでの所要時間

ければ短くなると考えられる。この図において避難準備に要する時間が15分に対する累積割合がどの世帯種別についても55%ほどとなっており、3種類の世帯間に大きな差異はない。全体的な所要時間について3種類の世帯間を比較すると、僅かな差ではあるが、「高齢者のみ世帯<高齢者と非高齢者世帯<非高齢者世帯」の大小関係が成立している。すなわち、この結果についても同様に、高齢者の方がハンディキャップを平素から意識して補うように備えているものと推察できる。

しかしながら、この肯定的な結果を帳消しにするデータが図4である。この図は、高潮警報や避難勧告が出ている場合に「直ちに避難する」、「避難する必要があると思うが、しばらく様子を見る」、「避難する必要はないと思うが、しばらく様子を見る」、「避難しない」という4つの選択肢の内、どの行動をとるかを回答した結果である。「避難する必要はないと思うが、しばらく様子を見る」と「避難しない」の回答率が、「高齢者のみ世帯>高齢者と非高齢者世帯>非高齢者世帯」という大小関係である。また、「直ちに避難する」の回答率も他の世帯と比べて顕著に大きいわけではない。

備えがあり、また決意さえすれば避難開始行動も早いにもかかわらず、高齢者の構成比の高い世帯はそもそも避難を決意しない傾向にある。その理由として、高齢者にとって避難が身体に負担であるとか、自宅を離れるのが不安だということが考えられる。また、このアンケートでは過去に災害に遭遇した世帯がどの世帯についても2%以下と僅かであった。このため、長年にわたって被害遭遇の経験がなかったということが、避難の必要性を認めないことにつながっている可能性もあろう。いずれにせよ、高齢者の自助による避難には限界がある。

そこで、「避難する必要があると思うが、しばらく様子を見る」、「避難する必要はないと思うが、しばらく様子を見る」と回答した世帯に対して、どのような情報や条件が加われば避難を決意するのかについて集計した

図4 高潮警報や避難勧告が出ている場合の行動

図5 避難の決意の条件

項目番号	質問内容
a	町内会などが避難を手助けしてくれる
b	町内会などの避難の呼び掛けがある
c	近所の人たちが避難している
d	家族全員の居場所や状況が把握できている
e	家族全員が家に揃っている
f	自宅もしくは自宅周辺で家屋被害の予感
g	周辺状況(海や川)が危険だと感じる
h	長時間、暴風雨が続く

結果を図5に示す。どの世帯にも共通して「b: 町内会などの避難の呼び掛けがある」が大きな回答率となっている。このことから、高齢者の避難の決意には、地域コミュニティによる共助が大きな意味をもつことが分かる。

地域コミュニティとして共助の役割が大きくても、地区内の限られた人材でどう対応すればよいのであろうかという疑問が生じる。この疑問を確かめるには、防災訓練などを実際に行うことも一案ではあるが、様子を見て避難すると回答している人は、そもそも訓練に参加してもらえないのかも怪しい。また、自動車による避難誘導も高齢者や災害時要援護者に対する共助として、さらには高齢者自ら自動車による避難も地域の自助・共助の連携に有効な手段と考えられる。そこで、自助や共助としての自動車避難の有効性を検証するため、地域における車

両避難誘導に関する許容台数について歩行・車両避難シミュレーションより検討を行うこととした。

4. 避難行動シミュレーションを用いた自助共助の自動車避難の有効性の検討

(1) 徒歩と車両の混在型避難シミュレーションの概要

本研究では、著者らの歩行避難シミュレーション³⁾に自動車避難を追加したモデルを開発した。まず、歩行避難のシナリオについては、個々人は自身の判断でいつ避難するかを意思決定し、いったん避難を開始すると、その後は避難者の周辺環境と避難行動の関係から、まず危険区域から離れる経路選択を優先する傾向が強く、危険区域から離れるに伴ってその傾向が弱まり、最終的に道路幅を考慮しつつ避難場所までの最短経路を選択するものと設定している。その際の最短避難経路選択の評価式には、道路ネットワーク上の物理的距離だけでなく、時間距離やリンクコスト等も取り扱えるダイクストラ法を用いている。なお、歩行速度は年齢によって異なるよう設定している。また、避難経路上に人が密集して群集密度が増大した場合、物理的な制約によって人間の歩行速度は単純歩行時の自由歩行速度から群集歩行速度へ減速させられる。この群集密度による歩行速度の低下についても避難行動シミュレーションにおいて考慮している。なお、技術的な詳細は、文献³⁾を参照されたい。

次に、自動車による避難行動シナリオについては、歩行避難の場合とほぼ同じであるが、以下のような事項で異なる。

- 広い道で浸水域からなるべく離れるような最短経路を通して避難する。
- 道路幅2.5m未満の道路は通らない。
- 走行不能浸水深は0.3m。
- 交通規則（一方通行等）を遵守する。
- 車両密度により車両速度が変化する。
- 幅の狭い道路での歩行者存在時には車両速度を低下させる。

上記v.とvi.に関する車両速度 V_2 は、次式のように設定している。なお、本研究における車両1台あたりの面積は、5ナンバーの小型自動車の最大寸法を参考に全長4.7m×全幅1.7m（占有面積7.99m²）としている。

$$V_2 = \begin{cases} V_{02} & (0 \leq \rho_{c2} < \rho'_{c2}) \\ V_{02} \exp\left[-\frac{1500}{V_{02}}(\rho_{c2} - \rho'_{c2})\right] & (\rho'_{c2} \leq \rho_{c2}) \end{cases} \quad (1)$$

$$\rho'_{c2} = \frac{n_2}{1.8V_{02}w_r} \quad (2)$$

図-6 車両密度と車両速度の関係
(自由車両速度を20km/h～33km/hの間を
2km/h間隔で変化させた場合)

$$\rho'_{c2} = \frac{1}{\text{車両の全幅} \times (1.8V_{02} + \text{車両の全長})} \quad (3)$$

ここに、 V_{02} は車両速度 [m/s]、 ρ_{c2} を1平米当たりの車両密度 [台/m²]、 n_2 を指定された範囲内の自動車の台数 [台]、 ρ'_{c2} を車両速度を減速させるための1平米当たりの車両密度（減速開始点と称す） [台/m²]とする。

式(2)で示す車両密度 ρ_{c2} については、車間距離に関する警視庁の資料⁴⁾によれば、車両速度×1.8秒の距離が適当な車間距離であるとのことを参考に、走行中の前方範囲（ $1.8V_{02}$ ）内の車両の台数 n_2 を距離（ $1.8V_{02}$ ）と道路幅（ w_r ）で除したものと定義している。式(1)は、車両密度 ρ_{c2} が ρ'_{c2} 未満である場合、自由車両速度 V_{02} でそのまま走行を続け、車両密度 ρ_{c2} が ρ'_{c2} 以上の場合、自由車両速度 V_{02} を指数関数的に減速させている。具体的には、図-6に示すように、ここでは限界の車間距離として5mと一定に設定し、自動車がその車間距離に近づく時に速度がゼロになるように指数関数的に減速させている。すなわち、自分の車両長4.7mと前方5mの車間距離を加えた距離と車幅分の面積16.49m²（=(4.7+5)×1.7）における車両密度0.06台/m²に車両速度がゼロに近づくように設定している。 V_{02} について、本研究では便宜的に20km/hから30km/hの間をランダムに設定している。なお、減速モデルとして指数関数を利用しているが、その妥当性については今後調査などから検討する予定である。

洪水氾濫中の車両による走行不能浸水深については、浸水深が0.3mとし、避難移動中にノードおよびリンクの浸水深が0.3mに達した時に走行不能としている。また、経路選択時の次に進むノードが既に0.3mに達している場

合、そのノードを避難経路として選択しないように設定している。なお、自動車避難の場合は、リンク上を移動中、次に進むノードが走行不能浸水深に達してしまった場合でも引き返さず、被災者としてカウントするようにプログラムしている。これは、車両や歩行避難者が続いている中で、容易にUターンが出来ないと想定しているためである。

(2) シミュレーションの対象地域

本研究では、鳥取県東部を流れる1級河川の千代川の左岸に位置する鳥取市大正地区（東西約2km、南北約4km）を対象に、高齢者や災害時要援護者の避難としての自動車利用の地区における許容台数を試算する。この地域は、千代川洪水ハザードマップによると浸水深が2m～3m程度であり、平坦な地形が特徴である。

シミュレーションでは道路ネットワークの規模の関係から北部分と南部分の2つに分割して行っている。北部分のネットワークは、ノード数537、リンク数676、世帯数1492で構成され、一方、南部分はノード数290、リンク数353、世帯数172で構成されている。それぞれを図-7、8に示す。避難所は、図中に建物名称で示しているように北部分が8ヶ所、南部分が2ヶ所である。図-8に示す大正地区の南部分は、集落が点在する地域で一時避難用としての高いビルもなく、鳥取市による指定避難場所の「日本海ゴルフセンター」は集落から1km程度離れた高台に位置している。このことから地元の声として、高齢者にとって歩行での避難は簡単なものではないとの指摘も多々ある。そこで、高齢化が進むこの地域における自動車避難の台数制限を明らかにするため、自動車避難の割合を0%～100%まで10%間隔で変化させて避難完了時間に及ぼす影響を検討した。計算では、各自動車避難割合毎に、歩行および自動車避難者の避難開始ノード位置について、100種類ランダムに変化させている。すなわち、各自動車避難割合毎に100種類の異なった避難パターンを計算していることになる。

(3) 自動車避難の割合変化による避難完了時間、被災世帯数に関する分析結果

図-9、10は、避難所まで避難する世帯の内、自動車避難の割合変化による避難完了時間の推移と、自動車避難途中に洪水浸水で被災した累計世帯数も併せて示したものである。なお、最大、最小および平均の避難完了時間は、それぞれ各自動車避難割合毎の100種類の計算結果の最大、最小の時間と平均値である。

大正地区北部分の図-9を見ると、平均避難完了時間は自動車避難の割合の増加につれて微減しているのが確認

図-7 北部分の道路ネットワーク

図-8 南部分の道路ネットワーク

でき、割合が100%の時に急激に減少している。すなわち、歩行避難者がゼロになったことで自動車による速やかな避難が完了したことを表しているのではないかと推察される。しかし、自動車避難割合毎に100種類の計算より得られた累積総被災世帯数に注目すると、自動車避難割合の増加に伴って被災発生が増加傾向にある。この原因としてシミュレーションより、図-7に楕円で示す2箇所（A、B）で自動車の混雑の発生が確認された。A区域とB区域の道路幅はそれぞれ3.5m、3.78mと自動車の行き違いが困難な区域であると共に、指定避難所の世紀小学校、古海児童館への重要な避難経路となっている道路でもある。したがって、A区域とB区域を避難経路として用いている世帯については、避難時の移動手段を歩行避難に限定する必要があると指摘できる。

図-10の大正地区南部分の結果を見ると、先の北部分と同様に平均避難完了時間は自動車避難の割合の増加につれて微減し、割合が90%から急激に減少している。一

図-9 自動車避難の割合変化による避難完了時間と累積総被災世帯数の推移（大正地区北部分）

図-10 自動車避難の割合変化による避難完了時間と累積総被災世帯数の推移（大正地区南部分）

方、自動車避難による累積総避難世帯数は、北部分と異なっており自動車避難の割合が増加しても発生していない。このような結果となった理由としては、大正地区北部分と南部分は面積はさほど変わらないものの、シミュレーションで対象とした世帯数が大きく異なり、北部分は1492世帯であるのに対し、南部分は172世帯と北部分の約11.5%の世帯数に過ぎない。このことから、南部分では渋滞が発生しなかったためである。

以上のことより、大正地区南部分では全世帯が自動車避難を行っても差し支えないと言えよう。また、大正地区北部分の避難形態については、避難所として世紀小学校と古海児童館を利用する可能性の高い地域では自動車避難の割合を全避難世帯の30%以内に設定することにより速やかな避難ができよう。なお、図-9において自動車避難割合50%以上で被災世帯数が発生していないケースは、計算パターン数に関係するものと推測する。

5. あとがき

本研究では、まず高齢者の災害に対する平素の備えや危機意識に関するアンケート調査より、高齢者の避難決

意に対して地域コミュニティによる共助が大きな意味をもつことを明らかにした。その共助としての自動車での避難誘導と、さらに自助による自動車避難の有効性と許容台数について、歩行と自動車が混在させた避難シミュレーションを開発して検討した。今後は、より現実に近い避難行動を再現できるように、大正地区以外の外来グループによる自動車の影響を取り入れていく予定である。

参考文献

- 1) 文部科学省：平成22年度体力・運動能力調査，政府統計の総合窓口内，14.体力に関する意識別体格測定・テストの結果，<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/NewList.do?tid=000001016672>
- 2) 松見吉晴，雁津佳英：高潮災害を対象としたソフト防災に関する考察，海岸工学論文集，第56巻，pp.1366-1370，2009。
- 3) 松見吉晴，蘆田哲也：沿岸過疎地域の浸水災害を対象とした避難シミュレーション開発，海岸工学論文集，第55巻（2），pp.1376-1380，2008。
- 4) 警視庁ホームページ，<http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/kotu/kousoku/osirase1.html>

(2012.7.27 受付)

EVACUATION CONDUCT BY CARS IN AGING SOCIETY

Kuniaki KANSHA, Yoshiharu MATSUMI, Tsuyoshi TATUKAWA,
Toshihisa FUJII and Takao OHTA

For the refuge countermeasure of people in need of aid during disasters, the means of evacuation conduct by automobile and evacuation behavior which depends on the geographic condition of the region should be examined from both sides of hard and soft disaster prevention. In this study, firstly from the survey on the actual preparation of old people to the disaster, the necessity of evacuation guidance by automobile in aging society is clarified. Secondly, Using the simulation which could reproduce the evacuation behavior by walking and cars, evacuation guidance methods by car for the vulnerable person in the disaster are discussed on the road circumstance of the region.