

避難所単位での避難者・帰宅困難者 推定アルゴリズムの構築

後岡 寿成¹・櫻庭 雅明²・伊勢 正³・高橋 拓也⁴

¹正会員 日本工営株式会社 中央研究所 総合技術開発部 (〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原2304)
E-mail: ushirooka-hs@n-koei.jp

²正会員 日本工営株式会社 中央研究所 総合技術開発部 (〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原2304)
E-mail: sakuraba-ms@n-koei.jp

³正会員 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 (〒305-0006 茨城県つくば市天王台3-1)
E-mail: t-ise@bosai.go.jp

⁴正会員 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 (〒305-0006 茨城県つくば市天王台3-1)
E-mail: t-takahashi@bosai.go.jp

大規模災害時の避難者及び帰宅困難者を推定して必要十分な備蓄を準備しておくことは、事後防災として重要である。内閣府では、東日本大震災の避難者・帰宅実態調査結果に基づく避難者および帰宅困難者を推定するアルゴリズムを示している。避難者はライフライン停止時の生活困窮度を考慮したもの、帰宅困難者はパーソントリップ調査を用いたもので、推定単位が市町村レベルとなっている。自治体が適用するには市町村レベルよりもさらに詳細な避難所別の推定が必要になるとともに、パーソントリップ調査は対象地域が限定的で地方では活用できないというデータ制約上の課題がある。

本稿では、全国的にデータが整備されている国勢調査を用いて、避難所単位での避難者・帰宅困難者推定アルゴリズムの構築を行った。この際、既往の手法では考慮していない余震への恐怖といった精神的な避難要因について避難者数推定アルゴリズムへの組み込みを行った。また、水戸市を対象にケーススタディより実際の避難者数との比較・検証を行い、課題を整理した。

Key Words : Large scale disaster, Evacuee, people who are unable to return home after disasters

1. はじめに

大規模災害の対策は、事前防災と事後防災に大別される。前者は家屋の耐震化などの発災時の被害を最小化するものであり、後者は備蓄の準備などの発災後の被害を最小化するものとなる。

事前防災は、2014年6月に国土強靱化基本計画¹⁾が閣議決定を契機にハードを中心とした整備が進められており、これにより大規模災害時の被害を少なくするとともに復旧・復興のスピードアップが期待される。しかし、事前防災の整備のための多大な費用と時間が必要となる。このため、事後防災による発災後の備えは事前防災をカバーするものとして重要なものとして位置づけられる。

事後防災として備蓄の準備をするにあたっては、大規模災害時の避難者及び帰宅困難者を予測結果から必

要十分な備蓄量を推定して確保する必要がある。大規模災害時の避難者および帰宅困難者を予測する方法として、中央防災会議首都直下地震対策検討ワーキング・グループ²⁾では、東日本大震災の避難者・帰宅実態調査結果に基づく避難者および帰宅困難者を推定するアルゴリズムを示している。これらの方法は、避難者はライフライン停止時の生活困窮度を考慮し、歩行速度と避難所までの距離で算定したものであり、帰宅困難者はパーソントリップ調査を用いて代表交通手段と外出距離を抽出しており、その結果は推定単位が市町村レベルの概略的なものにとどまっている。自治体が避難者数と帰宅困難者数を予測するにあたっては、対象エリアが市町村レベルよりもさらに詳細な避難所別と定義する必要がある。また、帰宅困難者の予測の基本として用いているパーソントリップ調査は対象地域が限定的で地方では活用できないというデータ制約上

の課題がある。

本稿では、既往の資料より災害時における住民の避難判断と避難者数の関係を整理したうえで、避難所単位での避難者・帰宅困難者推定アルゴリズムの構築を行ったものである。本研究で得られたアルゴリズムを被害し日本大震災時の水戸市の避難者・帰宅困難者の実績を対象にケーススタディにより、アルゴリズムと実績値との比較検証を行った。

2.避難者・帰宅困難者の推定アルゴリズム

(1) 避難者・帰宅困難者数の推定手法の整理

a) 避難者数の推定方法の整理

国や地方公共団体の避難者数推定手法は、式(1a)、式(1b)、式(1c)及び表-1に示すように建物の被害に起因した発災時の直接的な避難者と発災にともなうライフライン停止時生活困窮度により生じる間接的な避難者を足し合わせている方法が多い。

建物被害による避難者は、全壊・焼失による避難率は100%で統一されているが、半壊による避難率は参考文献により異なり、室崎ら³⁾の50.3%や中央防災会議の13%がよく用いられている。

ライフライン停止時生活困窮度に関して、ほとんどの地方公共団体は、断水のみを対象としている。中央防災会議は断水による影響と停電による影響の大きい方を採用している。また、東京都⁴⁾は独自のアンケート調査結果（自宅建物の被災度別避難率：2006年被害想定における都民アンケートの結果）のライフライン停止時の避難率を用いている。以上より、発災時における避難率やライフライン停止時における生活困窮度を示す指標は、検討した機関により様々となっている。本研究では、東日本大震災の被害を踏まえて検討された中央防災会議の結果を以降の検討における適用性が高いと判断した。次式に、避難者数の推定方法を示す。

$$E_{bl} = (R_{comp} * Des_{comp} + R_{part} * Des_{part}) * Peo_{ave} \quad (1a)$$

$$E_{lif} = (Peo_{wat} * Dif_{wat}) \text{ or } (Peo_{de} * Dif_{de}) \quad (1b)$$

$$E_{eva} = (E_{bl} + E_{lif}) * R_{eva} \quad (1c)$$

ここに、各式の諸量は以下のとおりである。

E_b : 建物被害による避難者数

R_{comp} : 全壊時の避難率 (%)

Des_{comp} : 全壊棟数 (棟)

R_{part} : 半壊時の避難率 (%)

Des_{part} : 半壊棟数 (棟)

Peo_{ave} : 1棟当たりの平均人員 (人)

E_{lif} : ライフライン被害による避難者数

Peo_{wat} : 断水人口 (人)

Dif_{wat} : 断水時生活困窮度 (表-1参照)

Peo_{de} : 停電人口 (人)

Dif_{de} : 停電時生活困窮度 (表-1参照)

E_{eva} : 避難所への避難者数

R_{eva} : 避難所・避難所外比率 (表-1参照)

表-1 ライフライン被害による生活困窮度

| 項目 | 当日・1日後 | 1週間後 | 1ヶ月後 |
|------------|--------|-------|-------|
| 断水時生活困窮度 | 0.0 | 0.25 | 0.90 |
| 停電時生活困窮度 | 0.0 | 0.25 | 0.50 |
| 避難所 : 避難所外 | 60:40 | 50:50 | 30:70 |

b) 帰宅困難者数の推定方法の整理

国や地方公共団体の避難者数推定手法は、中央防災会議の東日本大震災の帰宅実態調査結果に基づく外出距離別帰宅困難率を設定しているケースがほとんどである。

なお、中央防災会議では、東日本大震災当日は道路の交通規制がかからなかったことから自動車・二輪車等での帰宅が可能であった点を踏まえ、帰宅困難率は式(2)に示すとおり、代表交通手段が鉄道である外出者のデータをもとに当日に帰宅できなかった人の割合として出距離に比例するように設定している。代表交通手段はパーソントリップ調査に基づいている。

$$R_{home} = 0.0218 * Dis \quad (2)$$

ここに、 R_{home} : 帰宅困難率 (%), Dis : 外出距離 (km) である。

(2) 住民の避難判断基準

避難者数を算定するにあたって、避難対象者が避難をするか否かの判断基準は様々考えられるが、災害の大きさ、被災のタイミング、被災経験など多くの要因が存在する。本研究では、①生活支障に関する判断基準、②精神的要因に関する記述、③人間行動に関する記述に分けて整理し、避難者数の予測アルゴリズムの算定に関する基本的な条件として取り入れた。

生活支障に関する避難判断は室崎ら等が示しているライフラインの停止による生活支障が挙げており^{3),5)}、白ら等はライフライン停止による避難への影響度合いを示している^{6),7)}。また、ライフラインが停止してしばらく自宅で我慢するが最終的に避難したという内容が複数の文献で示されている^{8),9)}。精神的な要因としては、建物の倒壊等の物理的要因だけでなく、余震に対する恐怖心といった精神的要因も避難理由となることが示されている^{3),5),12),13)}。

生活支障および精神的な要因以外の人間行動として、広瀬は幼児を持つ家庭は早めの避難傾向がある一方老

人のいる家庭は避難が遅れる傾向があることを示し¹⁴⁾、渡辺らは家族の救出や安否確認ができるまで避難しない傾向があることを示している¹¹⁾。また、佐藤らは過去に震災経験がある被災者の方が避難意識が高いことを示している¹⁵⁾。

(3) 精神的要因による避難率の検討

上述の避難者・帰宅困難者数の推定手法は、生活支障に関しては反映されているものの、精神的要因や人間行動に関しては反映されていない。本検討では、精神的要因について(2)で整理した内容を基に、避難者数推定アルゴリズムに組み込む手法について検討した。なお、人間行動に関しては、救出安否確認の可否や震災経験者といった設定困難な指標が含まれるため、本検討では除外した。

a) 精神的要因による避難率の整理

室崎らが実施した避難理由に関するアンケートによると余震への不安の回答率が30.3%、ライフライン停止による生活支障の回答率が22.2%であった³⁾。庄司らが実施した避難理由に関するアンケートによると、余震による自宅の倒壊が心配されるが50%程度であるのに対して断水と停電がそれぞれ40%程度であった⁷⁾。いずれも余震への不安はライフラインの停止よりも10%程度回答率が高くなっている。複数回答が可能な形でアンケートを実施しているため、アンケート回答率をそのまま避難率として用いることができないが、余震への不安による避難率がライフラインの停止よりも10%程度高いことがうかがえる。

b) 余震への不安を感じる期間

気象庁HP¹⁶⁾には、被害が発生するような大きな地震(本震)が発生した時は、その後、一般的には1週間～10日間程度(本震の規模がとくに大きかった場合や余震活動が活発な場合は1ヶ月以上、場合によっては1年以上)は特に注意が必要としている。

以上より、余震への不安は発災後1週間程度でほとんど解消されると考えられる。

c) 避難者数推定アルゴリズムへの組み込み検討

中央防災会議が設定しているライフライン停止時(断水時・停電時)の生活困窮度は表-1に示したとおり、当日・1日後が0.0となっており、ライフラインが停止しても当日と1日後は生活困窮しないという設定である。生活支障に関する避難において示したようにライフラインが停止してしばらく自宅で我慢するという内容と整合する。しかしながら茨城県における避難者数の推移では、図-1に示すとおり、発災1日後の避難者数が77千人と最も多く、発災2日後には19%減、発災3日後には70%減(発災1日後から)と急激に減少しており、中央防災会議の示した傾向とは異なっている。この減

少分は、ライフライン停止時の生活困窮や余震への不安等の精神的要因により一時的に避難したと推定できる。

本検討では、ライフラインが停止しても当日と1日後は生活困窮しないという既往の検討方法の過小評価分を補うこととする。この条件の考慮により、発災当初に特に大きくなる余震等の精神的不安による避難を考慮できる。

余震への不安等の精神的要因による避難率を設定した図を図-2に示す。精神的要因による避難率の整理に示したとおりライフラインの停止よりも10%程度回答率が高いことから、ライフライン停止による生活困窮度0.0に0.1を足し合わせて余震への不安等の精神的要因による避難率として設定した。余震への不安を感じる期間に示したとおり余震への不安は発災後1週間程度でほとんど解消されると考えられることから、1週間後のライフライン停止による生活困窮度0.25にすりつけを行い、1週間以降は余震への不安による影響は考慮しないものとする。



図-1 東日本大震災時の茨城県の避難者数²⁰⁾

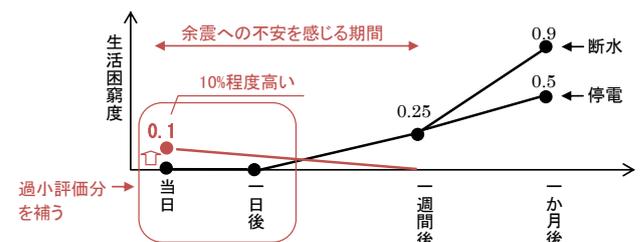


図-2 精神的要因による避難率の設定

(4) 避難者・帰宅困難者の推定アルゴリズム

a) 避難者数推定のアルゴリズム

避難者数推定アルゴリズムは、(1) 避難者・帰宅困難者数の推定手法の整理において示した式(1a)、式(1b)、式(1c)を基本とし、これに(3)で整理した精神的要因による避難率を考慮したものとする。

避難者数推定にあたっての入力データは、①建物の被害割合、②平均的な人口、③ライフライン被害人口、④ライフライン被害の生活困窮度となる。以下に整理方法を示す。

建物被害については中央防災会議が提示している計測震度と被害曲線の関係から求める。

人口については、政府統計（e-Stat）が各地の250mメッシュにおける人口（人口、男女構成および世帯数）を取りまとめている。

断水人口・停電人口は、中央防災会議が提示している停電等による施設被害、揺れによる管路被害からの断水人口の算出及び揺れ等による電線被害等からの停電件数・人口の算出する。

ライフライン被害による生活困窮度及び避難所・避難所外比率は表-1に示すとおりである。また、当日については、精神的要因による避難率の10%を加える。

上述の方法を用いると避難者数は250mメッシュ単位となる。これを各避難所単位に振り分けるために、各メッシュと避難所が最小となる距離となるようにボロノイ図を作成して、ボロノイ図の中にある避難所に振り分け、避難所単位に集計する。

b) 帰宅困難者数推定アルゴリズム

帰宅困難者推定アルゴリズムは、(1)避難者・帰宅困難者数の推定手法の整理において示した式(2)を基本とする。入力データとして、代表交通手段が鉄道的人数とその外出距離が必要となる。

中央防災会議ではパーソントリップ調査に基づく代表交通手段を用いているが、本検討では、データの入手しやすさや全国でデータが整備されている点を踏まえて国勢調査を用いる。なお、国勢調査の従業地・通学地による人口・産業等集計データは政府統計（e-Stat）から入手することができ、「従業地・通学地による常住市区町村、男女別15歳以上就業者数及び15歳以上通学者数」に従業・通学する市町村別に常住地と人数が、「常住地又は従業地・通学地による利用交通手段（9区分）別15歳以上自宅外就業者・通学者数」に従業地・通学地における利用交通手段が整理されている。

外出距離は、簡易的に市町村役場間の直線距離とし、GISやweb上の距離計測サイト等を用いて計測する。

帰宅困難者数は市町村単位での算出となるため、事業所数や従業者数の分布に合わせて振り分ける必要がある。経済センサスに事業所数及び従業者数の500mメッシュデータが存在する。従業者数を250mメッシュに等分割し、メッシュ毎に全従業者数に対する従業者数割合を算出し、上記で算出した帰宅困難者数を乗じることで各メッシュの帰宅困難者数を算出し、避難者と同様にボロノイ図を作成し、避難所単位に集計する。

3. 水戸市を対象としたケーススタディ

(1) 避難者数の推定

a) 建物被害状況

中央防災会議が提示している計測震度と被害曲線の関係を適用するためには建物種別（木造・非木造）のデータが必要であるが、そのデータがないため、ここでは東日本大震災時の被害率を水戸市全域に一律に用いることとした。

水戸市の住宅数は総務省統計局の住宅・土地統計調査の居住世帯の有無(8区分)別住宅数及び住宅以外で人が居住する建物数（市区町村）の2008年と2013年データより、東日本大震災時の2011年を直線補間して住宅数を推定した。表-2に示すとおり平成23年の水戸市の住宅総数は135万棟と推定された。東日本大震災時の水戸市の建物被害棟数¹⁷⁾より、水戸市の住宅総数に対する全壊と半壊の被害割合を算出した。表-3に示すとおり全壊が0.1%、半壊が1.4%となった。東日本大震災時の水戸市における震度は6弱であった。中央防災会議の全壊率に当てはめると建設年により幅があるが0%から20%の被害率であり、表-5はその範囲内に収まっている。

なお、収集したデータには建物数に関するデータはないため、表-4に示すとおり世帯数（水戸市平成23年版統計年報）に対する建物数の割合を算出し、各メッシュの世帯数に乗じて建物数を推定した。

b) 避難者数の推定の入力条件

避難者数の推定は、2章に示した避難者数推定アルゴリズムに従い実施した。それぞれの設定値は表-5に示すとおりである。

c) 避難所毎の避難者数の設定

水戸市へのヒアリングにより入手した水戸市が指定する避難所（図-3参照）となっている箇所を対象として避難所毎の避難者数を設定した。なお、各メッシュ内にて構成する人口がどの避難所に選択するかは、明確な資料がないことから各メッシュと避難所が最小となる距離となるようにボロノイ図を作成して、ボロノイ図の中にある避難所が対象となるようにした（図-4）。

表-2 水戸市の住宅総数の推定

| | 住宅総数 | 備考 |
|-------|-----------|----------------|
| 2013年 | 137,830 棟 | 2013年住宅・土地統計調査 |
| 2008年 | 132,010 棟 | 2008年住宅・土地統計調査 |
| 2011年 | 134,920 棟 | 東日本大震災時の推定結果 |

表-3 水戸市における住宅被害割合

| | 水戸市 住宅総数 | 東日本大震災時の 建物被害棟数 | |
|--------|-------------|--------------------|---------|
| | | 全壊 | 半壊 |
| 棟数 | 134,920 棟 | 164 棟 | 1,903 棟 |
| 住宅被害割合 | — | 0.1% | 1.4% |

図-5に避難者数の推定結果と東日本大震災当時における各避難所の避難数の最大値を示す。水戸市へのヒアリングにより入手した東日本大震災当時における各避難所の避難数の最大値より、三の丸小学校、水戸第二中学校および稲荷第一小学校の避難者数が多いことがわかる。このうち、三の丸小学校および水戸第二中学校は、JR水戸駅に近く帰宅困難者を収容したために多くなっていることを水戸市の職員へのヒアリングより確認している。また、稲荷第一小学校は、津波による浸水被害があった場所から近く、津波被害により避難者が多くなっていると考えられる。殆どの場所において、建物被害のみの避難者数よりも実際の避難者が多いことが図から読み取れる。震災直後に生活困窮等の影響などにより避難していることがわかる。

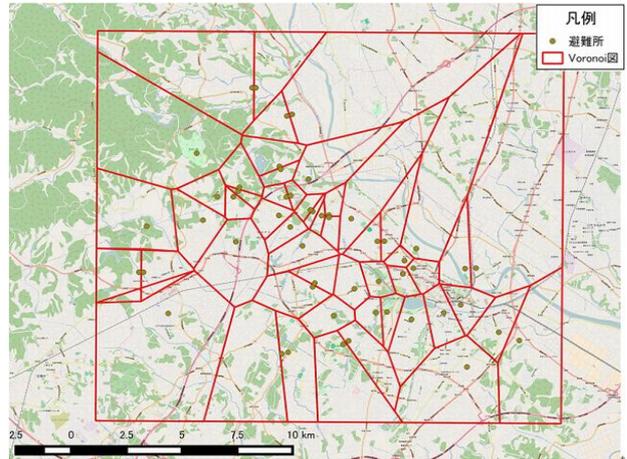


図-4 ケーススタディ対象の避難所とボロノイ図

表-4 水戸市の住宅総数と世帯数の関係

| | 水戸市 住宅総数 | 水戸市 世帯数 | 世帯に対す る建物割合 |
|-------|-------------|------------|----------------|
| 2011年 | 134,920棟 | 113,193世帯 | 119% |

表-5 避難者数の推定の入力条件

| |
|-------------------------------|
| ■建物被害による避難者数 |
| ①建物数：250mメッシュの世帯数×119%（表6参照） |
| ②全壊棟数：250mメッシュの建物数×0.1%（表5参照） |
| ③半壊棟数：250mメッシュの建物数×1.4%（表5参照） |
| ④1棟当たり平均人員：250mメッシュの人口÷建物数 |
| ■ライフライン被害による避難者数 |
| ①断水人口：水戸市全域で断水したため全人口が対象 |
| ②停電人口：水戸市全域で停電したため全人口が対象 |
| ③断水時生活困窮度：当日の0.0（表1参照） |
| ④停電時生活困窮度：当日の0.0（表1参照） |
| ■精神的要因による避難者数 |
| ①精神的要因による避難率：当日を対象として10% |
| ■避難所への避難者数 |
| ①避難所比率：当日を対象として60% |

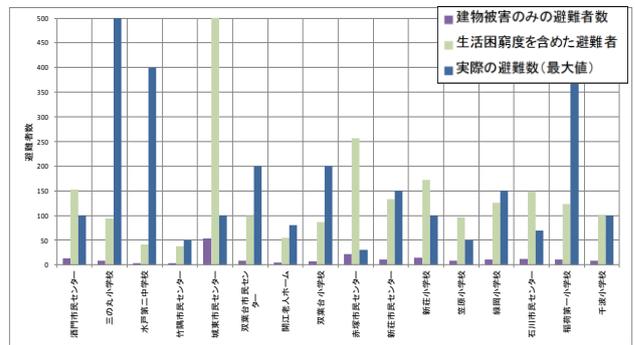


図-5 避難者数の推定結果

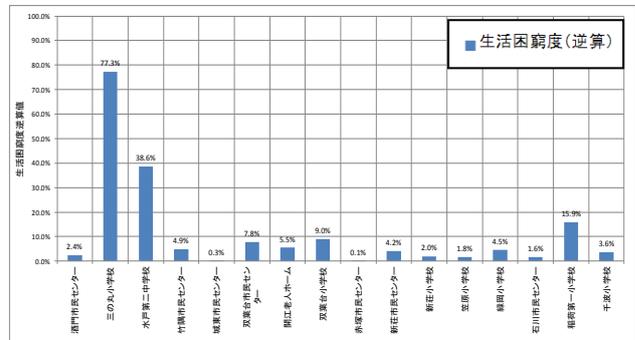


図-6 生活困窮度の逆算結果

表-6 帰宅困難者数の推定結果（上位5市）

| 水戸市で従業・通学している人の常住地と人数 | うち、鉄道利用者 | 水戸市からの距離 | 帰宅困難率 | 帰宅困難者数 | |
|-----------------------|----------|----------|--------|--------|------|
| 笠間市 | 8,225人 | 2,188人 | 15.1km | 33% | 721人 |
| 日立市 | 6,449人 | 1,715人 | 10.3km | 22% | 685人 |
| ひたちなか市 | 14,065人 | 3,741人 | 6.6km | 14% | 542人 |
| 那珂市 | 3,872人 | 1,030人 | 30.5km | 67% | 384人 |
| 常陸大宮市 | 2,995人 | 797人 | 21.3km | 46% | 370人 |



図-3 水戸市における避難所の分布

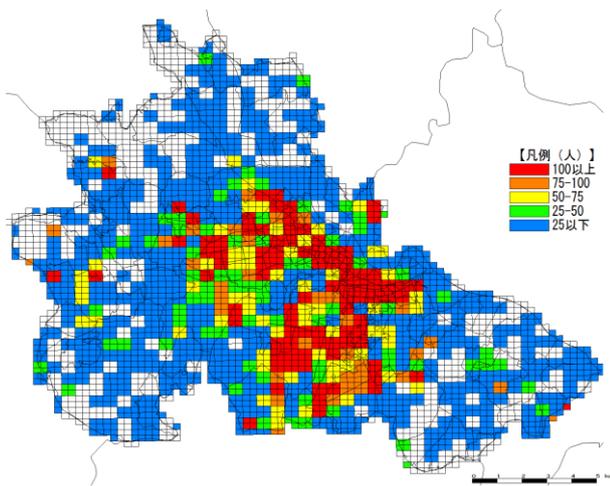


図-7 帰宅困難者数の分布

d 生活困窮度に関する考察

生活困窮度がどの程度であるかを推定するために、実際の避難数から生活困窮度を逆算した。具体的には実際の避難者数から建物被害による推定避難者数を差し引き、対象内（ここでは避難所を構成するポロノイ図内）の人口で除した。その結果が図-6である。この結果より、三の丸小学校、水戸第二中学校および稲荷第一小学校の率が高いことがわかる。前者2つは帰宅困難者の影響によるものであり、生活困窮度の数値としての妥当性はなく、稲荷第一小学校は津波の影響により生活困窮度が高くなったと考えられる。この3つを除き、平均値を算出すると生活困窮度は3.7%となった。

避難者数推定アルゴリズムの検討部分に示した余震への不安の影響は10%（図-2参照）であり、これに避難所と避難所外の比率（60：40）を考慮すると、生活困窮により避難所へ避難する割合は6%程度となる。

(4)帰宅困難者数の推定

国勢調査の従業地・通学地による人口・産業等集計より水戸市で従業・通学する人の常住地を整理した結果、水戸市で常住が60%、他市区町村常住が39%、他県に常住が1%であった。水戸市在住の60%については帰宅困難者が発生しない設定とした。残りの40%の他市区町村と他県に常住している人について、水戸市からの距離に応じた避難率を設定した。なお、式(2)に示した帰宅困難率算定式は、45.9km以上は帰宅困難率が100%となるため、水戸市からの距離が45.9km未満の他市町村を対象に整理し、帰宅困難率及び帰宅困難者数を算出した。その結果、帰宅困難者数の多かった5市を表-6に示す。水戸市に従業・通学している帰宅困難者数の総数は7,618人となった。水戸市へのヒアリングにより、水戸駅周辺の帰宅困難者が4,000名程度であったことと比較すると1.9倍多く推定された。水戸駅まで到達でき

ない、もしくは、水戸駅以外が最寄りであった帰宅困難者も多数いたと考えられる。

推定した帰宅困難者は水戸市全域の帰宅困難者であるため、従業者数を用いて各メッシュに振り分ける。図-7に水戸市の帰宅困難者の分布を示す。

4. おわりに

本稿では、避難者・帰宅困難者の推定手法について整理した上で、既往の手法では考慮していない余震への恐怖といった精神的な避難要因について避難者数推定アルゴリズムへの組み込みを行った。また、全国的にデータが整備されている国勢調査の人口メッシュデータ等を用いて、避難所単位に避難者数を推定するアルゴリズムを構築し、水戸市をケーススタディとして避難者数と帰宅困難者数を推定した。

今後の課題として、イベント開催等により観光客が多数存在する場合における帰宅困難者の推定及びその対応についても検討していく必要がある。東日本大震災当日は偕楽園において梅祭りが開催されており、その観光客が帰宅困難者となる事例も多かったことが水戸市へのヒアリングより把握できた。観光客は土地鑑もないため、大規模災害時は帰宅困難者として避難所に集まると思われる。特に近年は訪日観光客が増加しており、言葉もわからない帰宅困難者への対応等、避難所運営が多様化していく必要があると考えられる。

謝辞

本検討を進めるに当たり、避難所データの提供及びヒアリング実施にご協力を頂いた、水戸市市民協働部地域安全課危機管理室及び情報政策課の方々に謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土強靱化基本計画：内閣官房HP(2016.4.22アクセス)
http://www.cas.go.jp/seisaku/kokudo_kyoujinka/kihon.html
- 2) 首都直下地震の被害想定項目及び手法の概要～人的・物的被害～：中央防災会議首都直下地震対策検討ワーキンググループ，2003
- 3) 室崎益輝，流郷博史：阪神淡路大震災における市民の初期対応行動に関する研究，地域安全学会論文報告集 Vol.6, pp205-212, 1996
- 4) 東京都防災 HP：各被害の想定手法（自宅建物の被災度別避難率）
- 5) 木村玲欧，林春男，立木茂雄，田村圭子，堀江啓，黒宮 亜季子：新潟県中越地震における被災者の避難行動と再建過程—総務省消防庁及び京都大学防災研究所共同実

- 施調査一，地域安全学会論文集 Vol.7, pp161-170, 2005
- 6) 白 珉浩，佐土原 聡，村上 處直：ライフライン機能停止による集合住宅での機能支障とその対応に関する研究，地域安全学会論文集 Vol.1, pp119-124, 1999
- 7) 庄司 学，伊藤 めぐみ：地震時における避難行動とライフラインの機能不全に対するリスク認知，地域安全学会論文集 Vol.8, pp109-119, 2006
- 8) 能島 暢呂，亀田 弘行，林 春男：地震時のライフライン機能障害に対する利用者の対応システムを考慮した生活支障の評価法，地域安全学会論文報告集 Vol.3, pp195-202, 1993
- 9) 塩野 計司，宮野 道雄，小坂 俊吉：建物被害およびライフライン震害との関連でみた避難者の発生状況，地域安全学会論文報告集 Vol.7, pp140-143, 1997
- 10) 能島 暢呂，亀田 弘行，林 春男：地震時ライフライン機能障害による生活支障の評価：アンケート調査に基づく考察，地域安全学会論文報告集 Vol.4, pp251-259, 1994
- 11) 渡辺 千明，岡田 成幸：1995 年兵庫県南部地震後の被災地における支援の需要と供給の実態，地域安全学会論文報告集 Vol.7, pp310-313, 1997
- 12) 塩野 計司，小坂 俊吉，宮野 道雄：ライフラインの耐震化による短期的避難需要の低減，地域安全学会梗概集 Vol.9, pp132-135, 1999
- 13) 佐藤 翔輔，塩野 計司：地震によるライフライン停止と住宅損傷を考慮した短期的避難需要の評価モデル，地域安全学会論文集 Vol.5, pp299-308, 2003
- 14) 広瀬弘忠：災害の社会科学—災害時の人間行動—，自然災害科学 15 Vol.2, pp103-115, 1996
- 15) 佐藤健，恋水康俊，昆野辰樹：東日本大震災における仙台市内の避難者発生地域特性，日本地震工学会論文集 第12巻，第4号（特集号）, 2012
- 16) 国土交通省気象庁ホームページ 余震について(2016.4.22 アクセス)
http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/aftershocks/bousai_aftershock.html#time
- 17) 東日本大震災の記録（茨城県，2013）(2016.4.22 アクセス)
<http://www.pref.ibaraki.jp/seikatsukankyo/bousaikiki/bousai/kirokushi/kirokushihp.html>
- 18) 堀切 真美，小谷 通泰：阪神・淡路大震災後における住民の避難行動に関する分析，土木計画学研究・論文集 Vol. 17, pp 819-826, 2000
- 19) 小坂 俊吉：災害時の広域避難行動の整理：災害イメージの構築へ向けて，地域安全学会論文報告集 Vol.3, pp211-218, 1993
- 20) 天国 邦博，呂 恒儉，望月 利男：阪神・淡路大震災における豊中市の被害状況に関する一考察，地域安全学会論文報告集 Vol.5, pp29-41, 1995
- 21) 阪田 弘一，森田 孝夫：宮城県北部地震における避難所選択行動と避難者数推移，地域安全学会梗概集 Vol.13, pp45-46, 2003
- 22) 竹谷 修一，岩見 達也：新潟県中越地震におけるライフライン復旧と避難者の推移について，地域安全学会梗概集 Vol.17, pp87-90, 2005
- 23) 宮野 雄，北本 裕之，天国 邦博：1995 年兵庫県南部地震における緊急避難行動および避難所生活に関する調査，地域安全学会論文報告集 Vol.5, pp81-88, 1995
- 24) 天国 邦博，呂 恒儉，望月 利男：兵庫県南部地震における豊中市の避難者実態に関する考察，自然災害科学 15 Vol.4, pp287-302, 1997