

水害時の垂直避難を考慮した避難所の収容状況に関する研究

Accommodation status of evacuation shelters considering vertical evacuation in flood

北見工業大学 ○学生会員 小浦 瑞生(Mizuki Koura)
北見工業大学 正会員 高橋 清 (Kiyoshi Takahashi)

1. はじめに

我が国では令和2年に発生した台風第10号による暴風、大雨等をはじめ、令和2年7月豪雨、平成30年7月豪雨など大規模な災害が多発している。水害は地震などの突発的に発生する災害ではなく、観測情報をもとにある程度予測可能な災害であるため、早期避難を行うことで人的被害を最小限に抑えることができると考えられる。

また、令和2年の新型コロナウイルス感染拡大を受け、避難所においても三密（密閉、密集、密接）を避けることが求められている。そのため、避難所での1人当たりの面積を4㎡にすることが必要とされている。しかし、多くの自治体では1.65㎡/人を基本としているため、収容人数が減少し避難所が不足する可能性があり、その対応として、在宅避難や青空避難など分散避難が求められている¹⁾。事実、令和2年台風第10号において、109の自治体で合計約500箇所の避難所で収容人数を超える事態となった。原因として、109の自治体のうち86の自治体が新型コロナウイルス感染症対策を行ったためであったと報告されている²⁾。これらのことから、限られた収容人数を考慮し、避難所の収容状況を明らかにすることは重要である。

これまで、洪水や地震による津波からの避難においては、原則徒歩による避難を行い、自動車による避難は禁止とされていた。しかし、東日本大震災を契機に、車による避難の必要性も注目されている³⁾。2012年の中央防災会議において修正された防災基本計画では、避難は原則徒歩とするものの、やむを得ない場合には自動車による避難が認められるようになった。しかし、自動車避難を行うことによる、避難所の駐車場不足を解決することは重要な課題である。

そこで本研究では、北見市北見自治区における水害発生時の避難を対象に、自宅での垂直避難を考慮した際の避難者数と避難車数の推定を行うことで、収容状況を明らかにし、避難所の評価を行うことを目的とする。

2. 既存研究

避難所の収容人数に着目した研究として、竹内ら⁴⁾や佐藤ら⁵⁾の研究がある。竹内ら⁴⁾は、津波災害時における避難所の容量を考慮した避難状況の評価を行い、最も近い避難所の容量が限界を超えたため避難できず、4番目に近い避難所への避難が必要となる人ができることを示した。佐藤ら⁵⁾は、避難時間圏内の避難場所の総収容人数を累積収容人数と定義し、累積収容人数を考慮することで避難者全員が津波到達時刻までに避難場所へ避難できることを示した。

自動車での避難を考慮した研究として、長尾ら⁶⁾は、避難シミュレーションを行い、避難所の駐車台数を考慮

したとき、避難所に入れない車が発生することで渋滞が延伸することを示した。

これらの既存研究より、避難所の収容人数や自動車での避難に着目した研究は行われているが、分散避難の1つである自宅での垂直避難と避難所の収容人数を考慮し、避難者数と避難車数から収容状況に着目した研究はかならずしも多くない。また、新型コロナウイルス感染症の対策として、1人当たりの面積を4㎡と仮定した避難所の収容状況に着目した研究はこれから本格的に行われると考えられる。そこで、本研究では自宅での垂直避難を考慮したときの避難者数と避難車数から、避難所の収容状況を明らかにする。また、避難所の収容人数を自治体の公表人数とした場合や、1人当たりの占有面積が増加した場合の収容状況の違いを明らかにする。

3. 研究対象

研究対象地域は北見市北見自治区とした。研究対象地域を図-1に示す。北見自治区を流れる常呂川と無加川において、想定最大規模の降雨による浸水を想定する。また、北見自治区にある72箇所の避難所のうち、浸水想定域外にある53箇所の避難所に避難を行うとする。北見自治区において、浸水想定域内の人口は31,100人である。河川左岸に浸水想定域内の約70%が住み、46箇所の避難所があるため、左岸に人口と避難所が偏っている地域である。また、北見市では避難所の1人当たりの面積を3㎡とし、53箇所の収容人数は合計30,520人と公表している⁷⁾。そのため、新型コロナウイルス感染症対策を行った場合の収容人数は公表収容人数の3/4となり、合計22,790人になる。また、避難所の収容人数は浸水想定域内の人口よりも少ないため、浸水想定域内の全員を避難所で受け入れることはできない。そのため、北見自治区は想定浸水深が低い場所では自宅での垂直避難を行うなど、分散避難を行う必要がある地域であると考えられる。

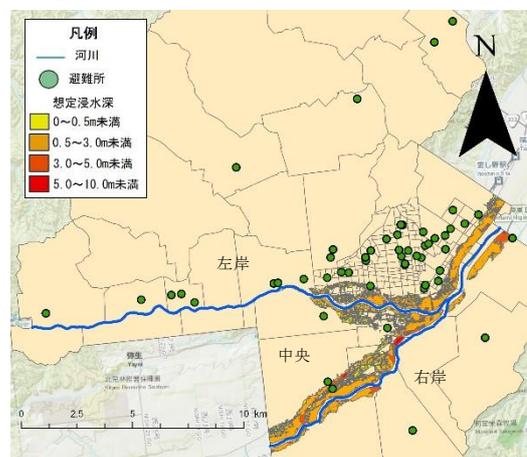


図-1 研究対象地域

4. 分析方法

4.1 前提条件

(1) 避難開始のタイミング

水害発生時の住民がとるべき行動は、内閣府によって5段階に分けられ、情報と行動の対応が示されている⁸⁾。表-1に警戒レベルごとの住民が取るべき行動と、発令される情報等を示す。避難準備・高齢者等避難開始は警戒レベル3として発令され、高齢者等の避難を促す。また、避難勧告は警戒レベル4として発令され、全員の避難を促す。警戒レベル5はすでに災害が発生している状況であるため、警戒レベル3、4で避難を行う必要がある。そこで、本研究では警戒レベルが3から4にあげられるまで十分な時間があり、高齢者の避難が完了した後、その他の住民が避難を開始すると仮定する。また、本研究では75歳以上を高齢者として分析を行う。

表-1 警戒レベル別のとるべき行動と避難情報

| 警戒レベル | 住民がとるべき行動 | 避難情報等 |
|-------|----------------------|--------------------|
| 5 | 命を守る最善の行動 | 災害発生情報 |
| 4 | 危険な場所から全員避難 | 避難勧告 (避難指示(緊急)) |
| 3 | 危険な場所から 高齢者などは避難 | 避難準備・高齢者等 避難開始 |
| 2 | ハザードマップ等で 避難方法を確認 | 大雨注意報 洪水注意報 |
| 1 | 最新情報に注意 | 早期注意情報 |

(2) 避難方法の決定

本研究では、自宅から避難所に到着するまでの時間を避難時間とする。全国都市交通特性調査⁹⁾の無理なく休まずに歩ける距離を参考に、徒歩による避難時間は30分未満とした。徒歩で避難所に到着できない人は、自動車を利用して避難を行うとする。徒歩による避難速度は栗原¹⁰⁾の研究を参考に、75歳未満は2.97km/h、75歳以上は1.98km/hとする。また、自動車の避難速度は8.87km/hとする³⁾。

(3) 避難する避難所の決定

竹内ら⁴⁾の研究を参考に、避難所の収容人数を超える人が避難する場合、その避難所に早く到着した人から収容し、避難所が満員になった後に避難してくる人は、順次近い避難所を探し、収容できる避難所に避難する。このとき、容量が一杯になった避難所から近い避難所に避難するのではなく、避難のスタート地点である自宅から順次近い避難所へ避難すると考える。

4.2 避難経路と避難時間の算出

避難経路はGISにより道路ネットワークを利用して、人口500mメッシュの中心点から避難所までの最短経路を求める。本研究では、求められた最短経路の距離を避難速度で除することで避難時間を算出する。

4.3 収容車数の算出

収容車数はGoogle Earthを用いて、各避難所の駐車場の駐車マス数を数え、算出する。駐車マスがない駐車場では、駐車場全体の面積を一般的な駐車方法である後退駐車を想定し、1台当たりの駐車面積18.4㎡で除すことで、収容車数を算出する¹¹⁾。これらにより、算出された

収容車数は53箇所の避難所で合計約3,600台である。

4.4 避難者数の算出

内閣府が公表している台風・豪雨時の避難行動フローでは自宅がハザードマップの浸水想定域内にある場合、原則自宅の外への避難が必要としている。しかし、例外として浸水深よりも高いところに住んでいる場合は、自宅に留まり安全を確保する在宅避難が可能であるとしている¹²⁾。内閣府の避難行動フローと下川町の水害危険度マップを参考に定めた避難フローを図-2に示す¹³⁾。自宅が浸水想定域内にあっても、浸水深が0.5m未満であれば1階建でも在宅避難が可能であるとする。また、浸水深が0.5~3.0m未満であれば、1階建住宅の住民は避難が必要であるが、2階建以上の住宅では垂直避難が可能であるとする。ここで、浸水深ごとの人口を表-2に示す。自宅の階数によって可能な避難方法が異なる浸水深0.5~3m未満の人口が全体の約60%を占めているため、浸水深0.5~3m未満の住民がどの避難方法を選択するかが、避難所の収容状況に大きく影響を与えられられる。そこで、本研究では以下の2つの避難条件で、避難所の収容人数と避難車数を把握する。

避難条件1：浸水深0.5m未満の住民は在宅避難を行い、浸水深0.5m以上の住民は避難所に避難を行う

避難条件2：浸水深0.5m未満の住民は在宅避難を行い、浸水深0.5~3m未満で2階建以上の住宅の住民は在宅避難、1階建の住民は避難所に避難を行う

避難条件ごとの避難者数を求める。まず、北見市の都市計画基礎調査のデータを基に、浸水深0.5~3m未満における住宅の階数ごとの人口を算出する。このとき、住宅の1階建率を式(1)、1階建住宅の人口を式(2)、2階建住宅の人口を式(3)で算出する。河川位置ごとの1階建て率を表-3に示す。また、これらの計算で求められた、条件1、2における避難者数を表-4、自宅で垂直避難を行う人数を表-5に示す。条件1では浸水想定域内の34.6%、条件2では84.1%が自宅での垂直避難が可能であることが明らかになった。

$$1 \text{ 階建率} = 1 \text{ 階建ての住宅数} \div \text{全住宅数} \quad (1)$$

$$1 \text{ 階建の人口} = (0.5 \sim 3\text{m 未満の人口}) \times 1 \text{ 階建率} \quad (2)$$

$$2 \text{ 階建の人口} = (0.5 \sim 3\text{m 未満の人口}) - 1 \text{ 階建の人口} \quad (3)$$



表-2 浸水深ごとの人口

| | 浸水域 全体 | 浸水深 0.5m 未満 | 浸水深 0.5~3m 未満 | 浸水深 3m 以上 |
|-------|-----------|----------------|------------------|--------------|
| 75歳未満 | 26,410人 | 9,210人 | 16,050人 | 1,150人 |
| 75歳以上 | 4,690人 | 1,550人 | 2,940人 | 200人 |
| 合計 | 31,100人 | 10,760人 | 18,990人 | 1,350人 |

表-3 住宅の1階建率

| | 左岸 | 中央 | 右岸 |
|------|-------|-------|-------|
| 1階建率 | 18.2% | 21.2% | 21.3% |

表-4 条件ごとの避難者数

| | 避難条件1 | 避難条件2 |
|-------|---------|--------|
| 75歳未満 | 17,200人 | 4,200人 |
| 75歳以上 | 3,140人 | 760人 |
| 合計 | 20,340人 | 4,960人 |

表-5 条件ごとの垂直避難人数

| | 避難条件1 | 避難条件2 |
|-------|---------|---------|
| 75歳未満 | 9,210人 | 22,210人 |
| 75歳以上 | 1,550人 | 3,930人 |
| 合計 | 10,760人 | 26,140人 |

4.5 避難車数の算出

各避難所における避難車数は、自動車による避難では世帯ごとに1台の自動車に同乗して避難を行うと考え、自動車による避難者数を平均世帯人員(1.86人)で除した値とする¹⁴⁾。

4.6 避難所の収容状況の把握方法

避難条件と避難所の収容人数によって分析は表-6のように4つのCaseに分けて行う。また、本研究では避難所の収容人数に対する避難者数の割合を収容率、駐車場の収容台数に対する避難車数の割合を駐車率とし、避難者全員の避難が完了したときの避難所の収容状況を、収容率と駐車率から表-7のように4つに分類する。次に北見自治区全体としての避難所の収容状況を把握するために、収容率と駐車率を表-8のように点数化する。収容率による点数を収容得点、駐車率による点数を駐車得点とする。収容得点は点数が高いほど避難所が空いていることを表す。また、駐車得点は4点以上であれば、駐車場の収容台数が避難車数に対して多いため、駐車場の整備が整っていること表し、4点未満である場合、駐車場の収容台数を増加させる必要があり、整備に課題がある避難所であることを表す。

表-6 分析のCase分け

| | 公表収容人数 | 4㎡/人としたときの収容人数 |
|-------|--------|----------------|
| 避難条件1 | Case1 | Case3 |
| 避難条件2 | Case2 | Case4 |

表-7 避難所の状況

| | 収容率100%未満 | 収容率100% |
|-----------|-----------|---------|
| 駐車率100%未満 | 状況1 | 状況3 |
| 駐車率100%以上 | 状況2 | 状況4 |

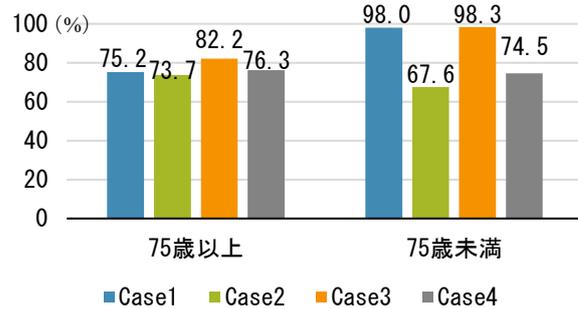
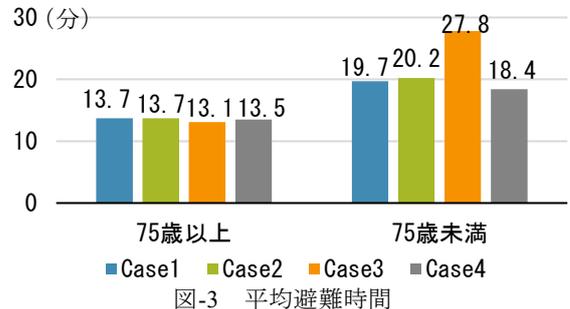
表-8 収容率と駐車率の点数

| 収容率 | 収容得点 | 駐車率 | 駐車得点 |
|-----------|------|------------|------|
| 0~20%未満 | 5点 | 0~50%未満 | 5点 |
| 20~40%未満 | 4点 | 50~100%未満 | 4点 |
| 40~60%未満 | 3点 | 100~150%未満 | 3点 |
| 60~80%未満 | 2点 | 150~200%未満 | 2点 |
| 80~100%未満 | 1点 | 200~250%未満 | 1点 |
| 100% | 0点 | 250%以上 | 0点 |

5. 分析結果

5.1 避難時間と自動車避難の割合

各Caseにおける平均避難時間を図-3、自動車による避難を行った人の割合を図-4に示す。結果として、75歳以上は平均避難時間、自動車避難割合ともに、Caseごとの差があまりないことから、避難条件と収容人数の変化による避難行動への影響が少ないことが明らかになった。一方で、75歳未満のCase3とCase4の平均避難時間を比較すると、Case4の方が約10分短いことから、避難所の収容人数が減少した場合、2階への垂直避難を行うことが、避難時間の短縮につながる事が明らかになった。また、75歳未満の自動車避難割合はCase1とCase2を比較するとCase2のほうが約30%減少し、Case3とCase4でもCase4のほうが20%以上減少している。このことから、2階への垂直避難を行うことで、避難者数の減少だけでなく、75歳未満の自動車による避難割合の減少にもつながることが明らかになった。しかし、本研究の想定よりも避難の緊急性が高かったと考えられる東日本大震災において、自動車で避難を行った割合は57%であったのに対して、75歳以上はすべてのCaseで車避難の割合が70%以上であり、75歳未満のCase1、Case3では98%以上という結果になった。このことから、北見自治区は自動車での避難割合が高い地域であると考えられる。また、北見網走都市圏における75歳以上の免許保有率は50%以下であることから¹⁵⁾、近隣住民の自動車に同乗させてもらうなど共助が必要になると考えられる。



5.2 避難所の状況

避難者全員が避難を完了した時の、避難所状況ごとの避難所数と避難車数を表-9に示す。全避難所の収容車数の合計に対する駐車可能台数の割合を、駐車場利用率とする。避難状況ごとの避難所数をCase1とCase2、Case3とCase4で比較すると、自宅で2階に垂直避難を行うことで状況3と状況4の避難所が減少し、状況1の避難所が増加している、よって、2階への垂直避難を行うことは避難所の混雑解消に有効であると考えられる。また、

同様に避難車数を Case1 と Case2, Case3 と Case4 を比較すると、Case2 と Case4 は Case1 と Case3 の約 20%に減少し、全避難所の収容車数の合計 3,600 台を下回ることが明らかになった。よって、2 階への垂直避難を行うことは駐車場の混雑解消にも有効的であると考える。しかし、Case2, Case4 でも 1,000 台以上の自動車が増加し、駐車不可能である。Case2, Case4 の駐車場利用率は約 23%であることから、利用される避難所は浸水想定域に近い場所に多く、遠い避難所は利用されず駐車場に空きが生じていることが原因であると考えられる。これらのことから、本研究で想定した最寄りの避難所への避難ではなく、収容人数、駐車場ともに空きが生じる避難所への誘導が必要となると考える。このとき、状況別に避難所の特徴を把握することが、適切な情報提供に必要であると考えられる。

表-9 状況ごとの避難所数と避難車数

| | Case1 | Case2 | Case3 | Case4 |
|-------------|--------|-------|--------|-------|
| 状況 1 の避難所数 | 18 | 38 | 6 | 37 |
| 状況 2 の避難所数 | 5 | 5 | 1 | 5 |
| 状況 3 の避難所数 | 6 | 3 | 7 | 4 |
| 状況 4 の避難所数 | 24 | 7 | 39 | 7 |
| 避難車台数 (台) | 10,330 | 1,830 | 10,480 | 1,990 |
| 駐車可能台数 (台) | 2,490 | 820 | 2,690 | 830 |
| 駐車不可能台数 (台) | 7,840 | 1,010 | 7,790 | 1,160 |
| 空き駐車台数 (台) | 1,110 | 2,780 | 910 | 2,770 |
| 駐車場利用率 (%) | 69.1 | 22.7 | 74.7 | 23.1 |

5.3 収容得点と駐車得点

Case ごとの収容得点を表-10、駐車得点を表-11 に示す。結果として、自宅の 2 階に垂直避難を行うことで収容得点は増加し、駐車得点も 4 点未満から 4 点以上に増加することから、北見自治区全体として避難所と駐車場の混雑解消につながる事が明らかになった。また、Case1 と Case2 は収容得点の差が 1.93 点であったのに対して、Case3 と Case4 では収容得点は 3.08 点の差があることから、避難所の収容人数が減少した場合のほうが、2 階への垂直避難による避難所の収容状況への影響が大きいと考えられる。しかし、Case3 と Case4 の収容得点の標準偏差を比較すると Case4 の方が大きく、一部の避難所に避難者が偏っていることが示された。

表-10 収容得点

| | Case1 | Case2 | Case3 | Case4 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|
| 収容得点の平均 (点) | 1.92 | 3.85 | 0.60 | 3.68 |
| 標準偏差 | 2.34 | 1.99 | 1.59 | 2.04 |

表-11 駐車得点

| | Case1 | Case2 | Case3 | Case4 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|
| 駐車得点の平均 (点) | 2.57 | 4.09 | 1.67 | 4.04 |
| 標準偏差 | 2.27 | 1.75 | 2.04 | 1.79 |

6. おわりに

本研究では避難所の収容人数と自宅での垂直避難を考慮し、垂直避難を 1 階で行う場合と 2 階も利用して行う場合において、避難者数と避難車数を推定することで、避難所の収容状況を明らかにした。また、新型コロナウ

イルス感染症への対策を行うことで、収容人数が減少することを考慮した場合の収容状況を明らかにした。また、収容状況から避難所の評価を行った。結果として、自宅の 2 階に垂直避難を行うことで、北見自治区全体としては収容得点、駐車得点ともに増加し、避難所の混雑は改善されるが、利用される避難所に偏りがあるため、駐車不可能な自動車が存在することを示した。

今後は、駐車場の収容台数を考慮し、自動車を駐車できないために、避難所に収容できない場合を想定するなど、より正確な避難所の収容状況を明らかにする必要があると考える。

参考文献

- 1) 新型コロナウイルス感染症と災害避難研究会：新型コロナウイルス感染症流行時の災害と避難環境を考える手引き (地方自治体編～Living with Corona～第二版, 2020.
- 2) 内閣府：令和 2 年台風第 10 号を踏まえた今後の台風における避難の円滑化について (その 2), 2020.
- 3) 内閣府：自動車で安全かつ確実に避難できる方策, <http://www.bousai.go.jp/jishin/tsunami/hinan/index.html>, (2020 年 11 月 24 日閲覧)
- 4) 竹内光生, 近藤光男, 山口満, 濱田洋平：容量を考慮した津波避難場所の評価に関する実証分析—須崎市を対象として—, 土木計画学研究・論文集, vol.20, No.2, 2003.
- 5) 佐藤史弥, 谷本真佑, 南正昭：避難場所の累積収容人数を考慮した津波避難計画に関する研究, 土木計画論文集 D3, Vol.74, No.5, 2018.
- 6) 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：大規模地震における自動車避難行動を考慮した避難施策の評価, 土木学会論文集 D3, Vol.71, No.5, 2015.
- 7) 北見市：北見市地域防災計画, 2020.
- 8) 内閣府：避難勧告等に関するガイドラインの改定～警戒レベルの運用等について～, 2019.
- 9) 国土交通省：全国都市交通特性調査, 2015.
- 10) 栗原航介, 桑原祐史, 沼尾達弥：生活の質から見た避難所の地域特性分析手法の提案, 土木学会論文集 F3, Vol.69, No.2, 2013.
- 11) 国土交通省：道路構造令, https://www.mlit.go.jp/road/sign/kijyun/pdf/19920610tyuusya_jo_u.pdf, (2020 年 12 月 15 日閲覧)
- 12) 内閣府：避難行動判定フロー, <http://www.bousai.go.jp/fusuigai/typhoonworking/pdf/houkoku/campaign.pdf>, (2020 年 11 月 26 日閲覧)
- 13) 下川町 HP: <https://www.town.shimokawa.hokkaido.jp/>, (2020 年 12 月 12 日閲覧)
- 14) 糸島市：防災機能の考え方と災害発生時の役割分担, <https://www.city.itoshima.lg.jp/s005/010/010/020/9bousaikinou.pdf>, (2020 年 11 月 27 日閲覧)
- 15) 国土交通省：<https://www.mlit.go.jp/common/001149630>, (2020 年 12 月 12 日閲覧)