

# 歩行速度に着目した疑似的津波集団避難行動分析

奥野祐介\*・橋本雄一\*\*

## Analysis of Group Behaviors in Quasi tsunami Evacuations Focusing on Walking Speed

Yusuke OKUNO\*, Yuichi HASHIMOTO\*\*

**Abstract:** This study aims to identify the walking speed of evacuation behavior in tsunami disasters and the influence of topography. For the purpose, the study analyzes the satellite positioning log data of group behaviors in quasi-tsunami evacuations. The log data were collected through an originally developed evacuation behavior log data collection system that uses the Global Navigation Satellite System (GNSS) developed for smartphones. The study collected the data in seven coastal municipalities in Hokkaido from 2015 to 2019. As a result of conducting multiple evacuation experiments, the study presented walking speed on flat and sloped terrain. It also showed a difference in walking speed between flat and sloped terrain.

**Keywords:** 津波 (tsunami), 集団避難 (group evacuation), 歩行速度 (walking speed), 衛星測位 (satellite positioning), 傾斜地 (slope)

### 1. はじめに

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震によって津波が襲来し、東北地方を中心に甚大な被害が生じた。この地震及び津波災害を受け、同年12月に津波防災地域づくりに関する法律（平成23年法律第123号）が成立及び施行され、頻度の高い津波（L1）と最大クラスの津波（L2）の2種類の津波を想定することになった。特に、最大クラスの津波（L2）については、「減災」を基本理念とし、ハード対策とソフト対策の両方を重視する「多重防御」の発想により、津波防災地域づくりを推進することとなっている（国土交通省，2020）。

津波災害からの避難については、孫ほか（2014）や最上・橋本（2015）といった聞き取り調査や質問紙調査による避難行動分析研究が多く見られる。しかし、聞き取り調査や質問紙調査には、記憶違いや忘却が含まれるおそれがあり、奥野・橋本（2015）や奥野ほか（2020）などの衛星測位技術によって避難の過程を一定間隔で詳細に記録し、記録された位置情報及び時間情報から分析を行う研究の蓄積が進みつ

つある。

津波災害からの避難においては、地震発生後の迅速な避難と津波が到達しない高所への避難が必要となる。特に、津波が襲来する海岸線は、変化に富んだ地形となっており、地形の高低が避難に及ぼす影響についても事前に把握しておくことが重要である。現在、津波災害からの避難時における地形や避難速度についての検討も進んでおり（日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震対策検討ワーキンググループ，2021）、データ及び分析事例の蓄積が求められているものと推察される。

そこで本研究は、2015年から2019年にかけて北海道内の沿岸7自治体において収集された疑似的津波集団避難行動ログデータ（以下「ログデータ」という。）及び地形データを用い、平地と傾斜地による歩行速度の差異を明らかにする。これにより、津波避難に関するシミュレーション研究の基礎データ整備につながるほか、歩行速度及び地形が避難行動に及ぼす影響が明らかとなり、事前に津波災害からの避難計画を検討又は策定する際の基礎資料になるも

\* 学生会員 北海道大学大学院 文学院 博士後期課程（Graduate School, Hokkaido University）

〒060-0810 北海道札幌市北区北10条西7丁目 E-mail : okunoyusuke@eis.hokudai.ac.jp

\*\* 正会員 北海道大学大学院 文学研究院（Hokkaido University）

のと推察される。

## 2. 研究方法

本研究では、まず、歩行速度を算出する。奥野ほか(2012)と同様に、ログデータに含まれる緯度経度の情報を平面直角座標に変換し、変換した座標値から2点間の距離の公式を用いて移動距離を算出する。そして、その算出した移動距離及び時間情報から歩行速度を算出する。

歩行速度の算出後、エラーログ等を取り除くデータクリーニングを行う。データクリーニングについては、奥野・橋本(2015)の方法により、(1)歩行速度が10km/hを超える点、(2)海上等の歩行不可能な場所にある点、(3)信号によって停止している点を削除する。

次に、地形データから傾斜角を計算する。傾斜角の計算は、ArcGIS Desktop(ESRI ジャパン株式会社)のアプリケーションである ArcMap 及びそのエクステンションである 3D Analyst に格納されている「傾斜角」ツールを使用する。

そして、データクリーニング後のログデータと計算した傾斜角を、ArcMap 及びそのエクステンションである Spatial Analyst に格納されている「抽出値→ポイント」ツールによって重ね合わせ、平地と傾斜地における平均歩行速度を算出し、速度差を明らかにする。

なお、本研究においては、日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震対策検討ワーキンググループ(2021)と同様に傾斜角5%未満を平地、傾斜角5%以上を傾斜地とする。

## 3. 使用データ

### 3.1. ログデータ

ログデータについては、奥野ほか(2015; 2016; 2017; 2018; 2019)の北海道内の沿岸7自治体において非積雪期に収集されたログデータを使用する(図1)。

紋別市においては、2015年5月15日及び5月16日にログデータ収集実験が実施されている(奥野ほか, 2015)。集客施設における来場者や施設従業員等

の集団避難を想定し、土産物店や道の駅等の観光施設から、市指定の避難所への避難経路を事前に3経路(経路1~3)設定している。当該実験では、大学生及び大学院生27名によってログデータを収集している。

苫小牧市及び室蘭市においては、2016年5月21日にログデータ収集実験が実施されている(奥野ほか, 2016)。紋別市と同様に集客施設における来場者及び施設従業員の集団避難を想定し、水族館やマリナー等の観光施設から、両市指定の避難所への避難経路を事前にそれぞれ1経路ずつ設定している。当該実験では、大学生及び大学院生44名によってログデータを収集している。

函館市においては、2017年5月19日及び5月20日にログデータ収集実験が実施されている(奥野ほか, 2017)。大規模イベント開催地や観光施設、温泉地を訪れた観光者の集団避難を想定し、市指定の避難所への避難経路を事前に3経路(経路1~3)設定している。当該実験では、大学生及び大学院生28名によってログデータを収集している。

釧路市及び厚岸町においては、2018年6月30日、7月1日にログデータ収集実験が実施されている(奥野ほか, 2018)。地域住民の集団避難を想定し、釧路市においては、住宅地から市指定の避難所への経路を2経路(経路1~2)、厚岸町においては、多くの住民が利用すると考えられる商業施設周辺から町指定の避難所への避難経路を1経路設定している。当該実験では、大学生及び大学院生36名によってロ

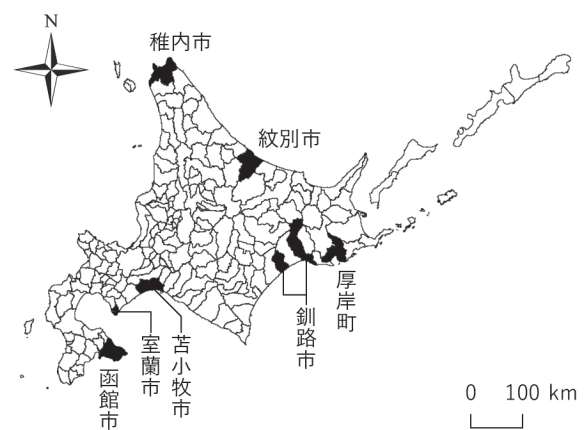


図1 データ収集地域

グデータを収集している。

稚内市においては、2019年6月1日にログデータ収集実験が実施されている(奥野ほか, 2019)。観光者等の避難を想定し、観光施設から市指定の避難所への避難経路を事前に2経路(経路1~2)設定している。当該実験では、大学生及び大学院生28名によってログデータを収集している。なお、稚内市においては、経路1は、津波災害を想定し、経路2は、津波災害を想定した避難の途中で土砂災害が発生し、避難先を変更するという避難経路となっている。

上述のログデータは、スマートフォンにインストールされた位置情報を取得及び送信するアプリケーションによって収集されたものである。収集されたログデータについては、約5秒間隔で位置情報及び時刻情報が記録されている。

### 3.2. 地形データ

地形データについては、基盤地図情報の数値標高モデル5mメッシュ(国土地理院)を使用する(図2(1))。図2(2)は、地形データから作成した傾斜角図であり、平地(傾斜角5%未満、緑色)と傾斜地(傾斜角5%以上、黄色)に分類している。

## 4. 平地及び傾斜地における平均歩行速度

収集したログデータ及び傾斜角図を図3に、また、平地と傾斜地における平均歩行速度を表1に示す。

紋別市においては、経路1においては傾斜地での平均歩行速度の低下が見られた(図3(a))。経路2及び経路3においては、傾斜地は見られたが、交差

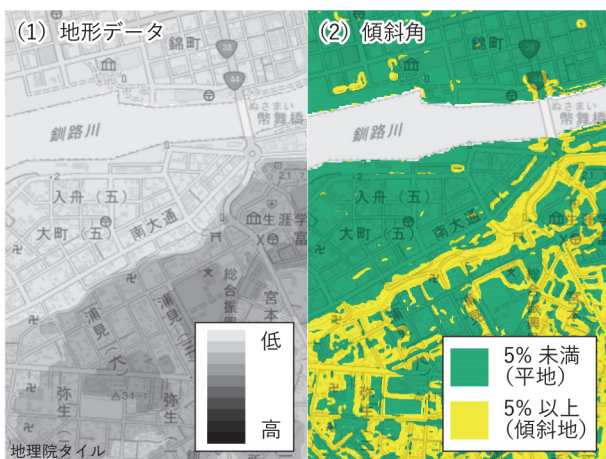


図2 地形データ及び傾斜角

点や横断歩道が少ない直線的な経路が多く、平地と比べ、平均歩行速度は上昇していた(図3(b)~(c))。

苫小牧市においては、平地及び傾斜地における歩行速度の差はほぼ見られなかったが、傾斜地においてわずかに平均歩行速度の低下が見られた(図3(d))。

室蘭市においては、避難先が高所にあり、傾斜地が長かったことも影響し、平地と傾斜地の歩行速度に0.82km/hの速度差が見られた(図3(e))。また、避難先の直前に階段もあり、平均歩行速度低下の要因となっていた。

函館市においては、経路1及び経路2が海岸線周辺から函館山方面に向かう経路であり、傾斜地において平均歩行速度の低下が見られた(図3(f)~(g))。経路3については、傾斜地部分が少なく(図3(h))、経路1及び経路2と比べ、早い速度での移動が見られた。

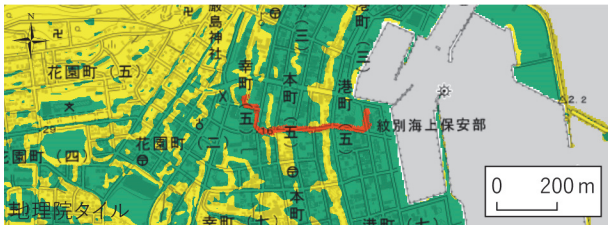
釧路市においては、経路1については、傾斜地の平均歩行速度の低下が見られたが、傾斜地部分が少なく(図3(i))、大きな影響は見られなかった。経路2については、海岸段丘の上へと避難する経路となっており、傾斜地における平均歩行速度の低下が見られた(図3(j))。

厚岸町においては、跨線橋、避難階段を通過する経路であり、傾斜地での平均歩行速度の低下が見られた(図3(k))。

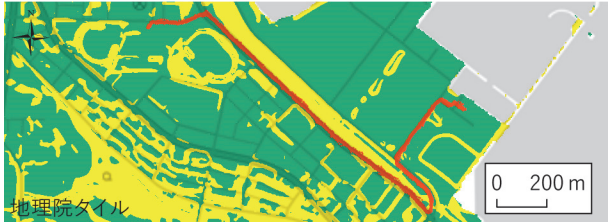
稚内市においては、傾斜地部分が少なく、経路1及び経路2ともに釧路市の経路1と同様に大きな影響は見られなかった(図3(l)~(m))。なお、経路1よりも避難距離が長い経路2のほうが早い速度で移動していた。

## 5. 考察

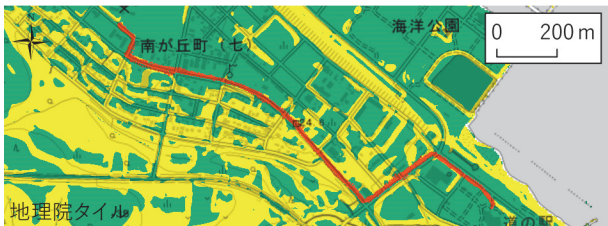
表1のとおり、平地における平均歩行速度が4.94km/h、傾斜地における平均歩行速度が4.68km/hとなっており、傾斜地において歩行速度が低下する傾向が見られた。今回使用したログデータは、大学生、大学院生によるもので、年齢層としては20代が大半を占めているが、高齢者や障がい者、妊婦、幼児等の避難行動要支援者を含む要配慮者が避難する



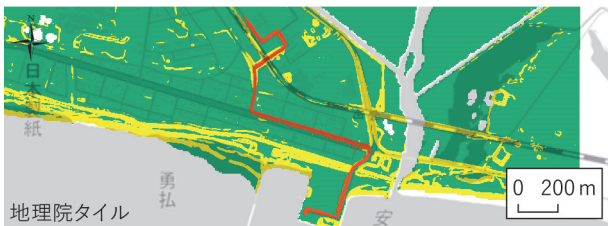
(a) 紋別市 (経路1)



(b) 紋別市 (経路2)



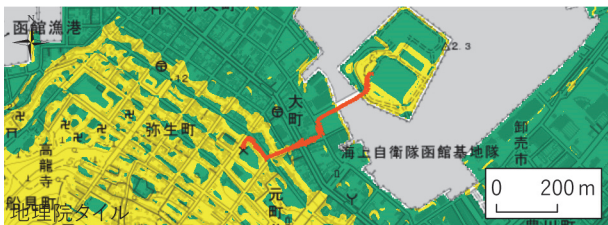
(c) 紋別市 (経路3)



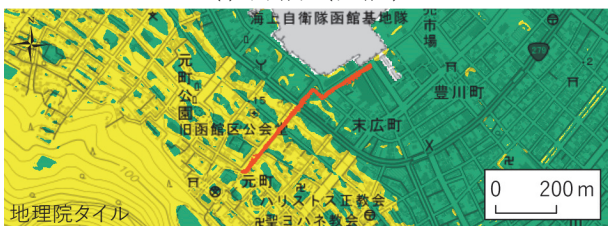
(d) 苫小牧市



(e) 室蘭市



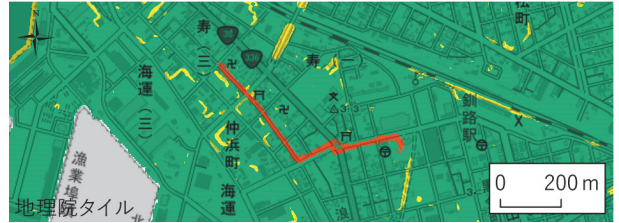
(f) 函館市 (経路1)



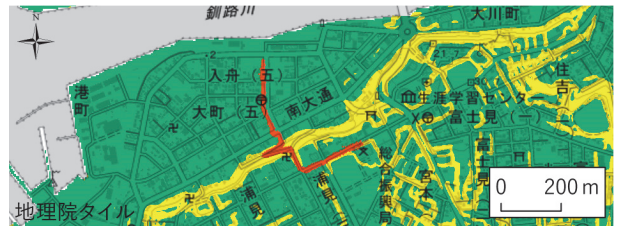
(g) 函館市 (経路2)



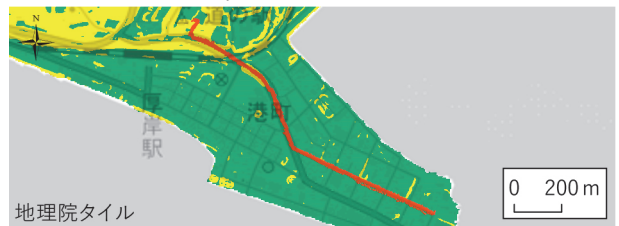
(h) 函館市 (経路3)



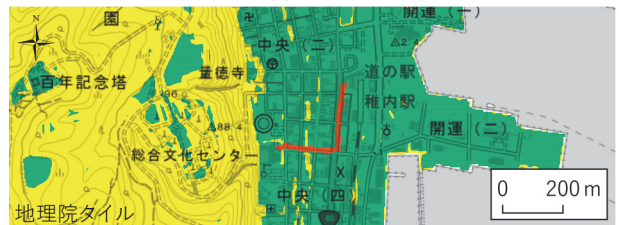
(i) 釧路市 (経路1)



(j) 釧路市 (経路2)



(k) 厚岸町



(l) 稚内市 (経路1)



(m) 稚内市 (経路2)

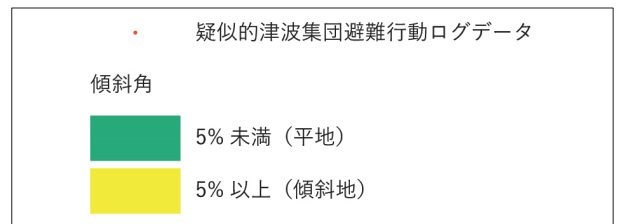


図3 収集データ及び傾斜角

表1 平均歩行速度及びポイント数

市町村	収集年	経路	調査人数 (有効データ数)	平均歩行速度 (km/h) 及びポイント数					
				全体	ポイント数	平地	ポイント数	傾斜地	ポイント数
紋別市	2015	経路 1	17	4.57	1,608	4.68	1,196	4.28	412
		経路 2	20	4.98	6,226	4.89	3,736	5.11	2,490
		経路 3	19	4.97	4,546	4.97	3,271	4.99	1,275
苫小牧市	2016	-	21	5.29	5,409	5.30	4,189	5.24	1,220
室蘭市	2016	-	37	5.24	3,160	5.67	1,489	4.85	1,671
函館市	2017	経路 1	21	4.87	1,973	4.98	1,293	4.65	680
		経路 2	23	4.50	2,158	4.67	1,111	4.31	1,047
		経路 3	23	5.27	2,186	5.27	2,085	5.43	101
釧路市	2018	経路 1	34	4.80	4,366	4.81	4,288	4.30	78
		経路 2	35	4.55	4,430	4.67	2,085	4.43	2,345
厚岸町	2018	-	37	4.78	7,591	4.85	5,477	4.61	2,114
稚内市	2019	経路 1	25	4.47	1,727	4.51	1,657	3.66	70
		経路 2	25	4.87	3,856	4.87	3,852	5.43	4
平均値				4.89	-	4.94	-	4.68	-

場合、本研究の結果と比べて速度差がより大きくなる可能性がある。

また、今回使用したログデータは、5～7月の非積雪期に収集されたものである。北海道のような積雪寒冷地においては、積雪期になると積雪や路面の凍結が見られ、避難がより困難なものとなり、積雪期における津波避難に関する研究も蓄積されつつある（戸松ほか、2017 等）。階段部分において、非積雪期では上りでの速度低下が、積雪期では下りでの速度低下が顕著という実験結果も報告されており（奥野・橋本、2015）、階段を含む傾斜地においては、すべり止めの砂利や凍結防止剤の散布、ロードヒーティング等が無い場合は、さらに速度差が大きくなるものと推察される。

北海道においては、日本海側において地震発生後の津波第一波が最短で5分程度で到達する想定が公表されている（北海道防災会議地震火山対策部会地震専門委員会、2017）。津波災害から避難する場合は、円滑かつ迅速な避難のほかに高所への避難が重要であり、津波災害が発生する前に上述の平地と傾斜地における速度差を考慮した津波避難計画の必要性が示唆された。

## 6. おわりに

本研究では、2015年から2019年の非積雪期に収集されたログデータ及び基盤地図情報の数値標高モ

デル5mメッシュ（国土地理院）から作成した傾斜角データを使用し、平地と傾斜地における平均歩行速度の算出及び速度差について分析を行った。

その結果、傾斜地において平均歩行速度が低下する傾向が見られた。迅速な避難が求められる津波災害からの避難を検討する際に、傾斜地を通過する避難を行う必要がある場合においては、傾斜地における歩行速度の低下を考慮した上で検討を行う必要性が示唆された。

特に、地震発生後から津波が到達するまでの時間が短い地域については、歩行速度の低下が避難の遅延につながるため、重要な検討事項であるものと考えられる。本研究は、迅速かつ円滑な避難が必要とされる津波災害対策を検討する際の基礎資料の整備等に貢献できたものと考えられる。

今後は、幅広い年齢層のログデータ収集や傾斜地におけるログデータを増やした分析を実施する、また、非積雪期だけではなく積雪期における避難行動ログデータの収集及び分析を実施するなど、分析精度の向上に努めていきたい。

## 謝辞

本研究は、文部科学省「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第二次）」及びJSPS 科研費19K01166「千島海溝地震による津波の避難行動モデル化と情報統合システム構築」における成果の

一部である。

## 参考文献

- 奥野祐介・塩崎大輔・橋本雄一（2015）GNSS を用いた津波集団避難実験と移動軌跡データ分析．地理情報システム学会講演論文集，**24**，E-7-2（CD-ROM）．
- 奥野祐介・塩崎大輔・橋本雄一（2016）GNSS を用いた津波集団避難行動に関する移動軌跡データ分析．地理情報システム学会講演論文集，**25**，C-3-5（CD-ROM）．
- 奥野祐介・塩崎大輔・橋本雄一（2017）観光都市における疑似的津波集団避難に関する移動軌跡データ分析．地理情報システム学会講演論文集，**26**，B-4-1（CD-ROM）．
- 奥野祐介・塩崎大輔・橋本雄一（2018）GNSS を用いた疑似的津波集団避難行動分析—北海道釧路市・厚岸町を事例として—．地理情報システム学会講演論文集，**27**，B-4-1（CD-ROM）．
- 奥野祐介・塩崎大輔・橋本雄一（2019）津波と土砂崩れによる複合災害を想定した集団避難行動分析—北海道稚内市を事例として—．地理情報システム学会講演論文集，**28**，D-5-2（CD-ROM）．
- 奥野祐介・塩崎大輔・橋本雄一（2020）疑似的津波集団避難に関する移動軌跡データ分析．地理情報システム学会講演論文集，**29**，B-24-4（CD-ROM）．
- 奥野祐介・橋本雄一（2015）積雪寒冷地における疑似的津波避難に関する移動軌跡データ分析．地理情報システム学会論文集「GIS—理論と応用」，**23**（1），11-20．
- 奥野祐介・深田秀実・大津晶（2012）GIS を用いたカーネル密度推定による観光歩行行動分析手法の提案と実践からの知見．情報処理学会デジタルプラクティス，**3**（4），297-304．
- 国土交通省（2020）津波防災地域づくりに関する法律パンフレット．<<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/point/content/001339675.pdf>（最終アクセス日：2021年8月30日）>
- 孫英英・中居楓子・矢守克也・畑山満則（2014）2014年伊予灘地震における高知県沿岸住民の避難行動に関する調査．自然災害科学，**33**（1），53-63．
- 戸松誠・竹内慎一・渡邊和之・高倉正寛・石井旭（2017）積雪寒冷条件下における津波からの避難行動に関する基礎的研究．地方独立行政法人北海道立総合研究機構調査研究報告，**379**．
- 日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震対策検討ワーキンググループ（2021）資料2 被害想定手法について（案）．<[http://www.bousai.go.jp/jishin/nihonkaiko\\_chishima/WG/pdf/dai5kai/siryoy2.pdf](http://www.bousai.go.jp/jishin/nihonkaiko_chishima/WG/pdf/dai5kai/siryoy2.pdf)（最終アクセス日：2021年8月30日）>
- 北海道防災会議地震火山対策部会地震専門委員会（2017）日本海沿岸の津波浸水想定の見直し報告書平成29年2月．<[https://www.pref.hokkaido.lg.jp/fs/2/3/2/3/9/7/8/\\_nihonkai\\_tsunami\\_wg\\_hokoku.pdf](https://www.pref.hokkaido.lg.jp/fs/2/3/2/3/9/7/8/_nihonkai_tsunami_wg_hokoku.pdf)（最終アクセス日：2021年8月30日）>
- 最上龍之介・橋本雄一（2015）積雪寒冷地における保育園の津波集団避難—北海道釧路市における認可保育園を事例に—．地理学評論，**88**（6），571-590．