

# GPSを用いた海水浴場避難訓練時の行動分析 — 愛知県南知多町を事例として —

GPS-based Movement Analysis of Evacuation Drill at Beach areas  
- A Case Study in Minami-Chita, Aichi-

森田匡俊<sup>1</sup>, 小池則満<sup>2</sup>, 小林哲郎<sup>3</sup>, 山本義幸<sup>2</sup>, 中村栄治<sup>4</sup>, 正木和明<sup>2</sup>

Masatoshi MORITA<sup>1</sup>, Norimitsu KOIKE<sup>2</sup>, Tetsuo KOBAYASHI<sup>3</sup>,  
Yoshiyuki YAMAMOTO<sup>2</sup>, Eiji NAKAMURA<sup>4</sup> and Kazuaki MASAKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 立正大学 地球環境科学部

Faculty of Geo-environmental Science, Rissho University

<sup>2</sup> 愛知工業大学 都市環境学科

Department of Urban Environment, Aichi Institute of Technology

<sup>3</sup> Pivotal ジャパン株式会社

Pivotal Inc.

<sup>4</sup> 愛知工業大学 情報科学科

Department of Information Science, Aichi Institute of Technology

Recent public estimation of tsunami damage has prompted the revision of existing evacuation plans in Japan. It is especially important to establish countermeasures for visitors who are not acquainted with the risk of places near the water. This study evaluates the spatio-temporal evacuation behavior of visitors fleeing from the beach to an evacuation shelter at an evacuation drill. The data of their behavior were tracked using mobile GPS devices and fixed-point video-recordings specifically focused on detecting behavior pattern. In addition, visitor's awareness of the risk was addressed through a questionnaire survey. Through those analyses, having a guide method was found to be a very important factor affecting the visitor's behavior.

**Keywords:** GPS, bathing beach, evacuation drill, behavior analysis

## 1. はじめに

南海トラフを震源とする巨大地震による津波被害想定  
の公表を受けて、これまでの想定より大きな被害が見込  
まれる地域では、津波からの避難計画の見直しや新たな  
避難計画の策定が必要とされている。津波の被害を直接  
的に受ける海岸地域では、地域住民に対する防災計画の  
改定や避難訓練が活発になる一方で<sup>1)</sup>、海水浴場などの  
観光客が多い地域では、周辺地域に関する情報のない観  
光客への避難対策をどのように行うかについて、様々な  
議論がなされている。西尾らは、2004年の地震時にお  
ける観光ホテルの津波対応についてヒアリング調査を実施  
し<sup>2)</sup>、ホテルの関心はほとんどが火災であり、地震津波  
への対応はその延長線上にしかないのが現状であると指  
摘している。増本らは、2006年から2009年にかけて計4  
箇所の海水浴場を対象にアンケート調査を行うとともに、  
シミュレーションによって避難成功率を算出し、初動や  
誘導の重要性を指摘している<sup>3)</sup>。照本は、海水浴場にお  
ける津波避難訓練におけるアンケート調査を実施し、誘  
導のあり方等について考察している<sup>4)</sup>。また吉田らは、

津波避難行動意向について海水浴客にヒアリング調査を  
実施し、行動開始までの時間や避難手段、避難経路等につ  
いて考察を加えている<sup>5)</sup>。

以上の通り、観光客を対象にした海岸部での避難訓練  
は東日本大震災以前より実施されており、アンケート調  
査やヒアリング調査によって避難および誘導のあり方につ  
いての検証も行われている。一方で、実際の訓練にお  
ける避難行動を時間軸の視点から綿密に追跡した事例は  
見当たらない。今後、津波避難のためのより具体的な  
避難訓練を計画していくためには、訓練参加者へのアン  
ケート調査と合わせて、観光客らの行動を詳細に把握す  
ることで、現実的な避難計画策定につなげていくことが重  
要と考えられる。

そこで本研究では、海水浴場の観光客および周辺住民  
を対象とした津波避難訓練において、津波を引き起こす  
地震が発生した時点からの時間軸を考慮した避難行動の  
分析を実施し、津波からの避難のあり方を考える。具体  
的には、海水浴客の避難行動をGPS機器および定点カメ  
ラによって実測するとともに、アンケート調査を行い、  
海水浴場から避難場所までの避難行動を検証することで、

津波避難におけるより良い避難ルート選定や誘導方法の提案に資することを目的とする。

## 2. 調査概要

### (1) 対象地域

本研究では、愛知県南知多町の千鳥ヶ浜（内海海水浴場）で行われた津波避難訓練を調査対象とした（図 1）。2012 年 8 月に内閣府から発表された、南海トラフの巨大地震による津波高・浸水域等及び被害想定や東日本大震災の教訓を踏まえ、南知多町は地域防災計画を全面見直しする方針を明らかにした。その計画の防災対策項目の一つが「津波一次避難場所・地区防災拠点の整備」であり、平成 25 年度以降の課題として掲げられている。また、内海・山海まちづくり協議会「きずなの会」をはじめとして、地域住民による防災活動が盛んに行われている地域である。今回の千鳥ヶ浜での避難訓練は、「きずなの会」が主体となって計画された避難訓練である。前述の内閣府による被害想定によると、千鳥ヶ浜およびその周辺地域のほとんどが 1 メートル以上の浸水域となることが予測されている（図 2）。この想定を基にすると、海水浴場にいる多くの人々が避難すると予測される場所は、図 2 に示した避難場所のうち、西端区公民館とその周辺が有力である。よって、今回の避難訓練では避難目的地を西端区公民館とし、避難訓練はここへ避難する想定で行われた。なお、この公民館およびその周辺は標高が約 10m である。

表 1 に訓練の概要を示す。避難訓練の実施日は 2013 年 7 月 15 日であり、海の日の日であった。当日の天候は晴れ、海水浴場の当日の観光客数は、きずなの会によると約 1 万 2 千人であった。参加者は、訓練後に配布した記念品配布数から 350 名程度であったと推定できる。また、本訓練は売店が多く、海水浴客が多く居る千鳥ヶ浜の南側（浜全体の約三分の 1 の範囲）に限って行われた。

避難訓練は以下の手順で実施された（表 2 参照）。避難訓練開始 1 時間前の 10:00 に、砂浜の海水浴客に避難訓練への参加を呼びかけるとともに登録受付を開始した。登録した海水浴客には、避難訓練への参加者であることがわかるようにするため、緑色のリストバンドを配布し、その場で手首に装着してもらった。なお、地域住民には事前に避難訓練を実施することが南知多町から告知されていた。11:00 に大地震が発生したという想定のもと、スピーカーによって大地震発生のアナウンスを海水浴場全体に流した。この時点では、地震の揺れから身を守るため、参加者にはその場に待機することを促すアナウンス内容であった。その 3 分後、再びスピーカーを利用し大津波警報を発令し、同時に避難開始を促した。この警報発令を機に参加者は避難を開始し、地元住民の誘導によって西端区公民館まで避難した。その後、11:30 までには西端区公民館への避難が完了し、参加者は随時解散した。なお、避難に関しては 2 つの誘導ルートが設定されており、参加者は図 3 に示した 2 つのルートのどちらかを通り避難場所まで移動した。本調査報告では、便宜的に、主に避難場所の西側を通るルートを「西ルート」、主に避難場所の南側を通るルートを「南ルート」と呼ぶ。

### (2) 調査内容

本調査では、海岸から公民館までの参加者の避難行動を GPS 機器および定点カメラによって追跡した。具体的

な調査手順は以下のとおりである。

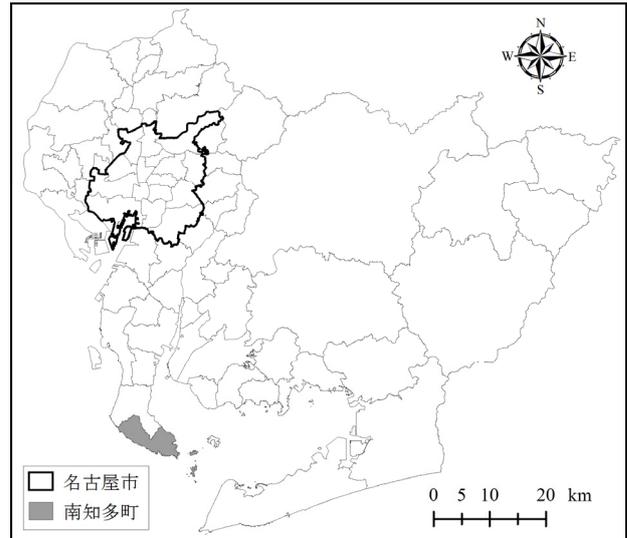


図 1 南知多町の位置

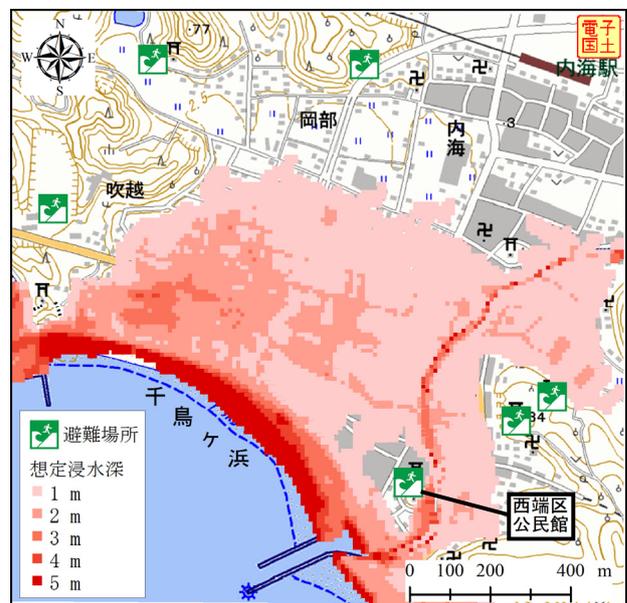


図 2 千鳥ヶ浜周辺の想定浸水深

表 1 津波避難訓練の概要

日時	2013 年 7 月 15 日 (月) 11:00~12:00
場所	愛知県知多郡南知多町 千鳥ヶ浜 (内海海水浴場)
対象	海水浴客等の観光客及び周辺住民
参加者数	350 名程度
想定条件	大地震によって千鳥ヶ浜周辺に大津波警報が発表された状況

表 2 避難訓練当日のタイムスケジュール

10:00	参加者受付開始
11:00	地震発生のアナウンス
11:03	大津波警報発令のアナウンス 避難誘導開始
11:30	避難完了

#### a) 対象地域の分割と調査員の配置

本研究では、参加者の自然な動きを把握するため、調査員を海水浴場になるべく均等に配置し、近くの参加者

を追跡する方法を採用した。図 3 にその配置方法を示した。海水浴場を 18 のグリッドに分割し、それぞれのグリッドの中心地点に GPS 機器を装着した調査員を配置し、避難開始まで待機させた。便宜的に個々のグリッドには ID として番号を付与した。調査員には海水浴場をグリッドに分割した地図をあらかじめ配布し、道路や他の調査員との位置関係から自身の担当グリッド中心地点に待機するよう指示した。なお、調査員に配布した地図には避難場所や避難誘導ルートは掲載していない。



図 3 避難誘導ルートとグリッド分割

#### b) 避難者の追跡

調査員には、訓練開始 15 分前から担当するグリッド中心地点にて待機し、GPS の動作確認、および参加登録の受付時に配布したリストバンドを装着している参加者の把握を行っておくように指示した。大津波警報のアナウンス発令後、調査員は担当グリッド内にいる参加者の動きに合わせて追跡調査を開始し、避難場所に到着後、解散の合図があるまで継続した。

追跡に際しての調査員への指示は下記の通りである。

- ①グリッド内にリストバンドを装着した参加者が複数いる場合は最寄りの参加者を追跡する。もしグリッド内にリストバンドを装着した参加者がいない場合は、調査員の判断で避難行動を行う。なお、訓練終了後に調査員へ聞き取りを行った結果、全員がリストバンドを装着した参加者を追跡していた。
- ②最寄りの参加者が避難行動を開始してから追跡を行う。
- ③途中参加者が立ち止まった場合は、追い越さず後方に待機する。
- ④避難誘導をはじめ、声掛けは一切行わない。

以上の指示は、訓練 3 日前に行った調査員向けガイダンス時および当日の朝に資料と口頭にて行った。なお、調査員には避難ルートや避難場所がどこなのかを知らせていない。また参加者に追跡調査を実施することはアナウンスしていない。

このような追跡調査を実施して得られる GPS データは一部の参加者の避難行動記録であるため、後述するような定点カメラによる撮影と、参加者へのアンケート調査を併せて実施し、GPS データにより把握できる避難行動を検証することとした。

本研究では、GPS 機器として Holux 社の wireless GPS Logger M-241 を 14 台、同じく Holux 社の M-1200E を 1 台、そして TranSystem 社の TripMate 852 を 3 台採用し、1 秒間隔で調査員の位置情報を記録した。

#### c) 定点カメラ

GPS 機器は、電波の受信状況によって精度に乱れがでる。特に今回の避難ルートは、避難場所のある集落内では天空率が低く、測位精度が下がることが予想されたため、図 4 の赤丸数字で示した計 5 箇所に設置した定点カメラにより、参加者が通過する様子を撮影し、GPS データと照合することで、避難行動を観察することとした。あわせて単位時間当たりの通過人数の推移、それから推察される混雑の度合いと速度低下の様子について、示すこととする。なお、通過人数は、10 秒ごとに通過した人を目視で数え上げることで計測した。計測方法について写真 1 を例に述べる。写真 1 は定点カメラ②の映像の一部である。訓練開始時刻から 10 秒おきに映像を止め、右端（海岸方向）から矢印の方向に向かって現れる人を 10 秒間カウントする。その後、映像を進めて、先ほどカウントした人が左端（避難場所方向）の矢印の方向へ移動したのを確認する。もしこの際に右端に引き返した場合はカウントしない。また左端から右端に移動した人もカウントしない。この作業を訓練開始から訓練終了まで繰り返し行い、定点カメラ設置箇所ごとの 10 秒おきの通過人数として求めた。

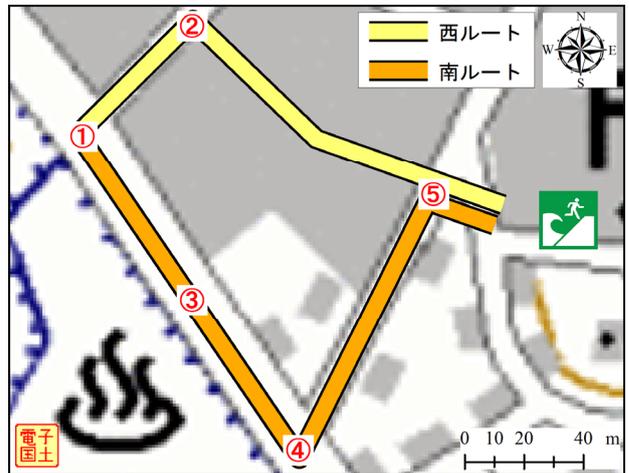


図 4 定点カメラの設置箇所



写真 1 通過人数の計測例

#### d) アンケート調査

アンケート調査はタブレット端末を用いた対面方式とした。これは、海水浴客を対象としているため、記入台や筆記用具等を準備しての調査が難しいと思われたこと、真夏の炎天下における調査のためスピーディに行う必要があったこと等が理由である。

具体的には、

- ①観光客、周辺住民ともに、砂浜に設置された受付において、RFID (Radio Frequency Identification) タグの

貼り付けられたリストバンドを参加者に配布し、参加登録を行う。このとき、タブレット端末でRFIDタグを読み取るとともに属性（年齢、居住地、性別）についての質問を行い、入力・登録する。RFIDタグは数センチのサイズの非接触型通信に対応する識別タグであり、本研究で用いたものは自ら電源を持たない極めて薄いタイプである。

②避難場所である西端区公民館において、参加者のRFIDタグを再びタブレット端末で読み取る。参加後の意見をたずねて入力することで、登録時のRFIDタグのデータと照合されて、アンケートの回答集計表として最終的に出力することができる。

当日、使用したタブレット端末はGoogle社のNexus7で、台数は11台である。調査員は一人一台のタブレット端末を持ち、受付終了後、避難場所へ移動し、避難してきた参加者に次々と声をかけして調査を実施した。アンケート回答者は188名であった。

質問項目は以下の通りであり、いずれも選択式である。これらはタブレット上に表示されているが、必要に応じて調査員が読み上げを行った。今回は、初めての訓練ということもあり、参加者、すなわち避難意志のある人が避難を行うことができるかどうかを検証することが訓練の大きな目的でもあったため、放送や避難ルートが適切であったかどうかをたずねる設問を中心に構成した。また、設問は、訓練開始から時間順になっている。

(1) 津波避難訓練の放送が開始されたとき、あなたはどこにいらっしゃいましたか。

1. 海で遊泳中
2. 砂浜
3. 駐車場
4. 自宅内
5. その他

(2) 放送から避難を開始するまでにどのくらい時間がかかりましたか。

1. 30秒以内
2. 1分以内
3. 3分以内
4. 5分以内
5. 10分以内
6. 10分以上

(3) 津波避難訓練の放送が開始されたときの音声は聞き取りやすかったですか。

1. 聞き取りやすかった
2. 聞き取りにくかった

(4) 津波避難訓練のために放送された説明内容は分かりやすかったですか。

1. 分かりやすかった
2. 分かりにくかった

(5) 避難を開始される時、どこに向かって移動すればいいかすぐにわかりましたか。

1. すぐに分かった
2. すぐには分からなかった

(6) 避難している際の案内や誘導は分かりやすかったですか。

1. 分かりやすかった
2. 分かりにくかった

(7) 避難場所までの移動途中で混雑のため歩きにくい状況はありましたか。

1. 歩きにくい所があった
2. 歩きにくいところはなかった。

(8) 南海トラフ地震により、内海地区に大きな津波が来襲する可能性があることをご存じでしたか。

1. 知っていた
2. 知らなかった

(9) 今回の避難訓練によって、地震や津波に対する意識は変わりましたか。

1. 変わった
2. とくに変わらなかった

### 3. 調査結果および考察

#### (1) GPSデータの可視化

取得したGPSデータを地理情報システム上に可視化したものが図5である。

GPSの位置情報は点オブジェクトとして表現され、その連なりが各調査員の移動した軌跡となる。調査員を区別するため、図5ではそれぞれの調査員の軌跡を異なる色で表示している。なお、当日の海水浴客の分布状況などから、すべての調査員が担当するグリッド中心地点付近から追跡を開始できたわけではない。また、対象地域は海岸であるため、潮の干満の差による海域と陸域との境界線が定まらない。そのため、図5では複数の調査員が海域から移動しているように表示されているものの、当日の訓練開始時は干潮であったため、調査員全員が陸域から追跡を開始している。

図5から、避難訓練参加者を追跡した調査員（以下、簡便に訓練参加者と言う。）が当初の避難計画どおり2つのルートのいずれかを通り避難場所まで移動したことが把握できる。また、訓練参加者が砂浜からまず砂浜に沿っている道路へ到達してから避難場所へ向かうという行動が顕著に示されている。砂浜上は通路選択の規制がないため、避難場所に向かう直線ルートが最短距離であるにもかかわらず、その最短距離ルートを選択せず、まずは砂浜に沿った道路へ向かう行動を選択している。砂浜を歩くことによる歩行速度の低下、そして体力低下を防ぐ行動であると推測される。これらは、吉田らが海水浴客を対象に行った行動意向のヒアリング調査でも指摘されているが<sup>5)</sup>、実際の訓練データによっても改めて指摘することが出来る。また、千鳥ヶ浜の防潮堤がどこからでも砂浜に入りやすい構造になっていることも要因の1つとして考えられる。防潮堤が高く出入りが限られる海水浴場では、一点に集中する可能性があり、注意が必要である。



図5 可視化されたGPSデータ

#### (2) 避難訓練行動の時空間分析

図5からは避難ルートの把握が可能であるが、行動パターンへの把握には限界がある。そこで、GPSデータに記録されている時間の情報を活用し、GPSの軌跡を可視化することにより、時空間的な避難行動パターンを発見することを試みた。その結果、以下の項目について顕著な行動パターンが明らかになった。

##### a) ルートと避難時間の差異

訓練参加者の避難開始地点、および避難が開始されてから、避難場所へ到達するまでの時間（以下、簡便に避

難時間と言う。)を示したものが、図 6 である。この避難開始地点および避難時間は、GPS の軌跡を訓練参加者ごとに目視で確認することに加え、訓練開始時刻から 15 秒ごとの累積移動距離を求めることで計測した。目視による誤差や GPS 機器の位置情報取得の誤差を考慮し、累積移動距離の増加分は、15 秒間での移動が直線距離で 5m 以上あるかないかをおおよその目安とした。また避難時間は 15 秒単位で計測した。この図を見ると、たとえば 8 番グリッドの訓練参加者の避難時間 (7 分) は、避難距離がより長い 2 番, 6 番, 9 番グリッドの訓練参加者のそれよりも長い。このことから、訓練参加者の初期位置が避難時間と比例関係にあるとは必ずしも言えないことが明らかになった。

上記の結果を踏まえ、避難時間をルートとの関係から見てみると、図 6 より 1 番, 3 番, 8 番グリッドの訓練参加者は、その周りの訓練参加者よりも避難時間が長く、かつ南ルートを選択していることがわかる。たとえば、7 番グリッドの訓練参加者の避難時間と 8 番グリッドの訓練参加者のそれとを比較すると、後者は前者より 3 分ほど多く時間がかかっている。これらの訓練参加者が南ルートを選択した理由は、西ルートに混雑が発生していると判断したルート分岐点の誘導員が、西ルートを塞いで南ルートへ誘導し始めたことによる。この結果から、ルート上での混雑の発生とそれに関連する誘導のあり方が避難時間に少なからず影響を与えることが確認できた。なお、南ルートは海岸線と平行に移動するルートのため海から遠ざかることができず、津波避難の原則に照らせば必ずしも良いルートとは言えない。すなわち、西ルートの混雑と、海からすぐには離れられない、というトレードオフの関係が存在しており、分岐点におけるバランスのとれた誘導が極めて重要であるといえる。

#### b) 避難開始時間の差異

GPS データを用いた避難時間の計測に際して、避難開始時刻を求めた。図 7 に訓練参加者別の避難開始時刻を示す。この図から、大津波警報発令のアナウンスおよび避難誘導が 11 時 3 分に開始されてから、訓練参加者が実際に避難を開始するまでに最短でも 3 分 30 秒 (3 番グリッド)、最長では 5 分 15 秒 (13, 14 番グリッド) の時間がかかったことがわかった。1 分 1 秒を争う津波からの避難行動の初動としては、どのグリッドも総じて遅かったといえる。

また図 7 からは、避難行動の初動に関するパターンにも差異があることが明らかになった。南東部の 4 つのグリッドの訓練参加者 (13, 14, 16, 17 番) は、他のグリッドの訓練参加者に比べて避難開始時刻が特に遅い。訓練後、調査員へ聞き取りを行なった結果、これらのグリッド内の訓練参加者は、他のグリッドの訓練参加者が避難行動を始めてから避難を開始するという追従行動をとったため、追跡を始めるまでに時間がかかったことがわかった。追従行動をとった理由としては、同じく聞き取りからわかった、グリッド内に訓練に参加する海水浴客が少なかったことや、大津波警報のアナウンスが明瞭に聞こえなかったことが考えられる。

#### c) 滞留発生箇所の特定

ここでは、GPS データを用いて、ルート上での混雑による避難行動の滞留がどこで発生したのかを検討する。図 8, 9, 10 は横軸を時刻、縦軸を訓練参加者の累積移動距離として図示したものである。なお、累積移動距離は避難開始時点点を 0 とし、15 秒ごとに前の時点の GPS データとの直線距離を算出して求めたものであり、避難場所

に到達した時点までのみを表示している。図 8 は西ルートを通り、かつ避難場所への到達が 11 時 13 分以前であった訓練参加者、図 9 は西ルートを通り、かつ避難場所への到達が 11 時 13 分より遅かった訓練参加者、図 10 は南ルートを通った訓練参加者のデータをそれぞれ図示している。図中の番号は、図 3, 6, 7 で示したグリッド番号である。



図 6 避難にかかった時間とルート選択



図 7 避難開始時刻

まず、図 8 をみると、到着が 11 時 12 分より早かった訓練参加者 (7, 10, 11, 12 番グリッド) の累積移動距離の増加傾向はほぼ一定である。一方で到着が 11 時 12 分より遅かった訓練参加者 (6, 9, 13 番グリッド) は 11 時 11 分 30 秒以降、累積移動距離の増加が鈍化している。次に図 9 をみると、14 番グリッドの訓練参加者以外に共通した傾向として、11 時 12 分ごろを境に累積移動距離の増加が鈍化していることがわかる。14 番グリッドの訓練参加者の鈍化が始まるのは、11 時 11 分 30 秒ごろである。また、2 番グリッドの訓練参加者は 11 時 11 分ごろに累積移動距離の増加がほぼなくなっている。最後に図 10 をみると、到達が 11 時 13 分より遅かった訓練参加者 (1, 3, 8 番グリッド) はいずれも 11 時 13 分 15 秒辺りから累積移動距離の増加が顕著に鈍化している。11 時 13 分より早く到着した訓練参加者 (16, 17, 18 番グリッド) の累積移動距離の増加はほぼ一定である。

図 8, 9, 10 から明らかとなったことを踏まえ、累積移動距離の増加が鈍化しはじめる箇所、すなわち避難行動の滞留が具体的にどこで発生したのかを明らかにするた

め、鈍化しはじめた時刻のGPSデータを図11に示す。図をみると、6、9、13、14番グリッドの訓練参加者の位置より、西ルートでは、南ルートとの合流地点から図中のA地点辺りにかけて、11時11分30秒ごろには混雑が発生し、避難行動が滞留していたと考えられる。また、2、4、5、15番グリッドの訓練参加者の位置より、11時12分ごろにこの混雑は避難場所方向に向かって若干解消はしているものの、依然続いてきたことが分かる。さらに、南ルートを通った1、3、8番グリッドの訓練参加者の位置より、11時13分を過ぎてからもルート合流地点では混雑が続いており、避難行動の滞留が発生していたことが分かった。なお、11時11分ごろの2番グリッドについては、他の訓練参加者に同様の傾向がみられないことや後述する定点カメラの映像から、GPS機器の位置精度誤差などによるものと考えられる。

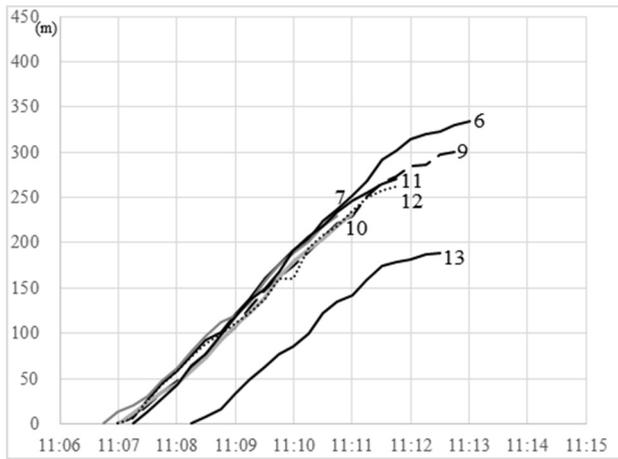


図8 訓練参加者別の累積移動距離1

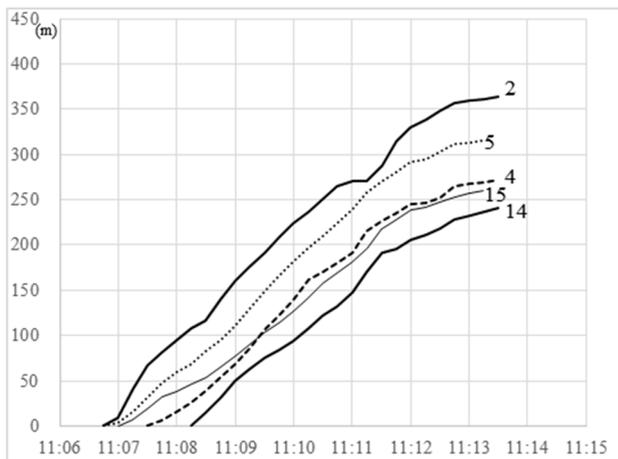


図9 訓練参加者別の累積移動距離2

最後に、滞留発生地点と図2に示した千鳥ヶ浜周辺の想定浸水範囲とを重ね合わせた結果についてみる(図12)。図から、滞留発生地点は想定浸水範囲外であることが確認できる。しかしながら、今回の滞留発生地点は、海水浴客のごく一部が参加した避難訓練におけるものであり、実際の災害時には想定浸水範囲内で滞留が発生する可能性が極めて高い。図12からわかるように避難場所周辺には想定浸水範囲外となっている道路や敷地があり、避難場所へ向かうことによる滞留を避けるためには、避難場所周辺の道路や敷地への誘導も今後検討する必要がある。

以上、避難開始時刻からの累積移動距離をみることで、避難行動の滞留発生箇所を把握することができた。この調査結果をもとに避難計画を見直し、西ルートと南ルートの分岐点における誘導について再検討したり、避難場所周辺の敷地や道路の活用を新たに検討したりするなどして、滞留を解消する仕組みを考えることが必要である。

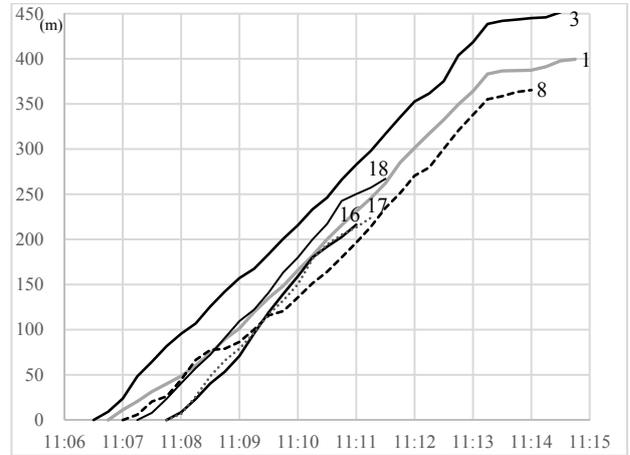


図10 訓練参加者別の累積移動距離3

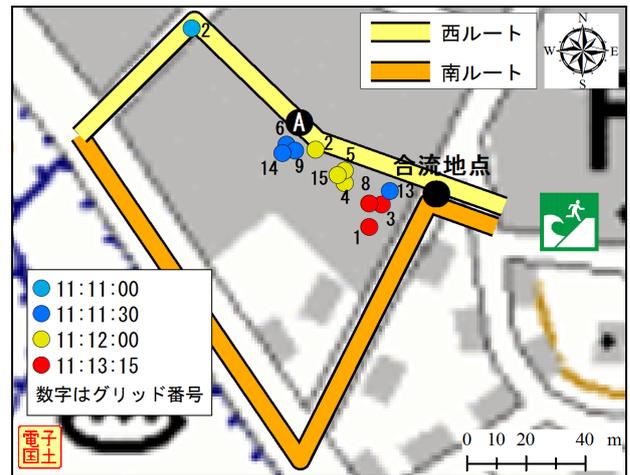


図11 避難行動の滞留発生地点

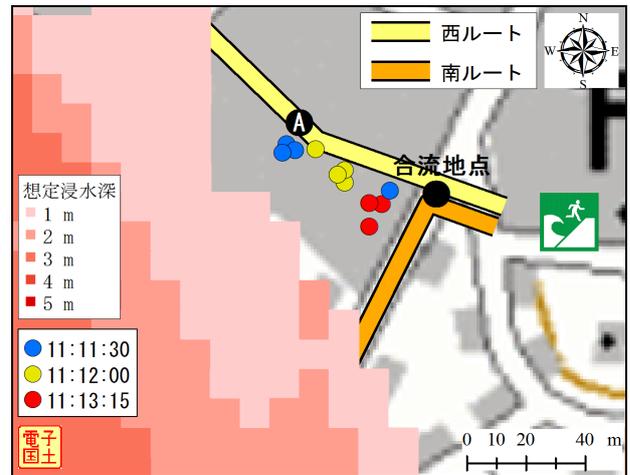


図12 避難行動の滞留発生地点

### (3) 定点カメラによる解析結果

ここでは、GPSデータから把握できた避難行動が、GPS機器による位置精度誤差や一部の訓練参加者の例外的な

行動によるものなのかをどうかを、定点カメラの映像を用いることで確認する。

図 13, 14, 15 に定点カメラに映った通過人数の推移を示す。縦軸が通過人数、横軸が時間軸である。まず、西ルート上に設置した定点カメラ②の通過人数(図 13)と南ルート上に設置した定点カメラ④の通過人数(図 14)とを比較してみる。すると、ほとんどの人が西ルートを通して避難したことがわかる。3 分の 2 が西ルートを通った訓練参加者のものであった。GPS データと同じ傾向ではあるものの、GPS データは南ルートを通った割合が高かったことがわかる。これは、GPS の調査員は海水浴場になるべく均等に配置していたのに対して、訓練に参加した海水浴客の分布には偏りがあったためと考えられる。特に、南ルートに近い 16, 17 番グリッドでは、訓練に参加する人の少なかったことが調査後の聞き取りからわかった。

図 13 から西ルートでは、通過する人のほとんどが 11 時 7 分 30 秒過ぎから 11 時 10 分にかけての同一時間帯に集中していたことがわかる。このように同一時間帯に人々が集中したことが、GPS データから明らかになった。ルート合流地点から図 11 の A 地点に至る避難行動の滞留箇所の発生に繋がったと考えられる。なお、曲がり角付近のみを撮影していた定点カメラ②の映像では、移動速度の低下は見られたものの、避難行動が滞留している様子は見られなかった。このことから、図 9, 11 に示した 11 時 11 分ごろの 2 番グリッドの訓練参加者の GPS データは、GPS 機器の位置精度誤差などに起因するものと考えられる。

次に、西ルートと南ルートが合流する地点に設置した定点カメラ⑤の通過人数(図 15)をみると、図 13 と比較して、通過人数のピークがなだらかになっていることがわかる。映像からは、11:09 過ぎから西ルートを通った人々(写真 2 の右端から現れる人々)が続々と到着し始め、11:10 ごろには滞留が発生したため、限られた人数ずつしか避難場所前へと移動ができなかったことが分かった。写真 2 は定点カメラ⑤から把握できる滞留の様子であり、こうした合流地点における滞留は、GPS データから把握できた避難行動の滞留状況とよく合致している。なお、図 15 の 11:11 以降は、ルート合流地点の滞留により、南ルートから(写真 2 の中央奥から)到着した人の有無や人数を把握することができなかった。そのため、図 14 で把握できる 11:11 以降に南ルートを通じた人々を図 15 では把握できていない。

以上より、訓練参加者を追跡することで得た GPS データは、今回の訓練における人々の避難行動をおおよそ把握できていたことが確認できた。

#### (4) アンケート集計結果

受付にて RFID タグ読み込みを行ったのが 274 名、避難場所での回答数は 188 名、回収率は 68.6%であった。複数のデータ欠損のあったサンプルを除いた有効回答数は 176 名である。

参加者の年齢を図 16 に示す(N=176)。20 歳以下の若い層および 51 歳以上の方がやや多いが、広い年齢層からの参加があったことがわかる。特に 20 歳以下が多かったのは、親子連れの参加者があったことや砂浜清掃ボランティアの専門学校生が訓練に参加していたことも一因であると考えられる。参加者の居住地を図 17 に示す(N=176)。町内からの参加者が約 4 割、愛知県内・県外

も含めた町外からの参加が約 6 割となっている。なお、男女比は男性 65%、女性 35%であった。

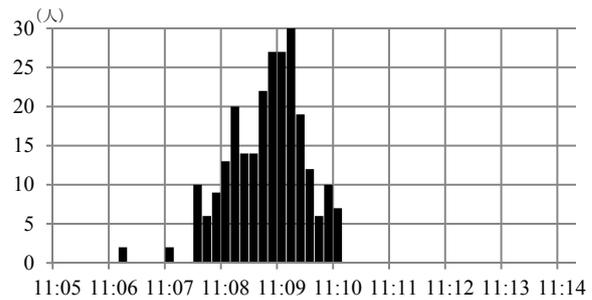


図 13 定点カメラ②(西ルート)における通過人数

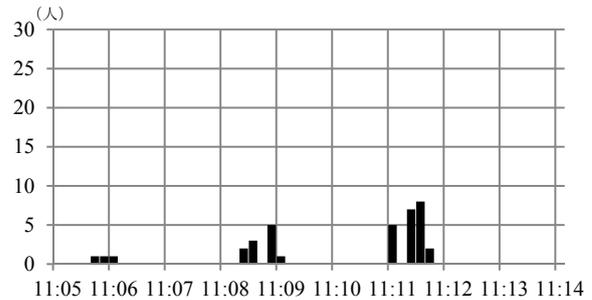


図 14 定点カメラ④(南ルート)における通過人数

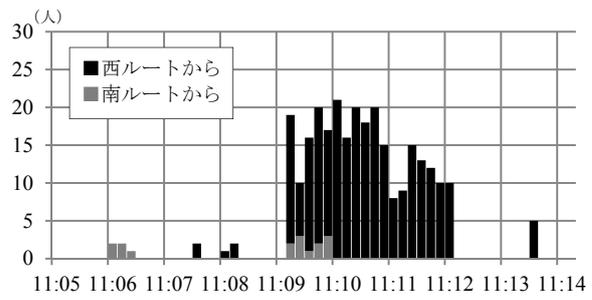


図 15 定点カメラ⑤(避難場所前)における通過人数



写真 2 ルート合流地点における滞留の様子(11:11)

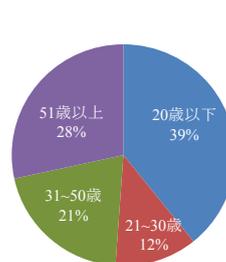


図 16 参加者の年齢構成

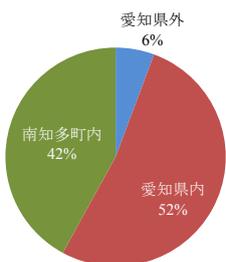


図 17 参加者の居住地

図 18 に「津波避難訓練の放送が開始されたとき、あなたはどこにいらっしゃいましたか。」に対する回答結果を示す。これを見ると、ほとんどの方が砂浜もしくは海で遊泳中であり、一部の方が駐車場もしくは自宅にいたと回答している (N=174, データ欠損 2)。

図 19 に「放送から避難を開始するまでにどのくらい時間がかかりましたか。」に対する回答結果を示す。1 分以内、すなわちすぐさま避難を開始された方から、5 分以上かかった方まで、広く分かれる結果となった (N=176, データ欠損 2)。

図 20 に「津波避難訓練の放送が開始されたときの音声は聞き取りやすかったですか。」に対する結果を示す (N=176)。ほとんどの方が放送そのものは聞こえたと回答している。図 21 に「津波避難訓練のために放送された説明内容は分かりやすかったですか。」の回答結果を示す (N=175, データ欠損 1)。おおむね分かりやすかったとの結果であるが、約 2 割の方がわかりにくかったと回答している。具体的にどのようにわかりにくかったかは不明である。

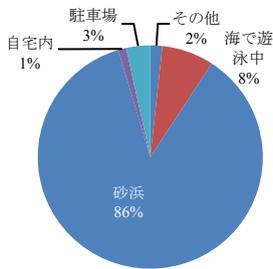


図 18 訓練開始時の場所

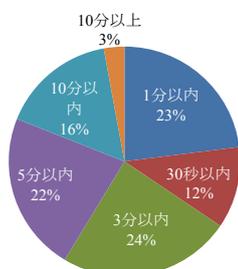


図 19 避難開始までに要した時間

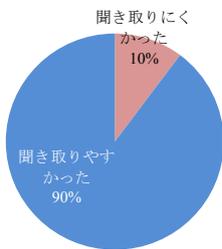


図 20 放送の聞き取りやすさ

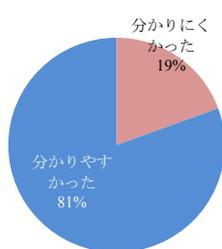


図 21 放送内容の分かりやすさ

図 22 に「避難を開始される時、どこに向かって移動すればいいかすぐにわかりましたか。」への回答結果を示す (N=176)。これを見るとすぐに分らなかったという回答が半数近くをしめており、GPS による追跡調査で指摘した初動の遅れを裏付ける結果となっている。しかしながら、「避難している際の案内や誘導は分かりやすかったですか。」とたずねた図 23 の結果 (N=176) や、「避難場所までの移動途中で混雑のため歩きにくい状況はありましたか。」とたずねた図 24 の結果 (N=176) から、多くの方が避難途中で誘導には問題がなかったと考えており、いったん動きだした後は避難場所を目指すことができたようであるが、途中の混雑を感じた参加者も 3 割弱いたことがわかる。「南海トラフ地震により、内海地区に大きな津波が来襲する可能性があることをご存じでしたか」と津波リスクについてたずねた結果を図 24 に示

す (N=176)。これを見ると、「知っていた」が 8 割以上であるが「知らなかった」という回答も 14%あった。

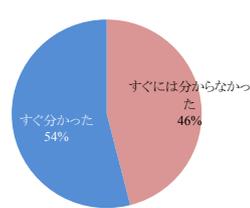


図 22 どこへ向かって移動すればよいかわかったか?

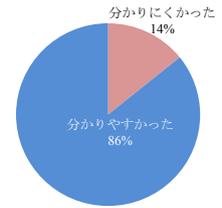


図 23 避難誘導のわかりやすさ



図 24 避難経路の歩きやすさ

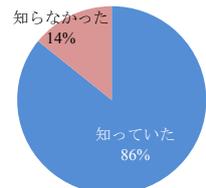


図 25 津波リスクの認知について

次に、参加者の居住地別属性と避難場所の認知についてのクロス集計結果を図 26 に示す。これを見ると、南知多町に居住の方でも 41%の方がすぐには分らなかったと回答している。カイ二乗検定でも居住地別に有意差はみられず ( $\chi^2(2, N=176)=1.99, n. s$ )、訓練参加者は、地元の方、観光客問わず、どのルートでどのように避難すれば良いかわからなかったようである。

参加者の居住地別属性と訓練前後の意識の変化についてのクロス集計結果を図 27 に示す。「変わった」との回答者は町外に多く、「変わらない」とした回答者は町内に多かった。カイ二乗検定において、5%有意での違いが見られた ( $\chi^2(2, N=176)=8.64, p<0.05$ )。この原因として、町外からの参加者のほうが津波避難訓練というイベントそのものが新鮮な体験であったのに対し、町内からの参加者にとっては、特に新しい経験にならなかった可能性がある。今後、有意な違いが生じた原因について検討を重ねる必要がある。

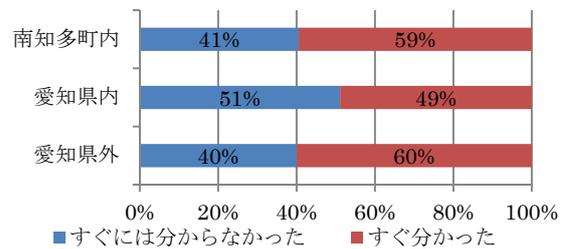


図 26 居住地と避難場所の認知についてのクロス集計

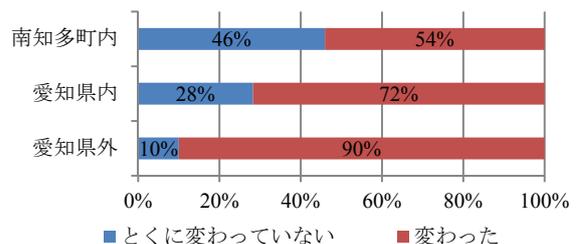


図 27 居住地と参加前後による意識の変化に関するクロス集計結果

#### 4. 千鳥ヶ浜における津波避難の課題と改善に向けた提案

前章における考察をまとめて、千鳥ヶ浜における津波避難の課題とその改善に向けた提案をまとめれば、以下のようになる。

一つ目の課題として、GPS データからわかった初動の遅さが挙げられる。アンケート調査から、避難場所がすぐにはわからなかったという人が約半数いたことから、避難を開始する意思があっても具体的にどこに向かって移動を始めればよいかわからず、初動の遅れにつながったと考えられる。いったん動き出した後は、滞留発生箇所以外にはスムーズに移動できており、初動の流れをいかに早く作るかが重要になる。これらは、これまでの既往研究でも指摘されていたが、今回、GPS による追跡によって時間軸として明らかになったことから、次年度以降の訓練で、なんらかの対策とその効果を検証しなくてはならない。たとえば、率先避難要員をあらかじめ設定しておくことも一つの対策として考えられる。ライフセーバーや売店の人たちがその候補として考えられるが、彼／彼女らは海水浴場の中でも陸側に最も近い場所にいる場合がほとんどであるため、率先避難をしたとしても海中や波打ち際に近い場所にいる海水浴客らにとっては有効ではない可能性もある。また、彼／彼女らへの負担がかかり過ぎないような役割分担のあり方や率先避難の行動指針についても検討しておく必要が残される。その他の対策としては、避難場所が一目でわかる看板を設置することが挙げられる。千鳥ヶ浜に接する道路には、交通標識程度の大きさで避難場所方向を示す矢印看板が設置されていることから、これの効果について検証することも今後必要である。

二つ目の課題として避難ルート上での誘導の問題が挙げられる。今回の訓練では、西ルートを通る人が多く、南ルートを通った人はわずかであった。人々が偏ることで、西ルート上では避難場所から離れた標高の低い箇所においても滞留が発生した。滞留をなるべく発生させないためには、西ルートと南ルートへのバランスの取れた誘導が重要である。しかし分岐点よりも西側から避難してきた人々にとって、南ルートは西ルートよりも避難時間を要すること、またそもそも南ルートは海沿いの道路であり、海から離れるという避難行動の原則に反するという問題がある。したがって、分岐点においてルートを誘導する際には、状況をよく把握した上での確かな判断を行う必要がある。しかし、避難場所が目視で確認できない位置から状況を把握しなければならなかったり、海沿いというリスクのより高いルートへ誘導する必要もあったりするなど、分岐点における誘導員にかかる負担は非常に大きくなる。誘導員の負担を軽減するためには、たとえば、地震発生から直後に避難してきた人々は南ルートへ誘導し、一定時間経過以降は西ルートへ誘導するといった、機械的な誘導ルールを設定しマニュアル化しておくこともやむを得ないと考えられる。

三つ目の課題として避難ルートおよび避難場所の物理的なキャパシティが挙げられる。今回の訓練に参加したのは、海水浴場にいた約1万人の内のわずか350名程度であった。それに関わらず避難ルートでは滞留が発生しており、実際の災害時には滞留発生により多くの海水浴客が避難場所にたどり着けない可能性が高い。千鳥ヶ浜から約800m離れた場所に町民グラウンドがあり、体育館等もあって避難場所としての「質」は高い。観光客がこの

距離と混雑緩和効果をどのように感じるか、別途検証が必要である。また、一部の建物はすでに津波避難協定ビルとなっており、その数を増やしていくことも必要である。いずれにしても、避難する人が特定の建物に集中するといったことが起こらないよう、複数の避難場所を設定した訓練を実施し、誘導のあり方などを検討していくことが必要であり、本研究での調査手法は、混雑発生のメカニズムや観光客の意識の把握に有用であろう。

#### 5. まとめ

本研究では、海水浴場の避難訓練における避難者の行動データの取得およびその分析を行なった。その結果、以下の事柄が明らかになった。

(1) GPS データの空間的な可視化により、海水浴場から避難場所までの軌跡を把握することができた。特に、砂浜にいる避難訓練参加者がまず道路に向かって移動することが、実測として確認された。

(2) ルート上での混雑の発生とそれに関連する誘導のあり方によって避難時間に差異が出ることを把握できた。具体的には、避難場所の南ルートを通った場合、避難初動の位置が似通っていたとしても、西ルートを通った場合に比べより多くの時間が必要となる。

(3) 避難を開始する意思があっても、どこに向かえばいいのかわからずにはわからないため、避難の開始が遅れる可能性がある。また、場所によって警報等のアナウンスの聞き取りやすさに差が出るため、避難を開始するまでの時間に差が生まれる可能性がある。

(4) 一つのルートに人々が偏ることで、避難行動の滞留が発生する可能性があり、ルート分岐点における誘導のあり方が極めて重要である。ただし、一方のルートが海沿いであったり、標高の低いルートであったりする場合には、滞留を避けるためとはいえ、よりリスクの高いルートへ誘導しなければならず、誘導員への負担がかかり過ぎるという問題や、よりリスクの高いルートへ誘導されることの避難者の心理的影響も無視できないという問題がある。また、バランスのよい誘導ができたとしても、避難ルートや避難場所のキャパシティに限界があることから、現状の避難場所のみでは滞留の発生は避けられないといえる。

(5) 特に地域外からの参加者に、訓練による意識の変化が見られた。一方、居住地によってどこに向かって移動すればいいかわからずにはなかったか否かについては、有意な差はみられなかった。

以上の通り、GPS、定点カメラ、アンケート調査といった方法を多角的に組み合わせることにより、訓練参加者の動きや意識を様々な角度から捉えることができた。本調査の結果を踏まえ、避難者の行動を考慮した避難場所の選定、避難経路選択、避難誘導等の計画を見直し、策定する必要がある。対策を行った上での避難訓練によって、今回の結果との差異を検証することも有用であろう。

今後の課題として、特に本研究での調査手法を他地域で展開することを考えるならば、GPS による追跡のサンプリングの問題を考える必要がある。参加者全員を GPS で追跡することは難しく、機器の用意や調査員の手配を考えると、参加者の数%程度のサンプリングとならざるを得ないし、調査員の判断による誤差も考慮しなくてはならない。したがって、どの程度の GPS のサンプリング率によって何が明らかになるのか、定点カメラによって

どの程度補足できるのか、といった点を訓練の目的と照らし合わせて考える必要がある。千鳥ヶ浜はどこからでも簡単に道路に出られるが、防潮堤により砂浜への出入り口が限られる場所では、砂浜から出るまでに時間がかかる恐れがある。こうしたボトルネックの存在をあらかじめ検討しておくことも、GPS、定点カメラ、アンケート調査の組み合わせによる調査をより有意義にすることができると思われる。また、タブレットによるアンケート調査は、今回の海水浴場避難訓練のような場では、短時間で多くの方に質問できることから有用であったが、質問紙による自由意見の記述等が難しいという短所があるため、質問項目にない不満点を聴取することができなかった。タブレットの録音機能等を活用できれば、新たな課題の抽出等も可能になるであろう。

## 謝辞

避難訓練時の調査に際しては、訓練に参加していただいた方々をはじめ、南知多町役場、南知多町内海・山海まちづくり協議会「きずなの会」防災部会、愛知工業大学および名古屋大学地理学教室の学生ボランティアの方々等にご協力いただきました。また、人と防災未来センターの照本清峰研究主幹には、本研究を実施するにあたって貴重なご助言をいただきました。記して深謝いたします。ありがとうございました。

## 参考文献

- 1) 照本清峰：防災まちづくりと防災教育の連携による実践的津波避難訓練の効果と課題，都市計画論文集，Vol. 47, No. 3, pp. 871-876, 2012.
- 2) 西尾恵美，大西一嘉：白浜町における観光ホテルの地震津波対応：平成16年9月5日の紀伊半島南東沖地震での行動調査，日本建築学会学術講演梗概集. F-1, pp. 847-848, 2005.
- 3) 増本憲司，川中龍児，石垣泰輔，嶋田広昭：観光地海岸利用者の津波に対する避難行動と避難意志決定に関する研究，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol. 66, No. 1, pp. 1316-1320, 2010.
- 4) 照本清峰：観光客を対象とした津波避難対策に関する課題の検討，地域安全学会梗概集 No. 32, pp. 103-106, 2013.
- 5) 吉田太一，梅本通孝，糸井川栄一，太田尚孝：海水浴客の津波避難行動特性に関する研究—大洗サンビーチ海水浴場を対象として—，地域安全学会論文集 No. 21, pp. 149-158, 2013.

(投稿受付 2014. 1. 13)

(登載決定 2014. 7. 10)