

2. GPSデータを用いた小学生の集団津波避難行動の分析

森田匡俊・小池則満・小林哲郎

1. はじめに

東日本大震災における甚大な津波被害や、南海トラフの巨大地震による津波被害想定（<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/index.html>）の公表を受けて、各地域の文脈に適した津波避難のあり方に関する議論が活発になっている（照本2012、2013；増本ほか2010；吉田ほか2013）。津波避難のあり方を考える際の基礎的な情報として、災害時に人々がどのような避難行動を取るのか、また避難行動の障害としてどのような事柄があるのかを把握しておくことが重要である。避難行動を把握する手段として、既存研究ではアンケートやヒアリング調査が用いられてきた。しかし、アンケートやヒアリング調査のみでは、詳細な避難行動履歴の把握に限界があったり、記憶や主観に結果が影響される可能性があったりといった問題がある。また、既存研究が対象としてきた避難行動は、地域住民や観光客個人々に焦点をあてたものがほとんどであり、たとえば小学生による集団での避難行動の履歴について詳細に把握した研究が十分に蓄積されているとはいえない。そこで本研究では、愛知県知多郡南知多町の内海小学校における集団避難訓練を事例とし、GPSを用いた新たな手法による集団での津波避難行動の把握と分析を試みる。

2. 研究の概要

2.1 津波避難訓練

本研究で取り上げる内海小学校の位置する内海地区は、南海トラフの巨大地震による津波被害想定において、最大の津波浸水深が7m、津波到達が地震発生から最短で37分後と予測されている。小学校では、授業開講中に巨大地震が発生し、大津波警報が発令されたという想定の下、全学生と全教職員が参加する津波避難訓練を毎年実施している。避難場所は図1のA(道路上)であり、訓練ではクラスごとに集団で学校から避難場所まで駆け足によって避難している。小学校から最寄りとなるBの避難場所をはじめ、小学校からより短時間で到達できる避難



図1 避難場所と避難経路

場所は他に複数ある。しかしA以外の避難場所は、大人数での滞在や、より標高の高い場所への避難（二次避難）が難しいため、そうした問題点のないAが避難場所選ばれている。避難経路（図1）は、学校を出てから交差点までは平坦な直線道路である。この部分は比較的車の通行量が多く、また歩道と車道が分離されていない。その後の交差点前後は歩車道が分離されている。交差点から山道にかけては、交差点までの直線道路に比べると道幅はやや狭いものの、平坦な直線道路であり、かつ車の通行量は少ない部分である。中学校を過ぎてからは急傾斜かつ道幅の狭い山道となる。山道は舗装されているものの車の通行量はほぼない。避難場所Aやそこに至る避難経路の問題点としては、小学校からの距離が約2kmと遠いことや、避難場所までの一部経路と交差点にお

ける車両通行量が比較的多いことが挙げられる。そのため、内海小学校では、クラスという集団の隊列がなるべく乱れないこと、かつ移動速度が遅くならないことを目指して避難訓練を積み重ねている。

調査を実施した避難訓練は、2013年9月23日（火）に行われた内海学区合同津波避難訓練である。この訓練では、小学校（職員16名を含む225名）の他に内海保育所（職員18名を含む126名）、内海中学校（職員20名を含む169名）、内海地区住民（約30名）が同時刻に避難訓練を実施し、すべての参加者が図1のAに避難した。この他、警察官や地元ボランティアの方々約70名が、交通安全補助員などとして訓練に参加した。

訓練は午前9時40分に地震が発生したという想定のもとスタートした。以下、小学校の避難訓練の流れを述べる。9時40分に地震が発生したとのアナウンス（緊急地震速報）が流れ、まずは教室内で地震に備え身を守る行動をとった。地震の揺れが収まったとして、9時43分から校庭への避難が行われた。以降、校庭で全員の点呼が完了したクラスからクラス担任の先生が先導する形で避難を開始した。なお、校庭からは6年2組、4年、3年1組、5年、3年2組、6年1組、1年、2年のクラス順に避難を開始した。避難場所で小学校全員の点呼および安全確認が完了したのは10時11分であった。

2.2 GPSを用いた津波避難行動履歴の取得と分析

内海小学校では、避難行動の妥当性を検討する指標として、避難に要した時間（避難時間）をこれまでは主に用いてきた。しかし、避難時間のみによる検討では、先頭が到着した時間と最後尾が到着した時間とで異なることや、クラス単位での集団避難が円滑に行えたのかどうかを詳細に把握することができないといった課題がある。これらの課題を克服するため、本研究では、クラスの先頭と最後尾をGPSによって計測し、さらに同時刻の先頭と最後尾を結ぶ線オブジェクトを時系列に沿って作成することで、クラス単位という集団での避難行動を検討する指標として用いることを試みる。

(1) GPSデータの取得

クラス先頭データは担任の先生方に訓練開始から避難完了までGPSを携帯してもらうことで取得した。クラス最後尾データは、愛知工業大学から訓練に参加した調査員がGPSを携帯して最後尾の学生を追跡することで取得した。なお小学校のほか、中学校のクラス担任の先生や保育所の保育士の方にもGPSを携帯してもらった。GPS機器はHolux社のwireless GPS Logger M-241を用い、1秒間隔で位置情報を記録した。

先頭と最後尾のGPSデータを避難開始から避難場所到着まで漏れなくクラス単位で取得できたのは、2、4年の2クラスのみであった。本研究ではこの2クラスを集団避難行動の分析対象とする。その他のクラスについては、先頭あるいは最後尾のGPSデータが何らかの理由で十分に取得できていなかったため、集団避難行動の分析対象からは除外することにした。

(2) クラス単位の線オブジェクト作成

集団避難行動を分析するために、クラス先頭と最後尾のGPSデータから1秒おきの線オブジェクトを作成する。図2にその手順を示す。まず、①1m間隔でポイント（1mポイント）を避難経路上に作成する。次に、②GPSデータから最寄りの1mポイントを探し、その1mポイントにGPSデータを付加する（GPSポイント）。なおGPSデータには属性として、緯度・経度、時刻、クラスID、先頭あるいは最後尾IDが格納されている。最後に、③同時刻、同

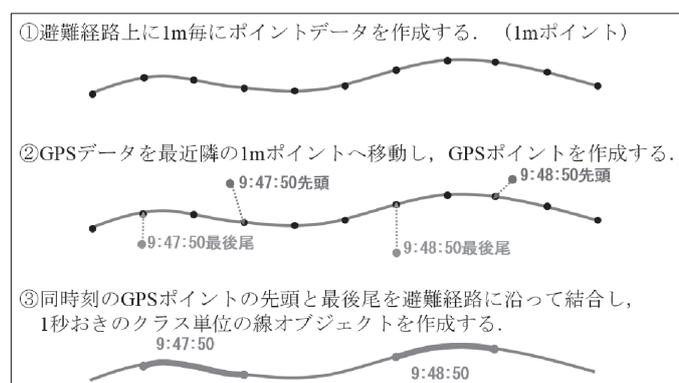


図2 線オブジェクトの作成手順

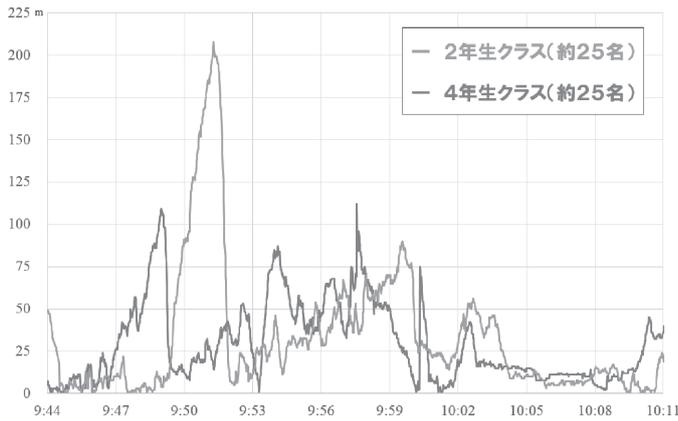


図3 時刻ごとのクラス隊列の長さ

クラスIDのGPSポイントの先頭と最後尾を避難経路に沿って結び、1秒おきのクラス単位の線オブジェクトデータを作成する。以上の手順で作成した線オブジェクトから、時刻ごとの長さや速度を計測することで、クラス単位での集団避難行動について把握する。

3. 分析結果と考察

3.1 クラス隊列の長さ

2、4年の2クラスについて避難開始から避難場所到着までの線オブジェクトを作成した。線オブジェクトから、時刻ごとの長さを計測した結果を図3に示す。まず2年クラスを見ると、9時50～53分の間でクラスの隊列が非常に長くなり（208m）、その後急激に短くなる（6m）箇所が避難経路上にあったことが分かる。その他、9時59分過ぎ（89m）と10時2分過ぎ（56m）に直前直後の時間帯と比べて隊列が長くなっていったことが分かる。次に4年クラスを見ると、2年クラスほど隊列が長くなることはないものの、避難経路上で隊列が長くなったり短くなったりを繰り返していたことがわかる。特に、9時47～50分の間（109mから11m）、9時53分前後（52mから1m、1mから87m）、9時56分～10時2分の間（112mから1m、1mから75m）などでその傾向が顕著である。

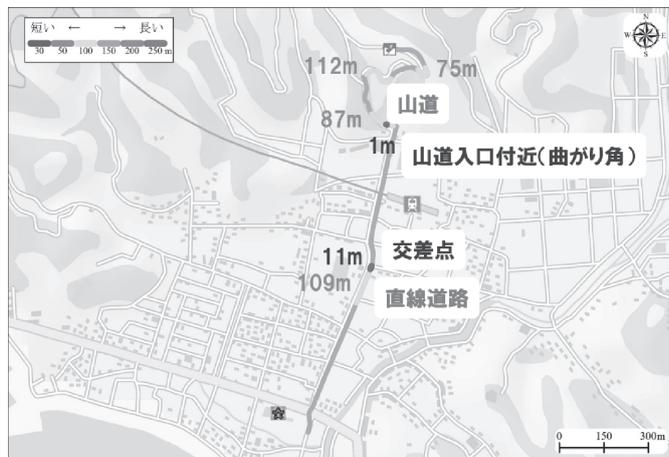


図4 2年クラスの隊列の長さ

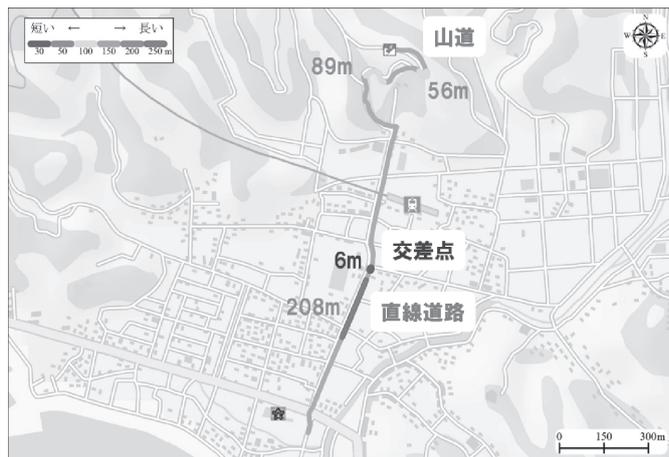


図5 4年クラスの隊列の長さ

隊列が長くなる箇所や隊列の長さが急激に変化する箇所が避難経路上のどこなのかを把握するため、図3から把握できた特徴的な時点の線オブジェクトを地図に示した（図4、5）。図4から2年クラスは、避難開始後の直線道路上で隊列が非常に長くなったことがわかる。そして直後に急激に隊列が短くなった箇所は、交差点であるということがわかった。また、山道において隊列が長くなっていたことがわかった。4

年クラスについて図5をしてみる。2年クラスと同様の傾向として、避難開始後の直線道路において隊列が長くなったこと、交差点において隊列が短くなったこと、山道で隊列が長くなったことがわかった。4年クラスのみ顕著な傾向としては、山道入口付近で隊列が非常に短くなったことが挙げられる。

3.2 クラス隊列の速度

2,4年クラスの時刻ごとの速度を図6に示す。速度は線オブジェクトの中間点の位置情報から30秒おきに計測して求めた。2,4年クラスで避難行動開始の差異(9時47分前後)と山道到着の差異(9時53~56分過ぎ)とはあるものの、避難経路上での速度の推移は概ね同じ傾向であったことがわかる。すなわち、山道に至るまでの平坦な直線道路では速度が速く、山道では速度が遅くなる傾向である。また、交差点付近での速度低下も両クラスとも顕著である。4年クラスのみに見られる特徴として、9時53分過ぎの山道到着時点の速度低下が挙げられる。2年クラスも山道到着時点以降(9時56分過ぎ)、速度低下が見られるものの、4年クラスの速度低下は2年クラスよりも急激なものとなっている。

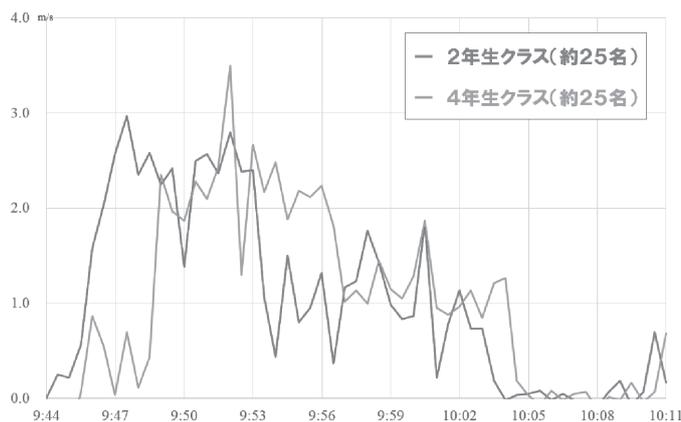


図6 時刻ごとのクラス隊列の速度

3.3 クラス隊列の長さや速度からみた集団避難行動

ここでは前節までの結果を基に内海小学校の集団避難行動の課題について考察する。

一つ目は、2,4年クラス共に小学校から交差点に至るまでの直線道路において速度が速くなっている一方で隊列は非常に長くなっていったことについてである。この箇所は、平坦かつ直線道路であるため先頭に行く大人や駆け足の得意な児童にとっては速度が出しやすい。それゆえにクラス最後尾、つまり駆け足が苦手な児童との速度差が大きくなり、クラス隊列が非常に長くなってしまったと考えられる。この箇所は比較的車の通行量が多くかつ歩車道が分離されていないため、クラス隊列が長くなることでクラス全体に担任が注意を向けることが難しくなることは避けた方が望ましい。一つの解決策としては、各クラスの先頭は児童、そしてクラス担任はクラス最後尾という順番で避難することが考えられる。この場合、もしもクラス隊列が長くなったとしても、クラス担任は後方からクラス全体を見ることができるというメリットもある。

二つ目に、交差点でクラス隊列の長さが短く、速度が遅くなったことについて検討する。この交差点は丁字路であり、西側を通ると道路を横断する必要がない。しかし、東側を通ると信号機の指示に従い道路を横断する必要がある。今回の避難訓練では交通安全補助員が安全を確保したうえで東側を通り道路を横断した。しかし、実際の避難時には交通安全補助員はいない可能性が高いこと、車を利用して避難する人が多数いることなどが想定されるため、訓練時よりもさらに慎重に道路を横断しなければならず、避難行動の滞留が予想される。今後は丁字路の西側を避難することで道路の横断を不要とすることが望ましい。

三つ目は、4年クラスが山道入口で隊列が短く、速度が急激に遅くなっていたことについて検討する。この結果は、乳母車に乗せていた保育園児らを山道入口で乳母車から降ろし、背負って避難する準備を保育士がしており、山道入口がごったがえしていたところに4年クラスが到着したためであることが、GPSデータや訓練後の聞き取りからわかった。実際の避難時にもこのように集団で避難している人々が特定地点にて合流し、避難行動が遅くなる可能性がある。今後も、保育所、小中学校、地域住民らで一斉に避難訓練を繰り返すことで、実際の避難時に起こりうる事態を把握することが重要である。

最後に、山道におけるクラス隊列の長さや速度について検討する。山道においては、両クラスともクラス隊列が長く、速度は遅くなっていた。この山道を切り切ったところに位置する避難場所Aは道幅の狭い道路であるため、多くの人がここへ避難するためには、早く到着した人からできるだけ山道を登り、後から到着する人が安全

な標高まで避難できるようにスペースを空けておく必要がある。しかし、1km以上の距離を駆け足で避難してきた小学生にとって、さらに急傾斜の山道を登ることは大きな負担と言える。実際に、クラス隊列は非常に長くなり、かつ速度低下も顕著であった。この問題の解決策としては、道路幅を拡張し、現在の避難場所に至る手前であつても十分なスペースを確保できるようにすること、あるいは坂道途中の畑などを避難場所として利用することなどが考えられる。

4. おわりに

本研究では、愛知県知多郡南知多町の内海小学校における避難訓練を事例とし、GPSデータから線オブジェクトを作成することで小学校のクラス単位での集団津波避難行動の検討を試みた。結果、避難が比較的容易に行える平坦な直線道路においては、クラス隊列の速度が速くなる一方、隊列は非常に長くなること、交差点ではクラス隊列の長さが短く速度が遅くなる、つまり避難行動が滞留すること、山道においてはクラス隊列が長くなり、速度が遅くなることがわかった。また、避難している集団が合流することで避難行動が滞留する地点を特定することができた。さらに、分析結果を基に今後の内海小学校の集団津波避難のあり方を検討し、いくつかの改善案を提案した。これらの改善案については、次年度以降の訓練を通じて検証していきたい。

参考文献

- 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，47(3)，pp. 871-876，2012.
- 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，32，pp.103-106，2013.
- 増本憲司，川中龍兄，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），66(1)，pp.1316-1320，2010.
- 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，21，pp.149-158，2013.