

無人航空機を用いた 津波避難開始行動調査手法の提案

土肥 裕史¹・奥村 与志弘²・上大迫 弘隆³・清野 純史⁴

¹正会員 防災科学技術研究所 社会防災システム研究部門 (〒305-0006 茨城県つくば市天王台3-1)

E-mail: dohi@bosai.go.jp

²正会員 関西大学准教授 社会安全学部 (〒569-1098 大阪府高槻市白梅町7-1)

E-mail: okumura@kansai-u.ac.jp

³学生会員 京都大学大学院 工学研究科 (〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂)

E-mail: kamiosako.hirohisa.85c@st.kyoto-u.ac.jp

⁴正会員 京都大学大学院教授 工学研究科 (〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂)

E-mail: kiyono.junji.5x@kyoto-u.ac.jp

東日本大震災では、避難開始の難しさが浮き彫りとなった。本研究では、避難開始プロセスを理解するためのデータ取得に向けて、無人航空機を用いた津波避難開始行動調査手法を提案し、南あわじ市阿万中西地区における避難訓練に適用した。その結果、(1) 事前調査で UAV の撮影位置、飛行高度、バッテリー交換のタイミングを決定する必要があること、(2) 避難訓練において、UAV による空撮に加えて別途音声を記録する必要があること、(3) 阿万中西地区では住民 64 人のうち 57 人が隣保ごとに集合した後、高台へ移動していたこと、(4) 住民間の相互影響や周囲の状況が住民の行動に及ぼす影響を確認することができ、個人と集団、周囲の状況を関連付けた分析を可能になること、(5) 従来の調査手法と比較して、映像に映るすべての時空間データを得られ、個人の記憶に依存しない客観的なデータを得られる点で本手法が有用であることがわかった。

Key Words: tsunami evacuation, evacuation start, evacuation drill, UAV (unmanned aerial vehicle), Awaji island, Nankai trough earthquake

1. はじめに

東日本大震災（2011 年）では、多くの住民が津波に巻き込まれた。同震災では、地震発生から津波到達まで 30 分以上の時間があり、公的機関から津波警報や避難勧告などの情報も提供されていた。一方で、死者の半数以上が十分な避難行動をとることなく死亡した可能性が指摘されている¹⁾。津波災害による人的被害軽減において、地震発生から津波避難行動の開始に至るプロセス（以下、避難開始プロセスと呼ぶ）を現象として理解し、避難行動開始に関する課題を解決することは、極めて重要である。

我が国における避難開始プロセスは、以下の枠組みで多く議論されてきた。すなわち、1952 年の津波予警報システムの運用開始以降、津波警報や避難勧告など、公的機関が提供する情報によって住民に危険を知らせ、避難を促すというものである。東日本大震災においても、公的機関の情報によって住民は早期避難を促された²⁾。

一方で、同震災では、沖出しをする船舶の汽笛³⁾や遡上する津波がたてる土ぼこりや音⁴⁾が住民の避難を促したことが報告されている。これらの現象は、リアリティの共同構築⁵⁾と呼ばれる概念を用いると、周囲で醸成される「逃げなければならない」というリアリティ（多くの人が抱いている現実味）を感じ、住民は直観的に避難行動を開始したと解釈できる（以下、避難開始に関するリアリティを避難開始リアリティと呼ぶ）。

著者らは上記の観点から、避難開始プロセスを定量的に分析できるツールを開発し、同震災時の屋内施設⁶⁾や数 km 四方の地域コミュニティ^{7) 8)}における状況进行分析してきた。これらの一連の研究から、住民の移動にともなう避難開始リアリティの伝播により、高台へ向かう経路上、特に高台付近では避難開始において好条件下にあることがわかってきた。

避難開始プロセスの分析ツールを開発したものの、実際の人間行動や避難開始リアリティを把握する手法は多くの課題が残されていると、著者らは考えている。すな

わち、従来の調査手法では、避難開始プロセスに関するデータの取得に限界があり、同プロセスを十分に理解することが困難である。これまで、津波災害時の避難に関する聞き取り調査^{例えば 9)}やインターネットを用いた調査^{例えば 10)}、津波避難訓練を対象とした聞き取り調査^{例えば 11)}や GPS ロガーや定点カメラを用いた行動調査^{例えば 12)}などが実施され、多くのデータ、知見が得られてきた。しかし、これらの調査で得られるデータは時空間的に断片的であり、住民一人ひとりの挙動や正確な時間・位置を把握することは困難であった。一方で、近年開発が進む無人航空機（以下、UAV と呼ぶ）を用いた空撮により、映像に映るすべての行動の時空間データを入手できるようになってきた。

そこで、本研究では、避難開始プロセスをより深く理解するためのデータ取得に向けて、UAV を用いた津波避難訓練における時空間的な行動調査手法を提案する。提案する手法を、南海トラフ巨大地震による津波被害が懸念されている兵庫県南あわじ市阿万中西地区における避難訓練に適用し、得られるデータの分析を行う。また、従来の手法との違いによる考察を行い、UAV を用いた行動調査手法の有用性と限界について論じる。

2. 手法

提案する手法は、データの入手方法と、得られたデータの分析方法の2段階に分けられる。

(1) データの入手方法

データの入手における一連の流れを図-1 に示す。以下、事前申請、事前調査、避難訓練に分類して述べる。

a) 事前申請

わが国で UAV を使用する場合、航空法や関係する法令を遵守しなければならない。ここでは、避難訓練における UAV 使用で特に留意すべき、航空法における飛行空域と飛行方法について述べる。なお、航空法とは別に、地方自治体が定める条例^{例えば 13)}や小型無人機等の飛行禁止法等により飛行が禁止されている場所¹⁴⁾もあり、別途確認する必要がある。

UAV に係る航空法について、飛行禁止空域（航空法第 132 条第 1 号）および飛行の方法（航空法第 132 条の 2 第 4 号）に留意する必要がある（図-2）。

飛行禁止空域は、航空機の航行への影響や落下時に他者に危害を及ぼす可能性がある（高い）空域である。具体的には、空港周辺の上空、地上からの高度 150m 以上の上空、人口集中地区の上空である（図-2(a)）。

飛行の方法について、上記の空域によらず、夜間の飛行、目視範囲外の飛行、人や物件から 30m 未満の距離

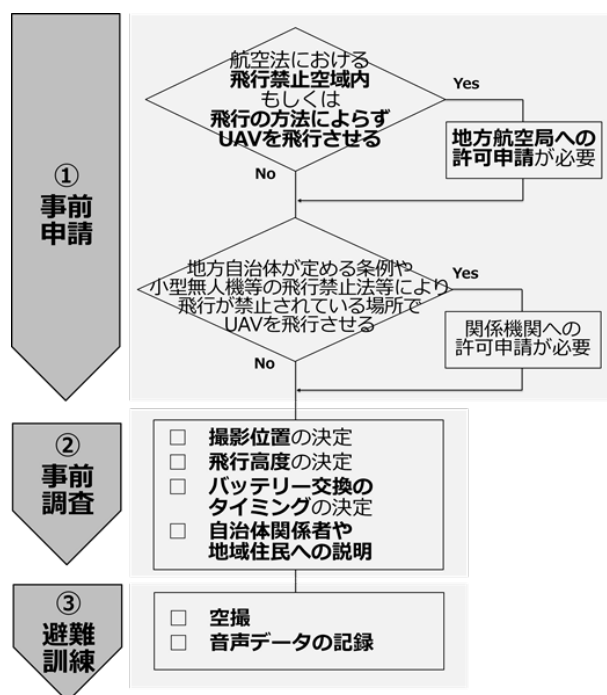


図-1 データの入手における一連の流れ



図-2 UAV の飛行ルール¹⁵⁾

における飛行、催し場所上空における飛行、危険物の輸送、物件の投下は基本的に禁止されている（図-2(b)）。

上記の飛行禁止空域や飛行のルールによらず UAV を飛行させる場合、あらかじめ地方航空局に申請を行い、国土交通大臣の承認を受ける必要がある。なお、申請の条件として、申請者が 10 時間以上の UAV 操縦経験が必要であることに注意されたい。

津波避難訓練においては、飛行禁止空域および飛行の方法のうち、地上からの高度 150m 以上の上空における飛行、人口集中地区の上空における飛行、催し場所上空における飛行に該当する場合が多いと思われる。

b) 事前調査

避難訓練に UAV を適用する場合、事前に UAV の撮

影位置（緯度，経度），飛行高度，バッテリー交換のタイミングを決定する必要がある。

撮影位置は，対象領域全体が撮影できるよう，撮影範囲の中央となる位置（緯度，経度）を決定する。

飛行高度について，映像に映る人の大きさと撮影範囲はトレードオフの関係にある．そのため，対象領域全体が撮影範囲内に入り，かつ映像に映る人の行動を判別できる飛行高度を決定する。

また，バッテリー交換のタイミングは，決定した撮影位置，飛行高度まで UAV を飛行させ，ホバリングさせることによって，バッテリーの消費状況を明らかにし，離陸から着陸に至るバッテリー交換のタイミングを決定する。

事前調査においては，自治体関係者や地域住民との意見交換を行い，UAV の使用とその目的について説明する必要がある。

c) 避難訓練

避難訓練において，UAV による空撮のみでは音声記録できないため，IC レコーダー等を用いて訓練時の音声を記録する必要がある。

上述した事前調査および避難訓練において考慮すべき事項を表-1 にまとめる。

(2) 得られたデータの分析方法

データの分析において，避難開始に係る行動を，避難開始行動と移動開始行動に分類して分析する．具体的には，直接避難場所に向かう行動を避難開始行動，避難に関するその他の行動を移動開始行動に分類する．そして，各住民の避難開始行動および時空間情報の判別を行う。

3. 実地域への適用

本研究では，兵庫県南あわじ市阿万中西地区における津波避難訓練を対象に，提案する調査手法を適用する．具体的には，UAV を用いた空撮を行い，住民の避難開始行動を分析した。

(1) 対象地区の概要

阿万中西地区は，南海トラフ巨大地震による津波被害が懸念されている．兵庫県の想定では，対象地区に近い阿万地区において，最高津波水位が 5.9m となり，最短で地震発生から 50 分後に津波が到達する（50cm の水位上昇）¹⁰．同地区周辺の津波ハザードマップを図-3(a)に，UAV を用いて撮影した空撮画像を図-3(b)に示す。

表-1 事前調査および避難訓練における重要事項および実地域への適用における諸元

項目	事前調査および避難訓練における重要事項	実地域への適用における諸元
撮影位置	UAV を試行錯誤的に飛行させ，撮影対象地域の中央となる位置を決定する	34.220°N 134.724°E
飛行高度	対象領域全体を捉え，住民の行動を目視で判別できる高度を決定する	250m
バッテリー交換のタイミング	決定した撮影位置，飛行高度まで UAV を飛行させ，ホバリングさせる	15 分
音声データ	空撮では音声記録できないため，別途，音声データを記録する	IC レコーダーを用いて UAV 操作者周辺の音声を記録した
使用する UAV	—	DJI 社製 Phantom 3 Advanced

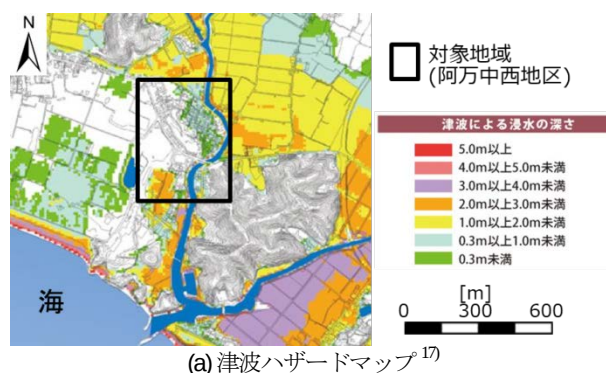


図-3 兵庫県南あわじ市阿万中西地区

(2) 避難訓練の概要

阿万中西地区における避難訓練は 2016 年 11 月 13 日に実施された．本訓練は，同日午前 9 時に南海トラフ巨大地震が発生し，マグニチュード 9，最大震度 7 を観測し，瀬戸内海沿岸および淡路島南部に大津波警報が発表されたとの想定で実施された，平成 28 年度南あわじ市総合防災訓練の一部である。

訓練開始の状況として，9 時前後（訓練開始前後）の自治体の対応を簡単に述べる．8 時 55 分，防災行政無線を通じて，9 時に避難訓練が開始となる放送がなされ

た. 9時0分, 防災行政無線による緊急放送や, 携帯電話へのメール(ひょうご防災ネット)による緊急地震速報が市内一斉に配信された. 9時3分, 防災行政無線を通じて, 大津波警報の発令と避難の呼びかけがなされた.

対象地区では, 図-3(b)の高台(標高30m)を目標地点として避難が行われる. この地区の避難を考えるうえで重要な, 地域特有の現象を2点紹介する.

1点目は, 地区内の住宅十軒ほどが1つの集団(隣保)に区分され, 津波避難においては, 隣保ごとに集合し, 高台に向かうことである. これは, 地区の安否確認とともに, 自力での避難が困難な住民への避難支援を目的としたものである.

2点目は, 高台に到達した住民が, 高台の中腹に設置された半鐘を鳴らすことである. これは, 地域に眠っていた半鐘を活用し, 住民たちで地域に危険が迫っていることを知らせる取り組みである.

(3) 避難訓練までの流れ

a) 事前申請

本研究における UAV の飛行は, 地上からの高度 150m 以上の上空における飛行および催し場所上空における飛行に該当する. そのため, 事前に飛行許可申請を行い, 大阪空港事務所長および国土交通大臣の承認を受けた.

b) 事前調査

2016年11月1日, 阿万中西地区で UAV を飛行させ, 撮影位置, 飛行高度, バッテリー交換のタイミングを決定した. 飛行高度について, 地上からの高度 150m から高度 400m まで UAV を上昇させ, 10m ごとに撮影を行った. この結果, 対象地区内の住宅が集中する領域全体が撮影範囲内に入り, かつ映像に映る人の行動を判別できる飛行高度が 250~300m であった. 飛行高度が低いほど, 映像に映る人の行動を判別しやすいため, 飛行高度を 250m と決定した. バッテリー交換のタイミングについて, バッテリー残量が 30%を下回ると撮影位置から帰還することとし, 離陸から着陸に至る時間を 15 分とした.

また, 上記の調査前日に, 南あわじ市役所職員や地域住民との意見交換を行い, 避難訓練における UAV の使用とその目的について説明を行った.

c) 避難訓練

2016年11月13日, 阿万中西地区における避難訓練の空撮を実施した. 空撮と同時に, 飛行の安全確認を行う監視員が, IC レコーダーを用いて UAV 操作者周辺の音を記録した. また, 空撮映像と録音した音声を同期させるため, 監視員は一定時間ごとに模造紙を用いて飛行中の UAV にサインを送った. 空撮について, 8:58(訓練開始の2分前)に撮影を開始し, バッテリー交換を一度行い, 9:32に撮影を終えた. 撮影終了時点で訓練参加者

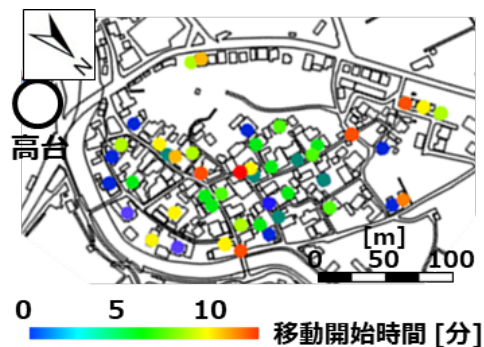


図-4 住民の移動開始地点と移動開始時間



図-5 隣保の集合場所

のほぼ全員が高台に到達していた.

上述した事前調査および避難訓練における諸元を表-1にまとめる.

(4) 得られたデータの分析結果と考察

訓練終了後, 得られた空撮映像と録音した音声を同期させ, 各住民の避難開始の状況を目視で判別し, 周囲の状況とともに分析した. 以下, 動画の分析から得られた, 阿万中西地区における避難開始の状況について述べる.

a) サンプル数

動画の分析において, 対象領域内で住民 64 人の行動が確認できた.

b) 隣保ごとの集合

確認できた住民 64 人のうち, 57 人が隣保ごとに集合した後, 高台へ移動していた. 1 人は直接高台へ移動し, 残りの 6 人は高台へ移動せず, 訓練に参加していないと考えられる. このため, 高台へ移動した 58 人について, 対象地区で事前に定めたルール(隣保ごとに集合した後, 高台に向かう)が概ね徹底されていることがわかる. 隣保に向かう行動を移動開始行動, 高台に向かう行動を避難開始行動として捉えると, 対象地区の避難開始プロセスにおける移動開始行動の重要性を指摘できる.

c) 住民の移動開始

動画の分析において, 対象領域内で最終的に高台へ向かった住民 58 人の移動開始地点と移動開始時間を図-4に示す. 移動開始時間に関する空間的な特徴は特に見られなかった. 住民 58 人は訓練開始から 13 分以内に移動を開始していた. また, 避難に関する行動をとった住民



図-6 避難開始に関する住民の行動の一例

のほとんどは徒歩で移動していた。

d) 隣保の移動開始

動画で確認できた隣保の集合場所を図-5に示す。同図において、高台に最も近い隣保（隣保 A）の集合場所では、図中央に位置する 2 つの隣保（隣保 B、隣保 C）が高台に移動する途中で合流し、その場にとどまっている様子が確認された。隣保 A は 9:13 に移動を開始し、それ以外の隣保は 9:05 から 9:10 までに移動を開始していた。同地区の避難計画をまとめた「阿万中西自治会 災害時要援護者 個別避難支援計画」（非公表）では、地震発生から 15 分間は隣保ごとに集合時間とし、その後、高台へ移動することが記されている。このため、計画されていた高台への移動開始時刻よりも迅速に避難開始行動を行えたといえる。要因として、隣保ごとに訓練に参加する住民を事前に把握していたことや、訓練開始時刻が事前に周知されていたため、多くの住民が素早く隣保に移動できたことなどが考えられるが、あくまで推測であり、住民への聞き取りが必要となる。

e) 住民の能動的アクセス

動画では、防災行政無線や避難を促す半鐘が鳴り響く中、自宅を出て周囲を徘徊する行動が複数見られた。一例を図-5に示す。

図-5 では、まず、①住民 1 人が自宅外に出て 20 秒ほど周囲を徘徊し、自宅に戻った。②その 1 分 30 秒後、住民 2 人が自宅外に出て隣保 A に移動した。③隣保 A に到達した住民 2 人はその場でしばらく待機し、9:13 に隣保 A の集団とともに高台へ移動した。

②の行動（隣保への移動）は移動開始行動、③の行動（高台への移動）は避難開始行動に分類できる。また、①の行動（自宅を出て周囲を徘徊）は、著者らのこれまでの研究成果⁷⁾を踏まえると、防災行政無線や避難を促す半鐘の音、移動する住民などにより醸成される避難開始リアリティの影響を受け、自発的に屋外の状況を確認する行動（能動的アクセス）であるといえる。能動的アクセスの結果、自宅内にいた残り 1 人とともに隣保への移動を開始できたといえる。

一方で、自宅外に出て周囲を徘徊し、自宅に戻った様

子を確認できたものの、その後の移動を確認できない住民もいた。これは、能動的アクセスを行ったが、自宅外で避難開始リアリティの影響を十分に受けず、その後の移動につながらなかったと考えられる。

以上を踏まえると、迅速な避難開始に向けて、地区全体で津波に対する避難開始リアリティをどれだけ醸成できるか、屋外において醸成された避難開始リアリティへのアクセス性をどれだけ高められるかが重要であるといえる。

4. UAV を用いた行動調査手法の有用性と課題

本章では、従来の調査手法との違いや前章 4 節で述べた分析結果を踏まえ、UAV を用いた行動調査手法の有用性と課題を論じる。

(1) 有用性

本調査手法の主な有用性として、次の 3 点が挙げられる。

- 1) 映像に映るすべての時空間データを得られる
- 2) 個人の記憶に依存しない客観的なデータを得られる
- 3) 個人の行動だけでなく周囲の状況を把握できる

これらは、質問紙調査や面接調査といった社会調査との比較による、UAV を用いた調査手法の利点であるといえる。映像が得られるという点では、定点カメラによる手法も同様の利点を持つといえる。しかし、UAV による空撮と比較すると、1 台のカメラで撮影できる範囲が限られており、空撮と同じ範囲を撮影するためには相当数を準備しなければならない。

前章 4 節を踏まえると、UAV を用いることで、各住民が、いつ、どこで、どのような行動をとっているか、正確に分析できる。さらに、同節 d 項で述べた、隣保の合流といった住民間の相互影響や、e 項で述べた、周囲の状況が住民の行動に及ぼす影響の把握も可能である。個人と集団、周囲の状況に関連付けて分析できるため、空間的に醸成される避難開始リアリティに関する新たな

データや知見を得ることが可能となり、避難開始プロセスを新たな切り口から理解する一助になることが期待される。

(2) 課題

本調査手法の課題として、次の3点が挙げられる。

- 1) バッテリー交換時のデータが得られない
- 2) 映像に映る行動の意図を十分に理解できない
- 3) UAVの飛行が住民の行動、避難開始リアリティに影響を及ぼす可能性がある

1) について、複数の UAV を使用し、バッテリー交換のタイミングをずらすことで解決できる。

2) について、前章4節e項で述べた行動の意図などは、映像分析者の推測にとどまる。一方で、従来の質問紙調査や面接調査等を行うことで、その行動の意図や背景を知ることができる。このように、本調査手法と従来の社会調査を組み合わせることで、避難開始プロセスのより深い理解につながるといえる。

3) について、著者らは阿万中西地区における避難訓練終了後、訓練に参加した住民数名に「訓練中、UAVの飛行に気が付いたか」という聞き取りを行った。その結果、半数以上の住民が「UAVに気が付かなかった」と回答した。残りの住民は、「UAVを目撃しなかったが、飛行音に気が付いた」と回答した。本調査では、UAVを地上からの高度250mの位置でホバリングさせ、空撮を行った。高台から半鐘の音が鳴り響く中、UAVを操縦する著者は常に飛行音が聞こえる状況であった。今後の調査において、UAVの飛行が住民の行動、避難開始リアリティにどのような影響を及ぼすか、分析する必要がある。

5. 結論

本研究では、避難開始プロセスを理解するためのデータ取得に向けて、UAVを用いた津波避難訓練における時空間的な行動調査手法を提案した。提案した手法を、兵庫県南あわじ市阿万中西地区における避難訓練に適用し、得られたデータの分析を行った。また、本調査手法の有用性と限界について論じた。得られた主要な結論を以下に記す。

- 1) 提案した手法は、データの入手方法と、得られたデータの分析方法の2段階に分けられる。データの入手は、事前申請、事前調査、避難訓練に分類される。
- 2) 航空法や条例等に定める飛行禁止空域や、飛行のルールによらずUAVを飛行させる場合、事前申請が必要となる。また、対象地域で事前に飛行を行い、UAVの撮影位置、飛行高度、バッテリー交換のタイ

ミングを決定する必要がある。避難訓練において、UAVによる空撮のみでは音声記録できないため、ICレコーダー等を用いて訓練時の音声を記録する必要がある。

- 3) 兵庫県南あわじ市阿万中西地区における津波避難訓練を対象に、提案する調査手法を適用した。その結果、いつ、どこで、どのように住民が行動するか分析できた。対象地区では、映像から確認できた住民64人のうち、57人が隣保ごとに集合した後高台へ移動していた。
- 4) 提案した手法の有用性として、映像に映るすべての時空間データを得られること、個人の記憶に依存しない客観的なデータを得られること、個人の行動だけでなく周囲の状況を把握できることが挙げられる。
- 5) 阿万中西地区では、各住民の行動に関する時空間データだけでなく、隣保の合流といった住民間の相互影響や、住民の能動的アクセスによる、周囲の状況が住民の行動に及ぼす影響も見られた。提案する手法は、個人と集団、周囲の状況を関連付けた分析を可能とし、空間的に醸成される避難開始リアリティに関する新たなデータや知見を得ることできる。このため、避難開始プロセスを新たな切り口から理解する一助になることが期待される。

謝辞：本研究の一部は、JSPS 特別研究員奨励費（16J10657）による支援を受けて行った。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 三上卓：東日本大震災の津波犠牲者に関する調査分析～山田町・石巻市～，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.70, No.4, pp.908-915, 2014.
- 2) サーベイリサーチセンター：宮城県沿岸部における被災地アンケート，http://www.surece.co.jp/src/research/area/pdf/20110311_miyagi.pdf，2017年8月参照。
- 3) 野地貴範：被災地は今。復興が進み、にぎわいが戻る 茨城県大洗町・笠間市，ジャフメイト 2014年3月号，（株）JAF MATE 社，pp.29, 2014.
- 4) 高橋邦典：「あの日」のこと 東日本大震災 2011・3・11，ポプラ社，65p., 2011.
- 5) 矢守克也：防災人間科学，東京大学出版会，284p., 2009.
- 6) 土肥裕史，奥村与志弘，小山真紀，湯浅亮，清野純史：コミュニティにおける津波避難初期過程のシミュレーションモデルの開発，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.70, No.2, pp.I_1356- I_1360, 2014.
- 7) 土肥裕史，奥村与志弘，小山真紀，清野純史：2011年東北地方太平洋沖地震津波における避難者発生シミュレーション～石巻市門脇地区を対象として～，

- 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.71, No.4 (地震工学論文集第 34 巻), pp.I_823-I_831, 2015.
- 8) 土肥裕史, 奥村与志弘, 清野純史: 東日本大震災時の南三陸町志津川地区における住民の避難開始行動の時空間分析, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.73, No.4 (地震工学論文集第 36 巻), 2017 (印刷中) .
 - 9) サーベイリサーチセンター: 宮城県沿岸部における被災地アンケート, http://www.surece.co.jp/src/research/area/pdf/20110311_miyagi.pdf, 2016 年 1 月参照.
 - 10) ウェザーニューズ: 東日本大震災 津波調査 (調査結果), http://weathernews.com/ja/nc/press/2011/pdf/20110908_1.pdf, 2016 年 1 月参照.
 - 11) 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.
 - 12) 森田匡俊, 小池則満, 小林哲郎, 山本義幸, 中村栄治, 正木和明: 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-, 地域安全学会論文集、No.23、pp.45-54、2014.
 - 13) 長野県: 長野県都市公園条例, <http://www.pref.nagano.lg.jp/toshikei/infra/toshi/koen/jor-ei.html>, 2017 年 8 月参照.
 - 14) 警視庁: 小型無人機等の飛行禁止法について, <http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/kurashi/heion/drone.html>, 2017 年 8 月参照.
 - 15) 国土交通省: 改正航空法概要ポスター, <http://www.mlit.go.jp/common/001110369.pdf>, 2017 年 8 月参照.
 - 16) 南あわじ市: 南海トラフ巨大地震津波被害想定, <http://www.city.minamiawaji.hyogo.jp/site/bousai/nankai-trough-higai.html>, 2017 年 8 月参照.
 - 17) 南あわじ市: 防災ハザードマップ, <http://www.city.minamiawaji.hyogo.jp/site/bousai/hazard-map-2014.html>, 2017 年 8 月参照.

A MONITORING METHOD FOR TSUNAMI EVACUATION START USING UNMANNED AERIAL VEHICLE

Yuji DOHI, Yoshihiro OKUMURA, Kamiosako HIROTAKA and Junji KIYONO

During the 2011 Tohoku tsunami, it is estimated that more than half of the tsunami victims did not start evacuation despite sufficient available evacuation time and warning information. Understanding the start of a tsunami evacuation is essential for mitigating human damage due to tsunami. In this study, we propose a monitoring method for tsunami evacuation start using unmanned aerial vehicle (UAV), commonly known as a drone. We recorded an aerial video of people's behaviors during the tsunami evacuation drill held in Ama-Nakanishi district, Minami-Awaji city in Hyogo Prefecture and analyzed the video focusing its start.

The results revealed the followings: (1) we have to conduct a preliminary flight to decide a shooting location and a battery exchanging time, (2) we have to record sounds separately from the shooting, (3) 57 out of 64 residents went to a safety zone after they had gotten together with their neighbors in the evacuation drill in Ama-Nakanishi district, (4) an aerial video enables us to analyze a process of evacuation start by correlating each behavior to interaction between residents and surrounding conditions, (5) the main advantage of using UAV over existing methods for this purpose is twofold: no dependency on the people's memory and spatio-temporal data of every behavior.