

率先避難者情報を津波避難トリガーとして 活用する IoT 技術に関する一考察

熊谷 兼太郎¹・小野 憲司²

¹ 正会員 京都大学特定准教授 防災研究所 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

E-mail: kumagai.kentaro.3e@kyoto-u.ac.jp

² 正会員 京都大学特定教授 防災研究所 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

E-mail: ono.kenji.5z@kyoto-u.ac.jp

津波避難の安全性を高める方法の一つは、避難開始を早めることである。津波は、災害因を認知しにくく、また、地域によっては陸地到達までの時間的余裕がほとんど無く、周囲の人の行動が避難のきっかけとなることが大きいと考えられる。そこで、周囲の人に促されて避難する行動に着目し、既往の研究を整理するとともに、率先避難者に関する情報の活用方法について考察した。その結果、過去の津波では地域住民の約 1 割から半数程度が周囲の人の行動をきっかけに避難を開始した事例が報告されていたことが分かった。また、常時インターネットに接続したカメラ等の IoT 技術の活用により率先避難者の行動を「見える化」して、離れた場所からもリアルタイムで率先避難者情報を取得できる仕組みを提案した。

Key Words: tsunami, social influence, leading evacuee, evacuation trigger, IoT, information system

1. 序論

津波避難の安全性を高める方法の一つは、避難開始を早めることである。まず、どのような要因が避難開始に関係しているかについて述べる。

三上 (1986)¹⁾ は、警報を聞いたときの行動 (情報取得, 安全確保, 被害軽減行動, 避難など) の規定要因を、警報の特性, 個人的特性, 事前の準備度, 物理的環境及び社会的環境という 5 つの群へと分類している (表-1)。さらに、「どんな行動をとるべきかという規範的なルールが個人の中で主体的に確立しておらず、しかも危険性の程度が曖昧な状況」では、他者の行動をモデルとして、

その影響のもとで行動する場合が少なくないとしている。

また、池田 (1982)²⁾ は、危機的な状況下における意思決定と情報との関係について、「現在とっている行動や防災訓練等を通じあらかじめ知っている行動では対応できず、かつ、災害因が発現するまでに時間的な余裕が無い場合」には、コミュニケーションによる情報獲得が重要な役割を果たすこと、また、他者の行動を見ることがすぐさまその行動の信頼につながって同調行動に至ることがあり得るとしている。

津波は、身近に迫るまで災害因を認知しにくく、危険性の程度が曖昧である。また、地震の発生から津波が陸地に到達するまでに、地域によっては数分程度のこともあるため、その場合には時間的な余裕がほとんど無い。従って、個人の事前想定を超えるような大規模な津波が発生した状況下では、避難者の行動に周囲の人が与える影響が大きいと考えられる。

本稿では、避難開始を早めるために、周囲の人に促されて避難する行動に着目し、既往の研究を整理するとともに、「率先避難者」 (片田ら, 2006)³⁾ に関する情報の活用方法について考察を行った。なお、率先避難者とは、片田ら (2006)³⁾ によると「地震発生後に隣り近所に声をかけながら、とにかく早く避難を開始する人」と定義されている。

表-1 警報を聞いたときの行動の規定要因

規定要因群	規定要因
警報の特性	回数, 内容, 情報源
個人的特性	性別, 年齢, 学歴, 職業, 所得, 災害観, 過去の経験
事前の準備度	防災知識習得, 避難路の確認, 食料等の備蓄, 建物家具補強, 防災器具保有, 非常持出品の用意, 防災訓練参加, ふだんの話し合い
物理的環境	場所, 時刻・季節, 人口密集度, 構造的脆弱性, 危険物の有無, 避難路の有無, 当該地域との地理的近接性
社会的環境	災害文化, 地域の災害史, 他者の行動, 人間関係, 組織への加入, 役割葛藤, 家族構成

注: 三上 (1986) の図から規定要因の部分だけを抽出し、表として整理したものである。

2. 既往の研究

(1) 実際に発生した災害の調査

周囲の人に促されて避難する行動について、実際に発生した災害の調査結果を以下に整理する。なお、整理した中には津波以外の災害が含まれているが、参考のためにあわせて記載した。

河田ら (2005) ⁴⁾は、1946 年昭和南海地震について和歌山県印南町において 2004 年に調査を行い、避難をしたきっかけとして「外のひしり声（筆者注：叫び声）」と答えた人が 50%であったと報告している。

Baker et al. (1976) ⁵⁾は、米国で発生した 1975 年ハリケーン Eloise について調査を行い、避難者の約 20%について避難開始の主なきっかけとして友人や血縁者の影響があったこと、隣人全員が避難する場合は 76%の人たちが避難するのに対し、隣人が誰も避難しない場合は 22%しか避難しないこと等を報告している。

三上 (1986) ⁶⁾は、1983 年久慈林野火災では避難者の 12.6%、1983 年三宅島噴火では 12.8%、1984 年長野県西部地震では 7.9%が、近所の人が避難を始めたことが避難のきっかけであったと報告している。

田中 (1986) ⁶⁾は、1983 年日本海中部地震について秋田県山本郡八森町（当時）の 2 地区において調査を行い、他の人に避難を促されたまたは周りの人が避難を始めたことが避難のきっかけであった人の割合はそれぞれ 18.7%、8.0%であったと報告している。

田崎 (1988) ⁷⁾は、1986 年伊豆大島三原山噴火について東京大学新聞研究所が行った調査結果を基に、消防団、町役場、警察署、家族や近所の人及び職場の人から指示される現象を「公的・私的なパーソナルな影響」と呼び、それが避難のきっかけであった人の割合は 43.8%と報告している。

片田ら (2006) ³⁾は、2004 年紀伊半島沖地震及び東海道沖地震の 2 回の地震について三重県尾鷲市において調査を行っている。実際に避難を行った人の割合について沿岸部地区と地域全体とを比較すると、2 回とも沿岸部地区の方が地域全体よりも高く、その差は 1 回目 28.4%、2 回目は 53.4%であったと報告している。その理由は、沿岸部地区の自治会長が防災教育を受けており、避難の声掛けを行ったためであったとしている。また、この事実を踏まえ地域住民のなかに率先避難者を作ること提案している。さらに、避難の促進には地域住民間の避難の声掛け、避難している人を目撃することが大きく寄与すると指摘している。

富田ら (2011) ⁸⁾は、インドネシアで発生した 2010 年 Mentawai 地震について調査を行い、沿岸部集落の約 300 人の人々の避難のきっかけは率先避難者の叫び声を聞いたことであると報告している。

表-2 周囲の人の行動が避難のきっかけとなった人の割合

津波を引き起こした地震の名称	周囲の人の行動が避難のきっかけとなった人の割合 (%)	出典
1946年昭和南海地震	50	河田(2005)
1983年日本海中部地震	18.7 8.0	田中(1986)
2004年紀伊半島沖地震 2004年東海道沖地震	(28.4) ※1 (53.4) ※1	片田ら(2006)
2010年Mentawai地震	20 ※2	富田ら(2011)
2011年東北地方太平洋沖地震	(36.1) ※3	サーベイリサーチセンター(2011)

※1 この値は、沿岸部地区の避難率から地域全体の避難率を引いた値である。出典によると、沿岸部地区で避難率が高い理由として、避難の声掛けが行われたことを挙げているため、参考として記した。
※2 避難開始のきっかけに関するヒアリングで、「叫び声」と回答した人の割合(5人中1人)。
※3 複数回答方式の調査結果に基づいているため、周囲の人の行動に加え、「以前津波を体験したので津波が来ると思った」などの複合的要因がきっかけとなって避難した人も含む。

また、サーベイリサーチセンター (2011) ⁹⁾は、2011 年東北地方太平洋沖地震について宮城県沿岸部において調査を行っている。そこでは、家族、近所の人、役場・消防団の人に避難しようと言われた等が避難のきっかけである「他者追従型」に分類された避難者（以後、追従避難者と呼ぶ。）が 36.1%で最も多かったと報告している。ただし、複数回答方式の調査結果に基づいているため、複合的要因がきっかけとなった人を含んでいる可能性がある。また、2003 年十勝沖地震及び 2004 年紀伊半島沖地震と比較して、2011 年の地震のときの追従避難者の比率が概ね同程度であることを示唆する図を掲載している。

以上の津波に関する調査結果によると、津波によってばらつきがあり、また、調査方法の違いがあるものの、地域住民の約 1 割から半数程度が周囲の人の行動をきっかけに避難を開始した事例が報告されていた（表-2）。片田ら (2006) ³⁾が、積極的に率先避難者を作ること提案しているのが注目される。また、避難を促進する具体的方法として「声かけ」及び「避難している人を目撃すること」が指摘されている。

(2) 災害状況を模擬した実験

Christensen and Ruch (1980) ¹⁰⁾は、暴風雨災害について、ハリケーンが接近する複数のシナリオを提示して住民の避難意向を調べる心理学実験を行い、周囲の人の行動がその住民の避難意向に及ぼす影響について調べている。その結果、Baker et al. (1976) ⁵⁾が報告している知見などとは異なる予想外の発見であるとしながらも、周囲の人の避難意向がその住民の避難意向の決定に及ぼす影響は小さかったとの結論を示している。その解釈として、実際の災害では声によるコミュニケーションが行われるのに対して、実験ではそれを考慮していないことから、ハリケーンの避難意向の実験を改善するにあたって、声によるコミュニケーションが最も重要な影響要因になるかもしれないと述べている。

井出・城下 (2014) ¹¹⁾は、火災について、室内実験に

より率先避難者の効果について調べている。その結果、避難者の約 3 割が率先避難者の行動をきっかけに避難したとしている。

以上のとおり、津波を模擬した実験はこれまでにで行われていないようである。ただし、暴風雨災害を模擬した実験¹⁰⁾に基づき、「声によるコミュニケーション」が最も重要な影響要因である可能性が指摘がされていることが注目される。

(3) モデル化・数値実験

青木・大佛 (2007)¹²⁾は、直下型地震による都市部の火災について、東京都江東区・墨田区を中心とした地域において避難行動に関する住民意識調査を行っている。その結果、他の人の避難行動が避難開始の契機となる可能性が約 15%の人に認められたとしている。そのうえで、避難者が火災の延焼状態を認識する行動を表現するために、避難者間のパーソナルな伝聞情報の量に着目したモデルを提案している。

木下ら (2009)¹³⁾は、土砂災害について、避難行動に関する心理モデルを構築している。その結果、情報伝達の方法として直接に避難を呼びかけられることが影響が強いことを指摘している。

熊谷・富田 (2015)¹⁴⁾は、周囲で避難を開始した人の数に応じて追従避難者が避難を開始することを表現した数理モデルを提案し、2011 年東北地方太平洋沖地震に適用している。また、それを用いて追従避難者の人口比率等を変化させた試算を行っている。その結果、過去の津波被害経験が多い地域及び少ない地域についてそれぞれの避難開始行動の特性を再現したとしている。

また、上田 (2016)¹⁵⁾は、宮城県女川町を対象に 2011 年東北地方太平洋沖地震についてマルチエージェントモデルの津波避難シミュレーションを行っている。そのなかで、サーベイリサーチセンター (2011)⁹⁾を参考に追従避難者のエージェントを導入している。このエージェントの構成比は全体の 30~40%で、年齢に応じてその比率が大きくなるとしている。また、このエージェントは他のエージェントが通過したことがトリガーとなって避難を開始するとしている。その結果、避難困難者の比率が、概ね実際の値と対応したとしている。さらに、IoP (Internet of Phenomena, 現象のインターネット) という概念を提案している。具体的には、将来的技術であり未知な部分が多いとしながらも、個人端末に投影機能を加え、個人端末の画面上だけでなく街路上に最適ルートを投影して可視化することで個人端末の所有者である誘導者が周囲の人を引き付ける仕組みを提案している。そのような誘導者がいる場合を想定した避難シミュレーションも実施している。その結果をもとに、 k (人) 以下のエージェントを引き付けた誘導者の人数を $P(k)$ (人)

とすると、 $k \leq 20$ 程度の範囲では、 k と $P(k)$ との間にケールフリー型相関の関係¹⁶⁾が適用できて、その際のべき指数 $\gamma = 1.3$ になるとしている。すなわち、

$$P(k) = k^{-\gamma} + a \quad (1)$$

で示される関係である。ここで、 a は定数である。また、この仕組みは、誘導者を固定する必要はなく、仮に特定の誘導者が発災時に不在・行動不能でも、個人端末を所有している他の人が柔軟にその役割を代替できるとの利点を挙げている。

以上のとおり、率先避難者と追従避難者との間のパーソナルなコミュニケーションの効果をモデル化し、津波避難シミュレーションに反映する取り組みは幾つかの事例がある。また、上田 (2016)¹⁵⁾が、個人情報端末を利用して、率先避難者と追従避難者とが視覚的に情報を共有するという新たな考え方を提案していることが注目される。

3. 率先避難者情報を津波避難トリガーとして活用する新たなシステムの提案

(1) 提案にあたっての基本的考え方

前章までの整理により、地域住民の約 1 割から半数程度が周囲の人の行動をきっかけに避難を開始する可能性があることが分かった。このような人々を対象にした、新たなシステムを検討する。

片田ら (2006)³⁾が提案している「地震発生後に隣り近所に声をかけながら、とにかく早く避難を開始する人」という率先避難者を住民のなかに積極的に作る仕組みは、有効であると考えられる。ただし、その姿が見えるか声が届く範囲にしか効果が及ばないこと、また、率先避難者の役割を与えられた人が、用事、旅行などにより地震時に不在であったり対応できなかったりする可能性があることが課題である。上田 (2016)¹⁵⁾の提案は、個人情報端末を利用して率先避難者と追従避難者とが視覚的に情報を共有するという、情報共有のための新たな考え方であると言えるが、お互いに姿が見える範囲にしか効果が及ばない。すなわち、いずれの取組みも率先避難者の姿が目に見えたり声が届いたりする範囲内という物理的制約があるものと考えられる。

それに対し、筆者らは、IoT 技術をはじめとした情報技術を活用して率先避難者の行動を「見える化」して、離れた場所からもリアルタイムで取得できる仕組みにより上述の物理的制約を解消することを提案する。例えば、近年、常時インターネットに接続した人感センサ付きカ

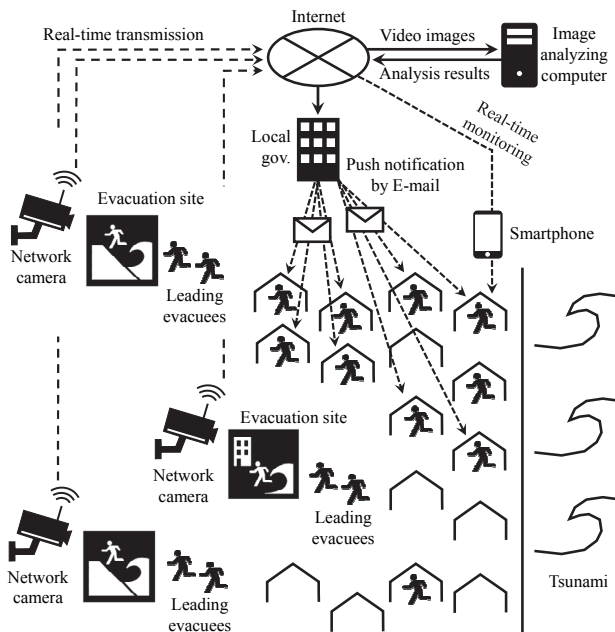


図-1 提案するシステム

メラを用いて、人流を自動感知し、リアルタイムにカメラ画像を取得することが比較的容易に実現できる。AI技術を用いて、カメラ画像から人間を自動認識し、建物内や公園内などの滞在者の人数をリアルタイムに集計することが比較的容易に実現できる。また、行政機関等からメールで防災情報を一斉にプッシュ配信したり、個人情報端末でインターネットから情報を取得したりすることは既に日常的に行われている。

従って、上のような技術の組み合わせにより、率先避難者情報を津波避難トリガーとして活用する新たなシステムの構築は、十分に実現可能と考える。

(2) 提案するシステム

図-1 に、提案するシステムを示す。地震が発生し、津波が接近している状況（図中の右端部分）を想定する。率先避難者や、自発的に避難を開始した避難者が避難場所に到達すると、人感センサ付きカメラが人流を自動感知する。カメラは常時インターネットに接続しており、カメラ画像は自動的にインターネットに送信される（図中の左側から左上隅を通して上の部分）。AI機能等を搭載したコンピュータにより、カメラ画像から人間を自動認識し、避難場所の滞在者の人数がリアルタイムに集計される（図中の右上部分）。行政機関はそれを取得し、あらかじめメールアドレスを登録している住民に対して、随時、防災情報として避難完了者の人数などをプッシュ配信する（図中の中央部分）。図-2 に、プッシュ配信される情報のイメージを示す。なお、防災情報をプッシュ配信するメールサービスの仕組みは多くの自治体で既に導入済みと考えられるので、今回提案するシステムの

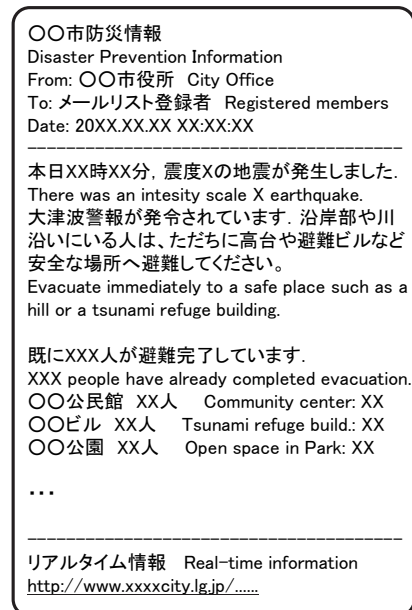


図-2 プッシュ配信される情報のイメージ

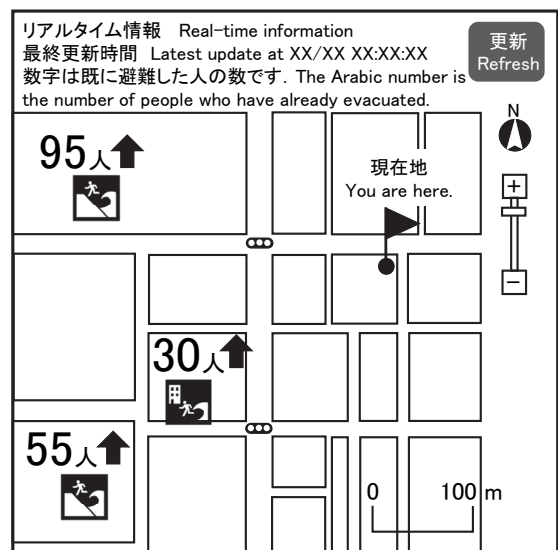


図-3 リアルタイム情報の画面のイメージ

円滑な普及を図るためには、既に導入されているシステムに付加的に機能を追加すればよい。避難者は、個人情報端末を通じて自分からリアルタイム情報を取得することも出来る（図-3）。図のなかで、避難者の現在地は個人情報端末のGPS機能で取得できる。また、避難場所の記号の上部にそれぞれ記載された数字は、既に避難した人の数を示しており、前回更新時よりも人数が増加した場合はそれを示す上向き矢印を付加するなど、情報の視覚化を行う。

以上のとおり、率先避難者の行動を「見える化」して、離れた場所からもリアルタイムで取得できる仕組みを構築し、率先避難者に関する物理的制約を解消する。

(3) 議論が必要な点

提案したシステムについて、議論が必要な点は主に以下のとおりである。

まず、提案したシステムは、率先避難者と追従避難者との間のコミュニケーションが、面識の無い人同士でも成立すると仮定している点が課題である。これまでの率先避難者の研究は、いずれも家族、近所の人、職場の人等の通常時から面識がある人や、消防団、町役場、警察署の人等の避難者からみて信頼感が既に醸成されている専門職種の人との間で見られた現象を対象としている。従って、面識の無い人の行動が追従避難者に及ぼす影響について検討が必要である。

また、提案したシステムを導入した場合に、避難安全性の向上に及ぼす効果をどのように把握するか課題である。率先避難者に関して津波を模擬した実験がこれまで行われていないことから分かるように (2(2)節)、事前に評価するのは難しい可能性がある。従って、試験的にシステムを構築し、避難訓練の際に参加者から聞き取りをするなど、効果を把握する手法について検討が必要である。

4. 結論

本稿は、津波時に周囲の人に促されて避難を開始する行動に着目し、既往の研究を整理するとともに、率先避難者に関する情報の活用方法について考察した。

その結果、過去の津波では地域住民の約 1 割から半数程度が周囲の人の行動をきっかけに避難を開始した事例が報告されていたことが分かった。また、常時インターネットに接続したカメラ等の IoT 技術の活用により率先避難者の行動を「見える化」して、離れた場所からもリアルタイムで率先避難者情報を取得できる仕組みを提案した。

参考文献

- 1) 三上俊治：災害警報への対応行動，東京大学新聞研究所編，災害と情報，東京大学出版会，pp. 63-99，1986.
- 2) 池田謙一：危機的状況における意思決定と情報の機能，東京大学新聞研究所編，災害と人間行動，東京大学出版会，pp.47-69，1982.
- 3) 片田敏孝，桑沢敬行，金井昌信，細井教平：地域防災力の向上を目的とした継続的地域研究の実践—三

- 重県尾鷲市における津波防災を事例として—，平成 17 年度「重点研究課題（研究助成金）」成果報告書（災害調査とその成果に基づく Social Co-learning のあり方に関する研究），添付資料 1，pp. 17-18，2006.
- 4) 河田恵昭，河野哲彦，城下英行，後藤隆一：南海地震津波に対する避難トリガーに特化した地域防災力向上に資する研究，海岸工学論文集，土木学会，第 52 巻，pp. 1261-1265，2005.
- 5) Baker E. J., Brigham J. C., Paredes J. A. and Smith D. D.: The social impact of Hurricane Eloise on Panama City, Florida, the Technical Paper of the State University System of Florida Sea Grant College Program, University of Florida, 64 p., 1976.
- 6) 田中重好：津波被害と住民の対応，田中二郎・田中重好・林春男著，災害と人間行動，東海大学出版会，pp. 175-200，1986.
- 7) 田崎篤郎：火山噴火・水害時における避難行動，安倍北夫・三隅二不二・岡部慶三編，自然災害の行動科学，福村出版，pp. 75-83，1988.
- 8) 富田孝史，有川太郎，熊谷兼太郎，松富英夫，原田賢治，Subandono Diposaptono：2010 年 Mentawai 地震津波の現地被害調査，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol. 67, No. 2, pp. I_1281-I_1285，2011.
- 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調査報告書，pp. 8-9，2011 年 5 月 <http://www.surece.co.jp/src/research/area/20110620.html>，（2017 年 4 月 1 日確認）。
- 10) Christensen L. and Ruch C. E.: The effect of social influence on response to hurricane warnings, *Disasters*, Vol. 4, No. 2, pp.205-210, Pergamon Press Ltd., 1980.
- 11) 井出佳野，城下英行：率先避難者の定量的効果測定法の提案，自然災害科学，日本自然災害学会，Vol.33，特別号，pp. 141-151，2014.
- 12) 青木義次・大佛俊泰：地震時火災と避難行動，大野隆造編，地震と人間，朝倉書店，pp.96-113，2007.
- 13) 木下猛，秋山怜子，清水孝一，小山内信智：土砂災害発生時における避難行動に関する簡易心理モデルの構築—長野県内の 3 つの市町を事例として—，砂防学会誌，Vol.62，No.4，pp.11-21，2009.
- 14) 熊谷兼太郎，富田孝史：津波避難開始時間の数理モデル，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol. 71, No.5, pp.I_171-I_180，2015.
- 15) 上田遼：ICT による津波避難の最適化—社会安全の共創に関する試論—，研究レポート，No. 434，35 p.，富士通総研経済研究所，2016.
- 16) 郡司ペギオ-幸夫：群れは意識をもつ，PHP 研究所，pp. 133-136，2013.

(2017. 4. 28 受付)

A STUDY ON INFLUENCE OF LEADING EVACUEES AND IOT-ENHANCED INFORMATION SYSTEM TO INDUCE TSUNAMI EVACUATION

Kentaro KUMAGAI and Kenji ONO

One of methodologies to increase the safety of tsunami evacuation is to start evacuation as early as possible. Because tsunami is difficult to recognize before its arrival, and there is little time to start inundation, there is possibility that the actions of the surrounding people are likely to trigger and to induce evacuation. In this study, focusing on evacuation activity affected by surrounding people, we reviewed the past researches and discussed how to utilize the information on leading evacuees. As a result, it was found that in the past tsunamis, about 10% to 50% of the local residents started evacuation with the actions of the surrounding people's activities. And, we propose a new information system that enables us to visualize the behavior of leading evacuees by utilizing cameras and other devices with the IoT-enhanced technology, connected to the internet all the time. The system will provide us information on the leading evacuees in real-time with no spacial restriction.