



省電力長距離通信を利用した津波災害時の避難支援
システムの研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 宮崎大学工学部 公開日: 2021-11-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 本田, 佳鈴, 岡崎, 直宣, 山場, 久昭, 油田, 健太郎, Honda, Karin メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10458/00010289

省電力長距離通信を利用した津波災害時の避難支援システムの研究

本田 佳鈴^{a)}・岡崎 直宣^{b)}・山場 久昭^{c)}・油田 健太郎^{d)}

Study on an Evacuation Support System for Tsunami Disasters Using Low Power Wide Area Network

Karin Honda, Naonobu OKAZAKI, Hisaaki YAMABA, Kentaro ABURADA

Abstract

In the previous research of our laboratory, we proposed an evacuation support system using ad hoc communication. However, since the evacuation support system in the previous research has a one-hop communication range for ad hoc communication, information may reach only the evacuees around the sender, and sufficient performance could not be obtained. Therefore, we thought that it would be more useful for evacuation if all the evacuees, not just those nearby, could receive the information. In this study, we improved the evacuation support system by using power-saving long-distance communication, which has excellent disaster resistance and can share information with all evacuees from communication with the server. In the experiment, we conducted an evacuation behavior simulation assuming a tsunami disaster and investigated the usefulness of the evacuation support system. In this study, we used Scenargie, which is a multi-agent simulation, to simulate evacuation behavior in the event of a tsunami disaster. In this simulation, in the case of the evacuation support system using power-saving long-distance communication, the number of people who completed evacuation began to exceed that of the evacuation support system using ad hoc communication from 1300, and 21 more people were able to complete evacuation at 1800s. From these results, it was found that the evacuation support system using power-saving long-distance communication is effective in the situation where the number of evacuees near the end of the simulation decreases.

Keywords: Evacuation behavior, Simulation, Scenargie, Tsunami

1. はじめに

日本は世界有数の自然災害大国である。台風、地震、津波、火山噴火などそのリスクは数えきれないほどで、毎年多くの被害が発生している。中でも、日本は北米プレート、ユーラシアプレート、太平洋プレート、フィリピン海プレートの4つのプレートの上に位置するため非常に地震が発生しやすく、世界で発生する地震の10%、マグニチュード6以上の地震に限定すると20%以上が日本で起きているとされている¹⁾。

特に南海トラフ巨大地震への備えは重要な課題の1つである。南海トラフは、駿河湾から遠州灘、熊野灘、紀伊半島の南側の海域及び土佐湾を経て日向灘沖までのフィリピン海プレート及びユーラシアプレートが接する海底の溝状の地形を形成する区域であり、この南海トラフ沿いのプレート境界を震源とする大規模な地震が南海トラフ巨大地震である。南海トラフ巨大地震が30年以内に発生する確率は70~80%と予測されており、静岡県から宮崎県にかけて震度7、それに隣接する周辺の広い地域では震度6弱から6強の強い揺れになると想定されている。それに伴い、関東地方から九州地方にかけての太平洋沿岸の広い地域に10mを超える大津波の襲来が想

定されており、多大な影響を及ぼすと予測されている²⁾³⁾⁴⁾。

我々は、地震にともなう津波が発生した時の避難誘導の計算機支援に注目している。これまで日本で起きた地震では、津波により避難途中の避難者の多くが犠牲となっている。津波警報が発令された場合、どのような経路で、どこに避難をすべきか、などの情報が把握できる避難支援システムが存在すれば、より迅速かつ安全に避難行動を行うことができると考えられる。

ここで配慮しなければならないのは、高齢者の犠牲者を減らす方策である。日本での津波に限らず一般的な大規模自然災害による犠牲者のうち高齢者の占める割合は、およそ60%以上⁵⁾となっている。日本は世界でもトップの高齢化社会であり、令和2年時点での日本の高齢化率は28.4%であり、高齢化率は今後増加すると予測されていることから⁶⁾、高齢者の犠牲者数を抑えるような対策をする必要がある。

以前の研究では、避難に要する時間の短縮をはかるため、避難所が定員を超えたという情報と、歩行速度を考慮して避難所を決定する避難所決定法を活用する避難誘導法を考案した。情報の共有を実現する手段として、アドホック通信を利用した。ただし、アドホック通信では情報の伝達可能範囲が狭く効果が限定的であるという問題があった。

そこで本研究では、伝達範囲がより広くなる省電力長距離通信を採用し、避難者の避難所要時間が短縮できるような避難所選択法を考案した。また、若者が不利な状況になってい

^{a)}工学専攻機械・情報系コース大学院生

^{b)}情報システム工学科教授

^{c)}情報システム工学科助教

^{d)}情報システム工学科准教授

ため、それを配慮するような工夫として、避難所選択モードの遷移を導入した。

以下に、本論文の構成を示す。2. 章では、以前の研究について述べる。4. 章では、省電力長距離通信について解説する。5. 章では、避難支援システムの変更点について説明する。6. 章ではシミュレーションについての、実装、シナリオ、実験の結果、考察について解説し、7. 章ではまとめ、今後の課題について述べる。

2. これまでの取り組み

本研究の以前の研究⁷⁾の避難支援システムは、アドホック通信を使用し、避難に役立つ情報として「避難所の満員情報」を避難者に共有し、「歩行速度を考慮した避難所決定手法」によって避難所を決定している。

本研究では、津波発生時に、迅速に避難できるように、スマホ等の通信機にインストールされたアプリケーションにより避難所までのルートガイドする避難支援システムを想定している。ただし、インターネットへの接続ができないことを前提とする。避難中は避難者は屋外にいるため、一般に無線LANは使用できない。また、地震のために、公衆電話回線(4G)を利用した通信もできない。そこで、スマホ等の通信機内の地図情報と、地震発生時点で取得していた現在位置の情報の2つのみから、最寄りの避難所までのルートを表示できるようにする。ところが、ネットワークを利用した情報共有ができないため、各アプリで独立して避難所を選ばざるを得ず、特定の避難所に避難者が集中することが発生してしまうことがある。すると、ある避難者が案内された避難所に到着した時、既にその避難所には入る余裕がなく、他の避難所を再選択して移動し直さなければならないことが頻発する。このことにより、全避難者の避難完了時間が長くなってしまう。このような問題から以前の研究⁷⁾では次の工夫を導入した。(1) 避難先の再選択・移動し直しに要する時間を短縮するために、ある避難所が定員を超えている時、そのことを到着前に知ることができるようにして、早い時点で再選択が行えるようにする。(2) 避難先再選択後の移動時間を短縮できるように、再選択の対象となる避難者は、子供や高齢者に比べて移動速度の速い若者とする。全員に最寄りの避難所を案内してしまうと、若者の方が先に到着し、若者だけで避難所が定員を超えてしまう。その結果として、子供や高齢者が移動し直すことになる。そこで、若者に案内する避難所を最寄りの避難所ではなく、2番目に近い避難所にする事により、避難先までの移動所要時間の点で若者に不利になるようにして、移動し直すのが若者になる確率を上げる。その結果として、移動し直した時の移動時間が短縮されることが期待できる。

以前の研究では、(1) (2) による工夫をアドホック通信を利用した情報共有により実現した。しかし以前の研究の避難支援システムは、アドホック通信でワンホップのみの通信範囲であるため、送信者の周囲にいる避難者にしか情報が届かないことがあり、十分な性能が得られなかった。以下にシステムの詳細を述べる。

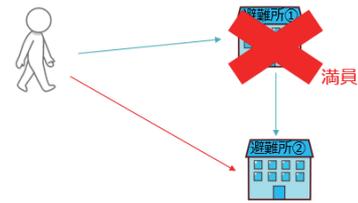


図1. 満員であることを知っている場合（赤線）と知らない場合（青線）の移動距離の違いのイメージ

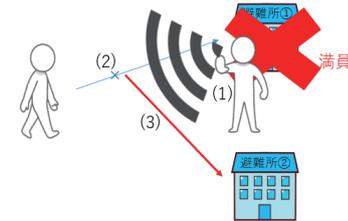


図2. 避難所の満員情報を送受信しているイメージ

2.1 アドホック通信

アドホック通信は、無線LANの通信モードのひとつで、通信基地局などのインフラストラクチャを用いなくとも、周りの無線ノードと自律的にネットワークを構築できる⁸⁾。そのため、柔軟性が高く、設置の容易なシステムを構築することができる通信方式といえる。以前の研究では、次節で説明する情報発信においてアドホック通信を利用している。ただし、通信範囲はワンホップであり、ネットワークの構築を行っているわけではない。

2.2 避難所の満員情報

避難中に起こりうる問題点について図1に示す。避難中に避難者が目的地としている避難所が満員であるとき、それを知らずに満員である避難所に到達し、またほかの避難所に行くことになり避難完了までにかかる移動距離と時間が増加してしまう。

この問題を解決するため、避難所の満員情報の共有を行う。避難所の満員情報の共有のイメージを図2に示す。(1) 避難所が定員に達したら、その避難所でその旨をアドホック通信で発信する。(2) 避難者のスマートフォンの避難誘導アプリは、それを受信すると、選択可能な避難所リストから当該の避難所を削除する。(3) 現在向かっている避難先が当該の避難所であった場合は、避難先の再選択を行い、進行先を変更する。なお、この情報の伝達範囲はワンホップまでであり、受信したスマートフォンが中継して再発信することはない。したがって、ある避難所が定員に達した時刻において、その避難所からアドホック通信が届く範囲（およそ半径100m⁹⁾）にいる避難者にしか、この情報は届かない。

2.3 歩行速度を考慮した避難所決定

エリア内に複数存在する避難所の中から、実際の避難先としてどの避難所を選択するのが良いかについては、一般には、各避難者の現在位置から最も近い位置にある避難所を選択するのが良いと考えられる。

より近い避難所を選ぶようにすれば、それだけ早く避難が

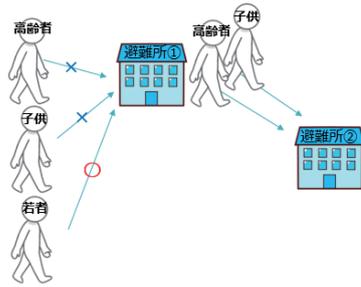


図 3. 避難先の分散をしない場合に起こる問題点

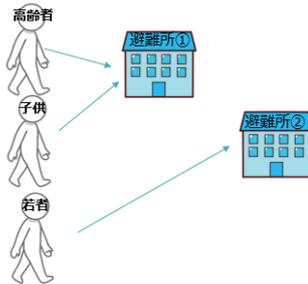


図 4. 歩行速度を考慮した避難所決定を利用する場合のイメージ

完了すると考えられる。ただしこの方法をとると、次のような問題が発生する。避難支援システムが避難者に指示した避難先が、ある避難所に集中してしまうと、到達した時に定員に達しており、結局その避難所に避難できない避難者が多く出てしまう。そのような避難者はまた別の避難所を選んで移動し直さなければならず、それが避難完了時間の遅れの原因となっている（図 3）。

また、同じ距離を移動したとしても、若者よりも子供や高齢者のほうが移動時間がかかってしまうことから、子供や高齢者の移動距離が増えるとさらに時間がかかってしまう。よって歩行速度の遅い子供や高齢者の移動距離はなるべく小さくしたほうが良い。

これらのことから、「歩行速度を考慮した避難所決定」を提案した。歩行速度を考慮した避難所決定は、歩行速度の遅い子供や高齢者は 1 番近い避難所に（以降、最近接避難所選択モードと呼ぶ）、歩行速度の速い若者は 2 番目に近い避難所に避難させる方法（以降、次近接避難所選択モードと呼ぶ）である（図 4）。

2.4 アドホック通信を利用した避難誘導法

避難支援システムの全体像を図 5 に示す。避難支援システムは、「避難所の満員情報」と「歩行速度を考慮した避難所決定」の 2 つを避難誘導に利用している。(1) 避難者が避難所 A に到達したことで、避難所が収容人数の上限に達した時、(2) 避難所の管理者が基地局に避難所 A の満員情報を発信する。(3) (2) により送信されたパケットを他の避難者が受信すると、避難所 A の情報を保存し、目的地の候補から除外する。(4) パケットを受信した避難者の中で避難所 A を目的地としている避難者は、歩行速度を考慮した避難所決定により、子供や高齢者は最近接避難所選択モードにより選択された避難所 B を目的地として設定し、若者は次近接避難所選択モードにより選択された避難所 C を目的地として設定し、移動を始める。避難者の最初の目的地も歩行速度を考慮した避難所決

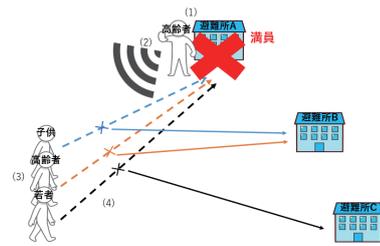


図 5. 避難支援システムの全体像（アドホック通信）

表 1. エージェント設定（以前の研究）

対象人数 [人]	1000		
グループ	子供	若者	高齢者
色	黄	水	黒
人数 [人]	110	611	279
歩行速度 [m/s]	1.0~3.0	4.0~5.0	0.5~2.0
年齢	4~14	15~64	65~100
初期配置	観光地中心		
目的地	複数設定された避難所		

定法によって決定する。

3. シミュレーション

青島地区の詳細地図を使用して避難支援システムのシミュレーションを行った。エージェント設定を表 1 に示す。

シミュレーションの結果、アドホック通信を利用した避難支援システムは 1450s 時点で避難完了したが、アドホック通信を利用した避難支援システムを使用しない場合は 1800s 時点でも避難完了しなかった。これらの結果から、避難支援システムを使用することで避難完了までにかかる移動距離と時間の短縮と、歩行速度の遅い子供や高齢者の避難の手助けに有効であることがわかる。

しかし、以前の研究の避難支援システムは、アドホック通信でワンホップのみの通信範囲であるため距離の離れた場所に位置する避難者には情報が届かない。そのため、距離の離れた場所に位置する避難者が満員となっている避難所に行ってしまう、避難距離と時間が増加してしまう可能性がある。よって本研究では、通信方式をアドホック通信から、サーバとの通信から避難者全員に情報を共有できる省電力長距離通信に変更し、避難完了までの移動距離と時間の短縮を目指す。

4. 省電力長距離通信

本章では、本研究の提案システムで使用する省電力長距離通信について文献¹⁰⁾を参考に説明する。モノのインターネットである IoT (Internet of Things) を実現するため従来の無線通信技術を使用すると通信距離や消費電力、コストなど様々な問題が生じたため、IoT に適した無線通信技術として、省電力長距離通信が開発された。省電力長距離通信は、次の 3 つの要件があげられる。1 つ目は、電池交換が困難な場所に設置することがあるため、電池の寿命を長くできるような低消費電力であること。2 つ目は、中継器の設置コストと電力供給の問題を解決するため、広域データ通信であること。3 つ目は、将来の情報化社会ではニーズがあるため、膨大な数のモノに接

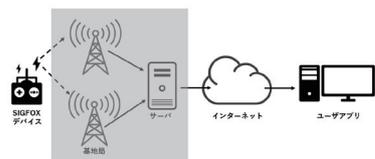


図 6. SIGFOX システム (文献¹⁰) を参考に作図

続できること。

低消費電力でありながら長距離通信が可能であることかつ、電池で動作し、地震直後で停電がおこる場合でも利用可能であることから、災害時に優れていると考え本研究で採用した。以下に、省電力長距離通信の技術である SIGFOX と LoRaWAN について説明する。

4.1 SIGFOX

SIGFOX 技術は、フランスの Sigfox 社が開発した無線通信技術である。SIGFOX の IoT 通信ビジネスは、携帯電話事業と同様にサービスを提供することを特徴としている。使用エリアをカバーする基地局通信インフラを整備する上で、低額の IoT 通信サービスを公衆に提供し、多くの利用者から得た利用料金で初期投資を回収する。SIGFOX 通信サービスは、1 国に 1 社しか SIGFOX ネットワーク事業者を認めないポリシーがある。日本では、2016 年に京セラコミュニケーションシステム社が Sigfox 社と契約している。

従来の無線センサネットワークは、無線デバイス、基地局の設置、インターネット接続は、すべてユーザが行う。これは、使用料金はかからないが初期設置コストが大きな負担となる。SIGFOX の場合、ユーザは SIGFOX デバイスと利用契約をするのみで通信インフラの設置は不要となる。SIGFOX システムの仕組みを図 6 示す。SIGFOX のサービスエリア内に SIGFOX デバイスを設置すると、パケットを周辺の基地局に送る。次に基地局からサーバへパケットを転送する。最後にサーバはインターネットを介してユーザが設定したプロトコルでユーザアプリケーションを呼び出す。灰色で囲った部分は通信事業者が設置・運営を行う。

4.2 LoRaWAN

LoRa は、Semtech 社が開発した低消費電力・長距離通信用変調技術の名称で、Long Range の略である。また LoRaWAN は、Semtech 社が主導する LoRa アライアンスにより提唱された広域ネットワーク WAN の規格である。従来 LoRa 変調技術は、Semtech 社のみが保有する特別な無線技術であったが、2015 年に Semtech 社が LoRa アライアンスを立ち上げ、オープンな環境で利用できるようになった。LoRaWAN は、SIGFOX とは違い地域単位の提供も可能である。

LoRaWAN システムの仕組みを図 7 に示す。LoRaWAN のサービスエリア内であれば、LoRaWAN デバイスが送信したパケットは近くの基地局に届き、基地局はサーバにパケットを転送する。ユーザは、インターネットを介してサーバにアクセスしパケットを確認することができる。現在 LoRaWAN 規格で規定されているのは、LoRaWAN デバイスと基地局間のみである (図 7 の青破線)。LoRaWAN は、通信事業者が提供する通信インフラの利用に限定されることなく、自営の LoRaWAN 無線局での利用も可能である。通信事業者が提供

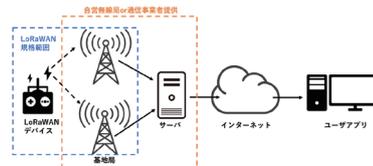


図 7. LoRaWAN システム (文献¹⁰) を参考に作図

する通信インフラを利用する場合は、通信事業者との間で利用契約を結ぶ必要がある。また、自営の LoRaWAN 無線局で利用する場合は、通信インフラ (基地局とサーバ) を自ら設置する必要がある (図 7 の橙破線)。

通信事業者に頼らずネットワーク構築が可能であり、通信仕様が公開されているため、本研究では LoRaWAN を参考にネットワークを構築した。

5. 避難支援システムの変更点

本章では、本研究室における避難支援システムについて、以前の研究⁷⁾の避難支援システムから変更した点について説明する。

5.1 避難支援システムの全体像

本研究は、通信方式をアドホック通信から省電力長距離通信に変更している。以前の研究で利用されたアドホック通信は、ワンホップのみの通信範囲であるため送信者の周囲にいる避難者にしか情報が届かない。例えば、避難所 A が満員になったときに避難者がアドホック通信により情報を送信したとする。送信者の周囲にいなかった避難者は、避難所 A が満員になっていることを知らずに避難所 A を目的地に設定する場合がある。この場合、すでに満員になっている避難所 A に到達するも避難できずに目的地を新たに決定して再度動き始めることになり、直接空きのある避難所に行くよりも遠回りしてしまうことで、移動距離と時間が増加してしまう。避難所 A が満員になったことを全避難者が知ることができればこのような現象が防げると考え、サーバとの通信から避難者全員に情報を共有できる省電力長距離通信に変更した。

図 8 に省電力長距離通信を利用した避難支援システムの全体像を示す。(1) 避難者が避難所 A に到達してから避難所が収容人数の上限に達した時、(2) 避難所の管理者が基地局に避難所 A の情報を送信する。(3) (2) のパケットを受けとった基地局はサーバにそのパケットを転送する。(4) サーバは、すべての基地局に避難所 A の情報を送信し、(5) 基地局は通信範囲内のすべての避難者に避難所 A の情報を送信する。図 9 に省電力長距離通信の通信範囲を、図 10 にアドホック通信の通信範囲を示す。(6) (5) の情報を受け取った避難者で、目的地としていた避難所が避難所 A であった場合は、歩行速度を考慮した避難所決定法により子供と高齢者は最近接避難所選択モードで、若者は次近接避難所選択モードで避難所に避難する。避難所 A 以外を目的地としていた場合は、目的地の変更をせずにそのまま避難を続ける。

5.2 若者への最近接避難所選択モードの適用

避難者の通信機に導入されている誘導アプリには、避難所選択の際に当該避難者に最も近い位置にある避難所を選ぶ「最近接避難所選択モード」と 2 番目に近い避難所を選ぶ「次近

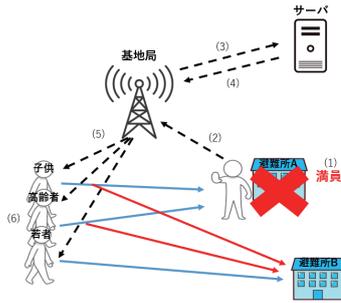


図 8. 省電力長距離通信を利用した避難支援システムの全体像

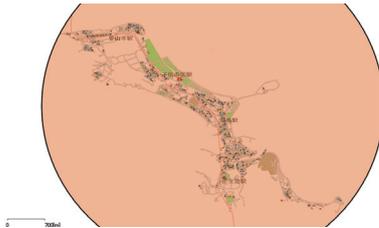


図 9. 省電力長距離通信の通信範囲



図 10. アドホック通信の通信範囲

「最近接避難所選択モード」が共に用意されているものとしている。以前の研究では、若者は常に「次近接避難所選択モード」、子供と高齢者は常に「最近接避難所選択モード」で動作するようにしていた。しかしこの方法は、歩行速度の遅い子供や高齢者を優先する方法となっており、若者に不利な方法であった。そこで若者にも配慮するような工夫として、若者は、避難開始時点では「次近接避難所選択モード」であるが、別に設定する時間が経過したら「最近接避難所選択モード」に遷移する方法をとることとした。

若者への最近接避難所選択モードの適用イメージを図 11 に示す。これにより、指定した時間になると若者は、最近接避難所選択モードに遷移し、現在位置から 1 番近い避難所に行けるようにする。言い換えると全避難者が現在位置から 1 番近い避難所に行けるようになる。指定時間以前は、子供と高齢者は最近接避難所選択モード、若者は次近接避難所選択モードにより目的地を決定する。

上記の方法を実現するにあたっての避難支援システムの動作を図 12 に示す。まず (1) 指定時間になるとサーバが避難者に目的地の再決定を行わせるためのパケットを基地局に送信し、(2) 基地局は受け取ったパケットを通信範囲内のすべての避難者に転送する。(3) パケットを受けとった若者は、最近接避難所選択モードに遷移し、1 番近い避難所に向かうようにする。子供や高齢者はもともと最近接避難所選択モードであるため、目的地を変更するのは若者である。

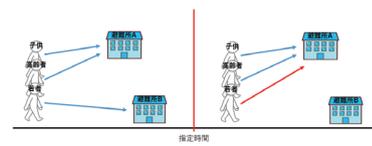


図 11. 若者への最近接避難所選択モードの適用イメージ

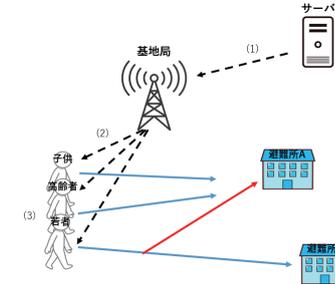


図 12. 若者への最近接避難所選択モードを適用した避難支援システムの動作

6. シミュレーション

避難支援システムに省電力長距離通信を利用することで、避難完了までの移動距離と時間が短縮されるという仮説の下、避難者の避難完了までの時間の変化を調べるため、津波災害時の避難行動を想定したシミュレーションを行う。

本研究では、避難支援システムに省電力長距離通信を利用した場合のシミュレーションを行う。また比較のため、避難支援システムにアドホック通信を適用した場合と、避難支援システムを利用しない場合のシミュレーションを行う。さらに避難所選択モードの遷移について、指定時間を 100~800s の間 100s 刻みで変更しシミュレーションを行う。

6.1 前提条件

シミュレーションを行うにあたっての前提条件を説明する。避難者全員に通信機を持たせパケットの送受信ができるものとし、通信機の中には目的地となる避難所と避難所までの最短ルートが表示されるアプリケーションがインストールされているものとする。アプリケーションは、シミュレーションが開始されるとすぐに、「歩行速度を考慮した避難所決定」によって目的地を決定する。

各避難所には収容数の上限があり、避難所によって異なる。また、各避難所の総収容数は避難者の人数を上回り、避難者全員が十分に避難できる。

避難者は、初期位置から出発し目的地が決まると最短距離の道順で移動を始め、到達した避難所が収容人数を超えて滞在できない場合は他の避難所に移動する。何も指定がない場合は 1 番近い避難所を目的地とする。

省電力長距離通信では、避難者全員が省電力長距離通信端末を所持しているとし、サーバと通信を行い情報を共有する。

アドホック通信では、避難者全員が携帯端末を所持し、アクセスポイントやクラウドにアクセスできない場合を想定して端末間でアドホック通信を用いて情報共有を行う。

6.2 Scenargie

本研究では Scenargie を用いてシミュレーションを行った。Scenargie は、Space-Time Engineering 社で開発された離散

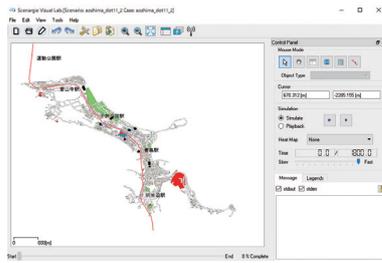


図 13. Scenargie Visual Lab

事象シミュレータである。現実世界での無線通信や人の行動の流れをソフトウェア上でシミュレーションし、通信品質や人の振る舞いをコンピュータ上で評価することが可能である¹¹⁾。Scenargie の特徴として以下のものが挙げられる。

- GIS(地理情報システム) との連携が可能である。
- ノードの移動など GIS をシミュレータ内でも利用可能である。
- 並列計算エンジンによって 1 つのシナリオを並列化して計算することが可能である。
- 外部のシミュレータとの連携 API を持っており、交通流シミュレータと連携してシミュレーションを行うことが可能である。
- コーディングが標準 C++ に従って統一されており、比較的容易に新しいプロトコルの実装を行うことが可能である。

本研究で Scenargie を選択した理由としては、シミュレーションを行う上で実地図を扱いたいため、GIS 標準の shape ファイルの読み込みが可能である点や、GUI 環境上(図 13)でほとんどの操作を行うことができるため比較的容易に扱える点、コーディングが読みやすく機能の実装がしやすい点が挙げられる。

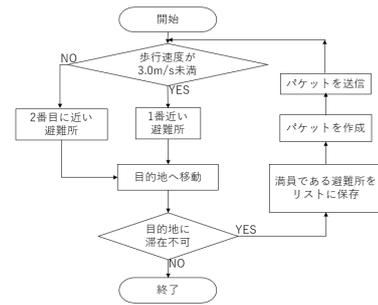
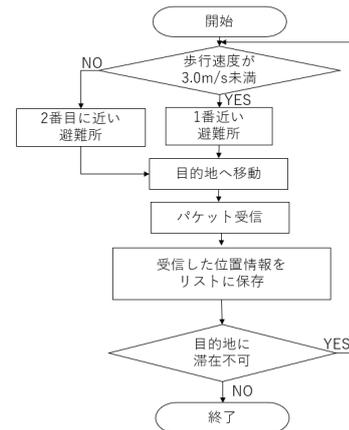
6.3 実装方法

シミュレーション実験を実装するにあたって、送信側・受信側についての処理の流れ、パケットの判定方法について説明する。

6.4 以前の研究⁷⁾の避難支援システム

処理の流れを送信側(図 14)と受信側(図 15)に分けて説明する。この際に実装の問題上、歩行速度が 3.0m/s 未満の避難者を子供・高齢者と判断し現在位置から 1 番近い避難所、歩行速度が 3.0m/s 以上の避難者を若者と判断し現在位置から 2 番目に近い避難所に目的地を決定し移動を始める。目的地に到達し避難所が収容人数の上限を超え満員になっていた場合、目的地に滞在不可と判断し、満員である避難所が保有されて、通信機のリストに保存する。その後、満員情報共有のためのパケットを作成し、通信範囲内の通信機宛に送信する。パケットの送信にはアドホック通信を使用して通信機はブロードキャストする。目的地に到達し避難所が収容人数の上限を超えていない場合、目的地に滞在可能と判断し移動を終了する。

受信側では、送信側から送信されたパケットを受信すると、受け取った満員である避難所の位置情報を通信機のリストに保存する。現在目的地としている避難所がパケットに含まれる満員である避難所であれば「歩行速度を考慮した避難所決

図 14. 送信側の処理⁽⁷⁾より引用図 15. 受信側の処理⁽⁷⁾より引用

定」に従って目的地を再決定し、再度移動を始める。そうでない場合は、そのまま移動を続ける。

6.4.1 省電力長距離通信

本研究では、以前の研究の避難支援システムの通信方式であるアドホック通信から、省電力長距離通信に変更した。送受信の処理は以前の研究と同様であるので、省電力長距離通信の実装方法を述べる。アドホック通信は、送信者がパケットをブロードキャストし、通信距離の範囲内にいる避難者が受信するという単純な方法であった。しかし省電力長距離通信の場合は、通信機と基地局間、基地局とサーバ間では通信方式が異なり、通信機とサーバで送受信するには基地局を経由する必要がある。このことから省電力長距離通信の実装は困難であった。

本研究では、省電力長距離通信の実装にあたって LoRaWAN を参考にした。LoRaWAN を再現するにあたって変調技術である LoRa は本研究室の Scenargie には実装されていない。そのため送受信方法を再現する。LoRaWAN は ALOHA 方式を用いて双方向通信を行っていることから、通信機と基地局間は ALOHA 方式を用いた。ALOHA 方式では、送信者は任意のタイミングでパケットを送信し、受信者はパケットの受信に成功したら送信者に返答する。受信者から応答がない場合は、任意時間待つて再送する¹²⁾。基地局とサーバ間は有線を用いてネットワークを構築した。

実装の都合上、省電力長距離通信ではブロードキャストによってパケットを送信する。Scenargie では、ユニキャストまたはブロードキャストによってパケットを送信できる。ユニキャストを使用する場合は、各通信機がルーティングテーブ

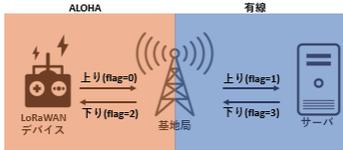


図 16. 本研究の避難支援システムのネットワーク構成

ルを作成する必要がある。ルーティングテーブルを作成するために膨大な数のパケットを送るためシミュレーションが動作しないという現象が起きたため、ブロードキャストを使用して送信することにした。

ブロードキャストを行うと通信機、基地局、サーバすべてにパケットが届いてしまうため、届いたとしても意図するパケットでない限り破棄するよう実装した。まず、アドホック通信のパケットでは避難所の位置情報だけ格納していたが、省電力長距離通信では packetID と flag を追加した。packetID はブロードキャストストームを防ぐために使用する。flag は、受信したパケットを処理するか、何もせずに破棄するか判断するために使用するものである。

実装の説明にあたって、本研究の避難支援システムのネットワーク構成を図 16 に、パケットの処理の流れを図 17 に示す。個々の通信機に packetID を格納するリストがあらかじめ用意される。パケットを受信すると、リスト内に packetID がないかチェックする。すでに packetID がある場合は、以前受信したことがあるパケットなので何もせずに破棄する。リスト内に packetID が無い場合、以下の処理を行う。

flag が 1 の場合、基地局からの上り通信であることを表し、その場合受信者はサーバでなければならない。そのため、受信者がサーバで flag=1 の場合正しい通信とみなしサーバは次の処理を行う。まず、新たなパケットを送信するため packetID を 1 増やすことで新たな packetID を生成する。次に、受信したパケットの位置情報と新たに生成した packetID、flag=3 (サーバが基地局に下り通信) を使用してペイロードを作成、新たに生成した packetID をリストに登録し、パケットを送信する。

flag が 0 の場合、デバイスからの上り通信であることを表し、その場合受信者は基地局でなければならない。そのため、受信者が基地局で flag=0 の場合正しい通信とみなし基地局は次の処理を行う。ペイロードを生成する際には、基地局がサーバにパケットを送る上り通信のため、flag=1 となる。

flag が 3 の場合、サーバからの下り通信であることを表し、その場合受信者は基地局でなければならない。そのため、受信者が基地局で flag=3 の場合正しい通信とみなし基地局は次の処理を行う。ペイロードを生成する際には、基地局がデバイスにパケットを送る下り通信のため、flag=2 となる。

flag が 2 の場合、基地局からの下り通信であることを表し、その場合受信者はデバイスでなければならない。そのため、受信者がデバイスで flag=2 の場合正しい通信とみなしデバイスは次の処理を行う。デバイスが flag=2 のパケットを受信すると、パケットの位置情報をリストに保存し、通信終了となる。

6.4.2 避難所選択モードの遷移

本研究では、若者の避難についても配慮するため避難所選択モードの遷移を実装する。避難所選択モードの遷移を実装

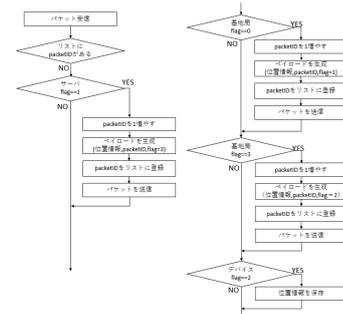


図 17. パケット処理の流れ

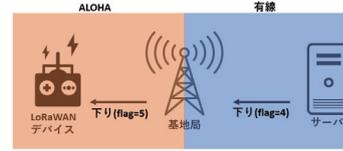


図 18. 避難所選択モードの遷移の通信動作

するにあたって、避難所の満員情報を送るときに行う通信と避難所選択モードの遷移を指示する通信を分けたいので、flag の種類を増やす。

避難所選択モードの遷移のパケットの通信動作を図 18 に示す。最初にサーバが基地局に下り通信を行い、基地局は受信したパケットをデバイスに下り通信し、転送する。避難所選択モードの遷移のパケット処理の流れを図 19 に示す。避難所の満員情報を送るときに行う通信はデバイスから送信を始めるが、避難所選択モードの遷移の場合はサーバから送信を始める。サーバが指定時間になると flag=4 と packetID をペイロードとしてパケットを送信する。受信したパケットが flag=4 の場合、サーバからの下り通信であることを表し、その場合受信者は基地局でなければならない。そのため、受信者が基地局で flag=4 の場合正しい通信とみなし基地局は次の処理を行う。まず、新たなパケットを送信するため packetID を 1 増やすことで新たな packetID を生成する。次に、新たに生成した packetID、flag=5 (基地局がデバイスに下り通信) を使用してペイロードを作成、新たに生成した packetID をリストに登録し、パケットを送信する。

受信したパケットが flag=5 の場合、基地局からの下り通信であることを表し、その場合受信者はデバイスでなければならない。そのため、受信者がデバイスで flag=5 の場合正しい通信とみなし、目的地の再計算を行う。

6.5 シナリオ

今回のシミュレーションでは、青島地区の詳細な地図を用いてシナリオを用意した。文献¹³⁾を基に、宮崎市全体の宿泊者数の内、青島地区に宿泊した人数の割合である 15%を宮崎市全体の月別観光入込客数に掛けたものを、青島地区における月別観光入込客数と仮定し、客数最多である 8月のものを参考に 1日間の観光客数を求めた。1日間の観光客数と青島の人口を足し合わせ、その約 7分の 1の人数を対象人数とした。そして、歩行速度を基準にエージェントを子供、若者、高齢者の 3つのグループに分類した。それぞれの人数を宮崎市の年齢別人口¹⁴⁾の割合から設定した。また、住民と観光客の割合を求め、グループごとに住民と観光客に分けた。エー

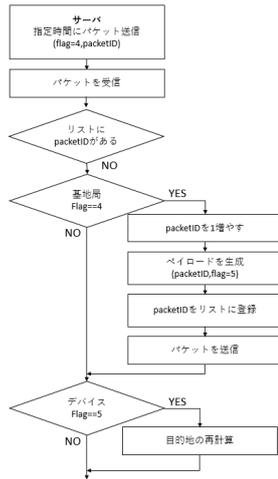


図 19. 避難所選択モードの遷移の処理の流れ



図 20. シミュレーションの様子

エージェントの人数の内訳を表 2 に、エージェントの設定を表 3 に示す。

青島地区の津波用の指定緊急避難所を目的地として設定した¹⁵⁾。避難所の収容人数を設定するにあたって、津波から緊急に避難する場合を考えると、収容人数を超えて避難者が押し寄せると考えた。満員電車の人口密度が1m²あたり6人ほど収容できるので¹⁶⁾、その半分の1m²あたり3人収容する。シミュレーションは現実の約7分の1の規模となっているため、避難所の収容人数を7で割り、収容人数について1m²あたり1人収容すると記述があったので3倍した。避難所の収容人数設定一覧を表 4 に示す。

避難所以外の建物や道路のパラメータは Scenargie のデフォルトで設定が行われており、それぞれ、建物は高さ 10 m、収容人数 100 人、収容車両数 100 台、道路は幅 15 m、制限速度 60 km/h、収容人数 7 人 (1 m² 当たり)、車両・歩行者通行可となっている。

省電力長距離通信の有用性を調べるため、以前の研究のアドホック通信を利用した避難支援システムと本研究の省電力長距離通信を利用した避難支援システム、避難支援システムを利用しない場合の 3 つの場合で 5 回ずつシミュレーションを行い、時間ごとの避難完了人数の平均値を求めた。アドホック通信を利用した避難支援システムについて、以前の研究のシナリオに変更を加えているため、本研究のシナリオを使用して再度シミュレーションし直した。シミュレーションの時間は 1800s とした。また、本研究の省電力長距離通信を利用した避難支援システムに避難所選択モードの遷移を適用した場合について、100s から 800s まで 100s 刻みでシミュレーションを行う。シミュレーションの様子を図 20 に示す。赤くなっている部分が目的地となる避難所で、小さい点はエージェントである。

表 2. エージェント人数の内訳

対象人数 [人]					
1000					
子供		若者		高齢者	
110		611		279	
住民	観光客	住民	観光客	住民	観光客
51	59	281	330	128	151

表 3. エージェント設定

グループ	子供	若者	高齢者
色	黄	水	黒
歩行速度 [m/s]	1.0~3.0	4.0~5.0	0.5~2.0
年齢	4~14	15~64	65~100
初期配置 (住民)	全建物		
初期配置 (観光客)	観光地中心		
目的地	複数設定された避難所		

表 4. 避難所と収容人数

避難所	収容人数 [人]
青島中学校	453
グランマリン	64
ドルフィン	64
ロコビーチ	214
ラメールブルー	86
ANA ホリデイインリゾート宮崎	43
青島グランドホテル	228
青島地域総合センター	231
青島 9 区一時避難所	52
青島 10 区一時避難所	21
合計	1458

6.6 結果

6.6.1 避難所が定員に達した時の再選択の効果

時間ごとの避難完了人数の平均値のシミュレーション結果を図 21 に示す。縦軸と横軸はそれぞれ避難完了人数とシミュレーション時間である。赤線が本研究の省電力長距離無線を利用した避難支援システム、青線が以前の研究のアドホック通信を利用した避難支援システム、緑線が避難支援システムを利用しない場合を表す。また、破線の縦線は宮崎市の津波到着時間である 1080s である。

省電力長距離通信利用した避難支援システムと避難支援システムを利用しない場合を比較すると、400s あたりから省電力長距離通信を利用した避難支援システムの避難完了人数が上回り始め、宮崎市の津波到着時間である 1080s 時点では、省電力長距離通信を利用した避難支援システムは 899 人、避難支援システムを利用しない場合は 832 人であり、省電力長距離通信を利用した避難支援システムが 67 人多い結果となった。550s 時点では、省電力長距離通信を利用した避難支援システムが 161 人多く避難完了していた。

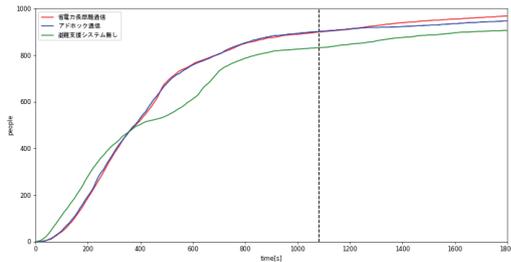


図 21. 避難完了人数の推移

表 5. 避難先変更回数

	省電力長距離通信	アドホック通信
1	218	342
2	228	268
3	206	329
4	213	269
5	257	362
平均	224	314

6.6.2 省電力長距離通信とアドホック通信の性能差

● 避難完了人数

図 21 より、省電力長距離通信を利用した避難支援システムとアドホック通信を利用した避難支援システムを比較すると、1300s 以前は両方同様な避難完了人数の推移であるが、1300s 以降は省電力長距離通信を利用した避難支援システムが避難完了人数の推移を上回る。1800s 時点の避難完了人数は、省電力長距離通信を利用した避難支援システムが 968 人、アドホック通信を利用した避難支援システムは 947 人であり、省電力長距離通信を利用した避難支援システムが 21 人多く避難完了できた。

● 避難先変更回数

全避難者が経路を変更した総数（表 5）は、省電力長距離通信を利用した避難支援システムは平均 224 回、アドホック通信を利用した避難支援システムは平均 314 回となっており、省電力長距離通信を利用した避難支援システムが約 100 回ほど少ない。

● 満員情報共有パケット数とパケット数と定員に達した避難所数

避難者が到達した避難所が満員であった時に送るパケット（表 6）は、省電力長距離通信を利用した避難支援システムは平均 11 回、アドホック通信を利用した避難支援システムは平均 51 回となっており、省電力長距離通信を利用した避難支援システムが 40 回少ない。

満員になった避難所の数は、省電力長距離通信を利用した避難支援システムは 7 か所、アドホック通信を利用した避難支援システムは 8 か所であった。図 22 は、青島地区の地図上に避難名と収容人数を記述し、省電力長距離通信を利用した避難支援システムとアドホック通信を利用した避難支援システムの 5 回ずつのシミュレーションで満員となった避難所を

表 6. 満員情報共有パケット数

	省電力長距離通信	アドホック通信
1	12	54
2	12	44
3	11	58
4	10	48
5	8	53
平均	11	51

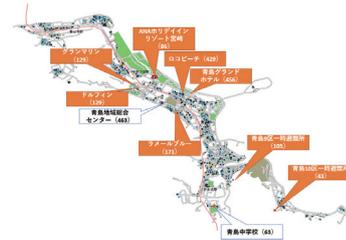


図 22. 避難所の配置（橙の吹き出しが満員となった避難所）

橙色に表示している。なお、省電力長距離通信では、この 8 つのうちのいずれか 1 つが満員にならず、7 か所という結果になっている。

6.6.3 省電力長距離通信での年齢層ごとの避難完了人数の推移

年齢層それぞれの避難完了人数の時間ごとの割合の結果を図 23 に示す。子供、若者、高齢者はそれぞれ人数が違うので割合で表す。縦軸と横軸はそれぞれ避難完了人数割合とシミュレーション時間である。緑線は子供、青線は若者、黒線は高齢者を表し、実線は省電力長距離通信を利用した避難支援システム、破線はアドホック通信を利用した避難支援システム、点線は避難支援システムを利用しない場合を示す。

省電力長距離通信を利用した避難支援システムとアドホック通信を利用した避難支援システムを年齢層ごとに比較する。若者は概ね同様であり、子供は 500s あたりから 1200s あたりまでアドホック通信を利用した避難支援システムが上回っておりそれ以外は同様である。高齢者は 600s あたりから 1200s あたりまでアドホック通信を利用した避難支援システムが上回っているが、1200s 以降は省電力長距離通信を利用した避難支援システムが上回っている。省電力長距離通信を利用した避難支援システムとアドホック通信を利用した避難支援システム、避難支援システムを利用しない場合の避難完了人数の割合について、1080s 時点のものを表 7 に、1800s 時点のものを表 8 に示す。

6.6.4 避難所選択モードの遷移の効果

省電力長距離通信を利用した避難支援システムに避難所選択モードの遷移を追加した時の時間ごとの避難完了人数の平均値のシミュレーション結果を図 24、図 25 に示す。縦軸と横軸はそれぞれ避難完了人数とシミュレーション時間である。図 24 の赤線は避難所選択モードの遷移の指定時間が 100s の時、青線は避難所選択モードの遷移の指定時間が 200s の時、緑線は避難所選択モードの遷移の指定時間が 300s の時、黒線は避難所選択モードの遷移の指定時間が 400s の時、橙線は避

[tb]

表 7. 1080s 時点での年齢層毎の避難完了人数割合

1080s	子供 [%]	若者 [%]	高齢者 [%]
省電力長距離通信	88	98	71
アドホック通信	90	98	74
避難支援システム無し	73	99	53

[tb]

表 8. 1800s 時点での年齢層毎の避難完了人数割合

1800s	子供 [%]	若者 [%]	高齢者 [%]
省電力長距離通信	98	100	90
アドホック通信	97	99	85
避難支援システム無し	87	100	71

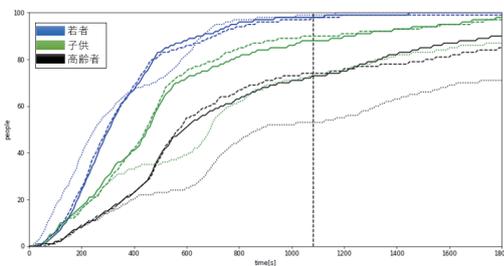


図 23. 年齢層毎の避難完了人数の割合（実線：省電力長距離通信、破線：アドホック通信、点線：避難支援システムを利用しない場合）

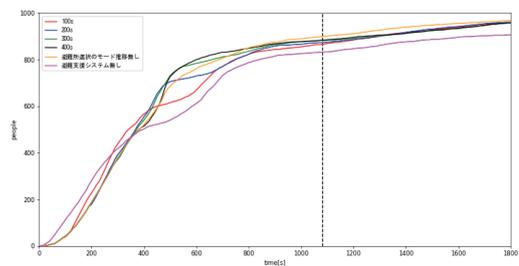


図 24. 避難所選択モードの遷移の避難完了人数の推移（100s～400s）

難所選択モードの遷移を適用しない場合、ピンク線は避難支援システムを利用しない場合である。図 25 の赤線は避難所選択モードの遷移の指定時間が 500s の時、青線は避難所選択モードの遷移の指定時間が 600s の時、緑線は避難所選択モードの遷移の指定時間が 700s の時、黒線は避難所選択モードの遷移の指定時間が 800s の時、橙線は避難所選択モードの遷移を適用しない場合、ピンク線は避難支援システムを利用しない場合である。

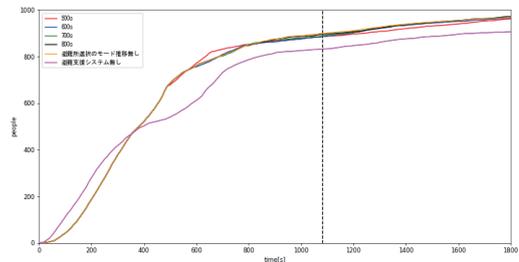


図 25. 避難所選択モードの遷移の避難完了人数の推移（500s～800s）

図 24、図 25 について、避難所選択モードの遷移の指定時間が 100s～500s について、シミュレーション時間が 400s～800s あたりで避難完了人数が避難所選択モードの遷移を適用しない場合より上回っても、それ以降は避難所選択モードの遷移を適用しない場合が上回る。避難所選択モードの遷移の指定時間が 600s～800s では、避難所選択モードの遷移を適用しない場合と概ね同様である。表 9 に 1080s 時点と 1800s 時点の避難完了人数を示す。

遷移を適用しない場合を示す。図 27 の実線は避難所選択モードの遷移の指定時間が 300s の時、破線は避難所選択モードの遷移の指定時間が 400s の時、点線は避難所選択モードの遷移を適用しない場合を示す。図 28 の実線は避難所選択モードの遷移の指定時間が 500s の時、破線は避難所選択モードの遷移の指定時間が 600s の時、点線は避難所選択モードの遷移を適用しない場合を示す。図 29 の実線は避難所選択モードの遷移の指定時間が 700s の時、破線は避難所選択モードの遷移の指定時間が 800s の時、点線は避難所選択モードの遷移を適用しない場合を示す。

6.6.5 避難所選択モードの遷移での年齢層ごとの避難完了人数の推移

年齢層それぞれの避難完了人数の時間ごとの割合の結果を図 26、図 27、図 28、図 29 に示す。縦軸と横軸はそれぞれ避難完了人数割合とシミュレーション時間である。緑線は子供、青線は若者、黒線は高齢者を表す。図 26 の実線は避難所選択モードの遷移の指定時間が 100s の時、破線は避難所選択モードの遷移の指定時間が 200s の時、点線は避難所選択モードの

図 26 について、避難所選択モードの遷移の指定時間が 100s の時の、シミュレーション時間が 400s あたりまでの若者の避難完了人数は避難所選択モードの遷移を適用しない場合よりも増加している。しかし、避難所選択モードの遷移の指定時間が 100s の時は子供と高齢者についてシミュレーション時間が

[tb]

表 9. 避難所選択モードの遷移の避難完了人数

指定時間 [s]	避難完了人数 (1080s)	避難完了人数 (1800s)
100	866	958
200	873	960
300	882	957
400	883	957
500	886	961
600	885	966
700	888	970
800	895	971

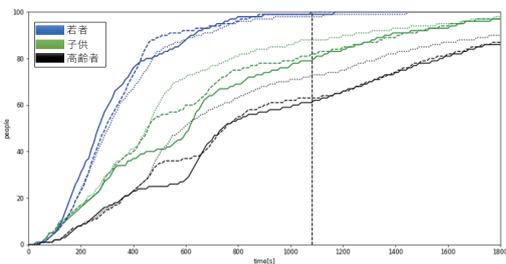


図 26. 年齢層毎の避難所選択モードの遷移の避難完了人数割合 (実線：100s、破線：200s、点線：避難所選択モードの遷移を適用しない場合)

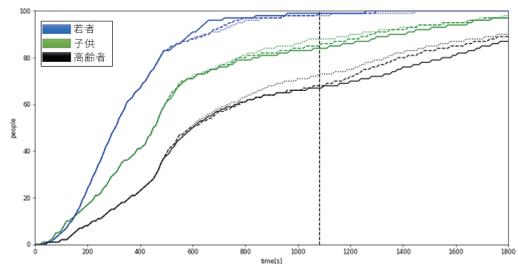


図 28. 年齢層毎の避難所選択モードの遷移の避難完了人数割合 (実線：500s、破線：600s、点線：避難所選択モードの遷移を適用しない場合)

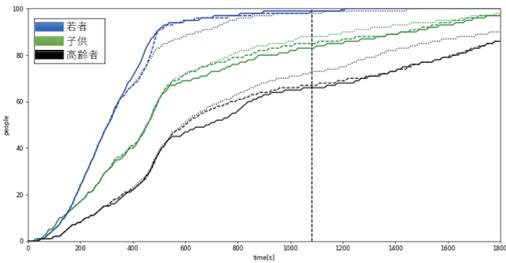


図 27. 年齢層毎の避難所選択モードの遷移の避難完了人数割合 (実線：300s、破線：400s、点線：避難所選択モードの遷移を適用しない場合)

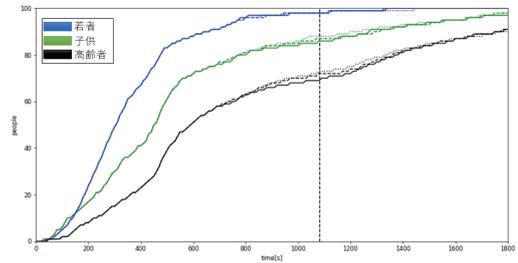


図 29. 年齢層毎の避難所選択モードの遷移の避難完了人数割合 (実線：700s、破線：800s、点線：避難所選択モードの遷移を適用しない場合)

400sあたりから避難完了人数が避難所選択モードの遷移を適用しない場合よりも減少している。図 27、図 28、についても避難所選択モードの遷移の若者の避難完了人数が避難所選択モードの遷移を適用しない場合より増加している場合、避難所選択モードの遷移の子供や高齢者の避難完了人数が減少する傾向にある。図 29 について、避難所選択モードの遷移の指定時間が 700s と 800s の場合、避難所選択モードの遷移を適用しない場合と概ね同様である。表 10 に 1080s 時点のグループ毎の避難所選択モードの遷移の避難完了人数割合を示す。表 11 に 1800s 時点のグループ毎の避難所選択モードの遷移の避難完了人数割合を示す。

表 10. 年齢層毎の避難所選択モードの遷移の避難完了人数割合 (1080s)

指定時間 [s]	子供 [%]	若者 [%]	高齢者 [%]
100	79	99	61
200	82	100	63
300	84	99	66
400	85	99	67
500	85	99	67
600	85	99	68
700	85	98	70
800	86	98	72

6.7 考察

5.5.1 小節～5.5.3 小節から、省電力長距離通信を利用した避難支援システムはシミュレーションの終盤などの近くにいる避難者が少なくなる状況にに効果がでることが分かった。シ

ミュレーション終盤は満員となっている避難所が多い。このような場合、アドホック通信を利用した避難支援システムで

表 11. 年齢層毎の避難所選択モード遷移の避難完了人数割合 (1800s)

指定時間 [s]	子供 [%]	若者 [%]	高齢者 [%]
100	96	100	86
200	97	100	87
300	96	100	86
400	97	100	86
500	97	100	87
600	97	100	89
700	97	100	91
800	98	100	91

は、もともと遠くにいた人は満員となっている避難所の情報が通信距離外なので伝わらず、その場合に満員となっている避難所を訪れてしまい、避難時間が増加してしまう。一方、省電力長距離通信を利用した避難支援システムは全員が満員となった避難所を知っていることで上記の状況に対応できることが分かった。これは省電力長距離通信の長所である。子供と高齢者の前半の避難完了人数がアドホック通信を利用した避難支援システムの方が良い理由は、省電力長距離通信は満員となった避難所の情報が大量の避難者に届くので、一斉に目的地を変更することになる。それによって、速度の速い若者が子供や高齢者より先に避難完了してしまい、速度の遅い人が到着するまでに満員になりやすくなってしまったと考えられる。アドホック通信は、省電力長距離通信と同様の現象は起こるが通信範囲が狭いため集中する人数が少ない傾向にあったと考えられる。よって、省電力長距離通信はシミュレーション序盤では速度の速い人間に有利に働いてしまう場合があり調整が必要である。ただし、省電力長距離通信は近くに人がいなくなるシミュレーション終盤で機能する点で優れているといえる。また避難先変更回数と満員情報共有パケット数は、省電力長距離通信がアドホック通信よりも非常に少ない。このことから、情報が多くの避難者に伝わり、すでに満員である避難所に避難することが少なくなったことが分かった。

5.5.4 小節と 5.5.5 小節から、避難所選択モードの遷移は、指定時間を増加させても、1080s 時点の避難完了人数割合は若者が最大 2 ポイントの減少にとどまっているが、子供は最大 7 ポイント、高齢者は最大 11 ポイント増加した。このことから、若者の避難先を最近接の避難所にしないように制御することが、避難完了人数を増加させるのに重要であることが分かった。

7. まとめ

本研究の以前の研究⁷⁾では、アドホック通信を利用した避難支援システムを提案した。しかし、以前の研究の避難支援システムは、アドホック通信でワンホップのみの通信範囲であるため、送信者の周囲にいる避難者にしか情報が届かないことがあり、十分な性能が得られなかった。そのため、近くにいる人だけでなく避難者全員が情報を受け取ることができればより避難に役立つと考た。

本研究では耐災害性に優れており、サーバとの通信から避

難者全員に情報を共有できる省電力長距離通信を利用して避難支援システムを改良した。

実験では、アドホック通信を利用した避難支援システムと省電力長距離通信を利用した避難支援システム、避難支援システムを利用しない場合についてそれぞれ津波災害時を想定した避難行動シミュレーションを行い、3つの結果を比較し省電力長距離通信を利用した避難支援システムの有用性を調べた。また、以前の研究では避難所の決定の際に子供と高齢者を優先する避難支援システムにしていた。しかし、それは若者に不利な方法であった。そこで、若者の避難にも配慮するような工夫として、避難所選択モードの遷移を考え、津波災害時を想定した避難行動シミュレーションによってその時に起こる現象を確かめた。津波災害時を想定した避難行動シミュレーションを行うにあたって、本研究ではマルチエージェントでのシミュレーションを行う Scenargie を用いた。

今回のシミュレーションでは、省電力長距離通信を利用した避難支援システムの場合、アドホック通信を利用した避難支援システムよりも 1300 時点から避難完了人数が上回りはじめ、1800s 時点で 21 人多く避難完了できた。また、高齢者について見ると省電力長距離通信を利用した避難支援システムの場合、アドホック通信を利用した避難支援システムより 1800s 時点での避難完了人数割合が 5 ポイント上回っていた。

これらの結果から、省電力長距離通信を利用した避難支援システムはシミュレーションの終盤などの近くにいる避難者が少なくなる状況に効果がでることが分かった。シミュレーション終盤は満員となっている避難所が多い。このような場合、アドホック通信を利用した避難支援システムでは、もともと遠くにいた人は満員となっている避難所の情報が通信距離外なので伝わらず、その場合に満員となっている避難所を訪れてしまい、避難時間が増加してしまう。一方、省電力長距離通信を利用した避難支援システムは全員が満員となった避難所を知っていることで上記の状況に対応できることが分かった。ただし、省電力長距離通信はシミュレーション序盤では速度の速い人間に有利に働いてしまう場合があり調整が必要である。避難先変更回数と満員情報共有パケット数は、省電力長距離通信がアドホック通信よりも非常に少ない。このことから、情報が多くの避難者に伝わり、すでに満員である避難所に避難することが少なくなったことが分かった。

また、若者の避難所選択モードを途中で最近接避難所選択モードに遷移させた結果、指定時間を増加させても、1080s 時点の避難完了人数割合は若者が最大 2 ポイントの減少にとどまっているが、子供は最大 7 ポイント、高齢者は最大 11 ポイント増加した。このことから、若者の避難先を最近接の避難所にしないように制御することが、避難完了人数を増加させるのに重要であることが分かった。

今後の課題について、次の 4 つが挙げられる。

- 歩行速度を考慮した避難所決定について、現実では全員が従うことは考えにくいので、従う避難者の割合を変えてシミュレーションを行うこと。
- 省電力長距離通信について、現在は必ず全員に届くような設定になっているので、パケットドロップの可能性も考慮したシミュレーションを行う。

- エージェントが複数人で避難する場合のシミュレーションを行うこと。
- 道路の設定がすべて同様なので、道幅と一度に通行可能な人数を現実と同様の設定にすること。

参考文献

- 1) <http://www.jice.or.jp/knowledge/japan/commentary12>, (2021/1/12 閲覧).
- 2) https://www.jishin.go.jp/regional_seismicity/rs_kaiko/k_nankai/, (2021/1/12 閲覧).
- 3) <https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/nteq/assumption.html>, (2021/1/12 閲覧).
- 4) http://www.asahi.com/special/nankai_trough/, (2021/1/12 閲覧).
- 5) https://www.soumu.go.jp/main_content/000217421.pdf, (2021/1/12 閲覧).
- 6) https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2020/zenbun/02pdf_index.html, (2021/1/12 閲覧).
- 7) 本田 佳鈴, 岡崎 直宣, 山場 久昭, 油田 健太郎: 青島地区における避難者の歩行速度を考慮した避難所決定手法の提案, 宮崎大学工学部紀要 (49), pp.295-298, 09, 2020.
- 8) 藤川丈自: モバイルアドホックネットワークにおけるモバイルエージェントの利用に関する研究, 神奈川効果大学工学研究科情報工学専攻博士論文, pp.1-97, 03, 2019.
- 9) http://www.noastec.jp/kinouindex/data2005/pdf/03/03_12.pdf, (2021/1/12 閲覧).
- 10) 鄭立, IoT ネットワークの基礎－SIGFOX、LoRa、NB-IoT－, 株式会社リックテレコム, 2017.
- 11) <https://www.spacetime-eng.com/jp/>, (2021/1/12 閲覧).
- 12) <http://edu.net.c.dendai.ac.jp/net/2005/9/index.xml>, (2021/1/12 閲覧).
- 13) <https://www.city.miyazaki.miyazaki.jp/city/statistics/results/12183.html>, (2021/1/12 閲覧).
- 14) <http://www.pref.miyazaki.lg.jp/tokeichosa/kense/toke/kako2.html>, (2021/1/12 閲覧).
- 15) https://www.city.miyazaki.miyazaki.jp/e_shelter/, (2021/1/12 閲覧).
- 16) https://www.city.miyazaki.miyazaki.jp/e_shelter/, (2021/1/12 閲覧).