カッコウ探索を用いた津波災害時の避難経路探索法

沖村岳哉*・山本佳世子**

Evacuation Route Search Method during Tsunami Disasters Using the Cuckoo Search Algorithm

Takeya Okimura*, Kayoko Yamamoto**

Abstract: Japan is one of the most disaster-prone countries in the world. In particular, tsunamis triggered by large earthquakes can cause severe damage to coastal areas. Therefore, people in these regions need to evacuate quickly using safe routes that avoid tsunami encounters. This study aims to derive such evacuation routes to emergency shelters using the Cuckoo Search algorithm (CS), which is the metaheuristic optimization methods demonstrated excellent performance in various optimization problems. A road network was created using geographic information systems (GIS), and evacuation routes were derived to extend the available time before tsunami arrival at each location. This method was applied to Konan City, Kochi Prefecture, Japan, which is predicted to suffer significant tsunami damage in the event of a Nankai Trough earthquake. The optimal evacuation routes were determined and compared with the shortest evacuation route obtained using Dijkstra's algorithm. As a result, the evacuation route derived using CS proved to be safer than the shortest route when considering tsunami arrival time.

Keywords: 津波災害（tsunami disaster），避難経路探索（evacuation route search），カッコウ探索（cuckoo search: CS），ヒューリスティック（heuristic），地理情報システム（geographic information systems: GIS）

１．はじめに

１.１　研究の背景と目的

地震調査研究推進本部（2025）によると，2025 年 1 月 1 日時点で今後 30 年以内に南海トラフにおいてマグニチュード 8～9 クラスの地震が発生する確率は約 80%とされており，これに伴う津波は西日本の太平洋沿岸地域に甚大な被害を及ぼすことが予測されている．被害が想定される地域では，地震発生から津波到達までの限られた猶予時間内に迅速かつ安全な避難行動が求められる．しかし，避難場所までの最短経路が必ずしも安全とは限らず，津波との遭遇リスクを回避した経路選定が重要となる．

そこで本研究では，津波災害時における安全な避難経路を導出するための手法として，最適化アルゴリズムであるカッコウ探索（Cuckoo Search: CS）を用いた経路探索手法を提案する．本手法では，まず地理情報システム（Geographic Information Systems: GIS）を活用して研究対象地域の道路ネットワークデータを構築する．次に，構築したネットワーク上にカッコウ探索アルゴリズムを適用し，津波との遭遇リスクを最小化した避難経路を生成することで，災害時における実用的かつ柔軟な避難支援を可能とする．

１.２　関連分野の先行研究と本研究の位置付け

本研究は，(1) 避難経路探索法に関する研究，(2) カッコウ探索を用いた最適解探索に関する研究の 2 分野に関連している．

（1）に関する先行研究では，北村ほか（2018），三浦ほか（2023）が津波災害時の最適避難経路を導出するモデルを構築した．宮崎ほか（2022），Tani et al. (2020) は，豪雨災害を対象に，それぞれ強化学習および遺伝的アルゴリズムを用いた避難経路探索手法を提案した．Yoshitsugu et al. (2020)，Fujiwara et al. (2024) は，GIS を活用して構築した道路ネットワーク上で，粘菌アルゴリズムによる避難経路導出法を提示した．また，北原ほか（2012）は，アントコロニー最適化を用いて地震災害時の効率的な避難経路探索を実現した．

(2)に関連する先行研究として，井上ほか（2018）がベンチマーク関数を用いて，カッコウ探索を含む複数の最適化アルゴリズムの性能評価を行った．戸田ほか（2015），Alberto et al. (2021)，Alymani et al. (2023) は，それぞれ巡回セールスマン問題，オリエンテーリング問題，無人航空機の経路計画および障害物回避において，カッコウ探

*　学生会員 電気通信大学大学院情報理工学研究科（The University of Electro-Communications）
〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1　E-mail：o2530023@edu.cc.uec.ac.jp
**　正会員 電気通信大学大学院情報理工学研究科（The University of Electro-Communications）

索を応用し，高精度な最適解の導出を実現した．これらの先行研究の成果から，遺伝的アルゴリズムやアントコロニー最適化と比較して，カッコウ探索はさまざまな最適化問題において効率的に最良解を求める能力があることが示された．

本研究では，以上で列挙した先行研究の成果を踏まえ，津波災害時における津波との遭遇リスクを回避した避難経路の探索手法として，カッコウ探索を導入する．従来の避難経路探索法に用いられてきた遺伝的アルゴリズムやアントコロニー最適化は，局所最適解に陥るリスクを回避するために探索効率が低下する場合がある．これに対し，カッコウ探索は特殊なランダムウォークにより広範囲な探索が可能であり，局所解の回避と効率的な最適解の導出を両立できる点で優れている．本研究では，カッコウ探索のこの特性を活かし，津波災害時の避難経路探索における新たなアプローチとしての独自性を示す．

2．研究の枠組みと手順

本研究は，最適化アルゴリズムであるカッコウ探索を用いて，津波災害時における津波との遭遇を回避した避難経路を導出する手法の提案を目的とする．まずカッコウ探索アルゴリズムの設計・構築を行い，次に研究対象地域を選定した上で，GIS を用いてこの地域周辺の道路ネットワークデータを作成する．その後，構築したネットワーク上でカッコウ探索による避難経路探索を実施するとともに，比較対象としてダイクストラ法による最短経路探索も行う．両手法で導出された避難経路について，津波到達までの猶予時間および経路長を評価指標として比較・考察を行い，津波災害時における実用的かつ安全性の高い避難経路探索手法としての有効性を検証する．

3．カッコウ探索を用いた避難経路探索法

3.1　経路の評価指標

避難経路の評価には，津波到達までの猶予時間と経路長の 2 つの指標を用いる．猶予時間は，生成された経路上の各ノードにおける津波到達時間と，当該ノードまでの移動時間の差分のうち最も小さい値を採用する．移動時間の算出にあたっては，国土交通省による東日本大震災の避難行動実態調査に基づき，平野部における平均徒歩速度 2.81km/h を用いる．本研究では，津波到達までの猶予時間を主評価指標とし，複数の経路で猶予時間が同一の場合には，経路長が短い経路を高く評価する．

3.2　カッコウ探索

カッコウ探索は，Yang et al.（2009）により提案された，カッコウの托卵行動を数理モデル化したメタヒューリスティックアルゴリズムである．図 1 に本研究で構築した避難経路探索アルゴリズムの処理フローを示し，以下に各手順の概要について説明する．

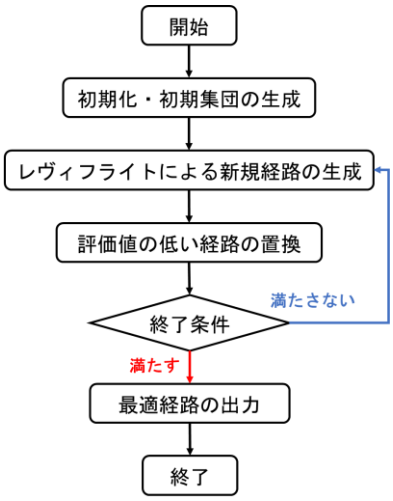


図 1 避難経路探索アルゴリズムの流れ

3.2.1　初期化・初期集団の経路生成

経路探索の初期段階では，複数のランダムな経路を生成し，初期集団として初期化を行う．

3.2.2　レヴィフライトによる新規経路の生成

ランダムに選択した既存経路に対して，レヴィフライトと呼ばれるランダムウォーク手法を適用し，新たな経路を生成する．レヴィフライトは，短距離移動を頻繁に行いながら，時折長距離移動を挟むことで，探索空間全体を効率的に探索することが可能となる．

3.2.3　評価値の低い経路の置換

評価値の低い経路は破棄し，ランダムな経路を再生成して置き換えることで，探索の多様性を維持する．

3.2.4　終了条件の確認・最適経路の出力

本研究では，3.2.2 項および 3.2.3 項の処理を繰り返す回数が 100 回に到達した時点を終了条件とする．最良解が十分に収束している場合には，最適経路の上位 2 件を出力する．一方，収束が確認できない場合は，3.2.2 項の処理に戻り，探索を継続する．

4．研究対象地域の選定と地理情報の収集・加工

4.1　研究対象地域の選定

本研究では，南海トラフ巨大地震の発生を想定し，津波被害が予測される高知県香南市赤岡町の香宗川河口付近を研究対象地域として選定した．選定にあたっては，以下の 3 点を基準とした．

(1) 地震発生から津波到達までの時間が短く，迅速な避難行動が求められる地域であること
(2) 都市部から離れており，指定緊急避難場所の数が限られていること
(3) 河川が近接しており，津波の河川遡上による被害リスクが高いこと

これらの条件を踏まえ，津波との遭遇リスクが高く，避難経路の最適化が特に重要となる地域として，香宗川河

口周辺を研究対象地域に設定した．

4.2　利用データと加工方法

本研究では，高知県が公開する防災マップの津波浸水予測時間図を参照し，津波到達時間を道路ネットワークデータの各ノードに属性として付与する．これにより，避難経路探索において津波との遭遇リスクを定量的に評価可能となる．図 2 に研究対象地域である香宗川河口付近における津波浸水予測時間図を示す．図中の黄色のエリアは，地震発生から約 20 分後に津波が到達すると予測される区域であり，緑のエリアは約 30 分後に津波が到達する区域を示している．これらの情報をもとに，各ノードに津波到達時間を設定し，避難経路の評価指標として活用する．

4.3　道路ネットワークデータの作成

本研究では，GIS のデジタル地図上において，道路の交差点をポイントデータとしてノード化し，ノード間を線分で接続することで道路ネットワークを構築した．なお，道路が曲線を描いており，ノード間の直線距離と実際の歩行距離に乖離が生じる場合には，道路上に補助的なノードを追加することで，ネットワークの精度を調整した．図 3 に研究対象地域における道路ネットワーク全体の構成を示す．

5．研究対象地域における避難経路の探索

5.1　ダイクストラ法とカッコウ探索を用いた経路探索

図 4 にダイクストラ法およびカッコウ探索を用いて，曙地区集会所から津波避難タワーまでの避難経路を導出した結果を示す．ダイクストラ法によって導出された経路は，最短距離に基づく経路であり，主に直線的な構成となっている．一方，カッコウ探索によって導出された最良経路は，津波との遭遇リスクを回避するために大きく迂回する形状を示し，その結果として経路長は長くなっている．また，第 2 候補となる経路は，特に避難終点付近において最短経路よりもやや迂回する構造を持ち，安全性と移動効率のバランスを考慮した経路といえる．

5.2　二つの避難経路探索手法の比較

表 1 に 2 種類の探索手法による避難経路の評価値を示す．カッコウ探索によって導出された最良経路は，ダイクストラ法による最短経路と比較して，津波到達までの猶予時間が約 42 秒延長される結果となった．総延長は約 225m 長くなるものの，津波との遭遇リスクを低減する点において，より安全性の高い避難経路と評価できる．さらに，カッコウ探索による第 2 候補経路は，最短経路と比較して猶予時間が約 10 秒延長される一方，総延長の増加はわずか約 2m にとどまっている．このことから，第 2 候補経路もまた，津波遭遇回避の観点から，最短経路よりも適切な避難経路であると判断できる．

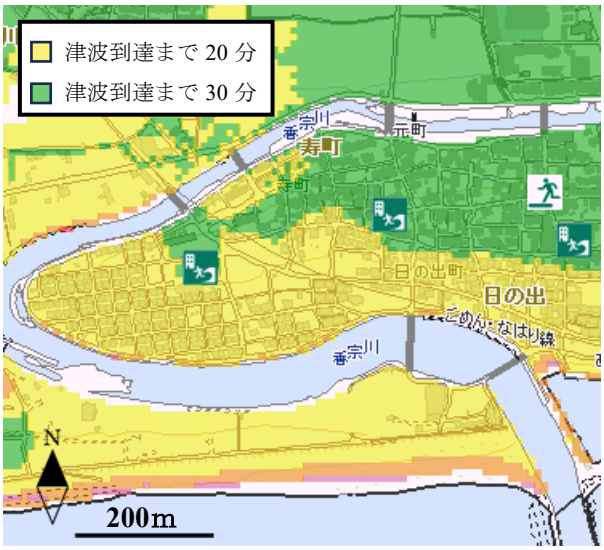


図 2　研究対象地域周辺の津波浸水予測時間図

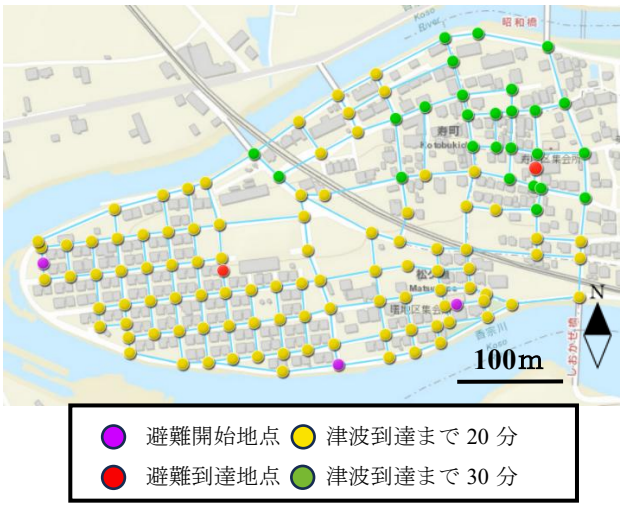


図 3　道路ネットワーク全体の構成



図 4　探索した経路の比較

表 1 ダイクストラ法とカッコウ探索による避難経路探索

	ダイクストラ法による最短経路	カッコウ探索による最適経路 1	カッコウ探索による最適経路 2
経路長(m)	269.6304	494.2433	271.7666
猶予時間(s)	965.0180	1,006.8304	974.9734
最短経路との経路長差(m)	-	+224.6129	+2.1362
最短経路との猶予時間差(s)	-	+41.8124	+9.9554

6．結論と今後の研究課題

本研究では，南海トラフ地震による津波発生を想定し，津波との遭遇を回避するための避難経路探索手法として，高い汎用性を有する最適化アルゴリズム「カッコウ探索」を用いた沿岸地域向けの経路探索モデルを構築した．研究対象地域には，高知県香南市赤岡町の香宗川河口付近を選定し，高知県防災マップから津波到達予測時間を取得した上で，GIS を用いて道路ネットワークデータを作成した．避難開始地点から津波避難タワーまでの経路を対象に，津波到達までの猶予時間を最大化することを目的として最適化を行い，以下の 2 点を主な結論として得た．

（1）津波遭遇を考慮した評価指標の導入

避難経路の評価には，津波到達までの猶予時間と経路総延長の 2 指標を用いた．各ノードにおける津波浸水予測時刻と移動時間との差の最小値を，経路全体の猶予時間として算出し，これが最大となる経路を最良経路と定義した．複数の経路が同一の猶予時間を示す場合には，総延長が短い経路を高く評価することで，津波との遭遇リスクを最小化する避難経路の導出が可能となった．

（2）複数の避難経路の提案可能性

カッコウ探索の第 100 世代における候補経路の中から，評価値の高い上位 2 経路を出力することで，複数の避難経路を提示することが可能となった．これは，カッコウ探索が全候補経路の評価値が最大値に収束するまで多様な経路を保持する特性によるものである．複数経路の提示は，地割れや建物倒壊などによる通行障害が発生した場合に，代替経路を提供できるという実用的な利点を持つ．一方，ダイクストラ法は最短経路のみを導出するため，柔軟な経路提案には限界がある．カッコウ探索の性質上，全候補が同一評価値に収束する確率は極めて低く，複数の有効な経路を容易に導出できる点が本手法の強みである．

参考文献

井上一哉・鈴木麻里子（2018）群知能によるパラメータ最適化．「土木学会論文集 A2（応用力学）」，**74**(2)，I_33-I_44．

北原至博・持尾隆士（2012）アントコロニー最適化法によるリアルタイム最適避難経路の探索．「日本機械学会中国四国支部総会・講演会講演論文集」，**50**，70701-70702.

北村福太郎・稲津大祐・池谷毅・岡安章夫（2018）津波浸水を考慮した避難経路および避難所選定ツールの開発．「土木学会論文集 B2 (海岸工学)」，**74**(2)，I_391-I_396.

高知県（2014）高知県防災マップ.
<https://bousaimap.pref.kochi.lg.jp/>.

国土交通省（2013）津波避難を想定した避難路，避難施設の配置及び避難誘導について（第 3 版）.
< https://www.mlit.go.jp/common/000233464.pdf>.

地震調査研究推進本部（2025）長期評価による地震発生確率値の更新について.
<https://www.static.jishin.go.jp/resource/evaluation/long_term_evaluation/updates/prob2025.pdf >

戸田敬太・熊谷洋佑・藤井昭宏・田中輝雄（2015）カッコウ探索と 2opt 法のハイブリッド化による巡回セールスマン問題の解法．「情報処理学会 77 回全国大会講演論文集」，**2015**(1)，255-256.

三浦勇介・松澤智史（2023）NSGA-II による多目的避難経路の構築と評価,「電子情報通信学会大会講演論文集」, 2023, A-10-7.

宮﨑将聡・花沢明俊（2022）強化学習による豪雨災害危険時の複数避難経路探索．「FIT2022（第 21 回情報科学技術フォーラム）」，15-18.

Alberto, G., and Tan, A. (2021) An application of binary cuckoo search algorithm to orienteering problem, (IJCSAM) International *Journal of Computing Science and Applied Mathematics*, **7**(2), 33-38.

Alymani, M., Alsolai, H., Maashi, M., Alhebri, A., Alshahrani, H., Al-Wesabi, F. N., Mohamed, A., and Hamza, M. A. (2023) Dispersal foraging strategy with cuckoo search optimization based path planning in unmanned aerial vehicle networks. *IEEE Access*, **11**, 31365-31372.

Fujiwara, R. and Yamamoto, K. (2024) Derivation of evacuation routes to avoid narrow road adopting physarum solver. *Proceedings of the International Conference on Information Technology in Disaster Risk Reduction 2023*, 230-237.

Tani, K. and Yamamoto, K. (2020) Search methods for evacuation routes during torrential rain disasters using genetic Algorithms and GIS. *Journal of Geographic Information Systems*, **12**(3), 256-274.

Yang, X. S. and Deb, S. (2009) Cuckoo search via Lévy flights. *Proceedings of the 2009 World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing (NaBIC)*, 210-214.

Yoshitsugu, N. Abe, S. and Yamamoto, K. (2020) Method for deriving evacuation routes considering disaster risk. *Journal of Information Processing*, **28**, 1065-1072.