

理工学専攻修士論文要旨

提出年度：2022年度
提出日：2023年1月31日
専修コース：マネジメントテクノロジーコース
学 生 番 号：35621210
学 生 氏 名：石井 明日香
研究指導教員：小林 和博 准教授

(論文題目)

津波浸水情報を用いた避難経路生成環境の構築

(内容の要旨)

東日本大震災での甚大な被害の主な要因は、津波である。被害の拡大の原因は、津波警報・ハザードマップの過小評価、津波への知識不足、津波の被害が想定される道路の使用・渋滞での自動車避難が挙げられる。避難方法は、原則徒歩とされているが、東日本大震災後、やむを得ない場合のみ自動車避難も容認した。そこで今後、南海トラフ巨大地震に備えるため、津波に遭わず、人的被害をなくすための安全な自動車での避難経路の作成が求められている。自動車避難に関する研究では、津波遭遇リスクを最小化することで最適な避難経路を提案する研究が行われているが、被害を数値化している津波遭遇リスクの作成方法が、地域によって実際の地理的・都市的環境に合わない可能性がある。

一方で、現在日本では、デジタルデータの流通量は増大している。オープンデータの活用やそれらの組み合わせは、より価値のある情報となり、有益なサービスに活用できる可能性を秘めている。しかし、このような活用は、あまりなされていない。その障壁となっている一つの理由は、政府や各地方自治体が公表しているオープンデータの形式が揃っていないことである。

したがって、複数のデータを組み合わせたデータやそのための方法をオープンデータ化・オープンソース化することでより意義のあるサービスを提供することに役立つと考えられる。そこで本研究では、想定される津波被害からリスク値を作成するために、コンピュータ可読の津波浸水想定データと道路データという異種のデータを組み合わせて、各道路のリスク値を生成する。これにより想定される浸水被害状況でシミュレーションを行い、安全な避難経路を生成することを目的とする。

研究対象地域は、静岡県焼津市とした。この地域は、南海トラフ地震による津波の被害が特に懸念されている津波避難対策特別強化地域の一つであり、被害が想定されている都府県の中でも最多の死者数が想定されている。また海岸の水位上昇が0.5mを超えるまでの時間は最短で2分と短く、的確な避難をする必要がある。

本研究では、プログラム言語 Python を用いて OpenStreetMap と国土交通省の国土数値情報を読み込み、これらを掛け合わせて津波浸水深データを持つ道路ネットワークを作成する。この津波浸水深をリスク値として津波浸水リスク値の最小化を目的とする混合整数計画問題を解き、避難経路を得る。この手法を用いて、避難場所の違う3パターンで比較を行う。避難場所の違いは、(1)地区で指定された避難場所の場合、(2)津波浸水深データの浸水深0m地点の場合、(3)両方とも利用する場合である。結果として、リスク値が最小で、避難時間も最短であるのは、(3)であることを示した。

また、安全な場所へ避難した後、生存確認などを行う必要があるため、安全な場所への避難を短時間でを行い、次の行動に起こせるようにする必要があると考えられる。そこで、2段階最適化を行う。具体的には、最優先であるリスク値を最小にした最適解の中で、避難時間が最小になる最適解を求める。結果として、(2)と(3)は変わらず、(1)は避難時間が短縮されることがわかった。

加えて、立体交差で掘り下げ式の下の道路であるアンダーパスも津波浸水のリスクが増えると考えられるため、アンダーパスの深さもリスク値とし、津波浸水リスク値に加える。そうして道路ネットワークに組み込み、混合整数計画問題を解き、避難経路を求める。結果として、アンダーパスがある道路の利用車両数が減少したことを示した。

この研究により、津波の浸水による人的被害の少ない避難経路の生成を可能にした。今後は、他の災害や複数の災害に対して利用できるように拡張することで、様々な避難計画に役立てることが、有効と考えられる。

Graduate School of Science and Engineering, Aoyama Gakuin University

Title: Construction of the Environment for Generating Evacuation Routes Using Tsunami Inundation Data

Student Name: Asuka Ishii

ID Number: 35621210

Degree: Master of Engineering

Course: Management Technology

Thesis Advisor: Associate Professor Kazuhiro Kobayashi

Abstract

The tsunami was the main cause of the enormous damage caused in the Great East Japan Earthquake. In order to prepare for the Nankai megathrust earthquake in the future, it will be effective to create safe evacuation routes by vehicle to avoid the tsunami and to eliminate human damage. Previous studies on vehicle evacuation have proposed optimal evacuation routes to minimize the risk of being caught by tsunami, but the method of creating the tsunami risk, which quantifies the damage, may not be suitable for real geographic environment in each region. Recently, it has become possible to obtain various geographical information data. Combining different types of such information may yield more useful information. However, such utilization has so far been scarce. So, we propose how to construct this type of data and how to utilize it for evacuation planning.

In this study, to define risk values against expected tsunami damage, risk values of each road are estimated by combining computer-readable tsunami inundation estimation data with road data. Our purpose of this study is to generate safe evacuation routes by simulating the expected flood damage situation. The study area is Yaizu City, Shizuoka Prefecture. We utilize OpenStreetMap data and digital national land numerical information of MLIT. The programming language Python was used to process these data and to create a road network with tsunami inundation depth data. Using this tsunami inundation depth as a risk value, a mixed integer programming problem is defined and solved to minimize the tsunami inundation risk value, and an evacuation route is as its optimal solution. Using this method, numerical analysis was performed for three cases and compared. The three cases are (1) the evacuation site designated by the district, (2) the site at 0m depth of tsunami inundation, and (3) the case of using both (1) and (2). As a result, it is shown that (3) has the minimum risk value and the shortest evacuation time. After temporary evacuation, it is necessary to move quickly to a safer place to confirm survival. By moving to a safer place, evacuees will be able to plan their subsequent actions. For this purpose, we propose a two-step optimization. As the first step, we obtain the minimum risk value. Then, as the second step, we obtain a route with minimum evacuation time with the minimum risk value found in the first-step. As a result of this two-step optimization, the solution for case (1) realized shorter evacuation time.

In addition, it is considered that the risk of tsunami inundation also increases on the underpass, so the depth of the underpass is also made to be a risk value, and it is added to the tsunami inundation risk value. As a result, the number of vehicles that used on roads with underpass decreased.

This study enabled the generation of evacuation routes with less human damage due to tsunami inundation. In the future, the system will be expanded so that it can be used for other disasters and multiple disasters. It is thought to be useful for various evacuation plans.

理工学専攻修士論文要旨

提出年度：2022年度
提出日：2023年2月11日
専修コース：マネジメントテクノロジーコース
学生番号：35621217
学生氏名：酒井宗一郎
研究指導教員：小林和博

(論文題目)

競合フランチャイズチェーン下における多期間出店運用計画とその解析

(内容の要旨)

本研究では競合する2つのフランチャイズチェーンの施設配置の意思決定問題を取り上げ、意思決定主体が交互に入れ替わる状況のもとで意思決定を繰り返す状況を考える。フランチャイズチェーンは施設配置を行ううえで多くの場合土地を用意する必要がないため、短期間で大量の出店を行うことができるという特徴を持ち、本研究ではこの特徴がより顕著なコンビニエンスストアチェーンを取り上げる。

従来のコンビニエンスストア業界は店舗数に比例するように売上高が上昇していたが、近年は店舗数の伸びが停滞しており、どこに店舗を配置するかという意思決定の重要性は増してきている。施設配置の意思決定は複数の条件を満たすように行う必要があり、条件ごとの優先度の違いや、パラメータを変化させた際の配置予想を行うことは非常に困難である。そこでこれらの条件や目的を数式で表現することでコンピュータ上での解析を可能とする。数理モデルは、一度構築するとパラメータ変更のみで様々なケースにおける実行結果を算出することができる。したがって、このモデルを用いた実験により、配置戦略ごとの優位性の検討など現実に役立てることができる。

提案モデルでは複数の意思決定主体は自社と競合の既存店舗を与えられた条件として、自社の利益を最大化するように配置の意思決定を交互に繰り返す。このモデルは、店舗を直接利用する方法とある目的地に向かう際の経路上にある店舗を利用するとの2種類の利用法を想定している。また、施設の新設数、閉鎖数も数理モデルの中で内在的に決定するものとなっている。このような競合環境下における施設配置モデルは既存研究では、利用者の利用経路や人口の変動を考慮した研究は進んでいない。既存モデルでは、利用者が店舗を利用する際に用いる移動経路は店舗と利用者をつなぐ線分であり、これは山や川といった地形的に通行不可能な経路や幹線道路や施設内を横断する経路を利用者が通ることを許している。これは、現実に即した結果の出力の妨げの要因になっている。また、既存研究ではある時期の人口を入力データとして扱い、施設配置のシミュレーションを行っているが、現実において人口は時間とともに変動するものであり、長期に渡って施設配置の意思決定を行う際は、人口の変動によって生じる獲得できる需要量の変化を考慮すべきである。

本研究では数理モデルに道路網情報と年数によって変動する人口推移データを組み合わせることで、より正確な実行結果の出力を試みる。道路網情報の追加はOpenStreetMapから得られた歩行可能な道路情報をもとにグラフを作成し、このグラフをモデルに適用することで実現した。これにより利用者の利用経路を歩行可能な道路網上で表現する。年数によって変動する人口推移データの導入は複数の年度の人口データ及び推計データを用いて、意思決定を行う期ごとに入力データが変動するモデルの構築を行うことで表現した。

実験の結果、道路網情報を取り入れることで従来のモデルで利用者が対象地域の工場や高校などの施設を横断する現象を許さず、歩行可能な迂回経路を利用することを表現することができ、変動する人口データを取り入れる前後で結果に大きな違いが生じていることが確認できた。また、店舗の配置結果は直接型利用と立ち寄り型利用の比率によって大きく左右されることがわかり、意思決定者は利用者の利用形態を正しく想定することが重要であると考えられる。配置戦略においては長期に渡って少しずつ店舗を配置していく戦略に比べ、短期間に集中的に店舗を配置する戦略がより有利な店舗展開が可能であることがわかった。

今後の課題は利用者の店舗利用形態や利用者の年齢層、配置候補地点に応じたパラメータを設定することと、より大規模な対象地域に対して現実的な時間で実行可能な数理モデルの構築である。

Graduate School of Science and Engineering, Aoyama Gakuin University

Title: Multi-period store opening operation plan and its analysis of competing franchise chains

Student Name : Souichiro Sakai
ID Number : 35621217
Degree : Master of Engineering
Course : Management Technology
Thesis Advisor : Associate Professor Kazuhiro Kobayashi

Abstract

We consider the decision-making problem of facility location of two competing franchise chains in which multiple decision-makers alternately repeat decision-making. In many cases, there is no need to prepare a new site, so franchise chains open many stores in a short period of time. Because of this characteristic, we focus on convenience store chains.

In the conventional convenience store industry, sales increased in proportion to the number of stores. But in recent years, the rate of increase in the number of stores is declining. So, the importance of decision-making on where to locate stores has increased. Although, it is necessary to find the location where multiple conditions are met. It's hard to find a place like this by intuition. To overcome this difficulty, we use mathematical model in which multiple conditions and the purpose are incorporated. By using this model, it becomes possible to analyze various situations through computer simulations. Once a mathematical model is created, various analyzes can be performed simply by changing parameters. Then, the mathematical model was used to compare several different strategies and analyze which of them was advantageous.

In this proposed model, decision-makers use the locations of their own and competitors' existing stores as prerequisites to determine the layout of new stores to maximize profits. Moreover, this study takes into account demographics and geographical information such as road data, which are rarely seen in exiting studies. In this research, I attempt to output more effective facility location plans by combining road network information and population transition data in a mathematical model. Moreover, we incorporate two stores usage patterns: direct visit pattern and stopover pattern.

As a result of the numerical experiments of my proposed model, it is possible to evaluate routes correctly without crossing facilities such as factories and parks. We can also observe a significant difference in the results before and after incorporating demographic changes. In addition, decision-makers need to assume the store usage patterns of users correctly, as we found that the ratio of usage patterns (direct visit or stopover) greatly influences the results of store location. As for the placement strategy, it was found that a strategy of placing stores intensively in a short period of time is more advantageous for store expansion.

In the future, it will be necessary to set parameters according to usage patterns and locations, and to build a mathematical model that can be executed in a realistic time for a larger target area.

理工学専攻修士論文要旨

提出年度：2022年度
提出日：2023年1月31日
専修コース：マネジメントテクノロジーコース
学生番号：35621221
学生氏名：近松 昇悟
研究指導教員：小林 和博 准教授

(論文題目)

運搬時間制約を追加した運搬経路の利用可能確率を考慮した緊急救援物資の分配モデル

(内容の要旨)

災害時の物資輸送、特に災害直後の緊急救援物資の配送には解決すべき課題が多い。災害直後は被災地、現場が混乱しているため、災害直後に正確な対応を取るためにはより綿密な計画が必要になる。緊急救援物資配送も例外でなく被災者の命、生活に直結するため、より入念に対策を練る必要がある。これが不完全だと物資の過不足などを引き起こし、混乱に繋がる可能性がある。

本論文では、災害時の緊急救援物資の輸送の中でも災害直後、具体的には、災害発生を0日目とした時の2~3日目までの物資輸送について取り上げる。この期間に実施される輸送方法をプッシュ型支援の輸送という。プッシュ型支援はあらかじめ立てた計画に基づいて、各避難所の具体的なニーズを得る前の段階で最低限の物資を輸送する方法である。それに対するプル型支援は、各避難所の具体的なニーズを正確に把握した上で、そのニーズに基づいて輸送する方法である。プル型支援は、具体的なニーズを漏れなく把握する必要性から、災害発生から状況によっては実施されるまでに7日程度の日数を要する可能性がある。2016年の熊本地震に初めて実施された新しいこの考えは、未だ国内に定着しておらず、この2つの輸送方法別の研究、特にプッシュ型支援の輸送モデルについての論文は現時点では知られていない。またプッシュ型支援の輸送のモデルを構築する際には、さまざまな不確定要素を考慮する必要があるが、本論文では災害後の道路状況について取り上げる。既存モデルではこれを考慮している研究はほとんど存在しない。

先行研究では、災害後の道路の利用可能性を考慮し、道路の利用可能性の組み合わせの集合であるシナリオの全てにおいて物資輸送を実施するモデルが提案されている。決定変数を各期間に輸送する緊急救援物資の量とその物資を配送するのに必要な車両台数とし、目的関数は避難所に輸送する物資ごとに重みを加え、それにシナリオ確率をかけた期待値を最大化している。制約条件は各車両の移動制約、車両購入予算制約、輸送費用予算制約、各避難所の需要制約、車両の積載重量制約である。このモデルに対して、災害後の経路状況の不確かさを道路の利用可能確率から求める経路の利用可能性を用いたシナリオ分析の結果が報告されている。このモデルでは、災害後の道路状況は考慮されているものの、現実問題では他にも考慮すべき要素がある。本研究では、それらの要素の一つである運搬時間制約を追加したモデルを提案する。本論文で提案するモデルは意思決定者が災害後に即座に実行出来るように、緊急救援物資輸送の計画を練るための一助になることを目的としている。

既存モデルは時間制約が課されていないが、このモデルでは、今回定めた2つの予算のうち輸送費用予算に依存しやすいことがわかった。車両購入予算を減らすと車両購入台数が大きく減るが、充足割合の減少はわずかで収まり、目的関数の値に大きな変化はなかった。これに対して、時間制約を課した提案モデルでは、車両購入予算に依存することがわかった。車両購入予算を減らすと目的関数の値は大きく下がったのに対し、輸送費用予算を減らした場合は目的関数の値の変化は限定的であった。

上記のように災害直後の緊急救援物資輸送、プッシュ型支援の輸送を計画するためのモデルとして、災害後の運搬経路の利用可能確率を考慮し既存モデルに運搬時間制約を追加した緊急救援物資の分配モデルを提案した。今後このモデルを拡張するうえで考慮すべき点として、配送センターが1つであることと各車両が1つの避難所にしか物資を配送できない点を挙げる。一方、この2つのモデルは予算額を多くした実験や物資の需要量を変化させた実験では、計算時間が膨大になり解くことが困難であった。これは作成したシナリオの数が膨大なためであると考えられる。今後の課題としては、このモデルがより大規模な問題を解くことが出来るような方法の確立と、シナリオの数の膨大さが原因でモデルの拡張が困難である可能性を想定し、経路状況の不確かさを別の方法で表した新規モデルの開発が挙げられる。

青山学院大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Aoyama Gakuin University

Title: Distribution Model of Disaster Relief Supplies by Considering Route Availability with Additional Transport Time Constraints

Student Name: Shogo Chikamatsu
ID Number: 35621221
Degree: Master of Engineering
Course: Management Technology
Thesis Advisor: Associate Professor Kazuhiro Kobayashi

Abstract

The delivery of disaster relief supplies in the immediate aftermath of a disaster is important as a response at the time of disaster. Because it directly affects the lives and livelihoods of disaster victims, the planning of disaster relief supply delivery must be carefully considered. If the plan is incomplete, it may lead to over- or under-delivery of supplies, resulting in severe confusion.

This paper focuses on the planning problem for the transportation of disaster relief supplies in the immediate aftermath of a disaster. This type of transport is called push-type transport. Push-type transport transports goods based on advance plans. In this paper I propose a mathematical model for the planning problem of the push-type transport problem. Moreover, this paper also addresses post-disaster road conditions, which are rarely found in the literature.

There exists a study which proposes a mathematical model that takes into account the availability of roads after a disaster and that of transport supplies, assuming multiple scenarios. In this model, the uncertainty of post-disaster route conditions is expressed using route availability, which is calculated from the probability of road availability. This allows for the consideration of post-disaster road conditions. Based on this model, I propose a planning model with an additional transport time constraint.

Experimental results of the existing model show that the model is easily dependent on the budget for transportation costs. More specifically, as the budget for buying vehicles decreases, the number of vehicles used for transportation decreases significantly. I found that this reduction does not affect the optimal value of the objective function. In contrast to this, the optimal value of the objective function in the proposed model depends on the budget for buying vehicles. As the budget for buying vehicles decreases, the optimal value of the objective function decreases significantly, whereas the optimal value remained nearly the same as the budget for transportation decreases.

Future issues include the development of methods to solve larger-scale problems. In the proposed model, it requires large amount of computation time for the cases in which the number of scenarios is large. Future issues also include the development of the extended model in which the uncertainty of the routing situation is incorporated.

理工学専攻修士論文要旨

提出年度：2022年度
提出日：2023年2月10日
専修コース：マネジメントテクノロジーコース
学生番号：35621223
学生氏名：橋本 燎
研究指導教員：小林 和博 准教授

(論文題目) 対象地域内グループ性を考慮した小学校再配置計画とそのシナリオ分析

(内容の要旨)

初等義務教育を提供する公立小学校では、少子化の進行によって通学児童数が減少し、空き教室の増加や教育の多様性の喪失等が懸念されている。加えて、日本の小学校校舎の8割が築25年以上となっており、長期利用のためには改修が必要な時期を迎えている。

公立小学校適正配置は多くの自治体で議論となっており、各校に在籍する児童数と児童の通学距離が適正さの重要な指標となる。通学は各校の学区に在住する児童が行うケースがほとんどであるため、各学校の児童数はその配置場所や人口分布によって互いに異なる。したがって、人口分布などの条件を加味した上で適切な場所に学校を配置することは、教育提供の観点から重要である。

施設の配置場所を適正化させる研究はこれまでも実施されているが、その中に、既存の施設配置をもとに施設統廃合を計画するためのモデルがある。そのモデルでは、問題を全需要の総割当距離を最小化させるメディアン型施設配置問題として定式化している。このモデルは既存施設数 p 、廃止数 r 、新設数 q をパラメータとして最適な配置を求めるものであり、 (p, q, r) メディアン型施設配置問題とよばれる。

本研究では、既存施設配置と対象都市の地域性を考慮した小学校再配置問題を提案し、算出方針による地域への影響等を分析し知見を得ることを目的とした。提案モデルは、セントディアン型施設配置問題の拡張であり、全児童の総通学距離と最大通学距離の2つの重み付き和を最小化することが可能である。このモデルを用いて、東京都八王子市の公立小学校69校(特別支援学校等は除く)を対象に分析を実施した。考慮度合いを表す重み α が1に近づくほど過密地域を重視し、0に近づくほど過疎地域を考慮した施設配置問題となる。本実験では、過密地域重視 ($\alpha=0.8$)、等分考慮 ($\alpha=0.5$) と過疎地域重視 ($\alpha=0.2$) の値による算出を行った。なお、人口は2020年人口と2050年推計小学生人口を用い実施した。重視度合いを比較した結果、八王子市では過密地域を考慮する $\alpha=0.8$ が最も望ましいことがわかった。そこで、この値を用いて、センター型施設配置問題とメディアン型施設配置問題の最適配置との配置の比較を行った。統廃合のケース設定は既存校廃止のみによる実施で適正廃止数を算出し、以降の実験で算出された値を使用した。総通学距離は2020年人口では廃止による削減はなく、2050年人口では廃止数 $r=4$ で最小となった。この結果をもとに、2050年人口において各学年2~3学級の適正規模の小学校の新設を行う場合と、各学年3~4学級となる大規模校の新設を検討する2つのパターンで実験を行った。いずれのパターンも新設2校以上を想定した場合総通学距離が著しく増加した。増加幅は大規模校の新設の場合の方が適正規模に比べ約1000km大きくなる結果となった。最大通学距離と総通学距離の双方を考慮した場合、八王子市では最大通学距離の削減を新設校舎によって実現させる傾向が強くと表れた。その結果、通学距離が6kmとなる地点の存在していた配置から、適正規模小学校2校の新設を想定した統廃合を実施した場合、市内すべての需要点の最大通学距離が文部科学省の指定する基準の4kmに近い値まで削減される結果が得られた。一方で、総通学距離は廃止のみによる場合に比べ増加したため、遠隔地の最大通学距離の最小化と市全体の総通学距離最小化の間にトレードオフの関係があることが示された。

また、各施設配置問題で算出された最適配置を実現させた場合に廃止校の先50年で計画されていた更新費用の余剰分を便益として、新設と廃止に焦点を当てた費用便益分析を実施した。適正規模校1校の新設を想定した場合の純便益は約70億円に上り、小学校統廃合の必要性が通学、学校規模、財政の面から示された。

今後の課題は、施設配置問題に関しては候補点数を増加させた場合の解法提案等、便益評価に関しては通学時間短縮による恩恵といった定性的な効果の分析を取り入れることや、適切な学校規模編成による便益の計上方法の考案等があげられる。

Graduate School of Science and Engineering, Aoyama Gakuin University

Title: Elementary School Facilities Reallocation Plan Considering Target Area Grouping and its Scenario Analysis

Student Name : Ryo Hashimoto
ID Number : 35621223
Degree : Master of Engineering
Course : Management Technology
Thesis Advisor : Associate Professor Kazuhiro Kobayashi

Abstract

The number of children attending public elementary schools, which provide primary compulsory education, is decreasing due to the declining birth rate, and there are concerns about the increase in vacant classrooms and the loss of educational diversity. In addition, 80% of elementary schools in Japan are more than 25 years old, and many of them need renovation for long-term use.

Many studies have been conducted to optimize the location of facilities. Among them, the (p,q,r) Median Facility Location Problem, which considers facility consolidation based on the existing facility allocation, is to find the optimal locations for facilities based on the number of existing facilities p , the number of closures r , and the number of new facilities q , using the total traveling distance of all demand as the objective function to be minimized.

The purpose of this study is to propose a mixed-integer programming model for elementary school reallocation problem that considers the regional characteristics of the target city, and to analyze the impact of the calculation policy on the region and gain knowledge.

I extend the Centdian Facility Location Problem so that we can optimize the weighted sum of the commuting distance of all elementary school students and the longest commuting distance among them. Using this proposed model, numerical experiments are conducted for 69 public elementary schools (excluding special-needs schools) in Hachioji, Tokyo. The experiments are based on the estimated elementary school population in 2020 and 2050.

Using the estimated elementary school student population in 2050, the results indicated that a reduction of four schools from the number in 2020 is desirable in Hachioji City. Based on this observation, I also conducted the experiments to compare the case of establishing a new appropriate-size schools with the case of establishing a large-size school. A comparison of the two cases showed that the total commuting distance to school was about 1000 km greater in the case of the new large-size school. Moreover, I found that the result seemed to attach more importance to shortening the max commuting distance than shortening the total commuting distance by building new schools.

In addition a cost-benefit analysis was conducted focusing on new schools and eliminated schools, assuming that the planned renewal costs over the next 50 years for the eliminated schools would be the benefits. As a result, the net benefit of establishing a new school of appropriate size was approximately 7 billion yen, indicating the necessity of elementary school consolidation in terms of commuting to school, school size, and finances.