

収容人数を考慮したネットワークボロノイ分割による地下街からの垂直避難場所の割当

瀧澤 重志

キーワード：梅田地下街，垂直避難，領域分割，ネットワークボロノイ図，収容人数

本稿は、山本 遼さんによる 2015 年度大阪市立大学工学部に提出した卒業論文をもとに加筆修正したものです。

1. 問題の簡単な説明と得られた結果

大阪市の中心部に位置する巨大な梅田地下街では、河川氾濫や南海トラフで発生が予想される津波などによる浸水被害が懸念されています。地下街への浸水が懸念されるときに、地下街に接続している接続ビルの上層階へ避難する垂直避難が一つの対策と考えられていますが、ビルによって収容可能人数がまちまちなため、うまく避難先を分割する必要があります。

これから紹介する卒業論文は、この問題をネットワークボロノイ図 [1] と呼ばれる方法をもとに、避難場所の収容人数を考慮できるよう拡張して解くアルゴリズムを作り、それを梅田地下街に適用して避難場所の割当を求めました。

2. 背景と目的

大阪市の中心部に位置する梅田地下街は、世界的にも巨大な地下街で、毎日多くの人が利用しています。梅田のすぐ北側には淀川が流れています。近年、集中豪雨が全国的に増えていますが、梅田は内水氾濫や河川氾濫の危険が高い地域といえます。加えて、南海トラフに伴う巨大地震で発生が予想される津波による浸水被害も懸念されています。地下街に水が流れ込むと逃げ場がなくなるため、地下街の管理者は止水対策や避難計画を策定する必要があります。

一般的に浸水が予想される場合は地下街の利用を中

止するといった判断を行います。地震などの突発事象の場合は、地下街の使用中止は間に合わないため、避難計画が必要になります。地下街からの避難では、接続ビルの上階に逃げる垂直避難と、地上の安全な場所まで逃げる水平避難の二つが考えられています。水平避難の場合は、とにかくその場所まで避難するだけなので避難計画としては比較的単純ですが、安全な場所が地下街から離れている場合は、移動距離や避難時間の増大といった問題が生じます。一方、垂直避難の場合は、避難場所は地下街とつながっている接続ビルなどになりますが、ビルの規模や平常時の利用率によって避難できる人数に制約が出てきます。さらに避難誘導を考えた場合、ある避難場所に割り当てられる範囲は、連結していることが望ましいです。このような制約を考慮しながら避難場所を割り当てることは、少し難しい問題になります。本卒業論文ではこの垂直避難に焦点を当て、各接続ビルの避難者の数を収容人数以下に抑え、かつ連続な領域として避難場所を割り当てるために、CCNVD [2] と呼ばれる手法を拡張し、検証を行いました。

3. 問題設定と解法

まず梅田地下街をグラフとして表現します。グラフはノードとエッジからなる離散構造です。ノードは、通路を細かく区切った際の端点や避難場所などの目標地点、エッジは通路を表現します。図 1 は例題のグラフですが、エッジ横には通路の長さの情報を、ノードにはもしそれが通路上の端点であればそこにいる避難者の数が示されています。このようなネットワークにおいて、避難場所のノードを母点として、それらまでの距離によって、エッジをボロノイ分割したものをネットワークボロノイ図 (NVD) と呼びます。ネットワークボロノイ図は、各エッジが最寄りの避難場所に割り当てられるようなグラフの分割です。たとえば図 1 には三つの避難場所 (X, Y, Z) があり、それらに対して、

たきざわ あつし
大阪市立大学大学院 工学研究科
〒 558-8585 大阪府大阪市住吉区杉本 3-3-138
takizawai@arch.eng.osaka-cu.ac.jp

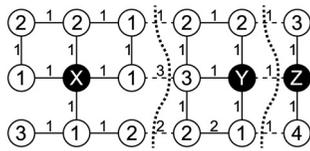


図1 例題のNVDによる分割

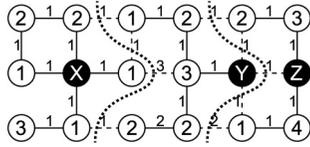


図2 例題のMCCNVDによる分割

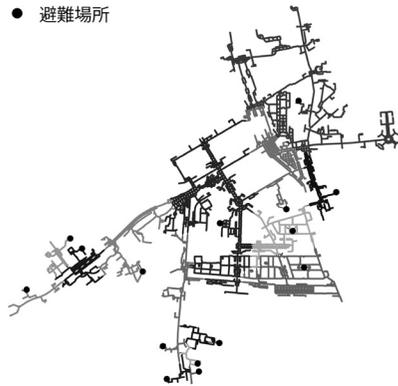


図3 梅田地下街のNVDによる分割

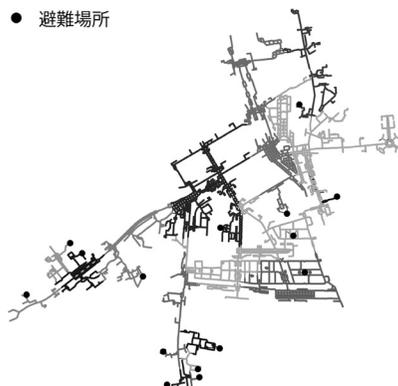


図4 梅田地下街のMCCNVDの結果を参考にした分割

最も近いノードが割り当てられた例が示されています。この設定では避難場所 X に 13 人、Y に 10 人、Z に 7 人が避難することが示されています。ここで各避難場所の収容可能な避難者数が 10 人だとすると、避難場所 X は 3 人が超過してしまいます。一方 Z はまだ 3 人余裕があります。そこで CCDVD と呼ばれるアルゴリズムを用いて、避難場所の連結性を保ったまま、避難者が超過した避難所の割当を、収容率が超過していない避難所に割り当てるように、ノードの避難者を押し出すようなイメージで逐次変更していきます。オリジナルの CCNVD は、ノード上の人数が一律でなければならないという制約があるのですが、避難者の空間分布は現実にはさまざまであるため、それが非一様な場合でも扱えるように卒業論文で拡張し、それを MCCNVD と呼ぶことにします。このアルゴリズムを適用すると、図 2 のように XYZ の各避難場所にそれぞれ 10 人ずつの避難者を割り当てることができます。

4. 検証

梅田地下街に提案手法を適用するために空間をグラフで表現し、エッジ間の距離がおおよそ 10 m 間隔となるようにグラフを分割し、2,937 個のノードと 3,809 本のエッジからなるグラフをデータとして用いました。地下街の避難者数は、平日 18 時台の歩行者断面交通量調査などの結果を参考にして推定し、13,896 人としました。避難先として利用する接続ビルは 15 棟としました。図 3 は通常のボロノイ分割です。MCCNVD の結果を参考にして分割した結果は図 4 です。収容率を考慮すると一部のボロノイ領域が大きな範囲を占めることがわかります。その場合、割当の領域形状が複雑になったり、移動距離が長くなる傾向があるようです。

5. まとめ

本稿では、梅田地下街の垂直避難の避難場所の割当を MCCVD という手法を用いて行った卒業研究について紹介しました。実際の避難計画に応用するにはまだ検討が必要ですが、防災の意思決定を客観的かつ迅速に行う方法として、OR 的な手法は今後ますます求められていくと思います。

参考文献

[1] A. Okabe, T. Satoh, T. Furuta, A. Suzuki and K. Okano, "Generalized network Voronoi diagrams: Concepts, computational methods, and applications," *International Journal of Geographical Information Science*, **22**, pp. 965–994, 2008.
 [2] K. S. Yang, A. H. Shekhar, D. Oliver and S. Shekhar, "Capacity-Constrained Network-Voronoi Diagram: A summary of results, advances in spatial and temporal databases," *Lecture Notes in Computer Science*, **8098**, pp. 56–73, 2013.