

# 地震対策における緊急物資の適切保管場所

2001MT017 長谷川雅彦 2001MT038 伊藤裕之

指導教員 長谷川利治

## 1. はじめに

ここ数年、大きな地震、小さな地震が各地で多発している。その中で、数年前から、この東海地方で大規模な地震、東海大震災が近いうちに発生するのではないかと恐れられている。今まで地震が発生した時、建物の倒壊や津波、火災などの被害も大きな問題となったが、物資の不足も大きな問題となった。また道路の倒壊状況や、立地条件などの違いにより、緊急物資の配置バランスの悪さが目についた。そこで、我々は、住んでいる場所から緊急物資のある地震災害避難場所の距離が最短になる配置問題を用い、その問題の解決に役立てたいと思い、本研究を行う。

我々は、地震に対する緊急物資の配置問題を、緊急物資を事前にいくつかの地震対策避難場所に配置した場合における、緊急物資の配置バランスを解析する。また、いくつかの橋が倒壊した場合や、道路が不通の場合における配置バランスの解析を行い、この問題の解決に役立てていく。そこで、最適配置問題の手法を用いて、東海地震に対する緊急物資の最適配置の解析をして、さらなる問題点の定義をする。

## 2. 研究の目的

愛知県の出している愛知県東海地震・東南海地震等被害予測調査報告書をもとに、特に興味深いと思われた新城市を解析対象の都市とし、国土地理院の数値地図データをもとに、新城市の指定している地震災害避難場所の中から、いくつかの組合せで選び出し、その配置バランスを距離的概念で解析し、それぞれを比較して、問題点や特徴を考察する。そして、それを物資の配分バランスの問題に役立てることを目的とする。また、地震被害予測調査報告書をもとに、橋や道路などが使えなくなった場合における物資の配置バランスの解析も行い、それをもとに新たに緊急物資を置く地震災害避難場所を選び出す。

## 3. 東海地震

### 3.1. 東海地震について

静岡県直下、西日本をのせたユーラシアプレートの下にフィリピン海プレートが、西北西に毎年数センチの速度で潜り込んでいる。両プレートの境界面は、普段は固着していて、その固着域が一気に滑ると、マグニチュード8前後のプレート境界地震が起きると言われている。これが東海地震である。現在、いつ地震が発生してもおかしくない状況にあるのではないかとされている。[1]

### 3.2. 東海・東南海地震について

東海から四国沖を走る南海トラフから、フィリピン海プレートが潜り込む。この潜り込みに伴い、間隔約100年前後で巨大地震が繰り返される。これが東南海地震である。上述の3.1節で述べているとおり、東海地震はいつ発生してもおかしくない状況にあり、それに伴い、東南海地震は単体で発生するのではなく、近いうちに東海地震と同時に発生するのではないかと予想されている。[1]

## 4. 条件の定義

### 4.1. 被害予測に基づく解析場所の選定

#### 4.1.1. 愛知県東海地震・東南海地震等被害予測調査報告書について

愛知県では、阪神・淡路大震災の経験から得られた最新の知見や予測技術、また、同県が実施した活断層調査等により得られた地下構造や地盤構造についての新しいデータなどを活用して、「愛知県東海地震・東南海地震等被害予測調査」を実施し、平成15年5月28日にその調査結果を発表した。その結果より得られた東海地震、東海・東南海地震の急傾斜危険地危険度の図を次のページに示す。

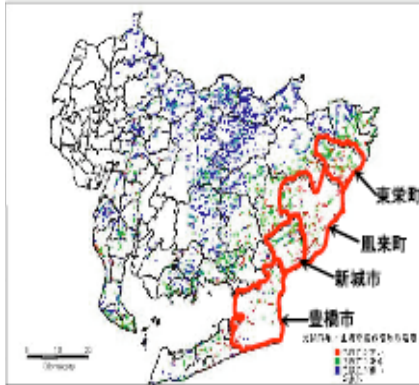


図4. 1 想定東海地震による急傾斜危険地危険度[2]

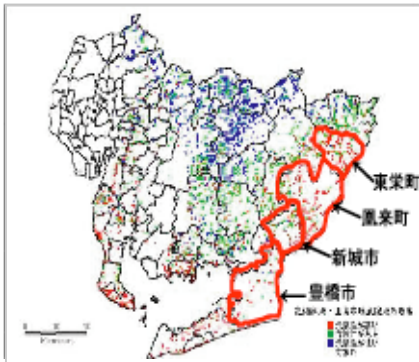


図4. 2 想定東海・東南海地震による急傾斜危険地危険度 [2]

#### 4.1.2. 解析場所の選定

解析場所の選定として、東海地震、東海・東南海地震の震源に近い東栄町、鳳来町、新城市、豊橋市に被害が大きいことが予想されるので、この4つの都市について詳しく見ていく。急傾斜危険地危険度を見てみると、豊橋市は平野にあるため、被害が少ないことが分かり、東栄町と新城市の被害が大きいことが分かる。また、新城市の被害があると予測される場所は、市の中心部に近く、新城市は愛知県で唯一、国の東海地震強化地域に選ばれている。よって、我々は、新城市を解析場所を選ぶ。

#### 4.2. 条件の定義とその説明

- ネットワークボロノイ図のプログラミングを用いて解析するため、地図の数値データが必要である。そこで我々は、国土地理院の試験公開している、「数値地図 2500」の愛知県新城市のデータをもとに解析を進めていく。 [3]
- 緊急物資の配置場所は後に詳しく述べるが、新城市の公開している地震災害避難場所[4]と市内郵便局[5]の中から選び出し、選び出した場所に緊急物資を置いて解析する。全てのところに物資を配置しないのは、いくつかの施設、特に都市部の方はかなり隣接しており、全てのところに配置する必要がないことと、解析の過程で、その配置場所の組合せを変えたパターンを実行するためである。
- 今回の解析における「配置バランス」は、距離の概念に依

存するものとする。また、ここでの「距離」は緊急物資の配置場所からの直線距離でなく、道路上の最短距離で考えているものである。また、配置バランスは、後述する最短距離を求めるダイクストラ法を用いて解析する。

## 5. 最適配置問題を用いた解析の手法

我々は、解析に道路ネットワーク上で、緊急物資の置く配置場所を母点とする、ネットワークボロノイ図を用いて解析を行っていく。ここでは、主にネットワークボロノイ図作成の流れと、その中で用いられているボロノイ図とダイクストラ法の説明をする。

### 5.1. ボロノイ図の概要

まず、いくつかの平面上の点、今回の研究における緊急物資の配置場所の母点を、 $p_1, p_2, \dots, p_n$ を分布し、任意の点を $p$ で表す。さらに、 $d(p, p_i)$ で、任意の点 $p$ と母点 $p_i$ 間の直線距離を表すことにする。今、任意の点 $p$ から最も短い距離の母点を $p_i$ とすると、他の点 $p_1, \dots, p_{i-1}, p_{i+1}, \dots, p_n$ は、点 $p$ から母点 $p_i$ までの距離よりも長いということを意味しており、数式で表すと、

$$d(p, p_i) \leq d(p, p_j), \quad j \neq i, j=1, 2, \dots, n$$

となる。また、この条件式を満たすような点 $p$ の集まりを $V(p_i)$ と表すと、

$$V(p_i) = \{p | d(p, p_i) \leq d(p, p_j), j \neq i, j=1, 2, \dots, n\}$$

と表すことができる。この $V(p_i)$ をボロノイ領域という。このボロノイ領域を母点 $p_i$ だけでなく、すべての母点についても同じように求め、それにより求められたボロノイ領域の集まりよりなる図をボロノイ図という。 [6]

### 5.2. ダイクストラ法の概要

ネットワーク $G$ の辺 $e_{ij}$ の重みを $w_{ij}$ とする。始点 $s$ から点 $v_i$ までの経路長を $L(v_i)$ 、その経路上で点 $v_i$ の1つ前の点を $R(v_i)$ と表す。

初めに、 $L(s)=0$ 、始点 $s$ 以外のすべての点 $v_i$ に対して $L(v_i)=\infty$ とし、次の操作を全ての点がマークされるまで繰り返す。

- まだマークされていない点の中で、経路長が最小の点 $v_i$ を選び、その点をマークする。(最初は必ず始点 $s$ が選ばれる)。
- 点 $v_i$ に隣接し、まだマークされていない各点 $v_j$ について、 $L(v_j) > L(v_i) + w_{ij}$ ならば、 $L(v_j) = L(v_i) + w_{ij}$ と変更し、 $L(v_j) \leq L(v_i) + w_{ij}$ ならば、 $L(v_j), R(v_j)$ は変更せずにそのまましておく。

最終的に得られた各点 $v_i(i=1, 2, \dots, n)$ の経路長 $L(v_i)$ が、始点 $s$ から点 $v_i$ までの最短経路長を与える。つまり、 $s, t$ 間の最短経路長は $L(t)$ で与えられる。

また、最短経路は、 $R(v_i)$ を利用して $t \rightarrow R(t) \rightarrow R(R(t)) \rightarrow \dots \rightarrow s$ のように、終点 $t$ から1つずつ前の点に戻っていくことによって求めることができる。 [7]

### 5.3. ネットワークボロノイ図作成の流れ

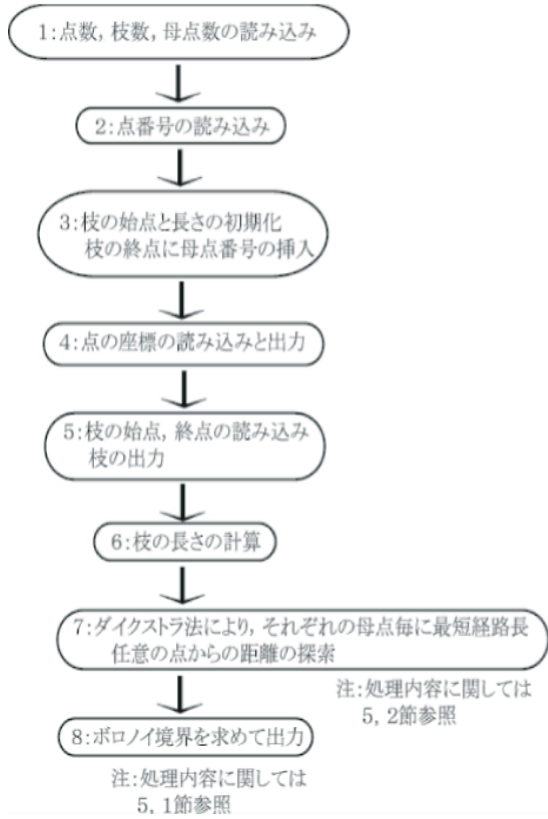


図5.1 アルゴリズムの流れ

## 6. 解析の基準となる保管場所の決定

### 6.1. 地震災害避難場所から物資保管場所候補の選出

新城市の地震災害避難場所は、合計で40ヶ所存在している。その中から、我々が必要な地震災害避難場所を選出し、選出した場所から小学校、公民館・消防署、公園・遊園地・神社に分ける。それと、地震災害避難場所ではない公共施設として郵便局も加え、合計4つの種類に分ける。

### 6.2. 基準となる組合せの選定

6.1節で選び出された組合せ、小学校、公民館・消防署、公園・遊園地・神社、郵便局の4つの組合せ別にネットワークボロノイ図を作り、基準となる組合せを選び出す。解析の結果、小学校と郵便局が最もバランスよく配置されていることが分かった。ここでは、小学校と郵便局のネットワークボロノイ図を示す。

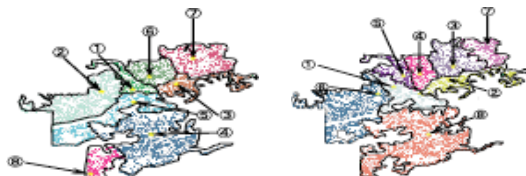


図6.1 ネットワークボロノイ図:小学校(左)と郵便局(右)

### 6.3. 橋が倒壊した場合のネットワークボロノイ図

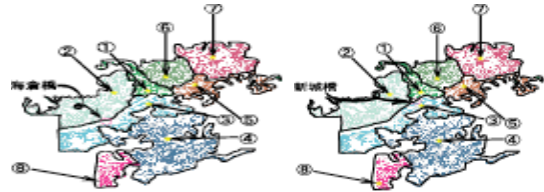


図6.2 小学校:海倉橋(左)と新城橋(右)が倒壊した時



図6.3 郵便局:海倉橋(左)と新城橋(右)が倒壊した時の図は、海倉橋と新城橋が倒壊した時の小学校と郵便局のネットワークボロノイ図を示す。倒壊前の図と比べると、小学校は大きな変化はないが、郵便局は、橋の周辺のボロノイ領域に大きな変化が見られ、緊急物資保管場所の基準を小学校にするのが、一番安定しているということが分かったので、小学校を基準にするのが一番良いと考えられる。

## 7. 道路不通時のネットワークボロノイ図

被害予測、急傾斜危険地危険度を基に考えると、被害があると予想される国道151号線と県道69号線の一部が不通になったときについて、前章で選定した小学校を緊急物資保管場所とした時の解析を行った。不通時の図を見てみると、国道151号線の不通により舟着小学校を母点とする領域がやや大きくなり、一方で東郷西小学校の領域が少し小さくなった。また県道69号線付近は道路が少なく、一本道になっているところもあるので、県道69号線の東側は孤立してしまうことが今回の解析で分かった。

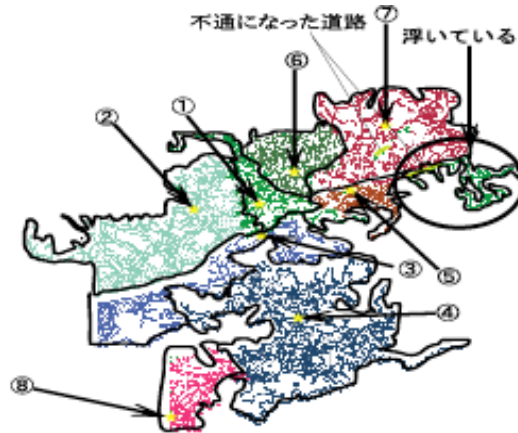


図7.1 道路不通時のネットワークボロノイ図

## 8. 最適配置の提案

今まで行ってきた橋と道路の解析からも分かるとおり、市の南側の領域が広がっていることが分かる。そこで、バランスよくするために、地震災害避難場所の中から、南側にある地震災害避難場所を新たな母点として加える。下の図は、南西部にある①'の八名井集落センターと、南東部にある②'の中宇利集落センターを新たな母点として加えたネットワークボロノイ図である。

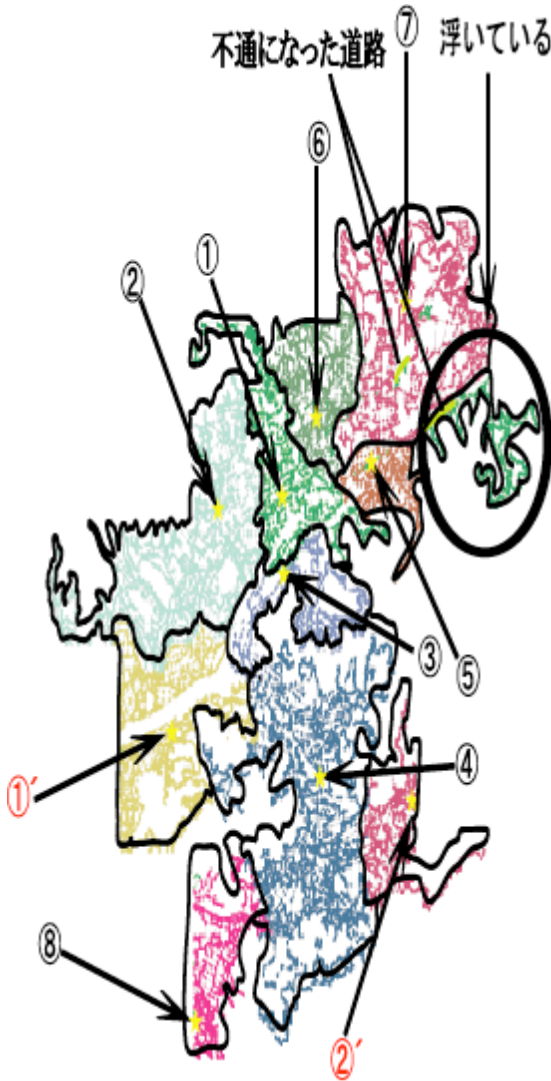


図8. 1 新たな母点を加えた時のネットワークボロノイ図

## 9. おわりに

本研究で、我々は新城市における、地震発生後に緊急物資の不足を防ぐために最適配置問題の手法、ダイクストラ法を用いたネットワークボロノイ図を作成することにより、物資

の最適保管場所を解析していった。その結果、地震による道路不通になる可能性の高い国道 151 号線は、道路自体の数が多く、地震により不通になったとしても交通の流れが悪くなることが予想されて、一つの配置場所に対するボロノイ領域の変化はほぼ現れなかった。それよりも、豊川に架かる橋や、県道 69 号線の一本道のところが、不通になったときの方が、ボロノイ領域の変化が見られることが分かった。今回我々は、最もボロノイ領域の変化のなかった小学校を基準とする最適配置を提案したが、県道 69 号線の東側が不通になると、他に道路がないため孤立してしまう。それに加え、県道 69 号線は、市内の中でも不通になる可能性が高い道路であることに加え、地震災害避難場所がないので、新たに地震災害避難場所を指定して、緊急物資を置けるようにすることが望ましいと考えられる。

今回の研究は、距離的概念に注目し物資の最適配置の解析を行ったが、それ以外の人口密度や物資の内容などもふまえて考えていくと、また違うよりよい配置や新たな問題も現れることが予想される。今後は、距離以外の要素も考慮した解析をすることが、課題として残っている。

## 10. 謝辞

本研究に関して、担当教員でないにもかかわらず多大な助言と大切なネットワークボロノイ図のテストプログラミングを貸して頂いた鈴木敦夫教授、ならびに適切かつ厳しく御指導頂いた長谷川利治教授、その他いろいろな面で助けて頂いた皆様に心から深く感謝致します。

## 参考文献

- [1] 阿部勝征, 安藤雅孝: “AERA MOOK 地震が分かる”, 朝日新聞社 (2002.10).
- [2] 愛知県防災会議地震部会: 愛知県東海地震・東南海地震等被害予測調査報告書—想定地震に基づく被害予測— (2003.3)
- [3] 国土地理院: 数値地図—空間データ基盤, <http://sdf.gsi.go.jp/>
- [4] Shinshiro City Official Site: 新城市/地震災害避難場所, <http://www.city.shinshiro.aichi.jp/life/hinan.html>
- [5] タウンインフ: 新城市の郵便局(日本列島お国自慢), <http://www.towninf.co.jp/p/23/23221/101.htm>
- [6] 岡部篤行, 鈴木敦夫: “最適配置の数理”, 朝倉書店 (1996.4)
- [7] 佐藤公男: “グラフ理論入門(C言語によるプログラムと応用問題)”, 日刊工業新聞社 (1999.4)