

防災船着場整備による負傷者搬送への効果に関する研究 ー東京都江東区を対象としてー

群馬工業高等専門学校 学生会員 ○竹之内洋樹
群馬工業高等専門学校 正会員 森田 哲夫
前橋工科大学 藤田 慎也

1. はじめに

(1) 研究の背景・目的

防災船着場とは、震災時の災害発生時において、河川を物資輸送経路に利用できるよう整備された船着場のことである。東京都は、平成 7 年に発生した阪神・淡路大震災での水上輸送による救援活動の教訓を踏まえ、防災船着場整備計画¹⁾を策定し、すでに 76 か所の防災船着場の整備、計画を進めている。また、東京都は平成 23 年の東日本大震災を受け、「首都直下地震等による東京の被害想定」²⁾を公表し、多数の負傷者を想定したものとなった。したがって、今後、東京都内の各地域防災計画において、防災船着場の負傷者搬送への利用が検討されるものと考えられる。しかし、現在計画されている防災船着場の多くは廃止された水上バスの停船場などを転用したものであり、負傷者搬送への効果など、防災的機能の効果を定量的評価し整備されたものは少ない。

以上の背景を踏まえ、本研究では、防災船着場の負傷者搬送への効果に着目する。対象地域である東京都江東区の負傷者搬送ネットワークとして作成したグラフに、防災船着場と水路によるグラフを組み込むことで変化するグラフの構造を、グラフ理論を適用した評価指標により防災船着場の負傷者搬送への効果を評価することが本研究の目的である。

(2) 既存研究と本研究の位置づけ

既存研究を、土木計画学における災害時の負傷者搬送に関する研究と、グラフ理論の計画系課題の応用に関する研究の 2 点から整理するとともに、本研究の位置づけを述べる。

災害時等の負傷者搬送に関する、土木計画学分野における研究は、道路網評価や、施設の最適配置問

題を使ったものが多く見られる。特に、道路網評価に関する研究は、通常時の OD 交通をもとに災害時の OD 交通を算定し、所望の搬送人数、搬送時間を得るための道路の耐震整備の優先度などを決定する方法が主流である³⁾。しかし、地震直後の交通流は道路システムの損傷の他にも、搬送車などの緊急車両により非定常状態にあるため、十分な定量化をするのは困難との指摘がある⁴⁾。本研究は、搬送人数や搬送時間といった従来の負傷者搬送に関する指標とは異なる、搬送ネットワークの幾何的条件に着目した評価指標を考案するものである。

グラフ理論の土木計画系課題への応用に関する研究は、以前より交通ネットワークの形態を評価するものに多くみられており、小林⁵⁾による道路網システムの信頼性への研究などにおいてその有用性が示されている。また、松村ら⁶⁾は、ネットワーク単体だけでなく人口と施設の組み合わせに着目した都市計画道路ネットワークの評価方法に関する研究を行い、都市計画道路の整備によりグラフが補完されることから住民の施設の利用しやすさを評価した。本研究は、ネットワーク上における、人口と施設の組み合わせにおける中継点である防災船着場のグラフの点としての性質を評価の中心に据えている点に特徴を持つ。

東京都は、発表した被害想定を踏まえ、平成 24 年 11 月に新しい地域防災計画⁷⁾を公表したが、計画の柱の一つとして、物流・備蓄・輸送対策の推進を掲げている。本研究を通じて、地域防災計画における水上輸送に関して示唆を得られることを期待している。

2. 研究方法

本研究では、まず、対象地域において陸路による負傷者搬送ネットワークとなるグラフを作成する。さらに、地域内の防砂船着場及び水路によるグラフ

キーワード 防災船着場、負傷者搬送、グラフ理論

連絡先 〒371-8530 群馬県前橋市鳥羽町 580

群馬工業高等専門学校 TEL 027-254-9179

を組み込む。作成したグラフについて、本研究では次の二つの分析を行った。

- a. 震災時の負傷者搬送において重要となる観点を、グラフ理論で用いられている諸概念と対応させたうえで、独自の評価指標を提案する。さらに、この評価指標に基づき、陸路による搬送ネットワークと水路を導入した搬送ネットワークにおける負傷者の病院への搬送のしやすさを比較する。
- b. 対象地域内において現在計画されている防災船着場の、地域内で発生する負傷者人口との近接度グラフ理論で用いられている指標により評価し、震災時に負傷者搬送に関して利用頻度の高いと想定される船着場の選定を行う。

これらの分析により、以下の二つの知見を得ることが本研究のねらいである。

- 防災船着場の導入によって、負傷者と病院との距離が小さくなる、搬送に用いられる経路が増えるなどのことから、負傷者が病院へ搬送されやすくなること。
- 防災船着場の、対象地域内の負傷者との近接性から、負傷者搬送に関して重要度の高い船着場を把握すること。

3. 対象地域のグラフ化

(1) 対象地域の選定

本研究の対象地域は東京都江東区である。江東区は一級河川が区内の至るところに網目状に遍在し、震災時に水上輸送が多く行われると予想される地域である。また、区内 13 か所に防災船着場が設置されており、防災船着場導入の効果検証を行う意義がある地域といえる。また、その用途に関しても、平成 24 年に公表した被害想定²⁾において、負傷者の発生人数が震災前の想定と比べて増加しているケースもあることから、負傷者搬送に着目した検証が妥当であろうと判断した。

(2) 対象地域のグラフ化の考え方

本研究では、グラフの作成に江東区施設配置図を用いる。対象地域において、搬送経路と人口要素、施設要素とでグラフを作成する。グラフの頂点となるのは人口要素、施設要素、搬送経路における交差点である。グラフの辺となるのは任意に定めた搬送経路である。施設要素は対象地域内の病院とする。

本研究では、東京都福祉局⁸⁾により定められている、江東区内の災害拠点病院 4 病院を対象とする。人口要素は、対象地域内で発生する負傷者の人口代表点とする。負傷者人口代表点は一定の範囲内にて発生する負傷者の分布を一つの頂点として代表するものである。本研究では、江東区内の町丁 145 か所に負傷者人口代表点をプロットした。搬送経路及び交差点は、負傷者の搬送に用いられると思われる主要な道路のうち、区内の都市計画道路及びそれらと接続する交差点を選定した。病院及び負傷者人口代表点は最も近い交差点と結ぶものとする。

本研究では、さらに対象地域の防災船着場と河川の搬送経路及び水路を、作成したグラフに組み込む。グラフの頂点となるのは『江東区地域防災計画』⁹⁾にて定められている江東区内の防災船着場 13 施設と搬送経路となる河川の交差点である。グラフの辺となるのは、江東区内の搬送経路となる河川である。防災船着場は最も近い交差点と結ぶものとする。図-1 は作成したグラフである。視認しやすくするために水路の搬送経路は鎖線で示してある。グラフの辺の長さを均等にするため、搬送経路には概ね 300m 毎に細分点を導入している。また、図中の防災船着場である点には番号を付記してある。

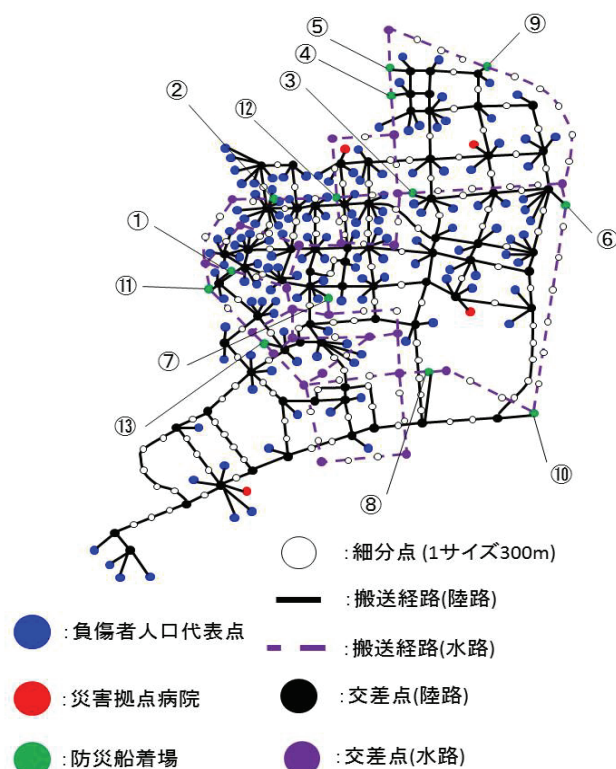


図-1 対象地域のグラフ化

4. グラフ理論適用の考え方と分析方法

(1) 二点間の搬送効果の検証

区内に遍在している負傷者が病院に搬送される際の観点として、以下の二つを挙げる。

- (i) 二点間の距離が短いほど搬送されやすくなる。
- (ii) 二点間を接続する経路の本数が多いほど搬送されやすくなる。

観点(i)は、負傷者人口代表点から近い病院ほど、搬送が容易であることを示している。本研究では、グラフ理論における、二点間の最短経路と呼ばれる概念で対応させた。観点(ii)は、震災の影響で道路が寸断された場合において、確保されているルートが多いほど搬送が行われやすいことを示している。本研究では、経路の本数をグラフ理論における、局所辺連結度^[1]と呼ばれる概念で対応させた。

さらに、本研究では、この二つの観点を組み合わせ、以下の評価指標式(1)を考案した。

$$F_i = \sum_{j=1} \frac{d_G(R_i, B_j)}{\lambda_G(R_i, B_j)} \quad (1)$$

ここで、 $d_G(R_i, B_j)$ は地点 i の病院 R_i と地点 j の負傷者人口代表点 B_j とを接続する最短経路の辺の個数である。 $\lambda_G(R_i, B_j)$ は R_i と B_j の局所辺連結度である。この評価指標は、搬送ネットワーク内のある地点の病院が、各負傷者人口代表点に対してどれほど搬送が容易であることを示すものである。

本研究では、陸路の搬送ネットワークにおける評価指標 F_i と水路を導入した搬送ネットワークにおける評価指標 F'_i について、 $F_i > F'_i$ であるとき負傷者搬送の効果が向上したとみなす。

(2) 防災船着場の選定

搬送ネットワーク内に遍在する防災船着場のうち、負傷者搬送の観点から重要度の高い船着場を、グラフ理論を用いた指標により選定する方法を提案する。作成したグラフにおいて、点要素である防災船着場が、区内の各負傷者人口代表点との距離が近いほど重要性が高いと判断し、グラフ理論における近接度の指標として用いられているシンベル指数^[2]を対応させた。地点 k の防災船着場 W_k のシンベル指数 $S(k)$ は次式(2)で表される。

$$S(k) = \sum_{j=1} d_G(W_k, B_j) \quad (2)$$

ここで、 $d_G(W_k, B_j)$ は地点 k の防災船着場 W_k と地点 j の負傷者人口代表点 B_j との最短距離である。本研究では、水路を導入した搬送ネットワーク区内の各船着場のシンベル指数を調べ、その値の小さい船着場を重要度の高い船着場として選定した。

5. 分析結果

前述した分析方法により作成したグラフを分析した、それぞれの結果を示す。

(1) 二点間の搬送効果の検証

各ネットワークにおける、区内の 4 病院を対象とした評価指標及びそれらを比較したときの減少率を以下の表-1 に示す。表-1 より、全ての病院において防災船着場および水路の導入により指標の値が小さくなっていることがわかる。このことから、グラフ全体に関して負傷者搬送の効果が向上していることがわかる。また、評価指標の減少率が大きい、すなわち搬送への効果が大きい病院は南砂一丁目の江東病院であることがわかる。評価指標の減少が、実際の搬送活動にどれほど寄与するかについての考察は今後の課題としたい。

表-1 各ネットワークの評価指標

	F_i	F'_i	減少率(%)
江東病院	4.519	4.105	9.169
あそか病院	5.675	5.562	1.993
順天堂大学付属順天堂江東高齢者医療センター	3.952	3.912	1.003
財団法人癌研究会有明病院	9.93	9.812	1.019

(2) 防災船着場の選定

グラフ中の各防災船着場のシンベル指数を、小さい順に以下の表-2 に示す。表-2 より、シンベル指数をもっとも小さい船着場は猿江一丁目の扇橋閘門防災船着場であり、負傷者搬送の観点から重要度の高い船着場であると考えられる。

表-2 防災船着場のシンベル指数

番号	名称	$S(k)$
⑫	扇橋閘門防災船着場	1377
⑦	木場6丁目乗船場	1382
②	高橋乗船場	1389
③	小名木川クローバー橋乗船場	1440
①	黒船橋乗船場	1485
⑪	越中島防災船着場	1507
⑬	豊洲3丁目乗船場	1594
④	亀戸乗船場	1790
⑧	夢の島乗船場	1895
⑤	天神橋乗船場	1929
⑥	番所橋乗船場	1951
⑩	新砂リバーステーション	2158
⑨	亀戸中央公園防災船着場	2338

6. 研究のまとめ

本研究の目的、分析のねらいに沿い、本研究の成果を述べる。

- a. 防災船着場の導入による負傷者搬送への効果を検証する評価観点をグラフ理論の概念と対応させ、独自の評価指標を提案した。さらに、実際に対象地域である東京都江東区において評価指標を用いた分析を行い、定性的ながらその効果を示すことが出来た。
- b. 現在防災的機能が不明確なまま計画されている防災船着場をグラフ理論で用いられている評価指標により評価し、負傷者搬送に関して重要度の高い船着場を選定することが出来た。

また、これらの分析に基づいた、地域防災計画策定への応用が望まれる。例えば、居住地域別の防災船着場の配置計画や、発生負傷者数などを考慮した整備の優先度および整備の規模の拡大案の検討などが考えられる。

7. 今後の研究課題

本研究の成果を踏まえた、今後の研究課題を以下に述べる。

本研究で提案した評価指標は、評価指標の変化が実際に搬送されうるかどうかの判断材料とはなりえていないため、過去の震災をケーススタディとした、負傷者搬送に意義のある搬送距離、搬送時間を考慮した評価指標に関する詳しい考察が必要である。

本研究で作成した負傷者搬送ネットワークのグラフは陸路、水路に関わらず辺を 300m に細分しているため、震災時の道路の閉塞性や都市計画道路の整備率などを考慮していないなどの課題を持つ。グラフ理論側の手法と対応した、これらの修正、操作方法を検討していく必要がある。

補注

[1]局所辺連結度

節点集合 V 、辺集合 E のグラフ $G(V,E)$ について、 $E_G(X)$ をカットと呼び、 $d_G(x)$ をそのカットの値とする。この節点集合 V 上の集合関数 $d_G: 2^V \rightarrow R_+$ (R_+ は非負実数集合とする) は、 G のカット関数と呼ばれる。

グラフ中の 2 節点 $u, v \in V$ を分離するカットの最小値、つまり、

$$\min\{d_G(X) | u \in X \subseteq V - v\}$$

を u, v 間の局所辺連結度と呼び、 $\lambda_G(u, v)$ と書く。

[2]シンベル指数

シンベル指数は、グラフ上の点の近接度を示す指標として Shimbel¹⁰⁾ が考案したものであり、次式(3)で定義される。

$$S_i = \sum_j d_G(i, j) \quad (3)$$

ただし、 S_i は節点 i の近接度、 $d_G(i, j)$ は節点 i と節点 j のグラフ的距離である。シンベル指数が小さいほど対象の点はグラフの中心であり、大きいほどグラフの辺境である、と定義されている。

参考文献

- 1) 東京都建設局：防災船着場整備計画<改定版>，2009
- 2) 東京都防災ホームページ：
http://www.bousai.metro.tokyo.jp/Japanese/tmg/assumption_h24.html，2012.1.18（閲覧）
- 3) 例えば、梶谷有三：震災時における道路網の機能性能の評価法，交通工学，第 19 巻 5 号，1984
- 4) 鋤田泰子，高田至郎：震災救命活動に関わる道路システムの機能評価法，土木学会論文集，No.731/I-63，pp.185-193，2003
- 5) 小林正美：道路網システムの信頼度解析に関する基礎的研究，日本建築学会近畿支部研究報告書，昭和 55 年
- 6) 松村祐太，森田哲夫，藤田慎也：グラフ理論を用いた都市計画道路ネットワークの評価指標に関する研究，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.67, No.5（土木計画学研究・論文集第 28 巻），I_813-I_821，2011
- 7) 東京都防災ホームページ：
<http://www.bousai.metro.tokyo.jp/japanese/tmg/plan-sinsai.html>，2012.1.18（閲覧）
- 8) 東京都福祉保健局：
http://www.fukushihoken.metro.tokyo.jp/iryo/kyuukyuu/saigai/sk_list.html，2012.1.18（閲覧）
- 9) 江東区：江東区地域防災計画（資料編），p.257，2011
- 10) Alfonso Shimbel: Structural parameters of communication network, Bulletin of Mathematical Biology, Vol. 15, No.4, pp. 501-507, 1953