

039

スペースシンタックス理論にもとづく移動効率に着目した広域物資拠点の選定

Proposal of locations of disaster response bases with emphasis on accessibility based on space syntax theory

13TM0338 羽深 裕希
Yuki Habuka

指導教員 丸山 喜久

SYNOPSIS

The purpose of this study is to select proper locations of disaster response bases in case of tsunami. The accessibility of the disaster response bases were analyzed by means of the space syntax theory. The emergency traffic road network in Iwate Prefecture was graphed following the fact of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake. Further, the accessibilities of emergency traffic roads in Kochi and Wakayama Prefectures, where will be affected by tsunami associated with a gigantic earthquake in the Nankai Trough, were evaluated following the same manner. Based on the results, proper locations of disaster response bases in the both prefectures were proposed.

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震により東北地方太平洋側の地域は津波による甚大な被害を受けた。この地域の救援のため、国土交通省東北地方整備局は緊急輸送道路を縦と横の軸からなるくしの歯型に啓開することにより、救援ルートを確認した。これは「くしの歯作戦」と名付けられた¹⁾。震災から一週間後の 3 月 18 日には国道 45 号の 97%の啓開が完了し、被災地に支援物資の輸送が可能となった。

岩手県および宮城県では、今後の自然災害の際に災害対応の拠点となる広域防災拠点の整備が検討されている^{2), 3)}。また、東日本大震災では岩手県遠野市が物資の集配拠点としても重要な役割を果たした³⁾。この事例をもとに岩手県は、支援物資の取り扱いを県内 1 か所の広域支援拠点だけではなく、被災地により近い場所に後方支援拠点を設け、ここでも支援物資を取り扱うことを東日本大震災後に立案した。後方支援拠点には、移動効率の良さなどが重視され、北上市・遠野市・葛巻市・二戸市が選定された⁴⁾。

四国地方では南海トラフ巨大地震に備え、四国地方版の「くしの歯作戦」が立案されている⁵⁾。高知県では複数の広域物資拠点を設け、南海トラフ巨大地震に備える計画がある⁶⁾。この広域物資拠点は、県内の複数箇所に設けられ、物資の集積・仕分け等の機能を果たすものであり、岩手県の後方支援拠点と同様の性質を持つものである。

近藤ら⁷⁾は京都府内を対象として、連結信頼性を考慮した道路ネットワークと府内の主要都市の千人当たりの病床数とをリンクとノードで表し、事業計画のある高速道路の整備効果を分析した。また、廣瀬ら⁸⁾は徳島県を対象として、防災計画の面から見た重要性の高い道路を地震時の交通量の増加量によって判別している。このように、道路ネットワークの信頼性を評価する手法には、様々な手法が存在する。

そこで本研究では、道路ネットワークの接続性をグラフ理論の一種であるスペースシンタックス理論によりグラフ化し、移動効率の良い広域物資拠点の配置状況を簡便かつ

客観的に評価できる手法を検討する。まず、東日本大震災やその後の防災拠点整備構想をもとに、岩手県を対象として後方支援拠点の適地の抽出方法を検討する。さらに、同様の手法を高知県、和歌山県に適用し、南海トラフ巨大地震に備えた広域物資拠点の選定に貢献できることを目的とする。

2. スペースシンタックス理論の概要

スペースシンタックス理論は、1970 年代に提案されたグラフ理論による空間解析の手法である⁹⁾。とくに軸線図を利用した解析手法は、空間の接続性をグラフ化し、接続性を数値化する手法である。

都市空間の解析においては、初めに建物以外の空間全体に対して「軸線」と呼ばれる直線ができるだけ長く、かつ空間全体で最小の本数になるように設定し、軸線図を作成する。その後、軸線を頂点として扱う隣接グラフに軸線図を変更する。隣接グラフをもとに任意の軸線から他の軸線への最短の位相的な距離(奥行)を求め、RA 値(Relative Asymmetry Value)と呼ばれる各軸線の位相的な中心性を求める。実際の解析においては、RA 値がグラフ内の頂点数に依存しないよう相対化した RRA 値(Real Relative Asymmetry Value)およびその逆数である統合値(Integration Value)が指標に使われる。統合値が大きいほど、ネットワーク内で位相的な中心であると言え、その軸線の移動効率が高いと言える。

スペースシンタックス理論では、道路ネットワークの形状をもとに移動効率を評価している。本研究では、この理論を応用し、自治体が設置する移動効率の良い広域物資拠点を選定することを目的としており、移動に要する距離や時間については別途検討を要する。

後述する岩手県や高知県での解析では得られた各軸線の統合値をヒストグラムで表す。累積度数分布を併用することで、算出された統合値がネットワーク内でどの程度の移

動効率に相当するののか定量的な評価が可能となる。

稲永ら¹⁰⁾は街路網を軸線として都市の空間構造の分析を行っており、統合値と都市の商業機能等との相関を分析している。このような街路を軸線として扱う研究事例を踏まえ、本研究では道路を軸線とみなし、移動効率の良い道路区間を探す手法としてスペースシンタックス理論を用いる。

3. 岩手県における緊急輸送道路のグラフ化

東日本大震災でくしの歯作戦が行われた岩手県を対象として道路のグラフ化を行った。東日本大震災の際に、岩手県では震災4日後の3月15日から岩手産業文化センター「アピオ」を物資集積拠点に位置付け、物資の受け入れを集約した¹¹⁾。また、東日本大震災から一週間後である3月18日には岩手県市長会により4市（久慈市・盛岡市・遠野市・一関市）が拠点として選定され、支援物資の集配や運搬等の後方支援活動が行われた。さらに、住田町も震災直後から独自の後方支援活動を行った³⁾。

グラフ化にあたり交点と軸線を設定する。交点は、後述する緊急輸送道路同士の交差点と、沿岸部各市町村の役場およびDIDとした。東日本大震災の実例では、被災した市町村は支援物資を集積する市町村集積所を急遽決定したため、大半の市町村が役場内の空きスペースや役場に隣接した公共施設を使用した¹²⁾。そのため、本研究では市町村の役場を支援物資の集積拠点とみなした。

軸線には、くしの歯作戦を踏まえ、「岩手県地域防災計画」に基づく緊急輸送道路¹³⁾のうち、国道4号および東北自動車道から太平洋側の道路区間を対象とし、市町村役場の連絡に直接関係のない行き止まり道路等は解析対象から除外した。統合値を算出した結果を図-1に示す。図中の破線部分は自動車専用道路とそれに並行する道路により二本の道路が存在することを表しており、グラフでは2本の平行な軸線として統合値の計算に反映させた。赤丸は沿岸部に存在する市町村であり、青丸は東日本大震災のときの後方支援拠点、もしくはその後の岩手県広域防災拠点配置計画⁴⁾で後方支援拠点に選定された市町を表す。これをもとに各軸線の統合値のヒストグラムを作成した結果を図-2に示す。なお、複数の軸線の交点に各拠点が存在する場合には、該当する交点に接続する軸線の統合値の平均値を算出した。

東日本大震災で実際に後方支援拠点として使用された5か所（遠野・盛岡・住田・久慈・一関）の統合値と、岩手県広域防災拠点配置計画により選定された4か所（遠野・北上・葛巻・二戸）の統合値を比較する。この結果、岩手県の広域防災拠点配置計画で後方支援拠点に指定された箇所は、震災時の後方支援拠点より統合値が高く、移動効率が良いと言える。東日本大震災後の広域防災拠点配置計画で指定された後方支援拠点の統合値は0.825以上となり、累積度数分布では約60%以上の範囲に該当する。したがって、次章の高知県の検討では、統合値の累積度数分布を岩手県の結果と比較し、広域物資拠点の配置の評価を行う。

4. 高知県内の広域物資拠点の検討

南海トラフ巨大地震に備え高知県は2012年に室戸広域公園・春野総合運動公園・高知県立青少年センター・宿毛市総合運動公園の4か所を広域物資拠点施設として指定した⁶⁾。スペースシンタックス理論による解析対象のネットワークとして、まず高知県単独の道路ネットワークを考え、

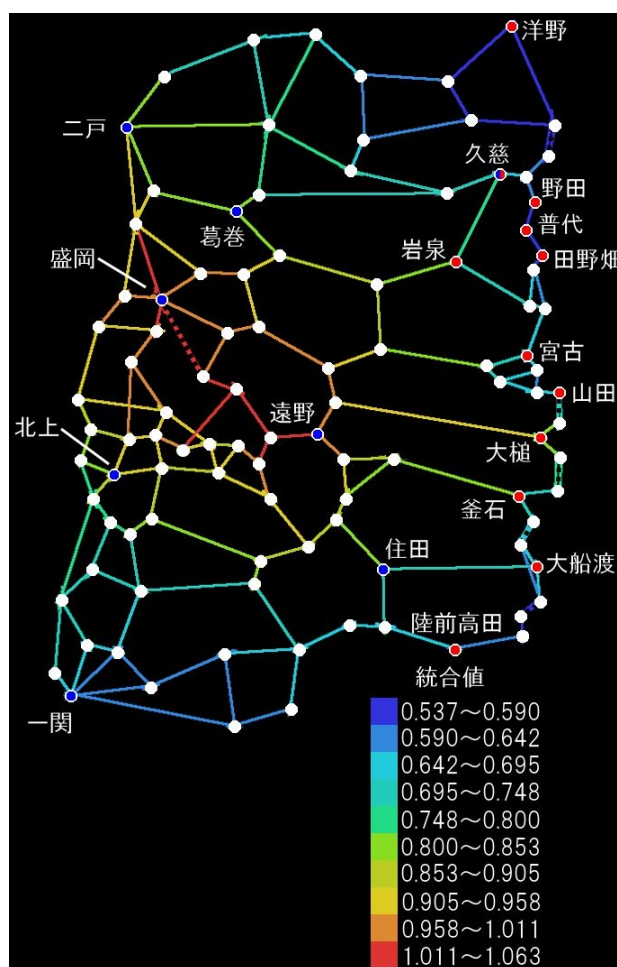


図-1 岩手県の緊急輸送道路の統合値

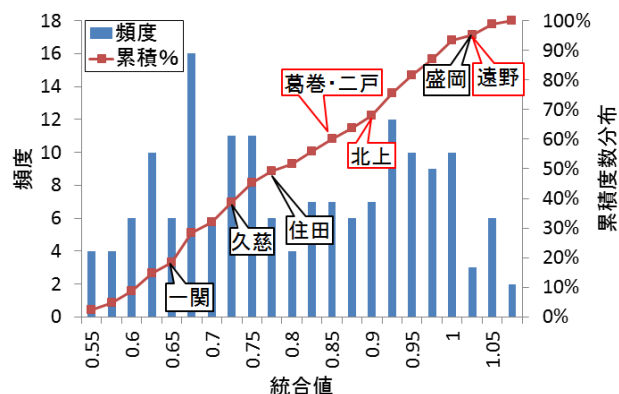


図-2 緊急輸送道路の統合値のヒストグラムおよび累積度数分布（岩手県）

その後に四国全体の道路ネットワークを考慮する。これは大震災に対しては基本的に各県が県内の対応を行うが、各県のみでは対応できない際に他県の支援を受けることを反映させたためである⁶⁾。

高知県の道路ネットワークをスペースシンタックス理論を用いて解析する。高知県が公表している高知県緊急輸送道路ネットワーク計画¹⁴⁾を利用してグラフ化、および統合値の計算をした結果を図-3に示す。図中には高知県が指定した広域物資拠点の所在地に相当する軸線および交点も示した。この図より、高知市中心部の統合値が大きいことがわかる。各軸線の統合値をヒストグラムにしたものを図-4

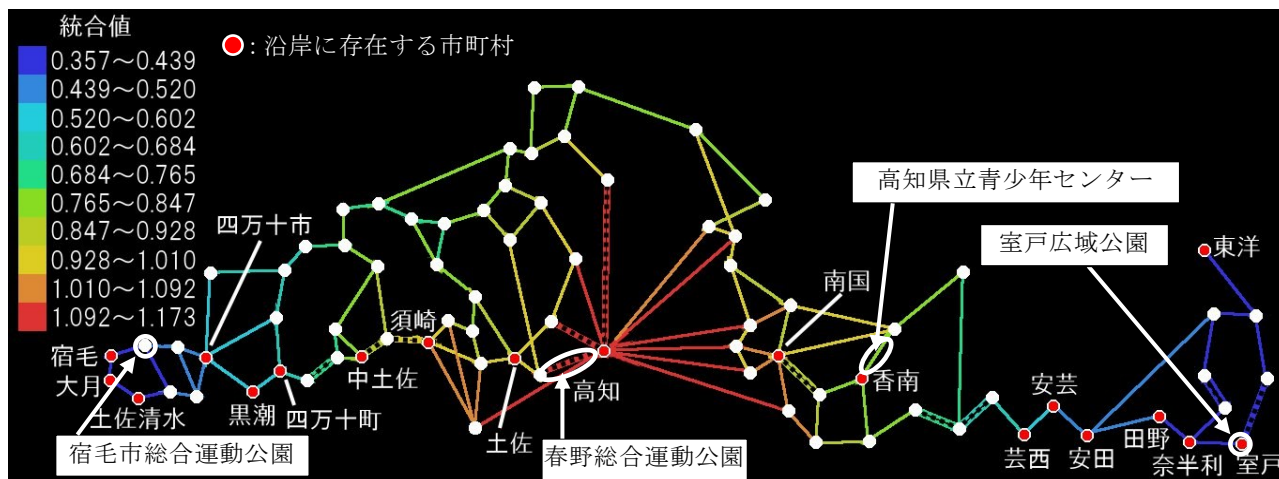


図-3 高知県の緊急輸送道路の統合値

に示す。ヒストグラムには、高知県の広域物資拠点施設に該当する箇所の軸線の統合値に該当する箇所を示した。春野は春野総合運動公園を、高知は高知県立青少年センターを、宿毛は宿毛市総合運動公園を、室戸は室戸広域公園を表す。なお、これらの広域物資拠点が複数の軸線の交点に存在する場合、統合値の平均値を該当する広域物資拠点の統合値とした。さらに、前章で得られた岩手県の後方支援拠点の統合値の累積度数分布（図-2）に相当する範囲も図中に示した。この結果、春野総合運動公園以外は、岩手県の拠点と比べて概して移動効率が低い結果となった。ただし、これらは高知県単独での評価であるため、四国地方全域を考慮した評価も行う。

愛媛・香川・徳島の三県の緊急輸送道路を追加し、四国地方全体からの高知県内の広域物資拠点の評価を行った。各軸線の統合値をヒストグラムにした結果を図-5に示す。宿毛市総合運動公園や室戸広域公園については四国全体のネットワークでも統合値が小さい結果となり、四国の各県が連携しても移動効率が低いものと考えられる。すなわち、これらの高知県の広域物資拠点施設は、県内および他県から自動車を利用した支援物資の搬入が行いにくいことを示している。

スペースシンタックス理論に基づき高知県内の広域物資拠点の検討を行う。図-4、図-5 双方に共通する軸線であり、かつ図-4、図-5 双方において岩手県の後方支援拠点に指定された箇所と同程度の統合値の累積度数に該当する軸線を抽出した。本研究では県や市、町などの自治体が中心となって設置する広域物資拠点に関する評価を行う。そのため抽出した軸線が高速道路に相当する場合、広域物資拠点を設置しないと考える、これらを除外した。

抽出した軸線（道路区間）の津波に対する危険性を確認した。高知県が指定した緊急輸送道路ネットワークと、統合値が大きく、移動効率が高いと考えられる道路、そして南海トラフ巨大地震の際の津波による浸水範囲を図-6に示す。浸水範囲の推定には、平成24年8月に内閣府により公表された11ケースの津波断層モデルのうち、近畿・四国・九州地方で大きな被害が想定されるケース3~5の浸水域¹⁵⁾を使用した。いずれかのケースで浸水した場合、該当する道路区間は浸水の危険性（浸水深が0mより大）がある軸線とみなした。

浸水範囲を確認したのち、Google マップのストリートビューにより実際の場所の様子を確認し道路の浸水有無を調査した。さらに、仕分け作業等の対応を行うと考えられる

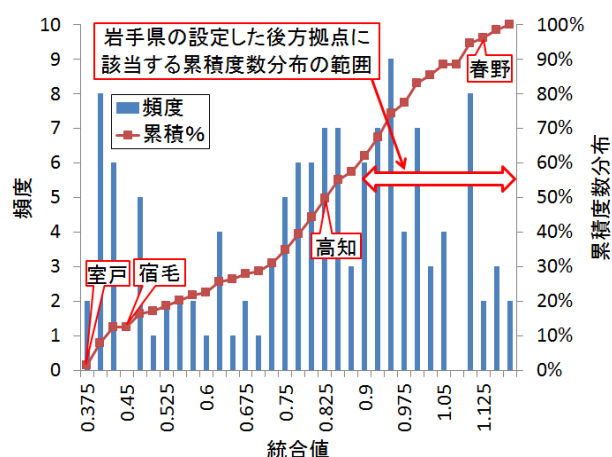


図-4 緊急輸送道路の統合値のヒストグラムおよび累積度数分布（高知県）

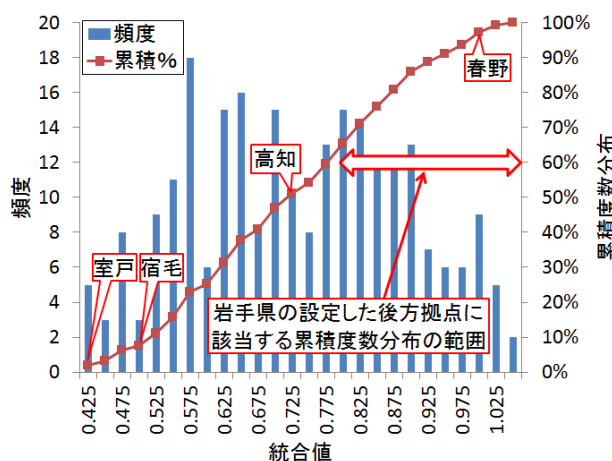


図-5 緊急輸送道路の統合値のヒストグラムおよび累積度数分布（四国地方）

職員数を踏まえて広域物資拠点の適地を検討したところ、香美市、土佐市、南国市、いの町、津野町が候補地となった。



図-6 高知県の緊急輸送道路ネットワーク(黒色および赤色)のうち移動効率の高い道路(赤色)と南海トラフ巨大地震の浸水域(青色)の比較

5. 和歌山県内の広域物資拠点の検討

4章と同様に、和歌山県内についても同様に検討を行った。和歌山県では、既存の広域防災拠点のうち、広域物資拠点と見なせる施設について高知県と同様の解析を行った結果、広域物資拠点として適切な移動効率にどの施設も該当しなかった。しかし、奈良県を縦貫する道路や、事業中・計画中の高速道路を利用することで、いくつかの既存の施設が広域物資拠点として適切な移動効率を有する。さらに、和歌山県内で広域物資拠点として適切な移動効率を有する役場を判別した。その結果、紀美野町、有田川町、日高川町を広域物資拠点として適切な移動効率を有すると判断した。

6. まとめ

本研究ではグラフ理論の一つであり道路ネットワークの接続性を評価できるスペースシンタックス理論を用いて、移動効率にもとづき広域防災拠点の配置手法を検討した。東日本大震災の際の岩手県の後方支援拠点の事例や国土交通省によるくしの歯作戦の事例をもとに、南海トラフ巨大地震で被害が大きいと予想される高知県、和歌山県に着目し、広域物資拠点の移動効率を検討した。

高知県が決定した4か所の広域物資拠点の接続性の評価を行った結果、宿毛市総合運動公園、室戸広域公園の2か所は、高知県単独、四国地方全体の双方から見て移動効率に劣る場所であった。そのためスペースシンタックス理論の統合値にもとづき、移動効率のより高い地点の選定を試みた。移動効率、浸水範囲、職員数について検討を行った結果、香美市、土佐市、南国市、いの町、津野町が広域物資拠点の適地となった。和歌山県でも同様の解析を行い、紀美野町、有田川町、日高川町が広域物資拠点の適地となった。移動効率が高い地点に広域物資拠点を選定したことで、より支援物資が収集しやすくなり、迅速な支援物資の集配に貢献できると考えられる。

今後は、地震や津波による道路被害、道路閉塞などの影響も考慮することにより、地震後も安定した輸送が期待でき、かつ移動効率の高い広域物資拠点の選定を行うことを目標とする。

参考文献

1. 東北地方整備局：「くしの歯」作戦とは
http://www.thr.mlit.go.jp/road/jisinkannrenjouhou_110311/kuushinohasakusen.html, 2011.
2. 宮城県：宮城県広域防災拠点基本構想・計画
http://www.pref.miyagi.jp/uploaded/life/253494_315891_misc.pdf, 2014.
3. 岩手県：岩手県広域防災拠点整備構想
<http://www.pref.iwate.jp/anzenanshin/bosai/jishintsunami/002542.html>, 2013.
4. 岩手県：岩手県広域防災拠点配置計画
<http://www.pref.iwate.jp/anzenanshin/bosai/jishintsunami/023736.html>, 2014.
5. 国土交通省四国地方整備局：東日本大震災の教訓と四国における巨大災害への備え
http://www.soumu.go.jp/soutsu/shikoku/chosa/eisei_inet/pdf/bosai_02.pdf, 2011.
6. 国土交通省四国運輸局：輸送・保管を中心とした総合的な支援物資物流システム構築推進に関する調査「報告書」
http://www.ttb.mlit.go.jp/shikoku/soshiki/koutsuu/img/block/vol2_report.pdf, 2013.
7. 近藤竜平, 塩見康博, 宇野伸宏：アクセシビリティと連結信頼性を考慮した道路網・医療施設計画モデル, 土木計画学研究・論文集, Vol.27 no.3, pp. 579-588, 2010.
8. 廣瀬義伸, 近藤光男, 綾貴穂, 山根丈：地震防災のための道路網および緊急施設整備計画に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.15, pp. 329-336, 1998.
9. 日本建築学会：都市・建築の感性デザイン工学, 朝倉書店, 2009.
10. 稲永哲, 星野裕司, 増山晃太, 尾野薫：都市形成における賑わいと街路網の関係に関する研究, 景観・デザイン研究講演集, No.5, pp. 185-196, 2009.
11. 岩手県：東日本大震災津波に係る災害対応検証報告書
<http://www.pref.iwate.jp/anzenanshin/bosai/jishintsunami/002543.html>, 2012.
12. 福本潤也, 井上亮, 大窪和明：東日本大震災における緊急支援物資の流動実態の定量的把握, 平成23年度国土政策関係研究支援事業 研究成果報告書
<http://www.mlit.go.jp/common/000999574.pdf>, 2012.
13. 岩手県：いわての道路 資料集(2013年3月版)
http://www.pref.iwate.jp/dbps_data/_material/_files/000/000/004/490/iwatedouro_shiryo_2013_3.pdf, 2013.
14. 高知県：高知県緊急輸送道路ネットワーク計画
<http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/170701/kinkyuuyusoudouronw.html>, 2012.
15. 内閣府：南海トラフの巨大地震による津波高・浸水域等(第二次報告)及び被害想定(第一次報告)について
http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough_info.html, 2012.