

スペースシンタックス理論による 広域物資拠点の選定手法の検討

羽深 裕希¹・丸山 喜久²

¹学生会員 千葉大学 大学院工学研究科 (〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33)
E-mail: z9t0237@students.chiba-u.jp

²正会員 千葉大学准教授 大学院工学研究科 (〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33)
E-mail: ymaruyama@tu.chiba-u.ac.jp

本研究ではグラフ理論の一種であるスペースシンタックス理論を用いて緊急輸送道路をグラフ化、統合値を算出し、災害時に物資を集積する拠点の配置場所を提案することを目的とした。東日本大震災の際に行われた「くしの歯作戦」および岩手県の後方支援拠点の選定の事例をスペースシンタックス理論により評価した。この結果を南海トラフ巨大地震の危険性が高い四国地方および高知県に対して適用し、高知県において後方支援拠点と同様の性質を持つ広域物資拠点の設置場所に関する検討を行った。

Key Words : *Space Syntax, storage location, Iwate Prefecture, Shikoku, The 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake*

1. はじめに

2011年3月11日14時46分に生じた東日本大震災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「くしの歯型」とすることにより、救援ルートを設定した。これは「くしの歯作戦」と名付けられ、第1ステップとして、東北道・国道4号の通行を確保、第2ステップとして、津波被災地へ向かう道路の通行を確保、第3ステップとして沿岸部の被災地を南北に縦貫する国道45号の通行を確保した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。

一方で、東日本大震災時には県の物資集積拠点が存在せず、全国から集められた支援物資を適切に集配できなかったため、岩手県および宮城県では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、全国各地から支援物資が大量に送付され、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、岩手県は県内1か所の広域支援拠点だけで支援物資を扱うのではなく、被災地により近い場所に後方支援拠点を設け、ここでも支援物資の受け入れや分配に関する機能を担うことにしている。後方支援拠点には、支援物資の円滑な搬送に必要な

交通網の確保が求められ、アクセス性が重視された結果、北上市・遠野市・葛巻市・二戸市が後方支援拠点に選定された⁴⁾。

近い将来大地震の発生が予測される地域では、あらかじめ各地方版の「くしの歯作戦」が立案されている。四国においても、東北地方の事例を踏まえ瀬戸内側の横軸方向の通行を確保したのち、太平洋沿岸地域へ移動するための縦軸の通行を確保し、国道55号および国道56号の沿岸ラインの確保が立案されている⁵⁾。加えて、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・仕分け等の機能を有するものであり、岩手県の後方支援拠点と同様の性質を持つと考えられる。

そこで本研究では、くしの歯作戦で用いられる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、アクセス性の良い広域物資拠点の配置状況を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と見なせる箇所の抽出方法を検討する。さらに、同様の手法を高知県に適用し、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の概要

スペースシンタックスは、1970年代にロンドン大学ユニバーサルカレッジのビル・ヒリアー教授らによって生み出されたグラフ理論による空間解析の手法である⁷⁾。一連の手法は室内空間や都市空間の解析および数量化に適用でき、ロンドンでの都市計画に应用されている。とくに軸線図を利用して行う解析手法は空間の接続性をグラフ化し、それら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する。その後は軸線を頂点として扱い、任意の軸線から他の軸線への位相的な距離を計算し、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。統合値が高いほど、ネットワーク内で位相的な中心であると言え、その値を有する軸線の利便性が高いと言える。稲永ら⁸⁾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た。このように街路を軸線として扱う研究を踏まえ、本研究では道路を軸線とみなし、アクセス性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使用した。

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被災地のうち、岩手県を対象としてグラフ化を行った。岩手県では支援物資を集約し被災地全体に配送する準備が迅速に整ったためである。例えば、震災4日後である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⁹⁾。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、それぞれの拠点について支援ブロックを設定し、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⁾。

グラフ化にあたりノードとリンクを設定する。ノードは、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¹⁰⁾。そのため市町村の役場を支援物資の集積拠点と見なした。

リンクには、平成24年3月27日に決定された「岩手県地域防災計画」に基づく緊急輸送道路¹¹⁾を選択した。なお、実際のグラフ化に当たり、平成26年8月現在での道路ネットワークを反映させた。本研究では、東日本大震災のくしの歯作戦を鑑みて、津波の際の物資集積拠点を評価することを目的とし、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た。緊急輸送道路には幹線道路を中心とした第1次路線と防災拠点へのアクセス道路である第2次路線があるが、両方をリンクとした。ただし、全ての緊急輸送道路を反映させる場合、一つの市町村内に多量のリンクとノードが生じる可能性がある。本研究では岩手県内の広域な支援物資の輸送を考えると、詳細に全ての緊急輸送道路をグラフ化すると、緊急輸送道路の多い地域にノードとリンクが極端に集中してしまい、意図した接続性の解析に影響が出る可能性がある。そのため、本研究ではDID（Densely Inhabited District）を一つのノードとして扱った。同様の理由により、他県への連絡道や、行き止まりとなる道路に関してもグラフ化から除外した。なお、DIDは国土数値情報ダウンロードサービスのH17年の人口集中地区データ¹²⁾を利用した。

グラフ化を行い統合値を示した結果を図-1に示す。図中の破線部分は自動車専用道路や並行する道路により二本の道路が存在することを表し、2本のリンク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

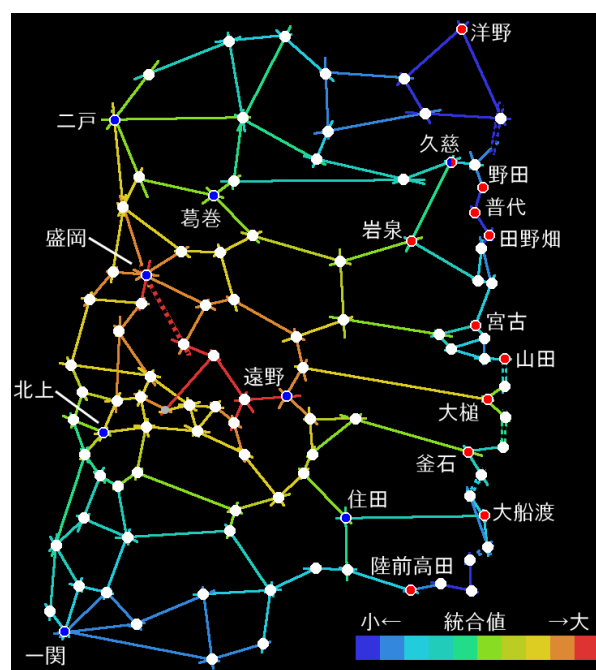


図-1 岩手県の緊急輸送道路の統合値

村であり、青丸は東日本大震災のときに後方支援を行った、もしくはその後の防災拠点整備構想³⁾で後方支援拠点に選定された市町を表す。この結果から盛岡から遠野にかけての統合値が高いことがわかる。これをもとに各リンクの統合値からヒストグラムを作成した結果を図-2に示す。なお、複数のリンク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リンクの平均値を該当箇所の統合値とした。東日本大震災の際に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、震災当時の後方支援拠点と比較し、より高い統合値を示すことがわかり、よりアクセス性の良い場所に後方支援拠点が選定されたと言える。東日本大震災後に広域防災拠点配置計画により指定された後方支援拠点の統合値は0.825～1.025の範囲に収まり、累積度数分布では62.8%～95.1%の

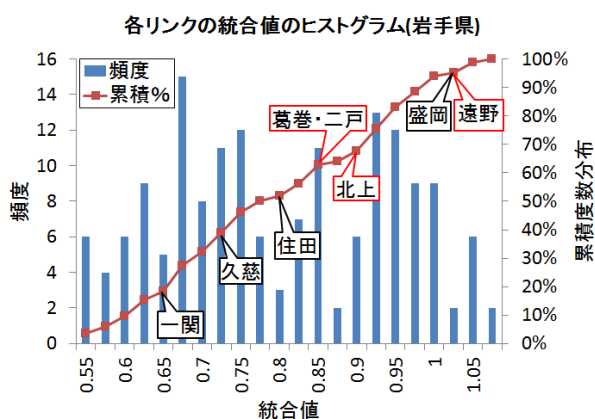


図-2 緊急輸送道路の統合値のヒストグラムおよび累積度数分布（岩手県）

範囲に該当する。スペースシンタックス理論においては、統合値の最大値と最小値はグラフにより変化するため、異なるグラフ間の統合値の絶対値を比較することはできない。そこで、次章に示す高知県の検討では、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こととする。

4. 高知県および四国地方における緊急輸送道路のグラフ化

南海トラフ巨大地震に備え、四国運輸局では「南海トラフ巨大地震等に対応した支援物流システムの構築に関する四国ブロック協議会」を結成し、四国での大規模災害発生時の支援物資の物流に係る対応策のとりまとめを行った¹³⁾。報告書によると高知県は室戸広域公園・春野総合公園・高知県青少年センター・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、まず高知県単独のネットワークを考え、その後に四国全体での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。高知県は2012年に高知県緊急輸送道路ネットワーク計画¹⁴⁾を公表しているため、これを利用した。グラフ化にあたり、広域に物資を運ぶ広域幹線道路が指定されている第1次緊急輸送道路ネットワークだけでは沿岸の各市町村役場を網羅できないため、市町村役場と第1次緊急輸送道路を結ぶ道路である第2次緊急輸送道路ネットワークも対象とした。ただし、前章と同様に、DIDを反映させ、市町村役場の連絡に直接関係

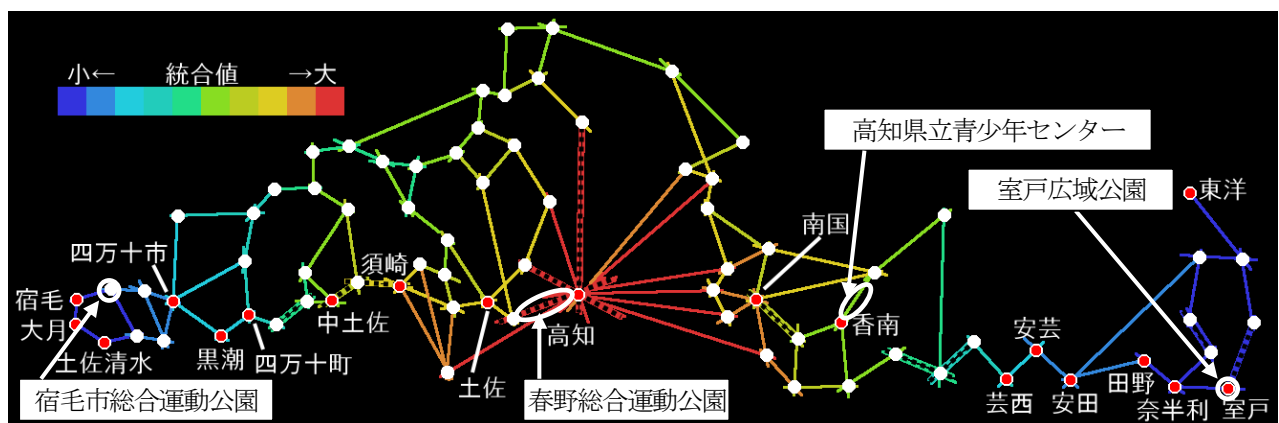


図-3 高知県の緊急輸送道路の統合値

のない行き止まり道路等は解析対象から除外した。

グラフ化した結果を図-3に示す。赤丸は沿岸に存在する市町村名を示す。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リンクおよびノードも示した。この図より、高知市中心部の統合値が高い値を示していることがわかる。各リンクの統合値をヒストグラムにしたものを図-4に示す。ヒストグラム中には、高知県の広域物資拠点施設に該当する箇所のリンクの統合値に該当する箇所を示した。春野は春野総合公園を、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リンクの交点に存在する場合、複数のリンク

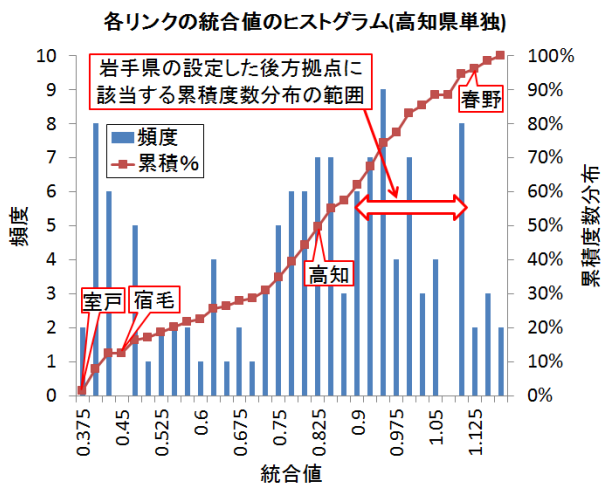


図-4 緊急輸送道路の統合値のヒストグラムおよび累積度数分布 (高知県)

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アクセス性が低い結果となった。また、県西部と比べて県東部のほうが道路ネットワークの冗長性がとくに低いものと考えられる。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。

四国地方の道路ネットワークをグラフ化するに当たり、愛媛・香川・徳島の三県の緊急輸送道路を新たに追加する。この三県から高知県への物資の移動を考えるため広域的な輸送に必要な主要幹線道路をグラフに追加した。各県で物資輸送を担う路線に相当する名称が異なり、愛媛県は一次緊急輸送道路¹⁵⁾、香川県は第1次輸送確保路線¹⁶⁾、徳島県は第1次緊急輸送道路¹⁷⁾となる。また、四国地方は「四国8の字ネットワーク」と呼ばれる高速道路の整備が行われており、これは災害時の救命活動や緊急物資の輸送に活用されると期待されている¹⁸⁾。そのため、本研究ではこれに該当する高速道路および並走する一般国道を東北地方での東北自動車道および国道4号と同様なもの、すなわち、くしの歯作戦での「縦軸」に該当するものと見なした。したがって、愛媛・香川・徳島県では、「縦軸」に該当する高速道路である高松自動車道・松山自動車道および国道11号・55号・56号から高知県側を対象にグラフを作成する。なお、愛媛県に関しては、一次緊急輸送道路が他県の第1次緊急輸送道路等と比べて、多くの道路が選定されている。そのため、一次緊急輸送道路の中でも前述の高速道路および国道以

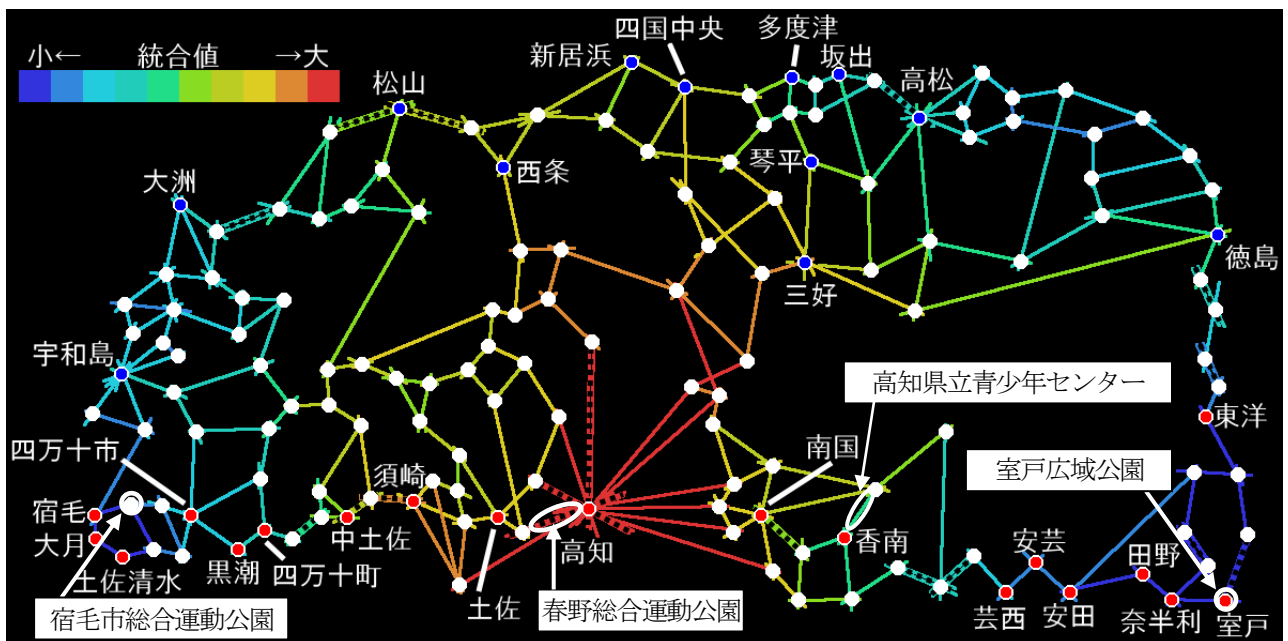


図-5 四国地方の緊急輸送道路の統合値

外は高知県方面に向かう道路のみを対象とした。

これらを踏まえ、グラフ化した結果を図-5に示す。ネットワーク全体から見て相対的に統合値の高い地域が愛媛県側にも拡大していることがわかる。しかし、室戸市や宿毛市に関しては依然として統合値が低いことがわかる。この時の各リンクの統合値をヒストグラムにしたものを図-6に示す。高知県単独の評価で統合値が低かつ

た宿毛市総合運動公園や室戸広域公園の統合値は、四国全体のネットワークでも低く、四国の各県が連携してもアクセス性が低いものと考えられる。すなわち、現在の高知県の広域物資拠点施設の場所の一部は、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。そのため次章では、高知県内における広域物資拠点施設に適した場所の検討を行う。

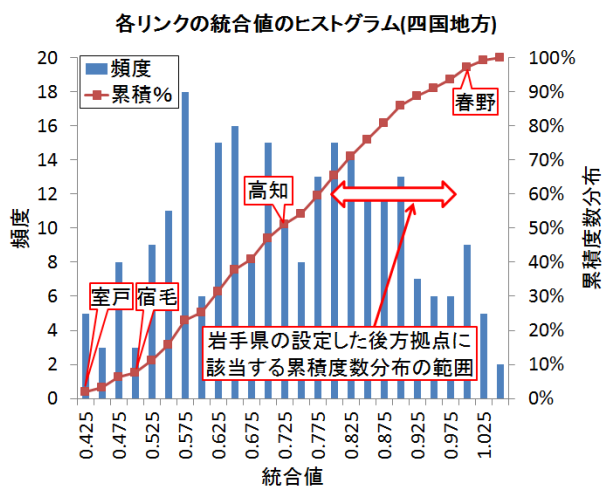


図-6 緊急輸送道路の統合値のヒストグラムおよび累積度数分布 (四国地方)

5. スペースシンタックス理論による高知県内の広域物資拠点の検討

3章および4章の結果を踏まえ、スペースシンタックス理論による高知県内の広域物資拠点の検討を行う。図-4、図-6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地の累積度数に該当するリンクを抽出した。抽出したリンクのうち高知県単独での検討と四国地方全体での検討の両方に共通するものを、広域物資拠点を配置する候補とした。高知県単独での検討と四国地方全体での検討の両方に共通するリンクは、39リンクとなった。ただし、この中のうち5リンクは高速道路であり、広域物資拠点になることが考えにくいので、これらを除外した。また、34リンクの中には海岸線沿いを走る道路も存在した。これらのリンクは、南海トラフ巨大地震に



図-7 後方支援拠点に適すると考えられる道路リンク(赤色)と南海トラフ巨大地震により浸水が予測される箇所(青色)との比較

表-1 一般行政職員数の比較(岩手県：平成23年度，高知県：平成25年度)

岩手県		高知県	
盛岡市	1396 人	香美市	266 人
久慈市	271 人	南国市	266 人
遠野市	241 人	いの町	195 人
一関市	807 人	土佐市	217 人
住田町	86 人	津野町	68 人

伴う津波の浸水の危険性が存在するため，浸水範囲を確認した。

スペースシンタックス理論にもとづき広域物資拠点の候補となる道路リンクと，南海トラフ巨大地震の際の津波による浸水範囲を図-7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南海トラフの巨大地震モデル検討会が推計した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の浸水データ¹⁹⁾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があるリンクとみなした。道路リンクと浸水範囲を比較した結果，アクセス性の良い道路リンクが存在する地域でも，例えば須崎市や南国市南部では浸水が見られた。一方，香美市から南国市にかけての地域はアクセス性の良い道路リンクが集中しており，この地域は利便性が高く，かつ浸水しないことから広域物資拠点を設ければ有効に機能する可能性があると考えられる。さらに，役場の浸水の危険性がないことを条件とすると，香美市，南国市，いの町，土佐市，津野町のアクセス性が高い。

これらの地域に広域物資拠点を配置した場合，市町の職員数が著しく少ないと有効に機能しない可能性があると思われる。そのため，総務省の調査結果²⁰⁾を利用し，東日本大震災の際に後方支援拠点として使用された市・町の一般行政職員数と比較した結果を表-1に示す。岩手県での最少職員数は住田町の86人であるが，高知県では津野町を除いて他の市町はこの人数を上回っている。そのため候補地を実際に広域物資拠点として活用する場合，津野町は近隣市町村等からの応援が必要であると考えられるが，それ以外の市町では東日本大震災での事例と同等の対応が可能であると思われる。

6. まとめ

本研究では，グラフ理論の一つであるスペースシンタックス理論を用いて，広域防災拠点の配置手法の検討を行った。岩手県の事例をもとに，南海トラフ巨大地震の危険性がある四国地方および高知県に対して検討を行

った結果，高知県が決定した広域物資拠点の中にはアクセス性に劣る場所も存在した。

本研究では，スペースシンタックス理論の統合値にもとづき，アクセス性のより高い場所を選定した。アクセス性が高いことで，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。

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/kushinohasakusen.html
- 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, 2013.
- 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流システム構築推進に関する調査「報告書」
http://www.tb.mlit.go.jp/shikoku/soshiki/koutsuu/img/block/vol2_report.pdf, 2013.
- 7) 日本建築学会：都市・建築の感性デザイン工学，朝倉書店，2009.
- 8) 稲永哲，星野裕司，増山晃太，小野薫：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.
- 9) 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.
- 10) 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
- 11) いわて防災情報ポータル：岩手県地域防災計画(資料編)
<http://www2.pref.iwate.jp/~bousai/>, 2014.
- 12) 国土数値情報：人口集中地区データ
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A16.html> , 2014.
- 13) 国土交通省四国運輸局「南海トラフ巨大地震等に対応した支援物資物流システムの構築に関する四国ブロック協議会」
<http://www.tb.mlit.go.jp/shikoku/soshiki/koutsuu/block.html>, 2014.
- 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) 愛媛県：緊急輸送道路

- <http://www.pref.chime.jp/h40400/5744/bosai/yusouro/>, 2014.
- 16) 香川県：緊急輸送路
<https://www.pref.kagawa.lg.jp/douro/home/kinkyuyuso/kinkyuu.html>, 2014.
- 17) 徳島県：緊急輸送道路ネットワーク計画について
<http://www.pref.tokushima.jp/docs/2012070900201/>, 2012.
- 18) 四国 8 の字ネットワーク整備・利用促進を考える会：提言書
<http://www.yonkeiren.jp/teigensho201407.pdf>, 2014.
- 19) 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.
- 20) 総務省：地方公共団体定員管理関係
http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/jichi_gyousei/gyousei/teiin/index.html, 2014.

USE OF SPACE SYNTAX THEORY TO CONSIDER PROPER ALLOCATION OF STORAGE LOCATION IN CASE OF TSUNAMI

Yuki HABUKA and Yoshihisa MARUYAMA

The purpose of this study is to select proper locations of disaster responses in case of tsunami. The emergency traffic roads were graphed by means of the Space Syntax Theory, which is one of the graph theorem. The emergency traffic roads were graphed and evaluated with respect to Iwate Prefecture after the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake. Further, the emergency traffic roads in Kouchi Prefecture and Shikoku Area, where will be affected by tsunami associated with a gigantic earthquake in Nankai Trough, were evaluated following the same manner. Based on the results, proper locations of the storage in Kouchi Prefecture were suggested.