

## 1. 本研究の背景と目的

東北・関東地方は、2011年(平成23年)3月11日14時46分に東北地方太平洋沖地震と、それによって発生した津波により甚大な被害を受けた。この地震災害は約1000年に1度の規模とも言われ、我が国観測史上最大のマグニチュード9.0を観測した。死者・行方不明者は19,225人にのぼる。インフラも多大な被害を受け、道路ネットワークも道路や橋梁の流出、地盤沈下など、目を覆うような大規模な被害を受けた。

本研究はこの大災害によって道路ネットワークが受けた被害状況を分析し考察することで今後の道路ネットワーク作りや管理・維持に活かしていくことを目的としたものである。

具体的には、当研究室がこれまで行ってきた宮城県が東北地方太平洋沖地震によって受けた影響の分析期間を更新し、宮城県沿岸部の孤立地区について調査し分析を行った。

## 2. 東北地方太平洋沖地震の概要

東北地方太平洋沖地震は、2011年3月11日2時46分頃、三陸沖の深さ24kmの海底を震源として発生した。マグニチュード(M)9.0、最大震度7を記録したが、これは日本の地震観測史上最大のものである(図1)。太平洋プレートと北アメリカプレートの境界域における海溝型地震で、震源域は岩手県沖から茨城県沖にかけての幅約200km、長さ約500km、およそ10万平方キロの広範囲にわたった。

また、地震によって大規模な津波が発生した。最大で海岸から6km内陸まで浸水、岩手県三陸南部、宮城県、福島県浜通り北部では津波の高さが8m-9mに達し、明治三陸地震の津波を上回る最大遡上高40.1mを記録するなど、震源域に近い東北地方の太平洋沿岸では、高い津波が甚大な被害をもたらした。

津波、液状化、建造物倒壊など、東北の岩手県、宮城県、福島県の3県、関東の茨城県、千葉県の2県を中心とした被害は大きく、この地震による死者・行方不明者計18,500人の大半は東北の3県が占めた。また、福島第一原子力発電所を代表とした発電施設被害による大規模停電や一連の震災により、日本全国および世界に経済的な二次被害をもたらされた。

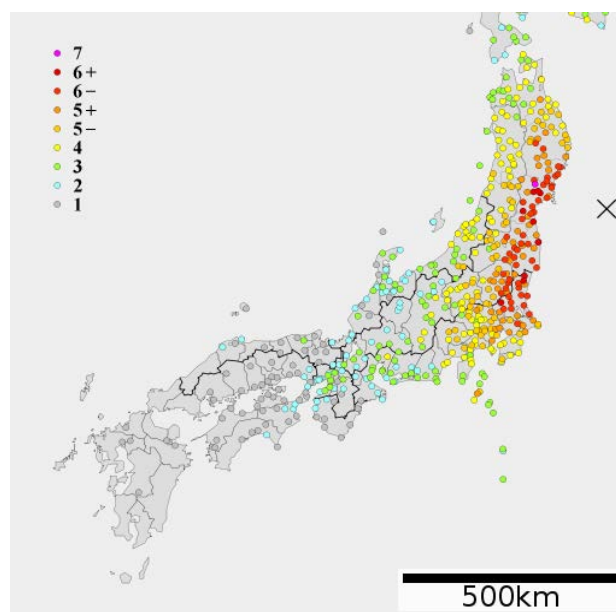


図1 各地の震度

## 3. 東北地方太平洋沖地震が道路ネットワークへ及ぼした影響

図2、3は、宮城県・仙台市の全面通行止め箇所数(地震発生時~2014/10/14)の推移を示したものである。宮城県については、国道、主要地方道、一般県道、その他(公社)。仙台市についてはさらに市道を加える。

キーワード：東北地方太平洋沖地震、ネットワーク、グラフ理論、孤立地区

No.1-39[村井研究室]

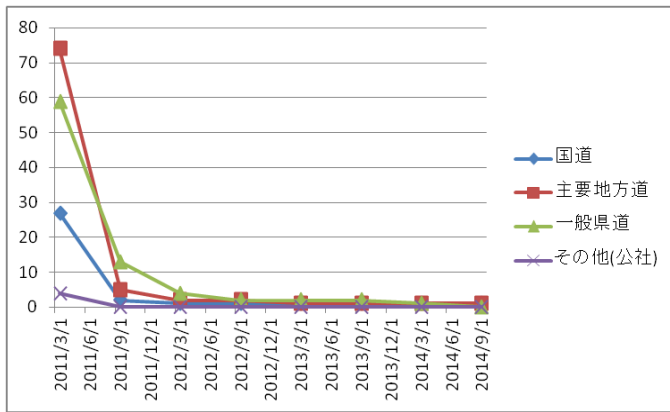


図 1 宮城県全面通行止めに対する復旧状況

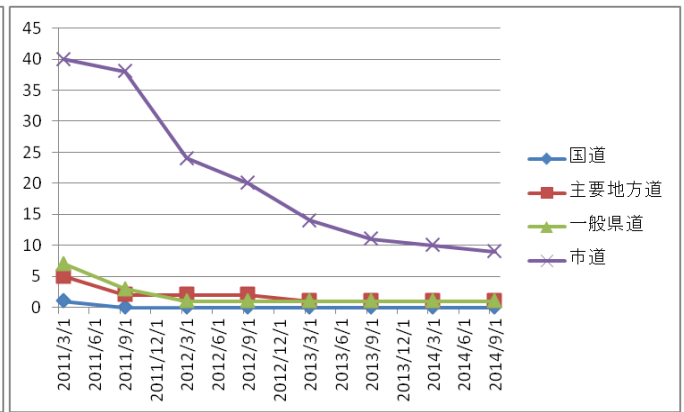


図 2 仙台市全面通行止めに対する復旧状況

宮城・仙台ともに、地震発生時の道路への被害状況は深刻なものであることがわかる。しかし、図 2、3 を見ると、半年で規制箇所数は減少に転じ、1 年後には大きく数を減じている。道路種別で見ると、宮城では主要地方道と一般県道への被害が多いのに対して、仙台市では市道への被害がほとんどである。また、一般県道に関しては、復旧に若干時間が掛かっている。要因別では、道路損傷での被害が最も多い。これは道路が地震に強い構造ではないとも言えるが、橋梁損傷や土砂・落石によって通行止めになりにくいように考えられて道路がつくられているとも受け取れる。

宮城・仙台ともに、復旧に時間が掛かった原因としては、津波による被害が内陸深くにまで及んだことや、資材・人手が不足していたことなどが考えられる。また、1000 年に 1 度と言われるこの地震からの復旧ということで、復旧の方向性を定めるのに時間を要したことも原因の一つだろう。

#### 4. グラフ理論

本研究では、道路ネットワークの被害を分析するためにグラフ理論を適用した。

ネットワークの辺数( $m$ )、頂点数( $n$ )、コンポーネント数( $p$ )の 3 要素から各パラメータを求めた。

- 回路階数( $\mu$ )：グラフ内におけるサイクル数を示す極めて基本的な数である。  $\mu = m - n + p$
- アルファ示数( $\alpha$ )：1 つのグラフにみられる実際のサイクルの最大数に対する、そのグラフについて想定される完全連結グラフのサイクルの最大数との比率を表したものである。

$$\alpha = (m - n + p) / \{n(n - 1) / 2 - (n - 1)\}$$

- ガンマ示数( $\gamma$ )：木グラフや非連結グラフの識別が困難であるというアルファ示数の欠点を補うものである。実際のグラフが完全連結グラフであれば、示数値は 1 となり、そうでない時はかならず 1 未満となる。

$$\gamma = m / \{n(n - 1) / 2\}$$

- コンポーネント数・孤立コンポーネント数：点や辺といった要素から構成させる塊をコンポーネントという。ここでは、ある道路が被災によって道路ネットワークから切り離され、その内側から移動出来ない場合を孤立コンポーネントとする。

#### 5. 東北地方太平洋沖地震が宮城県の市町村に及ぼした影響

本研究のネットワーク分析では一般県道以上のネットワークを対象としている。道路の階層[ネットワーク・レベル(Network Level)以下 NL]を[NL-1:国道]、[NL-2:国道+高速道路]、[NL-3:国道+高速道路+主要地方道]、[NL-4:国道+高速道路+主要地方道+一般県道]の 4 段階で分析した。ここでは、仙台市宮城野区についての分析結果を示す。

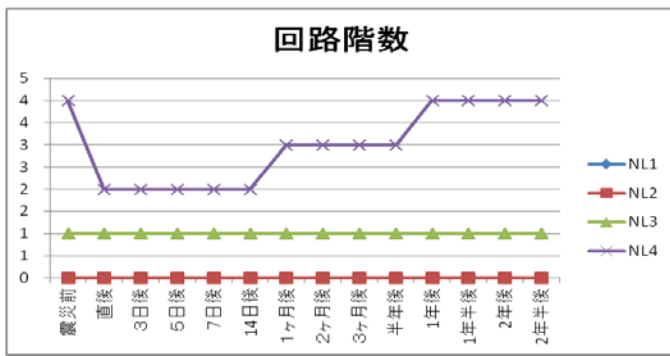


図 3 宮城野区 回路階数

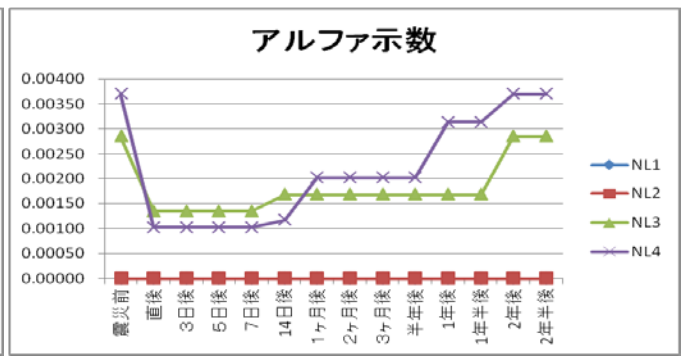


図 4 宮城野区 アルファ示数

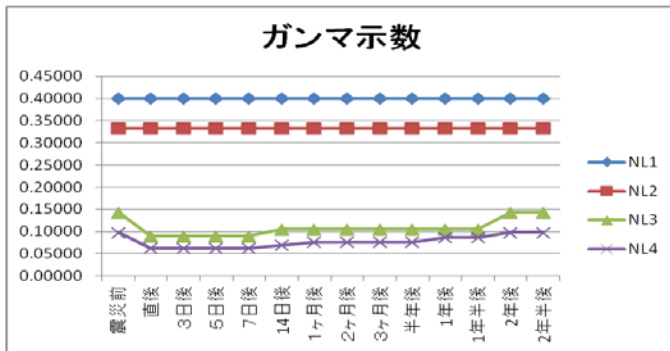


図 5 宮城野区 ガンマ示数

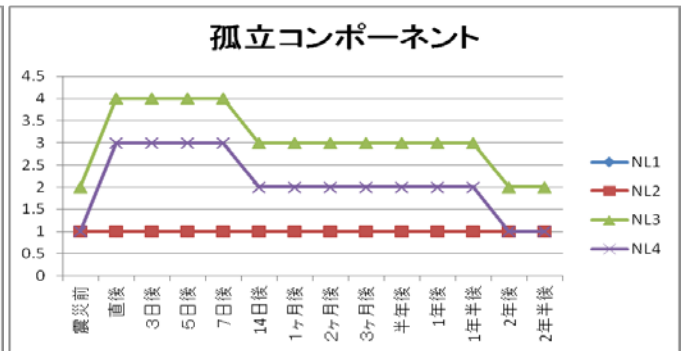


図 6 宮城野区 孤立コンポーネント

これまでの研究では1年2ヶ月までのデータを示したが、今年度の研究では新たに2年半後までのデータを追加した。国道、高速道路においては被害がなかったので変化はなかった。回路階数(図 4)を見ると、NL-4の数値が1年後に震災前の数値に戻っている。アルファ示数(図 5)、ガンマ示数(図 6)、孤立コンポーネント(図 7)を見ると、NL-3、NL-4の数値が2年後に震災前の数値に戻っている。

## 6. 宮城県の孤立地区調査

本研究では、ネットワーク資料では分からなかった各地域の孤立集落(地区名)、原因、期間についてのアンケート調査を行った。ここでは、宮城県の塩竈市、気仙沼市、仙台市、石巻市、多賀城市、東松島市についての調査結果を示す。

表 1 東北地方太平洋沖地震における宮城県沿岸部の孤立地区

集落名(地区名)	孤立期間 年 月 日～年 月 日	孤立原因(複数可)
塩竈市		
浦戸地区(桂島、野ヶ島)	平成23年3月11日～平成23年3月25日	航路上の瓦礫による市営汽船の休止(3月26日、本土～石浜間の暫定運航開始)
浦戸地区(寒風沢)	平成23年3月11日～平成23年4月12日	航路上の瓦礫による市営汽船の休止(4月13日、本土～寒風沢間の暫定運航拡充)
浦戸地区(朴島)	平成23年3月11日～平成23年5月31日	航路上の瓦礫による市営汽船の休止(6月1日、本土～朴島間の全区間で通常運航再開)
気仙沼市		
大島地区	平成23年3月11日～平成23年3月16日	定期航路の運休(津波による船舶の流失等)
唐桑地区	平成23年3月11日～平成23年3月12日	津波による浸水とガレキによって道路通行不可
岩井崎地区	平成23年3月11日～平成23年4月16日	津波による浸水とガレキによって道路通行不可
浦島地区	平成23年3月11日～平成23年3月17日	津波による浸水とガレキによって道路通行不可
石巻市		
雄勝地区全域	平成23年3月11日～平成23年3月14日	国道398号 北上大橋崩落により通行不可能。
		// 女川町内等で浸水やガレキにより通行不可能。
		県道石巻雄勝線 土砂崩れにより通行不可能。
		地区内集落間についても、ガレキ等により通行不可能で移動ができなかった。
仙台市		
避難所 荒浜小学校	平成23年3月11日～平成23年3月12日	浸水
避難所 東六郷小学校	平成23年3月11日～平成23年3月12日	浸水
避難所 中野小学校	平成23年3月11日～平成23年3月12日	浸水
多賀城市		
なし		
東松島市		
宮戸地区	平成23年3月11日～平成23年3月25日	陸地と宮戸島を結ぶ唯一の橋(松ヶ島橋)が流出し、孤立。 ※原因:浸水, のり面崩落, 土砂崩れ, ひび割れ・段差等

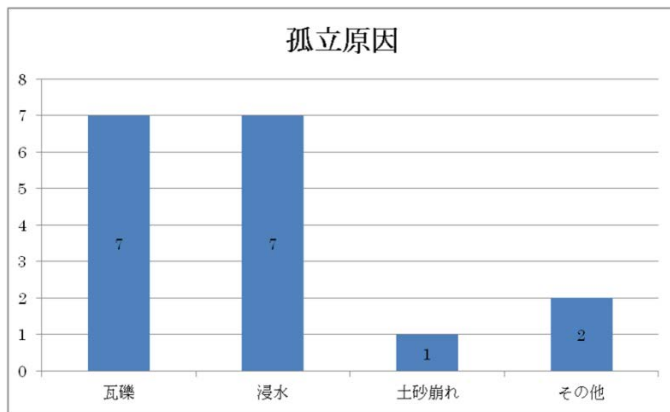


図 8 孤立原因

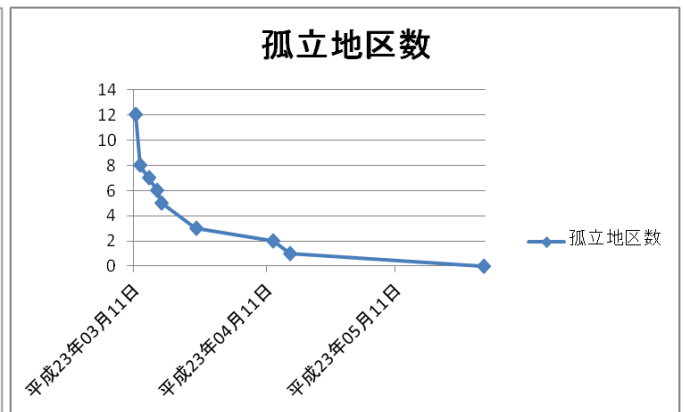


図 9 孤立地区推移

調査の結果、塩竈市で 3 箇所、気仙沼市で 4 箇所、石巻市で 1 箇所、仙台市で 3 箇所、東松島市で 1 箇所孤立地区があったことが明らかになった(表 1)。

原因別(図 8)で見ると瓦礫、浸水による被害が最も多いことがわかる。また、孤立地区の推移(図 9)を見るとほとんどの地区が 1 週間以内に復旧しており、復旧していない地区も 3 ヶ月以内には復旧が完了している。

## 7. 結論

本研究は等研究室がこれまで行ってきた、宮城県が東北地方太平洋沖地震によって道路ネットワークが受けた影響のデータを更新し、まとめたものである。加えて本年度では、塩竈市、気仙沼市、石巻市、仙台市、多賀城市、東松島市の孤立地区について調査し分析した。

東北地方太平洋沖地震が道路ネットワークに及ぼした影響については、大きく数を減らすまで約 1 年掛かっており、震災の大きさが伺える。2014 年 10 月 14 日時点でのデータでは、ごく一部を除きほとんどで規制が解除されており、ほぼ復旧していると言える。しかし、仙台市内ではいまだ規制解除がなされていない道路があり、震災の爪痕が残っている状態である。

グラフ理論を適用し、宮城野区への影響について分析した結果、NL-3、4 については約 2 年もの年月をかけて完全に復旧したことを数値的に明らかにした。

孤立地区調査については、岩手、宮城、福島で 24 市町村にアンケートを送り、宮城では 6 市町村から回答があった。分析結果によると震災直後は合計 12 箇所の孤立地区が存在したが、そのほとんどが 1 週間以内に復旧していることから宮城県の迅速な対応が伺える。しかし、塩竈市の浦戸地区では 1 ヶ月～2 ヶ月以上の間孤立しており、アクセス機能の脆弱さがわかる。

震災から 5 年経とうとしている現在でも復興は続いており、この震災の大きさを物語っている。今回のような震災がまた発生しても道路ネットワークの機能が失われないよう、本研究を活用してもらえると幸いである。

## 参考文献

- 1)国土交通省東北地方整備局、資料 通行止め状況一覧、2014.
- 2)東日本大震災 復興支援地図、昭文社、2011.
- 3)電子地図ソフト プロアトラス SV7
- 4)村井研究室(1014107 太田 遼介 1014121 高橋 貴也)、平成 25 年度卒業論文 東北地方太平洋沖地震が岩手・宮城の市町村道路網へ及ぼした影響、2013.
- 5)点と線の世界(ネットワーク分析)、三共出版株式会社、1976.