

災害初期の被災物撤去における広域連携の効果

学生氏名 木村 宗平
指導教員 皆川 勝

近年、地域建設企業にとって経営環境は厳しく、企業数・就業者数の減少傾向や建設重機の自社保有台数の減少傾向は今後も続くと考えられる。その中、今後予想される大規模な災害として、東海地震がある。皆川、草柳らは、予想される東海地震を対象に被災物撤去における輸送路被災の影響をマルチエージェントシミュレータを用いて検討した。本研究では、皆川、草柳らのモデルを用いて災害初期の被災物撤去における広域連携の効果を検討した。結果、近隣の小規模な市町複数と連携するよりも比較的大規模で建設重機数を多く保有している市と連携する方が被災物撤去における効果が得られることが分かり、近年減少傾向にある建設重機保有数、また、地域間で連携する際の都市の選定の重要性が示唆された。

Key Words : Multi agent simulator, Rubble processing, Wide area cooperation

1. 序論

我が国では、これまでに地震・台風・洪水等により多くの災害を経験してきたことから、地方自治体ではそれらの災害に適切に対応するために、地元の建設業者と適宜災害協定を結んでおり、それは、災害発生時の迅速な対応、復旧を行う上で重要な役割を果たしてきた¹⁾。一方、談合からの決別と総合評価落札方式などの新しい制度の導入により競争は激化しており、図-1 に示す過去14年間の公共事業費の推移に見られる急激な公共事業費抑制抑向などが影響して、土木建設業界では業者数、就業者数が大幅に減少しており、地元建設業者は急激に弱体化している。また、地元の建設業社が保有する建設重機数も減少傾向にある。図-2 には、我が国の建設事業所が保有する建設重機数の推移を示す。重機の自社保有減少傾向には、経営事項審査(以降「経審」と記す。)で重機保有が低評価に繋がる採点基準が導入されている点も影響している。企業による重機保有は「債務が多い」と見なされて経審が低評価となるため、企業の重機保有意欲の減退に繋がっている²⁾。このように、地域建設企業にとって経営環境は厳しく、企業数・就業者数の減少傾向や重機の自社保有台数の減少傾向は今後も続くと考えられる。このような状況の中、今後予想される大規模な災害として、東海地震、東南海地震、南海地震などがある。静岡県を例に挙げると、第4次地震被害想定において、レベル1地震発生時には県内全域に大きな地震

動が発生することが予想されている。山間部などの地盤が強固な地域では震度6弱~5弱、埋め立て地や沖積平野などの地盤が軟弱な地域では震度7~6強の揺れが予想されている。県内の大部分で大きな地震動が発生すると言える。これらに対応するためには、地域間の連携による地域防災力の向上が重要であると考えられる。

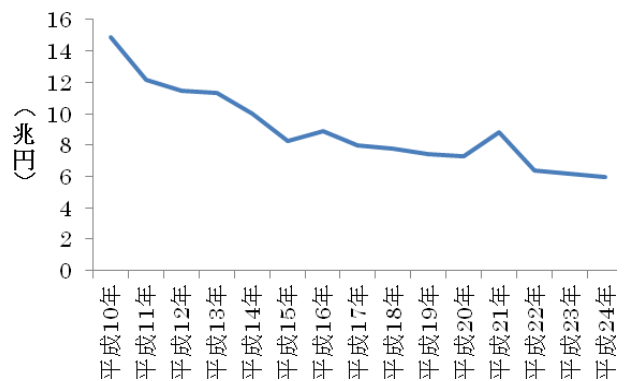


図-1 公共事業関連予算の推移³⁾

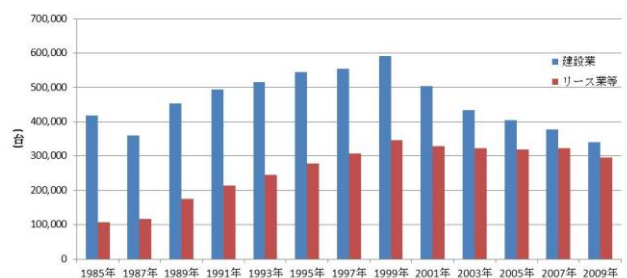


図-2 建設重機保有数の推移⁴⁾

2. 既往の研究

(1)マルチエージェントシステムを用いた研究

ある事象を構成する要素同士の相互作用やそれに伴う現象の再現に適したシステムとして、マルチエージェントシステムがある。マルチエージェントシステムは一般的にエージェントと呼ばれる多数の自律的に作動する個々の主体が存在し、それらの相互依存作用により全体挙動を表すシステムである。マルチエージェントシステムは、事象全体をモデル化するシミュレーション方式と異なり、事象を構成する基本的な要素をモデル化することにより、それによって引き起こされる事象全体を再現するものである。近年、マルチエージェントを用いた災害に関する研究が数多く行われている。このように、被災者の避難行動を扱った研究が多いが、その他にも被災時の車両の運行を扱った研究もある⁶⁷⁾⁸⁹⁾¹⁰⁾。

(2)皆川、渡邊、草柳らによる研究

2012年、皆川、渡邊ら¹¹⁾の研究では東海地震により、第3次被害想定⁹⁾で示されている被害が発生してがれき及び生き埋め者の救助が必要となった状況を想定し、対象地域を静岡県として震災直後の被災物撤去シミュレーションを行った。その結果、地域間で連携を行った場合、連携が無い場合に比べ、各市町での作業時間を、最大で92%短縮できる事が示唆された。これにより、地域の連携範囲の拡大に伴い被災物撤去日数が減少し、その有効性を確認することができた。2013年、皆川、草柳ら¹⁵⁾は2012年、皆川、渡邊ら¹¹⁾のモデルを改善した。2012年、皆川、渡邊ら¹¹⁾のモデルでは、対象とする道路ネットワーク上に経路点エージェントを密に配置することで経路を表現していた。これにより、密に配置された経路点エージェントを一つの線と見なし建設重機エージェントは目的地に向かって移動する。しかし、経路点エージェントは一つの属性に限られているため、この表現方法を利用すると、密なネットワークで想定ネットワークと無関係の経路への移動、高架橋などの属性の異なる道路の交差が表現できないなどの課題がある。そこで、この問題を解決するため経路エージェントの代わりにノードエージェントを用い、ノードをリンクでつなぐことで道路ネットワークを表現した。これにより密な道路ネットワークの作成や属性の異なる道路の交差の表現が可能となった。ノードとリンクによって表現された道路ネットワークを図-3に示す。2013年、皆川、草柳ら¹⁵⁾は、これによって被害想定で示されている緊急輸送路被災の影響度を考慮してシミュレーションを行い、皆川、渡邊ら¹¹⁾の報告結果と比較することで、輸送路被災が静岡県内の被災物撤去作業及び道路啓開作業に及ぼす影響を検討した。

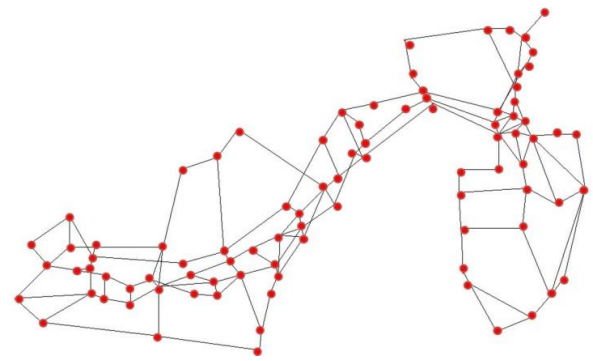


図-3 ノードとリンクによって表現された道路ネットワーク¹⁵⁾

(3)地域建設業による支援活動の迅速性の要因

竹谷ら¹²⁾は、2011年3月11日に発生した東日本大震災において、地域建設業によって支援活動が迅速に行われた要因をアンケート調査した。要因として、人材は自社の従業員によって確保したことに加え、被害が大きい地域では、作業員、オペレーター、建設重機を県内、県外の協力会社から確保したことがあった。結果、自社確保による建設機械やオペレーターが迅速な支援の要因と考える企業が被害の大きかった沿岸部で多いこと、支援活動に活用した資源は沿岸部では自社保有による確保が困難であったことなどが明らかとなった。県内だけでなく県外からの応援を得る事で支援活動の迅速化が図れると考えられる。

(4)本研究の目的

皆川、草柳ら¹⁵⁾の研究では、静岡県全域において各市町間で建設重機を派遣し、被災物撤去を行うことでより合理的に被災物撤去を行うモデルによってシミュレーションを行った。これによって各市町単位での連携による有効性を確認している。前述した地域建設業による支援活動の迅速性の要因で、県内のみでなく県外の協力会社から作業員、オペレーター、建設重機を確保したことがある。本研究では、広域連携化の規模を拡大し、県外から建設重機等が派遣されることによる支援活動への影響を考察し、より合理的に支援活動を行うために有効な地域間連携を検討する。

3. 東海大地震における被災物撤去を想定したシミュレーションの概要

(1)シミュレーションに用いる諸要素について

本研究では、皆川、草柳らの研究でのシミュレーションモデルを基に、新たな諸要素を取り入れて静岡県における広域連携シミュレーションを行った。シミュレーションに用いる諸要素を以下に記す。

a)建設重機保有台数

静岡県交通基盤部に提供して頂いた、市町別の災害協定に基づく災害派遣用の建設重機数¹⁾を表を基に、これらが、各市町の建設重機保有台数は市町の規模、人口に大方比例していることから、広域連携対象地域の各市町と同規模の静岡県の市町をいくつか選び、その総人口を建設重機総保有台数で割って得た比を利用することで広域連携対象地域の建設重機保有台数を推定した。静岡県の近隣の市町と連携した場合のモデルに用いる、静岡県の近隣市町である愛知県の豊橋市、岡崎市、豊川市、豊田市、新城市、山梨県の甲府市、富士吉田市、甲斐市、笛吹市、南アルプス市、神奈川県平塚市、茅ヶ崎市、厚木市、小田原市、秦野市の建設重機保有台数を推定した。推定結果を表-1に示す。

また、愛知県、神奈川県との連携を行う際に用いる愛知県、神奈川県の各市町の建設重機推定保有台数も同方法で算出した。ただし、人口も多く大規模市町である名古屋市、横浜市に関しては静岡県内に同規模市町が存在しなかったため、建設事業費に着目し推定を行うこととした。愛知県、神奈川県、名古屋市、横浜市の建設事業費を調べ、愛知県全体と名古屋市、神奈川県全体と横浜市での建設事業費の比をとることにより建設重機保有台数の推定を行った。愛知県の公共事業費、285147百万円に対し名古屋市が63181百万円である。これらの比4.51と愛知県の総重機数3263台から名古屋市の推定保有建設重機数は723台と算出した。神奈川県の公共事業費、147415百万円に対し、横浜市が229百万円である。これらの比6.16と神奈川県の総重機数2705台から横浜市の推定保有建設重機数は479台と算出した。愛知県、神奈川県の推定結果を表-2、表-3に示す。

表-1 建設重機推定保有台数

市町名	人口(人)	人口/建設重機	建設重機(台)
小田原市	197081	3479	57
甲府市	192725		55
豊橋市	358584	2591	138
岡崎市	351616		136
豊田市	346213		134
平塚市	257387		99
茅ヶ崎市	235643		91
厚木市	219027		85
豊川市	177891	2020	88
秦野市	161986		80
甲斐市	73073	1934	38
笛吹市	71166		37
南アルプス市	73087		38
富士吉田市	52186	1609	32
新城市	53133	888	60

表-2 愛知県の推定建設重機保有台数

市町名	人口	建設重機数
名古屋市	2271380	723
豊橋市	374404	138
岡崎市	374817	136
一宮市	379055	146
瀬戸市	130749	103
半田市	117805	107
春日井市	307495	119
豊川市	181329	88
津島市	63871	72
碧南市	70955	80
刈谷市	147548	73
豊田市	420342	134
安城市	181504	90
西尾市	165922	48
蒲郡市	80876	41
犬山市	74656	38
常滑市	56404	53
江南市	99328	50
小牧市	147019	115
稲沢市	137006	108
新城市	48021	60
東海市	111092	92
大府市	87690	44
知多市	83916	43
知立市	69771	79
尾張旭市	81646	41
高浜市	45029	43
岩倉市	46360	44
豊明市	69450	78
日進市	87984	45
田原市	63120	71
愛西市	63935	72
清須市	65970	74
北名古屋市	83034	42
弥富市	43357	41
みよし市	61481	69
あま市	86820	44
長久手市	55260	62
東郷町	42314	40
豊山町	15059	46
大口町	22679	22
扶桑町	33854	44
大治町	30781	40
蟹江町	36602	35
飛島村	4516	17
阿久比町	26997	27
東浦町	49869	47
南知多町	19381	19
美浜町	24579	24
武豊町	42589	40

表-3 神奈川県内の推定建設重機保有台数

市町名	人口	建設重機数
横浜市	3,703,852	479
川崎市	1,449,944	466
相模原市	721,221	350
横須賀市	409,576	186
平塚市	258,120	99
鎌倉市	173,483	86
藤沢市	418,267	190
小田原市	196,075	57
茅ヶ崎市	237,346	91
逗子市	57,860	65
三浦市	46,299	44
秦野市	169,370	80
厚木市	224,955	85
大和市	231,876	89
伊勢原市	100,955	92
海老名市	129,115	101
座間市	129,645	102
南足柄市	43,571	41
綾瀬市	83,924	43
葉山町	32,565	43
寒川町	47,474	45
大磯町	32,484	43
二宮町	28,968	28
中井町	9,797	30
大井町	17,356	17
松田町	11,393	35
山北町	11,084	34
開成町	16,766	16
箱根町	13,238	41
真鶴町	7,684	29
湯河原町	26,035	26
愛川町	40,878	39
清川村	3,297	13

b)市町別被災物発生量

皆川、渡邊、草柳らは、静岡県が発表した第3次被害想定に示されている市町別の倒壊家屋数と、中部経済連合会が2008年に発表した「大震災に備えた震災がれき処理について」に示されている静岡県内全域でのがれき推定発生量を利用して決定した¹⁴⁾。本研究では平成25年度に実施された第4次被害想定を考慮することで最新のデータを用いることに留意した。第4次被害想定の特徴として、駿河トラフ、南海トラフ沿いと相模トラフ沿いによる被害を想定したこと、レベル1、レベル2地震動に分けた被害を想定したことがある。これらを踏まえて、皆川草柳らと同様な算出方法で被災物数を求めた¹⁴⁾。結果を表-4に示す。

表-4 各市町村における被災物数

(1)賀茂, 東部

市町名	被災物総数(万?)
県計	6751.85
賀茂	
下田市	79.38
東伊豆町	14.35
河津町	14.35
南伊豆町	32.52
松崎町	39.21
西伊豆町	58.34
(小計)	244.83
東部	
沼津市	197.01
熱海市	8.61
三島市	19.13
富士宮市	83.2
伊東市	26.78
富士市	111.89
御殿場市	16.26
裾野市	11.48
伊豆市	34.43
伊豆の国市	16.26
函南町	6.31
清水町	7.65
長泉町	6.12
小山町	3.83
(小計)	554.68

表-4 各市町村における被災物数

(2)中部, 西部

市町名	被災物総数(万?)
県計	4609.62
中部	
静岡市葵区	516.43
静岡市駿河区	411.23
静岡市清水区	583.37
島田市	248.65
焼津市	459.05
藤枝市	449.49
牧之原市	191.27
吉田町	93.72
河根本町	7.65
(小計)	2964.69
西部	
浜松市中区	525.99
浜松市東区	216.14
浜松市西区	270.65
浜松市南区	281.17
浜松市北区	76.51
浜松市浜北区	72.68
浜松市天竜区	22.95
磐田市	420.79
掛川市	363.41
袋井市	318.47
湖西市	168.32
御前市	84.16
菊川市	96.59
森町	62.16
(小計)	3002.95

c)建設重機の被災物処理能力¹⁾

建設重機の被災物処理能力は、国土交通省によって定められている土木工事標準積算書をもとに設定した。設定した値を表-5に示す。建設重機の規格に関しては、市町保有の個々の建設重機の規格に関する詳細な調査を行うことが困難であるために、全ての規格及び土質条件での作業量の平均値を用いることとする。重機の作業時間は1時間あたりの作業量を算出し、24時間態勢での作業とする。

表-5 建設重機の被災物処理能力

規格	土質名	単位	処理能力
排出ガス対策型(第2次基準値)	砂・礫・粘性土	m ³ /h	310
クローラ型山積0.8m ³ (平積0.6m ³)	岩塊・玉石	m ³ /h	260
排出ガス対策型(第2次基準値)	砂・礫・粘性土	m ³ /h	520
クローラ型山積0.8m ³ (平積0.6m ³)	岩塊・玉石	m ³ /h	440
排出ガス対策型(第2次基準値)	砂・礫・粘性土	m ³ /h	160
クローラ型山積0.8m ³ (平積0.6m ³)	岩塊・玉石	m ³ /h	130

d)建設重機の移動速度¹⁾

建設重機の移動速度は、国土交通省が発表している道路交通センサスより混雑時旅行速度35.1km/hとした。

e)建設重機の初期配置¹⁾

静岡県及び広域連携対象地域の建設重機発生地点は、各市町の役所とした。

f)被災物発生地点¹⁾

今回のシミュレーションは、東海地震により静岡県のみが被災したことを想定している。よって広域連携対象地域には被災物を発生させず、静岡県内のみを被災物発生地点とした。

g)エージェントの行動ルール¹⁾

建設重機を表すエージェントを用意する。建設重機エージェントは図-4に示すフローチャートに従い行動する。建設重機エージェントは、初期配置された市町内での被災物撤去作業を行う。作業完了後、現在地点から最も近い目的地に向かって、リンクとノードで作られている経路点エージェントを通過して移動する。経路点エージェントはダイクストラ法を用いて自分の位置から目的地までの最小距離を常に計算し、建設重機エージェントは視野の中にある経路点エージェントで最も小さい数値を持つ(目的地に最も近道となる)経路点を順に辿って移動する。目的地に到着すると被災物撤去作業を行う。全ての市町で作業が完了するまでこの移動と作業を繰り返す。

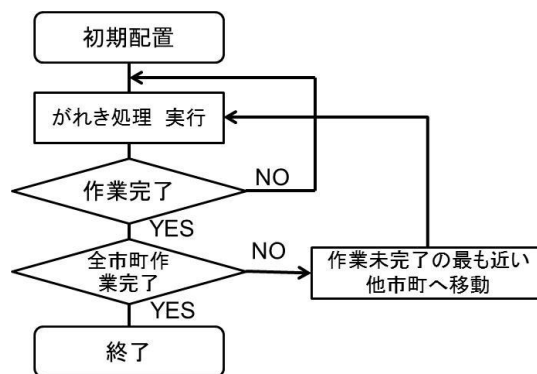


図-4 建設重機エージェントの行動ルール

(2)広域連携において想定するシナリオ

全項目の諸要素を踏まえてシミュレーションを行った。東海大地震が発生した際の広域連携において想定するシナリオを以下に記す。

- 静岡県の近隣に位置する他県の市町から建設重機を派遣する
- 大規模な都市であり、建設重機を多く保有していると推定される名古屋市、横浜市がある愛知県、神奈川県と連携する

これらのシナリオを想定した広域連携化による被災物撤去モデルを作成し、シミュレーションを行った。

4. 静岡県の近隣市町を対象とした広域連携化シミュレーションの結果及び考察

(1)静岡県の近隣市町を対象とした広域連携化モデル

静岡県に隣接している県の各市町村の人口を基にした規模と道路環境の調査から、対象都市を決定した。対象とする都市は、愛知県の豊橋市、岡崎市、豊川市、豊田市、新城市、山梨県の甲府市、富士吉田市、甲斐市、笛吹市、南アルプス市、神奈川県の平塚市、茅ヶ崎市、厚木市、小田原市、秦野市とした。愛知県の豊橋市、岡崎市、豊田市は人口が静岡県の静岡市、浜松市、に次ぐ規模であり、アクセス面では、豊川市、新城市も含め、東名高速道路、豊橋東バイパス沿いにあるため十分であると言える。山梨県は、国道身延道、富士パノラマライン付近に有力な市が集中しているため人口が多い上位5市を選定した。神奈川県は東名高速道路、西湘バイパスを基に同基準で選定した。これらの15市町から静岡県内へ建設重機を派遣することを想定した。静岡県内の被災物撤去を行うにあたって、静岡県内の建設重機のみで処理した場合と対象とした隣接市町を加えて処理した場合で比較した。シミュレーションによって得られた結果を図-5、図-6、図-7に示す。

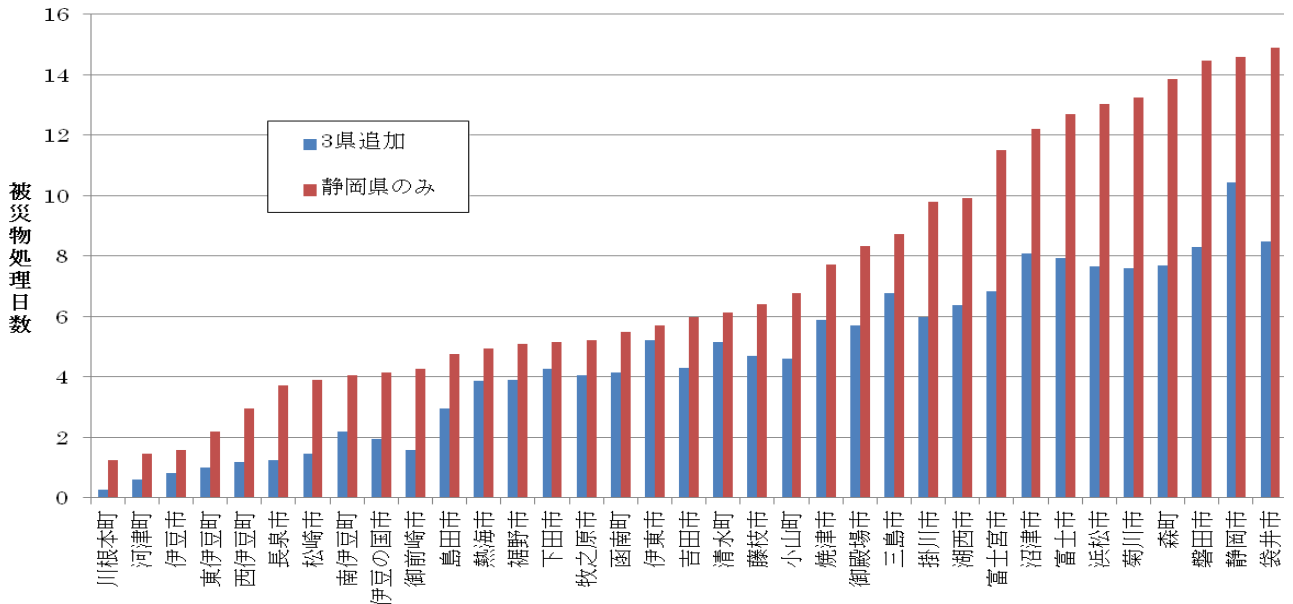


図-5 被災物撤去日数の比較

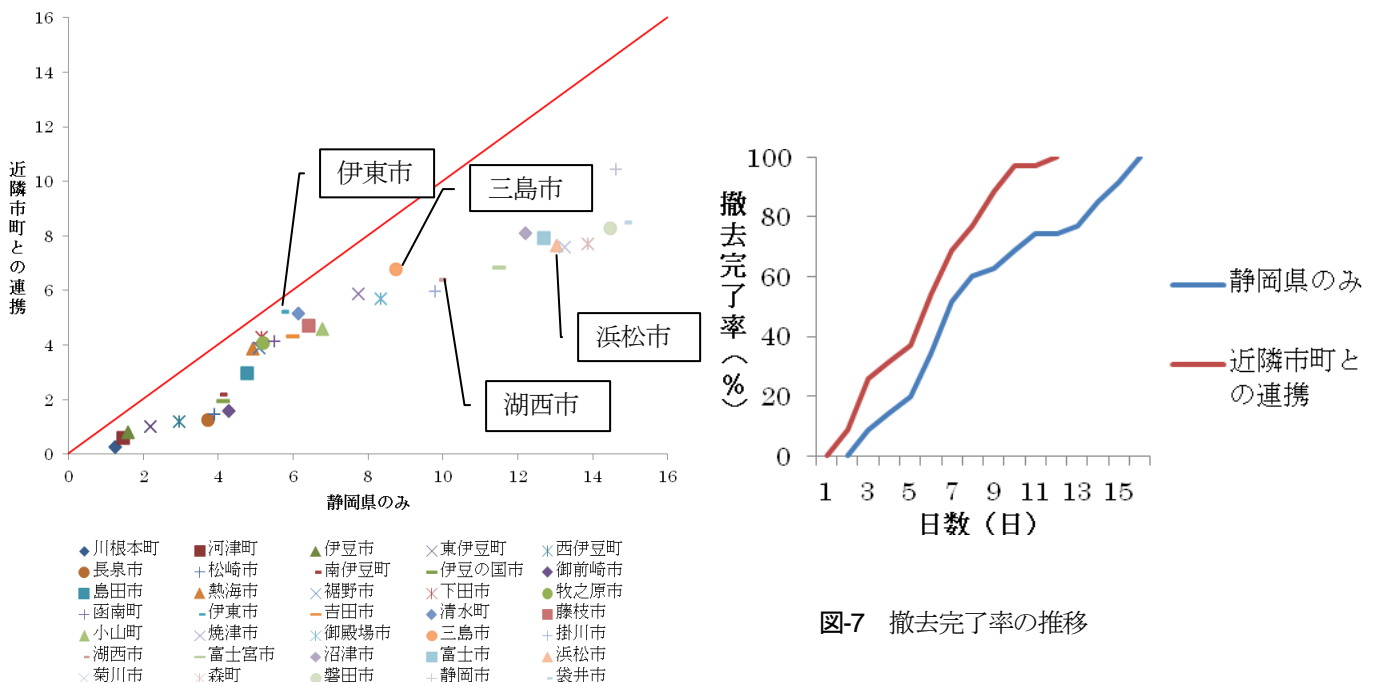


図-6 被災物撤去日数の市町別分布

隣接市町を追加した場合、全市町において処理日数が減っていることから、広域連携の有効性が示された。処理日数の平均短縮率は36%であること、また、静岡県のみでの処理では最も処理日数を要する袋井市の処理日数が40%短縮されていることから、影響力の大きさを確認できる。東名高速道路、豊橋東バイパスがあるため愛知県から派遣される建設重機のアクセスが容易である湖西市では36%、浜松市では41%、同様に国道富士パノラマライン、身延道があり、山梨県から派遣される建設重機のアクセスが容易である富士宮市では41%短縮されており、派遣重機の有効性が示唆されている。しかし、東

名高速道路、西湘バイパスがあり神奈川県から派遣される建設重機のアクセスが容易である三島市では、22%と平均を下回っており派遣重機の有効性を確認できなかった。三島市の付近には、裾野市、長泉市、沼津市が密接していることから、派遣重機がそれらへ流れたことが示唆される。また、伊東市においては短縮率が9%であり、効果があまり見られなかった。撤去完了率の推移をから、隣接市町と連携した場合が均等に撤去完了率が上がっている事が分かる。地域別に見ると派遣重機数が比較的多い愛知県と隣接している西部が最も多く短縮されている事が分かる。

5. 愛知県・神奈川県を対象とした広域連携化シミュレーションの結果及び考察

(1)愛知県、神奈川県と連携した被災物撤去モデル

東海大地震における被災物撤去を行うにあたって、静岡県より多く建設重機を保有しており、大規模な都市である名古屋市、横浜市がある愛知県、神奈川県と連携する場合を想定した。緊急輸送路を基に作成した静岡県、愛知県、神奈川県の道路ネットワークを図-8に示す。この道路ネットワークによって被災物撤去を行う場合を以下のパターンでシミュレーションした。

- 建設重機保有台数が特に多い名古屋市、横浜市から建設重機を派遣する
- 静岡県に近い愛知県の市町から建設重機を派遣する
- 名古屋市のみから建設重機を派遣する
- 被災物撤去日数があまり短縮されなかった市町に優先的に建設重機を派遣する

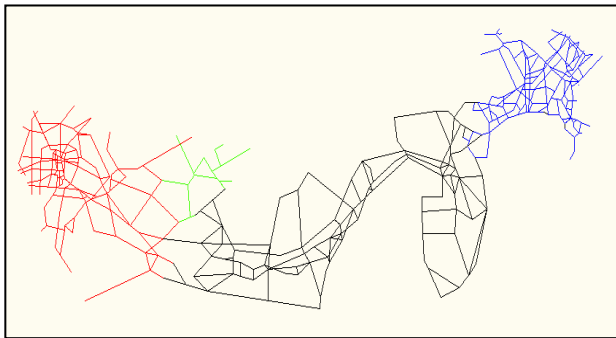


図-8 愛知県、静岡県、神奈川県の道路ネットワーク

(2)名古屋市、横浜市の影響

愛知県、神奈川県の各市町が保有している建設重機数を推定した結果、県庁所在地である名古屋市、横浜市が特に多く保有していた。これらと連携した場合の影響は大きいと考えられる。そこで、前項目でシミュレーションを行った愛知県、神奈川県、山梨県の3県の静岡県から比較的近くにある市町、全15市町と連携した場合と名古屋市、横浜市の2市と連携した場合で被災物撤去作業にそれぞれどれくらい影響があるのかを比較した。結果を図-9、図-11、図-12に示す。

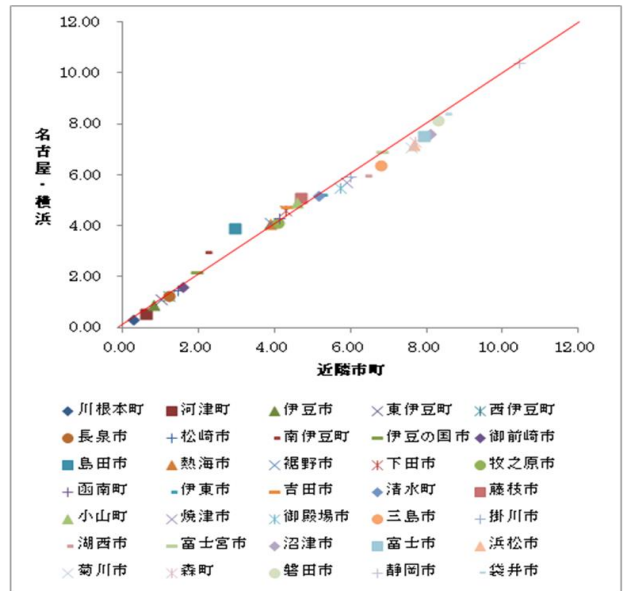


図-9 被災物撤去日数の市町別分布

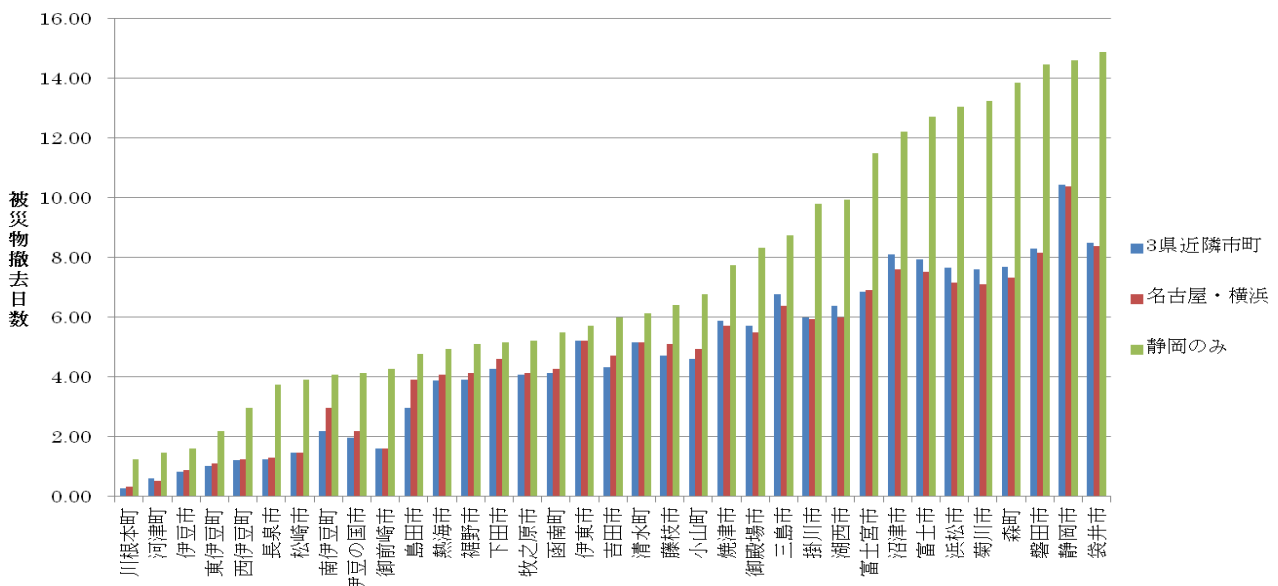


図-10 被災物撤去日数の比較

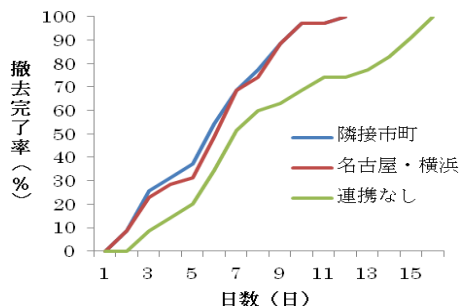


図-11 撤去完了率の推移

3 県近隣市町、名古屋・横浜それぞれの被災物撤去日数の合計がほぼ等しい値となった。建設重機保有台数や市町の規模に関係なく、静岡県内の近隣に位置している15市町と静岡県からの距離は遠くなるが、市の規模が大きく、建設重機を多く保有している2市ではほぼ同程度の影響を及ぼしたと言える。被災物撤去日数の市町別の散布では対角線上に市町が集まっており、撤去完了率の推移では近隣市町と名古屋・横浜の推移がほぼ重なっており、8日以降では一致していることから、同じ事が言える。前者は派遣建設重機がすぐに静岡県内の市町に駆け付けられるが市町個々の力は比較的弱い。後者は被災物撤去作業に入るまでの時間は比較的掛かってしまうが、作業への影響は大きいと言える。被災物撤去された静岡県の市町ごとに見ると、市町によって3県近隣市町が早い場合、名古屋・横浜が早い場合がある。南伊豆町ではその差が顕著に表れており、名古屋・横浜よりも3県近隣市町の影響が大きい。これは南伊豆町が伊豆地域の海沿い最南端に位置していること、また、近隣の市町である松崎市や西伊豆町では3県近隣市町と名古屋・横浜の差があまり見られないことから、南伊豆町の近隣の市町が派遣建設重機が到着する前に被災物撤去を終えており、アクセスの早い3県近隣市町の派遣建設重機を使う事が出来たと考えられる。このように、地理的な問題で3県近隣市町と名古屋・横浜に差が出た市町があった。

(3)近隣市町と有力市町による影響の比較

近隣市町と連携した場合、有力市町と連携した場合の影響の差を比較するために、愛知県を対象としてシミュレーションを行った。前項目の愛知県の建設重機数から名古屋市が他の市町と大差で建設重機を多く保有していることが分かる。これは連携をする際、名古屋市を含む場合と含まない場合では大きく差が出る事が考えられる。そこで、派遣建設重機を名古屋市のみに頼る場合と静岡県から最も近くに位置するいくつかの市町に頼る場合で影響の違いを比較した。近隣市町として新城市、豊川市、豊橋市、田原市、北設楽郡を選択した。名古屋市のみと愛知県の近隣市町とで被災物撤去シミュレーションを行った結果を図-12、図-13、図-14に示す。以降の考察で用いる、名古屋市と建設重機数が同程度になるように近隣市町を選択したものを「近隣市町=名古屋」と記す。

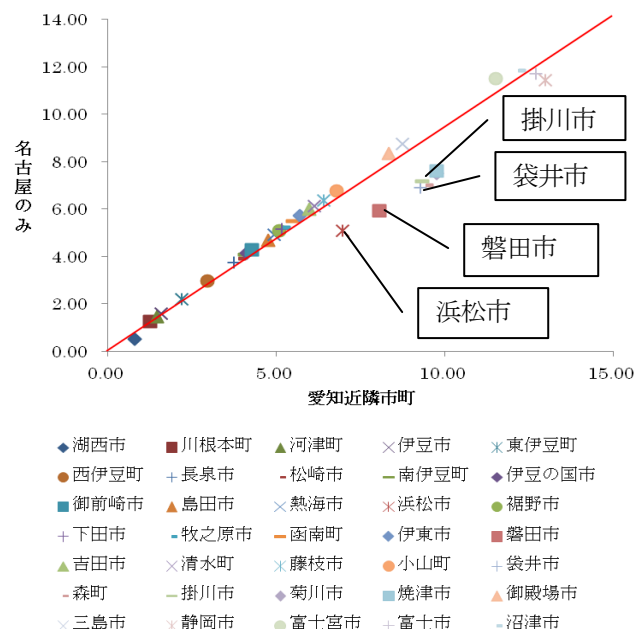


図-12 被災物撤去日数の市町別分布

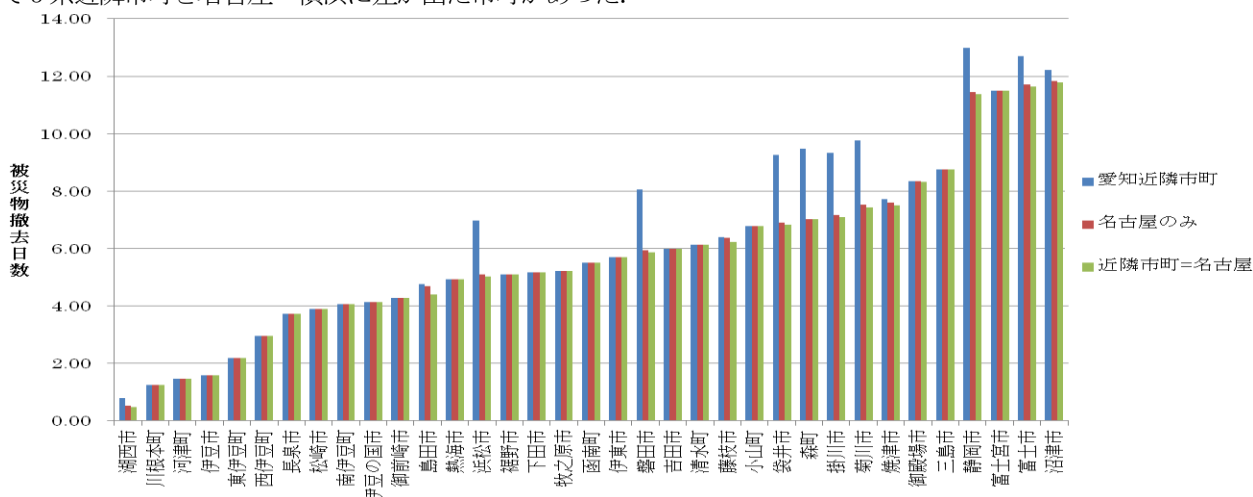


図-13 被災物撤去日数の比較

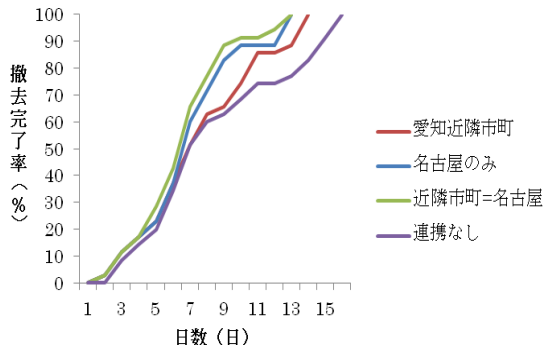


図-14 被災物撤去日数の市町別分布

愛知県の近隣市町と連携した場合と名古屋市と連携した場合では、被災物撤去日数に大きく差が出た市町とあまり差がない市町があった。前者は派遣された建設重機の影響を特に受けている。愛知県の近隣市町と連携した場合の派遣建設重機の影響をあまり受けず被災物撤去日数があまり短縮されなかった市町として、浜松市、磐田市、袋井市、森町、掛川市、菊川市、静岡市があった。近隣市町と連携した場合は名古屋市と連携した場合に比べて派遣できる建設重機数が少ないため、被災物量の多い浜松市、静岡市、また、海沿いに面しており派遣重機が到達するのに時間の掛かる磐田市、袋井市、掛川市、菊川市には派遣された建設重機が十分に補われなかったと考えられる。これらの市は、被災物撤去日数の市町別の散布図でも愛知近隣市町側に位置していることから、建設重機が行き届かなかったと言える。アクセス面で近隣市町より不利な名古屋市の方がこれらの市町での被災物撤去日数が短縮されていることから、派遣される建設重機数が特に影響していることが分かった。

伊豆地域の市町は、派遣される建設重機が西部側からであり、到達するのに時間がかかるが、近隣市町と連携した場合、名古屋市と連携した場合のいずれもあまり影響がない。これは、伊豆地域の市町はそもそも倒壊家屋数が少なく、発生する被災物があまり多く想定されていないため、派遣される建設重機の応援がなくても十分賄えるからである。

近隣市町と名古屋市の関係から派遣される建設重機数に着目した。近隣市町の建設重機数が名古屋市と同程度になるように、元々選択していた新城市、豊川市、豊橋市、田原市、北設楽郡に加えて、岡崎市、西尾市、蒲郡市、安城市を選択した。建設重機数が同程度になった近隣市町と名古屋市の結果を比較すると、一番差がある島田市でも被災物撤去日数の差が 0.28 日であり、ほぼ同じような効果が得られることが分かった。撤去完了率の推移を見ても、建設重機数を名古屋と同程度となるように選定した近隣市町の方が名古屋と連携した場合に近い形になっている。近隣の小規模な市町複数と連携するよ

りも比較的大規模で建設重機数を多く保有している市と連携の方が被災物撤去における効果を得られると言える。

(4)優先的に建設重機数を派遣することによる効果

図-6の愛知近隣市町とその他の2パターンを比較すると、浜松市、磐田市、袋井市、森町、掛川市、菊川市、静岡市が特に被災物撤去日数が掛かっていることが分かる。これらはアクセス面、被災物発生量によって派遣される建設重機数が不十分だったと考えられる。そこで、派遣する建設重機数は変えず、これらの市町に優先的に建設重機を派遣する場合をシミュレーションした。静岡県内に入り、最も近い所から被災物撤去を行っていた派遣建設重機を直接優先する市町に行かせた。得られた結果を図-15、図-16、図-17に示す。

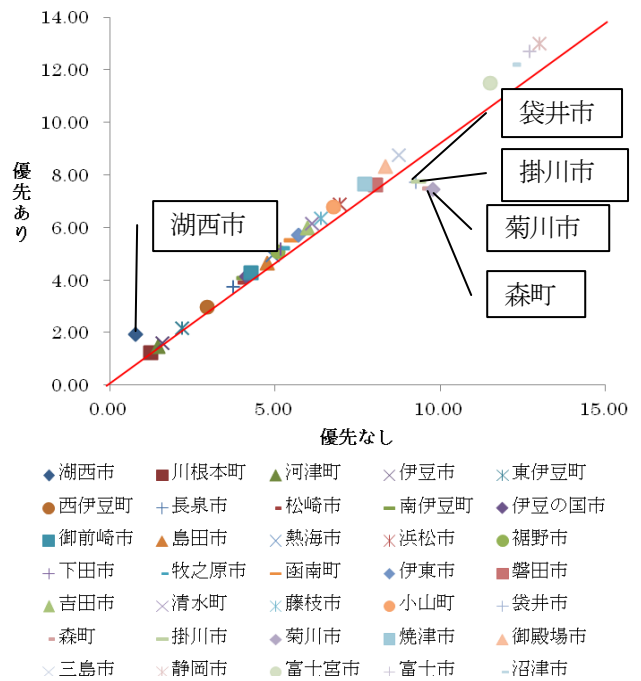


図-15 被災物撤去日数の市町別分布

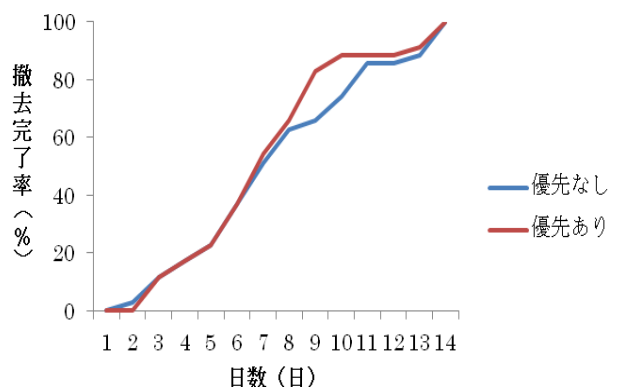


図-16 撤去完了率の推移

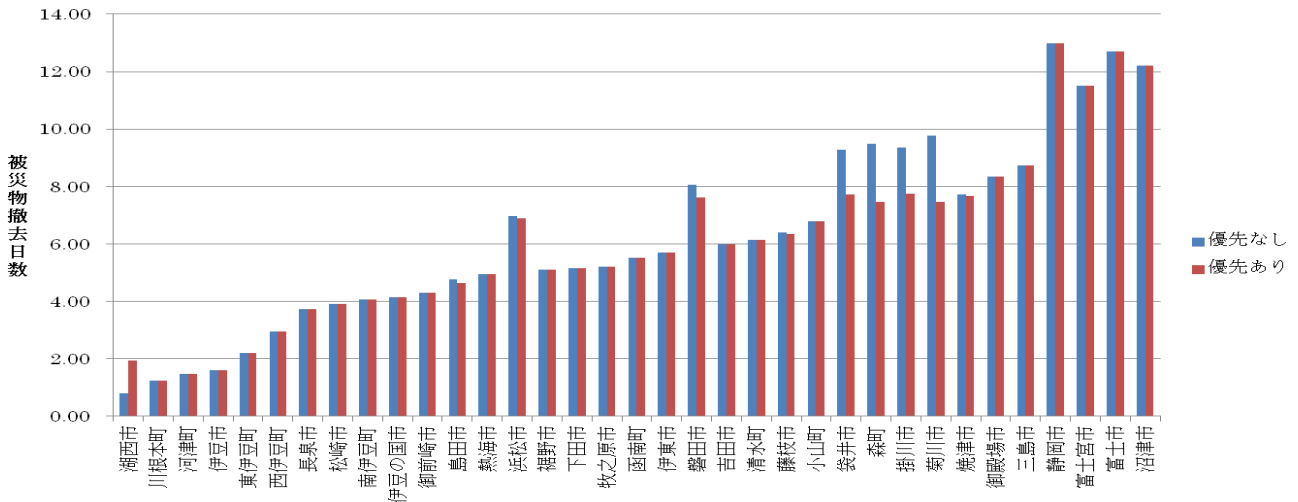


図-17 被災物撤去日数の比較

建設重機を優先的に派遣した浜松市、磐田市、袋井市、森町、掛川市、菊川市、静岡市の中で、袋井市、森町、掛川市、菊川市は被災物撤去日数が大きく短縮され、優先による影響が見られた。図-16の撤去完了率の推移をみると、徐々に差が開いていき、9日から10日の間では約20%の撤去完了率の差が見られた。

しかし、あまり効果が見られない市町もあり、浜松市、磐田市、静岡市では影響があまり見られなかった。これには、被災物発生量と派遣建設重機数の割合が関係していると考えられる。このシミュレーションでは、市の規模による被災物発生量は考慮せず派遣する建設重機を均等に割り振った。よって、比較的市の規模が大きく、被災物発生量が多い浜松市、磐田市、静岡市では十分な応援にならなかったと考えられる。また、湖西市では、優先した場合に被災物撤去日数が増えている。湖西市は、静岡県の最西端に位置しており、優先せず愛知県から建設重機が派遣された場合、それらが最初に辿り着くため、優先により後回しにされてしまったと考えられる。湖西を除いては、全市町において優先ありの場合が優先なしの場合より被災物撤去日数が短縮された、もしくはほぼ同じだったため派遣重機を優先することによる効果が見られた。

6. 結論

皆川、草柳らの研究では第3次被害想定で示されている緊急輸送路被災の影響度を考慮してシミュレーションを行い、輸送路被災の影響が静岡県内の被災物撤去作業及び道路啓開作業に及ぼす影響を把握し、富士川付近の静岡県の東西を結ぶ輸送路が大きな重要度を占めていることが示唆された。本研究では、皆川、草柳らのシミュレーションモデルに第4次被害想定による被害、静岡県

が広域連携を行うにあたって対象となる、愛知県、神奈川県、その他近隣市町の緊急輸送路を基にした道路ネットワークや静岡県に派遣される建設重機数を反映することで、新たなシミュレーションモデルを作った。それらによって、広域連携化の規模を拡大し県外から建設重機等が派遣されることによる支援活動への影響を考察し、より合理的に支援活動を行うために有効な地域間連携を検討した。

静岡県に隣接している愛知県、神奈川県、山梨県のいくつかの市町を対象として連携を行った場合は、被災物撤去日数が浜松市で最大41%の短縮率が得られ、連携による有効性を示す事が出来た。

静岡県より多く建設重機を保有しており、大規模な都市である名古屋市、横浜市がある愛知県、神奈川県を対象として連携を行った場合では、規模や建設重機保有数に関係なく近隣の市町を選んだ場合よりも、規模や建設重機保有数が被災物撤去において有力な名古屋市、横浜市を選んだ場合の方が合理的な被災物撤去作業が行える結果になった。さらに、建設重機を派遣する際、被災状況から、被災物発生量が多い地域に優先して派遣する事で被災物撤去完了率が上がった。派遣建設重機が最短で辿り着いた地から被災物撤去するのではなく、被災状況を考慮し、派遣先を選定して被災物撤去を行う事で効率化を図れると言える。これらによって、近隣の小規模な市町複数と連携するよりも比較的大規模で建設重機数を多く保有している市と連携する方が被災物撤去における効果が得られることが分かり、近年減少傾向にある建設重機保有数と地域間で連携する際の都市の選定の重要性が示唆された。

謝辞：本研究を進めるにあたり、ご多忙の中、多数の御助言、御指導をして頂いた皆川勝教授には大変お世話になりました。また、生活面でも御指導して頂き、ここに深く感謝の意を表します。佐藤安雄技師にも、様々な御助言を頂き、感謝しております。また、副査をして頂く、吉田郁政教授、中村隆司教授にも合わせて感謝の意を表します。

皆様の絶大な御支援、御協力がなければ本研究は成り立ちませんでした。ここに深く感謝の意を表します。

[付録]

「被災物」という用語について

皆川ら¹¹⁾が従来、「がれき」という用語で表現してきた被災地に残され残置物を本研究では「被災物」と表現することとした。「がれき」は辞書によれば、「瓦と小石。破壊された建造物の破片。値打ちのないもの、つまらないものの例え。」という意味を有する。しかし、東日本大震災の場合、多くの被災者の財産や貴重な家族の記録、ご遺体などが内在する状況における、被災地に残された残置物は、特に、被災された方々の心情を考えれば、「がれき」という言葉で表現するのは適切ではないと考えるに至った。また、本研究では災害初期の被災物の撤去を研究対象としていることから、「廃棄」されるべきものかどうか定まらない状況における残置物であり、「災害廃棄物」という用語も適切とは言えない。

参考文献

- 1) 馬場太郎:高知県の建設業と住民による地域防災に関する基礎的研究,平成21年度フロンティアプロジェクト修士論文,2013.4
- 2) 村岡治道:疲弊する地域建設企業の現状,第31回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会講演集,2013.4
- 3) 財務省:各論3.公共事業,公共事業関連予算の推移,2014.
- 4) 国土交通省:国土交通白書,図表102,2014.1
- 5) 静岡県:第3次被害想定結果:地震対策資料 No182-201,2001.2014.1
- 6) 宮島宇・堀宗朗・小国健二:多様な群集の雑然とした状況を想定した地震時避難行動シミュレーション,土木学会地震工学論文集,pp765-772,2007.
- 7) 笹岡早姫:災害現場における最短経路探索システムの構築宮崎隆穂,第11回MASコンペティション,pp.1-2,2011.
- 8) 前地一輝:DIGへの適用を目的としたマルチエージェント避難行動シミュレータの試験的開発,第10回MASコンペティション,2010.
- 9) 野澤征司・渡辺公次郎・近藤光男:マルチエージェントシステムを用いた歴史的市街地における津波避難シミュレーションモデルの構築,土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集,pp.230-231,2005.
- 10) 10)村木雄二:マルチエージェントモデルを用いた広域災害避難シミュレーションにおける情報伝達の有効性,情報処理学会研究報告2004号,pp.69-72,2004.
- 11) 皆川勝・渡邊裕介・草柳満:土木学会論文集F4(建設マネジメント),Vol.68, No.4, I_57-I_67,2014.12
- 12) 竹谷修一:東日本大震災における地域建設業による支援活動の地域別にみた迅速性の要因について,土木学会論文集F4(建設マネジメント),2014.12
- 13) 静岡県,第4次被害想定:
<http://www.pref.shizuoka.jp/bousai/4higaisoutei/2014.1.26>
- 14) 川上勲夫:高知県内の建設業者が保有する重機台数状況とそれによる地域防災力低下の試算,土木学会四国支部21世紀の南海地震と防災,2014.1
- 15) 皆川勝,渡邊裕介,草柳満:災害初期の被災物処理における処理効率の影響,土木学会論文集F4(建設マネジメント),Vol.69, No.4, I_69-I_80,2014.1

EFFECT OF WIDE AREA COOPERATION IN DISASTER OF WITHDRAWAL IN THE EARLY STAGE OF DISASTER

Shuhei KIMURA supervised by Masaru MINAGAWA

In recent years, I considered management is painful for the construction company in the region, the number of firms, number of employees is reduced, the number of company owned heavy construction equipment is vanishing. Among them, as a major disaster expected future, there is a Tokai earthquake. In this study, we investigated the effect of regional cooperation in disaster of removal of the initial disaster by using a multi-agent simulator. A result, it can be seen that the people who work with the city, which holds a lot of heavy construction equipment number of relatively large than to work with small cities and towns multiple neighboring effect is obtained in the affected products removed, and getting less in recent years the number of heavy construction equipment owned, are the importance of the selection of the city in the case of cooperation between regions was found.