

# 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 小柳 将平<sup>1</sup>  
指導教員 皆川 勝

<sup>1</sup>東京都市大学 工学部都市工学科 (〒158-8557 東京都世田谷区玉堤1-28-1)  
E-mail:g1018041@tcu.ac.jp

本研究では、道路啓開及び被災物撤去を行うにあたり、他地域と協力し作業を行う広域連携の重要性に着目し、災害初期の被災物撤去における広域連携の有効性をシミュレーションを行うことにより検討した。研究対象地域を静岡県とし、近年発生が予想されている東海地震の発生を想定した。東海地震発生時に近接地域から静岡県へ建設重機を派遣し連携して被災物撤去を行うことで、静岡県のみで被災物処理をした場合に比ベドの程度処理日数を短縮することができるのかをシミュレートした。その結果、連携して処理を行った場合は静岡県のみで処理を行った場合に比べ、県全体で処理日数が36%短縮されることが分かった。

**Key Words :** Multi agent simulator, Withdrawal disaster thing, Wide area cooperation

## 1. 序論

### (1) 背景

我が国は世界有数の地震大国であり、地震やそれにより引き起こされる津波等の災害による被害が問題となっている。災害発生時に迅速かつ適切に対応するために、地方公共団体は地元の建設業者と災害協定を結んでいる。

2011年3月11日には、観測史上最大となる東日本大震災が発生し、地震動や津波により建設物の倒壊、ライフラインの寸断等の深刻な被害が生じた。その際、東北地方整備局と地元建設業者が連携して啓開作業を行ったことにより、早期の輸送路確保を成功させた。成功の要因として、地元建設業者の迅速な対応、被害規模の把握が困難な状況下での的確な優先ルートを選定が挙げられる。これより、災害初期の道路啓開作業において、地元建設業者との協力、啓開作業を行う輸送路の選定及び建設重機派遣の効率化を考慮した行動計画が重要であることが考えられる。

また、現在も東海地震や東南海地震、南海地震等の多くの地震の発生が予測されている。静岡県を例に挙げると、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。レベル1地震発生時における静岡県の震度分布図を図-1に示す。図-1から、中部、西部地方の沿岸部で特に大きな地震動の発生が予想されている。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。次に、震度区分別の面積の集計結果を表-1に示す。表-1を見ると、震度6弱以上が全体の70%以上を占めていることが分かる。また、どの地域においても最低でも震度5弱以上が観測されると予想されている。

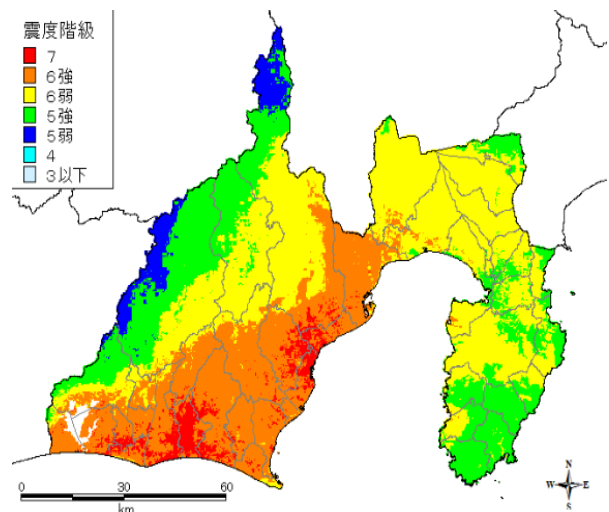


図-1 レベル1地震発生時における静岡県の震度分布<sup>1)</sup>

また地震に伴い地盤の液状化、津波による被害も懸念されている。レベル1地震発生時における静岡県の液状化可能性ランク分布図を図-2に、沿岸部の津波高さの分布図を図-3に示す。これらの被害が発生した際には、東日本大震災発生時のような連携が必要となると考えられる。

表-1 震度区別別面積集計表

推定震度	面積 (km <sup>2</sup> )	割合 (%)
7	346.5	4.5
6強	2055	26.6
6弱	3201	41.5
5強	1820	23.6
5弱	293.6	3.8
合計	7716	100.0

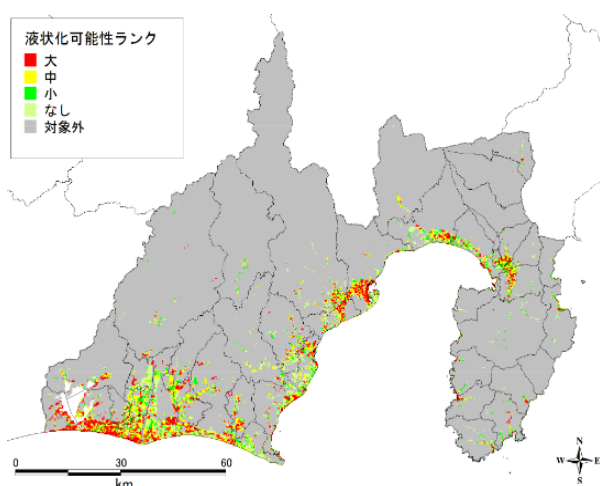


図-2 レベル1地震発生時における静岡県の液状化可能性ランク分布<sup>1)</sup>

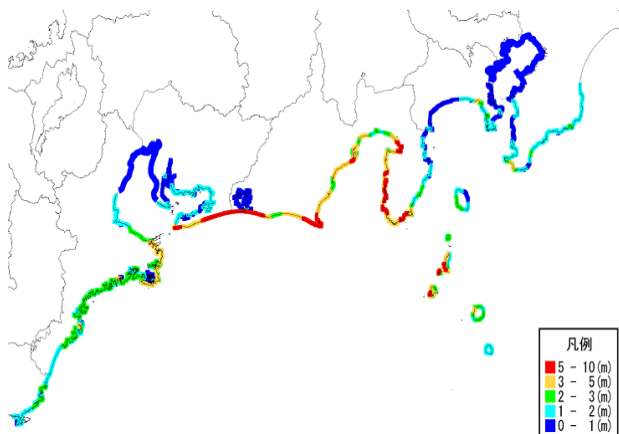


図-3 レベル1地震発生時における静岡県沿岸部の津波高さの分布<sup>1)</sup>

## (2) 既存の研究

### a) 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とは、自律した個々の主体が相互に依存しあうシステムであり、「エージェント」と「環境」から構成される。エージェントは自律した行動主体であり、環境はエージェントに影響を及ぼす。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で、それにより引き起こされる事象全体を再現することが出来る。近年、マルチエージェントシステムを用いた研究が数多く行われている。特に災害に関する研究で用いられることが多く、津波や地震発生時の被災者の避難行動などの研究に用いられている。

### b) 建設重機の保有台数に関する研究

国土交通省は2年に一度の頻度で「建設機械動向調査」を実施し、建設重機保有台数ならびに流通現況の実態を明らかにしている。しかし、九州地方や中国地方といった地方ごとの保有台数の推定のみが行われており、県や地域単位での保有台数は把握されていない。災害時の応急復旧出勤を考えると、例えば県の土木事務所管内レベルの現状把握が望ましいが、現実には県単位での保有台数すら明らかににはなっていない。具体的な建設重機数の把握をすることにより、各地域の処理能力の把握に結び付くと考えられる。

田中ら<sup>2)</sup>は災害時の早期対応が可能な範囲となる地域単位での保有台数を把握するための調査を行った。台風や大雨による甚大な被害が問題となっている九州地方を対象地域として、建設企業や建設機械器具リース・レンタル企業を対象としたアンケート調査を行った。その結果、地域毎の建設重機の保有台数の実態把握が可能となり、建設重機の偏在が明らかになった。また、これに起因する問題点ならびに取り組むべき課題が明確化された。

### c) 支援活動の迅速性に関する研究

2011年3月11日に発生した東日本大震災（東北地方太平洋沖地震及びその後に発生した複数の地震）により、死者15883名、行方不明者2681名、負傷者6143名という甚大な人的被害が発生するとともに、建築物では全壊128808戸、半壊269871戸の物的被害、道路損壊は4200箇所、橋梁被害116箇所の被害を受けた。竹谷ら<sup>3)</sup>は今後の巨大災害の備えに資する知見を得ることを目的に、支援活動が迅速に行われた要因についての調査を行った。その結果、建設機械やオペレーターを自社で確保していたこと、県内協力会社やリース・レンタルにより支援活動に必要な資源を確保できたことが要因であることが分かった。

### (3) 研究目的

大規模災害発生時には地震動や液状化、津波等の被害により大量の被災物の発生が予想される。それにより、写真-1 に示すような救助、復興を行うにあたって早期の道路啓開および被災物撤去が必要となる。そのため、東日本大震災発生時に行われた「くしの歯作戦」のように、県内のみでなく県外からの建設重機の派遣等の広域連携が必要不可欠であると考えられる。本研究では、県単位での建設重機派遣等の広域連携により被災物撤去の効率化、被災物処理日数の短縮化が見込めると仮定する。そして災害発生地域のみで被災物撤去を行った場合、広域連携により被災物撤去を行った場合をシミュレーションを行うことで比較し、広域連携の有効性を示すことを目的とする。

## 2. 研究対象地域の選定

現在静岡県は東海地震や南海地震、東南海地震などによる被害が予想されている。その中でも特に東海地震により最も深刻な被害を受けるとされている。東海地震発生時における静岡県の想定震源域及び想定震度分布を図-4に示す。図-4から東海地震発生時には静岡県が最も広範囲の被害を受けていることが分かる。また、被害想定においても静岡県は最も多くの物的被害を受けるとされており、静岡県内では大量の被災物が発生することが予想できる。また、被害想定においても静岡県は最も多くの物的被害を受けるとされており、静岡県内では大量の

被災物が発生することが予想できる。よって、災害発生時には県内だけでなく県外と連携した被災物撤去が必要であると考えられる。これらの理由から本研究に適していると考え、静岡県を研究対象地域として選定した。

また、広域連携の対象地域として愛知県、神奈川県、山梨県を選定し、さらにその中から各県5つの市町を選定した。選定地域を図-5～図-7に示す。愛知県は豊橋市、岡崎市、豊川市、豊田市、新城市、神奈川県は平塚市、茅ヶ崎市、厚木市、小田原市、秦野市、山梨県は甲府市、富士吉田市、甲斐市、笛吹市、南アルプス市を選定した。選定理由として、静岡県から比較的近距离に位置していること、交通アクセスが良好であることなどが挙げられる。

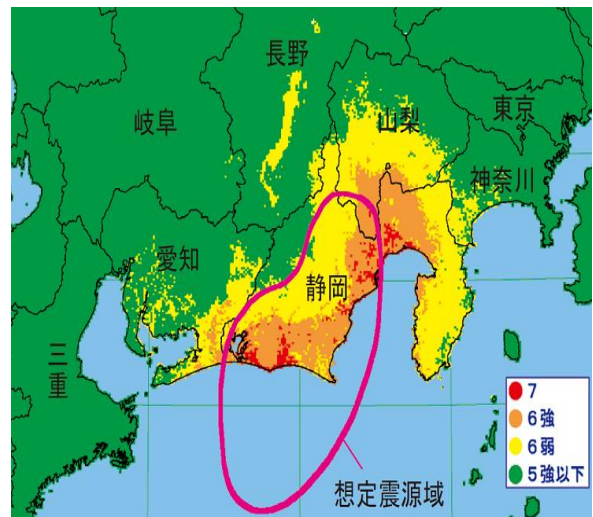


図-4 想定震源域及び想定震度分布<sup>3)</sup>



写真-1 東日本大震災時の道路啓開作業<sup>4)</sup>



図-5 愛知県の広域連携対象地域





図-6 神奈川県 of 広域連携対象地域



図-7 山梨県 of 広域連携対象地域

### 3. シミュレーション概要

#### (1) シミュレーションのシナリオ

本研究では、東海地震の発生を想定したシミュレーションを行った。東海地震により静岡県が被災し被災物が発生した際に、広域連携対象地域である愛知県・神奈川県・山梨県の市町から静岡県へ建設重機を派遣する。連携して道路啓開及び被災物処理作業を行い、静岡県内の全ての被災物の処理が完了するまでに要する時間を測定した。

#### (2) シミュレーション要素

本研究では、建設重機をエージェントとしたマルチエージェントシミュレーターを用いてシミュレーションを行った。シミュレーションに用いる要素として、市町別建設重機保有台数、市町別被災物推定発生量、建設重機の被災物処理能力、建設重機の移動速度、建設重機の初期配置、被災物発生地点を設定した。

#### a) 広域連携対象地域の市町別建設重機保有台数

広域連携対象地域の市町別建設重機保有台数においては、表-2に示す静岡県の市町別建設重機保有台数データ<sup>6)</sup>をもとに推定を行った。表-2を見ると、各市町の建設重機保有台数は市町の規模、人口に比例する傾向があることがわかる。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建設重機保有台数を推定した。推定結果を表-3に示す。

表-2 静岡県の建設重機保有台数<sup>6)</sup>

市町名	人口(人)	建設重機(台)	人口/建設重機
下田市	27093	33	821
東伊豆町	15081	14	1077
河津町	8517	31	275
南伊豆町	10289	22	468
松崎町	8598	25	344
西伊豆町	7571	38	199
熱海市	42289	35	1208
伊東市	74862	50	1497
伊豆市	37491	118	318
伊豆の国市	50624	100	506
函南町	38839	19	2044
沼津市	211288	70	3018
三島市	111707	14	7979
御殿場市	84001	34	2471
裾野市	52614	27	1949
清水町	31276	17	1840
長泉町	37626	43	875
小山町	21363	18	1187
富士宮市	133765	97	1379
富士市	255085	110	2319
静岡市	724954	352	2060
島田市	105022	202	520
焼津市	143296	127	1128
藤枝市	143278	180	796
牧の原市	51101	115	444
吉田町	28284	33	857
川根本町	9540	68	140
磐田市	174884	41	4265
掛川市	114908	85	1352
袋井市	83924	39	2152
御前崎市	36925	82	450
菊川市	45607	29	1573
森町	21035	13	1618
浜松市	814815	419	1945
湖西市	58964	33	1787
県合計	3816516	2733	1396

表-3 建設重機推定保有台数

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

表-4 被災物推定発生量

市町名	被災物発生量(万 $m^3$ )	市町名	被災物発生量(万 $m^3$ )
湖西市	29.87	小山町	11.07
浜松市	506.47	裾野市	12.45
磐田市	112.26	長泉町	14.63
袋井市	130.87	沼津市	278.81
森町	16.37	清水町	32.90
掛川市	75.82	三島市	160.65
菊川市	61.55	函南町	38.20
御前崎市	31.94	熱海市	15.72
牧之原市	61.26	伊豆の国市	64.94
吉田町	31.83	伊豆市	17.04
島田市	87.64	伊東市	33.51
藤枝市	143.80	西伊豆町	10.16
焼津市	162.71	松崎町	12.15
静岡市	1166.79	河津町	4.07
川根本町	7.69	東伊豆町	4.76
富士宮市	101.53	下田市	35.96
富士市	168.38	南伊豆町	9.07
御殿場市	28.31	県合計	3681.08

## b) 市町別被災物推定発生量

被害想定に示されている市町別の倒壊家屋数と、中部経済連合会が発表した「大震災に備えた震災がれき処理について」<sup>7)</sup>に示される静岡県内全域での被災物推定発生量を利用して決定した。市町別の倒壊家屋数を静岡県全域の被災物推定発生量の分布と同一と仮定し、市町別の推定被災物発生量を割り当てた。割り当て結果を表-4に示す。

表-5 建設重機の被災物処理能力<sup>8)</sup>

規格	土質名	単位	処理能力
排出ガス対策型(第2次基準値)クローラ型山積0.8 $m^3$ (平積0.6 $m^3$ )	砂・砂質土・礫質土・粘性土	$m^3/h$	310
	岩塊・玉石	$m^3/h$	260
排出ガス対策型(第1次基準値)クローラ型山積1.4 $m^3$ (平積1.0 $m^3$ )	砂・砂質土・礫質土・粘性土	$m^3/h$	520
	岩塊・玉石	$m^3/h$	440
排出ガス対策型(第1次基準値)クローラ型山積0.45 $m^3$ (平積0.35 $m^3$ )	砂・砂質土・礫質土・粘性土	$m^3/h$	160
	岩塊・玉石	$m^3/h$	130

## c) 建設重機の被災物処理能力

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<sup>8)</sup>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。

## d) 建設重機の移動速度

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<sup>9)</sup>より混雑時旅行速度35.1 $km/h$ とした。

## e) 建設重機の初期配置

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

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。

## (3) 道路ネットワーク

シミュレーションを行うにあたり、建設重機の通行路となる道路ネットワーク図を作成した。作成した道路ネットワークを図-8に示す。黒線の部分が静岡県の道路ネットワークを表したものであり、赤線の部分が愛知県、神奈川県、山梨県から静岡県へアクセスするための道路ネットワークを表したものである。道路ネットワークの作成には緊急輸送路を利用した。緊急輸送路とは、都道府県ごとに定められている、災害時の通行や輸送を円滑に行うことができる道路の総称である。この緊急輸送路を簡略化し、道路ネットワークを作成した。簡略化した静岡県の緊急輸送路を図-9に示す。

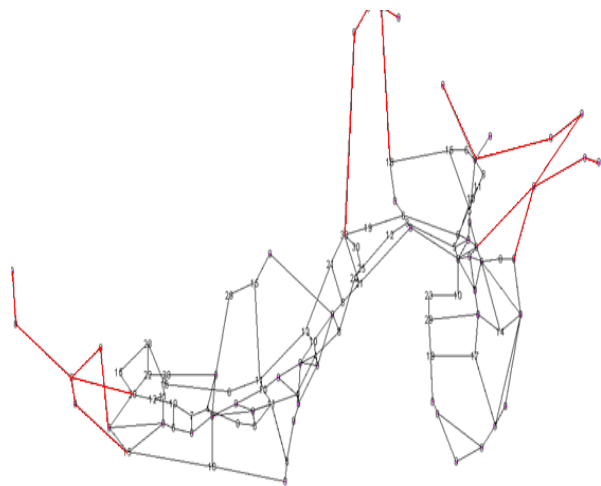


図-8 道路ネットワーク図

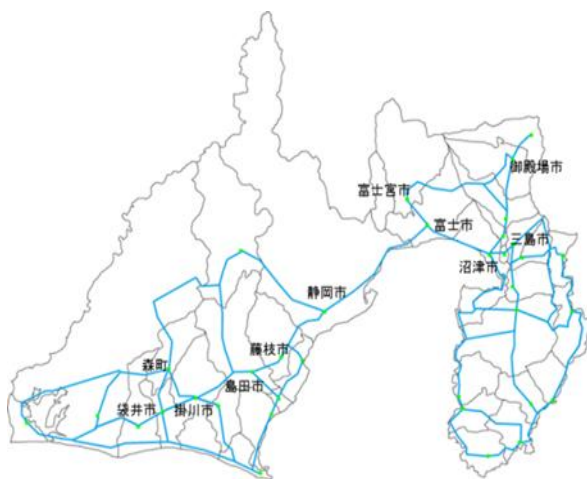


図-9 簡略化した緊急輸送路

#### 4. シミュレーション結果と考察

静岡県内の被災物を処理するにあたり、静岡県のみで処理をした場合と広域連携対象地域と連携して処理を行った場合を比較した。シミュレーション結果を図-10～図-15に示す。図-15の地域別被災物処理総日数に着目すると、静岡県のみで処理を行った場合の被災物処理総日数は、西部地域では94日、中部地域では46日、東部地域では66日、伊豆地域では50日となった。それに対して、広域連携対象地域と連携して処理を行った場合の被災物処理日数は、西部地域では54日、中部では33日、東部地域では43日、伊豆地域では33日となり、静岡県全体では処理日数が93日削減された。また処理日数の短縮率を見ると、西部地域では43%、中部地域では28%、東部地域では35%、伊豆地域では34%となっており、静岡県全体では平均36%短縮された。西部地域で特に大きな短縮が

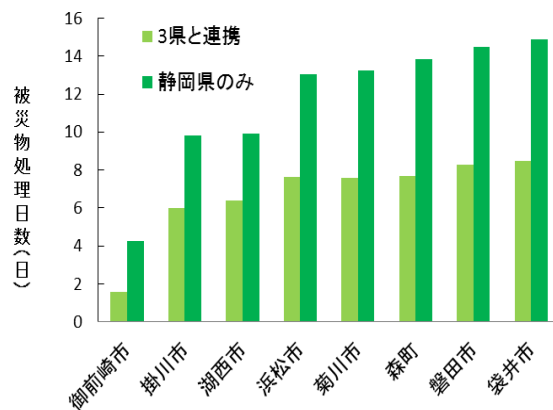


図-10 西部地域の被災物処理日数

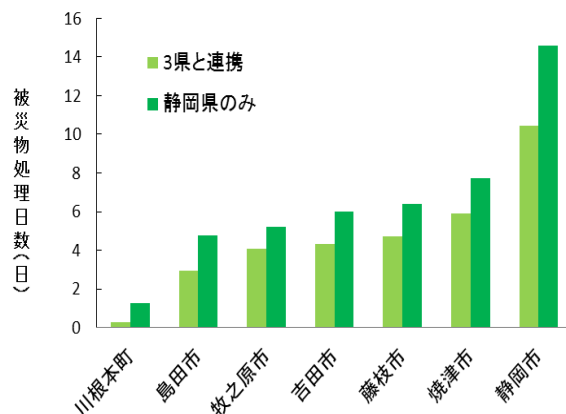


図-11 中部地域の被災物処理日数

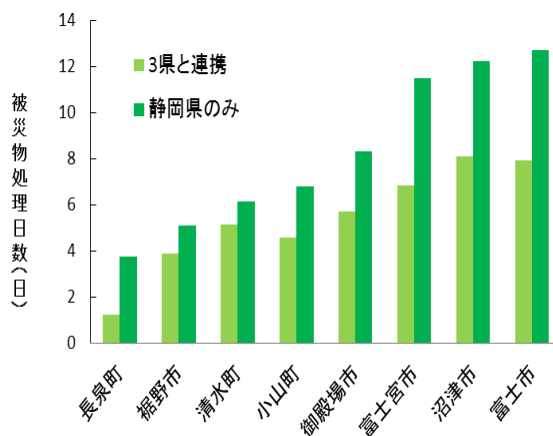


図-12 東部地域の被災物処理日数

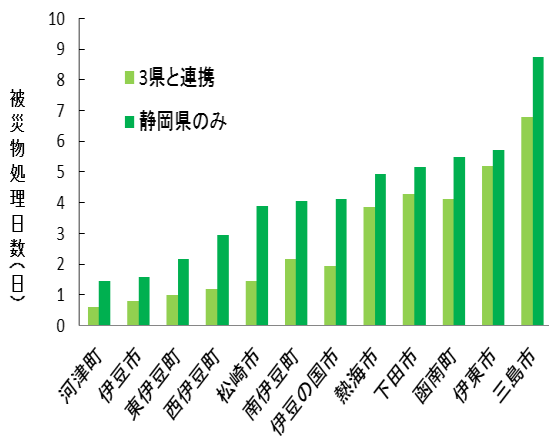


図-13 伊豆地域の被災物処理日数

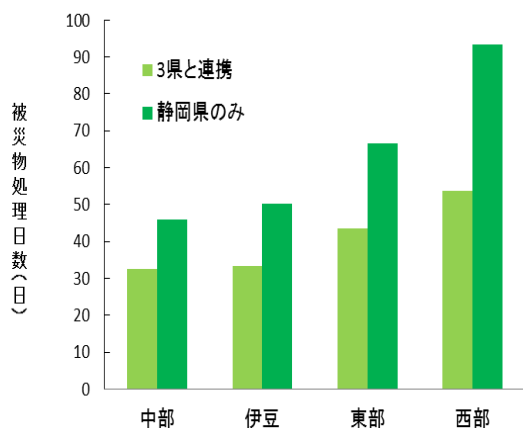


図-14 地域別被災物処理総日数

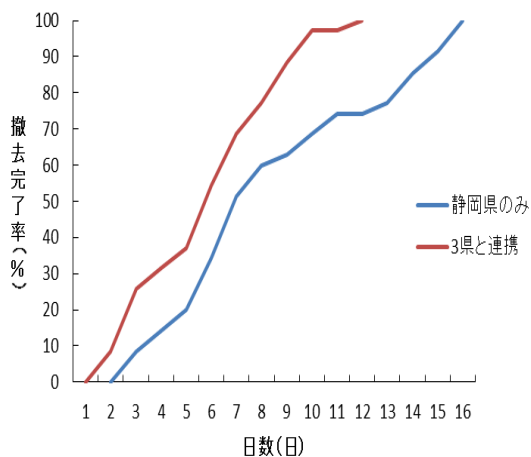


図-15 撤去完了率の推移

確認でき、またどの地域・市町においても静岡県のみで被災物処理を行う場合に比べ、広域連携対象地域と連携して被災物処理を行う場合の方が処理日数を大幅に削減されることが分かった。これらの結果から、他地域との連携した被災物処理が被災物処理日数の短縮に結びつくことが示唆された。

## 5. 各要素が被災物撤去に及ぼす影響

### (1) 距離、建設重機台数が被災物処理に及ぼす影響

前項目で行ったシミュレーションでは、広域連携により被災物処理日数が大幅に短縮されることが分かった。しかし、具体的にどの要素が被災物処理日数に影響を及ぼしているのかは明らかではない。よって、災害発生時の連携した被災物処理において、被災地からの距離、建設重機保有台数が被災物処理日数にどの程度影響するかをシミュレーションを行うことで検討した。

### (2) シミュレーションの変更点

#### a) 広域連携対象地域の変更

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、愛知県を対象としたシミュレーションを行った。愛知県の各市町の建設重機推定保有台数を表-6 に示す。前項目と同様に、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して建設重機保有台数を推定した。人口も多く大規模市町である名古屋市に関しては、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。愛知県の建設事業費、名古屋市の建設事業費をそれぞれ調べ、名古屋市を除く愛知県全体と名古屋市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。その結果、名古屋市の建設重機推定保有台数を723台とした。

広域連携対象地域として、建設重機を多く保有している有力市町である名古屋市、静岡県から最も近距離に位置する近隣市町である北設楽郡、新城市、豊川市、豊橋市、田原市を選定した。選定地域を図-16に示す。

#### b) 道路ネットワークの変更

広域連携対象地域の変更に伴い、新たな道路ネットワークを作成した。作成した道路ネットワーク図を図-17に示す。基本的には第1次緊急輸送路を利用して作成したが、静岡-愛知間でアクセス面に問題のある部分においては愛知県の第2次緊急輸送路を利用することで補った。





図-16 広域連携対象地域

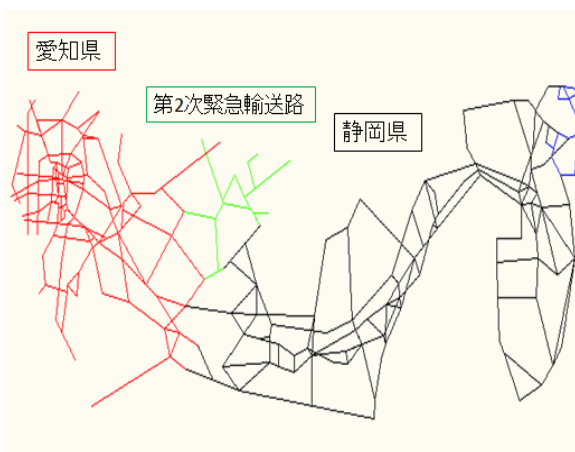


図-17 道路ネットワーク図

### (3) シミュレーション結果と考察

シミュレーション結果を図-18～図24に示す。域別被災物処理日数に着目すると、近隣市町と連携して処理を行った場合の被災物処理日数は、西部地域では58日、中部地域では44日、東部地域では67日、伊豆地域では50日となった。それに対して、名古屋市と連携して処理を行った場合の被災物処理日数は、西部地域では44日、中部地域では43日、東部地域では65日、伊豆地域では50日となった。伊豆地域においては同日数であったが、西部、中部、東部地域においてはアクセス面で不利である名古屋市と連携した場合の方が被災物処理日数が短く、被災物処理総日数においても17日短いことが分かった。

また選定した近隣市町に新たに岡崎市、西尾市、蒲郡市、安城市の4市を加え、建設重機保有台数を名古屋市と同等にして同様のシミュレーションを行った。その結果、被災物処理日数は西部地域では44日、中部地域では42日、東部地域では65日、伊豆地域では50日となった。

名古屋市と連携した場合と比較すると、最も差の大きい島田市においても0.28日しか差がなく、どの地域においても被災物処理日数に違いがほとんど見られなかった。

これらの結果から、被災物処理日数は広域連携対象地域の被災地からの距離による影響は少なく、建設重機保有台数による影響を大きく受けることが分かった。これより、単純に近隣の市町と連携するのではなく建設重機を多く保有した規模の大きい市町と連携することが迅速な被災物処理に繋がると言える。

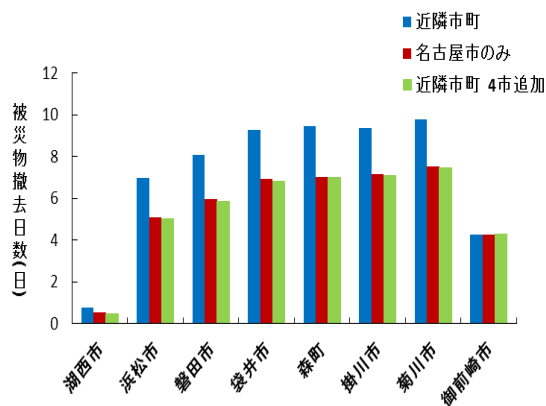


図-18 西部地域の被災物処理日数

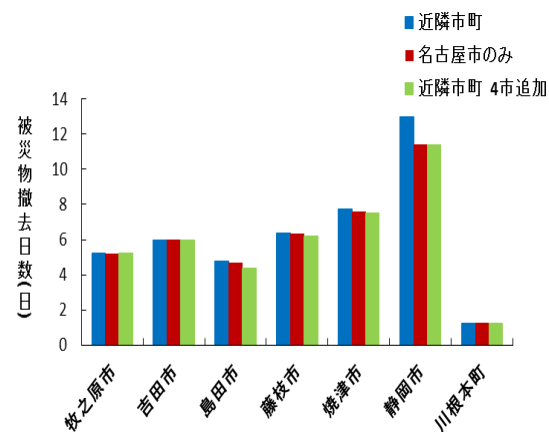


図-19 中部地域の被災物処理日数



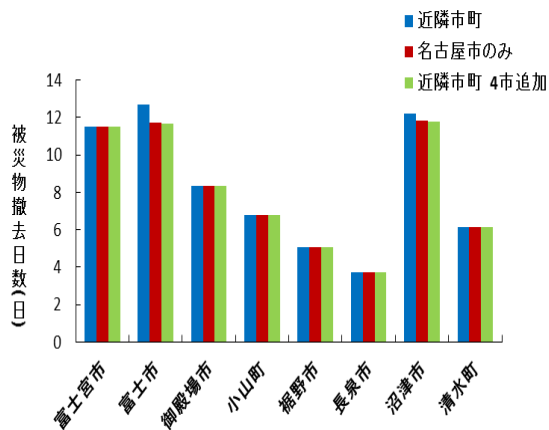


図-20 東部地域の被災物処理日数

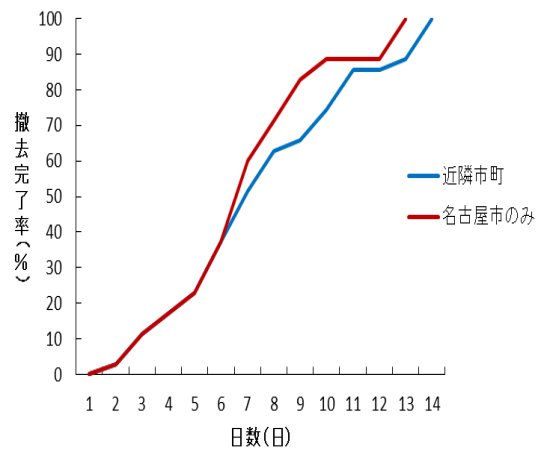


図-23 撤去完了率の推移

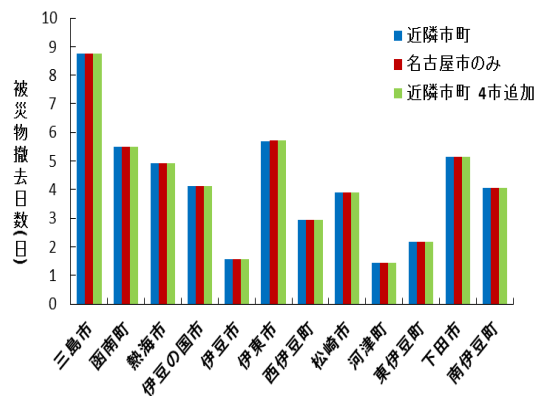


図-21 伊豆地域の被災物処理日数

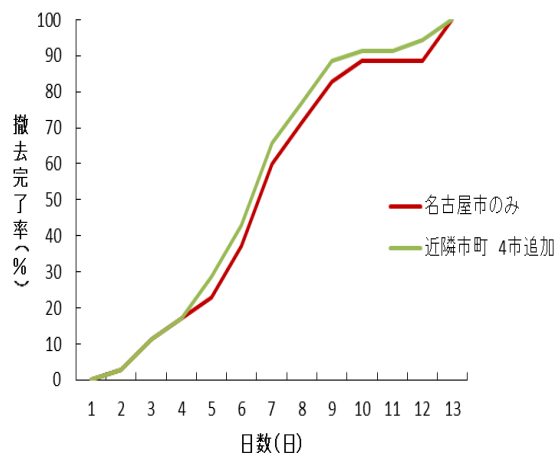


図-24 撤去完了率の推移

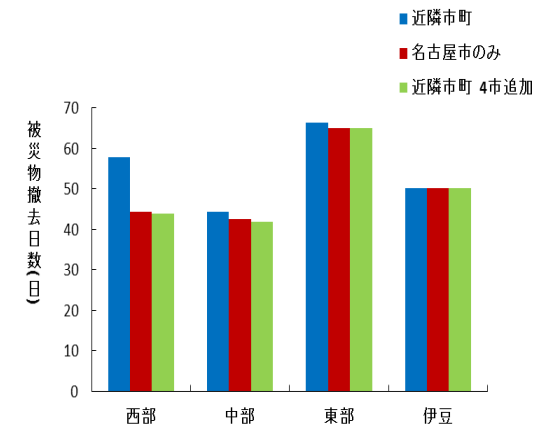


図-22 地域別被災物処理総日数

## 6. まとめ

災害初期の被災物処理において、被災地のみで処理を行う場合に比べ、他地域と連携して処理を行うことで処理日数が大きく削減されることが分かった。また、被災地までの距離は処理日数にあまり影響せず、それに対して建設重機保有台数は処理日数に大きく影響することが分かった。これより、建設重機を多く保有している大規模市町と連携することで被災物撤去における効果が得られ、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。

## 参考文献

- 1) 静岡県:第3次被害想定結果:地震対策資料No182-201, 2001.
- 2) 田中徹政, 加知範康, 塚原健一:地域の被災後の応急復旧

- 力に着目した九州地方における建設機械の賦存に関する研究, 土木学会論文集F4 (建設マネジメント), Vol.69, No.4, I\_291-I\_301, 2013.
- 3) 竹谷修一, 大橋幸子: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見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), Vol.69, No.4, I\_273-I\_279, 2013.
  - 4) 東北地方整備局震災伝承館:「くしの歯作戦」, <http://infra-archive311.jp/s-kushinoha.html>, 2014.1.10閲覧
  - 5) 気象庁:東海地震の発生で予想される震度や津波の高さ, [http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/tokai/tokai\\_eq3.html](http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/tokai/tokai_eq3.html), 2014.1.10閲覧
  - 6) 静岡県庁交通基盤部:重機・オペレーター保有数の集計, 2011.
  - 7) 社団法人中部経済連合会:大震災に備えた震災がれき処理について～災害に強く, 環境にやさしい中部圏を目指して～, pp5, 2008.
  - 8) 国土交通省:土木工事標準積算書, 2011.
  - 9) 国土交通省:平成22年度 道路交通センサス一般交通量調査結果の概要について, pp1, 2011.

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

Shohei KOYANAGI supervised by Masaru MINAGAWA

In this study, I focused on the importance of regional cooperation to remove withdrawal disaster thing, and investigated effectiveness of wide area cooperation in removal work in the early stage of disaster by simulating. I directed to Shizuoka Prefecture as subject of research and assumed the Tokai earthquake. I simulated how much reduce work days if Shizuoka Prefecture cooperates with neighboring areas. As a result, I found that if Shizuoka Prefecture cooperates with neighboring areas, work days are shortened 36% in the whole prefecture.