

災害初期の被災物撤去における 処理効率の影響

皆川 勝¹・草柳 満²

¹正会員 東京都市大学教授 工学部都市工学科 (〒158-8557 東京都世田谷区玉堤一丁目28-1)
E-mail: minamasa@tcu.ac.jp

²正会員 五洋建設(株) 広島支店 (〒730-8542 広島市中区上八丁堀四丁目1)
E-mail: Mitsuru.Kusayanagi@mail.penta-ocean.co.jp

災害初期には、被災地の地元建設業者の貢献は重要であり、道路啓開には多くの建設重機が必要となる。しかし、不況や公共事業費の抑制の影響により、地元建設業者が保有する重機数は減少している。皆川らは、予想される東海地震を対象に地域間連携が発災初期の被災物撤去に与える効果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、皆川らのモデルを用いて被災物処理における輸送路被災の影響を検討した。さらに、道路の属性の相違とそれに伴う被災物処理効率の変化が被災物撤去に与える影響を検討した。その結果、道路幅員の相違やそれに伴う被災物集積状況、被災物処理効率が発災初期の被災物撤去に影響を与えることが示唆された。

Key Words : Multi agent simulator, Elimination of road obstacles, Rubble processing efficiency

1. 序論

我が国の地方自治体では、災害発生時の迅速な人命救助活動、社会基盤の復旧作業に対応するために、地元の建設業者と災害協定を結んでいる¹⁾。しかし、近年の急激な公共事業費抑制²⁾や競争激化による地方の建設業者の衰退が影響し、業者の建設重機の保有台数は減少している³⁾。このような状況のなかで、地域防災力の向上が求められる。

2011年3月に起きた東日本大震災では、東北地方整備局と地元建設業者が連携をして行った「くしの歯作戦」での啓開作業により早期の輸送路確保を成功させた。一番の要因として、地元建設業者の協力による迅速な対応がある⁴⁾。また、広域的に甚大な被害が発生し、被害状況の把握が困難な状況の中で、救援ルートを集約し、優先的に取り組むルートを明確化したことも挙げられる⁵⁾。これにより、発災後数日間の道路啓開作業において地元建設業者の協力、啓開作業を行う輸送路の選定、及び建設重機を効率的に派遣するための行動計画は重要であると考えられる。

皆川ら⁶⁾は今後予想される大規模な災害として東海地震を対象とし、第3次被害想定⁷⁾(以下、被害想定)で示されている被害が発生して被災物処理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処理シミュレーションを行った。

被災物の処理フローは、発生、撤去、搬出、運搬、中間処分、最終処分等からなる。この研究⁶⁾では、発生した被災物を道路上から撤去する段階を対象とした。災害初期の被災物撤去においては、犠牲者・生存者の方々が被災物の中に埋もれている状況での作業となる。そこで、道路上にある被災物を道路啓開のために沿道スペースへ避けることになる。さらに、啓開後は、重機を援用しつつ被災者の発見・救援等にあたることになる。そこで、この研究では、道路上に存在する被災物はもとより、道路沿道も含めてすべてのスペースの被災物が、犠牲者・生存者を収容しながらの被災物撤去の対象と考えた。

また、道路および他の地域を移動しつつ被災物を撤去する状況を模擬するには、かなり細部にわたった交通シミュレーションを実施することになることから、皆川ら⁶⁾は便宜上道路上に被災物があるものとして検討した。

また、被害想定⁷⁾より静岡県内の各市町で発生する被災物量と、静岡県との災害協定により地元建設業者が災害時の提供に同意している建設重機数を設定している。重機の共有体制の有無が啓開においてどのような影響を及ぼすかを、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⁸⁾⁻¹²⁾を用いてシミュレートし、建設重機の作業能力を設定して各市町での被災物処理

作業を行い、県内全ての被災物の処理が完了するのに要する時間を推定した。災害発生後のごく初期を除けば、被災物処理作業については道路管理者の指示に基づいて行われることになるが、本研究では、高度の管理者判断を模擬することは対象とせず、重機群が最も近距離にある被災物を処理し、その後、次に近い現場に向かうという基本的な作業手順を想定した。したがって、エージェントが自律的に処理をするアルゴリズムを採用しているが、ごく標準的な処理作業を模擬していることになる。

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大幅に（三島市において最大で92%）短縮できる事が示唆された⁶⁾。これにより、地域の連携範囲の拡大に伴い被災物処理日数が減少し、その有効性を確認することができた。

また、既存の研究として、馬場ら¹⁾は、高知県を対象に、地元建設業と地域防災に関する研究を川上¹³⁾による地域防災力の試算式を用いて行った。永田¹⁴⁾らは、首都直下地震を対象に、被災物搬出シミュレーションを行い、河川空間を活用した被災物輸送の有効性を検討した。平山¹⁵⁾らは、首都直下地震を対象に災害廃棄物処理の広域連携シミュレーションモデルを構築し、行

政の災害対応力を考慮した災害廃棄物処理期間の推定を行った。しかし、地域防災力と被災物処理を関連させた研究は現状としては少ない。

皆川ら⁶⁾の研究では、市町内の細かい処理活動及び被災物処理効率の変化は無視してシミュレーションを行った。そのため、静岡県全体の連携による被災物処理の効果を把握するためネットワークを簡略化し、便宜上、各役所の位置に市町内のすべての被災物が集積しているものとした。しかし、実際の道路啓開では国道や県市道など輸送路の属性や幅員の相違により作業が可能な重機の台数や被災物の処理効率に変化が現れる。そこで、本研究では、道路の属性や被災物処理効率の変化を考慮できるシミュレーションモデルを新たに作成し、被災物処理効率が静岡県内の被災物処理作業及び道路啓開作業に及ぼす影響を把握することとした。そのため、道路網を市道まで細分化し、各道路の被災物を順次処理するものとした。そして、皆川らの研究⁶⁾により静岡県全域の被災物処理のシミュレーションモデルにおいて最も遅く処理が完了した袋井市を対象地域として選定し、道路ネットワークの属性の相違、それに伴う被災物処理効率の変化を検討する。また、袋井市と隣接している掛川市も対象に加え2市で連携して被災物処理を行うモデル

表-1 静岡県内市町別バックホウ保有台数¹⁶⁾

市町名	バックホウ類(台)	市町名	バックホウ類(台)	市町名	バックホウ類(台)	市町名	バックホウ類(台)
下田市	33	伊豆の国	100	富士宮市	97	磐田市	41
東伊豆町	14	函南町	19	富士市	110	掛川市	85
河津町	31	沼津市	70	静岡市	352	袋井市	39
南伊豆町	22	三島市	14	島田市	202	御前崎市	82
松崎町	25	御殿場市	34	焼津市	127	菊川市	29
西伊豆町	38	裾野市	27	藤枝市	180	森町	13
熱海市	35	清水町	17	牧之原市	115	浜松市	419
伊東市	50	長泉町	43	吉田町	33	湖西市	33
伊豆市	118	小山町	18	川根本町	68	県合計	2733

表-2 市町別推定被災物発生量¹⁷⁾

市町名	がれき発生量(万㎡)	市町名	がれき発生量(万㎡)	市町名	がれき発生量(万㎡)	市町名	がれき発生量(万㎡)
湖西市	29.78	吉田町	31.83	小山町	11.07	伊豆市	17.04
浜松市	506.47	島田市	87.64	裾野市	12.45	伊東市	33.51
磐田市	112.26	藤枝市	143.80	長泉町	14.63	西伊豆町	10.16
袋井市	130.87	焼津市	162.71	沼津市	278.81	松崎町	12.15
森町	16.37	静岡市	1166.79	清水町	32.90	河津町	4.07
掛川市	75.82	川根本町	7.69	三島市	160.65	東伊豆町	4.76
菊川市	61.55	富士宮市	101.53	函南町	38.20	下田市	35.96
御前崎市	31.94	富士市	168.38	熱海市	15.72	南伊豆町	9.07
牧之原市	61.26	御殿場市	28.31	伊豆の国市	64.94	県合計	3681.08

表-3 バックホウの被災物処理能力¹⁸⁾

作業の種類	規格	土質名	単位	障害有無に拘らず	平均
ルーズな状態の積込	排出ガス対策型（第2次基準値）クローラ型山積0.8m ³ （平積0.6m ³ ）	砂・砂質土・レキ質土・粘性土	m ³ /日	310	303
		岩塊・玉石		260	
	排出ガス対策型（第1次基準値）クローラ型山積1.4m ³ （平積1.0m ³ ）	砂・砂質土・レキ質土・粘性土		520	
		岩塊・玉石		440	
排出ガス対策型（第1次基準値）クローラ型山積0.45m ³ （平積0.35m ³ ）	砂・砂質土・レキ質土・粘性土	160			
	岩塊・玉石	130			

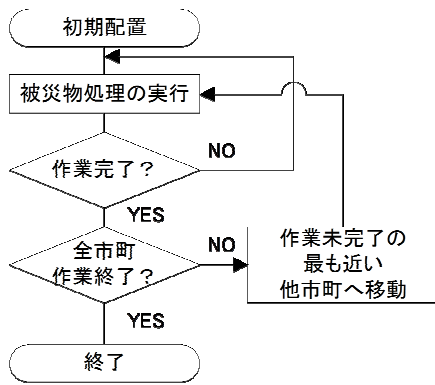


図-1 建設重機エージェントの行動ルール

も作成し合わせて結果を考察した。

2. 被災物処理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

皆川らのシミュレーションと同様、以下のシミュレーション諸要素を決定した。

a) 市町別建設重機数

静岡県内の建設重機数に関しては、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を利用した。表-1に同部より提供された重機・オペレーター保有数の集計結果¹¹⁾を示す。シミュレーションに用いる重機は汎用性があり、重機のシェアの大半を占めているバックホウとしている。

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2008年に発表した「大震災に備えた震災被災物処理について」¹⁷⁾に示されてい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表-2に示すように割り振った。

c) 建設重機の被災物処理能力

バックホウの被災物処理能力は国土交通省が定めている土木工事標準積算書¹⁸⁾をもとに設定した。表-3に示す処理能力に従い、震災発生時の活動を想定するために劣悪な作業環境が予想され、作業の種類はルーズな状態の積み込み、バックホウの規格に関しては、市町保有の個々のバックホウ規格に関する詳細な調査する事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の値を用いる事とする。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。本報告では土木工事標準積算書¹⁸⁾をもとに処理能力を設定したが、この数値は土砂を対象としての処理能力である。実際には、混合廃棄物である災害被災物処理においてはグラップルで処理するのが一般的であると考え

られることから、災害被災物処理能力については東日本大震災での事例を踏まえて、今後の課題とする。

d) 建設重機の初期配置および被災物発生地点

静岡県全域のシミュレーションでは、皆川ら⁶⁾と同様、広域での市町間の連携を重視するという方針から、市町内でのミクロな動きは無視し、市町内での建設重機の初期配置地点および被災物発生地点は各市町の役所とした。一方、袋井市、ならびに袋井市・掛川市のシミュレーションでは、被災物は各道路に分散して配置した。また、市内の建設会社の所在地を建設重機の初期配置とした。

e) 建設重機移動速度

建設重機が市町間を移動する際の移動速度は国土交通省発表の道路交通センサス¹⁹⁾より混雑時旅行速度35.1km/hとする。なお、市町内で被災物処理作業をする場合、前述のように、静岡県全域を対象とする場合には市町内の被災物は便宜上、各役所の位置にすべての被災物が集積しているものとしたので、市町内の移動は考慮していない。また、袋井市、ならびに袋井市・掛川市のシミュレーションでは、被災物は各道路に分散して配置し、ある道路の被災物処理が終了したのち、次の道路への移動には上記の混雑時旅行速度を用いた。

f) エージェントの行動ルール

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-1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処理作業を行う。作業完了後、現在地点から目的地に向かって、対象とする道路ネットワーク上に密に配置された経路点エージェントを通して移動する。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。目的地に到着した後被災物処理作業を行う。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。

(2) 皆川らによるシミュレーションモデルの改善

皆川らによるモデル⁶⁾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、本報告ではこれら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。

改善したモデルの妥当性を検証するため、ノードとリンクを利用した道路ネットワークで皆川らの研究で作成された静岡県内での被災物処理シミュレーション（全域連携シナリオ）と同様のモデルを作成し結果を比較した。シミュレーション諸要素については皆川らの作成したものと同一とし、道路ネットワークのみをノードとリンクを利用して構築し直した。ノードとリンクを利用して再構築した静岡県のネットワーク図を図-2に示す。

各ノードは皆川らによるシミュレーションと同様に、ダイクストラ法を用いて各市町への最短距離を計算し、建設重機エージェントは最短経路かつリンクでつながっているノードへ移動しながら目的地を目指す。

改善されたモデルを用いて皆川ら⁶⁾と同様のシミュレ

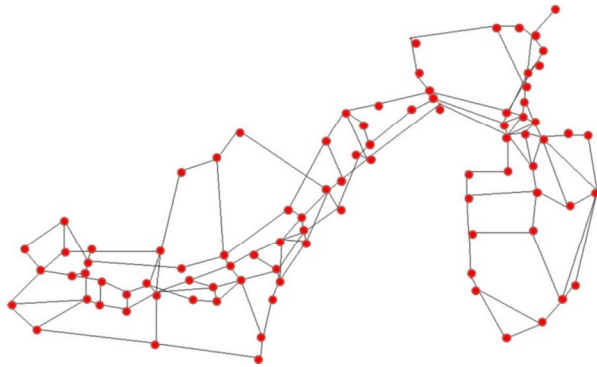


図-2 ノードとリンクで作成した道路ネットワーク

表-4 袋井市と岩手県大槌町の被災物処理日数比較

	岩手県大槌町	静岡県袋井市
建設会社数	7	60
被災物量(万m ³)*1	48.3	131
重機数*2	14	39
被災物処理日数	37.96	36.87

*1 大槌町の被災物量は環境省ホームページより引用した。

*2 大槌町の重機数には文献 20)に示された実績台数を用いた。

表-5 大槌地区啓開作業からの被災物平均高さ推定

被災物撤去ルート	道路延長(m)	幅員(m)	道路総面積(m ²)	所要日数	台数	被災物平均高さ(m)
国道45号	4,526	15.44	69,881	1	7	0.09
安渡赤浜ルート	3,327	13.46	44,781	5	4	0.36
役場ルート	1,587	11.83	18,774	4	7	1.36
町道ルート	916	8.15	7,465	5	4	2.13



図-3 岩手県大槌地区啓開作業の概要²⁰⁾



写真-1 岩手県大槌地区啓開作業²⁰⁾

(上) 国道45号線(下)役場ルート

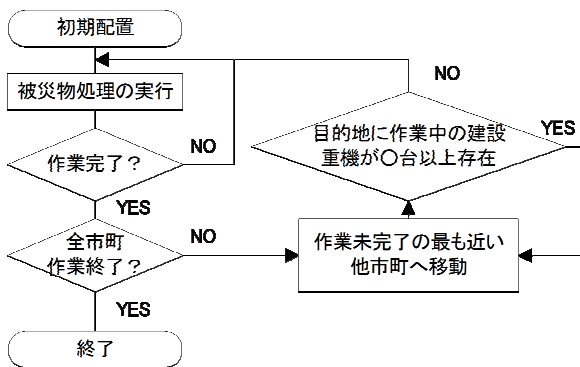


図-4 目的地で作業を行う重機数を制限した行動ルール

ーションを実施した。皆川のモデルと本改善モデルの両シミュレーションの結果はほぼ同等となっていることが確認された。

また、両モデルの妥当性を示すために、東日本大震災で被災した岩手県大槌町の被災物量と重機数¹⁹⁾から被災物処理日数を表-4のように試算した。その結果、袋井市が単独で市内の被災物処理した場合の日数とほぼ同程度の日数を要する結果となった。この日数は、大震災時に岩手県及び宮城県において判明した死者・行方不明者の数が最終的な死者・行方不明者数のおよそ80%から90%に達した時期と符合している。津波は被災者を他の地域に流したりあるいは海洋に流したりしたもの、多くは居住していた地域で発見されており、啓開及びその後の重機を援用した被災物撤去の進展が死者・行方不明者の発見の進展と関連があると考えられることは必ずしも不合理ではない。

(3) 東日本大震災における被災物処理の実績例²⁰⁾

東日本大震災における道路啓開作業の実績より、道路の属性と被災物処理の効率を検討した。図-3は、岩手県遠野土木センターが公表した大槌地区における道路啓開作業の概要である。写真-1には、国道45号及び役場ルートにおける作業の状況を示す。4つのルートの啓開作業を同センターが公表しているバックホウ台数および作業完了日数並びに、表-3に示したバックホウの被災物処理能力を用いて、各ルートの道路総延長の全幅員に均等に被災物が存在していたと仮定した場合の、被災物平均高さを算出した。その結果を表-5に示す。なお各道路で利用したバックホウ台数は、各日で並行して実施された作業には均等に割り振り、また同一ルートを複数日で作業した場合には各日に均等に作業したものと仮定している。この結果および写真-1の状況から、一例ではあるが、道路の幅員が狭いほど被災物が高く集積していることは無理のない想定であると考えられる。また、各ルートの被災物平均高さも写真の状況から総合的に

妥当な結果であると考えられる。

(4) 被災物分布及び被災物処理効率の想定

序論で述べたように、この研究では、道路上に存在する被災物のもとより、道路沿道も含めてすべてのスペースの被災物が、犠牲者・生存者を収容しながらの被災物撤去の対象と考えた。また、平面的に分布する被災物処理するアルゴリズムは複雑となるため、ここでは、当該市町内に発生した被災物を、その市町内の各道路に割り振った。

輸送路の属性と仕事量の変化の影響を詳細に知るため、以下の場合を想定する。

1) 幅員が狭い道路で被災物処理を行う際、一定の割合で被災物処理効率を下げる(県道処理効率低下モデル)。実際の道路啓開作業において、幅員の狭い道路では被災物処理効率が低下する可能性がある。幅の狭い県市道における建設重機の被災物処理効率が国道のそれに対して低下するものとし、被災物撤去日数を比較する。

2) 各ノードで被災物処理を行う建設重機の台数を制限する(台数制限モデル)。皆川らの研究及び本研究のこれまでのシミュレーションでは建設重機エージェントは最短経路で被災物処理が未達成の目的地へ向かい、建設重機の台数に制限は設けず被災物処理を行うものとしている。しかし、実際の道路啓開作業の場合、幅員の狭い道路では作業を行うことができる建設重機の台数は制限される。この状況を考慮し図-4に示すように各ノードで作業を行うことができる建設重機の台数を制限し、一定数の建設重機が作業をしている場合はその他の重機は他の地点を目指すよう行動ルールを変更した。これによって得られる被災物処理日数を比較する。

3) 各ノードに配置する被災物量を幅員によって変化させる(幅員依存処理効率低下モデル)。市道、県道及び国道で単位長さ当たりに堆積する被災物量すなわち被災物密度を ρ_1 (m^2)、 ρ_2 (m^2) 及び ρ_3 (m^2) とする。前述の通り、幅員の広い道路に比べて狭い道路では被災物の移動がスムーズでなく被災物が集まりやすいと考えることは無理のない想定である。そこで、 $\rho_2 = \beta_2 \rho_1$ 、 $\rho_3 = \beta_3 \rho_1$ ($0 \leq \beta_2, \beta_3 \leq 1$) として、市道、県道及び国道の被災物密度を求める。市道の長さを L_k 、県道の長さを L_j 、国道の長さを L_i とすると、市道、県道及び国道に堆積する総被災物量 V_t (m^3) は以下の式で求められる。

$$V_t = \rho_1 \sum_k L_k + \beta_2 \rho_1 \sum_j L_j + \beta_3 \rho_1 \sum_i L_i \quad (1)$$

したがって、以下の式により各道路の被災物密度が求められる。

$$\rho_1 = \frac{V_t}{\sum L_k + \beta_2 \sum L_j + \beta_3 \sum L_i} \quad (2)$$

$$\rho_2 = \beta_2 \rho_1 \quad (3)$$

$$\rho_3 = \beta_3 \rho_1 \quad (4)$$

これにより、国道、県道及び市道に堆積する総被災物量が算出できる。これによって求められた被災物量を国道、県道及び市道を構成するそれぞれのリンクに割り振り、その半分の被災物量をリンクを構成するノードに集積することで、リンク上に被災物を配置するものとする。

3. 道路網細分化及び被災物処理効率を考慮したシミュレーション

本シミュレーションでは国道、県道といった道路ネットワークの属性の相違、それに伴う被災物処理効率の変化を考察するため、地域をより限定してシミュレーションを行う。これまでの結果により静岡県全域の被災物処理のシミュレーションモデルにおいて最も遅く処理が完了した市町は袋井市である。そのため、対象地域を袋井市のみならずクロズアップしたモデルを作成し、道路ネットワークの属性の相違、それに伴う被災物処理効率の変化を観察し結果を考察する。また、袋井市と隣接している掛川市も対象に加え2市で連携して被災物処理を行うモデルも作成し合わせて結果を考察した。作成するモデルは、以下の2つである。

- ・袋井市内の道路ネットワークだけに着目し、国道、県

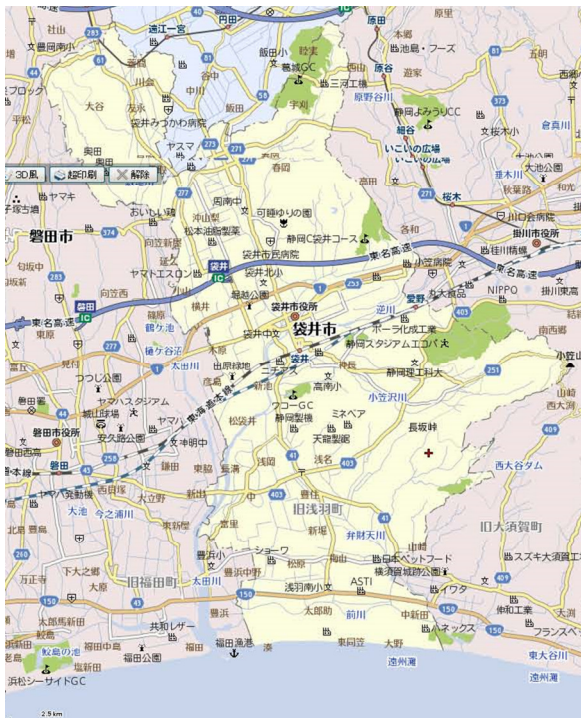


図-5 袋井市内の道路網
(ZENRIN Mapion 地図データ)

道、市道を対象としネットワークを細分化したモデル、
・前者に掛川市のネットワークを追加し、2市で連携して被災物処理を行うモデル

(1) 袋井市のみを対象とした詳細モデル

a) 概要

袋井市内の道路ネットワークを図-5に示す。これを基にリンクとノードで表現した市内の道路ネットワークを図-6(a)に示す。同図のネットワークは国道と県道によって構成されており、市道は考慮していない。市道を考慮するためノードとリンクを追加した袋井市のネットワーク図を図-6(b)に示す。

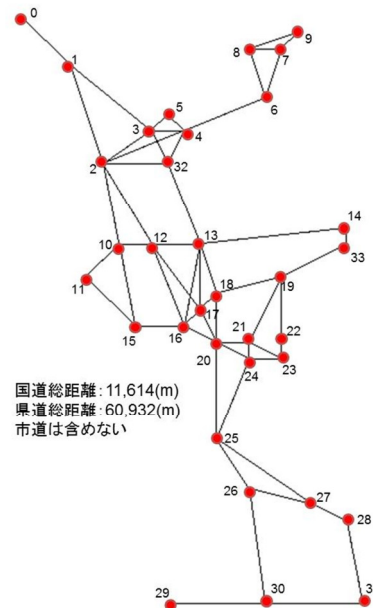


図-6(a) 袋井市内の道路ネットワークモデル

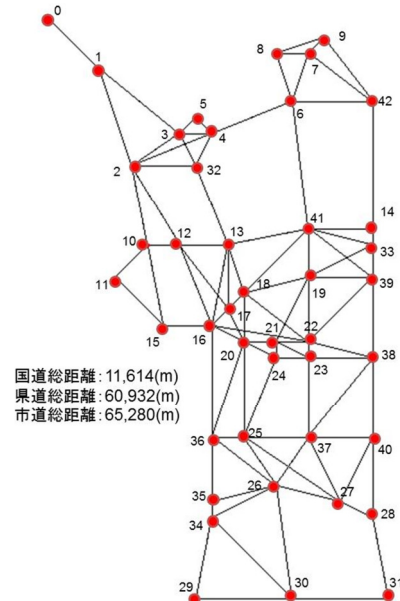


図-6(b) 袋井市内の市道を追加した道路ネットワークモデル

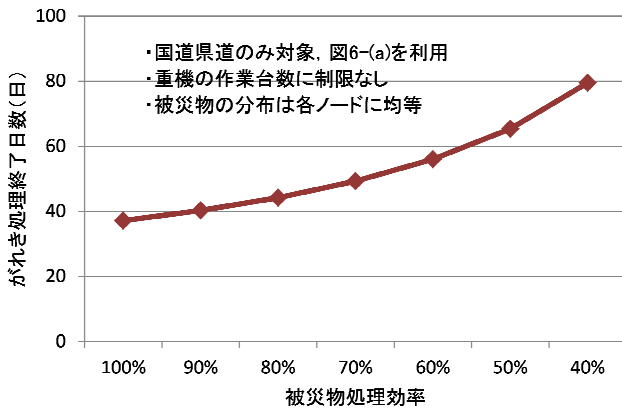


図-7 被災物処理効率の低下による被災物処理終了日数の変化

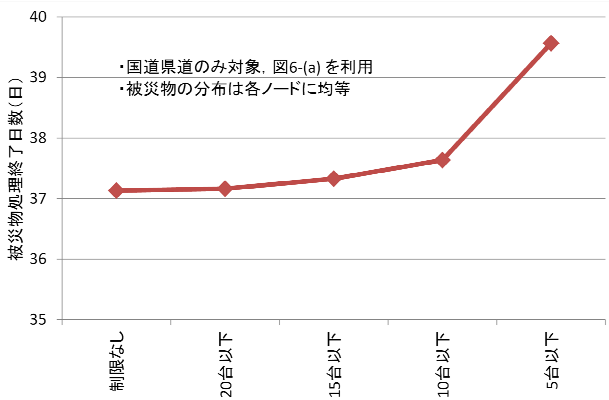


図-8 (a) 重機台数制限による被災物処理終了日数の変化

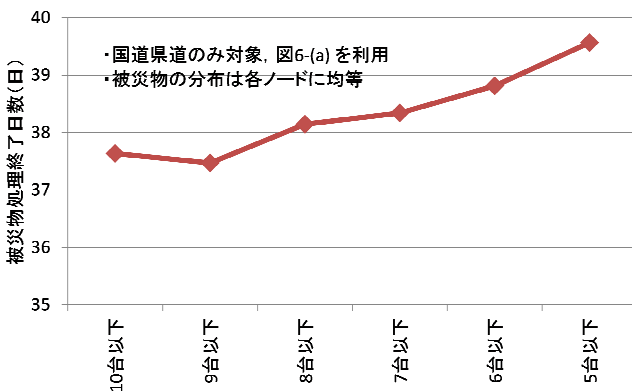


図-8 (b) 台数制限を10台以下とした時の被災物処理最大日数の変化

推定被災物発生総量は、これまで用いてきた値と同様に130.87(万 m³)とする。推定被災物発生量を各ノードに振り分けて配置し、被災物発生地点とする。市内の重機総数に関してもこれまでのシミュレーション同様に39台とする。また、静岡県と災害協定を結ぶ各企業の資本金規模に応じて重機数を割り当て、保有するものとし、これを建設重機の初期配置地点とする。建設重機の移動速度、被災物処理能力、行動ルールについてはこれまで

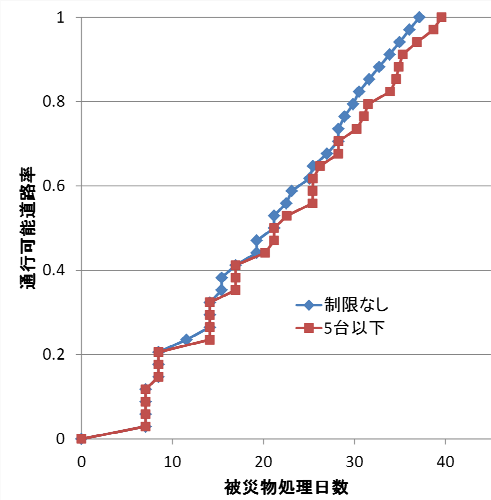


図-9 通行可能道路率の推移

のシミュレーションと同様とする。

まず、市道を考慮せず図-6(a)に示したネットワークを用いて国道と県道のみを対象に被災物を配置する。その際、 $\Sigma L_k=0$ とし、 $\bar{\beta}=\beta_3/\beta_2$ と設定して計算を行う。次に市道を含め図-6(b)に示したネットワークを用いて国道、県道、及び市道を対象に被災物を配置する。その際、国道は県道、市道に比べ幅員が広いため $\beta_3=0$ とし、被災物は堆積しないものと仮定する。国道への被災物の堆積はないものとするが、ネットワークとしての利用はこれまでのシミュレーション同様に可能である。なお本シナリオでは各ノードでの作業台数を5台以下とした。

b) 結果及び考察

被災物処理効率の低下による被災物処理終了日数の変化を図-7に示す。ここでは、国道、県道のみを対象とし図-6(a)を利用し、作業重機の台数を制限せず、被災物の分布は各ノードに一定としている。県道での被災物処理の際一定の割合で被災物処理効率を低下させているため、被災物処理終了日数についても顕著に増加している。特に被災物処理効率が70%以下になると処理日数の増加が大きくなっている。実際の状況ではこのように一定の割合で被災物処理効率が低下することはないが、国道に比べ、県市道などの幅員の狭い道路の方が、被災物が堆積しやすいということは事実であり、被災物処理に時間を要すると考えられる。

被災物処理を行う建設重機の台数制限を20台から5台へと変化させた時の被災物処理終了日数を図-8(a)に示す。国道、県道のみを対象とし図-6(a)を利用し、被災物の分布は各ノードに一定としている。台数制限を厳しくするほど、被災物処理日数も増加していることがわかる。被災物処理を10台から20台の建設重機で行う場合は被災物処理日数の増加はわずかであり、十分な作業が行えるといえる。10台以下とした時の被災物処理最大

日数の変化を図-8 (b) に示す. ここでは, 国道, 県道のみを対象として図-6(a)を利用し, 被災物の分布は各ノードに一定としている. 図-8 に示すように急激に被災物処理効率が低下し, 8 台以下となったとき, 特に被災物処理終了日数の増加が大きくなった.

次に通行可能道路率の推移を図-9 に示す. ここで, 通行可能道路率とは, [処理済の道路本数]÷[道路総数]である. ここで, 道路数を用いて処理の進捗を評価したのは, 市内の交通網の復旧率を見るという考えによる. 被災物処理を行う建設重機の台数の制限を大きくすると一度に広範囲で被災物処理を行うことができるが, 被災物処理効率が低下し, 最終的な処理日数が増加する傾向がある.

$\bar{\beta}$ 及び β_2 の割合変化による被災物処理終了日数の関係を図-10 に示す. 市道を無視し, 国道と県道を対象とした場合 (図-6(a)を利用) では $\bar{\beta}$ が増大するにつれて最大終了日数が減少する傾向が見られたが, 全体的にみると大きな変化はなかった. これは県道の総距離に比べ, 国道の総距離が非常に短くなっており被災物分布に与える影響が極めて小さかったためであると考えられる.

次に国道, 県道及び市道を対象とした場合 (図-6(b)を利用) について考察する. この時, 国道の総距離は県道, 市道の総距離に比べ非常に小さいためネットワーク上の利用は可能とするが, 被災物は堆積しないものと仮定する. 前者の結果に比べ被災物処理終了日数が増加している. これは県道の総距離と市道の総距離が同程度の長さであり, それに影響していると考えられる. また, β_2 が増加するにつれて被災物処理終了日数に減少傾向がみられ, 最終的には市道を対象としなかった場合と同程度の日数となった. このことから市道に堆積する被災物が市全体の被災物処理日数に大きな影響を与えることが考えられる.

次に β_2 , $\bar{\beta}$ それぞれの割合の変化による被災物処理日数と被災物処理効率の関係を図-11 (a) (b) に示す. 図中の開始日に通行可能道路が存在するのは, $\bar{\beta}$, β_2 がゼロであり, もともと被災物のない通行可能な道路が存在する設定となっているためである. どちらの図に関しても β_2 及び $\bar{\beta}$ の値が小さいほど初期から中期の通行可能道路率が大きい結果となった. これは国道, 県道, 市道を対象とした図-11 (a) の場合においては市道に被災物が集中的に堆積し, 国道, 県道を対象とした図-11 (b) においては県道に被災物が集中的に堆積し, 各ノードに堆積する被災物量の差が大きいためといえる. 両図を見比べると市道を対象に含めた (図-11 (a)) 方が被災物処理効率に大きな影響を与えている. これは, 県道の総距離に対する比が国道の総距離に比べ市道の総距離の方が大きいためであると考えられる. 終盤での被災物処理及び被災物処理終了日数においては市道を考慮した

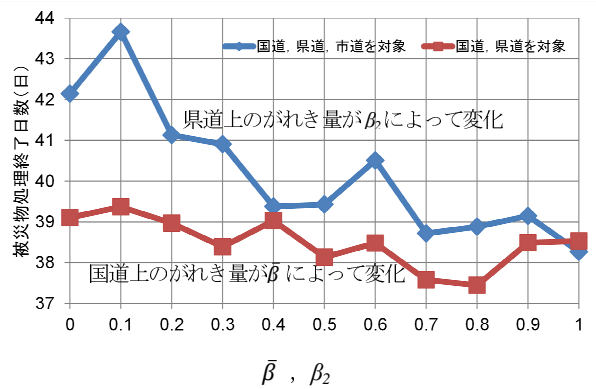


図-10 $\bar{\beta}$, β_2 による被災物処理最大日数

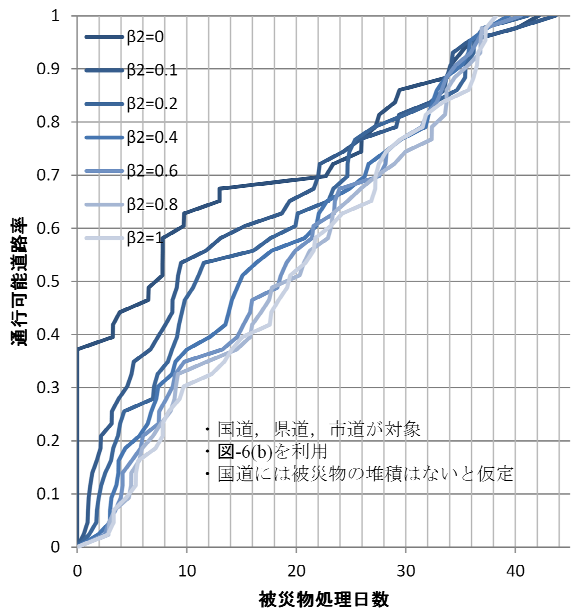


図-11 (a) β_2 の変化による通行可能道路率の変化

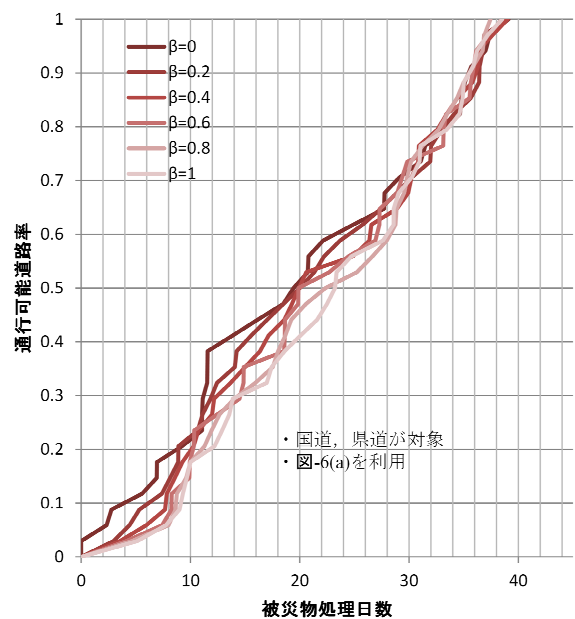


図-11 (b) $\bar{\beta}$ の変化による通行可能道路率の変化

場合(図-11(a))の方が処理が遅くなり最終的な処理日数が大きくなる結果となった。 β_2 が低い値の場合は堆積する被災物が市道に集中する上に、各ノードで作業を行う重機数が5台以下と制限条件が同じことにより、最終的な処理日数が増加したと考えられる。

(2) 袋井市と掛川市を対象としたモデル

a) 概要

袋井市内と掛川市内の道路ネットワークを図-12に示す。これを基にリンクとノードで表現した市内の道路ネットワークを図-13(a)に示す。同図のネットワークは国道と県道によって構成されており、市道は考慮していない。市道を考慮するためノードとリンクを追加した袋井市と掛川市のネットワーク図を図-13(b)に示す。掛川市の推定被災物発生総量は、袋井市と同様にこれまで用いてきた値75.82(万 m^3)とする。推定被災物発生量を各ノードに振り分けて配置し、被災物発生地点とする。掛川市内の重機総数に関してもこれまでのシミュレーション同様に85台とする。また、静岡県と災害協定を結ぶ市内の各企業の資本金規模に応じて重機数を割り当て、保有するものとし、これを建設重機の初期配置地点とする。建設重機の移動速度、被災物処理能力、行動ルールについてはこれまでのシミュレーションと同様とする。

幅員の広い道路に比べて狭い道路では被災物の移動がスムーズでなく被災物が集まりやすいとの想定に対応した、前述の幅員依存処理効率低下モデルを想定しシミュレーションを行った。まず、市道を考慮せず図

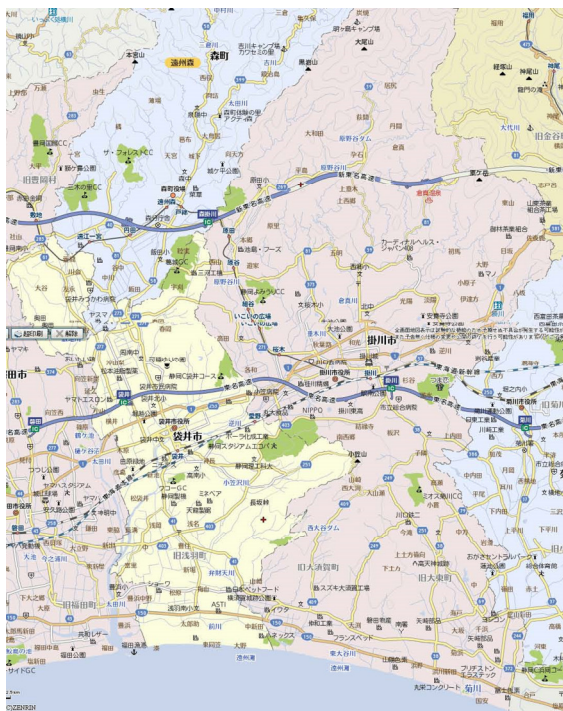


図-12 袋井・掛川市内の道路網
(ZENRIN Mapion 地図データ)

-13(a)のネットワークを用いて国道と県道のみを対象に被災物を配置する。次に市道を含め図-13(b)のネットワークを用いて国道、県道、及び市道を対象に被災物を配置する。その際、袋井市内の推定被災物発生量を袋井市の道路ノードに振り分け、掛川市内の推定被災物発生量を掛川市の道路ノードに振り分ける。各市の道路ノードに堆積する被災物量はそれぞれの道路延長、推定被災物発生量を用いて別々に設定した。なお本シナリオにおいても各ノードでの作業台数を5台以下とした。

b) 結果及び考察

β_1 及び β_2 の割合変化による被災物処理終了日数の関

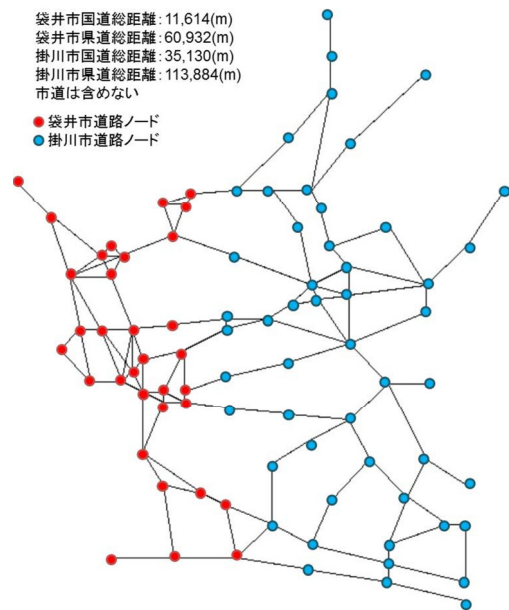


図-13(a) 袋井市内と掛川市内の道路ネットワークモデル

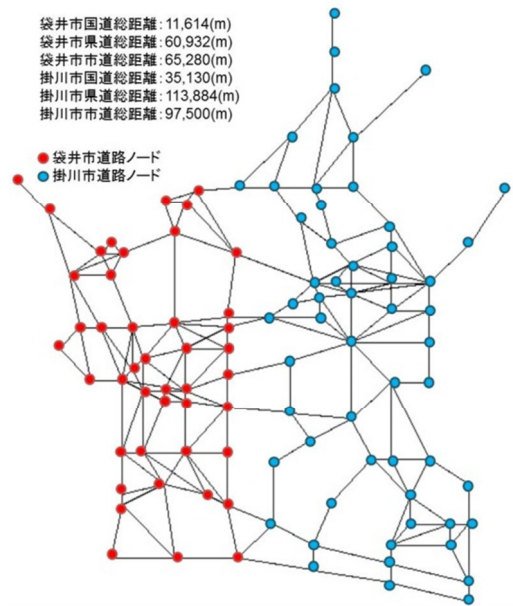


図-13(b) 市道を追加した袋井市内と掛川市内の道路ネットワークモデル

係を図-14に示す。袋井市内のみでの被災物処理最終日数が表-4に示したように40日程度かかるのに対し、掛川市との連携を考慮すると2市の被災物処理を20日程度で完了することができ、市町間での連携の有効性を確認できた。袋井市の推定被災物発生量が約130.87万 m^3 であるのに対し、保有する重機数は39台となっている。しかし、掛川市では推定被災物発生量が約75.82万 m^3 であるのに対し、保有する重機数は85台となっており各市町の保有重機数の偏在が問題視される。

β_2 , $\bar{\beta}$ それぞれの割合の変化による被災物処理日数と被災物処理効率の関係を図-15(a)(b)に示す。 β_2 に関しては値が小さいほど初期から中期の通行可能道路率が大きい結果となった。一方、 $\bar{\beta}$ の値の変化では、通行可能道路率に大きな変化は見られなかった。袋井市のみでの結果である図-11(a)(b)と比較すると β_2 , $\bar{\beta}$ それぞれの割合の変化による通行可能道路率の変化は小さくなった。被災物処理を行う道路の総延長が長くなるにつれて通行可能道路率は一定の変化に近づいていくことが示唆された。また、袋井市のみでの結果の図-11(a)(b)と同様に国道に堆積する被災物量よりも市道に堆積する被災物量の変化の方が、通行可能道路率に与える影響が大きいことがわかる。国道などの幅員の広い道路の良好な状態を保ちつつ、市道などの幅員の狭い道路に堆積する被災物を効率よく処理することが早期の道路啓開作業を実現する上で重要であることが示唆された。

4. 結論

災害初期には、早期の人命救助や社会基盤の復旧作業に被災地の地元建設業者の貢献は重要であり、多くの建設重機が必要となる。しかし、不況や公共事業費の抑制の影響により、地元建設業者が保有する建設重機数は減少している。皆川らは、近年発生が予想される東海地震を対象に地域間連携が発災初期の道路啓開に与える効果を、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、皆川らの研究で利用していた経路点エージェントを用いたネットワーク構築を改善し、ノードエージェントとリンクを利用した新たな道路ネットワークを再構築した。これにより改善したモデルを利用し、より限られた空間の中でシミュレーションを行うことで本シミュレーションでは国道、県道、市道といった道路ネットワークの属性の相違、それに伴う被災物処理効率の変化を調査し、対象地域は袋井市とした。その結果、道路幅員の相違やそれに伴う被災物集積情報、被災物処理効率が発災初期の道路啓開に大きな影響を与えることが示唆された。

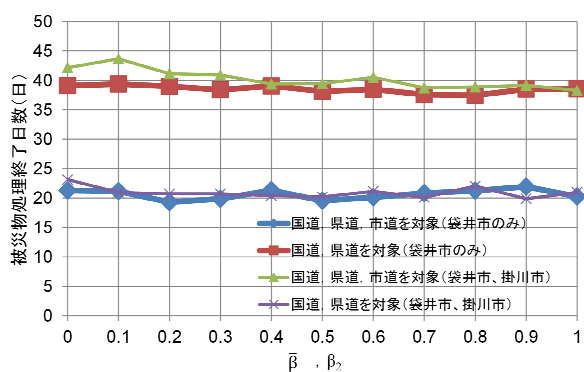


図-14 $\bar{\beta}$, β_2 による被災物処理終了日数の関係

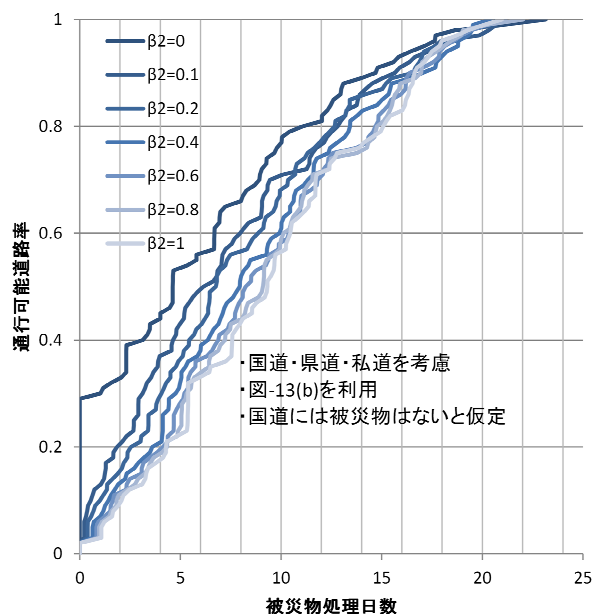


図-15(a) β_2 の変化による通行可能道路率の推移

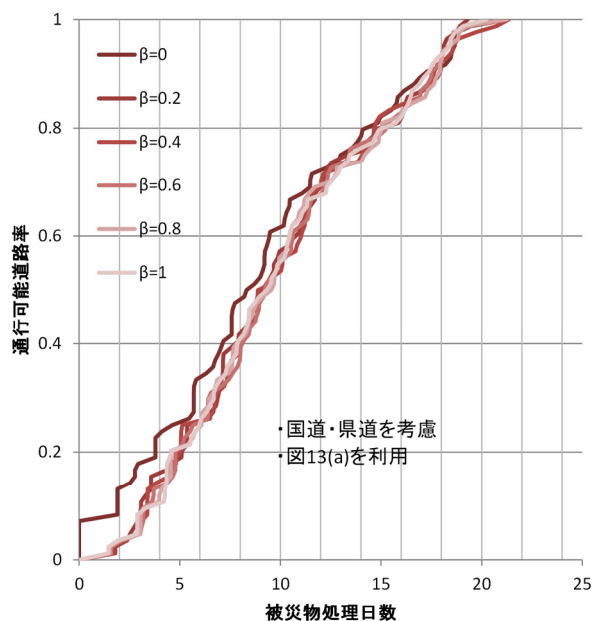


図-15(b) $\bar{\beta}$ の変化による通行可能道路率の推移

謝辞：建設重機数の調査にあたり、静岡県庁交通基盤部河川砂防局土木防災課の望月良明様、山田健二様、同部建設支援局技術管理課の野本千栄子様にご協力を頂きました。また、株式会社構造計画研究所にはマルチエージェントシミュレータである artisoc を無償貸与して頂きました。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⁶⁾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、今般の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,2010.
- 2) 財務省:各論3.公共事業,公共事業関連予算の推移,2011.
- 3) 国土交通省:国土交通白書,図表102,2011.
- 4) 金子雄一郎,兵藤哲郎:東日本大震災による交通システムの機能障害の発生状況と復旧について,「緊急特集」東日本大震災,pp.83-85,2011.
- 5) 麻生幾:前へ!東日本大震災と戦った無名戦士たちの記録,新潮社,2011.
- 6) 皆川勝,渡邊裕介,草柳満:災害初期の啓開における地域間連携の有効性の検討,土木学会論文集F4(建設マネジメント),Vol.68, No.4, I_57-I_67,2012.

- 7) 静岡県:第3次被害想定結果:地震対策資料No182-201,2001.
- 8) 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,pp.765-772,2007.
- 9) 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徳,第11回MASコンペティション,アブストラクト,pp.1-2,2011.
- 10) 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,アブストラクト,2010.
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) 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,21世紀の南海地震と防災,土木学会四国支部,第18巻,pp.153-160,1996.11.
- 14) 永田尚人,平山修久,岡村寛明,糠塚昌文,河田恵昭:震災廃棄物の輸送マネジメントに関する基礎的研究,土木学会論文集F4(建設マネジメント),Vol.66, No.1, pp.129-137,2010.
- 15) 平山修久,河田恵昭:広域災害時における災害廃棄物処理の広域連携方策に関する研究,土木学会論文集G,Vol.63, pp.112-119,2007.5.
- 16) 静岡県庁交通基盤部:重機オペレーター保有数の集計,2011.
- 17) 社団法人中部経済連合会:大震災に備えた震災被災物処理について~災害に強く,環境にやさしい中部圏を目指して~,p.5,2008.
- 18) 国土交通省:土木工事標準積算書,2011.
- 19) 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,p.1,2011.
- 20) 岩手県遠野土木センター交通情報:http://blogs.yahoo.co.jp/tono_doboku/archive/2011/6/10,2011.6.

(2013.5.20 受付)

INFLUENCE OF RUBBLE PROCESSING EFFICIENCY IN ELIMINATION OF ROAD OBSTACLES IN EARLY STAGES OF A DISASTER

Masaru MINAGAWA and Mitsuru KUSAYANAGI

In early stages of a disaster, the contribution of local building constructors of a stricken area is important, and a number of construction heavy equipment is needed for elimination of road obstacles. However, the number of construction heavy equipment which local constructors hold is decreasing under the influence of long-term depression and decrease of expenditure for public works. Minagawa et.al. examined the effect of cooperation between local-governments for elimination of road obstacles in early stages of the disaster for expected Tokai earthquake by using a multi-agent simulator. In this study, first, the influence of transportation route destruction in elimination of road obstacles was considered using the

Minagawa's model. Second, the influence of the difference of the attribute of roads and corresponding change of the rubble processing efficiency in elimination of road obstacles was investigated. This research confirmed that the difference of rubble accumulation situation and rubble processing efficiency depending on each road width have significant impact on efficiency in elimination of road obstacles.