

タイムラインを考慮した大規模災害時の 道路復旧優先順位付けに関する一考察

門倉 尚紀¹・畑山 満則²・梶谷 義雄³・高橋 亨輔³

¹ 学生非会員 京都大学大学院 情報学研究科 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)
E-mail: kadokura@dimsis.dpri.kyoto-u.ac.jp

² 正会員 京都大学 防災研究所 (〒611-0011 宇治市五ヶ庄)
E-mail: hatayama@dimsis.dpri.kyoto-u.ac.jp

³ 香川大学 創造工学部

大規模災害時に被害のあった道路に優先順位をつけ、効率的に復旧を行うことは災害対応において重要な課題の一つである。しかし、災害時には被災道路に対して復旧リソースが不足することが考えられ、限られた復旧リソースをどのように分配するかが重要な課題となる。本研究では、復旧リソースの分配方法がアクセス回復にどのような違いを生むのかを広島県呉市周辺の道路ネットワークをケースエリアとして分析する。具体的には、設定された復旧の目的の変化に沿った復旧スケジュールを導くシステムを構築し、広島県呉市周辺をケーススタディとして行った復旧スケジューリングに関する基礎的な分析について報告する。

Key Words: 防災計画, 道路復旧計画

1. はじめに

災害対策基本法では、「防災」は、「災害を未然に防止し、災害が発生した場合における被害の拡大を防ぎ、及び災害の復旧を図ることをいう。」と定義されている。災害発生した際には、「被害の拡大を防ぐこと」と「災害の復旧を図ること」が求められているが、これらは独立したものではない。前者である被害拡大の防止の最重要課題である救助活動においては、救急隊や医師を医療器具とともに現場に運んだり、現場から負傷者を搬送したりするために、後者である復旧活動においては、物理的な対応を行うため、対象地域までの資材や人の運搬を円滑に行うための道路の復旧が早期に求められる。国土交通省は、2008年より緊急災害対策派遣隊（TEC-FORCE）を正式に設置し、多くの災害で早期の道路啓開を実現している。災害の規模が小さく、被害箇所に対して十分な人的・物的リソースを割り振ることができる場合は、これらの経験が生かされ早期の復旧（仮復旧も含む）が可能となった。しかし、東日本大震災クラスの巨大災害時には、被害箇所に対して十分なリソースを準備することができないこととなり、戦略的な復旧計画が求められることとなる。東日本大震災時には、当方玖地方整備局により「くしの歯作戦」が実施され、国道に優

先順位をつけた復旧が行われた。復旧リソースを集中させたことで、アクセスが早期回復し、救助活動等の支援を早期に行うことができた¹⁾。この作戦は、十分な復旧リソースが確保できない場合に、優先順位をつけて道路復旧を行うことが有効であることを実務的に示した。国土交通省は、この経験を生かすべく、来るべき大規模災害時に備えて地方版の「くしの歯作戦」を作成するなどしているが、これらは国の管轄する道路とそれに接続する一部の県道や主要道に限定されている。著者らが行ったヒアリング調査では、国土交通省の地方整備局レベルでは、災害の規模に応じて復旧に優先順位をつけることを厭わない姿勢であるのに対し、大規模な災害を経験していない都道府県や市町村レベルでは、優先順位をつける必要性をイメージできていない印象であった。市町村レベルでは、平常時に交通を担当する職員が、危機管理を担当している自治体も多く、大規模な災害が発生した場合は、眼前の課題に悩殺され、優先順序をつけた戦略的な道路復旧に対応できることは少ない。地方整備局は、管轄する道路の復旧が終われば、都道府県や市町村の復旧の支援を行うこともあるとのことだが、この際には、管理していない道路の優先順位をつけること、すなわち、戦略的な復旧計画を立てることは難しいとのことであった。これらのことをまとめると、被害箇所に対し

て十分な復旧リソースを準備できない大規模な災害時においては、都道府県や市町村レベルで管理されている道路の戦略的な復旧は難しいということとなる。

そこで、本研究では、道路復旧の優先順位付けと復旧班の割り当てを行うシステムを構築することを最終的な目標とし、本研究では道路復旧のリソースの分配方法がアクセス回復にどのような影響を与えるのかについて、ケースエリアとして広島県呉市周辺のネットワークを用いて考察する。

2. 研究背景と目的

被災道路の復旧優先順位に関する研究はたくさん行われており、堀井は、各被災道路によって都市間の距離がどの程度伸びたのかを迂回度という指標を用いて評価し、迂回度を大きく回復する被災道路から復旧するという優先順位付け手法を提案している²⁾。また、大澤らは、サービス機会への近接性を表したポテンシャルアクセシビリティという指標を用いて道路復旧によるアクセシビリティ改善率が大きな道路から復旧するという優先順位付け手法を提案している³⁾。しかし、これらの研究では復旧班の情報 が考慮されていない。そのため、優先順位の高い被災道路に復旧班が到達することができない場合が考えられる。

復旧班の情報を考慮した復旧スケジューリングモデルの研究として、佐々木らは全ての道路復旧が終わるまでの時間を最短にすることを復旧の目標とした復旧スケジューリングモデルを提案した⁴⁾。ただ、実際の災害時には他の復旧を遅らせてでも優先して復旧させるべき道路があることがあると考えられる。有村ら、杉本らは、全てのノード間のアクセスをなるべく早く回復させることを復旧の目標とした復旧スケジューリングモデルを提案した⁵⁾。また、杉本らは、復旧班の協力を考慮している⁶⁾。これらの研究では、復旧の目標を一つに設定しているが、実際の復旧問題は災害救助・避難所への物資供給・企業の事業継続・二次災害の防止など多目的な問題であり、さらに時間と共に相対的な重要度が変化する。復旧シナリオ、つまりそれぞれの目的の重要度がどのように変化するかを決定することは非常に困難であり、また地域や災害によって異なると考えられる。そこで本研究では、このような多目的で複雑な復旧シナリオに沿った復旧スケジュールを導くことができるシステムを構築し、復旧戦略によってアクセス回復にどのような違いが出るのかを分析する。

3. スケジュール作成手法と対象地域

(1) 復旧スケジュールの作成

復旧スケジュール作成の流れを図-1に示す。

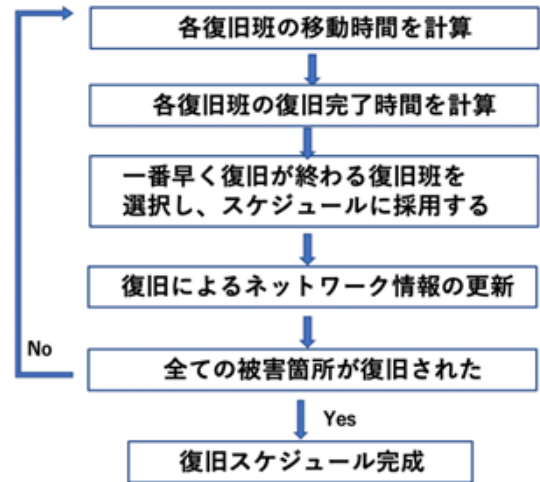


図-1：復旧スケジューリングのアルゴリズム

復旧班 $C_i (i=1..K$: 班の数, 割当上限回数 N), 被害箇所 $L_j (j=1..M$: 復旧箇所数) としたとき、復旧班の割り当ての組み合わせを図-2のような行列によって表す。各復旧班が N 回復旧作業を行うとすると、行列は M 行 KN 列の大きさであり、 $(i+K(n-1))$ 列目は C_i が n 回目に各列の数値が 1 となっている箇所の被害箇所を復旧することを示している。

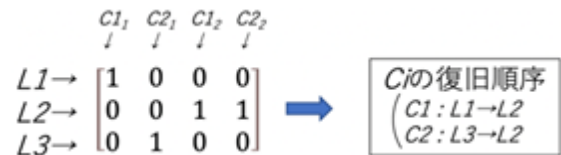


図-2：組み合わせの表現方法 ($K=2, N=2, M=3$ の例)

ネットワークを構成する各ノードは、[隣接点, 距離] のリストを持っている。ここで、隣接点までのリンクが被害を受けた場合は、距離を 100km として最短経路探索で選択されないようにすることで通行不可能であることを表現した。病院・避難所等の地物、また被害箇所・復旧班は、リンク上の地物とし[リンクに接続するノード 1, リンクに接続するノード 2, ノード 1 からの距離, ノード 2 からの距離]を持つものとした。

復旧班 C_i の位置から復旧対象の被害箇所 L_j までの最短経路の距離を平均移動速度 v で割ったものを移動時間 $TCiL_j$ とする (復旧が完了したリンクはリンク距離が修正され、ネットワーク情報が更新される)。被害箇所 L_j の復旧見積時間を TL_j とすると、復旧班 C_i の作業合計時間 Si は以下の式となる。

$$S_i = TCiL_j + TL_j$$

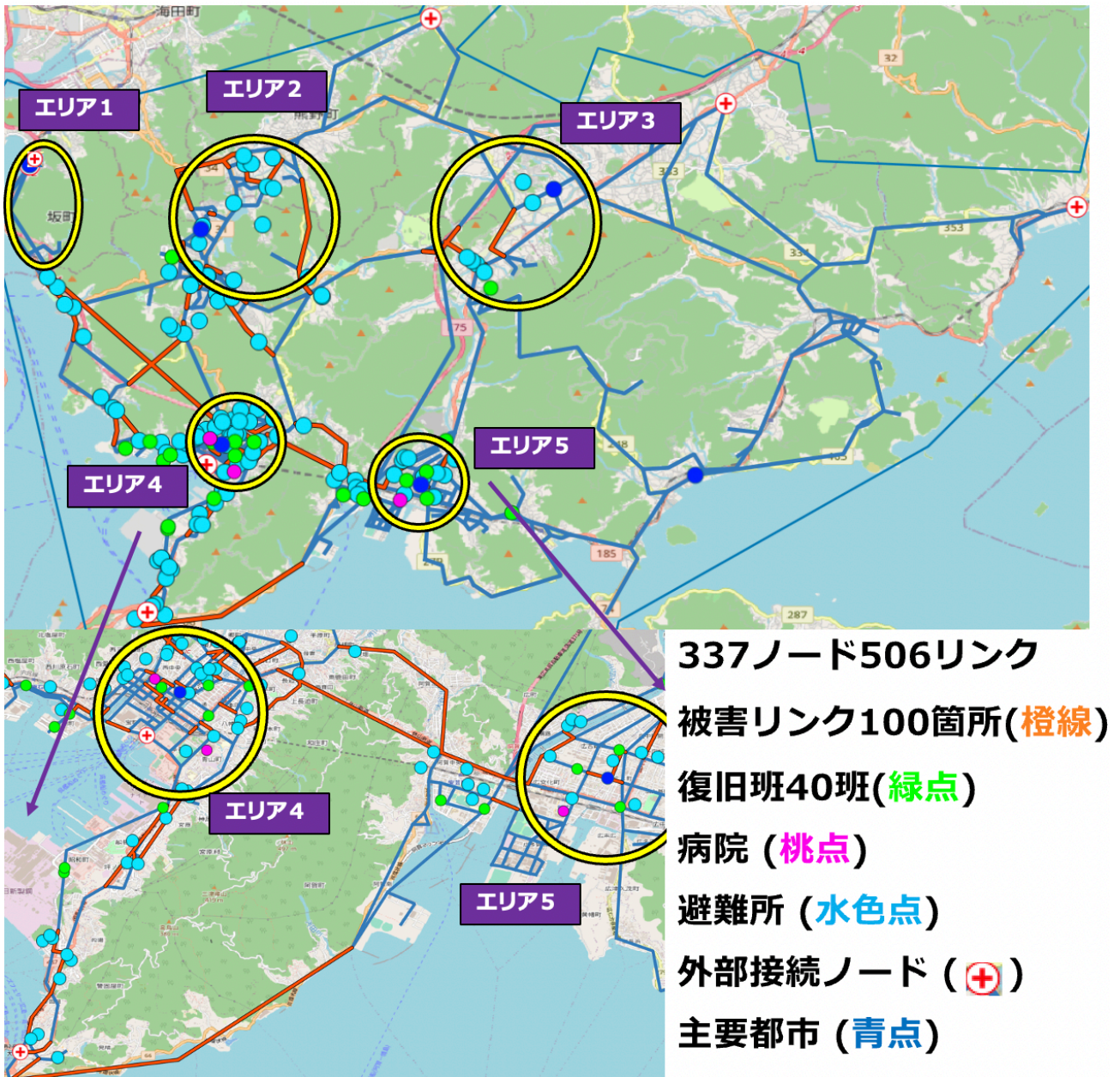


図-3：呉市周辺のネットワーク

1日の復旧作業時間は8時~18時とし、復旧作業が終了する時間が最も短い復旧班を選択し、復旧スケジュールに採用する。

(2) 対象地域の設定

近年、地震だけでなく豪雨・台風災害も、気候変動の影響から大規模化していることが指摘されている。平成30年7月豪雨災害時には、交通ネットワークの損傷により都市機能を維持するための通勤、通学交通が渋滞により一部大きく損なわれることとなった。交通工学視点から渋滞解消に効果のあるリンクを優先的に復旧するために広島県では広島県災害時渋滞対策協議会を設け、中国地方整備局や県、市、警察などによって意見交換が行われ

た。実際に復旧班を戦略的に割り当てた事例が存在する地域の道路ネットワークをケーススタディとして用いることで、最終的に実際の被害状況を再現したモデルを作成し、復旧スケジュールの検討を行うことができると考えたため、本研究では西日本豪雨災害時に道路被害が深刻であった広島県呉市周辺の道路ネットワークを用いる。この道路ネットワークは337ノード506リンクで構成されており、実際の道路網を元に作成した。

今回のケーススタディでは506リンクの内100リンクが被害を受けたものとして、40班の復旧班によって復旧作業を行う。この時、被害箇所から病院までのアクセス、港やネットワークの端点であり外部からの物資供給が入ってくるノードとなる外部接続ノードから避難所ま

でのアクセス、主要都市間のアクセスがどのように改善されていくのかを複数の復旧パターンで比較する。各地物・ネットワーク状況を図-3 に示す。病院は、災害拠点病院に指定されている3箇所を使用している。避難所は国土数値情報で得られたものから被害箇所に近いものを選択した。外部接続ノードはネットワークの端点や港を合計5箇所選択した。これは大規模災害時には物資供給を自治体内で行うことは難しく、他の自治体から物資供給を受けることを想定しているためである。主要都市は、人口が集中している6箇所を選択した。また、被害箇所については、実際の災害による被害が集中的であることを踏まえ、南西部に集中するように選択した。各被害箇所の復旧見積時間は、今回与えられたものであるとし、表-1 に示す。復旧班の位置情報は経済センサスのメッシュデータを使用し、建設業者が存在するメッシュの重心を位置情報として使用している。各復旧班には復旧能力を1~3の3段階で設け、復旧見積時間を復旧能力で除することにより復旧能力の高い復旧班の方が早く復旧を終わらせることができることを表現した。各復旧班の復旧能力を表-2 に示す。

表-1：各被害箇所の復旧見積時間

被害リンク番号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
復旧見積時間(h)	116	84	84	40	102	84	106	94	112	114
被害リンク番号	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
復旧見積時間(h)	60	60	54	94	82	86	112	56	120	70
被害リンク番号	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
復旧見積時間(h)	52	116	104	104	46	48	76	76	120	110
被害リンク番号	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
復旧見積時間(h)	48	104	74	112	84	42	48	50	118	66
被害リンク番号	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
復旧見積時間(h)	88	78	44	114	62	46	100	96	46	118
被害リンク番号	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
復旧見積時間(h)	74	64	90	70	92	64	74	58	106	80
被害リンク番号	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
復旧見積時間(h)	98	94	70	86	114	120	90	58	50	42
被害リンク番号	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
復旧見積時間(h)	74	94	66	116	46	72	112	86	54	104
被害リンク番号	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
復旧見積時間(h)	116	48	86	42	62	64	84	106	60	110
被害リンク番号	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
復旧見積時間(h)	86	116	112	90	50	100	102	104	88	42

表-2：各復旧班の復旧能力

復旧班	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
復旧能力	2	3	1	1	2	1	3	1	1	1
復旧班	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
復旧能力	1	1	1	2	2	2	2	3	2	2
復旧班	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
復旧能力	2	2	3	3	2	2	3	3	3	1
復旧班	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
復旧能力	1	2	2	2	2	1	3	1	3	2

4. 復旧パターンによるアクセス回復比較

呉市周辺の道路ネットワークを用い、復旧パターンを変えることで被害箇所と病院・避難所と外部接続ノード・主要都市間のアクセス回復にどのような違いが現れるのかについて、下記の時間推移により考察を試みた。

H1：病院から到達できない孤立被害箇所数

H2：物資を供給することができない孤立避難所数

H3：アクセスできない主要都市間ペア数

(1) 均等配分

公平性が保たれることを優先して復旧リソースを均等に配分する意思決定を行った場合、どのようにアクセスが回復するかについて考察した。復旧班40班を100班に均等に分割し、全ての被害箇所にそれぞれ割り当てる。この場合、H1、H2、H3の推移は図-4 となった。

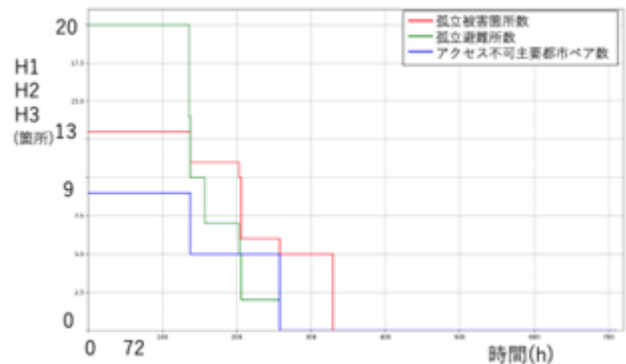


図-4：均等に割り当てた場合のアクセス回復

復旧リソースを分配すると各復旧班の復旧能力が下がり、復旧作業が中々進まない。推移図を見ると命の72時間と呼ばれる72時間以内に救助活動を行うことができるように孤立被害箇所が解消されることが求められるが、アクセスが回復し始める時間が発災後120時間頃であり、かなり遅くなっている。

(2) ランダムに割り当てた場合

復旧班を分割することはせずに復旧班を順番に割り当てる意思決定を行う場合を考える。今回の場合では、100箇所のうち40箇所の復旧活動が行われ、他の60箇所については、しばらく復旧活動が行われない。このとき、初めに復旧する40箇所の選び方が非常に重要になるが、本項では被災リンクの優先順位付けのノウハウを持っておらずランダムに割り当てを行った場合について数10パターンシミュレーションを行った。

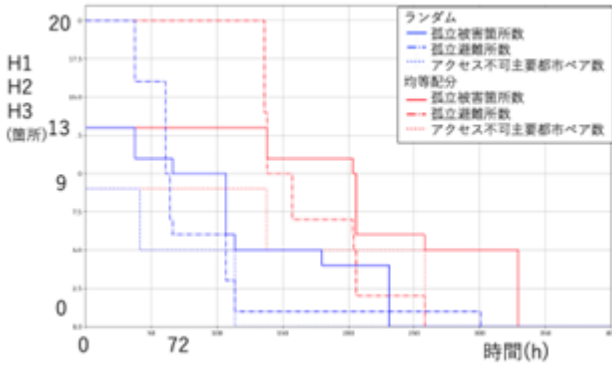


図-5: ランダムに割り当てた場合のアクセス回復

10 パターンの復旧スケジュールの内、1つを選び H1, H2, H3 の推移図を(1)の場合と比較したものを図-5 に示す。1つの被害箇所を1つの復旧班が復旧することによって均等に配分した場合よりも各被災リンクの復旧にかかる時間が短縮されるためアクセスの回復が早く進んでいる。また、試行した 10 パターンの内、最もアクセス回復が遅れた復旧スケジュールの結果を均等配分の場合の結果と比べたものを図-6 に示す。

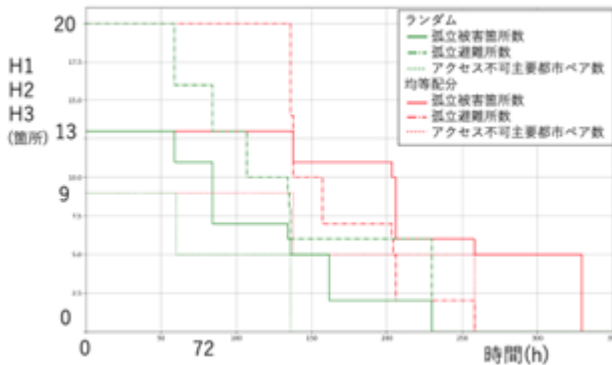


図-6: 最もアクセス回復が遅れた場合のアクセス回復

最もアクセス回復が遅れた場合でも、均等配分した場合と比べるとアクセス回復は早く進んでいる。復旧班が到達できる被害箇所から順番にリソースを集中させて復旧を行った方がアクセス回復を早く進めることができることがわかる。ただし、ランダムに割り当てを行った場合でも、アクセス回復の早さにばらつきがあったため、より早くアクセスを回復させるためには戦略的にリソースを集中させることが求められる。

(3) 戦略的な割り当て

回復すべきアクセスに関係ある被災リンクの復旧が優先的に行われるように、戦略的に復旧スケジュールを計画することを考える。本研究では、復旧班の割り当て問題を復旧班と被害箇所との組み合わせ最適化問題として定式化し、目的関数値を最小化する復旧スケジュールを採用する。H1, H2, H3 に関する OD ペアリストを

選択し、平常時と比べた距離延長割合 $E(t)$ の時間積分値を目的関数とすると、下記のように定式化される。

$$E(t) = \frac{D(t)}{D_n} - 1$$

$$OBJ = \int_0^{\infty} E(t) dt$$

$D(t)$: 時間 t における OD ペアリストの総距離

D_n : 平常時の OD ペアリストの総距離

また、問題設定は以下の通り

- 目的関数: $OBJ \rightarrow Min$
- 制約条件:

$$\begin{cases} CL_i \leq N \\ CT_i \in F \\ CT_1 \cup CT_2 \dots \cup CT_K = \{L_j \mid 1 \leq j \leq M\} \end{cases}$$

CL_i : C_i に振り分けられる L_j の数

N : C_i の復旧上限回数

CT_i : C_i に振り分けられる L_j の組み合わせ

F : L_j から N 個選ぶ組み合わせの全集合

この組合せ最適化問題を、焼きなまし (Simulated Annealing) 法を用いて解くことで導かれた復旧スケジュールによって復旧を行った場合の H1, H2, H3 の推移を(1)と比較したものを図-7 に示す。

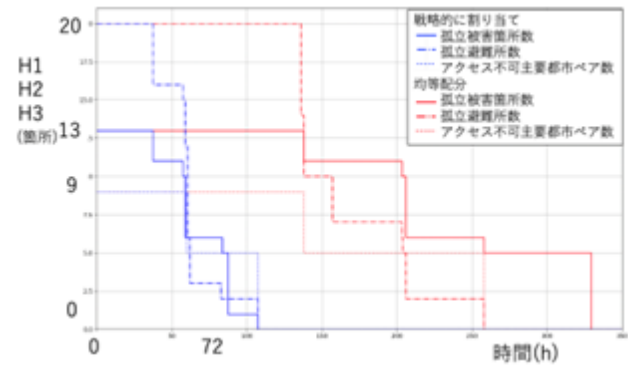


図-7: 戦略的に割り当てた場合のアクセス回復

均等配分で復旧した場合と比べると孤立がかなり早期に解消されており、支援活動を早期に進められるようになったことがわかる。

(4) 復旧目的の時間変化を反映

(3)では H1, H2, H3 に関連する OD ペアリスト全てのアクセスを平等に回復することを目的としていた。しかし、実際の災害時には復旧の目的は時間と共に変化することが考えられる。国土交通省の基本政策部会では被災地での応急活動として発災直後~72 時間をフェーズ 1, 72 時間~1 週間程度をフェーズ 2, それ以降をフェーズ 3

としており、フェーズ1では人命救助を、フェーズ2では緊急物資輸送を、それ以降では一般車両通行を目的としている⁷⁾。このことを踏まえて(3)で考慮していた OD ペアリストを以下の 3 種類 $OD_i(i=1\sim 3)$ に分類し、それぞれに時間で変化する重み W_i をかけたものを目的関数 OBJ とすることで復旧の目的が時間と共に変化することを表現する。

- OD1：被害箇所と最も近い病院
- OD2：避難所と最も近い外部接続ノード
- OD3：主要都市間

それぞれにかかる重み W_i は以下のように変化する(図-8)。

$$W1(t) = \begin{cases} 1.5 & (t \leq 72) \\ \frac{144-t}{48} & (72 < t \leq 144) \\ 0 & (144 < t) \end{cases}$$

$$W2(t) = \begin{cases} 0 & (t \leq 72) \\ \frac{t-72}{72} & (72 < t \leq 144) \\ 1 & (144 < t) \end{cases}$$

$$W3(t) = 0.25$$

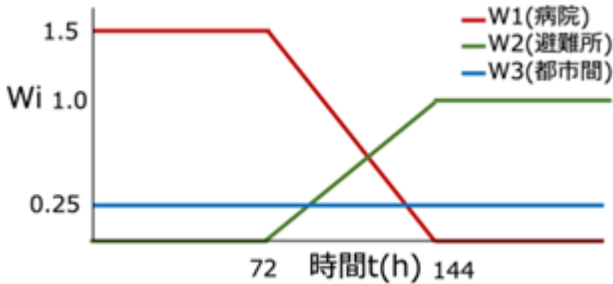


図-8：ODiの重み W_i の変化

目的関数値 OBJ は、以下のようになる。

$$OBJ = \sum_{i=1}^3 \int (E_i(t) \times W_i(t)) dt$$

命の 72 時間と呼ばれる発災後 72 時間は、人命救助を最優先とするために $W1$ を大きくしている。72 時間を過ぎると避難所の備蓄物資が不足し始めることから $W2$ を徐々に大きくし、人間が飲まず食わずで生きられるとされる 3 日間が経過した 144 時間で $W2$ が 1 になるように設定した。また、復旧の目的が $W1$, $W2$ に偏りすぎて都市間交通が一向に改善しない場合を防ぐために主要都市間のアクセス回復の重み $W3$ を 0.25 で設定している。

この復旧の目的が、時間で変化することを表現した目的関数によって導かれた復旧スケジュールによる H1, H2, H3 の推移図を(3)の場合($W_i=1$)と比較したものを図-9に示す。

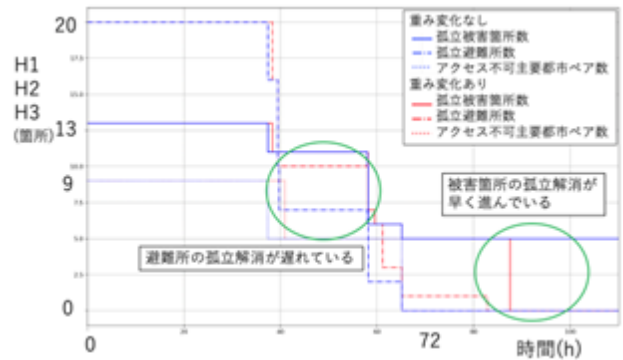


図-9：重みの変化が復旧スケジュールに与える影響

復旧の序盤では避難所へのアクセス回復の重みが 0 であるために避難所の孤立解消が遅れている。また、病院へのアクセスの重みが、相対的に避難所のアクセス復旧よりも高いことから被害箇所の孤立解消が早く進んでいる。避難所には、発災後 3 日程度、備蓄されている物資で生活することができる可能性が高いため、被害箇所付近で怪我をして動けなくなってしまった人の救助に向かうことができない可能性が高まる被害箇所の孤立より重点を置くべきである。相対的に重みを変化させることで、復旧スケジュールにこの目的の変化を反映させることができ、より望ましい復旧スケジュールを提示することが可能となると考えられる。

(5) OD1の重みを極端に大きくした場合

先の比較で復旧の目的を相対的に変化させることで、より望ましいと思われる復旧スケジュールを提示できる可能性を示した。ここでは OD1 の重みを極端に大きくし、長期にわたって影響を残した場合の復旧シナリオを示しその変化について考察を行う。復旧シナリオの重みの変化は以下のように設定した(図-10)。

$$W1(t) = \begin{cases} 15 & (t \leq 72) \\ \frac{216-t}{4.8} & (72 < t \leq 216) \\ 0 & (216 < t) \end{cases}$$

$$W2(t) = \begin{cases} 0 & (t \leq 72) \\ \frac{t-72}{288} & (72 < t \leq 144) \\ 0.25 & (144 < t) \end{cases}$$

$$W3(t) = 0.25$$

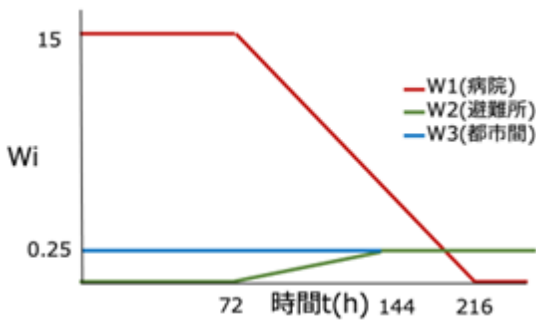


図-10：復旧の目的が偏った重み変化

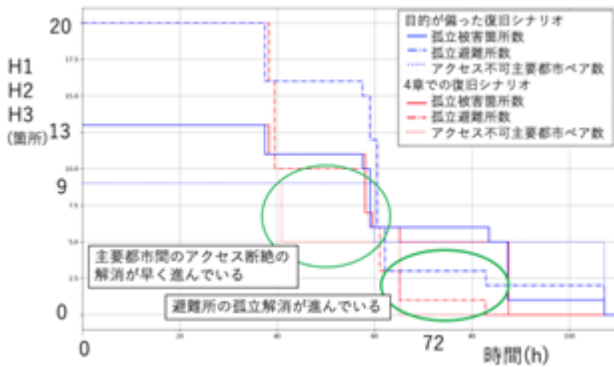


図-11：重みの偏りが復旧スケジュールに与える影響

図-11 にこの復旧シナリオと(4)で設定した復旧シナリオでの H1, H2, H3 推移図を示す。病院のアクセスの回復が(4)の復旧シナリオに比べてかなり優先されているものの、孤立被害箇所数の推移にあまり違いは見られなかった。一方で相対的に避難所へのアクセス・主要都市間のアクセスの優先度が下がってしまったために孤立避難所の解消や断絶された都市間アクセスの解消が遅れてしまっている。このことは過度に優先度を上げすぎると他の目的が疎かにされてしまうことを示している。

5. おわりに

本研究では、復旧の目的が変化する多目的な復旧シナリオに対応した復旧スケジューリングモデルを構築し、戦略的な道路復旧スケジュールについて考察した。成果は、以下のようになる。

- ① 復旧時に考慮する重点課題が時間とともに変化する復旧シナリオに対応した復旧スケジューリングシステムを構築した。
- ② 平成 30 年 7 月豪雨災害での被災地である広島県呉市周辺のネットワークを用いて復旧スケジューリングを行い、5つの復旧シナリオでの復旧スケジュールの結果を比較することで、災害時の道路復旧においてリソースを均等配分することが効率的でないこと、復旧シナリオを変えることでアクセスの

回復に違いが出ることを示した。

本研究は、時間変化する被害の拡大を防ぐ要素に対応できる戦略的な復旧スケジュールを提案することを最終目標としているが、まだ、課題は多い。下記に、今後の課題として考察すべき事項を示す。

- ① 復旧スケジュールを比較する際、それぞれの復旧目的に対して個別に評価していた。しかし、復旧スケジュールを定量的に評価するためには、総合的な評価指標を設ける必要があり、その指標とそれぞれの復旧目的との相関性を把握する必要がある。例えば、死亡率という評価指標を用いる場合、病院と被害箇所とのアクセスの回復は救助活動の遅れとして死亡率と結びつき、避難所と外部接続ノードとのアクセスは避難所の物資が枯渇することによる栄養不足・衛生環境の悪化・ストレスが死亡率と結びつく。そして、主要都市間の交通が断絶することは、地元を支える産業の事業継続に影響を与えることとなる。産業が衰退することや喪失することは、仕事を失うことにつながり、死亡率にも関連する可能性がある。しかし、この関係性は 0 ではないと考えられるものの、実態を正確に把握することは難しい。こうしたことを考え、総合的な評価指標に何を選ぶべきなのか、そしてどのように関連づけるのかを検討することが求められる。
- ② 本研究で取り扱った OD ペアリストは、3種類の目的に必要なものであったが、実際の災害対応においては教育活動の再開、社会インフラの復旧、二次災害の防止等他にも様々な復旧の目的が存在する。実際の災害対応でどのような復旧目的を考慮すべきかについて実務者にヒアリングを行うことで把握するとともに、どのように評価するのかを検討することも必要であると考えられる。
- ③ スケジューリングモデルに関して、杉本らのモデルで考慮されていた復旧班の協力など現実の災害対応では考慮されているが、本システムで考慮されていないものもある。必要に応じてこれらにも対応していく必要がある。
- ④ 本研究では道路復旧について「完全復旧」を前提としていたが、実際の復旧では道路啓開・片側復旧等、復旧に段階がある。これらの段階を積極的に活用することで、より効果的なスケジューリングが可能となると考えられる。
- ⑤ 本研究では移動速度を一定としていたが、実際は渋滞等の理由により移動速度は変化する。そのため交通状況を考慮することが求められる。

謝辞：本研究は、総合科学技術・イノベーション会議の SIP (戦略的イノベーション創造プログラム) 「国家レ

ジリエンス (防災・減災) の強化」(管理人: 防災科学技術研究所 (NIED)) によって実施されました。

参考文献

- 1) 夏山英樹, 藤井聡: 東日本大震災における「くしの歯作戦」についての物語描写研究, 土木計画学研究・講演集, CD-ROM, 45, 2012.
- 2) 堀井雅史: 代替機能を考慮した自然災害時における道路網復旧優先順位設定方法に関する基礎的研究, 土木計画学研究・論文集, No.15, 1998.9
- 3) 大澤脩司, 中山晶一郎, 藤生慎, 高山純一, 溝上章志: アクセシビリティ指標を用いた自然災害時の道路網の復旧順位設定手法に関する研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.73, No.5 (土木計画学研究・論文集 第 34 巻), pp. 281-289, 2017.
- 4) 佐々木 啓太, 藤田 素弘, Wisinee WISSETJINDAWAT: 巨大地震発生後の愛知県における現実性を考慮した道路復旧アルゴリズムの構築, 交通工学論文集, 第 6 巻, 第 2 号(特集号 A), pp.A_147 - A_155, 2020.2
- 5) 有村幹治, 上西和弘, 田村亨, 杉本博之, 榎谷有三: 都市間時間距離に基づく被災道路の最適復旧モデル, 土木計画学研究・論文集, No.14, pp.333-340, 1997.9
- 6) 杉本博之, 田村亨, 有村幹治, 斎藤粕夫: 復旧班の協力を考慮した被災ネットワーク復旧モデルの開発, 土木学会論文集, No. 625, IV-44, pp.135-148, 1999.7
- 7) 国土交通省: 災害時の通行可能な道路の確保と情報の取扱, 第 57 回基本政策部会 配布資料 3-2, 2016.11