

広域災害時の道路規制データに基づく 道路復旧日数の一考察

江口 公基¹・梶谷 義雄²・高橋 亨輔³・畑山 満則⁴

¹ 学生会員 京都大学大学院 情報学研究科社会情報学専攻 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

E-mail: eguchi@dimsis.dpri.kyoto-u.ac.jp

² 正会員 香川大学教授 創造工学部 (〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20)

E-mail: hanako@jsce.co.jp

³ 正会員 香川大学 創造工学部准教授 (〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20)

E-mail: k-takahashi@eng.kagawa-u.ac.jp

⁴ 正会員 京都大学防災研究所教授 巨大災害研究センター (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

E-mail: hatayama@dimsis.dpri.kyoto-u.ac.jp

2018 年の 7 月豪雨では、西日本地域を中心に多くの災害をもたらした。特に、岡山県及び広島県に多くの道路閉塞をもたらし、平時の交通サービスレベルへ戻るまでに多大な時間を要した。このような広域災害では、広域に交通の支障をきたすため、できる限り早く復旧を行う必要があるが、その復旧の様子は整理されていない。本稿では、広域災害により発生した道路規制データ（規制日数、規制場所、規制原因、規制内容等）を整理し、その統計分析にもとづいて、道路復旧の様子を可視化、災害時の道路復旧日数の予測モデルを推計する。これらの結果を考察することによって、災害時の道路復旧活動の時間がどの要因によって影響されているかを明らかにできる。さらに、複数地域のデータを用いることで、地域間での比較を行い、それぞれの地域のとした戦略の差異などを考察する。これらの情報は、災害時における道路復旧の優先順位付けの戦略を立案する際に活用することが期待できる。

Key Words: road restoration, road regulation, prioritizing, visualization damage situation, the July 2018 torrential rainfall

1. はじめに

地震や津波、豪雨による水害のような広範囲に被害が及ぶ自然災害では、直接的な人的被害だけでなく、その後の復旧にかかるまでの物流や人流起因の変化が社会に及ぼす影響は計り知れないほど大きい。そのため、発災後から平常時の社会を取り戻す、復興までの逸早い復旧活動が重要である。

災害発生後は、人的・物的資源の輸送はもちろん、救急・救助活動、避難活動を行う必要があるが、これらの活動は道路ネットワークが被災後もある程度機能をしていることが求められる。また、この道路ネットワークの機能が維持されているということは、発災直後だけでなく、災害からの復旧・復興の活動が大きく妨げられるだけでなく、被災地域住民の交通、生活水準を著しく低下させてしまうだろう。

実際に、2018 年 6 月 28 日以降の梅雨前線の影響によって引き起こされた平成 30 年 7 月豪雨では、西日本を中心に全国的に広い範囲で記録的な大雨が観測され、同地域に広域的かつ同時多発的に道路への被害を発生させた。その中でも広島県、岡山県の被害は甚大であり、それぞれ 100 箇所以上の道路が

通行止めになった。¹⁾それに伴い、発災数日後から広島・呉市天応を通る国道 31 号線が慢性的に渋滞し、平時には見られなかった渋滞が発生していた。²⁾

このように、地震や豪雨などの広域に被害を及ぼす自然災害が発生した場合、複数の重要な道路が通行止めもしくは、通行規制が行われることによって、被災地域における道路交通行動に甚大な影響を生ずる。この影響を最小限に抑えるためには、被災した道路ネットワークの効率的な復旧優先順位付けを行うことが重要であるが、それを行うためには現状の道路復旧のメカニズムを整理する必要がある。また、道路復旧日数の予測が可能になれば、復旧戦略の立案を支援できることが期待される。

道路復旧、道路規制データを用いた復旧期間の分析は上原ら³⁾が地震災害における高速道路について復旧予測を行っているものの、地域の交通の要となりうる国道、主要地方道、一般県道を含む分析でない。また、国道を分析の対象とした例として、道路盛土に被害を受けた地震を対象とした分析も野本ら⁴⁾が行っているが近年多発する豪雨災害における分析は十分とはいえない。

そこで、本研究では平成 30 年 7 月豪雨の災害で得られた道路規制データを用いて、国道、県道レベルの道路の被害における道路復旧日数の予測モデルの構築と規制情報の関係性を把握することを目指す。

2. 道路規制データの概観と基礎的な分析

(1) 岡山県道路規制データの基礎的な分析

平成 30 年 7 月豪雨が起きた際に、道路規制情報のデータを岡山県の HP から収集した。そのデータをもとに集計した結果を示す。また、以下の表 1 にデータの概要を示す。

表 1. 岡山県道路規制データの概要

データ元	岡山県 土木部 道路整備課
データ取得期間	2018/07/05 ~ 2018/08/27
サンプル数	310

このデータは、8/27 までのデータしかとれていないため、打ち切りが発生しているデータである。また、このデータは道路規制情報であり、厳密には復旧期間を表しているとは言えないが、本分析では規制期間を復旧期間とみなして表現する。また、データに含まれ、以後の予測モデル検討に用いる変数を以下表 2 に示す。

表 2. 岡山県道路規制データの変数

カラム名	概要
規制時間	道路の規制が開始された日時
解除時間	道路の規制が解除された日時
規制内容	全面通行規制, 片側通行規制など
規制原因	冠水, 崩土, 倒木など
規制延長	規制された道路の長さ(m)
道路種	国道, 主要地方道, 一般県道

a) 復旧期間の分布

上記で示したデータの復旧期間のヒストグラムと分布を図 1 に示す。ここで示す分布は、規制解除データが存在しない 8/27 以降に復旧した道路は含まれない。ここに示すのは、7/5 に岡山県で道路規制が行われ、8/27 以内に規制が解除された 176 の道路がどの程度復旧に時間がかかったかの分布を示している。多くの道路が 10 日以内で復旧されていることがわかる。これは上記の対象データを全体としたときの約 80 % (139/176) である。

分布をみると、復旧日数が 2 日程度のところと 13 日程度のところに山があり、二峰性があることがわかる。予備的な分析で、この二峰性は崩土によるものがわかっている。

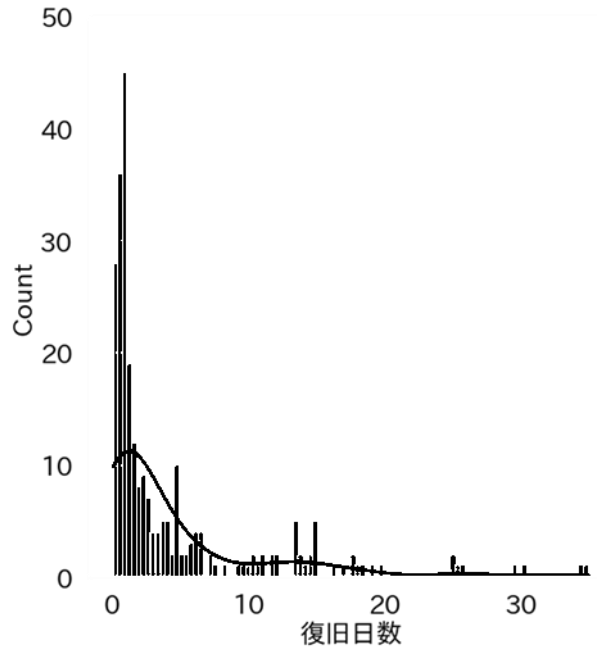


図 1. 岡山県道路復旧日数の分布

b) 道路種別の累積復旧割合

以下に、岡山県の道路規制データを用いた、道路種別の累積復旧割合を図 2 に示す。ログランク検定を行った結果、p 値は有意水準 5 % で道路種のグループ間において生存時間が異なるという帰無仮説は棄却されなかった。

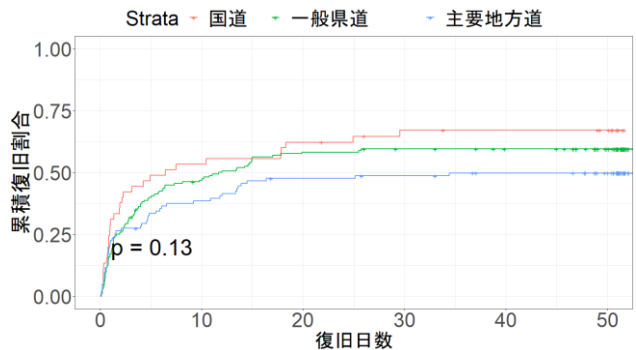


図 2. 岡山県の道路累積復旧割合(道路種別)

c) 規制原因別の累積復旧割合

以下に、岡山県の道路規制データを用いた、規制原因別の累積復旧割合を図 3 に示す。復旧が早く終わる順番は、冠水, 倒木, 崩土, 陥没, 路肩崩壊となった。ログランク検定を行った結果、p 値は有意水準 5 % で規制原因のグループ間で生存時間が同様であるという帰無仮説は棄却された。

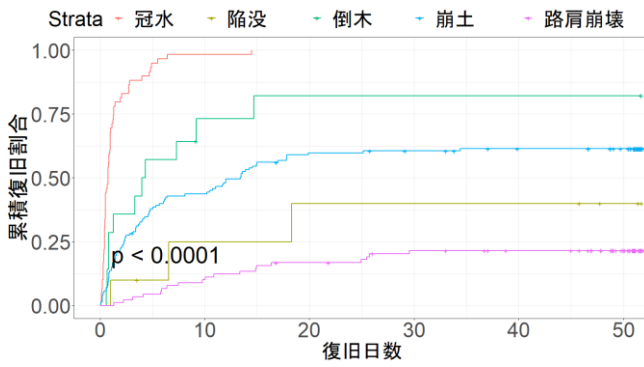


図 3. 岡山県の道路累積復旧割合(規制原因別)

d) 規制内容別の累積復旧割合

以下に規制内容別の累積復旧割合を図 4 に示す。ログランク検定の結果有意水準 5% で 2 群間の差がないという帰無仮説は棄却された。

全面通行禁止の状態は、片側通行禁止よりも健全ではないため、復旧時間が早く行われているということが示唆される。

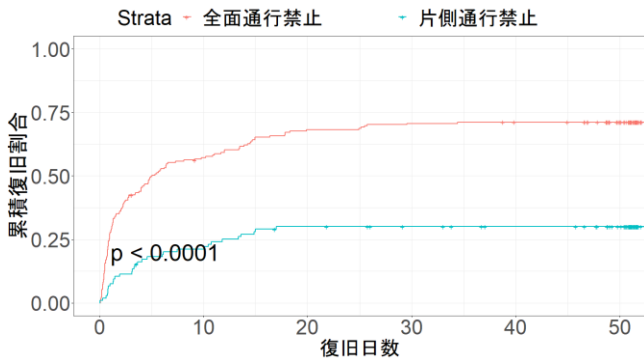


図 4. 岡山県の道路累積復旧割合(規制内容別)

(2) 広島県道路規制データの基礎的な分析

広島県から提供を受けた道路規制データのうち、先述の岡山県のデータを加見した以下の表に示すデータを分析の対象とした。

表 3. 岡山県道路規制データの概要

データ元	広島県
データ取得期間	2018/07/05 ~ 2018/08/27
サンプル数	421

データに含まれる変数については、岡山のものとは表記は違うもののほぼ同一のものを指すため、省略する。

a) 復旧期間の分布

上記で示したデータの復旧期間の分布を図 5 に示す。広島県のデータは岡山県とは異なり、未復旧の道路を含まないため、復旧日数が大きい。

また、岡山県のデータとの比較を行うため、道路規制が 7/5 以降に行われ、8/27 までに規制解除された道路についても図 6 に示す。このデータのサン

プル数は 319 である。以下より、岡山県で行った分析と同様の道路種別、規制種別の分析を行う。

また、この分布をみると、岡山県同様に二峰性が存在することがわかる。

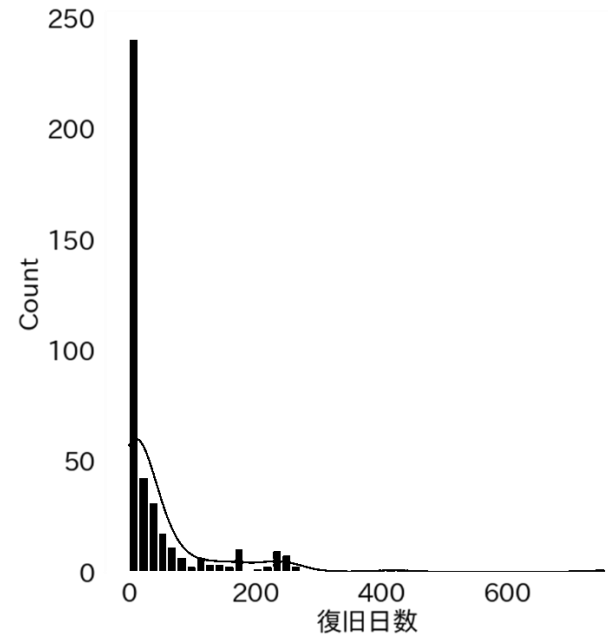


図 5. 広島県道路復旧日数の分布

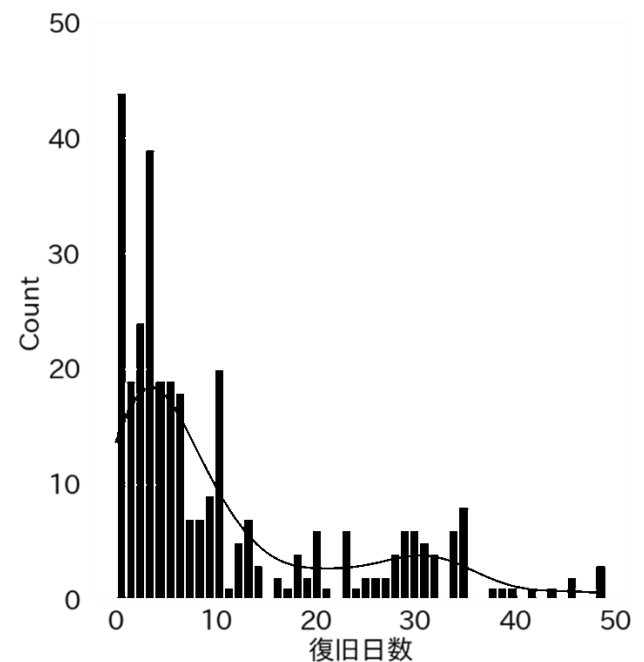


図 6. 広島県道路復旧日数の分布(岡山県データに対応させた期間)

b) 道路種別の累積復旧割合

以下に、広島県の道路規制データを用いた、道路種別の累積復旧割合を図 7 に示す。ログランク検定を行った結果、p 値は 0.048 を示し、有意水準 5% で道路種のグループ間において生存時間が異なるという帰無仮説は棄却された。

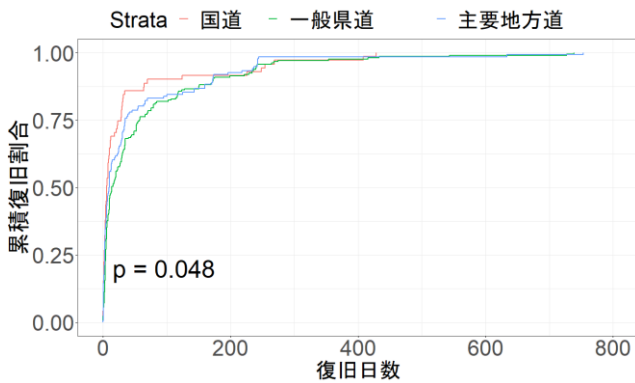


図 7. 広島県の道路累積復旧割合(道路種別)

c) 規制原因別の累積復旧割合

以下に、広島県の道路規制データを用いた、規制原因別の累積復旧割合を図 8 に示す。復旧が早く終わる順番は、おおむね冠水、倒木、崩土、陥没、路肩崩壊となった。ログランク検定を行った結果、p 値は有意水準 5 %で規制原因のグループ間で生存時間が同様であるという帰無仮説は棄却された。

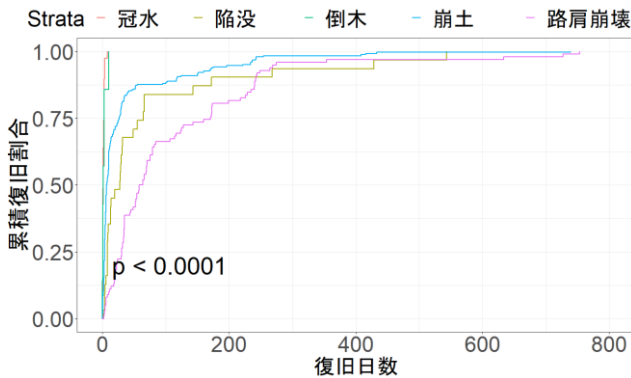


図 8. 広島県の道路累積復旧割合(規制原因別)

e) 規制内容別の累積復旧割合

以下に規制内容別の累積復旧割合を図 9 に示す。全面通行禁止のカテゴリの道路の方が片側通行禁止のカテゴリよりも復旧が早いことがわかる。ログランク検定の結果、p 値は有意水準 5 %で 2 群の間で生存時間が同様であるという帰無仮説は棄却された。

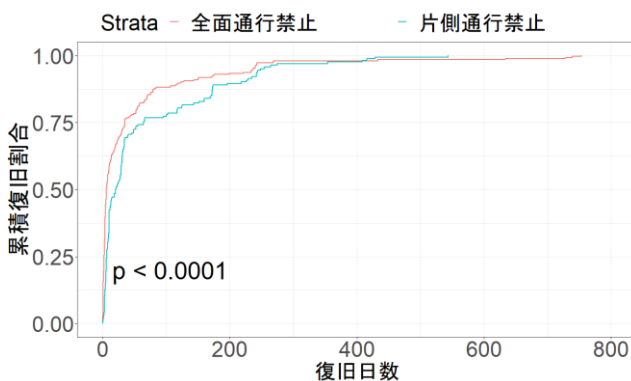


図 9. 広島県の道路累積復旧割合(規制原因別)

3. 道路復旧関数の推計

復旧関数の推計には、あるイベントがおきるまでの時間に焦点を当てたいため、医療などの分野でよく用いられる、生存時間解析の手法を用いる。生存時間を「道路の復旧期間」、死亡を「道路の復旧」と置き換えて適用する。生存時間解析の基本的な考え方は以下の通りである。生存時間を T とし、その確率分布を $g(t)$ とすると、 T が t 以下となる確率 $G(t)$ は、

$$G(t) = \Pr(T \leq t) = \int_0^t g(s) ds$$

t 以上となる確率 $S(t)$ (生存時間関数) は、

$$S(t) = \Pr(T \geq t) = 1 - G(t)$$

となり、時点 t まで生存していたという条件の下、次の瞬間死亡する確率 $\lambda(t)$ (ハザード関数) は、

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Pr(t \leq T \leq t + \Delta t \mid T \geq t)}{\Delta t} = \frac{g(t)}{S(t)}$$

と表される。本研究では、 $G(t)$ が復旧期間が t 以下となる確率 (時点 t における復旧確率)、 $S(t)$ が復旧期間が t 以上となる確率 (時点 t における停止確率)、そして $\lambda(t)$ が復旧期間が t まで続いた場合に、次の瞬間復旧する確率と解釈することができ、本研究で推計する復旧関数としては、 $G(t)$ が適している。

以上は時間の経過とともに道路が復旧する様子を表しているが、時間以外の要因の影響は含まれていない。そこで、本分析では、この $G(t)$ に被災道路にかかわる変数 X を導入し、共変量として反映した次に示す復旧関数を推計する。

$$G(t \mid X) = \Pr(T \leq t \mid X) = \Phi\left(\frac{\ln t - \beta X'}{\sigma}\right)$$

ここでは β は変数 X が道路復旧期間に与える影響の大きさを表すパラメータである。パラメータの推計には、最尤法を用いた。なお、前述したように X は表 2 で示した変数から成り、変数の選択に当たっては情報量基準を最小とする変数群 X' を選択する。

(1) 岡山県の道路規制データを用いた推計

まず、モデルに用いた変数を整理するために、基本統計量を以下の表 4 に示す。

表 4. 岡山県道路規制データ基本統計量

n = 179		
Variable	Mean(%)	Std.
規制原因		
冠水	33%	
陥没	2%	
倒木	6%	
崩土	47%	
路肩崩壊	11%	
規制内容		
全面通行禁止	81%	
片側通行禁止	19%	
規制延長(m)	1655	333

そして、以下の表にパラメトリックモデルによる生存時間解析の結果を示す。

表 5. 岡山県の道路復旧関数推定の結果

n = 197					
Variable	Value	Std..Error	z	p	
(Intercept)	-0.72	0.31	-2.34	0.02	**
規制原因					
冠水 (ref.)					
陥没	1.18	0.65	1.82	0.07	*
倒木	1.14	0.35	3.21	0.00	***
崩土	1.17	0.19	6.09	0.00	***
路肩崩壊	1.75	0.32	5.52	0.00	***
規制内容					
全面通行禁止 (ref.)					
片側通行禁止	0.30	0.24	1.25	0.21	
片側復旧	1.87	0.31	5.94	0.00	***
log(規制延長(m))	0.08	0.04	1.74	0.08	*
log(scale)	0.07	0.05	1.35	0.18	

規制原因と規制内容については離散的な変数であるため、それぞれ、冠水と全面通行禁止をリファレンス変数に用いて関数の推計を行った。規制延長については、連続変数であり、数が大きいものと小さいものがあつたため、対数をかけて正規化を行った。

また、復旧関数の推計は、復旧期間の予測のために行っているため、実績値が得られない打ち切りデータを含むものは除外した 197 サンプルを用いて、推計を行った。

次に簡便な予測性能の確認を行う。ここでは、復旧確率が 0.5 となる時の復旧期間（復旧期間の中央値）を予測値とし、観測データと比較した結果を図に示した。横軸が実績値、縦軸が復旧関数によ

て算出された予測値である。また、分析のために規制原因ごとに色分けを行った。図 10 から概ね傾向はとらえていることがわかる。今後はより統計的な予測精度の確認を行う。

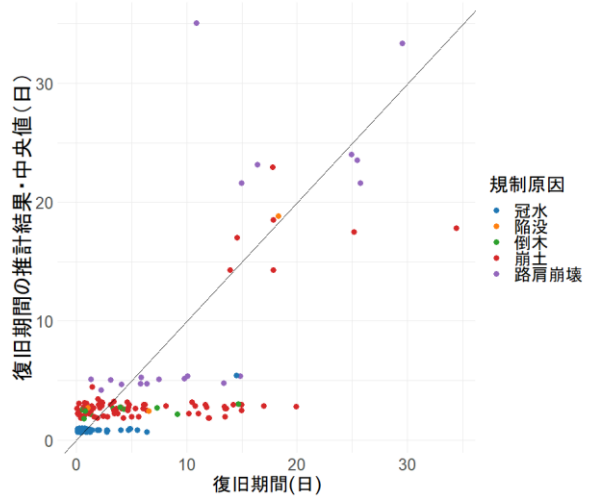


図 10. 岡山県の復旧日数の観測値と推計値との比較

(2) 広島県の道路規制データを用いた推計

広島県の復旧関数の推計に用いるデータは岡山県との比較のために、7/5 以降に規制が開始され、8/27 までに規制が解除された道路に絞って分析を行った。

まず、モデルに用いた変数を整理するために、基本統計量を以下の表に示す。

表 6. 広島県道路規制データ基本統計量

n = 315		
Variable	Mean(%)	Std.
規制原因		
冠水	12%	
陥没	7%	
倒木	2%	
崩土	66%	
路肩崩壊	12%	
規制内容		
全面通行禁止	63%	
片側通行禁止	37%	
規制延長(m)	1002	128

生存時間解析を岡山県同様に行った結果は以下の表 7、図 11 の通り。岡山県のデータよりも、推計値と実績値の乖離が大きいことが図から読み取れる。特に、路肩崩壊、崩土、陥没といった長期間復旧期間がかかるものが精度に起因していると考えられる。

表 7. 広島県の道路復旧関数推定の結果

n = 315				
Variable	Value	Std. Error	z	p
(Intercept)	-0.24	0.20	-1.21	0.23
規制原因				
冠水 (ref.)				
陥没	1.93	0.29	6.74	0.00 ***
倒木	0.13	0.43	0.31	0.76
崩土	1.40	0.19	7.47	0.00 ***
路肩崩壊	2.55	0.24	10.65	0.00 ***
規制内容				
全面通行禁止 (ref.)				
片側通行禁止	0.91	0.15	5.98	0.00 ***
道路種				
国道 (ref.)				
主要地方道	0.15	0.17	0.89	0.37
一般県道	0.50	0.16	3.04	0.00 ***
規制延長(m)	0.04	0.06	0.58	0.56
log(scale)	0.04	0.04	0.90	0.37

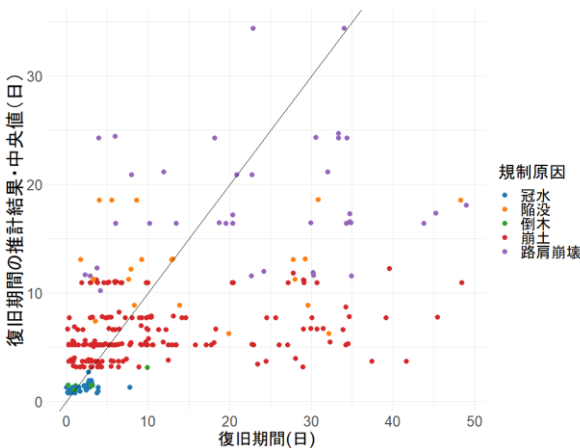


図 11. 広島県の復旧日数の観測値と推計値との比較

3. 岡山県と広島県の道路規制分析結果の考察

岡山県と広島県の道路復旧日数の分布をみると、分布の形状は二峰性があり類似性がある一方で、復旧日数の平均や分散に関しては異なっていることが分布図と基本統計量からも確認できる。さらに、規制延長に関しても、平均と分散が異なっていることが確認でき、規制原因についても割合が岡山県の場合が崩土、冠水が多く、広島県は 60%以上が崩土であることがわかる。ここから、道路被害の特性の違いがあることが示唆される。

それに伴って、生存時間解析の予測精度にも影響がでていることが考えられ、同様の規制原因であっても被害状況に差があると崩土などを多く含むため、精度悪化を引き起こしている可能性が存在する。

この問題は、被災量を規制原因というカテ

ゴリ変数で表現していることが精度悪化の原因として考えられるため、降水量などの被害状況の変数を導入することで緩和できることが考えられ、今後の課題である。

4. まとめ

本研究では今まで明らかでなかった、豪雨災害における国道、一般県道、主要地方道レベルの道路復旧日数と規制データの性質を以下のように示した。

- 道路種別
 - 岡山県：有意水準 5%で差があるとはいえない
 - 広島県：有意水準 5%で帰無仮説を棄却され、有意に差がある。国道、主要地方道、県道の順で復旧が早い
- 規制原因
 - 岡山県：有意水準 5%で帰無仮説が棄却され、有意に差がある。冠水、倒木、崩土、陥没、路肩崩壊の順で復旧が早い
 - 広島県：岡山県と同様
- 規制内容
 - 岡山県：有意水準 5%で帰無仮説が棄却され、有意に差がある。全面通行禁止の方が片側通行規制よりも早く復旧される。
 - 広島県：岡山県と同様

以上のように、規制原因、規制内容については岡山県と広島県で同様の性質が見られた。

また、復旧にかかる日数について着目すると、岡山県と広島県の被害状況が異なる性質をもつこと。豪雨災害における道路復旧日数の予測可能性を示した。今後は、より精度の高い予測にすために変数の追加や予測精度の評価方法について検討していく。

参考文献

- 1) 国土交通省 中国地方整備局, 平成 30 年 7 月豪雨～中国地方整備局 災害対応の記録～, 平成 30 年.
- 2) 力石 真, 浦田 淳司, 吉野 大介, 藤原 章正, “交通ネットワーク被災時の発生・集中・内々交通量及び旅行時間の変動特性,” 2019.
- 3) 五十嵐 翼, 丸山 喜久, “道路構造の影響を考慮した大規模地震後の高速道路の復旧時間予測モデル,” 2018.
- 4) 野本 篤史, 酒井 久和, 梶谷 義雄, “複数の地震災害記録の統計分析による道路盛土復旧予測モデルの構築,” 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 76, No. 4 (地震工学論文集第 39 巻), I_409-I_419, 2020.