

公益信託 NEXCO 関係会社高速道路防災対策等に関する支援基金
受託者 三菱UFJ 信託銀行株式会社 宛

研究概要書

研究課題：ベイズ推定を用いた災害即時の被害予測による応急対応タイムラインの実効性の向上

研究代表者：神戸大学都市安全研究センター 教授 飯塚 敦
共同研究者：神戸大学都市安全研究センター 講師 橘 伸也
共同研究者：神戸大学工学研究科市民工学専攻 准教授 竹山 智英

1. 研究の目的

地震発生時の対応において、「黄金の 72 時間」や「72 時間の壁」という言葉が示すように、発生直後からの対応の迅速性は、特に人命救助に対して、その効果を大きく左右する。行政や事業者は業務継続計画などにおいて、災害時の緊急対応の内容を発災直後から時系列に「タイムライン」として策定している。しかし、災害直後には、実際の被災規模が分からない。その情報は時間を追いながら逐次的に入手され、そのためにタイムラインに示した意思決定がなかなか迅速に行えない。本研究は、被災直後の逐次的な被災情報から、できるだけ早期に被災規模を正確に推定し、タイムラインの効果的な活用を実現できる手法を開発するものである。

2. 非線形回帰による死亡者数の予測

災害規模を表す指標として死亡者数を選んでいる。発災直後から、報道等による死亡者数の情報は、時間を経るに従って増加し、十分な経過時間後に収束する性質がある。タイムラインに示した意思決定を迅速に行うためには、この最終的な死亡者数を、できるだけ早期に、できれば発災後 72 時間以内に、予測する必要がある。死亡者数の時間経過に伴う増加はワイブル分布関

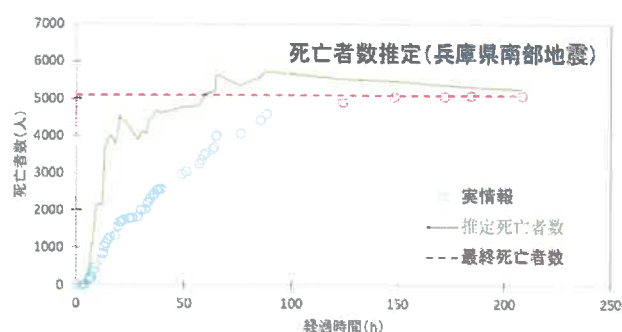


図-1 死亡者数推定結果の 1 例

数に良く従う¹⁾。ごく初期の死亡者数から、ベイズ推定を用いて、早期に、最終的な死亡者数を推定する手法の開発が行われている²⁾。過去に発生した地震災害事例を集め、最終的な死亡者数の推定を行ったところ、信頼できる精度で推定できる場合もあるが、災害規模の大きさの違いや発災地域・国の違いによって、うまく推定できない場合も生じた。図-1 に兵庫県南部地震（阪神淡路震災）に対しての適用事例を示す。死亡者数が 4000 名程度と報道されている時点（発災後約 75 時間）で、ほぼ信頼できる実際の死亡者数を予測できている例である。過去の研究では、ベイズ推定における初期値の設定を工夫することにより、出来るだけの早期に、最終的な死亡者数を信頼できる精度で推定する方法を検討したが、災害規模や発災場所の違い（地域差）によって、予測精度が大きく異なる課題が残されていた。そこで本研究では、ワイブル分布に加え、ロジスティック曲線、TANH 関数を取り上げ、発災場所などの違いに伴う予測精度の違いを調べることで、予測の信頼性向上に資する知見を得ることとした。表-1 に本研究で取り上げた過去の地震災害事例をまとめる。これらの事例に対して、ワイブル分布、ロジスティック曲線、TANH 関数を仮定してベイズ推定を行い、最終的に時間経過後に報告されている実際の死亡者数を 30%以内の誤差範囲で推定できた時間（hr）を表-2 にまとめる。地域の違いによって、適合する分布関数

が明瞭に分かれる結果となった。地盤やインフラ整備のレベルに近い地域別に推定を行うことによって、信頼できる精度での推定が可能であることを示唆している。なお、東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）に対しては、地震災害以上に津波による複合災害であって、極めて広域に被害が及んでいたため、最終的な死亡者数に至るまでの情報の更新時間が長期にわたっていたことなど、他の地震災害事例とは異なる特性を有していたため、信頼できる推定を行えなかった。

3. まとめ

本研究では、発災直後から逐次得られる死亡者情報の経時変化をワイブル分布、ロジスティック曲線、TANH 関数で近似し、情報の更新によって実際の死亡者数を早期に予測するベイズ推定手法の改善を行った。表-1 の内、②インドネシア地震を除く事例については、推定目標である 24 時間以内にほぼ信頼できる推定が可能であることが分かった。②インドネシア地震の事例では、死傷者数情報の更新があまりにも疎であったために、信頼できる推定には至らなかった。以上より、本提案手法の利用においては、死亡者数情報の経時変化をワイブル分布、ロジスティック曲線、TANH 関数の 3 つの分布関数で表現し、それぞれでベイズ推定による死亡者数予測を行い、同時に、地盤やインフラ整備のレベルに近い地域別の過去の推定結果を参照することにより、新たな地震災害に対する災害規模（死傷者数）を、信頼できる精度で推定できよう。しかし、今後は、南海トラフ地震など大規模な地震の発生が予想されるが、このような大規模広域複合災害に対しては未だ無力であって、その規模を発災後の早期に推定できるように改善が求められる。

表-1 過去の地震災害事例

番号	災害名	発生日	最新更新時間(h)	最終死亡者数(人)	更新回数	マグニチュード (Mw)
1	兵庫県南部地震	1995.1.17	208	5092	51	6.9
2	ジャワ島中部地震	2006.5.27	125	6234	13	6.3
3	ジャワ島南西部地震	2006.7.17	79	650	11	7.7
4	岩手宮城内陸地震	2008.6.14	157	12	9	6.9
5	サモア沖地震	2009.9.29	200	192	13	8.1
6	中国盈江地震	2011.3.10	11.5	25	6	5.4
7	東北地方太平洋沖地震	2011.3.11	975	14005	79	9.0
8	ミャンマー地震	2011.3.24	19	74	5	6.9
9	スペイン南部地震	2011.5.11	21.4	9	5	5.1
10	ネパール地震	2011.9.18	95.4	20	9	6.9
11	トルコ東部地震	2011.10.23	174.8	601	29	7.1
12	ネグロス島沖地震	2012.2.6	64.3	34	7	6.9
13	イタリア北部地震	2012.5.29	13.3	17	12	5.8
14	中国南西部地震	2012.6.24	24	4	4	5.7
15	中国地震	2012.9.7	56.8	81	10	5.7
16	イラン地震	2012.8.11	51	308	8	6.2
17	グアテマラ地震	2012.11.8	24.2	52	7	6.5
18	ミャンマー地震	2012.11.11	22.2	14	4	6.8
19	中国四川地震	2013.4.20	71.5	193	24	6.6
20	アフガニスタン地震	2013.4.24	28.8	27	6	5.2
21	インドネシア地震	2013.7.2	99.5	36	7	6.1
22	中国地震	2013.7.22	32.2	94	11	6.0
23	パキスタン地震	2013.9.24	73.8	515	9	6.8
24	パキスタン地震	2013.9.28	48.7	30	4	7.1
25	イキケ地震	2014.4.1	10.8	6	4	8.2

表-2 最終死亡者数の推定に要した時間(hr)

日本		ワイブル分布	ロジスティック曲線	TANH関数
①兵庫県南部地震(1995.1.17)		6	49	74
④岩手宮城内陸地震(2008.6.14)		157	52	7
中国		ワイブル分布	ロジスティック曲線	TANH関数
⑥中国盈江地震(2011.3.10)		3	4	4
⑭中国南西部地震(2012.6.24)		2	5.2	2
⑮中国地震(2012.9.7)		4.2	7.5	4.2
⑲中国四川地震(2013.4.20)		3	9.5	3.3
⑳中国地震(2013.7.22)		3.5	7.3	3.5
東南アジア		ワイブル分布	ロジスティック曲線	TANH関数
②ジャワ島中部地震(2006.5.27)		2	47	7
③ジャワ島南西部地震(2006.7.17)		7	48	79
⑧ミャンマー地震(2011.3.24)		19	19	推定不可
⑩ネパール地震(2011.9.18)		3.1	41.5	3.1
⑫ネグロス島地震(2012.2.6)		6.5	39	39
⑰ミャンマー北部地震(2012.11.11)		5.8	6.7	5.9
㉑インドネシア地震(2013.7.2)		47.5	8.3	3.5
その他アジア		ワイブル分布	ロジスティック曲線	TANH関数
⑪イラン地震(2012.8.11)		51	7.8	19.5
㉒アフガニスタン地震(2013.4.24)		3.1	4.5	3.1
㉓パキスタン地震(2013.9.24)		3.3	19	3.3
㉔パキスタン北東部地震(2012.5.29)		3.8	3.8	3.8
ヨーロッパ		ワイブル分布	ロジスティック曲線	TANH関数
⑨スペイン南部地震(2011.5.11)		8.3	2.7	7.7
⑬トルコ東部地震(2011.10.23)		15	41.5	15
⑱イタリア北部地震(2012.5.29)		1.8	2.8	1.8
北中米		ワイブル分布	ロジスティック曲線	TANH関数
⑤サモア沖地震(2009.9.29)		5	23	19
⑯グアテマラ地震(2012.11.8)		5.9	6.7	5.9
㉖イキケ地震(2014.4.1)		3.4	4.9	3.4

参考文献

- 1) 座間信作, 細川直史, 関沢愛: 兵庫県南部地震での自治体による死者数の把握状況に関する一考察, 消防研究所報告, No. 85, pp. 1-9, 1998
- 2) 小谷稔, 飯塚敦, 河井克之: ワイブル分布を用いた被災者数情報のベイズ推定, 土木学会論文集 F6(安全問題), Vol. 71, No1 pp. 46-57, 2015