



# ワイブル分布を用いた被災者数情報のベイズ推定

小谷, 稔  
飯塚, 敦  
河井, 克之

---

(Citation)

土木学会論文集F6 (安全問題) , 71(1):46-57

(Issue Date)

2015

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(Rights)

©2015 公益社団法人 土木学会

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90003372>



# ワイブル分布を用いた 被災者数情報のベイズ推定

小谷 稔<sup>1</sup>・飯塚 敦<sup>2</sup>・河井 克之<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 神戸大学大学院 工学研究科 博士課程後期課程 (〒657-8501神戸市灘区六甲台町1-1)  
E-mail: 111t121t@stu.kobe-u.ac.jp

<sup>2</sup>フェロー 神戸大学教授 都市安全研究センター (〒657-8501神戸市灘区六甲台町1-1)  
E-mail: iizuka@kobe-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 近畿大学准教授 近畿大学理学部・総合理工学研究科 (〒577-8502東大阪市小若江3-4-1)  
E-mail: kkawai@civileng.kindai.ac.jp

災害時の不確実な情報から、意思決定者は災害対応の決断をしなければならない。この決断を下す際に「対応の迅速性」と「情報の正確性」のどちらを優先するかといった意思決定者のジレンマが存在する。この優先度の違いによって、災害対応の結果は異なってくる。そこで本研究では、災害発生後の死亡者数の時間変化をワイブル分布で近似し、逐次得られる死亡者数から最終死亡者数を求めるベイズ推定モデルを構築した。過去の地震災害事例を用いた最終死亡者数を考察することにより、災害対応の決断を下す時間帯を見積もることができ、これは意思決定者のジレンマ軽減に資するものと考えられる。

**Key Words :** Weibull distribution, disaster information, uncertainty, decision-making

## 1. はじめに

近年多発する自然災害において、災害発生直後の緊急・応急対応を効率的かつ効果的に実施するためには、被害状況を迅速かつ正確に把握することが重要となる。しかし、災害発生後の初期段階における情報の入手は困難であり、入手した情報には不確実なものが含まれている。そのような災害発生後の初期段階における対応は、不確実な情報に基づく意思決定といえる。迅速な対応を優先すべきか、情報の正確性を優先して対応を待つべきか、といった意思決定者のジレンマが存在し、対応の結果として人命に大きくかわる判断となる。

### (1) 意思決定者のジレンマ

災害が発生した際に、早期から対応すること(迅速性の優先)により、多くの命が救われる可能性があるが、情報の不確実性から、対応を必要とする場所への対応不足や、対応を必要としない場所への無駄な対応(空振り)が存在する。また、得られる情報を吟味してから対応すること(情報の正確性の優先)により、被害に見合った対応は可能となるが、対応の遅れから、被害が拡大・波及してしまう場合も存在する。このように、どちらを優先するか

による災害対応の結果はトレードオフ関係にあり、意思決定者および被災者にとって大きな問題となる。

### (2) 既往の研究

災害発生直後の情報は錯綜しており、その信憑性が問題とされるが、被害状況は時間の経過とともに把握されていくため、その不確実性は軽減されていく。

既往研究における地震動と建物の倒壊を用いた地震被害推定モデル<sup>1),2)</sup>では、地震発生時の初期情報によって被害推定がなされ、リモートセンシング技術による地震被害推定モデル<sup>3)</sup>では、震度情報による被害推定を SAR 情報によって更新する。いずれの推定モデルも、ある時点の情報に基づいた被害推定であり、その被害推定は新たな情報を得るたびに繰り返し修正・更新はされない。そのため、災害発生初期段階における情報に基づく被害推定だけでは災害時の対応を決定する際に、対応の遅れや、空振りが生じてしまう。そこで、逐次得られる実際の情報を用いて被害推定を修正・更新することが必要だと考える。逐次得られる情報を利用した被害予測として、人的被害にかかわる建物の被害情報から被害状況を予測していく研究<sup>4)</sup>や、ライフラインのひとつである配電設備の被害情報から被害状況を予測していく研究<sup>5)</sup>がある。

が、災害時において逐次得られる人的被害情報を利用した被害状況の予測をおこなう研究事例は少ない。

### (3) 本研究の目的および位置づけ

災害発生直後では、人的被害となる負傷者や死亡者の人数を正確に把握することは困難であるが、時間経過に伴い被害状況を把握していくことで正確な人数をしだいに知ることが出来る。この人的被害情報において、負傷者数よりも死亡者数のほうが報道頻度や更新頻度が多いため、死亡者数が災害の規模を表わす指標になり得ると考える。迅速な対応と正確な情報が必要とされる災害発生初期段階において、経過時間に伴い増加していく死亡者数から、最終的な死亡者数(最終死亡者数)を予測できれば、災害時の緊急対応に大きく役立つものとする。

そこで本論文では、地震発生時に入手される死亡者数(情報入手時の合計死亡者数)から最終死亡者数を推定するために、時間に伴う死亡率比をワイブル分布で表現し、死亡者数を得るたびに最終死亡者数を逐次更新していく、ベイズ推定モデルを提案する。提案モデルによって、逐次得られる死亡者数から最終死亡者数を求められるようになり、死亡者数の経時変化を予測することが可能となる。これにより、災害対応の結果を左右する対応の迅速性と情報の正確性の優先度を考慮しなければならない、意思決定者のジレンマを軽減し得ると考える。

まず、過去の地震災害における死亡者数から、それらの死亡率比の経時変化をワイブル分布で再現できるかどうかを確認し、再現性について考察をする。次に、推定モデルの定式化を行い、求めたい最終死亡者数の更新及び推定方法を、兵庫県南部地震を例として示す。さらに、過去の地震災害事例から推定した最終死亡者数を考察することにより、災害対応を決定する時間帯を見積もる。

## 2. ワイブル分布を用いた死亡率比の再現性

災害時の情報は錯綜し不確実性を含んでいるため定式化が困難であるが、兵庫県南部地震での自治体が把握した死者数の時間変化をワイブル分布で近似した研究<sup>9)</sup>がある。そこで、この研究とは異なる方法で、災害時の死亡者数の時間変化を近似し、その再現性を確認する。

### (1) ワイブル分布について

地震災害事例における最終死亡者数を基準とし、災害発生後の経過時間  $t$  における死亡者数の比である死亡率比  $F(t)$  がワイブル分布関数<sup>7,8)</sup>に従うと仮定すると、この時の死亡率比は式(1)のようになる。式(1)におけるパラメータは  $m, \eta, \gamma$  ( $\gamma > 0, m > 0, \eta > 0$ ) の三つであり、 $m$  は形状パラメータ、 $\eta$  は尺度パラメータ、 $\gamma$  は位置パラメータ

といわれる。

$$F(t) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^m \right] \quad (1)$$

本研究では、災害が発生した時刻を基準( $t=0$ )とし、逐次得られる死亡者数情報を用いるため、時間軸の原点を移動する位置パラメータをゼロ( $\gamma=0$ )とし、パラメータを  $m, \eta$  の二つとして、 $\eta^m=a$  とおいた式(2)を用いるものとする。

$$F(t) = 1 - \exp \left[ - \frac{t^m}{a} \right] \quad (2)$$

### (2) 死亡率比の求め方

パラメータ  $m, a$  を求める方法として、ワイブル分布確率紙で用いられる方法を利用する。まず、式(2)を式(3)のように変形する。

$$1 - F(t) = \exp \left[ - \frac{t^m}{a} \right] \quad (3)$$

次に、式(3)の両辺の自然対数をとると式(4)のようになる。

$$\begin{aligned} \ln(1 - F(t)) &= - \frac{t^m}{a} \\ \ln \left( \frac{1}{1 - F(t)} \right) &= \frac{t^m}{a} \end{aligned} \quad (4)$$

再度、両辺の自然対数をとると式(5)のようになる。

$$\ln \left( \ln \left( \frac{1}{1 - F(t)} \right) \right) = m \times \ln(t) - \ln(a) \quad (5)$$

ここで、 $\ln \left( \ln \left( \frac{1}{1 - F(t)} \right) \right) = y, \ln(t) = x, -\ln(a) = g$  とお

くと、式(6)のような直線式となる。

$$y = m \times x + g \quad (6)$$

よって、時間  $t$  における死亡率比  $F(t)$  のデータをプロットし最小二乗法により、式(6)の傾き  $m$  と切片  $g$  を求める。求めた傾き  $m$  と切片  $g$  で式(2)を表わすと式(7)のようになる。

$$F(t) = 1 - \exp \left[ - \frac{t^m}{e^{-g}} \right] \quad (7)$$

### (3) 死亡率比の再現性

#### a) 再現性の確認

一例として兵庫県南部地震のデータ(災害発生後 208 時間に報告された死亡者数 5092 人を基準とした各時間の死亡率比)を用いて、式(6)の傾き  $m$  と切片  $g$  を最小二乗法で求める。兵庫県南部地震のデータをプロットし回

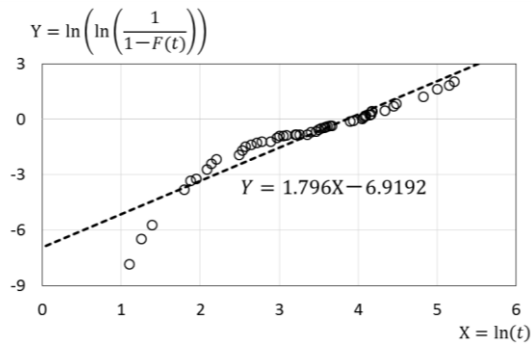


図-1 回帰直線によるワイブル分布のパラメータ導出

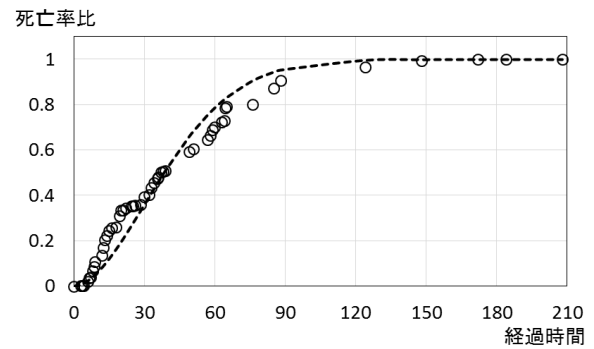


図-2 実際の死亡率比とワイブル分布

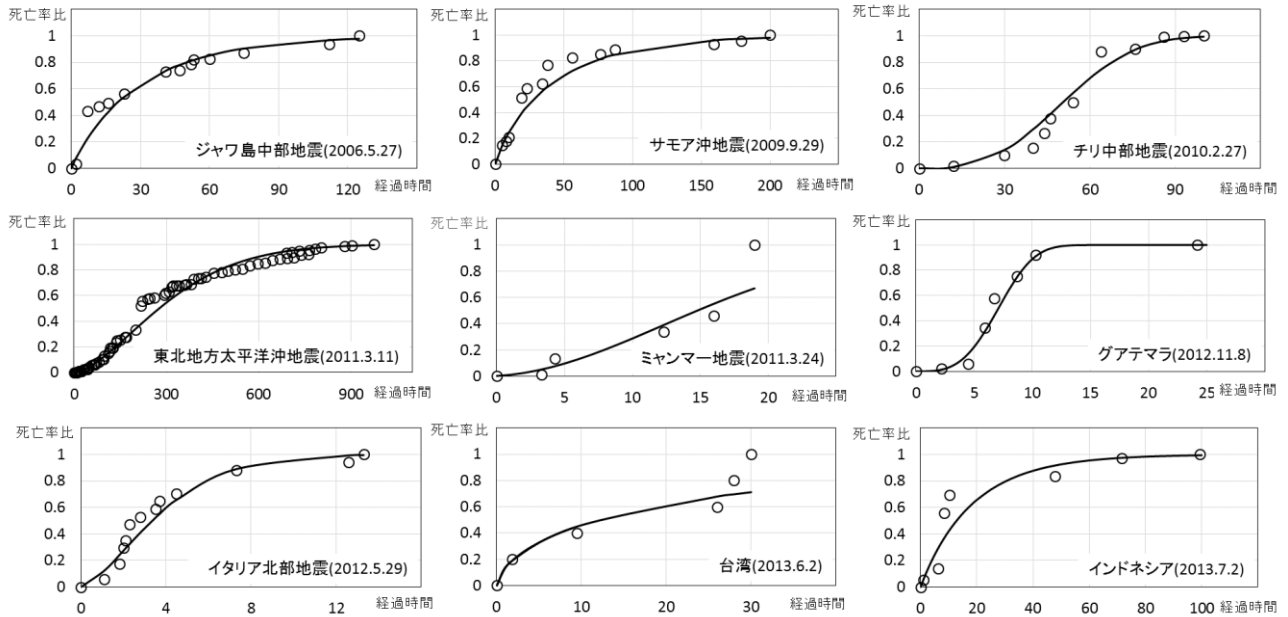


図-3 地震災害事例の死亡率比とワイブル分布の一例

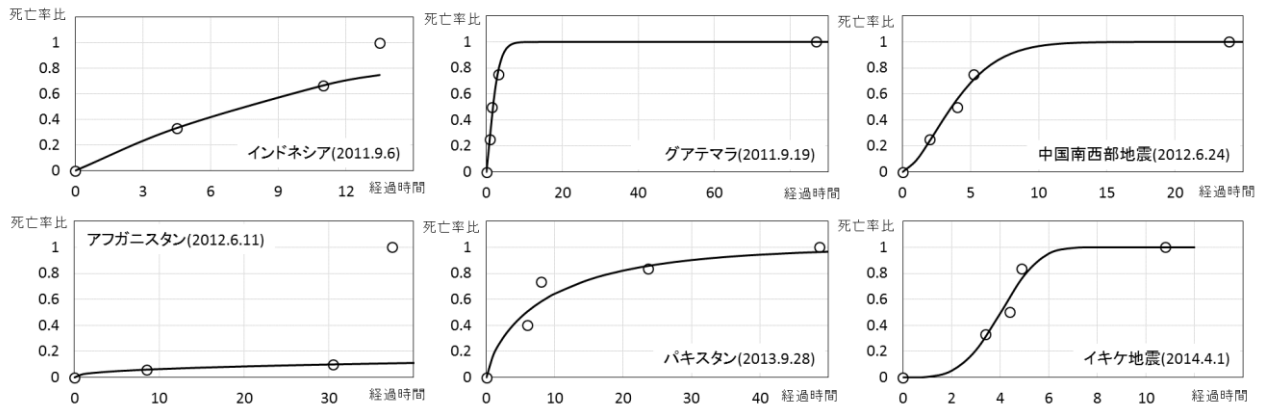


図-4 情報更新回数の少ない地震災害事例とワイブル分布

帰直線を求めると図-1 のようになり,  $m=1.796$ ,  $g=-6.9192$  となる. 求めたパラメータを用いたワイブル分布と実際の情報(経過時間と死亡率比)とを比較すると図-2 のようになる. 図-2において, 求めたパラメータで表わしたワイブル分布の形状とプロットした死亡率比が近似していることから, 兵庫県南部地震の経過時間に伴う死亡率比の推移をワイブル分布で再現可能だと考える.

次に, 他の地震災害においても経過時間に伴う死亡率

比をワイブル分布で再現できるかどうか確認する. そこで, 兵庫県南部地震を含む表-1 の 51 例<sup>(付録1)</sup>について災害発生後の経過時間と死亡者数の情報を調べる. これらの地震災害事例のうち, ワイブル分布のパラメータ( $m$ ,  $g$ )を求められたのは表-1 の 37 例(色付き)の事例であり, 情報更新回数が 3 回以上の地震災害事例である. その中から地震災害 9 例のワイブル分布の推移を表わすと図-3 のようになる.

表-1 過去の地震災害事例(付録1)

番号	災害名(発生年月日)	基準時間 (h)	基準 死亡者数	更新 回数	回帰直線 (ワイブル確率紙)	マグニチュード (Mw)	発生時間 (現地時刻)	震源距離 (km)
1	兵庫県南部地震(1995.1.17)	208	5092	51	$y = 1.796x - 6.9192$	6.9	5:46	16
2	新潟県中越地震(2004.10.23)	413	40	15	$y = 0.6858x - 2.6691$	6.6	17:56	13
3	ジャワ島中部地震(2006.5.27)	125	6234	13	$y = 0.9367x - 3.191$	6.3	5:53	10
4	ジャワ島南西沖地震(2006.7.17)	79	650	11	$y = 1.643x - 5.8727$	7.7	15:19	32
5	岩手宮城内陸地震(2008.6.14)	157	12	9	$y = 0.7057x - 2.3407$	6.9	8:43	8
6	ラウイラ地震(2009.4.6)	156	309	12	$y = 0.8971x - 3.2699$	6.3	3:32	8.8
7	サモア沖地震(2009.9.29)	200	192	13	$y = 0.8741x - 3.1605$	8.1	6:48	17.9
8	チリ中部地震(2010.2.27)	100	802	11	$y = 2.9176x - 11.815$	8.8	3:34	35
9	ニュージーランド地震(2011.2.22)	317	166	21	$y = 0.7371x - 2.8671$	6.1	12:51	5
10	盈江地震(2011.3.10)	11.5	25	6	$y = 1.3665x - 1.8506$	5.4	11:58	10
11	東北地方太平洋沖地震(2011.3.11)	975	14006	79	$y = 1.5715x - 9.2009$	9.0	14:46	24
12	ミャンマー地震(2011.3.24)	19	74	5	$y = 1.9783x - 5.8241$	6.9	20:25	8
13	スペイン南部地震(2011.5.11)	21.4	9	5	$y = 1.5037x - 2.2146$	5.1	18:47	2.5
14	トルコ西部地震(2011.5.19)	9	3	2		5.8	23:15	9.1
15	ニュージーランド地震(2011.6.13)	29.6	1	1		6.0	14:20	6
16	キルギス地震(2011.7.19)	16.4	14	1		6.2	1:35	17.8
17	インドネシア(2011.9.6)	13.5	3	3	$y = 1.1152x - 2.58$	6.6	12:55	110
18	インド北東部地震(2011.9.18)	95.4	20	9	$y = 1.2663x - 4.0836$	6.9	18:10	19.7
19	グアテマラ(2011.9.19)	86.9	4	4	$y = 1.2967x - 1.0631$	5.8	12:34	39.4
20	トルコ東部地震(2011.10.23)	174.8	601	29	$y = 1.0715x - 4.0711$	7.1	13:41	20
21	メキシコ南部(2011.12.10)	2.3	2	2		6.5	19:47	65
22	ネグロス島沖地震(2012.2.6)	64.3	34	7	$y = 0.9734x - 3.3895$	6.9	11:49	20
23	メキシコ南部地震(2012.3.20)	46.2	2	1		7.4	12:2	20
24	チリ(2012.3.25)	3.1	1	1		7.2	6:37	30
25	タジキスタン(2012.5.12)	10.5	3	2		5.7	4:28	4
26	イタリア北部地震(2012.5.29)	13.3	17	12	$y = 1.4869x - 2.1659$	5.8	9:00	9.6
27	アフガニスタン(2012.6.11)	37.5	50	3	$y = 0.4166x - 3.6742$	5.4	9:32	49
28	中国南西部地震(2012.6.24)	24	4	4	$y = 1.5688x - 2.3781$	5.7	15:59	11
29	中国(2012.9.7)	56.8	81	10	$y = 1.7617x - 3.6997$	5.7	11:19	10
30	イラン(2012.8.11)	51	308	8	$y = 1.8489x - 4.4338$	6.2	3:53	9.7
31	グアテマラ(2012.11.8)	24.2	52	7	$y = 3.3494x - 6.9257$	6.5	4:15	27
32	ミャンマー(2012.11.11)	22.2	13	5	$y = 1.5092x - 4.3128$	6.8	7:42	9.9
33	ソロモン諸島沖地震(2013.2.6)	96	13	5	$y = 0.5514x - 1.6667$	8.0	12:12	28.7
34	イラン(2013.4.9)	53.1	40	7	$y = 0.7693x - 1.9299$	6.3	16:22	12
35	イラン(2013.4.16)	47.5	36	6	$y = 0.978x - 2.5043$	7.8	6:53	82
36	四川地震(2013.4.20)	71.5	193	24	$y = 1.4542x - 3.7458$	6.6	8:02	19
37	アフガニスタン(2013.4.24)	28.6	27	6	$y = 2.8759x - 4.4125$	5.2	6:10	15
38	インド(2013.5.1)	7.7	2	2		5.6	12:27	40
39	イラン(2013.5.11)	9	2	2		6.2	6:38	30
40	台湾(2013.6.2)	30	5	5	$y = 0.6343x - 1.941$	6.2	13:43	20
41	インドネシア(2013.7.2)	99.5	36	7	$y = 0.9687x - 2.8332$	6.1	14:37	10
42	中国(2013.7.22)	32.2	94	11	$y = 2.5943x - 5.4084$	6.0	7:45	10
43	パキスタン(2013.9.24)	73.8	515	9	$y = 0.9909x - 3.4806$	7.7	16:29	20
44	パキスタン(2013.9.28)	48.7	30	4	$y = 0.7391x - 1.6702$	6.8	12:34	12
45	パキスタン(2013.10.15)	83	183	11	$y = 0.4363x - 0.7688$	7.1	8:12	24
46	イラン(2013.11.28)	4	7	2		5.6	17:21	10
47	イキケ地震(2014.4.1)	10.8	6	4	$y = 3.7024x - 5.5288$	8.2	20:46	10
48	ニカラグア(2014.4.11)	8.5	1	1		6.6	14:29	10
49	パプアニューギニア(2014.4.11)	5.5	1	1		7.3	7:23	54
50	パキスタン(2014.5.8)	7.1	2	1		4.7	4:50	10
51	インド(2014.5.21)	3.1	1	1		6.0	21:51	32

## b) 再現性の考察

図-3 で一例として示した地震災害以外に、情報更新の回数が少ない地震災害 6 例についてもワイブル分布の推移を考察する。図-4 におけるアフガニスタン(2012.6.11)の死亡率比の時間変化を見ると、2 回目の情報(30.5 時間後に 5 人)から 3 回目の情報(37.5 時間後に 50 人)への推移を反映できていない。これは、ワイブル分布のパラメータを求める際に、死亡率比が 1 となる最終情報を用い

ないためであり、得られるパラメータは最終情報以外を反映したものとなるからである。また、図-3 において情報更新が 5 回であるミャンマー(2011.3.24)では、4 回目の情報(16 時間後に 34 人)から 5 回目(19 時間に 74 人)への変化、台湾(2013.6.2)では 3 回目の情報(26 時間後に 3 人)から 4 回目(28 時間後に 4 人)、5 回目(30 時間後に 5 人)への変化に差が生じている。

以上のことから、地震災害 51 例の内、情報の更新回数

が3回以上である37例(表-1の色付き)についてはワイブル分布のパラメータを求めることができたが、死亡者数を把握する終盤において死亡者数が急増する地震災害事例では、ワイブル分布による死亡率比の時間変化に差が生じる可能性があるといえる。

また、地震災害による被害は、地震動、災害発生時間や国・地域特性(人口密度、地盤、住宅の耐震性等)によって異なるため、それぞれの地震災害において人的被害者数の数は異なる。そのため、図-3や図-4における死亡率比の時間変化のワイブル分布形状は各事例によって異なったものとなる。それぞれの地震災害において、死亡者数の状況把握速度、救助や救命活動の速度等による差とも考えられるが、死亡者数の状況把握速度等が同程度な場合、図-3や図-4における死亡率比の時間変化のワイブル分布形状は似た形状になると考えられる。

災害の被害推定の重要性は、その被害が甚大なほど増すものと考えられる。海溝型地震による東北地方太平洋沖地震で亡くなられた方のほとんどの死亡要因は、津波災害による水死(溺死)であり、その人数はあまりにも多く捜索に長期間を要し、近年生じた地震(津波)災害の中でもその被害規模は大きい。そのため、本研究で参考とする地震災害でも複合災害で被害の大きい東北地方太平洋沖地震を除いた事例を対象とし、最終死亡者数の推定を行い考察する。

### 3. 死亡率比のベイズ更新の定式化

ベイズ更新の定式化にあたり、松原<sup>9)</sup>、涌井<sup>10),11)</sup>の書籍を引用して、ワイブル分布のパラメータ( $m, g$ )を求める推定モデルを考える。まず、ベイズの確率で用いる尤度(観測データを得た際のパラメータの確率分布の尤もらしさ)、事前分布(観測データを得る前のパラメータの確率分布)、事後分布(尤度と事前分布によって、更新されたパラメータの確率分布)を以下のように設定する。

#### (1) 尤度の定式化

式(6)の誤差 $\varepsilon$ を式(8)のように組み込む。

$$y = m \times x + g + \varepsilon \quad (8)$$

ここで誤差 $\varepsilon$ が、平均値0、分散 $\sigma^2$ の正規分布に従うものと仮定する。よって  $\varepsilon = y - m \times x - g$  は式(9)のような正規分布に従うことになる。

$$f(x, y | m, g, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{(y - g - mx)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (9)$$

パラメータは  $m, g$  と  $\sigma$  であるが、簡易化のために誤差分散( $\sigma^2=100$ )を既知とし、パラメータを  $m, g$  の二つとする。そのため、 $n$  個のデータ(実際の死亡者数)から成り立

つ資料(標本)の尤度  $L(x, y | m, g)$  は式(10)のように表わされる。

$$\begin{aligned} L(x, y | m, g) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{\left(-\frac{(y_1 - g - mx_1)^2}{2\sigma^2}\right)} \times \dots \times \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{\left(-\frac{(y_n - g - mx_n)^2}{2\sigma^2}\right)} \\ &= \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}}\right)^n e^{\left(-\frac{(y_1 - g - mx_1)^2}{2\sigma^2} - \dots - \frac{(y_n - g - mx_n)^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (10) \end{aligned}$$

行列を用いて表わすと、式(10)は式(11)のようになる。 $t$  は転置行列を表わす。

$$\begin{aligned} L(x, y | m, g) &= e^{\left(-\frac{1}{2\sigma^2} (Y - X\beta)^T (Y - X\beta)\right)} \\ Y &= \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix}, X = \begin{pmatrix} 1 & x_1 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & x_n \end{pmatrix}, \beta = \begin{pmatrix} g \\ m \end{pmatrix} \quad (11) \end{aligned}$$

#### (2) 事前分布の設定

##### a) 事前分布の定式化

パラメータ  $m, g$  の事前分布  $\pi(m, g)$  が正規分布に従うと仮定すると、平均値  $\mu_{m0}, \mu_{g0}$  及び分散  $\sigma_{m0}^2, \sigma_{g0}^2$  となる式(12)となる。

$$\pi(m, g) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{\left(-\frac{(m - \mu_{m0})^2}{2\sigma_{m0}^2}\right)} \times \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{\left(-\frac{(g - \mu_{g0})^2}{2\sigma_{g0}^2}\right)} \quad (12)$$

行列を用いて表わすと、式(12)は式(13)のようになる。 $t$  は転置行列を表わす。

$$\begin{aligned} \pi(m, g) &\propto e^{\left(-\frac{1}{2} (\beta - \mu_0)^T \Sigma_0^{-1} (\beta - \mu_0)\right)} \\ \beta &= \begin{pmatrix} g \\ m \end{pmatrix}, \mu_0 = \begin{pmatrix} \mu_{g0} \\ \mu_{m0} \end{pmatrix}, \Sigma_0 = \begin{pmatrix} \sigma_{g0}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{m0}^2 \end{pmatrix} \quad (13) \end{aligned}$$

##### b) 事前分布パラメータの設定

図-3 をみると地震災害によってワイブル分布の形状は異なる。そこで、ワイブル分布で再現可能な地震災害のワイブル分布の形状(図-5 灰色線)から、経過時間と死亡率比を考慮した事前分布のパラメータ  $m, g$  を設定する(図-5 黒線)。また、パラメータ  $m, g$  の分散を既知とすることで、式(13)を(14)のように置きなおす。この際、仮定した誤差分散( $\sigma^2=100$ )よりも  $m, g$  の分散を小さく設定し、死亡者数の把握速度の差異として時間軸の伸縮に関係する尺度パラメータ  $g$  の分散を形状パラメータ  $m$  の分散よりも大きく設定する。

$$\beta = \begin{pmatrix} g \\ m \end{pmatrix}, \mu_0 = \begin{pmatrix} g \\ m \end{pmatrix}, \Sigma_0 = \begin{pmatrix} 8 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (14)$$

#### (3) 事後分布の定式化

ベイズ推定の基本公式を用いると、事後分布  $\pi(m, g | x, y)$

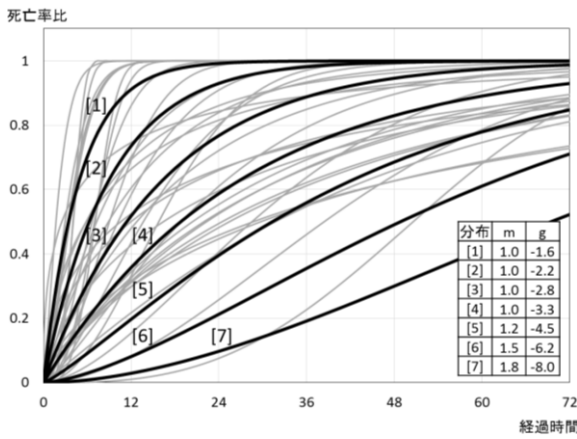


図-5 事前分布の分類

は式(15)のように表わされる.

$$\pi(m, g | x, y) \propto L(x, y | m, g) \times \pi(m, g) \propto e^{\left(-\frac{1}{2\sigma^2} t^T (Y - X\beta)(Y - X\beta)\right)} \times e^{\left(-\frac{1}{2} (\beta - \mu_0)^T \Sigma_0^{-1} (\beta - \mu_0)\right)} \quad (15)$$

式(15)を変形し整理すると, 式(16)のようになる.

$$\pi(m, g | x, y) \propto e^{\left(-\frac{1}{2} t^T (\beta - \mu_1)^T \Sigma_1^{-1} (\beta - \mu_1)\right)} \quad (16)$$

$$\beta = \begin{pmatrix} g \\ m \end{pmatrix}, \mu_0 = \begin{pmatrix} \mu_{g1} \\ \mu_{m1} \end{pmatrix}, \Sigma_1 = \begin{pmatrix} \sigma_{g1}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{m1}^2 \end{pmatrix}$$

#### 4. ベイズ更新手順

地震災害の最終報告時間を  $T$  とし, その時間における最終死亡者数を  $B_T$  とする. ワイブル分布における死亡率比は, 地震災害の最終報告時間  $T$  での最終死亡者数  $B_T$  を基準とした発災後の経過時間  $t$  の死亡者数  $b_t$  の比を表わす. 情報更新回数  $i$  回目の経過時間  $t_i$  における実際の死亡者数を  $b_i$  とすると, 死亡率比  $F(t_i)$  は式(17)のようになる.

$$F(t_i) = b_i / B_T \quad (17)$$

式(17)から式(18)のように最終死亡者数  $B_T$  を求められる.

$$B_T = b_i / F(t_i) \quad (18)$$

これを利用してベイズ更新を行う. 情報更新回数 1 回目の経過時間  $t_1$  における実際の死亡者数  $b_1$  を入手することで, 設定した事前分布  $j$  ([1]~[7]) のパラメータ  $(m_0, g_0)$  と式(7), (18)から最終死亡者数  $jB_1$  を得る. 次に,  $jB_1$  と  $b_1$  から死亡率比  $jF(t_1) = b_1 / jB_1$  を導き, 式(11), (13), (15)を用いることにより, 設定した事前分布の分類ごとにパラメータが更新される. 同様に, 情報更新回数 2 回目の経過時間  $t_2$  における実際の死亡者数  $b_2$  を入手することで, 更新したパラメータ  $(m_1, g_1)$  ごとに式(7), (18)から最終死亡者数  $jB_2$  を得る. 次に,  $jB_2$  と  $b_1, b_2$  から死亡率  $jF(t_1) = b_1 / jB_2, jF(t_2) = b_2 / jB_2$  を導き, 式(11), (13), (15)を用い

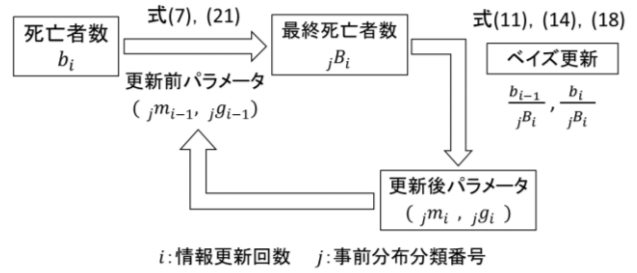


図-6 ベイズ更新手順

ることにより分布分類ごとにパラメータが更新される. 以上のような手順を情報更新のたびに繰り返す(図-6 参照).

#### 5. ベイズ更新結果

##### (1) ケーススタディ

兵庫県南部地震のデータを用い, 事前分布[5]の場合における最終死亡者数の推定結果を以下に示す. 情報の更新によって変化していくパラメータ  $m, g$  の正規分布の推移を図-7 に表わすと, 情報更新に伴い正規分布の凸が高くなっていくことが分かる. 更新されたパラメータによってワイブル分布による死亡率比の推移は図-8 のように右へ遷移してく. また, 逐次入手した死亡者数とその死亡者数をもとに逐次推定した最終死亡者数(推定値)の推移は図-9 のようになる. 図-9 において最終報告の死亡者数(真値)から  $\pm 30\%$  となる範囲を示すと, 経過時間 8.5 時間(更新回数 8 回目)での推定値からその範囲内に入り, 経過時間があまりたっていない時間帯において, 真値に対し  $\pm 30\%$  となる範囲内となる推定値を得ている. 情報更新を繰り返すと, 推定値は真値に収束していく. 推定最終死亡者数を得ることで, 死亡者数がどのように増加するのかを知ることが出来る. 情報更新回数における推定最終死亡者数が 1 回目 49 人, 2 回目 164 人, 5 回目 2223 人, 7 回目 3392 人, 9 回目 5034 人, 14 回目 6696 人, 20 回目 6430 人, 25 回目 5437 人の場合において増加する死亡者数の経時変化は図-10 のようになる.

##### (2) 全ての事前分布による推定値の考察

兵庫県南部地震において, 設定したすべての事前分布における最終死亡者数の推移は図-11 のようになり, いずれの事前分布においても最終時間の死亡者数に収束していく. 新潟県中越地震(2004.10.23)においても, 設定したすべての事前分布における最終死亡者数の推移は図-12 のようになり, いずれの事前分布においても最終時間の死亡者数に収束していく. また, 最終報告の死亡者数から  $\pm 30\%$  範囲内の値を推定する情報更新回数と災害発生からの経過時間を表-2, 表-3 に示す. このように表-1



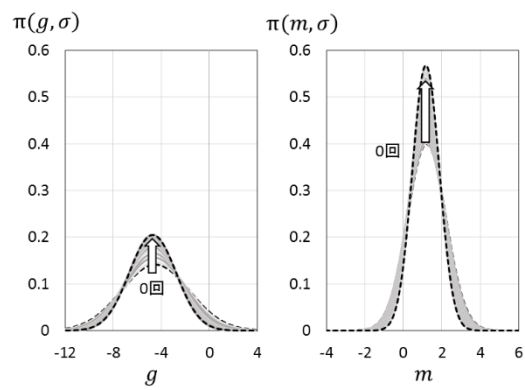


図-7 パラメータ  $m$ ,  $g$  の正規分布

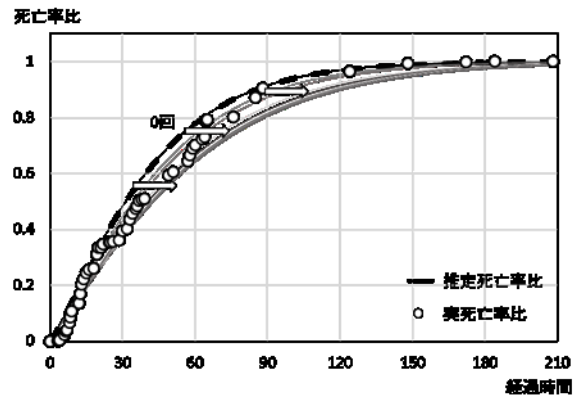


図-8 ワイブル分布による死亡率比の推移

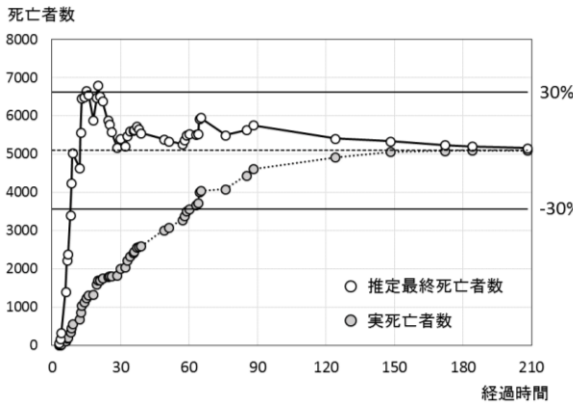


図-9 実死亡者数と推定最終死亡者数の推移

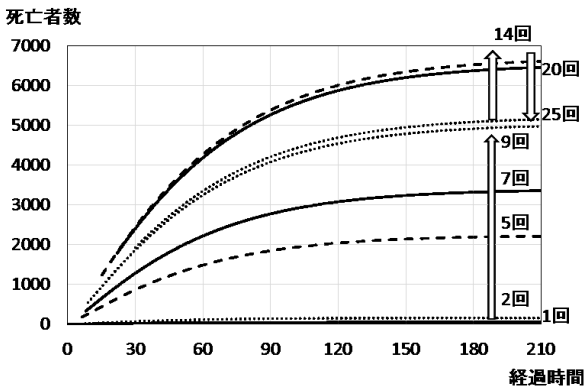


図-10 情報更新により得られた推定最終死亡者数に基づく死亡者数の経時変化

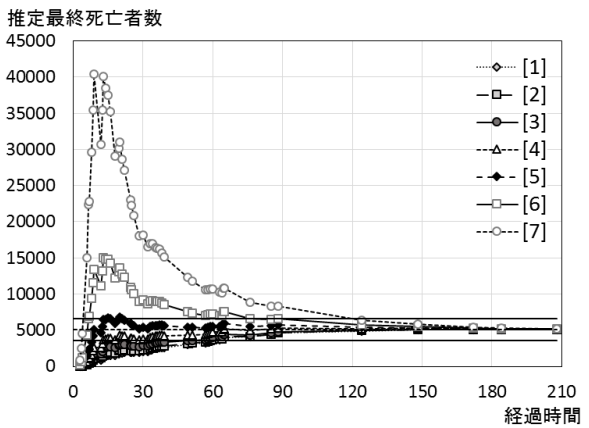


図-11 事前分布ごとの推定最終死亡者数の推移

表-2 最終死亡者数との誤差が3割内となる推定値の時間と更新回数

分布分類	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
経過時間(h)	60	59	51	13	8.5	6	4
更新回数	39	38	35	12	8	4	3

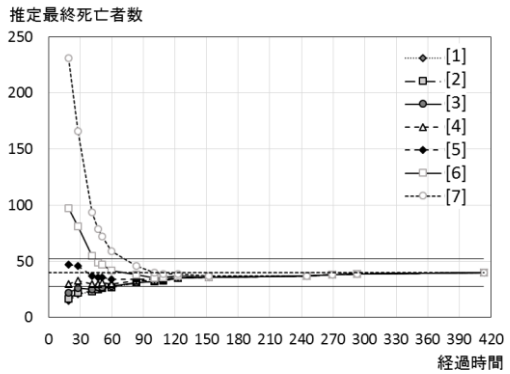


図-12 事前分布ごとの推定最終死亡者数の推移

表-3 最終死亡者数との誤差が3割内となる推定値の時間と更新回数

分布分類	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
経過時間(h)	83.5	83.5	60	19	19	47	83.5
更新回数	7	7	6	1	1	4	7

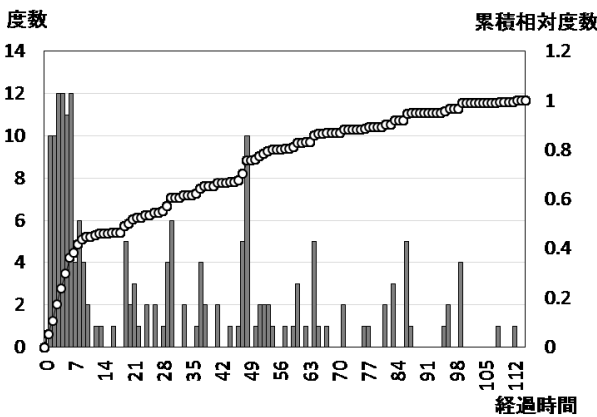


図-13 最終死亡者数との誤差が3割内となる推定値を得る更新時間のヒストグラム(全ての分布)



表-4 各災害における最終死亡者数との誤差が3割内となる事前分布別の推定値の経過時間と更新回数

地震災害事例	事前分布分類													
	[1]		[2]		[3]		[4]		[5]		[6]		[7]	
	経過時間(h)	更新回数	経過時間(h)	更新回数	経過時間(h)	更新回数	経過時間(h)	更新回数	経過時間(h)	更新回数	経過時間(h)	更新回数	経過時間(h)	更新回数
兵庫県南部地震(1)	60	39	59	38	51	35	13	12	8.5	8	6	4	4	3
新潟県中越地震(2)	83.5	7	83.5	7	60	6	19	1	19	1	47	4	83.5	7
ジャワ島中部地震(3)	41	6	7	2	7	2	16	4	41	6	60	10	112	12
ジャワ島南西沖地震(4)	48	9	48	9	48	9	22	7	8	2	×	×	×	×
岩手宮城内陸地震(5)	30.5	6	2	1	6	2	6	2	30	5	52	7	108	8
ラクイラ地震(6)	47	4	47	4	6	1	6	1	21	2	64	5	81	7
サモア沖地震(7)	38	7	38	7	19	4	5	1	10	3	76.5	9	87	10
チリ中部地震(8)	64	7	64	7	64	7	64	7	54	6	46	5	44	4
ニュージーランド地震(9)	99	11	99	11	99	11	4.3	1	24	3	48.5	4	65.5	7
盈江地震(10)	3	1	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
東北地方太平洋沖地震(11)	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
ミャンマー地震(12)	19	5	19	5	12.3	3	4.3	2	×	×	3.3	1	×	×
スペイン南部地震(13)	2.7	2	21.4	5	2.5	1	2.5	1	×	×	×	×	×	×
インドネシア(17)	4.5	1	4.5	1	4.5	1	×	×	×	×	×	×	×	×
インド北東部地震(18)	33.5	7	33.5	7	5.5	4	3.1	2	2.1	1	95.4	9	×	×
グアテマラ(19)	1	1	86.9	4	86.9	4	86.9	4	86.9	4	86.9	4	×	×
トルコ東部地震(20)	48	14	48	14	48	14	5.1	4	2.9	1	57.4	15	77	17
ネグロス島沖地震(22)	48	6	48	6	8.5	3	1	1	21	4	×	×	×	×
イタリア北部地震(26)	2	3	1.8	2	1.1	1	×	×	×	×	×	×	×	×
アフガニスタン(27)	37.5	3	37.5	3	37.5	3	37.5	3	×	×	8.5	1	×	×
中国南西部地震(28)	2	1	2	1	24	4	×	×	×	×	×	×	×	×
中国(29)	5.2	5	4.9	4	1.5	1	3.5	2	×	×	×	×	×	×
イラン(30)	7.6	5	6.8	4	6.2	2	51	8	×	×	×	×	×	×
グアテマラ(31)	6.7	4	5.9	3	5.9	3	×	×	4.5	2	×	×	×	×
ミャンマー(32)	20.2	4	20.2	4	7.5	2	6.3	1	×	×	×	×	×	×
ソロモン諸島沖地震(33)	30.6	3	5.2	1	9.3	2	30.6	3	36.7	4	96	5	96	5
イラン(34)	1.6	2	1.5	1	30.1	4	30.1	4	53.1	7	×	×	×	×
イラン(35)	29.6	3	4.3	2	4	1	29.6	3	×	×	×	×	×	×
四川地震(36)	9.5	14	4.3	6	3.3	3	52.1	22	71.5	24	×	×	×	×
アフガニスタン(37)	4.1	3	3.1	1	28.6	6	×	×	×	×	×	×	×	×
台湾(40)	1.8	1	1.8	1	9.5	2	9.5	2	26	3	×	×	×	×
インドネシア(41)	10.2	4	8.3	3	1.1	1	47.8	5	47.8	5	71.5	6	99.5	7
中国(42)	5.4	5	5.4	5	3.9	3	3.5	2	2.9	1	×	×	×	×
パキスタン(43)	67.1	9	26.6	7	5.6	4	3.3	2	5	3	50.6	8	×	×
パキスタン(44)	8	2	6	1	6	1	48.7	4	×	×	×	×	×	×
パキスタン(45)	3.8	1	6.1	2	29	5	29	5	53.3	8	62.1	9	81.8	10
イキケ地震(47)	3.4	1	3.4	1	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

表-5 各災害の推定値の推移を表わす適切な事前分布と最終死亡者数との誤差が3割内となる経過時間と更新回数

地震災害事例	事前分布分類	経過時間(h)	更新回数	地震災害事例	事前分布分類	経過時間(h)	更新回数	地震災害事例	事前分布分類	経過時間(h)	更新回数
兵庫県南部地震(1)	[5]	8.5	8	インドネシア(17)	[2]	4.5	1	ソロモン諸島沖地震(33)	[3]	9.3	2
新潟県中越地震(2)	[5]	19	1	インド北東部地震(18)	[4]	3.1	2	イラン(34)	[1]	1.6	2
ジャワ島中部地震(3)	[3]	7	2	グアテマラ(19)	[1]	1	1	イラン(35)	[2]	4.3	2
ジャワ島南西沖地震(4)	[5]	8	2	トルコ東部地震(20)	[5]	2.9	1	四川地震(36)	[2]	4.3	6
岩手宮城内陸地震(5)	[3]	6	2	ネグロス島沖地震(22)	[4]	1	1	アフガニスタン(37)	[1]	4.1	3
ラクイラ地震(6)	[4]	6	1	イタリア北部地震(26)	[1]	2	3	台湾(40)	[2]	1.8	1
サモア沖地震(7)	[4]	5	1	アフガニスタン(27)	なし			インドネシア(41)	[2]	8.3	3
チリ中部地震(8)	[5]	54	6	中国南西部地震(28)	[1]	2	1	中国(42)	[1]	5.4	5
ニュージーランド地震(9)	[5]	24	3	中国(29)	[1]	5.2	5	パキスタン(43)	[3]	5.6	4
盈江地震(10)	[1]	3	1	イラン(30)	[2]	6.8	4	パキスタン(44)	[2]	6	1
ミャンマー地震(12)	[4]	4.3	2	グアテマラ(31)	[1]	6.7	4	パキスタン(45)	[1]	3.8	1
スペイン南部地震(13)	[1]	2.7	2	ミャンマー(32)	[3]	7.5	2	イキケ地震(47)	[1]	3.4	1

における災害事例において、ワイブル分布の回帰曲線で表わせられた37例(色付き)のうち、東北地方太平洋沖地震(2011.3.11)およびアフガニスタン(2012.6.11)を除いた各地震災害の事前分布の最終死亡者数が最終報告の死亡者数から $\pm 30\%$ 範囲内の値となる情報更新回数と災害発生からの経過時間を求めてまとめると、表-4のようになる。表中の×は推定最終死亡者数が最終報告の死亡者数から $\pm 30\%$ 範囲内の推定値を得られなかったことを表わす。これをもとに、災害発生後の経過時間を1時間ごとに区切り、その時間内(階級ごと)に推定最終死亡者数が最終報告の死亡者数から $\pm 30\%$ 範囲内となった個数を求めてヒストグラムを描くと図-13のようになる。図-13から、時間が $3 \leq t < 4$ ,  $4 \leq t < 5$ ,  $6 \leq t < 7$ でそれぞれ12個、次いで $5 \leq t < 6$ で11個となり、12時間の累積該当個数

は全体の4.5割、24時間で5.3割となる。早期対応を鑑み、意思決定において、災害発生後3~12時間を判断の時間帯とみなし、この時間帯に得られる推定値を災害対応時の判断材料として用いることができると考える。

### (3) 各地震災害に適した事前分布による推定値の考察

初めて最終死亡者数の $\pm 30\%$ 範囲内の値を推定する時間が早くても、事前分布によって得られる推定値は異なる。このため、設定した事前分布による最終死亡者数の中には最終報告の死亡者数に近似した値を表現できる事前分布とそうでない事前分布があることがわかる。

兵庫県南部地震の推定値の推移(図-11)から、最終死亡者数を更新によってうまく表現できているのは事前分布が[5]のものであるといえる。同様に、新潟県中越地震

(2004.10.23)の最終死亡者数を適切に表現できている事前分布は、更新時間が同じであっても更新していく推定値の推移から、事前分布が[5]のものであるといえる。このように、更新される推定値の推移を考慮して各地震災害に適した事前分布と最終死亡者数の $\pm 30\%$ 範囲内の値を初めて推定する情報更新回数と経過時間をまとめると表-5 のようになる。これをもとに、災害発生後の経過時間を1時間ごとに区切り、その時間内(階級ごと)に推定最終死亡者数が最終報告の死亡者数から $\pm 30\%$ 範囲内となった個数を求めてヒストグラムを描くと図-14 のようになる。図-14 から、時間が $4 \leq t < 5$ と $6 \leq t < 7$ での該当数が一番多く、それぞれ5個となり、10時間までの累積該当個数は全体の9割となる。このことから、意思決定において、災害発生後4~12時間を判断の時間帯とみなし、この時間帯に得られる推定値を災害対応時の判断材料として用いることができると考える。

#### (4) 推定値考察のまとめ

得られた推定値の推移から事前分布[6]・[7]のワイブル分布の形状において、災害発生初期段階における死亡率比は低く、死亡率比が1となる時間が遅い。そのため、事前分布[6]・[7]が適当となる災害事例は災害初期段階において死亡者数の把握が遅く甚大な災害と考えられる。前節までの推定値の考察により、参考とした地震災害事例の推定最終死亡者数が初めて真値の $\pm 30\%$ 範囲内となる経過時間を災害発生後6~12時間と見積もる。これにより、この時間帯に得られる推定最終死亡者数を、災害対応時の意思決定判断に資する情報になり得ると考える。

## 6. おわりに

本研究では、地震災害発生後から逐次得られる死亡者数を利用した最終死亡者数を推定する一手法として、ワイブル分布を用いた最終死亡者数のベイズ推定モデルを構築し、その有用性を検討した。

その結果、逐次得られる死亡者数を反映した最終死亡者数のベイズ推定が可能となった。これにより、実際の死亡者数を逐次得ることで被害規模を表すひとつの指標である最終死亡者数を推定でき、得られた推定最終死亡者数をもとに、時間経過に伴う死亡者数の変化を知ることができる。また、参考とした地震災害事例の推定最終死亡者数が初めて真値の $\pm 30\%$ 範囲内となる経過時間を考察することにより、その時間帯は災害発生後6~12時間と見積もった。そのため、この時間帯において、「対応の迅速性」と「情報の正確性」のどちらを優先するかといった意思決定者のジレンマの軽減につながり得る最終死亡者数を意思決定者に与えることが出来ると考える。

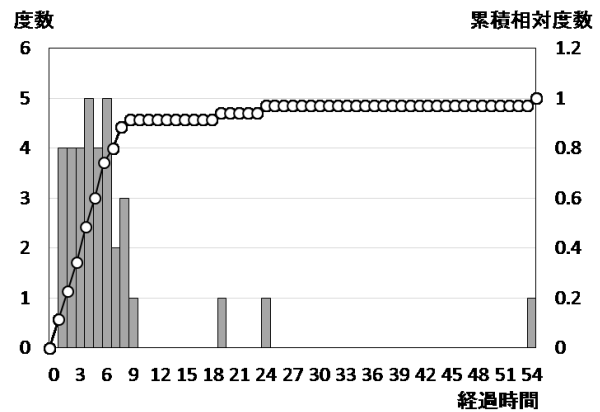


図-14 最終死亡者数との誤差が3割内となる推定値を得る更新時間のヒストグラム(事例に適した分布)

しかしながら、本研究では過去の地震災害事例における死亡者数の把握を死亡率比としてワイブル分布で再現し、それを参考にして事前分布を7種類設定した。得られる推定値は設定した事前分布によって異なるが、その中には各事例に適した推定値を得る事前分布とそうでない事前分布が存在する。そのため、設定した7種類の事前分布から得られる推定値について、事例に適さない事前分布の推定値を除外する必要がある。そこで、逐次得られる死亡者数の増加率や実際の死亡者数と推定最終死亡者数にもとづく死亡者数の変化等から、どの事前分布を選択すればよいか判断する基準を設定しなくてはならない。また、そのモデルを用いて地震災害時の被災状況を考慮した災害医療派遣チーム(Disaster Medical Assistance Team: DMAT)<sup>(付録2, 12)</sup>の派遣モデルによって救助者数の変化を考察し、提案モデルの有効性を検討したいと考える。

## 付録

### 1: 地震災害参照資料

Earthquake-report.com(参照年月日: 2014.5.20)

<http://earthquake-report.com/>

兵庫県南部地震(参照年月日: 2011.6.2)

CRK ラジオ関西 558:

<http://jocr.jp/sinssai/sinsai3.html>

震災データベースリンク集:

<http://www.shinsaihatsu.com/link/data.html>

兵庫県 HP 阪神・淡路大震災の死者にかかる調査について:

[http://web.pref.hyogo.lg.jp/pa20/pa20\\_000000016.html](http://web.pref.hyogo.lg.jp/pa20/pa20_000000016.html)

新潟県中越地震(参照年月日: 2011.6.4)

朝日新聞 DIGITAL: <http://www.asahi.com>

新潟日報:

<http://www.niigata-nippo.com/tyuetsujishin/details.php>

ブログ:

[http://blogs.dion.ne.jp/tahi\\_ti/archives/7390811.html](http://blogs.dion.ne.jp/tahi_ti/archives/7390811.html)

AFPBBNews : <http://www.afpbb.com>  
ジャワ島中部地震(参照年月日 : 2011.5.30)  
Buzzurl : <http://buzzurl.jp/entry>  
ブログ :  
[http://jiro-dokudan.cocolog-nifty.com/jiro/2006/05/\\_3000\\_38d0.html](http://jiro-dokudan.cocolog-nifty.com/jiro/2006/05/_3000_38d0.html)  
<http://logsoku.com/thread/news19.2ch.net/newsplus/1148728301/>  
<http://logsoku.com/thread/news19.2ch.net/newsplus/1148696327/>  
<http://logsoku.com/thread/news19.2ch.net/newsplus/1149094205/>  
<http://zara1.seesaa.net/article/18463533.html>  
<http://cheshirecat.seesaa.net/article/18936878.html>  
AFPBBNews :  
<http://www.afpbb.com/article/disaster-accidents-crime/disaster/2064538/602521>  
EpochTimes.jp :  
<http://www.epochtimes.jp/jp/2006/05/html/d24572.html>  
<http://www.epochtimes.jp/jp/2006/05/html/d64391.html>  
rescuenow.net :  
[http://rescuenow2.cocolog-nifty.com/java\\_quake/cat6002944/index.html](http://rescuenow2.cocolog-nifty.com/java_quake/cat6002944/index.html)  
<http://www.rescuenow.net/2006/06/619600.html>  
ジャワ南西沖地震(参照年月日 : 2011.5.30)  
NNA.ASIA :  
[http://nna.jp/free/tokuhou/060717\\_jog/06/0718a.html](http://nna.jp/free/tokuhou/060717_jog/06/0718a.html)  
[http://nna.jp/free/tokuhou/060717\\_jog/06/0719a.html](http://nna.jp/free/tokuhou/060717_jog/06/0719a.html)  
[http://nna.jp/free/tokuhou/060717\\_jog/06/0720a.html](http://nna.jp/free/tokuhou/060717_jog/06/0720a.html)  
EpochTimes.jp :  
<http://www.epochtimes.jp/jp/2006/07/html/d29064.html>  
<http://www.epochtimes.jp/jp/2006/07/html/d51088.html>  
<http://www.epochtimes.jp/jp/2006/07/html/d53096.html>  
ブログ :  
<http://blogs.yahoo.co.jp/waytobali/37839666.html>  
[http://blog.still-laughin.com/archives/2006/05/post\\_1844.html](http://blog.still-laughin.com/archives/2006/05/post_1844.html)  
[http://jakartan.cocolog-nifty.com/blog/2006/07/post\\_7850.html](http://jakartan.cocolog-nifty.com/blog/2006/07/post_7850.html)  
掲示板 :  
<http://www.asyura.com/0505/jisin13/msg/585.html>  
<http://www.asyura2.com/0601/jisin14/msg/114.html>  
REUTERS :  
<http://jp.reuters.com/article/topNews/idJPJAPAN-11316320090902>  
岩手・宮城内陸地震(参照年月日 : 2011.5.19)  
ブログ :  
[http://matsubakaikei.at.webry.info/200806/article\\_16.html](http://matsubakaikei.at.webry.info/200806/article_16.html)  
<http://ratio.sakura.ne.jp/archives/2008/06/14230550/>  
<http://blog.canpan.info/coco/archive/426>

AFPBBNews :  
<http://www.afpbb.com/article/disaster-accidents-crime/disaster/2405328/3036062>  
宮城県 HP 防災 : <http://www.pref.miyagi.jp>  
太田, 牛山 : 平成 20 年(2008 年)岩手・宮城内陸地震による人的被害の特徴, 第 27 回日本自然災害学会学術講演会講演概要集, pp.17-18, 2008.  
内閣府 防災情報ページ  
<http://www.bousai.go.jp/jishin/iwate/2008iwate.html>  
ラクイラ地震(参照年月日 : 2011.5.23)  
社団法人中越防災安全推進機構 :  
<http://soiga.com/chu-etsu/wiki.cgi?page=%A5%A4%A5%BF%A5%EA%A5%A2%A1%A1%A5%E9%A5%AF%A5%A4%A5%E9%C3%CF%BF%CC>  
ブログ :  
<http://www.heiankigyou.net/seismoblog/index.php?e=9>  
<http://news2plus.blog123.fc2.com/blog-entry-514.html>  
<http://ameblo.jp/jokeness1445/image-10237952877-10162517529.html>  
<http://beiryu2.exblog.jp/9561959/>  
<http://beiryu2.exblog.jp/tags/%E3%83%A9%E3%82%AF%E3%82%A4%E3%83%A9/>  
CRIonline :  
<http://japanese.cri.cn/881/2009/04/09/1s138353.htm>  
防災情報新聞  
[http://www.bosaijoho.jp/topnews/item\\_2655.html](http://www.bosaijoho.jp/topnews/item_2655.html)  
REUTERS :  
<http://jp.reuters.com/article/topNews/idJPJAPAN-37369820090407>  
NPO 法人国境なき奉仕団 :  
<http://www.bra-japan.org/topics/info/page/2>  
AFPBBNews :  
<http://www.afpbb.com/article/disaster-accidents-crime/disaster/2591824/4021568>  
Searchina. :  
[http://news.searchina.ne.jp/disp.cgi?y=2009&d=0408&f=national\\_0408\\_029.shtml](http://news.searchina.ne.jp/disp.cgi?y=2009&d=0408&f=national_0408_029.shtml)  
NNA.ASIA :  
<http://news.nna.jp/app/search/news/579>  
<http://news.nna.jp/app/search/news/588>  
<http://news.nna.jp/app/search/news/594>  
サモア地震(参照年月日 : 2011.4.20)  
DRS TREND READER PROJECT OFFICIAL SITE :  
[http://www.drs.dpri.kyoto-u.ac.jp/hayashi/tr/tr\\_samoaeq/tr\\_samoaeq\\_archives.html](http://www.drs.dpri.kyoto-u.ac.jp/hayashi/tr/tr_samoaeq/tr_samoaeq_archives.html)  
nikkansports.com :  
<http://www.nikkansports.com/general/news/f-gn-tp1-20090930-549776.html>

REUTERS :

<http://jp.reuters.com/article/worldNews/idJPJAPAN-11743720091001>

外務省 報道・広報 :

[http://www.mofa.go.jp/mofaj/press/release/21/9/1196159\\_1105.html](http://www.mofa.go.jp/mofaj/press/release/21/9/1196159_1105.html)

朝日新聞 :

<http://www.asahi.com/special/09008/TKY200910020417.html>

Bloomberg.co.jp :

<http://www.bloomberg.co.jp/news/123-QRBG66N9EDE01.html>

ブログ :

<http://beiryu2.exblog.jp/i21/>

チリ地震(参照年月日 : 2011.4.30)

DRS TREND READER PROJECT OFFICIAL SITE :

[http://www.drs.dpri.kyoto-u.ac.jp/hayashi/tr/tr\\_chileeq/tr\\_chileeq\\_archives.html](http://www.drs.dpri.kyoto-u.ac.jp/hayashi/tr/tr_chileeq/tr_chileeq_archives.html)

朝日新聞 :

<http://www.asahi.com/special/chile/TKY201003030246.html>

<http://www.asahi.com/special/chile/TKY201002280190.html>

<http://www.asahi.com/special/chile/TKY201003010120.html>

<http://www.asahi.com/special/chile/TKY201003020132.html>

<http://www.asahi.com/special/chile/TKY201003030472.html>

<http://www.asahi.com/special/chile/TKY201003050164.html>

THE WALL STREET JOURNAL :

<http://jp.wsj.com/ed/chile/>

ブログ :

<http://logsoku.com/thread/tsushima.2ch.net/news/1267262866/>

<http://logsoku.com/thread/tsushima.2ch.net/news/1267262866/>

<http://ameblo.jp/guevaristajapones/entry-10474313083.html>

REUTERS :

<http://jp.reuters.com/article/idJPJAPAN-14194620100304>

ニュージーランド地震(参照年月日 : 2011.4.18)

47NEWS :

<http://www.47news.jp/47topics/e/197773.php>

<http://www.47news.jp/CN/201103/CN2011030101000172.html>

Asian Disaster Reduction Center :

[http://www.adrc.asia/view\\_disaster\\_jp.php?NationCode=554&lang=&KEY=1494](http://www.adrc.asia/view_disaster_jp.php?NationCode=554&lang=&KEY=1494)

ブログ :

<http://hayabusa2.2ch.net/test/read.cgi/eqplus/1298392363/>

<http://machikawaco.wordpress.com/2011/02/23/%E3%83%B%E3%83%A5%E3%83%BC%E3%82%B8%E3%83%BC%E3%83%A9%E3%83%B3%E3%83%89%E3%80%80%E3%82%AF%E3%83%A9%E3%82%A4%E3%82%B9%E3%83%88%E3%83%81%E3%83%A3%E3%83%BC%E3%83%81%E3%80%80%E5%9C%B0%E9%9C%87%E6%9C%80/>

共同通信社 :

[http://www.kyodonews.jp/feature/nz\\_eq/2011/03/post-55.html](http://www.kyodonews.jp/feature/nz_eq/2011/03/post-55.html)

[http://www.kyodonews.jp/feature/nz\\_eq/2011/03/post-63.html](http://www.kyodonews.jp/feature/nz_eq/2011/03/post-63.html)

[http://www.kyodonews.jp/feature/nz\\_eq/2011/02/post-51.html](http://www.kyodonews.jp/feature/nz_eq/2011/02/post-51.html)

REUTERS :

<http://jp.reuters.com/article/topNews/idJPJAPAN-19701020110224>

<http://jp.reuters.com/article/jpEnvntNews/idJPJAPAN-19699720110224>

MKSJ-RM レポート Issue44 2011.3.1 :

<http://www.nksj-rm.co.jp/publications/pdf/r44.pdf>

東北地方太平洋沖地震(参照年月日 : 2012.9.20)

PPP ポータルサイト :

<http://www.pppportal.jp/article/13941667.html>

全国知事会 HP :

<http://www.nga.gr.jp/news/activity/cat99/2011/>

総務省消防庁 :

[http://www.fdma.go.jp/bn/higaihou\\_past\\_jishin.html](http://www.fdma.go.jp/bn/higaihou_past_jishin.html)

トルコ地震(参照年月日 : 2011.12.19)

Ceron.jp MSN 産経ニュース :

<http://ceron.jp/url/sankei.jp.msn.com/world/news/111025/m11102519200008-n1.htm>

NAVER :

<http://matome.naver.jp/odai/2131941715454434401>

AFPBBNews :

<http://www.afpbb.com/article/disaster-accidents-crime/disaster/2836916/7981873>

2: 日本 DMAT 活動要領(平成 24 年 3 月 30 日(改正))

[www.dmat.jp/katudou.pdf](http://www.dmat.jp/katudou.pdf)

## 参考文献

- 1) 田中直樹, 岡田成幸 : 地震時の木造建築物倒壊に伴う死者数推定に向けた棟死亡率比関数の提案, 日本建築学会構造系論文集, 第 605 号, pp.71-78, 2006.
- 2) 新井健介, 境有紀 : 建物被害と相関を持つ地震動強さ指標を用い構造種別や層数を考慮した地震被害推定システムの開発, 日本地震工学論文集, 第 11 巻, 第 4 号, pp.88-107, 2011.
- 3) 松岡昌志, 能島暢呂 : 人工衛星 L バンド SAR に基づく建物の地震被害推定モデルの構築と ALOS/PALSAR 画像への適用, 日本地震工学論文集, 第 10 巻, 第 3 号, pp.73-86, 2010.
- 4) 能島暢呂, 杉田真太, 金澤伸治 : 地震動情報と実被害情報の統合処理による緊急対応支援の数理モデル, 土木学会論文集, No.724, pp.187-200, 2003.
- 5) 朱牟田善治, 石川智己 : 地震後の災害情報を逐次処理する配電設備被害推定の基本モデル—ベイジアンネットワークを適用した被害推定システムの開発, 電力中央研究所研究報告書, N07027, pp.1-28, 2008.
- 6) 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.

- 7) Weibull, W. : A statistical distribution function of wide applicability, *Journal of Applied Mechanics*, Vol. 18, pp. 293-297, 1951.
- 8) 田中道七, 酒井達雄 : 3 母数ワイブル分布の母数推定について(疲労寿命分布の母数推定に関連して), 日本材料学会, 第 28 卷 304 号, pp.13-19, 1979.
- 9) 松原望 : 入門ベイズ統計—意思決定の理論と発展, 東京図書, 2008.
- 10) 涌井良幸 : 道具としてのベイズ統計, 日本実業出版社, 2012.
- 11) 涌井良幸, 涌井貞美 : Excel でスッキリわかるベイズ統計入門, 日本実業出版社, 2012.
- 12) 日本集団災害医学会 : [増補版] DMAT 標準テキスト, へるす出版, 2012.

(2015. 1. 28 受付)

## BAYESIAN ESTIMATION OF THE VICTIMS NUMBER INFORMATION USING THE WEIBULL DISTRIBUTION

Minoru KOTANI, Atsushi IIZUKA and Katsuyuki KAWAI

Decision makers must decide the disaster correspondence by using uncertain information. When the decision maker makes this decision, they have the dilemma to prioritize which of “the rapidity of correspondence” and “the accuracy of information”. The result for disaster varies according to the difference in priority.

This study approximate the change of cumulative number of death with time lapse by using the Weibull distribution and proposed the Bayesian estimation model to predict the total number of deaths by utilizing the change of cumulative number of deaths. By considering the estimated total number of deaths with past earthquakes cases, it was possible to estimate the time period to make the disaster response decision. Therefore, this would be a judgment material to reduce the dilemma of decision makers.