



ベイズ推定を用いた災害被災情報の曖昧さ分析と被災規模早期予測による災害対応に関する基礎的研究

小谷, 稔

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2016-03-25

(Date of Publication)

2017-03-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第6634号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1006634>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



博 士 論 文

ベイズ推定を用いた災害被災情報の曖昧さ分析と
被災規模早期予測による災害対応に関する基礎的研究

2016年1月

神戸大学大学院 工学研究科

小 谷 稔

目次

第 1 章 序論	1
1.1 自然災害状況	1
1.1.1 世界の自然災害状況	1
1.1.2 日本の自然災害状況	2
1.2 国際社会における災害への取り組み	3
1.3 日本の災害への取り組み	4
1.4 災害対応時の意思決定の重要性と問題点	7
1.5 災害対応時の被害推定とその意義	7
1.6 本論文の構成	8
参考文献	9
第 2 章 災害情報の曖昧さ分析	10
2.1 災害時における情報の不確実性	10
2.1.1 被災者数の下方修正事例	10
2.1.2 行方不明者数把握の困難さ事例	10
2.1.3 情報源の違いによる死亡者数のタイムラグ事例	12
2.2 災害情報の分析	12
2.2.1 報告時間の考察	14
2.2.2 最終報告時間、最終報告者数および情報の更新回数との関係性	19
第 3 章 人的被害情報に基づく DMAT の簡易派遣モデル	21
3.1 人的被害情報の簡易モデル	21
3.2 DMAT 派遣の簡易モデル	23
3.2.1 DMAT について	23
3.2.2 DMAT が組織的活動を実施した主な自然災害	24
3.2.3 阪神・淡路大震災と東日本大震災の医療ニーズ	24
3.2.4 東日本大震災の教訓と課題	24
3.2.5 医療分野における既往の研究	24
3.2.6 DMAT 能力の設定	25
3.3 生存率の定式化	26
3.4 死亡者数最小化問題	27
3.4.1 簡易モデルの検討(その 1)	28
3.4.2 簡易モデルの検討(その 2)	30
3.4.3 簡易モデルの検討(その 3)	32

3.5 結論	36
参考文献	37
第4章 線形および非線形による人的被害情報の再現比較	39
4.1 線形回帰による人的被害情報の再現	40
4.2 非線形回帰による人的被害情報の再現	40
4.2.1 ワイブル分布について	40
4.2.2 死亡率比の求め方	41
4.2.3 ワイブル分布を用いた人的被害情報の再現性	41
4.2.4 再現性の考察	42
4.3 線形および非線形による再現性の比較	45
4.4 ワイブル分布のパラメータ特性	45
4.5 再現ワイブル分布パラメータの特性	47
参考文献	48
第5章 災害情報の予測モデル	49
5.1 ベイズの定理	49
5.2 ベイズ統計の基本公式	50
5.3 推定式の定式化	51
5.3.1 尤度	51
5.3.2 事前分布	51
5.3.3 事後分布	52
5.4 事前分布パラメータの設定	52
参考文献	53
第6章 予測モデルの適応	54
6.1 ベイズ更新手順	54
6.2 推定結果	54
6.3 推定値の考察	58
6.3.1 推定値範囲の設定	58
6.3.2 推定時間の導出	60
6.3.3 過大推定パラメータの評価	62
6.4 設定パラメータの違いによる推定	69
6.4.1 推定結果	69
6.4.2 推定値の考察	70
6.5 事前分布パラメータの設定	73

6.6	まとめ	78
第7章	行政機関における災害対応計画	79
7.1	地域防災計画について	79
7.1.1	災害対策基本法における地域防災計画等の位置付け	79
7.1.2	地域防災計画とは	79
7.1.3	災害対応マニュアル	80
7.2	業務継続計画について	81
7.2.1	業務継続計画の意義と目的	81
7.2.2	業務継続計画策定による効果	81
7.2.3	行政機関の業務継続計画策定状況	82
7.3	地域防災計画と業務継続計画の比較	83
7.4	タイムラインを取り入れた防災・減災対策	84
7.4.1	タイムラインについて	84
7.4.2	タイムライン(事前行動計画)における取組み	84
7.4.3	災害発生時刻を基準としたタイムライン	87
7.5	災害発生時刻を基準としたタイムラインの考察	90
7.5.1	災害発生時刻を基準としたタイムラインの問題点	90
7.5.2	災害発生時刻を基準としたタイムラインへの影響例	90
7.6	災害発生時刻を基準としたタイムラインへの推定モデルの適応	92
7.6.1	推定モデルの適応(その1)	92
7.6.2	推定モデルの適応(その2)	93
7.7	まとめ	95
	参考文献	97
第8章	結論	98
	謝辞	100
	付録	

第1章 序論

1.1 自然災害状況

近年、地震や津波による被害だけでなく、地球規模での気候変動に伴う異常気象による被害が深刻化している。その被害は、勢力の強いハリケーン・サイクロン・台風、集中豪雨による風水害に土砂災害、大寒波による暴風雪などの雪害、熱波による死亡者、干ばつによる水や食料不足に農業従事者の失業など様々であり、世界各地で多くの人命や財産が失われている。人間の想像や被害想定を上回るような自然災害に見舞われる中で、世界における自然災害の状況と日本における自然災害の状況について述べる。

1.1.1 世界の自然災害状況^{1), 2)}

ベルギーのルーベンカソリック大学災害疫学研究センター(CRED: The Centre for Research on the Epidemiology of Disasters)が保有する EM-DAT における自然災害に関する統計では、2014年の1年間に発生した自然災害は324事例あり、世界で7,823人の命が奪われたとある。その324事例の内144事例がアジアで発生している。また、自然災害の被害にあった国の上位10か国は、中国(40事例)、アメリカ(20事例)、インド(15事例)、日本(13事例)、フィリピン(13事例)、インドネシア(10事例)、フランス(8事例)、メキシコ(8事例)、タイ(8事例)、ネパール(7事例)の順となっている。1990年以降の自然災害の事例数と被害者数は図1-1のようになっている。

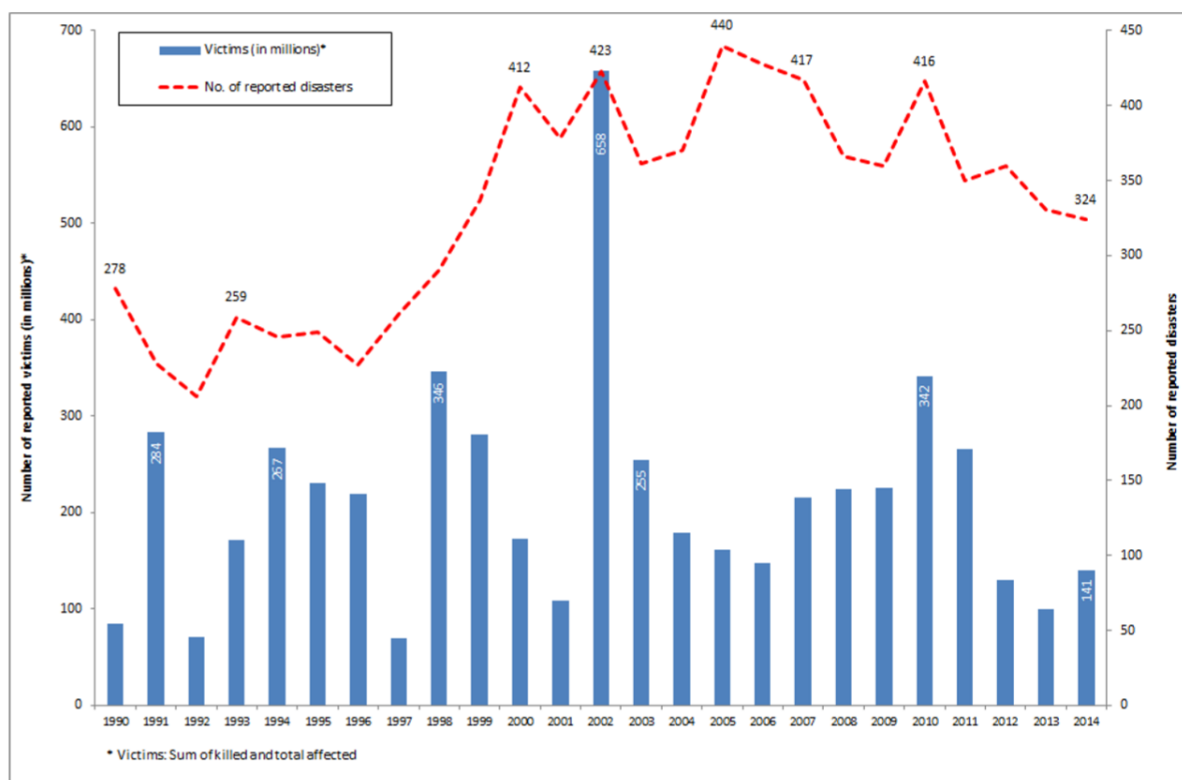


図 1-1 世界の自然災害状況¹⁾

1.1.2 日本の自然災害状況³⁾

日本では2014年に発生した自然災害において285人の死者・行方不明者が発生しており、具体的な事例として、平成26年8月20日に発生した広島土砂災害、平成26年9月27日に発生した御嶽山の噴火、平成26年12月からの大雪等が挙げられる。また、自然災害における死者・行方不明者数は図1-2、平成5年からの自然災害における死者・行方不明者数の内訳は表1-1のようになっている。

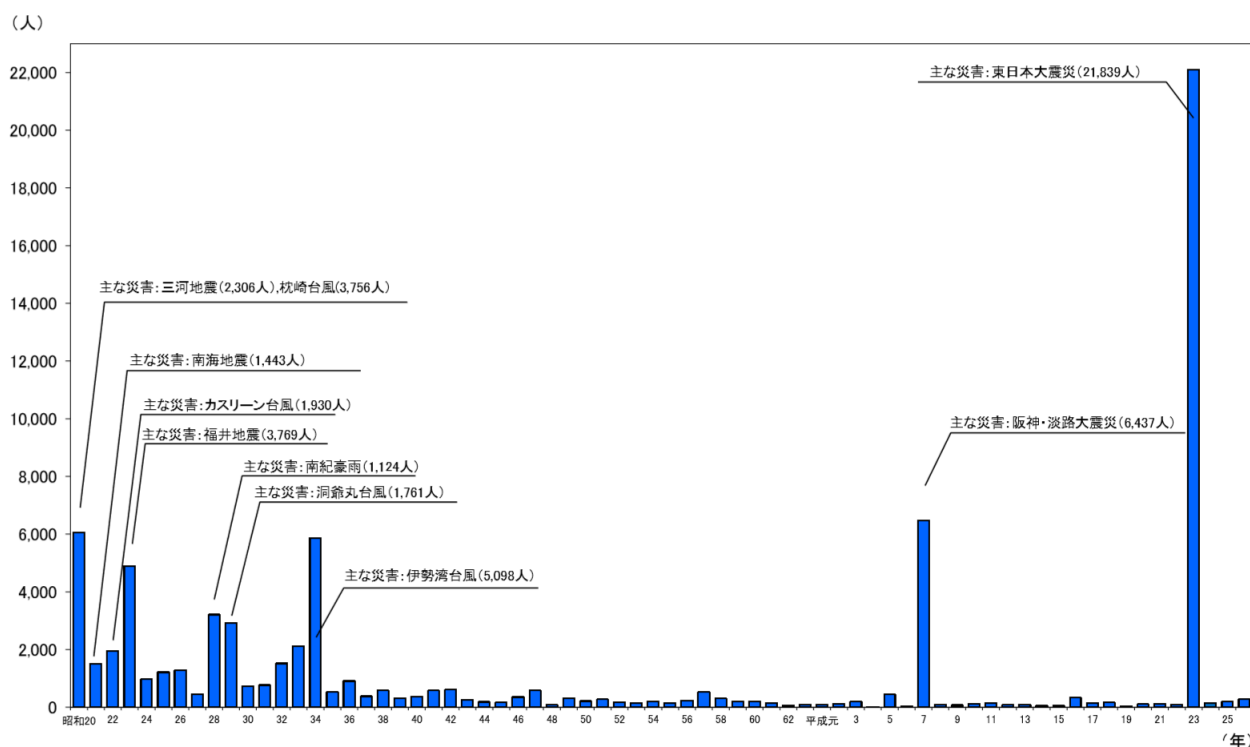


図 1-2 自然災害による死亡者数³⁾

表 1-1 自然災害による死者・行方不明者数³⁾

年	風水害	地震・津波	火山	雪害	その他	合計
平成5年	183	233	1	9	11	437
6	8	3	0	21	7	39
7	19	6,437	4	14	8	6,482
8	21	0	0	28	35	84
9	51	0	0	16	4	71
10	80	0	0	28	1	109
11	109	0	0	29	3	141
12	19	1	0	52	6	78
13	27	2	0	59	2	90
14	20	0	0	26	2	48
15	48	2	0	12	0	62
16	240	68	0	16	3	327
17	48	1	0	98	6	153
18	87	0	0	88	2	177
19	14	16	0	5	4	39
20	21	24	0	48	7	100
21	76	1	0	35	3	115
22	31	0	0	57	1	89
23	136	21,843	0	125	2	22,106
24	52	2	0	138	0	192
25	75	0	0	92	6	173
26	101	0	63	121	0	285

1.2 国際社会における災害への取り組み

国際連合事務局の組織である国際連合国際防災戦略(UNISDR)が主催する、第3回国連防災世界会議が東日本大震災から4年を迎えた平成27年3月14日～18日の間、宮城県仙台市内にて開催された。この国際会議において、新たな防災の取組指針となる「仙台防災枠組2015-2030」が策定された。この国際会議は1987年の国連会議で自然災害による人的損失、物的損害、社会的・経済的混乱について、国際協調行動を通じて軽減を図ることを目的とした活動プロジェクトとして1990年代を「国際防災の10年」と定められたことにより、1994年に第1回国連防災世界会議が横浜市で開催され、「より安全な世界に向けての横浜戦略とその行動計画」(Yokohama Strategy and Plan of Action for a Safer World: Guidelines for Natural Disaster Prevention, Preparedness and Mitigation)の採択が決定された。「国連防災の10年」の中で実施された先駆的作業の継続が不可欠なことから、1999年11月の国連総会において、新たに「国際防災戦略(ISDR)」を実施することと、この活動を推進する組織・体制の整備、各国国内に設立された国内委員会の維持強化を図ることなどが提示されたことにより、2005年に第2回国連防災世界会議が神戸市で開催された。第2回会議の成果として、「兵庫行動枠組2005-2015:災害に強い国・コミュニティの構築」(HFA: Hyogo Framework for Action 2005-2015~Building the Nations and Communities Resilient to Disasters)が策定された。このように、国際社会の中で防災に対する協力体制が培われている。

1.3 日本の災害への取り組み

災害に対する基本的な法律には、1947年(昭和21年)の南海地震を契機に制定された災害救助法と1961年(昭和34年)の伊勢湾台風の被害を契機に制定された災害対策基本法がある。災害救助法は、災害に際して応急的な救助や被災者の保護および社会の秩序を保全することを目的として、救助に関わる要請、調整、費用等について規定されている。また、災害対策基本法は、国土並びに国民の生命、身体及び財産を災害から保護することを目的として、防災に関する責務の明確化、防災に関する組織、防災計画、防災対策の推進、財政金融措置、災害緊急事態について規定した災害対策全般にわたる基本法律である。自然災害に見舞われるたびに防災に関わる法的整備や体制の変更・修正が行われており、その歩みをまとめると図1-3のようになる。

平成27年版防災白書³⁾によると平成26年に災害救助法が適用された市町村は59あり、平成7年の兵庫県南部地震以降については図1-4のようになる。地域の自主防災組織は平成26年4月1日現在において、1,742市区町村のうち、1,657団体(95.1%)で設置されており、その組織数は156,840組織に上る。その結成された組織の内訳は、町内会単位で結成されているものが148,364組織(94.6%)、小学校区単位で結成されているものが3,067組織(2.0%)、その他のものが5,409組織(3.4%)となっている。また、自主防災組織の隊員数は、41,847,876人となっている。平成22年からの地域の自主防災組織を有する市区町村数の推移は図1-5に、その組織の構成単位と隊員数の推移は図1-6のようになっている。

また、迅速かつ的確な災害対応に必要な知識や能力を習得するための人材育成として防災スペシャリスト養成研修、各自治体における防災訓練や防災教育や災害発生時における自治体間や民間との協定の締結、防災基本計画・防災業務計画・地域防災計画の見直し等が行われている。計画を策定するにあたって、災害が発生してから次の災害に対する備えまでを一つのサイクルとして考え、どのような対策を講じるか災害サイクル^{5),6)}(図1-7参照)において事前の対策から発災時の対応、復旧・復興での対応と一元的な対策がなされている。

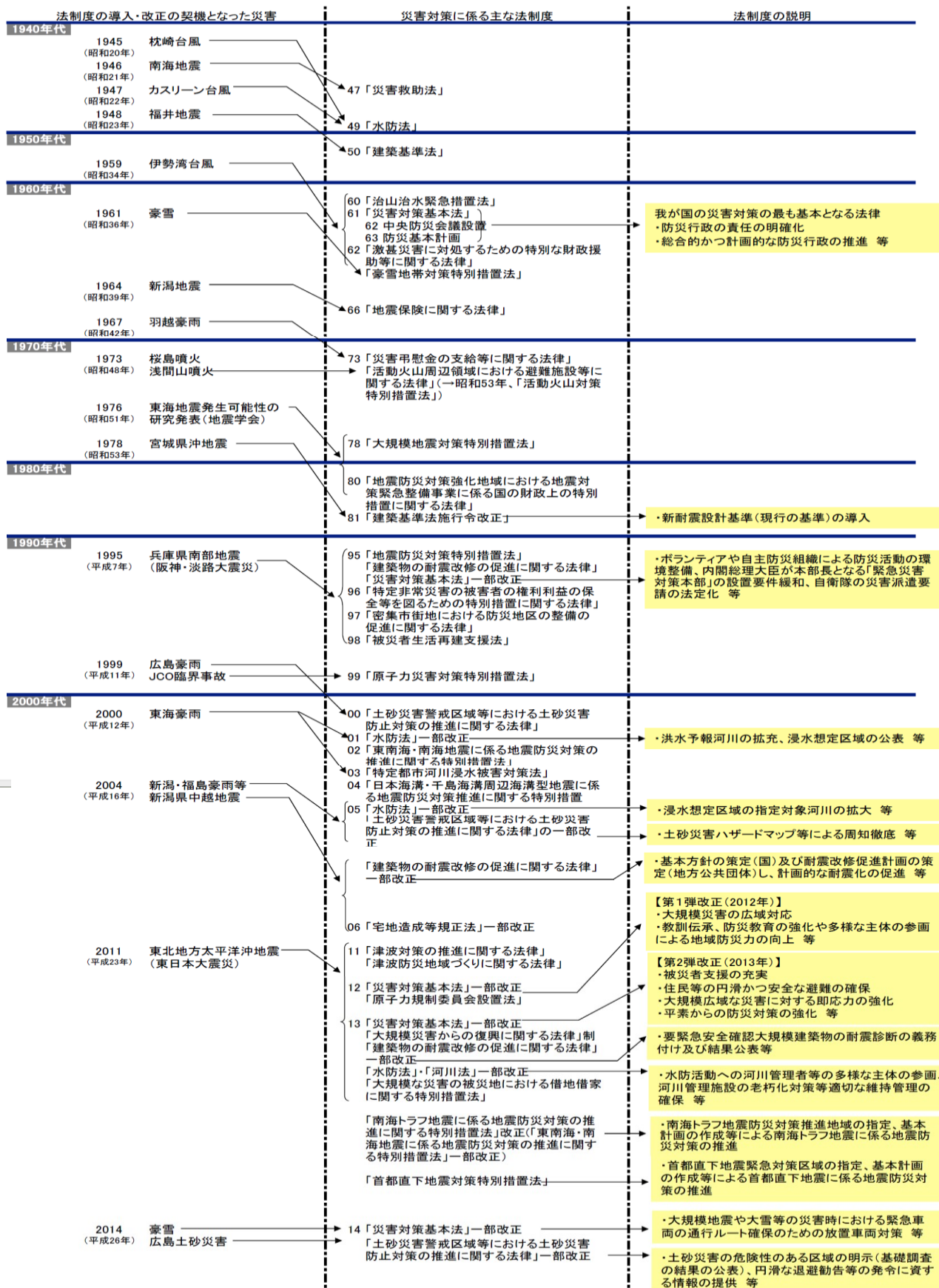


図 1-3 防災に関わる法的整備のあゆみ³⁾

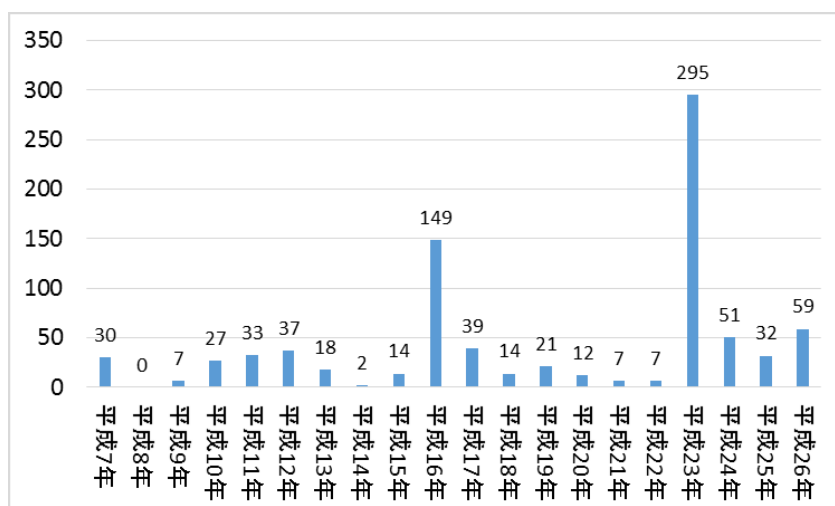


図 1-4 災害救助法が適用された市町村数 3)

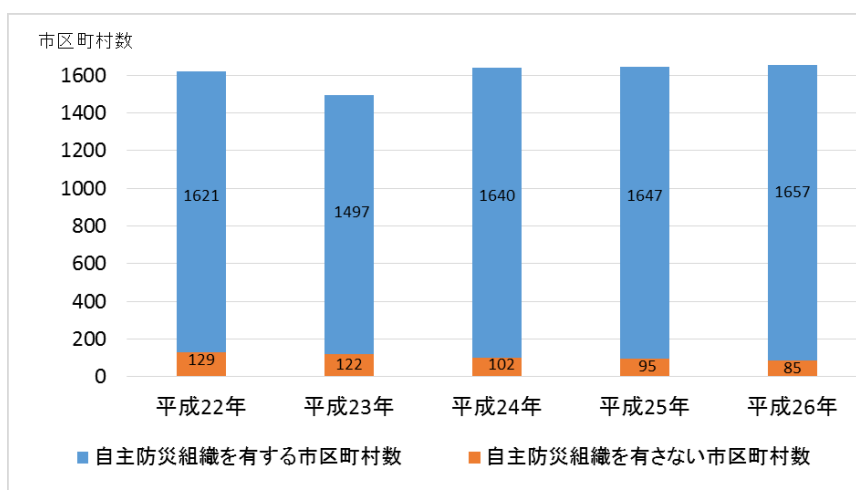


図 1-5 自主防災組織を有する市区町村数 3)

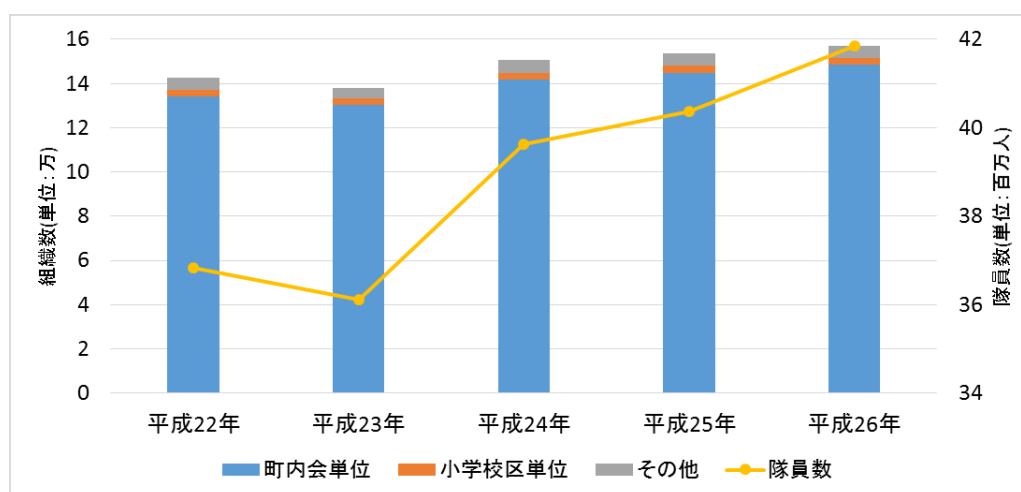


図 1-6 自主防災組織の構成単位と隊員数 3)

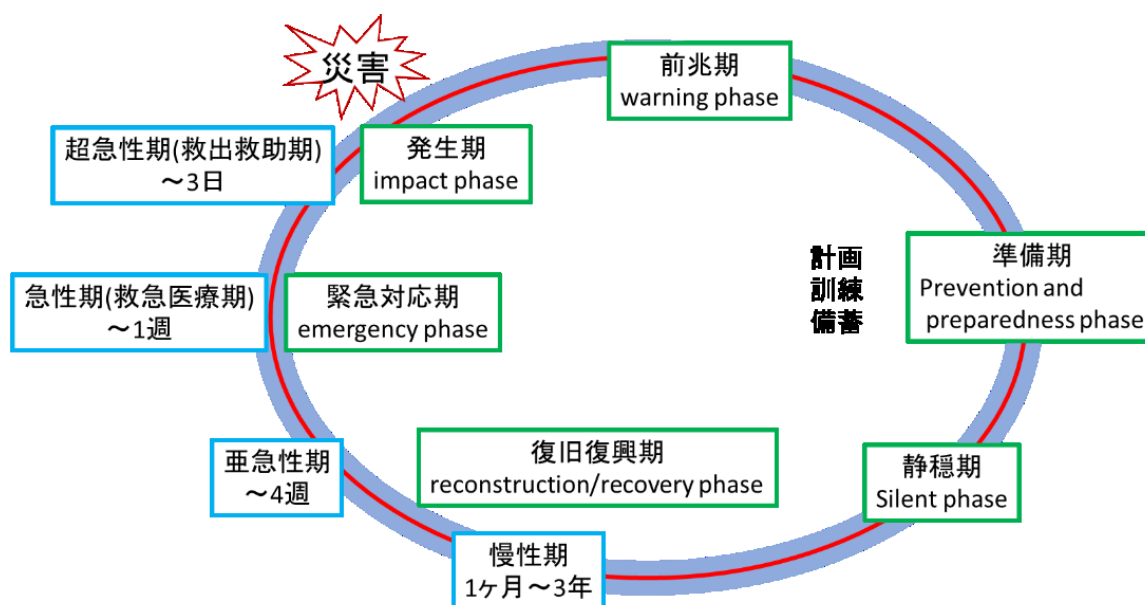


図 1-7 災害サイクル

1.4 災害対応時の意思決定の重要性と問題点

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るとともに、入手した情報の不確実性の高さは否めない。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見送るべきか、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かわる判断となる。

例えば、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すること(情報の正確性を優先)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。

1.5 災害対応時の被害推定とその意義

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⁷⁾、⁸⁾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⁹⁾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¹⁰⁾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¹¹⁾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。

以上の背景を踏まえ、本研究では、災害時において逐次入手される人的被害情報を被害推定更新に利用し、災害対応時における意思決定判断の資とすることを目的とするとともに、災害発生後の時系列対応への影響について述べる。研究内容は、大きく3つの内容からなる。

①基礎研究

災害発生後の人的被害情報の経時変化を表現できる数理モデルを構築し、過去の地震災害事例の情報を分析

②逐次被害推定モデルのシミュレーション

逐次情報を入手するたびに推定値を更新できる数理モデルの確立と、推定結果の考察

③タイムラインへの影響の検討

災害発生時の対応計画として作成されている自治体の地域防災計画や業務継続計画(BCP)におけるタイムラインについての考察

1.6 本論文の構成

第2章では、災害情報の曖昧性について述べ、過去の災害事例における人的被害情報の報告時間について考察を行う。

第3章では、人的被害情報の経時変化を線形で表わし、簡易的なDMAT派遣モデルの検討を行う。

第4章では、人的被害情報の経時変化を非線形で表現し、災害情報の分析を行う。

第5章では、災害対応時の意思決定において被害推定が必要となるため、非線形で表した人的被害情報を用いたベイズ推定モデルについて述べる。

第6章では、ベイズ推定モデルを利用し、過去の地震災害事例の推定値考察を行う。また、推定値範囲を設定することで、災害対応時の意思決定判断の材料となることを述べる。

第7章では、災害時におけるタイムラインについて、被害予測を利用した場合の影響について述べる。

第8章では、結論と今後の課題について述べる。

参考文献

- 1) Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED):
http://cred.be/sites/default/files/ADSR_2014.pdf
- 2) The Human Cost of Natural Disasters 2015 (CRED)
http://cred.be/sites/default/files/The_Human_Cost_of_Natural_Disasters_CRED.pdf
- 3) 平成 27 年版防災白書 内閣府：
http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/pdf/H27_honbun_1-5bu.pdf
- 4) 地方防災行政の現況(平成 25 年度及び平成 26 年 4 月 1 日現在における状況)：
<http://www.fdma.go.jp/disaster/chioubousai/pdf/25/genkyo.pdf>
- 5) 二宮宣文：災害医療のあり方と今後の展望，消防化学と情報，No.59，2000
- 6) 上原鳴夫：緊急対応期における保健医療分野の救援活動と後方支援体制のあり方について，保健医療科学，Vol.62，No.4，p.p382-389，2013
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 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.

第2章 災害情報の曖昧さ分析

2.1 災害時における情報の不確実性

災害時における情報は、災害が発生してから情報を入手できない情報の空白時間が存在し、情報を入手できるようになっても情報が錯そうしているため、入手した情報には不確実なものもある。しかしながら、発災から時間が経つにつれ情報の不確実性は減少し、正確な情報となっていく。また、災害の被害が小さい場合は情報の入手は早く、災害の被害が大きい場合は情報の入手が遅くなる傾向がある。災害時において情報発信される情報である人的被害情報は以下のように分類できる。

被災者：災害に見舞われた人

死亡者：災害により死亡した人

負傷者：災害により怪我をした人(軽傷、重傷を含む)

行方不明者：災害により安否確認ができていない人

このような人的被害情報における不確実性の事例を以下に示す。

2.1.1 被災者数の下方修正事例^{付録1)}

2006年5月27日に発生したジャワ島中部地震において、インドネシア政府の災害対策本部が6月5日に死者数をこれまでの6,234人から5,782人に下方修正したこと、負傷者数は従来集計から1万人以上も減少したことについての記事がある。また、2006年7月17日に発生したジャワ島南西沖地震では表2-1のようにインドネシア国家災害対策本部、インドネシア保健省、インドネシア社会省によって報告された人数が異なる。このように被災者が下方修正され、部署によって集計が異なる理由についてインドネシア政府は「二重集計が判明したため」としている。

表 2-1 報告機関による人的被害者数の推移

	18日		19日		20日		22日		23日	
	死亡者	行方不明者	死亡者	行方不明者	死亡者	行方不明者	死亡者	行方不明者	死亡者	行方不明者
災害対策本部	368	235	525	273	547	323	659	330	669	
保健省	339	160	458				598		738	
社会省	462		424				566			

2.1.2 行方不明者数把握の困難さ事例

2014年8月20日に発生した広島土砂災害における、行方不明者数の把握の困難さについて述べる。この災害による報告死亡者数と行方不明者数の時間推移^{付録2)}について図2-1に示す。土石流が発生した場所が複数あり発生時刻が不明であるが、ネットの情報では午前3時20分ごろには救助要請があり、資料(図2-2)の掲載時間が午前8時33分や37分となっているため、発災後約5時間経過していると考えられる。この時間帯において行方不明者が数十名となっており、時間が経過していくと行方不明者が13名から7名まで減少し、47名まで急増する。このように行方不明者数の把握が遅れた理由^{付録3)}として、以下の

理由が挙げられている。

- ・災害発生現場が多数あり救助・捜索に時間がかかったため
- ・一家全員が被害にあい、連絡が取れなかったため
- ・高齢化・核家族化により地域のつながりが薄かったため
- ・夏季休暇のため、人の出入りがあったため
- ・捜索情報をすり合わせるのに時間がかかったため

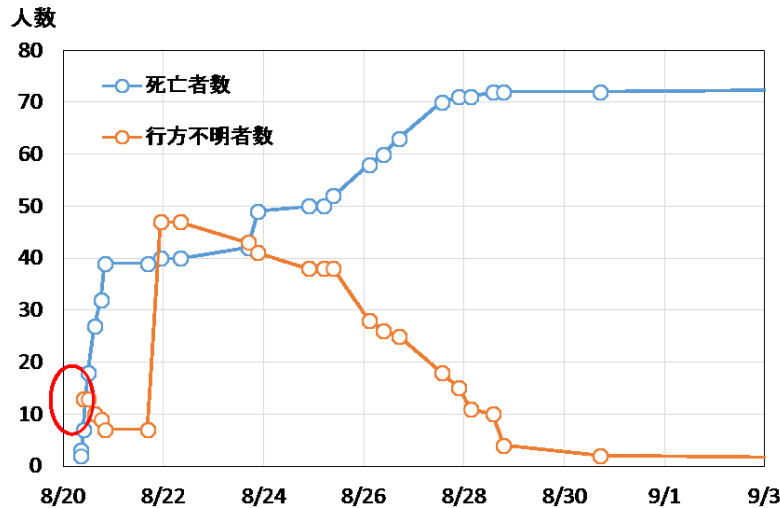


図 2-1 死亡者数と行方者数の時間推移

図 2-2 死亡者数および行方者数資料(付録 2)

2.1.3 情報源の違いによる死亡者数のタイムラグ事例

2015年4月25日に発生したネパール地震における報告死亡者数のタイムラグについて述べる。この地震による被害はネパールの周辺国である中国、インドおよびバングラディッシュにもおよんでいる。被害を受けた4か国の報告死亡者数^{付録4)}を調べると図2-3のようになる。この報告された死亡者数は何度も増減しており、その一例をあげると、ネパールでは6,000人が5,489人に、中国では18人が13人に、インドでは62人が44人に、バングラディッシュでは4人が2人にと、同じ時間帯であっても参照した情報源によって死亡者数の更新にばらつきがみられる。

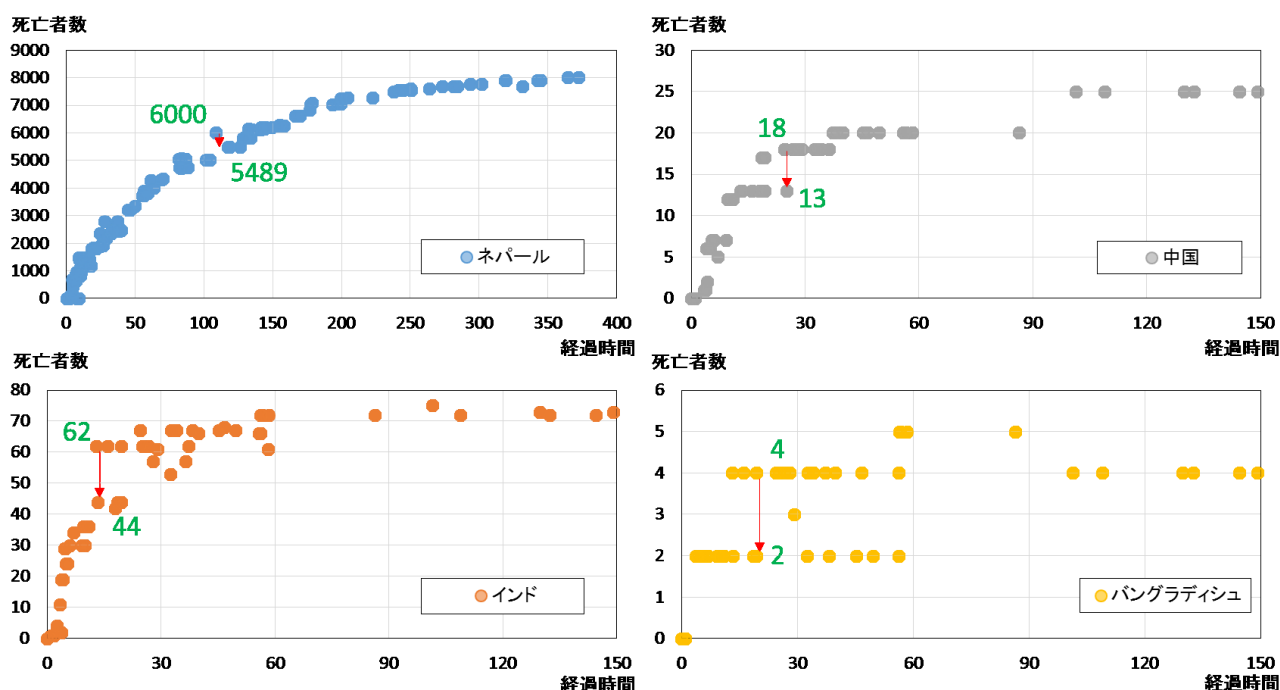


図 2-3 ネパール地震の国別死亡者数推移

2.2 災害情報の分析

災害が発生してからあまり時間が経過していない時間帯に得られる情報には、不確実な情報が多分に存在する。しかしながら、災害発生時の初期対応を決定するには、被害状況を把握しきれない中で得られる信憑性の低い情報でも意思決定をする際の判断材料になる。そこで、各災害事例における第1報の報告時間についてみる。この際、災害事例を発生場所にに基づく地域、最後の情報を得た最終報告時間および最後の情報での最終報告者数の三つに分類して、第1報の平均報告時間を見てみる。また、第1報の報告時間について災害発生後から1時間ごとに区切り、その時間帯に該当する事例数を調べる。さらに、最終報告時間、最終報告者数および情報の更新回数との関係性について考察する。過去の地震災害事例^{付録5)}として表2-2の地震災害事例を対象とする。これらの事例において、災害発生後の報告者数(死亡者)とその報告時間は図2-4(付録6)のようになる。

表 2-2 過去の災害事例一覧表

番号	災害名(発生年月日)	番号	災害名(発生年月日)	番号	災害名(発生年月日)
1	兵庫県南部地震(1995.1.17)	18	インド北東部地震(2011.9.18)	35	イラン(2013.4.16)
2	新潟県中越地震(2004.10.23)	19	グアテマラ(2011.9.19)	36	四川地震(2013.4.20)
3	ジャワ島中部地震(2006.5.27)	20	トルコ東部地震(2011.10.23)	37	アフガニスタン(2013.4.24)
4	ジャワ島南西沖地震(2006.7.17)	21	メキシコ南部(2011.12.10)	38	インド(2013.5.1)
5	岩手宮城内陸地震(2008.6.14)	22	ネグロス島沖地震(2012.2.6)	39	イラン(2013.5.11)
6	ラクイラ地震(2009.4.6)	23	メキシコ南部地震(2012.3.20)	40	台湾(2013.6.2)
7	サモア沖地震(2009.9.29)	24	チリ(2012.3.25)	41	インドネシア(2013.7.2)
8	チリ中部地震(2010.2.27)	25	タジキスタン(2012.5.12)	42	中国(2013.7.22)
9	ニュージーランド地震(2011.2.22)	26	イタリア北部地震(2012.5.29)	43	パキスタン(2013.9.24)
10	盈江地震(2011.3.10)	27	アフガニスタン(2012.6.11)	44	パキスタン(2013.9.28)
11	東北地方太平洋沖地震(2011.3.11)	28	中国南西部地震(2012.6.24)	45	パキスタン(2013.10.15)
12	ミャンマー地震(2011.3.24)	29	中国(2012.9.7)	46	イラン(2013.11.28)
13	スペイン南部地震(2011.5.11)	30	イラン(2012.8.11)	47	イクケ地震(2014.4.1)
14	トルコ西部地震(2011.5.19)	31	グアテマラ(2012.11.8)	48	ニカラグア(2014.4.11)
15	ニュージーランド地震(2011.6.13)	32	ミャンマー(2012.11.11)	49	パプアニューギニア(2014.4.11)
16	キルギス地震(2011.7.19)	33	ソロモン諸島沖地震(2013.2.6)	50	パキスタン(2014.5.8)
17	インドネシア(2011.9.6)	34	イラン(2013.4.9)	51	インド(2014.5.21)

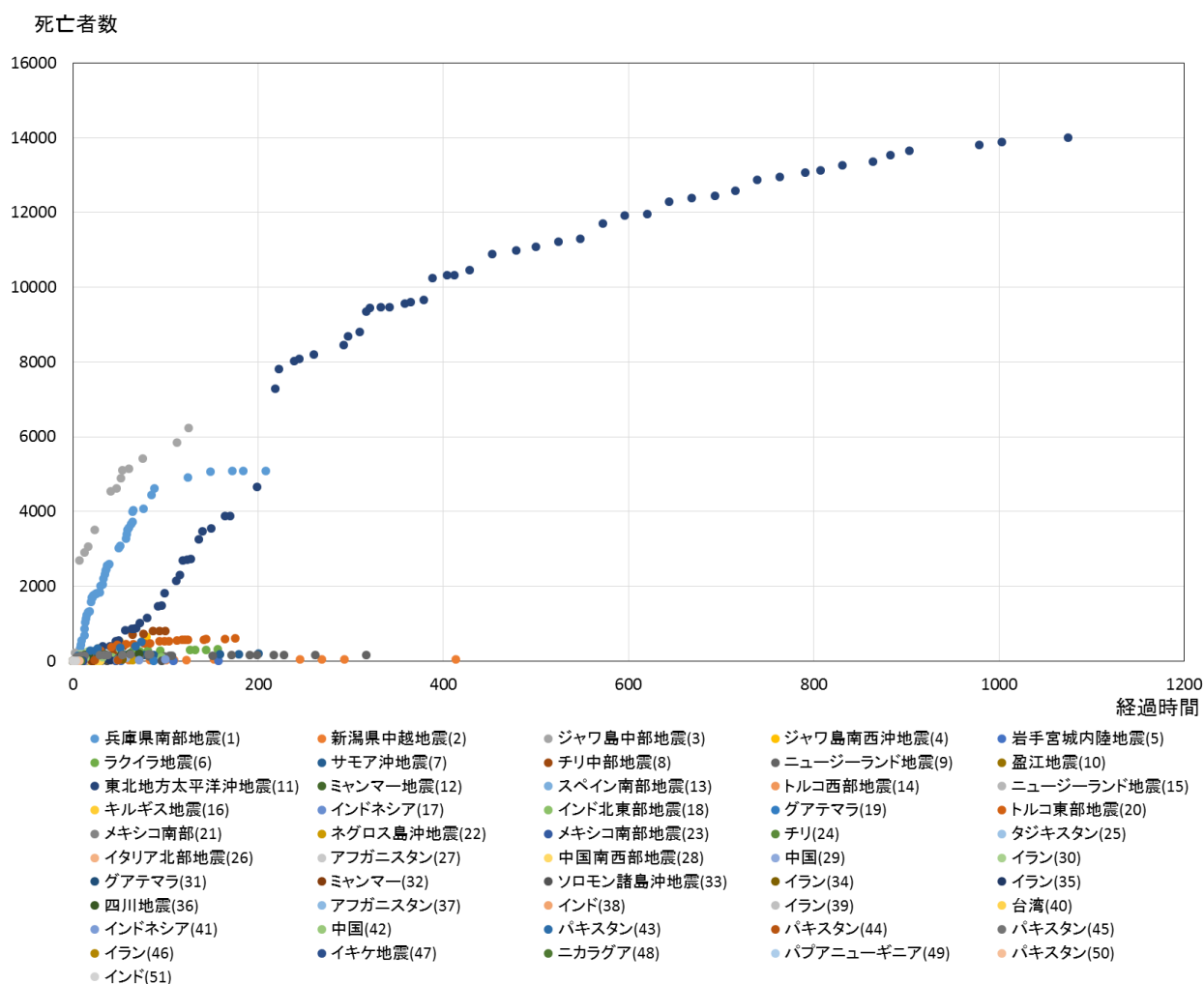


図 2-4 各災害事例における死亡者数の経時変化

2.2.1 報告時間の考察

各災害事例における第1報の報告時間についてみると、最も早い時間は災害発生後1時間に報告されており、最も遅い時間は災害発生後46.2時間に報告されている。全体での第1報の平均報告時間は5.671時間となる。

外務省HPを参考(図2-5)にして、災害事例の発生場所について分類すると表2-3のようになる。地域別による第1報平均時間は、アジアでは3.36時間、オセアニアでは9.9時間、中南米は9.8時間、中東では4.0時間、欧州では7.2時間となる。

最後の情報を得た最終報告時間において、時間を24時間ごとに区切って災害事例を分類すると表2-4のようになる。最終報告時間別による第1報平均時間は、24時間(1日)以内の事例では4.6時間、48時間(2日)以内の事例では12.0時間、72時間(3日)以内の事例では2.9時間、96時間(4日)以内の事例では3.7時間、96時間を超える(5日以上)の事例では5.6時間となる。

最後の情報である最終報告者数では、各災害事例の最終報告者数を表2-5のように区分する。最終報告者数別による第1報平均時間は、0~10人では7.4時間、11~50人では5.2時間、51~100人では2.5時間、101~500人では4.5時間、501~1000人では6.2時間、1,001人以上では3.0時間となる。

第1報の報告がどの時間帯に多くされているかを調べるために、災害発生後の経過時間を1時間ごとに区切り、その時間帯に該当する災害事例の個数(ヒストグラム)を求めると図2-6~図2-9のようになる。災害発生後6時間までには災害事例51例中38例(74.5%)において第1報を入手している。同様に第2報から第5報までの情報を得た時間帯のヒストグラムを求めてみると図2-10~図2-13のようになる。更新回数が1回の事例は51事例、2回は40事例、3回は37事例、4回は32事例、5回は28事例であり、それぞれの平均更新時間は、1回目(第1報)5.67時間、2回目(第2報)7.51時間、3回目(第3報)12.74時間、4回目(第4報)20.49時間、5回目(第5報)25.01時間となる。それぞれの更新回数において該当事例数が多い時間帯は、1回目(第1報)では災害発生後2~3時間、2回目(第2報)では災害発生後3~4時間、3回目(第3報)では災害発生後4~5時間、4回目(第4報)では災害発生後4~5・6~7時間、5回目(第5報)では災害発生後5~6時間となっている。このことから、災害発生後6時間までに少なくとも1回、多ければ5回の情報を更新が可能であるといえる。

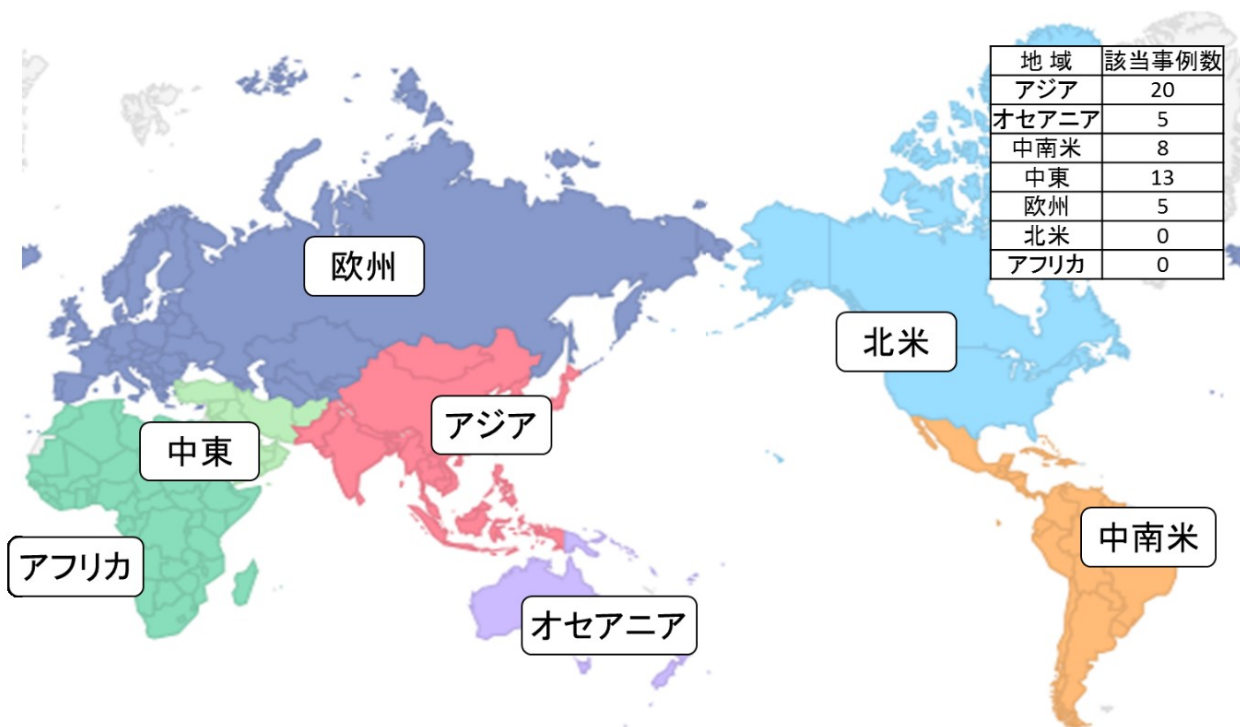


図 2-5 世界地域区分

表 2-3 第1報更新時間(地域別)

アジア		中東		中南米	
事例名	更新時間	事例名	更新時間	事例名	更新時間
兵庫県南部地震(1)	3	トルコ西部地震(14)	3.3	チリ中部地震(8)	12
新潟県中越地震(2)	19	トルコ東部地震(20)	2.9	グアテマラ(19)	1
ジャワ島中部地震(3)	2	アフガニスタン(27)	8.5	メキシコ南部(21)	2
ジャワ島南西沖地震(4)	7	イラン(30)	5.6	メキシコ南部地震(23)	46.2
岩手宮城内陸地震(5)	2	イラン(34)	1.5	チリ(24)	3.1
盈江地震(10)	3	イラン(35)	4	グアテマラ(31)	2.2
東北地方太平洋沖地震(11)	4	アフガニスタン(37)	1	イキケ地震(47)	3.4
ミャンマー地震(12)	3.3	イラン(39)	3.1	ニカラグア(48)	8.5
インドネシア(17)	4.5	パキスタン(43)	2.8	平均更新時間	9.800
インド北東部地震(18)	2.1	パキスタン(44)	6		
ネグロス島沖地震(22)	1	パキスタン(45)	3.8		
中国南西部地震(28)	2	イラン(46)	3		
中国(29)	1.5	パキスタン(50)	7.1		
ミャンマー(32)	6.3	平均更新時間	4.046		
四川地震(36)	2				
インド(38)	1				
台湾(40)	1.8				
インドネシア(41)	1.1				
中国(42)	2.9				
インド(51)	3.1				
平均更新時間	3.630				

オセアニア		欧州	
事例名	更新時間	事例名	更新時間
サモア沖地震(7)	5	ラクイラ地震(6)	6
ニュージーランド地震(9)	4.3	スペイン南部地震(13)	2.5
ニュージーランド地震(15)	29.6	キルギス地震(16)	16.4
ソロモン諸島沖地震(33)	5.2	タジキスタン(25)	10
バブアニューギニア(49)	5.5	イタリア北部地震(26)	1.1
平均更新時間	9.92	平均更新時間	7.200

表 2-4 第1報更新時間(最終報告時間別)

24時間以内の事例			72時間以内の事例		
事例名	最終報告時間	更新時間	事例名	最終報告時間	更新時間
メキシコ南部(21)	2.3	2	パキスタン(44)	48.7	6
チリ(24)	3.1	3.1	イラン(30)	51	5.6
インド(51)	3.1	3.1	イラン(34)	53.1	1.5
イラン(46)	4	3	中国(29)	56.8	1.5
バブアニューギニア(49)	5.5	5.5	ネグロス島沖地震(22)	64.3	1
パキスタン(50)	7.1	7.1	四川地震(36)	71.5	2
インド(38)	7.7	1	平均	57.567	2.933
ニカラグア(48)	8.5	8.5			
トルコ西部地震(14)	9	3.3			
イラン(39)	9	3.1			
タジキスタン(25)	10.5	10			
イキケ地震(47)	10.8	3.4			
盈江地震(10)	11.5	3			
イタリア北部地震(26)	13.3	1.1			
インドネシア(17)	13.5	4.5			
キルギス地震(16)	16.4	16.4			
ミャンマー地震(12)	19	3.3			
スペイン南部地震(13)	21.4	2.5			
ミャンマー(32)	22.2	6.3			
中国南西部地震(28)	24	2			
平均	11.095	4.610			

96時間以内の事例			96時間を超える事例		
事例名	最終報告時間	更新時間	事例名	最終報告時間	更新時間
パキスタン(43)	73.8	2.8	インドネシア(41)	99.5	1.1
ジャワ島南西沖地震(4)	79	7	チリ中部地震(8)	100	12
パキスタン(45)	83	3.8	ジャワ島中部地震(3)	125	2
グアテマラ(19)	86.9	1	ラクイラ地震(6)	156	6
インド北東部地震(18)	95.4	2.1	岩手宮城内陸地震(5)	157	2
ソロモン諸島沖地震(33)	96	5.2	トルコ東部地震(20)	174.8	2.9
平均	85.683	3.650	サモア沖地震(7)	200	5
			兵庫県南部地震(1)	208	3
			ニュージーランド地震(9)	317	4.3
			新潟県中越地震(2)	413	19
			東北地方太平洋沖地震(11)	975	4
			平均	265.936	5.573

48時間以内の事例		
事例名	最終報告時間	更新時間
グアテマラ(31)	24.2	2.2
アフガニスタン(37)	28.6	1
ニュージーランド地震(15)	29.6	29.6
台湾(40)	30	1.8
中国(42)	32.2	2.9
アフガニスタン(27)	37.5	8.5
メキシコ南部地震(23)	46.2	46.2
イラン(35)	47.5	4
平均	34.475	12.025

表 2-5 第1報更新時間(最終死亡者数別)

0~10人の事例			51~100人の事例		
事例名	最終報告者数	1回	事例名	最終報告者数	1回
ニュージーランド地震(15)	1	29.6	グアテマラ(31)	52	2.2
チリ(24)	1	3.1	ミャンマー地震(12)	74	3.3
ニカラグア(48)	1	8.5	中国(29)	81	1.5
バブアニューギニア(49)	1	5.5	中国(42)	94	2.9
インド(51)	1	3.1	平均	75.250	2.475
メキシコ南部(21)	2	2			
メキシコ南部地震(23)	2	46.2			
インド(38)	2	1			
イラン(39)	2	3.1			
パキスタン(50)	2	7.1			
トルコ西部地震(14)	3	3.3			
インドネシア(17)	3	4.5			
タジキスタン(25)	3	10			
グアテマラ(19)	4	1			
中国南西部地震(28)	4	2			
台湾(40)	5	1.8			
イキケ地震(47)	6	3.4			
イラン(46)	7	3			
スペイン南部地震(13)	9	2.5			
平均	3.105	7.405			

11~50人の事例			101~500人の事例		
事例名	最終報告者数	1回	事例名	最終報告者数	1回
岩手宮城内陸地震(5)	12	2	ニュージーランド地震(9)	166	4.3
ミャンマー(32)	13	6.3	パキスタン(45)	183	3.8
ソロモン諸島沖地震(33)	13	5.2	サモア沖地震(7)	192	5
キルギス地震(16)	14	16.4	四川地震(36)	193	2
イタリア北部地震(26)	17	1.1	イラン(30)	308	5.6
インド北東部地震(18)	20	2.1	ラクイラ地震(6)	309	6
盈江地震(10)	25	3	平均	225.167	4.450
アフガニスタン(37)	27	1			
パキスタン(44)	30	6			
ネグロス島沖地震(22)	34	1			
イラン(35)	36	4			
インドネシア(41)	36	1.1			
新潟県中越地震(2)	40	19			
イラン(34)	40	1.5			
アフガニスタン(27)	50	8.5			
平均	27.133	5.213			

501~1000人の事例			1001人以上の事例		
事例名	最終報告者数	1回	事例名	最終報告者数	1回
パキスタン(43)	515	2.8	兵庫県南部地震(1)	5092	3
トルコ東部地震(20)	601	2.9	ジャワ島中部地震(3)	6234	2
ジャワ島南西沖地震(4)	650	7	東北地方太平洋沖地震(11)	14006	4
チリ中部地震(8)	802	12	平均	8444.000	3.000
平均	642.000	6.175			

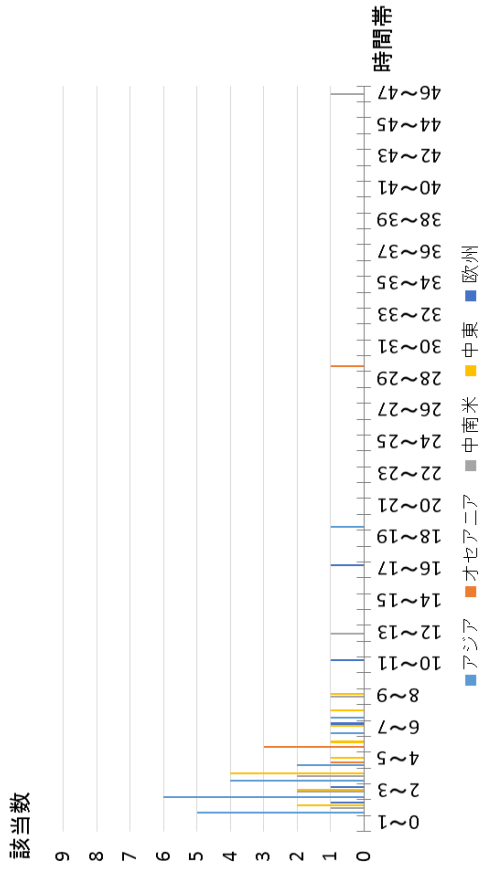


図 2-7 第 1 報の更新時間ヒストグラム(地域別)

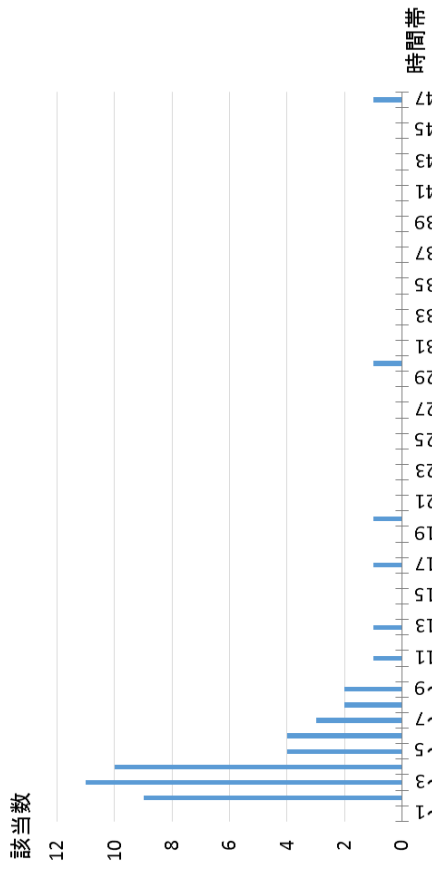


図 2-6 第 1 報の更新時間ヒストグラム(地震災害事例すべて)

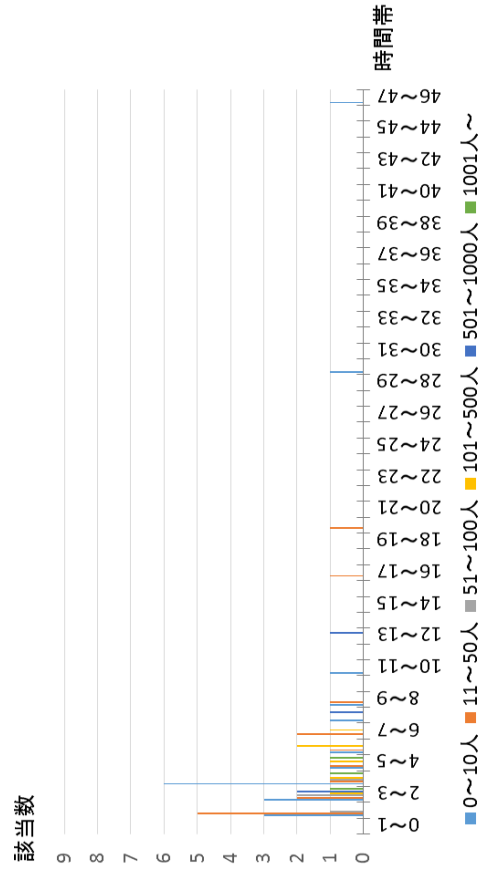


図 2-9 第 1 報の更新時間のヒストグラム(最終報告者数別)

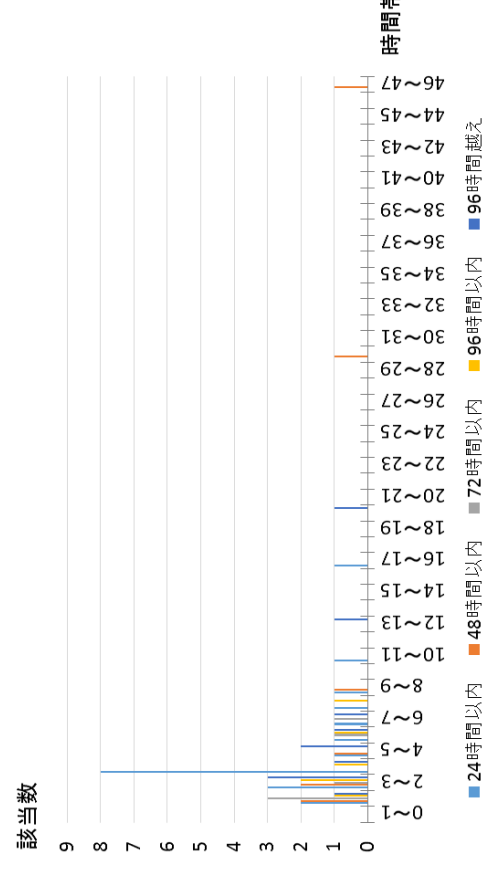


図 2-8 第 1 報の更新時間ヒストグラム(最終報告時間別)

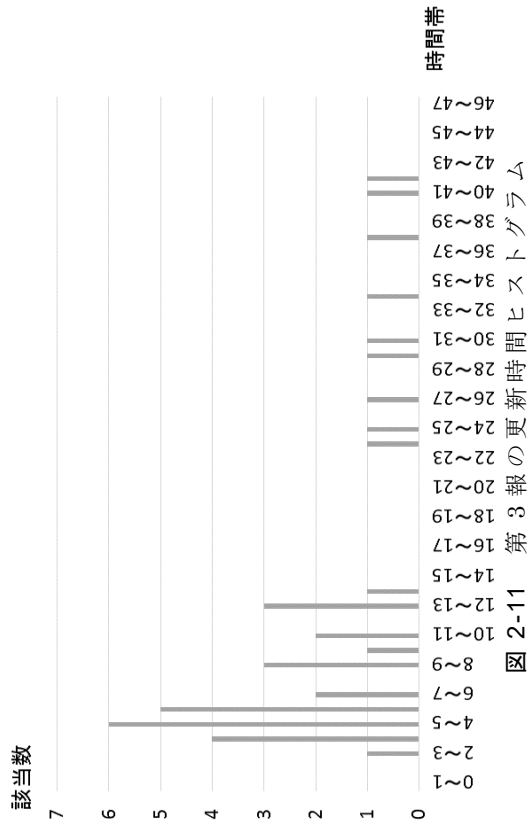


図 2-11 第3報の更新時間ヒストグラム

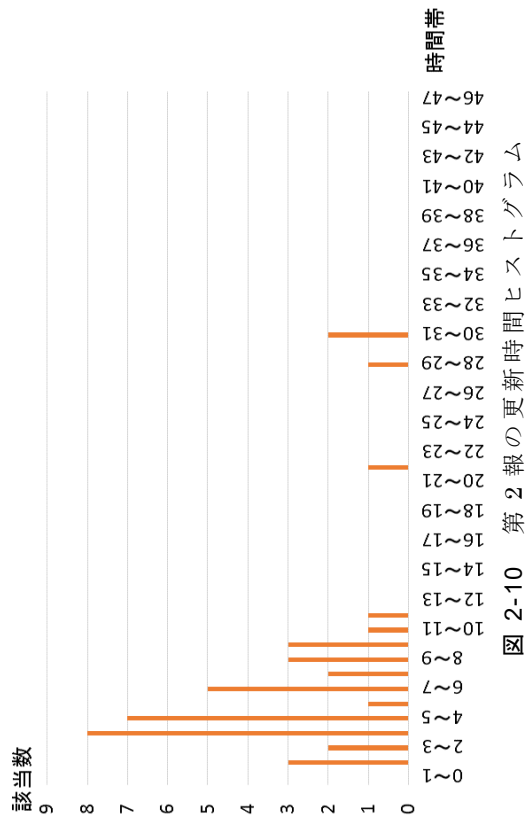


図 2-10 第2報の更新時間ヒストグラム

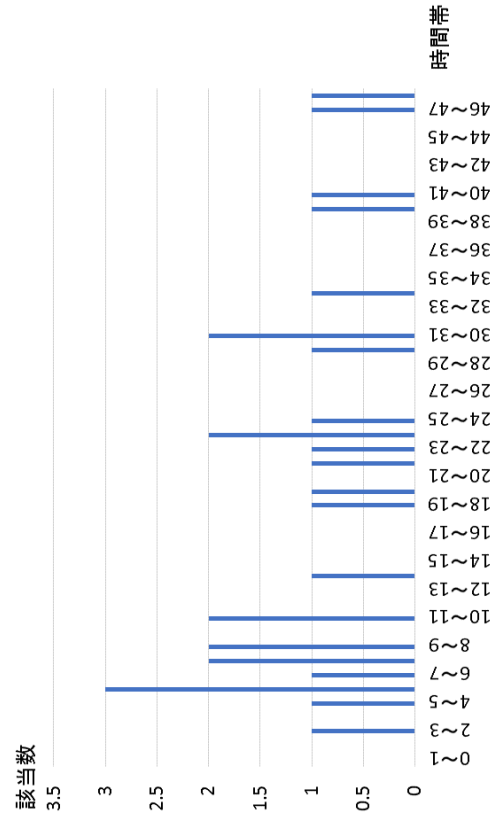


図 2-13 第5報の更新時間ヒストグラム

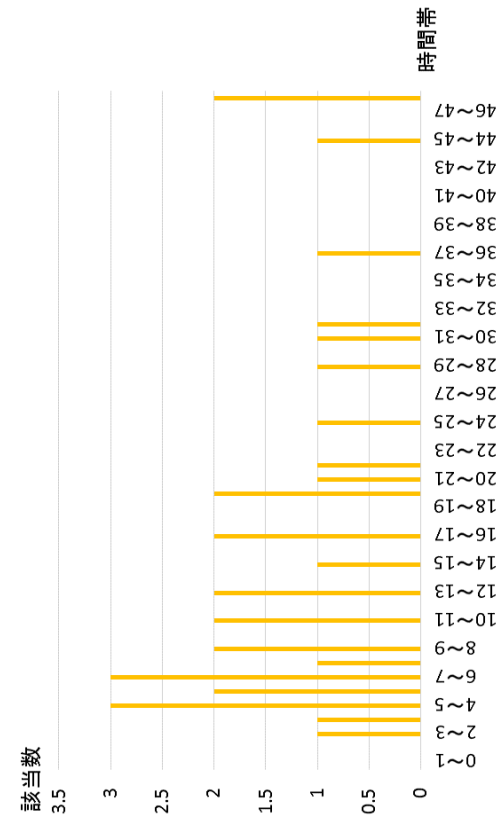


図 2-12 第4報の更新時間ヒストグラム

2.2.2 最終報告時間，最終報告者数および情報の更新回数との関係性

各災害事例によって最終報告時間，最終報告者数および情報の更新回数は異なる。しかしながら，災害の規模が大きければその被害も大きくなり，災害規模が小さければ被害も小さくなる傾向にあると考えられる。そのため，最終報告時間が遅ければ最終報告者数は多く，情報更新回数も多くなると推測される。この最終報告時間，最終報告者数および更新回数の関係性を確認する。

各災害事例において，最終報告者数と最終報告時間は図 2-14 のように，最終報告時間と更新回数は図 2-15 のように，最終報告者数と更新回数は図 2-16 のようになる。視覚的にははっきりとした関係性を見て取ることができないが，相関係数を求めると最終報告時間と最終報告者数では 0.807，最終報告時間と更新回数では 0.861，最終報告者数と更新回数では 0.847 となり，いずれも強い相関性があることが分かる。また相関性を視覚的に見るために，最終報告時間と最終報告者数を対数にすると，最終報告者数と最終報告時間は図 2-17 のように，最終報告時間と更新回数は図 2-18 のように，最終報告者数と更新回数は図 2-19 のようになる。

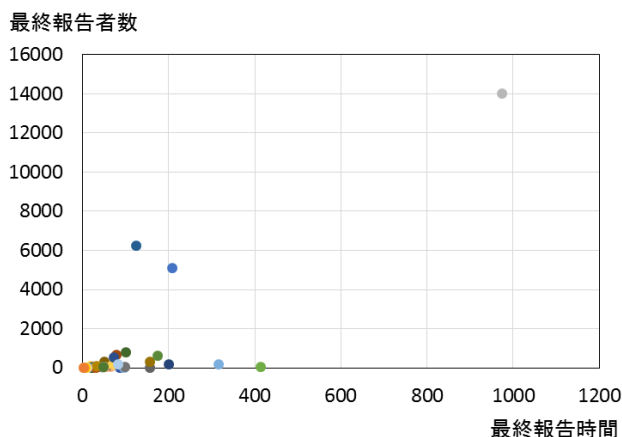


図 2-14 最終報告者数と最終報告時間の関係性

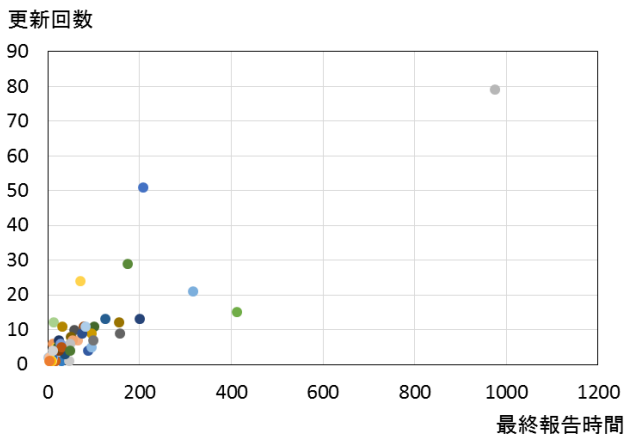


図 2-15 最終報告時間と更新回数の関係性

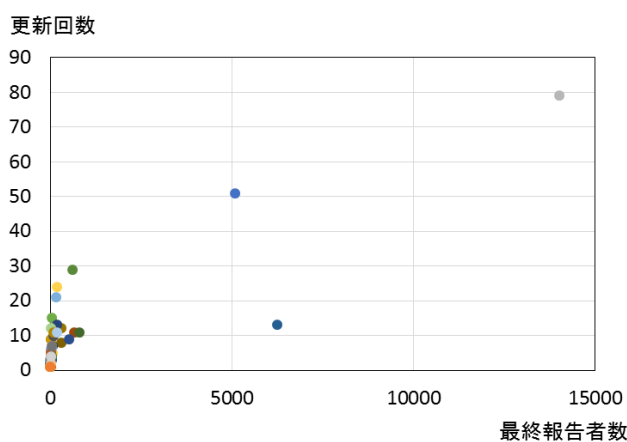


図 2-16 最終報告者数と更新回数の関係性

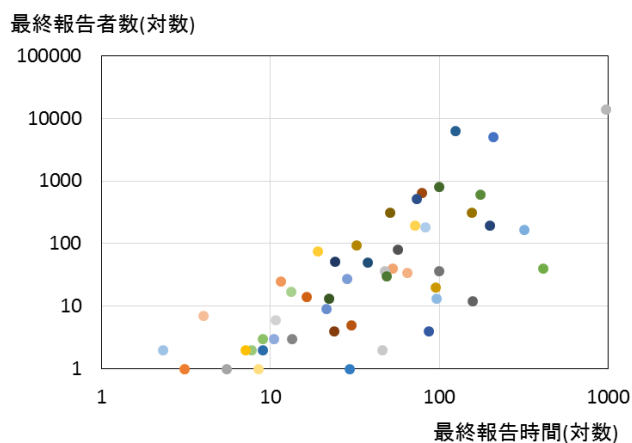


図 2-17 最終報告者数(対数)と最終報告時間(対数)の関係性

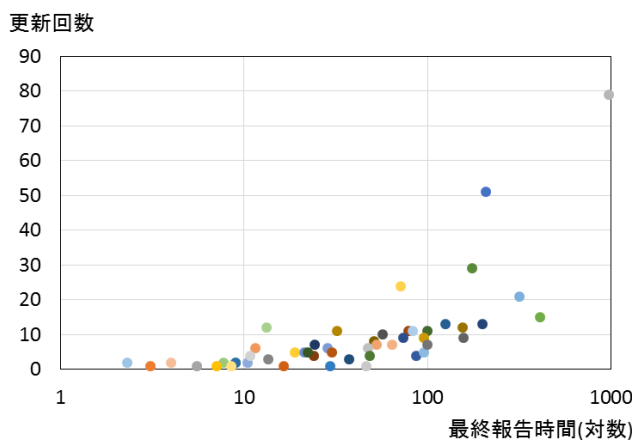


図 2-18 最終報告時間(対数)と更新回数(対数)の関係性

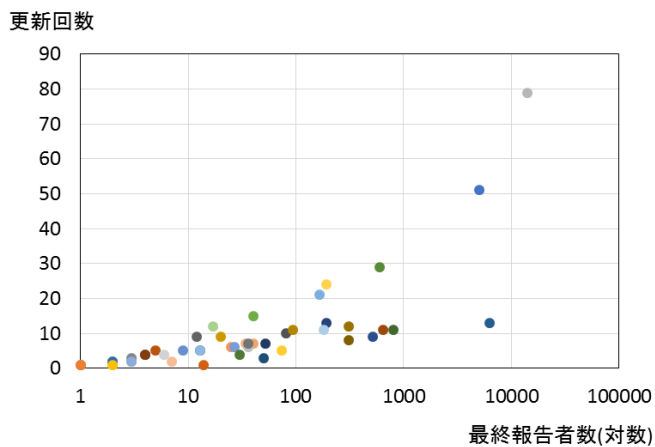


図 2-19 最終報告者数(対数)と更新回数(対数)の関係性

第3章 人的被害情報に基づく DMAT 派遣の簡易モデル

3.1 人的被害情報の簡易モデル

表 3-1 の地震災害における報道機関の情報を利用する。災害発生後の経過時間に伴う負傷者数の推移は図 3-1 のようになり、災害発生後の経過時間に伴う死亡者数の推移は図 3-2 のようになる。災害によって経過時間の報告された負傷者数および死亡者数は異なるため、これらの情報を発災後の経過時間 t における負傷者数比および死亡者数比として表わす。この際、DMAT は発災後 48 時間以内を目安として活動し、活動時間が災害急性期に限られること、発災 72 時間経過すればある程度の後方支援基盤が整うことから、発災後約 100 時間の負傷者数および死亡者数を基準とする。よって、負傷者数比は図 3-3、死亡者数比は図 3-4 のようになり、それぞれの比率式を回帰直線として求めると負傷者数比は式(3.1)、死亡者数比は式(3.2)となる。

$$f(t)=0.0093t+0.1119 \quad (3.1)$$

$$f(t)=0.0104t+0.1624 \quad (3.2)$$

比を求める際に基準時間を 100 時間程度としたが、各比率式において負傷者数比が 1 となる時間は $t=95.5$ 、死亡者数比が 1 となる時間は $t=80.5$ である。このことから、100 時間未満の時間帯(ここでは $t=95.5$ および $t=80.5$)において、被災地の状況(負傷者数又は死亡者数)を把握できたものと考えられる。

二つの比率式を比較すると図 3-5 のようになる。災害時の対応が緊急性を要することから、比が 1 となる時間が早く、データの多い死亡者数から導出した式(2.2)を、被災者数比と仮定して用いることとする。

比率式の比が 1 となる 80.5 時間後の被災者数を A とし、第 1 報となる被災地情報(初期情報) I を発災後 t_1 時間で入手できる場合、式(3.3)のように表わすことができる。

$$I=f(t_1) \times A \rightarrow A=\frac{I}{f(t_1)} \quad (3.3)$$

この時、被災者の時間推移は図 3-6 のようになる。また、1 時間ごとに情報更新した場合、更新することで図 3-7 のように新たな処置可能被災者(増加処置可能被災者)が報告される。

表 3-1 過去の地震災害事例

災害名	発生年月	災害名	発生年月
兵庫県南部地震	1995.1.17	サモア沖地震	2009.9.29
新潟県中越地震	2004.10.23	チリ中部地震	2010.2.27
ジャワ島中部地震	2006.5.27	ニュージーランド地震	2011.2.22
ジャワ島南西沖地震	2006.7.17	東北地方太平洋沖地震	2011.3.11
岩手宮城県内陸地震	2008.6.14	トルコ東部地震	2011.10.23
ラクイラ地震	2009.4.6		

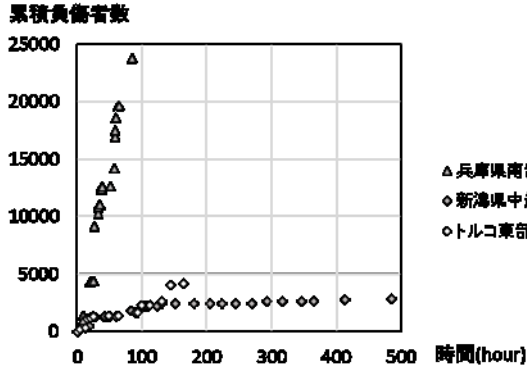


図 3-1 経過時間に伴う負傷者数の推移

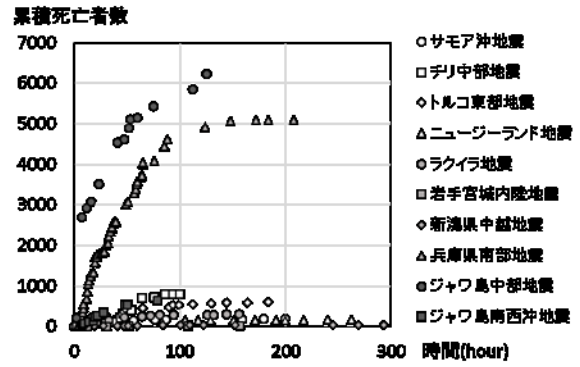


図 3-2 経過時間に伴う死亡者数の推移

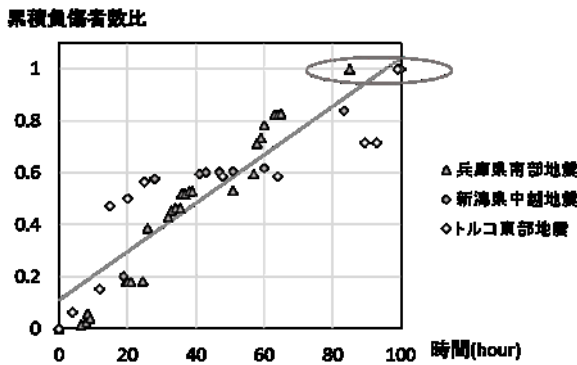


図 3-3 経過時間に伴う負傷者数比の推移

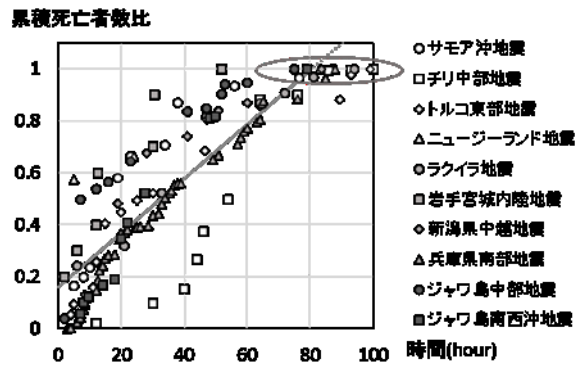


図 3-4 経過時間に伴う死亡者数比の推移

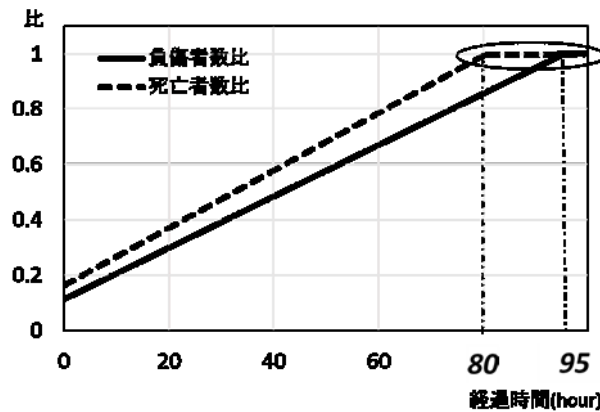


図 3-5 経過時間に伴う負傷者数比と死亡者数比の比較

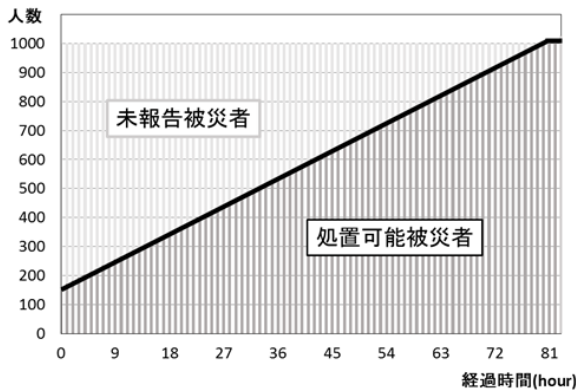


図 3-6 経過時間に伴う処置可能被災者数の推移

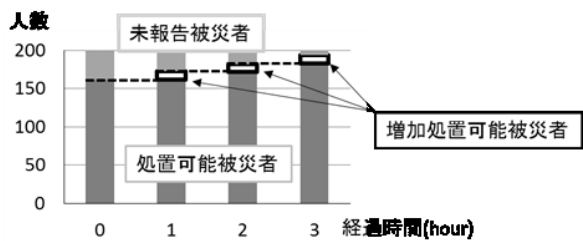


図 3-7 増加処置可能被災者数

3.2 DMAT 派遣の簡易モデル

3.2.1 DMAT について

DMAT が設立されるきっかけとなったのは 1995 年 1 月 17 日の兵庫県南部地震である。この地震において「避けられた災害死(Preventable death)」が約 500 人存在すると日本 DMAT のホームページ¹⁾で記載されている。この避けられた災害死の人数についての研究^{2), 3), 4), 5)}はされているが、正確な人数を知ることは難しい。これを契機に行われた各種の研究^{6), 7), 8)}や検討⁹⁾の結果を踏まえ、災害医療の観点から急性期災害医療体制の整備が早急に進められてきた。平成 18 年には医療法改正により、都道府県が作成する医療計画の記載事項の中に救急医療、災害時における医療に係る事項が追加され、平成 20 年度からの第 5 次医療計画に基づいて各都道府県では災害医療体制の整備が行われている。急性期災害医療体制をなす 4 本柱として、災害拠点病院の指定整備、DMAT の設立養成、広域災害・救急医療情報システム(Emergency Medical Information System : EMIS)の導入・整備、広域医療搬送計画の策定が挙げられる。DMAT 活動要領(H25.9.4 改正)¹⁰⁾によると DMAT とは、大地震および航空機・列車事故等の災害時に被災者の生命を守るため、被災地に迅速に駆けつけ、救急治療を行うための専門的な訓練を受けた医療チームとされている。また、災害の発生直後の急性期(概ね 48 時間以内)に活動を開始できる機動性を持ち、1 チームの構成は 4 名(医師 1 名, 看護師 2 名, 業務調整員 1 名)を基本とし、その活動は、被災地域の医療需要の把握、被災地における急性期の医療体制の確立、被災地域での緊急治療や病院支援の実施、被災地域で発生した多くの傷病者を被災地域外の適切な医療機関へ搬送等があり、被災地に参集する医療チームとの有機的な連携を行って、死亡や後遺症の減少をなし遂げることが期待されている(図 3-8 参照)。自然災害による「犠牲者ゼロ」の取組み¹¹⁾において平成 23 年度までに DMAT を 1000 チームまで増強するとした目標が達成され、平成 25 年度で 1323 チーム¹²⁾、平成 26 年度には 1426 チームが養成されている。

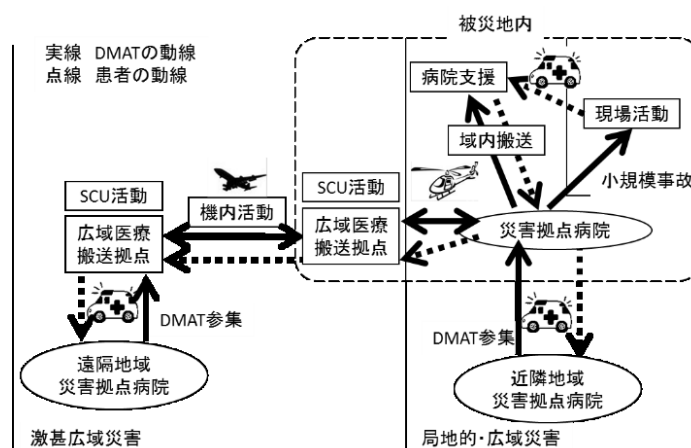


図 3-8 DMAT の活動イメージ図¹⁾

3.2.2 DMAT が組織的活動を実施した主な自然災害

DMAT が始めて組織的活動を実施したのは 2007 年 7 月 16 日の新潟県中越沖地震であり、被災地へ参集し活動した DMAT は 42 チームだった。1 年も経過しない 2008 年 6 月 14 日に発生した岩手・宮城内陸地震では 40 チームの DMAT が被災地に参集して活動した。上記二つの地震災害による課題^{13), 14)}がそれぞれ提言され、急性期医療における DMAT 等の改善が行われた。その他にも自然災害や人為災害で DMAT は派遣されている。そして平成 23 年の東北地方太平洋沖地震では約 380 チームもの DMAT が被災地に参集し、初めての広域災害医療搬送を実施することとなった。

3.2.3 阪神・淡路大震災と東日本大震災の医療ニーズ

阪神・淡路大震災を契機に整備されてきた災害医療において、DMAT が想定していた医療ニーズは超急性期の外傷を中心とする救命医療に主軸をおいたものだった。しかし、東日本大震災での医療ニーズは想定と異なったものであり、新たな対応を要求されることとなった。阪神・淡路大震災では、死者 6433 人に対して傷病者は 43800 人¹⁵⁾、東日本大震災では死者 15520 人に対して傷病者は 5388 人¹⁶⁾であった。死亡要因として阪神・淡路大震災では建物の倒壊による下敷き等の圧死が多いのに対し、東日本大震災では津波災害による水死が多くなっている。そのため東日本大震災では災害発生後の急性期に必要なとされる外傷傷病者に対する医療ニーズの把握が困難になり、慢性疾患に対する医療ニーズが長期にわたり続くことになったと分析¹⁷⁾されている。

3.2.4 東日本大震災の教訓と課題

各機関での検討会^{18), 19), 20)}によると、DMAT のあり方として、津波災害の特性から DMAT 研修内容、DMAT 活動要領の見直し、活動時期が長期になる場合の対応、指揮調整機能・ロジスティックの支援強化、広域医療搬送における航空搬送計画の策定、ドクターヘリの活用についての課題が挙げられている。これらの課題を元に DMAT 活動要領の一部改正、DMAT 研修内容の変更、ロジスティック要員の育成、災害コーディネーターの養成等が実施されている。また、小井土雄一ら²¹⁾は DMAT に関わる活動と今後の研究として、1: 指揮調整機能の更なる強化に係る研究(DMAT 事務局の機能拡充, 統括 DMAT の充実)、2: 被災地内でインターネットを含む通信体制の確保に係る研究(被災拠点病院, 全 DMAT への星携帯電話の整備)、3: 広域医療搬送戦略の見直しに係る研究(SCU をサポートする近隣病院の指定)、4: 亜急性期活動戦略の確保に係る研究(迅速性を維持しつつ, 1~2 週間をカバーできる体制の確保と病院支援戦略の確立)、5: DMAT 全体としてのロジスティックサポートの充実に係る研究(ロジステーション構想の具現化と中央直轄ロジ要員の確保)、6: 他組織との更なる連携に係る研究(自衛隊との一層の連携)を挙げている。

3.2.5 医療分野における既往の研究

災害が発生していない平時において救急自動車、ドクターカーやドクターヘリコプターおよびランデブーポイントの配置問題の研究^{22), 23), 24), 25), 26)}や、傷病者を選別するトリア

ージの研究 27), 28)がされており, 災害が発生した際の準備として活用できる. また, 災害時における関係機関との連携 29), 30), 31), 救護所の設置 32), 広域医療搬送における計画やそのシステムの研究 33), 34)はされているが, 被災者を直接救うことのできる DMAT 派遣(配置)35), 36)に関する工学的研究はあまりされていない.

3.2.6 DMAT 能力の設定

提案モデルは災害が発生した際の急性期医療における DMAT 派遣の初歩的研究であるため, DMAT の諸条件として, DMAT の参集場所, 活動内容, 活動開始時期, 医療能力を以下のように仮定する.

日本 DMAT 活動要領(H25.9.4 改正)の中で, 「DMAT が被災地内で行う活動は, 病院支援, 域内搬送および現場活動」が主な業務とされており, 「被災地域で活動する DMAT は, 原則として, 被災地域内の災害拠点病院等に設置される DMAT 活動拠点本部に参集し, その調整下で被災地域での活動を行う」と記載されている. また, 都道府県等の DMAT 運用計画の中でも DMAT の参集拠点は被災都道府県の災害拠点病院となっており, 広域医療搬送を行う際の拠点場所も設定するようになっている. DMAT 派遣は, 被災都道府県の要請による派遣, または DMAT 指定病院の自主派遣によって, チームごとに陸路で移動するか, まとまって空路で移動して, 参集場所へ向かう. 参集場所は, 被災都道府県や DMAT 事務局から示されるようになっている. このようなことから, DMAT の参集場所を災害拠点病院とし, 活動内容を災害拠点病院での病院支援とする. また, 参集場所に到着してから活動する時間はチームごと異なるため, 制約条件である DMAT の数のなかで, 活動開始する時間に差を設けることとする(図 3-9 参照).

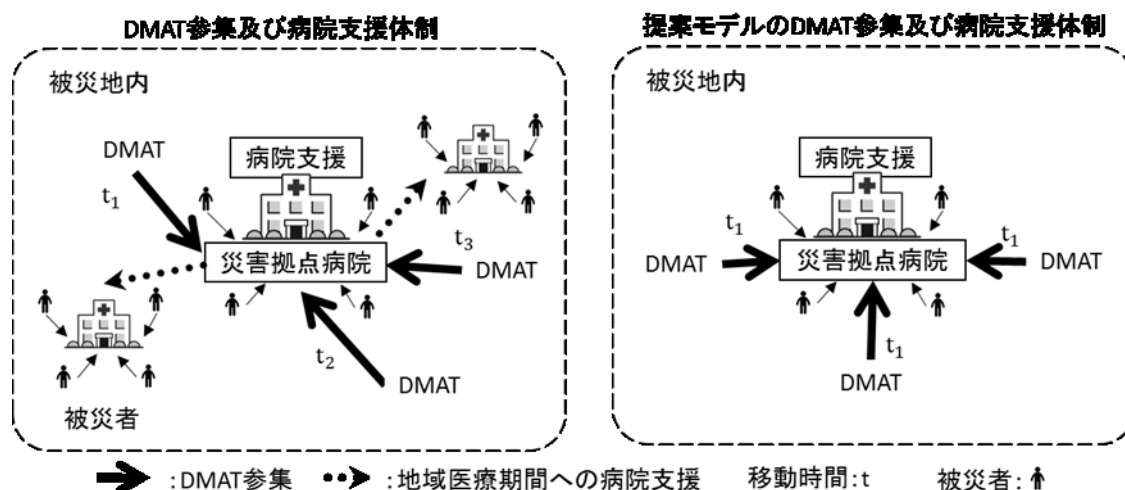


図 3-9 DMAT 参集および病院支援体制イメージ図

DMAT の救命能力として, DMAT が携行する標準資機材は, おおむね 10 名程度の重症・中傷の傷病者に対応できるものであり, 現場活動の際には軽症の傷病者を含めて単位時間当たり 20~30 名に対応することが可能となっている. また, 災害の種類を問わず, 災害発

生時には多数傷病者が発生する可能性があり，その状況下での最大多数の人命救助を目指すために，治療優先順位付け(トリアージ)が行われる．トリアージは繰り返し実施され，発災現場や病院で行う最初のトリアージを一次トリアージといい，そのあとより正確な基準(生理学的，解剖学的，受傷機転，災害弱者)による評価を二次トリアージという．この一次トリアージの時間は 30 秒以内³⁸⁾または 1 分以内^{39),40)}と明記されている．また，現場で行われる治療は症状の安定化をはかる応急処置であり，搬送先において症状を取り除く根本治療が行われる．

DMAT の病院支援の優先順位⁴¹⁾は，災害拠点病院の拠点化，病院から拠点病院の情報共有・搬送体制の確保，域外搬送体制の確立，病院での診察支援であり，その活動は支援先病院長の指揮下で行うものとされている．災害拠点病院に来院する被災者を直接救う，病院での診察支援を行うものとする．このとき，支援病院施設の資材等を利用でき，来院者の症状により DMAT が処置できる人数は異なってくるが，先に述べた DMAT 資器材の対応人数をかんがみ，単位時間当たり 10 名の来院患者を処置できると仮定する．

3.3 生存率の定式化

兵庫県南部地震以降，地震などの災害によって倒壊した建物等の下敷きになった人の救出時に，「黄金の 72 時間」や「72 時間の壁」というフレーズがよく使われる．兵庫県南部地震の日別救出者中の生存者割合³⁷⁾，人が水を摂取しないで生きられる時間，生き埋めになった際の外傷や環境の変化によって災害が発生してから 72 時間を境に生存率が激減するとされている．このような生存率の低下傾向は外国での災害でも同じとされ，英語では「Golden 72 hours」と言われている．災害が発生してから報告される被災者の中には救助されて治療を受けられなければ亡くなってしまうため，生存率を発災直後($t=0$)は 100%と仮定し，経過時間に伴い被災者が死亡してゆくもの(単調減少)とする．図 3-10 の各点を結んだ直線をもとにした回帰曲線式は，式(3.4)のようになる．

$$\alpha(t) = -5.950 \times 10^{-6} t^4 + 1.262 \times 10^{-3} t^3 - 0.07597 t^2 - 0.0573 t + 100 \quad (3.4)$$

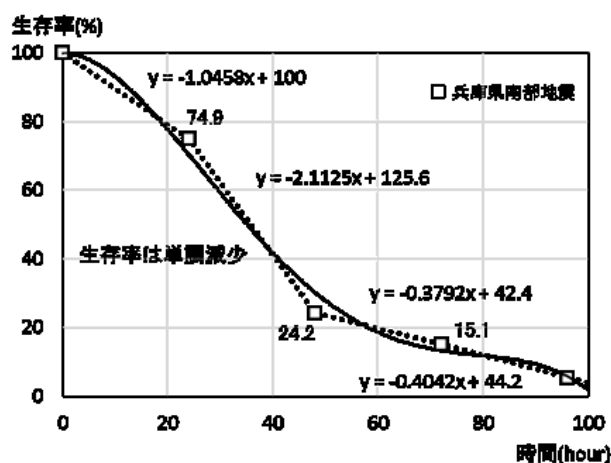


図 3-10 生存率式

3.4 死亡者数最小化問題

不確実な災害現場の初期情報をもとに対応する急性期医療のひとつとして、人的被害の最小化に貢献する DMAT のチーム数を制約条件とした人的被害最小化問題の初歩的なモデルを構築する。このモデルの有用性を検討することで、災害急性期の対応においてチーム数に制約がある DMAT を有効に活用する意思決定の一助となるものと考えられる。また、有限の DMAT をいつ、被災地のどこに、どれだけ派遣するべきかという意思決定の判断材料のひとつとなることを目的として DMAT 派遣モデルを考察する。なお、急性期医療での DMAT 派遣モデルを考察しているため、急性期医療ニーズが少なかった東日本大震災は、対象としない。

簡易モデルとして比が 1 となる時間までの DMAT 派遣を考える際に、DMAT のチーム数を制約条件とし、目的関数となる死亡者数を最小にする最適化問題を定式化する。この際、人的被害に関わる要因は多種多様であるが、災害発生後(以下、発災後と記述する)の経過時間に伴い低下していく生存率、発災後の経過時間に伴い増加していく被災者情報および被災地情報の三つを考慮して定式化する。

目的式は発災後の経過時間 t の関数となる。まず第 1 報となる被災地情報(初期情報)を発災後 t_1 時間で入手できるものとし、これを初期情報 I とする。式(3.3)から比が 1 となる時間($t=T$)における処置可能被災者数 $V_i(T)$ が式(3.5)のようになる。ここでの i は、DMAT を派遣する被災地(災害拠点病院)を表わす。

$$V_i(t) = f(t) \times A_i \quad (3.5)$$

また、初期情報を入手した時間 t_1 での生存者数 $S_i(t_1)$ は初期情報 I となる。

$$S_i(t_1) = I \quad (3.6)$$

DMAT の医療能力を B 、派遣 DMAT 数を m_i^1 とすると DMAT の処置を受けられなかった未治療者数 $G_i(t_1)$ は式(3.7)となる。 Δt は、DMAT の活動時間および情報更新の間隔を表わす。

$$G_i(t_1) = S_i(t_1) - B \times m_i^1 \times \Delta t \quad (3.7)$$

情報更新による増加処置可能被災者数 a_i は処置可能被災者数推定式の増加分となるため式(3.8)のようになる。

$$\frac{dV_i(t_1)}{dt} = A_i \times f'(t) \times t = a_i \quad (3.8)$$

情報更新後($t_2 = t_1 + \Delta t$)の処置可能被災者数 $V_i(t_2)$ は、未治療者数に増加処置可能被災者数を足した式(3.9)となる。

$$V_i(t_2) = V_i(t_1) + a_i \quad (3.9)$$

生存者数は処置可能被災者数に生存率を掛けた式(3.10)となる。

$$S_i(t_2) = V_i(t_2) \times \alpha(t_2) \quad (3.10)$$

死亡者数は処置可能被災者数から生存者数を引いた式(3.11)となる。

$$D_i(t_2) = V_i(t_2) - S_i(t_2) \quad (3.11)$$

情報更新後($t_2 = t_1 + \Delta t$)に派遣する DMAT 数を m_i^2 とすると、未治療者数は生存者数から派遣した DMAT の医療能力を引いた式(3.12)となる。

$$G_i(t_2) = S_i(t_2) - B \times m_i^{t_2} \times \Delta t \quad (3.12)$$

このように情報更新ごとの値を求め、初期情報を得た時間 ($t=t_1$) から比率が 1 になる時間 ($t=T$) までの死亡者数を求めると式(3.13)のようになる。

$$\sum_n^T D_i(t) = \sum_n^T [V_i(t) - S_i(t)] \quad (3.13)$$

よって、DMAT 数を制約条件とし、死亡者数を目的関数とした最小化問題として式(3.14)のように定式化することができる。

$$\begin{aligned} \text{Min. } & \sum_n^T D_i(t) = \sum_n^T [V_i(t) - S_i(t)] \\ \text{Sub. to } & \sum_{i=1}^T m_i = M, \quad m_i \geq 0, \quad t \geq 0 \end{aligned} \quad (3.14)$$

被災者数の比率式は、表 3-1 の情報から求めた線形回帰直線であるため、時間経過に伴い被災者数が比例的に増加していく情報を再現することとなる。そのため、時間経過に伴い被災者数が比例的に増加していく情報形態であれば提案モデルが適用できるものとする。また、各地震災害の情報から求めた回帰直線を用いることで、それぞれの地震災害の DMAT 派遣を検証することが可能と考えられる。

3.4.1 簡易モデルの検討(その1)

設定した生存率式と処置可能被災者数推定式を用いて DMAT 派遣時の死亡者数変化を考察する。一斉派遣は災害発生後の経過時間 t まで DMAT を派遣せず、経過時間 t に派遣することを言う。情報の更新間隔を $\Delta t=0.1$ 時間とし、簡単のために DMAT の被災地までの移動時間は考慮しない。

(1) DMAT 派遣の有無

例として、被災地を 1 地点、初期情報を $I=150$ 人と仮定し、DMAT 派遣しない場合と発災直後に 4 チーム派遣した場合の死亡者数の推移を図 3-11、各時間の死亡者数の推移を図 3-12、未治療者数の推移を図 3-13 に示す。

図 3-11 から DMAT 派遣により死亡者数を減らすことができる。図 3-12 では初期情報の未治療者がいるため、死亡者は増加していくが DMAT 派遣により一度減少し、未治療者がゼロになることで増加処置可能被災者の死亡者が時間経過に伴い増加する。派遣しない場合も同様に発災後から増加するが、未治療者が減少することで死亡者も減少し増加処置可能被災者が死亡者となる。図 3-13 では DMAT 派遣により未治療者は減少していきゼロとなる。派遣しない場合は、災害発生初期において未治療者は増加するが、時間経過による生存率低下によって死亡者が増加するため減少していく。

(2) 初期情報が同じ場合(被災地：2 地点)

初期情報が $I_1=I_2=150$ 人と仮定した場合の目的式は式(3.15)のようになる。

$$\begin{aligned} \text{Min. } & \sum_{t=T}^{80.5} [V_1(t) - S_1(t)] + \sum_{t=T}^{80.5} [V_2(t) - S_2(t)] \\ \text{Sub. to } & \sum_{i=1}^2 m_i = 10, \quad m_i \geq 0, \quad t \geq 0 \end{aligned} \quad (3.15)$$

この時の合計死亡者数を図 3-14 に示す。発災直後に DMAT を 5 チームずつ派遣すると合計死亡者は 814 人(1848 人中 1034 人救助)となり，死亡者が最小となる。

(3) 初期情報が異なる場合(被災地：2 地点)

初期情報を $I_1=150$ 人， $I_2=100$ 人と仮定した場合の目的式は式(2.15)と同じになる。この時の合計死亡者数を図 3-15 に示す。発災直後に DMAT を被災地 1 に 6 チーム，被災地 2 に 4 チーム派遣すると，被災地 1 は死亡者 405 人(924 人中 519 人救助)，被災地 2 は死亡者 270 人(616 人中 346 人救助)，よって合計死亡者数は 675 人(1540 人中 865 人救助)となり，死亡者が最小となる。

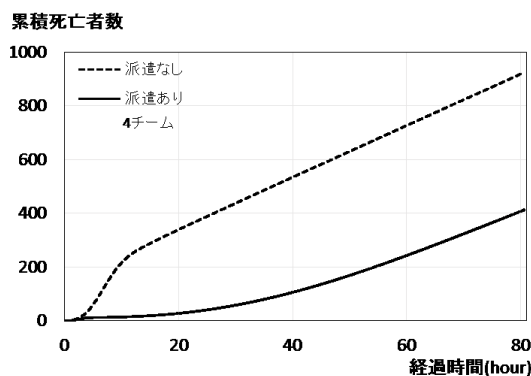


図 3-11 死亡者数の時間推移

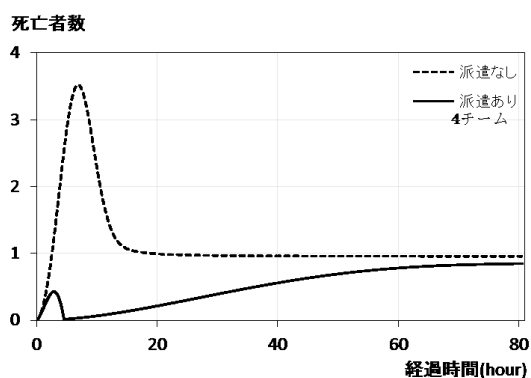


図 3-12 時間ごとの死亡者数推移

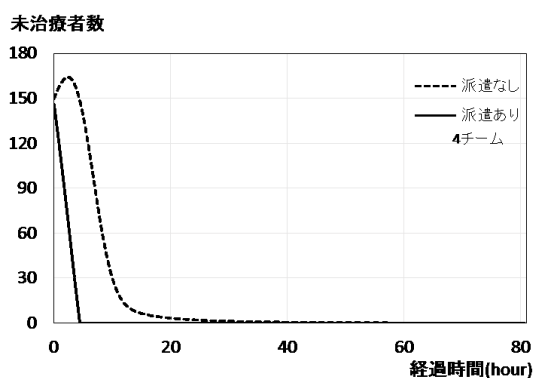


図 3-13 時間ごとの未治療者数推移

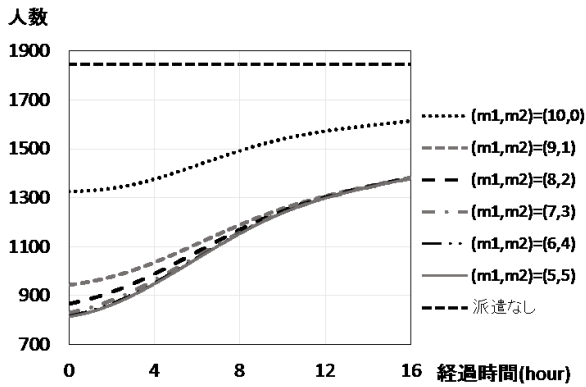


図 3-14 初期情報が同じ場合の合計死亡者数

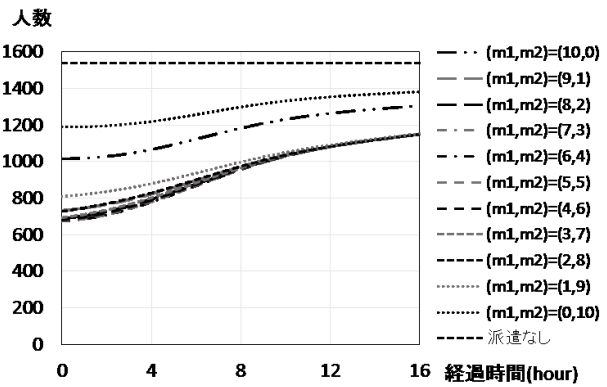


図 3-15 初期情報が異なる場合の合計死亡者数

(4) DMAT 派遣結果の考察

生存率が単調減少し、被災地情報が既知であるため、DMAT を早期に派遣するのが死亡者数を最小にするために有効である。DMAT 数に制約がある場合においても DMAT を早期に派遣するのが有効であると考えられるが、被災者数が異なることで死亡者数を最小にする DMAT の最適な配分が発生する。よって、災害発生直後の情報をいち早く入手することが重要となる。また、派遣された DMAT は派遣された被災地で連続活動するものと仮定したが、図 3-16 に発災 3.5 時間後に DMAT を 10 チーム派遣した際の各時間の救助者数を表してみると、 $t=5$ 以降では DMAT の医療能力($B=10$)以下の人数しか救えなくなっている。これは派遣した DMAT 数に余剰が生じていることを表わしており、DMAT の段階的な撤退が可能であることを示している。よって、撤退した DMAT を新たな被災地または不足している被災地へ派遣(転用)することが可能といえる。

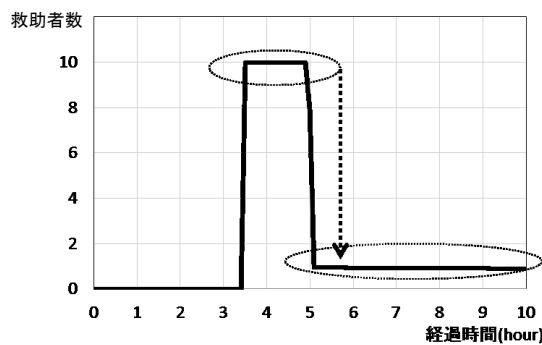


図 3-16 各時間の救助者数

3.4.2 簡易モデルの検討(その 2)

(1) 情報の不確かさ

仮定した処置可能被災者推定式により処置可能被災者数を推定でき、情報更新ごとの増加処置可能被災者数を導出できるため、死亡者数を最小にするために必要な DMAT 数を求められる。しかし、災害発生から現場の正確な状況を把握することは困難であり、得られた情報は正確とは限らない。そこで情報の不確かさを表現するために、得られる情報に幅

を持たせる．例えば，発災直後の被災者情報に 0～400 人という幅があり，時間が経過すれば 50～350 人という情報幅になり，さらに時間が経過すれば 100～300 人という情報幅になるようなものである．そこで，時間に関係すると考えられる情報の不確かさ(情報の確からしさ)を，確率分布として正規分布に従うものと仮定して表現する．

(2) 正規分布での表現

正規分布の平均 μ は処置可能被災者数推定式に従い，その情報の幅を標準誤差 σ として式(3.16)のように表わす．

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3.16)$$

不確か性となる情報の幅を，標準誤差が $t=0$ の時に仮定した推定式の切片の倍の幅を持ち，時間経過に伴い標準誤差は小さくなるものと仮定する．よって比率式は上限の式(3.17)と下限の式(3.18)となり，図 3-17 のように幅を持った比率式となる．

$$f(t)^- = 0.01241t \quad (3.17)$$

$$f(t)^+ = 0.008383t + 0.3248 \quad (3.18)$$

また，正規分布を表わすと図 3-18 のように時間経過にともない σ は小さくなり，分布は凸が高くなっていく．

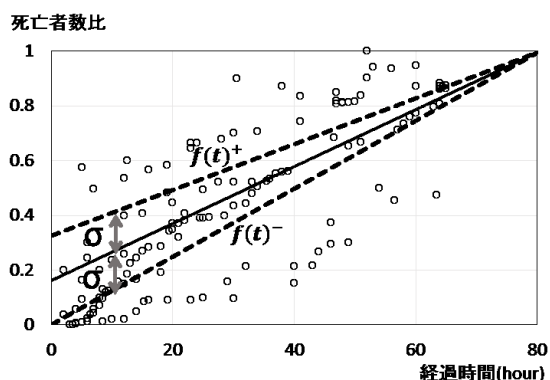


図 3-17 推定式の情報の幅

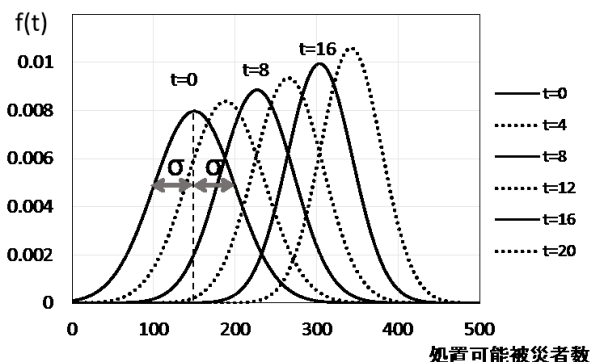


図 3-18 情報の不確かさの正規分布

(3) DMAT 派遣の検討

式(3.17)および式(3.18)を用いて，被災地を 1 地点，情報の更新間隔が $\Delta t=0.1$ 時間，DMAT 数を 10, 20, 30 とした場合の死亡者数を，例題として求める．DMAT 数が 30 の結果を図 3-19 に示す．また初期情報が 150 人の場合，各式での初期情報は式(3.19)のようになる．

$$I = f(0) \times a_i = \begin{cases} f(0)^- \times \frac{150}{0.1624} = 0 & \text{(下限)} \\ f(0)^+ \times \frac{150}{0.1624} = 300 & \text{(上限)} \end{cases} \quad (3.19)$$

また，増加処置可能被災者数は式(3.20)のようになる．

$$\frac{dV(t_i)}{dt} = a_i \times f'(t) \times \Delta t = \begin{cases} 1.14 & \text{(下限)} \\ 0.96 & \text{(平均)} \\ 0.774 & \text{(上限)} \end{cases} \quad (3.20)$$

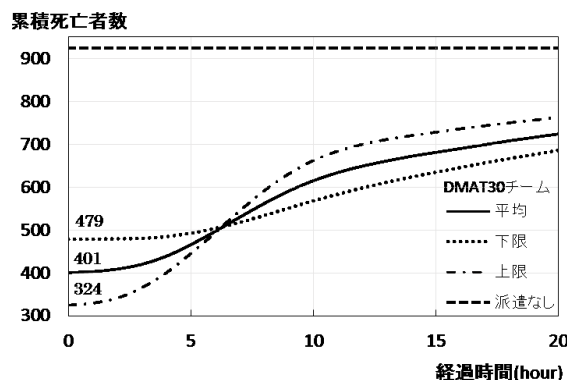


図 3-19 推定式ごとの死亡者数推移

(4) DMAT 派遣結果

DMAT 数を 10, 20, 30 チームとした場合, 以下のように死亡者数を最小にする派遣がそれぞれ得られる. 下限の式では DMAT 数に関わらず, 発災 1 時間以内に派遣すれば死亡者 479 人(924 人中 445 人救助)となる. 上限式では発災直後に派遣し, 死亡者は 10 チームの時 332 人(924 人中 592 人救助), 20 チームの時 325 人(924 人中 599 人救助), 30 チームの時 324 人(924 人中 600 人救助)となる. 平均式では発災直後に派遣し, 死亡者は 10 チームの時 402 人(924 人中 522 人救助), 20 および 30 チームの時 401 人(924 人中 523 人救助)となる.

(5) DMAT 派遣結果の考察

図 3-19 において発災から 5~7 時間で, 下限式と上限式における死亡者数が逆転する. この前半部分は, 下限式の増加処置可能被災者数が多いためであり, 後半部分は DMAT 派遣が遅くなることで上限式において派遣までの死亡者数が多くなるためである.

30 チームでは, 発災直後の派遣で下限式と上限式で死亡者数に 155 人も差があるが, 比率式が交差する時間帯 $t=6$ では 10 人と差が小さくなる. また, 発災直後の派遣で 10 チームは 147 人, 20 チームは 154 人の差があるが, 図 3-19 のように 10 および 20 チームの場合でも交差する時間帯(5~7 時間)が存在し, 10 チームでは $t=5$ で 14 人, 20 チームでは $t=6$ で 2 人の差となる. このことから, 死亡者数が最小とはならないが, 情報に不確実性が存在してもその影響を受けにくい時間帯があることが分かり, その時間帯での DMAT 派遣も考えられる.

3.4.3 簡易モデルの検討(その 3)

(1) 被災地の状況変化

これまで, 被災地の情報を発災直後($t=0$)に得られるものと仮定して派遣を考えている. しかしながら発災直後に情報を入手することは困難である. そこで, 例として情報の入手の仕方を三つ考える. まず一つ目は, 発災直後に被災地が 2 ヶ所(被災地 1 および被災地 2)存在するとわかっているが, 被災地 2 の情報を得られず, 時間が経過してから情報を得るような「被災地情報の遅れ」, 二つ目は, 発災直後では被災地は 1 ヶ所であったが, 時間が経過すると新たな被災地の情報を得るような「被災地の増加」, 三つ目は, 地震により津

波が発生した場合、地震による被害情報と津波による被害情報を得る時間のズレが発生するような「発災時間のズレ」である。

また、DMAT 派遣を検討する際に、各被災地へ派遣した DMAT 数に余剰が生じれば、DMAT を撤退させ、異なる被災地へ再派遣(転用)するものとする。

(2) 比率式の変形

初期情報を入手する時間の遅れを β 時間とすると、 $t=\beta$ に初期情報を入手することになり、「被災地情報の遅れ」および「被災地の増加」では図 3-20 のように被災者数が変化する。「発災時間のズレ」は情報入手する時間分だけ比率式が平行移動するため、式(3.21)となり図 3-21 のように被災者数が変化する。

$$f(t-\beta)=0.0104 \times (t-\beta)+0.1624 \quad (3.21)$$

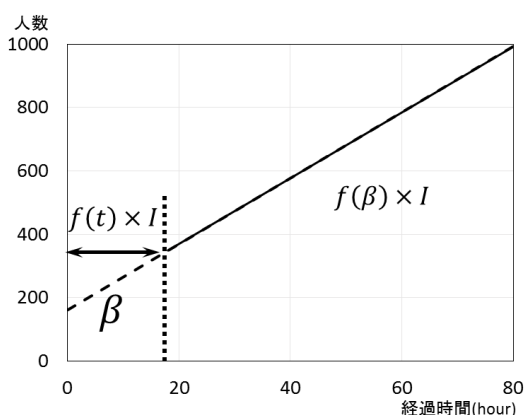


図 3-20 情報の遅れおよび被災地増加の推定

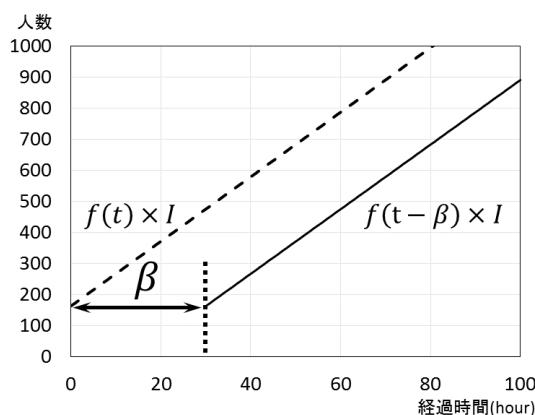


図 3-21 発災時間のズレの推定式

(3) 被災地情報の遅れ

例題として、被災地が 2 箇所存在することを発災直後から知っているものとし、 $t=0$ で初期情報($I_1=100$ 人)を得る被災地 1、 $t=2$ で初期情報($I_2=150$ 人)を得る被災地 2、DMAT 数を $M=10$ と仮定した場合の派遣を考えてみる。この場合、被災地が 2 箇所存在することを知っているが、情報の捉え方によって派遣方法は 2 通り考えられる。

一つ目は、被害の程度は不明だが、被災地 2 も被害を受けているものとみなして発災直後から分配派遣(同時に派遣)する場合である。この場合、被災地 2 へ派遣することにより被災地 2 の被災状況が判明するものとする。

二つ目は、被災地 2 から情報がこないのは被害がないとみなして派遣を見送っていたが、発災後 $t=2$ で情報が届き、派遣(情報入手後に派遣)する場合である。この二つ目の派遣は次の「被災地の増加」と同じ考え方であるため、後で述べる。

(4) DMAT 派遣結果

一つ目の発災直後に DMAT を分配派遣した際の合計死亡者数と死亡率を求めると、図 3-22 のようになる。横軸の DMAT 数は発災直後に派遣する DMAT 数である。発災直後に被災地 1 に 6 チーム、被災地 2 に 4 チーム派遣した場合、被災地 1 は死亡者 268 人(616

人中 348 人救助), 被災地 2 は死亡者 406 人(924 人中 518 人救助), 合計死亡者 674 人(1540 人中 866 人救助)となる. また, 発災直後に被災地 1 に 3 チーム, 被災地 2 に 7 チーム派遣した場合, 被災地 1 は死亡者 271 人(616 人中 345 人救助), 被災地 2 は死亡者 403 人(924 人中 521 人救助)になり, 合計死亡者 674 人(1540 人中 866 人救助)となる. それぞれの経過時間とその時間の DMAT 数を表 3-2 に示す.

(5) DMAT 派遣結果の考察

情報が来ないことから推測される被害の程度によって, DMAT 数の分配に差が生じる. 被害が大きいと見積もれば派遣 DMAT 数は多く, 被害を小さいと見積もれば派遣 DMAT 数は少なくなる. しかしながら, DMAT の配分の違いによる死亡者数の差は最大で 3 人となることから, 情報を得られなくても被災地が存在すれば, 早期の派遣が有効であり, DMAT 数に余剰が生じれば DMAT を転用することで被害を抑えられると考える.

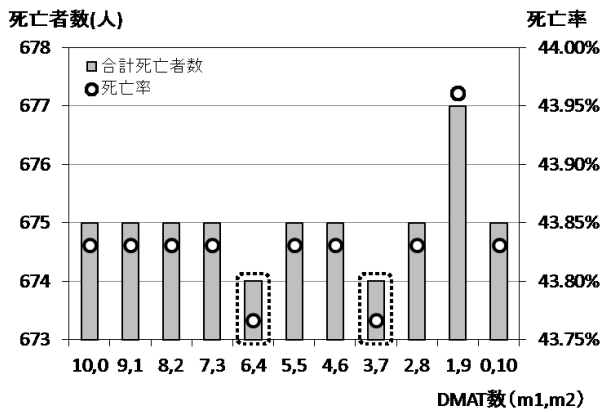


表 3-2 情報の遅れによる DMAT 数の変化

経過時間	DMAT数		経過時間	DMAT数	
	m1	m2		m1	m2
$0 \leq t < 1.8$	6	4	$0 \leq t < 2.4$	3	7
$1.8 \leq t < 1.9$	3	7	$2.4 \leq t < 2.5$	7	3
$1.9 \leq t < 2.9$	1	9	$2.5 \leq t < 2.9$	9	1
$2.9 \leq t < 3.0$	1	4	$2.9 \leq t \leq 80.5$	1	1
$3.0 \leq t \leq 80.5$	1	1			

図 3-22 情報の遅れによる死亡率と合計死亡者数

(6) 被災地の増加

例題として, 発災直後は被災地が 1 箇所だと認識していたが時間経過することで被災地がもう 1 箇所存在すると判明するものとし, $t=0$ で初期情報 ($I_1=100$ 人)を得る被災地 1 と, $t=2$ で初期情報 ($I_2=150$ 人)を得る被災地 2 が存在し, DMAT 数を $M=10$ と仮定する. この場合の派遣方法は, 情報を得た被災地 1 へ発災直後に派遣し, 新たな被災地情報を得た発災 2 時間後に被災地 2 へ派遣する.

(7) DMAT 派遣結果

例題の合計死亡者数と死亡率を図 3-23 に示す. 横軸は被災地 1 へ発災直後に, 被災地 2 へ発災 2 時間後に派遣する DMAT 数である. 発災直後に被災地 1 に 6~10 チームのいずれかを派遣し, 新たな被災地情報を得た発災 2 時間後の被災地 2 に 9 チーム派遣すると, 被災地 1 は死亡者 268 人(616 人中 348 人救助), 被災地 2 は死亡者 417 人(924 人中 507 人救助), 合計死亡者 685 人(1540 人中 855 人救助)となる. それぞれの経過時間とその時間の DMAT 数を表 3-3 に示す.

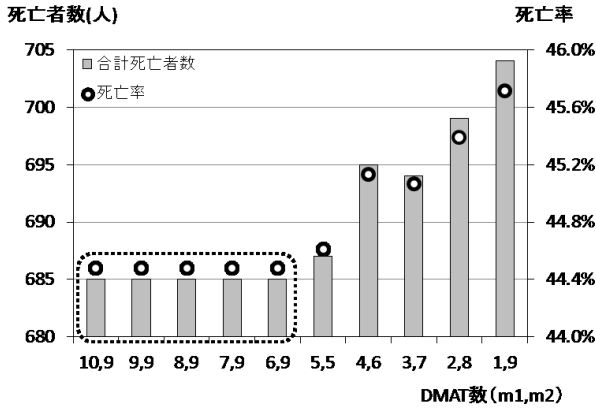


図 3-23 被災地の増加による死亡率と合計死亡者

表 3-3 被災地の増加及び発災時間のズレによる DMAT 数の変化

経過時間	DMAT数		経過時間	DMAT数		経過時間	DMAT数	
	m1	m2		m1	m2		m1	m2
0 ≤ t < 1.8	6		0 ≤ t < 1.5	7		0 ≤ t < 1.3	8	
1.8 ≤ t < 1.9	3		1.5 ≤ t < 1.6	5		1.3 ≤ t < 1.4	4	
1.9 ≤ t < 2.0	1		1.6 ≤ t < 2.0	1		1.4 ≤ t < 2.0	1	
2.0 ≤ t < 3.9	1	9	2.0 ≤ t < 3.9	1	9	2.0 ≤ t < 3.9	1	9
3.9 ≤ t ≤ 80.5	1	1	3.9 ≤ t ≤ 80.5	1	1	3.9 ≤ t ≤ 80.5	1	1

経過時間	DMAT数		経過時間	DMAT数	
	m1	m2		m1	m2
0 ≤ t < 1.0	10		0 ≤ t < 1.1	9	
1.0 ≤ t < 1.1	3		1.1 ≤ t < 1.2	8	
1.1 ≤ t < 2.0	1		1.2 ≤ t < 2.0	1	
2.0 ≤ t < 3.9	1	9	2.0 ≤ t < 3.9	1	9
3.9 ≤ t ≤ 80.5	1	1	3.9 ≤ t ≤ 80.5	1	1

(8) DMAT 派遣結果の考察

DMAT の配分の違いによる死亡者数の差は最大で 19 人となる。被災地 1 へ発災直後から派遣することが有効であるが、表 3-3 から被災地 1 での対応において早い時間帯で DMAT 数に余剰ができたことで、新たな被災地の情報を得てからでも十分な DMAT を派遣でき、死亡者数を抑えられたと考える。また、DMAT を待機させておくことで、情報を得てからの派遣でも被災地 2 において多くの人を救助できるようになるが、被災地 1 ではその分、避けられた死により死者数が増加すると考えられる。

(9) 発災時間のズレ

例題として、地震発生後に津波が来るものとして地震発生直後 ($t=0$) で初期情報 ($I_1=100$ 人) を得る被災地 1 と、津波被害発生直後 ($t=2$) で初期情報 ($I_2=150$ 人) を得る被災地 2 が存在し、DMAT 数を $M=10$ と仮定する。この場合の派遣方法は、地震発生直後に被災地 1 へ、発災 2 時間後の津波被害発生直後に被災地 2 へ派遣する。この合計死亡者数と死亡率を図 3-24 に示す。横軸は被災地 1 へは地震発生直後に、被災地 2 へは津波被害発生直後に派遣する DMAT 数である。

(10) DMAT 派遣結果

地震発生直後に被災地 1 に 6~10 チームのいずれかを派遣し、津波被害発生直後に被災地 2 に 9 チーム派遣すると、被災地 1 は死亡者 268 人 (616 人中 348 人救助)、被災地 2 は死亡者 402 人 (924 人中 522 人救助)、合計死亡者は 670 人 (1540 人中 870 人救助) となる。それぞれの経過時間とその時間の DMAT 数は表 3-3 と同じになる。

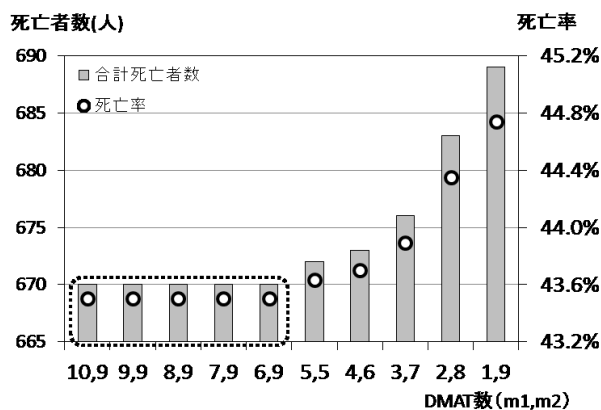


図 3-24 発災時間のズレによる死亡率と合計死亡者数

(11) DMAT 派遣結果の考察

DMAT の配分の違いによる死亡者数の差は最大で 19 人となる。被災地 1 へ発災直後から派遣することで救助者数が多くなり、DMAT 数に余剰ができることで被災地 2 へ転用できる。また、発災後の DMAT の待機数が多くなることにより、被災地 1 で避けられた死が存在し、死亡者数が多くなっていると考えられる。

3.5 結論

本章では、災害時における意思決定として、災害発生時の急性期医療における防ぎえた死を最小化する DMAT 派遣のあり方を考察するために、簡易的なモデルを設定した。その結果、DMAT の早期派遣が有効であることが確認でき、情報の不確実性を考慮した推定式に基づく DMAT 派遣では、情報の幅による死亡者数の差を抑える派遣の時間帯を示すことができた。さらに被災地の状況を変えることで、DMAT を待機させておくのではなく、派遣したのちに段階的に撤退させて再派遣することが有効であることがわかった。ゆえに、人的被害を抑える妥当的な DMAT 派遣の在り方を示すことができたと考える。しかしながら、初期情報を与え、線形的に被災者が増加する推定式では、時間経過に伴う被災者数の増加を再現しきれず、逐次得られる情報を推定式に反映していない。そこで、次章からは、被災者数の経時変化を非線形で表現し、逐次得られる情報を推定式に反映できるような検討を行う。

参考文献

- 1) DMAT 事務局 HP : <http://www.dmat.jp>
- 2) 西村明儒, 上野易弘, 龍野嘉紹, 羽竹勝彦 : 死体検案より, 救急医学別冊, Vol. 19, pp. 1760-1764, 1995.
- 3) 吉岡敏治, 田中裕, 松岡哲也, 中村顕編著 : 災害医療の特徴について, 集団災害医療マニュアル, へるす出版, 東京, pp. 1-17, 2000.
- 4) 吉岡敏治, 田中裕, 松岡哲也, 中村顕編著 : 調査方法及び結果の概要, 集団災害医療マニュアル, へるす出版, 東京, pp. 19-23, 2000.
- 5) 太田宗夫 : 「災害医学」からみた「救急医学」, 日本救急医学会雑誌, Vol. 20, pp. 101-115, 2009.
- 6) 阪神・淡路大震災を契機とした災害医療体制の在り方に関する研究(平成7年度厚生科学研究費補助金 主任研究者 : 山本保博)
- 7) 日本における災害派遣医療チーム(DMAT)の標準化に関する研究(平成13年度構成科学研究費補助金 主任研究者 : 辺見弘)
- 8) 災害時における広域緊急医療のあり方に関する研究(平成17年度厚生労働科学研究費補助金 分担研究者 : 大友康弘)
- 9) 災害医療体制のあり方に関する検討会報告書(2001年6月)
- 10) 日本 DMAT 活動要領(2013.9.4 改正) :
- 11) <http://www.dmat.jp/katudoukaisei.pdf>
- 12) 内閣府 : 自然災害の「犠牲者ゼロ」を目指すための総合プラン(2008年4月) :
- 13) <http://www.bousai.go.jp/jishin/taishinka/pdf/sougou.pdf>
- 14) 平成26年行政事業レビューシート(厚生労働省)事業番号 004-64, 2014.
- 15) 平成19年新潟県中越沖地震調査特別委員会報告書, 2007.
- 16) 平成20年岩手・宮城内陸地震調査特別委員会報告書, 2008.
- 17) 内閣府 阪神・淡路大震災教訓情報資料集, 2000.
- 18) 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)について(第151報), 2011.
- 19) 第2回災害医療等のあり方に関する検討会資料1, 2011.
- 20) 厚労省がH23年10月に出した災害医療等のあり方に関する検討会の報告書, 2011.
- 21) 東日本大震災における災害応急対策に関する検討会 中間取りまとめ(2011年11月28日)
- 22) 中央防災会議 防災対策推進検討会議最終報告, 2012年7月31日
- 23) 小井土雄一らによる東日本大震災におけるDMAT活動と今後の研究の方向性において, 保健医療科学, Vol. 60, No. 6, pp. 495-501, 2011.
- 24) Church, R. and ReVell, C. : The maximal covering location problem, Papers in Regional Science, Vol. 32, No. 1, pp. 101-108, 1974.
- 25) Hakimi, S. L. : Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph, Operations Research, Vol. 12, pp. 450-459, 1964.
- 26) 鈴木勉 : 搬送時間短縮のための救急車両と医療施設の配置計画, 医療と社会, Vol. 14, No. 1, pp. 125-142, 2004.

- 27) 吉田壮宏, 田中健一: 消防防災ヘリコプターの出場拠点とヘリポートの最大被覆型同時配置モデル, 都市計画論文集, Vol. 44, No. 3, pp. 751-756, 2009.
- 28) 木村弘, 黒岩孝, 大内宏友, 松原三人: 救急医療システムにおけるドクターカーと救急医療施設との連携よりとらえた適正配置に関する実証的研究, 環境情報科学学術研究論文集, Vol. 26, pp. 159-164, 2012.
- 29) 大星直樹, 黒田圭, 鎌江伊三夫, 高橋隆: 災害救急時におけるトリアージスタッフの最適配置分析の試み, 第17回医療情報学連合大会論文集, pp. 700-701, 1997.
- 30) 沼田宗純, 秦康範, 大原美保, 目黒公郎: 広域災害医療情報を共有するためのITトリアージシステム(TRACY)の開発, 土木学会論文集, Vol. 67, No. 1, pp. 67-77, 2011.
- 31) 吉村(大原)美保, 金田尚志, 目黒公郎, 宮崎早苗, 天野玲子, 原田賢治, 橘田要, 塚田博明, 赤塚健: 地震時に災害拠点病院に期待される機能の評価ー医学部付属病院とICUSによる共同プロジェクトの進捗報告, 東京大学生産技術研究所 生産研究, Vol. 59, No. 3, pp. 45-50, 2007.
- 32) 山下徹: 危機対応社会のインテリジェンス戦略 事例に学ぶ情報共有と組織間連携, 日経BP, 2006.
- 33) 近藤伸也, 東太一, 目黒公郎: 災害対応時における複数機関の連帯を視野に入れた現行の地域防災計画の分析, 日本災害情報学会第10回研究発表大会予稿集, pp. 77-80, 2008.
- 34) 佐藤豪, 長澤泰, 笥淳夫, 村上正浩, 久保智弘, 山下哲郎: 首都直下地震を想定した新宿駅周辺の被災人口推計と医療拠点配置の検討, 日本建築学会計画系論文集, Vol. 77, No. 682, pp. 2749-2755, 2012.
- 35) 大友康裕: 災害時における広域緊急医療のあり方に関する研究厚生労働科学研究費補助金健康安全確保総合研究分野医療技術評価総合研究「新たな救急医療施設のあり方と病院前救護体制の評価に関する研究」(主任研究者: 小濱啓次)平成16年総括研究報告書, 2004.
- 36) 蛭間芳樹, 大原美保, 近藤伸也, 目黒公郎: 広域医療搬送における組織間情報共有の現状と防災情報共有プラットフォームの効果分析, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 65, No. 1, pp. 669-679, 2009.
- 37) 三好絵里子: 緊急時の救命医療活動の最適配置システムの設計, 平成21年神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻, 2010.
- 38) 中山真人: 緊急時における救命医療チームの配置における派遣時間の影響, 平成22年神戸大学工学部市民工学専攻, 2011.
- 39) 国土交通省近畿地方整備局「阪神・淡路大震災の経験に学ぶ」:
<http://www.kkr.mlit.go.jp/plan/daishinsai/1.html>
- 40) 東京都福祉保健局: トリアージハンドブック, 2013.
- 41) 小笠原智子, 小井戸雄一: 災害トリアージ, 医療, Vol. 64, No. 1, pp. 63-67, 2010.
- 42) 大阪府医師会救急・災害医療部: 災害時における医療施設の行動基準(第2版), 2007.
- 43) 山内聡, 大友康裕: DMAT活動の実際 被災地活動ー病院支援の活動, エマージェンシー・ケア 2010 新春増刊, pp. 134-140, 2010.

第4章 線形および非線形による人的被害情報の再現比較

第3章において人的被害情報を線形で表現した。この際、災害発生後の経過時間約100時間の死亡者数を基準とした比率式を定式化した。この章では表2-2の地震災害事例における最終報告時間 T の最終死亡者数 B_T を基準とした経過時間 t の死亡者数 b_t の比率 (b_t/B_T) (以降、死亡率比とする) の経時変化を用いる。付録6から各災害事例における死亡率比の経時変化を表わすと図4-1のようになる。最終死亡者数を基準とした人的被害情報の比率式を線形および非線形で表わすことで、人的被害情報の再現性の比較を行う。

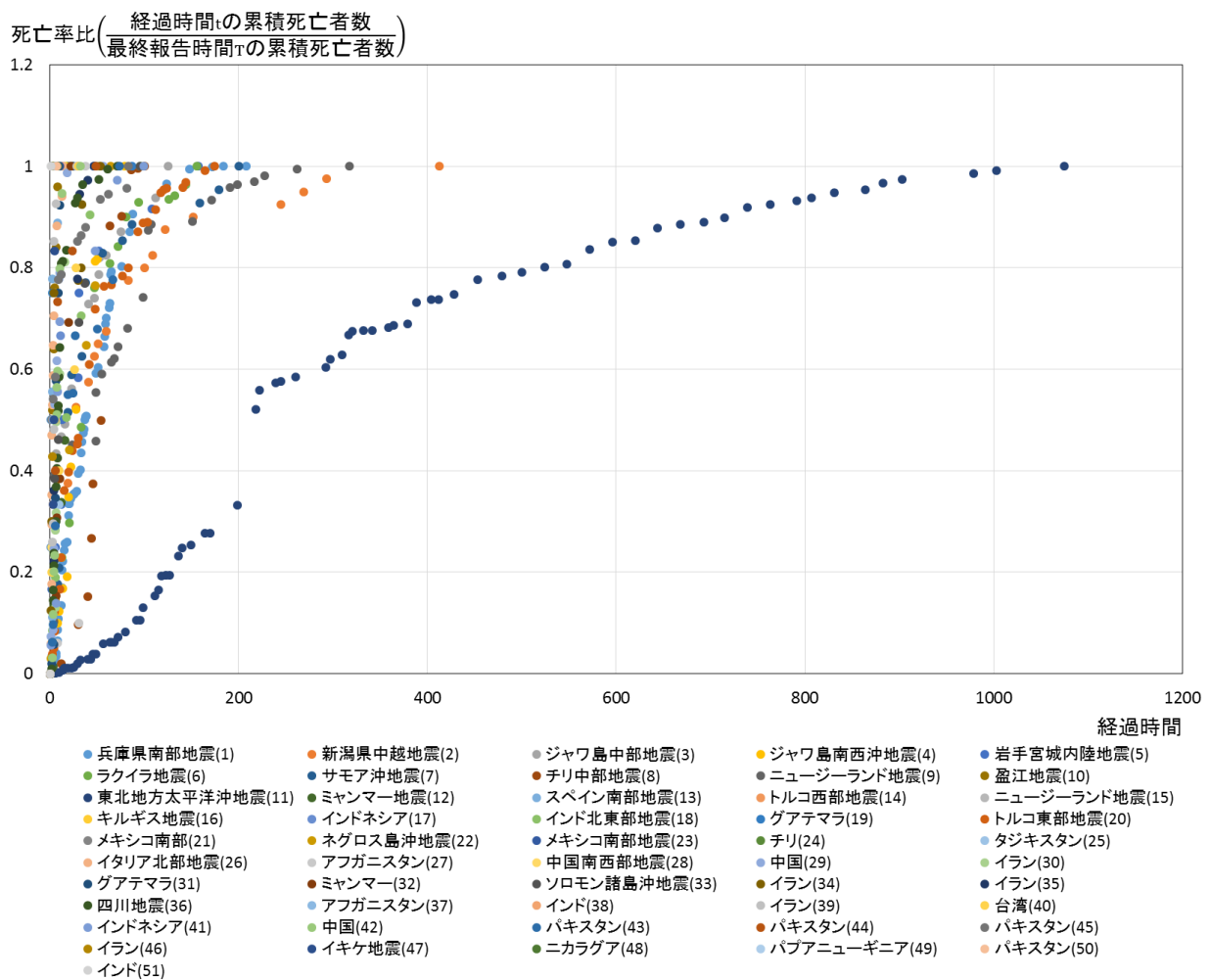


図4-1 各災害事例における死亡率比の経時変化

4.1 線形回帰による人的被害情報の再現

死亡者数比の経時変化が線形で表わせられると仮定する。この際、災害発生直後における死亡者数は得られないため、死亡者数比と発災後の経過時間の関係は、原点を通る式(4.1.1)のようになる。

$$y = ax \tag{4.1.1}$$

一例として兵庫県南部地震のデータを用いる。基準となる死亡者数は5092人、時間は208時間である。報告死亡者数に基づく死亡者数比は図4-2のように表わされ、この情報に基づく回帰直線係数 a は0.0078となる。

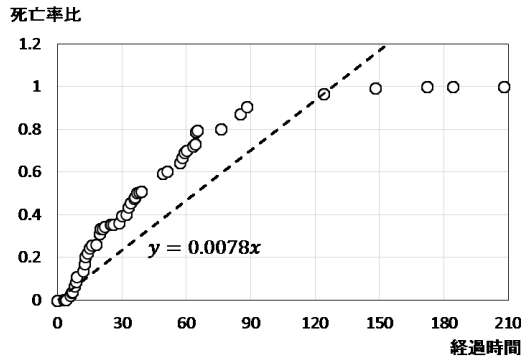


図 4-2 死亡者数比の線形回帰

4.2 非線形回帰による人的被害情報の再現

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¹⁾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。

4.2.1 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^{2), 3)}に従うと仮定すると、この時の死亡率比は式(4.1.2)のようになる。式(4.1.2)におけるパラメータは m, η, γ ($\gamma > 0, m > 0, \eta > 0$)の三つであり、 m は形状パラメータ、 η は尺度パラメータ、 γ は位置パラメータといわれる。

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^m\right] \tag{4.1.2}$$

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, η の二つとして、 $\eta^m = a$ とおいた式(4.2)を用いるものとする。

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\frac{t^m}{a}\right] \tag{4.2}$$

4.2.2 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(4.2)を式(4.3)のように変形する。

$$1-F(t) = \exp\left(-\frac{t^m}{a}\right) \quad (4.3)$$

次に、式(4.3)の両辺の自然対数をとると式(4.4)のようになる。

$$\begin{aligned} \ln(1-F(t)) &= -\frac{t^m}{a} \\ \ln\left(\frac{1}{1-F(t)}\right) &= \frac{t^m}{a} \end{aligned} \quad (4.4)$$

再度、両辺の自然対数をとると式(4.5)のようになる。

$$\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-F(t)}\right)\right) = m \times \ln(t) - \ln(a) \quad (4.5)$$

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(4.6)のような直線式となる。

$$y = m \times x + g \quad (4.6)$$

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、最小二乗法によって、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(4.2)を表わすと式(4.7)のようになる。

$$F(t) = 1 - \exp\left(-\frac{t^m}{e^{-g}}\right) \quad (4.7)$$

4.2.3 ワイブル分布を用いた人的被害情報の再現性

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(4.6)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、回帰直線を求めると図 4-3 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 4-4 のようになる。図 4-4 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 4-1 の 51 例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 4-1 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 10 例のワイブル分布の推移を表わすと図 4-5 のようになる。

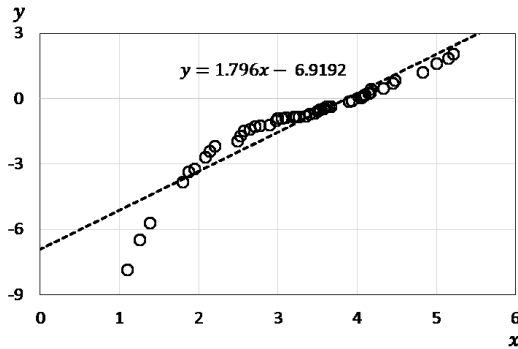


図 4-3 回帰直線によるワイブル分布のパラメータ導出

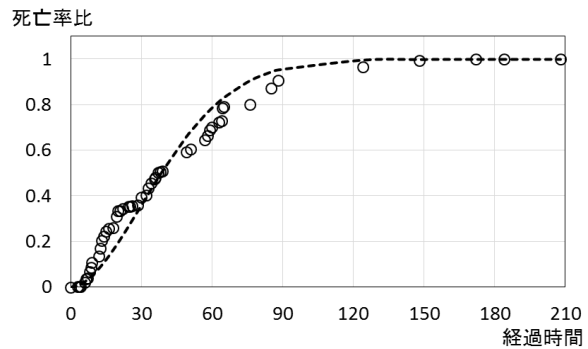


図 4-4 実際の死亡率比とワイブル分布

4.2.4 再現性の考察

図 4-5 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 4-6 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 4-6 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 4-1 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・地域の特徴(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は異なる。そのため、図 4-5 や図 4-6 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 4-5 や図 4-6 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る。

表 4-1 過去の地震災害事例(付録 5)

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	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	6.9	5:46	16
2	新潟県中越地震(2004.10.23)	413	40	15	6.6	17:56	13
3	ジャワ島中部地震(2006.5.27)	125	6234	13	6.3	5:53	10
4	ジャワ島南西沖地震(2006.7.17)	79	650	11	7.7	15:19	32
5	岩手宮城内陸地震(2008.6.14)	157	12	9	6.9	8:43	8
6	ラクイラ地震(2009.4.6)	156	309	12	6.3	3:32	8.8
7	サモア沖地震(2009.9.29)	200	192	13	8.1	6:48	17.9
8	チリ中部地震(2010.2.27)	100	802	11	8.8	3:34	35
9	ニュージーランド地震(2011.2.22)	317	166	21	6.1	12:51	5
10	盈江地震(2011.3.10)	11.5	25	6	5.4	11:58	10
11	東北地方太平洋沖地震(2011.3.11)	975	14006	79	9.0	14:46	24
12	ミャンマー地震(2011.3.24)	19	74	5	6.9	20:25	8
13	スペイン南部地震(2011.5.11)	21.4	9	5	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	6.6	12:55	110
18	インド北東部地震(2011.9.18)	95.4	20	9	6.9	18:10	19.7
19	グアテマラ(2011.9.19)	86.9	4	4	5.8	12:34	39.4
20	トルコ東部地震(2011.10.23)	174.8	601	29	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	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	5.8	9:00	9.6
27	アフガニスタン(2012.6.11)	37.5	50	3	5.4	9:32	49
28	中国南西部地震(2012.6.24)	24	4	4	5.7	15:59	11
29	中国(2012.9.7)	56.8	81	10	5.7	11:19	10
30	イラン(2012.8.11)	51	308	8	6.2	3:53	9.7
31	グアテマラ(2012.11.8)	24.2	52	7	6.5	4:15	27
32	ミャンマー(2012.11.11)	22.2	13	5	6.8	7:42	9.9
33	ソロモン諸島沖地震(2013.2.6)	96	13	5	8.0	12:12	28.7
34	イラン(2013.4.9)	53.1	40	7	6.3	16:22	12
35	イラン(2013.4.16)	47.5	36	6	7.8	6:53	82
36	四川地震(2013.4.20)	71.5	193	24	6.6	8:02	19
37	アフガニスタン(2013.4.24)	28.6	27	6	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	6.2	13:43	20
41	インドネシア(2013.7.2)	99.5	36	7	6.1	14:37	10
42	中国(2013.7.22)	32.2	94	11	6.0	7:45	10
43	パキスタン(2013.9.24)	73.8	515	9	7.7	16:29	20
44	パキスタン(2013.9.28)	48.7	30	4	6.8	12:34	12
45	パキスタン(2013.10.15)	83	183	11	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	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

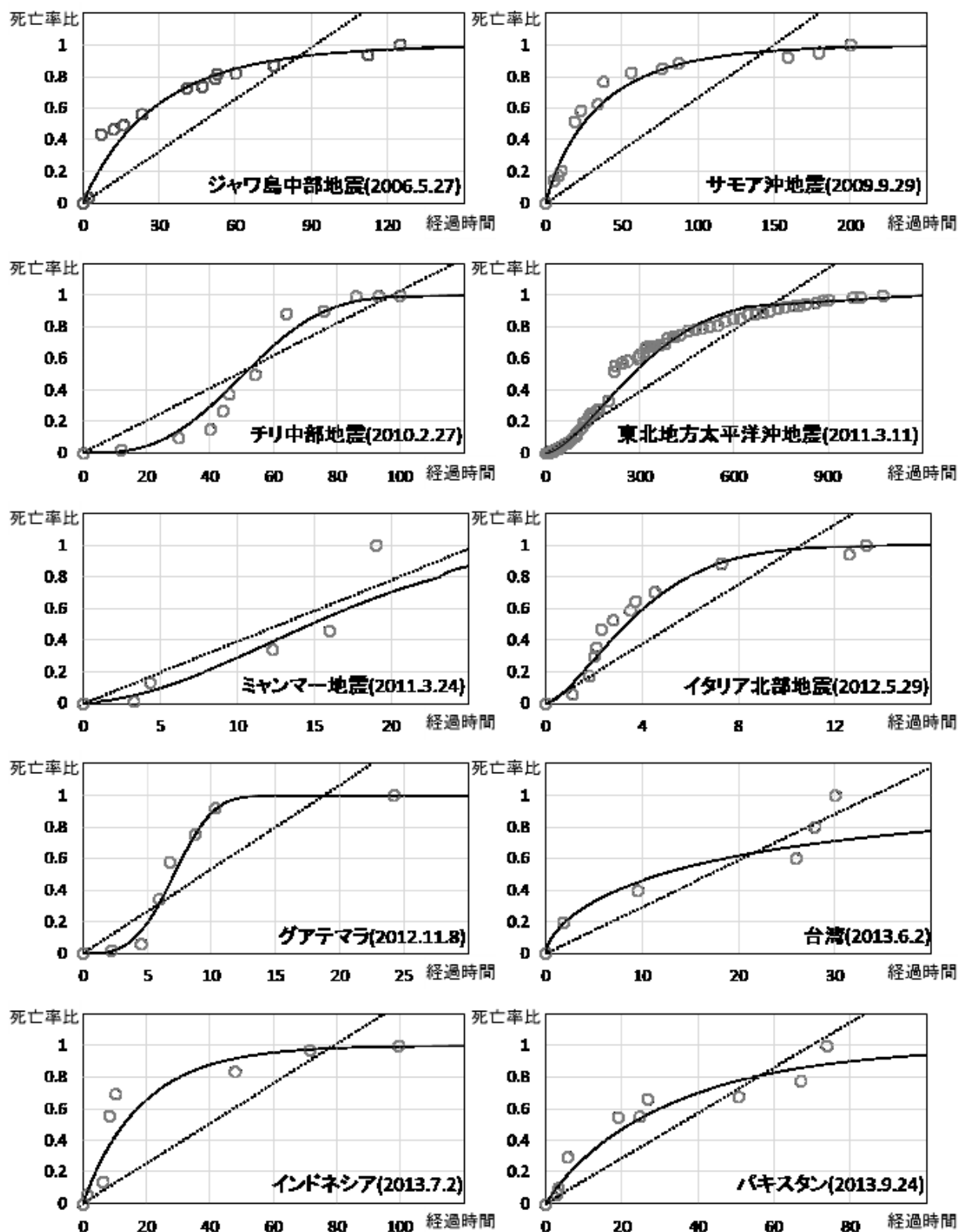


図 4-5 地震災害事例の死亡率比とワイブル分布の一例

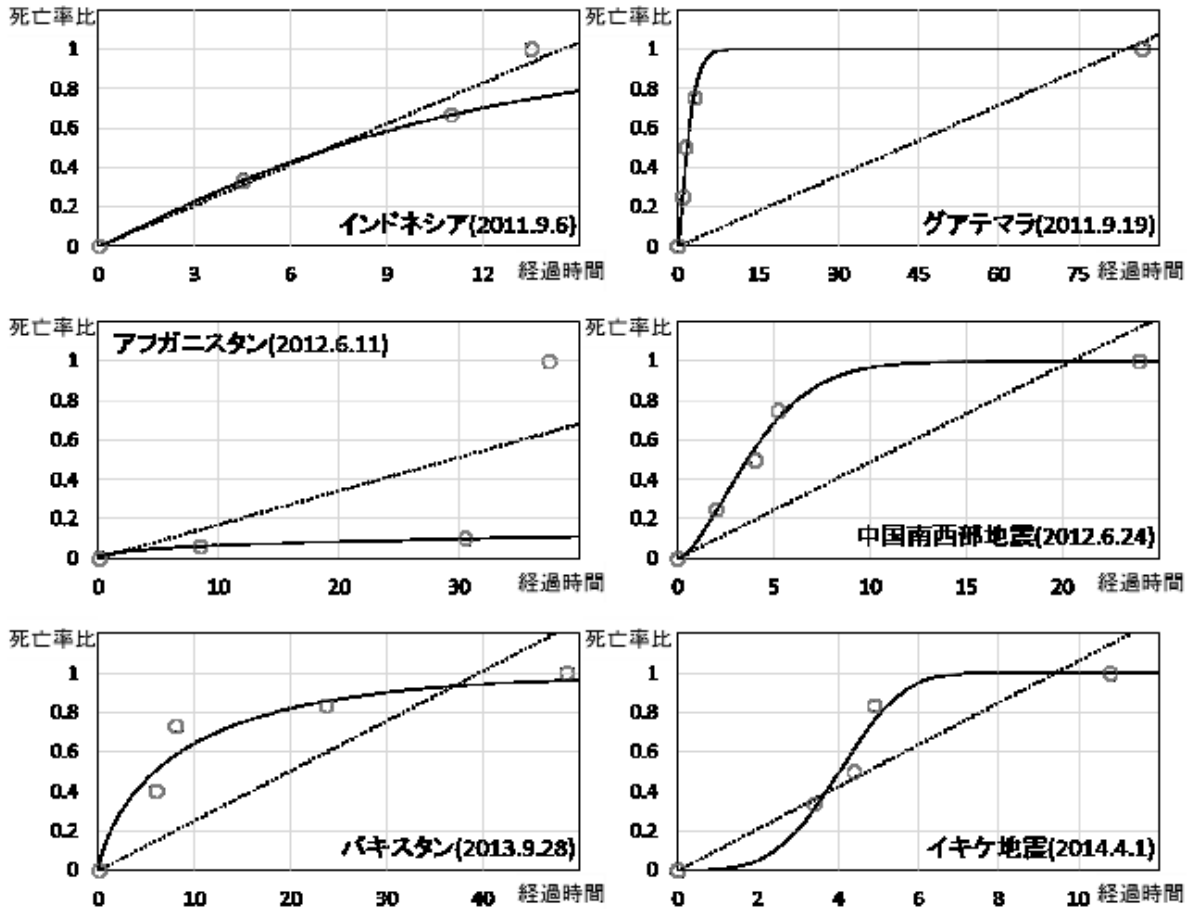


図 4-6 情報更新回数の少ない地震災害事例とワイブル分布

4.3 線形および非線形による再現性の比較

図 4-5 や図 4-6 において、最終報告時間を基準とした経過時間の実際の死亡率比と、線形および非線形で表わした死亡率比の経時変化を比較する。発災後初期における死亡率の増加傾向を線形より非線形がうまく再現できていることが見て取れる。このことから、死亡率比の経時変化を再現するのに、非線形であるワイブル関数を用いることにする。

4.4 ワイブル分布のパラメータ特性

表 4-1 において再現された地震災害事例 37 例のワイブル分布を表わすと図 4-7 のようになり、パラメータ (m, g) の関係を表わすと図 4-8 のようになる。パラメータ (m, g) において、パラメータ g を一定としパラメータ m を増加することで図 4-9 のように、パラメータ m を一定としパラメータ g を増加することで図 4-10 のようにワイブル分布の形状が変化する。パラメータ m が小さいと災害発生初期段階における死亡率比が低く、 m が大きいと災害発生初期段階における死亡率比が高くなる。パラメータ g が小さいと死亡率比が 1 となる時間が早く、 g が大きいと死亡率比が 1 となる時間が遅くなる。

死亡率比

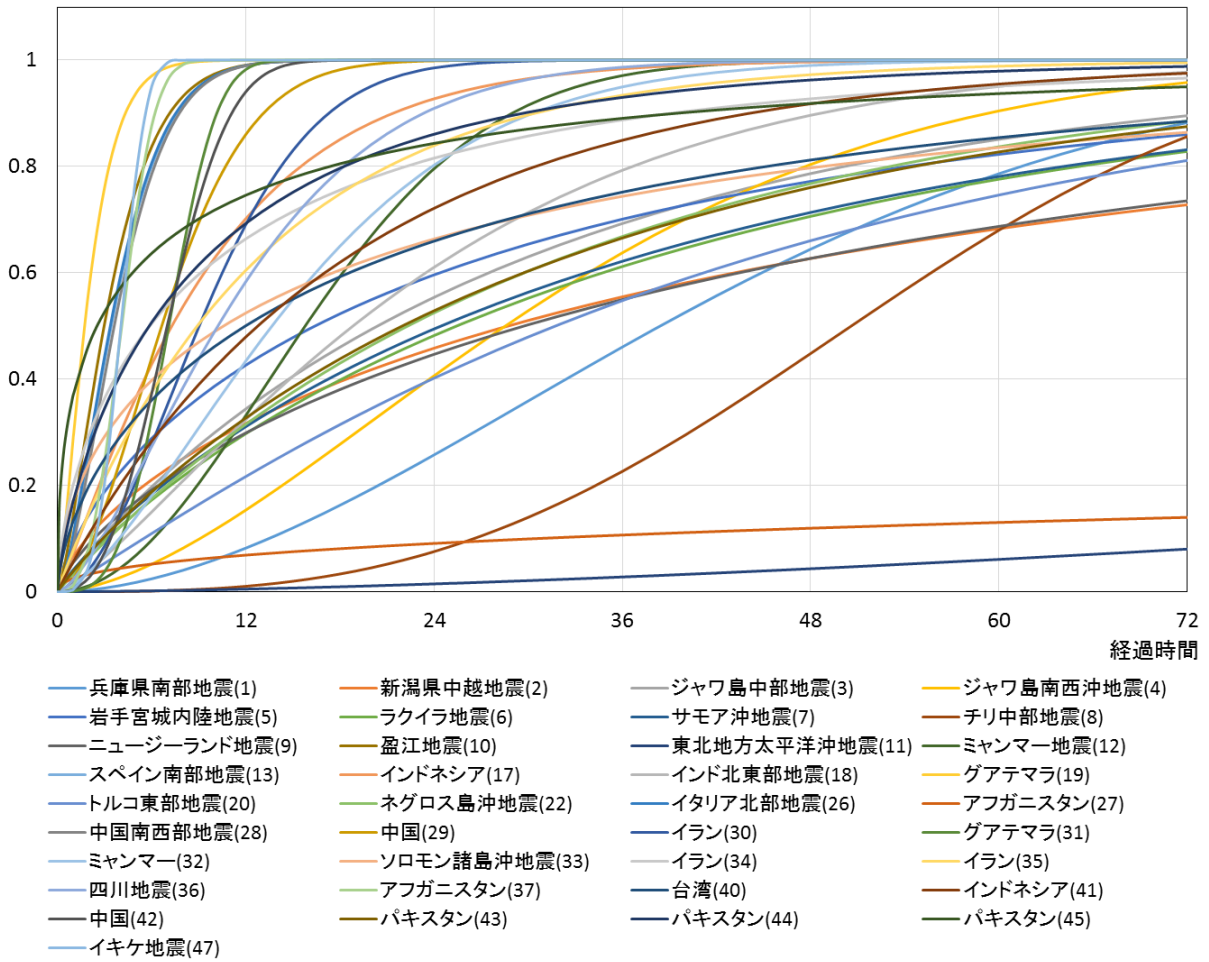


図 4-7 地震災害事例のワイブル分布

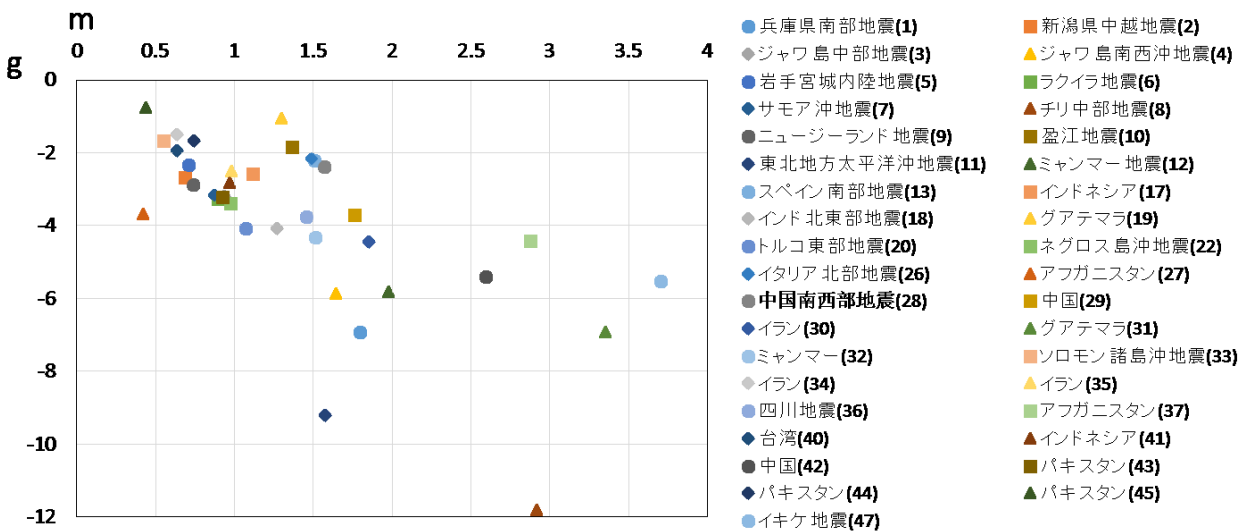


図 4-8 地震災害事例のパラメータ m , g の関係

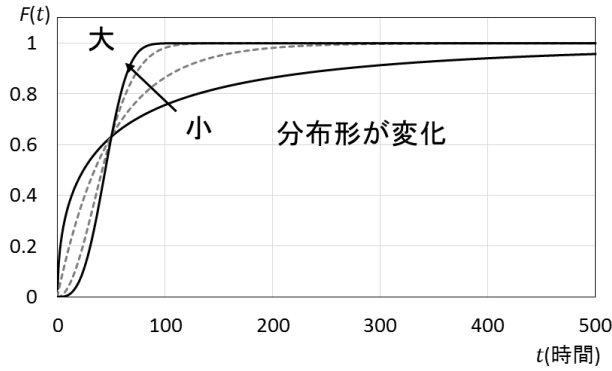


図4-9 パラメータ g による分布の変化 (m : 一定)

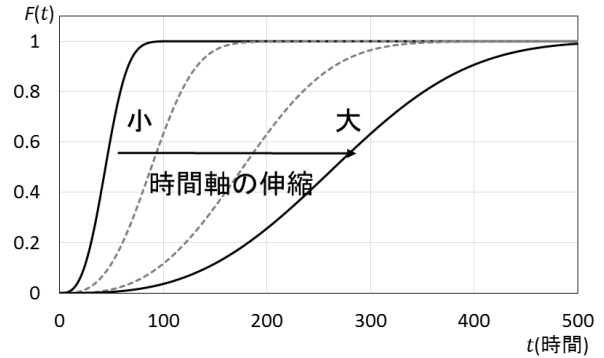


図4-10 パラメータ m による分布の変化 (g : 一定)

4.5 再現ワイブル分布パラメータの分析

各災害事例における再現ワイブル分布パラメータについて、災害発生場所、最終報告時間および最終報告者数で分類して考察を行う。

災害発生場所で分類すると、図4-11のようになる。それぞれの地域におけるパラメータの平均はアジアでは $(m, g) = (1.350, -3.708)$ 、中南米では $(m, g) = (2.817, -6.333)$ 、オセアニアでは $(m, g) = (0.721, -2.565)$ 、中東では $(m, g) = (1.103, -2.916)$ 、欧州では $(m, g) = (1.296, -2.550)$ となる。

最終報告時間で分類すると、図4-12のようになる。24時間(1日)以内の事例では $(m, g) = (1.779, -3.357)$ 、48時間(2日)以内の事例では $(m, g) = (1.808, -4.144)$ 、72時間(3日)以内の事例では $(m, g) = (1.235, -3.071)$ 、96時間(4日)以内の事例では $(m, g) = (1.020, -2.780)$ 、96時間を超える(5日以上)の事例では $(m, g) = (1.197, -4.758)$ となる。

最終報告者数で分類すると図4-13のようになる。0~10人では $(m, g) = (1.637, -2.618)$ 、11~50人では $(m, g) = (1.083, -2.790)$ 、51~100人では $(m, g) = (2.421, -5.464)$ 、101~500人では $(m, g) = (1.041, -3.041)$ 、501~1000人では $(m, g) = (1.639, -6.246)$ 、1,001人以上では $(m, g) = (1.435, -6.437)$ となる。

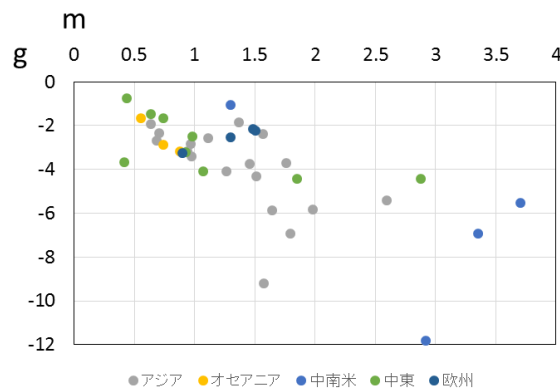


図4-11 パラメータ m , g の関係 (地域別)

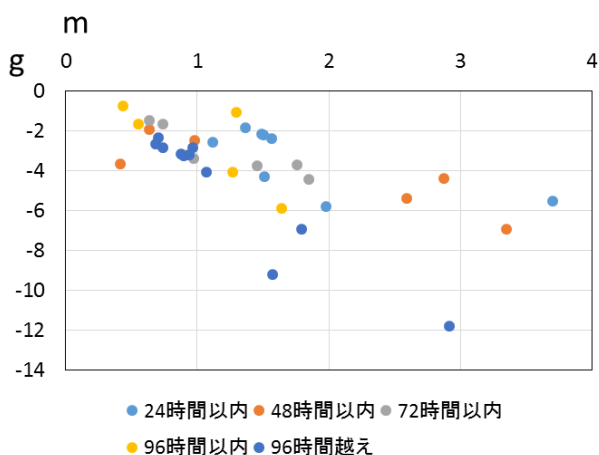


図4-12 パラメータ m , g の関係(最終時間別)

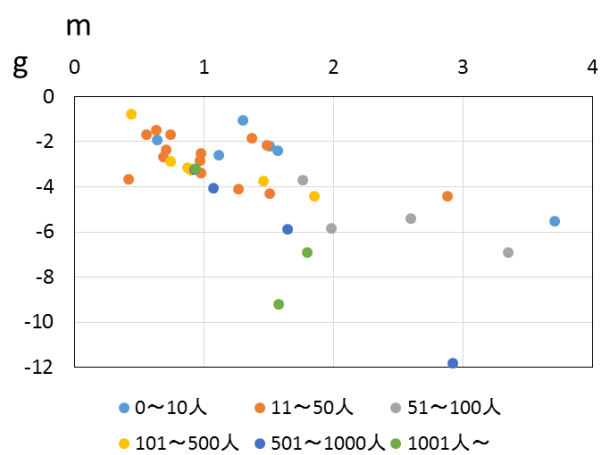


図4-13 パラメータ m , g の関係(最終報告時間別)

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) Weibull, W.: A statistical distribution function of wide applicability, Journal of Applied Mechanics, Vol. 18, pp. 293-297, 1951.
- 3) 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巻304号, pp.13-19, 1979.

第5章 災害情報の予測モデル

5.1 ベイズの定理

推定式で用いるベイズ推定の基礎となるベイズ定理はイギリスの牧師であるトーマス・ベイズによって示された。ベイズの定理は条件付き確率のアイデアが基本となっている。

2つの事象 A, B があり, A が起こったという条件のもとで B が起こる確率となる条件付き確率および B が起こったという条件のもとで A が起こる確率となる条件付き確率は式(5.1)のように表わせられる。(図 5-1 参照)

$$P(B|A) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)}, \quad P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \quad (5.1)$$

$P(B|A)$: 2つの事象 A, B があり, A が起こったという条件のもとで B が起こる確率

$P(A|B)$: 2つの事象 A, B があり, B が起こったという条件のもとで A が起こる確率

$P(A \cap B)$: 事象 A, B が同時に起こる確率

$P(A)$: 事象 A の起こる確率

$P(B)$: 事象 B の起こる確率

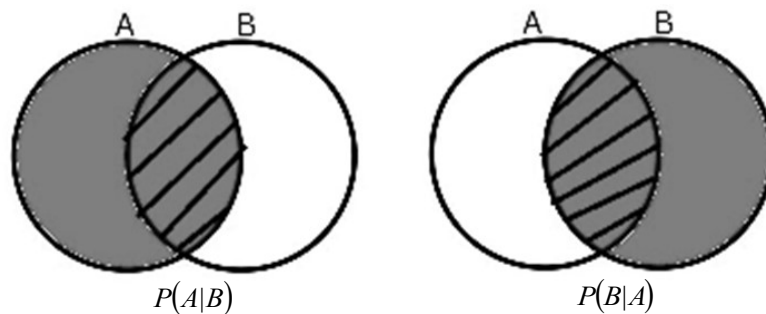


図 5-1 条件付き確率のベン図

事象 A, B が同時に起こる確率は式(5.2)のように表わせられることから, $P(A|B)$ についてまとめると, 式(3)のようになり, 式(5.3)をベイズの定理という。

$$P(A \cap B) = P(B|A) \times P(A) = P(A|B) \times P(B) \quad (5.2)$$

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \times P(A)}{P(B)} \quad (5.3)$$

ここで, A を原因(仮定), B を結果(データ)と考えると, $P(A|B)$ は結果(データ)B が得られたときにその原因(仮定)が A であることを表わす。そのため, $P(A)$ は結果(データ)B を得る前の確率であるため $P(A)$ を事前確率, $P(A|B)$ は結果(データ)B を得た後の確率であるため $P(A|B)$ を事後確率と呼ぶ。

さらに, 互いに排反な n 個の事象 A_1, A_2, \dots, A_n と任意の事象 B に対して, 式(5.4)が成り立つ場合, B が起こったという条件のもとで A_1 が起こる確率は式(5.5)のように表わせられる。(図 5-2 参照)

$$P(B) = P(B|A_1) \times P(A_1) + P(B|A_2) \times P(A_2) + \dots + P(B|A_n) \times P(A_n) \quad (5.4)$$

$$P(A_i|B) = \frac{P(B|A_i) \times P(A_i)}{P(B|A_1) \times P(A_1) + P(B|A_2) \times P(A_2) + \dots + P(B|A_n) \times P(A_n)} \quad (5.5)$$

$$= \frac{P(B|A_i) \times P(A_i)}{\sum_{i=1}^n P(B|A_i) \times P(A_i)}$$

上式を一般化すると式(4.6)のようになり， $P(B|A_i)$ を尤度という．

$$P(A_i|B) = \frac{P(B|A_i) \times P(A_i)}{\sum_{i=1}^n P(B|A_i) \times P(A_i)} \quad (5.6)$$

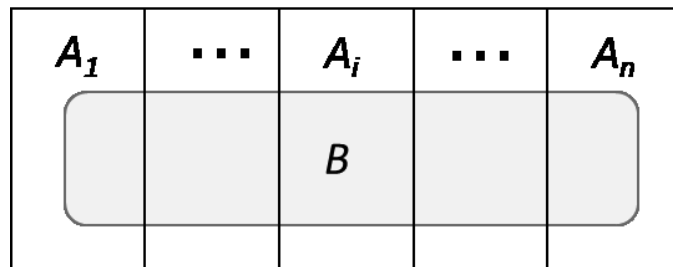


図 5-2 条件付き確率のベン図

5.2 ベイズ統計の基本公式

式(5.6)は離散的な値の場合によるベイズの定理である．統計学において，母数(パラメータ) θ を推定する場合，連続的な確率変数に置き換えると，式(5.7)のように表わせられる．

$$\pi(\theta|D) = \frac{f(D|\theta) \times \pi(\theta)}{\int f(D|\theta) \times \pi(\theta) d\theta} \quad (5.7)$$

$\pi(\theta|D)$ ：結果(データ)B が得られた時の，母数 θ の確率密度関数(事後分布)

$f(D|\theta)$ ：原因(仮定)A であるときに結果(データ)B が得られる確率(尤度)

$\pi(\theta)$ ：母数 θ の確率密度関数(事前確率)

式(5.7)における，分母は母数(パラメータ) θ を含まない定数 k と置くことができ(規格化の条件)，式(5.8)式のように表わせられる．

$$\pi(\theta|D)\pi(\theta) = k \times f(D|\theta) \times \pi(\theta) \quad (5.8)$$

$$\pi(\theta|D) \propto f(D|\theta) \times \pi(\theta)$$

よって，事後分布は尤度と事前分布の積に比例する形となる．

5.3 推定式の定式化

ベイズ更新の定式化にあたり、松原¹⁾、涌井^{2),3)}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。

5.3.1 尤度

式(4.6)の誤差 ε を式(5.8)のように組み込む。

$$y = m \times x + g + \varepsilon \quad (5.8)$$

ここで誤差 ε が、平均値 0、分散 σ^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(5.9)のような正規分布に従うことになる。

$$f(x, y | m, g, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{(y - g - mx)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (5.9)$$

パラメータは m, g と σ 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(5.10)のように表わされる。

$$\begin{aligned} L(x, y | m, g) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(y_1 - g - mx_1)^2}{2\sigma^2}} \times \dots \times \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(y_n - g - mx_n)^2}{2\sigma^2}} \\ &= \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}}\right)^n e^{-\frac{(y_1 - g - mx_1)^2}{2\sigma^2} - \dots - \frac{(y_n - g - mx_n)^2}{2\sigma^2}} \end{aligned} \quad (5.10)$$

行列を用いて表わすと、式(5.10)は式(5.11)のようになる。 t は転置行列を表わす。

$$L(x, y | m, g) = e^{-\frac{1}{2\sigma^2} t(Y - X\beta)(Y - X\beta)} \quad (5.11)$$

$$Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} \quad X = \begin{pmatrix} 1 & x_1 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & x_n \end{pmatrix} \quad \beta = \begin{pmatrix} g \\ m \end{pmatrix}$$

5.3.2 事前分布

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 μ_{m0}, μ_{g0} および分散 $\sigma_{m0}^2, \sigma_{g0}^2$ となる式(5.12)となる。

$$\pi(m, g) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(m - \mu_{m0})^2}{2\sigma_{m0}^2}} \times \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(g - \mu_{g0})^2}{2\sigma_{g0}^2}} \quad (5.12)$$

行列を用いて表わすと、式(5.12)は式(5.13)のようになる。 t は転置行列を表わす。

$$\pi(m, g) \propto e^{\left(-\frac{1}{2}(\beta-\mu_0)\Sigma_0^{-1}(\beta-\mu_0)\right)} \quad (5.13)$$

$$\beta = \begin{pmatrix} g \\ m \end{pmatrix}, \mu_0 = \begin{pmatrix} \mu_{g0} \\ \mu_{m0} \end{pmatrix}, \Sigma_0 = \begin{pmatrix} \sigma_{g0}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{m0}^2 \end{pmatrix}$$

5.3.3 事後分布

ベイズ推定の基本公式を用いると、事後分布 $\pi(m, g | x, y)$ は式(5.15)のように表わされる。

$$\pi(m, g | x, y) \propto L(x, y | m, g) \times \pi(m, g) \propto e^{\left(-\frac{1}{2\sigma^2}(Y-X\beta)(Y-X\beta)\right)} \times e^{\left(-\frac{1}{2}(\beta-\mu_0)\Sigma_0^{-1}(\beta-\mu_0)\right)} \quad (5.15)$$

式(5.15)を変形し整理すると、式(5.16)のようになる。

$$\pi(m, g | x, y) \propto e^{\left(-\frac{1}{2}(\beta-\mu_1)\Sigma_1^{-1}(\beta-\mu_1)\right)} \quad (5.16)$$

$$\beta = \begin{pmatrix} g \\ m \end{pmatrix}, \mu_1 = \begin{pmatrix} \mu_{g1} \\ \mu_{m1} \end{pmatrix}, \Sigma_1 = \begin{pmatrix} \sigma_{g1}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{m1}^2 \end{pmatrix}$$

5.4 事前分布パラメータの設定

ワイブル分布で再現できた地震災害事例の死亡率比の経時変化は図 4-6 のようになり、事例によって異なる。また、パラメータ m, g の関係は図 4-7 のようになる。そこで事前分布のパラメータを表 5-1 のように設定し、設定したパラメータごとに最終死亡者数を求めるものとする。設定した事前分布のパラメータの分類を図 4-7 に重ねると、図 5-3 のようになる。設定した事前分布のパラメータによるワイブル分布は図 5-4 のようになる。また、パラメータ m, g の分散を既知とすることで、式(5.13)を(5.14)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。

$$\beta = \begin{pmatrix} g \\ m \end{pmatrix}, \mu_0 = \begin{pmatrix} g \\ m \end{pmatrix}, \Sigma_0 = \begin{pmatrix} 8 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5.14)$$

表 5-1 設定パラメータ m, g

分類	m	g	分類	m	g	分類	m	g
[1]	0.75	-1.0	[10]	2.75	-5.0	[19]	1.75	-9.0
[2]	1.25	-1.0	[11]	3.25	-5.0	[20]	2.25	-9.0
[3]	0.75	-3.0	[12]	3.75	-5.0	[21]	2.75	-9.0
[4]	1.25	-3.0	[13]	1.25	-7.0	[22]	3.25	-9.0
[5]	1.75	-3.0	[14]	1.75	-7.0	[23]	3.75	-9.0
[6]	2.25	-3.0	[15]	2.25	-7.0	[24]	2.25	-11.0
[7]	1.25	-5.0	[16]	2.75	-7.0	[25]	2.75	-11.0
[8]	1.75	-5.0	[17]	3.25	-7.0	[26]	3.25	-11.0
[9]	2.25	-5.0	[18]	3.75	-7.0	[27]	3.75	-11.0

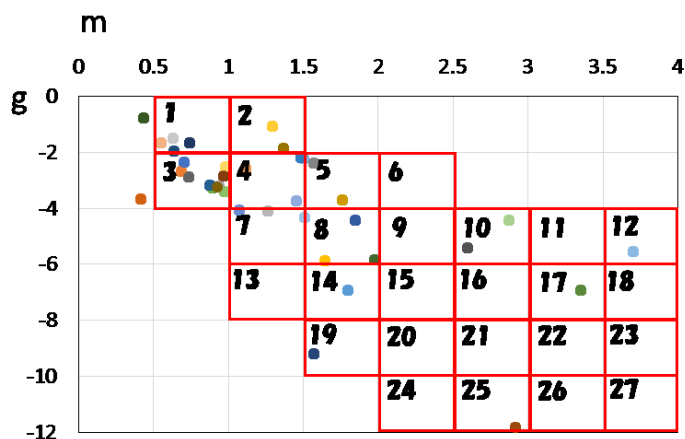


図 5-3 設定パラメータと事例パラメータ m, g の関係

死亡率比

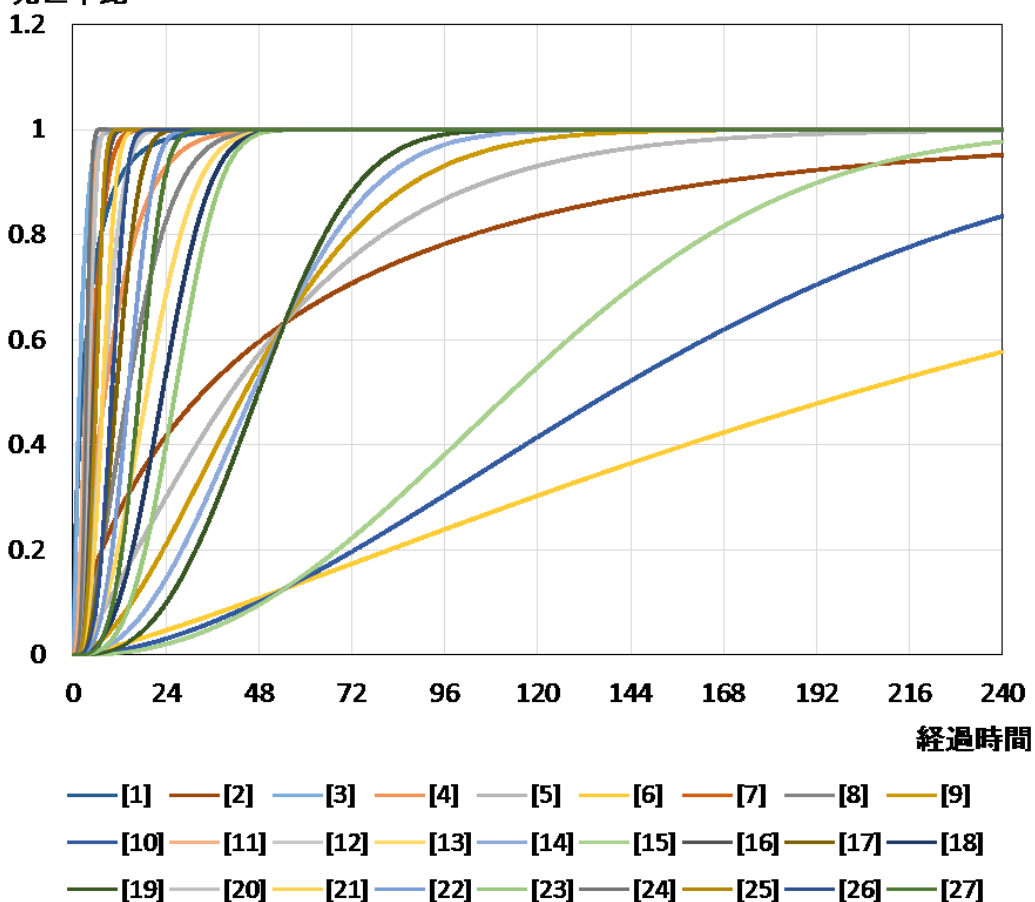


図 5-4 設定パラメータ m, g によるワイブル分布

参考文献

- 1) 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.
- 2) 涌井良幸：道具としてのベイズ統計，日本実業出版社，2012.
- 3) 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.

第6章 予測モデルの適応

6.1 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(6.1)のようになる。

$$F(t_i) = b_i / B_T \quad (6.1)$$

式(6.1)から式(6.2)のように最終死亡者数 B_T を求められる。

$$B_T = b_i / F(t_i) \quad (6.2)$$

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]~[27]) のパラメータ (${}_j m_0, {}_j g_0$) と式(4.7)、式(6.2)から最終死亡者数 ${}_j B_1$ を得る。次に、 ${}_j B_1$ と b_1 から死亡率比 ${}_j F(t_1) = b_1 / {}_j B_1$ を導き、式(5.11)、式(5.13)、式(5.15)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 (${}_j m_1, {}_j g_1$) ごとに式(4.7)、式(6.2)から最終死亡者数 ${}_j B_2$ を得る。次に、 ${}_j B_2$ と b_1, b_2 から死亡率 ${}_j F(t_1) = b_1 / {}_j B_2$ 、 ${}_j F(t_2) = b_2 / {}_j B_2$ を導き、式(5.11)、式(5.13)、式(5.15)を用い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 6-1 参照)。

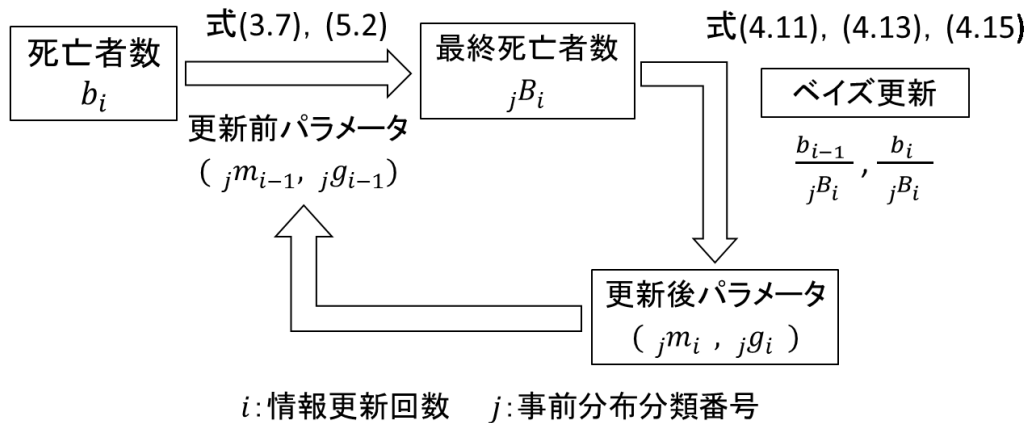


図 6-1 ベイズ更新手順

6.2 推定結果

兵庫県南部地震のデータを用い、事前分布 [1]~[27] の場合における最終死亡者数の推定値と実際の死亡者数(実測値)の経時変化を図 6-2-1、図 6-2-2 に示す。設定した事前分布パラメータによって得られる推定値は異なる。災害事例によって得られる推定値が異なるため、推定値を真値で除した比の推移を更新回数ごとに求めると図 6-3-1、図 6-3-2 のようになる。

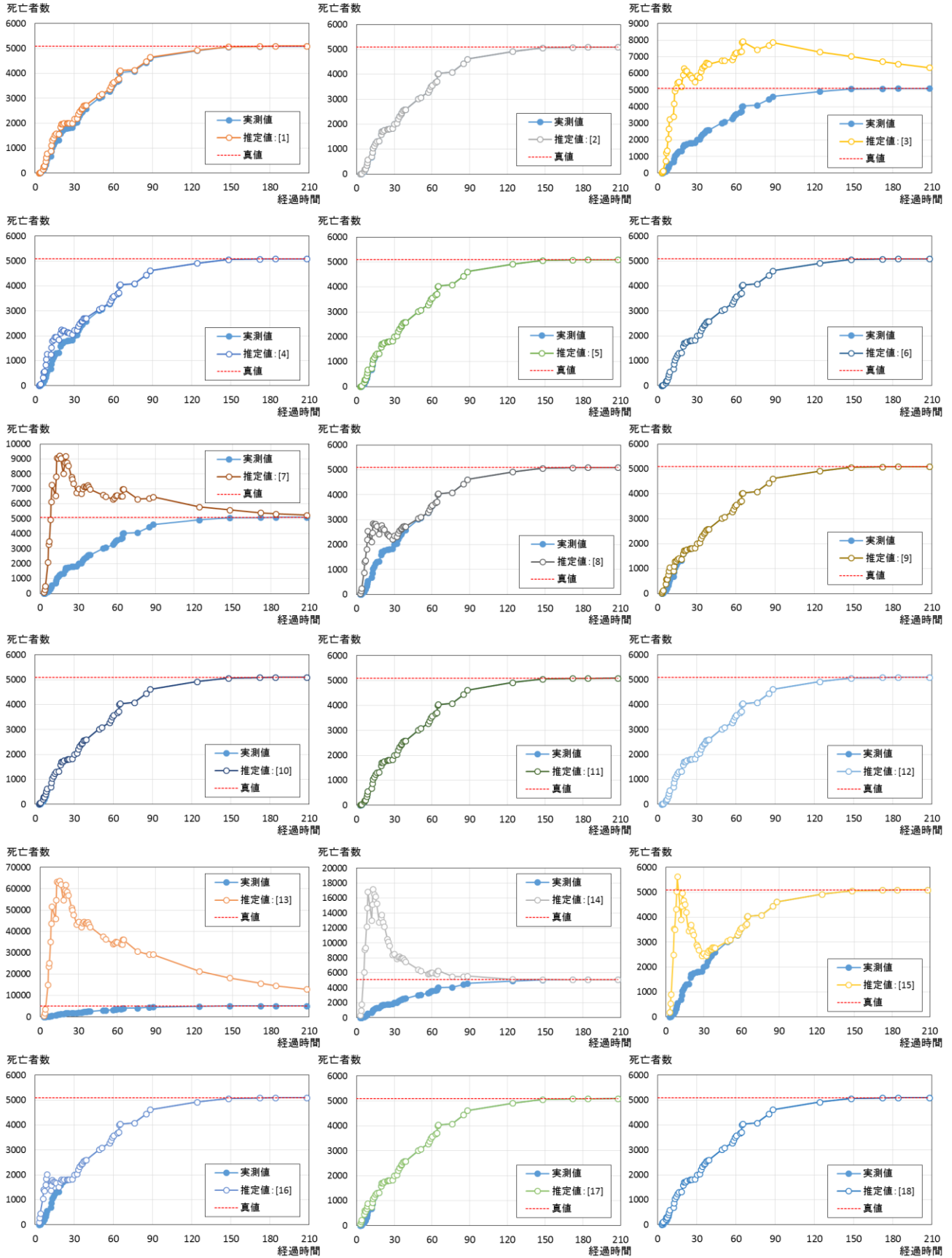


図 6-2-1 推定値の推移：[1]～[18]

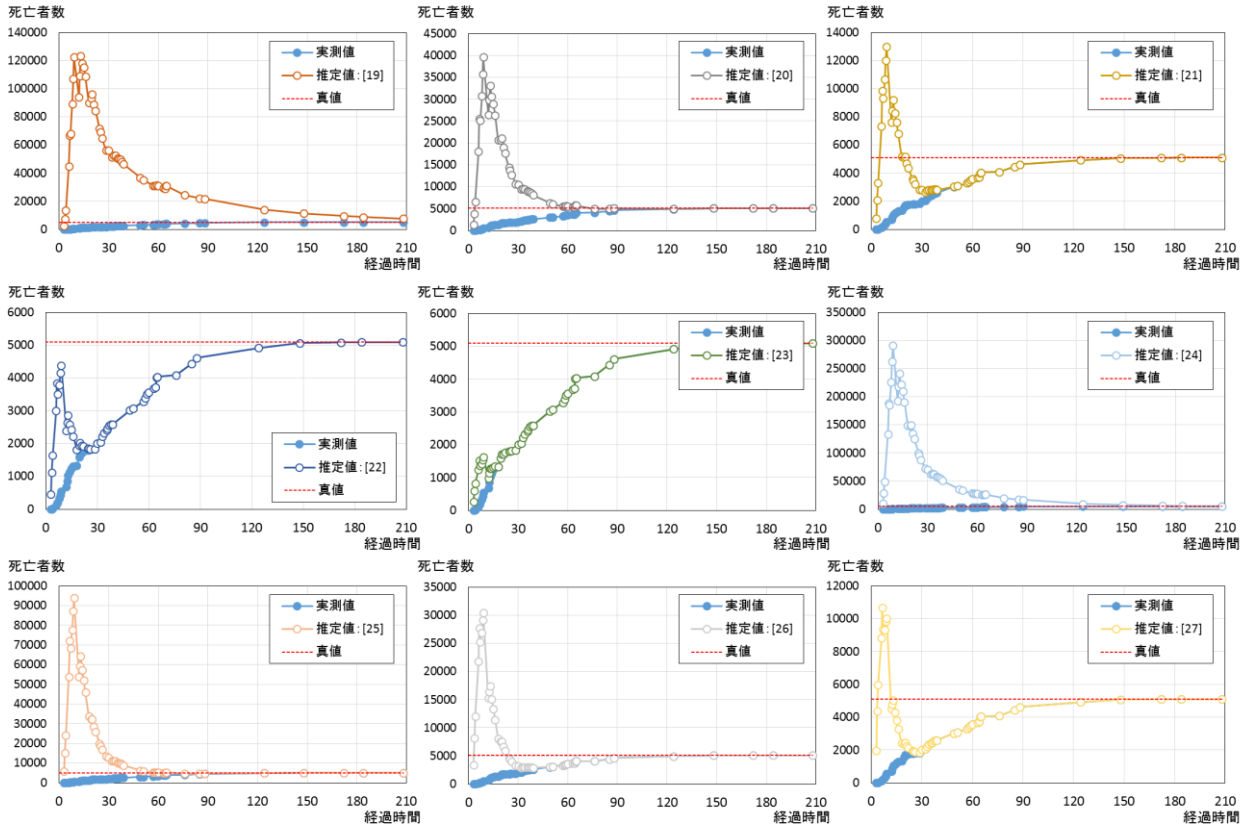


図 6-2-2 推定値の推移：[19]～[27]

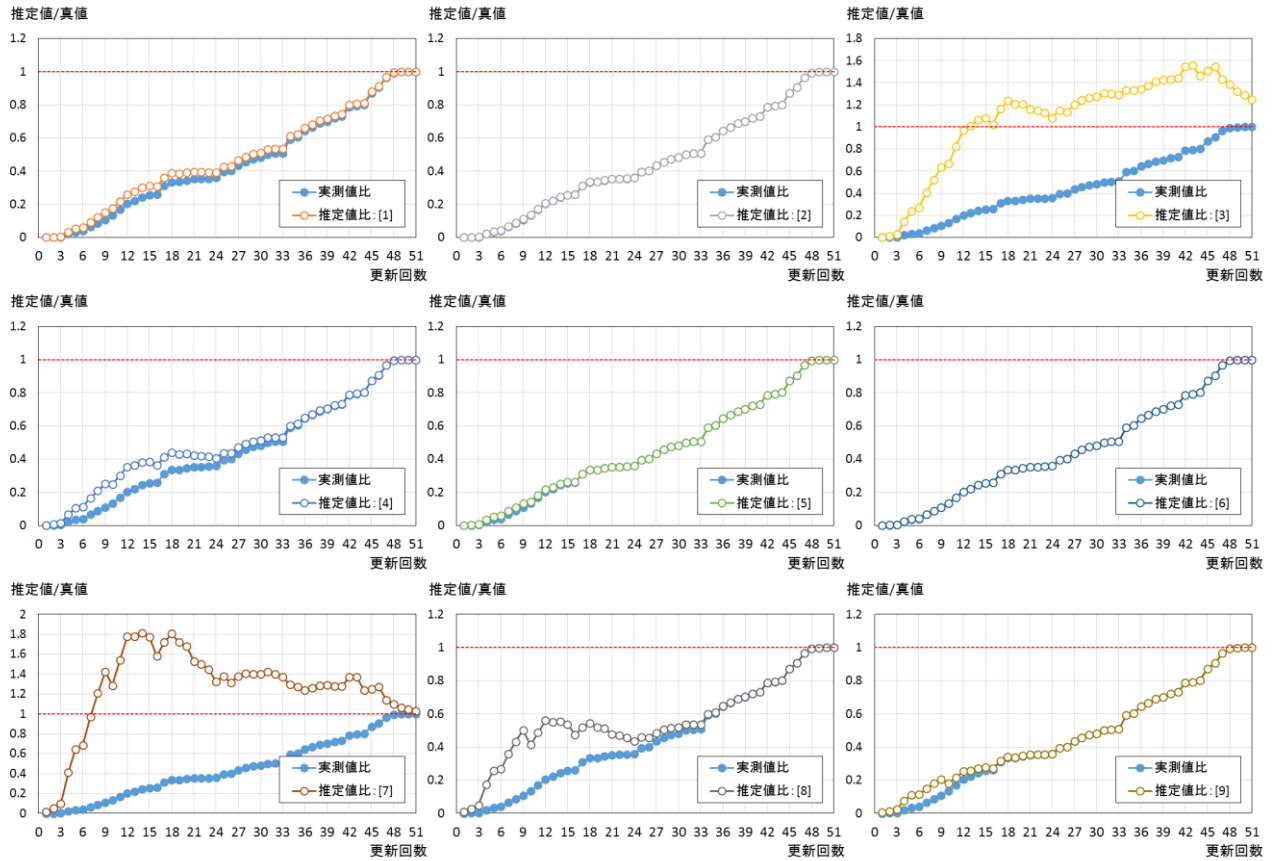


図 6-3-1 推定値/真値の推移：[1]～[9]

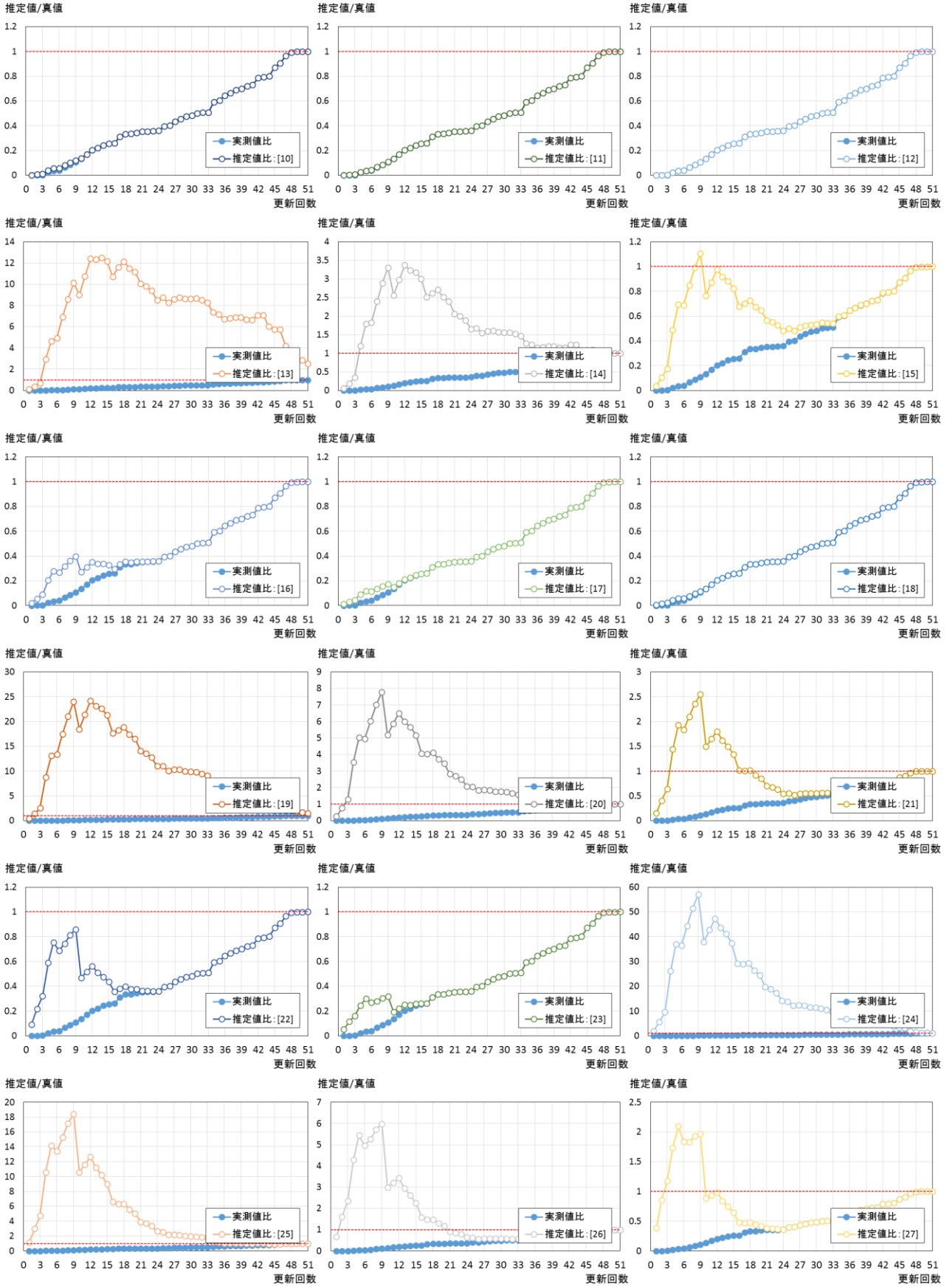


図 6-3-2 推定値/真値の推移：[10]～[27]

6.3 推定値の考察

6.3.1 推定値範囲の設定

ベイズ更新によって得られる推定値を評価するために、真値に対する推定値平均の比(推定値平均 / 真値)と真値の推移について一例(5事例)を表わすと図 6-4 のようになる。

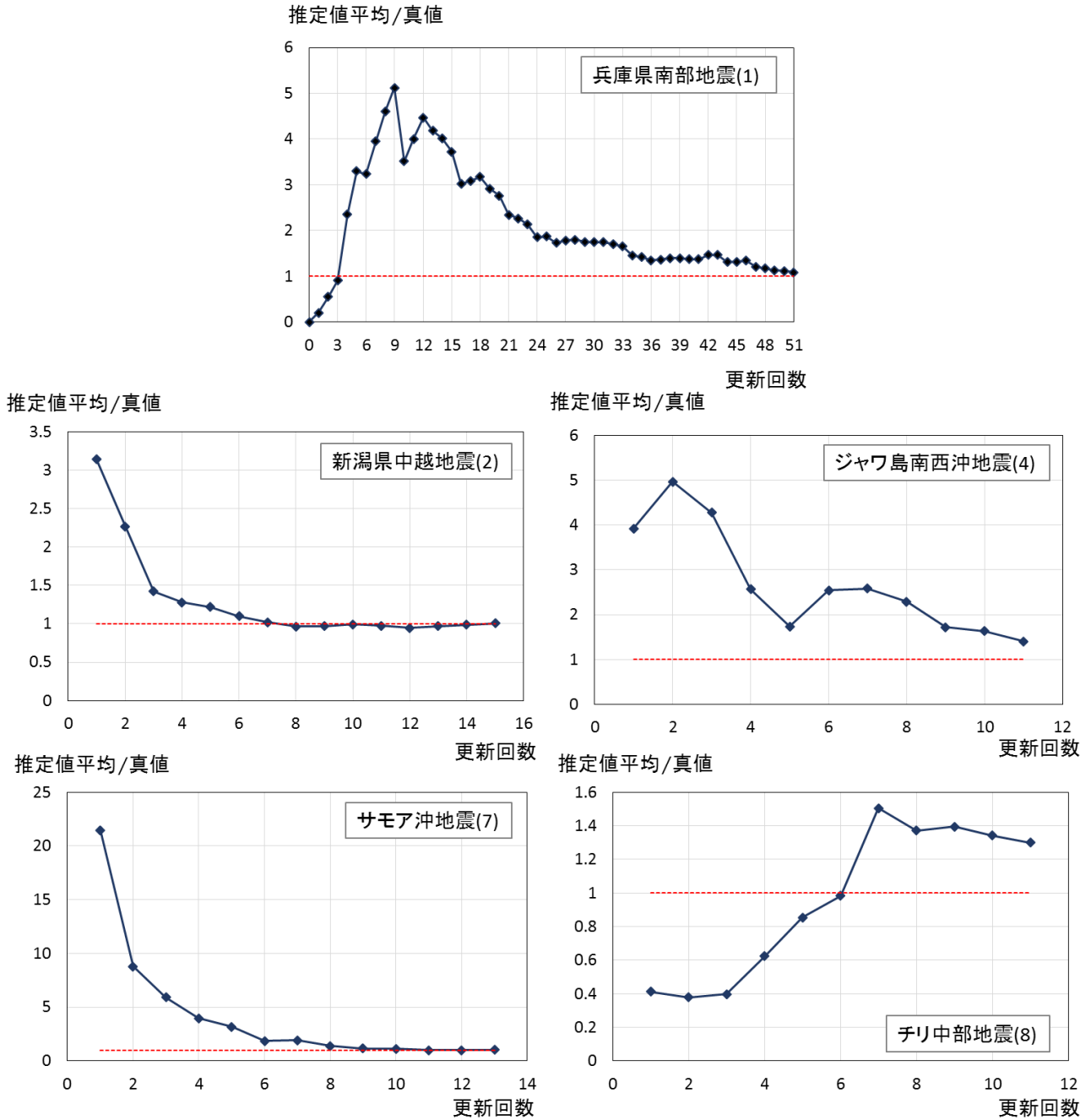


図 6-4 推定値平均/真値の推移

得られる(推定値平均 / 真値)と真値の推移の関係を見るために、真値に対して $\pm \alpha\%$ の範囲と比に対して $\pm \beta\%$ の範囲を設定する。範囲を $(\alpha, \beta)=(\pm 0.3, \pm 0.3)$ と設定した場合、図 6-5 のようになり、設定する α と β の組み合わせによって範囲が重なる更新回数が異なる。

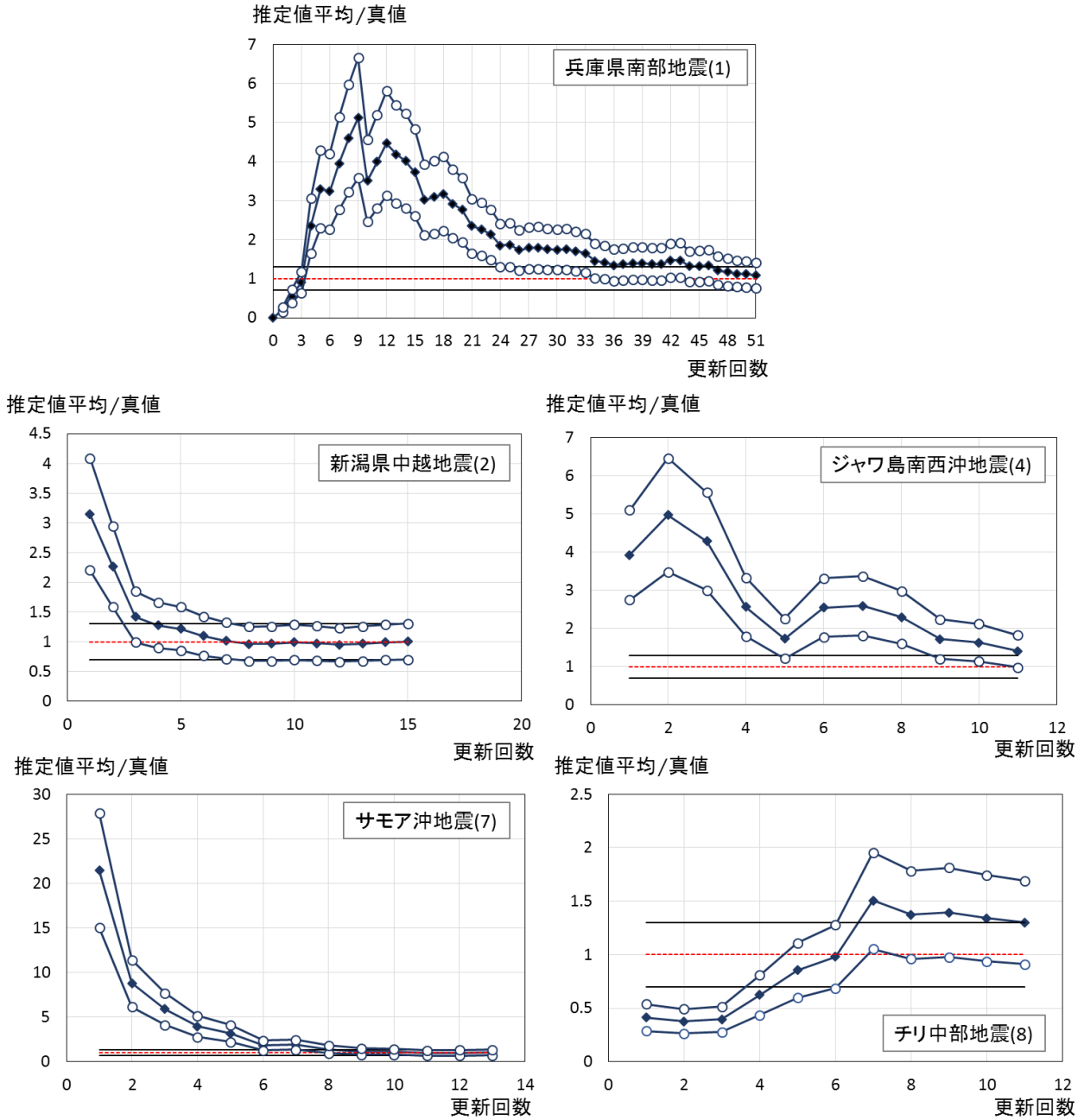


図 6-5 推定値平均/真値の推移 : $(\alpha, \beta)=(\pm 0.3, \pm 0.3)$

6.3.2 推定時間の導出

(α, β)=($\pm 0.3, \pm 0.3$)と設定した場合、(推定値平均 / 真値)と真値の範囲が重なる事例数を更新回数ごとに調べると、図 6-6 のようになる。各災害事例における最終報告までの情報更新回数は表 6-1 となっている。

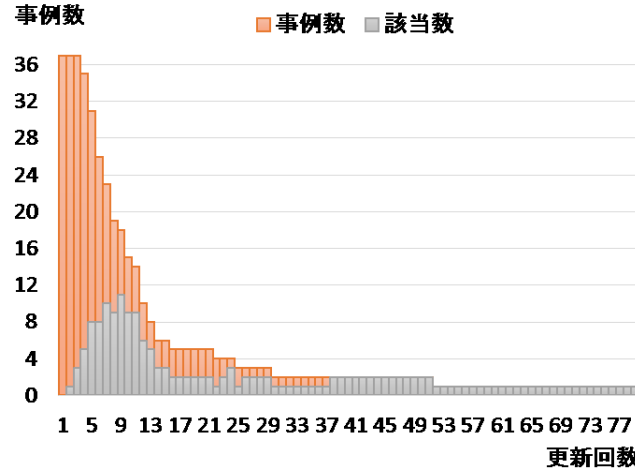


図 6-6 (推定値平均/真値)と真値の範囲が重なる更新回数 : (α, β)=($\pm 0.3, \pm 0.3$)

表 6-1 災害事例における最終報告時の情報更新回数

合計更新回数	災害事例	合計更新回数	災害事例
3	インドネシア(17)	9	岩手宮城内陸地震(5)
	アフガニスタン(27)		インド北東部地震(18)
4	グアテマラ(19)	10	パキスタン(43)
	中国南西部地震(28)		中国(29)
	パキスタン(44)		ジャワ島南西沖地震(4)
	イキケ地震(47)		チリ中部地震(8)
5	ミャンマー地震(12)	11	中国(42)
	スペイン南部地震(13)		パキスタン(45)
	ミャンマー(32)		ラクイラ地震(6)
6	ソロモン諸島沖地震(33)	12	イタリア北部地震(26)
	台湾(40)		ジャワ島中部地震(3)
	盈江地震(10)		サモア沖地震(7)
7	イラン(35)	13	新潟県中越地震(2)
	アフガニスタン(37)		ニュージーランド地震(9)
	ネグロス島沖地震(22)		四川地震(36)
8	グアテマラ(31)	15	トルコ東部地震(20)
	イラン(34)		兵庫県南部地震(1)
	インドネシア(41)		東北地方太平洋沖地震(11)
	イラン(30)		

図 6-6 と表 6-1 から、更新回数が 3 回の場合には事例数は 37 あるが、更新回数が 7 回の場合になると事例数は 23 になり、更新回数が多くなるにつれて事例数は減少していく。範囲が重なった事例数が一番多いのは、更新回数 9 回の時で 18 事例中 11 事例となり、該当割合 0.61 となる。該当割合が一番高くなったのは、更新回数が 24 回の時で 4 事例中 3 事例の 0.75 となった。該当事例数が多かった更新回数 9 回の場合と該当割合が高かった更新回数 24 回の場合において、各事例の更新時間を求めると表 5-2 のようになる。これらの平均時間は求めると更新回数 9 回の場合には 87.2 時間、更新回数 24 回の場合には 73.56 時間となる。

表 6-2 更新回数9回目(左)と24回目の更新時間(右)

番号(i)	災害事例	9回目の更新時間 (a_i)
1	新潟県中越地震(2)	109
2	ジャワ島中部地震(3)	53
3	ジャワ島南西沖地震(4)	48
4	岩手宮城内陸地震(5)	157
5	ラクイラ地震(6)	126
6	サモア沖地震(7)	76.5
7	チリ中部地震(8)	86
8	ニュージーランド地震(9)	72.5
9	インド北東部地震(18)	95.4
10	パキスタン(43)	73.8
11	パキスタン(45)	62.1

番号(i)	災害事例	24回目の更新時間 (a_i)
1	四川地震(36)	71.5
2	トルコ東部地震(20)	120.7
3	兵庫県南部地震(1)	28.5

事例により更新回数とその時間が異なるため、更新回数による時間の重み付けを行うことにする。該当事例数が多かった更新回数9回の場合と該当割合が高かった更新回数24回の場合の、各事例の最終更新回数を b_i とし、その総和 $\sum_{i=1}^{11} b_i$ を求める。更新回数9回目の場合は表 5-2 から 134 と求められる。各事例の最終更新回数を総和で割り $\left(b_i / \sum_{i=1}^{11} b_i\right)$ 、更新回数9回目の時間の積を求めることで重み付き時間を求める。まとめると表 6-3 と表 6-4 ようになり、重み付き平均時間は更新回数9回の場合 85.41 時間、更新回数24回の場合 64.13 時間となる。重み付けをすることによって平均時間が短くなる。

表 6-3 更新回数9回目の重み付け平均時間

番号 (i)	災害事例	最終更新回数 (b_i)	更新回数総和 ($\sum b_i$)	重み ($b_i / \sum b_i$)	重み付け時間 ($b_i / \sum b_i \times a_i$)	重み付け 平均時間
1	新潟県中越地震(2)	15	134	0.1119	12.20	85.41
2	ジャワ島中部地震(3)	13		0.0970	5.14	
3	ジャワ島南西沖地震(4)	11		0.0820	3.94	
4	岩手宮城内陸地震(5)	9		0.0671	10.54	
5	ラクイラ地震(6)	12		0.0895	11.28	
6	サモア沖地震(7)	13		0.0970	7.42	
7	チリ中部地震(8)	11		0.0820	7.05	
8	ニュージーランド地震(9)	21		0.1567	11.36	
9	インド北東部地震(18)	9		0.0671	6.40	
10	パキスタン(43)	9		0.0671	4.95	
11	パキスタン(45)	11		0.082	5.09	

表 6-4 更新回数 24 回目の重み付け平均時間

番号 (i)	災害事例	最終更新回数 (b_i)	更新回数総和 ($\sum b_i$)	重み ($b_i/\sum b_i$)	重み付け時間 ($b_i/\sum b_i \times a_i$)	重み付け 平均時間
1	四川地震(36)	24	104	0.2307	16.5	64.13
2	トルコ東部地震(20)	29		0.2788	33.65	
3	兵庫県南部地震(1)	51		0.4903	13.97	

一例として、 $(\alpha, \beta) = (\pm 0.3, \pm 0.3)$ の場合における更新回数とその時間を求めたが、 α と β の値を大きく設定すれば、少ない更新回数になり平均時間も短くなると考える。

6.3.3 過大推定パラメータの評価

推定値の推移において、更新回数が少ない時間帯において最終死亡者数が過大に推定されている設定パラメータが存在する。そこで過大に推定している設定パラメータを特定するために、真値に対して推定値が n 倍以上 ($(\text{推定値}/\text{真値}) \geq n$) になる推定値を得た回数を該当数とし、その割合を全更新回数に対して求める。 $n=2, 3, 4, 5, 6$ とした場合、求めた該当数とその割合を求めると表 6-5-1~表 6-5-5 のようになる。これによって、災害事例ごとに過大推定される設定パラメータを求めることができる。また、設定パラメータごとに得られた割合が 0.7 以上となる災害事例数を求め、災害事例全体での割合を求めることで過大推定される設定パラメータを求めることもできる。設定パラメータごとに得られた割合が 0.7 以上となる災害事例数と災害事例全体での割合を求めると表 6-6 のようになる。割合を見てみると、設定パラメータ [13], [19], [24] が高い割合を占めており (図 6-7 参照)、図 6-8 の範囲の設定パラメータが過大推定をされると考えられる。

表 6-5-3 該当数と割合 : n=4

	[1]		[2]		[3]		[4]		[5]		[6]		[7]		[8]		[9]		[10]		[11]		[12]		[13]	
	該当数	割合	該当数	割合	該当数	割合	該当数	割合	該当数	割合	該当数	割合	該当数	割合	該当数	割合	該当数	割合	該当数	割合	該当数	割合	該当数	割合	該当数	割合
兵庫南部地震(1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
新瀧県中部地震(2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ジャワ島中部地震(3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0769	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8461
ジャワ島南西部地震(4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.2222	1	0.1111	1	0.1111	0	0	0	0	0	0	0	0.7777
大手宮城内陸地震(5)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ラウイ島地震(6)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
サモア沖地震(7)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
チリ中部地震(8)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ニュージーランド地震(9)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0476	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ニュージーランド地震(10)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0476	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
東北地方太平洋沖地震(11)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
スウェーデン地震(12)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
スペイン海部地震(13)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
インドネシア(17)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
インド北東部地震(18)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
クアタマラ(19)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
トルコ東部地震(20)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ネグロス島沖地震(22)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
イタリヤ北部地震(26)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	1	10	0.8333	8	0.6666	6	0.5	4	0.3333	1	0.0833	12	1
アフガニスタン(27)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
中国西部地震(28)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
中国(29)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
イラン(30)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
クアタマラ(31)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ミャンマー(32)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ソロモン群島沖地震(33)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
イラン(34)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
イラン(35)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
四川地震(36)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0.6666	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
アフガニスタン(37)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
台湾(40)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
インドネシア(41)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
中国(42)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
インドネシア(43)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
インドネシア(44)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
インドネシア(45)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
イギキ島地震(47)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
イギキ島地震(47)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 6-6 該当数と割合

	[1]		[2]		[3]		[4]		[5]		[6]		[7]	
	該当数	割合	該当数	割合	該当数	割合	該当数	割合	該当数	割合	該当数	割合	該当数	割合
n=2	0	0	0	0	9	0.2432	0	0	0	0	0	0	15	0.4054
n=3	0	0	0	0	3	0.0810	0	0	0	0	0	0	12	0.3243
n=4	0	0	0	0	1	0.0270	0	0	0	0	0	0	9	0.2432
n=5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0.1891
n=6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0.1081

	[8]		[9]		[10]		[11]		[12]		[13]		[14]	
	該当数	割合	該当数	割合	該当数	割合	該当数	割合	該当数	割合	該当数	割合	該当数	割合
n=2	6	0.1621	3	0.0810	0	0	0	0	0	0	34	0.9189	16	0.4324
n=3	5	0.1351	1	0.0270	0	0	0	0	0	0	31	0.8378	14	0.3783
n=4	3	0.0810	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0.7837	14	0.3783
n=5	2	0.0540	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0.7567	11	0.2972
n=6	1	0.0270	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0.6756	9	0.2432

	[15]		[16]		[17]		[18]		[19]		[20]		[21]	
	該当数	割合	該当数	割合	該当数	割合	該当数	割合	該当数	割合	該当数	割合	該当数	割合
n=2	11	0.2972	6	0.1621	3	0.0810	3	0.0810	33	0.8918	19	0.5135	12	0.3243
n=3	10	0.2702	5	0.1351	2	0.0540	1	0.0270	29	0.7837	14	0.3783	11	0.2972
n=4	7	0.1891	3	0.0810	2	0.0540	1	0.0270	28	0.7567	14	0.3783	11	0.2972
n=5	5	0.1351	3	0.0810	1	0.0270	1	0.0270	27	0.7297	14	0.3783	11	0.2972
n=6	5	0.1351	2	0.0540	0	0	0	0	24	0.6486	13	0.3513	9	0.2432

	[22]		[23]		[24]		[25]		[26]		[27]	
	該当数	割合	該当数	割合	該当数	割合	該当数	割合	該当数	割合	該当数	割合
n=2	9	0.2432	6	0.1621	32	0.8648	20	0.5405	15	0.4054	11	0.2972
n=3	7	0.1891	5	0.1351	28	0.7567	17	0.4594	12	0.3243	10	0.2702
n=4	7	0.1891	3	0.0810	27	0.729	15	0.4054	12	0.3243	9	0.2432
n=5	6	0.1621	3	0.0810	26	0.7027	15	0.4054	11	0.2972	9	0.2432
n=6	6	0.1621	2	0.0540	23	0.6216	15	0.4054	11	0.2972	7	0.1891

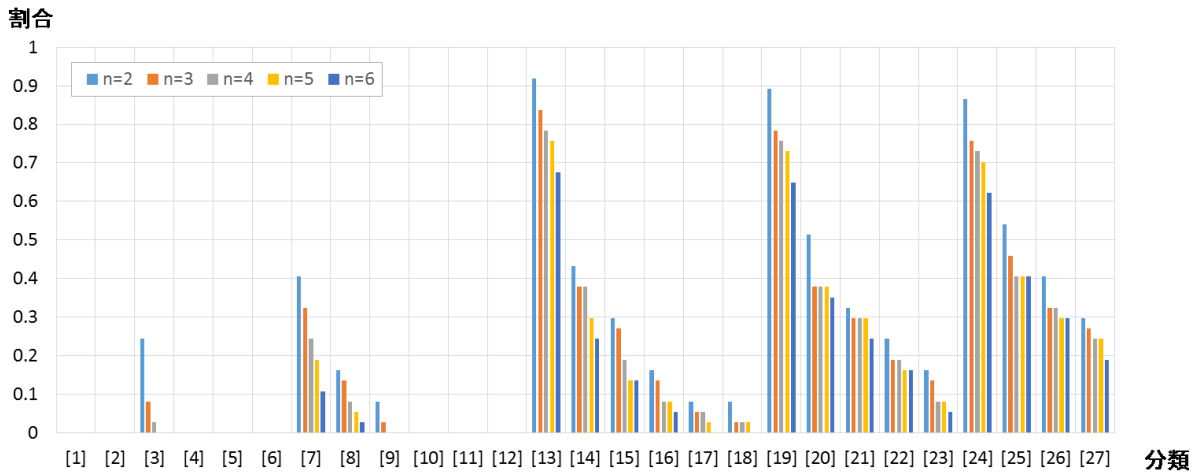


図 6-7 設定パラメータの割合

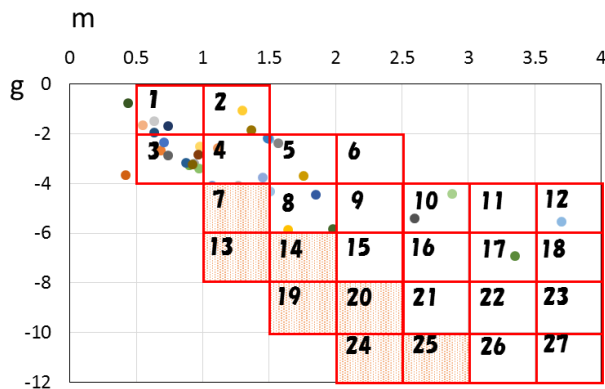


図 6-8 過大推定する設定パラメータ範囲

6.4 設定パラメータの違いによる推定

6.4.1 推定結果

過大推定する設定パラメータの中から，過度の高い設定パラメータ [13], [19], [24]を除いた設定パラメータ 24 コを用いて推定を行う. 真値に対する推定値平均の比(推定値平均 / 真値)と真値の推移について, 除外しない場合の設定パラメータ 27 コとの比較を表すと図 6-9 のようになる. 過大推定するパラメータを除外して推定することにより, 更新回数が少ない時間帯における過大推定が解消されている. しかしながら, チリ中部地震(8)のように, 過小に推定してしまう場合がある.

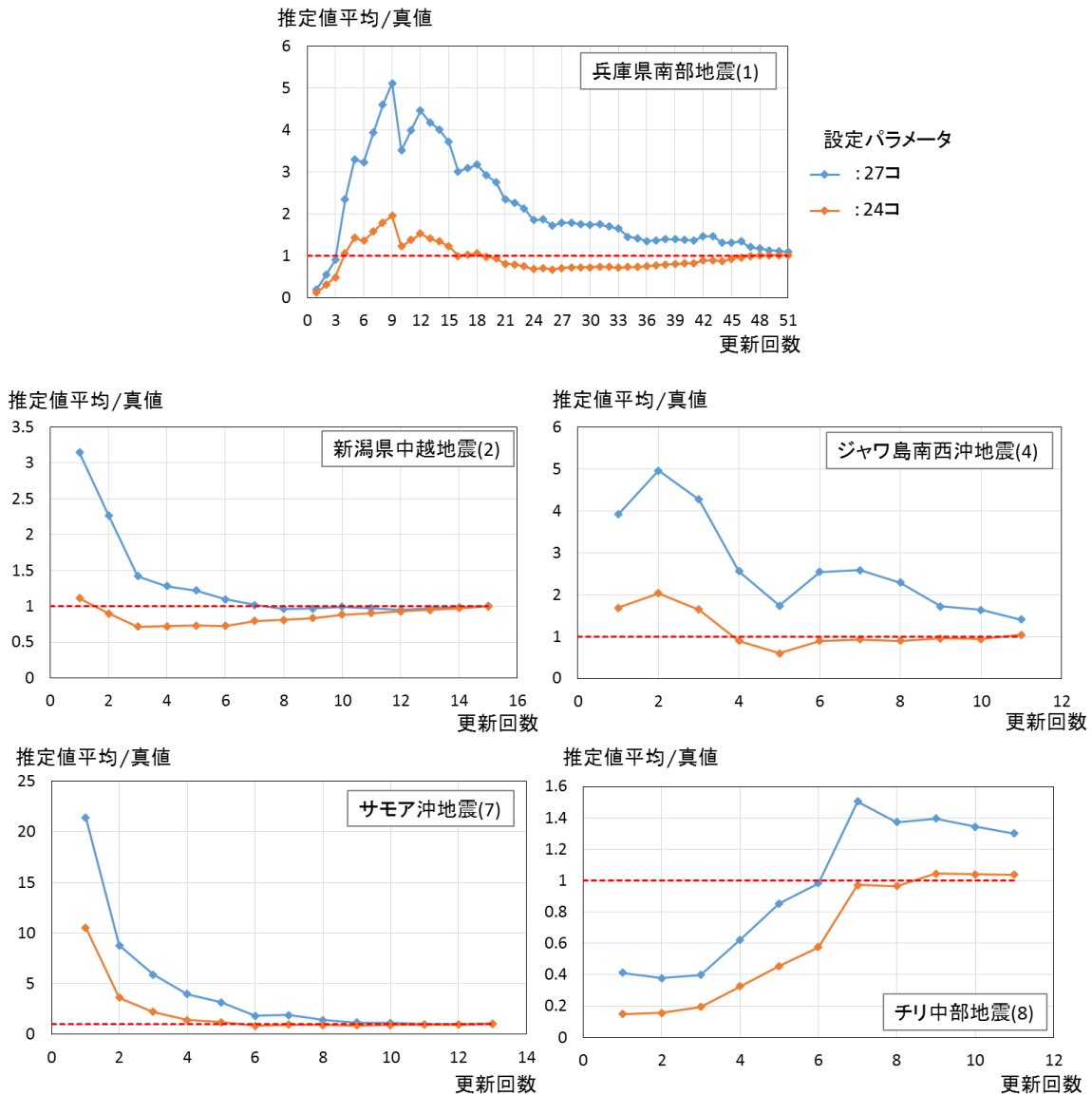


図 6-9 設定パラメータの数による推定結果の比較

6.4.2 推定値の考察

6.3.1 と同様に $(\alpha, \beta)=(\pm 0.3, \pm 0.3)$ と設定した場合，得られる(推定値平均 / 真値)と真値の推移は図 6-10 のようになる．また，(推定値平均 / 真値)と真値の範囲が重なる事例数を更新回数ごとに調べると，図 6-11 のようになる．範囲が重なった事例数が一番多いのは，更新回数 6 回の時で 26 事例中 18 事例となり，該当割合 0.69 となる．該当割合が 0.7 を超えるようになったのは，更新回数が 8 回の時で 19 事例中 14 事例が該当する．事例数が多かった更新回数 6 回の場合と該当割合が 0.7 を超えるようになった更新回数 8 回の場合の各事例の更新時間を求めると表 6-7 のようになる．これらの平均時間を求めると更新回数 6 回の場合は 38.36 時間，更新回数 8 回の場合は 58.52 時間となる．また，重み付き平均時間を求めると表 6-8，表 6-9 のようになり更新回数 6 回の場合 26.97 時間，更新回数 8 回の場合 46.96 時間となる．

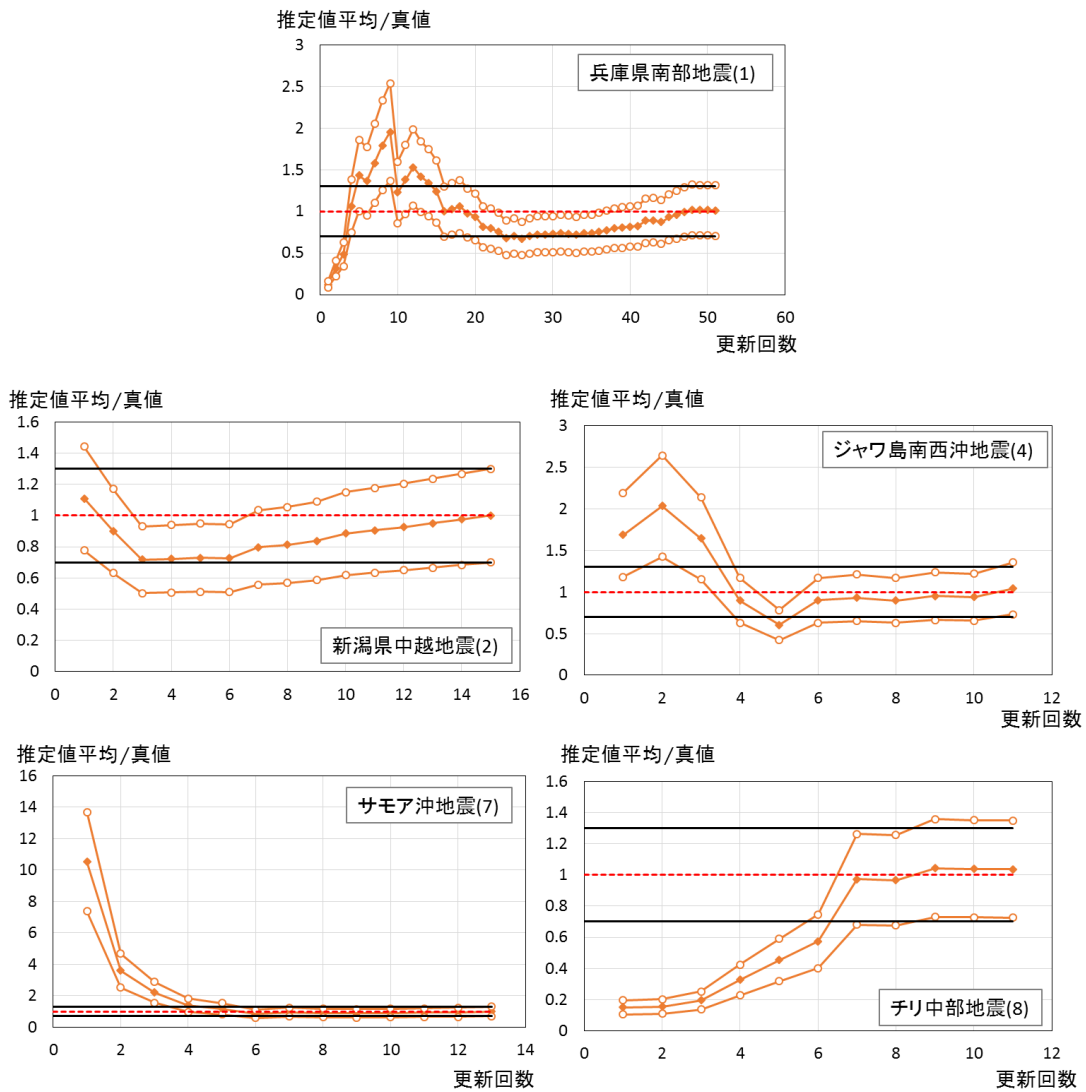


図 6-10 推定値平均/真値の推移： $(\alpha, \beta)=(\pm 0.3, \pm 0.3)$

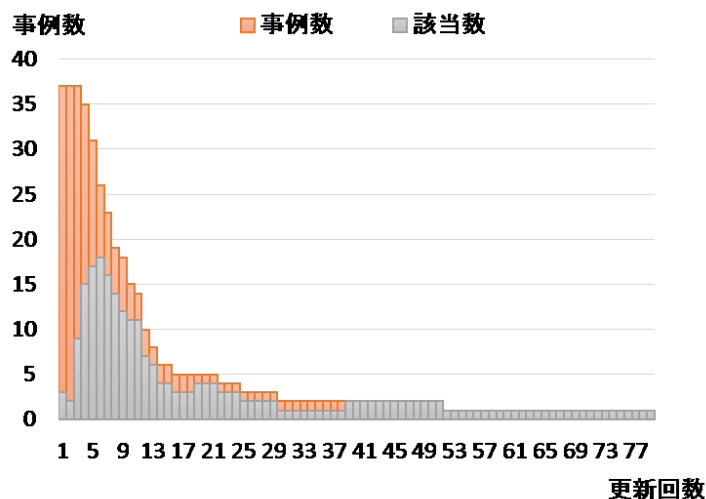


図 6-11 (推定値平均/真値)と真値の範囲が重なる更新回数 : $(\alpha, \beta) = (\pm 0.3, \pm 0.3)$

表 6-7 更新回数 6 回目(左)と 8 回目の更新時間(右)

番号(i)	災害事例	6回目の更新時間 (a_i)
1	兵庫県南部地震(1)	7
2	新潟県中越地震(2)	60
3	ジャワ島中部地震(3)	41
4	ジャワ島南西沖地震(4)	20
5	岩手宮城内陸地震(5)	30.5
6	ラクイラ地震(6)	72
7	サモア沖地震(7)	34
8	チリ中部地震(8)	54
9	ニュージーランド地震(9)	55
10	インド北東部地震(18)	17.2
11	トルコ東部地震(20)	10.8
12	ネグロス島沖地震(22)	48
13	イラン(34)	33.6
14	イラン(35)	47.5
15	アフガニスタン(37)	28.6
16	インドネシア(41)	71.5
17	パキスタン(43)	26.6
18	パキスタン(45)	33.3

番号(i)	災害事例	8回目の更新時間 (a_i)
1	兵庫県南部地震(1)	8.5
2	新潟県中越地震(2)	100.5
3	ジャワ島中部地震(3)	52
4	ジャワ島南西沖地震(4)	27.5
5	岩手宮城内陸地震(5)	108
6	ラクイラ地震(6)	94
7	サモア沖地震(7)	56
8	チリ中部地震(8)	76
9	ニュージーランド地震(9)	68
10	インド北東部地震(18)	42.5
11	トルコ東部地震(20)	15
12	イラン(30)	51
13	パキスタン(43)	67.1
14	パキスタン(45)	53.3

表 6-8 更新回数6回目の重み付け平均時間

番号 (i)	災害事例	最終更新回数 (b_i)	更新回数総和 ($\sum b_i$)	重み ($b_i/\sum b_i$)	重み付け時間 ($b_i/\sum b_i$) $\times a_i$	重み付け 平均時間
1	兵庫県南部地震(1)	51	247	0.2064	1.4453	26.97
2	新潟県中越地震(2)	15		0.0607	3.6437	
3	ジャワ島中部地震(3)	13		0.0526	2.1578	
4	ジャワ島南西沖地震(4)	11		0.0445	0.8906	
5	岩手宮城内陸地震(5)	9		0.0364	1.1113	
6	ラクイラ地震(6)	12		0.0485	3.4979	
7	サモア沖地震(7)	13		0.0526	1.7894	
8	チリ中部地震(8)	11		0.0445	2.4048	
9	ニュージーランド地震(9)	21		0.0850	4.6761	
10	インド北東部地震(18)	9		0.0364	0.6267	
11	トルコ東部地震(20)	29		0.1174	1.2680	
12	ネグロス島沖地震(22)	7		0.0283	1.3603	
13	イラン(34)	7		0.0283	0.9522	
14	イラン(35)	6		0.0242	1.1538	
15	アフガニスタン(37)	6		0.0242	0.6947	
16	インドネシア(41)	7		0.0283	2.0263	
17	パキスタン(43)	9		0.0364	0.9692	
18	パキスタン(45)	11		0.0445	1.4829	

表 6-9 更新回数8回目の重み付け平均時間

番号 (i)	災害事例	最終更新回数 (b_i)	更新回数総和 ($\sum b_i$)	重み ($b_i/\sum b_i$)	重み付け時間 ($b_i/\sum b_i$) $\times a_i$	重み付け 平均時間
1	兵庫県南部地震(1)	51	222	0.2297	1.9527	46.96
2	新潟県中越地震(2)	15		0.0675	6.7905	
3	ジャワ島中部地震(3)	13		0.0585	3.0450	
4	ジャワ島南西沖地震(4)	11		0.0495	1.36261	
5	岩手宮城内陸地震(5)	9		0.0405	4.3783	
6	ラクイラ地震(6)	12		0.0540	5.0810	
7	サモア沖地震(7)	13		0.0585	3.2792	
8	チリ中部地震(8)	11		0.0495	3.7657	
9	ニュージーランド地震(9)	21		0.0945	6.4324	
10	インド北東部地震(18)	9		0.0405	1.7229	
11	トルコ東部地震(20)	29		0.1306	1.9594	
12	イラン(30)	8		0.0360	1.8378	
13	パキスタン(43)	9		0.0405	2.7202	
14	パキスタン(45)	11		0.0495	2.6409	

6.5 事前分布パラメータの設定

設定した事前分布パラメータ 27 コをパターン 1, 過大推定するパラメータを除外した事前分布パラメータ 24 コをパターン 2 とし, 他にパラメータの数を 17 コ(パターン 3), 12 コ(パターン 4), 10 コ(パターン 5), 8 コ(パターン 6)とした場合(図 6-12)に得られる(推定値平均 / 真値)と真値の推移は図 6-13-1~6-13-3 のようになる. また, $(\alpha, \beta)=(\pm 0.3, \pm 0.3)$ と設定した場合に重なる更新時間と更新回数は表 6-10 のようになる.

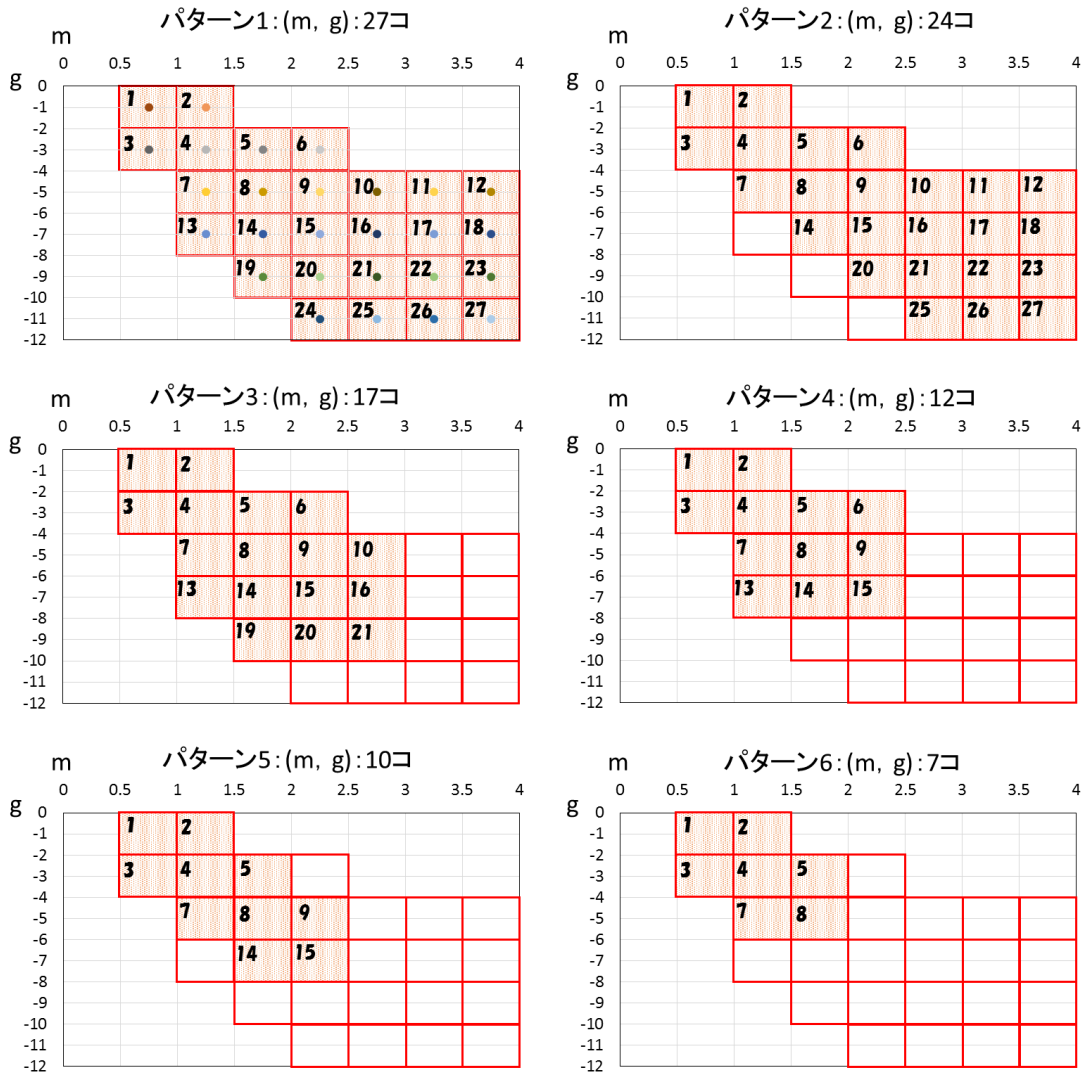


図 6-12 設定パラメータ

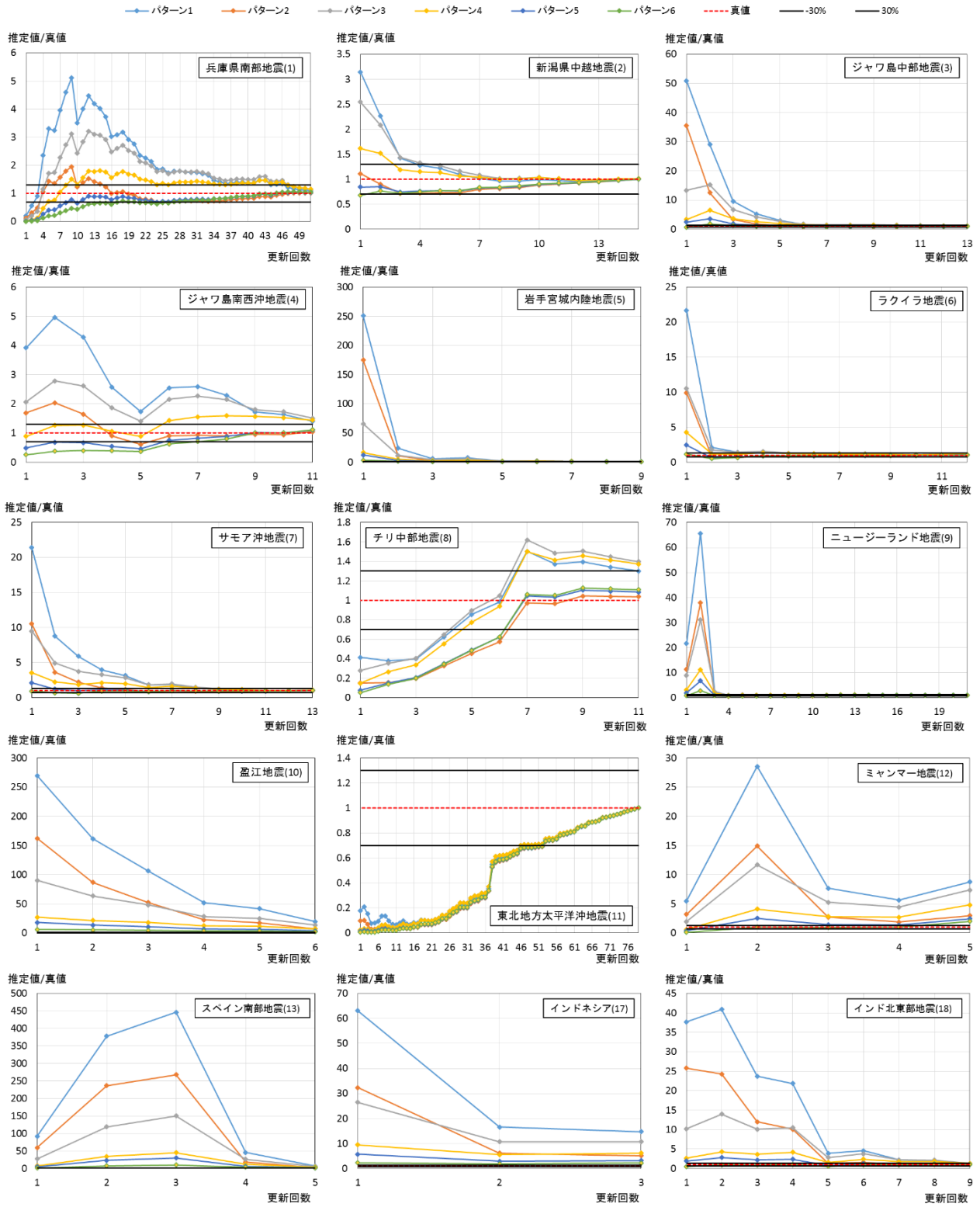


図 6-13-1 設定パラメータによる推定結果

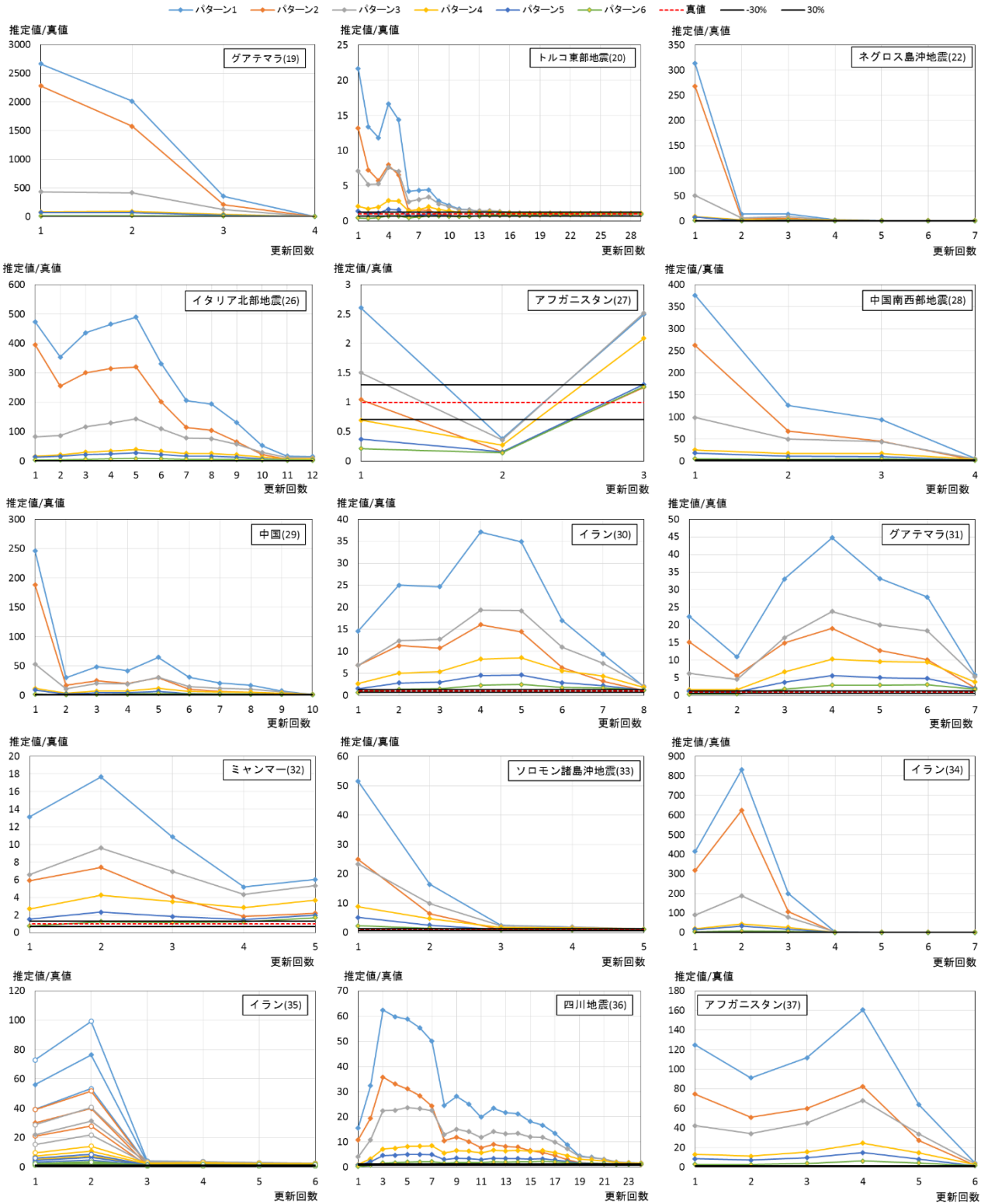


図 6-13-2 設定パラメータによる推定結果

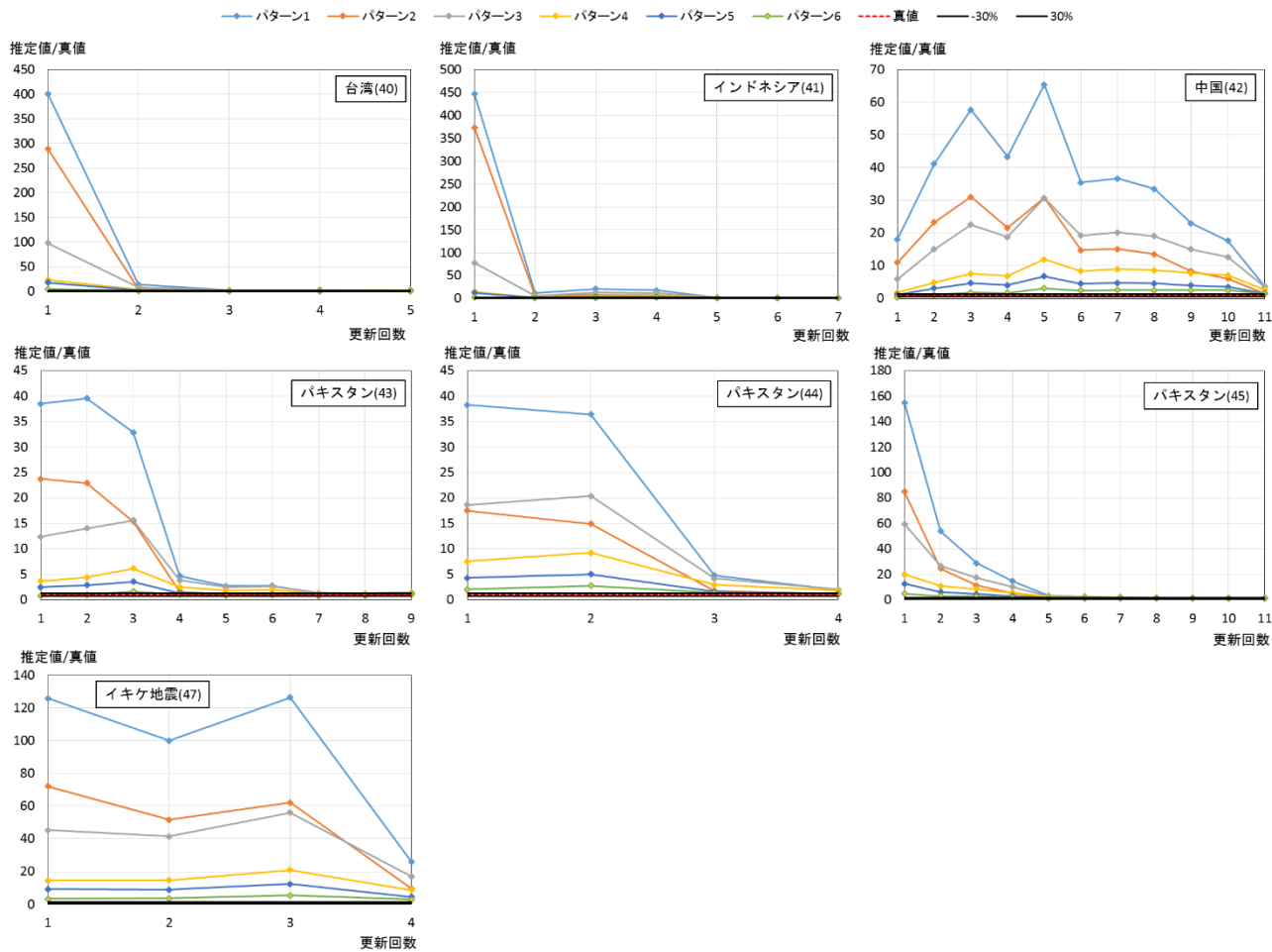


図 6-13-3 設定パラメータによる推定結果

表 6-10 設定パラメータによる更新時間と更新回数 : $(\alpha, \beta) = (\pm 0.3, \pm 0.3)$

災害事例	パターン1		パターン2		パターン3		パターン4		パターン5		パターン6	
	時間	更新回数	時間	更新回数	時間	更新回数	時間	更新回数	時間	更新回数	時間	更新回数
兵庫県南部地震(1)	3.5	2	6.0	4	6.0	4	6.5	5	8.0	7	13.0	12
新潟県中越地震(2)	41.0	3	19.0	1	41.0	3	19.0	1	19.0	1	19.0	1
ジャワ島中部地震(3)	41.0	6	16.0	4	41.0	6	41.0	6	16.0	4	2.0	1
ジャワ島南西沖地震(4)	18.0	5	7.0	1	18.0	5	7.0	1	8.0	2	20.0	6
岩手宮城内陸地震(5)	52.0	7	30.0	5	52.0	7	30.0	5	12.0	3	6.0	2
ラクイラ地震(6)	33.0	3	21.0	2	21.0	2	21.0	2	21.0	2	6.0	1
サモア沖地震(7)	34.0	6	19.0	4	34.0	6	34.0	6	8.0	2	5.0	1
チリ中部地震(8)	44.0	4	54.0	6	44.0	4	44.0	4	54.0	6	54.0	6
ニュージーランド地震(9)	48.5	4	24.0	3	48.5	4	24.0	3	24.0	3	4.3	1
盈江地震(10)	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
東北地方太平洋沖地震(11)	218.0	38	222.0	39	218.0	38	218.0	38	222.0	39	222.0	39
ミャンマー地震(12)	なし	なし	なし	なし	なし	なし	3.3	1	12.3	3	4.3	2
スペイン南部地震(13)	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	2.5	1
インドネシア(17)	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	11.0	2
インド北東部地震(18)	95.4	9	13.1	5	95.4	9	13.1	5	13.1	5	3.1	2
グアテマラ(19)	86.9	4	86.9	4	86.9	4	86.9	4	86.9	4	86.9	4
トルコ東部地震(20)	29.0	11	10.8	6	29.0	11	3.9	2	2.9	1	5.1	4
ネグロス島沖地震(22)	39.0	5	21.0	4	39.0	5	21.0	4	6.0	2	1.0	1
イタリア北部地震(26)	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
アフガニスタン(27)	なし	なし	8.5	1	8.5	1	8.5	1	37.5	3	37.5	3
中国南西部地震(28)	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	24.0	4	24.0	4
中国(29)	56.8	10	56.8	10	56.8	10	56.8	10	18.3	9	3.5	2
イラン(30)	なし	なし	51.0	8	なし	なし	なし	なし	5.6	1	5.6	1
グアテマラ(31)	なし	なし	なし	なし	なし	なし	2.2	1	2.2	1	5.9	3
ミャンマー(32)	なし	なし	20.2	4	なし	なし	なし	なし	6.3	1	6.3	1
ソロモン諸島沖地震(33)	36.7	4	30.6	3	96.0	5	30.6	3	30.6	3	9.3	2
イラン(34)	53.1	7	30.1	4	53.1	7	33.1	5	30.1	4	30.1	4
イラン(35)	なし	なし	29.6	3	なし	なし	47.5	6	29.6	3	4.0	1
四川地震(36)	61.1	23	27.0	19	61.1	23	2.0	1	2.0	1	3.0	2
アフガニスタン(37)	なし	なし	28.6	6	なし	なし	なし	なし	28.6	6	28.6	6
台湾(40)	なし	なし	26.0	3	なし	なし	26.0	3	26.0	3	9.5	2
インドネシア(41)	47.8	5	47.8	5	47.8	5	47.8	5	6.3	2	6.3	2
中国(42)	なし	なし	32.2	11	なし	なし	2.9	1	2.9	1	3.5	2
パキスタン(43)	50.6	7	19.0	4	50.6	7	24.5	5	19.0	4	2.8	1
パキスタン(44)	なし	なし	23.7	3	なし	なし	48.7	4	23.7	3	23.7	3
パキスタン(45)	53.3	8	29.0	5	53.3	8	37.8	7	29.0	5	29.0	5
イキケ地震(47)	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし

6.6 まとめ

ベイズ推定モデルを適応すると、設定パラメータごとに最終死亡者数を求めることができ、情報の更新回数が増えるに伴い、真値に近似していく推定値結果を得られた。これによりベイズ更新の有用性がいえる。しかしながら、災害事例によって推移の仕方が異なり、情報更新回数が少ない段階において、最終死亡者数を過大推定している結果となった。そこで、過大推定する設定パラメータを求め、過大推定する設定パラメータを除外した場合の推定結果を考察した。その結果、情報更新回数が少ない段階における過大推定を解消できた。その他にも、設定パラメータの数を変えて推定を行うことにより、推定推移の変化を見ることが出来た。そのため、災害事例に適した設定パラメータを選ぶことが重要となる。

また、東北地方太平洋沖地震のように津波被害による死亡者数が多いと、推定がうまくされない。そのため、地震災害と津波災害で設定パラメータを変えて推定を行うこと、被害地域全体で被害推定を行うのではなく、地域別に被害推定をして得られる推定結果を合計して全体の被害推定を行うことによって、被害地域が広域な場合や複合災害の場合の被害を推定できると考える。

第7章 行政機関における災害対応計画

7.1 地域防災計画について

7.1.1 災害対策基本法における地域防災計画等の位置付け

災害対策基本法¹⁾において、防災計画には、中央防災会議が作成する「防災基本計画」、指定行政機関、指定公共機関が作成する「防災業務計画」、地方公共団体が作成する「地域防災計画」を規定している。都道府県地域防災計画または市町村地域防災計画は防災基本計画に基づき、災害応急対策及び災害復旧に関する事項別の計画等を定めている。

7.1.2 地域防災計画とは

都道府県地域防災計画であれば災害対策基本法第40条、市町村地域防災計画であれば災害対策基本法第42条の規定に基づき、災害に係わる事務又は業務に関し、関係機関及び他の地方公共団体の協力を得て、総合的かつ計画的な対策を定めた計画である。その計画の目的は、防災機関が有する全機能を有効に発揮して、地域における災害の予防、応急対策及び復旧・復興対策を実施することにより、住民の生命、身体及び財産を保護することである。

地域防災計画で定めるべき事項は、災害対策基本法第40条および第42条第2項において、以下の内容が規定されている。

- ・当該都道府県の地域に係る防災に関し、当該都道府県の区域の全部又は一部を管轄する指定地方行政機関、当該都道府県、当該都道府県の区域内の市町村、指定公共機関、指定地方公共機関及び当該都道府県の区域内の公共的団体その他防災上重要な施設の管理者の処理すべき事務又は業務の大綱
- ・防災施設の新設又は改良に関する事項
- ・防災のための調査研究に関する事項
- ・教育及び訓練その他の災害予防に関する事項
- ・情報の収集及び伝達に関する事項
- ・災害に関する予報又は警報の発令及び伝達に関する事項
- ・避難、消火、水防、救難、救助、衛生に関する事項
- ・その他の災害応急対策並びに災害復旧に関する事項別の計画
- ・以上に掲げるもののほか、当該市町村の地域に係る防災に関し市町村防災会議が必要と認める事項
- ・前号に掲げる措置に要する労務、施設、設備、物資、資金等の整備、備蓄、調達、配分、輸送、通信等に関する計画

7.1.3 災害対応マニュアル

防災計画において、災害時におけるマニュアル(実践的応急活動要領)が防災計画の効果的推進のために作成されている。このマニュアルの種類は多岐にわたるが、災害時における問題解決のため、それぞれの目的達成のための手順等が記された標準化されたものである。マニュアルの一例として、神戸市の防災対応マニュアル²⁾を見てみると、マニュアル内容が42項目ある(表7-1参照)。

表7-1 神戸市地域防災計画 防災対応マニュアル一覧²⁾

応急対応内容	マニュアル内容
災害対策本部設置	災害対策本部設置・運営マニュアル 区本部設置・運営マニュアル 庁舎の機能(安全)確保マニュアル 庁舎安全確保マニュアル(区役所) 職員応援マニュアル
情報収集伝達	災害対策本部情報収集・伝達マニュアル 広報マニュアル 広聴活動マニュアル
消火・救助・救急	災害時初動対応チーム活動マニュアル 震災初動対応マニュアル 救護活動マニュアル 医薬品集積マニュアル
広域連携	広域災害支援マニュアル 広域災害支援受入れマニュアル 海外支援受入れマニュアル(物的支援) 海外支援受入れマニュアル(人的支援)
避難	避難誘導マニュアル 避難所開設・運営マニュアル
救護・救援	応急給水マニュアル 食糧・物資供給マニュアル 食品の衛生確保対策マニュアル 巡回栄養相談マニュアル 被災ペット動物救護活動マニュアル
災害時要援護者保護	要援護者支援マニュアル 外国人対応マニュアル
交通確保	道路災害応急対応マニュアル 市営地下鉄・バス運行マニュアル
行方不明者捜索、遺体埋火葬	行方不明者の捜索・遺体の埋火葬マニュアル
廃棄物処理	災害廃棄物処理マニュアル し尿処理マニュアル
ライフライン復旧	ライフライン復旧マニュアル(水道) ライフライン復旧マニュアル(下水道)
被災地生活安定	物価の調査・監視等マニュアル 義援金受入れ・配分マニュアル り災証明発行マニュアル 応急仮設住宅マニュアル 給付・貸付マニュアル 環境衛生対策マニュアル 災害時空地管理マニュアル
ボランティア活動支援	ボランティア活動支援マニュアル
その他	風水害対応マニュアル 事故災害対応マニュアル

7.2 業務継続計画について

7.2.1 業務継続計画の意義と目的

2011年の東北地方太平洋沖地震において、自治体の庁舎自体が津波で被災し利用不能となり業務の場を失ったこと、職員が津波の犠牲となるなど要員不足となったこと、ライフライン機能、交通機能、通信機能が損なわれたこと等により、業務の継続が困難な事態となった。東北地方太平洋沖地震以前の災害においても、業務継続に支障をおよぼした地震災害事例(兵庫県南部地震での神戸市役所や新潟県中越地震での旧川口町役場)がある。自治体は災害時において災害応急対策活動および復旧・復興活動に加え、通常業務を行わなくてはならない。そのため、災害発生時において、ヒト、モノ、情報及びライフライン等の利用できる資源に制約がある状況下であっても、災害対応業務や優先度の高い通常業務を発災後から適切に実施する態勢を整えておく必要がある。

7.2.2 業務継続計画策定による効果

平成22年4月に内閣府(防災担当)から出された「地震発災時における地方公共団体の業務継続の手引きとその解説 第1版」³⁾によると、業務継続計画を策定し必要な措置を講じることにより、図7-1における業務立ち上げ時間の短縮や発災直後の業務レベルの向上が図られるとある。そのため図7-2のような業務継続計画策定前の状況から図7-3のような業務継続計画策定後の状況へ改善が可能とされ、災害発生時初期において様々な制約条件がある中でも、ある程度の業務が継続できるようになると考えられている。

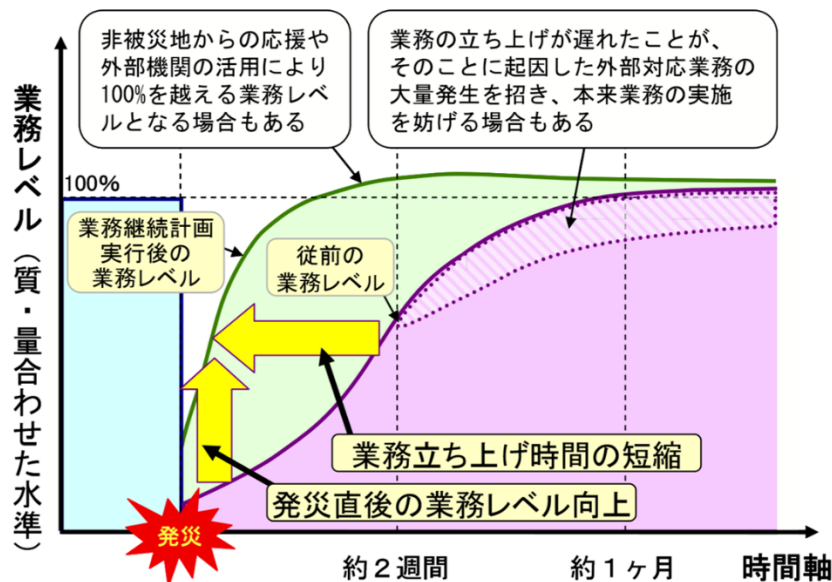


図 7-1 業務継続計画による効果³⁾

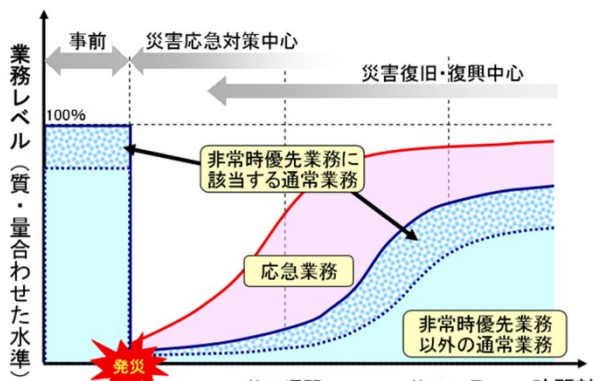


図 7-2 業務量推移イメージ(導入前) 3)

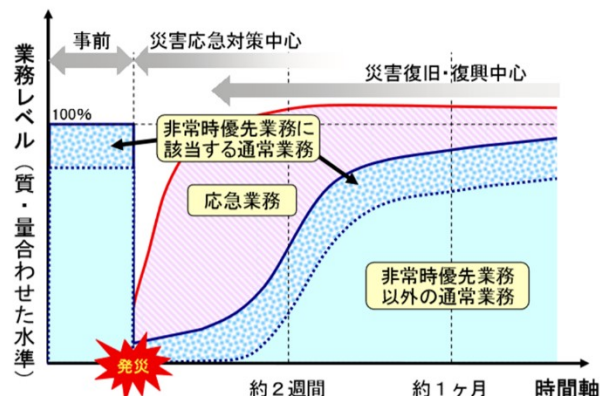


図 7-3 業務量推移イメージ(導入後) 3)

7.2.3 行政機関の業務継続計画策定状況

丸谷の書籍 4)によると、日本において企業が災害後も経済活動を継続するための取り組みを記した事業継続計画の策定が推進されるようになったのは、2004年の新潟県中越地震からとされている。民間企業での事業継続計画は、行政機関において業務継続計画と呼ぶことにより区別され、この計画の策定は2007年6月に内閣府の「中央省庁業務継続ガイドライン第1版」⁵⁾以降、「国土交通省業務継続計画」⁶⁾、都道府県では2008年3月に「徳島県業務継続計画」⁷⁾等が策定されるようになった。しかしながら、市町村にける業務継続計画の策定は広まらず、2010年4月に「地震発災時における地方公共団体の業務継続の手引きとその解説」が公開され、全国の地方公共団体に対して業務継続計画策定の検討に着手し、その体制を整えるための通達が出されることとなった。最近では、国の行政機関である中央省庁において、平成26年3月に「首都直下地震対策特別措置法(平成25年法律第88号)」に基づく計画として「政府業務継続計画(首都直下地震対策)」が閣議決定されたことを受け、中央省庁は、省庁業務継続計画についての見直しを行っている。また、内閣府では平成27年5月に「市町村のための業務継続計画作成ガイド」⁸⁾を策定し、地方公共団体の業務継続体制の充実・強化を支援している。平成27年版防災白書⁹⁾において記されている都道府県および市町村における業務継続計画の策定状況から、都道府県での策定率は増加しているが市町村での策定率は低いままであることがわかる(図7-4-1および図7-4-2参照)。

【都道府県】

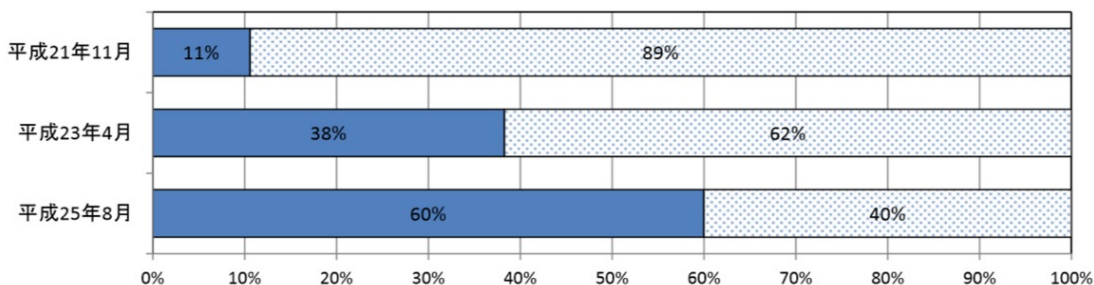


図 7-4-1 業務継続計画策定状況(都道府県)⁹⁾

【市町村】

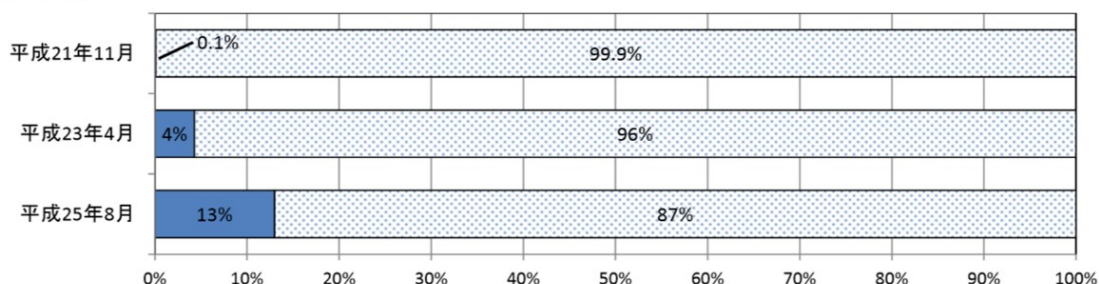


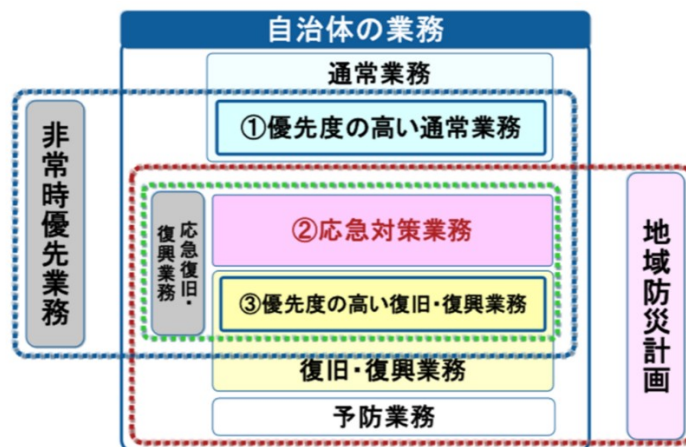
図 7-4-2 業務継続計画策定状況(市町村)⁹⁾

7.3 地域防災計画と業務継続計画の比較

地域防災計画は、災害対策基本法に基づいて、自治体や防災関係機関が実施する防災対策（災害予防対策，災害応急対策及び復旧・復興対策）に係わる業務内容を定める計画である。これに対し、業務継続計画は、災害時に人員等の資源が制約された状況下において、自治体や防災関係機関が優先して実施する業務（応急対策業務，優先する通常業務・復旧業務）を定める計画である。そのため地域防災計画と業務継続計画には表 7-2 のような違いがある。また、自治体における業務を地域防災計画と業務継続計画で分けると、図 7-5 のような関係となる。図中の非常時優先業務とは、災害発生後の限られた資源を有効に活用して、他の業務に優先して継続又は早期復旧を図らなければならない緊急性の高い業務であり、①優先度の高い通常業務，②応急対策業務，③優先度の高い復旧・復興業務の3つの業務区分から成っている。

表 7-2 地域防災計画と業務継続計画の比較³⁾

	地域防災計画	業務継続計画
計画の趣旨	地方公共団体が、発災時または事前に実施すべき災害対策に係る実施事項や役割分担等を規定するための計画である。	発災時の限られた必要資源を基に、非常時優先業務を目標とする時間・時期までに実施できるようにするための計画である(実効性の確保)。
行政の被災	行政の被災は、特に想定する必要がない。	庁舎、職員、電力、情報システム、通信等の必要資源の被災を評価し、利用できる必要資源を前提に計画を策定する。
対象業務	災害対策に係る業務(予防業務、応急業務、復旧・復興業務)を対象とする。	非常時優先業務を対象とする(応急業務だけでなく、優先度の高い通常業務も含まれる)。
業務開始目標時間	一部の地方公共団体では、目標時間を記載している場合もあるが、必要事項ではない。	非常時優先業務ごとに業務開始目標時間を定める必要がある(必要資源を確保し、目標とする時間までに、非常時優先業務を開始・再開する)。
業務に従事する職員の飲料水・食料等の確保	業務に従事する職員の飲料水・食料、トイレ等の確保に係る記載は、必要事項ではない。	業務に従事する職員の飲料水・食料、トイレ等の確保について検討の上、記載する。

図 7-5 自治体の業務区分³⁾

7.4 タイムラインを取り入れた防災・減災対策

7.4.1 タイムラインについて

タイムラインとは、事前にある程度被害の発生が予測できるリスクについて、被害の発生を前提として、時間軸に沿った防災行動を策定しておくことである。この活用例として、2012年のハリケーン・サンディによって各地で多くの被害に見舞われたが、タイムラインに基づいて対応したニュージャージー州等では、被害を縮小することに成功したという事例がある。タイムラインでは、事前に「いつ」「誰が」「何を」等について、時系列に沿って厳密に定めることができることから、①先を見越した対応が可能、②確認漏れの防止、③関係組織間の対応のバラツキの防止等のメリットがあると考えられる。

7.4.2 タイムライン(事前行動計画)における取組み

国土交通省において、台風等に伴う大規模な洪水・高潮による被害や土砂災害及び集中豪雨による被害を最小化させるための対策を検討するため、平成26年1月に「国土交通省水災害に関する防災・減災対策本部」¹⁰⁾が設置された。この中の「防災行動計画ワーキンググループ」ではタイムラインの導入が検討され、中間とりまとめにおいて2014年度中に国が管轄する河川の水災害対策に絞ったタイムラインを試行的に導入する方針を打ち出している(図7-6参照)。また、荒川下流域において国の河川事務所や気象台が中心となり台風等による風水害に備えたタイムライン¹¹⁾の策定、庄内川を対象としたタイムラインの策定¹²⁾、那賀川・桑野川では避難勧告等に着眼したタイムライン¹³⁾(図7-7参照)の策定に取り組んでいる。さらに、タイムラインは暴風雪被害でも活用でき、昨今の異例の降雪における被害を最小化するために、平成26年12月に「異例の降雪に対する国土交通省対策本部」が設置された。そこでは、雪害時の防災行動を時系列で整理した防災行動計画(タイムライン)¹⁴⁾が初めて策定され、国土交通省、地方整備局や交通関係事業者等は、気象庁の気象情報等をもとに、被害最小化のために一体となって行動することとされている。

図 7-6 大規模水災害に関するタイムラインの流れ¹⁰⁾

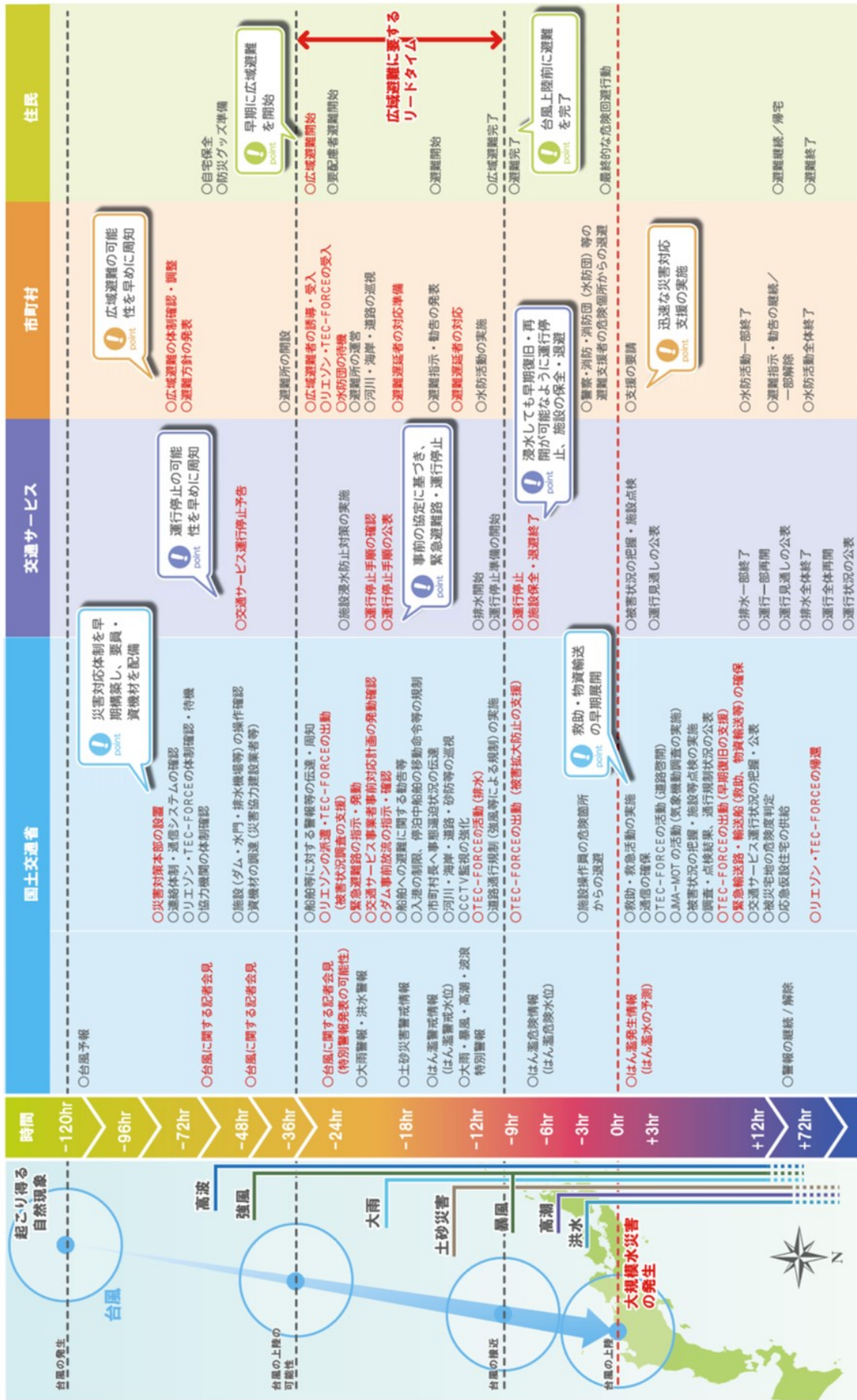
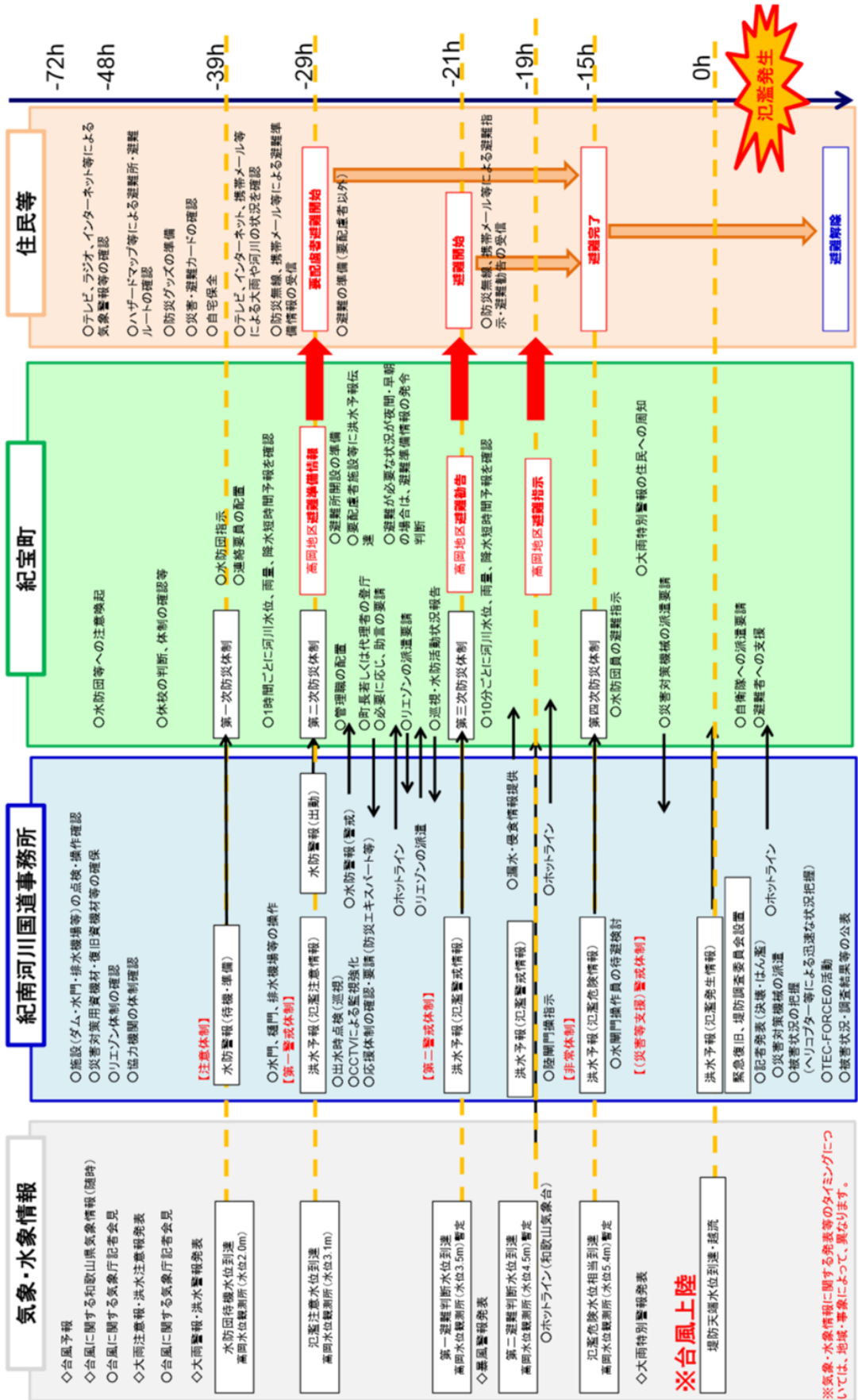


図 7-7 避難勧告等の発令に着目したタイムライン (13)

※本タイムラインは相野谷川の紀宝町の区間(0k~5.7k付近)を対象としています。
 ※避難勧告等の判断・伝達マニュアル作成ガイドライン(案)(内閣府:平成26年4月)を参考に作成。また、都道府県からの情報もあるが、割愛している。



7.4.3 災害発生時刻を基準としたタイムライン

従来の防災計画は、災害発生後の行動を規定したものであり、タイムライン(事前防災行動計画)は、あらかじめ被害の発生時期が予測できる災害に対して、被害発生がピークとなる時刻を0時間(ゼロアワー)とし、そこから逆算してどの程度の時期までに、誰が、どういった行動・体制をとるかということを決めておくものである。しかしながら、事前に被害の予測が困難な突発的災害である地震災害においても、災害発生時刻を基準とした時系列に沿った業務とその対応時間を提案でき、地域防災計画や業務継続計画で用いることができる。その例として、内閣府(防災担当)は平成25年8月に、中央防災会議「地方都市等における地震防災のあり方に関する専門調査会」でとりまとめられた「地方都市等における地震対応のチェックリスト(例)」を基に、「地方都市等における地震対応のガイドライン」¹⁵⁾をとりまとめている。このガイドラインを活用することにより、災害対応の各段階(準備、初動、応急、復旧)での地域防災計画や災害対応体制の見直し、訓練や研修等の実施、発災時の対応の効率化・円滑化など、地震防災対策の充実・強化に取り組むものとされている。また、平成27年3月30日、中央防災会議において、「南海トラフ地震防災対策推進基本計画」に基づく「南海トラフ地震における具体的な応急対策活動に関する計画」¹⁶⁾がまとめられている。この計画は、「南海トラフの巨大地震モデル検討会」における「南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ」が報告した被害想定に基づき、国が実施する災害応急対策に係る緊急輸送ルート、救助・消火活動等、医療活動、物資調達、燃料供給及び防災拠点に関する活動内容を具体的に定めたものである。この各活動項目は、人命救助にとって重要な災害発生からの72時間(3日間)を区切りとする「想定タイムライン」による同時進行イメージとして示されている(図7-8参照)。また、「鳥取県版業務継続計画(BCP)策定推進に関する基本指針[第2次改訂版]」¹⁷⁾では、図7-9のようなタイムラインがイメージされている。これは、県全体がまとまり、迅速な応急対策と早期の復旧・復興を進めていくためにタイムラインを意識しており、表7-3のタイムライン区分に合わせた業務内容を設定するようにしている。これによって、発災後、県、市町村等がそれぞれの時間・期間区分において、どのような業務を実施しているのか、実施すべきなのかを明らかにし、相互応援等の検討に有効的に活用される。

図 7-8 南海トラフ地震における各活動の想定されるタイムライン(イメージ)¹⁶⁾

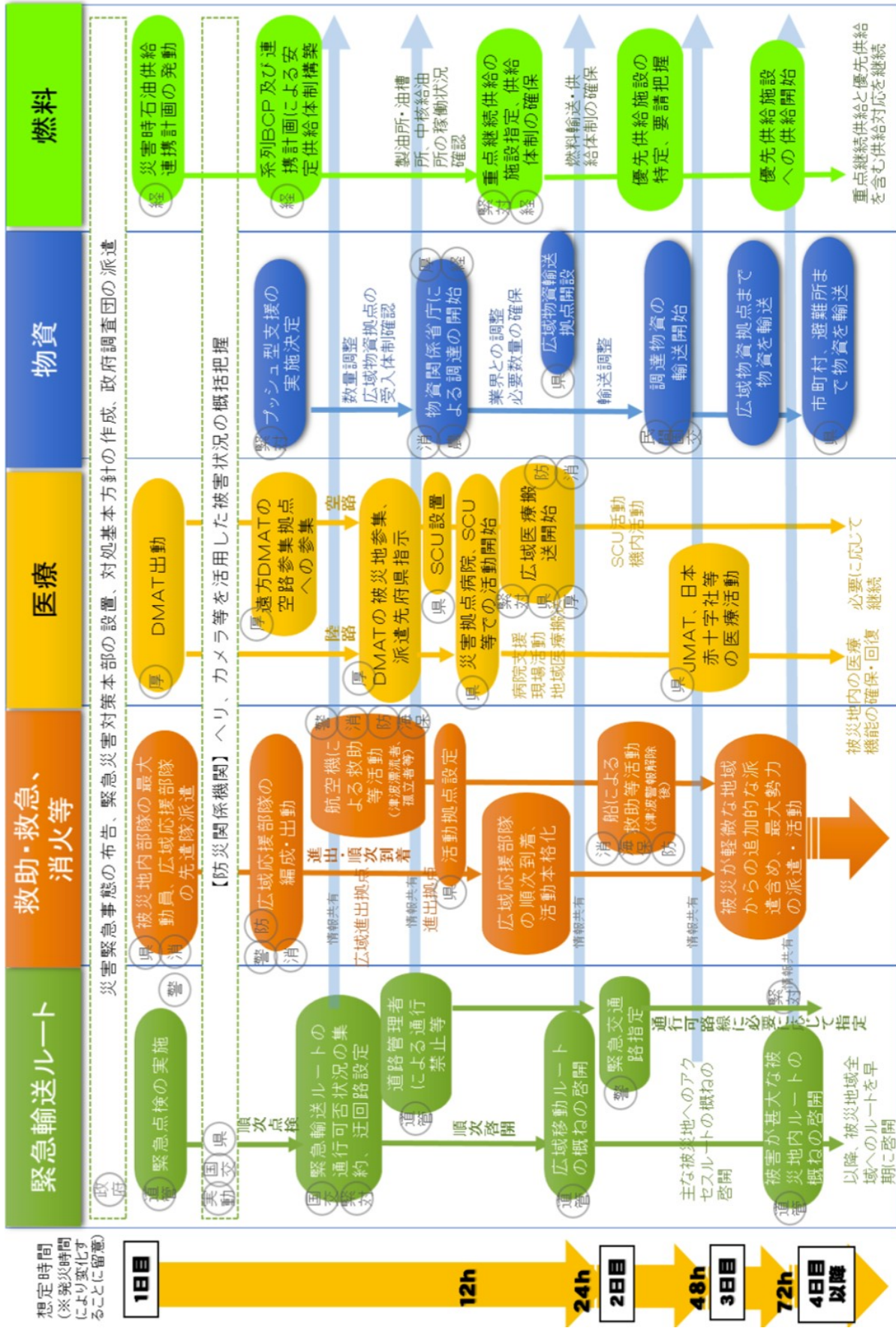


図 7-9 タイムラインと想定される行動・活動 (イメージ)

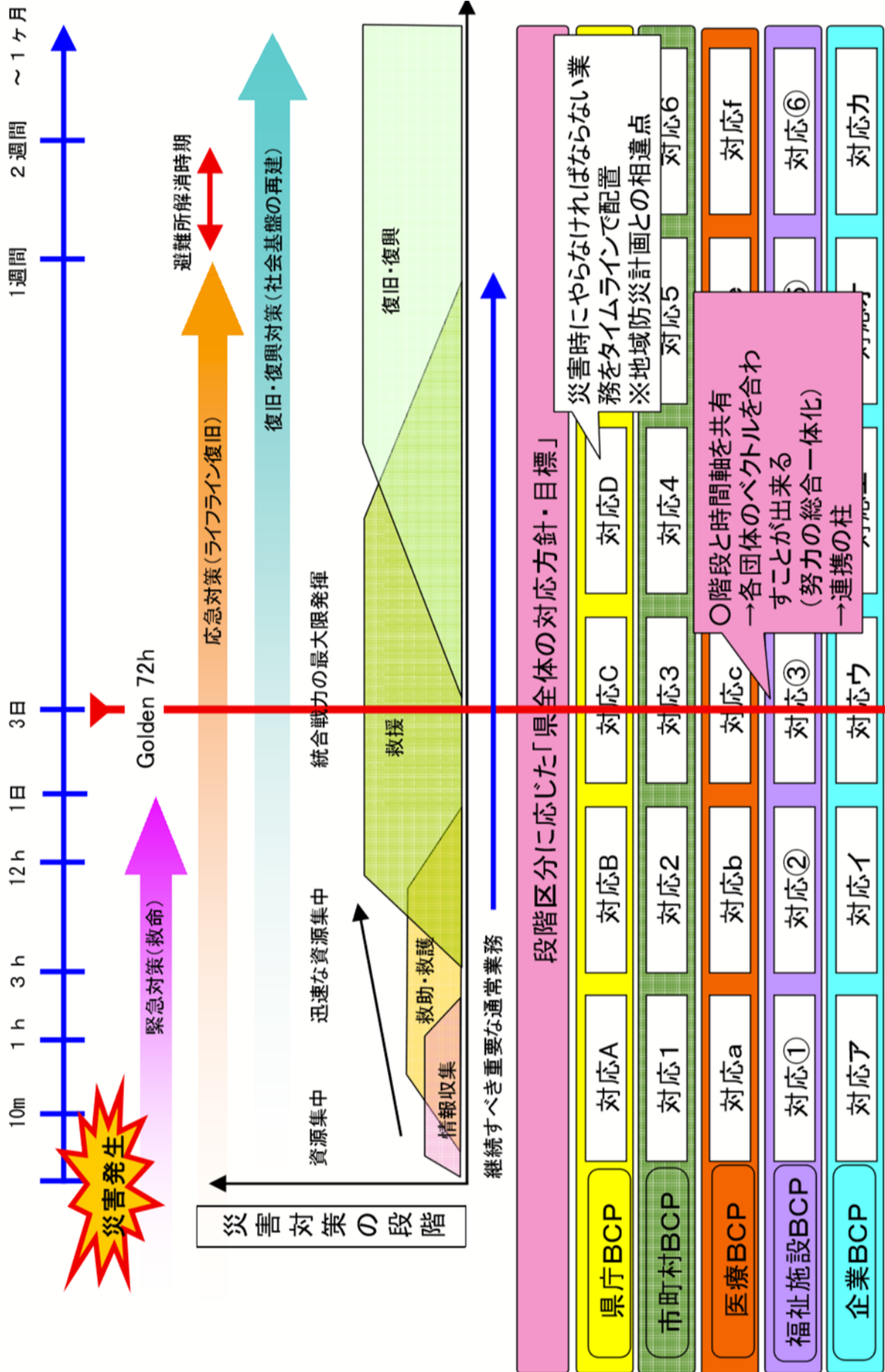


表 7-3 時系列に沿った業務内容¹⁷⁾

ステージ (区分)		タイムライン (時間・期間)	主な災害対応・対策の流れ (自治体(県・市町村)の参考例)
発災期	情報収集	発災直後	安否確認, 活動体制の確立, 情報収集
災害拡大期	救助・救護	発災後10分～	救出救助, 救急医療, 広域応援, 広報, 避難, 誘導
		1時間～	避難所開設, 避難者受入開始
	救援	3時間～	医療体制確保, 物資輸送準備
		12時間～	食糧供給, 給水, 生活必需物資供給, 交通確保(緊急道路障害物除去等), 輸送
災害沈静期	復旧	1日後～	ライフライン復旧, 防疫・衛生, 他県応援職員等受入開始
		3日後～	仮設住宅検討, 教育, 廃棄物処理, ボランティア受入開始
復旧期	復興	1週間後～	復興支援方策の検討, 心のケア, 風評被害対策, 仮設住宅着工開始
		1週間後～	災害復旧本部設置, 仮設住宅への入居や生活再建支援に関する住民説明
		～1か月	各種相談窓口, 義援金配分委員会設置等

7.5 災害発生時刻を基準としたタイムラインの考察

7.5.1 災害発生時刻を基準としたタイムラインの問題点

自治体における地域防災計画^{付録7)}や業務継続計画^{付録8)}を参考に、発災後の時系列に沿った業務内容と設定時間を調べてみると、業務の設定時間において、その業務を実施する意思決定に必要な情報が不足している時間帯で判断がなされているように感じられる。これは、業務継続計画を策定する際に、被害想定に基づいた被災シナリオを考慮して、タイムラインを策定するためだと考えられる。そのため、策定したタイムラインを訓練等で検証・修正することが必要であり重要とされているが、他部署や他機関と時間軸を共有するタイムラインにおいて、意思決定に必要な情報が不足した業務の実施は、本来のタイムラインの有用性を損なう恐れがあると考えられる。

7.5.2 災害発生時刻を基準としたタイムラインへの影響例

先に述べた問題点について、自治体の地域防災計画や業務継続計画を参考に、発災後からの業務内容とその対応時間を抜粋する。この際、人的被害に関わる業務事項として活動態勢、交通・ライフライン、救出・救急医療、避難・救援の四つに分類し、業務内容とその対応時間を整理すると図 7-10-1 のようになる。2.2.1 の報告時間の考察において、災害発生後 6 時間までには少なくとも 1 回、多ければ 5 回の情報更新が行われることから、人的被害情報が災害発生後 6 時間から 12 時間の間に入手されると仮定する。この場合、図 7-10-1 から図 7-10-2 のように業務内容がずれると考えられる。また、人的被害情報が災害発生後 12 時間から 24 時間の間に入手されると仮定した場合、図 7-10-1 から図 7-10-3 のように業務内容がずれると考えられる。人的被害情報の入手時間が遅くなればその分、その情報を必要とする業務内容の意思決定が遅れることになる。

	発災直後	発災後1時間以内	発災後3時間以内	発災後6時間以内	発災後12時間以内	発災後24時間以内
活動体制	<ul style="list-style-type: none"> ○職員の非常参集 ○地震・津波情報の収集 ○災害対策本部の設置 	<ul style="list-style-type: none"> ○被害情報の収集 ○被災地域のハトロール 	<ul style="list-style-type: none"> ○自衛隊、緊急援助隊等の派遣要請 ○住民等への被災情報の広報 	<ul style="list-style-type: none"> ○市町村からの救援要請に対応 	<ul style="list-style-type: none"> ○他県等への職員応援要請 	<ul style="list-style-type: none"> ○応援人員の受入
交通 ライフライン	<ul style="list-style-type: none"> ○道路、鉄道、港湾、漁港等の被災情報の収集 	<ul style="list-style-type: none"> ○ライフライン関係機関との情報連絡体制の確立 ○交通規制の実施 	<ul style="list-style-type: none"> ○建設業者との連絡調整 ○復旧作業のための資機材及び人員の確保 	<ul style="list-style-type: none"> ○緊急交通路及び迂回路の指定 ○緊急輸送車両の確保 ○ライフライン被害状況の広報 	<ul style="list-style-type: none"> ○応急工事の実施 	
救出 救急医療	<ul style="list-style-type: none"> ○救助救急の必要状況等の情報収集 	<ul style="list-style-type: none"> ○初期救急救助活動の実施 ○要救出救護現場の把握 	<ul style="list-style-type: none"> ○自衛隊、緊急援助隊等の派遣要請 ○救護所の設置 	<ul style="list-style-type: none"> ○自衛隊、緊急援助隊等による救護活動の実施 	<ul style="list-style-type: none"> ○災害時精神科医療の確保 ○社会福祉施設等の被災状況確認 	<ul style="list-style-type: none"> ○医療関係ボランティアの把握
避難、救援		<ul style="list-style-type: none"> ○住民や観光客へ避難等の呼びかけ ○避難所の開設 ○避難情報の収集 	<ul style="list-style-type: none"> ○避難所備蓄物資による食糧・生活必需品等の供給 	<ul style="list-style-type: none"> ○避難所に必要な資機材の調達・輸送・転送 ○避難者数・内訳及び食糧供給量の把握 	<ul style="list-style-type: none"> ○防災関係機関への支援要請 	

図 7-10-1 災害時における意思決定タイムライン(イメージ)

	発災直後	発災後1時間以内	発災後3時間以内	発災後6時間以内	発災後12時間以内	発災後24時間以内	
活動体制	<ul style="list-style-type: none"> ○職員の非常参集 ○地震・津波情報の収集 ○災害対策本部の設置 	<ul style="list-style-type: none"> ○被害情報の収集 ○被災地域のハトロール 	<ul style="list-style-type: none"> ○住民等への被災情報の広報 	<ul style="list-style-type: none"> ○自衛隊、緊急援助隊等の派遣要請 	<ul style="list-style-type: none"> ○市町村からの救援要請に対応 ○他県等への職員応援要請 	<ul style="list-style-type: none"> ○応援人員の受入 	
交通 ライフライン	<ul style="list-style-type: none"> ○道路、鉄道、港湾、漁港等の被災情報の収集 	<ul style="list-style-type: none"> ○ライフライン関係機関との情報連絡体制の確立 ○交通規制の実施 	<ul style="list-style-type: none"> ○建設業者との連絡調整 ○復旧作業のための資機材及び人員の確保 	<ul style="list-style-type: none"> ○緊急輸送車両の確保 ○ライフライン被害状況の広報 	<ul style="list-style-type: none"> ○緊急交通路及び迂回路の指定 	<ul style="list-style-type: none"> ○応急工事の実施 	
救出 救急医療	<ul style="list-style-type: none"> ○救助救急の必要状況等の情報収集 	<ul style="list-style-type: none"> ○初期救急救助活動の実施 ○要救出救護現場の把握 	<ul style="list-style-type: none"> ○自衛隊、緊急援助隊等の派遣要請 ○救護所の設置 	<ul style="list-style-type: none"> ○自衛隊、緊急援助隊等による救助活動の実施 ○災害時精神科医療の確保 ○社会福祉施設等の被災状況確認 	<ul style="list-style-type: none"> ○災害時精神科医療の確保 ○医療関係ボランティアの把握 	<ul style="list-style-type: none"> ○医療関係ボランティアの把握 	
避難、救援		<ul style="list-style-type: none"> ○住民や観光客へ避難等の呼びかけ ○避難所の開設 ○避難情報の収集 	<ul style="list-style-type: none"> ○避難所備蓄物資による食糧・生活必需品等の供給 	<ul style="list-style-type: none"> ○避難所に必要な資機材の調達・輸送・転送 ○避難者数・内訳及び食糧供給量の把握 	<ul style="list-style-type: none"> ○防災関係機関への支援要請 		

図 7-10-2 災害時における意思決定タイムラインへの影響(イメージ)

	発災直後	発災後1時間以内	発災後3時間以内	発災後6時間以内	発災後12時間以内	発災後24時間以内	
活動体制	<ul style="list-style-type: none"> ○職員の非常参集 ○地震・津波情報の収集 ○災害対策本部の設置 	<ul style="list-style-type: none"> ○被害情報の収集 ○被災地域のハトロール 	<ul style="list-style-type: none"> ○住民等への被災情報の広報 	<ul style="list-style-type: none"> ○自衛隊、広域緊急援助隊等の派遣要請 	<ul style="list-style-type: none"> ○市町村からの救援要請に対応 	<ul style="list-style-type: none"> ○他県等への職員応援要請 	
交通 ライフライン	<ul style="list-style-type: none"> ○道路、鉄道、港湾、漁港等の被災情報の収集 	<ul style="list-style-type: none"> ○ライフライン関係機関との情報連絡体制の確立 ○交通規制の実施 	<ul style="list-style-type: none"> ○建設業者との連絡調整 ○復旧作業のための資機材及び人員の確保 	<ul style="list-style-type: none"> ○緊急輸送車両の確保 ○ライフライン被害状況の広報 	<ul style="list-style-type: none"> ○緊急交通路及び迂回路の指定 	<ul style="list-style-type: none"> ○応急工事の実施 	
救出 救急医療	<ul style="list-style-type: none"> ○救助救急の必要状況等の情報収集 	<ul style="list-style-type: none"> ○初期救急救助活動の実施 ○要救出救護現場の把握 	<ul style="list-style-type: none"> ○自衛隊、緊急援助隊等の派遣要請 ○救護所の設置 	<ul style="list-style-type: none"> ○自衛隊、広域緊急援助隊等による救助活動の実施 ○災害時精神科医療の確保 ○社会福祉施設等の被災状況確認 	<ul style="list-style-type: none"> ○災害時精神科医療の確保 ○医療関係ボランティアの把握 	<ul style="list-style-type: none"> ○医療関係ボランティアの把握 	
避難、救援		<ul style="list-style-type: none"> ○住民や観光客へ避難等の呼びかけ ○避難所の開設 ○避難情報の収集 	<ul style="list-style-type: none"> ○避難所備蓄物資による食糧・生活必需品等の供給 	<ul style="list-style-type: none"> ○避難所に必要な資機材の調達・輸送・転送 ○避難者数・内訳及び食糧供給量の把握 	<ul style="list-style-type: none"> ○防災関係機関への支援要請 		

図 7-10-3 災害時における意思決定タイムラインへの影響(イメージ)

7.6 災害発生時刻を基準としたタイムラインへの推定モデルの適応

前節における業務内容の意思決定において、実際の死亡者数に加え、災害規模の指標となる最終死亡者数を推定できれば業務内容の意思決定過程に大きな影響をもたらすと考える。そこで、提案する推定モデルをタイムラインに適用する。この際、参考とする過去の地震災害事例の内、日本国内の地震災害事例を対象とする。また、東北地方太平洋沖地震のような広範囲にわたる災害ではなく中規模な地震災害を対象とし、兵庫県南部地震、新潟県中越地震、岩手宮城内陸地震の事例における最終死亡者数の推定時間について考察する。

7.6.1 推定モデルの適応(その1)

設定したパラメータのパターン1~6において、 $(\alpha, \beta) = (\pm 0.3, \pm 0.3)$ とした場合の推定結果は図7-11、範囲が重なる更新回数と更新時間は表7-4のようになる。それぞれのパターンにおける平均時間を求めると、パターン1では32.2時間、パターン2では18.3時間、パターン3では33.0時間、パターン4では18.5時間、パターン5では13.0時間、パターン6では12.7時間となる。

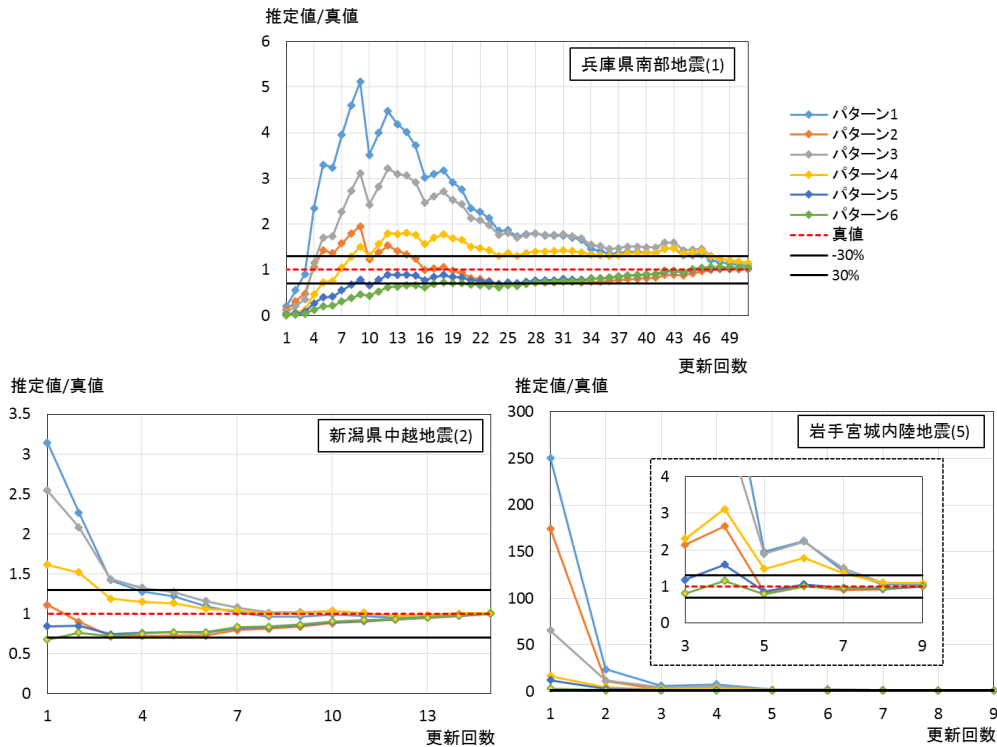


図7-11 推定値平均/真値の推移： $(\alpha, \beta) = (\pm 0.3, \pm 0.3)$

表7-4 設定パラメータによる更新時間と更新回数： $(\alpha, \beta) = (\pm 0.3, \pm 0.3)$

災害事例	パターン1		パターン2		パターン3		パターン4		パターン5		パターン6	
	更新時間	更新回数	更新時間	更新回数	更新時間	更新回数	更新時間	更新回数	更新時間	更新回数	更新時間	更新回数
兵庫県南部地震(1)	3.5	2	6.0	4	6.0	4	6.5	5	8.0	7	13.0	12
新潟県中越地震(2)	41.0	3	19.0	1	41.0	3	19.0	1	19.0	1	19.0	1
岩手宮城内陸地震(5)	52.0	7	30.0	5	52.0	7	30.0	5	12.0	3	6.0	2

7.6.2 推定モデルの適応(その2)

7.6.1 において事前分布パラメータのパターンによって得られる推定値は異なるため、平均時間が短いパターン5とパターン6について、得らる推定値結果についての考察を行う。図7-11のうち、パターン5とパターン6の推定結果は図7-12のようになる。ベイズ更新の特性から、更新するに従い真値へと近づいていくため、推定値平均/真値と真値との誤差(((推定値平均/真値)-1)(%))は小さくなる。パターン5とパターン6の誤差の推移は図7-13のようになる。

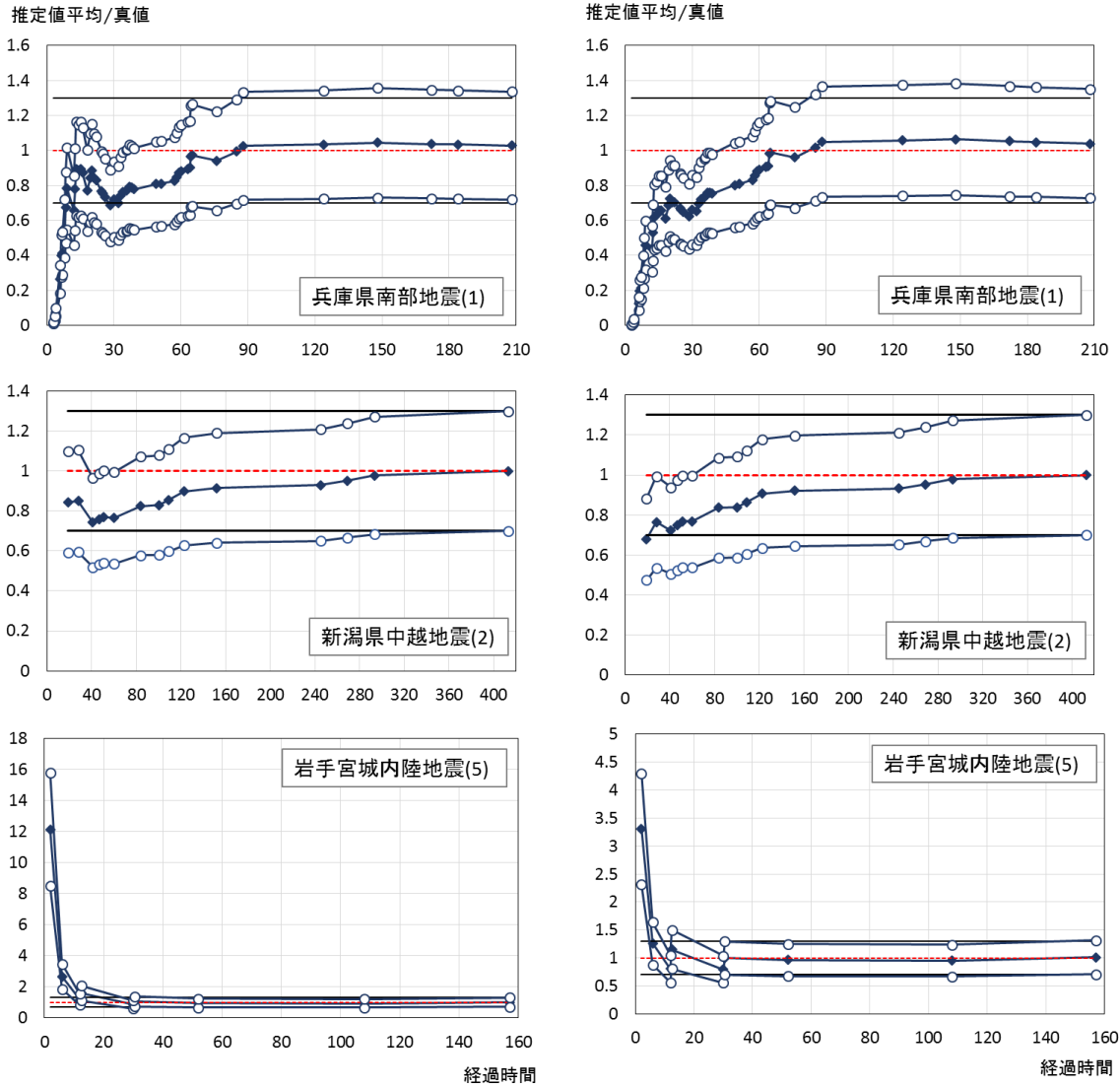


図 7-12 パターン 5(左)とパターン 6(右)における推定値平均/真値の推移：(α,β)=(±0.3,±0.3)

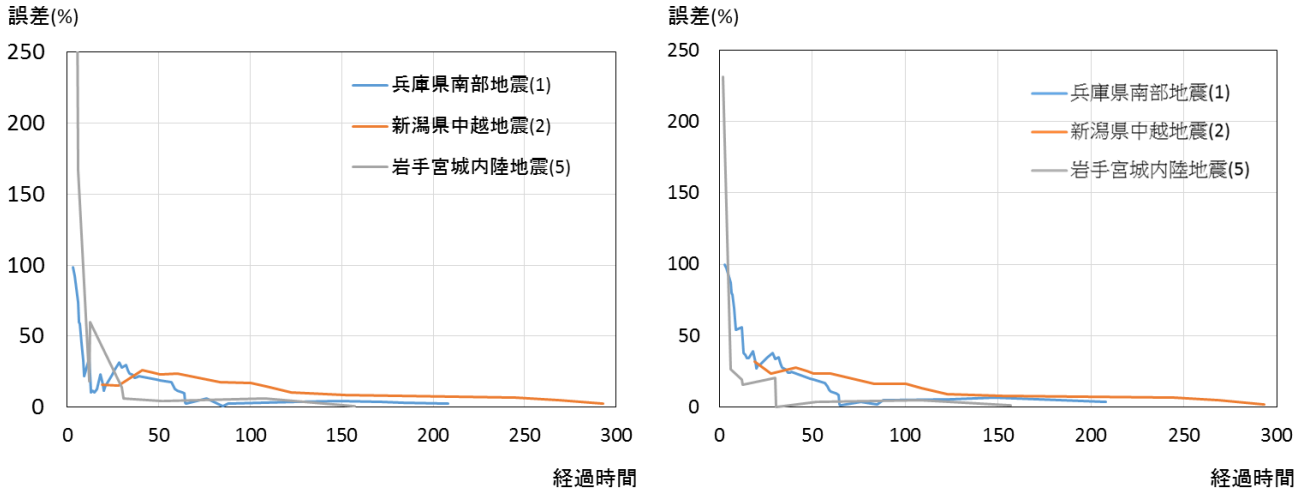


図 7-13 パターン 5(左)とパターン 6(右)における誤差(%)

ここで、三つの事例の誤差の推移を表わす近似直線を求め、この近似直線から誤差が 30% 以下になる時間を導出する。この際、誤差を対数に変換することで、図 7-14、図 7-15 のようになり、得られた近似直線から誤差が 30% を下回る時間を求めると、パターン 5 では 1.4 時間、パターン 6 では 15.6 時間となる。

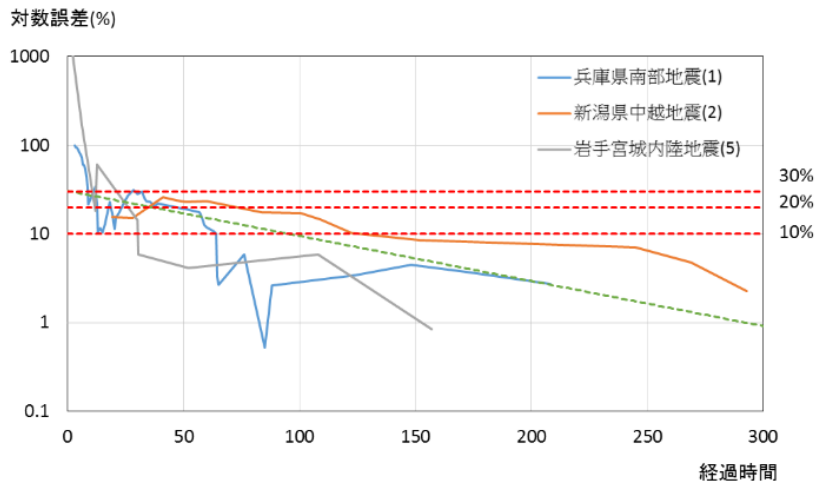


図 7-14 対数誤差(%)と近似直線(パターン 5)

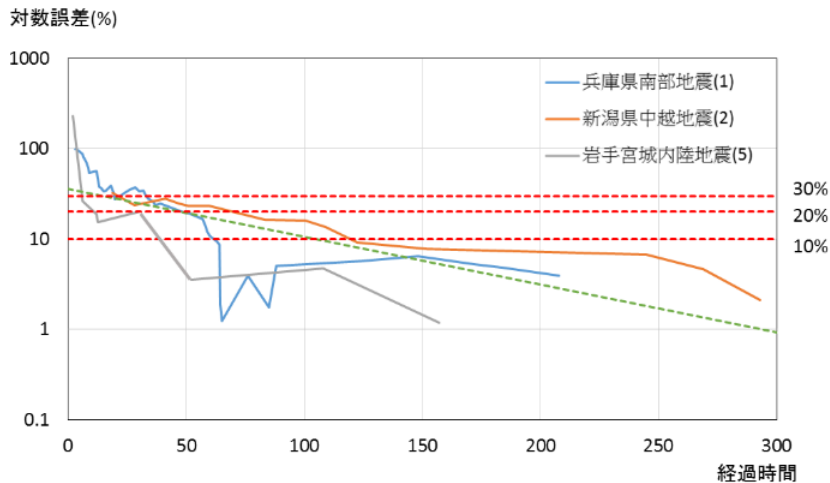


図 7-15 対数誤差(%)と近似直線(パターン 6)

信頼できる被災者数予測が得られる時間として誤差が30%以下になる時間が早いパターン5の1.4時間を踏まえ、人的被害情報が災害発生後3時間から6時間の間に入手されると仮定した場合の災害発生時刻を基準としたタイムラインの変化を考える。この場合、図7-10-1のタイムラインが図7-16のように変化する。まず、他県等への職員応援要請、緊急交通路及び迂回路の指定、避難所に必要な資機材の調達・斡旋、防災関係機関への支援要請の項目は被災者数予測をもとに実行することができると考えられるため、元のタイムラインよりも早い時間に対応できると考える。この時、他県等への応援要請が早くなるのに伴って、応援人員の受入も早くなる。また、緊急交通路及び迂回路の指定を早く行うことで、道路等の応急工事にも早く着手することができ、さらに、救援要請も元のタイムラインより早く行うことができるため、24時間以内に救援による食糧・生活必需品の供給が実施可能だと考える。また、自衛隊、広域緊急援助隊等の派遣および救護活動や救護所の設置にも変化が生じると考えられる。自衛隊や広域緊急援助隊等は被災者数予測をもとに適切な場所に適切な数の人員や資材を送ることができ、救護所は被災者数を考慮した配置を行うことができると考える。

7.7 まとめ

防災計画や業務継続計画において策定されているタイムラインでは、災害対応における業務を実施するために必要な情報が不足している時間帯での対応業務が設定されている。そのため不確実な情報に基づいた災害対応が決定・実施され、タイムラインの効果が十分に発揮されない可能性があると考えられる。そこで、日本で発生した中規模の過去の地震災害事例について、提案モデルの推定結果を災害が発生してからのタイムラインに適応した。提案モデルから導出した信頼できる被災者予測が得られる時間を災害発生後のタイムラインに用いることで、対応業務を決定する際に不足していた情報を補える可能性を示すことができた。これにより、タイムラインの有用性を向上できると考える。

	発災直後	発災後1時間以内	発災後3時間以内	発災後6時間以内	発災後12時間以内	発災後24時間以内
活動体制	<ul style="list-style-type: none"> 職員の非常参集 地震・津波情報の収集 災害対策本部の設置 	<ul style="list-style-type: none"> 被害情報の収集 被災地域のパトロール 	<ul style="list-style-type: none"> 自衛隊、広域緊急援助隊等の派遣要請 住民等への被災情報の広報 	<ul style="list-style-type: none"> 市町村からの救援要請に対応 	<ul style="list-style-type: none"> 他県等への職員応援要請 	<ul style="list-style-type: none"> 応援人員の受入
交通 ライフライン	<ul style="list-style-type: none"> 道路、鉄道、港湾、漁港等の被災情報の収集 	<ul style="list-style-type: none"> ライフライン関係機関との情報連絡体制の確立 交通規制の実施 	<ul style="list-style-type: none"> 建設業者との連絡調整 復旧作業のための資機材及び人員の確保 	<ul style="list-style-type: none"> 緊急交通路及び迂回路の指定 緊急輸送車両の確保 ライフライン被害状況の広報 	<ul style="list-style-type: none"> 応急工事の実施 	
救出 救急医療	<ul style="list-style-type: none"> 救助救急の必要状況等の情報収集 	<ul style="list-style-type: none"> 初期救急救助活動の実施 要救出救護現場の把握 	<ul style="list-style-type: none"> 自衛隊、広域緊急援助隊等の派遣要請 救護所の設置 	<ul style="list-style-type: none"> 自衛隊、広域緊急援助隊等による救護活動の実施 	<ul style="list-style-type: none"> 災害時精神科医療の確保 社会福祉施設等の被災状況確認 	<ul style="list-style-type: none"> 医療関係ボランティアの把握
避難、救援		<ul style="list-style-type: none"> 住民や観光客へ避難等の呼びかけ 避難所の開設 避難情報の収集 	<ul style="list-style-type: none"> 避難所備蓄物資による食糧・生活必需品等の供給 	<ul style="list-style-type: none"> 避難所に必要な資機材の調達・転送 避難者数・内訳及び食糧供給量の把握 	<ul style="list-style-type: none"> 防災関係機関への支援要請 	
活動体制	<ul style="list-style-type: none"> 職員の非常参集 地震・津波情報の収集 災害対策本部の設置 	<ul style="list-style-type: none"> 被害情報の収集 被災地域のパトロール 	<ul style="list-style-type: none"> 自衛隊、広域緊急援助隊等の派遣要請 住民等への被災情報の広報 他県等への職員応援要請 	<ul style="list-style-type: none"> 市町村からの救援要請に対応 	<ul style="list-style-type: none"> 応援人員の受入 	<ul style="list-style-type: none"> 応援人員の受入
交通 ライフライン	<ul style="list-style-type: none"> 道路、鉄道、港湾、漁港等の被災情報の収集 	<ul style="list-style-type: none"> ライフライン関係機関との情報連絡体制の確立 交通規制の実施 	<ul style="list-style-type: none"> 建設業者との連絡調整 復旧作業のための資機材及び人員の確保 	<ul style="list-style-type: none"> 緊急交通路及び迂回路の指定 緊急輸送車両の確保 ライフライン被害状況の広報 応急工事の実施 		
救出 救急医療	<ul style="list-style-type: none"> 救助救急の必要状況等の情報収集 	<ul style="list-style-type: none"> 初期救急救助活動の実施 要救出救護現場の把握 	<ul style="list-style-type: none"> 自衛隊、広域緊急援助隊等の派遣要請 救護所の設置 	<ul style="list-style-type: none"> 自衛隊、広域緊急援助隊等による救護活動の実施 	<ul style="list-style-type: none"> 災害時精神科医療の確保 社会福祉施設等の被災状況確認 	<ul style="list-style-type: none"> 医療関係ボランティアの把握
避難、救援		<ul style="list-style-type: none"> 住民や観光客へ避難等の呼びかけ 避難所の開設 避難情報の収集 	<ul style="list-style-type: none"> 避難所備蓄物資による食糧・生活必需品等の供給 	<ul style="list-style-type: none"> 避難所に必要な資機材の調達・転送 避難者数・内訳及び食糧供給量の予測 	<ul style="list-style-type: none"> 防災関係機関への支援要請 	<ul style="list-style-type: none"> 救援による食糧・生活必需品の供給

図 7-16 推定結果を利用した場合の災害時の意思決定タイムラインの比較(イメージ)

参考文献

- 1) 災害対策基本法：
<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S36/S36HO223.html>
- 2) 神戸市地域防災系計画 防災対応マニュアル：
<http://www.city.kobe.lg.jp/safety/prevention/plan/manual/img/manual.pdf>
- 3) 地震発災時における地方公共団体の業務継続の手引きとその解説：
<http://www.bousai.go.jp/taisaku/chuogyoumukeyizoku/chiou/pdf/h22kaiset.pdf>
- 4) 丸谷浩明：事業継続計画の意義と経済効果～平常時に評価される実践マネジメントへ、ぎょうせい、2008.5.
- 5) 内閣府防災担当：中央省庁業務継続ガイドライン、第1版～首都直下地震への対応を中心として～、2007.6.
http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kigyuu/keizoku/pdf/gyoumu_guide_honbun070621.pdf
- 6) 国土交通省：国土交通省業務継続計画、2007.6.
<http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha07/05/050621/02.pdf>
- 7) 徳島県：徳島県業務継続計画、Ver.1、2008.3.
<http://anshin.pref.tokushima.jp/docs/2012082400850/>
- 8) 市町村のための業務継続計画作成ガイド：
<http://www.bousai.go.jp/taisaku/chihogyoumukeyizoku/pdf/H27bcpguide.pdf>
- 9) 平成27年版防災白書 内閣府：
http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/pdf/H27_honbun_1-5bu.pdf
- 10) 国土交通省水災害に関する防災・減災対策本部：
<http://www.mlit.go.jp/common/001037393.pdf>
- 11) 荒川下流タイムライン検討会：
<http://www.ktr.mlit.go.jp/arage/arage00385.html>
- 12) 庄内川タイムライン検討会：
<http://www.cbr.mlit.go.jp/shonai/kihon/bousai/timeline/index.html>
- 13) 那賀川・桑野川における避難勧告等に着眼したタイムラインについて：
<http://www.city.anan.tokushima.jp/docs/2015071400015/>
- 14) 異例の降雪を想定したタイムライン(防災行動計画)：
<http://www.mlit.go.jp/common/001064323.pdf>
- 15) 地方都市等における地震対応のガイドライン 平成25年8月 内閣府(防災担当)：
http://www.bousai.go.jp/jishin/chihou/pdf/chihou_guidelines.pdf
- 16) 南海トラフ地震における具体的な応急対策活動に関する計画：
http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/pdf/nankai_oukyu_keikaku02.pdf
- 17) 鳥取県版業務継続計画 (BCP) 策定推進に関する基本指針 [第2次改訂版]：
<http://www.pref.tottori.lg.jp/secure/739762/bcpkihonshishin.pdf>

第8章 結論

本論文では、災害発生初期段階において災害対応の決定時に生じる意思決定者のジレンマに着目し、災害の規模を表わす報告死亡者数から最終死亡者数を推定するモデルの構築を行った。さらに、提案した数理モデルを用いて、過去の地震災害事例への適応評価を行い、防災計画におけるタイムラインへの適応の検討を行った。ここでいう意思決定者のジレンマは、限られた資源の中で災害発生後から生存率が低下していく被災者を最大限救助するために、空振りを恐れず情報が不正確な段階でも迅速に対応するか、対応を見送り情報の正確性が高まった段階で対応するかといったものであり、どちらを優先するかによって対応結果の救助者数が異なってくる。これらの関係は一種のトレードオフ関係にあると考えられる。

各章で得られた結論について以下に要約する。

第2章では、災害発生後から得られる人的被害情報について被災者数が下方修正された事例、行方不明者数の把握の困難さについての事例、情報源の違いによる死亡者数のタイムラグ事例を示し、地震災害事例の情報を考察することで、災害時の情報の曖昧さについて述べた。また、過去の災害事例の情報入手時間を考察することで、発災後6時間以内に情報更新が5回行われることを示した。

第3章では、災害時の人的被害情報である死亡者数の経時変化を線形で表わし、災害医療において重要な役割を果たす災害派遣医療チーム(DMAT)の数を制約条件とした派遣モデルを構築し、死亡者数最小化問題を検討した。DMAT派遣の検討を行う際に、災害が発生してからの救助活動において「黄金の72時間」や「72時間の壁」といわれる生存率を再現し、DMATが対象とする救助者情報の不確実性を表現した派遣の検討や、被災地の状況変化を表現した派遣の検討を行った。その結果、死亡者数を最小にするためにはDMATの早期派遣が有効であり、当初派遣した現場から異なる現場へDMATを転用することで、数的制限のあるDMATを有効的に活用できることを示した。

第4章では、人的被害情報を線形で表現するのではなく、非線形で表現した。非線形としてワイブル分布を用い、再現した過去の地震災害事例の人的被害情報の経時変化とワイブル分布のパラメータについて考察を行い、その特徴を示した。

第5章では、人的被害情報の再現性を確認する際にワイブル確率紙の考えを用いることができたため、得られる情報の誤差およびワイブル分布パラメータの誤差が正規分布に従うと仮定し、災害発生後得られる人的被害情報である死亡者数から、最終死亡者数を推定し、新たな死亡者数を得ると最終死亡者数を更新・修正するベイズ推定の数理モデルを確立した。この時、ベイズ推定で用いる事前分布のパラメータを過去の地震災害事例から設定した。

第6章では、ベイズ推定の数理モデルを、過去の地震災害事例へと適用し、得られる推定値について考察を行った。その結果から、過去の災害事例から設定したベイズ推定の事前分布による推定値の特徴を示し、逐次更新される推定値の評価を行った。情報更新回数

が少ない段階における過大推定を解消するために設定パラメータを選定し、設定パラメータによる推定推移の違いを示した。

第7章では、災害対応を規定している防災計画について調べ、自治体の地域防災計画や業務継続計画において取り入れられているタイムライン(事前行動計画)に対し、提案した推定モデルの適用例を示した。時系列に沿った対応行動を規定するタイムラインの考えは、災害が発生した後の対応行動にも役立つものである。既存の災害発生後のタイムラインでは、対応行動の目標時間が早めに設定されており、対応行動を決定するために必要な情報が不足している時間帯で意思決定を行うようになっている。そこで、国内の地震災害事例を対象にした推定結果をタイムラインに適応することで、不足している意思決定に必要な情報を補える可能性を示した。これにより、災害発生後のタイムラインを有効に活用できると考える。

以上のように、本研究では、災害発生時に入手される死亡者数情報の経時変化をワイブル分布で近似し、情報の更新によって最終死亡者数を予測するベイズ推定モデルの構築を行った。提案した数理モデルを過去の地震災害事例に適応することで数理モデルの特性を考察し、自治体の防災計画におけるタイムラインにおいて、意思決定に必要な情報を補うために提案モデルが適用できる可能性を示した。しかしながら、災害発生時のタイムラインの効果を十分に発揮するためには、意思決定に必要な情報を収集しなくてはならない。そのためには、情報収集のための技術的革新と、推定モデルの高度化が必要であると考えられる。推定モデルの精度を向上させるために、災害事例によって異なる情報入手のメカニズムを解明し推定モデルに反映する事、死亡率比を表わす関数を再検討する事、災害事例に適した事前分布パラメータを特定する手法を検討する事、被害地域が広範囲の場合や複合災害の場合において、被害推定を地域等で分割して推定できるか検討する事などが挙げられる。

謝辞

本論文を作成するにあたり、多くの方々にご指導をいただきました。不甲斐ない自分であったため、いつも多大なるご迷惑やご心配をかけてしまいました。そんな私を支えてくださった方々には、感謝の言葉しかありません。本当にありがとうございました。

指導教官である飯塚敦教授には、大変お世話になりました。研究にあたり、様々なことがありましたが、いつも温かく見守って下さり、激励してくれました。多大なご心配とご迷惑をおかけしたことを深くお詫びするとともに、飯塚先生だからこそ、何とかここまでやってこられたんだと、感謝の気持ちでいっぱいです。本当にありがとうございました。

河井克之准教授には、修士課程の頃からの的確なアドバイスをいただくことが何度もあり、とても感謝しております。

小池淳司教授および井料隆雅教授には、研究にあたって頂いたアドバイスにより、新たな視点を見出すことができました。お忙しい中、論文審査員を引き受けてくださり、誠にありがとうございました。

大田秀樹教授には、勉強会である寺子屋で、研究の進捗状況を聞いていただき、多くのご指導をいただきました。足りないモノの多さに気づくことができ、寺子屋で多くの人に出会うことができました。ありがとうございました。

竹山智英准教授には、研究にあたって相談に乗っていただき、アドバイスを色々としてもらい、とてもためになりました。ありがとうございました。

研究室の秘書をして下さっている西野典子氏には、事務的なことで大変お世話になりました。西野さんのおかげで、不自由なく研究生活を送ることが出来ました。ありがとうございます。

前田建設の平田昌史氏には、寺子屋でお会いし、研究が行き詰っているときに相談に乗っていただきました。とても感謝しております。本当にありがとうございました。

研究室はいつも賑やかで和気あいあいとしていて、とても良い雰囲気でした。学生同士だけでなく、先生と学生が一緒になって楽しく過ごしている姿を見ていると、私まで楽しい気持ちによくなりました。在学中の研究室の先輩、同期や後輩が先生と作り出している、明るくて楽しい研究室は居心地の良い場所でした。社会人として大学院に入学し、修士・博士課程と在学した5年間はあっという間でした。この期間に多くのことを学び、新しい発見がありました。自分のダメなところを顧みることもできました。どれだけ多くの人に支えられているのかを、人のつながりの大切さを、改めて実感することとなりました。巡りあわせで、この研究室に所属でき多くの人に出会えたことに感謝しています。

ご迷惑をおかけした方々へのお詫びの言葉や、様々な場面で支えてくださった方々への感謝の気持ちを伝えるには、稚拙でありきたりな言葉となってしまい申し訳ありません。本当に感謝しております。ありがとうございました。

平成 28 年 1 月

小谷 稔

付録 1：被災者数の下方修正事例参考資料

<http://homepage2.nifty.com/jams/jawatsunami.html#konran>

<http://homepage2.nifty.com/jams/jawa.html#shuusei>

<http://homepage2.nifty.com/jams/jawagempa.html>

付録 2：行方不明者数人数の把握の困難さ事例参考資料

広島土砂災害

http://www.Nikkei.com/article/DGXLAS0003_Q4A820C1000000/

<http://sankei.jp.msn.com/affairs/news/140820/dst14082008330007-n1.htm>

http://www.Nikkei.com/article/DGXLAS0040005_Q4A820C1000000/

http://www.47news.jp/localnews/okinawa/2014/08/post_20140820151822.html

<http://mainichi.jp/graph/2014/08/20/20140820dde001040081000c/002.html>

<http://is-factory.com/post-8095/>

<http://mainichi.jp/select/news/20140820k0000e04028000c.html>

http://www.47news.jp/news/photonews/2014/08/post_20140820173059.php

http://www.47news.jp/news/photonews/2014/08/post_20140820181433.php

<http://www.asahi.com/articles/ASG8N22FWG8NPIT8002.html>

<http://www.asahi.com/articles/DA3S11310502.html>

<http://www.hokkaido-np.co.jp/news/dogai/558363.html>

<http://www.asahi.com/articles/DA3S11313678.html>

<http://www.asahi.com/articles/ASG8R5HD6G8RPTIL01D.html>

<http://www.asahi.com/articles/ASG8S512QG8SPITB00D.html>

<http://www.asahi.com/articles/DA3S11315479.html>

<http://www.asahi.com/articles/ASG8T320KG8TPTIL008.html>

<http://www.asahi.com/articles/ASG8T5D0WG8TPTIL02G.html>

<http://www.asahi.com/articles/ASG8V32P7G8VPITB003.html>

<http://www.asahi.com/articles/ASG8V5HDDG8VPTIL02P.html>

<http://www.asahi.com/articles/ASG8W31FLG8WPTIL003.html>

<http://www.asahi.com/articles/ASG8W5GGBFG8WPITB011.html>

<http://www.asahi.com/articles/ASG8W7QVRG8WPTIL02R.html>

<http://www.asahi.com/articles/ASG8X32WDG8XPITB006.html>

www.bousai.go.jp/updates/.../pdf/h260819ooame19.pdf

www.bousai.go.jp/updates/.../pdf/h260819ooame21.pdf

<http://www.asahi.com/articles/DA3S11342535.html>

<http://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/attachment/139124.pdf>

付録 3：広島土砂災害において行方不明者数の把握が遅れた理由

<http://www.nhk.or.jp/kaisetsu-blog/100/195528.html>

付録 4：情報源の違いによる死亡者数のタイムラグ事例参考資料

ネパール地震

<http://www3.nhk.or.jp/news/html/20150425/k10010060811000.html>
<http://www3.nhk.or.jp/news/html/20150425/k10010060931000.html>
<http://www3.nhk.or.jp/news/html/20150425/k10010061061000.html>
<http://www3.nhk.or.jp/news/html/20150426/k10010061161000.html>
<http://www3.nhk.or.jp/news/html/20150426/k10010061331000.html>
http://www.afpbb.com/articles/-/3046485?ctm_campaign=photo_topics
http://rdsig.yahoo.co.jp/_ylt=A2RiJGPNSDxViWIA5tw44TMj/RV=1/RE=1430100557/RH=cmRzaWcueWFob28uY28uanA-/RB=5TuYMqTfsEB4Qa8FhEVcqnOCRIs-/RU=aHR0cDovL25ld3MueWFob28uY28uanAvcGlja3VwLzYxNTc5MDE-/RS=%5EADASUUktVhCAiLSzztrIyg48m7l7wc-
http://rdsig.yahoo.co.jp/_ylt=A2RiJGPNSDxViWIA5dw44TMj/RV=1/RE=1430100557/RH=cmRzaWcueWFob28uY28uanA-/RB=5TuYMqTfsEB4Qa8FhEVcqnOCRIs-/RU=aHR0cDovL25ld3MueWFob28uY28uanAvcGlja3VwLzYxNTc5MTY-/RS=%5EADAYysdoXX9X6PmFF85NXEPZYmiwQ4-
<http://www.sankei.com/world/news/150425/wor1504250033-n1.html>
<http://www.sankei.com/world/news/150425/wor1504250041-n1.html>
<http://www.sankei.com/world/news/150426/wor1504260008-n1.html>
<http://www.sankei.com/world/news/150426/wor1504260012-n1.html>
<http://www.sankei.com/world/news/150426/wor1504260024-n1.html>
<http://mainichi.jp/select/news/20150426k0000m030010000c.html>
<http://mainichi.jp/select/news/20150426k0000e0301000c.html>
http://www.yomiuri.co.jp/world/20150425-OYT1T50082.html?from=ycont_top_txt
http://news.tbs.co.jp/newseye/tbs_newseye2477576.html
http://news.tbs.co.jp/newseye/tbs_newseye2477980.html
http://news.tbs.co.jp/newseye/tbs_newseye2477980.html
<http://www.nikkansports.com/general/news/1467031.html>
<http://www.nikkansports.com/general/news/1467367.html>
http://news.biglobe.ne.jp/international/0425/tbs_150425_9982056939.html
http://news.biglobe.ne.jp/international/0426/tbs_150426_9053574199.html
<http://headlines.yahoo.co.jp/hl?a=20150426-00000045-jij-asia>
<http://headlines.yahoo.co.jp/hl?a=20150426-00000045-jij-asia>
<http://mainichi.jp/select/news/20150427k0000m030052000c.html>
<http://headlines.yahoo.co.jp/hl?a=20150426-00000053-mai-asia>
<http://news.goo.ne.jp/article/jiji/world/jiji-150426X315.html>
<http://news.goo.ne.jp/article/jiji/world/jiji-150427X388.html>
<http://news.goo.ne.jp/article/yomiuri/world/20150426-567-OYT1T50043.html>

<http://www.sankei.com/affairs/news/150426/afr1504260033-n1.html>
<http://www.asahi.com/articles/ASH4V5D50H4VUHBI00T.html>
http://www.yomiuri.co.jp/world/20150426-OYT1T50043.html?from=ycont_top_txt
<http://www3.nhk.or.jp/news/html/20150426/k10010061851000.html>
<http://www3.nhk.or.jp/news/html/20150427/k10010062131000.html>
<http://www.news24.jp/articles/2015/04/25/10273782.html>
<http://www.news24.jp/articles/2015/04/26/10273801.html>
<http://www.news24.jp/articles/2015/04/26/10273808.html>
<http://www.news24.jp/articles/2015/04/26/10273813.html>
<http://www.hochi.co.jp/topics/20150426-OHT1T50042.html>
<http://www.hochi.co.jp/topics/20150426-OHT1T50128.html>
<http://www.hochi.co.jp/topics/20150425-OHT1T50141.html>
<http://www.asahi.com/articles/ASH4V5D50H4VUHBI00T.html>
<http://www.asahi.com/articles/ASH4W33HDH4WUHBI00J.html>
<http://www3.nhk.or.jp/news/html/20150427/k10010062341000.html>
<http://www.47news.jp/FN/201504/FN2015042701001770.html>
<http://kumanichi.com/sokuho/2015/0427/20150427011.shtml>
<http://www3.nhk.or.jp/news/html/20150427/k10010062691000.html>
http://www.yomiuri.co.jp/world/20150427-OYT1T50123.html?from=yartcl_popin
<http://mainichi.jp/select/news/20150428k0000m030127000c.html>
<http://www.news24.jp/articles/2015/04/27/10273893.html>
<http://www.sponichi.co.jp/society/news/2015/04/27/kiji/K20150427010249460.html>
<http://www.sankei.com/world/news/150427/wor1504270034-n1.html>
<http://www.sankei.com/world/news/150427/wor1504270032-n1.html>
<http://headlines.yahoo.co.jp/hl?a=20150427-00000042-asahi-int>
<http://www.asahi.com/articles/ASH4W5HT2H4WUHBI01V.html>
<http://www.yomiuri.co.jp/world/20150427-OYT1T50123.html>
<http://www.jiji.com/jc/c?g=soc&k=2015042800059>
http://news.tbs.co.jp/newseye/tbs_newseye2479445.html
<http://www.realplay.com/channels/tbsnews/synopses/151790?hl=ja>
<http://www.cnn.co.jp/world/35063823.html>
<http://www.sankei.com/world/news/150428/wor1504280017-n1.html>
<http://www.sankei.com/world/news/150428/wor1504280017-n2.html>
<http://www.asahi.com/articles/DA3S11727957.html?iref=reca>
<http://www.asahi.com/articles/ASH4X2TBJH4XUHBI00B.html>
http://www.jiji.com/jc/c?g=soc_30&k=2015042800059
<http://www.yomiuri.co.jp/world/20150428-OYT1T50077.html>
<http://www.yomiuri.co.jp/world/20150428-OYT1T50135.html>

<http://www3.nhk.or.jp/news/html/20150429/k10010064601000.html>
<http://www.asahi.com/articles/ASH4X5K20H4XUHBI021.html>
<http://mainichi.jp/select/news/20150429k0000m030141000c.html>
http://news.tbs.co.jp/newseye/tbs_newseye2480273.html
<http://www.rescuenow.net/%e3%83%8b%e3%83%a5%e3%83%bc%e3%82%b9/1341>
http://www.nikkei.com/article/DGXLASDG29H34_Z20C15A4CR8000/
<http://www.asahi.com/articles/ASH4Y5GWBH4YUHBI01K.html>
<http://earthquake-report.com/2015/04/25/massive-earthquake-nepal-on-april-25-2015/>
http://news.tbs.co.jp/newseye/tbs_newseye2481221.html
<http://www3.nhk.or.jp/news/html/20150430/k10010065731000.html>
http://www.afpbb.com/articles/-/3046976?ctm_campaign=txt_topics
<http://www.tokyo-np.co.jp/s/article/2015043001000830.html>
<http://www.tokyo-np.co.jp/s/article/2015043001001686.html>
https://www.ohbsn.com/news/detail/zenkoku20150430_5012022.php
<http://www.sponichi.co.jp/society/news/2015/04/30/kiji/K20150430010266490.html>
<http://www.sankei.com/world/news/150430/wor1504300052-n1.html>
<http://www.sankei.com/world/news/150501/wor1505010008-n1.html>
<http://mainichi.jp/select/news/20150501k0000m030094000c.html>
<http://www.asahi.com/articles/ASH4Z6DKGH4ZUHBI035.html>
<http://www3.nhk.or.jp/news/html/20150501/k10010066651000.html>
<http://www.asahi.com/articles/ASH511634H4ZUHBI044.html>
<http://www.yomiuri.co.jp/world/20150501-OYT1T50062.html>
http://chuplus.jp/news/article/detail.php?comment_id=268008&comment_sub_id=0&category_id=26&index_flg=1&pl=9113490697
<http://mainichi.jp/select/news/20150501k0000e030221000c.html>
http://www.yomiuri.co.jp/world/20150501-OYT1T50062.html?from=yartcl_popin
<http://www.nikkansports.com/general/news/1470080.html>
<http://www.jiji.com/jc/zc?k=201505/2015050100071&g=int>
<http://www.yomiuri.co.jp/world/20150501-OYT1T50121.html>
<http://www.asahi.com/articles/DA3S11734822.html>
<http://www.asahi.com/articles/ASH525R8NH52UHBI015.html>
<http://www.asahi.com/articles/ASH536GJYH53UHBI012.html>
<http://mainichi.jp/select/news/20150503k0000m030040000c.html>
<http://mainichi.jp/select/news/20150504k0000m030046000c.html>
<http://www.yomiuri.co.jp/world/20150502-OYT1T50064.html>
http://www.yomiuri.co.jp/world/20150503-OYT1T50098.html?from=ycont_top_txt
<http://www.47news.jp/CN/201505/CN2015050201002009.html>
http://www.excite.co.jp/News/world_g/20150502/Tbs_news_33149.html

http://www.excite.co.jp/News/world_g/20150503/Tbs_news_33182.html
<http://www.nikkei.com/article/DGXLZO86422510T00C15A5000000/>
http://www.nikkei.com/article/DGXLASDG05H15_V00C15A5000000/
http://www.nikkei.com/article/DGXLASDG07H1G_X00C15A5000000/
<http://www.nikkei.com/article/DGXLZO86443880W5A500C1000000/>
<http://mainichi.jp/select/news/20150504k0000m030046000c.html>
<http://mainichi.jp/select/news/20150505k0000m030067000c.html>
<http://mainichi.jp/select/news/20150506k0000m030077000c.html>
<http://www.sankei.com/world/news/150505/wor1505050034-n1.html>
<http://www.sankei.com/world/news/150505/wor1505050041-n1.html>
<http://www.sankei.com/world/news/150506/wor1505060013-n1.html>
<http://www.sankei.com/world/news/150506/wor1505060032-n1.html>
<http://www.sankei.com/world/news/150507/wor1505070012-n1.html>
<http://www.yomiuri.co.jp/world/20150507-OYT1T50025.html>
<http://www.sankei.com/affairs/news/150507/afr1505070037-n1.html>
<http://www.sankei.com/world/news/150508/wor1505080044-n1.html>
<http://www.sankei.com/world/news/150509/wor1505090052-n1.html>
<http://www.sankei.com/world/news/150510/wor1505100041-n1.html>
http://www.nikkei.com/article/DGXLASDG09H9E_Z00C15A5000000/
<http://www.47news.jp/CN/201505/CN2015050801001758.html>
<http://www.47news.jp/CN/201505/CN2015051001001199.html>
<http://www.asahi.com/articles/DA3S11741674.html>
<http://earthquake-report.com/2015/04/25/massive-earthquake-nepal-on-april-2>

付録 5 : 地震災害事例参考資料

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

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

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://logsoku.com/thread/news19.2ch.net/newsplus/1148728301/>

http://logsoku.com/thread/news19.2ch.net/newsplus/11486_96327/

<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://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/06/0719a.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://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://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%E9C3%CF%BF%CC>

ブログ :

<http://www.heiankigyoku.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

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

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

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

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

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

ブログ :

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

<http://machikawaco.wordpress.com/2011/02/23/%E3%83%8B%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-63.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/jpEnvNews/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

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/mds11102519200008-n1.htm>

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

AFPBBNews :

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

付録 6-1 災害情報

兵庫県南部地震(1)

報告回数	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回	8回	9回	10回	11回	12回	13回	14回	15回	16回	17回	18回	19回	20回
報告時間	3	3.5	4	6	6.5	7	8	8.5	9	12	12.5	13	14	15	16	18	19.5	20	21	22
報告死者数	2	8	17	112	178	203	334	439	549	686	863	1037	1126	1241	1305	1325	1584	1703	1706	1758
死亡率比	0.0004	0.0016	0.0033	0.0220	0.0350	0.0399	0.0656	0.0862	0.1078	0.1347	0.1695	0.2037	0.2211	0.2437	0.2563	0.2602	0.3111	0.3344	0.3350	0.3452
報告回数	21回	22回	23回	24回	25回	26回	27回	28回	29回	30回	31回	32回	33回	34回	35回	36回	37回	38回	39回	40回
報告時間	24.5	25	26	28.5	30	32	33	34	35.5	36	37	38	39	49	51	57	58	59	60	63
報告死者数	1797	1805	1812	1832	2008	2046	2214	2326	2416	2453	2552	2577	2587	3014	3076	3281	3388	3509	3567	3675
死亡率比	0.3529	0.3545	0.3559	0.3598	0.3943	0.4018	0.4348	0.4568	0.4745	0.4817	0.5012	0.5061	0.5081	0.5919	0.6041	0.6443	0.6654	0.6891	0.7005	0.7217
報告回数	41回	42回	43回	44回	45回	46回	47回	48回	49回	50回	51回									
報告時間	64	64.5	65	76	85	88	124	148	172	184	208									
報告死者数	3720	4006	4038	4084	4438	4612	4916	5062	5083	5090	5092									
死亡率比	0.7306	0.7867	0.7930	0.8020	0.8716	0.9057	0.9654	0.9941	0.9982	0.9996	1.0									

新潟県中越地震(2)

報告回数	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回	8回	9回	10回	11回	12回	13回	14回	15回
報告時間	19	28	41	47	51	60	83.5	100.5	109	122.5	152	245	269	293	413
報告死者数	15	21	23	25	26	27	31	32	33	35	36	37	38	39	40
死亡率比	0.3750	0.5250	0.5750	0.6250	0.6500	0.6750	0.7750	0.8000	0.8250	0.8750	0.9000	0.9250	0.9500	0.9750	1.0

ジャワ島中部地震(3)

報告回数	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回	8回	9回	10回	11回	12回	13回
報告時間	2	7	12	16	23	41	47	52	53	60	75	112	125
報告死者数	211	2700	2914	3068	3505	4540	4611	4900	5115	5136	5427	5846	6234
死亡率比	0.0338	0.4331	0.4674	0.4921	0.5622	0.7283	0.7397	0.7860	0.8205	0.8239	0.8705	0.9378	1.0

ジャワ島南西沖地震(4)

報告回数	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回	8回	9回	10回	11回
報告時間	7	8	9.5	14	18	20	22	27.5	48	50	79
報告死者数	38	65	80	109	124	226	265	339	528	531	650
死亡率比	0.0585	0.1000	0.1231	0.1677	0.1908	0.3477	0.4077	0.5215	0.8123	0.8169	1.0

岩手宮城内陸地震(5)

報告回数	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回	8回	9回
報告時間	2	6	12	12.5	30	30.5	52	108	157
報告死者数	2	3	4	6	7	9	10	11	12
死亡率比	0.1667	0.2500	0.3333	0.5000	0.5833	0.7500	0.8333	0.9167	1.0

ラウライ地震(6)

報告回数	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回	8回	9回	10回	11回	12回
報告時間	6	21	33	47	64	72	81	94	126	132	144	156
報告死者数	70	92	150	235	290	260	278	287	289	291	298	309
死亡率比	0.2265	0.2977	0.4854	0.7605	0.8091	0.8414	0.8997	0.9288	0.9353	0.9417	0.9644	1.0

付録 6-2 災害情報

サモア沖地震(7)

報告回数	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回	8回	9回	10回	11回	12回	13回
報告時間	5	8	10	19	23	34	38	56	76.5	87	159	179	200
報告死亡者数	28	34	40	99	113	120	148	159	164	170	178	183	192
死亡率比	0.1458	0.1771	0.2083	0.5156	0.5885	0.6250	0.7708	0.8281	0.8542	0.8854	0.9271	0.9531	1.0

チリ中部地震(8)

報告回数	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回	8回	9回	10回	11回
報告時間	12	30	40	44	46	54	64	76	86	93	100
報告死亡者数	16	78	122	214	300	400	708	723	796	799	802
死亡率比	0.0200	0.0973	0.1521	0.2668	0.3741	0.4988	0.8828	0.9015	0.9925	0.9963	1.0

ニュージランド地震(9)

報告回数	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回	8回	9回	10回	11回	12回	13回	14回	15回	16回	17回	18回	19回	20回	21回
報告時間	4.3	4.5	24	48.5	49	55	65.5	68	72.5	82	99	104.5	107	151	171	191	199	217	227.6	262	317
報告死亡者数	17	65	75	76	92	98	102	103	107	113	123	145	147	148	155	159	160	161	163	165	166
死亡率比	0.1024	0.3916	0.4518	0.4578	0.5542	0.5904	0.6145	0.6205	0.6446	0.6807	0.7410	0.8735	0.8855	0.8916	0.9337	0.9578	0.9639	0.9699	0.9819	0.9940	1.0

盈江地震(10)

報告回数	1回	2回	3回	4回	5回	6回
報告時間	3	4	5	7	8	11.5
報告死亡者数	13	16	19	21	24	25
死亡率比	0.5200	0.6400	0.7600	0.8400	0.9600	1.0

東北地方太平洋沖地震(11)

報告回数	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回	8回	9回	10回	11回	12回	13回	14回	15回	16回	17回	18回	19回	20回
報告時間	4	5	6	8.5	10	14	15.3	16	19.2	23	25	29	32	40	43	46	49	56.5	63.5	65.5
報告死亡者数	10	20	22	25	39	91	154	164	165	166	180	286	389	391	393	535	546	826	865	866
死亡率比	0.0007	0.0014	0.0016	0.0018	0.0028	0.0065	0.0110	0.0117	0.0118	0.0119	0.0129	0.0204	0.0278	0.0279	0.0281	0.0382	0.0390	0.0590	0.0618	0.0618
報告回数	21回	22回	23回	24回	25回	26回	27回	28回	29回	30回	31回	32回	33回	34回	35回	36回	37回	38回	39回	40回
報告時間	68.5	72.5	80	91.5	95.5	98.5	111.5	115.5	118.5	123	127	136	140	149.5	164.5	170	199	218	222	239
報告死亡者数	877	1012	1154	1470	1486	1820	2142	2306	2694	2720	2722	3257	3473	3549	3870	3875	4656	7288	7820	8019
死亡率比	0.0626	0.0723	0.0824	0.1050	0.1061	0.1299	0.1529	0.1646	0.1923	0.1942	0.1943	0.2325	0.2480	0.2534	0.2763	0.2767	0.3324	0.5203	0.5583	0.5725
報告回数	41回	42回	43回	44回	45回	46回	47回	48回	49回	50回	51回	52回	53回	54回	55回	56回	57回	58回	59回	60回
報告時間	244.5	260	292.5	297	309.5	316.5	320.5	332.5	341.5	358.5	364.5	379	388.5	404	412	428.5	453	479	500	524
報告死亡者数	8078	8199	8457	8682	8810	9353	9454	9468	9470	9564	9610	9654	10242	10322	10326	10469	10882	10977	11075	11218
死亡率比	0.5768	0.5854	0.6038	0.6199	0.6290	0.6678	0.6750	0.6760	0.6761	0.6829	0.6861	0.6893	0.7313	0.7370	0.7373	0.7475	0.7770	0.7837	0.7907	0.8009
報告回数	61回	62回	63回	64回	65回	66回	67回	68回	69回	70回	71回	72回	73回	74回	75回	76回	77回	78回	79回	
報告時間	548	572	596	620	644	668	693	715	739	763	791	807	831	864	883	903	979	1003	1075	
報告死亡者数	11306	11703	11920	11951	12290	12392	12453	12590	12875	12950	13060	13134	13269	13354	13540	13643	13801	13885	14006	
死亡率比	0.8072	0.8356	0.8511	0.8533	0.8775	0.8848	0.8891	0.8989	0.9192	0.9246	0.9325	0.9377	0.9474	0.9542	0.9667	0.9741	0.9854	0.9914	1.0	

付録 6-3 災害情報

ミャンマー地震(12)

報告回数	1回	2回	3回	4回	5回
報告時間	3.3	4.3	12.3	16	19
報告死者数	1	10	25	34	74
死亡率	0.0135	0.1351	0.3378	0.4595	1.0

スペイン南部地震(13)

報告回数	1回	2回	3回	4回	5回
報告時間	2.5	2.7	3	8.3	21.4
報告死者数	1	5	7	8	9
死亡率	0.1111	0.5556	0.7778	0.8889	1.0

トルコ西部地震(14)

報告回数	1回	2回
報告時間	3.3	9
報告死者数	1	3
死亡率	0.3333	1.0

ニュージーランド地震(15)

報告回数	1回
報告時間	29.6
報告死者数	1
死亡率	1.0

キルギス地震(16)

報告回数	1回
報告時間	16.4
報告死者数	14
死亡率	1.0

インドネシア(17)

報告回数	1回	2回	3回
報告時間	4.5	11	13.5
報告死者数	1	2	3
死亡率	0.3333	0.6667	1.0

インド北東部地震(18)

報告回数	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回	8回	9回
報告時間	2.1	3.1	4.5	5.5	13.1	17.2	33.5	42.5	95.4
報告死者数	3	9	13	20	24	53	74	95	105
死亡率	0.0286	0.0857	0.1238	0.1905	0.2286	0.5048	0.7048	0.9048	1.0

グアテマラ(19)

報告回数	1回	2回	3回	4回
報告時間	1	1.4	3.1	86.9
報告死者数	1	2	3	4
死亡率	0.2500	0.5000	0.7500	1.0

トルコ東部地震(20)

報告回数	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回	8回	9回	10回
報告時間	2.9	3.9	5	5.1	5.8	10.8	12	15	20	24
報告死者数	23	30	50	74	85	100	138	217	239	264
死亡率	0.0383	0.0499	0.0832	0.1231	0.1414	0.1664	0.2296	0.3611	0.3977	0.4393

報告回数	11回	12回	13回	14回	15回	16回	17回	18回	19回	20回
報告時間	29	30	41.5	48	57.4	65	77	83	93	99
報告死者数	272	279	366	432	459	461	471	481	523	534
死亡率	0.4526	0.4642	0.6090	0.7188	0.7637	0.7671	0.7837	0.8003	0.8702	0.8885

報告回数	21回	22回	23回	24回	25回	26回	27回	28回	29回
報告時間	103.3	112	117.8	120.7	123.7	141	144	164	174.8
報告死者数	535	550	570	573	575	576	582	596	601
死亡率	0.8902	0.9151	0.9484	0.9534	0.9567	0.9584	0.9684	0.9917	1.0

メキシコ南部(21)

報告回数	1回	2回
報告時間	2	2.3
報告死者数	1	2
死亡率	0.5	1.0

ネグロス島沖地震(22)

報告回数	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回
報告時間	1	6	8.5	21	39	48	64.3
報告死者数	1	5	13	15	22	26	34
死亡率	0.0294	0.1471	0.3824	0.4412	0.6471	0.7647	1.0

メキシコ南部地震(23)

報告回数	1回
報告時間	46.2
報告死者数	2
死亡率	1.0

チリ(24)

報告回数	1回
報告時間	3.1
報告死者数	1
死亡率	1.0

タジキスタン(25)

報告回数	1回	2回
報告時間	10	10.5
報告死者数	1	3
死亡率	0.3333	1.0

付録 6-4 災害情報

イタリア北部地震(26)

報告回数	1回	2回	3回	4回	5回	6回
報告時間	1.1	1.8	2	2.1	2.3	2.8
報告死者数	1	3	5	6	8	9
死亡率比	0.0588	0.1765	0.2941	0.3529	0.4706	0.5294

報告回数	7回	8回	9回	10回	11回	12回
報告時間	3.5	3.7	4.5	7.3	12.6	13.3
報告死者数	10	11	12	15	16	17
死亡率比	0.5882	0.6471	0.7059	0.8824	0.9412	1.0

アフガニスタン(27)

報告回数	1回	2回	3回
報告時間	8.5	30.5	37.5
報告死者数	3	5	50
死亡率比	0.0600	0.1000	1.0

中国西南部地震(28)

報告回数	1回	2回	3回	4回
報告時間	2	4	5.2	24
報告死者数	1	2	3	4
死亡率比	0.2500	0.5000	0.7500	1.0

中国(29)

報告回数	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回	8回	9回	10回
報告時間	1.5	3.5	4.2	4.9	5.2	7.5	9.8	10.8	18.3	56.8
報告死者数	6	7	20	24	43	50	63	64	80	81
死亡率比	0.0741	0.0864	0.2469	0.2963	0.5309	0.6173	0.7778	0.7901	0.9877	1.0

イラン(30)

報告回数	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回	8回
報告時間	5.6	6.2	6.7	6.8	7.6	10.6	16.3	51
報告死者数	40	87	98	153	180	182	250	308
死亡率比	0.1299	0.2825	0.3182	0.4968	0.5844	0.5909	0.8117	1.0

グアテマラ(31)

報告回数	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回
報告時間	2.2	4.5	5.9	6.7	8.7	10.3	24.2
報告死者数	1	3	18	30	39	48	52
死亡率比	0.0192	0.0577	0.3462	0.5769	0.7500	0.9231	1.0

ミャンマー(32)

報告回数	1回	2回	3回	4回	5回
報告時間	6.3	7.5	10.5	20.2	22.2
報告死者数	2	4	5	9	13
死亡率比	0.1538	0.3077	0.3846	0.6923	1.0

ソロモン諸島沖地震(33)

報告回数	1回	2回	3回	4回	5回
報告時間	5.2	9.3	30.6	36.7	96
報告死者数	5	6	9	10	13
死亡率比	0.3846	0.4615	0.6923	0.7692	1.0

イラン(34)

報告回数	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回
報告時間	1.5	1.6	4	30.1	33.1	33.6	53.1
報告死者数	5	12	30	31	32	37	40
死亡率比	0.1250	0.3000	0.7500	0.7750	0.8000	0.9250	1.0

イラン(35)

報告回数	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回
報告時間	4	4.3	29.6	31.7	40	47.5	53.1
報告死者数	8	13	28	34	35	36	40
死亡率比	0.2222	0.3611	0.7778	0.9444	0.9722	1.0	1.0

四川地震(36)

報告回数	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回	8回
報告時間	2	3	3.3	3.6	4	4.3	4.9	6.7
報告死者数	2	12	28	32	41	46	57	58
死亡率比	0.0104	0.0622	0.1451	0.1658	0.2124	0.2383	0.2953	0.3005

報告回数	9回	10回	11回	12回	13回	14回	15回	16回
報告時間	6.8	7.5	8.5	8.6	9	9.5	10.7	12.4
報告死者数	71	78	82	100	102	113	124	156
死亡率比	0.3679	0.4041	0.4249	0.5181	0.5285	0.5855	0.6425	0.8083

報告回数	17回	18回	19回	20回	21回	22回	23回	24回
報告時間	13.8	17.2	27	29.2	34.5	52.1	61.1	71.5
報告死者数	157	161	179	181	186	188	192	193
死亡率比	0.8135	0.8342	0.9275	0.9378	0.9637	0.9741	0.9948	1.0

アフガニスタン(37)

報告回数	1回	2回
報告時間	3.7	7.7
報告死者数	1	2
死亡率比	0.5000	1.0

インド(38)

報告回数	1回	2回
報告時間	5.9	9
報告死者数	1	2
死亡率比	0.5000	1.0

付録 6-5 災害情報

イラン(39)

報告回数	1回	2回	3回	4回	5回	6回
報告時間	3.1	3.7	4.1	4.5	7	28.6
報告死亡者数	7	8	13	23	25	27
死亡率比	0.2593	0.2963	0.4815	0.8519	0.9259	1.0

イラン(46)

報告回数	1回	2回
報告時間	3	4
報告死亡者数	3	7
死亡率比	0.4286	1.0

台湾(40)

報告回数	1回	2回	3回	4回	5回
報告時間	1.8	9.5	26	28	30
報告死亡者数	1	2	3	4	5
死亡率比	0.2000	0.4000	0.6000	0.8000	1.0

イキケ地震(47)

報告回数	1回	2回	3回	4回
報告時間	3.4	4.4	4.9	10.8
報告死亡者数	2	3	5	6
死亡率比	0.3333	0.5000	0.8333	1.0

インドネシア(41)

報告回数	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回
報告時間	1.1	6.3	8.3	10.2	47.8	71.5	99.5
報告死亡者数	2	5	20	25	30	35	36
死亡率比	0.0556	0.1389	0.5556	0.6944	0.8333	0.9722	1.0

中国(42)

報告回数	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回	8回	9回	10回	11回
報告時間	2.9	3.5	3.9	4.7	5.4	7.2	7.3	7.8	10.6	13	32.2
報告死亡者数	3	11	19	22	47	48	53	56	75	89	94
死亡率比	0.0319	0.1170	0.2021	0.2340	0.5000	0.5106	0.5638	0.5957	0.7979	0.9468	1.0

パキスタン(43)

報告回数	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回	8回	9回
報告時間	2.8	3.3	5.6	19	24.5	26.6	50.6	67.1	73.8
報告死亡者数	32	50	150	283	285	343	350	400	515
死亡率比	0.0621	0.0971	0.2913	0.5495	0.5534	0.6660	0.6796	0.7767	1.0

パキスタン(44)

報告回数	1回	2回	3回	4回
報告時間	6	8	23.7	48.7
報告死亡者数	12	22	25	30
死亡率比	0.4000	0.7333	0.8333	1.0

パキスタン(45)

報告回数	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回	8回	9回	10回	11回
報告時間	3.8	6.1	8.8	12	29	33.3	37.8	53.3	62.1	81.8	83
報告死亡者数	99	107	142	144	156	158	161	171	173	175	183
死亡率比	0.5410	0.5847	0.7760	0.7869	0.8525	0.8634	0.8798	0.9344	0.9454	0.9563	1.0

ニカラグア(48)

報告回数	1回
報告時間	8.5
報告死亡者数	1
死亡率比	1.0

パプアニューギニア(49)

報告回数	1回
報告時間	5.5
報告死亡者数	1
死亡率比	1.0

パキスタン(50)

報告回数	1回
報告時間	7.1
報告死亡者数	2
死亡率比	1.0

インド(51)

報告回数	1回
報告時間	3.1
報告死亡者数	1
死亡率比	1.0

付録 7：地域防災計画参考資料

兵庫県地域防災計画

<https://web.pref.hyogo.lg.jp/kk38/hyougokenchiikibousaikeikaku.html>

神戸市地域防災計画と水防計画

<http://www.city.kobe.lg.jp/safety/prevention/plan/>

西宮市地域防災計画

<http://www.nishi.or.jp/contents/0003221700020004000017.html>

伊丹市地域防災計画

<http://www.city.itami.lg.jp/SOSIKI/SOMU/KIKIKANRI/1387875012152.html>

神奈川県地域防災計画

<http://www.pref.kanagawa.jp/cnt/f5150/>

横浜市防災計画

<http://www.city.yokohama.lg.jp/somu/org/kikikanri/keikaku/shinsai.html>

川崎市地域防災計画

<http://www.city.kawasaki.jp/160/page/0000034665.html>

高知県地域防災計画

<http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/010101/tiikibousaikeikaku.html>

滋賀県地域防災計画

<http://www.pref.shiga.lg.jp/c/shobo/tibou/tibou.html>

静岡県地域防災計画

<https://www.pref.shizuoka.jp/bousai/seisaku/keikaku.html>

大阪府地域防災計画

<http://www.pref.osaka.lg.jp/kikikanri/tiikibousaikeikaku/index.html>

大阪市地域防災計画(震災対策編)

<http://www.city.osaka.lg.jp/kikikanrishitsu/page/0000011958.html>

石巻市地域防災計画(共通)

<http://www.city.ishinomaki.lg.jp/cont/10106000/tiikibousaikeikaku/20150107091124.html>

地方都市等における地震対応のガイドライン-内閣府

http://www.bousai.go.jp/jishin/chihou/pdf/chihou_guidelines.pdf

付録 8：業務継続計画参考資料

千葉県業務継続計画(震災編)

<https://www.pref.chiba.lg.jp/bousai/kokuminhogo/kikikanri/gyoumkeizoku.html>

鳥取県版業務継続計画(BCP)策定推進に関する基本指針[第2次改訂版]

<http://www.pref.tottori.lg.jp/96796.html>

広島県大規模地震時の業務継続計画

<https://www.pref.hiroshima.lg.jp/soshiki/4/1305624074709.html>

京都市業務継続計画(震災対策編)

<http://www.city.kyoto.lg.jp/gyoza/page/0000149571.html>

川西市業務継続計画(BCP)【地震編】

http://www.city.kawanishi.hyogo.jp/kurashi/bosai_bohan/bosai/016950.html

名古屋市業務継続計画【震災編】

<http://www.city.nagoya.jp/shisei/category/53-2-6-0-0-0-0-0-0-0.html>

春日井市業務継続計画【地震編】

<http://www.city.kasugai.lg.jp/bosai/bosai/023148.html>

横浜市業務継続計画(BCP)

<http://www.city.yokohama.lg.jp/somu/org/kikikanri/bcp/jishinbcp2014.pdf>

川崎市業務継続計画(震災対策編)

<http://www.city.kawasaki.jp/kurashi/category/15-7-5-0-0-0-0-0-0-0.html>

札幌市業務継続計画(地震災害対策編)

<http://www.city.sapporo.jp/kikikanri/bcp/index.html>

大山町 BCP(業務継続計画)地震・津波編

<http://www.daisen.jp/p/1/10/1/102/>

佐用町業務継続計画

<https://www.town.sayo.lg.jp/cms-sypher/www/info/detail.jsp?id=2077>

板橋区業務継続計画【震災編】

http://www.city.itabashi.tokyo.jp/c_kurashi/044/044030.html

内閣府 防災情報のページ :

http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kigyoku/keizoku/sk_08.html

神戸大学博士論文

「ベイズ推定を用いた災害被災情報の曖昧さ分析と

被災規模早期予測による災害対応に関する基礎的研究」

全 116 頁

提出日 2016 年 1 月 22 日

本博士論文が神戸大学機関リポジトリ **Kernel** にて掲載される場合、掲載登録日（公開日）はリポジトリの該当ページ上に掲載されます。

© 小谷 稔

本論文の内容の一部あるいは全部を無断で複製・転載・翻訳することを禁じます。