

巨大地震の危険度に対する市区町村の 定性的通減モデルに関する研究

虫明 一郎¹・松丸 亮²

¹学生会員 東洋大学大学院博士後期課程 国際学研究科 (〒112-8606 東京都文京区白山5-28-20)
E-mail:s4D201810017@toyo.jp

²フェロー会員 東洋大学教授 国際学部国際地域学科 (〒112-8606 東京都文京区白山5-28-20)
E-mail: matsumaru@toyo.jp

東日本大震災やその後の災害を経て、防災・減災への対応が進んでいるが、防災・減災による危険度の通減を考慮した「地域の残存リスク」を体系的に評価した研究は少ない。著者は現在、巨大地震に対する残存リスクの体系的評価にかかる研究について、「自治体ホームページの公表情報調査」の後、首都圏直下地震及び南海トラフ地震を対象とした「地域の定性的残存危険度簡易モデル」の開発に取り組み、震災による人的被害の6つのリスクシナリオ(死因)別に地域の危険度と防災・減災への取り組みによる定性的通減モデルにより残存危険度を簡易に提供する方法を考案した。

Key Words : local disaster management plan, qualitative crisis mitigation model, local residual risk assessment, the Tokyo Inland Earthquake, the Nankai Trough Earthquake

1. はじめに

本研究は「地域の残存リスクに着目した市区町村の防災・減災レベルの評価に関する研究⁽¹⁾」の一部で、既に提案した首都直下地震緊急対策区域(首都直下地域)を対象地域とし、対象震災を都心南部地震とした定性的残存危険度のプロトタイプモデル⁽²⁾の拡張・改良版に関する研究である。具体的には対象地域を南海トラフ地震防災対策推進地域(南海トラフ地域)に拡張し、対象震災を都心南部地震から首都直下地震と南海トラフ地震に変更⁽³⁾した。また、本論文では定性的残存危険度簡易モデルの震災の人的被害の定性的危険度のシナリオ(震災で直接死に至る死因)については、プロトタイプモデルの①建物倒壊(振動)、②屋内収容物移動・転倒、屋内落下物、③ブロック塀、自動販売機の転倒、屋外落下物、④急傾斜地崩落の4つ(振動系人的被害)に⑤火災、⑥津波を加えたモデルについて、定性的通減モデル、いわゆる防災・減災による定性的通減方法と表現の検討を行うものである。

2. 定性的危険度について

2-1 振動系人的被害の定性的危険度

プロトタイプモデルで考案した地域の残存危険度モデル式は以下のとおりである。

$$RC=AC \times DPRL \times DRR \text{ (式1)}$$

RC:地域の残存危険度

AC:日本における震災の固有危険度(過去の地震データの直接死者数の最大値⁽⁴⁾)

DPRL:地域防災計画による市区町村レベルの防災施策による通減

防災施策:震災発生前に実施する施策

DRR:減災施策による通減

減災施策:震災発生後の行動により人的被害に影響がある施策及びそのための事前整備

本研究では振動系人的被害の定性的危険度はプロトタイプモデルの考えを踏襲し、以下の変更点がある。

- 定性的危険度の表記を変更(10→SD2等:表1黄色ハイライト部分)
- 研究対象の市区町村に南海トラフ地域を追加
- 本研究での過去の地震データの死因調査⁽⁴⁾では、震度7の場合の屋内・屋外落下物等の死者は発生していないため、プロトタイプモデルでは定性的危険度をNAとしたが、本論文では震度6強以下と同様にSD1に変更(表2黄色のハイライト部分)

本研究の振動系人的被害の定性的危険度階級に属する市区町村数は表3のとおりである。

2-2 火災・津波の人的被害の定性的危険度

火災被害、津波被害の定性的危険度は、本論文では作業仮説として取り扱う。なお、火災・津波の定性的危険度については、点で被害が発生する振動系人的被害との比較で、面で被害が発生するので、LL：社会の脆弱性による地域別の発生頻度（地域補正）をモデル式に含めることとした（式2）。

$$RC2 = AC2 \times LL \times DPRL \times DRR \quad (式2)$$

RC2：火災・津波の残存危険度

AC2：日本における火災・津波の固有危険度

LL：社会の脆弱性による地域別の発生頻度（地域補正）

本論文における作業仮説は、中央防災会議の都府県データからの類推⁶⁾により、表4の基準とし、火災・津波の定性的危険度階級に属する市区町村数は表5のとおりである。今回の作業仮説で算出した想定死者数と都府県が算出した市区町村の被害想定とで相違がある場合もあり、火災・津波の定性危険度の基準については今後の検討課題である。

3. 定性的逡減モデル

(HP公表インディケーター)

3-1 振動系人的被害の地域、対象震災の拡張

振動系人的被害のリスク逡減は南海トラフ地域を含む923市区町村で集計し、プロトタイプと同様に取組インディケーターを付与した（表6）。

3-2 火災被害のリスク逡減

火災については防災と減災の取り組みについて評価を行い、火災防災については、中央防災会議の減災効果に鑑み、出火防止の観点で「感震ブレーカーの啓発情報」と「感震ブレーカーの助成」の公表状況で評価を行った。火災減災については、出火後の延焼防止と火災からの避難の観点で「初期消火啓発」と「大規模火災避難場所」の公表状況で評価を行った（表6二重枠部分）。

3-3 津波被害のリスク逡減

津波については津波減災について、中央防災会議の減災効果に鑑み、津波からの避難の観点で「津波避難ビル」と「津波到達時間」の公表状況で評価を行った（表6二重枠部分）。

表1 振動系人的被害の定性的危険度設定基準

定性的危険度	死者（直接死）の発生状況
SD2	市区町村別に10人単位で死者が発生する。
SD1.5	市区町村別に複数の死者が発生する。
SD1	市区町村別に死者が発生する。
SDU5	震度別直接死者数の状況で100回中5回1人以上の死者が出る ことが棄却されない。
SDU1	震度別直接死者数の状況で100回中1回1人以上の死者が出る ことが棄却されない。
SD0	死者が出る可能性はほとんどない若しくはない。

表2 振動系人的被害の震度別危険度評価基準

震度	シナリオ別定性的危険度			
	建物倒壊 (振動)	屋内落下 物等	屋外落下 物等	急傾斜地 崩落
7	SD2	SD1	SD1	SD2
6強	SD1.5	SD1	SD1	SD2
6弱	SD1	SD1	SD1	SD1.5
5強	SDU5	SD1	SD1	SDU5
5弱	SDU1	SDU1	SD1	SDU1
4以下	SD0	SD0	SD0	SD0

表3 定性的危険度階級に属する市区町村数（振動系人的被害）

定性的危険度	建物倒壊	屋内	屋外	急傾斜地
SD2	143			413
SD1.5	270			327
SD1	327	846	876	
SDU5	106			106
SDU1	30	30		30
SD0	47	47	47	47
総計	923	923	923	923

表4 火災・津波の定性的危険度設定基準

火災	津波	死者（直接死）の発生状況
FD5	TD5	市区町村別に1万人規模の死者が発生する。
FD4	TD4	市区町村別に千人単位で死者が発生する。
FD3	TD3	市区町村別に百人単位で死者が発生する。
FD2	TD2	市区町村別に10人単位で死者が発生する。
FD1	TD1	市区町村別死者が発生する。
FDU	TDU	市区町村別に死者が発生する可能性はある。
FD0	TD0	死者が出る可能性はほとんどない若しくはない。

表5 定性的危険度階級に属する市区町村数（火災・津波）

火災		津波	
FD5	-	TD5	7
FD4	4	TD4	72
FD3	58	TD3	89
FD2	187	TD2	101
FD1	228	TD1	66
FDU	125	TDU	30
FD0	16	TD0	558
NA※	305	-	-
総計	923	-	923

※火災による死者数が想定されて
いない都府県の市区町村数

4. 定性的通減モデル表示例

4-1 市区町村別表示方法

各市区町村の定性的通減モデルは、プロトタイプモデルを踏襲し、定性的危険度とHP公表情報による取組インディケーターの併記によって表示される(表7)。

4-2 定性的残存危険度簡易モデル

各市区町村は定性的危険度と防災・減災の取り組み状況について以下の表8へのあてはめにより、相対比較を行うことができる。オレンジ色は例示の2市の定性的危険度と取り組み状況が同じ場合、黄色はY市、青色はK市の定性的危険度と取り組み状況を表している。

5. まとめと今後の研究課題

本論文では、プロトタイプモデルに続き定性的残存危険度簡易モデルの定性的通減モデルの表示方法について整理を行い、一部作業仮説を含むが、市区町村の残存危険度の6つのリスクシナリオの相対比較が簡易に行える方法を提示した。

このモデルは市区町村の地域防災計画を見直す際の指針となることを目指しているが、そのためには、定性危険度の基準の検討、市区町村で相対比較を行う場合の市区町村のグループ分けの検討があり、定性的通減モデルに関する研究では取り組みインディケーターの地域防災計画の定性評価による修正方法の検討がある。

地域防災計画の定性評価には、地域防災計画の人的被害の防災・減災状況の定性的評価方法の開発と地域の定性的残存危険度簡易モデル修正のための目的がある。

地域防災計画の定性評価については、サンプリング調査により行ない、首都直下地域及び南海トラフ地域で100市区町村を対象に調査を行う予定である。現在完了している首都直下地域の30市区町村の結果で地域防災計画の記載内容とHP公表情報を比較してみると、一部の項目で該当市区町村数に相当の差異が認められる(表9黄色のハイライト)が、これらの差異について、定性的残存危険度簡易モデルの取組インディケーターの付与の変更要否について検討を行う必要があると考えている。現時点では標本数が十分ではないことを断った上で、3つの差異(表9黄色のハイライト)について考えてみると、例えば屋内転倒防止等対策啓発については、住民への幅広い周知が必要であり、地域防災計画で啓発する旨を記載していることだけでは周知の評価までは行えないと考え、HP公表を採用することが考えられる。それ以外の2項目については危険箇所が特定され、個別に指導や対策が可能であり、地域防災計画の記載内容をもって、取り組みが行われていると評価すること等が考えられる。

表6 首都直下地震と南海トラフ地震における
防災取り組みHP公表インディケーター

	取組インディケーター				
	D	C	B	A	S
公表比率	NA	NA	33%超	33%以内	5%以内
建物倒壊	耐震調査助成のみ	耐震化助成のみ	両方		
比率	4%	3%	40%		
累積比率	47%	43%	40%		
屋内収容物移動・転倒、 屋内落下物	取付等啓発情報のみ	取付助成のみ		両方	
該当数	46%	5%		12%	
累積比率	63%	17%		12%	
ブロック塀・自動販売機の 転倒、屋外落下物	啓発情報のみ	助成のみ		両方	
該当数	31%	6%		9%	
累積比率	46%	15%		9%	
急傾斜地崩落	土砂災害特別警戒区域公表のみ	急傾斜地崩落対策助成のみ			両方
該当数	55%	0%			3%
累積比率	59%	4%			3%
火災防災	感震ブリーカー啓発情報のみ	感震ブリーカー助成のみ			両方
該当数	5%	3%			3%
累積比率	12%	6%			3%
火災減災	初期消火啓発のみ	大規模火災避難場所公表		両方	
該当数	32%	13%		23%	
累積比率	68%	36%		23%	
津波減災	津波避難ビル公表	津波到達時間公表		両方	
該当数	32%	10%		20%	
累積比率	61%	30%		20%	

表7 市区町村別個別比較例示

	震度	建物倒壊	屋内	屋外	急斜面
Y市	7	SD3B	SD1D	SD1A	SD3D
K市	7	SD3B	SD1D	SD1NA	SD3D
	津波到達時間(分)	火災防災	火災減災	津波減災	
Y市	2	FD2S	FD2D	FD4D	
K市	16	FD3NA	FD3C	FD4A	

表8 シナリオ別定性的危険度とHP公表状況分布

建物倒壊				
定性的危険度	NA	D	C	B
SD2	86	5	12	117
SD1.5	212	25	8	166
SD1	128	7	4	76
SDU5	23			11
SDU1	7	1		
SD0	34		1	
屋内落下物				
定性的危険度	NA	D	C	A
SD1	312	414	46	108
SDU1	5	3		
SD0	27	8		
屋外落下物				
定性的危険度	NA	D	C	A
SD1	461	287	59	81
SD0	34	1		

急斜面崩落

定性的危険度	NA	D	C	S
SD2	262	345	1	23
SD1.5	82	126	1	6
SDU5	4	28		2
SDU1	4	3		1
SD0	29	6		

火災防災

定性的危険度	NA	D	C	S
FD4	2		1	1
FD3	38	9	6	5
FD2	147	16	14	10
FD1	201	14	4	9
FDU	115	5	4	1
FD0	16			
NA※	297	5	3	0
総計	816	49	32	26

火災減災

定性的危険度	NA	D	C	A
FD4		1		3
FD3	1	13	12	32
FD2	47	54	26	60
FD1	66	70	38	54
FDU	41	39	20	25
FD0	11	4		1
NA※	130	112	27	36
総計	296	293	123	211

津波減災

定性的危険度	NA	D	C	A
TD5	1	3		3
TD4	11	22	8	31
TD3	26	33	13	17
TD2	46	34	7	14
TD1	44	14	4	4
TDU	18	6	4	2
TD0	553	3	1	1
総計	699	115	37	72

表9 地域防災計画定性評価とHP公表情報の比較

想定最大震度	市区町村数	耐震化調査・診断助成	耐震化助成	屋内転倒防止等対策啓発	器具取付助成(転倒防止支援)	家具転倒防止設置事業	ブロック塀助成	ブロック塀啓発・指導	急斜面崩落調査・指定	急斜面崩落補強助成	急斜面崩落対策事業・促進
7	8	5	5	7	1	1	1	8	6	5	
6強	21	9	9	16	4	4	4	20	14	14	
5弱	1			1	0			1	1	1	
地域防災計画合計	30	14	14	24	5	5	5	29	21	20	
%	100%	47%	47%	80%	17%	17%	17%	97%	70%	67%	
HP公表合計	923	408	395	533	154	140	369	540	34		
%	100%	44%	43%	58%	17%	15%	40%	59%	4%		

補注

(1) 当該研究は、巨大地震に対する防災・減災による危険度の通減を考慮した「地域の残存リスク」を体系的に評価、明示することにより防災意識を高め、実効性のある地域防災計画の策定によって人命を守ることを目的とし、以下の3つのモデルの開発を目標としている。

- ・地域の定性的残存危険度簡易モデル
- ・地域防災計画の定性評価モデル
- ・地域残存リスクの定性的基本モデル

(2) プロトタイプモデルの概要

プロトタイプモデルの研究対象地域は首都直下地震緊急対策区域の309市区町村である。

1 本研究の基本モデル

本研究では2004年9月にアメリカのCOSO (Committee of Sponsoring Organization of the Treadway Commission) が発表した「COSO ERM」のフレームワークを適用し、リスク評価を行うが、COSO ERMでは、残存リスクは一般式として以下のように記述できる(式1)。

残存リスク=固有リスク×対策等による通減(式1)

ここで、固有リスク：影響度×発生可能性

式1に示したERMリスク評価による残存リスク算定の一般式を本研究の対象である自然災害に置き換えると式2のようになる。

防災・減災対応後の被害の状況

=さまざまなシナリオ別の被害状況
×防災・減災対応による通減(式2)

式2を本研究が対象とする巨大地震の残存リスクに関して整理すると式3-1及び式3-2に示す式となる。

$$RR=AHD \times LD1 \times LD2 \times DPRN \times DPRL \times DRR \quad (式3-1)$$

$$=AC \times LL \times LD1 \times LD2 \times DPRN \times DPRL \times DRR \quad (式3-2)$$

ここで

RR：地域の残存リスク

AHD=AC×LL：震災・災害が発生した場合の人的被害(直接死の発生状況)

AC：日本における震災の固有危険度(過去の地震データの直接死者数の最大値)

LL：社会の脆弱性による地域別の発生頻度(地域補正)

LD1：地震発生頻度

LD2：地震発生による2次災害発生頻度(火災・津波の場合)

DPRN：国・県レベルの防災による通減：国土形成計画（国土利用計画）に基づく対策及び防災基本計画～都道府県の地域防災計画（市区町村の地域防災計画に含まれない対策）

DPRL：地域防災計画による市区町村レベルの防災施策による通減

防災施策：震災発生前に実施する施策

DRR：減災施策による通減

減災施策：震災発生後の行動により人的被害に影響がある施策及びそのための事前整備

本論文での検討対象とする残存リスクは、対象範囲が市区町村レベルであることと、扱う災害が首都直下地震であることから、上式の DPRN（国・県レベルの防災）はモデルに含めず、LD1（地震発生頻度）は同一値として扱える。また、本論文では火災・津波の場合のリスクシナリオも対象外（後述）なので LD2（地震発生による 2 次災害発生頻度）もモデルに含めない。

また、プロトタイプモデルで、振動系人的被害は、河田（1997）² が「起こり得る人的被害の最大値、すなわち上限値を予測することが重要となる。」と述べていることを踏まえ、AC（日本における震災の固有危険度（過去の地震データの直接死者数の最大値））を用いた。ここで、プロトタイプモデルで用いた人的被害の数値は、筆者が調査を行った地震データの最大値、いわゆる事実であって起こりえる人的被害の最大値であることの検証を経たものではなく、今後、更なる検討の必要がある。

LL（社会の脆弱性による地域別の発生頻度（地域補正））については、目黒（2001）³ が「災害は進化する」として、「入力としての災害（ハザード）が変化しているのではなく、それを出力である被害（ディザスター）に変換する社会システムの変化がもたらす現象として理解できる。」と述べ、社会の脆弱性が変化していることから、社会の脆弱性、特に市区町村レベルの変化を機動的に把握することは困難と考え、プロトタイプモデルでは LL を含めないこととした。なお、過去の地震データの直接死者数の状況はそれまでの社会脆弱性を反映した結果であるといえる。

以上より震災が発生した場合の日本における震災の固有危険度（AC）を基に、地域防災計画での防災・減災の状況を考慮した地域に残存する危険度（リスクとは地震発生頻度や地域別の発生頻度を除いた、いわゆるその地域で直接死者が発生することを前提とするという点で異なる）を表すモデル式（式 4）を考案した。

$$RC=AC \times DPRL \times DRR \text{ (式 4)}$$

RC: 地域の残存危険度

2 定性的危険度について

筆者の調査結果⁴⁾に基づく定性的危険度設定基準及び振動系人的被害シナリオの震度別定性的危険度基準により、振動系人的被害の定性的危険度階級に属する市区町村数は表1ようになった。

表1 定性的危険度階級に属する市区町村数（振動系人的被害）

定性的危険度	建物倒壊	屋内	屋外	急傾斜地
10	2			59
5.5	57			92
1	92	233	274	
U5	84			84
U1	41	41		41
0	33	33	33	33
NA		2	2	
総計	309	309	309	309

3 通減モデルについて

リスク通減は、リスクシナリオ別に市区町村の取り組みの差異がわかるような方法を考えた。リスク通減の検討はHP公表情報により行った。HP公表情報は防災・減災の正確に反映しているわけではないが、市区町村の各死因別の施策への取り組み状況の傾向は把握できると考えた。各死因別の施策について、啓発情報と助成制度の導入の公表を両方行っている場合については、309市区町村に対する該当市区町村の割合によりS（全体の5%以内がHP公表）、A（全体の33%がHP公表）、B（全体の33%超がHP公表）と希少度に応じて表示を変えた（表2）。そして、本論文では危険度通減モデルとして、各定性的危険度にインディケーターを付記する方法を考案した（例：10A, 5.5B 等）。

表 2 都心南部地震における防災取り組み
HP 公表インディケーター

	取組インディケーター				
	D	C	B	A	S
公表比率	NA	NA	33%超	33%以内	5%以内
建物倒壊	耐震調査助成のみ	耐震化助成のみ	両方		
比率	6%	3%	39%		
累積比率	48%	42%	39%		
屋内収容物移動・転倒、屋内落下物	取付等啓発情報のみ	取付助成のみ		両方	
比率	49%	5%		13%	
累積比率	67%	18%		13%	
ブロック塀・自動販売機の転倒、屋外落下物	啓発情報のみ	助成のみ		両方	
比率	31%	7%		8%	
累積比率	46%	15%		8%	
急傾斜地崩落	土砂災害特別警戒区域公表のみ	急傾斜地崩落対策助成のみ			両方
比率	53%	0%			4%
累積比率	57%	4%			4%

4 定性的残存危険度簡易モデル

プロトタイプモデルの定性的残存危険度簡易モデル例(表3) は以下のとおりである。

表 3 定性的危険度と HP 公表状況分布表例

市区町村別個別比較例示

	震度	建物倒壊	屋内	屋外	急斜面
O区	6強	5.5B	1A	1C	10S
S区	6強	5.5B	1NA	1NA	10D

建物倒壊

定性的危険度	NA	D	C	B
10				2
5.5	17	3	3	34
1	44	5	2	41
U5	50	10	1	23
U1	24	1	0	16
0	26	0	2	5

- (3) 振動系人的被害の定性的危険度算出の対象震災を都心南部地震から首都直下地震と南海トラフ地震に変更した。これにより、例えば震度7の市区町村は、309中2市区町村から、923中143市区町村に増大する。
- (4) 震度計で観測した計測震度に基づく震度観測が開始され、気象庁が現震度階級に変更後の地震を対象としたデータである気象庁の「日本付近で発生した主な被害地震（平成8年以降）」⁴⁾を基に、市区町村別のシナリオ別の直接死の発生状況の調査を行った。調査は平成8年から平成30年北海道胆振東部地震までの人的被害が発生している地震を対象に行ったが、東日本大震災については、死因の大多数が津波でその他の死因については一様のデータがないことから対象外とした。
- (5) 火災・津波の作業仮説用市区町村別人的被害算出方法

・火災想定死者数算定式

係数×(人口(千人)×震度別出火・炎上比)

人口(千人)と震度別出火・炎上比の積を説明変数、想定死者数を目的変数として、中央防災会議の都道府県別想定死者数データを2グループに分けて重回帰分析を実施し、それぞれ都府県別の係数を算出した。

係数A:0.00751 (埼玉、東京、神奈川、大阪、和歌山、高知 6都府県)

係数B:0.00184 (千葉、静岡、愛知、三重、京都、兵庫、奈良、岡山、徳島、香川、愛媛、宮崎 12府県)

震度別出火・炎上比

	5弱	5強	6弱	6強	7
出火・炎上比※1	1	3	11	74	296

※1：住宅・共同住宅の震度5弱を1とした場合の出火・炎上比⁵⁾

・津波想定死者数算定式

中央防災会議の都道府県別単位浸水面積(ha)当たり死者数×1m以上想定浸水面積⁶⁾

・想定死者数比較(人)

	火災死者数	津波死者数
中央防災会議	27,430	342,930
作業仮説	27,897	386,724

参考文献

- 1) 虫明一郎, 松丸亮: 首都直下地震緊急対策区域における市町村の地域残存リスク算定モデルの検討, 地域安全学会論文集No.36.2020.3 (2020年3月7日受理)
- 2) 河田恵昭: 大規模地震災害による人的被害の予測, 自然災害科学16-1, pp.3-13, 1997.
- 3) 目黒公郎:大規模地震の動的被害予測モデル, 地学雑誌110巻6号, pp.900-914, 2001.
- 4) 気象庁: 日本付近で発生した主な被害地震(平成8年以降)【平成30年11月6日現在】, 国土交通省, 2018.
- 5) 中央防災会議: 首都直下地震の被害想定項目及び手法の概要 平成25年12月, 2013
- 6) 南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ: 南海トラフの巨大地震に関する津波高, 浸水域, 被害想定公表について(平成24年8月29日), 中央防災会議, 2012