

地震災害時の自助・共助行動に影響する ソーシャル・キャピタルシミュレーション

北海道教育大学 川本清美

1. はじめに

我が国では今後、南海トラフ巨大地震により甚大な被害が起こることが予測されている。このような地震対策には、自助、共助、公助のベストミックスが必要である。中でも地域コミュニティにおける自助・共助行動は、公の防災対策費用を補うだけでなく、被害の最小化や回避に繋がることが知られている。

一方で、地域固有の人間関係や信頼構造であるソーシャル・キャピタル(SC)は地域の自助・共助行動と関連が深い。石橋ら(2009)[1]は、地域の潜在的復興力はSCの構成要素中のネットワークとの関連が強いことを明らかにしている。また、藤見ら(2011)[2]は、SCの中でも、近所の人を中心とした結束型ネットワークが水害の自助・共助意識に影響を及ぼすことを明らかにしている。このようなSCを用いた地域防災力の向上方策は、都市や農村といった地勢的な要件より、防災に取り組む団体の性格が影響することも報告されている(後藤ら、2012)[3]。しかしながら、地震災害時に個人がどのようにSCネットワークを活用して自助・共助行動を行うのかについて推計した研究は少ない。

災害時における市民行動の把握は、実証研究が困難なため、シミュレーションによる把握が必要である。これまでに、群集避難行動の把握を目的に種々のシミュレーション評価がなされている。藤岡ら(2002)[4]は、津波避難対策のシミュレーション評価の中で避難誘導員や歩行速度の違いによる安全避難モデルを明らかにしている。また、根岸ら(2004)[5]は、近所の人や家族への追従性を考慮した避難行動シミュレーションを行っている。これらのシミュレーションの変数は、可視化が容易なものにとどまることが多く、概念的なSCネットワークを推計したものは少ない。

よって本研究では、地震災害時の自助・共助行動に影響するSCシミュレーションモデルを構築することを目的とする。

2. ソーシャル・キャピタル

SCは、地域での問題解決を遂行するための地域力を構成する主要な要素であるとされている(河上、2005)[6]。SCは地域防災分野の自助・共助行動にも影響し、減災に役立つことが知られている。石橋ら(2009)[1]は、地域の潜在的復興力はSC構成要素のネットワークとの関連が強いことを明らかにしている。さらに筆者は、気候変動適応策の防護行動には、SCが直接影響することなどを明らかにしてきた(川本、2013)[7]。

本研究におけるSCの定義は、『人々の協調行動を活発にすることによって社会の効率性を高めることのできる「信頼」「規範」「ネットワーク」といった社会組織の特徴』Putnam(1993)[8]である。日本においては、内閣府(2003)[9]がPutnamの定義の3要素を分かりやすい項目に読み替えて、SCの定量化を行っている。本研究も内閣府の調査と同様に、「社会的信頼」は一般的な「信頼」とし、「互酬性の規範」は社会活動への参加を示す「社会参加」とし、「ネットワーク」は近隣の付き合いなどを示す「つきあい・交流」と読み替えて研究を行った。

3. 調査対象

本研究では、自助、共助行動の形成過程の違いを考慮し、調査対象都市を宮城県仙台市と静岡県浜松市とする。両市はともに沿岸域都市であり、巨大地震時には家屋倒壊や火災に加え、津波被害も予測される都市である。仙台市は、東日本大震災(2011年)による被災経験と行政の防災対策により自助・共助行動が形成されている。震

災復興計画を推進すると同時に、地震ハザードマップや、津波情報伝達システムの整備が行われている。一方、浜松市は、1944年の東南海地震以降、巨大地震の被災経験が無いが、南海トラフ巨大地震時には最大16mの津波高が予測されており、行政主導により自助・共助行動を高める取り組みが行われている。津波対策のための屋外放送施設整備や、防災マップの整備、地域防災訓練などが行われている。

4. 研究手法

(1) 自助・共助行動調査

地震災害時の自助・共助行動に関するデータを入手するため、2013年3月16日、17日に両市でWeb調査を行った。東日本大震災前後2年は市内のコミュニティに属していた者を抽出するため、市内在住4年以上で主に沿岸域に住む市民を対象とした。20歳以上の市民を対象に420（各都市210）の有効回答を得た。男女及び年齢構成比は、均等であり偏りはない。質問内容は、潜在的復興力、SC、メディア、周囲の行動、地震災害時の自助・共助行動、移動速度の6項目である。潜在的復興力は、石橋ら(2009)[1]を参考に平時の防災活動、過去の被災経験、残留の可能性、復興の意思の各項目から計測した。SCは、信頼、つきあい・交流、社会参加の各項目から計測した。メディアは、地震災害時の情報収集に使う程度、地震災害時の情報発信に使う程度の項目から計測した。小林(2011)[10]によれば、災害時のメディアは、情報が頂点に向かって移動し、そこから下りてくるピラミッド型と、情報の流れが固定化されないネットワーク型それぞれが異なった働きをすることが指摘されている。よって、本研究では、ピラミッド型メディアとして、テレビ・ラジオ、インターネット、市役所・学校、消防・警察のそれぞれをどの程度使うかを尋ねた。ネットワーク型メディアとしては、自分もしくは家族の電話、自分もしくは家族のメール、SNS（見知らぬ人）、SNS（知人）のそれぞれをどの程度使うかを尋ねた。自助・共助行動は、地震災害時に情報収集、情報発信、避難、救助のそれぞれについてどの程度できるかを尋ねた。回答は強度別に5段階評価とした。

(2) 自助・共助行動への影響要因分析

地震災害時の自助・共助行動へ影響する要因を分析した。本分析における自助・共助行動は、選択確率を明確にするために強度別に3段階（1:行わない、2:どちらでもない、3:行う）とした。これらは、順序付きの離散型確率変数であることから、分析には順序ロジットモデルを用いた。この際、選択肢1を基準とし、特に選択肢3の結果に着目した。影響要因は、潜在的復興力、SC、メディア、周囲の行動であり、それぞれの平均値を用いた。被説明変数を自助・共助行動の選択確率、説明変数を影響要因とするモデルを構築した（式4a、4b、4c）。観測された自助・共助行動 y_k は、次のような連続潜在変数 y_k^* に対応していると考える。パラメータ β は最尤推定法を用いて推定する。このパラメータは、それぞれの影響要因が自助・共助行動の選択確率に与える影響を表していると考える。

$$y_k^* = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \varepsilon_k$$

$$= \sum_{m=1}^M \beta_m x_{km} + \varepsilon_k$$

式4a

$$y_i = \begin{cases} y_1 & \text{if } y_k^* \leq \gamma_1 \\ y_2 & \text{if } \gamma_1 < y_k^* \leq \gamma_2 \\ y_3 & \text{if } \gamma_2 < y_k^* \end{cases}$$

式4b

$$P_{ik} = \frac{1}{1 + \exp(-\gamma_i - y_k^*)} - \frac{1}{1 + \exp(-\gamma_{i-1} - y_k^*)}$$

式4c

回答者 k ($k = 1, 2, \dots, K$)

β : パラメータ

x_1 : SC、 x_2 : 周囲の行動、 x_3 : 潜在的復興力、 x_4 : メディア

影響要因の数 m ($m = 1, \dots, 4$)

自助・共助行動の選択肢 i ($i = 1, \dots, 3$)

ε : 誤差項、 γ : 閾値、 P : 選択確率

表-1に分析結果を示す。自助・共助行動には、総じてSCの信頼、つきあい・交流と潜在的復興力が影響することが明らかになった。自助行動には、両市とも、潜在的復興力とネットワーク型メディアが影響し、加えて浜松市ではSCの信頼が影響していた。共助行動には、両市ともSCのつきあい・交流が影響し、加えて仙台市では潜在的復興力、浜松市ではSCの信頼と周囲の行動が影響していた。メディアは、自助行動にネットワーク型メディアのみ影響し、共助行動への影響は見られなかった。また、周囲の行動は、浜松市の共助行動でのみ影響がみられた。

表-1 パラメータ推計結果

		仙台市		浜松市	
		推定値	P値	推定値	P値
自助行動					
SC	信頼	-0.159	0.452	0.419	0.030 **
	つきあい・交流	-0.274	0.188	0.186	0.382
	社会参加	-0.047	0.856	0.169	0.550
周囲の行動		0.012	0.956	-0.172	0.451
潜在的復興力		0.878	0.018 **	0.656	0.049 **
メディア	ピラミッド型	0.019	0.921	-0.367	0.082
	ネットワーク型	0.347	0.074 *	0.620	0.002 ***
共助行動					
SC	信頼	-0.086	0.690	0.427	0.037 **
	つきあい・交流	0.954	0.000 ***	0.591	0.008 ***
	社会参加	-0.236	0.389	0.124	0.678
周囲の行動		0.252	0.249	0.480	0.047 **
潜在的復興力		0.827	0.032 **	0.502	0.132
メディア	ピラミッド型	0.336	0.103	0.264	0.211
	ネットワーク型	0.003	0.987	0.128	0.526

***1%水準で有意, **5%水準で有意, *10%水準で有意

(3) SC シミュレーション

1) マルチエージェント・シミュレーション

地震災害時の自助・共助行動に影響する SC シミュレーションモデルを構築するために、マルチエージェント・シミュレーションを用いた。自律的に決定した行動基準（ルール）に基づき、自己の利益を追求する活動主体のことをエージェントとし、これらが相互関係を持って集まった集合体のことをマルチエージェントという。人工社会やある環境をコンピュータ上に設定し、マルチエージェントのシミュレーションを行うシステムである。エージェントを複雑な条件で選別して、条件の似たエージェントの集まりをつくることもできる（山影, 2011）[11]。

2) シミュレーション空間の設定

表-1 より、自助及び共助行動に共通して SC の信頼、つきあい・交流及び潜在的復興力が影響することが明らかになった。そのため、X 軸を SC の信頼、Y 軸を SC のつきあい・交流、Z 軸を潜在的復興力の強度とする 3 次元モデルを構築した。

3) エージェント

地震災害時に SC を必要とするエージェントとして、可動被災者と固定被災者を設定した。可動被災者とは、行動ルールに従って空間内を移動しながら、つながりを構築できる能動的なエージェントとした。固定被災者は、移動及び他者への働きかけができない受動的なエージェントとした。

4) エージェントの行動ルール

可動被災者と固定被災者数の密度比を変えた4つのCaseを用意した(表-2)。可動被災者数はすべてのCaseで210である。Case1は密度0.5、Case2は密度1、Case3は密度1.5、Case4は密度2とした。可動被災者の初期座標はWeb調査で計測した各エージェント値に10を乗じて、1辺を50とする空間内に配置した。移動速度はWeb調査で計測した各エージェント値であり、それぞれの秒速を参考に徒歩移動者は1.1/ステップ、自転車移動者は3.3/ステップ、バイク移動者は6.9/ステップ、自動車移動者は9.7/ステップとした。

本モデルの構成を図-1、図-2に示す。モデルは、共助ループと自助ループから構成される。共助ループでは、可動被災者が、固定被災者を探す。そして、近く(1以内)にいる固定被災者を一人選んで捕まえることをすべての固定被災者を捕まえるまで繰り返す。ただし可動被災者の近くに固定被災者がいない場合は、自助ループを用いる。自助ループでは、近く(1以内)にいる可動被災者をつながりを結び、さらにこの中に近すぎる(0.5以内)がいればこれらの方向を向く。その後、固定被災者を探す共助ループに戻る。固定被災者は、共助されると赤色から青色に変化する。

表-2 シミュレーション Case

Case	密度 (固定被災者数/可動被災者数)	シミュレーション属性	可動被災者	固定被災者
Case1	0.5	初期座標	Web調査で計測した各エージェント値*10	ランダム
		移動速度	Web調査で計測した各エージェント値	-
		エージェント数	210	105
Case2	1	初期座標	Web調査で計測した各エージェント値*10	ランダム
		移動速度	Web調査で計測した各エージェント値	-
		エージェント数	210	210
Case3	1.5	初期座標	Web調査で計測した各エージェント値*10	ランダム
		移動速度	Web調査で計測した各エージェント値	-
		エージェント数	210	315
Case4	2	初期座標	Web調査で計測した各エージェント値*10	ランダム
		移動速度	Web調査で計測した各エージェント値	-
		エージェント数	210	420

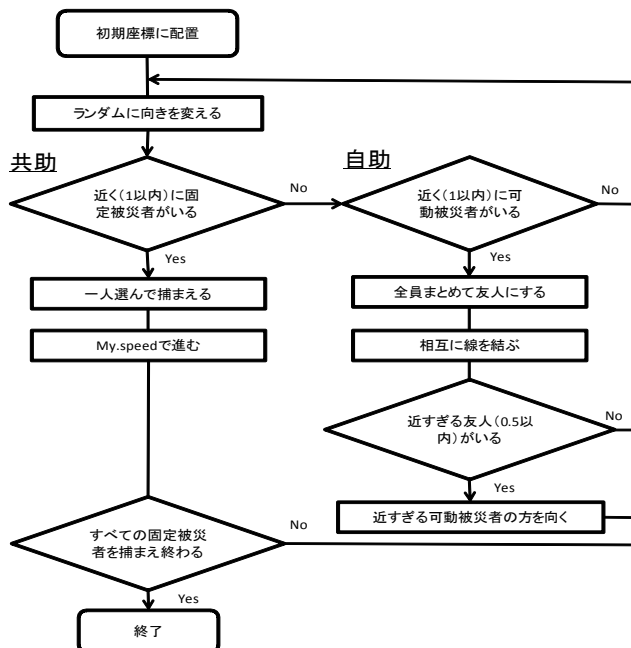


図-1 可動被災者の行動ルール

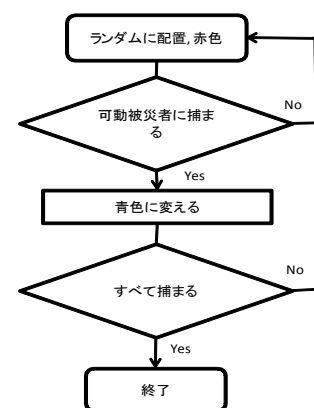


図-2 固定被災者の行動ルール

5. 結果

図-3、図-4、図-5 にシミュレーション状況を示す。結果を視覚的に見やすくするため、可動被災者のつながりに線を引いた。可動被災者（青色の球）が固定被災者（赤色の四角柱）を共助していく様子を示している。共助された固定被災者は青色に変化する。

本モデルのシミュレーションには、乱数の要素が含まれるため、試行ごとに結果が異なる。よって100回シミュレーションを行った平均値を結果とし、表-3 に示した。両市を比較すると、共助ループを補足する自助ループで都市間差がみられた。仙台市は、自助ループでつながりを持った可動被災者数が浜松市に比べて多い傾向であった。仙台市では可動被災者の約17%がつながりを持ったのに対して、浜松市では約10%であった。このことから、巨大地震の被災経験と行政指導により自助・共助行動が形成された仙台市では、被災経験の少ない都市と比較して、他者とのつながりを活用した自助行動の影響が高くなることが推察された。

一方、どのCaseでも、固定被災者を90%共助するステップ数は50前後であった。また両市とも、固定被災者を100%共助し終えるステップ数は高密度になるほど増加し、都市間の差異は見られなかった。このことから、固定被災者を90%共助するまでは、固定被災者密度はさほど影響しないが、90~100%に至る間に密度の影響が生じることが明らかになった。

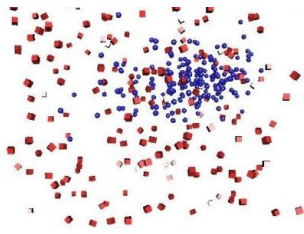


図-3 仙台市（Case2）開始時

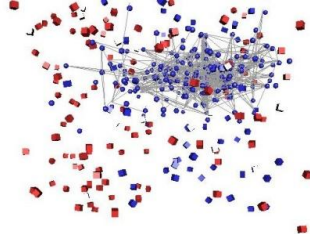


図-4 仙台市(Case2)5 ステップ時

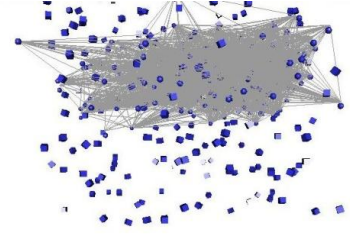


図-5 仙台市（Case2）終了時

表-3 シミュレーション結果

Case	シミュレーション属性	仙台		浜松	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
Case1	固定被災者90%共助時ステップ数 a	48.38	7.91	50.23	9.03
	固定被災者100%共助時ステップ数 b	125.44	43.55	132.08	38.66
	つながりを持った可動被災者数 c	34.71	9.62	9.05	6.00
	(a/b)*100 (%) (c/210)*100 (%)	38.57 16.53		38.03 4.31	
Case2	固定被災者90%共助時ステップ数 a	48.35	6.76	50.71	5.74
	固定被災者100%共助時ステップ数 b	150.43	45.74	153.26	42.60
	つながりを持った可動被災者数 c	36.96	9.19	10.33	6.58
	(a/b)*100 (%) (c/210)*100 (%)	32.14 17.60		33.09 4.92	
Case3	固定被災者90%共助時ステップ数 a	50.68	6.03	51.71	5.65
	固定被災者100%共助時ステップ数 b	172.73	49.14	170.87	47.12
	つながりを持った可動被災者数 c	35.74	9.09	9.14	5.08
	(a/b)*100 (%) (c/210)*100 (%)	29.34 17.02		30.26 4.35	
Case4	固定被災者90%共助時ステップ数 a	51.05	5.32	53.72	5.25
	固定被災者100%共助時ステップ数 b	193.66	59.23	190.62	47.14
	つながりを持った可動被災者数 c	35.13	9.80	10.67	6.25
	(a/b)*100 (%) (c/210)*100 (%)	26.36 16.73		28.18 5.08	

注)シミュレーション100回実行の平均値

注)全Case:可動被災者210人

6. まとめ

本研究では、地震災害時の自助・共助行動に影響する SC シミュレーションモデルを構築した。以下に本研究から得られた知見と、SC を活用した自助・共助行動育成への提言をまとめる。

ロジットモデルの分析結果からは、自助・共助行動には、総じて SC の信頼、つきあい・交流と潜在的復興力が影響することが明らかになった。自助行動には、両市とも、潜在的復興力とネットワーク型メディアが影響し、加えて浜松市では SC の信頼が影響していた。共助行動には、両市とも SC のつきあい・交流が影響し、加えて仙台市では潜在的復興力、浜松市では SC の信頼と周囲の行動が影響していた。このことから、巨大地震の被災経験を持つ都市の共助行動の育成には、SC のつきあい・交流を活用し、自主防災組織の育成やコミュニティにおける防災イベント、地域防災訓練などが有効であると考えられる。一方で、被災経験の少ない都市の共助意識の育成には、SC のつきあい・交流に加えて信頼を活用し、防災インフラ整備状況を広報することにより行政への信頼を高める方策などが有効であると考えられる。

シミュレーションの分析結果からは、共助ループを補足する自助ループで都市間差がみられた。仙台市は、自助ループでつながりを持った可動被災者数が浜松市に比べて多い傾向であった。巨大地震の被災経験と行政指導により自助・共助行動が形成された仙台市では、他者とのつながりを活用した自助行動の影響が高くなることが推察された。一般に、被災経験を持つと自宅での防災対策などの自助行動が向上することは知られているが、本研究からは他者とのつながりを活用した自助行動も向上することが明らかとなった。よって、被災経験が少ない都市でも、他者とのつながりを活用した自助行動を育成していくことが課題としてあげられる。非常時でも家族や知人と連絡可能な手段を確保しておくことや、個別に対応した自助情報を得られるように知人による情報網を確保しておくことなどが有効であると考えられる。

また両市とも、固定被災者を 90% 共助するまでは、固定被災者密度はさほど影響しないが、90~100% に至る間に密度の影響が生じることが明らかになった。このことから、固定被災者が増加するに従って、取り残された 10% の固定被災者への共助が難しくなることが予測される。よって、地震災害時の移動困難者の場所をコミュニティで把握しておくことなどが有効であると考えられる。

本研究のシミュレーションモデルは、仙台市と浜松市の自助・共助データを用いて構築した。今後の課題として、ネットワーク型メディア利活用の影響をシミュレーションに加えていくこと及び、南海トラフ巨大地震危険都市のデータサンプルを増やし、モデルの精度向上を図ることがあげられる。

参考文献

- [1] 石橋絵美, 糸井川栄一, 熊谷良雄, 梅本通孝『地域の潜在的復興力とソーシャル・キャピタルの関連分析』地域安全学会論文集, vol.11, 2009, pp.309-318.
- [2] 藤見俊夫, 柿本竜治, 山田文彦, 松尾和巳, 山本幸『ソーシャル・キャピタルが防災意識に及ぼす影響の実証分析』自然災害科学, vol.29(4), 2011, pp.487-499.
- [3] 後藤宏二, 吉川知弘, 宮武裕昭『ソーシャル・キャピタルの特性に応じた地域防災力向上策に関する研究』建設マネジメント技術, 2012.7, pp.21-28.
- [4] 藤岡正樹, 石橋健一, 梶秀樹, 塚越功『日本建築学会計画系論文集』vol.562, 2002, pp.231-236.
- [5] 根岸祥人, 加賀屋誠一, 内田賢悦, 萩原亨『震災経験を考慮したルールベースの避難交通行動シミュレーションへの適用に関する研究』土木計画学研究講演集, 30, 2004.
- [6] 河上牧子『「地域力」と「ソーシャル・キャピタル」の概念に関する計画論的一考察』都市計画論文集, vol.40(3), 2005, pp.205-210.
- [7] 川本清美『気候変動適応策におけるソーシャル・キャピタルの役割—沿岸域交通を対象に—』計画行政, vol.36(2), 2013, pp.57-64.
- [8] Robert D. Putnam, Making Democracy Work, Princeton University Press, 1993, pp.163-185.
- [9] 内閣府国民生活局市民活動促進課『ソーシャル・キャピタル: 豊かな人間関係と市民活動の好循環を求めて』2003, 177p.
- [10] 小林啓倫『災害とソーシャルメディア』毎日コミュニケーションズ, 2011, pp.26-41.
- [11] 山影進『人工社会構築指南』書籍工房早川, 2011, 446p.