

フロー効果とストック効果を考慮した 巨大震災のレジリエンス対策の 被害軽減効果に関する マクロ経済モデルの構築

京都大学大学院教授 藤井 聡

令和2年10月26日（月）

0

本研究の背景と目的

- 強靱化施策を実行に移す上で、巨大震災発生時の「被害の予測」や「対策効果の予測」のための計量分析は不可欠
- しかしその方法論は確立されておらず、具体性のある計量分析が行われていないのが実態



- 過去の震災のデータに基づき、**南海トラフ地震や首都直下地震が我が国全体にもたらす経済被害**を推定する
- とりわけ、**道路ネットワークの毀損**によりもたらされる経済被害に着目した分析を行う
- あわせて、橋梁耐震化や電柱地中化による**被害軽減効果**についても検討を行う

1

プローブデータによる道路被害の把握

将来の地震による道路ネットワークへの被害を予測するためには、過去の震災時の道路被害データが必要となるが、**震災時の道路被害を大規模に集計したデータは存在しない**。そこで本研究では、**東日本大震災時の民間プローブデータを用いて**、下記のように、

- 道路リンクの破断状況
- 車両の走行速度の低下状況

を把握し、これを震災による道路ネットワークへの「被害」とした。

■ 道路リンクの破断状況

震災直後、半年後、一年後、一年半後のそれぞれについて、プローブデータの走行実績データの有無を確認し、震災前にはデータが存在する一方で震災後にデータが存在しない場合、その道路リンクは破断したものを判断した。

■ 道路走行速度の低下状況

震災直後、半年後、一年後、一年半後のそれぞれについて、平均的な通行速度を集計し、集計期間による荷重平均を取って震災前の平均速度と比較し、速度低下率を集計した。

2

破断状況の基本集計①

震災直後には、都道府県・市町村管理道路の6~7割が破断している状況。高速道路の破断率が高いのは、物理的被害よりも規制の影響と考えられる。

震度	道路種別	対象リンク数	対象リンク延長 (m)	震災前			直後		
				破断延長 (m)	破断率	速度 (km/h)	破断延長 (m)	破断率	速度 (km/h)
5	高速道路	1,086	1,054,101	0	0.0%	87.3	961,391	91.2%	61.8
	直轄国道	5,926	3,509,973	0	0.0%	47.1	1,337,843	38.1%	37.9
	都道府県管理道路	10,211	5,232,775	0	0.0%	38.4	3,517,007	67.2%	32.2
	市町村管理道路	15,860	5,258,607	0	0.0%	26.9	3,973,674	75.6%	24.6
6	高速道路	1,514	1,414,496	0	0.0%	94.0	1,330,092	94.0%	58.0
	直轄国道	7,485	3,425,313	0	0.0%	41.1	985,390	28.8%	24.3
	都道府県管理道路	12,626	6,092,754	0	0.0%	37.9	3,375,937	55.4%	27.2
	市町村管理道路	26,971	8,217,638	0	0.0%	25.4	5,662,690	68.9%	21.2
7	高速道路	131	124,060	0	0.0%	98.5	118,180	95.3%	56.9
	直轄国道	375	180,575	0	0.0%	45.0	49,441	27.4%	37.2
	都道府県管理道路	661	359,910	0	0.0%	42.3	224,053	62.3%	31.7
	市町村管理道路	1,384	540,424	0	0.0%	24.8	389,297	72.0%	20.4

3

破断状況の基本集計 ②

震災から半年後でも、都道府県・市町村管理道路の2~3割の道路リンクが破断している。1年半後では1割前後。

震度	道路種別	対象リンク数	対象リンク延長 (m)	半年後			1年半後		
				破断延長 (m)	破断率	速度 (km/h)	破断延長 (m)	破断率	速度 (km/h)
5	高速道路	1,086	1,054,101	15,161	1.4%	86.2	11,398	1.1%	88.9
	直轄国道	5,926	3,509,973	225,176	6.4%	45.8	102,620	2.9%	45.6
	都道府県管理道路	10,211	5,232,775	1,326,319	25.3%	38.2	522,284	10.0%	38.5
	市町村管理道路	15,860	5,258,607	1,755,107	33.4%	28.9	667,338	12.7%	29.4
6	高速道路	1,514	1,414,496	80,843	5.7%	83.1	16,030	1.1%	89.4
	直轄国道	7,485	3,425,313	266,972	7.8%	39.8	126,861	3.7%	39.8
	都道府県管理道路	12,626	6,092,754	1,499,155	24.6%	36.7	499,759	8.2%	37.1
	市町村管理道路	26,971	8,217,638	2,767,975	33.7%	26.4	793,034	9.7%	27.3
7	高速道路	131	124,060	1,083	0.9%	86.7	579	0.5%	94.0
	直轄国道	375	180,575	13,561	7.5%	43.8	4,781	2.6%	43.7
	都道府県管理道路	661	359,910	55,402	15.4%	41.0	9,807	2.7%	40.3
	市町村管理道路	1,384	540,424	172,379	31.9%	27.7	45,249	8.4%	28.3

道路リンク破断率予測モデル

道路リンクの破断確率を予測するモデルは、以下のとおり、破断の有無を従属変数とする二項ロジットモデルにより構築した。

推定方法

以下のような2項ロジットモデルを想定し、回帰分析（ロジスティック回帰）を行う。

$$\ln(p/1-p) = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \dots + \beta_n x_n$$

P: 道路破断確率

x: 説明変数

従属変数

各道路リンクについて、集計時点においてプローブデータの車両通行実績が存在すれば破断せず (=0)、存在しなければ破断 (=1) とするデータ。

説明変数

震度レベル、震災後経過時間、強靱化対応率（橋梁耐震化率・電線類地中化率）など

※ 詳細は次ページ

説明変数として用いたデータ

道路リンクの破断確率モデルの説明変数（破断のしやすさに影響を与える要因の候補）としては、下記のようなデータを用いた。

グループ	データ名称 (単位)
リンク特徴	リンク長 (m), 隣接リンク数 (本), 橋梁 (ダミー変数)
被災状況	L2 (ダミー変数), 直後 (ダミー変数), 半年後 (ダミー変数), 1年半後 (ダミー変数), 浸水域 (ダミー変数)
強靱化施策対応率	橋梁耐震化率, 電線類地中化率
土地利用種別	田, その他の農用地, 森林, 荒地, 建物用地, 道路, 鉄道, その他の用地, 河川地及び湖沼, 海浜, 海水域, ゴルフ場, (全てダミー変数)
都市地域種別	都市地域, 市街化区域, 市街化調整区域, その他用途地域, 市街地 (全てダミー変数)

分析結果（高速道路、直轄国道）

高速道路及び直轄国道に関するロジスティック回帰分析の結果は次の通り。

高速道路

説明変数	係数	標準誤差	有意確率
隣接リンク数	-.115	.017	<.01
リンク長	1.462*10 ⁴	.000	<.01
直後	3.243	.072	<.01
半年後	1.242	.078	<.01
田	-.141	.056	.012
その他の農用地	.122	.052	.019
森林	.603	.062	<.01
荒地	.160	.040	<.01
建物用地	-.707	.065	<.01
道路	.305	.051	<.01
鉄道	-.394	.077	<.01
その他の用地	-.377	.044	<.01
海浜	-.805	.156	<.01
海水域	.816	.099	<.01
ゴルフ場	-.593	.161	<.01
都市地域	-.742	.050	<.01
市街化区域	-.800	.074	<.01
市街化調整区域	-.490	.072	<.01
その他用途地域	-.190	.078	.015
浸水域	1.885	.076	<.01
定数	-3.268	.109	<.01

Cox-snell R²値=0.170, Nagelkerke R²値=0.349

N=13786(サンプルリンク数)

直轄国道

説明変数	係数	標準誤差	有意確率
直後	6.456	.166	<.01
半年後	.943	.175	<.01
橋梁耐震化率	-.359	.180	.045
森林	.470	.126	<.01
荒地	.250	.108	.021
道路	-.637	.188	.001
市街化調整区域	-.509	.110	<.01
その他用途地域	-.921	.265	.001
定数	-3.767	.252	<.01

Cox-snell R²値=0.584, Nagelkerke R²値=0.817

N=2731(サンプルリンク数)

分析結果（都道府県、市町村管理道路）

都道府県及び市町村管理道路に関するロジスティック回帰分析の結果は次の通り。

都道府県管理道路

説明変数	係数	標準誤差	有意確率
隣接リンク数	-294	.010	<.01
リンク長	2.783*10 ⁴	.000	<.01
直後	3.299	.034	<.01
半年後	1.353	.035	<.01
橋梁耐震化率	-267	.085	.002
電線類地中化率	-2.018	.203	<.01
その他の農用地	.152	.029	<.01
森林	.471	.031	<.01
荒地	.127	.024	<.01
建物用地	-.477	.038	<.01
鉄道	-.214	.053	<.01
その他の用地	-.356	.024	<.01
河川及び湖沼	-.055	.023	.015
海浜	.220	.093	.018
海水域	.600	.070	<.01
都市地域	-.556	.028	<.01
市街化区域	-1.183	.044	<.01
市街化調整区域	-.715	.038	<.01
その他用途地域	-.335	.045	<.01
浸水域	1.284	.052	<.01
定数	-1.719	.054	<.01

Cov-snell R²値=0.292, Nagelkerke R²=0.497
N=23498 (サンプルリンク数)

市町村管理道路

説明変数	係数	標準誤差	有意確率
隣接リンク数	-.240	.006	<.01
リンク長	2.386*10 ⁴	.000	<.01
直後	3.299	.021	<.01
半年後	1.501	.021	<.01
田	.181	.020	<.01
その他の農用地	.156	.018	<.01
森林	.289	.017	<.01
荒地	.143	.017	<.01
建物用地	-.311	.046	<.01
道路	-.091	.020	<.01
鉄道	-.252	.026	<.01
その他の用地	-.254	.020	<.01
海水域	.649	.040	<.01
ゴルフ場	.208	.041	<.01
都市地域	-.288	.023	<.01
市街化区域	-.545	.022	<.01
市街化調整区域	-.361	.023	<.01
その他用途地域	-.237	.026	<.01
浸水域	.850	.029	<.01
定数	-1.315	.051	<.01

Cov-snell R²値=0.290, Nagelkerke R²値=0.403
N=23498 (サンプルリンク数)

強靱化施策以外の要因についての考察

- （当然ではあるものの）発災から間もない時点での破断率が高い。
- 高速道路以外の3種類の道路において、隣接リンクが多いほど、該当道路リンクの破断確率が低い。（隣接リンクが少ない場合、接続先リンクの破断によって当該リンクが利用不可になる可能性が高いため。）
- 「浸水域」が高速道路を除く3種類の道路種別に共通して有意となっており、津波の被害を受けた道路リンクは、破断の確率が高くなるということが示唆された。
- 「市街化調整区域」では、破断確率が低くなる。（開発行為や都市施設の整備が原則行われないことが要因となり、沿道構造物の倒壊などによる道路閉塞被害を受けにくいためと考えられる。）

強靱化施策の効果についての考察

- 「橋梁耐震化率」については、高速道路と都道府県管理道路において有意な負のパラメータを取っており、破断を抑制する効果があることが示唆されている。
- 「電線類地中化率」については、対象が都道府県管理道路に限られるが、同様に有意な負のパラメータを取っており、破断を抑制する効果があることが示唆されている。
- 都道府県管理道路において、「橋梁耐震化率」のパラメータが-0.267、「電線類地中化率」のパラメータが-2.018であり、「1%向上した場合の効果」に着目する限りは、電線類地中化率の方が橋梁耐震化率よりも強い破断抑制効果があることが示唆されている。

※ 直轄国道においては、橋梁耐震化率及び電線類地中化率の両方が説明変数として選択されなかった。また、市町村管理道路においては「強靱化施策対応率」の変数項目データが存在していない。

強靱化施策をさらに推進した場合の効果

推定されたモデルを用いて、電線類地中化や橋梁耐震化の施策をより充実させた場合の道路破断率の変化を推定（感度分析）した。

橋梁耐震化率を10%向上

約65%~91%である橋梁耐震化率を、約75%~100%へと上昇させた場合の、発災直後の破断率の変化は以下のとおり。

道路破断率 (全リンク平均)	道路破断率 (橋梁リンク平均)	道路破断率 (全リンク平均)	道路破断率 (橋梁リンク平均)
40.33%	30.04%	40.29%	28.94%
		▲0.03%ポイント	▲1.10%ポイント

電線類地中化率を10%向上

全国平均約19%である電線類地中化を、約29%へと上昇させた場合の、発災直後の破断率の変化は以下のとおり。

道路破断率 (全リンク平均)	道路破断率 (市街地リンク平均)	道路破断率 (全リンク平均)	道路破断率 (市街地リンク平均)
40.33%	37.09%	34.04%	30.04%
		▲6.30%ポイント	▲7.05%ポイント

まとめと参考

〈本研究のまとめ〉

- 本研究では、東日本大震災時のプローブデータを活用し、様々な条件下における道路リンクの破断確率予測モデル構築を試みた。
- 利用できるデータの制約から、モデル精度にはさらなる向上の課題が残るものの、「橋梁耐震化」「電線類地中化」に一定の効果が損すること等が示唆された。

〈参考情報〉

- なお、本研究の分析を踏まえて、上記プローブデータと同様の確率で道路リンクを破断させるシミュレーションを南海トラフ・首都直下地震に関して行い、SCGEモデルを用いて経済被害を試算したところ、南海トラフ地震で1000兆円、首都直下型地震で600兆円を超える経済被害（20年累計）が予測される結果となった。
- 今後は、道路破断モデルの精度向上を行い、当該モデルと経済被害シミュレーションを密接に連動させた分析を可能にすることが求められる。