

地震対策が企業の操業能力の復旧過程に与えた影響の検討

— 2022年福島県沖地震を例に —

The Impact of Seismic Countermeasures on the Recovery Process of the Production Capacity
- A Case Study of The 2022 Fukushima Offshore Earthquake -

○清水 智・山崎雅人・井出 修・劉 歆・梶谷義雄・多々納裕一

○Satoshi SHIMIZU, Masato YAMAZAKI, Osamu IDE, Huan LIU, Yoshio KAJITANI, Hirokazu TATANO

This study investigated the impact of seismic countermeasures on the recovery process of production capacity using the business survey data following the 2022 Fukushima offshore earthquake. Firstly, the survey data were classified into two groups, the countermeasure group and the non-countermeasure group. Secondly, a dataset was created using propensity score matching to adjust for covariates. Finally, the effectiveness of seismic countermeasure implementation was verified based on the difference between the recovery curves with and without countermeasures. The results showed that countermeasures mainly aimed at early recovery, such as the formulation of a disaster response manual, BCP and securing emergency power supplies or fuel, reduced the expected number of recovery days until full recovery by 1 to 47%.

1. はじめに

企業における地震リスクの把握や定量評価、災害による経済被害推計を考えた場合、対策実施による効果の定量評価手法の確立は非常に重要な課題である。実際の被害データから地震対策の効果を定量評価するため対策実施済の企業群と未対策の企業群のデータを比較する場合、各々のデータ群の初期操業能力（被災直後の操業能力）や復旧期間に影響を与える共変量に大きな違いがあると、一方の復旧期間が過大または過小に評価され対策効果を正しく論じることは難しくなる。

そこで、2022年福島県沖の地震における企業の被災実態に関するアンケート調査結果¹⁾を用い、対策の実施有無別に発災からの経過時間と復旧確率の関係を示すリカバリーカーブを作成し、地震対策の実施が復旧過程に与えた効果を被災直後の初期操業能力に応じた形で定量的に分析した。検討の流れを図-1に示す。

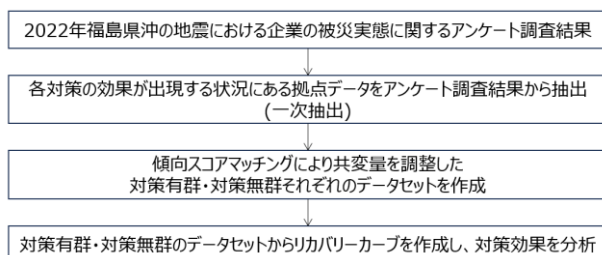


図-1 検討の流れ

2. 検討に用いるデータセットの作成

(1) データの一次抽出

アンケート調査¹⁾の回答うち、地震により操業能力が低下した拠点数は222件であった。これらのデータから各対策の効果が出現する状況にある拠点データを抽出する。これは、被害が軽微な場合、未対策であっても対策済の拠点よりも復旧速度が速いケースも考えられ、対策効果を十分に測ることができない状況を防ぐためである。本研究では各対策の効果が出現する状況を表-1のように設定し、その条件を満たすデータを抽出した。

表-1 対策効果が出現する状況と抽出した拠点数

対策の種類	対策効果が出現する状況	拠点数	
		対策有	対策無
イ) 災害対応マニュアル・BCP策定	震度6弱以上	32	58
ロ) 非常用電源・燃料の確保	停電・燃料不足が発生する状況	25	54

(2) 共変量の調整

本研究では地震対策が復旧過程に与える効果を実際の被害データから計測する。そのためには、結果に影響を与える可能性のある共変量を、対策有群・対策無群のそれぞれのデータで合わせておく必要がある。そこで、本研究では統計的因果推論で利用されている傾向スコア・マッチングによ

り、一次抽出した対策有・対策無それぞれのデータの共変量の分布をあわせたデータセットを作成することとした。傾向スコア $e(\mathbf{X})$ の算出式を式(1)に、マッチングの結果例を表-2に示す。マッチング後のバランス評価は Stuart (2010)²⁾を参考に、標準化差の絶対値が0.25未満かつ分散比が0.5~2.0の範囲内であればバランスが取れているとした。マッチング後のデータ(表-2)はこれらの条件を満たしており、共変量のバランスが採れた対策有・対策無のデータ群が作成され、2群のデータ比較が可能となった。

$$\text{logit}(e(\mathbf{X})) = \alpha + \sum_{i=1}^2 \beta_i \ln(X_i) + \sum_{i=3}^6 \beta_i X_i \quad (1)$$

$\alpha \cdot \beta_i$: 回帰係数、 X_i : 共変量

表-2 マッチング前後の対策有と対策無の各共変量の構成割合・平均値・標準化差(災害対応マニュアル・BCP策定)

共変量	共変量の値 (質的変数の場合は0 内に2値を示した)	マッチング前		マッチング後		標準化 差 (分散比)	標準化 差 (分散比)
		構成割合又は 変数の平均値		構成割合又は 変数の平均値			
		対策有	対策無	対策有	対策無		
ライフライン 復旧日数 R_{ewg} X_1	$R_{ewg} = 0$	0.469	0.466	0.400	0.500	-0.177 (0.696)	-0.088 (0.595)
	$0 < R_{ewg} \leq 3$	0.375	0.259	0.400	0.222		
	$3 < R_{ewg} \leq 7$	0.125	0.138	0.200	0.167		
	$R_{ewg} > 7$	0.031	0.138	0.000	0.111		
	平均値	2.000	2.621	1.950	2.167		
初期操業能力の 状態 $S(0)$ X_2	$S(0) = 0$	0.313	0.190	0.250	0.167	-0.216 (1.331)	-0.195 (1.223)
	$S(0) = 1$	0.063	0.069	0.100	0.111		
	$S(0) = 2$	0.125	0.207	0.100	0.083		
	$S(0) = 3$	0.500	0.534	0.550	0.639		
	平均値	2.813	3.086	2.950	3.194		
震度 X_3	震度6強以上(1)	0.344	0.310	0.350	0.250	0.071 (1.069)	0.220 (1.242)
	震度6弱以下(0)	0.656	0.690	0.650	0.750		
	平均値	0.344	0.310	0.350	0.250		
従業員数規模 X_4	100人以上(1)	0.281	0.086	0.100	0.056	0.520 (2.603)	0.167 (1.755)
	100人未満(0)	0.719	0.914	0.900	0.944		
	平均値	0.281	0.086	0.100	0.056		
業種 X_5	建設業(1)	0.125	0.172	0.200	0.167	-0.134 (0.778)	0.086 (1.179)
	建設業以外(0)	0.875	0.828	0.800	0.833		
	平均値	0.125	0.172	0.200	0.167		
対策ロ 非常用電源・ 燃料の確保 X_6	対策有(1)	0.313	0.259	0.300	0.333	0.119 (1.137)	-0.072 (0.967)
	対策無(0)	0.688	0.741	0.700	0.667		
	平均値	0.313	0.259	0.300	0.333		
データ数(拠点数)		32	58	20	36		

3. リカバリーカーブの作成と対策効果の検討

リカバリーカーブの作成には、セミ・マルコフ過程を適用した。具体的には、表-3に示す状態を操業能力で定義した上で、状態の滞在時間分布を確率分布でモデル化するとともに状態間の推移確率を利用して、リカバリーカーブを作成した。対

策有・対策無それぞれのリカバリーカーブの作成結果の一例を図-2に、復旧日数の期待値を表-4に示した。

表-3 状態と操業能力の関係

経過時間 t における 操業能力の状態 $S(t)$	操業能力PCR[%]の範囲 ※被災前を100%とする
0	$0 \leq PCR < 25$
1	$25 \leq PCR < 50$
2	$50 \leq PCR < 75$
3	$75 \leq PCR < 100$
4	$PCR = 100$

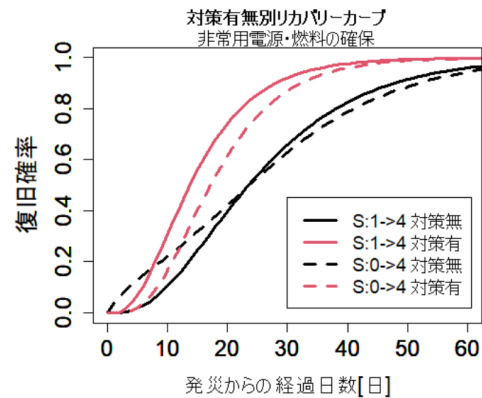


図-2 対策有無別のリカバリーカーブの作成例

表-4 復旧日数の期待値と対策による増減割合

対策	状態推移	0→4	1→4	2→4	3→4
対策イ) 災害対応マニュアル・ BCP策定	対策有	25.83	20.90	14.39	10.04
	対策無	26.14	23.74	18.35	11.06
	増減割合	-1%	-12%	-22%	-9%
対策ロ) 非常用電源・燃料の確保	対策有	19.12	15.75	10.77	6.60
	対策無	26.37	26.81	18.30	12.46
	増減割合	-28%	-41%	-41%	-47%

4. おわりに

被災前の状態(状態4)への復旧を考えた場合、対策の実施により復旧日数の期待値は、対策イ)で1~22%減少、対策ロ)で28~47%減少する結果となり、実際の被害データから対策効果を定量的に示すことができた。また、対策の実施が復旧の早期化に比較的大きな影響を与えていることも確認できた。一方で、今後も他の地震のデータを収集・整理し同様の検討を行うことで、対策効果の定量評価に関する精度向上を図る必要がある。

参考文献

- 1) 清水智ほか(2020) : 2022年3月に発生した福島県沖の地震における企業の被災実態に関するアンケート調査結果, 日本地震工学会年次大会梗概集.
- 2) E. A. Stuart (2010) : Matching Methods for Causal Inference: A Review and a Look Forward, Statistical Science, Vol. 25, No. 1, pp. 1-21.