

第1部門

津波強度レベルによる事業体ベースの復旧プロセス

神戸大学工学部 正会員 ○鋤田 泰子
 神戸大学工学部 フェロー 高田 至郎
 神戸大学工学部 非会員 C.D.K. Parapayalage

1. 研究の目的

平成17年8月に内閣府から事業継続ガイドラインが公開され、企業の中でも災害や事故で被害を受けても重要業務が中断しない、あるいは、中断しても可能な限り短い期間で再開できるように事業継続管理（BCM）が進められている。しかし、業務継続管理を行うには、業務体ベース（施設やライフライン）の損傷程度や復旧過程を把握する必要がある。本研究では、津波被害による事業体ベースの復旧過程を推定する理論モデルを構築し、2004年12月スマトラ島沖で発生した津波で被災したスリランカ南西部の企業を対象に本モデルを適用した。

2. スリランカ南西部における津波被害と復旧過程に関する調査

企業の津波被害と復旧過程に関する調査は、スマトラの地震・津波から9ヵ月後にあたる2005年9月にスリランカ南東部のゴール周辺で事業者と面談する方法で行った。該当地域の経済は、主に漁業と観光サービス業で成り立っている。スリランカでは、有感の地震動はなく、企業は津波だけによる被害を受けた。本調査で得られた回答は54件である。図-1は産業種別ごとに通常業務に至るまでの復旧の進捗状況を示している。ライフライン事業や金融業は津波後1週間から1ヶ月程度で通常業務レベルまで復旧しており、被災していない地域他営業所との連携や保険加入など通常時からリスク管理体制が整っている。一方、建物・設備の損傷だけでなく観光客も減っている観光業やほとんどの船が津波で流出して漁ができずにいる漁業は、半年以上経っても復旧率は上がらないことが知られた。また、企業施設の多くは、海岸から100m以内にあり、政府の規制によって再建も阻まれている。

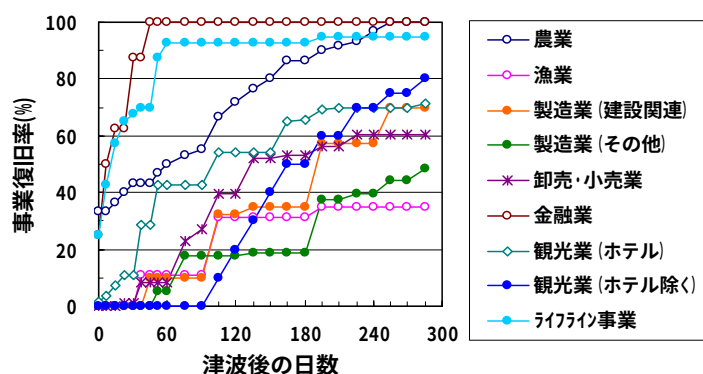


図-1 津波後の各産業の事業復旧率（スリランカ南西部）

3. 企業施設の復旧率推定モデル

事業体ベースとして建物と設備を検討する。現地調査では、浸水高さと建物と設備の損傷率、復旧日数の回答を得ている。調査で得られた回答を統計的に整理して、津波強度による復旧率曲線を算定する。建物や設備の損傷程度が大きくなれば、その復旧日数もかかる。そこで、津波による損傷状態 DS を5段階に分けて、ある津波強度レベル x 下における施設 F_n の損傷状態 DS の発生確率 $P_{F_n}(DS|x)$ と、その損傷状態下での時刻 t での状態復旧率 $R_{F_n}(t|DS)$ との積和で復旧率 $R_{F_n}(t|x)$ が算出できるものとした。

$$R_{F_n}(t|x) = \sum_{DS=1}^5 R_{F_n}(t|DS) P_{F_n}(DS|x) \quad (1)$$

津波外力の主なものは波の流体力であり、首藤¹⁾は津波強度が浸水高さの自乗に比例すると指摘している。ここでは、浸水なし、浸水高さ1m以下、2m以下、3m以下、それ以上の5段階に津波強度レベルを設定し、各津波強度レベルに応じて施設の損傷密度分布を誘導する。建物は構造形式によって耐津波強度も変化することが考えられるが、本研究では回答は全て同じ強度をもつと見なした。損傷密度分布はベータ関数に従うものとして、積率法を用いて関数のパラメータ q , r を設定した。そして、損傷率100, 75, 50, 25, 0%が損傷状態 DS の代表値になるように損傷状態 DS をAからEで設定した。損傷状態 DS の発生確率は損傷密度分布の区間積分で得られる。また、状態復旧率については、各損傷状態 DS の状態復旧密度分布 $r_{F_n}(t|DS)$ は津波からの時間 t に関する

ガンマ分布であるとして、ある時間 t までの累積値と損傷状態 DS の代表値 k_{DS} から算出できるものとした。

$$R_{Fn}(t|DS) = 1 - k_{DS} \left(1 - \int_0^t r_{Fn}(\tau|DS) d\tau \right) \quad (2)$$

表-1, 2 はアンケート結果分析に基づいた建物・設備の津波強度レベルごとの損傷状態 DS の発生確率を示している。建物では、浸水深さ 3m 以上になれば、損傷レベル A の確率は 67%以上になることが分かる。図-2, 3 はある損傷状態における建物と設備の状態復旧率を示している。建物の損傷状態 A, B 以外は凸形の復旧曲線となる。また設備は、損傷状態 A とそれ以外で復旧曲線の傾向が大きく変わることが分かる。

4. ライフライン復旧率推定モデル

ライフラインについても、津波強度レベルによる供給停止確率と復旧曲線を算定する。ATC-13²⁾ではライフラインのシステム特性を考慮して供給停止率を評価する方法があるが、本研究ではシステム特性を考慮せず、津波強度だけで供給停止率を算出する。水道と電力の二つを取り上げ、損傷状態として供給停止の有無の2段階で評価する。図-4 は調査結果を示しており、津波が到達しなかった地域でも 30~50%の確率で供給停止に至っていることが分かる。また、津波が 2m 以上浸水すると電力・水道は 100%供給停止する。屋外メータや屋内管などのシステムの末端にある施設が脆弱なため、津波によって流出、損壊したことが原因であると考えられる。

状態復旧率については、施設と同様にして状態復旧密度分布をガンマ関数で与えて推定した。図-5 は調査から得た観測値と理論モデルによる推定値を示している。地元の水道・電力事業者は津波から 30 日以内で幹線システムの復旧は完了したと報告しているが、需要者側からみた復旧はそれよりも非常に長引いていることがわかる。

5. 津波強度レベルによる事業体ベースの復旧プロセスの関係

津波強度レベルによる施設とライフラインの復旧曲線(図-6, 7)を比較すると、津波強度レベル 1 では、ライフラインの復旧が遅れているが、レベル 4 以上になれば、施設の復旧が遅れることが分かった。今後は、企業の事業復旧率との関係から施設やライフラインが事業継続に与える影響について分析を進めていく予定である。

【参考文献】

- 1) 首藤伸夫：津波強度と被害、津波工学研究報告第 9 号、pp.101-136, 1992,
- 2) ATC : Earthquake Damage Evaluation Data for California, ATC-13, 1985.

表-1 建物損傷状態発生確率

DS	津波強度レベル x (浸水深さ h(m))				
	0 h=0	1 0<h≤1	2 1<h≤2	3 2<h≤3	4 h>3
A	0%	0%	36%	44%	67%
B	0%	1%	15%	18%	9%
C	0%	9%	11%	13%	6%
D	0%	41%	14%	13%	7%
E	100%	49%	24%	12%	11%

表-2 設備損傷状態発生確率

DS	津波強度レベル x (浸水深さ h(m))				
	0 h=0	1 0<h≤1	2 1<h≤2	3 2<h≤3	4 h>3
A	0%	6%	54%	64%	80%
B	0%	6%	2%	11%	12%
C	0%	6%	1%	7%	5%
D	0%	10%	2%	8%	3%
E	100%	71%	42%	11%	1%

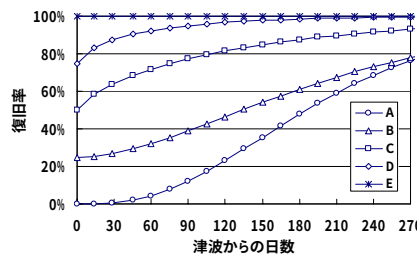


図-2 建物の状態復旧率

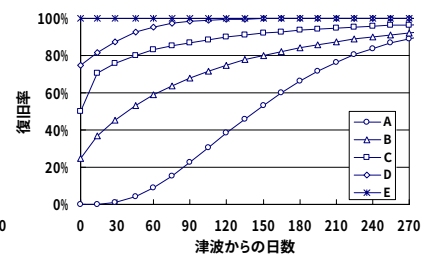


図-3 設備の状態復旧率

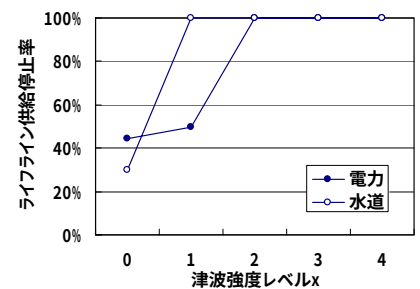


図-4 ライフラインの供給停止率

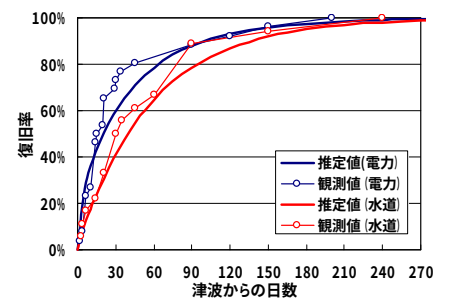


図-5 ライフラインの復旧率

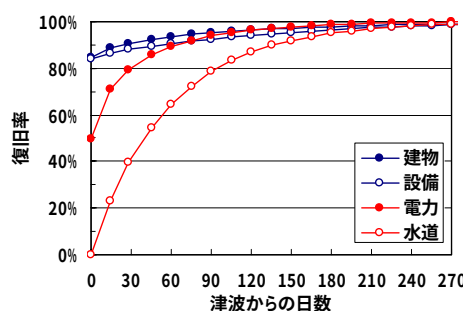


図-6 津波強度レベル 1 (0<h≤1) の復旧率

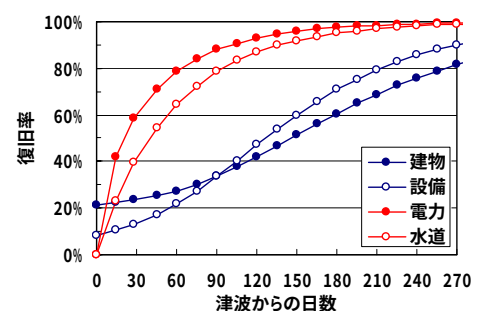


図-7 津波強度レベル 4 (h>3m) の復旧率