

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 28 日現在

機関番号：33302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420566

研究課題名(和文) 事業継続の実効性を高める復旧時間の予測法に関する研究

研究課題名(英文) Study on prediction method of restoration time to enhance effectiveness of business continuity

研究代表者

山岸 邦彰 (Yamagishi, Kuniaki)

金沢工業大学・環境・建築学部・教授

研究者番号：70553189

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：地震などの災害が生じた後に速やかに事業を復旧させることができれば、企業利益に与える影響も少なく、ひいては安定した雇用を維持することができる。事業継続は早期復旧を目指した取り組みであるが、その実効性において疑問がある。本研究は、地震などの災害後の復旧時間を予測できる理論の構築、予測のために必要なデータの収集と整備、および本理論の適用を試みた。その結果、予測理論の構築はできた。また、2011年東北地方太平洋沖地震の後に実施した事業継続アンケート結果を再整理し、本研究期間中に発生した2016年熊本地震の後に事業継続アンケートを実施してその結果をまとめた。これらの2地震の調査結果から有益な情報を得た。

研究成果の概要(英文)：If business can be immediately restored after a disaster such as an earthquake, bad effects of corporate profits are little and furthermore stable employment is maintained. Business continuity is a corporate effort aiming at early restoration, but its effectiveness is questionable. In this research, we attempted to construct a theory that can predict the recovery time after a disaster such as an earthquake, collect and prepare necessary data for prediction, and apply this theory to enterprises. As a result, the prediction theory could be constructed. The results of the business continuity questionnaire conducted after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake were reorganized and the results of the business continuation questionnaire were carried out after the 2016 Kumamoto earthquake that occurred during this research period and summarized the results. We obtained useful information from the investigation results of these two earthquakes.

研究分野：耐震工学

キーワード：立地リスク フラジリティ曲線 ハザード曲線 自然災害リスク 事業環境リスク イベントツリー解析 2011年東北地方太平洋沖地震 2016年熊本地震

## 1. 研究開始当初の背景

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震を筆頭に、自然災害の脅威が高まる中でわが国の企業の脆弱さが露呈され、改めて事業継続の重要性が注目されている。

事業継続は復旧時間の目標値を定めて、災害等が発生した場合にこの目標時間以内に事業を再開させることを対外的に約することが特徴であり、既往の災害対応とは主旨を異にする。しかし、このような事業継続の主旨が一般的に理解されているとは言い難く、目標復旧時間を定めない事業継続計画を策定している事業者も少なくない。また、事業継続を実施するスキルがないことも問題視されている。

実効性の低い事業継続が流布する背景の一つに、復旧時間の予測方法が確立されていないことが挙げられる。復旧時間は災害の種類やレベルに応じて変化するが、災害にともなう被害予測および復旧方法やプロセスが不明確であることが理由である。

一方、この復旧時間を予測する研究に先駆的研究はあるものの、まだ緒に就いたばかりである。しかし、事業者の関心は、各種設備の復旧時間やサービスを提供できる最短時間がどの程度であるかにあり、これらの要望に応えられる既往の研究はほとんどない。山岸・仙名(2012)は生産施設を対象とした操業開始時間の予測方法に関する提案を行った。しかし、これらの研究は生産施設の包括的な概念に基づくプロトタイプを示したものであり、実案件に適用するには不十分である。

現在、政府の言う“国土強靱化計画”はハード面のイメージが先行しているが、事業継続はハード面はもちろんのことだが、意思決定を促進するソフト面での支援も必要である。本研究はソフト面の支援を行うものであり、今取り組むことは適時であると考えられる。

## 2. 研究の目的

近年、自然災害の脅威が高まる中で事業継続計画(BCP)の策定が進められるようになってきた。BCPを策定する上でもっとも重要なことは目標復旧時間(RTO)の推定である。災害発生時にRTO以内に事業を復旧させる必要があるが、復旧時間の予測方法が確立されていない現在、RTOの信頼性は低く、BCPの実効性に疑問が残る。

本研究では、実効性の高い事業継続の普及を目的として、(1)一般人が容易に計算できる復旧時間の予測法の確立を行う。そして、(2)本方法の妥当性を図るべく既往の災害事例と比較検証を行い、各種パラメータの標準値を定める。最後に、(3)本方法をツール化して、一般に公開し、利用者のフィードバックを得ながら予測法の標準化を目指す。

## 3. 研究の方法

(1) 平成 26 年度 (災害時の復旧期間の予測

法に関する理論構築)

復旧に関する要因分析を実施し、災害時の復旧期間の予測理論を確立する。既往の理論ではできなかった要素数が 1,000 以上ある場合の発生確率の計算方法を考案する。

(2) 平成 27 年度 (予測精度の向上および立地リスク予測法の確立)

損傷状況に応じた複数の復旧シナリオを想定した復旧期間の予測方法を構築する。また、当該敷地における立地リスクの予測法を確立する。

(3) 平成 28 年度 (ロジックの修正と実存事業所への適用)

実案件で得られた不具合等の修正を行うと同時に、汎用を目的としたプログラム作成を行う。また、実存事業所に対して本予測法を適用し、顧客満足度等について調査する。

## 4. 研究成果

(1) 災害時の復旧期間の予測法に関する理論構築

i) 予測法の構築

本研究では生産の停止から操業開始までの時間を復旧期間と定義して、4 個の Phase を通した復旧期間の予測法を構築した。

Phase1: 地震動強さの推定

地震環境を考えて当該生産施設で想定すべき地震動強さを推定する。推定方法には種々あるが、最新の地震学の知見を集約した地震ハザードステーション(J-SHIS)の地震動強さに関するデータベースから地震動強さの推定を行う。

Phase2: 重要要素の抽出

重要要素は事業継続における重要業務を遂行するために不可欠な経営資源であり、事業の性質や特徴を鑑み事業主により選定されるべきものである。本来、重要要素には建築物、設備機器の他にも作業を担当する要員やデータなど無形のものも含まれる。ただし、ここでは再調達が可能で有形の資産・消耗品等のみを対象にする。

Phase3: 重要要素の復旧プロセスおよび数量・工種の設定

ある重要要素が滅失した場合に、その機能が完全に復旧するまでのプロセスを明確にした上で、復旧に要する期間を推定する必要がある。本研究では、地震発生後の被災状況確認、点検、発注に至る内部決裁等の手続き上の期間を考慮する。次に、これらのプロセスの復旧に関する数量を設定する。撤去工事、設置工事などの数量の単位は工数(人工)であることが一般的である。一方、外注する機械設備の製造、内部決裁などの数量は工数より日数の方が馴染む場合が多い。また、同時にこれらの各プロセスの工種を設定する。

Phase4: 復旧期間予測法の適用

復旧期間の推定にはイベントツリー解析を準用した計算方法を考案した。一般的なイベントツリー解析では、各イベントで生じる事象を複数分岐させてイベントツリーを構

築し、各シナリオの発生確率にその復旧期間を乗じたものをすべてのシナリオにつき総和することにより確率量としての復旧期間  $T_R$  が計算される。しかし、重要要素数すなわち、イベントの総数が多い場合、シナリオ数が膨大となり、全シナリオの復旧期間の計算量は膨大となる。そこで、本研究では2種の略算法を考える。

第1の方法(評価法1)は、あるイベント  $E_i$  が発生する以降の各シナリオの復旧期間  $t_{ij}$  を、イベント  $E_i$  のみが単独で発生するシナリオの復旧期間  $t_{ij}$  と同一であると仮定して、イベントツリー解析を簡略化することを考える。この場合、シナリオの復旧期間が  $t_{ij}$  より過小な  $t_{ij}$  により評価されるため、 $t_{ij}$  と  $t_{ij}$  の差異が大きい場合には、全体の復旧期間を過小に評価することになる。

第2の方法は、イベント  $E_i$  が初めて発生するシナリオと、イベント  $E_i$  より下位のすべてのイベントが発生するシナリオとの復旧期間の差を  $\Delta t_i$  とし、両者の中間に位置するシナリオの復旧期間をシナリオの順番に対して線形補間することを考えた計算式である。

#### ii) 計算結果

図1に示した模擬生産施設に対する地表最大速度と復旧期間の関係を図2に示す。地表最大速度が大きいほど比例的に復旧期間が長くなる。評価法1は評価法2の結果の約6割程度であり、地表最大速度に対する変化は見られない。神原・林(2008)は2007年新潟県中越沖地震における生産施設の復旧時間に関するアンケート調査から、生産設備の復旧に7日以上要した施設数の割合が、震度5強以下の場合で約6%、震度6弱以上の場合で約35%であったと報告している。これに対して本評価結果は評価法1の場合で約11日、評価法2の場合で19日と復旧期間が有意に長い。これは、本評価法が2分岐のイベントツリーを構成しており、全損の場合に当該設備のすべてを再構築するという仮定に基づいているためと考えられる。

### (2) 予測精度の向上および立地リスク予測法の確立

#### i) はじめに

前項(1)に示した方法論において、各復旧プロセスにおける時間の予測が重要になる。これらの時間は実際の被災経験から得られる統計量が根拠となるため、復旧期間の予測精度の向上のためには実際の復旧状況の把握が重要になる。近年、大地震や暴風、豪雨などの自然災害の増大により事業を中断する企業の増加、サプライチェーンの高度化を背景として、事業継続に対する関心が高まっている。事業中断の理由は種々あるが、大地震が発生した場合の事業継続に関する実態調査は少ない。そこで本研究では2011年東北地方太平洋沖地震における企業のアンケート結果を基に、復旧時間の長さに寄与する事業中断因子の抽出とその影響度を定量的

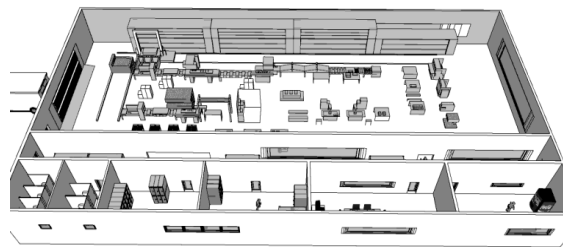


図1 模擬生産施設の鳥瞰図

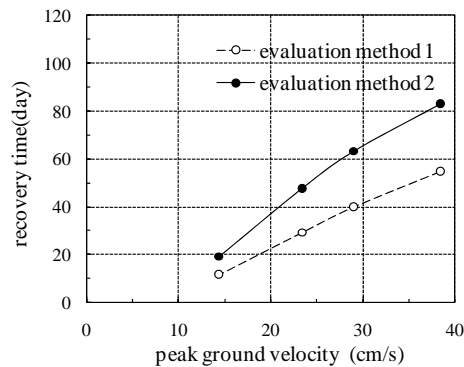


図2 地表最大速度と復旧期間の関係

に把握した。

#### ii) アンケート調査の概要

本研究では、2011年に実施した北林ほか(2012)のアンケート調査結果を基に事業所の復旧時間を分析した。表1にアンケート調査の実施概要を示す。本調査では、災害の影響が大きく、事業継続に対する意識が高い生産施設を対象としている。アンケートの配布先は、沿岸地域を除く8県に所在する事業所のうち、当該地域における気象庁震度が5弱以上と推定される事業所である。事業所の所在地は、インターネットの公開情報を用いた。

アンケート調査では震災に関連した様々な質問をしているが、操業率の時間変化を図化してもらったことが本調査の特徴である。また、23個の「操業中断または操業度低下理由」から選択してもらったと同時に、それらの原因が除去されるまでの時間を記載してもらった。

表1 アンケート調査の実施概要

項目	内容
目的	2011年東北地方太平洋沖地震における生産施設の被害と復旧状況の把握
実施期間	2011年9月1~9月30日
対象	震度5弱と推定される地域にある生産事業所
配布先	岩手県、宮城県、福島県、栃木県、群馬県、茨城県、千葉県、埼玉県
配布数	2,150通
回答数	267通(回答率:12.4%)
形式	無記名方式(選択・記述)
調査実施者	金沢工業大学 地域防災環境科学研究所 山岸邦彰研究室

#### iii) 事業中断因子に関する分析

ここでは、これらの共通因子と復旧時間の関係を把握するため、因子分析を適用して事業中断因子を抽出する。因子分析には統計分析ソフト R を使用し、因子軸の回転には

Varimax 回転を適用した。共通因子数は、カイ二乗検定統計量の p 値が 0.05 以上、累積寄与率が 0.5 以上となる最小の因子数とし、各因子の命名は因子負荷量が 0.5 以上となる要素から想像される単語を使用した。

表 2 に抽出された事業中断因子を、因子負荷量の値が高い順に示す。また、各因子にはその代表的な要素を示している。上位 5 要素のうち Factor1, 2, 4 は生産に関する要素であるが、Factor3 は建築躯体および仕上げに関する要素である。生産設備のみならず躯体や仕上げの健全性も事業継続に重要な要因となっている。なお Factor 9, 10 の因子名は、因子負荷量が 0.5 を超える数値が得られなかったため、数値の高い要素から想像される単語を使用し、命名した。

図 3 に事業中断因子の名称とそれぞれの寄与率を示す。寄与率は、生産インフラ 15.7%、所外インフラ 11.0%、建築物 8.2%となっている。10 因子の寄与率の合計は 65.2%であり、突出した因子はあまり見られない。

表 2 事業中断因子

因子	因子名	主な因子内要素
Factor 1	生産インフラ	生産設備, 電気, 空(蒸)気配管等
Factor 2	所外インフラ	ガス, 電気, 水道供給の停止
Factor 3	建築物	構築躯体, 建築仕上の損傷
Factor 4	排水・水道	排水, 水道管の損傷
Factor 5	従業員不出社	従業員不出社
Factor 6	ガス	ガス配管の損傷
Factor 7	建築設備	建築設備の損傷
Factor 8	材料	材料等の損傷
Factor 9	その他インフラ	薬液等の損傷
Factor 10	貯蔵設備	貯蔵設備の損傷

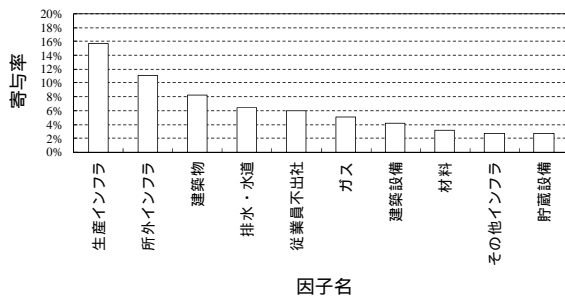


図 3 事業中断因子に対する寄与率

### (3) ロジックの修正と実存事業所への適用 i) はじめに

ここでは、前項(2)の結果を用いて、復旧期間予測法における統計値の修正と、本予測法の適用を目的としていた。しかし、2016年4月に熊本地震が発生したことにより、本地震に関する復旧に関する調査を優先させた。そのため、実存する事業所への適用のための調整が遅れ、本研究期間中の適用が困難となった。ここでは、急遽実施した 2016 年熊本地震における調査結果についてその概要を述べる。なお、事業所への予測法の適用については本研究期間後に調整しており、平成 29 年度の実施を考えている。

2005 年に事業継続ガイドライン(第 1 版)が公表されてから約 5 年後に 2011 年東北地方太平洋沖地震、約 10 年後に 2016 年熊本地震が発生した。その間に事業継続の考え方は官民間わず浸透したと考えられる。そこで、2011 年と 2016 年との間に企業の事業継続に関する意識や実行力の変化を確認することは重要である。そこで、前述したアンケートと同一のアンケートを 2016 年熊本地震発生後に対しても実施した。アンケートの実施は発災後約 6 ヶ月後とし、これも 2011 年のアンケートと同様である。アンケートの回答期間は 2016 年 9 月 17 日~10 月 31 日、対象は熊本県に所在する生産施設を有する会社である。配布数 1,235 通に対して回答数は 169 通(回答率 13.7%)であった。

### ii) 操業率の復旧曲線

図 4 に回答のあった全事業所の復旧曲線と操業率が一時 0 となった事業所の復旧曲線(以下、操業率 0)の各平均値を 2011 年と比較してそれぞれ示す。2016 年は 2 曲線に 0.05~0.35 の乖離があるが、2011 年はその乖離が小さい。また、2016 年は 2 日後に、2011 年は 27 日後に操業率が低下する部分があるが、前者は 2016/4/16(M7.3)、後者は 2011/4/7(M7.4)の地震の影響である。操業率 0 の復旧曲線を見ると、2016 年より 2011 年の方が初期の操業率の回復が早いだが、50 日後の操業率は約 0.8 とほぼ等しい。

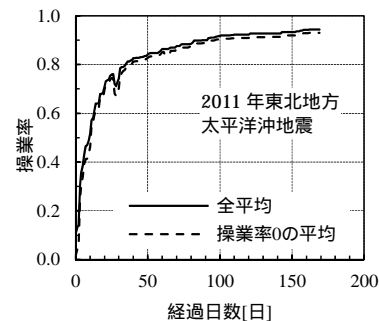
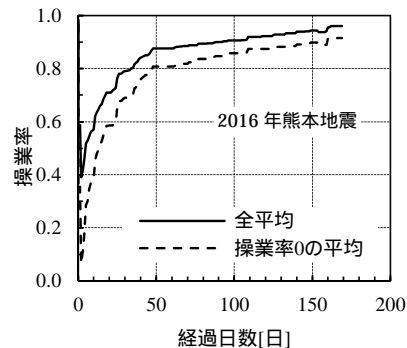


図 4 各地震の復旧曲線

### ii) 事業中断要因と復旧日数の関係

図 5 に事業中断要因とその要因の復旧に費やした平均日数を示す。要因を事業所内外に分類し、2016 年の復旧時間の長い要因順に整理した。事業所内の要因については、BCP の発動により中断したものを除くと建築仕上

げ、躯体、建築設備等、建築に関わる復旧の平均時間が長いことが分かる。2011年では生産設備（貯蔵）、インフラ（原料、粉体）の復旧時間が長いが、2016年と同様に建築に関わる復旧時間が長い。事業所外の要因については、サプライチェーン企業の事業中断、交通網の遮断が両地震ともに長いことが分かる。これらの主要な事業中断要因の復旧時間は2011年よりも2016年の方が長い。

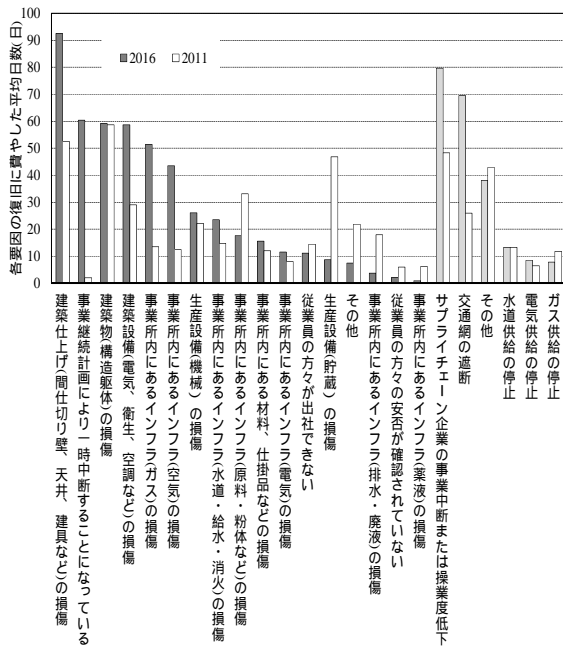


図5 事業中断要因とそれらの復旧時間の平均値

< 引用文献 >

山岸 邦彰, 仙名 修二, 生産施設を対象とした事業継続管理における復旧期間の簡易予測方法の提案, 日本建築学会構造系論文集, Vol.77, No.675, 2012.5, pp.783-790  
 国立研究開発法人防災科学技術研究所, 地震ハザードステーション  
 神原 浩, 林 康裕, 2007年新潟県中越沖地震に置ける生産施設の機能被害とその要因分析, 日本建築学会技術報告集, Vol.14, No.28, 2008.10, pp.669-673  
 北林 昂祐, 藤原 孝, 山岸 邦彰, 2011年東北地方太平洋沖地震における生産施設の地震被害と事業継続の現状, 日本建築学会北陸支部研究報告集, Vol.53, 2012.7, pp.19-22

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1件)

佐々木 亮, 山岸 邦彰, 積載物の滑動を利用した構造物の地震応答低減効果に関する基礎実験, 構造工学論文集, 査読あり, Vol.63B, 2017, p.303-316

〔学会発表〕(計 10件)

道下 友哉, 山岸 邦彰, 2016年熊本地震における事業継続アンケート調査 その1 操業率の復旧曲線と事業中断要因, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, 2017.9.1, 広島工業大学(広島県・広島市)

山岸 邦彰, 道下 友哉, 2016年熊本地震における事業継続アンケート調査 その2 被害率曲線, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, 2017.9.1, 広島工業大学(広島県・広島市)

今田 拓実, 佐々木 亮, 山岸 邦彰, 積載物の滑動による1層鋼製弾塑性フレームを用いた地震応答低減効果に関する基礎実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, 2017.9.1, 広島工業大学(広島県・広島市)

佐々木 亮, 今田 拓実, 山岸 邦彰, 柱RC梁S造およびS造の倉庫建築物に対する積載物の滑動による応答低減効果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, 2017.9.1, 広島工業大学(広島県・広島市)

佐々木 亮, 山岸 邦彰, 積載物の滑動による3層鋼製フレームの地震応答低減効果に関する基礎実験, 日本建築学会北陸支部大会, Vol.60, 2017.7.9, 信州大学(長野県・長野市)

山岸 邦彰, 2016年熊本地震における事業中断と操業度の復旧曲線, 日本建築学会北陸支部大会, Vol.60, 2017.7.9, 信州大学(長野県・長野市)

畦 直人, 野田 博, 作田 美知子, 佐々木 亮治, 山岸 邦彰, 外装材の部材耐力に基づいた強風災害リスク評価 その4 各種荷重条件を用いたリスク評価事例, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-1分冊, 2016.8.6, 福岡大学(福岡県・福岡市)

中井 雄也, 山岸 邦彰, 工場立地に起因する操業に関わるリスク評価に関する研究 地震時の物流リスクと宅地化リスクの評価, 日本建築学会北陸支部大会, Vol.58, 2015.7.13, 長岡技術科学大学(新潟県・長岡市)

山岸 邦彰, 積載物による建築物の地震応答低減効果に関する解析的研究, 日本建築学会北陸支部大会, Vol.58, 2015.7.13, 長岡技術科学大学(新潟県・

長岡市)

山岸 邦彰, 2011 年東北地方太平洋沖地震における生産施設の事業中断因子に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-1 分冊, 2014.9.12, 神戸大学(兵庫県・神戸市)

〔その他〕

ホームページ等

<http://kitnet.jp/laboratories/lab0135/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山岸 邦彰 (YAMAGISHI, Kuniaki)

金沢工業大学 環境・建築学部 教授

研究者番号: 70553189