

博士論文

産業部門を対象とした

水害の経済影響評価に関する研究

指導教官 多々納 裕一 教授

京都大学大学院情報学研究科
博士課程社会情報学専攻

黒田 望

令和6年3月

産業部門を対象とした水害の経済影響評価に関する研究

黒田 望

内容梗概

近年、大規模な水害が頻発しており、経済的な被害も甚大なものとなっていることから、その対策が重要視されている。水害対策を検討する上で、どの程度の浸水が生じるかという議論と、浸水の結果として、どの程度の被害が生じるのかという議論が必要となる。前者については、氾濫シミュレーション技術の発展等により、今後進んでいくものと考えられる。後者の、浸水の結果として生じる被害を考える場合、それが生じた場合にどの程度の蓄えが必要なのか、また、何らかの対策を行ったうえで被害が軽減されるとして、対策に要する費用と軽減された被害をどのように比較して、対策実施の有無を判断すればいいのか、といった問題が生じる。こういったことを踏まえると、水害に限らず災害による被害は被害額として把握できることが望ましい。

こういった水害による被害のうち、産業部門における経済被害は、浸水による建物や設備の損傷に加えて、水害の結果として生じる二次的な被害（ライフラインの停止、サプライチェーンの寸断、周辺地域の需要の低下等）が事業所の経済活動に影響を及ぼし、その推計には課題が多い。例えば、従来の推計手法では、主に浸水深を基に推計しているが、近年、ライフラインの停止、サプライチェーンの寸断、周辺地域の需要の低下等による経済被害も報告されており、浸水以外の要因を踏まえた被害額推計モデルの策定が求められている。また、水害の被害にはばらつきがあり、平均値では過小評価となるリスクがあることから、確率分布を適用したモデルの導入も必要となる。さらに、過去の被害実績を基にした推計モデルの作成が行われているものの、既往の推計モデルとの比較が十分に行われていないといった課題がある。

こういった状況を踏まえて、本論文では、産業部門を対象として、水害による経済被害を統合的かつ確率的に評価するモデルを作成し、平成30年7月豪雨における被災地域を対象に適用を試みた。

第2章では、自然災害による経済被害推計に関する既往研究を踏まえて、本論文で採用する経済被害の評価方法を示した。具体的には、企業に生じる経済被害は、営業利益減少額に復旧費用を合計することで推計できるというものである。また、個別の災害を対象として、様々な手法により研究が進められてきた既往の被害額推計モデルを確率分布の適用手法の観点で分類した。

第3章では、復旧費用の推計モデルを作成した。フラジリティ曲線を用いて確率的に復旧費用を推計するモデルで、期待値曲線から算出した復旧費用を既往の推計モデルによる結果と比較し、その適用性を確認できた。

第4章では、営業利益減少額の推計モデルを作成した。事業所の売上回復過程を生存分析の手法を用いて推計するモデルである。ライフライン被害、事業所の資金の状況等が説明変数として導入できることを示し、さらに、中間水準までの回復日数も含めた推計が可能であることを示した。また、回復過程から得られた売上被害を実際の被害や既往の推計モデルによる結果と比較し、その適用性を確認できた。さらに、売上減少額から営業利益減少額へ変換する際の考え方について整理した。

最後に、第5章では、第3章及び第4章で作成した推計モデルを平成30年7月豪雨において被害を受けた岡山県倉敷市真備地区及び広島県呉市に対して適用した。既往の推計結果と比較すると、設定条件の差異により浸水深が大きくなると復旧費用が低く推計された。また、既往の推計モデルでは考慮できない長期のライフライン被害の影響や未浸水箇所におけるライフライン被害の影響等を考慮して推計した結果、営業利益減少額は高く推計された。また、営業利益減少額については、説明変数ごとの寄与率を定量的に示すことができ、浸水による直接的な影響とライフライン被害等による間接的な影響を把握することができた。

本論文を通じて得られた結果は、水害が発生した場合の産業部門への経済影響を事後的に評価するものである。さらに、推計モデルを用いて、今後想定される水害に対する被害額及び想定される対策の効果等を示すことができる。ライフライン被害、資金の状況等を反映しているため、今まで以上に詳細な条件で推計できるとともに、確率分布を設定した幅を持った推計が可能である。また、本論文では、水害に関する被害実績調査に始まり、推計モデル作成、既往推計モデルとの比較、実災害への適用までの一連を実施しており、水害に関する経済影響評価の枠組みを提示できた。今後、産業部門を対象とした水害の経済影響評価に関する研究においては、推計モデルの高度化とともに、各推計モデルの比較手法の確立、経済影響評価の枠組みの最適化等が求められる。

Analysis of Estimation on Economic Impacts in Industrial Sector Caused by a Flood Disaster

Nozomu KURODA

Abstract

In recent years, the increasing frequency of large-scale flood disasters and the resulting serious economic impacts caused by them make it more important to implement countermeasures to reduce flood damages. When considering the countermeasures against flood damages, it is necessary to discuss the following questions : what is the extent of flooding that occurs, and what level of damage will be caused by that flooding. The former is expected to progress with developments in flood simulation. The latter, the damage caused as a result of flooding, raises two problems. The first problem is how much storage will be required if it occurs. The second problem is, assuming that damage can be reduced by taking some countermeasures, how to compare the costs required for the countermeasures and the mitigated damage to decide whether or not to implement countermeasures. Given these problems, it is preferably to interpret any damage - including flood damage as well as damages from other natural disasters - in relation to the damage costs.

Among the impacts caused by flooding, the estimation of the economic impacts in the industrial sector presents many challenges because, in addition to the damage to buildings and equipment, the secondary damage (lifelines disruptions, supply chain interruptions, decreased demand in surrounding areas, etc.) affects the economic activities of business establishments.

For example, in previous estimation methods, estimation was generally based on the inundation depth; however, the economic impacts due to the secondary damage as above have been also reported in recent years, and thus a damage estimation model that considers various factors other than inundation is required. In addition, because of the variability of the flood damage and the risk of underestimating the average value, it is necessary to introduce a model that applies a probability distribution. Although estimation models have been developed based on past disaster experiences, estimated results are often

inadequately compared with other estimates.

This paper aims at developing a model for consistently and probabilistically estimating economic impacts caused by floods in industrial sectors. The model is then attempted to be applied to the case of the heavy rain event of July 2018.

Chapter 2 explains the method to evaluate the economic impacts employed in this paper based on previous research. Specifically, the economic impacts can be estimated by adding the decline in the business profit to recovery costs. The previous damage estimation models for individual disasters are also classified in terms of the application method of probability distribution.

Chapter 3 proposes a model for estimating recovery costs. This model probabilistically estimates the recovery cost ratio (the percentage of the recovery costs in the total business's assets) using fragility curves for each inundation depth. In addition, the applicability of the model was confirmed by comparing the recovery costs calculated from the expected value curve with the results of the previous estimation model.

Chapter 4 proposes a model for estimating the decline in the business profit. The model estimates the sales recovery process after a flood disaster using a survival analysis for the recovery time. It was revealed that the lifelines disruption and the financial situations could be introduced into the estimation model, and that the modeling of the recovery time of sales loss to several intermediate levels was also possible. In addition, it was confirmed that the total sales damage estimated with this evaluation model was comparable to the actual damage replied in a survey and to that estimated with the previous model. The concept of converting the sales loss to the decline in the business profit was also discussed.

Chapter 5 assesses the economic impacts in the industrial sector in Mabi area, Kurashiki City, Okayama Prefecture and Kure City, Hiroshima Prefecture, after the heavy rain event of July 2018, using the methods proposed in Chapter 3 and 4. Compared with the previous estimation results, the recovery costs were estimated to be lower for larger inundation depths due to the difference in the estimation assumption. The decline in the business profit was estimated to be higher than that of the previous model, because the quantitative analysis of negative factors such as long-term lifeline disruptions as well as lifeline

disruptions in unflooded areas, which were not considered in the previous model, was conducted. Concerning the decline in the business profit, the contribution ratio of each explanatory variable to the decline could be quantitatively demonstrated, allowing for the direct impact of flooding and the indirect impact of damage to lifelines, etc. to be analyzed.

The results obtained in this thesis are an ex-post assessment of the economic impacts in case of flood disasters. The economic impacts and the effects of countermeasures can be clarified for possible future flood disasters with the current estimation models. Reflecting the lifeline disruptions and the financial status, the model can provide estimation results of the economic impacts under more detailed situations than before. The model can also provide a range of estimation results, using multiple probability distributions. This paper presents a framework for economic impact assessment of flood disasters, starting with a survey of the actual damage, followed by the development of an estimation model, the comparison with previous estimation models, and application to actual disasters. In future studies on the economic impact assessment of flood disasters in the industrial sector, the development of more advanced estimation models, the establishment of a comparison method for each estimation model, and the optimization of the economic impact assessment framework will be required.

産業部門を対象とした水害の経済影響評価に関する研究

目次

第1章 序論	1
1.1 緒言	1
1.2 平成30年7月豪雨の概要	5
1.3 論文の構成	7
第2章 経済影響評価の方法論について	9
2.1 はじめに	9
2.2 統合的な評価方法に基づく経済被害推計の方法論	9
2.3 既往研究の整理	10
2.3.1 復旧費用の推計方法	10
2.3.2 営業利益減少額の推計方法	14
2.4 アンケート調査の概要	20
第3章 復旧費用推計モデルに関する研究	25
3.1 はじめに	25
3.2 本研究の基本的な考え方	26
3.2.1 データの概要	26
3.2.2 復旧費用率及び復旧費用の推計方法	29
3.3 復旧費用の推計	33
3.3.1 復旧費用率を対象としたフラジリティ曲線の推計	33
3.3.2 復旧費用率の期待値	37
3.3.3 復旧費用の期待値	37
3.4 復旧費用に影響を与える要因の把握	39
3.5 既往研究との比較	43
3.5.1 復旧費用率の比較	43
3.5.2 復旧費用の比較	46
3.6 おわりに	47
第4章 回復過程推計モデルに関する研究	49

4.1	はじめに	49
4.2	本研究の基本的な考え方	50
4.2.1	データ及び推計方法の概要	50
4.2.2	回復曲線の推計方法	54
4.2.3	回復過程の推計方法	59
4.2.4	売上減少割合の推計方法	59
4.3	売上に関する減少率の推計	60
4.3.1	売上に関する回復日数の推計	60
4.3.2	売上に関する回復日数の確率分布	70
4.3.3	売上回復過程の推計	72
4.3.4	売上被害の検証	75
4.4	既往研究との比較	76
4.5	売上減少額から営業利益減少額への変換	78
4.5.1	売上と営業利益の関係	78
4.5.2	売上変動費率の計量	80
4.6	おわりに	82
第5章	産業部門における経済被害の集計法に関する研究	84
5.1	はじめに	84
5.2	集計の基本的な考え方	85
5.2.1	平成30年7月豪雨における条件の設定	85
5.2.2	メッシュ単位での推計	88
5.3	経済被害の推計及び既往研究との比較	89
5.3.1	経済被害の総額について	89
5.3.2	復旧費用について	91
5.3.3	営業利益減少額について	92
5.3.4	営業利益減少額の内訳について	93
5.3.5	仮想的なシナリオの分析について	95
5.4	おわりに	96
第6章	結論	97
	謝辞	99

参考文献	101
付録 A. 回復過程推計モデルの検討経過	109
付録 B. アンケート調査票	113
B.1 製造業	113
B.2 非製造業	121

第1章 序論

1.1 緒言

ひとたび大きな水害が発生すると、生命、身体に危機が生じ、その後の人々の生活にも多大な影響を及ぼす。こうして生じた様々な被害が社会経済活動に与える影響は、計り知れないものとなる。さらに、近年、国内外で大規模な水害が頻発している。国内では、表 1-1 に示したように、毎年のように災害をもたらす水害が発生している。また、海外に目を向けると、カリフォルニア州を襲った長期間の豪雨（2022 年 12 月）、フロリダ州に上陸した大型ハリケーン「イアン」（2022 年 9 月）、タイ各地での洪水（2022 年 9 月）等が報告されており、甚大な被害をもたらしている。今後も地球温暖化の進展等、環境の変化に伴い、さらに大規模な水害の発生も想定される。

このような状況を踏まえると、水害による被害軽減のために、様々な対策が検討されるべきである。水害対策を検討する上で、将来的にどの程度の浸水が生

表 1-1 近年の災害をもたらした水害（気象庁 HP [1]より抜粋）

令和 4 年（2022 年）	期間	概要
令和 4 年台風第 15 号による大雨	9 月 22 日 ～9 月 24 日	東日本太平洋側を中心に大雨。特に静岡県や愛知県で猛烈な雨や非常に激しい雨。
令和 4 年台風第 14 号による暴風、大雨等	9 月 17 日 ～9 月 20 日	九州を中心に西日本から北日本の広い範囲で暴風となり、海では猛烈なしけや大しけ。
8 月 1 日から 6 日の前線による大雨	8 月 1 日 ～8 月 6 日	北海道地方や東北地方及び北陸地方を中心に記録的な大雨。
令和 3 年（2021 年）	期間	概要
前線による大雨	8 月 11 日 ～8 月 19 日	西日本から東日本の広い範囲で大雨。総降水量が多いところで 1200 ミリ超。
7 月 1 日から 3 日の東海地方・関東地方南部を中心とした大雨	7 月 1 日 ～7 月 3 日	東海地方・関東地方南部を中心に大雨。静岡県熱海市で土石流が発生。
令和 2 年（2020 年）	期間	概要
令和 2 年 7 月豪雨	7 月 3 日 ～7 月 31 日	西日本から東日本、東北地方の広い範囲で大雨。4 日から 7 日にかけて九州で記録的な大雨。球磨川など大河川での氾濫が相次いだ。
平成 30 年（2018 年）	期間	概要
平成 30 年 7 月豪雨（前線及び台風第 7 号による大雨等）	6 月 28 日 ～7 月 8 日	西日本を中心に全国的に広い範囲で記録的な大雨。

じるかという議論と、浸水の結果としてどの程度の被害が生じるのかという議論が必要になる。前者の浸水の程度に関しては、気象シミュレーションや浸水シミュレーションのさらなる発展により、正確に把握できるようになると想定される。近年発生している浸水被害が、過去に作成したハザードマップ（浸水予想図）と酷似していたという例もあり、技術の進歩がますます期待されている。一方で、後者の、浸水の結果として生じる被害を考える場合、一次的な被害として、人的被害、浸水した土地の面積、建物の棟数等が考えられる。これらは、水害の被害の大きさを語るうえで分かりやすい指標となる。しかし、水害が生じた場合に、どの程度の蓄えが必要なのか、何らかの対策を行い被害が軽減されるとして、対策に要する費用と軽減された被害をどのように比較して実施の有無を判断すればよいのか、といった問題は依然として残っている。さらに、二次的な被害と

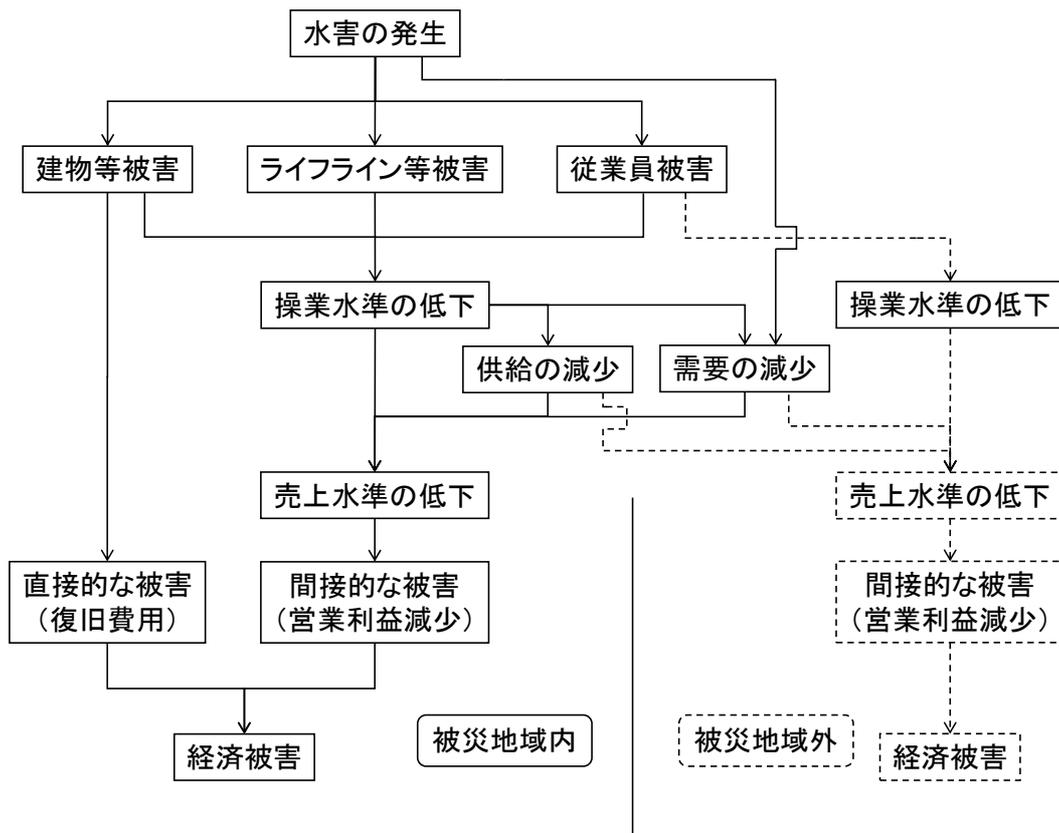


図 1-1 水害における経済被害の概要

して、ライフラインの停止、サプライチェーンの寸断、事業所の経済活動への影響等、水害が引き起こす様々な影響も被害であり、これらの対策も検討されるべきである。これらの各種被害について、将来の災害に対する被害想定や減災対策の戦略立案における活用、保険や事前の資金準備等の検討、費用便益分析等への活用を考えると、被害額により定量的に表現しておくことが望ましい。また、平成 25 年版防災白書 [1]によると、世界的にも自然災害による死者数は減少しているものの、被害額は上昇の傾向がある。その中でも、産業部門の経済被害については、図 1-1 に示すように、事業所の建物や設備の浸水被害、ライフライン被害の間接的な影響、周辺の需要低下の影響、取引先の被災による部品供給の停滞等、様々な影響因子があり、定量的な推計には課題が多い。

産業部門の経済被害を定量化するにあたって、理論的なモデルと被害実績を基にするモデルが考えられる。水害に限らず災害全般について、被害が生じるメカニズムや要因の多様さ等が原因と考えられるが、完全に理論的なモデルが作成されることは少なく、アンケート調査等により把握した被害実績を基に被害推計モデルが作成されることが多い。そのため、被害額の推計モデルは、産業部門における状況の変化、例えば、IT 機器の導入、サプライチェーンの重要さの高まり、水害対策の進展、製造業における精密機械の導入や自動化の進展等を考えると、継続的な調査が必要であると考えられる。一方、近年、我が国で大きな被害をもたらした水害である平成 30 年 7 月豪雨（概要は 1.2 参照）の被害実績に関する研究は多数行われているものの、被害実績を踏まえた産業部門の経済被害を推計するモデル作成については、十分に行われていない。筆者の調査した限りでは、国内において防災経済コンソーシアム [2]による推計モデルが確認されているが、他の推計モデルは見当たらない。

また、前述したように、産業部門の経済被害は、産業ごとの特性、事業所の建物や設備の浸水被害、ライフライン被害の間接的な影響、周辺の需要低下の影響、取引先の被災による部品供給の停滞等、影響する要因が多く、これらすべてを説明変数として含めたモデルを作成することは容易ではない。そのため、各研究において作成された推計モデルにも、一長一短があるのが実情である。

さらに、これもまた災害全般に言えることであるが、災害による被害は不確実性が強く、ばらつきが大きい。例えば、地震時の建物被害に関して、吉川ら [3]は、ばらつきの原因として、建物に対する地震動の推定誤差、建物の耐力のばら

つき等を指摘している。水害に関しても同様に、建物に対する浸水深や流体力の推定誤差、建物の浸水による損傷のばらつき等が想定される。また、損傷の度合いを被害額に換算する場合、換算のための係数のばらつき等も存在する。そのため、過去の被害実績を基に平均値等で被害額を推計すると、過小評価となるリスクもある。こういった点を踏まえると、被害のばらつきを踏まえた確率分布を設定し、信頼区間等を利用した幅を持った推計を行うことも有用である。ただし、確率分布を有する推計モデルは、その複雑さに加えて、前述したようなそれぞれのモデルが有する説明変数の差異もあり、モデル間の比較が難しい。

大きな災害が発生するたびに、被害実績の調査が行われ、被害額に限らず、被害を推計するモデルは各種作成されている。一方で、こういった被害の推計モデルを既往の推計モデル等と比較し、安定性等を検証することは十分に行われていない。水害被害の定量的な推計方法として、治水経済調査マニュアル [4]が公開されており、河川事業等の事業評価、毎年の水害被害を計測する水害統計等に広く使用されている。当該マニュアルでは、産業部門の経済被害の推計に当たって、浸水深区分別の被害率等を用いており、簡便である反面、前述したライフライン被害等の影響や被害のばらつきを考慮した推計は困難である。また、被害率等は、平成 5 年（1993 年）～平成 29 年（2017 年）の水害実績に基づき設定しており、近年の産業部門における状況の変化が反映されているかどうかの検証は行われていない。以上のように、当該マニュアルにもいくつかの検討事項はあるが、新たな水害に関する被害実績に関する研究で、こういった既往の被害額推計モデルとの比較、検証は十分に行われていない。

以上を踏まえて、本論文では、水害に関して、災害直後から復旧がなされるまでの各企業の経済被害総額を推計する方法を提案し、実際の災害に適用することで推計方法の検証を行った。具体的には、まず、近年、我が国で大きな被害をもたらした水害である平成 30 年 7 月豪雨により被害を受けた事業所に対してアンケート調査を行った。さらに、産業部門の経済被害を推計するモデルを作成した。最後に、経済被害推計モデルを用いて平成 30 年 7 月豪雨の経済被害を算出し、モデルの検証を行った。

本論文が産業部門を対象とした水害の経済影響評価に関して行った貢献としては、ライフライン被害、資金の状況等を反映している推計モデルであるため、今まで以上に詳細な条件で推計できることがある。また、様々な確率分布を検証

し、最適な確率分布を設定しているため、信頼区間等を用いた幅を持った推計が可能である。推計モデルについては、既往の推計モデルや実際の被害との比較を行い、その適用性を検証している。さらに、水害に関する被害実績調査に始まり、推計モデル作成、既往推計モデルとの比較、実災害への適用までの一連を実施しており、水害に関する経済影響評価の枠組みを提示していることがある。

1.2 平成 30 年 7 月豪雨の概要

平成 30 年（2018 年）6 月以降、西日本を中心として全国的に広い範囲で記録的な大雨が発生した。6 月 28 日～7 月 8 日までの総降水量が、四国地方で 1,800mm、中国地方で 500mm を超えるなど、7 月の月降水量が平均値の 2～4 倍となる大雨になった地域があった [5]。この降雨により、岡山県、広島県、愛媛県他、全体で 1 府 10 県に特別警報が発表されるとともに、長時間の降水量について多くの地点で観測史上の第 1 位を更新した [6]。

表 1-2 平成 30 年 7 月豪雨と東海豪雨における被害の比較

	平成 30 年 7 月豪雨 [3], [4], [6], [7], [8]	東海豪雨 [9], [10]
人的被害	死者 237 名 負傷者 433 名	死者 10 名 負傷者 115 名
住家被害	全壊 6,767 棟 半壊 11,243 棟 床上浸水 7,173 棟 床下浸水 21,296 棟	全壊 31 棟 半壊 172 棟 床上浸水 22,894 棟 床下浸水 46,943 棟
ライフライン被害	断水：最大 263,593 戸 停電：最大 75,300 戸 道路通行止め： 最大 63 路線 77 区間 (山陽自動車道等) 鉄道運転規制：最大 115 路線 (山陽新幹線等)	断水：最大 3,386 戸 停電：最大 32,500 戸 道路通行止め：最大 219 箇所 鉄道運転規制：最大 22 路線 (東海道新幹線等)

これらの豪雨の結果、西日本を中心に、広域的かつ同時多発的に、河川の氾濫、がけ崩れ等が発生し、表 1-2 に示すように、極めて甚大な被害が広範囲で発生

した。平成30年7月豪雨の被害について、過去の大規模な豪雨災害である東海豪雨（平成12年9月11日から12日にかけて、名古屋市等の都市部を中心に発生した記録的な豪雨による水害）と比較しても、人的被害や浸水による住家被害が甚大であった。被害額についても、単一の豪雨による被害としては、昭和51年台風第17号等による被害額を上回り、統計開始以来最大の被害額となったことが報告されている [7]。

産業部門においてもその被害は甚大で、被災地域の企業が有する資産（生産設備や在庫等）への直接的な被害に加えて、被災地域内や周辺地域の事業所ではライフラインの断絶や原材料等の供給減少によって操業が制限されるなど、間接的な被害も問題となった。企業活動を総合的に表す指標とされる鉱工業生産指数 [8][9][10]を示した図1-2によると、中国地方（広島県、岡山県で甚大な被害が発生）では、平成30年7月豪雨前の2018年6月から豪雨後となる7月にかけて急激に指数が低下しており、豪雨前の水準に回復するために5ヶ月程度を要している。大規模な浸水被害があった愛媛県を含む四国地方においては、指数に反映はされていないものの、浸水の影響は新聞等により多数報道されている。全国の鉱工業生産指数を見ると、豪雨前後での変動は見られず、他地域への波及は少ないように見える。

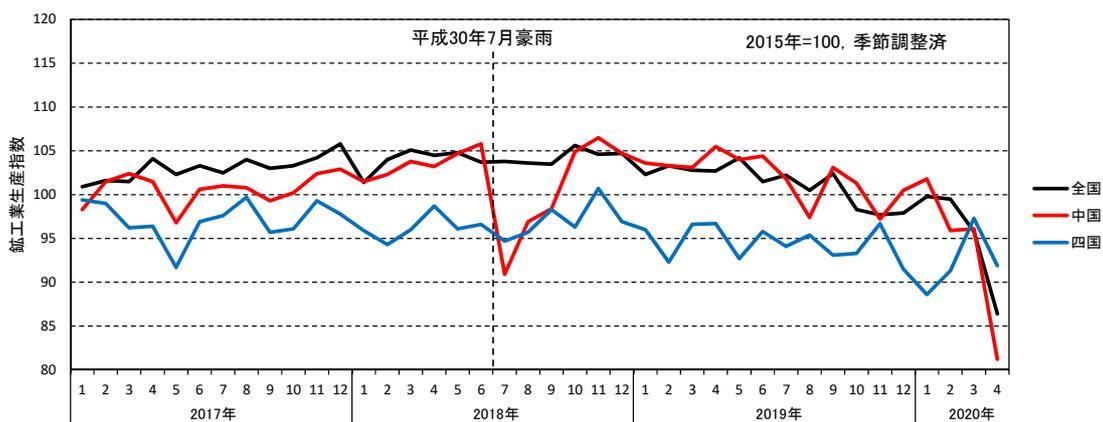


図 1-2 平成30年7月豪雨前後の鉱工業生産指数

平成 30 年 7 月豪雨に関する産業部門の被害額としては、中小企業関係として、4,738 億円（浸水による商品・在庫廃棄等） [11]，観光関係として約 55 億円（宿泊キャンセル影響額） [12]等が報告されている。また、事業所被害以外の全被害を含めた形では、岡山県（約 4,209 億円），広島県（約 3,388 億円），愛媛県（約 1,697 億円）との報告もなされている [7]。

また、ライフラインにも甚大な被害が生じ、直接被害を受けた工場のほか、部品工場の被災や主要道路の通行止めによりサプライチェーンが寸断され、広島県を拠点とする自動車メーカーをはじめ、多くの工場で操業停止が発生したことが報告されている [13]。

1.3 論文の構成

論文構成及びその内容を図 1-3 に示す。第 2 章では、産業部門の経済被害を推計する枠組みを示し、既往の推計モデルについて確率分布の適用手法の観点で分類する。また、使用するデータについて概説する。第 3 章では、復旧費用推計モデルを作成する。フラジリティ曲線を利用した復旧費用率の推計方法を示すとともに、推計したパラメータにより得られる結果と既往研究との整合性を確認する。第 4 章では、回復過程推計モデルを作成する。生存分析による回復曲線の推計を通じた回復過程の推計方法を示すとともに、推計したパラメータにより得られる結果と、既往研究との整合性を確認する。また、売上減少額を営業利益減少額に変換する方法について示す。第 5 章では、第 3 章及び第 4 章で作成したモデルを用いて、平成 30 年 7 月豪雨による浸水地域を対象とした産業部門の経済被害を推計し、既往研究との比較を行う。第 6 章では、本研究で得られた成果を取りまとめ、考察を加えることで結びとする。

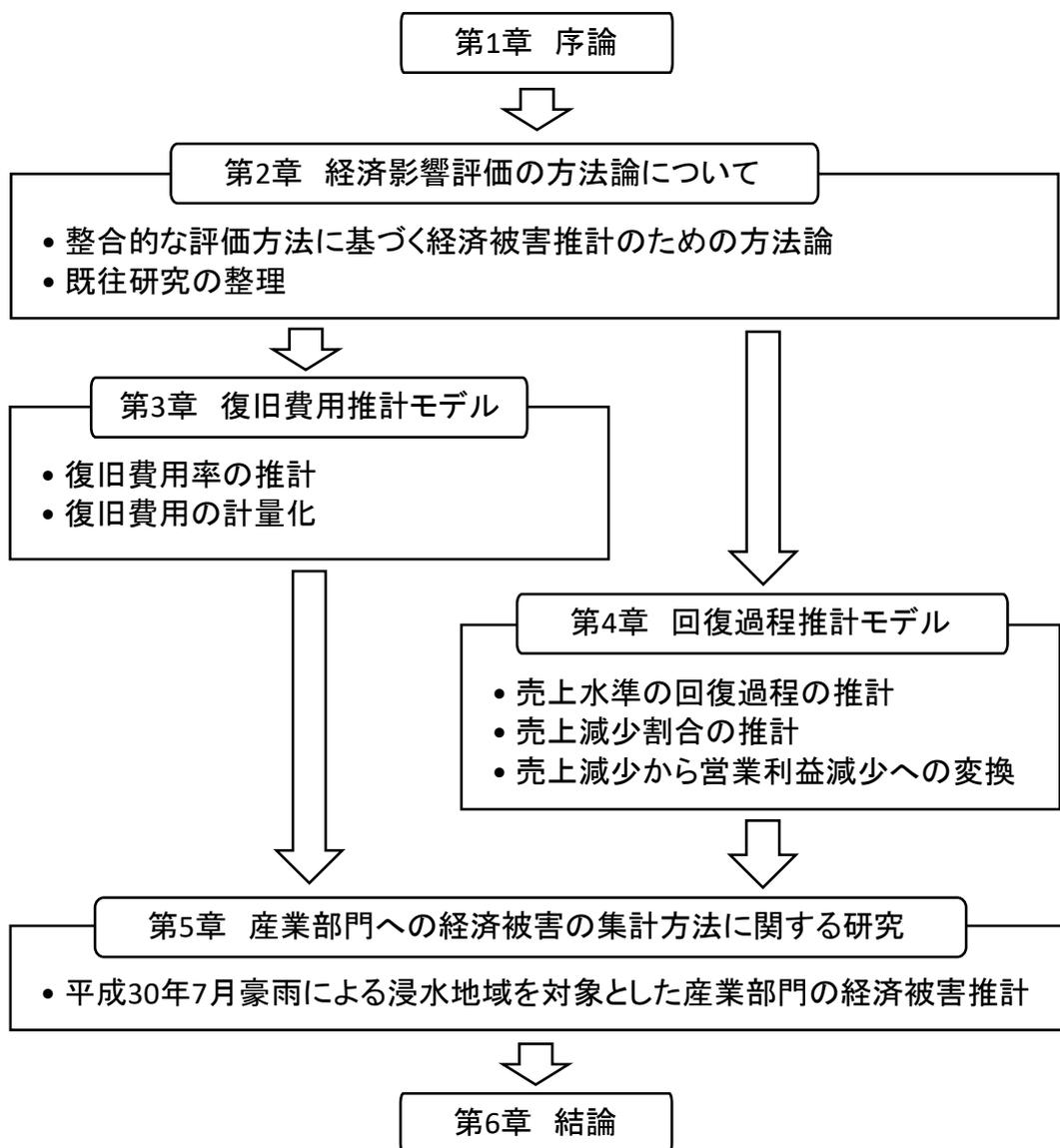


図 1-3 論文の構成

第2章 経済影響評価の方法論について

2.1 はじめに

本章では、本研究で採用する、水害を含めた自然災害全般による経済被害の評価方法を提示する。また、本研究の推計方法も含めて、既往の推計方法について、確率分布の観点から分類し、それぞれの特徴について述べる。さらに、分析に用いたデータについても整理する。

2.2 統合的な評価方法に基づく経済被害推計の方法論

本項では、自然災害による産業部門における経済被害を統合的に評価するための方法を整理する。自然災害による産業被害は、建物の損壊、設備・商品の破損等の被害を直接的な被害、機会損失や得意先の損失による営業利益減少額等を間接的な被害として別々に推計することが多い。Rose [14]及び中野ら [15]は、直接的な被害を直接被害、間接的な被害を間接被害として定義し、これらを合計して被害総額を求めた場合に、二重計上が生じることを指摘している。そこで、二重計上が生じないように経済被害総額を求める方法として、災害後に観測される営業利益減少額に、復旧費用を加える方法が提案されている [16]。基本的な考え方は以下のとおりである。

まず、各企業の経済被害を次のように定義する。

$$D = B' - B \quad (1)$$

ここで、 D は経済被害総額、 B' を災害がなければ得られた営業利益、 B を災害後に実際に得た営業利益とする。これらは、ある一定期間の総額を表している。また、営業利益 B' 及び B は、各期間 t の売上及び企業活動に要した費用を S_t 及び C_t とすると、次のように表すことができる。

$$B = \sum_t (S_t - C_t) \quad (2)$$

$$B' = \sum_t (S'_t - C'_t) \quad (3)$$

また、次に示すように、災害後の費用 C_t を、生産等の通常の企業活動に要した費用 C_t^1 、復旧に要した費用を C_t^2 と表す。

$$C_t = C_t^1 + C_t^2 \quad (4)$$

この時、経済被害総額 D は、以下のように分割できる。

$$D = \sum_t \{(S'_t - C'_t) - (S_t - C_t^1)\} + \sum_t C_t^2 \quad (5)$$

このように、経済被害総額を営業利益減少額（第1項）と復旧費用（第2項）で表記することができる。前者が間接的な被害、後者が直接的な被害と言える。この方法は地震被害について適用されている [15], [16]が、水害に対する十分な推計事例は報告されていない。そこで、本研究において、同様の考え方を水害に導入することを試みる。

次に、営業利益減少額について、産業連関分析の観点から検討する。産業連関分析において、各企業の生産活動により産み出された売上は、表 2-1 に示すように、中間投入と粗付加価値に分けることができる。さらに、粗付加価値は、家計外消費支出（福利厚生費等）、雇用者所得（賃金等）、営業余剰（営業利益、支払利息等）等に分割される [17]。粗付加価値を構成する要素のうち、営業利益以外を固定費とみなすことができ、粗付加価値の減少（災害がなければ得られた粗付加価値と災害後に実際に得た粗付加価値の差）と営業利益減少額は等しくなる。

表 2-1 付加価値と営業利益の関係 [17]

分類1	分類2	詳細	変動費/固定費
中間投入	中間投入	—	変動費
	家計外消費支出	福利厚生費等	固定費
	雇用者所得	賃金等	固定費
	営業余剰	営業利益	—
粗付加価値		支払利息等	固定費
	資本減耗引当	減価償却費等	固定費
	間接税	税金	固定費
	補助金	政府による給付金等	固定費

2.3 既往研究の整理

2.3.1 復旧費用の推計方法

直接的な被害については、復旧費用、資産被害、直接被害等と表現され、被害

表 2-2 直接的な被害の推計方法

手法の概要	出典	対象とした災害	分類
平均被害率	治水経済調査マ ニュアル [3]	平成 5 年～平成 29 年 の水害	(1)
	多田 [18]	東日本大震災津波被害	(1)
	大原ら [57]	平成 27 年 9 月関東・東北 豪雨	(1)
	損害保険料率算 定機構 [19]	東海豪雨	(1)
	加藤ら [103]	2004 年の台風 16 号	(1)
	Frongia ら [105]	2013 年 11 月のオルビア (イタリア)における洪水	(1)
被害率等 の 近似曲線	指数分布 コンソーシアム [44]	平成 27 年 9 月関東・東北 豪雨, 平成 30 年 7 月豪雨	(1)
	対数正規分布 鈴木ら [104]	平成 16 年 7 月新潟・福島 豪雨	(1)
	平滑化関数 Pistrika ら [17]	ギリシャにおける 2002 年 7 月の洪水	(2-1)
被害率のフラジリティ曲線	黒田ら [77]	平成 30 年 7 月豪雨	(2-2)

率（所有資産に占める被害額の割合）や被害額が推計されることが多い。水害については、表 2-2 に示す方法で被害率や被害額は推計されている。これらは、基本的に浸水深を説明変数とした推計モデルとなっている。他の説明変数として、地盤の勾配、建物の階数、土砂堆積物の有無等 [4]が採用されることもある。

それぞれの手法については、モデルの特性から以下に分類できる。

(1) 説明変数により被害率等が決定

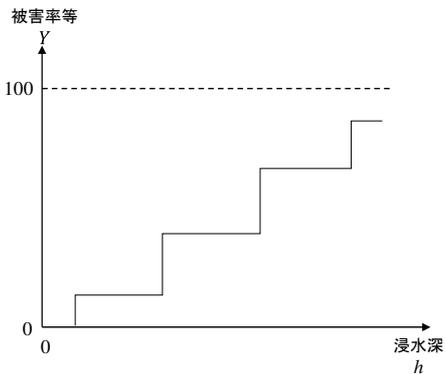
(2) 説明変数により求められる確率分布に従い被害率等が決定

(2-1)確率分布は、ある被害率等を中心に分布

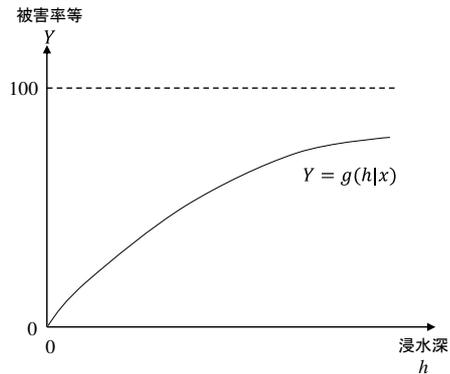
(2-2)確率分布は、被害の程度の多項分布

(1)は、浸水深区分別に被害率等の平均値を求めるモデル（図 2-1(a)）や浸水深と被害率等の関係を関数で仮定するモデル（図 2-1(b)）を指す。図 2-1(b)は、浸水深 h を除く説明変数 x の条件で、被害率等 Y と浸水深 h の関係を関数 $g(\cdot)$ で仮定した状況を示している。

(2)は説明変数が定まっても、被害率等が唯一に定まらないモデルで、確率分



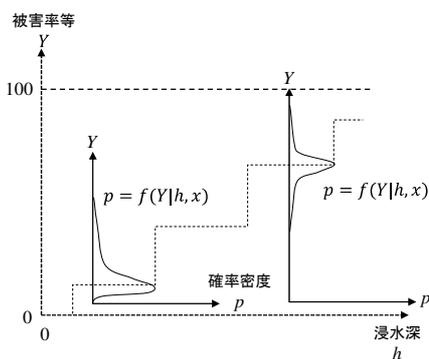
(a) 浸水深区分別の被害率



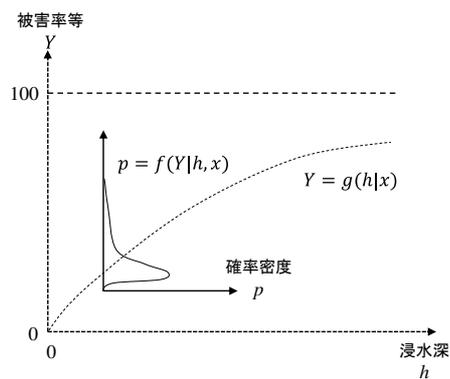
(b) 浸水深と被害率等の関数

図 2-1 説明変数により被害率等が決定するモデル例：分類(1)

布の考え方に従って、2種類に分類できる。(2-1)は、(1)のモデルを発展させたモデルと言える。図 2-2(a)に示すように、浸水深 h 及びその他の説明変数 x の条件において、被害率等 Y の確率密度分布を関数 $f(\cdot)$ で仮定するモデルである。例えば、 $f(\cdot)$ をガンマ分布により仮定するモデル [18]がある。浸水深区分別の平均値に対し、標準偏差を用いて信頼区間を設定する場合は、 $f(\cdot)$ を正規分布で仮定しているモデルと言える。また、図 2-2(b)に示すように、浸水深 h と被害率等 Y の関係を関数 $g(\cdot)$ で仮定したモデルにおいて、信頼区間を設定する場合も、 $f(\cdot)$ を正規分布で仮定しているモデルと言える。



(a) 浸水深区分別の被害率



(b) 浸水深と被害率等の関数

図 2-2 被害率等に確率分布を仮定したモデル例：分類(2-1)

一方、(2-2)は被害率等で被害の程度を区分（例えば，被害なし，被害小中大の4区分）し，それぞれの被害の程度がある確率分布で生じるモデルである．図 2-3 は，浸水深 h 以外の説明変数 x の条件において，浸水深 h におけるそれぞれの被害の程度を超過する確率 P を関数 $F(\cdot)$ で仮定したモデルである．浸水深 h 及びその他の説明変数 x が定まると，被害なし，被害小中大のそれぞれが発生する確率が定まり，多項分布のように見なすことができる．被害の程度を細かく区分すれば，(2-1)のように確率分布を何らかの関数で仮定したモデルと近くなる．

図 2-4 に示すように，浸水深と被害率の関係は，ばらつきが大きく，(2-1)のようにある被害率等を中心とした分布を設定する場合，十分な標本数の基で，適切な説明変数を選定し，適切な確率分布を選定する必要がある．現状では，例えば，平均すると被害中になるところ，説明変数では表現しきれない誤差によって，被害小と被害大の両方になる確率が高い，といったことが生じている．そのため，本研究では(2-2)を採用している．災害の被害については，不確実性が強いことから，被害の過小評価を防ぐためには，(2-1)や(2-2)のようなモデルによって，信頼区間を考慮した幅を持った推計を行うことが有効である．(2-1)と(2-2)については，古川ら [19]が示しているように相互に変換できる関係があるが，どちらを作成することが有用であるかについては，明確に示すことはできず，今後の課題となっている．また，浸水深以外の説明変数も加えた上で，確率モデルとすべきであるが，それらについては，まだ行われていない．今後，継続的な調査により，詳細に災害の状況を把握し，様々な条件における浸水深 h と被害率等 Y をモデル化していくことが課題となっている．

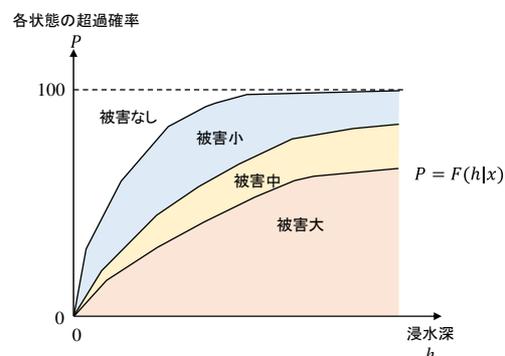


図 2-3 多項分布によるモデル例：分類(2-2)

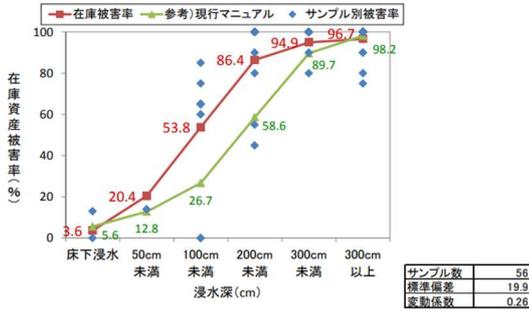


図-85 浸水深別の在庫資産被害率 (%)

(a) 在庫資産被害率 [20]

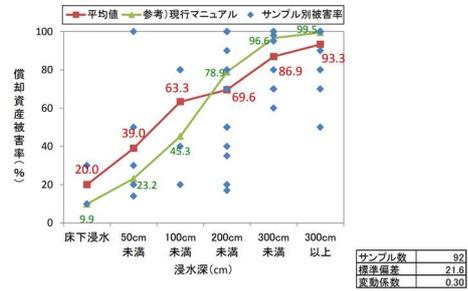


図-89 浸水深別の償却資産被害率 (%)

(b) 償却資産被害率 [20]

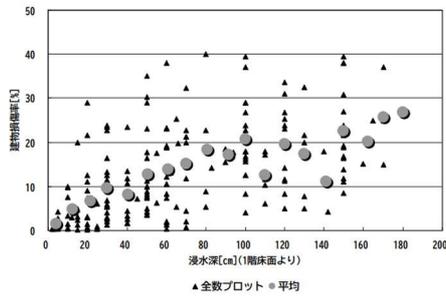
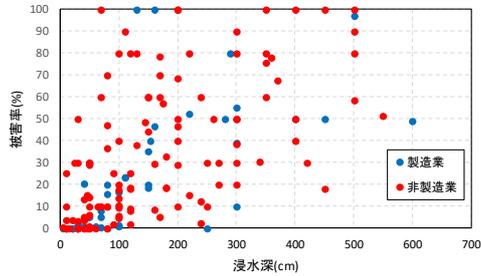


図 3.1.2 浸水深と建物損傷率の関係(全数プロットと平均値)

(c) 建物損傷率 [21]



(d) 本論文

図 2-4 浸水深と被害率の関係例

2.3.2 営業利益減少額の推計方法

間接的な被害については、営業利益減少額、営業停止損失、間接被害等と表現され、地震被害等も含めると、表 2-3 に示すような手法で推計されている [22], [23]. 生産関数は、災害前のデータを用いて、資本、労働力、ライフラインの影響等を説明変数とした産出高等を推計する関数である。災害後の資本、労働力等の回復状況を生産関数に入力することで、産出高等の減少分を推計することができる。また、産業連関表は、産業間の取引関係を把握するもので、需要の低下等に伴う産出高等の低下を推計することができる。SCGE は、生産関数及び産業連関表を連携させた上で、家計等も含めた分析手法である。ライフラインも生産要素に含めたいうで、災害時の操業水準が推計されている [23]. また、GDP の

表 2-3 間接的な被害の推計方法

概要	出典	対象とした災害
生産関数	—	—
産業連関表	—	—
SCGE	土屋ら [23]	新潟県中越地震
GDP	山澤 [24]	東日本大震災
回復過程の推計	表 2-4 参照	

表 2-4 回復過程の推計方法

概要	出典	対象とした災害	分類
①操業停止，操業再開の有無			
割合	大原ら [25]	平成 30 年 7 月豪雨	—
ロジスティック回帰	宮本ら [26]	2019 年台風 15 号の高潮・高波	—
空間自己回帰プロビットモデル	LeSage ら [27]	ハリケーンカトリーナ	—
ロジットモデル	Xiao ら [28]	ハリケーンアイク	—
プロビットモデル	Jim [29]	ハリケーンハービー	—
②操業水準，レジリエンスファクター（操業水準低下率）			
	ATC-25 [30]	—	—
平均（レジリエンスファクター）	梶谷ら [31], [32], [33]	—	—
	Liu ら [34]	東日本大震災	—
	宮本ら [26]	2019 年台風 15 号の高潮・高波	—
平均（操業水準）	木村ら [35]	東海豪雨	—
	大原ら [25]	平成 30 年 7 月豪雨	—
脆弱性曲線	Yang ら [36]	東海豪雨	—
建物損壊率，労働復帰率，インフラ復旧率の積	田中ら [37]	平成 30 年 7 月豪雨	—
③回復日数等			
平均	マニュアル [4]	平成 5 年～29 年の水害	(1)
	木村ら [35]	東海豪雨	(1)
線形モデル	Cremen ら [38]	2011 年ニュージーランドの地震	(1)
ベイズ線形回帰分析	Mohammad ら [39]	ハリケーンマシュー	(2-1)
生存分析	Yang ら [36]	東海豪雨	(2-1)
マルコフモデル	Liu ら [40]	平成 30 年 7 月豪雨	(2-1)
生存分析	黒田ら [41]	平成 30 年 7 月豪雨	(2-2)

変動で間接的な被害を観測することも可能で、例えば、公表されている情報を基に、被災県の月次 GDP を推計した事例がある [24].

その中でも、間接的な被害の推計を見据えて、事業所の回復過程を推計する研究が近年多数行われており、地震被害も含めると、表 2-4 に示すような方法がある。災害直後や一定期間経過後において、操業停止や再開の確率を様々な説明変数の基で推計するモデル (①)、ある時点での操業水準等を様々な説明変数の基で推計するモデル (②) がある。また、災害後に事業所がある状態に達した期間を表す回復日数に着目した分析も行われており、営業停止日数や営業開始日数等について、同様に様々な説明変数の基で推計するモデル (③) がある。

③である回復日数の分析が様々な手法で行われているところ、これらを回復過程の分析ととらえた場合、それぞれのモデルの特性を次のように分類できる。

(1) 説明変数により回復過程が決定

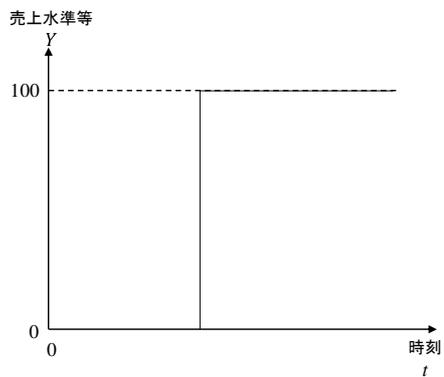
(2) 説明変数により求められる確率分布に従い回復過程が決定

(2-1) 確率分布は、ある日数を中心に分布

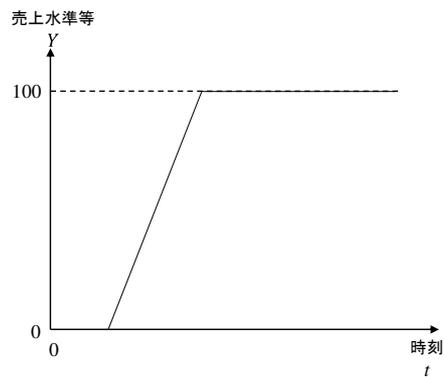
(2-2) 確率分布は、売上水準等の程度の多項分布

(1)は、営業停止日数や営業開始日数等を平均値で求めたモデルを指す。回復過程のモデル化については、図 2-5(a)~(d)にあるように差異はあるが、浸水深等の説明変数が決まれば、回復過程が定まる点ではどれも同様のモデルと言える。また、図 2-5(e)に示したように、浸水深 h 及び他の説明変数 x の条件における売上水準等 Y との関係関数 $g(\cdot)$ で仮定したモデルも、説明変数が決まれば回復過程が定まる点は同様である。このようなモデルは、表 2-4 で示した、ある時点での操業水準等を様々な説明変数の基で推計するモデル (②) によって作成されることもある [25]。さらに、浸水深区分別に回復日数の平均値を求めるモデル (図 2-6(a)) や、浸水深 h 以外の説明変数 x の条件における回復日数 t との関係関数 $u(\cdot)$ で仮定したモデル (図 2-6(b)) も同様のモデルと言える。

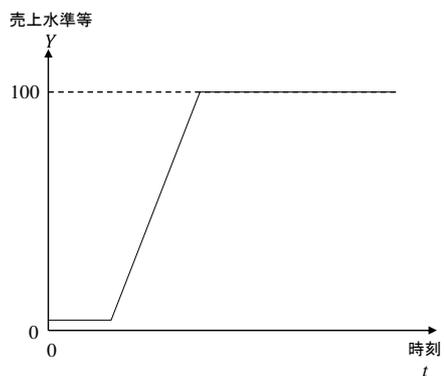
(2)は説明変数が定まっても回復過程が唯一に定まらないモデルで、確率分布の考え方に従って 2 種類に分類できる。(2-1)は(1)のモデルを発展させたモデルと言える。操業再開までの日数や災害前の水準に回復した日数、中間水準までの回復日数等、様々な回復日数が観測されているところ、図 2-7 に示したように、これらの平均について信頼区間を設定した場合や、回復日数について生存



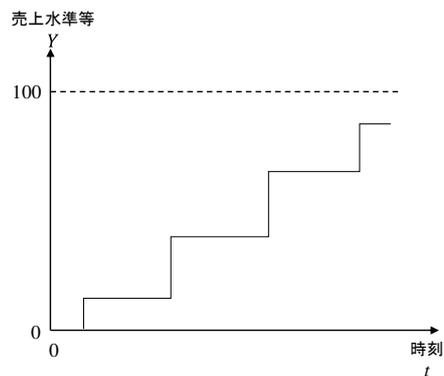
(a) ある時点で回復



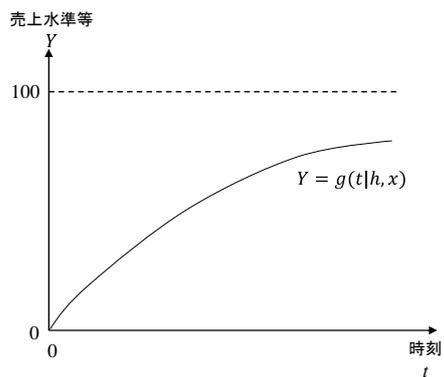
(b) 線形で回復



(c) 売上水準等の低下が継続

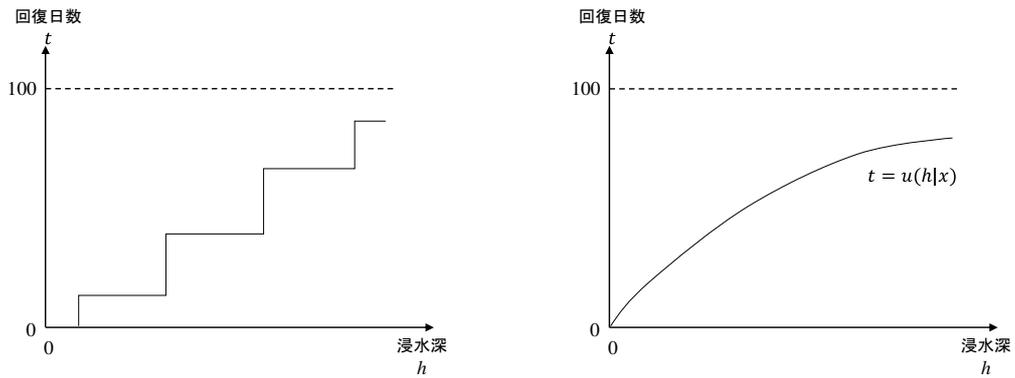


(d) 段階的に回復



(e) 時刻と売上水準等の関数

図 2-5 説明変数により回復過程が決定するモデル例：分類(1)



(a) 浸水深区分別の回復日数 (b) 浸水深と回復日数の関数

図 2-6 浸水深と回復日数のモデル例：分類(1)

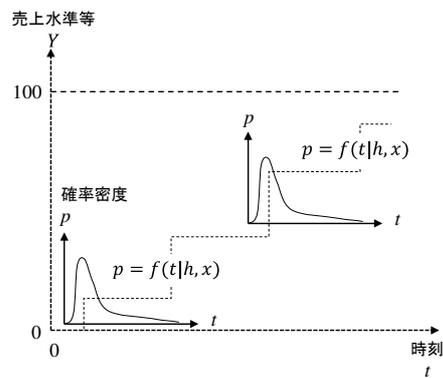
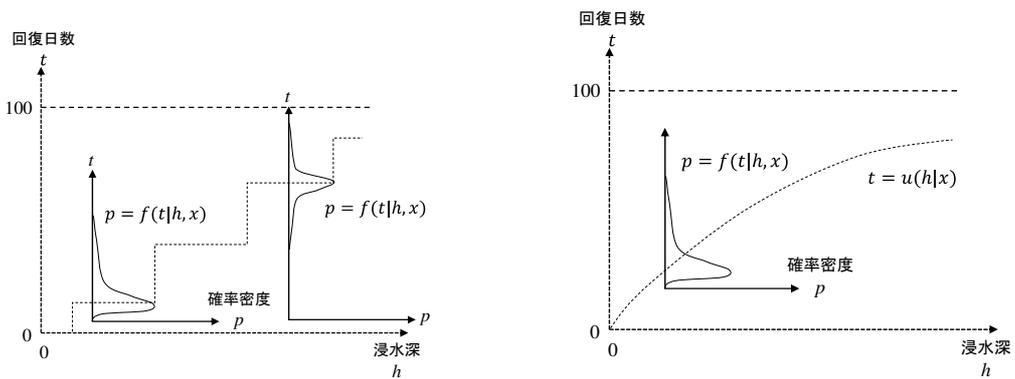


図 2-7 回復日数に確率分布を設定したモデル例：分類(2-1)



(a) 浸水深区分別の回復日数 (b) 浸水深と回復日数の関数

図 2-8 浸水深と回復日数の関係に確率分布を仮定したモデル例：分類(2-1)

分析等によって確率分布を設定した場合が該当する。図 2-6 に示した浸水深と回復日数のモデルについて、浸水深 h や他の説明変数 x の条件の下で、回復日数 t の確率分布を $f(\cdot)$ で仮定し信頼区間を設定する場合（図 2-8）も同様のモデルとなる。

(2-2)は、売上等の水準を区分（例えば、元の水準、水準中、水準小、売上等なしの 4 区分）し、状態がある確率分布で生じるモデルである。図 2-9 は、浸水深 h 及び他の説明変数 x の条件において、時刻 t におけるそれぞれの状態を超過する確率 P を関数 $F(\cdot)$ で仮定したモデルである。浸水深 h 及び他の説明変数 x が定まると、元の水準、水準中、水準小、売上等なしのそれぞれが発生する確率が定まり、多項分布のように見なすことができる。復旧費用の場合と同様に、(2-1)と(2-2)のどちらのモデルが優位であるかの検証は行われておらず、今後の課題となっている。また、それぞれのモデルで設定している変数の種類、モデル作成に用いた災害データの差異等により、どのモデルが優位であるかは異なり、これらの比較にはさらなる検討が必要となる。また、初期の操業水準や売上水準が異なると、その後の回復過程も大きく異なることから、初期の水準低下のばらつきも考慮した回復過程の推計も今後の課題となっている。本研究では、多数の事業所で操業水準や売上水準が 0 まで低下したことから、推計するパラメータの数等を考慮して、(2-2)を採用した。

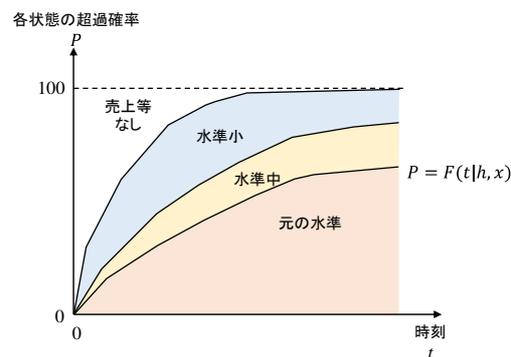


図 2-9 多項分布によるモデル例：分類(2-2)

2.4 アンケート調査の概要

本論文で用いるデータは、表 2-5 に示すアンケート調査により得た。アンケートの詳細は付録において示す。研究で使用した主な項目を表 2-6 に示す。以後の推定に用いる浸水深の一部（約 20 件）は、浸水深の回答を得られなかったが、住所から付近の浸水深を推定したものが含まれている。また、ライフラインの被害日数については、周辺事業所の回答や公表されている被害日数と比較して明らかに異常値と思われる回答が一部あり、それらについては周辺の被害日数や公表されている被害日数で補完している。そのため、過去に売上回復過程を推計した際のデータ [41]から一部変更がある。

表 2-5 アンケート調査の概要

調査期間	2019 年 1 月 31 日～3 月 15 日
調査対象	広島県，岡山県，愛媛県のうち，平成 30 年 7 月豪雨による浸水被害を受けた地域
方法	郵送配布・郵送回収
抽出源	電子電話帳 2018 Ver.23 業種版 Special
配布数	8,994 件※1
回収数	1,228 件
回収率	13.7%※2
実施主体	京都大学防災研究所

※1 宛先不明で帰ってきた約600件を含む

※2 宛先不明約600件を配布数から除くと14.6%

アンケートでは、「販売開始までの日数」，「災害前の売上等の水準を 100%としたとき，25%の水準に回復した日数」，「同 50%の水準に回復した日数」，「同 75%の水準に回復した日数」，「元の水準に回復した日数」について尋ねている。停止期間や元の水準に回復した期間については観測が比較的容易であるが，より複雑な中間段階の回復過程を捕捉するためには調査コストの観点からも簡略化がどうしても必要となった。例えば，10 日目に 30%から 60%に回復するよ

表 2-6 研究で使用した項目

分類	アンケート項目	復旧費用	回復過程
事業所情報 (一般)	従業員数	○	○
	産業分類	○	○
	業種分類	○	
	生産拠点の有無（製造業）	○	
	管理部門以外の機能の有無（非製造業）	○	
事業所情報 (災害関連)	建物の浸水対策の有無	○	
	水害経験の有無	○	
	復旧・事業中断への資金充当の有無		○
	資金調達への問題発生の有無		○
	委託・振替の実施の有無		○
災害情報	浸水深	○	○
	土砂堆積物残存の有無	○	○
	土砂災害の有無	○	
	電気被害日数		○
	水道被害日数		○
	ガス被害日数		○
	交通被害日数		○
	通信被害日数		○
被害情報	復旧費用等	○	
	復旧費用率	○	
	販売開始日数		○
	25%回復日数		○
	50%回復日数		○
	75%回復日数		○
	100%回復日数		○

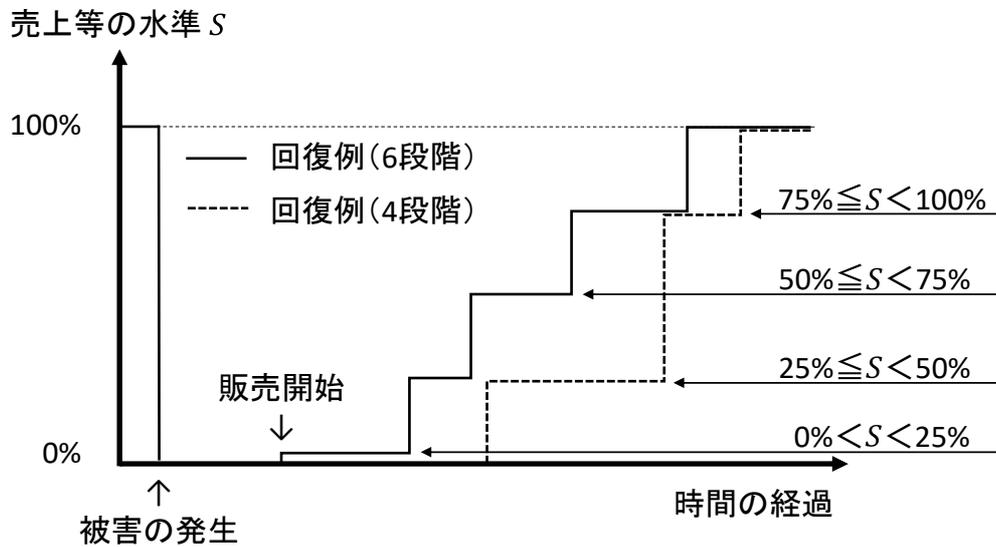


図 2-10 回復日数データの例

うなケースでは、本調査では、50%水準に到達する日数は10日として観測される。すなわち、実際の間段階における回復水準は、図 2-10 に示すような各観測のトリガーとなる水準間のいずれかに位置することになる。事業所は表 2-7 及び表 2-8 に示す産業で分類している。日本標準産業分類（平成 26 年 4 月 1 日施行）との対応を同時に示しており、「-」は本論文での分類名と同様の場合を示す。回答が得られた企業の従業員規模構成について、アンケートを配布した広島県、岡山県、愛媛県の実勢値 [42] の合計と比較したものが、図 2-11 である。製造業、非製造業ともに、従業員規模が 4 人以下の小規模企業からの回答比率が高いが、実勢値よりは回答比率が低い。逆に、母数の少ない従業員規模の大きい企業からの回答を確実に得ていることがわかる。また、平成 30 年版水害統計 [43] によると、アンケートを送付した市区町において、約 3,700 事業所が水害被害を受けており、アンケートにおいて水害の被害を受けた標本は約 370 件あったことから、水害被害を受けた事業所のうち、約 1 割程度から回答を得たことが推定できる。

表 2-7 産業分類の考え方（製造業）

業種分類	小分類	日本標準産業分類
基礎素材型産業	木材・木製品製造業	—
	パルプ・紙・紙加工品製造業	—
	化学工業	—
	石油・石炭製品製造業	—
	プラスチック製品製造業	—
	ゴム製品製造業	—
	窯業・土石製品製造業	—
	鉄鋼業	—
	非鉄金属製造業	—
	金属製品製造業	—
生活関連型産業	家具・装備品製造業	—
	印刷・同関連業	—
	食品加工業	食料品製造業 飲料・たばこ・飼料製造業
	繊維工業	繊維工業 なめし革・同製品・毛皮製造業
	その他の製造業	—
加工組立型産業	一般機械器具製造業	はん用機械器具製造業 生産用機械器具製造業 業務用機械器具製造業
	電気機械器具製造業	電子部品・デバイス・電子回路 製造業 電気機械器具製造業 情報通信機械器具製造業
	輸送用機械器具製造業	—

表 2-8 産業分類の考え方（非製造業）

業種分類	小分類	日本標準産業分類
建設業	—	—
運輸・通信業	情報通信業	—
	運輸業・郵便業	—
卸売・小売業	卸売業・小売業	—
金融・保険・不動産業	金融業・保険業	—
	不動産業・物品賃貸業	—
サービス業	宿泊業・飲食サービス業	—
	医療・福祉	—
	教育・学習支援業	—
	その他のサービス業	学術研究, 専門・技術サービス業, 生活関連サービス業, 娯楽業, 複合サービス事業, サービス業 (他に分類されないもの)

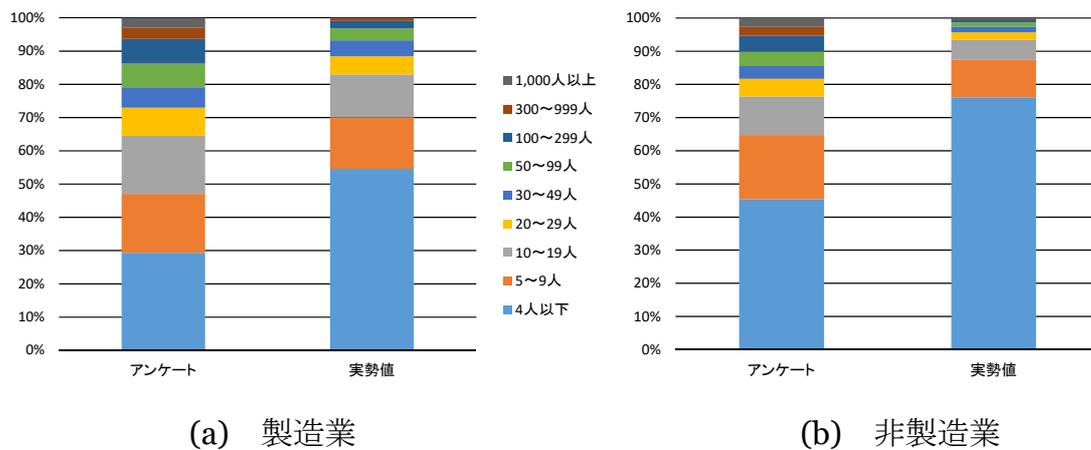


図 2-11 アンケートの従業員規模構成

第3章 復旧費用推計モデルに関する研究

3.1 はじめに

復旧費用は浸水による直接的な被害に分類され、建物、設備、在庫等への被害が想定されている。様々な推計方法が提案されており、「治水経済調査マニュアル（案）国土交通省河川局」 [4]（以下、マニュアルと記す）では、浸水深で条件付けした資産被害率（以下、被害率と記す）が記載されている。これを用いた経済被害の算出方法は簡便で、広く使用されている [44] [45]。また、防災経済コンソーシアム（以下、コンソーシアムと記す） [2]においても、浸水深区分別、製造業・非製造業別に直接的な被害額を推計している。

一方で、水害に限らず、地震等も含めた災害による被害は、ばらつきを有することが多く、災害と各種被害について確率論的な分析を行うことも多い。例えば、地震と建物の損傷の関係 [46]、地震と建築設備の損傷の関係 [47]、津波と建物の損傷の関係 [48]について分析した事例がある。ただし、これらは構造物等の損傷に着目して確率論的な分析を行っており、その損傷から復旧費用を推計するには、各事業所について建物や設備等を詳細に把握する必要があり、困難な点が多い。

また、被害率は、マニュアル成立時 [49]に平成 8 年（1996 年）までのデータを用いて算出後、平成 29 年（2017 年）までのデータを用いて更新されている。更新された被害率は、1996 年までのデータで算出したものに比べて上昇傾向があり、継続的な検証が必要となる。多田 [20]はマニュアルの高度化として、建物の詳細な損傷状況に合わせた被害率の推計を行っている。

フラジリティを用いて災害と構造物等の損傷について確率論的に分析を行った事例 [46]、[47]、[48]では、フラジリティ曲線を推計し、破壊確率等を推計している。近年では、フラジリティの概念を企業の操業能力に拡張した、機能的フラジリティに関する研究 [50]、[36]が行われている。

本章で提案する復旧費用推計モデルは、建物等の物理的な被害や企業の操業能力の低下等に適用されてきたフラジリティ曲線を、被害率（本論文においては復旧費用率と定義）に適用したものである。平成 30 年 7 月豪雨により被害を受けた事業所から得たアンケートを基に、復旧費用率のフラジリティ曲線を推計

している。推計に当たって、複数の確率分布を比較し、対数正規分布が最適であることを確認した。また、フラジリティ曲線を基に、復旧費用を推計する方法について示すとともに、推計された復旧費用率や復旧費用をマニュアルやコンソシアムの推計結果と比較する。

3.2 本研究の基本的な考え方

3.2.1 データの概要

本章で使用するデータの概要を説明する。アンケート結果のうち、本章で使用する項目を表 3-2 に示す。浸水深及び復旧費用率が分析の主対象で、フラジリティ曲線推計時の入力値となる。復旧費用率は、復旧費用等（詳細は参照）が所有資産（ただし、土地を除く）に占める割合を示す。復旧費用と営業利益減少額の総和により整合的な被害額を推計する [16] ために、在庫被害額等も加えた浸水による直接的な被害額を復旧費用等と表記している。以後は、復旧費

表 3-2 本章で使用するアンケート項目

分類	アンケート項目
事業所情報 (一般)	従業員数
	産業分類, 業種分類
	[生産拠点の有無 (製造業)]
	[管理部門以外の機能の有無 (非製造業)]
事業所情報 (災害関連)	[建物の浸水対策の有無], [水害経験の有無]
災害情報	浸水深, [土砂堆積物残存の有無], [土砂災害の有無]
被害情報	復旧費用等 (詳細は, 参照)
	復旧費用率

[]はフラジリティの分析で使用していない項目を示す

表 3-1 復旧費用等の内訳

被害の内容	補足
復旧費用 (予定含む)	建物, 設備の再構築, 修理費用
除却費用	建物, 設備の内, 復旧しないもの
在庫被害額	商品, 在庫の被害額
災害ごみ処分費用	—
その他臨時費用	応援人件費, 超過勤務手当, お見舞金

用等も復旧費用と表記する。

災害により企業が受ける被害は、事業内容によってその特徴が異なると考えられ、業種分類はできるだけ細かいことが望まれるが、標本数の制限や業種の類似性を考慮して、本章では表 3-3 に示す産業分類によって分析を進めている。なお、表 3-3 の分類であっても、標本数が少なく分析できなかった産業分類があり、括弧で示している。

表 3-3 本章の産業分類

産業分類	業種分類
製造業	基礎素材型産業
	生活関連型産業 (加工組立型産業)
非製造業	(建設業)
	(運輸・通信業)
	卸売・小売業
	(金融・保険・不動産業)
	サービス業

() 内の分類は、標本数が少なくフラジリティの推計ができなかったものを示す。

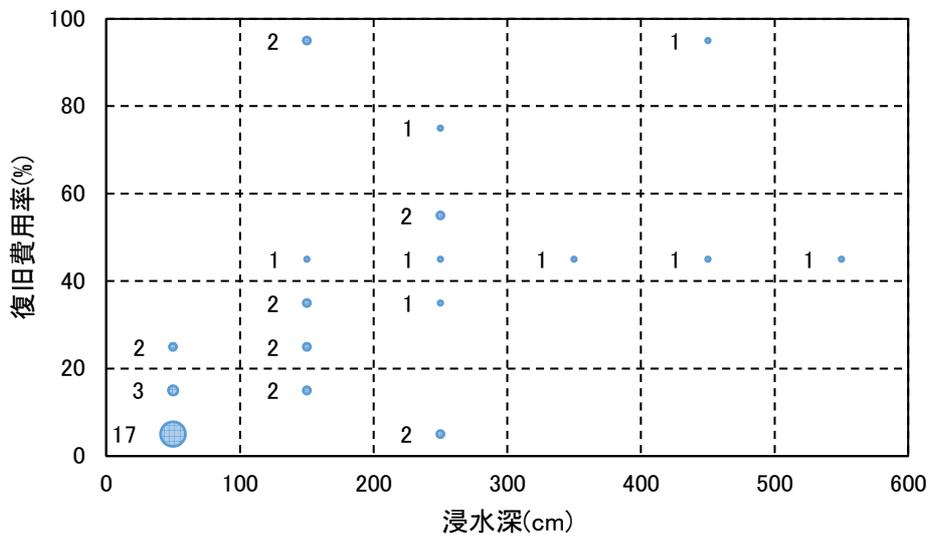
表 3-4 に、標本数や分析で用いた変数の概要を示す。変数名の後の括弧は単位を表し、単位がある変数についてはその平均値を示している。括弧がないものは、土砂堆積物残存の有無のように、「有り・無し」の二項変数であり、「有り」の割合について示している。浸水深及び復旧費用率の関係を図 3-1 に示す。浸水深について 100cm 刻み、復旧費用率について 10% 刻みで該当する標本を集計し、バブルチャートで示したものである。図中の数値は各区分に含まれる標本数である。浸水深が大きくなるほど復旧費用率が大きくなる傾向にある一方で、同程度の浸水深であっても、復旧費用率のばらつきが大きく、浸水深区分での平均値により議論することの難しさがわかる。なお、平成 30 年 7 月豪雨では、土砂災害の影響も多数報道されているが、アンケートでは土砂災害被害を受けた標本が約 20 件と少なく、フラジリティ曲線の推計は浸水被害を受けた事業所のみを対象とした。

表 3-4 分析したデータの概要
(a) 製造業

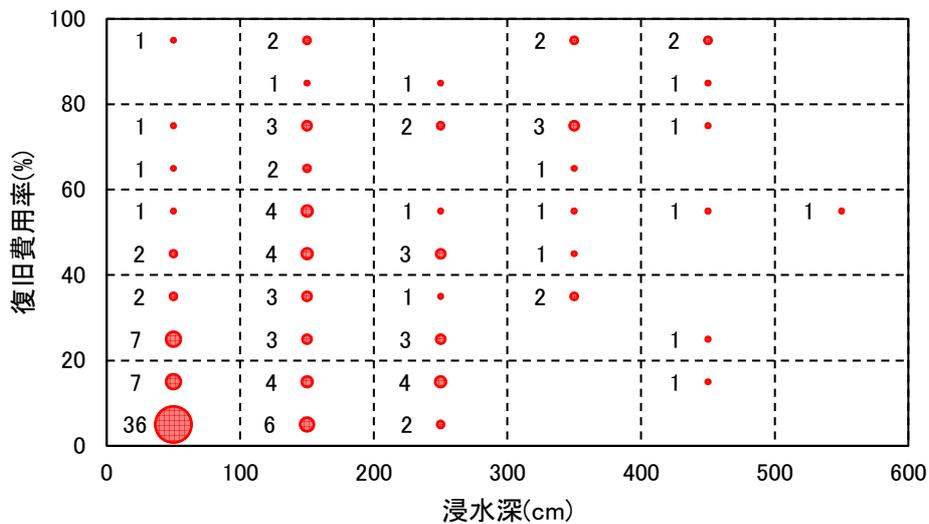
	製造業			
	基礎素材	生活関連	加工組立	
標本数	42	14	23	5
浸水深 (cm)	149	185	129	140
土砂堆積物の 残存	36%	57%	22%	40%
復旧費用率	25%	31%	24%	15%
従業員数 (人)	17	17	16	14
生産拠点	76%	79%	83%	40%
建物の浸水対策	10%	14%	9%	0%
過去の水害経験	31%	21%	35%	40%

(b) 非製造業

	非製造業					
	建設業	運輸・ 通信業	卸売・ 小売業	金融・ 保険・ 不動産業	サービス 業	
標本数	125	17	8	39	6	55
浸水深 (cm)	177	176	188	177	200	173
土砂堆積物の 残存	46%	53%	50%	54%	17%	42%
復旧費用率	34%	37%	28%	33%	34%	33%
従業員数 (人)	12	16	21	8	6	14
管理部門以外の 機能	77%	76%	88%	77%	100%	73%
建物の浸水対策	5%	12%	0%	8%	0%	2%
過去の水害経験	30%	24%	38%	31%	33%	29%



(a) 製造業



(b) 非製造業

図 3-1 浸水深と復旧費用率の関係

3.2.2 復旧費用率及び復旧費用の推計方法

復旧費用の推計は、浸水深を説明変数とした復旧費用率のモデルを作成する段階と、各事業所の浸水深からモデルを用いて復旧費用を推計する段階に分け

て行う。モデル作成段階では、浸水深を説明変数としたフラジリティ曲線の推計、復旧費用率の期待値曲線の推計を行う。復旧費用推計段階では、各事業所の浸水深から復旧費用率を推計し、事業所資産を基に各事業所の復旧費用を推計する。事業所資産は、従業員一人当たりの事業所資産、従業員数を基に推計する。これら推計の手順を図 3-2に示す。

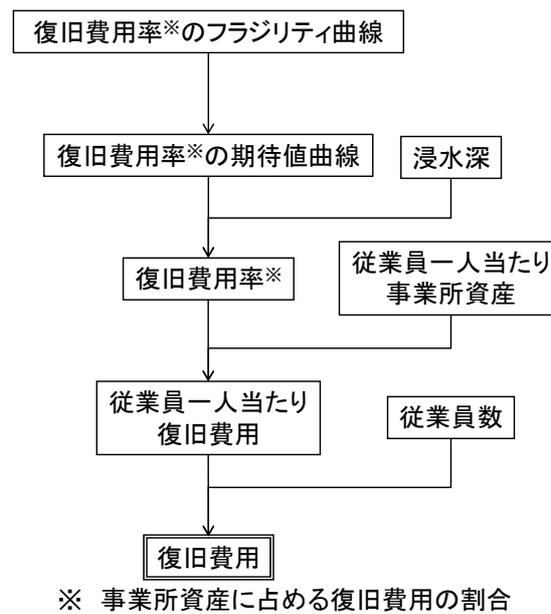


図 3-2 復旧費用推計の手順

フラジリティ曲線の推計は、構造物の損傷を対象としたフラジリティ曲線 [19]や企業の操業能力低下を対象とした機能的フラジリティ曲線 [50], [36]の考え方をを用いた。まず、アンケートで把握した復旧費用率 y について、被害モード k を設定する。次に、標本の浸水深 z 、被害モード k を元に、フラジリティ曲線 $F_k(z)$ を推計する。最後に、各浸水深における復旧費用率の期待値を算出する。詳細は既往研究 [50]を参照とするが、フラジリティ曲線推計の概要は次のとおりである。

事業所の立地点で観測された浸水深が z である条件の下で、被害モード k 以上の被害を受ける確率 $F_k(z)$ を式(6)で表す。

$$F_k(z) = \int_0^z f_k(x) dx \quad (6)$$

本論文では、浸水深 x における被害モード k 以上の被害を受ける確率密度関数 $f_k(x)$ として、式(7)に示す対数正規分布を仮定する。式(7)は、 $\ln x$ の標準偏差 σ を被害モード k によらず一定としている。平均 μ_k を被害モード k に合わせて変化させており、これを多項反応モデル [19]という。

$$f_k(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} \exp\left(-\frac{(\ln x - \mu_k)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (7)$$

また、浸水深 x における被害モード k となる確率 $P_k(x)$ は、以下の式で表される。

$$\begin{aligned} P_0(x) &= 1 - F_1(x) \\ P_k(x) &= F_k(x) - F_{k+1}(x), k = 1, \dots, K-1 \\ P_K(x) &= F_K(x) \end{aligned} \quad (8)$$

ここで、 K は被害モードの最大次数を表す。さらに、標本 i について、ある被害モード k になったときに1となり、それ以外るときに0となるような変数 δ_{ki} を用いると、尤度関数 L は次のように表される。

$$L(\mu_1, \dots, \mu_K, \sigma) = \prod_{i=1}^N \prod_{k=0}^K \{P_k(x_i)\}^{\delta_{ki}} \quad (9)$$

ここで、 N は標本数、 x_i は標本 i が経験した浸水深を表す。対数尤度関数 $\log L$ は次式で表される。

$$\log\{L(\mu_1, \dots, \mu_K, \sigma)\} = \sum_{i=1}^N \sum_{k=0}^K \delta_{ki} \times \log\{P_k(x_i)\} \quad (10)$$

推計の際、表 3-5に示すように、非製造業については、5区分に被害モードを定義した。被害モードの定義を変化させると、フラジリティ曲線のパラメータは異なるが、最終的に得られる期待値曲線への影響は少ない。そのため、運用面を考慮して、復旧費用率の水準を等しく区分し、被害モードを設定した。ただし、 $y = 0\%$ の区分を設定せずに、例えば被害モード0を $0\% \leq y \leq 25\%$ と設定すると、推計する期待値曲線において、浸水深が0の時に復旧費用率が0とならない。そのため、 $y = 0\%$ の区分を設定することに注意する。製造業については、表 3-6に示すように、復旧費用率の水準が50%から100%となる標本が非製造業に比べて少なく、これより細かく区分しても、推計できないため、非製造業の被害モード3から5を合わせて被害モード3と定義している。

表 3-5 復旧費用率による被害モードの定義

被害 モード	復旧費用率 y の水準	
	製造業	非製造業
0	$y = 0\%$	$y = 0\%$
1	$0\% < y \leq 25\%$	$0\% < y \leq 25\%$
2	$25\% < y \leq 50\%$	$25\% < y \leq 50\%$
3	$50\% < y \leq 100\%$	$50\% < y \leq 75\%$
4	—	$75\% < y < 100\%$
5	—	$y = 100\%$

表 3-6 各被害モードの標本数と浸水深

被害 モード	製造業			非製造業		
	生活関連	基礎素材	卸売・小売業	サービス業		
0	7 [48]	5 [61]	1 [20]	10 [36]	5 [33]	4 [40]
1	20 [89]	7 [106]	7 [87]	53 [106]	16 [89]	22 [95]
2	9 [283]	6 [241]	2 [325]	29 [193]	6 [186]	16 [166]
3	6 [267]	2 [145]	4 [325]	13 [244]	5 [362]	4 [173]
4	—	—	—	13 [270]	4 [315]	7 [261]
5	—	—	—	7 [310]	3 [333]	2 [235]

[]内の数値が浸水深 z の平均値(cm)を表す

従業員一人当たりの資産額は、既往統計（表 3-7）より、産業分類別に把握する。これを用いて、従業員一人当たりの資産額と復旧費用率の積により、従業員一人当たりの復旧費用を推計する。

表 3-7 資産推計に使用した統計資料

統計名	対象企業
平成 30 年中小企業実態基本調査 [51]	資本金 3 億円以下又は従業員 300 人以下
平成 30 年企業活動基本調査 [52]	従業員 50 人以上かつ資本金額又は出資金額 3000 万円以上

なお、筆者の知る限り、復旧費用率についてフラジリティ曲線を作成した例はなく、フラジリティ曲線の分析で一般的な対数正規分布を適用することの妥当性について、検討されていない。そこで、対数正規分布以外に、対数ロジスティック分布、ワイブル分布について、AICを用いて当てはまりを検討した結果を表 3-8 に示す。標本の少ない製造業では、ワイブル分布のAICが他の分布に比べて大きい。非製造業ではどの分布も同じ程度のAICとなった。推計されたフラジリティ曲線も各分布で同様の結果となったため、本論文では、他のフラジリティ曲線の研究との比較を見据えて、対数正規分布を使用している。

表 3-8 AIC による確率分布の比較

確率分布	製造業	非製造業
対数正規分布	81.1	341.5
対数ロジスティック分布	78.9	343.1
ワイブル分布	87.8	341.2

本論文では、復旧費用率の説明変数として、浸水深のみを取り上げたが、他に復旧費用に影響を与える要因として、災害の情報においては土砂堆積物の有無、土砂災害の有無がある。同様に、事業所ごとの性質として、事前の対策の有無、事業所の規模（従業員数、売上高、資本等）、立地条件（勾配、高台、低地）等が想定される。これらも考慮したフラジリティ曲線の推計は今後の課題としている。

3.3 復旧費用の推計

3.3.1 復旧費用率を対象としたフラジリティ曲線の推計

操業能力の低下を対象とした機能的フラジリティ曲線のパラメータ推計と同様の方法 [50] で、被害率のフラジリティ曲線のパラメータを推計した。その結果を表 3-9 に示す。括弧内の数値は推計されたパラメータの標準偏差を示している。また、標本数 N 、推計された対数尤度 $\ln L_1$ 、帰無仮説が成立するときの尤度 $\ln L_0$ を記載した。帰無仮説は、「浸水深に関係なく、すべての被害モードの生起確率が等しい」と設定している。さらに、帰無仮説の成立を検定するカイ二乗値 χ^2 、モデルの適合度を示す McFadden の決定係数 ρ^2 を記載した。カイ二乗値

χ^2 , McFadden の決定係数 ρ^2 の定義は以下のとおりである。

$$\chi^2 = -2(\ln L_0 - \ln L_1) \quad (11)$$

$$\rho^2 = 1 - \frac{\ln L_1}{\ln L_0} \quad (12)$$

標本数の関係から、製造業では、加工組立型産業の推計ができず、非製造業では、建設業、運輸・通信業、金融・保険・不動産業の推計ができなかった。

表 3-9 を見ると、カイ二乗値 χ^2 は、推計できた産業分類においては 1% 優位で、帰無仮説（浸水深に関係なく、すべての被害モードの生起確率が等しい）が棄却されることがわかる。また、McFadden の決定係数 ρ^2 についても、基礎素材型産業及び卸売・小売業を除くと、十分にモデルの適合度が高いとみなせる 0.2~0.4 の範囲内 [53] にあることがわかる。

表 3-9 フラジリティ曲線のパラメータ推計結果

	製造業			非製造業			
		生活関連型	基礎素材型		卸売・小売業	サービス業	
μ_1	3.16 (0.45)	3.49 (0.85)	2.72 (0.87)	2.27 (0.33)	2.05 (0.33)	-0.08 (2.44)	
μ_2	5.09 (0.25)	5.00 (0.41)	4.99 (0.60)	4.76 (0.16)	4.04 (0.16)	4.46 (0.52)	
μ_3	6.04 (0.28)	6.32 (0.69)	5.59 (0.37)	5.73 (0.21)	5.06 (0.21)	6.22 (1.06)	
μ_4	—	—	—	6.30 (0.27)	5.61 (0.27)	6.62 (1.27)	
μ_5	—	—	—	7.22 (0.42)	6.06 (0.42)	8.47 (2.53)	
σ	0.89 (0.19)	1.03 (0.48)	0.84 (0.92)	1.27 (0.21)	1.51 (0.21)	2.66 (1.61)	
N	42	20	14	125	39	55	
$\ln L_1$	-36.53	-19.77	-10.99	-164.76	-56.78	-77.20	
$\ln L_0$	-58.22	-27.73	-19.41	-223.97	-69.88	-98.55	
χ^2	43.39 ***	15.90 ***	16.84 ***	118.42 ***	26.20 ***	42.69 ***	
ρ^2	0.37	0.29	0.43	0.26	0.19	0.22	

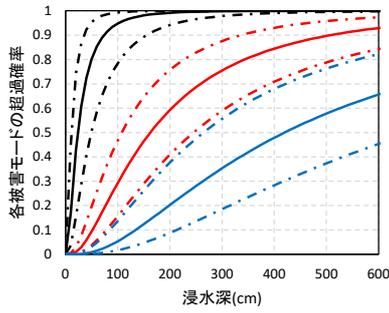
(注) 1.*10%有意, **5%有意, ***1%有意. 2.()内の数値は標準偏差を示す.

図 3-3に、推計されたフラジリティ曲線を図示した。横軸は浸水深、縦軸は各被害モードを超過する確率を示す。黒色は浸水深が与えられた時の被害モード1～5（製造業の場合は1～3）となる確率、赤色は被害モード2～5（製造業の場合は2～3）となる確率、青色は被害モード3～5（製造業の場合は3）となる確率、黄色は被害モード4～5となる確率、紫色は被害モード5となる確率を示す。各曲線間の縦方向の幅が、各被害モードの確率を表す。各色の一点鎖線は、Shinozuka et al. [54]に示された方法で得た、フラジリティ曲線の90%信頼区間を示す。

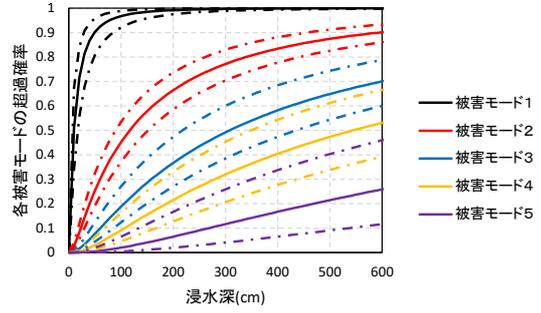
製造業（図 3-3(a)）及び非製造業（図 3-3(d)）のフラジリティ曲線を比較すると、同程度の浸水深の場合、被害モード1となる確率（黒色－赤色の範囲）は製造業が高く、被害モード2となる確率（赤色－青色の範囲）は製造業がやや高く、被害モード3を超過する確率（青色の範囲）は非製造業が高いことがわかる。非製造業は、建物や設備等の復旧費用が被害に占める割合が製造業よりも大きく、これらが被害率の上昇に寄与していると考えられる。

非製造業のうち、回答数の多かったサービス業は、建物の浸水対策を実施していた事業所が他の産業分類に比べて少なく、浸水対策の有無が建物や設備等の復旧費用に影響を与えた可能性がある。製造業は標本数が少ないことも起因して信頼区間が広く、推計結果のばらつきを考慮する必要があるが、本論文で推計したパラメータからは、非製造業の方が製造業に比べて脆弱であるといえる。

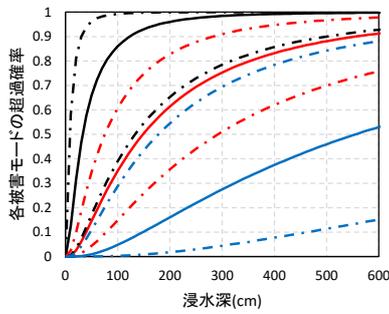
製造業のうち、生活関連型産業（図 3-3(b)）及び基礎素材型産業（図 3-3(c)）のフラジリティ曲線を比較すると、基礎素材型産業の方が被害モード3を超過する確率がどの浸水深においても高い。基礎素材型産業は、生活関連型産業に比べて建物・設備資産を多く有する傾向にあり、被害を受けやすくなったと推察される。実際に、アンケート調査においても、基礎素材型産業は、生活関連型産業に比べて、建物・設備被害が多かった。同様に、非製造業のうち、卸売・小売業（図 3-3(e)）及びサービス業（図 3-3(f)）のフラジリティ曲線を比較すると、卸売・小売業の方が各被害モードを超過する確率が高い。卸売・小売業は、事業所内に在庫を保有することが多く、サービス業に比べて、在庫資産が被害を受けやすかったことに起因していると考えられる。アンケート調査においても、復旧費用に占める在庫被害の割合は、サービス業よりも卸売・小売業の方が大きかった。



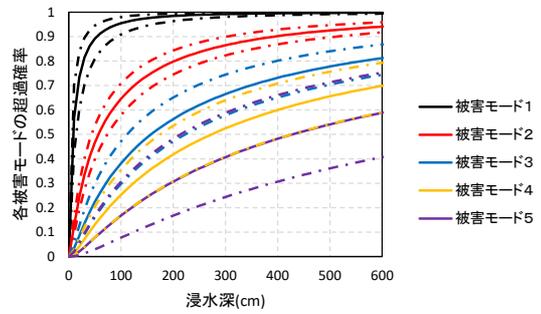
(a) 製造業



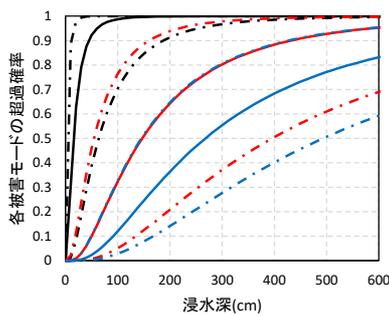
(d) 非製造業



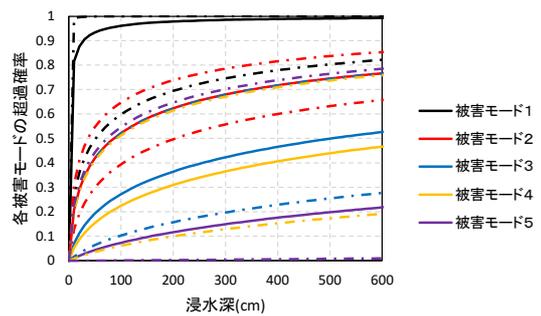
(b) 生活関連型産業



(e) 卸売・小売業



(c) 基礎素材型産業



(f) サービス業

図 3-3 復旧費用率のフラジリティ曲線

3.3.2 復旧費用率の期待値

前項で得られた復旧費用率のフラジリティ曲線から、復旧費用率の期待値曲線を得ることができる。これは、浸水被害が将来生じた際に、被災直後における経済への影響を産業分類別に概算的に推計することに役立つ。図 3-4は、図 3-3から得た、浸水深と復旧費用率の期待値の関係を示したものである。どの浸水深においても、非製造業の復旧費用率は、製造業の復旧費用率に10%程度を加えた結果となっている。非製造業のうち、サービス業は浸水深が低い領域では他の産業分類に比べて復旧費用率の期待値が高いが、浸水深が高くなるにつれて、他の産業分類が上回るようになっていく。

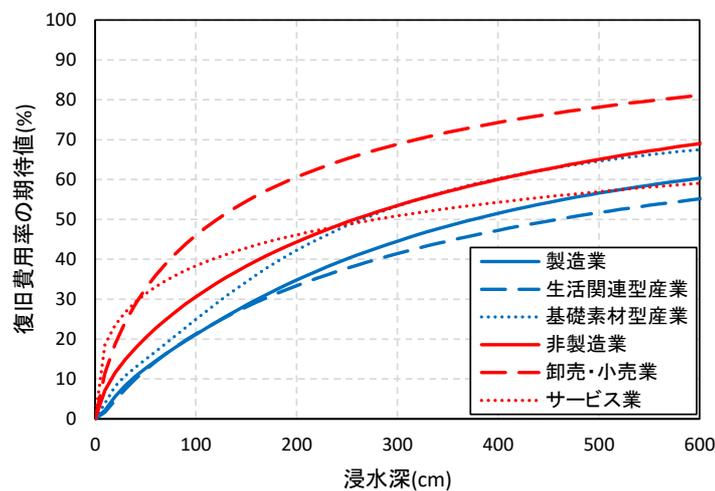


図 3-4 復旧費用率の期待値と浸水深の関係

3.3.3 復旧費用の期待値

復旧費用の期待値は、前項で推計した復旧費用率の期待値と、従業員一人当たりの資産額から求める。従業員一人当たりの資産額は、表 3-10に示すように、既往統計資料 [51], [52]から得た。図 3-5は、製造業及び非製造業について、アンケートから得られた従業員一人当たりの資産額と、表 3-10に示す統計資料から得られた資産額を比較したものである。箱ひげ図がアンケート結果を示しており、最大値、第三四分位数、第二四分位数、第一四分位数、最小値を示している。標本数の少なさから比較が困難な従業員規模や、異常値とみられる数値があるものの、おおむね、製造業、非製造業ともに、統計資料の資産額は、四分位

範囲付近に当てはまっている。従業員一人当たりの資産額を既往統計資料 [51], [52]から推計することの妥当性がわかる。

表 3-10 従業員一人当たりの資産額

(百万円/人)			
従業員規模	製造業	非製造業	出展
50人以下	4.871	6.158	中小企業 [51]
51人以上	15.485	8.858	企業活動 [52]

※ 筆者作成

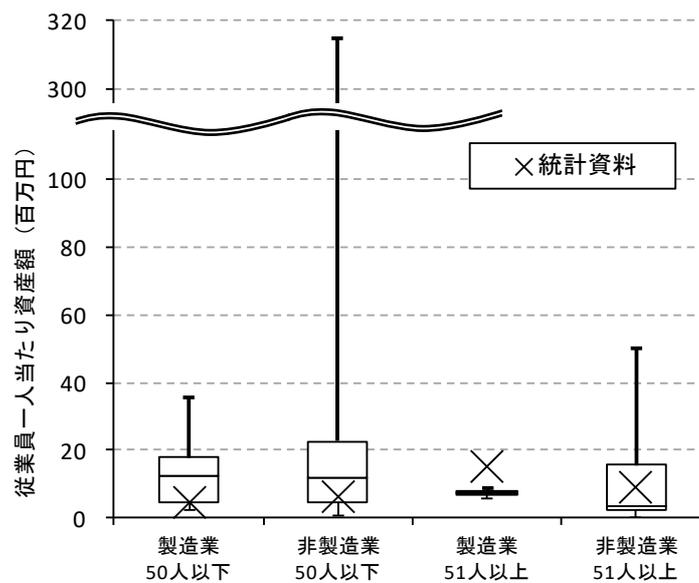


図 3-5 アンケートによる従業員一人当たりの資産額

従業員一人当たりの資産額と復旧費用率の期待値より、従業員一人当たりの復旧費用を推計した結果を図 3-6に示す。復旧費用率の期待値は、どの浸水深でも非製造業が製造業を上回っていたが、従業員の規模が大きくなると、製造業の資産額が大きくなり、被害額では逆転する。

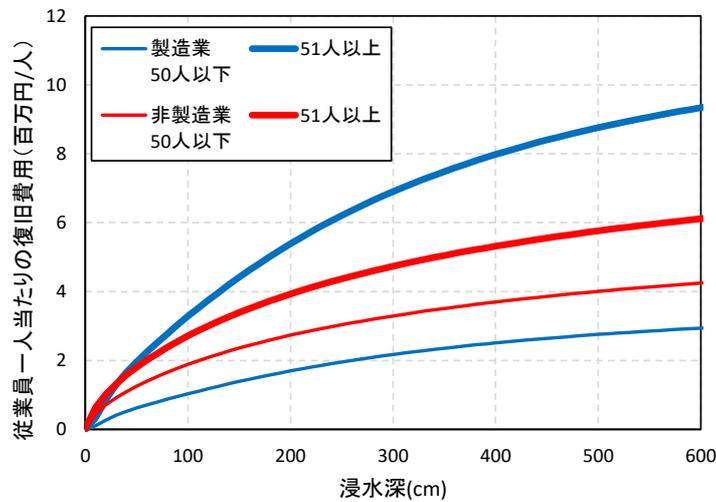


図 3-6 復旧費用の期待値と浸水深の関係

3.4 復旧費用に影響を与える要因の把握

浸水被害だけでなく、例えば土砂災害の発生の有無によっても、事業所の復旧費用は異なることが想定される。土砂災害及び浸水被害と復旧費用の関係を検討する場合、例えば土砂災害と浸水被害が同時に発生した事業所、浸水被害のみが発生した事業所、土砂災害のみが発生した事業所等で分類し、それぞれの分類ごとに個別のフラジリティ曲線を推計する、ということが考えられる。ただし、本論文で用いたアンケートでは、十分な標本を得られなかった。

そこで、参考までに従来のような比較となるが、土砂災害の有無及び浸水深区分別に、復旧費用率の平均値を表 3-11 に示す。製造業については、土砂災害被害と浸水被害を同時に受けた事業所が、浸水深区分 0m 超 1m 未満の範囲で、2 件報告されている。この区分では標本が少なく、土砂災害を受けた事業所の方が、復旧費用率が小さく、通常の設定とは逆の結果になっている。非製造業では、砂災害被害と浸水被害を同時に受けた事業所が 9 件あるが、ほとんどの浸水深区分で土砂災害を受けた事業所の方が復旧費用率の平均値が小さくなっている。適切なフラジリティ曲線を作成するためには、同程度の水害調査を通じて標本を増やしたり、土砂災害の被害の程度を設定したりする必要があることがわかる。

表 3-11 土砂災害の有無及び浸水深区分別の復旧費用率

浸水深区分	製造業				非製造業			
	土砂災害有り		土砂災害無し		土砂災害有り		土砂災害無し	
	標本数	復旧費用率	標本数	復旧費用率	標本数	復旧費用率	標本数	復旧費用率
0m	4	9.2	0	—	4	4.9	0	—
0m 超 1m 未満	2	10.4	19	5.9	6	5.1	49	14.6
1m 以上 2m 未満	0	—	12	35.5	1	20.0	33	35.2
2m 以上 3m 未満	0	—	4	45.6	1	8.2	18	41.9
3m 以上 4m 未満	0	—	3	34.6	1	66.5	14	60.7
4m 以上 5m 未満	0	—	2	50.0	0	—	6	56.3
5m 以上	0	—	2	73.1	0	—	5	75.9

さらに、フラジリティ曲線の推計に用いた事業所について、土砂堆積物残存の有無別に、浸水深区分別の復旧費用率の平均値を表 3-12 に示した。土砂堆積物が残存しているほど、復旧費用率は高くなる傾向がある。ただし、製造業

表 3-12 土砂堆積物残存の有無及び浸水深区分別の復旧費用率

浸水深区分	製造業				非製造業			
	土砂堆積物 残存有り		土砂堆積物 残存無し		土砂堆積物 残存有り		土砂堆積物 残存無し	
	標本数	復旧費用率	標本数	復旧費用率	標本数	復旧費用率	標本数	復旧費用率
0m 超 1m 未満	4	2.6	15	6.7	19	16.3	30	13.5
1m 以上 2m 未満	3	47.2	9	31.6	19	39.4	14	29.4
2m 以上 3m 未満	3	60.8	1	0.0	8	45.1	10	39.3
3m 以上 4m 未満	2	46.9	1	10.0	6	54.3	8	65.5
4m 以上 5m 未満	2	50.0	0	—	3	40.0	3	72.7
5m 以上	1	49.0	1	97.2	3	66.5	2	90.0

の浸水深区分 5m 以上，非製造業の浸水深区分 3m 以上のように，傾向が逆転している区分もある。

同様に，生産拠点／管理部門以外の機能の有無別に，浸水深区分別の復旧費用率の平均値を表 3-13 に示した。製造業の場合は生産拠点を有している事業所ほど，非製造業の場合は管理部門以外の機能を有しているほど復旧費用率は高くなる傾向がある。ただし，製造業の浸水深区分 1m 以上 3m 未満，非製造業の浸水深区分 1m 以上 2m 未満，3m 以上 4m 未満，5m 以上のように，傾向が逆転している区分もある。

浸水対策の有無別に，浸水深区分別の復旧費用率の平均値を表 3-14 に示した。浸水対策をしていた事業所ほど，復旧費用率は低くなる傾向がある。ただし，製造業の浸水深区分 0m 超 2m 未満，非製造業の浸水深区分 1m 以上 2m 未満のように，傾向が逆転している区分もある。

最後に，過去の被害経験の有無別に，浸水深区分別の復旧費用率の平均値を表 3-15 に示した。過去の被害経験がある事業所ほど，復旧費用率は低くなる傾向がある。ただし，製造業の浸水深区分 0m 超 2m 未満，非製造業の浸水深区分 1m 以上 2m 未満のように，傾向が逆転している区分もある。

表 3-13 生産拠点／管理部門以外の機能の有無及び浸水深区分別の復旧費用率

浸水深区分	製造業				非製造業			
	生産拠点有り		生産拠点無し		管理部門以外有り		管理部門のみ	
	標本数	復旧費用率	標本数	復旧費用率	標本数	復旧費用率	標本数	復旧費用率
0m 超 1m 未満	12	14.3	7	8.5	38	16.7	11	7.2
1m 以上 2m 未満	11	35.1	1	40.0	26	32.8	7	44.0
2m 以上 3m 未満	3	43.3	1	52.5	14	46.3	4	26.6
3m 以上 4m 未満	3	34.6	0	—	10	58.5	4	66.0
4m 以上 5m 未満	1	50.0	1	50.0	5	59.6	1	40.0
5m 以上	2	73.1	0	—	3	82.8	2	65.6

以上の検討において、標本数が少なく適切な比較が難しい区分があるため、標本を増やしていくとともに、複合的な要因を考慮できるようにフラジリティ曲線の推計方法について検討することが今後の課題となる。

表 3-14 浸水対策の有無及び浸水深区分別の復旧費用率

浸水深区分	製造業				非製造業			
	浸水対策有り		浸水対策無し		浸水対策有り		浸水対策無し	
	標本数	復旧費用率	標本数	復旧費用率	標本数	復旧費用率	標本数	復旧費用率
0m 超								
1m 未満	1	30.0	18	4.5	2	5.6	47	15.0
1m 以上								
2m 未満	1	46.7	11	34.5	1	57.1	32	34.5
2m 以上								
3m 未満	2	26.3	2	65.0	0	—	18	41.9
3m 以上								
4m 未満	0	—	3	34.6	1	50.0	13	61.5
4m 以上								
5m 未満	0	—	2	50.0	2	40.0	4	64.5
5m 以上	0	—	2	73.1	0	—	5	75.9

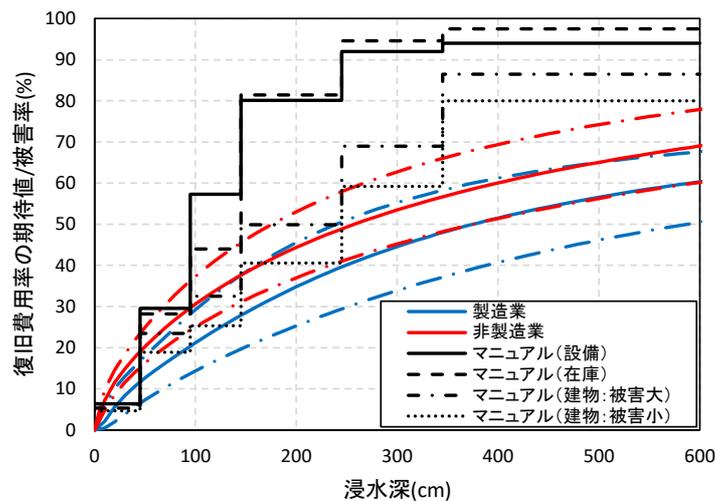
表 3-15 水害経験の有無及び浸水深区分別の復旧費用率

浸水深区分	製造業				非製造業			
	水害経験あり		水害経験なし		水害経験あり		水害経験なし	
	標本数	復旧費用率	標本数	復旧費用率	標本数	復旧費用率	標本数	復旧費用率
0m 超								
1m 未満	1	30.0	18	4.5	2	5.6	47	15.0
1m 以上								
2m 未満	1	46.7	11	34.5	1	57.1	32	34.5
2m 以上								
3m 未満	2	26.3	2	65.0	0	—	18	41.9
3m 以上								
4m 未満	0	—	3	34.6	1	50.0	13	61.5
4m 以上								
5m 未満	0	—	2	50.0	2	40.0	4	64.5
5m 以上	0	—	2	73.1	0	—	5	75.9

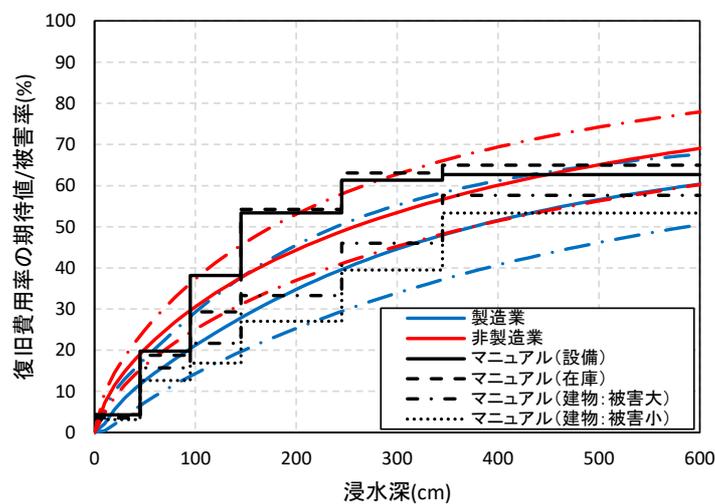
3.5 既往研究との比較

3.5.1 復旧費用率の比較

製造業及び非製造業について、本研究で推計した復旧費用率の期待値とマニュアルの被害率を比較した結果を図 3-7に示す。一点鎖線は、図 3-3(a)及び同 (d)で示したフラジリティ曲線の信頼区間から得た、期待値の90%信頼区間を表



(a) マニュアルの階数補正 (1~2階)

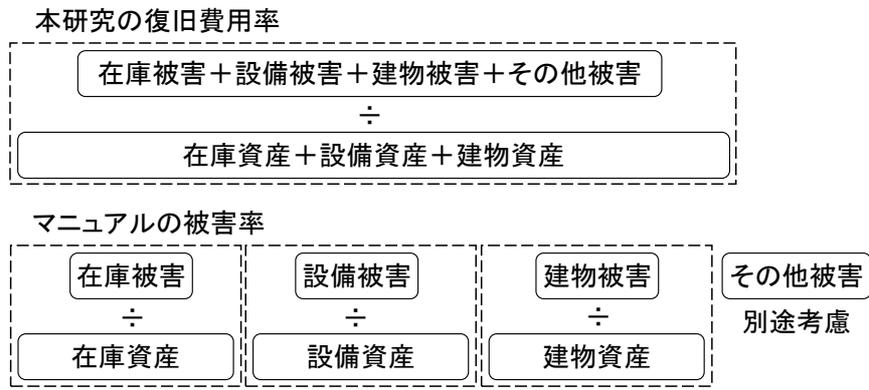


(b) マニュアルの階数補正 (3階)

図 3-7 本研究の復旧費用率とマニュアルの被害率の比較

す。マニュアルの浸水深は、多田 [20]と同様に、床下高さを45cmと仮定し、地盤高からの浸水深としている。また、マニュアルで被害額を推計する場合、事業所資産等について建物の階数に応じた補正係数 γ を乗じ、階数が高いほど被害を受ける事業所資産等が小さくなるように補正している。補正係数 γ は、建物の階数を f としたとき、 $\gamma = 2 \div f$ と表される（ただし、3階以上の建物に適用）。階数補正を考慮して比較するために、マニュアルの被害率については、建物階数が1～2階の場合（ $\gamma = 1$ ）と、3階の場合（ $\gamma = 2 \div 3$ ）を示した。例えば浸水深300cmにおいて、マニュアルの被害率（建物階数：1～2階）は、設備資産（マニュアルでは償却資産）、在庫資産で90%超、建物資産（マニュアルでは家屋資産）で60～70%であるが、本研究の復旧費用率は、40%～50%程度で大きな差がある。他の産業分類に比べて復旧費用率の期待値が高い卸売・小売業（図 3-4参照）でも、70%程度しかない。一方で、マニュアルで建物階数が3階の場合、本研究の復旧費用率と同程度となった。図 3-3(a)に示したように、浸水深300cmの場合、製造業では被害モード1（復旧費用率0%超25%以下）となる確率が25%、被害モード2（同25%超50%以下）となる確率が40%、被害モード3（同50%超100%以下）となる確率が35%となっており、1～2階の建物は、被害モード3の標本が多く含まれている可能性がある。同様に、非製造業の場合も、図 3-3(d)に示すように、浸水深300cmの場合、被害モード1（復旧費用率0%超25%以下）となる確率が25%、被害モード2（同25%超50%以下）となる確率が25%、被害モード3（同50%超75%以下）となる確率が20%、被害モード4（同75%超100%未満）となる確率が20%、被害モード5（同100%）となる確率が10%となっており、1～2階の建物は、被害モード3～5の標本が多く含まれている可能性がある。

図 3-8に示すように、マニュアルの被害率と本研究の復旧費用率の定義が異なることと、本研究のアンケートでは建物階数を把握できておらず建物階数の異なる標本を統合して分析していることから、厳密な比較は困難であるが、建物階数を考慮せずに被害推計すると過大評価となる可能性が示された。これは、浸水被害にばらつきが大きく、継続的な検証が必要なことの証左ともいえる。マニュアルでは、在庫被害、設備被害及び建物被害のそれぞれについて被害率を算出している一方で、本研究では、以上をまとめたものに災害ごみの処分費用、その他の臨時費用も加えた被害についての被害率が回答されている。これらも被害率の差異に影響していると考えられる。



※ 公表資料 [55], [56], [57]より筆者作成

図 3-8 本研究の復旧費用率とマニュアルの被害率の考え方

アンケートでは建物階数を把握しておらず、建物階数を考慮した被害率について、マニュアルと比較することは難しい。そこで、浸水深区分が45cm未満の復旧費用率及び被害率を基準として、他の浸水深区分の復旧費用率及び被害率の増加率で比較した。その結果を図 3-9に示す。345cm以上の区分については、本研究の場合、浸水深の上限によって増加率が変化するため、245～345cm未満の区分までについて、比較した。浸水深が高くなるほど、増加率の差は大きくなっている。245～345cm未満の区分では本研究の復旧費用率の増加度は4倍～7倍であるが、マニュアルは10倍～18倍と倍率が大きくなっている。

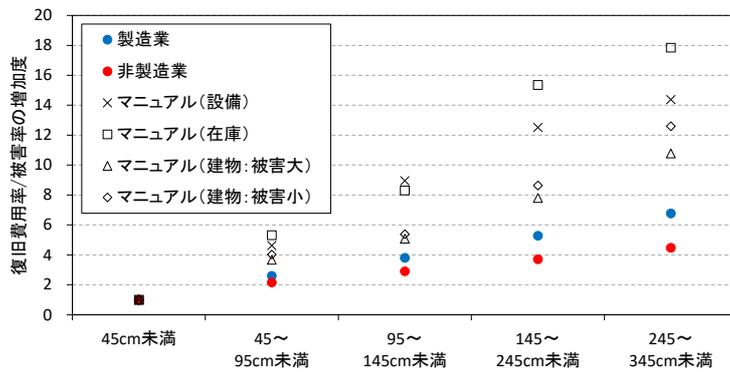
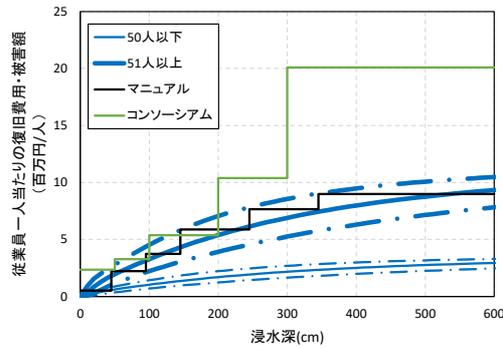


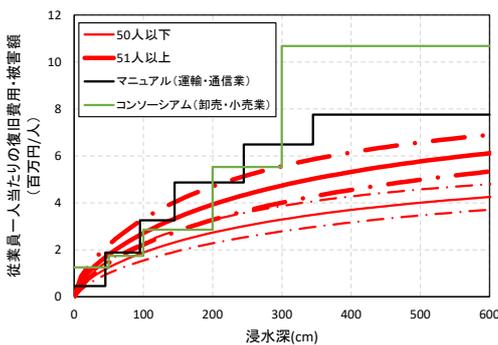
図 3-9 45cm 未満を基準とした復旧費用率/被害率の増加度

3.5.2 復旧費用の比較

図 3-10に、本研究で推計した復旧費用とマニュアル及びコンソーシアムにより推計した被害額について示す。一点鎖線は本研究における、期待値の90%信頼区間を表す。ただし、マニュアルでは、建物の階数を考慮して建物の床面積に1m²当たり評価額を乗じて建物資産を算出し、建物被害額を算出するところ、アンケートでは建物階数や床面積の回答を得られていないため、法人土地・建物基本調査 [58]より建物階数を4階、固定資産の価格等の概要調書 [59]及びセンサス [42]より床面積を44m²/人と想定して推計している。同様に、マニュアルではその他の対策費用（応急対策費用）を事業所単位で計上していることから、事業所

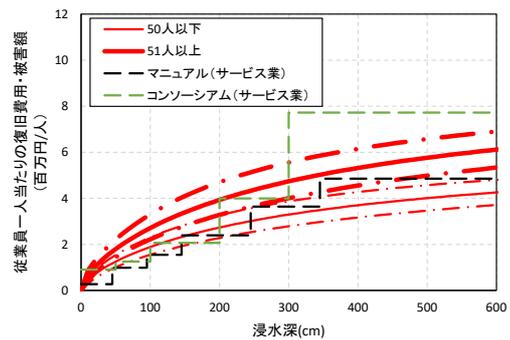


(a) 製造業



(b) 非製造業

(運輸・通信業/卸売・小売業)



(c) 非製造業（サービス業）

図 3-10 復旧費用及び被害額の比較

当たりの従業員数をセンサス [42]より11人/件と想定して推計している。

製造業（図 3-10(a)）の場合、従業員数が51人以上の規模の大きい事業所について、本推計とマニュアルが近くなった。製造業は従業員規模による資産額の変化が大きく、従業員規模の小さい事業所の被害額を推計する場合、マニュアルにより推計すると、過大となる可能性がある。また、コンソーシアムの結果は、浸水深200cm程度までは本推計と近い結果となっているが、300cm以上になると、本推計やマニュアルと比較すると非常に大きい被害額となっている。コンソーシアムは、浸水深別被害額を指数分布でモデル化しており、浸水深が大きくなると被害額が非常に大きくなる傾向がある。

非製造業の推計結果を図 3-10(b)及び図 3-10(c)に示す。製造業の場合と復旧費用・被害額の最大値が異なることに注意する。非製造業の場合、マニュアル及びコンソーシアムでは、非製造業全般の被害額を算出することができない。そのため、参考として、図 3-10(b)に、被害額が最大となる産業分類として、マニュアルで運輸・通信業、コンソーシアムで卸売・小売業の推計結果を示した。本研究における、従業員数が51人以上の規模の大きい事業所の推計結果とマニュアルが近くなった。製造業と比べると、マニュアルの方がやや上回っている。

また、図 3-10(c)に、被害額が最小となる産業分類として、マニュアル及びコンソーシアムについてサービス業の推計結果と非製造業の推計結果を示す。マニュアルの推計結果は、従業員数が51人以上の規模の大きい事業所の推計結果をやや下回っている。マニュアルの結果は、本研究における従業員数が51人以上の規模の大きい事業所の復旧費用を含むことがわかる。非製造業の場合、製造業ほど従業員規模別の資産額に差がなく、復旧費用の推計に差は生じていない。

3.6 おわりに

本章では、災害に対する構造物の脆弱性及び企業の操業能力を対象として発展してきたフラジリティ曲線の考え方を、平成30年7月豪雨による浸水災害における復旧費用率に対して適用した。その結果、推計したフラジリティ曲線から得られる復旧費用率の期待値で見ると、非製造業の方が約10%、製造業よりも被害を受けやすいことがわかった。復旧費用で見ると、従業員規模の低い範囲では製造業と非製造業で大きな差は生じないが、従業員規模が高くなると、製造業の方

が従業員一人当たりの資産額が大きくなり、製造業の方が、復旧費用が多くなった。また、得られた復旧費用率及び復旧費用額を既往研究と比較したところ、本研究の推計結果はどちらも低めの結果となった。これらの結果は、企業の水害対策やBCPが、被害率算出時に比べて、進展したことを反映している可能性もある。浸水深に加えて、これらを説明変数とした分析を行う必要があり、評価モデルを継続的に更新しながら、その妥当性を検証していくことが重要であることが示唆された。また、製造業では大きな被害を受けた標本が少ないことから、復旧費用率が非製造業に比べて低く推計されており、他の調査との比較により、製造業の被害の大きさについて検証が必要となる。

今回示したように、パラメータを確率論的に分析することで、予想される浸水深ごとに資産の被害率の分布を予測することができるため、浸水災害直後の経済影響について、幅を持って推計できる。また、各企業においても、将来の水害による被害程度を事前に把握し、どの程度の手元資金を事前に確保し、どの程度の損害保険に加入するべきかの検討やBCP策定に役立つ。

十分な標本を確保できず、産業分類別の分析が困難であったため、別の回答項目により不足するデータを補完する等、標本を充実させる方法について検討することが、今後の課題となっている。また、浸水深以外の影響も考慮できるように推計モデルの高度化にも取り組む必要がある。

第4章 回復過程推計モデルに関する研究

4.1 はじめに

大規模な地震災害や浸水災害がひとたび発生した場合、産業部門の事業所は、建物・設備の損壊、各種ライフラインの停止等により、事業を中断することになる。その後、時間の経過とともに、復旧活動が進み、ある時点から事業活動を再開する。事業を中断してから事業活動を再開するまでの日数や元の水準までの回復に要する日数の推計は、各事業所にとっては、BCP（Business Continuity Plan：事業継続計画）の策定に役立つものである。また、回復日数を基に売上被害等の減少に起因する間接的な被害の推計も可能となり、経済被害の推計にも資する情報となる。

従来までの産業部門の回復に関する分析は、操業停止日数や事業再開後に元の水準に回復する日数について、平均値や中央値を用いた推計が行われてきた [35], [60], [61]。これらの議論は簡便であるが、事業所固有の特性や局所的な被害状況によって、事業所ごとに回復過程の様相は大きく異なる。例えば、浸水被害の影響で操業水準等が低下し、土砂堆積物の片付けや機械の修繕等によって時間の経過とともに回復する場合や、浸水被害は軽微であったものの、ライフライン被害が長期に及び回復が遅れるような場合では回復の過程も異なる。そのため、回復に与える様々な要因を踏まえた分析を実施することが、より詳細な災害対策や復旧支援策を講じるうえでは望ましい。例えば、2010年にパキスタンで発生した洪水や2011年にニュージーランドで発生した地震を対象に、産業部門の回復に影響を与える要因を分析した結果、回復時間の推計には建物の被害、ライフライン被害等を考慮することの重要性が示されている [62], [38]。また、2011年にタイで発生した洪水においては、中小企業が十分な資金を有していないために回復が遅れたことが示されている [63]。

水害が回復に与える様々な要因を分析するために、Jamesら [27], Jim [29], [64]は、プロビットモデルやロジットモデルを用いて、事業再開の有無を確率的に分析し、浸水深、施設等の損壊の有無、企業の規模等が有意に影響していることを示している。Mohammadら [39]は、ベイズ線形回帰モデルを用いて操業停止日数や事業の回復の有無を分析し、施設等の損傷程度、企業規模の影響につ

いて言及している。徳田ら [65]は、傾向スコアを用いて説明変数を調整し、水害経験が操業停止期間に及ぼす影響について分析している。Yangら [36]は、確率論的なモデルを用いる生存分析の手法を用いて、事業所の回復日数を推計し、浸水深や操業水準の低下率の影響を分析している。

以上の分析では、操業停止日数や回復の有無について、様々な説明変数や異なる統計モデルを用いて分析しているものの、いわゆる「回復過程」に着目した研究はなされていない。ここで、本研究では「回復過程」を売上が元の水準に戻るまでの途中段階の売上水準と水害発生からの経過時間の組み合わせと定義し、復旧過程をより詳細に可視化することを試みる。これにより、ライフライン被害や資金不足等の各種要因が復旧のどのタイミングでどの程度影響を及ぼしているかが明らかとなり、回復の有無等の2値の情報を扱うこれまでのモデルに比べて実態の解明や細やかな被害軽減策の検討につながると考えられる。

本章では、平成30年7月豪雨災害により被害を受けた広島県、岡山県、愛媛県の事業所から得たアンケート結果を基に、生存分析の手法を用いて、事業所の水害からの回復過程についてモデル化を行った。また、回復過程の推計結果から、事業中断による売上被害を算出し、実際の売上被害と比較することで、モデルによる再現精度やアンケート調査結果の整合性について考察を行う。本論文で作成した推計モデルによる推計結果は、マニュアルやコンソーシアムによる推計結果とも比較する。最後に、売上減少額を営業利益減少額に変換する際の考え方について整理する。

4.2 本研究の基本的な考え方

4.2.1 データ及び推計方法の概要

本章で使用するデータの概要を説明する。アンケート結果のうち、本章で使用する項目を表4-1に示す。本章では、売上水準の回復過程に関するデータを扱う。中間段階を含む最大6段階の回復水準に置き換えたデータである。以下では、各水準に回復した日数を「販売開始日数」、「25%回復日数」、「50%回復日数」、「75%回復日数」、「100%回復日数」と記す。また、ライフラインの被害日数等の被害様相やその他事業所属性についても設問があり、回復過程の規定要因として利用する。

表 4-1 本章で使用するアンケート項目

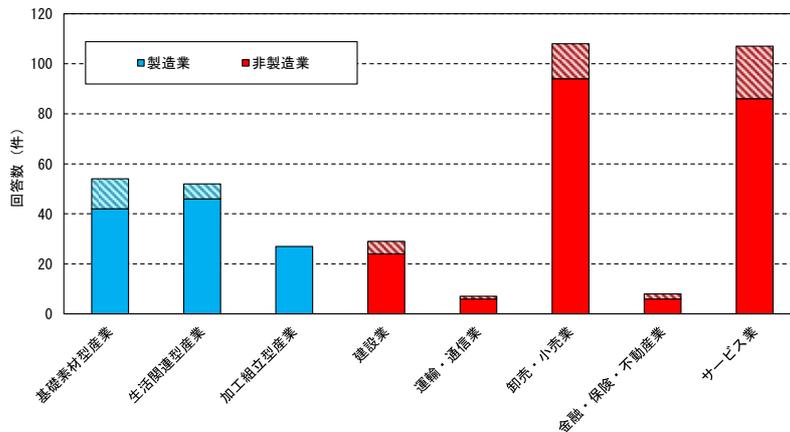
分類	アンケート項目
事業所情報 (一般)	従業員数 産業分類
事業所情報 (災害関 連)	復旧・事業中断への資金充当の有無 資金調達への問題発生の有無 委託・振替の実施の有無
災害情報	浸水深, 土砂堆積物残存の有無
被害情報	販売開始日数, 25%回復日数, 50%回復日数, 75%回復日数, 100%回復日数 電気被害日数, 水道被害日数, ガス被害日数, 交通被害日数, 通信被害日数

表 4-2 には、標本数や分析で用いた変数の概要を示す。変数名の後の括弧は単位を表し、単位がある変数についてはその平均値を示している。括弧がないものは、土砂堆積物残存の有無のように、「有り・無し」の二項変数であり、「有り」の割合について示している。ライフラインについては、電気、水道、ガスが1週間程度で回復している一方、交通インフラの被害が2~3週間程度と長期間にわたっている。公表資料 [66], [67], [68]によると、電気被害が10日間(7月4日~7月13日)、水道被害が16日間(7月5日~7月20日(断水の90%が解消した日))、ガス被害が5日間(7月4日~7月8日)、高速道路の通行止めが87日間(7月3日~9月27日)とあり、アンケートの結果と概ね整合している。交通被害日数は、事業に影響を及ぼす路線が事業所ごとに異なる。一般道路の冠水による通行止めのように、数日で回復した回答が多く含まれており、アンケートの平均は2週間程度となっている。表 4-2 に示した項目以外に、施設被害の程度や過去の水害経験の有無等の回答があるが、分析では10%の有意水準でも有意な説明変数とならなかったため、省略している。また、図 4-1 に、分析で用いたアンケート結果の産業分類別回答数を示す。製造業では、基礎素材型産業、生活関連型産業の順に多く、非製造業では、卸売・小売業、サービス業が多い。

表 4-2 分析したデータの概要

	製造業			非製造業		
	回復済み	未回復		回復済み	未回復	
標本数	133	115	18	260	216	44
販売開始日数 [※] （日）	17(27)	11	41(78)	11(13)	8	24(31)
25%回復日数 [※] （日）	27(43)	17	63(110)	21(24)	17	40(50)
50%回復日数 [※] （日）	47(61)	23	116(146)	31(37)	24	54(74)
75%回復日数 [※] （日）	48(69)	30	125(173)	50(67)	34	88(128)
100%回復日数 [※] （日）	42(71)	42	-(256)	44(79)	44	-(250)
浸水深（m）	0.750	0.430	2.780	0.822	0.680	1.520
土砂堆積物の残存	23%	21%	39%	26%	22%	45%
電気被害日数（日）	3	4	15	5	2	17
水道被害日数（日）	5	4	9	5	4	11
ガス被害日数（日）	1	1	3	1	0.5	2
交通被害日数（日）	15	14	26	11	10	17
通信被害日数（日）	1	1	6	2	2	3
復旧・事業中断への 資金充当	55%	50%	83%	61%	56%	84%
資金調達への問題発生	8%	3%	39%	9%	4%	30%
委託・振替の実施	5%	3%	17%	1%	1%	0%
従業員数（人）	31	33	19	7	7	5

※ 調査の実施時期に相当する水害発生後 250 日の時点で、元の水準に回復していない事業所もあり、未回復事業所として分けて示している。括弧内は、各水準に回復していない事業所の回復日数を暫定的に 250 日とした場合の平均値を示す。



※斜線部は未回復の事業所を表す

図 4-1 産業分類別回答数

営業利益減少額の推計は、図 4-2 に示す手順で行う。本章では、本手順のうち、各売上水準の回復曲線、売上水準の回復過程、売上減少割合、売上変動費率について示す。従業員一人当たり売上額、従業員数等の設定については、第 5 章で示す。

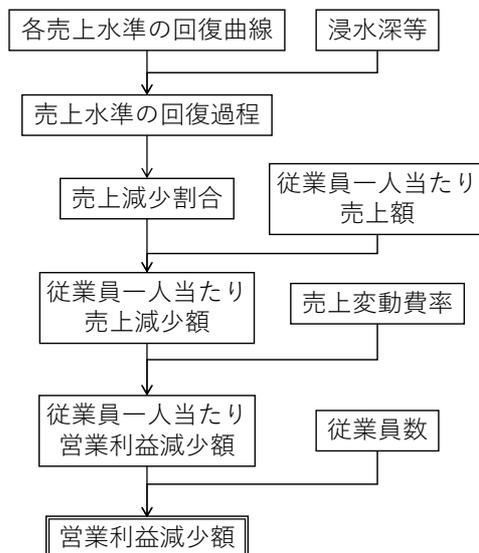


図 4-2 営業利益減少額推計の手順

4.2.2 回復曲線の推計方法

各水準に回復した日数を基に、各水準以上に回復した日数を求める。これは、各水準に回復した日数の回答をすべて得られていない標本があることに由来している。例えば、ある事業所の回答では、図 4-3に示したように25%回復日数と75%回復日数は記載されているが、50%回復日数が記載されていない場合がある。このような回答は、25%回復日数及び75%回復日数の分析では分析対象となるが、50%回復日数の分析では分析対象外となる。このように、推計する回復日数ごとに分析の対象がばらつくことを防ぐために、各水準以上に回復した日数としている。先ほどの例では、50%以上に回復した日数として、75%回復日数を設定している。以下では、各水準以上に回復した日数として、「100%回復日数」、「75%以上回復日数」、「50%以上回復日数」、「25%以上回復日数」、「1%以上回復日数」と記す。販売開始時点での水準は、1%とみなした。

事業所の災害からの回復過程を評価する統計分析手法としては、4.1で触れたように様々な研究が行われている。災害からの回復には、未回復データの取り扱いや、様々な要因の影響を考慮する必要がある。生存分析(生存時間解析)では、回復できなかったデータも打ち切りデータとして分析対象とでき、被害様相や事業所属性を説明変数とすることでそれらの影響を定量的に評価できることから、時間経過にともなう回復状況を確率モデルによって表現できる。

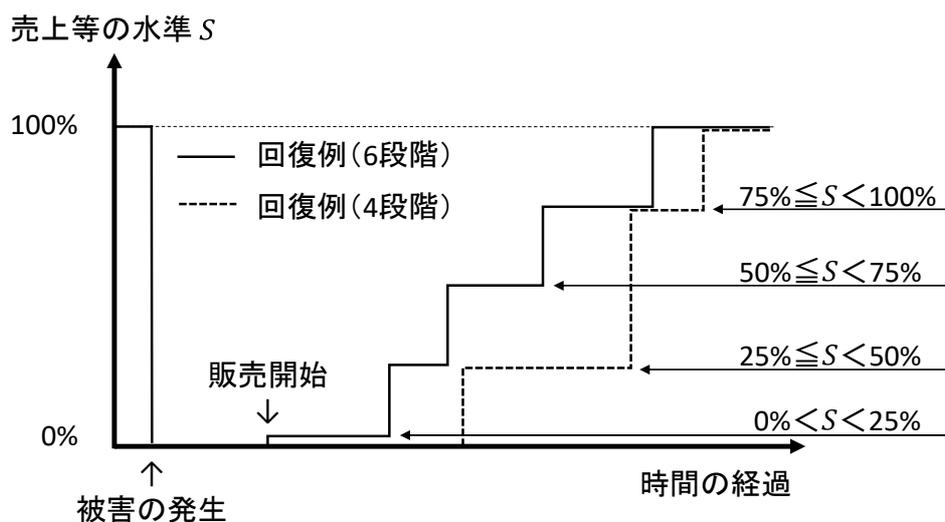


図 4-3 観測データの例 (図 2-10再掲)

生存分析を事業所の回復過程に適用する際は、生存時間を「売上等がある水準以上に回復した日数」、死亡を「売上等がある水準以上に回復」と置き換える。また、アンケート回答時点である水準以上に達していない事業所を打ち切りデータとしている。生存分析の基本的な考え方は各種書籍 [69], [70], [71]に、回復日数の分析に用いた場合の方法についてはYangら [36]に詳細が記載されており、ここでは概略を以下に示す。

売上等がある水準 h 以上に回復した日数を T_h とし、その確率密度関数を $f_h(t)$ とする。この時、 T_h が t 以下となる確率 $F_h(t)$ は、以下の式で表される。

$$F_h(t) = \Pr(T_h \leq t) = \int_0^t f_h(z) dz \quad (13)$$

$F_h(t)$ は、時刻 t に、ある水準 h 以上に回復する確率を表しており、これを回復曲線としている。一般的な生存分析の場合は、生存曲線 $S_h(t) = 1 - F_h(t)$ を活用することが多いことに注意する。生存分析は、以下のように、回復した日数 T_h を誤差分布 ε と λ_h の積でモデル化したものと等しい。

$$T_h = \lambda_h \times \varepsilon \quad (14)$$

ある水準 h 以上に回復した日数 T_h の確率密度関数 $f_h(t)$ 及び各分布における回復曲線 $F_h(t)$ として、表 4-3に示す指数分布、ワイブル分布、対数正規分布、対数ロジスティック分布を検討した。 $F_h(t)$ の分布は、式(14)の誤差分布 ε に対応している。誤差分布 ε の確率密度関数を $g_h(\varepsilon)$ 、累積確率関数を $G_h(\varepsilon)$ と表すと、式(14)を用いた変数変換及び確率密度関数と累積確率関数の関係により、 $f_h(t)$ 及び $F_h(t)$ との間に以下の関係が導出される。

$$F_h(t) = G_h\left(\frac{t}{\lambda_h}\right) = G_h(\varepsilon) \quad (15)$$

$$f_h(t) = \frac{dF_h(t)}{dt} = \frac{dG_h(\varepsilon)}{d\varepsilon} \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} = g_h(\varepsilon) \cdot \frac{1}{\lambda_h} \quad (16)$$

さらに、回復に対する時間の経過以外の影響を考慮するために、ライフライン被害日数等を説明変数 \mathbf{x} として反映したモデルとする。

$$\lambda_h = \exp(\mathbf{x}^T \boldsymbol{\beta}_h) \quad (17)$$

ここで、 $\boldsymbol{\beta}_h$ は説明変数の影響の大きさを表すパラメータである。太字の \mathbf{x} 、 $\boldsymbol{\beta}_h$ はベクトル表記、上付き添字の T は転置を表す。さらに、式(14)の対数を取り、 λ_h を式(17)で表すと、以下の式が得られる。

$$\log(T_h) = \mathbf{x}^T \boldsymbol{\beta}_h + \log(\varepsilon) \quad (18)$$

$F_h(t)$ が指数分布及びワイブル分布のとき、 $\log(\varepsilon)$ は極値分布に対応し、対数正

規分布，対数ロジスティック分布の場合は，それぞれ正規分布，ロジスティック分布に対応する．

対数正規分布の場合，以下のように $\mu_h = \mathbf{x}^T \boldsymbol{\beta}_h$ を用いて表現することが多いが，ここでは他の分布との比較のために λ_h を用いて表現している． λ_h を用いた場合と， μ_h を用いた場合の対応を以下に示す．

$$\begin{aligned} \log\left(\frac{t}{\lambda_h}\right) &= \log(t) - \log(\lambda_h) \\ &= \log(t) - \mathbf{x}^T \boldsymbol{\beta}_h \\ &= \log(t) - \mu_h \end{aligned} \quad (19)$$

本論文で適用した分布の場合，指数分布及びワイブル分布の場合は標準的な極値分布（確率密度関数 $f(x) = \exp(x) \times \exp(-\exp(x))$ ），対数正規分布の場合は標準正規分布，対数ロジスティック分布の場合は標準ロジスティック分布となるような標準的な誤差分布 η_N を考えると， $\log(\varepsilon)$ を次のように表すことができる．

$$\log(\varepsilon) = \alpha \times \eta_N \quad (20)$$

ここで， α は，指数分布の場合は1，ワイブル分布及び対数ロジスティック分布の場合は ϕ_h ，対数正規分布の場合は σ_h となるパラメータである．式(18)及び式(20)より，回復日数 T_h を標準的な誤差分布 η_N により表すことができる．

$$\log(T_h) = \mathbf{x}^T \boldsymbol{\beta}_h + \alpha \times \eta_N \quad (21)$$

式(17)も用いてこれを変形すると，以下のように回復日数 T_h を正規化した形で表現でき，それぞれの分布の比較が容易になる．

$$\eta_N = \frac{\log(T_h) - \mathbf{x}^T \boldsymbol{\beta}_h}{\alpha} = \log\left\{\left(\frac{T_h}{\lambda_h}\right)^{\frac{1}{\alpha}}\right\} \quad (22)$$

参考までに，標準的な誤差分布 η_N の確率密度関数を $s_h(\eta_N)$ ，累積確率関数を $S_h(\eta_N)$ と表すと，式(22)を用いた変数変換及び確率密度関数と累積確率関数の関係により， $f_h(t)$ 及び $F_h(t)$ との間に以下の関係が導出される．

$$F_h(t) = S_h\left(\log\left\{\left(\frac{T_h}{\lambda_h}\right)^{\frac{1}{\alpha}}\right\}\right) = S_h(\eta_N) \quad (23)$$

$$f_h(t) = \frac{dF_h(t)}{dt} = \frac{dS_h(\eta_N)}{d\eta_N} \cdot \frac{d\eta_N}{dt} = s_h(\eta_N) \cdot \frac{1}{\alpha T_h} \quad (24)$$

尤度関数は，次のように求める．標本 i について， \mathbf{x}_i の条件の下で，ある水準 h 以上に回復した日数 t_{hi} を観測したものとする．ここで，観測した日数 t_{hi} で水準 h

以上に回復したときに1となり、水準 h に達していない打ち切りデータのために0となるような変数 δ_{hi} を用いる。詳細は付録に記しているが、個別に回復曲線を推計する場合は、水準 h ごとに、次の尤度関数 L_h を用いる。

$$L_h(\boldsymbol{\beta}_h, \boldsymbol{\phi}_h) = \prod_{i=1}^N \{f_h(t_{hi}|\mathbf{x}_i)\}^{\delta_{hi}} \times \{1 - F_h(t_{hi}|\mathbf{x}_i)\}^{1-\delta_{hi}} \quad (25)$$

ここで、 N は標本数を、 $\boldsymbol{\beta}_h$ は回復曲線 F_h 及び確率密度関数 f_h のパラメータ($\lambda_{hi} = \mathbf{x}_i^T \boldsymbol{\beta}_h$)を表す。 λ_{hi} 、 $\boldsymbol{\phi}_h$ 及び t_{hi} は、表 4-3に示す数式の λ 、 $\boldsymbol{\phi}$ 及び t を表す。 $\boldsymbol{\phi}_h$ はワイブル分布及び対数ロジスティック分布を適用する場合のパラメータで、指数分布を適用する場合は1となり、対数正規分布を適用する場合は σ_h で表す。式(25)の右辺第一項は、水準 h 以上に回復したデータを表し、第二項は、水準 h に達していない打ち切りデータを表す。対数尤度関数 $\log L_h$ は次式で表される。

$$\begin{aligned} & \log\{L_h(\boldsymbol{\beta}_h, \boldsymbol{\phi}_h)\} \\ &= \sum_{i=1}^N \delta_{hi} \times \log\{f_h(t_{hi}|\mathbf{x}_i)\} + (1 - \delta_{hi}) \times \log\{1 - F_h(t_{hi}|\mathbf{x}_i)\} \end{aligned} \quad (26)$$

回復曲線を同時に推計する場合は、表記の簡便のために水準 h_j ($h_1 = 1, h_2 = 25, h_3 = 50, h_4 = 75, h_5 = 100$)と表すと、次の尤度関数 L を用いる。

$$\begin{aligned} & L(\boldsymbol{\beta}_1, \boldsymbol{\beta}_{25}, \boldsymbol{\beta}_{50}, \boldsymbol{\beta}_{75}, \boldsymbol{\beta}_{100}, \boldsymbol{\phi}) \\ &= \prod_{i=1}^N \prod_{j=1}^5 \{f_{h_j}(t_{h_j i}|\mathbf{x}_i)\}^{\delta_{h_j i}} \times \{1 - F_{h_j}(t_{h_j i}|\mathbf{x}_i)\}^{1-\delta_{h_j i}} \end{aligned} \quad (27)$$

個別に回復曲線を推計する場合と同様に、 $\boldsymbol{\phi}$ はワイブル分布及び対数ロジスティック分布を適用する場合のパラメータで、指数分布を適用する場合は1となり、対数正規分布を適用する場合は σ で表す。対数尤度関数 $\log L$ は次式で表される。

$$\begin{aligned} & \log\{L(\boldsymbol{\beta}_1, \boldsymbol{\beta}_{25}, \boldsymbol{\beta}_{50}, \boldsymbol{\beta}_{75}, \boldsymbol{\beta}_{100}, \boldsymbol{\phi})\} \\ &= \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^5 \delta_{h_j i} \times \log\{f_{h_j}(t_{h_j i}|\mathbf{x}_i)\} + (1 - \delta_{h_j i}) \times \log\{1 - F_{h_j}(t_{h_j i}|\mathbf{x}_i)\} \end{aligned} \quad (28)$$

パラメータの推計には、統計ソフトRのsurvreg関数 [72]及びstan関数 [73] (MCMCによるベイジアン推計)を用いた。過去、中間水準への回復日数やライフライン被害日数を含めた分析は行われておらず、最適な分布が不明であることから、AICやDICを用いて最適な分布や制約条件を検討した。検討の詳細については付録に示す。

表 4-3 適用した分布

分布	$f(t)$	$F(t)$	特徴
指数	$\frac{1}{\lambda} \exp\left(-\frac{t}{\lambda}\right)$	$1 - \exp\left(-\frac{t}{\lambda}\right)$	・ハザード率は一定（時間の経過とともに一定の割合で回復）
ワイブル	$\left(\frac{1}{\phi}\right) \lambda^{-\frac{1}{\phi}} t^{\frac{1}{\phi}-1} \exp\left(-\lambda^{-\frac{1}{\phi}} t^{\frac{1}{\phi}}\right)$	$1 - \exp\left(-\lambda^{-\frac{1}{\phi}} t^{\frac{1}{\phi}}\right)$	<ul style="list-style-type: none"> ・指数分布より急激に回復が進むが、時間の経過とともに回復が鈍化し、ハザード率は単調減少（$\phi > 1$） ・指数分布と同様（$\phi = 1$） ・説明変数で求められるある時刻で急激に回復し、ハザード率は単調増加（$\phi < 1$）
対数正規	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma t} \exp\left(-\frac{\left(\log\left(\frac{t}{\lambda}\right)\right)^2}{2\sigma^2}\right)$	$\Phi\left(\frac{\log\left(\frac{t}{\lambda}\right)}{\sigma}\right)$	<ul style="list-style-type: none"> ・説明変数で求められる時刻を中心に回復し、対数正規分布の誤差が発生 ・ハザード率も説明変数で求められる時刻を中心に増加後、低下
対数ロジスティック	$\frac{\left(\frac{1}{\phi}\right) \lambda^{-\frac{1}{\phi}} t^{\frac{1}{\phi}-1}}{\left(1 + \lambda^{-\frac{1}{\phi}} t^{\frac{1}{\phi}}\right)^2}$	$1 - \frac{1}{1 + \lambda^{-\frac{1}{\phi}} t^{\frac{1}{\phi}}}$	<ul style="list-style-type: none"> ・説明変数で求められる時刻を中心に回復し、対数正規分布に近い分布 ・ハザード率も説明変数で求められる時刻を中心に増加後、低下し、対数正規分布より低下しやすい

(注) 1.対数正規分布の $\Phi(z)$ は、標準正規分布を表す。2.ハザード率 ($h(t) = f(t)/(1 - F(t))$) は、時刻 t までに回復していない条件のもとでその時刻に回復する確率を表す。3.水準を表す下付き添字 h は省略して表記

4.2.3 回復過程の推計方法

各水準への回復曲線を用いて、時刻 t における水準の期待値（平均水準）を求めることができる。ここで、1%以上、25%以上、50%以上、75%以上、100%への回復曲線をそれぞれ $F_1(t)$ 、 $F_{25}(t)$ 、 $F_{50}(t)$ 、 $F_{75}(t)$ 、 $F_{100}(t)$ と表し、平均水準 $S(t)$ を以下のように求めた。

$$\begin{aligned}
 S(t) = & (F_1(t) - F_{25}(t)) \frac{1\% + 25\%}{2} + (F_{25}(t) - F_{50}(t)) \frac{25\% + 50\%}{2} \\
 & + (F_{50}(t) - F_{75}(t)) \frac{50\% + 75\%}{2} \\
 & + (F_{75}(t) - F_{100}(t)) \frac{75\% + 100\%}{2} + F_{100}(t) \times 100\%
 \end{aligned} \tag{29}$$

これらの考え方を図示したものが、図 4-4 である。

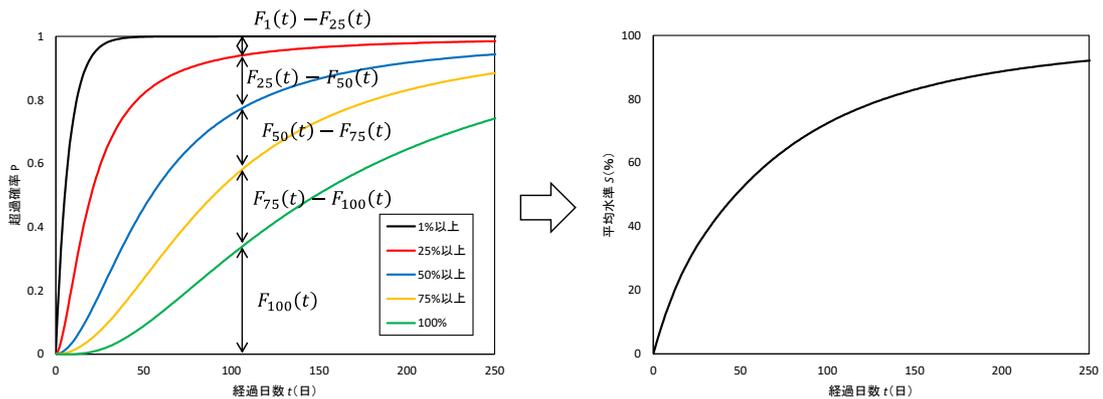


図 4-4 回復曲線及び回復過程の推計例

4.2.4 売上減少割合の推計方法

生存分析により求めた各売上水準の回復曲線を基に、回復過程を推計し、売上減少割合を求めることができる。豪雨前の4月～6月については、売上水準が100%の状態であったと仮定している。本論文では、図 4-5 は、以上の考え方に基づいて、4月から翌年3月までの平均的な売上水準の変化について、推計例を示したものである。青い範囲が占める割合が売上減少割合となる。

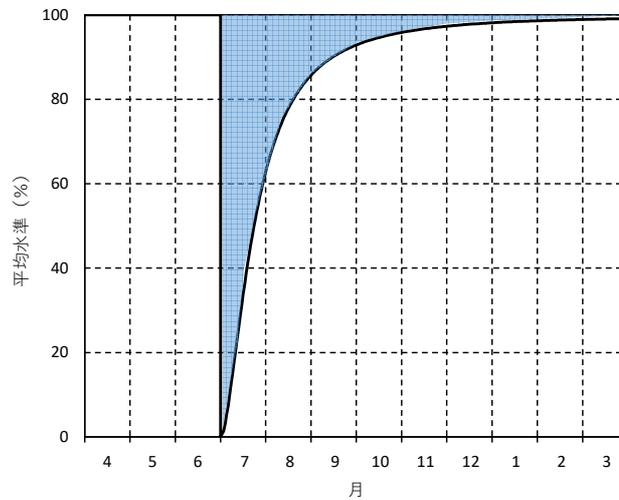


図 4-5 売上減少割合の推計例

4.3 売上に関する減少率の推計

4.3.1 売上に関する回復日数の推計

浸水等の水害により被害を受けて、売上等の低下が生じた事業所を対象に、回復日数の生存分析を行った。製造業と非製造業については、回復に影響を与える要因が異なることが想定されることから、これらを分けて分析した。生存分析の結果、得られた回復曲線のパラメータを以下に示す。また、説明変数が1単位変化したときの、各回復日数の期待値に対する変化量も示している。各回復日数の期待値は、製造業及び非製造業で共通として、表 4-4 に示す被害例を設定して算出した。

製造業のパラメータ推計結果を表 4-5 に示す。製造業では、対数ロジスティック分布の当てはまりが良かった。各回復曲線の切片をそれぞれ、 β_i^0 ($i = 1, 25, 50, 75, 100$ とし、各回復曲線のパラメータを示す。以下同様)と表すと、 $\beta_1^0 < \beta_{25}^0 < \beta_{50}^0 < \beta_{75}^0 < \beta_{100}^0$ となり、回復曲線に与える影響の大小関係が適切に推計された。また、95%信頼区間(信用区間とも言う)の下限値及び上限値は正值となった。

表 4-4 設定した被害例

説明変数	設定
浸水深 (m)	0.8
土砂堆積物の残存	無し
電気被害日数 (日)	5
水道被害日数 (日)	5
ガス被害日数 (日)	1
交通被害日数 (日)	12
通信被害日数 (日)	2
復旧・事業中断への資金充当	有り
資金調達への問題発生	無し
委託・振替の実施	無し
従業員数 (人)	15

浸水深のパラメータ β_i^D は、どの回復曲線でも正值となり、浸水深が深くなるほど、各回復日数が長期に及ぶ傾向が見られたことがわかる。 β_{25}^D について、95%信頼区間の下限值が負値となっているため、参考となるが、浸水の程度は、販売開始を遅らせるだけでなく、その後の売上等の回復過程においても遅れを生じさせることがわかる。浸水深が深くなると、販売開始までに必要な片づけ等を遅らせるとともに、浸水した機械等の故障の度合いも重くなり、完全に回復するまでの日数が大きくなると想定できる。浸水深が1m変化したときの回復日数の変化量は、1%以上回復日数で5日、50%以上回復日数で11日、100%回復日数で33日と非常に大きな値となった。パラメータの大きさは、 $\beta_{25}^D < \beta_{75}^D \div \beta_{50}^D < \beta_1^D < \beta_{100}^D$ となり、一部の回復曲線でパラメータの大小関係に逆転が見られた。ただし、他のパラメータの大小により、平均的な被害で、浸水深が7mまでは回復曲線が交差するような状況は生じなかった。

土砂堆積物の残存に関するパラメータ β_i^S は、どの回復曲線でも正值となった。「土砂堆積物の残存」が有りの条件では、1%以上回復日数は7日、50%以上回復日数は16日、100%回復日数は55日遅れる結果となっている。 $\beta_1^S \sim \beta_{75}^S$ について、95%信頼区間の下限值が負値となっているため、あくまで参考であるが、土砂堆積物が残存していると、販売開始が遅れるとともに、その遅延日数以上に、

元の水準までの回復が遅れることがわかる。広島県へのヒアリングによると、土砂も含めた災害ごみの撤去・処分を外部委託した事業所は半数程度あったようである。従業員等で対応できる範囲で土砂堆積物の片づけを行い、販売を開始したものの、完全に回復するために必要な、大掛かりな撤去については外部委託を行うため、それらの調整に時間がかかったことが考えられる。また、平成30年7月豪雨により被害を受けた自治体へのアンケート [74]によると、「庁内において、インフラ復旧や避難所運営等を優先せざるを得ないため、人命につながらない土砂撤去については後回しとならざるを得なかった。」との回答もあり、各事業所においても、土砂撤去を後回しにしたために、100%回復日数の変化量が大きくなっている可能性がある。パラメータの大きさは、 $\beta_{25}^S < \beta_{50}^S < \beta_1^S < \beta_{75}^S < \beta_{100}^S$ となり、一部の回復曲線でパラメータの大小関係に逆転が見られた。ただし、他のパラメータの大小により、回復曲線が交差するような状況は生じなかった。

ライフライン被害日数のパラメータは、どの回復曲線でも正值となった。ただし、 β_i^E (電気)、 β_i^G (ガス)、 β_i^C (通信) については、ほとんどの回復曲線で95%信頼区間の下限值が負値となった。ガス及び通信については、被害を受けた事業所が10%程度しかおらず、十分なデータがそろわなかったために、95%信頼区間で考えると、負値となる可能性があるものと考えられる。電気については、被害を受けた事業所が30%程度あったが、販売開始時点でほとんどの事業所(70%)において回復していた。浸水被害の片付け等を行っている最中に電気が使えるようになり、その後販売を開始した事業所が多く、電気の被害日数にばらつきがあり、各回復日数との関係を明確に観測できなかったものと思われる。 β_i^W (水道) 及び β_i^T (交通) については、被害を受けた事業所が半数程度あり、各水準に回復する間に水道・交通被害が回復した事業所が10%程度存在していた。そのため、各回復日数と水道・交通被害日数の関係が明確に観測され、ほとんどの回復曲線で95%信頼区間の下限值が正值となったと考えられる。電気、ガス、通信は、パラメータの大きさの上下関係が逆転しているものがあったが、通常想定している被害日数の範囲内であれば、回復曲線が交差するような状況は生じなかった。95%信頼区間の下限值が負値となったパラメータも含むため、あくまで参考ではあるが、ライフライン被害についても、被害日数の増大は、販売開始及びその後の回復過程の遅れを生じさせ、回復の水準が上がるほど、その遅れは大きくなる。その遅れは、ライフラインによって1日~5日と異なり、100%回復日

数の場合で、電気≒交通<通信<ガス≒水道となる。

ただし、これらの結果は、ライフラインの被害日数と各回復日数の統計的な関係を示したものである。実際は、ライフラインの回復後に操業水準等が回復し、それを通じて売上等が回復する。ライフラインの回復後に一定の時間が経過してから売上等が回復している事例もある。全体的な傾向として、ライフライン被害日数が長いほど、各回復日数の遅れが生じていることに注意する。ライフライン被害のように、ある時点までは被害が生じており、ある時点からは被害が生じていないといった事象については、本モデルのように被害日数を説明変数とするより、時間変化を考慮できるモデルの方が、その大きさを適切に評価できる可能性がある。浸水等による施設の直接的な被害はないものの、ライフライン被害等により売上等が低下した事業所については、本モデルでも分析の対象としているが、適切にライフライン被害の影響を考慮する必要があり、説明変数の時間変化を考慮できるモデルの構築は今後の課題とする。

表中の「復旧・事業中断への資金充当」は、水害により被害を受けたのち、自己資金、保険、銀行等からの借入により、何らかの形で資金を調達し充当している事業所を表し、全体の半数程度が該当している。「復旧・事業中断への資金充当」のパラメータ β_i^M は、どの回復区曲線でも正值となり、95%信頼区間で見ると、 β_1^M 及び β_{25}^M を除くと上限値及び下限値が正值であることから、資金を充当している事業所は、回復が遅くなる傾向があると言える。資金を充当していない事業所は、軽度の浸水被害であったため、このような結果になったものと推察できる。実際、資金を充当しなかった事業所のうち、半数程度は2週間以内に100%に回復しているが、資金を充当した事業所では、2週間以内に100%に回復している事業所は約2割しかいない。このように、資金充当の有無が被害の大きさの代理指標となっている可能性がある。資金を充当するような状態に陥っていない事業所は、陥っている事業所に比べて、1%以上回復日数が5日短くなり、100%回復日数は60日短くなる。

表中の「資金調達への問題発生」は、資金を充当したものの、その後に運転資金等の調達に問題が生じ、売上等の回復がさらに遅れている事業所を表す。このような事業所が一定数存在しており、「資金調達への問題発生」のパラメータ β_i^F は、どの回復曲線でも正值となり、95%信頼区間で見ると、上限値及び下限値が正值であることから、資金調達に問題が生じている事業所は、回復が遅くなる傾

向があると言える。資金不足は平均的に、1%以上回復日数で14日、25%以上回復日数から75%以上回復日数で45日～68日、100%回復日数において155日の遅れを生じさせる。資金調達に問題が生じた事業所の場合、販売開始の時点で平均より遅れている事業所が60%、25%以上回復から100%回復の時点で平均より遅れている事業所が90%以上である。問題が生じた時期については回答を得ていないので想定となるが、被害が甚大で、販売を開始するまでに問題が生じている事業所と、販売は開始したが、その後の回復過程で問題が生じた事業所の2種類が存在している可能性がある。そのため、本説明変数は、1%以上回復日数についても、変化量が大きくなっていると考えられる。

「委託・振替の実施」のパラメータ β_i^{sb} は、回復曲線の交差を防ぐために各曲線で同一とし、負値となった。95%信頼区間で見ると、上限値及び下限値が負値であることから、委託・振替を実施した事業所は、回復が早まる傾向にあることがわかる。委託・振替を実施した事業所では、平均的に1%以上回復日数が14日、50%以上回復日数で37日、100%回復日数で72日早くなる可能性が示された。

事業所の規模を示す従業員数(対数)のパラメータ β_i^p は、どの回復曲線でも負値となった。95%信頼区間で見ると、 $\beta_1^p \sim \beta_{75}^p$ の上限値が正值であることから、参考となるが、従業員数が多い事業所は、回復が早まる傾向にあることがわかる。従業員数が増えると、1%以上回復日数を2日、100%回復日数を14日早めることがわかる。

表 4-5 回復曲線のパラメータ推計結果（製造業）

分析対象	100% 回復日数	75%以上 回復日数	50%以上 回復日数	25%以上 回復日数	1%以上 回復日数
分布	対数ロジスティック分布				
期待値	85	56	43	30	17
切片	2.0875 (0.2526) {2.5833} {1.5882}	1.9765 (0.2465) {2.4561} {1.4865}	1.8316 (0.2364) {2.2970} {1.3606}	1.7192 (0.2372) {2.1809} {1.2504}	1.3822 (0.2510) {1.8659} {0.8923}
浸水深 (m)	0.3940 (0.1290) {0.6558} {0.1481} [33.4]	0.2466 (0.1175) {0.4745} {0.0170} [13.9]	0.2488 (0.1175) {0.4836} {0.0228} [10.6]	0.1963 (0.1152) {0.4261} {-0.0214} [6.0]	0.2905 (0.1167) {0.5231} {0.0605} [4.9]
土砂堆積物の残存 (無 : 0, 有 : 1)	0.6510 (0.2958) {1.2230} {0.0621} [55.2]	0.4486 (0.2846) {1.0239} {-0.1138} [25.2]	0.3691 (0.2771) {0.9081} {-0.1563} [15.8]	0.3001 (0.2762) {0.8325} {-0.2452} [9.2]	0.4365 (0.2735) {0.9668} {-0.1004} [7.4]
電気被害日数 (日)	0.0302 (0.0188) {0.0655} {-0.0070} [2.6]	0.0227 (0.0177) {0.0574} {-0.0121} [1.3]	0.0253 (0.0178) {0.0604} {-0.0095} [1.1]	0.0303 (0.0172) {0.0630} {-0.0042} [0.9]	0.0276 (0.0183) {0.0627} {-0.0102} [0.5]
水道被害日数 (日)	0.0547 (0.0176) {0.0897} {0.0198} [4.6]	0.0465 (0.0160) {0.0784} {0.0161} [2.6]	0.0430 (0.0164) {0.0748} {0.0102} [1.8]	0.0366 (0.0162) {0.0673} {0.0050} [1.1]	0.0312 (0.0165) {0.0635} {-0.0005} [0.5]
ガス被害日数 (日)	0.0548 (0.0467) {0.1456} {-0.0415} [4.6]	0.0213 (0.0455) {0.1081} {-0.0722} [1.2]	0.0233 (0.0425) {0.1027} {-0.0663} [1.0]	0.0449 (0.0407) {0.1207} {-0.0382} [1.4]	0.0238 (0.0419) {0.1045} {-0.0610} [0.4]
交通被害日数 (日)	0.0314 (0.0043) {0.0399} {0.0231} [2.7]	0.0211 (0.0041) {0.0292} {0.0133} [1.2]	0.0169 (0.0042) {0.0253} {0.0087} [0.7]	0.0151 (0.0042) {0.0235} {0.0073} [0.5]	0.0064 (0.0039) {0.0142} {-0.0012} [0.1]
通信被害日数 (日)	0.0454 (0.0432) {0.1363} {-0.0331} [3.8]	0.0537 (0.0339) {0.1204} {-0.0117} [3.0]	0.0388 (0.0300) {0.0996} {-0.0192} [1.7]	0.0256 (0.0299) {0.0848} {-0.0326} [0.8]	0.0220 (0.0296) {0.0810} {-0.0343} [0.4]

表 4-5 回復曲線のパラメータ推計結果（製造業） 続き

分析対象	100% 回復日数	75%以上 回復日数	50%以上 回復日数	25%以上 回復日数	1%以上 回復日数
復旧・事業中断 への資金充当 (無：0, 有：1)	0.7075 (0.2189) {1.1351} {0.2741} [60.0]	0.6570 (0.2189) {1.0798} {0.2243} [36.9]	0.5669 (0.2108) {0.9824} {0.1529} [24.2]	0.3885 (0.2170) {0.8193} {-0.0229} [11.8]	0.2935 (0.2257) {0.7411} {-0.1661} [5.0]
資金調達への 問題発生 (無：0, 有：1)	1.8308 (0.5398) {2.9549} {0.8429} [155.3]	1.2073 (0.4084) {2.0042} {0.4012} [67.9]	1.2938 (0.4074) {2.0652} {0.4901} [55.3]	1.4588 (0.4209) {2.2914} {0.6381} [44.5]	0.8510 (0.4219) {1.6796} {0.0234} [14.4]
委託・振替の実施 (無：0, 有：1)			-0.8529 (0.2240) {-0.4016} {-1.2943} [-72.3]		
log(従業員数)	-0.1606 (0.0760) {-0.0101} {-0.3054} [-13.6]	-0.1284 (0.0737) {0.0119} {-0.2721} [-7.2]	-0.1129 (0.0691) {0.0216} {-0.2488} [-4.8]	-0.1023 (0.0730) {0.0362} {-0.2483} [-3.1]	-0.1252 (0.0757) {0.0227} {-0.2746} [-2.1]
パラメータ ϕ			0.6464 (0.0229) {0.6933} {0.6043}		
標本数N			133		
DIC			5283		

(注) 1.()内の数値は標準偏差を示す。2.{ }内の数値は順に 95%信頼区間の上端値及び下端値を示す。3.[]内の数値は説明変数が 1 単位変化した時の回復日数の期待値の変化量を示す。

非製造業のパラメータ推計結果を表 4-6 に示す。非製造業では、ワイブル分布 ($\phi > 1$ の場合) の当てはまりが良かった。製造業よりも急激に回復が始まり、時間の経過とともに回復が鈍化するようなモデルとなっている。非製造業は、被災地域の需要の回復にも影響を大きく受けるため、市民生活の回復の程度が鈍化していくような形態を想定している可能性がある。また、非製造業は製造業に比べて多様な形態の業種が多く、ある時点に回復が集中するような分布となら

なかったと考えられる。製造業の場合と同じ傾向として、パラメータの符号は適切に推計されたこと、切片 β_i^0 の大小関係が適切に推計され 95%信頼区間の下限値及び上限値は正值となったこと、ライフラインのうち β_i^W （水道）及び β_i^T （交通）については 95%信頼区間の下限値及び上限値の多くが正值となる、ガス、交通、通信は 95%信頼区間の下限値が負値となることが多い、といった傾向がある。

浸水深のパラメータ β_i^D は、どの回復曲線でも 95%信頼区間の上限値と下限値が正值となった。浸水深が 1m 変化したときの回復日数の変化量は 2~18 日で、回復水準が上がるにつれて、大きくなる傾向がある。パラメータの大きさは、 $\beta_1^D < \beta_{25}^D < \beta_{100}^D < \beta_{50}^D \doteq \beta_{75}^D$ となり、一部の回復曲線でパラメータの大小関係に逆転が見られた。ただし、他のパラメータとの大小関係により、平均的な被害で、浸水深が 9m までは回復曲線が交差するような状況は生じなかった。

「土砂堆積物の残存」があるケースでは、1%以上回復日数は 3 日、50%以上回復日数で 7 日、100%回復日数では 25 日の遅れが発生する。100%回復日数の変化量は製造業の方が大きく、操業のための機械の修繕等を要するため、土砂堆積物の影響が大きくなるものと思われる。 β_{25}^S 及び β_{75}^S について、95%信頼区間の下限値が負値となり、製造業よりも 95%信頼区間の上限値及び下限値が正值となるパラメータは多かった。パラメータの大きさは、 $\beta_{75}^S < \beta_{25}^S < \beta_{50}^S < \beta_1^S < \beta_{100}^S$ となり、一部の回復曲線でパラメータの大小関係に逆転が見られた。ただし、他のパラメータとの大小関係により、回復曲線が交差するような状況は生じなかった。

ライフライン被害による回復の遅れは、100%回復日数の場合で、2 日~4 日となり、製造業より低めの結果となった。その大きさは、交通<水道 \doteq 通信<電気<ガスとなった。製造業・非製造業ともに 95%信頼区間の上限値及び下限値のほとんどが正值となった水道については、水道被害日数が 1 日延びると、100%回復日数が、製造業の場合で 5 日、非製造業の場合で 2 日遅れることがわかった。製造業の場合、食品加工や機械の冷却水等で使用することが多く非製造業よりも影響が大きくなったものと思われる。

「復旧・事業中断への資金充当」、「資金調達への問題発生」は、製造業よりも回復日数に与える影響は小さい。また、非製造業においては、建設業や卸売・小売業において、協力事業者へ委託・振替を行った事業所があった。これ

らの「委託・振替の実施」のパラメータ β_i^{sb} は、回復曲線の交差を防ぐために各曲線で同一とし、95%信頼区間で見ると、上限値が正值であることから、参考となるが、非製造業においても「委託・振替の実施」は回復を早める効果があり、1%以上回復日数では4日、100%回復日数では29日、回復を早めている。製造業に比べて、回復を早める効果は小さいが、非製造業の事業所は、製造業の事業所に比べて、従業員数の少ない事業所が多く、事業所規模の小ささから、回復を早める効果が出にくかったことが想定される。事業所の規模を示す従業員数（対数）は、95%信頼区間で見ると、 β_1^p のみ、上限値が負値となったため参考となるが、従業員数が増えると、各回復日数を2日～9日を早めることがわかる。

また、Lee[29], [64]が指摘したように、施設被害等も回復に影響を与えていることが推測されることから、導入を検討したが、浸水深との相関が強く、良いモデルとはならなかったため、浸水深及び土砂堆積物の残存の有無のみを用いたモデルとした。浸水等による施設の直接的な被害を受けた事業所と、直接的な被害はないがライフライン被害等により売上等が低下した事業所では、ライフライン被害日数等のパラメータの傾向が近く、これらを統合して分析している。

表 4-6 回復曲線のパラメータ推計結果 (非製造業)

分析対象	100% 回復日数	75%以上 回復日数	50%以上 回復日数	25%以上 回復日数	1%以上 回復日数
分布	ワイブル分布				
期待値	54	28	19	16	8
切片	3.0039 (0.2135) {3.4364} {2.5910}	2.3918 (0.1989) {2.7782} {2.0080}	2.2829 (0.2017) {2.6848} {1.8835}	2.1761 (0.1960) {2.5617} {1.8026}	1.6503 (0.1954) {2.0384} {1.2715}
浸水深 (m)	0.3294 (0.1043) {0.5367} {0.1334} [17.9]	0.4063 (0.0900) {0.5920} {0.2392} [11.4]	0.4063 (0.0875) {0.5783} {0.2363} [7.7]	0.3163 (0.0841) {0.4837} {0.1519} [5.2]	0.2774 (0.0815) {0.4410} {0.1274} [2.2]
土砂堆積物の残存 (無 : 0, 有 : 1)	0.4624 (0.2240) {0.9112} {0.0298} [25.1]	0.3610 (0.1987) {0.7624} {-0.0192} [10.1]	0.3758 (0.1953) {0.7650} {0.0019} [7.1]	0.3625 (0.1875) {0.7214} {-0.0080} [5.9]	0.4207 (0.1946) {0.8023} {0.0484} [3.3]
電気被害日数 (日)	0.0484 (0.0118) {0.0739} {0.0280} [2.6]	0.0149 (0.0078) {0.0312} {0.0005} [0.4]	0.0050 (0.0066) {0.0185} {-0.0070} [0.1]	0.0041 (0.0064) {0.0170} {-0.0078} [0.1]	0.0089 (0.0063) {0.0217} {-0.0029} [0.1]
水道被害日数 (日)	0.0298 (0.0145) {0.0590} {0.0028} [1.6]	0.0367 (0.0121) {0.0615} {0.0137} [1.0]	0.0297 (0.0107) {0.0512} {0.0093} [0.6]	0.0190 (0.0101) {0.0391} {-0.0008} [0.3]	0.0209 (0.0100) {0.0416} {0.0014} [0.2]
ガス被害日数 (日)	0.0716 (0.0441) {0.1598} {-0.0111} [3.9]	0.0194 (0.0346) {0.0893} {-0.0470} [0.5]	0.0302 (0.0338) {0.0998} {-0.0334} [0.6]	0.0535 (0.0336) {0.1232} {-0.0093} [0.9]	0.0793 (0.0353) {0.1539} {0.0132} [0.6]
交通被害日数 (日)	0.0178 (0.0042) {0.0265} {0.0097} [1.0]	0.0189 (0.0041) {0.0272} {0.0112} [0.5]	0.0137 (0.0040) {0.0216} {0.0062} [0.3]	0.0138 (0.0041) {0.0221} {0.0063} [0.2]	0.0043 (0.0037) {0.0119} {-0.0026} [0.0]
通信被害日数 (日)	0.0302 (0.0153) {0.0622} {0.0018} [1.6]	0.0265 (0.0137) {0.0550} {0.0012} [0.7]	0.0176 (0.0128) {0.0436} {-0.0057} [0.3]	0.0062 (0.0128) {0.0323} {-0.0175} [0.1]	0.0197 (0.0132) {0.0471} {-0.0048} [0.2]

表 4-6 回復曲線のパラメータ推計結果（非製造業）続き

分析対象	100% 回復日数	75%以上 回復日数	50%以上 回復日数	25%以上 回復日数	1%以上 回復日数
復旧・事業中断 への資金充当 (無：0, 有：1)	0.5015 (0.2047) {0.8988} {0.0939} [27.2]	0.5062 (0.1860) {0.8760} {0.1509} [14.2]	0.4476 (0.1865) {0.8084} {0.0781} [8.5]	0.5276 (0.1773) {0.8731} {0.1842} [8.6]	0.5146 (0.1820) {0.8748} {0.1564} [4.0]
資金調達への 問題発生 (無：0, 有：1)	1.5256 (0.4417) {2.4552} {0.7204} [82.7]	0.8720 (0.3359) {1.5711} {0.2421} [24.5]	0.4862 (0.2938) {1.0733} {-0.0857} [9.2]	0.5151 (0.3040) {1.1424} {-0.0634} [8.4]	0.7064 (0.3122) {1.3415} {0.1196} [5.5]
委託・振替の実施 (無：0, 有：1)			-0.5350 (0.3435) {0.1644} {-1.1576} [-29.0]		
log(従業員数)	-0.1545 (0.0966) {0.0324} {-0.3411} [-8.4]	-0.1292 (0.0842) {0.0368} {-0.2913} [-3.6]	-0.1553 (0.0826) {0.0087} {-0.3131} [-2.9]	-0.1528 (0.0785) {0.0010} {-0.3080} [-2.5]	-0.2073 (0.0765) {-0.0555} {-0.3548} [-1.6]
パラメータ ϕ			1.2324 (0.0272) {1.2861} {1.1789}		
標本数N			260		
DIC			10486		

(注) 1.()内の数値は標準偏差を示す。2.{ }内の数値は順に 95%信頼区間の上端値及び下端値を示す。3.[]内の数値は説明変数が 1 単位変化した時の回復日数の期待値の変化量を示す。

4.3.2 売上に関する回復日数の確率分布

推計されたパラメータを基に、表 4-4 に示す被害例が生じた場合の回復曲線を図 4-6 に示す。各曲線は各水準の超過確率を示している。各曲線の差は、売上等の水準がその範囲内にある事業所の割合を示している。設定した被害例では、1%以上回復日数及び100%回復日数の分布は、製造業と非製造業で差はないが、間の25%以上回復日数～75%以上回復日数は差が生じていることがわかる。

製造業の場合は、各曲線の差が比較的同じ程度で、段階的な回復が生じていることがわかる。非製造業の方は、25%以上回復日数と50%以上回復日数の分布が近いことから、25%まで回復すると、50%までの回復も同時に生じる傾向があることがわかる。

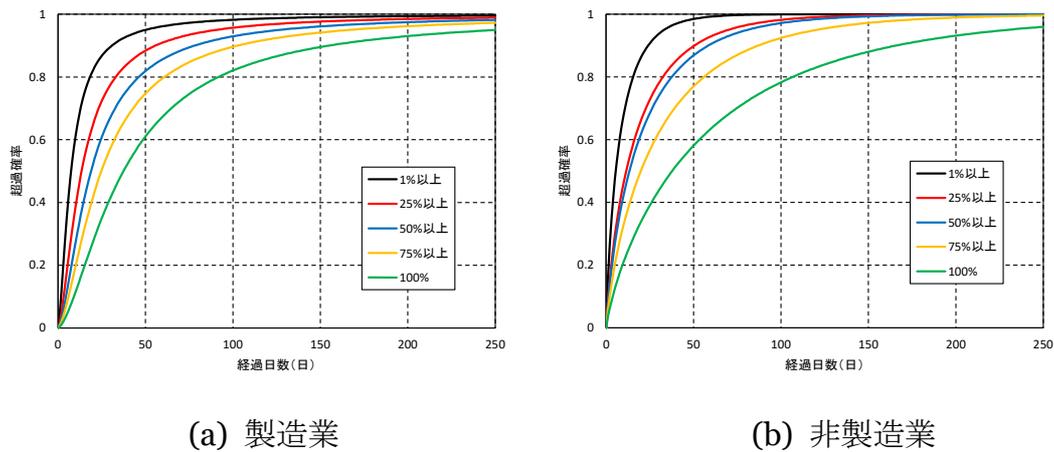
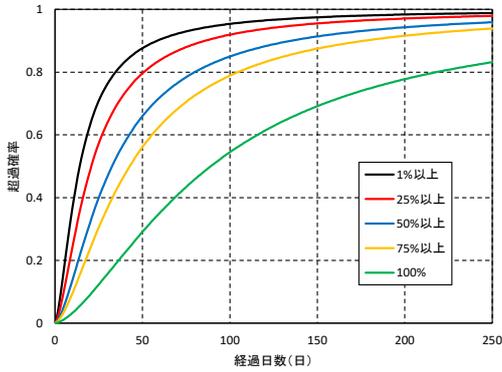


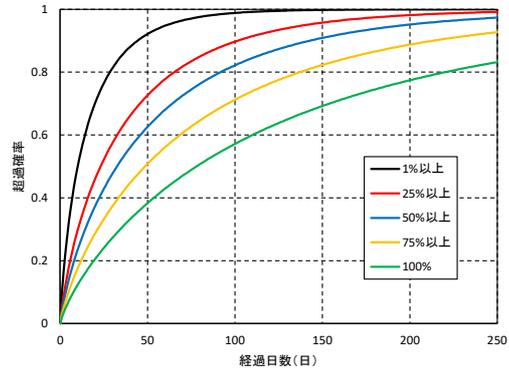
図 4-6 被害例での回復曲線

浸水の影響を確認するために、浸水深を 3m とした場合の回復曲線を図 4-7 に示す。浸水深が 3m の場合、浸水の影響が強くなり、各曲線が右に移動している。製造業の場合、売上等の水準が 75%以上 100%未満の範囲が広がっている。回復が始まると、75%まで段階的に回復後に、回復が停滞する傾向があることがわかる。一方で、非製造業の場合は、1%以上 25%未満、25%以上 50%未満の範囲が広がったことがわかる。回復直後に停滞が生じ、その後は段階的に回復する傾向があることがわかる。

土砂堆積物の残存の影響を確認するために、土砂堆積物の残存を有りとした場合の回復曲線を図 4-8 に示す。土砂堆積物が残存している場合も、回復曲線は全体的に右に移動しており、製造業の 75%以上 100%未満の範囲が広がっていることがわかる。残存した土砂堆積物を完全に撤去するまでに多くの労力を要していることが想定される。非製造業の場合は、25%以上回復日数と 50%以上回復日数の分布が近い傾向を維持したまま、回復が遅くなっている。

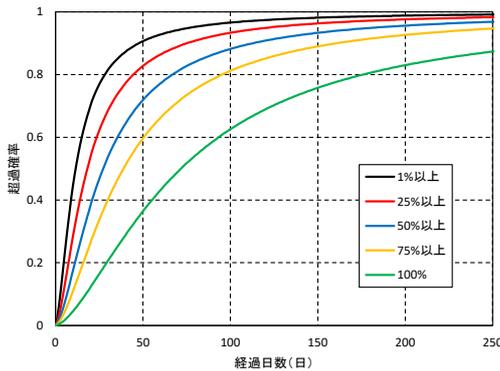


(a) 製造業

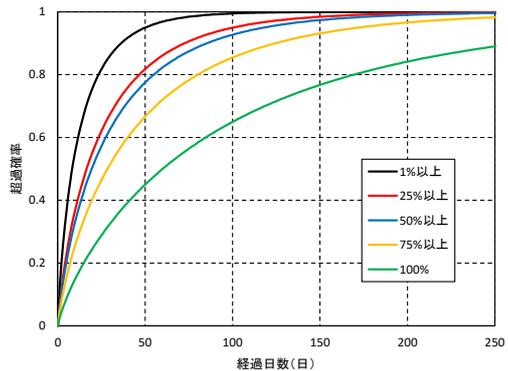


(b) 非製造業

図 4-7 被害例（浸水深が3mの場合）での回復曲線



(a) 製造業



(b) 非製造業

図 4-8 被害例（土砂堆積物の残存が有りの場合）での回復曲線

4.3.3 売上回復過程の推計

前項で得られた回復曲線を用いて、売上水準の期待値（平均水準）を求めることができる。図 4-9 は、前項で示した表 4-4 の条件の場合に、時間の経過とともに平均水準が回復している様子を示したものである。製造業がやや遅れて回復しているものの、製造業、非製造業ともに同じような回復過程を示している。

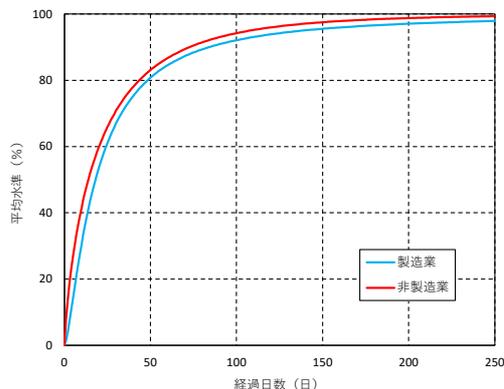


図 4-9 被害例における回復過程

浸水深の影響を確認するために、浸水深がそれぞれ 0m, 1m, 3m の場合について、図 4-10 に示した。浸水深が 0m の場合は、浸水による施設等の直接的な被害はないがライフライン被害等により売上等が低下した事業所の回復過程を示したものになる。平均的なライフライン被害日数の場合、製造業の回復が非製造業に比べて遅くなっている。浸水深が増大することによる回復遅延への影響は非製造業の方が大きく、浸水深が 3m の場合は、製造業と非製造業の回復過程はほぼ同程度となり、浸水深が 5m の場合は非製造業の方が、回復が遅くなっている。図 4-7 で示したように、浸水深が 3m の場合、各回復曲線の形状は異なるが、平均的な回復過程を推計すると、同じような曲線となっている。

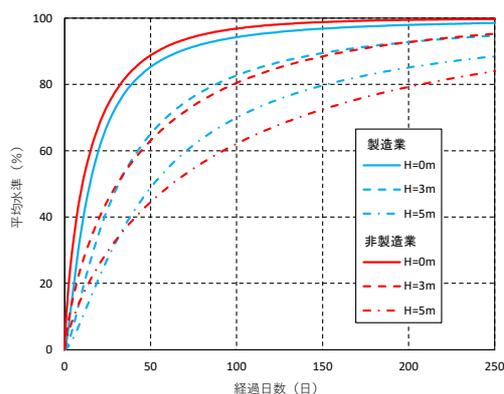


図 4-10 被害例における回復過程
(浸水深がそれぞれ 0m, 3m, 5m の場合)

土砂堆積物の影響等を確認するために、土砂堆積物残存の有無で比較した結果を図 4-11 に示す。この場合も、土砂堆積物が残存していると回復が遅くなっている。製造業、非製造業は似たような経路をたどっており、どの時点でも平均水準の差は 5%程度である。ただし、図 4-8 で示したように、各回復曲線は大きく異なっている。

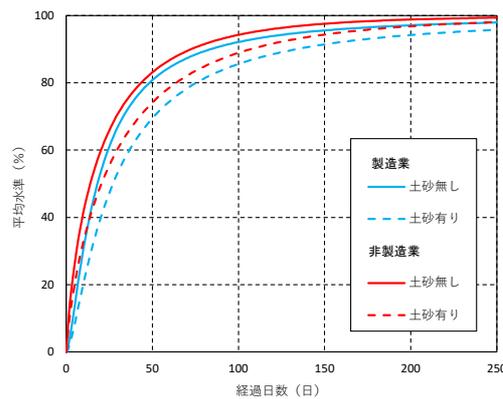


図 4-11 被害例における回復過程
(土砂堆積物の残存がそれぞれ有り、無しの場合)

委託・振替の効果を見るために、図 4-12 において、平均的な被害で浸水深が 3m の場合について、委託・振替を実施した場合としなかった場合の回復過程を比較した。浸水深が 3m の場合、製造業・非製造業ともに、150 日経過して、平均水準が 90%まで回復する。委託・振替を実施すると、製造業では 60 日、非製造業でも 100 日で 90%まで回復しており、大きな効果を示している。

さらに、仮想的に、浸水被害やライフライン被害等が生じていない場合の回復過程を図 4-13 に示した。製造業は 90 日、非製造業は 50 日でほぼ 99%まで回復している。これは、需要の回復に相当するものと考えられる。中国経済産業局や日本銀行岡山支店の分析 [75], [76]によると、小売業や製造業においては、平成 30 年 7 月豪雨直後の 8 月や 9 月の時点で生活再建需要が生じ、観光需要は 10 月以降に生じたとあり、おおむね同じ程度の日数となっている。アンケートの自由記述には、「客が来なかった」、「町全体が販売不振」、「卸先が被災」といった記述があり、これらの事業所については、周辺地域の需要の低下による回復

の遅れが想定される。一方で、ライフライン被害等だけで回復過程が説明づけられるような事業所もあり、一律に周辺地域の需要低下を付加するのではなく、周辺地域の需要低下の有無を説明できるような変数の導入も検討する必要がある。

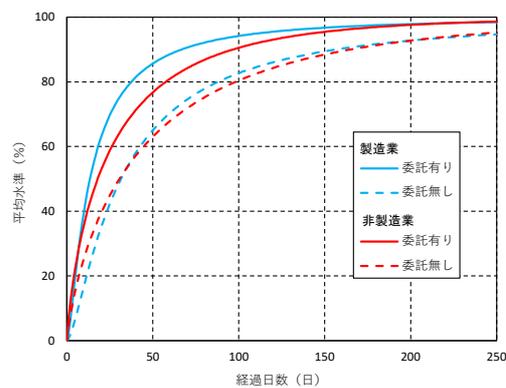


図 4-12 被害例における回復過程
(浸水深が 3m で、委託・振替の実施がそれぞれ有り、無しの場合)

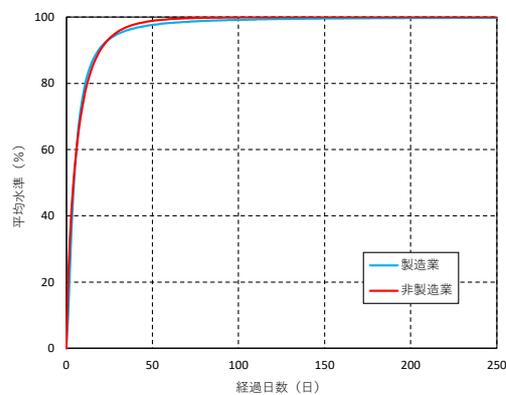


図 4-13 被害なしの場合の回復過程

4.3.4 売上被害の検証

前項に示した平均的な回復過程を各事業所について推計し、日数換算した総売上被害の推計値を求めることができる。アンケートにおいても、売上被害の回答を得ており、これを観測値として推計値と比較した。日数換算した売上被害を対数軸で比較した結果を図 4-14 に示す。製造業、非製造業ともに、ばらつきは

あるが、統合的な結果を得ている。観測値≪推計値となっている事業者が比較的多いが、これらは早期に回復している事業所が多く、需要の回復も平均より早かった事業所と考えることができる。現在のモデルでは、需要の低下の影響を一律に切片に含めているため、周辺の浸水被害やライフライン被害は小さく、需要も早期に回復したような事業所では、推計値が大きくなる傾向がある。

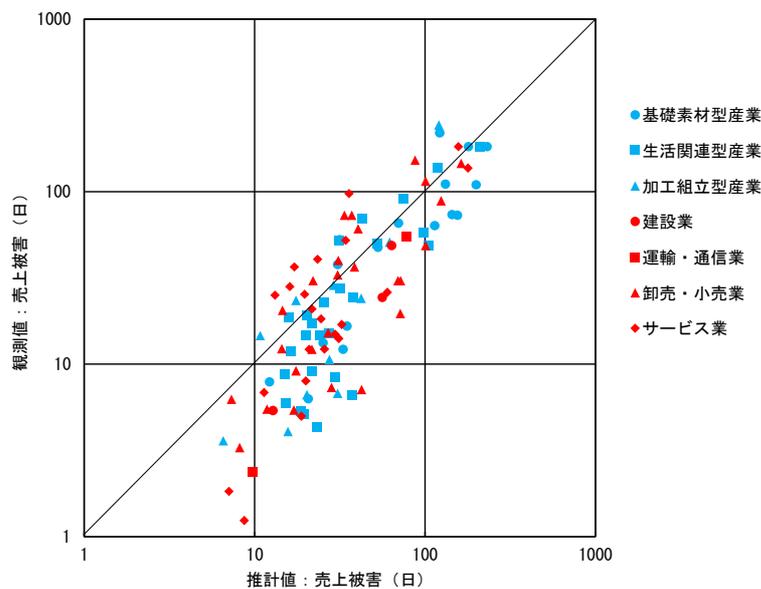


図 4-14 売上被害の比較

4.4 既往研究との比較

本項では、今までに示した手法と、浸水深別代表値により売上減少を推計する既往の手法について比較する。既往の手法として、治水経済調査マニュアル（以下、マニュアル）[4]及び防災経済コンソーシアム（以下、コンソーシアム）[2]を用いた推計結果を示す。マニュアルでは、浸水深区分別に営業停止日数及び営業停滞日数が示されており、これらを基に事業中断による経済被害（営業停止損失）を求める。コンソーシアムでは、浸水深区分別、製造業・非製造業別に売上被害を推計しており、同時に示した。

既往研究との比較に当たって、本研究で作成した推計モデルに設定する説明変数は、モデル作成時に入力したアンケートと同様の条件とした。本研究の推計結果は、マニュアルと同様の浸水深区分別に集計し箱ひげ図として示す。また、各推計結果は日数換算した売上被害として示す。

以上の結果を図 4-15に示す。なお、マニュアルの浸水深は、多田 [20]と同様に、床下高さを45cmと仮定して、地盤高からの浸水深に修正している。

製造業及び非製造業において、浸水深の全体を通じて、本研究による推計値の四分位範囲が既往研究とも合致していることがわかる。ただし、売上被害が大きく推計（例えば、製造業の浸水深が約150cm以下の範囲で売上被害が50日～100日程度）されている事業所もある。これらは、ライフライン被害日数が平均よりも長期にわたっているものや、浸水被害は少なかったものの何らかの影響により「資金調達への問題発生」が有る事業所である。浸水深以外の要因で売上被害が大きくなる事業所であり、平均値や中央値に与える影響は少ないものの、平成30年7月豪雨では存在しており、浸水深のみで評価する方法では、過小に売上被害が評価されてしまう。このような浸水深以外の影響も考慮できる点が、本モデルの有意性であると言える。製造業においては、浸水深が200cm以上の領域では、コンソーシアムで推計した売上被害よりも小さい結果となっている。コンソーシアムの解説によると、製造業における浸水深300cm以上の領域は標本がなく、推計している売上被害は、300cm未満の領域の標本を基に指数関数で外挿したものである。そのため、コンソーシアムの売上被害は大きく推計されているも

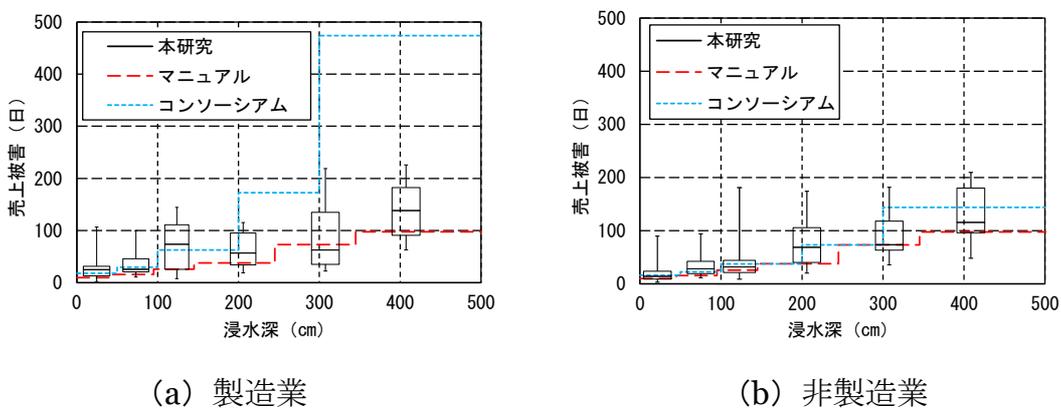


図 4-15 本研究及び既往の推計結果の比較

のと考えられる。また、製造業の浸水深200cmまでの区間では、マニュアルより売上被害が大きく推計されている。マニュアルは、「平成5年～平成29年災のうち利用可能な『水害被害実態調査』 [4]から推計されたもので、平成30年7月豪雨により被害を受けた事業所アンケートを基にした本研究とは、対象とした水害の時期が異なっている。マニュアルが対象としている時期と平成30年7月豪雨の時期を比較すると、全産業においてパソコンの導入が進み、またサプライチェーンの重要さも増している。さらに、製造業において精密機械の導入や自動化等も進み、各種ライフライン被害が売上被害に及ぼす影響が拡大している可能性があり、これらが両者の売上被害の差に影響しているものと考えられる。なお、以上のマニュアル及びコンソーシアムで示されている売上被害は、事業中断期間を示したもので、周辺地域の需要低下の影響は含まれていないことに注意する。

4.5 売上減少額から営業利益減少額への変換

4.5.1 売上と営業利益の関係

前節までの分析において、災害後における売上の回復過程を推計したが、経済被害を求めるためには、営業利益減少額に変換する必要がある。古橋ら [16]によると、売上水準推移に対する費用及び営業利益の関係は図 4-16 のように表される。図中の赤線は災害前後の売上水準推移を示している。

以下で、古橋ら [16]に倣って売上水準の変化と営業利益減少額の定式化を行う。時刻 t における売上水準、変動費水準、固定費水準及び営業利益水準をそれぞれ $R(t)$ 、 $C_V(t)$ 、 $C_F(t)$ 及び $\pi(t)$ とする。変動費は売上によって変化する費用、固定費は売上に関わらず発生する費用なので、以下のように仮定する。

$$C_V(t) = R(t) \times \phi \quad (30)$$

$$\begin{aligned} C_F(t) &= C_F \\ &= \text{cnst.} \end{aligned} \quad (31)$$

ここで、 ϕ は売上変動費率を表す。この時、営業利益は以下のように表される。

$$\begin{aligned} \pi(t) &= R(t) - C_V(t) - C_F(t) \\ &= R(t) - R(t) \times \phi - C_F \\ &= R(t)(1 - \phi) - C_F \end{aligned} \quad (32)$$

さらに、売上変動費率 ϕ をある期間で一定、災害前後でも一定と仮定すると、ある期間における営業利益減少額 $\Delta\pi$ は、売上変動費率 ϕ とある期間の売上減少額

ΔR を用いて、以下のように表される。

$$\begin{aligned}\Delta\pi &= \int \Delta\pi(t)dt \\ &= (1 - \phi) \times \int \Delta R(t)dt \\ &= (1 - \phi) \times \Delta R\end{aligned}\tag{33}$$

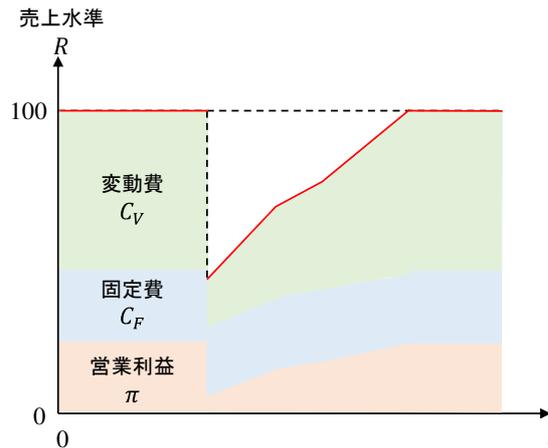


図 4-16 売上水準推移に対する費用及び営業利益の関係

ここで、売上水準が 0 になるような場合について補足しておく。営業利益が (32)式で表される場合、本来であれば、以下に示すように、営業利益が 0 以上の条件でなければ事業所は操業等を行わないと考えられる。

$$\begin{aligned}\pi(t) &= R(t)(1 - \phi) - C_F \geq 0 \\ R(t) &\geq \frac{C_F}{(1 - \phi)}\end{aligned}\tag{34}$$

ただし、実際には復旧活動及び操業等を行っている。これは、図 4-17 に示すように、ある一定の期間では固定費の分だけが損失となり営業利益が負となるが、回復してしばらく経過し、営業利益が正となって以降に一定期間が経過すると営業利益の総額が正となることを見込んでいるため、操業等を行っていると考えられる。例えば、 $\phi = 0.6$ で、売上と固定比の比率が 0.2 の時、各売上水準での営業利益減少額は表 4-7 のように示される。売上水準が 0 の場合、固定費の分だけ営業利益はマイナスで計上され、営業利益減少額にも考慮されている。回復初期段階では営業利益はマイナスで、回復中期により営業利益

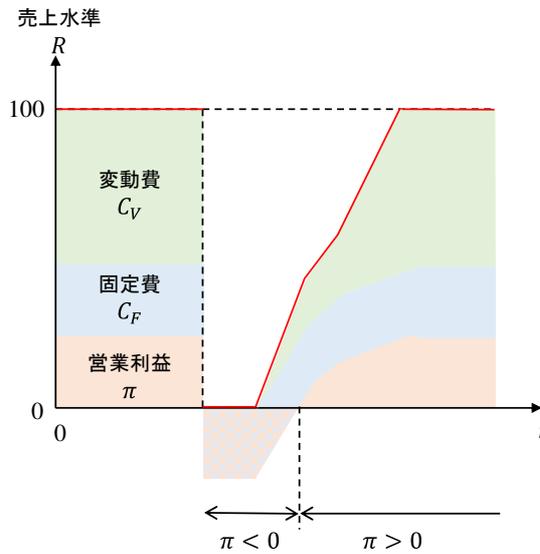


図 4-17 売上が 0 からの回復について

表 4-7 売上と営業利益減少の例

	通常時	直後	回復初期	回復中期	回復終盤
売上	100	0	10	50	80
売上減少	—	-100	-90	-50	-20
変動費	60	0	6	30	48
固定費	20	20	20	20	20
営業利益	20	-20	-16	0	12
営業利益減少	—	-40	-36	-20	-8

は 0 となる。この段階では、営業利益の総額はマイナスである。その後、営業利益はプラスとなり、回復が進むにつれて営業利益の総額もある時点からプラスとなる。

4.5.2 売上変動費率の計量

前節で、営業利益減少額を売上減少額と売上変動費率により推計できることを示した。本節では、マクロデータにより平均的な売上変動費率を求める。法人企業統計調査 [77] の売上高より、表 4-8 に示す方法で求める。参考に、古

橋ら [16]による方法を表 4-9 に示す。古橋らは、「動産・不動産賃借料」及び「支払利息等を除く営業外費用－営業外利益」も変動費とみなしていたようであるが、本研究では、固定費に分類している。

表 4-8 変動費の算出方法（本研究）

法人企業統計の内訳		本研究の分類			
売上高	売上原価	人件費	売上高	変動費	その他（仕入原価又は材料原価）
		福利厚生費		その他（販売費及び一般管理費に含まれる）	
		減価償却費		人件費（売上原価に含まれる）	
		その他（仕入原価又は材料原価）		人件費（販売費及び一般管理費に含まれる）	
	販売費及び一般管理費	人件費		福利厚生費	
		動産・不動産賃借料		動産・不動産賃借料	
		減価償却費		減価償却費（売上原価に含まれる）	
	その他	減価償却費（販売費及び一般管理費に含まれる）			
	営業利益	経常利益		固定費＋利益	営業利益
		支払利息等（営業外費用に含まれる）			
その他（支払利息等を除く営業外費用－営業外利益）					

表 4-9 変動費の算出方法（古橋ら [16]）

法人企業統計の内訳		古橋らの分類			
売上高	売上原価	人件費	売上高	変動費	動産・不動産賃借料
		福利厚生費		その他（仕入原価又は材料原価）	
		減価償却費		その他（販売費及び一般管理費に含まれる）	
		その他（仕入原価又は材料原価）		その他（支払利息等を除く営業外費用－営業外利益）	
	販売費及び一般管理費	人件費		人件費（売上原価に含まれる）	
		動産・不動産賃借料		人件費（販売費及び一般管理費に含まれる）	
		減価償却費		福利厚生費	
	その他	減価償却費（売上原価に含まれる）			
	営業利益	経常利益		固定費＋利益	減価償却費（販売費及び一般管理費に含まれる）
		支払利息等（営業外費用に含まれる）			支払利息等（営業外費用に含まれる）
その他（支払利息等を除く営業外費用－営業外利益）		経常利益			

表 4-10 に、以上の方法により算出した売上変動費率を示す。参考に、古橋らの分類による結果、平成 23 年度の売上高等を用いた場合の結果も示す。古橋らの分類により算出した結果と本研究の分類で算出した結果には大きな差異は生じておらず、過去の推計結果に及ぼす影響は小さい。また、平成 23 年度と平成 30 年度のものを比較すると、大きな変化は生じていない。

表 4-10 売上変動費率の算出結果

産業分類	平成 23 年度		平成 30 年度	
	古橋ら	本研究	古橋ら	本研究
製造業	0.784	0.788	0.764	0.779
基礎素材型産業	0.792	0.798	0.779	0.790
加工組立型産業	0.783	0.782	0.752	0.774
生活関連型産業	0.790	0.786	0.770	0.774
非製造業	0.831	0.819	0.833	0.825
建設業	0.800	0.795	0.771	0.769
運輸・通信業	0.640	0.615	0.672	0.650
卸売・小売業	0.891	0.882	0.894	0.889
金融・保険・不動産業	0.742	0.808	0.856	0.843
サービス業	0.620	0.601	0.591	0.577

4.6 おわりに

本章では、浸水による施設等の被害やライフライン被害等により、事業を中断する事業所の経済損失を確率的に評価することを目的とし、元の水準に至るまでの中間の水準も含めて、回復曲線を推計した。推計にあたって、適合度の高い分布及び説明変数の組合せを検討したところ、製造業では対数ロジスティック分布が、非製造業ではワイブル分布が最適であった。重要な説明変数として、浸水深、各ライフラインの被害日数、資金調達に関する状況等があり、これらが各回復日数に与える影響を定量的に評価することができた。全般として、水準が上がるほど、回復日数に対する説明変数の影響は大きくなる傾向が確認された。また、ライフラインの被害日数は、95%信頼区間で見ると負となるパラメータもあったが、被害日数が増えるほど回復が遅くなる傾向は確認できた。製造業の場合で、非製造業の場合の2~4倍程度の影響が生じており、製造業がライフラインに強く依存していることがこれらの結果からも確認できた。さらに、回復過程から推計される売上被害は、実際の売上被害と同程度であり、本手法の妥当性を確認できた。本手法は従来の売上被害推計方法と比較しても、大きく逸脱するような結果となっておらず、今までの手法により推計した売上被害を詳細に解釈する手段ともいえる。

一方、本章では取り扱えなかった課題も山積している。2005年にアメリカ合衆国南東部を襲った大型ハリケーンカトリーナにより、事業所の復旧の有無を分析したJamesら [27]によると、事業所の復旧の有無は近隣の事業所の復旧の有無と関係があり、空間的な分析が重要となることが報告されているが、本論文では空間的な分析は行えていない。Aliら [62]によると、2010年にパキスタンで発生した水害では、事業所の施設を自社所有としている企業より賃貸としている企業の方が、回復が早かったことが報告されている。さらに、Yuら [28]では、2008年にテキサス州で発生した水害では、非フランチャイズ企業よりフランチャイズ企業の方が、企業回復が早かったことが報告されている。本アンケートではこういった点を確認する設問を設けておらず、今回のモデルで推計できなかった点については、これらの要因による可能性も考えられる。統計モデルの高度化とともに説明要因の拡充が、水害の経済影響を適切に把握するうえで今後の課題となる。

第5章 産業部門における経済被害の集計法に関する研究

5.1 はじめに

近年、大規模な水害が頻発する中、過去の災害における経済被害を把握することは、今後の施策の検討、計画策定、経済効果分析に必要となる。一般的な方法を示したマニュアル [4]が作成されており、浸水深別の被害率や営業停止日数により被害額が推計されている [44], [45]。マニュアルでは、浸水深を説明変数として被害額を推計できるものの、災害により生じたライフライン被害による経済被害や資金不足等による影響を考慮することが難しい。ライフライン被害等の影響を加えた分析として、ライフラインを生産要素に含めたSCGEによる経済被害の算出 [23], ライフライン途絶時の操業水準等の把握 [33], [34]がある。

平成30年7月豪雨における経済被害の分析としては、アンケート調査による事業所被害の実態分析 [78]があり、ライフライン被害のみであっても多くの事業所で長期の営業停止が生じていることが明らかとなっている。また、同様のアンケート調査により事業所の回復に影響を与えた要因の分析 [25]が行われ、事業所の被害に合わせた売上回復曲線が推計されている。さらに、プローブデータ等による交通マネジメント施策の経済効果計測 [79]では、広島～呉における交通マネジメント施策に対する経済被害減少便益が約50億円程度あったことが推計されている。一方で、水害による経済被害を推計するモデルの作成や、経済被害額に関する既存の算出方法との比較までは行われていない。

本章では、第3章及び第4章で作成した推計モデルに基づき、平成30年7月豪雨による産業部門の経済被害を推計する。平成30年7月豪雨災害により被害を受けた岡山県倉敷市真備地区（以下、真備）及び広島県呉市（以下、呉市）を対象としている。真備では広範囲に大規模な浸水が生じており、呉市では浸水に加えてライフライン被害が長期にわたっている。古橋ら [16]に倣って、第2章で示したように二重計上を防ぐために、経済被害を復旧費用と営業利益減少額で表す。復旧費用の推計に当たっては、第3章で示した浸水深を説明変数とした復旧費用率（事業所資産に占める復旧費用の割合）のフラジリティ曲線を用いる。営業利益

減少額の推計に当たっては、第4章で示した浸水深、ライフライン被害日数、資金不足等の影響を説明変数として生存分析により求めた各売上水準の回復曲線を使用する。さらに、営業利益減少については、経済被害に占める説明変数の寄与についても分析する。

5.2 集計の基本的な考え方

5.2.1 平成30年7月豪雨における条件の設定

具体的な復旧費用及び営業利益減少の推計手順は図 5-1 に示すとおりである。浸水深を説明変数とした復旧費用率のフラジリティ曲線（[80]及び第3章）を基に復旧費用率の期待値を推計する。さらに、公開資料等から求めた、浸水深、従業員一人当たりの事業所資産、従業員数より復旧費用を推計する。浸水深及び従業員数は地域メッシュ単位（1辺約500m、以下同様）で設定している。従業員一人当たり事業所資産は、製造業・非製造業別、従業員規模別に求めた。以上を基に、復旧費用を地域メッシュ単位で算定し、分析範囲の地域メッシュについて合計し、復旧費用の総額とした。

浸水深、各種ライフラインの被害日数等を説明変数として、生存分析により求めた各売上水準の回復曲線（[41]及び第4章）を基に、回復過程を推計し、売上減少割合を求める。さらに、公開資料等から求めた、従業員一人当たりの売上、売上変動比率、従業員数より、営業利益減少額を推計する。従業員数及び説明変数は地域メッシュ単位で設定した。従業員一人当たり売上及び売上変動比率は製造業・非製造業別に求めた。以上を基に、営業利益減少額を地域メッシュ単位で算定し、分析範囲の地域メッシュについて合計し、営業利益減少額の総額とした。

また、営業利益減少額については、説明変数別の寄与率等を理論的に算出することが困難なため、説明変数 x の条件において推計した営業利益減少額（以下、 $\Delta\pi_0$ ）とは別に、例えば説明変数 x のうち、変数 x_i を除去して求めた営業利益減少額（以下、 $\Delta\pi_{-i}$ ）を算出し、式(35)及び(36)で示すように、 $\Delta\pi_0$ 及び $\Delta\pi_{-i}$ の差 D_i で $\Delta\pi_0$ を案分し、各変数の寄与額 K_i とした。

$$D_i = \Delta\pi_0 - \Delta\pi_{-i} \quad (35)$$

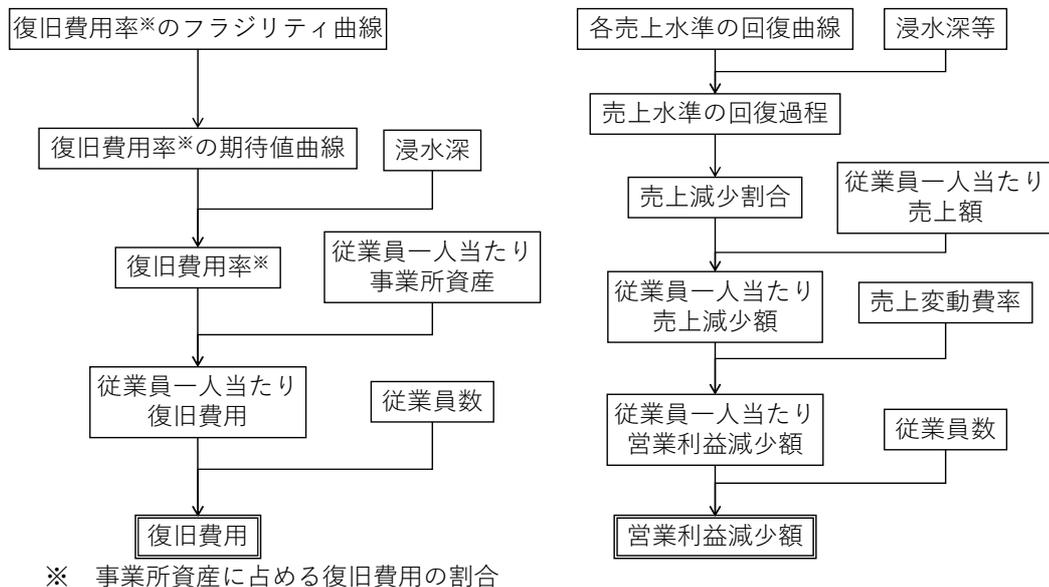


図 5-1 経済被害推計の流れ（図 3-2 及び図 4-2 の再掲）

$$K_i = \frac{D_i}{\sum D_i} \Delta \pi_0 \quad (36)$$

推計に必要な各説明変数の出典等を表 5-1 に示す。説明変数のうち、「復旧・事業中断への資金充当」は、水害により被害を受けたのち、自己資金、保険、銀行等からの借入により何らかの形で資金を調達し充当している事業所を表す。

「資金調達への問題発生」は、水害への対応として資金を充当したものの、その後、運転資金等の調達に問題が生じ、売上等の回復がさらに遅れている事業所を表す。また、「委託・振替の実施」は、自社製品や販売物を協力事業所等で生産してもらい、別の場所で販売を開始する、等の対応を表す。回復過程を推計するために必要な説明変数のうち、各種ライフライン被害や資金調達の状況等については、公開資料 [81], [82], [83], [84], [85] に加えて、復旧費用率の脆弱性曲線（[80] 及び第 3 章）及び各売上水準への回復曲線（[41] 及び第 4 章）を推計した際に用いた事業所アンケートを基に、表 5-2 に示すように設定した。全事業所の $n_A\%$ を条件 A、 $n_B\%$ を条件 B と設定している場合は、営業利益減少額の期待値 $\Delta \pi$ を次のように求めた。

$$\Delta\pi = \Delta\pi_A \times \frac{n_A}{100} + \Delta\pi_B \times \frac{n_B}{100} \quad (37)$$

ここで、 $\Delta\pi_A$ 及び $\Delta\pi_B$ は、それぞれ条件 A 及び B の場合の営業利益減少額である。条件が増えた場合も、同様の考えに基づき期待値を算出した。

表 5-1 説明変数等の出典等

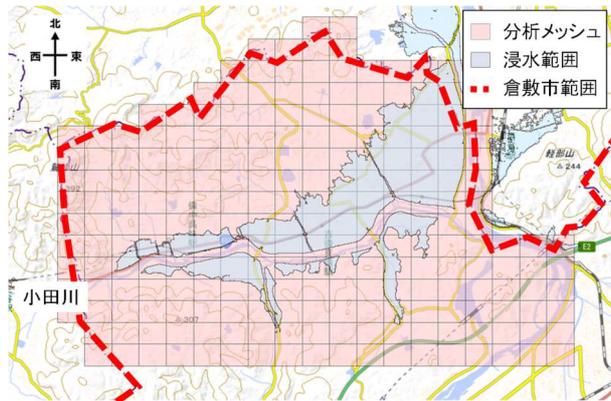
説明変数等	出典等
復旧費用率のフラジリティ曲線	黒田ら（[80]及び第3章）
復旧費用率の期待値曲線	
浸水深	国土地理院 [86] 広島県資料 [81] 呉市資料 [87], [82]
従業員一人当たり事業所資産	中小企業調査 [51] 企業活動調査 [52]
従業員数	センサス [42]
各売上水準の回復曲線	黒田ら（[41]及び第4章）
売上水準の回復過程	
土砂堆積物の残存	事業所アンケート
電気被害日数	岡山県資料 [83], [84]
水道被害日数	倉敷市資料 [85]
ガス被害日数	広島県資料 [81]
交通被害日数	呉市資料 [82]
通信被害日数	
復旧・事業中断への資金充当	詳細は表 5-2 参照
資金調達への問題発生	
委託・振替の実施	
従業員一人当たり売上高	センサス [42]
売上変動比率	法人企業統計調査 [77]
事業所数	センサス [42]

表 5-2 事業所アンケート及び公開資料により設定した条件

変数	真備	呉市
浸水深	0m～5m	0m～2m
土砂堆積物の残存	あり（浸水事業所） なし（同以外）	
電気被害日数	5日	5日（全事業所の約10%） 0日（同約90%）
水道被害日数	7日	7日（全事業所の約50%） 0日（同約50%）
ガス被害日数	10日（浸水事業所） 0日（同以外）	0日
交通被害日数	5日	100日（全事業所の約5%） 20日（同約45%） 0日（同約50%）
通信被害日数	30日	0日
復旧・事業中断への資金充当	あり（浸水事業所の約70%） なし（同約30%）	
資金調達への問題発生	あり（浸水事業所の約20%） なし（同約80%）	
委託・振替の実施	あり（浸水事業所の約4%） なし（同約96%）	

5.2.2 メッシュ単位での推計

分析範囲は、図 5-2(a)及び図 5-2(b)に示す範囲である。それぞれ、真備及び呉市の範囲を示す。真備においては、小田川の決壊により浸水被害が発生し、分析範囲の約1/3が浸水範囲となっている。分析に当たっては、浸水データ（図 5-2(a) 青枠範囲）に約500mのバッファを発生させた範囲を使用した。呉市においては、一般家屋を含めた建物被害の約50%を占める安浦地区、天応地区において、公表されている浸水範囲 [87]を設定した。他の地区においては、浸水範囲が不明なため、建物被害の約30%を占める昭和地区、中央地区、広地区、川尻地区、音戸地区について、災害状況の写真等を基に浸水範囲及び浸水深を設定した。ただし、呉市内の浸水想定範囲に位置する事業所は約1,000件あるものの、浸水した事業所は223件（後述する水害統計 [43]）と非常に差異が多い。真備に比べて、浸水深が低く、浸水範囲に位置していても、事前の対策等で浸水していない事業所が多数であったことが想定される。そのため、浸水想定範囲に位置する事業所のうち、20%程度の事業所が浸水しているものとして推計した。



(a) 岡山県倉敷市真備地区



(b) 広島県呉市

図 5-2 経済被害の推計範囲

5.3 経済被害の推計及び既往研究との比較

5.3.1 経済被害の総額について

5.2 で示した方法により推計した経済被害の総額は、真備においては 358 億円、呉市においては 259 億円となった。既往の報告と比較した結果を表 5-3 に示す。本研究については、信頼区間を 95% に設定した場合の被害額の下端値及び上端値、浸水箇所のみを推計結果を示す。既往の報告として示した水害統計 [7] は、倉敷市及び呉市における一般家庭の家屋被害等も含めた被害額について、被害事業所数等で案分した結果である。真備において、浸水被害を受けた事業所

の数を本研究と水害統計で比較すると、本研究の方が少ない結果となった。本研究で用いた浸水被害範囲 [86]では把握できていない浸水箇所の可能性が示唆される。呉市においては、5.2.1 で述べたように浸水した事業所を調整しているため、同じ程度の事業所数となっている。

表 5-3 産業部門の経済被害の比較

(a) 真備

出典	事業 所数 (件)	被害総額 (億円)	内 訳 (億円)	
			復旧費用 資産被害	営業利益減少額 営業停止被害
本研究	874 <559>	358 (199~525) <336>	242 (194~294) <242>	116 (5~231) <94>
製造業	91 <71>	103 (48~168) <102>	65 (47~82) <65>	38 (1~86) <37>
非製造業	783 <488>	245 (152~357) <238>	177 (147~212) <177>	68 (5~145) <61>
水害統計	642	491	412	79

(b) 呉市

出典	事業 所数 (件)	被害総額 (億円)	内 訳 (億円)	
			復旧費用 資産被害	営業利益減少額 営業停止被害
本研究	9,694 <211>	259 (99~681) <67>	52 (38~68) <52>	207 (61~613) <15>
製造業	935 <19>	97 (28~292) <18>	12 (7~18) <12>	85 (21~274) <6>
非製造業	8,759 <192>	162 (71~389) <49>	40 (31~50) <40>	122 (40~339) <9>
水害統計	223	58	53	5

()内は 95%信頼区間の下端値及び上端値を示す。

< >内は浸水箇所の推計結果を示す。

また、比較的規模の大きい企業の決算情報等によると、表 5-4 に示すような被害額や特別損失が報告されている。日新製鋼及び王子マテリアについては、関連企業、他の地域の事業所被害等も含まれていることが想定されるものの、本研究で推計した浸水事業所の平均的な被害額（真備で約 0.6 億円/件、呉市で約 0.3 億円/件）と比較すると、非常に大きな被害額となっている。古橋ら [16] が東日本大震災における経済被害を推計した際にも同様のことが指摘されており、大企業の被害の補完については、引き続き検討が必要となる。

表 5-4 公表されている企業の被害額

場所	産業分類	会社名	被害額 (億円)
真備	製造業	TEORI [88]	2
		山陽化成 [89]	5
	非製造業 (小売業)	大黒天物産 [90]	6
		天満屋ストア [91]	2
		コメリ [92]	8
呉市	製造業	王子ホールディングス (王子マテリア) [93]	37
		日新製鋼 (日本製鉄) [94]	223
		ディスコ [95]	5
	非製造業 (小売業)	イズミ [96]	15

5.3.2 復旧費用について

本研究における復旧費用と水害統計における一般資産被害を比較する。真備において、事業所の平均的な被害額に換算すると、本研究が 0.4 億円/件、水害統計が 0.6 億円/件となり、本研究は水害統計に比べて小さく推計されている。この原因として、浸水被害が甚大で復旧を断念し、倒産、廃業等を選択したような事業所を、本研究では十分に考慮できていないことがある。復旧費用率のフラジリティ曲線（[80]及び第 3 章）の推計において、倒産した事業所からの回答が十分に得られず、復旧費用が低めに推計された可能性がある。分析範囲を含む真備船穂商工会へのヒアリングによると、被災した事業所の約 10%が倒産して

いるとのことであつた。分析範囲では、倒産による被害額が大きく、本研究では復旧費用が小さく推計されたと推測される。参考までに、浸水深が5m以上となつた事業所(78件、浸水した事業所の約10%)について、保有する資産の全てを失つたために倒産したと仮定(復旧費用率を100%に設定)すると、復旧費用は276億円となつた。浸水深が3m以上の事業所(454件、浸水した事業所の約80%)について同様に仮定したところ、425億円となり、水害統計と同程度の結果となつた。本仮定は若干強引にも見えるが、水害統計によると倉敷市では一般家屋も含めて浸水した建物の約80%が全壊している。算出上はこれらの箇所では、資産の全てを失うものとして被害額を算出しており、本想定と同じような条件となっている。

呉市では、本研究と水害統計の結果が同程度となつた。事業所ごとの平均的な被害額は、本研究、水害統計ともに、0.2億円/件である。呉市では、浸水深が真備に比べると低く、前述した倒産したような事業所が少なく、本研究で想定している条件が水害統計と近いものであつたことが確認できる。

5.3.3 営業利益減少額について

本研究における営業利益減少額と水害統計による営業停止被害を比較する。真備においては、本研究は水害統計の約1.5倍となつた。浸水箇所のみ営業利益減少額と比較しても約1.2倍である。各種ライフライン被害や資金調達への問題が生じたことにより復旧が遅れ、マニュアルの想定よりも回復に期間を要しており、このような差が生じている。

ライフライン被害が長期に及んだ呉市では、水害統計との差は顕著で、浸水箇所のみに限っても、3倍、それ以外も含めると約40倍となつた。既往の推計方法だけでは把握しきれない、水害により間接的に生じた被害と言える。中野ら[15]が新潟県中越地震において、被害額を推計した際は、復旧費用の約1.2倍の営業利益減少が報告されている。古橋ら[16]が東日本大震災において被害額を推計した際は、復旧費用の約12倍の営業利益減少額が報告されている。本推計では、復旧費用の約4倍の営業利益減少額が推計されている。東日本大震災においては、他の災害に比べても広域に被害が生じるとともに、ライフライン被害の長期化、取引先の被災、需要の減少等の影響が多分に含まれており、このような差異が生じていると考えられる。一見、過大な推計とも見えるが、毎年公表さ

れている工業統計調査 [97]によると、呉市の製造業における出荷額から推計される営業利益減少額は、平成 30 年の前後で約 40 億円程度となる。製造業の営業利益減少額は本研究で 85 億円と推計されており、両者は十億円単位の結果となった。実際は、本研究で考慮できていない挽回生産をした事業所もあり、本研究の推計結果が大きくなったものと考えられ、間接的な被害が推計できた可能性が示唆される。ただし、本研究の推計結果は、95%信頼区間で見るとその幅が広い。営業利益の減少は、様々な説明変数を用いて推計しているが、ばらつきが大きい変数もあり、このような結果となったと考えられる。適切に比較できる推計値とするためには、ばらつきの少ない変数のみを用いる、同種水害のアンケートを利用しサンプルを増やす等により、推計モデルの改良が必要となる。一方で、実際の水害における営業利益の減少について、確率的な幅を持った推計は今までに示されておらず、本推計の妥当性については、引き続き検証が必要となる。

5.3.4 営業利益減少額の内訳について

営業利益減少額について、説明変数別寄与の内訳を表 5-5 に示す。真備において、浸水深の寄与率は、製造業で 26%、非製造業で 38%と大きい。非製造業は、ショッピングモールのように一か所に集中して事業所が存在することが多く、そのような箇所と浸水被害が大きい地域が重なり、結果的に浸水の寄与率が非製造業で大きくなったものである。浸水事業所は、土砂堆積物が残存するような条件としたため、これらの寄与率も製造業で 14%、非製造業 12%と比較的大きくなった。これらの浸水による直接的な影響が、営業利益減少の約 40~50%を占めており、その対策の重要性がわかる。

ライフラインのうち、水道、ガス及び通信の被害日数は他のライフラインより比較的長く、製造業、非製造業ともに 10%程度と大きくなった。ライフライン被害のように、浸水が間接的に産業部門に与える影響は、営業利益減少額の約 40%を占めていることが示された。

復旧・事業中断への資金充当の寄与率は製造業及び非製造業で 12%と大きい。浸水被害の大きい事業所では回復が遅く、当然資金充当をしていることが多いことから、このような結果になったと考えることができる。資金調達への問題発生寄与率は、製造業で 9%、非製造業で 4%と差異が大きい。製造業の回復過程においては、非製造業に比べて専門性の高い設備の修繕、取替等が必要とな

表 5-5 営業利益減少に対する説明変数別寄与の内訳

(a) 真備

説明変数	製造業		非製造業	
	金額 (億円)	割合 (%)	金額 (億円)	割合 (%)
浸水深	10	26	26	38
土砂堆積物の残存	5	14	8	12
電気被害日数 (日)	2	4	2	3
水道被害日数 (日)	4	10	5	8
ガス被害日数 (日)	4	10	9	14
交通被害日数 (日)	1	3	2	3
通信被害日数 (日)	5	13	5	7
復旧・事業中断への資金充当	4	12	8	12
資金調達への問題発生	3	9	3	4
委託・振替の実施	0	-1	0	-1

(b) 呉市

説明変数	製造業		非製造業	
	金額 (億円)	割合 (%)	金額 (億円)	割合 (%)
浸水深	2	3	6	5
土砂堆積物の残存	3	4	6	5
電気被害日数 (日)	2	2	3	2
水道被害日数 (日)	22	26	28	23
ガス被害日数 (日)	0	0	0	0
交通被害日数 (日)	50	58	72	59
通信被害日数 (日)	0	0	0	0
復旧・事業中断への資金充当	3	4	5	4
資金調達への問題発生	3	3	3	2
委託・振替の実施	0	0	0	0

※四捨五入の関係で端数を調整

るため、資金調達に問題が生じた場合の影響が大きく、このような結果が生じていると考えられる。委託・振替をしていた事業所は少なく、寄与率は製造業、非製造業ともに低い結果 (-1%であるが、金額は、四捨五入により切り捨てたため

0 億円) となった。これら、事業所の事前対策に係る説明変数の寄与率は、営業利益の減少の約 20%を占めており、BCP の策定等が経済被害の削減に資することが示された。ただし、復旧・事業への資金充当は浸水被害の大きさとも関連しており、これらを分離するように変数を設定し、説明変数別の寄与をより明確に示すことも必要である。

ライフライン被害が長期に及んだ呉市では、浸水や土砂堆積物の影響は約 3～5%と低く、ライフラインのうち、水道が約 20～30%、交通が約 60%と大部分を占めている。

5.3.5 仮想的なシナリオの分析について

回復過程推計モデルを用いて、仮想的なシナリオにおける営業利益減少額を推計することができる。前項までに示した被害額を基準とし、仮想的なシナリオでの被害額を表 5-6 に示す。

表 5-6 仮想的なシナリオの推計結果

場所	シナリオ概要	営業利益減少額 (億円)	
		基準	仮想
真備	BCP 等の策定率向上	116	87
呉市	交通対策施策なし	207	260

真備において、浸水した事業所のうち、約 4%の事業所が委託・振替を実施したと想定していたが、その効果はわずかであった。そこで、仮想的なシナリオとして、浸水した事業所の約 70%が委託・振替を実施できた場合について営業利益減少額を算出したところ、87 億円 (約 30%減) となった。これは、各事業所で BCP の策定等により、水害への対策が進むことで、軽減される経済被害とみなすことができる。

呉市においては、災害時 BRT (Bus Rapid Transit) 等の交通システム確保施策が講じられており [98]、これらによって、交通被害日数が軽減された状況を推計していると考えられる。仮に、これらの施策が講じられなかった場合に、現在の想定よりも交通被害の影響を受けた事業所が増加 (交通被害日数が

100日の事業所が約10% (+5%)、同20日の事業所が約80% (+35%)、同0日の事業所が約10% (-40%)としたと設定すると、営業利益減少額は260億円(約25%増)となった。増加した53億円は、神田らが推計した施策の便益である約50億円[79]と同程度になっており、施策が講じられなかった条件を再現できた可能性がある。ただし、呉市で取られた施策は、物流の回復に加えて、従業員の参集状況の回復にもつながっており、交通インフラ被害の影響が事業所活動に及ぼす影響については、引き続き検証が必要となる。

5.4 おわりに

本章では、水害による産業部門の経済被害を評価する必要性に着目し、今まで震災に対してのみ適用されてきた統合的な被害推計方法を、平成30年7月豪雨における倉敷市真備地区及び広島県呉市を対象とした被害推計に適用した。

その結果を既存の推計結果と比較すると、甚大な浸水被害が生じた真備においては、復旧費用が低く、営業利益減少額が高く評価されることになった。営業利益減少額については、説明変数別の寄与率を確認することにより、浸水による直接的な影響が約40~50%、ライフライン被害のような間接的な影響が約40%、事業所の事前対策等の影響が約20%となることが示された。さらに、仮想的に、浸水した事業所の約70%が委託・振替を実施できていたとすると、経済被害が約30%軽減されることが示された。ライフライン被害が長期に及んだ呉市では、復旧費用は既存の推計結果と同程度となったが、営業利益減少額が既存の推計結果の約40倍と非常に大きな推計となった。また、呉においては、交通対策の効果を約53億円と見積もることができた。

一方で、復旧費用は、甚大な被害により倒産したような事業所の影響を十分に反映できておらず、低く推計されている可能性が指摘されている。そのため、倒産の有無を確率的に推計するとともに、倒産を含めた経済被害の推計モデルを検討する必要がある。また、本研究の営業利益減少は、幅が広い推計結果となり、営業利益減少の推計モデルについても、課題が見つかった。今後、推計モデルの改良を進めるとともに、ライフライン被害のような間接的な影響が及ぼす経済被害の検証方法についても検討していきたい。また、推計モデルが適用可能な被害の規模や事業所数についても、適用事例を増やしていき、検証が必要となる。

第6章 結論

本論文では、水害が発生した場合の産業部門の経済被害を定量化することの重要性に着目し、経済被害推計モデルを作成するとともに、平成30年7月豪雨における被災地域を対象とした被害推計に適用した。

以下に、本論文の要約を示す。

第1章では、近年、国内外で大規模な水害が発生していることを踏まえて、経済被害を定量化することの重要性と課題を示した。また、対象とした平成30年7月豪雨の概要について説明した。

第2章では、本論文の基本的な考え方となる、経済被害を復旧費用と営業利益減少額で推計することについて概説した。また、それぞれの推計方法について、既往研究を整理し、確率分布の適用手法の観点で分類した。さらに、推計モデルの基になるアンケート調査についても説明した。

第3章では、復旧費用推計モデルを作成した。フラジリティ曲線の考え方を、復旧費用率に対して適用したもので、復旧費用率の期待値曲線を比較すると、非製造業の方が約10%、製造業よりも被害を受けやすいことがわかった。得られた復旧費用率及び復旧費用額を既往研究と比較したところ、本研究の推計結果はどちらも低めの結果となった。企業の水害対策やBCPが、既往研究の被害率算出時に比べて、進展したことを反映している可能性が示されたと言える。浸水深に加えて、これらを説明変数とした分析を行う必要があり、評価モデルを継続的に更新しながら、その妥当性を検証していくことが重要であることが示唆された。

第4章では、回復過程推計モデルを作成し、営業利益減少額の推計方法を示した。水害により低下した事業所の売上回復過程を、元の水準に至るまでの中間水準も含めた回復曲線により推計したものである。製造業では対数ロジスティック分布、非製造業ではワイブル分布が最適であった。重要な説明変数として、浸水深、各ライフラインの被害日数、資金調達に関する状況等があり、これらが各回復日数に与える影響を定量的に評価することができた。全般として、水準が上がるほど、回復日数に対する説明変数の影響は大きくなる傾向が確認された。さらに、回復過程から推計される売上被害は、実際の売上被害や既存の推計モデルによる結果と同程度であり、本手法の妥当性を確認できた。

第5章では、第3章及び第4章で示した推計方法に基づき、倉敷市真備地区及び広島県呉市を対象として、平成30年7月豪雨における産業部門の経済被害を推計した。その結果を既往の推計結果と比較すると、甚大な浸水被害が生じた真備においては、復旧費用が低く、営業利益減少額が高く評価されることになった。ライフライン被害が長期に及んだ呉市では、復旧費用は既存の推計結果と同程度となったが、営業利益減少額が既存の推計結果の約40倍と非常に大きな推計となった。また真備において、仮想的に、浸水した事業所の約70%が委託・振替を実施できていたとすると、経済被害が約30%軽減することが示された。呉においては、既往研究で推計されたように交通対策の効果が約50億円であるとき、対策が実施されなかったときの交通被害の状況が推計できる可能性を示すことができた。

謝辞

本論文の完成に至るまでには、数多くの方々にお世話になりました。研究の結びにあたって、以下に記し、深く感謝の意を示させていただきます。

まず、指導教員である京都大学防災研究所 社会防災研究部門 防災社会システム研究分野 多々納裕一教授からは、休日にもかかわらず非常に手厚く温かいご指導を賜りました。研究が行き詰った際に、深い見識から適切な助言をくださり、筆者の研究を力強く後押ししてくださいました。結果が出ず、くじけそうになった際にも、温かい激励の言葉をかけてくださったおかげで、研究に立ち向かうことができました。さらに、学外の方々から学習する機会や、学会で発表する機会を提供していただくなど、非常に貴重な経験をさせていただきました。先生のご指導がなければ、本論文は完成し得ませんでした。心より感謝申し上げます。

京都大学防災研究所 巨大災害研究センター 巨大災害過程研究領域 矢守克也教授、同センター 災害情報システム研究領域 畑山満則教授からは、論文調査委員として、論文の独自性に対して推敲の不足している箇所、論文の理論的な展開について、的確なご指摘を頂きました。研究を進める上で有用な参考文献を紹介いただくこともあり、論文の深みを増すことにつながることができました。改めて心より感謝申し上げます。

香川大学 創造工学部 梶谷義雄教授には、論文調査委員として、基礎的な事柄から丁寧に指導いただきました。研究の根幹となるアンケート作成の際は、過去の同種アンケートにおける課題等を踏まえて、何度も添削いただきました。被災地へのヒアリングをご一緒できたことで、研究の方向性等が明確になりました。各推計モデル作成の際は、理論面で筆者の不足している点をご指摘いただくとともに、モデルに対する考察の着眼点を教えていただく等、多くの部分で助言を与えていただきました。深く感謝申し上げます。

防災社会システム研究分野の皆様にはこれまで大変お世話になりました。研究室 OB・OG である高知工科大学 経済・マネジメント学群 土屋哲教授、長崎大学 環境科学部 吉田護准教授、武漢理工大学 蒋新宇准教授、Huan Liu 特定助教、後藤周さん、藤井将大さん、秘書の加藤靖代さん、Ayuna Matthews さんには、本当にお世話になりました。素晴らしい先輩、後輩、秘書の方々に囲まれ、非常に楽しく有意義な研究室生活を送ることができました。この場をお借りし

て、深く御礼申し上げます。

また、アンケート調査にご協力くださいました、広島県、岡山県、愛媛県の企業の皆様には、心より御礼申し上げます。現地調査や電話調査においては、商工会連合会や行政の方々に多大なご協力をいただきました。ここに、深く感謝いたします。

本日に至るまで何不自由なく研究に勤しむ環境を与え、遠い香川から暖かく励ましてくれた母、同じく京都に在住し気分転換に付き合ってくれた姉、弱音を吐きたいときに黙って聞いてくれた弟、同時期にフランスで学士及び修士課程を修了しさらに就職までして頑張る姿が励みになった妹に多大なる感謝の意を表します。最後に、分野は違いますが、日々研究に勤しんでいた父の姿を思い出すたびに、頑張ろうという思いが湧き、そのたびに奮い立つことができました。亡くなった父に感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 内閣府政策統括官（防災担当）：平成 25 年版 防災白書 図表 1-0-9 世界の自然災害発生頻度及び被害状況の推移（年平均値），2013.
- [2] 内閣府防災経済コンソーシアム：洪水被害想定シミュレーション，<http://www.bousai.go.jp/kyoiku/consortium/index.html>（2021 年 8 月 7 日確認）。
- [3] 吉川弘道，中村孝明：土木/建築施設の地震リスク評価とコンクリート構造物への適用，コンクリート工学，Vol. 45, No. 4, pp. 16-22, 2007.
- [4] 国土交通省水管理・国土保全局：治水経済調査マニュアル（案），2020.
- [5] 気象庁：平成 30 年 7 月豪雨について（今般の豪雨の名称についての参考資料），2018.
- [6] 気象庁：災害をもたらした気象事例（平成 30 年 7 月豪雨（前線及び台風第 7 号による大雨等）），2018.
- [7] 国土交通省水管理・国土保全局河川計画課：平成 30 年の水害被害額（確報値），令和 2 年 3 月 24 日広報資料，2020.
- [8] 経済産業省：鋳工業生産指数時系列データ（2020 年 7 月 23 日確認）。
- [9] 経済産業省中国経済産業局：鋳工業生産指数時系列データ（2020 年 7 月 23 日確認）。
- [10] 経済産業省四国経済産業局：鋳工業生産指数時系列データ（2020 年 7 月 23 日確認）。
- [11] 中小企業庁：中小企業強靱化研究会（第 1 回）資料 4，2018.
- [12] 中小企業庁：中小企業強靱化研究会（第 4 回）資料 5，2019.
- [13] 社会資本整備審議会：第 1 回大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策検討小委員会配布資料（【資料 2】平成 30 年 7 月豪雨における被害等の概要），2018.
- [14] Rose, A.: Economic Principles, Issues, and Research Priorities in Hazard Loss Estimation, in Okuyama, Y. et al.(eds) "Modeling Spatial and Economic Impacts of Disaster", Advances in Spatial Science, Springer, pp.13-36, 2004..
- [15] 中野一慶，多々納裕一，藤見俊夫，梶谷義雄，土屋哲：2004 年新潟県中越地震における産業部門の経済被害推計に関する研究，土木計画学研究・論文集，Vol.24, No.2, pp.289-298, 2007.
- [16] 古橋隆行，多々納裕一，梶谷義雄，玉置哲也，奥村誠：東日本大震災

- による産業部門への経済被害の推計方法に関する研究, 土木学会論文
集 D3 (土木計画学), Vol.70, No.5, pp.197-210, 2014.
- [17] 井出眞弘: Excel による産業連関分析入門 VBA のプログラミング手
法をモデル構築で解説, 産能大学出版部, 2003.
- [18] A., Pistrika, G., Tsakiris and I., Nalbantis: Flood depth-damage
functions for built environment, Environ. Process., Vol. 1, pp.553-572,
2014.
- [19] 吉川弘道, 大滝健, 前田欣昌, 中村孝明: 地震リスク解析におけるフ
ラジリティ曲線と地震損失関数, コンクリート工学, Vol. 45, No. 10,
pp. 26-34, 2007.
- [20] 多田直人: 水害被害推計手法の高度化に関する研究, 東京大学博士論
文, 2014.
- [21] 損害保険料率算定機構: 東海豪雨水災被害アンケート調査による住宅
被害分析, RISK, Vol.65, pp.18-25, 2002.
- [22] 豊田利久: 地震と経済学ー地震工学との接点を求めてー, 国民経済雑
誌 第 183 巻第 1 号, pp.1-12, 2001.
- [23] 土屋哲, 多々納裕一, 岡田憲夫: 地震災害時のライフライン途絶が及
ぼす経済被害の計量化に関する研究, 地域安全学会論文集, No. 10,
pp. 355-364, 2008.
- [24] 山澤成康: 被災 3 県の月次 GDP の作成ー間接被害の大きさを測る,
日本経済学会発表, 2014.
- [25] 大原美保, 南雲直子, 新屋孝文: 平成 30 年 7 月豪雨災害での被災事
業所の営業再開・生産活動の回復状況の分析, 土木学会論文集 B1 (水
工学), Vol.78, No.2, pp.37-42, 2022.
- [26] 宮本雅斗, 福谷陽, 宇木諒大: 2019 年台風 15 号の高潮・高波による
横浜市金沢区福浦・幸浦地区の浸水分布と企業被害の実態, 地域安全
学会論文集, No.41, pp. 209-217, 2022.
- [27] J. P. LeSage, R. K. Pace, Lam, N., Campanella, R. and Liu, X.: New
Orleans business recovery in the aftermath of Hurricane Katrina, J. R.
Statist. Soc. A, Vol. 174(4), pp. 1007-1027, 2011.
- [28] Xiao, Y. and Van Zandt, S.: Building community resiliency: Spatial
links between household and business post-disaster return, Urban
Stud. J., Vol 49 (11), pp. 2523-2542, 2012.
- [29] Lee, J.: Business recovery from Hurricane Harvey, Int. J. Disaster Risk
Reduct., Vol. 30, pp. 305-315, 2019.
- [30] Applied Technology Council (ATC-25) : Seismic vulnerability and
impact of disruption of lifelines in the conterminous United States,
1991.

- [31] 梶谷義雄, 多々納裕一, 山野紀彦, 朱牟田善治: 製造業を対象としたライフライン途絶抵抗係数の推定, 自然災害科学, Vol.23, No.4, pp.553-564, 2005.
- [32] 梶谷義雄, 多々納裕一, 山野紀彦, 朱牟田善治: 非製造業を対象としたライフライン途絶抵抗係数の推定, 自然災害科学, Vol.24, No.3, pp.247-255, 2005.
- [33] Kajitani, Y. and Tatano, H.: Estimation of lifeline resilience factors based on surveys of Japanese industries, Earthquake Spectra, Vol.25, No.4, pp. 755-776, 2009.
- [34] Liu, H., Tatano, H. and Kajitani, Y. : Estimating lifeline resilience factors using post-disaster business recovery data, Earthquake Spectra, Vol.37, No.2, pp. 567-586, 2021.
- [35] 木村秀治, 石川良文, 片田敏孝, 浅野和広, 佐藤尚: 都市型水害における事業所被害の構造的特質に関する研究, 土木学会論文集 D, Vol. 63, No. 2, pp. 88-100, 2007.
- [36] Yang, L., Kajitani, Y., Tatano, H. and Jiang, X.: A methodology for estimating business interruption loss caused by flood disasters :insights from business surveys after Tokai Heavy Rain in Japan, Natural Hazards, Vol. 84, pp. 411-430, 2016.
- [37] 田中吾朗, 新田堯之: 自然災害による経済被害額の推計手法について平成 30 年 7 月豪雨を例に, 経済財政分析ディスカッション・ペーパー, 2018..
- [38] Cremen, G., Seville, E. and Baker, J. W.: Modeling post-earthquake business recovery time: An analytical frame-work, Int. J. Disaster Risk Reduct., Vol. 42, pp. 197-205, 2020.
- [39] Aghababaei, M., Koliou, M. and Watson, M. and Xiao, Y.: Quantifying post-disaster business recovery through Bayesian methods, Struct. Infrastruct. Eng., Vol. 17, No. 6, pp. 838-856, 2021.
- [40] Liu, H., Tatano, H., Kajitani, Y. and Yang, Y. : Analysis of the influencing factors on industrial resilience to flood disasters using a semi-markov recovery model: A case study of the Heavy Rain Event of July 2018 in Japan, , Int. J. Disaster Risk Reduct., Vol.82, pp. 1-16, 2022.
- [41] 黒田望, 梶谷義雄, 多々納裕一: 平成 30 年 7 月豪雨による産業部門の売上回復過程の統計分析, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.78, No.1, pp.48-62, 2022..
- [42] 総務省統計局:平成 28 年経済センサス - 活動調査(産業横断的集計), 2018.
- [43] 国土交通省水管理・国土保全局:平成 30 年版水害統計, 2020.

- [44] 大矢淳, 柴山知也, 中村亮太, 岩本匠夢: 東京湾における沿岸域災害対策の費用便益分析, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 72, No. 2, pp. 880-885, 2016.
- [45] 箭内春樹, 熊野直子, 田村誠, 横木裕宗, 桑原祐史: 伊勢湾台風を事例とする高潮浸水被害額推計手法の検証, 土木学会論文集 G (環境), Vol. 73, No. 5, pp. 361-367, 2017.
- [46] 村尾修, 山崎文雄: 自治体の被害調査結果に基づく兵庫県南部地震の建物被害関数, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 65, No. 527, 2000.
- [47] 諏訪仁, 神田順: 兵庫県南部地震の地震被害データを用いた建築設備の被害率曲線, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 73, No. 633, pp. 1935-1941, 2008.
- [48] Suppasri, A., Mas, E., Charvet, I., Gunasekera, R., Imai, K., Fukutani, Y., Abe, Y. and Imamura, F.: Building damage characteristics based on surveyed data and fragility curves of the 2011 Great East Japan tsunami, Natural Hazards, Vol. 6, No. 2,, pp. 319-341, 2013.
- [49] 国土交通省河川局: 治水経済調査マニュアル (案), 2005.
- [50] 中野一慶, 梶谷義雄, 多々納裕一: 地震災害による産業部門の操業能力の低下を対象とした機能的フラジリティ曲線の推計, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 69, No. 1, pp. 57-68, 2013.
- [51] 経済産業省中小企業庁: 平成 30 年中小企業実態基本調査 (平成 29 年度決算実績) 確報, 2019.
- [52] 経済産業省: 平成 30 年経済産業省企業活動基本調査確報ー平成 29 年度実績ー, 2019.
- [53] 土木学会編: 非集計行動モデルの理論と実際, 丸善, pp. 51, 1995.
- [54] Shinozuka, M., Feng, M. Q., Lee, J. and Naganuma, T.: Statistical analysis of fragility curves, Journal of Engineering Mechanics, Vol. 126, No. 12 pp. 1224-1231, 2000.
- [55] 国土交通省水管理・国土保全局河川計画課: 治水経済調査マニュアル (案) 各種資産評価単価及びデフレーター, 2019.
- [56] 経済産業省: 工業統計調査 (平成 29 年確報 産業別統計表) 利用上の注意, 2019.
- [57] 財務省財務総合政策研究所: 調査方法の概要, 財政金融統計月報第 798 号 (法人企業統計年報特集 (平成 29 年度)), pp. 2-5, 2018.
- [58] 国土交通省不動産・建設経済局情報活用推進課: 平成 30 年法人土地・建物基本調査, 2020.
- [59] 総務省: 平成 30 年度 固定資産の価格等の概要調書, 2018.
- [60] 大原美保, 南雲直子, 澤野久弥: 平成 27 年 9 月関東・東北豪雨によ

- る常総市内の事業所の被災特性に関する調査研究, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol. 74, No. 4, pp. 1159-1164, 2018.
- [61] 仲条仁, 藤井琢哉, 石川良文: 東日本大震災における製造業の生産停止被害に関する研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 69, No. 5, pp. 173-179, 2013.
- [62] Asgary, A., Anjum, M. I. and Azimi, N.: Disaster recovery and business continuity after the 2010 flood in Pakistan: Case of small businesses, Int. J. Disaster Risk Reduct., Vol. 2, pp. 46-56, 2012.
- [63] Pathak, S. and Ahmad, M. M.: Flood recovery capacities of the manufacturing SMEs from floods: A case study in Pathumthani province, Thailand, Int. J. Disaster Risk Re-duct., Vol. 18, pp. 197-205, 2016.
- [64] Lee, J.: Reopening businesses after Hurricane Harvey: evidence from a duration model with spatial effects, Disasters, Vol. 30, pp. 296-323, 2021.
- [65] 徳田大輔, 沖大幹: 浸水被害による事業所の操業停止期間と事業継続に関する実証的研究, 生産研究, Vol. 67, No. 4, pp. 361-364, 2015.
- [66] 社会資本整備審議会: 第1回大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策検討小委員会配布資料 (【資料2】平成30年7月豪雨における被害等の概要), 2018.
- [67] 内閣府: 平成30年7月豪雨による被害状況等について, 2019.
- [68] 厚生労働省: 平成30年7月豪雨による被害状況等について, 2018.
- [69] William, H. G.著, 斯波恒正, 中妻照雄, 浅井学訳: グリーン計量経済分析, エコノミスト社, 2000.
- [70] 蓑谷千鳳彦: 一般化線形モデルと生存分析, 朝倉書店, 2013.
- [71] 武富奈菜美, 山本和嬉: 生存時間解析・信頼性解析のための統計モデル, 日本統計学会誌, Vol. 52, No. 2, pp. 69-112, 2023.
- [72] Terry, T.: A package for survival analysis in R, <https://cran.r-project.org/web/packages/survival/vignettes/survival.pdf> (2021年8月7日確認) .
- [73] Jiqiang, G. et.al: Package 'rstan' , <https://cran.r-project.org/web/packages/rstan/rstan.pdf> (2023年11月25日確認) .
- [74] 国土交通省: 土砂・がれき撤去の事例ガイド～平成30年7月豪雨災害を例に～, 2019.
- [75] 経済産業省中国経済産業局: 地域経済産業調査結果 (平成30年7-9月期), 2018.

- [76] 日本銀行岡山支店：日銀おかやま経済レポート（平成30年7月豪雨後の県内景気の足取りと今後の展望），2019.
- [77] 財務省財務総合政策研究所：財政金融統計月報第798号（法人企業統計年報特集（平成29年度）），2018.
- [78] 大原美保，南雲直子，藤兼雅和：平成30年7月豪雨災害による被災事業所の直接被害・間接被害の実態分析，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.77，No.2，pp.1387-1392，2021.
- [79] 神田佑亮，富永凌太郎，赤木大介，重光裕介，藤原章正：災害時の交通マネジメントの経済被害抑制効果に関する一考察—平成30年7月豪雨の広島～呉間の交通を対象として—，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.78，No.6，pp.400-408，2022.
- [80] 黒田望，梶谷義雄，多々納裕一：浸水時における事業所資産の脆弱リティ曲線の推計：平成30年7月豪雨を対象として，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.76，No.1，pp.70-80，2020.
- [81] 広島県：平成30年7月豪雨災害を踏まえた今後の水害・土砂災害対策のあり方検討会 第1回河川・ダム部会資料，2018.
- [82] 呉市：平成30年7月豪雨呉市災害記録誌，2020.
- [83] 岡山県「平成30年7月豪雨」災害検証委員会：平成30年7月豪雨災害検証報告書，2019.
- [84] 岡山県：平成30年7月豪雨災害記録誌，2020.
- [85] 倉敷市：平成30年7月豪雨災害対応検証報告書，2019.
- [86] 国土地理院：浸水推定段彩図（国土地理院技術資料 D1-No.919）.
- [87] 呉市：第一回呉市復興計画検討委員会資料，2018.
- [88] 厚生労働省岡山労働局：平成30年7月豪雨関連情報【復興に向けた事業所の取り組み】株式会社 TEORI，<https://jsite.mhlw.go.jp/okayama-roudoukyoku/content/contents/teori20190109.pdf>（2023年2月15日確認）.
- [89] 日本テクノ株式会社：環境市場新聞 All for JAPAN Scene39，https://econews.jp/newspaper/japan/japan_39.html（2023年2月15日確認）.
- [90] 大黒天物産株式会社：「平成30年7月豪雨」による特別損失計上のお知らせ，https://www.e-dkt.co.jp/ir/pdfs/library/kaiji_20181012.pdf（2023年2月15日確認）.
- [91] 株式会社天満屋ストア：2019年2月期決算短信，https://www.tenmaya-store.co.jp/assets/images/sys/2019/04/201904_tansin1.pdf（2023

- 年 2 月 15 日確認) .
- [92] 株式会社コメリ : 2019 年 3 月期決算短信,
https://www.komeri.bit.or.jp/ir/finalaccounts/2019/58th_tanshinall.pdf?1675050623897 (2023 年 2 月 15 日確認) .
- [93] 王子ホールディングス株式会社 : 2019 年 3 月期決算短信,
<https://investor.ojiholdings.co.jp/ja/ir/library/result/main/03/teaserItems2/00/linkList/o/link/KQ8uFNI.pdf> (2023 年 2 月 15 日確認) .
- [94] 日本製鉄株式会社 : 2019 年 3 月期決算短信,
https://www.nipponsteel.com/ir/library/pdf/20190509_300.pdf
(2023 年 2 月 15 日確認) .
- [95] 株式会社ディスコ : 2019 年 3 月期決算短信,
<https://www.disco.co.jp/jp/ir/library/doc/fr/fr20190508.pdf> (2023 年 2 月 15 日確認) .
- [96] 株式会社イズミ : 2019 年 2 月期決算短信,
https://www.izumi.co.jp/corp/ir/pdf/2019/3102kessann_tanshin.pdf
(2023 年 2 月 15 日確認) .
- [97] 呉市 : 令和 2 年工業統計調査結果 製造業総括表, 2022.
- [98] 神田佑亮, 藤原章正, 塚井誠人, 力石真, 三村陽一 : 平成 30 年 7 月豪雨時の広島～呉間の公共交通サービスの確保・向上策とその効果検証, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.75, No.1, pp.340-349, 2019.
- [99] R Core Team: R Documentation (Fitting Generalized Linear Models),
<https://search.r-project.org/R/refmans/stats/html/glm.html> (2021 年 8 月 7 日確認) .
- [100] 山崎雅人 : 巨大地震の「経済被害」をどう読むか, 安全工学, Vol.53, No.2, pp.94-99, 2014.
- [101] 山本勲 : 実証分析のための計量経済学, 中央経済社, 2015.
- [102] 津田尚胤, 貝戸清之, 青木一也, 小林潔司 : 橋梁劣化予測のためのマルコフ推移確率の推定, 土木学会論文集, Vol.2005, No.801, pp.69-82, 2005.
- [103] 気象庁 : 災害をもたらした気象事例 (平成元年～本年), 2023 年 3 月 1 日確認, 2023.
- [104] 加藤史訓, 福濱方哉, 野口賢二 : 高潮による浸水被害の実態調査, 海岸工学論文集, Vol.52, pp.1321-1325, 2005.
- [105] 鈴木進吾, 越村俊一, 原田賢治, 岡本学, 福留邦洋, 菅磨志保, 河田恵昭 : 2004 年 7 月新潟豪雨水害の災害調査による家屋被害関数の構築, 水工学論文集, Vol.49, pp.439-444, 2005.
- [106] S. Frongia, A. Ruiu and G.M. Sechi: Evaluation of water depth -

- damage functions in built-up areas in Sardinia(Italy), *Water Utility J.*, Vol. 20, pp. 37-48, 2018.
- [107] T., Sieg, K., Vogel, B., Merz and H., Kreibich: Tree-based flood damage modeling of companies: Damage processes and model performance, *Water Resour. Res.*, Vol.53, pp. 6050-6068, 2017.
- [108] 消防庁：平成 30 年 7 月豪雨及び台風第 12 号による被害状況及び消防機関等の対応状況（第 59 報），2019.
- [109] 内閣府：第 1 回中央防災会議 資料 3（ハ 東海豪雨災害），2001.
- [110] 内閣府：平成 13 年防災白書（3-3 平成 12 年秋雨前線と台風第 14 号に伴う大雨），2001.
- [111] Lunn, D.J., Thomas, A., Best, N. and Spiegelhalter, D. : WinBUGS - A Bayesian modelling framework: Concepts, structure, and extensibility, *Stat. and Comp.*, vol.10, pp.325-337, 2000.
- [112] Sturtz, S., Ligges, U., Gelman, A. : R2WinBUGS: A Package for Running WinBUGS from R, *Journal of Statistical Software*, Vol. 12, No. 3, pp.1-16, 2005.

付録A. 回復過程推計モデルの検討経過

第4章で示したように、多数の説明変数を設定した上で複数の曲線を推計した場合、パラメータの推計結果と説明変数の条件によって、各曲線が交差することがある。それぞれの曲線を、 $F_1(t)$ 、 $F_{25}(t)$ 、 $F_{50}(t)$ 、 $F_{75}(t)$ 、 $F_{100}(t)$ と表記すると、交差が生じないような、常に、 $F_1(t) \geq F_{25}(t) \geq F_{50}(t) \geq F_{75}(t) \geq F_{100}(t)$ となるような推計方法について検討を行ったので、本項で説明する。

各曲線については、表4-3に示したように、指数分布、ワイブル分布、対数正規分布、対数ロジスティック分布を想定している。

検討の概要は、以下の通りである。検討内容の違いを表A-1に整理する。

検討1 各曲線で個別に最適な分布を推計

検討2 各曲線の分布を同一とし、 $F_1(t) \sim F_{100}(t)$ の全体で最適な分布を推計

検討3 各曲線の分布及び分散に関するパラメータ (ϕ 及び σ)を同一とし、 $F_1(t) \sim F_{100}(t)$ の全体で最適な分布を推計

検討4 各曲線の分布、分散に関するパラメータ (ϕ 及び σ)を同一とし、交差が生じないようにパラメータ λ の制約条件を導入して、 $F_1(t) \sim F_{100}(t)$ の全体で最適な分布を推計

表 A-1 検討内容の比較

	分布	分散パラメータ (ϕ 及び σ)	パラメータ λ	推計方法
検討1	変化	—	制約なし	survreg 関数 [72]
検討2	同一	変動	制約なし	survreg 関数 [72]
検討3	同一	同一	制約なし	rstan 関数 [73]
検討4	同一	同一	制約あり	rstan 関数 [73]

以下で、検討の詳細とその結果について説明する。

当初、曲線によって、最適な分布が異なるとの想定から、検討1を実施した。AICにより曲線ごとに最適な分布を比較した結果、製造業の場合は $F_1(t)$ についてワイブル分布 ($\phi > 1$) が最適となったものの、 $F_{25}(t) \sim F_{100}(t)$ では対数ロジスティック分布が最適という結果になった。一方、非製造業では、分布全般につ

いて、ワイブル分布 ($\phi > 1$) が最適という結果になった。ただし、この場合、推計されたパラメータを用いると、説明変数の条件によっては、 $F_1(t) \geq F_{25}(t) \geq F_{50}(t) \geq F_{75}(t) \geq F_{100}(t)$ とならず、交差が生じた。

表 A-2 AIC の比較 (検討1 及び検討2)

(a) 製造業

分布	F_{100}	F_{75}	F_{50}	F_{25}	F_1	合計
指数	1,083	1,129	1,101	1,061	934	5,308
ワイブル	1,082	1,130	1,102	1,063	933	5,310
対数正規	1,056	1,134	1,117	1,069	957	5,333
対数ロジスティック	<u>1,054</u>	<u>1,119</u>	<u>1,100</u>	<u>1,056</u>	947	<u>5,276</u>

(b) 非製造業

分布	F_{100}	F_{75}	F_{50}	F_{25}	F_1	合計
指数	2,180	2,260	2,193	2,125	1,810	10,568
ワイブル	<u>2,141</u>	<u>2,259</u>	<u>2,189</u>	<u>2,118</u>	<u>1,778</u>	<u>10,485</u>
対数正規	※2,086	※2,258	※2,198	※2,124	※1,762	※10,428
対数ロジスティック	※2,082	※2,255	※2,191	※2,124	※1,759	※10,411

※AIC は低いですが、パラメータが想定と異なる符号のため不採用

異なる分布について、交差の生じない条件を設定することは困難と判断し、各曲線を同一の分布として、検討2を実施した。同一の分布の場合、以下を満たすことができれば、交差が生じない。

$$\lambda_1(x) \leq \lambda_{25}(x) \leq \lambda_{50}(x) \leq \lambda_{75}(x) \leq \lambda_{100}(x) \quad (38)$$

$$\phi_1 \geq \phi_{25} \geq \phi_{50} \geq \phi_{75} \geq \phi_{100}$$

または

$$\sigma_1 \geq \sigma_{25} \geq \sigma_{50} \geq \sigma_{75} \geq \sigma_{100}$$
(39)

AIC により、 $F_1(t) \sim F_{100}(t)$ の全曲線について分布を比較した結果、製造業は対数ロジスティック分布、非製造業はワイブル分布が最適という結果になった。ただし、この場合でもパラメータの大小関係から、交差が生じる説明変数の条件があった。

そのため、検討3として、各曲線を同一の分布として、分散パラメータも同一とする条件の下で推計した。この手法は、多項反応モデル [19]とされている。分散パラメータを同一とする場合、5本の曲線を同時に推計することから、生存分析用の `survreg` 関数 [72]では対応しておらず、最適化用の `optim` 関数でも発散し、最尤法では解を得られなかった。そのため、ベイジアン推計となる `rstan` 関数 [73]により推計した。ベイジアン推計となるため、DIC により、 $F_1(t) \sim F_{100}(t)$ の全曲線について分布を比較した結果、製造業は対数ロジスティック分布、非製造業はワイブル分布が最適という結果になった。ただし、本検討でも、説明変数の条件によっては、交差が生じる結果となった。

表 A-3 DIC の比較 (検討3)

分布	製造業	非製造業
指数	—	10,567
ワイブル	5,312	<u>10,493</u>
対数正規	5,357	※10,424
対数ロジスティック	<u>5,291</u>	※10,408

※DIC は低いのが、パラメータが想定と異なる符号のため不採用

最後に、検討4として、分散パラメータを同一とする条件の下で、パラメータ λ が想定されている説明変数の範囲で(38)式を満たすような制約を加えてベイジアン推計を用いて推計した。具体的には、「委託・振替の実施の有無」を各曲線

で同一とする制約である。本検討の結果得られたパラメータでは、想定されている説明変数の範囲では曲線同士の交差が生じなかった。

表 A-4 DIC の比較（検討4）

分布	製造業	非製造業
指数	5,300	10,560
ワイブル	5,305	<u>10,486</u>
対数正規	5,286	※10,420
対数ロジスティック	<u>5,283</u>	※10,400

※DIC は低いのが、パラメータが想定と異なる符号のため不採用

付録B. アンケート調査票

B.1 製造業

事業所の方へ「平成 30 年 7 月豪雨」に関するお尋ね

ご協力をお願い

今般の「平成 30 年 7 月豪雨」では、従業員・ご家族の皆様を含めまして、多大なご苦労をなされていることと、心よりお見舞いを申し上げます。

このたび、京都大学防災研究所では、豪雨災害による被害の実態及び復興状況とその規定要因を把握することを目的に、「平成 30 年 7 月豪雨」に関するアンケート調査を実施しております。本調査の結果は、統計的に処理し、学術研究として利用させていただく予定であり、個別の事業所が特定されるような公表は一切いたしません。また、希望される事業所の皆様には本アンケート調査の結果をお知らせする予定です。お忙しいところ誠に恐縮ではございますが、本アンケートにご協力いただきますようお願い申し上げます。

京都大学防災研究所・防災社会システム研究分野
教授 多々納裕一

- 本アンケートは京都大学防災研究所が実施します。
- お答えいただける範囲でご回答ください。
- 一部回答例を記載しておりますが、貴事業所の業態や事例に置き換えてお答えください。
- アンケートの集計及び調査の結果は統計的に処理し、以上の目的以外には使用いたしません。
- ご回答いただいたアンケート用紙は、**2019 年 2 月 15 日（金）まで**に同封の返信用封筒に入れて投函していただくようお願い致します。切手は不要です。

(お問い合わせ先)

〒：611-0011 京都府宇治市五ヶ庄 京都大学防災研究所
TEL：0774-38-4651 担当：防災社会研究システム分野
E-mail：kuroda.nozomu.24e@st.kyoto-u.ac.jp

平成 30 年 7 月豪雨（以下、豪雨災害）：

通称「西日本豪雨」のことで、平成 30 年(2018 年)6 月 28 日以降の台風 7 号や梅雨前線の影響によって、西日本を中心に全国的に広い範囲で記録的な大雨となり、全国各地で甚大な被害が発生したものです。豪雨災害の期間は、気象庁の発表に合わせて平成 30 年 6 月 28 日～7 月 8 日としています。

問1 貴事業所または貴社全体についてお尋ねします。

1-1 貴社では株式を上場していますか。(〇は1つだけ)

<input type="radio"/> ① 上場	<input type="radio"/> ② 非上場
----------------------------	-----------------------------

1-2 貴社の資本金(平成30年1月時点)をお答えください。(〇は1つだけ)

<input type="radio"/> ① 1,000万円未満	<input type="radio"/> ④ 5,000万円~1億円未満	<input type="radio"/> ⑦ 10~100億円未満
<input type="radio"/> ② 1,000~3,000万円未満	<input type="radio"/> ⑤ 1~3億円未満	<input type="radio"/> ⑧ 100億円以上
<input type="radio"/> ③ 3,000~5,000万円未満	<input type="radio"/> ⑥ 3~10億円未満	

1-3 貴社の主な事業内容をお答えください。(〇は1つだけ)

<input type="radio"/> ① 食品加工业	<input type="radio"/> ⑧ 石油・石炭製品製造業	<input type="radio"/> ⑮ 一般機械器具製造業
<input type="radio"/> ② 繊維工業	<input type="radio"/> ⑨ プラスチック製品製造業	<input type="radio"/> ⑯ 電気機械器具製造業
<input type="radio"/> ③ 木材・木製品製造業	<input type="radio"/> ⑩ ゴム製品製造業	<input type="radio"/> ⑰ 輸送用機械器具製造業
<input type="radio"/> ④ 家具・装備品製造業	<input type="radio"/> ⑪ 窯業・土石製品製造業	<input type="radio"/> ⑱ その他の製造業
<input type="radio"/> ⑤ パルプ・紙・紙加工品製造業	<input type="radio"/> ⑫ 鉄鋼業	<input type="radio"/> ⑲ その他(具体的に: _____)
<input type="radio"/> ⑥ 印刷・同関連業	<input type="radio"/> ⑬ 非鉄金属製造業	
<input type="radio"/> ⑦ 化学工業	<input type="radio"/> ⑭ 金属製品製造業	

※非製造業の場合も業種をお答えください。

1-4 貴事業所の生産品で豪雨災害以前に売上げが最大だった品目を具体的にお答えください。

--

1-5 貴事業所についてお答えください。(〇は1つだけ)

<input type="radio"/> ① 本社	<input type="radio"/> ② 支社・支店	<input type="radio"/> ③ 単独事業所(他の場所の事業所を持たない)
----------------------------	-------------------------------	--

1-6 貴事業所は生産拠点を保有していますか。(〇は1つだけ)

<input type="radio"/> ① 生産拠点を持っている	<input type="radio"/> ② 生産拠点を持っていない
------------------------------------	-------------------------------------

1-7 貴社全体の場合、貴事業所のみの場合、それぞれの従業員数をお答えください。

	正社員数	その他パート等の従業員数
貴社全体	_____人	_____人
貴事業所のみ	_____人	_____人

※いずれも、事業主様も含めた、豪雨災害以前の人数をお答えください。

1-8 所属されている経済団体等について、該当箇所に〇をつけてください。

<input type="radio"/> ① 所属していない	<input type="radio"/> ② 経済連合会	<input type="radio"/> ③ 商工会議所	<input type="radio"/> ④ 商工会
<input type="radio"/> ⑤ 法人会	<input type="radio"/> ⑥ 納税協会	<input type="radio"/> ⑦ その他(具体的に:_____)	

1-9 貴社の年間売上額(2017年度)はいくらでしたか?

_____万円

1-10 差支えなければ、貴事業所の連絡先をお答えください。郵便番号のみでも結構です。E-mailを記入いただくと調査の集計結果等をお送りいたします。集計結果に合わせて、貴事業所の災害対応状況の診断結果を作成いたします。診断結果が必要な方は、「必要」に〇をつけてください。

郵便番号・住所	〒 _____	住所:
御社名		
ご担当者様名		
E-mail		
診断結果	<input type="radio"/> ① 必要	<input type="radio"/> ② 必要でない

以下の設問において、貴事業所の復旧状況をお尋ねする際、3種類の状況を想定しています。どの復旧状況を想定した設問か、ご注意ください。以下の3種類の復旧状況についての説明文、イメージ図も参考にしてください。

復旧状況①：貴事業所の施設がどのように復旧したか（平常時の稼働能力を100%とした場合でお答えください。例を参考にライフライン、従業員、仕入先被害などの他の影響はないものとしてください。）

復旧状況②：①の状況（施設の復旧のみ考慮）に加え、ライフラインの影響も含めた貴事業所の操業能力（生産、販売遂行能力等）がどのように復旧したか

復旧状況③：最終的に貴事業所の出荷額・販売額等がどのように回復したか（すべての影響を考慮）

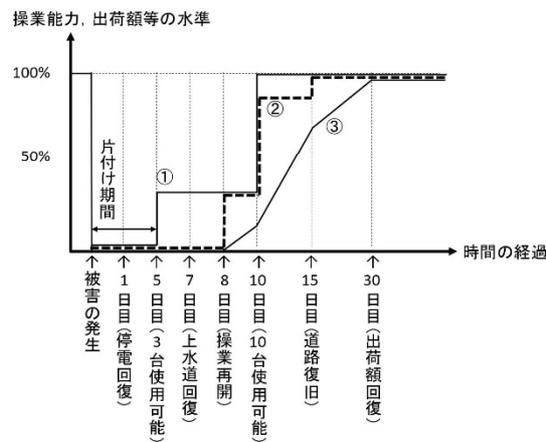


図 復旧状況のイメージ

想定したシナリオの例（後の設問では、貴事業所の業態や事例に置き換えてお答えください。）

①：工場が浸水し、5日目まで片づけを行っていた。片付け後、10台の工作機械のうち、3台のみが使用可能なため操業能力は30%。10日目にすべての機械の修理が完了し、操業能力は100%。

②：1日目に停電が回復。7日目に上水道が回復。8日目に操業再開。15日目に道路が完全に復旧。

③：操業再開直後から徐々に出荷額が回復。30日目に需要がほぼ平常通りとなった。

※①≧②≧③の関係になります

問2 豪雨災害による操業能力（生産、販売遂行能力等）や売上等（販売額、出荷額等）への影響について、該当箇所には○をつけてください。

① 豪雨災害の影響が 全くなかった	豪雨災害の影響があった			
	影響の内容			
	②	① 施設や商品に被害が発生した	なし	あり
		② 操業水準が低下した日がある	①	②
	③ その他（具体的に：_____）	①	②	

⇒問3へ

⇒問6へ

⇒問3へ

⇒問16へ

問3 貴事業所の施設の被害状況について、該当箇所に○をつけてください。

貴事業所の被害	なし	あり			
		半壊に至らない	半壊	大規模半壊	全壊
① 建物（本社、工場、店舗等）	①	②	③	④	⑤

貴事業所の被害	なし	あり
② 設備（生産ライン、備品等）	①	②
③ 商品、在庫等	①	②
④ その他（具体的に： _____）	①	②

問4 貴事業所の施設被害の原因について、該当箇所に○をつけてください。

施設被害の原因	なし	あり
① 浸水	①	② 最大浸水深（敷地の高さから）_____m 土砂堆積物 ① なし ② あり
② 土砂災害（斜面崩壊や土石流による被害）	①	②
③ その他（具体的に： _____）	①	②

問5 仮設事業所を設置して操作している期間があればお答えください。

① 仮設事業所を設置していない （予定がない）	② 仮設事業所を設置している（した、予定がある） 開始日 _____月____日 終了日 _____月____日
----------------------------	---

問6 豪雨災害の被害が生じてから、貴事業所の操業能力（生産、販売遂行能力等）がどのように復旧したか、お尋ねします。豪雨災害の被害が生じる前の水準を100%とし、以下の各水準に到達するのに要した日数をお答えください。3頁の図の①を参考に、施設の復旧のみを考慮し、従業員の出勤状況、ライフラインや納品先・仕入先の被害の影響がなかったものとしてお答えください。

操業能力の水準	少しでも操業できる状況 ^{補足①}	25%	50%	75%	100%	現在の水準 ^{補足③} () %
復旧までの経過日数 ^{補足②}	_____日	_____日	_____日	_____日	_____日	

補足①：工場の一部ラインの復旧等、部分的操業ができる状況。

操業能力に影響がない場合は、「0日」と、お答えください。右の各水準欄以降の記入は不要です。

補足②：例えば、ある一定の日に100%復旧させたような場合、「100%」の欄にのみ経過日数をご記入ください。

補足③：現在の水準については、調査時点（1月）の操業能力の水準を、カッコ内にご記入ください。

復旧が全くできていない場合は、「0%」と、ご記入ください。

問7 貴事業所の操業能力（生産、販売遂行能力等）に影響を与えた設備被害以外の原因についてお尋ねします。原因別に、該当箇所にもつけてください。影響があった場合は、影響があった期間についてもお答えください。

操業能力に影響を与えた原因	影響なし 該当	影響あり		
			影響があった期間	未だ復旧していない
① 電気の被害	①	②	_____日間	①
② 上水道の被害	①	②	_____日間	①
③ 下水道の被害	①	②	_____日間	①
④ ガスの被害	①	②	_____日間	①
⑤ 交通インフラの被害	①	②	_____日間	①
⑥ その他（具体的に： _____）	①	②	_____日間	①

問8 豪雨災害後、ライフライン被害の影響も含めた貴事業所の操業能力（サービス、販売遂行能力等）が、どのように復旧したか、お尋ねします。豪雨災害前の水準を100%とし、以下の各水準に到達するのに要した日数をお答えください。3頁の図の②を参考に、問6のご回答にライフライン停止の影響（問7の影響）を加えて、お答えください。交通被害による従業員の参集状況への影響も含め従業員の問題もこの設問で考慮してください。

操業能力の水準	少しでも操業できる状況 ^{補足①}	25%	50%	75%	100%	現在の水準 ^{補足③} (____) %
復旧までの経過日数 ^{補足②}	_____日	_____日	_____日	_____日	_____日	

補足①：ライフラインの復旧に伴い、工場の一部ラインの復旧等、部分的操業ができる状況。

操業能力に影響がない場合は、「0日」と、お答えください。右の各水準欄以降の記入は不要です。

補足②：例えば、ある一定の日に100%復旧させたような場合、「100%」の欄にのみ経過日数をご記入ください。

補足③：現在の水準については、調査時点（1月）の操業能力の水準を、カッコ内にご記入ください。

復旧が全くできていない場合は、「0%」と、ご記入ください。

問9 具体的に、豪雨災害の被害と操業能力（生産、販売遂行能力等）の復旧過程をお答えください。

例) 設備は全て水に浸かった。3日目に電力が復旧し、生産設備の約半分の動作確認完了。上水道が復旧した6日目を以降に復旧を本格化し、10日目に生産設備の応急復旧完了。従業員への影響は少ない。
--

問10 最終的に、貴事業所の出荷額（または販売額）がどのように変化したかお尋ねします。予想見込みの販売水準を100%として、以下の各水準に到達するのに要した日数をお答えください。3頁の図の③を参考に、問8のご回答に納品先・仕入先の被害の影響を加えて、お答えください。

出荷額・販売額的水準	販売開始初日までの日数（見込） 補足①	25%	50%	75%	100%	現在の水準 補足③ （ ）%
復旧までの経過日数 補足②	____日	____日	____日	____日	____日	

補足①：出荷・販売額に影響がない場合は、「0日」と、お答えください。右の各水準欄以降の記入は不要です。

補足②：例えば、ある一定の日に100%復旧させたような場合、「100%」の欄にのみ経過日数をご記入ください。

補足③：現在の水準については、調査時点（1月）の出荷・販売額についてご記入ください。

出荷・販売が全く再開できていない場合は、「0%」と、ご記入ください。

問11 現在までに判明した被害額や復旧に投じた費用についてお尋ねします。

（以下の項目それぞれについて、お分かりの範囲でお答えください）

被害の内容	補足	概算
① 復旧費用（これまで）	建物・設備等の再構築、修理費用	____百万円
② "（今後の見込み）	（同上）	____百万円
③ 除却費用	建物・設備等の内、復旧しないもの	____百万円
④ 在庫被害額	商品・製品・原材料・仕掛品在庫等の被害額	____百万円
⑤ 売上減少額		____百万円
⑥ 災害ごみの処分費用		____百万円
⑦ その他の臨時費用	応援人件費、超過勤務手当、お見舞金等	____百万円

※復旧費用は市場調達価格で、除却費用は簿価などを参考に記入ください。

問12 差支えなければ、豪雨災害の被害額（問11①～⑦の総額）は、所有されている資産（建物・設備等）の何%になるかをお答えください。所有資産は、被災した同一事業所内で所有している資産を対象としてください。

所有資産における被害額の割合	____%
----------------	-------

問13 災害時に政府及び政府関係機関による中小企業支援策がありますが、各支援策について、豪雨災害以前にご存知であったかどうかについて、お尋ねします。該当箇所には○をつけてください。

中小企業支援策	知らなかった	知っていた
① 事業用施設の復旧・整備支援金（「グループ補助金」）	①	②
② 震災時特別貸付や緊急保証等による融資・保証	①	②
③ 国税・地方税納付期限延長や減免等の税制面での支援	①	②
④ 雇用調整助成金や失業給付、被災者雇用開発助成金等の雇用対策	①	②

問14 豪雨災害の被害が生じた際の運転資金、復旧費用及び事業中断による損益損害に関する資金調達についてお尋ねします。該当箇所に○をつけてください。

復旧費用の調達方法	使用していない (予定がない)	使用した (予定がある)
① 手元資金（預貯金含む）	①	②
② 損害保険（建物等設備の火災保険や共済）	①	②
③ 損害保険（事業中断による収益損害）	①	②
④ 民間金融機関からの借入 (保証協会等の公的制度を使った借入は含みません)	①	②
⑤ 公的機関からの災害時の支援制度 (民間銀行が窓口となる公的支援も含みます)	①	②
⑥ 民間金融機関の災害デリバティブ	①	②
⑦ グループ会社や取引先からの支援	①	②
⑧ その他（具体的に： _____）	①	②

問15 豪雨災害の被害が生じてから、運転資金、設備資金の調達について、問題が生じているかどうかについてお尋ねします。該当箇所に○をつけてください。

問題	影響なし	多少の影響	影響あり	重大な影響	概算（不足分）
① 運転資金の調達	①	②	③	④	_____ヶ月分
② 設備資金の調達	①	②	③	④	_____百万円

問16 現在、貴事業者が直面している経営課題についてお尋ねします。該当箇所に○をつけてください。

経営課題	影響なし	多少の影響	影響あり	重大な影響
① 売上の減少	①	②	③	④
② 値下げ圧力	①	②	③	④
③ 仕入・在庫の増加	①	②	③	④
④ 営業経費の増加	①	②	③	④
⑤ 人件費の増加	①	②	③	④
⑥ 運転資金の確保	①	②	③	④
⑦ 設備資金の確保	①	②	③	④
⑧ 人手の確保	①	②	③	④
⑨ 事業継承・継続	①	②	③	④
⑩ その他（具体的に： _____）	①	②	③	④

問17 事業継続計画（Business Continuity Plan：以下、BCP）についてお尋ねします。該当箇所に○をつけてください。

① 作 っ て い な か っ た	作っていた		
	役に立ったこと	なし	あり
	① 建物の浸水対策	①	②
	② 従業員等の安否確認	①	②
	③ サプライチェーン（仕入先）の確保	①	②
	④ 自社製品や販売物の委託・振替生産による対応	①	②
	⑤ 重機の確保による復旧の早期化	①	②
⑥ その他（具体的に：_____）	①	②	

問18 BCPの策定以外に、災害対応で役に立ったことがあれば具体的にお答えください。

問19 過去に、水害を経験したことがありますか。該当箇所に○をつけてください。

① 経験したことがなかった	② 経験したことがあった
---------------	--------------

問20 豪雨災害後の挽回生産（操業能力が低下した期間の生産を取り戻すために行った、残業等の労働時間延長による生産）についてお尋ねします。

① 挽 回 生 産 を し て い な い (予 定 が な い)	挽回生産をしている（した、予定がある）	
	開始した日	____月____日
	実施した期間	_____日間
	発生した売上損失に対する挽回量の割合	_____%

問21 今回の豪雨災害の教訓、復旧に向けて障害になっていることや、国・自治体（県や市町村）・金融機関に期待すること等ございましたらお知らせください。

以上、ご協力に感謝します。ありがとうございました。

B.2 非製造業

事業所の方へ「平成 30 年 7 月豪雨」に関するお尋ね

ご協力をお願い

今般の「平成 30 年 7 月豪雨」では、従業員・ご家族の皆様を含めまして、多大なご苦労をなされていることと、心よりお見舞いを申し上げます。

このたび、京都大学防災研究所では、豪雨災害による被害の実態及び復興状況とその規定要因を把握することを目的に、「平成 30 年 7 月豪雨」に関するアンケート調査を実施しております。本調査の結果は、統計的に処理し、学術研究として利用させていただく予定であり、個別の事業所が特定されるような公表は一切いたしません。また、希望される事業所の皆様には本アンケート調査の結果をお知らせする予定です。お忙しいところ誠に恐縮ではございますが、本アンケートにご協力いただきますようお願い申し上げます。

京都大学防災研究所・防災社会システム研究分野
教授 多々納裕一

- 本アンケートは京都大学防災研究所が実施します。
- お答えいただける範囲でご回答ください。
- 一部回答例を記載しておりますが、貴事業所の業態や事例に置き換えてお答えください。
- アンケートの集計及び調査の結果は統計的に処理し、以上の目的以外には使用いたしません。
- ご回答いただいたアンケート用紙は、**2019 年 2 月 15 日（金）まで** に同封の返信用封筒に入れて投函していただくようお願い致します。切手は不要です。

(お問い合わせ先)

〒：611-0011 京都府宇治市五ヶ庄 京都大学防災研究所
TEL：0774-38-4651 担当：防災社会研究システム分野
E-mail：kuroda.nozomu.24e@st.kyoto-u.ac.jp

平成 30 年 7 月豪雨（以下、豪雨災害）：

通称「西日本豪雨」のことで、平成 30 年(2018 年)6 月 28 日以降の台風 7 号や梅雨前線の影響によって、西日本を中心に全国的に広い範囲で記録的な大雨となり、全国各地で甚大な被害が発生したものです。豪雨災害の期間は、気象庁の発表に合わせて平成 30 年 6 月 28 日～7 月 8 日としています。

問1 貴事業所または貴社全体についてお尋ねします。

1-1 貴社では株式を上場していますか。(〇は1つだけ)

<input type="radio"/> ① 上場	<input type="radio"/> ② 非上場
----------------------------	-----------------------------

1-2 貴社の資本金(平成30年1月時点)をお答えください。(〇は1つだけ)

<input type="radio"/> ① 1,000万円未満	<input type="radio"/> ④ 5,000万円~1億円未満	<input type="radio"/> ⑦ 10~100億円未満
<input type="radio"/> ② 1,000~3,000万円未満	<input type="radio"/> ⑤ 1~3億円未満	<input type="radio"/> ⑧ 100億円以上
<input type="radio"/> ③ 3,000~5,000万円未満	<input type="radio"/> ⑥ 3~10億円未満	

1-3 貴社の主な事業内容をお答えください。(〇は1つだけ)

<input type="radio"/> ① 建設業	<input type="radio"/> ⑧ 医療・福祉	※製造業の場合も業種をお答えください。
<input type="radio"/> ② 情報通信業	<input type="radio"/> ⑨ 教育・学習支援業	
<input type="radio"/> ③ 運輸業・郵便業	<input type="radio"/> ⑩ その他の対個人サービス業	
<input type="radio"/> ④ 卸売業・小売業	<input type="radio"/> ⑪ その他の対事業所サービス業	
<input type="radio"/> ⑤ 金融業・保険業	<input type="radio"/> ⑫ その他の公共サービス業	
<input type="radio"/> ⑥ 不動産業・物品賃貸業	<input type="radio"/> ⑬ その他(具体的に: _____)	
<input type="radio"/> ⑦ 宿泊業・飲食サービス業		

1-4 貴事業所の事業で豪雨発生前に売上げが最大だった事業を具体的にお答えください。

--

1-5 貴事業所についてお答えください。(〇は1つだけ)

<input type="radio"/> ① 本社	<input type="radio"/> ② 支社・支店	<input type="radio"/> ③ 単独事業所(他の場所の事業所を持たない)
----------------------------	-------------------------------	--

1-6 貴事業所についてお答えください。(〇は1つだけ)

<input type="radio"/> ① 管理部門のみ(総務、人事、経理等)	<input type="radio"/> ② それ以外の機能も含む
---	------------------------------------

1-7 貴社全体の場合、貴事業所の場合、それぞれの従業員数をお答えください。

	正社員数	その他パート等の従業員数
貴社全体	_____人	_____人
貴事業所のみ	_____人	_____人

※いずれも、事業主様も含めた、豪雨以前の人数をお答えください。

1-8 所属されている経済団体等について、該当箇所に〇をつけてください。

<input type="radio"/> ① 所属していない	<input type="radio"/> ② 経済連合会	<input type="radio"/> ③ 商工会議所	<input type="radio"/> ④ 商工会
<input type="radio"/> ⑤ 法人会	<input type="radio"/> ⑥ 納税協会	<input type="radio"/> ⑦ その他(具体的に: _____)	

1-9 貴社の年間売上額(2017年度)はいくらでしたか?

_____万円

1-10 差支えなければ、貴事業所の連絡先をお答えください。郵便番号のみでも結構です。E-mailを記入いただくと調査の集計結果等をお送りいたします。集計結果に合わせて、貴事業所の災害対応状況の診断結果を作成いたします。診断結果が必要な方は、「必要」に〇をつけてください。

郵便番号・住所	〒 _____	住所:
御社名		
ご担当者様名		
E-mail		
診断結果	<input type="radio"/> ① 必要	<input type="radio"/> ② 必要でない

以下の設問において、貴事業所の復旧状況をお尋ねする際、3種類の状況を想定しています。どの復旧状況を想定した設問か、ご注意ください。以下の3種類の復旧状況についての説明文、イメージ図も参考にしてください。

復旧状況①：貴事業所の施設がどのように復旧したか（平常時の稼働能力を100%とした場合でお答えください。例を参考にライフライン、従業員、仕入先被害などの他の影響はないものとしてください。）

復旧状況②：①の状況（施設の復旧のみ考慮）に加え、ライフラインの影響も含めた貴事業所の操業能力（サービス、販売遂行能力等）がどのように復旧したか

復旧状況③：最終的に貴事業所の出荷額・販売額等がどのように回復したか（すべての影響を考慮）

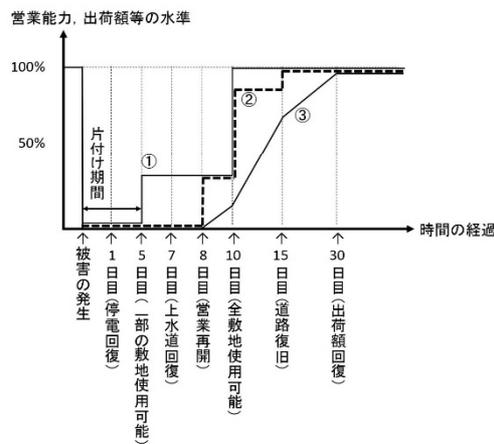


図 復旧状況のイメージ

想定したシナリオの例（後の設問では、貴事業所の業態や事例に置き換えてお答えください。）

①：店舗・機器類が浸水し、5日目まで片づけを行った。片付け後、営業可能な敷地面積は3割程度のため操業能力は30%。10日目にすべての敷地で営業できるようになり、操業能力は100%。

②：1日目に停電が回復。7日目に上水道が回復。8日目に営業再開。15日目に道路が完全に復旧。

③：営業再開直後から徐々に出荷額が回復。30日目に需要がほぼ平常通りとなった。

※①≧②≧③の関係になります

問2 豪雨災害による操業能力（サービス、販売遂行能力等）や売上等（販売額、出荷額等）への影響について、該当箇所には○をつけてください。

豪雨災害の影響が 全くなかった ①	豪雨災害の影響があった			
	影響の内容			
	②	① 施設や商品に被害が発生した	なし ①	あり ②
		② 操業水準が低下した日がある	①	②
	③ その他（具体的に：_____）	①	②	

⇒問3へ

⇒問6へ

⇒問3へ

⇒問16へ

問3 貴事業所の施設の被害状況について、該当箇所に○をつけてください。

貴事業所の被害	なし	あり			
		半壊に至らない	半壊	大規模半壊	全壊
① 建物（本社、工場、店舗等）	①	②	③	④	⑤

貴事業所の被害	なし	あり
② 設備（事務、調理機器等）	①	②
③ 商品、在庫等	①	②
④ その他（具体的に： _____）	①	②

問4 貴事業所の施設被害の原因について、該当箇所に○をつけてください。

施設被害の原因	なし	あり
① 浸水	①	② 最大浸水深（敷地の高さから）_____m
		土砂堆積物 ① なし ② あり
② 土砂災害（斜面崩壊や土石流による被害）	①	②
③ その他（具体的に： _____）	①	②

問5 仮設事業所を設置して営業している期間があればお答えください。

① 仮設事業所を設置していない （予定がない）	② 仮設事業所を設置している（した、予定がある）	
	開始日 _____月____日	終了日 _____月____日

問6 豪雨災害の被害が生じてから、貴事業所の操業能力（サービス、販売遂行能力等）がどのように復旧したか、お尋ねします。豪雨災害の被害が生じる前の水準を100%とし、以下の各水準に到達するのに要した日数をお答えください。3頁の図の①を参考に、施設の復旧のみを考慮し、従業員の出勤状況、ライフラインや納品先・仕入先の被害の影響がなかったものとしてお答えください。

操業能力の水準	少しでも営業できる状況 ^{補足①}	25%	50%	75%	100%	現在の水準 ^{補足③} () %
復旧までの経過日数 ^{補足②}	_____日	_____日	_____日	_____日	_____日	

補足①：一部倉庫・敷地・機器類の復旧等、部分的操業ができる状況。

操業能力に影響がない場合は、「0日」と、お答えください。右の各水準欄以降の記入は不要です。

補足②：例えば、ある一定の日に100%復旧させたような場合、「100%」の欄にのみ経過日数をご記入ください。

補足③：現在の水準については、調査時点（1月）の操業能力の水準を、カッコ内にご記入ください。

復旧が全くできていない場合は、「0%」と、ご記入ください。

問7 貴事業所の操業能力（販売遂行能力等）に影響を与えた設備被害以外の原因についてお尋ねします。原因別に、該当箇所に○をつけてください。影響があった場合は、影響があった期間についてもお答えください。

操業能力に影響を与えた原因	影響なし 該当	影響あり		
			影響があった期間	未だ復旧していない
① 電気の被害	①	②	_____日間	①
② 上水道の被害	①	②	_____日間	①
③ 下水道の被害	①	②	_____日間	①
④ ガスの被害	①	②	_____日間	①
⑤ 交通インフラの被害	①	②	_____日間	①
⑥ その他（具体的に：_____）	①	②	_____日間	①

問8 豪雨災害後、ライフライン被害の影響も含めた貴事業所の操業能力（サービス、販売遂行能力等）が、どのように復旧したか、お尋ねします。豪雨災害前の水準を100%とし、以下の各水準に到達するのに要した日数をお答えください。3頁の図の②を参考に、問6のご回答にライフライン停止の影響（問7の影響）を加えて、お答えください。交通被害による従業員の参集状況への影響も含め従業員の問題もこの設問で考慮してください。

操業能力の水準	少しでも営業できる状況 ^{補足①}	25%	50%	75%	100%	現在の水準 ^{補足③} (____) %
復旧までの経過日数 ^{補足②}	_____日	_____日	_____日	_____日	_____日	

補足①：ライフラインの復旧に伴い、一部倉庫・敷地・機器類の復旧等、部分的操業ができる状況。

操業能力に影響がない場合は、「0日」と、お答えください。右の各水準欄以降の記入は不要です。

補足②：例えば、ある一定の日に100%復旧させたような場合、「100%」の欄にのみ経過日数をご記入ください。

補足③：現在の水準については、調査時点（1月）の操業能力の水準を、カッコ内にご記入ください。

復旧が全くできていない場合は、「0%」と、ご記入ください。

問9 具体的に、豪雨災害の被害と操業能力（サービス、販売遂行能力等）の復旧過程をお答えください。

例) 敷地、設備は全て水に浸かった。3日目に電力が復旧し、設備の約半分の動作確認完了。上水道が復旧した6日目以降に復旧を本格化し、10日目に設備の応急復旧完了。従業員への影響は少ない。
--

問10 最終的に、貴事業所の出荷額（または販売額）がどのように変化したかお尋ねします。予想見込みの販売水準を100%として、以下の各水準に到達するのに要した日数をお答えください。3頁の図の③を参考に、問8のご回答に納品先・仕入先の被害の影響を加えて、お答えください。

出荷額・販売額の水準	販売開始初日までの日数（見込） 補足①	25%	50%	75%	100%	現在の水準 ^{補足③} （ ）%
復旧までの経過日数 補足②	____日	____日	____日	____日	____日	

補足①：出荷・販売額に影響がない場合は、「0日」と、お答えください。右の各水準欄以降の記入は不要です。

補足②：例えば、ある一定の日に100%復旧させたような場合、「100%」の欄にのみ経過日数をご記入ください。

補足③：現在の水準については、調査時点（1月）の出荷・販売額についてご記入ください。

出荷・販売が全く再開できていない場合は、「0%」と、ご記入ください。

問11 現在までに判明した被害額や復旧に投じた費用についてお尋ねします。

（以下の項目それぞれについて、お分かりの範囲でお答えください）

被害の内容	補足	概算
① 復旧費用（これまで）	建物・設備等の再構築、修理費用	_____百万円
② "（今後の見込み）	（同上）	_____百万円
③ 除却費用	建物・設備等の内、復旧しないもの	_____百万円
④ 在庫被害額	商品・製品・原材料・仕掛品在庫等の被害額	_____百万円
⑤ 売上減少額		_____百万円
⑥ 災害ごみの処分費用		_____百万円
⑦ その他の臨時費用	応援人件費、超過勤務手当、お見舞金等	_____百万円

※復旧費用は市場調達価格で、除却費用は簿価などを参考に記入ください。

問12 差支えなければ、豪雨災害の被害額（問11①～⑦の総額）は、所有されている資産（建物・設備等）の何%になるかをお答えください。所有資産は、被災した同一事業所内で所有している資産を対象としてください。

所有資産における被害額の割合	_____%
----------------	--------

問13 災害時に政府及び政府関係機関による中小企業支援策がありますが、各支援策について、豪雨災害以前にご存知であったかどうかについて、お尋ねします。該当箇所には○をつけてください。

中小企業支援策	知らなかった	知っていた
① 事業用施設の復旧・整備支援金（「グループ補助金」）	①	②
② 震災時特別貸付や緊急保証等による融資・保証	①	②
③ 国税・地方税納付期限延長や減免等の税制面での支援	①	②
④ 雇用調整助成金や失業給付、被災者雇用開発助成金等の雇用対策	①	②

問14 豪雨災害の被害が生じた際の運転資金、復旧費用及び事業中断による損益損害に関する資金調達についてお尋ねします。該当箇所に○をつけてください。

復旧費用の調達方法	使用していない (予定がない)	使用した (予定がある)
① 手元資金（預貯金含む）	①	②
② 損害保険（建物等設備の火災保険や共済）	①	②
③ 損害保険（事業中断による収益損害）	①	②
④ 民間金融機関からの借入 (保証協会等の公的制度を使った借入は含みません)	①	②
⑤ 公的機関からの災害時の支援制度 (民間銀行が窓口となる公的支援も含みます)	①	②
⑥ 民間金融機関の災害デリバティブ	①	②
⑦ グループ会社や取引先からの支援	①	②
⑧ その他（具体的に： _____）	①	②

問15 豪雨災害の被害が生じてから、運転資金、設備資金の調達について、問題が生じているかどうかについてお尋ねします。該当箇所に○をつけてください。

問題	影響なし	多少の影響	影響あり	重大な影響	概算（不足分）
① 運転資金の調達	①	②	③	④	_____ヶ月分
② 設備資金の調達	①	②	③	④	_____百万円

問16 現在、貴事業者が直面している経営課題についてお尋ねします。該当箇所に○をつけてください。

経営課題	影響なし	多少の影響	影響あり	重大な影響
① 売上の減少	①	②	③	④
② 値下げ圧力	①	②	③	④
③ 仕入・在庫の増加	①	②	③	④
④ 営業経費の増加	①	②	③	④
⑤ 人件費の増加	①	②	③	④
⑥ 運転資金の確保	①	②	③	④
⑦ 設備資金の確保	①	②	③	④
⑧ 人手の確保	①	②	③	④
⑨ 事業継承・継続	①	②	③	④
⑩ その他（具体的に： _____）	①	②	③	④

問17 事業継続計画（Business Continuity Plan：以下、BCP）についてお尋ねします。該当箇所には○をつけてください。

① 作 っ て い な か っ た	作っていた			
		役に立ったこと	なし	あり
	②	① 建物の浸水対策	①	②
		② 従業員等の安否確認	①	②
		③ サプライチェーン（仕入先）の確保	①	②
		④ 自社製品や販売物の委託・振替生産による対応	①	②
		⑤ 重機の確保による復旧の早期化	①	②
	⑥ その他（具体的に：_____）	①	②	

問18 BCPの策定以外に、災害対応で役に立ったことがあれば具体的にお答えください。

問19 過去に、水害を経験したことがありましたか。該当箇所には○をつけてください。

① 経験したことがなかった	② 経験したことがあった
---------------	--------------

問20 豪雨災害後の超過労働（操業能力が低下した期間のサービスを取り戻すために行った、残業等の労働時間延長）についてお尋ねします。

① 挽 回 生 産 を し て い な い (予定がない)	挽回生産をしている（した、予定がある）	
	②	開始した日 _____月_____日
		実施した期間 _____日間
		発生した売上損失に対する挽回量の割合 _____%

問21 今回の豪雨災害の教訓、復旧に向けて障害になっていることや、国・自治体（県や市町村）・金融機関に期待すること等ございましたらお知らせください。

以上、ご協力に感謝します。ありがとうございました。