

内水被害に対する  
保険制度運用及び施設整備における  
社会的割引率設定に関する研究

2021年3月

三好 学

# 内水被害に対する保険制度運用及び 施設整備における社会的割引率設定に関する研究

## 【目次】

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 第 1 章 | 序論  | 1  |
| 1.1   | 背景と目的                                     | 1  |
| 1.2   | 本論文の構成                                    | 2  |
| 第 2 章 | 既往の知見の整理と研究の位置付け                          | 3  |
| 2.1   | 本章の概要                                     | 3  |
| 2.2   | 地方都市部における広域の内水氾濫の評価方法の提案                  | 3  |
| 2.3   | 超過洪水時を含めた建物・家財に着目した被害額算定の提案               | 6  |
| 2.4   | 被害額に応じたグループ分割による保険の給付・徴収の提案               | 8  |
| 2.5   | 社会的割引率の感度分析の提案                            | 10 |
| 第 3 章 | 地方都市部において広域の内水氾濫を評価できる解析<br>モデルの構築        | 13 |
| 3.1   | 構築する内水氾濫解析モデルの特徴                          | 13 |
| 3.2   | 内水氾濫解析の方法                                 | 13 |
| 3.3   | 氾濫解析パラメータ                                 | 18 |
| 3.4   | 対象領域と対象降雨                                 | 19 |
| 3.5   | 計算水位と痕跡水位の比較による解析モデルの検証                   | 25 |
| 3.6   | 本章のまとめ                                    | 27 |
| 第 4 章 | 内水被害額に応じたグループ分割による保険の給付・<br>徴収に対する不平等性の低減 | 28 |
| 4.1   | 本章の概要                                     | 28 |
| 4.2   | 保険原理の数値化                                  | 29 |
| 4.3   | 徳島県での適用                                   | 31 |
| 4.4   | 被害額に応じた保険の給付・徴収の必要性                       | 35 |
| 4.5   | 本章のまとめ                                    | 40 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 第 5 章 | 排水機場整備の費用対効果分析から考察される社会的割引率の設定についての重要性----- | 41 |
| 5.1   | 本章の概要-----                                  | 41 |
| 5.2   | 排水機場整備による便益と費用-----                         | 42 |
| 5.3   | 損益分岐点の算定と感度分析-----                          | 43 |
| 5.4   | 社会的割引率の設定についての重要性-----                      | 49 |
| 5.5   | 本章のまとめ-----                                 | 51 |
| 第 6 章 | 結論-----                                     | 52 |
| 謝辞    | -----                                       | 54 |
| 参考文献  | -----                                       | 55 |

# 第 1 章 序論

## 1.1 背景と目的

近年，地球温暖化の影響により，内水リスクが増加している．水害統計によると，平成 20 年から平成 29 年までの間の外水氾濫と内水氾濫の被害額合計は約 1.8 兆円であり，そのうち 41% が内水氾濫によるものがあった<sup>1)</sup>．また，同期間において，外水氾濫と内水氾濫の合計浸水棟数は約 32 万棟であり，そのうち 68% が内水氾濫によるものであった<sup>1)</sup>．このような内水リスクの増大に備えるためには，これまでの河川管理者等の取組だけでなく，流域に関わる関係者が，主体的に治水に取り組む社会を構築する必要がある．そこで，国土交通省では，河川・下水道管理者等による治水に加え，あらゆる関係者により流域全体で行う「流域治水」へ転換する方針を打ち出した<sup>2)</sup>．

この流域治水<sup>2)</sup>では，人命被害の増加に加え，経済被害が増大し，これらに伴う保険金の支払額が増加し，社会的不安が増加していること問題としている．また，高度経済成長期以降に整備された多くの河川管理施設の急速な老朽化が懸念されている中で，気候変動により将来発生することが想定される現象を予測し，それに基づく効率的な維持管理・更新計画の作成が求められていることを課題としている．

そこで，本研究では内水被害に対する以下の 2 つを考察することを目的とする．これら 2 つの考察にあたり，徳島県全域という広域な内水リスクの評価が必要であることから，広域地形データを用いた内水氾濫解析モデルの構築を行うこととした．この内水氾濫解析モデルでは，外水の影響を受けた浸水も一部評価対象に含めている．このモデルを用い，1 つ目の考察では，治水経済調査から算定される内水被害額により被害世帯をグループ分割し，そのグループに応じて保険の給付・徴収を行った場合の水害保険に対する不平等性の低減を考察する．2 つ目の考察では，排水機場整備の費用対効果分析から算定される損益分岐点に対して，気候変動と景気変動における感度分析を行う．この 2 つの変動による損益分岐点の振れ幅から，社会的割引率の設定についての重要性を考察する．

## 1. 2 本論文の構成

本論文は、第1章の序論から、第6の結論まで、全6章で構成される。各章の概要を以下に記す。

第1章では本研究の背景と目的を解説するとともに、本論文の構成について述べる。

第2章では、既往の知見を整理し、その問題点を指摘するとともに、本研究での位置付けとして、問題点を解決する提案を行う。

第3章では、徳島県全域を対象とした内水氾濫解析モデルを構築する。平成16年台風23号(以下、H16T23という。)を再現した計算結果と、その際に測量された浸水実績を比較することにより、構築した内水氾濫解析モデルの再現性と、その結果を治水経済調査に用いることの妥当性を検証する。

第4章では、保険原理の考察と数値化を述べるとともに、この内水氾濫解析モデルを用い、治水経済調査から算定される内水被害額により被害世帯をグループ分割し、そのグループに応じて保険の給付・徴収を行った場合の水害保険に対する不平等性の低減を考察する。

第5章では、排水機場整備による便益と費用から算定される損益分岐点に対して、気候変動と景気変動における感度分析を行う。この2つの変動による損益分岐点の振れ幅から、社会的割引率の設定についての重要性を考察する。

第6章では、本研究で得られた知見と、本研究の提案と留意事項を記し、結論とする。

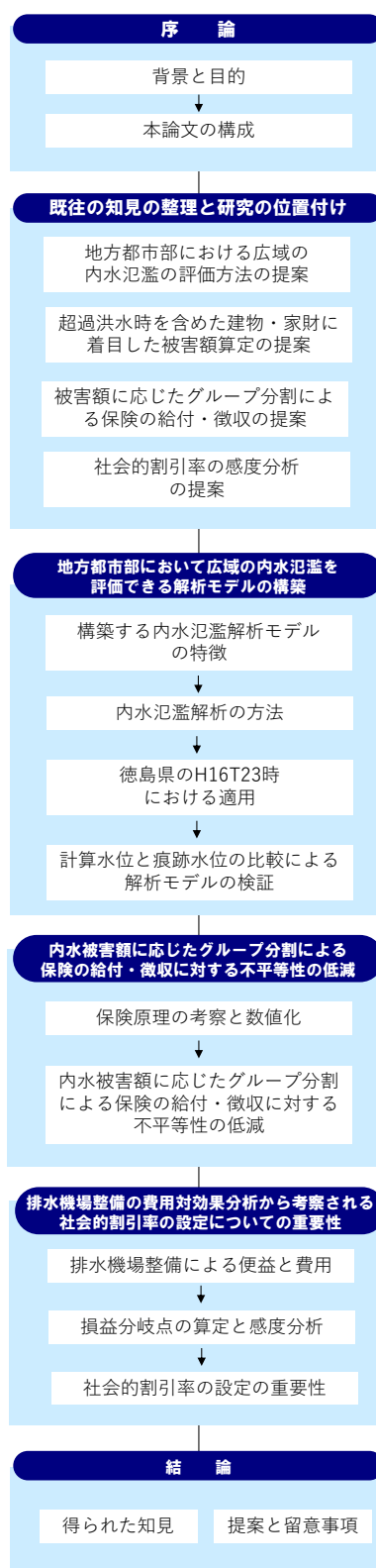


図 1-1 本論文の構成

## 第2章 既往の知見の整理と研究の位置付け

### 2.1 本章の概要

本章では、既往の氾濫解析モデルと被害額算定モデルを用いた知見を整理し、その問題点を指摘する。本研究では、徳島県全域という広域な内水氾濫解析モデルを必要とすることから、氾濫解析モデルと被害額算定モデルは1都道府県程度の面積を対象とした氾濫解析モデルを着目し、知見を整理する。それにより、地方都市部において広域の内水被害評価方法が存在しない問題が提起し、地方都市部における広域の内水氾濫の評価方法の提案と、超過洪水時を含めた建物・家財に着目した被害額算定の提案を行う。また、我が国と諸外国の保険制度を比較し、我が国の保険制度を持続的に運用するために、被害額に応じたグループ分割による保険の給付・徴収を提案する。最後に、我が国と諸外国・国際機関の社会的割引率を比較し、社会的割引率の感度分析を行うことの重要性を述べる。

### 2.2 地方都市部における広域の内水氾濫の評価方法の提案

#### (1) 既往の氾濫解析モデルの整理

##### 1) 東京都心部を対象とした内水氾濫解析モデル

###### a) 目的

関根ら<sup>3)</sup>は、近年の異常な強度の豪雨による内水氾濫について検討するため、数値解析手法を有力なツールと位置づけ、「街路ネットワーク浸水・氾濫解析モデル」を構築している。このモデルは、計算コードを高速化し、リアルタイムでの浸水状況を把握できるよう改良され、現在リアルタイムでの運用が開始されている。

###### b) 計算手法

このモデルでは、東京都心部のような都市化の進んだ地域を対象としている。そのため、対象とする雨水の流れは、以下としている。道路上に降った雨は、そのまま標高の低い地点を目指して流下するものの、その一部は道路側方に設置されている雨水升を介して下水道内に運ばれる。住宅密集地に降った雨のうち建物の屋根に降った

ものについては、軒樋に集められた後に地表面下の住宅内管路に運ばれる。さらに、その水は住宅が面する道路の真下に設置されている下水道へと運ばれる。一方、個々の住宅の建物以外の部分に降った雨については、これが与える影響は小さいものとして、本解析では無視している。なお、下水道に流れ込んだ雨水は最終的には河川へと運ばれることになる。

### c) 問題点

このモデルでは、東京都心部のような都市化の進んだ地域を対象としており、以下の問題があり、地方都市の郊外部では適用することが困難であると考えられる。

- ①住宅密集地と道路から地表面が構成されていることを前提としており、田畑や山地が考慮できない。
- ②下水管路が整備されていることを前提としており、開水路による雨水流下能力を考慮できない。

## 2) 地先の安全度マップ

### a) 目的

「地先の安全度マップ」<sup>4)</sup>は、滋賀県の土地の地先の水害リスクを評価し、図化したものである。地域住民と流域全体が抱える水害リスクを共通の認識とし、命を守るための避難行動や住まい方などの意識改革のために公表している。また滋賀県では、このマップを基に、建築規制・土地利用規制を実施している。

### b) 計算手法

このマップを作成した際の計算モデルは、流出計算を合成合理式で行い、それにより算定された流出量を河川上流端に流入させる。そして河川堤防高より河川水位が上回ると、氾濫シミュレーションマニュアル(案)<sup>5)</sup>に従った破堤状況となり、氾濫水が堤内に押し寄せるモデルとなっている。堤内地の解析では、盛土・開水路・下水管路が考慮されている。

### c) 問題点

このモデルでは、外水氾濫を対象としており、流出計算により算定された流出量を河川上流端に流入させている。そのため、堤内地の

氾濫は、全て河川からの溢水・越水であり、内水氾濫による浸水を見落としている恐れがある。ここで国土交通省では、洪水予報河川・水位周知河川以外の河川の氾濫により浸水被害が発生している事例があり、浸水リスク情報の空白域となっている小規模河川近傍を問題視している<sup>6)</sup>。この事例は、地先の安全度マップが流出計算により算定された流出量を河川に流入させる小規模河川まで含めていない場合には、リスク評価の空白域が存在する恐れがあることを示唆している。

### 3) 土壌雨量指数・表面雨量指数・流域雨量指数

#### a) 目的

気象庁は、日本国全域をリアルタイムで、タンクモデルにより流出計算し、その流出量・貯留量を公開している。これらの値から土壌雨量指数・表面雨量指数・流域雨量指数の3指標が算定され、この3指標は災害発生に密接に結びついた指標として、特別警報、警報、注意報の発令の際の参考としている。

#### b) 計算手法

土壌雨量指数・表面雨量指数・流域雨量指数の3指標は、タンクモデルにおける以下の値とされている。タンクモデルは、都市域では、表面流出が主体の5段タンクモデルを用い、非都市域では、直列3段タンクモデル（地質に応じた5種類の流出特性の異なるモデル）を用いている。

- ① 土壌雨量指数……各タンクに残っている貯留量の合計値。
- ② 表面雨量指数……タンクモデルで算出した流出量に地形補正係数を乗じた値。なお、地形補正係数は地表勾配により算定されるパラメータである。
- ③ 流域雨量指数……地表面を1km四方に分割し、各河川の上流における降雨の河川への流出量をタンクモデルにより計算する（流出過程）。次に河川に流出した雨水が河川を流下する水量を Manning式により計算する（流下過程）。この流下水量の平方根をとった値。



### c) 問題点

このモデルは、オープンデータとしてリアルタイムで公開されているものの、これら指標の単位は公開されておらず、他の流出計算・河川流下計算・堤内氾濫解析などに用いることが困難であると考えられる。また、表面雨量指数は 250m メッシュで算定されており、メッシュサイズが大きく、評価することができるのは大規模な内水氾濫に限られると考えられる。

### (2) 問題点の整理

前項に記載したように、1 都道府県程度の面積を対象とした広域の既往の内水氾濫モデルをみると、外水氾濫を対象としたモデルや、内水氾濫を対象としていても東京都心部に着目したモデルであった。また、日本全域を対象としたモデルは、その出力値を他の流出計算・河川流下計算・堤内氾濫解析などに用いることが困難であったと考えられる。

### (3) 本研究での提案

本研究では、地方都市部および地方都市郊外部にも適用することのできる内水氾濫解析モデルを構築し、徳島県全域を対象とした内水対策の検討を行うことを提案する。

その際に、オープンデータとして公開されている情報のみを内水氾濫解析モデルの入力条件とし、一般に公開されていない情報は本研究では用いないこととする。また、リスク評価の空白域が生じない氾濫解析モデルを構築することとする。

## 2.3 超過洪水時を含めた建物・家財に着目した被害額算定の提案

### (1) 被害額算定モデルを用いた結果の整理

#### 1) 外水氾濫対策を対象とした研究

##### a) 目的と結論

時岡ら<sup>7)</sup>は、流域面積 1,930km<sup>2</sup> の一級河川である常呂川の外水氾濫を対象とし、河道掘削案と洪水調節施設整備案の費用対効果を比較し、これまでの河川整備基本方針の検討にあたっては、計画規模以上の超過洪水時の被害軽減を考慮していなかったが、超過洪水時も検討に含むことにより、治水対策ごとに超過洪水時の被害軽減効果が異なることを示している。また、気候変動による計画降雨量の

変化量まで費用対効果分析を行うことにより治水対策の効果を評価可能であることを示している。

#### **b) 本研究との関連**

時岡ら<sup>7)</sup>は、外水氾濫対策を検討し、内水氾濫対策は対象としていない。また、水害被害を検討する際には、計画規模以上の超過洪水時の検討が重要あるとの指摘があるため、計画規模以上の超過洪水時の被害を考慮した検討を本研究では行うこととした。

### **2) 田畑と家屋が混在した地区における内水氾濫対策**

#### **a) 目的と結論**

木村ら<sup>8)</sup>は、低平農業地域である新潟市亀田郷地区を対象とした排水解析シミュレーションモデルを構築し、末端調整池である鳥屋野潟における排水機場の予備運転および排水ポンプの目標内水位の引き下げによる、大雨時のピーク内水位抑制効果、内水氾濫被害軽減効果について検討している。その際に、治水経済調査マニュアル<sup>9)</sup>から、農作物の被害額を算定し、排水ポンプの目標内水位の引き下げによる冠水被害地の軽減効果は特に水田において高い傾向が示された。一方で、冠水被害額は、市街地では被害額の単価が高いことから、農地に比べて大きな被害額軽減効果が見込める結果となった。

#### **b) 本研究との関連**

木村ら<sup>8)</sup>は、内水氾濫を対象とし、内水氾濫対策による被害額の低減効果を算定している。しかし、新潟市亀田郷地区の1地区を対象とした研究であり、1都道府県程度の面積を対象とした研究ではない。また、浸水軽減効果の大きい水田よりも、被害額の単価の高い市街地の方が被害額軽減効果を見込めるという指摘があった。

### **(2) 問題点の整理**

氾濫被害の検討では、外水氾濫を対象とした検討や内水氾濫を対象としていても1地域に限定した考察であり、1都道府県程度の面積を対象に内水氾濫対策を考察したものは少なかった。

### **(3) 本研究での提案**

内水氾濫解析の結果の1つである最大浸水深分布をもとに、治水

経済調査マニュアル<sup>9)</sup>に従い、被害額を算定する。その際には、時岡ら<sup>7)</sup>の指摘に従い、計画規模以上の超過洪水時の被害を考慮した検討を本研究では行うこととした。しかし、超過洪水時には内水氾濫だけでなく外水氾濫が発生することが想定される。外水氾濫の際には、破堤による氾濫の恐れがあり、4章で後述する地域偏在性が少なく、ランダムに誰しもが同確率で被災する恐れがある。そのため、4章の水害保険の検討では、計画規模のみを対象とすることとした。それに対し、5章の排水機場の費用対効果の検討では、超過洪水時であっても排水機場は稼働していると考え、計画規模および超過洪水時を対象に検討を行うこととした。

一方、本研究では、家屋を対象とした水害保険と、雨水排水を目的とした下水排水機場整備における費用対効果を検討することとしている。木村ら<sup>8)</sup>によると、浸水軽減効果の大きい水田よりも、被害額の単価の高い市街地の方が被害額軽減効果を見込めるとの指摘もあった。そのため本研究では、治水経済調査の対象は建物・家財に限定することとした。

## 2.4 被害額に応じたグループ分割による保険の給付・徴収の提案

### (1) 日本国と諸外国の自然災害保険制度の整理

#### 1) 日本国

我が国では、被保険者は火災保険に加入することにより、水害被害に対する補償を得ることができる。一方、内水氾濫は低地に発生する頻度が高く、地域偏在性が大きい災害であると考えられる。そのため、水害保険を誰しもが被害を受ける火災保険と一体運用(プール)することにより、保険制度を機能させている<sup>10)</sup>。しかし、近年の地球温暖化による水害リスクの増加により、保険会社の保険支払い不可能リスクが増加している現況となっている<sup>2)</sup>。一方、地震保険制度では、家屋構造(木造/非木造)、耐震対策を考慮し、加入者の被害軽減対策に応じて保険利率を変化させている<sup>11)</sup>。

#### 2) アメリカ合衆国

アメリカ合衆国では、水害保険は土地利用規制と一体となって運用されており、100年確率洪水の氾濫区域では保険料率が高く設定

される。また、土地利用規制により危険地域の居住を制限することで、洪水被害を減少させている。これらにより、水害リスクが増加しても、保険会社の保険支払い不可能リスクを緩和していると考えられる<sup>11)</sup>。

### 3) フランス共和国

フランス共和国では、氾濫原内が主に農地に利用されており、家屋が少ないため、河川氾濫に対する治水事業の規模が日本国と比較し少ない。また、日本よりも地震災害が少ない特徴がある。そのため、火災・洪水・地震などの災害を統合し、保険を運用することで、保険制度の破綻を防いでいると考えられる<sup>11)</sup>。

### 4) スペイン王国

スペイン王国では、加入率の高い火災保険に水害保険を強制付帯することにより、加入者を確保している。また、洪水・地震などの自然災害と、テロ・暴動などの社会活動によるリスクと統合し、保険を運用することで、保険制度の破綻を防いでいると考えられる<sup>11)</sup>。

## (2) 日本国の水害保険制度の問題点と本研究での提案

### 1) 水害保険制度の現状と問題点

我が国では水害保険を誰しもが被害を受ける火災保険と一体運用することで、保険制度を機能させている。しかし、近年の地球温暖化による水害リスクの増加により、保険会社の保険支払い不可能リスクが増加している現況となっている<sup>2)</sup>。

### 2) 他災害の保険制度との比較

我が国の水害保険と地震保険とを比較すると、地震保険では危険度に応じた利率を設定することで制度の破綻を防いでいるのに対し、水害保険ではそのような対策は講じられていない。また、水害保険と地震保険ともに、それらより加入率の高い火災保険と一体運用することで制度の破綻を防いでいる。しかし、水害保険と地震保険ともに、火災保険の強制付帯とはなっておらず、任意に加入する制度となっている。

### 3) 諸外国の水害保険制度との比較

アメリカ合衆国では、水害保険は土地利用規制と一体となって運用することにより、保険支払い不可能リスクの解消を試みている。しかし、我が国では現在から土地利用規制の効果を発現させようとすると、50、100年程度の時間を要し、近年の地球温暖化による水害リスクの増加には対処できない恐れがある。一方、我が国では、フランス共和国とは異なり、氾濫原内が主に農地に利用されており家屋が少なく、また地震災害が少ない特徴を持っていない。そのため、フランス共和国のように、地震などの他災害と、これ以上一体運用することは望ましいとはいえないと考えられる。他方、スペイン王国のように、火災保険に強制付帯するためには国民に理解が必要であり、時間を要すると考えられる。また、我が国ではテロ・暴動のリスクはスペイン王国より低いと考えられ、社会活動によるリスクに関する災害保険と自然災害リスクに関する災害保険とを一体運用することは望ましいとはいえないと考えられる。

### 4) 本研究での提案

諸外国では気候変動による水害保険支払額の増加に伴い保険制度が破綻しないよう、土地利用規制との一体運用・複数の災害保険を統合・保険の強制加入を行っている。しかし、上記を踏まえると、これら諸外国と同様の保険運用制度を実施することは困難であると考えられる。我が国では火災保険と一体運用することで、保険制度を機能させているものの、近年の地球温暖化による水害リスクの増加により、保険会社の保険支払い不可能リスクが増加しており、支払額の増加に備えるためには、水害以外の他災害との一体運用とは異なる方策を行う必要がある。そこで、我が国の地震災害保険を参考に、災害危険度に応じて保険の利率を設定する制度を提案する。具体的には、内水被害額(内水危険度)に応じたグループ分割により、保険の給付・徴収を行い、保険制度の運用性を高めることである。

## 2.5 社会的割引率の感度分析の提案

### (1) 日本国と諸外国・国際機関の社会的割引率の整理

#### 1) 日本国

我が国では、国債は代表的なリスクの少ない債券であり、政府の

資金調達コストを表しているとも考えられることから、国債の実質利回りを参考値として、社会的割引率を4%として設定している。必ずしも社会的割引率が市場利子率と一致するとはいえないものの、社会的時間選好の考え方にに基づき社会的割引率を設定することは困難であるため、我が国では国債の実質利回りを参考値としている<sup>12)</sup>。

## 2) 諸外国・国際機関

諸外国・国際機関の費用便益分析において適用されている社会的割引率の設定の状況を表2-1に示す。表2-1をみると、ドイツ連邦共和国の3%からアジア開発銀行の12%まで振れ幅が大きいことがわかる。また、同表からイギリス連合王国では2003年に6%から3.5%に改訂したこともわかる<sup>12)</sup>。

表 2-1 諸外国・国際機関の社会的割引率<sup>12)</sup>

| 国名       | 社会的割引率             | 出典  |
|----------|--------------------|---|
| イギリス     | 6%<br>(～2003年3月)   | The Green Book - Appraisal and Evaluation in Central Government, HMT, 1997  |
|          | 3.5%<br>(2003年4月～) | THE GREEN BOOK Appraisal and Evaluation in Central Government, 2003.1 H.M. Treasury Guidance  |
| ドイツ      | 3%                 | Macro-Economic Evaluation of Transport Infrastructure Investments, Evaluation Guidelines for the Federal Transport Investment Plan, The Federal Minister of Transport, 1992 |
| ベルギー     | 4%                 | ASSESSING THE BENEFITS OF TRANSPORT, ECMT, 2001   |
| フランス     | 8%                 | ASSESSING THE BENEFITS OF TRANSPORT, ECMT, 2001   |
| スウェーデン   | 4%                 | ASSESSING THE BENEFITS OF TRANSPORT, ECMT, 2001   |
| ニュージーランド | 10%                | Evaluation Procedures for Alternatives to Roothing, Transfund New Zealand,  |
| アジア開発銀行  | 10%～12%            | Guidelines for the Economic Analysis of Projects, 1997  |

## (2) 社会的割引率の問題点と本研究での提案

### 1) 日本国の社会的割引率の現状と問題点

我が国では現行の社会的割引率は、国債の実質利回りを参考値とし、4%を採用している。必ずしも社会的割引率が市場利子率と一致するとはいえないものの、社会的時間選好の考え方に基づき社会的割引率を設定することは困難であるため、我が国では国債の実質利回りを参考値としている<sup>12)</sup>。そのため、望ましい社会的割引率の水準については、決定的な結論は出ていない現況にある。

### 2) 日本国と諸外国・国際機関の社会的割引率の比較

諸外国・国際機関をみると、イギリス連合王国では社会の情勢に応じて改訂を行っている。我が国では、改定の必要性が指摘されている<sup>12)</sup>ものの、改定は実施されたことはない。また、諸外国・国際機関の社会的割引率をみると、3%から12%まで存在し、我が国で採用されている4%はその範囲内であるものの、その範囲の上下限値の振れ幅が大きいことがわかった。

### 3) 本研究での提案

4%以外の値の社会的割引率を用いた費用対効果分析を行うことが重要と考え、社会的割引率の感度分析を行うことを提案する。この感度分析において、気候変動による費用対効果分析の振れ幅と、景気変動の振れ幅を比較することにより、社会的割引率の設定の重要性を述べる。

## 第3章 地方都市部において広域の内水氾濫を評価できる

### 解析モデルの構築

#### 3.1 構築する内水氾濫解析モデルの特徴

本章では、前章において記した以下の特徴を持った内水氾濫解析モデルを構築する。

- ① 地方都市部および地方都市郊外部にも適用することのできる内水氾濫解析モデル。
- ② 1都道府県程度の面積を対象とした広域の内水氾濫モデル
- ③ オープンデータとして公開されている情報のみを内水氾濫解析モデルの入力条件とし、一般に公開されていない情報は用いない内水氾濫モデル
- ④ リスク評価の空白域が生じない氾濫解析モデル

#### 3.2 内水氾濫解析の方法

本解析モデルは、二次元不定流モデル(地表面)に準線形貯留型モデル(堤外排水)を結合することにより構築されている。準線形貯留型モデルを用いると、流末に到達した流量を算定することができる。本研究では、流路を河川、開水路、下水管路と定義し、その箇所を堤外とする。一方、流路以外の箇所を堤内とする。本研究では、準線形貯留型モデルを用い、地表面(堤内地)から流路への流出量を算定する。堤内地に整備されている流路は集水域(国土数値情報 流域メッシュに準拠する。)全体に張り巡らされていることが多く、地表面から流路に流出する現象は、下流端だけでなく集水域全体で生じることが想定される。そのため、準線形貯留型モデルで算定された集水域の下流端に到達した流量分の水量を、集水域全体の浸水深から一定割合を差し引くことにより、地表面から流路に流出する現象をモデル化した。なお、流路に流入した氾濫水が再び地表面に溢れ出す現象は外水氾濫と考えられる。本研究では内水氾濫のみを対象としたため、再び流路から地表面に溢れ出す現象を考慮しない解析モデルとなっている。



### (1) 地表面における氾濫モデル

地表面の氾濫流の基礎式は、以下のような二次元・非定常浅水流の連続式と運動方程式を用いる。式(3-1)右辺第2項は堤外流出を表しており、本節(3)項にて詳述する。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = f_{inf} \cdot R + f_{dr} \cdot \frac{\partial V_{FD}}{\partial t} \cdot \frac{h}{V_{FD}} \quad (3-1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} uM + \frac{\partial}{\partial y} vM = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{b,x}}{\rho} \quad (3-2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} uN + \frac{\partial}{\partial y} vN = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{b,y}}{\rho} \quad (3-3)$$

ここに、 $t$ : 時間(sec),  $x, y$ : 水平2次元座標距離(m),  $h$ : 水深(m),  $u, v$ :  $x, y$ 方向の流速(m/s),  $M, N$ :  $x, y$ 方向の流量フラックス(単位幅流量)( $m^2/s$ )  $M=uh$ および  $N=vh$ ,  $H$ : 水位(m),  $f_{inf}$ : 浸透に起因する降雨損失に対応する流出係数(-),  $R$ : 雨量(m/s),  $g$ : 重力加速度( $m/s^2$ ),  $\rho$ : 水の密度( $kg/m^3$ ),  $\tau_{b,x}, \tau_{b,y}$ :  $x, y$ 方向の地表面摩擦抵抗応力( $m/s^2$ ),  $f_{dr}$ : 流下・排水能力不足に起因する流出係数(-),  $V_{FD}$ : 地表面の湛水量( $m^3$ )である。

地表面摩擦抵抗応力は次のように表される。

$$\frac{\tau_{b,x}}{\rho} = \frac{gn^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} = \frac{gn^2 M \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} \quad (3-4)$$

$$\frac{\tau_{b,y}}{\rho} = \frac{gn^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} = \frac{gn^2 N \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} \quad (3-5)$$

ここに、 $n$ : マニング粗度係数( $s/m^{1/3}$ )である。

氾濫流の数値計算では、式(3-1)(3-2)(3-3)を、空間的にはスタガード・構造格子について陽的に差分化し、時間的にはleap-frog法により、数値解析する。

## (2) 堤外流出量

内水浸水想定区域作成マニュアル(案)<sup>10)</sup>には、降雨波形のピークから強制排水を行う浸水シナリオを検討する旨の記載がある(図3-1)。一方、1.01年確率雨量強度にまで雨量が下回った場合には、外水位も低下していると考えられる。そのため、降雨波形のピークから1.01年確率雨量強度にまで雨量が下回るまでの間を強制排水が実施される期間とし、それ以外の期間は自然排水の期間とした。本研究の浸水シナリオを図3-2に示す。

なお、河道からの溢流による浸水は、内水浸水想定に含めない。  
 また、放流先河川の水位が最大となる時刻は、降雨波形の設定に用いた実績降雨において河川水位が最大となる時刻と同時刻とするなど、当該河川の出水特性を踏まえて設定する。  
 ポンプ排水区においては、排水ポンプ場の運転調整が行われる可能性があることに留意し、一例として、放流先河川が最高水位となった時点で排水ポンプ場の運転調整が行われる浸水シナリオによる内水浸水想定区域の検討を行うことも必要である。

図 3-1 強制排水を行うタイミング<sup>10)</sup>

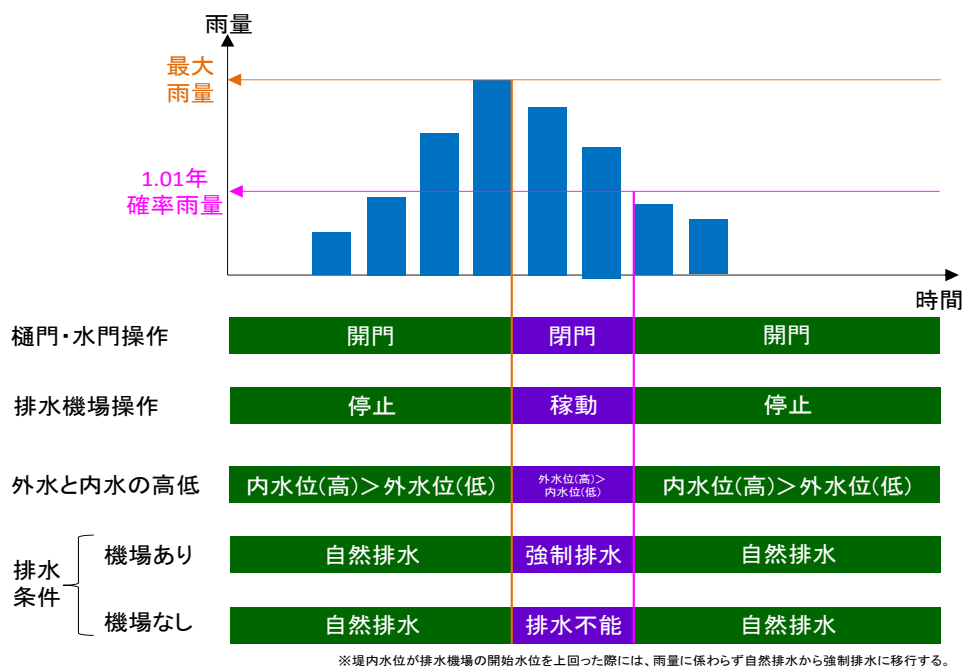


図3-2 浸水シナリオ(降雨波形と自然・強制排水の関係)

### 1) 自然排水時

自然排水時の堤外流出量は、前項の平面二次元の流れとは別に計算する。堤外流出量は流路に到達した流量と想定し、流入量の計算

は準線形貯留型モデルに準拠する．これを集水領域ごとに計算する．ここで，式(3-6)において  $R$  が  $0.0\text{mm/hr}$  となると，地表面に湛水が存在していたとしても，堤外流出量は  $0.0\text{m}^3/\text{s}$  となることが想定される．一方，徳島県では，ほぼ毎年  $30.0\text{mm/hr}$  の雨量(生起確率に換算すると 1.01 年)が観測されおり，この程度の雨量に対する流下・排水能力は常に確保されていると考えられる．そのため，式(3-6)の  $R$  が  $30.0\text{mm/hr}$  未満の場合は， $R$  に  $30.0\text{mm/hr}$  を計算対象時間中，常に与えることにより，堤外流出量を推定した．

$$T_P = C \cdot A_m^{0.22} \cdot (f_{\text{inf}} \cdot R)^{-0.35} \quad (3-6)$$

$$k = (T_P \cdot 60) / 2 \quad (3-7)$$

$$S = k \cdot V_m / (A_m \cdot 10^{-6} \cdot dt) \quad (3-8)$$

$$V_m = \sum_i \sum_j h_{m,i,j} \cdot dx \cdot dy \quad (3-9)$$

$$V_{FD\_out} = (S \cdot dt) / k \quad (3-10)$$

ここに， $i, j$ :  $x, y$  方向のメッシュ分割番号(-)， $C$ : 流出特性を表す係数(-)， $T_P$ : 到達時間(min)， $k$ : 遅れ時間(sec)， $S$ : 貯留高(m)， $V_m$ : 土地利用状況  $m$  における湛水量( $\text{m}^3$ )， $A_m$ : 土地利用状況  $m$  の面積( $\text{km}^2$ )， $h_m$ : 土地利用状況  $m$  の水深(m)， $V_{FD\_out}$ : 堤外流出量( $\text{m}^3$ )である．

## 2) 強制排水時

強制排水時の堤外流出量は，集水域内に存在する排水機場の排水能力とした．集水域内に排水機場が存在しない場合は，内水位より外水位が高いと想定し，堤外流出量は無いとした．

### (3) 堤外流出量の地表面モデルへの反映

洪水浸水想定区域図作成マニュアル(第4版)<sup>14)</sup>では，ポンプ排水量を集水面積全体で受け持つことにより，排水機による強制排水をモデル化することを考案している．そこで本モデルでは，式(3-1)右辺第2項を式(3-11)のように差分化した．式(3-11)をみると，集水域の湛水量  $V_{Fd}^{nstep}$  と堤外流出量  $f_{dr} \cdot V_{Fd-out}$  から，湛水量の減少率  $(V_{Fd}^{nstep} - f_{dr} \cdot V_{Fd-out}) / V_{Fd}^{nstep}$  を求め，その減少率を一律に水深  $h_{i,j}^{nstep}$  に乗すことにより，次ステップの水深  $h_{i,j}^{nstep+1}$  を求めていることがわかる．

$$h_{i,j}^{nstep+1} = h_{i,j}^{nstep} \times \left( \frac{V_{Fd}^{nstep} - f_{dr} \cdot V_{Fd-out}}{V_{Fd}^{nstep}} \right) \quad (3-11)$$

ここに、 $nstep$ : 計算ステップ数 (-) である。

#### (4) 流出係数のモデル化

流出係数を浸透に起因する降雨損失に対応するものと、流下・排水能力不足に起因するものとに分離する。この2要素の、重み付け相乗平均が表3-1に示す1次流出係数であると考えた。本研究では、重み付け係数を0.0から1.0まで0.1刻みで変化させ、重み付け係数の同定を行った。式(3-12)、(3-13)より、これら流出係数を土地利用状況ごとに求める。

$$f_p = f_{inf}^w \cdot f_{dr}^{1-w} \quad (3-12)$$

$$0 \leq w \leq 1 \quad (3-13)$$

ここに、 $f_p$ : 1次流出係数 (-)、 $w$ : 流出係数の重み付け係数 (-) である。

本研究のモデルの概念を図3-3に示す。

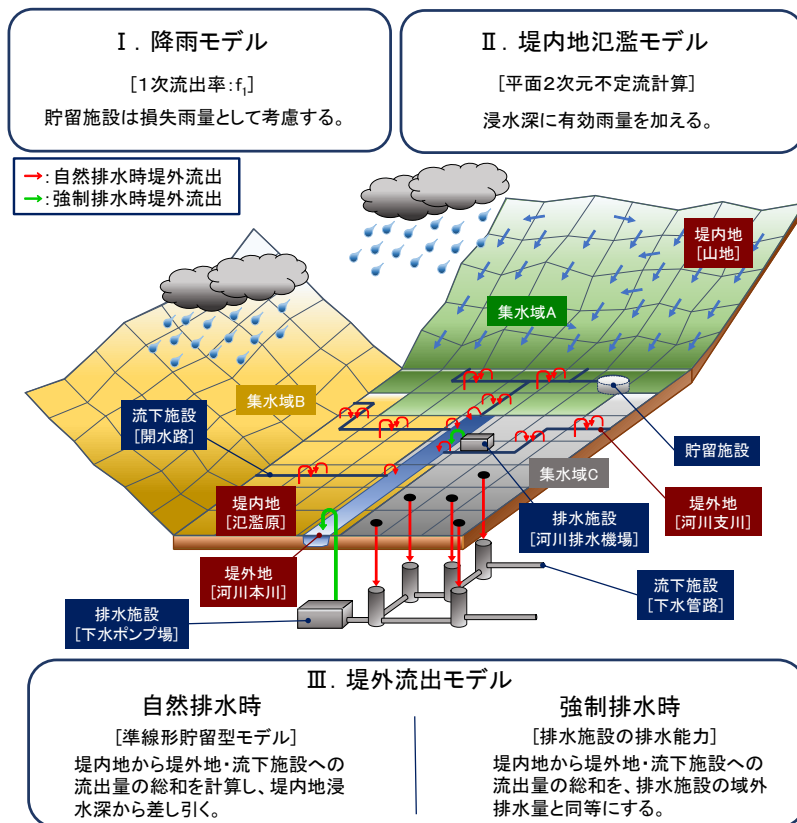


図 3-3 本研究のモデルの概念

### 3.3 氾濫解析パラメータ

#### (1) メッシュサイズ

メッシュサイズは、内水浸水想定区域図作成マニュアル<sup>15)</sup>を参考に、25m×25mメッシュとした。

#### (2) 計算対象時間

計算対象時間は、後節に記載する概ね H16T23 の降雨継続時間である平成 16 年(2004 年)10 月 20 日 0 時から 24 時の 24 時間とした。

#### (3) 土地利用状況に応じた氾濫解析パラメータ

氾濫解析パラメータを表 3-1 に示す。氾濫解析パラメータは、マニング粗度係数，1 次流出係数，流出特性を表す係数を表 3-1 に示す 11 種類の土地利用種ごとに与えた。

表 3-1 土地利用状況に応じた氾濫解析パラメータ

|         | マニング<br>粗度係数 | 1次<br>流出係数 | 流出特性を<br>表す係数 |
|---------|--------------|------------|---------------|
| 田       | 0.060        | 0.70       | 1,000.0       |
| その他農用地  | 0.050        | 0.60       | 210.0         |
| 森林      | 0.060        | 0.30       | 290.0         |
| 荒れ地     | 0.050        | 0.60       | 105.0         |
| 建物用地    | 0.050        | 0.80       | 110.0         |
| 幹線交通用地  | 0.047        | 0.95       | 50.0          |
| その他用地   | 0.050        | 0.80       | 80.0          |
| 河川地及び湖沼 | 0.030        | 1.00       | 1.0           |
| 海浜      | 0.030        | 0.80       | 105.0         |
| 海水域     | 0.030        | 1.00       | 1.0           |
| ゴルフ場    | 0.050        | 0.50       | 140.0         |

### 3.4 対象領域と対象降雨

#### (1) 対象領域

対象領域は徳島県全域である。対象領域の地盤標高，土地利用状況，建物占有率および集水域を図 3-4 から図 3-7 に示す。地盤標高と建物占有率は基盤地図情報を，土地利用状況と集水域は国土数値情報を用い，内水氾濫解析モデルを構築した。

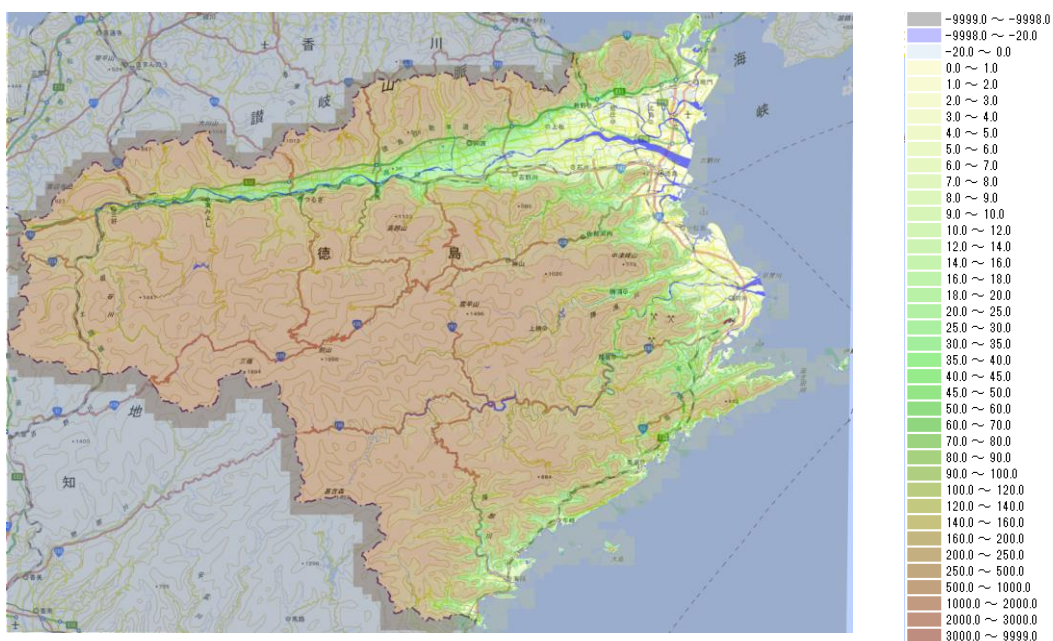


図 3-4 地盤標高



図 3-5 土地利用状況

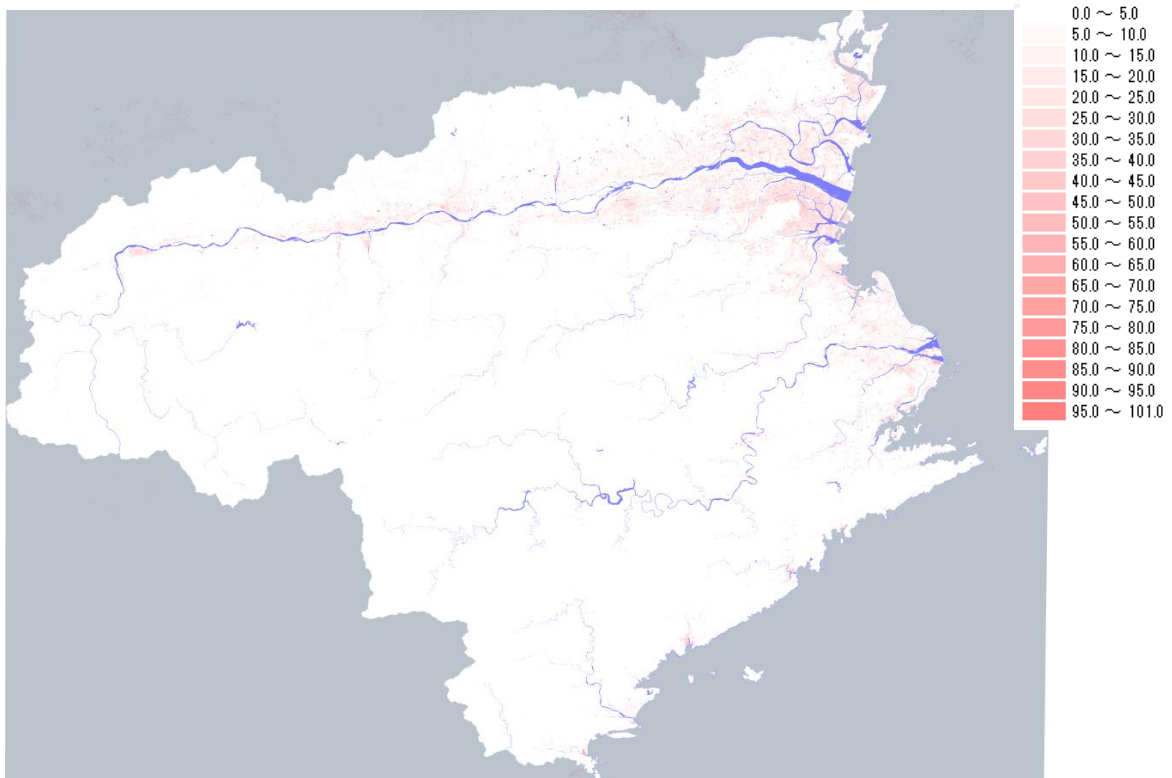


图 3-6 建物占有状况

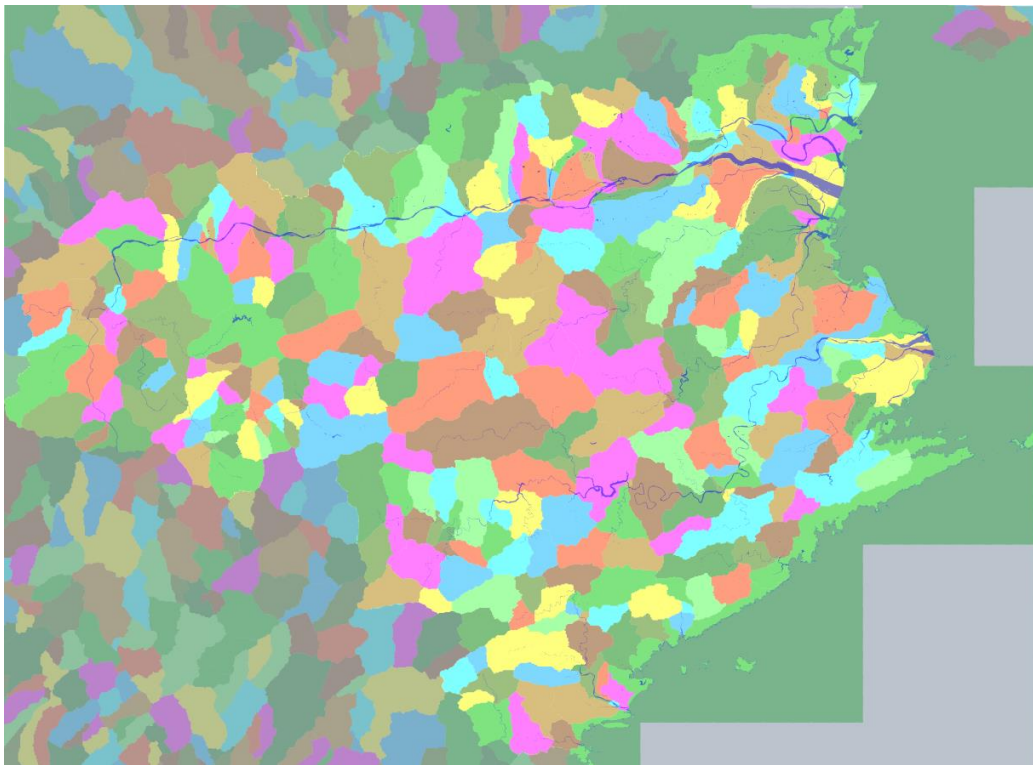


图 3-7 集水域

## (2) 対象降雨

### 1) 降雨波形

徳島県の雨量観測所のティーンセン分割図を図3-8に示す。徳島県では、「池田」「穴吹」「徳島」「半田」「京上」「福原旭」「蒲生田」「木頭」「日和佐」「穴喰」の10雨量観測所に分割される。これら10観測所のH16T23時の降雨波形を図3-9から図3-18に示す。

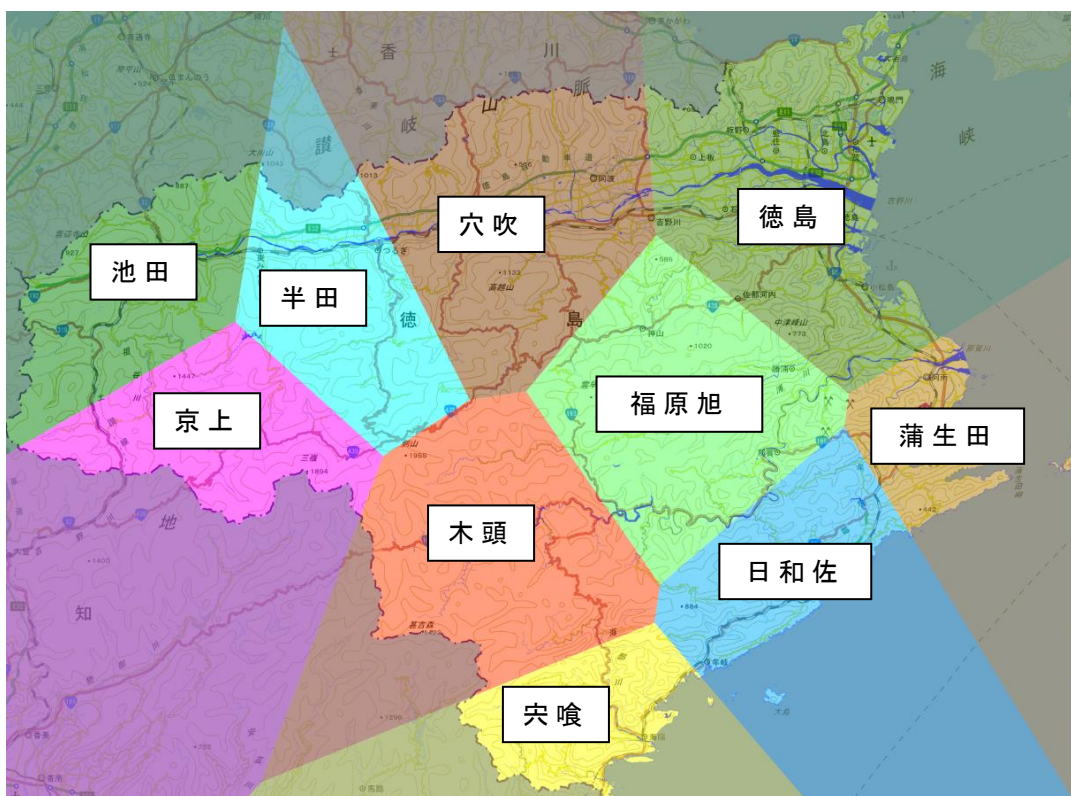


図 3-8 雨量観測所のティーンセン分割図



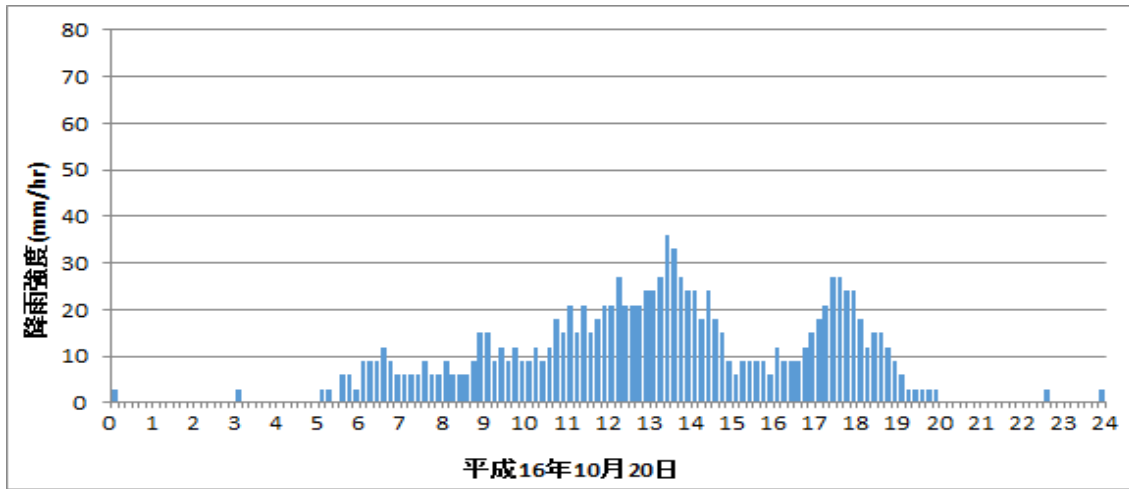


図 3-9 平成 16 年台風 23 号の降雨波形 [池田]

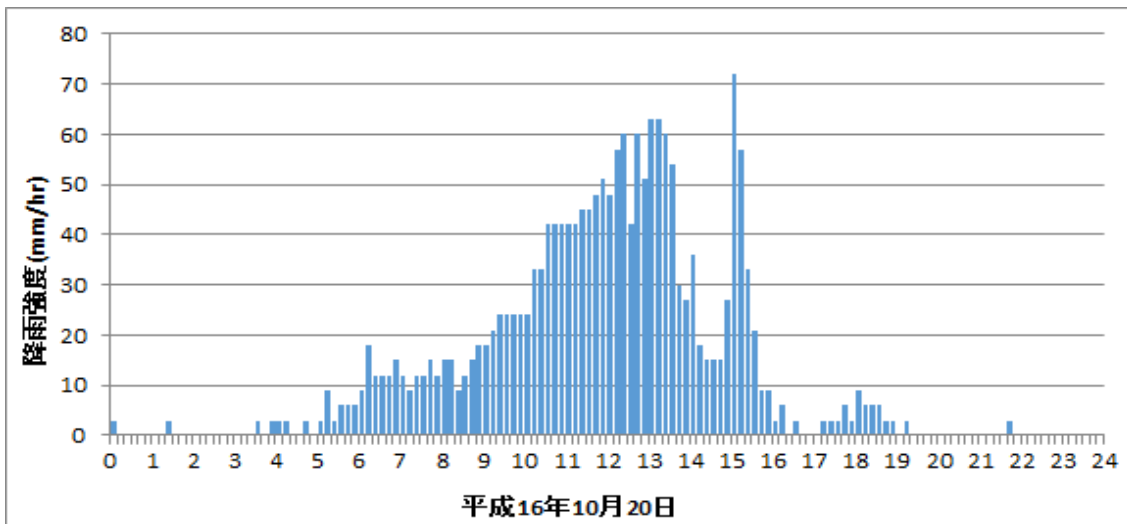


図 3-10 平成 16 年台風 23 号の降雨波形 [穴吹]

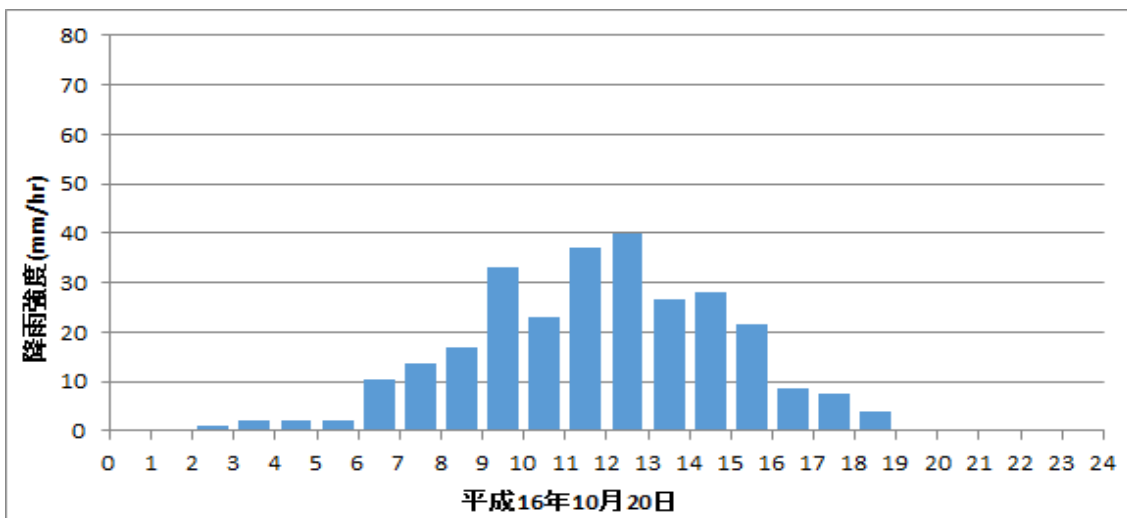


図 3-11 平成 16 年台風 23 号の降雨波形 [徳島]

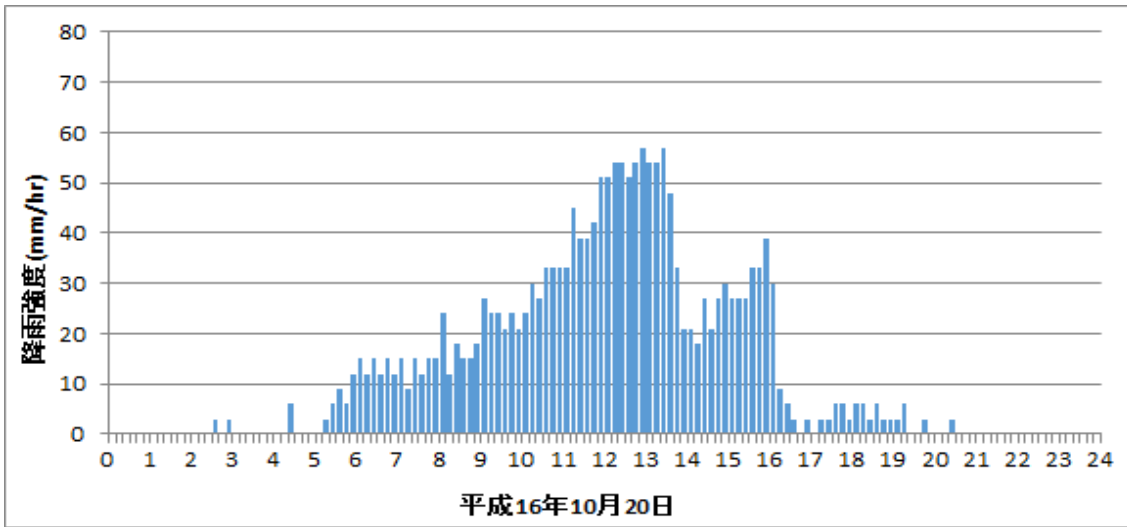


図 3-12 平成 16 年台風 23 号の降雨波形 [半田]

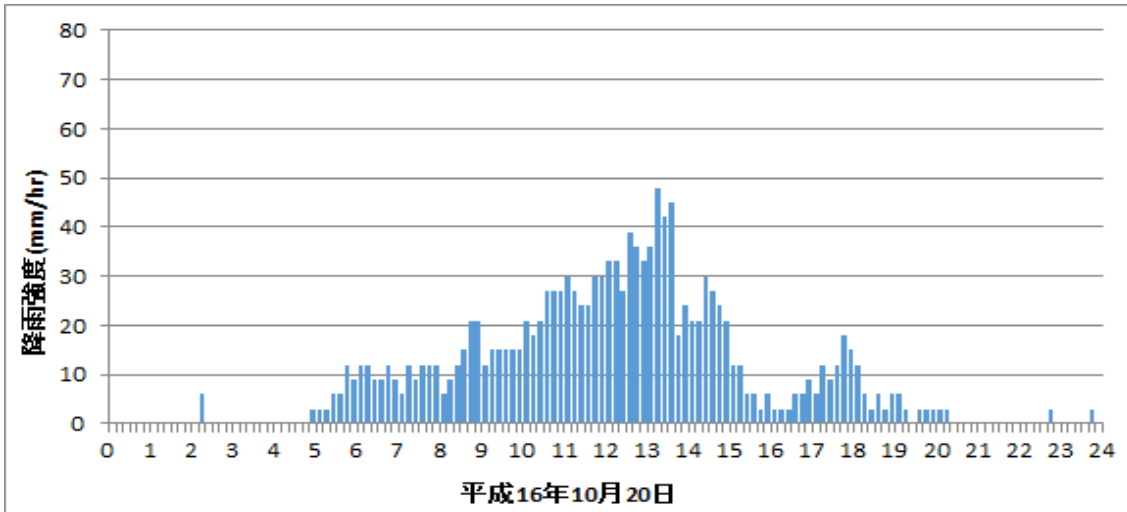


図 3-13 平成 16 年台風 23 号の降雨波形 [京上]

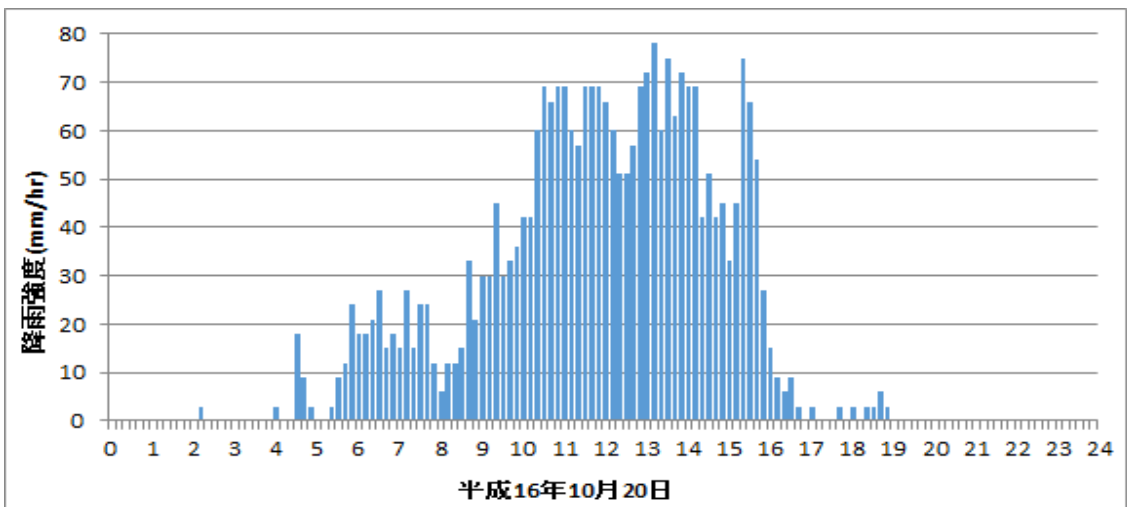


図 3-14 平成 16 年台風 23 号の降雨波形 [福原旭]

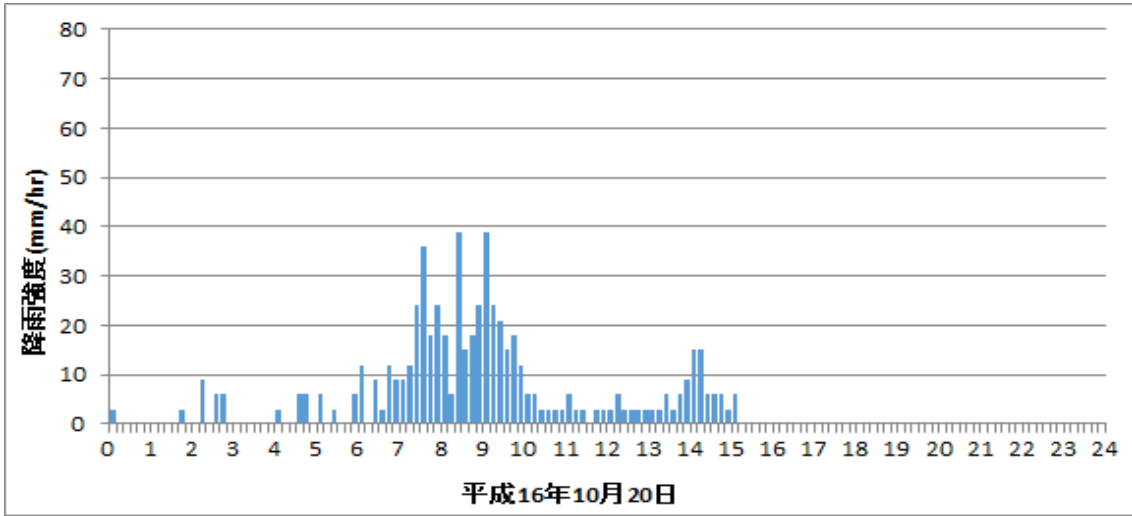


図 3-15 平成 16 年台風 23 号の降雨波形 [蒲生田]

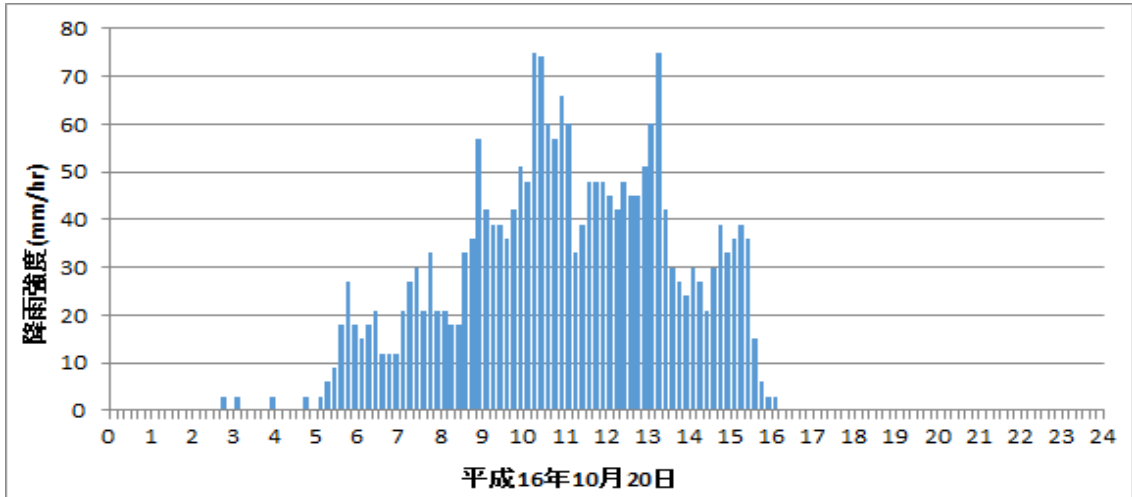


図 3-16 平成 16 年台風 23 号の降雨波形 [木頭]

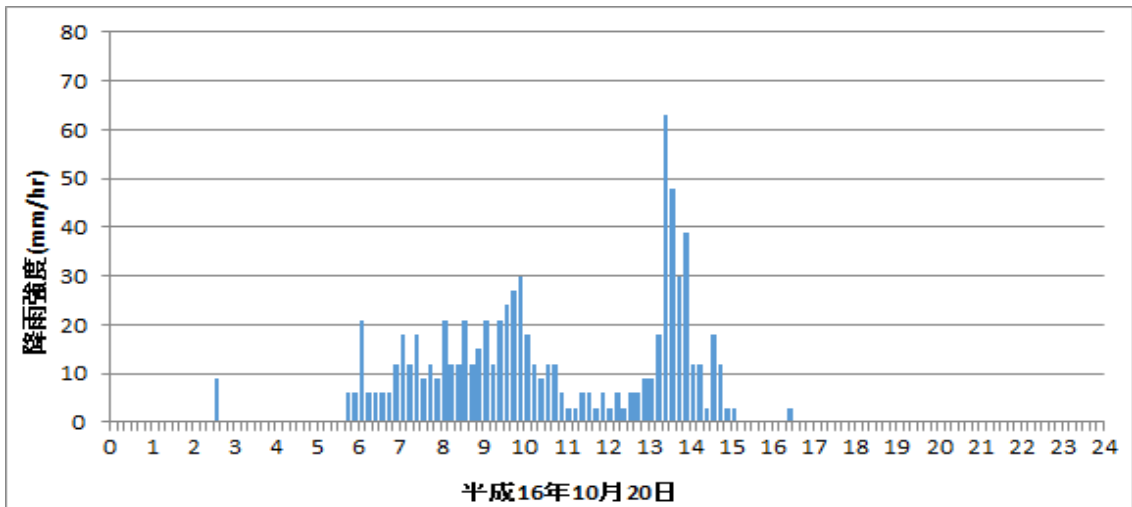


図 3-17 平成 16 年台風 23 号の降雨波形 [日和佐]

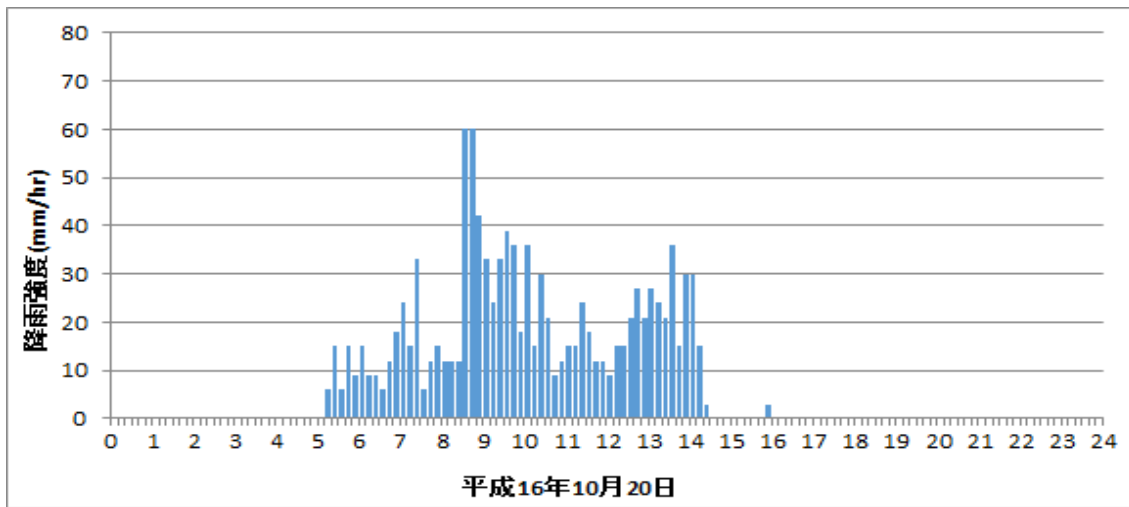


図3-18 平成16年台風23号の降雨波形[穴喰]

### 3.5 計算水位と痕跡水位の比較による解析モデルの検証

#### (1) 痕跡水位

H16T23では徳島県内で2,844箇所(図3-19)において、痕跡水位が測量されている<sup>16)</sup>。この2,844箇所において計算水位と痕跡水位を比較し、構築された内水氾濫解析モデルの検証を行う。この2,844箇所には、外水氾濫の影響を受けた浸水痕跡も含まれており、これらの影響を受けた氾濫も一部評価対象に含めた。

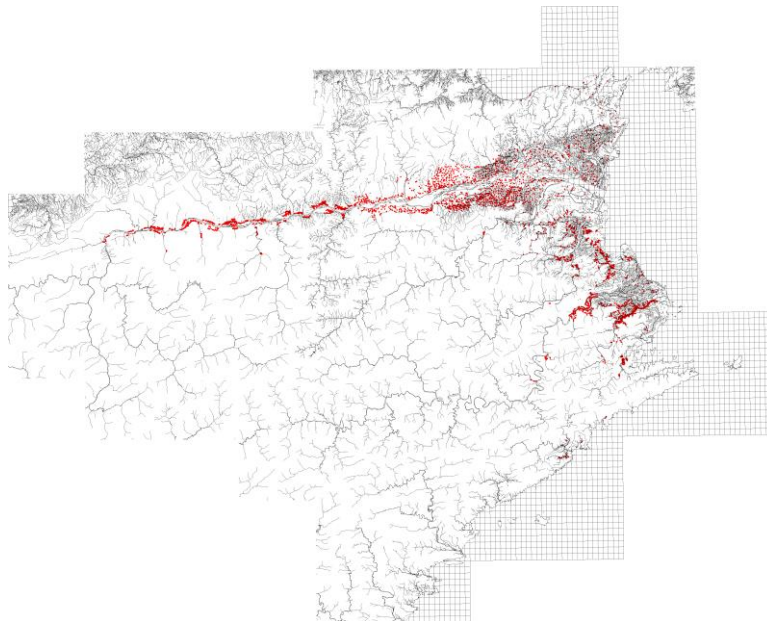


図3-19 浸水実績の測量箇所(赤点)

## (2) 流出係数の同定

計算水位と痕跡水位(2,844箇所)との比較にあたり，式(3-14)を用いて評価を行った．式(3-14)を用い，計算水位と痕跡水位の差の絶対値の合計を，計算結果と浸水実績との差の評価値とした．

$$\varepsilon = \sum_{n=1}^{2,844} |H_o - H_c| \quad (3-14)$$

ここで， $\varepsilon$ ：誤差評価値(m)， $H_o$ ：痕跡水位(m)， $H_c$ ：計算水位(m)である．

図3-20をみると，縦軸に誤差評価値 $\varepsilon$ を，横軸に式(3-12)の流出係数の重み付け係数 $w$ をとると， $w=0.45$ の際に誤差評価値が最小となることがわかる．そのため，次章から $w=0.45$ を用いて考察を行う．

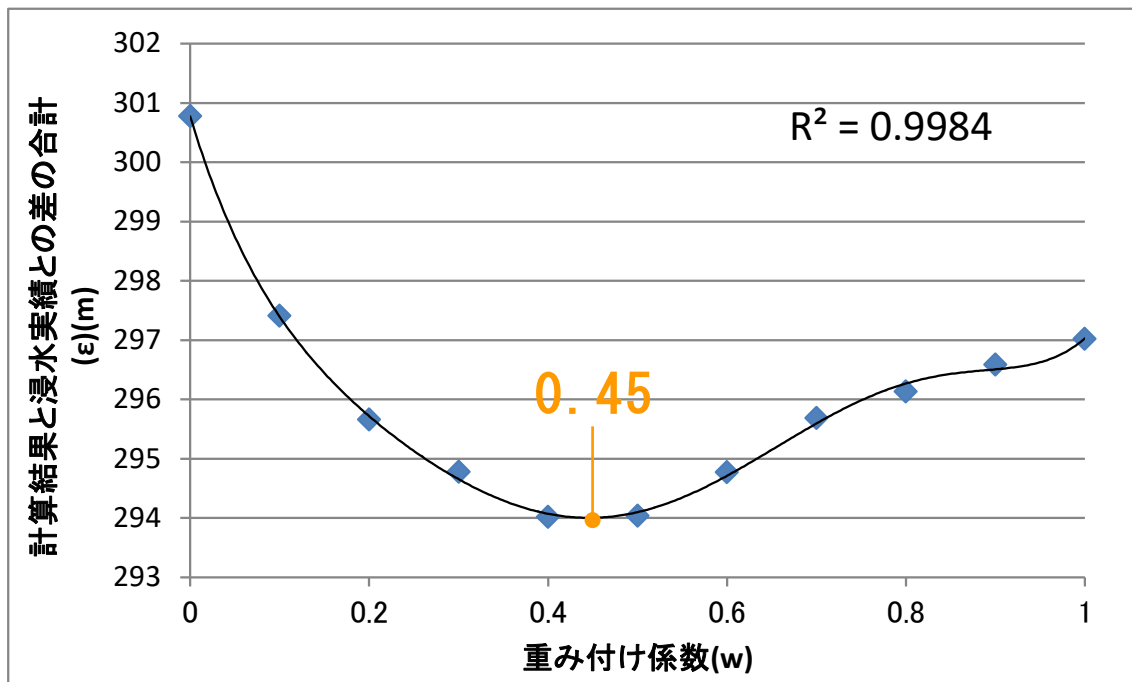


図3-20 流出係数の重み付け係数の同定

### (3) 内水氾濫解析モデルの妥当性の検証

流出係数の重み付け係数  $w=0.45$  の際に差が最小になり，平均で  $10.3\text{cm}=(294.12\text{m}/2,844 \text{箇所})$  の差があった．ここで，治水経済調査マニュアル<sup>9)</sup>では，浸水被害率を浸水深  $0.5\text{m}$  未満， $0.5\text{m}$  以上  $1.0\text{m}$  未満， $1.0\text{m}$  以上  $2.0\text{m}$  未満， $2.0\text{m}$  以上  $3.0\text{m}$  未満， $3.0\text{m}$  以上の 5 区分で定義しており，本研究では  $0.5\text{m}$  未満は対象外としている． $10.3\text{cm}$  は，本研究で対象の 4 区分の最短範囲である  $50\text{cm}$  ( $0.5\text{m}$  以上  $1.0\text{m}$  未満) の  $20.6\%$  であることから，浸水被害額の算定は妥当と考えられる．

### 3.6 本章のまとめ

本章は，オープンデータを用い，治水経済調査マニュアル<sup>9)</sup>に従い内水被害額の算定が可能で，1 都道府県程度の面積が計算可能な内水氾濫解析モデルを構築することができた．この内水氾濫解析モデルは，外力して与えた降雨量が地表面の水深として加算される連続式を採用しているため，リスク評価の空白域を生じさせない特徴を持っていると考えられる．

## 第4章 内水被害額に応じたグループ分割による保険の給付・徴収に対する不平等性の低減

### 4.1 本章の概要

本研究の流れを図4-1に示す。まず、前章で記した方法で7ケースの確率評価された降雨波形作成し、これらを外力とした内水氾濫解析を行う。その計算結果である最大浸水深分布をもとに、治水経済調査に基づく被害額算定を行った。被害額に生起確率を乗じた降雨規模別年平均被害額を累計し、年平均被害額を算定する。そして、年平均被害額とその被害を受けると想定される世帯数の分布を求める。一方、内水被害の地域偏在性を考察するため、想定最大規模<sup>17)</sup>の降雨波形により内水氾濫解析を行い、その結果において0.5m以上の浸水深が生じた地点のうち、7ケースの確率評価された降雨波形による内水氾濫解析の結果でも0.5m以上の浸水深が生じている地点の割合を示し内水被害の地域偏在性を考察する。地域偏在性があつた場合は、後述する「大数の法則」が成立しない恐れが高いことが示唆される。大数の法則が成立しない場合は、水害保険より規模の大きい他災害と合わせて、保険を一体運用する必要があると考えられる。その場合は、総徴収料と総給付料との差額(以下、保険自立性という。)が、可能な限り高くなることが望ましいと考えられる。また、保険給付料と徴収料の差額の世帯格差(以下、不平等性という。)を小さくする必要があると考えられる。

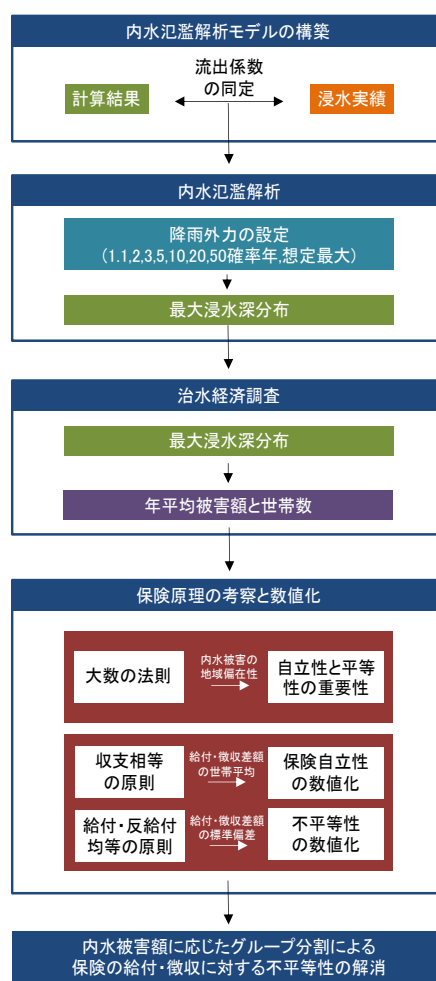


図4-1 本章の流れ

そこで、保険関係をみるため、保険給付の上限額を設定した場合と、保険徴収料を変化させた場合を考察する。そして、保険自立性と不平等性を両立を目的に、内水被害額に応じたグループ分けを行った場合の保険の給付・徴収について検討することとした。

## 4.2 保険原理の数値化

保険原理とは、保険が成立するために必要な法則であり、「給付・反給付均等の原則」「収支相等の原則」から成る「保険の二大原則」と、この2原則を結びつける「大数の法則」から成る。「給付・反給付均等の原則」は総給付料と総徴収料が均等でなければ保険制度が維持できないこと(式(4-1))を示しており、「収支相等の原則」は各世帯において給付料と被害額が相等(式(4-2))である必要を示している。

$$\sum_{i=1}^n P = \sum_{i=1}^n Z_i \quad (4-1)$$

$$P = \omega \cdot Z_i = D_i \quad (4-2)$$

ここに、 $P$ :年間保険徴収料(千円)、 $Z$ :年間保険給付料(千円)、 $\omega$ :災害発生確率(%),  $D$ :年平均被害額(千円)、 $i$ :世帯の引数( $D_i$ の小さい順に $i$ を割り当てる。)(番目世帯)、 $n$ :総世帯数(世帯)である。

ここで、「大数の法則」は、多くの発生回数を繰り返せば災害発生確率 $\omega$ に漸近することを条件に、同量のリスクのある個人を多く集め、平均的な発生確率をもとに保険利率が決定でき、総給付料と総徴収料が釣り合うという法則である。しかし、内水被害の場合は、地域偏在性が大きく、被害が同地域に常態化している恐れがあり、世帯間の被害発生確率が同じでは無いと考えられる。そこで、この地域偏在性を測る指標として式(4-3)を考案する。

$$R_d = \frac{A_h}{A_k} \quad (4-3)$$

ここに、 $R_d$ :地域偏在性(%),  $A_k$ : $k$ 確率年の降雨において 0.5m



以上の浸水深が生じた面積 (km<sup>2</sup>),  $A_k$ :  $k$  確率年の降雨において 0.5m 以上の浸水深が生じた面積内で想定最大規模でも 0.5m 以上の浸水深が生じた面積 (km<sup>2</sup>) である.

この地域偏在性が高いほど, 大数の法則は機能しなくなり, 保険制度は破綻する. この対策として, 他災害保険と一体運用することにより, 水害保険を維持することが考えられる. その際には, 保険自立性と不平等性を考慮し, 保険制度を設計する必要があると考えられる. ここで, 保険自立性の指標として, 給付・反給付均等の原則(式(4-1))をもとにした式(4-4)を考案する. 式(4-4)の値が大きいほど, 他災害保険との依存性は少なく, 水害保険単体での運用性が高まると考えられる. 一方, 不平等性の指標として, 収支相等の原則(式(4-2))をもとにした式(4-5)を考案する. 式(4-5)の値が大きいほど, 給付料と徴収料との差額が世帯間で大きく, 世帯間で保険に対する不平等感が大きくなると考えられる.

$$\mu = \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n R_i - \sum_{i=1}^n Z_i \right) \quad (4-4)$$

$$\sigma = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |(R_i - Z_i)| \quad (4-5)$$

ここに,  $\mu$ : 保険自立性(千円/世帯),  $\sigma$ : 不平等性(千円)である.

### 4.3 徳島県での適用

#### (1) 年平均被害額と世帯数

H16T23 の降雨波形を形の引伸・引縮により7ケース(1, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 50年確率)の確率評価された降雨波形作成し, これらを外力とした内水氾濫解析を行った. その計算結果である最大浸水深分布をもとに, 治水経済調査を行い, 各確率年を平均化することにより家財の年平均被害額を算定した. 年平均被害額とその被害を受けると想定される世帯数の分布を示した図4-2から, 平均で1世帯あたり232千円の年平均被害額を受けることがわかる.

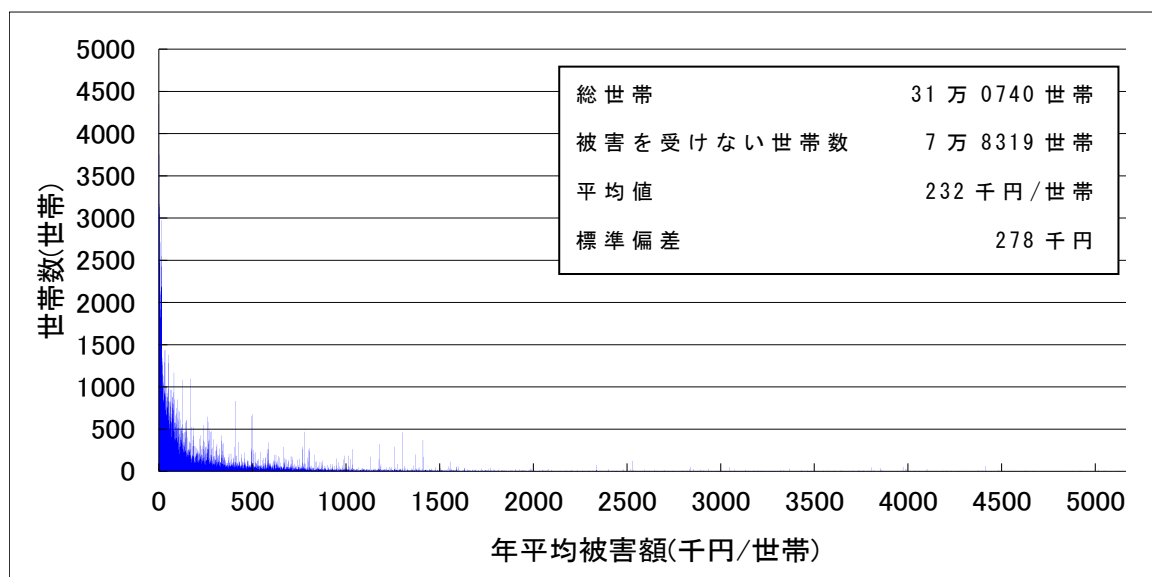


図4-2 年平均被害額とその被害を受けると想定される世帯数

#### (2) 内水被害の地域偏在性

式(4-3)と同様の内水氾濫解析から得た地域偏在性と生起確率の関係を図4-3に示す. 図4-3をみると, 地域偏在性7ケースともに99.9%以上であることがわかる. そのため, 内水被害においては地域偏在性が高く, 内水被害の対策として保険を適用する際には, 「大数の法則」が成立しない可能性が高いことが示唆される. 給付・徴収が世帯間で固定されるため, 不平等性を考慮することが重要と考えられる. ここで, 現行の水害保険制度は, 誰しもが同確率で被害を受けると想定される火災保険のオプションとなっており, 火災保険と同制度下で

一体運用されている。水害保険単独では「大数の法則」が成立しない可能性が高いことから、保険自立性を考慮しながら火災保険と一体運用する現行制度<sup>18)</sup>は妥当と考えられる。

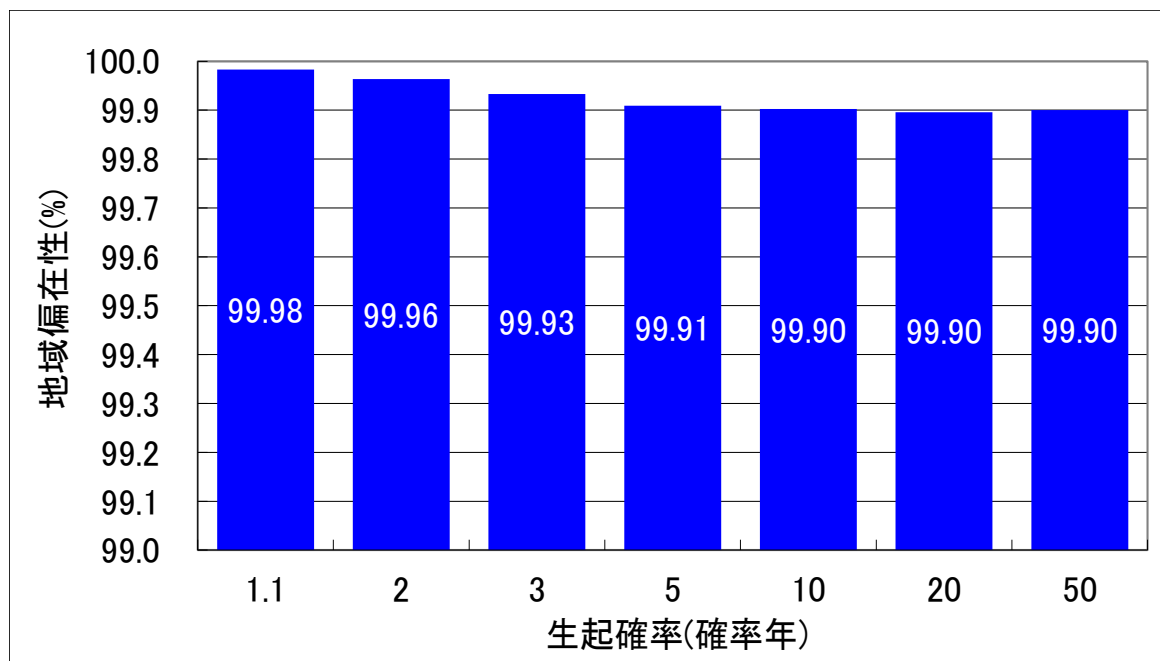


図 4-3 地域偏在性

### (3) 保険自立性と不平等性との関係

#### 1) 給付料と徴収料

保険自立性と不平等性との関係を考察するにあたり、以下 Case1, 2 の 2 ケースを想定した。

#### Case1 : 保険給付の上限額を設定した場合

まず、徴収額は全世帯において 1 世帯あたりの平均被害額と同額とした ( $P = \mu$ )。次に、給付額の上限を設定し、上限値以上の給付は行わないこととした。給付上限額の設定にあたっては、世帯数に応じた順序統計量を用いた。具体的にいうと、世帯数に応じた二十分位数を用い、給付上限額を第 20 二十分位数  $Q_{20/20}$ (最大値) から第 0 二十分位数  $Q_{0/20}$ (最小値) までスライドさせた ( $Z_i = Q_{0 \sim 20/20}$ )。順序統計量を用いた理由は、大数の法則が世帯数に依存するためである。

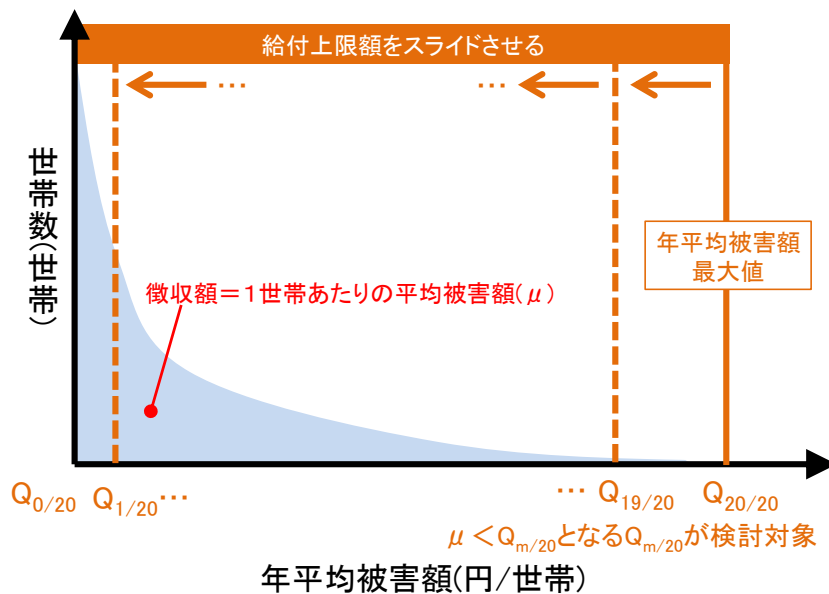


図 4-4 保険給付の上限額を設定した場合

Case2 : 保険徴収料を変化させた場合

まず、給付額は対象世帯が受ける年平均被害額とした ( $Z_i = D_i$ )。次に、徴収額は全世帯においてある一定額と設定した。ある一定額設定にあたっては、Case1:給付上限額の設定と同様に、世帯数に応じた順序統計量を用いた。具体的にいうと、世帯数に応じた二十分位数を用い、徴収額を第 20 二十分位数  $Q_{20/20}$  から第 0 二十分位数  $Q_{0/20}$  までスライドさせた ( $R = Q_{0 \sim 20/20}$ ) 金額とした。

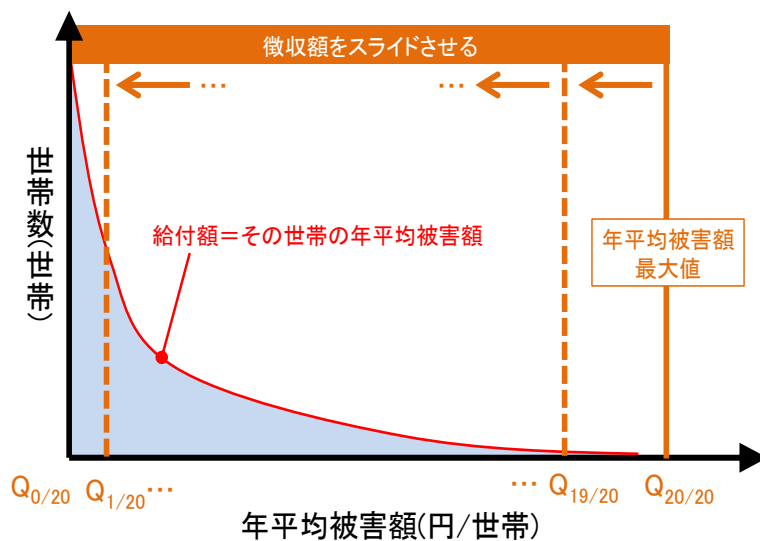


図 4-5 保険徴収料を変化させた場合

## b) 保険給付の上限額を設定した場合

保険給付の上限額を設定した場合の保険自立性と不平等性の関係を図 4-6 に示す。図 4-6 をみると、保険自立性が悪化すると、不平等性も悪化することがわかる。これは、図 4-2 の分布において 25% の世帯は内水被害を受けないため、給付上限額を大きくすると保険自立性と不平等性ともに悪化することが要因と考えられる。

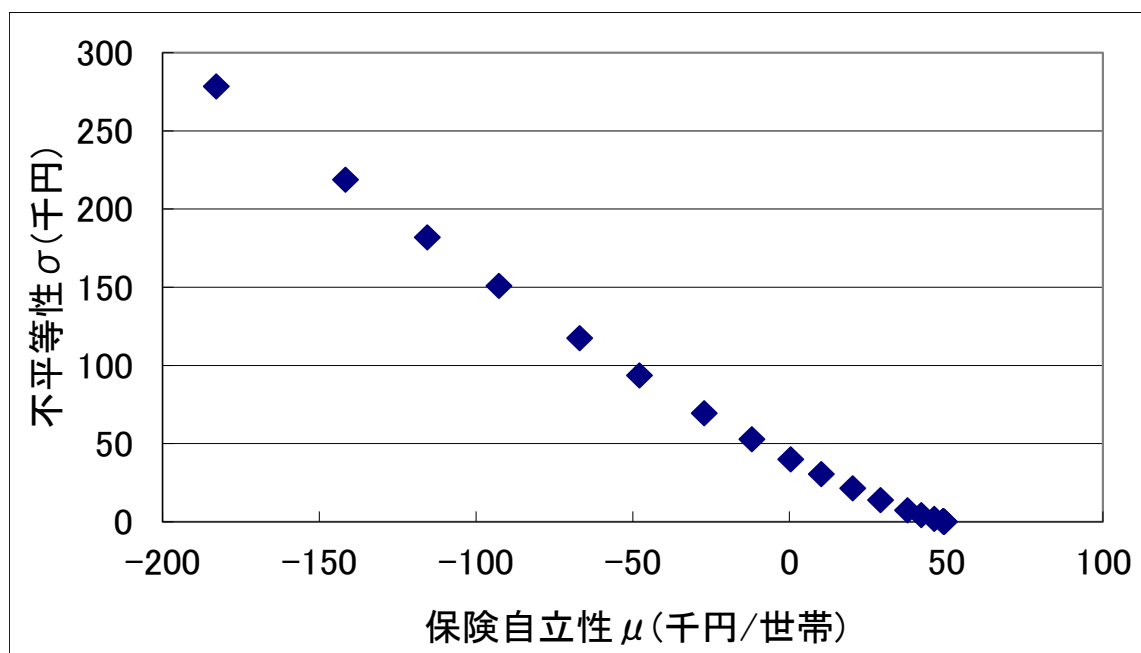


図 4-6 保険給付の上限額を設定した場合の保険自立性と不平等性の関係

## c) 保険徴収料を変化させた場合

保険徴収料を変化させた場合の保険自立性と不平等性の関係を図 4-7 に示す。図 4-7 をみると、不平等性は変化が無いことがわかる。これは、図 4-2 に示したとおり、徴収料を変化させても給付料は対象世帯の年平均被害額であるため、給付・徴収の差額を全世界帯で合計すると同額になり、不平等性は変化しないことが要因と考えられる。

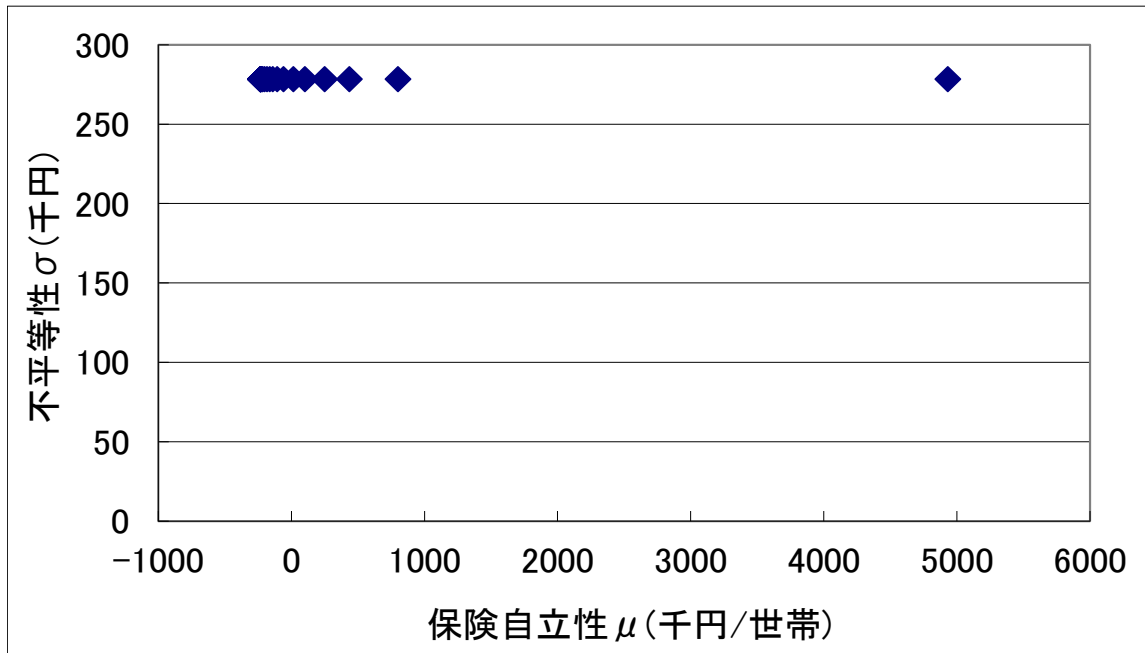


図 4-7 保険徴収料を変化させた場合の保険自立性と不平等性の関係

#### 4.4 被害額に応じた保険の給付・徴収の必要性

##### (1) 世帯数に応じた分位数を用いたグループ分け

被害額に応じてグループ分けを行い、保険を給付・徴収することにより不平等性を低減することを検討する。グループ分けは式(4-6)(4-7)に従い行う。このグループ内をさらに第20二十分位数  $q_{20/20}$ (グループ内最大被害額)から第0二十分位数  $q_{0/20}$ (グループ内最小被害額)に分割し、同様の考察を行う(図4-8, 図4-9)。

$$T \neq S \quad \text{then} \quad \text{group}T = \{i | Q_{T/S} \leq D_i < Q_{T+1/S}\} \quad (4-6)$$

$$T = S \quad \text{then} \quad \text{group}T = \{i | Q_{S-1/S} \leq D_i \leq Q_{S/S}\} \quad (4-7)$$

ここに、 $T$ :グループの引数(番目グループ)、 $S$ :グループの総数(グループ)、 $Q_{T/S}$ :第  $T/S$ 分位数に該当する順位の世帯における年平均被害額(千円)である。

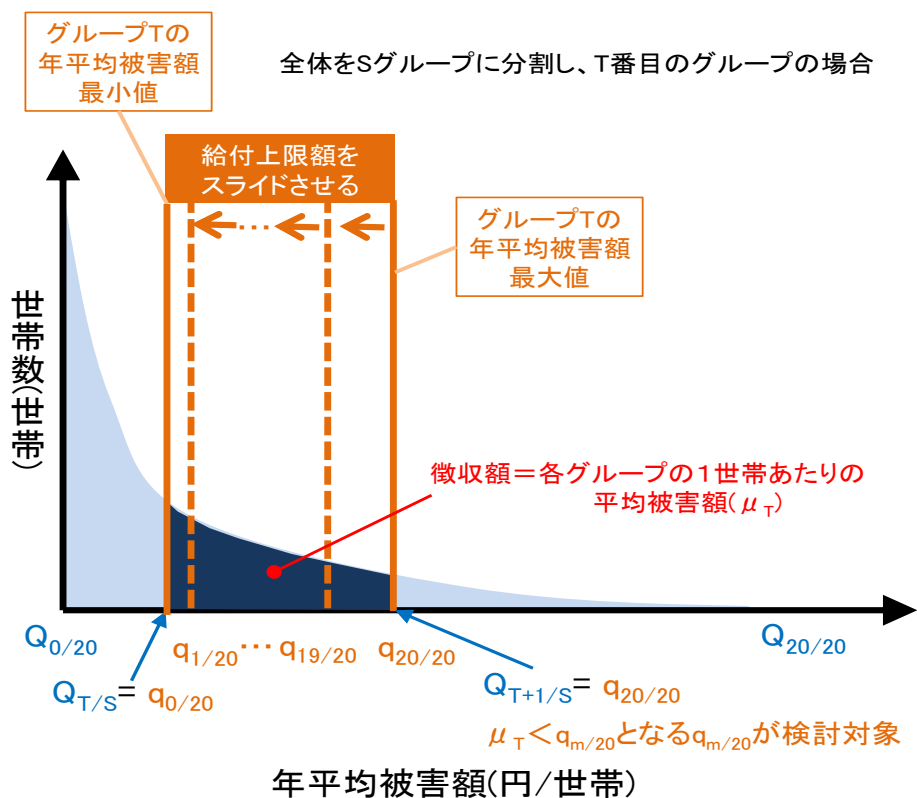


図 4-8 保険給付の上限額を設定した場合のグループ分けの概念

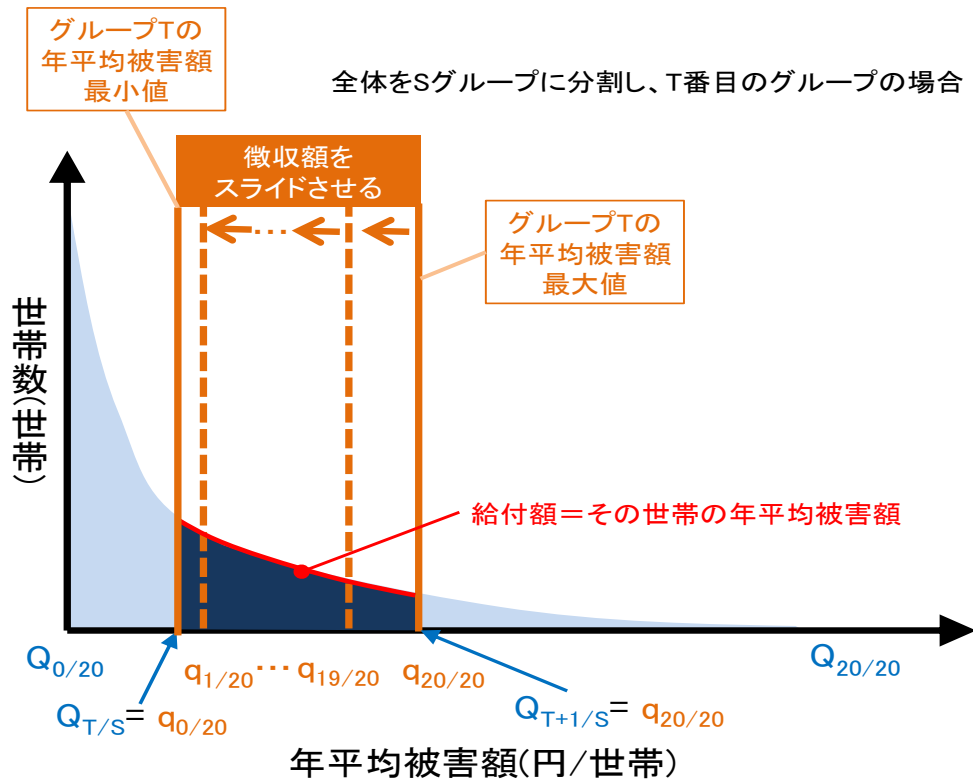


図 4-9 保険徴収料を変化させた場合のグループ分けの概念

## (2) グループ分けによる不平等性の低減

グループ分けを行った際の保険自立性と不平等性の関係を図 4-10 と図 4-11 に示す。また、図 4-10 と図 4-11 の各グループの第 0 二十分位数から第 20 二十分位数における 21 点の重心位置を図 4-12 と図 4-13 に示す。保険給付の上限額を設定した場合 (Case1) の重心の算定にあたっては、給付上限額が徴収料を下回る場合はそのような保険制度に加担する者がいないと判断し、除外した。図 4-13 と図 4-14 とともに、グループ分け実施に伴い不平等性が低減しており、内水被害危険度に応じて保険の給付・徴収を行うことは、保険の給付・徴収に対する不平等性の低減に効果があると考えられる。しかし図 4-13 と図 4-14 をみると、グループ分けによるグループ数が多くなるにつれて、グループ分けによる不平等性の低減効果は徐々に小さくなっており、ある一定以上のグループ分けは効果的では無いことが示唆される。



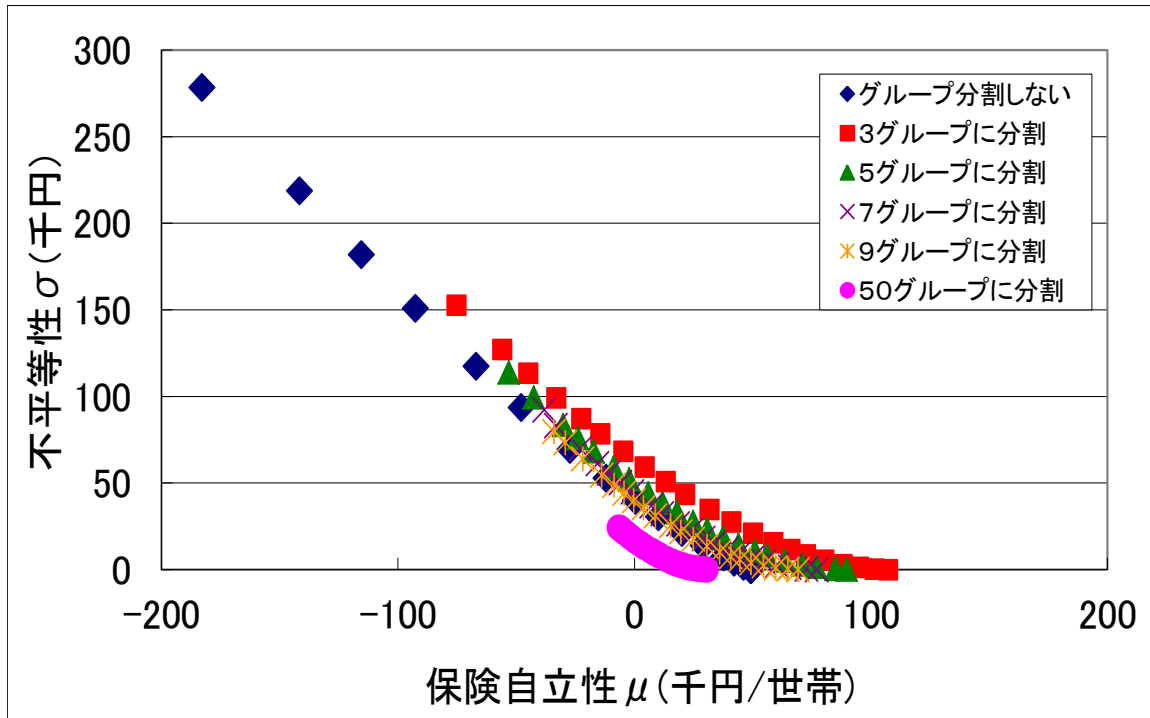


図 4-10 保険給付の上限額を設定した場合のグループ分けの効果

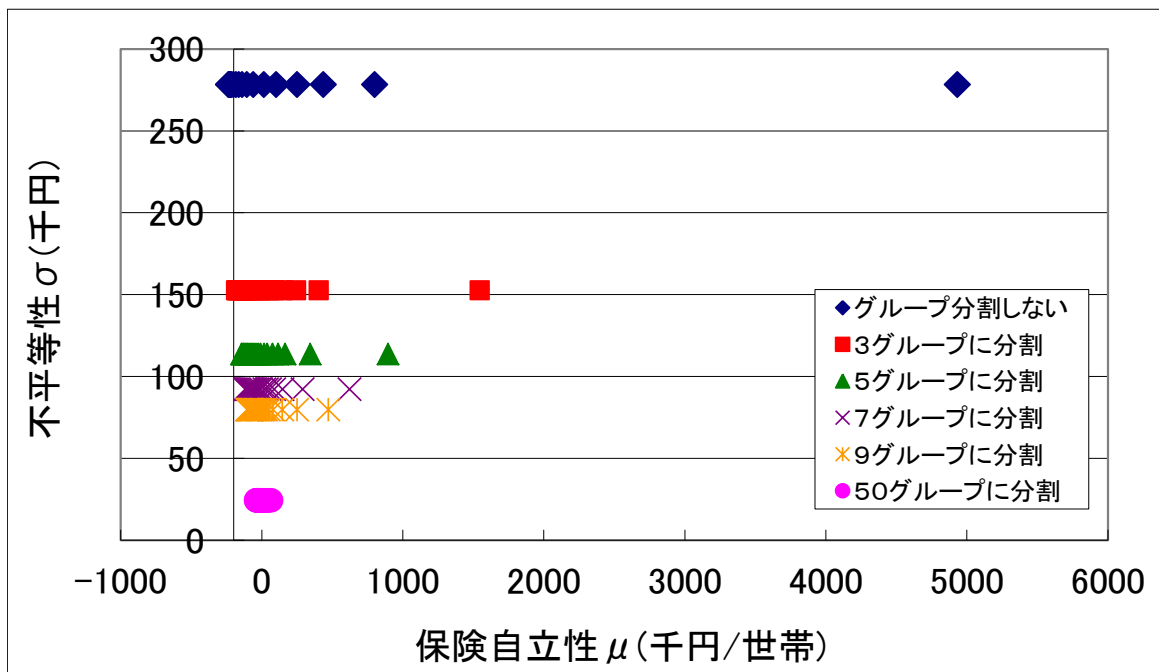


図 4-11 保険徴収料を変化させた場合のグループ分けの効果

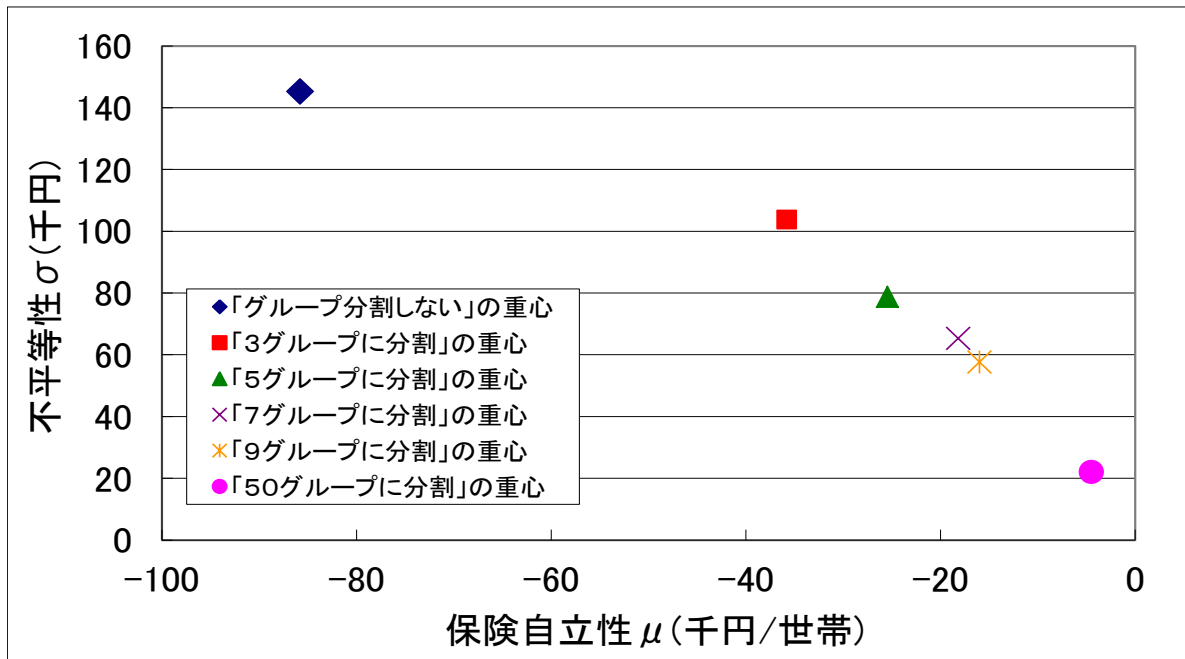


図 4-12 保険給付の上限額を設定した場合のグループ分けの効果  
(図 4-10 の各グループ重心位置)

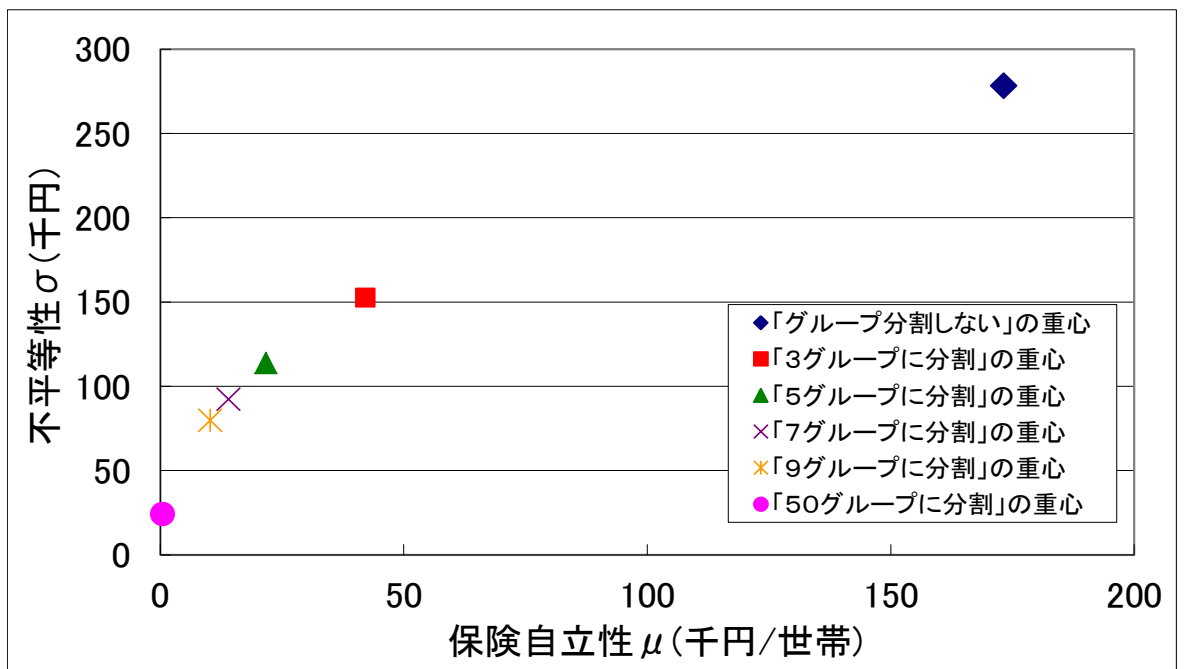


図 4-13 保険徴収料を変化させた場合のグループ分けの効果  
(図 4-11 の各グループ重心位置)

## 4.5 本章のまとめ

本章では、徳島県全域を対象とした内水氾濫解析と治水経済調査から算定される内水被害額から、年平均被害額とその被害を受けると想定される世帯数の分布を求めた。その分布から、内水被害額に応じたグループ分割による給付・徴収に対する不平等性の低減を検討した。本章では以下の知見を得た。

### (1) 内水被害の地域偏在性

内水被害においては地域偏在性が高く、「大数の法則」が成立しない可能性が高いと考えられる。水害保険単独では「大数の法則」が成立しない可能性が高いことから、保険自立性を考慮しながら火災保険と一体運用する現行制度<sup>18)</sup>は妥当と考えられる。

### (2) 保険自立性と不平等性の関係

以下の2ケースを検討した。Case1：保険給付の上限額を設定した場合は、給付上限額を大きくすると保険自立性と不平等性ともに悪化することがわかった。Case2：保険徴収料を変化させた場合は、給付・徴収の差額を全世帯で合計すると同額となり、不平等性は変化しないことがわかった。

### (3) グループ分けによる不平等性の低減

グループ分け実施に伴い不平等性が低減しており、内水被害危険度に応じて保険の給付・徴収を行うことは、不平等性の低減に効果があることと考えられる。その一方、グループ分けによるグループ数が多くなるにつれて、グループ分けによる不平等性の低減効果は小さくなっており、ある一定以上のグループ分けは効果的ではないことが示唆された。

## 第5章 排水機場整備の費用対効果分析から考察される社会的割引率の設定についての重要性

### 5.1 本章の概要

研究の流れを図5-1に示す。まず、堤内地を平面二次元不定流解析、堤外排水を準線形貯留型関数モデルで構成した徳島県全域の内水氾濫モデルを構築した。次に、H16T23の降雨波形を引伸・引縮し、超過洪水時を含む9ケース(1, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 50, 100, 500年確率)の確率評価された降雨波形による内水氾濫解析から得られた最大浸水深分布をもとに、治水経済調査に基づく被害額算定を行った。被害額に生起確率を乗じた降雨規模別年平均被害額を累計し、建物と家財の年平均被害額を算定した。内水氾濫解析においては、現況に加え、強制排水時に新規に5, 10, 20, 40m<sup>3</sup>/sの排水能力を持った排水機場を建物占有率が3.0%以上の51小流域<sup>19)</sup>において整備した場合を想定した4ケースの計算を行い、現況と排水機場整備を想定した場合との被害額の差額を排水機場整備における便益とした。本研究では内水氾濫を想定していることから、排水機場は下水部局の指針<sup>20)</sup>に準拠することとした。この指針<sup>20)</sup>には、排水機場整備における建設費と維持管理費の費用関数が記載されており、その関数を用いて排水機場整備の費用とした。これら排水機場の便益と費用の比から費用対効果分析を行い、損益分岐点を求めた。そして、損益分岐点における気候変動と景気変動についての感度分析を行った。

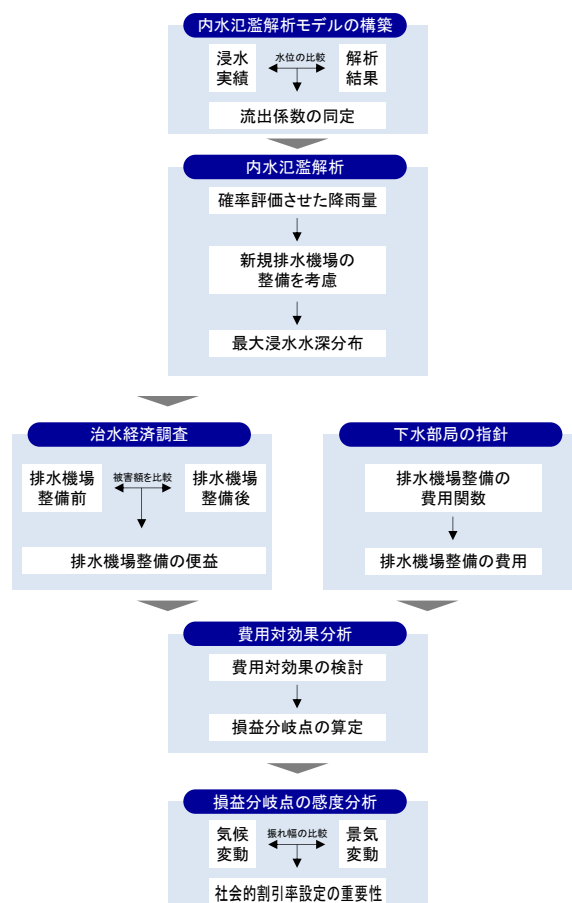


図5-1 本章の流れ

## 5.2 排水機場整備による便益と費用

### (1) 排水機場整備による便益

本章では、前章で計算した現況(排水機場未整備)ケースに加え、強制排水時に新規に 5, 10, 20, 40m<sup>3</sup>/s の排水能力を持った排水機場を建物占有率が 3.0%以上の 51 小流域<sup>19)</sup>に対し整備した場合を想定した 4 ケースの計算を行った。この 4 ケースは、内水氾濫モデルのうえで、図 3-3 中の「Ⅲ堤外流出モデル 強制排水時」において、5, 10, 20, 40m<sup>3</sup>/s の排水量を現況排水量に加算した計算によって行われ、これらを新規排水機場整備したケースとした。建物占有率が 3.0%以上とすると、徳島県に存在する全 8 市の中心市街地を対象とすることができるため、建物占有率が 3.0%以上の 51 小流域を対象とした。

内水被害額の算定にあたっては、治水経済調査マニュアル<sup>9)</sup>を参照した。被害額に生起確率を乗じた降雨規模別年平均被害額を累計し、年平均被害額を算定した。現況と新規に 5, 10, 20, 40m<sup>3</sup>/s の 4 ケースの排水能力を持った排水機場整備を想定した場合との被害額の差額を排水機場整備における便益とした。

### (2) 排水機場整備による費用

下水部局の指針<sup>20)</sup>に記載されている、排水機場整備における建設費と維持管理費の費用関数を、式(5-1),(5-2),(5-3),(5-4)に示す。本研究では式(5-1),(5-2),(5-3),(5-4)を用いて排水機場整備の費用とした。

$$C = 85.5Q^{0.60}(108.7/76.1) = C_1 + C_2 \quad (5-1)$$

$$C_1 = 39.5Q^{0.56}(108.7/76.1) \quad (5-2)$$

$$C_2 = 46.7Q^{0.62}(108.7/76.1) \quad (5-3)$$

$$M = 1.00Q^{0.69}(108.7/76.1) \quad (5-4)$$

ここに、 $C$ :排水機場建設費(百万円),  $C_1$ :排水機場土木・建築部分建設費(百万円),  $C_2$ :排水機場機械・電気部分建設費(百万円),  $M$ :排水機場維持管理費(百万円), 排水機場排水量( $m^3/min$ ), 108.7:平成29年度暫定治水事業費指数(治水総合)デフレーター<sup>9)</sup>, 76.1:昭和54年度治水事業費指数(治水総合)デフレーター<sup>9)</sup> (費用関数は昭和54年度単価で作成されているため)である。

別の下水部局の指針<sup>21)</sup>には, 排水機場の土木・建築部分は耐用年数50年, 機械・電気部分は耐用年数15年と記載されている。そこで, 本研究では, 排水機場建設から50年間についての費用対効果を検討した。また, その50年間において15, 30, 45年目に機械・電気部分の更新費(再度建設)を, 維持管理費とは別に計上することとした。一方, 徳島県徳島市の下水部局が管轄している徳島市中心部に整備されている排水機は290台あり, 総排水量は $18,943m^3/min$ である<sup>22)</sup>。そのため, 徳島市の平均的な排水機の能力は $1.09m^3/s (= 18,943 / 60 / 290)$ と考えられる。この290台のうち $0.50m^3/s$ 以上 $2.00m^3/s$ 未満の排水機は102台あり, 全体の35%を占める<sup>22)</sup>。本研究では, この平均的な排水機の能力( $1.09 \div 1m^3/s$ )を参考し,  $5m^3/s$ の排水能力を持った排水機場の整備を想定する場合は $1m^3/s$ の排水機を5台,  $10m^3/s$ の排水能力を持った排水機場を整備を想定する場合は $1m^3/s$ の排水機を10台,  $20m^3/s$ の排水能力を持った排水機場を整備を想定する場合は $1m^3/s$ の排水機を20台,  $40m^3/s$ の排水能力を持った排水機場を整備を想定する場合は $1m^3/s$ の排水機を40台を整備することを想定した。これは, 突発的な故障により一部排水機が機能不全に陥っても, 他排水機が機能し浸水を低減(機能不全リスクを分散)させる効果があると考えられる。

### 5.3 損益分岐点の算定と感度分析

#### (1) 損益分岐点の存在

整備される排水機場の小流域内合計排水能力が $5m^3/s$ と $40m^3/s$ における便益と費用の関係を図5-2と図5-3に示す。図5-2と図5-3中の費用は, 1年目に排水機場建設費が初期費用として計上される。さらに, 機械・電気部分の更新費が計上されおり, 15, 30, 45年目に不連続

に上昇している。図5-2をみると、17年目で便益が費用を上回ることがわかる。そのため、耐用年数50年以内に費用対効果(B/C)は1.0以上となり、事業は経済的には妥当性が高いと考えられる。それに対し、図5-2をみると、耐用年数50年以内に、便益が費用を上回ることが無い。そのため、費用対効果(B/C)は1.0未満となり、経済的には事業妥当性は低いと考えられる。

ここで、整備される排水機場の小流域内合計排水能力と便益・費用の関係(図5-4)をみると、整備される排水機場の小流域内合計排水能力が $20.6\text{m}^3/\text{s}$ 以上となると、費用が便益を上回り、損益分岐点が生じていることがわかる。損益分岐点が存在することは、排水機場整備のみで内水対策を行うことに費用対効果の面で限界があることを示唆している。そのため、排水機場以外の対策オプションを組み合わせ、内水対策を行うことが重要と考えられる。

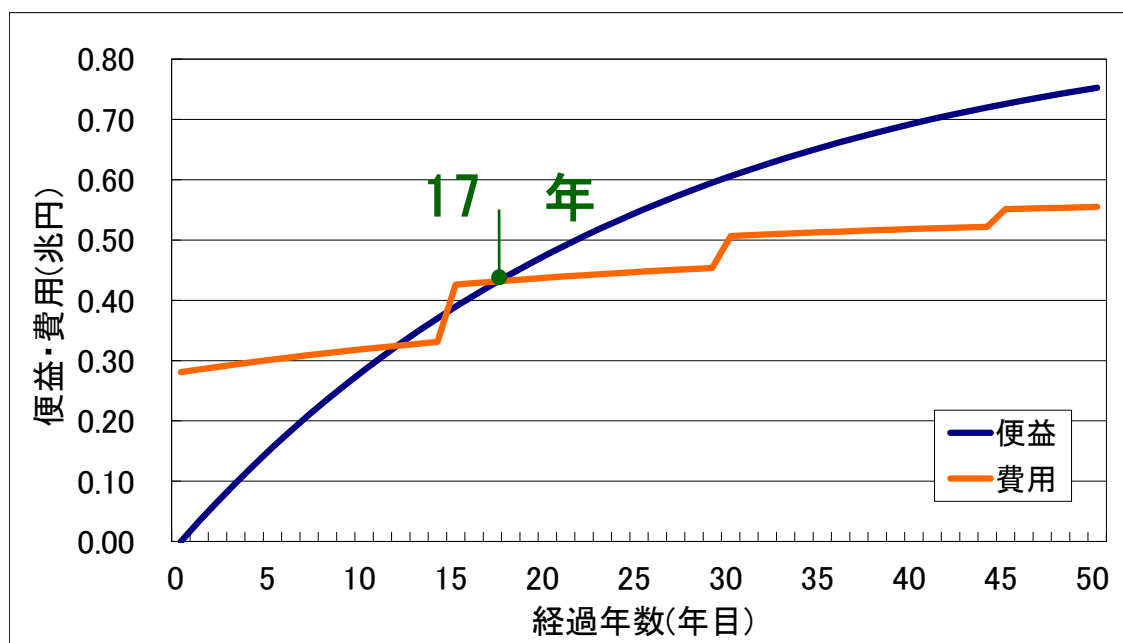


図 5-2 整備される排水機場の小流域内合計排水能力が $5\text{m}^3/\text{s}$ における便益と費用

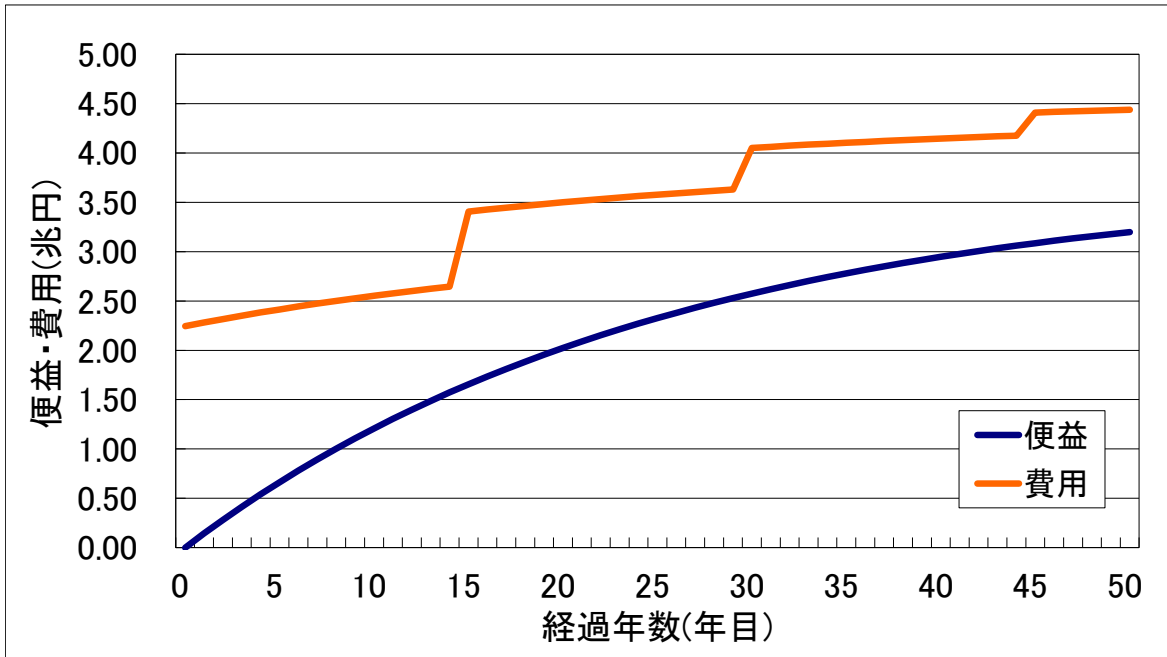


図 5-3 整備される排水機場の小流域内合計排水能力が  $40\text{m}^3/\text{s}$  における便益と費用

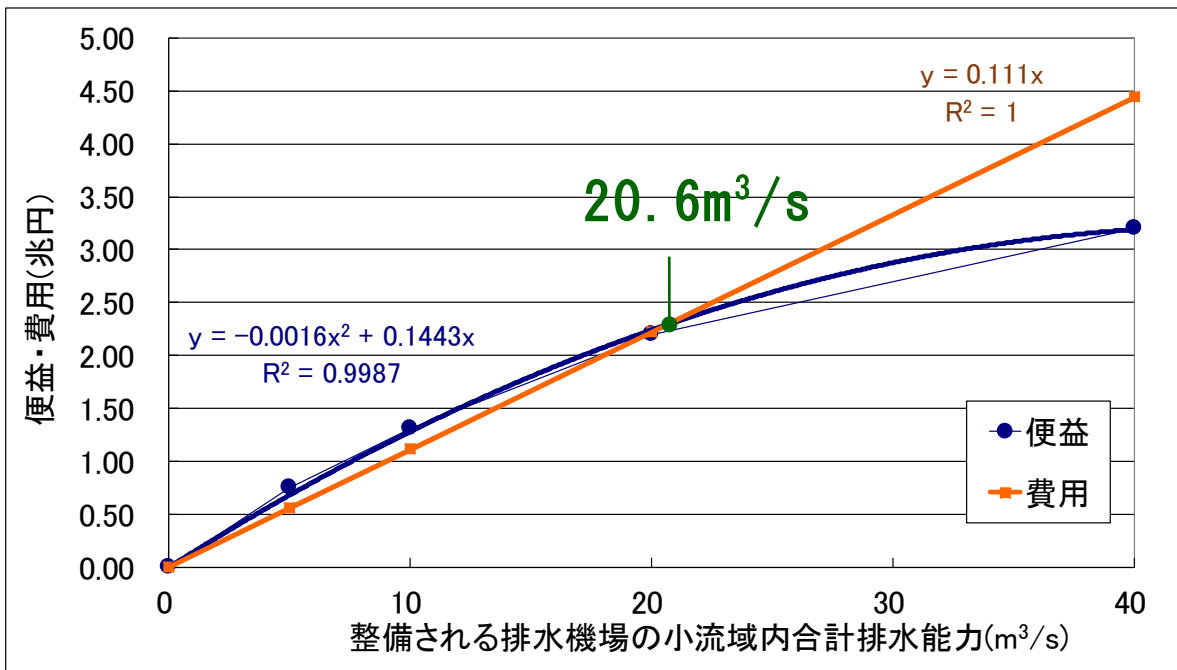


図 5-4 整備される排水機場の小流域内合計排水能力と 便益・費用との関係



## (2) 気候変動を考慮した感度分析

気候変動の感度分析あたっては、気候変動により気温が 2℃上昇し降雨量が 1.1 倍になった場合と、4℃上昇し降雨量が 1.3 倍になった場合を想定した(表 5-1)<sup>23)</sup>。なお、本項の社会的割引率は 4.00%とした。氾濫解析の外力として与えた各確率年の降雨量の徳島県全域における空間平均を求め、降雨量が 1.1 倍もしくは 1.3 倍になった際の確率評価を再度行った(表 5-2)。この確率評価により年平均被害額を再評価し、損益分岐点の位置を示したもの(図 5-5)をみると、気候変動より降雨量が増大しても、損益分岐点の位置は概ね変化しないことがわかる。ここで、排水機場整備の年間便益と降雨の生起確率の関係(図 5-6)をみると、超過洪水時の生起確率 100, 500 年を除く、生起確率 1.1 年から 50 年までの区間は概ね便益は同額であることがわかる。そのため、気温上昇に伴う降雨量増大による災害発生確率の変化があっても、上記区間確率(1.1 年から 50 年まで)における排水機場整備による便益が概ね同額である影響が大きく、災害発生確率の変化は損益分岐点が生じる金額に大きな影響を与えにくいことが、損益分岐点の位置が概ね変化しない要因と考えられる。

表 5-1 気候変動による降雨量の増加率<sup>23)</sup>

|                        | 降雨量  | 流量    | 洪水発生頻度 |
|------------------------|------|-------|--------|
| 4℃上昇 (RCP8.5)          | 1.3倍 | 約1.4倍 | 約4倍    |
| 2℃上昇 (RCP2.6)<br>(暫定値) | 1.1倍 | 約1.2倍 | 約2倍    |

表 5-2 気候変動に伴う降雨確率の再評価

| 徳島県全域における<br>流域平均雨量(mm/24hr) |         | 192  | 240 | 288 | 341 | 407  | 471  | 554  | 617   | 773   |
|------------------------------|---------|------|-----|-----|-----|------|------|------|-------|-------|
| 生起確率<br>(確率年)                | 現況      | 1.10 | 2.0 | 3.0 | 5.0 | 10.0 | 20.0 | 50.0 | 100.0 | 500.0 |
|                              | 気温が2℃上昇 | 1.09 | 1.5 | 2.3 | 3.8 | 7.2  | 13.2 | 29.2 | 53.2  | 237.6 |
|                              | 気温が4℃上昇 | 1.07 | 1.2 | 1.5 | 2.3 | 3.9  | 6.6  | 12.9 | 21.5  | 76.1  |

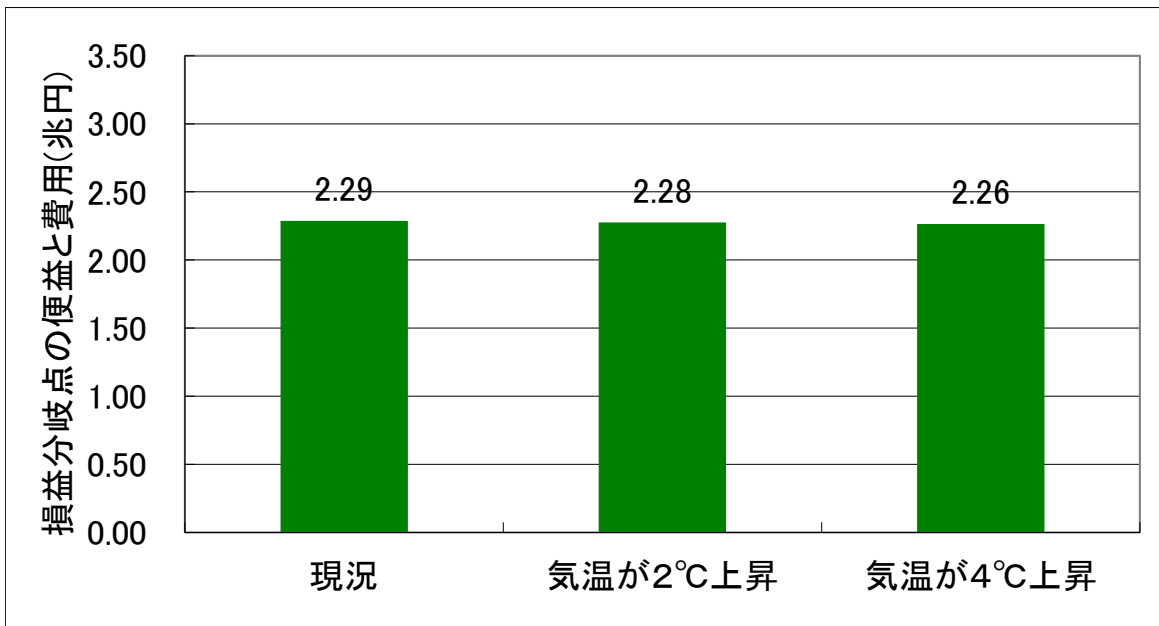


図5-5 気候変動を考慮した際の損益分岐点の位置

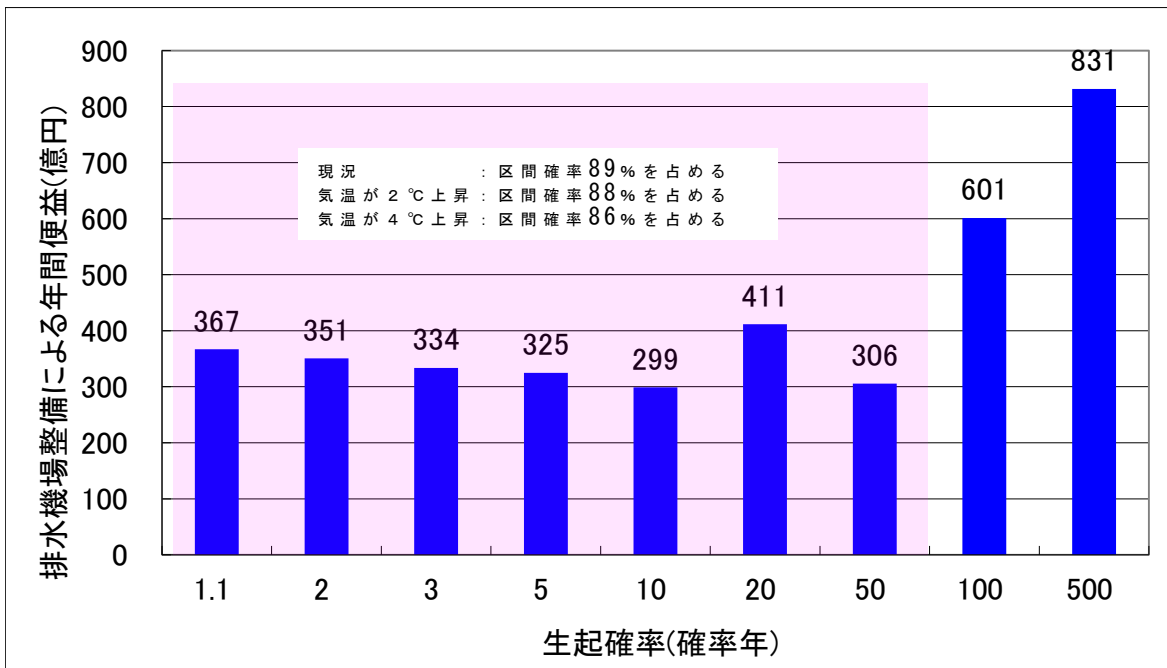


図5-6 排水機場整備の年間便益と降雨の生起確率の関係

### (3) 景気変動を考慮した感度分析

景気変動の感度分析にあたっては、社会的割引率が 3.10%、3.91%、4.00%の 3 ケースを想定し、感度分析を行った。我が国では社会的割引率を 4.00%に採用した根拠として、既往の指針<sup>12)</sup>において国債(10年もの)の実質利回りの平均(GDPデフレーター割戻後)を参考としたと記載されている(表 5-3)。同指針<sup>12)</sup>には、実質利回りの 1991 年から 1995 年の間の値(3.91%)、1986 年から 1995 年の間の値(3.85%)、1993 年から 2002 年の間の値(3.10%)、1983 年から 2002 年の間の値(3.52%)の 4 値を参考にした旨の記載があり、本研究では実際の景気変動により計測された値として、この 4 値の最大値(3.91%)と最小値(3.10%)、さらに現在採用されている値(4.00%)の 3 値を感度分析に用いた。なお、本項では現況の降雨生起確率を用いた。

景気変動を考慮した際の損益分岐点の位置(図 5-7)をみると、社会的割引率が小さくなるにつれて、損益分岐点が生じる便益・費用の金額が大きくなることわかる。これは、社会的割引率が小さくなると、現在価値化した便益が大きくなり、より大規模な対策を図ることができることが要因と考えられる。

表 5-3 国債(10年もの)の実質利回りの平均<sup>20)</sup>

|                            | 国債(10年もの)名目利回り<br>平均 | 国債(10年もの)実質利回り<br>平均 (GDPデフレーター割戻後) |
|----------------------------|----------------------|-------------------------------------|
| H3 ~ H7*<br>(1991 ~ 95)    | 4.09 %               | 3.91 %                              |
| S61 ~ H7*<br>(1986 ~ 95)   | 4.78 %               | 3.85 %                              |
| H5 ~ H14<br>(1993 ~ 2002)  | 2.23 %               | 3.10 %                              |
| S58 ~ H14<br>(1983 ~ 2002) | 3.95 %               | 3.52 %                              |

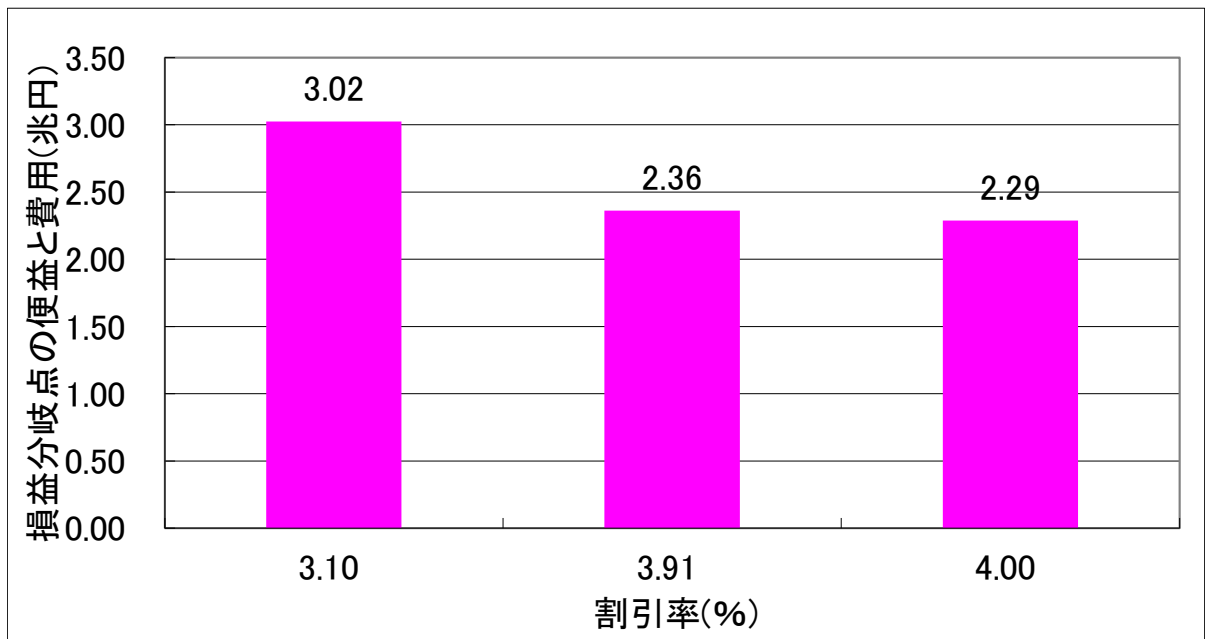


図 5-7 景気変動を考慮した際の損益分岐点の位置

#### 5.4 社会的割引率の設定についての重要性

気候変動による損益分岐点の振れ幅を図5-8に、景気変動による損益分岐点の振れ幅を図5-9に示す。図5-8をみると、今後の気候変動予測により現況から気温が4℃上昇すると、社会的割引率が4.00%の場合は0.03 (=2.29-2.26)兆円、3.91%の場合は0.03 (=2.36-2.33)兆円、3.10%の場合は0.02 (=3.02-3.00)兆円の振れ幅であることがわかる。図5-9をみると、社会的割引率振れ幅は、現況では0.73 (=3.02-2.29)兆円、気温が2℃上昇した場合には0.73 (=3.01-2.28)兆円、気温が4℃上昇した場合には0.74 (=3.00-2.26)兆円の振れ幅であることがわかる。これらから、現況から気温が4℃上昇した場合(最大で0.03兆円の振れ幅)より、社会的割引率を4.00%と設定した際に参考にした既往の指針<sup>12)</sup>に記載されている国債利回りの最大値(3.91%)と最小値(3.10%)および4.00%が50年間継続した場合(最大で0.74兆円の振れ幅)の損益分岐点の振れ幅の方が24.7倍大きいことがわかる。国債利回りの経年変化<sup>24)</sup>(図5-10)をみると、近年は3.10%未満の国債利回りが継続していることがわかる。これが継続すると、図5-9の損益分岐点の振れ幅よりも大きな振れ幅を想定し、排水機場の費用対効果を評価することが求められる。そのため、排

水機場の費用対効果分析にあたっては、社会的割引率の設定に留意することが重要と考えられる。

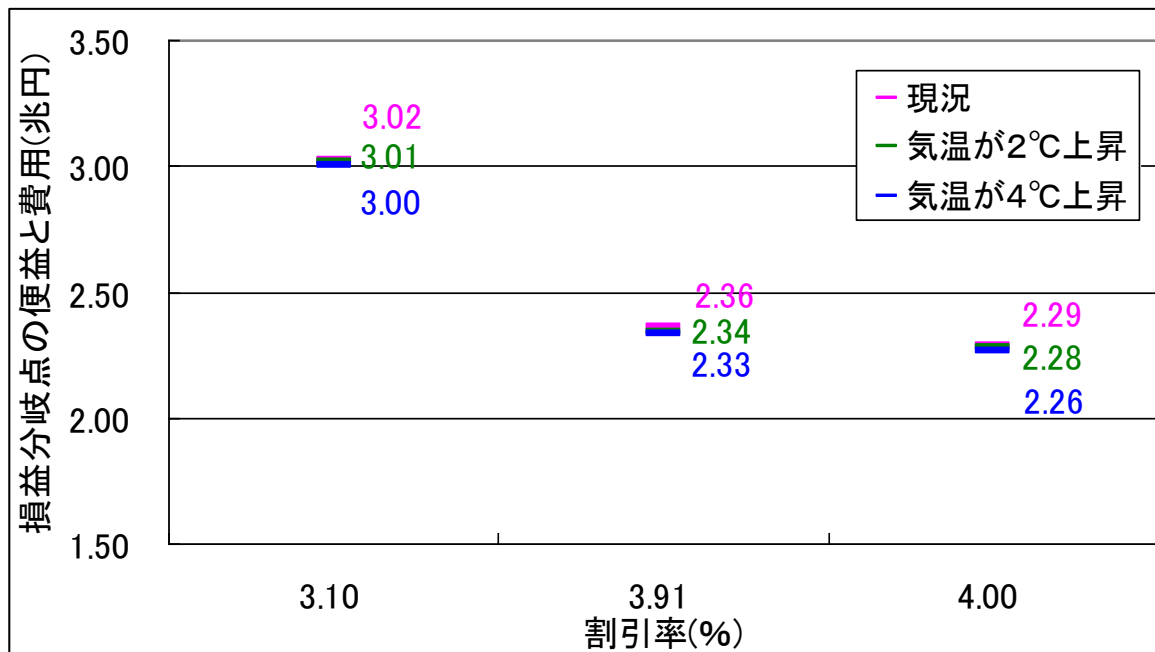


図5-8 気候変動による損益分岐点の振れ幅

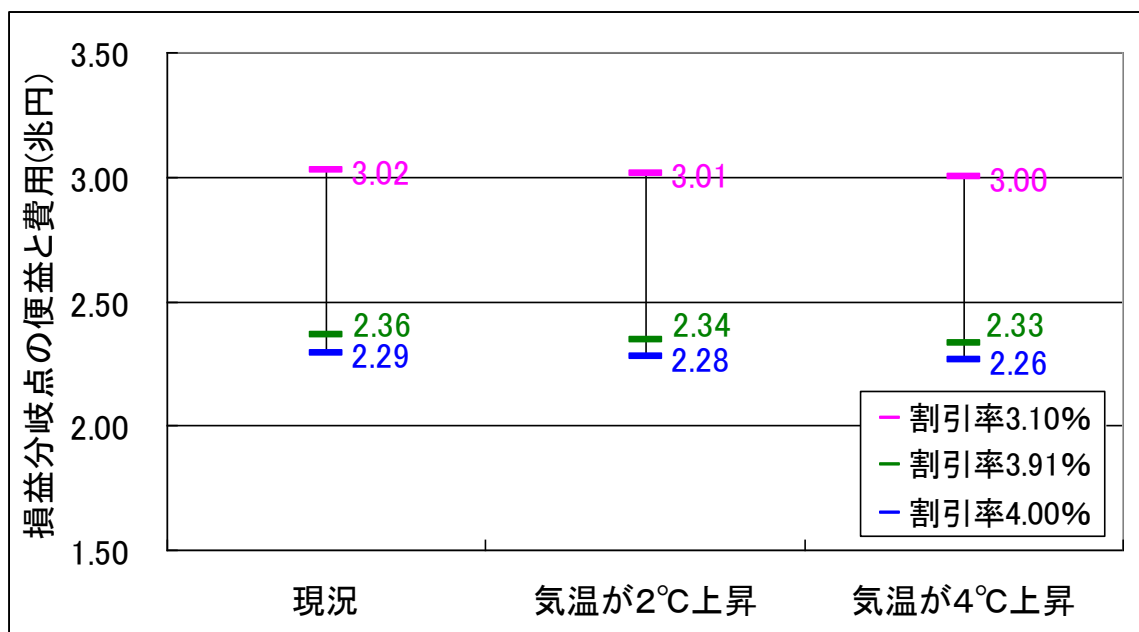


図5-9 景気変動による損益分岐点の振れ幅



図5-10 10年もの国債の利回りの推移<sup>24)</sup>

## 5.5 本章のまとめ

本章では、気候変動と景気変動による排水機場整備の損益分岐点の感度分析から、これら変動による損益分岐点の振れ幅を評価し、社会的割引率設定の重要性を考察した。得られた知見を以下に記す。

### (1) 排水機場整備のみで内水対策を行うことの限界

整備される排水機場の小流域内合計排水能力が  $20.6\text{m}^3/\text{s}$  以上となると、費用が便益を上回り、損益分岐点が発生した。損益分岐点が存在することは、排水機場整備のみで内水対策を行うことに費用対効果の面で限界があることを示唆しており、排水機場以外の対策オプションを組み合わせて、内水対策を行うことが重要と考えられる。

### (2) 社会的割引率の設定の重要性

気候変動と景気変動の排水施設整備による損益分岐点の振れ幅を比較すると、景気変動の方が気候変動より 24.7 倍大きいことがわかった。そのため、排水機場の費用対効果の評価にあたっては、社会的割引率の設定に留意することが重要と考えられる。

## 第 6 章 結論

### (1) 本研究のまとめ

本研究は、1 都道府県程度の面積が計算可能な内水氾濫解析モデルを構築した。そのモデルを用い、水害保険に対する不平等性の低減についての考察と、排水機場整備の費用対効果分析から社会的割引率の設定の重要性について考察した。

本研究で得られた結果をまとめ、以下に記す。

- 1) オープンデータを用い、治水経済調査マニュアル<sup>9)</sup>に従い内水被害額の算定が可能で、1 都道府県程度の面積が計算可能な内水氾濫解析モデルを構築することができた。(第 3 章)。
- 2) 内水被害においては地域偏在性が高く、「大数の法則」が成立しない可能性が高いと考えられた。そのため、保険自立性を考慮しながら火災保険と一体運用する現行制度<sup>18)</sup>は妥当と考えられた(第 4 章)。
- 3) 内水被害額に応じてグループ分割し、保険の給付・徴収を行うと、グループ分け実施に伴い不平等性が低減すると考えられた。一方、グループ分けによるグループ数が多くなるにつれて、グループ分けによる不平等性の低減効果は小さくなっており、ある一定以上のグループ分けは効果的ではないことが示唆された。(第 4 章)。
- 4) 整備される排水機場の小流域内合計排水能力が  $20.6\text{m}^3/\text{s}$  以上となると、費用が便益を上回り、損益分岐点が発生した。損益分岐点が存在することは、排水機場整備のみで内水対策を行うことに費用対効果の面で限界があることを示唆しており、排水機場以外の対策オプションを組み合わせ、内水対策を行うことが重要であると考えられた(第 5 章)。
- 5) 気候変動と景気変動の排水施設整備による損益分岐点の振れ幅を比較すると、景気変動の方が気候変動より 24.7 倍大きいことがわかった。そのため、排水機場の費用対効果の評価にあたっては、社会的割引率の設定に留意することが重要と考えられた(第 5 章)。

## (2) 本研究の提案と留意事項

### 1) 社会的割引率の設定値についての提案

気候変動と景気変動の排水施設整備による損益分岐点の振れ幅を比較すると、景気変動の方が気候変動より 24.7 倍大きいことから、排水機場の費用対効果の評価において、社会的割引率の設定値の影響が大きいことがわかった。そのため、イギリス連合王国のように社会の情勢に応じて改訂を行う必要があると考えられる。しかし、図 5-10 をみると、景気変動の振れ幅は大きく、改定前後における率値の変化度合いは大きいことが想定される。そのような状況で費用対効果分析を行うと、ある年では B/C が 1.0 以上となり排水施設整備事業が認められたとしても、異なる年では B/C が 1.0 未満となり、全く同じ事業であっても認められない状況が生じる恐れがある。社会的割引率の 4% という値を明確に否定する根拠が無いのであれば、事業認可の一貫性の観点から 4% を継続して使用し、景気変動の考察については社会的割引率設定値の感度分析を行うことにより対処することが重要と考える。

### 2) 被害額に応じた保険の給付・徴収を行った際の留意事項

水害保険の給付・徴収料金に差を持たせると、水害危険度の高い地域が水害保険料金の高い状況となり、その地域では保険加入率が低下し、無保険地域が発生する恐れがある。無保険地域を発生させないために、自助努力を行っている世帯の保険料金を安くする予防型保険を提案する。具体的にいうと、「2階以上に存在する家財のみを対象とした保険」や「土嚢設置や事前に避難所に避難した自助努力をしている世帯を対象とした保険」など保険料金を安くした商品を展開することを提案する。2階以上に存在する家財のみを対象とした保険は、重要な資産価値の高い家財を2階以上に誘導する効果が期待でき、浸水被害軽減に効果が期待できると考える。既に、健康保険の分野では、病気予防・健康づくりへの保険者の取り組みに対し、支援金を加算・減算する予防型保険の仕組み<sup>25)</sup>があり、この仕組みを水害保険にも応用することができると考える。



## 謝辞


本研究を進めるにあたり，終始適切なご指導を賜った徳島大学大学院先端技術科学教育部知的力学システム工学専攻の武藤裕則教授，田村隆雄准教授に甚大なる謝意を表します。

著者が徳島大学で本研究に着手してからの3年間，業務的にも非常に恵まれた環境にありました。飯尾川浸水想定区域図作成業務をはじめ，ため池ハザードマップ作成業務にも従事することができました。これらは全て徳島県内の平面2次元不定流計算による氾濫解析に関する事業であり，徳島県の気候変動適応策としての取り組みに，従事させて頂いたことに感謝いたします。

また，こうした機会に携われたのは，ニタコンサルタント株式会社に所属していたことが大きく，諸先輩，社員の皆様に深く感謝します。さらには，事業に関わりつつも博士論文の執筆という，身に余る大業を成し得ることができたのも同社企画部・地域計画部の皆様，特に，現在著者が所属している沖浜分室(Jビル)に携わっている方々に感謝します。徳島大学での研究活動を快く承諾して頂きました仁田忠宏相談役，奈加博之代表取締役社長をはじめ経営陣の皆様，業務・研究面で相談にのって頂いた安芸浩資常務に心から感謝します。

本研究で使用した平面2次元不定流解析の解析コードは岡部健士教授が構築されたものを改良し，本研究の解析コードとしました。岡部健士教授が構築なされた解析コードが無ければ，今日の業績は成し得なかったと考えています。深く感謝を申し上げます。

最後に，著者を温かく見守り，受け入れて頂いた両親・弟に，深い感謝の意を表します。

2021.3. 三好 学 

## 参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部：今後の下水道事業に係る制度の方向性， p.25， 2020.7.
- 2) 国土交通省社会資本整備審議会：気候変動を踏まえた水災害対策のあり方について， 2020.7.
- 3) 関根正人：住宅密集地域を抱える東京都心部を対象とした集中豪雨による内水氾濫に関する数値解析， 土木学会論文集 B1（水工学）， Vol.67， No.2， pp.70-85， 2011.
- 4) 滋賀県土木交通部流域政策局流域治水政策室：地先の安全度マップ， 2020.3.
- 5) 国立研究開発法人土木研究所：氾濫シミュレーションマニュアル（案）， 土木研究所資料第3400号， 1996.2.
- 6) 国土交通省水管理・国土保全局：小規模河川の氾濫推定図作成の手引き， p.1， 2020.6.
- 7) 時岡 真治，池内 幸司，大塚 健太，魚波 勝彦，石井 光太郎：アンサンブル気候予測実験データを用いた適応策としての治水対策の経済的評価，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.74，No.5，pp. I\_1-I\_6， 2018.
- 8) 木村 匡臣，奥村 直人，安瀬地 一作，高野 陽平，吉川 夏樹：低平農業地域における排水機場の予備運転による大雨時の内水氾濫被害軽減効果の検討，土木学会論文集 B1（水工学） Vol.75， No.2， pp. I\_1309-I\_1314， 2019.
- 9) 国土交通省河川局：治水経済調査マニュアル（案）， 2005.4.
- 10) コロナ社：土木計画ハンドブック， p.367， 2017.3.
- 11) コロナ社：土木計画ハンドブック， p.369， 2017.3.
- 12) 国土交通省：公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針（共通編）， pp.5-6， 2008.6.
- 13) 国土交通省水管理・国土保全局：内水浸水想定区域作成マニュアル（案）， p.21， 2016.4.
- 14) 国土交通省 水管理・国土保全局：洪水浸水想定区域図作成マニュアル（第4版）， pp.20-21， 2015.7.
- 15) 国土交通省水管理・国土保全局：内水浸水想定区域図作成マニュアル（案）， p.31， 2016.4.
- 16) 徳島県：平成16年台風23号浸水痕跡マップ， 2005.3.
- 17) 国土交通省 水管理・国土保全局：浸水想定（洪水，内水）の作成

- 等のための想定最大外力の設定手法，2015.7.
- 18)国土交通省 国土交通政策研究所：水害に備えた社会システムに関する研究，国土交通政策研究第98号，p.5，2011.3.
  - 19) 国土地理院：国土数値情報 流域メッシュデータ，2009.3.27.
  - 20) (社)日本下水道協会：流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説，p.242，2008.9.
  - 21) (社)日本下水道協会：下水道事業における費用効果分析マニュアル(案)，p.251，2006.11.
  - 22) 徳島市：排水機場一覧，2016.4.
  - 23) 気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会：気候変動を踏まえた治水計画のあり方 提言，p.15，2019.10.
  - 24) 財務省理財局：国債金利情報，2019.11.
  - 25) 厚生労働省保険局：保険者による予防・健康づくりについて，令和元年度 地域・職域連携推進関係者会議プログラム，予防・健康づくりに関する政府決定，p.7，2019.