

2. 2-2 降水量の増加と社会経済状況の変化を考慮した都市圏の内水氾濫リスク評価

2.1 概要

2.1.1 背景・目的

気候変動により内水被害に影響を及ぼす短時間雨量の増加が予測されている。例えば、埼玉県の低平地においても、近年内水被害が頻発している。

本調査では、埼玉県をモデルとして気候変動による影響と社会経済状況を考慮した内水リスクの評価と適応策に関する調査・検討を行った。

2.1.2 実施体制

本調査の実施者：パシフィックコンサルタンツ株式会社
アドバイザー：東京工業大学 教授 鼎 信次郎

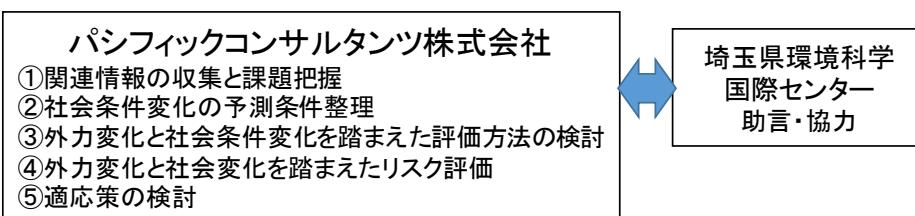


図 2-1 実施体制

2.1.3 実施スケジュール（実績）

平成 29 年度は、埼玉県内の内水被害に関する基礎情報を整理し、気候変動による外力変化と社会条件変化を踏まえたリスク評価の考え方を整理した。

平成 30 年度は、埼玉県内 10 市を抽出し、気候変動データを用いて降水量の変化、社会条件として人口予測を行い埼玉県内 10 市における内水氾濫リスクの変化を浸水状況と浸水リスク人口から評価した。

平成 31 年度は、内水氾濫リスクの変化を踏まえ、適応オプションとしてハード対策、及びソフト対策案を抽出し、対策の現状、実現可能性、効果などについて評価した。

表 2-1 実施スケジュール

時期	調査の内容
H29年度	<p>①関連情報の収集と課題把握 ①-1 内水ハザードマップ関連整理 ①-2 内水被害と雨量の関係把握 ①-3 埼玉県内水の課題把握</p> <p>④気候変動による外力変化と社会条件変化を踏まえたリスク評価 ④-1 モデルケースによるリスク評価の試算 ④-2 リスク評価指標・手法の見直し ④-3 埼玉県全体のリスク評価</p>
H30年度	<p>②社会経済変化の予測条件整理 ③外力変化と社会条件変化を踏まえた評価方法の検討</p> <p>⑤適応策の検討 ⑤-1 適応策案の抽出 ⑤-2 適応策の効果検討 ⑤-3 適応策全体シナリオの検討</p> <p>全国管理受託者から提供される気候変動データを適宜活用。</p>
H31年度	<p>全国管理受託者から提供される気候変動データを適宜活用。</p>

2.1.4 気候シナリオ基本情報

本検討では詳細な現象である内水氾濫リスクを評価するため「空間解像度」を重視して「気象研究所 2km 力学的 DS データ」を用いた。

表 2-2 使用する気候パラメータに関する情報

項目	内水氾濫に影響を与える降水量の変化
気候シナリオ名	気象研究所 2km 力学的 DS データ
気候モデル	MRI-NHRCM02
気候パラメータ	降水量（時間）
排出シナリオ	RCP8.5
予測期間	21世紀末 時別
バイアス補正の有無	無

2.1.5 気候変動影響予測結果の概要

文献調査結果の概要

- 埼玉県内の内水被害特性の把握を国土交通省の水害統計結果から行った。その結果、近年 10 年間(2006 年~2015 年)で内水被害が 5 件以上発生している自治体が 19 あり、県東部の低平地に多く見られた。
- 県内の 49 市町で内水ハザードマップを作成している(2020 年 2 月 14 日時点)。
- 適応策の先進的な事例である内水排除ポンプの運用について、埼玉県内で取り組んでいる事例がある。
- 土地利用規制・誘導による適応策案について、既往の対策事例から規制誘導、計画誘導、市場誘導等の考え方、参考とする法令などを把握できた。

ヒアリング調査結果の概要

(影響評価について)

- 検討に用いる気候モデルについて、出力値の傾向をよく確認し、気候変動による現在と将来の気候に変化が現れているか等、確認を行うことが望ましいと意見をいただき、気候モデル出力値の傾向について、計画規模の降水量の発生頻度と雨量の増加傾向を埼玉県内の各出力値について確認し、気候変動の傾向が現れていることを確認した。
- 人口の将来予測の活用として、気候変動による外力変化と将来人口の変化による影響を切り分けてわかりやすく説明できる資料とする必要があるとご意見をいただき、降水量の変化のみを与えた場合と降水量の変化及び人口予測を与えた場合の浸水リスク人口を算定し、その違いが分かるように整理した。
- 浸水深等の数値の変化だけでなく、利便性、交通、死者の発生、生活に与える影響を説明できるような方法を検討していただきたいとご意見をいただき、浸水深毎が生活、避難に与える影響を整理した。

(適応オプションについて)

- ・流域で取り組む貯留施設による対応について、効果や実現性などを検討することが望ましいとご意見をいただき、効果や実現性の評価方法について埼玉県と協議調整を行った。
- ・住まい方の変化に関する適応策は、浸水危険度の高い区域は保険料率を高く設定するなどの民間事業を活用した対策案も考えられるとご意見をいただき、全国の土地利用規制、誘導施策に関する情報整理を行った。

影響予測結果の概要

- ・気候モデルを用いた降水量の増加率を条件として、埼玉県における内水氾濫の将来予測を試行した結果、内水浸水範囲の拡大、および内水浸水深が増加する可能性が示された。
- ・内水氾濫による浸水リスク人口は内水浸水範囲、浸水深の増加により増加する可能性が示された。
- ・将来の人口変動を考慮した場合は、現在人口条件の場合と比べて浸水リスク人口が減少する可能性が示された。

2.1.5.1 浸水範囲、浸水深の変化

埼玉県における内水氾濫の将来予測を試行した結果、現行計画の 5 年に 1 回発生する規模の降雨に対応した下水道を整備した場合でも、内水浸水範囲が拡大する可能性が示された。

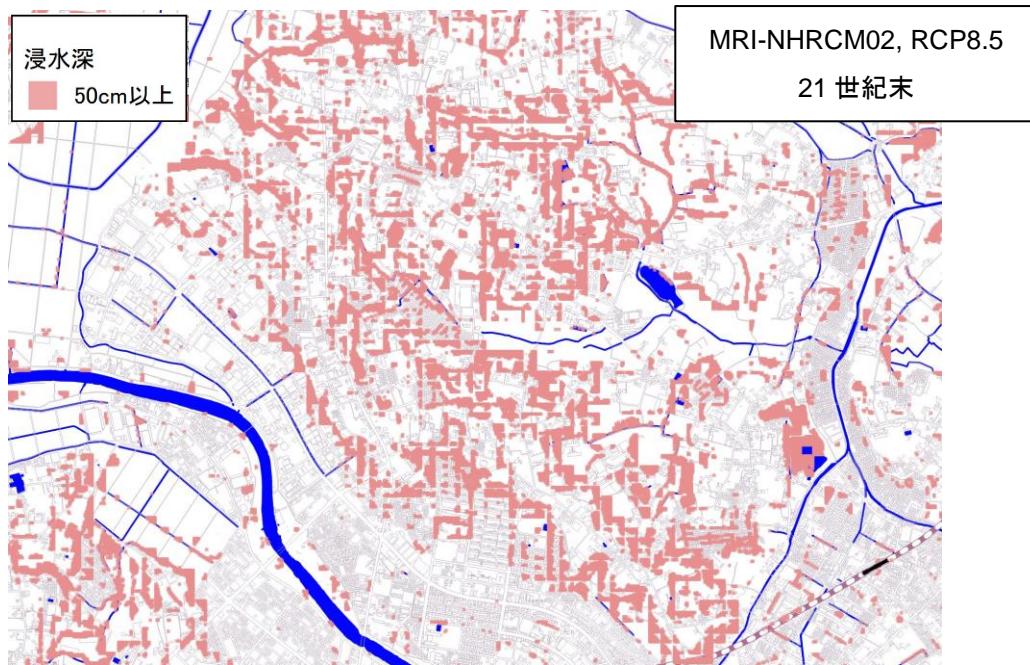


図 2-2 73mm/h^{※1}（現行の 1.3 倍）の降水時の浸水予測^{※2,3}

※1：現行の雨水整備目標である 5 年に 1 回発生する降雨（56mm/h：一部市町村の想定雨量）は将来気候変動により 1.3 倍の 73mm/h（21 世紀末 RCP8.5）に増加する可能性がある。

※2：50cm は災害時に避難が困難となる水深

※3：一般的な作成マニュアルに基づく浸水想定区域図とは作成条件が異なる。

2.1.5.2 浸水リスク人口の変化

全年齢人口では、将来の人口減少の影響が大きく、浸水リスク人口の減少が顕著である。一方で、老齢化の進行により、65歳以上人口^{※③}では浸水リスク人口絶対数の変化は小さいため、全年齢人口に対する65歳以上の人口の割合が大きくなる。

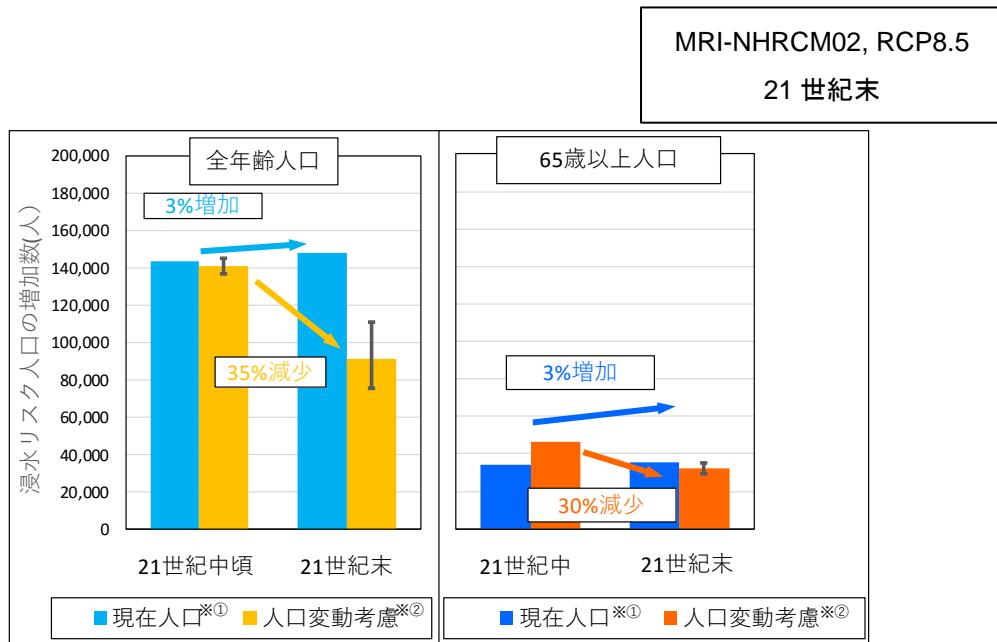


図 2-3 人口変動の考慮有無による浸水リスク人口の増加数
(抽出自治体における浸水深 50cm 以上の浸水区域)

※①：現在人口は将来人口が変わらないと想定した場合。

※②：人口変動は、将来の人口を埼玉県が公開している「埼玉県の市町村別将来人口推計ツール（平成22年国勢調査通常版）」を用いた本調査の手法により人口減少を考慮した場合。エラーバーは、人口変動の予測における最大値と最小値を示す。

※③：65歳以上を高齢者として設定した。高齢者は災害時の避難が若年層に比べて遅れる可能性があるため、災害弱者の視点から浸水リスク人口を算出した。なお、世界保健機関（WHO）では65歳以上を高齢者としている。

2.1.6 活用上の留意点

2.1.6.1 本調査の将来予測対象とした事項

本調査では、気候変動による降水量の増加と人口変動を条件として将来の内水氾濫範囲・浸水深の変化に与える影響及び浸水リスク人口に与える影響を対象とした。

2.1.6.2 本調査の将来予測の対象外とした事項

- ・1つの気候予測モデルの将来予測シナリオに基づく予測結果であり、将来予測結果の不確実性を十分に考慮していない。そのため、成果を活用する際は結果が不確実性を有することに留意する必要がある。
- ・社会条件については、人口以外の社会経済条件の変化は考慮されていないことに留意する必要がある。

2.1.6.3 その他、成果を活用する上での制限事項

他地域において活用する場合は、対象地域の内水氾濫モデルの作成、気候予測モデルの降水量の変動傾向、人口予測を行う必要がある。

2.1.7 適応オプション

本調査で検討した適応オプションは、表 2-3 及び表 2-4 に示すとおりである。

表 2-3 内水氾濫リスク軽減のための適応オプション評価表

適応オプション	想定される実施主体			評価結果							備考	
	行政	事業者	個人	現状		実現可能性			効果			
				普及状況	課題	人的側面	物的側面	コスト面	情報面	効果発現までの時間	期待される効果の程度	
貯留施設の追加導入 (ハード対策：貯める対策)	●	●		普及が進んでいる。	・貯留施設設置の用地確保、費用が必要。 ・効果は降雨波形の影響をうける。	△	○	△	◎	短期	高	事例が多く、設置直後に効果が期待できる。
内水排除ポンプの弾力的運用 (ハード対策：流す対策)	●			一部普及が進んでいる。	・予測情報（内水域、排水先河川）の精度により効果に影響する。 ・運用のみだと効果が限定される。	△	○	△	△	短期	中	事例が少なく、効果の高い運用方法については検討・精度向上を図る必要がある。
内水排除ポンプ設置 (ハード対策：流す対策)	●			普及が進んでいる。	・排水先河川との運用の調整が必要。 ・本川水位の状況によっては排水できない ・ポンプ設置の費用と用地確保が必要。	△	○	△	◎	長期	高	事例があり効果が期待できるが、排水先河川との調整に時間を要す。
浸水情報の収集・伝達：内水ハザードマップ更新 (ソフト対策)	●			普及が進んでいる。	・効果の定量的評価が困難。 ・実行力のある周知方法が必要。	△	○	△	◎	短期	中	作成事例が多く周知は短期に行うことができる。効果は住民意識等にも影響される。
土地利用規制・誘導 (ソフト対策)	●	●	●	普及が進んでいない。	・都市計画との調整。 ・実施、制度化をどのようにするか。	△	△	△	△	長期	高	事例が少なく、埼玉県に適した方法・制度化に時間を要す。

表 2-4 適応オプションの考え方と出典

適応オプション	適応オプションの考え方と出典
貯留施設の追加導入 (ハード対策：貯める対策)	<ul style="list-style-type: none"> ・気候変動による降水量の増加を貯留施設を設置することにより浸水を軽減する方法である。 ・開発に伴う流出増分に対応する貯留施設は数多くあるが、降水量の増加に対応した事例は少ない。
内水排除ポンプの 弾力的運用 (ハード対策：流す対策)	<ul style="list-style-type: none"> ・既存排水機場などを活用し、排水先河川の水位状況に応じて効果的な操作を行うことにより浸水を軽減する方法である。 ・埼玉県内の一一部河川で検討・運用実績あり。効果は未確認。
内水排除ポンプ設置 (ハード対策：流す対策)	<ul style="list-style-type: none"> ・地形的に自然排水が困難な地域の内水浸水を機械的に河川・水路に排水する方法である。 ・埼玉県河川砂防課資料より、埼玉県内に 18 箇所、代表都市とした 10 自治体には 12 箇所の排水機場があり、6 自治体が既存排水機場の対象流域となっている。排水先河川との調整が困難。
浸水情報の収集・伝達：内水ハザード マップ更新(ソフト対策)	<ul style="list-style-type: none"> ・気候変動による降水量の増加を考慮した浸水想定図を作成し、危険度の把握、避難支援に関する情報提供を行う方法である。 ・埼玉県内 49 自治体が内水ハザードマップを作成しているが、ほとんどが過去の浸水実績に基づいて作成されており、内水浸水被害が生じる降雨がどの地域でも発生するとした情報となっていない。
土地利用規制・誘導 (ソフト対策)	<ul style="list-style-type: none"> ・浸水想定図を参考に、危険度の低い地域への住まいの変更、土地利用計画の変更等が考えられる。 ・埼玉県内における事例はないため、他自治体での事例を参考に示す。

2.2 気候シナリオに関する情報

2.2.1 気候シナリオ基本情報

表 2-5 使用する気候パラメータに関する情報

項目	内水氾濫に影響を与える降水量の変化
気候シナリオ名	気象研究所 2km 力学的 DS データ
気候モデル	MRI-NHRCM02
気候パラメータ	時間降水量
排出シナリオ	RCP8.5
予測期間	21世紀末 時別
バイアス補正の有無	無

2.2.2 使用した気候パラメータに関する情報

気候モデル (1つ) ×RCP (1つ) ×予測期間 (21世紀末 1つ(海面水温パターン en)) の予測を行った。埼玉県内全域のメッシュで、年最大時間降水量を 20 年分算出し、各メッシュ 5 年に 1 回発生する時間降水量となる第 4 位 (4 回/20 年 = 1 回/5 年) の値を算出した。埼玉県内メッシュの平均値は 65mm/h となった。

この結果と 21 世紀末における 5 年に 1 回発生する時間降水量の埼玉県内メッシュ平均値の増加率は約 1.3 倍となった。この時間降水量の増加率を影響評価に用いるものとし、外力の設定については 2.3.6.1 で詳述する。なお、図 2-5 のエラーバーは埼玉県内のメッシュにおける 5 年に 1 回発生する時間降水量の最大値と最小値の範囲を示す。

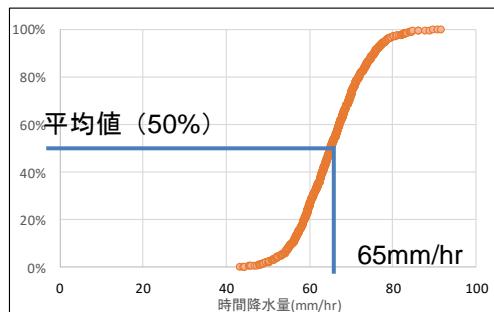


図 2-4 5年に1回発生する時間降水量の現在値（埼玉県内メッシュ平均値）

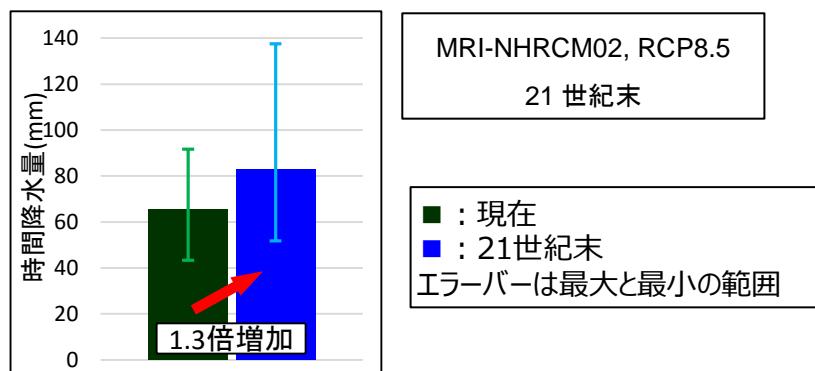


図 2-5 5年に1回発生する時間降水量の現在と 21世紀末の比(埼玉県内メッシュ平均値)

2.2.3 気候シナリオに関する留意事項

使用した気候シナリオ「気象研究所 2Km 力学的 DS データ」は、時間降水量について再現性が高いとされているモデルであるが、将来の予測データの出力期間が 20 年間と短いため、対象メッシュごとに変化率を評価するのではなく変化率を埼玉県内全体での平均値として降水量の影響評価を行った。

2.2.4 バイアス補正に関する情報

現行下水道計画の対象としている生起頻度（1/5）降水量の変化率で算定することで気候変動の影響を評価したため、バイアス補正は行っていない。

2.2.5 気候シナリオ選択の理由

今回検討対象とした内水氾濫は、狭域の影響を評価する必要があるため、空間解像度が 2Km と高く、時間降水量の再現性が期待できる「気象研究所 2km 力学的 DS データ」を用いた。

2.3 気候変動影響に関する調査手法

2.3.1 手順

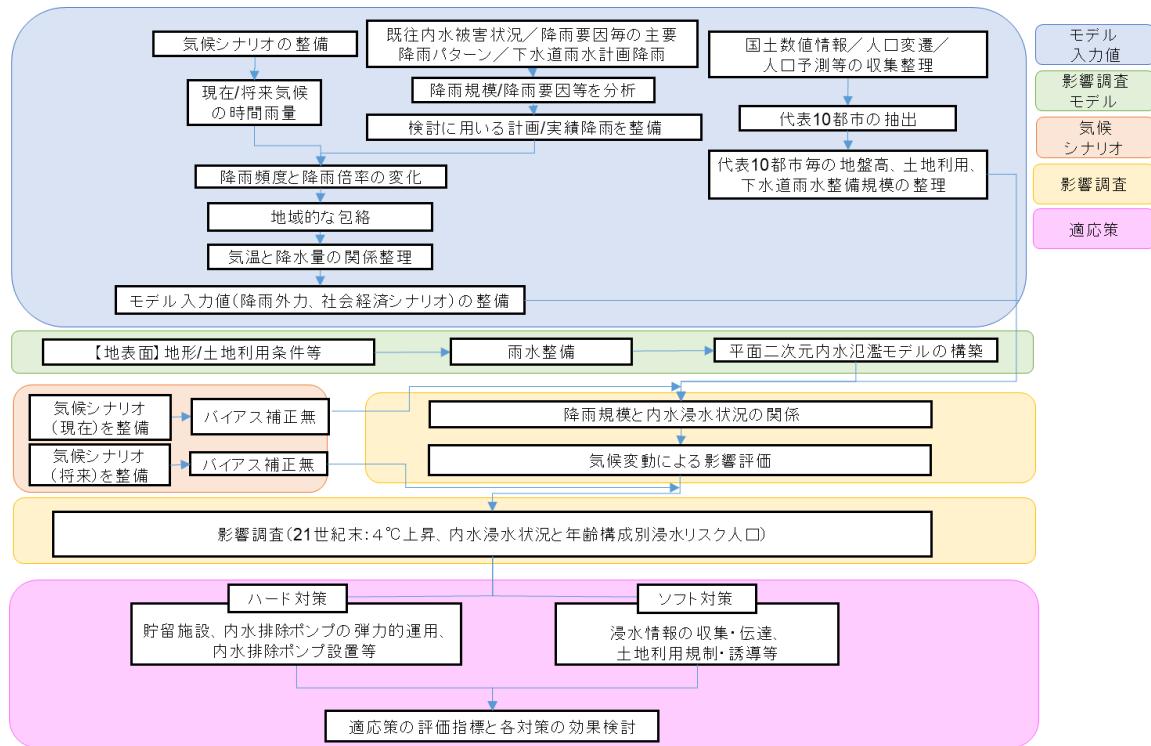


図 2-6 検討フロー

2.3.2 使用したデータ・文献

表 2-6 検討に使用したデータ

No.	資料名等	使用用途	データ概要
1	埼玉県市町村内水ハザードマップ	内水浸水特性の把握	内水ハザードマップ
2	水害統計（2006～2015年）	内水浸水実態の把握	各年に発生した水害の一覧
3	内水被害時の雨量データ	内水浸水時の雨量の把握	時間降水量
4	地盤高データ	内水解析モデルの作成	基盤地図情報 5m メッシュ
5	土地利用データ	内水解析モデルの作成	国土数値情報
6	現行雨水計画降雨波形	現行計画の把握	降雨強度式と時間雨量
7	気象研究所 2km 力学的 DS データ（気候予測データ）	降水量増加の影響評価に使用	時間降水量 RCP8.5 現在：1980～1999年 21世紀末：2076～2095年(en)
8	平成 27 年 国勢調査	浸水リスクの把握、人口推計	国勢調査
9	埼玉県の市町村別将来人口推計ツール（平成 22 年国勢調査 通常版）	浸水リスクの把握、人口推計	埼玉県内の市町村今後の人口を推計するツール
10	日本の将来推計人口（平成 29 年推計）	人口推計に使用	日本全国の将来人口推計
11	平成 27 年 市町村別生命表	人口推計に使用	市町村別の生命表
12	平成 27 年 人口動態統計	人口推計に使用	人口動態調査

表 2-7 参照した文献

No.	文献名等	データ概要
1	国立社会保障・人口問題研究所、日本の将来推計人口 平成 29 年推計	最新の国勢調査等を用いて、日本全国の将来人口推計を行ったもの。
2	岡田 雅洋・菊池 裕太・長谷部 進一（2018）、内水排水ポンプの弾力的運用の導入について、土木学会第年次学術講演会、73号、P163-164	内水被害を軽減するために、降雨や排水先河川の状況を考慮して、計画よりも多く排水する弾力的運用の効果を検討したもの。
3	国土技術総合政策研究所（2019）、気候変動下の都市における戦略的水害リスク低減手法の開発、国総研資料、第 1080 号	気候変動、人口減少、高齢化、巨大災害の切迫等に対処するため、「地域の水害リスクを主軸に据えて防災減災施策を考える」政策体系の具体化に向けて、都市水害を具体例としてリスク評価手法および対策の具体的な展開手順を提示する。
4	宇部市（2016）、第 5 回 宇部市都市再生推進協議会	都市機能誘導区域・居住誘導区域・施策の方向性・届出制度について。
5	名古屋市（2006）、名古屋市雨水流出抑制施設設計指針	流出抑制対策として設置する貯留施設および浸透施設の計画、設計、施工並びに維持管理に関する一般原則を示す。
6	名古屋都市センター（2015）、効果的な雨水排水ポンプの運転管理について、研究報告書、第 124 号	ポンプ施設や管理の実情について概略説明や、迅速かつ正確な危機管理手法や故障対策等効果的な排水対策の考察。

2.3.3 有識者ヒアリング

表 2-8(1) 有識者ヒアリング

NO.	1
ヒアリング対象者	東京工業大学 鼎信次郎 教授
日付	2018年11月14日 15:00～16:30
場所	東京工業大学 鼎研究室
概要	<p>1. 検討に用いる気候モデルについて</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 検討に用いる気候モデルは本事業におけるモデル選定範囲からは、2km 空間解像度を有する NHRCM02(気象研究所 力学的 DS データ)を用いることでよいが、第一に出力値の傾向をよく確認し、気候変動による現在気候値と将来気候値の変化が現れているか等、確認を行うことが望ましい。過去の近未来予測の出力結果などは地域によっては過去の観測値より降雨量が小さくなっているケースもあり得る。 ● 今回の検討に影響する点ではないが、CO₂だけでなくエアロゾルのモデル上の取り扱いを確認しておいたほうが良い。 <p>2. 人口将来予測について</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 予測手法としては現在検討中の手法、条件でよいが、結果のアウトプットとしては気候変動による外力変化と将来人口の変化による影響を切り分けてわかりやすく説明できる資料とする必要がある。 <p>3. 影響の評価方法について</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 現在気候から将来気候に変化する影響だけでなく、現在気候でも不確実性を考慮し、生じうる降雨量、内水被害状況などを説明することが望ましい。 ● 浸水深等の数値の変化だけでなく、利便性、交通、死者の発生、生活に与える影響を説明できるような方法を検討していただきたい。特に最近の生活や意識を考えるとインフラや交通網の与える影響からの不便性の評価なども重要ではないか。 ● 浸水深、浸水範囲などを図でわかりやすく示して影響を説明する方法も考えられる。 <p>4. 適応策、今後の検討等について</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 本コンソーシアム事業において、適応策をどのように検討するか十分に検討、埼玉県や環境省とも十分意見交換して行うことが望ましい。 ● 下水道雨水整備の拡大や水害保険などだけでなく、影響評価における「不便さ」を緩和するための対策や「地域のタイムライン」を考慮して被害を軽減する視点も重要である。 ● 経済性をどこまで本事業の検討で取り込むのかについても早期に調整しておいたほうが良い。

表 2-8(2) 有識者ヒアリング

NO.	2
ヒアリング対象者	東京工業大学 鼎信次郎 教授
日付	2019年6月13日 16:00~17:00
場所	東京工業大学 鼎研究室
概要	<p>1. 適応策優先度評価指標について</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 浸水人口は現在雨水整備の目標としている時間雨量 56mm/hr 対応の整備が完了した条件において、現行雨水計画降雨波形（継続時間 24 時間）の中央集中型の降水量が増加した場合の影響であることがわかるように示す。 ● 現在目標としている 5 年確率対応の雨水整備が行われても気候変動によりリスクの変化が考えられるという説明がわかりやすいのではないか。 ● 最大の影響としている 2 倍の影響は気候予測モデル格子点の現在気候と将来気候値の比率の最大値であるが、現在気候の値が小さいため倍率が大きくなっている可能性があり、時間雨量 56mm/hr に対して最大 2 倍の影響と評価することは注意を要する。 ● 以上を踏まえ、浸水人口は浸水の危険性のある人口と記載したほうが適切である。 ● 図のエラーバーは人口将来予測の高位、中位、低位の幅であることを示す。 <p>2. 適応策選定の考え方について</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 流域で取り組む貯留施設による対応についても効果や実現性などを検討することが望ましい。 ● 地下水の取水が今後も行われるのであれば地盤沈下により内水氾濫リスクが増加する可能性がある。地下水取水・規制の状況を埼玉県に確認し、今後も地下水取水が行われるのであれば取水規制が重要な適応策になる可能性がある。 ● ポンプ運用については、AI 技術を活用して精度向上を図ることができる可能性がある。具体的にどのような弾力的運用方法を考えているのか埼玉県に確認して検討を行う。 ● 警戒避難に関する適応策は、商店街の資産を守るという観点の対策も重要となる場合がある。郡山市の検討会でそのような課題が扱われたことがある。 ● 住まい方の変化に関する適応策は、浸水危険度の高い区域は保険料率を高く設定するなどの民間事業を活用した対策案も考えられる。

表 2-8(3) 有識者ヒアリング

NO.	3
ヒアリング対象者	東京工業大学 鼎信次郎 教授
日付	2020年1月14日 16:00~17:00
場所	東京工業大学 鼎研究室
概要	<p>1. 気候モデル再現性評価について</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 気候予測モデルの埼玉県内格子点の現在気候と将来気候の5年に1回発生する時間降水量と現行計画において雨水整備計画に用いられている時間降水量は再現性が高いと考えてよい。 ● 過去実験から将来実験に至る降水量の増加率は、国土交通省治水計画検討会において示されている降水量増加率とおおむね一致している。気候予測モデルを用いた降水量の算定は様々な条件により異なるものであるが、全国的な傾向と同様な増加率となっていると考えることができる。 <p>2. 適応策の評価について</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 現行の埼玉県内自治体で作成されている内水ハザードマップの作成条件と今回の検討における作成条件の違いを確認した。今後、このようなリスク情報の作成を行っていく必要がある。 ● ポスター案について、適応オプションの貯留施設についても埼玉県の特性を表した写真や図などとするとわかりやすいのではないか。

2.3.4 観測および実証実験

本調査において、観測および実証実験は行っていない。

2.3.5 気候変動影響予測手法の検討

- ・降水量の増加は、現在と 21 世紀末の同じ頻度の時間雨量の増加率から算定した。ここでは 5 年に 1 回発生する規模の降雨を対象とした。
- ・降水量の増加による「浸水範囲」「浸水深」の変化を、二次元氾濫解析モデルを用いて評価した。
- ・人口変化に関する検討条件は、①出生性比率、②出生率、③生残率、および④移動率等の値を考慮して、全体人口、年齢構成別人口の予測を行った。
- ・下水道整備は、現行計画の 5 年に 1 回発生する規模までの整備を考慮した。

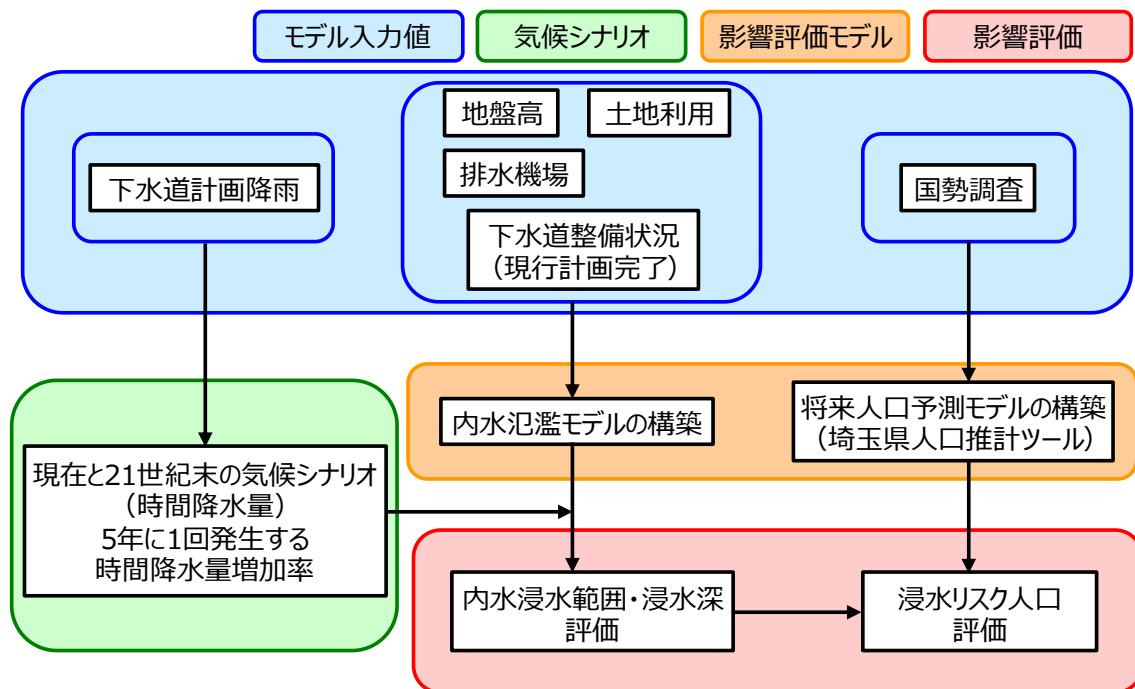


図 2-7 気候変動影響予測手法

2.3.6 影響予測モデルに関する情報

2.3.6.1 影響予測モデルに使用する外力

影響予測モデルに使用する外力については、以下のように設定した。

2.2.2 の気候モデルの出力値から、埼玉県内全体の雨量増加率は 1.3 倍となった。

そのため本検討では、一部市町村の雨水計画である、5 年に 1 回発生する規模の降雨としてピーク時間雨量 56mm/hr の降雨波形を 1.3 倍し、気候変動による増分の内水氾濫に与える影響を評価した。

現行雨水計画の降雨波形と気候変動を考慮した降水量増加後の降雨波形を以下に示す。

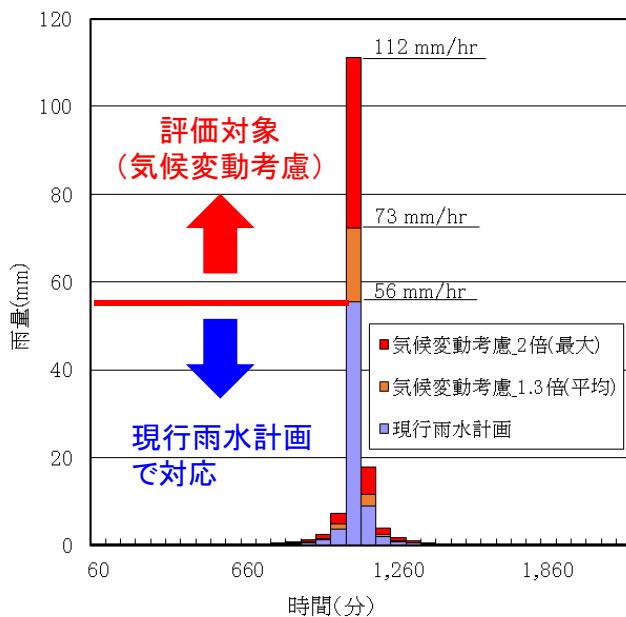


図 2-8 気候変動を考慮した降水量の増加

2.3.6.2 内水氾濫モデル

降水量の増加による「浸水範囲」「浸水深」の変化を、二次元氾濫解析モデルを用いて評価した。

内水区域をメッシュ形状にモデル化し、標高、土地利用を与え流出量を算定した。なお、各自治体の雨水整備目標が整備された状態において検討した。

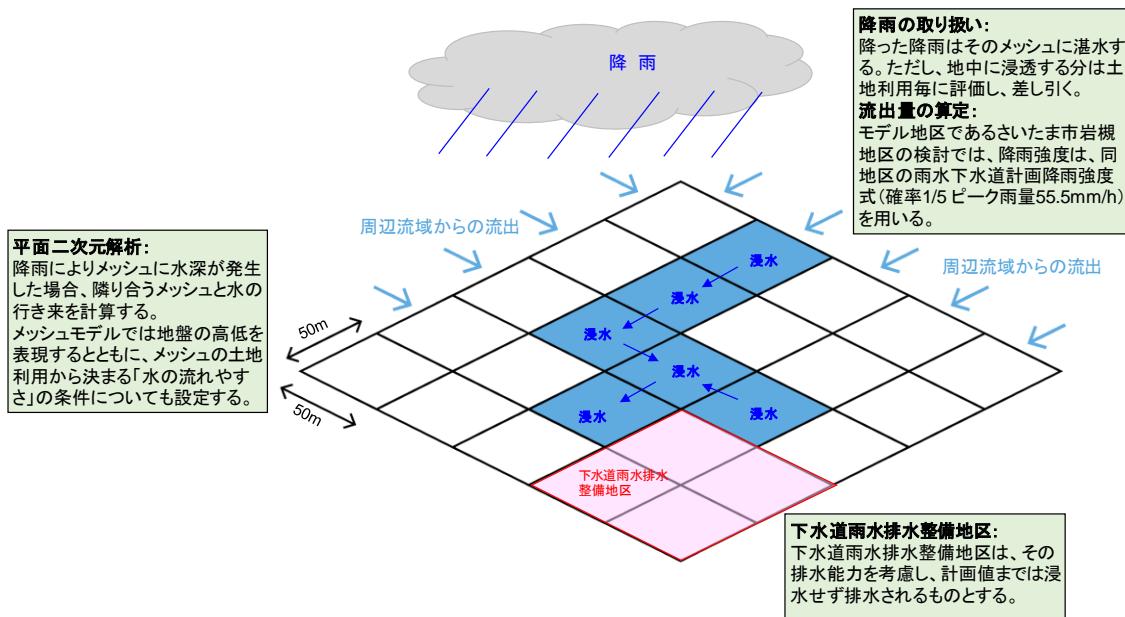


図 2-9 二次元氾濫解析モデルイメージ図

2.3.6.3 将来人口推計モデル

人口変化に関する検討条件は、①出生性比率、②出生率、③生残率、および④移動率等の値を考慮して、全体人口、年齢構成別人口の推計を行った。

将来人口の推計には埼玉県が公開している「埼玉県の市町村別将来人口推計ツール（平成 22 年国勢調査通常版）」を用いた。また、人口変化におけるパラメータの設定には、以下の資料を用いた。

1) 平成 12 年、平成 17 年、平成 22 年、平成 27 年の国勢調査結果

2) 日本の将来推計人口（平成 29 年推計）

3) 平成 27 年市町村別生命表

4) 平成 27 年人口動態統計

- ・出生性比率の男女比は 105 : 100 で固定値とする。
- ・出生率は平成 12 年～平成 27 年に実施された 4 回の国勢調査の実績から平均値（1.320%）、最大値（1.394%）、最小値（1.208%）を設定して幅を評価する。
- ・生残率は全体としては明確な変化は見られないが、60～70 歳の人口には医療条件の改善などから増加傾向が見られるため最新である、平成 27 年の生命表の値（0.922）を用いて推計を行う。
- ・移動率は他の指標に対して比較的バラツキが大きいことを確認した。移動率がプラス（転入数 > 転出数）の場合、人口が過大な値になる事があるため、平成 27 年国勢調査の国全体の転入数を考慮した。計算式は、移動率プラスの場合（移動人口 ÷ （全国人口 - 市町村人口））、移動率マイナスの場合（移動人口 ÷ 市町村人口）として、推計には幅を持たせていない。

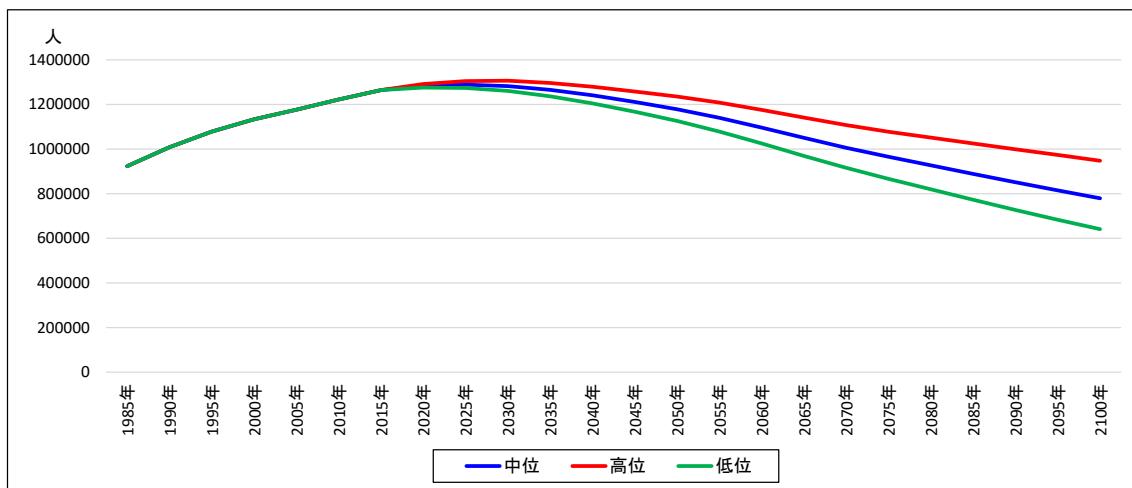


図 2-10 将来人口推計結果の例

2.3.7 影響予測に必要な入力パラメータ

地盤高、土地利用、排水機場情報、下水道雨水整備状況から内水解析モデルを構築し、現行雨水計画における降雨波形に気候変動予測モデル出力値の現在に対する21世紀末の増加率から検討に用いる降雨条件を与えて、内水浸水範囲、浸水深を算定する。

(1) 内水氾濫モデル

表 2-9 内水氾濫モデル構築に使用したデータ

No.	資料名等	使用用途	データ概要
1	地盤高データ	内水解析モデルの作成	基盤地図情報 5m メッシュ
2	土地利用データ	内水解析モデルの作成	国土数値情報
3	現行雨水計画降雨波形	現行計画の把握	降雨強度式と時間雨量
4	気象研究所 2km 力学的 DS データ（気候予測データ）	降水量増加の影響評価に使用	時間降水量 RCP8.5 現在：1980～1999年 21世紀末：2076～2095年(en)

(2) 将来人口推計モデル

表 2-10 将来人口推計モデル構築に使用したデータ

No.	資料名等	使用用途	データ概要
1	平成 27 年 国勢調査	浸水リスクの把握、人口推計	国勢調査
2	埼玉県の市町村別将来人口推計ツール (平成 22 年国勢調査 通常版)	浸水リスクの把握、人口推計	埼玉県内の市町村今後の人口を推計するツール
3	日本の将来推計人口 (平成 29 年推計)	人口推計に使用	日本全国の将来人口推計
4	平成 27 年 市町村別生命表	人口推計に使用	市町村別の生命表
5	平成 27 年 人口動態統計	人口推計に使用	人口動態調査

2.3.8 影響予測における留意事項（制限事項）

2.3.8.1 内水氾濫モデル

下水道雨水整備状況、排水機場の位置と能力を考慮しているが、排水先河川との水位関係は考慮していない。また、雨水整備状況は排水区から河川に放流可能な能力で示しており、枝線を含む詳細な流れの表現はモデル化していない。

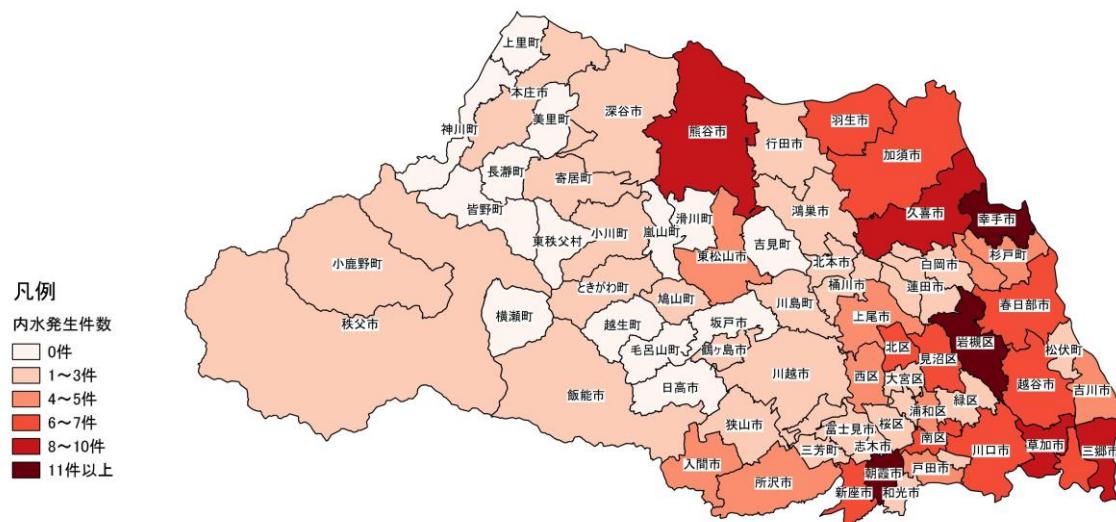
2.3.8.2 将来人口推計モデル

人口以外の社会経済条件の将来変動は考慮していない。

2.4 調査結果

2.4.1 文献調査結果

- 埼玉県内の内水被害特性の把握を行い、近年10年間で内水被害が5件以上発生している自治体が19あり、県東部の低平地に多く見られる。



※1：水害統計 2006～2015年のにおける、内水、窪地内水を集計した。

※2：2010～2012年の水害統計では、さいたま市を一括りとしているため、集計に含んでいない。(2010年：1件、2011年：3件、2012年：1件)

※3：合併を経ている自治体は、現在の区域を基準に集計している。

図 2-11 内水被害発生状況図

- 県内の49市町で内水ハザードマップを作成している(2020年2月14日時点)

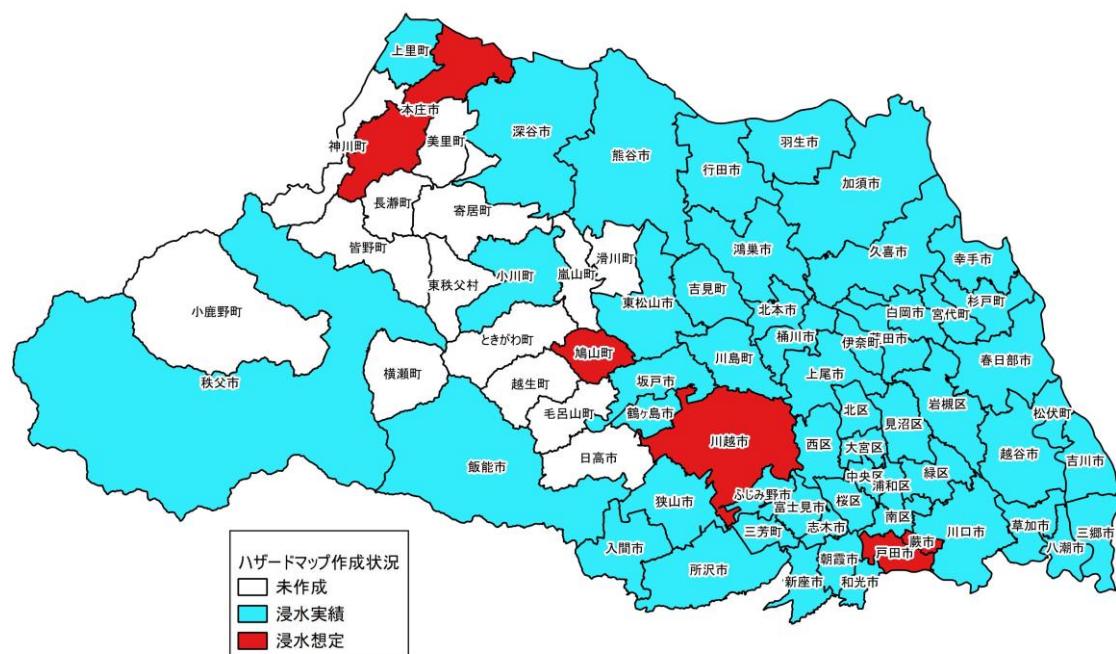


図 2-12 内水ハザードマップ作成状況図(2020年2月14日時点)

- 適応策の先進的な事例である内水排除ポンプの運用について、埼玉県内で取り組んでいる事例がある。

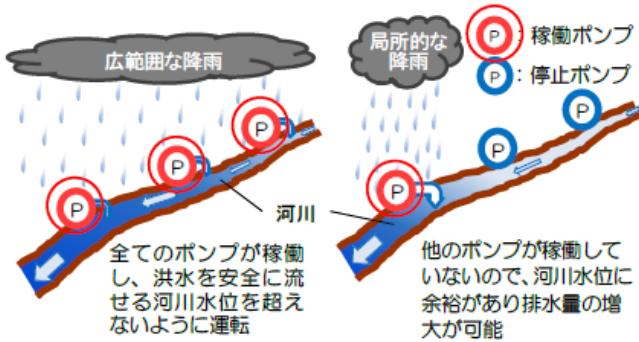


図 2-13 内水排除ポンプの弾力的運用

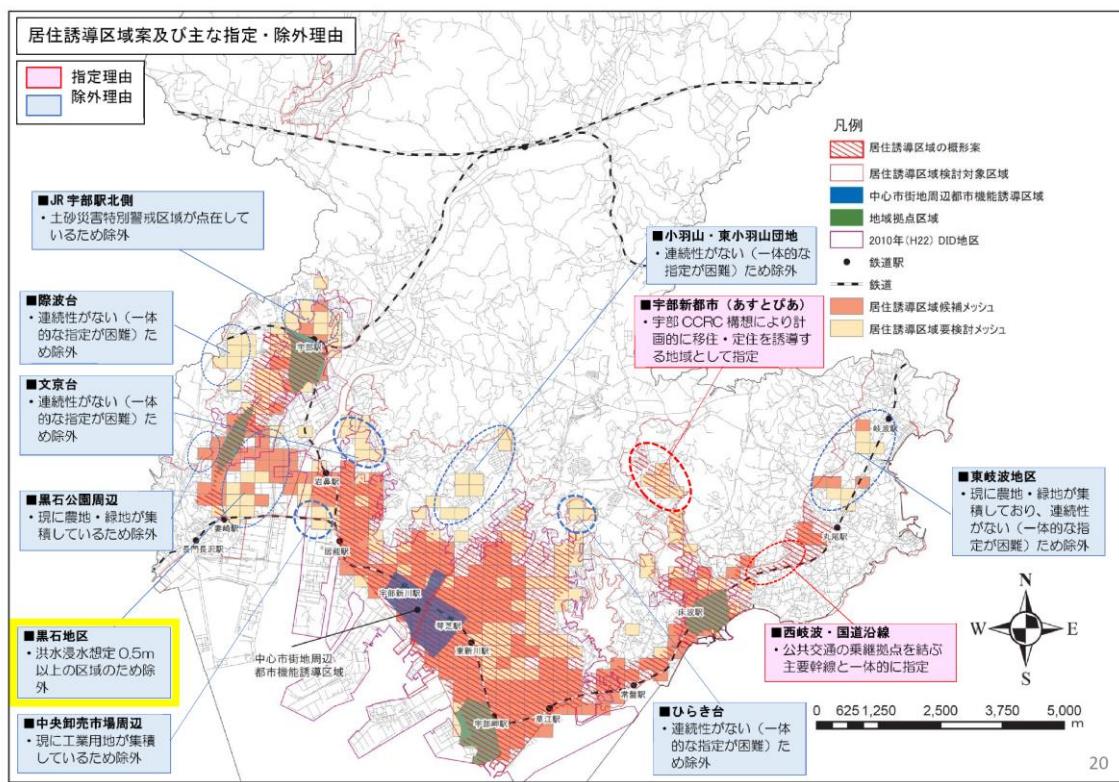
- 土地利用規制・誘導による適応策案について、既往の対策事例から規制誘導、計画誘導、市場誘導等の考え方、参考とする法令などを把握できた。

表 2-11 水害リスク回避の考え方と関連制度

分類	水害リスクに対応した規制・誘導の考え方	対象又は参考とする制度 (根拠法令等)
規制誘導	水害リスクのある区域での建築行為を禁止または制限	災害危険区域（建築基準法第39条）
	水害リスクのある地域における市街化と開発行為を制限	区域区分（線引き）（都市計画法第7条）、開発許可（同法第34条）
	水害リスク対策を含めた地区単位のまちづくりルールに基づいて土地利用や建築行為の内容を制限	地区計画（都市計画法第12条の5）
計画誘導	都市における人口減少・高齢化等を背景に居住を誘導する区域を設定するにあたり水害リスクを考慮	立地適正化計画（都市再生特別措置法第81条）
	地方自治体が議決するルールにより公共と民間が取り組むべき水害対策の内容を規定	条例の制定（地方自治法第14条第1項）
	地方自治体が住民・事業者等の任意の協力に基づき水害リスクに関する情報提供や助言・指導、対策費用の補助を実施	要綱等の任意の取り決めや補助金の交付
	建築規制の緩和によるインセンティブ（誘因）により防災施設の整備等を誘導	総合設計制度（建築基準法第59条の2第1項）等
市場誘導	水害時の財産被害補償の掛け金（保険料）の料率を水害リスクの程度に応じて差別化することでの立地抑制・対策誘導	災害保険（保険業法）の水災補償※
	不動産取引時に当該物件における水害リスクの内容を重要な説明事項とすることでの立地抑制・対策誘導	重要事項説明（宅地建物取引業法第35条）※
	住宅・宅地の災害時の安全性について共通の評価規準と表示方法を定めて市場取引の参考とする仕組み	住宅性能表示（住宅の品質確保の促進等に関する法律）※

※参考とする制度であり、実際に水害リスクに関する左列の仕組みは存在しない

出典：国土技術政策総合研究所：気候変動下の都市における戦略的水害リスク低減手法の開発, No.1080, July, 2019



出典：第5回 宇都市都市再生推進協議会資料に黄色太枠を加筆

図 2-14 水害リスク回避の住まい方検討例

2.4.2 有識者ヒアリングの結果

(気候モデルについて)

- ・検討に用いる気候モデルは本事業におけるモデル選定範囲からは、2km 空間解像度を有する NHRCM02(気象研究所 力学的 DS データ)を用いることでよいが、第一に出力値の傾向をよく確認し、気候変動による現在気候値と将来気候値の変化が現れているか等、確認を行うことが望ましい。過去の近未来予測の出力結果などは地域よっては過去の観測値より降雨量が小さくなっているようなケースもあり得る。
- ・気候予測モデルの 5 年確率降水量の再現性についてはこの程度の差であれば、再現性があると考えてよい。

(人口の将来予測について)

- ・予測手法としては現在検討中の手法、条件でよいが、結果のアウトプットとしては気候変動による外力変化と将来人口の変化による影響を切り分けてわかりやすく説明できる資料とする必要がある。

(影響の評価方法について)

- ・現在気候から将来気候に変化する影響だけでなく、現在気候でも不確実性を考慮し、生じうる降雨量、内水被害状況などを説明することが望ましい。
- ・浸水深等の数値の変化だけでなく、利便性、交通、死者の発生、生活に与える影響を説明できるような方法を検討していただきたい。特に最近の生活や意識を考えるとインフラや交通網の与える影響からの不便性の評価なども重要ではないか。
- ・浸水深、浸水範囲などを図でわかりやすく示して影響を説明する方法も考えられる。

(適応策について)

- ・流域で取り組む貯留施設による対応についても効果や実現性などを検討することが望ましい。
- ・ポンプ運用については、AI 技術を活用して精度向上を図ることができる可能性がある。具体的にどのような弾力的運用方法を考えているのか埼玉県に確認して検討を行う。
- ・警戒避難に関する適応策は、商店街の資産を守るという観点の対策も重要となる場合がある。郡山市の検討会でそのような課題が扱われたことがある。
- ・住まい方の変化に関する適応策は、浸水危険度の高い区域は保険料率を高く設定するなどの民間事業を活用した対策案も考えられる。
- ・ポスター案について、適応オプションの貯留施設についても埼玉県の特性を表した写真や図などとするとわかりやすい。

2.4.3 観測や実証実験の結果

観測や実証実験は行っていない。

2.4.4 気候変動影響予測結果

埼玉県内における地域毎に検討の優先度を各種指標から評価し、優先度の高い自治体を抽出した。

埼玉県が公表している地域区分に基づき各地域から抽出するものとし、抽出に用いる指標は、内水被害発生回数だけでなく、浸水戸数等も含めた。

さらに、浸水被害実績だけではなく、中核市であることや各地域での自治体の位置なども勘案し、整理した。

その結果抽出した代表自治体において内水浸水範囲が拡大する可能性が示された。また、浸水リスク人口を算出した結果については次頁以降に示す。

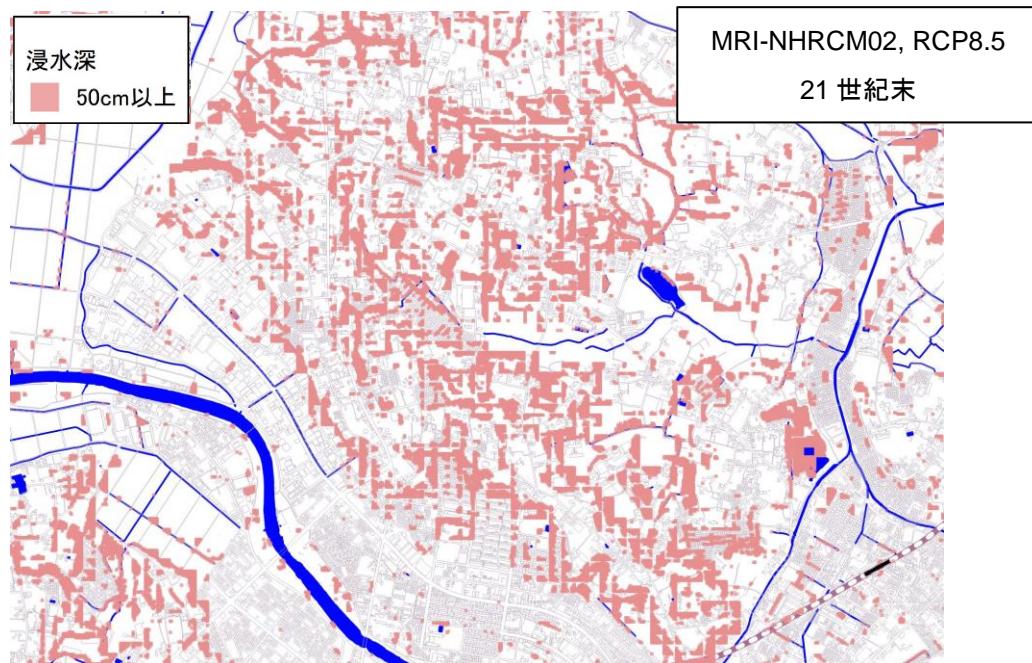


図 2-15 73mm/h^{※1}（現行の 1.3 倍）の降水時の浸水予測^{※2,3}

※1：現行の雨水整備目標である 5 年に 1 回発生する降雨（56mm/h：一部市町村の想定雨量）は将来気候変動により 1.3 倍の 73mm/h（21 世紀末 RCP8.5）に増加する可能性がある。

※2：50cm は災害時に避難が困難となる水深

※3：一般的な作成マニュアルに基づく浸水想定区域図とは作成条件が異なる。

2.4.4.1 総浸水リスク人口と65歳以上浸水リスク人口

- ・総人口については、現在人口に対して将来人口の場合、10市全てにおいて浸水リスク人口は減少する。
- ・現在人口の浸水リスク人口数に対する将来人口の浸水リスク人口数の減少率は、都心に最も近い県南ゾーンに比べると、圏央道ゾーンの方が大きく、都心から最も遠い県北ゾーンはさらに大きい。
- ・65歳以上人口についても、総人口と同様に、現在人口に対して将来人口の浸水リスク人口は減少するが、減少率は小さい。

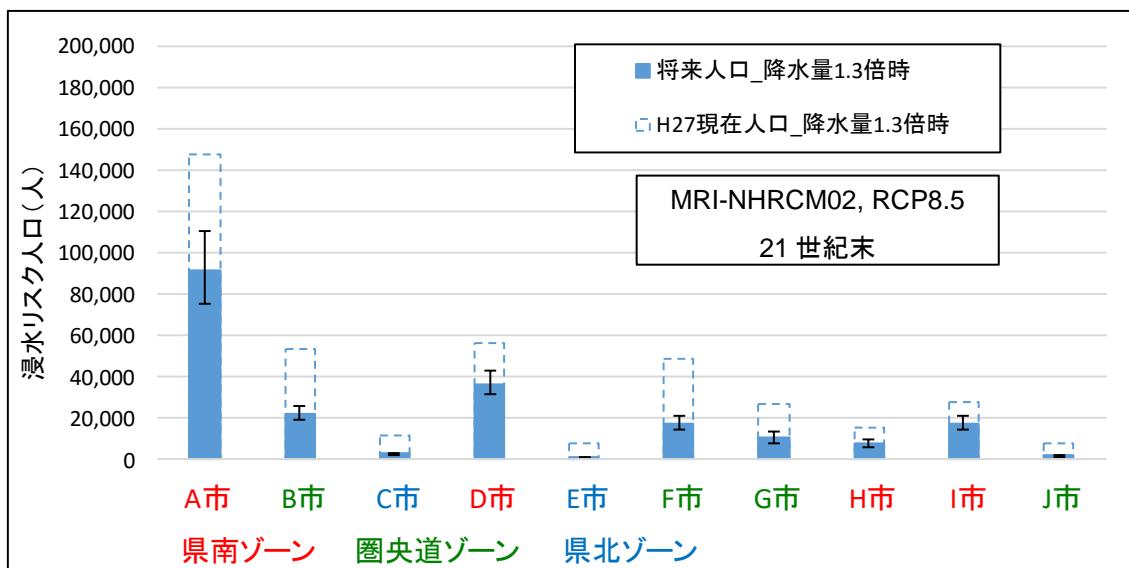


図 2-16 代表自治体での気候変動・人口変動考慮時の総浸水リスク人口

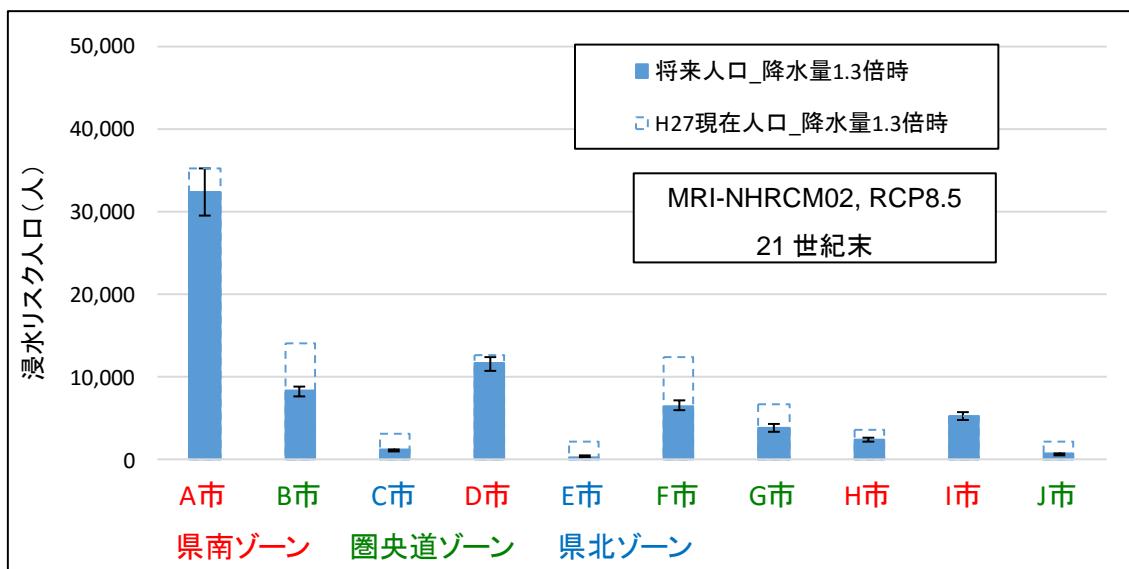


図 2-17 代表自治体での気候変動・人口変動考慮時の65歳以上浸水リスク人口

2.4.4.2 都市の規模（面積）を考慮した場合の浸水リスク人口

- ・浸水リスク人口を単純に集計すると、その自治体の人口の母数や、面積など自治体の規模が影響する。そのため、自治体の規模の影響を少なくするために、単位面積当たりの浸水リスク人口として整理すると県南ゾーンの中でもI市が最も多くなる。
- ・単純に浸水リスク人口を集計するよりも、浸水リスク人口密度とすることで、その自治体における被害の大きさを把握することができる。

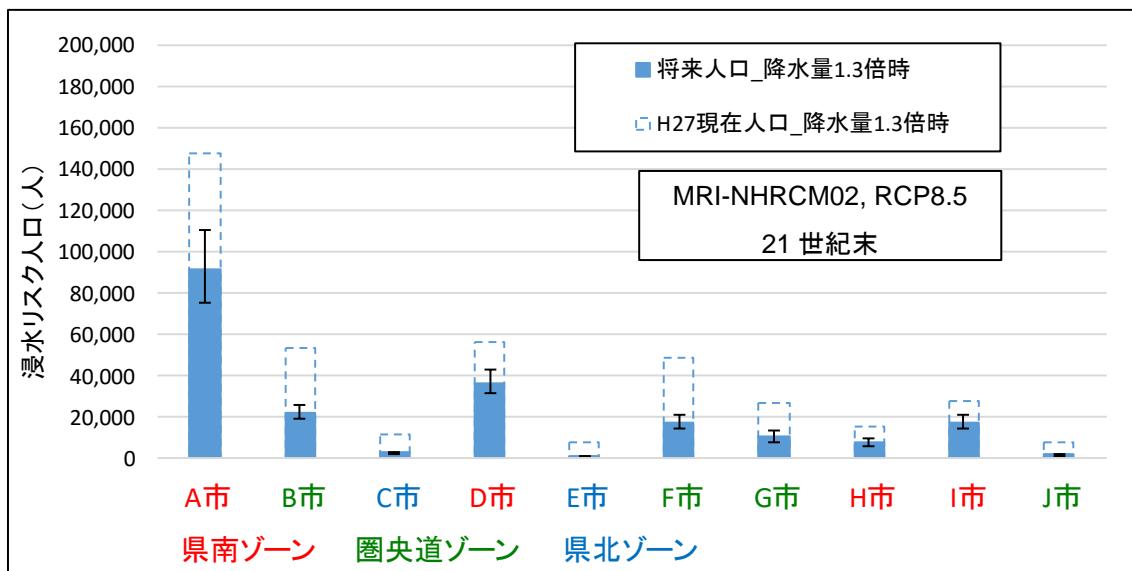


図 2-18 代表自治体での気候変動・人口変動考慮時の総浸水リスク人口

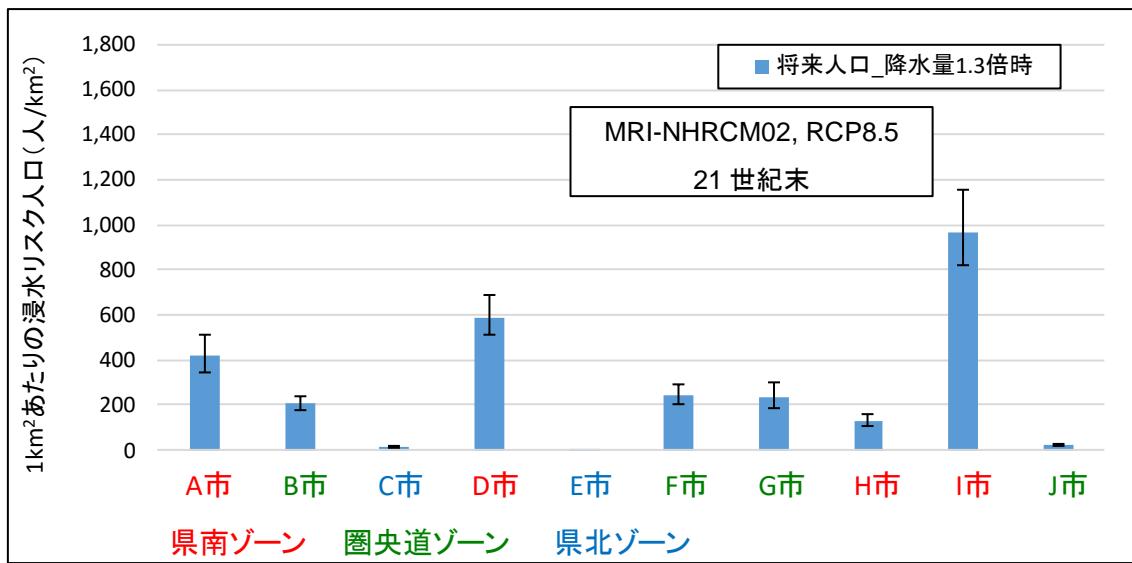


図 2-19 代表自治体での気候変動・人口変動考慮時の1km²あたりの総浸水リスク人口

- ・浸水深のランク別浸水リスク人口を算出し、浸水深と浸水リスク人口の関係を整理した。
- ・深水深のランクは①要援護者の避難が困難 0.3m、②床上浸水 0.45m、③避難が困難 0.5m、④1階の軒下まで浸水 1.0mとした。
- ・総浸水リスク人口ではどの浸水深でも県南ゾーンの特に A 市が多い。
- ・自治体の規模を考慮し、1km²当たりの浸水リスク人口を算出すると県南ゾーンの D 市や I 市で多くなる。

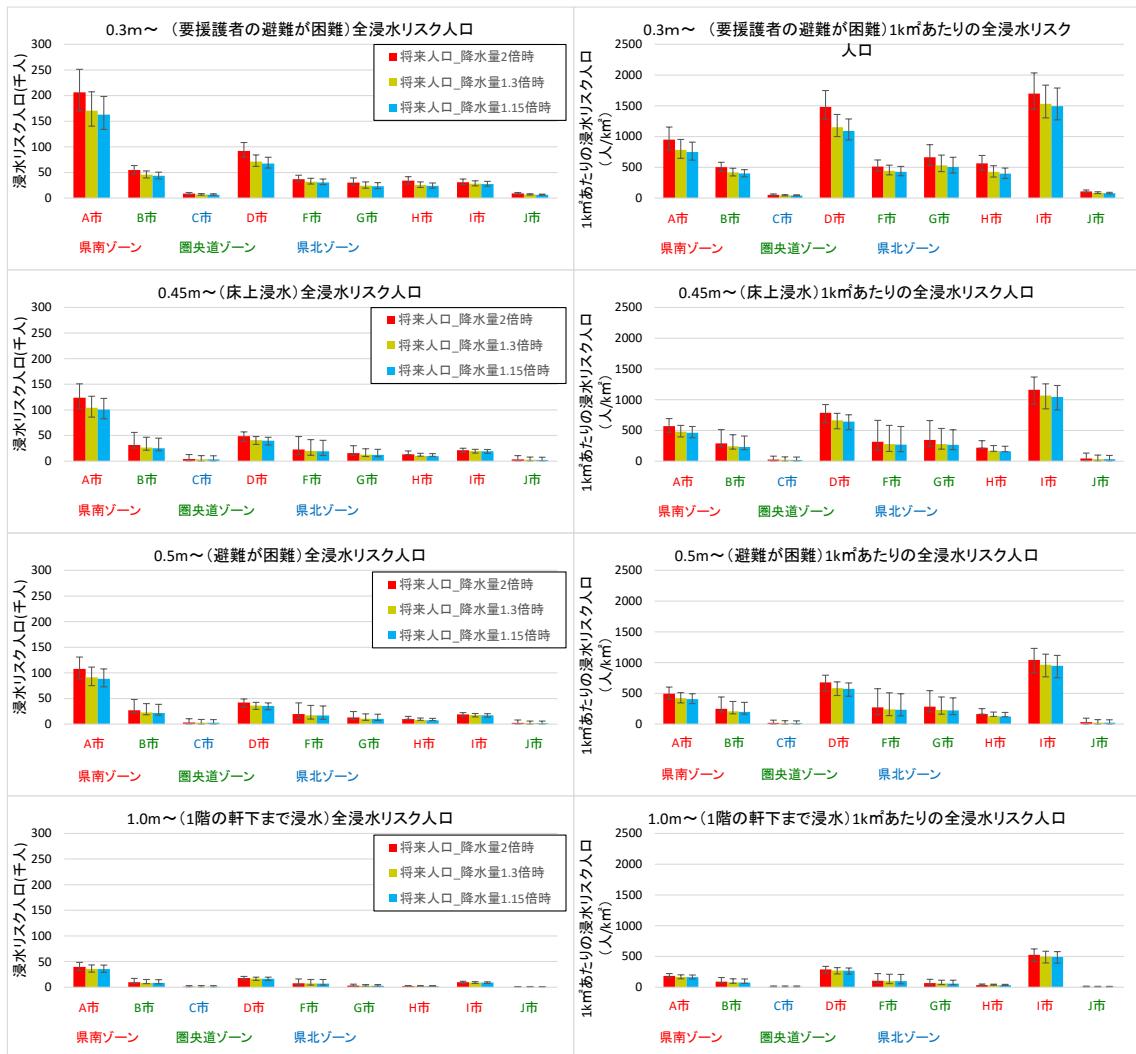


図 2-20 浸水ランクごとの浸水リスク人口

2.4.5 結果を活用するまでの留意点・制限事項

本調査では、気候変動による降水量の増加と人口変動を将来の内水氾濫範囲・浸水深の変化に与える影響を対象とした。

本調査において気候変動影響予測を実施するに当たり、下記の影響は考慮していないことに留意が必要である。

2.4.5.1 気候モデル

- ・1つの気候予測モデルの将来予測シナリオに基づく予測結果であり、他の将来予測結果の不確実性を考慮していない。

2.4.5.2 内水氾濫モデル

- ・下水道雨水整備状況、排水機場の位置と能力を考慮しているが、排水先河川との水位関係は考慮していない。
- ・雨水整備状況は排水区から河川に放流可能な能力で示しており、枝線を含む詳細な流れの表現はモデル化していない。
- ・下水道の整備状況や整備目標は地域によって異なるため、モデルへの反映方法や、外力の設定に留意する必要がある。

2.4.5.3 社会経済条件

- ・社会経済条件は対象地域単位の人口の変動のみ考慮しており、計算メッシュ単位での人口変動は考慮していない。
- ・将来人口推計における不確実性は出生率を考慮しているのみである。
- ・将来人口推計には埼玉県が公開しているツールをベースとして用いているが、21世紀末まで予測するためにツールを加工して予測期間を延伸している。

2.5 適応オプション

2.5.1 手順

代表自治体における内水浸水リスクに関する指標を踏まえて適応策の検討を行った。

適応策はハード対策、ソフト対策案を抽出してそれらの効果、特徴を整理する。検討の手順は下図のとおりである。

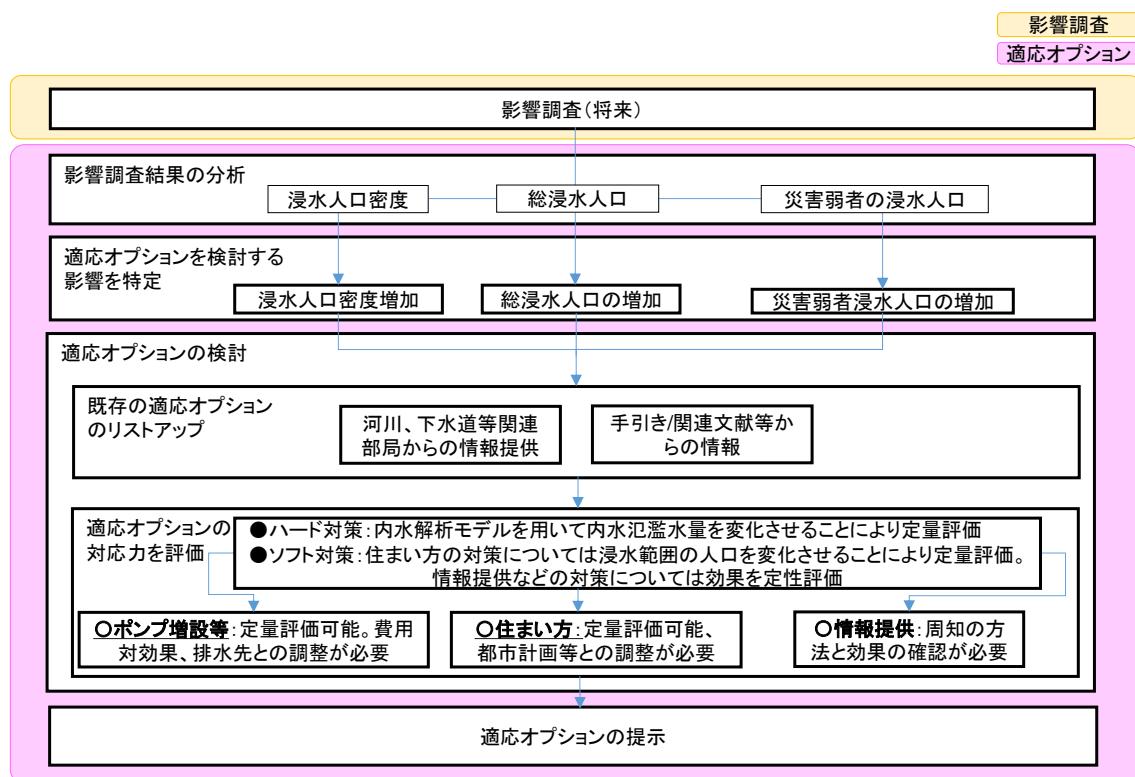


図 2-21 適応オプション検討フロー

2.5.2 概要

適応オプションの一覧とその概要・評価は以下のとおりである。

次頁以降に各適応オプションの内容を示す。

表 2-12 内水氾濫リスク軽減のための適応オプション評価表

適応オプション	想定される実施主体			評価結果								備考	
	行政	事業者	個人	現状		実現可能性				効果			
				普及状況	課題	人的側面	物的側面	コスト面	情報面	効果発現までの時間	期待される効果の程度		
貯留施設の追加導入 (ハード対策：貯める対策)	●	●		普及が進んでいる。	・貯留施設設置の用地確保、費用が必要。 ・効果は降雨波形の影響をうける。	△	○	△	◎	短期	高	事例が多く、設置直後に効果が期待できる。	
内水排除ポンプの弾力的運用 (ハード対策：流す対策)	●			一部普及が進んでいる。	・予測情報（内水域、排水先河川）の精度により効果に影響する。 ・運用のみだと効果が限定される。	△	○	△	△	短期	中	事例が少なく、効果の高い運用方法については検討・精度向上を図る必要がある。	
内水排除ポンプ設置 (ハード対策：流す対策)	●			普及が進んでいる。	・排水先河川との運用の調整が必要。 ・本川水位の状況によっては排水できない。 ・ポンプ設置の費用と用地確保が必要。	△	○	△	◎	長期	高	事例があり効果が期待できるが、排水先河川との調整に時間を要す。	
浸水情報の収集・伝達：内水ハザードマップ更新 (ソフト対策)	●			普及が進んでいる。	・効果の定量的評価が困難。 ・実行力のある周知方法が必要。	△	○	△	◎	短期	中	作成事例が多く周知は短期に行うことができる。効果は住民意識等にも影響される。	
土地利用規制・誘導 (ソフト対策)	●	●	●	普及が進んでいない。	・都市計画との調整。 ・実施、制度化をどのようにするか。	△	△	△	△	長期	高	事例が少なく、埼玉県に適した方法・制度化に時間を要す。	

表 2-13 適応オプションの考え方と出典

適応オプション	適応オプションの考え方と出典
貯留施設の追加導入 (ハード対策：貯める対策)	<ul style="list-style-type: none"> ・気候変動による降水量の増加を貯留施設を設置することにより浸水を軽減する方法である。 ・開発に伴う流出増分に対応する貯留施設は数多くあるが、降水量の増加に対応した事例は少ない。
内水排除ポンプの 弾力的運用 (ハード対策：流す対策)	<ul style="list-style-type: none"> ・既存排水機場などを活用し、排水先河川の水位状況に応じて効果的な操作を行うことにより浸水を軽減する方法である。 ・埼玉県内の一一部河川で検討・運用実績あり。効果は未確認。
内水排除ポンプ設置 (ハード対策：流す対策)	<ul style="list-style-type: none"> ・地形的に自然排水が困難な地域の内水浸水を機械的に河川・水路に排水する方法である。 ・埼玉県河川砂防課資料より、埼玉県内に 18 箇所、代表都市とした 10 自治体には 12 箇所の排水機場があり、6 自治体が既存排水機場の対象流域となっている。排水先河川との調整が困難。
浸水情報の収集・伝達：内水ハザード マップ更新(ソフト対策)	<ul style="list-style-type: none"> ・気候変動による降水量の増加を考慮した浸水想定図を作成し、危険度の把握、避難支援に関する情報提供を行う方法である。 ・埼玉県内 49 自治体が内水ハザードマップを作成しているが、ほとんどが過去の浸水実績に基づいて作成されており、内水浸水被害が生じる降雨がどの地域でも発生するとした情報となっていない。
土地利用規制・誘導 (ソフト対策)	<ul style="list-style-type: none"> ・浸水想定図を参考に、危険度の低い地域への住まいの変更、土地利用計画の変更等が考えられる。 ・埼玉県内における事例はないため、他自治体での事例を参考に示す。

2.5.3 本調査において着目した適応オプション

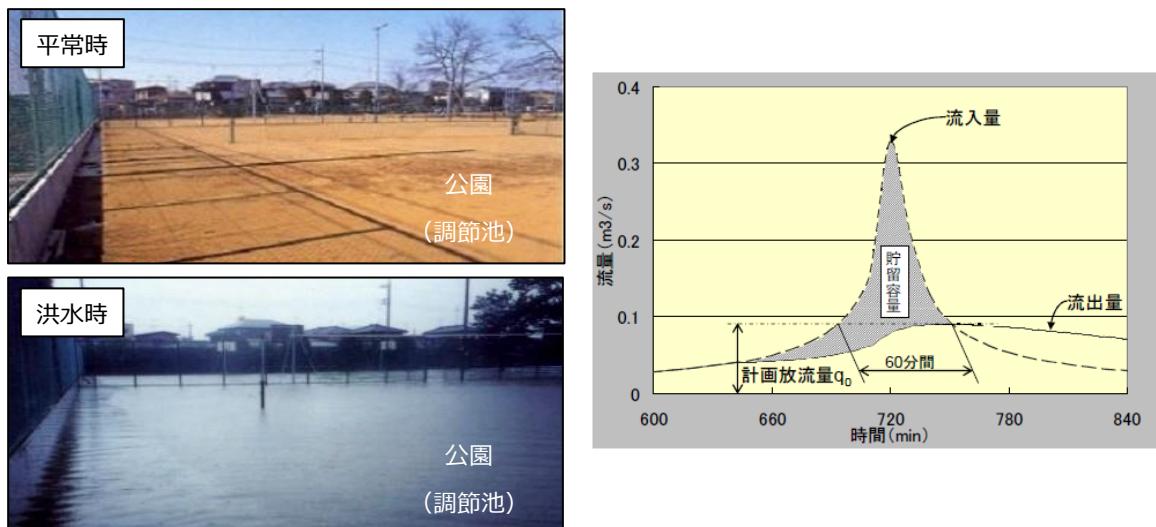
2.5.3.1 貯留施設の追加導入（ハード対策：貯める対策）

実施を想定する地域：埼玉県内の内水被害の影響が大きな地域

気候変動影響：内水浸水人口、被災の影響の深刻化

技術・特徴・期待される効果等：

- 雨水を一時的に貯留させる施設を設置し、下水道への負担を軽減しすることで内水被害を軽減する。
- 貯留施設を新規に設置するため、費用や用地が発生する。ただし、公園や学校などの公共用地を有効に活用できる。
- 効果は降雨波形の影響を受けるため、内水被害軽減効果に差が生じる。
- 一時的に雨水を貯留し、洪水のピークをずらして排水することができる。
- 貯留施設を設置する場合、下水道事業の計画に盛り込む必要があるため、計画の変更が必要になる。



出典：埼玉県（左）、名古屋市雨水流出抑制施設設計指針（右）

図 2-22 貯留施設設置イメージ図

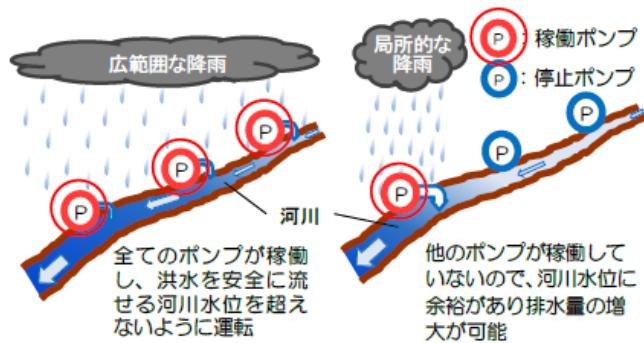
2.5.3.2 内水排除ポンプの弾力的運用（ハード対策：流す対策）

実施を想定する地域：埼玉県内の内水被害の影響が大きな地域

気候変動影響：内水浸水人口、被災の影響の深刻化

技術・特徴・期待される効果等：

- 降雨の分布に合わせて、内水排除ポンプを通常とは異なる弾力的な運用をすることで、局所的豪雨に対して、内水被害を軽減する。
- 既存の内水排除ポンプの運用変更のみであるため、経済的。
- 埼玉県内的一部河川では既に検討・運用実績がある。
- 降雨と排水先河川の予測情報精度の影響を受けるため、被害軽減効果に差が生じる。



出典：岡田，菊池，長谷部:内水排除ポンプの弾力的運用の導入について，土木学会第73回年次学術講演会，2018

図 2-23 内水排除ポンプの弾力的運用イメージ図

2.5.3.3 内水排除ポンプ設置（ハード対策：流す対策）

実施を想定する地域：埼玉県内の内水被害の影響が大きな地域

気候変動影響：内水浸水人口、被災の影響の深刻化

技術・特徴・期待される効果等：

- ・ 内水域の雨を下水道を通じて、排水先の河川に排水するポンプを設置し排水することで、下水道から雨水が溢れることを防ぎ、内水被害を軽減する。
- ・ 排水先の河川水位が高い場合は、ポンプから排水できない場合があるため、排水先河川との調整が必要になる。
- ・ 内水排除ポンプを設置する場合、下水道事業の計画に盛り込む必要があるため、計画の変更が必要になる。

2.5.3.4 排水路の拡大（ハード対策：流す対策）

実施を想定する地域：埼玉県内の内水被害の影響が大きな地域

気候変動影響：内水浸水人口、被災の影響の深刻化

技術・特徴・期待される効果等：

- ・ 既存下水道の水路を拡幅することで流下能力を向上させ、内水被害を軽減する。
- ・ 水路を拡幅するため、新たな費用や用地が必要になる。
- ・ 水路の一部を拡幅しただけでは効果が小さく、集水区域全体における面的な整備を実施しないと被害軽減効果を発揮できない。
- ・ 流下能力が向上したことにより、排水先河川への負担が大きくなることから、排水先河川との調整が必要になる。
- ・ 排水先河川の水位が高い場合、排水できないため被害軽減効果を発揮できない。

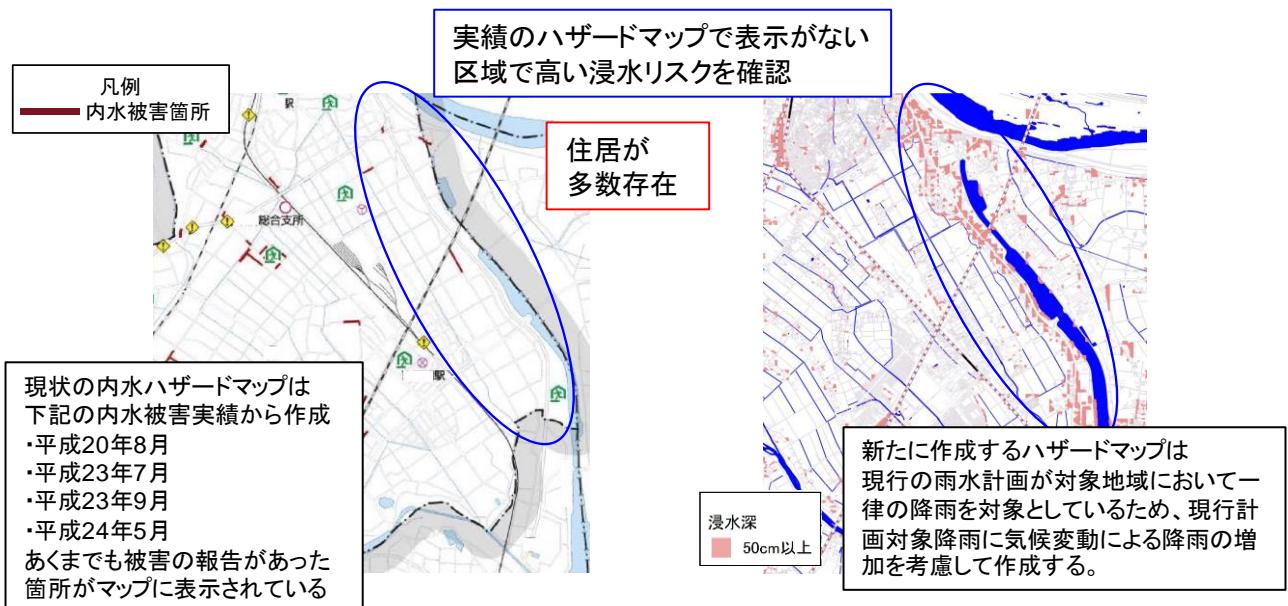
2.5.3.5 浸水情報の収集・伝達/内水ハザードマップ更新(ソフト対策)

実施を想定する地域：埼玉県内の内水被害の影響が大きな地域

気候変動影響：内水浸水人口、被災の影響の深刻化

技術・特徴・期待される効果等：

- 将来の気候変動の影響を加味した内水ハザードマップを作成することで、内水浸水リスクを事前に周知する。
- 現在多くの自治体で作成されている実績の降雨による内水被害だけでなく、潜在的な危険度を周知できる。
- 内水被害軽減効果に対しての定量的評価は困難。
- 作成するだけではなく、住民に積極的に周知していくことが必要である。



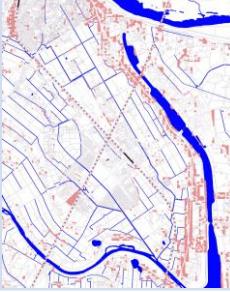
出典：現状の内水ハザードマップ（左）、気候変動を考慮した内水浸水区域（右）

図 2-24 浸水情報の収集・伝達/内水ハザードマップ更新イメージ図

適応オプションとして挙げているハザードマップの作成・更新について、現状で作成されているものとは作成方法が異なる。

以下に、現状の内水ハザードマップと気候変動を考慮した内水ハザードマップの作成方法の違いについて整理した。

表 2-14 ハザードマップの作成状況と方法の比較

漫水情報の収集・伝達/内水ハザードマップ更新(ソフト対策)		
	現状の内水ハザードマップ	気候変動を考慮した内水ハザードマップ
作成方法	内水被害が発生したとの報告を受けた場所に対して、地図上で浸水実績箇所としてマップに記載して作成 (一部自治体では、氾濫解析により作成)	気候変動を考慮した降雨を用いて氾濫解析により浸水範囲・浸水深を算定することにより作成
対象降雨	実績の降雨(下記は例で、雨量はさいたま観測所) ・平成20年8月降雨：ピーク時間雨量29.5mm ・平成23年7月降雨：ピーク時間雨量21.5mm ・平成23年9月降雨：ピーク時間雨量31.0mm ・平成24年5月降雨：ピーク時間雨量16.5mm	既存の下水道計画降雨に対して、気候変動による降雨の増加率を乗じた降雨を対象範囲に対して空間的に一様に与える。 さいたま市の現行下水道雨水計画雨量56mm/hrを気候変動による降雨の増加率1.3倍を乗じて時間雨量73mm/hrを対象とする。
特徴・課題	・被害実績により作成するため、データの更新が容易であり、近年の浸水範囲の情報の周知としては効果がある。 ・一方で、これまで発生していない強度の降雨による浸水リスクは評価できないため、対象降雨で浸水被害が発生しなかった場所の潜在的な浸水リスクを示すことができない。 ・被害報告から作成するため、報告がない場合ハザードマップに反映できない。	・一様な降雨で解析を行うため、今まで被害が発生していない箇所に対して、潜在的な浸水リスクを示せる。 ・また、5年に1回発生する降雨から発生頻度の低い降雨まで様々な条件に応じた浸水リスク情報の提供が可能 ・場所によって浸水深を示せるため、災害時の避難などの情報にも活用することができる。 ・施設整備状況や適応策の効果を反映することができる。 ・モデル化、計算が必要であり作成に時間を要する。
作成例	 <p>凡例 — 内水被害箇所</p>	 <p>浸水深 ■ 50cm以上</p>

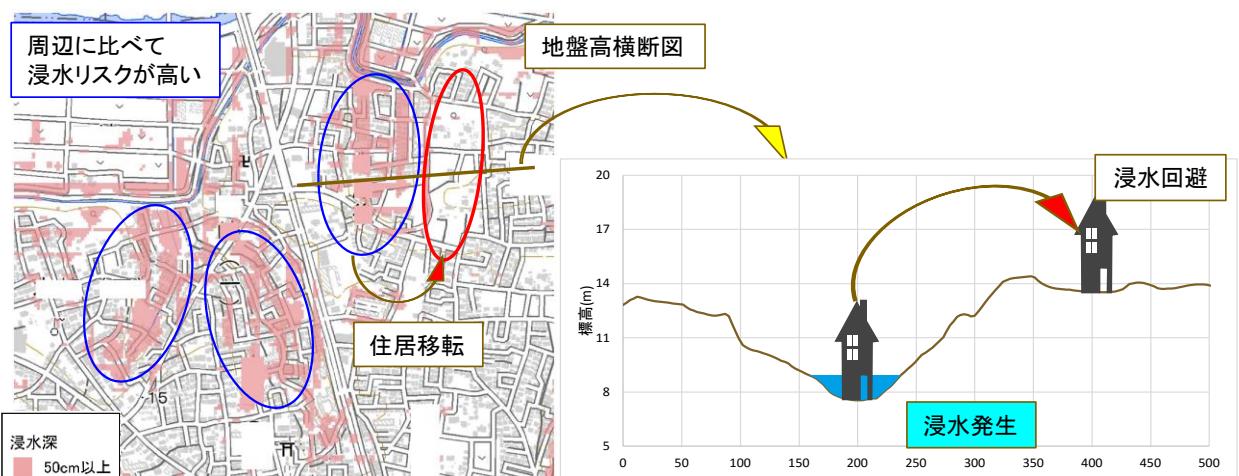
2.5.3.6 土地利用規制・誘導(ソフト対策)

実施を想定する地域：埼玉県内の内水被害の影響が大きな地域

気候変動影響：内水浸水人口、被災の影響の深刻化

技術・特徴・期待される効果等：

- ・ 内水被害リスクが高い地域に対して、規制や誘導をすることで、内水浸水リスクを事前に周知する。
- ・ 貯留施設等の新規構造物は不要であり、排水先河川との調整も不要。
- ・ 規制する場合、既存の住宅地等を移転させる可能性もあるため、都市計画との調整が必要になる。
- ・ 現時点では制度化されたものではなく、住民に対して強制できる力はないため、今後の制度化や仕組み作りが課題である。



出典：気候変動を考慮した内水浸水区域（左）、国土地理院数値標高モデルよりパシフィックコンサルタンツ作成（右）

図 2-25 土地利用規制・誘導イメージ図