

3.5. 生態系を活用した防災・減災（Eco-DRR）適応策の検討

3.5.1. 概要

3.5.1.1. 背景・目的

気候変動に伴う洪水リスクの増大が懸念される中、生態系を基盤とした防災・減災（Eco-DRR）への関心が高まりつつある。Eco-DRR とは、脆弱的な地域から人命と財産を遠ざけ、生態系を自然現象と人命・財産との緩衝帯として用いることで、防災・減災を図ろうとするものである。

生態系を活用した防災・減災の重要性は謳われているものの、将来の気候変動に対して、生態系の災害リスク軽減効果はどれくらいあるのか、また、Eco-DRR は土地利用の見直しに伴う可能性もあり住民等の合意形成も重要であるが、どのように地域に受容されていくのかの道筋はまだ明確となっていない。

そこで、気候変動に対する適応策のひとつとして考えられる Eco-DRR の社会実装について検討するため、徳島県をモデルとして、人工林の林相改善（森林の多面的機能を高めるため 森林を構成する樹木の構成を改良すること）による流出抑制および窪地地形における水田貯水の効果の検証を試みるとともに、大型希少鳥類をインセンティブとした Eco-DRR 適応策を地域に実装するための方策を検討するものである。

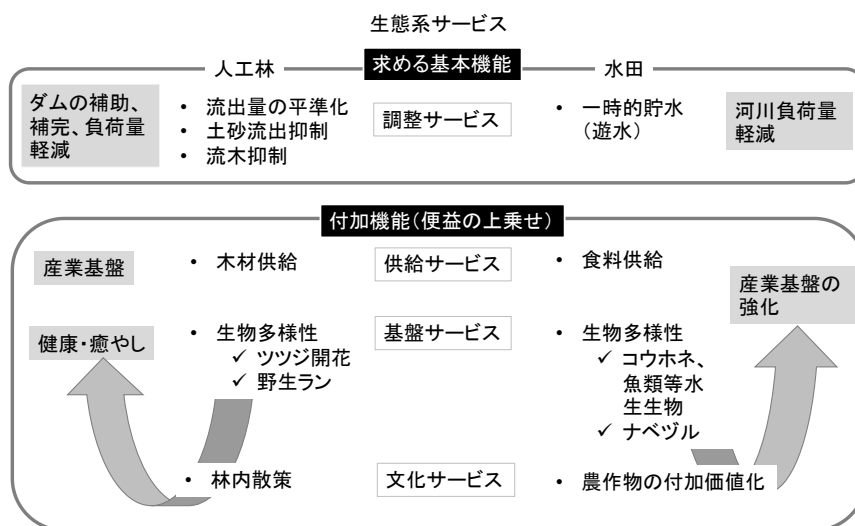
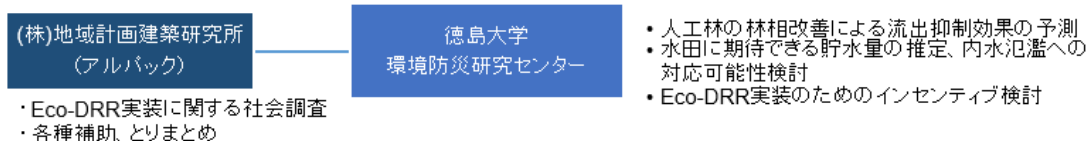


図 3.5.1 気候変動に伴う豪雨出水適応としての Eco-DRR 基本的考え方（徳島大学作成）

3.5.1.2. 実施体制

本調査の実施者：株式会社地域計画建築研究所、国立大学法人徳島大学環境防災研究センター

アドバイザー：国立大学法人徳島大学環境防災研究センター 教授 鎌田 磨人、同 教授 武藤 裕則、同 准教授 田村 隆雄



3.5.1.3. 実施スケジュール（実績）

3年間の調査計画を下図に示す。初年度（平成29年度）は、既往知見の整理や資料調査を行うとともに、人工林からの流出予測モデルおよび氾濫解析モデルの構築、改善を行った。2年目は引き続きモデルの調整を行うとともに、将来気候データのバイアス補正を行った。また、Eco-DRR実装のためのインセンティブに関する社会調査として、ステークホルダーへのアンケート調査およびヒアリング調査を実施した。3年目は、人工林の林相改善による流出抑制効果および水田に期待できる洪水調節量の検証を行うとともに、水田を用いた Eco-DRR 実装における課題の集約および実装に向けた適応オプションの洗い出しを行った。

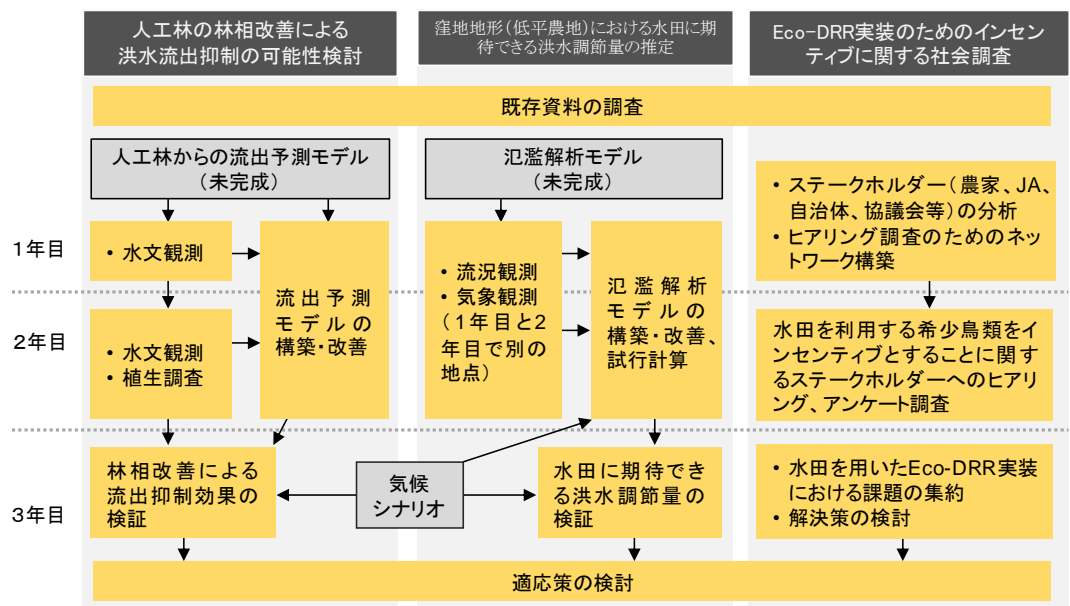


図 3.5.2 3年間の調査フロー

3.5.1.4. 気候シナリオ基本情報

本調査に関する気候シナリオの基本情報を下表に示す。なお、窪地地形（低平農地）に関する調査において、潮位についてもインプットデータとして用いているが、IPCC 第5次報告書を参考に+90cmと設定を行った。

表 3.5.1 気候シナリオ基本情報

項目	人工林のピーク流出低減効果	窪地地形（低平農地）の湛水
気候シナリオ名	温暖化予測情報第9巻 by 創生プログラム	
気候モデル	MRI-NHRCM05	
気候パラメータ	降水	
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	あり（地域）	

3.5.1.5. 気候変動影響予測結果の概要

① 人工林の林相改善による洪水流出抑制の可能性検討

一般的な針葉樹人工林である白川谷森林試験流域の現状を、調査エリアであるスギの針広混交林のへ林相転換することで、洪水ピーク流出高は、約 12%減少する結果となった。林相と施業方法を改善することで人工針葉樹・一般施業型森林の洪水低減機能は改善する可能性が示された。

※林相改善モデル (B) は林相転換して約30年経過した状態を想定したモデル

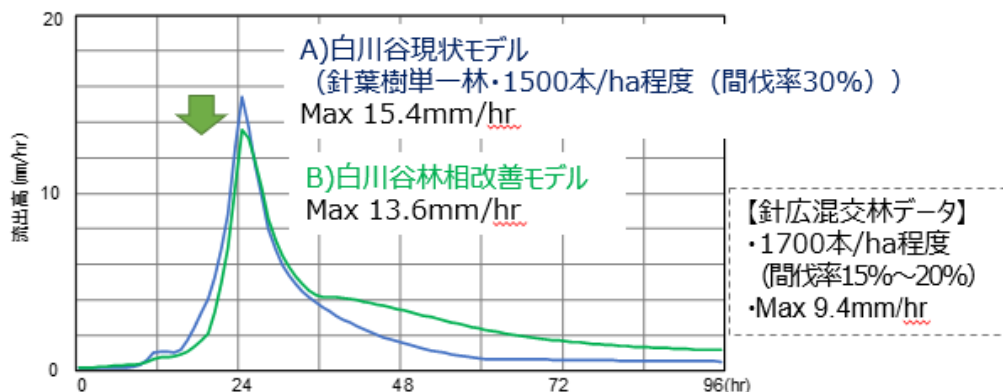


図 3.5.3 林相改善による洪水流量抑制効果 (21 世紀末、RCP8.5、MRI-NHRCM05)

② 窪地地形 (低平農地) における水田に期待できる洪水調節量の推定

調査エリアにおいて、降水量の増加により、対象エリアの窪地における湛水量は、現在と比較して 1.1 倍程度となる可能性がある。また、降雨に加えて潮位が変化する場合の影響は、ピーク時湛水量の増加は約 2 倍となる。

将来の湛水面積のうち、現在の土地利用は約 90%が水田であり、宅地化により湛水可能な水量が減少すると考えられるため、水田の保全が前提となる。一方、水田の湛水深は 0.3m 以上となる可能性もあり、農作物への影響も懸念されることから、窪地の水田が宅地への被害回避への貢献を評価する仕組みや農地維持支援策が必要と考えられる。

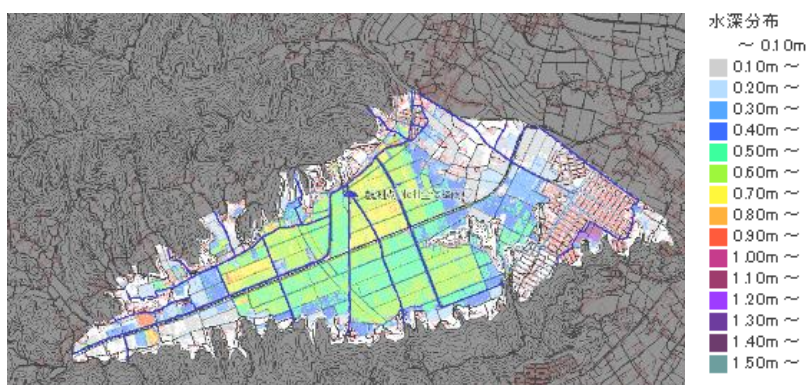


図 3.5.4 土地利用および水深別湛水面積 (21 世紀末、RCP8.5、MRI-NHRCM05)

③ Eco-DRR 実装のためのインセンティブに関する社会調査

徳島県でのナベヅル新越冬地形成のため、餌資源量と農業者意識の評価を行った。餌資源調査では、飛来地では「ナベヅルの餌となる二番穂 (稲刈りをした後の株に再生した稲) をもつ水田が多

い」「ナベヅルの餌となる畦畔植生も多い」「餌が多くても道路密度が高い地区にナベヅルは来ない」という特徴があった。また、農家の意識調査では、ナベヅルの飛来に対して否定的な人の割合は少ないが、一部、飛来への否定的な農家については、丁寧な説明により評価が好転する可能性があることが示唆された。また、一方、越冬を助ける農法に取り組みたいかどうかについては、ほとんどがわからないと回答しており、営農指導や広報等を連携することで、導入につながる可能性がある。

さらに、徳島県海陽町及び阿南市において水・湿性絶滅危惧植物を対象に、希少種の存在の有無と内水氾濫時の浸水特性との関係性を把握した。以上のことから、低平地水田においては、氾濫水を適切に誘導・制御することが多面的機能の発揮及び維持において重要であることが示唆された。

また、三重県雲出川流域での視察から、農地を遊水地として治水に活用している地域が実存すること、施策として実現可能であることが確認された。

3.5.1.6. 活用上の留意点

① 本調査の将来予測対象とした事項

ア 人工林の林相改善による洪水流出抑制の可能性検討

本調査では、スギ・ヒノキからなる一斉植林皆伐型施業林を、多種類の広葉樹が混じるとともに、様々な樹齢のスギ・ヒノキが混在する混交複層林に転換して約 30 年が経過した時点での洪水流量抑制効果を想定し、検討を行った。降雨条件を与えるにあたっては、各時代における降雨波形の特徴から代表波形を定め、波形の違いによる影響も検討した。

イ 窪地地形（低平農地）における水田に期待できる洪水調節量の推定

調査では、気候変動に伴う降雨量（年最大 24 時間降雨量）と海面潮位の変化が洪水氾濫に与える影響と窪地地形の水田における洪水調整量を検討した。降雨条件は、各時代における降雨波形の特徴から代表波形を定め、波形の違いによる影響も検討した。

② 本調査の将来予測の対象外とした事項

ア 人工林の林相改善による洪水流出抑制の可能性検討

森林の洪水低減機能には、植生、土壌、地質、地形など様々な要因が複雑に関係しあっている。今回の検討は特定の林地を対象に行ったものであり、他の人工林に適用しても同程度の効果が表れるとは限らないことに留意する必要がある。また将来気候によって樹木の生長に影響が出る可能性があるが、本調査では考慮していない。

イ 窪地地形（低平農地）における水田に期待できる洪水調節量の推定

一般的に洪水氾濫プロセスは、降雨の継続時間や降雨波形によって大きく変化する。今回の検討は限られたケースに基づくものであること、特に潮位に関しては、降雨波形と潮位変動の位相の関係など、網羅的な検討がなされていないことに留意する必要がある。また、洪水氾濫プロセスには、土地利用形態の変化が影響するが、今回の検討では将来の土地利用変化については考慮していない。

③ その他、成果を活用する上での制限事項

特になし

3.5.1.7. 適応オプション

適応オプションの概要を下表に示す。

表 3.5.2 適応オプションの概要

適応オプション	想定される実施主体			現状		実現可能性			効果		
	行政	事業者	個人	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
生態系を活用した防災・減災（Eco-DRR）のさらなる検証・実証および行政計画等への位置づけの検討	●			普及が進んでいない	<ul style="list-style-type: none"> 各計画への位置づけのためのさらなる科学的知見が必要（森林） 各地区における影響評価等が必要（田） 	△	◎	△	一部◎	長期	N/A
小さな自然再生型林業の普及	●	●		—	<ul style="list-style-type: none"> 効果発揮のためには、自伐林家以外への普及方策が必要 	◎	○	◎	◎	長期	N/A
農地の価値を高めるための認証制度およびナベツルの周知・農法に関する勉強会の開催		●	●	—	<ul style="list-style-type: none"> 農家、消費者への普及が必要 	△	◎	△	◎	長期	N/A
ハザードマップの更新・公表および農地への被害に関する表現方法の検討	●			普及率 60%／—（農地への被害に関する表現）	<ul style="list-style-type: none"> 公表後、ハザードマップの周知が必要 	◎	◎	◎	◎	短期	高
（畦の高さ以下の浸水農地）多面的機能支払い交付金を活用した田んぼダムの推進	●	●	●	普及が進んでいる	<ul style="list-style-type: none"> 農家への普及啓発、受益者と負担者が異なるエリアの場合の調整が必要。 	◎	○	◎	◎	短期	高
（畦の高さ以上の浸水農地）宅地への被害回避を評価する仕組み・農地維持支援等の検討	●	●	●	普及が進んでいない	<ul style="list-style-type: none"> 窪地地形の効果を評価する仕組みや民間開発抑制等に関する仕組みが必要 	△	○	△	△	長期	高

【 実現可能性の評価基準 】

（人的側面）◎：自団体・一個人のみで実施が可能、△：他団体・他個人との協同が必要

（物的側面）◎：物資設備は不要、○：既存の技術に基づく物資設備で対応可能、△：新たな技術の開発が必要

（コスト面）◎：追加費用は不要、△：追加費用が必要、N/A：追加費用は不明

【 効果の評価基準 】

（効果発現までの時間）短期：対策実施の直後に効果を発現する、長期：長期的な対策であり、対策実施から効果の発現までに時間を要する、N/A：評価が困難である

（期待される効果の程度）高：他の適応オプションに比較し、期待される効果が高い、中：他の適応オプションに比較し、期待される効果が中程度である、低：他の適応オプションに比較し、期待される効果が低い

表 3.5.3 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
生態系を活用した防災・減災（Eco-DRR）のさらなる検証・実証および行政計画等への位置づけの検討	<ul style="list-style-type: none"> • Eco-DRR の推進について、近年行われつつあり、一部の計画に位置付けられつつあるが、総合的に進めるためには、多様な計画に位置付けられる必要があり、その普及率は不明である。また、直接的な効果については不明とした。
小さな自然再生型林業の普及	<ul style="list-style-type: none"> • 人材育成、また流域単位での効果については長期的かつ科学的検証は地質等多様な要素も含まれることから、直接的な効果は不明とした。 • なお、森林整備計画の事業の目標「生物多様性保全等の多様なニーズへの対応」、育成複層林に誘導した森林の割合は平成 29 年度時点で達成率 45% である。
農地の価値を高めるための認証制度およびナベツルの周知・農法に関する勉強会の開催	<ul style="list-style-type: none"> • 認証制度により、農地の価値を高めることにつながることは、コウノトリ育むお米等の取り組みや（豊岡市）や認証農作物と消費者の購買行動に関する研究（農林業問題研究、2006、藤井ら）などがある。なお、その点と Eco-DRR の実装に関する効果は明らかとなっていないことから、不明とした。
ハザードマップの更新・公表および農地への被害に関する表現方法の検討	<ul style="list-style-type: none"> • 徳島県におけるハザードマップ作成・公表義務市町村のうち、想定最大規模降水に対するものが公表されているのが 12 市町（11 月 5 日徳島新聞：データ出典国交省 3 月末時点集計値より）であることから、普及率を 60% とした。なお、全国は約 33% となっている。 • 一方、農地への被害に関する表記については、全国でも詳細版の記載している自治体はあるが、普及率は不明である。
（畦の高さ以下の浸水農地）多面的機能支払い交付金を活用した田んぼダムの推進	<ul style="list-style-type: none"> • 普及率は不明であるが、多面的機能支払い交付金等の活用事例も全国に見られることから普及が進んでいるとした。 • 効果は、水田の洪水調節機能増進による治水機能補完効果に関する研究（吉川）より、30 年確率降雨イベント想定の際の田んぼダムの実施によって 90% の集落の床上浸水、58% の畑地の冠水面積が軽減されとの結果から高と評価した。
（畦の高さ以上の浸水農地）宅地への被害回避を評価する仕組み・農地維持支援等の検討	<ul style="list-style-type: none"> • 現時点で農家への支援策がなく、窪地地形の宅地への被害回避貢献を評価する等の仕組みも構築が必要なことから、長期と想定した。 • 一方、畦の高さの浸水を許容することは、住宅地への浸水を防ぐことから効果は高とした。

3.5.2. 気候シナリオに関する情報

3.5.2.1. 気候シナリオ基本情報

本調査に関する気候シナリオの基本情報を下表に示す。なお、窪地地形（低平農地）に関する調査において、潮位についてもインプットデータとして用いているが、IPCC 第 5 次報告書を参考に+90cm と設定を行った。

表 3.5.4 気候シナリオ基本情報

項目	人工林のピーク流出低減効果	窪地地形（低平農地）の湛水
気候シナリオ名	温暖化予測情報第 9 巻 by 創生プログラム	
気候モデル	MRI-NHRCM05	
気候パラメータ	降水	
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	あり（地域）	

3.5.2.2. 使用した気候パラメータに関する情報

① 人工林の林相改善による洪水流出抑制の可能性検討

橋本林地が位置する那賀町臼ケ谷における現在及び 21 世紀末の確率評価された年最大 24 時間降水量を示したものである。2 年確率を除いて、21 世紀末が現在を上回っていることがわかる。増加量は 10%～20%程度である。

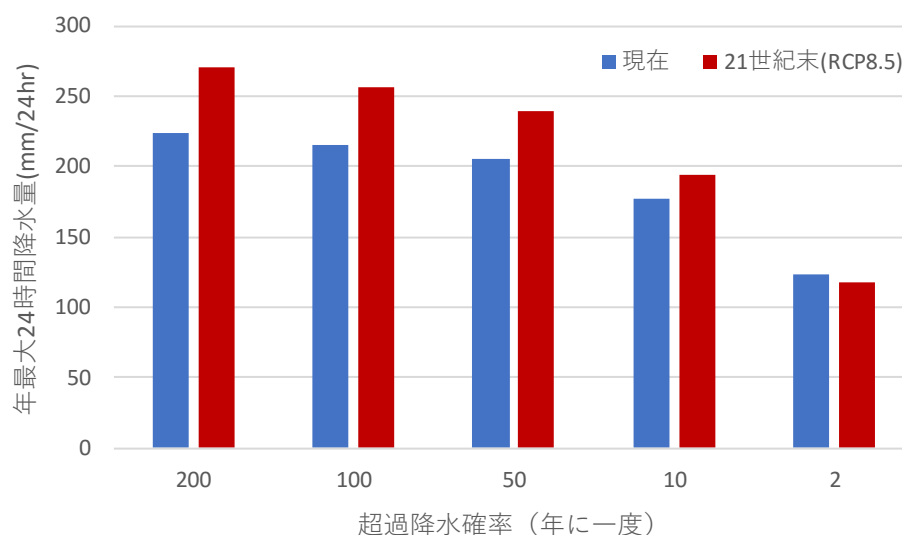


図 3.5.5 超過確率の年最大 24 時間降水量 (MRI-NHRCM02、臼ケ谷)

② 窪地地形（低平農地）における水田に期待できる洪水調節量の推定

検討対象とした徳島県小松島市立江・櫛渕地区における現在及び 21 世紀末それぞれに確率評価された年最大 24 時間降水量を示したものである。いずれに降水確率においても、21 世紀末が現在を上回っていることがわかる。ただし、増加量は 3～11%程度である。

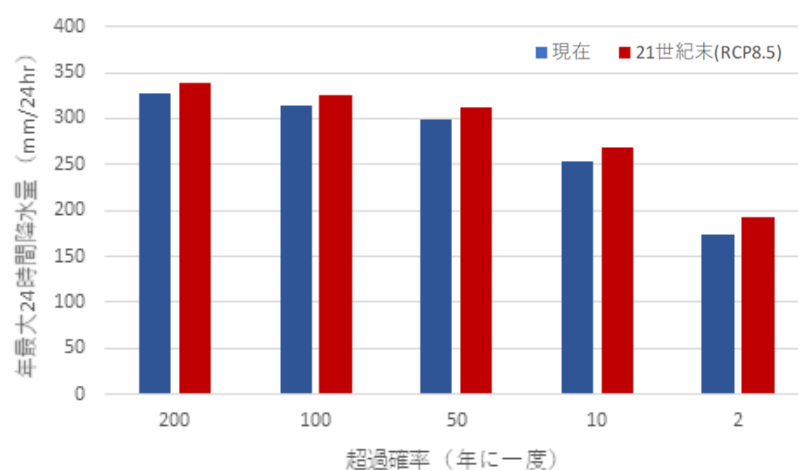


図 3.5.6 超過確率の年最大 24 時間降水量 (MRI-NHRCM05、立江地域)

3.5.2.3. 気候シナリオに関する留意事項

後述するバイアス補正において、検討対象領域周辺地点における将来降雨量と現在降雨量の比を用いて検討対象領域の将来降雨量を推定している。したがって、降雨量増加のトレンドは周辺を含むある程度広域で同様の傾向となっており、再現性は確認されている。

3.5.2.4. バイアス補正に関する情報

バイアス補正は以下の方法で実施した。観測地点は異なるものの使用した観測点数も 6 地点と同等とした。

- 検討対象領域の周辺に位置するアメダス観測点から、ティーセン法によって各観測点がカバーする領域を定め、検討対象領域を含む領域及びそれに隣接する領域を選択し、バイアス補正に用いる観測点を決定する（今回は 6 地点）
- 各観測点における現在の観測値及び気候シナリオにおける現在予測値の比較から、現在予測値のバイアス補正值（ α 補正）を定め、検討対象領域と各観測点との距離による重みを考慮した補正值により現在予測値の修正値を得る
- 各観測点における現在予測値と将来予測値の比較から、将来予測値のバイアス補正值（ β 補正）を定め、検討対象領域と各観測点との距離による重みを考慮した補正值により将来予測値の修正値を得る

3.5.2.5. 気候シナリオ選択の理由

水田および森林について、洪水による湛水量評価という観点から極値を対象とする必要があること、解析に時間単位の降雨量入力が必要なこと、さらに検討対象領域の面積に適合した空間解像度であること、またデータ提供時期が早く検討が早期に開始できたこと、以上の点から、温暖化予測情報第 9 巻 by 創生プログラムを選択した。

3.5.3. 気候変動影響に関する調査手法

3.5.3.1. 手順

影響評価に関する調査手順を下図に示す。

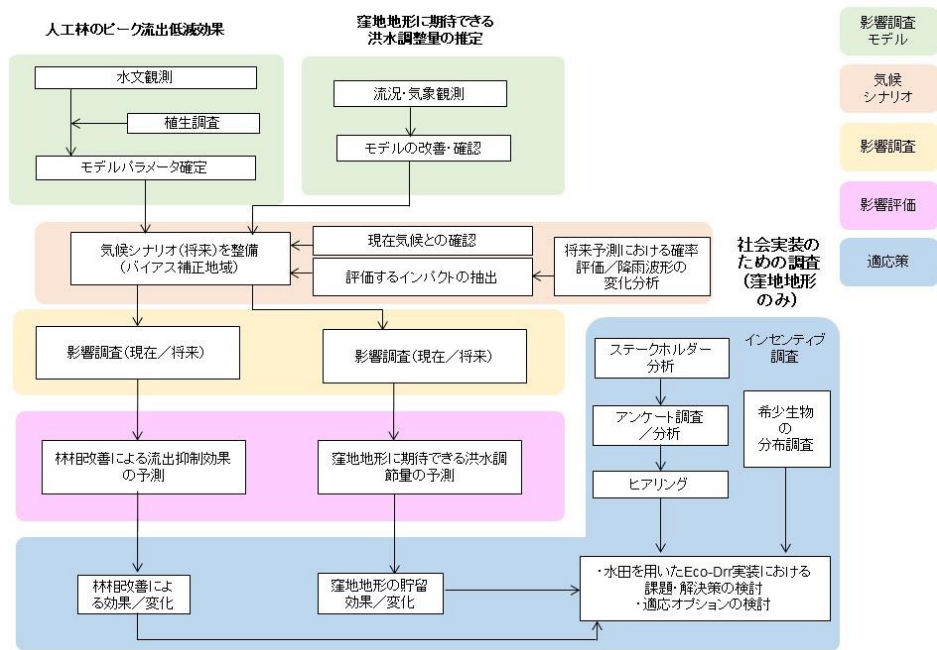


図 3.5.7 気候変動影響に関する調査手順

3.5.3.2. 使用したデータ・文献

本調査に用いたデータ及び文献資料を下表に示す。

表 3.5.5 調査に用いたデータ及び文献資料

区分	データ・文献資料の名称・出典	概要及び使用方法
気象データ	・ 桜谷雨量観測所日雨量データ（国交省、水門水質データベース）	バイアス補正に用いた。
	・ 徳島県立江雨量局における雨量観測データ（特別）：2014年8月1日～3日	バイアス補正に用いた。
その他データ	・ 徳島県県土整備部河川整備課による 2014 年台風 12 号による氾濫痕跡調査結果	窪地地形（低平農地）における水田に期待できる洪水調節量の推定のためのモデル検証に用いた。
文献資料	・ 端野道夫・田村隆雄・田淵昌之・富士川洋一（2004）：森林流域における遮断蒸発・蒸散量と流域地中保水量の分離・評価法，土木学会水工学論文集，48，pp. 31-36	人工林の林相改善による洪水流出抑制の可能性検討に関するモデル構造の検討の根拠として用いた。
	・ 田村隆雄・端野道夫・橘大樹（2006）：一般中小河川にも適用可能な雨量・水位データを用いた流出解析モデルパラメータの同定手法，土木学会水工学論文集，50，pp. 355-360	人工林の林相改善による洪水流出抑制の可能性検討に関するモデルのパラメータ同定手法の根拠として用いた。
	・ 田村隆雄・端野道夫・穴水秀樹（2008）：吉野川池田ダム上流の森林流域の洪水低減機能に関する定量的評価，土木学会水工学論文集，52，pp. 379-384	人工林の林相改善による洪水流出抑制の可能性検討に関する森林の洪水低減機能の評価法に関する参考文献とした。

区分	データ・文献資料の名称・出典	概要及び使用方法
	・ 今井洋太（2017）：農地の洪水調節機能を活かす土地利用方針に係る基礎的研究 徳島大学大学院先端技術科学教育部建設創造システム工学コース，修士論文	窪地地形（低平農地）における水田に期待できる洪水調節量の推定における土地利用の検討として用いた。

3.5.3.3. 有識者ヒアリング

本調査では、下記のとおりヒアリングを実施した。

NO.	1
対象者	国立大学法人徳島大学環境防災研究センター 教授 鎌田 磨人、 同 教授 武藤 裕則、同 准教授 田村 隆雄
日付	令和元年9月25日（水）15：00～17：30
場所	徳島大学
概要	・ 影響評価結果を受けた適応オプションのとりまとめにむけてご意見を伺った。

3.5.3.4. 観測および実証実験

① 人工林の林相改善による洪水流出抑制の可能性検討

橋本林業地内を対象地とした。橋本林業地は、様々な樹齢のスギ、ヒノキに300種以上の広葉樹が混入する針広混交複層林が形成され、豊かな生態系が維持されている。また、「持続可能な森林生態系の管理を行ないながら収入を得る」ことが理念として掲げられている自伐林業の模範とされ、全国から視察や技術研修を受け入れている。

林内の植生は、斜面単位で目視により行ない、植物社会学的手法に基づき表操作を行なって群落を区分した。林冠の植生は、ドローンによる空中写真から単木とギャップを抽出した。

植生調査については、まず、斜面を谷と尾根で囲まれる範囲と定義し、斜面単位を作成した。次に、作成した斜面単位に作業道をオーバーレイし、作業道で分割された個々の面（ポリゴン）を植生調査の空間単位とした。林内の植生を把握するために、2018年11月9日、11月14日、11月17日、11月30日に植生調査を実施し、空間単位ごとに、林内の植物種とその被度を10%で記載した。そして、各ユニットで出現した植物を植物社会学的手法に基づき、群落区分した。

さらに、UAV（DJI社のPhantom4）を用いた空中写真撮影（10月18日に6ルート、11月14日に3ルート）を行い、SfMソフト「Photoscan」を用いて林冠のオルソ画像を作成した。その画像を使用して、GIS上で全ての林冠構成木を抽出し、それぞれに種名を与えた。樹種の判別には、現地調査（10月3日、10月18日）によって取得した。代表的な林冠構成木の種類と位置情報を教師データとして用いた。樹種はスギ（ヒノキ含む）、モミ、マツ、常緑広葉樹（シイ・カシ等）、落葉広葉樹（ケヤキ等）の5種類に分類した。

また、小流域に水文観測機器を設置して、林外雨量、樹冠通過雨量、溪流水位観測を行った（図3.5.7～図3.5.10）。



図 3.5.8 調査エリア（徳島大学作成）

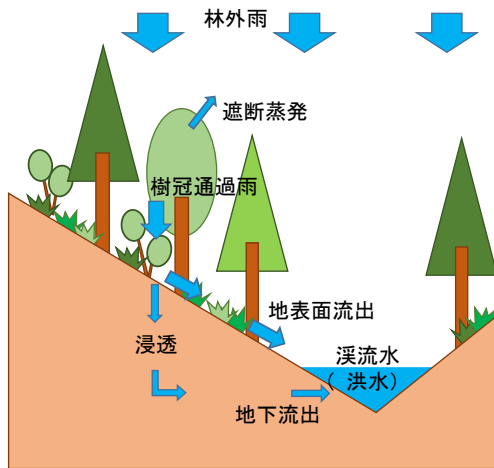


図 3.5.9 森林の雨水流出過程（洪水時）



図 3.5.10 林外雨量計



図 3.5.11 樹冠通過雨量計



図 3.5.12 溪流水位観測点と塩ビ管（2本）

② 窪地地形（低平農地）における水田に期待できる洪水調節量の推定

観測および実証実験は行っていない。

③ Eco-DRR 実装のためのインセンティブに関する社会調査

ア ナベヅルの生息・受け入れ可能性評価

調査地は那賀川下流域の中で、ナベヅルの餌場適地の広域的空間モデルから適地と推定された空間の中から、2015 年度に飛来した地域を 2 か所（坂野、島尻）、しなかった場所から 3 か所（立江、大津田、打樋）選んだ。

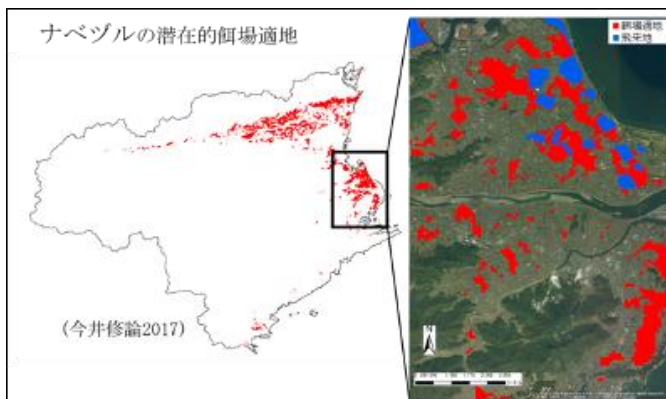


図 3.5.13 ナベヅルの餌量評価のために調査を行った場所②（背景写真：国土地理院）

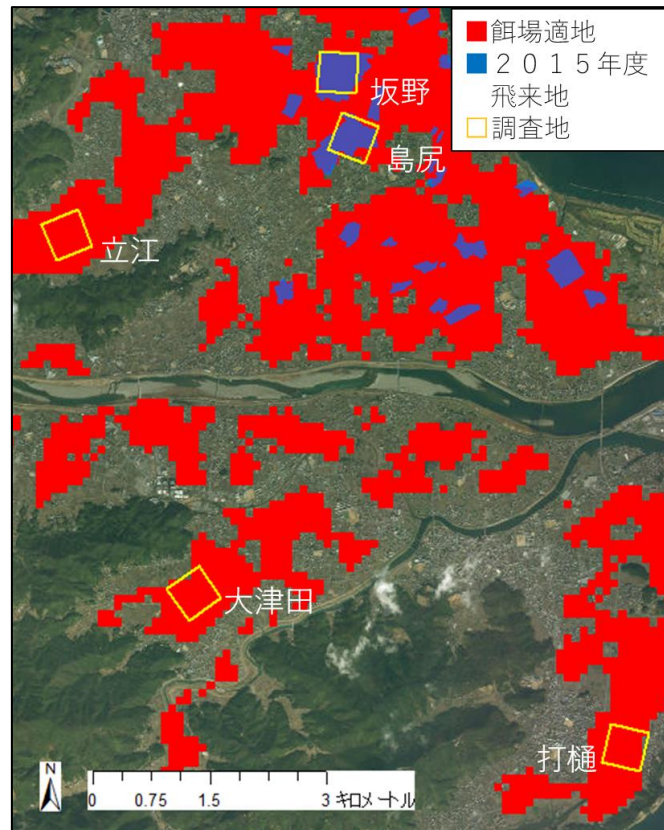


図 3.5.14 ナベヅルの餌量評価のために調査を行った場所②（背景写真：国土地理院）

各道路の舗装の有無、二番穂と畦畔の植生の被度を7段階評価し、畦畔の植生高さも10 cm単位で計測した。得られた情報をGISに格納し集計した。調査項目の詳細を下表に示す。

表 3.5.6 調査手順

調査項目	手順
オルソ画像作成	<p>使用した画像：調査対象となる5つのプロットで、DJI社製のUAVを用いて空撮オープンソースソフトウェア（Mission Planner 1.3.41 build 1.1.6110.31287）を使用。ルートは高度70m、サイドラップ40%、速度28.8m/sに設定。DJI社のアプリ（Litchi for DJI Drones3.10.2）を使用した。撮影機種はDJI社のPhantom3 Professional、使用カメラは機体搭載カメラ、画像解像度4000×3000pic、撮影間隔1回/2秒</p> <p>処理：SfMソフト（Agisoft PhotoScan Pro. 1.2.6.2834）で処理し、得られたDSMをもとにオルソ画像（平面直角座標系第Ⅳ系）を作成位置情報は機体のGNSSから撮影時に記録された写真のGeoTagから取得。</p>

調査項目	手順
物理的環境 調査	<p>調査対象区内をくまなく歩き、各道路の舗装の有無と各水田および畦畔の植生環境を調査。調査には上述の手順で作成した土地利用図を持っていき、得られた情報はすべて記入し、集計に用いた。</p> <p>ESRI 社のソフトウェア（Arc Map 10.2.2）を用いて、オルソ画像をもとにプロット内の土地利用図を作成。土地利用の情報はオルソ画像より判別し、ポリゴン（平面直角座標系第Ⅳ系）を作成。</p> <p>土地利用は水田、水田由来の耕作放棄地、畑、道路、河川、支線排水路、末端排水路、宅地、その他に分類。それぞれの面積を作成されたポリゴンから、GIS 上で計算した。1 か所当たりプロットの大きさは 500×500m である。ただし、プロット内に含まれるすべての水田、耕作放棄地、畑は、一部プロット範囲からはみ出していても、その一面すべてを調査対象とした。</p> <p>また、この土地利用の情報は 2016 年 12 月の現地調査の際に確認した。（現地調査：2016 年 12 月から 2017 年 4 月にかけて各プロットに対して 4 回ずつ実施）</p>
道路特性	<p>作成した土地利用図からプロット内にあるすべての道路ポリゴン（平面直角座標系第Ⅳ系）を抽出。2016 年 12 月の 1 回目の現地調査により、各道路の舗装の有無を評価した。調査で得られた、道路の舗装の情報を GIS に格納し、プロットごと、舗装の有無を区別して道路の面積を集計した。</p>
水田の植生 環境調査	<p>作成した土地利用図からプロット内にあるすべての水田ポリゴン（平面直角座標系第Ⅳ系）を抽出した。それぞれの水田の面積は GIS 上で計算した。2016 年 12 月から 2017 年 4 月にかけておよそ月一回の現地調査により、各水田の二番穂の植生の被度を 7 段階で評価した。</p>
畦畔の植生 環境調査	<p>ESRI 社のソフトウェア（Arc Map 10.2.2）を用いて作成した土地利用図からプロット内にあるすべての水田と耕作放棄地を囲む畦畔のポリライン（平面直角座標系第Ⅳ系）を作成した。それぞれの畦畔の長さは GIS 上で計算した。2016 年 12 月から 2017 年 4 月にかけておよそ月一回、合計 4 回の現地調査により、各畦畔の被度を 7 段階で評価し、標尺を用いて植生の幅を 10 cm 単位で計測した。また、標尺を用いて植生の高さも 10 cm 単位で計測した。ただし、植生の高さが明らかに 10 cm に満たない場合は 5 cm とした。また、GIS 上で計算した畦畔の長さと現地調査により得られた畦畔植生の幅の積から、各畦畔の面積を求めた。さらに、求められた畦畔の面積に植生高さと植生の被度を掛け、各畦畔の植生体積を求めた。ただし、畦畔植生の被度は調査の評価をもとに各段階の中央値を設定・代入し計算した。</p>

景観構造の調査と同様な場（ただし、調査量の関係で打樋は除く）でナベヅルの餌資源となる植物の生育環境と生育密度、動物の生息密度を調べた。

表 3.5.7 調査手順

調査項目	手順
植物の生育状態	作成した土地利用図からプロット内にあるすべての水田ポリゴン（平面直角座標系第IV系）を抽出した。その中から5筆の水田を抽出し調査対象とした。各水田内から3～4か所、各畦畔1か所から、二番穂と畦畔の植生の植被率を5%ごとに評価した。植生高さについても5cmごとに評価した。山中式土壌硬度計を用いて、地表面の土壌硬度を3回測定した。さらに、湛水の有無についても調査した。調査期：前期2017年11月から12月、後期2018年1月から2月）
餌量の生育密度調査	植物の生育環境の調査と同じ場所で土壌、植物、動物を採取した。 1サンプル当たりの大きさは、地上部に関しては直径21cm以内にあるすべての植物及び動物を採取した。地下に関しては直径21cmで深さ5cm以内にある、すべての土壌と植物及び動物を採取した。 前期の調査については、地下5cmからさらに下（地下5～10cm）にある、直径21cmで深さ5cm以内のすべての土壌と植物及び動物を採取した。持ち帰ったサンプルから植物を取り出した。目開き1mmのふるいを用いて水洗したのち、乾燥機を用いて80℃（±3℃）の環境で24時間乾燥させた。その後、乾燥重量をはかった。さらに、粃や種などを抽出した。粃については、実のあるものとなないものに分類して、数を数え、重量を測った。種については、分類せずに重量を測った。

イ 農家へのアンケート調査

ナベヅルの餌場適地の広域的空間モデルから適地と推定された空間の中から、2008～2015年度に飛来した地域から7か所、しなかった場所から6か所選び、水稻農家を対象にアンケート調査をした。ナベヅルの飛来についてどう思うか、現在どのような農業をしているのか、回答者の年齢や性別について質問した。アンケートの配布は土地改良区の職員や農業委員、JAの職員にお願いした。

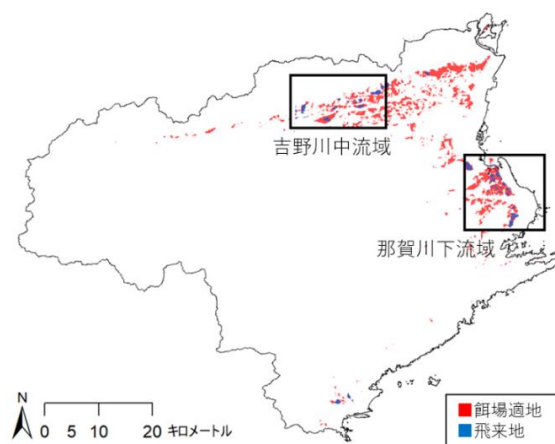


図 3.5.15 農家の意識調査位置

表 3.5.8 アンケート調査概要

配布・回収	<p>時期：2017 年 10 月～2018 年 4 月</p> <p>配布：県庁や市役所を通じて土地改良区の職員や農業委員、J A の職員に依頼。調査プロットあたりおよそ 20 軒の農家に配布</p> <p>回収：郵送</p>
設問	<p>1. 徳島県に越冬するナベヅルについてどのようにお考えかお答えください。</p> <p>(ア) ナベヅルがご自身の農地に来たことがありますか。</p> <p>(イ) ナベヅルがご自身の農地に来ることをどのようにお考えですか</p> <p>(ウ) ツルの越冬を助ける農法についてどのようにお考えですか</p> <p>2. ご自身の農業について</p> <p>(ア) あなたの農業経営の形態はどちらに該当しますか</p> <p>(イ) あなたが所有している農地の広さはどれくらいですか</p> <p>(ウ) 農地の所在地についてお答えください</p> <p>(エ) 春の作付け前に行う田起こしはいつごろ行いますか</p> <p>(オ) 稲の収穫は一年間で何回行いますか。時期はいつ頃ですか</p> <p>(カ) 収穫後の稲株をすきこみますか。時期はいつ頃ですか</p> <p>(キ) 上記の方法で稲株を処理する理由は何ですか</p> <p>(ク) 裏作は行っていますか</p> <p>(ケ) あぜの草刈りは一年間で何回行いますか。時期はいつ頃ですか</p> <p>(コ) あぜの草焼きは一年間で何回行いますか。時期はいつ頃ですか</p> <p>(サ) あぜの除草剤の散布は一年間で何回行いますか。時期はいつ頃ですか</p> <p>(シ) 農薬はどのようなものを一年間で何回使用しますか。時期はいつ頃でしょうか</p> <p>(ス) 農地の 5 年後をどのようにお考えですか</p> <p>(セ) あなたが所有する農地の中で耕作放棄地はありますか</p> <p>(ソ) あなたの所有する耕作放棄地の広さはどれくらいですか</p> <p>(タ) 耕作しない理由は何ですか</p> <p>(チ) 耕作放棄地の 5 年後をどのようにお考えですか</p> <p>(ツ) 徳島県で越冬するナベヅルや農業に関して意見などがあればご記入ください</p>

ウ 湿性絶滅危惧植物の分布

水田の絶滅危惧種の分布と貯水機能の関係を明らかにするために標高、深水時間、深水深に対する選好性を調べた(対象種：徳島県 RDB に掲載されている絶滅危惧ⅠA、ⅠB 類、絶滅危惧Ⅱ類、準絶滅危惧の維管束植物)。調査は徳島県阿南市長生町と海部郡海陽町で、種の開花・結実の時期に合わせて踏査し、水性絶滅危惧植物の位置データを取得した。

徳島県阿南市長生町の天津田川流域は「重要湿地 500」に選定された貴重な水生植物が多く生育すると言われている場所である。また国土地理院の土地条件図によるとかつては氾濫原であった。そのため周辺宅地は大規模洪水による内水氾濫の危機にさらされており、計画規模以上の降雨の対策として田んぼダムの効果が期待できる。

徳島県海部郡海陽町四方原・大里は海岸部の低平地であり町全体が津波による外水氾濫と排水不良による内水氾濫の危険にさらされている。外水氾濫の対策として松林の整備は進んでいるが内水氾濫の対策は既存のインフラに頼っており計画規模以上の水害に対応するために水田の活用が期待されている。

絶滅危惧種の生育地は大まかに畦、水路、水田内の三つに分けることができる。畦に生育する種の開花期は春、水路種は春から夏、水田種は秋と言われている。現地調査では、開花期にあわせて、両地域のそれぞれのハビタットを踏査し、種の分布を記載した。水田内では、踏査ルート上 5m ごとに立ち止まり、出現種の被度、水田の耕作状況、優占種を記録した。

浸水図の作成にあたっては、台風（調査地 1：2015 年台風 11 号 調査地 2：2014 年台風 12 号）の 1 時間毎雨量データをもとに氾濫解析を行い、水深を 1 時間毎に求めた。そのデータを用いて浸水時間と最大浸水深の地図を作成した。なお、解析の対象時間は阿南市長生では降雨ピークを含んだ 21 時間、海陽町四方原・大里では降雨ピークを含んだ 24 時間である。

現地調査で得られた絶滅危惧種の分布図と浸水時間地図および最大浸水深地図とをオーバーレイし、各環境要因に対する選好度を算出した。選好度（Jacobs 1974）は、以下の式で求めることができる。

$$D = \frac{r - p}{r + p - 2rp}$$

D：選好度

r：利用率（解析対象が利用した全環境資源のうち、各環境資源の占める割合）

p：全体率（解析対象地の全環境資源に含まれる特定の環境資源の割合）

選好度は $-1 \leq D \leq 1$ の値を取り、 $D > 0$ ならばその環境資源を選択的に利用していることを示し、 $D < 0$ ならばその環境資源を選択的に利用していないという事を示す。

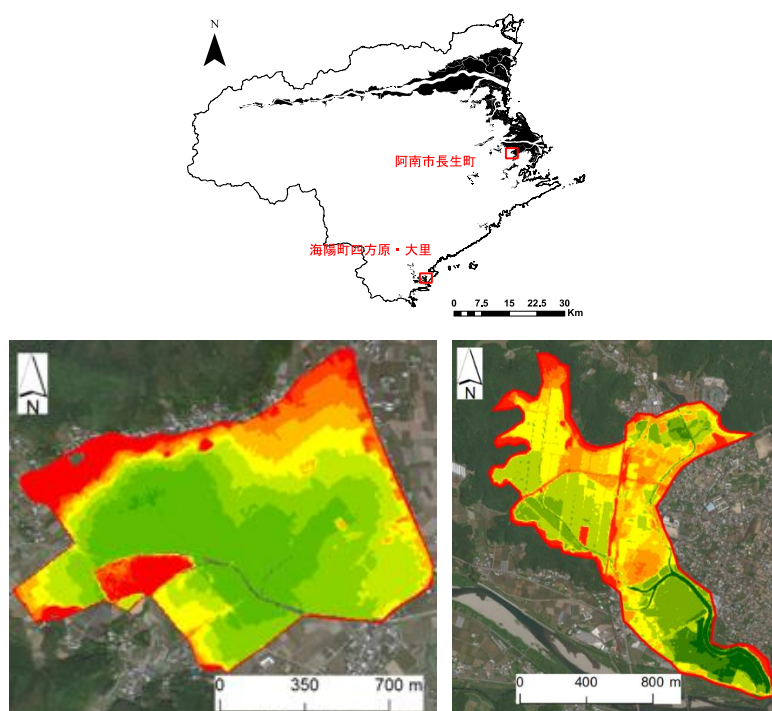


図 3.5.16 調査地の位置と標高（左；阿南市長生、右；海陽町四方原・大里）
（背景写真：国土地理院）

3.5.3.5. 気候変動影響予測手法の検討

① 人工林の林相改善による洪水流出抑制の可能性検討

提供された気候シナリオに基づく現在及び将来の降水量を入力として流出解析を行い、森林の洪水流量抑制効果について検討する。林相改善による効果を評価するため、地表面粗度や降雨遮断率等を考慮できる流出モデルが必要となる。地表面流分離直列 2 段タンクモデルはその 1 つであり、多数の森林流域に適用されてきた実績がある。

② 窪地地形（低平農地）における水田に期待できる洪水調節量の推定

提供された気候シナリオに基づく現在及び将来の降水量を入力として氾濫解析を行い、窪地水田の湛水容量とその能力について検討する。河口に近い低平地を対象とした氾濫解析を行うため、山地からの流出水の流入や流域内河川や用水路等による流域外への排水、さらには潮位変動の影響を考慮できる、複合的な水文・水理モデルを使用することが必要となる。後述の AFREL-SR はそのようなモデルの 1 つであり、また数少ない商用ソフトウェアでもあることから、汎用性やユーザ・インターフェースに優れている。

3.5.3.6. 影響予測モデルに関する情報

① 人工林の林相改善による洪水流出抑制の可能性検討

洪水流量低減効果の評価には、流出モデルの 1 つである地表面流分離直列 2 段タンクモデルを利用した。一般的な流出モデルでは雨量データに加えて流量データが必要であるが、本検討で利用したモデルには水位・流量変換モデルがサブモデルとして組み込まれており、容易に観測できる水位データ（対象流域からの全雨水流出量が通過するとみなす流域末端の溪流あるいは河川の水位データ）を使って流出解析ができるようになっている。また洪水流量の主成分である表面流出量の算定には、表層土壌厚、地表面粗度、斜面勾配、斜面長など流域の物理特性が考慮されており、林相改善をモデルパラメータに反映できるものとなっている。影響予測プロセスとしては、①実績降雨の入力によるモデルパラメータの調整と再現性検証、②気候シナリオに基づく降雨の入力による洪水流出量の計算、③林相改善による洪水流量抑制効果の評価、となる。

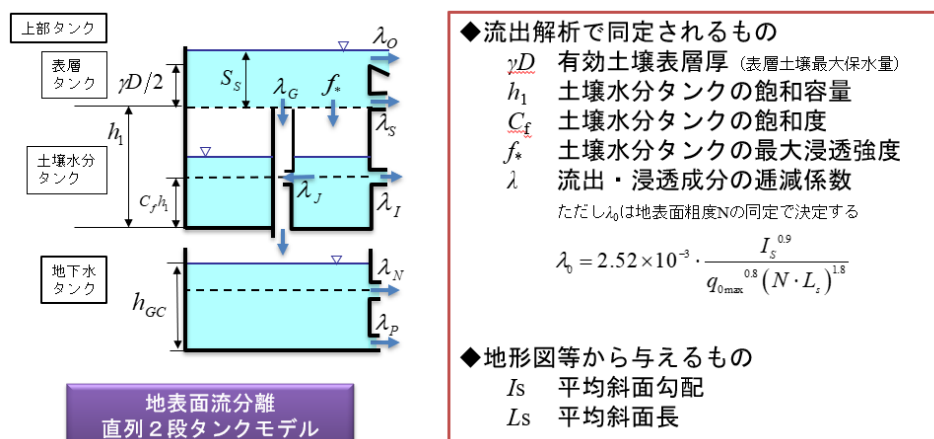


図 3.5.17 地表面流分離直列 2 段タンクモデルの構造

以下の図は、調整されたモデルパラメータを用いて再現された、2017 年台風 5 号、および平成 30（2018）年 7 月豪雨時における橋本林地における洪水水位の結果である。同じ 1 組のモデルパラメータを用いて 2 つの洪水水位変化が良好に再現されていること、実績洪水ピーク水位に対する計算洪水ピーク水位の誤差は 1cm 未満となっていること、さらに後者のイベントでは長期間にわたって複雑な水位変化を良好に再現できていることから、調整されたモデルパラメータの信頼性は高いことがわかる。

林相改善の効果の評価手法は、針広混交複層林・択伐型施業地である橋本林地モデルの一部パラ

メータをスギ・ヒノキ人工林・一斉植林皆伐型施業地をモデル化した白川谷モデルに適用し、流出シミュレーションを行うという方法を採用する。対象となるモデルパラメータは降雨遮断率、地表面粗度である。林相改善による立木密度や樹冠密度の変化や、複層化が降雨遮断率に反映される。林床植生、落葉落枝の増加が地表面抵抗の上昇に反映される。

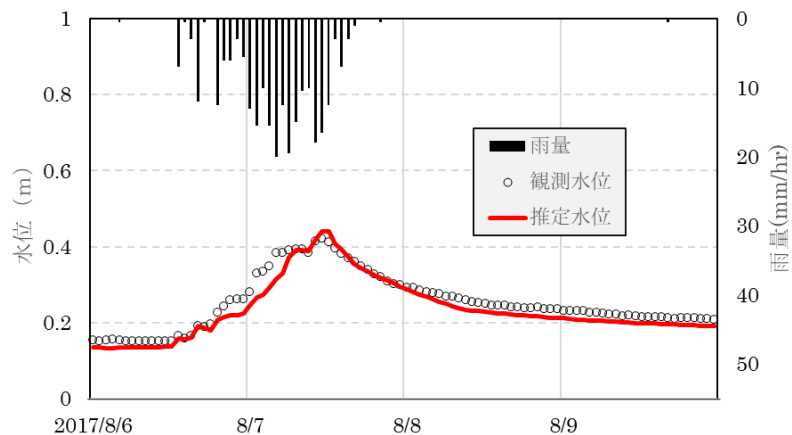


図 3.5.18 2017 年台風 5 号に伴う橋本林地における洪水水位変化の再現結果

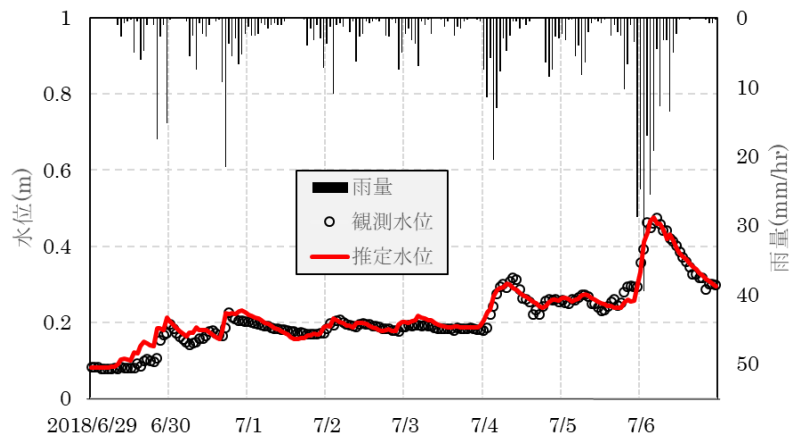


図 3.5.19 平成 30 年 7 月豪雨（2018 年）時の橋本林地における洪水水位変化の再現結果

② 窪地地形（低平農地）における水田に期待できる洪水調節量の推定

洪水氾濫プロセスの解析には、氾濫解析モデルである AFREL-SR を利用した。AFREL-SR は、氾濫流の解析を浅水流方程式、山地からの流出を合理式に依拠した商用解析ソフトウェアで、地表面上の氾濫流に加えて、用・排水路や下水道との水のやり取りや、それらを通じての河川への自然・強制排水も考慮可能なモデルとなっている。影響予測プロセスとしては、①実績降雨の入力によるモデルの調整と再現性検証、②気候シナリオに基づく降雨の入力による氾濫プロセスの計算、③気候変動に伴う降雨変化による影響評価、となる。以下の図及び表は、2014 年台風 12 号に伴う氾濫の再現計算結果と実績浸水深との比較によるモデル精度の検証結果である。これより、調整後のモデルの再現性は、実績浸水深に対して 1 地点で 11cm の過小評価になったが、それ以外の 10 地点では 2cm 以内となっており、その精度は非常に高いことがわかる。

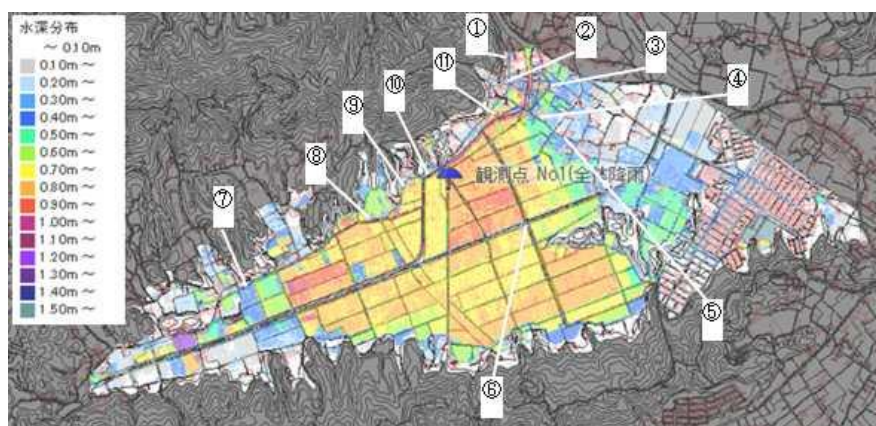


図 3.5.20 2014 年台風 12 号による浸水を対象とした再現計算結果（最大浸水深分布）

（図：氾濫解析 AFREL（ニタコンサルタント(株)））

表 3.5.9 上図中の対象 11 地点における浸水深の検証結果

地点 No.	最大浸水深 (m)		誤差 (m)
	実績	計算	
1	0.20	0.20	0.00
2	0.30	0.31	+0.01
3	0.40	0.40	0.00
4	0.20	0.20	0.00
5	0.20	0.22	+0.02
6	0.30	0.30	0.00
7	0.80	0.81	+0.01
8	0.60	0.60	0.00
9	1.10	0.99	-0.11
10	0.60	0.60	0.00
11	0.20	0.19	-0.01

潮位について、降雨波形と潮位の位相によって氾濫プロセスや湛水量には変化が生じるが、その組合せは無数にあることに加えて、特定日時における潮位予測の精度は降雨量に比べると非常に低い。以上のことを踏まえて、本検討では、検討対象領域において近年浸水被害が生じた 2013 年 9 月 15 日～16 日の実績潮位を基本とし、計算開始時（＝降雨開始時）の潮位を、干潮、平均潮、満潮の 3 種に変化させ、それぞれの影響を評価した。また、将来潮位としては、この実績潮位に、四国沖における将来の平均海面上昇量とされる 90cm (Liu et al, 2016) を加えたものとした。

3.5.3.7. 影響予測に必要な入力パラメータ

必要なパラメータは下記の通りである。

人工林の林相改善による洪水流出抑制の可能性検討	地形データ（流域の平均斜面勾配、平均斜面長）
	時間雨量（林外雨、樹冠通過雨）
	正時溪流流量あるいは溪流水位（流域末端）
窪地地形（低平農地）における水田に期待できる洪水調節量の推定	解析範囲内の標高データ（本検討では、基盤地図情報数値標高モデルを使用）
	降水量（時別または10分別）
	土地利用状況データ（本検討では、国土数値情報土地利用細分メッシュデータと航空写真を使用し）
	解析下流端水位データ（解析下流端が合流河川や潮位の影響を受ける場合に必要）

3.5.3.8. 影響予測における留意事項（制限事項）

① 人工林の林相改善による洪水流出抑制の可能性検討

今回の検討は降水確率200年の24時間降雨量のみを対象としており、それ以外の確率規模・継続時間は検討していない。例えば、森林の洪水抑制効果は先行降雨の有無や規模の他、降雨波形によっても異なってくるので注意が必要である。

本検討で使用した地表面流分離直列2段モデルは流域の平均的な流出現象を表現するものであり、そのパラメータは既存の雨量・水位データを使用した流出解析から逆推定して求められる流域平均値である。実際の林地で測定できる物理指標（例えば特定地点の土壌層厚や浸透能）とモデルパラメータは定量的に一致するものではない。

② 窪地地形（低平農地）における水田に期待できる洪水調節量の推定

今回の検討は、降水確率200年の24時間降雨量のみを対象としており、それ以外の確率規模・継続時間は検討していない。潮位については将来予測される平均海面上昇量の平均値を適用したのみで、将来の特定日時における予測潮位やそれらから整理される潮位変動の特徴を考慮したものではない。使用した地形データは5m×5mメッシュであり、地目はメッシュごとに代表性を有するものを指定しており、現地の詳細な地形や地目の変化を忠実に反映したものではない。

3.5.4. 調査結果

3.5.4.1. 文献調査結果

① 人工林の林相改善による洪水流出抑制の可能性に関する既存文献

森林の状態は樹種、下層植生、間伐の有無等様々な要因があり、それらの要素全てを精査し、水文環境の変化を論じたものはないが、既存研究では、下記のような知見が明らかになっている。

林地の水および土壌保全機能に関する研究として、人工降雨式の流下区設備による実験では、植被別の浸透能は、ササ生地＞広葉樹林地＞アカマツ林地＞カラマツ林地＞シバ＞裸地であったこと、侵食防止に及ぼす落葉の樹種別および被覆量別の効果については、樹種別には顕著な差がなく、被覆量に有意な差があることが認められている（村井ほか, 1975）。

ヒノキ人工林における下層植生の影響では、下層植生がヒノキ林の最大最終浸透能の指標となり得る可能性があること（被度 4 以上の地点で最大最終浸透能が著しく上昇）、リターと最大最終浸透能との関係はばらつきがみられることが示唆されている（平岡ほか, 2010）。さらに、スギおよびアテ人工林を対象とした研究では、浸透能から見ると、林床保護効果はヒノキ林より高いことが示唆されている（小松ほか, 2014）。

また、森林流域の洪水低減機能を定量的に評価する研究では、分布型流出モデルを適用しパラメーター同定後、ピーク流出高を比較したところ、樹種の違いと判断できる差は現れなかったこと（スギ・ヒノキ人工林からなる吉野川流域の森林流域の洪水低減機能はブナ天然林の目屋ダム流域と同等以上であり主要樹種の差違と洪水低減機能の大小が必ずしも直結しない）、地表面の流れの抵抗要因は地表面粗度であり、その中に樹種の差違が現れる可能性があることなどが明らかとなっている（田村ほか, 2008）。

② 水田の貯留機能評価に関する既存文献

水田・畑の治水機能評価として、マクロ的な試算として、概算で 200mm（連続降雨）に見舞われた際、650 億 m³ の貯水容量が望まれ、森林では 444 億 m³、水田 81 億 m³（面積×30cm の畔高さ-水稻栽培に伴う貯留量）、畑 14 億 m³、その他 0.6 億 m³ が各土地利用の貯水の可能性があり、残り 110 億 m³ のダムが必要となると試算されている。また、森林や畑は洪水期に空けておくという操作が出来ないが、水田の場合は畦畔を大切に維持する限り、機能する可能性があるとして示している（志村, 1982）。一方、自然に溜まる水田域の保全にとどまらず、面的な洪水制御による補強を行うことが重要であることが指摘されている。また、耕作放棄すると 100 年確率のピーク流量は 38%増加するなど洪水の発生頻度が高くなり、洪水が起こりやすくなることが示されている（早瀬, 1994）。また、放棄水田の流出特性は長雨や干ばつなどの気象条件に大きく影響されやすいが、耕作水田では人為的管理によりその影響は小さくなることが示されている（増本, 1998）。

一方、生態系サービスの視点では、畦畔植物が土壌の流亡を防ぐだけでなく薬用、景観、レクリエーション等多様な機能を持つことがまとめられているとともに（山口ら, 1996）、新潟で実施されている豪雨による洪水の緩和対策「田んぼダム」の取り組みにおいて、代替法による経済効果の試算（39,000 円/10a）が示されるとともに、課題として、取り組みの負担者と受益者が必ずしも一致しないこと、また農家は田んぼダムを実施する経済的インセンティブを持たないことなどが挙げられている（吉川ら, 2011）。

③ 社会実装に関する既存事例

森林機能、水田機能、生態系サービスの付与を一体として評価また社会実装を試みた事例はなかったが、Eco-DRR に関する事例の中で、農地を洪水の一次貯留機能場所とすることについて、地域住民の合意形成を徹底的に実施した例として宇田川における地域住民の合意に基づく流域治水計画（鳥取県）がある。当地域では協議会を設置し、全 4 回の協議会を開催するとともに、かわら版の発行や住民意見交換会、集落自治会への説明、流域全戸アンケートを行うなど、広く協議会の議論のプロセスと内容を周知し、「宇田川治水計画提案書」をとりまとめている。その中で、「農地を洪水の一次貯留機能場所として活用すること、現在の土地利用を大きく改変しないことを前提とした家屋の浸水対策をすること」などが提案内容としてまとめられている。

また、洪水緩和および生態系サービスの活用の例示として、宮城県の蕪栗沼と周辺地域における湿地復元では、水田をラムサール条約登録湿地とし、また周辺の水田で生産された米をブランド米として販売し、農家の収入の安定化（kgあたりの単価が1.6倍となる）につながっている事例がある。

3.5.4.2. 観測や実証実験の結果

① 人工林の林相改善による洪水流出抑制の可能性検討

評価対象地に関する情報を下表に示す。

表 3.5.10 調査対象地概要

橋本林業地 今回観測・評価（混交林・1,700本/ha程度）徳島県那賀町臼ヶ谷	白川谷森林試験流域 比較対象（一般的な針葉樹人工林・1,500本程度/ha）徳島県三好市山城町栗山（徳島・高知・愛媛県境にある三傍示山の東斜面）
<ul style="list-style-type: none"> ●位置：北緯33度49分06秒、東経134度22分41秒 ●面積：110ha（うち調査対象流域12ha） ●標高：400m～650m ●平均斜面勾配：0.740（42度） ●地質：四万十帯（砂岩、砂岩泥岩互層） ●樹木密度：1700本/ha程度（間伐率15%～20%） ●植生：最上流部（尾根）から流域末端までスギ・ヒノキ人工林にケヤキ、シイ、カシ等が混じる混交林。スギ・ヒノキも幼木から100年を超える様々な樹齢が混在。（2018年現在） ●伐採方法：択伐式 ●水文観測期間：2017年～ ●備考：自伐型林業は1980年頃から開始 	<ul style="list-style-type: none"> ●位置：北緯33度52分56秒、東経133度39分52秒 ●流域面積：23ha ●標高：740m～1140m ●平均斜面勾配：0.715（41度） ●地質：三婆川結晶片岩帯（砂質片岩、砂質片岩＋泥質片岩） ●植生：流域最上部2/5が天然広葉樹林（20～30年生）流域中央部～下流部3/5がスギ人工樹林（20～40年生）広葉樹はあるが混交林ではない。一般的な針葉樹人工林（1992年現在） ●樹木密度：1500本/ha程度（間伐率30%） ●伐採方法：一斉植林皆伐式 ●水文観測期間：1988年～1995年頃



橋本林地作業道2019年11月撮影



橋本林地地表面



白川谷スギ人工林



白川谷地表面

図 3.5.21 森林の状況

橋本林業地の林分は、下図に示す9つの群落に分類された。

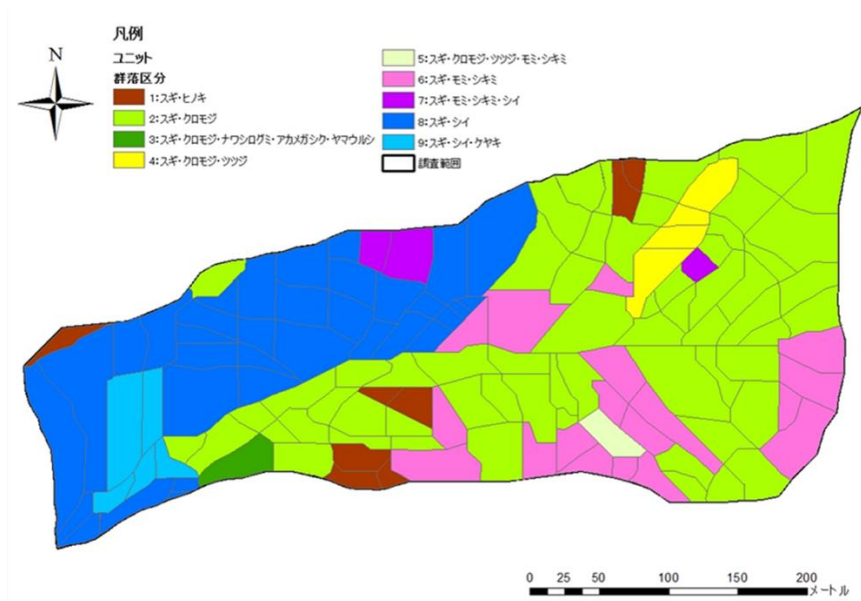


図 3.5.22 橋本林業地の植物群落の分布

ドローン撮を用いて撮影した空中写真から抽出された6212本の単木を、スギ(ケヤキ含む)、モミ、マツ、常緑広葉樹(シイ・カシ等)、落葉広葉樹(ケヤキ等)に分類し、それらの分布を図に示した。

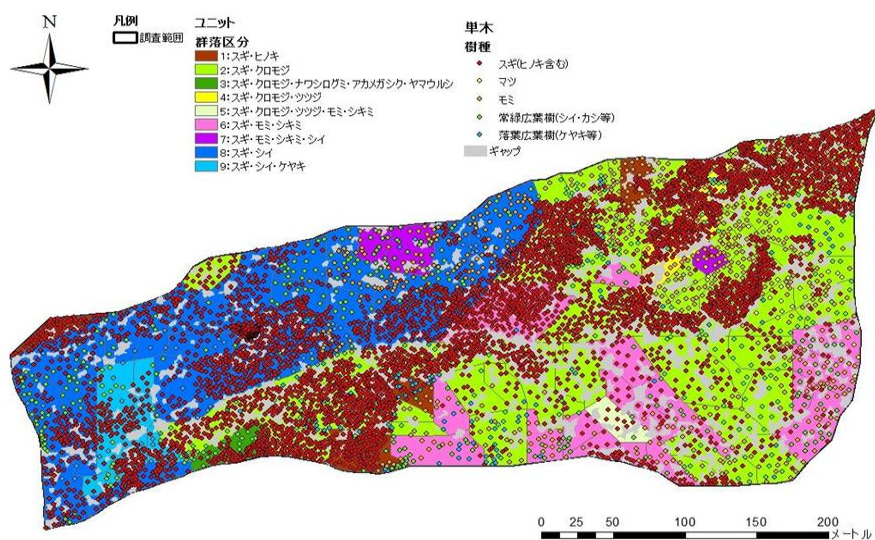


図 3.5.23 種別の樹木分布

橋本林業地内の約1割は、林冠を欠くギャップとなっていた。ユニットごとに林冠植生の比較を行ない、各樹種の面積の割合を下図に示す。林冠はスギが大部分を占めているが、尾根部等では、常緑広葉樹やモミが優占する林分もあった。

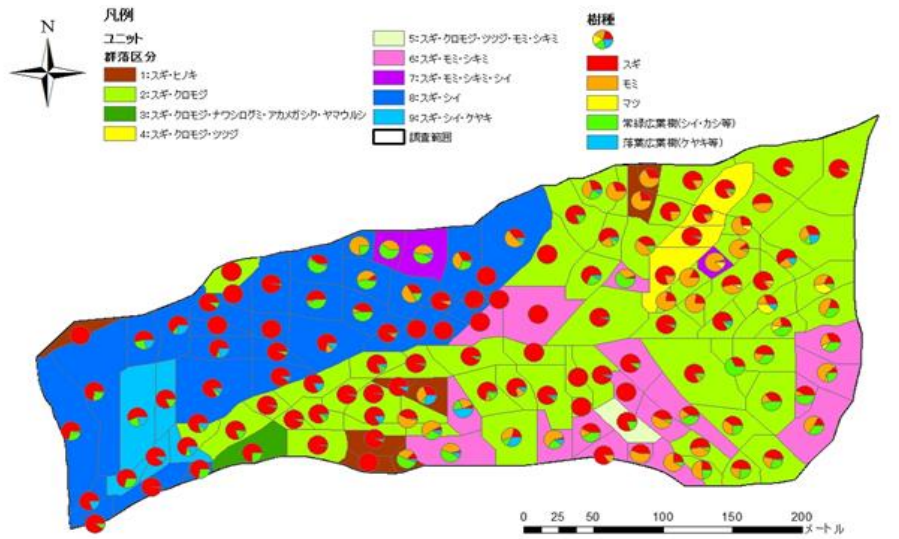


図 3.5.24 斜面ユニット内の樹種別林冠面積割合

このような林分構造を持つ橋本林業地での、林外雨、樹冠通過雨、溪流水位観測結果は、橋本林地モデルのパラメータ同定に使用した。観測期間中では特に平成 30 年 7 月豪雨に伴う出水データを得ることができた。

② 窪地地形（低平農地）における水田に期待できる洪水調節量の推定

観測および実証実験は行っていない。

③ Eco-DRR 実装のためのインセンティブに関する社会調査

ア ナベヅルの生息・受け入れ可能性評価

ナベヅルの飛来地および非飛来地の景観構造を比較したところ、ナベヅルは、交通量の多さの指標となる舗装道路の割合が小さい地域を選んで餌場に利用していたが明らかとなった。

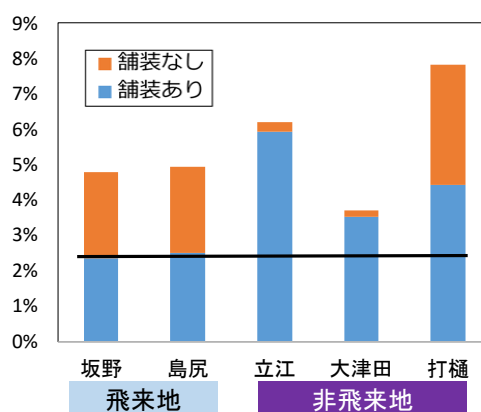


図 3.5.25 調査領域（25ha）内の舗装道路と未舗装道路の面積割合

ナベヅルが飛来した地域とナベヅルが飛来しなかった地域を比べると、植物の生育環境については、越冬前期の植被率や植生高に違いがあった。一方で、ナベヅルの主な餌資源である粃や種子量は、飛来しない地域の土中にも十分にあることが示唆された。このことから、ナベヅルがその地域

の水田に飛来するかどうかは、ナベヅルが渡来する 11 月中旬ごろに、水田内に残存する二番穂等の植生が、上空を飛ぶナベヅルへの信号として機能していると推察した。

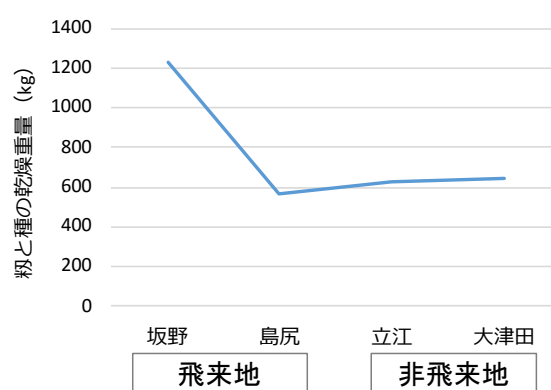
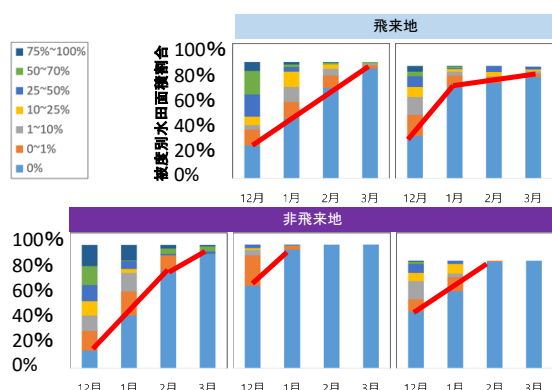


図 3.5.26 二番穂を持つ水田面積の割合の変化

図 3.5.27 25ha 当たりの土中の粃・種子量

イ 農家へのアンケート調査

アンケート調査を実施した結果、ナベヅルの飛来に対して、自分の農地に来てほしくない・来たら困ると考えている人は非常に少なかった。那賀川下流域では裏作をする農業者の割合が少なかった。なお、飛来への否定的な理由について、課題解決が可能なこともあることから、丁寧な説明により評価が好転する可能性がある。

一方、越冬を助ける農法に取り組みたいかどうかについては、ほとんどがわからないと回答。営農指導や広報等を連携することで、導入につながる可能性がある。

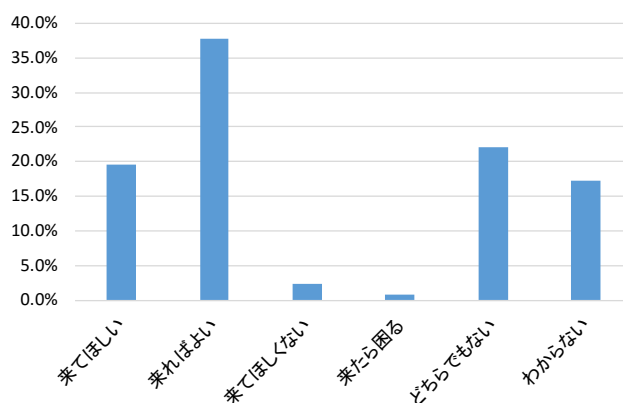


図 3.5.28 ナベヅルの農地への飛来に関する農家の考え

ウ 湿性絶滅危惧植物の分布

阿南市長生で9種、海陽町四方原・大里で9種、計14種の絶滅危惧植物が確認できた。

表 3.5.11 調査地水田および畦畔で確認された絶滅危惧植物

生育環境	科名	和名	学名	発見地点数		ランク(徳島)	ランク(全国)
				調査地1	2		
畦	カヤツリグサ科	アゼスゲ	<i>Carex thunbergii</i> var. <i>thunbergii</i>	82		NT	
		ウマスゲ	<i>Carex idzuroei</i>	3		VU	
	イネ科	ミズタカモジ	<i>Elymus humidus</i>	40		EN	VU
	キク科	ノニガナ	<i>Carex thunbergii</i> var. <i>thunbergii</i>		18	EN	VU
水路	スイレン科	オグラコウホネ	<i>Nuphar oguraensis</i> var. <i>oguraensis</i>	52	17	EN	VU
	ゴマノハグサ科	カワヂシャ	<i>Veronica undulata</i>	17		NT	NT
	ミクリ科	ミクリ	<i>Sparganium erectum</i> var. <i>coreanum</i>		8	VU	NT
		ナガエミクリ	<i>Sparganium japonicum</i>		8	NT	NT
水田	ゴマノハグサ科	スズメハコベ	<i>Microcarpaea minima</i>	12	520	NT	VU
		マルバノサワトウガラシ	<i>Deinostema adenocaulum</i>		13	EN	VU
	ホウライシダ科	ヒメミズワラビ	<i>Ceratopteris gaudichaudii</i> var. <i>vulgaris</i>	264	342	NT	NT
	ミソハギ科	ミズマツバ	<i>Rotala mexicana</i>	70	74	VU	VU
	アカバナ科	ウスゲチョウジタデ	<i>Ludwigia epilobioides</i> subsp. <i>greatrexii</i>	56		NT	NT
	シソ科	ミズネコノオ	<i>Pogostemon stellatus</i>		35	VU	NT

種別の植物分布と、台風の際の氾濫解析から求めた浸水時間及び浸水深との関係を求めたところ、①浸水時間が長く最大浸水深が大きい場所を好む種、②浸水時間が短く最大浸水深が小さい場所を好む種、③浸水時間及び最大浸水深に選好性を持たない種の3パターンが認められた。

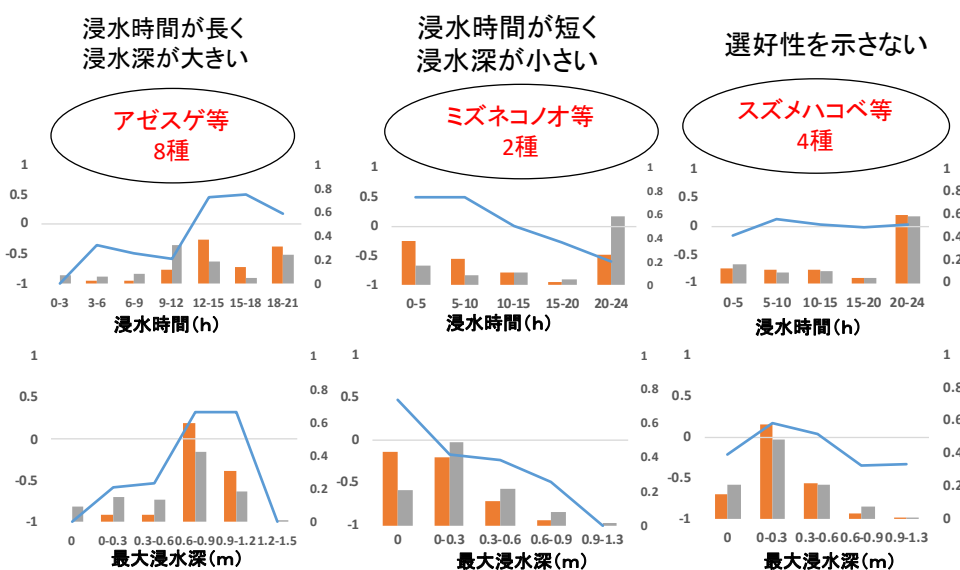


図 3.5.29 水理特性に対する種の反応

3.5.4.3. 気候変動影響予測結果

① 人工林の林相改善による洪水流出抑制の可能性検討

将来予測（21世紀末）、200年確率雨量を将来予測の後方集中型降雨波形に適用し、スギ・ヒノキ人工林・一斉植林皆伐型施業地（白川谷）を針広混交複層林・択伐型施業地（橋本林地）の林相に転換して30年後の流出シミュレーションを実施した結果を示す。

後方集中型の結果を示した理由は、洪水ピーク流量は総降水量が同じでも降雨イベント終盤に強い雨が降った場合に大きくなるためであり、これは森林の洪水抑制効果に働く表層土壌の浸透能・

貯留能が降雨開始から徐々に低下することに起因する。次に 30 年という時間は本検討で対象とした橋本林地が、現在のような択伐式施業を採用してから約 30 年が経過していることを参考にした。林相転換は白川谷モデルの降雨遮断率と地表面抵抗のパラメータを橋本林地の値に置き換えることによって表現した。具体的には降雨遮断率を 21.7%から 24.8%に、地表面抵抗を $1.2\text{m}^{-1/3}\cdot\text{s}$ から $1.8\text{m}^{-1/3}\cdot\text{s}$ に変化させた。なお浸透能や貯留能に関する表層土壌の厚さや空隙率は 30 年程度では大きく変化しないと仮定した。

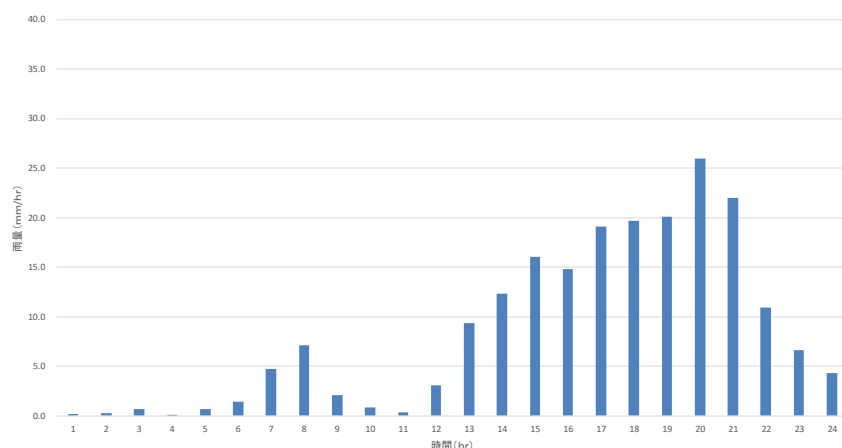


図 3.5.30 シミュレーションに使用した 200 年確率雨量 (21 世紀末、RCP8.5、MRI-NHRCM05)

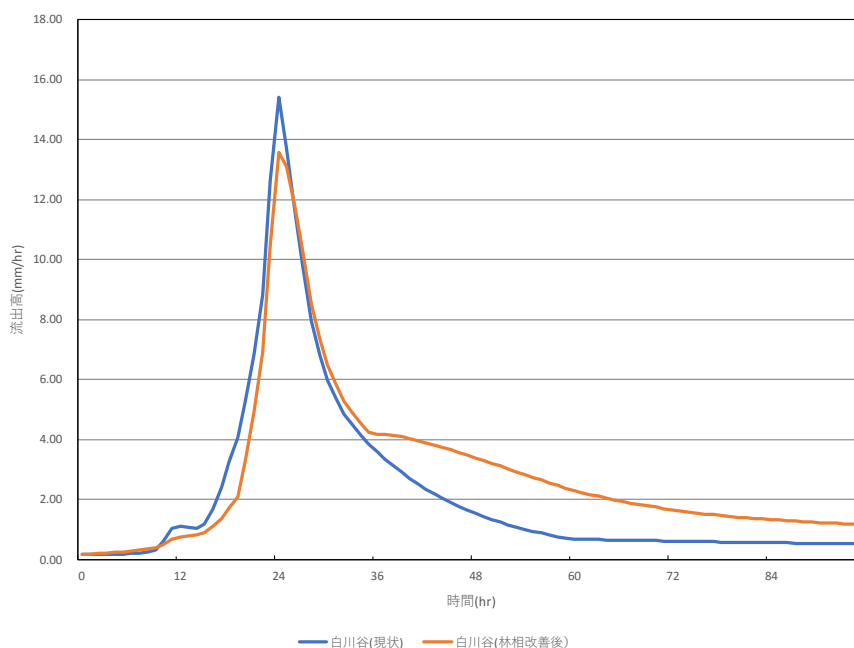


図 3.5.31 林相改善による洪水流量抑制効果 (21 世紀末、RCP8.5、MRI-NHRCM05)

シミュレーションに使用した将来予測 200 年確率雨量は、24 時間総降水量 269.8mm、最大時間雨量 34.5mm/hr である。これをスギ・ヒノキ人工林・一斉植林皆伐型施業地（白川谷（現状））モデルおよび林相転換（白川谷（林相改善後））モデルに適用して得られたのが上図である。結果として、林相を改善すると洪水ピーク流出量は 15.4mm/hr から 13.6mm/hr に減少し約 12%の向上が見られた。

② 窪地地形（低平農地）における水田に期待できる洪水調節量の推定

降雨の増大のみによる湛水量への影響は限定的で、ピーク時湛水量の増加は約 10% である。降雨に加えて潮位が変化する場合の影響は大きく、ピーク時湛水量の増加は約 2 倍となる。湛水量を受け止める面積のうち、約 90% は水田であり、宅地化により湛水可能な水量が減少すると考えられるため、水田の保全が前提となる。一方、水田の湛水深は 0.3m 以上となる場所もあり、農作物への影響も懸念される。

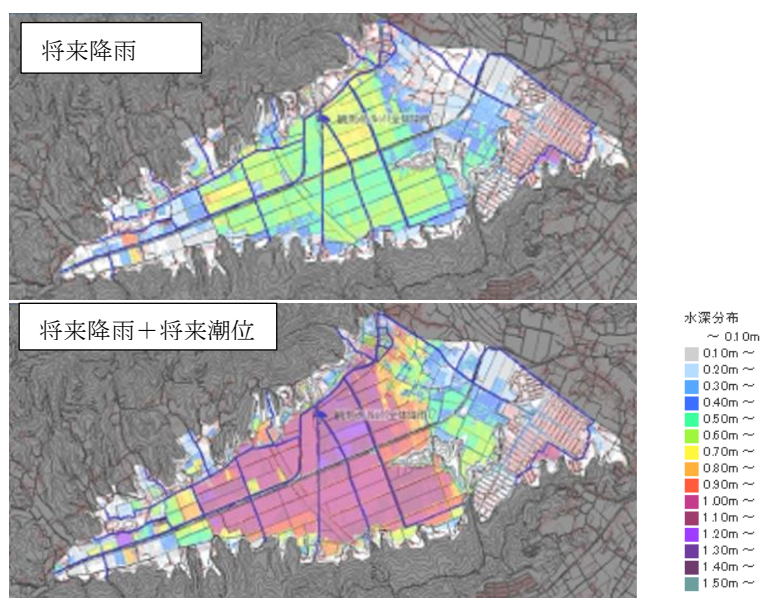


図 3.5.32 338.2 (mm/24hr) および海面上昇を想定した場合の窪地地形の湛水予測
(21 世紀末、RCP8.5、MRI-NHRCM05) (図：氾濫解析 AFREL (ニタコンサルタント(株)))

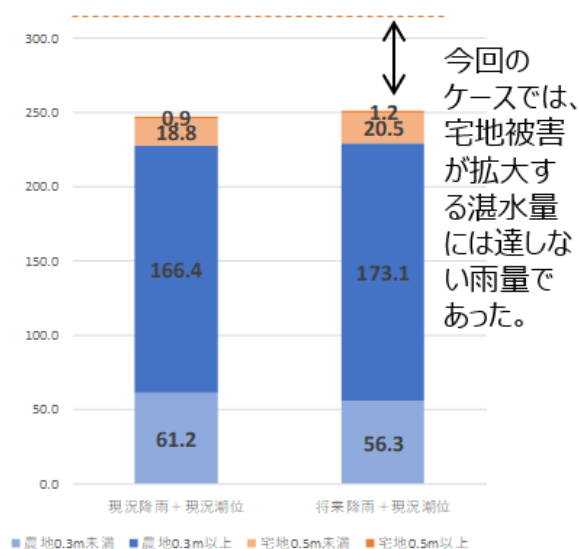


図 3.5.33 土地利用および水深別湛水面積 (21 世紀末、RCP8.5、MRI-NHRCM05)

3.5.4.4. 結果を活用する上での留意点・制限事項

① 人工林の林相改善による洪水流出抑制の可能性検討

森林の洪水低減機能には、植生、土壌、地質、地形など様々な要因が複雑に関係しあっている。今回の検討は特定の林地を対象に行ったものであり、他の人工林に適用しても同程度の効果が表れるとは限らないことに留意する必要がある。また将来気候によって樹木の生長に影響が出る可能性があるが、本調査では考慮していない。

② 窪地地形（低平農地）における水田に期待できる洪水調節量の推定

一般的に洪水氾濫プロセスは、降雨の継続時間や降雨波形によって大きく変化する。今回の検討は限られたケースに基づくものであること、特に潮位に関しては、降雨波形と潮位変動の位相の関係など、網羅的な検討がなされていないことに留意する必要がある。また、洪水氾濫プロセスには、土地利用形態の変化が影響するが、今回の検討では将来の土地利用変化については考慮していない。

3.5.5. 適応オプション

3.5.5.1. 手順

適応オプションの検討にあたっては、影響調査結果、ステークホルダー等調査からの実装に向けた課題を整理した上で、適応オプションおよび実装策について整理を行った。

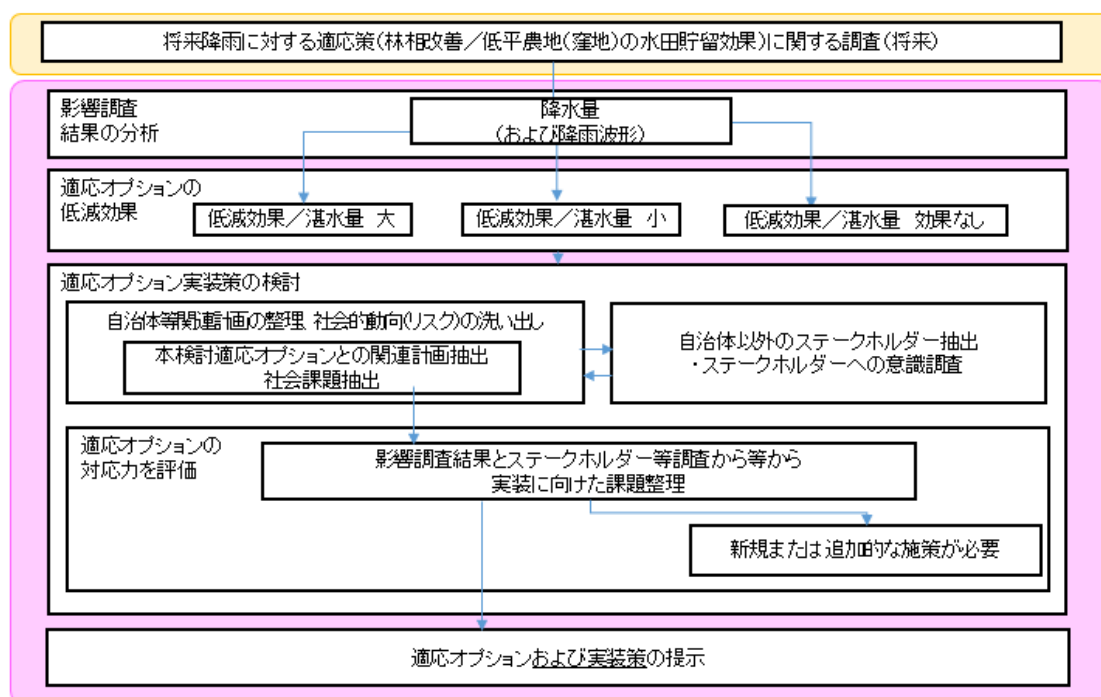


図 3.5.34 影響評価の手順

3.5.5.2. 概要

適応オプションの概要を下表に示す。

表 3.5.12 適応オプションの概要

適応オプション	想定される実施主体			現状		実現可能性			効果		
	行政	事業者	個人	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
生態系を活用した防災・減災（Eco-DRR）のさらなる検証・実証および行政計画等への位置づけの検討	●			普及が進んでいない	<ul style="list-style-type: none"> 各計画への位置づけのためのさらなる科学的知見が必要（森林） 各地区における影響評価等が必要（田） 	△	◎	△	一部◎	長期	N/A
小さな自然再生型林業の普及	●	●		—	<ul style="list-style-type: none"> 効果発揮のためには、自伐林家以外への普及方策が必要 	◎	○	◎	◎	長期	N/A
農地の価値を高めるための認証制度およびナベヅルの周知・農法に関する勉強会の開催		●	●	—	<ul style="list-style-type: none"> 農家、消費者への普及が必要 	△	◎	△	◎	長期	N/A
ハザードマップの更新・公表および農地への被害に関する表現方法の検討	●			普及率 60%／—（農地への被害に関する表現）	<ul style="list-style-type: none"> 公表後、ハザードマップの周知が必要 	◎	◎	◎	◎	短期	高
（畦の高さ以下の浸水農地）多面的機能支払い交付金を活用した田んぼダムの推進	●	●	●	普及が進んでいる	<ul style="list-style-type: none"> 農家への普及啓発、受益者と負担者が異なるエリアの場合の調整が必要。 	◎	○	◎	◎	短期	高
（畦の高さ以上の浸水農地）宅地への被害回避を評価する仕組み・農地維持支援等の検討	●	●	●	普及が進んでいない	<ul style="list-style-type: none"> 窪地地形の効果を評価する仕組みや民間開発抑制等に関する仕組みが必要 	△	○	△	△	長期	高

【 実現可能性の評価基準 】

（人的側面）◎：自団体・一個人のみで実施が可能、△：他団体・他個人との協同が必要

（物的側面）◎：物資設備は不要、○：既存の技術に基づく物資設備で対応可能、△：新たな技術の開発が必要

（コスト面）◎：追加費用は不要、△：追加費用が必要、N/A：追加費用は不明

【 効果の評価基準 】

（効果発現までの時間）短期：対策実施の直後に効果を発現する、長期：長期的な対策であり、対策実施から効果の発現までに時間を要する、N/A：評価が困難である

（期待される効果の程度）高：他の適応オプションに比較し、期待される効果が高い、中：他の適応オプションに比較し、期待される効果が中程度である、低：他の適応オプションに比較し、期待される効果が低い

表 3.5.13 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
生態系を活用した防災・減災 (Eco-DRR) のさらなる検証・実証および行政計画等への位置づけの検討	<ul style="list-style-type: none"> • Eco-DRR の推進について、近年行われつつあり、一部の計画に位置付けられつつあるが、総合的に進めるためには、多様な計画に位置付けられる必要があり、その普及率は不明である。また、直接的な効果については不明とした。
小さな自然再生型林業の普及	<ul style="list-style-type: none"> • 人材育成、また流域単位での効果については長期的かつ科学的検証は地質等多様な要素も含まれることから、直接的な効果は不明とした。 • なお、森林整備計画の事業の目標「生物多様性保全等の多様なニーズへの対応」、育成複層林に誘導した森林の割合は平成 29 年度時点で達成率 45%である。
農地の価値を高めるための認証制度およびナベツルの周知・農法に関する勉強会の開催	<ul style="list-style-type: none"> • 認証制度により、農地の価値を高めることにつながることは、コウノトリ育むお米等の取り組みや（豊岡市）や認証農作物と消費者の購買行動に関する研究（農林業問題研究、2006、藤井ら）などがある。なお、その点と Eco-DRR の実装に関する効果は明らかとなっていないことから、不明とした。
ハザードマップの更新・公表および農地への被害に関する表現方法の検討	<ul style="list-style-type: none"> • 徳島県におけるハザードマップ作成・公表義務市町村のうち、想定最大規模降水に対するものが公表されているのが 12 市町（11 月 5 日徳島新聞：データ出典国交省 3 月末時点集計値より）であることから、普及率を 60%とした。なお、全国は約 33%となっている。 • 一方、農地への被害に関する表記については、全国でも詳細版の記載している自治体はあるが、普及率は不明である。
（畦の高さ以下の浸水農地）多面的機能支払い交付金を活用した田んぼダムの推進	<ul style="list-style-type: none"> • 普及率は不明であるが、多面的機能支払い交付金等の活用事例も全国に見られることから普及が進んでいるとした。 • 効果は、水田の洪水調節機能増進による治水機能補完効果に関する研究（吉川）より、30 年確率降雨イベント想定の際の田んぼダムの実施によって 90%の集落の床上浸水、58%の畑地の冠水面積が軽減されるとの結果から高と評価した。
（畦の高さ以上の浸水農地）宅地への被害回避を評価する仕組み・農地維持支援等の検討	<ul style="list-style-type: none"> • 現時点で農家への支援策がなく、窪地地形の宅地への被害回避貢献を評価する等の仕組みも構築が必要なことから、長期と想定した。 • 一方、畦の高さの浸水を許容することは、住宅地への浸水を防ぐことから効果は高とした。

3.5.5.3. 実装化を検討した適応オプションおよび実装に向けた課題

実装化を検討した適応オプションについての、実装に向けた課題について、下表に示す。

表 3.5.14 適応オプションの概要

適応オプション	結果概要	実装に向けた課題（→実装策）
人工林のピーク流出低減効果	<ul style="list-style-type: none"> • 林相改善によって洪水ピーク流出量は 12% 減少することが示された。（本検討ケースにおける結果） 	<ul style="list-style-type: none"> • 経済性を優先する皆伐や広葉樹転換において一旦皆伐することで、一次的に、機能が低下する可能性がある →「小さな自然再生」型林業（小規模・自伐型林業の推進）の普及 →各行政計画への位置づけ （流域において、皆伐等が集中しないようにするなど）
窪地地形（低平農地）の湛水量	<ul style="list-style-type: none"> • 窪地地形において、（標高の低い土地を）水田での土地利用を維持することが宅地への被害拡大を回避することにつながる。 	<ul style="list-style-type: none"> • 開発等により、土地利用変化が起こり、リスクが高まる可能性がある • 窪地地形における洪水調整であることから、農家の経済損失が発生する可能性がある。 →遊水機能のほかに、基盤サービス、供給サービスをあわせて評価し、農地の価値を高める（見える化） →水田が宅地への被害回避への貢献を評価する仕組みや農地維持への支援策が必要。 →各行政計画への位置づけ

3.5.5.4. 生態系を活用した防災・減災（Eco-DRR）のさらなる検証・実証および行政計画等への位置づけの検討

減災効果を有する森林や窪地地形が社会変動等により受ける影響としては、森林については、降雨に対して一定の機能を有する森林が施業方法により、その機能が低減する。また、流域内で施業や皆伐等の施業が重なることで、流域内のリスクが高まることが挙げられる。また、窪地地形については、降雨に対して一定の湛水機能を有する水田（極端降雨時に浸水が想定される）が開発等により宅地開発されることで、その効果が発揮できなくなる可能性がある。

気候変動への影響低減効果のある森林や水田を維持していくことが重要であるが、経済活動等とトレードオフの関係にある場合もあり、Eco-DRR を発揮する森林や水田を維持していくためには、地域気候変動適応計画以外にも多面的にその機能について位置づけをしていく必要がある。主な関連計画について以下に示す。

表 3.5.15 森林や水田（Eco-DRR）が関連する計画

土地利用等に関する計画	・国土利用計画 ・総合計画 ・都市マスタープラン ・河川整備計画 など
環境政策に関する計画	・環境基本計画 ・生物多様性地域戦略 など
防災に関する計画	・水防計画 ・地域防災計画 ・海岸保全基本計画 ・自治体条例等による計画（例：流域水管理計画） など
森林・農地（林業・農業）に関する計画	・地域森林計画 ・食料・農業・農村基本計画 など
行政計画以外	・森林経営計画 ・営農計画 など

3.5.5.5. 小さな自然再生型林業（小規模・自伐型林業）の普及

現在、各地で林業を学ぶ大学校が設立されている。また、小規模、低投資による択伐施業等の新たな森林への就労スタイルとして自伐型林業が普及しつつある。

そこで、新規従事者等を対象に、各地大学校等のカリキュラムにひとつの森林施業スタイルとして「自伐型林業事業」についても学ぶ場を設ける。また、各種林型別の施業方法や施業事例等、複層林施業等に関する各種マニュアルや技術指針等の活用を行う。

一方、上記のようにひとつの選択肢として、小規模・自伐型林業の選択肢を提示することが重要と考えるが、経済性とは現時点でトレードオフとなる可能性もあり、自伐林家等以外への林地への普及方策が課題である。

【林野庁関連の施業指針等】

- ・「管理経営の指針」（随時更新各森林管理局）
- ・「広葉樹林化ハンドブック 2010」（平成 22 年 12 月）
- ・「広葉樹林化ハンドブック 2012」（平成 24 年 3 月）（いずれも（独）森林総合研究所）
- ・「複層林の施業技術」（昭和 57 年 1 月日本林業技術協会林野庁委託事業）
- ・「複層林マニュアル施業と経営」（平成 4 年 4 月林野庁監修全国林業改良普及協会）

【都道府県の施業指針等】

- ・「複層林の造成技術指針」（昭和 63 年 3 月愛媛県）
- ・「複層林施業技術指針」（平成 8 年 3 月石川県）
- ・「複層林施業マニュアル」（平成 19 年 3 月秋田県）
- ・「針広混交林化誘導技術マニュアル」（平成 25 年 3 月秋田県）
- ・「これからの複層林施業」（平成 27 年 3 月千葉県）

出典：複層林への誘導等について（平成 27 年 11 月 林野庁資料）

3.5.5.6. 農地の価値を高めるための認証制度およびナベヅルの周知 ・農法に関する勉強会の開催

本調査の中で、防災・減災効果を有する水田が生物多様性の機能も有することが明らかとなった。水田を水田として維持していく方策の一つとして、これらの多面的機能を市場経済価値につなげて、経済的な循環も創出していくことが重要である。

そこで、適応オプション実装の方策の一つとして、農地の価値を高める認証制度が考えられる。

なお既存事例としては、豊岡市のコウノトリ育む米などが挙げられる。また、徳島県でも民・学による認証制度が立ち上がっている。

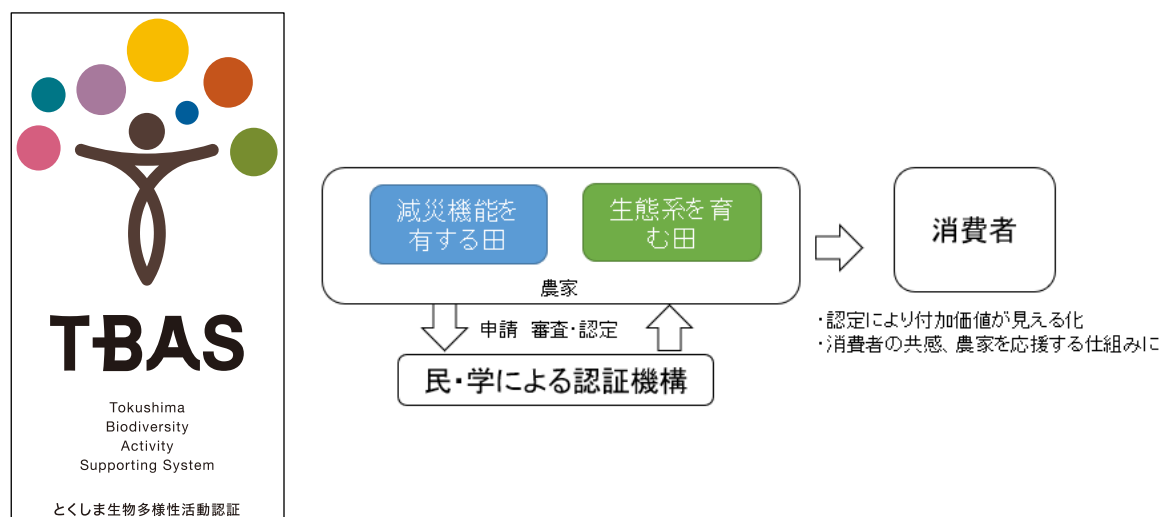


図 3.5.35 とくしま生物多様性活動認証（徳島県）

3.5.5.7. 水害に関する水田の湛水機能の実装についてハザードマップの更新・公表および農地への被害に関する表現方法の検討

水防法により、洪水ハザードマップの作成・公表が義務付けられている市町村のうち、現行基準、すなわち想定最大規模降雨に対するものが公表されていない自治体もあり、最大規模降雨に関するハザードマップの更新・公表が必要（全国約 33%。2019 年 3 月時点）である。

また、農地（水田）への被害に関する表現方法の検討が必要である。

3.5.5.8. 水害に関する水田の湛水機能の実装について（畦の高さ以下の浸水）多面的機能支払い交付金を活用した田んぼダムの推進

田んぼダムとは、田んぼが元々持っている「貯水機能」を利用して、大雨の際に一時的に水を貯め、時間をかけてゆっくり排水し、河川流域の農地や市街地の洪水被害を軽減しようという取り組みである。

2002 年に新潟県村上市で、新たな洪水対策として始まり、新潟県内で約 9、000ha で実施されている（水田の洪水調節機能増進による治水機能補完効果に関する研究、吉川）。

また、多面的支払機能交付金の対象となっており、全国に広がりつつある。

普及にあたっては、省庁間の連携や、農家等の合意形成、受益者と負担者が異なることから、その調整等が課題となる。

多面的機能支払交付金 資源向上支払交付金 地域資源の質的向上を図る共同活動

【対象となる活動】

- 水路、農道等の施設の軽微な補修（破損施設補修、暗渠清掃、鳥獣害防護柵の補修・設置など）
- 農村環境保全活動（生態系保全、水質保全、景観形成・生活環境保全、水田貯蓄機能増進・地下水かん養、資源循環）
- 多面的機能の増進を図る活動（田んぼダム（水害の減災）、水田魚道（生態系の保全・再生）、鳥獣害防護対策施設の設置など）

3.5.5.9. 水害に関する水田の湛水機能の実装について（畦の高さ以上の浸水）宅地への被害回避を評価する仕組み・農地維持支援等の検討の検討

田んぼが元々持っている「貯水機能」を利用した取り組みについては、多面的支払機能交付金制度も活用でき、全国に広まりつつあるが、窪地地形を生かした防災・減災機能に関する評価等はない。また、窪地地形を生かすことで、住宅エリア等への被害を軽減する可能性があるが、農業への経済被害を及ぼす可能性がある。また、現在水田であっても、開発等により住宅地になる可能性がある。

そのため、窪地の水田が宅地への被害回避への貢献を評価する仕組みや農地維持への支援策が必要である。

【実装方策】

- 窪地地形を生かすことで宅地への被害回避を評価する仕組み・農地維持支援策の検討

- ・土地利用の規制等
 - －現況の水田は可能な限り維持する
 - －宅地転換等行う場合に、氾濫解析を行う
 - －その結果を参考にその場所・範囲を限定すると共に、嵩上げ等必要な方策を講じる
 - －建築確認申請時の確認など

引用文献一覧

環境省自然環境局（2016）生態系を活用した防災・減災に関する考え方.

早瀬吉雄（1994）水田地帯の洪水防止・軽減機能の評価と機能向上事業の提案．農業土木学会誌, 62(10):943-948.

平岡真合乃, 恩田裕一, 加藤弘亮, 水垣滋, 五味高志, 南光一樹（2010）ヒノキ人工林における浸透能に対する下層植生の影響．日本林学会誌, 92(3):145-150.

小松義隆, 恩田裕一, 小倉晃（2014）スギ及びアテ人工林における浸透能と林床被覆及び透水係数の関係．水文・水資源学会, 27(3):151-160.

増本隆夫（1998）水田の貯留機能評価と水資源の流域管理にみるパラダイム・シフト．水文・水資源学会誌, 11(7):711-712.

村井宏, 岩崎勇作（1975）林地の水及び土壌保全機能に関する研究（第1報）森林状態の差異が地表流下, 浸透及び侵食に及ぼす影響．林業試験場研究報告, 274:23-84.

志村博康（1982）水田・畑の治水機能評価-国土に必要な治水容量の農地・ダム・森林による分担．農業土木学会誌, 50(1):25-29.

山口裕文, 梅本信也（1996）水田畦畔の類型と畦畔植物の資源学的意義．雑草研究, 41(4): 286-294.

端野道夫, 田村隆雄, 田淵昌之, 富士川 洋一, 森林流域における遮断蒸発・蒸散量と流域地中保水量の分離・評価法, 水工学論文集, 48, pp. 31-36, 2004.

田村隆雄, 端野道夫, 橘大樹（2006）一般中小河川にも適用可能な雨量・水位データを用いた流出解析モデルパラメータの同定手法, 水工学論文集, 50, pp. 355-360.

田村隆雄, 端野道夫, 穴水秀樹, 荒木隆夫（2008）吉野川池田ダム上流の森林流域の洪水低減機能に関する定量的評価, 水工学論文集, 52, pp. 379-384.

丸山岩三（1989）森林の水土保持機能, 水利科学, 33(1), pp. 54-69.

本山芳裕（1996）水源地域の森林の整備について, 水利科学, 40(2), pp. 1-16.

国土庁土地局国土調査課（1975）土地分類図 36（徳島県）, 財団法人日本地図センター.

国土庁土地局国土調査課（1992）表層地質図, 財団法人日本地図センター.

近森秀高, 永井明博（1999）, 降雨波形が洪水到達時間に及ぼす影響, 水文・水資源学会誌第12巻4号, pp. 319-326.

大西靖之（2017）森林斜面の土砂災害を誘発する降雨波形に関する研究, 徳島大学工学部卒業論文, p. 47.

Ohsako Y, (1987) Effects of artificial feeding on cranes in wintering Izumi and Ikune, Japan. In: Proceedings of the 1983 International crane workshop. 89-98pp.

- 吉川夏樹（2010）水田の洪水調節機能増進による治水機能補完効果に関する研究，公益財団法人河川財団.
- 吉川夏樹，有田博之，三沢眞一，宮津進（2011）田んぼダムの公益的機能の評価と技術的可能性. 水文・水資源学会誌，24(5):271-279.
- 藤井吉隆，中山孝彦（2006），認証農産物と消費者の購買行動，農林業問題研究 42(1)，156-160.
- Zhao-Jun Liu, Shoshiro Minobe, Yoshi N. Sasaki, Mio Terada (2016), Dynamical downscaling of future sea level change in the western North Pacific using ROMS, Journal of Oceanography. 72-6, pp. 905-922.
- Jacobs J (1974) Quantitative measurement of food selection -a modification of the forage ratio and Ivlev' s electivity index. Oecologia 14: 413-417