

自治体と連携した気候変動適応策

気候変動が、我が国の沿岸域に及ぼす影響および防災・減災に向けた研究の一事例として、特に高潮に対する脆弱性が高い佐賀平野を対象として自治体と連携しながら進めた研究例を紹介します。

(一般財団法人) 沿岸技術研究センター
橋本 典明

(九州大学名誉教授)

気候変動適応技術社会実装プログラム

Social Implementation Program on Climate Change Adaptation Technology

▶ 社会実装機関

SI-CATの中核機関として、プログラムのマネジメント、及び自治体のニーズと技術開発のシーズの橋渡しを担う機関をご紹介します

▶ モデル自治体

技術開発機関の一員として研究開発に加わる地方自治体をご紹介します

技術開発機関

課題
1

近未来予測

技術開発機関

課題
2

ダウンスケーリング

技術開発機関

課題
3

影響評価

<https://www.restec.or.jp/si-cat/index.html>

鳥取県

砂丘海岸で有名な鳥取沿岸は、気候変動により砂浜の減少や海岸侵食が進行する可能性があります。砂丘は海から供給される砂が吹き上げられて形成されていますが、気候変動下ではこのプロセスが変化する恐れがあります。沿岸に作用する波浪、海水位、波高、水温等の外力の変化によりもたらされる影響を評価し、適応策を検討していきます。ここで得られる成果は砂丘の保全のみならず、侵食対策を必要とする海岸における適応検討にも応用できます。

佐賀県

佐賀平野は、軟弱な粘性土地盤により形成された広大な低平地です。洪水や高潮に対して非常に脆弱であり、想定以上の豪雨や台風に襲われた場合には甚大な被害を受ける可能性があります。被害の低減のために、豪雨や台風に伴う自然災害の被害について様々なシミュレーションを行い、気候変動に対する適応策を検討します。

四国

四国は水害や渇水のリスクのどちらも大きく、また特徴的な地理的・気象学的特性を持っています。四国内の吉野川流域ならびに高知平野の自治体において、気候変動影響に関わる近未来予測の新技術を活用し、また地域の特性を反映したシミュレーションを活用して影響評価と、気候変動の影響を軽減する適応策を検討し、防災を中心とした政策へと反映させていきます。

長野県

将来予測される気温上昇は、長野県の特産品であるリンゴやレタスの生産に影響を及ぼすことが推測されています。これに対し、長野県はモニタリングに重点を置き、農家が活用できるような情報の提供を行っています。また、温暖化に適應するため、気温上昇を利用した品質の高いワイン生産を推奨するなどして、低炭素経済を目指すとともに温暖化への適応策を模索しています。

埼玉県

地球温暖化に加えてヒートアイランド現象が顕在化し、日本の中でも特に激しい気温上昇が起きています。温暖化は作物に影響を及ぼしているほか、熱中症患者数の増加という問題も引き起こしています。これまで緑地の保全等様々な施策を行ってきましたが、その効果を具体的にシミュレーションすることで、取り組みの加速化を狙います。

茨城県

茨城県は農業生産額全国第2位です。自治体との協働により温暖化影響が懸念される作物を抽出し、それらの影響評価を実施した上で影響に対する適応策も合わせて提示することによって適応政策への反映を目指していきます。

茨城県

茨城の沿岸は長大な砂浜と変化に富んだ岩礁から成ります。自然の恵みを楽しみながら沿岸を安全に利用するためには、海象を正しく理解した施策が必要です。気候変動により予想される波浪、海水位、波高、水温等の様々な物理環境の変化をふまえ、設計外力や海岸地形の変化、水産環境や被災リスクなど、沿岸の防災、環境、利用に影響を与える要因とメカニズムを明らかにし、適応策の検討を行っていきます。

岐阜県

気候変動の影響に加えて、人口減少や高齢化といった社会環境の変化により、地域コミュニティの安全・安心を維持しているかどうか懸念されています。岐阜県は、大雨による洪水・土砂災害等、気候変動に伴って変化する災害リスクや、さまざまな気候変動影響に適應するために行政と研究機関が一体となって地域社会のあり方を検討します。

佐賀県

佐賀平野は、軟弱な粘性土地盤により形成された広大な低平地です。

洪水や高潮に対して非常に脆弱であり、想定以上の豪雨や台風に襲われた場合には甚大な被害を受ける可能性があります。

被害の低減のために、豪雨や台風に伴う自然災害の被害について様々なシミュレーションを行い、気候変動に対する適応策を検討します。

佐賀平野の高潮災害に対する脆弱性



＜佐賀平野の特徴＞

- ・干満差が我が国で最も大きい(最大約5~6m)
- ・有明海内で吹送距離が最も長い
- ・広域において地盤高が水面より低い(干拓地)
- ・(超)軟弱な粘性土地盤が深く堆積(30m以上)
- ・度重なる洪水の発生

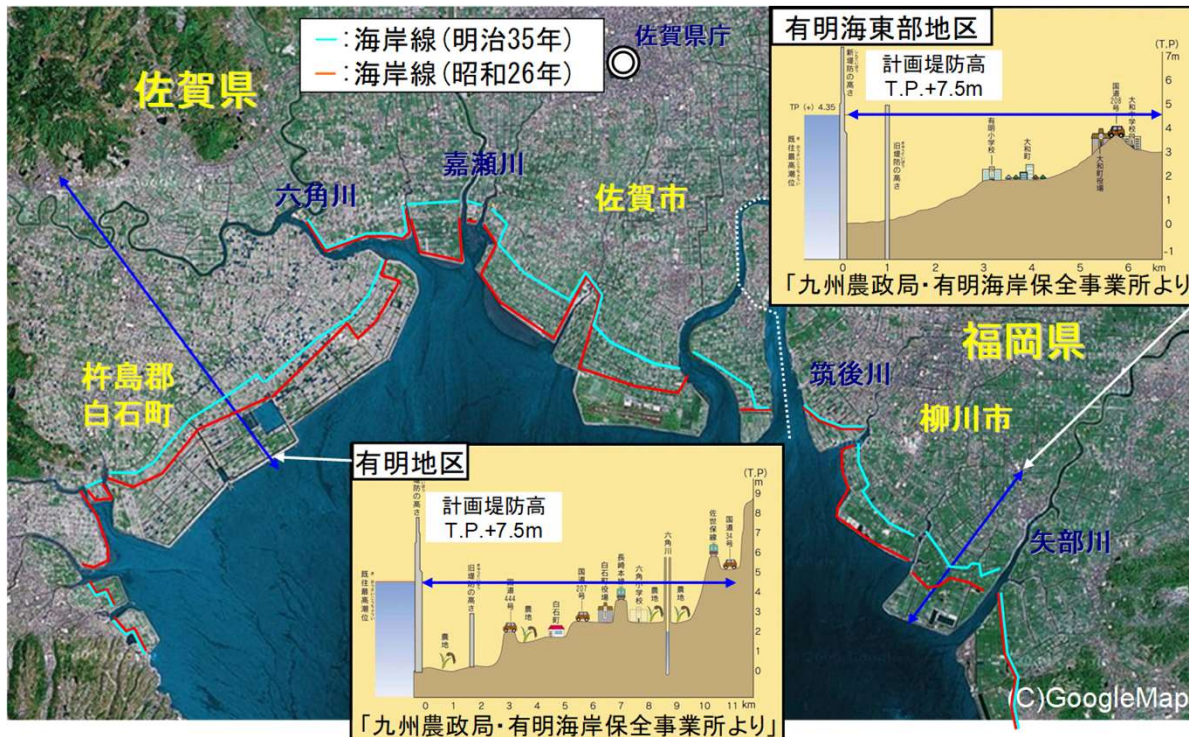
佐賀平野は洪水や高潮に対する脆弱性が極めて高い。

洪水や高潮による氾濫が生じると広域的かつ長期間にわたり浸水が続き甚大な被害となる。

佐賀県, 市町, 民間, 大学等の各機関から構成される「佐賀平野大規模浸水危機管理対策検討会」が設立され, 主に既往の災害に基づき「佐賀平野大規模浸水危機管理計画」が策定されている。

気候変動適応策の検討と社会実装は重要かつ喫緊の課題である。

高潮災害対象として, 気候変動に伴う自然災害の影響評価および適応策の効果について佐賀県と協同で研究し, より実効性の高い適応策を提案する。



佐賀平野の高潮災害に対する脆弱性



計画天端高T.P.+7.5m

(計画高潮位5.02m+波高2.32m+余裕高0.16m)

ただし、計画高潮位:T.P.+5.02m

(基準潮位2.66m+高潮偏差2.36m)

計画台風:5914号(昭和34年9月14号) (*伊勢湾台風は5915号)

∴有明海付近を通過し、規模が抜群に大きく、資料が豊富に存在する



自然災害の影響評価および適応策の効果について佐賀県と協同で研究し、より実効性の高い適応策を提案する。

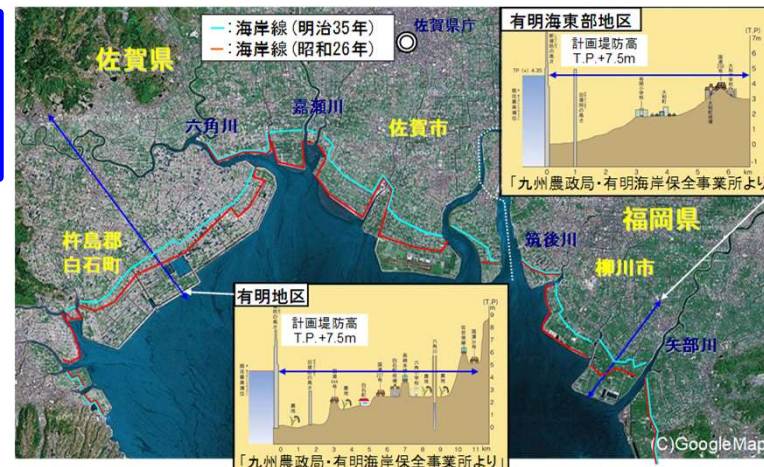
長期

か
機
往
危

重

自

佐賀県をモデル自治体とする 気候変動適応技術社会実装に関する研究



【研究構成】

＜研究の実施概要＞

技術開発機関から提供される幾つかのシナリオに基づく外力を用いて以下の研究を実施

＜佐賀平野の特徴＞

- ・干満差が我が国で最も大きい (最大約6m)
- ・有明海内で吹送距離が最も長い
- ・広域の地盤高が水面より低い
- ・(超)軟弱な粘性土地盤が広域に深く堆積(30m以上)
- ・度重なる洪水の発生



高潮災害

- 外力のバイアス評価およびバイアス補正法の検討
- 高潮浸水計算の高精度化と適応策の導入
- 複数のシナリオに基づくシミュレーションによる適応策の評価

洪水災害

- 分布型流域モデルを用いた数値シミュレーション
- 適応策(カスケード方式その他)の検討

地盤災害

- 軟弱地盤上の基礎地盤を含む河川堤防について、実効性のある健全度の評価手法の開発
- 効率的な適応策の提案

＜自然災害の危険性＞

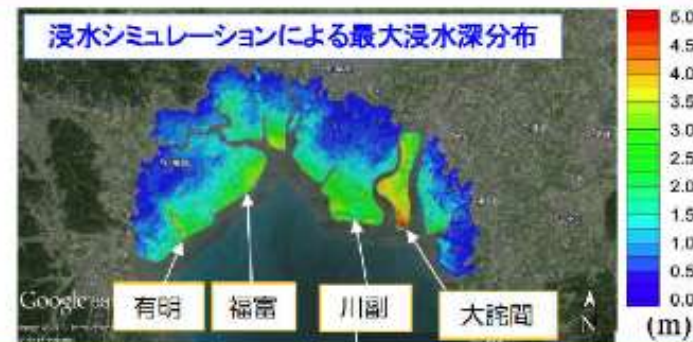
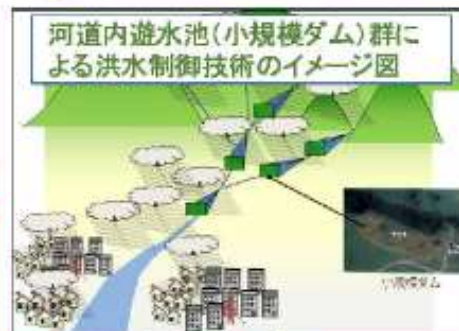
佐賀平野は洪水や高潮に対する脆弱性が極めて高く、洪水や高潮による氾濫が生じると広域かつ長期間にわたり浸水が続き甚大な被害になる可能性がある。

＜気候変動適応策の検討と社会実装の重要性＞

佐賀県、市町、民間、大学等の各機関から構成される「佐賀平野大規模浸水危機管理対策検討会」が設立され、主に既往の災害に基づき「佐賀平野大規模浸水危機管理計画」が策定された。気候変動適応策の検討と社会実装は重要かつ喫緊の課題である。

＜本研究の目的＞

佐賀平野に及ぼす高潮災害、洪水災害および地盤災害を対象として、気候変動に伴う自然災害の影響評価および適応策の効果について佐賀県と協同で研究し、より実効性の高い適応策を提案する。



簡易非破壊装置を用いた締固め度の管理



実施年度	実施内容
平成27年度	数値モデルの改良とデータ収集
平成28年度	モデルの高精度化と適応策導入に向けたモデルの改良
平成29年度	適応策の効果に関するシミュレーション
平成30年度	複数の適応策の組合せ等の検討
平成31年度	最終成果の取り纏め

気候変動適応技術の社会実装ガイドブック

SI-CATガイドブック編集委員会編

技報堂出版

A5・256頁 / 2750円

ISBN : 978-4-7655-3477-2

SI-CAT(シーキャットと読みます)は、文部科学省により2015年度から5か年計画のプロジェクトとして立案・実行されました。SI-CATの正式名称は、「気候変動適応技術社会実装プログラム」(Social Implementation program on-ClimateAdaptation Technology)で、SI-CATはこのプロジェクト英名の頭文字をつなげて作った略称です。SI-CATは、全国の地方自治体などが行う気候変動適応策の策定に汎用的に生かされるような近未来の気候変動予測モデル技術を開発し、モデルで得られる近未来予測データを用いた気候変動影響評価の技術を開発することを目的に立案されました。本書は、SI-CATの取り組みや活動をまとめたものです。

SI-CATガイドブック編集委員会 編

社会実装ガイドブック

気候変動適応技術の



技報堂出版

社会実装のかたち 『防災編5』 佐賀県

気候変動下で激甚化する水 土砂災害に向けた適応策の検討

【その1】 人の物語

- ◆事象 1℃の地球温暖化で 何が起っているか／何が起ったか
- ◆行動 人々はどう動いたか。
- ◆試練 取組の中でどのような課題 問題に直面したか
- ◆成果 目指したものは得られたか 技術は社会実装されたか
- ◆展望 引き継がれていく未来

【その2】 技術の開発 実装物語

- ◆目的 目標 何のために何をめざしたか
- ◆工程 SI-CATでの実施内容

（橋本典明 井手喜彦）

佐賀平野の高潮災害に対する適応策

- 佐賀平野にとつて危険な台風経路
- 台風特性の将来変化に対する統計的解析
- 台風外力の力学的ダウンスケーリング
- 影響評価
- 適応策
 - 【二線堤としての機能 旧堤防
 - 【沿岸道路の二線堤としての機能 旧堤防
 - 【排水ポンプによる浸水からの復旧
 - 【河口堰閉門のタイミング

（橋本典明 井手喜彦

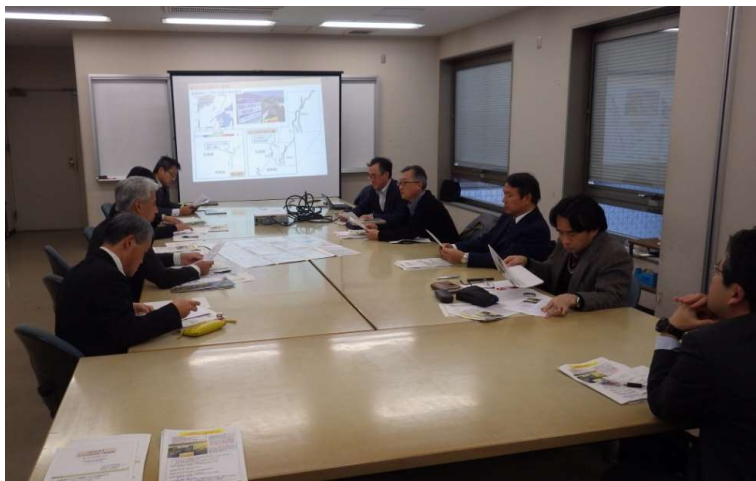
佐賀県（+九州地方整備局 武雄河川事務所, 筑後川河川事務所）との打合せ

2016/8/17	平成28年度第1回モデル自治体打合せ（佐賀県庁）
2017/1/12	平成28年度第2回モデル自治体打合せ（佐賀県庁）
2017/6/ 9	平成29年度第1回モデル自治体打合せ（佐賀県庁）
2017/8/ 9	平成29年度第2回モデル自治体打合せ（佐賀県庁）

実施計画と、進捗状況を報告

- 佐賀県から我々に検討してもらいたい**要望を聴取**
- 計算に必要な**データを提供**（排水ポンプや有明海沿岸道路の情報）

- 佐賀県の要望をまとめ、実施計画を立てた。
- 計画に沿って、検討した。



佐賀県との協議により自治体の要望を抽出

検討項目①：危険な台風コースの検証

台風がどのようなコースを通った場合が最も危険なのか検証し、適切な水防活動や避難行動に役立てる。

検討項目②：堤防の重要水防箇所の抽出

有明海岸堤防は、計画堤防高7.5mに満たない危険箇所が複数存在するが、どの箇所が一番危険なのかなど順位が明らかにされていない。L1規模の時系列の高潮氾濫シミュレーションを実施し、どこから順番にあふれだすのかを明らかにして、重要水防箇所の優先順位付けを行い、適切な水防活動や避難行動に役立てる。

検討項目③：二線堤（旧堤防）、有明沿岸道路等の既存施設の効果把握

有明海岸堤防内に隣接する二線堤や有明沿岸道路は、海岸堤防が破堤した場合、高潮を防御する効果があると言われている。既存施設の有効性を定量的に評価することで、保全対策や活用対策に資する。

検討項目④：防潮水門の効果検証・河川と高潮の複合災害を考慮

六角川及び本庄江等において高潮対策を目的とした防潮水門が整備されている。これらの防潮水門の効果を把握するために、防潮水門有り無し時の高潮シミュレーションを実施し、水門の被害軽減効果の検証をすることで事後評価に資する情報を得る。また、河川と高潮の複合災害を考慮した検討を行う。

検討項目⑤：排水ポンプの効果検証

佐賀県には、100箇所以上に排水処理場が存在する。高潮浸水時および、浸水後の復旧における排水ポンプの有効性を検証する。

検討項目⑥：L2およびL1規模の台風の高潮氾濫シミュレーションの実施

平成27年の水防法改正により、最大想定規模(L2規模)の高潮の浸水想定区域図の作成が義務付けられ、国交省、農林省により高潮浸水想定区域図作成の手引きがだされているところである。佐賀県においても有明海岸の計画堤防高さ7.5mからどの高さまで上昇し、どのような浸水区域となるのか把握が必要であり、これらの手引きに沿った高潮氾濫シミュレーションを実施したい。その際、有明海に適用した場合、非現実的な計算条件は非採用とするなど、極力ローカルルールを勘案する。



佐賀県からの要望への対応に向けた実施計画の作成

STEP 1: その4 : 危険な台風コースの検証



様々な台風経路を実験する。台風はL2規模だけではなくL1規模も行い、台風移動速度も変化させるなど複数の台風条件について検証を行う。

STEP 2: その2 : 重要水防箇所の抽出

その4での検証結果を参考に数パターンの台風を選定し、場所ごとの堤防高を考慮した危険箇所を特定する。その際、現況の未完成である堤防高と完成後の堤防高の両ケースについて検証を行う。

STEP 2.5

高潮氾濫シミュレーションに用いる台風外力の高精度化

高潮氾濫計算は入力する台風の外力に大きく依存する。そのため、台風外力の推定精度の向上も行う必要がある。

STEP 3: その1 : L2規模の高潮氾濫シミュレーションの実施 その3 : 二線堤、有明沿岸道路等の既存施設の効果把握

その4およびその2で把握した危険台風コースと危険箇所を考慮し、L2規模の高潮氾濫シミュレーションを行う。地域ごとの浸水範囲、浸水深度、および浸水開始時間の違いに注目し、災害時の被害予測、避難活動などに有益な情報を提供する。

同時に、二線堤や有明海沿岸道路等の既存施設による減災効果についても検討を行う。



STEP 4: 水門開閉の効果の検証

水門の開閉が高潮浸水へ及ぼす影響を検討する。また、開閉のタイミングによって被害の違いにも注目する。

排水ポンプの効果の検証

排水ポンプを作動させることによって高潮浸水災害の減災が可能であるかを検証する。

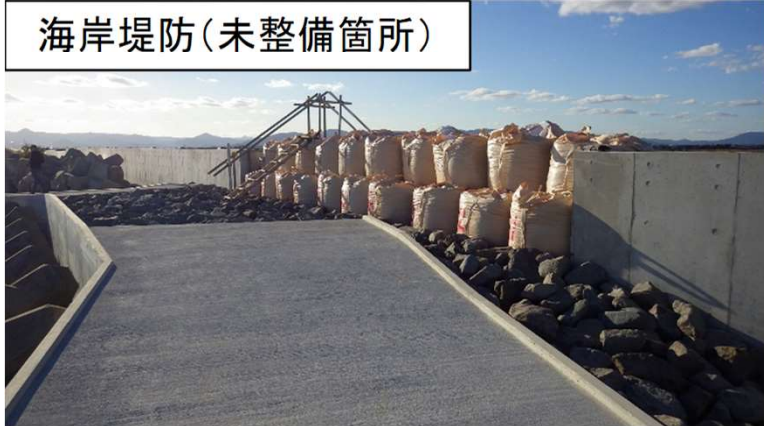
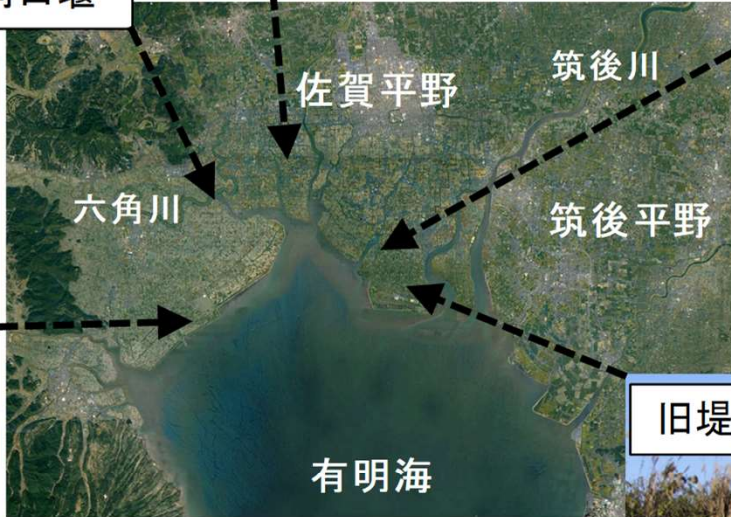
外水と内水氾濫による複合災害の検討

高潮による河川からの外水と雨などによる内水氾濫の複合災害が生じた場合も想定し検討を行う。



佐賀県からの要望に沿って研究を進める

考慮すべき佐賀平野の高潮対策等施設





有明海・八代海を対象とした計算領域

■検討条件

<計算格子間隔>

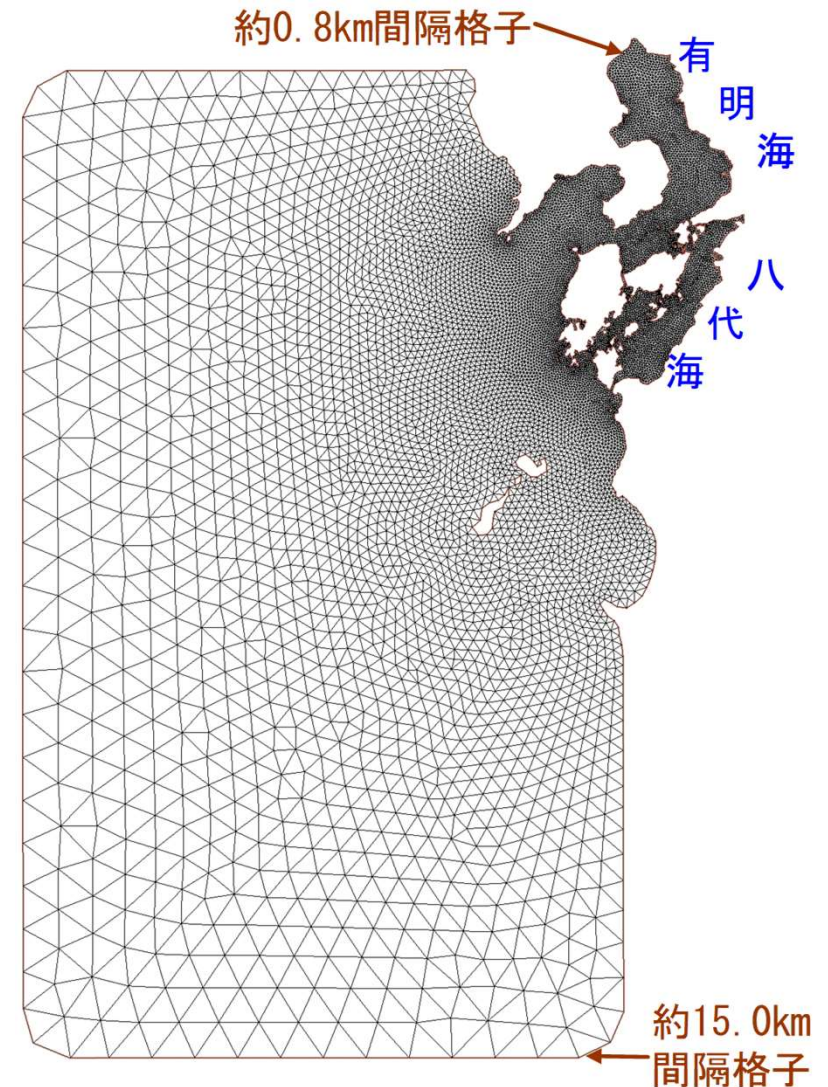
外洋約15km, 内湾約0.8km

<計算条件>

表1参照

表1 FVCOMの主な計算条件

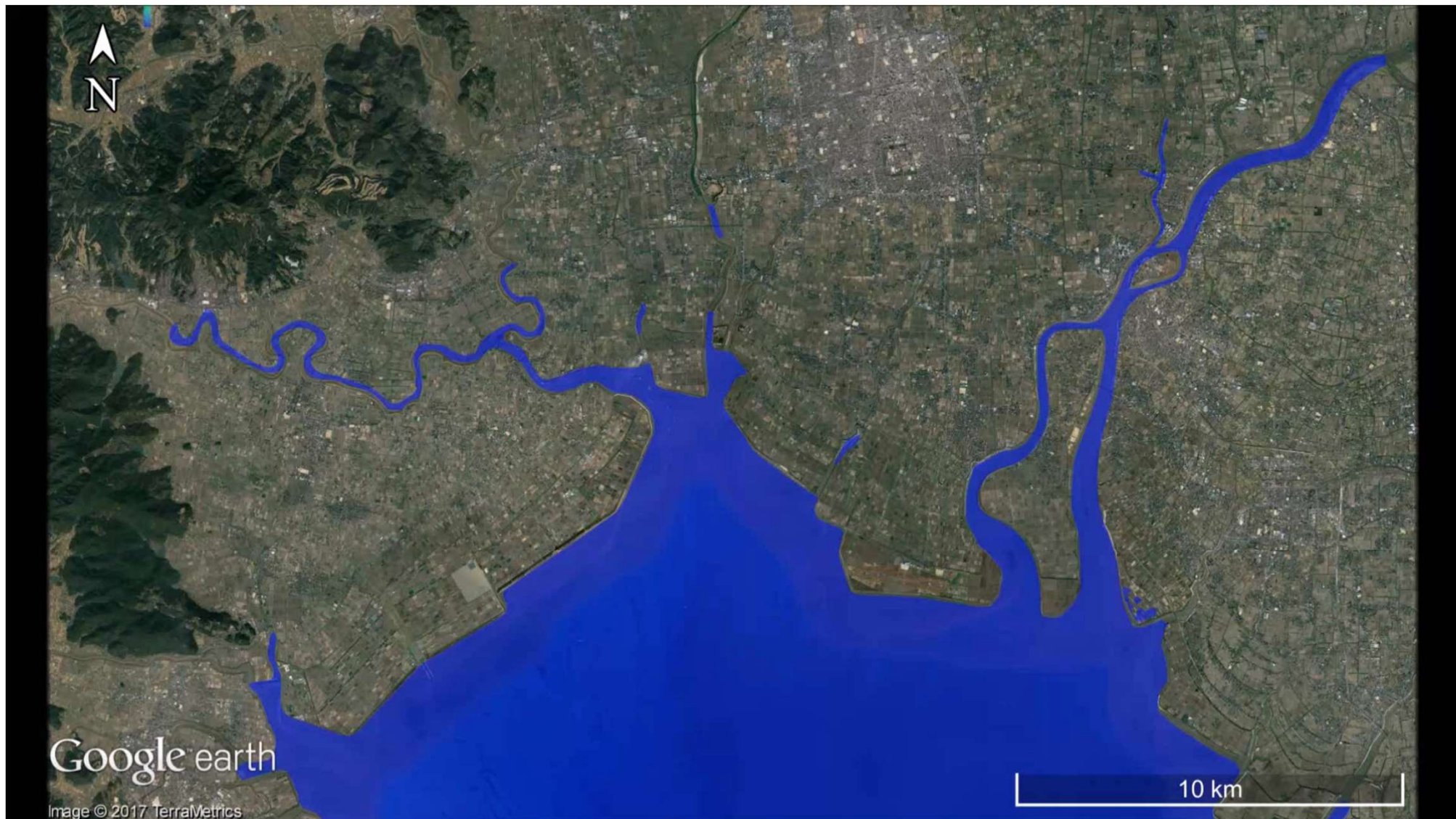
	領域①	領域②	領域③	領域④
水平格子間隔	0.8 km	0.8 ~5 km	0.8 ~10 km	0.8 ~15 km
鉛直方向層数	10層			
海水密度	一定 (20 °, 30 psu)			
開境界条件	水位境界(潮汐無し)			
気象場の推算	台風モデル (入力時間間隔60 分)			
計算時間間隔	1.0 秒			



FVCOMの計算格子(領域④)

超高解像な高潮推算
海と陸を連続的に一体的に計算!!

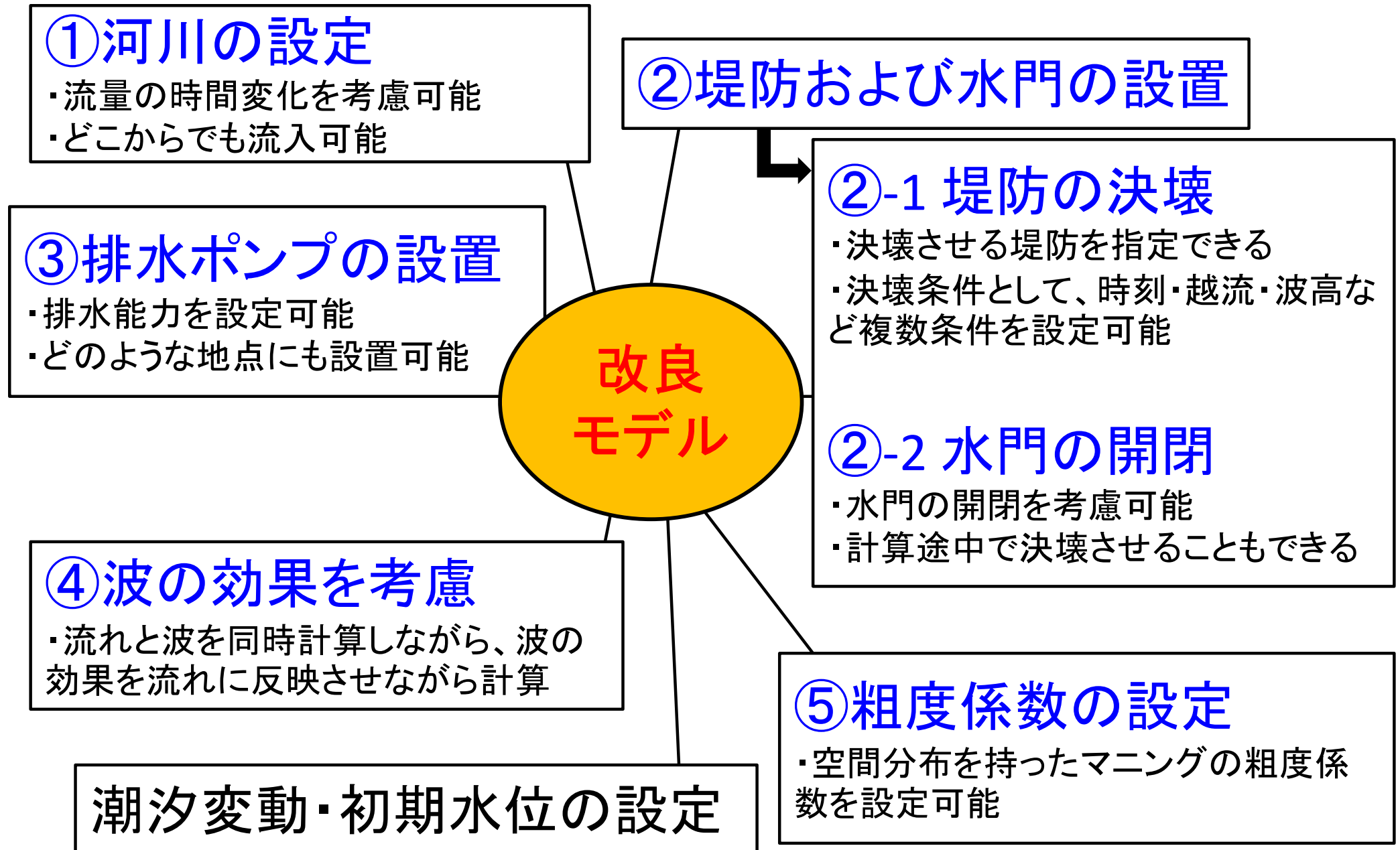
高潮氾濫シミュレーション①



浸水深(陸域), 平均海面からの変化(海域)



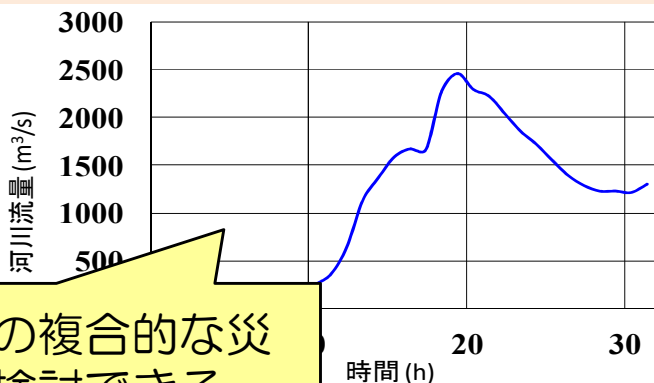
高精度高潮・波浪モデルで再現可能なもの



様々な適応策を検討可能な数値モデルの開発・改良

①河川の設定

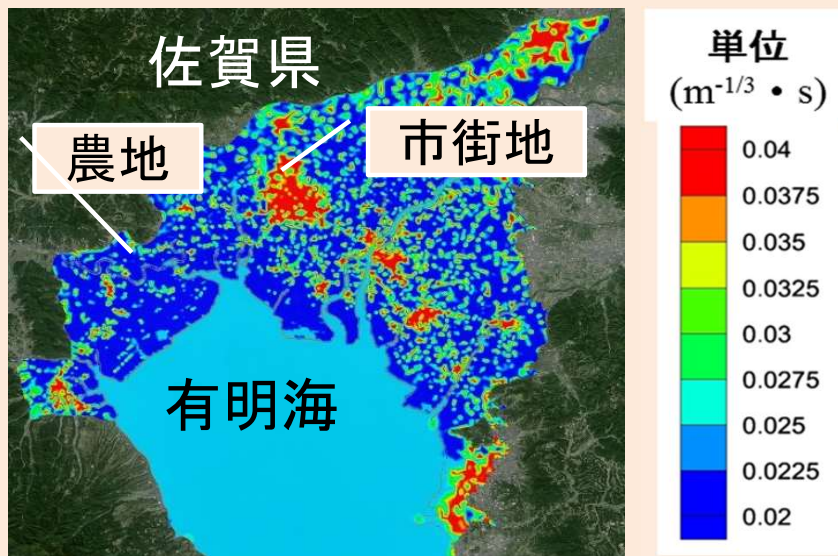
任意の地点から時間変化する**河川流量**を設定可能



河川の洪水との複合的な災害に対しても検討できる

③マンニングの粗度係数の設定

土地利用分類データより、マンニングの粗度係数の空間分布を設定



②堤防および水門の設置

堤防決壊も考慮可能。決壊条件は、越流・波高・時刻で判定。

水門の開閉を考慮可能。



堤防の決壊による浸水被害や、水門の開閉タイミングによる被害程度の違いを検証できる

海水の流れやすさの違いを考慮したシミュレーションが可能

④排水ポンプの設置可能

佐賀県には、100箇所以上に排水ポンプが存在する。高潮浸水時における排水ポンプの効果を検証可能。



高潮浸水被害に対して、排水ポンプによる浸水からの復旧効果を検討することができる

⑤有明海沿岸道路や二線堤、輪中を再現
有明海沿岸道路や二線堤、輪中のような厚みの薄い構造物を精度よく表現できる。



⑥波の影響を考慮可能

高潮と同時にSWANで波を計算。

流れモデル (FVCOM)
(流れ・水位の計算)

流速
水位

海面風応力
ラディエーション応力

波モデル (FVCOM-SWAN)
(波の計算)

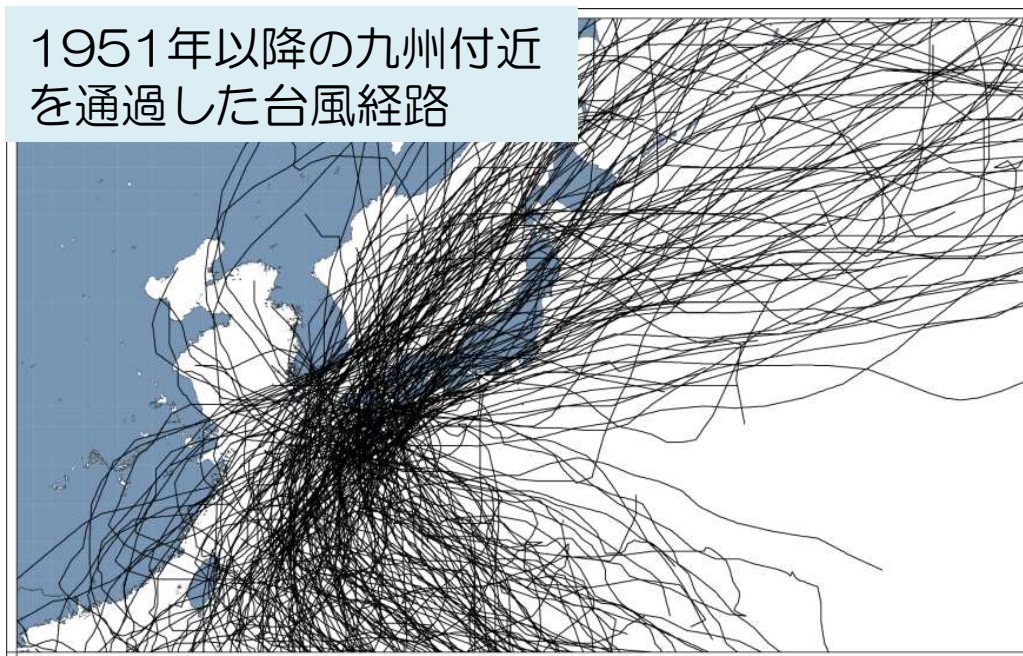
危険な台風コースの検討

台風がどのようなコースを通った場合が最も危険なのか、様々な台風コースを実験して検証する。まずはL2規模の台風を対象に検討を行った。

「高潮浸水想定区域作成の手引き」よりL2規模の台風を設定

項目	設定値
計算範囲	北緯25度~38度、東経122度~135度
中心気圧	900 hPa (第2室戸台風級を想定)
移動速度	73 km/h (伊勢湾台風級を想定)
最大旋衡風速半径	75 km (伊勢湾台風級を想定)
経路	過去九州付近を通過した台風経路から実験経路を設定
C_1 、 C_2	0.6, 0.6

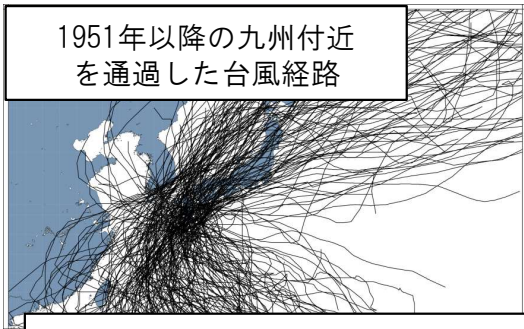
1951年以降の九州付近を通過した台風経路



佐賀平野にとって最悪コースの検討

最悪経路の検討

1951年以降の九州付近を通過した台風経路



台風条件

項目	設定値
中心気圧	900 hPa (室戸台風級を想定)
移動速度	75 km/h (伊勢湾台風級を想定)
最大旋衡風速半径	75 km (伊勢湾台風級を想定)

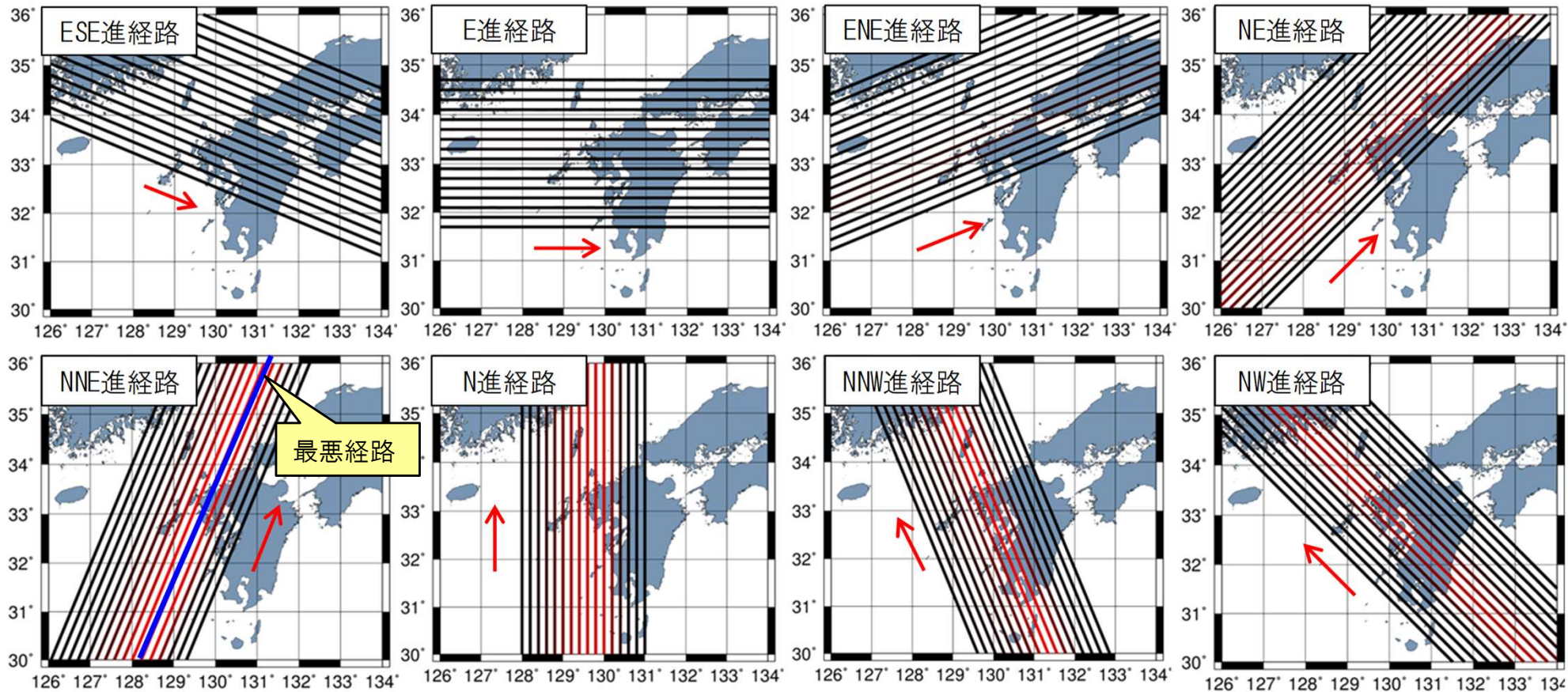
L2規模 (既往最大) の台風を想定
※「高潮浸水想定区域作成の手引き」より設定

堤防未完成時 (現況) における台風位置と危険度の関係

全128コース

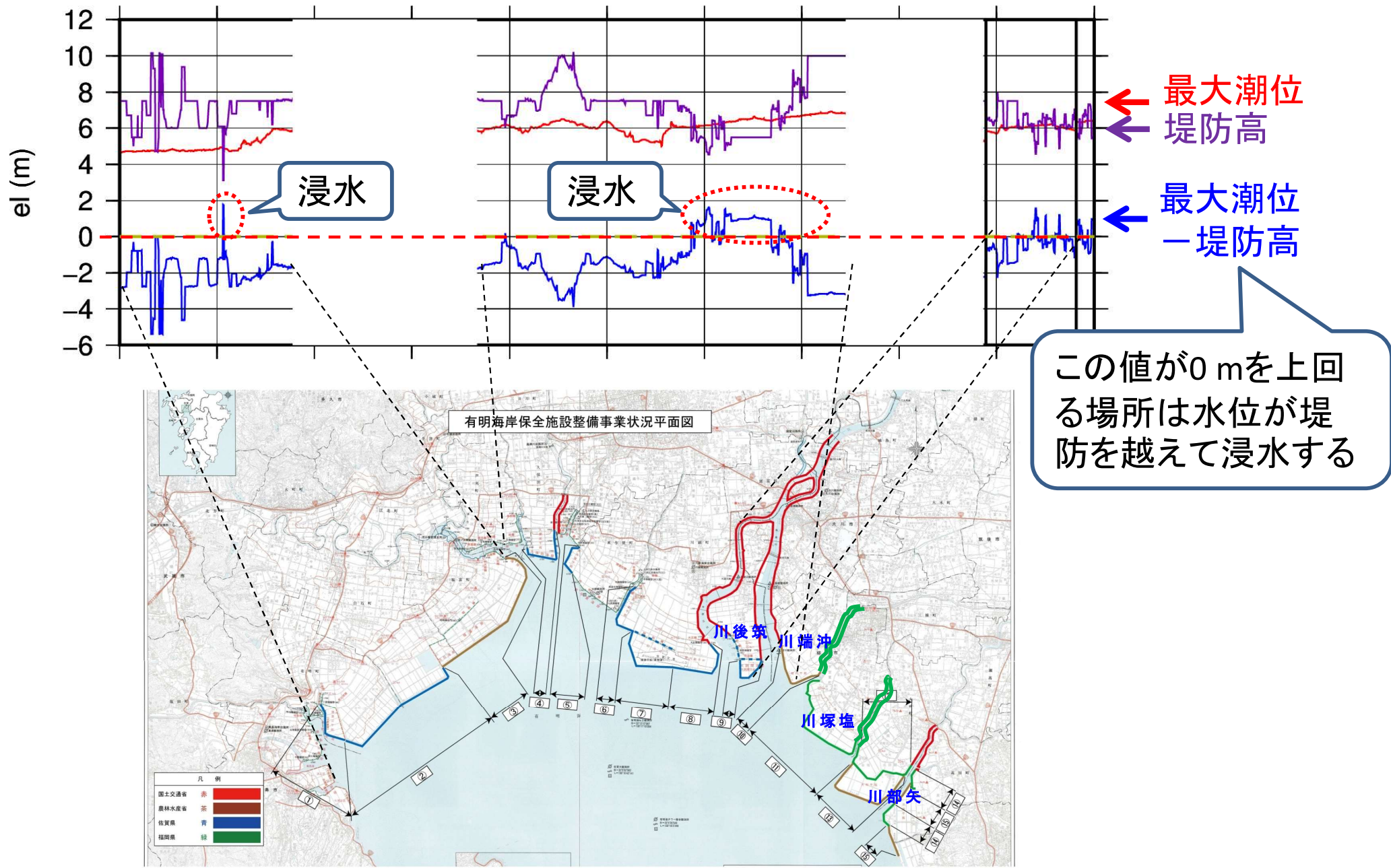
危険度 = 有明堤防を越えて陸域へ浸水した流量

浸水無 ■ 小 大



計算結果例(東経129.8度をN進ケース)

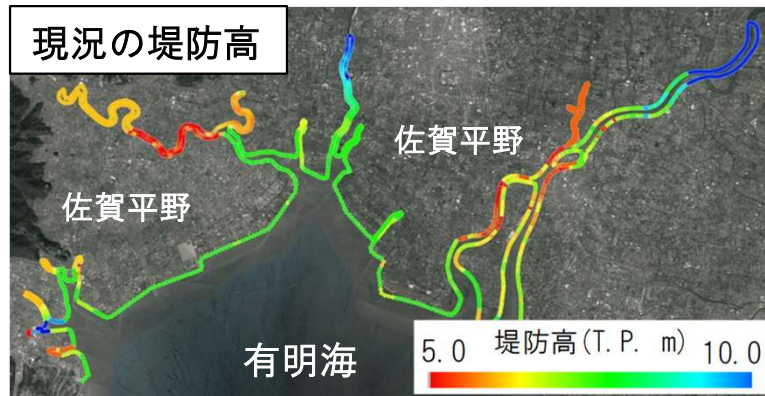
堤防高および最大潮位とその差



各種高潮対策施設の効果の検討

海岸堤防, 河川堤防の嵩上げの効果

現況の海岸・河川堤防は多くの箇所が整備中である。
最低堤防高7.5mへ向けて年2%ずつ整備が進行中。



最低堤防高を
T.P. +7.5mへ



嵩上げ



大規模アンサンブル気候予測データベース

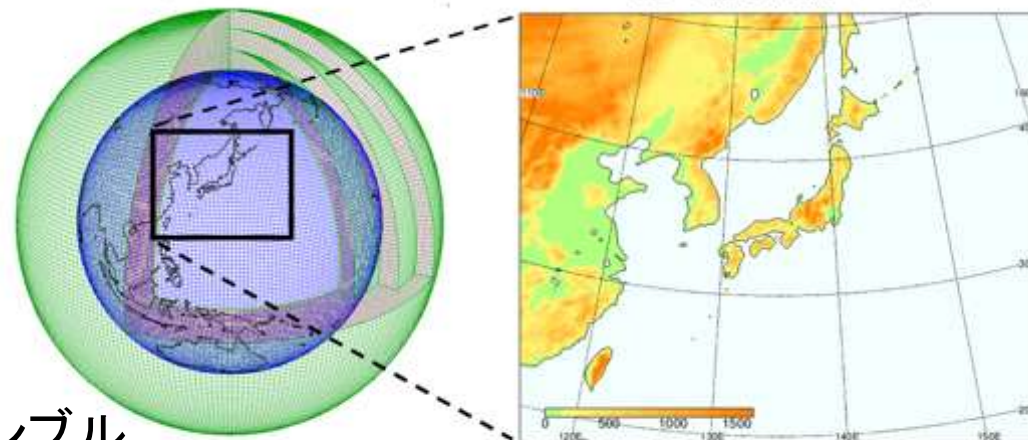
Database for Policy Decision Making for Future Climate Change

d4PDF (地球温暖化対策に資する
アンサンブル気候予測データベース)

AGCM
(水平解像度約60km)

NHRCM
(水平格子間隔20km)

水平解像度約60kmのMRI-AGCM3.2を用いた全球実験と、水平解像度約20kmで日本域をカバーするNHRCMを用いた領域実験によって構成される。



(画像: 気象庁提供)

領域実験は、当初は下記の2種類のアンサンブル

- ・**過去実験(現在予測)** 1950年9月~2011年8月 × 50 (100) メンバ **(3000年のデータ)**
- ・**4°C上昇実験(将来予測)** 2050年9月~2111年8月 × **90メンバ** **(5400年のデータ)**

6つのSSTモデル
(海面水温変化パターン)

×

15の摂動

⇒90メンバー

シナリオ **RCP8.5(最も放射強制力大)**

略称		シナリオ(予測)のタイプ
	RCP 2.6	低位安定化シナリオ (世紀末の放射強制力 2.6W/m ²) 将来の気温上昇を 2°C以下に抑えるという目標のもとに開発された排出量の最も低いシナリオ
	RCP 4.5	中位安定化シナリオ (世紀末の放射強制力 4.5W/m ²)
	RCP 6.0	高位安定化シナリオ (世紀末の放射強制力 6.0W/m ²)
	RCP 8.5	高位参照シナリオ (世紀末の放射強制力 8.5W/m ²) 2100年における温室効果ガス排出量の最大排出量に相当するシナリオ

大規模アンサンブル気候予測データベース

将来気候における台風特性の確率論的な評価には、**気候予測モデルによる実験結果の解析が有用**であるが、これまでの気候予測モデルによる実験は、**アンサンブル数が十分でないために確率論的な評価が難しかった**。文科省・気候変動リスク情報創生プログラム（平成28年度終了）では、これまでにない大規模なアンサンブル実験結果をもつ気候予測データベース(d4PDF)を作成した。これによって、**確率論的な議論ができるようになった**。

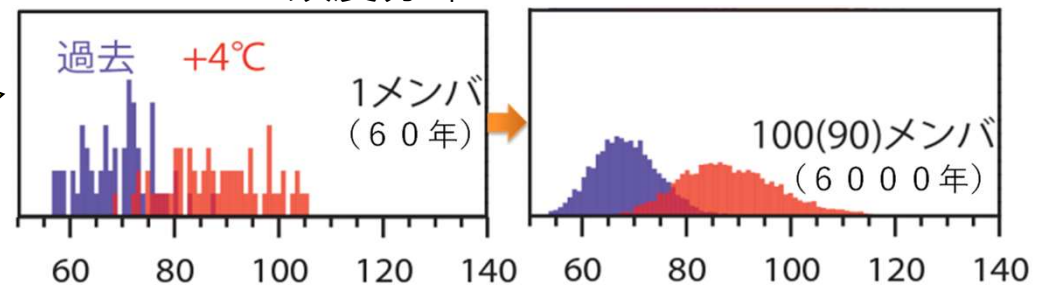
d4PDF 地球温暖化対策に資するための大規模気候予測データベース

	過去実験	将来2度上昇実験	将来4度上昇実験
期間	現在気候(1951~2011年)	全球平均気温 2度上昇 気候	全球平均気温 4度上昇 気候
内容	気象データ（水平解像度60km(日本周辺は20km)）		
計算期間	6,000年分 (60年×100メンバー)	3,240年分 (60年×54メンバー)	5,400年分 (60年×90メンバー)
海面水温モデル	観測データ	6種類の全球大気海洋結合モデルの実験結果を使用	

cf. 地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース(d4PDF) 利用手引き

頻度分布のイメージ

将来の気候予測を、温暖化に対して段階的に確率・統計論を用いて議論できるようになった



有明海に接近する
台風特性の将来変化

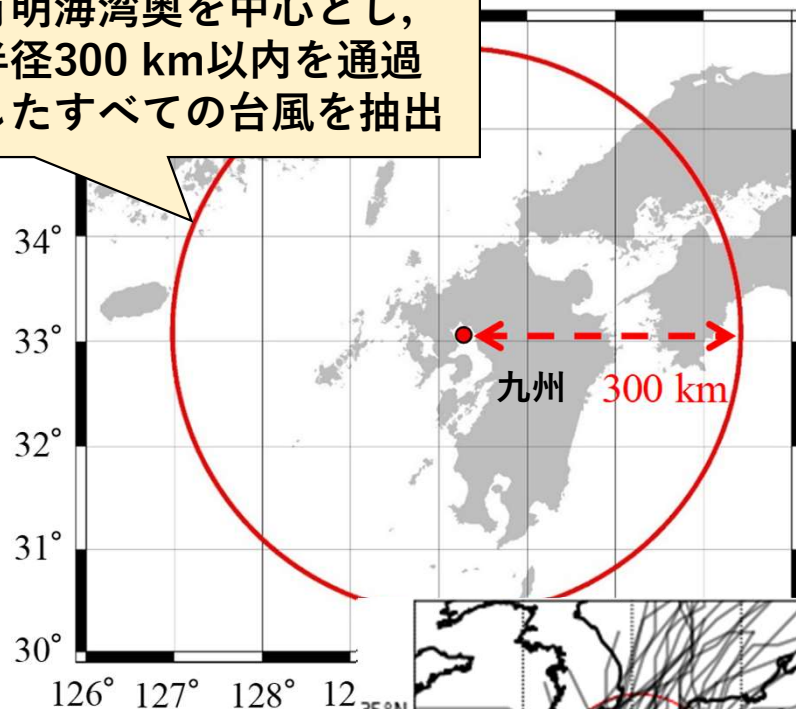
有明海に來襲する台風特性の将来変化

有明海周辺における台風の來襲頻度

d4PDFから有明海に接近した台風を抽出し、來襲頻度の将来変化について調べた。

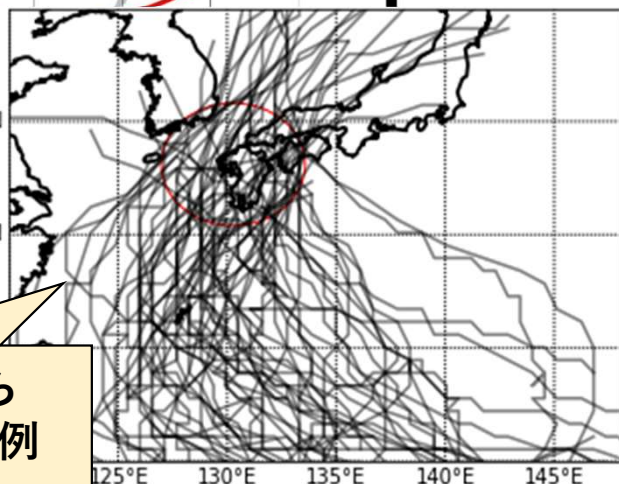
【解析対象とした台風】

有明海灣奥を中心とし、半径300 km以内を通過したすべての台風を抽出



台風全体の総数は減少

1メンバー(60年間)から抽出された台風経路の例



【來襲台風の個数(1,000年あたり)】

全台風

実験名	個/1000年	変化
過去実験	1023.6	
2度上昇実験	804.6	-219
4度上昇実験	600.0	-204

中心気圧940hPa以下

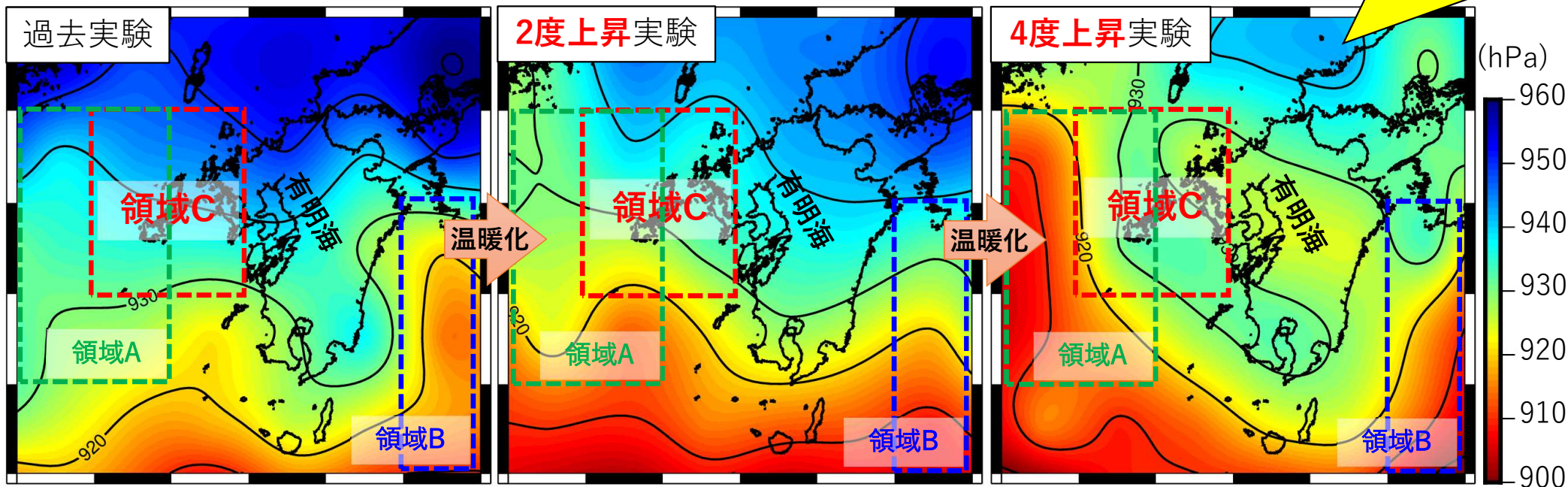
実験名	個/1000年	変化
過去実験	32.3	
2度上昇実験	61.1	+28.9
4度上昇実験	74.8	+13.7

勢力の強い台風の数は増加

台風強度

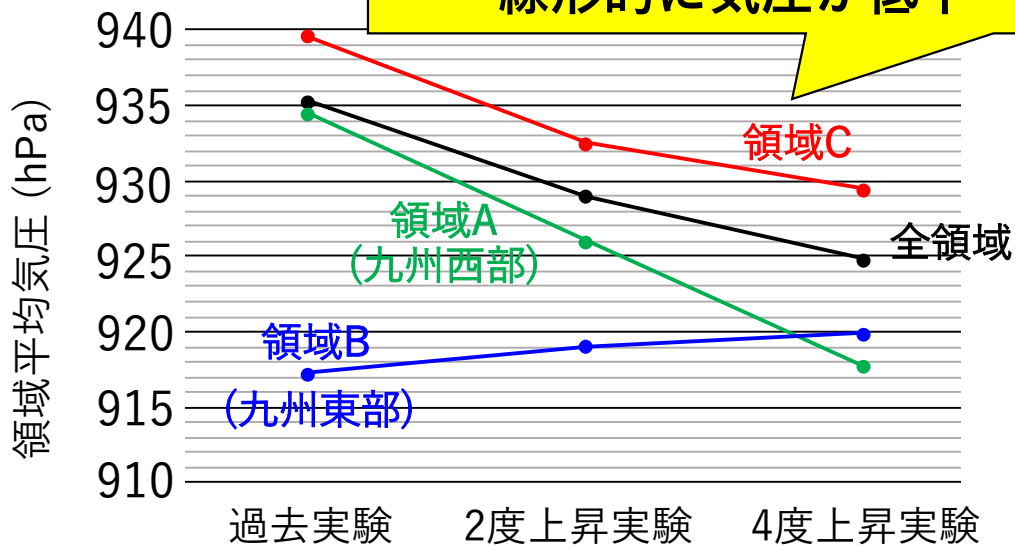
【再現期間1,000年における台風中心気圧】

温暖化に伴って、
領域全体で気圧が低下



領域平均値

領域B以外は温暖化に伴って、
線形的に気圧が低下



領域全体（九州周辺）では、気温2度上昇に対して、約5hPaの中心気圧低下

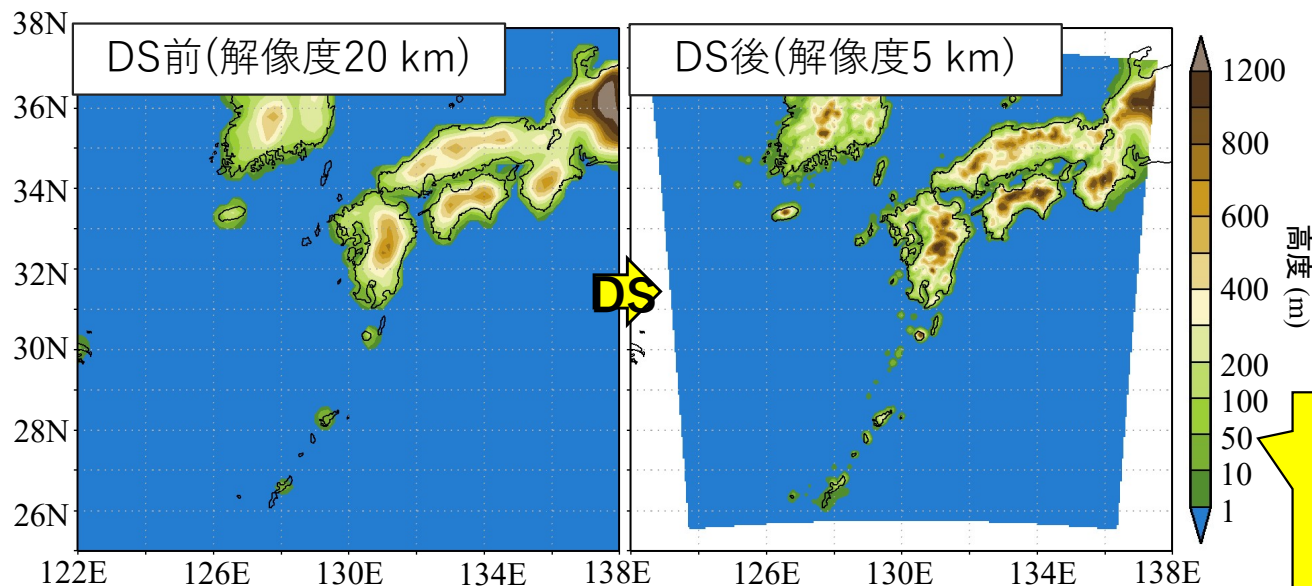
- 九州東部海域と比較して、九州西部海域で台風の強化が顕著
- 有明海に対して危険な経路（領域C）で台風は強化される傾向があり、佐賀平野での高潮災害の危険性は将来的に増す可能性が高い

**d4PDFのダウンスケーリング
データを外力とした
高潮氾濫の検討**

ダウンスケーリング後の気圧・風 (例)

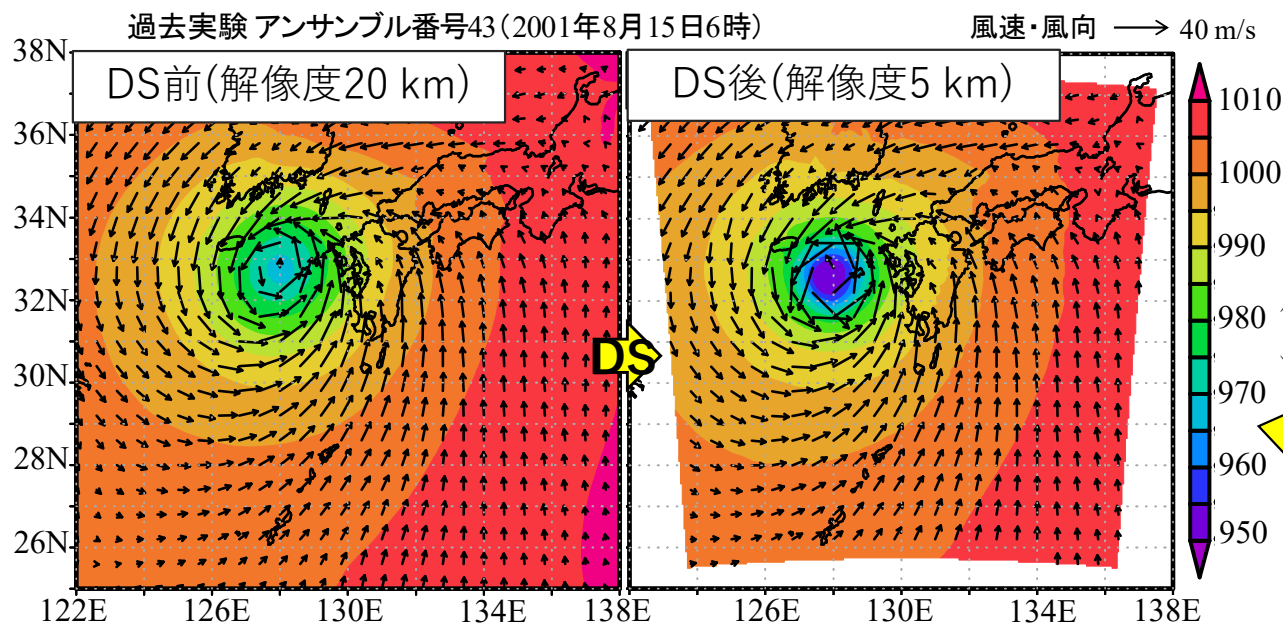
気象研究所領域気候モデルNHRCM (空間解像度20 km) の結果を用いて,
空間解像度5 kmまでダウンスケーリング(DS)を行った。 ※提供：北海道大学山田准教授ら

【使用した地形】



DS前に比べて、
地形を詳細に
表現できてる

【気圧・風】



台風中心付近
の気圧など、
極値付近の空
間変化の再現
性が向上

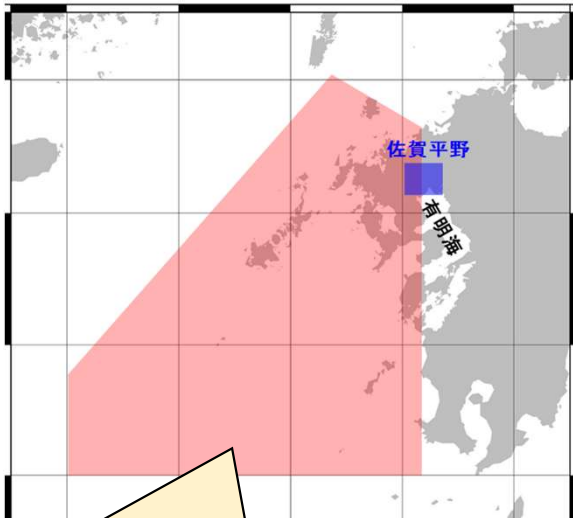
d4PDFダウンスケーリングの手順

「危険台風の抽出 → ダウンスケーリング → 影響評価・適応策」までのプロセス

Step 1

危険台風の抽出

佐賀平野にとって**危険な台風経路をとる台風**をd4PDFから抽出

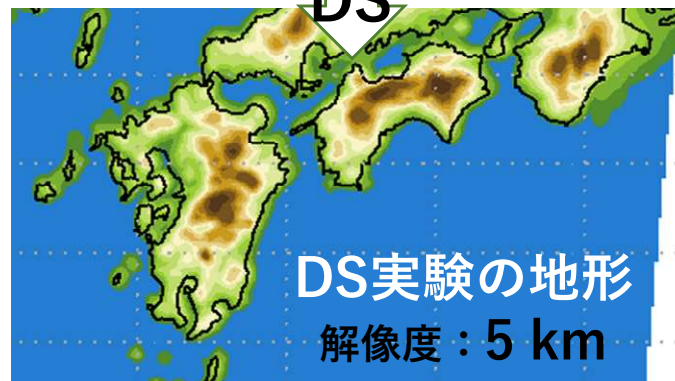
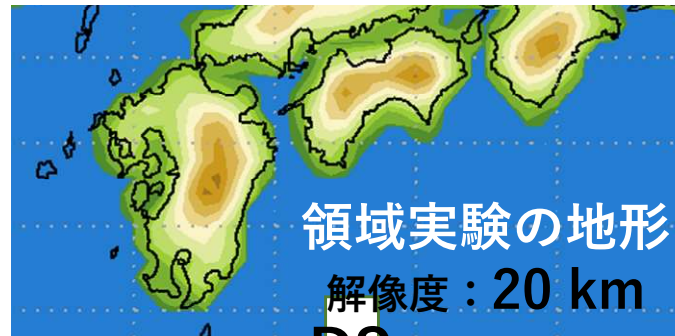


「最悪経路の検討」から、この領域を通過する台風が佐賀平野に浸水被害を及ぼす危険性が高いことがわかった

Step 2

ダウンスケーリング

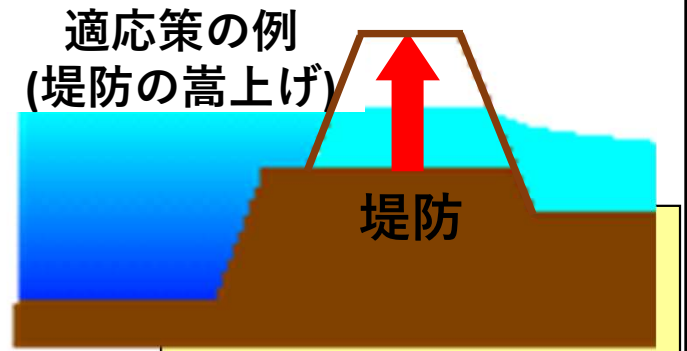
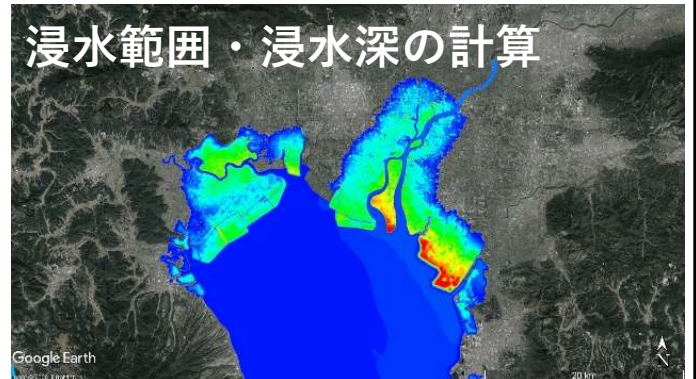
Step 1で抽出した台風の中から**有明海最接近時の中心気圧が低い方から10ケース**をダウンスケーリングの対象とした



Step 3

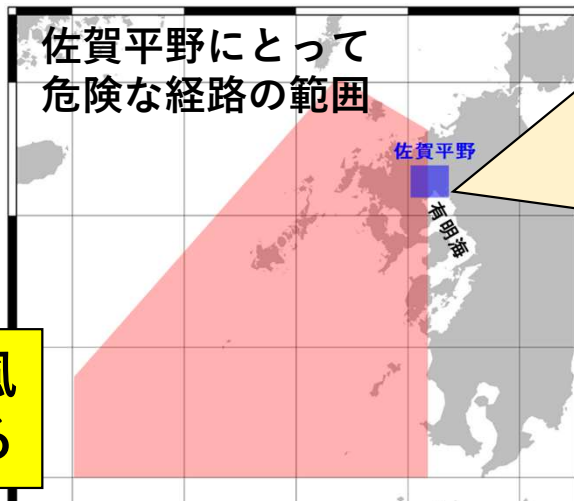
影響評価・適応策の検討

過去・将来実験のそれぞれ10ケースについて、**高潮浸水**に対しての**影響評価**を実施，加えて代表台風に対する**適応策の検討**も実施



危険台風抽出

佐賀平野にとって**危険な台風経路**をとる台風をd4PDF（**過去実験・将来2度上昇実験・将来4度上昇実験**）から**10ケースずつ抽出**



「**最悪経路**の検討」から設定した佐賀平野にとって危険な台風経路の範囲。この範囲を通過し、有明海最接近時の中心気圧が低い方から**（各実験）10ケース**を抽出

温暖化が進むほど、台風強度は大きくなっている

これらをダウンスケーリング対象台風とした

【ダウンスケーリングの対象台風の表】

過去実験

将来2度上昇実験

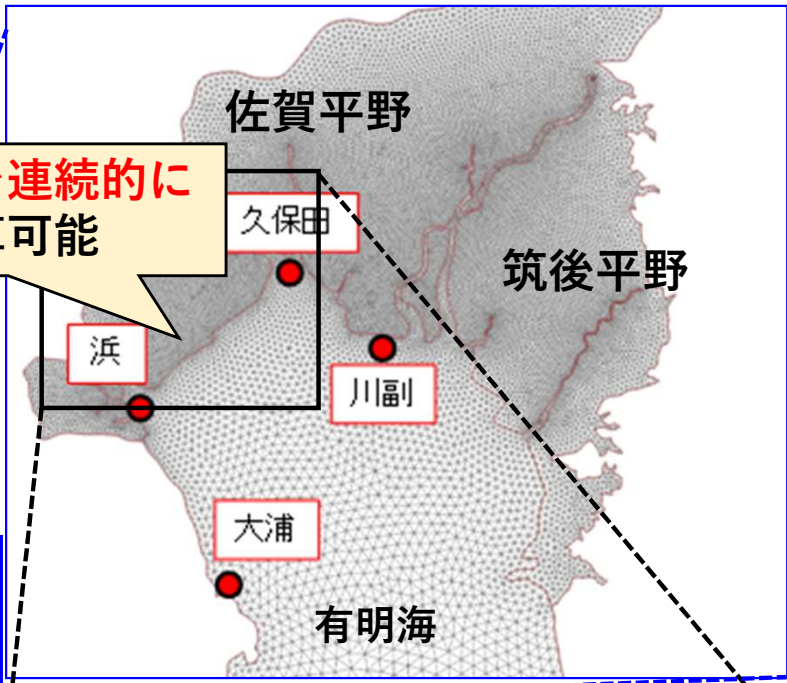
将来4度上昇実験

アンサンブル番号	有明海最接近日時	最接近時の中心気圧	アンサンブル番号	有明海最接近日時	最接近時の中心気圧	アンサンブル番号	有明海最接近日時	最接近時の中心気圧
43	2001/8/15	932.66 hPa	(GF)109	2084/8/1	920.34 hPa	(MI)101	2061/8/31	920.07 hPa
83	1990/8/19	933.48 hPa	(GF)104	2033/8/18	921.47 hPa	(HA)112	2053/8/24	922.29 hPa
63	1985/8/21	933.76 hPa	(MR)103	2047/9/23	926.65 hPa	(GF)115	2094/7/21	922.85 hPa
67	1994/8/12	936.32 hPa	(HA)102	2068/9/17	927.38 hPa	(MP)101	2051/9/12	923.58 hPa
83	1976/8/23	937.62 hPa	(GF)108	2086/7/31	929.36 hPa	(HA)101	2054/9/10	924.52 hPa
83	1962/8/16	938.09 hPa	(MP)107	2034/9/10	930.05 hPa	(HA)104	2052/9/16	924.94 hPa
30	1991/8/31	940.70 hPa	(MI)104	2070/8/30	930.60 hPa	(GF)110	2106/8/7	926.11 hPa
22	1952/8/25	940.89 hPa	(HA)101	2078/9/12	930.79 hPa	(CC)111	2061/9/10	927.19 hPa
85	2004/8/10	941.47 hPa	(MR)102	2071/8/23	932.20 hPa	(GF)112	2103/8/11	927.36 hPa
7	1991/9/1	941.94 hPa	(HA)104	2046/8/21	932.45 hPa	(HA)104	2065/9/19	927.59 hPa

高潮氾濫モデルの構築

FVCOM (Finite Volume Community Ocean Model)

Chen et al. (2012)

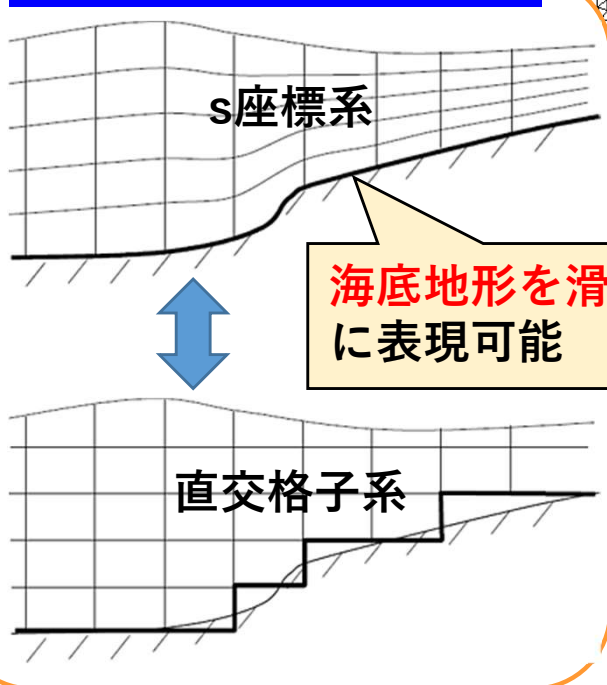


海域と陸域を連続的に一貫して計算可能

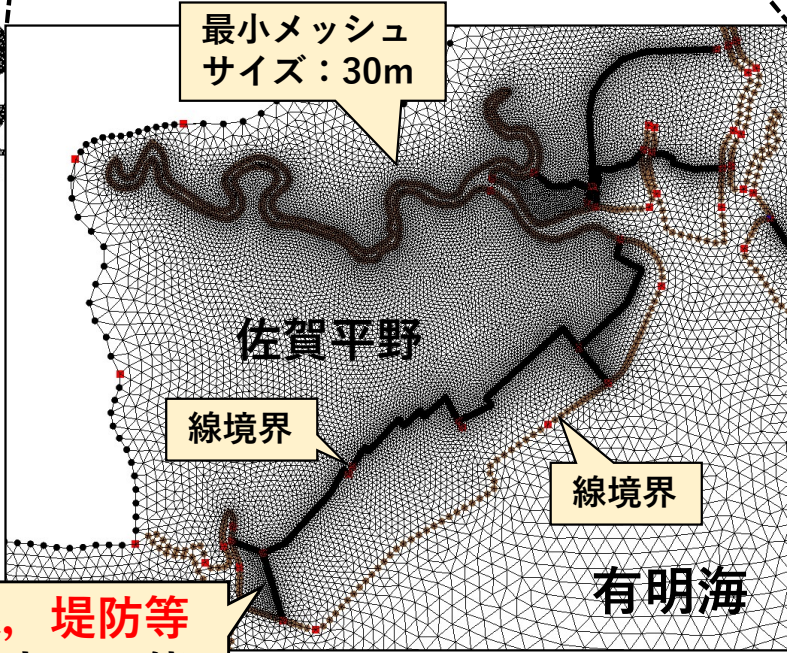
外洋から湾奥まで連続的に一貫して計算可能

計算メッシュ

s座標系を採用



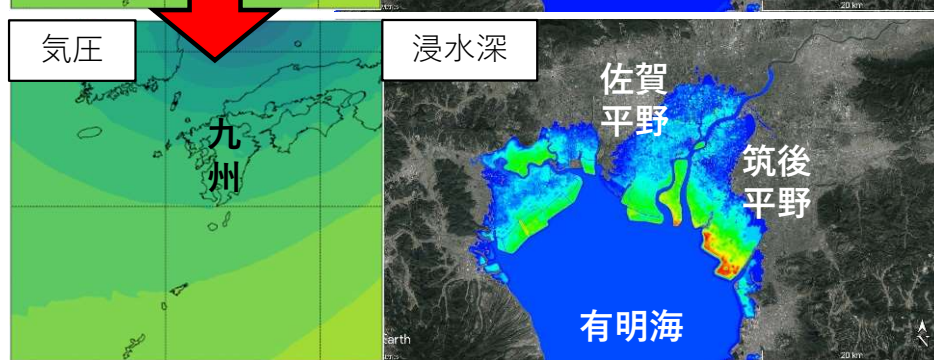
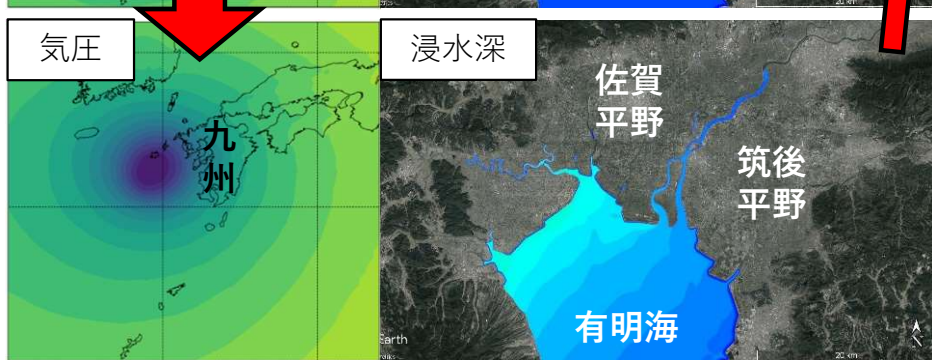
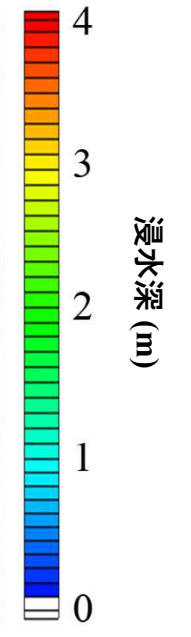
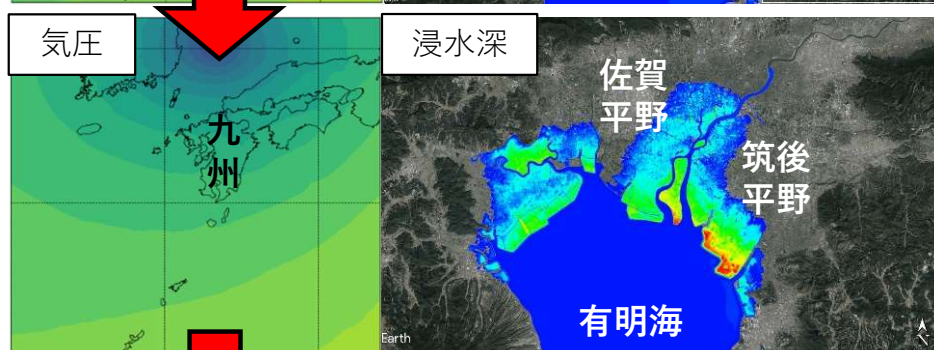
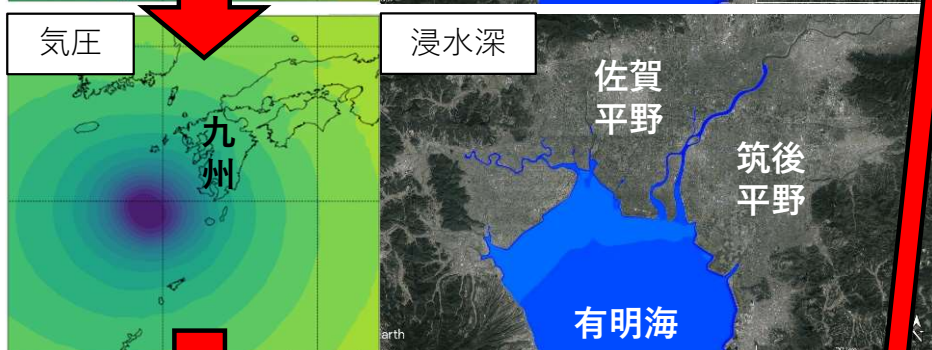
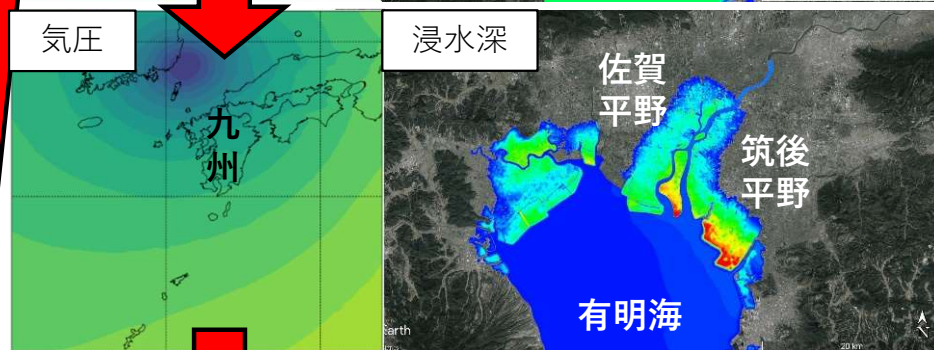
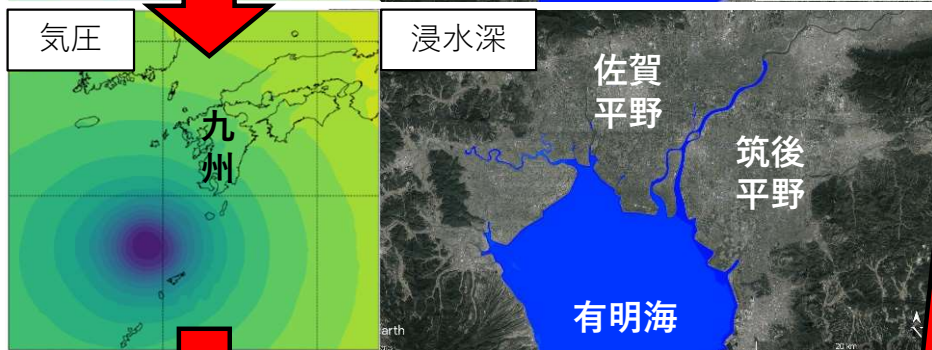
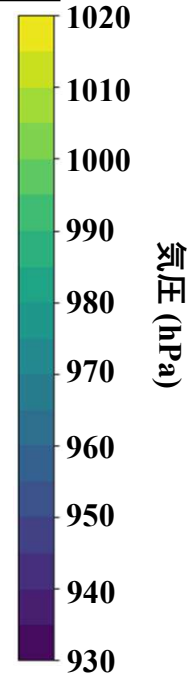
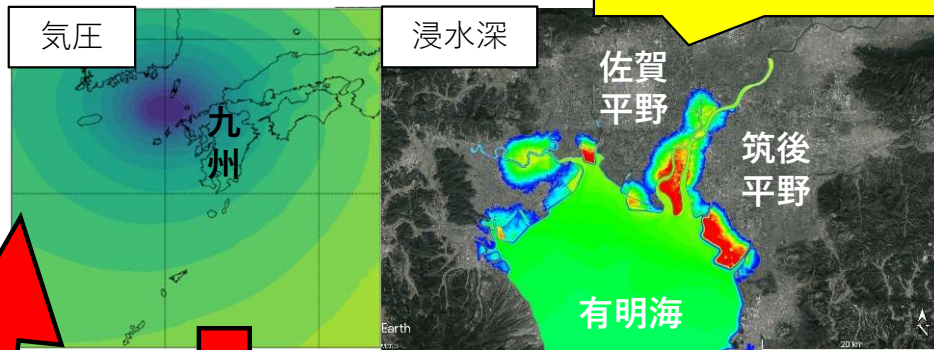
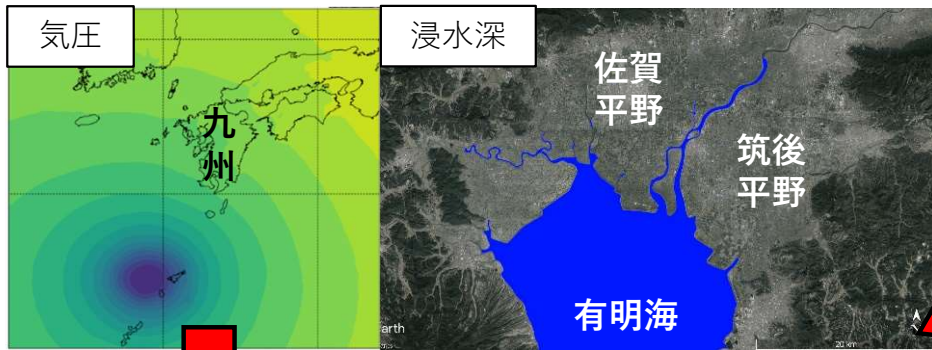
海底地形を滑らかに表現可能



複雑な地形や海岸線，堤防等の構造物を高精度で表現可能

高潮氾濫シミュレーションの計算例

d4PDFを外力として与えた



高潮災害の影響評価と 適応策の効果

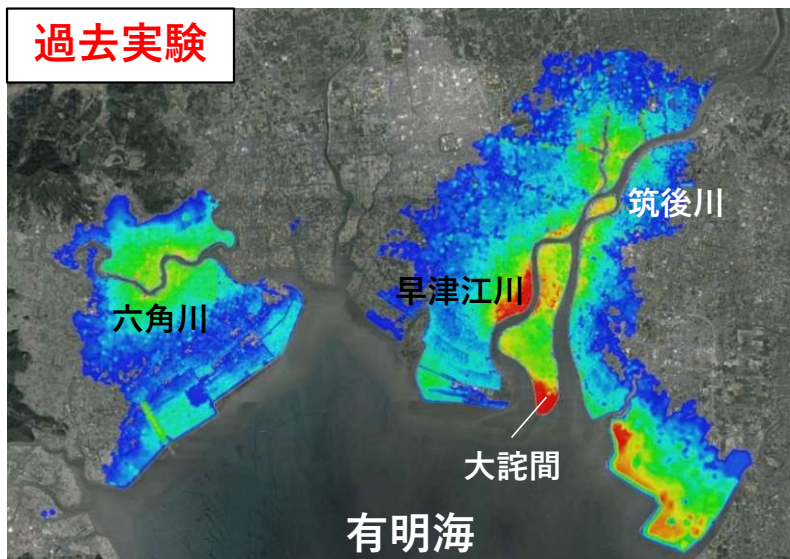
最大浸水深と浸水確率

過去・将来実験(4度上昇)において、DSしたすべての**台風ケース(10ケース)**で高潮浸水シミュレーションを実施し、両実験毎に全ケースにおける最大浸水深および浸水確率を導出した。

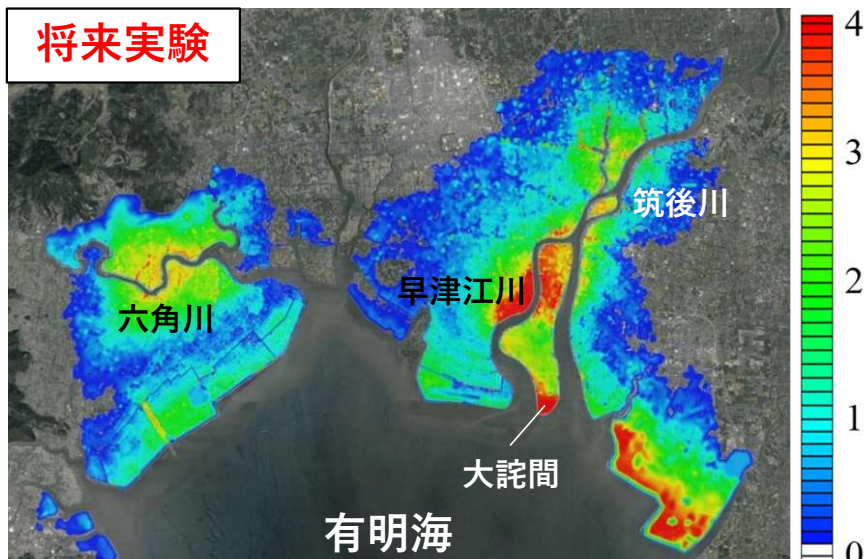
最大浸水深

※現状の堤防高で計算

過去実験



将来実験



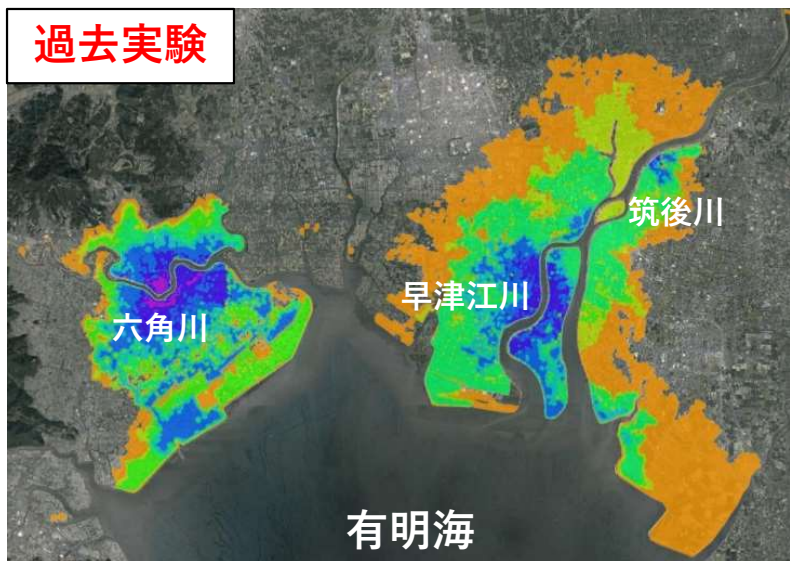
最大浸水深 (m)



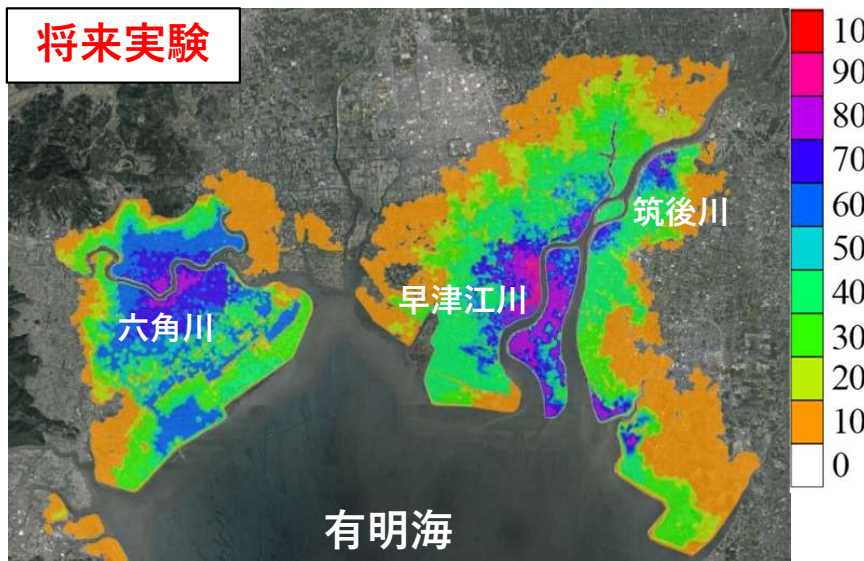
将来的に、浸水範囲は広がり浸水被害を受ける地域が拡大する可能性がある。

浸水確率 (10ケース中で何ケースで浸水したか)

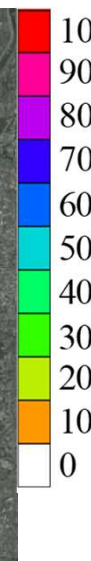
過去実験



将来実験



浸水確率 (%)



浸水範囲の拡大と同時に、浸水する確率も高まる。特に、河川中流域で浸水の頻度が高い。

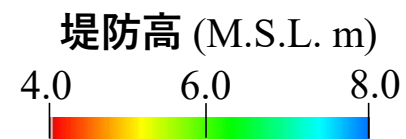
浸水過程

台風的位置と
浸水の様子

洪水 + 高潮

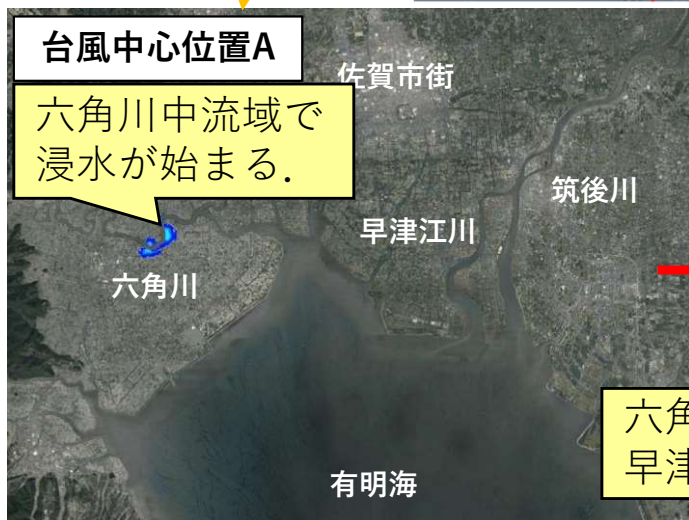


堤防高 (現状)



台風中心位置A

六角川中流域で
浸水が始まる。



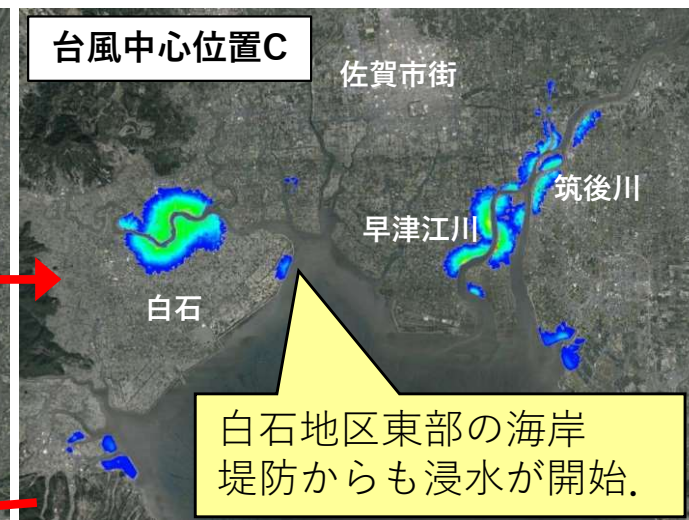
台風中心位置B

六角川での浸水から約1時間後、
早津江川中流域からも浸水が開始する。



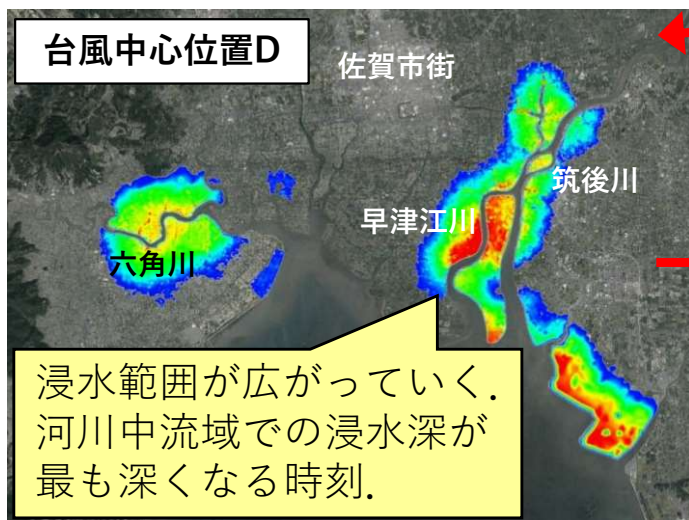
台風中心位置C

白石地区東部の海岸
堤防からも浸水が開始。



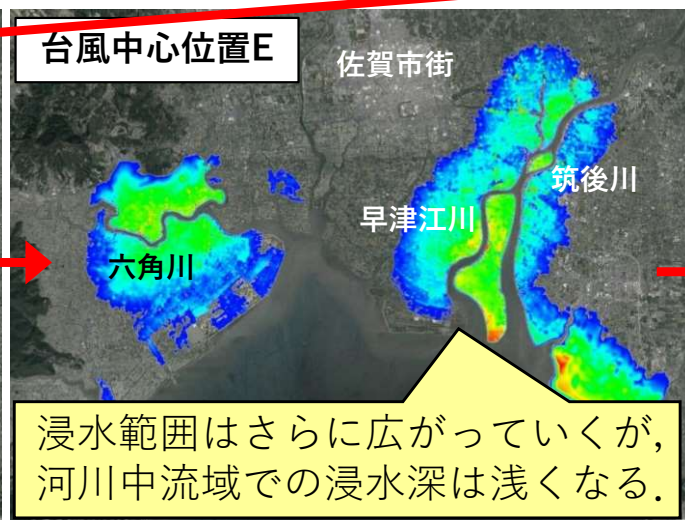
台風中心位置D

浸水範囲が広がっていく。
河川中流域での浸水深が
最も深くなる時刻。



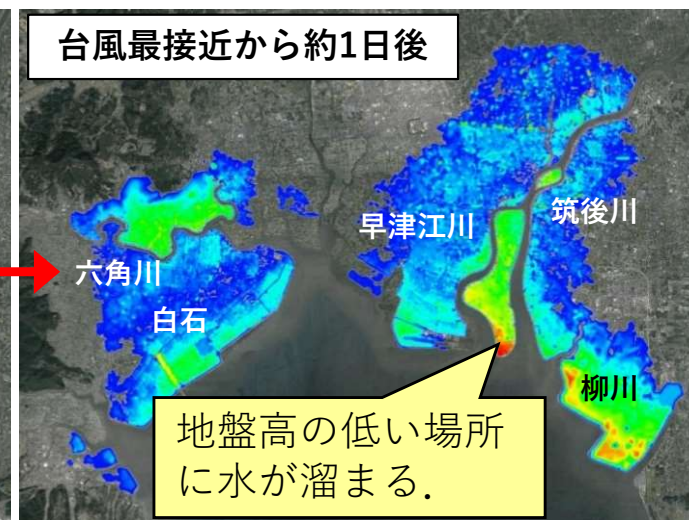
台風中心位置E

浸水範囲はさらに広がっていくが、
河川中流域での浸水深は浅くなる。



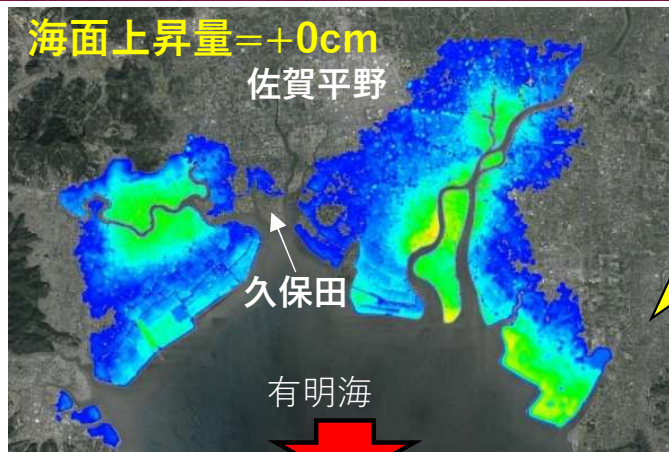
台風最接近から約1日後

地盤高の低い場所
に水が溜まる。

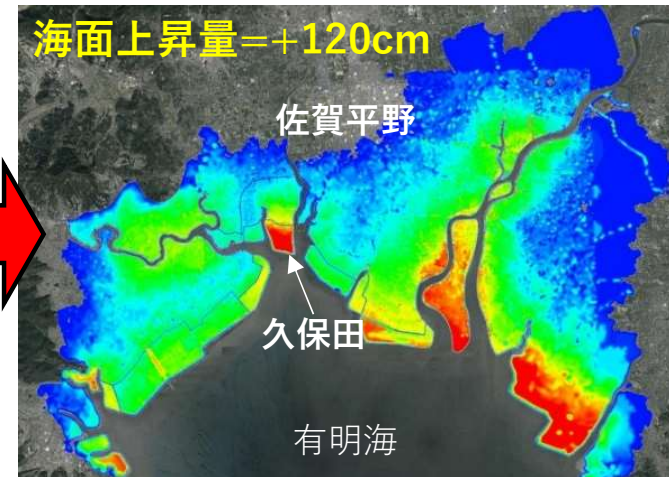
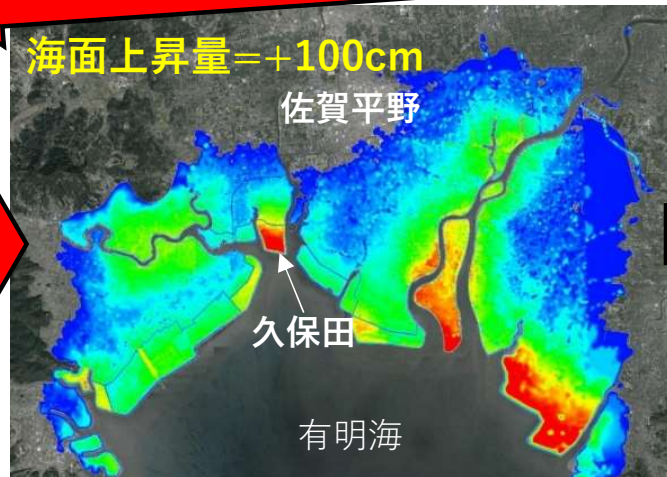
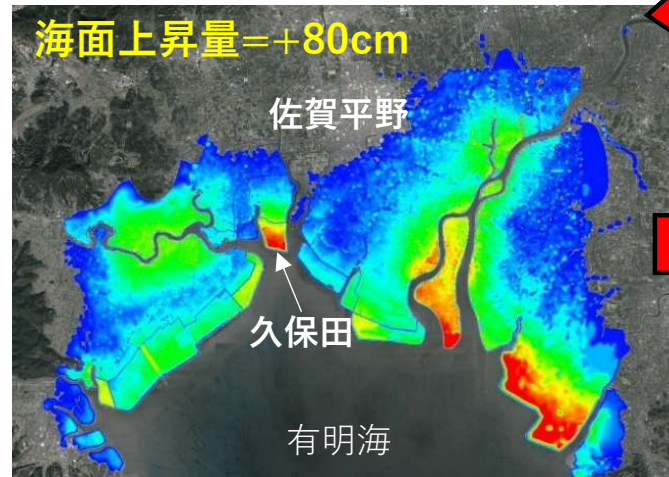
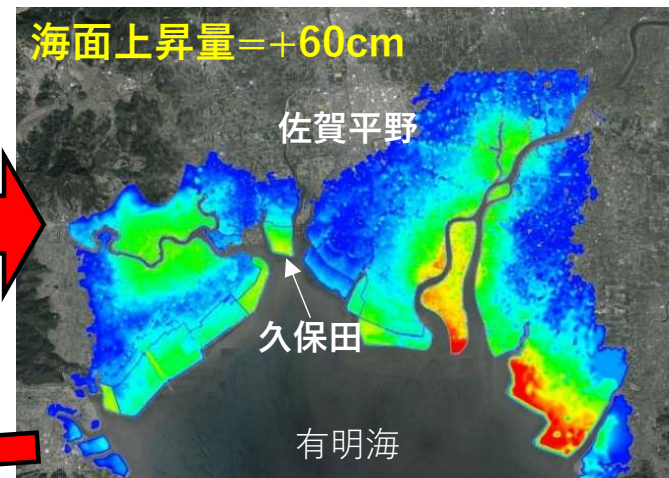
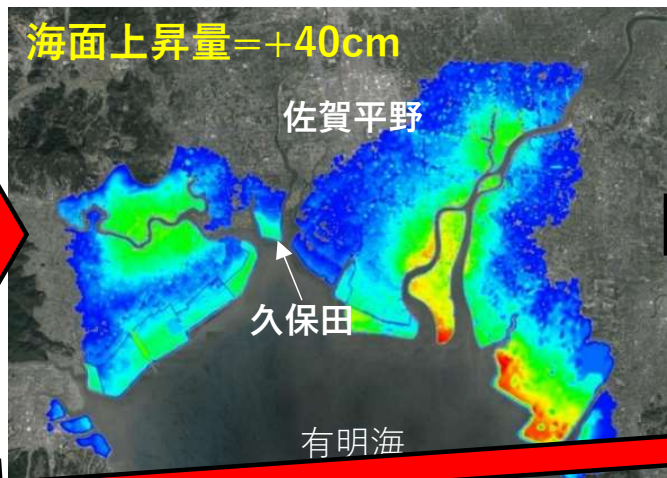
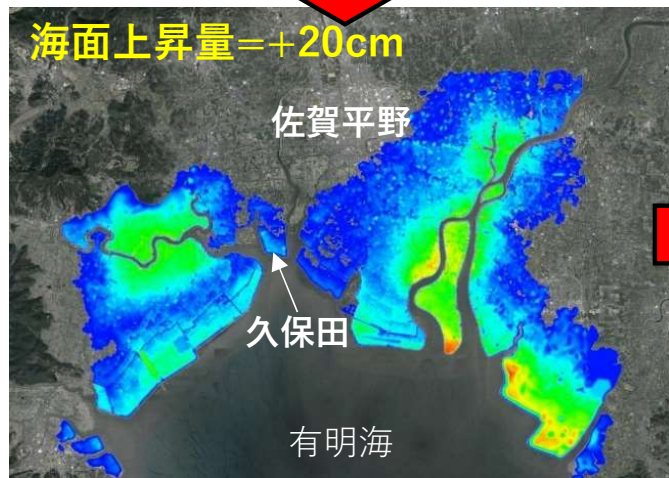


海面上昇に対する影響評価

海面上昇による浸水状況の変化



海面上昇量が大きくなるにつれて、浸水範囲が広がっていき、浸水深も深まっていく。特に、久保田地区などは海面上昇量が+0cmでは浸水が生じないにも関わらず、海面上昇量を+120cmにすると浸水が生じ、浸水深が7 mを超えるような被害を受けるようになる地域もある。



適応策の検討が可能なモデルへの改良

排水ポンプ



水門

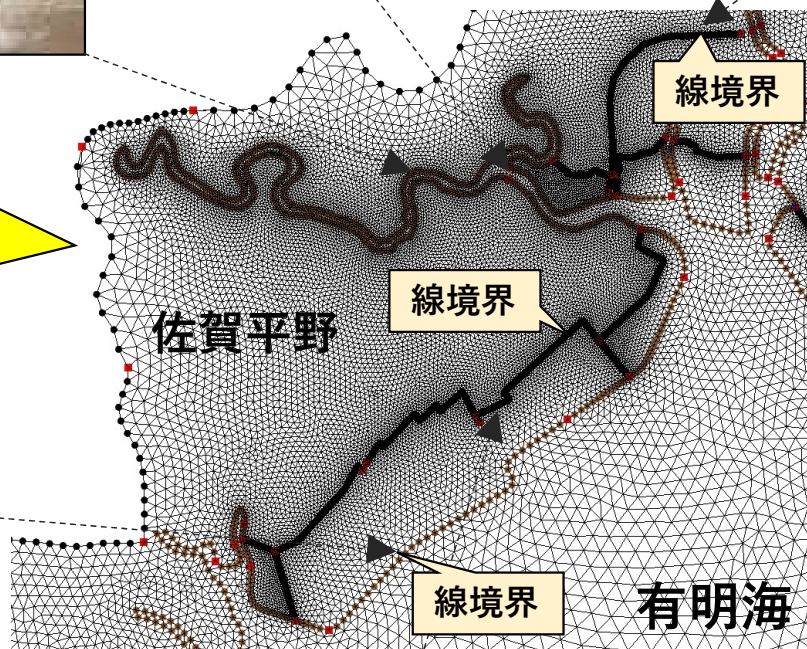
出典：<http://damnet.or.jp/cgi-bin/binranA/All.cgi?db4=2537>



沿岸道路（盛土）



佐賀平野に設置されている高潮対策施設等の効果をモデルへ組み込んだ



海岸堤防 整備中箇所



海岸・河川堤防



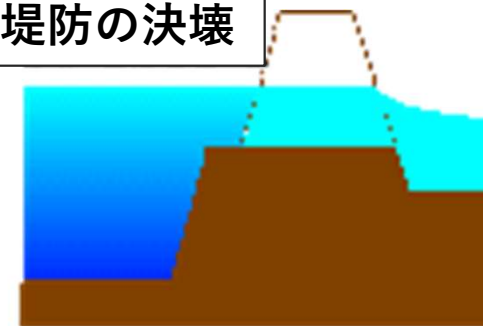
海岸堤防 未整備箇所



旧堤防

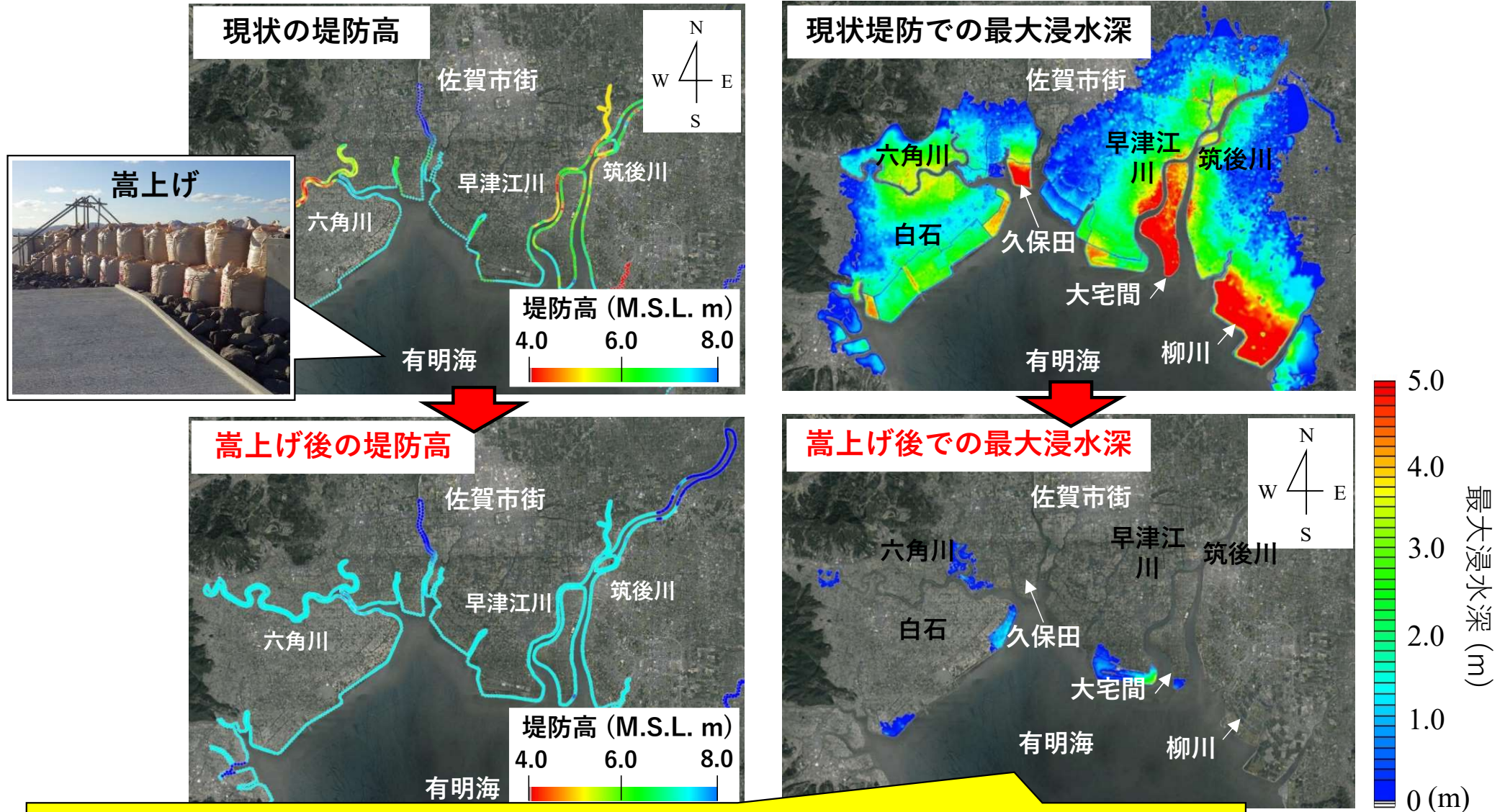


堤防の決壊



堤防嵩上げの効果

海岸・河川堤防を海岸の**計画堤防高(T.P. +7.5 m)**に嵩上げした場合の浸水被害の変化
※将来4度上昇実験(G115)の台風 & 海面上昇=+80cmを設定



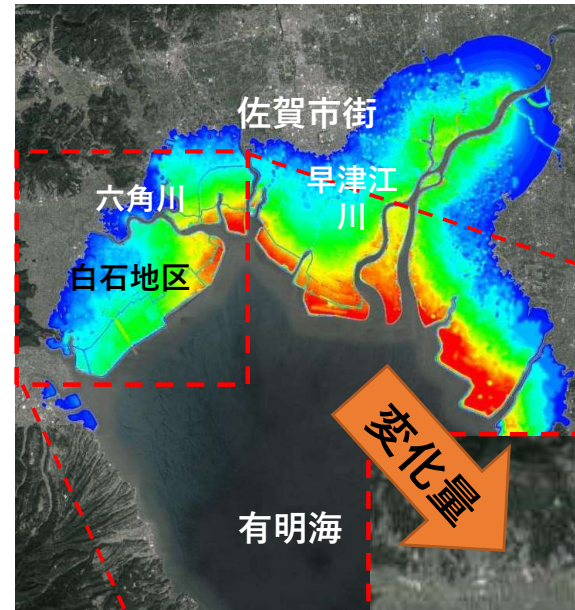
嵩上げ後は浸水範囲が大きく減少しており、減災効果が期待できる。
※ただし、さらに勢力の強い台風(L2規模)では嵩上げ後も広い範囲で浸水被害が生じた。
災害レベルによって適応策の効果には大きな違いがあることに注意が必要である。

旧堤防や沿岸道路の二線堤としての役割

旧堤防や有明海沿岸道路が二線堤としての役割を果たすことによる 浸水被害の低減効果を検討した。 ※L2規模の台風で検討

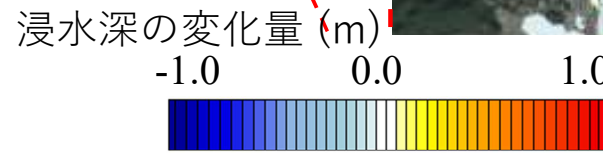


旧堤防・沿岸道路がない場合の最大浸水深



旧堤防を考慮した場合の浸水深の変化

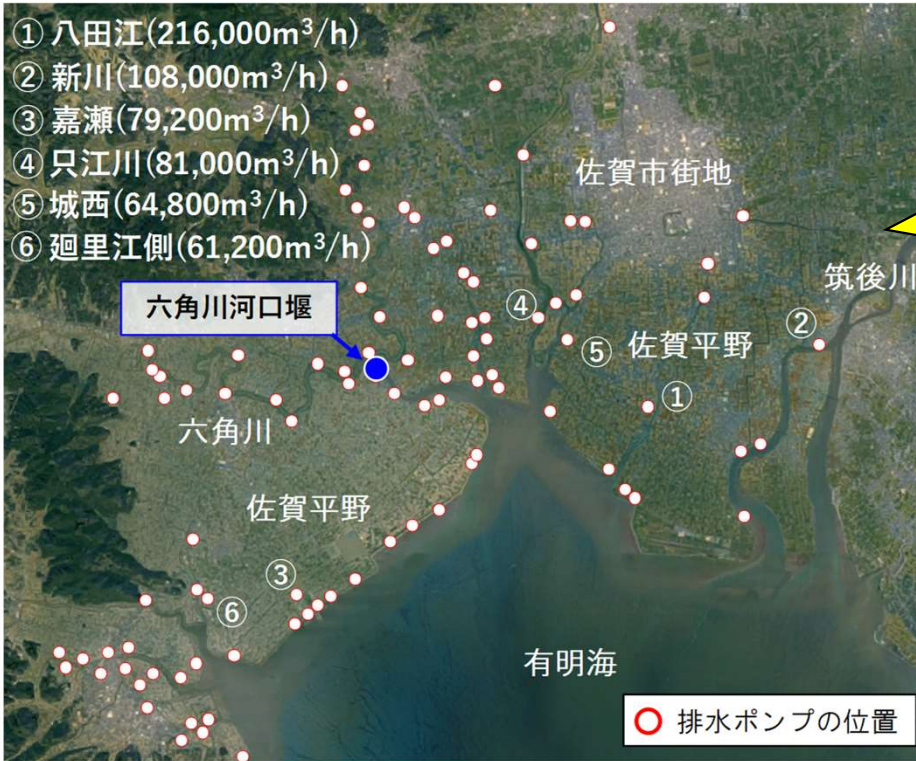
旧堤防背後にある住居地区では、**浸水被害が軽減**している
→旧堤防は住居地区に対して**減災効果**を有している



浸水復旧時の排水ポンプによる排水効果

高潮によって浸水した後の状況を想定し、佐賀平野に整備された**排水ポンプ**を用いることによる**復旧効果**を検討した。

排水ポンプの設置点



排水ポンプによる浸水深の変化は数十cmのオーダーであり、高潮浸水深と比較すると小さいが、**ポンプの駆動により一定の復旧効果を得ることができるとわかった。**

また、地域によって浸水深が大きく異なることもわかる。

排水ポンプの設置例

【六角川東川ライブカメラ】

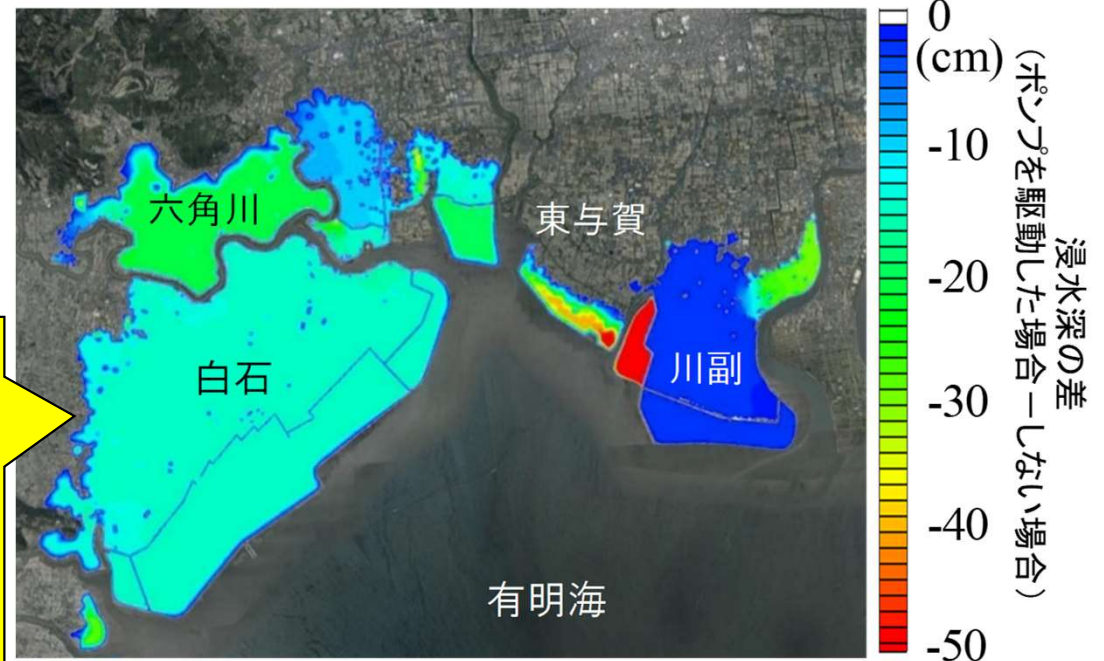
【排水ポンプ（六角川）】



佐賀平野には100箇所以上に、排水ポンプが整備されている。

排水効果

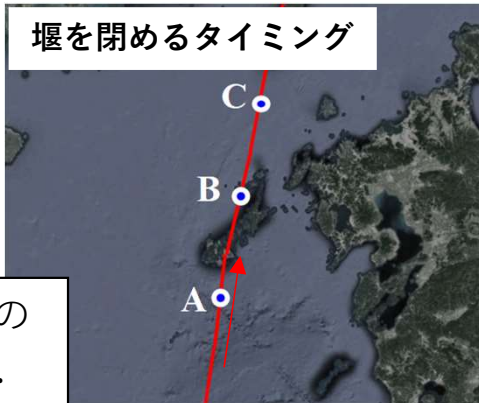
浸水復旧時の排水ポンプを使用することによる浸水24時間後の浸水深の変化



堰を閉めるタイミングによる浸水状況の変化

台風来襲時、堰を閉めるタイミングによる浸水被害の変化を検討した。

堰を閉めるタイミング



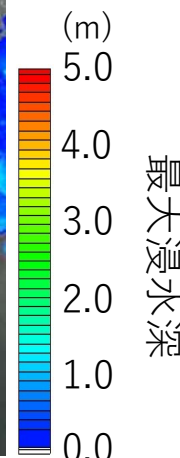
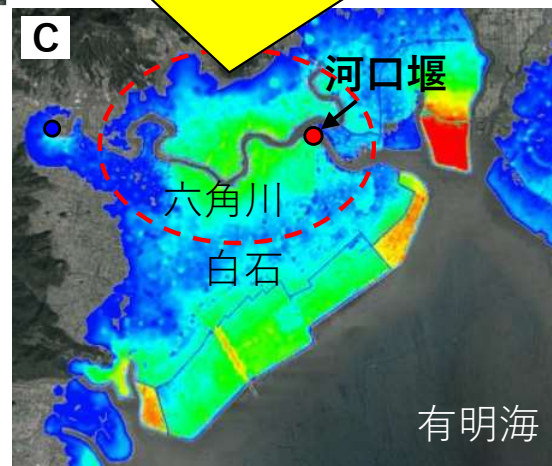
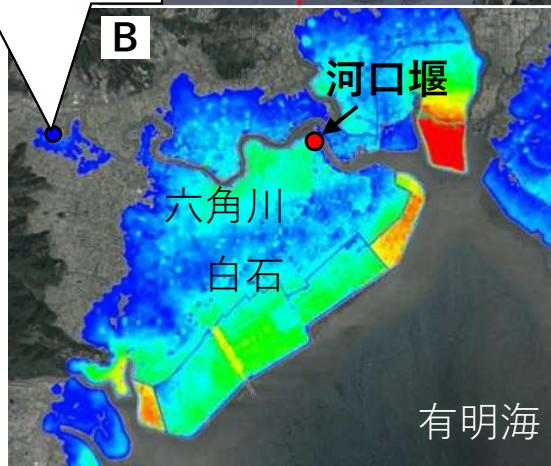
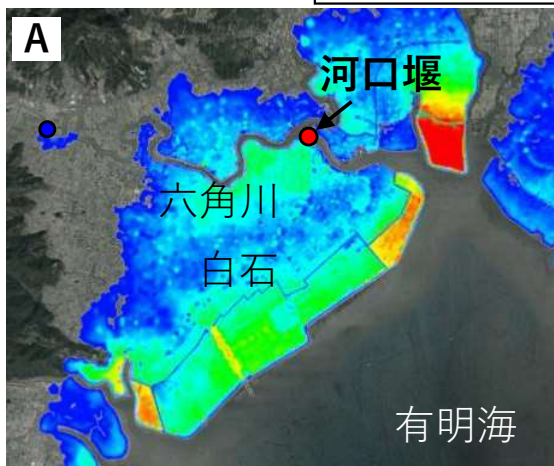
六角川河口堰（出典：ダム便覧HP）



堰を閉めるタイミングが遅すぎると、浸水範囲が広がる

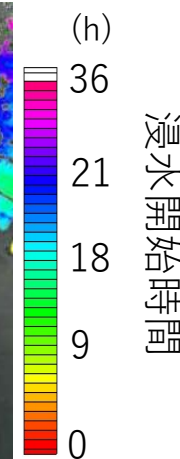
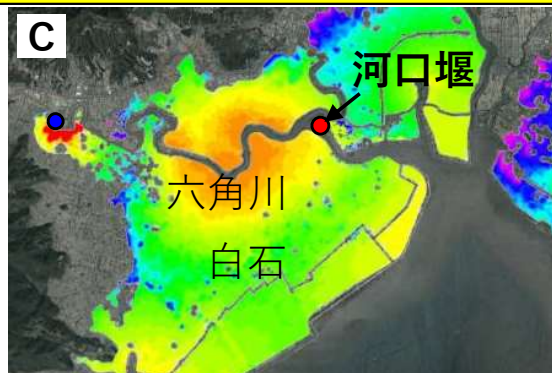
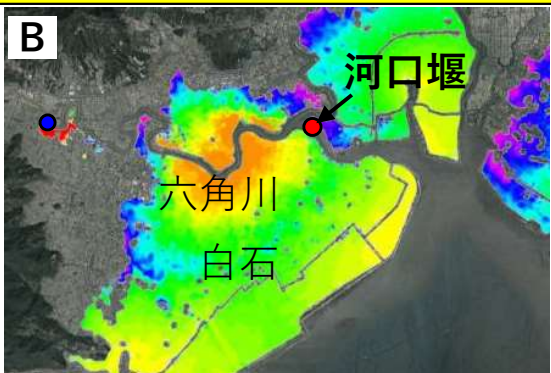
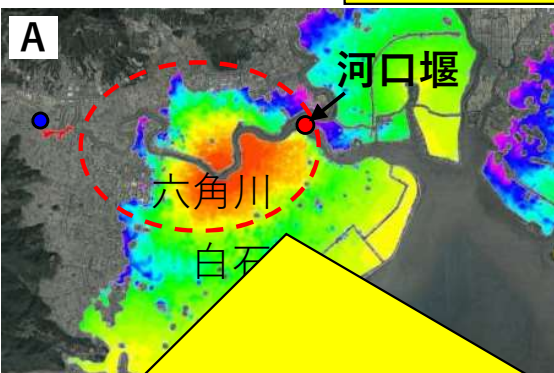
最大浸水深

上流から400m³/sの河川流入を与える。



浸水開始時間

被害を最小限にするには、適切な閉門のタイミングを把握することが重要



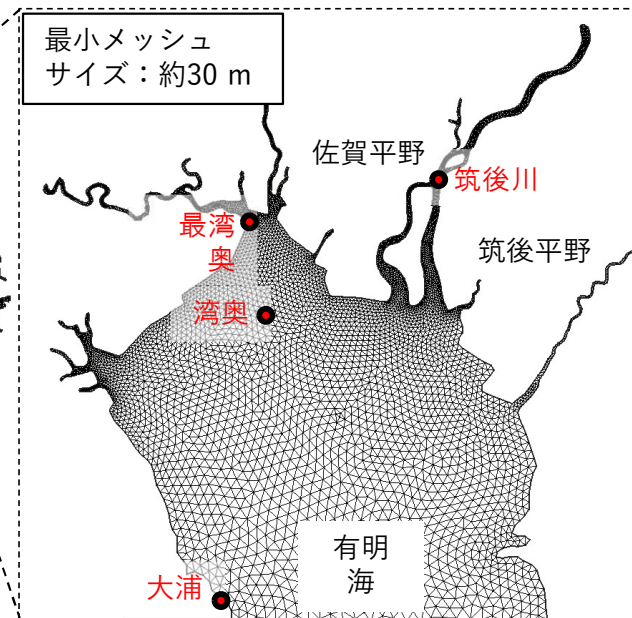
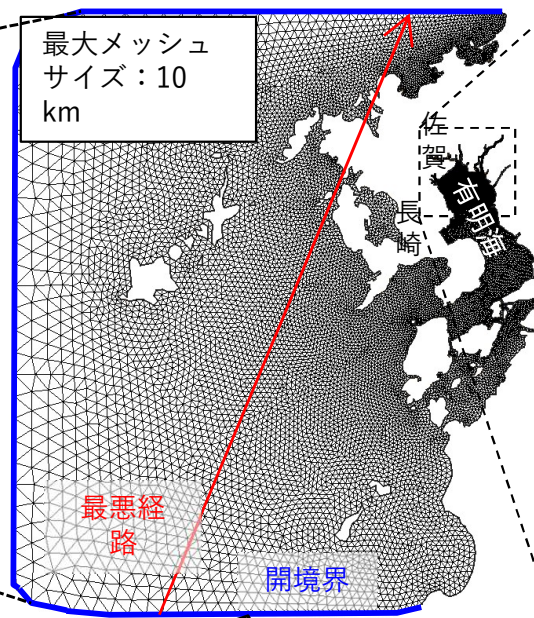
堰を閉めるタイミングが早すぎると、河川水の浸水開始時間が早くなる

有明海

潮汐が高潮偏差に及ぼす影響の検討

高潮シミュレーションモデル

有明海を対象に、先行研究に習って検証

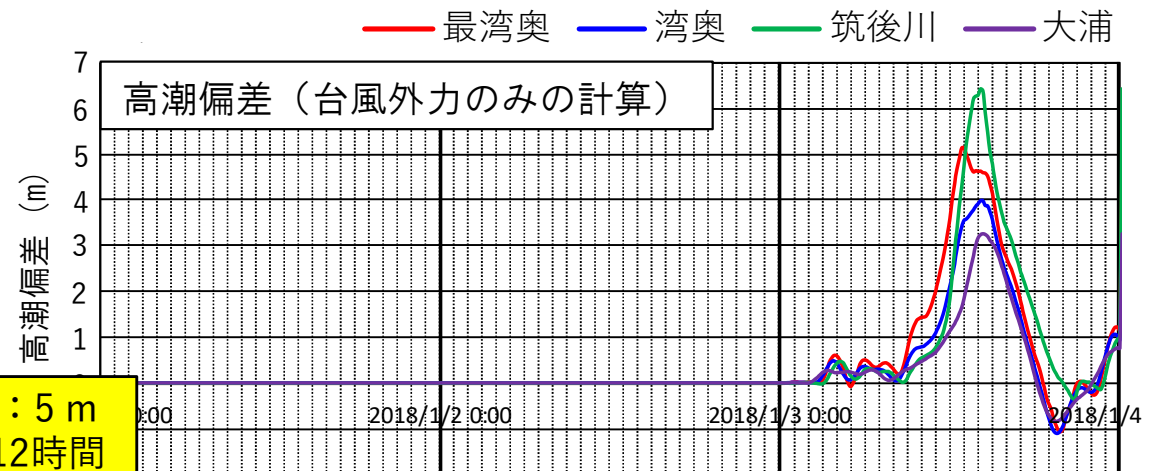
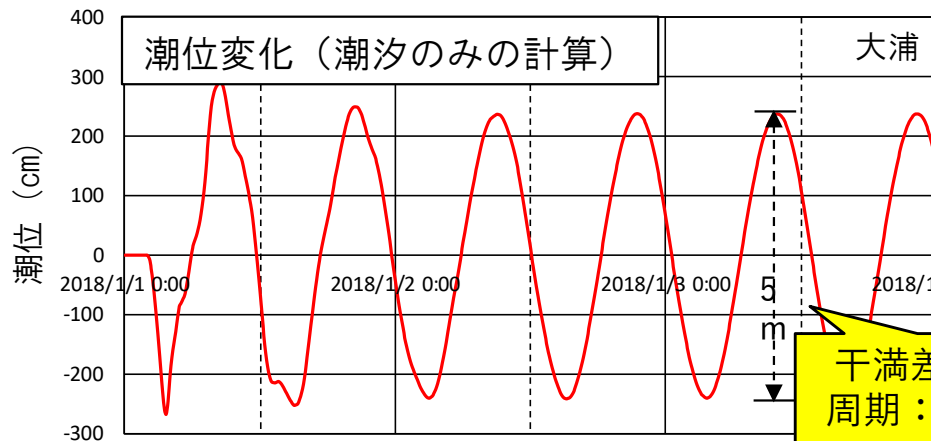


台風の設定条件

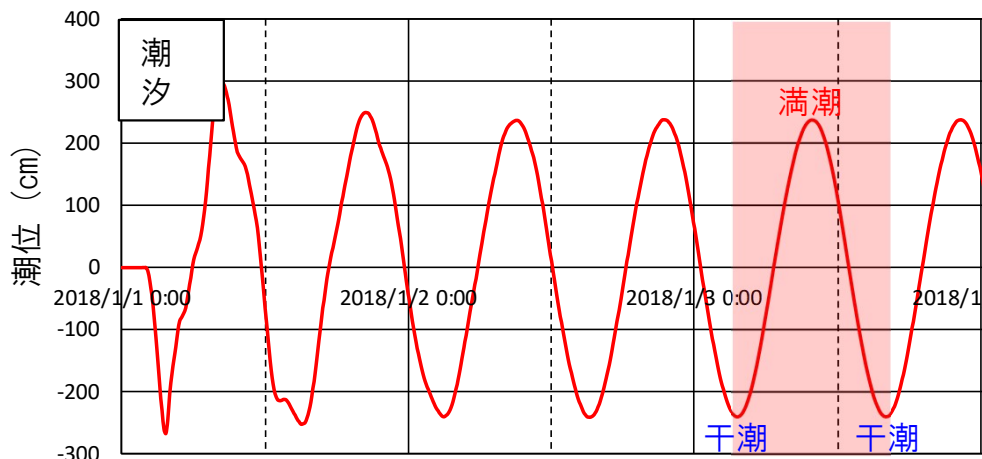
中心気圧	900 hPa
移動速度	73 km/h
台風半径	75 km
経路	最悪経路

想定最大規模(L2)

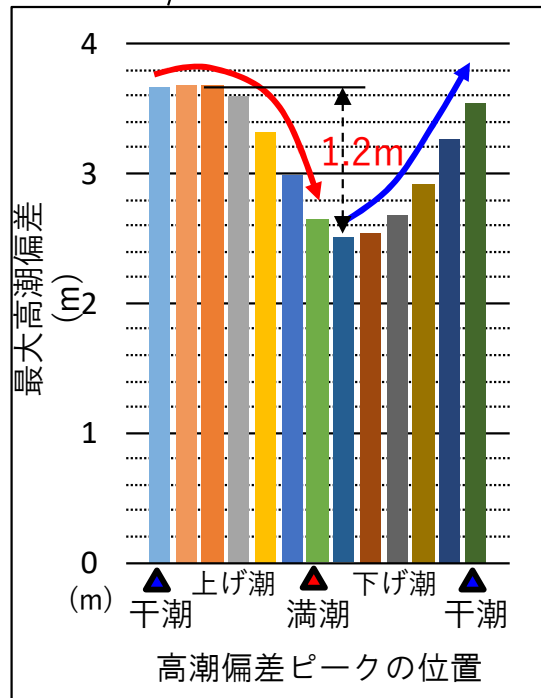
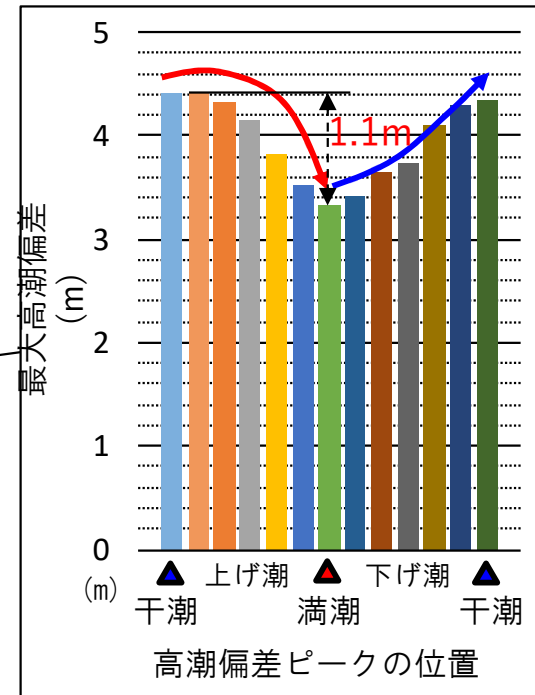
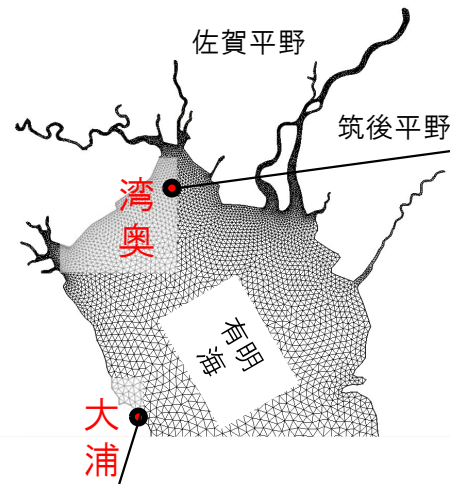
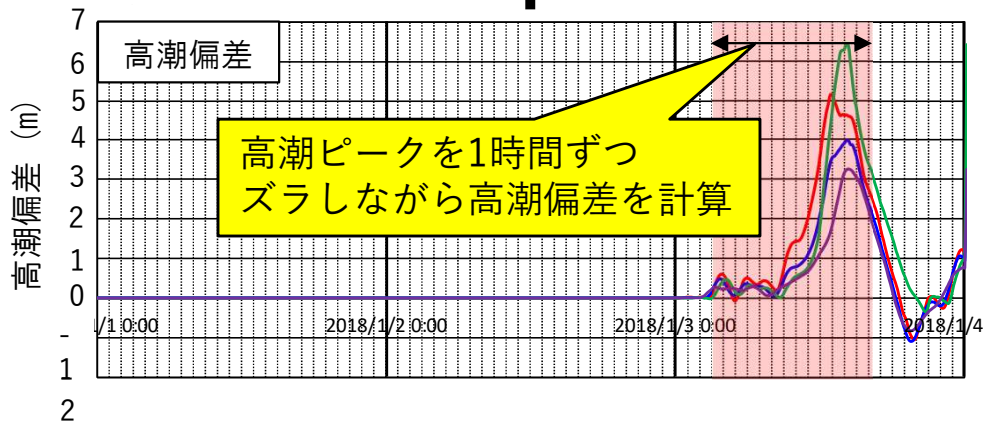
開境界で、天文潮位を与える。



潮汐による水深変化に対する高潮偏差の依存性



+



満潮時と干潮時では、1mを超える高潮偏差の差が生じた。

高潮偏差は干潮時の方が大きい!!



『SI-CAT(佐賀県) 情報交換会』
の様子(平成27年10月12日)



文部科学省 気候変動適応技術社会実装
プログラム(SI-CAT)
『地球温暖化時代の水・土砂災害
適応シンポジウム in 佐賀県』
の様子(令和元年11月25日)

まとめ

気候変動下で甚大化する佐賀平野の高潮災害に対する 適応策の立案に向けた検討

- 様々な適応策の検討を実施できる**高潮氾濫シミュレーションモデルの開発と改良**
- 佐賀平野における地域別の台風の**最悪経路**を検討
- 地球温暖化による**海面上昇の影響評価**
- 有明海に接近する**台風およびそれによって生じる高潮の将来変化**に関する検討
- **L2規模の高潮氾濫シミュレーションの検討**
- **様々な高潮対策施設等の効果の把握**
 - **危険な台風コースの検証**
 - **重要水防箇所の抽出**
 - **旧堤防、有明沿岸道路等の既存施設の効果**を把握
 - **排水ポンプの効果**を検証
 - **防潮水門の効果**を検証
- **潮汐による海面変動を考慮した高潮氾濫計算**

本研究では、台風の強大化のみならず、海面上昇量を変化させた計算を行い、高潮氾濫域の拡大などを評価して、気候変動に適応して行くための情報提供の可能性を検討しました。この際、計算結果がリアルでないものはなかなか信じてもらえないし、受け入れてもらえないことを意識しながら検討を進めました。

佐賀県から要望のあった検討項目については、開発した数値モデルを用いて計算した結果をもとに佐賀県と協議しました。佐賀県では洪水・高潮災害に対するハードおよびソフト対策は長年にわたり検討し、実施しています。私たちの計算結果は、県がこれまで検討してきた内容と異なるものの、県の検討の妥当性を裏付けるものでした。

各自治体は防災・減災は最重要な課題の一つとして長年にわたり取り組んでいます。気候変動への適応はその延長上にあるものです。

温暖化影響を検討した結果が、これまでの検討内容と大幅に異なるものでない限りは、自治体が行ってきた施策をバックアップしながら、必要に応じて温暖化影響に順応的に適応策の実装を推進する方針が適切だと認識しました。

佐賀県では、**河川の洪水氾濫時の諸活動に向けたタイムライン**は既に作成されています。一方で、**高潮氾濫に対するタイムライン**は洪水氾濫に比べて十分に練られたものではありません。

SI-CATで使用したd4PDFをベースに**5kmにダウンスケーリング**して計算した結果は、台風が接近し、海水位が上昇して危険箇所から越流し、陸上に氾濫が広がる**時空間的変動をリアルな動画として作成可能**です。

また、計算条件として河川・海岸堤防を破堤させる条件を設定すれば、**様々な条件の高潮氾濫の詳細な時空間データをタイムラインの検討に利用することも可能**です。

さらに、災害後に氾濫水が時間の経過とともに引いていく様子の時空間的な情報を提供することも可能であり、**復旧に向けた諸活動の検討にも利用**できます。

私たちはこのようなソフト対策に利用可能な計算ツールの開発・改良を行い、情報を提供可能することを目指しています。

今後の展望

気候変動適応法の施行により、国主導の下で地方単位の**協議会(広域協議会)**が設置されたことで、今後は本格的な適応策の検討が開始されるはずですが、そこで、私たちが実施してきた研究事例が生きてくるのではないかと期待しています。気候変動適応策について自治体と協議し、実効性の高い適応策を立案するには、**自治体の要望に応じて地域の社会的・経済的な観点や種々の施策における重要度を考慮しながら多角的な検討が必要**です。

現在では、数値モデルが有力なツールとして、さらにダウンスケーリング技術を利用して時空間解像度の高い情報を用いて検討することが可能です。しかし、自治体における気候変動への適応をさらに推進するには、**各自治体が検討すべき様々な適応策のオプションを組み込んで利用可能な、さらに一段進んだ数値モデル**を開発し、各種の適応策の評価を可能にして行く必要があると思っています。

これからも私たちの専門性を活かし、持続可能な社会の実現に向けて積極的に寄与していきたいと思っています。

リアリティの高い計算を目指して

計算結果がリアルでないものはなかなか信じてもらえないし、受け入れてもらえないことを意識しながら今後も検討を進めて行く所存です。

ご静聴どうもありがとうございました。

