

河川砂防技術研究開発【成果概要】

①研究代表者		氏 名 (ふりがな)	所 属	役 職
		金 洙列 (きむ すーよる)		熊本大学 くまもと水循環・減災研究教育センター
②研究テーマ	名称	超広域から狭域に渡って気候変動による海岸地形の長期変動が推定できる海浜変形数値モデルの開発および実用化に関する研究		
③研究経費 (単位: 万円) ※端数切り捨て。		令和3年度	令和4年度	総 合 計
		999 万円	654 万円	1653 万円
④研究者氏名 (研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)				
氏 名		所属機関・役職 (※令和 5年5月15日現在)		
辻本剛三		東洋建設 (株) 鳴尾技術研究所		
森 信人		京都大学・防災研究所・教授		
⑤技術研究開発の目的・目標 (様式海岸-2、海岸-3に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)				
<p>将来の気候変動や人為的改変による影響等を考慮した、海浜予測変形の予測を行い、その予測に基づき対策を実施する順応的な砂浜管理が求められている中、次の現状と課題が挙げられる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 海岸保全施設や特定の海岸施設を対象にした狭域海岸地形変化予測モデルでは、超広域における河口から供給される土砂の掃流砂および浮遊砂の時空間分布が考慮されていないため超広域および狭域の海岸地形変化を同時に推定することが困難である。 ● 狭域の計算領域の開放境界に一連の仮定に基づいた境界値を与えることでは、現実に近い海岸地形の将来変化を推定することが困難である。また狭域の計算領域では海底谷への損失量の推定が困難である。 ● 狭域を対象にしているため、海面上昇、高潮、潮汐、波浪、風速などの気象・海象条件の変化が海岸地形の将来変化に及ぼす影響を評価することが困難である。 ● 台風と低気圧のような極端事象による海岸地形変化を推定できるモデルは数少ない。 ● 現状ではダイナミックな外力ではなく、一定の外力を与えているため気象・海象の力学に基づいた30年～50年先の長期地形変化の把握が困難であり、順応的な砂浜管理・対策ができない。 <p>上記に述べた課題を解決するために、海面上昇、高潮、潮汐、波浪、風速などの外力に対応でき、超広域および狭域における海岸地形変化を同時に高精度で推定できる数値モデルの開発する。詳細な目的を下記に記述する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 超広域において沖合・谷への損失を含む浮遊砂と掃流砂の時空間変化が推算できること。 ● 狭域の計算に用いる境界条件を仮定値ではなくダイナミックな時空間分布値を与えること。 ● 台風と低気圧のような極端事象による地形変化を現実に近く再現するために、高潮・波浪・潮汐・河川流量を同時に考慮した上で海岸地形変化が推定できること。 ● 30年～50年先まで海岸地形の将来変化を推定するために、ネスティング手法を適用して、超広域と狭域でそれぞれ低解像度と高解像度を用いて長期変化の評価ができること。 				

⑥研究成果

(具体的にかつ明確に記入下さい。4ページ程度。)

(1) 超広域を対象にする高潮・波浪・潮位・波の打上げ・越波・氾濫・河川・流砂結合モデル (SuWATsed) の開発

図1に示すように広域を対象に地形変化を推定する高潮・波浪・潮位・流砂結合モデル (SuWATsed) を開発した。SuWATsedに組み込まれた現象及び手法を以下に示す (図2 参照)。異なる現象を確認するため、例えば、流れのみによる地形変化の推算、波浪のみによる地形変化、流れと波の相互作用による地形変化をそれぞれ推定することで異なる現象による地形変化を確認した。

1.1) 流れによる底面摩擦

流れによるバーの長さや傾斜を決定する (Van Rijn, 1986)。粒径D50、沈下速度 (Soulsby, 1994) を用いて底面摩擦と底面摩擦係数を推定する。粒径D35とD90を対象に上記と同様の手法で底面摩擦と底面摩擦係数を推定する。

1.2) 波による底面摩擦

波の軌道速度と粒径 D50を用いて波によるバーの長さや傾斜を決定する (Van Rijn, 1986)。

1.3) 流れと波の相互作用による底面摩擦

D50と波の軌道速度や平均流速を用いて、Grant and Madsen (1979) の経験式で推定した補正係数を流れの底面摩擦と底面摩擦係数に掛けることで、流れと波浪の相互作用による底面摩擦と底面摩擦係数を推定する。

1.4) 流れ、波および流れと波浪の相互作用による地形変化

流れのみによる地形変化を推定するため、D35、D50、D90を用いた掃流砂の濃度を推定する。波と流れによる掃流砂と浮遊砂の濃度を推定する。掃流砂と浮遊砂の質量保存式による地形変化を推定する。

(2) 広域モデル (SuWATsed) と狭域モデル (XBeach) の結合

2.1) SuWATsed-Xbeachの計算フロー

本研究の目的である、「超広域から狭域に渡って気候変動による海岸地形の長期変動が推定できる海浜変形数値モデル」の計算フローの一例を図3に示す。ドメイン $i-1$ からドメイン $i+1$ まで広域における海浜変形を潮位、高潮、波浪を考慮して求める。例えば、Domain No. i (図3) において、前処理を行った後本計算のループに入る。その後、以下の手順で計算を実施する。

a) 台風モデルまたは気象モデルが推定した気

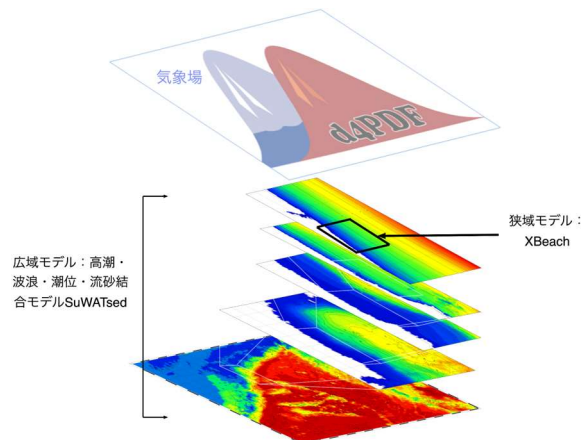


図1 宮崎海岸を対象にした計算領域 (格子サイズ: 12km (d01), 2340m (d02), 810m (d03), 270m (d04), 90m (d05), 10m (d06))

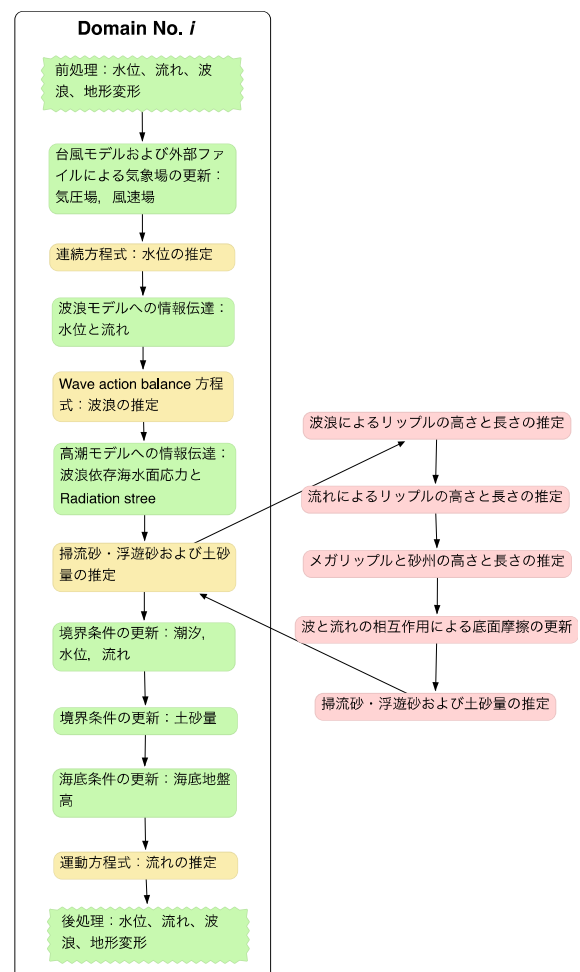


図2 流れ、波、波と流れの相互作用による底面摩擦の推算過程

- 象場を推定・読み込みを行う。
- b) その後、運動方程式を解いて水位を求める。
 - c) 波浪モデルへ渡すための水位と流れを求めておく。
 - d) Domain No. i-1（母領域）から並列ツールを通じて送られた波浪の境界条件を受け取る。
 - e) Wave action balance 方程式を解いて波高、周期、波向を推定する。
 - f) 波浪情報が更新されたら Domain No. i+1（子領域）に波浪の境界条件を並列ツールを使って送っておく。
 - g) 運動方程式に用いられる波浪依存海水面応力と Radiation stress を計算しておく。
 - h) 流速、水位、波浪条件より掃流砂・浮遊砂の土砂量を推定する。
 - i) Domain No. i-1（母領域）から境界条件の水位、流れ、土砂量を受け取る。
 - j) 更新された境界条件を用いて海岸地形の変化を推定する。
 - k) 更新された境界条件、海岸地形変化、波浪依存海水面抵抗係数、Radiation stress を用いて運動方程式を解いて流速を求める。
 - l) Domain No. i+1（子領域）の境界条件値を渡す。
 - m) 計算期間内の時は「a）」に戻って計算を繰り返す。計算期間に至ったら繰り返し計算をやめる。

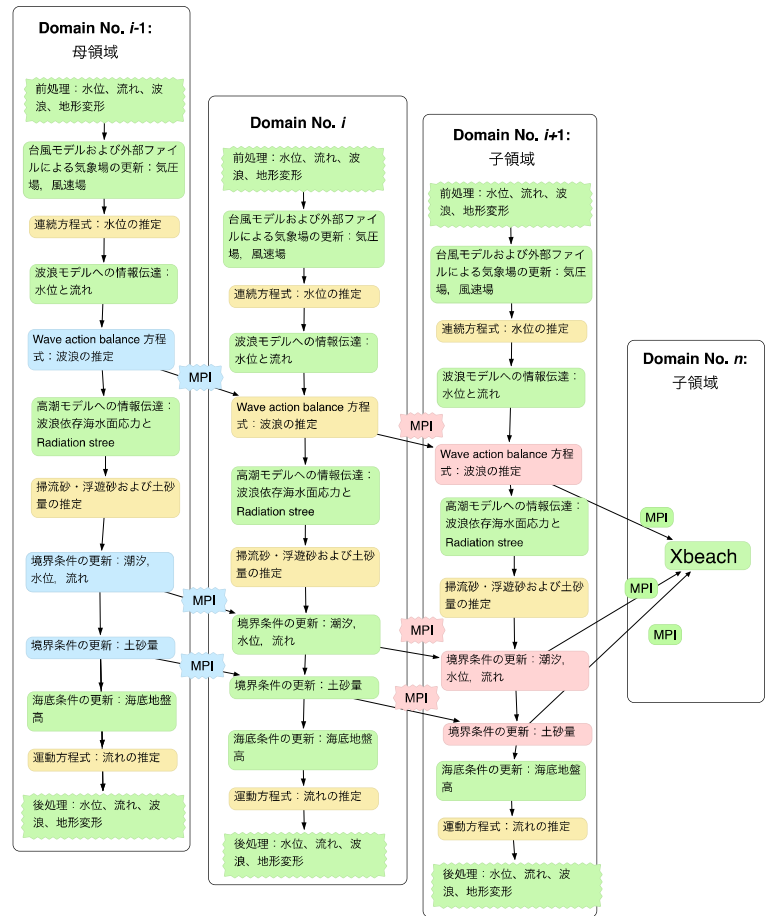


図3 任意のドメインにおける計算流れと隣接ドメインとの境界条件の交換

この計算フローの中に狭域における海浜変形を推定するために Domain No. i+1 (SuWATsedの最内領域) と Xbeach が並列ツールを通じて結合される。SuWATsedの最内領域から Xbeach の境界条件の波浪条件、水位、流速、土砂量が渡される。SuWATsed-Xbeach の結合に関して、現在結合したソースコードの修正とその実行の確認を行なっている。

(3) 広域モデル (SuWATsed) の検証

3.1) 2021年度観測データを用いた検証実験

2021年度観測期間 (2021年11月12日~12月17日) を対象に 2 箇所で観測した水位と波高の時系列を対象に検証を行った。対象期間の気象庁GPVデータから図1に示す計算領域 (D01~D05) のうち第1領域に合わせて気象場を切り出すとともに線形内挿補間を行い、気圧場と風速場の外力条件を作成した。計算の数値的安定性を確認するため、この実験では河川流量および土砂量供給は無視した。SuWATsedの設定 (潮汐無し、河川境界無し、高潮タイムステップ2s、波浪モデルタイムステップ900s、情報交換間隔 900s、気象場の読み込み間隔 180分、気象場の内挿間隔 60分など) を固定して、表1に示す波浪モデル (SWAN) の初期設定から39ケースの組合せを作成して検証計算を実施した。この計算にはAMDのプロセッサ基盤の計算機を用いた。検証計算の結果のうち、最も計算が安定した結果を図4に示す。Case 37 (最低水深D01=40m, D02=20m, D03=10m, D04=5m, D05=3m), D01~D05=繰り返し手法の完全陽的数値法, D01=本多・光易式の仕様) を設定した。Case 38では最低水深設定 (D01=40m, D02=20m, D03=10m, D04=20m, D05=3m), D01~D05=繰り返し手法の完全陽的数値法, D01とD04=本多・光易

式，河川境界の放射条件を適用した。Case 39では最低水深設定（D01=40m, D02=20m, D03=10m, D04=40m, D05=3m），D01~D05=繰り返し手法の完全陽的数値法，D01とD04=本多・光易式の使用，河川境界の放射条件を適用した。その結果，Case 39の数値安定性が改善が見られ，Case 38では数値発散を示した。Case 37の推定結果をみると，Case 39と重なりよく見えないがCase 39と同様な数値安定性が示された。この結果から最も数値安定する波浪モデルのパラメータ設定を行った。

表 1 検証計算に用いた SWAN の初期設定

ドメイン No.	流れ	水位	境界のスペクトル	境界のスペクトルのパラメータ	初期条件	風からの波へのエネルギー輸送項	4波共鳴波相互作用	砕破パラメータ	海底摩擦	3波共鳴波相互作用	リミッター	回折	Lalbe hary による修正
1	無	無	JON SWAP	可変, 1m, 5s, 方向性拡散係数(m)=2	1m, 7s, 90度, m=2	Janssenのパラメータ	完全陽的数値法	$\alpha = 1.0$, $\gamma = 0.73$	Madsen (kn = 0.05m)	ディフォルト係数	ディフォルト係数	ディフォルト係数	有
2	無	無	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	有
3	無	無	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	有
4	無	無	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	有
5	無	無	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	有

3.2) 2016年度観測データを用いた地形変化の検証実験結果

図1に示すように7つ計算領域（D01~D07）と宮崎河川国道事務所の深浅測量データを用いてSuWATsedの検証を行った。宮崎海岸を対象に7つの計算領域を12,000mから10mまで1/5または1/3の比例を用いて解像度をダウンスケーリングし，ネスティング手法を用いて計算領域を作成した。

図5に示した一つ瀬川橋の河川水位を河川境界条件として与えた。気象場を用いて2016年6月1日00時~2016年12月31日00時までの期間を対象に潮汐，高潮，波浪，地形変化の結合推算を行った。GPVデータは3時間間隔のデータであるためドメイン1が3時間間隔で気象場を読み込む。その後，1時間間隔で線形内挿を行いドメイン2からドメイン7まで気象場を渡す。

本計算は，前半ではAMDのプロセッサ基盤の計算機を用いたが後半ではIntelプロセッサの計算機を利用した。

6ヶ月間の計算のうち，2021年行った観測地点における地形変化を確認した。St2の岸方向と沖合方向の2地点の海底地形の時系列を図6（岸方向）と図7（沖合方向）に示す。岸方向では堆積が発生したが沖合方向では侵食が発生した。Intelプロセッサを用いると6ヶ月間の長期計算が数値発散なく安定的に計算ができることを確認した。数値発散の原因として，波浪モデルの設定に加えて計算機のCPUも挙げられる。現在，この推算設定と計算機を用いて宮崎河川国道事務所の深浅測量データとSuWATsedとの検証を行なっている。

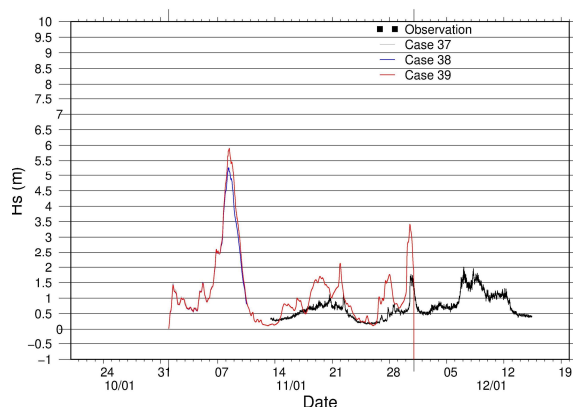


図 4 第 5 領域における有義波高の推算結果 (黒:観測, 灰:Case37, 赤:Case38, 黄:Case39)

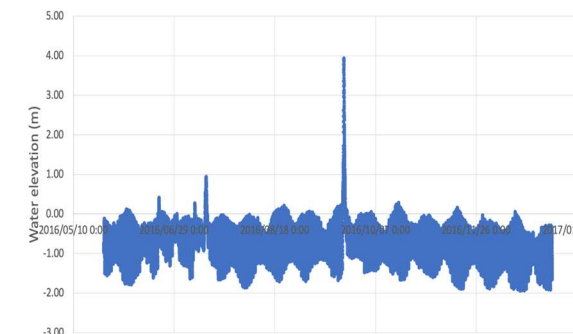


図 5 2016 年 6 月 1 日 00 時~2016 年 12 月 31 日 00 時までの検証期間を対象にした河川水位 (一つ瀬川橋)

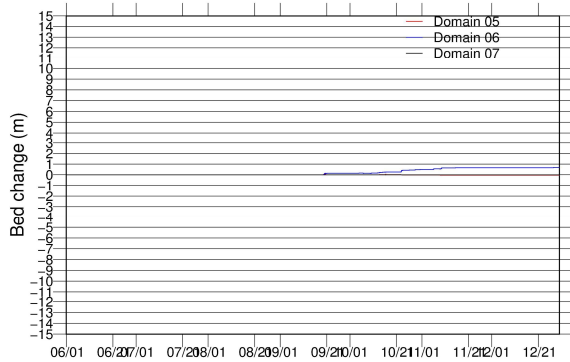


図 6 St2 における岸方向の地点において 3 の設定による地形変化の時系列 (2016 年 6 月～2016 年 12 月)

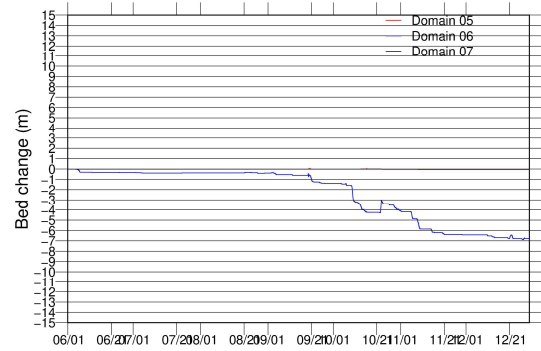


図 7 St3 における岸方向の地点において 3 の設定による地形変化の時系列 (2016 年 6 月～2016 年 12 月)

(4) 30年～50年までの長期変化推定のためのd4PDFデータセットからの現在と将来気候の対象海岸（宮崎海岸）の計算に必要な領域のデータ抽出

4.1) 現在気候（1951年1月～2011年1月）で1ケース

100 個の現在気候のアンサンブルデータを用いて、宮崎海岸を中心に、広域（経度 122°～142°，緯度 24°～40°）と狭域（経度 126°～136°，緯度 26°～36°）を対象に台風を解析した。そのうち、領域を通る台風数（中心気圧が 970hPa 以下）が最も多いアンサンブルは HPB m089 (169 個)だった。

4.2) 近将来気候（2030年9月～2091年8月）で最悪シナリオと最良シナリオの2ケース

2051 年～2110 年期間内における d4PDF の 90 個の将来気候の 4°上昇アンサンブルから抽出した台風データから、宮崎海岸を中心に、広域と狭域を対象に、中心気圧が 970hPa 以下の台風数を調べた結果、最も台風数が多いアンサンブルは、HFB 4K GF m114 (79 個)だった。一方台風数が最も少なかったアンサンブルは、HFB 4K MI m104 (22 個)だった。

4.3) 気候変動データから河川供給土砂量を算定する手法の検討

d4PDF の現在気候現在のアンサンブルのうち 50 アンサンブルを用いて小林らは大淀川（柏田地点）の日平均の河川流量を推定した。この大淀川水系面積を対象にした推定値（2230 km²）と一つ瀬川水系面積（852 km²）の比例係数（1/3）を用いて一つ瀬川橋の流量へ換算した。なお、90m 幅と 1m 水深の河川境界の格子において、 $Q=AV$ の連続式を用いて河川流量を水位と流速に変換し

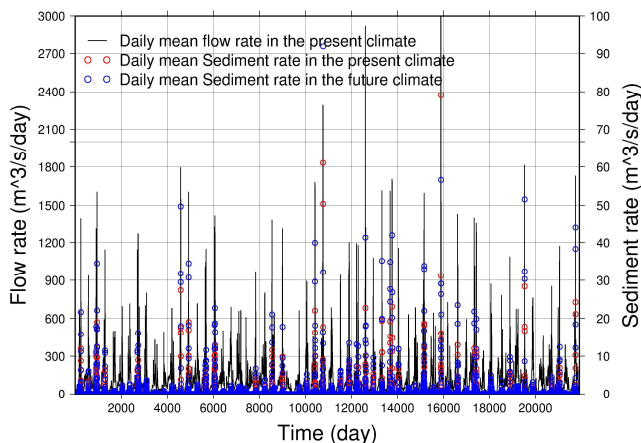


図 8 一つ瀬川橋付近における現在気候の日平均河川流量，現在と将来気候の日平均土砂量の時系列（偏在既往のアンサンブル：HPB m089）

て、 $q_t = A_s \bar{U} \left[(\bar{U}^2)^{\frac{1}{2}} - \bar{U}_{cr} \right]^{2.4}$ 式より河川の日平均土砂量を推定した。その際に河川傾斜一定として境界周辺では河床変化は無視した。将来の日平均土砂量を推定するために、「河川整備基本方針の変更の考え方について令和 3 年 10 月 11 日国土交通省 水管理・国土保全局に基づく」に従って現在の河川流量に 1.2 倍乗して将来の河川流量を推定した後、将来の土砂量を推定した。最悪シナリオとして選定された現在気候のアンサンブルから推定した結果を図 8 に示す。図には一つ瀬川橋におけるアンサンブルごとの現在の河川流量，現在の土砂量，将来の土砂量が示されている。

⑦研究成果の発表状況・予定

(本技術研究開発の成果について、論文や学会への投稿等又はその予定があれば記入して下さい。) (以下記入例)

- ・ これまでに発表した代表的な論文
- ・ 著書(教科書、学会抄録、講演要旨は除く)
- ・ 国際会議、学会等における発表状況
- ・ 主要雑誌・新聞等への研究成果発表
- ・ 学術誌へ投稿中の論文(掲載が決定しているものに限る)
- ・ 研究成果としての事業化、製品化などの普及状況
- ・ 企業とのタイアップ状況
- ・ 特許など、知的財産権の取得状況
- ・ 研究成果による受賞、表彰等

以下の題目で次年度の海岸工学論文集やジャーナルに投稿する予定である。

「宮崎海岸を対象にした高潮・波浪・潮位・流砂を結合した海岸地形変化予測モデルの開発」

⑧研究成果の社会への情報発信

(ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。)

研究室のウェブにモデルに関する情報と研究成果を今後公開する。

<http://www.civil.kumamoto-u.ac.jp/sooyoulkim/page-12/page-9/>

⑨表彰、受賞歴

(単なる研究成果発表は⑧⑨に記載して下さい。大臣賞、学会等の技術開発賞、優秀賞等を記入下さい。)

該当なし

⑩技術研究開発の今後の課題・展望等

(研究目的の進捗状況・達成状況や得られた研究成果を踏まえ、技術研究開発の更なる発展や海岸政策の質の向上への貢献等に向けた、技術研究開発の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

2年間に渡り広域モデルの開発と、広域と狭域モデルの結合を行い、2021年度実施した現地観測結果との比較・検証を行った。しかし、宮崎河川国道事務所の深浅測量データとの比較・検証と気候変動データを用いた長期推算の課題が残った。

2年間行ったモデルの開発実施結果を踏まえて、今後は深浅測量データとの比較・検証を行うことで気候変動データを用いた計算とその分析を進めることで、本研究が目的として「超広域から狭域に渡って気候変動による海岸地形の長期変動が推定できる海浜変形数値モデルの実用化」が達成できる。

この技術を民間に移転させることで、将来気候変動の影響を踏まえた国土利用の適切な対策や事前検討の手法として用いられることが期待できる。

⑪研究成果の海岸行政への反映

(本技術研究開発で得られた研究成果の実務への反映等、海岸政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

本研究で開発したモデルと気象変動実験データを用いて、事前に将来の気候変動や人為的改変による影響を予測・評価を行い、その予測に基づき対策を実施する順応的な砂浜管理が可能になる。