

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

成果集

ここに、5年間にわたるSI-CATの活動をまとめた成果集を皆様にお届けいたします。SI-CATは、これまでの研究プロジェクトとは異なり、気候変動予測とその影響評価の研究成果を活用した適応策を社会実装することを目標として実施されました。そのため、SI-CATには気候予測モデルの研究者から温暖化による影響評価を行う様々な分野の研究者、そして温暖化影響に対する適応策の社会実装を担う行政担当者まで幅広い分野の専門家が参画し、共に協力しながら気候変動適応策の社会実装を目指して活動を進めてまいりました。本成果集には、こうした多分野協力による成果がまとめられています。



温暖化の影響が、次第に顕在化しはじめ、防災や農業、水産業、観光産業、健康、環境、生態など様々な分野での適応策の実践が求められつつある今、この成果集が、気候変動適応策の策定を目指す多くの皆様の参考となり、社会実装のために活用されることを心より願っております。

サブ・プログラムディレクターからのメッセージ

東京大学大学院 工学系研究科 准教授 栗栖 聖

気候変動の影響は、災害や暑熱など国民生活にとって目に見える形でその影響が感じられるようになってきたと言えます。少子高齢化といった社会経済的な外的状況もある中で、各地域がどのようにこれまでの生活を維持し気候変動に適応していくかは社会全体の大きな課題です。

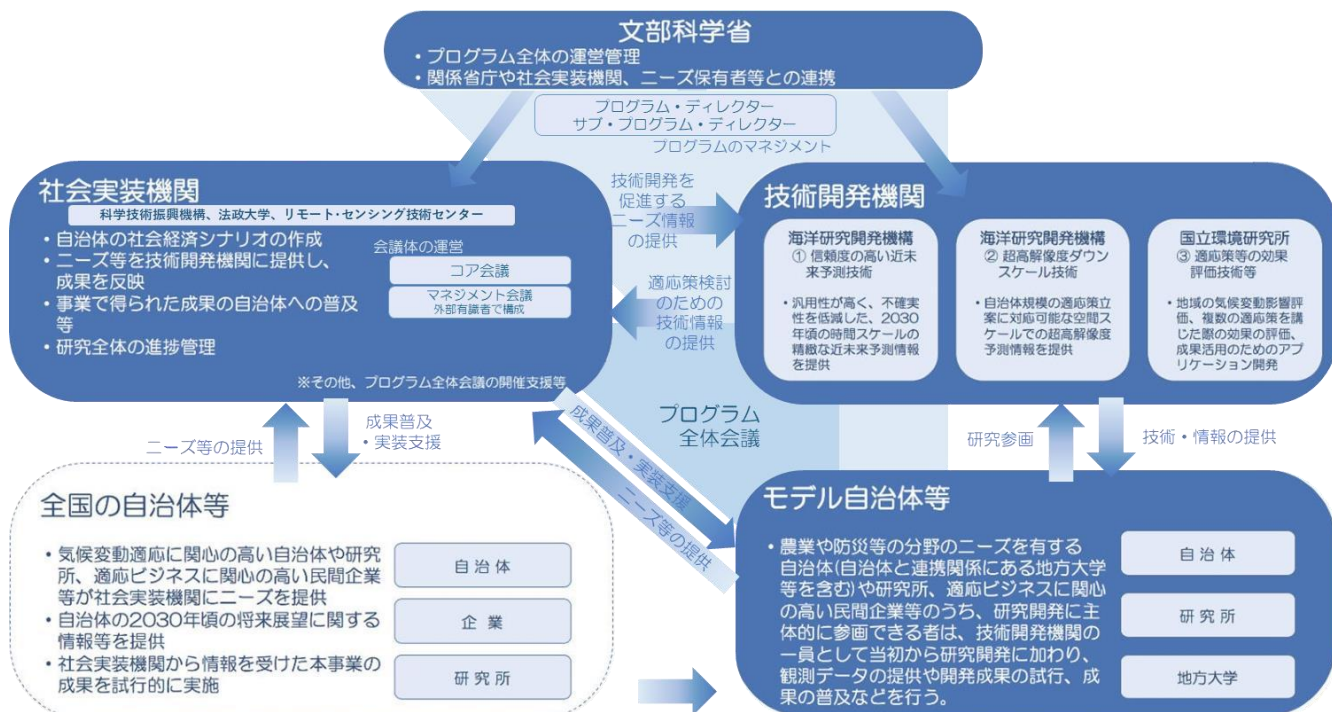


SI-CATの各技術開発機関、社会実装機関、モデル自治体ならびにニーズ自治体との協働のもと得られた本成果は、気候変動に対し各地域が適応を検討し適応計画を策定していく上で、それをサポートする知見の集約になっていると思います。社会実装と謳っている通り、本プログラムで得られた科学的知見が地域社会で実際に生かされ、各地域のより良い生活の維持に貢献できることを強く願っています。

マネジメント会議アドバイザー (五十音順)

- | | | | |
|--------|-------------------------------------|-------|----------------------------|
| 太田 俊二 | 早稲田大学 人間科学学術院 教授 | 中北 英一 | 京都大学 防災研究所 気象・水象災害研究部門 教授 |
| 沖 大幹 | 東京大学 総長特別参与/未来ビジョン研究センター教授 | 堀江 武 | 京都大学名誉教授 農研機構フェロー |
| 片谷 教孝 | 桜美林大学 リベラルアーツ学群化学専攻 教授 | 本郷 尚 | (株)三井物産戦略研究所国際情報部シニア研究フェロー |
| 河原崎 里子 | 国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター 研究員 | 松本 和夫 | 京都大学 名誉教授 |
| 神田 学 | 東京工業大学 環境・社会理工学院 融合理工学系地球環境共創コース 教授 | 二宮 正士 | 元広島県総務局経営企画チーム 経営企画アドバイザー |
| 木村 富士男 | 筑波大学 名誉教授 | 三村 信男 | 東京大学大学院 農学生命科学研究科 特任教授 |
| 住 明正 | 東京大学未来ビジョン研究センター 特任教授 | | 茨城大学 学長 |

SI-CAT実施体制



気候変動適応に関する取り組みを自発的に行っている、もしくは行おうとしている自治体等が「モデル自治体等」に加わり、研究開発に協力

技術開発機関

■課題1,2：信頼度の高い近未来予測技術の開発及び超高解像度ダウンスケーリング技術の開発

- 1-a-① 日本全国20km近未来気候予測技術開発
- 1-a-② (〃)
- 1-b-① 大規模データベースからの極端現象抽出技術開発
- 1-b-② (〃)
- 1-c 日本周辺海域近未来予測技術開発
- 2-a-① 汎用的ダウンスケーリング技術開発
- 2-a-② (〃)
- 2-a-③ (〃)
- 2-a-④ (〃)
- 2-a-⑤ (〃)
- 2-a-⑥ (〃)
- 2-a-⑦ (〃)
- 2-b-① 街区・港湾スケールの力学的ダウンスケーリング技術開発
- 2-b-② 街区・港湾スケールの力学的ダウンスケーリング技術開発
- 3-a モデル自治体等における技術開発(佐賀県)
- 3-b モデル自治体等における技術開発(埼玉県)
- 3-c モデル自治体等における技術開発(茨城県及び鳥取県)

- (海洋研究開発機構 石川洋一)
- (海洋研究開発機構 渡邊真吾)
- (北海道大学 山田朋人)
- (海洋研究開発機構 荒木文明)
- (京都大学 小山田耕二)
- (海洋研究開発機構 石川洋一)
- (防災科学技術研究所 大塚浩司)
- (北海道大学 山田朋人)
- (農研機構 西森森貴)
- (東北大学 山崎剛)
- (東京工業大学 鼎信次郎)
- (長崎大学 瀬戸心太)
- (室蘭工業大学 中津川誠)
- (海洋研究開発機構 大西頌)
- (京都大学防災研究所 森信人)
- (九州大学 橋本典明)
- (埼玉環境科学国際センター 嶋田知英)
- (筑波大学 武若聡)

■課題3：気候変動の影響評価等技術の開発に関する研究

(i) 気候変動に関する分野別影響・適応策評価技術の開発

- (i)-a-① 適応策評価のための水災害リスクマップの高度利用技術開発
- (i)-a-② 適応策評価のための土砂災害リスクマップの高度利用技術開発
- (i)-a-③ 地域詳細型高潮・水士砂災害適応策評価モデル開発
- (i)-b-① 適応策評価のための多作物を対象とした統計モデル開発
- (i)-b-② 果樹に関する気候変動適応策経験知抽出ツール開発
- (i)-b-③ 適応策評価のための気候変動に伴う沿岸環境急変現象の変動と影響評価モデル開発
- (i)-c 適応策評価のための気候変動に伴う河川流況及び水資源量影響評価モデル開発
- (i)-d 適応策評価のための暑熱環境と健康影響モデル開発

- (国立環境研究所 脇岡清明)
- (国立環境研究所 脇岡清明)
- (東北大学 風間聡)
- (福島大学 川越清樹)
- (九州大学 杉原祐司)
- (茨城大学 増富祐司)
- (NECソリューションイノベータ 島津秀雄)
- (水産研究機構 井桁庸介)
- (京都大学防災研究所 田中賢治)
- (筑波大学 日下博幸)
- (国立環境研究所 脇岡清明)
- (兵庫県立大学 中高一憲)
- (名城大学 森杉雅史)
- (国立環境研究所 脇岡清明)
- (茨城大学 田村誠)
- (岐阜大学 原田守啓)
- (高知工科大学 那須清吾)
- (長野県環境保全研究所 浜田崇)

(ii) 気候変動に関する総合影響・適応策評価技術開発

- (ii)-① 経済影響評価：被害・政策マトリックス開発
- (ii)-② 経済影響評価：気候変動による環境経済的な影響の推定

(iii) 自治体等における気候変動適応の推進体制構築及び汎用的な影響・適応策評価技術開発支援

- (iii)-a 茨城県における農業を主とした気候変動適応の推進体制構築及び汎用的な影響・適応策評価技術開発支援
- (iii)-b 岐阜県における防災を主とした気候変動適応の推進体制構築及び汎用的な影響・適応策評価技術開発支援
- (iii)-c 四国における水資源・防災・林業を主とした気候変動適応の推進体制構築及び汎用的な影響・適応策評価技術開発支援
- (iii)-d 長野県における農業・防災・生態系を主とした気候変動適応の推進体制構築及び汎用的な影響・適応策評価技術開発支援

社会実装機関

■気候変動適応技術社会実装プログラムにおける社会実装の着実な推進

- ①共通基盤技術の開発内容への地方自治体等のニーズの反映
- ②全国の地方自治体が本プログラムの成果を用いて主体的に気候変動適応策の策定を行うことが可能な手法の構築
- ③本プログラムで得られた成果の導入支援及び普及
- ④プログラム全体の進捗管理及び総合的推進

- (科学技術振興機構 津田博司)
- (法政大学 田中充)
- (法政大学 田中充)
- (リモート・センシング技術センター 亀井雅敏)
- (科学技術振興機構 津田博司)

SI-CAT
モデル自治体等

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乗っ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。

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。砂浜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策にも応用できます。

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、温暖化に適応するため、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。自然の恩恵を享受し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て、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。

四国

四国は水害や濁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术を活用し、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。

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・安心を維持し続けるかどうかが懸念されています。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応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。

■課題1, 2：信頼度の高い近未来予測技術の開発及び超高解像度ダウンスケーリング技術の開発

1-a-①	日本全国20km近未来気候予測技術開発	1
1-a-②	(〃)	3
1-b-①	大規模データベースからの極端現象抽出技術開発	5
1-b-②	(〃)	7
1-c	日本周辺海域近未来予測技術開発	9
2-a-①	汎用的ダウンスケーリング技術開発 - ニーズを踏まえた力学DSおよび全国版統計DSデータセットの作成 -	11
2-a-②	(〃) - 今後の治水対策に向けた力学的ダウンスケーリング技術の開発およびデータセットの作成 -	13
2-a-③	(〃) - 農業利用のための日本全国1km地域気候シナリオデータセット開発 -	15
2-a-④	(〃) - 長野の雪を主対象とした高解像度力学ダウンスケーリング -	17
2-a-⑤	(〃) - 極端豪雨を対象とした統計的手法による汎用的ダウンスケーリング技術開発 -	19
2-a-⑥	(〃) - XバンドMPレーダを用いたダウンスケーリング技術開発 -	21
2-a-⑦	(〃) - 北海道を対象とした1km解像度の統計的ダウンスケーリングデータの作成 -	23
2-b-①	街区・港湾スケールの力学的ダウンスケーリング技術開発	25
2-b-②	街区・港湾スケールの力学的ダウンスケーリング技術開発	27
3-a	モデル自治体等における技術開発(佐賀県)	29
3-b	モデル自治体等における技術開発(埼玉県)	31
3-c	モデル自治体等における技術開発(茨城県及び鳥取県)	33

■課題3：気候変動の影響評価等技術の開発に関する研究

(i)	気候変動に関する分野別影響・適応策評価技術の開発	
(i)-a-①	適応策評価のための水災害リスクマップの高度利用技術開発	35
(i)-a-②	適応策評価のための土砂災害リスクマップの高度利用技術開発	37
(i)-a-③	地域詳細型高潮・水土砂災害適応策評価モデル開発	39
(i)-b-①	適応策評価のための多作物を対象とした統計モデル開発	41
(i)-b-②	果樹に関する気候変動適応策経験知抽出ツール開発	43
(i)-b-③	適応策評価のための気候変動に伴う沿岸環境急変現象の変動と影響評価モデル開発	45
(i)-c	適応策評価のための気候変動に伴う河川流況及び水資源量影響評価モデル開発	47
(i)-d	適応策評価のための暑熱環境と健康影響モデル開発	49
(ii)	気候変動に関する総合影響・適応策評価技術開発	
(ii)-①	経済影響評価：被害・政策マトリックス開発	51
(ii)-②	経済影響評価：気候変動による環境経済的な影響の推定	53
(iii)	自治体等における気候変動適応の推進体制構築及び汎用的な影響・適応策評価技術開発支援	
(iii)-a	茨城県における農業を主とした気候変動適応の推進体制構築 及び汎用的な影響・適応策評価技術開発支援	55
(iii)-b	岐阜県における防災を主とした気候変動適応の推進体制構築 及び汎用的な影響・適応策評価技術開発支援	57
(iii)-c	四国における水資源・防災・林業を主とした気候変動適応の推進体制構築 及び汎用的な影響・適応策評価技術開発支援	59
(iii)-d	長野県における農業・防災・生態系を主とした気候変動適応の推進体制構築 及び汎用的な影響・適応策評価技術開発支援	61

■ 気候変動適応技術社会実装プログラムにおける社会実装の着実な推進

- ①共通基盤技術の開発内容への地方自治体等のニーズの反映・・・63
- ②全国の地方自治体が本プログラムの成果を用いて
主体的に気候変動適応策の策定を行うことが可能な手法の構築・・・65
- ③本プログラムで得られた成果の導入支援及び普及・・・67
- ④プログラム全体の進捗管理及び総合的推進・・・69

左ページ
成果概要

右ページ
説明図等



□ SI-CATの技術開発成果は、文部科学省のデータ統合・解析システム - DIAS - に格納されます。

DIAS : Data Integration and Analysis System

気候変動をはじめ、自然災害や食料生産等、今後の経済・社会に大きな影響を与える地球規模課題に対し効果的・効率的に対処するためには、衛星、航空機、船舶、地上等の観測情報及び気候変動予測情報等の地球環境ビッグデータを有効に活用する必要があります。文部科学省では、2006年度より、地球環境ビッグデータを蓄積・統合解析し、気候変動等の地球規模課題の解決に資する情報システムとして、「データ統合・解析システム (DIAS)」を開発・運用しています。

DIASは、地球観測情報、気候変動予測情報等を統合的に組み合わせ、水循環や農業等の分野における気候変動の影響評価や気候変動への対策 (適応策) 立案に資する科学的情報を提供するプラットフォームとして、国内外の様々なユーザーに活用されています。

DIASの機能

DIASは超大容量データのアーカイブと解析及びシミュレーションを行うため、超大容量ストレージや解析空間を有しています。また、各地のデータセンターやスーパーコンピュータ保有機関との間で高速にデータを転送するため、国立情報学研究所 (NII) の学術情報ネットワークSINETに接続しています。

堅牢なデータベースと巨大な解析空間を有するDIASには、多種多様な地球環境ビッグデータが蓄積されているだけでなく、様々なデータ処理アプリケーションや解析ツールも用意されています。

DIASの活用

DIASは、気候変動影響評価に必要な気候変動予測情報を提供しています。例えば、気候変動適応技術社会実装プログラム (SI-CAT) や統合的気候モデル高度化研究プログラム (TOUGOU) において作成された情報はもちろん、地球温暖化予測情報第9巻 (気象庁) のデータセットや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) (文科省) などがあります。これらの情報は、DIASにユーザー登録することにより、誰でも簡単に入手することができます。また、SI-CATで開発された、適応策検討を支援するアプリケーション (後述のSEALなど) もDIASを通じて利用可能です。

さらに、環境省の気候変動適応情報プラットフォーム (A-PLAT) とも連携し、気候変動への対策 (適応策) を検討する基となる科学的知見の提供に役立っています。

今後、気候変動適応法に基づき、地方公共団体においても適応策の策定に向けた検討が進みます。この際、DIASは社会実装を支援する情報基盤として期待されています。

1. 研究課題名： 課題1：信頼度の高い近未来予測技術の開発
サブ課題名： 1-a-① 日本全国 20km 近未来気候予測技術開発

(担当機関：国立研究開発法人海洋研究開発機構 担当責任者： 渡辺 真吾)
(協力機関：気象庁気象研究所)

2. 成果概要

(1) 研究開発の目的・目標・概要

都道府県や市町村レベルで気候変動適応策の検討を行う際に利用可能な科学的基礎情報として、数年先から数十年程度先の信頼度及び汎用性が高い気候変動予測情報の創出を可能とする近未来予測技術の開発を行う。この技術を用いて、2030年近辺を対象として極端現象を含めた確率情報付きデータセットを作成し、本プログラムの他の技術開発機関、社会実装機関及び地方自治体等に対し、それぞれのニーズに合わせて提供を行う。

モデル自治体等との連携によって、全国20km解像度の近未来気候予測データベース（日本全国及び周辺域の大気近未来予測情報を扱うためのデータベース）に要求される要件を調査し、同データベースを構成するデータセットを作成して本プログラムの他の技術開発機関、社会実装機関及び地方自治体等に提供するとともに、結果の検証を行い、DIASを通じて公開する。さらに、様々な極端現象の将来変化等を確率情報として示す。

(2) 研究開発の成果

モデル自治体等との連携によるニーズ調査を経て、全国20km解像度の近未来気候予測データベースとして、文部科学省「気候変動リスク情報創生プログラム」の協力のもと、RCP8.5シナリオでおよそ2030-2050年頃、世界平均の地上気温が産業革命当時と比べて2°C上昇した世界を模した大規模アンサンブル気候予測データセット「d2PDF」の作成を行い、本プログラムの他の技術開発機関およびモデル自治体等に提供するとともに、結果の検証を行い、DIASを通じて公開した。(2018年8月10日) 気象場の解析に不可欠な3次元気圧面データも追加で公開した。(2019年9月11日) <http://d4pdf.diasjp.net/d4PDF.cgi?target=RCM&lang=ja>

結果の検証および極端現象の将来変化等の確率情報に関して、国内外の学会等で発表するとともに、学術論文誌を通じて報告し、データセット利用者に基本的な科学的知見を提供した。

- ・近未来における極端降水の変化～大雨と干ばつはより極端化する：Fujita et al. (2018)
- ・晴天乱気流の将来変化～北太平洋上空の乱気流分布が大きく変化する可能性：Watanabe et al. (2019)
- ・やませの将来変化～温暖化してもやませは発生 & 発生時の循環場パターンが変化：Kawazoe et al. (2020)
- ・シビアなストームをもたらす環境場の将来変化～温暖化により発生ポテンシャルが増加：Kawazoe et al. (2020)

- ・日本全国各地点における温暖化予測データセット～猛暑や大雨の頻度変化を確率情報として定量化：岡田ほか (2020)

(3) 研究成果による波及効果

DIASを通じて公開したd2PDFは、モデル自治体等における極端降水ならびに水土砂災害リスク等の将来変化の評価・検討に用いられたほか、国土交通省水管理・国土保全局において河川計画（治水・利水）への気候変動影響予測の反映のさせ方の検討に用いられた。

さらにd2PDFは、本プログラムの他の技術開発機関の手によって水平解像度5kmの領域気候モデルを用いた力学的ダウンスケーリングをする際の境界条件データとして活用され、そこで作成されたデータセットは、環境省の「地域適応コンソーシアム事業」、国土交通省の「気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会」をはじめ、農林水産省における気候変動適応策の検討にも用いられた。

個々の論文成果の波及効果としては、2021年の出版に向けて編纂・執筆が進められているIPCC第6次評価報告書にFujita et al. (2018)、Watanabe et al. (2019) の引用が期待される。両論文成果のプレスリリースによる新聞等のメディア掲載を通じてSI-CATの気候変動適応策への取り組みが広く一般に知れ渡った。

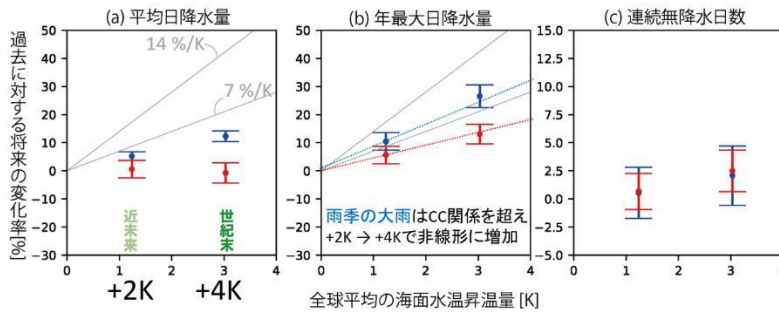
(4) 研究結果を踏まえた今後の展望、予想される効果・効用

本課題で作成されたd2PDFおよびその派生データ、そして本プログラムの他の技術開発機関の手によって作成された水平解像度5kmの力学的ダウンスケーリングデータは、今後も気候変動適応計画をはじめ国内の様々な政策検討の際に、科学的基盤を与えるデータセットとして役立てられることが期待される。

近未来気候における極端降水の変化

Fujita et al. (2018, GRL) Precipitation changes in a climate with 2 K surface warming from large ensemble simulations by 60 km global and 20 km regional atmospheric models
 ※d2PDFを利用した際には、本論文を引用下さい。 <https://doi.org/10.1029/2018GL079885>

d2PDF(AGCM60)の結果を解析。2°C上昇＝近未来気候でも、雨季・乾季の違いが過去よりも明瞭になり、豪雨はより強くなり連続無降水日は増加することが明らかに。日本付近RCM20も同様。



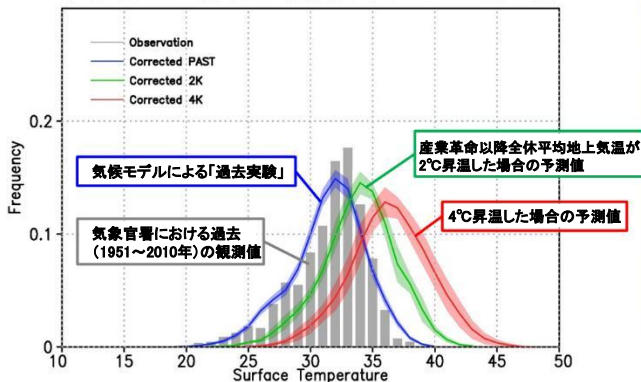
過去気候(1951～2010年)に対する将来気候(近未来:2030～2050年頃、世紀末:2070～2090年頃)の全球平均の変化率(ドット)と不確実性の幅(エラーバー)。(a)雨季・乾季別に計算した平均日降水量、(b)雨季・乾季別に計算した年最大日降水量、(c)雨季・乾季別に計算した連続無降水日数。青は雨季・赤は乾季の値を示す。グレーの斜線は1K昇温に対する降水量の変化率を示す。



d4PDFを用いた日本列島地点別温暖化予測データセットの作成

岡田ほか、日本気象学会機関誌「天気」に投稿中

東京8月の日最高気温頻度分布(バイアス補正後)



温暖化に伴う35°C以上の猛暑日発生頻度の増加が定量的な予測情報として得られた。

d4PDF_RCM	
格子間隔	20 km
期間	1950年9月～2011年8月
抽出地点数	152地点(気象官署)
抽出方法	逆距離荷重法
抽出条件	海陸比50%以上 未滿の地点:最も高い海陸比のグリッドを選択
標高補正	各グリッドで実施
バイアス補正	最小二乗法 (Piani et al. 2010)
補正する要素	日平均気温, 日較差, 歪度
※温暖化実験のバイアス補正には、過去実験で算出した各メンバー補正係数のアンサンブル平均を適用	



観測データ
気象官署(152地点)



1. 研究課題名： 課題2：信頼度の高い近未来予測技術の開発及び超高解像度ダウンスケーリング技術の開発
サブ課題名： 1-a-② 日本全国20km近未来気候予測技術開発
(担当機関：国立大学法人北海道大学 担当責任者： 山田 朋人)

2. 成果概要

(1) 研究開発の目的・目標・概要

都道府県や市町村レベルで気候変動適応策の検討を行う際に利用可能な科学的基礎情報として、数年先から数十年程度先の信頼度及び汎用性が高い気候変動予測情報の創出を可能とする近未来予測技術の開発を行う。この技術を用いて、2030年近辺を対象として極端現象を含めた確率情報付きデータセットを作成し、本プログラムの他の技術開発機関、社会実装機関及び地方自治体等に対し、それぞれのニーズに合わせて提供を行う。

リスク評価の基盤情報となる顕著事例の発生確率を検討するために、大規模アンサンブル等の大量データを有効に・効率的に活用するために、極端現象イベントの確率的变化を記述する予測情報（イベント・プロジェクト）や、類似イベントの検索等の機能を付加した近未来気候予測データベースを作成するための手法を開発することが目的である。

試用版の全国20km解像度の近未来気候予測データセットの作成を開始し、サンプルデータを課題2及び課題3に提供する。作成したデータセットについては、試用版として課題2及び課題3へ提供し、連携して検証を進める。

(2) 研究開発の成果

20km解像度の予測情報の解析により、4°C上昇シナリオにおいて台風に伴う極端な降水の強度が増加することが分かった。この増加は「台風の強度が増加すること」および「水蒸気量が増加すること」の二つの効果に起因する。この結果により、将来は弱い台風からでも非常に激しい降水が生じる可能性があることが示唆された。自治体の要望を受け、大規模シミュレーション中で再現された大量の台風事例の中から、九州地方に高潮をもたらす可能性のある台風を降水量や経路の情報に基づいて抽出し、サブ課題2-2-aにおいて力学的ダウンスケーリングを実施した。北海道では、台風によって生じる極端降水の将来変化に着目し、大量アンサンブルデータから台風の接近日を抽出し、サブ課題2-2-aにおいて力学的ダウンスケーリングを実施した。これを用いて確率情報付きの予測情報を作成する手法を開発した。この結果は自治体に提供され、モデル自治体（サブ課題2-3-a）やニーズ自治体（北海道）において適応策の検討に使用された。

大規模アンサンブルの利点を生かし、これまで未解明だった季節降水量極値の将来変化について解析した。100年確率月降水量の将来変化は、九州西部を除く西日本や東日本では明瞭な変化が見られなかった。一方、九州西部や北海道では夏季を通して顕著な増加傾向を示し、これらの地域では不確実性を考慮しても、100年に一度の多雨年の降水量が将来増加する可能性が高いことが分かった。不確実性の要因として、北海道では気候システムの内部変動が関係しているのに対し、九州西部においては将来の海面水温パターンの違いによる寄与が比較的大きく、地域間で不確実性要因に違いが見られた。

(3) 研究成果による波及効果

2016年8月、4つの台風が北海道に相次いで接近・上陸し、各地に記録的な大雨をもたらした。全国的にも前例のないほどの極めて深刻な水害となった。この災害を受け、国土交通省北海道開発局と北海道が共同で「北海道地方における気候変動予測技術検討委員会」を設置し、極端な大雨の将来変化やそれに伴う洪水リスクの評価を行うこととなった。その際に、本研究で開発された解析・評価手法が実装され、治水計画策定の基本的な指標である確率降水量に確率情報を付し、統計学的により適切なリスク評価が行われた。本解析のアプローチは、国土交通省の「気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会」でも提案・審議されるなど、気候予測情報を用いた治水計画が全国的に検討されるようになりつつある。

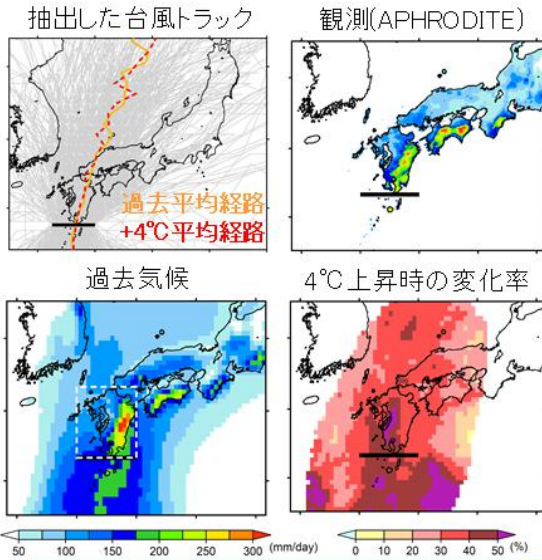
(4) 研究結果を踏まえた今後の展望、予想される効果・効用

本研究で開発した確率情報付きの極端現象の将来予測手法は、発生頻度の低い顕著な極端事象の将来変化を検討する際に有効である。現状ではまだ課題は残されているものの、今後、同手法が各地域における気候変動のリスク評価に適用されることが期待できる。さらに、洪水に限らず、様々な低頻度極端事象の評価と適応策の検討にも参考となる可能性がある。このように、低頻度事象の発生可能性とその将来予測が定量的に評価されることで、将来予測をふまえた適応策の実装がより一層進展することが期待される。

大規模アンサンブル実験データを用いた極端降水の将来変化

台風に伴う極端降水(九州地方の結果)

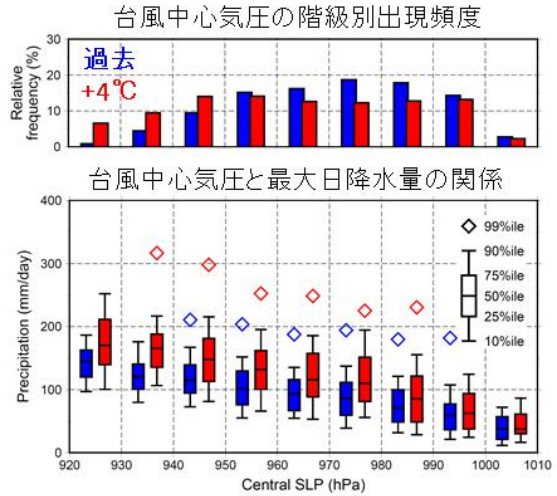
最大日降水量の90%パーセンタイル値



- ・モデルは台風に伴う降水量を現実的に再現
- ・九州全域で30%以上の増加を予測

※これらの台風の中から、九州地方に高潮をもたらす事例を選定し、ダウンスケーリングを実施

降水量変化に関する要因分析



- ・強い台風ほど降水量が増加+将来強い台風の割合が増加→台風の強度変化による影響
- ・同じ強度でも降水量が増加→水蒸気量増加の影響

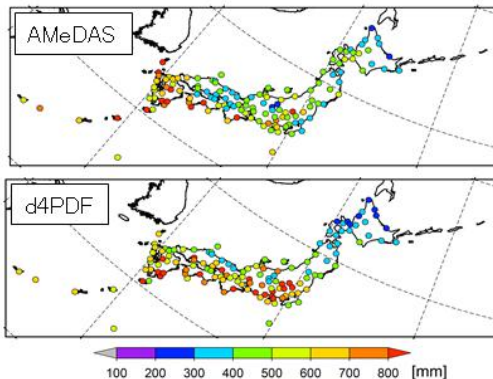
Hatsuzuka et al. (2020, SOLA)

月降水量の極値

解析方法

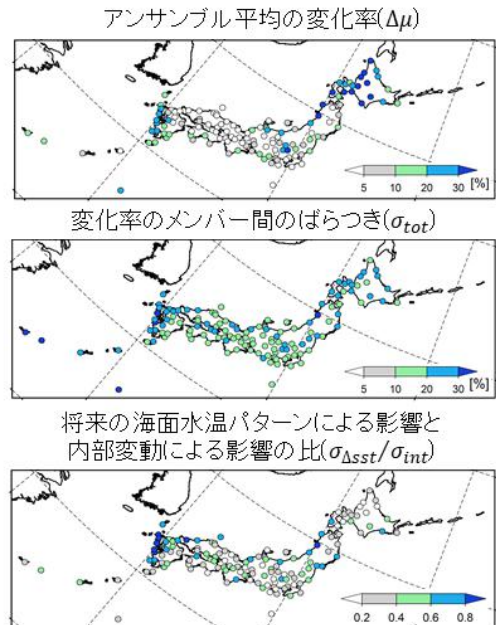


100年確率月降水量の再現性(8月)



- ・降水分布のパターンは概ね一致
- ・本州では過大、北海道では過少評価の傾向

将来変化とその不確実性の評価(8月)



- ・九州西部や北海道で増加傾向がロバスト($\Delta\mu > \sigma_{tot}$)
- ・地域によって不確実性の要因に違い(九州西部ではSST変化、北海道では内部変動の寄与が大きい)

Hatsuzuka and Sato (2019, J. Hydrometeor.)

1. 研究課題名： 課題2：信頼度の高い近未来予測技術の開発及び超高解像度ダウンスケリング技術の開発
サブ課題名： 1-b-① 大規模データベースからの極端現象抽出技術開発
(担当機関：国立研究開発法人海洋研究開発機構 担当責任者： 荒木 文明)

2. 成果概要

(1) 研究開発の目的・目標・概要

近未来予測技術を用いて作成された大容量のデータセットを、他の技術開発機関、社会実装機関及び地方自治体等に対し、それぞれのニーズに合わせて提供するための、気候実験データベースシステム (SEAL: System for Efficient content-based retrieval to Analyze Large volume climate data) を構築する。また、極端現象イベントなどの予測情報や類似イベントの検索等を可能にする極端現象抽出機能および可視化・分析機能等の情報技術を開発し、SEALを高度化する。

特に本研究では、近未来予測データベース (d4PDF) などの大容量データから、利用者のニーズに基づいて効率的に必要な物理量及び期間のデータを抽出し提供するためのSEALのデータ検索機能SEAL-F (SEAL-Finder) を開発し、d4PDFの4°Cおよび2°C昇温実験のデータおよび台風トラックデータをSEAL-Fに登録する。また極端降雨現象として機械学習に基づく前線抽出プログラムを開発し、前線情報を推定する。得られた前線情報もまたSEAL-Fに登録する。開発したSEAL-FはDIAS上で公開し、利用者に広く提供される。

(2) 研究開発の成果

本研究で開発したSEALは、図1のように条件に合うデータ検索を主な機能としたSEAL-F(SEAL-Finder)とデータ分析および可視化を主な機能としたSEAL-V(SEAL-Visualizer)で構成され、Webベースのユーザーインターフェースによってユーザーへの提供を可能としている。

SEAL-Fでは、d4PDFの降水量および気温、台風トラックデータおよび深層学習により抽出した停滞前線を検索できるリレーショナルデータベースを構築するとともに、想定ユーザーからのニーズ調査をもとに検索条件を工夫したユーザーインターフェース (図2) を設計し、SEALへ実装している (Nakagawa et al. (2020))。また、自治体施策担当者等想定されるユーザーに向けた「利用の手引き」を作成した (図3)。

極端現象抽出手法については、台風トラックの簡易抽出手法 (図4, Matsuoka et al. (2018))、総観場の自動分類手法 (図5) および停滞前線の自動抽出 (図6, Matsuoka et al. (2019)) の各手法を開発した。また、影響評価課題 (岐阜課題) と連携し、データ切り出しツールの提供 (原田 et al. (2018)) および停滞前線の自動抽出結果の試験提供を実施した。

- Y. Nakagawa, Y. Onoue, S. Kawahara, F. Araki, K. Koyamada, D. Matsuoka, Y. Ishikawa, M. Fujita, S. Sugimoto, Y. Okada, S. Kawazoe, S. Watanabe, M. Ishii, R. Mizuta, A. Murata and H. Kawase: Development of a system for efficient content-based retrieval to analyze large volumes of climate data, Prog Earth Planet Sci, in press (2020).
- D. Matsuoka, M. Nakano, D. Sugiyama and S. Uchida: Deep learning approach for detecting tropical cyclones and their precursors in the simulation by a cloud-resolving global nonhydrostatic atmospheric model, Prog Earth Planet Sci (2018) 5: 80.
- D. Matsuoka, S. Sugimoto, Y. Nakagawa, S. Kawahara, F. Araki, Y. Onoue, M. Iiyama and K. Koyamada: Automatic Detection of Stationary Fronts around Japan using a Deep Convolutional Neural Network, SOLA, Vol. 15 (2019) pp. 154-159.
- 原田守啓, 丸谷 靖幸, 児島 利治, 松岡 大祐, 中川 友進, 川原 慎太郎, 荒木 文明: アンサンブル気候変動予測データベースを用いた洪水頻度解析による長良川流域の温暖化影響評価, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.74, No.4 (2018) I_181-I_186.

(3) 研究成果による波及効果

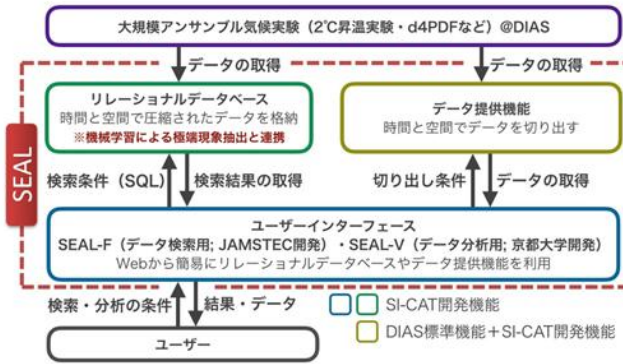
SEALはd4PDFの利用を飛躍的に促進すると期待しており、これにより影響評価の研究者によるd4PDFを用いた学術論文の増加が期待できる。また、気候変動に関わる関連企業 (コンサルタントなど) がSEALを利用することにより、自治体からの業務を請け負い易くなるため、経済という観点でも波及効果が期待できる。

(4) 研究結果を踏まえた今後の展望、予想される効果・効用

SEAL (主にSEAL-F) では、複数の格子点の物理量を予め積算し、空間解像度を粗くすることで、高速な検索を実現しているが、今後は格子点のままの物理量に対して高速な検索を実現する研究開発の方向性が重要となるだろう。

SEALはd4PDFを対象としているが、開発した技術は他のデータセットにも適用可能である。そのため、既存の海外の大規模なデータセットや、将来の大規模なデータセットへの適用に対しても需要があると考えられる。極端現象抽出研究では、温暖前線、寒冷前線および閉塞前線への適用、および台風接近にともなう前線活動の活発化に関する分析等への応用が期待される。

気候実験データベースシステムSEALのデータ検索機能の開発



リレーショナルデータベース

- 降水量・気温(領域モデル)
- 台風トラックデータ(全球モデル)
- 深層学習により抽出した停滞前線(領域モデル)

データ提供機能

- データダウンロード機能(DIAS標準機能と連携)
- バイナリ→テキスト変換機能

ユーザーインターフェース

- SEAL-F、SEAL-V、共通トップページ

図1 SEAL-F (SEAL-Finder)の構成

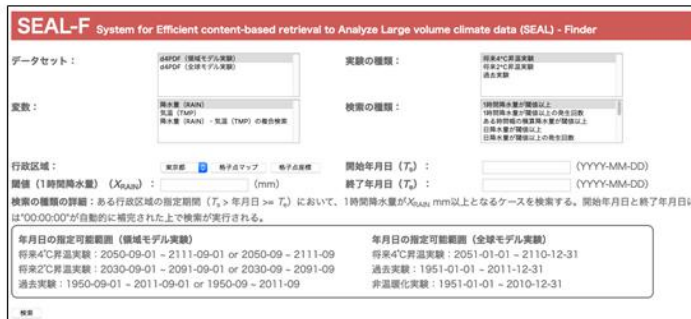


図2 SEAL-F (SEAL-Finder)のWeb UI



図3 SEAL利用の手引き

機械学習に基づく極端現象抽出機能の開発

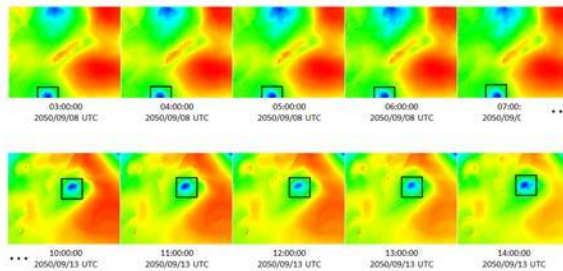


図4 台風トラックの簡易抽出

気圧配置に関する分類パターン

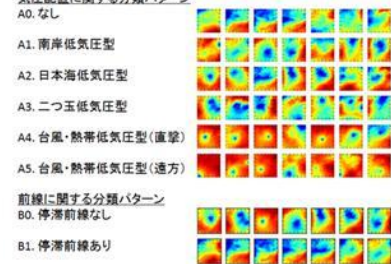


図5 総観場の自動分類

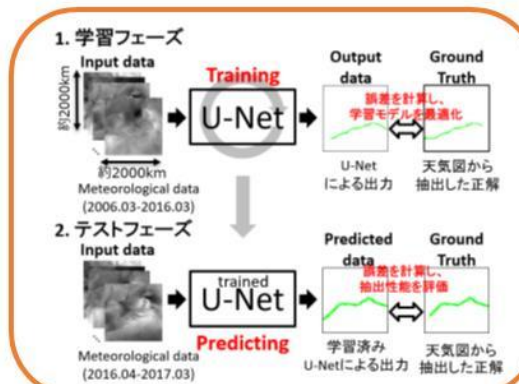
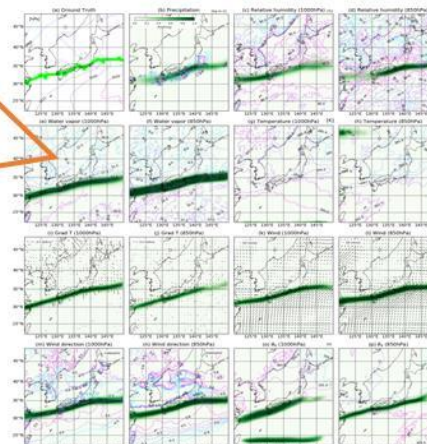


図6 停滞前線の自動抽出



1. 研究課題名：課題2：信頼度の高い近未来予測技術の開発及び超高解像度ダウンスケージング技術の開発
サブ課題名：1-b-② 大規模データベースからの極端現象抽出技術開発
(担当機関： 国立大学法人京都大学学術情報メディアセンター 担当責任者： 小山田 耕二)

2. 成果概要

(1) 研究開発の目的・目標・概要

近未来予測技術を用いて作成された大容量のデータセットを、他の技術開発機関、社会実装機関及び地方自治体等に対し、それぞれのニーズに合わせて提供するための、気候実験データベースシステム (SEAL: System for Efficient content-based retrieval to Analyze Large volume climate data) を構築する。また、極端現象イベントなどの予測情報や類似イベントの検索等を可能にする極端現象抽出機能および可視化・分析機能などの情報技術を開発し、気候実験データベースシステムを高度化する。

本研究では、ユーザーが必要とするデータを検索するサービスを提供するために開発したSEALにおいて、主にデータの可視化・分析機能を有するSEAL-V (SEAL-Visualizer) の実装を行った。SEAL-Vは、ユーザーが地図データに対して注目する領域 (都道府県、市町村、河川流域) を対話的に指定し、抽出結果を可視化する。SI-CATデータベースと連携することで、数PBスケールの大規模アンサンブルシミュレーションデータから効率的なデータ取得を行うことが可能となる。さらに、SEALの分析・評価機能を高度化し、DIAS上で実装及び公開するとともに、関係モデル自治体のニーズに合わせたシステムのカスタマイズを行う。

(2) 研究開発の成果

本研究で開発したSEALは、条件に合うデータ検索を主な機能としたSEAL-F (SEAL-Finder) とデータ分析および可視化を主な機能としたSEAL-V (SEAL-Visualizer) で構成され、Web ベースのユーザーインターフェースによってユーザーへの提供を可能としている。

SEAL-Vでは、地図データに対して注目する領域 (都道府県、市町村、河川流域) の対話的に選択することで、極端水位イベントの抽出やその降水量変化などについて、ヒストグラムや時系列グラフによる可視化表示を行える。これらの結果を基に、例えば、降雨量の時間変化が河川水位にどのような影響を及ぼすか、上空大気状態が降雨量にどのような影響をもたらすかなどといった様々な分析を可能とする。さらに詳細な分析・研究へ繋げるためのデータダウンロード機能も提供している。

・ Chi Zhang, Pu-wen Lei, Koji Koyamada, "Optimized System for Extreme Precipitation Events Extraction Based on Improved Percentile Method," Journal of Advanced Simulation in Science and Engineering, Vol.6

Issue 2, pp.317-330, 2019.

・ Pu-wen Lei, "Interactive Visualization System of Water Level Forecasting by using Deep Learning," VizAfrica Symposium 2018, July, 2018.

(3) 研究成果による波及効果

本研究において、河川流域から見た極端降雨現象抽出技術を極端水位上昇に先立つ降雨パターン抽出、予測情報の提供を可能とし、モデル自治体における本研究成果の利活用を通じて、極端現象の比較分析・予測評価の促進、特性に応じた適応計画策定の支援等に貢献した。

さらに、本研究における様々な業務を通じて、地方自治体における気候データを活用した観光政策やモデル自治体担当者による適応策の策定に資するシステムなどの開発対象の進化といった、我が国の研究開発、適応策の策定にも貢献することができた。

(4) 研究結果を踏まえた今後の展望、予想される効果・効用

本研究成果をDIAS上への実装、公開を行うことで、DIAS上の大・中規模河川水位データの利用や近隣住民による小規模河川水位データのアップロード、データ利用、分析・予測活動の拡大などといった展開が期待される。

さらに、モデル自治体以外の潜在的ユーザーに利用拡大することで、更なるフィードバックを収集し、ユーザーインターフェースや機能の改善を促進する。さらに他の研究分野におけるシミュレーションや観測データに対して、本研究成果の利活用に向けた取り組みも非常に有用になると考える。

SEAL-V ワークフロー

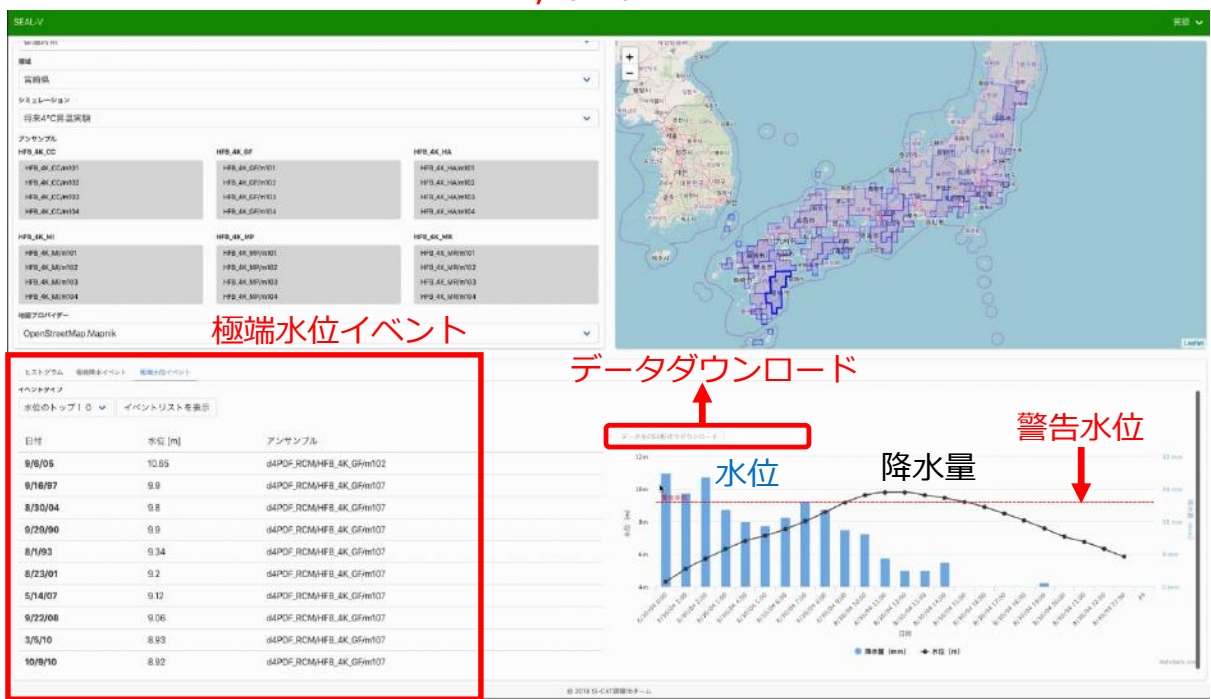
地図領域（都道府県、市町村、河川流域）の選択

解析

- ◆ 年単位でのサマリ表示
- ◆ 5400年 (60年×90アンサンブル)
- ◆ 年平均/最大降水量
- ◆ 極端降水イベント表示
- ◆ 72時間降水量上位 x 件などのイベントを抽出
- ◆ 降水量データから河川流域水位を予測
- ◆ 極端水位イベントの抽出とその降水変化の可視化表示

SEAL-V ユーザインタフェース

- SI-CAT DBと連携した効率的な大規模データ探索
- 河川流域単位での分析, 極端現象抽出に基づいた分析



1. 研究課題名： 課題2：信頼度の高い近未来予測技術の開発及び超高解像度ダウンスケーリング技術の開発
サブ課題名： 1-c 日本周辺海域近未来予測技術開発
(担当機関：国立研究開発法人海洋研究開発機構 担当責任者： 石川洋一)

2. 成果概要

(1) 研究開発の目的・目標・概要

- ・自治体等が気候変動適応策の検討を行う際に必要な近未来気候予測情報のうち特に日本周辺海域における予測情報を創出するために、海洋大循環モデルを用いた力学ダウンスケーリング技術を開発する。
- ・開発した海洋における力学ダウンスケーリング手法を用いて、日本周辺海域の将来予測データセットを作成する。このとき、さまざまな予測の不確実性についても考慮することができるように、異なる温室効果ガス排出シナリオに対応するとともに、複数のCMIPモデルからのダウンスケーリングを行う。
- ・作成したデータセットについて、現在気候における再現性の評価や、将来予測における変動メカニズムに関する解析などから得られる付加情報を創出し、DIASから広く公開する。

(2) 研究開発の成果

- ・CMIP5全球気候モデルで予測された海上風・海上気温などの海上気象要素を駆動力とする海洋モデルを開発し、北太平洋10km解像度、日本周辺2km解像度のデータセットを作成することができるダウンスケーリングシステムを完成させた。
- ・このダウンスケーリングシステムを用いて、RCP8.5およびRCP2.6の2つの温室効果ガス排出シナリオについて4つのCMIP5気候モデルからダウンスケーリングを行い、将来予測データセット(Future Ocean Regional Projection; FORP-NP10, FORP-JPN02)を作成した。10km解像度北太平洋データセット(FORP-NP10)は近未来における評価に加え、21世紀末までの予測を用いた評価を行いたいというユーザーのニーズを踏まえて、1981年から2100年まで連続したデータセットとして作成した。2km解像度北太平洋データセット(FORP-JPN02)は瀬戸内海などの日本周辺の沿岸域を解像することができるものの、計算負荷とデータセットのサイズが非常に大きくなるため、現在気候(1991-2005)、近未来(2041-2055)および21世紀末(2086-22100)のタイムスライスデータとして作成した。
- ・得られたデータセットの解析を行い、日本周辺海域における将来変化についての情報をまとめるとともに、モデル自治体・影響評価課題などで、影響評価や適応策策定にむけた検討に用いることができるようにデータセットの整備・提供を行った。また、データセットを広く利用できるようにDIASを通じて公開した。

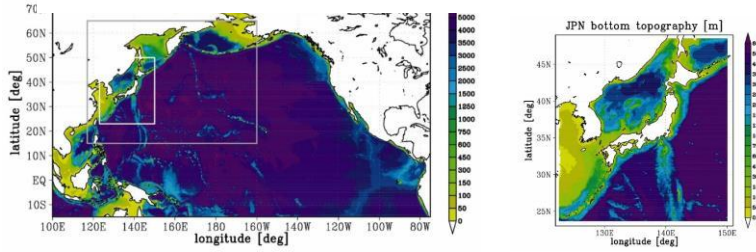
(3) 研究成果による波及効果

- ・今回作成したデータセットは、SI-CATのモデル自治体・影響評価課題での利用にとどまらず、環境省地域適応コンソーシアム事業や環境総合推進費S15などへ提供された。これらの事業・プロジェクトでは日本周辺海域における標準的な将来予測データセットとして位置付けられ、沿岸生態系・水産資源変動などの適応策の検討や海域の生態系サービスの将来予測の評価に利用された。
- ・「気候変動に関する観測的事実および今後の見通し(文科省・気象庁)(2020年度版)」の海域における情報をまとめるために活用される予定であり、データセットを公開することで日本周辺海域における将来予測に関する基礎データとなることが期待できる。

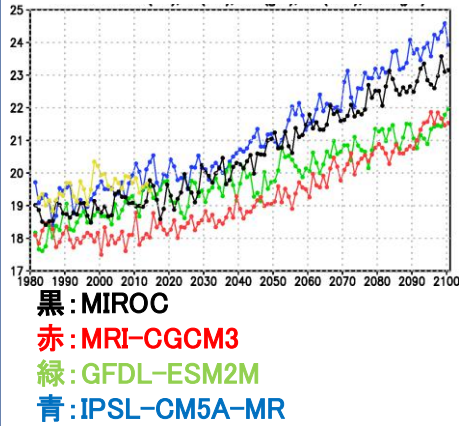
(4) 研究結果を踏まえた今後の展望、予想される効果・効用

- ・日本周辺海域における将来予測として、今回作成したデータセットは従来のもものと比べても解像度が高く・アンサンブル数が多いなど、充実したものとなっている。特に日本周辺海域を総合的に評価するためのデータセットとしては他に類をみないものであり、海域における影響評価を行うためのデータセットのデファクトスタンダードとして利用されることが期待できる。
- ・一方で、ユーザーのニーズとの間には依然としてギャップが存在している。例えば今回作成したデータには水温・海流などの物理的な変数しか含まれていないのに対し、栄養塩、基礎生産など生物化学過程に関する変数のニーズは高く、ダウンスケーリングモデルの拡張とデータセットの拡充が望まれている。さらに、今後CMIP6モデルからのダウンスケーリングや海域のバイアス補正手法の確立、アンサンブル数の増加などに関する要望がユーザーからは寄せられており、さらなるモデルの改良と継続的なデータセットの更新・拡充を行っていくことが求められている。

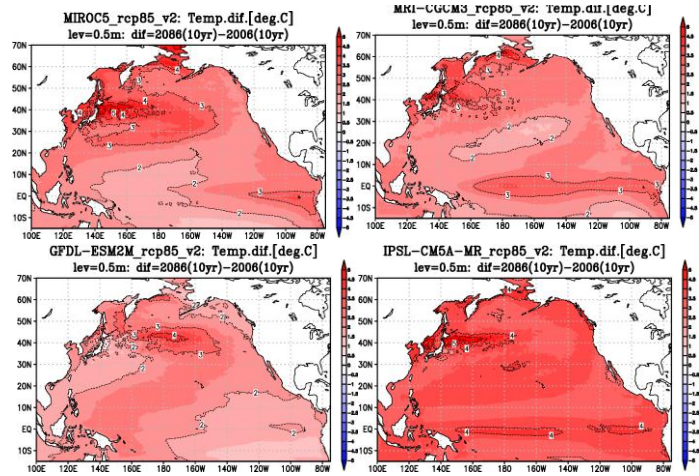
FORP-NP10(左)とFORP-JPN02の領域と海底地形分布



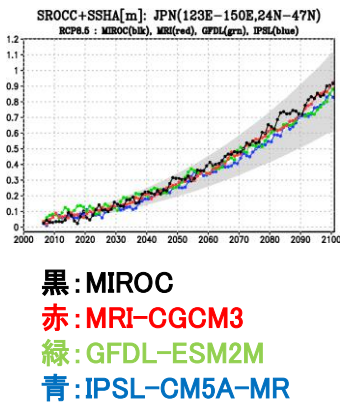
FORP-NP10で得られた
日本付近の海面水温の将来変化



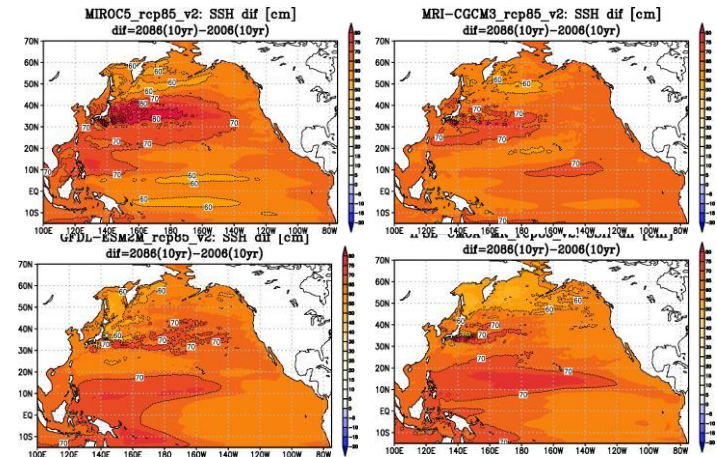
FORP-NP10の海面水温の上昇量
(21世紀末RCP8.5—現在気候)



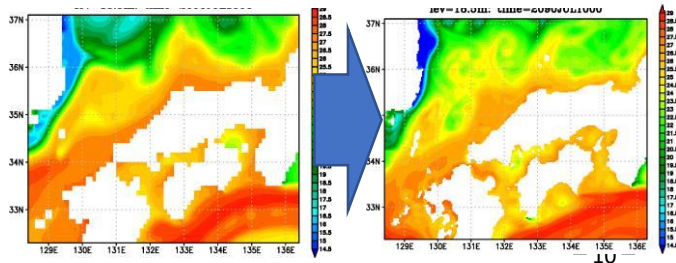
FORP-NP10で得られた日本付近
の海面水位の将来変化(RCP8.5)



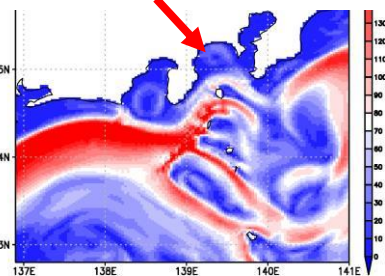
FORP-NP10の海面水位の上昇量
(21世紀末RCP8.5—現在気候)



FORP-NP10からFORP-JPN02への
ダウンスケーリング



FORP-JPN02で再現された
相模湾における急潮



1. 研究課題名： 課題2：信頼度の高い近未来予測技術の開発及び超高解像度ダウンスケーリング技術の開発
サブ課題名：2-a-① 汎用的ダウンスケーリング技術開発
-ニーズを踏まえた力学DSおよび全国版統計DSデータセットの作成-
(担当機関：防災科学技術研究所 担当責任者： 大楽浩司)

2. 成果概要

(1) 研究開発の目的・目標・概要

・地方自治体等が気候変動適応策の検討を行う上で必要な「基準地域メッシュ」に相当する1km程度の解像度の気候変動情報を作成するための汎用的なダウンスケーリング技術の開発を行うとともに、その技術を用いて、1km程度の解像度にダウンスケーリングしたデータセットを作成する。
・データセットの仕様に関しては本プログラムの他の技術開発機関、社会実装機関及びモデル自治体等からのニーズを踏まえて決定するとともに、ユーザーと連携して改善点や今後の課題について議論することにより、利用可能性を検証し、利用促進に向けた取り組みを積極的に行う。

(2) 研究開発の成果

・地域的な強制力による局所性・非線形性の強い極端現象（豪雨・豪雪等）を表現するために、力学ダウンスケーリングによって、自治体の特定の目的・条件などに適合した（tailored）気候シナリオを作成した。具体的にはモデル自治体である岐阜県との協働により、計算コスト・地形の再現性を考慮して解像度をやや粗い2km解像度とする代わりに計算を行うケース数を増やすことにより、空振りをできるだけ避け、防災におけるニーズを考慮したデータセットを作成した。
・日本全国を統一的にカバーしたデータセットを作成する目的に対しては、CDFDM法(Cumulative Distribution Function-based Downscaling Method; Wood et al. 2002, Wood et al. 2004, Maurer et al. 2008)を用いてバイアス補正を行った統計ダウンスケーリング手法を開発し、気温・降水量に関する月平均および日平均の将来予測データセットを作成した。

(3) 研究成果による波及効果

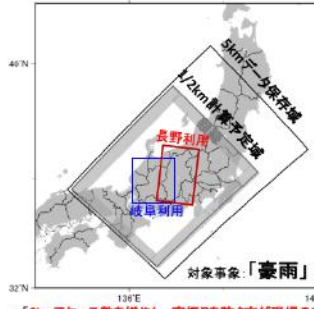
・本課題で作成された統計ダウンスケーリングデータセットはSI-CAT内での利用にとどまらず、他の研究プロジェクト(環境省推進費S15)での利用も進んでいる。
・統計ダウンスケーリングに関しては、日本向けに作成した手法をアジア域への展開を計画しており、CORDEX(Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment)のもとで、アジア統計ダウンスケーリンググループを組織し、本課題の責任者である大楽がリードすることになった。

(4) 研究結果を踏まえた今後の展望、予想される効果・効用

・自治体等のニーズを踏まえたデータセットの作成は、解像度・シナリオ数・ケース数と計算機性能・データセット完成までにかかるコストによって決まるものであり、今回モデル自治体等との協働によって得られたco-design, co-productionの経験は、ニーズを踏まえたオーダーメイドの気候シナリオデータセット作成における具体的な実践例となることができた。
・統計ダウンスケーリング技術のアジア域への展開については、今後気候変動への適応がアジア各国でますます重要となることが予想される中で、気候シナリオ作成のための基盤的な技術になりうるポテンシャルを持っており、気候変動研究の成果を活用した国際貢献のテーマとなることが期待できる。

NHRCMによる豪雨事例を対象にした計算領域

力学ダウンスケーリングによって、地域的な強制力による局所性・非線形性の強い極端現象(豪雨・豪雪等)を表現。自治体の特定の目的・条件などに適合した(tailored)気候シナリオの作成。



支川における県の河川管理や斜面における表層崩壊のリスク評価に必要な高解像度地域気候シナリオ情報の共創

岐阜県を構成する主要5流域カバー
岐阜:
長野:
長野県全域

上記を網羅するように計算領域を設定

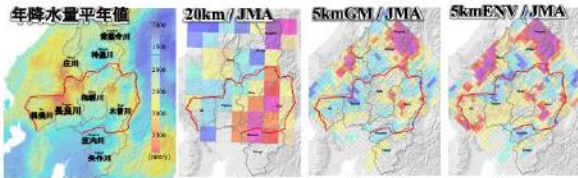
計算結果の提供

各自治体で利用するデータの切り出し実施

「2kmでコース数を増やし、空振りを防ぐ方が現場のニーズに合致」(研究調整会議)
 (Kawase et al. JMSJ, 2018, Sugimoto et al., SOLA, 2018, Ito et al., JMSJ, 2018)

結果

平均年降水量



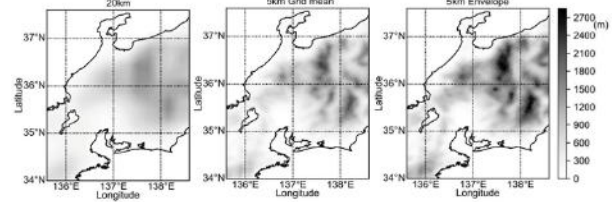
- > 20kmDSIにおける平均年降水量の分布は、かなりばらつきがある。木曾川水系(赤線)全体では過大評価気味(d4PDF NHRCM20kmを分析した星野・山田2018と同様の傾向)
- > 5kmDSIは、20kmDSIに対して年降水量の空間分布傾向がかなり改善される。太平洋側は大幅に改善(赤線)全体では過大評価気味(冬季降雪の過大評価)
- > 5kmGM(Gridmean)と5kmENV(Envelope mountain)でやや異なる。

原田ら2018

手法

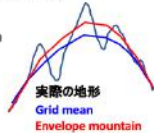
20km実験, 5km実験における地形モデル

原田ら, 2018



【地形モデル(左: 20km, 中: 5km Grid Mean, 右: 5km Envelope Mountain)】

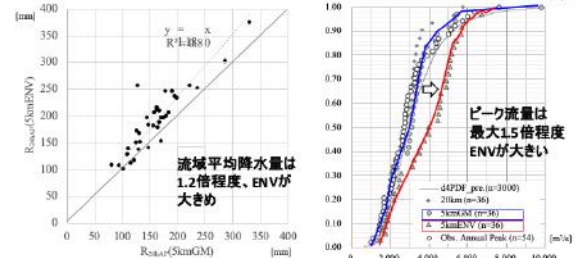
Grid meanモデル:
 GTOPO30(30秒間隔, 約1km解像度)の地形をベースに、モデルの各格子 周辺の標高値を平均化
Envelope Mountainモデル:
 平均値に各格子内の標高の分散を加えて山地の高さがより強調されたモデル
 同じ標高でも、起伏が大きい山地の方が高めに強調される特徴がある。
 →グリッドスケールを小さくしていけば、両モデルの差はなくなる。



結果

長良川流域年最大24時間雨量・洪水ピーク流量

原田ら, 2018

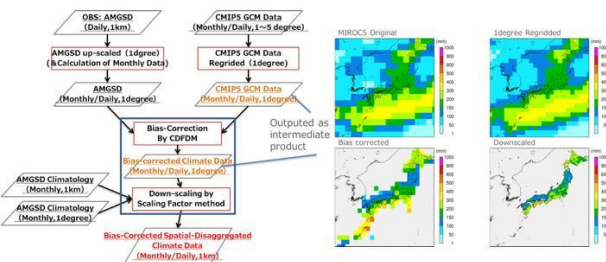


【長良川流域 年最大24時間雨量 (5kmENV実験/5kmGM実験)】
 【年最大降水イベント流出解析結果のピーク流量集積分布】

- > 長良川流域においては降水イベントの降水量がやや過大評価傾向となり、洪水ピーク流量では、過大評価傾向がより強調された。
- > 水平解像度5km程度の力学ダウンスケーリング実験における地形モデルの選択は、流域内の降水の空間分布に影響を与え、洪水流出解析ではその差がより強調される。

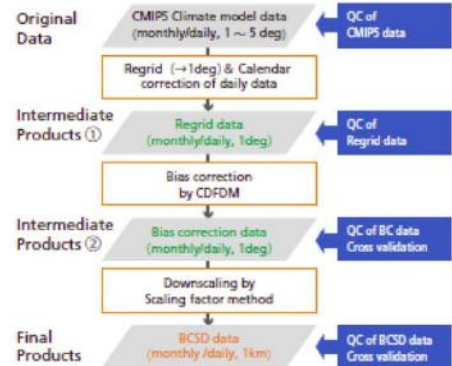
Methodology and ESD Output Sample

(BCSD, Wood et al. 2002, Wood et al. 2004, Maurer et al. 2008)

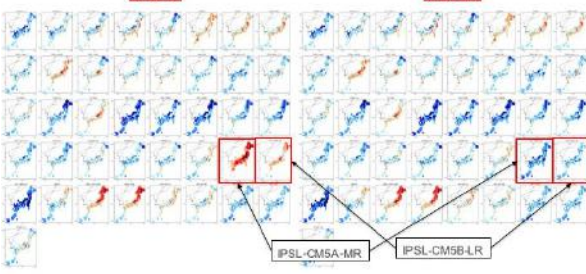


For comprehensive investigation of the range of climate model's structural uncertainty.

Data quality control of multi-ensemble ESD



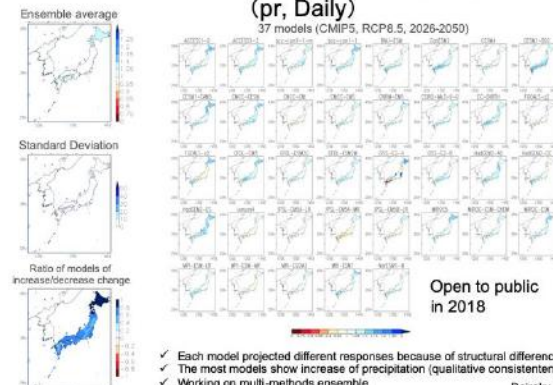
Bias-correction (tasmax, Historical 1950~2005) Annual mean of bias-corrected values of monthly tasmax (daily maximum temperature)



Bias-corrected values are applied to future scenarios!

※IPSL-CM5A-MR-IPSL-CM5B-LR: tasmax was monthly (not daily) maximum temperature

Projected future change of annual precipitation (pr, Daily)



Open to public in 2018

- ✓ Each model projected different responses because of structural differences.
- ✓ The most models show increase of precipitation (qualitative consistency).
- ✓ Working on multi-methods ensemble

Dairaku, in prep.

1. 研究課題名： 課題2：信頼度の高い近未来予測技術の開発及び超高解像度ダウンスケーリング技術の開発
サブ課題名： 2-a-② 汎用的ダウンスケーリング技術開発
-今後の治水対策に向けた力学的ダウンスケーリング技術の開発およびデータセットの作成-
(担当機関：国立大学法人北海道大学 担当責任者： 山田 朋人)

2. 成果概要

(1) 研究開発の目的・目標・概要

地方自治体等が気候変動適応策の検討を行う上で必要な高解像度の気候変動情報を作成するための汎用的なダウンスケーリング技術の開発を行う。さらにその技術を用いて、課題1で得られた確率情報を含んだ近未来予測結果をダウンスケーリングしたデータセットを本プログラムの他の技術開発機関、社会実装機関及びモデル自治体等に対し、それぞれのニーズに合わせて提供を行う。作成したデータセットは、モデル自治体等と連携し、検証を行い、データセットの精度に関する情報を創出する。

課題1、課題3及び他のモデル自治体等と連携し、気候変動適応策の検討を行う上で必要な高い空間解像度のデータセットを作成するためのダウンスケーリング技術の開発・改良を行う。作成されたデータセットを課題3及び他のモデル自治体へ提供する。

(2) 研究開発の成果

総観規模の気象場と自治体規模の降雨の統計的な関係に基づき、効率的な力学的ダウンスケーリングを可能とするサンプリングダウンスケーリングを実施した。この手法を課題3のモデル自治体である佐賀県を含む北九州地方における梅雨期の強雨イベントに適用し、有効性と汎用性が高いことを示した。課題3のニーズを受け、高潮発生の可能性が高い事例を選定し、5kmメッシュの力学的ダウンスケーリングを実施し、データを提供した。

九州地方の強雨事例について力学的ダウンスケーリングを実施する際に、降水継続時間のバイアス補正が重要であることが分かった。同地域に大雨をもたらす台風および梅雨に伴う強雨事例について、降水継続時間のバイアスを観測データを用いて補正することで、河川流出解析の精度が向上し、力学的ダウンスケーリングに伴う予測の不確実性を低減できる可能性があることが実証された。

課題1で解析された20kmメッシュの大規模アンサンブル実験データをもとに、ニーズ自治体の北海道を対象に確率情報付きの5kmメッシュの力学的ダウンスケーリングを実施した。この過程において、力学的ダウンスケーリングの対象とすべき極端降水事例の選定方法、ダウンスケーリング結果の解析・評価方法を開発した。さらに、河川水文シミュレーションを実施し、人的・経済的リスクの評価手法を開発・実装した。また、近年の大雨災害の状況をふまえ、時空間規模別に降水量の将来変化を解析し、水平スケール・時間スケールともに降水の集中化の傾向が顕著であることが分かった。

以上のように、大規模アンサンブル実験データ（過去・将来気候）から推定される各種統計量を解析すると同時に、観測データおよび観測実績から算出される指標の統計学的な意味を考慮することで、自治体のユーザーが予測結果の不確実性をより深く理解できるようになった。これにより、適応策を社会実装する際に重要な科学的理解の共有へとつながった。さらに、一連の力学的ダウンスケーリング実験によって、将来気候条件下で予測された強度の極端降水が、現在気候条件下でも起こりうるということが明らかとなった。これは、将来の気候変動に対する適応策が、現在の自然災害の被害低減に対しても極めて有効であることを意味している。

(3) 研究成果による波及効果

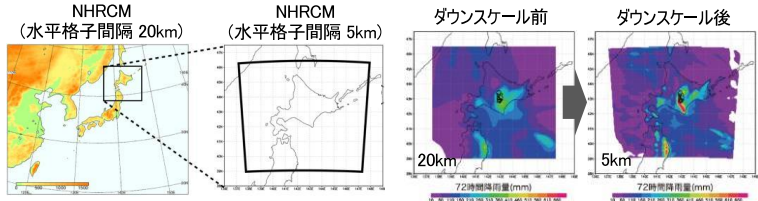
本研究で開発した研究手法や、力学的ダウンスケーリングの研究成果を通じて、治水計画において将来気候の予測結果に基づいた議論が行われる機運が高まった。自治体との連携体制が強化され、国土交通省北海道開発局と北海道が共同で立ち上げた「北海道地方における気候変動予測技術検討委員会」での検討において、本研究の力学的ダウンスケーリングのデータが活用されたほか、国土交通省の「気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会」でも本研究成果が紹介され、評価手法の有用性が議論された。国際連合UNFCCCでは、Mokssit IPCC事務局長をはじめとする各国の政府関係者に対して本成果が紹介された。また、オランダ企業庁の支援を受けて治水対策において先進的なオランダとの共同研究が開始されるなど、大規模シミュレーションと統計的手法に基づいた本研究成果が国際的な関心を集めるに至った。

(4) 研究結果を踏まえた今後の展望、予想される効果・効用

本研究により、将来気候では局地的な短時間の強い降水イベントが強化される傾向が示された。力学的ダウンスケーリングによって作成された降水量データのうち、継続時間に適切な補正が施されることで、より信頼性の高い河川水文シミュレーションが可能となることが期待される。また、適切なサンプリングによって、大規模な力学的ダウンスケーリング実験の計算負荷を低減することができる。その結果、全国規模で大量アンサンブルデータの超高解像度ダウンスケーリングが現実的となった。今後は温暖化の進行レベルに応じて、どのようにリスクレベルが変化するか評価することが求められる。防災の観点からは、現業予報のアンサンブルデータ処理技術などで、本成果が応用されることも期待できる。

北海道地方における気候変動予測

5kmへの力学的ダウンスケーリング(DS)の実施

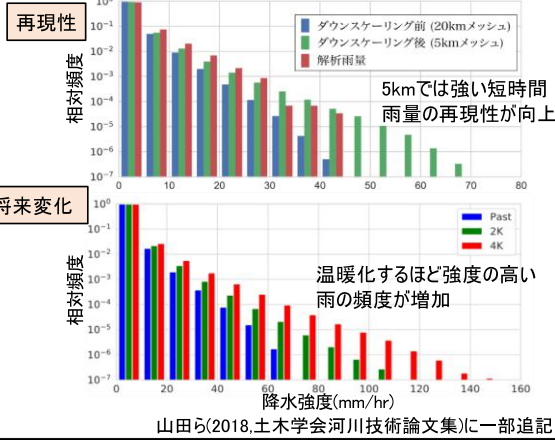


石狩川・十勝川・常呂川における年最大降雨事例を対象に実施
 過去実験: 3000事例、+2°C実験: 3240事例、+4°C実験: 5400事例

北海道地方における気候変動予測(水分野)技術検討委員会 配布資料より

将来気候における降雨の分析(十勝川帯広基準地点)

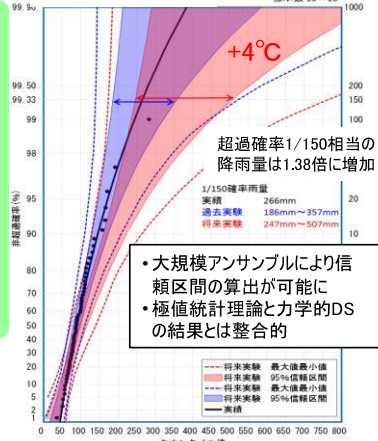
● 1時間降雨強度の頻度分布



山田ら(2018, 土木学会河川技術論文集)に一部追記

● 計画規模降雨の確率評価

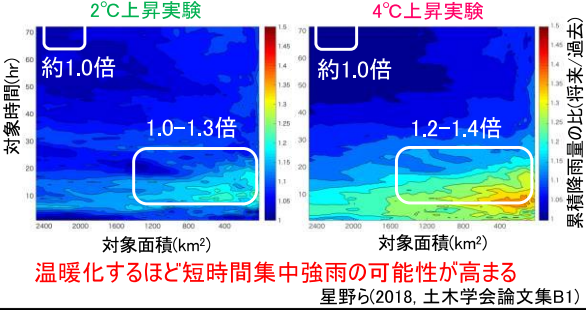
流域平均72時間雨量



超過確率1/150相当の降雨量は1.38倍に増加
 1/150確率雨量
 実績 266mm
 過去実験 186mm→357mm
 将来実験 247mm→507mm

山田ら(2018, 土木学会河川技術論文集)
 舩屋ら(2018, 土木学会論文集B1)

● 降雨の時空間的なパターンの変化

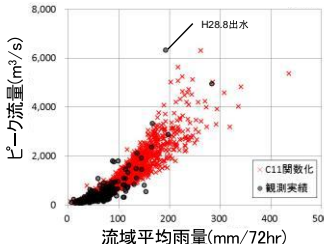


温暖化するほど短時間集中強雨の可能性が高まる

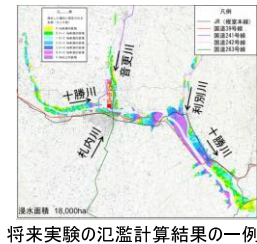
星野ら(2018, 土木学会論文集B1)

洪水リスクの定量的評価

● 降雨流出モデルを用いた洪水ピーク流用の算定



● 氾濫モデルを用いた氾濫被害の推定



将来実験の氾濫計算結果の一例

- 同程度の雨量であっても降水の時空間パターンに応じてピーク流量は大きく異なる
- 4°C上昇時では、十勝川流域で浸水面積が約1.4倍、想定死者数が約2.3倍に増大

北海道地方における気候変動予測(水分野)技術検討委員会 配布資料より

社会実装に向けた主な取り組み

● 検討委員会への貢献



北海道地方における気候変動予測(水分野)技術検討委員会

● 諸外国との情報共有



日蘭共同セミナー

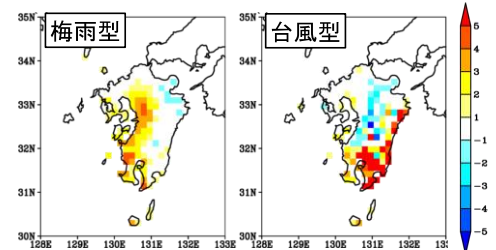
本研究成果が大きく貢献した検討委員会

- 北海道地方における気候変動予測(水分野)技術検討委員会(国土交通省 北海道開発局、北海道)、2017年度
 - 気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会(国土交通省 本省)、2018年度～
 - 北海道地方における気候変動を踏まえた治水対策技術検討会(国土交通省 北海道開発局、北海道)、2019年度
- プレスリリースを実施するなど研究成果を広く発信し、新聞に30回、テレビニュースに13回取り上げられた。

北海道地方における気候変動を踏まえた治水対策技術検討会 配布資料より

九州を対象とした力学的DSに関する検討

● 降水継続時間のバイアス評価



気象場によってバイアスの大きさと地域性に違い
 Tamaki et al. (2018, J. Appl. Meteor.)

一連の検討により可能となること

- 降雨量や降雨の時空間分布等、気候変動によるハザードの変化を詳細に分析

 ~過去の実績では見えなかった危険な降雨パターンが初めて予測可能に
- 詳細なリスク評価を実施、地域で共有

 ~4°C上昇時の浸水頻度などのリスク情報が明確に

- こうしたリスク評価をもとにハード・ソフト様々な適応策を検討

 ~真に地域を守るためには何が必要なのかを検討し(ストーリーの導入)、対策を検討。

- 気候変動の予測の不確実性を考慮して当面対策を実施すべき期限を設定

 ~社会・経済シナリオ、気候モデルによって差異が小さいことから、2050年頃を目標として設定

1. 研究課題名： 課題2：信頼度の高い近未来予測技術の開発及び超高解像度ダウンスケーリング技術の開発
サブ課題名： 2-a-③ 汎用的ダウンスケーリング技術開発
- 農業利用のための日本全国1km地域気候シナリオデータセット開発 -
(担当機関：国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 担当責任者： 西森 基貴)

2. 成果概要

(1) 研究開発の目的・目標・概要

(目的) 地方自治体等が気候変動適応策の検討を行う上で必要な「基準地域メッシュ」に相当する1km 解像度の気候変動情報を作成するための汎用的なダウンスケーリング技術の開発を行うとともに、その技術を用いて、課題1で得られた確率情報を含んだ近未来予測結果を1km解像度にダウンスケーリングしたデータセットを本プログラムの他の技術開発機関、社会実装機関及びモデル自治体等に対し、それぞれのニーズに合わせて提供を行う。本サブ課題の目標と概要は、以下の通りである。

目標① ダウンスケールのための高解像度地点気象データの収集とそのデータベース化を行い、農業気象要素に関するバイアス補正手法の開発を進める。(概要) 統計的ダウンスケーリング(SD)の適用基準となる観測データを整備し、課題1：領域気候モデル(RCM)による近未来気候予測データ等の日射量バイアスの評価を行う。
目標② 既存の累積分布関数法も含めたバイアス補正法の普及・支援を行う。(概要) IPCC第5次報告書に掲載された全球気候モデル(GCM)を基に開発した1km解像度気候シナリオについて、他の技術開発機関やモデル自治体および関連事業等とも連携した、影響評価研究等での利用可能性を検証し、より広範囲な利用を促進する。
目標③ 大気循環場を指標とし、またその不確実性をアンサンブル表現できる新たな経験的手法の開発に取り組む。(概要) 複数のバイアス補正手法による結果を比較するとともに、RCM出力からの補正データを含めた1km解像度気候シナリオデータセットを整備する。

(2) 研究開発の成果

① 気象庁以外の観測統計値や衛星由来の日射量をデータベース化し、課題1：RCM出力との比較を行った結果、RCM出力日射量は観測値と比較して、冬季は全国的に過大、夏季は関東地方及び南西諸島域で過小だが山岳域では過大と、地域及び季節によりバイアスが異なる傾向を示した(図1)。

② GCMによる日々・年々変動の過小評価を補正するために、分散(標準偏差)を観測統計値に合致させるバイアス補正法(正規分布型スケールリング法)を適用し、要素として日平均・日最高・日最低気温、日積算降水量・日射量、日平均相対湿度・地上風速を含む新たな気候シナリオ「日本全国1km 地域気候予測シナリオデータセット(農研機構地域気候シナリオ2017)」を開発した(表1)。本データセットの昇温量はGCM将来気候出力値と比較して、平均値はおおむね一致し、年々変動の大きさは拡大されている(図2左)。降水量では、鹿児島を例とすると、GCM現在気候出力値に比べ年最大日降水量の出現分位が観測統計値に大幅に近づいている(図2右)。

③ 複数のバイアス補正手法による結果比較のため、線形単回帰法(piani法)による地点およびメッシュ単位での将来気候シナリオを新たに作成した。また気候システムの空間パターンを入力変数とする重回帰型のSDを開発・改良し、気象庁55年長期再解析(JRA-55)を入力とする現在気候データセットを作成した。

(3) 研究成果による波及効果

○ 作成した1km解像度気候シナリオについて、他の技術開発機関や茨城県などのモデル自治体等、さらに「地域適応コンソーシアム」など関連事業等とも連携した、影響評価研究等での利用可能性の検証を行った。例えば、コメ品質低下リスクをその年々変動による不確実性を含めた評価が可能となった(図3)：西森基貴ほか

(2020) 作況基準筆データを用いた近年の日本のコメ品質に対する気候影響の統計解析。生物と気象、20:1-8.

○ 本プロジェクトにおいて、バイアス補正による1kmメッシュ気候予測シナリオの有効性が確認されたことにより、「農研機構シナリオ2017」およびそれらの加工データが、気候変動適応情報プラットフォーム(A-PLAT)を通じて自治体等に提供される。

○ 担当機関が知的財産として所有する既存の累積分布関数法のプログラムを国立環境研究所気候変動適応センター(CCCA)に提供し、そこでも同種シナリオを開発することで、複数のバイアス補正手法の比較が可能となった。またそれらの成果は、IPCC第6次報告書第一作業部会への採用を目指して登録された。

(4) 研究結果を踏まえた今後の展望、予想される効果・効用

○ 本研究で評価されたRCM日射量バイアスの地理的・季節的特性により、高精度のバイアス補正手法今後の同種モデルにおける物理過程やパラメタリゼーションの改良に資する重要な知見である。

○ 「農研機構シナリオ2017」がデータ統合・解析システム(DIAS)や「農研機構メッシュ農業気象データシステム」にも搭載されることで、気候変動適応法に基づく影響評価・適応策検討に広範囲な利用が期待される。

○ 実際に、本データセットによる地域の気候予測結果やコメ品質低下リスク等の農業関係指標は、すでに茨城県や長野県等、気候変動影響評価や適応策検討を行う自治体において活用され始めており、今後とも利用自治体数の大幅な拡大が見込まれる。

表1 日本全国1km地域気候変動シナリオデータセット（農研機構地域気候シナリオ2017）

ファイルフォーマット	NetCDF4(CF1.6準拠)
使用した全球モデル	MIROC5（日本：東京大学/国立環境研究所/海洋研究開発機構），MRI-CGCM3（日本：気象庁気象研究所），GFDL-CM3（米国：海洋大気庁地球物理流体力学研究所），HadGEM2-ES（英国：気象庁ハドレーセンター），CSIRO-Mk3-6-0（豪州：連邦科学産業研究機構）
温室効果ガス排出シナリオ	historical（現在気候），RCP2.6（厳しい温室効果ガス排出削減対策を行う社会），RCP8.5（温室効果ガス排出が続く社会）
バイアス補正手法	正規分布型スケーリング法（Haerter et al., 2011）
計算領域と空間分解能	日本全国3次メッシュ（新座標系[JGD2000]1km）
計算期間と時間分解能	現在(1981-2005)、近未来(2006-2050)、将来(2051-2100)の日値
出力要素	日降水量、日平均気温、日最高気温、日最低気温、日積算日射量、日平均相対湿度、日平均地上風速

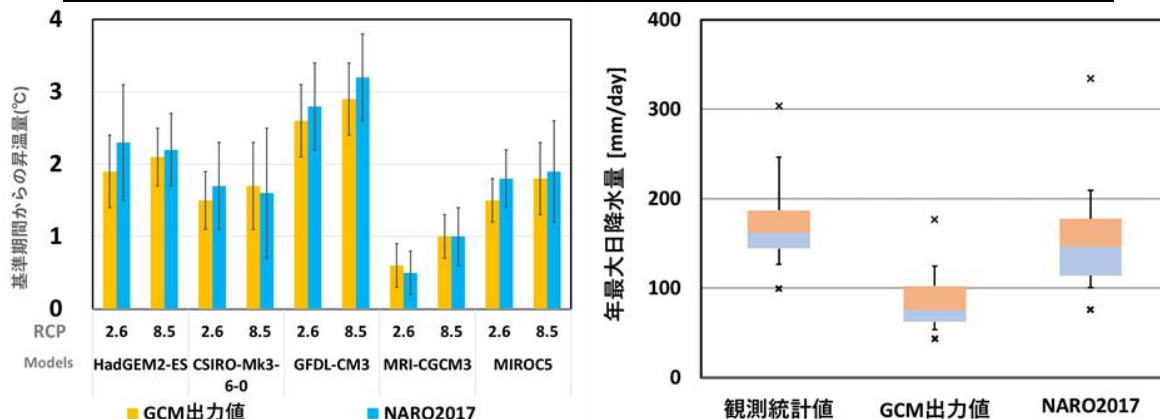


図2 「農研機構シナリオ2017」の精度評価。（左）近未来期間（2031～2050年）における年平均日最高気温の予測値を日本域で平均した、基準期間（1981～2000年）からの昇温量（°C）。（右）鹿児島における、基準期間での年最大日降水量の出現分位（パーセンタイル値）を示す箱ひげ図。

西森基貴ほか(2019)：農業利用のためのSI-CAT 日本全国1km 地域気候予測シナリオデータセット（農研機構シナリオ2017）について。日本シミュレーション学会誌、38, 150-154.

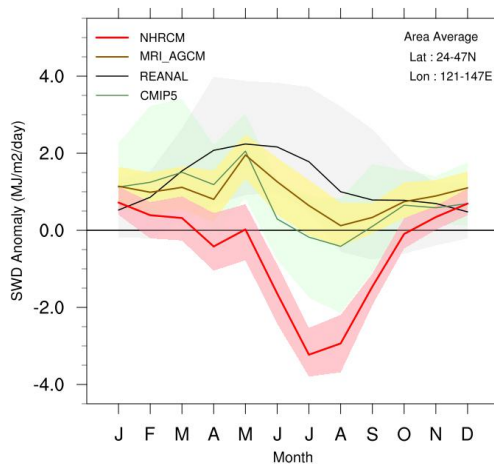


図1 地表面下向き短波放射量の季節変化における月平均日射量バイアス。灰色：全球再解析（REANAL）、緑：CMIP5、黄色：PDF全球実験（MRI_AGCM）。陰影：各種のCERESデータ（衛星観測）との差、実線：アンサンブル平均。

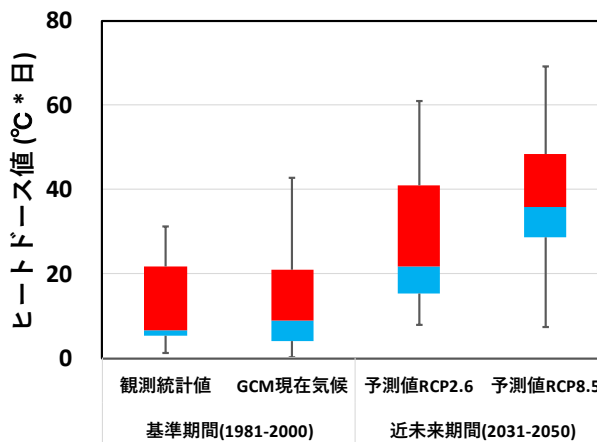


図3 茨城県南部地域におけるイネの登熟期間の高温に伴う品質低下リスク：ヒートドース値（日平均気温の26°Cからの超過分の出穂後20日間積算値、HD_m26）。

1. 研究課題名： 課題2：信頼度の高い近未来予測技術の開発及び超高解像度ダウンスケーリング技術の開発
サブ課題名： 2-a-④ 汎用的ダウンスケーリング技術開発
-長野の雪を主対象とした高解像度力学ダウンスケーリング-
(担当機関：国立大学法人東北大学 担当責任者： 山崎 剛)

2. 成果概要

(1) 研究開発の目的・目標・概要

地方自治体等が気候変動適応策の検討を行う上で必要な「基準地域メッシュ」に相当する1km解像度の気候変動情報を作成するための汎用的なダウンスケーリング技術の開発を行うとともに、その技術を用いて、課題1で得られた確率情報を含んだ近未来予測結果を1km解像度にダウンスケーリングしたデータセットを本プログラムの他の技術開発機関、社会実装機関及びモデル自治体等に対し、それぞれのニーズに合わせて提供を行う。

(2) 研究開発の成果

モデル自治体等と連携して選定した対象領域について、課題1で作成した近未来気候予測データを用いて、気象研究所の地域気候モデルにより大規模な力学的ダウンスケーリングを実施した。計算は主に海洋研究開発機構の地球シミュレータを用いて行った。まず、汎用的な水平格子5km解像度の実験として、過去、2度昇温、4度昇温それぞれ372年分の計算を行った。続いて、モデル自治体のニーズにより中部山岳域の積雪を主対象として、1kmの現在、2度昇温、4度昇温それぞれ豪雪、平年、少雪各15年分の実験を行った。これを基にモデル自治体のニーズに沿った気候シナリオの作成を行い、モデル自治体等へ提供した。

5km解像度の実験について、気温や山岳域無降水日数などの再現性を調べ1)、中部日本における極端に強い日降水量の地域分布および発生時の大気場の特徴を明らかにした2)。さらに、極端に強い降雪現象(豪雪)の将来予測を行った3)。日本海側の中部山岳地域では、温暖化すると現在よりも強い豪雪が起これることがわかった。この成果はプレスリリースされ、新聞10誌以上のほか海外を含む多数のテレビ、ラジオ、ネットニュースなどで報道された。次に、1km解像度の実験により、北アルプスにおける積雪の将来変化を調べたところ、高標高地域では厳冬期に降雪・積雪の極端化が起きることがわかった4)。この成果もプレスリリースを予定している。なお、5km実験の概要は5)にまとめられている。

主な論文

- 1) Sugimoto et al., 2018: SOLA, 14, 46-51, doi:10.2151/sola.2018-008
- 2) Kawase et al., 2018: J. Meteor. Soc. Japan, 96, 161-178, doi:10.2151/jmsj.2018-022
- 3) Sasai et al. 2019: Journal of Geophysical Research, doi:10.1029/2019JD030781
- 4) Kawase et al. 2020: Progress in Earth and Planetary Science 印刷中
- 5) 山崎剛ほか, 2019: シミュレーション, 38(3), 145-149

(3) 研究成果による波及効果

データはSI-CATモデル自治体の長野県、岐阜県、佐賀県、四国課題に提供した。これはモデル自治体8課題中半数の4課題にあたる。さらに、ニーズ自治体として富山県にもデータ提供を行っている。長野県においては、北アルプス、南アルプスを含む領域においてライチョウをはじめとする生態系への影響評価が行われた。

SI-CAT以外では、環境省(気候変動適応プラットフォーム)、国交省関連、名古屋工業大学(課題2-b-②関連)、電力中央研究所、農水省へ提供されている。

力学的ダウンスケーリングにより、気温、降水量はもとより、日射、風、相対湿度、積雪など様々なデータが提供され、防災、農業、再生エネルギー、健康、水資源、観光等幅広い分野で利用されつつある。

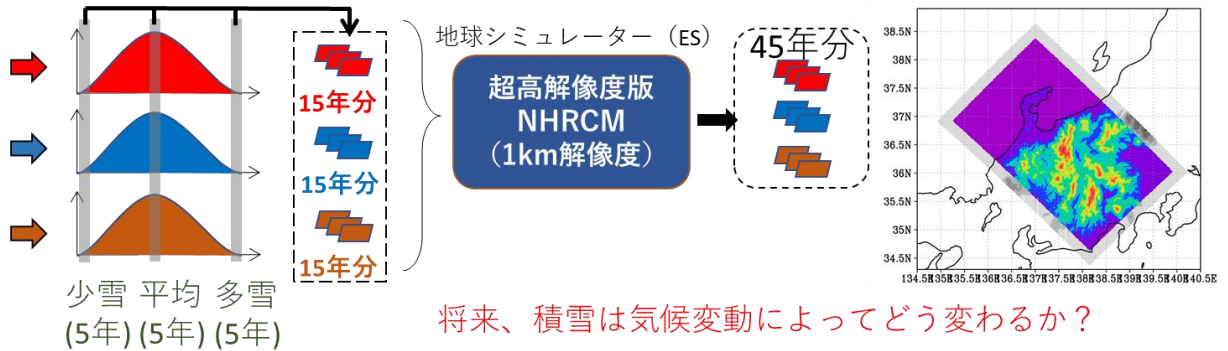
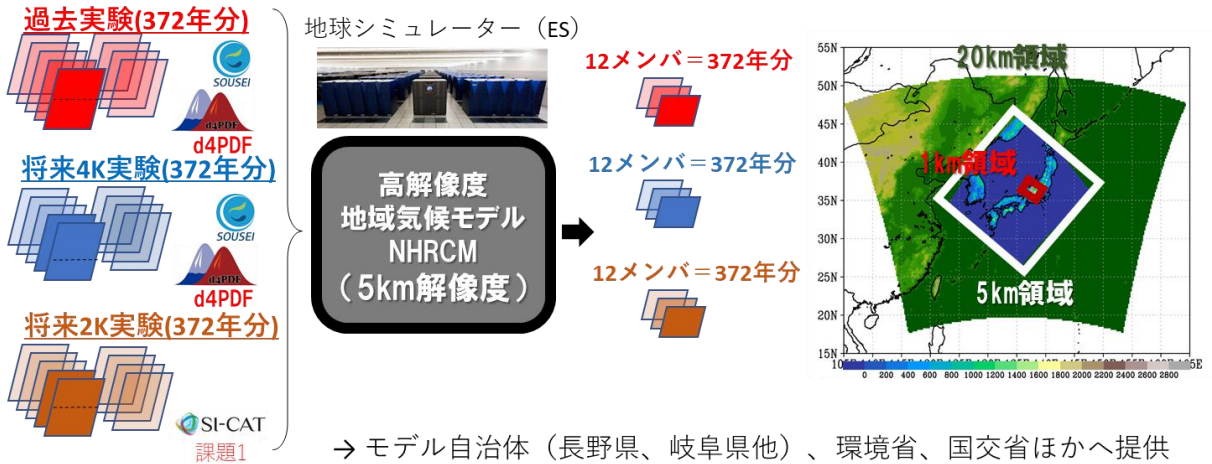
5kmデータはDIASを通じて公開されており、今後広く利用されることが期待される。

(4) 研究結果を踏まえた今後の展望、予想される効果・効用

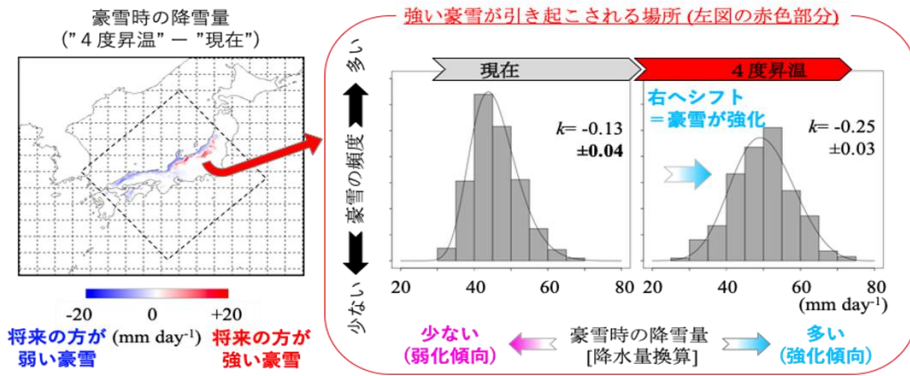
汎用的な力学的ダウンスケーリングの手法を示したことにより、今後、同様の手法を用いたデータの整備に貢献する。5kmデータは汎用的に用いることができるため、各地の自治体で開設される地域適応センターにおける地域適応計画策定への支援となる。このデータを基に地域でのさらなるダウンスケーリングを実施することも可能である。豪雨や特定地域の降積雪など細かい地形が本質的に影響する事象の将来予測にも寄与する。

作成したデータのバイアス等をさらに精査してその要因を探ることにより、今後の地域気候モデルの改良に資する。

力学的ダウンスケーリング実験デザイン

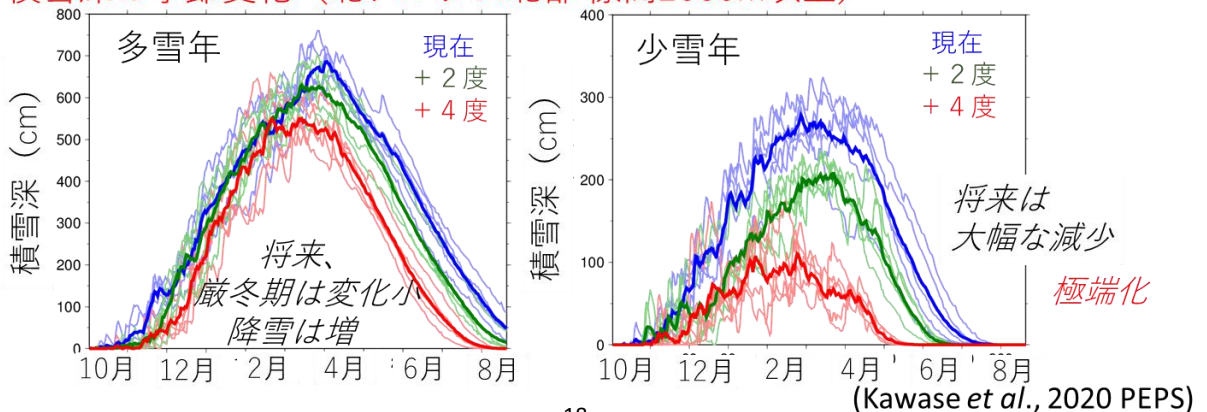


中部日本山岳地域の豪雪の強化と極端化



(Sasai et al., 2019 JGR)

積雪深の季節変化 (北アルプス北部 標高2000m以上)



(Kawase et al., 2020 PEPS)

1. 研究課題名： 課題2：信頼度の高い近未来予測技術の開発及び超高解像度ダウンスケーリング技術の開発
サブ課題名： 2-a-⑤ 汎用的ダウンスケーリング技術開発
- 極端豪雨を対象とした統計的手法による汎用的ダウンスケーリング技術開発 -
(担当機関：国立大学法人東京工業大学 担当責任者： 鼎 信次郎)

2. 成果概要

(1) 研究開発の目的・目標・概要

想定外の大雨による災害が頻発する中、各地域、流域、市町村などで使用可能な極端豪雨シナリオは気候変動適応策の検討を行う上で極めて重要である。そこで、未来における極端豪雨シナリオを作成する方法を構築することを目的とした。

洪水防御計画の基となる過去の降雨観測値は地点数及び観測期間という面において必ずしも十分ではなく、既存の降雨データをどのように活用するかは未だ重要な課題の一つである。そこで、本研究では、主に「①観測雨量を用いたモンテカルロシミュレーションによる高解像度豪雨イベントのアルゴリズム開発」及び「②観測とモデルを用いた気温上昇量と極端降雨強度の関係」という2テーマで極端豪雨シナリオを構築する方法を提案した。

①では、時空間高解像度であるレーダーアメダス解析雨量とモンテカルロシミュレーションにより、過去の限られた観測データそのものには存在しないような豪雨イベントを含む数千年分もの過去の豪雨災害時の特性から得られた豪雨のデータセットを作成した。

②では、地球温暖化を考慮したより正確な想定最大外力となりうる極端豪雨シナリオを作成するため、気温上昇による飽和水蒸気圧の増加を表すクラウジウス・クラペイロン (CC) 式と極端降水変化率の関係を示した既存研究にならい、日本全国にて同様の理論が成立するのかを確かめる試みを行った。種々の観測データから過去と現在の一定期間における極端降水頻度を算出し、極端降水頻度変化率を求めると、特に時空間スケールの設定の違いにより結果が大幅に異なることが分かった。そこで、観測データはアメダス、モデルはd4pdf_RCMデータを用いて、種々の時空間スケールによる不確実性を明らかにした。

(2) 研究開発の成果

①では、モンテカルロシミュレーションによる豪雨イベント発生アルゴリズムを日本全国を対象に開発した。当時、発生したばかりであった平成27年9月関東・東北豪雨を例として、本研究で作成した3000回分の豪雨イベントデータと観測値から計算した再現期間と100年確率降水量を比較した。期間が28年と非常に限られている観測値そのままのデータでは1年分のデータを含むかどうかの影響が再現期間と100年確率降水量の計算結果に大きな影響を与えるが、十分な数のデータを与えることが可能な本研究ではデータ年数または観測史上最大級に匹敵する極端な豪雨に対しても精度よく再現期間と100年確率降水量の計算が可能であることが分かった。

②では、気候モデル以外での気候変動下における極端降水の頻度及び強度変化を推定する手法として、気温と飽和水蒸気量の関係を示したCC式に着目した。日本における極端降水頻度の変化率は、降雨継続時間が長い場合よりも短い場合の方が大きくなることが分かった。観測ベースでは、1時間降水はCC式理論値の約2.4倍、24時間降水は約1.8倍となることもわかった。気候モデルの将来実験でこの傾向が見えているのか確認したところ、1時間降水はCC式理論値の約0.4~1.3倍、24時間降水は約0.2~1.0倍と大幅に下回ることも明らかとなった。

(3) 研究成果による波及効果

- ・1年に数本査読付き論文の出版、数回の学会発表を行ってきた。
- ・JpGUなどのsicat特別セッションなどにも参加し発表した。

査読付き論文リスト

- ・渡辺春樹, 井芹慶彦, 佐々木織江, 武川晋也, 吉川沙耶花, 鼎信次郎 (2017) 解析雨量を用いたモンテカルロシミュレーションによる高解像度豪雨イベントの発生, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol.73, No.4, I_373-I_378.
- ・武川晋也, 井芹慶彦, 鼎信次郎 (2017) 日本における豪雨と台風の経路パターンとの関係の分析, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol.73, No.4, I_241-I_246.
- ・渡辺春樹, 吉川沙耶花, 瀬戸里枝, 鼎信次郎 (2018) 日本における極端降水頻度の変化率とClausius-Clapeyron式との関係, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol. 74, No.4, I_145-I_150.
- ・渡辺恵, 吉川沙耶花, 山崎大, 鼎信次郎 (2019) 気温上昇量と極端降水強度の関係性-気象観測値とd4PDFを用いた日本域の解析-, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol. 75, No.4, I_1129-I1134.

(4) 研究結果を踏まえた今後の展望、予想される効果・効用

国交省「気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会」で用いられている将来降水の予測値はd4pdfをそのまま用いている。我々の見積りのように、このモデル値はCC式の7%/°Cを下回っているという可能性もあり、現在想定されている最大規模の降水変化は過小見積りもりの可能性もある。今後の国土計画を考える上では人類史上経験していないような甚大な災害を起こしうる極端な降水の変化に関しても検討が必要なため、今後の防災計画へ想定できる最大外力として本研究が使用されることを期待したい。

観測雨量を用いたモンテカルロシミュレーションによる 高解像度豪雨イベントのアルゴリズム開発

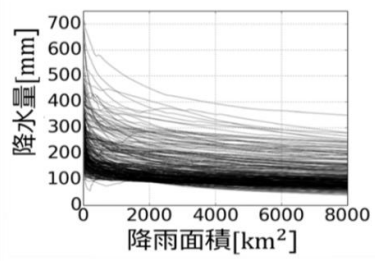
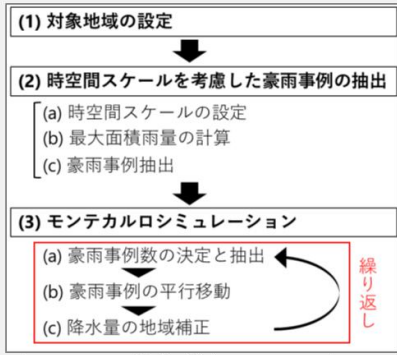


図2 降雨継続時間24時間・
降雨面積2000km²における
DAグラフ(上位280事例)

表1 DAD解析で抽出された上位1~3位の集中豪雨事例

順位	発生年月	事例
1位	2013年10月	伊豆大島台風
2位	2015年9月	平成27年関東・東北豪雨
3位	1999年8月	熱帯低気圧

図1 アルゴリズムフローチャート

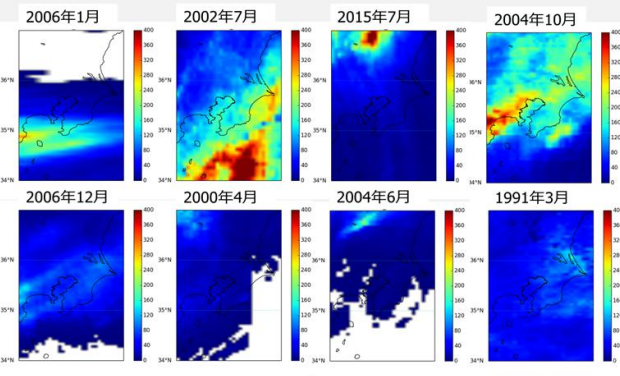
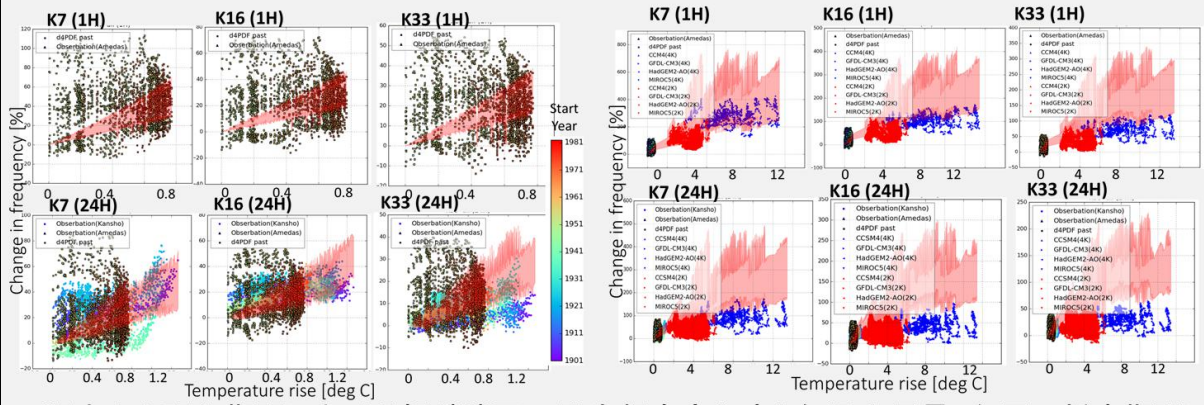


表2 平成27年9月関東・東北豪雨の再現期間及び100年確率降水量。

	再現期間(年)		100年確率降雨量 (mm)	
	2015年を含む	2015年を含まない	2015年を含む	2015年を含まない
本研究	153	148	308.5	309.8
実際の降雨量	91	216	330.5	298.7

←図3 1回目に発生した豪雨イベント。年月は平行移動に用いた豪雨事例。

観測とモデルを用いた気温上昇量と極端降雨強度の関係



過去から現代期間における極端降雨の発生頻度変化率と気温上昇量(左図)、将来期間における極端降雨の発生頻度変化率と気温上昇量(右図)

過去から現代期間における頻度変化率から算出したCC理論値(左表)、将来期間における5つのモデル値の頻度変化率から算出したCC理論値の幅(右表)

		日本全域中央値 [%/degC]		
		K7	K16	K33
1時間降水	気象官署	—	—	—
	Amedas	17.3	10.2	10.2
	d4PDF(過去)	17.8	11.5	13.6
24時間降水	気象官署	10.0	10.8	6.2
	Amedas	13.9	19.9	12.4
	d4PDF(過去)	11.1	18.4	20.2

		日本域中央値 [%/degC]		
		K7	K16	K33
1時間降水	d4PDF(+2K)	7.2~9.1	4.4~7.1	2.9~5.7
	d4PDF(+4K)	4.9~8.9	2.8~6.0	2.6~5.1
24時間降水	d4PDF(+2K)	3.1~7.0	1.9~5.2	1.3~4.3
	d4PDF(+4K)	2.1~3.7	1.3~2.7	1.7~1.9

1. 研究課題名： 課題2：信頼度の高い近未来予測技術の開発及び超高解像度ダウンスケーリング技術の開発
サブ課題名： 2-a-⑥ 汎用的ダウンスケーリング技術開発
- XバンドMPレーダを用いたダウンスケーリング技術開発 -
(担当機関： 国立大学法人長崎大学 担当責任者： 瀬戸 心太)

2. 成果概要

(1) 研究開発の目的・目標・概要

豪雨災害の頻発・激甚化に対応するため、想定豪雨を見直す動きが出ている。国土交通省は、日本を15の地域に分けて、アメダスおよび解析雨量データをもとに、各地域の既往最大降水量を対象面積・継続時間別にまとめており(想定最大外力)、各自治体においては、対応するハザードマップを作成・公開している。ここで対象となる豪雨は1000年に一度以上の確率で生じる現象であり、より現実的に起こる確率の高い豪雨の想定が合わせて求められている。本研究では、国土交通省のXバンドMPレーダと人工衛星による観測を組み合わせて、高解像度かつ高頻度な面的雨量データを作成し、これに渡辺らが開発したモンテカルロシミュレーションを用いた手法を適用して、流域平均降水量の確率年評価を行った。

(2) 研究開発の成果

国土交通省のXバンドMPレーダは、38台(2017年現在)が運用されており、日本の大半を観測範囲におさめている。従来のCバンドレーダに比べて、空間解像度(250m)・観測頻度(1分)に優れている。XバンドMPレーダのデータを精査したところ、山岳域やレーダの近傍など特定の場所で異常に高い降水量を示すことがある。本研究への適用に支障があるため、異常値を取り除く補正手法を開発した¹⁾。⇒次ページ・スライド1

補正済のXバンドMPレーダを用いて、地域別に以下の作業(モンテカルロシミュレーション)を行った。①各年ごとに降雨面積2000km²での平均降水量が高い10事例を抽出する。②10×N(年数)分の事例から、ランダムに事例を抽出し、対象地域内で平行移動させる。移動先は、ランダムに決める。③対象流域における平均降水量を算出する。④上記②および③を10回繰り返し、流域平均降水量の最大値を求める(これを年最大降水量と見なす)。⑤上記④を3000年分繰り返し、グンベル分布を適用し、確率分布パラメータを決定する。⑥以上の結果を用いて、実際の豪雨事例に対する確率年、あるいはT年確率降水量が計算できる²⁾。⇒次ページ・スライド2

XバンドMPレーダを用いるにあたっての最大の問題は、観測期間が短いことである。上記の方法は、疑似的に長期間のデータを作り出すが、もとなる観測期間が短いと、その間に経験していない豪雨を適切に評価できない。そこで、異なる地域のデータを用いる方法を検討した。例えば、鬼怒川を対象とする場合に、関東地方の観測データだけでなく、九州地方のデータも用いる。ただし、関東地方と九州地方では、豪雨を発生させる現象(台風、前線など)の発生頻度が異なるため、これを調整する方法を開発した。さらに、XバンドMPレーダの観測がない地域へも適用を試みた³⁾。

(3) 研究成果による波及効果

XバンドMPレーダの検証のため、人工衛星(GPM主衛星搭載の二周波降水レーダDPR)による観測と比較した。その結果、上述のようにXバンドMPレーダが特定の場所で異常値を持つことが確認され、DPRを用いた補正を行った。一方で、DPRによる観測にも系統的な誤差があることが示され、DPRの降水推定アルゴリズムの修正につながった⁴⁾。

(4) 研究結果を踏まえた今後の展望、予想される効果・効用

国土交通省が作成した想定最大外力だけでなく、本研究の手法で計算される流域平均の確率降水量を合わせて用いることで、段階的に豪雨災害の対策を進めることができる。本研究の手法は、想定最大外力では示されていない気候変動の影響についても取り入れることができる。また、高解像度な面的雨量データを用いることで、流域面積だけでなく、流域の形を考慮した確率降水量を計算できており、中小河川流域にも適用可能である。一方で、同じ豪雨が起こりうるとみなす地域の分類については、国土交通省の分類を踏襲したが、地域分類を変えると結果に与える影響が大きいいため、さらなる検討が必要である。

- 1) 下妻達也、瀬戸心太：GPM/DPRデータを用いた地上レーダデータの補正、土木学会論文集B1(水工学), Vol.74, No.5, I_241-I_246, 2018
- 2) 下妻達也、瀬戸心太：GPM/DPRで補正したXRAINデータによる豪雨イベントシミュレーション、土木学会論文集B1(水工学), Vol.74, No.4, I_79-I_84, 2018
- 3) 下妻達也、瀬戸心太：XRAINを使った豪雨事例解析への降水要因の考慮と非観測エリアへの適用、土木学会論文集B1(水工学), Vol.75, No.1, 122-129, 2019
- 4) 下妻達也、瀬戸心太：地上レーダデータを用いたGPM主衛星二周波降水レーダの降水強度の評価、土木学会論文集B1(水工学), Vol.73, No.4, I_253-I_258, 2017

XバンドMPレーダデータの補正結果

- ・補正後のデータより、2014～2016年3年分の降水強度の総和を計算した、
- ・レーダサイト付近の補正は、古月山局、山鹿局、宇城局にて行った、
- ・補正前と比べて補正後は、山岳部で40%程度、レーダサイト付近で15%程度降水強度が低下した、

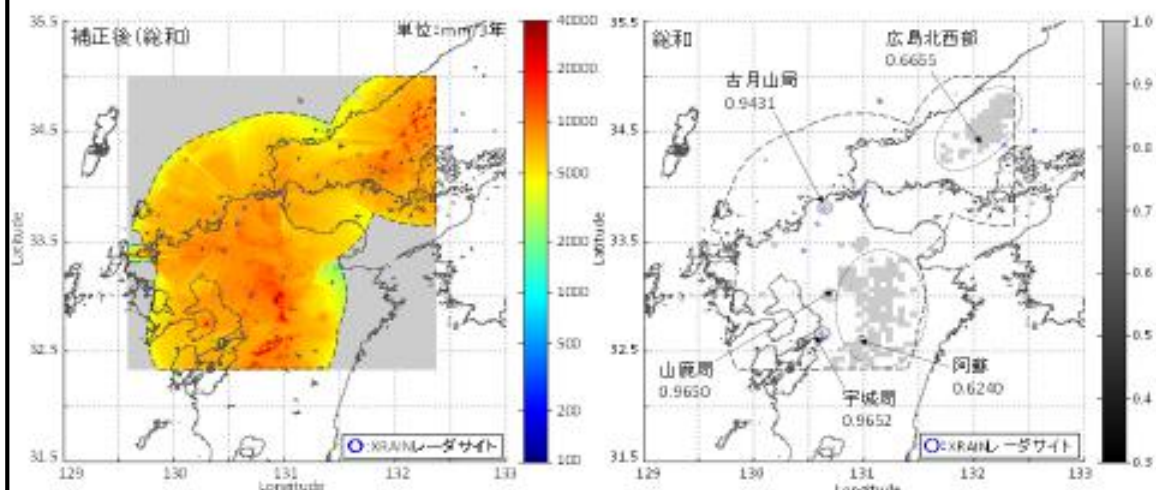


図 XRAIN補正後降水強度の最大値（2014～2016年）

図 補正後/補正前の割合

モンテカルロシミュレーションによる確率降水量の計算

渡辺ら(2017)の手法を利用

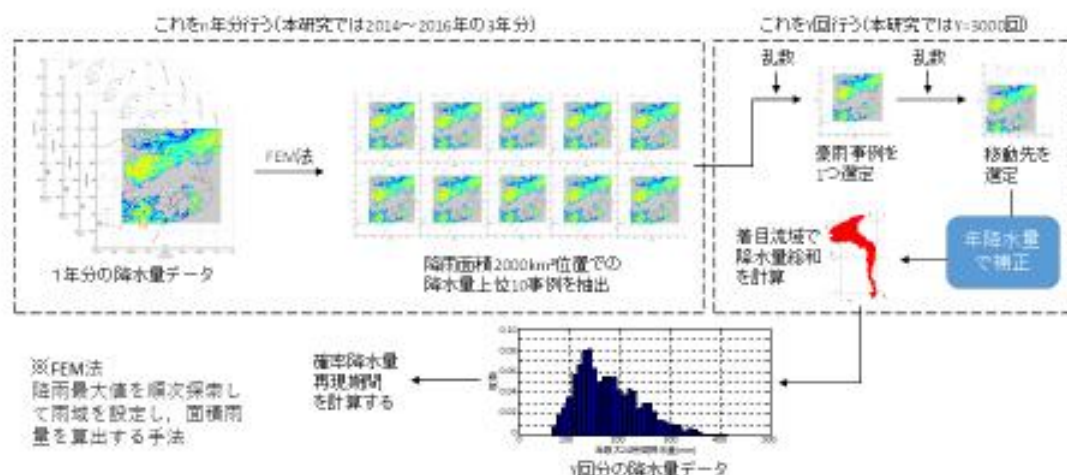


図 豪雨事例解析の流れ

補正した結果を用いて、関東エリア・九州北部エリアで豪雨事例解析を行い、100年確率降水量と関東・東北豪雨および九州北部豪雨の再現期間を計算する。

1. 研究課題名： 課題2：信頼度の高い近未来予測技術の開発及び超高解像度ダウンスケーリング技術の開発
サブ課題名： 2-a-⑦ 汎用的ダウンスケーリング技術開発
- 北海道を対象とした1km解像度の統計的ダウンスケーリングデータの作成 -
(担当機関：国立大学法人室蘭工業大学 担当責任者： 中津川 誠)

2. 成果概要

(1) 研究開発の目的・目標・概要

北海道のような積雪寒冷地では、気候変動によって大きな影響を受けるとされる降積雪や融雪といった雪に関わる水循環の変化によって、災害の発生や水資源や水環境の状況変化が予想される。本研究開発では、積雪寒冷地の水循環に対する気候変動の影響評価と適応策の立案根拠となりうる情報の作成を目的として、気候変動予測データを用いた北海道全域の空間解像度1kmの統計的ダウンスケーリング（以下、SDS）情報を作成した。

現在、日本全国で気候変動適応計画の策定が進められているが、より変化の大きい北海道のように積雪のある高緯度地域の適応策の検討立案に、このようなダウンスケーリング情報を活用していくことを目指す。

豪雨による洪水リスクの推定には力学的ダウンスケーリングの情報が有用と考えられるが、水資源や水環境に影響する年間を通した、あるいは季節的な水循環の変化には統計的ダウンスケーリング（SDS）の情報が活用できる。その際、SDSの結果の信頼性を高めるため、適切な観測情報を用いたモデル値のバイアス補正をおこない、SDS情報を作成した。これを活用して、冷水性魚類の生息に関係する水循環や水温の変化、斜面災害の発生に関係する土壌水分量（土壌雨量指数）の変化を推定するような研究が進められている。

(2) 研究開発の成果

北海道全域の高解像度（空間解像度1km）の気候変動予測データセットを作成した。これにより、北海道内の気候値の空間分布について現在気候と将来気候における変化を高い解像度で示すことができる。作成したデータセットは、データ統合・解析システム（DIAS）より公開予定である。

データの時間解像度は日単位、対象要素は大気陸面間の熱・水収支の評価に利用できる8種（気温、降水量、降雪水量、風速、相対湿度、全層雲量、下層雲量、気圧）である。SDSの元となる気候変動予測データは、空間解像度20kmのMRI-NHRCM20（気象研究所領域気候予測モデル）で、現在気候20年分（1984/9～2004/8、海面水温：観測値）と将来気候60年分（RCP8.5シナリオ、2080/9～2100/8、海面水温：SST3パターン×20年分）で構成される。SDSは、「バイアス補正」と「距離の逆数重みによる空間補間」からなる。前者は、モデル値を観測値から補正する手法であり、それを現在気候値とともに将来気候値の補正にも適用する。この際、補正に用いる観測値（情報）は、気象庁DSJRA-55、気象庁メッシュ平年値を比較し、降水量については、それらに加えて気象庁解析雨量、APHRODITEを用いて北海道内主要河川の流域水収支から妥当性の検証を行なった。この結果、解析雨量で補正したDSJRA-55が最も適切と判定してバイアス補正に用いた。バイアス補正したデータを最終的に1kmメッシュの情報に空間補間する。以上の手法や結果の詳細は上田ら（2019）を参照されたい。

(3) 研究成果による波及効果

作成したデータセットは、大気陸面間の熱・水収支の評価に必要な要素を含んでおり、将来気候における様々な水分野の課題の検討に有用と考える。具体例として、冷水性魚類の生息環境に影響する河川の水量、水温の変化を、本研究で作成したSDSを利用して推定した事例（工藤ら（2018））がある。さらに、融雪と降雨による土壌水分が影響する斜面災害が、気候変動によってどのように発生しうるかを本研究で作成したSDSを利用して推定した事例（服部ら（2020））がある。

(4) 研究結果を踏まえた今後の展望、予想される効果・効用

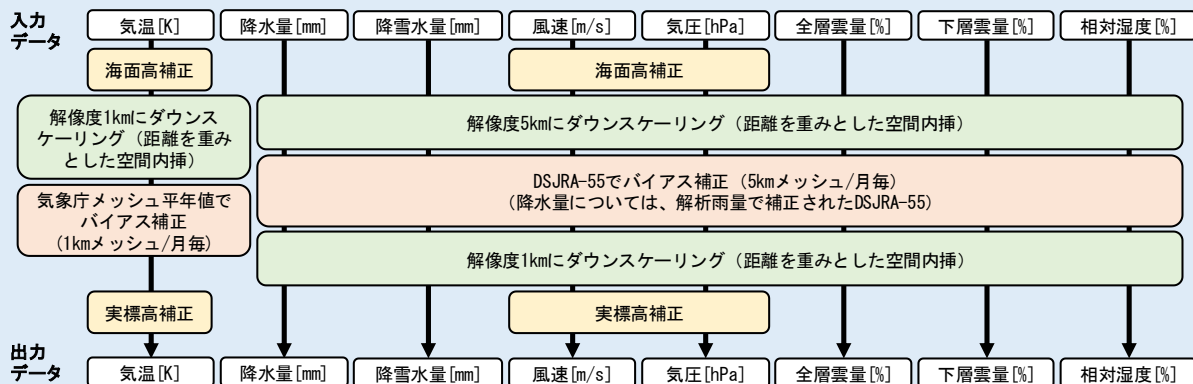
水分野に関しては、豪雨による洪水リスクの推定に関して、課題2を担当する山田らが大量アンサンブルデータからなるd4PDFの力学的ダウンスケーリング情報（5kmの空間解像度）を整備し、十勝川や常呂川といった治水計画への活用という形で社会実装を進めている。このほか、雪の雨への変化、積雪の減少や水温の上昇による土壌水分、水資源、河川環境の変化とこれが引き起こす災害、水利用、内水面漁業、生態系等への影響も予想される。また、積雪の減少や雪質の変化がウィンタースポーツやイベントなどの観光産業にも大きな影響を及ぼす可能性がある。それらの課題に対する影響評価、適応策の検討立案に本研究の成果が活用できると考える。

上田聖也, 中津川誠, 千田侑磨, 小松麻美, 流域水収支が検証された北海道全域の高解像度Downscaling情報の作成, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol.75, No.2, pp. I_1051-I_1056, 2019.

工藤啓介, 中津川誠, 千田侑磨, 地球温暖化シナリオに基づく寒冷地河川における水温変化の評価, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol.74, No.5, pp. I_37-I_42, 2018.

服部有吾, 中津川誠, 坂本莉子, 気候変動に伴う積雪寒冷地の融雪期における斜面災害危険度の評価, 2019年度土木学会北海道支部論文報告集, 76, 2020.

SDS手法の概要



流域水収支による検証

北海道の主要河川での流域水収支から、降水量のバイアス補正に用いるデータを選定した

石狩大橋を基準とした石狩川流域の蒸発散量推定値は、300~500mmとされる (加藤ら,1999、臼谷ら,2005)

バイアス補正データに採用

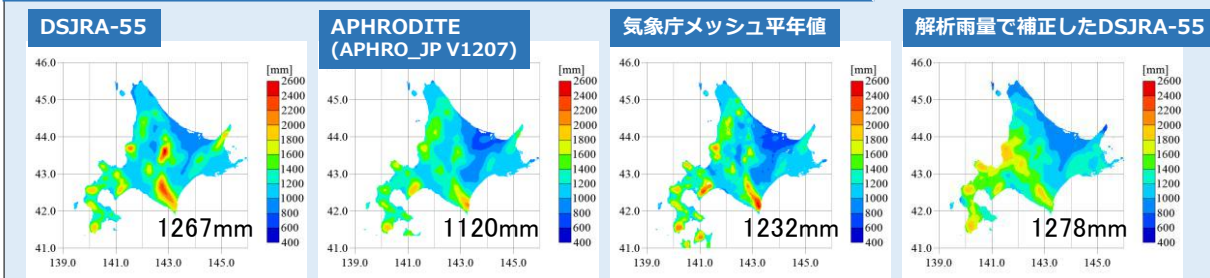
流域	石狩川	石狩川	十勝川	十勝川	釧路川	沙流川	常呂川
基準地点	石狩大橋	赤平	帯広	茂岩	標茶	平取	北見
年総流出高(A)	1135.0	1095.6	993.6	823.6	889.4	1165.2	469.4
年総降水量(B)	1306.2	1300.0	1436.9	1283.5	1203.7	1512.6	1012.0
蒸発散量(B-A)	171.2	204.4	443.3	460.0	314.2	347.4	542.6
年総降水量(B)	1276.2	1193.8	1216.7	1086.0	1040.6	1311.0	829.6
蒸発散量(B-A)	141.2	98.2	223.1	262.4	151.2	145.8	360.2
年総降水量(B)	1270.1	1196.8	1226.3	1087.2	1021.8	1318.3	806.1
蒸発散量(B-A)	135.1	101.2	232.7	263.6	132.4	153.1	336.7
年総降水量(B)	1460.9	1467.5	1244.9	1158.7	1180.2	1442.5	933.0
蒸発散量(B-A)	325.9	371.9	251.3	335.1	290.8	277.3	463.6

単位: [mm] 年総降水量は流域内のメッシュ平均値を示す

加藤晃司, 中津川誠, 新目竜一: 石狩川流域における水収支と蒸発散量の推定, 開発土木研究所月報第553号, pp.2-13, 1999.
 臼谷友秀, 中津川誠, 工藤啓介: 石狩川流域における水循環の定量化について, 水工学論文集第49巻, pp.229-234, 2005.

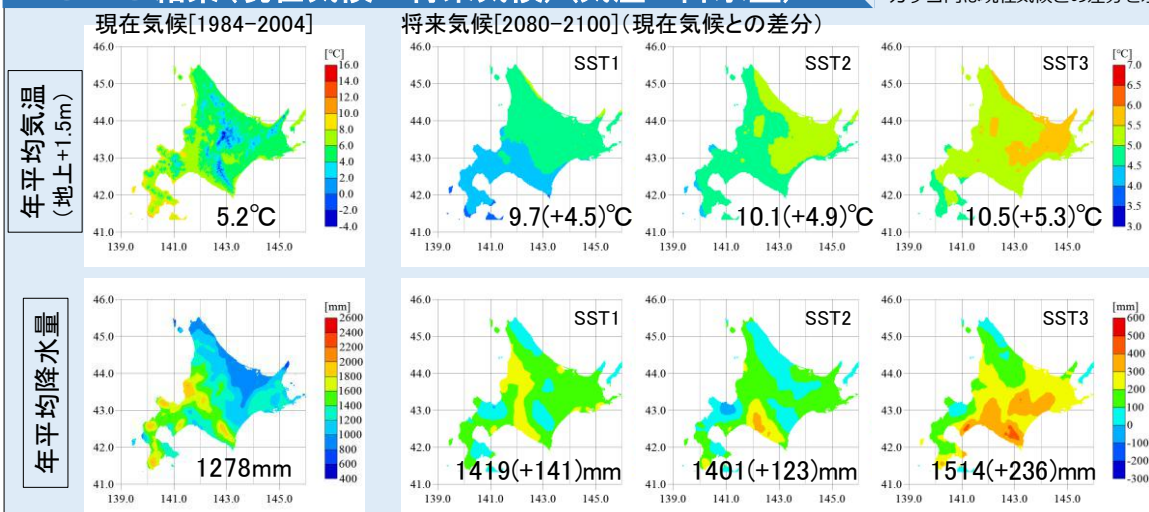
流域水収支の検証に用いたデータ※の年平均雨量

※各データを解像度1kmに空間内挿したもの



SDS結果 (現在気候・将来気候) (気温・降水量)

図中の数字は全メッシュの平均値、カッコ内は現在気候との差分を示す



1. 研究課題名： 課題2：信頼度の高い近未来予測技術の開発及び超高解像度ダウンスケーリング技術の開発
サブ課題名： 2-b-① 街区・港湾スケールの力学的ダウンスケーリング技術開発
(担当機関：国立研究開発法人海洋研究開発機構 担当責任者：大西 領)

2. 成果概要

(1) 研究開発の目的・目標・概要

温暖化、都市化、高齢化という三重苦のために、日本にとって都市街区スケールの暑熱適応は急務の課題である。本サブ課題では、都市街区内の歩行者レベルの暑熱適応策の検討を行う上で必要な数mメッシュの超高解像度ダウンスケーリング技術を開発し、モデル自治体等と連携することでその技術を社会実装する。当グループはマルチスケール大気・海洋結合シミュレーションモデルMSSG(Multi-Scale Simulator for the Geo-environment、"メッセージ"と読む)を開発してきた。本SI-CATプロジェクトでは、数メートルという超高精度な計算格子を用いて、建物だけでなく街路樹が熱環境に与える影響までを考慮できるダウンスケーリング技術を開発した。その技術を様々な街区に適応した。中でも、埼玉県熊谷スポーツ文化公園に対しては、その暑熱対策事業に対して社会実装することに成功した。

(2) 研究開発の成果

図1に示すように、MSSGは全球(グローバル)、領域(メソ)、および都市(マイクロ)スケールの大気海洋シミュレーションをシームレスに実行できるように設計されている。都市街区スケールを対象としたシミュレーションの際には、境界層モデルを用いず、いわゆるLESモデルとなる。そのLESの中で、建物による日射の遮蔽や樹冠に吸収される放射フラックスを精度よく評価できる3次元放射計算法を開発し、MSSGに実装した[1]。これにより、時々刻々と変化する風況や気温分布を詳細に評価できるだけでなく、それらに与える樹冠の影響までを考慮したダウンスケーリングが可能となり、植栽などの様々なヒートアイランド対策を定量的に評価することが可能になった[4]。

実際、図2に示すように、モデル自治体である埼玉県環境科学国際センターと協力して、JAMSTECが所有するスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」上でMSSGを実行することにより、詳細な暑熱環境シミュレーションを行った。このシミュレーションにより、ヒートアイランド対策の具体的な効果を事前に予測し、対策の効果を最大化することに貢献した[5]。この成果は、各種メディアに取り上げられただけでなく、埼玉県知事のブログにも取り上げられるなど、大きな反響につながった。

また、ニーズ自治体である大阪市と協力し、大阪で猛暑日を記録した平成22年8月2日における梅田エリア及び大阪湾臨海エリアを対象としたシミュレーションを行った[6]。淀川やJRの線路沿い、うめきた再開発地域等の開けた土地に、涼やかな海風が西から流入し、逆に、高層ビル群の風下側では風が弱く、気温が高くなる傾向を確認しました。これらのシミュレーション技術を活かすことにより、地域特性に応じた、暑熱対策に配慮したまちづくりが可能になると期待される。

(3) 研究成果による波及効果

主な研究成果

1. Matsuda, Onishi, Takahashi, Tree-crown-resolving large-eddy simulation coupled with three-dimensional radiative transfer model, *J. Wind Engng. Ind. Aerodyn.*, 173, 53-66 (2018)
2. 大西、松田、杉山、焼野、高橋、マルチスケール気象モデル MSSG による都市街区の暑熱環境予測シミュレーション、日本ヒートアイランド学会誌、15-18 (2017)
3. 松田、大西、杉山、高橋、高解像度気象Large-Eddy Simulationを用いた街区スケール暑熱環境解析、シミュレーション学会誌、138-144 (2019)

プレスリリース等

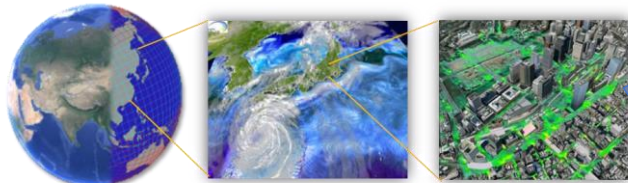
4. 「東京ヒートアイランド」(未来館で展示中のMSSG動画) : <https://youtu.be/EMm9La3riNA>
5. 埼玉県発プレスリリース、「最新スパコン技術を駆使して暑さから人々を守る！熊谷スポーツ文化公園のヒートアイランド対策にスーパーコンピュータによる予測結果を活用」2018/6/21 : <https://www.pref.saitama.lg.jp/a0001/news/page/2018/0621-01.html>
6. 大阪府環境局のホームページ : <https://www.city.osaka.lg.jp/kankyoo/page/0000465421.html>

(4) 研究結果を踏まえた今後の展望、予想される効果・効用

本課題で開発した都市街区スケールのダウンスケーリング手法および計算結果は、街区スケールの暑熱アセスメントだけでなく、科学的根拠に基づいた影響評価・適応戦略の策定に活用されることが期待される。温暖化、都市化、高齢化という三重苦のために、日本にとって都市街区における暑熱適応は急務の課題である。本成果によってその課題が解決され、気候変動下でも安全・安心な都市を実現することが可能になる。

図1: MSSG (Multi-Scale Simulator for Geoenvironment) の特徴

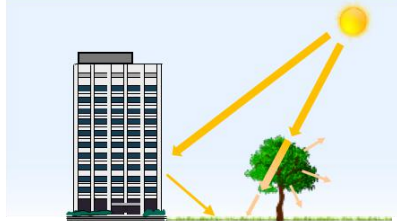
➤ 全球、領域、都市街区に至る大きくスケールの異なる現象をシームレスに(統一的に)一つのモデルで扱うことができる。



	全球気象現象	領域気象	都市街区微気象
空間スケール	10,000km	100~1,000km	1~10km
空間解像度	10~100km	100m~10km	1~10m
時間スケール	1週間~	数時間~数日	数10分~1時間

計算格子幅1~5m

〈都市3次元放射計算〉



建物や樹冠が3次元的な熱放射や風況に与える影響を考慮

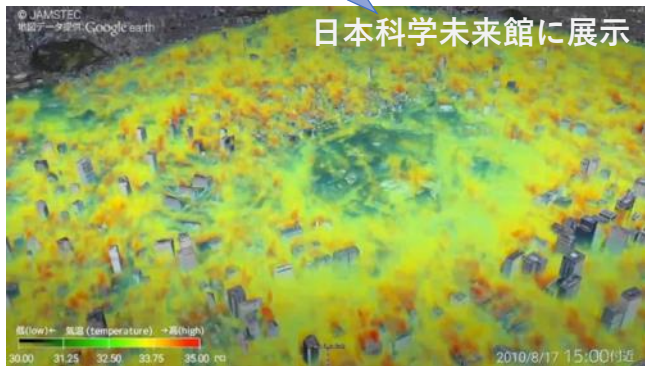


図2: 熊谷スポーツ文化公園のヒートアイランド対策にスーパーコンピュータによる予測結果を活用

- MSSGによって植樹効果を定量化するとともに、最適な植樹配置を提案
 - 費用対効果の大きな暑熱対策を実現
 - エビデンスベースの施作決定



MSSGシミュレーション結果

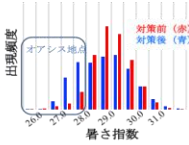
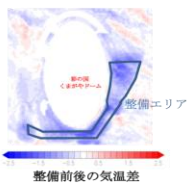
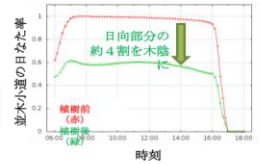
暑熱対策整備の効果概要
 ~典型的猛暑日(2010/8/26)の14時を対象とした
 詳細シミュレーション解析結果~



① 植樹により、並木小道の約4割を日陰にできた

② 暑熱対策整備により、小森のオアシスの平均気温は0.9度低下

③ 暑熱対策整備により、整備エリア内で、暑さ指数が28℃以下*1の地点(オアシス地点)が3.2倍に増加



*1 暑さ指数が28℃以上では、熱中症の危険が高いので、体力の低いもの、暑さになれていないものは運動中止。(日本体育協会の指針より抜粋)

1. 研究課題名： 課題2：信頼度の高い近未来予測技術の開発及び超高解像度ダウンスケーリング技術の開発
サブ課題名： 2-b-② 街区・港湾スケールの力学的ダウンスケーリング技術開発
(担当機関：国立大学法人京都大学 担当責任者： 森 信人)

2. 成果概要

(1) 研究開発の目的・目標・概要

気候変動に関する政府間パネル (IPCC) が2013年に発表した第5次評価報告書 (AR5) では、沿岸部の流れや波浪災害については限定的な記述にとどまっていた。2019年の「海洋・雪氷圏に関するIPCC特別報告書 (SROCC)」では、高潮や波浪の将来変化が沿岸部与える深刻な影響について詳細な記述が掲載されている。しかし、都道府県や湾スケールの詳細な将来変化については、未だ着手されていないのが現状である。

本サブ課題では、課題1、課題3及びモデル自治体等と連携し、沿岸域の気候変動適応策の検討を行う上で必要な1kmメッシュ以下の高解像度ダウンスケーリング技術についてのモデル開発を行う。この結果を踏まえ、ダウンスケーリング手法の開発を進めるとともに、過去再現計算の実施と精度検証を行った。さらに気候計算を実施し、沿岸部の流れや波浪の1km以下の高解像データセットの作成を行い、モデル自治体へ提供した。

(2) 研究開発の成果

課題1・2との連携により、1kmより細かなスケールで必要とされる沿岸部の波浪や流れのダウンスケール技術の高度化に取り組み、モデル自治体の沿岸部を対象とした波浪および海洋の超高解像度ダウンスケールモデルを開発した。開発したモデルを用いて過去再現実験及び過去気候実験を行った。モデル自治体 (茨城県・鳥取県) との連携により、過去再現実験比較を実施した。さらに気候計算を実施し、沿岸部の流れや波浪の1km以下の高解像データセットの作成を行い、自治体の適応策策定に必要な基本データセットの提供を行った。

茨城県・鳥取県の海洋モデルROMSをベースに沿岸流高解像度ダウンスケール計算のモデル開発と精度検証、過去実験を進めた (図1：茨城県ダウンスケールモデルのみ表示)。過去再現ではJRA-55/FORA、将来変化はSI-CAT10を大気・海洋の境界条件に、河川流出を考慮して構築した (図1)。ダウンスケール結果を衛星による海面水温、現地観測水温と比較して検証を行った。ダウンスケール結果は短い周期の変動を捉えられており、衛星及び現地の観測結果を良く再現していることがわかった。将来変化についても気候計算を実施し、その特性について解析を行った。過去再現では、2006年10月の高潮イベント等の極端現象についても検証を行い、ダウンスケール計算による極端水位の再現性向上を確認した。RCP8.5シナリオにもとづく将来変化については、茨城県沿岸の水温の2度程度の昇温がみられ、これに加えて季節の遅延が顕著であった (図3)。さらに、鳥取沿岸を対象とした計算結果は、対馬暖流流路の微小な南北変動の影響を受けて、浦富海岸に循環流が発生していることがわかった。また、その循環流によって月に数回底層部において0.2m/sを超える流れが発生していることがわかった。沿岸の波浪を精度良く計算するために、深海域にWWIII、浅海域にSWANを用いた波浪推算モデルを結合したモデルを構築した。日本海全体の領域から鳥取沿岸の地形を詳細に表現できる4領域ネスティングによって沖のうねりを考慮できる高解像度波浪モデルを構築した (図4)。第4領域で約100mの解像度を持つ。鳥取沿岸の波浪に大きく影響を及ぼす隠岐の島を第2領域に含めることで、その影響を最大限考慮できるようなモデルとした。その後、鳥取県沿岸を対象とした過去再現計算を実施し、その推算精度を確認した (図5)。今回開発したモデルは、有義波高、有義波周期の計算値は観測値を良好に再現している。将来変化についても計算を実施し、日本沿岸の波浪は、冬季に日本海・太平洋側で季節風により発達する波のエネルギーの減少、太平洋側では西向きのうねりのエネルギーの減少が予測され平均波高の減少や平均波向の将来変化を得た。

(3) 研究成果による波及効果

沿岸流および波浪を対象として、茨城県および鳥取県沿岸の長期的な過去再現計算と高解像な将来変化の計算を実施した。これによる波及効果は2つ考えられる。第1に過去再現計算は、これまでの自治体における観測値ベースのハザード評価から数値モデルによる評価への転換となる可能性がある。第2に、気候変動を考慮した予測結果により、沿岸域を対象にどのエリアにどの様な対策を実施すべきかについて科学的かつ定量的に評価が可能となり、具体的な適応策策定時の基礎資料として活用が期待される。

1. J. Troselj, Y. Imai, J. Ninomiya, N. Mori (2018) Coastal Current Downscaling Emphasizing Freshwater Impact on Ibaraki Coast, J. JSCE, Ser.B2 (Coastal Engineering), Vol.74, No.2, I_1357-I_1362.

2. 二宮順一・浜野竜太郎・森 信人・Josko Troselj・石川洋一・西川史朗 (2018) 長期海洋再解析データによる日本海の海洋環境再現性評価と海峡流量解析, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), 74巻, 2号, pp.I_988-I_993.

(4) 研究結果を踏まえた今後の展望、予想される効果・効用

本課題で開発した手法および計算結果は、地域における適応の推進に資するデータやダウンスケール技術として、地域レベルの影響評価・適応戦略等への応用が期待される。気候変動による水災害の増大は、我が国の沿岸域の社会活動に大きな損害をもたらすことが予想される。本成果を活用し、気候変動を考慮した自然災害の評価に応用が期待できる。

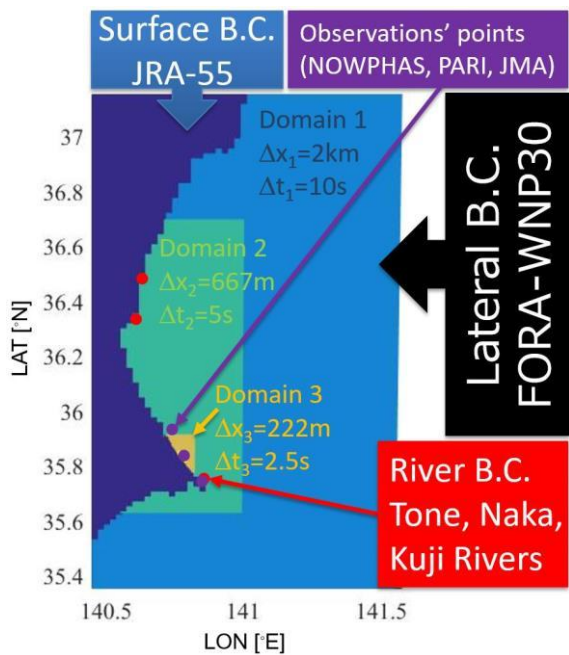


図1: 海流の高解像度ダウンスケール計算モデルの概要 (茨城県のセットアップの例)

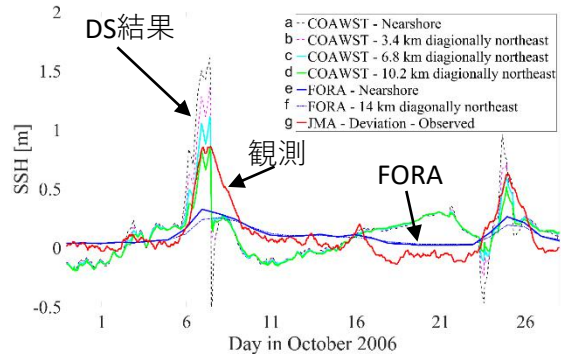


図2: 2006/10高潮イベントの水位の再現結果

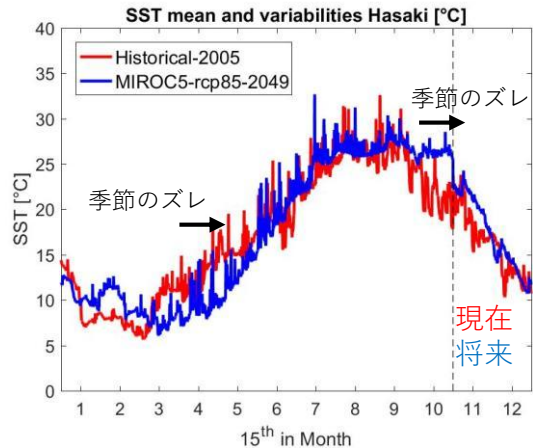


図3: 海面水温の将来変化 (RCP8.5 MIROC5)

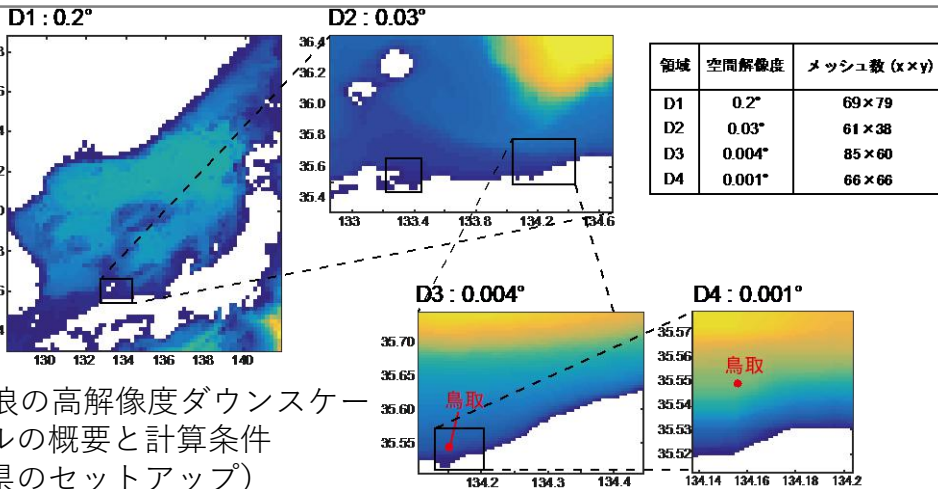


図4: 波浪の高解像度ダウンスケールモデルの概要と計算条件 (鳥取県のセットアップ)

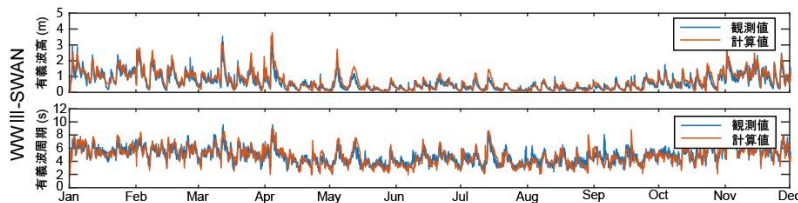


図5(上): 波浪の高解像度ダウンスケール再現計算結果: 鳥取県 (青: 観測値、赤: 計算結果)

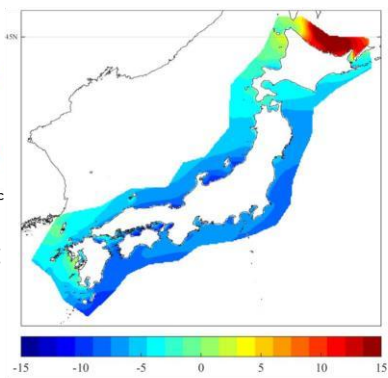


図6(右): 波浪の高解像度将来変化率 (RCP8.5, 単位%)

1. 研究課題名： 課題2：信頼度の高い近未来予測技術の開発及び超高解像度ダウンスケーリング技術の開発
サブ課題名： 3-a モデル自治体等における技術開発(佐賀県)
(担当機関：国立大学法人九州大学 担当責任者： 橋本 典明)

2. 成果概要

(1) 研究開発の目的

佐賀平野は広域にわたってゼロメートル地帯が広がっており、高潮や洪水などの水災害の脆弱性が高い地域である。そこで、d4PDFやそのダウンスケーリングデータを用いて高潮浸水シミュレーションを実施し、高潮および高潮浸水に関して気候変動に伴う影響を評価する。加えて、将来気候で生じる高潮浸水被害に対して、様々な適応策の効果を検討する。また、気候変動下で生じる高潮災害時の河川の水位上昇を検討するために、将来気候予測データを用いた流出解析を実施する。その際、筑後川流域スケールでのメッシュ解像度による予測降雨特性の違いやその違いが流出予測に与える影響について定量的な検討を行う。さらに、近年の豪雨によって発生している河川堤防の被害にも注目し、パイピングに起因した越水なき破堤が想定される河川堤防の弱面を抽出する。将来の降雨形態の変化によって新たに危険と考えられる河川堤防基礎地盤の地盤構成や地盤特性を数値解析により把握し、既知の河川堤防断面に対するパイピング破壊リスクについての検討を行う。以上により、気候変動によって甚大化が懸念される佐賀平野の水災害に対して、今後の適応策を立案する上で有益な知見を得る。

(2) 研究開発の成果

高潮災害に関する検討として、d4PDFの過去実験および将来実験（4度上昇）から佐賀平野にとって危険な台風10ケースを抽出し、これらを外力とした高潮浸水シミュレーションを実施した。シミュレーションから得た浸水状況について解析を行った結果、将来気候において浸水範囲は広がり浸水深は深まることが明らかとなった（図-1）。これより、将来的に高潮災害に対する危険性が高まることがわかった。加えて、適応策として堤防嵩上げの効果（図-2）、旧堤防や沿岸道路の二線堤としての機能、浸水後のポンプによる排水効果、水門の閉門のタイミングの違いによる浸水状況の変化などを検討し、それらの効果を定量的に把握した。また、洪水災害の検討では、流出モデルとして2段タンク式貯留関数法を筑後川上流域に適用し、実データを用いたパラメータのキャリブレーションとバリデーションを実施した。キャリブレーションは平成24年九州北部豪雨時の降雨出水状況を基に実施し、パラメータを推定した（図-3）。推定されたパラメータを2000年代以降の複数の出水イベントに適用し、その高い再現精度を確認した。次に、d4PDFのデータから有明海に台風が接近した20ケースを抽出し、そのダウンスケーリングデータを流出モデルに適用し、台風接近時の筑後川流域のハイドログラフを作成した（図-4）。さらに河川堤防の被害の検討では、室内浸透・越流模型実験を行い、河川堤防を対象とする不飽和浸透流解析に必要な水分特性曲線を評価するためのVan Genuchtenモデルの適用性を検証した。また、筑後川を対象として、d4PDFにおける将来5,400年分の気候データの中から筑後川上流域最大48時間雨量上位5位の降雨イベントを選び、1次元水位計算することで河川水位ハイドログラフを作成した（図-5）。将来気候下で発生し得る河川ハイドログラフを用いて、対象とする基礎地盤を含む堤防断面に対し（図-6）、不飽和浸透流解析を実施し、パイピング破壊に対する危険度評価を行うとともに、リスクが高まる地盤構成や土質特性を把握した。

(3) 研究成果による波及効果

本検討は佐賀平野の高潮災害に対して、気候変動に伴う影響評価を実施し、各種適応策の効果を検討した初めての例である。成果は佐賀県に報告・共有され、今後の気候変動適応策の立案に活用される。また、将来気候でのハイドログラフを作成したことで、これを用いた種々の河川災害や沿岸災害のリスクおよび適応策の検討が可能となった。さらに、パイピング破壊のリスクが高い地盤構成や土質特性を把握できたことで、今後の基礎地盤を含む河川堤防に対する決壊リスクの評価や適切な補強対策の在り方についての検討も可能となった。

(4) 研究結果を踏まえた今後の展望、予想される効果・効用

将来の気候において、佐賀平野で生じる高潮の規模に加え、高潮による浸水過程および危険地域などが明らかとなったことで、今後はこれらの結果と土地利用情報を組み合わせて経済損失額の算定を行うことや、重要水防地域の選定を進めることができる。また、ハード面からの適応策だけでなく、最適な避難場所や避難経路および避難時のタイムラインの再検討などソフト面からの対策も検討する必要がある。降雨データに関しては、実測降雨データ、5kmメッシュおよび20kmの予測値を用いて検討を行ったが、本研究で行った流域スケールの流出計算では、5kmメッシュと比較して低解像度な20kmメッシュの結果を用いても大きなバイアスは生じないことが示され、今後の河川流出に関する予測データベースの利用が拡大していくと思われる。地盤災害に関する検討では、将来気候下での河川堤防の弱面抽出に向け、堤防基礎地盤のパイピング破壊について解析を行った。筑後川の対象断面では、パイピング破壊の危険性は低いことを示したが、既存の地盤図には表れない局所的な地盤構成の違いがパイピングに対する弱部となりうることも示唆した。したがって、基礎地盤を含む河川堤防に対する地盤調査技術の向上は極めて重要である。ボーリング調査箇所数の増加や探査技術の向上が望まれる。

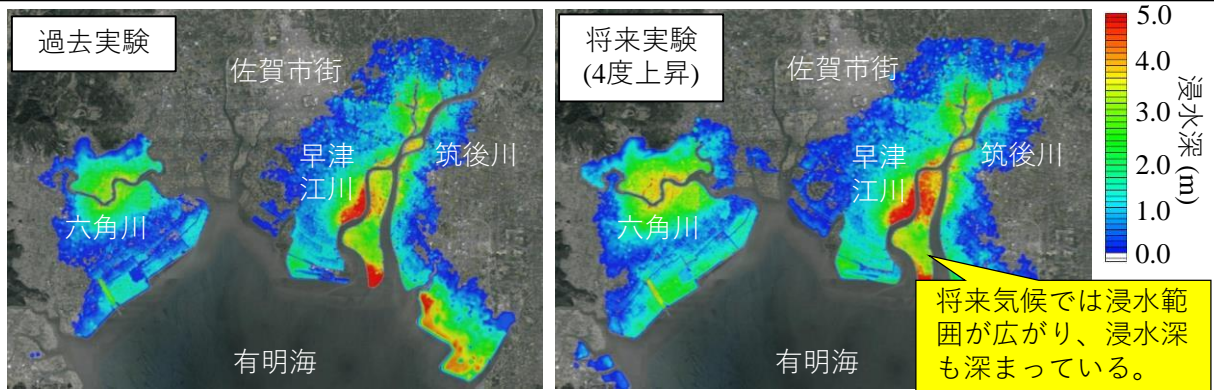


図-1：有明海に対して危険な台風10ケースによる浸水計算結果を重ね合わせた場合の最大浸水深

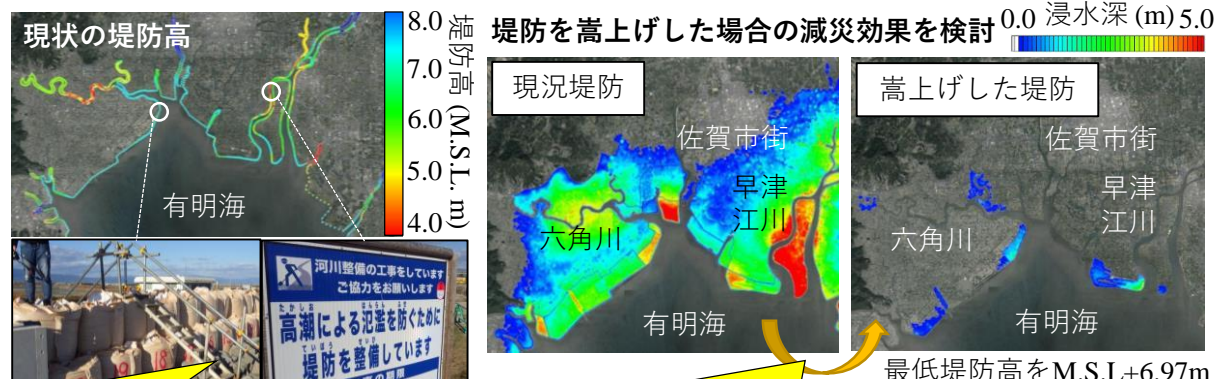


図-2 堤防の高上げによる最大浸水深の変化 (将来実験(4度上昇)の最大規模の台風で計算)

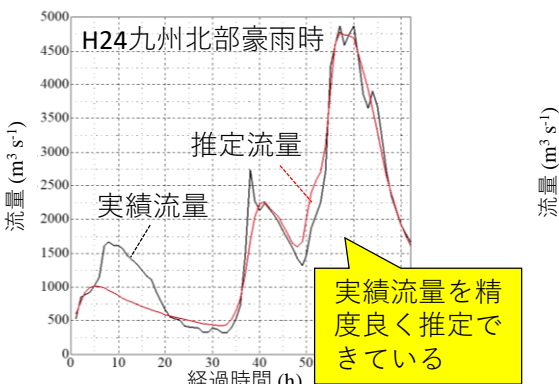


図-3 貯留関数法を用いた河川流量の推定

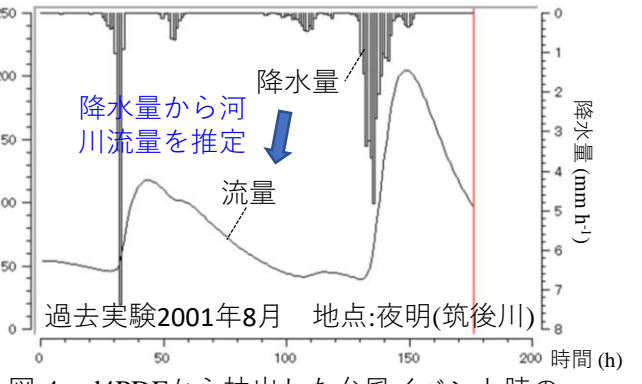


図-4 d4PDFから抽出した台風イベント時のハイドログラフ

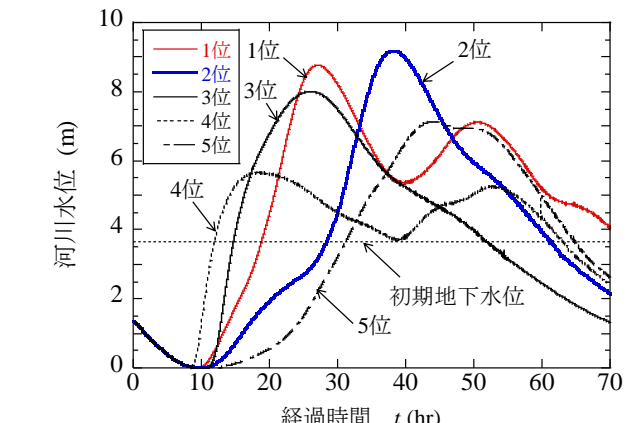


図-5 d4PDFを利用して作成したハイドログラフ

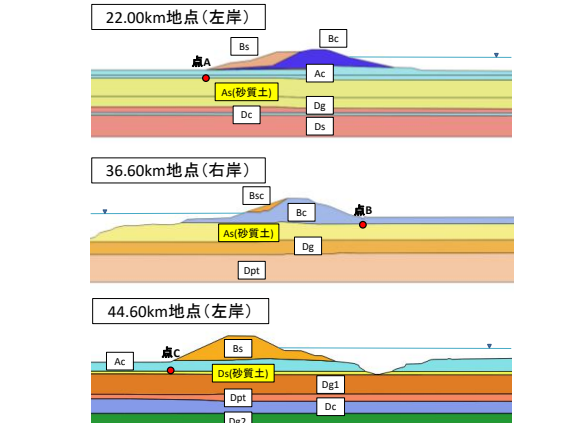


図-6 筑後川の解析対象断面図の一例

1. 研究課題名： 課題2：信頼度の高い近未来予測技術の開発及び超高解像度ダウンスケーリング技術の開発
サブ課題名：3-b モデル自治体等における技術開発(埼玉県)
- 埼玉県の気候変動による課題を踏まえた適応策に資する技術開発とその実装 -
(担当機関：埼玉県環境科学国際センター 担当責任者： 嶋田 知英)

2. 成果概要

(1) 研究開発の目的・目標・概要

埼玉県は国内でも特に高温になりやすい場所として知られている。2007年8月16日には熊谷気象台で気温40.9°Cを記録し、日本の最高気温を74年ぶりに塗り替えた。さらに、2018年7月23日には41.1°Cを観測し記録をさらに更新した。埼玉県の気温は長期的にも上昇しており、熊谷気象台の1898年から2018年の年平均気温の上昇率は2.1°C/100年に達している。この埼玉県の急激な気温上昇は、地球規模の温暖化だけではなく、都市化によるヒートアイランド現象との複合影響によると考えられるが、この気温上昇により、暑熱環境は悪化し、熱中症搬送者数の増加など影響が顕在化している。

そこで、埼玉県環境科学国際センターでは、2019年ラグビーワールドカップ会場の一つとなった熊谷スポーツ文化公園に注目し、JAMSTECダウンスケーリング技術開発ユニットと共同で、埼玉県が行った暑熱対策事業の事前評価と事業の最適化に取り組んだ。

また、SI-CATで得られた、高解像度ダウンスケーリングデータなどを整理し、埼玉県の環境部局や土木部局等、適応策のステークホルダーへ提供し、適応策の施策への実装に努めた。

(2) 研究開発の成果

埼玉県では、ワールドカップ観戦のために熊谷スポーツ文化公園に訪れる観客の暑熱環境緩和を目的に、集中的に暑熱対策を実施することとした。具体的には、バス停からラグビー場に至る観客動線に、ケヤキ並木や緑地の整備、遮熱舗装を行うことを決めた。そこで、当センターでは、設計情報や公園内の土地利用、施設のCADデータなどを収集し、JAMSTECと共同で、JAMSTECが開発した大気海洋結合モデルMSSGを用いて、詳細な暑熱環境シミュレーションを実施した。また、シミュレーション結果検証のための気象観測を行った。

典型的な猛暑日を想定しシミュレーションを行った結果、木かげ整備などを行うことで、緑陰が約40%増加すること、対策領域の気温は平均0.7°C程度低下し、暑さ指数が「嚴重警戒」又は「危険」となる地点が20%減少すること、アスファルト舗装に比べ、遮熱舗装の表面温度は日なたで約9°C低下すること、などが明らかとなった。また、並木道の樹木配置や、遮熱舗装の種類について、事前に複数の選択肢を想定したシミュレーションを行い、より効果の高い施工方法を特定した。

それらの結果を、2017年10月にJAMSTECと当センターの連名で報告書としてまとめ、対策事業を担当する埼玉県公園スタジアム課へ提出した。その結果、報告書を基に検討が行われ、実際の設計に提案が反映され2018年度に施工が行われた。

また、SI-CATで得られた、高解像度ダウンスケーリングデータの施策への実装については、埼玉県庁内に組織されている「適応策専門部会」や、市町村を対象とした適応策に関する会合で成果の提供を行った。さらに、現在、改訂作業を行っている「埼玉県温暖化対策実行計画」の基礎情報としても活用された。

(3) 研究成果による波及効果

熊谷スポーツ文化公園を対象とした暑熱環境シミュレーションについては、2018年6月に、JAMSTECと共同で、「最新スパコン技術を駆使して暑さから人々を守る！～熊谷スポーツ文化公園のヒートアイランド対策にスーパーコンピュータによる予測結果を活用～」として、報道発表を行った。その結果、多くのメディアで取り上げられ、新聞やテレビ、土木系専門誌など11のメディアで記事化された。さらに、2018年7月31日には、埼玉県知事ブログでも取り上げられるなど、注目を集めた。

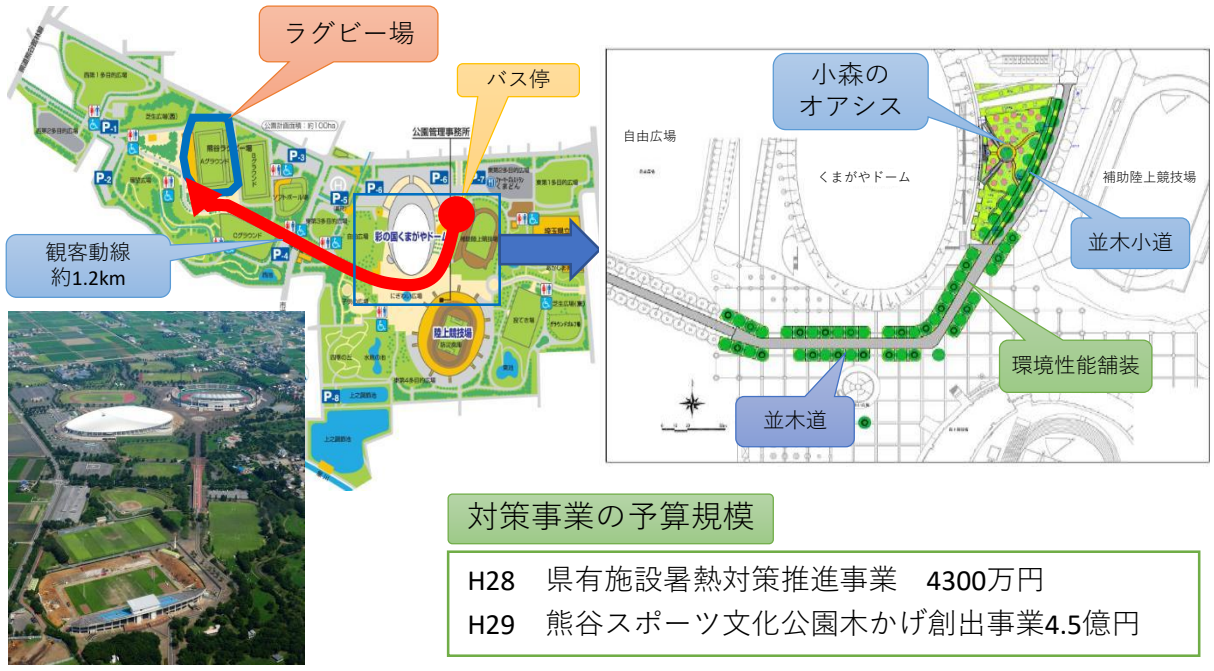
埼玉県では、以前から、駐車場の芝生化や壁面緑化など、様々な暑熱対策事業を行って来たが、対策後に観測等により効果検証を行うことはあっても、シミュレーションにより事前に効果を予測することや、シミュレーションに基づき事業を最適化するといった経験はなく、この様な手法は、限られた予算をより有効に活用する手段として認識されつつある。

(4) 研究結果を踏まえた今後の展望、予想される効果・効用

街区や施設の暑熱対策として、シミュレーションによる事前評価や対策の最適化は、自治体だけではなく、民間事業者にとってもコスト削減に繋がり有用な手法だと思われる。この様な手法をより広く展開するには、シミュレーション技術利用に関するハードルを下げることと、環境アセスメントなどの制度に位置づけることが重要だと考えている。

ラグビーワールドカップが開催された熊谷スポーツ文化公園を対象に行ったシミュレーションによる暑熱対策の定量化・最適化

暑熱環境緩和のために、並木や緑地の整備、遮熱舗装を計画



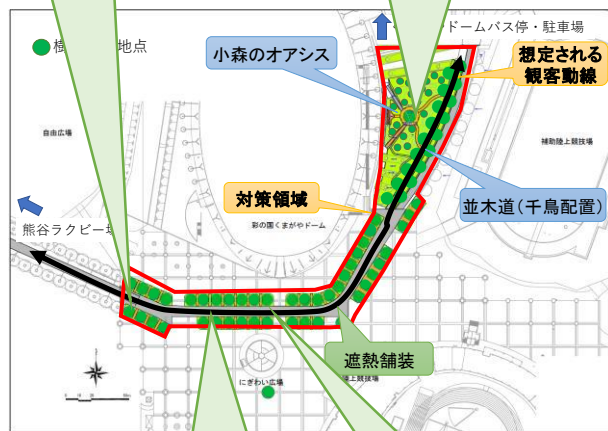
シミュレーションによる暑熱対策効果の定量化・最適化

JAMSTECダウンスケーリング技術
開発ユニットによる計算結果

シミュレーション結果を参考に
施工が行われた

対策領域の暑さ指数
「**嚴重警戒**」「**危険**」
が**20%減少**

小森のオアシスの
平均気温が**0.9℃低下**



並木整備により約**40%**が
新たに日陰になる

地表面温度が
日なたで約**9℃低下**

Before



実装

After



1. 研究課題名： 課題2：信頼度の高い近未来予測技術の開発及び超高解像度ダウンスケージング技術の開発
サブ課題名：3-c モデル自治体等における技術開発（茨城県及び鳥取県）
（担当機関：国立大学法人筑波大学 担当責任者： 武若 聡）

2. 成果概要

（1）研究開発の目的・目標・概要

海岸管理者は海岸法の定めにより「海岸保全基本計画」（以下、海岸計画とする）を定める。海岸計画は、対象海域の防護、環境、利用を調和させたものとし、地域の意見も反映させて策定される。当面（例えば30年間）の施策が示され、これらは、例えば、沿岸住民の安全性を向上させるための対策（例：海岸堤防の整備、砂浜の保全）、保全したい自然環境の特定と保全の方針（例：磯場、干潟の保全）、海辺の利用を促進するための取組み（例：海辺へのアクセス向上）などになる。本研究開発の目的は、気候変動に伴う海象変化がもたらす影響の評価とこれへの適応を含めた海岸計画の策定について検討することである。現時点で、海岸法は将来の海象と社会の変化を見込んだ計画とすることを求めているが、本研究開発では気候変動により予想される茨城沿岸と鳥取沿岸の海象変化（波高の増大、波向の変化、海水位・海水温の上昇等）を予測し、影響と適応、これらを海岸計画に反映させることについて、両県の技術者と共に検討した。海象予測情報は技術開発機関（JAMSTEC、京都大学防災研究所）が提供した。

（2）研究開発の成果

【海洋流動】 先ず、気候変動下の海洋流動を計算するのと同じ方程式系で計算されたFORA（北西太平洋海洋長期再解析データセット）の再現性を確認した。具体的には、潮位記録とFORAで計算された海水位を三つの時間スケール（年々変動、季節変動、台風・低気圧が接近している時間帯）に分けて比較した。その結果、FORAはいずれの時間スケールにおいても観測結果を必要な精度で再現しており、計算方法について両県の技術者の納得を得た。続いて、将来の海洋流動計算結果（複数計算結果のアンサンブル）を示し、茨城沿岸、鳥取沿岸に生じ得る海水位変動を確認した。例えば、鳥取県の境港付近の海水位（日平均値、RCP8.5シナリオ）の出現頻度を調べたところ、対馬暖流の日本海への流入パターンが変化することにより、現在よりも約0.2 m高い海水位が観測される日が約5%増加する可能性が示された。

【波浪】 茨城県の鹿島港付近の将来の波浪をRCP8.5シナリオの下で調べたところ、現在に比べて、大半の方角からの入射波エネルギーが減少する可能性が示された。これは、この地点に到達する台風の数が増えること、大気循環のパターンが変わり低気圧に由来する波が減ることなどによる。この場合、既存の海岸堤防、護岸などを適切に維持修繕して沿岸の防災に対応することが肝心となる。

【砂浜海岸】 鳥取砂丘海岸、浦富海岸（鳥取沿岸）、鹿島灘南部において、それぞれ異なる手法を用い、技術開発機関より提供された海象データを用い、近年に観測された海岸地形変化を再現した。いずれの検討結果も砂浜の変動を概ね再現できるものであった。海岸地形データが取得される頻度は、多い場合でも年に数回、ほとんどの海岸では年に1回程度である。海象データが日々の情報であるのに対して、海岸地形データが取得される頻度はかなり低く、海象に比較すると検討の精緻さが劣ることに注意が必要である。鳥取砂丘海岸の汀線位置の将来変化をRCP8.5シナリオの下で予測したところ、波浪の変化（波高、周期、波向）に比して、海面上昇によりもたらされる一方的な後退が大きくなる可能性が示された。有効な侵食対策が限られている現状を考えると、かなり悲観的な結果となった。

（参考文献）

澁谷容子、藤原伸泰、森信人、黒岩正光、志村智也（2017） 気候変動に伴う海面上昇と波浪特性の変化が汀線に及ぼす影響—鳥取砂丘海岸をケーススタディーとして—、土木学会論文集B3(海洋開発), Vol. 73, pp. I_546-I_551.

武若聡、松本顕政、海老原友基（2018） SAR衛星による高頻度観測結果を用いた鹿島灘南部の汀線変動解析、土木学会論文集B2（海岸工学）、Vol. 74, pp. I_985-I_990.

黒岩正光、安本善征、小川崇（2019） 日平均波浪時系列を用いた3次元海浜変形モデルの現地再現性、土木学会論文集B2（海岸工学）、Vol. 75, pp. I_529-I_534.

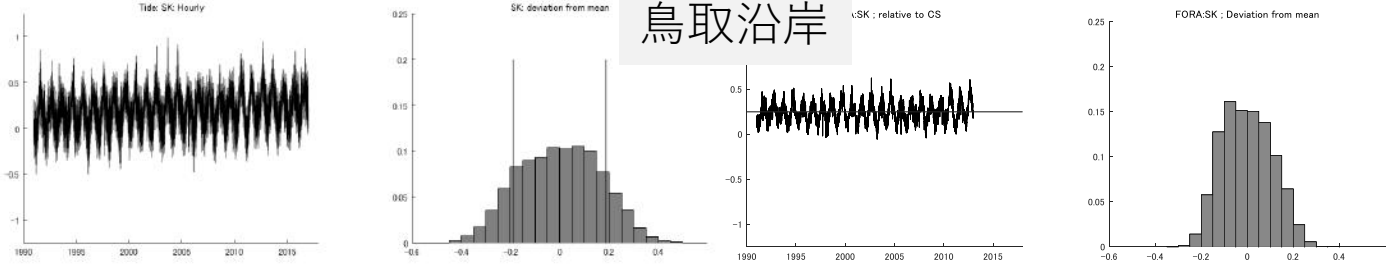
田口裕也、澁谷容子、田口裕也、森信人、志村智也（2019） JRA-55-waveによる汀線の再現計算と気候変動に伴う影響評価—鳥取砂丘海岸への適応、土木学会論文集B3（海洋開発）、Vol. 75, pp. I_689-I_694.

（3）研究成果による波及効果

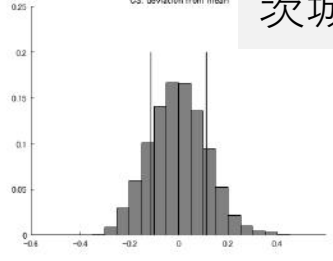
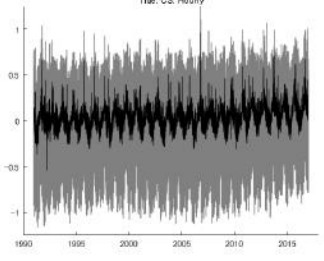
茨城沿岸、鳥取沿岸の海岸保全基本計画には気候変動に伴う海象変化に留意が必要なこと、継続的なモニタリングを行い関係機関（県、公的研究機関、大学等）で情報共有と分析を行うこと等が示されている。海岸防護施設の設置、維持管理等については、モニタリングと将来予測の両者を踏まえて順応的に管理することになる。

（4）研究結果を踏まえた今後の展望、予想される効果・効用

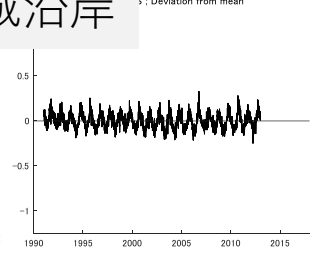
本研究開発では、日本沿岸全域をカバーする海洋流動、海水位、波浪の再解析データを活用することの有効性が確認でき、将来予測結果の活用は再解析データと合わせることで、一層説得力が増すことが確認された。



観測潮位



茨城沿岸



FORA

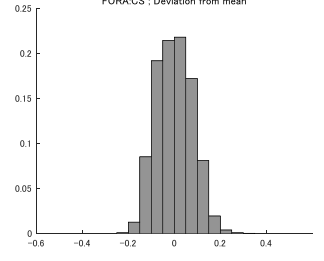


図1 FORAの再現性の確認

日平均海水位の経年変化と日平均海水位頻度分布を比較したところ、平均的な水位差、頻度分布の形状が類似しており、再現性が高いことが確認された。

図2 日平均海水位頻度分布の将来変化

鳥取沿岸では現在よりも約0.2 m高い海水位が観測される日が約5%増加する可能性がある。

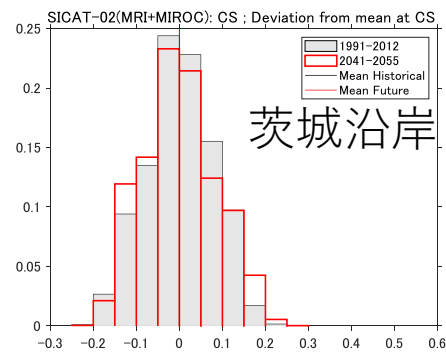
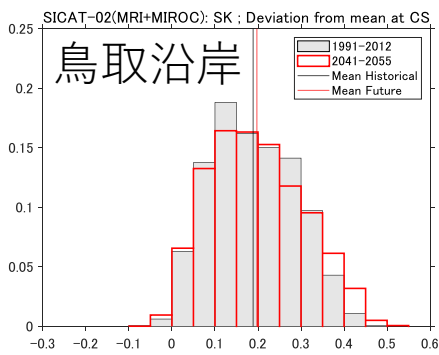


図3 鳥取砂丘海岸の海面上昇による汀線後退予測

海面上昇0.1 mあたり約7mの後退がある。この量は現在の沿岸漂砂量の不均衡により生じている海岸侵食量よりもはるかに大きい。

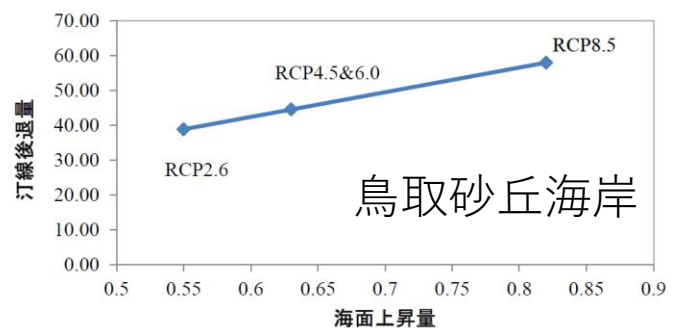


図4 鹿島灘南部の沿岸漂砂フラックスの時空間分布

高頻度に汀線データを収集し、連続性に基づき推定した結果、この結果とダウンスケーリングされた詳細波浪データの整合が確認された。

