

厚生労働行政推進調査事業費補助金（厚生労働科学特別研究事業）
水道システムにおけるカーボンニュートラル実現に向けた
緩和策と気候変動影響に対する適応策の推進のための研究
分担研究報告書

研究課題：気候変動に対する影響評価手法ならびに対策技術に関する調査

研究分担者 下ヶ橋雅樹 叡啓大学 ソーシャルシステムデザイン学部 教授
研究分担者 真砂 佳史 国立環境研究所 気候変動適応センター 室長
研究分担者 浅田 安廣 国立保健医療科学院 生活環境研究部 主任研究官

研究要旨

水道事業者が気候変動への適応に関する計画等を策定するために、様々な分野で取り組まれている影響評価や対策事例について取りまとめた。

気候変動影響評価や適応策の評価に用いる気候シナリオは、気候シナリオデータセット 2022 に掲載されているデータセットを中心に、各データセットの特徴を踏まえて選択することが重要であると考えられた。特に水道事業への適用を考える上ではデータセットの中でダウンスケーリング（DS）が重要であり、実際に使用する際には DS 手法ごとに概要を整理し、各 DS の特徴を理解し、予測すべき気象要素に適した DS データを使用する必要があることを指摘した。

続いて水道事業者で影響評価を行う場合は、まず水量に関する評価を進め、その結果に基づき影響する水質項目を決定し、水質に関する評価を専門家ともに行うことが重要であると考えられた。また検知・予測技術では衛星データを活用した技術が発展しており、これらの技術を適用するためには対象地域での検証が必要であるが、将来的にこれらの技術を活用できる可能性が考えられた。

A. 研究目的

近年、豪雨頻度の増加、気温の上昇など気候変動による影響が日本各地で生じている。その影響は水道システムまで及んでおり、将来的な被害も含め対策が求められる。

気候変動に対する対応として緩和策と適応策が挙げられ、その中で適応策については気候変動適応法が平成 30 年 12 月 1 日に施行されている。その条文には、気候変動適応の推進に関する内容（第 3 章）¹⁾が記載されており、都道府県及び市町村では、地域気候変動適応計画の策定に努める内容が記述されている。しかし、水道事業に対する気候変動への適応に関する検討については限定的である。その中で、水道事業に関連する取り組みの例としては、東京都水道局の取り組みが挙げられる²⁾。その内容としては、想定される気候変動が水道事業に与える影響項目の整理と、それに合わせた取組と効果についてまとめている。ここからも分かる通り、気候変動への適応を考える上では、計画策定の対象となる区域での影響を評価し、それに合わせた対策を整理する必要があるが、水道事業に関連するこのような情報が少ないという問題がある。

気候変動に対する影響評価と対策については、

すでに様々な分野で取り組まれており、気候変動適応技術社会実装プログラム（SI-CAT）、統合的気候モデル高度化研究プログラム（TOUGOU）、気候変動影響予測・適応評価の総合的研究（推進費 S-18）などのプロジェクトが存在する。また、海外でも WHO が「Climate-resilient water safety plans managing health risks associated with climate variability and Change」³⁾を出版しており、参考となる情報が多く存在する。そこで本研究グループでは、水道事業者が気候変動への適応に関する計画等を考える上で有用な影響評価や対策事例について収集し、取りまとめることとした。

B. 研究方法

水道事業への気候変動の影響を考える上で、気候変動影響評価報告書⁴⁾を参考に、「高濁度」、「浸水」、「渇水」、「塩水化」、「水質悪化」、「その他」の 6 つに分類し、文献調査を行った。

ここでは、下記の内容について整理を行った。

「影響評価手法の整理」

- ・気候モデル
- ・ダウンスケーリング手法

「事例収集」

- ・気候変動影響評価事例
- ・検知、予測技術の適用事例

C. 研究結果および D. 考察

1. 気候変動影響評価に向けた手法の整理

- ・気候モデル

日本域を対象とした気候シナリオは、これまで様々なプロジェクトで開発が進められてきた。文部科学省と気象庁はこれらのデータや知見を取りまとめ、2022年12月に気候予測データセット2022 (<https://diasjp.net/ds2022/>) を取りまとめた。このデータセットは2025年ごろ取りまとめられる予定の気候変動影響評価報告書やそれに続く気候変動適応計画で活用されることが期待されている。

気候シナリオデータセット2022に含まれる気候シナリオデータのうち、気候変動影響評価で活用されているものを表1に示す。統計的ダウンスケーリングのデータにはCMIP5のデータとCMIP6のデータがあるが、最新のCMIP6に基づくシナリオのみ表に掲載した。この表に挙げた以外にも、台風、低気圧、波浪に関するデータセット等も掲載されており、用途に応じて使用することができる。

気候変動影響評価や適応策の評価にあたっては、気候シナリオデータセット2022解説書⁵⁾などを参考に、各データセットの特徴を踏まえ、適切なデータセットを選択することが重要である。

データセットの説明で使用している指標は下のとおりである（一部は省略）。

「世代」

IPCCの評価報告書作成にあわせ、世界各国が開発している全球気候モデル(GCM)の予測結果を相互比較するプロジェクトが実施されてきた。例えば第5次評価報告書で使用された第5期結合モデル相互比較計画(CMIP5)、第6次評価報告書で使用された第6期結合モデル相互比較計画(CMIP6)があり、いわゆる気候シナリオの「世代」をあらわしている。気候予測データセット2022では、CMIP5のデータとCMIP6のデータが含まれている。

「ダウンスケーリング」

GCMの出力は空間解像度が100kmスケールと非常に粗く、日本の地域レベルの気候変動影響を評価することは難しい。そのため、GCMの出力を精細化することが必要である。これをダウンスケーリング(DS)という。水道は地域レベルのシステムであることから、その気候変動影響は地域単位で評価することになり、ダウンスケーリングした局所的な気候変動予測情報が必要となる。DS手法には大きく分けて力学的DSと統計的DSがあり、それぞれの特徴については後述する。

「バイアス補正」

現在(例えば2000年前後)の予測結果であっても、GCM(ダウンスケーリングされたものを含む)の出力と観測値との間にはずれが存在する。そのずれを補正することをバイアス補正という。バイアス補正をしていないデータを使用する場合は、現在気候からの変化分(差分、比率)などを用いて評価を行うことが多い。

「SSP/RCP」

CMIP5では、温暖化ガス濃度や土地利用のシナリオとして、放射強制力を指標とした代表的濃度経路(RCP)を用いて定義している。CMIP6では、RCPに加えて社会経済シナリオとして共通社会経済経路(SSP)が作成され、SSPとRCPの組み合わせで気候シナリオを定義している(SSP1-26のように記述する)。SSPに続く最初の1桁はSSPのシナリオ、後ろの2桁はRCPのシナリオを示している。

- ・ダウンスケーリング(DS)手法

DS手法は力学的DSと統計学的DSに分けられる。力学的DSはGCMの計算結果を初期値・境界条件とし、解像度の高い領域モデル(RCM)を用いて空間詳細化を行う手法であり、RCMにより力学的ダウンスケーリングする直接的な方法と、GCMによる各気象要素の現在と未来の予測平均値の差に基づいて将来の気象データを作成する疑似温暖化手法に分けられる⁶⁾。後者は将来予測の信頼性は高いが、GCMによる将来の日々の天気の影響を考慮することができず、また気象要素間の関係性が失われる⁶⁾。統計学的DSは、気象観測点とGCM計算結果出力点との統計的な関係を用いてダウンスケーリングを行うものである。RCMを必要とせずにダウンスケーリングを行うことができ、比較的簡単にデータを作成することができる。一方、統計学的DSは観測点までなら高い信頼性があるものの、気象観測データがない場所では使用できず、また手法自体の物理的意味があいまいである⁶⁾。

文部科学省気候変動適応技術社会実装プログラム(SI-CAT)(平成27～令和元年度)では、地方自治体が気候変動適応策の検討を行ううえで必要な1km程度の解像度へのDS技術の開発が行われた⁷⁾。ここでは3種のDSデータが用意された⁸⁾。その特徴を表2にまとめた。

現在、様々な気候予測DSデータが前述の気候予測データセット2022として公開されており⁵⁾、例えばCMIP6の統計学的DSデータは「日本域CMIP6データ」から入手できる。水道システムの気候変動影響には様々な側面があるが、例えば水源水量の長期的な推移や平均的な水質変化を検討する場合には、短期的かつ局所的な極端事象にはあまり依存せず、統計学的DSで対応できると

考えられる。一方、集中豪雨による急激な原水の高濁化や水道施設損壊の可能性を予測するには、極端事象の予測も念頭におく力学的 DS の活用も視野に入れるべきである。

2. 気候変動影響評価ならびに検知、予測技術の整理

・気候変動影響評価事例

気候変動による影響評価事例について表3にまとめる。国内での気候変動による影響評価については、水道に関わる部分として、主として災害に関わる水量的な影響評価^{9-11,14)}が中心であった。これらの成果は、様々なプロジェクトで影響予測モデルの構築、それに基づくハザードモデルの精緻化が取り組まれており、多くの成果を輩出している。規模としては日本全体あるいは地域レベルと様々であるため、水道事業者での気候変動適応計画策定で影響評価を行う場合には評価対象エリアに基づき、適切な DS 手法、データセットの設定が重要となる。

水質に関する影響評価については、日本国内での取り組みが限定的であった。その中でも確認されている主な事例としては、水環境中の藻類発生の将来予測^{16,23)}や、藻類の発生等に寄与する水質の変化¹⁶⁾といったケースとなる。一方、海外においては様々な水質に関する影響評価予測が取り組まれている。日本国内のケースと同様に藻類等の生態関係と影響する水質項目の変化²⁷⁾についても取り組まれているが、その他に原水水質では大腸菌^{21,26)}等の微生物関係、有機物濃度^{17,19)}などの様々な水質項目による解析についても取り組まれている。さらに、トリハロメタン濃度¹⁸⁾といった消毒副生成物など原水水質の影響から及ぼされる水道水質への影響についても評価している事例が確認されている。

水質に関する影響評価では、はじめに水源での水量変化について気候変動による影響評価を行っている^{16,20,21,25-27)}。水量変化に関する評価の部分については、日本国内で多くの取り組み事例があることから、将来予測に向けて対応可能であると言える。そして次のステップとして、水質パラメータの変化について構築したモデルに基づき評価している^{16,20,21)}。水質に関するモデル構築については、各水道事業者でどこまで水質データを取得しているかで精度が異なると考えられる。しかし、水道事業者の中には長期間取得したデータは保有している事業者もあることから、それらデータに基づき水質に関するモデルを専門家とともに構築することは可能であると考えられる。

以上より、気候変動による影響評価を行う上では、まず水量的な視点での影響評価を行うことが望ましいと言える。そして、その結果を踏まえた上で、水質に影響しそうな項目をリストアップし、

必要に応じて専門家と共に評価対象とする水質項目のモデル構築と将来予測を行っていくことが重要であると考えられる。

・検知、予測技術の適用事例

表4に検知・短期予測事例をまとめる。検知技術として、技術の発達に基づき現場での調査が円滑に進められるような技術^{34,38,44,45)}が開発されている。一方で、特定のエリアだけでなく、網羅的なデータの活用という点で、近年では衛星データを用いた検知・予測技術の開発が進みつつある。

日本国内では、災害の観点から豪雨や洪水に関する予測技術^{30,31)}について研究が進んでいる。これらは警報システムとの連動も視野に入れており、水害が多い日本では今後活用されていくと予想される。また渇水については、数日から数ヶ月後の渇水状況について予測したデータを水道事業者体に提供し、水源の生態系維持も考慮した取水方法の検討を行っている海外の事例³²⁾もある。このように水量に関する部分での直近の予測精度が向上していることから、将来的には短期予測評価に基づく取水等の対応が実現できる可能性があると考えられる。

海外においては、水質異常の検知に衛星データを活用している事例が多くある。その中でも、クロロフィル a の観測データに基づく藻類の発生状況をアプリを用いて情報提供する事例^{42,43)}も確認されている。日本においてその技術を適用する場合は、日本での解析方法を検討する必要があるが、リモートセンシング学会等でも衛星データを活用したクロロフィル a 濃度解析について多く検討されている。このことから、水質項目についても衛星データを活用し、現状把握、短期予測を行うことが将来的には可能であると考えられる。

E. 結論

水道事業者が気候変動への適応に関する計画等を策定するために、気候変動影響評価に用いられるシナリオ、データセット、そして様々な分野で取り組まれている影響評価や対策事例について取りまとめた。

・気候変動影響評価や適応策の評価に用いる気候シナリオは、気候シナリオデータセット 2022 に掲載されているデータセットを中心に、各データセットの特徴を踏まえて選択することが重要である。

・気候予測データの力学的 DS、および統計学的 DS の特徴を整理した。気候予測データの DS が進められており、我が国では水道システムへの気候変動影響評価に活用しうる地域スケールのデータが比較的容易に入手できる。一方、実際に使用

する際には各 DS の特徴を理解し、予測すべき気象要素に適した DS データを使用する必要がある。

・影響評価について、国内では水量に関する評価は多く取り組まれている一方で、水質に関する評価は限定的であった。海外で水質に関する評価も実施されていたが、評価手順としてまず初めに水源位おける水量に関する評価が行われていることが明らかとなった。そのため、水道事業者で影響評価を行う場合は、まず水量に関する評価を進め、その結果に基づき影響する水質項目を決定し、水質に関する評価を専門家と共に行うことが重要であると考えられた。

・近年では衛星データを活用した検知・短期予測技術が発展しており、海外ではアプリによるサービスも展開している。これらの技術を適用するためには対象地域での検証が必要であるが、将来的にこれらの技術を活用できる可能性が考えられた。

F. 健康危険情報

該当なし

G. 研究発表

1. 論文発表
該当なし

2. 学会発表
該当なし

3. 図書
該当なし

H. 知的財産権の出願・登録状況 (予定も含む。)

1. 特許取得
該当なし

2. 実用新案登録
該当なし

3. その他
該当なし

I. 参考文献

1) 環境省. 気候変動適応法. 2018. (URL: <https://www.env.go.jp/content/900449813.pdf>) (2023年4月13日時点)

2) 東京都水道局. 東京都水道局 環境5か年計画 2020-2024. 2020. (<https://www.waterworks.metro.tokyo.lg.jp/files/items/20302/File/kankyokeikaku2020-2024.pdf>) (2023年4月13日時点)

3) WHO. Climate-resilient water safety plans managing health risks associated with climate variability and Change. Geneva: WHO Press; 2017.

4) 環境省中央環境審議会地球環境部会気候変動影響 評価等小委員会. 気候変動影響評価報告書 (詳細). 2020. (https://www.env.go.jp/earth/tekiou/impact2020_syosai.pdf) (2023年4月13日時点)

5) 文部科学省, 気象庁. 気候予測データセット 2022 解説書. 2022. (URL: <https://diasjp.net/ds2022/manual.html>) (2023年4月21日時点)

6) 有馬雄祐, 大岡龍三, 菊本英紀, 山中徹. (2014). 力学的ダウンスケーリングによる近未来標準気象データ作成に関する研究. 生産研究, 66(1), 61-68.

7) 気候変動適応技術社会実装プログラム事務局, 気候変動適応技術社会実装プログラム HP (URL: <https://www.restec.or.jp/si-cat/staticpages/index/gijutsu-2.html>) (2023年4月23日時点)

8) SI-CAT ガイドブック編集委員会 編. (2020). 気候変動適応技術の社会実装ガイドブック. (URL: <https://www.restec.or.jp/si-cat/staticpages/index/public.html>) (2023年4月23日時点)

9) Yamaguchi M, Maeda S. Increase in the Number of Tropical Cyclones Approaching Tokyo Since 1980, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 98(4), 775-786, 2020.

10) 中北英一, 原田茉知, 小坂田ゆかり. 150年連続ランによる梅雨期極端降雨の将来変化と段階的適応に向けた解析, 京都大学防災研究所年報, 64B, 335-342, 2021.

11) Tanaka T, Kobayashi K, Tachikawa Y. Simultaneous flood risk analysis and its future change among all the 109 class-A river basins in Japan using a large ensemble climate simulation database d4PDF, *Environ. Res. Lett.* 16, 074059(Article Number), 2021.

12) 国立環境研究所. 成果報告 4-3 海面上昇等による塩水遡上の河川への影響調査, 地域適応コンソーシアム事業, 2020. (URL: <https://adaptation-platform.nies.go.jp/conso/report/4-3.html>) (2023年4月24日時点)

13) Abd-Elhamid H, Javadi A, Abdelaty I, Sherif M. Simulation of seawater intrusion in the Nile Delta aquifer under the conditions of climate change, *Hydrology Research*, 47(6), 1198-1210, 2016.

14) 伊藤昌資, 菅野豊, 大八木豊, 西澤諒亮, 川瀬宏明, 佐々井崇博, 杉本志織, 川崎将生, 中北英一. 気候変動が淀川水系の渇水リスクに及ぼす影響, 水文・水資源学会誌, 33 (3), 83-97, 2020.

15) Idrizovic D, Pocuca V, Mandic MV, Djurovic N, Matovic G, Gregoric E. Impact of climate change on water resource availability in a mountainous catchment: A case study of the Toplica River catchment, Serbia, *Journal of Hydrology*, 587, 124992(Article Number), 2020.

- 16) 国立環境研究所. 成果報告 2-3 気候変動による印旛沼とその流域への影響と流域管理方法の検討, 地域適応コンソーシアム事業, 2020. (URL: <https://adaptation-platform.nies.go.jp/conso/report/2-3.html>) (2023 年 4 月 24 日時点)
- 17) Ferretto A, Brooker R, Matthews R, Smith P. Climate change and drinking water from Scottish peatlands: Where increasing DOC is an issue?, *Journal of Environmental Management*, 300, 113688(Article Number), 2021.
- 18) Cool G, Delpla I, Gagnon P, Lebel A, Sadiq R, Rodriguez MJ. Climate change and drinking water quality: Predicting high trihalomethane occurrence in water utilities supplied by surface water, *Environmental Modelling & Software*, 120, 104479(Article Number), 2019.
- 19) Hashempour Y, Nasserli M, Mohseni-Bandpei A, MAotesaddi S, Eslamizadeh M. Assessing vulnerability to climate change for total organic carbon in a system of drinking water supply, *Sustainable Cities and Society*, 53, 101904(Article Number), 2020.
- 20) Sjerps RMA, ter Laak TL, Zwolsman GJJG. Projected impact of climate change and chemical emissions on the water quality of the European rivers Rhine and Meuse: A drinking water perspective, *Science of The Total Environment*, 601–602(1), 1682–1694, 2017.
- 21) Skaland RG, Herrador BG, Hisdal H, Hygen HO, Hyllestad S, Lund Y, White R, Wong WK, Nygard K. Impacts of climate change on drinking water quality in Norway, *J. Water Health*, 20(3), 539-550, 2022.
- 22) Jane SF, Hansen GJA, Kraemer BM, Leavitt PR, Mincer JL et al. Widespread deoxygenation of temperate lakes, *Nature*, 594, 66–70, 2021.
- 23) 国立環境研究所. 成果報告 4-6 気候変動による琵琶湖の水環境への影響調査, 地域適応コンソーシアム事業, 2020. (URL: <https://adaptation-platform.nies.go.jp/conso/report/4-6.html>)(2023 年 4 月 24 日時点)
- 24) Piotrowski AP, Osuch M, Napiorkowski JJ. Influence of the choice of stream temperature model on the projections of water temperature in rivers, *Journal of Hydrology*, 601, 126629(Article Number), 2021.
- 25) Mack L, Andersen HE, Beklioglu M, Bucak T, Couture RM et al. The future depends on what we do today – Projecting Europe's surface water quality into three different future scenarios, *Science of the Total Environment*, 668, 470-484, 2019.
- 26) Mohammed H, Tveten AK, Seidu R. Modelling the impact of climate change on flow and *E. coli* concentration in the catchment of an ungauged drinking water source in Norway, *Journal of Hydrology*, 573, 676-687, 2019.
- 27) Bucak T, Trolle D, Tavsanoğlu UN, Cakiroğlu AI, Ozen A et al. Modeling the effects of climatic and land use changes on phytoplankton and water quality of the largest Turkish freshwater lake: Lake Beyşehir, *Science of the Total Environment*, 621, 802-816, 2018.
- 28) Feldbauer J, Kneis D, Hegewald T, Berendonk TU, Petzoldt T. Managing climate change in drinking water reservoirs: potentials and limitations of dynamic withdrawal strategies, *Environmental Sciences Europe*, 32, 48(Article Number), 2020.
- 29) Kawase H, Yamazaki T, Sugimoto S, Sasai T, Ito R et al. Changes in extremely heavy and light snow-cover winters due to global warming over high mountainous areas in central Japan, *Progress in Earth and Planetary Science*, 7, 10(Article Number), 2020.
- 30) 中北英一, 西脇隆太, 山口弘誠. ゲリラ豪雨の早期探知・予報システムの開発, 河川技術論文集, 20, 355-360, 2014.
- 31) Ma W, Ishitsuka Y, Takeshima A, Hibino K, Yamazaki D et al. Applicability of a nationwide flood forecasting system for Typhoon Hagibis 2019, *Scientific Reports*, 11, 10213(Article Number), 2021.
- 32) 国立環境研究所. 適応策データベース 気候予測を用いた水供給システム, 2021. (URL: https://adaptation-platform.nies.go.jp/db/measures/report_113.html) (2023 年 4 月 24 日時点)
- 33) Chong Y, Khan A, Scheelbeek P, Butler A, Bowers D et al. Climate change and salinity in drinking water as a global problem: using remote-sensing methods to monitor surface water salinity, *International Journal of Remote Sensing*, 35(4), 1585-1599, 2014.
- 34) 中田聡史, 山野博哉, 梅津有, 藤田昌史, 渡遺真砂夫, 谷口真人. 比抵抗法による環礁州島における帯水層の塩水化評価, 日本リモートセンシング学会誌, 30(5), 317-330, 2010.
- 35) Xu X, Huang X, Zhang Y, Yu D et al. Long-Term Changes in Water Clarity in Lake Liangzi Determined by Remote Sensing, *Remote Sensing*, 10(9), 1441(Article Number), 2018.
- 36) Wang S, Li J, Zhang B, Lee Z, Spyrakos E et al. Changes of water clarity in large lakes and reservoirs across China observed from long-term MODIS, *Remote Sensing of Environment*, 247, 111949(Article Number), 2020.
- 37) Imen S, Chang NB, Yang YJ, Golchubian A. Developing a Model-based Drinking Water Decision Support System Featuring Remote Sensing and Fast Learning Techniques, *IEEE Systems Journal*, 12(2), 1358–1368, 2018.
- 38) 松下文経. 衛星データから湖沼のクロロフィル a 濃度を推定するアルゴリズムの開発, 日本地球化学会第 60 回年会講演要旨集, 164-165, 2013.
- 39) 萩原圭一, 小泉俊雄. 衛星画像による湖水の水質計測に関する研究, 応用測量論文集, 18, 51-58, 2017.
- 40) Fichot CG, Downing BD, Bergamaschi BA, Windham-Myers L et al. High-Resolution Remote Sensing of Water Quality in the San Francisco Bay–

Delta Estuary, *Environmental Science & Technology*, 50 (2), 573-583, 2016.

41) Duan H, Tao M, Loiselle SA, Zhao W, Cao Z et al. MODIS observations of cyanobacterial risks in a eutrophic lake: Implications for long-term safety evaluation in drinking-water source, *Water Research*, 122, 455-470, 2017.

42) EPA. Cyanobacteria Assessment Network (CyAN), 2022. (URL: <https://www.epa.gov/water-research/cyanobacteria-assessment-network-cyan>) (2023年4月24日時点)

43) European Association of Remote Sensing Companies, Lake Water Quality Management in Germany, 2021. (URL: <https://ears.org/sebs/wp-content/uploads/2021/06/Water-Quality-Management-in-Germany-final-1.pdf>) (2023年4月24日時点)

44) 松永智拓, 朝隈康司, 熊倉あを. 航空ドローンを用いた常呂川河口周辺における懸濁物質濁度とクロロフィル a 濃度の同時推定方法の検討, 日本リモートセンシング学会第 73 回学術講演会論文集, 147-149, 2022.

45) 服部啓太, 平山考浩, 對馬育夫, 山下洋正. 多波長励起蛍光光度計 (9 バンド) を用いたシクロプランクトン調査方法の現地適用性に関する検討, 第 57 回日本水環境学会年会講演集, 279, 2023.

46) ASTERRA. 衛星画像データを活用した水道管の漏水検知システム, 2021. (URL: <https://asterra.japan21.co.jp/recover>) (2023年4月24日時点)

表 1 気候シナリオデータセット 2022 に掲載されている気候シナリオ(一部)の特徴

データセット名	領域	世代	ダウンスケーリング	バイアス補正	GCM	SSP/RCP	年
日本域 CMIP6 データ	陸域	CMIP6	統計的	あり	5つ	SSP1-19, SSP1-26, SSP2-45, SSP3-70, SSP5-85	1900-2100
日本域気候予測データ	陸域	CMIP5	力学的	なし	1つ	RCP8.5, RCP2.6	1980-1999, 2076-2095
全球及び日本域確率的気候予測データ (d4PDF シリーズ)	陸域	CMIP5	力学的	なし	1つ	RCP8.5	1950-1999, 4℃上昇, 2℃上昇, 1.5℃上昇, 1991-2005, RCP2.6: 2086-2100, RCP8.5: 2041-2055, 2086-2100
日本域海洋予測データ (FORP-JPN02)	海域	CMIP5	力学的	なし	4つ	RCP2.6, RCP8.5	1980-1999, 2076-2095

表 2 SI-CAT で用いられた主なモデルの仕様と特徴(文献⁸⁾をもとに作成)

DS データ名	全国 1km 地域気候シナ リオ	d4PDF / d2PDF	力学的 DS
利用した モデル	CMIP5 マルチモデル (6 モデル)	CMIP5 マルチモデル	d4PDF (20 km)
排出 シナリオ	RCP8.5、RCP2.6	4°C/2°C 上昇時の 6 SST パターン×15 摂動	4°C/2°C 上昇
DS 手法	統計学的 DS (正規分 布型スケーリング法)	気象研究所全球大気 モデル MRI-AGCM3.2 → 気象研究所領域 気候モデル NHRCM	d4PDF→NHRCM (5km→2 km / 1 km)
計算期間	現在 (1981-2005)、 近未来 (2006-2055)、 将来 (2056-2100)	過去 (60 年×100)、 非温暖化 (60 年× 100)、 4°C/2°C 上昇 (60 年× 90)	過去/将来 2k/将来 4k (1 メンバー 31 年 ×12 メンバー)
計算領域	日本全域	日本全域	本州+北海道 (5 km)
空間 分解能	3 次メッシュ (1km)	20 km	日本ほぼ全域 (5 km)、 岐阜・長野 (1 km)
時間 分解能	月ごと、日ごと	1 時間	1 時間ごと (6 時間ごと、p 面データ)
出力要素	日降水・日平均 / 最高 / 最低気温、日積算日 射量、日平均相対湿 度、日平均地上風速	降水量、気温 (平均 / 最高 / 最低)、雲 量、風速、 湿度、日射量、気圧 (1 時間平均)	左に同じ
担当	農研機構	JAMSTEC	東北大、気象研
特徴	農研機構が開発・計算 した農研機構地域気候 シナリオデータと防災 科研が開発・計算した 日本全国 1km メッシュ 気候シナリオを使用。 計算負荷が小さい。元 モデルでは表現されて いない前線のような小 さなスケールの現象は モデル自身では力学的 に表現できない。集中 豪雨のようなまれにし か起こらない極端現象 の表現には不向き。	いくつかのモデル自 治体を対象として、 NHRCM (非静力領域 気候モデル) を用い て水平解像度 1~2km での計算を実施。分 解能の粗い GCM で は表現できない地形 性降雨や局地的な現 象をより現実的に再 現することが可能。 計算量が膨大になる ため、限られた領域 の評価しかできな い。	水平解像度 60km の MRI-AGCM3.2 を 用いた全球実験と、この結果からさら に NHRCM を用いた力学 DS 手法を使 って日本域を領域とした水平解像度 20km の計算を行った領域実験の 2 種 類のデータセットあり。力学的 DS 手 法の一つ。何千といった非常に多いモ デル計算を行うことにより、発生頻度 の少ない異常天候や極端現象などの発 生頻度の変化などを評価する手法。全 球平均気温が 4°C 上昇した世紀末や 2°C 上昇した近未来の気候条件の下 で、5400 回の夏や冬などを仮想的に 計算機の中で予測。気象災害に係わる ような極端現象の頻度分布 (確率密度 関数) を得ることができる。

表 3 気候変動による影響評価事例

影響因子	評価(予測)対象	対象地点	予測モデル(分類)	気候モデル	気候シナリオ	ダウンスケーリング	排出パラメータ	予測期間	文献番号
高濁度・浸水(豪雨)	台風	東京	観測データに基づく評価	-	-	-	台風の接近数	-	9)
高濁度・浸水(豪雨)	梅雨前線	日本	-	150年連続ラン	RCP8.5シナリオ	-	梅雨前線の降雨	2050-2100	10)
高濁度・浸水(洪水)	洪水	109のA級河川(日本)	rainfall-runoff model 1K-DHM, NHRM	d4PDF	4°C上昇シナリオ	20kmにダウンスケーリング	洪水発生確率	4°C上昇した将来	11)
塩水化	塩分	由良川(京都府舞鶴市)	河川流量と海面上昇をシミュレート	NIES統計IDSデータ(NIES2019)、海洋近未来予測力学的ダウンスケーリングデータ by SI-CAT ver.1 (FORP-JPN02 ver. 1)	RCP2.6, 8.5	1km (NIES2019), 2km (FORP-JPN02)	降水量、海面水位	21世紀中頃、21世紀末	12)
塩水化	淡水帯水層の塩分濃度	Eastern Nile Delta aquifer	-	未使用	3つの気候変動影響シナリオ(a) 1mの海面上昇 (b) 地下水過剰汲上による地下水のピエゾ水頭1m低下、(c) (a)と(b)の組み合わせ	-	-	-	13)
渇水	水位を指標とした渇水リスク評価	琵琶湖・淀川流域	CCSM4など6つのモデル	d4PDF	RCP8.5シナリオ	SI-CATデータ	降水量、降雪量、融雪量、蒸発散量	今世紀終わり	14)
渇水	河川流量・地下水位予測	セルビアToplica川流域	流出: HBV-light model (Conceptual) 地下水位と河川流量: ANN (Empirical model)	EURO-CORDEX (7モデルアンサンブル)	RCP4.5, RCP8.5	RCM、解像度12.5 km	降水量、気温	2021~2100年	15)

表 3 気候変動による影響評価事例(続き)

影響因子	評価(予測)対象	対象地点	予測モデル(分類)	気候モデル	気候シナリオ	ダウンスケージング	排出パラメータ	予測期間	文献番号
水質悪化	水温、水質(COD、TN、TP)	印旛沼	流域からの流入・流域水物質循環モデル 印旛沼内の水質・生態系モデル	気象研究所2kmカオ学的DSデータ(創生プログラム)・MRI-NHRM02	RCP8.5	カオ学的DS	気温、降水量、風速、湿度、日射量	今世紀末	16)
水質悪化	泥炭地水道原水のDOC	project blanket bog distribution in Scotland	A coupled transient finite element model for simulation of fluid flow and solute transport in saturated and unsaturated soils (2D-FEST)	Blanket bog Tree model and Lindsay Modified model	-	-	-	-	17)
水質悪化	トリハロメタン濃度	ケベック州(カナダ)にある108の飲料水事業体(DWU)	マルチレベルロジック回帰モデル	2つの気候モデル	3つの排出シナリオ	-	-	2010-2039年、2040-2069年、2070-2099年	18)
水質悪化	全有機炭素(TOC)濃度に対する気候変動への脆弱性	-	HYMOD(蒸発量)、線形モデル(TOC)	カナダ地球システムモデル	RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 8.5	-	-	-	19)
水質悪化	河川水及び飲料水に含まれる7つの化合物(Glyphosate、AMPA、Carbamazepine、Metoprolol、Sulfamethoxazole、Diazotric acid、Acesulfame K)の濃度	オランダ ライン川とムーズ川のあわせて3つの観測点	Empirical model	KNMI06 climate scenarios (AR4)	4シナリオ(温度上昇(高・低)×大気循環変化(有・無))	統計学的DS	降水量	2050	20)
水質悪化	大腸菌、大腸菌群、腸内連鎖球菌、色、濁度	ノルウェーの26上水道の取水地点	混合効果線形回帰モデル	EURO-CORDEXIによる10モデルアンサンブル	RCP8.5	さらに空間内挿で1kmにDS	気温、降水量	今世紀末	21)

表 3 気候変動による影響評価事例(続き)

影響因子	評価(予測)対象	対象地点	予測モデル(分類)	気候モデル	気候シナリオ	ダウンスケーリング	排出パラメータ	予測期間	文献番号
水質悪化	溶存酸素濃度	世界の393の温帯湖	観測による評価	-	-	-	-	1941年から2017年まで	22)
水質悪化	藻類発生	琵琶湖(大津、彦根付近)	MRI-CGCM3、MICROC5	NIES統計的DSデータ	RCP2.6、RCP8.5	-	平均気温、降水量、日射量、藻類体積	21世紀中頃、21世紀末	23)
水質悪化	USAの河川の水温暖化	USA (Cedar River, WA, Fanno Creek, OR, and Irondequoit Creek, NY) / Poland (Biala Tarnowska River and Suprasl River).	-	Multivariate Adaptive Constructed Analog (MACA) dataset	-	統計学的、4kmグリッド	-	-	24)
水質悪化	河川流量・TN、TP、Chl.a	Vansig湖(NOR)、Lepsamanjoki川(FIN)、Vrisjiv湖(EST)、テムズ川(UK)、オーデンセ川(DNK)、エルベ川中流域(DEU)、ペエホル湖(TUR)	-	Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project (www.isimip.org)	-	0.5°x0.5°グリッド	-	-	25)
水質悪化	河川流量、大腸菌濃度	オーレスン市(NOR)の飲料水源の非開削集水域	SWAT(Physically based model)	Norwegian Centre for Climate ServiceのMøre and Romsdal地域モデル	RCP8.5	不明(Norwegian Centre for Climate Serviceによる)	気温、降水量	2045~2075年	26)
水質悪化	生態系サービス(水質:水位、Chl-a、藍藻、全リン、水温)	-	-	5つの大循環モデル	2つの表現濃度経路(3つの土地利用シナリオ)	-	-	-	27)
その他(水温(湖沼))	湖面水温、湖全体水温、湖底水温、湖沼の温度成層	北極、北方、温帯、亜熱帯、熱帯地域の26の湖	観測による評価	-	-	-	-	1970年から2010年まで	28)
その他(水資源量)	積雪	北アルプス	多雪年と少雪年での積雪量の変化を評価	q4PDF	RCP8.5シナリオ	地域気候モデル(気象研究所開発、1kmメッシュ)	積算降雪量、降雨量	現在、今世紀半ば、今世紀終わり	29)

表 4 検知・短期予測技術事例

影響因子	検知(観測)項目	使用するセンサー技術・システム*		空間解析度	時間解析度	文献番号
豪雨	ゲリラ豪雨	XバンドMP(マルチパラメーター(ドップラー偏波))レーダー	XRAIN(eXtended RAdar Information Network;高性能レーダー雨量計ネットワーク)	250m間隔での雨量観測	1分単位での観測	30)
豪雨・浸水	洪水(高濁度)	気象庁が提供する全国合成レーダー降雨量及び数値気象予測データ	-	約5km	3時間明毎	31)
渇水	気温、降水パターン	NOAA気候予測センターが提供する予測情報	-	-	-	32)
海面上昇	表流水の塩分	塩分の観測に関する文献レビュー(リモートセンシング技術)	-	-	-	33)
塩害	塩水化	電気探査(2次元比抵抗法)	-	-	-	34)
水質	透視度	衛星データ	Landsat	30m	-	35)
水質	透視度	衛星データ	MODIS	250m	-	36)
水質	TOC	衛星データ	MODISとLandsat	衛星の種類による	-	37)
水質	クロロフィルa	フィールド分光光度計	FieldSpec HandHeld spectroradiometer	-	-	38)
水質	懸濁物質質量(SS)、化学的酸素要求量(COD)、全窒素(T-N)、全リン(T-P)、クロロフィルa(chl-a)及び透明度(Trans)	衛星データ	LANDSAT/TM、ETM	-	-	39)
水質	濁度、溶存有機炭素(DOC)およびクロロフィルa濃度	航空機搭載型リモートイメージングスペクトロメーター(PRISM)	-	-	-	40)
水質	クロロフィルa、フィコシアニン	衛星データ	MODIS	250m	-	41)
水質	クロロフィルa	衛星データ	Landsat、MERIS、Aqua、Sentinel-2、Sentinel-3などの複数の衛星プラットフォーム	衛星の種類による	-	42)
水質	クロロフィルa、有害藻類発生状況(HAB)指標、透視度、表面水温、全吸収量、TSS、栄養状態指数、濁度、貯水量	衛星データ	SentinelとLandsat 8などのデータの組み合わせ	衛星の種類による	-	43)
水質	濁度、クロロフィルa濃度	ドローン(DJI社のドローン Phantom 4)	-	-	-	44)
水質	植物プランクトン	9バンドの多波長励起蛍光光度計(JFEアドバンテック社製、Multi-Exciter)	-	-	-	45)
その他	漏水	衛星画像解析による漏水検知システム	アステラ・リカパー	-	-	46)