

# 水環境・水資源及び自然災害・沿岸域分野における 観測ベースの気候変動影響の検出と原因特定における課題

Research on detection and attribution of climate change impact using observational data  
in the fields of water environment/water resources and natural disasters/coastal zone

渡邊 学<sup>1\*</sup>・町村 輔<sup>2</sup>・肱岡 靖明<sup>2</sup>

Manabu WATANABE<sup>1\*</sup>, Tasuku MACHIMURA<sup>2</sup> and Yasuaki HIJIOKA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>blue and tech 株式会社 調査研究部

<sup>2</sup>国立研究開発法人 国立環境研究所 気候変動適応センター

<sup>1</sup>blue and tech, Ltd.

<sup>2</sup>Center for Climate Change Adaptation, National Institute for Environmental Studies

## 摘 要

IPCC 第6次評価報告書には、気候変動が広範囲にわたる悪影響と関連した損害を引き起こし、地球温暖化は短期のうちに1.5℃に達し、複数の気候外力を高め生態系及び人間に対して様々なリスクをもたらす可能性が高いことが示されている。そこで、観測データを解析し既に生じている変化を把握することで、現状の対策で十分かどうか、追加的な対策に取り組む必要があるかについて検討することが必要であるが、その推進にあたっては様々な課題が考えられる。本研究では、日本における気候変動及びその影響を検出し、原因特定を行った研究の実施状況及び課題を探るために、国の気候変動影響評価報告書の引用文献における関連研究を調査した。影響評価報告書で想定された多くの要素において気候変動影響の検出と原因特定が現状でまだ足りていないことが確認され、長期モニタリングデータの整備や関連手法についての情報整理が求められていることが明らかとなった。

キーワード：観測データ、気候変動、気候変動影響、検出、原因特定

Key words : observation data, climate change, climate change impact, detection, attribution

## 1. はじめに

2022年の2月に公開されたIPCC第6次評価報告書第2作業部会政策決定者向け要約には、人為起源の気候変動は広範囲にわたる悪影響とそれに関連した損失と損害を引き起こしており、地球温暖化は短期のうちに1.5℃に達し複数の気候外力を高め生態系及び人間に対して様々なリスクをもたらす可能性が高いことが示されている(Pörtner *et al.*, 2022)。日本においても甚大な被害を生じさせた平成30年7月豪雨や令和元年東日本台風を始め様々な分野で、既に気候変動影響による悪影響が生じ、更に拡大することが予測されている(環境省, 2020)。既に生じ更に拡大する気候変動の影響に対して備えるために、各国各地で適応の取り組みが始まっている。

日本では、気候変動影響による被害の防止・軽減、国民の生活の安定、社会・経済の健全な発展、自然環境の保全及び国土の強靱化を図り、安全・安心で持続可能な社会を構築することを目指して気候

変動適応計画が策定され、計画に則った施策が進められている。実際に適応策を検討し実施するためには、分野ごとにどのような気候変動影響が生じ、それがどの程度であるかを評価することが必要となる。その際、不確実性を含む気候変動や影響の将来予測に加えて、観測データを解析し既に生じている変化を把握することで、現状の対策で十分かどうか、また、追加的な対策に取り組む必要があるかについて検討することも重要である(Hansen *et al.*, 2016; Haasnoot *et al.*, 2018)。

IPCCの第2作業部会はこれまで公表してきた評価報告書の中で、生態系と生物多様性及び人間社会等への気候変動の影響について、世界規模から地域的な視点まで多くの評価を行ってきた。最新の第6次評価報告書まで、毎回現状においてどのような、また、どの程度の気候変動影響が現れているかを評価してきた。IPCCの評価報告書においては、このような評価を「Detection and Attribution」と呼んでその重要性を示している。第5次評価報告書第2作

受付：2023年3月31日、受理：2023年6月13日

\* 〒604-8187 京都府京都市中京区御池通東洞院東入笹屋町436-606, E-mail : watanabe@blueandtech.co.jp

業部会においては、第18章にて観測された影響の評価結果を示すとともに「Detection and Attribution」の手法としてのコンセプト及びアプローチ方法を伝えている(Cramer *et al.*, 2014)。また、第6次評価報告書第2作業部会においては、分野ごと地域ごとの影響等について示す各章においてその評価結果を示すとともに、第1章の中で「Attribution in the IPCC Sixth Assessment Report」と題したセクションを設け、手法の概要や重要性を示している(Ara *et al.*, 2022)。

一方で、日本では「Detection and Attribution」はどのように捉えられているのだろうか。Detectionの和訳となる検出という用語は、気候変動影響評価報告書(以下、影響評価報告書とする)・気候変動適応計画の両文書で確認できる。一方、Attributionに該当する用語は両文書では確認できない。また、例えば具体例とともに被害拡大の懸念について前述した自然災害・沿岸域分野の影響評価報告書における引用文献を確認してみると、将来の影響に比べて現在の影響に関するものの数のほうが少ない。気候変動影響の予測に比べて、現状を評価する「Detection and Attribution」の取り組みが不足している可能性がある。一方で、国においては気候変動適応計画のフォローアップ報告書にて示されるとおり、分野ごとに様々なモニタリングを実施し、地域でも地域適応計画にて示されるとおり、様々な観測や状況把握に基づくPDCAサイクルの実施が想定され、「Detection and Attribution」の重要性は日本においても変わらないと考えられる。

これらの状況を踏まえ、本研究では日本における「Detection and Attribution」の実施状況及び課題を探るために、IPCCの評価報告書で示される「Detection and Attribution」についての考え方などを整理した上で、影響評価報告書の引用文献における関連研究を調査する。

## 2. Detection and Attribution について

IPCC第6次評価報告書第2作業部会は、Detectionを「気候または気候の影響を受けるシステムが、統計的に定義された何らかの意味で変化したことを示すプロセスであり、その変化の理由は明らかにされない。特定された変化は、内部変動のみによる偶発の発生の可能性が小さい(10%未満など)と判断される場合に観測に基づいて検出される。」と定義し、Attributionを「ある変化や事象に対する複数の原因因子の相対的な寄与を、信頼度とともに評価する過程」と定義している。また、第5次評価報告書の第18章にて「Detection and Attribution」の手法としてのコンセプト及びアプローチ方法を伝えている。「Detection and Attribution」を1つ以上の原因とそれに反応するシステムとの間の因果関係の評価する

ものとし、地球全体をシステムとした時のサブシステムとして気候システム、自然システム、人間システムを想定し、これら3つのシステム間の影響について考えるものとしている。そして「Detection」については、自然システムまたは人間システムが気候変動の影響により、ベースラインと呼ぶ人為起源の気候変動が生じていないと仮定した場合の挙動を超えて変化しているかどうか、その有無を判定するものとしている。次に、「Attribution」については、システムの変化に対する気候変動の寄与の大きさを評価するものとし、実際に観測された変化のうちどれだけが気候変動によるものかを信頼性とともに示すものであるとしている。さらに、「Detection and Attribution」を行うにあたっては、長期の観測データ、及び気候変動の影響を受けるシステムと気候変動及びその他の要因の間のプロセスの理解が重要であることを示している。また、第6次評価報告書では、そこで用いられる「Attribution」の手法について示しており、多くの手法は、実際に観測された自然または人間システムの状態を、ベースラインと比較し、両者の間の差の原因を推定することを目的としており、ベースラインの推定には、気候データの定常的な部分や気候変動の進行状況がより低いレベルにあると想定される過去の観測値で近似されることや、統計モデルやプロセスモデルによってシミュレーションし再現される場合があると説明している。加えて第5次評価報告書の時点と比べて、豪雨や干ばつなどの気象現象を対象としたイベントアトリビューションと呼ばれる手法が広く実施されるようになってきていることを伝えている。

ここまでの内容を踏まえてまとめると、「Detection」は観測データを用いて、現時点で気候変動影響が生じていることを特定することであり、「Attribution」は気候変動以外の要因を考慮した上で気候変動影響を定量化することであると説明できる。3章では、これらを対象とした解析を実施した事例を調査する。またその際、「Detection」については国内での用語の使用状況に基づき「検出」と訳すこととする。一方、「Attribution」は気候変動以外のものも含めた複数要素の中から気候変動の寄与分を定量化するという趣旨を踏まえ「原因特定」と訳すこととする。

## 3. 調査手法

本研究では、観測データを用いて気候変動影響の検出と原因特定を行う解析事例について調査を行い、日本における実施状況や課題を把握する。ここで対象とする事例は、現在において気候変動影響が生じていることを特定する(検出)、または気候変動以外の要因を考慮した上で気候変動影響の程度を定量的に把握すること(原因特定)を目的に解析を行っ

ているもので、観測データを用い、またベースラインを設定し変化傾向を特定しているものとする。なお、例えばイベントアトリビューション手法のようにモデリングにより気候変動が生じていないと仮定した挙動をベースラインとし現状と比較するものについては調査対象とする一方、ベースラインの設定を行わずシミュレーションを実施する文献は対象外とし、また単年など短期データにより気象と影響の関係を分析する文献は単独では変化傾向を判定できないと考え該当しないものとし、また、他の研究の結果のみ示すレビューについても解析内容が確認できないため対象外とした。

対象とする解析事例は、影響評価報告書における3章「日本における気候変動による影響及び評価結果」の内容(気候変動による影響の要因、現在の状況、将来予測される影響、重大性・緊急性・確信度の評価と根拠)のうち、既に生じている気候変動影響についての評価を行っている「現在の状況」の箇所にて引用される文献とする。なお、複数の分野の解析について掲載されている総合的なレポートが引用されている場合には、影響評価報告書にて引用されている内容の箇所のみを対象とする。

分野については、実施状況や課題を比較できるような複数分野を対象とし、日本でも豪雨災害などの被害拡大の懸念がある自然災害・沿岸域分野と、主に水に関連する影響を扱う点で共通し環境や資源としての側面で評価する水環境・水資源分野の2つとする。水環境・水資源分野では、湖沼・ダム湖、河川、沿岸域及び閉鎖性海域、水供給(地表水)、水供給(地下水)、水需要の6つの小項目、自然災害・沿岸域分野では、洪水、内水、海面水位の上昇、高潮・高波、海岸浸食、土石流・地すべり等、強風等の7つの小項目及び大項目の複合的な災害影響(複合的な災害影響には小項目が無い場合)、これら全てを対象とする。

調査はまず、上述の小項目(自然災害・沿岸域分野の複合的な災害影響については小項目がないため大項目とする)ごとに行い、検出と原因特定に関する解析の実施有無、用いられているデータ、用いられている手法などについて調べ、結果を整理する。加えて、気候変動影響は小項目の中にも様々な種類のものがあり、それらは個々に生じるメカニズムが異なり(例えば、水資源(地表水)の小項目の渇水と塩水遡上など)、検出と原因特定の難易度も異なると考えられることから、小項目から更に細分化される個別の影響等ごとにも関連文献の調査を行った。

## 4. 調査結果

### 4.1 小項目ごとの関連文献の調査

まず、3章に記載のとおり、気候変動影響の検出と原因特定を行う解析事例について影響評価報告書

における水環境・水資源分野と自然災害・沿岸域分野の「現在の状況」についての評価を行う箇所の引用文献を調査し、文献の有無、文献種類、データ、手法について表1のとおり整理を行った。

2分野合計で124の文献を調査し、検出と原因特定に関連する解析を行う文献(以下では、関連文献とする)を31特定した。水環境・水資源分野では56文献中16において、自然災害・沿岸域分野では68文献中15において関連文献が確認された。

小項目ごとの全文献における関連文献の割合については、水環境・水資源分野では、水環境の湖沼・ダム湖、河川、沿岸及び閉鎖性海域においては、20%、27%、33%、水資源の水供給(地表水)、水供給(地下水)、水需要においては、41%、0%、50%であった。また、自然災害・沿岸域分野では、河川の洪水・内水においては、22%、17%、沿岸の海面水位の上昇、高潮・高波、海岸浸食では100%、17%、50%、山地の土石流・地すべり等では14%、その他の強風等では50%、複合的な災害影響では0%であった。

文献種類については、論文が最も多く19、次いでレポート10(ただし、同一のレポートが複数の小項目で引用されているため、実際のレポート数は8)、HPは気象庁のものと国土地理院のものであった。なお、様々な著者が投稿する学会誌や雑誌などに掲載される文献を論文とし、特定の機関によって発行される報告書などの文献をレポートとした。また、論文については影響評価報告書と同様に査読の有無は区分していない。

データ年数については、各関連文献の中で用いているデータのうち最長のものを特定し、全体及び小項目ごとの平均を求めた。全体平均は57年であった。最も期間が長い小項目は土石流・地すべり等の161年であった。

手法については、各関連文献の中で傾向を分析するために用いられている主なものを特定した。回帰分析(線形回帰、重回帰、付随する検定を含む)を行う文献が多く合計21であり、相関分析(付随する検定を含む)を行うものが6、平均値を用いた分析を行うもの(平均値の差の検定、平均値を用いたグラフを分析するもの)が7あった。また、これら以外の検定手法を行う文献が9つあり、検定手法としてはMann-Kendall検定が3つ、Kendallの順位相関係数を用いた検定が2つ、マン=ホイットニーU検定が2つ、回帰・相関・平均値の差の検定以外のt検定及びF検定がそれぞれ1つであった。様々な手法が用いられているが、検出と原因特定を行うにあたり、対象データのうち古い時期のものを気候変動の進行状況がより低いレベルにあるベースラインとすること、気温上昇などの気候変動を踏まえてそこから影響を受ける要素に関するデータの傾向(水温上昇など)を統計的に検定し影響を検出すること、気

表1 調査結果の集計表。

分野	大項目	小項目	引用 文献数	関連 文献数	関連 文献数の 割合	文献種類			データ 年数平均	用いられる手法				
						レポート	論文	HP		回帰 分析	相関 分析	平均値を 用いた 解析	その他 の検定 手法	その他 の手法
水環境 ・ 水資源	水環境	湖沼・ ダム湖	15	3	20%	1	2	0	36	3	0	0	2	0
		河川	15	4	27%	2	2	0	28	4	0	2	1	0
		沿岸域及 び閉鎖性 海域	3	1	33%	1	0	0	30	1	0	0	0	0
	水資源	水供給 (地表水)	17	7	41%	0	7	0	60	5	2	1	2	1
		水供給 (地下水)	4	0	0%	0	0	0	-	-	-	-	-	-
		水需要	2	1	50%	1	0	0	5	1	-	-	-	-
河川	洪水	9	2	22%	1	1	0	82	1	1	1	0	0	
	内水	6	1	17%	1	0	0	112	1	0	0	0	0	
自然災害 ・ 沿岸域	沿岸	海面水位 の上昇	3	3	100%	1	0	2	55	2	0	1	0	0
		高潮・ 高波	6	1	17%	1	0	0	40	1	1	0	0	0
		海岸浸食	4	2	50%	0	2	0	25	0	1	0	1	0
	山地	土石流・ 地すべり 等	29	4	14%	1	3	0	161	1	0	2	2	0
	その他	強風等	4	2	50%	0	2	0	45	1	1	0	1	0
	複合的な 災害影響	-	7	0	0%	0	0	0	-	-	-	-	-	-
合計(割合と平均の項目に ついては平均)			124	31	31%	10	19	2	57	21	6	7	9	1

候変動以外の要素を含めて解析するまたは考察することで原因特定を行うことが複数事例にて確認された。

#### 4.2 気候変動や個別の影響等ごとの関連文献の調査

次に、各文献が解析対象とする項目において、気候変動そのものや個別の影響等ごとに整理を行った。ここでは、影響評価報告書において分野ごとに示される、気候変動により想定される影響の概略図(図1は、水環境・水資源分野の概略図)から、小項目ごとに「気候・自然的要素」、「気候変動による影響」のそれぞれの箇所に示される要素を判定・抜粋し、その要素ごとに関連文献の有無を判定した。水環境・水資源分野の水環境と水資源、自然災害・沿岸域分野において気候・自然的要素、気候変動による影響のそれぞれの要素ごとに関連文献の有無を判定した結果を表2・表3・表4に示す。また、水環境・水資源分野と自然災害・沿岸域分野の全項目について、文献が存在する要素数及び割合を調査した結果を表5に示す。

表5が示す通り水環境・水資源分野では気候・自然的要素の合計数は42あり、そのうち9要素において関連文献が特定された。また、気候変動による影響の要素の合計数は42あり、そのうち4要素において関連文献が特定された。自然災害・沿岸域分

野では気候・自然的要素の合計数は21あり、そのうち9要素において関連文献が特定された。また、気候変動による影響の要素の合計数は28あり、そのうち5要素において関連文献が特定された。両方の分野において、文献が特定された要素の割合は、気候・自然的要素の割合が気候変動による影響より高かった。

表2・表3・表4が示すとおり文献が確認された気候・自然的要素は、水環境・水資源分野では気温上昇、水温上昇、降水量・降水パターンの変化、蒸発散量の増加、積雪量の減少、融雪の早期化であった。自然災害・沿岸域分野では、降水量・降水パターンの変化、極端な気象現象(大雨事象)の発生頻度の増加、短時間集中降雨の発生頻度の増加、降雨強度の増大、海面水位の上昇、強い台風の発生割合の増加であった。また、気候変動による影響についての要素では、水環境・水資源分野では湖沼・ダム貯水池等の水質悪化、河川の水質の変化、ダム貯水量・河川流量の減少、農業用水・都市用水等の需要増加であり、自然災害・沿岸域分野では、波高・周期・波向の変化、砂浜の変形(堆積・侵食)、土砂災害の増加(頻度、規模)地域や形態の変化、深層崩壊の増加であった。

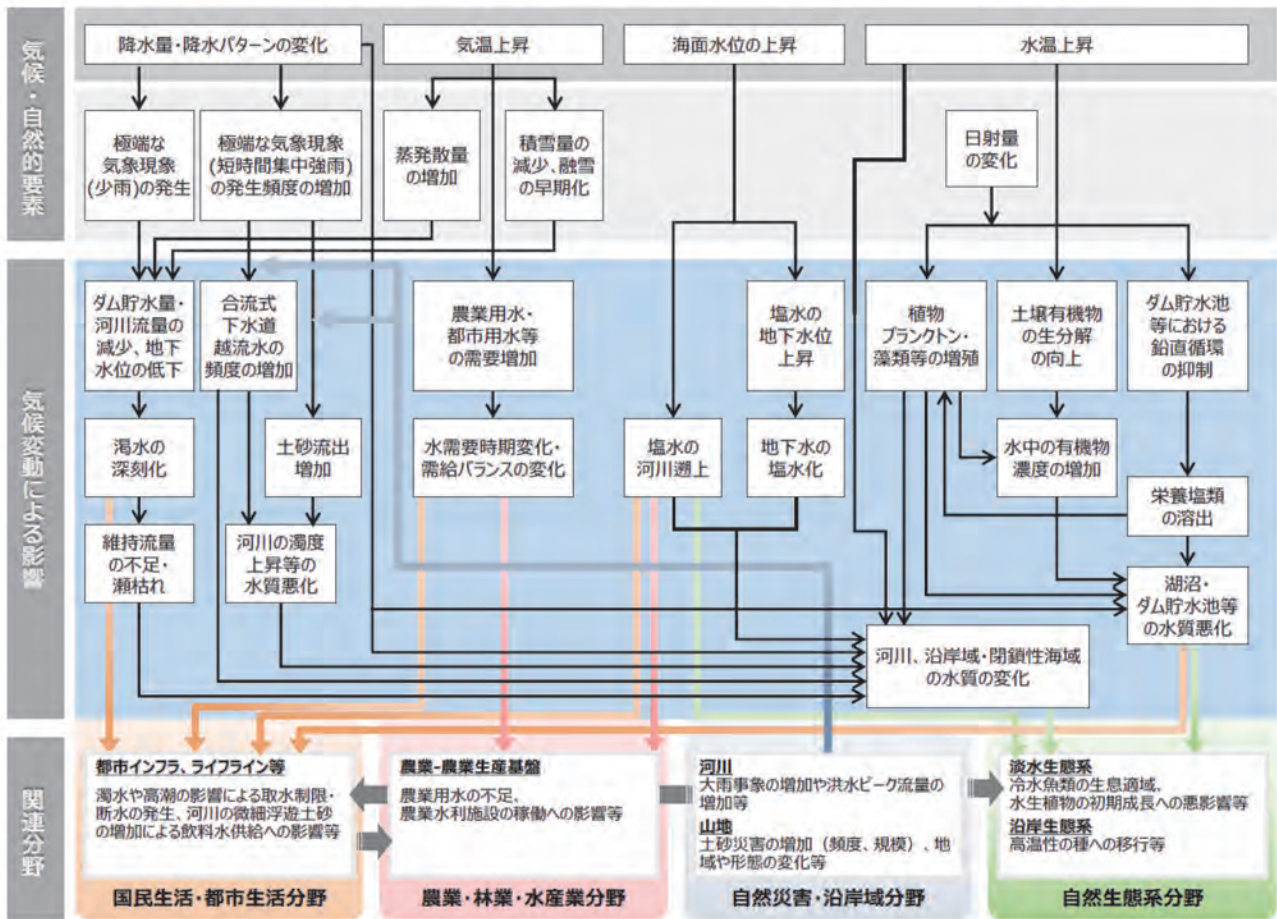


図1 気候変動により想定される影響の概略図(水環境・水資源分野)．気候変動影響評価報告書より抜粋。

5. 考察

5.1 関連文献の有無・文献種類・データ・手法等について

まず、対象とする2分野の小項目ごとの関連文献の有無、文献種類、データや手法等について調査結果を基にして考察する。

小項目ごとの関連文献について、水供給(地下水)においては関連文献が確認できなかった。小項目ごとの引用文献数の平均は約9であるが、水供給(地下水)の引用文献数は4と平均の半分以下であった。水供給(地下水位)について、影響評価報告書では、気候変動による日降水量や降水の時間水位の変化による地下水位の変動について扱われている。ここでは、比較的短期の変化が注目されているため、観測データを用いてより長期の傾向を解析する事例は示されていない可能性がある。関連文献の絶対数が最も多かったのは、水供給(地表水)で7文献あり、割合が最も高かったのは海面水位の上昇で割合は100%であった。水供給(地表水)については、降雨のみや降雨と河川流量を解析した事例が多く、これらに用いられるデータは比較的入手しやすいことが考えられる。次に、海面水位の上昇については、ここでの評価対象が長期的な傾向であるため(短期的な傾向は高潮・高波にて評価されている)、関連文

献の割合が多いことが考えられる。

用いられるデータは、解析対象となる気象や影響についてのデータであり、例えば気温や水温・河川流量などである。用いられるデータの期間は平均で57年であった。また、大気や水循環現象には10年程度といった周期性が把握されており(近森ほか, 2000)、短い年数のデータで短期的な傾向を検出しないよう気候などのデータ傾向解析には最低限30年分は必要とされているが(Paul *et al.*, 2000)、31文献中18文献が30年を超えていた。最も短いものは5年であり、最も長いものは412年で土石流・地滑り等の小項目の文献であった。これは、土石流・地すべり等の発生頻度が低く、年間1回以下の頻度であるため長い期間のデータを必要としたものと考えられる。

用いられる手法としては回帰分析を行うものが最も多く21事例あった。回帰分析により、気温や降水量と河川流量との関係を解析することや、関連する統計検定などが行われていた。相関分析を行うものは6事例あり、気温と融雪時期の早まりなど気候と影響の間の関係に関して、相関係数の値を評価することや、関連する統計検定などが行われていた。平均値を用いた解析は7事例あり、降雨量や海面水位について複数期間の平均値の差を検定するものや、10年程度の平均値をグラフ化しそれを用いて考

表2 水環境・水資源分野の水環境における気候変動・影響の要素ごとの関連文献の有無.

分野	大項目	小項目	気候変動/ 影響	関連する気候変動や影響等	関連文献 の有無	文献種類
水環境 ・ 水資源	水環境	湖沼 ・ ダム湖	気候・ 自然的要素	降水量・降水パターンの変化		
				気温上昇	○	論文
				水温上昇	○	論文, レポート
				日射量の変化		
			気候変動 による影響	植物プランクトン・藻類等の増殖		
				土壌有機物の生分解の向上		
				水中の有機物濃度の増加		
				ダム貯水池等における鉛直循環の抑制		
				栄養塩類の溶出		
				湖沼・ダム貯水池等の水質悪化	○	論文, レポート
		河川	気候・ 自然的要素	降水量・降水パターンの変化		
				極端な気象現象(少雨)の発生		
				極端な気象現象(短時間集中強雨)の発生頻度の増加		
				気温上昇	○	論文
				蒸発散量の増加		
				積雪量の減少, 融雪の早期化		
				海面水位の上昇		
				水温上昇	○	論文, レポート
				日射量の変化		
				気候変動 による影響	ダム貯水量・河川流量の減少, 地下水位の低下	
			渇水の深刻化			
			維持流量の不足・瀬枯れ			
			合流式下水道越流水の頻度の増加			
			河川の濁度上昇等の水質悪化			
			土砂流出の増加			
			塩水の河川遡上			
			塩水の地下水位上昇			
			地下水の塩水化進行			
			植物プランクトン・藻類等の増殖			
			河川の水質の変化	○	論文, レポート	
		沿岸域及び 閉鎖性海域	気候・ 自然的要素	降水量・降水パターンの変化		
				極端な気象現象(少雨)の発生		
				極端な気象現象(短時間集中強雨)の発生頻度の増加		
				気温上昇		
				蒸発散量の増加		
				積雪量の減少, 融雪の早期化		
				海面水位の上昇		
				水温上昇	○	論文, レポート
				日射量の変化		
				気候変動 による影響	ダム貯水量・河川流量の減少, 地下水位の低下	
			渇水の深刻化			
			維持流量の不足・瀬枯れ			
合流式下水道越流水の頻度の増加						
河川の濁度上昇等の水質悪化						
土砂流出の増加						
塩水の河川遡上						
塩水の地下水位上昇						
地下水の塩水化進行						
植物プランクトン・藻類等の増殖						
沿岸域・閉鎖性海域の水質の変化						

表3 水環境・水資源分野の水資源における気候変動・影響の要素ごとの関連文献の有無

分野	大項目	小項目	気候変動/ 影響	関連する気候変動や影響等	関連文献 の有無	文献種類
水環境 ・ 水資源	水資源	水供給 (地表水)	気候・ 自然的要素	降水量・降水パターンの変化	○	論文
				気温上昇		
				蒸発散量の増加	○	論文
				積雪量の減少、融雪の早期化	○	論文
				海面水位の上昇		
				水温上昇		
				日射量の変化		
			気候変動 による影響	ダム貯水量・河川流量の減少	○	論文
				渇水の深刻化		
				維持流量の不足・瀬枯れ		
				農業用水・都市用水等の需要増加		
				水需要時期変化・需給バランスの変化		
				塩水の河川遡上		
		水供給 (地下水)	気候・ 自然的要素	降水量・降水パターンの変化		
				気温上昇		
				蒸発散量の増加		
				積雪量の減少、融雪の早期化		
				海面水位の上昇		
				水温上昇		
				日射量の変化		
			気候変動 による影響	地下水位の低下		
				渇水の深刻化		
				農業用水・都市用水等の需要増加		
				水需要時期変化・需給バランスの変化		
				塩水の地下水位上昇		
				地下水の塩水化進行		
水需要	気候・ 自然的要素	降水量・降水パターンの変化				
		気温上昇	○	レポート		
		蒸発散量の増加				
		積雪量の減少、融雪の早期化				
		水温上昇				
		日射量の変化				
	気候変動 による影響	農業用水・都市用水等の需要増加	○	レポート		
		水需要時期変化・需給バランスの変化				

察するものなどがあつた。その他の検定手法は9事例あり、多様な手法が用いられていた。最後に、その他の手法としては1事例あり、そこでは偏差積算曲線のグラフ化が行われ偏差の拡大によってトレンドを示していた。

## 5.2 気候変動や影響を受ける要素ごとの関連文献の有無について

2分野合計では気候・自然的要素は63あり、気候変動による影響の要素は70あつた。それらのうち、気候・自然的要素は18、気候変動による影響の要素は9とそれぞれ29%・13%において関連文献が確認された。気候変動による影響の要素に対する事例が少なかった。まず、本調査ではベースラインを設定せずシミュレーションを行う文献を対象外としているが、シミュレーションと他の解析を組み合わせると検出と原因特定を行う手法(Hansen *et al.*, 2016)も示されており、対象にできる可能性があるが、この

点は考慮できていない。また、イベントアトリビューションについても、平成30年7月豪雨の評価事例が参照されていたが、調査対象とした影響評価報告書の「現在の状況」の箇所ではないため調査対象に含まれなかった。これらの点は過小評価となっている。気候変動による影響の要素に対する事例が少ない点については、影響の解析にあたって今回対象とした関連文献で用いられていたのは主に統計解析手法であったが、引用文献ではダム湖ごとの河川流入・下水処理水放流(環境省, 2013)、海面上昇に対する地盤変動(気象庁, 2018)など気候変動以外の影響についての考慮の必要性和難しさが言及されていた。気候変動以外の要素をどのように解析・考慮するかが課題となっていると考えられる。なお、検出と原因特定に関連する文献が確認できなかった要素においても、シミュレーションを行うもの以外に、短期データの解析・現地調査・事例調

表4 自然災害・沿岸域分野の気候変動・影響の要素ごとの関連文献の有無.

分野	大項目	小項目	気候変動/ 影響	関連する気候変動や影響等	関連文献 の有無	文献種類	
自然災害 ・ 沿岸域	河川	洪水	気候・ 自然的要素	気温上昇			
				積雪量の減少, 融雪の早期化			
				降水量・降水パターンの変化	○	論文, レポート	
				極端な気象現象(大雨事象)の発生頻度の増加	○	論文, レポート	
			気候変動 による影響	融雪洪水の変化			
				土砂災害の増加(頻度, 規模), 地域や形態の変化			
				同時多発表層崩壊・土石流の増加			
				土砂供給量の増大			
		内水	気候・ 自然的要素	河床の上昇			
				洪水の発生			
			気候変動 による影響	人的被害			
				降水量・降水パターンの変化	○	論文, レポート	
	沿岸	海面水位の 上昇	気候・ 自然的要素	短時間集中降雨の発生頻度の増加, 降雨強度の増大	○	論文, レポート	
				内水氾濫の発生			
		高潮・高波	気候・ 自然的要素	気候・ 自然的要素	人的被害		
					海面水位の上昇	○	論文, レポート
					海水温の上昇		
					強い台風の発生割合の増加		
			気候変動 による影響	気候変動 による影響	海面水位の上昇		
					高潮・高波の増大		
					防災施設, 港湾・漁港施設等の機能の低下や損傷		
					高潮氾濫・高波災害の発生		
		海岸浸食	気候・ 自然的要素	気候・ 自然的要素	波高・周期・波向の変化	○	レポート
					砂浜の変形(堆積・侵食)		
	気候変動 による影響		気候変動 による影響	海岸浸食の加速			
				人的被害			
	山地	土石流・ 地すべり等	気候・ 自然的要素	海水温の上昇			
				強い台風の発生割合の増加			
				海面水位の上昇			
				波高・周期・波向の変化	○	論文	
気候変動 による影響			気候変動 による影響	砂浜の変形(堆積・侵食)	○	論文	
				海岸浸食の加速			
				気温上昇			
				積雪量の減少, 融雪の早期化			
強風等		気候・ 自然的要素	気候・ 自然的要素	降水量・降水パターンの変化	○	論文	
				竜巻の発生頻度の変化			
		気候変動 による影響	気候変動 による影響	海水温の上昇			
				強い台風の発生割合の増加	○	論文	
その他	強風等	気候・ 自然的要素	強風災害の増加				
			人的被害				
		気候変動 による影響	気候変動 による影響	雪崩等の雪害の発生			
				土砂災害の増加(頻度, 規模)地域や形態の変化	○	論文	
その他	強風等	気候・ 自然的要素	深層崩壊の増加	○	論文		
			同時多発表層崩壊・土石流の増加				
		気候変動 による影響	気候変動 による影響	土砂供給量の増大			
				河床の上昇			



表5 水環境・水資源分野と自然災害・沿岸域分野における気候・自然的要素／気候変動による影響の要素のうち関連文献が存在する要素数及び割合。

分類	大項目	小項目	気候・自然的要素/ 気候変動による影響	要素数	文献有り 要素数	文献有り 要素の割合	
水環境 ・ 水資源	水環境	湖沼・ダム湖	気候・自然的要素	4	2	50%	
			気候変動による影響	6	1	17%	
		河川	気候・自然的要素	9	2	22%	
			気候変動による影響	11	1	9%	
		沿岸域及び閉鎖性海域	気候・自然的要素	9	1	11%	
			気候変動による影響	11	0	0%	
	水資源	水供給(地表水)	気候・自然的要素	7	3	43%	
			気候変動による影響	6	1	17%	
		水供給(地下水)	気候・自然的要素	7	0	0%	
			気候変動による影響	6	0	0%	
		水需要	気候・自然的要素	6	1	17%	
			気候変動による影響	2	1	50%	
	気候・自然的要素の合計(割合は平均)				42	9	24%
	気候変動による影響の合計(割合は平均)				42	4	15%
自然災害 ・ 沿岸域	河川	洪水	気候・自然的要素	4	2	50%	
			気候変動による影響	7	0	0%	
		内水	気候・自然的要素	2	2	100%	
			気候変動による影響	2	0	0%	
	沿岸	海面水位の上昇	気候・自然的要素	1	1	100%	
			気候変動による影響	0	0	-	
		高潮・高波	気候・自然的要素	3	0	0%	
			気候変動による影響	7	1	14%	
		海岸浸食	気候・自然的要素	3	0	0%	
			気候変動による影響	3	2	67%	
	山地	土石流・地すべり等	気候・自然的要素	4	2	50%	
			気候変動による影響	7	2	29%	
	その他	強風等	気候・自然的要素	4	2	50%	
			気候変動による影響	2	0	0%	
気候・自然的要素の合計(割合は平均)				21	9	50%	
気候変動による影響の合計(割合は平均)				28	5	18%	

査・アンケート調査・レビューなど様々な手法によって気候変動影響を示す文献が引用されていた。

次に、個別の要素としては自然災害・沿岸域分野の人的被害に関わる影響は事例が一切確認できなかった。IPCCの最新となる第6次評価報告書でも、多くの人間システムに関わる要素における検出と原因特定の難しさが言及されている。これらは、例えば治水の程度といった気候変動以外の要素のデータ取得の難しさや、そもそも関連するメカニズム特定の難しさが課題となっていることが考えられる。

### 5.3 検出と原因特定に関する課題について

最後に、検出と原因特定の推進に向けた全体的な課題と対策について考察する。IPCCの第5次評価報告書第2作業部会においても、自然・人間システムとそれらに影響を与える複数の要因に関連する高品質な長期データの整備が不十分であることが示されている。今回の調査の対象とした文献においても、利用可能なデータの期間が短く気候変動以外の周期性について評価が難しいなど、長期観測データを整備することの必要性を示している(近森ほか、

2000)。また、今回調査対象となった引用文献で用いられているデータには、有料のものや公開されていないものも複数確認された。データ整備を進め公開することで、より多くの研究者によって解析を進められることが期待できる。最後に、解析手法についても関連情報の整備が必要である。今回特定した検出と原因特定を行う31の文献においては、主に統計解析手法が用いられ多くの手法が確認された。気候変動影響は分野ごとに影響が生じるメカニズムが異なるが、影響ごとにどの手法が適切であるか、留意点とあわせて分野を横断してまとめられた情報は確認できない。検出と原因特定の手法において、一般化される点などを示し、検出と原因特定の一層の推進を図ることが求められる。

## 6. まとめ

本研究では、日本における気候変動及び影響の検出と原因特定に関する研究の実施状況及び課題を探るために、国の影響評価報告書の引用文献における

関連研究の実施状況を調査した。そこで、特に気候変動による影響については、多くの要素においてまだ検出と原因特定ができていない可能性があることが確認され、長期モニタリングデータの整備や関連手法についての情報整理が求められていることが明らかとなった。

## 謝 辞

本研究の一部は(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF2022G01)及び国立環境研究所気候変動適応研究プログラムにより実施した。

## 引用文献

- Ara Begum, R., R. Lempert, E. Ali, T. A. Benjaminsen, T. Ber-nauer, W. Cramer, X. Cui, K. Mach, G. Nagy, N. C. Stenseth, R. Sukumar and P. Wester (2022) Point of Departure and Key Concepts. *In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 121–196. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGII\\_Chapter01.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_Chapter01.pdf)(2023年8月10日確認)
- 近森邦英・紙井泰典(2000)わが国の年降水量の変動について、農業土木学会. 347–350. [https://doi.org/10.11408/jjsidre1965.68.4\\_347](https://doi.org/10.11408/jjsidre1965.68.4_347)
- Cramer, W., G. W. Yohe, M. Auffhammer, C. Huggel, U. Molau, M. A. F. da Silva Dias, A. Solow, D. A. Stone and L. Tibig (2014), Detection and attribution of observed impacts. *In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 979–1037. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIAR5-Chap18\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIAR5-Chap18_FINAL.pdf)(2023年8月10日確認)
- Haasnoot, M., Klooster, S, V. and Alphen, J, V (2018), Designing a monitoring system to detect signals to adapt to uncertain climate change, *Global Environmental Change*. 273–285. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.08.003>
- Hansen, G., Stone, D., Auffhammer, M., Huggel, C. and Cramer, W (2016), Linking local impacts to changes in climate: a guide to attribution, *Regional Environmental Change*. 527–541. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0760-y>
- Pörtner, H.-O., Roberts, D. C., Poloczanska, E. S., Mintenbeck, K., Tignor, M., Alegria, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V. and Okem, A. (2022), *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2022: Summary for Policymakers*. 1–33. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGII\\_SummaryForPolicymakers.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_SummaryForPolicymakers.pdf)(2023年8月10日確認)
- 環境省(2020)気候変動影響評価報告書 詳細. 1–466. <https://www.env.go.jp/content/900516664.pdf>(2023年8月10日確認)
- 環境省(2013)気候変動による水質等への影響解明調査報告. 1–68. <https://www.env.go.jp/content/900539270.pdf>(2023年8月10日確認)
- 気象庁(2018)日本沿岸の海面水位の長期変化傾向. [https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/tide/archive/a\\_1/sl\\_trend/2018/sl\\_trend.html](https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/tide/archive/a_1/sl_trend/2018/sl_trend.html)(2023年8月10日確認)
- Paul, P., Zbigniew, K. and Robson, A (2000), Detecting trend and other changes in hydrological data, *World Climate Programme Data and Monitoring*, 45, 13–16. [https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=11628](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=11628)(2023年8月10日確認)



渡邊 学 / Manabu WATANABE

blue and tech 株式会社代表取締役。2005年京都大学大学院情報学研究科社会情報学専攻修士課程修了後、損害保険会社にて保険商品開発などに従事。その後、気候変動関連のコンサルティングを行う企業にて調査研究等に携わり、2022年4月に起業。主に気候変動影響や適応に関する調査研究や開発を行っている。



町村 輔 / Tasuku MACHIMURA

2016年東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻修士課程修了後、環境省に入省。東京電力福島第一原子力発電所の事故に伴う放射性物質汚染対策、自動車環境規制、事業場等の排水規制等の業務に従事した後、2022年4月より国立環境研究所 気候変動適応センターの研究調整主幹。気候変動適応に関する地方公共団体・地域気候変動適応センター等への支援業務、国の研究機関間の連携推進などの業務に取り組んでいる。



脇岡 靖明 / Yasuaki HIJIOKA

国立環境研究所 気候変動適応センターセンター長。2001年3月東京大学大学院工学系研究科博士課程(都市工学専攻)を修了、博士(工学)。2001年4月に(独)国立環境研究所 社会環境システム研究領域環境計画研究室 研究員。気候変動影響と適応に関する研究に従事。IPCC 第二作業部会第五次評価報告書第24章(アジア)統括執筆責任者、IPCC 1.5℃特別報告書第3章代表執筆者などを務める。2016年4月より東京大学大学院 新領域創成科学研究科 環境システム学専攻 客員教授を併任。