

戦略的な気候変動の影響観測・監視の ための方向性

平成 31 年 3 月

気候変動の影響観測・監視の推進に向けた検討チーム

気候変動の影響観測・監視の推進に向けた検討チーム

座長・幹事以下五十音順

- | | | |
|----|-------|--|
| 座長 | 横沢 正幸 | 早稲田大学 人間科学学術院 教授 |
| 幹事 | 町田 敏暢 | 国立研究開発法人国立環境研究所 地球環境研究センター 大気・海洋モニタリング推進室 室長 |
| 委員 | 秋葉 道宏 | 国立保健医療科学院 統括研究官 |
| 委員 | 天野 邦彦 | 国土交通省国土技術政策総合研究所 河川研究部 部長 |
| 委員 | 池上 貴志 | 国立大学法人東京農工大学 工学研究院 先端機械システム部門 准教授 |
| 委員 | 角谷 拓 | 国立研究開発法人国立環境研究所 生物・生態系環境研究センター 生物多様性評価・予測研究室 主任研究員 |
| 委員 | 河合 弘泰 | 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 海洋情報・津波研究領域 領域長 |
| 委員 | 木所 英昭 | 国立研究開発法人水産研究・教育機構 東北区水産研究所 資源管理部 沿岸資源グループ グループ長 |
| 委員 | 駒形 修 | 国立感染症研究所 昆虫医科学部 主任研究官 |
| 委員 | 中尾 勝洋 | 国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所 関西支所 主任研究員 |
| 委員 | 森杉 雅史 | 名城大学 都市情報学部 都市情報学科 教授 |
| 委員 | 山本 哲 | 気象庁気象研究所 環境・応用気象研究部 第二研究室 主任研究官 |

(平成 31 年 3 月現在)

目次

第1章	はじめに.....	1
1.1	気候変動の影響観測・監視の推進に向けた検討チーム設置背景.....	1
1.2	検討の進め方.....	1
1.3	本書に記載する内容について.....	2
第2章	気候変動の影響観測・監視の取組の現状における課題と将来の方向性.....	5
2.1	気候変動の観測・監視.....	5
2.1.1	大気・陸面.....	5
2.1.2	気象.....	8
2.1.3	海洋.....	11
2.2	農業、森林・林業、水産業.....	14
2.2.1	農業.....	14
2.2.2	森林・林業.....	17
2.2.3	水産業.....	20
2.3	水環境・水資源.....	24
2.3.1	水環境・水資源全般.....	24
2.3.2	水環境・水資源（水供給）.....	26
2.4	自然生態系.....	30
2.4.1	陸域生態系.....	31
2.4.2	淡水生態系.....	39
2.4.3	沿岸生態系.....	41
2.4.4	海洋生態系.....	45
2.4.5	生物季節.....	49
2.4.6	分布個体群の変動.....	50
2.5	自然災害・沿岸域.....	51
2.5.1	河川.....	51
2.5.2	沿岸.....	52
2.6	健康.....	57
2.6.1	暑熱.....	57
2.6.2	感染症.....	59
2.7	産業・経済活動および国民生活・都市生活.....	64
2.7.1	エネルギー.....	64
2.7.2	観光業.....	68
第3章	まとめ.....	73
	参考資料.....	75

第1章 はじめに

1.1 気候変動の影響観測・監視の推進に向けた検討チーム設置背景

「気候変動の影響への適応計画（平成27年11月27日閣議決定）」に基づき、中央環境審議会の気候変動影響評価等小委員会は、平成29年3月に「気候変動適応策を推進するための科学的知見と気候リスク情報に関する取組の方針」の中間とりまとめを行った。その中では、関係府省庁や関係研究機関が連携・協力し、気候変動及びその影響の観測・監視の取組について体系的に整理し、戦略的に取組を進めていくための考え方について、具体的な検討を進めることが適当であるとしている。

科学的知見に基づいた適応策を検討する際には、基礎情報としての長期的な観測・監視データが不可欠である。これら長期データの確保のためには、観測・監視の取組が、関係府省庁や関係研究機関の所管の枠を超えた連携・協力体制のもとで為される必要がある。そこで、これらの実現に向けた情報整理等を目的として地球観測連携拠点（温暖化分野）のもとに本検討チームが設置され、気候変動の影響観測・監視の現状把握及び適切な影響評価に向けての観測・監視の現状における課題の抽出を行った。さらに、それらの課題解決に向けた戦略的な観測・監視のための方向性について併せて検討した。

1.2 検討の進め方

会合は平成29年9月、12月および平成30年8月、12月の年2回、東京都内にて開催（事務局：地球温暖化観測推進事務局）した。平成29年度は主要な論点を「観測・監視（モニタリング）の現状の整理」、「観測・監視についての課題のとりまとめ及び対応策案」の2点として、政府の適応計画7分野に準じた①農業、森林・林業、水産業、②水環境・水資源、③自然生態系、④自然災害・沿岸域、⑤健康、⑥産業・経済活動及び国民生活・都市生活、⑦大気・陸面・海洋観測の各分野における観測・監視の取組について、委員事前アンケートを行った上で、会合にて議論した。平成30年度は関連分野の専門家らへの同様のアンケートを実施し、より広い範囲・項目の情報収集・共有が為された上で前年度の結果と合わせた議論を行い、戦略的な気候変動の影響観測・監視のための方向性について検討した。

なお、検討に当たり、委員の人員や専門分野に限りがあることから、極力広い分野を対象としてきたものの、本書のみで観測・監視の取組の全範囲をカバーできていない点にご留意いただきたい。

また、本書で整理した課題や方向性は本検討チームからの一提案であり、気候変動影響観測・監視の関係者への参考情報として、今後の気候変動影響観測・監視体制の充実・強化への一助となることを目的としている。

1.3 本書に記載する内容について

気候変動及び気候変動により既に生じているもしくは今後生じうる影響の観測・監視につき、政府の適応計画7分野に準じた特に重要な分野の専門家が委員として参画し、「気候変動の影響観測・監視の現状における課題」および「課題解決に向けた観測・監視のための方向性」についてとりまとめを行った。

第2章には各分野の気候変動影響のストラクチャー図（第2章①）、各分野の観測・監視の現状における課題（第2章②）を示す。全分野あるいは気候変動の影響観測・監視の取組全般における共通課題については、その課題の性質により下記A)～J)に区分を行い、各分野にて重要と思われる観測項目について、課題がある場合は、対応する課題カテゴリーを記載した（第2章③）。

課題カテゴリー

- A) 技術的な制約等により観測が為されていない、もしくは観測の有無が不明
- B) 観測が為されているがデータの入手が困難、もしくは入手方法が不明
- C) 観測が為されておりデータも入手できるが研究への活用が困難
(例：数値の読み込みが困難 など)
- D) 既存の観測において予算や人員等の不足により観測の継続が困難
- E) 過去に観測が実施されていたものの現在まで継続されていない
- F) 他分野・組織等とのデータ共有や連携が必要 □具体例を備考欄に記載
- G) 紙ベースのデータのデジタル化が必要
- H) 時間解像度の向上が必要
- I) 空間解像度の向上が必要
- J) 観測範囲の拡大が必要
- K) その他

重要な観測項目など	現業□ / 研究	課題カテゴリー	備考
(例) 湿度	(例) 現業	(例) H	

※ 「現業 / 研究」の区分は、「研究」（気候変動関連の研究とは限らない）を目的とする観測と、その他実施主体の事業またはその管理を主な目的として実施されている観測（「現業」）を指す。

■ 観測システム等に係る課題：A, B, C

技術的な制約等により観測システム自体が存在していないことが挙げられた(A)。また、観測システムが存在することは認識されているものの、データが非公開もしくは実施主体のもとで眠ったままであることによりデータの入手が困難となっている場合や(B)、バイナリデータが入手可能であっても、データのユーザーによってはテキストデータでないと研究への導入が困難な場合がある。研究実施に制約を与え得ることが懸念されている(C)。

■ 観測の継続性等に係る課題：D, E

既に実施されている観測でその重要性が認識されていながら、研究機関やプロジェクトによって取得・整備されたデータは十分な引き継ぎがされないまま失われる懸念のほか、長期継続に必要な予算が確保されていない懸念がある。また、観測およびそのデータ解析に携わる人材の確保・維持が困難な場合が挙げられる(D)。また、過去に観測が実施されていながら、プロジェクト等の終了に伴い観測が終了しているケースもある(E)。

■ 観測データへのアクセスの利便性及び媒体に係る課題：F, G

各機関・組織が保有している観測データや、研究を進める上で必要となる他分野の観測データへのアクセスに不自由がある点が挙げられており、解決に向けた組織間および分野間の連携、一元管理するプラットフォームの設置等が求められている(F)。また、紙ベースで保存されているデータ(過去の観測を含む)のデジタル化やデータベース化に向けた取組など(G)、データ利用の効率化に関する課題も挙げられている。

■ 観測の高度化に係る課題：H, I, J

研究の高度化に向けて観測の時間解像度の向上(H)および空間解像度の向上(I)が必要とされる場合や、特定のエリアのみで実施されている取組についてそのエリアの拡大・追加が必要とされている場合(J)がある。

これらの共通課題および各分野特有の課題を踏まえ、各分野における課題解決に向けた取組の方向性を整理(第2章④)した。なお、「②各分野の観測・監視の現状における課題」および「④課題解決に向けた取組の方向性」については、特に重要[□]と思われる内容について★印を付した。

□重要度の判断については、以下に示す「重大性」「緊急性」の考え方にに基づき、委員にエキスパートジャッジしていただいた(記載のない場合もあり得る)。

<重大性の考え方>

環境省に限らず政府や地方公共団体等がやるべきことで、社会(人命、影響の範囲、文

化資産等への不可逆的な影響)、経済(経済的損失)、環境(生態系、土地・水・大気機能)に影響を与える度合いが高く、優先的に観測を進めるべき項目。

<緊急性の考え方>

緊急性とは、既に気候変動の影響(の可能性)による変化が生じており、早急に観測を開始しなければ、既に生じているもしくは近い将来に生じる可能性のある影響の検出が困難になる(できなくなる)。

なお、本書の作成にあたり、2.4.3 沿岸生態系 については国立環境研究所熊谷直喜研究員、2.6.1 暑熱 については国立環境研究所小野雅司客員研究員にご協力をいただいた。

図1は本検討チーム活動の概要を示した図であり、その詳細について以降の章に記載した。

戦略的な気候変動の影響観測・監視のための方向性

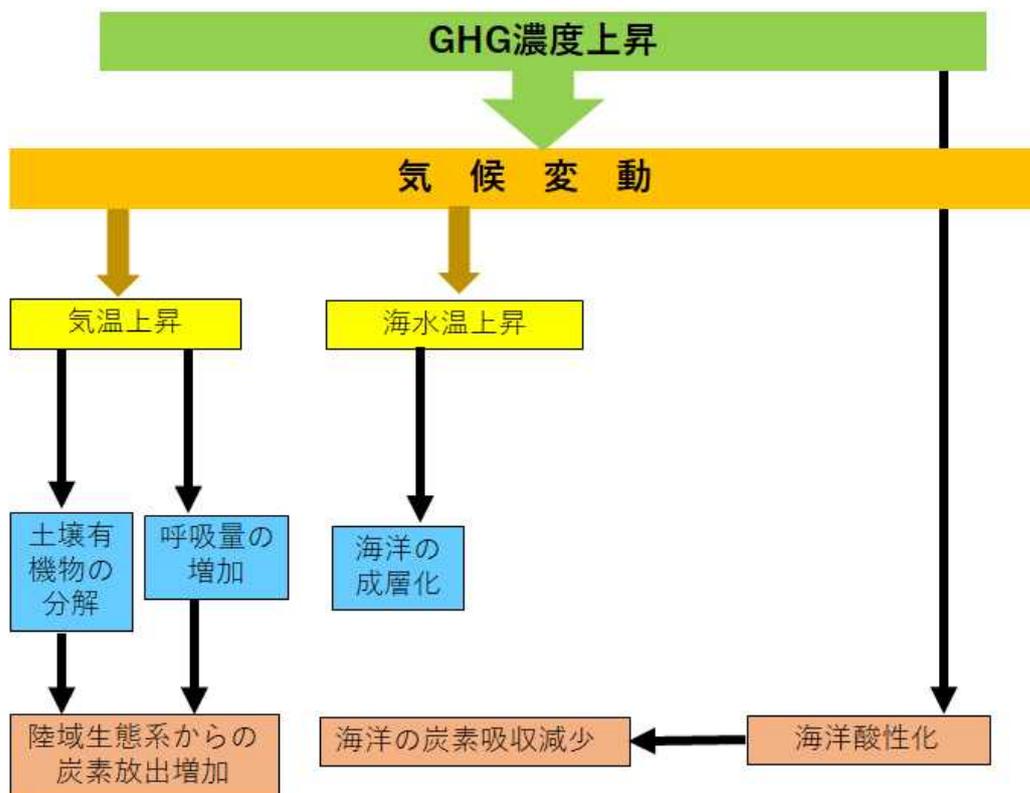


図1 気候変動の影響観測・監視の推進に向けた検討チーム検討の進め方について

第2章 気候変動の影響観測・監視の取組の現状における課題と将来の方向性

2.1 気候変動の観測・監視

大気・陸面・海洋の炭素循環における気候変動の影響



2.1.1 大気・陸面

気候変動による炭素循環の変動を把握するためのインバースモデルが発達しているが、そこに必要な温室効果ガスの観測は全球規模で不足している。特にアジア域、極域、熱帯域の観測は希薄である (2.1.1①a)。より定量的な把握に必要な同位体、酸素などの観測データはさらに少ない (2.1.1①c, d)。

データ充実のためには観測空白域の観測基盤の整備が重要であるが、測定したデータを真に活用するにはスケールの標準化を見逃してはならない (2.1.1②a, c)。研究ベースのデータ公開を促進するにはデータ提供者を評価する仕組みを強固にする必要がある。さらにデータフォーマットの統一も利用を促進するためには極めて有効である (2.1.1②e, f)。

①大気・陸面観測・監視の現状における課題について

- a. 大気観測から温室効果ガス（GHG）の排出源及び吸収源を逆推定するインバースモデルが発達しているが、そこで用いられる大気観測（GHG 濃度の観測及び大気陸面間の炭素輸送量等）が、特にアジア域や温暖化が特に顕在化している北半球高緯度域で不足している。高緯度域の問題に関しては、北極研究プロジェクト（現 ArCS プロジェクト）や国立極地研究所との連携が必要。また、衛星観測では観測が困難な熱帯域における大気中 GHG、陸域生態系フラックス・植生指数等の観測網が希薄である。大気微量成分の地上観測所の多くが先進国周辺に分布していることが一つの要因である。
- b. 一部地域においては、地上観測や航空機観測が実施されているが、地点数・頻度とも濃度変動要因を明らかにするには不十分である。人工衛星観測も実施されるようになってきているが、観測誤差やバイアスの存在が課題として残っている。特定のサイトにおいて集中した観測・検証実験が有効であると考えられるが、実際の精度検証は不十分。
- c. 炭素循環解明のプロセスの理解につながる GHG の同位体（安定同位体および 14C）の連続観測による高頻度高精度データが入手できていない。研究レベルでの高精度データは存在するものの、観測・監視の取組という意味ではデータが圧倒的に不足している。CO2 以外の GHG（CH4 等）の観測データも不足している。
- d. 炭素循環解明の補助データとして有効な自由対流圏および成層圏における大気主成分（酸素、アルゴン等）の観測・監視が極めて限定的であり、取組が不十分である。また、大気循環変動の影響を監視する意味でも大気球観測等による中部成層圏大気採取実験への支援が必要である。
- e. 観測メタデータの整備や公開が不十分である。★

②大気・陸面観測において特に重要と思われる観測項目の課題カテゴリーの整理

重要な観測項目等	現業 / 研究	課題カテゴリー□	備考
航空機を活用した GHG 濃度	研究	H, I	
船舶を活用した GHG 濃度	研究	H, I	
大気陸面間の炭素輸送量	研究	H, I	
アジア域での地上 GHG 濃度	研究	H, I	

□p.2 参照

③大気・陸面観測における課題解決に向けた戦略的な観測・監視のための方向性

- a. アジア域の観測インフラ整備及び観測体制の支援を行う。また、船舶や航空機を利用した観測の拡大が望まれる。
- b. 絶対精度的にはやや劣るが、内陸の希薄な観測網を補完するために、陸域生態系フラックス観測サイトにおける大気中 CO₂ 濃度等の相対的な変動データが活用されると良い。
- c. GHG の変動は振幅が小さいため、スケールの標準化が非常に重要となる。観測値の確実な品質管理が為され、各国・各研究機関の観測値が比較可能な状態となる必要がある。各機関間の GHG 濃度・同位体スケールや測定法の違いに伴う測定値のずれに関する情報の整備が重要となる。★
- d. 人工衛星等を利用した土地利用マップ、農業生産マップ、森林火災、民間気象会社等による高解像度気象データ等の活用が可能。これら大量データと気温と GHG データとを結びつける機械学習のノウハウなどで情報処理の研究者と連携することも可能。ビジネスモデルとしてどのように民間企業の協力を取り付けるかが課題である。
- e. 研究ベースの観測データの提供を促進するためには、データを提供することでデータ提供者にメリットが得られるデータ公開の体制や、データセットの作成・品質管理を評価する仕組みが必要となる。★
- f. 利用者が利用しやすいデータフォーマットにより、データが公開されることが重要である。
- g. 展葉、落葉、開花時期等の生物季節（フェノロジー）の年々変動監視に利用できる Web カメラデータの活用が望まれる。

2.1.2 気象

気象分野における気候変動の観測・監視については、大気・海洋大循環のエネルギー源である日射量の高精度の観測が維持されており、地上観測については気象官署等における観測の蓄積があるが、湿度観測（2.1.2①d）、観測データ品質に影響を及ぼす観測環境等メタデータ（2.1.2①b③b）の改善が望まれる。気象官署以外を含め多くの観測が行われてきたが、古いものの多くは紙媒体等のまま保存されており、利用環境を向上させることが課題である（2.1.2①c, f③d）。研究目的で行われた観測についても気候変動監視に利用できるような体制の構築が求められる（2.1.2③f）。人間活動への影響の大きい、繰り返し間隔が長い顕著現象・目視によるしかない観測項目などについても過去の把握を進めるとともに監視技術の向上を図る必要がある（2.1.2①e③c）。気候変動監視を主な目的としない観測にも、気候変動監視へ利用可能なものがあると考えられ、今後の継続性や過去データとの接続などの課題もあるが、利用について検討を進める必要がある（2.1.2①g, h③e, g）。大気全体の監視のためには上部対流圏や成層圏のデータも重要であり、充実が望まれる（2.1.2①a③a）。

①気象観測・監視の現状における課題について

- a. 上部対流圏及び成層圏における、水蒸気（現状：ラジオゾンデによる高層気象観測）と大気微量成分（現状：オゾンゾンデ及びライダーによる観測）に関するデータが不足している。★
- b. 過去の観測によると、気候変化は0.01□/年程度と小さいため、それらの検出のためには、高精度の長期観測データが必要となる。地上気象観測データは観測所・測器の置かれた環境に影響を受ける場合があり、設置環境（Siting）、曝露環境（exposure）や測器自体の問題が十分に議論されていない。測器や設置・曝露環境等、観測に関わる情報を示す観測メタデータを記録・保存していく必要がある。
- c. 過去からの気候変動の監視には、過去記録（紙面上の記録）のデータベース化が必要だが、膨大な時間とコストがかかる。気象庁にて、観測開始以来の降水量時別値・日別値、気温日別値のデジタル化が完了し、公開を始めた。現在は気温観測値のデジタル化に向けた作業が進められているなどの例はあるが、まだ利用されていないデータは多くあり、データの発掘、リスト化、デジタル化、データベース化の作業を進める必要がある。
- d. 地上の湿度を観測している観測所は気温等に比べて少ない。さらに湿度の観測所の多くは都市にあり、都市化の影響が懸念されるため、非都市地点のデータが必要となる。★

- e. 気象災害を引き起こすような顕著現象など、人間活動への影響の大きい、測器観測の歴史と同程度以上に繰り返しが長い現象、竜巻や雹など、現在も目視のみで観測される現象について、過去記録の掘り起こしが必要である。
- f. 画像化されている一部の原簿等のデータについては、観測場所、日時、要素などの情報が付加されていないものも存在する。★
- g. 実況監視・短期予報への利用を主目的として行われている観測のデータを、気候監視用にも使うことについて認識の共有が重要。
- h. 降雨に関する観測としては、気象庁による観測の他に、国土交通省水管理・国土保全局による c-band レーダー雨量計や x-rain (x-bandMP、c-bandMP 統合) による観測が行われている。これらのレーダー雨量計の全国的な配備に伴い、近年では詳細なデータが得られているが、観測開始が比較的最近であり過去との比較ができない。

②気象観測において特に重要と思われる観測項目の課題カテゴリーの整理

重要な観測項目等	現業 / 研究	課題カテゴリー□	備考
成層圏の水蒸気量	現業	A	
成層圏の大気微量成分 (オゾン)	現業	H	
成層圏の大気微量成分 (オゾン/エアロゾル)	研究	A	
地上気象観測所設置環境・測器曝露環境に関する情報 (メタデータ)	現業	A, B, G	
過去記録 (紙面上の記録) のデータベース化	現業 / 研究	B, C, G	
湿度	現業	E, H, I	
気象災害や顕著現象など	現業 / 研究	A, B, C, D, G	

□p.2 参照

③気象観測における課題解決に向けた戦略的な観測・監視のための方向性

- a. 気候の将来予測の精度向上のためには、成層圏に関する観測が重要であり、成層圏上部における定常的直接観測手段と、成層圏を観測するための高精度かつ低廉な湿度センサーの開発を進める。また、ライダーなどのリモートセンシングの成層圏における精度の検証を進める。★
- b. 地上気象観測はこれまで長く行われ、今後も継続すべき、気候変動監視において最も基礎的かつ重要な観測である。観測データのみならず観測所設置環境や測器曝露情報に関する情報（メタデータ）の標準化と、効率的な取得方法の開発を進めるとともに、これらが観測値に及ぼす影響についても、知見を蓄積する。測器の種類・型式、運用方法（データのサンプリングや平均化方法など）、設置状況（雨量計の助炭など）、周辺環境、メンテナンス記録などについて、過去の情報の収録・整備と、今後の蓄積を進め、履歴が辿れるようにする。
- c. 気象災害等の人間活動への影響を鑑み、測器観測の開始以前の情報の活用を進める。また、竜巻や雹など、現在も目視のみで観測される現象についても、過去記録の掘り起こしを進める。
- d. 画像化されている一部の原簿等データについて、観測場所、日時、要素などの情報を付加して整理を行い、データ利用を容易にするための方策を進める。★
- e. 実況監視・短期予報への利用を主目的として行われている観測のデータを、気候監視用にも使うことについて、認識の共有を図る。★
- f. 研究機関やプロジェクトによって取得・整備されたデータは、十分な引き継ぎがされないまま失われる懸念がある（例えば担当研究者の退職によってデータの管理者がいなくなり、所在不明になる等）。このようなデータを保存・共有する枠組みが望まれる。
- g. レーダー雨量計による観測の精度向上と長期継続により、気候変動の影響観測・監視に応用可能である。

2.1.3 海洋

海洋分野における気候変動の観測・監視は、もとより高いコストがかかり、その多くが各国予算で実施されている中で、国際的な連携の中で空間的な密度を確保しつつ長期的に観測を維持することが課題となっている（2.1.3①b③b）。温暖化に伴い蓄熱が進んでいる海洋深層の監視も維持・強化の必要がある（2.1.3①a③a）。海洋の二酸化炭素吸収やそれによる海洋酸性化の進行に伴い、炭素循環と海洋環境の変動の把握も重要であり、取り組みを進める必要がある（2.1.3①c）。海洋アセスメントなど気候変動監視にこれまで利用されていない観測データを発掘し利用していく取り組みも望まれる（2.1.3①d③c）。

①海洋観測・監視の現状における課題について

- a. 大気的气温上昇に伴う地球表層の熱量の増加分のおよそ90%は海洋内部に貯熱されている。このため、海洋は大気との熱や水蒸気のやり取りや海洋の循環を通じて様々な時間・空間スケールで気候に大きな影響を与えており、同時に気候変化の影響を受けてその循環を変化させている。そのため、海面水温だけでなく、海洋内部の水温変化に関する情報が必要であるものの、現在は特に海洋深層（2000m以深の層）のデータが不足している。気候変動に伴う降雨量と蒸発量の変化は、海水の塩分に現れ、塩分の変化も海洋の循環に影響を及ぼすことから、海洋では水温と同時に塩分の観測も重要で、全球海洋の塩分を深層まで継続的に観測する必要性も認識されている。しかし、海洋深層の観測はほとんど海洋調査船に依存しており、観測の時空間カバレッジは著しく不足している。★
- b. 気候変動に伴う、海洋の貯熱量・淡水貯蔵量の変動のモニタリング、および、海洋のベンチレーション過程の変動のモニタリングのために、全球海洋における水温・塩分の鉛直プロファイルの長期観測が必要である。現在、全球海洋の水深2000m以上の海域においては、Argoフロート観測網によって、深度2000mまでを水平解像度約300km、時間解像度10日での観測がほぼ実現しており、これにより、季節変化を解像しつつ、大規模（約1000km以上のスケールの）変動をモニタリングする体制がおおむね維持されている。ただし、季節海氷域については、十分な数のArgoフロートが展開されていない。また、フロート投入後の漂流により、フロート分布に粗密が生じるため、十分な空間解像度が実現されていない海域も存在する。Argoフロートの寿命は平均4～5年程度なので、年齢も考慮しつつ、フロートが不足している海域への継続的なフロート投入が必要であるが、Argoフロートの投入・運用の大半は、各国の予算によるため、観測網の長期的安定性は不透明である。★
- c. 大気中の二酸化炭素の増加に伴う海洋の二酸化炭素吸収と、海洋酸性化や、気候変化に伴う海洋循環の変化による貧酸素化や、基礎生産の変化などをモニタリングするた

めには、海洋の二酸化炭素分圧、全炭酸濃度、アルカリ度、pH や、溶存酸素、クロロフィル a、栄養塩、懸濁粒子、水中放射照度などを計測する必要があるが、これらの項目の観測の時間的・空間的なカバレッジは著しく不足しており、時空間的に離散的なものにとどまっている。海洋表層の二酸化炭素分圧については、海洋調査船や商船による観測が行われ、大気・海洋間の二酸化炭素交換や海洋酸性化の評価に活用されていることから、引き続き国際連携の下で観測を維持・発展させることが重要である。一方、これらの海洋内部の観測についても、海洋調査船による高精度の観測が国際連携の下で進められおり、海洋内部への二酸化炭素蓄積や貧酸素化の実態把握に活用されている。海洋調査船による観測では高い精度でデータを取得できる長所があるが、時間的・空間的なカバレッジに問題がある。このため、溶存酸素、pH、クロロフィル a、硝酸塩、懸濁粒子、水中放射照度を計測するセンサーを搭載した Argo フロートによる観測網 Biogeochemical(BGC) Argo の構築が始まった。しかし、現在のところアメリカなど一部の国による領域的なパイロット観測の段階であり、全球的に展開していく道筋は不透明である。国際協力のもとで、この BGC Argo 観測網の構築を推進することが重要である。★

- d. 海洋開発等に伴うアセスメント事業などで得られながら、その後利用されず埋もれた海洋観測資料がある。
- e. 観測実施機関や観測時期の違いによる比較可能性を確保するため、観測データは SI にトレーザブルであること、不確かさを付与することが必要である。そのための計測標準の維持管理、計測標準を適切に使用した測定、データ処理、品質管理といった手法・手順を国際的に統一する必要がある。★

②海洋観測において特に重要と思われる観測項目の課題カテゴリーの整理

重要な観測項目等	現業 / 研究	課題カテゴリー [□]	備考
海洋深層の水溫・塩分	現業 / 研究	H, I	
全球海洋における水溫・塩分の鉛直プロファイル	現業 / 研究	H, I	
生物地球化学的観測（二酸化炭素分圧、全炭酸濃度、全アルカリ度、pH、溶存酸素、クロロフィル a、栄養塩、懸濁粒子、水中放射照度等）	現業 / 研究	H, I	
未利用データの発掘・活用			

□p.2 参照

③海洋観測における課題解決に向けた戦略的な観測・監視のための方向性

- a. 海洋の底層を含む表層から深層まで水温の変化を長期的に監視することで、海洋の蓄熱量増加の実態を評価し、大気的气温上昇に伴い海洋深層がどれだけ温まるのか、そのメカニズムを解明する。
- b. 観測網を長期的に維持する国際的な仕組みをつくる。水深 4000m ないし 6000m まで観測できる Argo フロートが開発され、これを全球海洋に約 500km 四方に 1 台に割合で展開する Deep Argo のアイデアが提案されているが、高精度の観測を長期間持続するためのフロート・センサー技術のさらなる発展と、Deep Argo 観測網を全球に展開する道筋をつける、観測網を長期的に維持する国際的な仕組みをつくる。
- c. 海洋の深層循環や炭素循環の解明には今なお不十分であり、BGC Argo や Deep Argo 等の自動観測機器による海洋観測網の構築を推進する必要がある。一方、海洋調査船による現場観測は、海洋内部の微小な変化を正確に把握すると同時に、センサーでは実施できない多様な観測を実施する上で引き続き不可欠であり、Argo 観測網等の展開やデータの質を維持する基盤・基準としても重要なことから、全球海洋各層観測調査プログラム（GO-SHIP：Global Ocean Ship-based Hydrographic Investigations Program）等の国際的な取り組みと連携した長期継続的な観測を推進する。また、海洋表層の二酸化炭素分圧変動や海洋酸性化を監視するため、海洋表層二酸化炭素観測ネットワーク（SOCONET：Surface Ocean CO₂ Observing Network）の国際的な取り組みと連携した長期継続的な観測を引き続き推進する。
- d. 海洋開発等に伴うアセスメント事業などさまざまな目的で得られながら埋もれた観測資料の発掘により、本周辺沿岸域における海洋環境変化に関する資料を充実させる。環境研究総合推進費により平成 27 年度～29 年度に実施された「歴史的海洋表層水温データの再整備と気候学的評価」（研究代表者：石井正好（気象研究所））は、極めて重要な成果である。同様の取り組みを推進する。
- e. ベストプラクティスマニュアルの整備等により、計測標準の維持管理、計測標準を適切に使用した測定、データ処理、品質管理といった手法・手順の周知を図り、SI にトレイザブルで不確かさが付与された、各機関や観測時期の違いをこえた比較可能性が確保された観測データが取得できるような取り組みを推進する。（日本海洋学会発行「海洋観測ガイドライン」が参考になる。）

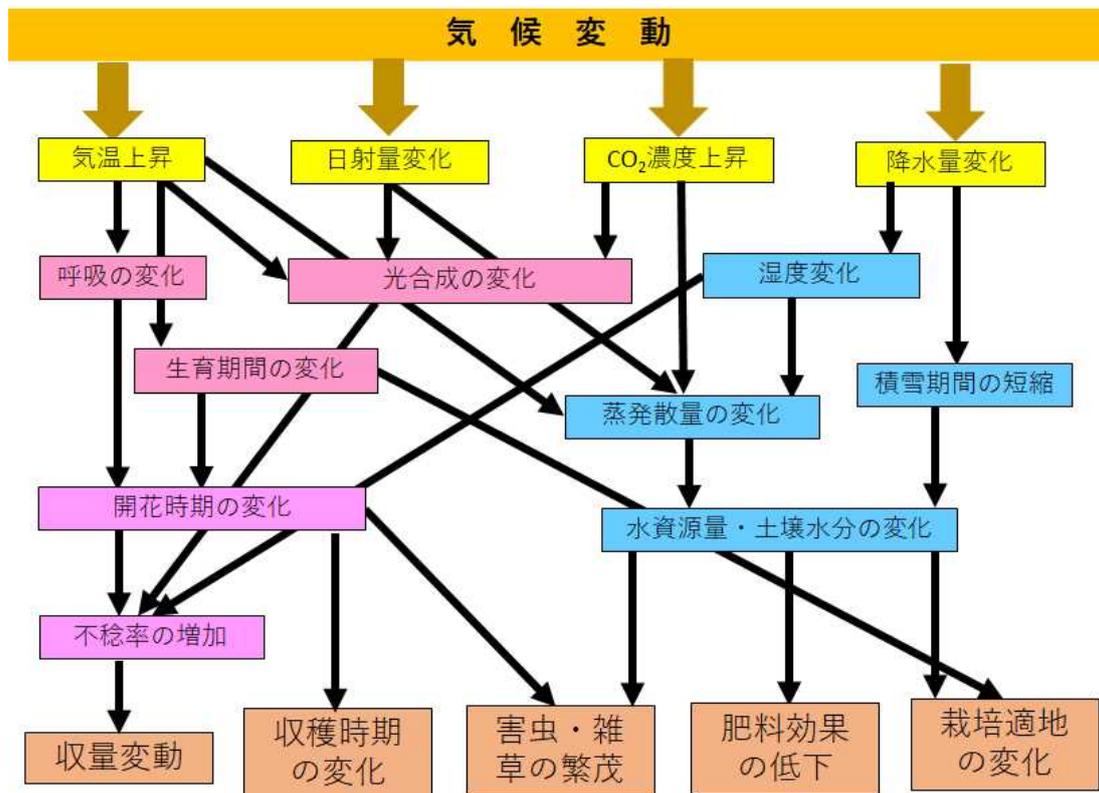
2.2 農業、森林・林業、水産業

2.2.1 農業

気候変動による影響の検出および将来の予測には作物ごとの最終収量のみならずフェノロジー（栽培暦、出穂時期、収穫時期）に関するデータが重要であるが、コメについては比較的整備されているものの、他の作物についてはほとんどない。

今後の方向性としては、基本的な気象要素と作物栽培状況をリアルタイムで観測する測器が全国に配置され、それらのネットワーク化が急務である（2.2.1②a, b④a）。また、データ充実のために、紙媒体で保存されているケースが多い都道府県の保有する栽培試験データを解析に利用するために加工しデータベース化する。その際、個人情報を含んでいるため、関係機関の協力が重要である（2.2.1②h④c）。

①農業における気候変動影響のストラクチャー



②農業での観測・監視の現状における課題について

- a. 農業分野での影響評価においてはフェノロジーデータ（栽培暦、出穂時期、収穫時期）が重要であるが、現状では利用可能なデータが不足している。コメは比較的整備されているが他の作物はほとんどない。果樹や野菜などに関するデータも少ない。衛

星観測データによる推定も利用可能な場合もあるが、詳細な個別作物についての情報は得られない。

- b. コメの影響評価については、奨励品種決定試験結果（品種、生育、成長、収量等データの組合せにて評価）が有用なデータと思われるが、未公表もしくは利用条件が不明である。
- c. 一般気象要素については、信頼性の高い長期・高密度（時間的・空間的）データが必要であるものの、とりわけ湿度や日射量のデータが不足している（関連 2.1.2.①d）。湿度データは作物の生育・成長の推定精度向上に寄与し重要である。衛星観測データや気候モデル出力値も利用可能だが、信頼性が不十分であり、代替データとしての使用は難しい場合が多い。
- d. 山岳域での風速や積雪量の高精度かつ高密度（時間的・空間的）な長期データは、農業水資源量の評価において有益な情報である。
- e. 作物における非常に短い時間スケールで起こる現象（受粉過程など）の高精度な予測のためには、少なくとも 1 時間スケール程度の一般気象要素データが整備される必要がある。
- f. 一般気象要素であっても、時間的な解像度が高い観測データは多くは存在していない。近隣の蓄積された気象データとセットでうまく分析し、ターゲットとなるサイトのデータを時間的にダウンスケールする方法の開発が期待される。日射量や降水量の時間的なダウンスケールは農業だけでなく、防災、人間の健康被害の観点からも必須である。
- g. 日射量の観測点は少なく、農耕地を中心としたなるべく多くの地点で日射量の観測が行われることが望ましい。
- h. 都道府県の保有する栽培試験データは紙媒体で保存されているケースが多く、それらを解析に利用するための加工に時間と労力を要している。また、既存の統計資料については行政界別に集計されたものが多いため、行政界の変遷に伴う対象地域の特定作業が発生する。グリッドなどへのデータ変換が行われることが望ましい。

③農業にて重要と思われる観測項目の課題カテゴリーの整理

重要な観測項目等	現業 / 研究	課題カテゴリー□	備考
フェノロジー	現業	B	
収量	現業	B	
日射量	現業	I	
湿度	現業	B, I	
管理（施肥の種類と施用 量、灌漑水等）	現業	A, B	

□p.2 参照

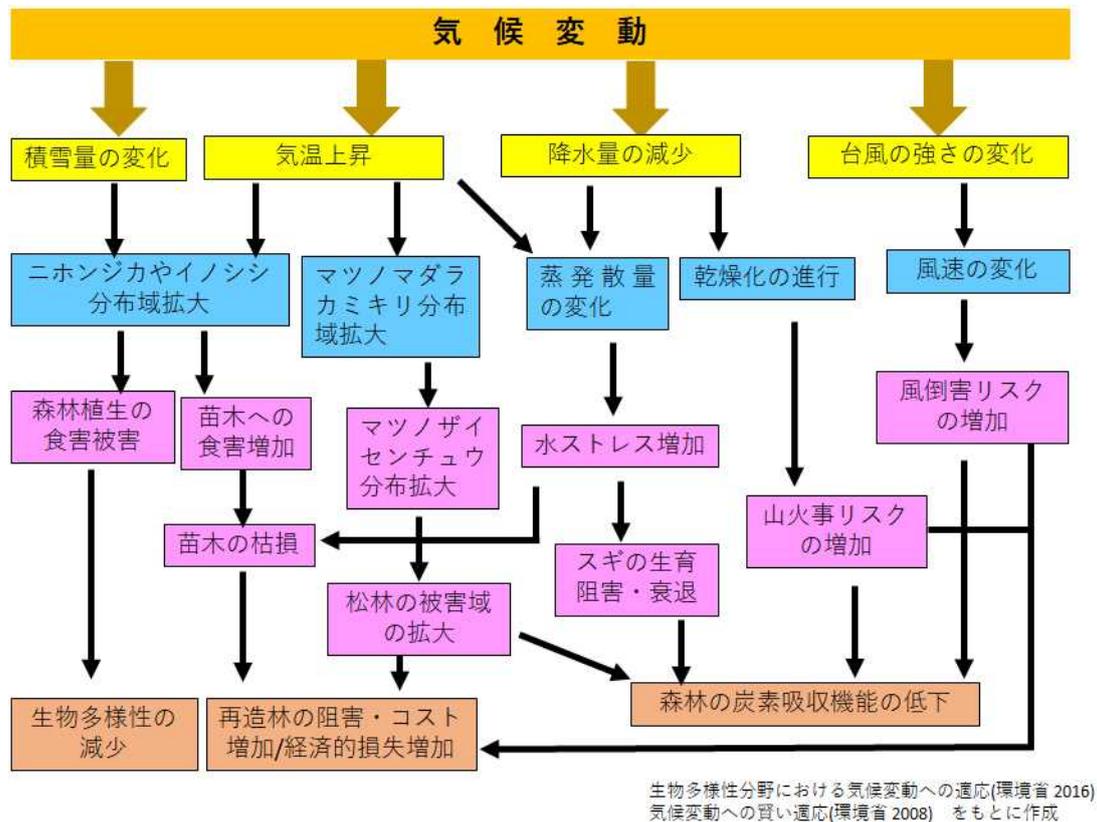
④農業における課題解決に向けた戦略的な観測・監視のための方向性

- a. 作物の栽培地帯に気象ステーション網を整備し、それに合わせてデジタルカメラを設置してのフェノロジー観測ができるようになることが望ましい。基本的な気象要素と作物栽培状況をリアルタイムで観測する測器が全国に配置され、それらがネットワーク化されることが理想的である。
- b. 過去のフェノロジーデータ及び一般気象データ（気温、降水量、日射量、湿度等）、生産量データ、施肥情報、灌漑情報等については、圃場スケールのデータセットが整備・公開されることが望ましい。★
- c. 作物栽培地域の時系列変化の把握のためには作物別の栽培地域の分布データが必要となる。各地の農業試験場等で長期間にわたり蓄積されてきた作物別の栽培試験関連データの公開及び統合が為されると、関連研究に非常に有用である。各地の農業普及委員などが農家の生産情報を保有しているが、個人情報を含んでいるため、関係府省庁が取りまとめを実施することが妥当と思われる。
- d. 多年生の作物や果樹に関するフェノロジー、品質、収穫量に関するデータは環境変化の経年影響を反映していると考えられるので、過去のデータを時間・空間的にアーカイブすることはきわめて有益である。

2.2.2 森林・林業

森林分野における気候変動の影響把握には、樹木の成長や生残、分布が重要である。広くわが国の森林を対象とした影響把握は、環境省のモニタリングサイト 1000 や林野庁の森林生態系多様性基礎調査等の観測体制が整備されている (2.2.2②c, d)。また、森林変化の影響を効率的に観測するには、植生帯の移行域などの植生境界に焦点を絞るといった工夫が必要であろう (2.2.2②b)。一方で、林業を対象とした影響把握は、特に初期成長や成林に至る過程での被害発生等に関して基礎となる観測データが不足しており (2.2.2②a)、紙媒体や個別で管理されている情報を共有化する取り組みが不可欠である (2.2.2④e)。さらに、民間企業等が個別に実施する観測網との連携も検討が必要であろう (2.2.2④d)。

①森林・林業における気候変動影響のストラクチャー



②森林・林業での観測・監視の現状における課題について

- a. 森林・林業に対する温暖化影響の顕在化の状況把握及び予測のためには林業樹種（スギ、ヒノキ、カラマツ）に関する観測が重要となるが、苗木の生残や風倒木の状況など、基礎となる観測データが現状では不足しており、個体レベルでの生理的応答に関する研究にとどまっている。★

- b. 今後、全国レベルでの温暖化の影響把握には、各地での統一的な基準での調査区の設置と継続調査が検討される必要がある。分布変化については、地域的な違いや生物種ごとの応答の違い（同じ生物でも地域によって反応が異なると予想される）が想定され、全国複数の場所で網羅的に行うことが重要である。これまでの研究から植生帯の移行域（例：常緑樹から落葉樹へと変わる暖温帯から冷温帯）で変化が見られることが指摘されている。例えば、森林総研を中心としたチームでは、筑波山（茨城県）、狩場山（北海道）、ニセコ山系（北海道）において、温暖化に伴う植生や植物種の分布変化把握のための植生モニタリングを実施している。これらの調査は各山塊に標高ごとの永久調査区を複数設け、継続的な調査により分布変化を捉えようとするもので、温暖化に伴う生物種の分布変化を検出する事を目的としている。このように、分布変化を捉える上では、このような移行帯を含むような標高傾度に沿ってモニタリングサイトを接し、動植物が時系列でどのように推移していくか（もし、過去のデータがあれば、"どう推移してきたか"を比較）を観測することが必要であろう。
- c. 肥大成長特性の把握にはモニタリングサイト 1000 における毎木調査結果が活用可能だが、精度が一定ではなく、測定間隔も年ごとであるため、気温変化の季節性の影響を明らかにすることができない。
- d. 森林植生の変化については、林野庁による森林生態系多様性基礎調査が十分に利用可能と思われる。4 km グリットの定点で観測される全国規模のシステムティックな調査であり、天然林も観測の対象とされている上に QA/QC も為され信頼性も高い。さらに、松枯れやナラ枯れによる枯損が疑われる個体の有無、シカ等による食害などに関しても調査項目があるため、これら被害状況の観測データとしての活用も可能である。
- e. 降水量に比べ、風速を測定している観測所が少ない。気候変動に伴う強風の頻度・強度の変化の傾向を把握するためにも出来るだけ多点でのデータが必要である。風速データは、時間分解能の大きい順に平均風速、最大風速、最大瞬間風速などがある。風速を測定している観測所でも時間分解能の小さい最大瞬間風速のデータがないところも多い。★（中程度）

③森林・林業にて特に重要と思われる観測項目の課題カテゴリーの整理

重要な観測項目等	現業 / 研究	課題カテゴリー□	備考
雄花及び花粉飛散量の観測	現業	J	飛散花粉は広く観測されており、飛散予測は一般企業などを含めて行われている。一方、着果段階での雄花生産量の把握に関する観測手法や実施体制、さらに、翌春の飛散予測、温暖化を考慮した将来予測等に関する研究は十分でない。
風倒木等の被害木、被害状況の観測	現業 / 研究	F, J	毎年大小の被害が出ているが、網羅的な観測はなされていない。人工林については、被害木に対する森林保険の支払いデータ等が(過去も含めて)活用可能だろう。また、衛星画像や航空機等によるセンシングも検討の対象となり得る。

□p.2 参照

④森林・林業における課題解決に向けた戦略的な観測・監視のための方向性

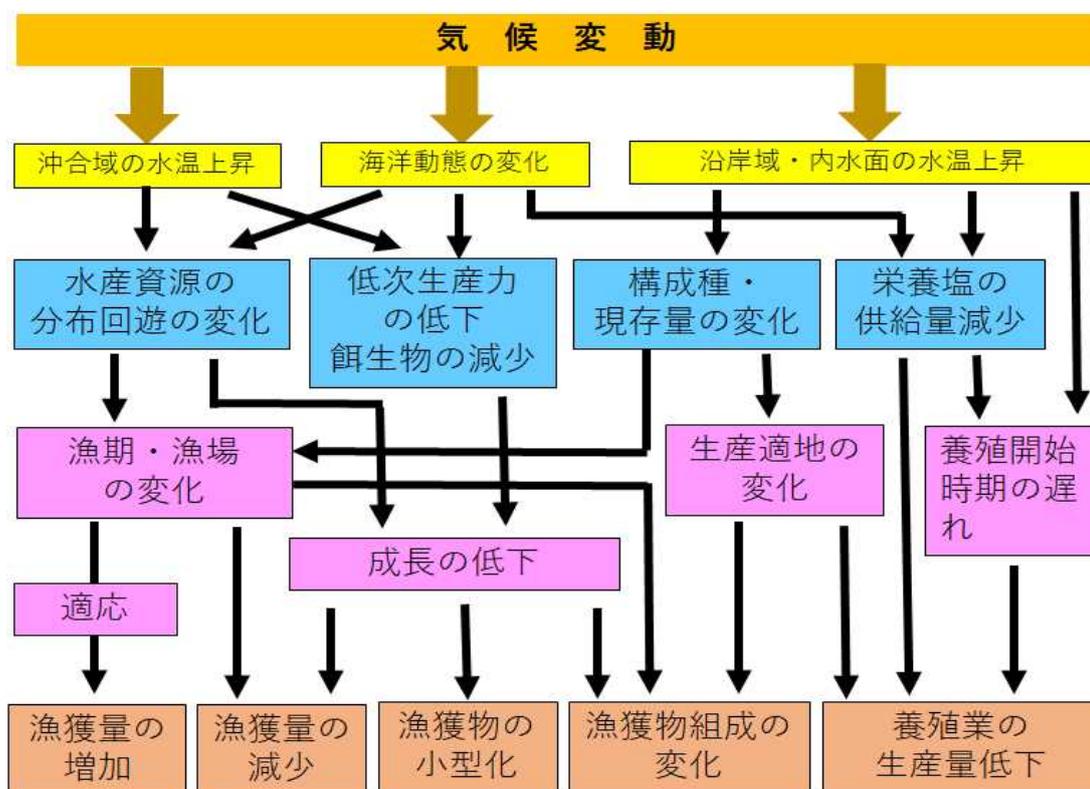
- a. 樹種ごとの肥大成長特性の時系列データを広域及び多地点で得られることが望ましく、自記型デンドロメーターの導入がデータ精度及び時間解像度の高度化と観測労力の低減に貢献する可能性がある。この様なデータは、樹種別の年輪生長量やフェノロジーの空間変化データを用いたプロセスベースニッチモデリングを介して、気候変動影響の定量的な把握につなげることが可能である。
- b. 松枯れ・ナラ枯れ被害木の分布・量などについて、林野庁や自治体が保有するデータが全国的・統一的なデータベースに整理されることが望まれる。
- c. 主に人工林における森林被害の発生状況については、森林保険の支払いデータが活用可能と思われる。森林（造林地）に対し、何らかの被害（風倒害、林野火災など）あった場合に補償金を支払う制度であり、この支払いに関するデータと過去の気象イベントについてメタ解析を行うことで、気候変化と森林被害の関係性について定量的な解析が可能だと思われる。（過去のデータに関してはデジタル化されておらず、解析ができていない。）
- d. 環境省の観測システム（はなこさん）の継続と同時に、民間企業の取組（携帯基地局における気象条件及び花粉飛散量の観測）との連携を図る。特に継続性に課題はあるものの、営利目的データを気候変動影響研究へ利用できる仕組みの構築が重要である。
- e. 林業分野における気候変動に対する適応策に関する意識の向上が必要。森林や植生への気候変動影響はゆっくりと長期にわたり現れるものも多いため、森林生態系多様性

基礎調査を代表とする森林植生調査の長期継続とそのための予算確保が必要となる。森林・林業分野における気候変動に対する適応策に関する意識の向上とともに、上記調査と学会との協働などによるデータの有効活用と、公開度や知名度の向上が進むことが望ましい。

2.2.3 水産業

水産業分野への気候変動による影響は、適水温に応じた水産資源の分布・回遊域の変化、及び海洋の生産構造の変化によって、各地の漁獲物組成や魚体サイズの変化として生じる。水産資源のモニタリングは水産資源の評価・管理を目的として比較的充実しているのに対し、影響メカニズムの解明・把握に必要な沖合域の低次生産、沿岸域の藻場・海藻群落の監視は継続基盤が弱い状況にある（2.2.3②a, d）。今後、気候変動の影響を意識して水産資源のモニタリングを実施することに加え、影響メカニズムの解明・把握に必要な海洋生態系情報の観測体制の基盤強化と関連する研究機関の連携体制の構築が重要かつ急務である（2.1.3④b、2.2.3④a, d、2.4.3④d、2.4.4④a, d）。

①水産業における気候変動影響のストラクチャー



②水産業での観測・監視の現状における課題について

- a. 水産資源のモニタリングは水産資源の評価・管理を目的として水産庁の事業を中心に実施されており、漁獲統計（漁獲量、漁場位置）など数量的データを基に温暖化の影響を把握することが可能な体制となっている。★
- b. 水産資源の変動や漁場位置の変化との関連を解析する目的で水温（特に表面水温）データも沿岸域を中心に継続的にモニタリングがされている。水温は水産業以外にもニーズが多いことから、モニタリング体制もかなり充実している。ただし、各沿岸域の海洋観測データ（水温・塩分・流れ）についても長期データベースは少なく、かつ公開されていない場合もある。これらのデータベースの有効利用を計ることも重要である。

- c. 水産資源や水温と比較して、植物プランクトンや藻類などの低次生産、餌料生物としての動物プランクトン類やその他微小な動物類のデータはモニタリング体制が弱く、温暖化の影響把握には不足する状況にある。特に、外洋と中深層のデータは入手困難であることから不足がちである。★
- d. 沿岸域の藻場については、水産資源における藻場の重要性は認識されているものの、定期的に分布域、構成種、現存量などをモニタリングしている事例は少なく、局所的な事例のみである。★
- e. ノリ・ホタテ貝をはじめとする養殖業への気候変動の影響は、高水温による養殖開始期の遅れや死亡率の増加による経済的損失として各地で報告されている。そのため、養殖場付近の水温や栄養塩類の連続観測が各地で実施されるようになり、観測結果を用いた適応策の開発が進められている。★

③水産業にて特に重要と思われる観測項目の課題カテゴリーの整理

重要な観測項目等	現業 / 研究	課題カテゴリー□	備考
水産資源量 / 漁獲量	現業	F, I	
海水温	現業	F, H, J	中深層にも拡大
生物生産 (餌生物 / プランクトン)	現業	D, H, I, J	外洋、中深層が特に不足
海洋動態 / 栄養塩供給	研究	B, H, I, J	
藻場・海藻群落	研究	D, E, F, I	

□p.2 参照

④水産業における課題解決に向けた戦略的な観測・監視のための方向性

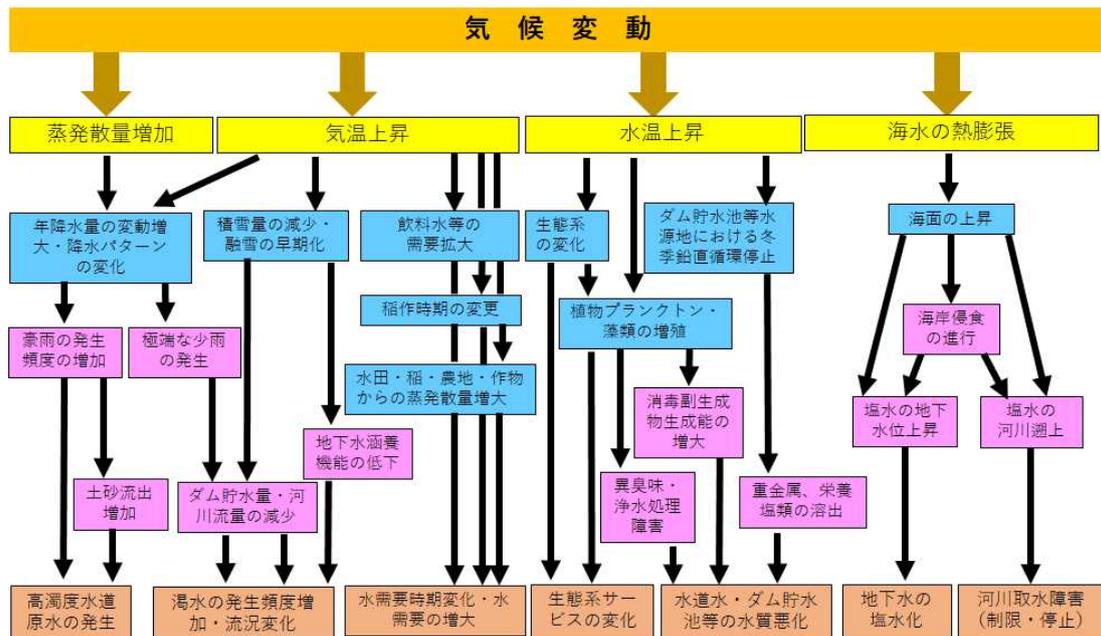
- a. 水産資源の変動は、気候変動以外の数年スケールから数十年スケールまでの周期的な変動も関与する。そのため、最低でも数十年間のモニタリングが必要となる。そのため、短期的成果にとらわれない観測体制の構築が不可欠である。★
- b. 水産資源の評価・管理に関する調査においても温暖化を意識した調査計画（精度や頻度、調査項目）が、気候変動の影響を効果的に把握していく上で重要となる。特に気候変動による分布域の変化、漁期・漁場の変化による地域経済への影響把握が可能な監視体制の構築が望まれる。

- c. 水産資源と海洋環境のデータは、分離して管理される傾向にある。生物情報と海洋情報を一元的に管理し、結合して利用することが、気候変動の影響把握に大きく貢献すると考える。国や自治体の公的研究機関の枠組みを超えた環境・生物モニタリング体制とネットワークの構築が望まれる。
- d. 水産資源に加えて、餌料環境（プランクトン）のモニタリング体制強化も気候変動の影響把握には必要である。モニタリング体制の強化に加えて、貨物船等も活用した外洋域における通年の動物プランクトンモニタリング網の構築、亜表層のクロロフィルも観測可能な Bio Argo フロートや水中グライダーを展開させる等の観測の効率化や広域・高解像度化も重要である。★
- e. 環境省のモニタリングサイト 1000 等で実施されてきた沿岸生物相調査を引き続き継続していくことで、沿岸生物の変動を監視できる可能性がある。ただし現行のモニタリングサイト 1000 では岩礁域におけるベントス調査は充実しているものの、アマモ場、藻場ではベントスのデータが少なく、この点を充実させる必要がある。
- f. 藻場や海草の分布把握手法として、衛星画像などの解析による藻場分布の状況把握技術の開発が急速に進んでおり、その応用や精度向上が効率的な藻場や海草の分布域把握に有効である。
- g. 養殖場によける連続監視体制の強化が必要であることに加え、高水温による影響過程に関する知見の充実、観測結果を効率的に適応策に結び付ける技術開発が今後の課題である。

2.3 水環境・水資源

※水環境・水資源分野に関連する項目は密接に関連することから、2.3.1 および 2.3.2 をともに水環境・水資源として表記するが、2.3.1 では水環境・水資源全般について、2.3.2 では特に水供給に係る内容について記載した。

水環境・水資源分野における気候変動影響のストラクチャー



2.3.1 水環境・水資源全般

水環境および水資源に対する気候変動による影響は、多岐にわたると考えられるが、降雨パターンや降雪・融雪パターンの変化による河川流況の変化、温暖化による水温上昇の2つが、気候変動の影響を媒介する重要な環境要素である。また、河川により運ばれる土砂も水環境に大きく影響する。このため、水環境および水資源に対する気候変動による影響を評価するためには、河川流量、水温に代表される河川水質、また流砂の観測・監視が必須であるし(2.3.1②a,b,c,d,j)、これら項目は水土砂災害の観点からも観測・監視が必須である。現状の観測態勢は、管理目的での実務的観測・監視が中心であり、気候変動影響を監視するという目的に使用するためには、工夫が必要である(2.3.1②a,c)。

①水環境・水資源全般の気候変動影響のストラクチャー

p.24 参照

②水環境・水資源全般での観測・監視の現状における課題について

- a. 河川・湖沼では管理目的の実務的なモニタリングが主であり、水域による所管（都道府県等の地方自治体、もしくは国土交通省等）の違いから、全国統一のデータベースが存在せず、河川水位・流量、水質情報が統合的に保存されていない。★
- b. 小規模河川における流量・水質データが不足している。
- c. 河川水系全体の変容がわかる程度の空間分解能（例：河川セグメントごとに複数かつ設置点が河川構造物の影響を受けていないなどの考慮が必要）で、できれば一時間毎の時間分解能で観測（日最大・最小などの変化特性も必要なため）されることが必要である。
- d. 河川水温に代表される水圏の熱環境に関する（統一品質の）経時変化データが不足している。
- e. ダムの堆砂量を観測している地点の流出土砂量は推定できるが、砂より細かい土粒子については、現状では捕捉できていない。

③水環境・水資源全般にて特に重要と思われる観測項目の課題カテゴリーの整理

重要な観測項目等	現業 / 研究	課題カテゴリー□	備考
河川流量	現業 / 研究	C	
河川水質	現業 / 研究	C	
流出土砂量	研究	A	ダムにおける堆砂量からの推定が主

□p.2 参照

④水環境・水資源全般における課題解決に向けた戦略的な観測・監視のための方向性

- a. 所管の枠を超えた全国の河川データの統合及び小規模河川の流量（水位）観測の拡充を進める。その際には平均値のみでなく、社会影響が大きい両極値（最大値・最小値）も求められるように重点を置くべき。★
- b. 国、地方自治体、インフラ関係組織、農業関係組織などが有する気象・水文情報について、メタデータの整理と公開を通じたデータの共有・連携が望まれる。

- c. 水循環の変化に伴う水環境の変化の把握のためには、水質定期採水調査の結果が活用可能である。
- d. 整備方法や調査開始時期が異なるデータ（管理目的で実施されている既存観測のデータ等）の統一データベースの作成。これらは相当量のデータ蓄積が見込まれるため、統一化により使用可能となれば、気候変動の影響観測・監視に応用が可能となる。例えば、国交省防災情報提供センターのHPのように、すべての情報が集約されるように義務化して閲覧、ダウンロードできるようになると良い。
- e. 目的によって観測データの質が違うので、使用機器や測定位置など観測条件を明確にするよう注意が必要である。長期観測になるので出来るだけ安価で簡単な観測・監視がなされると良い。技術力のある民間企業の参画も望まれる。
- f. 陸域から河川への流出土砂量については、研究目的の直接観測（一部ダムで実施事例あり）の拡充を進める。ダムにおける流入水量、放流量に関しては、ダム管理月報、日報などの情報が活用可能である。
- g. 生態系の変化の把握のためには、河川水辺の国勢調査などの生物モニタリング調査情報が活用可能である。

2.3.2 水環境・水資源（水供給）

気候変動による水環境・水資源分野への影響は、気温（水温）の上昇、降雨パターンの変化は、渇水、洪水・高潮、水質の悪化等のリスクを増大させる。特に、水資源を直接利用する水供給システムへの影響の把握は、全国レベルでの水源流域ごとの水量と水質と浄水処理障害の状況をリアルタイムで観測することが急務である（2.3.2②など）。特にダム貯水池等においては、藻類の異常増殖が懸念されることから、藻類の属種名、個体数、かび臭原因物質産生の有無等のデータベース化が求められる（2.3.2②b④aなど）。そのためには、水源流域内の関連機関が連携して実施することが重要である（2.3.2④）。

①水環境・水資源（水供給）における気候変動影響のストラクチャー

p.24 参照

②水環境・水資源（水供給）での観測・監視の現状における課題について

- a. 水供給システムにおいては、水資源を直接利用するため、気候変動の影響は計り知れない。気温（水温）の上昇は、ダム貯水池において、藻類の異常増殖を招き、異臭味やろ過閉塞・漏出等の生物障害、消毒副生成物の生成能の増大を引き起こすことが知られている。
- b. 水源流域内の藻類の観測・監視には、国土交通省、地方公共団体、水道事業体、水資源機構等の関連機関が連携して実施する必要がある。藻類の属種名、個体数、かび臭原因物質産生の有無等のデータベース化が求められる。
- c. 豪雨や巨大台風の頻発化・激甚化は、高濁度原水の発生頻度を増大させる。高濁度原水の発生により浄水場の処理能力を超えた場合、浄水場の機能が停止する恐れがあるため、適切に取水停止等の措置をとる必要がある。このため、水源流域内の濁度の観測・監視を徹底して実施することが求められ、国土交通省、地方公共団体、水道事業体、下水道事業体等の関係機関が連携して実施する必要がある。
- d. 水道水質基準項目、水質管理目標設定項目（農薬類を含む）については、上水道事業・用水供給事業については、（公社）日本水道協会がデータベース化の上、ホームページで公表しているが、簡易水道事業では、データベース化をしていない。
- e. 全国レベルでの水道水源における消毒副生成物前駆物質、クリプトスポリジウム、ジアルジア、ウィルス等病原微生物の汚染レベルの情報が不足している。★

③水環境・水資源（水供給）において特に重要と思われる観測項目の課題カテゴリーの整理

重要な観測項目等	現業 / 研究	課題カテゴリー□	備考
水源流域の藻類の属種、個体数	現業	F	国土交通省、地方公共団体、水道事業体、水資源機構等の関連機関との連携
水源流域の濁度	現業	A	
地下水位	現業	A	
全国レベル（中山間地を含む）での水道水質基準等項目	現業	G	
全国レベルでの水道水源における消毒副生成物前駆物質の濃度	現業 / 研究	A	
全国レベルでの水道水源におけるクリプトスポリジウム、ジアルジア、ウィルス等病原微生物	現業 / 研究	A	

□p.2 参照

④水環境・水資源（水供給）における課題解決に向けた戦略的な観測・監視のための方向性

- a. 異臭味障害（特にかび臭）の原因物質生産藻類種については、全国レベルかつ高密度の連続監視を行った上、関係機関による藻類の表記統一が引き続き進められる必要がある。★
- b. 微生物・藻類の分類を専門とする研究者と現場の上下水道技術者との情報交換が為されるべき。
- c. 害虫発生量の増加や害虫種の変化に伴い、農薬散布量の増大や種類の変化が予想されるため、これらのモニタリングが必要。
- d. 各水道事業体が公表している情報（障害生物の情報等）や、流域の水質情報、土壌透水性（都道府県が取りまとめを実施）、蒸発散量のリモートセンシング情報が集積され、全国統一のデータベースの作成が望ましい。

- e. 大規模な水道事業体においては、独自で調査研究（病原微生物、消毒副生成物の汚染レベルの評価等）を実施しているところがあるため、その成果の情報共有が為されることが望ましい。★
- f. どこにどのような情報があるかを一覧できるようにした上で、分散している情報のデータベース化を行うと利用しやすくする。
- g. 各種情報を自ら収集しようとするとは相当な労力を必要とするので、いろいろなネットワークを通じて自然と情報が集まってくるような情報入力システム、情報収集システムの開発が望まれる。
- h. 水道事業体が策定する水安全計画の活用。
- i. 衛星画像監視による陸水のクロロフィル量の把握。
- j. 渇水や海水面上昇に関する情報に基づく陸水への海水混入の予測。
- k. 雨天時の下水放流水および河川流入水の水質と各水質項目の負荷量データの活用。
- l. 以下のような各機関との情報共有・連携が進むことが望ましい。
 - ・ 河川管理者（国、県）、水道事業者（県、市町村）、ダム管理者（国、県、水資源機構）、その他流域で定期的に水質調査をしている事業者。
 - ・ 環境行政、河川行政、下水道行政、農林水産行政（国、都道府県、市町村）
 - ・ 保健所、地方衛生研究所・地方環境研究所、水道事業体等が参集する流域協議会の設置や、水資源機構、日本水道協会、全国簡易水道協議会。
 - ・ 水資源機構の各種調査研究結果、下水処理場放流水の水質検査結果の水道事業者等。

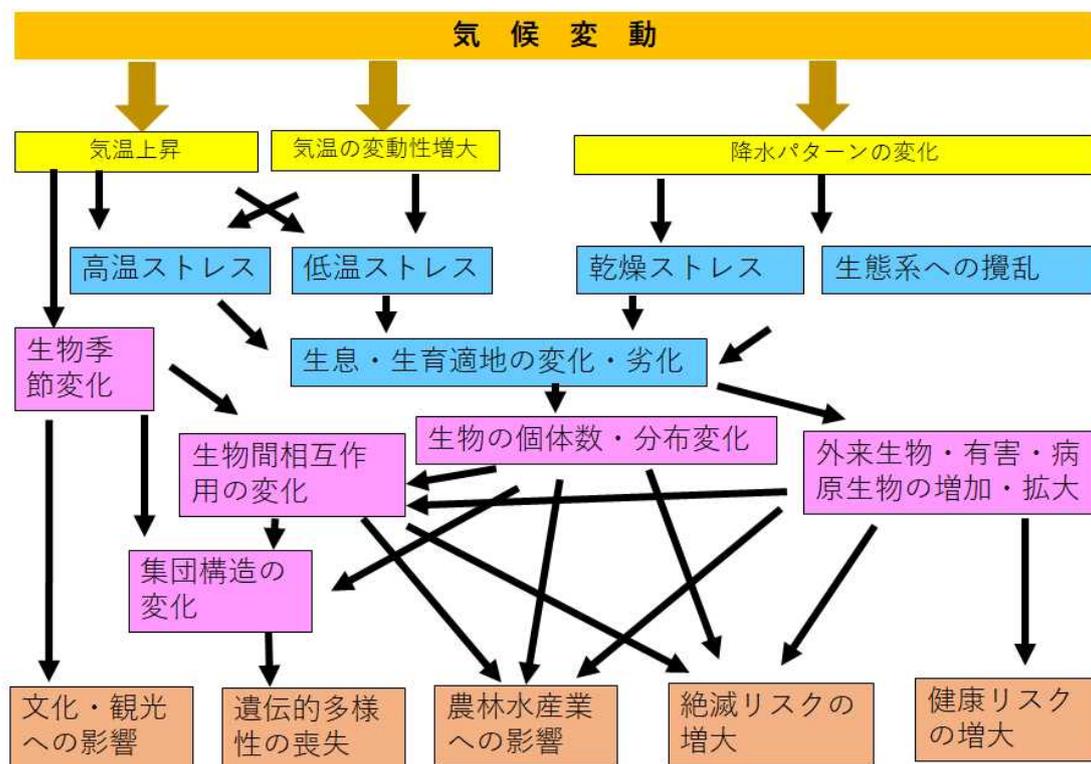
2.4 自然生態系

(自然生態系全般)

生態系の気候変動影響観測・監視においては、遺伝子（遺伝的多様性等）、個体（フェノロジー等）、個体群（分布や個体数等）、生物群集（生物間相互作用等）、生態系（物質生産、フロー等）の各レベルにおいて、それぞれの状態の時間変化を長期的に観測する必要がある。個体および個体群レベルについては既存の観測があるものの、時間解像度と継続性の観点でより強化が必要である（2.4.1②a,2.4.1④k,l,n,2.4.2②d,2.4.3④a,2.4.4②a,d,2.4.4④a, b,2.4.5④a）。また、さまざまな主体・期間・場所で行われている観測が統合されておらず、全国スケールで多数の分類群を対象とした観測・監視を行うためには、データの統合や調査主体間の協力体制の確立が欠かせない（2.4.1②b,d,2.4.1④a,c,d,2.4.2②e,2.4.2④d）。

一方で、遺伝的多様性や生物群集（特に送粉共生系等を含む生物間相互作用）の観測は系統的に実施されているものが無く早急な観測体制の立ち上げが必要である（2.4.1②e）。

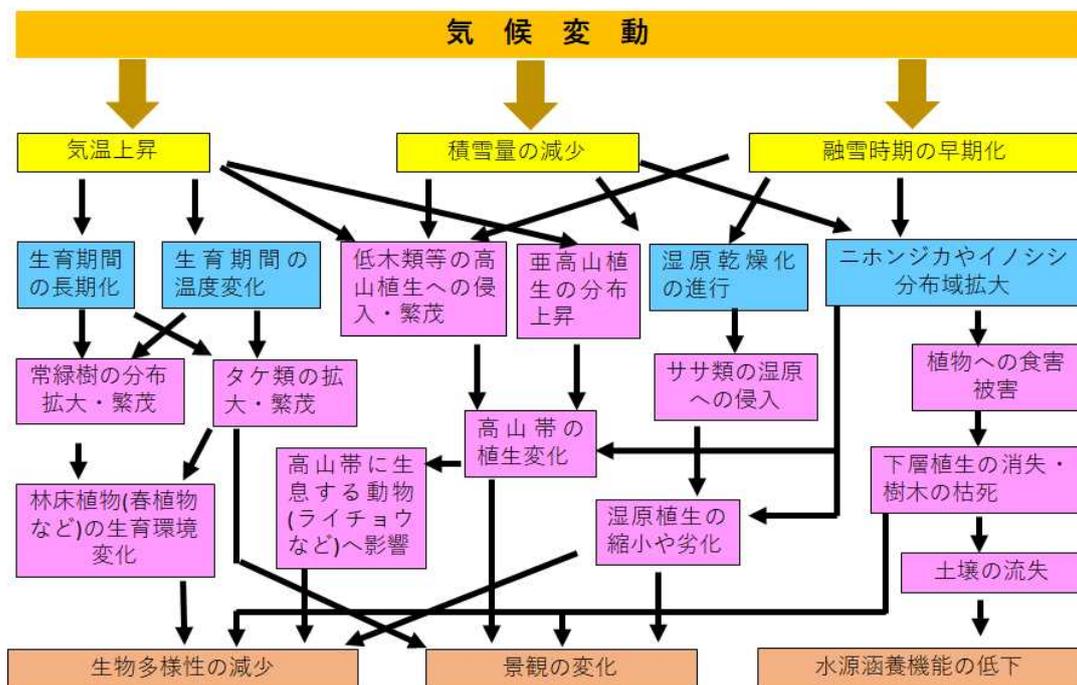
自然生態系分野における気候変動影響のストラクチャー



2.4.1 陸域生態系

陸域生態系における気候変動の影響把握では、環境省のモニタリングサイト 1000 において主に動植物の変化が広域で観測されている。また、林野庁の森林生態系多様性基礎調査等において森林植生等の変化が広域で観測されている。しかしながら、いずれの観測体制においても気候変動を想定した観測項目や体制となっていないなどの課題があるため、調査項目の見直しや、各観測網の連携等について検討が必要である。(2.4.1②b, d④k, l, n など)。また、高山生態系では、影響が特に危惧されるが、気候観測を含む生物種のモニタリング体制は十分でない(2.4.1②g, h, i, j, k など)。同様に、生物間相互作用や遺伝的レベルを対象とした観測体制は存在しておらず、早急な対応が必要である(2.4.1②e)。影響把握の体制には、既存の観測体制の拡充や見直し(2.4.1②d など)、新たなセンシング技術の活用(2.4.1④b, g など)、市民との共同(2.4.1④h など)、既存の調査資料の電子化(2.4.1②g) など、改善や工夫の余地が多分にあり引き続き検討が必要である。

①陸域生態系における気候変動影響のストラクチャー



生物多様性分野における気候変動への適応(環境省 2016)
 温暖化が生物多様性と生態系に及ぼす影響(中静透 2009)
 気候変動への賢い適応(環境省 2008) をもとに作成

②陸域生態系での観測・監視の現状における課題について

- a. 影響評価研究の基礎データは自然環境保全基礎調査（緑の国勢調査）における種の多様性調査だが、近年は更新が停止している。上記調査は高密度（1kmメッシュ）の調査区画が設定されているが、公開データは10kmメッシュであり、自治体の施策に使用する以外の用途で利用できない等の制約がある。
- b. 絶滅危惧種は特に環境の変化に弱いため、影響観測・監視の指標として重要である。環境省がレッドリスト更新のため、生物分類群ごとに定期的なデータ収集、評価を行っているが、気候変動影響評価の文脈での活用はなされていない。★（中程度）
- c. 鳥類については、バンディング調査データは長い蓄積がある市民データで、気候変動の影響評価にも利用可能かもしれない
- d. 環境省モニタリングサイト1000においては、様々な生態系と対象で観測が実施されているが、気候変動影響観測・監視に活用が必ずしも主目的に組み込まれていない。★（中程度）
- e. 遺伝子レベル（遺伝的多様性等）や生物群集レベル（送粉共生系等の生物間相互作用）の観測は系統的な取り組みが存在しておらず、早急な立ち上げが必要である。
★
- f. 温度条件の制約が強い系（陸域生態系では特に高山生態系）では、すでに影響が顕在化しており、とくに重点的な観測・監視を実施する必要がある。

（以下、特に高山・森林生態系に関する課題について）

- g. 高山・亜高山帯の生態系は、温暖化に対する脆弱性が高い。高山のモニタリング箇所は全国6か所に限定されている。イノシシやシカの高山帯への侵入による食害等が問題となっており、鳥獣害関連モニタリングの優先度が高い。★
- h. シカの分布拡大は温暖化による積雪パターンの変化が一因と考えられており、実際、高標高域に急速に拡大している。しかし、モニタリングサイト1000の高山帯の調査項目にシカに関する項目はなく、見直しが必要である。さらに、可能であれば予防的な防鹿柵を設置し、植生被害の違いを観測するといった取り組みが必要と考えられる。★

- i. 高山帯、山岳域はアメダスの観測地点が極端に少なく、日本の気象観測データにバイアスが生じている。このため高標高域における気象観測システムの整備が是非とも必要である。積雪データはかなり不足していると思われる。長期的な観測データが必要であるが、観測地点が増えてきている現在でも環境の厳しさゆえに正確な通年観測は困難な状況にある。特に、高山帯には電源の確保が困難であることが、精度の高い観測ができない、あるいは雪など観測が実施できない項目がある原因となっている。また、多くの森林が存在する中山間地域においても長期的な気象観測データは少なく、標高 1000m 以上の地域は現在も観測地点数が少ない。
- j. 各山域で標高傾度に沿って複数の植生モニタリング地点を設け、経時観測することも必要と思われるが、国内の事例を知らない。気象観測、積雪と融雪の経時観測、開花フェノロジーの観測、訪花昆虫（マルハナバチなど）の観測、ニホンジカの行動圏や食害の観測などを連動した形で、複数地点で行う必要があると考えられるが、そのような取り組みはほとんど行われていないと思う。例えば環境省モニタリングサイト 1000 の高山帯調査では、高山植物に訪花するマルハナバチの観測が行われているものの、観測地点は大雪山と北アルプス蝶ヶ岳の 2 か所に限られており、他の観測項目と十分には連動していない。また、モニタリングサイト 1000 の高山帯調査では人員・予算などの不足により、地点数および各地点での観測項目が不十分な状態にとどまっている。調査を担当する人員の高齢化も進みつつあり、継続性と世代交代が今後の課題となりそうな状況にある。
- k. 気候変動影響評価には長期の時系列観測が必要であるが、現在の観測は将来的なモニタリングの継続を目的にしているものが多く、過去データの発掘が質的・量的にも乏しい。過去から現在にかけての気候変動で起こった変化（分布、種組成、フェノロジー、生長量等）の検出・報告が不足している。
- l. 垂直分布変化の検出が必要である。世界的に広く行われている温暖化に伴う森林や生態系の変化に関する研究アプローチとして、生物種の分布変化について過去に発表された論文や報告書に記載を精査し、可能なものについては再調査することで分布変化を調査するという手法がある。特に、垂直的な分布変化に関する研究が多く見られます。このようなアプローチは日本においても適用可能と考え、既にいくつかの研究成果も報告されているものの、まだ十分ではない。このためには、1) 過去の調査された生物種の分布情報、植生調査に関する論文や報告書を網羅的にレビューし、2) 可能な場所に関して再調査を行うといった取り組みが必要。このような調査の実施に際しては、やみくもに既存資料を探すのではなく、垂直的な分布に焦点を絞った方が効果的であると考えられる。

- m. 国立公園のモニタリング事業などは、予算がついた時に環境アセスメント系の会社に外注などを通して行えていると感じられるが、調査をして報告書を書いただけで埋没していく資料が大量にある。行政文書としての報告書の意義だけでなく、学術的な研究利用まで見通して data paper への登録などまで出来る人材が国立公園ごとなどに一人は必要である。
- n. 木本種に比べて、分布移動速度が速いと想定される草本種の分布データはあまり整備されておらず、既存データにおける調査地点の偏りなどバイアスも大きい。
- o. 起こりうる生態系の変化の直接的な観と同時に、変化することで生じる経済的なインパクトについても集計することで気候変動が生態系サービスに及ぼす影響を観測できる可能性がある。
- p. 各自治体が色々なデータを取っているが、現状では十分な連携がとれておらず、同一自治体内で同じデータをとっていた場合でも統合がなされていない。各自治体はデータを取ることにエフォートを費やしているが、そのデータの整理等にはあまり費やしていない印象がある。都道府県では調査を担当する人材及び予算が不足している。

③陸域生態系にて特に重要と思われる観測項目の課題カテゴリーの整理

重要な観測項目等	現業 / 研究	課題カテゴリー□	備考
ライチョウ分布	研究	A, D, H, J	GPS テレメ等を活用したより詳細な生息域や行動圏の調査が必要。また、生息するアルプス全域を低コストかつ網羅的に調査を行うための手法開発(ex. 市民データの活用)も必要である。
高山植生分布	研究	A, D, H, J	継続的なモニタリングサイト数が少ない。高山植生の面的変化を把握する手法の開発が必要。基盤情報となる気象観測体制の拡充も合わせて求められる。
鳥獣害情報	研究	F	省庁間、自治体間の分布情報、被害状況の共有化が必要。
生物種の垂直分布	研究	E, G	過去調査地点の再調査等の活用が必要。
自然環境保全基礎調査 (種の分布調査、特定植物群落)	現業	E	
環境省モニタリングサイト1000 (森林、高山、里地里山)	現業	D, J	気候等の現地環境条件の測定も必要。
環境省レッドリスト	現業	F, J	気候変動観測・監視という用途にもデータを利用できるようにする必要。
日本長期生態学研究ネットワーク JaLTER	研究	D	

□p.2 参照

④陸域生態系における課題解決に向けた戦略的な観測・監視のための方向性

- a. 高山帯・亜高山帯での気象観測の拡充（測器の開発、観測方法の効率化、予算拡充及び人材育成等）のためには、既存観測への温暖化モニタリングとしての意義付けが有効である。省庁間や自治体間でのデータ共有や、環境省が提供している気候変動適応情報プラットフォーム（A-PLAT）等での情報提供の促進も有効と考えられる。★
- b. 山小屋、ダム、現場建設事務所など、国土交通省関係で山岳域に現場事務所を構えている組織からも、省庁として協力を仰ぎ、山岳域の気象観測データの提供をお願いし、その活用に理解を求める。また、全国の主要登山口にGPSと連動した気象データロガーを設置し、地元の山岳会など、信頼できる登山者に装置を持って登山してもらい、下山後に回収し、データを吸い上げるシステムを確立するなど、新たな

センシング技術を活用した新たなモニタリングシステムについても検討されるべき。

- c. 気象観測については、観測している機関、観測した時期などに応じて品質が異なることが大きな問題であるため、観測体制の拡充やデータ収集よりも現況の観測データの品質をいかに同等にして継続していけるかが重要と思われる。また、現業等で実施しているモニタリング項目のうち、どの項目が気候変動と関連があるのか、その根拠とあわせて提示されているとそのデータをより積極的に活用しやすくなる。さらには、気象データも含め、各種データの収集・整理を一元的に実施する機関等があると、自治体のように職員が少ない機関においてもさまざまな情報発信が容易になるとと思われる。★（中程度）
- d. シカやイノシシの侵入については、省庁間や自治体間で独自に実施されている、センサーカメラ等を用いた観測情報の共有化により、観測コストの低減を図るべき。また、野生動物は、ダニ等による感染症媒介動物種の運搬とも関連するため、健康衛生に関わる分野との連携も検討する必要がある。★（中程度）
- g. 気候変動の影響観測のために活用可能と思われる取組・手段等
- ・ ライブカメラや車載カメラなどによるフェノロジー観測
 - ・ 携帯電話のGPS情報を利用した来客数変動
 - ・ 農林水産業における生産量やダムでの放水量などの統計データ報告
 - ・ 過去の植生景観を記録した写真（現状との比較から気候変動影響を考察）
 - ・ SNSデータを元にした生態系サービス利用者の動向
 - ・ 人の量・流れに関するデータ（訪問者数、交通量等）
 - ・ ツイッター、検索キーワード分析
- h. 気候変動の影響観測のために活用可能と思われる市民参加型観測等について
- ・ 観測者によって質・精度が揺らぎうるデータは、観測者情報（タグ程度で良いので）もあると、解析の際のバイアス除去に役立つ。
 - ・ 生物の目撃情報に関しては、報告書レベルでも相当の量があるが、パークレンジャーなどが発行しているニュースレターや、子供のネイチャーガイドなどを引き受けているNGOなどでも独自にモニタリングしていたりする。市民データを集めるツールの検討や、より積極的に市民がデータを提供したくなる様なゲーミング感覚の付与などの工夫・検討も重要。ツールに関しては既存の登山レポート関連のアプリや野外実習支援アプリ等のノウハウを利用したい。
 - ・ 非営利団体により、全国各地のセミの抜け殻情報を収集し、年次報告書にまと

める取組が実施されている。長野県環境保全研究所も2012年から県内6箇所
毎年8月上旬に各地の子供達を集めてセミの抜け殻調査を実施してデータを蓄
積している。また、当研究所では2012年から「信州・温暖化ウォッチャーズ」
として市民からの生物などの季節情報の収集を行っている。さらに、県内の野
鳥団体と協力して、夏鳥の初認・初鳴き調査データを2011年から収集・整理し
ている。

- ・ 河川流量、水温（河川や湖沼）、花粉など自治体がモニタリングとして実施して
きたデータ。鉄道情報システムの紅葉季節情報や、各地の観光名所における桜
の開花日・満開日に関する情報、自治体等にある植物園などでの開花情報など
の生物季節情報。長野県の諏訪湖の御神渡りの記録など各地の湖沼の結氷に関
する情報。
 - ・ 東北大学・山形大学のマルハナバチ国勢調査の活用。
 - ・ 宮城県のアマチュア有志による標本情報のデータベース化。
 - ・ 長野県では『ライチョウサポーターズ』養成事業を行っており、多くの市民か
らデータが寄せられつつある。
- i. 今後の観測・監視の取り組みに関しては、科学者サイドがアドバイザーとして助言
するに留まらず、「得られたデータをもとにどのような学術的アウトプットに仕上げる
か」までをスケジュールに組み込んだ上で計画を策定し、実行フェーズにも科学者
が参入していく必要がある。
- j. 予算拡充や人材確保のためには、観測の意義や重要性を広く社会と共有する必要が
ある。そのため、わかりやすくメッセージを届ける取り組みが大切となる。登山や
トレッキングを楽しむ市民の中には、気候変動や生態系の保全に関心のある層も少
なくないと思われるので、そうした層に広くメッセージを届ける取り組みもあつて
よいのではないか。
- k. 影響評価研究の基礎データは自然環境保全基礎調査（緑の国勢調査）における種の
多様性調査は標準化された全国スケールの広域調査として、他に代替しがたいもの
であり、5～10年に一度の頻度でも良いので、実施が望ましい。その際、過去のよ
うに多数の種を網羅的に対象とするのではなく、指標種を選定する等で調査コスト
の最適化も図る。また、気候変動影響評価の目的にデータを活用できるようあらか
じめ各調査主体・期間との調整が必要である。★（中程度）

- l. 環境省レッドリスト更新のタイミングで、絶滅危惧種の分布および個体数に関する最新の現地観測を行うようにする。維管束植物の評価において行われている方法は他の分類群でも参考にできる。また、その際収集されるデータを、気候変動影響評価の目的に活用できるようあらかじめ各調査主体・期間との調整を行う。
- m. 個体群レベルの観測は、ランダムな変動と決定論的な環境変化を区別して評価するならば、毎年の観測が本来は望ましい。おそらくこれまでの規模の調査を毎年実施することは予算上現実的ではないため、過去データが将来との比較に足る質がある分類群に絞って継続することが望ましい（任意観察データから作成された分布図等は将来比較ができないので優先順位は低い）。また、自動録音や自動撮影など自動的に生物出現頻度データが得られる仕組みを整備していくことが必要と考えられる。
- n. 環境省モニタリングサイト 1000 については、気候変動影響観測・監視への活用を明確に位置付けたうえで、そのための調査方法の最適化を行う。森林生態系については、調査地点の戦略的な配置や地点数数の充実化、里地里山については、調査手法の標準化、調査頻度、調査地点の戦略的な配置や地点数数の充実化、現地の気象等の環境条件を合わせて観測する等の点で改善が必要となる。★
- o. 参加型調査や自治体、研究機関等が実施している観測を統合するプラットフォームの構築とそのためのメカニズムが必要である。環境省の生物多様性センターが運営する「いきものログ」のような Web データベース、WebGIS はプラットフォームとして活用できる。一方で、データの収集・統合を積極的に進めるためには、そのための予算確保やメカニズム構築の必要がある。
- p. 遺伝子レベル（遺伝的多様性等）や生物群集レベル（送粉共生系等の生物間相互作用）の観測体制を確立するために、関連する研究者・研究機関を中心に議論・ネットワーク化を開始する。

2.4.2 淡水生態系

河川や湖沼を含む陸水生態系では、水温上昇やそれに伴う貧酸素水塊の拡大・長期化、集中豪雨による攪乱パターンの変化や流域負荷の増大等を通じて、生態系に大きな影響が及ぶことが懸念されている。おもに魚類や植物・動物プランクトンを対象とした個体群レベルの観測が実施されている。しかし、気候変動の影響検出という観点からは、観測の時間解像度や観測地点数が十分とは言えない(2.4.2②b,c,d,e,f)。今後は、絶滅リスク評価や内水面漁業等の異なる目的で実施されている観測に、気候変動影響評価という観点を統合する必要がある(2.4.2②c,e④a,b,c)。また、過去様々な場所・スケールで行われてきた生態系観測データを統合し、再観測を戦略的に計画する必要がある。環境DNAを活用した陸水域における生物分布調査手法の標準化や得られた情報の統合、観測への活用の仕組みづくりを進める必要がある(2.4.2④d)。

①淡水生態系における気候変動影響のストラクチャー

p.30 参照 (自然生態系全般)

②淡水生態系での観測・監視の現状における課題について

- a. 一級河川では河川水辺の国勢調査によりおおよそ5年ごとに魚類の分布調査が実施されている。
- b. 二級河川等では自治体によっては魚類分布調査データがあるものの継続的な広域観測は存在しない。
- c. 湖沼では、環境省モニタリング1000、JaLTER、地方環境研究所、内水面試験場等、大学等研究機関等、で、魚類の分布・個体数、植物・動物プランクトンの個体数・密度の観測が実施されているが、調査方法、調査対象、調査手法の点で標準化されていない。また、観測データが統合されておらず、全国スケールでの解析・評価は困難である。
- d. ため池は多くの絶滅危惧種が生息・生育するホットスポットであるが、継続的な観測が実施されていない。★
- e. 陸水域において環境省レッドリスト更新のために収集される観測データは、気候変動影響評価にも活用できる可能性があるが、データのアクセスや統合に制約がある。★

- f. 過去に実施された湿地を含む陸水生態系の観測情報は全国的に存在しているが、データの統合化・データベース化が十分にされていない。

③淡水生態系において特に重要と思われる観測項目の課題カテゴリーの整理

重要な観測項目等	現業 / 研究	課題カテゴリー□	備考
環境省モニタリングサイト 1000 (湖沼) : 水草・魚類分布・分布量・個体数	現業	D, I	
河川水辺の国勢調査 : 魚類分布	現業	H	
湖沼モニタリング : 魚類、動物・植物プランクトン個体数・密度	現業	F, G	観測項目の統一や生物を対象とした観測の追加が必要。また、全国スケールでデータを統合する必要がある。
環境省レッドリスト : 魚類、水生昆虫、無脊椎動物、水生植物分布・個体数等	現業	F, I	気候変動観測・監視という用途にもデータを利用できるようにする必要。
各地の内水面水産データ : 漁獲対象種密度・個体数	現業	B, G, F	資源量や水質データのデジタル化が必要。気候変動影響の観測・監視の目的での利用が可能になるような連携が必要
日本長期生態学研究ネットワーク JaLTER	研究	D, H	
環境 DNA による生物分布情報 : 主として魚類分布情報	研究	J	研究や環境アセスメントで取得される生物分布情報を集約・データベース化する仕組みが必要。

□p.2 参照

④淡水生態系における課題解決に向けた戦略的な観測・監視のための方向性

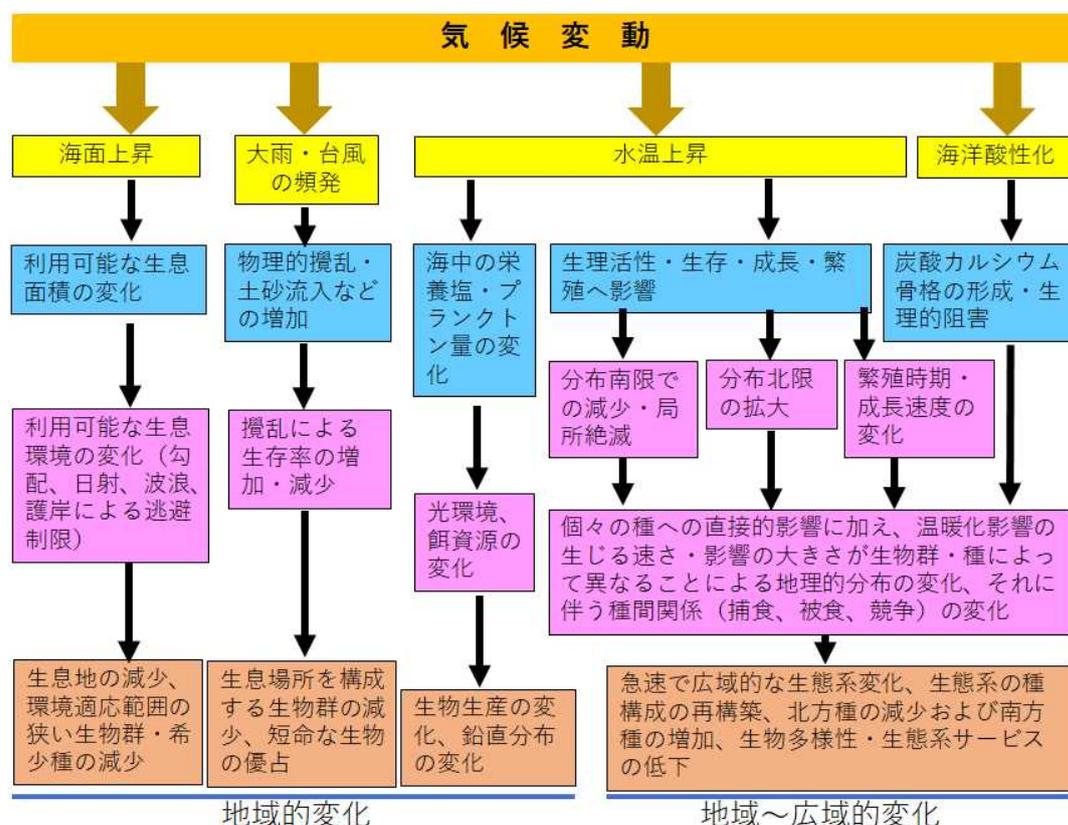
- a. 河川については、気候変動影響評価という目的を念頭に、一級河川から中小河川も含めた観測網の整備が必要となる。最初のステップとしては、既存の調査間の調整やギャップの整理等が考えられる。環境 DNA による魚類分布調査など最新の調査手法を活用する。

- b. 湖沼については、調査主体・調査間で調査項目・手法の標準化を図る必要がある。また、気候変動影響評価に活用するため、データ共有のポリシーについても調整の上、見直し・策定を行う。河川同様、環境 DNA 等の最新の調査手法の導入を進める。
- c. ため池を対象とした、長期観測を立ち上げるため関係者・期間が議論・ネットワーク化を開始する。
- d. 環境 DNA を用いた陸水生態系の観測は今後一層展開すると考えられるが、取得された DNA 分布情報を統合・データベース化するためのプラットフォームが必要である。★
- e. 生態系の動態に影響をおよぼす環境要因（水温や水質等）の高頻度観測データの取得を進める。例えば、秒・分単位のブイ観測（水温や水質等）の設置、ブイ観測ネットワークの構築が必要である。ブイ観測はリアルタイムでデータを得られるため、湖沼生態系のレジームシフトの予測などにも活用が期待されている。また、2009 年前後で更新がとまっている公共用水域水質調査のデータ整備と公開を進める。

2.4.3 沿岸生態系

沿岸生態系（藻場、アマモ場、磯、干潟、砂礫浜、サンゴ群集など）における気候変動による影響把握には、定期的な全国規模の分布調査データが必要だが（2.4.3②c, d）、2000 年代以降は網羅的な調査は行われておらず（ただしサンゴ群集については他の沿岸生態系よりも充実）（2.4.3②c, d）、個別の小規模な調査（環境省調査、地方自治体や個人研究の調査）による断片的な記録を継ぎ合わせるしかない状況である（2.4.3②b）。沿岸生態系を構成する主要な生物群の在・不在記録については、環境省推進費 S9 事業などにより記録の収集・データベース化が進められた（2.4.3②e）。しかし、生態系サービス評価に関わる現存量データの整備や、種同定の困難な種のデータ整備は遅れており（2.4.3②a, b, d）、関連各機関（とくに環境省系と水産庁系、地方自治体）による調査記録の発掘・整備・公開を進めつつ、全国規模の生態系調査を再び行うことが重要と考える（2.4.3④a, c, d）。

①沿岸生態系における気候変動影響のストラクチャー



②沿岸生態系での観測・監視の現状における課題について

a. 調査対象：

まず沿岸生態系の全般において、気候変動影響のモニタリングが現実的な努力量の範囲で可能な調査対象は生態系基盤の構成要素（藻場、磯、干潟、サンゴ群集）に限られており、それらの生態系に生息する生物（底生生物）の多く（大型の貝類、十脚甲殻類、棘皮動物、以外）は調査現場での短時間での種同定の困難さ等により、現状の実態が不明なまま気候変動影響を受けうる（絶滅を伴う）ことを強調したい。したがって以下は、主として生態系基盤の構成要素を対象と見なした記述である。

b. 調査精度：

対象種の地理的分布とその気候変動変化を捉える目的ならば、地点毎の在・不在を確認するだけでも最低限使用可能な記録になる（例：“〇〇県海藻相”といった記載的な文献）。一方、現存量（面積、バイオマス）の調査にはより定量的な調査が必要となり、在・不在の調査よりも利用可能な調査記録は大きく減少する。

c. 調査媒体：

沿岸生態系の大規模なモニタリングは、環境省事業（自然環境保全基礎調査、モニタリングサイト 1000 など）、国土交通省事業（海岸保全事業に伴う環境調査、海辺の生物国勢調査）、水産庁事業（1970 年代末の西海区水研の西日本一斉藻場・干潟調査）、各県の水産試験場、大学などの研究グループによって実施されている。

d. 過去～現在の主要な調査：

海藻藻場、海草藻場、干潟、サンゴ群集については、第 4 回自然環境保全基礎調査によって全県を対象に網羅的な調査が行われた（調査：1980 年代末～1990 年代初頭）。種同定や調査精度は不十分であるものの、これに匹敵する規模の調査はその後行われておらず（ごく粗い、第 5 回調査の”場”の分布調査を除く）、主要な気候変動が起こる以前の沿岸生態系の状態を知る上で貴重な調査である。海藻藻場、海草藻場、干潟については、1970 年代末の西海区水研の西日本一斉藻場・干潟調査によっても網羅的に調査されており、西日本についてはこれも有用な調査である。海藻藻場については、個人研究による地域の海藻相が数多く出版されてきたが、その数は減少の一途を辿っており、2000 年代以降はごく限られている。なお、北海道のコンブ類は分類の再整理と地域名（和名シノニム）の混乱があり、九州から琉球列島のホンダワラ藻場についても近年になって分類の再整理があったため、過去と現在の分布記録の比較に困難がある。サンゴ群集については、環境省モニタリングサイト 1000 のほか、沖縄県の事業、国立環境研究所の調査等によって現在においても広範囲の分布変化や白化などの温暖化影響を捉える調査が継続されており、温帯域については依然未調査域が残っているものの、他の沿岸生態系と比べるとかなりよい状況にある。ただし大規模な調査ではサンゴを群集として扱っており、種を単位とした調査は不十分だが、種同定の困難さがあるため、現実的に解決は困難といえる。岩礁性潮間帯については、北海道大学・野田隆史研究室、同大・仲岡雅裕研究室、瀬戸内水研・堀正和研究室、鹿児島大学・山本智子研究室などにより 10 年を超える、国内 6 地域・150 コドラートによる調査が継続されており、調査データを用いた論文も多数出版されている。

e. データベースの整備状況：

国内の海藻藻場を形成する主要海藻 63 種（コンブ類・ホンダワラ類。ただし北海道にのみ出現するコンブ類を除く）の 1887-2014（主に 1950 以降）の在・不在記録については、文科省創生プロジェクトの元で Kumagai et al. (2016) *Ecological Research* により収集・整備し、ダーウィンコアフォーマットに成形し公開済みである。さらに海藻の現存量についても、環境省推進費 S15 プロジェクトの元で整備を進めている。北海道のコンブ類の在・不在記録については、環境省推進費 S9 の元で、北海道大学・仲岡雅裕研究室主導で整備、アマモ場は東大大気海洋研・小松輝久研究室（現：横浜商

科大学) 主導で整備されたが、それぞれの現況は未確認である。サンゴ群集についても同プロジェクトで国立環境研究所 山野博哉グループにより整備されたが、種の整備に問題を残しており、整備を続行している。

③沿岸生態系において特に重要と思われる観測項目の課題カテゴリーの整理

重要な観測項目など	現業 / 研究	課題カテゴリー [□]	備考
海藻藻場	現業 / 研究	B, C, E, F, H, I, J	種同定に専門技術を要する
海草藻場 (アマモ場)	現業 / 研究	E, F, H, I, J	
岩礁性潮間帯 (磯)	現業 / 研究	C, H, I, J	種同定に専門技術を要する
干潟	現業 / 研究	C, E, H, I, J	種同定に専門技術を要する
砂礫浜	現業 / 研究	C, D, E, F, H, I, J	種同定に専門技術を要する
サンゴ群集	現業 / 研究	C, E, H, I, J	種同定に専門技術を要する
底生生物 (以上の生態系に生息する生物群)	現業 / 研究	A, B, G, H, I, J	種同定に専門技術を要する

□p.2 参照

④沿岸生態系における課題解決に向けた戦略的な観測・監視のための方向性

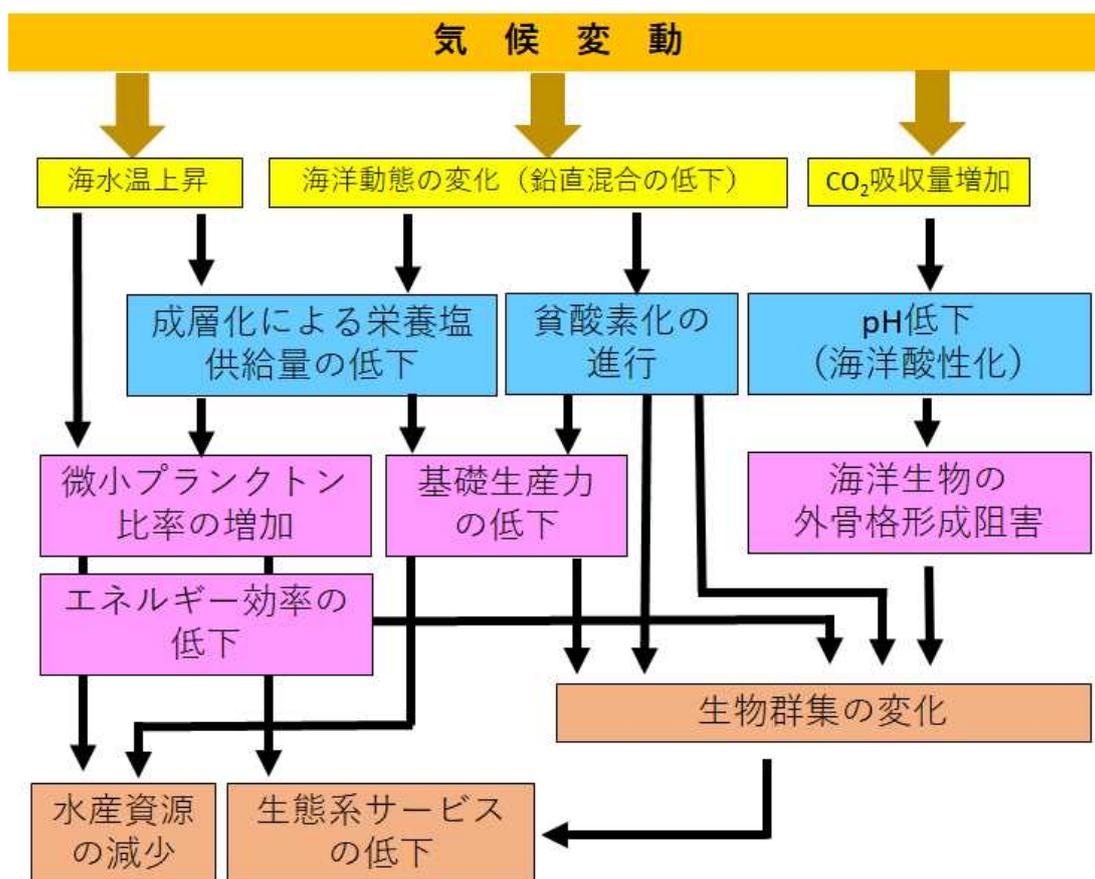
- a. 沿岸生態系の気候変動影響を検出するための調査として、環境省モニタリングサイト 1000 が行われており、上述の通りサンゴ群集については目的に合致したスケールで調査が実施されている (種構成の情報がないという問題はあるものの)。一方、その他の沿岸域 (海藻藻場、アマモ場、磯、干潟) については、調査地点における点の時間的変化を検出するように設計されており、主要な温暖化影響 (地理的分布変化) を捉えられるように設計されておらず、現状ではそれらの変化を検出するのに必要なデータ量の 5%にも満たない。サンゴ調査のように広域の変化を簡易的な調査でカバーする調査を追加あるいは再設計する必要があると考える。理想的には、環境省自然環境保全基礎調査第 4 回 (藻場、サンゴ群集、干潟) と同等の調査地点数・カバー率の調査が 10~20 年に一度程度で行われているとよい。★

- b. 気候変動影響の調査は必ずしも同一調査地点でデータ欠損がなく実施する必要はなく、また厳密な調査精度も必ずしも必要としない。現在では、統計学的手法、データ取り扱い技術が大きく発展したことにより、調査精度による観察誤差を考慮した統計手法や、時空間が不揃いな調査データを統合した統計解析によって温暖化影響を検出・解析することが可能になっている（例：Kumagai et al. 2018 PeerJ、Kumagai et al. 2018 PNAS）。
- c. 沿岸域の調査記録については、公の調査以外（環境アセスなど）にも未公開の調査記録が眠っていると考えられ、これらを発掘・収集・整備することで、温暖化影響検出に貢献が可能と予想する。
- d. その他、沿岸域の調査については、国土交通省、環境省、水産庁、各都道府県など、各自で調査が行われているが、相互連携により調査記録の集約・整備・公開（近年は学術論文化するためには、データの公開が前提となる）を進めていただくよう強く要望する。
- e. データフォーマットについては、環境省事業などによって整備された場合、ダーウィンコアフォーマットなどの世界基準が採用されるので、発見済みの記録については問題になっていないと考えているが、未発見のデータについてはこの限りではない。

2.4.4 海洋生態系

海洋生態系は水産や観光等の生態系サービスを通じて我々の生活にも影響を与える重要な項目である。海洋生態系分野における気候変動の影響は、主に水温上昇に伴う生態系の群集構造の変化、基礎生産の変化に伴う現存量や体サイズの変化に加え、海洋酸性化による生物の死亡率の上昇として生じることが想定されており、その把握には広域かつ多岐にわたる観測項目が必要となる。しかし、漁業や環境汚染等の影響も受けることから、気候変動の影響のみを抽出するのは困難なのが現状である(2.4.4②g)。そのため、海洋生態系に関連する研究機関や水産業界との連携強化、無人観測プラットフォームを用いた観測の広域、高解像度化、さらに環境 DNA・定量 PCR 等の新たな分析手法を用いた効率的かつ網羅的な観測が必要となる（2.1.3④b、2.2.3④a、d、2.4.3④d、2.4.4④b、f）。

①海洋生態系における気候変動影響のストラクチャー



②海洋生態系での観測・監視の現状における課題について

- a. 温暖化に伴って表層の成層が強くなると表層と中層の間での鉛直混合が弱くなり、表層への栄養塩供給が低下し、生物生産が低下すると考えられている。現在 Argo フロート等を用いて、全球規模で水温の観測が行われているが、観測が開始されたのは 2000 年からと、比較的最近であるため気候変動の影響を検出できるほどにはデータが取得されていない。そのため成層化と栄養塩供給による生物生産の低下に関する影響把握と仮説検証が困難な状況にある。加えて鉛直流・鉛直拡散係数データが不足していることから、気候変動による海洋の基礎生産過程の変化を把握するのが困難状態にある。★

- b. 海洋の pH（酸性度）の変化が海洋生物に与える影響は研究室での実験や数値モデルを用いた研究では報告されているものの、観測結果に基づくものはほとんどない。しかし、pH の変化と生物への影響は重要な監視項目である。pH は植物等の生物活動等によって、一日の間で大きく変化することに加え、海洋生物は個々の海域における pH の日間最低値に応答する。そのため、各日の pH 最低値を検出できるような時間頻度での監視が必要となる。
- c. 現時点の日本周辺水域において、気候変動に伴う貧酸素化の影響は顕著に現れていないものの、将来的にその影響が顕在化する可能性がある。特に底生生物への影響が懸念されることから、底層の溶存酸素濃度の継続的なモニタリング体制の強化が必要である。
- d. 海洋の一次生産力を指標するクロロフィル a 量は、人工衛星での観測によって海表面については十分な時空間分解能で得られている。しかし、海洋亜表層クロロフィル極大層におけるクロロフィル濃度と一次生産力のモニタリングは海洋調査船による鉛直採水観測によってしかデータが得られないため、気候変動の影響把握に十分な時空間分解能のデータが得られていない。特に亜熱帯域の生産力は海洋表層よりも亜表層クロロフィル極大層で維持されているため、情報不足が深刻である。★
- e. 沿岸・浅海域と比較して、外洋・中深層の動物プランクトンデータは不足している。北太平洋域では、熱帯・亜熱帯水域では比較的小さなプランクトン、寒帯・亜寒帯水域では大型の動物プランクトンが分布し基礎生産者から高次捕食者への橋渡しをしている。これらの生産構造の面的な情報を増やすことで、基礎生産から高次捕食者への影響過程を水平的に把握することが可能となる。
- f. 水産有用種が利用する動物プランクトンについては、漁獲情報、水産資源調査等を基にしたモニタリングが実施されており、個体群動態が把握されている。しかし、生物量が豊富であるものの、経済的に利用価値の低いクラゲ・サルバ等の浮遊性生物、中深層のマイクロネクトン類、および深海生物に関する個体群動態、群集構造、生態系への影響については現時点では観測が困難であり、ほとんどモニタリングの対象となっていない。
- g. 海洋生態系は、気候変動以外にも漁業活動や汚染等の影響もあり、それぞれの要因を分離して評価するのが困難である。

③海洋生態系において特に重要と思われる観測項目の課題カテゴリーの整理

重要な観測項目など	現業 / 研究	課題カテゴリー [□]	備考
海水温分布	現業	F, H, J	中深層にも拡大
海洋動態	現業	F, H, I, J	
pH	研究	C, F, H, I	
基礎生産	研究	B, F, H, J	表面以外はデータ不足
中深層の群集構造	研究	A	
深海域	研究	A	

□p.2 参照

④海洋生態系における課題解決に向けた戦略的な観測・監視のための方向性

- a. 海洋生態系と関連した物理環境の監視には、現在、各地の公的機関で実施されている月例の海洋モニタリング（浅海・沿岸定線観測）や沿岸・沖合定線調査等の海洋観測調査結果の効率的な利用を促進させることが要望される。なお、気候変動（温暖化）のシグナルは他の変動シグナルよりも小さいため、水温・塩分などを高精度で測る必要がある。そのためには、高精度な観測機器を安価に使いやすく普及させることも有用である。★
- b. 海洋環境の時空間解像度の向上のため、Argo フロートや水中グライダー等の無人観測プラットフォームを利用することが有効である。★
- c. 酸性度（pH）の変化については、各地で行われている観測結果を一元化し、海洋物の影響評価を進めることが望ましい。現在も複数の研究機関の独自予算によって pH 連続観測が進められており、これらの観測データを取りまとめることでデータ蓄積が可能となる。なお、pH 観測は環境省が「水質汚濁防止法に基づく測定計画」において沿岸域でも実施している。この観測で用いられている観測手順（JIS K0102）の許容観測誤差は±0.07 であり、海洋環境の監視用としては精度が足りないが、データの一部を海洋酸性化の監視用に転用できる可能性はある。
- d. 海洋の低次生態系の主要構成種であるプランクトンは、種によって生態系内の機能が異なる。そのため、気候変動による海洋生態系の変化を明らかにするには、種レベルでの観測データが必要となる。海洋の低次生態系の変化は水産資源等の食料供給へも影響を与えることから、長期的な視点での監視体制が重要となり、そのための人材確保や調査体制の強化が望まれる。

- e. 海洋生態系への影響に関するデータは、研究機関等による調査データに加えて水産業の漁獲統計（漁獲量、漁場位置）からも得られる。海洋生態系への監視には、研究・調査機関と産業が連携した監視体制の構築も効果的である。
- f. 実用性については今後の検証が必要であるものの、新たな観測項目として、環境 DNA ・ 定量 PCR のグリッドサーベイが有効な可能性がある。環境 DNA による種同定、および定量 PCR による個別種の DNA 量のモニタリングを実施することで、現状では把握が困難な中深層や深海の群集構造の時空間変化を、効果的かつ網羅的に把握可能になることが期待される。

2.4.5 生物季節

①生物季節における気候変動影響のストラクチャー

p.30 参照（自然生態系全般）

②生物季節での観測・監視の現状における課題について

- a. 気象庁が生物季節観測を実施している。また、環境省で生物季節の変化を把握するためのモニタリング等の調査を実施している。
- b. 生物季節は、数 10 年の期間における数日程度での変化の検出が必要なため、それが可能となる頻度の観測が必要であり、広域で継続的な観測を行うことが困難。

③生物季節において特に重要と思われる観測項目の課題カテゴリーの整理

重要な観測項目など	現業 / 研究	課題カテゴリー [□]	備考
植物の開花時期	現業 / 研究	H, J	
植物の展葉時期	研究	H, J	植物の展葉時期
pollinator（花粉媒介者）の発生時期	研究	H, J	

□p.2 参照

④生物季節における課題解決に向けた戦略的な観測・監視のための方向性

- a. 既存の観測やモニタリング等の効率的なデータ収集のため、自動撮影カメラやリモートセンシング技術等を活用した自動観測技術・システムの開発・確立を進める。★

2.4.6 分布個体群の変動

①分布個体群の変動における気候変動影響のストラクチャー

p.30 参照（自然生態系全般）

②分布個体群の変動での観測・監視の現状における課題について

- a. 昆虫類などは気候変動に対して敏感に分布域を変化させる可能性があるが、昆虫類のデータが限られている。
- b. 高山・亜高山帯の生態系は、温暖化に対する生物分布変化が大きく起こることが予測されるが、高山のモニタリング箇所は全国6か所に限定されている。
- c. シカの分布拡大は温暖化による積雪パターンの変化が一因と考えられており、実際、高標高域に急速に拡大している。しかし、環境省モニタリングサイト1000の高山帯の調査項目にシカに関する項目はない。また、有害鳥獣については、鳥獣分野に限って言えば、広域を対象とした多個体の野生鳥獣に対するGPSテレメトリデータが不足しており、気候変動に伴う季節的な利用域の変化を明らかにするうえで制約になっている。
- d. 気候変動による外来生物の分布変化の観測・リスク評価が必要。

③分布個体群の変動において特に重要と思われる観測項目の課題カテゴリーの整理

重要な観測項目など	現業 / 研究	課題カテゴリー [□]	備考
高山・亜高山生態系の生物分布	現業 / 研究	J	
有害鳥獣の分布	現業	F, G	
外来生物の分布	現業 / 研究	H, I, J	

□p.2 参照

④分布個体群の変動における課題解決に向けた戦略的な観測・監視のための方向性

- a. リモートセンシング等を活用した広域的なモニタリング技術の確立を進める。
- b. 大型鳥獣については、GPS等を活用した個体追跡データの拡充を進める。

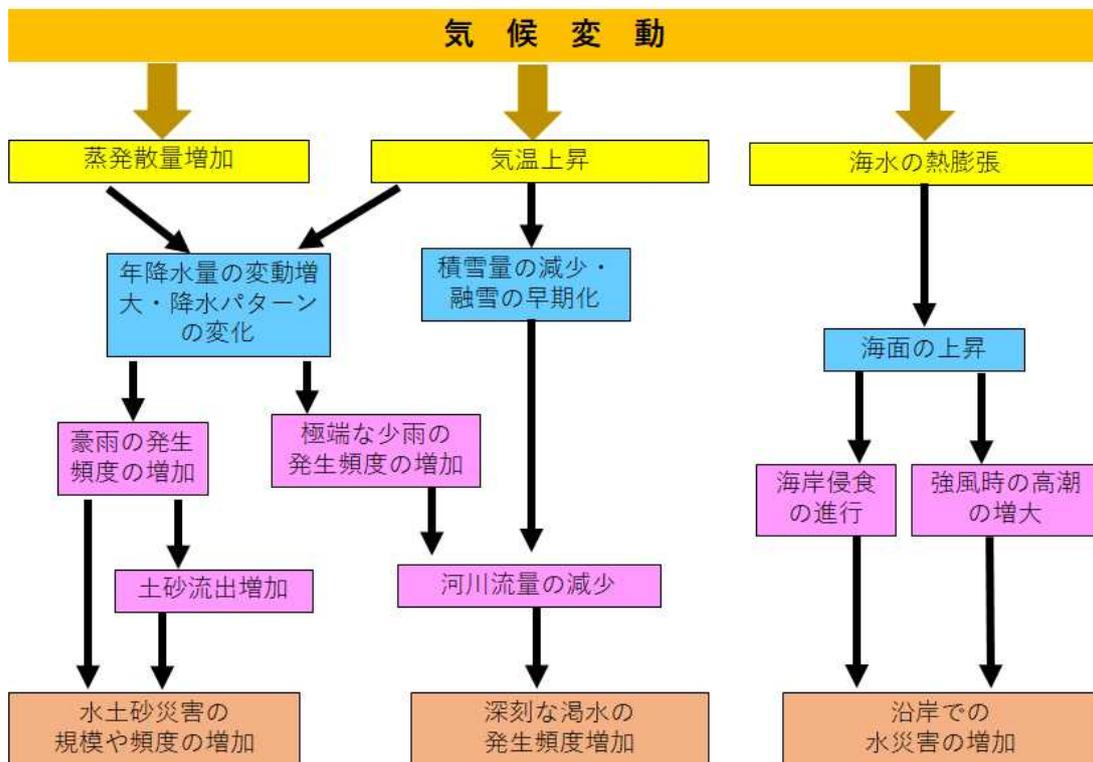
2.5 自然災害・沿岸域

2.5.1 河川

日本においては、気候変動による影響として、降雨パターンが変化し、豪雨の頻度や強度が共に増大することが予測されている。このため、河川に関わる自然災害として、洪水氾濫による被害の増加が懸念される。通常、洪水氾濫は、上流から到達した河川流量が、その場所の河川の流下能力を上回った地点で発生する。このため、洪水氾濫を起こしうる豪雨規模を超過する降雨の頻度や強度がどの程度増加するのかを予測すると共に、予測された状況への対処を準備する必要がある。また、山地河川においては、豪雨により生じた土砂崩れが河道の埋塞をもたらすことで、洪水被害を助長する恐れがある。

上記に鑑みて、河川に関わる自然災害への気候変動の影響観測・監視には、降雨状況、流域特性（土壌水分、土地被覆、土地利用）、流量、河道状況の観測・監視が必須であるとともに（②a,b,c）、山地河川においては、豪雨に伴う崩壊土砂量の観測・監視が重要である（②d）。

①河川における気候変動影響のストラクチャー



②河川での観測・監視の現状における課題について

- a. 河川では管理目的の実務的なモニタリングが主であり、水域による所管（都道府県等の地方自治体、もしくは国土交通省等）の違いから、全国統一のデータベースが存在せず、河川水位・流量情報が統合的に保存されていない。
- b. 小規模河川における流量データや河道測量データが不足している。
- c. 流域からの流出解析に必要となる流域特性データ（土壌水分等）が不足している。
- d. 土砂流出（特に豪雨時の土砂崩壊を伴う）の観測が困難である

③河川において特に重要と思われる観測項目の課題カテゴリーの整理

重要な観測項目等	現業 / 研究	課題カテゴリー [□]	備考
河川流量	現業 / 研究	C	
小規模河川の河道測量	現業 / 研究	A	
流出土砂量	研究	A	ダムにおける堆砂量からの推定が主

□p.2 参照

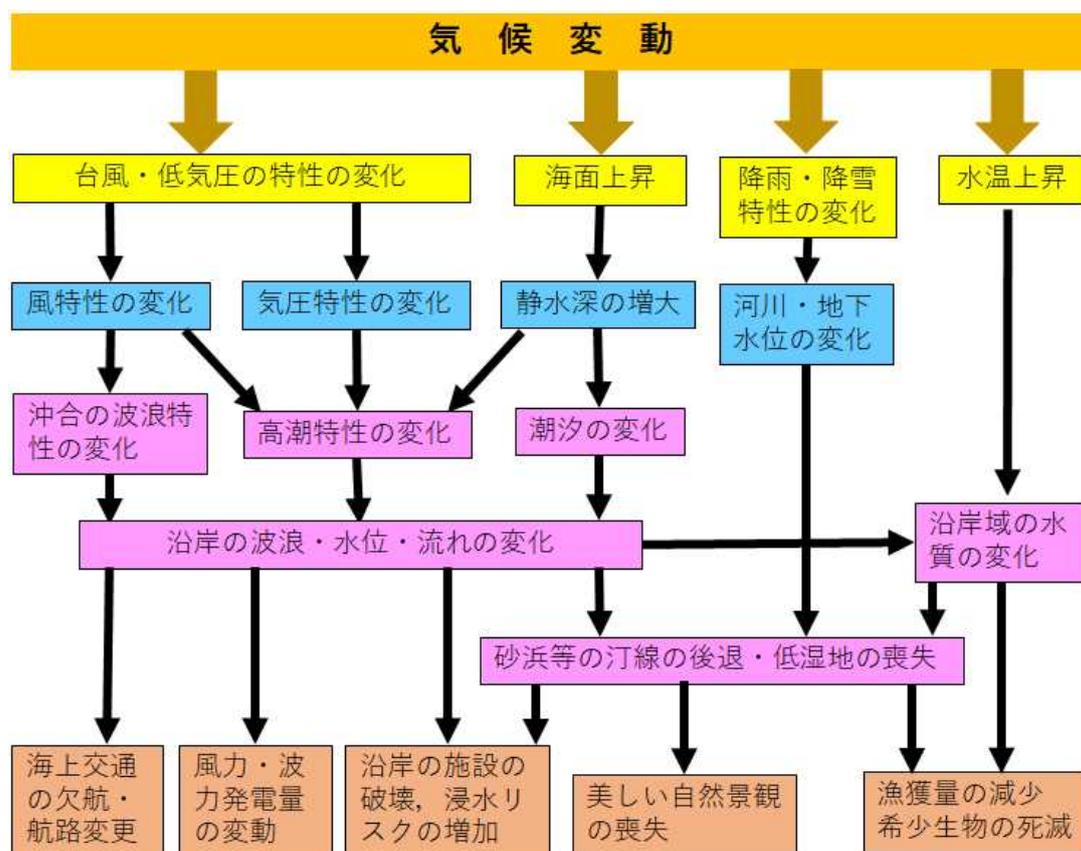
④河川における課題解決に向けた戦略的な観測・監視のための方向性

- a. 所管の枠を超えた全国の河川データの統合及び小規模河川の流量（水位）観測の拡充を進める。その際には平均値のみでなく、災害に関わる極値（最大値）を求められるように重点を置くべき。
- b. 河道形状の測量・データベース化を進める。レーザー等を利用した新技術の導入も望まれる。
- c. 衛星データの活用など、流域の変化の観測・監視、データベース化が望まれる。

2.5.2 沿岸

沿岸の基本的な物理量のうち、潮位と波浪については、観測地点の配置が全国または各地方の平均的な特徴を知るために概ね十分なレベルにあり、統計処理したデータを Web で公開する機関も多い（2.5.2②a, b, c, d, e, f）。今後は、台風時のピークを確実に捉えるための施設維持・改良や技術開発、様々な機関の観測データの共有をさらに進める必要がある（2.5.2②g④a, c, d, e, f）。内湾の海水流動については、現象の空間的な変化を考えれば、潮位や波浪に比べて観測地点が不足しており、特に内湾全体の状態を大きく左右する湾口での観測を充実させる必要がある（2.5.2②l, m④h）。海岸の地形については、航空写真や現地測量に頼っていた古い観測データは限られているが、今後はドローン等の機器によって精度よく多くの地点で観測データが蓄積されていくものと期待している（2.5.2②o）。海岸の地形には波浪等の自然現象だけでなく人間活動も大きく影響しており、周辺の人工構造物の変遷も合わせて考察する必要がある（2.5.2②q④i）。

①沿岸における気候変動影響のストラクチャー



②沿岸での観測・監視の現状における課題について

潮位

- a. 気象庁、海上保安庁、港湾局、国土地理院、水管理・国土保全局、自治体等が、それぞれの目的、必ずしも同じでない方法で、潮位を観測している。気象庁のHPでは、国の観測所を中心に全国で約200ヶ所の一週間前までの潮位のグラフ、気象庁の地点の20年前までの毎時潮位の数表が閲覧可能である。自治体等にも、各機関のHPで数日前までの潮位を閲覧できるものがある。
- b. 観測地点数は、全国または各地方の平均的な特徴を知るという目的に対しては概ね十分。過去の観測基準面の管理が不十分であったために、平均海面水位のトレンドを検出できない地点もある。検潮所の移設や周辺地形の著しい変化によって、過去と同じ台風が来襲しても全く同じ高潮が発生するとは限らなくなり、高潮偏差のトレンドの検討で注意を要する地点もある。
- c. 気象庁、海上保安庁、港湾局、国土地理院が定常観測をしている約200地点の毎時潮位を、日本海洋データセンターJODCが集約してHPで公開している。

- d. 気象庁や日本海洋データセンターが HP で公表している潮位・潮位偏差のデータは 1 時間毎のものであり、その間に生じるピーク値はダウンロードできない。高潮の解析に用いる潮位偏差のデータの間隔はできるだけ短く、粗くても 10 分毎が望ましい。また、台風と高潮の特性を合わせて解析することもあり、台風のベストトラックが解析されている 1951 年からのデータが整理されていると有難い。

波浪

- e. 港湾局や水管理・国土保全局、気象庁がそれぞれの目的で定常観測をしており、一部の機関でデータを HP に公開している。
- f. 観測地点数は、全国または各地方の平均的な特徴を知るという目的に対しては概ね十分。
- g. 波浪も潮位も、年平均値だけでなく台風時等の極値も重要だが、台風等の到来時にオーバーレンジやセンサーエラー等によってピーク付近が欠測することもあり、そのことが極値のトレンドの検出を難しくしている。
- h. 有義波は最も基本的なデータとして求められている。最高波等の細かなデータは、観測方法の制約で求められない、あるいは積極的に公開していない、場合もある。
- i. 港湾局の GPS 波浪計（海岸から 10~20km）を超える外洋の定点で定常的な波浪観測は実施されていない。瀬戸内海等の内湾では、複雑な地形の影響による波浪の空間的な変化を把握できるほど密な観測はなされていない。外洋（特に熱帯・亜熱帯域）の波浪観測は、極軌道衛星や漂流ブイに頼らざるを得ないが、数は非常に少なく、台風の高波等を漏れなく捕足できる状況にはない。
- j. 波浪と潮位、海上風等を同一地点で観測していないため相互作用の解析が難しい。また、ある海岸に対して対応する地点（例えば、潮位は海岸、波浪と風は陸上地形の影響がない程度に離れた沖合）でも観測していないため、沿岸災害の評価には使にくい。
- k. 各地方の特定の地域の波浪や潮位の特徴まで知ることが目的とした場合には、現在の観測網は地点数が十分ではなく地点の分布も均一ではない。そのため、例えば、ある台風によって東京湾の中央部のどこかで発生した最大の波高や沿岸のどこかで発生した最高の潮位を把握できない。すなわち、波浪も潮位も空間的に変動の大きな現象でありながら、限られた固定点での観測が多く、面的な観測はほとんど実施されていない。

内湾の海水流動

- l. 沿岸の流れ・水質のうち、水温等の基本要素については、ブイなどによる定点観測網が整備されつつあるが、まだ観測地点の数は少なく空間的な分布も粗である。空

間的な変化の大きさを考えると、特に内湾と外海との境界（湾口付近）で不足している。

- m. 水温、塩分、pH、流速、溶存酸素、栄養塩、高次を含む生物量等については、全国の各地域の状況をくまなく把握できるほどの地点はないが、様々な機関が定常観測を実施して、そのデータをそれぞれのHPで公開している。
- n. 長期にわたる定常観測ではないもの（例えば、ある工事から事後までのモニタリング）をアーカイブするシステムがほとんど無い。

海岸地形

- o. 砂浜（汀線位置）の観測データについて、昔は数少ない測量図面や航空写真に頼っていたが、今後は衛星・航空機・ドローンによって取得しやすくなる。
- p. 全国的な海岸地形の長期変化を観測・記録するための組織・予算は十分ではない。地形・海浜流などの観測地点の増加が望まれる。海岸侵食のデータは沿岸災害の変化を理解する上で必要。
- q. 気候変動による自然現象の変化だけでなく、社会への影響まで評価するためには、防波堤・堤防等の高さ・位置（陸地の浸水を左右する条件）や海岸近くの地盤高・人口・資産（浸水したときの被害）に関するデータも必要である。

その他

- r. 海氷（特に厚さ）は大気温度や波浪の発生域などにも影響するため、観測が必要である。

③沿岸にて特に重要と思われる観測項目の課題カテゴリーの整理

重要な観測項目等	現業 / 研究	課題カテゴリー□	備考
波浪	現業	I	
潮位	現業	C, F, I	国県等が得たデータの統一的な整理
内湾の海水流動（流速・水質）	現業	F, I	国県等が得たデータの統一的な整理
海岸地形（特に砂浜の汀線）	現業	H, F, I	国県等が得たデータの統一的な整理

□p.2 参照

④沿岸における課題解決に向けた戦略的な観測・監視のための方向性

- a. 多くの機関で観測された潮位のデータを一元化したデータベースの構築が望まれる。

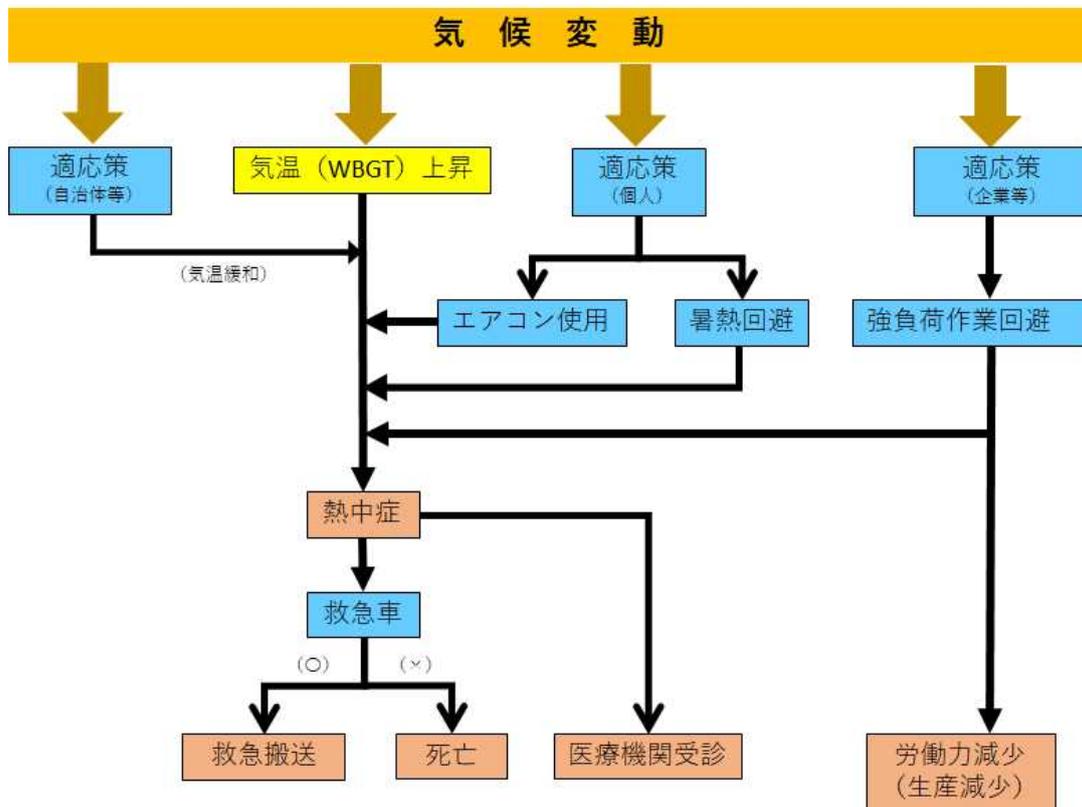
- b. 気候変動の影響に特化して潮位・波浪観測を行う場合は、将来の防波堤・埋立地の建設等による周辺地形の変化の影響を受けにくい場所を選ぶ。何らかの事情で観測地点を移設する場合、数年間の併行観測か数値計算によって相関解析を行う必要がある。
- c. 観測データの共有化が進められているものの、観測の目的や測器の仕様などに違いがあり、できる限り規格を統一化して多目的な観測を行う。
- d. 波浪・潮位については、台風時等のピーク（極値）の今後の欠測を減らすために観測機器の信頼性や精度を高めると同時に、過去の欠測を数値計算で補完すると良い。その一方で、内湾の流速と水質については、波浪・潮位よりも正確な補完が困難であるため、観測地点の増加が望まれる。
- e. 観測の地点や要素の追加だけでなく、既存の観測機器のメンテナンスも十分に行ってデータの品質を保つ必要がある。
- f. 海上の係留ブイなど測器の種類によっては、様々な構造・形状・大きさのものが使われており、中には気候変動による微小なトレンドの検出が困難なものもある。測器の特性を新品の状態ではもちろん、使用開始後の経年変化もモニタできるとよい。例えば、貝の付着や係留チェーンの摩耗によっても、ブイの喫水（ブイで観測する海面の高さ）は変化する。
- g. 波浪・潮位は、それぞれ年変動が不規則かつ大きく、気候変動の影響を検出するためには、同一の精度・時間間隔で長期間の観測が為されるべき。気温、水温、溶存酸素量、生物指標は、それに加えて複雑な相互作用もあるため、これらを総合的に観測する体制が構築されると良い。★
- h. 様々な機関の海洋レーダーによる表層流分布、港湾内の維持浚渫の際に計測した水深分布、港湾局が東京湾・伊勢湾・大阪湾の環境モニタリングで取得した毎時の水質・水温・流速等、様々なデータを一元化することで、内湾環境の研究への活用が促進される。
- i. 気候変動の影響を総合的に評価するために必要な情報・取組など
 - ・ 防波堤・堤防等の防護施設の設計上の高さ、海岸線や構造物の周辺の地形の経年変化、海岸近くの地盤高・人口・資産（浸水したときの被害のポテンシャル）の経年変化のデータベースを構築する。
 - ・ 同じ要素を複数の機関で観測している場合は、データのフォーマットを揃え、一元的に管理するプラットフォームを構築すると良い。最終的に他分野のプラットフォームとも統合できればなお良い。

2.6 健康

2.6.1 暑熱

暑熱環境分野においては、精度の高い観測・監視体制の構築と予測精度の向上に加えて、予防情報の迅速・適切な提供と、適応策の評価が必要と考えられる。救急搬送熱中症患者を例にとれば、救急搬送者数には高温日の出現日数が大きく関係していることは間違いないが、マスコミ等で取り上げられることによる救急車利用の増加なども考えられる。一方で、政府や自治体等が実施する様々な活動（環境省による「熱中症予防情報」など）について、その効果の評価は十分には行われていない。新たな対応策の展開と併せて、その効果についての検証作業が重要と考える。

①暑熱における気候変動影響のストラクチャー



②暑熱での観測・監視の現状における課題について

- a. 救急搬送データ、死亡データ等の利用は可能であるが、気象条件との関連を解析するにあたって、対象者の行動が把握できれば、より精度の高い解析が可能になると考える。ただし、対象者の行動履歴を収集することは、通常の業務範囲を超えるため、非常に難しいと思われる。具体的な対応策として、1) 救急搬送熱中症患者を対象に、スマホの位置情報システムを活用した発症前の行動履歴・暑熱環境曝露を推定、2)

夏季イベント会場等における熱中症（救急搬送）患者情報とイベント会場の暑熱環境推定、等が考えられる。逆転の発想で、スマホの位置情報システム情報と衛星観測等による暑熱環境データベースを作成し、それに対応可能な救急搬送熱中症患者データベースを構築することも検討の余地があると考え。なお、救急搬送熱中症患者からの行動履歴聞き取りによる暑熱環境曝露推定は、実施が困難なことに加え、定性的な解析に止まると思われる。

□現状においても、日別、時刻別、発生場所別の救急搬送データ、死亡データの解析により気温、WBGT との関連性の解析は可能である。

③暑熱にて特に重要と思われる観測項目の課題カテゴリーの整理

重要な観測項目等	現業 / 研究	課題カテゴリー□	備考
気象データ	現業	H, I, J, F	研究ベースではなく実業務利用 (ウェアラブル端末への送信) □熱中症予防情報
救急搬送データ	現業	I	個人情報への留意が必要
死亡データ	現業	B, J	個人情報への留意が必要 データの作成（公表）までに時間がかかる（ほぼ1年後）
診療報酬明細書 (レセプト)	現業 / 研究	B	個人情報への留意が必要
患者の行動履歴 (1)	研究	A	行動履歴 ※入手が困難
患者の行動履歴 (2)	研究	A	位置情報履歴 (スマホ等利用) ※個人情報に留意が必要
適応策 (1) 自治体等	研究	A, B	データベース構築、評価
適応策 (2) 個人	研究	A, B	データベース構築、評価

□p.2 参照

④暑熱における課題解決に向けた戦略的な観測・監視のための方向性

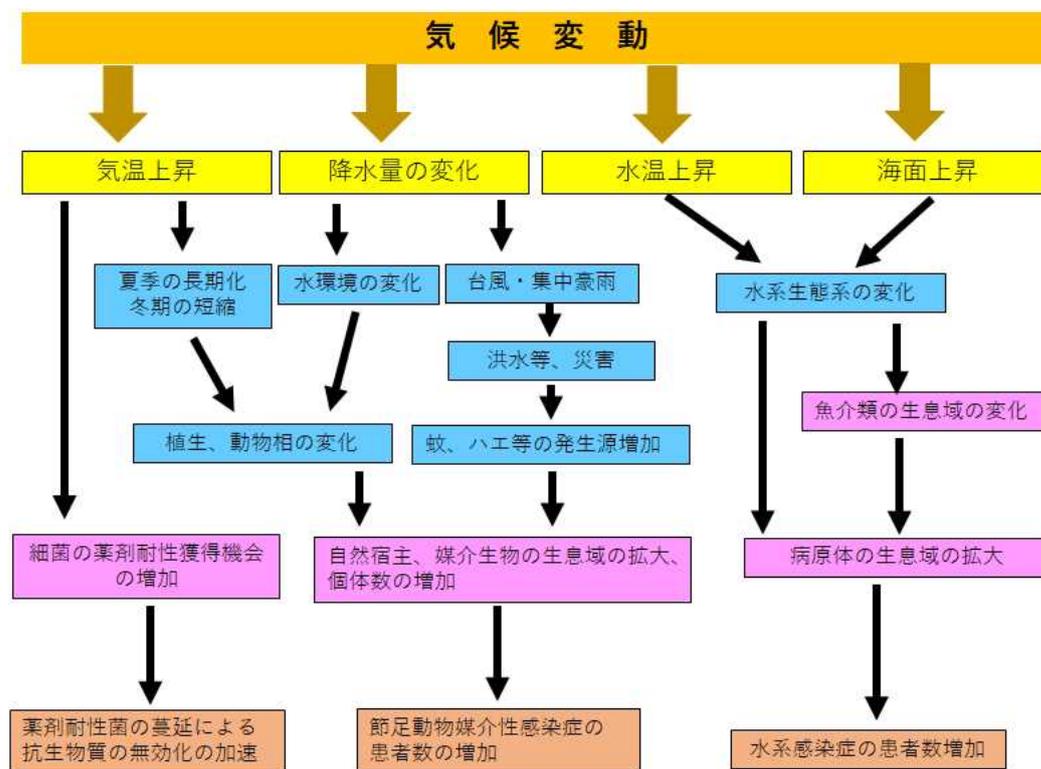
- a. 熱中症発症に関連する気象要因について、もう少し系統的な検討を行うことが必要ではないかと考える。現状は、個別研究成果に基づいて、気象要因の絞り込み（日最高気温、日最高 WBGT など）が行われている。熱中症予防情報の発令といった観点からは非常に重要であるが、将来予測を行うにあたっては、日別の予測が必要なのか、月別の予測で十分なのではないか、といった検討が必要と考える。

- b. 政府、自治体等が実施している予防策について、その洗い出しと適正な評価が必要と考える。

2.6.2 感染症

日本における感染症は、公衆衛生の向上、医学の進歩により、患者数は大きく減少した。しかし、根絶されると思われた感染症の再興、また新興感染症も発生し、さらなる対策が必要である（2.6.2②a）。特に気温の上昇による生態系の変化が起きた場合はこれまでの知見が通用しないことも想定される（2.6.2②c, h）ことから、これまでの疫学情報に加えて、今後は媒介者である野生動物、人の移動や物流等の多用なデータを活用（2.6.2②b, e, f, h, i）し、対策にあたる必要がある。なお、感染症と気候変動の関係については研究事例が限られ不確実性を伴う要素も多いことから、気温の上昇と感染症の発生リスクの変化の関係等について、科学的知見の集積に努めることも併せて必要である。

①感染症における気候変動影響のストラクチャー



②感染症での観測・監視の現状における課題について

- a. 気候変動が感染症の流行に影響を与えているということは国際的な認識となっており、例えば WHO の The 1.5 Health Report には、“There is strong evidence that changing weather patterns associated with climate change are shifting the geographic range, seasonality, and intensity of transmission of selected climate-sensitive infectious diseases, with increases and decreases projected with additional warming.” と記されている。
- b. ただし、感染症と気候変動の関係については研究事例が限られ不確実性を伴う要素も多いことから、今後気候変動による気温の上昇等が予測されていることも踏まえ、気温の上昇と感染症の発生リスクの変化の関係等について科学的知見の集積に努めることが必要である。
- c. これまで流行が日本国内でみられなかったあるいは稀であった病原体が、気候変動の影響で生態系に変化が及ぶ結果、流行が起きる可能性がある。侵入してくる病原体は一種の外来種であり、日本の生態系には存在しなかったものであることから、生態系内で抑制が働かず一度侵入してしまうと大きく広がる可能性が否定できない。
- d. また、既知の感染症の流行域が広がる可能性もある。水系感染症のビブリオ・バルフィニカス感染症の流行は、気温上昇により海水温が上昇し従来はほとんど見られなかった北海道や東北地方での感染が起こっており、北限が上昇している。また、デング熱媒介蚊であるヒトスジシマカは、この約半世紀の間に、生息域の北限が北関東から青森まで上昇している。
- e. 感染症の監視に関しては、病原体だけでなく媒介動物に関する監視も必要である。今後、進行するかもしれない気候変動の影響を評価するためには、まず病原体やその媒介動物を含めて、現状の基礎的な知見を得る必要がある。しかし、それを行う専門家を直ちに十分に確保することは現状では難しい。
- f. 現在、人獣共通感染症の対策を進める上でワンヘルスが重要視され、このアプローチに基づく対策が進められつつある。このワンヘルスが広まるきっかけのひとつは、2004年に提唱されたマンハッタン原則であり、野生動物の重要性に言及したことが特徴の一つとなっている。一方で、文部科学省が設置した「感染症研究の今後の在り方に関する検討会」が2016年に発表した報告書では、感染症の研究に関して、「むしろ、感染症が抗菌薬やワクチンで克服され医学的に問題ではないと認識されるようになったことが衰退の大きな理由であると考えられる。もちろんこの認識が誤りであったことは明白であるが。現時点でも、免疫学や再生医学のように臨床医学と関連が深

い分野に人材が偏在している。例えば医学部の場合、生化学のように医学部以外からも人材供給がある分野を除けば、感染症に限らず基礎医学全般にわたり、教育や教育を行う人材が枯渇している。(P.14)」との見解を示しており、ワンヘルスの重要性に言及しつつ「15年前にはあまり認識されていなかったことが分かるが、現在ではこれが非常に重要な分野になっており、動物や植物の感染症も含む広い視野での感染症研究を考慮することが必要である。」と述べている。野生動物を始めとする自然生態系の病原体を監視することは、気候変動の影響を評価する上でも、またワンヘルスの概念の基に通常の感染症対策を行う上でも重要ではあるが、この報告書は、それを担当する人材は十分ではないことを示している。

- g. 調査研究の実施者としては、大学、公的機関の研究者、地方自治体の衛生担当者等が考えられる。感染症の発生は局地的な場合もおおいため、地方自治体の協力体制は欠かせない。かつてはハエ・蚊などの衛生対策のため配置されていた人員は、人員削減で廃止されており、特に媒介生物の専門知識をもつ担当者が配置されている地方自治体は少ない。
- h. 気候変動による感染症への影響を評価するためには、病原体および媒介生物に関して、その生態を調査する必要がある。多くの病原体、媒介生物（日本脳炎、デング熱、SFTSのような比較的研究が行われているものも含む）では、その基本的な性質（感染性、宿主・寄生物、温度耐性等の物理的耐性）が十分に判明していない場合も多い。したがって、既存の感染症研究、調査、対策と連携をとりつつ、気候変動の影響を評価していく必要がある。
- i. 感染症の野外調査では、媒介生物を調査することになるが、その対象は、大型哺乳類から節足動物（昆虫・ダニ類）まで非常に多くの生物種を含む。例えばデング熱対策のために媒介蚊であるヒトスジシマカを調査するような因果関係が明確で、よく調査が行われている生物を除き、調査対象種やその調査方法をどのようにするか画一的な方法がない。また、多くの生物種では調査で捕獲した生物の種を形態分類し同定できる専門家の数が限られており、専門家でも種の同定には莫大な労力と時間がかかる。そのため、感染症の媒介生物なのかどうかの判定すら難しい場合がある。DNA バーコーディング法のような形態分類にかわる手法も開発されているが、現時点では形態分類の完全な代用にはならない。生物調査に関しては、人的資源の確保が現状では難しいため、人材育成を含めた長期的な計画が必要である。

- j. 媒介生物とヒトの接触機会に関する空間情報を解析するには、既存のデータは解像度が荒い。蚊やマダニのような主要な衛生害虫の多くは“ホットスポット”と呼ばれることもある極狭い面積（1m²以下）に集中して生息していることが多い。そのようなホットスポットの解析を行うに足る十分に解像度が高い地理的データ（気温や降水量等の気象情報、都市部における建造物や道路等および山間部における土地利用、植生や地形、あるいは航空写真等）は整備されていない、あるいは高価で入手困難である場合もある。局所的な解析に用いることができる各種高解像度データの普及が望まれる。
- k. 人に対しての媒介蚊による咬傷頻度のような直接的なデータは、世界的にもあまり収集されていない。また、ヒトの移動に関するデータ（国土交通省パーソントリップ調査など）が使用可能だが、それと媒介生物感染症の咬傷頻度との関係が紐づけされていない。個人情報保護との兼ね合いもあるが、感染経路の解明を行うためには聞き取り調査やアンケート等を行い、人の行動と感染症の関係性の実態を把握していくことが望まれる。

③感染症にて特に重要と思われる観測項目の課題カテゴリーの整理

重要な観測項目等	現業 / 研究	課題カテゴリー [□]	備考
病原体の地理的分布	研究	A	
媒介生物の地理的分布	研究	E	*1（下記参照）
感染症患者数 （輸入感染症含む）	現業	C	
気象基本データ	研究	C	
土地利用データ	研究	C	
人口分布、人口移動（海外からの旅客含む）	研究	C	

□p.2 参照

*1 昆虫を例にとれば、農業害虫、衛生害虫（媒介生物）、外来種等様々な面をもつが、それぞれに担当官庁が異なるため、研究費や事業費の用途による制限から調査に支障を来す場合がある（ある場所に生息する昆虫全般を調査したい場合等）。したがって、気候変動の影響調査にあたっては、各分野が連携し効率的に調査を進めることが必要である。

④感染症における課題解決に向けた戦略的な観測・監視のための方向性

- a. 地方自治体において、感染症のサーベイランスの対象として、野外動物や媒介節足動物の監視にも対応可能な人員を配置し、その体制を維持することができるように取組を進める。★
- b. 輸入感染症研究を行う際には、将来的に日本へ侵入する恐れのある疾病媒介節足動物とこれらの移動に関するデータや、関連の深い野生動物に係る情報収集が必要となる。また、人による持ち込みを監視するために、詳細な旅行客移動データが参照できると良い。★
- c. 日本国内における過去の各種生物の調査結果が参照できるように、過去にさかのぼって参照できるこれまで行われてきた生物調査の情報がデータベース化されると良い。
- d. リスク評価や適応策の立案のためには、分野横断的なデータの利活用が必要である。あらゆる分野の専門家による積極的な情報公開と連携が進み、関係府省庁がうまく連携を取れる体制の構築が望まれる。★
- e. 疾病媒介節足動物の個体群動態とリスクマッピングを実施する感染症疫学の連携を図る。
- f. 気象データ（気温、降水量）と媒介蚊個体群動態に基づく数理モデル研究については、昆虫学者とモデル専門家の連携が重要となる。
- g. 感染症を媒介するか否かで調査対象とする昆虫種を絞るのではなく、他分野と連携した調査が為されると効率的（例：大陸から飛翔する昆虫を監視した際には、農業害虫や衛星害虫、侵入害虫、その他様々な昆虫が捕獲される）。★
- h. 地域によって変動が生じないような観察の標準化を行うことと、オープンソース化をすることによって使用しやすくすることが望ましい。

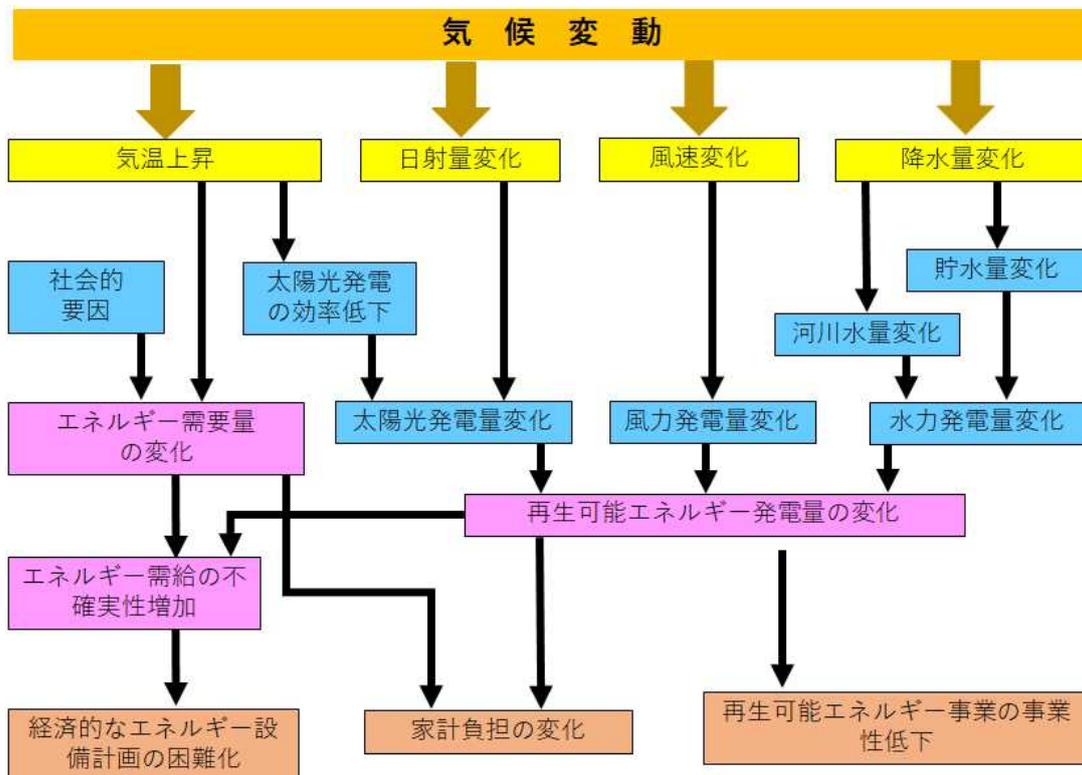
2.7 産業・経済活動および国民生活・都市生活

2.7.1 エネルギー

気候変動によるエネルギー需給への影響は、太陽光、風力、水力等の気象条件の影響を受ける発電量の変化と、主に気温の変化によるエネルギー需要量の変化が挙げられる。これらは電力供給の安定性や再生可能エネルギー事業者の事業性、家計負担の変化などに影響を及ぼす恐れがある。これらの影響を把握するには、関連する気象要素およびエネルギー需要量の観測、計測が必要不可欠である（2.7.1②a, f, l, m, n）。

日射量や太陽光・風力発電量は、空間解像度の高いデータの蓄積が課題であり、衛星観測データや発電事業者の発電実績データを収集、管理、活用するシステムの構築が期待される（2.7.1②b, c, d, i, j④a, b, d, e）。エネルギー消費量に関しては、個人情報保護の担保を大前提としたスマートメーター等の計測データの収集や活用が望まれるところ、エネルギー需要量の変化から気候変動による影響をいかに抽出するかという点が課題である（2.7.1④c）。

①エネルギーにおける気候変動影響のストラクチャー



②エネルギーでの観測・監視の現状における課題について

気象データ

- a. 太陽光発電、風力発電に影響のある気温・日射量・風況情報が重要である。
- b. 気象庁による観測では、全国約 800 ヶ所のアメダスにおいては日照時間が観測されているが、全天日射量については全国 48 地点の気象官署に限定されている。また、平地の日射観測データに比べ、標高の高い地域の日射データが非常に少ない。
- c. 電気事業連合会により、全国約 300 地点で日射観測が行われているものの、送配電事業者が独自に計測している全天日射量の観測については、少なくとも各送配電事業者が需給運用に利用している点数での継続的観測が必要である。

太陽光発電

- d. 発電電力量の時系列データは、送配電事業者ごとに推計値の時系列データが公開されているが、その推計方法が公開されていない。また、リアルタイムでは入手できない。
- e. 出力抑制指令による制御量も踏まえた発電量の把握が必要となる。
- f. 太陽光発電の発電電力量データの時間分解能は、衛星観測データの 2.5 分程度が整備されると電力の需給解析等に利用できると考えられる。
- g. 自家消費率については、FIT 制度に依存しないシステムや蓄電池の併設、デマンドレスポンス等の活用など、様々な需要形態が存在する中で、自家消費率の観測、推計が難しくなる。

太陽光発電（FIT 制度）

- h. 太陽光発電の導入量は、現在 FIT 制度における統計値があり、エネルギー統計（太陽光発電の導入量や発電電力量など）に利用されているが、FIT を利用しないシステム（公共・産業用などの完全な自家消費）については現在でも把握できていない。今後、FIT 制度の終了案件（2019 年以降）や FIT 制度を利用しない導入形態の増加が予想されることから、導入量、導入箇所、導入形態についての観測・監視方法、公開方法の検討や送配電事業者における接続量などの活用が望まれる。導入箇所や形態については、FIT 制度の事業計画認定情報や定期報告データにより把握ができる。これらについて空間解像度の高いデータ公開が望まれる。
- i. 大規模太陽光発電所の発電量データは事業者の運転状況も示すデータのため、そのまま公開することは難しいと考えられる。また、住宅用太陽光発電設備、中規模の発電設備では、計測されていない、または計測されていてもインターネットに接続されて

いないケースがある。

- j. 風力発電に重要となる風速の観測データは、地形の影響を受けるため、アメダスや気象官署ではなく実際に設置されている地点のデータが必要である。各風力発電所で風速は計測されているものの公開されているものは少ない。
- k. 再生可能エネルギー熱利用の実測データが無い。再生可能エネルギー熱利用とされる、太陽熱やバイオマスは供給となるが、地中熱や雪氷熱などは省エネルギーとなるため、統計上の整理が為されていない。
- l. 電力需要量のデータは供給エリア全体などの広域の時系列データは公開されているが、需要家側における再生可能エネルギーや、電気自動車、急速充電ステーションなどの普及による新たな電力消費の増減が生じる将来を見据え、配電網の容量と関連がある小さなエリア単位での時系列データの把握が重要であり、公開されることが望ましい。
- m. ガス等の利用による需要家ごとの熱エネルギー需要量については、時刻別などの時間解像度の高いデータが不足している。太陽熱・地中熱等の再生可能エネルギー利用拡大に活かせることや、熱供給設備の電化による電力消費量増加を把握できること、生活スタイルの変遷を捉えることができるなどの観点から、熱需要量そのものを計測する仕組みが必要である。
- n. 気候変動による気温の変化等のエネルギー需要への影響を分析するには、経済活動の発展や衰退の影響の小さい、需要家単位における電力・熱のエネルギー需要量を把握し、統計処理を施した上で公開されることが望ましい。また、これらを長期的に観測し続けるシステムが必要である。

③エネルギーにて特に重要と思われる観測項目の課題カテゴリーの整理

重要な観測項目等	現業 / 研究	課題カテゴリー [□]	備考
日射量	研究	B, I	
風速	研究	B, I	
電力需要量	研究	B, I	
熱需要量	研究	B, I	
太陽光発電設備量	研究	I	

□p.2 参照

④エネルギーにおける課題解決に向けた戦略的な観測・監視のための方向性

気象データ

- a. 日射量の網羅的把握のためには、過去の衛星画像と今後の「ひまわり8号」の衛星画像から日射量を推計し、そのデータを蓄積させることが有用である。様々な事業者が保有する日射量データが公開され、利用可能となることが望まれる。
- b. 風速の網羅的把握のためには、気象庁の気象予測モデル精度が向上し、局所的な風速の時間解像度の高い時系列データが利用可能となることが望まれる。また、様々な事業者が保有する風車設置場所での風速データが公開され、利用可能となることが望まれる。

太陽光発電関連

- c. 住宅用など需要家に設置されている太陽光発電の発電電力量そのものを把握するためには、スマートメーターの他に、HEMS等により、自家消費電力量も合わせて把握する必要がある。
- d. 大規模太陽光発電の発電電力量の把握には、遠隔出力制御装置のデータが活用可能と考えられる。現在は単方向通信ではあるが、実績データは制御サーバー側にPUT可能な状況である。ただし、リアルタイム性はないため、今後、双方向通信によるデータ活用が期待される。
- e. 発電量の情報は、事業者であれば事業の運転状況を表してしまうため、公開は困難であるものの、エリアで集約した形など個々の事業者を特定できない形で公開されることが望まれる。

エネルギー需要関連

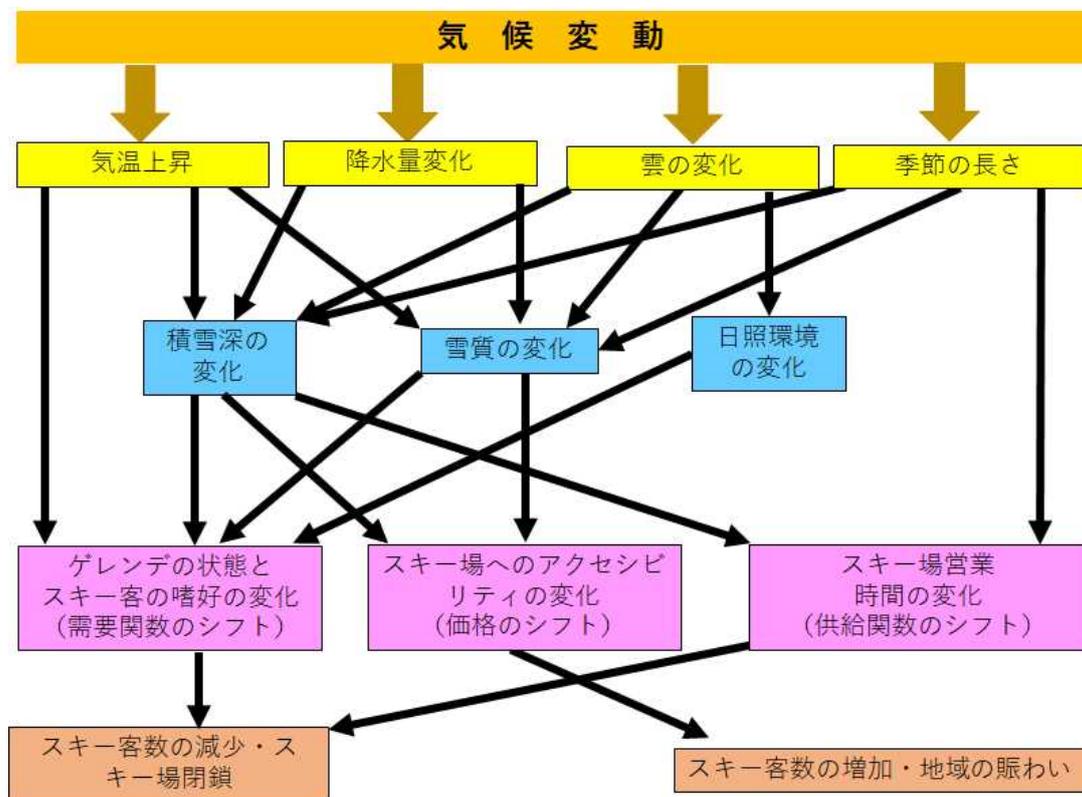
- f. 電力やガスに関するスマートメーターのデータ、民間のモニタリング会社が計測している発電量データ及びHEMS、BEMS等のエネルギーマネジメントのデータを、個人情報保護の観点から個人を特定できないよう集約、統計などの処理をした上で開示され、それらを利用できる仕組みの構築が望まれる。

2.7.2 観光業

観光分野において気候変動による観光客数への影響、経済的影響、延いては砂浜消失に対する養浜事業など具体的な適応策の効果を評価するためには、交通に関連するもの、気象など現地の観光資源に関連するデータがとりわけ重要となる(2.7.2②a, b, c)。これらには主に国土交通省などの提供する情報が有用ではあるが、体系的な整理がなされているとは言い難く、質・量共に不十分である(2.7.2②d, e, f, g, i)。

データ充実のためには、研究以外には用いないことを前提に国や自治体によって事業者への協力を要請すること、自治体は既存の情報源について整理し閲覧しやすくし、必要ならば一次加工を施し広く公表することが望ましい(2.7.2④a, b, c, d, e, f, g, h)。

①観光業における気候変動影響のストラクチャー



※一例：「スキーへの影響」について

②観光業での観測・監視の現状における課題について

- a. 気候変動による観光資源の変化、観光資源の変化にともなう観光行動の変化、あるいは気候変動による直接的な観光行動の変化といったいくつかの側面での議論が必要である。

- b. 観光地の経済に係る影響評価のためには、訪問客数・訪問頻度・気象変数・砂浜面積等の様々な情報が必要である。観光地の特性情報、交通費用や交通時間なども不足している。
- c. 海水浴場（砂浜）やスキー場（雪山）など、気候変動によりレクリエーション資源（観光資源）の変化が見込まれる地域への訪問客数（観光客数）が必要である。訪問客数についてはトリップの発生源ごと（居住地域別）に集計された値（OD交通量）が必要となる。
- d. 観光や交通に係る基礎統計情報としては、国土交通省の「パーソントリップ（PT）調査」や、観光庁の「旅行・観光消費動向調査」が活用可能である。しかし、これだけでは必要な情報はまかなえないため、現状では独自にアンケート調査を行うなどデータの補完作業が必要となっている。
- e. メッシュ単位ではなく、観光地単位での砂浜面積や積雪深等の情報が必要となる。砂浜面積データは大学等の推計値を使用しているものの、厳密な値を把握できていないのが現状である。積雪深は、AMeDASとともに気象官署等における地上気象観測が活用可能（全国約300ヶ所）であり、国土交通省や地方自治体等の機関による調査も有用である（国の防災情報でも活用されている）。しかしながら、観測点が不足するため、各地のスキー場が独自に公表するデータなどで補完しているのが現状である。
- f. 下の①論文や③論文で見ると、近くのAMeDASデータとスキー場で計測される実際の積雪深とは異なり、少なくとも標高や斜面等の補正を行うことが必要である。長野県では独自に算出した補正係数をExcelデータで供与している。
<https://www.pref.nagano.lg.jp/kenchiku/infra/kensetsu/kakunin/kijunchi.html>
- g. 砂浜面積は、国や都道府県の調査やインフラ関連の調査により、独自データが蓄積されている。
- h. 気候変動の影響を受ける観光資源、特に自然資源の状態を観測することが必要となるため、（1）天然資源への影響把握のための植生調査（2）観光地における土地利用変化のモニタリング、が必要となるが、（1）、（2）ともに定期的な更新がなされていないようであり、既存調査（植生調査、土地利用調査）の定期的な実施が必要である。

- i. 下の②論文や④論文で見ると、砂浜に対しては養浜事業という具体的なインフラ整備事業が適応策に該当するものとみなし、その便益の算定を試みている。しかし、養浜事業が都道府県の管轄なのか国なのかによって情報管理されている所がバラバラであり、その情報入手が甚だ困難であった。同事業の情報の系統的整理が望まれる。

③観光業にて特に重要と思われる観測項目の課題カテゴリーの整理

重要な観測項目等	現業 / 研究	課題カテゴリー□	備考
観光地の客数	現業	B, E, H	
細目目的別 OD 交通量	現業 / 研究	D, F	現状では研究費でコンサルタツツへ作成依頼
自然及び物理条件の現状値 あるいは推計値	現業 / 研究	F	現状では SI-CAT の他の研究班から物理的推計値を入手
気温・降水量・積雪深・日照時間	現業	A, B, D, I	
上記気象情報が得られず、 近辺観測器データを用いる 場合の補正係数	現業 / 研究	D, F, I	長野県のみ積雪深の高低差補正係数表を公表
自然及び物理条件の将来推計値	研究	D, F	現状では SI-CAT の他の研究班から物理的将来推計値を入手
人工降雪機、人工造雪機などの導入実績や稼働状況	現業	A, B	

□p.2 参照

④観光業における課題解決に向けた戦略的な観測・監視のための方向性

- a. 観光地でのヒアリングによるデータ収集を実施。国土交通省による「パーソントリップ (PT) 調査」や、観光庁による「旅行・観光消費動向調査」の充実と共に、これらが関係府省庁連携のもとで統一的に利用可能となると良い。★

⇒②論文と④論文の内容が該当する。これらでは最終的に各都道府県を発生・集中ノードとする OD 交通量データを元にして訪問需要関数を推計し、砂浜面積に対する砂浜訪問需要の感度をとる。将来的にはスキーなど冬山リクリエーション価値の算定についても同様なことを行いたい。よって、これら細目目的別の OD 交通量の推計を行って公表していただきたい。

- b. 全国幹線旅客純流動データは、国内の純流動トリップを捉えたデータであるが、5年に一度規模の調査かつ秋期に実施された調査にもとづくため、観測されていない時期、年の補完が期待される。特に、同調査の構成要素である道路交通センサデータを常時観測データ（ETC2.0データ等）で補完する方法論の構築が期待される。
- c. 訪問客数データは個々の民間事業者によって観測されているはずなので、民間事業者から（自治体等を経由して）国への報告を要請していただきたい。スキーや流氷見物等、冬季観光の自然資源が気候変動によって時期が変化したり、期間が変動することによって、参加者数、参加率、来訪者数に大きく影響するものと考えられる（③論文によって論証済）。現時点で訪問客数データが解析に適する位入手できたのは長野県のであるものの、スキー場ごとではなく、各エリア（長野県内で9つ）で集計された月別値のみであった。私企業の情報なのでという理由ならば、自治体によって長野県同様、エリアで集計し、秘匿性を高めるべくデータ編纂を図ることが望ましい。
- d. 各スキー場における人工降雪機、人工造雪機などの導入実績や稼働状況の情報について、民間事業者から（自治体等を経由して）国への報告を要請していただきたい。スキー場における温暖化適応策（あるいはその行政的な支援策）の一つとして効果分析を図るための材料となる。
- e. 各地のスキー場における観測データの収集・統合・編纂を進めるべき。各スキー場で気象条件の実観測データが得られるならば、下の①論文や③論文のような解析手法がそのままデータに適用できる。
- f. 近くの AMeDAS データとスキー場で計測される積雪深の実際の値とは異なり、そのまま①論文や③論文のような解析手法を適用するのは適切でない可能性が高い。その場合は標高や斜面等の補正を行う必要があるため、長野県以外の各自治体でもその補正係数に該当するものを算出し、公表してほしい。
- g. 気候変動により変化が見込まれるレクリエーション資源（砂浜面積、積雪深など）の将来推計値が活用できるようになるとよい。★

⇒SI-CAT では GCM と RCP シナリオの任意の組み合わせについて、各分野で将来推計を行い、現在ではメンバー内、将来的には自治体などより広範囲な情報公開を予定である。

- h. 計測方法やフォーマットの統一が為され、一元化して利用可能となることが望まれる。

参考文献：

①：大田原望海，大西暁生，佐藤嘉展，佐尾博志，森杉雅史：地球温暖化による積雪量の変化がスキー場の営業に及ぼす影響—富山県を対象として—，土木学会論文集 G（環境），Vol.70，No.5，pp. I_21-I_29，2014.

②：佐尾博志，供田豪，森龍太，森杉雅史，大野栄治，中寫一憲，坂本直樹：砂浜侵食に伴うレクリエーション価値の損失と適応政策の効果の推計，土木学会論文集 G（環境），Vol.73，No.5，I_191-I_199，2017.（（社）土木学会 地球環境委員会 平成 29 年度 地球環境論文賞受賞）

③：供田豪，森龍太，森杉雅史，大野栄治，中寫一憲，坂本直樹：近年のスキー場来客数の慢性的な減少と気候変動に関する統計的解析，土木学会論文集 G（環境），Vol.74，No.5，pp. I_21-I_29，2018.

④：中寫一憲，坂本直樹，大野栄治，森杉雅史，森龍太：気候変動による砂浜侵食に関する適応策の費用便益分析，土木学会論文集 G（環境），Vol.74，No.5，pp. I_21-I_29，2018.

第3章 まとめ

観測は科学の基本である。観測や実験した結果得られるデータに基づいて対象とする現象の仕組みを調べ、次に起きる事象を予測したり、制御するという科学の枠組みは古来不変である。とりわけ気候変動に関する科学は観測が重要な作業であり、地球温暖化現象の発見にも様々な観測データが関与したことが知られている。観測に基づいて現象が理解され、その影響が予測されるとともに、適応および緩和策が策定されている。しかし、自然システムおよび社会システムは複雑であり、かつ未解明の事象が多く残されており、この観測・監視を行えば十分であると言うことはわれわれにはまだできない。

気候変動の影響は、各システムのさまざまな構成要素、われわれ人間自身を含む産業活動および経済活動など広範に渡り、本報告書の気候変動影響のストラクチャーにも示されているように、カスケード状に時間的空間的に連鎖する。また、気候変動が影響をおよぼす対象が変化するとともに、その変化が再び気候の変動にフィードバックする。そのような状況では、ある一定の観測や監視を継続するだけでは十分ではない。諸科学の進展とともに、観測・監視のあり方自体も変わる必要がある。

これまでも業務などの一環として各種観測データが長期連続的に取得され、環境動態を知り得る貴重なデータが蓄積されているが、観測の大部分を人手に委ねるそれらのデータは、リモートセンシング技術や IT 技術の目覚ましい発展を遂げた現在でも真値情報としての価値が非常に高い。しかし、そのようなデータの多くは散逸しやすく、また利用しにくい状態にあることが指摘されている。気候変動とそれがおよぼす影響・適応・緩和策を考えるためには、いわゆるレガシーデータの適切な保全と利用性の向上も必要である。また、上記のように観測主体が多様化する中では、データの比較時を意識した観測の標準化および観測データのオープンソース化など、データ有効活用に資する取組についても検討を進める必要がある。

本報告では、7つの分野における観測・監視の現状とその問題点、そして今後の課題と戦略的な観測・監視の方向性を示した。上で述べたように気候変動が関与する対象はきわめて多岐に広がっており、本報告書はそれらすべてをカバーできてはいない。多様な専門性を持つ有識者や関係府省庁・機関、その他団体等、観測・監視に携わる多くの方々との情報交換を行い、より網羅的に検討をする必要がある。

無論、何でも観測すればよいというものでもない。求められているのは、気候変動およ

び各システムの気候変動に対する応答特性の理解を進めながら、最適な戦略的観測・監視の枠組みを模索し続けていくことであろう。そのためには、適切な観測・監視のあり方を科学する学問分野の創成も必要なかもしれない。本報告が今後の気候変動の影響、適応、緩和の充実・強化の枠組みを考え議論する上での一助になることを期待する。

参考資料

第2章にて整理された各観測項目における課題カテゴリーA～Jについて一覧表に示した。

課題カテゴリー

- A) 技術的な制約等により観測が為されていない、もしくは観測の有無が不明
- B) 観測が為されているがデータの入手が困難、もしくは入手方法が不明
- C) 観測が為されておりデータも入手できるが研究への活用が困難
(例：数値の読み込みが困難 など)
- D) 既存の観測において予算や人員等の不足により観測の継続が困難
- E) 過去に観測が実施されていたものの現在まで継続されていない
- F) 他分野・組織等とのデータ共有や連携が必要 □具体例を備考欄に記載
- G) 紙ベースのデータのデジタル化が必要
- H) 時間解像度の向上が必要
- I) 空間解像度の向上が必要
- J) 観測範囲の拡大が必要
- K) その他

※ K（その他）については第2章を参照されたい。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
気候変動の影響観測										
民間航空機を活用した GHG 濃度								○	○	
船舶を活用した GHG 濃度								○	○	
大気陸面間の炭素輸送量								○	○	
アジア域での地上 GHG 濃度								○	○	
成層圏の水蒸気量	○									
成層圏の大気微量成分量 (オゾン)								○		
成層圏の大気微量成分量 (オゾン/エアロゾル)	○									
地上気象観測所設置環境・測器曝露環境に関する情報 (メタデータ)	○	○					○			
過去記録 (紙面上の記録) のデータベース化		○	○				○			
湿度 ^{□農業}					○			○	○	
気象災害や顕	○	○	○	○			○			

著現象など										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
海洋深層の水 温・塩分								○	○	
全球海洋にお ける水温・塩 分の鉛直プロ ファイル								○	○	
生物地球化学 的観測（二酸 化炭素分圧、 全炭酸濃度、 全アルカリ 度、溶存酸 素、pH、クロ ロフィル a、栄 養塩、懸濁粒 子、水中放射 照度等）								○	○	
未利用データ の発掘・活用	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

農業、森林・林業、水産業

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
農業、森林・ 林業、水産業										
フェノロジー		○								
収量		○								
日射量									○	
湿度 ^{□気象}		○							○	
管理（施肥の 種類と施用 量、灌漑水 等）	○	○								
雄花及び花粉 飛散量の観測										○
風倒木等の被 害木、被害状 況の観測						○				○
水産資源量 / 漁獲量						○			○	
海水温						○		○		○
生物生産（餌 生物 / プラン クトン）				○				○	○	○
海洋動態 / 栄 養塩供給		○						○	○	
藻場・海藻群 落				○	○	○			○	

水環境・水資源

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
水環境・水資源										
河川流量			○							
河川水質			○							
流出土砂量	○									
水源流域の藻類の属種、個体数						○				
水源流域の濁度	○									
地下水位	○									
全国レベル（中山間地を含む）での水道水質基準等項目							○			
全国レベルでの水道水源における消毒副生成物前駆物質	○									
全国レベルでの水道水源におけるクリプトスポリジウム、ジアルジア、ウィルス等病原微生物	○									

自然生態系

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
自然生態系										
ライチョウ分布	○			○				○		○
高山植生分布	○			○				○		○
鳥獣害情報						○				
生物種の垂直分布					○		○			
自然環境保全基礎調査（種の分布調査、特定植物群落）					○					
環境省モニタリングサイト1000（森林、高山、里地里山）				○						○
環境省レッドリスト						○				○
日本長期生態学研究ネットワーク JaLTER				○						
環境省モニタリングサイト1000（湖沼）：水草・魚類分布・分布量・個体数				○					○	
河川水辺の国勢調査：魚類分布								○		
湖沼モニタリング：魚類、水生昆虫、無脊椎動物、水生植物分布・個体数等						○	○			
各地の内水面水産データ：漁獲		○				○	○			

対象種密度・個体数										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
環境 DNA による分布情報：主として魚類分布情報										○
海藻藻場		○	○		○	○		○	○	
海草藻場（アマモ場）					○	○		○	○	
岩礁性潮間帯（磯）			○					○	○	
干潟			○		○			○	○	
サンゴ群集			○		○			○	○	
底生生物（以上の生態系に生息する生物群）	○	○					○	○	○	
海水温分布						○		○		○
海洋動態			○			○		○	○	
pH			○			○		○	○	
基礎生産		○				○		○		○
中深層の群集構造	○									
深海域	○									
植物の開花時期								○		○
植物の展葉時期								○		○
pollinator（花粉媒介者）の発生時期								○		○
高山・亜高山生態系の生物分布										○
有害鳥獣の分布						○	○			
外来生物の分布								○	○	○

自然災害・沿岸域

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
沿岸										
河川流量			○							
小規模河川の 河道測量	○									
流出土砂量	○									
沿岸										
波浪									○	
潮位			○			○			○	
内湾の海水流 動（流速・水 質）						○			○	
海岸地形（特に 砂浜の汀線）						○		○	○	

健康

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
暑熱										
気象データ						○		○	○	○
救急搬送データ									○	
死亡データ		○								○
診療報酬明細書（レセプト）		○								
患者の行動履歴	○									
患者の行動履歴（位置情報）	○									
適応策（自治体等）	○	○								
適応策（個人）	○	○								
感染症										
病原体の地理的分布	○									
媒介生物の地理的分布					○					
感染症患者数（輸入感染症含む）			○							
気象基本データ			○							
土地利用データ			○							
人口分布、人口移動（海外からの旅客含む）			○							

産業・経済活動および国民生活・都市生活

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
エネルギー										
日射量		○							○	
風速		○							○	
電力需要量		○							○	
熱需要量		○							○	
太陽光発電設備量									○	
観光										
観光地の客数		○			○			○		
細目目的別 OD 交通量				○		○				
自然及び物理 条件の現状値 あるいは推計 値						○				
気温・降水 量・積雪深・ 日照時間	○	○		○					○	
上記気象情報 が得られず、 近辺観測器デ ータを用いる 場合の補正係 数				○		○			○	
自然及び物理 条件の将来推 計値				○		○				
人工降雪機、 人工造雪機な どの導入実績 や稼働状況	○	○								