

国立公園等の保護区における 気候変動への適応策検討の手引き



写真でみる生物多様性への気候変動の影響

大雪山の高山帯に広がる
多彩な高山植物が作り出す華麗なお花畑。
このお花畑は急速に衰退しており
消滅してしまう可能性があります。



雪解け水で潤う湿性お花畑では、チシマノキンバイソウなどの草本植物が群生しています。

観光利用などの
私たちが生物多様性から受けている恵みにも
気候変動は影響をおよぼす可能性があります。



大雪山国立公園内には旭岳やトムラウシ山、十勝岳など魅力的な山々が連なり、年間約7-10万人が訪れます。

(表紙、裏表紙、写真でみる生物多様性への気候変動への影響写真／撮影：国立環境研究所)

海水温の上昇によって
サンゴが白化する現象が確認されています。
この白化現象が長く続くと、サンゴは死んでしまいます。



サンゴに共生する褐虫藻が高温などのストレスによって減少するとサンゴ骨格の白い色が目立つ白化が起こります。



サンゴ礁は熱帯や亜熱帯の海岸を縁取り、人々はそれを漁場やレクリエーションの場として利用しています。

Contents

写真でみる生物多様性への気候変動の影響

概要－ Executive Summary －	1
1. 気候変動の影響に適応する	3
1-1 なぜ気候変動への適応か	
気候変動の現状	5
気候変動への2つの対策	7
世界の適応への取組	7
日本の適応への取組	8
1-2 自然生態系分野における適応策の考え方	
自然生態系への気候変動の影響	10
自然生態系への影響の特徴	12
気候変動への適応の基本的考え方	12
適応策の検討で考慮すべきこと	12
1-3 本手引きのねらい	14
2. 国立公園等の保護区における適応策検討のステップ	15
2-1 適応策検討のステップ	17
2-2 ステップ1：基盤情報の収集・整備	20
2-3 ステップ2：評価対象のデータ収集	22
2-4 ステップ3：将来の分布・景観予測	24
2-5 ステップ4：適応オプションの検討	25
2-6 ステップ5：関係者の認識や意見の把握と計画の検討	26
2-7 ステップ6：保全や利用に関する計画の策定	26
2-8 ステップ7：順応的管理	26
3. モデル保護区における事例	27
3-1 大雪山国立公園	29
3-2 慶良間諸島国立公園	40
4. 参考文献	49

概要 — Executive Summary —



(撮影：国立環境研究所)

近年、世界各地で集中豪雨、干ばつや熱波などの極端な気象現象による災害が発生して、甚大な被害を引き起こしています。日本各地においても、気温上昇や大雨の多発などによって、農作物の品質低下、動植物の分布域変化、熱中症リスクの増加といった影響が現れています。自然生態系に関しても変化が既に確認され、今後は日本国内の様々な地域に影響が拡大するとみられており、気候変動の影響への適応策を策定することが必要とされています。我が国では、2018年12月に「気候変動適応法」が施行され、気候変動の影響による被害を防止・軽減することが求められています。

本手引きは、国立公園等の保護区の管理に関わる方々に、自然生態系分野における気候変動の影響への適応の考え方を知っていただき、気候変動による将来の変化を考慮して、調査や分析に関して研究者や各地域の研究機関、コンサルタント会社等と連携し、保護区の保全や利用を考える際に参考としていただくことを目的に作成されました。

国立公園等の保護区において、気候変動の影響への適応策を策定する手順を7つのステップとしてフロー図で示し、各ステップで具体的に必要となるデータや考慮すべきことを示しました。具体的には、対象となる保護区の基盤情報を収集し、既に気候変動の影響による変化が顕在化している、または懸念されている評価指標を現地のヒアリングなどを通じて決定し、その評価対象について将来の気候シナリオによる予測を行い、予測結果に基づいて適応オプションを検討し、関係者との意見交換を行って保全や利用に関する計画を策定するという手順で進めます。

大雪山国立公園において高山植生を対象に、慶良間諸島国立公園においてサンゴを対象にして以上の手順を実際に行い、手順の有効性を確認しました。今後、この手引きの他の保護区への活用が期待されます。

1. 気候変動の影響に適応する

1-1 なぜ気候変動への適応か

1-2 自然生態系分野における適応策の考え方

1-3 本手引きのねらい

1-1 なぜ気候変動への適応か

気候変動の現状

近年、世界各地で集中豪雨、干ばつや熱波などの極端な気象現象による災害が発生して、甚大な被害を引き起こしています。日本各地においても、気温上昇や大雨の多発などによって、農作物の品質低下、動植物の分布域変化、熱中症リスクの増加といった影響が現れています。

気候変動に関する政府間パネル（コラム①参照）は、i）1950年代以降に観測された気象現象や変化の多くは数十年から数千年に

わたり前例がなく、温暖化は疑う余地がないこと、ii）近年の温暖化は人間による影響が支配的な要因である可能性が極めて高いこと、iii）気候変動は既に自然環境および人間社会に影響を与えており、今後、温暖化傾向が増大すると、より深刻で不可逆的な影響を生じる可能性が高まること、iv）温暖化抑制のためには、温室効果ガスの排出を大幅かつ持続的に削減する必要があることなどを第5次評価報告書（AR5）で示しています。

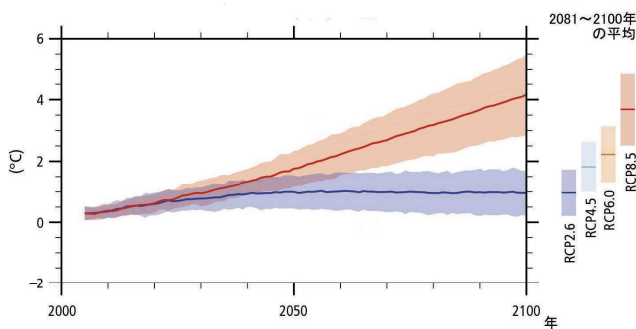


図1-1：1986～2005年平均に対する世界平均地上気温の変化（出典：IPCC AR5）

IPCC 第5次評価報告書によれば、2081年から2100年の世界全体の平均気温は、1986年から2005年の平均よりも、最小で0.3°C、最大で4.8°C上昇すると予測されています（図1-1）。予測に0.3-4.8°Cと開きがあるのは、温暖化対策の実施の仕方による「シナリオ」が異なるためです（コラム②参照）。現在のように温室効果ガスを排出し続けた場合のRCP8.5シナリオでは、2.6-4.8°Cの気温上昇が予測されています。一方、21

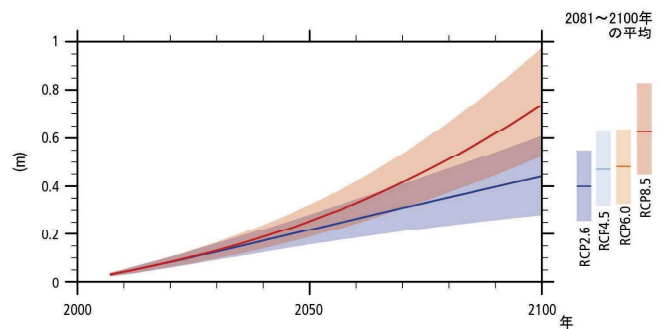


図1-2：1986～2005年平均に対する世界平均海面水位の変化（出典：IPCC AR5）

世紀末に温室効果ガスの排出をほぼゼロにした場合のRCP2.6シナリオでは、0.3-1.7°Cの気温上昇が予想されています。

また、海面水位の上昇も予測されており、21世紀末には、世界の平均海面水位は、RCP8.5シナリオの場合、45-82cm上昇すると予測されており、RCP2.6シナリオの場合、26-55cm上昇すると予想されています（図1-2）。

コラム ① 気候変動を評価する国連組織－ IPCC －

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）は、世界気象機関（WMO）および国連環境計画（UNEP）によって設立された国連の組織です。各国の政府から推薦された科学者の参加のもと、地球温暖化に関する科学的・技術的・社会経済的な評価を行い、得られた知見を、政策決定者に

はじめ、広く一般に利用してもらうことを目的としています。1988年の設立以来、気候変動の最新の科学的知見を報告書としてまとめています。2013～2014年にかけて第5次評価報告書（AR5）が公表され、2015年からは第6次評価報告書（AR6）の作成が始まっています。

コラム ② RCP シナリオとは

将来起こりうる状況を想定した見通しを「シナリオ」と言います。将来については、様々な不確定要素が存在し、特に温室効果ガスの将来の排出量は、技術進歩、生活様式、経済発展、温暖化緩和政策などに大きく依存します。これらの不確定要素は社会の進展によって変わるため、過去のデータをもとに予測することは難しく、将来社会の発展や緩和政策の進展を想定したシナリオが多く用いられます。

気候変動の予測を行うためには、大気中の温室効果ガス濃度等によって放射強制力（地球温暖化を引き起こす効果）がどのように変化するか仮定（シナリオ）を用意する必要があります。このため、温室効果ガスの緩和策を前提として、将来の温室効果ガス安定化レベルとそこに至るまでの経路のうち代表的なものを選んでシナリオが作られ、このシナリオをRCP（Representative Concentration Pathways: RCP）シナリオといいます。IPCC第5次評価報告書では4つの

RCPシナリオ（RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5）が用いられています（図1-3）。RCP2.6は2100年における世界平均気温の上昇を産業革命以前に比べて2℃未満に抑えるシナリオ、RCP8.5は2100年における温室効果ガス排出量が最大となるシナリオ、それらの間に、2100年以降に放射強制力が中レベルで安定化するRCP4.5と高レベルで安定化するRCP6.0が位置付けられます。

2015年に開催された国連気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）では「パリ協定」が合意されました。パリ協定は、世界全体の平均気温の上昇を産業革命以前に比べて2℃より十分低く保ち、1.5℃に抑える努力を追求することを示しました。IPCCは同枠組みの要請を受け、2018年10月に、1.5℃の地球温暖化による影響とそこに至る温室効果ガスの排出経路に関する特別報告書（1.5℃特別報告書）を取りまとめました。

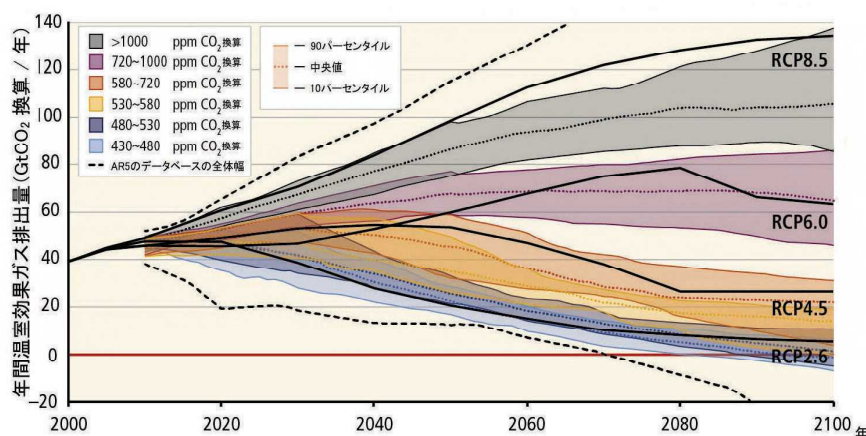


図1-3：2000年から2100年のCO₂削減（緩和）に向けた4つのRCPシナリオ（出典：IPCC AR5）

気候変動への2つの対策

気候変動への対策には、大きく分けて「緩和」と「適応」の2種類があります(図1-4)。「緩和」は人間活動から生じる温室効果ガスの排出を削減する取組、既に現れている気候変動の影響や中長期的に避けられない気候変動の影響に対して、自然や人間社会のあり方を調整することによって被害を回避・軽減する取組が「適応」です。

IPCC 第5次評価報告書では、将来、温室効果ガスの排出量がどのようなシナリオをとったとしても、世界の平均気温は上昇し、

21世紀末に向けて、気候変動の影響のリスクが高くなると予測されており、気候変動の影響に対処するためには、緩和策だけではなく、適応策の両方を進めることが求められています。

また、気候変動の影響は国や地域によって様々であるため、あらゆる場所で有効な適応策というものはありません。そのため、それぞれの国や地域に適した法制度の制定や社会システムの整備等の適応策を講じていく必要があります。

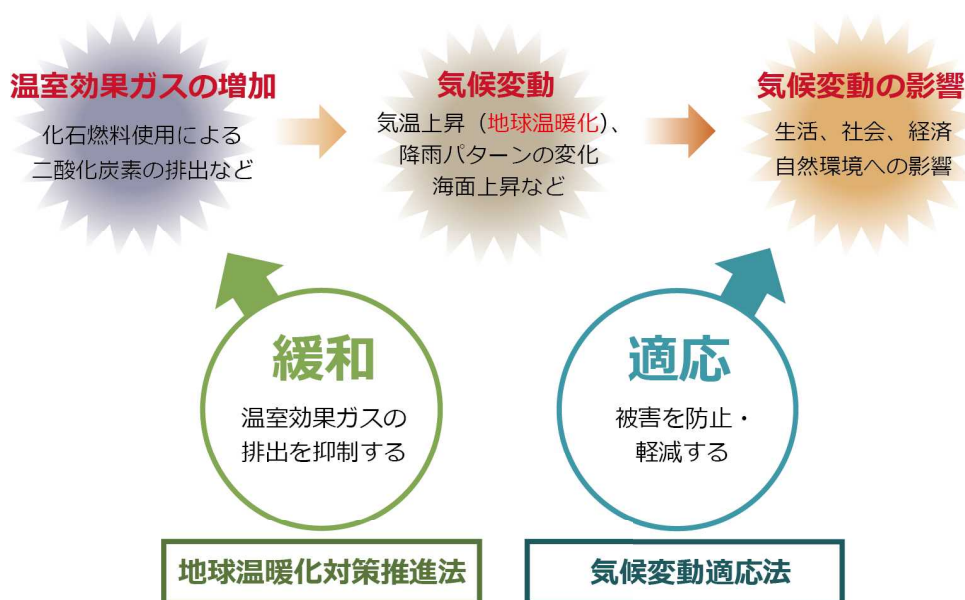


図1-4：緩和と適応（出典：環境省）

世界の適応への取組

世界各国では、気候変動の将来予測を踏まえ、特に影響の大きい分野や優先的に適応を進めるべき分野を特定し、被害額や適応に要するコストの検討等も行っています。海面上昇による高潮被害を防ぐ防潮堤の建設、高温による農作物被害への対策等、適応策は国や地域によって様々です。

気候変動の影響の評価に関する研究では、温暖化対策を加速化するため、科学者が影響

評価研究を実施するだけでなく、IPCC等の国際活動に参加して、最新の科学的知見を収集し、得られた情報を持ち帰り伝えることも重要です。特に、世界の影響評価研究では、緩和政策が失敗する可能性や、将来の気候変化が大きかった場合を想定して、大きな影響が生じた場合のリスク管理についての検討が始まっています。

このような科学的知見の拡充・蓄積や、国

際機関等による科学報告書の取りまとめ、報道等が一体となった取組によって、世界において気候変動への適応の重要性について認知度が向上しました。現在、気候変動への適応

は、国家から自治体まで様々なレベルにおいて、社会における認知と普及の段階から、計画、法制度および事業の構築とその実施段階へ移行しつつあります。

日本の適応への取組

2015 年 11 月に初めて国の適応計画が閣議決定されました。50 名を超す専門家で構成された作業部会が設置され、日本における影響リスクに関する包括的評価を実施するとともに、各々の影響リスクに対応するための適応施策の選択肢が提示されました。適応計画では、その基本戦略として、科学的知見の充実とならんで、地域（地方自治体等）での適応の促進や、国際協力・貢献の推進などについても言及されています。

自治体レベルでの影響評価・適応策の検討に関しては、2015 年 12 月より文部科学省「気候変動適応技術社会実装プログラム (SI-CAT)」が開始されました。国立環境研究所も研究開発の中核機関の一つとして、影響評価技術の開発に取り組んでいます。国の適応計画はおおむね 5 年おきに見直しが行われることになっていますが、それに歩調を合わせ、自治体の適応計画策定や適応策の検討・推進も急速に進むものと期待されます。また、国際協力・貢献の推進に関しては、2014 年 9 月に国連気候サミットにおいて安倍総理が発表した「適応イニシアチブ」の一環として、途上国への適応支援事業が複数実施されており、国立環境研究所も基礎データや影響評価手法の提供などを通じて貢献を行っています。途上国への適応支援が適応計画において基本戦略の一つに位置づけられたことを受け、また国際的には 2015 年 12 月の国連気候変動枠組条約第 21 回締約国会議 (COP21) で採択されたパリ協定における適

応の必要性の強調をふまえ、今後、日本による途上国への迅速な適応支援の仕組みづくりが求められています。

そして、2018 年 12 月に施行された「気候変動適応法」によって、日本における気候変動適応の取組が法的に位置づけられ、国、地方公共団体、事業者、国民が連携・協力して適応策を推進するための法的仕組みが整備されました。

これを踏まえ、法の施行前の昨年 11 月末に気候変動適応に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るため、法第 7 条に基づく「気候変動適応計画」が策定されました。この計画では、気候変動の影響による被害を防止・軽減するため、あらゆる関連施策に適応を組み込むことや科学的知見に基づいた気候変動適応を進めることなど、7 つの基本戦略を示すとともに、分野ごとの適応に関する取組を網羅的に示しています。

また、都道府県及び市町村においては、法第 12 条に基づき、地域の自然的経済的社会的状況に応じた地域気候変動適応計画の策定に努めることや、法第 13 条に基づき、地域の気候変動適応に関する情報等を扱う拠点として「地域気候変動適応センター」を確保することに努めることとされています。

さらに、気候変動適応法の施行に伴い、2018 年 12 月には気候変動適応に関する業務や研究を実施するための拠点として、国立環境研究所に「気候変動適応センター（コラム③参照）」が設立されました。

コラム ③ 国立環境研究所「気候変動適応センター」



2018年6月に公布された「気候変動適応法」によって、国立環境研究所が気候変動影響および気候変動適応に関する情報の収集・整理・分析・提供や、地方公共団体や地域気候変動適応センターにおける気候変動適応に関する取組に対する技術的助言等を行う役割を担うことが定められました。

この新たな業務や気候変動適応に関する研究を一体的に実施するための拠点として、気候変動適応法の施行日に合わせ、2018年12月1日に「気候変動適応センター」が国立環境研究所に設立されました。

本センターが中核となり、気候変動影響・適応に関する情報の収集・整理・分析や研究を推進し、その成果を広く提供することで、政府、地方公共団体による気候変動適応に関する計画の策定や適応策の実施をはじめ、事業者や個人を含む各主体による気候変動適応に関する取組に貢献します。本センターは、国内用の各種情報を気候変動適応情報プラットフォーム（通称 A-PLAT）に整備し

ています（図1-5）。このプラットフォームは、関係府省庁と連携し、利用者ニーズに応じた情報の提供、適応の行動を支援するツールの開発・提供、優良事例の収集・整理・提供等を行うことによって、地方公共団体や事業者、国民等、各主体の活動基盤となるものです。

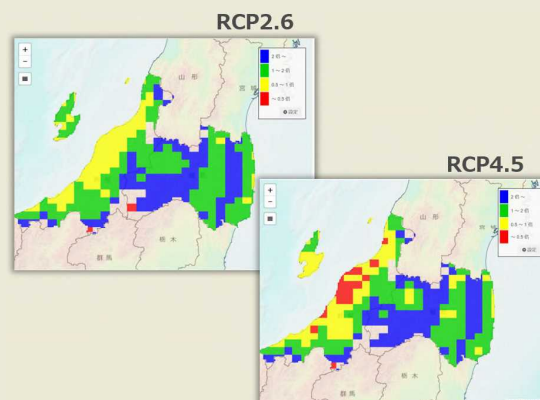


図1-5：A-PLAT の情報の例

都道府県別の気候と気候変動による影響の予測（福島県・新潟県の例）

1-2 自然生態系分野における適応策の考え方

自然生態系への気候変動の影響

自然生態系で生じている影響

気候変動に伴う自然生態系の変化は世界各地で現れています。国内でも既に確認されており、今後は日本国内の様々な地域に影響が拡大するとみられています。

高山帯・亜高山帯では、気温上昇や融雪時期の早期化などの影響による、各植物群落の種構成の変化や各植物種の分布変化が報告されています（写真1-1）。また、高山植物の開花時期の早期化と開花期間の短縮が起これることによる、花粉媒介昆虫の活動時期とのずれも報告されています。



1990年7月16日



2007年7月19日

写真1-1：大雪山五色ヶ原の湿性草原の植生変化
（出典：川合、工藤（2014））



写真1-2：白化前後のサンゴ。
（上）白化前、（下）白化後（出典：環境省）

植物の開花の早まりや動物の初鳴きの早まりなど、動植物の生物季節の変動についても多数の報告がされています。ソメイヨシノの開花時期は、春先の気温の変化に伴って、早まってきていることが長年の観測結果から分かっています（写真1-3）。

熱帯・亜熱帯地域のサンゴは、水温上昇等の環境ストレスを受けると共生藻が減少し白化する現象が観察され、その状態が続くと死滅してしまいます。沖縄地域では、通常の年よりも高水温となる年が多くなるにつれ、サンゴの白化現象の頻度も増大しています（写真1-2）。また、九州西岸から北岸にかけてと太平洋房総半島以南において南方性サンゴの分布が北へ拡大しています。



写真1-3：開花時期に変化がみられるソメイヨシノ

自然生態系で予想される影響

気候変動の影響が現れる条件や範囲は、対象によって異なりますが、陸域生態系（高山帯・亜高山帯、自然林・二次林、里地・里山生態系、人工林）、淡水生態系（湖沼、河川、湿原）、沿岸生態系（亜熱帯、温帯・亜寒帯）、海洋生態系において、将来的に様々な影響が現れると予想されています。

気候変動によって起こると予測される、気



写真 1-4：異常気象によって倒れた亜高山帯森林

例えば、高山帯や亜高山帯は低温環境に適応して進化した特異な生態系が存在するため、温暖化により植物種の生理活性や分布の変化が特に起きやすく、また、植物を利用する動物種にも影響を与えることが予測されています。

亜熱帯では、水温上昇と海洋酸性化による、造礁サンゴの生育に適する海域の減少・消失、白化等の増加、石灰化量の低下が予測されています。

温帯・亜寒帯では、海水温の上昇に伴う南方性の種への移行が想定されます（写真 1-

5）。温上昇、高潮や沿岸域の氾濫、海面水位上昇、台風の激化等の気象現象から、特に、サンゴが生息する沿岸域や小島嶼、様々な高山植物やライチョウなどの固有種が多く生育する高山帯、局所的に乾燥しやすい場所等が影響を受けやすい地域と考えられるため、特に適応策が必要であるといえます。



写真 1-5：温帯で増加している南方性のサンゴ

5)。海洋酸性化によって、造礁サンゴ、貝類、ウニ等で、骨格や殻の石灰化に影響が生じる可能性があります。

生物季節の変動に伴い、開花日や紅葉の早期化等、様々な種への影響が予測されています。また、個々の種が受ける影響にとどまらず、開花時期と花粉媒介動物の活動時期がずれて受粉できなくなるなど、種間の様々な相互作用への影響が考えられます。

こうした変化は、農林水産業や観光等、生態系からの様々な恵み（生態系サービス）にも影響を与えると考えられます。

自然生態系への影響の特徴

気候変動によって、生物の生存の基盤となる気温や降水量等の環境条件が変化すれば、生態系もそれに応じて全体として変化していきます。その影響の程度や現れる時期は、地域、生態系、種、遺伝的形質によって異なります。

このような様々な条件を考えて予測される気候変動の生態系への影響は不確実性が高く、それに伴う生態系サービスへの影響についても、知見が不足しており不確実性があります。そのため、自然生態系分野において、気候変動の影響を評価したり適応策を検討したりする際には、これらの不確実性を考慮する必要があります。

気候変動への適応の基本的考え方

自然生態系分野における適応策の基本的考え方は以下の3つです。

- 1 気候変動に対して、生態系は全体として変化するため、これを人為的な対策によって広範に抑制することは不可能である。
- 2 気候変動以外の要因による生態系へのストレスの低減や生態系ネットワークの構築によって、気候変動に対する順応性の高い健全な生態系の保全と回復を図る。
- 3 モニタリングを行って、気候変動による生態系と種の変化を把握する。

適応策の検討で考慮すべきこと

自然生態系分野における適応策を検討する際には、以下の5つについて考慮しながら進める必要があります。

気候変動影響の自然環境保全施策への組み込み

気候変動は広く自然生態系に影響を与えるため、国立公園管理や希少野生動植物種の保護等の自然環境保全に関する計画、レッドリスト記載種や侵略的外来種の評価等の自然環境の関連施策において気候変動の影響を考慮することが必要です。計画や施策の見直しの際に、目標や対策は従来のままでよいのかなどを確認する他、適切な指標を把握するためのモニタリングについてもあわせて検討する必要があります。

順応的アプローチ

気候変動によって生物多様性が受ける影響とそれに伴う生態系サービスへの影響の不確実性に対応するためには、科学的知見を充実させて不確実性をできる限り減らしていくことが重要です。実際の取組では、事前に十分な調査を行って結果を予測するとともに、事業着手後もモニタリングを行い、その結果を科学的に評価し、事業の見直しに反映する順応的アプローチで取り組むことが重要です。

関係者間の合意形成・役割分担・連携・協力

適応策を検討する際には、どのような生態系や生態系サービスに着目して対策を取るか、積極的に干渉すべきかなどの方針の選択がまずは重要となります。このため、適応策の計画や実施にあたっては、関係する国の行政機関、地方公共団体、地域住民、NGO や NPO、自然環境に関する専門的な知識を有する者等の多様な主体が情報を共有し、十分な合意形成を図り、役割分担しつつ連携して、総合的に対応することが必要です。

情報共有

気候変動による自然生態系の変化は、生態系サービスにも影響を及ぼすため、広く国民にも影響が及びます。また、適応策の計画や実施には関係者間の合意形成や連携・協力が不可欠です。このため、自然生態系への影響の現状、不確実性を考慮した将来予測、取組の方向性や進捗、適応策の効果と限界などについての情報共有や普及啓発が重要です。

人材育成

適応策を適切かつ効果的に進めるためには、それに携わる人材が重要な役割を持つことから、長期的視点で保護区の管理や調査研究に携わる人材の育成を図ることが必要です。

1-3 本手引きのねらい

本手引きは、国立公園等の保護区の管理に関わる方々に、自然生態系分野における気候変動の影響への適応の考え方を知っていただき、気候変動による将来の変化を考慮して、調査や分析に関して研究者や各地域の研究機関、コンサルタント会社等と連携し、保護区の保全や利用を考える際に参考としていただくことを目的に作成されました。国立公園等の保護区において、気候変動の影響への適応策を策定する手順を7つのステップで示し、各ステップで具体的に必要となるデータや考慮すべきことを示しています。

2. 国立公園等の保護区における 適応策検討のステップ

2-1 適応策検討のステップ

2-2 ステップ1：基盤情報の収集・整備

2-3 ステップ2：評価対象のデータ収集

2-4 ステップ3：将来の分布・景観予測

2-5 ステップ4：適応オプションの検討

2-6 ステップ5：関係者の認識や意見の把握と計画の検討

2-7 ステップ6：保全や利用に関する計画の策定

2-8 ステップ7：順応的管理

2-1 適応策検討のステップ

対象とする保護区における具体的な適応策を検討するため、図2-1のように、対象となる保護区の基盤情報を収集し、既に気候変動の影響による変化が顕在化している、または懸念されている評価指標を現地のヒアリングなどを通じて決定し、その評価対象につい

て将来の気候シナリオによる予測を行い、予測結果に基づいて適応オプションを検討し、関係者との意見交換を行って保全や利用に関する計画を策定するという手順で進めていきます。

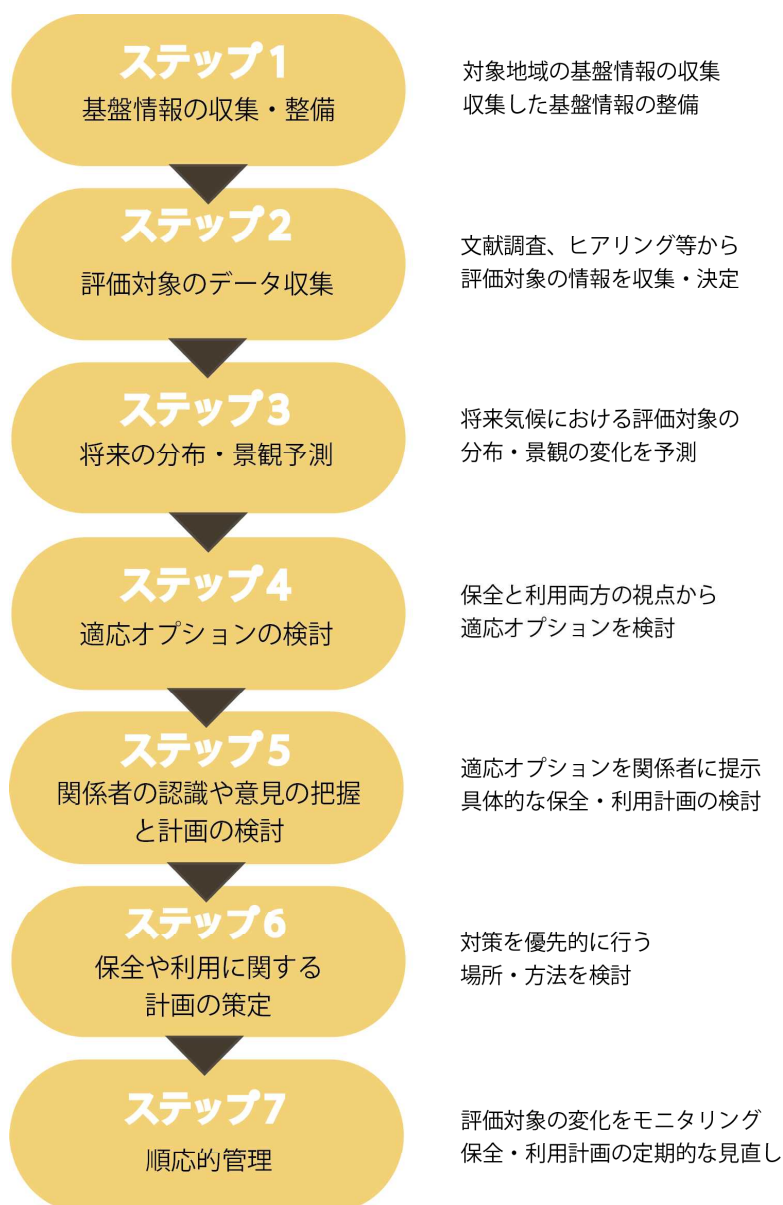


図2-1：適応策検討のステップ

国立公園等の保護区における適応策検討のステップ

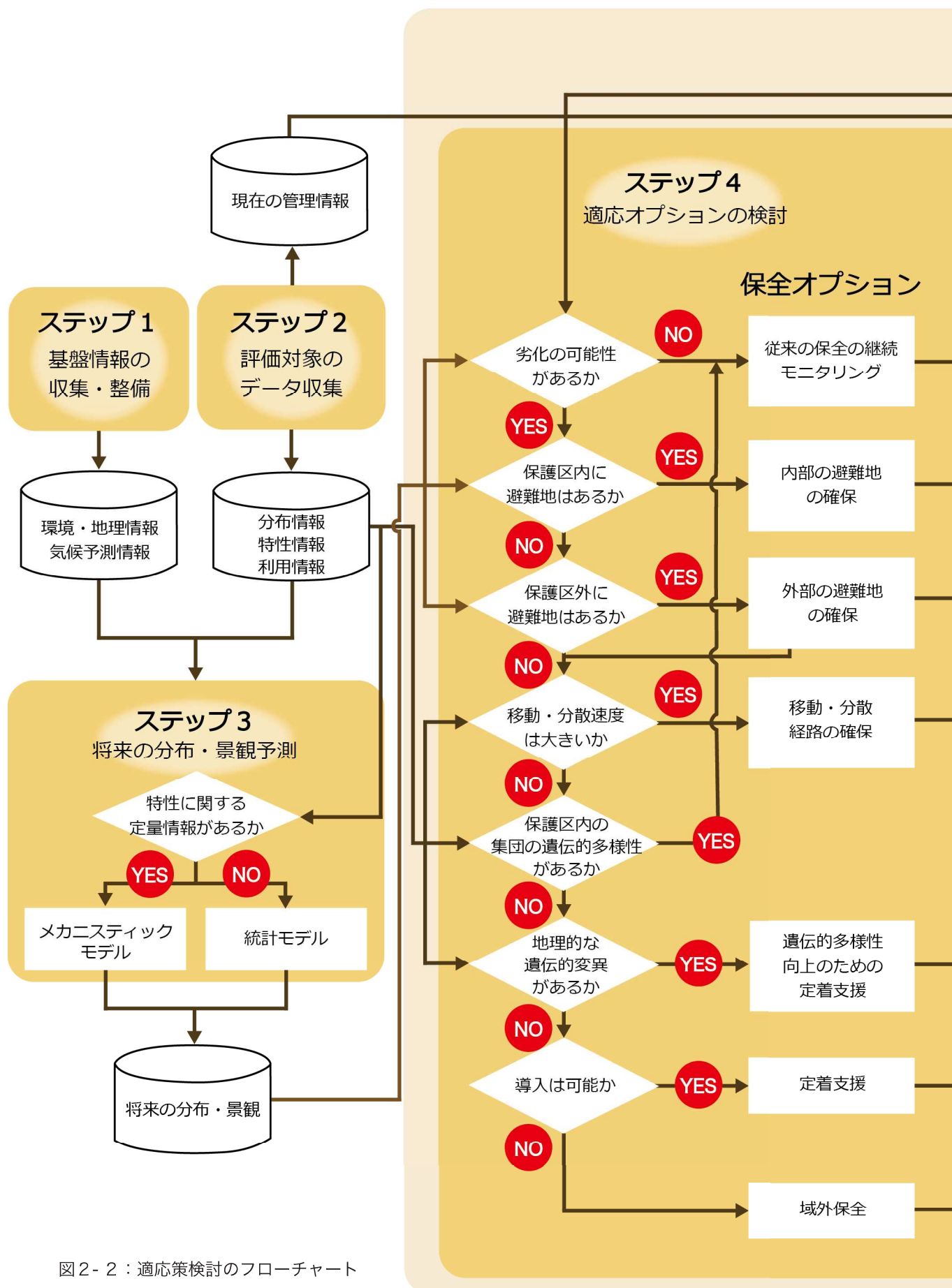
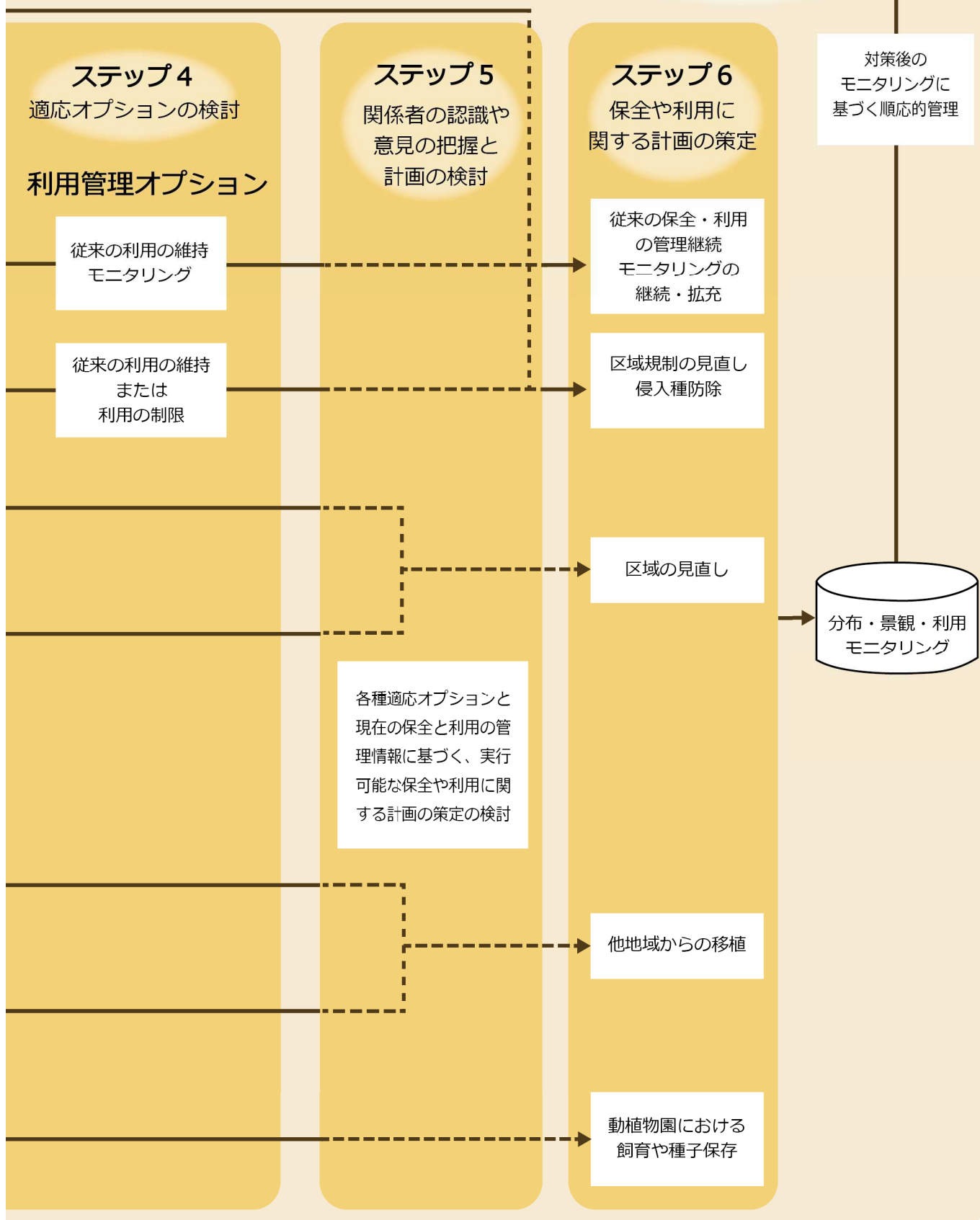


図 2- 2：適応策検討のフローチャート

ステップ7 順応的管理



国立公園等の保護区における適応策検討のステップ



2-2 ステップ1：基盤情報の収集・整備

対象とする保護区の現状を把握し、変化を予測するために、空間的な基盤情報を収集します。空間的な基盤情報とは、気象・海象、地形、植生、土地利用、水質等、保護区の環境条件を表す情報です。日本では、表2-1にある基盤情報が全国規模で整備されており、その多くは無料で利用することが可能です。将来の気象については、気候モデル（コラム④参照）の出力結果（表2-2）を収集します。気候変動適応情報プラットフォーム（A-PLAT）には各種の予測情報があり、利

用することが可能です。

空間的な基盤情報以外に、公園利用者数や産業構造のような対象とする保護区に特徴的な情報も、論文や報告書等の文献からあわせて収集します。

また、環境や生物の過去から現在にかけての変化に関する情報も、現状を知り予測を行うために必要ですので可能な限り収集します。

これらの収集した情報は可視化するため、地理情報システム（GIS）等に統合します。

表2-1：日本国内で利用可能な主な基盤情報

項目	整備機関	データセット	データ期間	空間解像度	データ入手元
気象	国土交通省（気象庁）	平年値メッシュデータ	1981-2010	3次メッシュ（約1km×約1km）	http://niftp.mlit.go.jp/ksj
気象	農業環境変動研究センター	アメダスメッシュデータ	1979-2003	3次メッシュ（約1km×約1km）	http://agrienv.dc.affrc.go.jp/
地形	国土地理院	基盤地図情報数値標高モデル	—	5mおよび10m	http://fgd.gsi.go.jp/download/
植生	環境省	自然環境保全基礎調査植生図	—	ポリゴン	http://gis.biodic.go.jp/webgis/
地質	産業総合技術研究所地質調査総合センター	20万分の1日本シームレス地質図	—	20万分の1	https://gbank.gsj.jp/seamless/index.html?lang=ja&p=download
土地利用	国土交通省	国土数値情報土地利用細分メッシュ	—	細分メッシュ	http://niftp.mlit.go.jp/ksj
国立公園区域	環境省	自然環境保全基礎調査国立公園区域図	—	ポリゴン	http://gis.biodic.go.jp/webgis/
海洋環境	気象庁	NEAR-GOOS地域リアルタイムデータベース	データ種別によって異なる	データ種別によって異なる	http://ds.data.jma.go.jp/gmd/goos/data/rtrtdb/jma-pro.html
海洋環境	海洋研究開発機構気象庁気象研究所	FORA-WNP30	1982-2015	0.1度×0.1度	http://synthesis.jamstec.go.jp/FORA/
海底地形	日本海洋データセンター	J-EGG500	—	500m×500m	http://www.jodc.go.jp/data_set/jodc/jegg_intro_j.html

（注）各データの利用規約については整備機関に従って下さい。



表 2 - 2 : 気候モデルの出力データの一例

気候モデル	整備機関	データ期間	空間解像度	データ入手元
MIROC5	AORI, JAMSTEC, NIES	2031-2050 2081-2100	3次メッシュ (約1km×約1km)	A-PLAT http://www.adaptation-platform.nies.go.jp/
MRI-CGCM3	MRI	2031-2050 2081-2100	3次メッシュ (約1km×約1km)	A-PLAT http://www.adaptation-platform.nies.go.jp/
GFDL CM3	米国NOAA	2031-2050 2081-2100	3次メッシュ (約1km×約1km)	A-PLAT http://www.adaptation-platform.nies.go.jp/
HadGEM2-ES	米国ハドレー センター	2031-2050 2081-2100	3次メッシュ (約1km×約1km)	A-PLAT http://www.adaptation-platform.nies.go.jp/
MIROC5	AORI, JAMSTEC, NIES	1850-2100	1.4×0.5-1.4度	ESGF https://esgf.llnl.gov/
MIROC-ESM	AORI, JAMSTEC, NIES	1850-2100	1.4×0.5-1.4度	ESGF https://esgf.llnl.gov/
MIROC4h	AORI, JAMSTEC, NIES	1950-2035	0.28×0.19度	ESGF https://esgf.llnl.gov/
MRI-CGCM3	MRI	1850-2100	1×0.5度	ESGF https://esgf.llnl.gov/

(注 1) AORI (東京大学大気海洋研究所)、JAMSTEC (国立研究開発法人海洋研究開発機構)、NIES (国立研究開発法人国 立環境研究所)、MRI (気象庁気象研究所)、NOAA (アメリカ海洋大気庁)、A-PLAT (気候変動適応情報プラットフォーム)、ESGF (Earth System Grid Federation)

(注 2) 各データの利用規約については整備機関に従って下さい。

コラム 4 気候モデル

気候モデルとは、地球の気候の仕組みをコンピュータ上に再現するシミュレーションプログラムです。二酸化炭素が増加すると地球はどうかなど、実際には実現不可能な実験をコンピュータ上に再現した地球であるこのモデルを使って行うことができます。気候モデルにおいては、大気と海洋を水平・鉛直の格子（マス目）に分割して

表現します。この格子が大気・海洋の現象を再現する最小単位です。この格子の細かさは「解像度」と呼ばれ、コンピュータの計算能力が大きいほど解像度を高く（格子を細かく）することができ、より小さい空間における詳細な現象をとらえることができます。

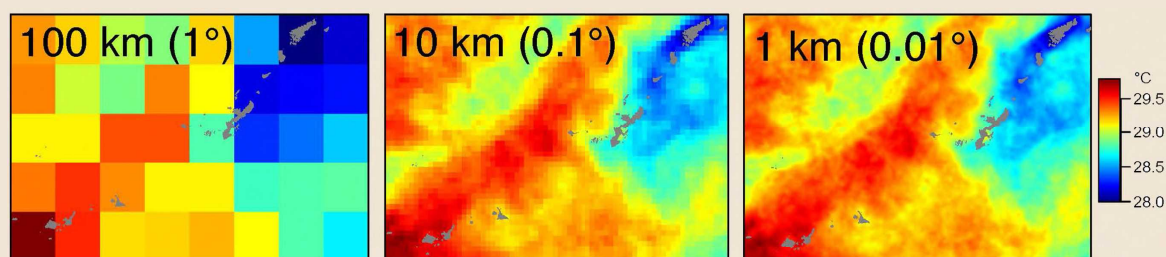


図 2 - 3 : 異なる解像度の気候モデルにおける、沖縄県付近の海水温の格子表現



2-3 ステップ2：評価対象のデータ収集

論文や報告書、ウェブサイト等の文献を対象とした情報収集、現地関係者や有識者へのヒアリング調査やアンケート調査等を行い、対象となる保護区において、評価対象を決定します。

特に対象保護区における行政担当者（国、県、市町村等）、民間事業者（観光業者等）、調査研究者（大学、研究所、財団法人、NPO等）等を対象としたヒアリング調査やアンケート調査では保護区の現状、将来の懸念事項、その課題に対する適応策等の可能性について把握を試みます。

ヒアリング・アンケート項目

① 対象地域の特徴

気象・気候、地形、景観・生態系・生物・希少種等の保全に関するもの、観光利用等、対象とする保護区の特徴を聞き取ります。特徴として挙げられるものとしては表2-3のような項目が考えられます。

表2-3：対象地域の特徴

保全に関わる項目			利用に関わる項目
環境	生態系・生物	景観	
・ 気温、海水温、湿度、降水量の変化 ・ 降雪、積雪、融雪の変化 ・ 異常気象（極端現象：短時間の豪雨、高潮、異常潮など）の発生 ・ 湿地、湖沼、河川の変化 ・ ダムの変化 ・ 陸域からの土砂流入	・ 植生の変化（陸域・海域） ・ 動物の分布・行動の変化 ・ 生物季節の変化・ミスマッチ^{（注）}	・ 海面上昇 ・ 海の色や透明度の変化 ・ 砂浜の変化	・ 公園施設への影響 ・ 公園利用者への影響 ・ 観光資源への影響 ・ 漁業への影響

（注）生物季節のミスマッチ：生物季節の変動による個々の種への影響にとどまらず、開花時期と花粉媒介動物の活動時期がずれて受粉できなくなるなど、種間の様々な相互作用への影響。

② 着目すべき項目と将来予測

①で挙げた項目のうち着目すべき項目、その項目と気候変動との関わりを聞き取ります。気候変動との関わりについては、現在進行しているか、将来懸念されているかという観点、気候変動による影響が直接的か間接的か、気候変動以外による影響かという影響の構造の観点から聞き取ります。

③ 対策の可能性

②で挙げた気候変動等による影響や懸念の検出・モニタリング・予測、現在とられている対策やこれからとるべき対策のような対策の可能性を聞き取ります。その際、基礎的な調査・



モニタリング・研究等から、管理計画の改定の可能性等、幅広い観点から聞き取りを行います。

④ 対策の実践

現地関係者へのヒアリングの場合、対策を実践するにあたって現地で必要な点を聞き取ります。例えば、気候変動による影響と対策についてどのような情報が提供されると保全や管理の現場で有効だと思うか、対策を進めるにあたって情報以外に必要なもの（方針、資金、人手、住民や関係者の理解等）は何か、などが考えられます。

文献調査やヒアリング調査から得られた定性的な情報を整理して、気候変動の影響を受ける対象として多く挙げられた単語を抽出する等、対象地域の保全や利用の対象を整理して評価対象を決定します。

評価対象が決定したら、評価対象の分布や特性についてより詳細に把握するため、追加的な文献調査や有識者へのヒアリング調査を行い、不足情報を補います。生物の分布については、環境省自然環境保全基礎調査（表 2- 1）から取得することができます。気候変動の影響の受けやすさ（感受性）や適応能力に関係する生物の特性には、表 2-4 のようなものがあります。

これらの情報以外に、対象地域の管理計画等の情報や過去の植生や利用に関する写真や記述等、評価対象の情報を可能なかぎり詳細に収集します。

表 2- 4：気候変動への感受性および適応能力に関する生物の特性

項目		詳細
感受性の高さ	生息地の特異性 微環境の要求性	生息のための環境条件の制約が多く、分布範囲が限られる。
	環境耐性 環境閾値	環境の変化に耐性が低い、もしくは環境値がある値を超えると生息できず、気候変動の影響によってその閾値を超える可能性がある。
	環境トリガーへの依存性	特定の環境条件をきっかけとして開始する生活史（渡りの開始、繁殖、産卵、種子の発芽、休眠、展葉など）があり、その環境条件が気候変動によって阻害される可能性のあるもの。
	種間相互作用への依存性	餌生物や、花粉媒介生物、共生している生物などの分布範囲や生物季節、個体数などが気候変動によって変化すると減少要因になり得る。特に少ない数の種に依存しており、他の種で代替が効かない場合は影響を受けやすい。
	希少性	個体群が小さい、分布範囲が狭い等。
適応能力の低さ	移動分散能力 障壁の存在	移動速度が遅く、長距離移動の能力が低い種は、分布域の変化が気候変動に追いつかない可能性がある。移動分散能力が高い種でも、障壁（陸域の種にとっては海洋や河川、淡水の種にとってのダムなど）の存在を考慮する必要がある。
	進化可能性の低さ	生物の特性自体が、遺伝的な変化（迅速な進化）によって、気候変動に進化的に適応する可能性がある。しかし、遺伝子の多様性が低い種や、世代時間の長い種では、進化的適応によって気候変動の影響が軽減されることは期待できない。



2-4 ステップ3：将来の分布・景観予測

ステップ1で得られた基盤情報と、ステップ2で得られた評価対象の情報との関係に基づいて、評価対象の分布域における将来の気候変化の大きさや、将来の気候における評価対象の分布や景観の変化等を予測します。

分布変化の予測には、統計モデル等の分布推定モデルを活用します（コラム⑤参照）。

分布推定モデルの構築以外にも、評価対象の分布域における気温や降水量等の気候条件の変化幅の大きさを評価することによって、影響の大きさや特に影響が大きい場所を推測することができます。気候変動適応情報プラットフォーム（A-PLAT）では、いくつかの対象に関する将来予測結果を掲載しています。

コラム ⑤ 分布推定モデル

気象条件や地形等の環境条件に基づいて、対象とする種が分布する確率を推定するモデルを「分布推定モデル」といいます。将来、気候変動等によって環境が変化した場合に、対象種の分布がどのような影響を受けるかの予測等にも応用可能です。

分布推定モデルを構築するために一般的に使われる「統計モデル」では、対象種の現在までの空間的な分布と、気象条件や地形、地質等の環境条件との関係性を統計的に推定します。その推定された関係性を用いて、対象種の生育に適した環境条件や、将来的な環境条件下で対象種が生育・生息できるのかどうかなど、潜在的な分布を推定・予測することができます。

しかし、対象種の現在の分布と気象等の環境条件との関係性を利用だけでは、対象種の将来の生息適地や分布を完全に予測することは困難です。環境条件以外にも、対象種の移動分散能力や、他の種との競争や共生等の種間関係、個体数の変動、気温や水分条件への生理的な応答等、様々な機構が生物の分布の変化に影響します。詳しい仕組みがわかっており、かつ、定量的な情報がある場合には、これらの機構をコンピュータシミュレーションで再現する「メカニスティックモデル」を利用することも選択肢になります。メカニスティックモデルを用いることで、複雑な生物の動態をより深く理解することができ、よりよい予測につながる可能性があります。

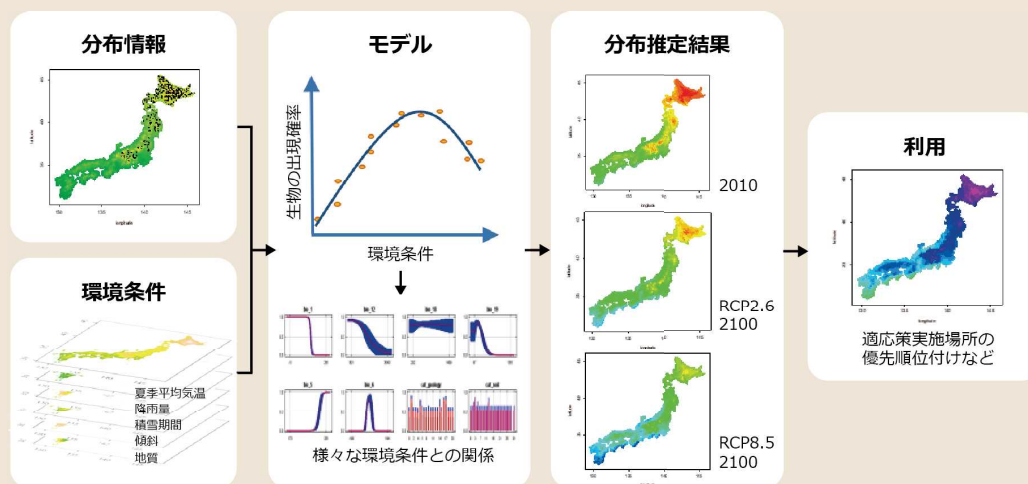


図 2-4：分布推定モデル構築の流れ



気候変動に伴う将来分布の予測では、不確実性が大きいことが多く、不確実性の大きさを考慮にいたした評価が欠かせません。不確実性は、①将来の温室効果ガスの排出量、②将来の気候を予測する気候モデル、③生物の分布を予測する分布推定モデルによるものが考えられます。生物の分布推定モデルの不確実

性は、気候変化に対する生物の応答メカニズムに未解明な点が多いことや、モデル構築のための観測データが十分でないことなどが理由として挙げられます。これらによる不確実性の大きさを評価するためには、複数のシナリオ・気候モデル・分布推定モデルを用いた将来予測を行うことが重要です。



2-5 ステップ4：適応オプションの検討

ステップ3の将来の気候における評価対象の分布や景観等の変化予測結果をもとに、保全と利用両方の面においてどのような適応の可能性（適応オプション）があるかを検討します。対象とする生物の分布に気候変動の影響の無い場合、保護区内に分布が残る（避難地がある）場合、保護区外に分布するようになる場合、分布が消滅する場合のように、影響の大きさを整理してオプションを検討しま

す。例えば、保護区内に分布が残る（避難地がある）と予測された場合は、その避難地を保全することが保全オプションとして考えられます。利用管理オプションに関しては、アンケート調査等を用いて関係者の認識や意見、利用動態を客観的に把握し、分布の変化に応じた利用の最適化を想定したオプションの検討を行います（コラム⑥「アンケート調査とヒアリング調査の活用」参照）。

コラム⑥ アンケート調査とヒアリング調査の活用

国立公園等の保護区はその多くが生物多様性の保全のみならず、観光利用機会の提供といった多面的な機能を有しています。そのため、管理者は自然環境が変化した場合や保全オプションを講じた場合に、観光利用等の人々の行動がどのように変化するのか、またその結果として、自然環境にどのようなフィードバック（影響）があるのか評価・予測し、利用管理のオプションを検討する必要があります。

気候変動下における観光利用等の人々の行動を評価・予測するためには、現在の利用状況とその要因を把握することが不可欠です。利用状況は、

アンケート調査（量的調査）とヒアリング調査（質的調査；インタビュー調査）という2つのアプローチで把握することができます。



写真2-1：アンケート調査の様子（撮影：国立環境研究所）

両者には長所と短所があり、アンケート調査は人々の行動（どの地域に行ったか等）とその要因（何を目的に行ったか等）を定量的に把握できるため、得られたデータに統計学的手法を適用することで、自然環境の変化に合わせた利用の将来予測が可能です。一方、把握できる行動や要因はあくまでアンケート票に記載されている項目に限られるため、利用に関する調査者の事前知識が十分ではない場合には調査が無に帰する、最悪の場合は政策を誤った方向に導く危険性があります。

他方、ヒアリング調査は定量的な将来予測には向きませんが、いま訪れている（今後訪れる可能性のある）人々の行動原理を詳細に紐解くことが可能です。

両者を補完的に実施することでより精度の高い利用に関する評価・予測が可能となります。また近年では新たなアプローチとして、SNS（Twitter 等）や携帯電話の位置情報を用いた利用の把握も進んでおり、今後はより多面的に利用を把握し、精度の高い予測が可能になるかもしれません。



2-6

ステップ5： 関係者の認識や意見の把握と計画の検討

ステップ3とステップ4を通して得られた将来予測結果と保全・利用に関する適応オプションに対して、得られた認識や意見を関係者間で広く共有しながら議論を深め、適応オプションに基づいて具体的な保全・利用計画

の策定の検討を行います。検討にあたっては、保全や利用の具体的な目標や方針を定めるとともに、現在の管理も考慮して計画の検討を行います。結果は関係者と共有し議論を行います。

2-7

ステップ6：保全や利用に関する計画の策定

ステップ5で検討した結果に基づいて、対策を優先的に行う場所と方法を検討します。対策を行う場所に関しては、コスト等の制約のもとで、目標を達成するよう優先順位付け

を行います。また、現在行われている管理が気候変動影響への適応に対しても有効な場合は積極的に継続します。

2-8

ステップ7：順応的管理

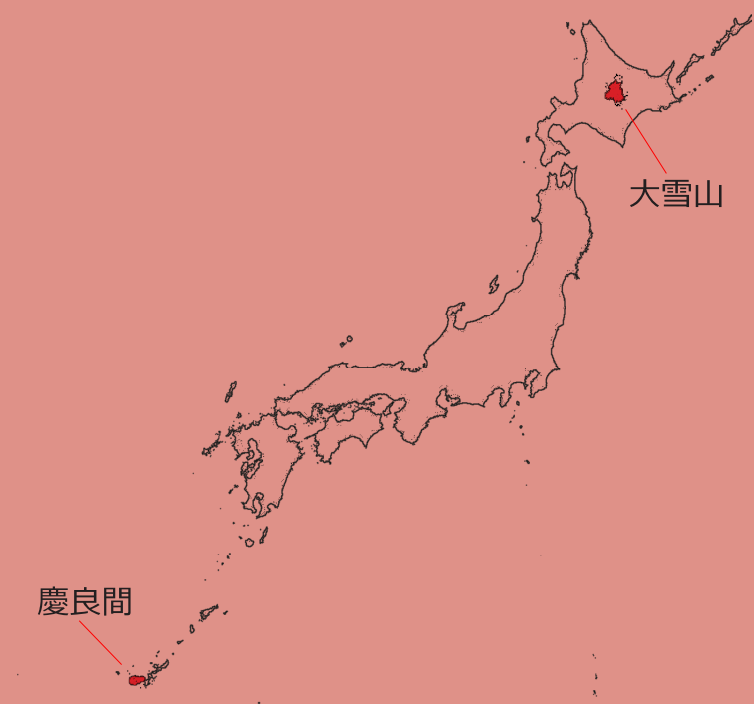
気候変動の進行状況やそれに対する評価対象の応答に不確実性があることを考慮すると、ステップ6の保全・利用計画に基づく対策を行った後も、対策の効果を確認し、適切な措置を講じる「順応的管理」が必要です。

評価対象の変化等を継続的にモニタリングし、ステップ3からステップ6の過程を必要に応じて行い、保全・利用計画を定期的に見直しします。

3. モデル保護区における事例

3-1 大雪山国立公園

3-2 慶良間諸島国立公園



3-1 大雪山国立公園

大雪山国立公園は北海道の中央部に位置し、昭和9年12月4日に国立公園に指定されました。日本の国立公園の中で最も広く、南北64 km・東西62 km（総面積226,764ha）の広がりをもちます。

この国立公園の山岳域、大雪山系は北海道最高峰の旭岳（2,291m）を主峰として、標高2,000m前後の5つの山域から形成されています。緯度が高いことから本州の3,000m級に匹敵するため、厳しい冬季の季節風にさらされる「風衝地」や真夏でも雪

が残る「雪田（せつでん）」等、高山帯特有の環境も有しています。大雪山系では緩傾斜状の大地が広がることから、多彩な高山植物がお花畑をつくり出しており、高山植物群落では約350種の高山植物が確認されています。一方で、30年間で年平均気温は0.033℃/年、25年間で消雪時期は0.41日/年の速度で早まっており、ササやハイマツの分布拡大や高茎草本種（湿性お花畑の主要な構成種）の顕著な減少が確認されています。

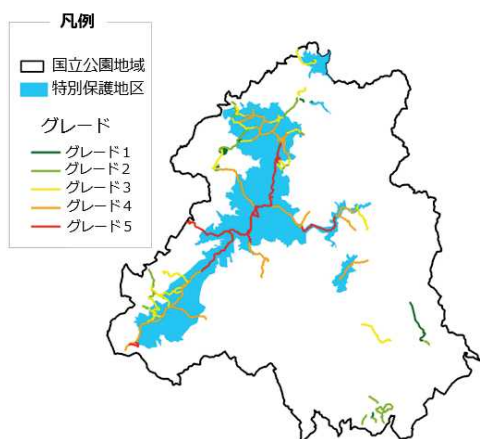


図3-1：大雪山グレード



写真3-1：大雪山国立公園

国立公園内には総延長約300kmにわたる登山道が存在し、区間毎に「大雪山グレード（以下、グレード）」が設定されています（図3-1）。管理者はグレードに応じた登山道の保全修復や維持管理を行うことによって、周辺の自然環境や奥深い雰囲気 の保全や大雪

山らしい登山体験の提供を図ります。また、利用者は、登山を計画する際や登山を行う際に、自らが歩く登山道のグレードを確認することで、個々の力量に応じた登山を行うことができ、遭難事故の防止や登山利用の適正化が図られます。

モデル保護区における事例



大雪山国立公園の現状を把握するため、大雪山やその特別保護区の範囲、植生、地形、地質、気象について公開されているデータを

収集しました(表3-1)。図3-2は管理区域、地形、年平均気温、年降水量をGIS上で可視化したものです。

表3-1：大雪山国立公園を対象に収集した基盤情報

データ活用	内容	整備機関	データ	データ入手元
管理計画案	管理	環境省	PDF地図	https://www.env.go.jp/park/common/data/05_daisetsu_map_j.pdf
管理計画案		環境省	モニタリングサイト1000	モニタリングサイト1000報告書
管理計画案		環境省 生物多様性センター	国立公園区域等	http://gis.biodic.go.jp/webgis/sc-026.html?kind=nps
管理計画案		環境省 生物多様性センター	国指定鳥獣保護区区域等	http://gis.biodic.go.jp/webgis/sc-026.html?kind=nwp
管理計画案	管理利用	環境省	大雪山登山道グレード	http://www.daisetsuzan.or.jp/enjoy/grade/
管理計画案		環境省	登山道荒廃状況	平成25年度大雪山国立公園整備計画策定等基礎調査業務資料編
管理計画案	利用	論文	登山者数	Shoji et al. (2008) Journal of Forest Research, 13, 286-295
分布推定	気象	国土交通省 国土数値情報	平年値気候メッシュ	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html
紅葉日		気象庁	アメダス観測所一覧	http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/amedas/kaisetsu.html
紅葉日		気象庁	日別値：気温、降水、積雪	http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php
		気象庁	日別値：降水	http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php
		気象庁	年別値：気温、降水、積雪	http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php
		気象庁	年別値：降水	http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php
紅葉日		農業環境情報データセンター	地上気象メッシュ値	http://agrienv.dc.affrc.go.jp/mesh/mesh.html
分布推定 紅葉日	地形	国土地理院 基盤地図情報	標高（10mメッシュ）	http://www.gsi.go.jp/kiban/index.html
		国土交通省 国土数値情報	河川	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html
		国土交通省 国土調査	主要水系調査（一級水系）	http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/inspect/landclassification/download/index.html#sw
		国土地理院	湖沼図	http://www.gsi.go.jp/kankyochiri/koshouchousa-list.html
		国土地理院 基盤地図情報	水涯線	http://www.gsi.go.jp/kiban/index.html
	他	国土交通省 国土数値情報	行政区域	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html
		国土地理院 基盤地図情報	道路線	http://www.gsi.go.jp/kiban/index.html
	地質	産総研 地質調査総合センター	シームレス地質図	https://gbank.gsj.jp/seamless/index.html?lang=ja&p=download
分布推定	生物	環境省 生物多様性センター	植生調査（第6-7回）	http://gis.biodic.go.jp/webgis/sc-023.html
		環境省 生物多様性センター	特定植生群落調査	http://gis.biodic.go.jp/webgis/sc-023.html
		環境省 生物多様性センター	河川調査	http://gis.biodic.go.jp/webgis/sc-023.html
		環境省 生物多様性センター	湿地調査	http://gis.biodic.go.jp/webgis/sc-023.html
		環境省 生物多様性センター	湖沼調査	http://gis.biodic.go.jp/webgis/sc-023.html

(注) 各データの利用規約については整備機関に従って下さい。

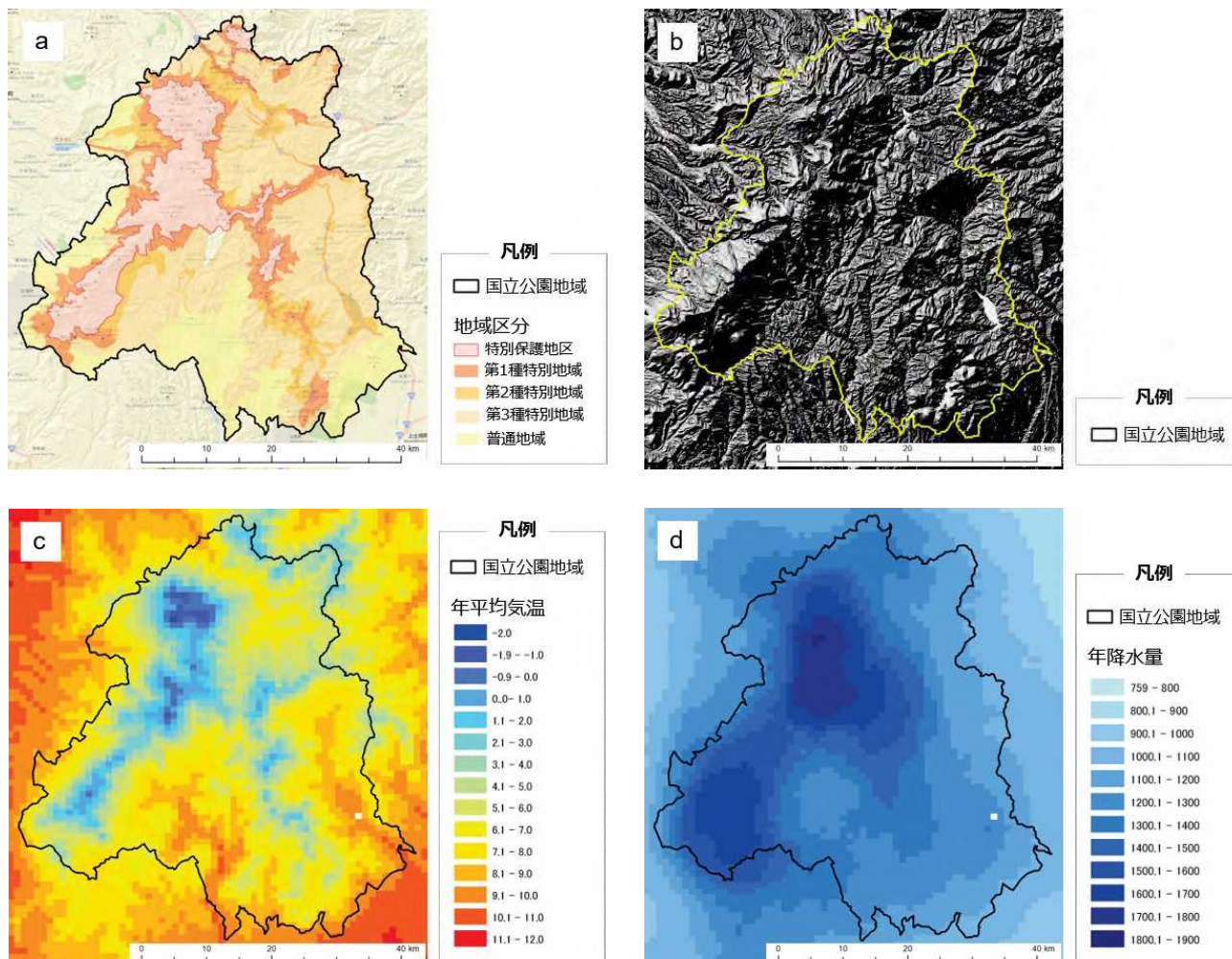


図3-2：大雪山国立公園の a：管理区域、b：地形（陰影起伏）、c：年平均気温（℃）、d：年降水量（mm）

気候変動の影響を予測するため、1km 解像度にダウンスケーリングした積雪期間の予測値が入手可能である全球気候モデル（GCM）3 種（MIROC5、MRI-CGCM3、IPSL-CM5A-LR）を気候変動プラットフォーム（A-PLAT）から収集しました。これらのシナリオや気候モデルに対応した積雪データは、国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所から入手しました。

将来予測で用いる温室効果ガスの排出量

は、AR5 で用いられた 4 つのシナリオのうち、RCP2.6 および RCP8.5 を用いました。RCP2.6 は、2100 年における世界平均気温の上昇を産業革命以前に比べて 2℃未満に抑えるシナリオ、RCP8.5 は、2100 年における温室効果ガス排出量が最大となるシナリオです。将来予測の時期は、2046～2050 年および 2096～2100 年の 2 時期の各 5 年間の平均値を将来予測に用いました。表3-2 は整備した気候変動予測データです。

モデル保護区における事例



表 3-2：整備した気候変動予測データ

気候モデル	開発元	データ期間	時間解像度	空間解像度	シナリオ	項目 (注)
MIROC5	AORI, JAMSTEC, NIES	2031-2050 2081-2100	日	3次メッシュ (約1km×約1km)	RCP2.6 RCP8.5	T2,TN,TX, PR,RS
MRI-CGCM3	MRI	2031-2050 2081-2100	日	3次メッシュ (約1km×約1km)	RCP2.6 RCP8.5	T2,TN,TX, PR,RS
IPSL-CM5A-LR	IPSL Climate Modelling Centre	2031-2050 2081-2100	日	3次メッシュ (約1km×約1km)	RCP2.6 RCP8.5	T2,TN,TX, PR,RS

(注) T2：日平均地上気温（℃）、TN：日最低地上気温（℃）、TX：日最高地上気温（℃）、PR：日降水量（mm/day）、RS：日積算日射量（W/m²）



ヒアリング

大雪山国立公園における気候変動による影響や適応に関する課題を明らかにして、評価対象を決定するため、現地関係者および有識者へのヒアリングを行いました。有識者ヒアリングは、研究の専門性を考慮した項目を中心に行いました。

気候変動によって影響を受ける対象として多く挙げたものは、いずれも保全対象および観光資源として重要である、高山植物の変化、紅葉日の変化、登山道の侵食でした。

これらの評価対象のうち、大雪山国立公園

において保全対象および観光資源として重要である将来予測の対象は「高山植生」および高山植生と競合する可能性のある「ササ群落」・「亜高山帯森林植生」としました。高山植生に関しては、現在、特別保護地区を設けるとともに、登山道の管理といった保全策や実験的なササ刈り取りが行われています。

景観スケールでの予測が重要であることと、入手可能な気候変動予測データで最も解像度が高いことから、評価を行う空間解像度は1 km としました。



使用したデータ

自然環境保全基礎調査の植生調査、2万5千分の1（第6-7回）のデータに基づき、6つの植物群落を編成しました（表3-3）。典型的な高山植生として「雪田草原、高山低木群落、風衝草原、荒原植生」の4群落（以後、「高山植生」と総称）、高山植生と

競合する植物群落として「ササ群落」「亜高山帯森林植生」を取り上げました。これらの植物群落の3次メッシュ内の面積をそれぞれ集計し、分布推定モデルの予測対象としました。

表3-3：予測対象とした植生に含まれる植物群落

植生の名称	含まれる群落
雪田草原	イワイチョウ-イトキンスゲ群落、エゾコザクラ群落、エゾツガザクラ-アオノツガザクラ群落、エゾツガザクラ-チングルマ群落、シナノキンバイ-ミヤマキンポウゲ群落、ツルコケモモ-ミズゴケクラス、雪田草原
高山低木群落	ウラジロナナカマド群落、エゾメシダーウコンウツギ群落、コケモモ-ハイマツ群落、ダケカンバー-ハイマツ群落、ハイマツ群落、ミヤマハンノキ群落（北海道）、ヤナギ低木群落（IV）
風衝草原	ウラシマツツジ-クロマメノキ群落、エゾマメヤナギ-エゾオヤマノエンドウ群落・コマクサ-イワツメクサクラス複合体、コマクサ-イワツメクサクラス、コメバツガザクラ-ミネズオウ群落、コメバツガザクラ-ミネズオウ群落・コマクサ-イワツメクサクラス複合体、高山ハイデ及び風衝草原、ミヤマクロスゲ-シラネニンジン群落・コメバツガザクラ-ミネズオウ群落複合体
荒原植生	火山荒原植生、岩壁植生、高山岩塊地植生、自然裸地、雪田荒原、多年性雪渓、風穴植生、噴気孔原植生、硫気孔原植生
ササ群落	ササ-シラカンバ群落、ササ-ダケカンバ群落（北海道）、ササ群落（II）、ササ群落（III）、ササ群落（V）、ミヤコザサ群落
亜高山帯森林植生	アカエゾマツ群落、ケショウヤナギ群落、ダケカンバー-エゾマツ群落、ダケカンバー-エゾマツ群落（風倒跡地自然再生林）、ダケカンバ群落（II）、ダケカンバ群落（III）、ダケカンバ群落（V）、ハンノキ-ヤチダモ群落、ハンノキ群落（IV）、ヤナギ高木群落（IV）、ヤマハンノキ群落

（注）自然環境保全基礎調査を元に作成

モデル保護区における事例



これらの面積を推定する環境変数には、高山植生の分布推定に関する既存研究や有識者へのヒアリングの結果に基づき、気象、地形、地質に関する変数を用いました。

気象に関する変数として、夏季（6～8月）の平均気温、年降雨量、積雪期間を用いました。地形に関する変数として、3次メッシュ内の北向き斜面の割合、10m スケールでの凹地の割合、100m スケールでの凹地の割合、平均斜度、斜度の標準偏差を用いました。

地質に関する変数として、比較的新しい火山性の地質が3次メッシュ内に占める割合を用いました。

2つのシナリオ（RCP2.6、RCP8.5）、2時期（2046～2050年、2096～2100年）、3つのGCM、5つの分布推定モデルを組み合わせることによって60の将来予測を行い、評価対象である高山植生の分布予測と分布予測の不確実性を求めました（図3-3）。



図3-3：将来予測のためのシナリオ・モデルの組み合わせと不確実性の評価

分布予測の結果

RCP2.6での2046年から2050年および2096年から2100年の気候条件においては、雪田草原、風衝草原、高山低木群落については、面積はかなり減少するものの生育可能な条件が残ると予測されました（図3-4）。RCP8.5では、2046-2050年の平均的な気候条件においては、雪田草原および高山低木群落はわずかに生育可能な条件が残るものの、風衝草原は生育可能な条件がほとん

どなく、2096-2100年の平均的な気候においては、高山植生の生育が可能な条件はいずれも残らないという推定結果となりました。一方、高山植生群落に侵入し、その減少要因となる可能性が指摘されているササ群落についてもRCP8.5では大きく面積を減らし（図3-5）、現在における高山植生の生息範囲は、亜高山帯森林植生が生育可能な条件になると推定されました。

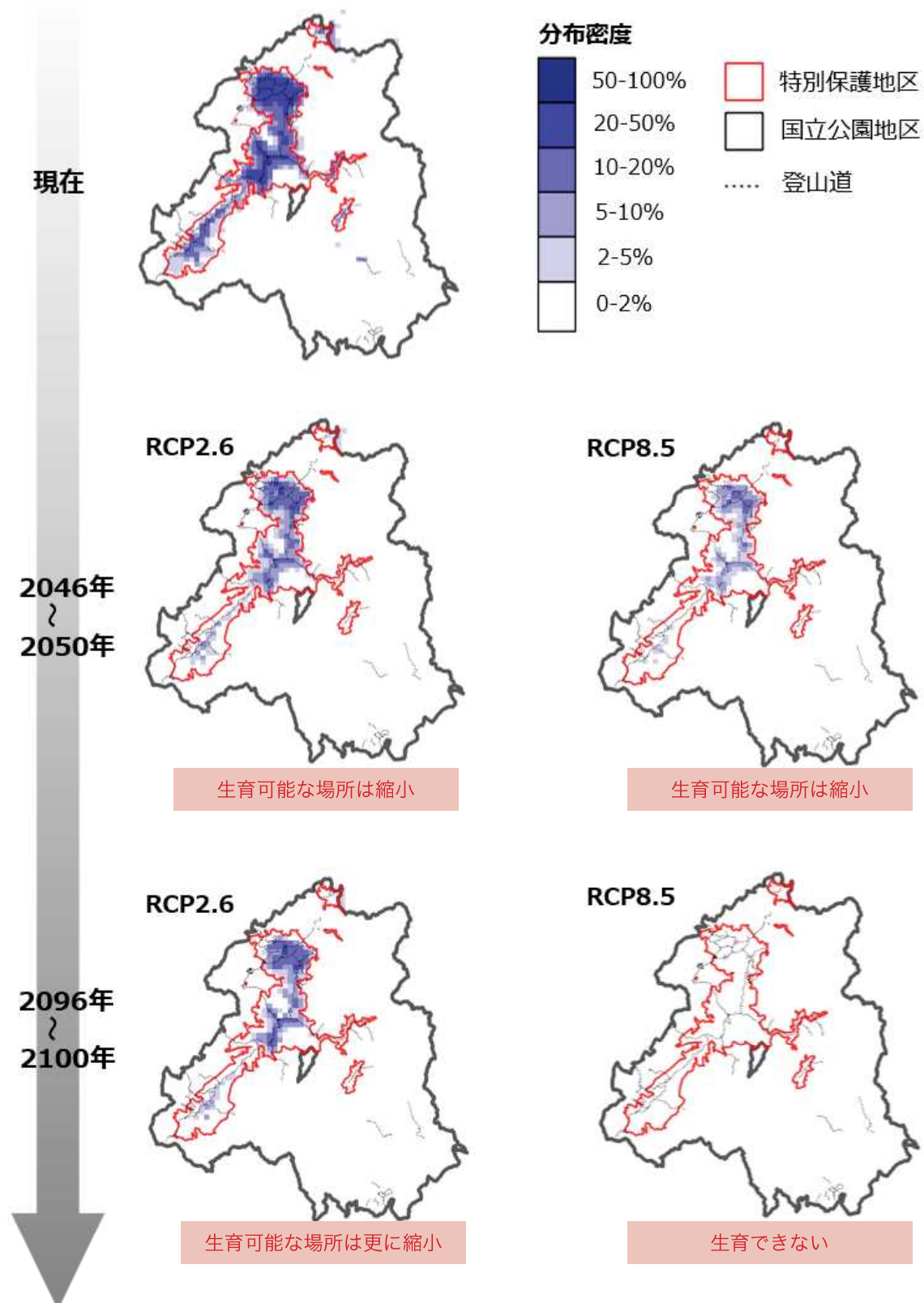


図3-4：雪田草原の現在の分布と将来予測

モデル保護区における事例

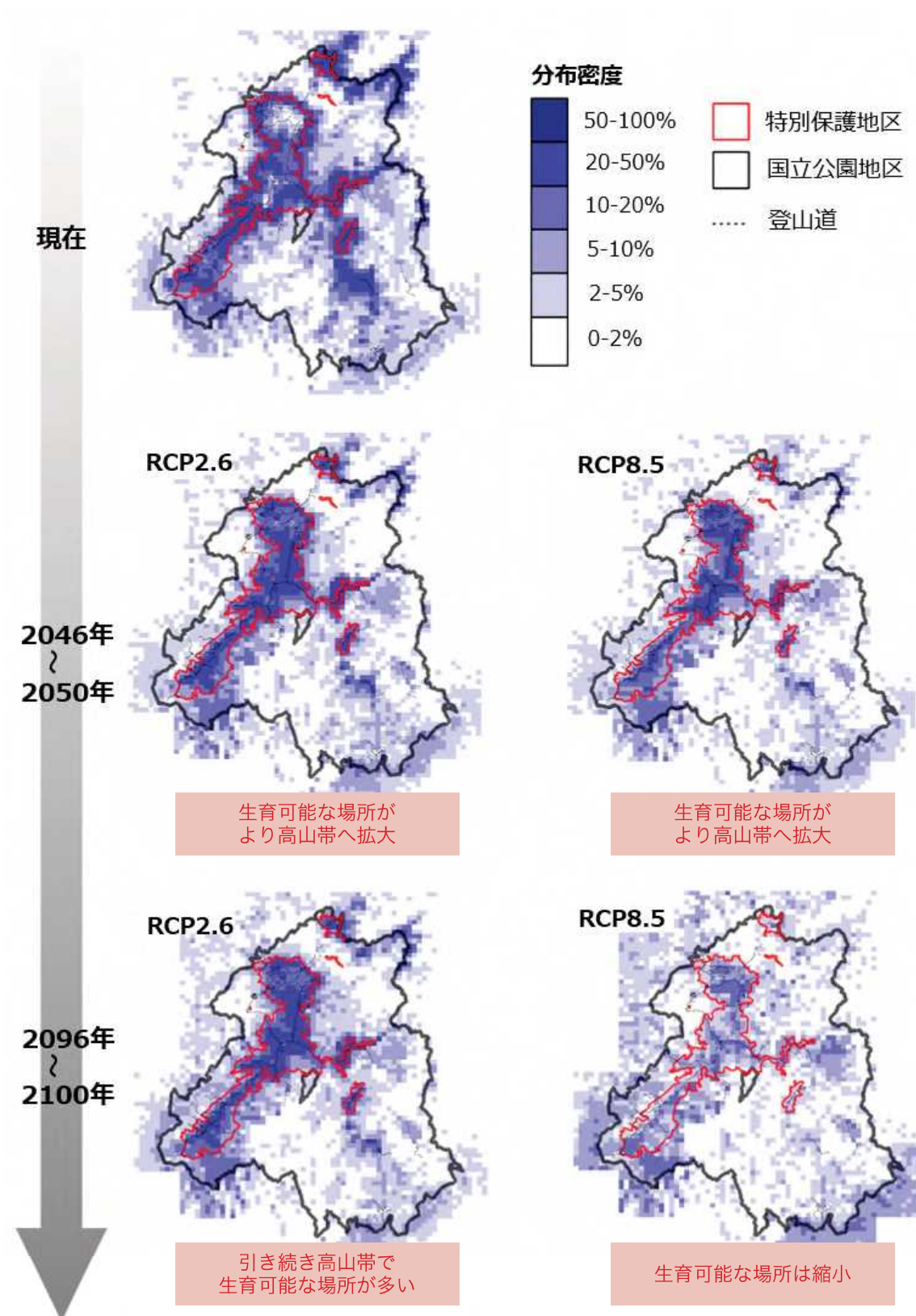


図3-5：ササ群落の現在の分布と将来予測



RCP2.6、RCP8.5 いずれのシナリオにおいても、高山植生の分布域は大雪山国立公園の特別保護地区内で減少します。従って、ステップ4のフローチャート（P18-19）に従い、高山植生の保全オプションとしては、「内部の避難地の確保」、利用管理オプションとしては、「従来の利用の維持」あるいは「利用の制限」が考えられます。



大雪山国立公園登山道関係者の情報交換会において、ステップ4までの結果を提示して関係者との議論を行い対策の検討を行いました。その結果、最も優先度が高いと評価された対策は、「現在の植生の維持」でした。次いで、「登山道の維持・管理」、「保護区域の見直し」、「高山植物の域外保全」、「観光利用ルールの変更」、「新たな観光資源の発掘」の順でした。従って、計画を検討する際には、高山植生の内部の避難地を維持するとともに、観光利用も考慮する必要性が示されました。

そこで、各植生に関する将来の分布予測結果に基づいて、効果的・効率的に対策を実施できる場所の優先順位付けを行うこととしま

した。優先順位付けに際しては、保全と観光利用の両面を考慮するとともに、アクセスのしやすさを考慮し、対策が実施可能かつ優先的に行うべき場所を抽出することとしました。



写真3-2：情報交換会（撮影：国立環境研究所）



RCP2.6、2100年の将来予測結果に基づいて、ササ刈り取り、登山道の管理や区域規制の見直し等の対策を優先的に行う場所の候補の評価を行いました。保全を主として行う場所と観光利用を主とする場所は、登山道からの見えやすさ（視認性）を考慮して分けました。登山道から見えやすいサイトは、観光

利用に適していると考えられます。これに対して、保全用のサイトは、人の影響を避けるためにも見えにくいことが望ましいと考えられます。これらの視認性の条件を満たしつつ、対象となる植生の現在および将来の面積が共に多いところが、対策を行うのに適したサイトと考えられます。

モデル保護区における事例

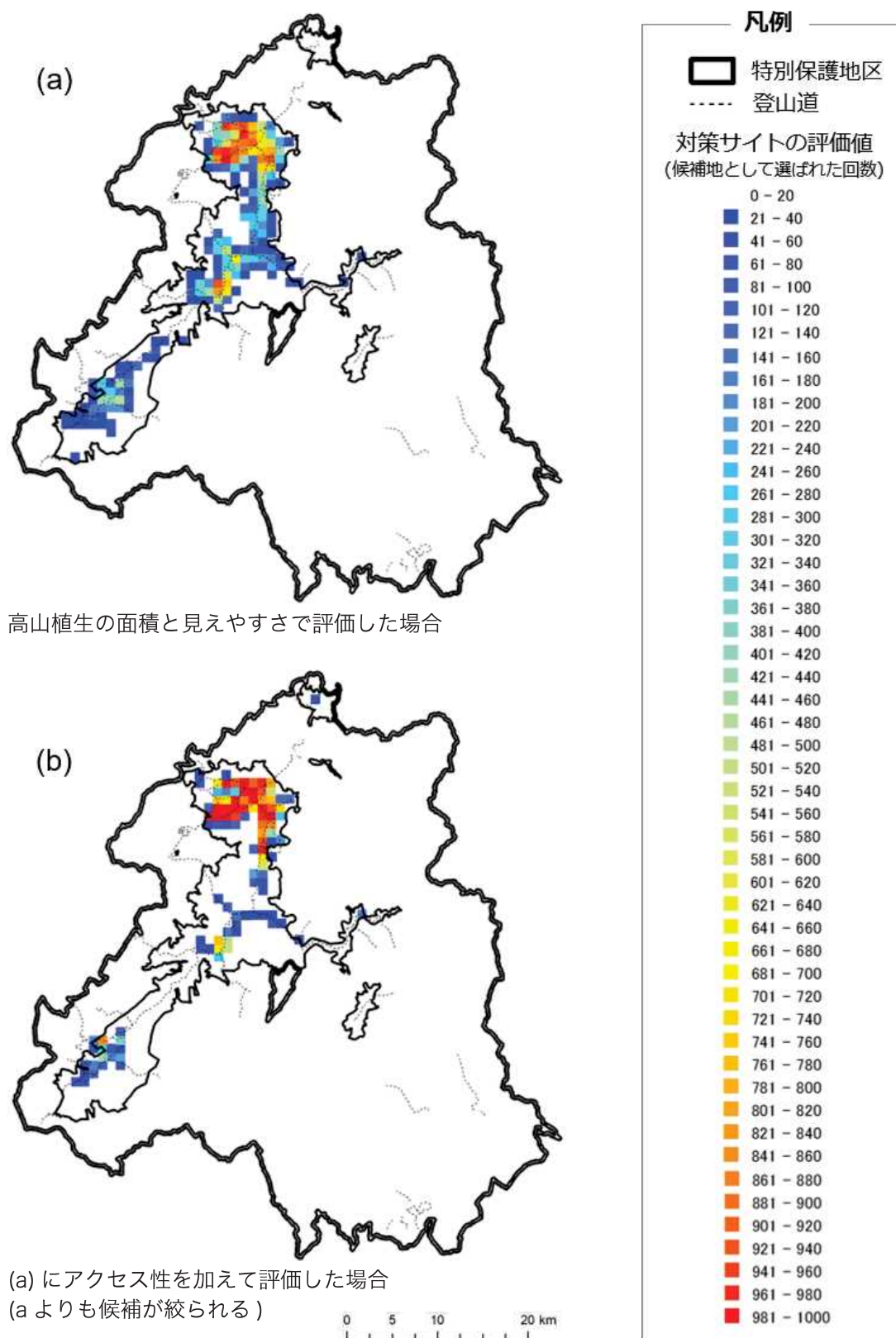


図3-6：対策好適サイトの優先順位付けの結果

(a) は距離コストを考慮しない場合、(b) はコストを考慮した場合の結果を示す。



また、対策場所の優先順位付けに際しては、対策を実施する際のコストも考慮することが必要です。登山口からのアクセスの良さをコストとして考慮し、登山口から遠いところはコストが高いとみなしました。このような考

え方に基づいて、対策の実施に好適なサイトの組み合わせを求めました（図3-6）。

これらの候補地を元に、関係者の意見を考慮しながら、具体的な対策実施場所と計画を策定します。



ステップ6では、RCP2.6に基づいた対策実施場所の候補を示しましたが、現実にはいずれの気候シナリオが実現するのかわかりません。また、分布予測に関しても、植生遷移の進行速度が種子散布等に制限されてより遅くなる可能性があるなどの限界がありま

す。ステップ6で抽出された候補地でのモニタリング強化や対策の試行とその効果の検証等を通じて、モニタリング結果を踏まえた予測の高精度化や、対策の改善を循環させる「順応的管理」によって適応策の検討を進めていくことが望まれます。

3-2 慶良間諸島国立公園

慶良間諸島は、沖縄県那覇市の西方約40kmの地点に位置し、大小30余りの島々と数多くの岩礁から構成される島しょ群で、2014年3月5日（サンゴの日）に31番目の国立公園として指定されました。

透明度の高い海域景観、多様なサンゴが高密度に生息するサンゴ礁、ザトウクジラの繁殖海域、多島海景観、白い砂浜、海食崖とそこに発達した風衝地特有の植生等、海と陸が連続した多様な景観を有し、陸域が3,520ha、海域は90,475haと公園区域の大半が海域となっている国立公園です。

慶良間諸島の周辺海域は、高い透明度やそ

の独特の深い青色からケラマブルーと称され、テーブル状、枝状、塊状等の多様な形状の造礁サンゴが高密度に広がっています。サンゴ礁の総面積は約66.4haで、248種のサンゴが確認されており、日本で確認される造礁サンゴのうち約62%が生息していることになります。

1998年と2016年の夏の高水温によって大規模なサンゴの白化現象が起こり、サンゴ礁は大きな打撃を受けました。慶良間諸島においてはサンゴの白化は比較的軽微でしたが、今後水温が上昇を続けると白化が頻発し、サンゴが死んでしまうおそれがあります。

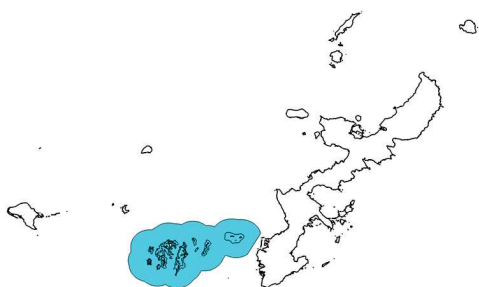


図3-7：慶良間諸島国立公園位置図



写真3-3：慶良間諸島国立公園（撮影：国立環境研究所）



慶良間諸島国立公園に関する、水温、流動場、水位、流向流速、土地利用等の基盤情報を収集しました（表3-4）。図3-8は収集した基盤情報の一部をGIS上で可視化したものです。

表3-4：慶良間諸島国立公園を対象に収集した基盤情報

データ	整備機関・プロダクト名	データ入手元
国立公園区域等	環境省	http://gis.biodic.go.jp/webgis/sc-026.html?kind=nps
水温（現地観測）	環境省	報告書
サンゴ分布・被度	環境省	報告書
サンゴ白化率	環境省	報告書
オニヒトデ駆除数	沖縄県	報告書
観光客数	沖縄県	http://www.pref.okinawa.lg.jp/site/kikaku/chiikirito/ritoukankeisiryoko_kako.html
気象データ（AMeDAS）	気象庁	http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php
気象データ（GPV MSM）	JMBC	http://www.jmbc.or.jp/jp/offline/cd0380.html
台風軌跡（ベストトラック）	気象庁	http://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/trackarchives.html
陸上地形（標高）	国土地理院	https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php
海底地形	JODC	http://jdoss1.jodc.go.jp/vpage/depth500_file_j.html
海底地形	沿岸の海の基本図	https://www.jha.or.jp/jp/shop/products/coastal/index.html
赤土堆積量	沖縄県	http://www.pref.okinawa.jp/site/kankyo/hozen/mizu_tsuchi/red-soil_monitoring.html
水温（衛星観測）	NOAA(OI SST)	https://www.ncdc.noaa.gov/oisst
水温（衛星観測）	NASA(MUR SST)	http://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/index.html?page=1&itemsPerPage=1000
クロロフィルa（衛星観測）	NOAA	http://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/index.html?page=1&itemsPerPage=1000
K ₄₉₀ （衛星観測）	NASA	http://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/index.html?page=1&itemsPerPage=1000
UV-B（衛星観測）	JAXA	http://www.eorc.jaxa.jp/JASMES/index_map_j.html
水温・塩分・流向流速・水位変動（注1）	FRA(FRA-ROMS)	http://fm.dc.affrc.go.jp/fra-roms/index.html
水温・塩分・流向流速・水位変動（注1）	JAMSTEC(JCOPE2M)	http://www.jamstec.go.jp/jcope/htdocs/home.html
水温・塩分・流向流速・水位変動（注1）	JAMSTEC(JCOPE-T-NEDO)	http://www.jamstec.go.jp/aplinfo/kowatch/?p=4766
水温・塩分・流向流速・水位変動（注1）	HYCOM	https://hycom.org/
気温・水温・炭酸系パラメータ（注2）	CMIP5	https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip5/
気温・降水量	SI-CAT	https://si-cat.jp/
サンゴ白化予測	NOAA	https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/index.php

（注1）再解析モデル、（注2）気候モデル

（注3）各データの利用規約については整備機関に従って下さい。

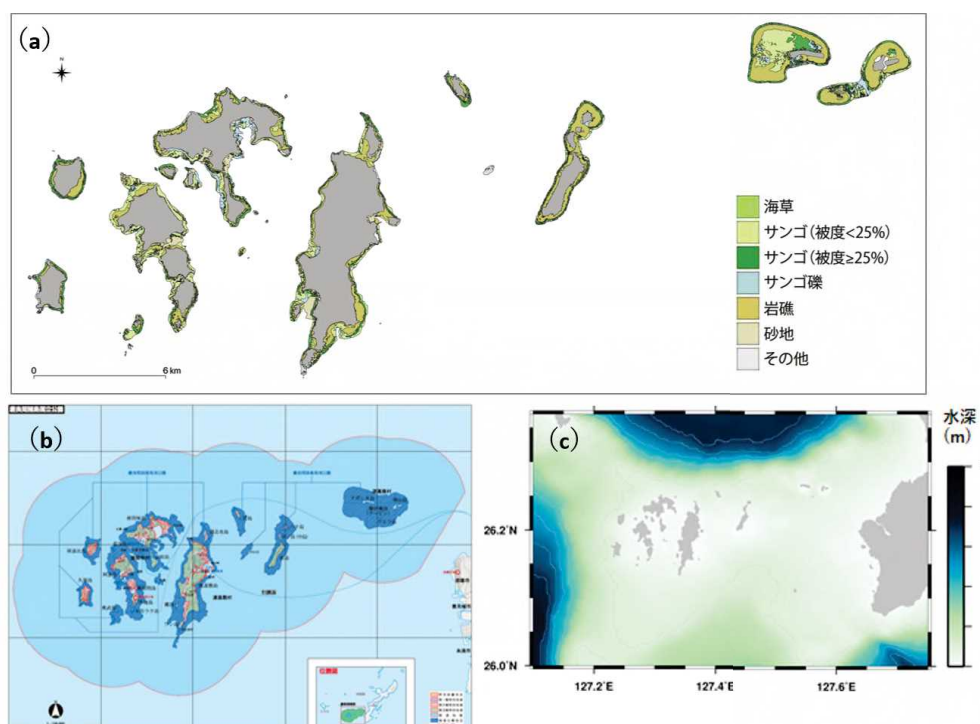


図3- 8：(a) 慶良間諸島のサンゴ等底質の分布（2014 年）、(b) 慶良間諸島国立公園の区域、(c) 海底地形



ヒアリング

慶良間諸島国立公園における気候変動による影響や適応に関する課題を明らかにして評価対象を決定するため、ダイビング事業者等の現地関係者にヒアリングを行いました。

ヒアリング結果から、気候変動による影響や気候変動に対応した管理に関するキーワードを整理し、評価対象はサンゴとしました。現在、サンゴの損傷を防ぐためにダイビングブイが設置されています（図3- 9）。また、その周辺ではサンゴを食害するオニヒトデやレイシガイの駆除活動も行われています（図3-10、3-11）。

評価を行う空間解像度は、ダイビングで見渡せる範囲を想定し 100m としました。

調査による追加情報収集

評価対象であるサンゴの分布や白化情報を文献調査から収集したところ、これまでに作成されたサンゴ分布図は、水深が浅い海域を対象としたものでした。しかし、最近、水深 30m より深い海域にもサンゴが分布していることが報告されています。そこで、水深 30-70m の中深度と呼ばれる海域を ROV（水中ドローン）等で調査し、サンゴ群集が水深 40m 付近まで広がっていることを明らかにしました（写真3- 4）。

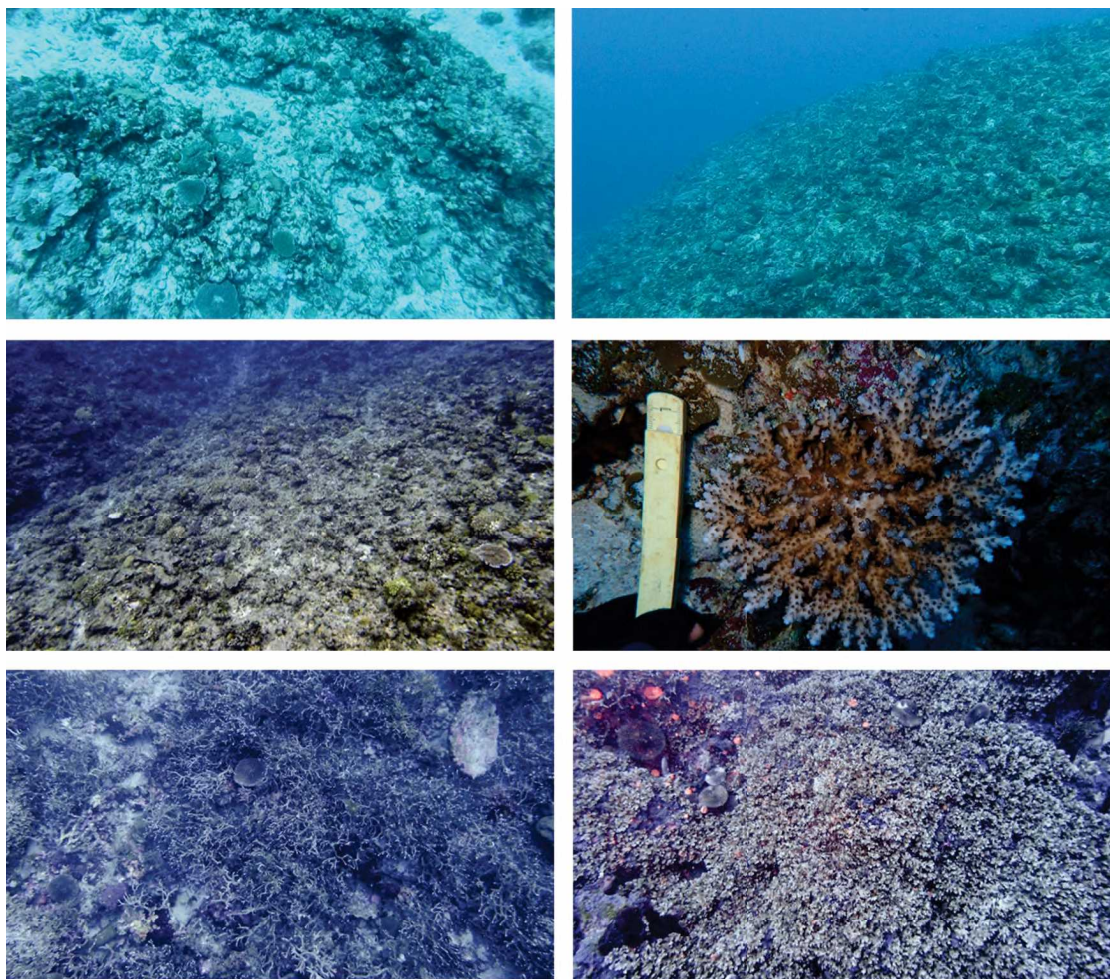


写真3-4：慶良間諸島国立公園における中深度サンゴ群集（撮影：国立環境研究所）

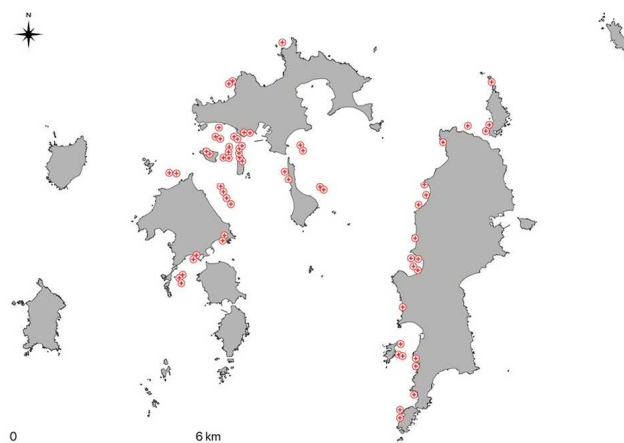


図3-9：慶良間諸島中心部における
主なダイビング船係留用ブイの位置

モデル保護区における事例

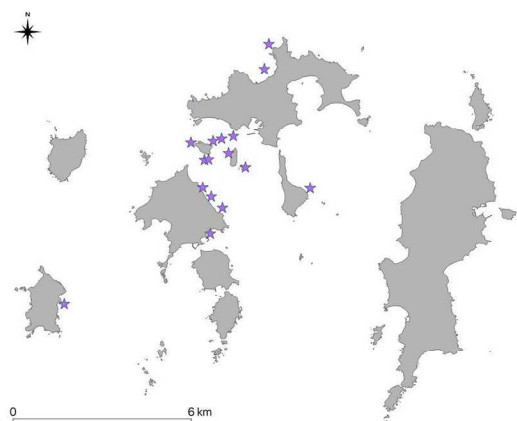


図3-10：慶良間諸島中心部における
オニヒトデ駆除の実施地点（2010～2016年）



図3-11：慶良間諸島中心部における
レイシガイ類駆除の実施地点（2010～2016年）



使用したデータ

現在入手可能な水温等の環境データは1 kmの解像度なので、それを100mの解像度にする必要があります。物理環境モデル（3次元流動モデル）を構築し、計測器を設置して観測した水温や流れで検証し、海の中で見渡せる範囲である100mの解像度で水の流れや水温の計算を行いました（図3-12）。

その上で、物理環境モデルによる8月の水温および流速、さらに紫外線量および濁度を用いて、実際に観察されたサンゴの白化および白化による死亡を環境要因から推定する統計モデルを構築し、将来水温が1.5℃と2.0℃上がった場合のサンゴの白化および死亡予測を行いました（図3-13、3-14）。

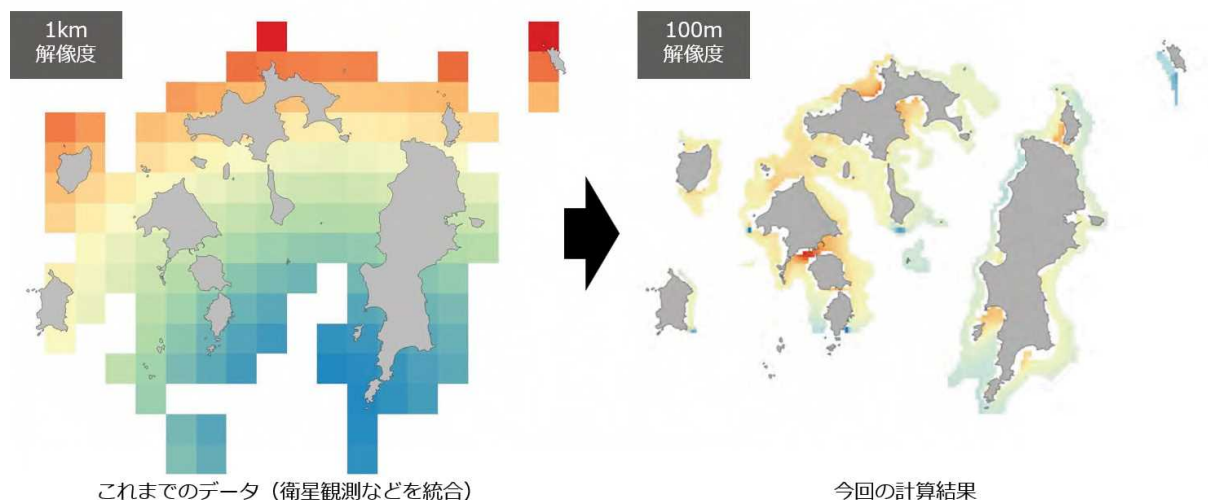


図3-12：現場環境の表現の向上

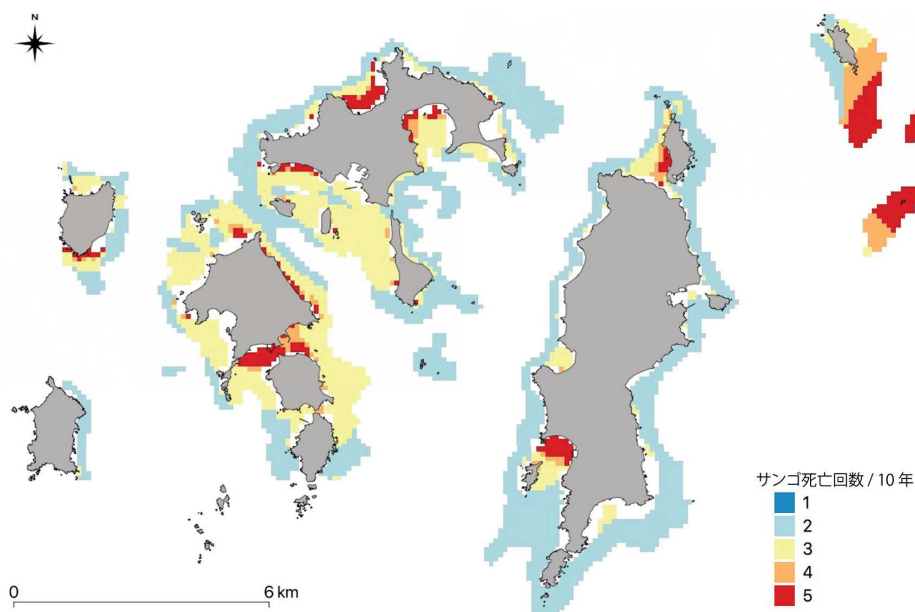


図 3-13：慶良間諸島中心部における +1.5℃水温上昇シナリオ下のサンゴ死亡予測の例

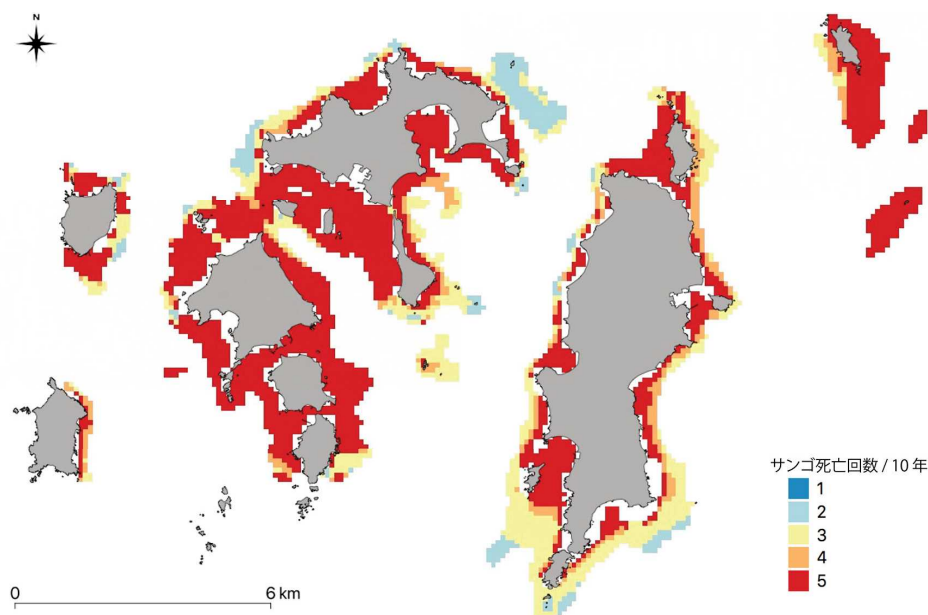


図 3-14：慶良間諸島中心部における +2.0℃水温上昇シナリオ下のサンゴ死亡予測の例



1.5℃あるいは 2.0℃の水温上昇のいずれにおいても、サンゴの分布域は慶良間諸島国立公園内で減少すると予測されました。従っ

て、ステップ 4 のフローチャート（P18-19）に従い、サンゴの保全オプションとしては、「内部の避難地の確保」、利用管理オプション

モデル保護区における事例



としては、「従来の利用の維持」あるいは「利用の制限」を検討することが考えられます。

また、水深 40m のサンゴ群集の生息環境は、表層と比べて夏季の水温上昇が穏やかであるという特徴があるため、将来的に避難地

となりうる可能性があります。保護区である海域公園の範囲は水深 30m までとなっています。そのため、「保護区外の避難地の確保」も検討すべき課題として考えられました。



慶良間諸島国立公園関係者の情報交換会において、ステップ4までの結果を提示して、関係者との議論を行い対策の検討を行いました。その結果、サンゴが白化や死亡しにくい場所を重点的に守る方法を検討しました。また、ダイビングブイが設置されて、ダイビング利用とともにオニヒトデやレイシガイの駆除活動がされているため、そうした活動の継続を考慮した計画を考えることとしました。



写真3-5：慶良間諸島における情報交換会



現在のサンゴの利用・保全（図3-9、3-10、3-11）、および将来の白化によるサンゴ死亡の将来予測を重ね合わせ、将来的な+1.5℃の水温上昇シナリオのもとで、サンゴを保全しつつダイビングポイントとして利用するのに適した場所を選択する適応策の提案を行いました（図3-15、3-16）。優先的に保全すべき場所の候補としては、現在サン

ゴ被度が高く、また保全努力が行われているダイビングポイントのうち、各水温上昇シナリオにおいて比較的サンゴ死亡回数が少ない場所が挙げられます。

+1.5℃の水温上昇シナリオのもとでは予測される最少のサンゴ死亡回数は2回だったため、死亡回数2回の範囲からダイビング利用と保全に適した場所の候補を探索しま



した。その結果、座間味島周囲では、北部1ヶ所、南東部2ヶ所、南西部1ヶ所、阿嘉島周囲では北東部1ヶ所、渡嘉敷島周囲では中西部1ヶ所、南部1ヶ所がそれぞれ選定されました（図3-15、3-16のピンク色の円）。

これらの場所で駆除活動を継続するとともに、現在駆除活動が行われていない場所での駆除活動を行うことを提案しました。また、ダイビング利用に関しては、過剰な利用を避ける対策が考えられます。

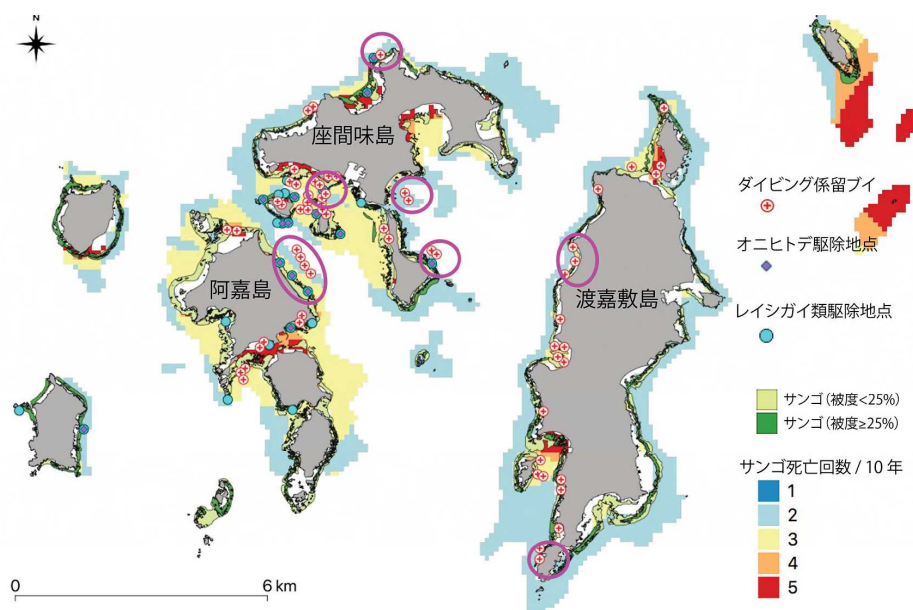


図3-15：慶良間諸島中心部における +1.5℃水温上昇の場合のサンゴ死亡予測に対するサンゴ被度、ダイビング利用およびサンゴ保全活動に適した場所の提案

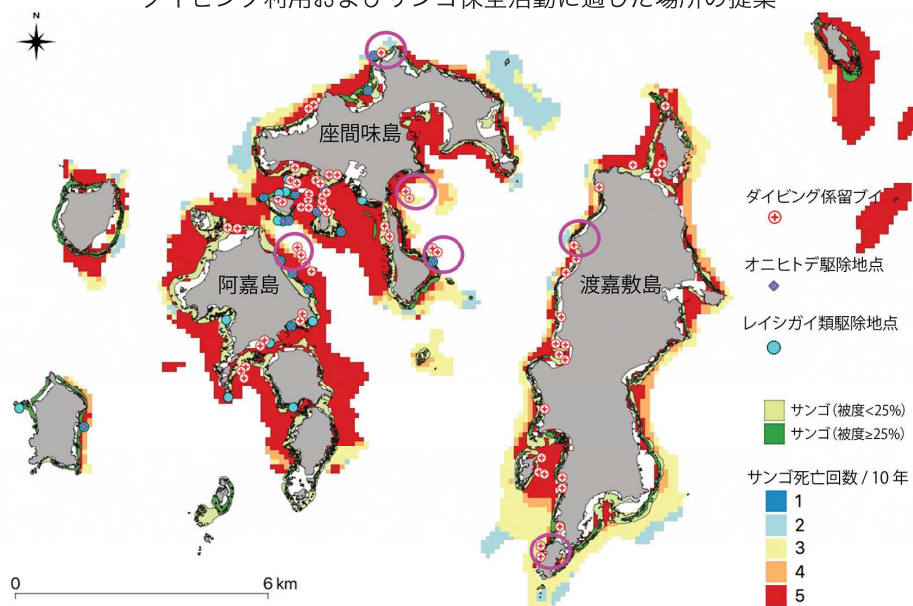


図3-16：慶良間諸島中心部における +2.0℃水温上昇の場合のサンゴ死亡予測に対するサンゴ被度、ダイビング利用およびサンゴ保全活動に適した場所の提案

4. 参考文献

Butt, N., Possingham, H.P., De Los Rios, C., Maggini, R., Fuller, R.A., Maxwell, S.L., Watson, J.E.M. (2016) Challenges in assessing the vulnerability of species to climate change to inform conservation actions. *Biological Conservation*, 199, 10-15.

Cross, M.S., Zavaleta, E.S., Bachelet, D., Brooks, M.L., Enquist, C.A.F., Fleishman, E., Graumlich, L.J., Groves, C.R., Hannah, L., Hansen, L., Hayward, G., Koopman, M., Lawler, J.J., Malcolm, J., Nordgren, J., Petersen, B., Rowland, E.L., Scott, D., Shafer, S.L., Shaw, M.R., Tabor, G.M., (2012) The Adaptation for Conservation Targets (ACT) framework: A tool for incorporating climate change into natural resource management. *Environmental Management*, 50, 341-351.

Foden, W.B., Butchart, S.H.M., Stuart, S.N., Vié, J.-C., Akçakaya, H.R., Angulo, A., DeVantier, L.M., Gutsche, A., Turak, E., Cao, L., Donner, S.D., Katariya, V., Bernard, R., Holland, R.A., Hughes, A.F., O'Hanlon, S.E., Garnett, S.T., Sekercioglu, C.H., Mace, G.M. (2013) Identifying the world's most climate change vulnerable species: A systematic trait-based assessment of birds, amphibians and corals. *PLoS ONE*, 8, e65427.

Hameed, S.O., Holzer, K.A., Doerr, A.N., Baty, J.H., Schwartz, M.W. (2013) The value of a multi-faceted climate change vulnerability assessment to managing protected lands: Lessons from a case study in Point Reyes National Seashore. *Journal of Environmental Management*, 121, 37-47.

Pacifici, M., Foden, W.B., Visconti, P., Watson, J.E.M., Butchart, S.H.M., Kavacs, K.M., Scheffers, B.R., Hole, D.G., Martin, T.G., Akçakaya, H.R., Corlett, R.T., Huntley, B., Bickford, D., Carr, J.A., Hoffman, A.A., Midgley, G.F., Pearce-Kelly, P., Pearson, R.G., Williams, S.E., Willis, S.G., Young, B., Rondinini, C. (2015) Assessing species vulnerability to climate change. *Nature Climate Change*, 5, 215-225.

Rannow, S., Macgregor, N.A., Albrecht, J., Crick, H.Q.P., Förster, M., Heiland, S., Janauer, G., Morecroft, M.D., Neubert, M., Sarbu, A., Sienkiewicz, J. (2014) Managing protected areas under climate change: challenges and priorities. *Environmental Management*, 54, 732-743.

Shaw, W.D., Loomis, J.B. (2008) Framework for analyzing the economic effects of climate change on outdoor recreation. *Climate Research*, 36, 259-269.

Shoo, L.P., Hoffman, A.A., Garnett, S., Pressey, R.L., Williams, Y.M., Taylor, M., Falconi, L., Yates, C.J., Scott, J.K., Alagador, D., Williams, S.E. (2013) Making decisions to conserve species under climate change. *Climatic Change*, 119, 239-246.

Willis, S.G., Foden, W., Baker, D.J., Belle, E., Burgess, N.D., Carr, J.A., Doswald, N., Garcia, R.A., Harley, A., Hof, C., Newbold, T., Rahbek, C., Smith, R.J., Visconti, P., Young, B.E., Butchart, S.H.M.

(2015) Integrating climate change vulnerability assessments from species distribution models and trait-based approaches. *Biological Conservation*, 190, 167-178.

川合由加, 工藤岳 (2014) 大雪山国立公園における高山植生変化の現状と生物多様性への影響. *地球環境* 19(1), 23-32.

環境省 (2015) 気候変動の影響への適応計画

<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/tekiou/siryo1.pdf>

環境省 (2015) STOP THE 温暖化 2015 -緩和と適応へのアプローチ-

http://www.env.go.jp/earth/ondanka/stop2015/stop2015_full.pdf

環境省 (2015) 生物多様性分野における気候変動への適応についての基本的考え方

<https://www.env.go.jp/press/files/jp/27670.pdf>

環境省 (2016) 生物多様性分野における気候変動への適応

http://www.env.go.jp/nature/biodic/kikou/tekiou-pamph/tekiou_jp.pdf

環境省 (2017) STOP THE 温暖化 2017

<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/knowledge/Stop2017.pdf>

環境省 (2018) 気候変動適応計画

<http://www.env.go.jp/earth/tekiou/tekioukeikaku.pdf>

気候変動に関する政府間パネル (2014) IPCC 第 5 次評価報告書 統合報告書

原文 <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>

和訳 <http://www.env.go.jp/earth/ipcc/5th/#SYR>

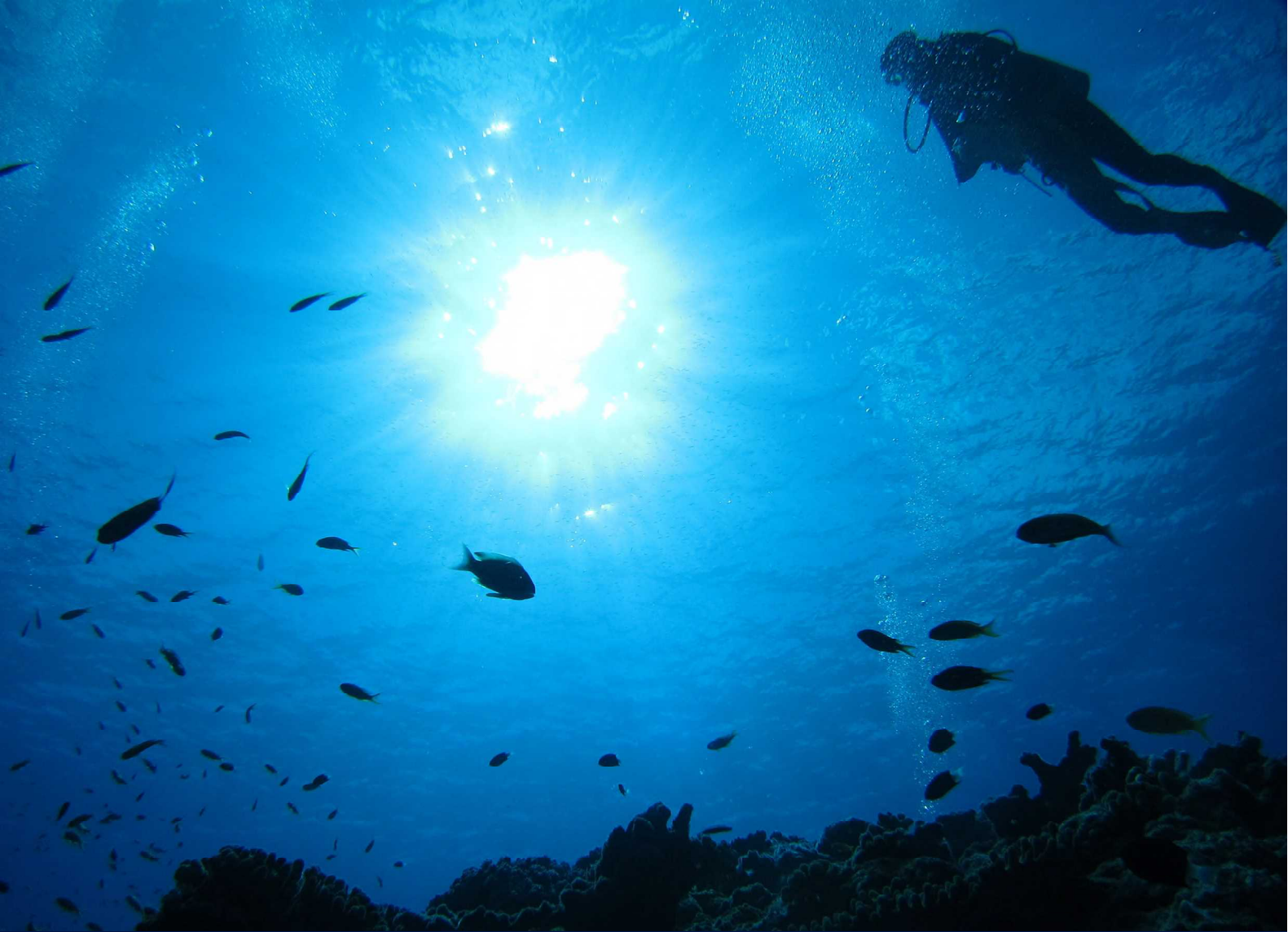
国立環境研究所 (2014) 環境儀 NO.61 「適応」で拓く新時代! ~気候変動による影響に備える~

<https://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/61/61.pdf>

<参考ウェブサイト>

気候変動適応情報プラットフォーム (A-PLAT) ウェブサイト

<http://www.adaptation-platform.nies.go.jp/index.html>



発行日：2019年3月

発行：環境省自然環境局

〒100-8975 東京都千代田区霞が関1丁目2番2号

E-mail：NBSAP@env.go.jp

編集・協力：国立研究開発法人 国立環境研究所

