

2021年1月29日（金）

国立研究開発法人 国立環境研究所 気候変動適応センター主催  
令和2年度 気候変動適応研修（中級コース）

## 講義解説資料

### 講義 5

# 「自然環境における気候変動影響 との付き合い方」

国立環境研究所 気候変動適応センター  
小出 大

本講義解説資料は、講義の口頭説明を事務局で編集したものです。



これまで、私は気候変動に伴う植物の変化について、観測や予測を行ってきました（図1）。特に過去から現在への分布の変化や、現在から将来の分布予測等を対象としています。また、樹木の生長量の時間変化や、紅葉や山菜など人間が自然の恵みとして得ている生態系サービスへの影響予測も行っています。



図 1：自己紹介

こうした経験の中で得られた知見を活かして、本講義では自然環境における気候変動影響に対する適応について、どのような考えで、どのような流れで作るべきか、基本的な考え方をお伝えしたいと思います（図 2）。確立した方法はまだありませんが、大まかなイメージを感じ取っていただけるように、これまでの経験を踏まえてお話しします。

自然環境分野での適応策の立案手順は4つに区分されます（図 3）。地元には何があるかを確認することから始まり、続いてその地元の自然に対して起きうる影響を評価し、適応策として、その変化に対する対策を検討します。最後の適応策の実施では、自然環境分野は非常に長い時間スケールでの対応が必要なため、ネットワークを作り、適応策を楽しく継続的に見ていくことが非常に重要です。

## 今回の目標

自然環境における気候変動影響に対する  
適応の基本的な考え方を身につける

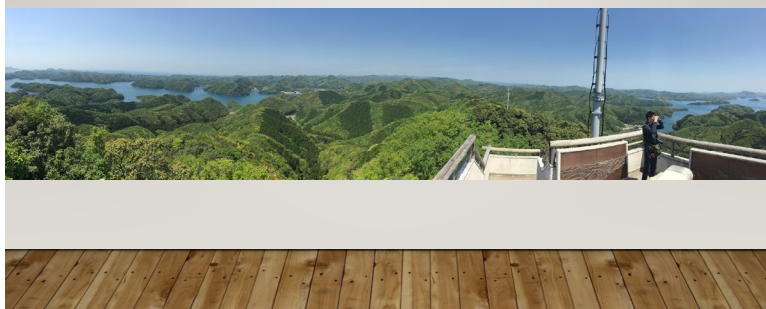


図 2 : 今回の目標

### 自然環境分野 での気候変動 適応策の 立案手順



1. 地元の自然とその意味を知る

2. どのような変化が起きるのか  
(影響評価)

3. どうやって対応するか  
(適応策)



4. ネットワークを作って楽しく  
長く見ていく

図 3 : 自然環境分野での気候変動適応策の立案手順

農業分野・健康分野と比較すると、自然環境分野は、この1番目と4番目の手順が特徴的ではないかと思えます。農業や健康は生活に直結しており、社会にとってのインパクトが高いですが、自然環境分野はそれほどには生活と関連していません。したがって、そもそも何があるのか認識した上で、どのような理由で活動を継続していくか、その都度確認しながら、長く続ける工夫を織り交ぜて進めていく必要があると考えています。

## 1. 地元の自然とその意味を知る

まず、地元にとどのくらいの生物種がいるのかを認識することが、なかなか難しいと思います。図 5 のような植物以外にも、哺乳類・昆虫・魚類やキノコなど、さまざまな種が分布・生息しているはずですが、調査等で存在が認識できていない種が非常に多くあるため、それらを知ることが生態系を守るための第一歩となります。また、生態系は紅葉や高山の花畑など、地域の観光産業と密接に結びついて、地域活動の維持に大きな武器となる場合もあります。



図 4：地元の自然とその意味を知る



図 5：そもそもどんな種・生態系がある？

同じ地元に分布する生物種でも、種によって生物学的、生態学的な意味合いは図 6 のように様々です。生態学的な意味を含めて捉えることにより、見方や取るべき対応も変わります。国内もしくは自治体や地域での希少種・固有種なのか、また、多くの種は分布しやすい範囲が決まっているので、例えば分布の北限に当たるのか、その種にとって最も生息しやすい個体数も多い分布中心域なのか、といったいくつかの観点があります。さらに、過去から現在に至る個体数変動の情報があれば、減少・増加・横ばい、のいずれであるかによっても意味合いが異なります。

また、生物は単独の種だけで生存しているわけではなく、生態系の中でさまざまな役割を担っています。役割によっては、ある種が絶滅してその地域から除かれると、全体の生態系バランスが崩れることもあり得ます。そのような、種のつながりや役割の把握も非常に重要です。

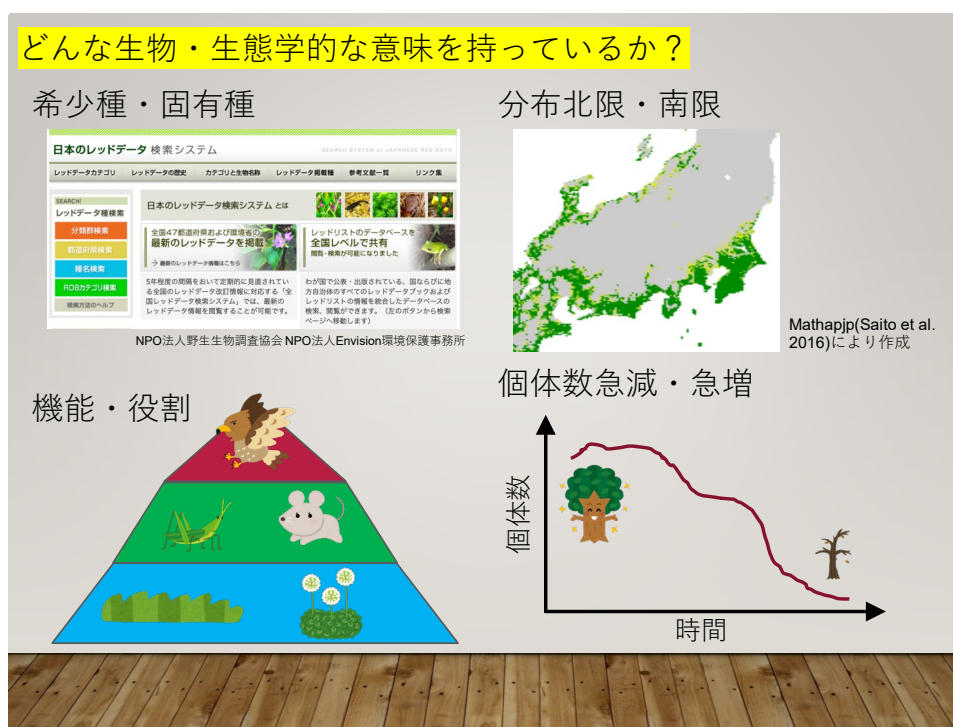


図 6：どんな生物・生態学的な意味を持っているか？

これらの生物学的・生態学的な意味合いに加えて、人間の活動との関連でみた社会的・経済的な価値の把握も重要です。美しい自然に対する観光やレクリエーションはもとより、地域の人々の心よりどころとしての側面もあります(図 7)。定量的評価は難しいですが、例えば里山の中に残存する谷津の遊び場としての位置づけや、社寺仏閣の奥に原生に近い状態で残されている信仰の対象としての社寺林などが該当します。

また、図 7 下段は人間活動に直結している生物で、シカ・イノシシ・サル等の農業への鳥獣害、虫害による林業への悪影響など、被害をもたらす生物だけでなく、逆に畑の作物の受粉を促進するミツバチのような益虫もあります。



図 7：どんな社会的・経済的価値？

このような情報を集める場合、図 8 のように自治体の関連部署も多岐にわたり、自治体外でも大学・博物館・NGO・NPO・事業関係者等、関連団体はさまざまです。まず関係者のリストアップが必要です。また、国立公園や県立公園等の公園管理をはじめとする自治体等の既存の取組みも参考になるでしょう。既存施策の下地があると、適応策等のアクションを軌道に乗せやすくなると考えられますので、既存の取組みもリストアップしましょう。

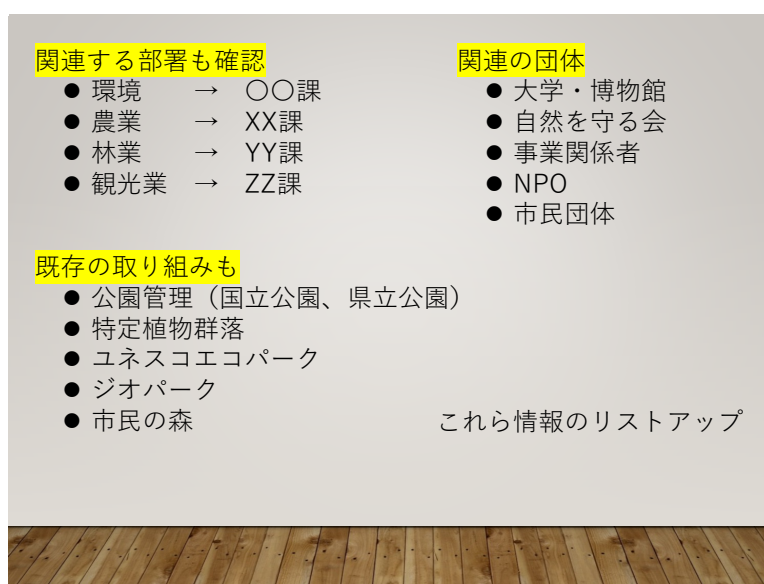


図 8：情報のリストアップ

## 2. どのような変化が起きるのか（影響評価）

見てきたように、どのような生物がいて、どのような意味合いを持ち、関連する人がどの程度いるかを把握した上で、その生物への影響を評価します（図 9）。

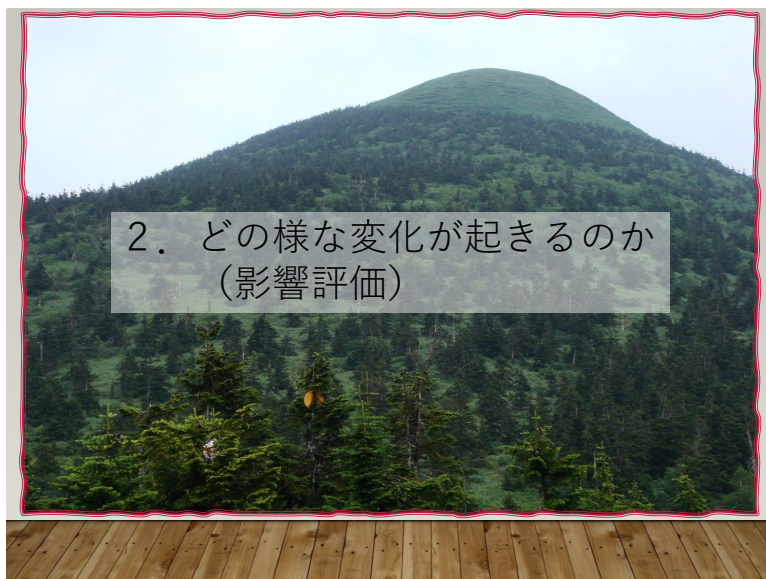


図 9：どのような変化が起きるのか

影響評価は大別して2つの観点があります（図 10）一つは、生物が分布しているか否か、分布していればその分布が変化していくか、といった分布に関する観点です。ここでは、分布に関する情報量の解像度を高めた情報として、当該種の個体数等も含まれます。もう一つは、桜の開花日や、紅葉の色づき等、当該種の生物季節、フェノロジーと呼ばれるものです。

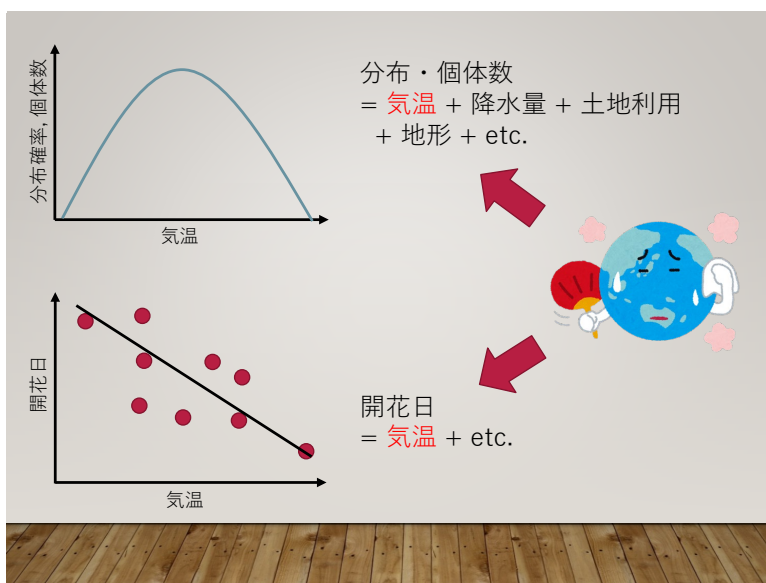


図 10：影響評価



分布・フェノロジーとも、さまざまな要因が関係していますが、どちらも共通して気温が非常に強く影響しています。特に日本では気温の影響度は大きく、気温により種の分布がある程度決まり、また気温によってその種の開花日が決まるという状況が多く見られます。そのため温暖化による変化が想定されることから、変化の方向性を把握した上で、守る、または適応すべき対象であれば積極的な対策が必要となるでしょう。

影響評価には、地元の自然の中で既に変化している、もしくはすぐに変化すると考えられる対象、かつ地域社会や生態系に重要と考えられる対象への観測・予測が必要になります(図 11)。



図 11：観測・予測



図 12：既存論文・参考書

気候変動影響評価報告書（環境省、令和 2（2020）年度）の国内の自然環境分野・フェノロジー分野の記述では、既にもしくは近いうちに変化すると考えられる種について詳細に記載されています（図 12）。この報告書は概ね 5 年ごとに更新され、関連する既存文献や論文も整理してまとめられています。

次に、各地域や自治体の状況について詳しくみる場合の考え方を図 13 に示しました。「変化しやすい場所」と「変化しやすい事象」に着目します。

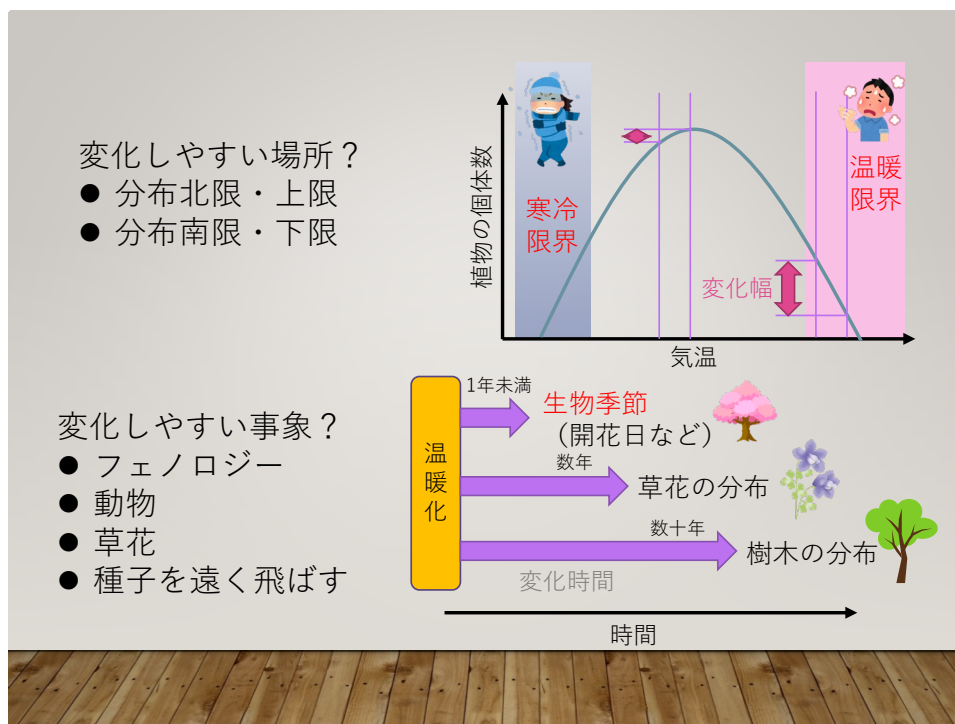


図 13：変化しやすい場所？変化しやすい事象？

通常、生物の多くでは、概念的に気温傾度に沿った植物種の個体数の変化に対して一山型の分布を想定します。すなわち、当該生物の最適気温帯があり、その過ぎしやすい気温帯から外れるにつれて暑過ぎたり寒過ぎたりしてストレスがかかり、個体数が漸減する想定です。地球温暖化は 10℃上昇などの大幅な変化ではなく 0.5℃、1℃、2℃程度であり、生物が耐えられる温度幅からすれば比較的小さいと言えます。そのような状況において、分布の中央にある過ぎしやすいエリアと、限界に近いエリアでは、同じ温度変化幅当たりの個体数の減少幅は大きく異なると考えられます。限界域近くでストレスを受けて、ぎりぎりで生息している不安定な個体群には、ちょっとした温度変化の揺らぎだけで、大きくがたがたと崩れる可能性があります。分布の北限・南限や標高的上限・下限付近は変化が出やすく注目し得る場所と考えられます。

また、生物に関する変化の事象は、生物の種類等により温暖化影響の出方が異なります。例えば、樹木分布の変化は、種子散布・発芽・成長のプロセスを経ながら徐々に移動するため、顕在化には時間がかかり、数十年～数百年スケールとなることもあります。成長サイ

クルが短い草花では、分布変化の顕在化に要する時間スケールは短くなります。さらに、自ら移動できる動物の分布はもっと速く変化します。

また、植物の分布変化の顕在化は前述のように時間がかかりますが、開花日等のフェノロジーは、年ごとの状況に応じて当年のうちに変化が生じる、早いレスポンスが見られます。地元の温暖化影響を検出する場合には、顕在化しやすい事象に注目しながら選択すると良いと思います。

対象が絞られた後の変化検出手法には、大まかに2種類が考えられます。

ひとつは図14のように実際の時間的な変化を観測する方法です。現在から将来はモニタリングを行い、5年毎など一定の間隔で調査することで変化を検出します。環境省も「モニタリングサイト1000」として様々な対象のモニタリングを継続的に実施しています。

ただし、モニタリングでは変化の顕在化に時間がかかる場合もあるので、これまでの資料から読み取れる変化に着目して研究を進めることも多くあります。先人の調査結果・資料は、主に紙ベースで博物館や地元の有志が大切に保管している場合があります。このような過去データも確認し、同じ場所で同種の調査をして変化を検出することで、比較的迅速に分布の変化を評価できます。また、同じ場所の過去と現在の写真を比較することでも、樹木分布や景観の変化が確認できます。

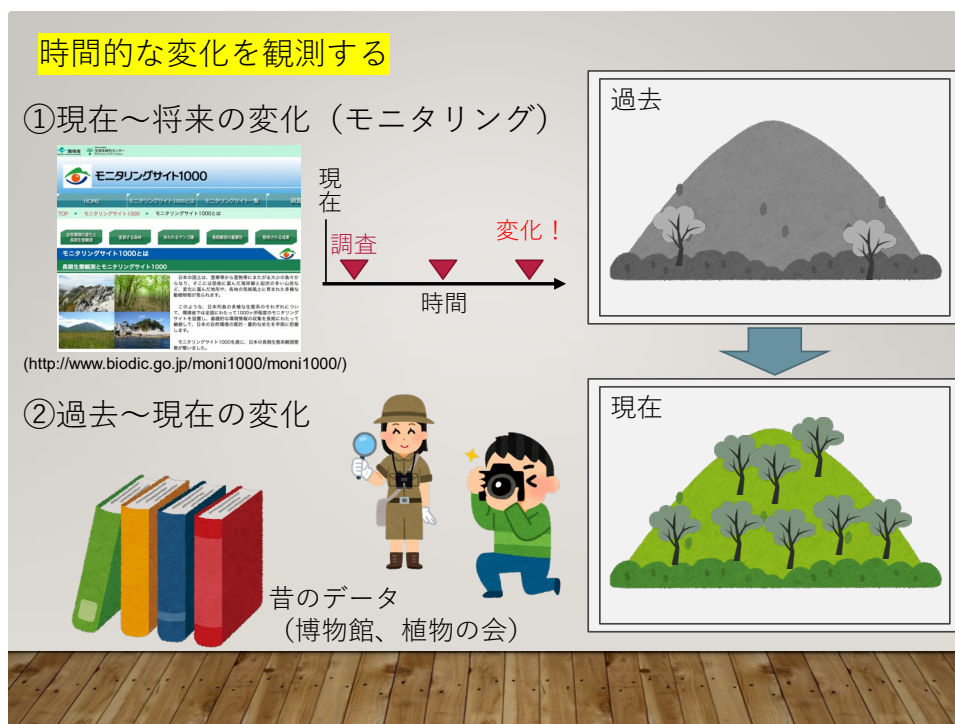


図14：時間的な変化を観測する

変化検出方法の二つ目は、将来の気候変動影響予測を用いる手法です。図15には、例としてアカガシ（常緑広葉樹）の分布の現在と将来の比較図がありますが、このような将来予

測を含む分布図の作成方法を紹介します。

まず、当該種の分布情報を日本全国から集めるとともに、関係する環境条件のデータも収集します。この時、気温だけでなく、降水量や雪、地形パラメーター等、考えられるものはなるべく多く収集し、データセットを整備します。これらの収集情報を元に統計モデルを使って、分布と環境条件の対応関係を解析します。この解析結果に現在の気候データを適用し、現在の分布を描画するとともに、気候データを将来気候モデルの結果に置換することで将来の分布予測が得られます。この手法は種分布モデルまたはニッチモデル等と呼ばれます。なお、この手法を適用する際には、生息可能な気温範囲など、各生物に適した環境が将来も現在と同一であるとの仮定を置いていることに注意する必要があります。

なお、外来種は分布拡大の途上にある場合が多く、分布できる環境条件の範囲は、現状の分布から想定される範囲より広い可能性があり、注意が必要です。広がり切れていない段階でのモデル構築は、分布を過小評価する懸念があります。また、その生物が現在調査対象地域より温暖な場所で分布が確認されている場合とされていない場合では、将来の気温上昇傾向に対する分布予測の信頼性が異なる点にも注意が必要です。

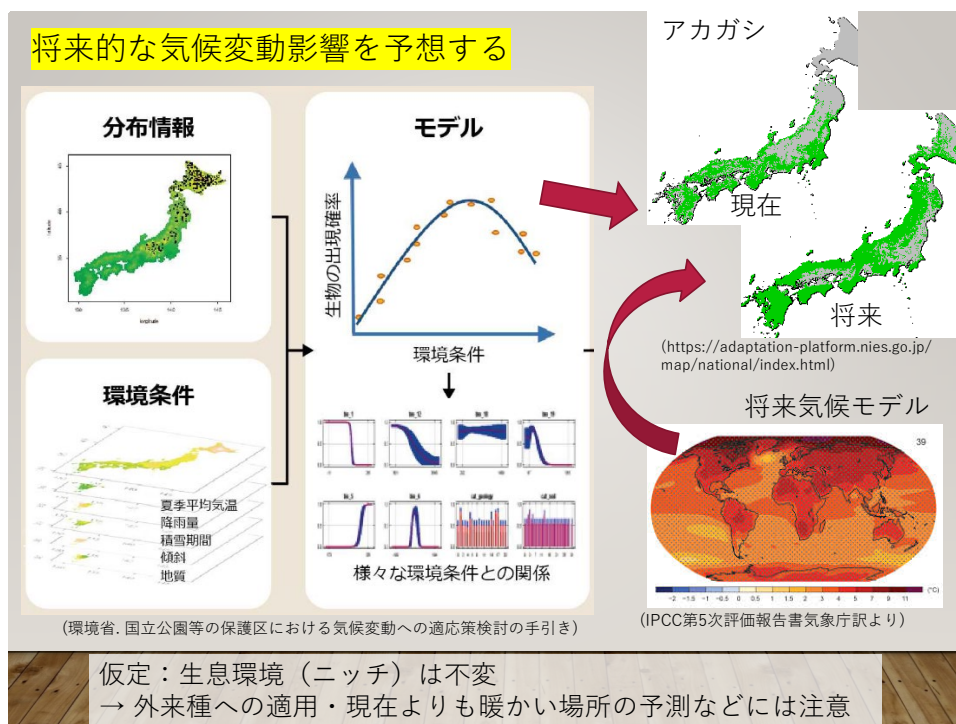


図 15：将来的な気候変動影響を予想する

また、推定には図 16 のような様々な仮定や不確実性があり、気候以外についても考慮し切れていない要素が種々あります。例えば、伐採による草地化といった人為要因での分布拡大もあり得ますし、他の生物の動向も複雑に影響し合うこと、種子が定着して成木になるまでのタイムラグはニッチモデルの中では考慮し切れていないことなどの影響もあります。

さらに、気候値の不確実性の幅もニッチモデルの予測幅に影響するため、様々な不確実性を考慮して予測結果を解釈して利用する必要があります。想定できる限界の把握は、予測や観測の活用には重要ですので、専門家と連携しながら進めて頂きたいと思います。

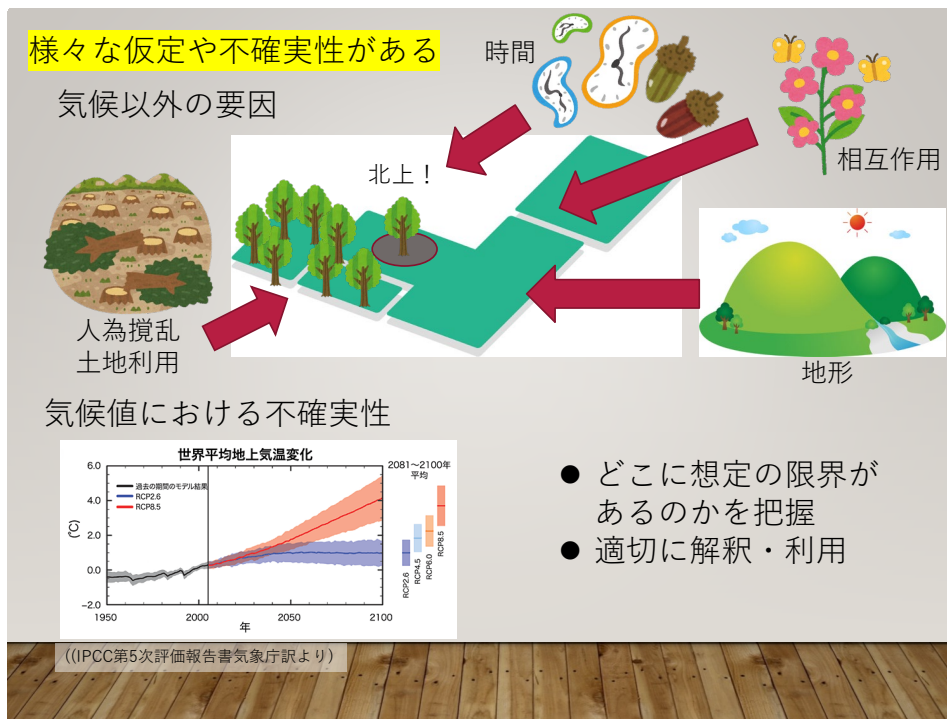


図 16：様々な仮定や不確実性がある

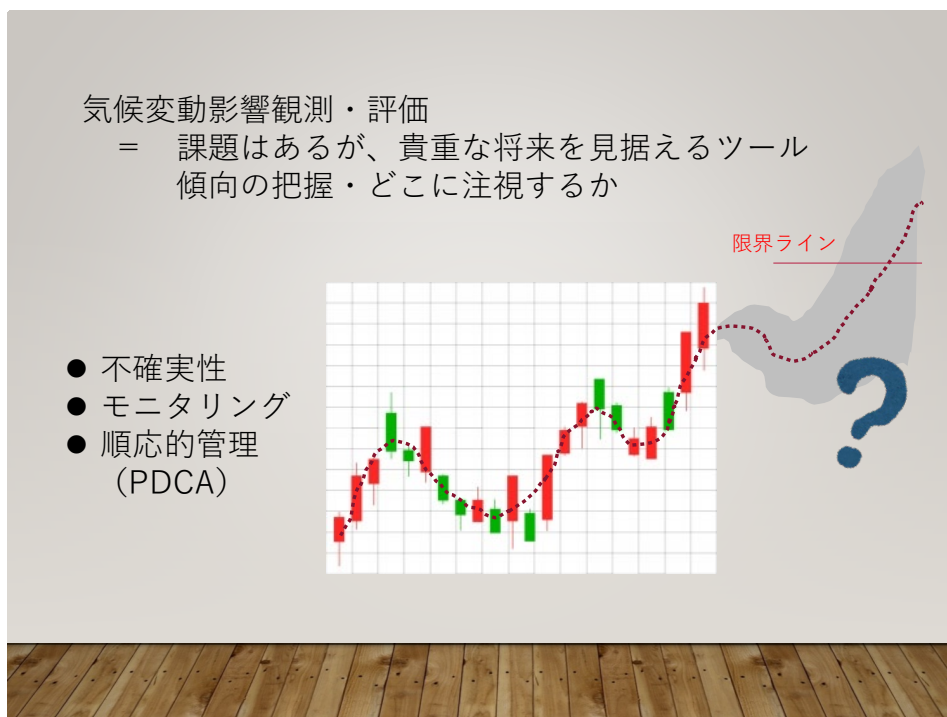


図 17：気候変動影響観測・評価

まとめると、課題はあるものの、気候変動影響の観測や評価の手法は、将来あり得る状況の幅の推定に利用できることから、将来を見据えた対策検討に有効なツールとなり得ます。図 17 中のグラフは株価の変動例ですが、不確実性を持つ現象に対して既存手法は道筋や傾向を見出すことや、今後の限界ラインや対策開始ラインの見きわめにも役立ちます。ただし、前述のとおり不確実性の幅（図中のグレーのゾーン）があり、実際の将来の経路は明確ではないため、モニタリングと併用した PDCA サイクルにより順応的に管理していく姿勢が必要です。

### 3. どうやって対応するか（適応策）

適応策では、何をどう守るか、どの手法を選ぶべきか等を探りながら実施することが多いと思います（図 18）。実施にあたって重要な要素は、妄想力とイメージ力、先行して身に着けた知識です（図 19）。知識を使って起きうる状況を妄想し、種々のアイデアを出して、ツールを活用しながらブレインストーミングをしていくことも大切です。

自然環境分野の適応でよく挙げられる対策として、逃げ場所をつくる、生息地を守る、時期をずらす、安定させる、代替種を使う、体制を作る、普及啓発、などがあります。このような多くのオプションから、地域に根差し、予算面も含めた実現可能性のある手法を絞り込んでいくこととなります（図 20）。こうした絞り込みの際には、専門家も含めた議論を入れていくとさらに良いでしょう。



図 18：どうやって対応するか

### 色々なオプションが考えられる

- 妄想力・イメージ力
- 知識（生物生態、先行事例）



(<https://www.beansbee.com/tool/ecological-thinking-card/>)



地域に根差した実現可能性

- 逃げ場所を作る
- 生息地を守る
- 時期をずらす
- 安定させる
- 代替種の利用
- 体制を作る
- 普及啓発

図 19：色々なオプションが考えられる

### 比較検討する

- 重要性: どれくらい生物・社会的に重要？
- 緊急性: すぐに対応が必要？
- 確信度: どれくらい確実？
- 予算
- 人員
- 住民の要望・理解
- etc.



案1

案2

案3

案4

図 20：比較検討する

国内 2 カ所の先行事例を紹介します。

図 21 は大雪山の高山植生減少に対する適応を考えた事例です。お花畑ができるような高山植生の雪田草原は、将来の減少が見込まれるため（図 21 左）、対策や保護策が必要となりますが、登山者による影響の観点と、対策事業者によるアクセスの良さを判断材料として優先順位をつけたものが図 21 右です。赤のエリアは比較的アクセスが容易で、登山者の影響を受けやすいため、登山者の草原への侵入を防ぐためロープを張る、登山道がえぐれないように管理するといった案を提示しました。その上で、地元の関連団体・利害関係者の方たちと議論をしながら同意を得ていく流れになります。これは国立公園等での代表的な動きで、将来にわたり存続可能性の高そうな場所を守る方針で適応策を立てます。

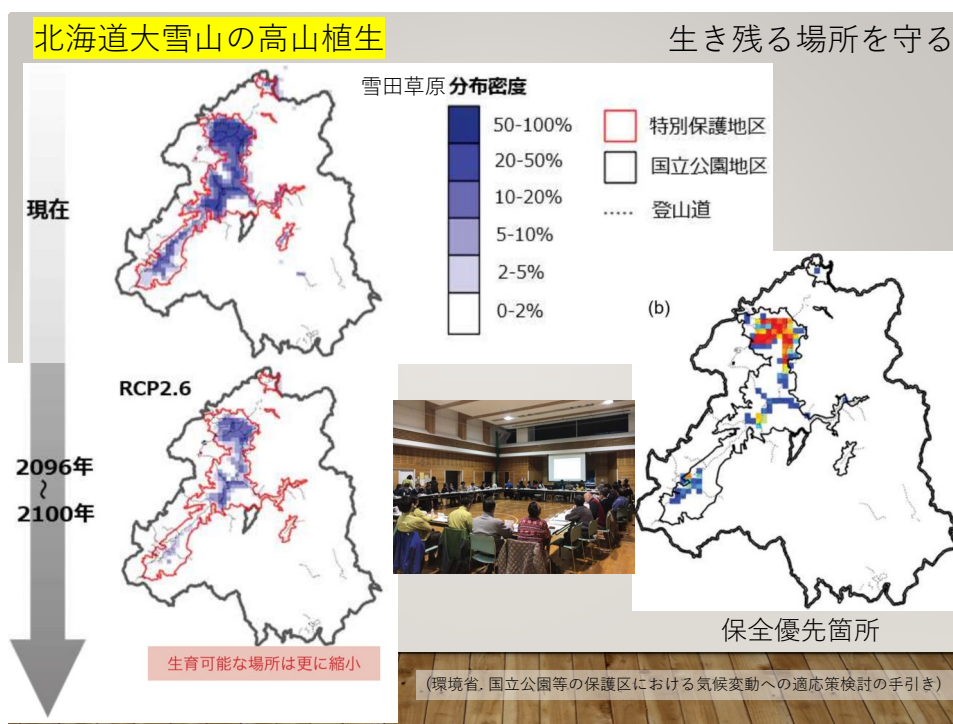


図 21 : 北海道大雪山の高山植生

もう一例は、慶良間諸島のサンゴが対象です（図 22）。海水温が現在より 1.5℃上昇した場合の 10 年間のサンゴ斃死率推定を元に、生き残りやすい場所を抽出し、サンゴを食害するオニヒトデ・レイシガイ等の駆除を行っています。さらにダイビングの係留ブイ設置箇所など駆除活動を管理しやすい場所を優先し、図中に紫の円で表示した場所を優先地域として提示しました。その上で、地元関係者団体と協議をしつつ、対応を進めています。

上記 2 か所は、国立環境研究所が主体的に関わった事例ですが、その他にも、「地域適応コンソーシアム事業」ではさまざまな事業体を含んだ取り組みが行われました。図 23 のとおり A-PLAT に情報がありますので、参考までに事例を見ていただければと思います。



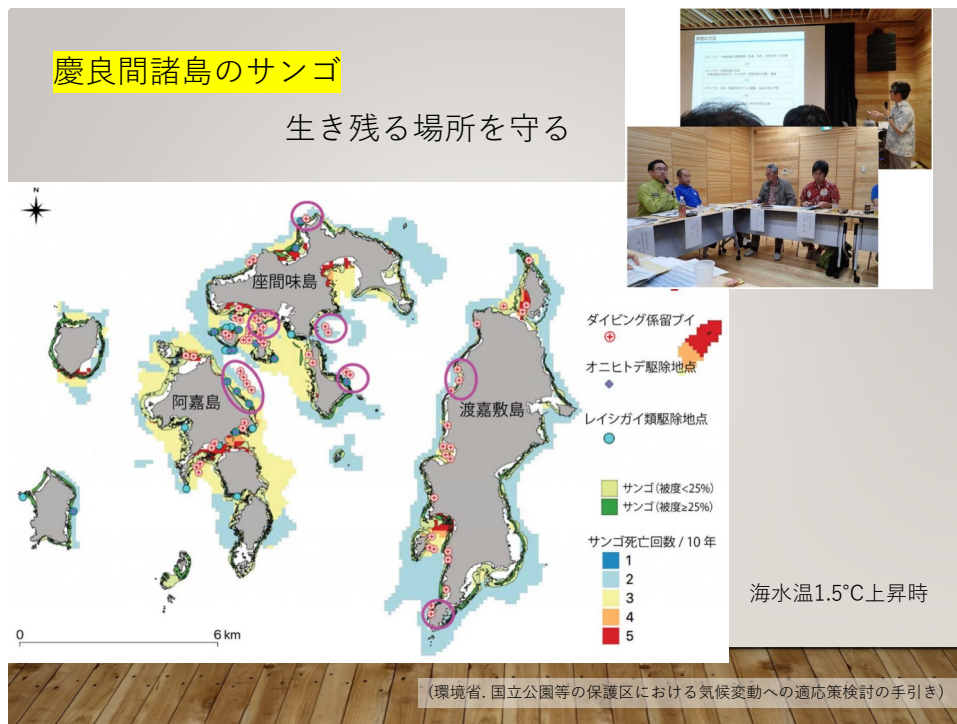


図 22 : 慶良間諸島のサンゴ



図 23 : 地域適応コンソーシアム事業

適応策の考え方は、適正体重の維持における考え方と似ています(図 24)。予め決めた適正な範囲を外れた際に何らかの対策を実施し、元に戻すという考え方は、適応策に通ずるものがあります。この方法であれば、将来における不確実性によってタイミングやスケジュールの変化があっても対応できます。自然環境における測定すべき指標や、適切な範囲を明確にしておき、逸脱した場合の実施項目を決めたうえでモニタリングする、という考え方や手

続きの策定は、将来に対する安心感を高めることも考えられるため、これから増えていくと思います。

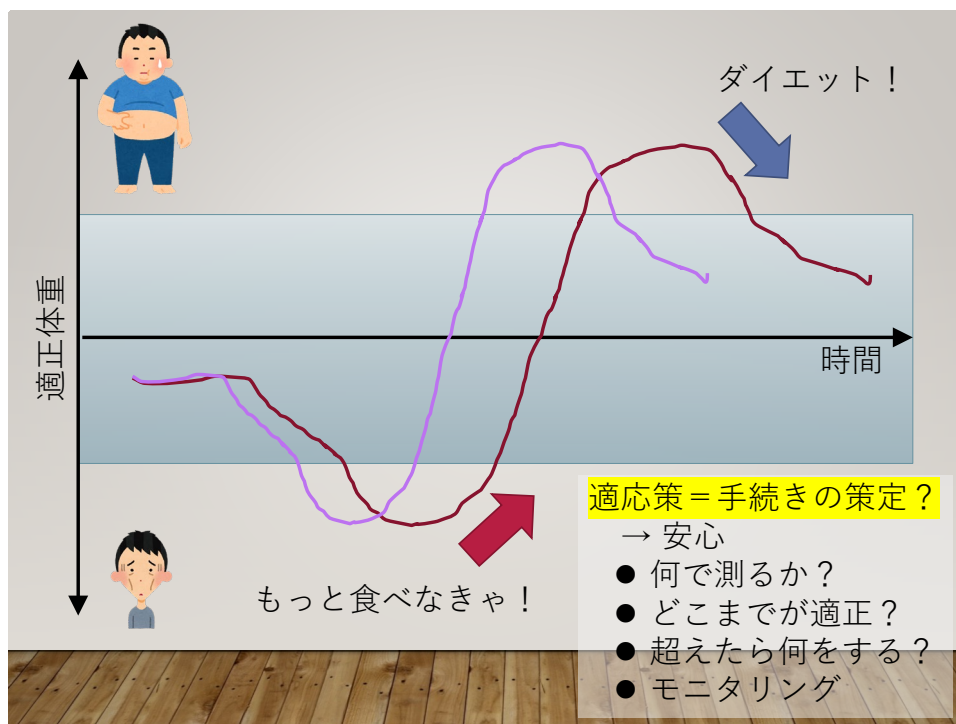


図 24 : 適正体重

#### 4. ネットワークを作って楽しく長く見ていく



図 25 : ネットワークを作って楽しく長く見ていく

自然環境分野の適応は、一度の施策で完了するわけではなく、長くつき合っていく必要があり、不確実性を踏まえた順応的な管理が重要です。一方で、自治体では担当者の配置転換だけでなく、首長の交替に伴う方針の転換もあり得ます(図 26)。継続性の問題が存在する中でも、自然環境を守る意義や、活動内容・スケジュール・評価手法等、一連の流れを次の担当者に確実に引継ぐ体制の構築が重要です。

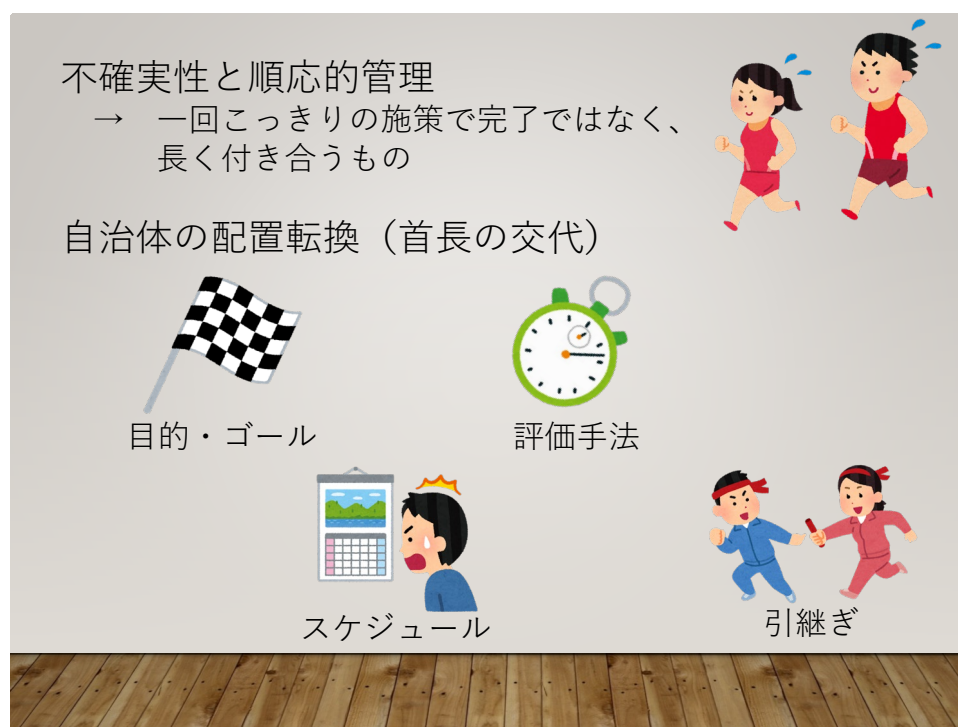


図 26 : 不確実性と順応的管理

資金や人員の面でも、一つの組織のみで継続することは厳しいケースが多くあります。周囲を巻き込み、担い手を確保しながら、専門家の意見もふまえて合意形成を進める、ワンチームのようなプラットフォームの構築が長く続くポイントです(図 27)。

周りを巻き込むことは容易ではありませんし、面倒なものに関わりたくないと言われることもよくあるパターンでしょう。自然環境の保全や、多様な生き物の保護は人間のクオリティー・オブ・ライフの向上に重要ですが、なかなか相手には伝わりづらいので、「この対策で観光収入が 8 割維持できる」といった、定量的な評価に基づくメリットの提案に踏み込めると良いと思います。また、義務としての実施は抵抗が強いので、楽しむ感覚を織り交ぜて実施することが、輪を広げるうえで重要です。講義の最後に適応策や関連する事業について楽しめているか、皆さんに問いかけたいと思います(図 28、図 29)。

まわりを巻き込んで楽しみつつ持続させていく



地域にカスタマイズした適応策こそが必要  
担い手の確保、専門家の意見  
合意形成、情報共有

図 27：まわりを巻き込んで楽しみつつ持続させていく

輪を広げる障害  
「面倒な他の仕事はやりたくない」



- 相手視点のメリットの提示
- 定量的な評価に基づく提案
- 楽しい感覚 ≠ 仕事・義務

図 28：輪を広げる障害

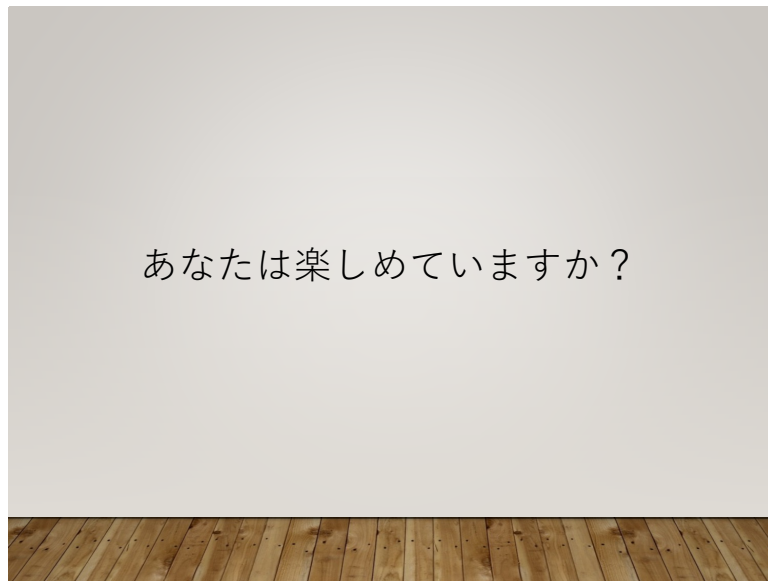


図 29：あなたは楽しめていますか？

なお、講義で紹介した国立公園の事例は、オンラインでも提供されている「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」(図 30)に掲載されていますので、ご参照ください。また、全般に不明な点があれば、国立環境研究所の気候変動適応センターまでお問い合わせください(図 31)。



図 30：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



図 31 : 迷ったら気候変動適応センターへ

<用語集>

生態系サービス	人間に恩恵をもたらす生態系の機能
谷津	川や湧き水等の浸食により丘陵地が削られて生成した細かい谷。湿度が高いことが多い。
ポリネーター	花粉を媒介する昆虫などの動物
生物季節・ フェノロジー	季節の変化に応じて生じる植物や動物の現象。桜の開花や渡り鳥の去来などが対象となる。
ニッチ	ある生物の生息に必要な生息環境や要素

