

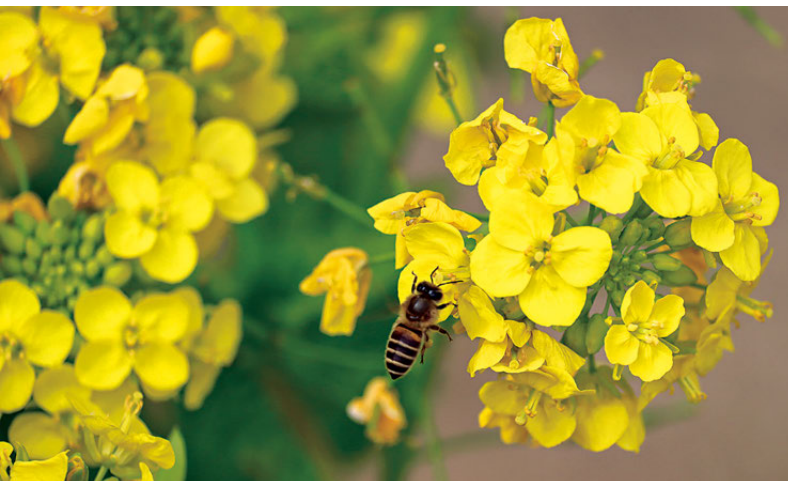


環境儀

NO.81

June 2021

国立環境研究所の研究情報誌

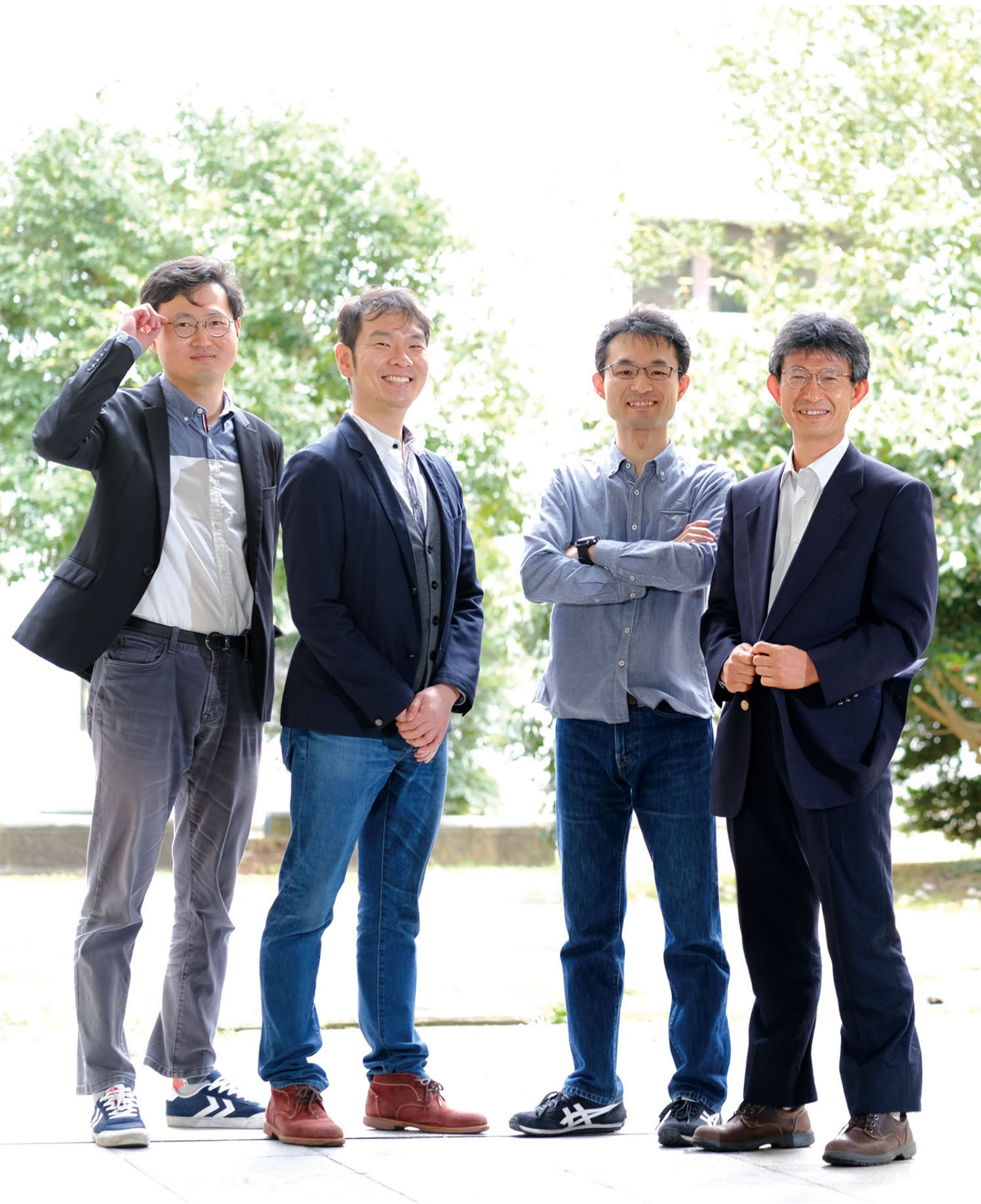


気候変動から生き物を守る

自然生態系分野の適応研究



国立研究開発法人
国立環境研究所
<https://www.nies.go.jp/>



気候変動の社会への悪影響を最小にする「気候変動適応」の重要性が、国内外で強く認識されています。日本では2018年に「気候変動適応法」が施行され、適応に必要な情報基盤の中核として国立環境研究所が位置付けられました。これに対応して国立環境研究所は、気候変動適応センターを設置し、全国の地方気候変動適応センターや関係省庁と連携して研究や情報提供を進めています。

気候変動適応のためには、気候変動によって社会や自然に生じている変化を検出し、将来に発生する事態を予測することが重要です。気候変動適応センターでは、効果的な気候変動適応策を提案し、推進するだけでなく、気候変動影響の観測や予測についての研究も重視しています。

本号では、センター内の気候変動影響観測研究室の活動に焦点を当てて紹介します。産業革命以降の人間活動は、自然の姿を大きく変化させました。この変化から気候変動の影響を検出するためには、観察記録や標本など、過去から蓄積されてきたデータや市民との連携などを通じて新たに得られたデータを、統計学的に解析することが必要です。当研究室では、海、森林、湿地など多様な生態系を対象にして、野外調査や解析を進めています。

自然界に生じている変化の兆候を見いだし、気候変動の影響を検出します。その力ギは、丁寧な野外調査の積み重ねと統計解析、そして多様な人々との連携です。

CONTENTS

気候変動から 生き物を守る

自然生態系分野の適応研究

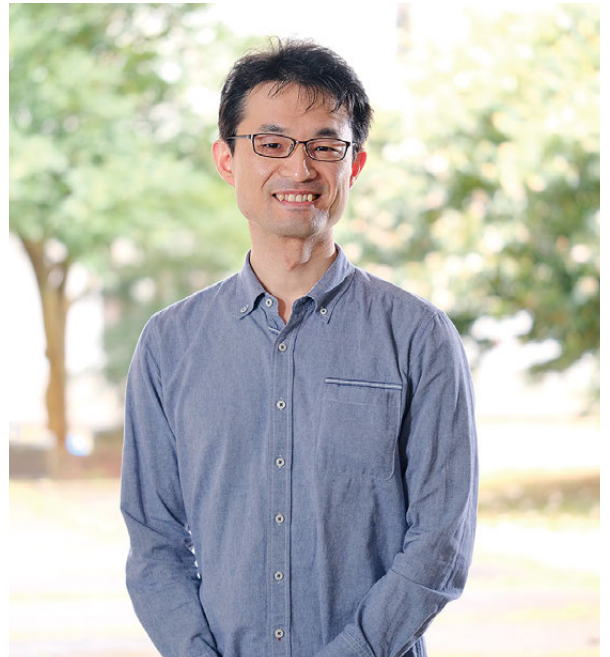
- Interview 研究者に聞く
生態系への気候変動の
影響を探る p4 ~ 9
- Summary
海洋沿岸域の熱帯化 p10 ~ 11
- 研究をめぐって
自然環境分野での
気候変動適応の潮流 p12 ~ 13
- 国立環境研究所における
「気候変動に関する研究」の
あゆみ p14

生態系への気候変動の影響を探る

大雨・強い台風による甚大な被害や熱中症の増加など気候変動の影響は、身近なところに様々な形で現れています。これからは、気候変動の要因とされる温室効果ガスを削減するなどの「緩和策」とともに、すでに起こりつつある気候変動の影響に備えるための「適応策」も必要だとされています。同時に、適応策のあり方についても、社会や経済面も含めて、幅広く検討されています。その役割を担っている気候変動適応センター気候変動影響観測研究室 室長の西廣淳さん、研究員の熊谷直喜さん、小出大さん、Kim JiYoon さんにお話をうかがいました。



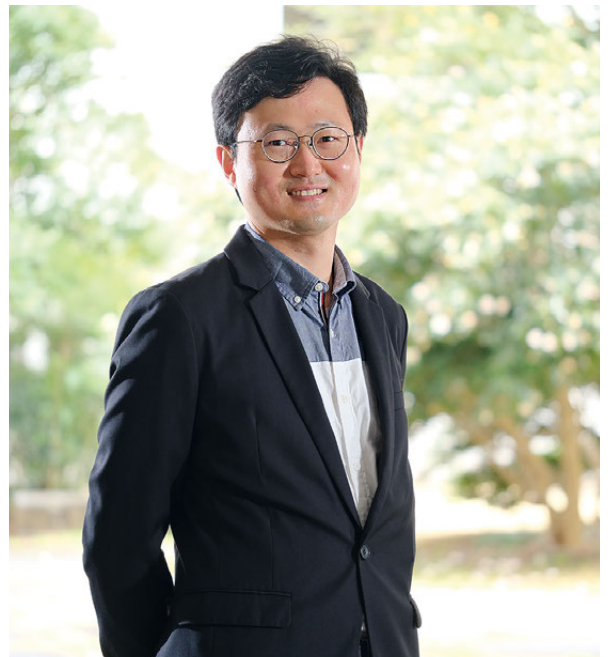
気候変動適応センター気候変動影響観測研究室
室長 西廣 淳(にしひろ じゅん)



気候変動適応センター気候変動影響観測研究室
研究員 熊谷 直喜(くまがい なおき)



気候変動適応センター気候変動影響観測研究室
研究員 小出 大(こいで だい)



気候変動適応センター気候変動影響観測研究室
特別研究員 Kim JiYoon(キム ジユン)

生物の暮らしを知る

Q：まず研究室について紹介してください。

西廣：2018年に「気候変動適応法」が施行され、国立環境研究所に気候変動適応センターができました。当センターは、気候変動影響観測研究室、気候変動影響評価研究室、気候変動適応戦略研究室、アジア太平洋気候変動適応研究室の4研究室と、国や地域の適応策を支援する気候変動適応推進室から構成されています。私たち気候変動影響観測研究室は、自然界で生じている、あるいは生じた気候変動の影響を明らかにする研究を担当しています。

Q：どんなメンバーですか。

西廣：現在の構成員は全員が生態学の研究者であり、野外で動物や植物の調査をして、その暮らしを明らかにすることが専門です。それぞれ専門とするフィールドが違い、熊谷さんは海、小出さんは森林、そして私とキムさんは湿地です。キムさんは韓国の釜山大学出身の研究者で、私が前職の大学にいたときから一緒に研究をしています。

Q：これまで、どんな研究をしてきましたか。

西廣：私の研究者としての出発点は生物の進化の研究です。就職してからは、保全生態学の研究をしてきました。人間社会は生態系に支えられていますが、現在は人間が生態系に及ぼす影響が強くなりすぎて、様々な問題が生じており、気候変動もその1つです。私は生物の環境適応という現象に興味があり、今はその興味を広げて、気候変動に適応する社会のあり

方について考えています。

熊谷：学生時代に甲殻類のヨコエビという小型の海洋生物の分布を研究していた当時から、これらのすみかになる海藻やサンゴの様子が変わっていることを感じていました。陸に比べて海の方が気候変動の影響が大きく、1998年と2016年には、世界規模でサンゴの白化現象も起こりました。こうした経緯で、まずは沿岸生態系の基盤となるサンゴや海藻をなんとかしなければと気候変動や適応の研究を始めました。

小出：熊谷さんが研究されている海に比べて、森林などの陸上植物に気候変動の影響が現れるのにはもっと時間がかかります。私は樹木の生態学を研究しており、100年後の気候変動による樹木の分布の変化などをコンピュータで予測しました。ただ、100年後の未来を予測して、論文上で対策を提案しても、現地で実際に起きている変化を観測・確認しつつ、実際に影響を受ける地元の方々とのコミュニケーションを取らなければ、現実を見据えた対応になりません。そのため行政の人や市民と対話しながら、現実味のある適応策を考えていこうとしています。

キム：学生時代は、河口に生える植物の研究をしていました。河口堰の管理の方法が、イセウキヤガラという植物の分布に影響し、さらにそれを食べる白鳥の個体群に影響するなど、生態系の複雑なつながりを目の当たりにしました。いまは、気候変動の影響を予測し、リスクを下げるためにはどうしたらいい

コラム①

生物の進化と絶滅

地球の気候はこれまで、氷期と間氷期のように気候変動を繰り返してきました。気候が変動した際、絶滅してしまった生物もいましたが、それ以上に多くの生物が、新しい環境に適応した特性を進化させ、存続してきました。

「気候変動が進んでも生物は進化するから心配ないのでは？」そう考えたくはありますが、それは2つの点で、楽観的すぎるようです。1つは、現在進行している気候の変化、特に気温の上昇の速度が、過去に生じた変化に比べて圧倒的に速いことです。今から約2万1000年前の最終氷期から現在の間氷期へ移行した時の気温の変化は、約1万年あたり4~7℃程度の速度だったと言われていたのですが、20世紀後半から起こっている気温上昇速度はその10倍以上です。変化が急速すぎるため、新しい環境に適応した性質の進化が追いつかないと

予想されています。

もう1つは、気候変化の有無にかかわらず、様々な人間活動のために生物が絶滅しやすくなっているという問題です。都市開発やダム建設などの開発は、もともと繋がっていた森林や河川を分断しました。生物は生息地が分断されると、気候が変化した際に適した場所に移動することが困難になります。

さらに生物の集団を構成する個体が少なくなるため、集団の中での血縁関係が高まり、繁殖しにくくなったり、進化しにくくなったりすることも知られています。人間活動はこの他にも、外来生物の導入や化学物質の放出など、様々な形で野生生物を脅かしています。これらの結果、野生の動植物の多くは気候の変化に対して脆い状態におかれています。

いったん絶滅してしまった動植物を蘇らせることはできません。気候変動による野生の動植物の絶滅を避けるためには、気候変動の進行を遅らせる努力(緩和策)とともに、動植物に対する気候以外の脅威をなるべく取り除き、野生生物が気候変動に対応できる条件を整えること(適応策)が欠かせません。

いかを研究しています。

生態系の変化を見つけ、将来を予測する

Q：どのように研究を進めるのですか。

小出：具体的には、それぞれの生物のデータを集めて、データベースをつくります。そして生物のデータと、気温・降水量・土地利用・地形・地質・水温・海流などの環境条件との対応関係を種々のモデルを駆使して解析し、得られたモデルと予測された将来における気候条件のデータを使って生物や生態系の将来の変化を予測します。

西廣：自分たちで観測したデータだけではなく、標本や論文、他の研究所のデータベースをフルに活用します。さらに、専門家だけではなく、市民と連携した観測も重視しています。

Q：どんなデータを集めるのですか。

西廣：それぞれの種類の生物が、いつ、どのような環境でみつかったか、あるいはどのくらいの数が分布していたかという情報を広く集めます。そのデータから、先ほど言った様々な要因の効果を組み込んだ統計モデルを作成します。分布要因には気温や降水量などもあるので、このようなモデルを活用すれば、気温が上がったら分布がどう変化するかなど気候変動の影響を統計的に予測できます。

Q：気候変動の影響や適応を理解するのはむずかしいそうですね。

小出：そうですね。そこで、わかりやすくするために地図上に生物の分布や気温・降水量の変化などを示して説明しています。

熊谷：研究所の一般公開では、日本地図を示して海流

コラム②

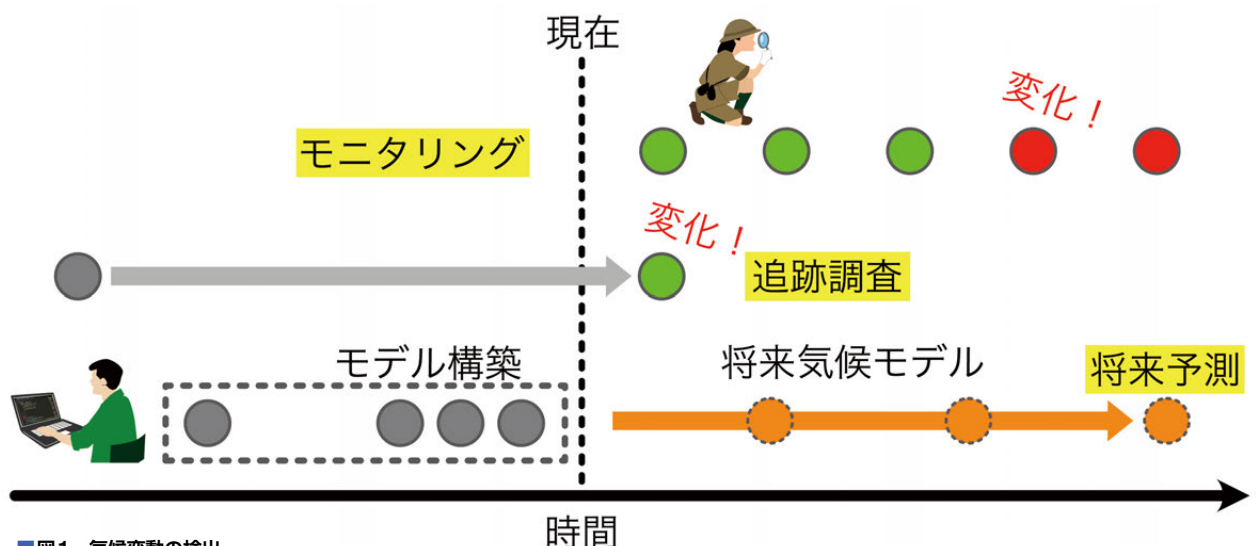
気候変動の影響の観測と検出

気候変動にともなう生物の変化を観測する方法は、主に2つあります。1つは、長期間にわたり決められた方法による観測（モニタリング）を続け、変化を検出するものです。生物の分布や開花日などの生物季節に関する調査を、1年ごととか5年ごとなど一定の時間をおいて繰り返すことによって変化を把握します。しかしこの方法では、変化を検出するまでに時間がかかるうえ、樹木の分布の変化のように数十年から数百年の時間スケールで起こる事象に関しては、検出できない可能性があるという欠点があります。

もう1つは、過去から現在にかけての生物の変化の情報を

活用し、長期的な変化を検出するものです。この方法では、過去の調査データを発掘し、当時と同じ場所や方法で生物の調査を行う追跡調査によって、過去から現在までの間に起きた変化を明らかにします。こちらの方法は、長期的に生じる現象の検出も可能ですが、過去のデータがある場所や生物種にしか適用できないという欠点があります。

多くの場合、気候変動の影響を検出するだけでなく、将来の状態を予測することも求められます。ここでは「モデル」が活用されます。過去から現在までのデータを用いて、生物の分布や開花日などの活動を、気温、降水量、土地利用、地形などの環境条件の関数として表わす数式（モデル）を作成する方法です。現実をよく説明できるモデルを構築し、気温や降水量の値を操作することで、将来の気象条件における分布や開花日を予測することができます。



■ 図1 気候変動の検出

と海の生物の分布の変化の話をしました。温暖化でブダイやアイゴのような海藻を食べる魚が北上すると、海藻が減ってしまいます。すると、海藻をよりにしていた生物もいなくなります。この場合、海藻を食べる魚を人間が食用にすることも適応策の1つになります。

Q：海や陸上など環境によって気候変動の影響は変わるのでしょか。

小出：海は、陸上に比べてかなり早く、また広域に影響が出やすいと言えます。

熊谷：海は場所による温度差も小さく、生物の1世代の時間が短いのです。水温が1℃上がっただけでも、その影響はとても大きいのです。

小出：生物がどれくらいの範囲まで移動できるかも、環境によってずいぶん違います。

熊谷：海藻はメートル単位で移動し、渡り鳥は北半球と南半球を行ったり来たりするように移動の仕方が違うので、生物によっても移動可能な空間スケールは変わります。

Q：みなさんがいろいろな生態を見ているので、話がはずみますね。

小出：せっかくよいメンバーが集まったので、みんなでいろいろな生態系を見て回りたいのですが、新型コロナウイルス感染症の拡大でリモートワークが続

いているのは少し残念なところですよ。

熊谷：自宅でも計算などの研究はできますが、私たちの研究は野外に行つて“なんぼ”。研究対象である黒潮海域に行くことができないのはつらいですね。

西廣：早くみんな野外調査をしたいものです。

Q：野外の生物を見られないのは残念ですね。家で生物を飼育することはありますか。

熊谷：以前はたくさん魚を飼育していたのですが、野外調査で留守にすることが多いので世話ができず、今は飼育していません。やはり野外で生物を見るのが一番いいですね。

小出：私も野外に行くのがいいですね。今は野外に行けないのでウェブカメラによる山の風景などを楽しんでいます。たまに近くの筑波山などに遊びに行つて、山頂のブナなどを見るとほっとします。

キム：出身地の釜山には海がりましたが、つくばに来てからは霞ヶ浦の自然を楽しんでいます。

小出：いちばん、アクティブなのは西廣さんですよ(笑)。

西廣：今日は千葉県富里市に行つて、休耕田や耕作放棄地を湿地に戻す活動をしている団体の方と作業や打ち合わせをしてきました。休耕田を湿地に戻すと様々な生物が暮らす場所を守ることができるし、湿地には水質浄化機能があります。また、水がたまるので



湿地での野外調査の様子。

コラム③

自然生態系分野における 気候変動への適応

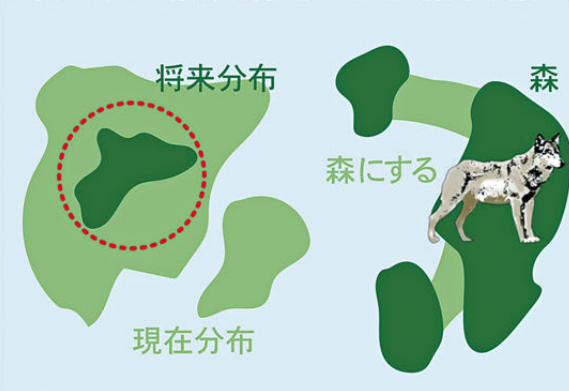
自然生態系における気候変動への適応には、様々なアプローチが考えられます。例えば、先述した「将来分布予測」を活用して、将来の気候条件下でも分布が残りやすい場所を優先的に保全する手法があります。他にも気候変動にともなう生物の移動をよりスムーズに行えるように、分断されている生息場所のつながりを高める方法もあります。このような広い空間スケールでの適応策だけでなく、生息環境の

中に高温時の避難場所を確保するなど、環境の多様性を高めることも役立ちます。これらは野外での保全が優先ですが、それが困難だったりリスクがきわめて高い場合の最終手段としては、植物園や動物園による域外保全や施設での遺伝子保存も選択肢になります。

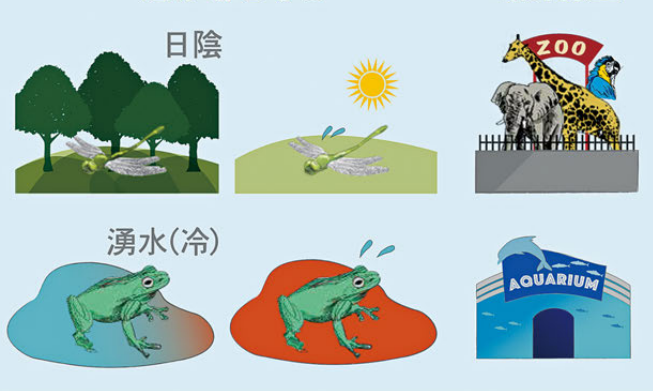
もともとの場所で種を守るのがよいのか、新しい生態系をうまく活かすように社会を変革するほうが合理的か、といった本質的な議論も始まっています。これは、これまでの生物多様性の保護・保全の議論にはなかった論点です。自然生態系における適応策のあり方の議論はまだ始まったばかりであり、様々な分野の専門家が妥当性と実現可能性を考慮しながら検討しています。

残りやすい場所を保全

生息場所を繋ぐ



逃げ場を守る



■ 図2 様々な適応策

大雨が降った時の水害のリスクを下げることに役立ちそうです。個人としては、田んぼを借りて農作業を始めました。趣味と仕事の境界はあいまいですが、気候変動適応を楽しく進める実験をしているつもりです。

生物から学ぶ

西廣：野外研究をする生物学者の多くは、生物の適応現象に興味をもっています。生物がいろいろな場所で巧みに暮らしていることを知りたくて、この分野を志した人が多いですね。

小出：そういう目で見ると、生物学が扱う自然生態系以外の分野における気候変動適応策の試みにも、生物と同じように巧みに生き抜こうとしている点があって面白いです。

西廣：生物学以外の分野を含めて、「環境変化への適応」という現象についてベーシックな考え方をまとめられたら、面白いですね。気候変動に対する社会の適応が、環境変化に対する野生生物の適応と大きく違う

ところは、将来を予測できることです。私たちが持っている、観測し、予測できるという特徴を活かした「適応学」を確立したいです。そこには、災害や熱中症のリスクなど様々な気候変動による問題に対して応用できる考え方があると思います。

小出：何もわからなくても柔軟に環境の変化に適応している野生生物もすごいけれど、私たちは将来を予測できるので、野生生物よりもう少し上手に適応できるといいですね。人間社会の現象に適応を当てはめると、同じ文脈で見えることがいろいろあります。例えば、新型コロナウイルス感染症の問題でも、将来の不確実性が多い中でどうやって対策を考えるかは、気候変動適応と同じだと思ふことがあります。

西廣：確かに感染症の問題も、環境が変わったときに生物がどう適応するかということですね。このようにいろいろな視点で考えられるところが、適応研究の魅力です。

小出：一方で適応の研究は社会で実際に応用されることが必要な分野なので、伝えることやコミュニケーショ



ンの大切さも感じます。

西廣：小出さんも熊谷さんも、行政の人や漁師さん、農家の人と、各地で積極的にコミュニケーションしていますよね。

小出：そうですね。実感がないと人には伝わらないし、野生生物の状況を知るためには、たくさんの人と話しをして、いろいろな情報を得たいという気持ちがあります。

自然史のデータを活用する

Q：どんな研究成果が得られましたか。

西廣：熊谷さんは海の中の変化を知るためには生物どうしの関係に注目することが重要であることを、小出さんは過去の植生のデータから森林の変化を検出する新しい方法を見つけました。キムさんは、日本の水草のデータから、水草の分布の変化に気候変動の影響がありそうなことを示しました。このように研究を進めながら、自然史のデータをどう充実させていくかをみんなで議論しています。

Q：自然史のデータとはどんなものですか。

西廣：いわゆる博物学の情報です。動物、植物、鉱物、地質などの基本的な記録ですね。気候変動の影響を把握したり予測したりする上で、先ほど述べたように「いつ、どこに、どの生物がいた」という情報はとても貴重です。水草の研究でも、高校の生物部の水草の記録など、いろいろな情報源を活用しました。自然科学の分野には、はやりのテーマみたいなものもありますが、博物館に蓄積された標本の価値はいつまでたっても失われません。自然の記録や標本、博物館のような施設を尊重することは、変動の時代を迎える今こそ本当に大切だと思います。

小出：その通りで、自然環境における気候変動の影響の観測には、過去のデータと現在のデータを照らし合わせる事が重要なのです。日本は幸運にも博物館などに自然史の情報がたくさん残っています。そのような先人が残してくれたものは大事にしたいですね。

Q：今後どのように研究を進めていきたいですか。

熊谷：ヨコエビの研究を始めたときは、すみかであるサンゴや海藻などをあまり気にしていませんでした。でも、今は状態のよい海藻やサンゴが繁茂しているのを見るときれいだと思います。特別な生物に注目するのではなく、こうした生物どうしの関わりを大事にして研究していきたいと思います。この生物どうしの関係をどんどん広げていくと、社会にもつながるものだと思います。

小出：新しく面白い視点を与えられる論文をもっと書きたいです。植物生態学分野における研究ももちろんですが、適応策の視点を広げて、社会に浸透させるような論文を出せたらと思っています。そのための活動ももっとしていきたいですね。

キム：環境の問題を幅広く捉え、生物の専門家の視点で成果を出していきたいです。たとえば、再生可能エネルギーは、環境問題に対しては大事な取り組みですが、ちゃんと計画しないと自然環境に悪い影響もあります。両立させていくやり方を議論していきたいです。

西廣：環境問題に興味を持っていた大学生のころから、環境の研究者が集まっている国立環境研究所は憧れのところでした。その気持ちはいまでも変わっておらず、研究所内外の研究者との連携を重視していきたいです。気候変動適応を進めると、地域社会が元気になるという仮説を検証するなど、生物学、さらには自然科学の枠を超えた研究を展開していきたいです。

海洋沿岸域の熱帯化

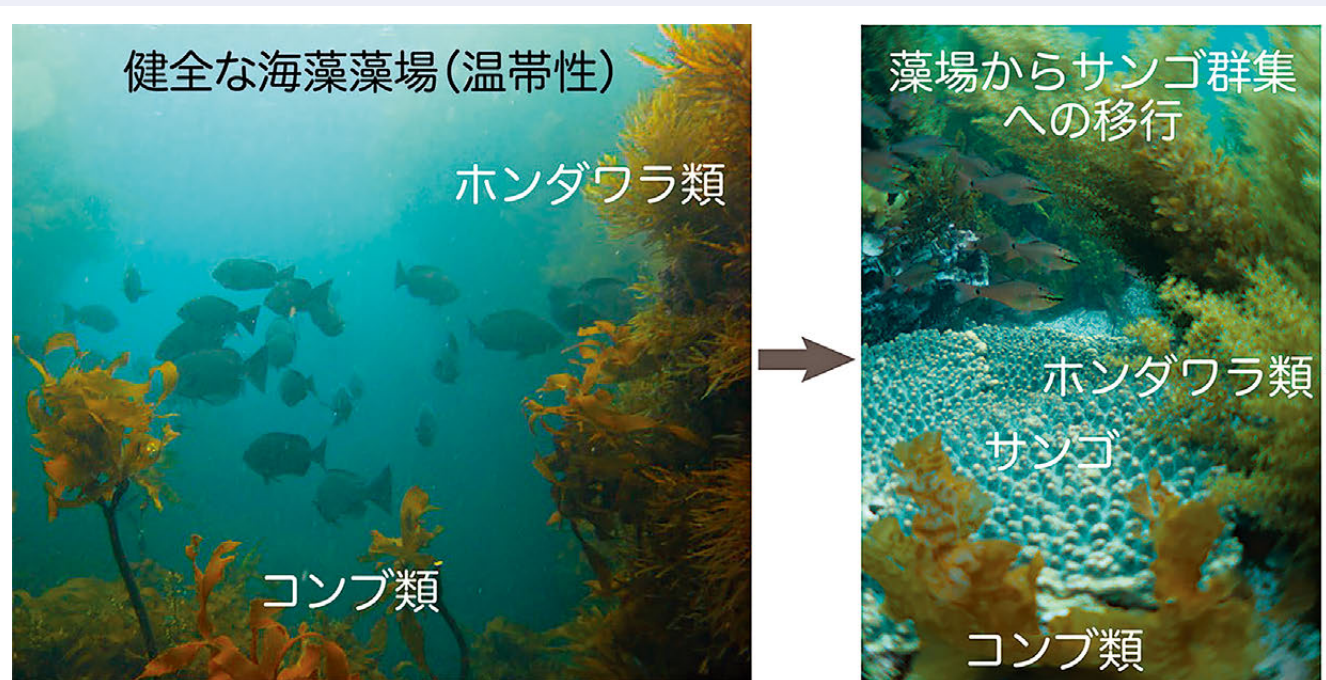
沿岸域の海中には森林に相当する生物群集として、大型の海藻が茂る海藻藻場^{もば}や、石灰質の骨格をもち地形を形成する造礁サンゴ群集が発達します。しかし、海藻藻場は世界各地の温帯で分布範囲が急速に縮小しており、代わりに造礁サンゴ群集が分布を拡大しつつあります。当研究所の熊谷、山野をはじめとする研究チームは、国内における藻場からサンゴ群集への置き換えの全体像を把握し、気候変動と海流輸送、魚類の食害による海藻の減退の影響を組み込んだ解析によって、海藻藻場からサンゴ群集への置き換えが進行するメカニズムを解明しました。

気候変動と海の生態系

温暖化に合わせて生物がすみ場所を自由に変更できるなら、その生物の分布は徐々に冷涼な地域に移行し、種は存続し続けるでしょう。しかし現在の気候の変化は速く、移動能力の高い種以外は、分布の移動が気候の変化に追いつけず、縮小する可能性があります。造礁サンゴや海藻は浅い海の生態系を構成する主要な生物群ですが、海水温の上昇によって分布が変化しつつあります。例えば、九州から関東にかけての温帯では分散能力の高いサンゴの分布が拡大する一方で、分散能力の低い海藻の分布は縮小する傾向にあります(図3)。このように海藻が優占していた温帯の海が、サンゴが多い熱帯の海へと変化する「海の熱帯化」は、近年では世界各地から報告されており、その実態とメカニズムの解明が求めら

れています。この現象には、海藻を食害する魚類の温帯への進出、それらの魚類やサンゴを熱帯・亜熱帯から温帯へと運ぶ海流が関係していると考えられてきました(図4)。しかし、これまでそれらの関係を総合的に解明した研究はありませんでした。

海水温の上昇に伴う海洋生物の分布の北上は、北側への分布拡大と、分布の南限における局所的な絶滅の結果とみなせます。分布北限の拡大は生物の分散能力と比例するため、海流輸送の影響が大きいと予想されます。一方、分布の南限での絶滅には、海流はあまり影響しないと予想できます。また、サンゴは海藻よりも浮遊期間が長いいため分布を広げる速度が速いこと、食害魚類は高い遊泳能力をもっているため、サンゴや海藻よりもさらに速いと考えられます。私たちは、これらの生物間の分布拡大速度の



■ 図3 温帯における本来の海藻藻場(温帯性のコンブ類とホンダワラ類が主体)から、海藻とサンゴが共存する群集を経て、熱帯化したサンゴ主体の群集へ至るまでの、各移行段階を示しています。海藻藻場が消失した後にサンゴ群集に移行するケースも多いです。

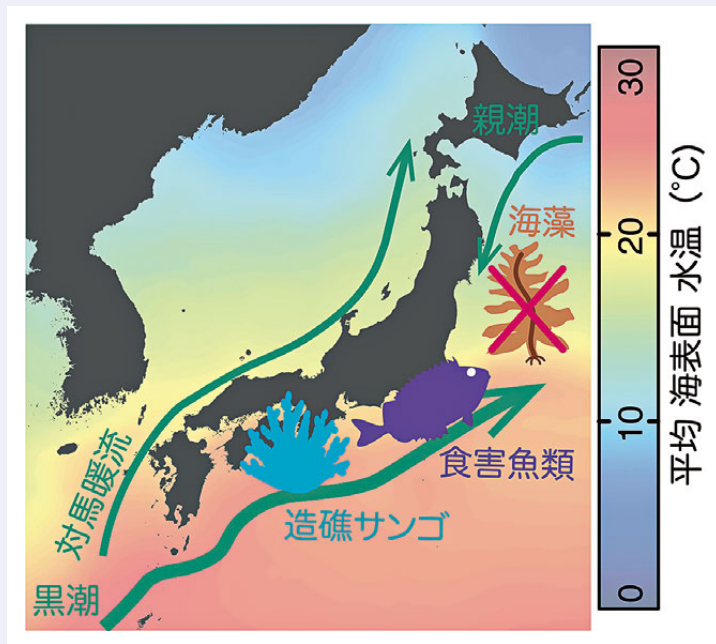
■ 図4 日本近海の海表面水温分布と主要な海流の流路。造礁サンゴや海藻を食害する魚類は、黒潮や対馬暖流といった暖流に乗って分布を拡大しやすいですが、海藻は海流に流される期間がごく短いためほとんど分布を広げられないと予想されます。

違いが、海藻藻場からサンゴ群集への置き換わりと関係があると考えました。

変化の特徴を知る

そこで、まず国内の主要な海藻とサンゴ、食害魚類の長期的な分布変化を、文献記録から整理しました。日本の温帯に出現する主要な海藻（コンブ類8種、ホンダワラ類22種）と造礁サンゴ（12種）、さらに海藻を食害する魚類（3種）を対象とし、439文献の記録を精査して、主に1950～2010年代の分布の変化を把握しました。

次に、その分布変化に海水温の変化や海流の流速分布、生物間の関係を組み込んだモデルを構築しました。そしてモデルを活用した結果、南日本の広域で進行している海藻藻場からサンゴ群集への置き換わりは、温暖化の影響に加えて、海流や食害のような外的要因が複合的に作用した結果であることが示されました。この結果は、海藻藻場やサンゴ群集を保全するには、海水温の上昇への対策だけでなく、海流や他の生物との間の種間関係も考慮する必要があることを示しています。



気候変動適応に向けて

一方、サンゴの分布拡大さえも気候変化の速さに追いつけず、実際に海藻藻場が消失したままサンゴが移住していない場所が生じることも予測されました。これらの将来起こりうる事態に対処する気候変動適応策の1つとして、魚類の量の管理が考えられます。魚類を対象にした管理は、保全のための捕獲も考えられますが、漁業として利用できればより強力です。

国内の温帯の多くの地域では海藻を食害する魚類は食用に利用されてきませんでした。積極的に漁獲し個体数を少なく抑えることができれば、海藻藻場の適応に大きく貢献できるでしょう。また、黒潮や対馬暖流に面した海域、離島、半島の先端付近では、海藻藻場からサンゴ群集への置き換わりが速く進行すると考えられるので、重点的な海藻の保全対策を講じることも効果的と考えられます。



海藻とサンゴが共存する生物群集

自然環境分野での気候変動適応の潮流

生物多様性の保全の重要性は 1990年頃議論され、絶滅危惧種の保全や外来生物の管理に関する理論や技術が発展してきました。21世紀に入ってから注目が高まった気候変動適応の課題では、生物保全に関するこれまでの研究を拡張し、実践的な研究が進められています。

世界では

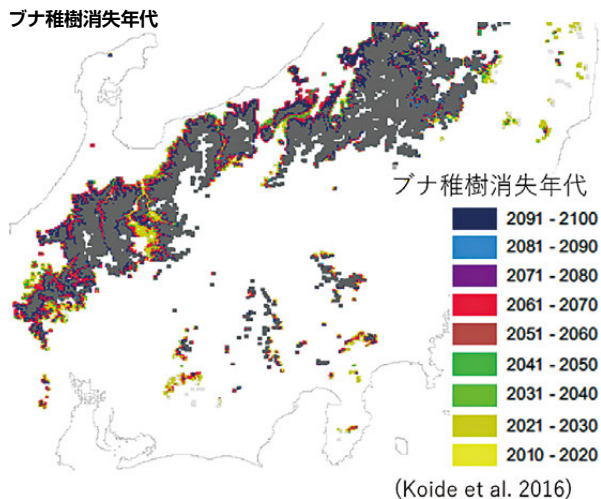
気候変動による生物への影響は、生息する環境や生物の持つ特徴によって実に多様です。例えば海洋では陸上と比べて、もともとの生息環境の温度の日周・季節変動が小さいことから、適応可能な温度範囲も小さいため、気候変動の影響を受けがちです。平均的に見ると、陸上では約60%の生物種が影響を受け、海洋ではより多くの90%弱が影響を受けています。また生物の移動能力や移手段によっても、気候変動に伴う分布の移動速度は大きく異なります。とくに魚類やサンゴ、動植物プランクトンのように、海の流れによって運ばれやすく移動能力の高い生物グループを中心として、目立った変化が現れています。

気候変動による影響については、数十年スケールの中長期的な影響だけでなく、1年から数年単位の極端な気象現象の影響も注目され始めています。近年、世界各地の沿岸域で海洋熱波と呼ばれる暖水塊が生じ、短期間で大きな生態系の被害を引き起こしました。例えば、2014~2016年の北米西岸全域、2016~

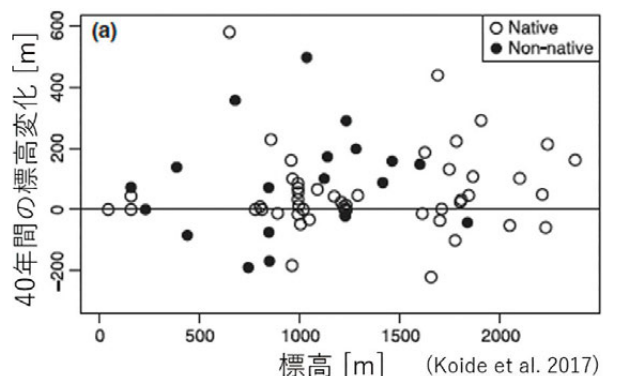
2017年のオーストラリア北東岸から琉球列島にかけて、熱波が数百から数千キロの広域で生じ、造礁サンゴ類の大規模な白化や、海中の林であるコンブ類の藻場の消失、生息する動物の大量死、熱帯性生物の大規模な分布拡大などがわずかな年単位のスケールで生じました。海洋熱波が発生する年の頻度は増加しており、このような繰り返される変化が積み重なって大規模な気候変動影響になると予想されます。

海洋熱波やサンゴの白化などの観察記録は、国際的・地域的なデータベースを通じて世界で共有され研究に活用されています。例えば、アメリカの海洋大気庁(NOAA)では、サンゴの白化の指標となる積算高水温の高解像度(5km)世界地図を毎日更新しながら公表していますし、白化の観察記録はReefBaseやGCRMNといった国際ネットワークによって収集・公表され、これらを用いて白化のメカニズムや発生予

■ 図5 気候変動に伴う植物の分布の変化 落葉広葉樹のブナにおいて、その更新を担う稚樹の分布ポテンシャルが将来の気候変動によって消失する年代は地域によって異なり、それに対応した保全策が必要と考えられる。熱帯島嶼であるハワイにおいても、在来種・外来種を問わず植物は分布する標高域を上昇させている。



ハワイ植物の移動



測をする研究論文が多数出版されています。

日本では

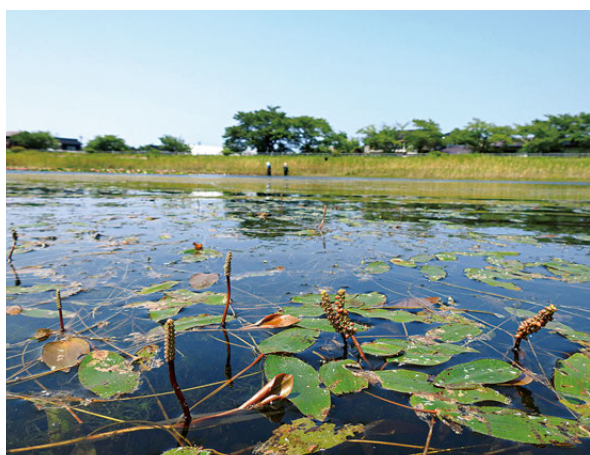
日本における自然生態系の気候変動に伴う変化は、様々な場所や種について報告されています。全体に分布や生育適域の温暖化に伴う寒冷地への移動に即した変化が多く、陸域では高山植生の衰退、森林植生移行帯における種の入替わり、ニホンジカの分布拡大、南方性チョウ類の分布拡大、ウメやサクラの開花の早期化、虫媒植物の結実率低下などが報告されています。海域においては、暖水性の種の増加やサンゴの白化、植食性魚類の北上とそれに伴う藻場の衰退などが報告されています。

生物はいずれもその種だけで生育しているわけではなく、捕食と被食の関係など互いに関連し合いながら生息しています。こうした異なる種の間での相互作用についても報告されるようになってきました。高山の花畑では、花粉を媒介して種子の形成と花畑の維持や更新に貢献する訪花昆虫の活動時期と、植物の開花時期のずれが、雪解けが早まるほど大きくなることが観測されています。また、森林樹木や沿岸生態系でも、温暖化に伴う暖地性の種の競争効果の強まりや、植食性動物の介入の効果が示されています。こうした生理的・生態的なメカニズムの理解は、気候変動への適応策を考える上で重要です。

さらに、これら自然生態系における変化にともない、関連する農林水産業や、観光業、防災機能などでも将来的な変化が予想され、最適な管理や生態系の利用面の考慮など、人間社会への影響も含めた適応策の検討が必要になっています。

国立環境研究所では

気候変動が生物・生態系に及ぼす影響を把握し、効果的な適応策を明らかにするためには、野生の生物の数や分布の変化、そして気温や水質などの環境の変化についての情報が不可欠です。また、それらのデータを活用し、将来を予測するための手法の開発も欠かせません。



国立環境研究所では、様々な環境問題に対応するため、生物・生態系、地球環境、水質などの地域の環境について、それぞれの専門家が対応しています。気候変動適応センターは国立環境研究所の中に新しく設立された組織ですが、研究所内の様々な領域の専門家と連携し、研究を進めています。

気候変動適応センターは、気候変動影響観測研究室、気候変動影響評価研究室、気候変動適応戦略研究室、気候変動適応推進室、アジア太平洋気候変動適応研究室で構成され、気候変動適応に必要な情報を国内外から収集して解析し、地域や国における適応策の策定を支援する役割を担っています。

気候変動適応センター 気候変動影響観測研究室では、新しい解析手法の開発に加え、基礎的な自然史情報の収集に特に力をいれています。過去の文献や標本から得られる「いつ、どのような環境に、どの生物が分布していたのか」といういわゆる自然史の情報は、生物の将来予測に不可欠です。例えば、去年は、日本の湖沼における過去130年間にわたる水草の分布情報を集約し、水草の分布変化に影響する要因を分析し、気候が少なからぬ影響を与えていることを明らかにしました。この研究では、学術雑誌に掲載された論文だけでなく、高校の生物部の調査結果など、多様な情報源が活用されています。自然史は、ともすれば古めかしい分野と思われがちですが、気候変動適応など最新の社会課題に対応するためにも、きわめて重要です。

国立環境研究所における 「気候変動に関する研究」のあゆみ

国立環境研究所では、気候変動の影響や適応策に関する研究を行っています。
これまでの研究のあゆみを紹介します。

年度	課題名
2011～2015	【所内重点プログラム】地球温暖化に関わる地球規模リスクに関する研究
2012～2016	【環境省推進費 S-10-1】地球規模の気候変動リスク管理戦略の総合解析に関する研究
2015～2019	【文部科学省 SI-CAT】気候変動の影響評価等技術の開発
2015～2019	【環境省推進費 S-14-5 (1)】応用一般均衡モデルを用いた気候変動緩和策・影響・適応策の経済評価
2016～2020	【所内重点プログラム】統合プログラム PJ2 地域の持続可能社会の統合的ロードマップ開発に関する研究
2018～	気候変動適応センター設立 気候変動適応研究プログラム開始
2020～2022	【環境省推進費 2-2001】気候変動に対応した持続的な流域生態系管理に関する研究
2020～2024	【環境省推進費 S-18】気候変動影響予測・適応評価の総合的研究

本号で紹介した研究は、以下のスタッフにより実施されました。

【研究担当者】

国立環境研究所：西廣淳、熊谷直喜、小出大、Kim JiYoon

● 過去の「環境儀」から ●

これまでの「環境儀」から、気候変動による影響予測や対策に関するものを紹介します。

No.74 「アジアの研究者とともに築く脱炭素社会 — 統合評価モデル AIM の開発を通じた国際協力」

気候変動によって引き起こされる洪水や干ばつなどの自然災害は、世界の社会や経済に大きな影響を与えると予測されています。国立環境研究所ではすでに 1990 年から温室効果ガス排出量の予測、対策や影響を評価するための統合評価モデル「アジア太平洋統合評価モデル (AIM : Asia-Pacific Integrated Model)」の開発に取り組み、アジアの国々とともに発展させてきました。本号では、アジアの持続可能な発展に貢献してきた研究や AIM を通じた人材育成などについて紹介しています。

No.61 「「適応」で拓く新時代！ ～気候変動による影響に備える～」

気候変動による影響の進行を食い止めるためには、温室効果ガスを削減する「緩和」とともに、気候変動による影響に対処する「適応」が重要なことが認識されるようになってきました。本号では、世界や日本を対象に、将来、気候変動がどの分野にどのような影響を及ぼすかをモデルによって評価する研究（気候変動影響評価研究）を進めてきたこれまでの影響評価に加え、近年注目され始めた「適応」に関する最新の研究成果を紹介します。

No.36 「日本低炭素社会シナリオ研究 — 2050 年温室効果ガス 70%削減への道」

地球温暖化による深刻な影響を止めるために、将来気温の上昇を産業革命以前に比べて 2° C までに抑えるためには、2050 年までに世界の温室効果ガスの排出量を少なくとも半減させる必要性が高い——これは世界共通の目標となりつつあります。しかし、これまで日本には、二酸化炭素排出量を大幅に削減することを目指した長期的な計画は存在しませんでした。そこで、国立環境研究所が中心となり、2004 年から、「脱温暖化 2050 プロジェクト」を立ち上げ、日本の中長期脱温暖化対策シナリオの構築に向けた研究に取り組んでいます。本号では、この研究プロジェクトの研究成果を紹介しています。

No.20 「地球環境保全に向けた国際合意をめざして — 温暖化対策における社会科学のアプローチ」

国際政治学や国際法学に基づく環境政策研究は、現実の国際社会における合意形成ときわめて密接な関係を持っています。国立環境研究所では、地球温暖化の影響評価と対策効果に関する研究プロジェクトにおいて、社会科学系の研究を重要なテーマとして位置づけてきました。本号では、気候変動枠組条約における国際制度の構築をめぐる研究について紹介しています。

環境儀 No.81

— 国立環境研究所の研究情報誌 —

2021 年 6 月 29 日発行

編集 国立環境研究所編集分科会

(担当 WG: 小熊宏之、西廣 淳、石垣 智基、山岸 隆博、岩崎一弘、滝村朗)

発行 国立研究開発法人 国立環境研究所

〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2

問合せ先 国立環境研究所情報企画室 pub@nies.go.jp

編集協力 有限会社サイテック・コミュニケーションズ

印刷製本 株式会社イセブ

無断転載を禁じます

「環境儀」既刊の紹介

No.35 2010年 1月	環境負荷を低減する産業・生活排水の処理システム～低濃度有機性排水処理の「省」「創」エネ化～	No.58 2015年 9月	被災地の環境再生をめざして放射線物質による環境汚染からの回復研究
No.36 2010年 4月	日本低炭素社会シナリオ研究—2050年温室効果ガス70%削減への道筋	No.59 2015年 12月	未来に続く健康を守るために—環境化学物質の継世代影響とエピジェネティクス
No.37 2010年 7月	科学の目で見える生物多様性—空の目とミクロの目	No.60 2016年 3月	災害からの復興が未来の環境創造につながるまちづくりを目指して—福島発の社会システムイノベーション
No.38 2010年 10月	バイオアッセイによって環境をはかる—持続可能な生態系を目指して	No.61 2016年 6月	「適応」で拓く新時代!—気候変動による影響に備える
No.39 2011年 1月	「シリカ欠損仮説」と海域生態系の変質—フェリーを利用してそれらの因果関係を探る	No.62 2016年 9月	地球環境100年モニタリング—波照間と落石岬での大気質監視
No.40 2011年 3月	VOCと地球環境—大気中揮発性有機化合物の実態解明を目指して	No.63 2016年 12月	「世界の屋根」から地球温暖化を探る—青海・チベット草原の炭素収支
No.41 2011年 7月	宇宙から地球の息吹を探る—炭素循環の解明を目指して	No.64 2017年 3月	PM _{2.5} の観測とシミュレーション—天気予報のように信頼できる予測を目指して
No.42 2011年 10月	環境研究 for Asia/in Asia/with Asia—持続可能なアジアに向けて	No.65 2017年 6月	化学物質の正確なヒト健康への影響評価を目指して—新しい発達神経毒性試験法の開発
No.43 2012年 1月	藻類の系統保存—微細藻類と絶滅が危惧される藻類	No.66 2017年 9月	土壌は温暖化を加速するのか?—アジアの森林土壌が握る膨大な炭素の将来
No.44 2012年 4月	試験管内生命で環境汚染を視る—環境毒性の <i>in vitro</i> バイオアッセイ	No.67 2017年 12月	遺伝子から植物のストレスにせまる—オゾンに対する植物の応答機構の解明
No.45 2012年 7月	干潟の生き物のはたらきを探る—浅海域の環境変動が生物に及ぼす影響	No.68 2018年 3月	スモッグの正体を追いかける—VOCからエアロゾルまで
No.46 2012年 10月	ナノ粒子・ナノマテリアルの生体への影響—分子サイズにまで小さくなった超微小粒子と生体との反応	No.69 2018年 6月	宇宙と地上から温室効果ガスを捉える—太陽光による高精度観測への挑戦
No.47 2013年 1月	化学物質の形から毒性を予測する—計算化学によるアプローチ	No.70 2018年 9月	和風スマートシティづくりを目指して
No.48 2013年 4月	環境スペシメンバンキング—環境の今を封じ込め未来に伝えるパトナリレー	No.71 2018年 12月	人口分布と環境—コンパクトなまちづくり
No.49 2013年 7月	東日本大震災—環境研究者はいかに取り組むか	No.72 2019年 4月	うみの見張り番—植物プランクトンを使った海洋開発現場の水質監視
No.50 2013年 10月	環境多媒体モデル—大気・水・土壌をめぐる有害化学物質の可視化	No.73 2019年 6月	アオコの実像—シアノバクテリアの遺伝子解析からわかること
No.51 2014年 1月	旅客機を使って大気を測る—国際線で世界をカバー	No.74 2019年 9月	アジアの研究者とともに築く脱炭素社会—統合評価モデル AIM の開発を通じた国際協力
No.52 2014年 4月	アオコの有毒物質を探る—構造解析と分析法の開発	No.75 2019年 12月	GMO アンダーザブリッジ—除草剤耐性ナタネの生物多様性影響調査
No.53 2014年 6月	サンゴ礁の過去・現在・未来—環境変化との関わりから保全へ	No.76 2020年 3月	社会対話「環境カフェ」—科学者と市民の相互理解と共感を目指す新たな手法
No.54 2014年 9月	環境と人々の健康との関わりを探る—環境疫学	No.77 2020年 6月	エアロゾルのエイジングを研究する—大気中のエアロゾル粒子はどのように変質していくのか?
No.55 2014年 12月	未来につながる都市であるために—資源とエネルギーを有効利用するしくみ	No.78 2020年 9月	正しいごみ管理で都市を水害から守る—熱帯アジアの都市型水害の原因と解決策
No.56 2015年 3月	大気環境中の化学物質の健康リスク評価—実験研究を環境行政につなげる	No.79 2020年 12月	健康のための紫外線日光浴のすゝめ—最適な日光浴時間大公開!
No.57 2015年 6月	使用済み電気製品の国際資源循環—日本とアジアで目指す E-waste の適正管理	No.80 2021年 3月	災害環境研究のこれまでとこれから—ふくしまで進める地域協働の新展開

●環境儀のバックナンバーは、国立環境研究所のホームページでご覧になれます。
<https://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/index.html>

「環境儀」



地球儀が地球上の自分の位置を知るための道具であるように、「環境儀」という命名には、われわれを取り巻く多様な環境問題の中で、われわれは今どこに位置するのか、どこに向かおうとしているのか、それを明確に指し示すべしという意図が込められています。「環境儀」に正確な地図・行路を書き込んでいくことが、環境研究に携わる者の任務であると考えています。

2001年7月 合志 陽一
 (環境儀第1号「発刊に当たって」より抜粋)



このロゴマークは国立環境研究所の英語文字 N.I.E.S で構成されています。N=波(大気と水)、I=木(生命)、E=Sで構成される○で地球(世界)を表現しています。ロゴマーク全体が風を切つて左側に進むようにする動きは、研究所の運動性・進歩・向上・発展を表現しています。

リサイクル適性 (A)

この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。