

静岡大学  
公開講座  
ブックレット 15



# 変わりゆく自然と私たち

カサレト ベアトリス+川原博満+伊藤 舜  
静岡大学地域創造教育センター（編）

静岡大学地域創造教育センター

# 変わりゆく自然と私たち

静岡大学地域創造教育センター（編）

## 講座1 駿河湾の自然と生態系とサクラエビーその特性

カサレトベアトリス

3

はじめに／駿河湾の自然と生態系／駿河湾の構造／駿河湾産サクラエビの水揚げ量の推移／サクラエビ産卵域（富士川・蒲原）の調査結果／サクラエビの生活史と産卵行動／サクラエビの陸上飼育の可能性／関連委員会／今後の取り組み／質疑応答

## 講座2 気候変動への対応と私たちのくらし

緩和策と適応策

川原博満

23

はじめに／気候変動の現状と将来／気候変動に対する世界の動き／気候変動や影響に対する日本の対応／質疑応答

## 講座3 野生生物から見た気候変動

伊藤舜

53

はじめに／進化生態学とは／気候変動が生物に与える影響／静岡県内で見られる生物への影響／過去の気候変動による生物進化への影響／現在進行中の地球温暖化による生物進化への影響／気候変動による外温性動物の捕食・被食関係への影響／質疑応答

本書は、静岡大学地域創造教育センター（地域人材育成・プロジェクト部門）の主催した東部市民講座「静岡の自然と社会」及び静岡大学・読売新聞連続市民講座「「気候」を捉えなおす」の講演録である。

- ・（講座1）2024年6月22日（土）、プラサヴェルデ
- ・（講座2）2024年8月3日（土）、静岡県男女共同参画センター「あざれあ」
- ・（講座3）2024年8月24日（土）、静岡県男女共同参画センター「あざれあ」



## 駿河湾の自然と生態系とサクラエビ — その特性

カサレト ベアトリス

はじめに

今日は、主に三つのポイントに絞ってお話します。これまでの駿河湾の研究、サクラエビの産卵域の調査と結果、もう一つは地域住民との協働です。そして、これからの課題についてもお話したいと思います。

私は駿河湾の研究に長い間、関わってきました。学生の頃は何回も駿河湾に来て、船でいろいろな研究をしました。その後、深層水のプロジェクトに始まった頃から関わり、まだ今の深層水の施設がない頃から、いろいろな調査をしました。その後も学生たちと一緒に駿河湾に来て、いろいろな研究をしました。その結果としてたくさんの論文を出版しました。

駿河湾の自然と生態系

†駿河湾のサクラエビの漁獲量や不漁・再生に関する先駆的な研究  
まず、私の上の世代の二人の先生の話をしたと思います。一人目は中村保昭先生です。中村先生は1969年から駿河湾の研究をされています。静岡県の水産試験所（現水産・海洋技術研究所）の所長を長い間、務められました。中村先生の研究は主に海洋物理です。駿河湾の流れやサクラエビ、その他の魚の不漁問題などにも長い間、関わっています。今でも様々な委員会のメンバーになっていて、精神的に取り組まれている先生です。

中村先生がよくおっしゃっている言葉は「自然から謙虚に学び、事実に忠実たれ」です。研究者とは、正しいデータを取り、その正しいデータを基に議論し、仮説を立てるものだという事です。

もう一人は大森信先生です。大森先生は1971年から

駿河湾の研究を行いました。東京海洋大学の教授（後に名誉教授）を務められていました。

大森先生の研究は、主にサクラエビと駿河湾のダイナミクスです。もちろん他の研究、例えば南極のオキアミ（ナシヨクオキアミ）や、大学退職後はサンゴ礁とサンゴの研究などもされてきました。

大森先生が2022年に発表された最後の論文「サクラエビ不漁の原因の仮説」には、彼の研究のすべて、サクラエビの不漁問題についての考えがまとめられています。残念ながら、論文発表の2、3ヶ月後に亡くなりました。研究に対してとても活動的な先生でした。今日の私の話には、中村先生と大森先生のデータが何回も出てくるので、いろいろ分かります。

#### 陸域生態系における物質循環モデル

生態系の概念ですが、駿河湾についてよく理解するために、基本的なことからお話しします。

図1は森の生態系の模式図です。皆さんもご存じだと思いますが、この生態系というのは「循環」しています。生産と消費、分解があり、これらはぐるぐる回っています。

それだけではなく外、大気から有機物を生産（光合成）するために二酸化炭素を取り込み、必要な水や栄養塩（窒

素やリンなど）は土から吸収しま

す。木には根っこがあるのでそこから取って、葉っぱのところからトランスポート（輸送）できます。

こうして生態系の循環のシステムが動きます。

#### 陸上生態系と水圏生態系の対照的な物質循環

一方、アクアティックシステム（水圏生態系）では、海でも湖でも考えは同じですが、生産するのは植物プランクトンです。植物プランクトンは浅いところ、光が届くところにしかいられません。光の届かない深い、暗いところには住みません。

ただ、栄養塩は深いところに溜まっています。例えば硝酸、リン酸、ケイ素などは全部、深いところに溜まってい

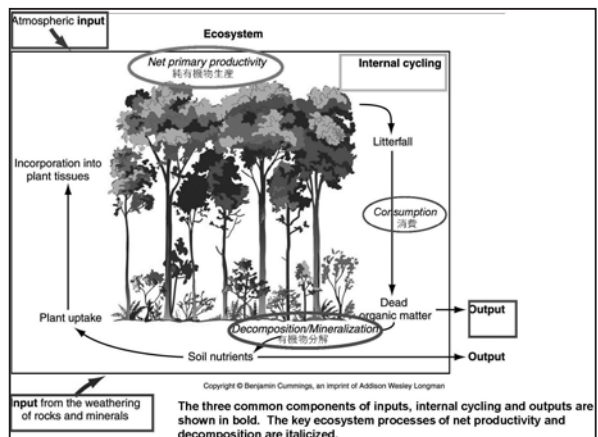


図1 陸域生態系における物質循環モデル (Tennakoonら (2021) を元に作成)

ます。それらをどうやって植物プランクトンが取り込んで  
いるのか、ということを見ていきます。

↑ 温帯域の外洋性生態系の垂直構造の季節的变化

夏、水深の浅い、上層の水は暖かいです。暖かい海水は  
軽く、下の方の深いところの海水は冷たく、重くなります。  
密度がまったく違うので、混ざることはいりません。

図2は深度と海水温の変化を表しています。横軸の目盛  
りは水温です。グラフa（左側）は夏で、「躍層」という  
温度が大きく変わる場所があります。この躍層はすごく狭  
い空間ですが、バリアのように作用するので、下の水が上  
に上がりません。

生物も体が影響  
を受けるため、  
躍層を越えるの  
はとても大変で  
す。ほとんどの  
プランクトンは  
これを越えるこ  
とができないの  
で、このプラン  
クトンを餌にし

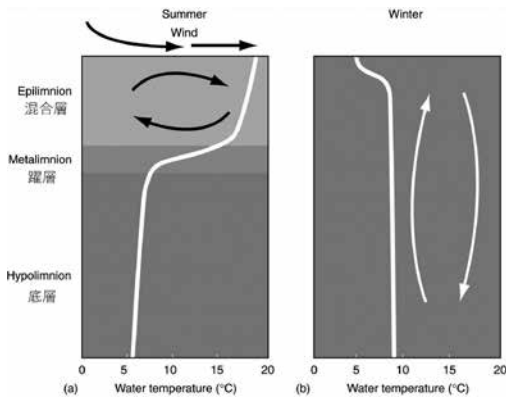


図2 温帯域の概要性生態系の垂直構造の季節的变化 (2006 Persons Education Inc.)

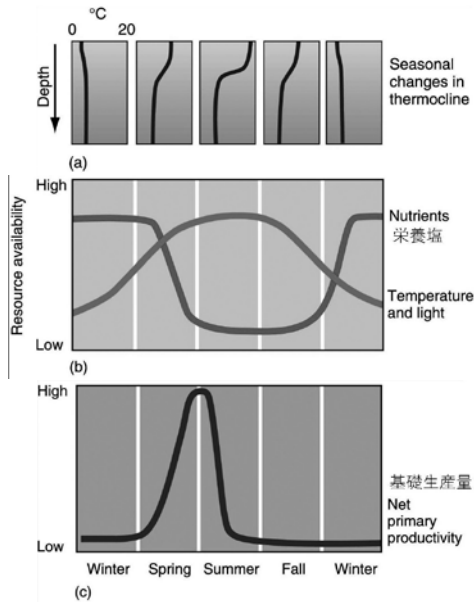


図3 季節変化 (a)水温躍層の変化、(b)光量と  
栄養塩濃度の植物プランクトンの利用の季節  
変化、(c)表層の植物プランクトンによる有機  
物生産の季節変化 (2006 Persons Education  
Inc.)

ているサクラエビにも影響します。

一方、冬(右側、グラフb)は海面付近でも水は冷たく、  
密度も大体同じなので鉛直混合できるため、下に溜まって  
いた栄養塩が上に上がります。それにより、浅いところで  
も栄養が豊かになります。

一年間の季節変化を見ると、海面付近の水温が低いため、  
冬や春はまだ躍層ができていません(図3)。夏になると  
躍層ができ、その後少しずつ無くなっていきます。

栄養塩の濃度は冬は高く、春から秋にかけては植物プラ  
ンクトンを生産するので濃度が下がっていき、冬にはまた  
上がっていきます。

また、基礎生産量は春がピークになりますが、駿河湾で

は秋から冬にかけて、もう一つピークがあります。秋に躍層がゆるやかにになると栄養塩が下から上がって来ますし、さらに川からも栄養塩が来るので、ピークはそれほど高くないですが、2回目の生産量のピークがあります。このように、ピークが2回あるのが駿河湾です。

↑海洋の生物量(植物プランクトンと動物プランクトン)の季節変化  
 プランクトンのバイオマス(生物資源量)から見ると、北太平洋—温帯域のモデルが駿河湾と一致します(図4)。プランクトンのピークが春と秋にあるパターンです。

動物プランクトンは、植物プランクトンを食べることでピークが出るので、動物プランクトンのピークは、植物プランクトンから少し遅れて出てきます。

また、動物プランクトンと植物プランクトンのピークの高さが違うのは、全部を消費できないからです。植物プランク

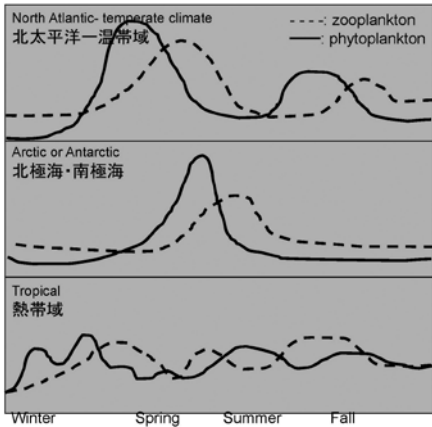


図4 海洋の生物量(植物と動物プランクトン)の季節変化

(Lalli and Parsons 1997 Biological Oceanography an Introduction 2nd Edition, Elsevier)

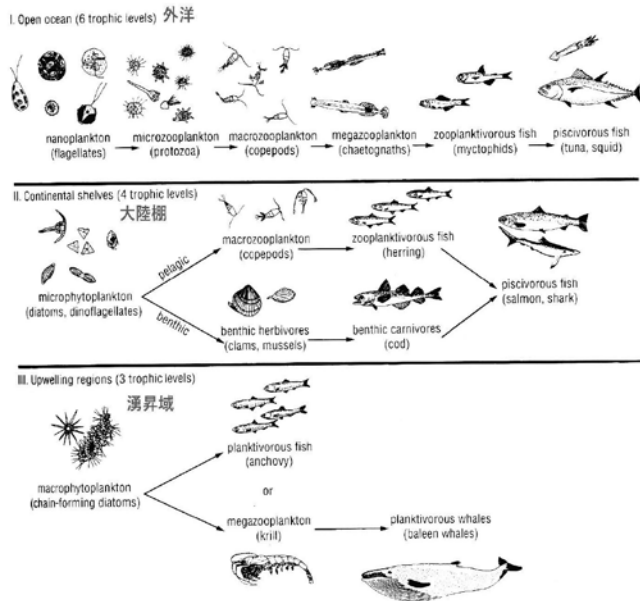


図5 異なる海洋環境における食物連鎖 (Lalli and Parsons 1997 Biological Oceanography an Introduction 2nd Edition, Elsevier)

↑異なる海洋環境における食物連鎖  
 それでは駿河湾ではどんな食物連鎖が見られるのかという、外洋のモデルが一番合っています(図5)。長い食物連鎖です。食物連鎖の概念では、小さな生物は大きな生物を食べる消費するのは、10〜20%程度です。北極海・南極海ではピークは夏の1回だけで、熱帯域の海ではあまり目立つピークがありません。

物を食べることはできないので、小さなものから順に大きなものに連鎖していく構造になっています。

植物プランクトンは本当に小さい、20マイクロメートルほどの大きさです。それを小さな動物プランクトン、例えばアメーバタイプとかゾウリムシタイプの動物プランクトンが食べます。そして、エビやカイアシ類が小さな動物プランクトンを食べ、小さな魚と大きな魚がエビやカイアシ類を食べます。そんなイメージをしてください。

### 駿河湾の構造

#### 十五層構造

次に駿河湾の構造を見ていきます。

図6のグラフは中村先生が作ったものです。1970年頃に論文が出ましたので、その時からみんな使わせてもらっていますし、これはとても正しいモデルです。

駿河湾はすごく深い海です。図6ではこの駿河湾の水を区別していて、その水は上から下まで同じ水ではなく、いろいろな特性を持っています。それぞれがどこから来るのかも違いますが、図のAとB、沿岸水と外洋水がどこで区別されるのかというと、水温と塩分を見れば分かります。

右図は、普通は海洋物理の研究者が作るグラフで、TS

ダイアグラムといえます。AとBの水温はだいたい同じですが、違うのは塩分です。高い塩分は外洋水、低い塩分は沿岸水を表しています。川の影響を受けるために濃度が違うのです。

表層水（A・B）の下は黒潮系の海洋深層水です。これはもつと冷たく、塩分は高いです。

最大塩分といえます。さらにその下の亜寒帯系海洋深層水は、もつと冷たいです。塩分は低く、最小塩分といえます。一番下は太平洋海洋深層水です。

また、それぞれのウォーターマス（水塊）の中に入っている生物はみんな違い、どこから来たのかも違います。それが駿河湾の多様性が高いことの理由です。

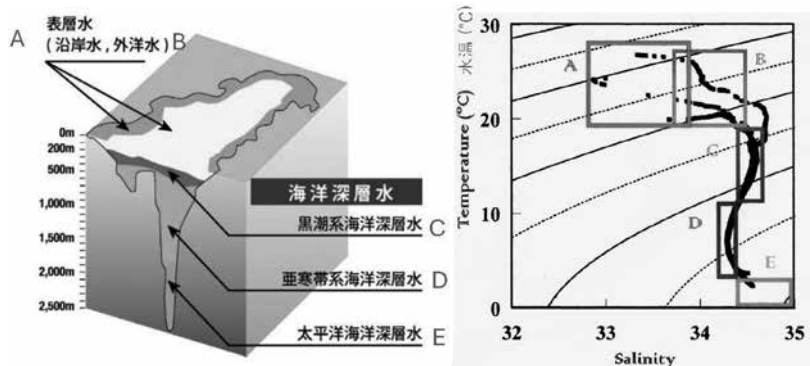


図6 駿河湾の構造（左）と水温と塩分の関係（右）(Nakamura, 1971)

十河川の影響

駿河湾には大きな川が流れ込んでいるので、大井川、安倍川、富士川、狩野川について、季節ごとに比較してみます。流量については、一日に入ってくる水の量が一番多いのは富士川で、季節では秋が一番多くなっています。梅雨があり、その後の夏の間は雪が溶けるため、駿河湾に入る水は増えます。

全窒素 (total Nitrogen) の流入量もやはり富士川が一番で、秋が一番多いのが特徴です。これはとても大事で、窒素が秋にたくさん流入していることが、先ほどお話しした生産性のピークが2回あることの理由です。

駿河湾産サクラエビの水揚げ量の推移

ここからはサクラエビの問題に移ります。

図7のグラフは、1923年から今までの水揚げ量のデータです。濃い色の棒グラフは春漁、薄い色は秋漁です。1943年頃のデータがないのは、戦争中だからです。漁をしていたかわかりませんが、いずれに

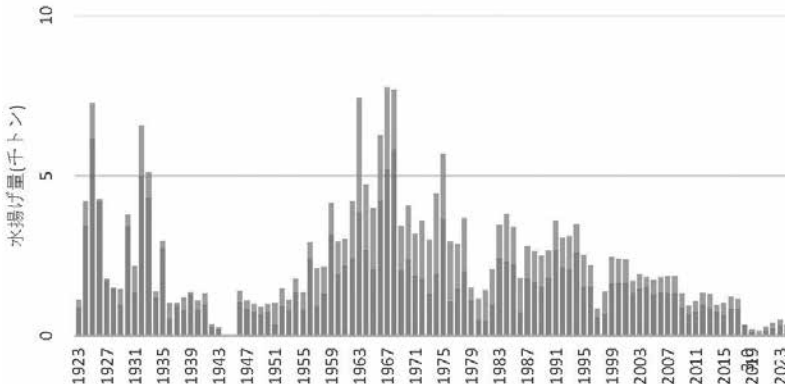


図7 駿河湾産サクラエビの水揚げ量推移 (1923年~2023年)

出典：鈴木利幸 (カサレト研究室、2024)

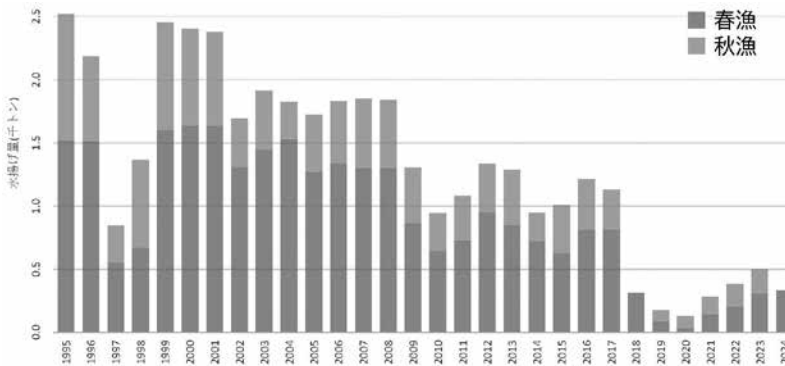


図8 過去30年間の駿河湾産サクラエビの水揚げ量推移

出典：鈴木利幸 (カサレト研究室、2024)

せよデータとしても残っていません。しばらくは水揚げがなかったため、漁再開後の水揚げ量は5000トン近くあり、ピークを迎えています。そして、そこからだんだん減ってきました。

最近の30年間を拡大したのが図8です。ここで見てほしいのは2018年です。水揚げ量が急激に減りました。

2010年も減っていますが、ここまで減ったのは初めてで、2018年は秋漁を中止しました。その後も少し減りましたが、ここ最近では、少しずつですが回復の兆しが見えています。

なぜこのようなことが起こるのか、それにはいくつかの理由が考えられます。一つ目は、春の時期の水が、まだすごく冷たいことです。冷たいから産卵ができません。二つ目は、夏の間の躍層の深さが影響している、ということが考えられます。三つ目に、黒潮の大蛇行によって稚エビが湾外へ流出している、という問題もあります。それらが複雑に重なり合っていますし、これ以外にも獲り過ぎもあるかもしれません。

理由はいろいろ考えられますが、「本当の原因は何なのか?」、「もっと研究しなければいけない」ということで、静岡大学の私のチームと由比漁業組合と一緒に共同で研究を始めることにしました。

### サクラエビ産卵域（富士川・蒲原）の調査結果

#### † プランクトンと海水試料の採取

私たちは、サクラエビの産卵場所である駿河湾の奥の方、富士川の近くと蒲原の近くの2つのポイントについて研究

しており、そこでいろいろなサンプリングをしています。サンプリングには、プランクトンネットやニスキン採水器という道具を使います。ニスキン採水器はいろいろな深さで水が採れるので、様々な分析ができます。水を採ればプランクトンも分析できるし、栄養塩や有機物、クロロフィリンなど何でもデータが取れます。

水中センサーは10センチメートルぐらいの大きさですが、水温や塩分、光のデータを連続で取ることができます。ニスキン採水器を下ろすときは、センサーと一緒につけてデータをとっています。

#### † 富士川沖・蒲原沖のプランクトン出現量

2021年に、富士川沖と蒲原沖で種類別のプランクトン量を調査しましたが、結果をみると、どちらの地点も大きな差はありませんでした。

種類別では、駿河湾は珪藻が多く優勢なので、植物プランクトンのほとんどは珪藻です。これも調査地点による違いはほとんどありません。

また、渦鞭毛藻というプランクトンも調べました。珪藻と比べると量は少ないですが、この生物の存在もとても大事です。

動物プランクトンと植物プランクトンの量を比較してみ

ると、本来であれば、春に植物プランクトンの量がピークになりますが、この調査ではそれが見られません。理由は、同時期に動物プランクトンのピークがあるからです。動物プランクトンが植物プランクトンを食べているので、植物プランクトンのピークが抑えられています。動物プランクトンに消費されているから低いのです。夏は生産性が低く、その後、秋にまた2回目のピークが来ます。これがまさに駿河湾のダイナミクスです。

ここで、渦鞭毛藻についても少し説明します。渦鞭毛藻には二つの種類があり、一つはヤコウチュウ(夜光虫)です。皆さんはヤコウチュウを知っていますか？ヤコウチュウは発光する性質を持っていて、春に発生すると、海は少し白っぽく見え、夜になるとキラキラ光ります。ヤコウチュウは光合成ができますが、同時に小さなプランクトンを大量に食べます。短期間にほとんどの小さなプランクトンを捕食するので、特に春、ヤコウチュウがサクラエビと競争していることがわかっています。

同じ仲間のプロトペリディニウムも、植物プランクトンや小さな動物プランクトンを食べます。こちらは明らかにサクラエビの幼生と競争していますし、もしかしたら、サクラエビの小さな幼生を食べているかもしれません。

サクラエビは海中を上昇して産卵しますが、孵化が遅く

なると、このグループがいるので競争が激しくなります。もしかしたら、食べ物がなくなるので成長できないかもしれません。ですからタイミングはすごく大事です。

#### ↑水温・栄養塩等の鉛直分布

2000年9月から2001年10月にかけての焼津沖の水温を見ると、ここでも7月に躍層ができています。水温が大事なのは、躍層の問題があるからです。躍層の下辺りにいるサクラエビは、上へ上がれない可能性が考えられます。

次に、2021年の富士川沖のデータを見てみます。まずは水温です。4月はまだ寒いので、水温は深さに関係なく同じなので躍層はありませんが、7月には躍層ができています。15〜20メートルの間にはつきりできています。

また、栄養塩(ケイ酸塩と硝酸塩)は、どちらも秋(9月)に多く存在しています。浅いところに硝酸塩やケイ酸塩がたくさんあるのは、先ほど川の流量を見ましたが、やはり川の影響だと思えます。でも、20〜30メートルにはあまりありません。川から来た水は、上層(浅いところ)を流れているからです。川から来た水と海水は密度が違うのであまり混ざらず、上層だけに残っているのです。

最後にクロロフィルです。9月と10月の浅いところには

クロロフィルが多く、基礎生産量は大きいです。さらに、春の20メートル辺りの深いところも基礎生産量が大きくなっている、2マイクログラム/リットル以上あります。これはとても多いです。この辺りでは、川から来る栄養塩ではなく、鉛直混合の後、下から栄養塩がたくさん上がって来るために、生産量が大きくなるのです。

この20メートルという深さは、サクラエビにとって大事な深さです。そのくらいの深さで産卵しますので、この辺りに餌がたくさんあるということは大事なのです。蒲原沖でも富士川沖とほぼ同じパターンを示します。

また、私たちは、海水5万リットル中のリンやケイ素などの濃度も調べています。1平方メートルあたりの海面から50メートルの深さまでを円柱状に取り出したとして、ここにとのくらいの窒素とリンがあるかを調べるのです。クロロフィルも調べました。

富士川沖の4月を見ると、硝酸はすごく減っていますが、同時期にクロロフィルは増えています。それは、植物プランクトンが硝酸を取り込んで光合成を行うためで、その結果、クロロフィルの基礎生産量が上がります。10月にも同じパターンが見られます。ケイ酸も窒素と同じように減っています。蒲原沖でも同じ状況です。

これは、駿河湾に2回の生産量のピークが現れているこ

とを裏付けている、もう一つの証拠です。

#### †富士川沖・蒲原沖のプランクトン出現種数

ここからは、プランクトンの多様性について見ていきます。2021年の4月から10月に、富士川沖と蒲原沖で出現した植物プランクトンの種類を、珪藻、渦鞭毛藻、その他に分けて調べました。

季節が進み秋になると、植物プランクトンの種類がすぐ増えます。動物プランクトンも同じです。これはとても面白い結果で、秋になると、サクラエビにとっての餌はたくさんあり、量だけではなく、大きさや種類がいろいろ選べる状態です。違う種類の食べ物があつて選べるのが、サクラエビにとって、とても良い条件です。

季節ごとに出現する珪藻の種類は、春は主にキートケロス属の珪藻です。鎖を作り、さらにヒゲを持っています。ヒゲは浮かぶために使います。一つの細胞が5〜10マイクロメートルと、とても小さい細胞です。バクテリアストラム属の珪藻も見られます。

夏は大きな珪藻（コスキノディクス属）も出てきますが、大きすぎてサクラエビの幼生は食べにくいと思います。ヒゲがない珪藻なので、幼生には捕まえにくいのです。

9月と10月には、またヒゲを持つ珪藻が出てきま

す。それに加えて、もっと小さく細い珪藻（タラシオネマ属、タラシオスリスク属）が出てきます。1個ずつの細胞がとても小さく細い珪藻なので、バイオマスは少ないけれど、この季節にたくさん出てきます。

もう一つの面白いことは、秋には黒潮系のプランクトンが出てくるということです。キートケロス・コアクタータスという種類の珪藻は、インドネシアから来ています。黒潮に乗って来て、駿河湾に入ります。先ほどお見せした中村先生の作成した図にも黒潮の水が入っていました。この珪藻は秋に湾の奥の方まで入り込みます。

また、アメーバのグループも出てきます。これも南方熱帯系の種類で、他にも黒潮系のカイアシ類などがいます。このように、秋にはいろいろ新しい種類が入ってきて、餌が溢れます。これはサクラエビにとって大事なことです。

#### サクラエビの産卵と水温観測

ここまでサクラエビの餌について見てきましたが、ここからは水温の問題を見ていきます。

サクラエビの産卵に必要な条件は、4月から6月の、水深20メートル〜30メートルの水温が18℃以上あることです。水温が低いと、たとえ産卵できたとしても、幼生はすぐに死んでしまいます。

そこで過去のデータを見てみると、2014年、2015年、2017年は18℃ありませんでした。その後、水温は上昇しますが、時期が遅れていました。この年は海水温が冷たい年だったので。そうなると、その後のいろいろなことに影響が出てきます。産卵が遅れると、先ほどお話ししたように、躍層があるため幼生が上に上がるのは難しくなりますし、他にも動物プランクトンや植物プランクトンがいるので、競争がもっと激しくなります。だからこれは先頭にいけないのです。先ほどの水揚げの結果は、このような影響があったのかもしれない。

#### 駿河湾の水温分布

水温に関して、もう一つ別の問題があります。富士川沖と蒲原沖の2021年の水温を見ると、26℃の躍層が水深30メートルのところまでできています。これは温暖化の影響です。10年〜20年前には、水温26℃は水深10メートルまで届いていませんでした。それが近年では、温かい水はもっと深いところまで行っているし、躍層ももっと深いところまで届いています。そのため、植物プランクトンのいる浅い場所までサクラエビが上がるのは、ますます難しくなっているのです。

## サクラエビの生活史と産卵行動

### サクラエビの生活史

図9はサクラエビの生活史です。皆さんご存じだと思いますが、サクラエビは深いところ（水深200～300メートル）にすんでいて、春になると上（20～30メートル）に上がります。サクラエビは、体長が35ミリメートルぐらいの大きさになると産卵できるようになります。もつと小さいものは卵を持っていないので、産卵できません。

20～30メートルの深さで産卵し、いろいろな幼生を経て、1ヶ月から1ヶ月半かけて0歳のエビになります。このエビは稚エビで、また深いと

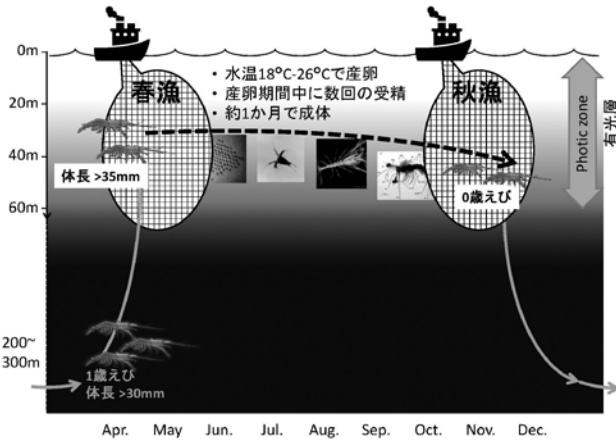


図9 サクラエビの生活史

出典：鈴木利幸（カサレト研究室、2021）

ところに潜って次の年のエビになります。

そこに春と秋の漁を重ねてみます。漁で獲り過ぎるということは、春は卵を持っているアタマグロ（頭黒。性成熟した雌個体）がいるため、たくさん獲ると卵の数は減りまじす。また、秋は稚エビがいるので、たくさん獲るとやはり次の世代は減ります。次の年の親が減るからです。どちらの漁も、水揚げの量に気をつけなければいけない、ということがお分かりいただけると思います。

### サクラエビの産卵活動

産卵はいつ起こるかというタイミングについて、大森先生の1989年のデータを見ると、2箇所調査しているのですが、どちらも7月に少し、9月にはたくさん卵が出ています。1989年当時の水温のグラフを見ると、26°Cのラインは水深10メートルを越えていません。7月の産卵のときは、躍層がはっきりできています。これはすごく狭い空間なので、おそらくサクラエビは上に上がるのが難しく、わずかししか卵が出ていないのだと思います。9月の方は空間が大きく、躍層はあまりできていないため、上に上がるのは簡単だったということで、卵がたくさん出ているということがわかります。

水温以外にも、他の要因として、例えば餌があります。

同じ年に、植物プランクトンの一種であるクロロフィルがどのくらいあるかを調べたところ、7月にピークがあり、水温が18℃より上がってくると同時に、卵がたくさん出ていました。ということは、餌がたくさんあり、それを大人のエビがたっぷり食べて、水温が高くなると産卵するといふこのケースは、サクラエビにとってもよい状況といえます。

### サクラエビの幼生の成長

サクラエビの幼生

の成長については、1971年に大森先生が書いた論文を参考に、私がそのコンセプトをまとめて図を作りました(図10)。

卵から幼生(ノープリウス幼生)になるのにかかる日数は、わずか1日です。また、大きくなって姿を変えるためには、脱皮をしなくてはなりません。

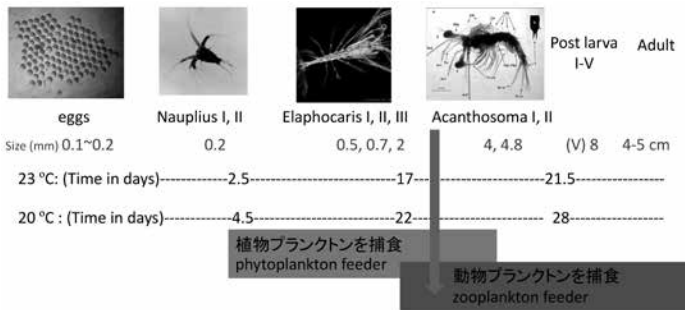


図10 サクラエビの幼生の成長  
出典：カサレト研究室 (大森1971を元に作成)

ノープリウスI、IIというのは、2回脱皮しているという意味です。

次の幼生は、姿がまったく違うエラフォカリス幼生です。ここでは3回脱皮します。その次のアカントソマ幼生のときも2回脱皮して、マステイゴプス幼生になります。これは4回脱皮してやっと大人になりますが、まだサイズは小さいです。

大人になるまで12回脱皮しなくてはいけないので、とても大変なことです。成長にかかる時間を見ると、水温が23℃だったら22日ぐらいかかり、20℃だったら28日かかります。長いプロセスです。

もう一つとても大事なこととして、餌の切り替わりがあります。エラフォカリス幼生までは植物プランクトンだけを食べていましたが、アカントソマ幼生からは植物プランクトンだけでなく、タンパク質を摂るために動物プランクトンも同時に食べなくてはなりません。体も大きくなって食べ方も変わってくるので、この餌の変化のときに最も死亡率が高くなるところで、このときに十分な餌がないと、死亡率はとて高くなります。とても重要なポイントです。今まで私たちが調べた結果では、駿河湾にプランクトンはたくさんいますし、組成も違うため餌を選ぶことができるので、今のところはサクラエビ幼生のための餌は問題な

いと思っています。ただ覚えておいてほしいのは、この長いプロセスの間、サクラエビは常に他の生物と競争しているということです。海にはサクラエビだけがいるわけではなく、他に動物プランクトンなどいても競争があるので、大変な生態系のサイクルを生きているということです。

図11は、幼生を顕微鏡で見た様子です。アカントソマはすでにエビの形をしています、体の前の方の足を動かして泳いでいます。

マスティゴプスは最後の幼生なので、サクラエビの特徴である長いヒゲが出てきています。また、泳ぎ方も変わり、後ろの足で動いています。この幼生は光を好みません。ほとんど暗いところに行きたがるので、私たちの研究室の中でも、容器の下の方を暗くしておいたら、ずっと暗いところにいました。大人のサクラエ

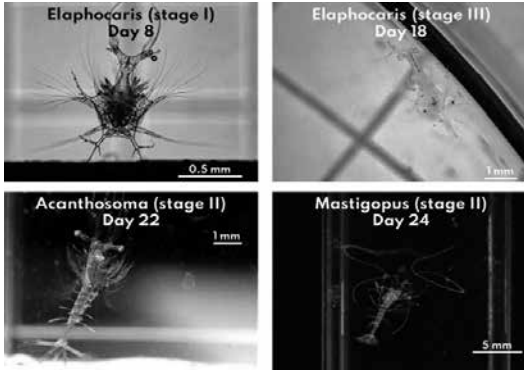


図11 幼生（左上：エラフォカリスⅠ、右上：エラフォカリスⅢ、左下：アカントソマⅡ、右下：マスティゴプスⅡ）

出典：カサレト研究室、2022

ビも暗いところが好きなので、そのような行動パターンもこの幼生の段階でできています。

#### †最適な餌料

サクラエビの餌については、研究室で育てるときにいろいろな種類を試しました。珪藻2種類とクロレラのうち、一番良かったのは、ヒゲを持つているキートケロス属の珪藻でした。理由は捕獲しやすいからです。サクラエビは顎のところ、ろ過システムを持っているので、ヒゲを持っているものの方が獲りやすいのです。この種類の珪藻は駿河湾にたくさんいるので、エサは足りていると思います。

#### †駿河湾内の卵の輸送の研究

サクラエビの幼生の拡散モデルについては、田中潔先生が2011年に出した論文で、富士川から流れ込む水と大井川から流れ込む水が、どのような動きをするかについての研究があります。

それによると、富士川のケースでは、富士川から流れ込んだ水は上層に残っていて、時計回りに渦ができて、ぐるぐる回っていることがわかりました。そのため、長い間その水がそこに残ります。しかし、大井川の場合、河口には浅い大陸棚があるため、河川水が浅い海底に押されて、北か

南の方に動きます。南の方は湾の入口なので、大井川河口付近にいる幼生は、湾の外側に流れ出る可能性が高いです。反対に、富士川河口周辺にいる幼生は、そのまま湾内に残る可能性が高いことがわかりました。

同じ研究者による別の実験で、表面付近（水深20メートル以浅）と水深20〜50メートルにおいて、サクラエビの幼生に見立てた粒子が富士川、安倍川、大井川から流れ込んだ水によって、時間の経過とともにどのように動くのかを、コンピューターでシミュレーションした結果があります。5日間、15日間、30日間、それぞれの結果がありますが、表面付近では、富士川の辺りはほとんどその幼生（に見立てた粒子）は湾の中に残ります。外にあまり出ていません。しかし、安倍川と大井川はどんどん外に流れ出ています。深いところの結果でも、湾の入口に渦があるのが見えますが、やはり安倍川と大井川の幼生は、湾の外に出る可能性がとて高いです。したがって、富士川の河口周辺で生まれるサクラエビは、駿河湾にとどまる可能性が高いので、とても大事です。これを大事にしなければいけないと思います。

もう一つの問題は、皆さんもご存じかと思いますが、黒潮の大蛇行です。JAMSTEC（国立研究開発法人海洋開発機構）が毎日、インターネットで情報を発信していて、6

月8日のデータでは、黒潮はまだ駿河湾から離れています。7月と8月はかなり駿河湾に接近しています。黒潮の流れを示した矢印が相模湾の方を向いていますので、駿河湾から出た幼生は、相模湾など別のところに行く可能性があります。最近では、相模湾でサクラエビがたくさん見つかっているという情報もありますが、それは多分この影響もあると思います。

### サクラエビの陸上飼育の可能性

#### † 研究室での飼育実験

サクラエビ漁が現在、このような状況ですので、由比の漁業組合の方々やサクラエビを陸上で飼育することができるとか、ということを長い間話し合ってきました。

私たちの研究室では飼育実験をやっていますが、その目的は、簡単にこのような実験ができるようにしたいということです。組合員の皆さん、若い世代の方々も、その場でもう少し大きなタンクで、このようなことができればいいなと考えています。そのためには、飼育方法などをシンプルにできるようにしたいですし、一番の問題は、研究室での飼育では、まだ死亡率が高いということです。死亡率を下げるにはどうすればいいのか、どのような技術なら最後

の幼生までもつていけるか、などの研究をしていますので、実験の様子を説明します。

まずは水揚げです。漁のある日に、私たちのメンバーが船に乗って、生きたままのエビを研究室に運びます。持ち帰ったエビの中から、卵を持っているメスのアタマグロを選別して、1個体ずつ瓶に入れます。頭の近くにある黒いものが卵です。

アタマグロを入れた瓶の水温は、大体21〜22℃に設定しています。ここまでやると夕方になりますが、次の日の朝にはもう産卵しますので、産卵後にアタマグロをこの瓶から取り出します。取り出さないと自分の卵を食べてしまうからです。そうして卵が幼生になるのを待ちます。

1日、2日すると、最初の幼生になります。そこから餌をあげていくのですが、餌の組成を変えたり、植物プランクトンだけでなく、植物プラス動物プランクトン、例えばアルテミア（小型の甲殻類）を入れるなどいろいろ試して、最後の幼生まで作製することができました。

#### サクラエビの群集組成解析

次にサクラエビの群集の組成解析をし、その個体群がどのように変わってくるかなどを調べます。そのために、まずはサクラエビのメスとオスを分けます。皆さんも興味があ

あると思いますので、見分け方について説明します。

サクラエビの体は頭と胸が一緒になっていて、それと後ろ（一番おいしいところですが）の部分から成っています。後ろの部分に右と左、対になった五つの足があります。一つの足は体の中心を挟んで左右にあり、胸に一番近い左右の足の間に、固い構造をもった交接器（petasma）が出ているのがオスです。メスにはそれはないので、慣れればすぐ分かると思います。

次に体長を測ります。長さは、頭の吻端（rostrum）という尖っているところから、尻尾に硬いトゲみたいなものがありますが、この尾部（telson）の先端までを測ります。これは、データを比べるために、すべての研究者が同じ方法でやっています。それと同時に重さも測ります。

新聞などでは長さだけでデータを出しているのですが、私たちは長さ、重さ、性別を一緒に出しているのです。生まれたのかなどが分かりやすくなります。統計のデータ処理を行えば、簡単にグループ分けができるので、もっと明らかにすることができます。

例えば、2022年3月の春漁初日には、1年半前（2020年）に生まれた大きくて重いエビのグループと、1年前（2021年）に生まれた少し小さいエビのグループがあります。これが春漁終盤の5月末から6月の初めにな

ると、どちらのグループも大きく重くなっていますが、1年半前に生まれたグループは数を減らし、1年前に生まれた体長40ミリメートル程度のものが優勢になっています。また、2022年に生まれたエビも出てきています。

その後、秋漁初日の11月初めには、2020年に生まれたグループはいなくなっています。死んだか、あるいは水揚げされてしまったかです。また、2021年に生まれた親は大きくなっていて、2022年に生まれた子供も大きくなっていることが分かります。ここで大事なのは、2022年に生まれた子エビのグループと、2021年に生まれた親エビのグループを比べると、2022年に生まれたグループの量がとて多くなっているということなんです。これは「二峰性」といって、生産がとてうまくいっている、ということを示しています。たくさんの子供が生まれているということなんです。この後、2022年に生まれたエビは大きくなって優勢になり、2021年に生まれた親はどんどん減っていきます。

2023年の春漁初日には、ほぼ2022年に生まれたエビだけなので、ピークが一つです。2022年の秋漁終盤からみても、体が大きくなっています。2023年の秋漁初日には、その年に生まれた子エビだけのピークができています。ピークが一つというのは良いことで、成長遅れ

はない、ということを示しているのです。

#### ＋サクラエビの平均体長の過去の報告との比較

サクラエビの大きさを、過去のデータと私たちのデータと比較してみると、春漁期の1歳エビ（親エビ）と秋漁期の0歳エビのデータでは、大きさや長さはどちらも小さくなっていないことがわかりました。

私たちは、議論の過程で新しいデータも見っていますが、サクラエビの群集は回復している、ほとんどん良くなっていると思っっています。躍層の問題はもちろんあります。昔に比べて躍層は深くなっているので、水温のモニタリングをしていくことは、今後も重要だと思っいますし、プランクトンなどの餌があるかなどについても、モニタリングしなくてはなりません。今のところは「回復」の言葉しか思っつきません。すごく良くなっている、未来は良いかもしれなっです。あとは水揚げ量を制限して、気をつければ良いと思っいます。

#### 関連委員会

今、私が関係している委員会が二つあります。【森は海の恋人】水の循環研究会】は、静岡県が主催している委員

会です。この委員会では、森から来る、つまり、川から来る水の栄養塩の駿河湾への流入について、モデル化したいと思っています。これは簡単な仕事ではありません、長い間やっている、良い結果も悪い結果もありますが、これからまだまだ続けます。

もう一つは、サクラエビの不漁問題の委員会です、【サクラエビ再生のための専門家による研究会】です。これは静岡新聞が主催する委員会です。ここでは3年間、不漁問題について活発に議論しました。最初にご紹介した中村先生と大森先生、先ほど登場した田中先生や、黒潮の大蛇行を研究されているIAMSTECの先生もこの委員会に参加しました。文書も出しましたし、新聞にも掲載されました。

図13はミスマッチについての記事です。先ほどから何回もお話ししましたが、いろいろなプランクトンが浅いとこ



図13 静岡新聞特集記事 (2020年6月3日朝刊24面掲載、静岡新聞社編集局管理部許諾済み)

ろにはたくさんあるのに、サクラエビは上がってこないということが起こります。植物プランクトンがあるところの上がらないのは、水温が低いか、あるいは躍層が激しいために時期が遅れるということで、それはミスマッチです。遅れたら餌がなくなります。何回も、何年間もそういうパターンがあった、ということをお話しました。

あとは、由比漁業組合に講演に行ったり、反対に漁業組合の皆さんが私たちの研究室に来て、実験方法やこれから船でどんな仕事をするのか、どんなデータが望みかなど議論をしました。コロナ禍でもみんなマスクをして、できるだけやり続けました。

現場で一緒に仕事をした青年部の人たちはすごく熱心で、私たちの仕事をよくサポートしてくれています。とてもいい関係だと思えます。

### 今後の取り組み

ここまで研究活動について話してきましたが、サクラエビの飼育実験がうまくいくまでは、引き続き一生懸命やります。飼育が簡単にできるようなしたいと思いますし、幼生というか、稚エビになるところでまた海に戻せば良いというアイデアがありますので、これをぜひ実現したいと思います。

います。

もう一つ、私たちが今考えているのは、いろいろな人間社会への影響がありますが、その中の一つにマイクロプラスチックの問題があります。マイクロプラスチックについては、皆さんも読んだり聞いたたりしてご存じだと思いますが、私たちはその調査も始めました。駿河湾でこの研究を同時にやっています。

船で出かけ、プレウストンネットという研究用のネットでマイクロプラスチックを捕まえます。マイクロプラスチックは色や形はさまざまで、糸状のものもあります。また、肉眼では見えないものもたくさんあるので、電子顕微鏡を使って確認しています。これらはやがて魚の胃に入り込み、最後は私たちの中に入り込むので、これからこの研究をぜひ続けたいと思います。

### 質疑応答

質問——サクラエビの生態系というか、ある調査の範囲の中で、オスとメスの数がどんな具合になっているのか分かりますか。例えば、ある地域のサンプルをとったら、そこにオスが何匹でメスが何匹いるのかや、大きさがどんな状態で採集されているかなど、どんな状況がありますか。

カサレト——たくさんさんのサクラエビ、例えば水揚げをした場所でそれを見れば、ある程度わかるかもしれませんが。15匹ぐらい見てもデータになりませんが、できるだけ多く100、300、500という数で見れば、正しいデータが出てくると思います。

また、私たち以外にもデータを出しているところがあります。このようなデータが出せるのは、大学の先生などになるとありますが、重さと長さを出している人と出していない人、それからオスとメスを分ける人と分けられない人もいます。

私たちの調査のメリットは、オスとメスを分けて、さらに重さと長さも見ていることです。大森先生が以前発表された「成長のカーブ」というものがありますが、それと比較することで、いつ生まれたエビかが分かります。ここまでやらないと良いデータとはいえないと思います。これは中村先生が言った「良いデータを出して議論することが大事」ということだと思います。

質問——生き物の中には例えば、ある時期になったら、ある地域に集まって産卵をするというようなものがあります。サクラエビはどんな時期になったら一斉に産卵が始ま

るのか、それとも一斉ではなくバラバラに産卵するのをお聞きしたいです。

カサレト——サクラエビが産卵する時は群れを作ります。漁業の人たちはそれをよく分かっているので、操業時期はもちろん決まっていますが、彼らは毎日船を出して、群れを魚群探知機で探します。

サクラエビは光を好まないもので、夕方暗くなると上にがって産卵します。私たちは卵の調査もやっているので、卵の数や卵がいつ出たかなどはよく分かっています。

ただ、群れを作っているかどうか、船が出ない期間どうなっているのか、湾内のどこに行っているか、などは分かっています。誰も分からない、今はまだそういう状況です。

質問——一部では、サクラエビの減産原因は、富士川（早川）のダム建設の汚れという噂も聞きます。先ほどのお話では原因は不明ということでしたが、実際はどうなのでしょう。か。

カサレト——その汚れは、まったくサクラエビに影響していませんでした。私たちはずっとサクラエビが実際にいる海を見えています。プランクトンもサンプリングをしています。

す。1回だけではなく、今までずっと見ていますが、卵の周りに汚れは何も付いていないし、ノープリウス幼生にも何も汚れが付いていません。

これは、おそらく現場を見ている人が言っているのではなく、論文がありましたけど、実験室の中で似たような状況を作り、細粒物質を入れたり、プランクトンを混ぜるなどして実験したからでしょう。そのような状況では卵とくつつくことはありますが、本当に実際の現場ではそういう実態がないのです。だからその影響はほとんどないと言っていると思います。



## 気候変動への対応と私たちの暮らし～緩和策と適応策～

川原 博満

はじめに

＋クイズに挑戦ー地球の気温はどれくらい上昇したのか

最初にクイズをやりたいと思います。賞品の用意はありませんが、自分の心の中の棚卸、前提の確認のためのクイズだと思ってお答えください。二問あります。

では、第一問。皆さんも、子供の頃、社会科の授業で習ったかもしれませんが、産業革命といって、十八世紀半ばから十九世紀にかけてイギリスで石炭が掘り出されて汽車等が動き出し、その後目覚ましい発展をとげた時期があるのをご存じかと思えます。その頃と比較して今現在まで、どれくらい地球全体の平均気温は上昇しているでしょうか。要は、どれくらい地球は温暖化しているか、というクイズです。

選択肢は三つあります。

① 一℃ぐらいじゃないか。

② いやいや、二℃ぐらいじゃないか、今日だってかなり暑くなってるよ。

③ いやいやいや、その倍の四℃ぐらいじゃないか。

正解は、①の一℃ぐらい、です。二〇二〇年頃の気温でいうと約一℃ですので、二〇二四年の今現在はまだもう少し上がっているかと思えます。一℃ぐら上がった今日、熱中症や気象災害などが、すでに頻繁に起こるようになってきています。

さて、第一問は地球全体の平均気温についての問題でした。世界中で、ヨーロッパも、アメリカも、日本も、オーストラリアも、色々な地点で測定していますので、それらを平均したら約一℃の上昇だった、地球全体が一℃上がったかと思ってください。とはいっても、場所によって上がり方が違います。どこも同じように上がるわけではありません。そこで、第二問は静岡市についての問題です。ここ、静岡市は何℃ぐら上がったのだろうかという問題です。

一問目の、地球全体では1℃上がっているというのがヒントです。

- ① 0・4℃
- ② 1・4℃
- ③ 2・4℃

正解は、③の2・4℃ぐらい、です。地球全体は平均1℃ぐらい上がっているけれど、静岡市に関していうと約2・4℃上がっているのですから、随分と上がっているじゃないか、ということになります。

これは実際に気象台が測定した結果です。もちろん、静岡市には車も走っているし、人もたくさんいます。ですから、エアコンや車の影響、つまり、都市化による影響という部分も入っていますが、静岡市は2℃ちよつと上がっている、ということは覚えておいてください。それから、場所や地域によっても違う、ということも知っておいてください。これを踏まえて、今日の講義を始めたいと思います。

## 気候変動の現状と将来

### 気温の変化

まず気候変動について、現状と将来についてお話しします。昔から今日までが現状で、将来は今日から先の話とい

うことで、二つに分けてお話しします。まずは現状、昔から今日までについてお話ししていきます。

先ほど、地球全体で約1℃上がっているとお話ししましたが、これは世界における測定局にて計測した結果なので動かしがありません。ではなぜ上がったのか、原因があるならそれは何なのか、ということが重要になってきます。

図1左は、世界平均気温（10年平均）を示したグラフです。グラフの縦軸は気温（具体的には、1850年―1900年を基準とした世界平均気温の十年平均の変化）、横軸は年代です。2020年までのデータなので、少し前のデータですが、西暦一年までさかのぼって見てみると、世界平均気温は、1970年くらいから、過去に経験したことのない速さで上昇しているのが分かります。

その原因を探るために、世界中の多くの気候学者がコンピュータシミュレーションを活用して、実際に計測した「観測値」を再現しようと試みました。その結果をグラフにしたのが図1右です。このグラフでは、1850年から2020年の期間における観測値（左の図と同様）をクロージャアップして表示しています。

さらに、自然要因のみを考慮して計算した場合と、人為・自然要因の両方を考慮した場合の試算結果も表示して

います。これによれば、複数の気候モデルで、自然起源と人為起源の条件を変えてシミュレーションした結果、観測値と合うのは人為・自然要因の両方を考慮した場合で、自然要因のみを考慮した場合は再現できなかったとされています。

「温暖化」については、本当にこれは温暖化なのか、原因は火山じゃないか、太陽じゃないか、という議論がありました。もちろんそれらも一因だと思えます。しかし、そういった自然起源の現象のみを考慮して試算してみると、実際の観測値を再現しきれないのです。ですが、我々人間が地下から石炭を掘り出し、石油を掘り出し、燃やし、大気中に二酸化炭素を排出した、というような人為的な要因を考慮に入れると、ほぼ観測値と一致するのです。ということは、やはり人為的要因が大いに関係しているんだ、だから温暖化をこれ以上進めないためには二酸化炭素の排出を削減し、近い将来、二酸化炭素をできれば出さないような社会を

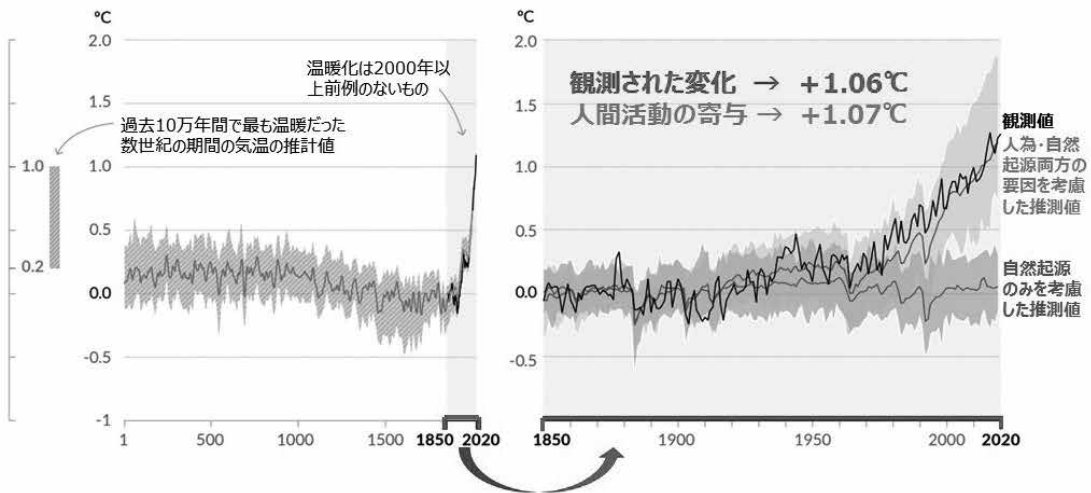


図1 1850年～1900年を基準とした世界平均気温の変化 出典：IPCC AR6 WG1 SPM.1a、1b(2021年8月)

作っていく必要がある、となるのです。

ここで補足しておきますが、地球温暖化の原因は、一つだけではないことは、皆さんご承知かと思えます。例えば、先ほどからお話しています化石燃料由来の二酸化炭素、森林減少や土地利用変化などの土地変化による二酸化炭素、また、二酸化炭素以外にもメタン、一酸化二窒素、フロンガスなどがあります。中でも二酸化炭素が占める割合は極めて高く、また、いろんな主体（家庭部門、運輸部門、産業部門、エネルギー転換部門など）が削減の取り組みを進めることができるのが二酸化炭素なのです。

このようなことから、一℃ぐらい気温は上がった、その原因は人為的要因、つまり我々人間が出した二酸化炭素が大きな要

因の一つになっているとされています。そのため、我々人間が脱炭素とか温暖化対策をしましょう、ということになります。

そして、私たちができることとして、なるべく省エネしましょう、というのがこれまでの話だったと思いますが、最近では、場合によって、あるいは時代によっても対処方は違ってくるし、新しい科学的な知見も出てくるので、過去の話ばかりをしてもだめなのです。やはり、一番新しい知見をもって、社会も私たち一人ひとりで対処していかなくてはなりません。

では、日本、そして静岡の現状について確認します。冒頭のクイズでお話ししましたが、世界と静岡市では気温の上昇率が違います。地球全体の平均では約一℃、静岡市では約二・四℃上昇していました。この気温の上昇方を一〇〇年あた

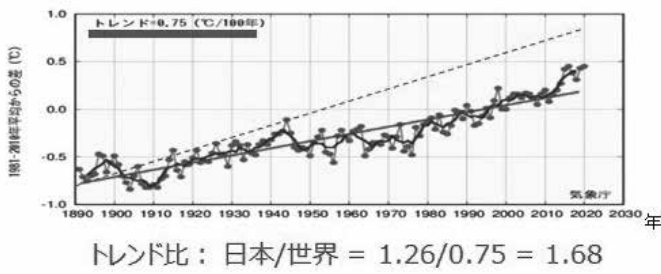


図2 世界の年平均気温偏差：1891～2020年平均気温との偏差  
出典：気候変動監視レポート2020、気象庁、2021.3

りで計算すると、世界の平均では〇・七五℃ぐらい上がっています(図2)。日本全体については、気象庁が日本全国のいろいろな地点で測っていますので、それを平均すると、一・二六℃上がっています(図3)。このそれぞれの気温の上昇方を比べると、一・六八倍の傾き差があります。これが世界と日本の差です。

そして、静岡市における年平均気温の上昇率は、日本の年平均気温の上昇率よりも高い傾向にあるとされています。気温は上がっているというのは、皆さんも肌で感じていらっしゃるのではないかと思います。

#### ＋ 雨の降り方の変化

気候変動について考えるにあたって重要なのは、気温だけではなくありません。海面上昇も重要ですが、今回お話ししたいのは雨についてです。雨の降り方が変化しているの

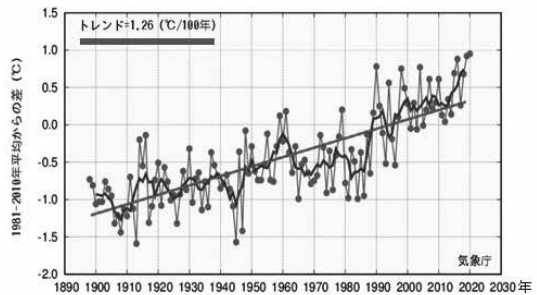


図3 日本の年平均気温偏差：1898～2020年平均気温との偏差  
出典：気候変動監視レポート2020、気象庁、2021.3

す。皆さんも感じていらつしやると思いますが、最近では雨が一度にたくさん降ります。この雨の降り方はどういふことが、どのような傾向にあるか確認していきま

す。

日本全体では、降水量一〇〇ミリ以上の大雨の回数は増える傾向にあります(図4)。もう一つ、知っていたいただきたいことは、雨が降った日は減っているという点です。一ミリ以上の雨が降った日が減っている、つまり雨が降らない日が増えていくというこ

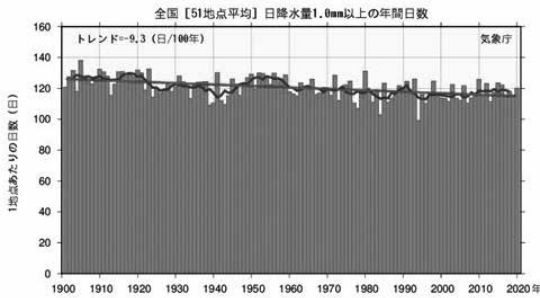


図5 日本の日降水量1.0mm以上の年間日数の経年変化(1901~2020年)

出典：気候変動監視レポート2020、気象庁、2021.3

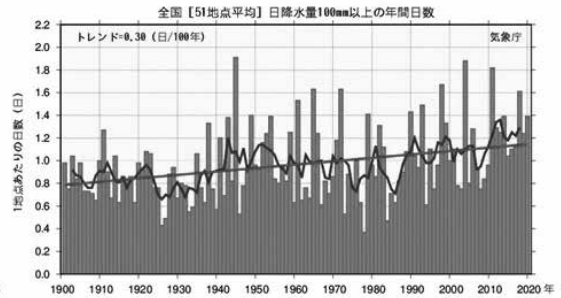


図4 日本の日降水量100mm以上の年間日数の経年変化(1901~2020年)

出典：気候変動監視レポート2020、気象庁、2021.3

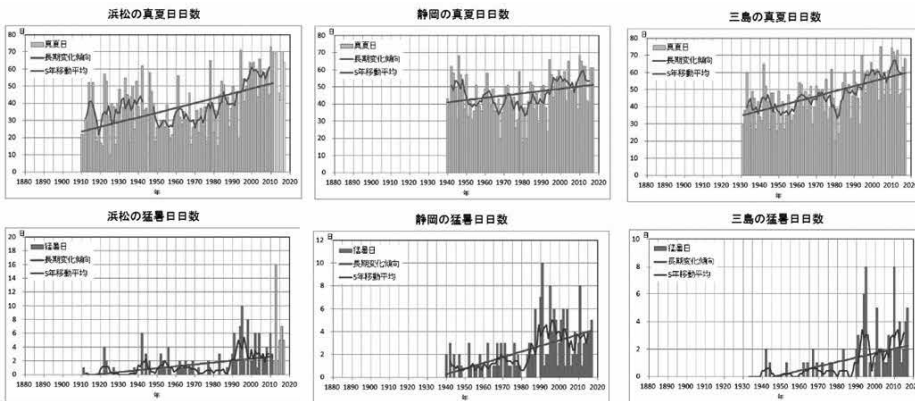


図6 静岡県内における気候変動(真夏日・猛暑日)に関する情報

出典：静岡地方気象ホームページ(静岡県の気候特性)より

です(図5)。

この二つから分かることは、雨が降るときは一度に大量に降って、それ以外の雨の降らない日が増えるということ

で、これを「降雨の極端化」と言っています。これは農作物に対しては過酷な条件です。稲作や、静岡ではお茶などに影響があるでしょう。

ただ、一度に大量に降る雨が増えて、雨の降らない日が増えて極端化したとしても、年間の降水量は多少のデコボコがあっても、そのトレンドはほぼ変わっていません。一年間で降る雨の量は変わらず、ただ、降り方が変わるので、年間

の降水量はあまり変わらないけれど、降り方が変わってくる、ということ覚えておいてください。

静岡県内のいくつかの地域の気温と雨に関するデータも見ておきます。静岡市、浜松市、三島市、御前崎市のデータを見て平均気温は上昇傾向です。最近もずっと暑い日が続いていますが、真夏日と言われている日もどんどん増えていきます(図6)。熱帯夜は、夜の気温が二十五℃より下がらない日のことをいいますが、これも静岡、浜松、三島、御前崎市とも増えています。また、最低気温が0℃未満の日を冬日といいますが、冬日はどんどん減っています。静岡だけがこのような状況になっているというわけではなく、程度の差はありますが、全国的に同じ傾向です。

雨については、先ほどお話しした極端化というのは日本の平均の傾向で、実は、静岡県内の雨の傾向は今のところそこまで顕著ではありません。

### ↑ 気温と雨の関係

さてここで、なぜ気温が上がると雨の降り方が変わるのか、ということをおさらいしておきます。

図7のグラフは、中学校の理科で習う飽和水蒸気量曲線です。グラフの横軸が気温で、縦軸は大気中含むことのできる水蒸気量です。そして、大気中に水蒸気を蓄えるこ

とができる限界、湿度一〇〇%のところを示したのが飽和水蒸気曲線です。

大気中に含むことのできる水蒸気量は、気温によって変わります。気温が上がると、どんどん水蒸気を蓄えることができるのです。例えば、

この部屋が寒いときには少ししか水蒸気は蓄えられないけれど、今日のように暑いときはたくさん蓄えられるわけです。例えば、気温一〇℃の時と四〇℃の時では、空気に蓄えられる水蒸気量は五倍ぐらい違います。大気中に蓄えておくことのできる水蒸気量に限界がくると、例えば雨になって落ちてきます。つまり、気温が上がると、雨にならずに蓄えておくことができる水蒸気量がどんどん増えるということです。

これを踏まえて、気温と雨の降り方の関係を、「鹿威し」に例えて説明します。鹿威しは、竹筒に水が一定量溜まると、溜まった水の重さで傾きこぼれます。この鹿威しの仕

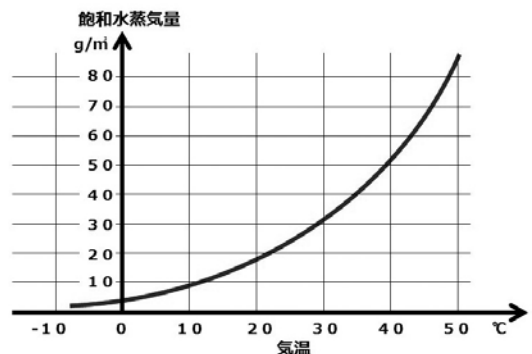


図7 飽和水蒸気量曲線 (筆者作成)

組みを、先ほどの気温が上がると大気中に水をたくさん蓄えておけるということに例えらると、気温が上がるということは、水をたくさん溜められる、つまり、この鹿威しの竹筒が太くなるということに例えられます。太い竹筒であったらどうでしょう。水が溜まるまでに時間がかかるし、満タンになって竹筒が傾いた時にこぼれる水の量も増えて、一気にたくさんの方が流れ出るようになります。

気温が上がるということは竹筒が太くなるということ、竹筒が太くなるということは傾くまでに時間がかかるようになるということなので、それはつまり、雨の降る日数が減少することになります。そして、傾いたときにこぼれる水の量が多くなるということが、一度に降る雨の量が増えるということの例えになると思います。だからこの竹筒が太くなるのを止めたい、つまり気温が上がるのを止めたいということです。

↑ 気温の上昇予測

ここまでお話した内容が、世界平均で1℃上がった影響です。これが2℃、3℃と上がった時にどうなっていくのか、どんな影響があるのかという将来の話に進みたいと思います。

では今後、気温はどれほど上昇すると予測されている

のでしょうか。

二〇一五年を現在として試算した結果です。少し前のものですが、二〇一五年の二酸化炭素の排出量が40 GtCO<sub>2</sub>/年であるのに対して、二〇五〇年にしたいゼロになるとするのが第一のシナリオ、名付けて「めっちゃくちゃ頑張る」です（図

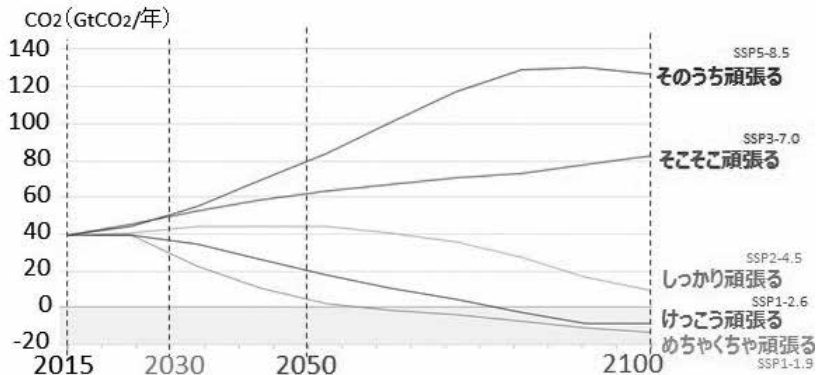


図8 5つの例示的なシナリオにおける将来年間CO<sub>2</sub>排出量  
出典：IPCC AR6 WG1 SPM.4a, 8a(2021年8月)に加筆

8)。二二〇〇年までにゼロにするという第二のシナリオは「けっこう頑張る」、第三のシナリオは、二〇五〇年までは今と同じくらいの水準を保ち、それ以降に減らしていくということ、「しっかり頑張る」、第四のシナリオ「こそこ頑張る」では削減はできずに逆に少し増えていく。

そして、第五のシナリオ「そのうち頑張る」は、我々地球人が二酸化炭素をこのまま出し続けたら気温は何℃ぐら上がるのか、という、五つのシナリオで試算をしています。

第一のシナリオ「めちゃくちゃ頑張る」って、二〇五〇年、今後二十五年ぐらいで二酸化炭素の排出をゼロにできれば、気温は一・五℃ぐら上がったところまで下がっていきそうだと試算されています(図9)。今、既に一℃上がっていますから、あと〇・五℃ぐら上がるってなんとか落ち着きそうだという予測です。

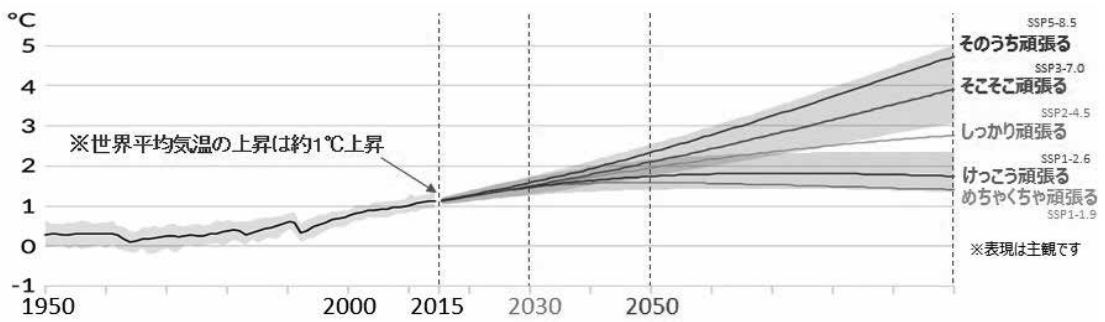


図9 1850～1900年を基準とした世界平均気温の変化 出典：IPCC AR6 WG1 SPM.4a、8a(2021年8月)に加算

二一〇〇年ぐらいいまになんとか二酸化炭素排出量をゼロにできたとする第二のシナリオ「けっこう頑張る」では、約二℃上がるという試算です。同じように第三のシナリオでは約三℃、第四のシナリオでは約四℃、第五のシナリオでは約五℃ぐら上がるっていく、というように試算されています。

ここで重要なことは、この試算をもとに、私たちは何℃の上昇で止めたいのか、どのペースで二酸化炭素を削減していくのかを議論したところ、今、国連では一・五℃の上昇で抑えたいので、第一のシナリオにそって、地球全体の二酸化炭素の排出量を削減しましょう、「二〇五〇年に二酸化炭素の排出量ゼロ」という目標をたてているわけです。

### 一・五℃と二℃

ではなぜ、一・五℃なのか、二℃ではダメなのでしょう。一・五℃の違いなんて大したことない、と思う方もいるかと思いますが、実は大きな差があるのです。

一・五℃と二℃の違いを、皆さんも是非知ってください。気温が一・五℃上昇した場合と二℃上昇した場合、どれだけのリスクが生じるのか、ということの評価が出されているので、そのうちの五つの懸念事項について見ていきます(図10)。

1. 固有性が高く脅威にさらされるシステム：  
適応能力に限られる種やシステム、特に北極海水・サンゴ礁システム脅かされるリスク
2. 極端な気象現象：  
熱波、極端な降水、沿岸洪水のような極端減少によるリスク
3. 影響の分布：  
特に地域ごとに異なる作物生産や水の利用可能性の減少などの気候変動影響によるリスク
4. 世界全体で総計した影響：  
生態系の財やサービスの損失と関連する広範な生物多様性の損失リスクや世界経済への損害のリスク
5. 大規模な得意事象：  
温暖化の進行に伴い、いくつかの生態系あるいは物理システムが曝される急激かつ不可逆的な変化のリスク

図10 気候変動リスク水準に関するの判断の根拠として用いられる5つの懸念材料

出典：AR5 WG2 政策決定者向け要約 Box SPM.1 Fig. 1

一つ目の懸念事項が「固有性が高く脅威にさらされるシステム」です。脆弱性が高い生物がたくさんありますが、例えば、サンゴやライチョウなどの固有種が減っていくというリスクです。

二つ目は「極端な気象現象」で、既に起きています。

三つ目は、点ではなく地域で受ける影響ということで「影響の分布」。これは、地域ごとに異なるようなりリスク、例えば、米やイチゴなどの地域ごとに異なる作物生産などに見られる気候変動リスクです。

四つ目は、世界的に社会経済に影響があるようなりリスク

をまとめたもので「世界全体で総計した影響」。

五つ目は、もう後戻りできない事象。グリーンランドの水が、一度溶けてしまったらもう二度とは凍らないといわれていますが、そのような、もう取り戻せないもので「大規模な特異事象」です。

これら五項目についての評価を見ると、約2℃上昇した場合は、一つ目から三つ目の項目で、高いレベルのリスクと評価されています。これが約1.5℃の上昇に抑えることができるかとなると、一つ目から二つ目で高いリスク、三つ目から五つ目で中程度のリスクという評価になっています。これらの違いのポイントは、三つ目の懸念事項が中程度のリスクか高いレベルかの違いです。つまり、三つ目の影響（地域ごとに異なる気候変動影響によるリスク）は、どうしても中程度のリスクにとどめておきたいということ

です。たかが1.5℃と2℃の違いで、どのような影響が出るのかを具体的にまとめた表があります（表1）。例えば、一番下の「海」について見てみます。気温の上昇を1.5℃で抑えられたとして、世界中のサンゴ礁の70%〜90%は失われる、つまり残るのが30%〜10%です。オーストラリアのグレートバリアリーフなどを含めた世界全体の話です。ところが2℃上昇してしまうと、実に九十九%

以上のサンゴ礁が消失してしまします。地球上からサンゴがほぼなくなってしまうということ

です。こうした評価に基づいて、世界は、地域ごとに異なる気候変動影響

によるリスクを、せめて中程度にとどめたい、だから2℃ではなくて、一・五℃の上昇でとどめたいと考えています。つまり、気温の上昇が一・五℃で止まった地球を子どもたちに残すことを目指しています。二〇一五年頃には二℃で止める、と言われていたのですが、その後、一・五℃に修正されました。その理由は、これらのリスクを中程度までにとどめたいからです。このような根拠、理由を知った上で、それをモチベーションにして、削減に取り組んでいかなくてははいけません。

表1 気候変動によって予測される世界的な影響の比較例 1.5℃と2℃

出典：IPCC「1.5℃特別報告書」から筆者作成

現象	1.5℃の上昇で起きること	2℃の上昇で起きること
気象	<ul style="list-style-type: none"> <li>・中緯度域の極端に暑い日が約3℃上昇</li> <li>・高緯度域の極端に寒い夜が約4.5℃上昇</li> <li>・約200万人～約500万人の都市人口が激しい干ばつにさらされる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・中緯度域の極端に暑い日が約4℃上昇</li> <li>・高緯度域の極端に寒い夜が約6℃上昇</li> <li>・約200万人～約620万人の都市人口が激しい干ばつにさらされる</li> </ul>
陸の生態系	<ul style="list-style-type: none"> <li>・昆虫の6%、植物の8%、脊椎動物の4%が生息域の半分以上を失う</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・昆虫の18%、植物の16%、脊椎動物の8%が生息域の半分以上を失う</li> </ul>
人間の生活	<ul style="list-style-type: none"> <li>・年間漁獲量が約150万トン損失</li> <li>・世界のトウモロコシの作物生産が約10%減少</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・年間漁獲量が約300万トンを超える損失</li> <li>・世界のトウモロコシの作物生産が、1.5℃未満よりも、さらに約15%大幅に減少</li> </ul>
河川洪水	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1976～2005年を基準として、洪水の影響を受ける人口が100%増加（2倍になる）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1976～2005年を基準として、洪水の影響を受ける人口が170%増加（2.7倍になる）</li> </ul>
海	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サンゴ礁の70～90%が失われる</li> <li>・100年に1度、夏の北極海の海水が消失</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サンゴ礁の99%以上が失われる</li> <li>・10年に1度、夏の北極海の海水が消失</li> </ul>

### 緩和策と適応策

さて、ここまでは地球の温暖化を止めなくてはいけないという話をしてきましたが、実は温暖化が進んでいるということは、そのような世界を未来の子どもたちに残す、という将来のことだけではありません。現在暮らしている私たちが、温暖化の影響による災害に合わないようにするという、今現在のことも考えなくてははいけません。

例えば、皆さん覚えていらっしゃるでしょうか。二〇一九年十月十二日、伊豆半島に台風が上陸して大きな被害をもたらしました。この台風は、気温が一℃くらい上昇した世界にきた台風です。この台風が、二℃以上気温が上がった世界に来ていたとしたら、どれくらいひどくなっていたのでしょうか。

これを試算したデータがあるので、まず気圧の面から見てみます（図11）。二〇一九年十月の台風を、異なるチームが作った三つのモデルで、スーパーコンピュータを用いて再現しました。一番左の棒グラフ（現状気候）が当時の台風を再現したものです。まず、基準となるこの一番左の再現モデルは、実際の台風とほぼ一致しているということが確認できます。そのうえで、気温が二℃高い場合（中央のグラフ）と四℃高い場合（右のグラフ）を再現してみると、

四℃高い場合で、気圧は最大で二〇ヘクトパスカルぐらいい下がるという試算が出ています。二℃上がると平均で四・三ヘクトパスカル、四℃上がると平均で十一ヘクトパスカル下がります。気圧が下がるということは、風が強くなるということです。

雨についても同じように見てみます（図12）。当時の気候における降水量の再現は、一番左の棒グラフです。気温が二℃上がると、累積降水量は約五％（中央のグラフ）、四℃上がるのと二〇％ぐらい増える（右のグラフ）と試算されます。二〇一九年十月の台風で何とか氾濫せずに済んでいた河川は、あふれてしまうかもしれません。これまでのような「十年に一度の」とか「昔はこうだった」というのももう通用しませんので、皆さん用心してください。

つまり、我々人間が二酸化炭素を排出してきたことで気候変動が起こり、

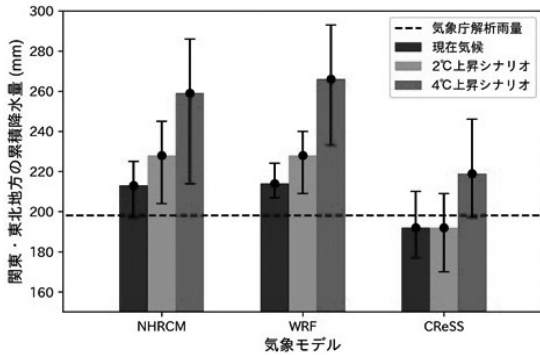


図12 関東・東北地方における累積降水量（5ケースの平均値） 累積期間：2019/10/11 00:00～10/14 00:00

出典：環境省「勢力を増す台風～我々はどうなるリスクに直面しているのか～」令和5年7月

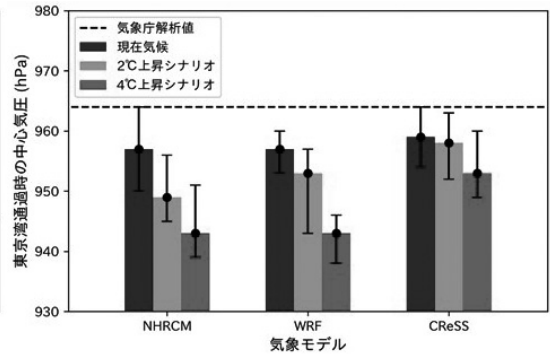


図11 東京湾接近時の台風の中心気圧（5ケースの平均値）

出典：環境省「勢力を増す台風～我々はどうなるリスクに直面しているのか～」令和5年7月

気温が上昇し、こうして実際に影響が出ているということです。私もそうですが、これまでは大丈夫、この辺りは大丈夫、自分だけは大丈夫といった正常性バイアスは可能な限りなくして、こういった科学的な根拠を知って予防していかないと、失われなくてもよい命が失われるという事態になってしまいます。

温暖化を止めよう、二酸化炭素を削減しよう、という動きのことを「緩和策」といいます。そして、その影響で起こる被害を回避したり軽減することも必要で、そうした動きを「適応策」といいます。近年では、緩和策と適応策の二つを両輪で動かしていきたいという流れになっています。

一九九〇年頃から温暖化の問題に取り組み出したのですが、その頃から世界はこの「緩和」と「適応」の両方に取り組んでいました。日本では、緩和策に関する法律（地球温暖化対策の推

進に関する法律）は平成十年に制定されており、適応策に関する法律（気候変動適応法）は、二十年後の平成三十年に制定されています。

ここで、気候変動適応法の概要を少しだけ説明しておきますと、わが国では、適応七分野（農林水産分野、水環境・水資源分野、自然生態系分野、自然災害分野、健康分野、産業・経済活動分野、国民生活分野）にフォーカスして、対応を始めています。もちろん、これまで、これらの分野で適応策と銘打った対策でなくても、着実に実質的な適応が取られてきました。しかしながら、最近の急激な気候変動による影響は無視できなくなり、早急な対策が必要になる分野も出てきました。例えば、熱中症や農作物への対策などがあげられます。農家の方も、昔から長年培ったノウハウでは対処しきれないような、想定を超える変化が生じていて、それらに対応（すなわち、「適応」）していかなくてはならなくなりました。

今までも、適応策という言葉は使っていなかったけれども、実施してきたこと、対処してきたこともあります。潜在的に、対処しながら（潜在的適応策）やってきていました。その中で、科学的な根拠がわかってきて、将来予測もして、どうもそれでは追いつかないな、ということとで適応策をとることが必要になってきました。「追加的対応策」という

考え方です。

### 気候変動に対する世界の動き

#### ↑ 科学者たちの動き

ここからは、世界はどのように動いているかというのを見ていきたいと思います。

ここまで紹介してきたデータは、私が研究したデータでももちろんありません。科学者たちが集結して議論しあうIPCC（気候変動に関する政府間パネル：Intergovernmental Panel on Climate Change）という国際組織があつて、その組織から約五年に一回ずつ報告書（AR：Assessment Report）が出ています。その報告書の最新版である第六次報告書（AR6）から情報を引用して、皆さんにお伝えしています。すでに第七次報告書（AR7）に関する議論もスタートしています。約五年に一回ずつ、科学的な根拠が変わるといえることは覚えておいてください。そして、情報をどんどん新しく更新していただくさい。

ちなみに、IPCCは科学者の集まりですので、科学的なことしか言及しません。つまり、科学者は「こうしなさい」とはおそらく言いません。調査の結果、シミュレーションの結果はこうでした、と報告をして終わります。科学者に、

「私たちはどうすればいいですか」と尋ねる人がいますが、科学者はその問いに基本的に答えません。科学者の使命というのは、研究して報告を出すことです。だから、科学者は答えを知っていても、基本的に答えてくれないかもしれないかもしれません（そのような立場にないといった方が良いかもしれません）。

#### 十 政治家の動き

では、「我々はどのようにしていけばよいのか？」という問いは誰に投げかけなければならないのでしょうか。それは行政（国・自治体）や政治家（政治家）です。これらの集まりが、国連気候変動枠組条約（UNFCCC）の締約国会議（COP：Conference of Parties）です。いろいろな国から国の代表者が集まって、我が国は二酸化炭素を何t削減する、などを決めるのがこの会議です。その何t削減する、ということを決めるための根拠が、先ほどの報告書です。その報告書を見て、二酸化炭素をいつまでにどれだけ削減する、ということと話し合っています。COP3とか京都議定書という言葉をよく耳にされたと思います。あれが第三回（一九九七年）の会議で、今は二十八回（二〇二三年）まで来ています。

SF映画などで、科学者が「このままじゃ地球の環境が

大変なことになる」と一生懸命警鐘を鳴らすのに、世間や政治家達が信じない、というようなストーリーの例があります。政治家が「そんなわけないだろう」と相手にしないでいると、科学者の言うとおりの大災害が起きて、科学者の言葉を軽んじた政治家が真つ先に犠牲になってしまうというような流れです。でも、それは物語の世界で、現実には政治家は科学者の声をちゃんと聞いています。科学者のチームと政治家のチームはしっかりと連携している、ということも知っておいてください。

さて、こうした二つの会議を軸にいろいろ決まってくるのですが、最近の動きを少し説明しておきます。二℃の上昇に抑えられればいいのではないかと世界的に決まったのが、二〇一五年のCOP21で採択されたパリ協定です。次の会議は五年後でしたが、それより前に二℃上昇したらかなり危険だ、ということがわかったので、本来は五年後に出るところを、三年後の二〇一八年にIPCCは特別報告書（Special Report）を出しました。この特別報告書の内容を受けて、二℃ではなく一・五℃までに抑えるべきだと修正がかかり、二〇二一年のCOP26のグラスゴー気候合意において、「二〇五〇年に二酸化炭素排出ゼロ」に目標が変わりました。

そして、二〇二三年のCOP28で、世界全体の進捗状

況を評価するG S T (Global Stock Take) が実施されました。実際の状況を検証してみたわけですが、「二〇五〇年に二酸化炭素排出ゼロ」、「二〇三〇年には二〇一〇年より約四十五%削減」という目標にするためには、二〇三〇年までに世界の再エネの導入を現在の三倍、エネ効率を二倍くらいにしないと達成できそうにない、という状況になっています。

#### 金融業界の動き

これまでの流れを見ていくと、なかなかうまくいっているとは言えません。もちろん、いろいろな問題があり、そううまく行くものではないことは皆さんも承知かと思えます。しかしながら、現実問題として、喫緊の問題であることには変わりません。そんな中で、しびれを切らしたのが金融業界です。

例えば、台風や大雨、洪水が起こって、工場が機能しなくなりました、商品が出せません、という事態が頻発したとします。災害のせいだからといってもどうにもならず、企業が倒産したとすると、銀行は貸し倒れになってしまいます。ですから、そういうリスクを見越した経営をしているか、リスクヘッジをしているかというのは、金融機関が企業を評価する、銀行がお金を貸すかどうか、投資家が株

を買うかどうか、を判断する重要なポイントになってきたわけです。

つまり、世界の金融業界が、売上や営業利益、資産というお金の面、財務情報だけでなく、その会社が環境や社会、そして企業統治(ガバナンス)といった非財務情報を考慮して会社運営をしているのか、ということを見るようになってきたのです。そして、その評価方法をちゃんとルーラル化しましょう、という流れが生まれました。

それがTCFD(気候関連財務情報開示タスクフォース)による、気候変動に対応した経営戦略の開示の提言です。気候関連のリスクも我が社は考えています、ということを経営戦略の中に盛り込んでいて、かつ、それを開示する、ということが企業を評価したり、判断する材料になります。既に日本でも、プライム市場に上場するためにはTCFD開示が実質上、二〇二二年四月より必要になっています。開示できなかった会社は上場できません。それぐらい厳しい世の中になっています。

TCFDのCはClimateで「気候」ですが、これが発展して、次の取り組みとしてTNFDという考え方も出てきました。NはNatureで、自然環境資源をちゃんと守っていない会社はダメだということです。

では、少し戻ってTCFDの内容を見ていきます(図

13)。損益計算書、キャッシュフロー計算書、貸借対照表、これらがいわゆる財務諸表で、企業は必ず出しています。TCFDでは、それだけでなく、気候変動リスクや機会についても記載しなさいといっています。気候関連リスクには、物理リスク（いわゆる気候変動により物理的に被害を受けるようなリスク）と移行リスク（いわゆる気候変動適応社会や脱炭素社会への移行に伴い事業者が取らなければならないリスク）の二つがあります。さらに物理リスクは、台風などの突然発生する急性のリスクと、気温の変化などの徐々にあらわれる慢性のリスクを考慮する物理的リスクに分かれます。一方、移行リスクには、政策や法律が変わる、

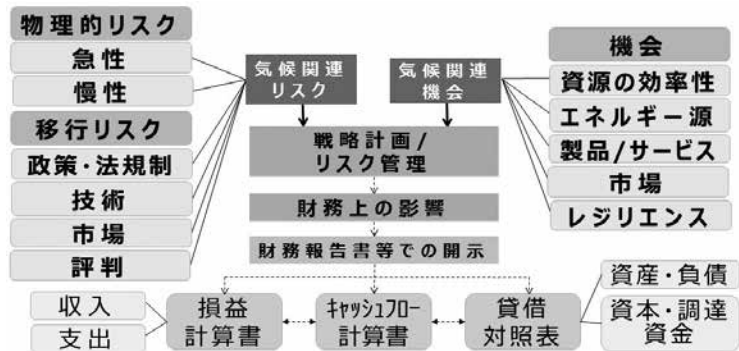


図13 気候関連リスクと機会が与える財務影響（全体像）  
 出典：気候関連財務情報開示タスクフォース、候関連財務情報開示タスクフォースによる提言（最新版）、2017、8ページを基に環境省作成

消費者マインドが変わっていく、などのリスクがこれにたります。

このようにリスクを挙げて、それらすべてに対応していれば、コストが上がるばかりで利益が出せないじゃないか、と思われるかもしれませんが、それは違います。リスクがあるだけでなく、そこには儲けの仕組みや商品・サービスをはじめ、ユーザーや投資家等の信用・信頼などのプラスの面である気候関連機会（いわゆる、ビジネスチャンスなど）もしっかりと提示していくことが推奨されています。こういう商品が売れるはずだとか、我が社はこういうところで差別化します、ということも併せて提示するのです。リスクに対応してコストがかかることと、利益を出せるということの両方を盛り込んで、それでも財務上まったく問題ありませんと、胸を張って開示するのです。このような報告をしていかなければ、企業も生き残ることができない時代になっていて、企業も変わってきているのです。

まだ日本では、プライム市場の上場企業のみの実質義務化ですが、今後、どのように広がっていくか、広がっていく企業が注目されています。プライム市場の上場企業は、様々な企業とやり取りしており、これらの企業の取り組みも考慮しなくてはならない状況になってきています。すなわち、サプライチェーン全体での評価が問われたり、一つの製品・

サービスに注目して評価が行われたりするようにってきました。

「環境にやさしい商品」のようなうたい文句を見たり、聞いたりされたことがあるかと思いますが、これにも多くの企業がかかわっていることから、全体的な評価が求められるようになってきています。このようなことを怠っていると、取引先の企業からも選ばれないし、顧客からも選んでもらえないし、最近では、新入社員としての学生からも選んでもらえないといった話も聞きます。企業の経営者にとっては大きな問題です。

#### 「気候変動に対する考え方 シンクグローバルリーとアクトローカリー」

ここで、気候変動に対する対策をたてるための基本的な考え方について整理します(図14)。まず、左側のハザードという、物理的な現象、台風や大雨などのいわゆる外力を表している円があります。次に、右上の円は脆弱性を示しています。脆弱性というのは、先ほどのハザードが及ぼす影響に対して弱いところ、例えば、裏山が崩れやすそうだが、とか、高齢化などが含まれます。三つめの右下の円は曝露と言っていますが、そこにいる人であるとか資産、生物を示しています。この三つの円が交わるところが気候変動によるリスクです。

例えば、まずはじめに、外力である

温暖化にともなうハザード(例えば台風や大雨、異常高温など)は、当面大きくなると考えられていますので、これだけでもリスクは大きくなります。次に、脆弱性の円が、社会の高齢化が進んだという要因で大きくなると思います。すると、ハザードの円の大小に関わらず、それだけで脆弱性とハザードの円が交わった部分も大きくなります。つまり、リスクは膨らみます。一方で、人口減少の激しい地区などでは、曝露の円は小さくなっていき、リスクの大きさも小さくなります。このように、ハザード、脆弱性、曝露の変化やバランスの状況を見極めて、適切な対応をしていく必要があります。

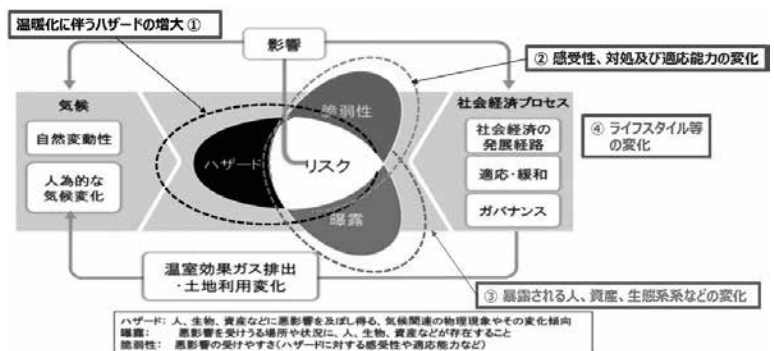


図14 気候変動に関する基本的な考え方  
 出典：国立環境研究所 環境儀 No.61 図3に加筆

気候変動対策を実施するには、このバランスを見極める必要があります。要するに、脆弱性が低いところ、人間がいないところは放っておいていい、ということではなく、優先順位を考える、ということだと思います。どこに問題があり、どこにどうお金をかけていくべきかを考えて、国や自治体は対策を講じていかなければなりません。

またもうひとつ、難しいことがあります。それは、ライフスタイルも変化するということです。ここまで私たちの暮らしが便利になった中で、急に携帯電話をやめろとは言えません。なので、ライフスタイルが変わっていくということも考慮して、気候変動に対する施策を考えていく必要があります。

企業でも自治体でも、皆さんのご家庭でも同じで二酸化炭素を出しています。これは事実ですから、急に止めろと言ってもすぐには無理です。なので、まずは無駄なエネルギーの使用量を削減しよう、温室効果ガスの無駄な排出をやめましょう、ということがまずはじめに重要な緩和策となります。地球全体のため、将来の子どもたちのために緩和しようとしています。

一方で、地球全体でみると、先進国のこれまでの排出量がよく話題になるし、日本も一生懸命に排出量の削減に努めています。国によっては、なかなか進まない国もあり、

不平不満も出てきています。でも最終的には、将来の子どもたちのため、この青い地球のために頑張らざるを得ません。二酸化炭素を排出したことで生じた温暖化、さらに雨の降り方であるとか、無降水日であるとか、とにかく気候変動はなるべく小さくしましょう、そして、その気候変動の影響による災害が激甚化していくのを止めましょう、緩和しようということです。

次に、これまでお話ししてきた温室効果ガスの削減、これは将来の子どもたちのため、地球のためですが、さらに進めて、当面止まりそうもない気候変動の影響を回避したり、軽減したりすることも同時に重要になってきています。まさに、私たちの暮らしや財産をまもるため、私たちが暮らしている静岡市のためにはやるのです。気候変動の影響は、実際の私たちの暮らしの中に、例えば静岡市の河川が氾濫する、というようなことに表れます。我が社の工場が流される、私の家が流される、そういうことがないようにリスクを回避・軽減するというのも、最近では重要になってきています。これを気候適応策といいます。

温室効果ガスの削減については、地球のためなので「シンクグロバーリー」。気候変動による影響を回避・軽減し適応することについては、自治体や企業や自分のためなので「アクトローカリー」。対象が違うので、主体も変わ

ます。

自治体は、静岡市なら静岡市のことをまず第一に考え、我が市の川が氾濫しないように適応計画を策定し、適応策を実施します。また、民間企業においては、我が社の評判が、我が社の製品が、というように、「我が〇〇」のためにリスクに対応するという事です。

地球全体のための緩和策と、ローカルつまり我が自治体、我が社、我が家のためにやる適応策というように、二つに分かれるということも知っていたら、例えば、今やっているこの取り組みはどちらの区分かなと見極めながら、取り組みを進めていただきたいと思います。

### 気候変動や影響に対する日本の対応

ここまで、気候変動について、地球全体、日本、そして静岡の話をしました。それに対する世界の動き、国連の動きとして、政治の話や科学者の話もしました。では、日本の動きはどうかという話をしていきます。二酸化炭素を削減しようという緩和策と、気候変動の影響に対する適応策について話していきますが、緩和策については、皆さんの環境問題に熱心なので、いろいろとご存じだろうと思えますから、命を守るために必要な情報でもある適応策につい

て、主に説明していきます。

#### 十 緩和策

まずは緩和策、つまり温室効果ガスの排出削減ということですが、これは地球全体の話ですから、我が社は、私とは、ということではなくて、足並みを揃えていく必要があります。しかし、国ごとで不公平感が出てくるというのは避けられないでしょう。企業についても、SBTとかISO 14000など様々な制度や認証制度等ができていて、一生懸命頑張っていたところでは、

日本における各主体による二酸化炭素削減の取り組みは、しつかりと進めていただいていると思います。日本は、温室効果ガス（二酸化炭素の他にもガスはいろいろありますが）の排出を、二〇三〇年までに、二〇一三年の排出量の四十六%まで削減するという目標を掲げています。今のところ一九・三%ぐらいまで削減しています。では、ここからさらに、どのように削減していくのでしょうか。

燃料には主に電力と非電力があります。それは工場も家の中も同じです。電力と、石油ストーブやガス給湯器などの非電力の燃料です。図15は、横幅で燃料の使用量、縦幅で排出する二酸化炭素量（具体的には排出原単位）を表しています。この図の面積を減らすには、まず、①「省エネ」

ということ、電気と非電力の使用量を減らし、それによって図の横幅を縮めます。

その次に②「電源の脱炭素化」ということで、例えば太陽光発電にするなどが考えられます。使用時には、太陽光の力を借りて電力を供給するので、図の縦幅を下げられます。非電力の燃料についても、ガスや石油ではなくて、バイオガスなどを使うことで縦幅を下げます。

次に、電気ので使えるところはなるべく電気、ということ、③「電化」という対応があります。これはオー

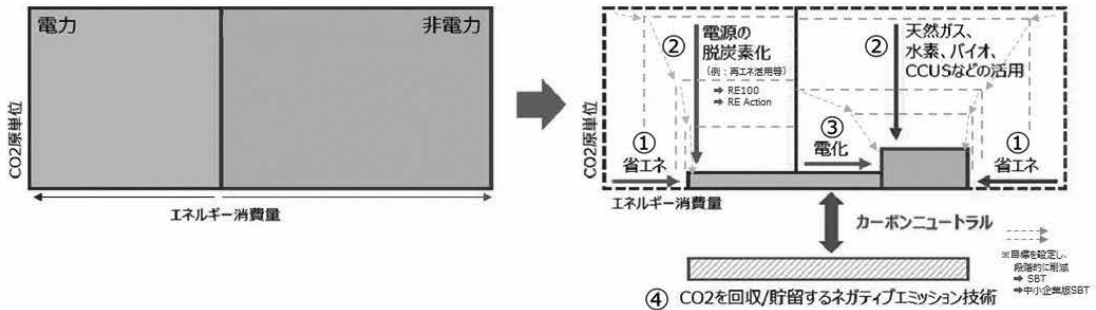


図15 脱炭素社会に向けた基本的な進め方  
出典：第3回 グリーンイノベーション戦略推進会議資料を再構成

ル電化を推奨しているわけではなく、工場の炉を電化する  
というような話です。

これらによって横・縦の両方を縮めて、二酸化炭素削減  
をしていこう、ということです。まずは省エネ、それから  
質のいい電気、質のいい燃料、二酸化炭素の出ない燃料を  
使う、ということ。この方向性の中で、国もいろいろ  
な法律を作って、二酸化炭素排出削減に取り組んでいます。  
自治体も企業も、同様な取り組みを進めています。

では、私達は何をするべきでしょうか。例えば、省エネ  
効率のいい電化製品を使うとか、建物の断熱効果を上げる  
というのでもいいようです。このような身近なことで、なる  
べく市民の皆様にも脱炭素に向けた取り組みをしていただ  
きたいのです。それでも削減が進まなければ、二酸化炭素  
を出すものに税金をかける「炭素税」だ、というような事  
態になってしまうかもしれませんね。

十 適応策

適応策は、先ほどお話した、我が家、我が社、我が自  
治体は、という話です。

法律の話を再度整理しておきますと、脱炭素に関する法  
律が平成十年にできて、適応に関する法律というのは、そ  
れから遅れること二十年、実は六年前にできました。

農林水産業、水環境・水資源、自然生態系、自然災害、健康、産業・経済活動、国民生活、という七つの分野に注目して、気温が上がったり雨の降り方が変わるので、その影響をなるべく受けないようにしましょう、気候変動に適応していきましよう、ということを進めています。それぞれ、農林水産省や国土交通省、環境省、厚生労働省、経済産業省など、各省庁が連携して取り組んでいます。それくらい重要だということです。

そうして、気候変動適応法という法律ができました。この法律の内容を説明したパンフレットがあって、その中に七つの分野のイラストがあるのですが、この絵の中には「脱炭素」や「二酸化炭素削減」という言葉は基本的に入っていないません。この法律は二酸化炭素を削減するためのものではなく、気候変動の影響があつて、場合によっては命も奪われるようなことがあるから、被害を受けないように、影響を受けないように行動する、適応という対策をとる、ということが目的なのです。

実際にどのような影響が出ているのかについても、各省庁をあげて調査しています。そのデータをまとめたものが表2です。先ほどあげた七分野を、更に大項目、小項目に分けています。農業を水稲、野菜、果樹、畜産などに分け、林業、水産業も細かく分類しています。他の項目について

表2 政府における気候変動による影響の評価結果（適応法第十条）

出典：リーフレット「気候変動で私たちの生活はどう変わる？～気候変動影響評価報告書～」、環境省

分野	大項目	小項目	重大性 (人口・経済)	緊急性	確信度	分野	大項目	小項目	重大性 (人口・経済)	緊急性	確信度		
農業・林業・水産業	農業	水稲	●	●	●	自然災害	河川	洪水	●	●	●		
		野菜等	●	●	●			沿岸	海面・上層	●	●	●	
		果樹	●	●	●				風浪・高波	●	●	●	
		麦、大豆、飼料作物等	●	●	●				海岸侵食	●	●	●	
		畜産	●	●	●			山地	土石流・地すべり等	●	●	●	
		病害虫・雑草等	●	●	●				強風等	●	●	●	
		農業生産基盤	●	●	●			その他	雪害	●	●	●	
		食料供給	●	●	●			複合的な気象影響	冬季の温暖化	●	●	●	
			●	●	●				暑熱	●	●	●	
			●	●	●				感染症	水糸・食品媒介性感染症	●	●	●
林業	林業	木材生産（人工林等）	●	●	●	健康	その他	冬季の温暖化	●	●	●		
		特用林産物（きのこ類等）	●	●	●				暑熱	●	●	●	
		回遊性魚介類（魚類等の生息）	●	●	●				熱中症等	●	●	●	
		増養殖業	●	●	●				感染症	水糸・食品媒介性感染症	●	●	●
			●	●	●				節足動物媒介感染症	●	●	●	
			●	●	●				その他の感染症	●	●	●	
			●	●	●				温暖化と大気汚染の複合影響	●	●	●	
			●	●	●				脆弱性が高い集団への影響	●	●	●	
			●	●	●				（高齢者・小児・基礎疾患者等）	●	●	●	
			●	●	●				その他の健康影響	●	●	●	
水産業	水環境	沿岸域及び開閉性海域	●	●	●	産業・経済活動	製造業	食品製造業	●	●	●		
		湖沼・ダム湖	●	●	●				エネルギー供給	●	●	●	
		河川	●	●	●				商業	●	●	●	
			●	●	●				小売業	●	●	●	
			●	●	●				金融・保険	●	●	●	
			●	●	●				観光業	●	●	●	
			●	●	●				レジャー	●	●	●	
			●	●	●				自然資源を活用したレジャー等	●	●	●	
			●	●	●				建設業	●	●	●	
			●	●	●				医療	●	●	●	
水資源	水資源	沿岸域及び開閉性海域	●	●	●	国民生活・都市生活	都市インフラ、ライフライン等	水道、交通等	●	●	●		
		水供給（地表水）	●	●	●				文化・歴史などを感ずる暮らし	●	●	●	
		水供給（地下水）	●	●	●				生物季節、伝統行事・地産産業等	●	●	●	
		水需要	●	●	●				（生物季節）	●	●	●	
			●	●	●				（地産産業）	●	●	●	
			●	●	●				その他	その他（海外影響等）	●	●	●
			●	●	●				その他	その他（その他）	●	●	●
			●	●	●						●	●	●
			●	●	●						●	●	●
			●	●	●						●	●	●
自然生態系	陸域生態系	高山・亜高山帯	●	●	●	分野間の影響の連鎖	インフラ・ライフラインの途絶に伴う影響	温暖化による生活への影響等	●	●	●		
		自然林・二次林	●	●	●					●	●	●	
		里地・里山生態系	●	●	●					●	●	●	
		人工林	●	●	●					●	●	●	
		野生鳥獣による影響	●	●	●					●	●	●	
		物質収支	●	●	●					●	●	●	
		淡水生態系	河川	●	●			●			●	●	●
			湖沼	●	●			●			●	●	●
			温泉	●	●			●			●	●	●
			温泉	●	●			●			●	●	●
水環境・水資源	水環境	湖沼・ダム湖	●	●	●			●	●	●			
		河川	●	●	●			●	●	●			
			●	●	●			●	●	●			
			●	●	●			●	●	●			
			●	●	●			●	●	●			
			●	●	●			●	●	●			
			●	●	●			●	●	●			
			●	●	●			●	●	●			
			●	●	●			●	●	●			
			●	●	●			●	●	●			
水資源	水資源	沿岸域及び開閉性海域	●	●	●			●	●	●			
		水供給（地表水）	●	●	●			●	●	●			
		水供給（地下水）	●	●	●			●	●	●			
		水需要	●	●	●			●	●	●			
			●	●	●			●	●	●			
			●	●	●			●	●	●			
			●	●	●			●	●	●			
			●	●	●			●	●	●			
			●	●	●			●	●	●			
			●	●	●			●	●	●			
自然生態系	陸域生態系	高山・亜高山帯	●	●	●			●	●	●			
		自然林・二次林	●	●	●			●	●	●			
		里地・里山生態系	●	●	●			●	●	●			
		人工林	●	●	●			●	●	●			
		野生鳥獣による影響	●	●	●			●	●	●			
		物質収支	●	●	●			●	●	●			
		淡水生態系	河川	●	●	●			●	●	●		
			湖沼	●	●	●			●	●	●		
			温泉	●	●	●			●	●	●		
			温泉	●	●	●			●	●	●		
水環境・水資源	水環境	湖沼・ダム湖	●	●	●			●	●	●			
		河川	●	●	●			●	●	●			
			●	●	●			●	●	●			
			●	●	●			●	●	●			
			●	●	●			●	●	●			
			●	●	●			●	●	●			
			●	●	●			●	●	●			
			●	●	●			●	●	●			
			●	●	●			●	●	●			
			●	●	●			●	●	●			
水資源	水資源	沿岸域及び開閉性海域	●	●	●			●	●	●			
		水供給（地表水）	●	●	●			●	●	●			
		水供給（地下水）	●	●	●			●	●	●			
		水需要	●	●	●			●	●	●			
			●	●	●			●	●	●			
			●	●	●			●	●	●			
			●	●	●			●	●	●			
			●	●	●			●	●	●			
			●	●	●			●	●	●			
			●	●	●			●	●	●			

**凡例**  
 ●：特に重大な影響が認められる  
 ○：影響が認められる  
 △：現状では評価できない  
 ○●●：高い  
 ○●○：中程度  
 ○○○：低い  
 —：現状では評価できない

※表中の網掛けは、前回の影響評価から項目・評価結果の変更・更新があった箇所

も同様に分類しています。

評価軸としては、重大性、緊急性、確信度という三つの欄があります。重大性というのは、その影響による痛手の大きさについてで、例えば、静岡ですとお茶、栃木ならイチゴ、日本全体であれば米は重大性が高いといえます。緊急性は、それらの影響がもう既に出ているかどうかということです。確信度は、その影響がどれくらい出現しているか、ということですが、影響が一軒の農家で出ているということなのか、一〇〇軒の農家で出ているということなのか。一軒の農家だったら、気候変動の影響かどうか幾分懷疑になります。一〇〇軒の農家で出ているなら、これはもうその影響だろうと判断する、というような意味です。

七分野のそれぞれの項目で懸念されていたり、実際に既に受けている影響について、重要性、緊急性、確信度が高いと〇印、中程度は△印、まだ低いという場合は□印でそれぞれ表しています。〇印が三つ揃った項目はより注目して見て、日本の傾向としては、どの分野のどの項目により注目する必要があるのか、ということはこの表で見ることが出来ます。熱中症も〇印が三つ揃ってしまっています。この評価は、重要度が高いものの中でも緊急性の高いものを先にとるように、優先度を判断する材料にもなります。どこに優先的に対策をしていくか、ということにつながる

わけです。

そして、この評価も適応法に基づき五年に一度、見直しをしています。一回目が二〇一五年で、二回目が二〇二〇年です。今日見ていただいたのは、二回目の結果です。そうすると一回目と二回目での違いが見えてきます。この表の網掛けになっている部分は、状況が前回から変わったという分野で、多くの場合、悪化したところだと思ってください。

次は二〇二五年に新しいものが出ますが、また変わっていると思います。状況はどんどん変わるので、常に新しい情報を見て皆さんは判断をしてください。

#### 十 地方自治体の動き

ここまでは政府の動き、または日本全体の話です。つまりこれは、静岡県の例えば掛川市の、静岡市の、ということころまでは言及していません。そこはそれぞれ、掛川市、静岡市で評価をしていますので、それを見ていく必要があります。地域によって微妙に違ってきます。それが地域適応計画です。

国は五年ごとに見直しますが、細かくは県が見直して、またそれを参考にして市町が見直しています。静岡県の適応計画もありますし(表3)、静岡県の十一の自治体が適

表3 静岡県の地域適応計画（影響評価・適応策）の範囲（筆者作成）

分類	大項目	小項目	評 策	分類	大項目	小項目	評 策	分類	大項目	小項目	評 策			
農業・林業・水産業	農業	111 水稲	◎ ●	自然生態系（つづき）	淡水生態系	321 湖沼	● ●	健康	冬季	511 冬季死亡率等				
		112 野菜等	● ●			322 河川	● ●			暑熱	521 死亡リスク等	◎ ●		
		113 果樹	● ●			323 温原	● ●				522 熱中症等	◎ ●		
		114 麦、大豆、飼料作物等				沿岸生態系	331 亜熱帯				感染症	531 水系・食品媒介感染症		
		115 畜産	◎ ●				332 温帯・亜熱帯					532 節動物媒介感染症	◎ ●	
		116 病害虫・雑草等	◎ ●			海洋	341 海洋生態系			● ●	533 その他の感染症			
		117 農業生産基盤	◎ ●		その他		351 生物季節			その他	541 温暖化と大気汚染の複合影響			
		118 食料需給				361 分布・個体群の変動	● ●		542 脆弱性が高い集団への影響					
		林業	121 木材生産（人工林等）			生態系サービス	371				543 その他の健康影響			
			122 特用林産物（きのこ類等）		● ●		流域の栄養塩・懸濁物質の保持機能等				産業・経済活動	製造業	611 -	◎ ●
			水産業		131 回避性魚介類（養殖等の主体）		● ●		沿岸域の藻場生態系による水産資源の供給機能等			食品	食品製造業	
	132 増養殖業	● ●			サンゴ礁によるEco-DRR機能等				IT林業	621 エネルギー供給		● ●		
	133 沿岸域・内水面漁場環境等	● ●	自然生態系と関連するレクリエーション気候等				商業		631 -					
	水環境・水資源	水環境	211 湖沼・ダム湖		● ●		自然災害・沿岸域		河川	411 洪水		● ●	小売業	
			212 河川		● ●	412 内水				● ●		金融等	641 -	◎ ●
		水資源	221 水供給（地表水）		● ●	沿岸			421 海面水位の上昇	● ●		観光業	651 レジャー	◎ ●
			222 水供給（地下水）		● ●				422 高潮・高波	● ●		自然資源を活用したレジャー業		
	223 水需要	● ●	423 海岸浸食		● ●	建設業			661 -					
自然生態系	陸域生態系	311 高山・亜高山帯	● ●	山地	431 土石流・地すべり当	● ●		医療	671 -					
		312 自然林・二次林	● ●		その他	441 強風等		◎ ●	その他	681 海外影響				
		313 里地・里山生態系	● ●	451				682 その他						
	314 人工林		複合			都市		711 水道・交通等	●					
	315 野生鳥獣の影響	● ●				文化・歴史		721 生物季節・伝統行事						
	316 物質収支					その他		731 暑熱による生活への影響等	◎ ●					

評価：◎は国と同様の評価、●は静岡県独自の評価（両方の場合●）  
 参考：静岡県の気候変動影響と適応取組方針（平成31年3月）をもとに作成  
 赤字：富士市の地域適応計画に示されている項目

応計画を策定しています。二〇二四年六月現在の情報です  
 ので、今は増えているかもしれません。この内容は、それ  
 ぞれの自治体のホームページ等で確認できると思います。  
 これらの計画は地域性が出てきます。静岡市の気温が少  
 し高めだったように、気温は地域で違いがありますし、影  
 響の受け方や特産物にも違いがあります。自分の暮らす市  
 町はどうなのか、ということをは是非見てみてください。ま  
 た、先ほどの国の計画と同じように、優先度がありますの  
 で、静岡県ではどの分野を優先的に取り組むのか、さらに  
 市町は何に優先的に取り組もうとしているのか、というこ  
 とを確認してみてください。  
 静岡市のアクションプランもあり、計画の内容が書かれ  
 ています。我が市、我が町でも、既にこういうことが始まっ  
 ている、ということなんです。その中で、皆さんには、被害を  
 回避する、軽減する取り組みや行動を是非とっていただき  
 たいわけです。熱中症対策はだいぶ浸透しつつありますが、  
 ハザードマップも、存在は知っているけれども見たことが  
 ない、という方が多いのではないかと思うので、是非見て  
 ください。  
 農家の方は、品種改良であるとか、田植えや作付けの時  
 期をずらすなど、既に取り組んでいます。静岡のお茶も凍  
 霜害などの被害が出ているそうです。温暖化により、新芽

が早く出始めて、そこに季節どおりの霜が降ったら新芽が耐えられなくなつて被害が生じる、ということも最近ではあると聞いています。そうしたことへの対応をしていきましよう、ということなのです。

十 熱中症対策・熱中症警戒アラート

この夏の重要な熱中症対策は、この先も気温は上がっていきますので、来年、再来年においても重要な対策となるでしょう。

気候変動適応法の一部改正が、二〇二四年四月から施行され、熱中症警戒アラートが熱中症警戒情報として法に位置づけられました。熱中症警戒アラートは、皆さんの身を守る情報提供です。熱中症は、自分で守ることができる災害ですから、自ら情報をキャッチして、対策をしてください。学校で、今日は運動中止しますとか、プールやめますということがあるかと思いますが、その判断基準の一つがこの熱中症警戒アラートです。私も、毎日、情報を確認しています。

熱中症の搬送者数は、全体的に増えています(図16)。七月と八月がやはりどうしても多くなりますので、皆さんもぜひ注意してください。では、何を見て予防すればいいのかということですが、現在では熱中症の危

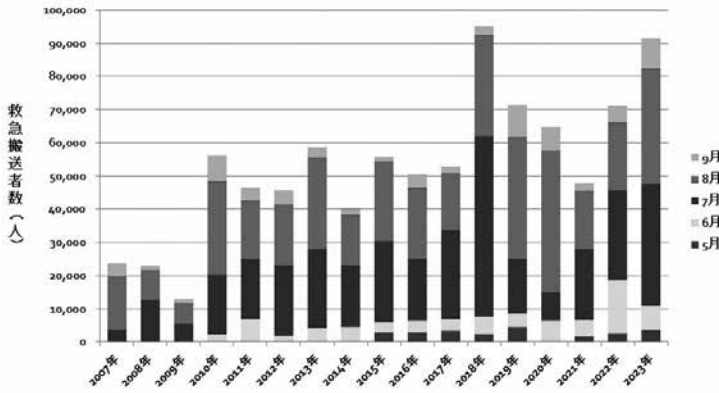


図16 月別・熱中症救急搬送者数の年次推移  
出典：総務省消防庁データより筆者作成

	7月6日	7月9日
最高気温	32.5℃	32.5℃
最小湿度	41%	56%
日射量	24.82MJ	24.07MJ
WBGT	26.9	29.9
暑さ指数ランク	警戒	厳重警戒
熱中症搬送数	50人	94人

図17 2011年7月6日と9日の例(東京)  
出典：環境省熱中症予防情報サイト

険度の指標として、暑さ指数WBGTというものが使われています。以前は、気温だけに注目した高温注意報というものを出して、三十五℃を超えると熱中症に注意しましょうと言っていました。熱中症を予防するために考慮すべきは気温だけではない、ということが分かってきたのです。例えば、二〇一一年七月の東京の例を紹介します(図17)。七月六日と七月九日、どちらも気温は三十二・五℃で同じです。違うのは湿度で、六日が四十一%、九日が五十六%です。すると、熱中症で搬送された方の数が、六日は五十人、九日は

九十四人と倍近く差があるのです。そこで、それぞれの日の暑さ指数WBGTを計算すると、九日の方が高い数値が出ます。

同じことを別の日、七月十八日と八月一日で見えます。七月十八日の気温は三十四・八℃、八月一日は三十三・二℃です。八月一日の方が気温は低いけれど、熱中症の搬送者数は、倍近く多くなっています。そしてまたこのケースでも、八月一日の方が湿度が高く、暑さ指数WBGTを計算すると、これも八月一日の方が高い値になっています。

つまり、熱中症の発症には気温だけでなく、湿度も関係するということです。更に日射量も関係していて、この気温・湿度・日射量の三つから、暑さ指数WBGTという数値を計算するようになりました。日射量というのは日の光、日射度や、ビルやアスファルトなどからくる輻射熱のことを指します。この暑さ指数WBGTの数値が、熱中症の搬送者数とよく合うということがわかったので、これを判断基準にするようになりました。

法的には今年から施行されていますが、試行的な運用は二〜三年前から始まっているので、天気予報などでも暑さ指数WBGTが使われています。暑さ指数が三十一以上になると、特別な場合以外は運動中止とされています。

二十八から三十一未満の場合は激しい運動は避ける、二十五以上二十八未満であれば積極的に休憩をとってください、ということになっています(表4)。

この暑さ指数を測定するには、専用の測定器を使います(図18)。私は持ち歩いていて、今日もここまで歩いて来る間、ずっと測りながら来ました。数値は三十二ぐら

表4 運動に関する指針(公財)「日本スポーツ協会「スポーツ活動中の熱中症ガイドブック」(2019)より

出典：環境省熱中症予防情報サイト

気温(参考)	暑さ指数(WBGT)	熱中症予防運動指針
35℃以上	31以上	運動は原則中止 特別の場合以外は運動を中止する。特に子どもの場合には中止すべき。
31℃以上 35℃未満	28以上 31未満	厳重警戒(激しい運動は中止) 熱中症の危険性が高いので、激しい運動や持久走など体温が上昇しやすい運動は避ける。10～20分おきに休憩をとり水分・塩分の補給を行う。 暑さに弱い人※は運動を軽減または中止。
28℃以上 31℃未満	25以上 28未満	警戒(積極的に休憩) 熱中症の危険が増すので、積極的に休憩をとり適宜、水分・塩分を補給する。 激しい運動では、30分おきくらいに休憩をとる。
24℃以上 28℃未満	21以上 25未満	注意(積極的に水分補給) 熱中症による死亡事故が発生する可能性がある。 熱中症の兆候に注意するとともに、運動の合間に積極的に水分・塩分を補給する。
24℃未満	21未満	ほぼ安全(適宜水分補給) 通常は熱中症の危険は小さいが、適宜水分・塩分の補給は必要である。 市民マラソンなどではこの条件でも熱中症が発生するので注意。



図18 WBGT簡易測定器(筆者提供)

いありました。

測定器を持ち歩かなくても、環境省の熱中症予防情報サイトで、各地点の暑さ指数を確認することができます。このサイトを見ていただくと、熱中症警戒アラートが出ている地域は紫色、暑さ指数三十一以上の地域は赤色に色分けされた地図が表示されています。暑さ指数は、八四〇地点で測定していますので、リアルタイムで毎日、刻々と更新されています。朝と昼と夜で数値は違います。

もっと細かい地域で見ることができます。静岡の測定地点は一七地点あり、これも地図上で見ることができますので、一番近い測定地点を見て判断をするといいでしょ。さらに、メール配信サービスもあり、登録すると熱中症警戒アラートが出ています、暑さ指数は●●です、という情報をメールで受け取ることができます。メール配信を受けるかどうかは別に、とにかく、自分で情報を見ることができるといことです。情報を見て、ご自身で判断をすることができるといことです。今日のお出かけはどうしようか、今日はゲートボールがあるけどどうしようか、ということをご自身で判断してください。

それから、熱中症は年齢別の対策も必要です。年齢別の熱中症発症率は、やはり六十五歳以上が多くなっています(図19)。次に多いのは小中学生です。授業や部活で運動

をしているからでしょう。男女差があるのは、やはり男性の方が屋外の活動が多いということなのだと思えます。高齢者の男女差がここまで大きい理由は不明です。

また、数としては少ないのですが、気をつけていただきたいのは〇歳から六歳のお子さんたちです。お子さんは自分で判断ができないので、周りの大人が判断する必要があります。先ほど日射量、放射熱という話をしましたが、この放射熱、いわゆるアスファルトからの照り返しの影響を、お子さんは我々大人以上に受けています。身長が低く、アスファルトに近いからです。アスファルトに近いと、二℃ぐらい違います。大人が歩いていて暑いな、と感じるそれより二℃ぐらい暑いので、かな

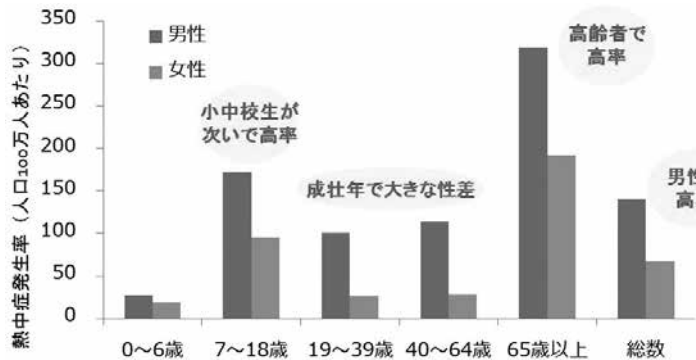


図19 性別・年齢階級別熱中症患者発生率(東京都:2010年~2015年)  
出典:夏季のイベントにおける熱中症対策ガイドライン2018(環境省)、他

りしんどいはずですよ。お子さんについては、周りの大人が注意してあげてください。

↑エアコンを使っていますか

エアコンの使用については、所沢市で熱中症に対する意識調査をしていますので、その例をご紹介します。

所沢市の観光情報・物産館で、二〇二三年八月に、WBG Tの数値を、屋外と屋内で測りました。屋外ですと、朝は六時くらいから「嚴重警戒」レベルになり、昼間はほぼ毎日「危険」レベルになります。それに比べて屋内は、アイスクリームや野菜を売っているような店舗でエアコンが効いていますから、「注意」レベルで維持されています。当然のことですが、エアコンを使うことで暑さ指数は抑えられます。

次に、東京都二十三区の熱中症で亡くなった方の状況を見てみます(図20)。亡くなった方のうち、八割以上が六十五歳以上の方です。そして、亡くなった時の状況は、エアコンがあつて使っていたという方もいますが、エアコンがあるのに使っていなかったという方が、六十四%を占めています。その日、エアコンのスイッチを押していれば、亡くなることはなかったかもしれないのです。

エアコンを使わない理由もいろいろあるかと思えます。

でもこの結果を見ると、エアコンを使っていたら助かった命かもしれないのです。この助かったかもしれない命をいかに守るかということ、今、私も含めて、あの手この手で皆さんにお伝えはしているのですが、なかなか浸透しなくて、熱中症で亡くなる方が減りません。

家庭でのエアコン

の使用についても調査しています。神奈川県のパターゴルフができるような公園で、暑さ指数WBG Tを屋外と屋内とで測定し、そこにいらつしやつた方々に、エアコンを使っていますか?というアンケートを取りました。その結果、使っているという人が多いのですが、使っていない

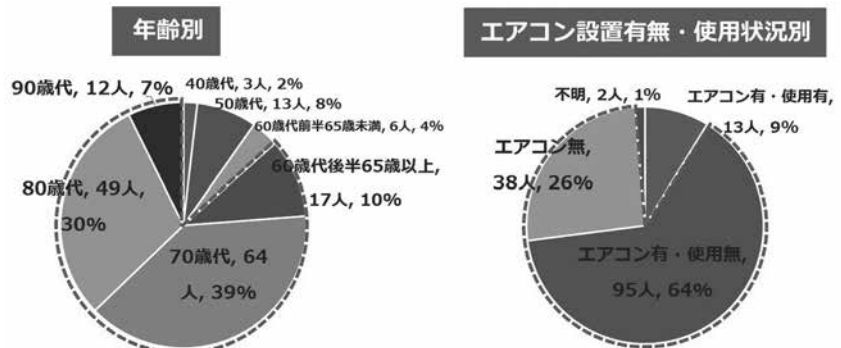


図20 都内23区における令和5年度夏の熱中症死亡者の状況  
出典：東京都監察医務院のデータを基に、環境省作成



す。これらを駆使して、それぞれがご自身の命を守りましょう。是非、情報サイトも見てください。今日、知識と情報を得たので、行動に移してください。

最後に、今日、私がお伝えした内容については、是非ご家族やご友人に共有していただきたいです。私はこのような講演の場で、行政とか事業者に対しても話していますが、皆さんも今日の話、最新情報を周りの方に伝えてみてください。そして、最新情報を把握して、ご自分の生活を見直していただけるといいなと思います。

### 質疑応答

質問——温暖化の現実を知って、背中が寒くなりました。お話にありました、自分自身で熱中症を避ける努力ができるということ、夜もエアコンをつけましょう、という点で質問です。

私もエアコンはつけているのですが、エアコンを使うということはエネルギーを使うわけです。問題の本質は、二酸化炭素を削減しなくてはいけないということで、しかも社会的な努力をしてやっと一・五℃の中に収めるという状況なのに、熱中症から自分ひとりの身を守るためにエアコンを使うというのが、どうも意識として納得できないので

すが、そのあたりはどうでしょうか。

それと、もう一点は、二酸化炭素の排出を減らそうという世界的な目標があるのに、日本政府はエネルギー源の六十%を占める化石燃料、石炭火力の削減を拒否しているわけで、このような状態で一・五℃に抑える見通しというのは本当に立つのでしょうか。

川原——まず一つ目の質問ですが、二酸化炭素を削減するために省エネしろと言いつつ、エアコンは使ってくださいと言うと、矛盾しているのではないか、というご意見だと思います。これはよく指摘されることですが、電力は使うな、二酸化炭素は出すな、ということではありません。必要な電力は使うし、二酸化炭素は出るけれど、例えば太陽光などの二酸化炭素が出ない方法に移行していきますよ、ということなのです。電力を使っても二酸化炭素はゼロになるというような、いろいろなやり方があるので、その中で考えていきましょうということです。

命がなくなってしまうたら、元も子もありません。熱中症で亡くなる方が本当に増えていますので、電力は使うべきところは使い、そしてその電力はどうやって作り出すのか、それは自分たちで賢く選択をしていきましょう。みんな生き残って、良い生活を、穏やかな生活をしていきましょう

う。

もう一つの質問ですが、まず、先ほどお話ししましたが、日本もちゃんと削減に取り組んでいます。そのうえで、本来に1.5℃で抑えられるのかという点には、いろいろな議論があります。化石燃料が、というお話も当然あります。でも、例えば、すべてを太陽光にできるとして、太陽光パネルを日本中に設置するために、どれくらいコストがかかるのか、その分、電気代が倍になってもいいのでしょうか。それでは企業も、家庭も大変になってしまいます。

二〇五〇年には二酸化炭素排出をゼロにするという目標がありますが、それに取り組むことによって生じる様々なことを考えることも必要です。今すぐに実現はできなくても、削減の為に取り入れられることを、家庭の中にも取り入れていくしかないのかなと思います。

質問——基本的な疑問ですが、このような地球規模の話の場合、当然、温度等を測るのに世界標準のようなものがあるのでしょうか。

それから、将来予測をみると気温は右肩上がりになっていくのですが、今日の資料のデータは、二一〇〇年までのグラフになっています。それをもっと長いスパンで見た場合、気温は5℃、10℃、20℃、30℃、とずっと上

がっていつてしまうのでしょうか。

川原——まず、測定器の基準があるのかということですが、いくつか基準はあります。いわゆるJIS規格のように、世界規格とか検定合格というような記載が機器にはあるはずです。

それからもう一つの、温度は上がり続けるのかという質問は、とても鋭いと思います。

今日の資料の将来予測も二一〇〇年までで切っておりまして。この先を延ばすと、どうなるのか。計算上では、気温はどんどん上がっていくとなっています。ただ、予測の確信度はどんどん下がっていきます。先のことになればなるほど確信度は下がるので、そこも踏まえて、二一〇〇年で切つてあるわけです。

可能性として、この先、10℃、20℃と上がることもあり得るか、といえば、計算上はあり得ます。ただ、今はそこまでのラインには乗っていません。そうならないような努力をしていて、そうならない予測のラインに乗っていますので、このままさらに二酸化炭素の削減に取り組んでいきましよう。



# 野生生物から見た気候変動

伊藤 舜

## はじめに

私は、理学部の生物科学科で助教をしています。専門は、進化生態学や島嶼生物学という分野で、生物が「いつ」、「どのように」、「なぜ」進化してきたのかということ、島嶼、つまり、島の生物を通して明らかにしていく研究をしています。その中で、私が最も専門としているのは陸産貝類で、陸にいる貝類、すなわちカタツムリです。また、伊豆半島と伊豆諸島の生物に関する研究もしており、トカゲや、トカゲの捕食者であるヘビなど、この地域に住んでいる生物も研究しています。

進化生態学とは、生物の生態が進化するメカニズムを明らかにする、という分野で、いわば生物進化の歴史学といったところですが。生物の色や大きさ、形など、目に見える特徴を表現型といいます。生物がどのように進化して、現在の表現型にたどりついたのかということを、遺伝子を使

い、野外で実験をして、生物を追跡し、それらを数式で表すことによって明らかにします。

## 進化生態学とは

### 進化とは

さきほどから「進化」という言葉が出ていますが、「進化」とは何なのか、これについても整理しておきます。

進化とは、生物の集団において、遺伝する特徴が世代を経るごとに変化する過程のことをいいます。例えば、あるネズミの集団がいたとします。そのネズミの集団では、茶色っぽい色が遺伝します。ある時、黒いネズミが突然変異で現れて、その黒い方が有利な環境があったとします。そうなると、黒いネズミは黒が有利な環境にいて、黒いネズミと交配をすることで、黒が有利な場所では茶色が生まれづらくなってきました。だんだんと、黒い場所では黒が有利、

普通の場合では茶色が有利という構図ができ、世代が進むにつれて徐々に黒と茶色が別の集団に分かれていきます。この過程を種分化といいます。このような、ネズミが茶色から黒になり、黒が徐々に種分化する、という変化の過程、時間を経るごとに遺伝的なものが変化することを「進化」といいます。ある状態や形状が、別の状態や形状に変わった、というのは「進化」ではなく「変化」です。

#### ↑進化の「なぜ」をさぐる

進化生態学では、この進化について、今のネズミの例でいうと、茶色の集団と黒の集団に分かれたとき、どのような要因で、なぜ黒に変わるのかという、「なぜ」を調べます。それには、遺伝子を変異して黒を発現する遺伝子に変わったから、という「なぜ」と、茶色よりも黒の方がある場所では食べられにくい、もしくは繁殖に有利だからという「なぜ」が考えられます。

遺伝子が変わったというのは、至近要因と呼ばれるもので、食べられにくいや繁殖に有利というのは究極要因です。進化生態学の中で重要視して、明らかにしようとするところは、この究極要因です。「なぜ変わったか」についての、食べられにくいや繁殖に有利という究極要因を探り、その過程の中で遺伝子が変わった、ということも一緒に明らかに

にしています。

今回の講座では、この「進化」を軸にして、過去の気候変動が生物の進化にどのような影響を与えてきたのか、そして、現在進行中の気候変動が、今現在の生物の進化にどのような影響を与えるのかということを、最近の研究例などを紹介しつつ見ていくことを目的としています。

#### 気候変動が生物に与える影響

##### ↑気候変動とは

まず、気候変動とはどういう現象なのかについて確認していきます。

国際連合広報センターのホームページを見ると、「気候変動は、気温及び気象パターンの長期的な変化を指します。(中略) 1800年代以降は主に人間活動が気候変動を引き起こしており、その主な原因は、化石燃料(石炭、石油、ガスなど)の燃焼です。」と説明があります。続いて「現在の地表の平均温度は、1800年代後半(産業革命以前)と比べて約1・1℃温暖化して(後略)」いて、「現在見られる気候変動の影響としては、とりわけ、深刻な干ばつ、水不足、大規模火災、海面上昇、洪水、極地の氷の融解、壊滅的な暴風雨、生物多様性の減少などが挙げられます。」

とあり、生物多様性についても言及されています。気候変動とは、長期的な過程の中で気温・気候が変わること、それによって様々な影響を及ぼす現象であるということ、です。

＋生物多様性への影響

では、気候変動による生物多様性への影響とはどのようなものでしょうか。

WWFジャパン（公益財団法人世界自然保護基金ジャパン）のホームページに、

2000年から2024年までの間で、絶滅危惧種に指定されている種のうち、その減少の要因が地球温暖化によるものと考えられる種の数

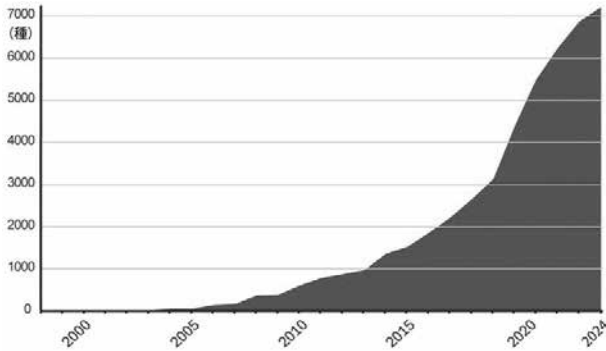


図1 地球温暖化が、絶滅危機の要因の一つとなっている絶滅危惧種の種数 (IUCN/Red List2024を基に作成/Publication YearのCR,EN,VUの合計値を参照/WWF)

出典：WWFジャパンHPより (<https://www.wwf.or.jp/activities/basicinfo/286.html>)

たグラフが掲載されています(図1)。これを見ると、最近になるにつれて、ほぼ指数関数的に増えているということがわかります。

また、気候変動の中でも、どのような現象が絶滅に影響を与えているのか、についてもWWFジャパンのホームページに掲載されています(図2)。一番大きな影響として挙げられるのは「生息地の変化・遷移」です。気候変動の影響を受けて、例えば森林が草原になってしまうなど、生息地の状況が変化することです。次に「干ばつ」や「気温の変化」の影響が挙げられます。気温が上昇したということが、直接的に生物に影響しているということです。そして「暴風雨・洪水」、これは、例えば陸上で生きる生物がいた場合、暴風雨や洪水が起きて生息地が流されることや、水に浸ってしまうということが挙げられます。このよ

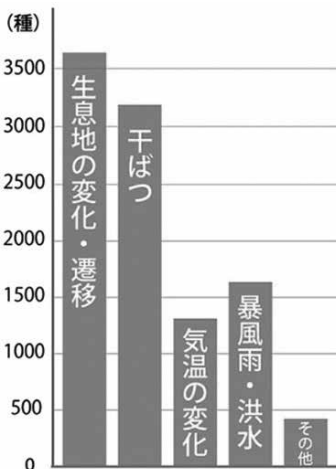


図2 気候変動の影響と、それぞれの影響を受ける絶滅危惧種の種数 (IUCN/Red List2024を基に作成/WWF)

出典：WWFジャパンHPより (<https://www.wwf.or.jp/activities/basicinfo/286.html>)

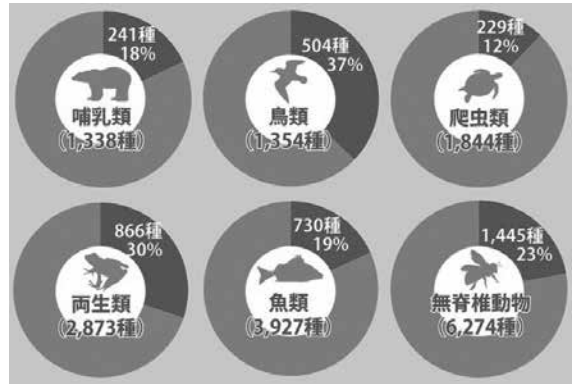


図3 各分類群の絶滅危機種（総数）のうち、温暖化の影響を受けている種の割合（IUCN/Red List2024を基に作成/CR,EN,VUの合計値を参照/WWF）  
 出典：WWFジャパンHPより（<https://www.wwf.or.jp/activities/basicinfo/286.html>）

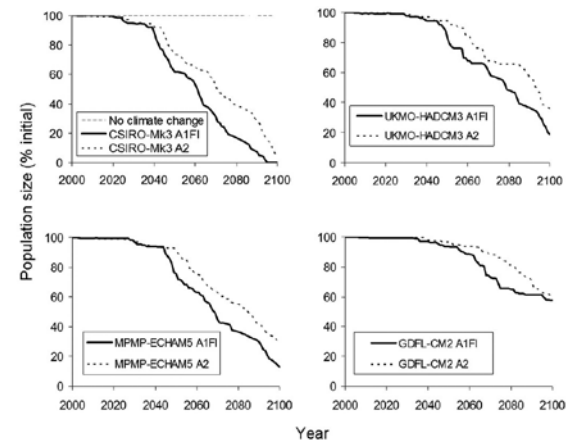


図4 気候変動が生物に与える影響 オーストラリアのカエルの例  
 出典：Keith et al. (2014) Conserv. Biol. <https://doi.org/10.1111/cobi.12234>

す (Keith et al., 2014 Conserv. Biol.)。

気候変動には、いつ頃に気温が何℃になるのかを予測したシナリオがあります。予測のシナリオは一つではなく、より早く温暖化が進んだ場合や、少し緩やかになった場合、というように、いろいろなパターンがあります。その中でも急激に気候変動が進むパターンで試算すると、オー

うに、気候変動による直接的な影響はもちろんのこと、環境自体が変わったという、間接的な影響を受けたために、絶滅の危機に瀕する生物がいるのです。

温暖化が生物の絶滅にどれほどの影響を与えているかというと、鳥類の絶滅危惧種のうち約40%、両生類は30%程度が、哺乳類や爬虫類も10%〜20%が、温暖化の影響を受けていて、気候変動は生物の絶滅の大きな要因となっているといえます (図3)。

実際に、いつ、どのくらい絶滅してしまうのか、ということも推定したオーストラリアのカエルの例を紹介しま

ストラルリアに生息するカエルは、40〜80年後には絶滅してしまうと推定されています。シナリオによっては、絶滅まで至らないという試算もありますが、どのシナリオであっても、カエルの個体群に対して大きなダメージを与えられるといえます (図4)。

このように、気候変動は生物に対して、直接的な影響だけでなく、間接的にも影響を与え、様々な現象、最悪には絶滅という結果をもたらすと危惧されています。

## 静岡県内で見られる生物への影響

### 十 静岡県内における気候変動

ここまで、地球全体の傾向について、オーストラリアのカエルの例を挙げながらお話ししてきましたが、身近でない、その危機感というのを感じづらいと思います。そこで、ここからは静岡県内の事例を見ていきます。

静岡県が作成している資料（改訂版）ふじのくに生物多様性地域戦略）によると、静岡市の平均気温は、最近50年で約2.2℃上昇しています。温度が上がったということは、豪雨の発生など別の現象をもたらします。こうした気候変動によって、県内の生物はどのような影響を受けたのでしょうか。

皆さんは、周りの生き物が変わったとか、これまで見たことのない生き物が見られるようになった、ということはありませんか。実は、そのような事例が生じています。ナガサキアゲハやクロコハゼなど、かつては九州などの南方にしかいなかった生物が、徐々に関東側に来ていて、今では静岡にも生息していることがわかっています。

また、ライチョウや高山植物などの、高山の生態系の分布域がだんだんと狭くなり、それによって高山の上の方が孤立してしまうという事態が生じつつあります。後に詳しく

く取り上げますが、シカの分布は拡大する傾向にあります。

### 十 富士山の森林限界の推移

県内の生物への影響の例として、富士山の森林限界について、1978年から2018年までの推移を調査した研究を紹介します（Sakio & Masuzawa 2020 Plants）。

森林限界とは、木々が生育できずに森林を形成できなくなるギリギリの標高帯、境界のことをいいます。この研究では、まず森林限界より標高の高いエリア、森林限界がちょうど切り替わるエリア、少しだけ植物があるエリア、森林があるエリア、立派な

森林が形成されているエリアまでのだいたい200メートルの中で、標高の高いところから順に記録し、植物にどのような変化があったのかを調査しています（図5）。

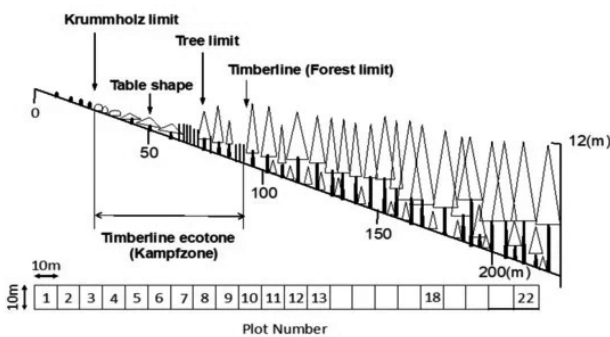


図5 富士山での森林限界の推移 (Sakio & Masuzawa 2020 Plants)

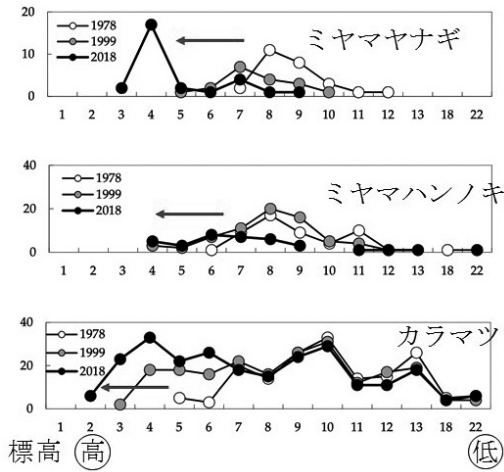


図6 富士山での森林限界の推移 植物の数  
(Sakio & Masuzawa 2020 Plants 図を一部改変)

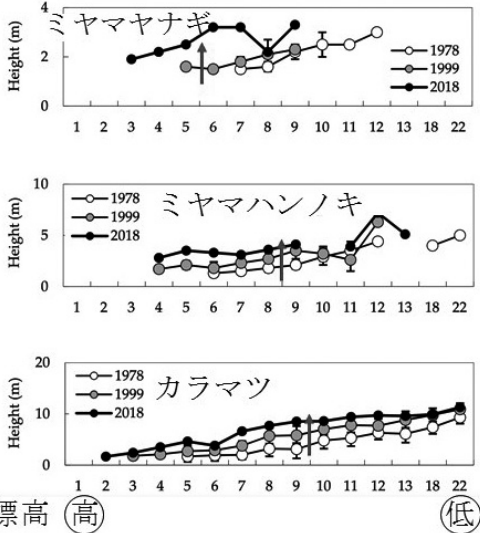


図7 富士山での森林限界の推移 植物の大きさ  
(Sakio & Masuzawa 2020 Plants 図を一部改変)

5メートルくらいの高さだったのに対して、40年後の2018年では、3メートル程度まで高くなっています(図7)。これもミヤマヤナギだけではなく、ミヤマハンノキやカラマツでも、同じ傾向が見られます。カラマツについては、

富士山で見られる植物としてミヤマヤナギ、ミヤマハンノキ、カラマツが挙げられますが、例えばミヤマヤナギについては、1978年には「8」の辺り、森林限界の中でも少し標高の低いところで多く見られたのに対して、1999年になると「7」や「6」の辺り、つまり10〜20メートル上の場所で見られるようになっていきます(図6)。2018年になると、さらに上の「4」のところにもピークが出ています。ミヤマハンノキもカラマツも、同じように標高の高いところで見られるようになっていきます。驚くべきことに、カラマツは森林限界を越えた「2」の辺りまで進出しています。これらのことは、富士山にいる多くの種

類で、標高が高い場所での個体数が増加して、標高が高い場所に進出することができていることを意味しています。また、植物が進出できたというだけではなく、大きさも変化しています。一般的に、植物は、標高が高いところでは生育が難しくなり、植物体の大きさは小さくなります。例えば、ハイマツという南アルプスなどにたくさん生えているマツは、背が低いです。他の植物も同様で、本来は背の高い植物でも、標高の高い場所では低くなるということがあります。

そこで、富士山ではどうかを見てみると、例えば、「5」地点にいるミヤマヤナギは、1978年には大体1〜1・

森林限界の下の方の「8」辺りにいるカラマツが、40年前には1メートル前後だったのに対し、9メートルと非常に大きくなっています。この40年間で、植物は標高が高いところに進出しただけではなく、植物体の大きさも大きくなっていることがわかります。

さらに、シラビソやトウヒなどの、1978年には低い標高でしか見られなかった植物が、40年後の2018年には、標高の高いところに現れるようになったこともわかっています(図8)。

これらのことから、気候変動によって気温が上昇し、植物は徐々に標高が高いところに進出できるようになり、より生育しやすくなったため、植物体の大きさも大きくなったということが考えられます。

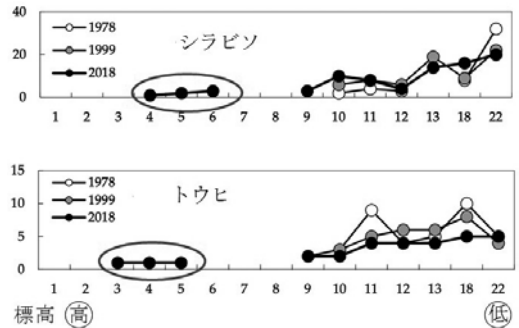


図8 富士山での森林限界の推移 新種の出現 (Sakio & Masuzawa 2020 Plants 図を一部改変)

### ↑南アルプスへのシカの進出

植物が標高の高いところまで進出している、という事例を紹介しましたが、植物以外にも進出しています。その例として、南アルプスのシカについての研究 (Taki et al. 2022 *Acta Oecologica*) を紹介します。

まず、南アルプスのシカにGPSをつけて、そのシカがいつ、どれくらいの高さにいるのかを調べました。すると、シカは通常、標高1500メートルくらいの高さに出現しますが、夏になり雪が溶けると、一気に標高3000メートル近くまで上がり、また寒くなり雪が降ると一気に下へ降りる、という行動パターンを示すことがわかりました。近年は温暖化の影響で雪の降る量が減り、雪が地面を覆う割合も減少しつつあるので、シカが高山帯に進出できる期間が徐々に長くなっています。それにより、高山帯の植生は、シカに食べられやすくなっているということが指摘されています。

また、もう一つ興味深いのは、南アルプスのシカの進出、どこにシカが現れるか、ということです。シカが好む場所というのは、北岳などの標高が高い場所ですが、シカが選好するエリアと、環境省国立公園の特別保護地区にあたる高山帯がオーバーラップします。したがって、温暖化がさらに進み、標高の高い場所の雪の量が減り、雪が積もって

いる期間が減ったとすると、シカはそのような場所に現れるので、特別保護地区にあたる高山帯の植生は、より壊滅的な被害を受けると危惧されています。

#### †伊東市の甲虫群集

ここまで、富士山、南アルプスといった標高が高い場所についての事例を紹介してきましたが、より身近な生物はどうでしょう。

伊豆半島の伊東市の研究例 (Andow 2024 Ecol. Entomol.) では、クワガタムシやカミキリムシなどの甲虫について、大きな甲虫ほど温暖化の影響を強く受けている、ということがわかっています。具体的には、甲虫が出現する時期に影響が表れていて、大きな甲虫ほど、より後半に出現しやすくなる傾向にあります。この大きな甲虫、例えばカミキリムシなどが幼虫でいる6月ごろの時期の気温が高いほど、その年に出てくる成虫の数が減少している、ということがわかっています。

甲虫の組成は、伊東市と静岡や浜松のエリアでも常に身近な存在なので、甲虫たちは非常に広い範囲で温暖化の影響を受けていると考えられます。身近な生物ですら、地球温暖化、気候変動の影響を強く受けているのです。

#### 過去の気候変動による生物進化への影響

ここまででは、地球温暖化が生物の分布や行動、個体群、成長などに影響を与えている、という気候変動の影響についてお話ししてきましたが、ここからは、気候変動が生物の「進化」にどう影響を与えるか、というところに着目していきます。

今現在は、とても急激な気候変動が起こっているのですが、長期的なスパンで見ると、実はこれまでも気候変動は起こっていて、地球は、暖かくなったり寒くなったりを繰り返しています。いわゆる氷河期、間氷期という気候変動のフェーズがあり、その都度、気候変動の影響を生物たちは受けてきたはずですが。

しかしながら、影響を受けてきた、とはいうものの、私たちの周りにはたくさん生物がいます。つまり、今、私たちが見ている生物たちは、過去の気候変動で何かしらの影響を受けたうえで、それを乗り越えて存在していて、その結果、現在の生物が多様な状態を形成しているということです。そして、今の状態に至るまでに、どのような影響を受けてきたのかということを考えるうえで、「進化」がポイントとなってきます。

### 十鳥の渡りの進化と種分化

まずは、全球規模でどのような変化が起きたのかということを知るために、ハヤブサを例に見ていきます (Gust et al. 2021 Nature)。ハヤブサは、日本でも郊外で見られる鳥ですので、皆さんも見かけたことがあるかもしれません。このハヤブサについて、過去に気候変動の影響を受けたために集団が分かれたとする論文が、2021年に発表されました。この論文が出た当時は、こんなのが出たか、すごいな、と注目を浴びました。

この研究でも、まずハヤブサにGPSをつけて、どのように移動しているのかを調べています。すると、ハヤブサは、ユーラシア大陸北側のツンドラのエリアにある繁殖地へと渡るルートと越冬する場所が集団によって違い、集団間の渡りの移動距離に大きな違いがある、ということがわかりました。

ツンドラエリアの西側で繁殖するハヤブサほど、繁殖地から越冬地までの移動距離は短く、片道3000キロから4000キロという距離を渡っています。一方、東側の中国大陸の端の辺りで繁殖しているハヤブサが越冬地まで移動する距離は、8000キロに及ぶことがあります。なぜ、同じハヤブサなのに、これほど移動距離に違いが生じているのでしょうか。ここに気候変動が関わっています。

ハヤブサの集団には、東側の長距離を渡る集団、中間程度渡る集団、少し短い集団、より短い集団、という四つの集団があります。その四つの集団が遺伝子で分かれるのかを調べてみると、これらはある程度まとまりがあることがわかりました。ハヤブサの四つの集団は遺伝子的にも分かれている、つまり、遺伝子的に別の集団だといえるわけです。

ではなぜこのように分かれたのか、ということが重要な視点です。今日の遺伝解析は成長著しいため、DNAを調べると、いつ分かれたのかという年代が推定できます。東側の移動距離が長い集団と、中程度の集団が遺伝的に近く、西側の移動距離が少し短い集団と、より短い集団も遺伝的に近くなっています。遺伝的にこれら集団に分かれた時代が、約2万3千年前です。そこからさらに分かれて、今の四つの集団になったのが1万年前くらいです。これがいつの時期にあたるかというと、2万3千年前が最終氷期で、氷河が発達していた時代です。1万年前というのは、氷河が発達している時代が終わわり、温暖になりつつある時代です。

つまり、ハヤブサは2万3千年前の、氷河が発達していた、ヨーロッパ広域が氷河に覆われていた時代に、氷河が南側にせり出したことによって、二つの集団に分断された

のではないかと考えられます。

その後、氷河が衰退し、地球全体が温暖化していくと、ハヤブサはそれまでの繁殖地がやや温暖になり、氷河の近くの開けた場所まで繁殖地を北上させました。北上した繁殖地とそれまで越冬していた場所を行き来するため、東側の集団はより長い距離を移動することになり、西側の集団は、そこまで南寄りではない場所に越冬していたため、繁殖地が北上しても移動距離は短めで済んだのではないかと考えられます。

こうしてハヤブサは、氷河が発達している時代に集団が二つに分かれ、さらに温暖化の影響によって繁殖地が北上したことで、越冬地までの渡り距離の長距離、短距離というパターンが徐々に決まっていたと考えられます。世代を経るごとに、徐々に移動距離が集団の中で固定されていき、現在の、東側の集団は非常に長い距離、片道8000キロくらいを毎年行き来していて、西側の集団は片道4000キロくらいを行き来するという状況に至ったわけ  
です。

このように、ハヤブサの集団が分かれたということのみでも、気候変動の影響を強く受けていることがわかります。しかし、今現在も気候変動は生じています。そのように考えると、今現在も、ハヤブサは気候変動の影響を受けてい

るのかもしれませんが。

西側の集団の繁殖地は、これ以上は北上できないところまで来ています。このまま気温が上昇していくと、繁殖できる場所が縮小し、その結果、個体数が減少、集団が消滅するという深刻なシナリオも考えられています。東側の集団についても、80%とか60%は減少してしまうのではないかと推定されています。

また、移動の距離も変化していく可能性もあります。東側の集団の繁殖地はさらに北側へ移り、渡りの距離は伸びるかもしれませんが。西側の集団も繁殖地が限界まで北上するため、渡りの距離は伸びるでしょう。

#### 十瀬戸内海のカタツムリの分布パターン

ハヤブサの事例は全球規模で起こった事象ですが、もう少し小さいレベルの身近な例として、瀬戸内海に生息するシメクチマイマイとアキラマイマイという、二種類のカタツムリの分布についての研究を紹介します (Kameda & Fukuda 2015 Venus)。

この二種類のカタツムリは、殻の形で区別することはできません。どうやって区別するのかというと、身体の中の生殖器に着目します。生殖器の違いと、遺伝子の違いで両者を区別します。遺伝子的には両者には明瞭な違いがあり

ます。

このカタツムリの瀬戸内海での分布を調査したところ、アキラマイマイが中央にいて、シメクチマイマイが周りを囲っているという、少し変わった分布パターンをしていることがわかりました(図9)。なぜこのような分布をしているのでしょうか。それには、この地域の過去の状況が関係しています。

実はこの地域は、今でも島がたくさんありますが、数千年くらい前までは、さらに多くの島が存在していたと考えられています。それを踏まえて、改めてカタツムリの分布

を見てみると、中央に分布しているアキラマイマイは、かつては島だった場所にいるカタツムリで、周囲に分布しているシメクチマイマイは、かつては大陸側

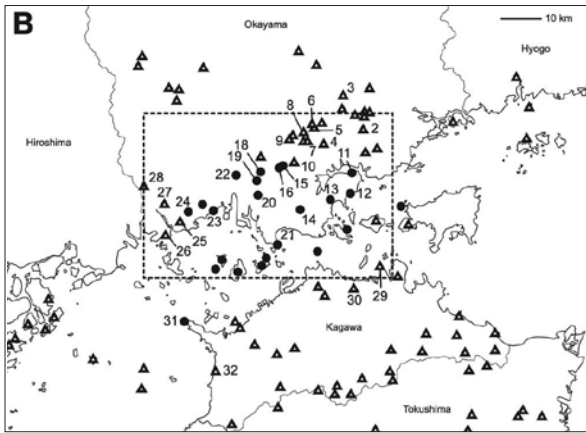


図9 瀬戸内海のカタツムリの分布パターン (△シメクチマイマイ●アキラマイマイ) (Kameda & Fukuda 2015 Venus)

の陸地であった場所にいるカタツムリだ、ということが見えてきます。

このように、地形の変化などの過去の状況を考慮することで、今、カタツムリがいる場所がかつては島だったために、今現在の分布に至った要因がわかることがあります。

生物が別の生物であるとか、別の色に進化するという過程を見るときに、現在の状況、「今」を見ることはもちろん重要です。一方で、過去にどういったことが生じたのかを無視することはできません。その生物がどのような進化の歴史を歩んできたのかを紐解く必要があります。その中で、全球スケールで生物に影響を与えている気候変動は、非常に有益なヒントになるのです。

### 現在進行中の地球温暖化による生物進化への影響

ここまで、生物が過去に受けた影響について紹介してきました。ここからは、現在進行中の気候変動が、生物の進化にどのような影響を与えているのか、についてお話ししていきます。これまでも気候変動の影響を受けてきましたが、今現在も様々な生物が気候変動の影響を受けているに違いありません。

気候変動とは異なりますが、気温の上昇ということで考

えると、ヒートアイランド現象も挙げられます。ヒートアイランド現象とは、都市の中心部の気温が、郊外に比べて島状に高くなる現象です。要するに、都市部は気温が高くなるということです。ヒートアイランド現象の要因は、人工排熱の増加や、アスファルトやコンクリートによる地表の人工化、建物が密接していて風通しが悪くなる、といった都市形態によるものなどが挙げられます。気候変動による温暖化に加えて、ヒートアイランド現象が要因となつて、温度に対する生物の進化が生じているということがわかっています。

#### ＋カタバミの色

皆さんは、カタバミという植物をご存じですか。クローバーを少し小さくしたような、酸っぱい味のする植物です。カタバミには、緑色のものと赤っぽいものがあります。このカタバミが、どのような場所でも緑になり、どのような場所では赤っぽくなるのかを調べたところ、気温に関係があることがわかりました。このカタバミの研究事例を紹介いたします (Fukano et al. 2023 Sci. Adv.)。

カタバミは、通常、緑のカタバミの方が、赤いカタバミよりも育ちやすいと言われています。熱をかけない環境下で育てた場合、緑の方が赤いカタバミよりも重量が大きく

なり、種もたくさん付けます。そのような環境下では、通常の環境下では緑の方が有利なので、赤いカタバミは存在しない、ということになってしまいます。

しかし、実際に、赤いカタバミは私たちのごく身近にたくさん生えています。皆さんも目にしたことがあるのではないのでしょうか。そこで、赤いカタバミがどのような場所に出現するのかということを、全世界、地域、さらにローカルな街、といった様々なレベルで調べました。

すると、街レベルでは、植物の生えている緑地が多いエリアに緑のカタバミが多く、住宅密集地になると赤いカタバミが増えているということがわかりました。次に、少しエリアを広げて東京近辺という地域レベルで見ると、都心から離れた緑が多い郊外では、ほとんどが緑のカタバミで、都心部の植物が少ないような場所では赤いカタバミが多く見られました。

ここまでのパターンから、全世界レベルでも、植物が多いような場所では緑が多くて、人が住んでいて植物が少ない場所だと赤が多いのではないかと予測できると思います。実際にも、都市部では赤いカタバミが多く、森林地帯や、人が住んでいるところ、いわゆる田舎で緑が多いところでは、緑のカタバミが多いことがわかりました。つまり、どのレベルで見ても、都市部では赤いカタバミが多くなる

ということがわかります。

では、なぜ、都市部では赤いカタバミが増えるのでしょうか。それを解明するために、温暖化やヒートアイランド現象の影響という視点から、カタバミに熱ストレスを加えて、生育の状況を調査しました。ブロックを組んで、その隙間にカタバミの種を置き、熱ストレスを与えた時にどのような成長をするのか、という実験です。

ブロックに熱を加え、ブロックが50℃以上にもなると、周囲の温度も40℃前後まで高まります。すると、赤いカタバミの方が種子をつける数が多くなります。つまり、強い熱ストレスがかかる環境下では、赤いカタバミの方が、緑のカタバミに比べて成長しやすく、種子をつけて次世代に子どもを残しやすいということがいえます。したがって、より気温の高い都市部で、赤いカタバミが増えたのだと考えられます。

この赤いカタバミがどのように進化してきたのかを調べてみると、緑のカタバミと赤いカタバミが系統樹上で複数回出現したことがわかりました。すなわち、それぞれが、出現した場所の環境に応じて、ある場所では赤になる進化が生じたり、緑になる進化が生じたということが考えられます。つまり、カタバミは都市に進出して、その度に葉の色が緑から赤に進化してきたということが考えられます。

#### †ヨーロッパのモリマイマイ

ここまで、直接的に温度の影響を受けて色が変わったというカタバミの進化の事例を紹介しました。次はもう少し複雑な事例を紹介します。ヨーロッパにいるモリマイマイというカタツムリの研究です。

カタツムリの殻は、黄色っぽいものや黒っぽいもの、オレンジがかったものなどがありますが、一つの種類の中でも、様々な殻の色を持つカタツムリがいます。黄色っぽいカタツムリの場合、黄色い色は熱反射効率が高いため、気温が高く暑い場所でも高温になりづらいと考えられます。一方で、黒っぽいカタツムリの場合は、黒い色が熱の吸収率が高いため、暗くて寒い場所でも、より暖まりやすいと考えられます。また、黄色でも、「帯」というストライプ模様が入ったカタツムリでは、若干黒が入っているので、黄色のカタツムリに比べると、暖まりやすいと考えられます (Di Lellis et al. 2012 Cell Stress Chaperones; Schweizer et al. 2019 Ecol. Evol.)。

この考えに従うと、気候変動の影響で気温が上昇していき、より高温になりづらい黄色っぽいカタツムリの方が生き残りやすく、個体数は増加するのではないかと推測できます。すでにこの20年、40年で増加しているかもしれない。

そこで、ヨーロッパ全土でこのカタツムリの色を調べてみました (Silvertown et al. 2011 PLoS One)。全体的に黄色のカタツムリが増えているだろうと予想されていたのですが、実際にそこまで顕著な結果は見られませんでした。全体として見ると、カタツムリはまだ気候変動の影響を受けたという状況にはないということです。

では、もっと小さいスケール、ある地域やある地点、というレベルではどうでしょう。オランダで、ごく狭い範囲、10キロ以内ぐらいの地点で、カタツムリの状況を調べました (Ozgo & Schilthuisen 2012 Glob. Change Biol.)。1967年と2010年の状況を比較し、どう変化したのかを見てみると、約40年ほどの間に、黄色いカタツムリが増えていることが分かりました。小さいスケールで見ると、カタツムリは温暖化の影響を受けて、熱の吸収効率が低く、高温になりづらいカタツムリがその場所で生き残りやすくなっている、という傾向が確認されたのです。

ヨーロッパ全土、という大きいスケールで見ると、温暖化の影響ははつきりとは出てきていないものの、小さいスケールで見ると、カタツムリの殻の色に温暖化の影響は表れつつあるということです。

### 気候変動による外温性動物の捕食・被食関係への影響

ここまで、カタバミとカタツムリの事例を紹介しました。もう一つ、身近な、といってもヘビとトカゲの事例なので、皆さんにとって身近といえるかわかりませんが、トカゲとヘビの関係性についての研究を紹介します (Yuan Landry et al. 2021 Ecol. Lett.)。この研究から、生物の捕食・被食の関係が、地球温暖化によってどのような影響を受けるのかを考えていきたいと思います。これは、私が実際に取り組んでいる研究ですので、よりリアルに感じていただけるかもしれません。

#### † 捕食・被食の関係性ーシマヘビとオカダトカゲ

今回の主役となるのはオカダトカゲという、伊豆半島と伊豆諸島にのみ生息しているトカゲです。そして、もう一方はシマヘビです。ヘビが食べる側で捕食者、トカゲが食べられる側で被食者、という関係です。どちらも爬虫類なので、外側からの温度を利用して体温を上げます。要は、日向ぼっこをすることで自身の体温を高く維持して、活動することができます。こうしたヘビやトカゲのように、外部の温度を利用する生物は、温暖化の影響が非常に大きく、捕食・被食の関係も劇的に変化すると考えられます。

通常、ヘビはトカゲを捕まえようとします。トカゲは、ヘビから逃げるために、速く走らなくてはなりません。速く走るためには体温を上げる必要があります。トカゲは、ヘビから逃げるために、ヘビよりも高い体温を維持して、より速く走れるようにしたいのです。

では、温暖化が進行するとどうなるでしょう。気温が高くなるので、ヘビの体温は上がりやすくなります。ヘビは体温がすぐに上がって、速いスピードで追いかけてくるようになるので、トカゲも逃げるために、体温をすぐに上げる必要があります。もちろん、温暖化はヘビだけでなくトカゲにも影響しているので、トカゲも体温が上がりやすくなっているはずですが、トカゲは、温暖化の影響を、気温が高くなるという直接の影響だけでなく、ヘビの体温が高くなって追いかけてくるスピードが速くなる、という間接的な形で受けることになります。

また、生物はタンパク質で構成されるため、体温の上昇に上限があります。温度が高くなりすぎるとは生きていきません。

これらのことを踏まえて、温暖化がヘビとトカゲの関係、捕食・被食の関係にどんな変化をもたらすのか、ということとを、今回は被食側のトカゲに着目し、捕食側のヘビの影響をどう受けているのか、ということから考えていきます。

#### † 伊豆諸島は絶好の研究場

オカダトカゲは、先ほどお話ししたように、伊豆半島と伊豆諸島にしかいません。世界的に見ても、ここにしかないトカゲです。ウロコの数や雰囲気は少し違いますが、ニホントカゲやヒガシニホントカゲに見た目はよく似ています。伊豆半島では、伊東市や天城など、各地で多くの個体数が見られます。

このトカゲは島にも生息しています。島には、捕食者であるシマヘビがたどり着いている島と、たどり着いていない島があります。伊豆諸島の三宅島と八丈島、八丈小島、青ヶ島の四つの島にはトカゲはたどり着いていますが、ヘビはたどり着いていません。したがって、伊豆諸島は、ヘビがいる島とない島のトカゲを比較することで、トカゲがヘビから受ける影響を確認できる、優れた研究システムになっています。

#### † ヘビがトカゲの体温に与える影響

少し気候変動から離れてしましますが、前提として、トカゲがヘビからどのような影響を受けているのか、ということを確認しておきます。

トカゲがヘビから逃げる時、尾を切るという行為をします。尾が切れる位置、例えば、ヘビがギリギリまで接近し

た場合は根元から切りますが、うまくトカゲが逃げ切れれば、尾の先の方だけを切るようになります。トカゲは、できるだけ尾の先端で切る方がメリットになります。なぜなら、根元から切ってしまうと、新たに尾を伸ばすのに時間がかかろうえ、直接的な死につながる可能性があるからです。この尾の切り方から、どのようなトカゲが生き残りやすいのかを調べました。当然、ヘビから逃げ切ることのできる、足が速いトカゲが生き残りやすいわけです。

しかし、ヘビがない島では、足の速さは生き残りやすさに関係していません。ヘビに捕まってしまうくらい足の遅いトカゲでも、ヘビがない島では生き残っているのです。

では、トカゲの足の速さに温度がどう影響しているのでしょうか。それを調べるために、実際にトカゲを捕まえて、トカゲの体温を測りました。具体的には、まず、トカゲを竿で釣って捕まえます。捕まえたトカゲの体温をその場で測り、トカゲが走るように仕向けて、その姿をハイスピードカメラで撮影します。こうして、トカゲを捕まえては走らせる、という作業を繰り返して、データを集めます。

因みに、トカゲは体温が高いときは、 $39^{\circ}\text{C}$ や $40^{\circ}\text{C}$ くらいの高温になります。 $36^{\circ}\text{C}$ 前後が通常ですが、速く走るためには $37^{\circ}\text{C}$ 、 $38^{\circ}\text{C}$ と限界を攻めた高温になります。もしトカ

ゲを見つけたら、是非捕まえて、触ってみてください。暖かいと感じるはずですが、今の季節は気温が高いので、トカゲの体温も高くなっていて、速く走ることができる状態なので、捕まえるのはものすごく大変です。

さて、こうした地道な調査の結果、ヘビがいる島のトカゲの方が、いない島のトカゲよりも体温が高く、体温に $2.9^{\circ}\text{C}$ もの差があることがわかりました(図10)。トカゲは自分自身で体温を上げることができないので、日向ぼっこをして温度を上げます。つまり、ヘビがいる島のトカゲは、いない島の

のトカゲよりも、日向ぼつこの時間を長く必要としているのです。

さらに、走る速さと体温の関係について詳しく知るため、どれくらいの体温の時に、どれく

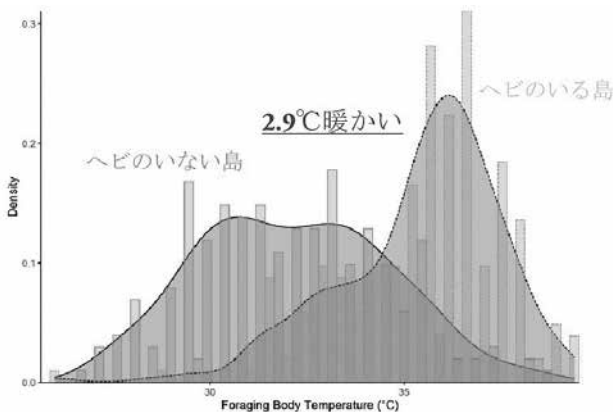


図10 トカゲが活動するときの体温  
(Yuan Landry et al. 2021 Ecol. Lett. 図を一部改変)

らい速く走ることができ、  
けるのか、  
を調べまし  
た(図11)。

まず、ト  
カゲの走る  
速さは、温  
度以外の要  
因もあり、

ヘビがいる島のトカゲは、いない島のトカゲよりも速く走ることができません。且つ、ヘビがいる島のトカゲの方が、いない島のトカゲよりも体温を高く維持して、より速く走れるようにしているということがわかりました。

捕食者であるヘビにも、ヘビが出せる最大のスピードがあります。ヘビの最大スピードよりも速く走るために必要なトカゲの体温は、 $33 \cdot 8^{\circ}\text{C}$ ということがわかりました。この $33 \cdot 8^{\circ}\text{C}$ というのがカギです。

ヘビのいる島のトカゲは、平均すると $35 \cdot 4^{\circ}\text{C}$ の体温を維持しています。ヘビがいる島では、ヘビから逃げられるスピードを出すために、体温も高くなっているのです。

一方、ヘビのいない島のトカゲの体温は $32 \cdot 2^{\circ}\text{C}$ です。

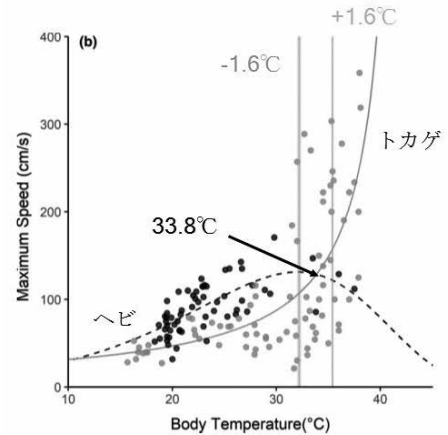


図11 走る速さと体温の関係  
(Yuan Landry et al. 2021 Ecol. Lett. 図を一部改変)

これは、ヘビの最大スピードを超えて走る必要がないため、体温を低く維持して、ヘビより遅いノロノロ運転で走っているということだ。

トカゲは、食事をするときも体温を高く維持する必要があります。ヘビのいる島のトカゲの体温は $39^{\circ}\text{C}$ ～ $32^{\circ}\text{C}$ 、いない島のトカゲの体温は $36^{\circ}\text{C}$ ～ $27^{\circ}\text{C}$ です。ヘビのいる島のトカゲは、食事中もギリギリ逃げ切れる温度を維持しています。

#### ↑温暖化がヘビとトカゲに与える影響

では、温暖化の影響を受けて、ヘビもトカゲも暖まりやすくなった場合、この関係はどう変化するのでしょうか。

まず、伊豆諸島で気温がどのくらい上昇したのか、ということから知る必要があります。伊豆諸島の1980年頃の年間の平均気温が $16 \cdot 9^{\circ}\text{C}$ 前後で、2018年、2019年頃は $18 \cdot 3^{\circ}\text{C}$ です。約40年間で $1 \cdot 4^{\circ}\text{C}$ 、気温は上昇しています。このような温度環境下で、トカゲの体温はどのように変化したのでしょうか。

私の共同研究者が、今から40年ほど前の1981年から1991年に、トカゲの体温をひたすらに測っていました。そのデータと、2018年から2019年のデータを比較しました。その結果、40年前も今も、ヘビがいる島のトカ

ゲの方が、ヘビのいない島のトカゲよりも体温が高いということがわかりました(図12)。

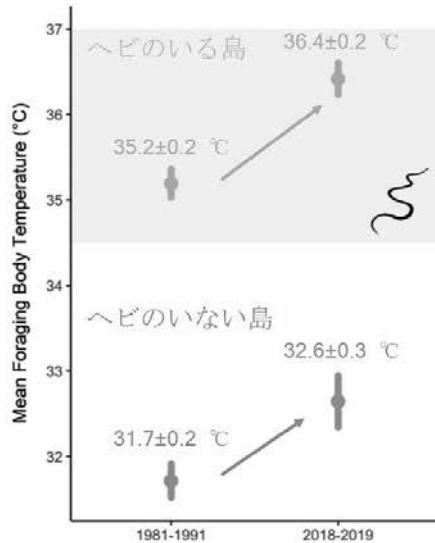


図12 気温上昇の環境下でのトカゲの体温の変化 (Yuan Landry et al. 2021 Ecol. Lett. 図を一部改変)

ヘビがいる島では、ヘビの体温も上がりやすくなり、足も速くなるため、ヘビから逃げるためにトカゲの体温も上昇し、だいたい1・3℃体温が上昇していました。それに対して、ヘビがいない島は、捕食者がいないので体温を上げる必要がないのにもかかわらず、同じように1・3℃体温が上昇していました。

これが意味することは、同じ日向ぼつこの時間でも、体温を上げる効率が高まったということです。また、ヘビから逃げるということ以外にも、トカゲには体温を高めるメリットがあります。それは餌を食べる時です。トカゲは餌を食べる時には日陰に入るので、餌を探している間、徐々

に体温は低くなってきます。体温が低くなると活動が鈍くなってしまうので、もともとの体温を高く維持していた方が、長い時間、餌を探せます。

日向ぼつこの時間を変えずに体温を高くできるということは、トカゲにとってメリットになるので、温暖化に合わせてトカゲの体温は上昇していったと考えられます。つまり、地球温暖化自体が、ヘビという捕食者の存在に関わらず、トカゲの体温に直接に影響を及ぼしているということがわかりました。

その一方で、ヘビも温暖化の影響を受けています。ヘビの体温も温暖化の影響を受けます。トカゲは、温暖化によって体温が上がりやすくなることで足が速くなるわけですから、ヘビもそれを捕まえるために、さらに速く追いかける必要があります。そう考えると、ヘビもトカゲも、温暖化と合わせて体温が上昇していくと考えられます。

しかし、先ほどお話したように、彼らには体温の上限があります。42℃を超えると、タンパク質が変性し始めます。個体として維持できなくなり、死んでしまうかもしれません。例えばトカゲが、自身の体温を限界の41℃くらいまで上げたとなると、ヘビもそれに応答して、より高い体温になるかもしれません。逃げるために体温がより高く、追うために体温がより高くというような、両者のせめぎあ

いが生じると考えられます。このせめぎあいには、いつ限界がきて、どのような結末をもたらすのでしょうか。現状では、温暖化が進んではいるものの、まだこの両者の関係性が崩壊したり、大きく変化したりする段階に至っていません。したがって、今後まだまだ続くと考えられる温暖化により、どのような変化が起きて、どのような影響が生じるのかは、注視していく必要があります。

#### †他の生物への影響

この捕食・被食の関係は、ヘビとトカゲだけではありません。生息地には、サシバなどのヘビを食べるような鳥類がいます。トカゲが食べるような節足動物もいます。このまま温暖化が進行した場合、ヘビ（捕食）やトカゲ（被食）の関係性が崩壊する可能性も、もしくはまったく変わらな可能性も考えられます。他の生物に対しても影響が波及する可能性があります。影響がどこまで、どのように波及していくのかは予測できません。

このように、気候変動は、カタバミやカタツムリのように直接的に影響を与えるものもあれば、気温が高くなり、ヘビの体温が高くなることでトカゲの体温も高くなる、というように、間接的に影響するものもあります。さらに、他の生物との関係性に対しても、予測できない影響を与え

ることも考えられます。私たちの周りには、いろいろな生物が存在しています。それが気候変動に対してどのような応答をして、どのように変化していくのかということが、気候変動と生物、生物の進化を見ていくうえで重要になってくるのではないのでしょうか。

生物のいいところは、身近ににいるということです。皆さんも、ある生物の行動が変わった、ある生物がいなくなった、あるいは増えた、などの変化に気づくことができます。そうした変化を少しでも捉え、気にかけることで、私たちは、気候変動の影響を知り、それらに対応していくことができるのではないかと思います。皆さんも周りの生物を気にかけてみて、それらの変化を捉えることを意識してみてください。

#### 質疑応答

質問——トカゲの調査についてですが、トカゲの体温というの、どのように測るのでしょうか。

伊藤——トカゲなどの爬虫類は、糞や卵などを出す総排泄腔を持っています。総排泄腔の中に、温度を測る細長い体温計のような器具を入れて測ります。見た目には、トカゲ

の肛門に針金を刺しているように見えます。

質問——体温は、外側から測るということではダメなんですか。

伊藤——彼らは外温動物で、外の温度の影響をすぐに受けてしまうので、我々が触った影響が彼らの体温に反映される速度が多少落ちるので、捕まえてすぐ、1分以内に体の内側の体温を測っています。

質問——気候変動と生物多様性との関係についての質問です。気候変動によって絶滅したり、個体数が減る生物がいる一方で、高温を好むような新しい種の生物が出たり、高温に適した進化をすることもあるというお話でした。ということは、温暖化によって生物の多様性が減ると言えるのでしょうか。北極に近い寒いところよりも、赤道に近い暖かいジャングルのようなところの方が、生物多様性はあるかと思っています。

また、生物多様性が減少すると、人間にとってどのような害があるのでしょうか。

伊藤——まず最初に、生物多様性に関してですが、温暖化が要因で生物が減っているという事実、生物が絶滅の危機に瀕しているという事実は、現在の生物においては報告されています。一方で、その温暖化が現在の生物の進化を促している、ということも知られています。高温に対する進化が生じた生物の存在、すなわち、高温に対応できる遺伝子を獲得した生物の存在がわかっています。

ただ、その高温に適応する進化が生じるスピードと、高温に耐えられず絶滅してしまうスピードのバランスを考えると、絶滅するスピードの方が速いと考えられるため、全体としての多様性は減少する可能性があります。これは現在、地球規模で我々が直面している問題の一つとなっています。

進化というものは、止まることがありません。コロナ禍の時が分かりやすかったと思います。コロナウイルスも新しい変異株が次々に生じていましたよね。このように、生物では、絶え間なく進化が生じ続けます。しかし、進化が生じるスピードと絶滅のスピードが合っていないということが、今現在の問題点です。

多様性が減っていることが、人間にどのような影響があるかについてです。例えば、ある生物が持っている化学物質が病気を治す薬になる、カビを防ぐ薬になる、このよう

に人間の健康等へ応用できる例があります。また、ある生物が持っている構造、例えばカタツムリの殻の表面が汚れにくい構造を持っているなど、生物が進化させた形質を人間が模倣することもあります。このように、生物が持つ化学物質を利用したり、構造を模倣することで、人間は生物多様性の利益を享受しています。

もちろん、すべての生物が有益に利用できるかどうかはわかりません。影響がない、プラスにもマイナスにもならないこともあるかもしれません。しかしながら、多くの生物がいることで、選択肢が増え、人間の直接的な利益になる可能性も増加するでしょう。したがって、生物はその多様性が高ければ高いほど、将来、私たちに有益な影響をもたらし得る存在であるといえます。

質問——今日の講義の内容とは離れますが、私が子供の頃は、ナメクジというのはカタツムリの殻が取れたものだと聞いていました。ところが、先日、テレビでナメクジとカタツムリはまったく違う生き物だ、という話を聞きました。実際のところはどのようなのでしょうか。

伊藤——実は、私は、日本で数少ない、ナメクジの分類研究をしている研究者です。ナメクジとカタツムリは同じも

のです。カタツムリの殻がない進化をしたものがナメクジです。

殻がない進化というものは一回だけ生じたわけではなく、「殻を失う」ということが何度もカタツムリの中から生じています。殻を失うことの利益、殻を持っていることの不利益があるので、このような進化が起こったと考えられています。

森にいるナメクジは、ヤマナメクジというナメクジが多いです。街中にいるナメクジには、コウラナメクジというヨーロッパや北米原産のナメクジが入ってきています。殻を失った進化をしたナメクジだけでなく、殻が中途半端にあるナメクジのようなカタツムリもいます。

ご質問の答えとしては、ナメクジとカタツムリは同じです。殻を失う進化が生じたか、殻を失っていないかの違いです。



## 【講師紹介】

### カサレト ベアトリス（静岡大学創造科学技術大学院・サステナビリティセンター特任教授）

1953年アルゼンチン・ブエノスアイレス生まれ。理学博士。東京大学農学系研究科水産学国費留学生・ブエノスアイレス大学大学院自然科学専攻修了。専門は海洋生物学。主な研究は駿河湾の深層水、サクラエビプロジェクト、沖縄やモーリシャスのサンゴ礁生態系、CO2固定に関する海洋生態系プロジェクトのリーダー歴任。静岡県「森は海の恋人：駿河湾の環境保全と利用」に関する委員、文部科学省アジア・アフリカ環境リーダープログラム副責任者、静岡新聞「サクラエビ再生のための専門家による研究会」委員、国際サンゴ礁学会評議員・日本サンゴ礁学会評議員・編集委員、2019年ベトナム科学アカデミーの荣誉賞、2022年にタイの海洋学会・環境省の荣誉賞、2024年モーリシャス大学の荣誉賞を受賞し、多くの国際共著論文を出版。

### 川原博満（静岡大学サステナビリティセンター客員教授）

1962年生まれ。愛媛大学大学院工学系研究科海洋工学専攻修了（工学修士）。東京大学大学院工学研究科博士課程単位取得満期退学。民間コンピュータ会社に15年勤務し、国立環境研究所などのシミュレーションシステムを開発。その後、神奈川県科学センターで専門研究員として有害化学物質のリスク評価、民間コンサルの取締役として国のPRTRの排出量推計、一般社団法人で事務局長として地球温暖化防止活動推進に携わり、2018より環境省関東地方事務所地域適応推進専門官に着任し現在に至る。現職では、気候変動に伴う気候災害等の影響のリスク軽減・回避を中心に行う気候変動適応策の普及啓発を地方自治体・民間企業・一般市民に行うとともに、地方自治体の環境基本計画、地球温暖化対策実行計画、気候変動適応計画、再可能エネルギービジョン等の策定委員会の委員として策定支援も行っている。

### 伊藤 舜（静岡大学理学部助教）

東北大学大学院生命科学系研究科博士後期課程修了。博士（生命科学）。日本学術振興会特別研究員、伊豆大島ジオパーク学芸員などを経て、2024年より現職。専門は進化生態学と島嶼生物学。伊豆半島・伊豆諸島の陸産貝類（カタツムリ）を中心に、進化生態学的な研究を行っている。

# 静岡大学公開講座ブックレット

地域創造教育センターでは、二〇〇八年度より、『公開講座ブックレット』の刊行を開始しました。当センター主催の公開講座の記録を講演録という形でまとめて発行するというものです。公開講座を実施してそのまま終わりにするのではなく、記録として残り、公開していくことによって、知の蓄積と共有を図ろう

と考えています。

これらのブックレットは、静岡大学附属図書館や静岡県内の公共図書館で閲覧することができます。また、静岡大学学術リポジトリ (<https://shizuoka.repo.nii.ac.jp/>) でも公開しています。

## 1 身近な自然環境・里山との付き合い方

富田 昇「里山の性格とその変貌——史資料に残る山林利用の変遷」  
小嶋睦雄「海岸林と人の共生関係論」  
小南陽亮「里山の自然環境——生態学からみた里山の森林」

2009年3月刊  
74ページ

## 2 浜松の戦争遺跡を探る

荒川章二「浜松の陸軍基地」  
村瀬隆彦「浜松空襲について」  
竹内康人「浜松の戦争遺跡」

2009年11月刊  
76ページ

## 3 高齢化社会における地域とまちづくり

中條暁仁「高齢者は弱者なのか？」  
矢野敬一「祭りを継続させる・町屋のまちづくりを立ち上げる」  
南山浩二「家族・地域社会のゆくえと高齢者介護」

2010年3月刊  
72ページ

## 4 いま、再び〈いのち〉を考える

松田 純「検証生命操作の現在」  
田島靖則「検証いのちの「はかなさ」をめぐる」  
石川憲彦「検証現代人に突きつけられた生と死の課題」

2012年1月刊  
62ページ

## 5 〈いのち〉と環境を考える

宗林留美「海のしくみと駿河湾深層水」  
松田 純「遺伝子技術のゆくえと〈いのち〉の現在」  
芳賀直哉「いのちの森を守る闘い——南方熊楠の思想」

2012年3月刊  
74ページ

## 6 沼津の古代遺跡を考える

滝沢 誠「古墳出現期の沼津」  
篠原和大「農耕文化形成期の沼津」  
菊池吉修「古墳時代後期の東駿河の様相——埋葬施設からみる特徴」

2012年3月刊  
68ページ

## 7 食と健康を科学する

竹下温子「食の安全・安心を考える」  
木寄暁子「食とバイオサイエンス」  
日野真吾「食物繊維の効能——免疫とアレルギー」

2013年3月刊  
92ページ

# 静岡大学公開講座ブックレット

## 8 災害を知り、防災を考える

鶴川元雄「火山噴火予知の方法——富士山の現状を考える」  
原田賢治「静岡の津波防災を考える」  
北村晃寿「大地が伝える津波と地震の記憶——静岡伊豆の堆積物調査から」

2014年3月刊  
96ページ

## 別編 世界文化遺産富士山を考える

小山真人「富士山 大自然への道案内」  
増澤武弘「文化遺産を育て守る富士山の自然」  
和田秀樹「富士山の美を作る生い立ち——生の姿と富士の恵」  
小二田誠二「眺める富士山——景観と表現」  
湯之上隆「霊峰富士の宗教文化史」

2014年11月刊  
114ページ

## 9 〈生きる〉を考える

松田 純「変貌する身体と生命」  
丑丸敬史「老いを科学する」  
久木田直江「医療と身体を考える」  
竹之内裕文「〈死〉とともに生きる」  
白井千晶「生むこと、生まれること」

2016年3月刊  
131ページ

## 10 ふじのくにのホモ・サピエンス

山岡拓也「ホモ・サピエンスの技術と能力とは何か——世界各地で明らかにされている現代人的行動」  
池谷信之「人類史最古の遠距離航海と土木工事——神津島産黒曜石と陥穴猟」  
山岡拓也「三万五千年前のハイテク狩猟具——台形様石器の実験考古学」

2018年3月刊  
70ページ

## 11 静岡の自然と文化

——東部・伊豆半島を中心に——

小山真人「世界遺産・富士山と伊豆半島ジオパーク」  
白井嘉尚「地域力×アート力——静岡での試み」

2021年3月刊  
52ページ

## 12 リスクに向き合う

村越 真「私たちの周りにおけるリスクとそのマネジメント」  
鳴海哲夫「化学のチカラで感染症に立ち向かう」  
塩田真吾「ネットのリスクをどう教えるか」  
鈴木哲朗「感染症のリスクに向き合う」  
朴 龍洙「感染症ウイルスを測る」

2022年3月刊  
119ページ

# 静岡大学公開講座ブックレット

## 13 静岡の自然と文化―県東部を中心に―

遠藤大介「ジオサイトからたどる沼津・三島の大地の歴史」  
篠原和太「駿河湾沿岸地域の農耕文化の形成」

2023年3月刊  
39ページ

## 14 静岡の自然と社会 ―県東部にスポットをあてて考える―

杉山康司「裾野市におけるスポーツを活かした地域活性化への取り組み」  
阿部耕也「地域と大学が共創する学びとコミュニティ」  
小林 淳「富士山の生い立ちと麓にもたらした湧水の科学的特徴」  
山岡拓也「愛鷹山麓の遺跡の考古学研究で明らかにされている初期現生  
人類の技術と行動」

2024年3月刊  
94ページ

**カサレト ベアトリス**（静岡大学創造科学技術大学院・サステナビリティセンター特任教授）  
「駿河湾の自然と生態系とサクラエビ—その特性」

**川原博満**（静岡大学サステナビリティセンター客員教授）  
「気候変動への対応と私たちの暮らし～緩和策と適応策～」

**伊藤 舜**（静岡大学理学部助教）  
「野生生物から見た気候変動」



静岡大学公開講座ブックレット15

## 変わりゆく自然と私たち

発行日——2025年3月24日

編集・発行——静岡大学地域創造教育センター  
〒422-8529 静岡市駿河区大谷836  
☎054-238-4817

印刷——株式会社三創

表紙画像提供——伊藤 舜