

2021年度  
地球環境『自然学』講座  
第15回

テーマ

昆虫と鹿を通して考える  
地球温暖化  
—生態系に及ぼすインパクト—

講師

京都大学名誉教授  
藤崎 憲治 先生

2021年11月27日  
認定NPO法人・シニア自然大学校

## 講師プロフィール

### 藤崎 憲治 (ふじさき けんじ)



#### 1. 経歴

1947年福岡県生まれ。京都大学大学院農学研究科博士課程修了。農学博士。沖縄県農業試験場主任研究員、岡山大学農学部教授、京都大学大学院農学研究科教授を経て、京都大学名誉教授。専門は、昆虫生態学、応用昆虫学、個体群生態学。これまで個体群生態学会会長、日本応用動物昆虫学会会長、日本昆虫科学連合代表、日本学術会議農学委員会応用昆虫学分科会委員長などを歴任して、昆虫科学や生態学の発展と普及に努めてきた。

#### 2. 現職

京都大学名誉教授

アスクネイチャージャパン アドバイザー

#### 3. 著書・発行物（年代順）

伊藤嘉昭・法橋信彦・藤崎憲治（1980）動物の個体群と群集（生物学教育講座七巻）、東海大学出版会。  
伊藤嘉昭・藤崎憲治・斎藤 隆（1990）動物たちの生き残り戦略。NHK ブックス、日本放送出版協会。  
中筋房夫・藤崎憲治・内藤親彦・石井 実・甲斐英則・佐々木正巳（2000）応用昆虫学の基礎、朝倉書店。

藤崎憲治（2004）昆虫における飛翔性の進化と退化。飛ぶ昆虫と飛ばない昆虫の謎、藤崎憲治・田中誠二編著、東海大学出版会。

藤崎憲治・鳥飼否宇（2008）群れろ！昆虫に学ぶ集団の知恵。エヌ・ティー・エス。

藤崎憲治（2009）昆虫から学ぶ科学。昆虫科学が拓く未来、藤崎憲治・西田律夫・佐久間正幸編、pp. i-ix。京都大学学術出版会。

藤崎憲治（2009）カメムシはなぜ群れる？離合集散の生態学、学術選書、京都大学学術出版会。

藤崎憲治（2010）仮想温暖化装置を用いたミナミアオカメムシの発生予測。地球温暖化と昆虫、桐谷圭治・湯川淳一 編著、全国農村教育協会。

藤崎憲治（2010）昆虫未来学―「四億年の知恵」に学ぶ。新潮選書、新潮社。

藤崎憲治（2011）生物多様性がもたらす技術革新。次世代バイオミメティクス研究の最前線―生物多様性に学ぶ―、下村政嗣 監修、シーエムシー出版。

藤崎憲治・大串隆之・宮竹貴久・松浦健二・松村正哉（2014）昆虫生態学、朝倉書店。

藤崎憲治（2015）絵でわかる昆虫の世界 進化と生態。講談社。

など多数

# 昆虫と鹿を通して考える地球温暖化—生態系に及ぼすインパクト—

藤崎憲治（京都大学名誉教授）

地球温暖化はもはや否定しようのない事実であり、IPCC第6次評価報告書によれば、温暖化の原因は人類が排出した温室効果ガス（ほとんどが人類の活動によって排出される二酸化炭素）であるものと断定された。

地球温暖化は地球規模の環境変動であるため、さまざまな場面で大きな影響を与え始めているが、本講演では昆虫と鹿という系統的に全く異なる生物を通して、地球温暖化が自然生態系に与えるインパクトについて考察してみることにする。

地球温暖化は、土地利用、環境汚染、侵入生物などとともに、地球上の生態系に対する重要なインパクトであり、近年ではもっとも注目されている最重要の環境変動である。一般に環境変動の生態系に与える効果は、生息する生物たちに直接的に作用する直接効果と生物間相互作用を通しての間接効果に分けて考える必要がある。また、温暖化は、あまりにも急速なスピードによる生物たちの不適応、共進化関係にある生物たち（例えば植物と昆虫など）の季節的同期生の崩壊、南方性の生物の高緯度地帯への侵入による土着種との競合、および緯度による温度格差の減少による地球環境の多様性の減退を通じて、生物多様性を大きく減少させるものと考えられている。

## 1. 温暖化の直接効果（1）昆虫の分布拡大

温暖化の直接効果として、昆虫の分布拡大が顕著になってきている。私が現在住んでいる岡山で観察した結果、以下のような南方性の昆虫が侵入してきたり、分布を拡大してきたりしている。それは、ツマグロヒョウモン、モンキアゲハ、クマゼミ、ヒロヘリアオイラガ、タイワンウチワヤンマ、ラミーカミキリ、ヨコヅナサシガメ、キマダラカメムシ、ミナミアオカメムシ、オオタバコガなどである。このうち、ミナミアオカメムシについては、かつて私が京都大学に居た頃の、紀伊半島における分布拡大と温暖化との関係に関する研究を紹介し、越冬限界温度である1月の平均温度5℃のラインの温暖化による北方へのシフトがミナミアオカメムシの分布北限ラインの北上と一致することを明らかにした研究（Tougou et.al., 2009）を紹介する。

## 2. 温暖化の直接効果（2）昆虫の生活史形質への影響

温暖化による気温上昇は、変温動物である昆虫の発育や生存などの生活史形質に大きな影響を及ぼす。このことを、仮想温暖化装置（外気温より常に2.5℃高く変動するようにプログラムされた飼育装置）を用いてミナミアオカメムシの飼育実験を実施し、通常の外気温条件下での飼育実験の結果と比較した研究（Musolin et.al., 2009）について紹介する。実験の結果は、大変興味深いものであった。まず、冬季生存率は温暖化条件ではるかに高くなった。したがって、このことが近年のミナミアオカメムシ増加の主因であると考えられた。また、温暖化条件では、初夏や秋季における幼虫発育は促進され、羽化成虫のサイズも大きくなった。しかし、盛夏における発育は著しく遅延し、羽化成虫も小型化した。それは明白な高温障害の結果であった。この高温障害のメカニズムを明らかにするために、腸内の共生細菌が高温により減少あるいは死滅するために、発育障害が起こるという仮説を立て、さまざまな実験的検証を行った。その結果、中腸内に存在する共生細菌無

しには幼虫が生存不能になることから、ミナミアオカメムシと腸内共生細菌は絶対的な共生関係にあることがまず明らかになった。次に夏季の高温により本細菌が減少あるいは死滅することが確認されたことから、夏の高温障害は共生系の崩壊によることが強く疑われた。そこで、抗生物質を与えることにより細菌を死滅させることで起こる羽化成虫の症状と高温条件下で羽化した成虫の症状を比較したところ、きわめて類似性が高いことが確認されたことから、本種における高温障害は共生細菌の減少あるいは死滅による共生系の崩壊が原因であることが明らかとなった。

### 3. 温暖化の間接効果 (1) 繁殖干渉による在来種の絶滅

近年、外来種による在来種の減少や絶滅が問題視されている。このことの一例として、ミナミアオカメムシによる在来種のアオクサカメムシの減少について紹介する。すでに述べた通り、温暖化によりミナミアオカメムシの分布が北方へ拡大しているが、その過程でアオクサカメムシの個体数が減少しつつあるという調査結果が得られつつある。私たちが紀伊半島において両種の分布を調査した結果によると、かつては海岸地帯にも生息していたアオクサカメムシがミナミアオカメムシの分布拡大に伴い、内陸部へと分布をシフトしていることが明らかとなった（藤崎ら、2009）。また、九州の福岡県での調査によれば、地域によってはアオクサカメムシが急速にミナミアオカメムシに置き換えられつつあることも分かった（Yukawa et.al., 2007）。その置き換えの機構として、繁殖干渉があることが考えられた。すなわち、両種は子供を残すことのない種間交尾を行うが、気候温暖化条件ではミナミアオカメムシの個体群密度が増加しやすく、アオクサカメムシ雌の交尾相手がミナミアオカメムシ雄になる確率が高まり、その結果としてアオクサカメムシは子孫を残せなくなってしまうものと考えられた。

### 4. 温暖化の間接効果 (2) カシノナガキクイムシとナラ枯れ

近年、日本海側の山林を中心に多くの府県でブナ科の樹木が集団枯死してしまう現象であるナラ枯れが多発するようになってきている。このナラ枯れは、ブナ科の樹木がカシノナガキクイムシという体長5ミリほどの甲虫が媒介するナラ菌によって引き起こされる。カシノナガキクイムシはナラ菌を餌にし、ナラ菌はカシノナガキクイムシによって樹から樹へ運んでもらうので、両者は相利共生関係にあると言える。

ナラ枯れ増加の要因としては、コナラやミズナラなどのブナ科樹木の需要が減り、伐採がされなくなった（薪炭林の放置）結果、カシノナガキクイムシが好む老齢の大きな木が増加したことによるものと考えられているが、地球温暖化も関係しているという説もある（Kamata et. al., 2002）。すなわち、温暖化により南方性の昆虫であるカシノナガキクイムシが高標高地帯へと分布拡大した結果、抵抗性のないミズナラなどが枯死したものと考えられている。また、温暖化によって、垂直分布の下限近くの樹木個体が生育適温以上の高温にさらされることによって衰弱し、土着のカシノナガキクイムシによるナラ枯れ被害が促進されたのではないかと推測されている。

ナラ枯れによるブナ科高木の集団枯死は堅果（どんぐり）依存の動物相に影響を与えていることが考えられ、近年、ツキノワグマが人里に出没することが多くなっている原因の一つであるものと考えられる。

### 5. 温暖化の間接効果 (3) シカの増加と昆虫

近年、我が国においてシカ（ニホンジカ、エゾジカ、ヤクジカ）が急速に分布拡大して

いる。それに従い、農林業被害も増大している。シカ個体群増加の要因としてさまざまなものが考えられている。まずは、明治時代に天敵であったオオカミが絶滅したことによるトップダウン効果の消失と、その代わりをしていた狩猟人口の減少である。次に考えられるのが戦後の拡大造林政策で、1950年代から1960年代にかけて国策としてなされたものである。実に、国土面積の3割強、森林面積の4割強を超える面積にスギやヒノキが植林されたというから驚きである。その結果、従来の落葉広葉樹林や常緑広葉樹林などが伐採され、そこは一時的に広大な草地となり、シカにとっての広大な餌場を提供することになった。このことは、いわゆるボトムアップ効果として、シカを増やすことになったものと考えられている。農山村の過疎化も重要で、そのことで抑止力が低下し生息分布の拡大を招いたことは否めない。また、山間地の車道に塩化ナトリウムなどの凍結防止剤を撒いたことも関係していると言われている。そして、決定的であったのは、地球温暖化により山地の積雪量が減少し、冬季の生存率が増大したことである。

私たちはかつて2005年から2009年にかけて、シカ害の植物や昆虫などに対する影響を京都大学の芦生研究林で調査したことがある（藤崎、2008）。それは、芦生生物保全プロジェクトと名付けられたが、その目的は、シカによる植生改変が森林生態系に不可逆的な変化をもたらす可能性を検証することであった。その結果、バイケイソウ、マムシグサ、サンヨウブシなど毒植物やオオバアサガラやシダ類などの不嗜好性植物を残して下層植生は壊滅し、その結果としてバッタ類やガ類などの植食性昆虫や訪花性昆虫も激減していることが明らかとなった。とりわけ、訪花性昆虫はかつての1/8までに減少していることが分かったが、このことはポリネーション問題に大きな影を落としつつある。なぜなら、作物の66%と地球上の食物供給の30%が訪花昆虫を必要としている（例えば、我が国におけるミツバチの農作物に対する貢献は年3,500億円規模）からであるし、野生植物にしても生殖のために訪花性昆虫を依存していることが多いからである。したがって、訪花性昆虫を減少させる自然植生の破壊はきわめて大きな問題であると言える。

シカによる下層植生の破壊は、アサギマダラというチョウにも影を落としつつある。本種はかつて国蝶の候補にもなったほどの美しいチョウであるが、我が国の本土と沖縄や奄美などの南西諸島との間を往復の長大な渡り移動をするチョウとしても有名である。このチョウのオスは、ヒヨドリバナなどに誘引され、吸蜜することで知られているが、それはこの植物の花蜜にはピロリジジンアルカロイドと呼ばれる、オスの性フェロモンの原料物質が含まれているからである。ところが、シカの食害によりヒヨドリバナが減少することで、アサギマダラの繁殖阻害が起こり、その結果として本種が減少していることが懸念されている。

シカによる下層植生の破壊は、生物だけでなく溪流への土砂流失をもたらし、渓流水質を悪化させ、その結果として、里域の農産物の生産や海域での安全で豊かな漁業資源の生産にも悪影響をもたらす可能性が強い。したがって、森林生態系の総合的環境保全は、中・下流の食料生産環境と海域漁業環境の保全につながっているということは、森里海連関学（田中、2008）の提唱するところである。

以上、昆虫とシカを切り口に地球温暖化が生態系に与える深刻な影響について述べてきた。はじめに述べた通り、このような気候変動は土地開発や侵入生物などの他の環境要因とともに、生態系を変動させ、結果として生物多様性を大きく減少させつつあることはも

はや疑いような事柄である（藤崎、2010）。生物多様性は、生態系が人間の生活や生存に提供するサービスである、いわゆる生態系サービスの根幹をなすものである。生物多様性の保全は、人類存続のための最重要課題として、私たちが取り組むべき課題である。私たちは、あらゆる生物と共存することを至高最高の目標として、持続的な発展、あるいは時として後退を図るべきであるだろう。

## 引用文献

藤崎憲治（2008）昆虫から見える地球温暖化．時計台対話集会「むしに教わる森里海連環学」，京都大学フィールド科学教育研究センター．

藤崎憲治（2010）昆虫未来学 「四憶年の知恵」に学ぶ．新潮選書、新潮社

藤崎憲治・清水 健・東郷大介・ムソリン D. (2009) 昆虫における地球温暖化のインパクト オオタバコガとミナミアオカメムシを例にして．昆虫科学が拓く未来、藤崎憲治・西田律夫・佐久間正之 編、京都大学学術出版会

Kamata, N., Esaki, K., Kato, K., Igeta, Y. and N. Wada (2002) Potential impact of global warming on deciduous oak dieback caused by ambrosia fungus *Raffaele* asp. Carried by ambrosia beetle *Platypus quercivorus* (Coleoptera: Platypocidae) in Japan. *Bull. Entomol. Res.* 92: 119-126.

Musolin, D. L., D. Tougou and K. Fujisaki (2009) Too hot to handle? Phenological and life-history responses to simulated climate change of the southern green stink bug *Nezara viridula* (Heteroptera: Pentatomidae). *Global Change Biol.* 16: 73-87.

田中 克（2008）森里海連関学への道．旬報社

Tougou, D., Musolin, D. L., and K. Fujisaki (2009) Some like it hot: Rapid climate change promotes shifts in distribution ranges of *Nezara viridula* and *Nezara antennata* (Heteroptera: Pentatomidae) in Japan. *Entomol. Exp. Appl.* 130: 249-258.

Yukawa, J., K. Kiritani, N. Gytoku, N. Uechi, D. Yamaguchi and S. Kamitani (2007) Distribution range shift of two allied species, *Nezara viridula* and *N. antennata* (Hemiptera: Pentatomidae), in Japan, possibly due to global warming. *Appl. Entomol. Zool.* 42: 205-215.