

山岳科学総合研究所 ニュースレター

2013年 12月
第38号



Contents

シンポジウム「山岳域の環境変動と生物の分布拡大」特集・・・・・・・・・・・・・・・・・・	2～13
ナガサキアゲハの分布拡大と北限地点の気温の解析	
山梨県総合理工学研究機構	北原正彦
チョウの分布拡大は温暖化だけで起こっているわけではない！	
森林総合研究所多摩森林科学園	井上大成
外来植物の侵入経路と分布拡大	
地域環境共生学部門	渡邊修
天竜川を北上するクロコノマチョウ	
地域環境共生学部門	江田慧子
リモートセンシングによる山岳域のモニタリング	
地域環境共生学部門	加藤正人
山岳地域の気候変動の解析	
山岳基礎科学部門	鈴木啓助
広報・コラム・・	14
シンポジウム「山岳域の環境変動と生物の分布拡大」の報告	
表紙の写真：ツルヨシの上で静止しているクロコノマチョウの幼虫	
山岳科学総合研究所	江田慧子

ナガサキアゲハの分布拡大と北限地点の気温の解析



山梨県総合理工学研究機構研究管理幹
北原正彦

1. チョウ類の分布域拡大現象

現在、我が国のチョウ類の世界では、南方系（亜熱帯・暖地性）のチョウ類が、その生息・分布域を北方に向けて拡大していく現象が顕著であり、ナガサキアゲハ、ツマグロヒョウモン、クロコノマチョウ、ムラサキツバメ、イシガケチョウ、タテハモドキ、カバマダラ、ヤクシマルリシジミ等の種がその代表的な例として、良く知られている。

筆者の住んでいる山梨県でも、過去においては、南方系のチョウ類が稀に記録されると、全て台風通過などに起因する迷チョウまたは偶産チョウとして扱われてきたが、1980年代初めには多数のクロコノマチョウの侵入が生じ、続いて1990年代後半にツマグロヒョウモンが、そして2000年代にはナガサキアゲハとムラサキツバメの侵入が起こった。現在、これらの種は全て越冬世代も確認されるようになり、完全に山梨県に定着したものとみなされている。10数年前に甲府市郊外でツマグロヒョウモンが採集された時には、珍現象として扱われ新聞記事にもなり話題に上ったが、現在では甲府市近郊で年間を通じて最も多く見られるチョウ（優占種）の1種になっており、過去には全く予想もしなかった事象が現実になっている。一方、前段で述べた残りの種は、まだ中部地方内陸部まで分布拡大できていない種が多いが、分布域の北限地点では確実に北上現象が進行していると言われており、これらの種全てがいずれ中部地方の内陸部で確認される日がやってくるような気がしている。

実は、このような鱗翅類の分布域北上現象は、我が国だけで確認されている事象ではなく、イギリスやフィンランド等のヨーロッパ大陸や北アメリカ大陸でも報告されている。その上興味深いことに、これらの大陸からは、ある種のチョウにおいて、分布南限域周辺における生息域の縮小まで確認されている。一方、分布域の北方拡大や南限域縮小から当然予測できることとして、分布域の高標高地域への拡大や低標高域の縮小が考えられるが、ヨーロッパアルプスやスペインのシエラネバダ山脈等からは、現実にある種の鱗翅類において、この事象が生じていると報告されている。さらに、このような分布域の北方拡大、高標高拡大といった事象は、チョウ類のみならず、トンボ類、カゲロウ類、鞘翅類、半翅類、バッタ類など広範な昆虫種で確認されており、昆虫類に見られる高緯度、高標高への生息域拡大は、正にグローバルなレベルで生じつつある生物界の大きな変化事象の1つと考えてよいだろう。

2. ナガサキアゲハにおける分布域拡大と温暖化の関係

現在、世界的な規模で進行しつつある気候の温暖化は、自然界に存在する様々な生物の分布・生活様式に多大な影響を及ぼしつつある。上記したチョウ類や他の昆虫類における分布域の拡大や縮小、とりわけ高緯度地方

や高標高帯への分布域の拡大も、この気候の温暖化との関連を誰もが予測するところであるが、実のところ、両者の関係を内因、外因を絡めて、実験的、定量的に解析した事例はあまり知られていない。

我が国のチョウ類は、昔日より愛好者の数がとても多く、その分布や博物学的情報は、他の生物群に比べて格段に整っている。中でも、ナガサキアゲハは年代に伴う北方への分布域拡大の変遷史が、かなり詳細に調べられており（図1）、分布域の北上と温暖化の関係をみるための好材料と考えられる。そこで筆者らは、本種の分布北上の時代的変遷と新しく本種が分布するようになった各都市の気温の推移に注目し、分布域北上と温暖化の関係を調べてみた。

先ず、北上初期の年代の北限地点の気温の生データを見た段階で、各地の年平均気温が約15℃位になると、本種が生息するようになることが推測できた（表1）。次に、解析対象とした全12の都市や地点（図1のa～l）の、本種の北上を確認できた年（図1）における、年平均気温の継時的推移を見てみた（図2）。年代と年平均気温の間には統計的に有意な相関が認められ、これら12の都市や地点を含む地域（西南日本）では、2000年までの60年間に気温の上昇、すなわち温暖化が進行したものと考えられた。また図1からは、本種は北上ではなく東進しているようにも見て取れるが、各年代の北限地点と考えられた都市や地点の緯度は、年代の進行と共に確実に高くなっていくことが分った（図3）。以上の結果を基にして、年代毎の分布北限地点の緯度と解析を行なった全12の都市や地点の年平均気温と最寒月平均気温の相関を見たところ、両者共に統計的に有意な相関であることが分った。すなわち、本種の現在の生息域（西南日本）の気温が年代と共に上昇（温暖化）するに連れて、分布域が北に拡大したことが判明した。また、この関係には年平均気温よりも、本種の越冬に関係する最寒月平均気温の方が、より密接に関連していることも示された。このことは、本種の分布北上には越冬期の気温の推移が、重要な鍵を握っていることを示唆している。また今回の解析では、分布北限地での年平均気温と最寒月平

場所	高知	広島	高松	岡山	姫路
年	室戸	徳島	洲本		神戸
1945	15.48	14.33	14.23	13.98	-
1950	16.33	15.28	15.18	14.68	15.18
1960	16.83	15.83	15.68	14.88	15.53
1970	16.13	15.33	15.13	14.58	14.78
1983	16.33	15.83	15.58	16.08	15.38

表1 ナガサキアゲハの分布初認時及びそれ以降における各地の年間平均気温（単位：℃）
（■は分布が確認された以降の気温、2地点の場合は平均値を示す）

均気温の平均値も算出され、各々が15.46℃と4.51℃であることも分かった。すなわち、図4からも分るように、本種の北限地点の緯度は時代と共に徐々に高くなっていったが、年間平均気温、最寒月平均気温は共に低くならず、ほぼ一定の状態推移した。このことから、ナガサキアゲハは温暖化により、北方各地の年間平均気温が約15-16℃、最寒月平均気温が約4-5℃を超えると、侵入し生息するようになることが推定された。

以上のような筆者らが行なった解析から、ナガサキアゲハの場合、気温の上昇（温暖化）と分布（生息域）北上の間には密接な関係があることが判明したが、実はこの解析だけでは、ナガサキアゲハの分布域北上現象は、気候の温暖化が主因であることを証明したことにはならない。なぜならばチョウの分布北上は温暖化を介さずとも、北限域個体群の耐寒性が増大したり、休眠期間が長くなるなどの適応を通じて、生じる可能性があるからである。しかしナガサキアゲハについては、このような生理的な性質が変化することで、分布域の北方拡大が生じたのではないことが、大阪府立大学の吉尾・石井両氏の研究によって明らかにされた。吉尾氏らは本種の南方個体群の個体と北上してきた個体群の個体の休眠性について比較実験を行い、両者の間で休眠性について殆ど大きな違いが存在しないことを明らかにした。一方、本種がもし耐寒性を増大することで北上したとするならば、その分布域はある一定の気温枠からはみ出し、より気温の低い北の地方まで分布域を拡大してもよいと考えられるが、今のところそのような現象も報告されていないし、前述の吉尾・石井両氏は、本種の休眠蛹について過冷却点（体組織の凍結開始温度）や生存率を調査し、耐寒性の変化も生じていないことを突き止めた。こうしてナガサキアゲハの分布域の北方拡大は、ほぼ外的要因である気候の温暖化が主因となって引き起こされた可能性が高いことが判明した。

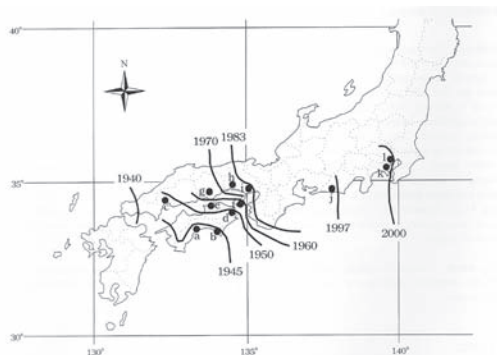


図1 ナガサキアゲハの分布域北上の様子（数字は年号、a～l は気温の解析を行った全12の都市や地点）

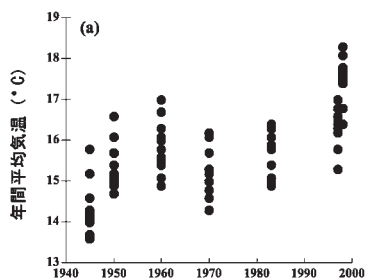


図2 解析対象とした全12の都市や地点の年間平均気温の時代的変遷 ($r = 0.699, P < 0.0001$)

ただ筆者らの解析では、1970年（北限地点：岡山）以降の本種の北上と温暖化の関係は極めて不明瞭だった。というのは、今回解析した12地点の中で、年間平均気温、最寒月平均気温の平均値が最も低かったのは共に岡山市であり、それ以降の解析対象になった北限地点（姫路、神戸、浜松、横浜、東京）は、岡山よりも緯度が高いにも関わらず、全て岡山より両気温共に高い値を示した（恐らく都市化によるヒートアイランド現象に起因?）。すなわち、ナガサキアゲハが1970年に岡山に辿り着いた時点で、それ以降に北限地になった場所の本種の生息における温度環境は整っていたことが推察される。岡山は気温も低く、そして本種の幼虫の食樹である柑橘類の栽培も周りの地域に比べると薄く、岡山は本種の分布北上における最大の難所であったことが伺える。前述のように、岡山よりも温度環境が良く、かつ柑橘類の栽培も連続的かつ密であった岡山以降の本種の北上は順風満帆であったことが推察され、その証拠に本種の九州から近畿圏への北上は40年掛ったが、近畿圏から首都圏への北上はその半分の20年で達成された。その途上の静岡県では1997年に浜松で記録され、僅か3年後の2000年には既に土着の様相を呈していたことが報告されている。これは此の地が温暖で、食樹の柑橘類の栽培が極めて盛んであったことに起因していると思われ、本種が温度環境と餌環境が満たされていれば、いかに早く侵入・定着できるかを示していると思われる。

1940年代に九州を出発したナガサキアゲハは、現在関東地方北部にまで生息分布域を拡大した。本種の分布域は今後どうなっていくのだろうか？北上はどこまで、そしていつまで続くのだろうか？前述したように、これを決める最大の要因は各地の気温変動（温暖化）と餌資源（柑橘類）の分布であろう。今後しばらくは、温暖化指標種といわれる本種の動向から目が離せない状態が続くであろう（紙幅の関係で文献は省略した）。

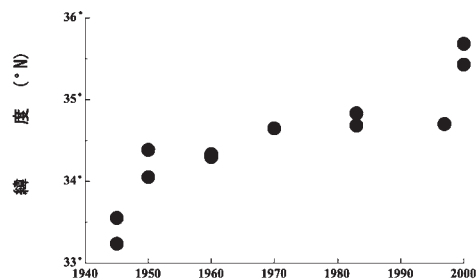


図3 各年代の北限として選択された都市や地点の緯度の時代的変遷 ($r = 0.890, P < 0.0001$)

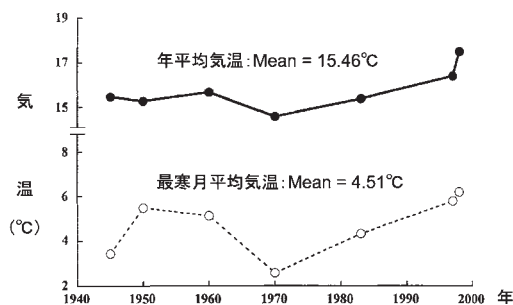


図4 分布北限地点の年平均気温と最寒月平均気温の時代的変遷。北限地点の緯度は徐々に高くなったが、気温はあまり変化していない。

チョウの分布拡大は温暖化だけで起きているわけではない！



森林総合研究所多摩森林科学園

井上大成

近年、かつては西日本以南（以西）に分布していたチョウが、関東地方以北に分布を拡大し、定着する例が多くなっている。日本での分布域が北上する傾向が見られるチョウには30種余りがあると思われるが、それらには顕著に分布域を広げている種もあれば、ある地方でのわずかな分布拡大にとどまっている種もある。特に都市周辺部で気温が上昇しているのは事実だが、それらの種すべての北上の原因が気候の温暖化なのだろうか？

ムラサキツバメの分布拡大

ムラサキツバメは多化性で、幼虫はマテバシイやシリブカガシの新芽・新葉を食べる。1980年代までは近畿以西の本州、四国、九州、南西諸島に分布していた。東日本では1996年に神奈川、1998年に静岡・群馬、1999年に千葉・愛知、2000年に東京・埼玉・茨城、2001年に栃木・山梨・福島、2004年に岐阜・長野、2005年に石川へと分布を拡大した。ナガサキアゲハが、本州西端から関東まで来るのに60年、近畿西部からでも30年かかったのに対して、本種は10年で東北南部・北陸まで広がった。

茨城県で本種が発見された2000年から5年間、県内全域で分布調査を行った。2000年に発生していたのは84市町村中20市町村だったが、2004年には82市町村に達した。発生程度（発生幼虫数）も年を追って激化し、2004年には全調査地の約半数の場所で多数の幼虫が発生した痕跡が認められた。

1980年前後の冬の気温は、ムラサキツバメの以前からの分布地である高知や和歌山よりも、より北方（東方）に位置し、当時は分布していなかった静岡や館山の方が高かった。館山は地理的に離れているが、分布地に近い静岡にいなかった理由を、近年の冬の気温上昇で説明することはできない。天敵による死亡率は、関東でも九州でも低いため、寄生による選択圧から解放されて関東で分布拡大している可能性も低い。

野外での発生活長と、発育零点および有効積算温度から推定した結果をあわせ、関東地方北部では本種は部分4化であると考えられた。幼虫は新芽・新葉しか食べないため、春だけでなく夏の間も新芽がなければ世代をつなぐことはできない。近年、街路樹や公園樹としてマテバシイはきわめて多用されている。植栽後の年月が経過して大木になったマテバシイは交通の支障や日陰になり、都市部では刈り込みや枝おろしが頻繁に行われるため、新芽は晩秋まで存在し続けている。このことは餌の

制限をなくし個体数を増加させ、本種の分布拡大に大きく貢献していると考えられる。

その他の北上種

暖地性の種の中にも、必ずしも温暖化と直結した北上分布拡大を見せていない種は少なくない。クロコノマチョウは、関東地方では1990年代から多く記録されるようになったため最近北進した種として扱われることもあるが、実際には静岡県などで1940年代頃から徐々に分布を拡大していた。また奄美・沖縄諸島には1970年代後半以降に分布を広げて定着化していった。南北両方向への分布拡大が起こったことを、気候温暖化で説明することは難しい。ムラサキシジミも現在の関東地方では普通種で、東北地方の内陸部などでの記録も増えている。しかし本種は埼玉県など関東の低地では1960年代までは普通だったのに、1970年代頃には一時的にまったく見られなくなった。1980年代から再び記録され、1990年代には多産するようになった。即ち、本種も一方的に北上してきた種ではない。多化性で、食樹のカシ・ナラ類の新芽が夏～秋にも存在しないと定着することができない。1970年代頃には都市周辺の森林の手入れが放棄されて伐採されなくなり、夏の新芽が少なくなったことで一旦減少した可能性がある。1980年代以降には都市部の宅地や街路にアカラシヤシラカシが多用され、かつ刈り込み等によって夏に新芽が供給されるようになったことが、その復活と増加をもたらしたのではないだろうか。また以前は発育に不適とされていたシラカシを、近年は普通に利用しているため、寄主植物選好性が変化した可能性もある。

温暖化による分布拡大の代表種のように扱われるツマグロヒョウモンは、スミレ類を食草としている。古くから関東以北でも頻繁に記録されてきたが、1990年代以前には定着はできなかった。現在では、水戸市や伊那市でも越冬が確認されている。冬でも幼虫は摂食を続けるため、冬季の餌の存在が定着する上で不可欠である。北関東や長野県では、冬には野生スミレ類の地上部は枯れるが、パンジーは緑の葉を着けている。近年パンジー栽培は増え続け、本種の分布拡大が顕著になった1990年から2000年頃にかけて激増した。ツマグロヒョウモンの分布拡大には、パンジー栽培の増加が重要な役割を果たした可能性が高い。

北上でない分布拡大

スギタニルリシジミは、かつては東京付近では奥多摩などの山地のチョウだったが、近年、関東地方では平地近くでも採集されるようになった。春先にだけ出現し、幼虫はトチノキの蕾や花を食べて育つ。本種は茨城県では1990年代前半までは北端の北茨城市の山間部で3例しか記録がなかった。2000年代から分布拡大が顕著になり、2010年頃までに東側の多賀山地と中央の久慈山地では南端まで分布を拡大した。近年発見されている産地にはトチノキが見られない。神奈川県付近でもトチノキがない場所で見つかっており、フジやミズキを食樹としていることが報告されている。トチノキ以外の植物に寄生範囲を広げたとする文献もあるが、ミズキは九州では食樹になることが以前から知られていたため、関東などでも低い頻度で利用されていた可能性もある。トチノミは、かつては飢饉時や冬の食料とされていたため大木が各地に残されているが、近年はその残された木の子供も成長して開花するようになってきた。森林に人手が入らなくなり、トチノキや他の潜在的な食樹が大木化して開花個体が増加したことが、スギタニルリシジミの分布拡大に貢献している可能性がある。

クロミドリシジミは中部地方には多産地も多いが、関東地方では以前はかなり稀な種であった。しかし、近年、茨城県や栃木県などで新しい産地が見つかるようになり、都市の近くでも記録されている。本種はクスギの大木でしか発生しない。クスギ林はかつては定期的に伐採されていたので大木はほとんどなかったが、近年は伐採されなくなって大木が増えたことが、本種を増加させた可能性がある。

この他、コムラサキやツマキチョウなどが、近年、東京都や神奈川県の都市部で分布を拡大している。

日本の自然環境と農地の変化

日本の森林面積は江戸時代末からほとんど変わっていないが、拡大造林政策によって、戦後広葉樹林が伐採され、針葉樹林に置き換わってきた。江戸時代末には日本全体の11～12%が草原だったとされているが、草原は時代を追うごとに減少して、現在ではごくわずかになった。戦後のピーク時には日本全体の面積の約2%にも相当する森林が毎年伐採されていた。伐採跡地や若い植林地は一時的な草原になり、草原性の生物の生息地としての役割を果たすが、現在では森林はほとんど伐採されていない。薪炭生産量は1960年代に激減した。同時に、放牧地や採草地も減少してきた。養蚕業の衰退によって桑畑が放棄され、1970年代以降、果樹栽培面積も減少した。

ウスバシロチョウはかつては山里のチョウだったが、1970年代後半頃から富士山麓や関東・東北地方などで徐々に分布を拡大し始めた。生息場所としては適度な日陰があるような疎林で、数十cm程度の下草があり、食草のムラサキケマンが豊富に生える場所が適している。果

樹園や桑畑の放棄地が生息適地となって、ウスバシロチョウが分布を拡大させた可能性がある。

海外からの迷チョウの増加

本来の生息地域外から飛来したり、一時的に発生しても越冬できなかつたりするチョウを迷チョウと呼ぶ。迷チョウとして記録されるのは森林内部にすむ種ではなく、オープンランドにすむ種であることが多い。

日浦勇(1973)は名著「海をわたる蝶」(蒼樹書房)の中で、フィリピンなど東南アジアの熱帯林が、日本に木材を輸出するために伐採され、オープンランドが増え、そのことが原因で日本での迷チョウが増えたのではないかという仮説を述べた。日浦は数値的な根拠を示さなかったが、今回、文献から日本における年代ごとの迷チョウ各種の記録数をまとめたところ、それらには1950年代頃から記録されるようになり、1960年代後半から1970年代前半に特に増加するという共通点が見出された。東南アジア諸国の森林も同時期に激減し、日本の南洋材の輸入量は同時期に激増した。即ち、日浦の仮説の正しさが裏付けられた。日本で減反が開始されたのも1970年代で、オープンランド性のチョウが一時的にせよ発生できる休耕田など環境が日本に増えてくる過程と、この迷チョウの増加とは一致する。チョウの分布拡大は、国外の環境変化とも密接に関係している。

まとめ

チョウの分布拡大の要因は、人為的な要因、非人為的な要因、両者の中間的・複合的な要因に大別できる。

人為的な要因としては、意図的放チョウもしくは飼育個体の逃亡(外来種ではホソオチョウ、アカボシゴマダラ、在来種ではチョウセンアカシジミ、クロセセリ等)、食草への付着・混入(クロマダラソテツシジミ、クロボシセセリ、カラフトセセリ、モンシロチョウ、アゲハ、ヤクシマルリシジミ等)、交通機関への便乗(バナナセセリ)などがある。非人為的な要因としては、寄主範囲の拡大(スギタニルリシジミ、ムラサキシジミ)や大発生に伴う自力拡大(オオモンシロチョウ)などがあげられる。中間的・複合的な要因としては、気候変化(ナガサキアゲハ)、生息適地の拡大(ウスバシロチョウ、迷チョウ等)、食草の分布拡大(ツマクロヒョウモン、ツマベニチョウ、シロオビヒメヒカゲ等)、食樹の状態の変化(ムラサキツバメ、ムラサキシジミ、クロミドリシジミ、スギタニルリシジミ等)などが考えられる。

1960年代を境にして、日本の森林や農地、都市などの環境は大きく変貌してきたが、それらの変化が里山や草原にすむ生物種の衰亡を招いたとされる一方で、他種にとっては分布を拡大させる要因として働いてきたと考えられる。ある種の分布拡大要因は、一つではなく複数ある場合の方が多いかもしれない。

外来植物の侵入経路と分布拡大



地域環境共生学部門

渡 邊 修

植物はもともと海洋や高山、大河川や砂漠など地理的障壁によって移動分散が制約されているが、人間に随伴する雑草は地理的制約から開放され、有史以前から世界中に広がっている。日本国内に発生する雑草は1970年代までは約420種程度であったが、物資や人間の移動がグローバルになるにつれ、現在では約1200種以上の外来植物が確認されている。一方、外来植物のすべてが雑草化するわけではなく、港や空港など一次帰化センターから分布拡大できずに消滅するものも多い。外来植物が雑草として分布拡大するには、酸性土壌や高温多湿、霜や積雪など日本の風土に適応できること、繁殖力や分散力が強いこと、シードバンクを形成し農耕地に適応できることなどの特徴を持つ必要がある。

本シンポジウムでは、国内で分布拡大が確認されている数種類の外来植物を対象にした事例紹介と、外来植物の侵入経路の一つである輸入飼料経由での事例紹介を行った。

【事例1】メリケンカルカヤ *Andropogon virginicus*

北米南東部原産のイネ科多年生植物で1940年代に愛知県で帰化が確認され、1990年代までに近畿中国地方を中心に分布を拡大した。岡山県では最初に海岸地域で定着が確認されたのち、比較的短期間で全县に分布拡大した。当初は山地帯への分布は生じないのではないかと考えられていたが、造成地、路傍などに分布を広げ、山中の遺跡発掘現場で多数発生した。メリケンカルカヤは秋



写真1 水田畦畔に広がるメリケンカルカヤ (広島県)

から冬にかけて風散布種子をつくり、道路や線路沿いなど攪乱地に分布を拡大しやすい。国内では1990年代以降、徐々に北上し、現在では秋田県まで分布している。広島県では水田畦畔の既存植生がメリケンカルカヤに置き換わることも確認されている(写真1)。長野県では発生地点は少ないが、上伊那、下伊那、木曾、松本地域で確認されており、今後中山間地の水田畦畔などで分布拡大が懸念される外来植物である。

【事例2】シバムギ *Elymus repens*

ヨーロッパ原産の牧草で明治初期に北海道の牧草地に導入され、その後逸出し1910年代まで北海道のみに分布していたが、その後、東北、関東、関西へと広がり、現在では全国各地に広がっている(図1)。南方への分布拡大は牧草地の拡大が一つの要因であるが、牧草地から路傍、畦畔へと生育可能な環境が広がったことも要因であろう。寒さや刈り取り、踏みつけ等に極めて強く、中山間地や山岳域への侵入も懸念される要注意外来生物である。

【事例3】イチビ *Abutilon theophrasti*

インド原産のアオイ科の一年生雑草で、草丈の可変性が大きく、種子生産量も多い。飼料畑や普通畑に発生し、作物収量や収穫物の品質に影響を与える。国内には1890年代から分布が確認され、その後各地で帰化が報告されているが、分布拡大に規則性がなく、ある年にいきなり発生することもある。アメリカの主要な畑雑草であり、輸入飼料に種子が多量に混入している。現在では日本全国に蔓延し、外来生物法の要注意外来生物となっている。1999年から2000年にかけて栃木県北部でGPSによる広域分布調査を行った結果、生育地は飼料畑、普通畑、路傍、空き地で、水田地帯や標高の高いところではあまり見られない(図2)。

【侵入経路】

外来植物の侵入経路は、輸入穀物、輸入乾草、農業関連資材、園芸資材などが考えられる。農水省草地試験場(現畜産草地研究所)では1994年に鹿島港に輸入された穀物から、1kgのサンプルを通年にわたり105回サンプリングし、輸入穀物に含まれる雑草種子をすべてたどると、延べ1400種以上の雑草が確認された。ここで侵入したすべてが雑草化するわけではないが、輸入穀物は年間

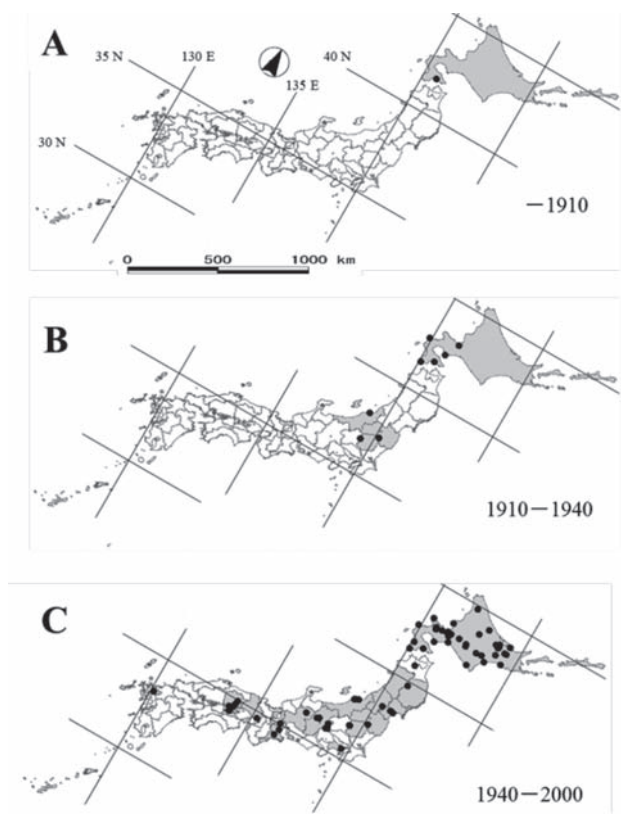


図1 標本調査によるシバムギの分布域の変遷

2000万tにもものぼることや、季節を問わず毎日のように世界各地から輸入されることから、大量の雑草種子が海外から日本にめがけてやってきていることになる。飼料に混入した雑草種子は生きたまま家畜に食べられ、死滅せずに糞尿とともに排泄され、堆肥などで二次的に拡散する。外来植物の侵入経路の一つとして輸入穀物をピックアップしたが、現実には多種多様な輸入資材に混入していると推察されている。しかし、植物防疫ではほとんどの雑草種子は検疫の対象外であり、水際で侵入を防止する体制が国内でまったく整っていないことが大きな問題である。

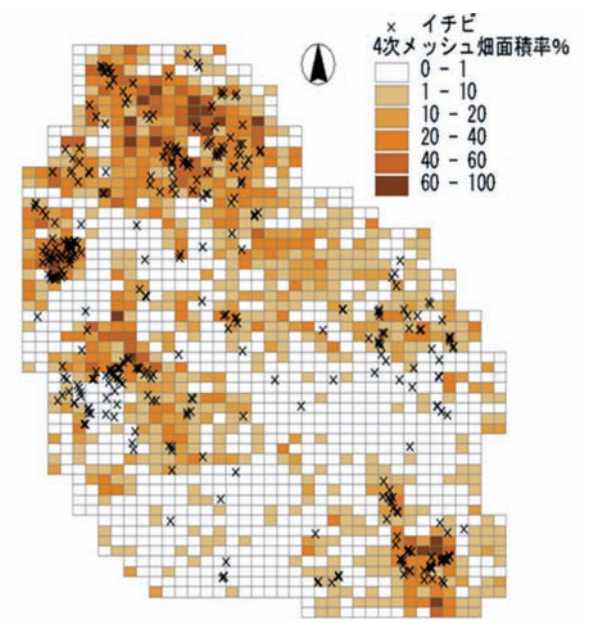


図2 GPS分布調査による栃木県北部のイチビの分布と畑地面積メッシュの重ねあわせ

【おわりに】

外来植物の分布拡大のパターンをみていくと、種類によって侵入時期や生活史特性が異なるため、各草種で拡大パターンは異なると思われる。国内で分布を拡大する外来植物は、気温条件が一つの拡大要因であるかもしれないが、攪乱地（オープンハビタット）の存在が最も大きいであろう。分布拡大が気候変動によるものかどうか、また、どのような場所で広がりやすいか、外来植物の分布拡大を地道にモニタリングする必要がある。

天竜川を北上するクロコノマチョウ



地域環境共生学部門
江田 慧子

【はじめに】

クロコノマチョウ *Melanitis phedima* (Cramer) は、かつては九州や四国にしか生息していない南方系のチョウである。幼虫が食べる食草はススキ、カヤ、ヨシなどのイネ科植物で、河川の木陰に生息している。1年に2～3世代発生すると言われている（図1）。しかし、近年、東海や関東地方でも目撃されるようになり、温暖化の影響で分布を拡大しているのではないかとされている。長野県では、1970年ごろから南信地方で確認され、1990年代には定着していることが明らかとなった。そこで、本研究ではクロコノマチョウの分布拡大を定量的に明らかにすることを目的として、長野県南信地方を中心に分布状況を調査し、1981年から蓄積されたデータをもとに今後の生息域の拡大範囲を予測した。また室内において様々な温度条件で飼育を行い温度と発育の関係からクロコノマチョウが北上する可能性について考察する。

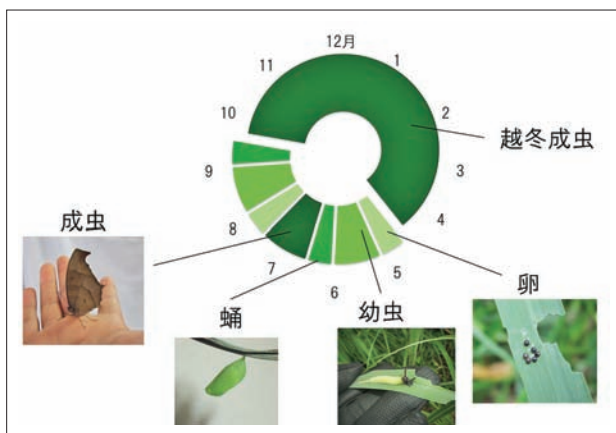


図1 クロコノマチョウの生活史（年2化の場合）

【野外調査】

2011・2012年に長野県上・下伊那地方の過去に目撃情報がある地域を中心に、最南は長野県下伊那郡天龍村、最北は長野県松本市まで173地点の調査を行った。発見したクロコノマチョウの発育段階と個体数をカウントした。クロコノマチョウが確認された場所はGPSデータを取得した。さらに長野県天龍村・中川村・飯田市で定点観測を行い、発育段階ごとの死亡状況を確認した。

その結果、2011年においては計360個体、2012年では276個体のクロコノマチョウが確認された。標高別の発見地点数で見ると、601-800m付近が最も多かつ

た。発生時期で見ると初夏に発生する1化目は401-600m (50.9%) が最も多く、夏から秋に出現する2化目は601-800m (55.2%) が最も多かつた。このことから、低標高で発生した1化成虫は高標高域に飛翔して産卵し、高標高で2化成虫が出現することが分かった。

次に分布の推移を見てみると、1990年までは喬木村（たかぎむら）が最北端だったが、2000年には飯島町、2010年には辰野町まで北上していることが分かった（井原、2011）。また標高1,000m以上の地点でも発見されるようになった。2011年には塩尻市、松本市にまで分布を拡大していった（図2）。しかし、2012年には伊那市の天竜川沿いでは1頭も確認されず、北上は中川村までに留まり、分布は拡大しなかった。

最外郭法による分布範囲を計算してみると（前年代を1とする）、1991～2000年に4.19倍、2001～2010年に2.00倍、2011年には1.15倍と分布域が拡大していた。しかし、2012年には0.43倍となり、分布範囲は縮小した。長期的に本種を見てみると、分布は拡大しているが、年次によって発見個体数や分布北限の変動が激しいことが分かった。これは南信地方が今まさに北限への分布拡大の最前線であるからだと言える。

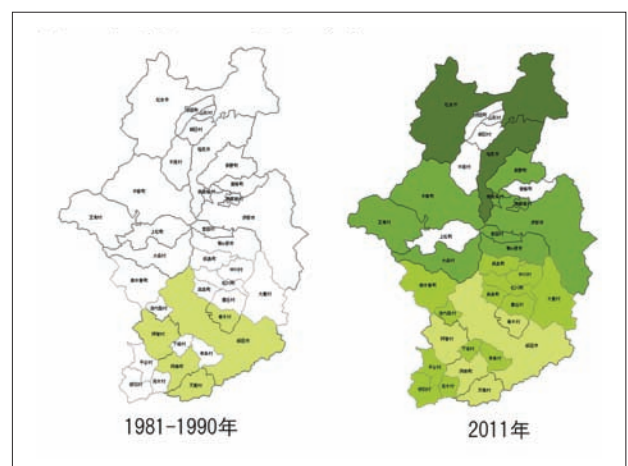


図2 市町村ごとの分布の推移

【室内実験】

2012年からクロコノマチョウの室内飼育実験を行っている。はじめに野外で捕獲したメス成虫に卵を産ませ、産卵した日に恒温器に入れ、定量的飼育を行った。温度区は15、20、25、30℃を設けた。日長は16時間明期、8

時間暗期（16L:8D）と一定にした。

飼育実験の過程で、クロコノマチョウの幼虫は若令期に集合を形成することが分かった。集合は10頭ほどで形成されていた。4令幼虫以降は集合が解消され、単独で生活するようになった。また多湿条件でないと生存することができないことが分かった（図3）。また5齢で蛹

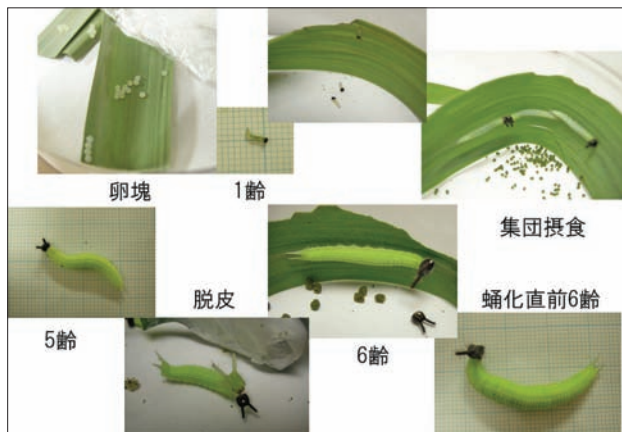


図3 クロコノマチョウの飼育



図4 クロコノマチョウの頭部脱皮殻
(左から1齢～6齢)

になったり、6齢で蛹になったりする個体が見られた（図4）。

異なる温度帯で飼育した結果を見てみると、すべての温度帯で孵化率は80%以上となり、温度ごとの差は認められなかった。しかし、幼虫の生存率は、最も高かったのは25℃の42.9%で、15℃と30℃ではほとんど生存できずに死亡してしまうことが明らかとなった。その要因は、15℃では低温で活動することができず、死亡してしまったこと、また、30℃では幼虫が高温で動き回ってしまい、集合が形成できなかったことであった。クロコノマチョウは卵から孵化したのち、集合を形成してから摂食する行動が見られた。よって、30℃では集合が形成されず、摂食行動が開始できなかったために、死亡したと考えられる。また、幼虫の集合形成はクロコノマチョウの分布拡大にとって重要な要因となると考えられる。現在はさらに細かく温度条件を分けて飼育実験を行っており、温度と発育速度の関係により、ある地域で年何世代できるかについて、化性シミュレーションを行う予定である。

【北方だけではない分布拡大】

クロコノマチョウの分布拡大は「北」のみではない。実は「南」にも分布を拡大しているのだ。1980年代から九州だけでなく、沖縄でも生息が確認されるようになった。よって、分布拡大の要因を「温暖化」のみで片づけるのは無理がある。クロコノマチョウは成虫で越冬するため、他のチョウよりも越冬環境は生存に大きく影響していると考えられる。また今回の結果により、幼虫の生存率は温度に影響していることが分かった。今後は成虫の越冬環境と幼虫の集合性を中心にさらなる研究を行い、学会でも謎となれているクロコノマチョウの南北への分布拡大の要因を明らかにしていきたい。

リモートセンシングによる山岳域のモニタリング



地域環境共生学部門
加藤 正人

岳域のモニタリングに RS, GPS, GIS がなぜ必要なのか

日本は島国で生物多様性が豊かであり、信州大学の位置する日本アルプスは3000m級の山岳地帯を有しています。しかし、現地調査となると、危険地帯や保護区など立ち入り禁止区域が多いこと、急傾斜地で車道が少ないことから調査資材を担いで登山道や山小屋周辺での限定的調査になります。詳細な地上調査やデータベースが増えています。それらは空間的にみると、点や線の情報です。これを山岳域全体に普遍化や普及するためには、複雑な要因を重ねて、目的とする主題図作成のモデル化と予測が必要です。この科学的で精度が高い資源把握技術のツールとして、リモートセンシング (RS)、地理情報システム (GIS)、衛星測位システム (GPS) があります。

山岳環境のモニタリング

2011年から中部山岳地域環境変動研究機構（筑波大学・信州大学・岐阜大学）の生態系グループでは、コアとなる山岳地域で共同研究を実施しています。共通の研究基盤データとして、中部山岳の白馬、上高地、乗鞍岳、御嶽山、白山、木曾駒ヶ岳、仙丈ヶ岳の高分解能人工衛星データを購入了。また、林野庁で撮影した空間解像度20cmのデジタル航空写真を加藤研究室で近赤外域を含めた正射写真（オルソ）画像を作成し、生態系グループの研究者に配信を始めました。木曾駒ヶ岳、乗鞍岳などで生態系グループの地上調査と連携しています。



図1 生態系グループとの合同調査

中部山岳域のリモートセンシング解析

研究室では、現地調査とRS,GPS,GISを使用した山岳域に関して高山植物の画像分類、西駒山荘に設置した定点カメラからの高山植生のフェノロジー解析に取り組んできました。また、温暖化に鋭敏に反応する高山植生のモニタリングのために、UAV（無人航空機）に近赤外センサを搭載し、半自動区分の画像処理技術を用いて、コマクサの生息数や分布域を高精度で解析する計画です。

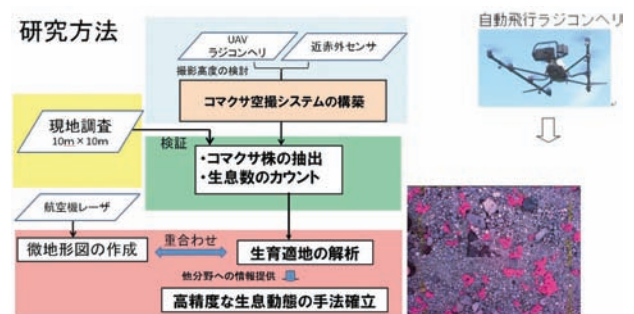


図2 近赤外センサによるコマクサ抽出手法の開発

森の広域診断技術

“森の広域診断技術”を開発し、下記の3つを大学から提供しています。

1. 科学的な森林調査と整備計画の技術指導
2. 間伐地の半自動区分（特許4900356号）
3. 樹種別本数の自動カウント（特許4858793号）

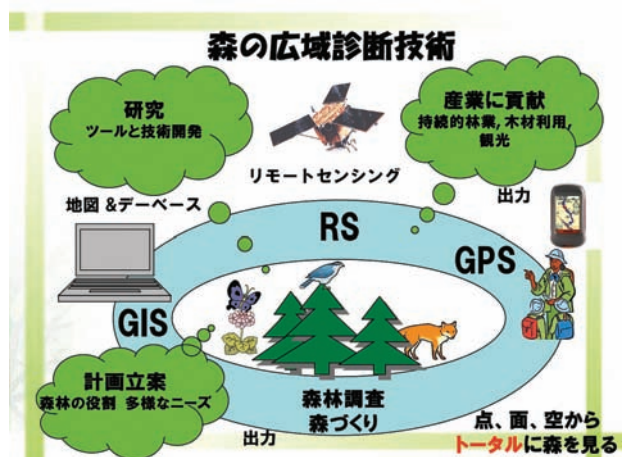


図3 森の広域診断技術

森林調査は基本ですが、森林を科学的にトータルで見ること、複眼的に日本の中での比較や位置づけができ、適切な森林整備計画や活用方法を具体的に示すことができます。

南箕輪村との地域連携事業森林整備の技術指導

1. 科学的な森林調査と整備計画の技術指導に関して、平成22年から農学部の地元である南箕輪村と連携・協力協定書を結ぶと共に、①研究成果の地域貢献、講演会講師、②大芝村有林の森林整備（技術指導）、③地元小学校どんぐり拾い（業務委託）、④経ヶ岳村有林の森林整備計画（要望事項）、⑤村有林の教育研究フィールド利用等の地域連携事業を進めています。

文部科学省地（知）の拠点整備事業の採択（信州アカデミア）や日経グローバルの信州大学が地域貢献度調査で2年連続1位など地元密着の取組みの一例として、市町村森林整備のモデルになるよう取り組んでいます。

森林整備計画 間伐と設計

4. 間伐計画の立案と間伐選木を実施

H24大芝村有林森林整備樹木調査の技術指導案から抜粋

1) プロット1-

a 目標林分

樹間距離と樹高の関係（アカマツとヒノキを対象に計算）

	本数	占有面積	平均樹間距離	相対幹距離
現況	1280	7.8	2.80	0.136
目標	589	18.0	4.12	0.2

b 間伐方針

1. 牛山式間伐基準で選木する 保存木は優良木とする。
2. 前生樹の優良なアカマツの巨木は残す。
3. 不良木のヒノキと広葉樹を間伐する。

c 間伐率

アカマツ・ヒノキの間伐率(%) = 24.4%
 現実の林分本数間伐率 **4割** アカマツとヒノキ(24.4%)と不良木の広葉樹




図4 森林整備の技術指導

森林の様子を空からとらえる

人工衛星や航空写真から、単木樹冠ごとの樹種分類図を作成することができます。ヒノキ(Cypress)、アカマツ(redpine)、カラマツ(Larch)の針葉樹と広葉樹(Broadleaved)の位置と大きさを知ることができるので、

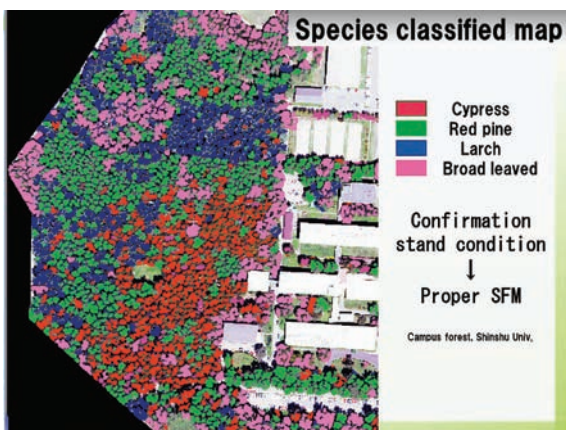


図5 単木樹冠の樹種分類図

どこから森林整備をしたらよいか一目瞭然です。

これを、森林管理者や森林所有者が自分の山の様子、“オラが山にどんな木が何本あるの？”という基本情報を提供するのですが、樹種別本数の自動カウントです。所有する境界ごとに本数をカウントすることで、信大太郎さんの山にはヒノキ155本、カラマツ50本、広葉樹265本があり、エクセルなどのデータベースやGISに登録できます。現地に行けない高齢の森林所有者や間伐などの森林整備計画を立案する市町村の森林管理の担当者を支援する技術です。

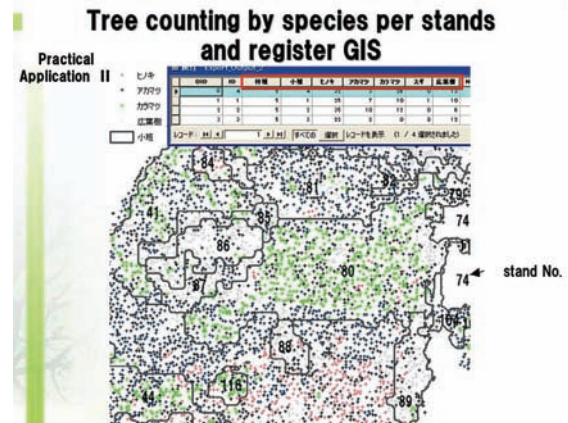


図6 樹種別本数の自動カウント

単木の材積とバイオマス算定

3.11の東北大震災の後、原発が停止し、再生可能エネルギーの森林バイオマスが注目されています。長野県でも林業創生・長野プロジェクトにおいて森林バイオマス資源の活用が始まります。国内において普及してきた航空機レーザ計測(LiDAR)を利用し、三次元の高さを計測することができます。このデータを使うことで地形標高モデル(DEM)、地表面高モデル(DSM)の差分から、樹高(DCHM)を計算し、樹冠から胸高直径を推定し、単木の材積とバイオマスを算定することができます。

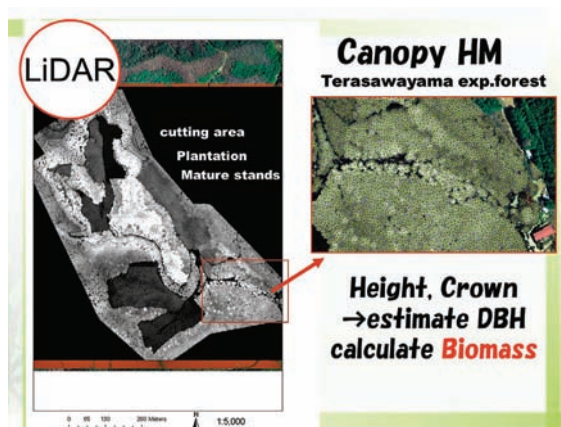
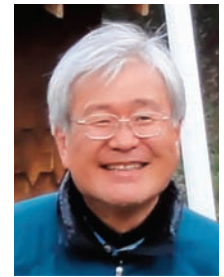


図7 森林バイオマスの算定

山岳地域の気候変動解析



山岳基礎科学部門
鈴木 啓助

問題の所在

北半球では北に行けば行くほど、さらに、標高が高くなればなるほど、気温は低下する。しかし、水平方向での移動距離と垂直方向での移動距離では、気温の低下の度合いが異なる。年平均気温が1℃変化するためには、南北方向には118km 移動しなければならない。しかし、気温遞減率を0.65℃/100m とすれば、垂直方向では154m あれば気温は1℃異なることになる。つまり、気温の水平的な変化に対して高度方向の変化が約800倍も急激であることになる。植物の分布は大局的には気温によって規定されるので、水平的な植生の変化に気づくのは難しいが、高度とともに急激に気温の変化する山岳域では地球規模での気温変動の影響による植生の変化は敏感であることになる。たとえば、仮に気温が上昇すれば標高の高い寒冷な環境に生育する植物は住処を失うことになる可能性もある。植生が変われば昆虫の分布も変わり、ついには大型動物にまで影響が出てくることになる。地球規模での環境変化の影響が山岳域では如実に現れることになる。

では、近年の地球規模での気候変動に対して山岳地域の気候はどのように応答しているのだろうか。しかしながら、気象庁の観測データが山岳地域ではほとんど整備されていないため、山岳地域の気候変動を定量的に議論することが出来ない状況にある。レーダーを備えた測候所として有人での観測を続けてきた富士山測候所（標高：3775.1m）は、2004年10月1日から無人化され、現在では気圧、気温、湿度のみが通年観測となった。気象庁による気温観測の最高所は富士山であるが、次いで標高の高い気温の観測地点は野辺山の1350.0m である。地球規模での気温変動の影響が顕著に現れると考えられる中部山岳地域において、1350m よりも標高の高い地点では、気象庁による気温の観測が行われていないのである。

山岳科学総合研究所による観測網の展開

山岳地域における気象観測データの整備が不十分であるため、高標高地点での気象観測データのデータベース化を目的として、山岳科学総合研究所では、中部山岳地域における気象観測網を整備してきた。これまでに観測を開始している地点は、槍ヶ岳（標高：3070m）、乗鞍富士見岳（2798m）、白馬岳（2740m）、燕岳（2710m）、中央アルプス千畳敷（2630m）、西穂高岳（2355m）、車

山（1870m）、霧ヶ峰高原（1682m）、志賀高原（1620m）、乗鞍休暇村（1590m）、上高地（1530m）、乗鞍高原（1450m）の12ヶ所である。

最初に観測を開始したのは乗鞍休暇村であるが、ここでの気温と積雪深の観測データを図1に示す。乗鞍休暇村では、2002年11月18日から観測を開始しており、観測期間が11年を超えたところである。図1には観測開始時から2013年4月30日までの日平均気温と積雪深の1時間ごとの観測値を示す。気温の図には破線で年平均気温も示す。気温の図からは顕著な経年的な変動傾向は認められない。積雪深についても経年的な変動傾向は認められない。2011-12年冬季の最大積雪深は、観測期間で最小となっているが、2012-13年冬季には逆に最大となっている。

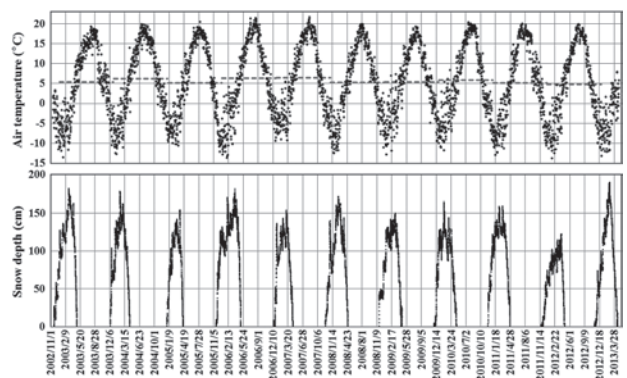


図1 乗鞍高原における気温と積雪深の変動

山岳地域の最近の気候変動

いわゆる地球温暖化と言われている地球規模での気温の上昇に寄与しているのは、最高気温ではなく最低気温の上昇であり、季節としては冬と春であると言われている。

そこで、中部山岳地域における冬季気温の変動を、次の気象官署12地点について検討する。地点名と標高は、富士山（標高：3775.1m）、軽井沢（999.1m）、河口湖（859.6m）、諏訪（760.1m）、松本（610.0m）、高山（560.0m）、飯田（516.4m）、長野（418.2m）、甲府（272.8m）、高田（12.9m）、富山（8.6m）、金沢（5.7m）である。この12地点における1月の月平均気温と年最低気温の経年変化を図2に示す。図中の直線は変動の傾向線を示し、Mann-Kendall 検定によって変動

2013年11月4日(月)開催 シンポジウム「山岳域の環境変動と生物の分布拡大」の報告

11月4日、信州大学松本キャンパス理学部C棟2階大会議室においてシンポジウム「山岳域の環境変動と生物の分布拡大」を開催いたしました。

近年、地球温暖化や開発など人的影響などにより山岳域の環境が急速に変化しつつあります。それに伴って絶滅の危機にさらされる種が増加する一方で、シカやクマなど大型動物をはじめ昆虫や植物などの一部の種では、生息域や分布を拡大させていることが報告されています。今回のシンポジウムでは、このような事例を報告するとともに、気候変動のとらえ方や分布拡大の解析手法などの提案を受けて、最近の環境変動に対応した生物種の急速な分布拡大のメカニズムについて、講演・総合討論を行いました。

会場には約50名の方にご来場いただき、有意義なシンポジウムとなりました。



表紙の写真：『ツルヨシの上で静止しているクロコノマチョウの幼虫』

チョウというのは昼に活動するというのが一般的だが、クロコノマチョウの成虫は夕方しか活動しない。また、河原の岩陰や木陰などジメジメして、光が当たらない場所を生息地としている。そんな場所には私が最も苦手なヘビも生息している。私はヘビへの遭遇率が高いと思われるクロコノマチョウの調査を拒否しつつけていた。しかし、チョウを研究している者が、信州で分布を拡大しているクロコノマチョウを見たことがないといったら恥になる。そこで、学生の調査に同行して、天龍村のクロコノマチョウの生息地に向かった。

予想通り、湿度が高く、日光も当たらないような場所であった。とりあえず、食草であるツルヨシを発見した。ココが生息地らしい。しばらく観察していたが、何もいない。諦めて帰ろうとした時、驚いたように飛んだものがたった一瞬、視界をかすめた。確かめるため、近くを物色すると、また飛んだ。よくみると、クロコノマチョウの成虫であった。成虫はゴツゴツした岩場のようなところに身を隠しているため、岩肌のような茶色の翅をもつのだ。次にツルヨシの葉をめくって、クロコノマチョウの幼虫を探してみた。数十枚ほどめくったら、無事幼虫に出会うことができた。幼虫には2本の角がある。これはタテハチョウの幼虫の特徴で、私が研究してきたシジミチョウの幼虫には見られない。また顔は多様なタイプが存在する。真っ黒の仮面をかぶった柄の子から、写真のように茶色のモヒカンの子まで、様々である。顔で個体識別ができるか試みたが、脱皮するとまた顔が変わってしまい、無理だった。中央の写真はツルヨシ群落だが、この中にクロコノマチョウの幼虫が3頭いる。どこに隠れているのが、ぜひ探してみしてほしい。

山岳科学総合研究所 江田 慧子

研究所 行事日誌 (2014年2月)

2月15日(土) 国際シンポジウム
「地球温暖化をめぐる世界の氷河：アジア・ユーラシアの氷河」
10:30~16:30
信州大学理学部 C棟大会議室
入場無料・申込み不要
英語での講演には逐次通訳があります

山岳科学総合研究所ニュースレター 第38号

発行日：2013年12月9日

発行責任者：鈴木啓助

編集・発行：信州大学山岳科学総合研究所 情報企画チーム

〒390-8621 長野県松本市旭3-1-1

TEL:0263-37-2342 FAX:0263-37-2438

E-mail: suims@shinshu-u.ac.jp



掲載されている内容全ての無断転載を禁じます。著作権は著者及び信州大学山岳科学総合研究所に帰属します。