

平成 22 年 6 月 4 日現在

研究種目：若手研究 (B)  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19780110  
 研究課題名 (和文) 人為攪乱後の広葉樹二次林で食葉性昆虫が大発生するメカニズムの解明  
 研究課題名 (英文) The mechanism of herbivore insect outbreak at the secondary broad-leaf tree forest regenerated after artificial disturbance.

研究代表者  
 松木 佐和子 (MATSUKI SAWAKO)  
 岩手大学・農学部・講師  
 研究者番号：40443981

研究成果の概要 (和文)：北海道において、山火事や列状間伐跡地に天然更新したウダイカンバ林において 2006 年頃から継続的に大発生している食葉性昆虫クスサンについて、餌となる樹木の選好性や行動特性を飼育実験および野外調査から明らかにした。クスサンの成長は餌となる樹種の影響を非常に強く受けるうえ、幼虫期の移動性が非常に低いことから、好適な餌であるウダイカンバの純林においてのみ大規模な発生が維持される可能性が示唆された。

研究成果の概要 (英文)：In Hokkaido, the outbreak of herbivore insect (*Saturnia japonica*) has occurred in monarch birch forest regenerated after artificial disturbance (ex. forest fire, forest thinning). We investigated the host tree preference and the behavior characteristic of *Saturnia japonica* by the bioassay experiment and the field observation. The growth of larvae of *Saturnia japonica* feeding monarch birch leaves were much higher than that feeding other tree species and the mobility capability of *Saturnia japonica* was much low. According to these results, we indicate that the outbreak of *Saturnia japonica* will continue only at the pure monarch birch forest, which provide optimum feeding condition to *Saturnia japonica* larvae.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,400,000	0	2,400,000
2008 年度	500,000	150,000	650,000
2009 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	300,000	3,700,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・森林科学

キーワード：生物多様性、カバノキ科、昆虫の大発生、被食防衛、ウダイカンバ、クスサン

## 1. 研究開始当初の背景

現在、野生動物や病害虫による農林業被害が社会問題化しているが、その一要因として

二次林の放置や里山の管理不足が指摘されている。このような二次林では、比較的強度の攪乱後にはカバノキ属やハンノキ属、ヤナギ

属などの先駆的な樹種の純林が成立する例が多く見られている。攪乱地に生産能力の高い先駆的樹種が一斉に更新する事は、攪乱地における土壌の浸食や地温の上昇による土壌生物の減少に歯止めをかけるといった効果を期待できるだろう。しかし、「食葉性動物に対する耐性」という観点から先駆的樹種によって構成された二次林を見た場合はどうだろう。

申請者はこれまでの研究において、葉寿命が短く光合成能力の高い先駆的な樹種ほど食葉性昆虫にとって利用しやすい葉質を有している事を明らかにしている (Matsuki and Koike 2006)。このことから、先駆的な樹種の純林では食害が広がりやすい事が予想される。しかし一方で、同じカバノキ属であっても防御能力の季節変化のパターンは樹種によって異なるため (Matsuki *et. al.* 2004)、森林の構成樹種、害虫の発生時期などを慎重に調べる必要がある。

近年、これまで小規模な発生しか見られなかったクスサンが、ウダイカンバの一斉林で大規模な発生を起こしている事例が報告されて来ている (福山ら 1992)。一方、シラカンバの純林では、フユシャクガやクスサンの発生は認められない。ウダイカンバとシラカンバが同所的に見られる森林においてフユシャクガの発生状況と樹木葉の防御特性を調べた結果、シラカンバが持つ特徴的な防御手段によってフユシャクガの食害が抑えられている事が示唆された (松木 2006)。東北地方においてもカンバ類は広く分布しているが、大住 (2006) は北上山地におけるシラカンバとウダイカンバの分布の違いは、人為的攪乱頻度の違いによって生じ、それは両種の生活史特性に起因すると述べている。このように、人為的攪乱の頻度によって森林の構成樹種や混交率が変化することは、それを餌として利用する昆虫などの植食者にも大きく影響するも

のと考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究では、人為的な攪乱を受けた土地に更新した先駆樹種によって構成された二次林において、食葉性昆虫の大発生が起きるメカニズムを、特に餌としての葉の質という観点から解き明かす事を目的とする。

1) カバノキ属を中心とした先駆樹種について、その防御特性を明らかにする。

### ①化学分析による樹木葉の防御物質の特定と定量

既に、樹木葉においてポリフェノール類を中心とした様々な防御物質の存在が明らかになっている。フィンランドでは、カバノキ属樹木のフェノール成分について研究が進んでいるが (Riipi *et. al.* 2002)、日本においては、防御物質という観点からカバノキ属やその他の先駆樹種の葉の成分を調べた例は少なく、特に日本固有種であるウダイカンバの成分についてはヨーロッパのカンバ類とはかなり異なる特異的な成分を有している事が期待される。また先行研究 (松木・学振特別研究員奨励費) において、カバノキ属の樹木葉には開葉期のみに見られる、Glandular trichome (腺毛) と思われる毛状突起を解剖切片の観察から確認しており、その成分分析が待たれる。

### ②バイオアッセイ (昆虫の摂食試験) による樹木葉の防御能力評価

実際野外にて発生している昆虫やモデル昆虫 (実験室で系代飼育しているもの) に各樹木葉を摂食させ、その成長速度や死亡率によって各樹種、個体の防御能力を評価すると同時に 1-1 で得られた成分分析の結果をもとに因子分析を行い、防御物質として最も効果のある物質を特定する。

### ③防御特性と成長・繁殖特性との関係を調べる

樹木葉で見られる防御物質の多くは、光合成

産物由来の炭素化合物であることから、同じく光合成産物を必要とする新しい枝の成長や繁殖への投資と防御能力は、トレードオフの関係にあると考えられている。実際に、1年生草本においては実験的に防御と繁殖のトレードオフを証明した研究例はあるが(Agrawal 1999)、樹木でそのような関係が見られるか否かは確かめられていない。

(2) 森林の構成種、混交率、人為的攪乱の履歴が食葉性昆虫の発生頻度に与える影響の評価

実際にどのような森林で食葉性昆虫の発生頻度が高いのか、文献や報告書を調べると共に、様々なタイプの森林でモニタリング調査を行う事によって、食葉性昆虫の発生パターンを知る事を目的とする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 樹木葉の防御物質の分析

シラカンバ、ウダイカンバについて、葉の防御物質成分の特定を行い、主要な物質を選定する。その上で、主要な物質の量的な季節変化のパターンを各樹種間で比較する。カバノキ属では、開葉期にGlandular trichome(腺毛)を持つ事から、この毛状突起の解剖切片による観察および成分分析と定量を行う。解剖切片の観察では、解剖切片の作成と観察技術を習熟している北海道大学北方生物圏フィールド科学センターの渡辺陽子研究員に研究協力願う。また、樹木葉の化学分析では、樹木の化学成分分析を熟知している岩手大学農学部の小藤田久義准教授に研究協力を願う。

#### (2) 昆虫の摂食試験

クスサンの卵塊を冬期に採取し、恒温機にて様々な葉を摂食させる試験を行う。昆虫の死亡率や成長速度について、樹種間での比較を行う。

#### (3) 食葉性昆虫発生パターンの解析

強度に人為的な攪乱を受けた土地に更新した二次林から、比較的攪乱頻度の少ない天然林まで様々なタイプの森林において食葉性昆虫の発生とその被害程度、繁殖量についてモニタリング調査を行う。北海道には山火事跡に更新した大規模なウダイカンバの一斉林が各地に見られるが(大野 2003)、岩手県では大規模なウダイカンバの純林はほとんど見られず、天然林の中に単木的に見られる場合が多い(大住 2006)。一方シラカンバに関しては両地域ともに純林が見られる。北海道、東北地域のカンバ類を含む様々なタイプの森林について、その樹種構成、立木密度、齡構成、食葉性昆虫の発生状況などを調べることで、食葉性昆虫の発生に何らかのパターンが見いだせるか?について解析を行う。モニタリングサイトの選定や現地調査では、岩手県では森林総合研究所東北支所および岩手県林業技術センター、北海道では北海道立林業試験場に研究協力を願う。

#### (4) 研究の取りまとめ

(1)(2)によって得られた先駆樹種の防御種特性の結果と、(3)のモニタリング調査によって得られた食葉性昆虫発生パターンの結果それぞれを投稿論文にまとめる。更に両者の結果をつきあわせて、人為的な攪乱後に更新した二次林で起きる食害被害のリスクマネジメントに関する指針づくりを行う。

#### 4. 研究成果

##### (1) 樹木葉の防御物質の分析

シラカンバ、ウダイカンバについて、開葉直後から落葉期までの葉を定期的にサンプリングを行い、葉表面の glandular trichome (腺毛) の密度を走査型電子顕微鏡で観察して数えるとともに、葉表面の有機溶媒抽出物質について液体クロマトグラフィーによる化学分析を行った。両種とも、葉表面の腺毛密度は開葉直後が最も多く、開葉とともに減少した。また、シラカンバの腺毛密度はウダイカンバよりも有意に多かった。(図1)

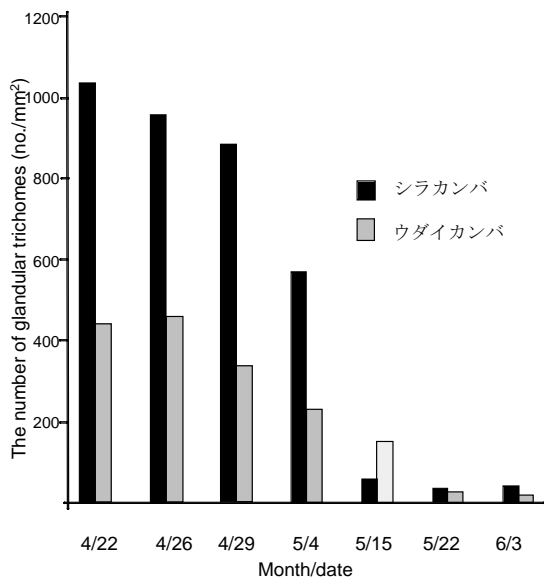


図1 Glandular trichome (腺毛)の季節変化

一方、葉表面の物質を有機溶媒抽出して液体クロマトグラフィーで分析を行ったところ、物質名の特定には至らなかったが、エタノール抽出、ヘキサン抽出それぞれによって得られた抽出物質量は季節を通してシラカンバの方がウダイカンバより多かった。以上の結果より、葉表面の防御物質量はウダイカンバよりシラカンバで多いことが分かった。また、粉碎した葉全体の炭素/窒素比もシラカンバが有意に高いことから、シラカンバの方がウダイカンバよりも餌としての質が低いと言える。

##### (2) 昆虫の摂食試験

飼育実験において、ウダイカンバを与えて飼育した幼虫の成長は、他樹種を与えて飼育した場合に比べ重く、蛹化率と羽化率も高かった。また、幼虫の発育期間も短縮された。複数樹種の葉片を同時に供試する選択実験においても多くの個体がウダイカンバを摂食した。また野外においても、ウダイカンバの樹上からは他の樹種上で捕獲されたものよりも重い幼虫が捕獲された。これらの結果から、ウダイカンバは今回供試した樹種の中で、幼虫の生育に最も適した樹種であると考えられる。ウダイカンバの葉は、同科の他の種に比べ窒素含量が多く、クスサンと同亜科のエリサンにおいても好適な餌であることが示されている (Matsuki and Koike 2006)。

一方、同じカバノキ属でありながら、シラカンバを摂食していた幼虫の体重は、飼育実験と野外調査のいずれにおいても、その他の樹木葉を摂食していた幼虫よりも顕著に軽かった。また、飼育条件下における蛹化率は10%と低く、全ての個体が成虫になることなく死亡した。これらのことから、シラカンバはクスサンにとって好適な餌とは考えられなかった。クスサン幼虫は多岐に渡る樹種を食害することが知られているなかで (Shiromoto and Sakurai, 2007; 矢田 2007)、本研究は幼虫が摂食する樹種の違いが、幼虫の成長に大きな影響を及ぼす事を明らかにした。(表1)

表-1 異なる樹種の葉で育てたクスサン幼虫 (盛岡個体群) の発育 (平均±SE) と生存

餌樹種	供試数	幼虫期間 (日)	幼虫重 (mg) *	蛹化率 (%)	羽化率 (%)
ウダイカンバ	10	66±0.4	6263±176 <sup>a</sup>	80	50
シラカンバ	10	95±0.0	3256±376 <sup>b</sup>	10	0
サワグルミ	10	72±0.0	4497±220 <sup>b</sup>	60	60
トチノキ	10	70±1.4	4461±235 <sup>b</sup>	40	20

\*異なるアルファベットは Scheffé 法による多重比較で有意差のあることを示す (p<0.01)

##### (3) 食葉性昆虫発生パターンの解析

八幡平市における卵塊調査では、シラカンバの幹に多数の卵塊が産みつけられてい

るのが発見された飼育実験と野外調査において、シラカンバを摂食していた幼虫の体重は、その他の樹木葉を摂食していた幼虫の体重よりも有意に小さかったことが示されたにも関わらず、岩手県八幡平市の野外調査では、シラカンバの幹に産卵されたクスサン卵塊を多数発見した。しかし、シラカンバはクスサン幼虫によって好適な餌ではない。また、周辺にはより生育に適したクリも存在したが、クリの木からは卵塊や幼虫は発見されなかった。これらのことから、クスサンの雌成虫は、必ずしも幼虫の生育に適した樹種を選んで産卵を行っているわけではないと考えられる。

八幡平市における野外調査では、シラカンバに産みつけられた卵塊から孵化した幼虫はシラカンバの葉を終齢になるまで摂食し続けるのが観察された。また北海道赤平市の野外調査では、全葉が消失するほどの食害をうけたウダイカンバをクスサン幼虫が継続して摂食し続ける事により、高い標高帯にある食害が軽微なウダイカンバ上から捕獲された同齢の幼虫よりも体重が低下する現象も観察された。これらのことから、クスサン幼虫には好適な餌を求めて樹木から樹木へと素早く移動する能力は極めて低いと考えられる。幼虫が摂食する餌の種類は、雌成虫がどの樹種に産卵するかにより決定づけられているものと推察される。

ウダイカンバは、八幡平市に生息するクスサン個体群にとっても生存、成長に適した餌植物であった。八幡平市においてウダイカンバが頻出する標高帯は600m以上であったが、現在のところこの標高帯ではクスサンの卵塊は確認されていない。しかし、標高570m付近のトチノキでは幼虫の存在が確認されており、クスサンの生息分布域はウダイカンバが頻出する標高帯の直下まで迫

っている、もしくは重なっているものと思われる。今後、気温上昇などによってウダイカンバが頻出する標高帯でクスサン密度が高まる、もしくはクスサン密度の高い低標高帯にウダイカンバが植栽もしくは天然更新により個体の密度が高まることでクスサン幼虫が容易に好適な餌にたどり着けるような状況が整えば、現在被害の顕在化していない地域においても、クスサン幼虫による大規模な被害が発生するかもしれない。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① 菊池伸哉, 松木佐和子, クスサン幼虫の樹種選好特性—北海道と岩手県のクスサン個体群における事例—, 東北森林科学会, 査読有, 15 巻, 2010 年 (掲載決定)
- ② Yasuyuki Ohno, Kiyoshi Umeki, Ichiro Watanabe, Mika Takiya, Kazuhiko Terazawa, Michiyasu Yasaka and Sawako Matsuki. Basal area growth and mortality of *Betula maximowicziana* affected by crown dieback in a secondary forest in Hokkaido, northern Japan. *Journal of forest research*. 査読有. 14 巻. 2009 年. P37-43.
- ③ Yasuyuki Ohno, Kiyoshi Umeki, Ichiro Watanabe, Mika Takiya, Kazuhiko Terazawa and Sawako Matsuki. Variation in shoot mortality within crowns of severely defoliated *Betula maximowicziana* trees in Hokkaido, northern Japan. *Ecological Research*. 査読有. 23 巻. 2008 年. p355-362.

[学会発表] (計7件)

- ① Sawako Matsuki, Nozomi Maeda and Yoko Watanabe, Variation of glandular trichome in Betulaceae trees. Variation of glandular trichome in Betulaceae trees, 第4回国際樹液サミット 2010, 2010.4.17, 美深町文化会館 COM100 (北海道)
- ② 松木佐和子, 菊池伸哉, 大野泰之, 山田健四, 中川昌彦, 八坂道泰, 原秀穂, 第121回日本森林学会大会, 2010.4.4, 筑波大学 (茨城県)

- ③ 土岐理佳,小藤田久義,松木佐和子、樹木葉から分泌される防御物質の季節変化? シラカンバとウダイカンバの比較?, 第57回日本生態学会、2010.3.17、東京大学 (東京都)
- ④ 松木佐和子、開葉初期の葉に防御コストをかけるのはどんな樹木か?、東北森林談話会、2009.3.4、森林総合研究所東北支所 (岩手県)
- ⑤ 菊池伸哉,松木佐和子、クスサンによる落葉広葉樹選好性の地域間比較、東北森林科学会第13回大会、2008.8.26、コラッセ福島 (福島県)
- ⑥ 松木佐和子、カンバ2種におけるフユシヤクガによる春先の食害が夏の葉の食害パターンに与える影響、森林昆虫談話会、2008.3.29、東京農工大学 (東京都)
- ⑦ 松木佐和子, 菊池伸哉, 大野泰之, 八坂通泰, 原秀穂、北海道のクスサンはなぜウダイカンバを食べるのか?、日本生態学会第55回全国大会、2008.3.17、福岡国際会議場 (福岡県)

[図書] (計2件)

- ① Sawako Matsuki, Nozomi Maeda and Yoko Watanabe, Hokkaido University Press. SapIV (Variation of glandular trichome in Betulaceae trees), 2010, 掲載決定 (分担執筆)
- ② 松木佐和子、社団法人北方林業会、北の森づくり Q&A (虫害に強い森林、弱い森林の分かれ道とは?), 2009、2 ページ (分担執筆)

[産業財産権]

なし

[その他]

なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

松木 佐和子 (MATSUKI SAWAKO)

岩手大学・農学部・講師

研究者番号：40443981