

森林総合研究所

第2期中期計画成果集

重点課題イイb

森林生態系における生物群集の動態の解明



独立行政法人 森林総合研究所
Forestry and Forest Products Research Institute

第2期中期計画成果集 イイb

目次

課題群イイb1 「森林に依存して生育する生物の種間相互作用等の解明」	4
天然に生息するカビでスギ花粉の飛散を防止する ー菌類を用いたスギ花粉飛散防止処理液の開発ー	6
スギ雄花を枯死させて花粉の飛散を抑止する細菌や菌類を探索した結果、スギ黒点病菌の同定、その感染経路の解明、また処理液を考案することで、人為的に花粉の飛散を抑止する方法を完成しました。	
生物防除素材としてのスズメバチタマセンチュウの評価	8
スズメバチ女王を不妊にする新種の寄生線虫の生態を明らかにし、利用法を探りました。	
空中を浮遊している菌類で森の状態を調べる	10
空中浮遊菌類の種類を調べ、森の状態を調べる指標として利用できるような微生物多様性プロファイル作成法を検討した結果、エアサンプラーで菌類を捕捉・同定することで、各調査地における菌類の多様性プロファイルが作成できることが分かりました。	
森林害虫における音・振動を介した相互作用の解明	12
音や振動を用いた忌避・交信阻害等による森林害虫防除技術の開発につなげるべく、音・振動を介した種内、種間関係を解明し、害虫が利用する音・振動とその役割のプロファイルを作成しました。	
課題群イイb2 「森林生態系を構成する生物個体群及び群集の動態の解明」	14
大気オゾン濃度の上昇は樹木の二酸化炭素吸収量を低下させる	16
樹冠内の光環境を考慮することで、オゾン濃度上昇による樹木の光合成反応への影響を明らかにしました。	
大気二酸化炭素濃度の上昇と土壌の乾燥によって 樹木の光合成はどのように変化するのか.....	18
高二酸化炭素環境下での森林による二酸化炭素吸収量を正確に推定するためには、土壌の水分条件を考慮に入れて光合成反応を予測する必要があることを明らかにしました。	
芽生えから大木まで多種多様な樹木呼吸を表す新モデル式	20
「樹木個体呼吸と個体サイズ」の関係は森林のCO ₂ 収支を検討する基礎情報です。熱帯～シベリアの樹木の芽生えから大木まで63種の多種多様な271個体を測定した結果、樹木個体呼吸は二つの異なる原理で変化することがわかりました。	
ササ類の生育域を気候条件から予測する	22
日本の冷温帯・亜高山帯林の林床優占種であるチシマザサとチマキザサについて、分布を規定する気候要因とその閾値を明らかにするモデルを構築し、現在と100年後の生育可能な地域（潜在生育域）を明らかにしました。	
競争を生き抜くブナの若木の戦略：成長にあわせて体形を変える	24
ブナの若木は、成長にともない変化する周囲植物との競争関係にあわせ、それぞれの局面にふさわしい樹形をとることで競争を生き抜いていることを明らかにしました。	
台風攪乱に強い照葉樹林 ー長期生態研究が明らかにする森林の維持機構ー	26
成熟林と二次林の、大型台風による攪乱による被害形態を比較解析を行って、照葉樹林の高い台風への耐性は、複雑な階層構造と豊かな種組成が貢献していることが明らかになりました。	

大規模攪乱から森はよみがえったか？	
—御岳山崩れ森林回復の軌跡—	28
大規模な山崩れ跡地の自然回復の見込みを検討するため、植生遷移の過程を四半世紀にわたって観測してきました。	
分布北限域のブナは、攪乱を契機として分布を拡大した	30
ブナの自生最北限におけるブナ林の成立過程を、地形情報・年輪解析・倒木片の樹種判別、過去の攪乱の歴史などの情報から推定しました。	

イイb 森林生態系における生物群集の動態の解明

森林に生息する生物の生理や動態に関する知識は、森林生産の基礎であるとともに、生物被害の防除、生物多様性の保全と利用を推進するために必要です。そのため、「森林の二酸化炭素吸収源としての機能評価、生物多様性の保全、野生動物の適正管理等に資するため、森林に依存して生育する生物の種間相互作用等の解明並びに森林生態系を構成する生物個体群及び群集の動態の解明等を行う。」という中期計画を立てました。また、中期計画達成と開発研究への発展を期した中間見直しにおいて、重点化とロードマップ作成により、課題管理を行いつつ、研究を推進してきました。

森林に依存して生育する生物の種間相互作用等の解明については、まず、森林生物を利用するなどして、生物多様性の保全につながる研究、また、新たな防除技術のシーズとなる生物間相互作用の解明と利用など野生動物の適正管理に資する研究を実施しました。

森林生態系を構成する生物個体群及び群集の動態の解明については、森林の二酸化炭素吸収源としての機能評価につながる研究として、温暖化により予想される環境変化への植物の対応を推定するための基礎研究を行いました。これらの成果は、温度変化、二酸化炭素濃度変化に対応する植物固体の生理反応、温暖化による極端気象で予想される攪乱に対する植物群集、個体群の反応に分類されます。

課題群イイb1 「森林に依存して生育する生物の種間相互作用等の解明」

背景と目的

森林に生息する生物はお互いに影響を及ぼし合いながら生活しています。「寄生するもの」と「されるもの」の関係はその代表です。こうした相互作用のおかげで、特定の生物が大発生することなく安定した生態系が維持されます。スギやヒノキなど単一の樹種からなる人工林でも、できるだけ多くの相互作用が維持されるように配慮することによって、生物被害の少ない、安定した人工林を低コストに管理することが可能になります。この課題群ではさまざまな生物間相互作用のメカニズムを明らかにし、生物多様性の保全や新しい被害防除方法へ発展させることができる研究シーズ（種）を提供することを目的としました。

研究成果のあらまし

さまざまな研究シーズから、将来本格研究や開発研究へ発展させられそうな6課題を選定し、重点的に研究の強化を図りました。

スギ花粉症は大きな社会問題になっています。スギ雄花を黒変枯死させ花粉を飛散させなくするスギ黒点病菌の菌糸体到大豆油を加えた処理液によりスギ雄花を枯死させることに成功しました。人為的にスギ花粉の飛散を抑止する方法として特許を申請しました。

スズメバチセンチュウに寄生されたスズメバチ女王は不妊となり、営巣や産卵が不能となるため、刺傷害をもたらすスズメバチの防除素材として有望です。防除資材としての能力を評価するため、感染のメカニズムや寄生率を調べました。この結果、スズメバチに対するスズメバチセンチュウの生物的防除素材としての能力は高いと評価されました。

有用な生物資源・遺伝資源として注目されている森林に生息する微生物を、市販のエアーサンプラーを用いて多量に採取し、捕捉した菌類を分離するために培地の調整方法を定め、種を同定するためのDNA解析法を確立しました。これによって、困難であった森林生息性菌類の分類同定が迅速に行えるようになりました。

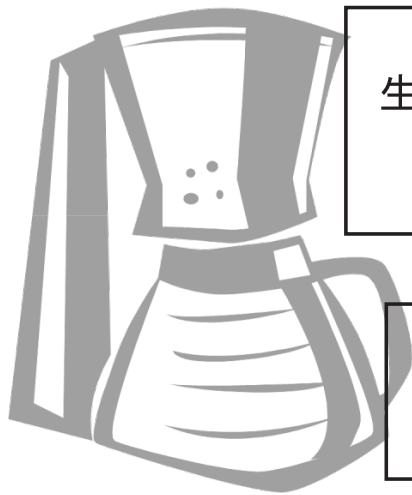
森林環境に大きな負荷をかけない害虫防除技術として音や振動による交信阻害や忌避作用が注目されています。マツ枯れに関与するマツノマダラカミキリ、ナラ枯れに関与するカシノナガキクイムシ、森林害虫を多く含むヤガ、ドクガの間では、いずれも超音波に対して警戒反応が確認され、これらの害虫の行動制御と被害防除に超音波が利用可能であることが示されました。

森林の縮小・分断化は遺伝子の交流を妨げるため、やがて野生動物の地域集団を絶滅に導く可能性があります。最近、河川に住む魚類を対象に遺伝的交流の度合いを測定する方法が開発されました。この方法が移動能力の低い小型哺乳類（エゾヤチネズミ）でも有効であることを実証し、孤立林の多い環境ではメスが遺伝的多様性の保持に貢献しているという新しい事実を発見しました。

マツタケの人工栽培に必要なマツタケ菌の栄養分獲得をめぐるマツとマツタケの相互作用を明らかにしました。この結果、糖の獲得に関する遺伝子を多く含む菌株が人工栽培に適している可能性が高い事が分かり、菌株選抜の指標として活用できることが分かりました。

研究成果の利用

スギ黒点病菌を用いた花粉飛散防止技術は、さらに実用化を図るために開発研究の素材となりました。その他の課題は、本格研究への発展を意図して研究ロードマップを作成して最終成果に向けた道筋を示しました。



目標
生物間相互作用のメカニズムを明らかにして
新しい研究のシーズ(種)を提供する
6課題を抽出した

成果
本格研究や開発研究へ向けて研究の
重点強化を図った

5年間の主要な成果



菌を用いてスギ花粉の飛散
を防止する
(6-7ページ)



新種の寄生線虫を利用して
スズメバチ女王を不妊化する
(8-9ページ)



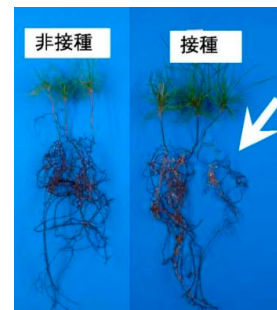
空中を浮遊する菌類で
森の状態を調べる
(10-11ページ)



音を用いた新しい害虫防除
(12-13ページ)



森林動物の遺伝的交流を
明らかにする
(<http://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/seikasenshu/2010/documents/p60-61.pdf>)



マツタケとマツの栄養相互
作用を明らかにする

天然に生息するカビでスギ花粉の飛散を防止する ー菌類を用いたスギ花粉飛散防止処理液の開発ー

森林微生物研究領域
東北支所 生物被害研究グループ

窪野高德、秋庭満輝
市原 優

Leptosphaerulina japonica（スギ黒点病菌）を使ったスギ花粉飛散防止法を開発するために、この菌の菌糸体到大豆油を添加した処理液を考案しました。スギ苗木の雄花に人工的にスプレー散布したところ、約35～65%の頻度でスギ雄花を枯死させることに成功し、小規模ながら人為的に花粉の飛散を抑止する方法を完成しました。現在、「スギ花粉飛散抑制剤およびスギ花粉飛散抑制方法」と称して、特許を申請しています。

はじめに

近年、スギ及びヒノキ花粉症は我が国で大きな社会問題となっています。そこで、私達は生物農薬として、即効性があり、自然界に存在する森林微生物で、かつスギの雄花だけを枯死させて花粉の飛散を抑止する細菌や菌類の探索を続けてきました。その結果、2004年に菌糸体によってスギ雄花が黒変枯死し、花粉がまったく飛散しない雄花が発見されました（五十嵐ら、2004）。私達はこの菌糸体の純粋分離に成功し、菌名を *Leptosphaerulina japonica*（スギ黒点病菌）と同定すると共に、感染経路を解明しました（窪野ら、2006）。

スギ黒点病菌の分布域

この菌は、これまでの調査によって、青森県、秋田県、山形県、岩手県、福島県、石川県、富山県、福井県、島根県、静岡県、高知県、愛媛県、徳島県及び熊本県のスギ林で発見されました。このことから、この菌は我が国のスギ林に広く分布していることが予想され、この菌はスギ花粉の飛散を防止させる生物農薬として、全国で利用できる可能性が示されました。また、本菌は自然界ではヒノキ雄花には見つかりませんが、人工的に接種をしたところ、ヒノキ雄花も枯死させることが判明したことから、ヒノキの花粉症対策にも有益であることが示唆されました。

スギ黒点病菌の感染環

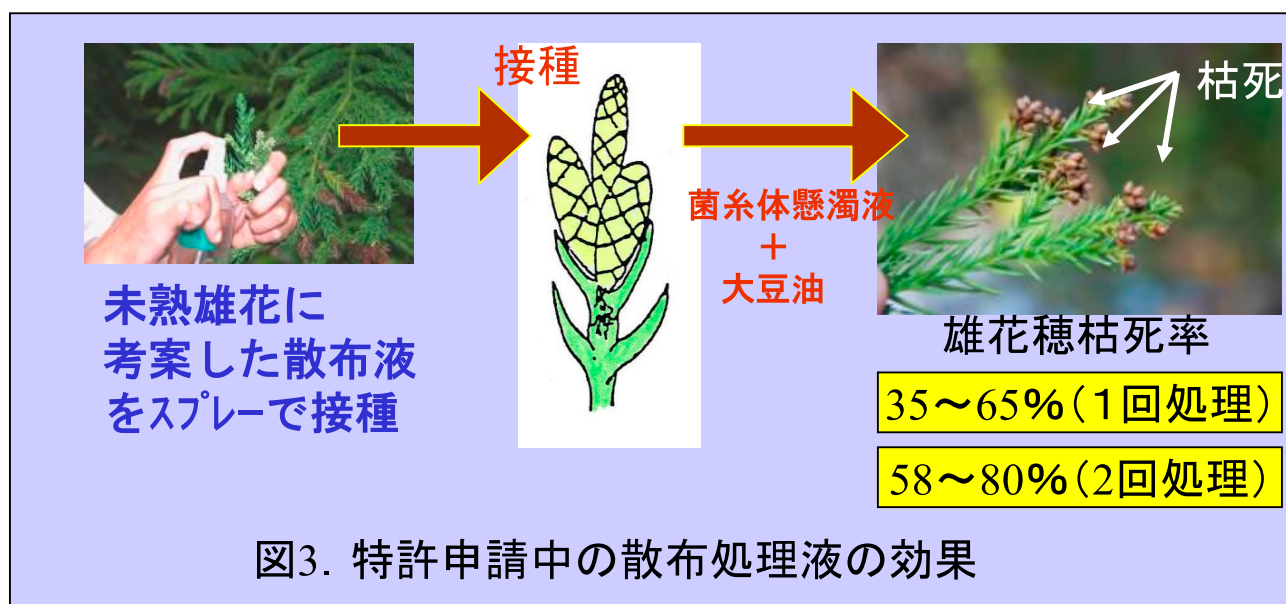
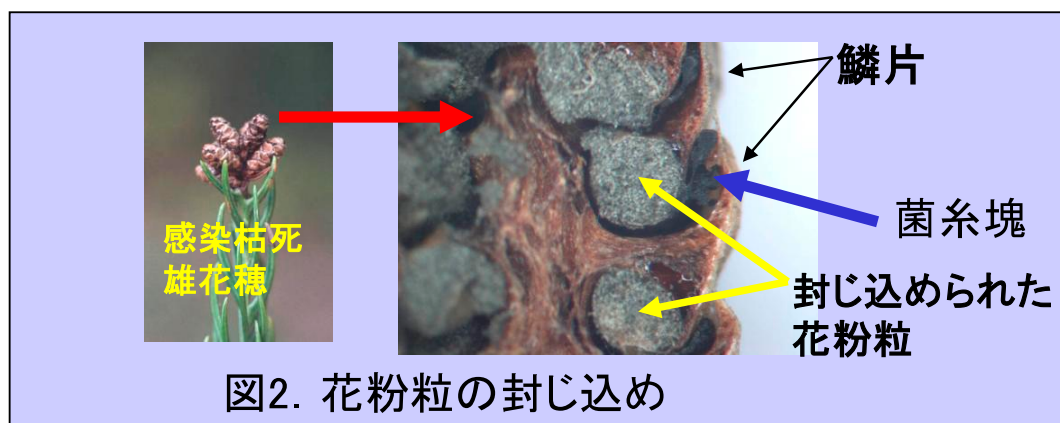
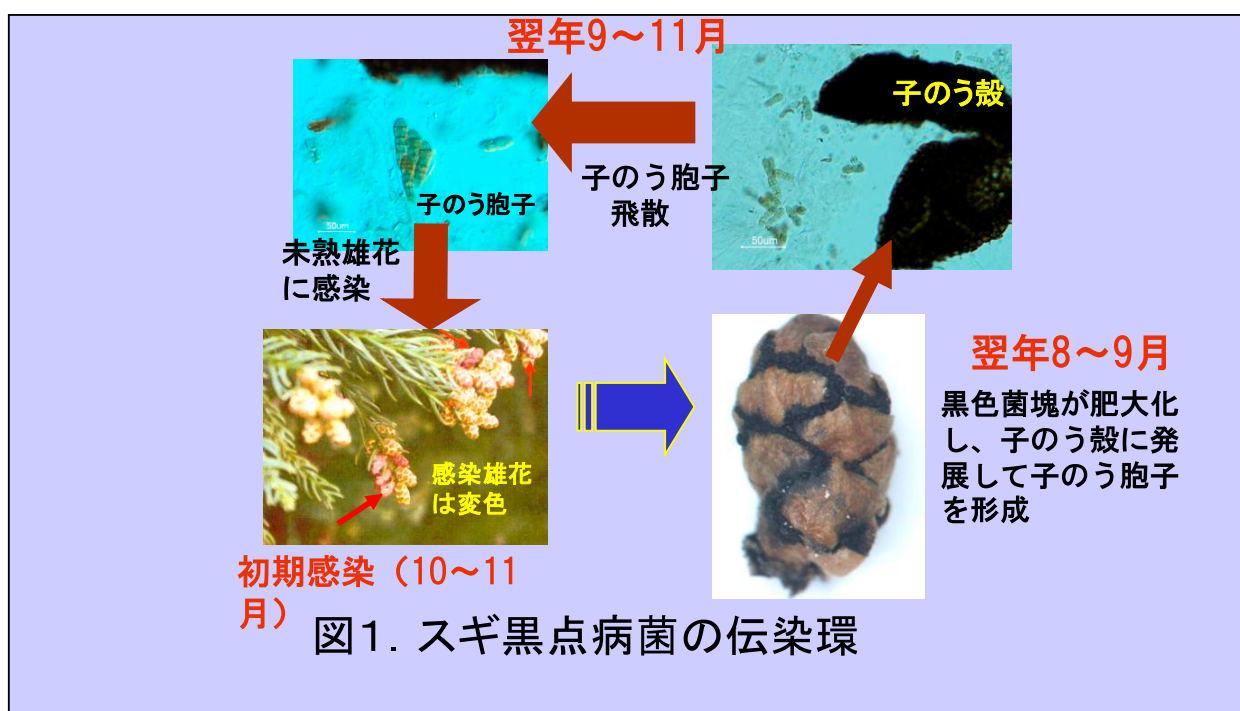
スギ黒点病菌 (*L. japonica*) は、子のう菌類に属する菌で、生育温度範囲は1～25℃と広く、最適生育温度は

15℃前後です。感染に関与する子のう胞子は、秋季9月～11月にかけて、前年に感染枯死した雄花上に形成され、生育途中の未熟雄花に感染することが明らかになりました（図1）。子のう胞子に感染した雄花は赤褐色に変色して枯死し、鱗片が開きません。そのため、花粉粒は雄花内に閉じこめられ、飛散できなくなるのです（図2）。

散布処理液の開発

私達は、*L. japonica* 菌を用いて人為的にスギ花粉の飛散を抑える散布処理液の開発を目的に研究を進めてきました。ジベレリンを散布してスギの苗木に雄花を形成させ、考案した処理液を用いて人工接種試験を繰り返し行いました。その結果、「スギ黒点病菌糸体懸濁液」に市販の大豆油を添加した処理液を考案しました。この処理液をスギ雄花にスプレーで散布したところ、約35～65%の頻度でスギ雄花のみを枯死させることに成功し、小規模な試験ながら、人為的に花粉の飛散を抑止させる方法を完成しました。現在、これらの研究成果を基に、「スギ花粉飛散抑制剤およびスギ花粉飛散抑制方法」と称して、特許を申請しています（図3）。

本研究は、現在、農林水産技術会議新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「菌類を利用したスギ及びヒノキ花粉飛散抑止技術の開発」と題して、さらに研究を進め、野外に生育する中・大径木のスギ及びヒノキ雄花に対して、花粉の飛散を抑止する散布処理液の開発研究を進めています。



生物防除素材としてのスズメバチタマセンチュウの評価

九州支所
北海道支所
森林微生物研究領域
森林昆虫研究領域

小坂 肇
佐山勝彦
神崎菜摘
牧野俊一

スズメバチから新種の昆虫寄生線虫が発見され、スズメバチタマセンチュウと命名されました。この線虫は、3種のスズメバチの女王から見つかり、北海道から九州までの日本本土に広く分布していると考えられました。この線虫に寄生された女王は、いずれも卵巣が発達せず、不妊となります。害虫でも益虫でもあるスズメバチの数をスズメバチタマセンチュウによって制御することは、魅力的な考えです。そのためには、スズメバチタマセンチュウのスズメバチへの感染を人工的に制御する方法の開発がこれから必要になります。

はじめに

スズメバチはいろいろな昆虫を餌にするので、様々な害虫の天敵として働いています。しかし、その一方で、スズメバチによる刺傷被害は森林作業等において深刻な問題です。国有林だけでも、毎年約800件の刺傷事故が起きています（平成7～16年の平均、林野庁）。スズメバチに刺されると猛烈に痛いだけでなく、その毒にアレルギー反応を起こす人は、死に至る場合もあります。

スズメバチの数を制御することは刺傷事故の軽減には重要ですが、環境への影響を考慮すると、化学農薬だけに頼るわけにはいきません。そこで私たちは、天敵生物を使ってスズメバチの数を制御する方法をさぐるため、自然界に存在するスズメバチの効果的な天敵を発見し、その分布や宿主、生活史（感染経路）を明らかにすることを目的に研究を行いました。

寄生線虫の発見

スズメバチにはすでに多くの天敵が知られていますが、人間に利用しやすい天敵は知られていませんでした。私たちは誘引トラップで捕獲されるスズメバチの女王の多くが、未知の線虫に寄生されていることを発見しました。スズメバチタマセンチュウ（*Sphaerularia vespae*）と命名されたこの線虫はスズメバチの女王にしか寄生せず、寄生された女王は卵巣が発達しないため不妊化することが明らかになったのです（図1）。

分布と宿主

日本各地からスズメバチを採集して調べたところ、スズメバチタマセンチュウは、北海道、本州及び九州といった広い範囲から見つかりました。つまり、この線虫は日本本土のどこにでもいる可能性が高いのです。また、日本に7種いる大型のスズメバチ類のうち3種からこの線虫が検出されましたが、このなかには刺傷被害の上で

重要なキイロスズメバチとオオスズメバチが含まれています。

感染の経路

では、なぜ女王だけがこの線虫に寄生されるのでしょうか。スズメバチ女王の行動を注意深く観察したところ、スズメバチタマセンチュウに寄生された女王は、次世代の女王が越冬する場所を訪れて、体内にいる線虫の幼虫を放出していることがわかりました（図2）。つまり、スズメバチタマセンチュウはすでに寄生している女王から次世代の女王へ感染するために、次世代女王の越冬場所で待ち伏せしていたのです。

今後の課題

これまでの研究から、新たな天敵生物スズメバチタマセンチュウについて、国内での分布と宿主範囲、感染経路や天敵としての効果がほぼ解明されました。寄生されたスズメバチ女王は不妊となり、巣を作ることもおそらく不可能なので働きバチも次世代の女王も生むことができません。

今後の研究によってこの線虫の飼育方法を開発し、スズメバチ女王への感染を人工的に制御する方法を開発することで、人のニーズに合わせながらも、生態系全体への影響を考慮した利用法が可能になると考えています。

本研究は、ノーステック財団研究開発助成事業（H19-共-32）及び科学研究費補助金（20380097）による成果です。詳しい成果は、「Sayama et al. (2007) Insectes Sociaux 54, 53-55」、「Kanzaki et al. (2007) Zoological Science 24, 1134-1142」及び「小坂ら (2009) 森林保護 313, 1-3」をご覧ください。また、森林総合研究所HPのプレスリリースを通じても成果を社会に公表しています。

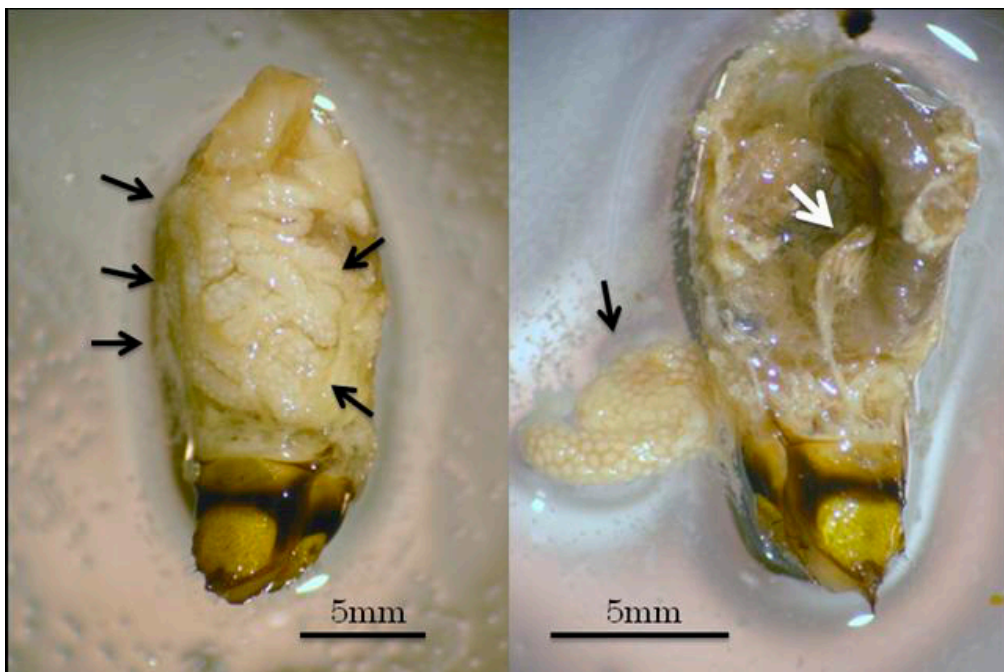


図1 スズメバチタマセンチュウに寄生されたキイロスズメバチ女王の腹部解剖写真
スズメバチタマセンチュウ雌成虫(左:黒矢印)は、表面に無数のイボを持ち、女王の内臓
にからみつくように寄生しています。写真の場合、5、6匹の線虫雌成虫が寄生していると推
定されます。線虫雌成虫(右:黒矢印)を取り除くと、卵が全くないスズメバチ女王の卵巣(右
:白矢印)が確認でき、この線虫の寄生により女王が不妊になったことがわかります。



図2 キイロスズメバチ女王から脱出するスズメバチタマセンチュウ幼虫(白丸内の白い糸状の束)
スズメバチ女王体内で線虫雌成虫が産卵して幼虫が孵化します。線虫の雌成虫に比べて幼虫は小さくて
(長さ約1mm)細く(幅約0.05mm)、束になって女王体内から脱出します。脱出場所は、次の世代の
スズメバチ女王の越冬場所となる朽木です。この線虫は寄生したスズメバチ女王の行動を操って、感染
場所に導いているのかもしれませんが。

空中を浮遊している菌類で森の状態を調べる

森林微生物研究領域 升屋勇人、太田祐子、佐橋憲生、秋庭満輝、神崎菜摘

菌類は分解者であると同時に、様々な生物と共生関係を結ぶ生態系の要です。菌類の多様性を調べると、間接的にその場所の生物多様性を評価することができます。空気中では孢子が比較的均一に分散しているため、場所による比較が土壌よりも容易に行えます。今回私たちは、林齢ごとに空中浮遊菌類の種類を調べ、森の状態を調べる指標として利用できるよう微生物多様性プロファイル作成法を検討しました。その結果、エアサンプラーで菌類を捕捉・同定することで、各調査地における菌類の多様性プロファイルが作成できることがわかりました。そして若齢林や老齢林よりも、壮齢林で空中浮遊菌の多様性が最大となることがわかりました。また、林齢に従って増える種類や、減る種類があり、老齢林で多様な種類が検出できる属もありました。以上のように空中浮遊菌を捕捉・同定し、場所ごとに多様性のプロファイルを作成することで森林の状態を推定する手法を確立しました。

はじめに

生物多様性保全のために様々な生物の多様性評価が各地で行われていますが、微生物については十分には調査されていません。しかし、多くの微生物は森林生態系において分解者、共生者など重要な役割を果たしています。その多様性を評価することは環境そのものを評価することに繋がります。一般に菌類の多様性評価は、肉眼で識別しやすいキノコを形成する菌類が中心となっています。ただし、菌類の中でキノコを形成する菌類の種数の割合は合計でも3割にも届かず、残りの多くの部分は微小菌類で占められているため、菌類の多様性評価に関する情報には非常に偏りと限界があります。一方、微小菌類を中心とした多様性評価にも問題があり、微小であるために数mm場所が違えば、検出される種類が異なってしまうことがあります。畑の土壌菌の調査では一度に複数の場所から土壌を採取し、混和してから多様性評価を行うことで、その場所の多様性を評価していますが、森林では土壌中に様々な物質が含まれているためそれも困難です。

微生物多様性プロファイルの作成

こうした問題点を解決するために、空気中に浮遊している菌類を調べることで、従来の問題点を克服した菌類の多様性評価手法を考案しました。実際に空気中では孢子が比較的均一に分散しているため、場所による比較が土壌よりも容易に行えます。そこで、野外でエアサンプラー（写真1）を用いて空気を収集することで、その中に含まれる空中浮遊菌を効率的に採取する手法を確立しました。そして捕捉した菌類の種類を分離・同定するた

めの培地、DNA解析のための一連のプロトコルを作成しました。こうして確立した手法を元に、空中浮遊菌の種類がその場所の状態を調べるのに利用できるかどうかを検討しました。特に林齢の違いによって空中浮遊菌の多様性がどのように変化するかを調査するとともに、林分を特徴づける種類の特定を行いました。

調査結果

調査期間中、最も高頻度に出現したのは、空中浮遊菌として知られる *Cladosporium* や *Penicillium* でした。調査地点、林齢、季節と出現した菌の種構成との対応を解析した結果、菌の種構成の違いには林齢と季節が寄与していました。種数、多様度指数は約60年生林で最大となる傾向にありました。林齢が上がるごとに頻度が下がる種類、各種木材腐朽菌のように約60年生林で高くなる種類、低くなる種類がありました。また林齢と正の相関がある種類もありました。こうした出現菌の頻度の傾向は利用する基質、宿主の量や状態を反映したものと考えられました。

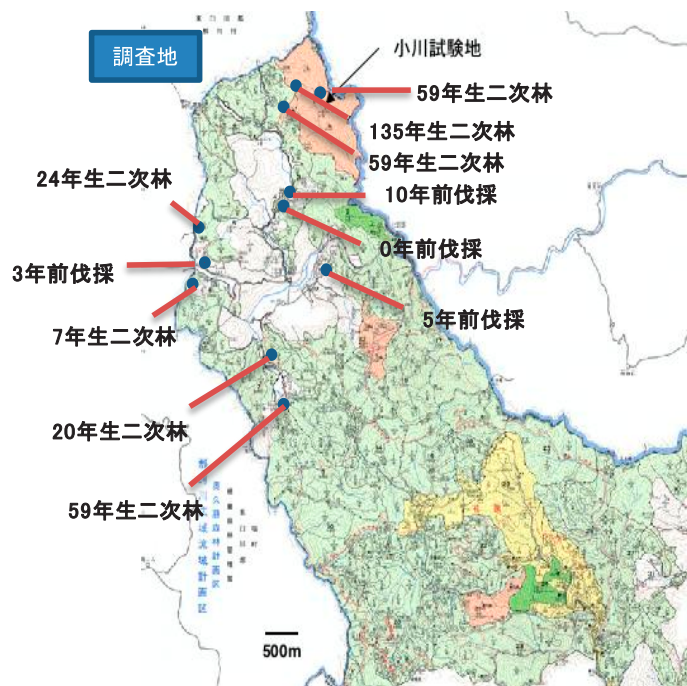
本研究のように、空中浮遊菌の多様性プロファイルを作成することで、いままで見過ごされてきた菌類の多様性や生態を評価することができるだけでなく、森林の多様性を間接的に評価できることがわかりました。

詳しくは日本森林学会大会発表データベース

http://www.jstage.jst.go.jp/article/jfsc/121/0/702/_pdf/-char/ja/ をご覧ください。



写真1 エアサンプラー



調査地

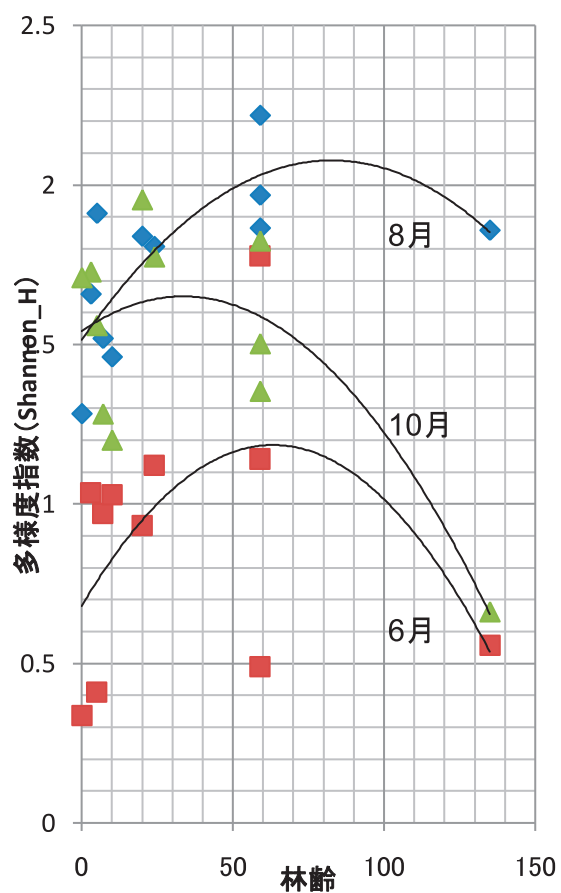


図1 林齢と多様度との関係

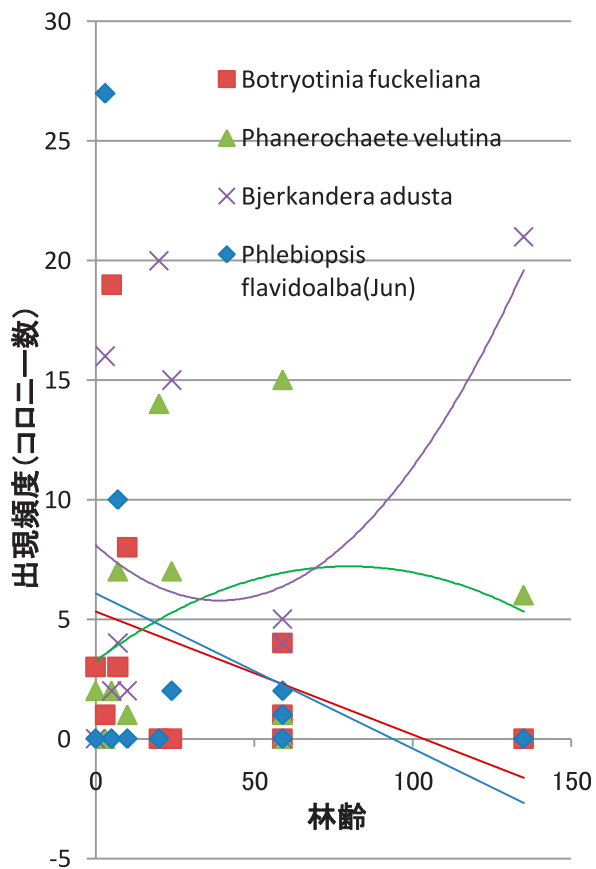


図2 林齢と主要な4種の菌類の頻度との関係

森林害虫における音・振動を介した相互作用の解明

森林昆虫研究領域
木材改質研究領域
東京大学
果樹研究所

高梨琢磨、大谷英児
大村和香子
石川幸男、深谷 緑
中野 亮

森林保全の立場から、音や振動による忌避・交信阻害等を利用した害虫防除技術の開発が求められています。しかし、音や振動を介した害虫の相互作用についての基礎的知見は不足しています。そこで、私たちは、森林害虫における音・振動を介した種内（間）相互作用を解明し、森林害虫が利用する音・振動とその役割のプロファイルを作成しました。

はじめに

昆虫は捕食者を避けるために、捕食者から固体を經由して伝わる振動を忌避する習性があります。また、振動によって交信を行う昆虫も知られていますが、森林害虫において振動の役割についての基礎的知見は不足しています。そこで、音・振動による害虫防除法の開発をめざした相互作用の解明を行いました。

振動を用いた森林害虫の相互作用

私たちは、マツの重要害虫であるマツノマダラカミキリ等、カミキリムシ科の3種が振動に対して警戒反応（行動の停止や開始）を示すことを明らかにしました（表1）。その反応の感受性はかなり高く、微弱な振動でこれらの反応がおこることもわかりました（図1）。一方、森林・木材の重要害虫であるイエシロアリ等、ミゾガシラシロアリ、レイビシロアリ科、オオシロアリ科の4種は警戒時に振動を発することがわかりました（表1）。これらの害虫において、振動を用いた行動制御が可能であることが示されました。

超音波を用いた森林害虫の相互作用

ガ類などの昆虫は捕食者を避けるために、捕食者に対して超音波を発することや、コウモリの発する超音波（1秒間の振動数である周波数が20kHz以上のヒトに聞こえない音）に感受性がある耳を持つことが知られています。マツノマダラカミキリ等、カミキリムシ科の2種は捕食者から物理的的刺激を受けると、周波数の幅が広い超音波を含む警戒音を発しました（表1）。また、森林害虫を多く含むガ類、ヤガ科（例：シイタケの害虫ムラサキアツバ）、ドクガ科等の8科37種において、超音波に対する感受性が確認できたことから、ガ類の行動を超音波により制御することが可能であると考えられました。

超音波によって交信を行う昆虫に関する報告は最近増えています。ナラ等広葉樹の重要害虫であるカシノナガキクイムシ（ナガキクイムシ科）において、低周波の音による交信

と警戒は知られていましたが、今回さらに超音波も発することが明らかになりました（表1）。また、森林性のセミ科8種は、超音波を含む音を発して交信することがわかりました。さらに、ガ類が交尾時に超音波を発して交信や警戒を行うことを、ツトガ科（例：スギ・果実の害虫モモノゴマダラノメイガ（図2））、メイガ科、コブ科、ヒトリガ科、シャクガ科、スズメガ科の合計7科28種において確認しました（表1）。すなわち、超音波の利用はガ類において一般的であると考えられました。以上の結果より、これらの様々な森林害虫を対象として、超音波を用いた忌避や交信の阻害が可能であることが示されました。

本研究の成果であるプロファイル（表1）は、振動や超音波を用いた行動制御による害虫防除を行うための重要な基盤情報となり、森林において活用できる音・振動を用いた防除技術の開発につながります。

本成果は交付金プロジェクト「森林害虫の音（振動）による種内（間）相互作用の解明」による成果です。

詳しい情報源

特許：振動により害虫を防除する方法 発明者：高梨琢磨、大村和香子、大谷英児、久保島吉貴、森輝夫、小池卓二、西野浩史 国際出願番号 PCT/JP2010/65398、出願年月日：2010年9月8日

Takanashi, T., Nakano, R., Surlykke, A., Tatsuta, H., Tabata, J., Ishikawa, Y., Skals, N. (2010) Variation in courtship ultrasounds of three *Ostrinia* moths with different sex pheromones. *Plos One* 5(10): e13144.

Wakako Ohmura, Takuma Takanashi, Yoki Suzuki, Behavioral analysis of tremulation and tapping of termites. *Sociobiology*, 54, 2009, 269 – 274

大谷英児 (2009)、微小甲虫の至近距離における音響交信、日本音響学会聴覚研究会資料 39 (3) 193-197

表 1) 害虫における振動・超音波とその役割のプロファイル

振動/超音波	科名	種数	役割		
			感受性	交信	警戒
振動	カミキリムシ	3	+		+
振動	ミゾガシラシロアリ	2	+	+	+
振動	レイビシロアリ	1	+	+	+
振動	オオシロアリ	1	+	+	+
超音波	カミキリムシ	2			+
超音波	ナガキクイムシ	1		+	+
超音波	セミ	8		+	
超音波	ヤガ	7	+	+	
超音波	ヒトリガ	5	+	+	+
超音波	ドクガ	3	+		
超音波	コブガ	1	+		+
超音波	メイガ	6	+	+	
超音波	ツトガ	12	+	+	
超音波	シャクガ	1	+	+	
超音波	スズメガ	2	+		+

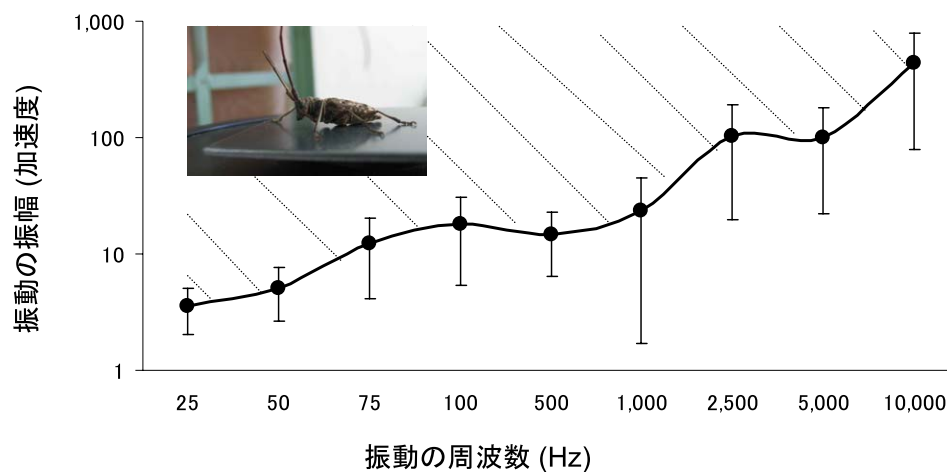


図 1) マツノマダラカミキリの振動に対する警戒反応

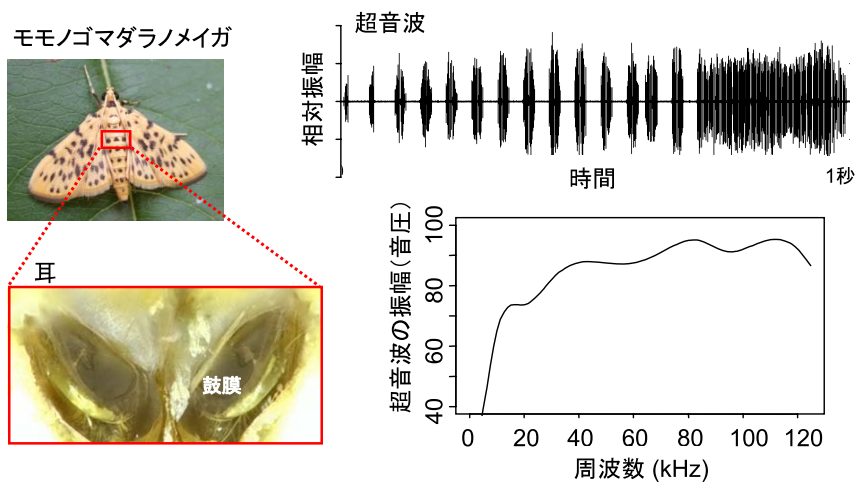


図 2) モモノゴマダラノメイガの耳 (写真) と交尾時の超音波

課題群イイb2 「森林生態系を構成する生物個体群及び群集の動態の解明」

背景と目的

森林の管理と再生による、温暖化の進行の抑制、影響の緩和、また温暖化への適応などの方策を開発するためには、温暖化という気候変動にともなう環境変化に対する森林の反応を明らかにする必要があります。温暖化にともなう環境変化としては、高CO₂化、乾燥化の他に、台風の強度や頻度やコースの変化、極端災害の増加などといった自然撓乱体制の変化が考えられます。基礎的な研究を中心とするこの課題群では、樹木の個体レベルでの生理生態的な機能の環境変化への応答を明らかにすること、森林を構成する樹木個体群や森林群集の自然撓乱に対する反応を明らかにすることを目的としています。

研究成果のあらまし

地球温暖化は干ばつや大雨などを引き起こし、降水量にも影響を与えられています。二酸化炭素(CO₂)濃度の上昇は、気温の上昇だけでなく、樹木が生育する土地の水分環境も変化させる可能性があるのです。土壌中の水が少ない環境では、樹木の光合成の能力が高まる現象が確認されています。他方、二酸化炭素濃度の上昇は、十分な栄養がない場合には、樹木の光合成の能力を低下させることも知られています。温暖化シナリオのもとで起こりうる土壌乾燥と高二酸化炭素という複合環境では、樹木の光合成能力はどうなるのでしょうか？実験的にそのような環境を作り出して、樹木の光合成反応を調べた結果、それぞれの正負の効果が打ち消され、通常の二酸化炭素濃度で水を十分与えた場合と同程度の光合成能力を示すことが明らかとなりました。また、二酸化炭素と並びオゾン濃度の上昇が世界的に問題になっていますが、ミュンヘン工科大学との共同研究で、野外の森林において人工的にオゾン濃度を上昇させた場合の樹木の光合成への影響を調べたところ、オゾン濃度の上昇により樹木の二酸化炭素吸収量が減少し、地球温暖化を加速する危険性があることが示唆されました。

森林生態系の二酸化炭素吸収能を評価するためには、光合成による吸収だけでなく、呼吸による放出を明らかにする必要があります。樹木個体呼吸と個体サイズの関係は、二酸化炭素吸収能のモデル化にも非常に重要な情報ですが、これまで根を含む包括的な実測データはありませんでした。今回、熱帯からシベリアの樹木の芽生えから大木まで63種の多種多様な271個体の測定から、大きな樹木では呼吸は重量の四分の三乗に比例し、樹木が小さくなるにつれこの関係から徐々にはずれ、呼吸は重量比例へと変化していくことが明らかになりました。この個体呼吸の新二相系モデルは、樹木という非常に大きなサイズ変化を示す生物の生活史を貫く法則の新発見といえます。

温暖化は、ブナの生育適地の北上と山地部に断片的に存在するブナ林の消失をもたらすと予測されていますが、ササとの相互作用はどう変化するのでしょうか。ブナの林床に優占し、更新を阻害するチシマザサとチマキザサの生育適地と温暖化の進行による分布変化を研究した結果、両種の分布には、多雪で冷涼な環境が好適であること、また、温暖化が進むと、積雪量の減少と成長期の暖かさの増加により、平野部を中心に生育域が大きく減少すると予測されました。温暖化のブナ林への影響は、ササの変化との関係により、更に複雑になると予想されます。

温暖化の進行とともに、重要な自然撓乱である台風の襲来体制は変化すると予測されています。現在の台風撓乱の実態と撓乱に対応した天然林の動態を明らかにすることは、温暖化シナリオの中での森林変化の予測のためにも重要です。台風常襲地帯である九州の照葉樹天然林と、コジイ二次林における大型台風による撓乱の影響を比較した結果、成熟林では幹折れや根返りなどの撓乱が発生しましたが、その後の林分構造の変化は小さいことがわかりました。一方、二次林では、林齢が増すごとに幹折れを中心とする被害を受けやすく、林冠層が破壊されてしまいました。照葉樹天然林は、複雑な階層構造と豊かな種組成により大型台風による撓乱に対し安定性を保つことができると考えられました。

森林の分布や構造は、気候条件とともに、稀な自然撓乱によっても規定されています。日本列島では、稀に起こる大規模な山崩れなどの地表撓乱が、長い時間単位での森林の変化をもたらします。1984年の

長野県御岳山の大規模な山崩れ直後から現在までの植生遷移を長期にわたって観測した結果、植生回復の過程や進行速度には標高差や表層土の有無が大きく関わること、また副次的に、回復工法としての人工播種には一定の水土保持効果が期待できるものの、自然植生に対する影響が数十年続くことがわかりました。天然林生態系の管理には、このように非常に長い時間スケールで森林の変化を予測する視点が必要ですが、温暖化は森林変化のプロセスを複雑にするかもしれません。

温暖化にともなう樹木分布の変化を知るためには、分布域の境界での樹木個体群の過去の動態が重要な情報を提供します。北海道の渡島半島にあるブナ北限分布最前線のブナ林において、樹木年輪から樹齢を推定し、ブナ林の成立過程を推定した結果、ブナは過去 200 年程前から調査地域に侵入を開始し、地すべりや台風などの自然撓乱を契機として断続的に分布を拡大してきたことがわかりました。現在孤立林として分布する最前線のブナ林の分布変化にも、温暖化そのものだけでなく撓乱体制の変化が影響することが示唆されます。

研究成果の利用

環境調節装置や野外での大規模実験の成果から、土壌の乾燥、オゾン濃度の上昇など複合要因の影響が明らかになり、二酸化炭素濃度上昇がもたらす森林への影響の評価の精度は向上し、正確な気候変動影響の予測に生かすことができます。ブナ林の林床に優占し天然更新の妨げとなるだけでなく、土砂移動の抑制や生物の生息環境の提供などの機能を持つササの分布域も、モデルにより温暖化の進行とともに大きく減少することが予測され、温暖化シナリオの下での生態系機能の変化の評価に重要な情報を提供しています。また、台風の影響評価から、多様な樹種によって構成された常緑天然林が高い安定性という生態系機能をもつことが明らかになり、今後の保護林管理策に役立てることが出来ます。大規模撓乱後の植生回復プロセスの解明は、生物多様性を考慮した的確な緑化工の選定のための重要な情報を提供しています。ブナ北限での分布拡大における自然撓乱の重要性の解明は、将来の分布変化予測モデルに撓乱イベントを組み込むことにより、より予測性を高める可能性を示しました。

大気オゾン濃度の上昇は樹木の二酸化炭素吸収量を低下させる

植物生態研究領域

北尾光俊

大気汚染物質であるオゾンの濃度は全世界的に上昇する傾向にあります。我が国においても、東アジアの急速な社会経済活動の発展に伴い、大陸からの越境汚染によると考えられる光化学スモッグの発生など、オゾン濃度の上昇が再び問題となっています。森林の二酸化炭素削減機能へのオゾン影響を評価するために、ミュンヘン工科大学と共同研究を行い、野外の森林において人工的にオゾン濃度を上昇させた場合の樹木の光合成への影響を解明しました。その結果、オゾン濃度の上昇により樹木の二酸化炭素吸収量が減少し、地球温暖化を加速する危険性があることが示唆されました。

はじめに

大陸からの越境大気汚染により、我が国においても今後オゾン濃度が上昇していくことが予測されています。これまでの実験室内で苗木を対象とした研究により、オゾン濃度の上昇は光合成の低下を引き起こすことが報告されていますが、森林の二酸化炭素吸収量へのオゾン影響を予測するためには、樹木成木へのオゾンの影響を調べる必要があります。

成木を対象としたオゾン試験

筆者は森林を対象としたオゾン研究で有名なドイツのミュンヘン工科大学と共同研究を行いました。ここでは、樹齢60年、樹高約30メートルのヨーロッパナナ林にタワーを建てることにより、ヨーロッパナナ成木全体へのオゾン処理が可能となっています（写真1）。これまでの研究では、オゾンが個々の葉の光合成にマイナスの影響を与える年があれば、影響を与えないばかりか逆にプラスの影響を与えている年もあり、成木を対象とした場合にオゾンが常に光合成を阻害するという仮説は疑問視されていました。

樹冠内の光勾配が関係している

ドイツの研究グループはオゾンの影響を調べる時に、樹冠の上部にある葉と下部にある葉の2つのカテゴリーに分けて光合成速度の比較を行っていました。しかしながら、筆者が行った測定の結果、対象となるヨーロッパナナは、そのほとんどの葉が樹高にして3メートルの範囲に密集して存在しており、ほんの少しの位置の違いに

より葉の受光量が大きく違っていました。そのため、樹冠上部と下部という大きな分け方では、測定した個々の葉の受光量は一定でないと考えられます。そこで、ヨーロッパナナ成木の個々の葉が実際に受ける受光量を考慮に入れて、オゾンの影響を明らかにしました。

ヨーロッパナナ成木へのオゾンの影響はある

樹冠内で生育するそれぞれの葉の受光量の推定には魚眼レンズによって撮影した写真を使いました（写真2）。その結果、葉の受光量が増加すると最大の光合成速度も増加しましたが、一方で、受光量が同じ葉でくらべた場合にはオゾン暴露によって光合成速度が低下することが明らかとなりました（図1）。つまり、光条件を取り除くと、ヨーロッパナナ成木はオゾン濃度が上昇すると光合成が低下し、二酸化炭素吸収量が減少すると考えられます。そのため、今後地球規模でオゾン濃度が上昇すると森林の二酸化炭素吸収量が低下し、温暖化を加速する危険性のあることが示唆されました。

苗木のような小さな個体を対象にした場合はそれぞれの葉が受ける光の量に大きな差はありませんが、大きな樹や森林を対象にするときには樹冠内の光勾配を考慮してオゾン影響の研究を進める必要があることをこの結果は示しています。今後は、この成果をもとに、オゾン濃度上昇が森林全体の二酸化炭素吸収量に与える影響予測を進めていきます。

詳しくは、Kitao et al. 2009. Environmental Pollution 157: 537-544 をご覧ください。



写真1 ヨーロッパブナ成木への
オゾン暴露試験
タワーにより樹高約30メートル
のヨーロッパブナ成木へのオゾン
処理と樹冠内の葉の測定が可能と
なっている。

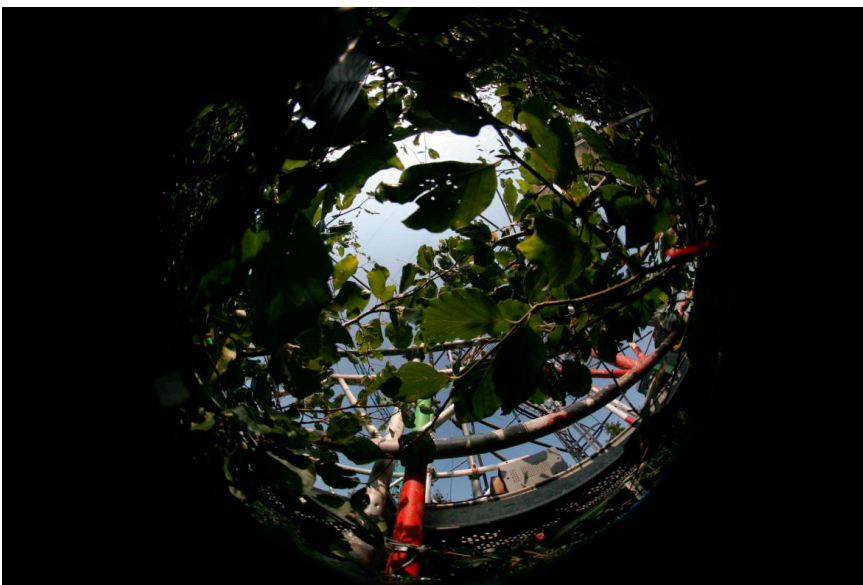


写真2 葉の位置で魚眼レンズを
用いて撮影した全天写真

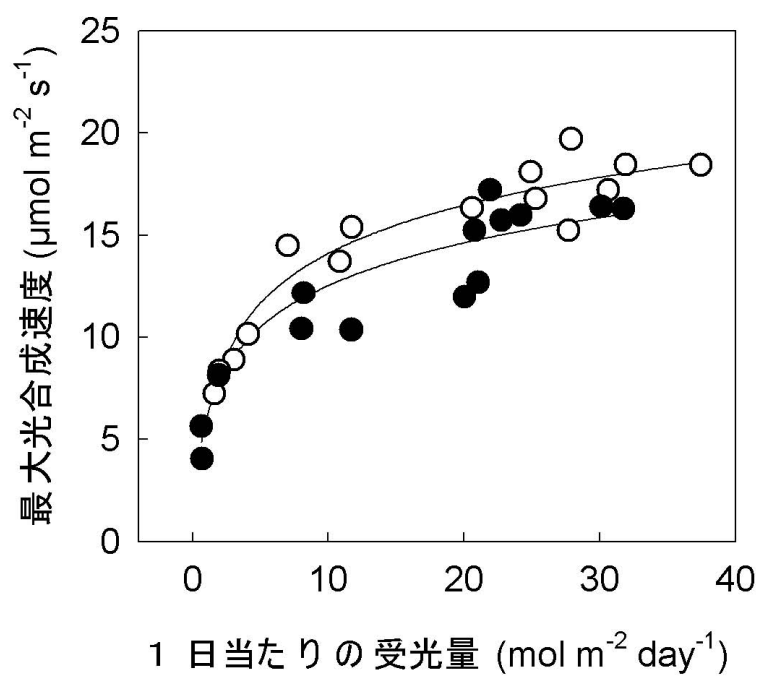


図1 葉の受光量と最大光合成速度
との関係
白丸がコントロールの葉、黒丸がオ
ゾン処理を受けた葉を示す。オゾン
処理を受けた葉は光合成速度が低く
なっている。

大気二酸化炭素濃度の上昇と土壌の乾燥によって 樹木の光合成はどのように変化するのか

植物生態研究領域

北尾光俊、飛田博順

地球温暖化は干ばつや大雨などを引き起こし、降水量にも影響を与えられていると考えられています。地球温暖化の原因となる二酸化炭素 (CO₂) 濃度の上昇は、十分な栄養がない場合には樹木の光合成の能力を低下させることがあります。一方で、土壌中の水が少ない環境では光合成の能力が高まる現象が確認されています。高二酸化炭素環境下で土壌を乾燥させて樹木の光合成反応を調べた結果、それぞれの効果が打ち消され、通常の二酸化炭素濃度で水を十分与えたものと同程度の光合成能力を示すことが明らかとなりました。降水量の変化を考慮することで、より正確な森林の二酸化炭素吸収量の将来予測が実現するものと考えられます。

はじめに

大気中の二酸化炭素濃度上昇による地球の温暖化は、降水パターンにも変化を与えられています。これまでの研究は、二酸化炭素濃度の上昇が樹木の光合成や成長に与える影響を調べたものが中心でしたが、より正確な森林の二酸化炭素吸収量の将来予測を行うためには、二酸化炭素濃度の上昇と乾燥などを組み合わせた複合ストレスの影響を調べるのが重要です。

葉の中の二酸化炭素濃度の変化

光合成とは、光をエネルギーとして、吸収した二酸化炭素と水から糖やデンプンを合成する反応です。光合成速度は二酸化炭素の吸収速度で表されます。空気中の二酸化炭素濃度が高くなれば、それにともない葉の中の二酸化炭素濃度も高くなります。

一方で、土壌が乾燥すると葉は水を逃さないように気孔を閉じるので、二酸化炭素の取り込みも少なくなり葉の中の二酸化炭素濃度は低くなります (図1)。

このような葉の中の二酸化炭素濃度の変化に対して、植物は光合成の能力を変化させることによって対応しています。

光合成能力の変化

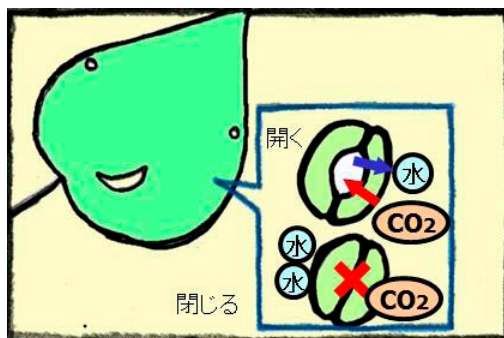
本研究では、高二酸化炭素濃度と乾燥の複合ストレスの影響を調べるために、シラカンバを二酸化炭素濃度と水分条件を変えて育てました。葉の中の二酸化炭素濃度と二酸化炭素吸収速度との関係から光合成の能力を比較することができます。乾燥により葉の中の二酸化炭素濃度が低い状態が続くと光合成能力は上昇し、長期間にわ

たり高二酸化炭素条件が続くと光合成能力は低下しました (図2)。高二酸化炭素濃度と乾燥の複合ストレスをかけた場合には、それぞれの効果が打ち消され、通常の二酸化炭素濃度で水を十分与えたものと同程度の光合成能力を示すことが明らかとなりました。その結果として、すべての処理の組み合わせで、生育条件の二酸化炭素濃度で測定した二酸化炭素吸収速度は同程度に保たれることがわかりました (図3)。ただし、乾燥条件で生育すると、葉の量は抑えられて根が多くなりますので、成長量は通常の二酸化炭素濃度で水を与えた場合より小さくなり、個体全体としての二酸化炭素吸収量は少なくなりました。

森林の二酸化炭素吸収量の将来予測に向けて

この研究は IPCC 第4次レポートに引用された「高二酸化炭素濃度と窒素栄養がシラカンバの光合成反応に与える影響」(Kitao et al. 2005. *Physiologia Plantarum* 125: 64-71) を発展させたものです。これまでの高二酸化炭素濃度の研究では降水量や土壌の水分条件を考慮に入れているものはほとんどありませんでした。本研究で得られた結果は、現在、世界各地でおこなわれている森林を対象とした高二酸化炭素実験における光合成反応の年次変動を説明するための重要な知見であり、降水量を考慮することで、より正確な森林の二酸化炭素吸収量予測が実現するものと考えられます。

詳しくは Kitao, M. et al. (2007) *Tree Physiology* 27: 727-735 をご覧ください。



気孔を閉じると水は出ていかないが、 CO_2 も入ってこない

* 気孔: 葉の表面にある小さなあな
水と CO_2 の出入り口

図1 気孔の開閉と二酸化炭素 (CO_2) の出入り

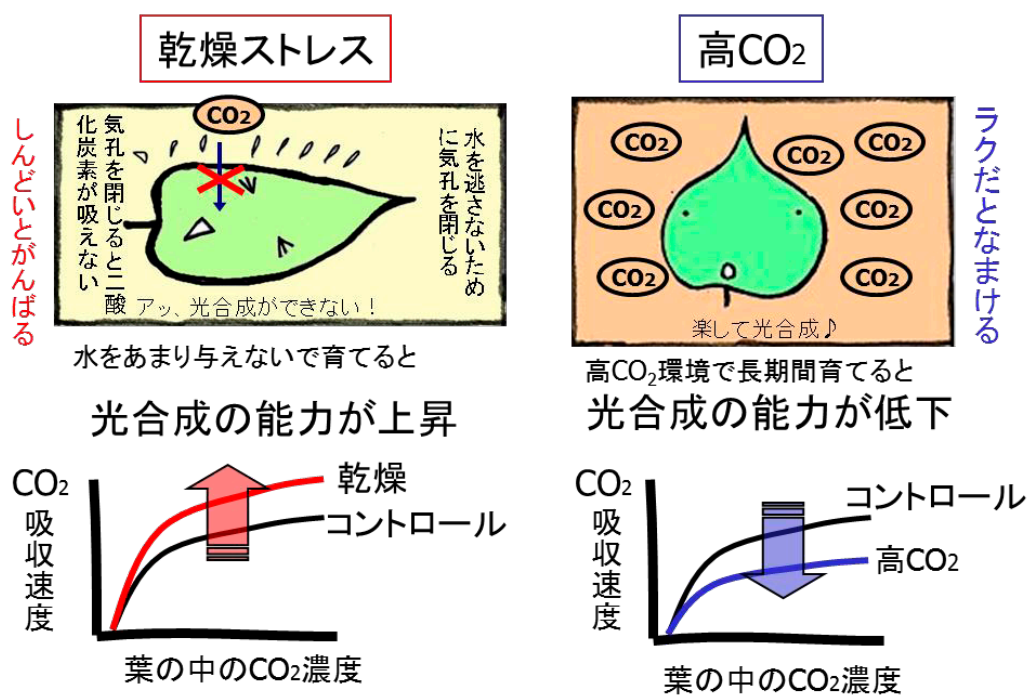


図2 乾燥と高二酸化炭素 (CO_2) による光合成能力の変化

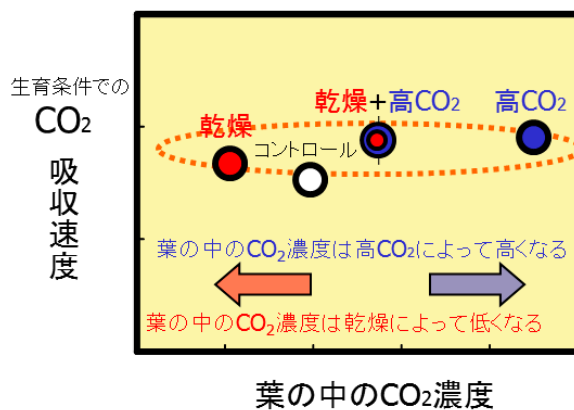


図3 それぞれの生育条件で測定した二酸化炭素 (CO_2) 吸収速度

芽生えから大木まで多種多様な樹木呼吸を表す新モデル式

植物生態研究領域

森 茂太

「樹木個体呼吸と個体サイズ」の関係は森林生態系の CO_2 収支を検討する基礎情報ですが、根を含む包括的な実測データはありませんでした。私たちは、熱帯～シベリアの樹木63種の芽生えから大木まで多種多様な271個体を実際に測定し、大きな樹木では呼吸は重量の四分の三乗に比例し、樹木が小さくなるにつれこの関係から徐々にはずれ、呼吸は重量比例へと変化していくこと、つまり、大木から芽生えまで、樹木個体呼吸は二つの異なる原理に導かれてシフトする（二相変化する）ことを確認しました。この発見は、従来の一相系の法則を包括する生物学的合理性の高い新二相系モデルとして世界的に注目を集めています。

はじめに

樹木は光合成により CO_2 を「吸収」し、一方で、呼吸により CO_2 を「放出」します。簡単に言えば、この CO_2 の「差引」が長い時間に蓄積され樹木は芽生えから大木へ劇的な成長をとげます。従来は、マックス・クライバーの法則として、樹木を含む生物個体の呼吸は重量の四分の三乗に比例する傾向があることが経験から知られていました。しかし、なぜ四分の三乗に比例するのかという理由は明らかではなく、その上、根を含む樹木全体の呼吸の実測データもほとんどありませんでした。こうした「樹木の呼吸」と「樹木の大きさ」の「問題」に答えると、樹木の成長プロセスを分かりやすく説明できる上に、いろいろな大きさの樹木からなる森林生態系全体の CO_2 の差引（収支）を個々の樹木の呼吸から推定できます。

直接、樹木の個体呼吸を測る

私たちは根を含む樹木個体呼吸をそのまま全部「直接、正確に測定する方法」（図1）を開発しました。この方法で、熱帯～シベリアの樹木63種の芽生えから大木まで多種多様な271個体を測定しました。その結果、大きな樹木ではマックス・クライバーの法則に従い呼吸は重量の四分の三乗に比例していました。しかし、樹木が小さくなるにつれこの法則から徐々にはずれ、呼吸は重量比例へと変化していきました。つまり、大木から芽生えまで、

樹木個体呼吸は二つの異なる原理に導かれてシフトする（二相変化する）ことを実測から確認したのです。これは、従来の一相系のマックス・クライバー法則を包括する、生物学的合理性の高い新事実として世界的な注目をあつめました。

呼吸量が二相に変化する原因

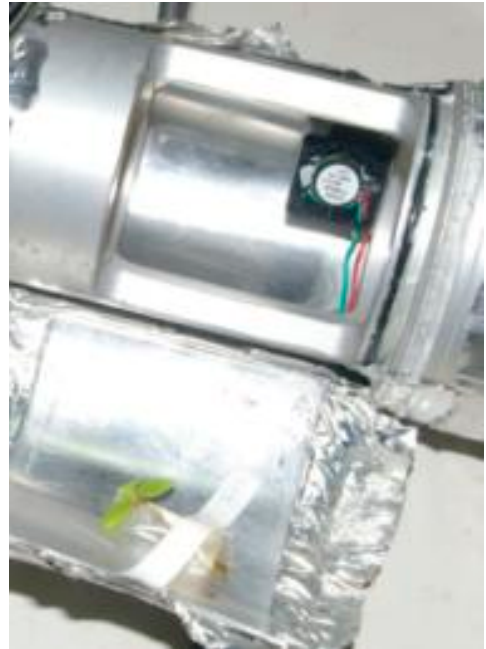
芽生えから大木にかけて呼吸量が二相に変化する原因は、呼吸する生きた組織の占める割合が異なることにあります。すなわち、葉の割合が大きい芽生えでは、全体の組織が生きているので呼吸は重量比例します。しかし、大木個体全体では、幹中心部分で呼吸の低い死んだ組織の重さの占める割合が大きくなるため、個体重量当たりの呼吸は低くなります。つまり、「受光器官の葉」と「支持器官の幹、枝」との構成割合が重力などの物理環境で変化し、それが2相系の樹木個体呼吸の特性となっていると考えられました。この二相系モデルは生物個体呼吸を「物理化学的」に解明する糸口になる発見として Faculty 1000 Biology（注）に選定されました。論文は Mori S. et al. (2010) アメリカ科学アカデミー紀要 107 に発表されました。

（注）アクセス出版の BioMed Central が提供する評価システムで、全世界の約4,000名の研究者が Faculty メンバーとして毎月読んだ論文で優れたものを推薦します。

A.



C



B.



図1 個体呼吸の測定 A. シベリア永久凍土地帯のカラマツ個体呼吸測定、内部の温度は永久凍土と焚き火の熱で制御した。B. 巨木は切断して測定した。切断の影響が無いことも確認しながら測定した。C. 小さな実生の測定。

ササ類の生育域を気候条件から予測する

植物生態研究領域
森林昆虫研究領域
北海道支所
関西支所

津山幾太郎、田中信行
小川みふゆ
松井哲哉
小南裕志

日本の森林植生の大きな特徴として、林床にササ類を伴うことが挙げられます。チシマザサとチマキザサは、多雪地域に広く分布するササ類です。林床を高密度に覆うため、小型の植物や、昆虫、鳥などに大きな影響を及ぼしています。また、強固な根茎と安定した植被が土壌保全の機能を果たしています。本研究では、これまで明らかにされていなかった、これら2種の分布と気候要因の関係を分布予測モデルによって明らかにし、現在と100年後の生育可能な地域の予測を行いました。両種の分布には、多雪で冷涼な環境が好適であることが明らかになりました。また、温暖化が進むと、積雪量の減少と成長期の暖かさの増加により、平野部を中心に生育域が大きく減少すると予測されました。

はじめに

日本の森林植生の大きな特徴として、林床にササ類を伴うことが挙げられます。チシマザサとチマキザサは、多雪地域に広く分布するササ類です（図1）。林床を高密度に覆うため、小型の植物や、昆虫、鳥などに大きな影響を及ぼしています。また、強固な根茎と安定した植被が土壌保全の機能を果たしています。本研究では、これら2種の分布と気候要因の関係を分布予測モデルによって明らかにし、現在と100年後の生育可能な地域の予測を行いました。

ササ類が生育する気候条件

チシマザサとチマキザサの分布を規定する気候条件を明らかにするため、日本全域を対象に、分布予測モデルを構築しました。その結果、両種の分布を規定する気候要因として、積雪量（最大積雪の水分当量、MSW）と暖かさの指数（成長期の暖かさの指標、WI）が特に重要であることがわかりました。

チシマザサは、MSWが97.7mm（積雪深で約33cm相当）以上の環境にのみ生育可能で、生育に適した地域（以下、適域）は、MSWが215.6mm（積雪深で約72cm）以上と多雪で、かつWIが30.7以上と冷涼～温暖な気候条件に限定されることがわかりました。また、チマキザサは、MSWが68.9mm（積雪深で約23cm）以上の多雪地か、MSWが68.9mm未満で、かつWIが92.6未満の冷涼な環境で生育可能であり、MSWが131.6mm（積雪深で44cm）以上と多雪で、かつWIが31.6以上の冷涼～温暖な気候条件が好適であることがわかりました。

チシマザサは、チマキザサに比べてより多雪な環境に生育地が限定されました。これは、チシマザサがより多雪環境に適応した形態的、生理的性質を有しているためと考えられます。

ササ類の生育可能な地域

分布予測モデルにより、チシマザサの生育可能な地域（以下、潜在生育域）は、日本海側全域と、東北地方北部や本州中部の山岳地域で、特に適した地域は日本海側の山岳地域であることがわかりました（図2左列-a）。チマキザサの潜在生育域は、チシマザサに比べ、四国や九州など、より広範囲に分布していました（図2右列-a）。

チシマザサは、中央・南アルプス、富士山が、チマキザサは紀伊半島、富士山、屋久島が、生育に適した気候下にあるにもかかわらず、実際には分布していない地域です。分布していない理由は、過去の気候変動や火山活動の影響で絶滅した、あるいは分布拡大できなかったためと考えられます。

分布予測モデルの応用

温暖化の影響を明らかにするため、分布予測モデルに気象庁の開発した地域気候変化シナリオ（年平均気温2.8℃上昇）を入れて計算したところ、現在のチシマザサとチマキザサの潜在生育域のうち、それぞれ約47%と約32%が生育不可能な地域（非生育域）になると予測されました。本州以南の低地や太平洋側山地では、両種ともに潜在生育域が消滅することから、温暖化に対して脆弱な地域であることが示唆されました（図2-b）。このように、分布予測モデルを用いて潜在生育域を地理的に明らかにすることにより、温暖化の影響検出を行うべき場所を適切に選定することが可能になります。

詳しくは、津山ら（2008）GIS－理論と応用16(1)：11-25、津山ら（2008）GIS－理論と応用16(2)：99-113をご覧ください。



図1：チシマザサ（左列）とチマキザサ（右列）の生育する景観

左上：ハイマツやオオシラビソと混生するチシマザサ。

右上：ダケカンバ林のチマキザサ。

左中：オオシラビソ林のチシマザサ。

右中：ブナ林のチマキザサ。

左下：ダケカンバ林で優占するチシマザサ。

右下：融雪期のチマキザサ。

チシマザサ

チマキザサ

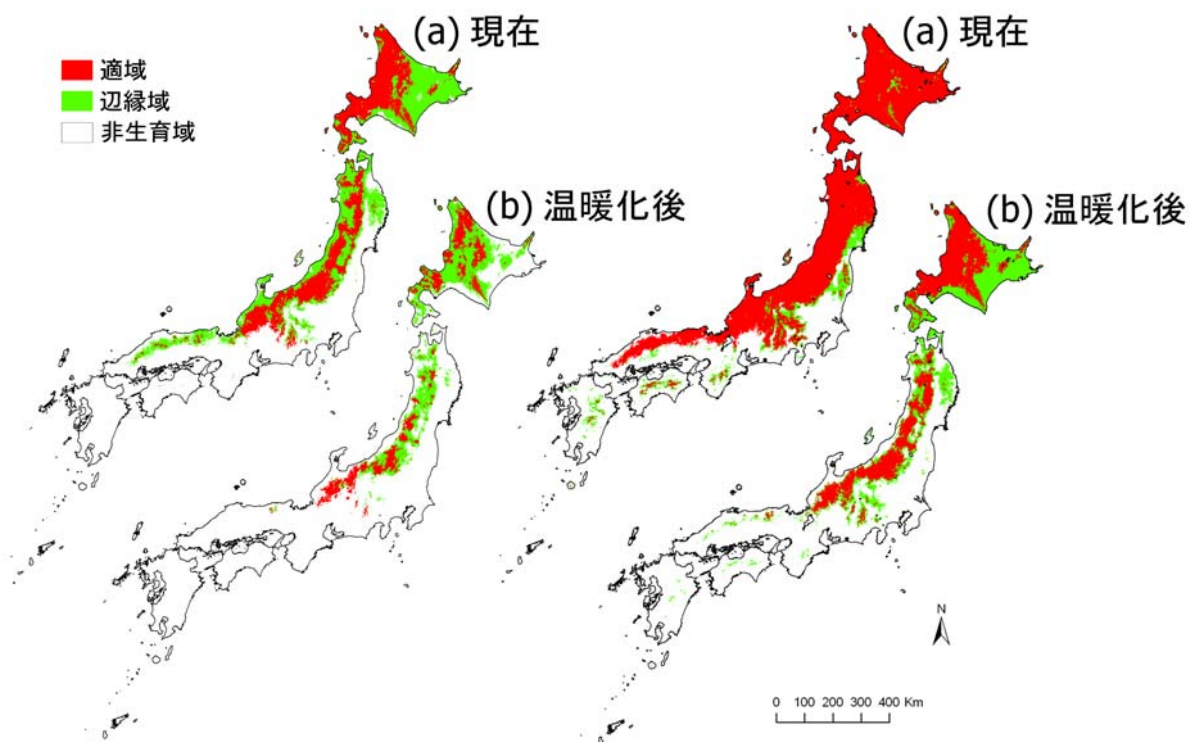


図2：(a) 現在と (b) 温暖化後の、チシマザサ（左）とチマキザサ（右）が生育可能な地域（潜在生育域）の予測
図の赤色は適域を、緑色は辺縁域を、白色は非生育域を示す。

競争を生き抜くブナの若木の戦略： 成長にあわせて体形を変える

東北支所

八木貴信

林床に繁茂するササを中心とした下層植生はブナ林の特徴です。このような下層植生との厳しい競争のため、ブナの天然更新は困難といわれて来ました。しかしよく見ると下層植生を抜けて成長したブナもあり、ブナにはこの競争を生き抜く戦略がありそうです。ブナの天然更新成功の鍵を見つけるため、ブナ若木の樹形から、このようなブナの戦略を解析しました。その結果、ブナ若木は、樹高が低く競争に勝ち目がない間は被陰に耐えるのに適した樹形を、樹高が増加し競争に勝つ見込みが出るにつれ、下層植生からの脱出に適した樹形をとっていることがわかりました。このような樹種の更新戦略に関する知見は、天然更新の成否や予測の判断材料になり、山仕事の現場での作業者の判断も支援してくれることでしょう。

はじめに

林床に繁茂するササを中心とした下層植生はブナ林の特徴です（写真1）。ブナにとって、このような下層植生との光などの資源を巡る競争は宿命的で、これまでブナの天然更新は困難といわれて来ました。しかしよく見ると、下層植生を抜けて成長したブナもあり、ブナにはこの競争を生き抜いていく戦略がありそうです。そこでブナの天然更新を成功させる鍵を見つけるため、ブナ若木が持つ樹形から、このようなブナの戦略を解析しました。

樹形が持つ意味

樹形からなぜブナの戦略が解析できるのでしょうか。樹木を含め植物は、動物と違って動き回ることができません。そこで植物は形を変えます。例えば光は植物の光合成の源で、光合成をおこなう葉を陽当たりの良い場所に出せるように植物は茎を伸ばします。動物が食物を求めて動き回るように、植物は光を求めて形を変え、そこにその植物の戦略があらわれます。樹形をうまく読み解けば、その樹木が生き抜く戦略の一端を知ることができます。

ブナは成長ステージに合わせて戦略を変える

下層植生との競争の中でブナの若木はどのような樹形をとっているのでしょうか。太陽光は上からくるので、光を巡る競争上の優劣は樹木個体の樹高によって決まります。そのため樹木が成長し背が高くなるにつれ周囲の下層植物との相互関係は大きく変化します（下層植物は絶対的な庇圧者から対等な競争相手になる）。ブナの若木は、背が低い間、すなわち下層植生の底で競争に勝ち目がない間は、平たい樹形をとっていました（写真1、図1）。それがじわじわと背が伸びて下層植生の高さに近づ

き競争に勝ち目が出てくるにつれ、縦に伸びたほっそりした樹形を持つようになっていました。平たい樹形は葉同士が重ならず互いに影にならないようにできるので暗闇に耐えるのに有利です（図2）。ほっそりした樹形は樹高を稼げるので、「攻め」に転じて周囲の下層植生から抜け出すのに有利です。葉の重なりは増えてますが、背が高くなって明るい場所に出た個体なら、多少影になった葉にも十分に光が当たります。葉は無駄にならず、個体が獲得する光の量を大きくするのに役立ちます。耐えるだけでも攻めるだけでもない。成長ステージに合わせて戦略を変えることで、彼らは下層植生との競争を生き抜いていました。

樹木の更新戦略を明らかにする意義

戦略の使い分け方は、成長ステージによっても、樹種によっても異なるに違いなく、これは樹木の「生き方」といってよいものです。樹形を読み解くことは、いわば、生態学的「聞き耳頭巾」で、色々な樹種の更新戦略の解明に大いに役立つと考えられます。樹種の更新戦略に関するこのような知見は、天然更新の成否や予測の判断材料になり、山仕事の現場での作業者の判断も支援することでしょう。

発表論文

Yagi, T. 2009 Ontogenetic strategy shift in sapling architecture of *Fagus crenata* in the dense understorey vegetation of canopy gaps created by selective cutting. *Canadian Journal of Forest Research* 39(6): 1186–1196. (Erratum: *Canadian Journal of Forest Research* 39(9): 1785.)



写真1 ブナ林の下層植生に生きるブナの若木
下層植生の藪の底で耐える小サイズの個体（左の写真）と、成長して下層植生の高さに近づいた個体（右の写真、右側手前；左はコシアブラ）。下層植生は高さ1～2mにまで繁茂するチシマザサを中心とし、そこに他の木本類が散在。

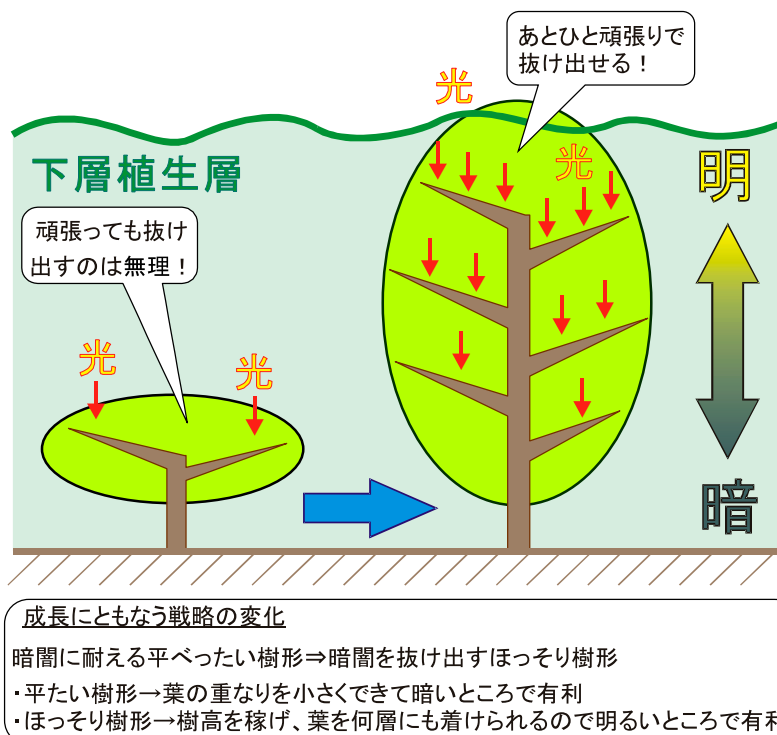
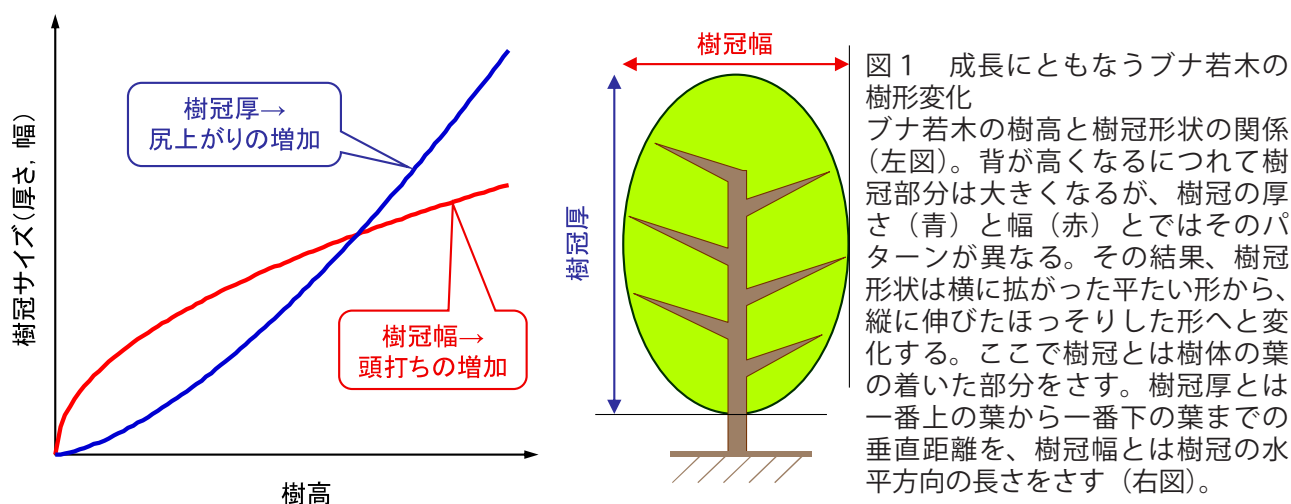


図2 ブナ若木の樹形変化が持つ生存戦略上の意義

台風攪乱に強い照葉樹林 —長期生態研究が明らかにする森林の維持機構—

森林植生研究領域
植物生態研究領域
九州支所
静岡大学
鳥取大学
北九州市立いのちのたび博物館
群馬大学

佐藤 保
齊藤 哲
野宮治人
小南陽亮
永松 大
真鍋 徹
西村尚之

残り少ない照葉樹林自然林の保全策をより有効にするために、成熟林と二次林の森林の構造と更新に関する調査を継続して行ってきました。どちらの調査地も、大型台風による攪乱を受けましたが、その被害形態は異なっていました。成熟林では幹折れや根返りなどの攪乱が発生しましたが、台風攪乱後の林分構造の変化を見ると、種ごとにバラツキがあるものの、それほど大きく変化しないことがわかりました。一方、コジイが優占する二次林では、一定の林齢を越えると幹折れを中心とする台風攪乱を受けやすくなることがわかりました。このような構造の異なる試験地の比較から、成熟した照葉樹林の台風への高い耐性には、複雑な階層構造と豊かな種組成が貢献していると考えられました。

はじめに

西日本を中心に分布する照葉樹林は、カシやシイを中心とした常緑広葉樹林の林ですが、現存する自然林はわずかに国土の1.6%ほどであり、保全策の必要性が指摘されています。一方、西日本は台風常襲地でもあり、保全策を含めた森林管理を考える上で、台風攪乱による被害を考慮する必要があります。そこで、本課題では成立過程の異なる南九州の照葉樹林において台風攪乱後の森林構造の変化を比較してその特性を明らかにすることを目的としました。

森林構造と更新の調査

成熟林（宮崎県綾町）と二次林（熊本県熊本市）を対象に試験地を設定して森林の構造と更新に関する調査を継続して行ってきました。成熟林はイスノキやタブノキが優占する森林であり、過去100年以上にわたり伐採の記録がない森林です。一方、二次林はかつて薪炭林として利用されていましたが、現在は放棄されている森林であり、現在ではほぼコジイの純林になっています。森林構造を表す指標として胸高断面積合計を用いました。

成熟林と二次林では攪乱への反応が異なった

成熟林では台風攪乱により、幹折れや根返りが発生し、枯死に至る個体も認められました。台風攪乱後の種ごとの枯死率を比較するとバラツキがありましたが、森林全体の枯死率は2%程度であり、中南米での台風攪乱後の事例に比べるとかなり低い値でした。成熟林は4～5層からなる階層構造を有しており、それぞれの階層で優占している種が異なっています。最上層とその直下の層（いずれも林冠を形成している）では、台風攪乱後に胸高断面積合計

に変動が見られましたが、種により傾向は異なっています。タブノキやアカガシでは減少傾向が大きいのですが、イスノキは逆に増加する傾向にありました。このような台風攪乱に対する複数の異なる反応が同時に存在することが、高い台風耐性を維持できる要因のひとつと考えられました。

一方、二次林では成熟林とは若干ことなる傾向を示しました。管理放棄された薪炭林は、種組成と階層構造も単純になりやすい傾向にあります。また、コジイ二次林でも林齢の違いにより、台風攪乱への感受性が異なることが明らかになりました。南九州一帯のコジイは40年生を超える辺りから材腐朽が入りやすくなることから、台風攪乱時に幹折れの被害形態が多くなりやすいのです。

以上、このような構造の異なる試験地の比較から、照葉樹林、特に成熟林での高い台風への耐性は、豊かな種組成に加えて複雑な階層構造が貢献していると考えられました。これらの研究結果は、今後の照葉樹林の森林管理を考える上で重要な基礎情報となるとともに、将来の環境変化に伴う台風強度の増加による被害予測などへの応用が期待されます。

更に詳しい事を知りたいときは

齊藤哲, 佐藤保 (2007) 照葉樹林の主要樹種の台風被害の特性～綾のLTERサイトにおける複数の台風攪乱の比較解析～. 日本森林学会誌 89: 321-328.

Sato T, Kominami Y, Saito S, Niiyama K, Tanouchi H, Nagamatsu D, Nomiya H (2010) Temporal dynamics and resilience of fine litterfall in relation to typhoon disturbances over 14 years in an old-growth lucidophyllous forest in southwestern Japan. Plant Ecology 208: 187-198.

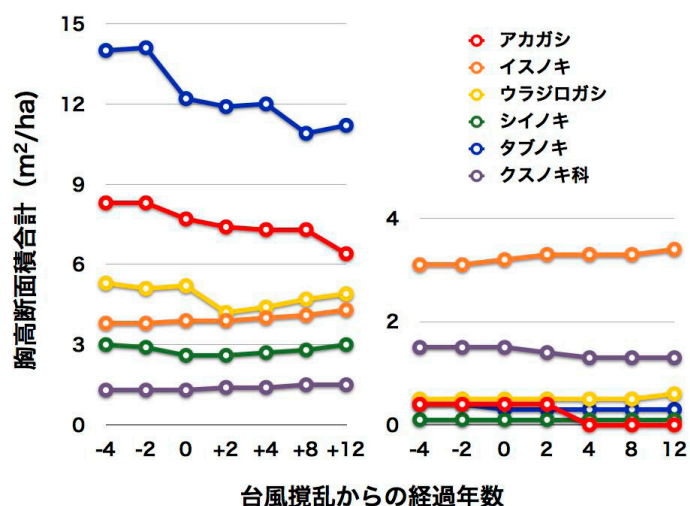


図1 成熟照葉樹林での樹種別の胸高断面積合計の台風攪乱前後の年々変動

左図は最上層に生育している個体を、右図はその下の層に生育している個体をそれぞれ対象にして作成している。

図2 コジイ二次林での胸高断面積合計の年々変動

円グラフはその当時でのコジイの割合（青色）を示している。灰色の線がある年は台風攪乱が発生したことを示す。

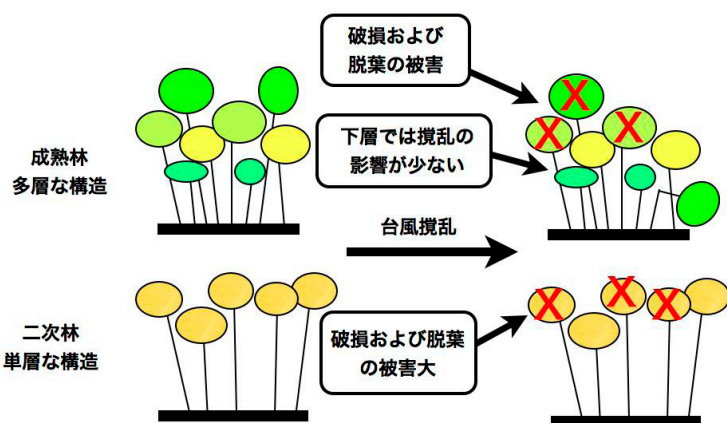
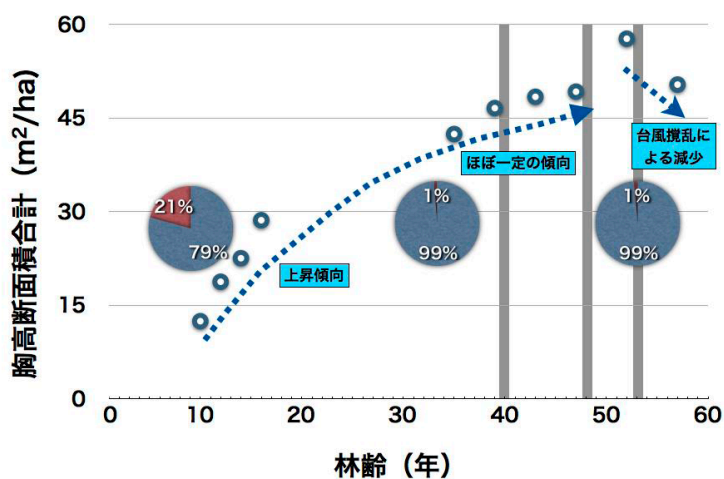


図3 成熟照葉樹林と二次林の台風攪乱の被害の違い

階層構造や種組成の違いから、台風攪乱による被害の大きさが異なる

大規模攪乱から森はよみがえったか？ —御岳山崩れ森林回復の軌跡—

東北支所
森林植生領域
木曽試験地
東北大学

柴田銃江
正木 隆、田中 浩、壁谷大介、斎藤智之
西山嘉彦
中静 透

山崩れのような大規模災害後の森林はどのように回復するのでしょうか。本研究では、1984年の長野県御岳山の山崩れ直後から現在までの植生遷移を調べました。その結果、植生回復過程には標高差や表層土の有無が大きく関わること、回復工法としての人工播種には一定の水土保持効果が期待できるものの、自然植生に対する影響が数十年続くことがわかりました。これらのことから、標高別の植生回復過程を想定した森林景観管理が重要であり、森林回復工法の選択には長期的な視野と検証が必要と考えます。

はじめに

一昨年の岩手宮城内陸地震に代表されるように、地震による山崩れは、大規模な森林破壊をおこします。森林破壊からの植生回復の速さや回復の鍵になる要因、回復工事の自然生態系への影響の解明は、被害山間地域を管理する上で求められている情報です。しかし、山崩れの頻度自体が稀なため、その様な情報は限られています。

そうした中、1984年の長野県西部地震による御岳山山崩れの跡地は、森林回復の実態を把握する上で貴重な事例です。本研究では、大規模森林破壊後の回復の時間スケールとその過程、森林回復に対する人工播種の影響をさぐるため、被害直後から現在までの植生遷移を追跡してきました。

26年後までの植生変化

観測の結果、標高1100m地点では、攪乱直後0%だった植被率は10年後にはほぼ100%に回復し、ハンノキ類の定着を確認しました。25年後には、サワラなど以前の植生構成種の幼稚樹の旺盛な成長もみとめられ、周辺の未被害林の15～270%の材積にまで回復していました。それに対し、標高2000m地点では、攪乱25年後にはシラビソ等の以前の植生構成種の稚樹の定着も顕著になったものの、植被率は40～80%、材積は0.5～7%程度でした。特に、表層土の堆積がない地点での回復は遅れていました。

ところで、標高1600m地点では、早期の植被回復と土砂流出防止のための牧草類の人工播種が大規模におこなわれました。この施工は、初期の植被回復と材積増加の促進には一定の効果がみとめられましたが、在来植生の侵入・成長を遅らせることも明らかになりました。牧草類は施工25年後から減り始めたことから、在来種への置換は少なくとも30年はかかることも示唆されました。

大規模攪乱後の植生管理

以上のように、森林破壊後の植生回復には標高差、表層土の有無が大きく関わっていること、人工播種には一定の水土保持効果が期待できるものの、自然植生に対する影響は数十年続くことがわかりました。これらの結果から、標高別の植生回復過程を想定した森林景観管理の重要性と、森林回復工法の選択には長期的な視野と検証が必要だといえるでしょう。四半世紀にもおよぶ植生遷移研究は、森林植物の分布要因や更新動態に関する情報として学術的に価値のある成果につながるだけでなく、自然生態系に配慮した大規模災害後の森林管理手法を探るための基礎情報として活用が期待されます。

情報元：柴田銃江・西山嘉彦・壁谷大介・斎藤智之・中静透. 2010 森はよみがえったか？御岳岩屑流後25年間の植生回復過程. 日本生態学会講演要旨.



図1 御岳山崩れ跡地の全景写真

御岳崩れ地の中心となる伝上川付近（上）と、田の原（下）における、山崩れ2年後から25年後までの変化を示しました。

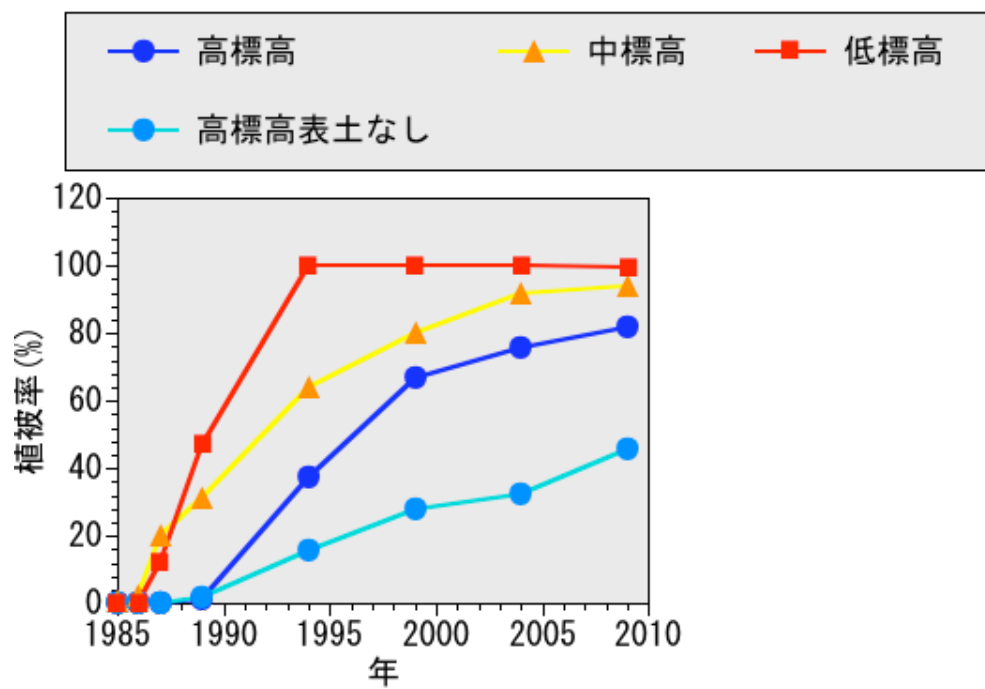


図2 標高と表層土堆積による植被率回復の違い

分布北限域のブナは、攪乱を契機として分布を拡大した

北海道支所
北海道教育大学
十日町市立里山科学館

松井哲哉、倉本恵生
並川寛司、後藤亮太
小林 誠

ブナの分布北限は北海道南西部の黒松内周辺域にあります。その北限の最前線を形成しているブナ林において、植生調査を実施し、樹木年輪から樹齢を推定し、ブナ林の成立過程を推定しました。その結果、ブナは過去 200 年程前から調査地域に侵入を開始し、地すべりや台風などの自然攪乱を契機として徐々に分布を拡大してきたことがわかりました。これらのことは、現在孤立して分布する最前線のブナ林は、長い時間ののちには連続した広がりを持ったブナ林となる可能性を示しています。

はじめに

ブナの分布北限は北海道南部の黒松内周辺域にあることは古くから知られていましたが、分布最前線を形成しているブナ林の位置や規模、成立のメカニズムなどについての知見は限定的でした。ブナは他の樹種に比べて開葉が早く、ブナの開葉期に撮影した空中写真から容易にブナ林の位置を知ることができます。そこで本研究では、開葉期に撮影した空中写真の判読と現地踏査を行い、分布最前線にあるいくつかのブナ林の正確な場所と規模を特定しました。そのなかの一つである三之助沢上流部のブナ林（標高 350～510 m）は、60 年前の文献記録（ブナは約 50 本）よりもはるかに大規模なブナ林であることがわかりました（図 1）。そこで本研究では、三之助沢ブナ林（仮称）がどのように成立したのか、その過程を解明することを目的として以下の調査を実施しました。

変化を探る方法

（1）斜面上部から下部にかけて縦 100m × 横 50m の調査区を設定し、測量によって微地形を把握しました。（2）直径 10 センチ以上の成木から成長錐を使ってコアサンプルを採取し、顕微鏡により樹木年輪を数え樹齢を推定しました。（3）倒木から木片を採取し、その組織を顕微鏡で観察することで樹種を判別しました。（4）これらの情報と台風など既知の自然攪乱情報を統合し、三之助沢ブナ林における過去から現在に至る樹種構成の変化を推定しました。

攪乱がブナの分布拡大を進めた

調査の結果、ブナの樹齢は最大で 200 年程度であり、60～70 年程度のブナが最も多いことが判明しました。そして樹齢 120 年以上のブナは少数で調査区内にランダムに分布し、80 年～120 年のブナは、地滑り跡と考えられる押し出し域を中心に偏って分布していました。また、80 年以下の若いブナは調査地全域に一様に分布してい

ました（図 2）。倒木の組織切片から樹種判別した結果、過去にはカバノキ類やナラ類が多かった森林が、徐々にブナの密度が高い森林に変化してきたことが明らかになりました。現地の地形を見ると、過去に大規模な斜面崩壊・地すべりが起こったことがわかります（図 1）。また、1956 年には洞爺丸台風がこの地方の森林にも被害を与えたことが知られています。これらの結果から三之助沢ブナ林の成立過程を推定すると、（1）ナラやカバノキを中心とする森に単木的にブナが侵入、（2）その後の地滑りや洞爺丸台風などによる森林への攪乱を契機としてブナが徐々に増加、（3）現在のようなブナ林に変化してきた、と考えられます。

北限ブナ林の今後

分布北限域のブナは現在もその数を増やしながら徐々に分布範囲を拡大していると考えられます。三之助沢ブナ林をはじめ、分布最前線のブナ林は 2～4 km の間隔で互いに孤立していますが、今後、長い時間をかけてこれらブナの孤立林と間の森林にもブナが侵入し、攪乱などを契機として次第にまとまった森林へと発達することによって、最終的には連続したブナ林へと変化していくのかもしれませんが。

このようなブナの分布北限域の分布状況とブナ林の拡大過程についての情報は、北限域におけるブナの生態学的特性の解明・北海道のブナ林保全計画の策定・ブナ林の景観保全・温暖化影響対策の検討という観点から利用価値が高いと考えられます。

情報元：Namikawa, K., Matsui, T., Kobayashi, M., Goto, R. and Kuramoto, S. 2010. Initial establishment and regeneration processes of an outlying isolated *Fagus crenata* Blume forest stand in the northernmost boundary of its range in Hokkaido, northern Japan. *Plant Ecology* 207: 161-174.

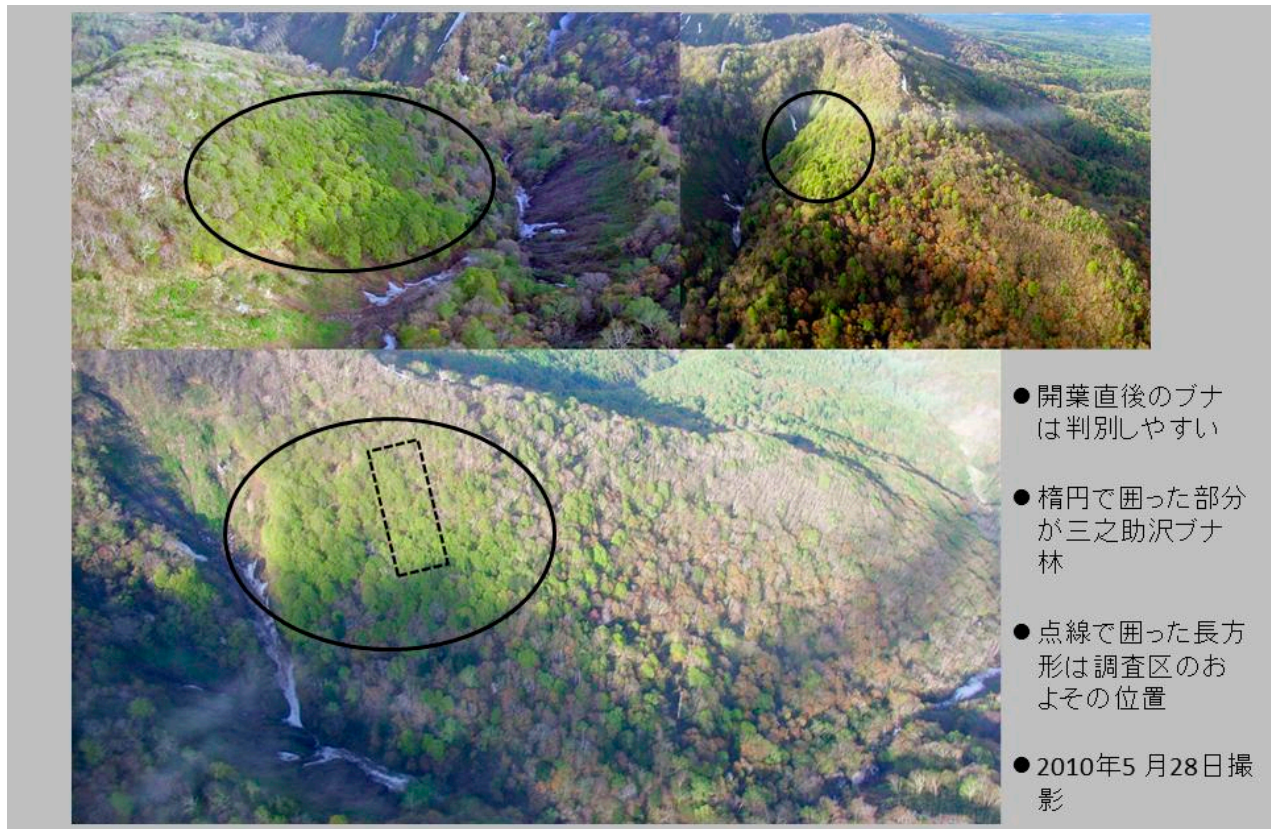


図1 三之助沢ブナ林を上空から見た様子

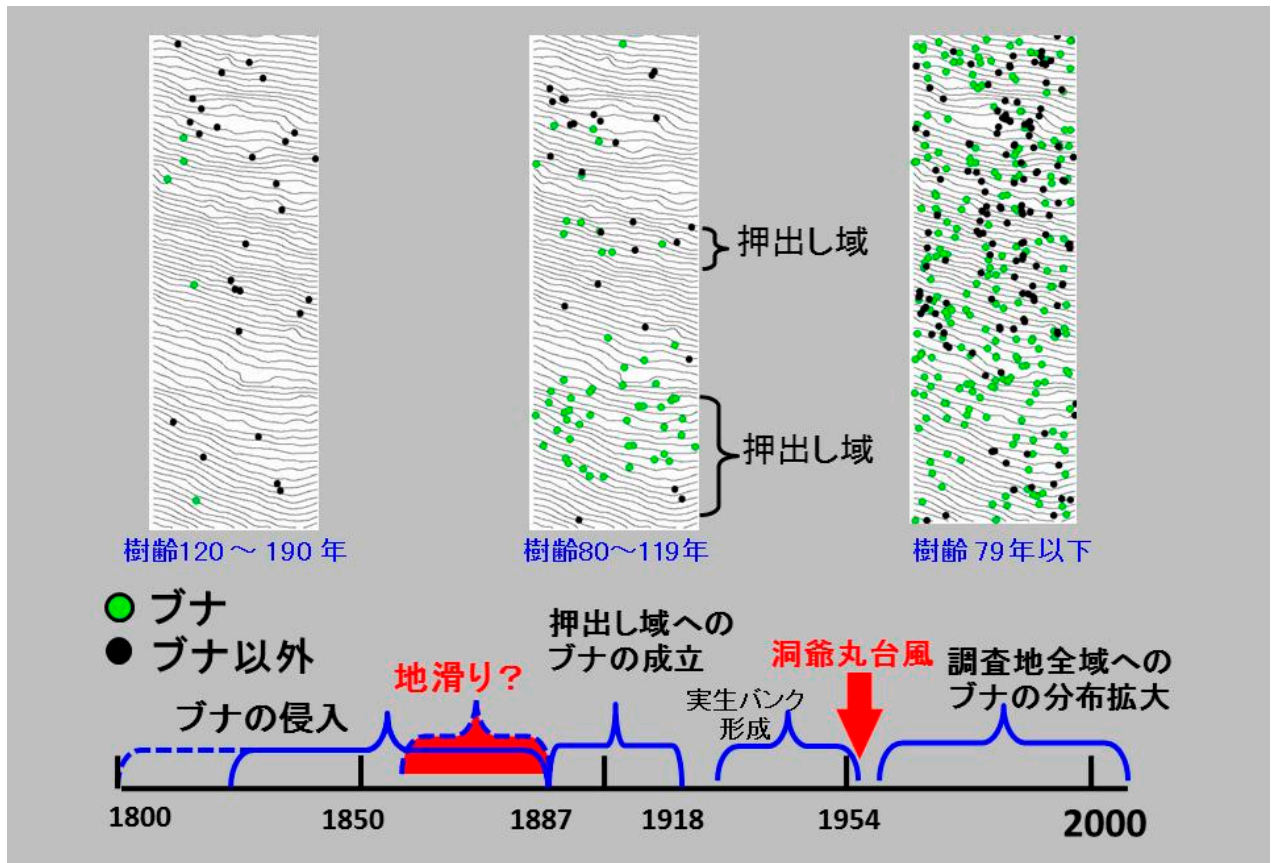


図2 三之助沢ブナ林におけるブナの分布拡大

Memo.

森林総合研究所

第2期中期計画成果集

発行日	平成23年3月
編集・発行	独立行政法人 森林総合研究所 茨城県つくば市松の里1 電話 029(873)3211 (代表)
お問い合わせ	企画部研究情報科
メールアドレス	kanko@ffpri.affrc.go.jp
ホームページ	http://www.ffpri.affrc.go.jp
印刷所	筑波印刷情報サービスセンター協同組合

森林総合研究所

第2期中期計画成果集

独立行政法人 森林総合研究所

茨城県つくば市松の里1 URL <http://www.ffpri.affrc.go.jp/>

リサイクル適性の表示:紙へリサイクル可