

(6) マツノマダラカミキリの天敵生物の新利用法

[研究目的と背景]

環境に優しい天敵利用のマツ材線虫病防除法開発のため、天敵として期待される虫寄生線虫 *Contor-tylenchus genitalicola* が マツノマダラカミキリの繁殖を阻害する能力を定量的に把握する。

[成果の概要]

マツノマダラカミキリ成虫を飼育して産卵数とその孵化率を *C. genitalicola* の寄生頭数別に調べた。その結果、*C. genitalicola* の寄生頭数に比例してマツノマダラカミキリ雌成虫の産卵数は減少した。寄生頭数がおおよそ50頭でマツノマダラカミキリ雌成虫は不妊化した。*C. genitalicola* がマツノマダラカミキリ雄成虫に寄生した場合、寄生頭数がおおよそ20頭まではほぼ正常な繁殖能力（交尾相手の産卵した卵が正常に孵化する）が、それを超えると不妊化することが明らかになった。

(7) 遺伝マーカーの開発と評価

[研究目的と背景]

1) 野生生物と感染症の関係を探るため、免疫関連MHC Class II遺伝子の多様性評価手法をエゾヤチネズミにおいて開発する。2) 数年ごとに大きな密度変化を繰り返すエゾヤチネズミ集団の遺伝的多様性維持におけるオスの移動・分散の役割を解明するため、オス固有のY染色体上のDNAマーカーおよび多様性評価手法を開発する。

[成果の概要]

1) 根室半島内の2箇所で5月、7月、9月にそれぞれ3日間エゾヤチネズミの捕獲を行い、合計466個体から組織試料（肝臓または指）を採取した。11月下旬に半島内13箇所で捕獲を行い、202個体の肝臓を採取した。

2) エゾヤチネズミで既知のMHC class II ベータ鎖遺伝子の塩基配列をもとに、エクソン及びイントロン領域増幅のためのプライマーを設計・合成し、PCR法による増幅・電気泳動を行った結果、エゾヤチネズミはベータ鎖遺伝子の座を2つ以上持つことが明らかになった。

3) エゾヤチネズミと他の哺乳類の間でMHC class II ベータ鎖遺伝子の分子系統関係を調べたところ、エゾヤチネズミのcDNA塩基配列は既知のものではマウスやラットのものと最も類似性が高く、ヒトの持つ5種類の遺伝子座のなかではDQBと類似性が高いことが明らかになった。

4) エゾヤチネズミのY染色体上にある *Sry* 遺伝子近傍の2種類のマイクロサテライトDNAにおいて、本年度高密度になった野外集団由来のオス23個体を対象に多型性分析を行った結果、11種類のY染色体のタイプ（ハプロタイプ）が検出された。この集団が0.5ha当たり0頭から80頭以上という大きい幅を持つ密度変化を数年ごとに繰り返していることから、低密度時に個体群内の小さい分集団で保持された遺伝的変異が個体数増加過程で個体の移動・分散により混じりあうこと、この機構により個体群全体で遺伝的多様性が維持されていることが示唆された。

(8) 中大型哺乳類・コウモリ類インベントリのための自動撮影手法の開発と評価

[研究目的と背景]

野生生物保全のための基礎調査手法確立のため、1) コウモリ調査における自動撮影の有効性を実証する。2) コウモリの撮影頻度を高める技術を開発する。3) 中大型哺乳類のモデル調査を行い、手法確立と基礎データ収集を図る。

[成果の概要]

1) 昨年に続きコウモリの活動状況を観測した。調査は、装置10台を用い野幌森林公園で5月から12月まで30週間継続して行った。コウモリの活動は8月半ばから9月半ばにピークがあり、6月中下旬にも小さなピークがあった。5月初旬にはすでに活動が見られ、10月初めにほぼなくなった。日没後と日出前の約30分間は撮影がなく、撮影頻度は日没後1時間ほどの間隔で2回ピークがあり、その後明け方にかけて低下した。

2) 奥定山溪でコウモリ寄せ具効果試験を実施し、100夜稼働時間当たりの撮影頻度は寄せ具あり1.7枚、寄せ具なし0.27枚できわめて高い効果が示された。

3) 調査は2週間を1単位として10台の装置を用い、知床で6、8、10月の計3回、阿寒では6月に1回行った。撮影頻度には大きな季節変化がある一方、前年度同時期とは比較的良好な結果を示し、モニタリングは同時期に行う必要性が示された。知床・阿寒ともユキウサギの撮影頻度がきわめて低かった。副次成果として、野幌でクロテンが初確認され、タヌキの撮影頻度が3年間で激減した。奥定山溪において子連れアライグマが撮影され、繁殖が初確認された。

北方林管理研究グループ

グループ長 駒木 貴彰

グループ員 佐々木尚三、鷹尾 元、八巻 一成、高橋 正義、庄子 康（特別研究員）

平成16年度、当研究グループは6名の構成員（うち1名は特別研究員）で18課題（7分野、1科研費）を実施した。このうち主要な研究成果に掲載されている課題（担当：庄子）を除く5課題の研究成果を以下に報告する。

〔研究目的と背景〕

1) 「ランドスケープの維持・改善に配慮した森林経営の実態解明」という課題では、ランドスケープ資源の維持および地域利用を図るための組織のあり方について、ドイツの自然公園を事例に検討する。

2) 「多様なニーズと土地空間の状態を考慮した多目的森林管理計画策定手法の開発」という課題では、多様なニーズを考慮できる数理計画手法の検討を行い、基本的なモデルを作成する。

3) 「択伐による立枯れ木、倒木の減少が生態系へ及ぼす影響の解明」という課題では、択伐時の伐採搬出作業における林地と残存木への被害割合を調べ、伐採インパクトを定量的に明らかにする。

4) 「長伐期化に伴う成長予測と経営評価」という課題では、十勝地方のU森林組合のカラマツ林造成コストおよび素材生産費を基に内部収益率(IRR)を試算する。

5) 「森林所有権の流動化が森林管理と中山間地域の活性化に及ぼす影響の解明」（交付金プロジェクト）という課題では、北海道における森林売買の実態を明らかにするため、道内全森林組合に対して調査票郵送方式による調査を行う。

〔成果の概要〕

1) ドイツ自然公園協会が行った自然公園の管理運営形態に関する調査の結果、56公園についての組織形態は登録団体資格を有する「社団法人」が25公園、公益事業を目的として組織される「目的組合」が10公園、州の管理が13公園、その他8公園であった。ドイツ統合以前より自然公園が制度化されていた旧西側にある40箇所のうち、協会による管理運営は24箇所、目的組合によるものは9箇所、市町村によるものは6箇所となっており、全体の60%は協会の管理運営である。このように、自然公園では「社団法人」という組織形態が重要な位置を占めている。一例を

見ると、バイエリシャーバルト自然公園はバイエルン州南東部にあり、公園協会は総会、理事会および審議会からなっている。現在の協会員は、公園区域に含まれる89の市町村および4つの郡、観光協会、自然保護団体、猟友会など約60の協会、団体、および約300人の個人である。総会は協会員によって構成され、公園事業の決議を行う。自然公園事業の決定は総会において、協会員の総意にもとづいて行われており、合意形成の場として総会が位置づけられている。総会によって決定された事業としては、生垣の維持管理による地域景観事業や地域産材を使ったベンチや標識の設置といった事業のほか、協会員である自然保護団体による自然保護事業等がある。

以上のことから、自然公園協会は地域農林業資源の活用を念頭に置いた、景観保全に関わる様々な事業を立案・実施していることが明らかとなった。その際に、地域の諸主体との協働体制を築く上で、自然公園協会が核として機能しているといえる。わが国の自然公園にはドイツ自然公園協会のような組織は存在しないことから、今後の適用可能性を検討する必要がある。

2) 多様なニーズを考慮できる数理計画手法として佐野らが作成した多目的計画手法をベースとする。佐野モデルは伐採を択伐に限定し、決定変数を択伐面積とする多目的計画であり、①伐採によって得られる収益、②水資源保全、③広葉樹の収穫量の3つの目標を、面積、収穫量、土壌流出を制約条件として最大化するモデルである。このモデルにレクリエーションに関する制約条件を加えることでモデルを改良した。

これまでの入林調査から、奥定山溪は山菜・キノコ採りおよび釣りの場であることが明らかになった。釣りは一定以上の水資源が確保され、かつ土壌流出を抑える制約がすでにモデルにあるため、山菜・キノコ採取のうち大半を占めるタケノコ採取についてのみ考慮し、チシマザサ分布地域では必ず一定程度以上の伐採を行うことを新たに制約条件に付け加えた。これは伐採とそれに伴う更新補助作業が一定期間タケノコを採取しやすい環境を作るためである。これにより、木材生産と水資源保全を対象とした計画に加えて、レクリエーション機能も考慮した多目的計画の基本モデルが得

られた。

3) ①伐倒作業によって多くの残存立木が被害を受けている。伐倒によって何本かの立木が連鎖的に損傷を受ける場合も多く見られる。本数のみの単純比較では、植込み区、天然更新区（それぞれ天1区、天2区とよぶ）ともに伐採本数より多くの本数の損壊木が発生している。伐倒によって攪乱された面積（伐倒木やその巻き添えになった立木の幹や枝の下敷きになった面積にほぼ一致）は、天2区では全体面積の1/3以上に達している。

②集材路（ここではトラクタが数回以上通過した部分）密度は試験地全体で260m/haとなり、さらに集材路にならないような林内走行も行われるなど、トラクタの走行跡はかなり高密度となった。両試験区とも全体面積の約19%がトラクタ走行跡として何らかの攪乱を受けている。そのうち5%は表土を喪失しており、地表攪乱の大きい部分である。ただしこの試験地では、土砂流出の心配はほとんどなく、ササの回復も早い。このような場所では、地表攪乱による浸食や植生回復障害よりも走行面積が増えることによる後継稚樹の減少が問題になると考えられる。集材作業による被害木本数に関しては、損壊より損傷が多い。また択伐前立木本数を母数とするときの被害木の割合は、天2区では12%の立木が被害を受けている。

③被害を受けた立木の本数は、天1区では択伐前立木本数の11%、天2区では25%に達した。また攪乱面積は、天1区で28%、天2区では53%であった。両試験区の胸高直径階別立木本数を択伐前、択伐後の実数、および択伐後に損壊が無かったとした場合について比較すると、両区とも小径木本数が被害によってかなり少なくなっている。8cm階被害木本数を伐採前本数と比べた割合は、天1区で21%、天2区では23%にもなった。

この小径木の減少は次代の蓄積減少を意味しており、択伐林としての保続性に大きな問題と考えられる。伐採搬出作業に当たって、小径木の本数減少を防ぐための方策が必要と考えられる。

4) 森林組合のカラマツ育林データを使用し、主伐期を40年と50年に設定して内部収益率(IRR)の変化をみた。初期条件は1ha当たり、①自己所有の伐採跡地または裸地に約10万円の所有者負担で植林する。②2年目から19年目まで下刈りや除伐等の育林作業を行い、所有者負担は約24.5万円。③20年、25年、30年で間伐を行い、5.7万円の収入を見込む。④40年目に皆伐を

行い、103.8万円の立木販売収入を見込む、の4つである。この初期条件のうち、伐採跡地または裸地を購入して造林した場合、主伐を10年延長して50年にした場合、立木販売収入を半額にした場合、1年目の造林費をゼロとした場合等、条件を変えてIRRを試算した。その結果は次の通りである。(ア)初期条件の下でのIRRは4.3%、50年に伐期を延長した場合は3.4%、(イ)50年伐期で造林費ゼロ、35年で間伐収入10万円、40年で同20万円、主伐収入103.8万円とした場合のIRRは5.9%、(ウ)10万円で伐採跡地または裸地を取得し、初期条件で育林を行って35年で間伐収入10万円、40年で同20万円、50年で103.8万円の主伐収入を得たときのIRRは3.3%、(エ)10万円で伐採跡地または裸地を取得し、造林費ゼロで2年目以降39年までは初期条件に従った場合、40年目で18.8万円の間伐収入があればその時点でIRRは0%となり、41年以降は純収益があればIRRもプラスとなる。例えば、45年で間伐収入20万円、50年で主伐収入103.8万円とした場合のIRRは4.2%となる。

このように、従来の造林補助金支給を前提とした場合のカラマツ林経営のIRRは2~6%程度と試算され、金融機関からの造林資金の借入がないと仮定した場合は、現在の市中銀行の預け入れ利子率を考えても決して不利な経営ではないと言える。ただ、これまでの調査から造林初年度から30年までに造林補助金が林業収入に占める比率は90%程度と高く、補助金が削減されればカラマツ林経営は一気に悪化する。

5) 森林所有権の移転は再造林放棄に結びつきやすく、森林売買の実態把握が急務であるため、道内119森林組合を対象にアンケート調査を行った。このうち98組合から回答を得た（回収率82.4%）。その結果以下のことが明らかとなった。①木材価格の低下による林業への関心の薄れや林業後継者の不在から20ha以下の小規模森林所有者を中心に森林売却が行われている。②村外所有者の林地を村内者が購入するパターンが多い。③広葉樹天然林と50年生未満のカラマツ林を中心に売却されており、立木と素地込みで1ha当たり50万円未満という価格が中心である。④売却後に皆伐された森林や皆伐跡地の売却では、再造林が遅れるか実施されない場合が半数に達する。⑤林地売却は今後増加すると予想する森林組合が全回答組合の約50%に達する。

IV. 主要な研究成果

1. ササはネズミを介してミズナラ堅果の生存に間接的に負の影響を及ぼす

飯田 滋生

〔はじめに〕

日本の森林にササは広く分布している。密に生育したササは光を遮る事により樹木の更新を妨げており、低頻度で発生するササの一斉枯死はブナ等の樹木の更新を成功させる主要な要因のひとつである。さらに、樹木の更新は動物によっても強く影響を受けている。例えば落下したドングリの多くはネズミによって発芽までに持ち去られたり、食べられたりする。主に動物によって散布される堅果のような大型の種子の散布パターンは散布者の行動習性に強く影響を受ける。したがって、堅果の主要な捕食者であると同時に散布者であるネズミは種子落下後の樹木の更新に大きな影響を及ぼす。

森林性のネズミはササ地などの林床植生が豊富なサイトを好み、そこでは相対的にネズミの活動は活発で個体密度は高い。さらに、堅果の消失速度は大きく実生への食害圧も高い。したがって、繁茂したササなどの下層植生は、ネズミに生息場所を提供することによって、種子および実生の生存にマイナスの影響を間接的に及ぼしていると考えられる。

この研究は、落葉広葉樹林のササ生育地とこれに隣接するササを除去した林床に磁石を挿入したミズナラ堅果を秋に設置し、翌春に磁気探知機を用いてネズミに運ばれたこれらの堅果を追跡することにより、1) ササ除去区とササ生育区におけるネズミによるミズナラ堅果の散布パターンの違いを明らかにし、2) ネズミの堅果の散布と捕食によるササのミズナラの更新に対する間接的な影響の評価を行なった。

〔方法〕

試験は北海道札幌市郊外の森林総合研究所北海道支所の実験林で行った。試験を行った林況はミズナラ、イタヤカエデ、シラカンバが優占する約70年生の二次林で、林床は高さ約1mのクマイザサが密に生育しており、1988年に塩素酸ナトリウム50%粒剤を0.5ha(50m×100m)に150kg/haの割合で散布してササを枯死させた。1997年の調査時点でもササは再生していなかった。このサイトに生息するげっし類はアカネズミとヒメネズミとエゾヤチネズミである(1)。

1997年10月中旬にミズナラ堅果を羊ヶ丘で採取した。外見上健全と思われる480個の堅果の底部に電気ドリルで孔を開け小型のフェライト磁石(直径3.5mm×長さ5mm、0.2g)をそれぞれの堅果に1個ずつ挿入した。磁石を挿入した堅果の孔は乾燥を防ぐために園芸用の接ぎ蠟で塞いだ。個体識別のために堅果と磁石の双方に通し番号を記した。1997年10月末にササ生育区と除去区の境界部分から、ササ除去区に向かって、それぞれ5m(SR5)、15m(SR15)、25m地点(SR25)に20個の磁石入堅果を10m間隔で4箇所ずつ林床に設置した。同様に、境界部分からササ生育区に向かって、それぞれ5m(SG5)、15m(SG15)、25m地点(SG25)に20個の磁石入堅果を10m間隔で4箇所ずつ設置し、計480個の磁石入り堅果を設置した。堅果はネズミ以外の動物からの被食を防ぐために4隅に3×3cmの四角い穴をあけたプラスチック製のカゴを被せて針金で地面に固定した。設置後約3週間に渡って、カゴ内に残っている磁石入堅果を調べた。1998年の5月中旬から6月中旬にかけて、堅果を設置したカゴの外側15mまでの範囲内(60m×80m)で磁気探知機を用いて、持ち去られた磁石入堅果を追跡した。発見された処理堅果の生死、貯食場所および深さを記録するとともに、その位置を測量した。カゴ内で被食された堅果は移動距離を0mとした。発見場所は、物理的な環境による区分として、倒木脇(TL)、枝条陰(UT)、立木根元脇(BT)、および木質リターや立木根元から離れた場所(DW)に区分し、さらにネズミの巣穴に関する区分として、巣穴内(NE)、坑道内(BU)、巣穴入り口(EB)、地表またはリター下(GL)に区分した。

〔成果〕

ササ生育区に設置した堅果は一晩のうちに全てが消失したのに対してササ除去区に設置した堅果の消失速度は比較的遅く、11月下旬では約17%が持ち去られずに残った(図-1)。しかし、翌年の4月初旬にはササ除去区も全て持ち去られるか、移動せずにカゴ内で被食されていた。翌春に発見された磁石挿入堅果の割合は59.4%であった。発見堅果全体の内訳は健全が6.7%、食われ死亡が92.6%、そして腐り死亡が0.7%であった。ササ生育区で発見された堅果の健全率(1.1%)は、ササ除去区

で発見された堅果の健全率(15.9%)より有意に低かった(χ^2 検定、 $P < 0.01$)。この試験地では1997年10月におけるササ生育区でのネズミの捕獲数はササ除去区の約2倍であった(1)。これらはササ生育区ではササが生育していない所に比べて、ネズミによる堅果の捕食圧が高く、翌春の発芽時期までの生存率が低くなることを示している。そして、隣接した林分では、ササの量が多い場所でミズナラ実生の発生密度が種子落下密度に比べて低い傾向があることが確かめられている(2)。

ササ生育区の境界からササ除去区側へ5m地点(SR5)、15m地点(SR15)に置いた堅果は、翌春に発見された堅果のそれぞれの93.5%、16.7%がササ生育区に運ばれていた(図-2、3)。さらにササ生育区に運ばれた堅果の運搬距離(平均 $\pm$ 標準偏差: 18.3 ± 8.7 m、中央値=15.8m、最大値=41.7m)は、ササ生育区に運ばれなかった堅果の運搬距離(5.3 ± 3.4 m、中央値=5.1m、最大値=14.2m)よりも有意に大きかった(マン・ホイットニ検定、 $P < 0.001$) (図-3)。しかしながら、ササ生育区の境界からササ除去区側へ25m地点(SR25)に設置した堅果はササ生育区に運ばれなかった(図-2、3)。一方、ササ生育区に置いた堅果の移動は、1つの堅果を除きササ生育区内に限られていた(図-2、3)。これらは、種子散布者である森林性のネズミはササ生育地に対して強い選好性を持つことを示している。

ササ除去区で発見された堅果の約半数である45.8%(根株:31.8%、倒木脇:11.2%、落枝陰:2.8%)が林床の様々な物陰に沿った場所に運ばれていた。そして、43.0%は木質リターや立木根元から離れた場所に運ばれ、残りの11.2%は堅果を設置したカゴの中で発見された(図-4a)。また、別の区分では58.9%(巣穴内:45.8%、巣穴入り口9.4%、坑道:3.7%)が巣穴に関連した場所に運ばれており、41.1%は巣穴に関連しない地表やリター下に運ばれていた(図-4a)。一方、ササ生育区で発見された堅果はわずか6.2%(根株:2.8%、倒木脇:1.7%、落枝陰:1.7%)が林床の様々な物陰に沿った場所に運ばれており、過半数の93.3%は木質リターや立木根元から離れた場所に運ばれ、残りの0.6%は堅果を設置したカゴの中で発見された(図-4b)。また、別の区分では巣穴に関連した場所に60.1%(巣穴内:5.6%、巣穴入り口:47.2%、坑道:7.3%)が運ばれ、39.9%は巣穴に関連しない場所に運ばれていた(図-4b)。試験期間は落葉期間にあたりササ以外の林床植生は葉を落としていたため、試験期間中はササ除去区ではネズミの隠れ場所は少なかった。林床の木質リターは小型の哺乳類にとって重

要な生息場所である。そして、アカネズミ属は種子を倒木、木の根元、根と石の間などの場所に貯え、さらに、開けた場所を避ける傾向がある(3)。これらのササの有無による貯食場所の違いは、森林性のネズミはササ除去区では堅果を天敵から身を隠すのに適した場所である木質構造に接して貯食する傾向があるのに対して、ササ生育区では天敵に見つかりにくいいため、木質構造物を隠れ場所や生息場所として利用する必要がなかったためと考えられた。

[まとめ]

この研究は繁茂したササは実生を直接的に被圧することによって樹木の更新を妨げるだけでなく、ネズミに生息場所を提供する事によって散布後の堅果への捕食圧を高める事により間接的に更新を阻害していることを示唆している。他のササの間接的な負の影響として、ネズミによるササ生育地の外から中に向かう堅果の運搬がある。これらのネズミによる二次散布と堅果の捕食に関する結果は、樹木の適応度を高める効果はなく、いわゆる“指向性散布(4)”には該当しないと考えられる。

[引用文献]

- (1) 斎藤隆、川路則友、平川浩文、工藤琢磨(2000) ドングリを持ち去るのは誰か?—「分散貯蔵」されたミズナラ堅果の消失—、北方林業 52: 215-218
- (2) 阿部真、飯田滋生、田内裕之(2000) 落葉広葉樹林におけるササとネズミの相互作用、北方林業 52: 19-22
- (3) Imaizumi, Y. (1979) Seed storing behavior of *Apodemus speciosus* and *Apodemus argenteus*. Zool. Mag. 88:43-49
- (4) Howe, H.F. & Smallwood, J. (1982) Ecology of seed dispersal. Annu. Rev. Ecol. Syst. 13:201-218

2. 開葉期におけるアカエゾマツ苗木の光阻害感受性の変化

北尾 光俊

〔研究目的〕

北海道は多くの樹種の北限や南限が位置するという特色を持つ。低温障害はこれらの樹木の分布を決める大きな要因である。アカエゾマツは苗木生産がトドマツ同様に事業ベースに置かれ、材も優れていることから、北海道における主要造林種として多用されている。

春先の低温により、主として芽吹き直後の葉に障害が生じる現象は「晩霜害」として広く知られている。アカエゾマツはトドマツと比べて一般に晩霜害を受けにくいとされているが、これは、開葉時期が遅いことで晩霜害を回避しているためと考えられている。アカエゾマツは、くぼ地など、冷気が貯まりトドマツでは寒害に遭遇しやすい場所に植えられてきた。しかしながら、昭和60年6月に北海道弟子屈町のトドマツ、アカエゾマツ人工林で生じた晩霜害では、トドマツは開葉した新葉のみに障害が生じたが、アカエゾマツでは開葉は始まっておらず、既存の葉の多くに障害、枯死が生じた事例が報告されている。このことより、開葉直前にアカエゾマツの既存の葉では低温への耐性が一時的に弱まる可能性が指摘されている(1)。また、開葉期の光合成速度と呼吸速度を調べた実験により、アカエゾマツでは開葉直前に呼吸速度の上昇とともに光合成速度が低下することが報告されている(2)。これらの知見より、アカエゾマツでは開葉前に既存の葉において急激な生理的变化が生じていることが推察される。

近年、高山に生育する植物を対象とした研究によって、低温下での強光ストレスが、植物の成長および生存率に悪影響を与えることが明らかにされている(3)。例えば、樹冠下で庇陰されている稚樹の方が強光ストレスを受けにくく、直射日光が当たる場所に生育するものよりも生存率が高くなることが報告されている(4)(5)。

強光によるストレスを測る指標として「光阻害」という現象が広く用いられている。光阻害の定義は長時間にわたる光合成効率の低下であり、植物が消費できるエネルギーに対して過剰な光エネルギーを照射された場合に生じる。そのため、単に強光を受けた場合のみならず、低温などの環境ストレスにより光合成活性が低下し、消費するエネルギー量が減少した場合にも光阻害が生じることが知られている(6)。前述したアカエゾマツの開葉直前の急激な生理的变化は、既存の葉の光

合成活性を低下させ、それに伴い光阻害の感受性が増加する可能性が考えられる。実際に、弱光環境に生育するアカエゾマツを強光環境への急激な環境の変化にさらすことにより、陰葉が褐変後、落葉する現象が観察により確認されている。そのため、春先の光合成活性の低下による光阻害がアカエゾマツの成長、生存に与える影響は無視できないと考えられる。

本研究では、アカエゾマツの1年生葉について開葉前後の光合成活性と光阻害の程度を調べ、開葉期における光阻害増大の可能性を検証することを目的とした。

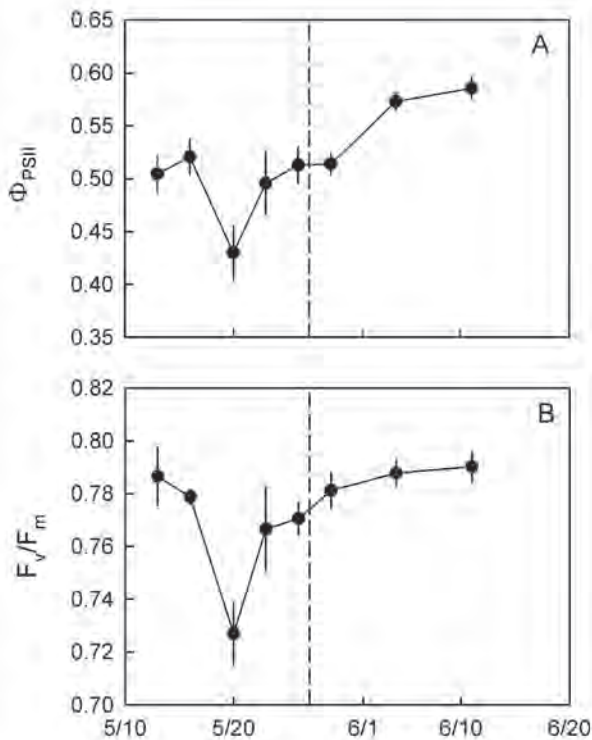
〔研究方法〕

材料として、森林総合研究所北海道支所実験林苗畑で生育したアカエゾマツの7年生苗木を用いた。4～5個体を選び、側枝を水切りして暗所に一晩おき、十分吸水させたものを蛍光反応測定に用いた。いておこなった。低温恒温水循環装置(CTP-101, TOKYO RIKAKIKAI, Tokyo, Japan)を用いて温度を25℃に制御したチャンバー内(LD2, Hansatech, Kings-Lynn, UK)に葉を置き、さらに15分間の暗順化を施して暗順化後のクロロフィル蛍光の最小値(F_0)を測定した。その後、飽和光($9000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PFD)を照射して暗順化後のクロロフィル蛍光の最大値(F_m)を測定した。これら2つの蛍光強度より、光化学系IIの最大光量子収量を示すパラメーターである F_v/F_m ($F_v = F_m - F_0$)を算出した。その後、 $180 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の光を照射して15分以上たち、光合成が安定した状態での蛍光強度(F_s)を測定した後に、再び飽和光を照射して、光照射時のクロロフィル蛍光の最大値(F_m')を測定した。本研究で光合成活性を示す指標として用いた Φ_{PSII} というパラメーターは、光化学系IIでの電子伝達の光量子収量を示し、 $\Phi_{\text{PSII}} = (F_m' - F_s) / F_m'$ として算出される。

また、採取した1年生シュートで、クロロフィル蛍光測定に用いなかった残りの葉を対象として、葉内の糖とデンプン含量を測定した。

〔研究成果〕

クロロフィル蛍光測定による光合成活性を示す指標として、光化学系IIでの電子伝達の光量子収量を示す Φ_{PSII} を用いた。結果として、開葉およそ1週間前(5月20日頃)に顕著に光合成活性が低



図－1 開葉前後のアカエゾマツ1年生葉における Φ_{PSII} (A)および F_v/F_m (B)の季節変化。測定は25℃で行った。破線は開葉開始日を示す。

下することが明らかとなった(図－1 A)。植物の葉を一晩暗順化したのちに測定する F_v/F_m という蛍光反応のパラメーターは光化学系Ⅱの最大光量子収率を表し、その低下が光阻害の指標となる(7)。光合成活性の低下と同時に、光阻害の程度も大きくなっていることが F_v/F_m の変化から明らかになった(図－1 B)。これらの傾向は別の年に測定した際にも同様に観察された。

この時期のアカエゾマツ苗木の様子は写真－1に示す。このように開葉直前に既存の葉において、一時的ではあるが光合成活性の低下にともなう光阻害が生じていることが明らかとなった。また、温度を変えて光阻害感受性を測定した結果、10℃を下回るような低温下では光阻害防御機構がうまく働かず、より光阻害を受けやすくなることも明らかとなった。そのため、開葉前の光合成活性が低下する時期に低温下で強光にさらされる場合には、光阻害の危険性はさらに増大すると予測される。

針葉樹は既存の葉が春先に光合成によって獲得した光合成産物を使って新しく葉を展開させるこ



写真－1. 5月20日頃のアカエゾマツ苗木の様子。芽が少しふくらんでいるのがわかる。

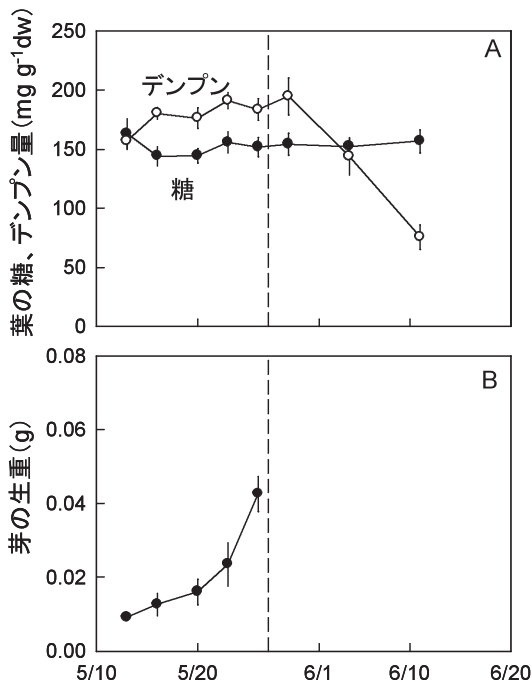
とが安定同位体を用いた研究によって明らかとされている(8)。これは、枝などに蓄えた前年度の光合成産物を用いて葉を展開させる落葉広葉樹と大きく異なる点である。開葉直前には、既存の葉において葉緑体へのデンプンの集積が顕著に見られる(9)。その時期の葉緑体は光合成器官としてではなく、新葉展開のための一時的な光合成産物の貯蔵器官として働いていると考えられている。

デンプンの集積量を調べた結果では、光合成活性の低下が見られた時期には高いレベルのデンプン集積が生じていたことが明らかとなった(図－2 A)。このようなデンプンの集積は葉緑体を構造的に圧迫し、光合成の機能不全を引き起こすだけでなく、デンプンのさらなる集積を防ぐ方向に働くフィードバック制御により、光合成活性を低下させると考えられる。一方で、開葉前から芽はふくらみ始めていることが芽の生重の季節変化よりうかがえる(図－2 B)。デンプン量には変化は見られないが、開葉に向けて炭水化物が芽に移動することによって、フィードバック制御が解除され、光合成活性の回復が見られたものと考えられる。

[まとめ]

近年、地球環境変動にともなう環境ストレスが樹木に与える影響が懸念されて久しい。なかでも、大気中CO₂濃度上昇は、樹木の生存・生育に新たな環境ストレス要因を生じさせるおそれがある。現在のところ、アカエゾマツを対象とした研究によって、当年葉のみならず1年生葉においても、春先に、低温による光阻害を受けやすくなる時期

が存在することが明らかとなった。しかしながら、CO₂濃度上昇が、開葉時期および炭水化物集積に関連する低温障害感受性の増加に与える影響は明らかになっていない。春期に一年生葉は、光合成器官として働くのみならず、新しい葉を展開するための炭水化物の貯蔵期間として働く。高CO₂環境に生育することで葉の炭水化物含量が増加すると、開葉時期が早くなり、低温の影響を受ける危



図ー2. 開葉前後のアカエゾマツ1年生葉の糖、デンプン量 (A) ならびに芽の生重 (B) の季節変化。破線は開葉開始日を示す。

険性が増加する可能性が考えられる。また、高CO₂による炭水化物の集積が、フィードバック制御などを通じて、光阻害感受性に影響を与える可能性も考えられる。今後、CO₂濃度上昇による環境変動が北方森林生態系に与える影響を予想するために、これらの仮説を検証する必要がある。

[引用文献]

- (1) Takahashi K, Fujimura Y, Koike T (1987) Frost damage of Akazomatsu (*Picea glehnii* Mast.) plantations by a cold air lake. In: Fujimori T, Kimura M (eds) Human Impact and Management of Mountain Forests. Forestry and Forest Products Research Institute, Tsukuba, Japan. pp 167-175
- (2) 坂上幸雄、藤村好子 (1981) トドマツ、アカエゾマツ苗の光合成速度、呼吸速度の季節変化、日本林学会誌 63:194-200
- (3) Ball MC (1994) The role of photoinhibition during tree seedlings establishment at low temperatures. In: Baker NR, Bowyer JR (eds) Photoinhibition of Photosynthesis: from molecular mechanisms to the field. Bios Scientific Publishers, Oxford, pp. 365-376
- (4) Germino MJ, Smith WK (1999) Sky exposure, crown architecture, and low-temperature photoinhibition in conifer seedlings at alpine treeline. Plant Cell Environ 22: 407-415
- (5) Germino MJ, Smith WK (2000) High resistance to low-temperature photoinhibition in two alpine snowbank species. Physiol Plant 110: 89-95
- (6) 北尾光俊 (2004) 樹木の光合成に及ぼす環境ストレスの影響 日本林学会誌 86:42-47
- (7) Krause, G.H. (1994) Photoinhibition induced by low temperatures. (Photoinhibition of Photosynthesis: From Molecular Mechanisms to the Field. Baker, N.R. and Bowyer, J.R(eds.), BIOS Scientific Publishers, Oxford). 331-348.
- (8) Hansen J, Beck E (1994) Seasonal changes in the utilization and turnover of assimilation products in 8-year-old Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees. Trees 8: 172-182
- (9) Senser M, Schötz F, Beck E (1975) Seasonal changes in structure and function of spruce chloroplasts. Planta 126:1-10

3. コアシナガバチの冷温帯個体群における創設メスの交配様式と繁殖メス間の血縁度

佐山 勝彦

[はじめに]

アリやミツバチは巣を中心とした集団生活を営む昆虫で、巣には繁殖する女王と繁殖せずに女王の繁殖を手伝うワーカー（働きアリや働きバチの総称）がいる。このように、繁殖に関する分業が成り立つ社会をもつ昆虫は、一般に「社会性昆虫」と呼ばれている。アシナガバチもスズメバチとともに社会性昆虫の範疇に入り、労働を担当するワーカー（ここでは働きバチ）は、巣内の幼虫の養育や巣の増改築のほか、捕食者や寄生者などの外敵から巣を守る防衛にも携わる。巣に何らかの刺激や振動が伝わると、巣上のワーカーはまず警戒・威嚇体制をとる。さらに刺激が一定以上のレベルを超えると、巣を飛び立って毒針を用いた攻撃を行う。そのため、林野作業や森林レクリエーションでは、しばしば刺傷事故を引き起こす原因となっている。

アシナガバチが、このような毒針を用いた攻撃行動を発達させてきた背景には、巣を中心とした社会生活が進化してきたことと深い関係がある。ワーカーは、ふつう1個体の創設メス（女王バチ）に由来するメスのハチで、それらは成虫として羽化した後も巣にとどまり、母親である創設メスの繁殖を助け、基本的に自ら繁殖を行うことはない。このように繁殖を行わないで、他の個体の繁殖を援助する一連の行動は「利他行動」と呼ばれ、攻撃行動もその一部と捉えることができる。1964年にハミルトンが提唱した血縁淘汰（kin selection）説によると、同じ数の個体を育てる場合に、近縁者に対する血縁度が自分の子に対する血縁度よりも高ければ、近縁者を育てることで、より多くの自分の遺伝子（の複製）を次世代に伝えることが可能になるため、利他行動が進化する⁽¹⁾。

したがって、アシナガバチの社会生活の維持には、巣内の個体同士の血縁関係が大きな影響を与えていると考えられる。そこで、アシナガバチの巣内におけるメス個体の血縁関係をDNAにみられる変異を用いて調べた。

[研究対象]

コアシナガバチ（*Polistes snelleni*）はアシナガバチの1種で、日本国内では北海道から九州まで分布している（写真－1）。巣は低山地の日当たりのよい岩場や低木の細枝などのほか、人家の軒下などにも作られる。春先に越冬を終えた創

設メスがふつう単独で巣作りを始め、初夏までに最初のワーカーを育てる。羽化したワーカーは巣にとどまり、秋までに繁殖個体（オスと繁殖メス）を育て上げる。そして、交尾を終えた繁殖メス（翌春の創設メス）だけが越冬に入る。



写真－1 コアシナガバチの営巣後期の巣

創設メスは前年の秋に交尾を済ませているため、精子だけが創設メスの受精嚢という器官で保存され、産卵のときに使われる。また、ハチの性決定様式は、受精するとメスに、受精しないとオスになる「単数倍数性（haplo-diploidy）」という仕組みをとっている。このことから、メスのハチにとって自分の姉妹は、自分の子よりも血縁関係が濃くなることが分かっており、その血縁度（遺伝的類似性の尺度で、ここでは自分の遺伝子が相手の遺伝子のいずれかと祖先を共有するために同じである確率をあらわす）は姉妹とは0.75（兄弟とは0.25）であるのに対して、子とは0.5（両性とも）と計算される。したがって、血縁度だけに注目してみると、メスのハチにとっては、子を育てるよりも妹を育てた方が、自分の遺伝子を次世代に伝える上で有利になる。

[研究方法]

8月上旬に札幌市郊外で、コアシナガバチの15コロニー（巣で生活しているハチ集団の単位）を採集し、採集した巣内の繭から羽化したメス成虫（各コロニー20個体）を分析に用いた。分析は6つのDNAマイクロサテライト（短い塩基の配列が繰り返している部分）遺伝子座にみられる個体間の遺伝子型の違いに着目して行った。血縁度⁽²⁾お

よび近交係数 (F) の計算は、コンピュータソフトウェアRelatedness 4.2⁽³⁾を用いて行った。

[結果と考察]

分析したコロニーのうち、7コロニーにはすでに創設メスがいなかったが、すべてのコロニーがそれぞれ1個体の創設メスに由来する集団であることが判明した。また、創設メスは1回しか交尾しておらず、近交係数 (F) が -0.088 ± 0.167 (標準誤差) と推定されたため、その交尾相手のオスは近縁な個体 (たとえば兄弟) ではないと考えられた。今回の分析により、コロニー内のメス同士の血縁度は、平均 0.734 ± 0.028 (標準誤差) と推定され、期待された0.75という血縁度の値と統計学的に差がないという結果だった (表1)。

表1 コロニーの創設メス数、創設メスの交尾回数および繁殖メス間の血縁度

巣番号	創設メス数	交尾回数	血縁度*
3	1	1	0.855
4	1	1	0.778
6	1	1	0.837
14	1	1	0.712
23	1	1	0.477
26	1	1	0.632
30	1	1	0.670
34	1	1	0.791
40	1	1	0.757
43	1	1	0.728
49	1	1	0.856
54	1	1	0.886
67	1	1	0.684
68	1	1	0.686
69	1	1	0.666
平均	1	1	0.734

* Queller and Goodnight (1989)の方法による

以上から、コロニーで早くに生まれたメス個体 (ワーカー) にとって、自分で繁殖して子を残すより、後から生まれる妹にあたるメス個体を育てる方が、自分の遺伝子を次世代に残すうえで有利になる。したがって、ワーカーは母親である創設メスの生んだ妹を育て上げるため、自分の生まれた巣にとどまって、労働や防衛に携わっていると考えられる。

[おわりに]

今回の結果は、あくまでも「血縁度」という指標にもとづいた一つの見方で、実際には、ワーカーからみて血縁度の低いオスも同時に育てることや、ワーカー1個体が育て上げる繁殖個体 (オスや繁殖メス) の数なども考慮に入れる必要がある。最近の研究では、血縁度以外の要因で「適応度 (個体の生存率と繁殖率を掛け合わせたもの)」とよばれる要因に注目して、利他行動の進化を探る試みも行われている^(4,5)。血縁淘汰説によれば、血縁度が高ければ利他行動は進化しやすくなるが、必ずしも血縁度が高くなくとも、利他行動の進化は起こり得るのである⁽⁶⁾。

最後になるが、本研究は玉川大学の高橋純一博士との共同研究⁽⁷⁾であり、研究の遂行にあたっては、平成12~14年度文部科学省科学研究費補助金 (課題番号12304048 研究代表者 九州大学大学院理学研究院 粕谷英一助教授) の援助を受けた。

[引用文献]

- (1) 辻和希 (1998) ダーウィンを悩ませた社会性昆虫. 科学68: 959-969.
- (2) Queller, D. C. and K. F. Goodnight (1989) Estimating relatedness using genetic markers. *Evolution* 43:258-275.
- (3) Goodnight, K. F. and D. C. Queller (1994) Relatedness 4.2. Goodnight Software, Houston.
- (4) Queller, D. C. (1996) The origin and maintenance of eusociality: the advantage of extended parental care. In: Turilla, S. and West-Eberhard, M. J. (eds) *Natural history and evolution of paper-wasps*, pp 218-234. Oxford University Press, Oxford, UK.
- (5) Sayama, K., and J. Takahashi (2002) Life insurance advantage by staying as workers in the social wasp *Polistes snelleni*. *Proceedings of XIV international congress of IUSSI*, p207.
- (6) Queller, D. C. and J. E. Strassmann (1998) Kin selection and social insects. *Bioscience* 48: 165-175.
- (7) Sayama, K., and J. Takahashi (2005) Mating structure and genetic relatedness among gynes in the primitively eusocial wasp *Polistes snelleni* (Hymenoptera: Vespidae). *Entomological Science* 8: 27-31.

4. 世界自然遺産への登録と利用者の認識 ―表明選好法によるアプローチ―

庄子 康（現：北海道大学大学院農学研究科）・八巻 一成

[はじめに]

世界遺産は人類にとって傑出した価値を有する世界的な文化的・自然的遺産を認知し、保護することを促進する制度である。2003年11月までに177ヶ国がこの条約に批准し、754の対象がリストに登録されているが、うち172の対象は自然的あるいは自然的かつ文化的な対象として登録されている。世界自然遺産には、鑑賞上・学術上又は保存上等の見地から顕著な普遍的価値を有する自然地域が登録されており、自然資源の管理を行う上でも大きな役割を担うものである。日本では屋久島と白神山地が世界自然遺産として登録されている。

本研究では、世界自然遺産への登録を目指す日本の大雪山国立公園において、利用者が世界自然遺産の登録にどんな将来像を抱いているのかを表明選好法¹によって定量的に明らかにする。すでに指定を受けている屋久島の現状と、指定地の実質的な管理を行う日本の管理システムの抱える問題点を踏まえながら、大雪山国立公園を世界自然遺産に推薦することが、利用者の考える大雪山国立公園のあるべき姿の実現につながるのか否かを検討したい。

[屋久島の現状]

はじめに、日本においてすでに世界自然遺産として指定を受けた屋久島を例に取り、その現状と管理システムの問題点を整理したい。

屋久島は周囲約132kmのほぼ円形の島で、宮之浦岳をはじめとして1,000mを超える山が40数峰連なり、洋上アルプスとも呼ばれている。屋久島には根回り43mに達する縄文杉をはじめ、多くの固有種や絶滅の恐れのある動植物などを含む生物相を有するとともに、海岸部から亜高山帯に及ぶ植生の典型的な垂直分布が見られるなど、特異な生態系とすぐれた自然景観を有している。そのような点から、1993年に日本で初めて世界自然遺産に登録された。

世界自然遺産の登録により、指定地域の生態系や自然景観は面的な保護を受けることとなり、同時に地域経済へも幅広い利益がもたらされることとなった。しかし知名度の上昇に伴う利用者の増加は、局所的に様々な問題点を引き起こしている。例えば、山域内にはいくつかの小屋が設置されているが、利用者が集中することによって小屋の定員がオーバーし、周辺林内でテント泊する状況がしばしば発生している。さらに避難小屋に設置されたトイレが過剰利用により溢れる状況が生じ、周辺林内で用を足す

状況も発生している。これらは利用者に著しい混雑感をもたらすだけでなく、森林の生態的にも多くの問題を生じさせる可能性がある。

このような場所は世界自然遺産の指定地域内であると同時に、国立公園の特別保護地区であり、国有林の森林生態系保護地域、文化庁の天然記念物でもある。にも拘わらず、土地所有に関わる問題を背景として、利用者数は全くコントロールされていないのが現状である。国際条約の原則上、世界自然遺産を有する該当国が、その国の責任に基づいて指定地が保護することが前提とされる限り、このような状況は、日本国内の自然資源に対する管理システムが変わらない限り改善されることは難しい。そこで生じる疑問は、屋久島に見られるような問題点が生じる危険性を孕みつつも、大雪山国立公園を世界自然遺産に推薦することが、利用者の考える大雪山国立公園のあるべき姿と整合的であるのかということである。

[事例地]

本研究の事例地は北海道の大雪山国立公園である（図1）。大雪山は2,260km²の日本最大の陸域面積を誇る国立公園であり、原生性あるいは自然性の高い自然公園として知られている。

本研究が対象とするのは、大雪山の中でも北海道の最高峰である旭岳（2,290m）を含む表大雪と呼ばれる地域である。この地域には真夏でも大きな雪渓



図1 大雪山国立公園の位置

が残り、豊富な高山植物群落がいたるところに存在している。また山腹部には北方系の針葉樹林が広がり、ヒグマを始めとする様々な野生生物が生息している。

このような自然環境を体験するために登山道も数多く設置されている。手軽な散策路から、南部の原生的な地域を訪れる縦走路まで、様々なルートが存在している。そしてこのような豊かな自然環境を求めて、表大雪には毎年多くの利用者が訪れている。2000年の実績で、夏期だけで約5万人近い利用者が表大雪を訪れていると言われている。しかしそのために山小屋やキャンプ指定地での物理的な混雑、登山道や山頂での心理的な混雑感、利用者の踏みつけによる高山植物の破壊、野生動物の生息域への影響などが指摘されている。

<手法>

—選択型実験—

選択型実験は、ある属性と水準からなる仮想的な代替案であるプロファイルをいくつか組み合わせた選択セットから、最も望ましいプロファイルを選択する試行を繰り返し、それらを統計的に分析することによって属性別の評価を得る手法である。選択型実験はそもそも多数の属性に対する個人

の評価を明らかにするための手法であるコンジョイント分析の一手法である。選択型実験はもともとマーケティングや交通工学などで培われてきた手法であるが、1990年代に入り環境評価の分野でも盛んに用いられるようになった。レクリエーション評価への適用は、その中でもいち早く取り組まれたものの1つである。

—シナリオと属性、水準の選択—

選択型実験ではアンケートを利用するが、はじめに属性と水準を設定してアンケートのシナリオを作成する。大雪山において行ったアンケートでは、すべての利用者に共通し、かつ重要性が高いと考えられる、道路・登山道の設置、利用者数、ヒグマの保護、高山植物の保護の4つを属性として選択した。詳細は表1に示すとおりである。これらの属性と水準については写真を利用し、回答者の理解を促した。

本研究では表1に示すような名義尺度による水準の設定を採用した。名義尺度を用いた場合、エフェクトコードと呼ばれる方法により変数をコード化することで推定を行うことが可能である。

続いて支払意志額をどのような支払方法によって表明してもらうのかを決定する必要がある。今回は支払意志額の支払方法として基金を採用した。基金の名目は大雪山が世界自然遺産に登録されるための

表1 シナリオに用いた属性と水準

属性と水準
道路・登山道の設置
水準1：大雪山全域において登山道を歩きやすく整備し、車道・駐車場も整備する
水準2：大雪山全域において登山道を歩きやすく整備するが、車道・駐車場の整備は現状維持
水準3：登山道・車道・駐車場の整備は現状維持（現状）
水準4：登山道の整備は現状維持だが、自然環境の保護が重視される場所では車道・駐車場を減らす
水準5：自然環境の保護が重視される場所では登山道・車道・駐車場を減らす
利用者数
水準1：積極的に人々を呼び入れる努力をする
水準2：自然の増加にまかせる（現状）
水準3：2000年を基準として人数を一定に保つ
水準4：2000年を基準としてその8割に人数を規制する
水準5：2000年を基準としてその半分に人数を規制する
ヒグマの保護
水準1：クマ出現のため登山道が時々閉鎖される（現状）
水準2：高原温泉（ゾーン9）はクマ生息地として人間の利用を中止する
高山植物の保護
水準1：人が入らないように柵を立てる程度（現状）
水準2：表大雪において、これ以上高山植物が破壊されないよう必要に応じて木道などを設置する
基金への支払い
1,000円, 3,000円, 5,000円, 10,000円, 15,000円

準備基金である。これは大雪山が世界自然遺産に登録されることを仮定し、登録が決定される際、先ほど示した4つの属性からなるプロフィールを実施するというものである。回答者は世界自然遺産の登録が決定された際に、一度だけ支払いを行うことになる。

しかし世界自然遺産に関しては、前述の屋久島に見られるような登録に伴う問題点も指摘されている。実際そのことを知っている利用者もかなり存在すると予想され、単に世界自然遺産基金への支払いでは大きな抵抗回答が予想された。そこで今回は世界自然遺産の登録に伴い、屋久島において過剰利用が発生した事実をあえて取り上げ、登録時に発生が予想される問題を防ぐことをこの基金の設立目的とした。そして基金の使い道がどのように使われるのが選択型実験によって問われるようにシナリオを作成した。

一選択セットの作成

属性と水準を設定すれば、プロフィールと選択セットのデザインを行うことができる。はじめにプロフィールの作成であるが、5水準の属性が3つ、2水準の属性が2つ設定されていることから、想定できるプロフィールは $5^3 \times 2^2$ 個になる。これらすべてのプロフィールに関して評価を行うことは不可能である。またプロフィール同士に相関が存在すれば、多重共線性が発生し推定が不可能となるため、この点についても配慮する必要がある。このような問題を解決する方法として用いられているのが、直行計画と呼ばれるものである。本研究では直行計画を用いて25個のプロフィールを作成し、これらのプロフィールをもとに、図2のような選択セットを作成した。回答者にこのような選択セットを7回提示した。

アンケートは2000年8月に表大雪のすべての登山口、および登山道において、利用者数に応じて配布し、郵送により回収した。配布枚数は1,872通、回収枚数814通(回収率43.5%)であった。この

うち分析に用いたサンプルは選択型実験の設問に全て回答した回答者の中で、属性と水準に拘わらず、常に現状を示すプロフィールのみを選んだ回答者を除いた433サンプルである。

紙面の都合上、分析手法について示すことができないので、この部分に関してはShoji and Yamaki (2004)を参照されたい。

<結果>

アンケートにおいて、世界自然遺産に対する知識をたずねたところ、知っているあるいは聞いたことがあると答えた回答者は814人中770人(94.6%)であった。またシナリオで提示した基金に、金額によっては支払っても構わないと回答した回答者は700人(86.0%)であった。基金への支払いを拒否した回答者は99人(12.2%)存在したが、そのうちの60人(7.4%)は「世界遺産に登録されなければよい」をその理由として挙げていた。

条件付ロジットモデルによる推定結果は表2に示す通りである。評価はすべて選択セットに含まれる現状のプロフィールを基準として評価されており、定数項は3つ存在する。表2に示した3つのASCがそれらに相当する。

対数尤度($\beta=0$)は、係数がすべて0であるとした場合の対数尤度であり、対数尤度(最大)は係数が表2の結果である場合の対数尤度である。は自由度が調整された対数尤度指数であり、 $\bar{p}^2$ モデルの当てはまりを示す指標である。

基金の金額もその他の属性も同じ関数形を通じて、効用水準に影響を与えているため、その影響の大きさは係数を比較することによって明らかにできる。したがって、符号に注意して、ある属性の係数を、基金の係数で割ることによって限界支払意志額(MWTP)を求めることができる。求めたMWTPが表2に示した値である。

	組合せ①	組合せ②	組合せ③	現状
道の整備	歩道増加	現状維持	歩道増加	現状維持
利用者数	大幅増加	一定に保つ	半減	自然に増加
ヒグマの保護	実施	実施	現状	現状
高山植物の保護	現状	現状	実施	現状
基金の額	10,000 円	5,000 円	1,000 円	0 円
最も望ましいものに1つ	↓	↓	↓	↓
○を付けてください⇒	1.	2.	3.	4.

図2 提示した選択セットの例

＜考察＞

多くの回答者は世界自然遺産の存在を認識しており、シナリオに示された基金への支払いも行つてよいと回答していることを考えると、回答者は世界自然遺産への登録を比較的好意的に見ていることが伺える。しかし、表2のMWTPを踏まえると、利用者が求める大雪山国立公園の管理は、全般的に利用者をコントロールする方向、自然資源を保護する方向にあることが分かる。それは、利用者数を2000年を基準として現状を維持することに対するMWTPが3,732円で最も高く、利用者数を増加させることに対するMWTPが-6,927円で最も低いこと、高山植物の保護のため、木道を設置することに対するMWTPが2,546円であることなどから伺うことができる。

現状の管理水準を維持するプロファイルに対するWTPは695円 ($2,258 + 1,698 - 715 - 2,546 = 695$) であり決して否定的ではないが、最も望ましいプロファイルに対するWTPが9,251円 ($2,258 + 3,732 + 715 + 2,546 = 9,251$) であることと比較すると、世界自然遺産の登録に際し、現状の管理水準が維持されることは、利用者にとって魅力ある代替案ではないと言える。

一方で、指定地の実質的な管理を行う日本の管理システムを踏まえると、現状の管理水準を維持することは可能かもしれないが、利用者数を一定にコントロールすることなどは現状では難しいかもしれない。つまり、世界自然遺産の登録を契機として、利用者の考える大雪山国立公園のあるべき姿を実現させることは、現在のシステムの下では難しいということになる。推薦の前には、2003年に改正された自然公園法で創設された利用調整地区制度の適用なども視野に入れながら、管理システムのあり方をさらに検討する必要があると言えるだろう。

¹ 環境の有する価値を貨幣単位で評価する方法には、顕示選好法と表明選好法が存在する。顕示選好法は人々が実際に行つた経済活動をもとに分析を行う手法であり、代替法やヘドニック法、トラベルコスト法などがこれに含まれる。一方、表明選好法は、仮想的な状況を想定して、それに対する人々の経済活動をもとに分析を行う手法である。CVM（仮想評価法）や本研究で用いる選択型実験がこれに含まれる。

表2 条件付ロジットモデルによる分析結果

属性と水準	係数	MWTP
道路登山道の整備		
水準1	-0.49 (0.07)**	-3,493
水準2	-0.04 (0.06)	-304
水準3 (現状)	0.32 (0.12)**	-2,258
水準4	0.12 (0.06)*	858
水準5	0.10 (0.05)	681
利用者数		
水準1	-0.98 (0.07)**	-6,927
水準2 (現状)	0.24 (0.12)**	1,698
水準3	0.53 (0.05)**	3,732
水準4	0.41 (0.05)**	2,906
水準5	-0.20 (0.06)**	-1,409
ヒグマの保護		
水準1 (現状)	-0.10 (0.03)**	-715
水準2	0.10 (0.03)**	715
高山植物の保護		
水準1 (現状)	-0.36 (0.03)**	-2,546
水準2	0.36 (0.03)**	2,546
基金・ 10^{-3}	-0.14 (0.01)**	
ASC_1	0.69 (0.12)**	
ASC_1	0.77 (0.11)**	
ASC_1	0.69 (0.12)**	
選択セットの数		
対数尤度 (Max)	3031	
対数尤度 ($\beta=0$)	-3607.3	
$\bar{\rho}^2$	-4185.9	
	0.14	

* $\rho < .05$. ** $\rho < .01$.

また本研究の内容を踏まえて、以下の雑誌にも関連する内容が掲載されているので参照されたい。
Shoji, Y. and Shibasaki, S. (2005) Will a New Inscription of a National Park in Japan on the World Natural Heritage List Benefit Visitors? Journal of Forest Economics, 52(2), 21-29

V. 研究成果発表会報告

日 時：平成17年3月3日（木） 13：10～16：50
 会 場：札幌市教育文化会館 小ホール（札幌市中央区北1条西13丁目）
 入場者数：186名

テーマ 森林の持続的管理のために ―生物多様性と健全性の評価手法開発―

プログラム

開会		13:10
北海道支所長挨拶		13:10～13:20
研究発表		
1. 森林の健全性の評価 ―森の健康診断― チーム長（森林国際基準担当）	山口 岳広	13:20～13:50
2. 択伐林と生物多様性 ―天然林の施業は植生をどう変えるか？― 森林育成研究グループ	阿部 真	13:50～14:20
3. 持続的森林管理における森林の遺伝的多様性 森林育成研究グループ長	河原 孝行	14:20～14:50
休憩		14:50～15:10
4. 流域レベルの生物多様性評価 ―奥定山溪国有林の生物多様性― 北方林管理研究グループ	高橋 正義	15:10～15:40
5. 広域レベルでみる森林の多様性 北方林管理研究グループ	鷹尾 元	15:40～16:10
特別講演 森林の更新に伴う生物多様性の変化 ―落葉広葉樹林の場合― 森林昆虫研究領域長	牧野 俊一	16:10～16:50
閉会		16:50

当日の様子



支所長挨拶



来場者



研究発表



研究発表



研究発表



研究発表



研究発表



特別講演

1. 森林の健全性の評価 ―森の健康診断―

山口 岳広

[はじめに]

近年持続可能な森林経営・森林管理が求められ、これを示すための国際的な基準・指標（モントリオールプロセス）のうち特に「健全性」に関しては、概念の曖昧さとともにモザイク状の森林で多様な樹種を有するわが国の状況下では、客観的指標化に非常に困難な面が多かった。そこで、国際的基準に基づいた「健全性」の評価指標開発の端緒として、本研究では針葉樹の林冠衰退度を中心として評価する手法を探った。

[試験方法]

札幌市の豊平川最上流部である奥定山溪国有林内において、エゾマツ・アカエゾマツ・トドマツを対象に、樹冠部の着葉量減少と枯枝発生程度により、1（健全/微害）から5（激害/枯死）の5段階の数値で評価した。また、林分の平均的な個体の衰退度に基づき、林分全体の衰退度を0.5刻みで評価した。林分衰退度を林班単位でGIS上に入力し、さらに、林道から評価対象林分までの距離を考慮してより実態に近いマップを作成した。

択伐前後でトドマツとエゾマツの成木を対象にプレッシャーチャンバーを用いて樹冠部の水ポテンシャルを調べ、環境変化が樹木の水分状態に与える影響を検討した。さらに非破壊測定装置を用いて、水分通導の異常を捉えられないか検討した。

[結果と考察]

着葉量から評価した結果、図-1に示すようなマップができた。奥定山溪地域の林分の健全性は「おおむね健全」と評価できるが、北東部を中心に標高の高い一部の地域や尾根筋で樹勢の衰退が認められた。これらの結果を林班単位でGIS上に入力し、さらに、林道から評価対象林分の距離を考慮してより詳細に区分し、より実態に近いマップを作成した（図-2）。新しいマップは点表示による衰退度マップよりも面的な広がりを把握できるようになり、樹木の衰退傾向をより鮮明に認めることができた。

さらにGISに入力されている標高データと衰退度の数値とを比較したところ、衰退度の違いによって林班の平均標高に有意差があることが判明し、衰退度に関連する因子として標高との関連が大きいことが示された。

択伐前後での水ポテンシャル測定では（図-3）、

エゾマツは対照区では択伐前後とも-1Mpa程度で変動は小さかったが、択伐されたA、C、D区では択伐後の2002年、2003年とも択伐前と比前と比べて低い傾向があった。一方トドマツは、D区で択伐後の2002年、2003年の水ポテンシャルが択伐前の2001年と比べて有意に低かったが、A区と対照区では大きな年変動は見られなかった。これらの結果は、択伐後に残されたエゾマツにおいて蒸散量が増大し、樹冠部の水分状態が悪化したことを示唆している。

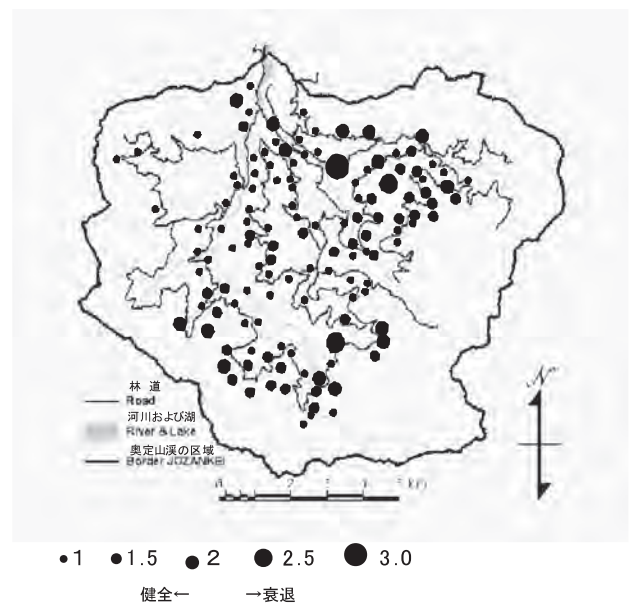


図-1 奥定山溪における針葉樹の衰退度マップ

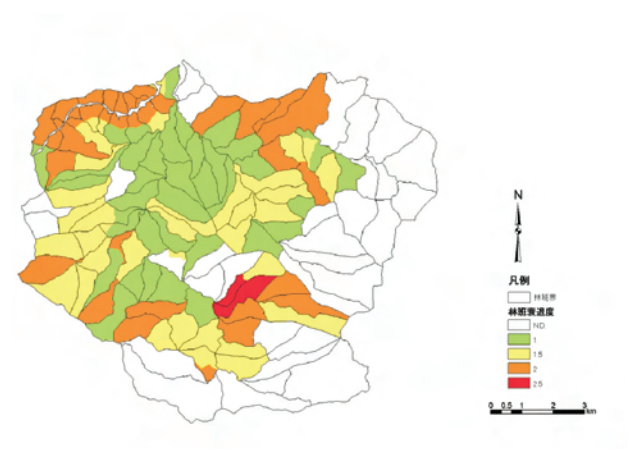


図-2 林分衰退度を林班ごとにGPSに入力しさらに林道から評価対象林分の距離を考慮してより詳細に区分した林分衰退度マップ

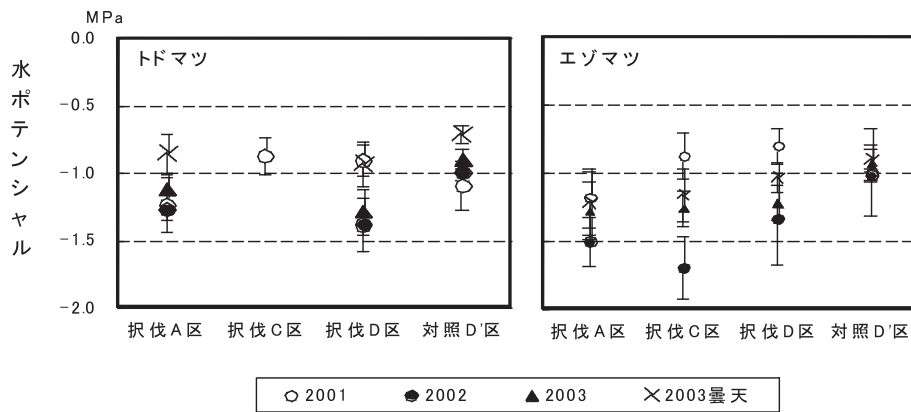


図-3 択伐前後におけるトドマツ・エゾマツ針葉の水ポテンシャルの推移

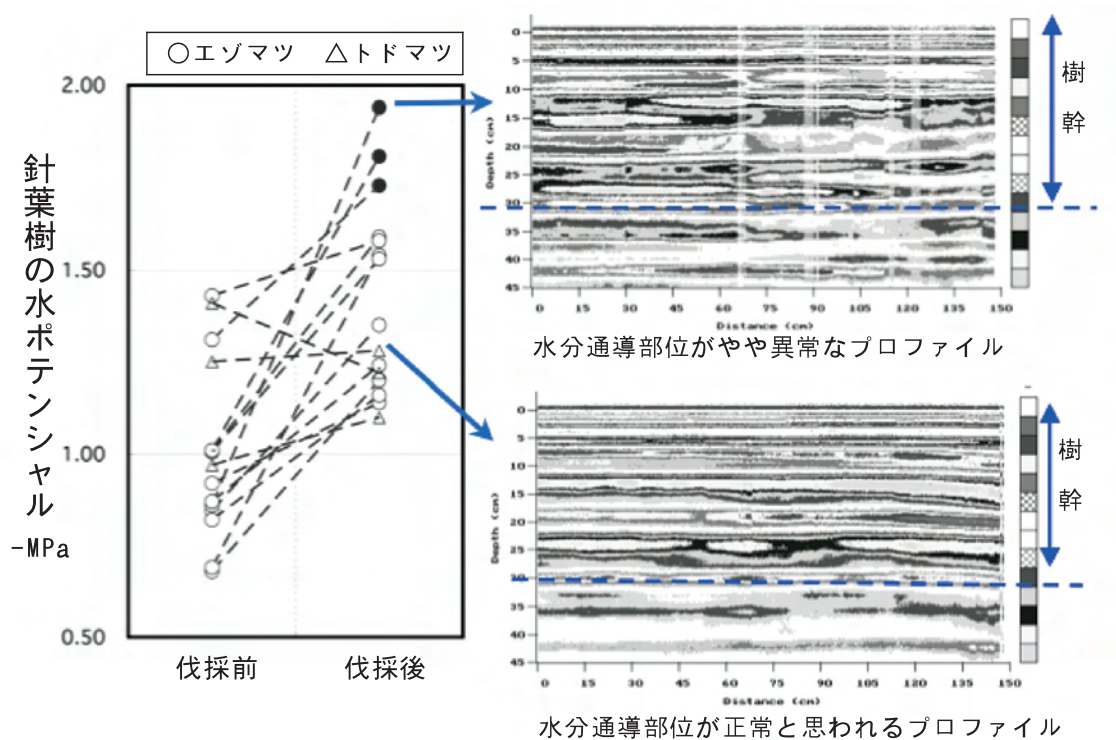


図-4 択伐前後の針葉樹個体の水ポテンシャルの推移

非破壊測定装置による測定では、伐採後に水ポテンシャルが低い値を示したエゾマツ3本（約-1.7MPa以下）において、通導阻害の異常と思われる画像が観察された（図-4）。かなりの水ストレスがかかると非破壊測定装置でも水分通導異常を捉えることができる可能性が示唆された。

〔おわりに〕

樹冠衰退度・水ポテンシャル測定・非破壊測定の3つの手法を、健全性の指標として比較検討し

たところ、後二者は高額な機器を使用し技術習得も難しいこと、多数のサンプルが扱えず、単木的な指標に限定されることから、ある程度の訓練で技術習得が可能で比較的広域の林分単位での健全性指標として使える樹冠衰退度が適していると考えられた。しかし、絶対的な指標ではないため判定が評価者によりばらつくなどの問題点もあり、今後手法を改良していく必要があると考えられる。

2. 択伐林と生物多様性 ―天然林の施業は植生をどう変えるか？―

阿部 真

[はじめに]

生物多様性の研究は、遺伝子から生態系まで対象とするスケールに幅がある。ここでは種や植生構造レベルの多様性について、森林で行った調査・解析の結果を発表する。

天然林はその面積において日本の森林面積の半分強、北海道では6割以上を占めている。人工林だけではまかなえない木材を生産する機能に加えて、近年では水源涵養、景観の保全などの公益的機能、また生態系の保全や種多様性の維持等の機能についても大きく期待されるようになった。そうした多様な機能を損なわないように天然林を今後も利用していくためには、人間活動による天然林の構造や機能への影響を明らかにしなければならない。

択伐施業は北海道で特に広く行われてきた天然林施業である。森林の生態系を乱す影響が少ないと言われてきたが、しかし実際に択伐林の生物多様性を定量的に調べた例は少なく、その評価に用いるための指標は確立されていない。この研究では択伐施業が行われている天然林について、現在の植生構造や種の多様性に強く影響している林分の属性は何かを解析した。それらのうちで、植生構造や種の多様性を評価する指標に使えるものがあるか、またそれらを森林管理に役立てることができるか考察を行った。

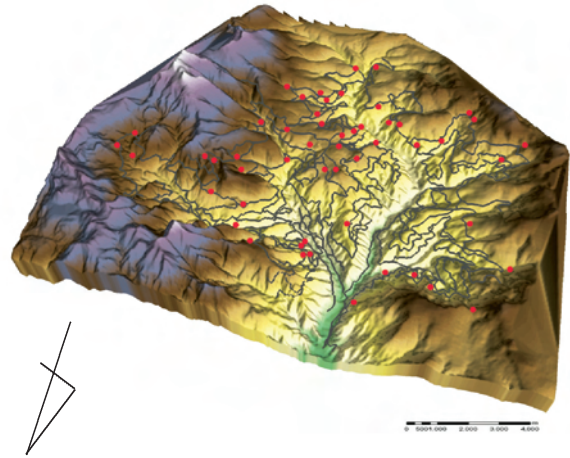


図1 調査地俯瞰図と調査プロット位置

[試験方法]

調査地は今回の他の発表と同じく、北海道中央部にある札幌市南部、奥定山溪地区の針広混交林である。標高400～1300m、市の水源でもある流域約1万5千ヘクタールの国有林で、戦前は御用林としての歴史を持ち、明治20年代からの施業記録が整備されている。

この流域の天然林ではほぼ一貫して択伐（材積比15～30%）が行われてきた。そのうち樹木の天然更新が不良な林分については、更新を促進させるための補助作業が施されている。

主なものはササや土壌の表層を重機ではぎ取る「掻き起こし」、またトドマツなどの苗木を植えて10年前後の期間に草刈りを行う「樹下植栽」であり、いずれも国内では広く行われている。本プロジェクトでは、更新が良好なために補助作業がされなかった場所を含め、49ヶ所の林分で2000年から2002年にかけて植生を調査した（図1）。

それぞれの調査林分では10m×50mの大き

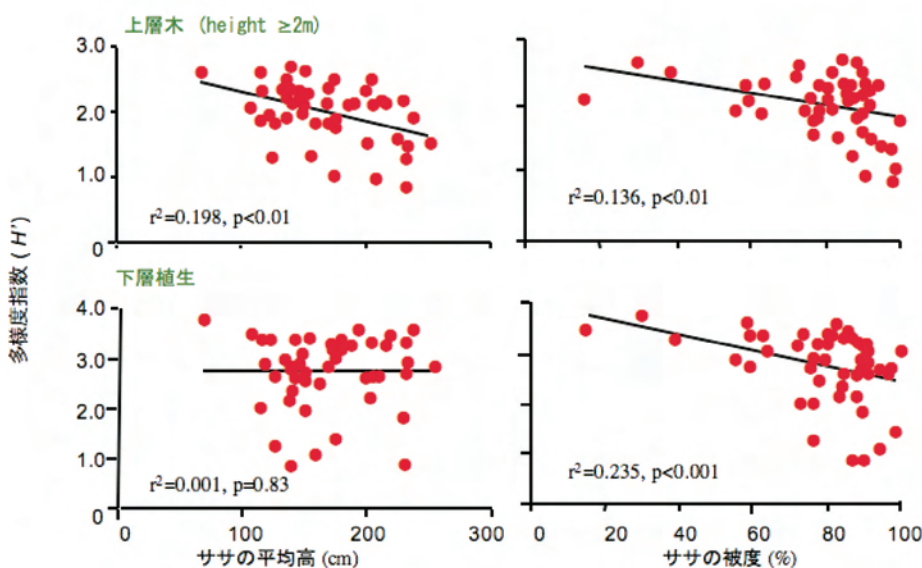


図2 49林分のササ被覆と種多様度

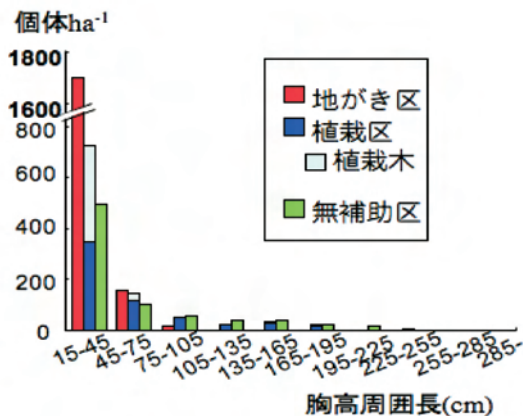


図3 補助作業ごとの毎木サイズ階分布

さの調査プロット（区画）を設けた。内側に成育する樹高2m以上の木本およびツル植物を上層木グループとみなし、毎木調査を行った。胸高周囲長が15cmを超える木本種はその値を記録した。また調査プロットを5m×5mのサブプロット（小区画）20個に分け、コケより高等な維管束植物全種について、種ごとに出現したサブプロット数を記録した。特にササについては、サブプロットごとに被度と群落高を記録した。またそれぞれの種の出現サブプロット数の、全種の出現サブプロット数に対する比を、その種の相対優占度と定義した。

以上の調査に基づく植生構造と、林分の標高、方位、更新補助作業の種類や経過時間等の属性との関係を、多様度指数や多変量解析の手法を用いて解析した。

〔結果と考察〕

1) ササによる被覆と多様性

各調査プロットにおける種多様性を定量的に評価するために、シャノン関数（Shannon-Weaver関数） H' を多様度指数として用いた。これは種ごとの出現サブプロット数と全種の出現サブプロット数との関係から、各調査プロットの持つ構成種についての情報量を表した数値である。値が大きいほど種構成が多様であると理解される。

49の調査プロットでは、ササの平均高が高く、またササの被度が高い場所ほど、上層木の多様度指数が低くなる強い傾向があった。また植生全体のうち上層木グループを除いた下層植生グループでも、多様度指数はやはりササの被度が高い場所ほど低いことがわかった（図2）。このように林分のササの被覆量と種多様度とは負の関係があることが示された。

ササによる被覆は、遮光、物理的占有、植食動

物の庇陰などをもたらす。このためその被覆量が増せば、他の多くの植物の定着や成長の妨げとなり、種多様度が低下すると考えられる。ササより樹高が高い上層木の多様度が低下するのも、新規個体の供給が妨げられるためと推測できる。

一方、伐採や風倒のために林冠が空いて明るくなった林分でしばしばササが繁茂することは、経験的に知られている。択伐はササ被覆を増やす機会になると考えられるので、択伐作業は森林の種多様性を下げたり、特定の種を減少させたりする可能性がある。

2) 更新補助作業と多様性

掻き起こしを行った林分、樹下植栽を行った林分、補助作業のない林分に設定した調査プロットを、それぞれ「地がき区」「植栽区」「無補助区」と呼び、作業ごとの植生構造の違いを調べた。

各プロットの補助作業後の経過年数はさまざまであるが、現在の立木の大きさには明瞭な違いがあった（図3）。地がき区では小径木に著しく偏り、他の区に比べて太い木は見られなかった。天然更新が良好な無補助区では細い個体から太い個体までが見られ、また植栽区では植え込みによって若い個体が補われていることが示された。

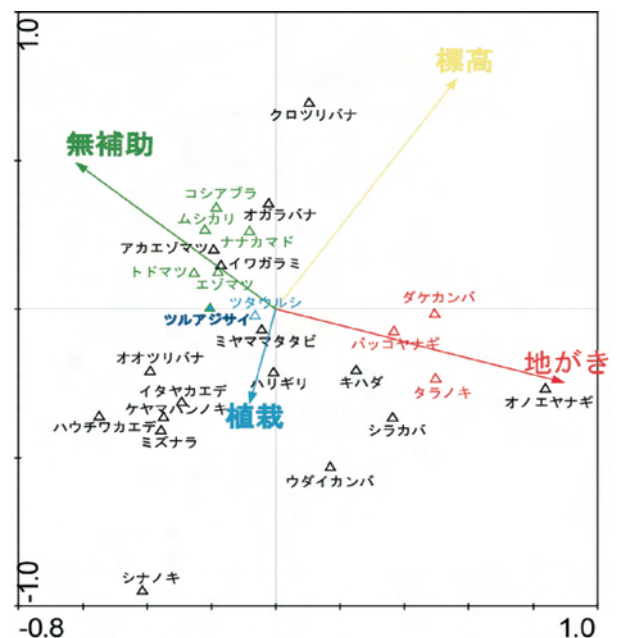


図4 上層木各種の補助作業ごとの偏り

Canonical Correspondence analysis (CCA) による出現種分布。矢印は作業種との関連について、互いの類似性と強さを示す。また作業種と出現種のうち、多重比較検定で有意な組み合わせを色分けした。

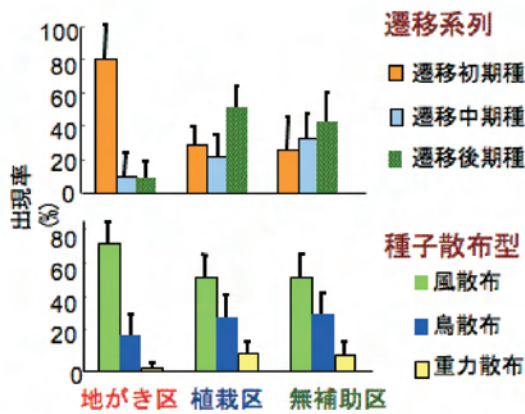


図5 補助作業ごとの上層木構成タイプ

各種の出現傾向も、補助作業ごとに違いがあることがわかった。出現種について補助作業ごとの数学的な分布（図4）や生態的特性による分類（図5）を見ると、上層木（樹高2m以上）では地がき区が他の2区と比較して特異的な傾向を示した。例えば地がき区ではカバノキ属やヤナギ属等の遷移初期に現れる先駆的樹種が多く、掻き起こしによりササが除去された後にこれらの樹種の一斉更新が起きたと考えられる。地がき区に比較すると、植栽区と無補助区とは遷移系列や種子散布様式などの特性で似た種構成を示し、また種多様度についても相対的に高かった（図6）。また下層植生についての比較でも、同じように地がき区が特異的である傾向が示された。

一方、補助作業種によっては、出現種の多様度や構成が作業後の経過時間と共に推移していく傾向があった。例えば上層木の多様度について植栽

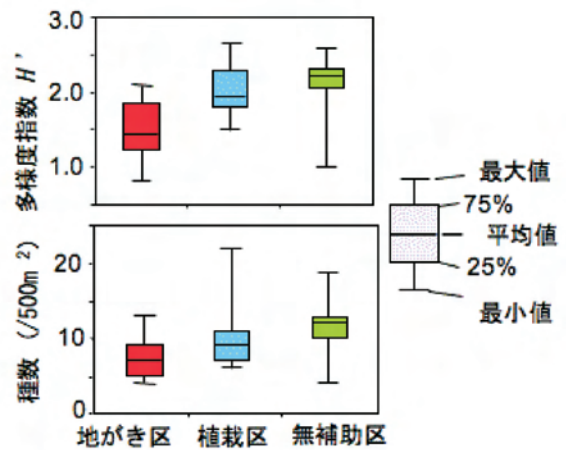


図6 補助作業と上層木の種多様性

区で値が上昇する傾向が示された（図7）。この場合多様度は初期に低いものの、植栽後25年前後で平均して無補助区と同等の値になっていた。しかし地がき区において、また下層植生については明瞭な傾向は示されなかった。

また植栽区における各種の相対優占度の推移から、いくつかのグループを抽出できた（図8）。それによると始めに下層植生でヤマブドウやイタヤカエデ実生が侵入し、下草刈り期間が終わる頃に先駆的な種や大型草本、そしてササが優占するようになる。25年ほど経つと大型草本やササの衰退傾向が見られ、代わって多様な種の本木が優占し始めた。このような推移では、早くに侵入した本木個体が成長と共にササや草本を被覆し、それらを抑制する結果として他の本木種の定着が促進されているのかもしれない。そうならば特に植栽区では、植栽された苗木がその時期を同調させて

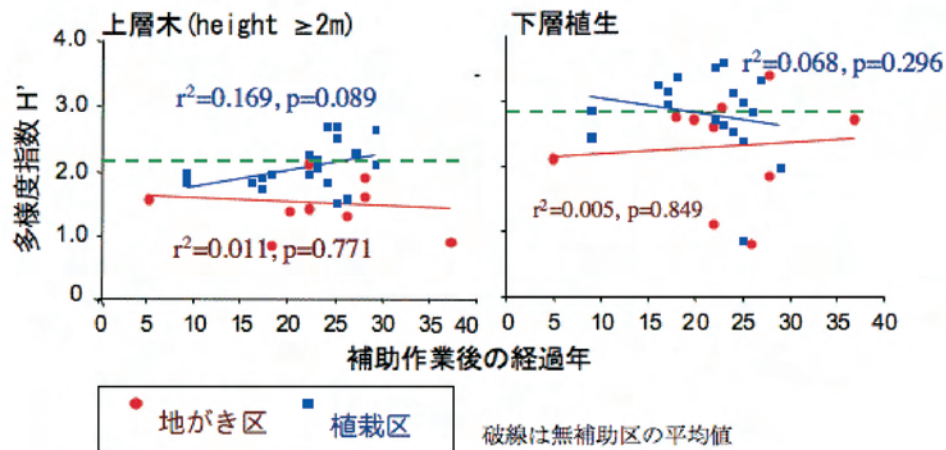


図7 種多様度の経年変化

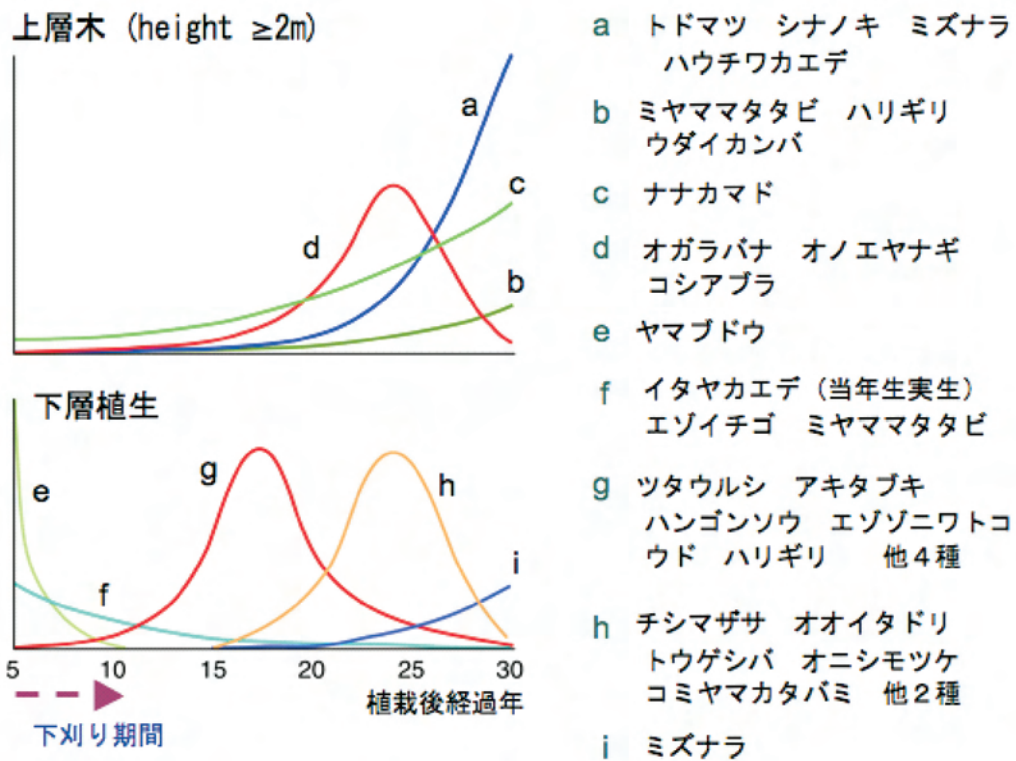


図8 植栽区における優占種の変化のタイプ別模式図

いる可能性もある。地がき区でも構成種の優占度が推移する様子は見られたが、それらを植栽区のようにグループ分けするのは難しかった。

[おわりに]

以上の結果をまとめる。択伐林ではササの被覆により種多様性が抑制される可能性が高い。しかし更新補助作業、特に植栽によって種多様性や群落構造の回復には効果が見られた。ただし地がき区の植生はユニークであり、また植栽区も独自の構成種を擁していた。更新補助作業の行われた林分がいずれ原生的な植生に回帰するかどうかは、現時点では不明である。

一方、植物の種構成や多様度が補助作業種ごとに強い特徴を持つこと、そして優占種や多様度が植栽後に経年変化することを示した。これにより

まず、補助作業種を林分の種多様性の指標にできると考えられる。すなわち施業履歴から林分の種多様性情報をGIS等の高度な管理技術に組み込んだり、地域の多様性マップの作成等へスケールアップしたりすることが可能だろう。また本研究の結果から、択伐とその後の更新補助作業は植生を多様化させているとも言える。森林の多様性を制御する技術を開発できる可能性をも示した。

この研究と結果の一部は、現JICA（国際協力機構）職員の深澤晋作氏の修士学位論文（平成14年度・筑波大学環境科学研究科）として発表された。また調査解析には森林総研の田内裕之、飯田滋生、宇都木玄の研究員各氏、また筑波大学の中村徹教授はじめ教官・学生諸氏の多大なるご協力をいただいた。

3. 持続的森林管理における森林の遺伝的多様性 河原 孝行

[はじめに]

森林を持続的管理していく場合、各個体が長年に生残できること、健全な次世代を自立的に生産できるなくてはならない。そのためには遺伝的多様性に考慮することが不可欠である。それではなぜ「遺伝的多様性」に考慮しなければならないのだろうか。以下に、4つ理由をあげる。

1. 遺伝的多様性が適応・進化・育種の原動力
2. 遺伝的均質化が病虫・気象などにより激害をもたらす可能性
3. 遺伝的多様性低下により有害遺伝子発現確率が高まること
4. 種によっては不和合性遺伝子をもち、均質化すると次世代が形成できない

しかし、一方で遺伝的多様性を測定することについて技術・資金以外にもまだ論じられていない多くの問題点がある。本稿ではそれについて論じたい。

[モントリオールプロセスにおける遺伝的多様性指標の妥当性の検討]

モントリオールプロセスには7つの基準と67の指標が提案されている。基本的に国レベルの指標である。遺伝的多様性に関しては以下の部分が該当する。

基準1：生物多様性の保全

生態系の多様性

種の多様性

遺伝的多様性

指標8：分布域が狭くなっている森林依存種の数

指標9：多様な生息地を代表する種の、それらの分布域にわたってモニタリングされている集団（個体数）のレベル

指標8では分布域が狭くなることで遺伝的多様性が減少することを考慮している。しかし、植物では生物地理学的な構造を持つことが知られる。たとえばブナ(4,5)やオオシラビソ(3)では大面積で連続した分布をもつ東北地方で遺伝的多様性が低く、種の分布の西または南の方で遺伝的多様性が高い。これらは地史的な要因に大きく影響されている。このことは種ごとに分布域のどの辺がどう小さくなるか、ということの意味合いが異なっていることを意味する。さらに、この指標では「森林依存種の数」となっているが、それぞれの種の持つ遺伝的多様性の意

味合いが異なることから「種数」の多寡では比較が難しいことになる。

指標9は、大型鳥獣のように広域な範囲を生活の場とする生物がモニタリング対象として当てはまると考えられる。しかし、林業で利用される樹種との相関は不明であり、また、大型鳥獣はそもそもその分布できるところが限られているため、どこにでも当てはまるというわけにはいかない。大型鳥獣の場合、集団や個体数のモニタリングそのものも観察によるふれが大きく、信頼できる数値を得るのは簡単でない。

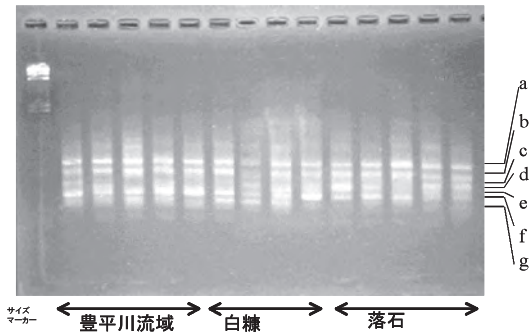
以上のように、モントリオール・プロセスに掲げられている指標をそのまま現状の持続的森林管理の指標とすることは難しい。特に、日本のように東西南北で森林タイプが異なる場合、森林管理を画一的な指標でひとまとめに行うことは遺伝的多様性に関する限り適当でない。指標を適用する範囲を決めることが必要である。

[遺伝的多様性に関する指標の適用範囲]

持続的森林管理を行う中で、その管理の単位は遺伝的に均質であることが望ましい。前項で議論したように、異なる遺伝的多様性を持つところではその減少の衝撃が程度により異なるためである。育種の観点から、トドマツでは産地によって生理的特性が異なること(1)から育種区を設け、区間の移動を制限している。アカエゾマツについても同様の報告がある(2)。

本研究では、持続的管理を行っていくに当たり遺伝的に均質と見なせるスケールを推定するため、北海道内の石狩（豊平川流域）、白糠、根室のトドマツ3集団間で、DNAマーカーの1種であるRAPD（Random Amplified Polymorphic DNA）を用いて、直接に遺伝的な違いを調べた。ここでトドマツは北海道の主要択伐木の1つであり、森林利用によって直接もつとも大きな影響を受けると考え、材料に選択した。

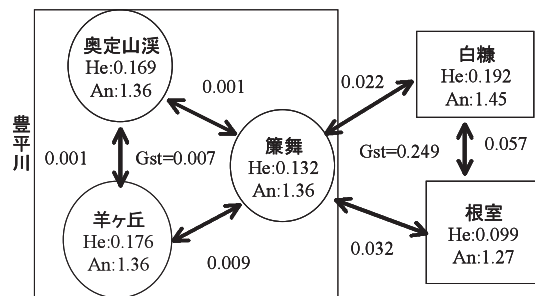
OPERON社のRAPDプライマー80種類を事前にスクリーニングし、多型性が高く、安定してDNAが増幅される2種類のプライマーOPD-15およびOPD-20を選択した。各集団の個体ごとにアガロースゲル電気英道により検出されるバンドの有無を記録した。OPD-15、OPD-20でそれぞれ7本、4本のバンドが検出された。バンド毎にプライマーと大きさの順の組み合わせでD-15a, D-15b・・・D-20a, D-20b,・・・と命名し、



図－１．OPD-15によるRAPDの電気泳動像

表－１．地域間の対立遺伝子頻度

遺伝子座	豊平側流域 (簾舞)	白糠	落石
D-15a	1.00	1.00	1.00
D-15b	1.00	1.00	1.00
D-15c	0.00	0.40	0.40
D-15d	0.40	0.40	0.60
D-15e	0.40	0.00	0.00
D-15f	1.00	1.00	1.00
D-15g	0.00	0.80	0.00
D-20a	0.38	0.60	0.00
D-20b	1.00	1.00	1.00
D-20c	0.00	0.20	0.30
D-20d	0.50	0.30	1.00



図－２．流域間および流域内の遺伝的多様性と遺伝的分化

矢印の数字は集団間の遺伝的距離、He：遺伝子多様度、An：平均対立遺伝子数、Gst：遺伝子分化係数

集団内で任意交配を行っているとは仮定して、対立遺伝子頻度を求めた(図－１)。また、豊平川流域内の集団間の遺伝的な違いを比較した。この結果、流域間での違いは遺伝的距離は0.022～0.057、遺伝子分化係数Gst=0.249と大きかった。一方、豊平川流域

内では遺伝的距離は0.001～0.009、Gst=0.007と違いがわずかであった。遺伝的多様性は白糠で高く、豊平川や根室ではやや低かった。以上の点から持続的森林管理に用いるべき遺伝的多様性モニタリング指標のレベルは遺伝的違いが少ない流域単位で用いるのが望ましいと考えられる。

[遺伝的多様性の指標]

それでは遺伝的多様性の指標として何を用いるのが望ましいだろうか。上記のように直接遺伝マーカーを用いてモニタリングできれば正確であるが、設備・技術・資金を要する。上記の結果から、流域内レベルでは、トドマツのような風媒性主要択伐対象木ではその中で遺伝的構造を持ちにくいため、次世代の生産にかかわる成木数と遺伝的多様性の程度が相関している。集団遺伝学的には $H_t+1=(1-1/2N)H_t$ ここで、 H_t はt世代の遺伝子多様度、Nはその時の有効集団サイズ(繁殖に関わる個体数)と示される。すなわち、集団内で無作為交配を行っているならば突然変異や他からの遺伝子の供給がない限り毎世代1/2Nずつ多様性を減ずることになる。このように、成木数を知ることによって遺伝子多様度の減少度合いをモニタリングできることになる。成木の本数は適当な条件を与えてやることで推定可能であり、GISや空中写真などへのデータへも応用可能であることから、流域を持続的森林管理の単位とできる場合、成木本数を遺伝的多様性モニタリングの指標として最も有効であり、適当である。

[引用文献]

- (1) 栄花茂(1997) トドマツ(1)産地によってどんな違いがあるのか。北海道の森林作りと林木育種，北海道林木育種協会編，p17-18.
- (2) 来田和人(2002) アカエゾマツ精英樹の通信簿．光珠内季報 127:14-17.
- (3) Suyama, Y. *et al.* (1997) A cline of allozyme variation in *Abies mariesii*. J. Plant Res. 110: 219-226.
- (4) Tomaru, N. *et al.* (1997) Genetic diversity in *Fagus crenata* (Japanese beech): influence of the distributional shift during the late-Quaternary. Heredity 78: 241-251.
- (5) Tomaru N. *et al.* (1998) Interspecific variation and phylogeographic patterns of *Fagus crenata* (Fagaceae) mitochondrial DNA. Am. J. Bot. 85(5): 629-636.

4. 流域レベルの生物多様性評価 ―奥定山溪国有林の生物多様性―

高橋 正義

[はじめに]

1992年にブラジルのリオ・デ・ジャネイロで開催された国連環境開発会議以降、持続可能な森林管理の重要性が認識され、持続可能性に関する科学的に信頼できる基準及び指標に関する取り組みが様々なになされている。日本は、いわゆるモントリオールプロセスの参加国として、温帯林等の保全と持続可能な経営のための国レベルの基準・指標の策定とそれに基づく国レベルの評価報告を行っている。こういった取り組みがなされる中で、地域や流域レベルでの持続可能な森林管理の重要性も広く認識され、地域や流域レベルの指標の開発が求められている。特に地域や流域レベルの生物多様性に関する基準や評価は、林分レベルの調査結果や科学的根拠に基づき、地域や流域レベルにスケールアップして評価する手法の開発が必要である。

そこで、奥定山溪国有林を対象に種の多様性および遺伝的多様性について、林分レベルの現地調査によって得られた科学的根拠に基づいたスケールアップモデルを作成し、空中写真や施業管理情報等の各種の情報を用いて、対象流域の生物多様性を評価した。

[対象地]

対象地は札幌市の南端に位置する石狩森林管理署管内の奥定山溪国有林である。面積約11,000 haの亜寒帯性針広混交林が広がる国有林で、高密路網に基づく天然林択伐施業が30年以上渡って続けられている。また、支笏洞爺国立公園や漁岳周辺森林生態系保護地域支笏・無意根緑の回廊に指定され、札幌市民の水道水源地域でもあることから、多面的機能に配慮した森林施業が求められている森林である。

[研究方法]

生物多様性の評価は、生物多様性に関する科学的根拠に基づいたタイプの分類基準を作成したうえで、対象地全体をタイプ区分し、区分毎の面積を把握する方法で行った。

一般に、生物多様性は遺伝子、種、生態系の3つのレベルに分けられるが、流域レベルの場合、生態系の多様性を評価が行えるほどの広がりがないため、遺伝子および種の多様性で評価した。

択伐天然林における種の多様性を評価するにはまず、上層木の種構成を把握することが重要であることが過去の研究で明らかになっている。また、49プ

ロットの現地調査から、下層植生の評価には北海道の天然択伐林でしばしば行われる更新補助作業と深い関係があることが明らかになった。そこで、種の多様性を上層木の多様性と下層植生の多様性の二つに分け、それぞれについてタイプ区分を作成した。上層木のタイプ区分は、空中写真判読に用いられる林型区分に用いられる判読要素の一つである樹種群を援用し、生物多様性の評価に適するよう簡略化し、針葉樹林、混交林、広葉樹林、育成天然林・人工林、高山帯、ササ地、未立木地の7区分としたものを作成した。

下層植生は更新補助作業の有無や種類（地がき、植え込み）、作業からの経過年数などによって異なることが現地調査結果から明らかになったため、国有林が管理する施業情報のうち、更新補助作業に関するものを用いてタイプ区分を作成した。まず、更新補助作業の種類は、地表処理なし、人工植栽、地がきの3つに区分した。経過年数は、研究結果から、1-10年、11-20年、21年以上の3つに区分し、人工植栽と地がきに区分されるものを細区分するようにした。更新補助作業は、上層木が存在するところのみ行われる作業であり、標高が高く、上層木がないところでは行われない。そこで、上層木の区分のうち、高山帯、ササ地、未立木地を下層植生の区分にも援用した。従って、下層木のタイプ区分は、地表処理なし、1-10年が経過した人工植栽、11-20年が経過した人工植栽、21年以上が経過した人工植栽、1-10年が経過した地がき、11-20年が経過した地がき、21年以上が経過した地がき、種類や経過年数が不明な地表処理、ササ地、無立木地、高山帯の11区分である。

遺伝的多様性は、各樹種毎に評価する必要があるが、対象地域内のすべての樹種についてタイプ区分を作成することは事実上不可能である。そこで、主要な伐採対象の木本種で、風媒である北方系針葉樹3種（トドマツ、エゾマツ、アカエゾマツ）のみを対象にすることにした。また、既存の研究等から、遺伝子の交配源の一つである花粉の交流度合いが遺伝子レベルの多様性と深いつながりがあり、花粉の交流度合いを遺伝的多様性の評価に代替することが可能であることが明らかである。そこで、花粉の親となる本数を用いたタイプ区分を作成した。まず、森林調査簿に記載のある小班毎の平均直径と現地のプロット調査から得られた樹高曲線を用いて、小班毎の平均受講を推定した。次に、花粉を生産するこ

とが出来る成木の本数割合を成熟係数と定義し、成熟係数と平均樹高が9m以下の場合は0%、10から15mまでは1m増加する毎に5%ずつ増加し、16m以上は30%となると仮定した。さらに、施業管理情報をもとに花粉をつけることができる成木の本数を推定した。さらに、森林調査簿に記載のある、小班毎、樹種毎のhaあたり平均本数、面積割合、混交割合と推定した成熟係数を掛け合わせ、成木の本数を推定した。風媒花の花粉は母樹から遠くなればなるほど非算数が減少するという関係があることから、散布される花粉の飛散を考慮するためのモデルを既往の研究から援用し、花粉の親となる本数を推定した。推定の際に必要な花粉の平均飛散距離は既往の研究結果などを参考に100mと仮定した。

流域全体の評価は、上層木、下層植生、3種の遺伝的多様性に関するタイプ区分を重ね合わせたタイプ区分を用い、30m×30mのセル単位で評価した。

[結果と考察]

上層木のタイプ区分に従って対象流域を区分したところ、おおむね半数が針広混交林に、また約1/4が広葉樹林に分類された。針葉樹林と育成天然林・人工林はそれぞれ約1割を占めていた。高山帯とササ地はそれぞれ5%程度で、無立木地は極わずかであった。従って、上層木から見ると奥定山溪国有林は針葉樹、広葉樹を問わず、多様な種で形成される亜寒帯性針広混交林が半数を占めており、木本種が少ない高山帯やササ地、無立木地が全体の1割程度と少ないことから、上層木の多様性が比較的高い流域であるといえる。

下層植生のタイプ区分による分類の結果、ほぼ半数が更新補助作業なしであった。人工植栽が行われた地域は全体の約1/4強であり、その半数以上が植栽後20年以上が経過した林分で、10年以下はほとんどなかった。地がきが行われた林分は全体の約1割程度で、そのうち11年から20年が経過した林分が6割程度、21年以上が経過した林分が4割程度を占めており、10年以下の林分は極わずかであった。従って、全体の約4割で更新補助作業が行われていたことになる。更新補助作業を行えば下層植生の多様性は高まること、経過年数によって、種の構成が変わること、作業から21年以上が経過している林分は上層を占めることができる広葉樹を中心とした木本種が増加し始めること等が現地調査から明らかになっている。従って、対象流域の約4割が更新補助作業によって種の多様性が高まる状態にあり、地がきよりも人工植栽が行われた地域の方がより早くから施業が行われていることから、上層を占める木本種

が現れている可能性が高い。更新補助作業が行われていない地域は、更新補助作業が必要ないほど良好な更新状態があるか、更新補助作業が適さない地域が含まれていると考えられる。これらの地域について下層植生の多様性をより正確に知るには何らかの追加的調査が必要であろう。

遺伝的多様性を評価した3樹種ではそれぞれに特徴のある分布を示していた。まず、流域全体にほぼ分布していたのはエゾマツで、おおむね流域全体に花粉の交流が可能な状態であることが明らかになった。トドマツもおおむね流域全体で花粉の交流は可能であるが、花粉親となる樹木の本数が多く、より多様な交流が可能な地域は比較的低標高の地域で、沢沿いに広がっていた。アカエゾマツは対象流域では点在することから、花粉交流が可能な地域は3つに分断されていることが明らかになった。以上のことから、遺伝的多様性から見ればエゾマツ、トドマツは多様な状態が保てる可能性が高いが、アカエゾマツは局在し、分断されているため、伐採などの施業面で十分な配慮が必要であるといえる。実際には、また、対象流域内は密なササで覆われている林分も多く、針葉樹の更新が不十分である可能性がある。したがって、遺伝的多様性を維持するためには、対象地域内のあちこちで採取した種子から苗木を生産し、人工植栽するなど更新面からの配慮を検討する必要があるだろう。

最後に層木および下層植生の多様性、針葉樹3種の遺伝的多様性をすべてを統合した流域全体のタイプ区分を作成して、流域全体の状態を推定した。その結果、339のタイプが確認できた。最も広い面積を持つタイプはエゾマツの花粉親となることのできる大木が点在する広葉樹林で地表処理されていない林分であり、全面積の7.74%を占めていた。また、上位5つのタイプで全体の約3割を占めていた。流域全体の多様性に関する詳細な分析が必要ではあるが、天然択伐施業が行われている対象流域は比較的多様な状態で維持管理されていると推察された。

[おわりに]

生物多様性の重要性は理解できても、森林管理の現場にはなかなか応用できていないのが現状である。今回提言した方法を応用すれば、近い将来、生物多様性に配慮した森林管理が可能になるであろう。

5. 広域レベルで見る森林の多様性

鷹尾 元

[はじめに]

持続的森林管理のための基準と指標には、そのような森林管理を実現するために、あらゆる立場の関係者が一緒にその森林を理解する土台となることが期待されている。そのためには、地域の特徴と必要に根ざしていることと、広い範囲に適用でき誰もが理解できるものであることが求められる。地域の森林植生の外見的特徴とその機能との関係は科学的知見により裏付けられていなければならない。一方、指標を広域の森林に適用しかつすべての関係者に議論の基盤を提供するためには、指標は測りやすくかつ理解しやすいものが求められる。

リモートセンシングとは対象に触れずに観測する技術であり、航空機や人工衛星から地表の森林を観測する手法は広く用いられてきた。リモートセンシングによれば、地上からでは到達不可能な地点も含め一度に広域を観測でき、これまで蓄積されたデータにより過去に遡ることもできる。森林の状態を広域で均質に観測し記述できるリモートセンシングは、指標を求める有効な手段である。そこで、択伐施業林の多様性の指標として、過去の衛星画像を用いて択伐施業林内の攪乱と変化の履歴をさかのぼり、現在の攪乱後年数を推定する手法を考案した。

モニトリオールプロセスによる生物多様性の保全基準には、生態系の広域的な多様性を示す森林タイプと齢級または遷移段階ごとの面積が指標として挙げられている。択伐施業林では齢級はないが、伐採、更新補助作業あるいは災害などによる林地攪乱後の経過年数の分布が、その森林の多様性を示す指標となりうる。

[試験方法]

用いた衛星画像は1985年から2002年の夏に2~4年おきに撮影された7枚のランドサットTM(またはETM+)画像である。これらの画像は太陽光の地表からの反射を7つの波長帯に分けて観測する光学センサー画像であり、地上分解能は30m、1シーンで一度に約180km四方の地表を観測する。

択伐、地がきなどの施業が行われると、地表を覆っていた植物が取り除かれ、土壌が露出して、衛星画像上で検知される。数年後にササなどの植生が回復すると再び土壌は覆い隠されて見えなくなる。また、うっ閉していた林冠が疎開するとチ

シマザサなどササが繁茂し、更新困難となってササ原となる場合がある。一方、地がき・植え込みなどの施業により立木が更新すると、ササ原が減少する。このように、露出した土壌やササ原の分布とその消長は、択伐施業が景観に残した痕跡であり、これらから施業の頻度や成否を推定することができる。そして、過去から現在までの衛星画像の組み合わせにより、過去に遡って痕跡を見出すことができる。

ここでは、まず衛星画像によりある年の植生区分(閉鎖林とササ地の区分および針広混交率)を行い、ササ地の変遷を明らかにした。また、施業等による土壌露出の検知を過去に遡りモニタリングした。

対象地は奥定山溪国有林である。ここでは択伐施業が長く行われており、その履歴は森林管理簿として記録されているので、衛星画像による解析結果を検証できる。また、1997年前後に多くのプロットで植生調査を行った。

[結果と考察]

森林植生の分布は1997年に取得されたTM画像の分類により行った。地形データにより斜面補正されたTM画像の教師なし分類を行い、地上調査点や空中写真判読と比較して精度を検証した。その結果、ササ地は72%の精度で抽出された。

また、針広混交率は、調査地ごとに分類された画素の針葉樹・広葉樹それぞれの重み付け平均をとり、その比から現地調査による針広の胸高断面積比(逆コサイン変換)を推定した。その結果、 $R^2 = 0.57$ ($n=32$, $p<0.01$)で胸高断面積比が表された(図-1)。

これらの結果から、ササ地と針広混交率は衛星画像から推定できることが明らかになった。針広混交率は画素ごとに決定するのにはばらつきが大きく検証も難しいが、林分(小班や試験地)の範囲で分類結果を集計することにより、精度が向上した。なお、胸高断面積の絶対値について、針葉樹については $R^2 = 0.46$ ($n=32$, $p<0.01$)で推定されるが、広葉樹については $R^2 = 0.07$ ($n=32$, $p>0.05$)となり推定できなかった。また、地形データによる画像の斜面補正は分類精度を高めた。衛星からの観測では得られない地形という地理情報を併用する利点が認められる。

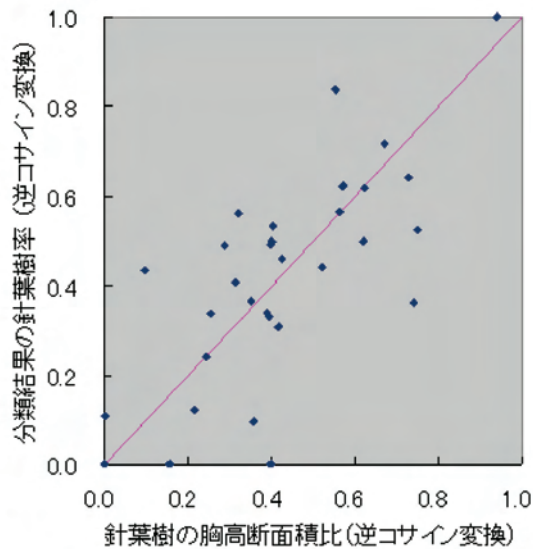


図-1 林分の針広混交率(断面積比)の推定

この結果を元にして、1985年および2002年当時のササ地の分布をそれぞれの画像から推定した。そしてそれらを重ねあわせ、1985年と2002年の分布を比較した。その結果、高標高地の大面积ササ地には殆ど変化がないが、中標高地以下のパッチ状のササ地は植え込みや人工造林と考えられる施業の成功により減少した。一方、盛んに択伐が行われた地域を中心に土場程度の大きさのササ地が多く出現した。

次に、1985年から2002年までに発生した施業のモニタリングを、林床が攪乱されて土壌が露出することに注目し、正規化土壌指数(NDSI)の変化抽

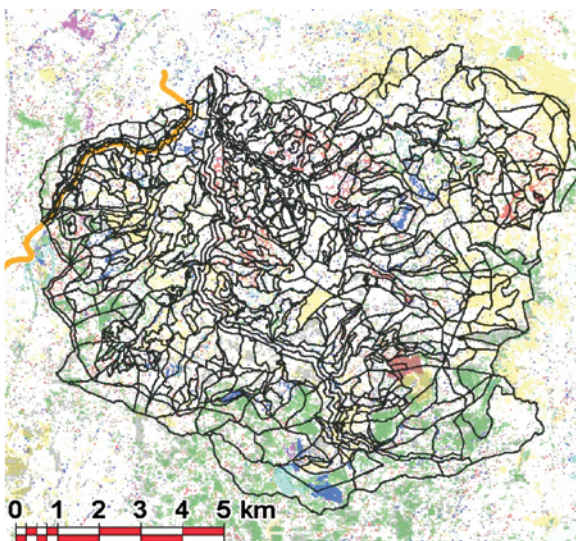


図-2 衛星画像より推定された攪乱履歴

■ 1985-88、■ 88-90、■ 90-93、■ 93-97、
■ 97-99、■ 99-2002、■ ササ

出により行った(図-2)。これは、各時期のTM画像についてNDSIを算出し、相前後する2次期の画像の間のNDSIの異常変化を抽出するものである。

抽出された林床攪乱地点を森林簿による記録と対比して精度を評価した。その結果、施業後1年以内であれば80%以上の抽出率で施業が確認された。2年後にはほぼ80%以上であったが40%まで低下した場合もあった。3年後にはおよそ70~30%となった(図-3)。

施業後の年数とともに抽出率が低下するのはササなどの林床植生が急速に回復して露出していた土壌を多い上空から見えなくするからであると考えられる。このため、土壌の攪乱により施業の頻度をモニタリングするためには、少なくとも隔年で画像を取得する必要がある。

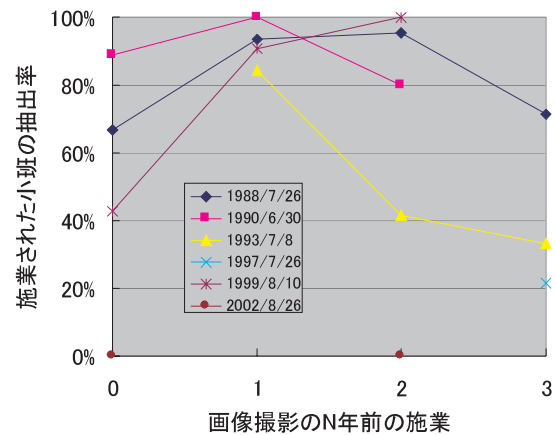


図-3 攪乱経過年数と抽出率

[おわりに]

衛星画像を用いることにより広域性、持続性、過去への遡及性を活かし、衛星画像から観測可能な事象と地上で計測された知見を組み合わせ、北海道の択伐施業に資する指標となりうる。特に、施業の履歴が不明またはそれに信頼を置けない場合には、経営主体とは独立した衛星画像により施業の履歴を回復できる有効な手法である。また、このような出力は、森林の利害関係者間の議論のたたき台として、非常に有効なものであると考える。

VI. 研究資料

平成16年度羊ヶ丘実験林における鳥類標識結果

[はじめに]

北海道支所羊ヶ丘実験林内において、1991年より（川路則友現鳥獣管理領域長開始、1997年より筆者）鳥類の標識調査が行なっている。本調査は環境省鳥類標識事業のボランティアをかねて行なっており、結果は委託先である山階鳥類研究所に報告している。調査毎に設置した霞網数や調査時間、主な対象鳥種が異なっているため、必ずしも厳密な科学的比較ができないが、長期観測に基づく羊ヶ丘実験林の鳥類相の変化を概観するための資料としてここに報告する

[試験方法]

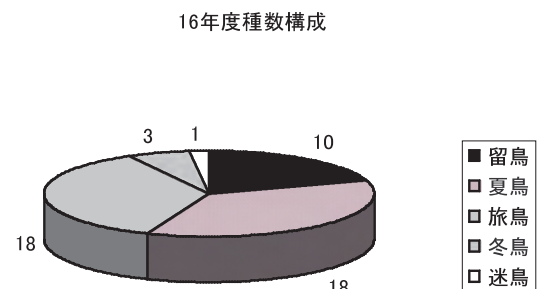
平成16年度は4月16日から11月15日にかけての64日間調査を行なった。通常、日の出30分前より調査を開始し、8～9時に終了した。30, 36, 61mmメッシュの霞網を6～25枚用いた。捕獲された鳥は鳥種・性・年齢を記録し、アルミ製リングを装着して再放鳥した。すでに、リングのついている個体はリング番号を記録した。

[結果と考察]

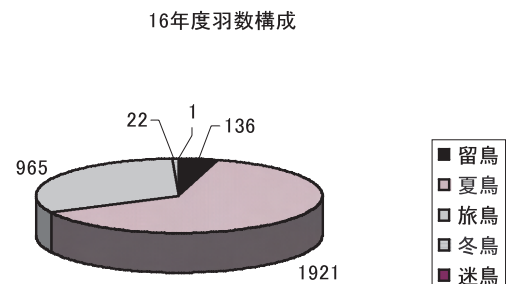
表－1（p71参照）に調査全期間を通じての放鳥数を記載してある。合計で50種類が放鳥された。このうち、新放鳥数は2872羽で、再放鳥数は173羽であった。新放鳥数はアオジ(932羽)、ルリビタキ(525羽)、ノゴマ(321羽)の順で多かった(表－2)。アオジは例年通りもっとも多かった。ルリビタキは平成15年度、16年度と続けて2位となり、放鳥数が増加している。ノゴマは年次変動が激しく13年度から15年度にかけて放鳥数の少ない年が続いたが16年度は多かった。ノゴマは春季林内を通過する個体数の変動は小さいが、秋季は天候により大きく移動パターンを変えるためかもしれない。クロツグミは16年

度4位であった。全体に放鳥数が低下傾向にあるが、これは調査地(3林班は小班)のケヤマハンノキやナギ林が成長し、網を設置している3.5mの高さにかかりにくくなったであると推定される。

標識された50種の内訳は、夏鳥（アオジ、クロツグミなど）と旅鳥（ルリビタキ、コマドリなど）と



図－1 平成16年度放鳥種の渡り鳥の種構成



図－2 平成16年度総放鳥数に占める渡り鳥の羽数構成

表－2 新放鳥数上位種の年変動

年度	9年度	10年度	11年度	12年度	13年度	14年度	15年度	16年度
新放鳥数	1280	2531	1995	2007	2341	2884	2347	2849
順位	1	2	3	4	5	6	7	8
1	クロツグミ (252)	アオジ (927)	アオジ (746)	アオジ (764)	アオジ (894)	アオジ (1310)	アオジ (727)	アオジ (930)
2	アオジ (212)	クロツグミ (442)	クロツグミ (247)	クロツグミ (306)	クロツグミ (234)	クロツグミ (358)	ルリビタキ (352)	ルリビタキ (525)
3	ヤブサメ (179)	ノゴマ (219)	ノゴマ (223)	ノゴマ (277)	ヤブサメ (226)	ヤブサメ (183)	クロツグミ (212)	ノゴマ (321)
4	ノゴマ (70)	ルリビタキ (219)	ルリビタキ (171)	ヤブサメ (136)	ルリビタキ (142)	メジロ (153)	クロジ (154)	クロツグミ (211)
5	コルリ (68)	メジロ (133)	ヤブサメ (140)	コノハズク (76)	クロジ (86)	ノゴマ (133)	ヤブサメ (134)	メジロ (136)

表-3. 平成16年度羊ヶ丘実験林放鳥・回収状況

種名	N	Rp	Rt	Rc	総計
1 オカ	1				1
2 ハイカ	1				1
3 ヤマシギ	3		3		6
4 コノハシク	6				6
5 オコノハシク	1				1
6 アカゲラ	4			1	5
7 ビンズイ	3				3
8 モス	1				1
9 ミササギ	14				14
10 カクゲリ	3				3
11 コマドリ	18				18
12 ノコマ	321	2			323
13 コルリ	30	18		3	51
14 ルビィタキ	525	11			536
15 マジロ	3				3
16 トラツグミ	1				1
17 クロツグミ	219	7		3	229
18 アカハラ	17				17
19 シロハラ	7				7
20 マチヤジナイ	5				5
21 ヤブサメ	98	7		5	110
22 ウグイス	130	12			142
23 シマセンニュウ	1				1
24 コシキリ	1				1
25 緑シムシクイ	10				10
26 エゾシムシクイ	8				8
27 センダイムシクイ	20	2		6	28
28 キビタキ	81	4		3	88
29 ムギマキ	5				5
30 オオルリ	5				5
31 サメビィタキ	1				1
32 コサメビィタキ	4				4
33 エナガ	6	2		1	9
34 ハシブトガラ	15	4		7	26
35 コガラ	5	2			7
36 ヒガラ	11	1			12
37 ヤマガラ	8				8
38 シジュウカラ	51	5		4	60
39 ゴジュウカラ	3				3
40 キハシリ	2			1	3
41 メジロ	137	16		1	154
42 カウカ	15				15
43 ミヤマオジロ	2				2
44 アオジ	932	19	14	1	966
45 クロジ	101	7	1		109
46 マヒワ	14				14
47 ベニマシコ	13				13
48 ウツ	6				6
49 カス	3				3
50 ヨロツバコマドリ	1				1
総計	2872	122	50	1	3045

N:新放鳥、Rp:同所で6ヶ月以内に再捕獲されたもの、Rt:同所で6ヶ月以上を経て再捕獲されたもの、Rc:5km以上離れた場所で回収されたもの

もに18種で、前年と変わりがない。留鳥10種（シジュウカラ、ハシブトガラなど）で、羊ヶ丘実験林内で繁殖していると考えられるものが28種56%を占めた（図-1）。この値は前年の58%とほぼ同じである。羽数で見ると、夏鳥が63%を占めたが、これはアオジ・クロツグミなど捕獲数上位種が含まれるためである（図-2）。しかしこれらの鳥も実験林内で繁殖したと考えられる個体の占める割合は少なく、多くは春秋に捕獲される移動個体である。15年度は64%であったので傾向は変わりがない。

種別の新放鳥、再放鳥（リングが装着された個体が再捕獲され、番号確認後放鳥されたもの）を表-3に示した。なお再放鳥はRp（前回捕獲後6ヶ月以内に同所で再捕獲されたもの）、Rt（前回捕獲後6ヶ月以上を経て同所で再捕獲されたもの）、Rc（最初に標識した場所より5km以上離れた地点で回収されたもの）に区分されている。Rpは17種122個体、Rtは13種50個体、Rcは1種1個体であった。当地での移動回収個体の割合は0.03%と相変わらず低かった。なお当該個体は浜頓別で標識されたアオジ雌成鳥であった。Rt個体のうち、鳥種別に最長の期間を経過したものまたは5年以上経過したものを表-3に掲げた。

16年度はハシブトガラで7年8ヶ月を経過した個体が最長記録となった。これまでハシブトガラで9年4ヶ月経過した個体が再捕獲されており、ハシブトガラでは寿命が同サイズ他種の小鳥に比べ長い可能性がある。また、センダイムシクイで5年11ヶ月経過した個体が再捕獲された。これまでの最長記録は1年11ヶ月であったので、異例に長くまで生存している記録である。クロツグミでは3年8ヶ月経

表-4. 16年度中に最長または5年以上経過して同所回収された鳥種別記録

リング番号	種名	性	齢	回収日*	初放鳥日*	経過年・月
57339	アオジ	F	A	20040506	19981006	5. 7
02F 48223	アオジ	M	A	20041005	19981013	5. 11
05C 08928	アカゲラ	M	A	20041010	20021006	2. 0
01D 10751	エナガ	M	A	20040503	20020503	2. 0
01C 85721	キハシリ	M	A	20040418	20010419	3. 0
01D 10873	キビタキ	F	A	20040515	20020629	1. 10
03D 53729	クロジ	F	A	20040920	20031007	0. 11
04B 96896	クロツグミ	M	A	20040521	20000905	3. 8
02T 38552	コルリ	M	A	20040523	20030515	1. 0
02T 38470	シジュウカラ	M	1S	20040506	20030501	1. 0
01C 18094	センダイムシクイ	M	A	20040505	19980609	5. 11
02H 83842	ハシブトガラ	M	A	20040508	19960830	7. 8
01D 77200	メジロ	F	A	20040502	20030612	0. 10
01D 10403	ヤブサメ	U	A	20040509	20010919	2. 7

※: はじめの4ケタは西暦、次の2ケタは月、最後の2ケタは日を表す

過した個体が再捕獲されたが、これはこれまでの4年1ヶ月に次ぐ記録であった。アオジの記録のうち2F48223は早川嘉彦氏により農業試験場敷地内で新標識されたものが今年度に捕獲されたものであるが、初放鳥、回収日とも秋季であり、5年11月が経過しても近郊の渡りのコースを通過している点で興味深い。

平成10年から16年にかけて春の渡りの状況を比較的稳定して飛来し捕獲される種について比較した。

(図-3) クロジ・ウグイス・センダイムシクイなど15、16年と続けて早く渡来した種があった一方、クロツグミ・コルリ・ノゴマでは16年の渡来状況は平年並みであった。クロジ・ウグイス・センダイムシクイで渡りの時期が早まる傾向が見られるが、これが続くかどうか長期の観察が必要である。渡りの開始時期は早い種(クロジ・クロツグミなど)ほど年次間のバラつきが大きく、遅い種(ムギマキ・メボソムシクイ・シマセンニュウ)ほどバラつきが少なかった。渡りのピークはアオジ・メジロ・ヤブサメで年々速くなる傾向にある。一方、クロジ・ルリビタキ・コマドリでは特定の傾向が見られなかった。通過鳥であるルリビタキとコマドリでは平均より早く渡去したが、ノゴマでは5月25日、6月4日とたいへん遅い時期まで渡る個体があり、終了が遅かった。

秋の渡りについて過去3年間のアオジ・クロツグミ・ノゴマの渡り状況を比較した。なお、これらの鳥はテープによる誘引を行なっている。9月20日より起算し5日ごとに放鳥数を集計して日平均を求め、その合計を母数とした相対値として示した(図-4)。アオジ(図-4A)の秋の渡りは、14、15年度は第4期(10/5~9)にピークがあったのに対し、第5期(10/10~14)にピークがあった。また、分布も14年に比べ後期へかなりずれ込んでおり、秋遅くまで渡りが続いていた。一方、クロツグミ(図-4B)では16年度は第3期(9/30~10/4)にピークがあったが、同様に晩秋まで渡りが続いた。ノゴマ(図-4C)では、年度間のバラつきが大きい。15年度は第1期(9/20~9/24)にピークがあり、14、16年度は第4期にピークがあった。16年は他の年度と比べ、後期まで渡りが続いた。これらのことから16年度は渡りのピークは他年度と明確な特徴は現れなかったが、どの種も遅くまで渡りが続いたことが伺える。16年度の10月は概して気温が高く(12.5℃、平年11.3度)、雨も少なかった(46.0mm、平年124.1mm)ため、渡りが遅くなった可能性がある。

16年度標識されたもののうち、特筆すべきものとしてヨーロッパコマドリ *Erithacus rubecula* が挙げられる。4月29日第8林班にて捕獲、標識された

(2U41639)。性別は不明、口腔の色合い、GC斑の色調から幼鳥と判断された。本種はユーラシア大陸に広く分布し、東限はロシア東部とされる。本種は1990年に千葉縣市川市で初標識されており、奈良県大台ヶ原、新潟県飛鳥(2例)の観察記録がある(川路ほか、1993)。また、2004年2月には北海道大樹町・忠類で観察記録がある。今回の記録は2回目の標識記録となる。日本産鳥類目録改定第6版において、亜種が同定できない、自然分布とするのに疑問がある、との理由で、日本産鳥類として検討中とされている。本標識個体は飼育個体に見られるような羽の乱れはない一方、風切羽・尾羽に激しいすれが認められた。なお詳細については専門誌への投稿を準備中である。

(河原 孝行)

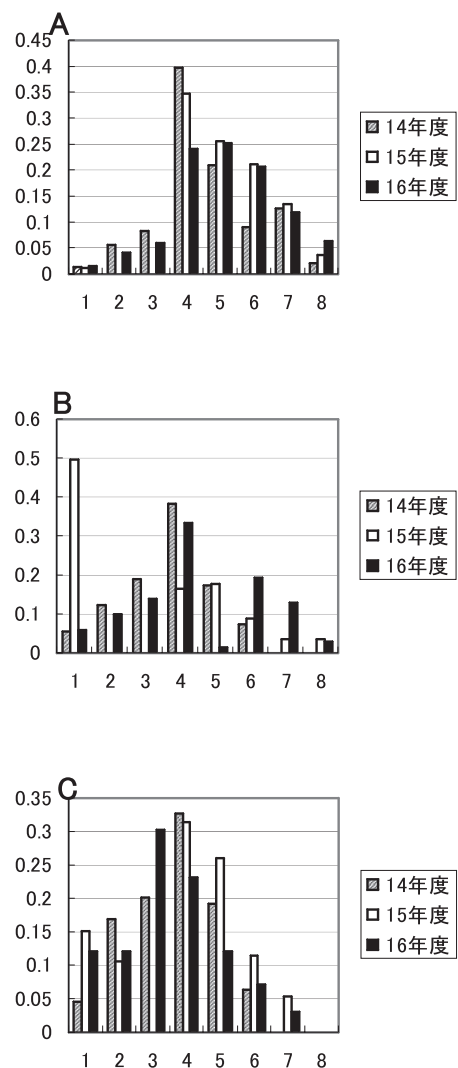


図-4 主要鳥類の秋の渡りの状況

A:アオジ、B:クロツグミ、C:ノゴマ

横軸は9月20日から5日ごとに区分した期間

縦軸は当該種放鳥数に対する日平均放鳥比率

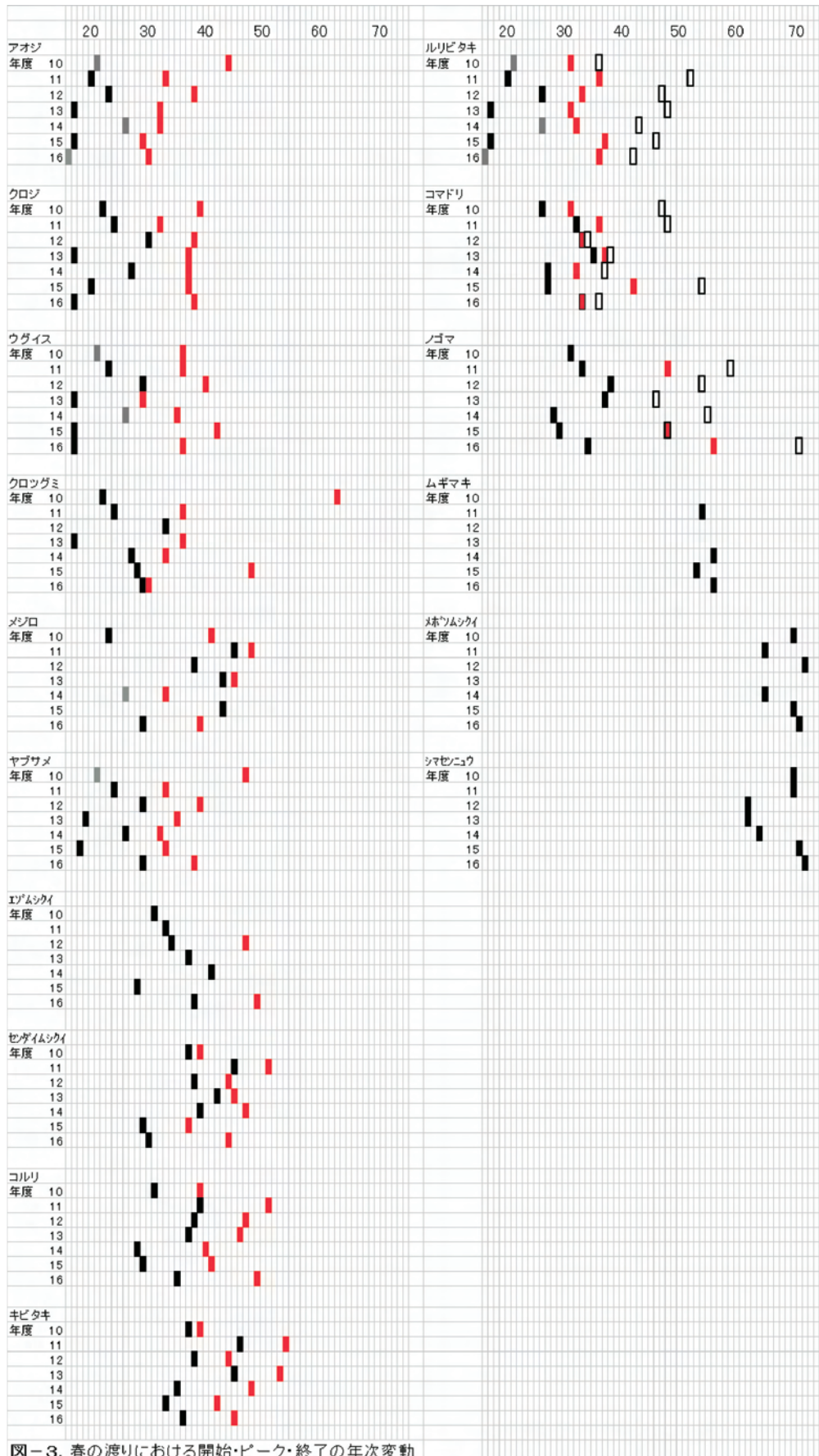


図-3. 春の渡りにおける開始・ピーク・終了の年次変動

左列は実験林内で繁殖していると推定される鳥種、右列は通過のみの鳥種。図上部の数字は4月1日から起算される日数。黒は開始点、赤はピーク、青は終了点を示す。開始点のうち調査初日に標識されたものは灰色で示した。期間中に捕獲されなかったもの、ピークを同定できなかったものは示していない。

表-1 平成16年度羊ヶ丘実験林標識調査日別放鳥一覽

[illegible]

月日のつちXは10月、Yは11月をあらわす。夫侯のつち、Fは晴れ、Gは曇り、Hは雨、Iは霧をあらわす。種名のあとのNは新設局、Kは再設局をあらわす。