

森林遺伝育種学会 第8回大会講演要旨集

令和元年（2019年）11月8日（金）

東京大学農学部キャンパス

弥生講堂アネックス・セイホクギャラリー

大会プログラム

■開催日

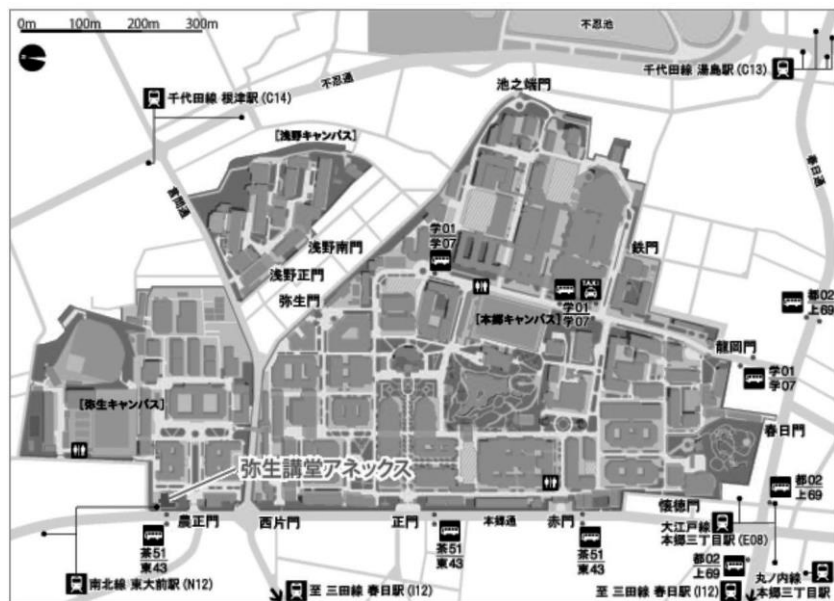
令和元年 11 月 8 日（金）午後

■大会スケジュール

- 13:00～ 受付
- 13:00～13:30 ポスター掲示
- 13:30～14:15 開会 会長挨拶
学会賞の表彰、受賞講演など
- 14:15～14:30 第1グループ発表内容の紹介（1人1分程度）
- 14:30～15:15 第1グループコアタイム
- 15:15～15:30 第2グループ発表内容の紹介（1人1分程度）
- 15:30～16:15 第2グループコアタイム
- 16:15～17:15 フリーディスカッション兼懇親会（ドリンク・つまみ付）
- 17:30 閉会

■会場

東京大学農学部キャンパス 弥生講堂アネックス・セイホクギャラリー



令和元年度 森林遺伝育種学会奨励賞

- ・ 鶴田燃海（東京大学アジア生物資源環境研究センター）
サクラ属における遺伝基盤の整備と
雑種不和合性関連遺伝子の探索
- ・ 長谷川陽一（森林総合研究所）
遺伝資源の持続的・効率的利用に向けた森林植物の
繁殖様式の解明と分子育種学的研究

受賞公演要旨

サクラ属における遺伝基盤の整備と 雑種不和合性関連遺伝子の探索

鶴田燃海（東京大学アジア生物資源環境研究センター）

桜（バラ科サクラ属）は日本で最も親しまれている樹木の一つで、多くの野生種および栽培品種が存在する。種間交雑は比較的容易といわれるが、栽培品種の‘染井吉野’にその祖先種といわれるエドヒガンを掛け合わせたときにのみ、後代実生において致死的な生育不全が分離する。この実生で見られた交雑の不和合性に関与する遺伝子を明らかにするため、連鎖地図の構築とマッピングを行った。実生の生育不全は、‘染井吉野’の連鎖地図の第4連鎖群にマップされた。このとき、‘染井吉野’の片親（オオシマザクラと推定される）とエドヒガンの対立遺伝子の接合が生育不全を引き起こしていたため、実生の生育不全を両種間の雑種不和合性と推定した。家系の数およびマーカーを追加して詳細マッピングを行い、さらに近縁のモモのゲノム配列を基に構築したSSRマーカーを用いることで、生育不全の関連領域をPp04C001とPp04C005のマーカー間にまで狭めた。この区間は、モモゲノムでおよそ240Kbに相当し、45個の遺伝子が推定されている。この中から、実生の生育不全を引き起こす遺伝子およびその機能を明らかにし、接合後の雑種不和合性の分子メカニズムの理解を目指している。

遺伝資源の持続的・効率的利用に向けた森林植物の 繁殖様式の解明と分子育種学的研究

長谷川陽一（森林総合研究所）

DNAは、まれな変異を伴って少しずつ変化しながら親から子へと伝わる性質を持つことから、個体や系統、種を識別するためのマーカーとして広く利用されている。さらに、交配家系と組み合わせて用いることで、染色体の中で標的となる遺伝子の位置を特定するための地図（連鎖地図）を作るためにも利用できる。DNA変異の検出手法が、ゲル電気泳動からキャピラリー電気泳動、次世代シーケンスへと広がることで、多くの変異を短時間で検出することが可能になってその用途も広がっている。DNAマーカーは、日本の林業において、有用な形質を持つ針葉樹の育種、広葉樹を含めた多品種の林業、ハチミツ生産など木材以外の森林の利用などに貢献すると考えられる。本講演では、受賞者がこれまでに携わってきた、花粉一粒のDNA分析を用いたクリの繁殖生態の解明、ヒノキアスナロ稚樹のクローナル成長、市販のハチミツに含まれる花粉のDNA分析、スギ雄性不稔遺伝子の近傍マーカーの開発などについて紹介する。

ポスター発表タイトル・筆頭講演者一覧

1	スギにおける <i>de novo</i> 変異の探索	上野真義
2	雄性不稔遺伝子をヘテロ接合型で保有するヒノキ精英樹の発見	幸 由利香
3	長距離散布によるブナ定着サイトに関する一考察	北村系子
4	東北日本の日本海側クロマツ林における詳細な集団遺伝学的解析	岩泉正和
5	アカマツの挿し木による苗木生産の可能性	米道 学
6	正規化植生指数 (NDVI) を用いたカラマツとトドマツの健全性評価の試行	花岡 創
7	トドマツ葉緑体ゲノムの解読と種内変異の評価	石塚 航
8	産地標高の異なるトドマツにおけるカロチノイドの季節的变化	山崎 有
9	地上レーザー扫描仪OWL を用いたカラマツ次代検定林の成長量調査	井城泰一
10	再整備したカラマツ採種園での着果量と種子の品質	蓬田英俊
11	林木育種センターにおける早生広葉樹への取り組み	生方正俊
12	関西育種基本区におけるセンダン優良個体の選抜	宮下久哉
13	カラマツゲノム育種に向けたゲノム・バイオリソースの整備	三嶋賢太郎
14	ヒノキ両性不稔品種“神奈川無花粉ヒ1号”の特性	齋藤央嗣
15	発根特性の異なるスギ 2 クローンのさし木発根過程における遺伝子発現変動	福田有樹
16	スコアリングによるコウヨウザンの着花促進の試み	稲永路子
17	スギ炭素代謝関連遺伝子の発現相関解析	伊原徳子
18	スギ第一世代精英樹の水分指標に対する成長応答性の多数系統評価	松下通也
19	宮崎県に植栽したスギ精英樹の初期成長に影響する微小環境指標の検討	武津英太郎
20	小笠原母島希少樹種遺伝資源保存林における保存樹木の生育経過	磯田圭哉
21	スギの高温環境応答の遺伝子発現プロファイリング	永野聡一郎
22	スギの高温環境下における成長および光合成活性応答のクローン間変異	高島有哉
23	発表中止	
24	長野県軽井沢町の浅間山生物群集保護林のカラマツを対象としたモニタリング調査 (10 年目) の結果	木村 恵
25	ヒノキの管穂から伸長した主軸の枝性	山野邊太郎
26	マツノザイセンチュウ抵抗性クロマツ実験交配園における雄性繁殖成功距離に及ぼす雄花着花量の影響	松永孝治
27	36 年生カラマツ (<i>Larix kaempferi</i>) 人工交配家系における木材性質の遺伝性	高橋優介

28	グルタチオン施肥が秋出荷に向けたヒノキコンテナ苗生産へ及ぼす影響	茂木靖和
29	マツ材線虫病抵抗性クロマツ挿し木増殖における穂づくりとマルチングの効果	袴田哲司
30	Studying the genetic diversity of Indonesian teak to identify the origin of commercial plantations on Java Island	Eko Prasetyo
31	Potential of genome-wide association studies and genomic prediction of <i>Shorea platyclados</i> , an important timber tree species in Southeast Asia	Sawitri
32	個体間競争試験園における 20 年生のスギ第一世代精英樹 4 系統の樹冠構造や光獲得、成長の違い	田中一成
33	ケヤキにおける植栽密度と丸太通直性に関する形質の関係	田邊 純
34	遺伝子発現から見たスギの日周性	酒本 大
35	高温・乾燥ストレスがスギ苗に及ぼす影響評価	渡辺敦史
36	複数の NGS データを利用した <i>C. japonica</i> トランスクリプトームカタログの作成	手島康介
37	「爽春」雄性不稔候補遺伝子領域に存在する 2 遺伝子の特徴	山崎菜々子
38	スギ穂木の低温貯蔵が挿し木発根と生理状態に与える影響	本田あかり
39	スギさし木苗生産における最適な光環境条件の検討	尾上竜一
40	少花粉ヒノキコンテナ残苗を利用した挿し木増殖	久保田将之
41	被陰下におけるトドマツ樹幹の伸長成長と肥大成長の抑制過程	安田悠子
42	石灰岩地に隔離分布する絶滅危惧種チチブミネバリの葉緑体ゲノム解析	吉田拓矢
43	岡山・愛媛・宮崎に共通植栽したスギ精英樹の初期成長	三浦真弘
44	Population genetic diversity of <i>Cryptomeria japonica</i> var. <i>sinensis</i> based on RAD sequencing technology	Cai Mengying

スギにおける *de novo* 変異の探索

上野真義・長谷川陽一・内山憲太郎（森林総合研究所）、
森口喜成（新潟大学）、兼子伸吾（福島大学）

卵細胞や精細胞で新たに生じる遺伝的変異を *de novo* 変異（突然変異）と呼ぶ。それは次世代で新たに獲得され、進化の根源としても重要である。突然変異率は中立説のもと同義サイトの塩基置換率から推定されてきたが、親子間の塩基配列を直接比較することによって推定することも技術的に可能になってきた。本研究では、スギの交配家系を対象に親子間の塩基配列を比較することで *de novo* 変異を探索し、突然変異率を推定することを目指している。スギはゲノムサイズが大きく全ゲノム配列も未解読であるため、特定のゲノム領域に着目し、その配列を多数の個体（6家系に由来する240個体）から収集して *de novo* 変異の探索を行った。実験やデータ処理に由来する偽陽性（アーティファクト）を極力減らすために両親・子供トリオのそれぞれが10回以上読み取られ、かつ両親が同じ塩基のホモ接合であるサイトを対象にした。総計で約310 Mbの対象サイトについて検討を行い、*de novo* 変異の候補として69個が得られた。これらの候補はある特定の家系から高頻度で検出される傾向が見られた。今後はこれらの候補の一部をSNPマーカー化し *de novo* 変異の検証を行う予定である。

雄性不稔遺伝子をヘテロ接合型で保有するヒノキ精英樹の発見

幸由利香・遠藤良太（千葉県農林総合研究センター）

ヒノキ花粉の主要なアレルゲンはスギと共通抗原性を持つことから、ヒノキについてもスギと同様の花粉症対策が必要とされており、雄性不稔個体の利用が有効であると考えられている。しかしながら、ヒノキについては両性不稔1個体のみしか見つかっておらず、人工交配により無花粉個体を作ることができない。そこで、無花粉ヒノキの作出を可能にする雄性不稔遺伝子をヘテロ接合型で保有するヒノキ精英樹の探索を行った。2011年4月に、ヒノキ精英樹8クローン（箱根1、西多摩4、丹沢2、丹沢6、丹沢7、札幌2、秋元1、西多摩6）を自家受粉させ、その種子を2012年4月に播種、育苗後、2017年及び2019年4～5月に2回不稔検定を行った。検定方法は、2017年は雄花を叩き目視で花粉の有無を1度確認し、2019年は同様の方法で3度の確認と雄花の鱗片が開いていない穂を用いた水差し法で花粉の有無を確認した。不稔検定の結果、丹沢6で不稔率36%（14本中5本が無花粉）、丹沢7で不稔率56%（25本中14本が無花粉）となり、1種類の雄性不稔遺伝子をヘテロ接合型で保有している場合の理論値25%を上回る値となった。以上の結果から、雄性不稔遺伝子をヘテロ接合型で保有すると考えられる2クローンを全国で初めて発見した。

長距離散布によるブナ定着サイトに関する一考察

北村系子（森林総合研究所北海道支所）

ブナ (*Fagus crenata*) の種子は重力によって母樹の樹冠下およびその周辺に散布される。その後、二次的に鳥類および哺乳類の貯食行動により遠くに運ばれ、摂食を免れた種子はそこで発芽する。つまり、ブナ種子の長距離散布は二次的な種子散布媒介者の行動によるところが大きい。そこで、森林総研北海道支所構内でブナの実生が発生する場所に注目し、長距離散布による定着サイトを推定する試みを行った。調査地はブナの地理的分布域より北に位置するが植栽木は正常に生育結実し、約 60m 離れた園地で実生が多数発生している。エゾマツ、アカエゾマツ、トドマツ、キハダ、シラカンバの連続植栽地においてブナの当年生実生の発生場所を 2 回の結実年について観察した結果、2014 年に発生した実生 79 個体全て、および 2016 年に発生した 57 個体中 54 個体がエゾマツ、アカエゾマツ、トドマツの樹冠下であった ($p < 0.01$)。つまり、針葉樹の樹冠下にブナの種子が選択的に運ばれていた。これは、現在分布を拡大している北進最前線のブナ小集団がアカエゾマツとトドマツの混交林に隣接している事実を支持する。さらに、無人カメラによって種子散布媒介者の推定を試みた結果も紹介する。

東北日本の日本海側クロマツ林における詳細な集団遺伝学的解析

岩泉正和・宮下久哉・竹原正人（森林総研林育セ関西）、
井城泰一、飯野貴美子（森林総研林育セ東北）、
渡辺敦史（九大院農）、長谷川成一（元 弘前大人文）

日本におけるクロマツ林は、日本三景等の我が国の文化景観を構成し、古来より砂防林として人々の生活を守ってきた重要な森林資源である。また、日本海側における分布は、主に近世以降の海運業の発達に伴う種苗移動の影響を受けているといわれている。発表者らのこれまでの国内分布域を網羅した 49 集団 2,755 個体の遺伝解析の結果では、クロマツ松原はかつて存在した全国の天然生林と同様の遺伝的構造を示した一方で、庄内（山形県）、脇野沢（青森県）等の東北日本の一部松原では近隣集団と大きく遺伝的組成が異なり、中部日本のクラスターが優占していた。本研究では、上記地域を中心とした遠隔地域由来の種苗の流通範囲やそれに伴う松原造成プロセスを把握するため、新潟県から青森県までのクロマツ松原 10 集団から 528 個体の追加サンプリングを行い、核 SSR マーカーに基づいた詳細な遺伝的変異を解析した。合計した 59 集団を対象に STRUCTURE 解析を行った結果、中部日本のクラスターが集団内の大半を優占していたのは新潟県南西部以西と山形県内の集団であり、青森県内では脇野沢集団のみであった。一方で、新潟県内の中部から東北部、秋田県南部および青森県内の数集団においても中部日本のクラスターが一部占めていた。

アカマツの挿し木による苗木生産の可能性

米道 学・軽込 勉・塚越剛史・
久本洋子・楠本 大（東大千葉演習林）

マツ材線虫病の抵抗性マツ苗は、多くの場合、人工的な接種検定によって抵抗性が確認された母樹の実生苗を抵抗性苗として生産している。ただ、実生苗では抵抗性が低下していることがあり、接種すると枯死してしまうことがある。一方、挿し木によって作成したクローン苗であれば、母樹の抵抗性を引き継いだままの苗木生産が可能と考えられる。しかし、マツ類は難発根性で挿し木増殖が難しいとされており、効率的な増殖法の確立が望まれている。そこで本研究では、挿し木床の環境条件を変化させることによって、抵抗性アカマツ挿し木の発根率を高められるか検討した。その結果、環境条件によっては抵抗性アカマツでも高い割合で挿し木苗を生産することができ、さらに床環境を変えることによって根系の量を増やすことが可能であると示された。

正規化植生指数（NDVI）を用いた カラマツとトドマツの健全性評価の試行

花岡 創（林木育種センター北海道育種場）、
原山尚徳（森林総研北海道支所）、
福田陽子（林木育種センター北海道育種場）

葉群からの近赤外光と赤色光の反射率から推定される正規化植生指数（Normalized Difference Vegetation Index; NDVI）は、植物の様々な生理活性指標との関連性が知られ、農業分野では作物の生育状態等の評価手段として実用化され始めている。本研究では、カラマツやトドマツといった北方造林樹種の管理に対しても、NDVI測定が非破壊かつ効率的な健全性評価手法として適用し得るかについて、樹種毎に検証した。カラマツについては、視覚的には傷害が認められない鉢植え苗を対象に、一時的に乾燥ストレスを与えた処理区と対象区を設け、1枝の最大光合成速度及び水ポテンシャルとNDVI値との対応を確認した。また、トドマツについては、葉色が明確に異なる定植苗の枝を対象に、ジメチルホルムアミド（DMF）法を用いて定量したクロロフィル量とNDVI値との相関を確認した。本発表では、これらの結果の詳細について報告する。

トドマツ葉緑体ゲノムの解読と種内変異の評価

石塚 航 (北海道立総合研究機構林業試験場)、
北村系子 (森林総合研究所北海道支所)、
原登志彦 (北海道大学低温科学研究所)、
後藤 晋 (東京大学大学院農学生命科学研究科)

NGS 解析の普及により、比較的配列の短い葉緑体ゲノムの完全長が解読された植物種はここ数年で急速に増えている。北半球に広く分布するモミ属でも既に 10 種の葉緑体ゲノムが解読されているが (2019 年 10 月現在)、わが国の有用樹種で北海道に分布するトドマツ *Abies sachalinensis* は未解読で葉緑体のゲノム情報が利用できなかった。とくにトドマツは局所適応がみられ、産地間での遺伝変異も有用な情報であることから、本解析では、分布辺縁で寡雪地域の道東産 (Akkeshi115)、多雪地域の道央産 (FFPRI_hkd_As1)、分布上限の高標高産 (UTokyo_A41-1) の 3 系統を用いて葉緑体ゲノムを決定するとともに、葉緑体全ゲノム比較から種内変異を評価することとした。

解析によりトドマツのドラフトゲノムを構築でき、その完全長は 121,265~121,329bp で、コードされる遺伝子は同属他種と共通していた。139bp の短い IR (inverted repeat) の他、1,186bp の IR が認められ、モミ属内で知られる葉緑体構造変異は後者によるとみられた。3 系統間に 52 サイトの一塩基置換が検出され、塩基多様度 π は 0.00029 だった。発表では、非同義置換を検出した 9 遺伝子、変異のホットスポットとみられた 3 領域や系統関係を紹介する。

産地標高の異なるトドマツにおけるカロチノイドの季節的变化

山崎 有 (東京大学大学院農学生命科学研究科)、
種子田春彦 (東京大学・大学院理学系研究科)、
後藤 晋 (東京大学大学院農学生命科学研究科)

マツ科モミ属の常緑針葉樹であるトドマツは、標高 200 m~1600 m 程度まで幅広い分布域を持つ。トドマツがそれぞれの自生標高に適応した形態を持つことは先行研究により示されている。しかし、高山適応に重要だと考えられるカロチノイドはトドマツでの研究がなく、遺伝様式についても明らかになっていなかった。そこで、本研究では低標高と高標高の個体を相互交雑した標高間交雑試験地を用いて、カロチノイドの生成に産地標高と遺伝的組成が及ぼす影響を調べた。高速液体クロマトグラフィー (HPLC) を用いて、夏冬 2 回のカロチノイド量の測定を行った結果、いくつかのカロチノイドで季節間の大幅な変化が見られた。また、冬のカロチノイド量と遺伝的組成の関係について解析すると、低標高×低標高 (母親×父親) と低標高×高標高 (母親×父親) とで含有量が大きく異なるカロチノイドが存在した。本発表では、種々のカロチノイドが担う光阻害への防御機能を考慮しながら、これらについて議論する。

地上レーザースキャナーOWLを用いた カラマツ次代検定林の成長量調査

井城泰一・竹田宣明(森林総合研究所林木育種センター東北育種場)、
小谷英司(森林総合研究所東北支所)

検定林における成長量調査は、バーテックスや輪尺を用いて行われてきた。しかしながら、測定を行う樹木のサイズや植栽面積の広さから、調査において多くの労力や時間を要していた。近年、大規模なゲノム情報と表現型情報を用いてアソシエーション解析等の取り組みが林木においても進められている。このような解析を進めるためには、大量のサンプルを測定する必要がある、迅速かつ精度の高く表現型を評価できる手法の開発が求められている。そこで、検定林における成長量調査のハイスループット化を目的として、30年生カラマツ次代検定林において森林三次元計測システムOWLを用いて成長量の評価を行ったので、その結果について報告する。

再整備したカラマツ採種園での着果量と種子の品質

蓬田英俊(岩手県林業技術センター)

【はじめに】再整備しているカラマツ採種園で行った受光伐の効果を検証するため、受光伐の程度と着果量及び種子の品質の関係を調査した。

【材料と方法】調査は、岩手県久慈市侍浜町地内の国有林内にある侍浜採種園で行った。侍浜採種園は10年以上採種園として管理されていなかったが、2014年に除伐、受光伐、断幹剪定を実施した。2017年に環状剥皮、2018年に着花量調査と採種を行った。さらに球果の大きさ、種子重、発芽数の測定を行った。着果量調査は、目視で着果数を数え記録した。また各採種木から2018年9月に30個程度の球果を採種し、球果の大きさを測定したほか、脱粒精選後100粒の重さを2回測定した平均値を10倍し1000粒重とした。また50粒の種子で発芽試験を実施した。

【結果】採種木の個体ごとに受光伐・断幹剪定を開始する前の2013年の隣接木の数から2017年の隣接木の差をとった値と、環状剥皮による着花促進翌年の球果着生量の間には、有意な正の相関が認められた($r=0.56$)。クローンの効果を排除するためクローンごとにクローン平均とクローン内偏差で標準化した値で比較すると、球果数は球果の容積(cc/個)と弱い負の相関、さらに発芽率と正の相関($r=0.48$)が認められた。

林木育種センターにおける早生広葉樹への取り組み

生方正俊・山口秀太郎・磯田圭哉（森林総合研究所林木育種センター）、
山田浩雄（森林総合研究所林木育種センター関西育種場）、高橋 誠
（森林総合研究所林木育種センター）

近年、新たな造林用樹種として早期に収穫が可能な早生広葉樹が注目されている。林木育種センターでは、各育種場とともに、センダン、ユリノキ、ドロノキ等を対象として優良系統の選定と保存、原種増産技術や種苗生産技術の開発等に取り組んでいる。今回はこれらのうち、2017年から全国天然木化粧合単板工業協同組合連合会や九州大学大学院農学研究院等と連携して進めている事業のユリノキとチャンチンで得られた研究成果を報告する。ユリノキ (*Liriodendron tulipifera*) は北米原産、チャンチン (*Toona sinensis*) は中国原産の落葉広葉樹で、我が国では主に公園樹や街路樹として植栽されている。国内各地から収集した材料を用い、有性及び無性繁殖特性を調査したところ、ユリノキについては、種子の充実率が極めて低いこと、実生苗の成長に有意な系統間差があること等が明らかになった。チャンチンについては、種子の充実率は低いものの台所用洗剤を添加した水を用いた液体選により発芽率が大幅に向上すること等がわかった。本研究は、森林林業振興会の森林林業振興助成事業の支援を受けて行った。

関西育種基本区におけるセンダン優良個体の選抜

宮下久哉・河合貴之・山本あゆみ・坂本庄生・大城浩司・
山田浩雄（森林総合研究所林木育種センター関西育種場）

森林総合研究所林木育種センター関西育種場は、これまでに「遺伝資源Ⅰ類_新需要の創出_早生樹種」としてセンダン優良個体を20個体収集している。さらに、2019年から近畿中国森林管理局（以下、近中局）および福井県総合グリーンセンターと連携してセンダン優良個体の選抜に取り組み育種集団の拡充を図っている。関西育種基本区においては、2015年より福井県、兵庫県、鳥取県および山口県がセンダンの植栽試験に着手し、近中局も管内14箇所(8府県)に試験地を設定し、植栽適地の把握と育林技術の確立に向けた取組を進めている。近中局の結果では、標高が高く気温が低い植栽地において生残率が低い結果となっている。そこで、同様な環境条件である山陰増殖保存園（鳥取県智頭町、標高460m、年平均気温11.9℃）に2018年に植栽したセンダン優良個体クローンについて生残率を比較したところ、範囲は0%から75%であり平均値は29%であった。産地は、滋賀県、京都府、島根県、岡山県、広島県、愛媛県、徳島県および高知県の8府県から収集しているが、産地間における生残率の差異は認められなかった。本報告では、これらの結果を踏まえて2019年に実施したセンダン優良個体の選抜について概況を報告し、今後の関西育種基本区におけるセンダン育種の方針を紹介する。

カラマツゲノム育種に向けたゲノム・バイオリソースの整備

三嶋賢太郎・平川英樹・井城泰一・田村 明・松下通也・高島有哉・
永野聡一郎・平尾知士・福田陽子・矢野慶介・花岡 創・玉城 聡・
武津英太郎・栗田 学・平岡裕一郎・生方正俊・中田了五・高橋 誠
(森林総合研究所林木育種センター)

造林樹種としてカラマツの需要が高まっており、効率的な種苗生産や優良な品種の開発が求められている。一方、近年ゲノム解析技術および表現型評価の技術が急速な発展を遂げており、これらの技術を適用した育種素材を含む遺伝資源（バイオリソース）の評価と、それらの基盤情報に基づいた高速かつ省力化された分子育種技術の開発が可能となっている。当センターでは、バイオリソースとして全国で選抜された数百のカラマツ・グイマツ第1世代精英樹を保有しており、これらを活用した次世代化や着花性等の特性の評価・改良を目指した取り組みを進めている。バイオリソースのジェノタイピング情報を整備すると共に、表現型評価として材質等の形質の評価を統一的行なっている。また、ゲノム情報の基盤整備として、カラマツ・グイマツの遺伝子情報の収集及び多型情報の収集も併行して行い、大規模ジェノタイピングシステムの構築を行なっている。本報告では、これらのリソース整備の状況について報告する。

ヒノキ両性不稔品種“神奈川無花粉ヒ1号”の特性

齋藤央嗣（神奈川県自環保セ）

ヒノキの花粉症対策として、無花粉ヒノキの探索を行い2012年春に秦野市内のヒノキ林から、花粉を飛散させない個体を選抜した。その後の調査で、種子も不稔となる両性不稔品種であり、減数分裂時の不等分裂によって雄性不稔が発現することが明らかになった。品種登録出願のため、特性の評価を行った。ヒノキ基準品種「ナンゴウヒ」と比較し、両性不稔であるため花粉を飛散せず、球果や種子の形態が異なるほか、冬葉の葉色が黄緑色で異なっていた。成長性は5年時点でナンゴウヒと同等であった。さらに増殖方法を検討し、さし木発根性が高くさし木増殖が可能であった。コンテナ直ざし試験を行い、用土の改善で発根率は88%となり、ナンゴウヒと比べ遜色はなかった。また原木でピロディン及びファコップによる材質測定を行い、周辺木と比較し遜色はなかった。

発根特性の異なるスギ 2 クローンの さし木発根過程における遺伝子発現変動

福田有樹・三嶋賢太郎・平尾知士・大平峰子・
平岡裕一郎（森林総研林育セ）、渡辺敦史（九大院農）

さし木増殖は、母樹の遺伝的特性を継承した苗木を増殖することができるため、育種において重要な増殖手法である。特に、昨今においては、優良な種苗が数多く求められていることから、さし木増殖の重要性が増している。しかしながら、さし木増殖において必須のプロセスである発根は様々な要因に影響されるため、より効率的・安定的なさし木増殖手法の確立のためには、発根に関連する要因を十分に明らかにすることが必要である。そこで、本研究では、発根に関連する分子レベルにおける要因を明らかにすることを目的として、発根特性の異なるスギ 2 クローンを用いて、さし木発根過程における基部（発根部）の網羅的な遺伝子発現変動を比較した。その結果、クローン間で、一部の遺伝子群の発現のみに違いがあることがわかった。また、発現に差がみられた遺伝子群のなかには、他の植物種において不定根の形成や成長に関連するとされる遺伝子群のホモログが含まれていた。これらの結果は、スギにおける発根メカニズムの解明や発根過程の進展を示すマーカーとしての利用につながる可能性があると考えられる。

スコアリングによるコウヨウザンの着花促進の試み

稲永路子・磯田圭哉・山口秀太郎
（森林総合研究所林木育種センター）

コウヨウザン (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook) は中国南部および台湾原産のヒノキ科針葉樹である。成長、材質ともに優れるため、人工林に植栽する新たな樹種として近年注目されており、林木育種センターでは日本の気候に適した系統の選抜を進めている。これらを用いて一定規模の造林を行うにあたっては、必要となる実生苗を安定的に生産できる体制の整備が必要である。そこで本研究では、スコアリングによる着花促進を試みた。2018 年夏季に、3 系統の挿し木苗に対してジベレリンペーストの剥皮塗布と 4 周のスコアリングをそれぞれ処理した。翌年 3 月に着生した雄花と雌花を計数し、各処理の効果を検討した。

スギ炭素代謝関連遺伝子の発現相関解析

伊原徳子、西口 満、飛田博順、深山貴文、田原 恒
 (森林総合研究所)、鈴木雄二 (岩手大学農学部)、
 宮澤真一 (森林総合研究所)

炭素代謝は植物にとって成長に直結する重要な代謝経路であるが、針葉樹では被子植物と異なる経路の存在が示唆されている。本研究では針葉樹の炭素代謝関連遺伝子を明らかにする目的で、同一条件下のスギ実生 (25°C 、 $100\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) の一部を、光量 ($50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、温度 (35°C) の異なる条件下に移し、それぞれについて 1 時間後、24 時間後の遺伝子発現を RNA-Seq により解析した。得られた合計 24 サンプルのデータを用い、既知の炭素代謝関連遺伝子と発現が相関する遺伝子の探索を行なった。

完全長 cDNA 塩基配列が明らかな 19,559 遺伝子について 24 サンプル中の発現パターンに基づくクラスタリングを行った結果、4,924 遺伝子が特徴的な遺伝子発現パターンを示す 14 クラスターに分類された。炭素代謝関連遺伝子に相同性のある 1,013 遺伝子のうち、355 遺伝子がこれらのクラスターに分類され、高温に移した 24 時間後に転写が低下している遺伝子の割合が高かった (233 遺伝子)。また、4,924 遺伝子のうち 328 遺伝子は既知の遺伝子とは有意な相同性がなく、未知の炭素代謝関連遺伝子が含まれる可能性がある。

スギ第一世代精英樹の水分指標に対する成長応答性の多数系統評価

松下通也・平岡裕一郎 (森林総合研究所林木育種センター)、
 武津英太郎 (森林総合研究所林木育種センター九州育種場)、
 花岡 創 (森林総合研究所林木育種センター北海道育種場)

将来の気候変動に適応し、乾燥等に強く成長に優れたスギを開発するための育種技術の開発を進めている。全国に設定された試験地 (検定林) で蓄積された大規模フィールドデータと、試験地内の地形といったマイクロ環境 (斜面方位や TWI) およびメッシュ気候値等のマクロ環境情報とを統合的に解析することによって、樹高成長における環境応答性を定量化する新たな育種統計手法の開発を進めた。その結果、地形的水分指標である TWI や成育期降水量が、スギの樹高成長に対する寄与が大きい傾向であった。この育種統計モデルを用いて、関東育種基本区および九州育種基本区において、マイクロ・マクロ環境の両面を考慮した水分指標に対するスギ多数系統の樹高成長の応答性評価を進めたところ、乾燥環境下での成長鈍化が著しい系統や、それほど成長が落ち込まない系統など、水分指標に対する環境応答性における系統間差を明らかにした。本研究より、環境に適応し成長に優れたスギ系統を選抜・育種できる可能性が示唆された。

宮崎県に植栽したスギ精英樹の初期成長に影響する微小環境指標の検討

武津英太郎・栗田 学・久保田正裕（森林総合研究所林木育種センター九州育種場）、三浦真弘（森林総合研究所林木育種センター関西育種場）、松下通也・平岡裕一郎・倉本哲嗣（森林総合研究所林木育種センター）、上杉 基・井上万希・小田三保・三樹陽一郎（宮崎県林業技術センター）

山間部においては数十～数百メートルスケールの同一林分内でも微小環境は大きく異なり、樹木の成長はその影響を受ける。遺伝的能力の評価や個体の成長の予測には、成長に影響する微小環境の評価が必要である。微小環境の実測には大きなコストを要することから、地理情報システム (GIS) 技術により評価できることが好ましい。近年の GIS 技術の発達や無人航空機 (UAV) の機能向上により、高精度なデジタル標高モデル (DEM) の取得が可能となり、より詳細な微小環境指標の算出が可能となった。本報告において、宮崎県日南市に設定したスギ精英樹 87 クロウンが植栽された試験地において、UAV により取得した高精細 DEM データより 50cm から 5m まで異なる解像度の DEM データを作成し、各解像度において土壌水分指標 TWI を求めた。植栽 1 年目の伸び量に対してクロウン、TWI、太陽放射照度を説明変数とした線型混合モデルを仮定し、モデル比較を行った。その結果、解像度 4m、個体周囲 2.5m の平均 TWI を用いることが最適であった。本報告より GIS 技術による微小環境指標を用いることにより個体の成長をより良く説明できることが示された。

小笠原母島希少樹種遺伝資源保存林における保存樹木の生育経過

磯田圭哉・板鼻直榮・安部波夫・弓野 奨（森林総研林育セ）、増山真美（森林総研林育セ東北）、生方正俊（森林総研林育セ）

小笠原諸島は東京の南、約 1,000 km の太平洋上に浮かぶ海洋島で、固有種の宝庫である。明治初期に入植がはじまり森林伐採や農地化などが進んだことや、導入または非意図的に侵入した動植物による環境の変化や食害等により、多くの固有種が絶滅もしくは絶滅の危機に瀕することとなった。樹木についても絶滅の危機にある固有種は多い。

林木育種センターでは 2002 年より関東森林管理局と共同で、小笠原に生育する 13 樹種の保存林を造成し、その生育過程をモニタリングしてきた。保存樹種は、環境省レッドリスト 2019 で絶滅危惧 IA 類（ごく近い将来における野生での絶滅の危険性が極めて高いもの）のオガサワラグワ、セキモンノキ、オオヤマイチジク、絶滅危惧 IB 類（IA 類ほどではないが、近い将来における野生での絶滅の危険性が高いもの）のハハジマノボタン、ムニンモチ、絶滅危惧 II 類（絶滅の危険が増大している種）のハハジマトベラのほか、固有種のオオバシマムラサキ、オオバシロテツ、ムニンイヌグス、シマホルトノキ、ムニンシロダモ、広域分布種のウドノキとアデクである。植栽後約 10 年間の生存率の推移をみると、絶滅危惧種の生存率が低下し、それ以外の樹種の生存率は高い傾向がみられた。

スギの高温環境応答の遺伝子発現プロファイリング

永野聡一郎・能勢美峰・高島有哉・松下通也・三嶋賢太郎・
平尾知士（森林総合研究所林木育種センター）

地球規模での温暖化に伴い、林木もこれまでとは異なる高温環境に晒されている。我々は、スギの高温環境に対する応答性や系統間での応答の差異を明らかにするため、網羅的な遺伝子発現解析を行い、発現変動遺伝子のプロファイリングを進めてきた。スギの精英樹4系統の挿し木ポット苗を対照区・昼間高温区・夜間高温区の三条件区で生育し、処理前・処理開始一週目・二週目に当年葉のサンプリングを行なった。当年葉から totalRNA を抽出し、RNA-Seq ライブラリを作成し、Illumina HiSeq4000 を用いて 101bp の PE リードを各サンプル 40M リード以上取得した。リードは Trimmomatic によるトリミング後に Bowtie2 でスギのリファレンス遺伝子配列にマッピングし、HT-Seq により遺伝子ごとの発現量を算出した。その結果、系統を特徴付ける遺伝子発現は各系統の高温応答よりも顕著であったが、高温環境において膜脂質や熱ショックタンパク質に関する遺伝子発現が増加し、細胞分裂に関する遺伝子発現が減少する傾向が明らかになった。本研究により、スギの高温環境応答を遺伝子発現解析によって評価できる可能性が示唆された。

スギの高温環境下における成長および光合成活性応答のクローン間変異

高島有哉・能勢美峰・永野聡一郎・松下通也・平尾知士・
三嶋賢太郎・高橋 誠（森林総合研究所林木育種センター）

気候変動による気温の上昇が、樹木の成長や健全性に及ぼす影響が懸念されている。高温ストレスは、一般的に、光化学系 II の活性低下、呼吸速度の増大などを引き起こし、炭素収支の悪化の要因となる。さらに、暗所での高温状態は、光存在下よりも光化学系 II へ障害を与えることが報告されている。しかしながら、樹木におけるこれらの詳細な知見は得られていない。そこで我々は、昼または夜の高温がスギの成長および電子伝達速度（ETR）に及ぼす影響と、そのクローン間変異について調査した。

スギ第1世代精英樹さし木クローン4系統を用いて、対照区、昼高温区および夜高温区の3処理区にて育成し、育成期間中1週間毎に、伸長成長量およびクロロフィル蛍光測定法による ETR の測定を行った。その結果、ETR において高温ストレスによる顕著な低下が認められ、その低下の程度は、昼高温区よりも夜高温区の方が大きかった。さらにクローン間で比較すると、ETR の低下が生じるまでの期間が、クローンにより異なっていた。

発表中止

長野県軽井沢町の浅間山生物群集保護林のカラマツを対象とした モニタリング調査（10年目）の結果

木村 恵・磯田圭哉・福山友博・稲永路子・岩井大岳・
高橋 誠（森林総研林木育種センター）

カラマツは寒冷地に広く植林される主要な針葉樹で、天然林はそのほとんどが本州中央部の山岳域という限られた地域に分布している。本研究では、長野県軽井沢町の浅間山生物群集保護林における天然カラマツ林での毎木調査の結果から、林分の概要と10年間の動態について報告する。対象林分は、天明3年（1783年）の浅間山大噴火後に、火山噴出物が堆積物した斜面に侵入・定着したカラマツが優占する林分で、カラマツの他には広葉樹が本数の約半数を占めており、ナナカマドやミネザクラ、ダケカンバなど先駆的な樹種がみられた。胸高直径階分布をみると、カラマツは胸高直径20cm以上25cm未満にピークを持つ一山型の分布を示しており、10年間で新規加入は無く、今後本数は減少していくと考えられたものの、成長によって断面積合計は増加していた。一方、広葉樹では継続的な枯死と新規加入によって個体群が維持されていた。これらの結果から、この林分では今後も自己間引きにともないカラマツの本数は減少するが、旺盛な成長によってバイオマスは増加すると考えられた。

ヒノキの管穂から伸長した主軸の枝性

山野邊太郎・高橋 誠（森林総合研究所林木育種センター）

ヒノキのクローン増殖には、その増殖の容易さ（成功率の高さ）からしばしば接ぎ木増殖が選択される。通常、接ぎ穂を得る際、荒穂の切断面から鮮度が減退する点を考慮し、荒穂は長めに採取して冷蔵保存される。従来は荒穂の先端部のみが接ぎ穂として用いられ、荒穂1本から接ぎ木苗木1本の要領で増殖が行われてきた。一方、荒穂の先端部以外の部位を接ぎ穂（管穂）として用いる接ぎ木は、管接ぎと呼ばれる。常緑針葉樹ではあまり用いられないが、落葉広葉樹では標準的な方法である。優良クローンの原種配布開始初期、すなわち採穂木定植後2～3年で、まだ採穂木から得られる荒穂の本数が限られる時期に増殖効率を高める手法として、管穂の活用が有効と考えられる。管接ぎについては、一次枝の頂端でない部位を用いることから、新たに展開した主軸に枝性が現れることが懸念される。今回は、ヒノキの管接ぎにおいて伸長した主軸の枝性について発表する。なお、本研究はイノベーション創出強化研究推進事業「革新的技術による無花粉スギ苗木生産の効率化・省力化と無花粉スギ品種の拡大」（29013C）により実施した。

マツノザイセンチュウ抵抗性クロマツ実験交配園における 雄性繁殖成功距離に及ぼす雄花着花量の影響

松永孝治（森林総研林木育種センター九州育種場）、平尾知士（森林総研林木育種センター）栗田 学・武津英太郎・久保田正裕・岩泉正和（森林総研林木育種センター関西育種場）、井城泰一（森林総研林木育種センター東北育種場）、大平峰子・山野邊太郎・高橋 誠（森林総研林木育種センター）

採種園に植栽された各クローンの繁殖成功は採種園産種子の遺伝的品質（遺伝獲得量と遺伝的多様性）を決める要因の一つである。マツノザイセンチュウに対するクロマツの抵抗性は両親から後代に遺伝することが知られているため、雄性和雌性両方の繁殖成功が重要である。ここでは抵抗性クロマツのクローナル採種園における雄性繁殖成功に影響する要因を明らかにするため SSR マーカーを用いて小さな実験採種園産種子の花粉親を決定し、雄花指数、繁殖フェノロジー、花粉親から母樹までの距離が雄性繁殖成功に及ぼす影響を調べた。雄性繁殖成功はクローン間で大きく異なり、雄花指数によって大きく影響を受け、繁殖フェノロジーと花粉親からの距離も影響を与えた。また、雄花の多いクローンは極端に抵抗性が低い自殖苗を生じる傾向があった。これらの結果は採種園の管理や設計に有益である。

36 年生カラマツ (*Larix kaempferi*) 人工交配家系における 木材性質の遺伝性

高橋優介・石栗 太・大島潤一・横田信三 (宇都宮大農)、
高島有哉・平岡裕一郎 (森林総合研究所林木育種センター)、
井城泰一 (森林総合研究所林木育種センター東北育種場)、
宮下久哉 (森林総合研究所林木育種センター関西育種場)

本研究では、群馬県吾妻山国有林内および長野県浅間山国有林内に植栽された精英樹 6 クロンのダイアレル交配から作出された、36 年生カラマツ 15 家系 (自殖抜き) を用いて、年輪幅、晩材幅、気乾密度および曲げ物性 (曲げヤング率、曲げ強さおよび曲げ仕事量) を調査した。これらの形質の家系間変異、検定林間変異および半径方向変動を明らかにするために、髓から 5 年輪、6 年輪から 10 年輪、11 年輪から 15 年輪、16 年輪から 20 年輪、および 21 年輪から 36 年輪の 5 つの半径方向位置に分割し、各形質について、統計解析を行った。曲げヤング率における 2 検定林の 15 家系の平均値は、髓から 5 年輪から、21 年輪から 36 年輪の半径方向位置にかけて、5.33 GPa から 12.59 GPa まで増加した。また、曲げヤング率における 2 検定林間の相関係数は、髓から 5 年輪の半径方向位置を除いて、すべて有意であった。このことから、6 年輪目以降の曲げヤング率を選抜指標にすることで、植栽環境に関わらず、優良な家系が選抜できることが示唆された。

グルタチオン施肥が秋出荷に向けたヒノキコンテナ苗生産へ及ぼす影響

茂木靖和・渡邊仁志 (岐阜県森林研究所)
小川健一 (岡山県農林水産総合センター生物科学研究所)

岐阜県で生産されるヒノキコンテナ苗は、1 年生実生を春 (3 月~4 月中旬) にマルチキャビティコンテナ (JFA150) へ移植して 1 年間育苗を行い、翌春に出荷する 2 年生苗が主流である。ところが、近年は秋植栽が増加し、9 月下旬~10 月上旬に苗出荷が求められるようになってきた。これに対応するには、翌春出荷予定の苗を前倒し出荷するのが育苗コスト低減の観点から望ましいが、育苗期間を短縮することになるため得苗できない可能性も出てくる。そこで、4 月中旬に移植した幼苗に 600ppm のグルタチオン溶液 0.4L/コンテナを 3 回 (6 月 21 日、7 月 30 日、9 月 3 日) 散布して 10 月 1 日に得苗率を調査したところ、グルタチオン散布区が 93%、対照区が 95% で共に高い得苗率であり、苗サイズ (樹高、根元直径) にも違いはみられなかった。次に、各試験区の出荷できたものの中から 10 本選んで、地上部 (幹、葉) および地下部 (根径 2mm 未満、2mm 以上) の重量と TR 率の頻度分布を調査したところ、対照区では地下部重 1.5g 以下の階層に分布がみられたのに対し、グルタチオン散布区では分布がみられなかった。

マツ材線虫病抵抗性クロマツ挿し木増殖における 穂づくりとマルチングの効果

袴田哲司 (静岡県農林技術研究所森林・林業研究センター)

東日本大震災以降、海岸防災林の機能を高めるために抵抗性クロマツ苗の需要が増大している。高まる需要に対応するため、マツノザイセンチュウの接種検定による実生苗生産のほか、挿し木苗の生産も試みられている。挿し木苗生産の効率を高めるためには、発根性の向上を図る必要がある。そのため、発根率や発根量を高める挿し木技術を検討した。長さ 5cm の挿し穂の調製において、主軸基部から 3 cm の範囲の針葉を摘葉する場合と摘葉しない場合では、摘葉しない場合で発根率と発根量に有意差が無かったため、挿し穂の摘葉作業は敢えて行う必要はないと考えられた。挿し穂基部の切断処理方法として、返し切りは水平切りよりも発根率や発根量が高まる場合があった。黒色の除草シートで育苗箱での挿し床をマルチングするとマルチング無しの場合と比較して発根量では差が無かったが、発根率はやや高かった。

Studying the genetic diversity of Indonesian teak to identify the origin of commercial plantations on Java Island

Eko Prasetyo (University of Tsukuba), Widiyatno • Sapto Indrioko • Mohammad Na'iem (Universitas Gadjah Mada), Tetsuya Matsui (FFPRI), Ayumi Matsuo, Yoshihisa Suyama (Tohoku University), Yoshihiko Tsumura (University of Tsukuba)

Teak (*Tectona grandis*) has been widely planted in 70 tropical countries because of the value of its wood. This species was introduced to Indonesia more than 100 years ago, and large plantations can be found on Java Island. However, little information currently exists about the genetic diversity and origin of these trees. We collected plant materials from three regions across Java Island and sampled trees spanning three age classes in each region, to clarify the genetic diversity and structure of teak plantations on Java Island. We investigated teak plantation and clonal experiment populations using multiplexed ISSR genotyping by sequencing (MIG-seq) and compared the genetic diversity and structure with the provenance test populations derived from the natural teak forest in India, Myanmar, Thailand, and Laos. Analyses using 459 single-nucleotide polymorphism (SNP) loci revealed that native provenances had higher genetic diversity than the Indonesian teak plantations. Further analyses showed that most Indonesian teak plantations are genetically related to Laos, Thailand and Myanmar provenances. We conclude that there is a weak genetic structure on teak plantations among the regions, which indicates that most plantations were established using plant materials from a specific part of the natural teak distribution.

Potential of genome-wide association studies and genomic prediction of *Shorea platyclados*, an important timber tree species in Southeast Asia

Sawitri • Yoshihiko Tsumura (University of Tsukuba), Naoki Tani (University of Tsukuba, JIRCAS), Mohammad Na'iem • Widiyatno • Sapto Indrioko (Universitas Gadjah Mada), Kentaro Uchiyama (FFPRI), Kevin Kit Siong Ng • Soon Leong Lee (FRIM)

Shorea platyclados (Dark Red Meranti) is one of the commercially important timber tree species in Southeast Asia. However, excess logging, insufficient natural regeneration and slow recovery rate contribute to the declining of timber stocks dramatically. Therefore, it is necessary to promote enrichment planting and develop effective technology to support rehabilitation and improve timber production through implementation of GWAS and GS. Plant materials were collected from progeny population at PT. SBK forest concession, Kalimantan, Indonesia. Our study revealed high LD up to > 110 kb, suggested that GWAS seems to be more feasible and easier to detect the association between phenotypic traits and markers that are in LD with QTL. However, the detection power of GWAS seems low since we could not capture any significant SNPs associated with all traits, indicated that phenotypic traits were mostly affected by large number of genetic loci with majority of small effects. Furthermore, prediction accuracies estimated by Machine Learning were higher than Bayesian methods. Among growth traits, height was more predictable than diameter and clear bole, whereas branch diameter ratio prediction accuracies were better than branch angle in terms of branch quality traits. Our present study suggest the potential of GS for improvement of the *S. platyclados*.

32

個体間競争試験園における 20 年生のスギ第一世代精英樹 4 系統の 樹冠構造や光獲得、成長の違い

田中一成・小野田雄介（京都大学大学院農学研究科）、
松下通也・平岡裕一郎（森林総合研究所林木育種センター）

作物の育種では集団での成長が良い系統を選抜するのに対し、林木の育種では、個体成長が良い遺伝型を選抜するのが一般的である。植物は隣接個体と競争・干渉するため、個体成長が良い遺伝型が、集団でも成長が良いかどうかはわからない（コモングの悲劇）。森林の生産性は、光の獲得量と光利用効率（生産量/光獲得量）の積で決まる。光利用効率は、個葉の光合成能力に加え、樹冠内での光の分配が重要である。光-光合成曲線が飽和型のため、樹冠上部で光を一気に獲得する樹形は、光合成に必要なとする以上の光を吸収してしまい光利用効率が低い可能性がある。

本研究は、個体間競争試験園に植栽されている 20 年生のスギ第一世代精英樹 4 系統を対象とした。地上部現存量は、筑波 1 > 郷台 1 > 甘楽 1 > 揖斐 3 の順であった。光の獲得は、どの系統でも樹冠に達した光の 90% 以上を獲得していた。また個葉レベルの光合成能力に有意な差は見られなかった。一方、現存量が低い揖斐 3 は、葉を樹冠上部に集中させ、光を急激に吸収する傾向が強く、逆に筑波 1 は樹冠が長く、光を分散させて吸収している傾向があった。これらは、樹形レベルでの光利用効率が森林の生産性に重要であることを示唆する。

ケヤキにおける植栽密度と丸太通直性に関する形質の関係

田邊 純 (千葉大学教育学部)、遠藤良太・
黒田 学 (千葉県農林総合研究センター森林研究所)、
石栗 太 (宇都宮大学農学部)

広葉樹丸太の品質向上を目指す上で、樹幹の通直性の改良は重要である。初期の植栽密度を高くすることは、枝下高を高めるとともに、樹幹の通直性の向上につながると考えられる。ケヤキ (*Zelkova serrata*) において、通直性に優れたクローンとしてむさしの1号が知られており、林木育種による品種改良の可能性も考えられる。本研究では、ケヤキ丸太の通直性を向上させるための基礎的知見を得ることを目的に、通直性に関する形質に及ぼす植栽密度の影響を調査した。実験には、千葉県内に設定された試験地より2つの植栽密度 {密区 (8250 本/ha) と疎区 (2750 本/ha)} についてそれぞれ4個体ずつ供試した。林齢25年時 (2019年2月) に伐採し、胸高直径、枝下高、分枝角、曲がり、動的ヤング率を測定した。その後円盤を採取し、年輪幅および容積密度を測定した。密区では、枝下高が高くなる一方、胸高直径は小さい傾向を示し、これらの形質については植栽密度管理が重要と思われた。一方、分枝角、丸太の曲がり、動的ヤング率および円盤の平均容積密度については、植栽密度間に有意差は認められず、これら形質に関するクローンの効果は高いと推察された。

遺伝子発現から見たスギの日周性

酒本 大(九州大学大学院生物資源環境科学府)、
田村美帆・渡辺敦史(九州大学大学院農学研究院)

植物の一部の遺伝子の発現は周期的な日変化を示す。これは一般に日周性と呼ばれる。モデル植物のシロイヌナズナでは遺伝子発現の日周性やそれに関連する概日リズムの研究は多く行われてきた。しかしこれらの研究の多くが人工環境下で行われており、光や温度要因も含めた複雑な環境が支配する野外環境での日周性に関する知見は野外環境で生育する針葉樹類では極めて重要な知見であると考えられる。そこで本研究では、野外環境下において夏期および冬期にスギ針葉を1時間おきに24時間採取し、時計遺伝子の遺伝子発現をリアルタイムPCRにより評価した。また夏期と冬期それぞれで4時間おきに採取したサンプルから、次世代シーケンサーを利用して発現する遺伝子の収集することで、時間特異的または時刻によって有意に発現する遺伝子を整理した。これら二つの研究に基づいて、今後、スギを対象として野外環境下における生理反応、特に気候変動に伴う温暖化による乾燥・高温等非生物学的ストレスの影響等々を評価するための日周性の遺伝子レベルでの発現動態を明らかにした。

高温・乾燥ストレスがスギ苗に及ぼす影響評価

渡辺敦史(九州大学大学院農学研究院)、太田宗太郎・
酒本 大(九州大学大学院生物資源環境科学府)、
田村美帆(九州大学大学院農学研究院)

地球温暖化による高温や乾燥ストレスの影響が農業分野に影響することが懸念されており、育種分野では高温耐性品種の開発や乾燥ストレスに対応するゲノム改変作物などの研究が盛んに行われている。森林分野でも生態系への影響は多くのシミュレーションから指摘されてきた。スギは、九州から青森に分布し、沖縄にも植林されていることから、幅広い温度帯での生育が可能と考えられている。しかし、温暖化で想定される高温や乾燥に対する影響について詳細に理解されている訳ではない。本研究では、夏季の高温・乾燥または冬季の高温など様々な環境条件下でスギ苗を生育した際の成長や表現型に与える影響を評価した。その結果、冬季高温は伸長成長や木部形成に関連する形質に影響する可能性が示唆された。一方で、十分に水分がある条件下では夏季高温の伸長成長に与える影響は少ないと考えられる。さらに、乾燥ストレス耐性を有するスギを選抜し、候補個体については乾燥条件下での反応性を評価したので報告する。

複数の NGS データを利用した

C. japonica トランスクリプトームカタログの作成

手島康介(九州大学大学院理学研究院)、
田村美帆・渡辺敦史(九州大学大学院農学研究院)

NGS 技術の普及に伴い、遺伝子発現産物の網羅的解析が可能になった。本研究では、ゲノム参照配列を用いることなく、異なる条件下で取得された発現データを統合することで網羅的な発現産物カタログを作成した。使用したデータは Roche-454、Illumina HiSeq/MiSeq、PacBio RS II システムを用いて取得されたものである。Roche-454 データは 9 条件下、Illumina は 8 条件下、PacBio は 2 条件下で得られたものを使用した。これらのデータをテクノロジーごとにアセンブルしたのち、再度全体をクラスタリングすることで統合された配列カタログを生成し、最終的に約 2 万の配列データベースを構築した。これらのデータベースに各器官ごとの発現産物をマッピングしてその構造を調べたところ、発現量に違いがあるだけでなく、エクソンの使い分けも行われている可能性があることがわかった。これらの発現産物の違いには進化的な要因が関係している可能性もあることが示唆された。

「爽春」 雄性不稔候補遺伝子領域に存在する 2 遺伝子の特徴

山崎菜々子（九州大学生物資源環境科学府）、
田村美帆（九州大学農学研究院）、
倉本哲嗣（森林総合研究所林木育種センター）、
渡辺敦史（九州大学農学研究院）

「爽春」は森林総合研究所林木育種センターによって選抜された雄性不稔スギ品種の一つである。その雄性不稔形質は一对の劣性遺伝子によって支配されている。これまでに、爽春と精英樹花粉親との交配によって作出された F₂ 集団を用いて連鎖解析が行われ、雄性不稔形質と強く連鎖するゲノム領域が示された。この領域に座乗する reCj19250 遺伝子について、不稔・可稔の遺伝子型を識別できるいくつかの DNA マーカーが開発され、その高い精度から reCj19250 遺伝子は現時点で最も有力な候補遺伝子であると示唆されている。この連鎖解析では、reCj11611 遺伝子が reCj19250 遺伝子と同一ゲノム領域に座乗している。しかし、これまで reCj11611 遺伝子に関する知見はほとんど報告されていない。本研究では、これらの 2 遺伝子についてゲノム配列における変異の有無や雄性不稔識別マーカーとしての精度、花粉形成期間における遺伝子発現変動等それぞれ比較し、雄性不稔の原因候補遺伝子としての可能性を検討したので報告する。

スギ穂木の低温貯蔵が挿し木発根と生理状態に与える影響

本田あかり（九州大学大学院生物資源環境科学府）、
渡辺敦史（九州大学大学院農学研究院）

スギの生理状態にはフェノロジーが存在し、外部形態的变化だけでなく樹体内部の生理状態も変化する。本研究では、スギ穂木を低温処理することによってフェノロジーを操作し、一般に発根率が低いとされている夏季の挿し木発根性への影響を検討した。2018年4月から8月にかけて、計4回採穂したスギ穂木を-1.5°Cの穂木貯蔵庫で3週間または6週間貯蔵したのちに挿し付け、9週間および12週間での生存率、発根の有無および発根量を評価した。コントロールは各採穂日において貯蔵期間を設けなかった処理区とし、低温貯蔵した各処理区で得られた結果を比較した。その結果、低温貯蔵処理区では枯損率の低下に寄与する可能性が示唆された。また、スギフェノロジーは遺伝子発現レベルで大きく活動期と休止期に分けられることが明らかになっている。今回の結果から低温貯蔵処理が穂木内部の生理状態に何らかの影響を及ぼしていると考えられたため、低温貯蔵の前後における穂木の遺伝子発現解析を行い穂木内部の生理状態について検討した。その結果、低温貯蔵前後で遺伝子発現は変化しており、低温貯蔵がスギ穂木の生理状態を変化させ、発根性に影響を及ぼした可能性が示唆された。

スギさし木苗生産における最適な光環境条件の検討

尾上竜一（九州大学大学院生物資源環境科学府）、
吉村知也（住友林業筑波研究所）、
栗田 学（森林総合研究所林木育種センター九州育種場）、
田村美帆（九州大学大学院農学研究院）、
渡辺敦史（九州大学大学院農学研究院）

挿し木苗生産において光環境の調節は重要な課題の一つであり、一般的に遮光により光量を制限することで挿し床からの蒸発や挿し穂からの蒸散を抑制する。遮光は光量のみでなく温度などの他の環境因子にも影響を及ぼすため、光合成や呼吸などの挿し穂の生理活性にも影響を及ぼす。これまでに挿し木発根に及ぼす光量の影響について事例がいくつか報告されているが、未だに明確になっていない点が多い。そこで本研究では寒冷紗を利用して6段階の遮光率（0%、38%、50%、75%、85%、95%）に調整した処理区を設け、各2クローンを用いた春挿しと夏挿しの発根・枯死調査を行った。これらの結果から挿し木発根、枯死に及ぼす光量の影響が季節やクローンにより異なることが明らかになった。また、根系を指数評価することで発根と根系発達で必要とする光量が異なることが示された。更に、挿し木発根における光の必要な時期を明らかにするために95%遮光率の寒冷紗を用いて段階的に遮光期間と受光期間を設ける実験を行った。これらの結果を基に季節やクローン、遮光時期などに考慮した最適な光環境条件を検討する。

少花粉ヒノキコンテナ残苗を利用した挿し木増殖

久保田将之（東京都農林総合研究センター）

スギやヒノキの育苗において、コンテナ苗の利用が広がっている。しかし、コンテナ苗の中には、需給の関係等で残苗として成長し過ぎる苗がみられる。そこで、育苗コストを低減するためにも規格外になってしまった苗を有効に活用する必要がある。本研究では、少花粉ヒノキのコンテナ苗残苗を挿し穂として利用し、新たにコンテナ苗を育成することを目的とした。2019年3月に20本の苗木から主軸の節ごとに各10～15本の挿し穂をとり、合計216本をバーミキュライトに挿した。同5月に183本の発根苗を得てコンテナに移植した。その結果、同10月の時点で樹高平均32.3cmの苗木に成長した。また、2019年7月に10本のコンテナ苗から主軸の節ごとに各13～15本の挿し穂をとり、合計147本を同様に挿した結果、130本の発根苗を得た。一般化線形モデルによる解析では、発根乾重は、挿し穂の採取部位による違いはみられず、採穂苗個体と挿し穂乾重の影響を受けていた。

被陰下におけるトドマツ樹幹の伸長成長と肥大成長の抑制過程

安田悠子 (森林総合研究所林木育種センター)、内海泰弘・
談 嫻芳・田代直明・古賀信也(九州大学農学研究院)、
福田健二(東京大学大学院農学生命科学研究科)、
高田克彦(秋田県立大学木材高度加工研究所)

被陰環境で生存する樹木では樹体内の各部位において、木部形成の光応答に差異が生じ、樹冠形が変化すると考えられるが、その詳細は明らかにされていない。そこで、被陰環境で生育したトドマツ樹幹の茎頂分裂組織と維管束形成層を解剖学的に解析した。41年生8個体の樹幹基部から頂端までの節間数と地上高別の年輪数を計測し、樹幹上部と下部の形成層の組織構造を光学顕微鏡で観察した。その結果、1年以上の伸長成長の停止(節間欠損と定義)が起きた個体が存在した。年輪欠損数と節間欠損数は個体間で異なり、各欠損数は個体内で一致しなかった。さらに、樹幹上部より先に樹幹基部の形成層の分裂機能が失われた。次に、5年生苗木を8月初旬から70日間相対光強度5%で被陰した。被陰開始時から成長終了時までの被陰個体と対照個体の伸長成長量と肥大成長量を2週間間隔で計測し、幹の分裂組織を観察した。その結果、対照個体と比較して被陰個体の伸長成長量と肥大成長量は低下した。被陰開始56日後以降で、幹頂端の頂生側芽と幹基部の形成層も生存していたが、幹頂端の頂芽では葉原基が枯死した個体が存在し、被陰環境での傘型樹形の形成に寄与すると考えられた。

石灰岩地に隔離分布する絶滅危惧種チチブミネバリの葉緑体ゲノム解析

吉田拓矢 (東京大学農学部)、五十嵐勇治・
平尾聡秀 (東京大学大学院農学生命科学研究科)

本列島には石灰岩地帯が広範囲に散在しており、そうした場所では特殊な植物群落が成立している。生育地の面積が限られることや、採掘や開発の影響により、石灰岩植物には絶滅危惧種が多く含まれる。カバノキ科のチチブミネバリ (*Betula chichibuensis*) は石灰岩が露出した尾根や岩棚にのみ生育する代表的な石灰岩植物である。チチブミネバリは東京都・埼玉県・群馬県にまたがる秩父山地と、岩手県の北上山地に隔離分布しているが、その分布形成と遺伝的分化については明らかにされていない。そこで本研究では、チチブミネバリの葉緑体ゲノム解析によって、集団間の系統関係を推定し、秩父集団と北上集団の遺伝的分化を明らかにすることを目的とした。秩父山地の8集団と北上山地の3集団の各1個体から葉を採取してゲノムDNAを抽出した。葉緑体ゲノムの一部をPCR増幅し、ロングリードシーケンス解析を行った。約38000塩基対のシーケンス結果から系統推定を行ったところ、秩父集団と北上集団は明確に分離された。また、北上集団のほうが古い系統であり、報告されている生育地点の多い秩父山地の集団は新しい系統であることが示された。本発表では、これらの結果とともに、葉緑体ゲノムの集団間の変異について報告する。

岡山・愛媛・宮崎に共通植栽したスギ精英樹の初期成長

三浦真弘（森林総研林育セ関西）、新原一海（岡山県森林研）、坪田幸徳・木村光男（愛媛県林研セ）、上杉基（宮崎県林技セ）、武津英太郎・栗田学（森林総研林育セ九州）、高橋誠（森林総研林育セ）

地球温暖化は、森林へ重大な影響を及ぼすと懸念され、気候変動に適応したスギの作出技術開発が求められている。このような技術開発では、気温・湿度が制御できる人工環境で、成長反応等を観察することが一般的だが、作出されたものが、異なる自然環境下でどのような反応を示すか検証することも重要である。そこで、気候が異なる西南日本3地域（岡山、愛媛、宮崎）の一般造林地で、環境応答性の評価を目的としたスギ植栽試験地を設定し、植栽1年目の成長反応を比較した。植栽系統は、花粉症対策品種を含む精英樹、第二世代精英樹候補木である。調査は、植栽後と成長休止期に樹高と根元径を測定し、雄花着生の有無および生育状態を記録した。生存率は3試験地で、89.6～90.1%とほぼ同じであり、精英樹と第二世代候補木で違いはなかった。3試験地の平均成長量は、岡山、宮崎が同程度で、愛媛で低い値となり、第二世代精英樹候補木が、精英樹より成長が良い傾向があった。雄花着生は、岡山が、愛媛と宮崎に比べ着生する個体数が多く、岡山と愛媛では精英樹に比べ、第二世代精英樹候補木で着生しやすい傾向があるのに対し、宮崎ではそのような傾向はなかった。

Population genetic diversity of *Cryptomeria japonica* var. *sinensis* based on RAD sequencing technology

Cai Mengying (University of Tsukuba, Central South University of Forestry and Technology), Wen Yafeng (Central South University of Forestry and Technology), Uchiyama Kentaro (FFPRI), Tsumura Yoshihiko (University of Tsukuba)

Cryptomeria japonica var. *sinensis* is an important species for afforestation and wood producing in southern China, despite its wide plantation, genetic diversity level is still obscured. In this study, we employed RAD sequencing technology to investigate the genetic diversity of 79 samples from 6 old tree populations representing the main distribution range. 922 SNPs revealed low genetic diversity within populations ($N_a=1.7634$, $N_e=1.4065$, $I=0.3684$) and strong genetic differentiation among populations ($F_{ST}=0.11164$). Nevertheless, isolate-breaking effect were detected among different geographic populations ($H_o>H_e$), and heterozygosity excesses was existed in most populations except the population of WT ($F_{is}=-0.055$). The clear genetic structure suggested that population of WT is relative isolated in genetics, and its lower genetic diversity was also observed. Our data support the hypothesis that those old tree populations were introduced and then experienced bottleneck event respectively.

本大会は、公益財団法人国土緑化推進機構
「緑と水の森林ファンド」の助成を受けて開催しました。

森林遺伝育種学会 第8会大会講演要旨集
令和元（2019）年11月8日
編集・発行 森林遺伝育種学会 大会事務局

