

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：82105

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2016

課題番号：24780160

研究課題名(和文) スギ根系の構造および成長特性に及ぼす遺伝的要因の解明

研究課題名(英文) Elucidating genetic factors in root traits and growth of *Cryptomeria japonica*

研究代表者

大平 峰子(OHIRA, Mineko)

国立研究開発法人森林総合研究所・林木育種センター・主任研究員

研究者番号：40370861

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：スギ根系の育種改良の基礎的知見を得ることを目的として、さし木クローンの苗木と成木をセットで用い、遺伝的な違いに注目して根系構造および成長動態を解析した。その結果、根系形質は用土の理化学的性質、さし穂の葉量等の環境条件に影響を受けること、環境条件の影響を除去しても幅広いクローン間変異があること、根系形質間に幼老相関があることが示された。さらに、地上部成長に優れるクローンに共通する苗木の形質として細根量が多くかつTR比が高いという特徴が認められた。これらの結果から、比較的少ない資源量で多量の細根を発達させることが地上部を成長させる一因であり、この形質はさし木苗の段階で推定できると考えられる。

研究成果の概要(英文)：To obtain insights to improve *Cryptomeria japonica* root traits, I investigated the root system and their growth traits of the *C. japonica* cuttings and mature trees. The root traits of cuttings were affected by environmental conditions such as the physical and chemical properties of soil, and leaf area of cuttings. The difference in root traits among clones were large even after removing the influence of environmental conditions. The root traits of cuttings were positively correlated with that of mature trees. Besides, the traits of cuttings common to clones with superior above-ground growth were high amount of fine root and high TR ratio. These findings suggested that to increase fine roots production with less resources enhance above-ground growth, and the traits can be estimated at the stage of rooted cuttings.

研究分野：林木育種

キーワード：根系 形質 育種 樹木根 不定根 さし木

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

林木育種では、優れた形質を有するクローン特性を維持するため、さし木による増殖は常套手段の一つであるが、さし木増殖では発根率が重視されており、その後の根系の形成過程はほとんど注視されてこなかった。なぜなら、根系は土壌の理化学的性質や地下水水位等の環境の影響を受けて様々に変化すると考えられ、さらに根を掘り起こしてその根系構造や機能を数値化して評価するのは多大な労力と時間を要するためである。一方、イネやコムギ等の作物では根の伸長角度や根量等の形質が成長や乾燥耐性に影響することが示唆され、根系育種による多収性や耐乾性の向上に成功している。樹木でも根系の形成速度やその構造は養水分吸収等の機能に密接に関連しているため、成長に影響する可能性が高く、成長に関するクローン間差の要因の一つには根系形質が寄与すると考えられる。樹木の成長速度は樹高もしくは肥大成長を実測値で評価する以外に手段はなく、多因子で構成される成長特性を遺伝的メカニズムの基でより詳細に理解するためには、成長に与える因子を分解し、それぞれについて精密な評価を行う必要性がある。

2. 研究の目的

スギの成長特性について根系の側面から理解し、育種改良を行うための基礎的知見を得るため、材料として同一の遺伝子型を持つさし木クローンの苗木と成木をセットで用いて研究を行った。具体的には、スギのさし木苗の基本的な根系構造および環境による変動を明らかにすること、根系を評価するために適した条件下でクローン間の根系形質を評価して変異幅を把握すること、地上部と地下部の成長特性の関係を明らかにすること、最終的にはさし木苗の根系形質のうち成木の形質と相関関係があるものを抽出することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) さし木苗の根系構造と環境による変動

さし穂から不定根が発生し、伸長・発達していく過程と根系の基本構造について、発根性の高いスギ精英樹郷台1号を用いて調査した。この調査は茨城県日立市にある森林総合研究所林木育種センター内のガラス温室内で行った。さらに、不定根の発達過程の遺伝子挙動を把握するため、25のインキュベーター内にさし木し、採穂直後・さし木から1日・1週・2週・3週・4週・6週および13週後のさし穂の基部をサンプルとして各段階における網羅的遺伝子発現解析をマイクロアレイ法によって行った。

一方、さし木苗の根系が環境によってどのように変化するのか、どのような環境で根系評価を実施するべきかを明らかにする

ため、スギ精英樹3クローンを12種類の用土にさし木して発根率および根系形質を調査した。さらに、各用土の理学的性質を調査し、どの理学的性質が根系形質に影響を与えているかを一般化線形混合モデルによって解析した。なお、この試験は雑誌論文にとりまとめた。

(2) さし木苗の根系形質の変異

クローンによる根系形質の変異幅を明らかにするために、(1)で明らかにした根長が最大化される条件で関東育種基本区のスギ精英樹約400クローンをさし木し、6~10本のさし穂に発生した根量を複数人で1本ずつ指数評価した。その結果を育種用統計解析ソフトウェアASRemlによって解析し、変量効果モデルによって各クローンの根量指数の育種価を推定した。

さらに、このうち10クローンのさし木苗の根系について、複数年にわたり詳細な形質(さし穂から直接発生した本数、根の全長、直径1mm未満の細根長、直径1mm以上の粗根長、根の表面積および体積)を根系測定システムWinRHIZO regを用いて取得し、各根系形質を目的変数、さし穂の投影面積、測定年およびクローンを説明変数とした一般化線形モデルによる解析を行った。

(3) 地上部・地下部および苗木・成木の関係

地上部と地下部の関係を成長動態の面から明らかにするために、4クローンのさし木苗をロングポットに植えて根系形質および地上部と地下部の乾燥重量比(TR比)の推移を1ヶ月おきに調査した。一方、さし木苗と成木の形質の関連性を評価するため、(2)で詳細な根系評価を行った10クローンについて17年生の林分から直径5cmのハンドオーガーで深さ10cmまでの土壌コアを取得し、土壌コアに含まれる根系を洗い出して形質を調査し、さし木苗の形質との比較を行った。

4. 研究成果

(1) さし木苗の根系構造と環境による変動

郷台1号を3月下旬にさし木した結果、8週間には不定根が発生し始め、12週間までにほとんどのさし穂から不定根が発生した。また、発根してから2~3週間には側根の発生が認められた。春にさし木して秋までさし床で育成した郷台1号のさし木苗の根系形質の平均値は、直接さし穂から発生した根の本数15.7本、根の全長453.0cm、根の表面積169.2cm²、直径1.1mm、体積4.5cm³であった。直接さし穂から発生した不定根は、さし穂の直下だけでなく斜め方向へ伸長し放射状に広がった。これらの不定根は比較的太いものも多く、直径1mm以上であることが多かった(図1)。不定根からは一次側根が発生し、さらに高次の側根が発生する場合もみられた。これらの側

根は比較的細く、直径 1mm 以下である場合が多かった。さし木苗をポットで育成して根系の成長を観察した結果、太い不定根や側根が木化し肥大成長したことから、これらの粗根が根系の骨格として機能すると考えられる。

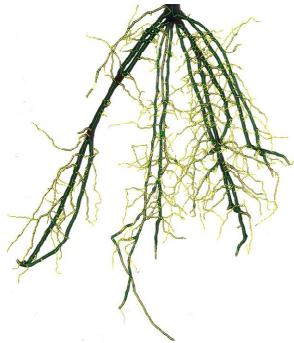


図 1. さし木苗の根系の直径による区分
緑：直径 1mm 以上、黄：直径 1mm 未満の根を示す。

さし木の発根および根の伸長過程の網羅的遺伝子発現解析を行い、採穂直後から発根するまで時系列に沿って遺伝子発現データを取得した(図 2)。採穂直後から 1 日後にかけて遺伝子群の発現が大きく変動する一方、切り口の組織が分化し、根原基が形成される時期であるさし木 1 週後から 6 週にかけての変化は少なかった。

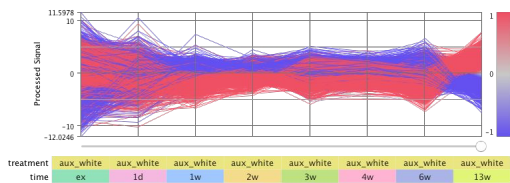


図 2. さし木の発根過程における遺伝子発現の挙動
横軸は採穂直後(ex)からの日・週数(1日後～13 週後)を示す

環境によるさし木苗の根系の変化を明らかにするため、3 クローンの枝を 12 種類の用土にさしつけた結果、用土間で発根率および根長の差が認められた。用土の透水性と保水性を示す性質を説明変数として DIC (偏差情報量基準) 値によるモデル選択を行い、用土の気相と液相の比およびその二次項を説明変数としたモデルを最適モデルとして選択した。このモデルによって気相と液相の比が約 1.0 で発根率が最大となる負の二次曲線状の関係が予測された(図 3)。発根率の最適条件に該当するのが鹿沼土小粒およびココナツハスクであり、両者を比較すると鹿沼土小粒で発根させたさし木苗の根長が大きかったことから、鹿沼土小粒がスギのさし木苗の根系形質評価に最適な用土であると考えられた。

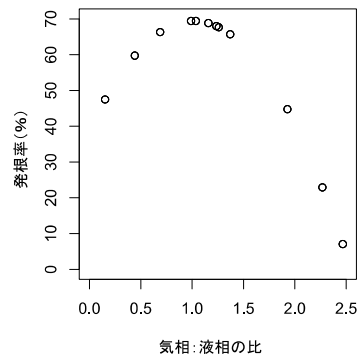


図 3. 一般化線形混合モデルにより予測したさし木用土の気相:液相の比とさし木発根率の関係

(2) さし木苗の根系形質の変異

(1)で根系形質評価に最適であると判断した鹿沼土小粒を用いて約 400 クローンのさし木苗の根量を指数評価した結果、根量は指数 3 (中庸) を中心として正規分布した。すなわち、中程度の根量を示すクローンが最も多かったが、根量が少ないクローン、多量の根量を持つクローンの存在が確認され、幅広い変異が認められた。

このうち 10 クローンのさし木苗の根系形質を複数年にわたり詳細に取得し、根の形質を目的変数として一般化線形モデルによる解析を行った結果、さし穂の葉量、年次およびクローン間に有意差が認められた(それぞれ $p < 0.05$)。すなわち、さし木苗の葉量が根量に関する形質(根長、表面積、体積)に影響すること、測定する年次によって根系形質の変動があること、これらの影響を除いてもクローン間差があることが示された。一方、直径 1mm 以下の細根長が全根長に占める割合は葉量に影響を受けなかった。根量が多いクローンでも、粗根が多いクローンと細根が多いクローンが存在した(図 4)。粗根が多いクローンは細根が多いクローンと比較して根の体積が多かったことから、同じ長さの根を発達させるための資源投資量が比較的多いと考えられる。



図 4. スギさし木苗の根系変異の例
左：太い根が多いクローン、右：細根が多いクローン

(3) 地上部・地下部および苗木・成木の関係

4 クローンのさし木苗をロングポットに植栽して成長動態を測定したところ、根の

全長および体積は全てのクローンに共通して指数関数的に増加した。根の成長は11月から12月にかけても続いたが、地上部の成長は11月にほぼ停止した。根の成長解析を行った結果、根の全長はいずれのクローンでも増加したが、根の直径成長が著しいクローン、細根を多量に発生させるクローン、他のクローンよりTR比が低いクローンの存在が見出された。試験林での成長と比較すると、細根量の多いクローンは試験林で樹高が高く、TR比が低いクローンは樹高が低かった。これらのことから、細根量が地上部への成長に寄与すること、地下部への分配率が高いために地上部の成長が相対的に低くなる可能性が示唆された。また、同じ4クローンのさし木苗に対して肥料量を増減したところ、低濃度域で細根が増加し、高濃度域で太根が肥大するクローンが認められた。このことから、土壌の環境によって根が可塑的に反応する場合があると考えられる。

17年生の林分で土壌に含まれる根の密度を測定した結果、クローン平均値のレンジは根長で2.53-6.22cm/cm³、細根長で2.50-6.10 cm/cm³、表面積で0.47-1.28cm²/cm³、体積で0.007-0.026cm³/cm³であった。すなわち、土壌に含まれる根の密度にはクローン間で2倍以上の差があることが示された。また、さし木苗と成木の根系形質の相関関係を比較したところ、根長・表面積および体積のうち体積の相関が最も高く、有意な正の相関関係が認められた($p < 0.05$, 図5)。

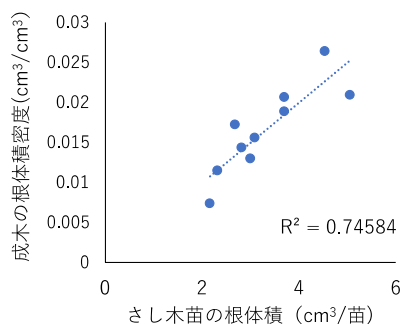


図5．さし木苗の根体積と成木の根体積密度の相関関係

以上の結果から、スギのさし木苗の根系形質には幅広い遺伝的変異が存在すること、その根系形質には幼老相関があることが示された。さらに、地上部成長に優れるクローンに共通するさし木苗の形質として、細根量が多くかつTR比が高いという特徴が認められたことから、比較的少ない資源量で多量の細根を発達させることが地上部を成長させる一因であり、この形質はさし木苗の段階で推定できると考えられる。

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

大平 峰子、花岡 創、平岡 裕一郎、栗田学、井城 泰一、三浦 真弘、渡辺 敦史、用土の理学的性質がスギのさし木発根性に及ぼす影響、日本森林学会誌、査読有、98巻、2016、265-272、DOI:
<http://doi.org/10.4005/jjfs.98.265>

〔学会発表〕(計7件)

大平 峰子、花岡 創、平岡 裕一郎、渡辺敦史、スギ林における根密度のクローン間変異、第128回日本森林学会大会、2017年3月26日-3月29日、鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市)

大平 峰子、花岡 創、平岡 裕一郎、渡辺敦史、スギさし木苗の根系成長におけるクローン間変異、第127回日本森林学会大会、2016年3月27日-3月30日、日本大学(神奈川県藤沢市)

大平 峰子、花岡 創、平岡 裕一郎、渡辺敦史、スギさし木苗の根系におけるクローン間変異、第43回根研究集会、2015年9月30日-10月1日、東京農業大学(神奈川県厚木市)

大平 峰子、花岡 創、平岡 裕一郎、栗田学、渡辺 敦史、スギのさし木発根性の季節変動とその要因、第126回日本森林学会大会、2015年3月26日-3月29日、北海道大学(北海道札幌市)

Ohira, M., Tamura, M., Hanaoka, S., Iki, T., Hiraoka, Y., Kurita, M. and Watanabe, A., Clonal variations in the root traits of Japanese cedar and isolation of EST related to root development, 6th International symposium on physiological processes in roots of woody plants, 2014年9月8日-9月13日、名古屋大学(愛知県名古屋市)

井城 泰一、平岡 裕一郎、大平 峰子、小野 雅子、渡辺 敦史、関東育種基本区におけるスギ精英樹のさし木発根性の評価、第125回日本森林学会大会、2014年3月27日-3月29日、大宮ソニックシティ(埼玉県さいたま市)

小野 雅子、大平 峰子、渡辺 敦史、土壌がスギさし木に与える影響評価、第124回日本森林学会大会、2013年3月26日-3月28日、岩手大学(岩手県盛岡市)

6．研究組織

(1)研究代表者

大平 峰子(OHIRA, Mineko)

国立研究開発法人森林総合研究所・林木
育種センター・主任研究員
研究者番号：40370861

(2)研究協力者

花岡 創 (HANAOKA, So)
国立研究開発法人森林総合研究所・林木
育種センター北海道育種場・主任研究員

平岡 裕一郎 (HIRAOKA, Yuichiro)
国立研究開発法人森林総合研究所・林木
育種センター・室長

三浦 真弘 (MIURA, Masahiro)
国立研究開発法人森林総合研究所・林木
育種センター関西育種場・室長

井城 泰一 (IKI, Taiichi)
国立研究開発法人森林総合研究所・林木
育種センター東北育種場・室長

渡辺 敦史 (WATANABE, Atsushi)
九州大学大学院・農学研究院・准教授