

令和 4 年 6 月 9 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K06159

研究課題名(和文) スギさし木苗の「形」をコントロールする-肥大成長促進メカニズムの解明 -

研究課題名(英文) Controlling the "shape" of Sugi cuttings -Study on mechanisms that promote radial growth-

研究代表者

栗田 学 (Kurita, Manabu)

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所 林木育種センター・主任研究員 等

研究者番号：40370829

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：制御環境下において、光等の環境刺激に対するスギさし木苗の成長量の変化を調査することによって、肥大成長に関連すると考えられる環境刺激を明らかにすることを目的として研究を進めてきた。日長、光強度、光質と苗木の成長との関係性を調査し、長日、青色単色光の環境下にて伸長成長が促進されることを明らかにしたが、今回我々が試みた育成環境条件において、肥大成長を有意に促進可能な環境刺激は見出すことができなかった。一方で、SfM法を用いた3Dモデリングによって、根元径や地上部の体積を経時的かつ非破壊での調査可能な技術を確認することに成功した。今回の開発技術を活用して、引き続き解析を進めていく予定である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今回我々は、育成環境の光質条件が、スギ苗木の形状に影響する可能性を示唆する結果を得た。また、3Dモデリングを活用したスギ苗木の非破壊的な体積計測手法を確立できたことで、苗高と根元径以外の視点から、苗木の特徴や形状を評価することを可能とすることに成功した。今後、3Dモデリングを活用し、さらなる環境刺激とスギ苗木の形状の変化について研究を進めていくことで、植栽後、系統の持つ特性を最大限引き出すための苗の形状について、より詳細に解析を行い、再造林時の下刈り等低コスト化に貢献する形状の苗の作出技術の開発を進めていきたい。

研究成果の概要(英文)：This study was carried out with the aim of clarifying the environmental stimuli involved in radial growth under a controlled environment. The relationship between day length, light intensity, light quality and rooted cuttings growth were investigated, and it was clarified that height growth was promoted under the environment of monochromatic blue light for a long day condition. However, we could not find any environmental stimulus that could significantly promote radial growth under the growing environmental conditions we tried this study. On the other hand, we have succeeded in establishing a technique that enables non-destructive investigation of the diameter and the volume of rooted cuttings by 3D modeling using the SfM method. We are going to continue the analysis by using the developed technology.

研究分野：分子生物学

キーワード：さし木苗 SfM 3D計測 バイオマス(体積)計測

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、スギ人工林が伐期を迎え、主伐および再造林が活発に行われている。再造林を着実に進める上で、造林・育林コストの削減が課題であり、そのためには下刈り回数の削減に繋がる初期成長に優れた苗木の活用が行われている。これまでにエリートツリー等、成長性に優れたスギ系統が開発されているが、植栽後にその系統の持つ優れた成長特性を十分に発揮させるためには、苗木の形状が重要であることが示唆され、特に根元径の不足は植栽後の伸長成長の減少をもたらすため、初期育林コストの削減のためには十分な根元径を持つ苗木を生産する技術が求められている。

(2) 樹木の肥大成長には葉からの連続した光合成産物の供給が必要である。森林生態の分野において、樹木の葉量を推定するために、パイプモデルというアロメトリーを利用した推定方法が用いられており (Shinozaki et al. (1964) Japanese journal of ecology 14, 97-105) 樹木の肥大成長に葉量が関係することが示唆されている。そして、スギにおいてもパイプモデルを支持する結果が報告されている (城田ら(2002) 生態学会 49 回大会 企画シンポジウム)。

(3) 葉は温度や日長、光質等の多くの環境刺激を受容している。そして、なんらかのシグナルを形成層に伝えて肥大成長を変化させていると考えられる。ただ、各環境刺激は同時に変化すること、さらに葉量や肥大成長の微量変化の経時的非破壊測定が困難であったことから、どの環境刺激が葉量や肥大成長に影響しているか、また影響している場合にその影響はどの程度かは明らかではない。

2. 研究の目的

本研究は、制御環境下において、光等の環境刺激に対するスギさし木苗の成長量の変化を調査することによって、肥大成長に関与すると考えられる環境刺激の抽出、および、葉量の増加パターンとの関連性を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 光刺激に対する苗木の成長パターンの解析

日長を調節した環境下でスギの肥大成長量および葉量の変化を計測し、スギの肥大成長量を促進するために適した日長を調査するとともに、その際の葉量の変化について調査する。また、光質の違いが肥大成長量および葉量の変化に与える影響の調査を行なう。赤、青、赤青混合色の植物育成用 LED 照射下でスギさし木苗を育成し、肥大成長に影響を与える光質条件を調査する。

(2) 立体画像解析技術による詳細な肥大成長および非破壊的な葉量の調査

SfM (Structure from Motion) 法を用いた 3D モデリングを活用し、肥大成長および葉量変化の調査技術の開発を行う。経時的に葉量の増加パターンを調査するためには非破壊的に葉量を測定する技術が必要である。そこで本研究では画像解析技術を応用し、微細な成長量の変化を把握することが可能な高い解像度を持つ肥大成長量計測システム、および SfM 法を用いた非破壊的な葉量推定システムを構築する。肥大成長に影響を与える環境条件において植物体を育成し、肥大成長と葉量の変化を経時的に調査し、その関連性を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 光刺激に対する苗木の成長パターンの解析

光質と日長がスギさし木苗の成長に及ぼす影響の調査を行なった。長日条件として 14 時間明期、短日条件として 10 時間明期を設定した。生物環境調節装置内を 4 つの試験区に区切り、各試験区の光条件を以下のように設定した。試験区 A1: 赤長日区、試験区 A2: 青長日区、試験区 A3: 赤短日区、試験区 A4: 青短日区 (図 1)。生物環境調節装置内の温度は 25 一定、光強度は $500\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ の条件で 3 ヶ月間の育成試験を行なった。苗高の成長量について試験区間での差異を解析した結果、試験区 A2 において、他の試験区と比較して成長量が大きく ($p < 0.05$) 長日条件下において、赤色単色光と比較して青色単色光で成長促進効果があることが示唆された。根元径の成長量について同様の解析を行なった結果、各試験区間での有意差は認められなかったが、赤色単色光 > 青色単色光、長日 > 短日となる傾向が認められた。



図 1 育成試験の様子

光質と光量がスギさし木苗の成長に及ぼす影響の調査を行なった。生物環境調節装置内を 4 つ

の試験区に区切り、各試験区の光条件を以下のように設定した。試験区 B1：赤強光区、試験区 B2：青強光区、試験区 B3：赤弱光区、試験区 B4：青弱光区。生物環境調節装置内の温度は 25 一定、16 時間明期の条件で 1 ヶ月間の育成試験を行なった。苗高の成長量について試験区間での差異を解析した結果、試験区 B1<試験区 B2 ($p<0.05$)、試験区 B3<試験区 B4 ($p<0.01$) を示し、苗高については赤色単色光と比較して青色単色光下で成長促進効果があることが示唆された。一方で光量の違いによる有意差は認められなかった。根元径の成長量について同様の解析を行なった結果、各試験区間での有意差は認められなかった。

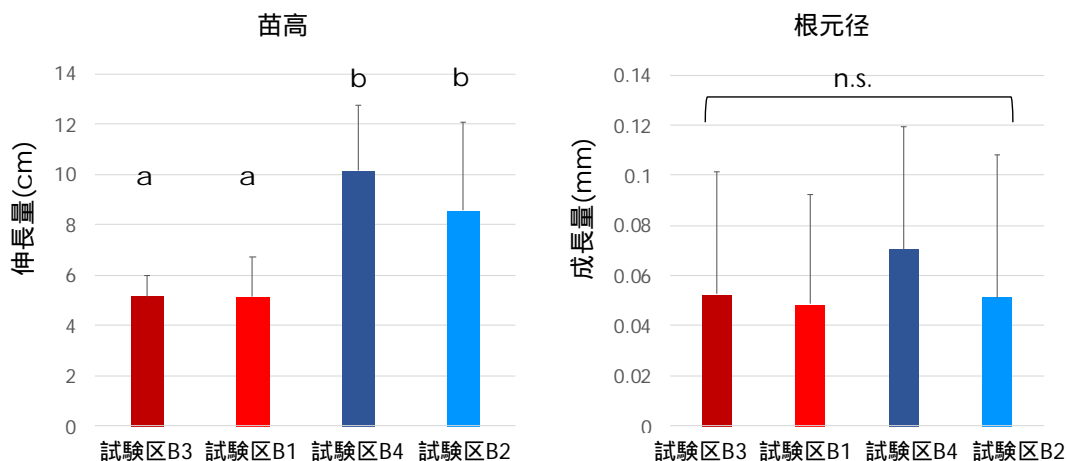


図 2 光波長と光強度が成長に与える影響の評価

これまでの結果から、青色単色光下で育成することによって、伸長成長量の増加が認められているが、この現象が、青色光の照射による効果であるか、あるいは赤色光の非照射による効果であるかということについて知見を得るため、生物環境調節装置内を 2 つの試験区に区切り、各試験区の光条件を以下のように設定して育成試験を行った。試験区 C1：赤色単色区、試験区 C2：赤青混色区。生物環境調節装置内は 16 時間明期（4～20 時）とし、明期の気温は 25、暗期の気温は 20 の条件で育成試験を行なった。苗高及び根元径の成長量について試験区間での差異を解析した結果、2 ヶ月の育成期間においては各試験区間での有意差は認められず、青色単色光下での伸長成長量の増加が赤色光の非照射による効果である可能性が考えられた。再現性について調査を進めていきたいと考えている。

(2) 立体画像解析技術による詳細な肥大成長および非破壊的な葉量の調査

SfM 法に根元径の計測精度についての評価を行った。これまで実施されてきたノギスによる直接計測の他に、スギさし木苗の撮影画像データを用いた二次元画像計測、三次元計測の計測結果を比較し、スギさし木苗の表現型調査における新たな解析手法の利用の可能性について検討を行った。その結果、直接計測、二次元画像計測、三次元計測で得られた計測値には有意な差は認められず、スギさし木苗の表現型調査への三次元計測の利用の可能性が示された。

スギ苗木の葉量（地上部のバイオマス量(体積)）の非破壊計測手法の確立にむけて、3D 計測装置で得られた画像から 3D モデル(点群)を求め(図 3)、ボクセル法及びポアソンメッシュ法での体積の推定を試みた。基準となる体積は浮力法で実測した。サイズの異なる 10 個体のスギ苗木を用い、分解能 1mm でボクセルを作成した結果、分解能 0.5mm でボクセルを作成した結果およびポアソンメッシュ法でメッシュを作成し体積を計測した結果それぞれと実測データとの相関を調べた結果、相関値は 0.8496 (ボクセル法 (分解能 1mm))、0.8824 (ボクセル法 (分解能 0.5mm))、0.9288 (メッシュ法)を示し、何れの方法でも実測値との強い相関が認められ、体積の算出法として実用可能なレベルと考えられた。

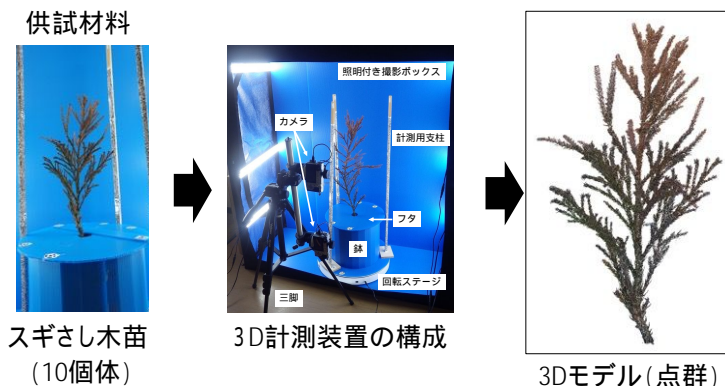


図 3 3D 計測装置の構成と撮影画像から構築したスギ苗木の 3D モデル

(3) 本研究は、制御環境下において、光等の環境刺激に対するスギさし木苗の成長量の変化を調査することによって、肥大成長に関与すると考えられる環境刺激を抽出し、葉量の増加パターンとの関連性を明らかにすることを目的として研究を進めてきた。日長、光強度、光質とスギの苗木の成長との関係性を調査し、長日、青色単色光の環境下にて伸長成長が促進されることを明らかにしたが、今回我々が試みた育成環境条件において、根元径の成長を有意に促進可能な環境条件は見出すことができなかった。一方で、今回の研究において、SfM法を用いた3Dモデリングによって、根元径や地上部の体積を経時的かつ非破壊での調査を可能とする技術を確立することに成功した。今回開発された3Dモデリングを活用した非破壊計測手法を活用して、引き続き各種の環境刺激がスギの成長へ与える影響の評価を進めていく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 栗田 学、高地伸夫、林 篤司、武津英太郎、能勢美峰、兒玉晋洋、七夕高也、磯部祥子	4. 巻 -
2. 論文標題 スギさし木苗の肥大成長に影響する環境要因の解明に向けて - 三次元形状モデリングシステムの活用 -	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ビジョン技術の実利用ワークショップ2020講演論文集	6. 最初と最後の頁 350-354
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 栗田 学、高地伸夫、林 篤司、武津英太郎、能勢美峰、兒玉晋洋、七夕高也、磯部祥子
2. 発表標題 スギさし木苗の肥大成長に影響する環境要因の解明に向けて - 三次元形状モデリングシステムの活用 -
3. 学会等名 ビジョン技術の実利用ワークショップ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 栗田学、武津英太郎、高地伸夫、松永孝治、倉原雄二、福田有樹、久保田正裕
2. 発表標題 スギさし木苗の形状を制御する光環境条件の検討
3. 学会等名 森林遺伝育種学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高地伸夫
2. 発表標題 植物の3次元計測とスマート農業の将来展望
3. 学会等名 第15回三次元計測フォーラム（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 栗田学、高地伸夫、林篤司、武津英太郎、七夕高也、磯部祥子
2. 発表標題 スギ苗木の成長に影響する環境要因の解明に向けて - 3Dモデリングを活用したバイオマス量の計測システムの構築 -
3. 学会等名 第28回画像センシングシンポジウム
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	武津 英太郎 (Fukatsu Eitaro) (10370826)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所 林木育種センター・主任研究員 等 (82105)	
研究分担者	高地 伸夫 (Kochi Nobuo) (10816903)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農業情報研究センター・主席研究員 (82111)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------