

令和5年度姫路市大学発まちづくり研究助成事業

スギ人工林の再造林・広葉樹林化に関する研究

令和6年3月

神戸大学大学院

農学研究科

森林資源学研究室

目次

研究の背景と目的.....	1
広葉樹林化の動向.....	3
調査地と方法.....	6
結果.....	16
考察.....	21
その他の成果.....	23
結論.....	30
参考文献.....	31
付録.....	32

研究の背景と目的

我が国の人工林の多くは収穫期に達した成熟林である。温暖化防止のための二酸化炭素の吸収・固定および国土・生態系の保全の観点から、これらの森林資源を活用しつつ、収穫後の林地を持続可能な方法で管理していかなければならない。姫路市においても市有林をはじめとする収穫期を迎えたスギ人工林の管理政策が重要な課題となっている。

スギやヒノキなどの針葉樹人工林を広葉樹林へと誘導する広葉樹林化は、水土保持や生物多様性保全など、木材生産以外の森林の多面的機能を促進する整備方法として、全国的に推進されてきた（田内 2010）。広葉樹林施業には、従来の里山管理のように萌芽更新によって天然生二次林を維持していく施業と広葉樹材を生産するために高木林の育成と小面積皆伐を繰り返す施業、人工林の下層に広葉樹を植栽する複層林施業、施業や初期の下刈り後に針葉樹人工林内に定着した広葉樹を共存させ針広混交林施業など、さまざまな施業法がある（図 1）。兵庫県においても令和 4 年に針葉樹人工林の広葉樹林化に関するマニュアルを作成している（兵庫県森林・林業技術センター2022）。

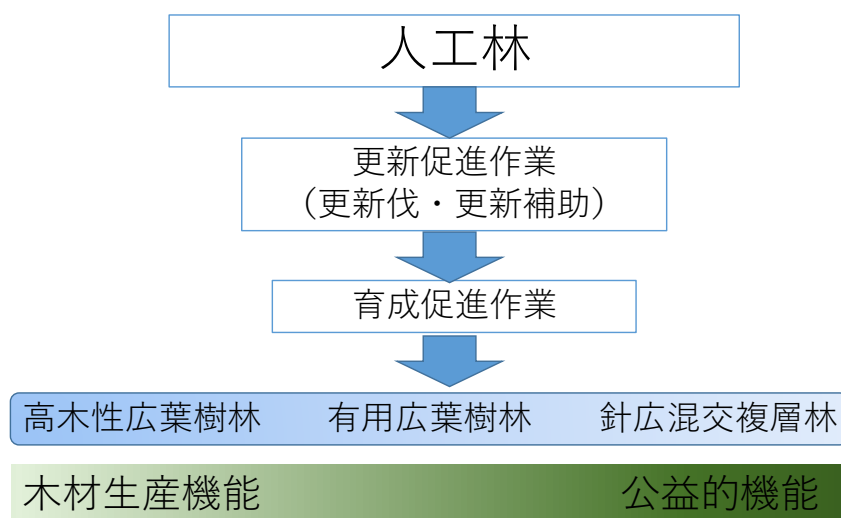


図 1：人工林広葉樹林化の施業過程。様々なタイプの広葉樹林への誘導が考えられ、それぞれが有する木材生産と公益的機能のバランスが異なる。

従来のスギ・ヒノキ林の約半期（20～30年）で収穫が可能な早生樹は、人間の社会経済活動の時間スケールに合致した林業の生産周期として注目されている。姫路市においても、収穫後のスギ人工林において早生樹を用いた再造林を行い、森林資源を有効利用することは意義深い。さらに、森林による生態系サービスのひとつである、二酸化炭素の吸収・固定および木材資源の利用促進は、姫路市 SDGs 未来都市の課題、「脱炭素社会の実現」および「脱炭素型ライフスタイルへの転換」に適合する。

姫路市においても、収穫後のスギ人工林において早生樹を用いた再造林を行い、森林資源を有効利用することは意義深い。人工林の広葉樹林化に姫路市と大学が共同で取り組むことは、市が所有する森林資源の有効利用および森林が提供する生態系サービス（土砂災害防止、水源涵養、CO₂の吸収固定による温暖化防止、持続可能な国土保全など）の充実・促進につながり、姫路市のまちづくりにとってのメリットがある。

また、大学における研究にとってのメリットとしても、

- ・教育効果：針葉樹人工林を取り巻く様々な社会問題についての教育実践現場として活用
- ・学術的発見：造林地における早生樹の成長・生理特性に関する学術的知見が得られる

があげられる。

本共同研究は、

1. 姫路市市有人工林において立地条件による成長量の把握
2. 収穫後の人工林における早生樹を中心とした持続可能な再造林方法の検討

を目的として実施した。

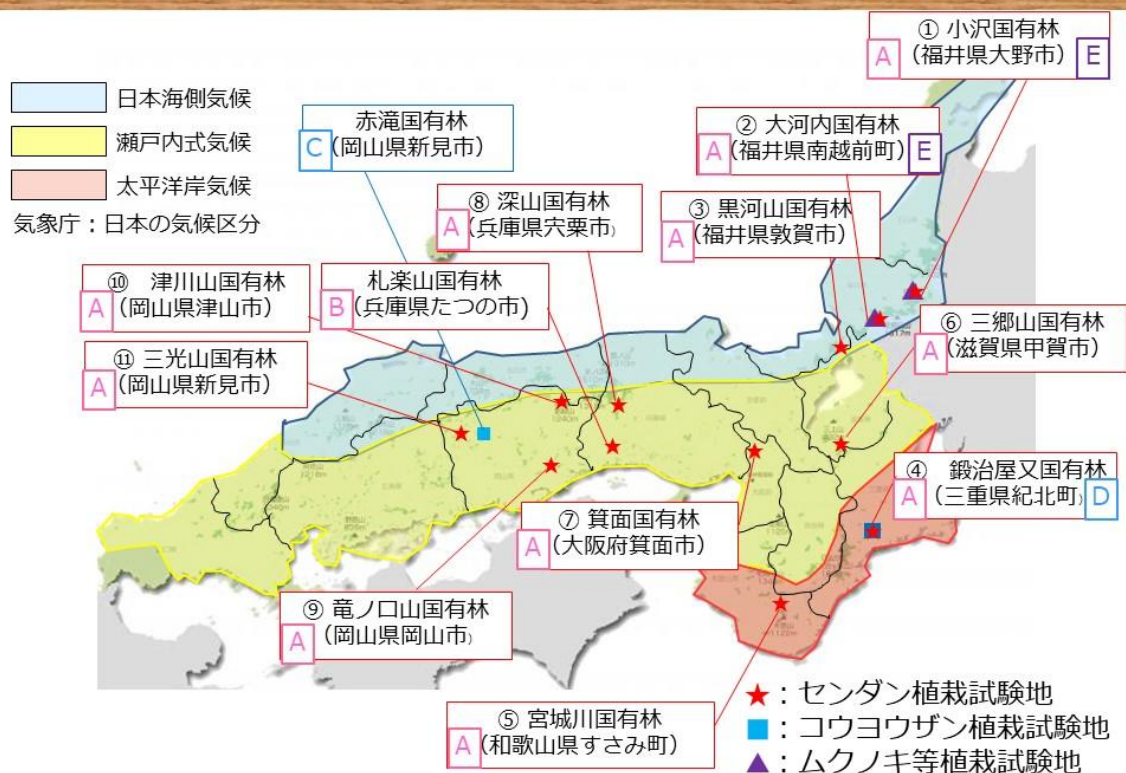
広葉樹林化の動向

早くから広葉樹林造成を先進的に進めている熊本県では、昭和 60 年頃から早生樹に関する研究が開始され、計 52 種を広葉樹試験林に植栽している。平成 6 年には「熊本県における広葉樹造林の手引き」を発行するなど、広葉樹の育林技術および優良系統選抜の研究を積極的に進めてきた。平成 15 年には「センダンの育成方法」を発行し、センダンを用いたスギ人工林の再造林が進められており、育林技術をまとめたマニュアルの改訂版を平成 27 年に発行している。同マニュアルにはセンダンの分布や成長特性、苗木の植栽から保育までの育林技術などが詳細にまとめられている（熊本県林業研究指導所 2015）。



林野庁近畿・中国営林署の試験結果から、センダンは太平洋側気候において、成長が良好であることが報告されている。近畿地方におけるセンダンの成長量は、熊本県ほどではないものの、姫路市が位置する瀬戸内気候では、枯死率が約20%、8年目の成長量が直径で10.4cm、樹高で5.2mと、最も成長が良かった太平洋沿岸に劣らない成長が見込まれる。センダンは広葉樹材としての用途が期待される一方で、通直な幹を生産するためには、枝打ちなど集約的な管理が欠かせない。このため、比較的管理がしやすく通直な材を生産できる広葉樹として、兵庫県の県樹であるクスノキや、ユリノキの植樹についても検討するべきであると考えられる。これらは街路樹としても広く用いられているため、苗木が入りやすいという利点もある。

近畿中国森林管理局における早生樹植栽試験地位置図



さらに近年、北米の針葉樹林で推進されている保持林業（皆伐せず、一部の造林木を隣地に残す、保残伐）は、菌根菌や土壌細菌など生態系の生物遺産を持続させることを目的としている。スギの同齢人工林から早生樹を主とした多様な広葉樹林へと誘導するにあたり、現存する広葉樹の成木を残すことで自然林に類似した多様な森林生態系および森林資源の多様化が期待できる。2024年3月8～11日に東京農業大学において開催された第135回日本森林学会大会においても、人工林の広葉樹林化に関するシンポジウム「広葉樹林化を進めるためには何が必要か？」が企画された（後述）。

調査地と方法

調査地

調査は姫路市安富町末広に位置するスギ・ヒノキ人工林で行った（35°00'49.2"N, 134°37'39.5"E、図 2-4）。同林分は XXX 年に植栽されており、樹齢は約 70 年である。XX 年および XX 年目に間伐施業が行われた記録がある。

広葉樹調査

2024 年 11 月に伐採予定範囲において、現存する広葉樹（胸高直径 5 cm 以上）の調査を行った。

収穫施業

同林分では 2023 年 12 月 9～14 日にスギ・ヒノキの伐採が行われた（図 5）。

樹高測定

伐採前に斜面下部から上部にかけて標高の異なる位置で合計 13 本の樹木の樹高および胸高い直径（DBH）を測定した（図 6）。標高と樹高の関係を回帰分析し、標高にともなう樹高の減少率から斜面に沿った立地条件を推定した。

年輪調査

2024 年 1 月に伐採後の現地を訪れ、斜面下部、中部、上部に位置するそれぞれ 3 個体の切株から、成長錐を用いて年輪コア（直径 5 mm）を採取した（図 7）。採取した年輪試料を板にボンドで固定した後、紙やすりの 800 番または 1200 番まで研磨を行った。その後、デジ

タル式読取顕微鏡（NRM-D-3XY 型、日本光器製作所）を用いて 100 分の 1 mm 単位で年輪数と年輪幅を測定した（図 8）。

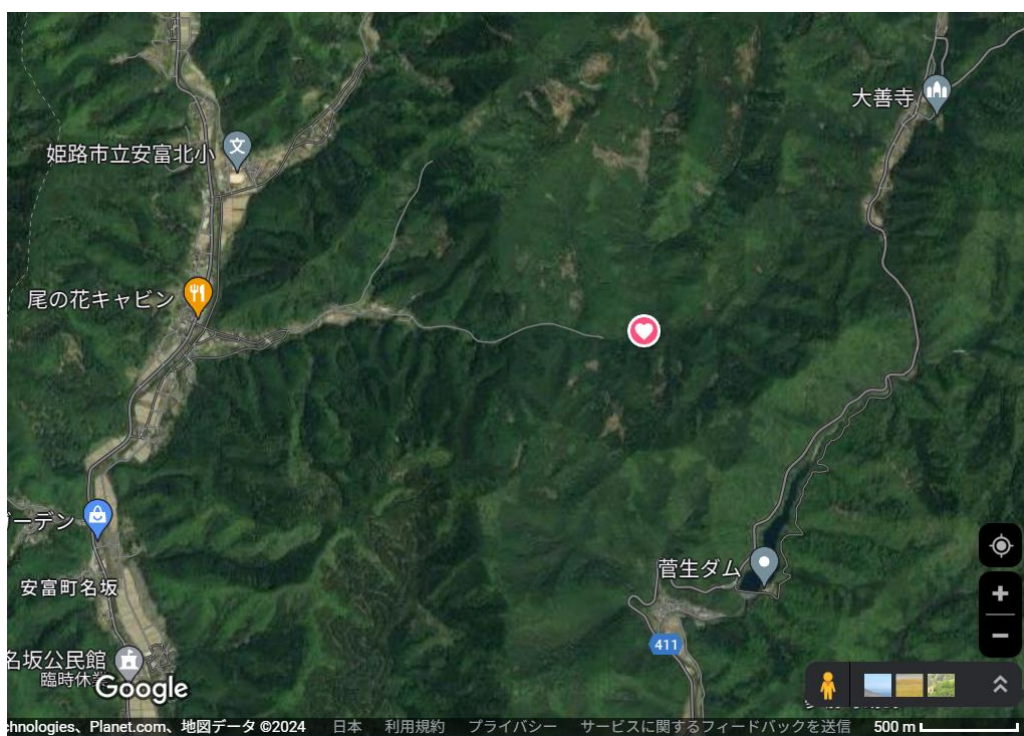


図 2：調査林分 (♡) の位置 (35°00'49.2"N, 134°37'39.5"E) および衛星写真

(Google Map より)

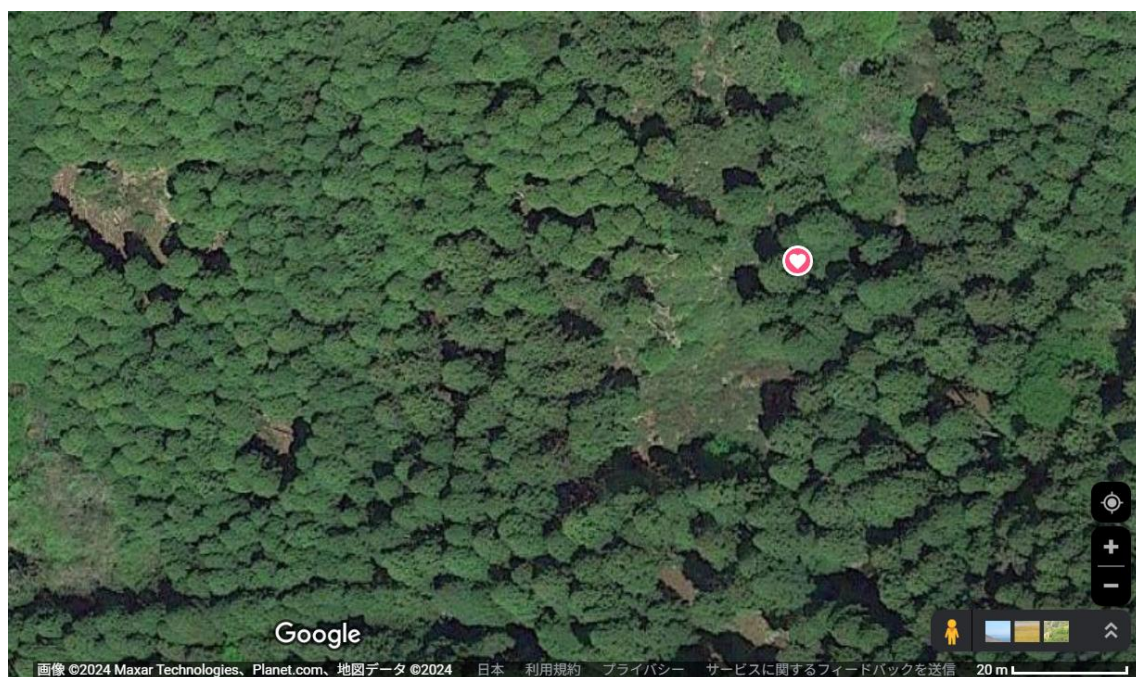
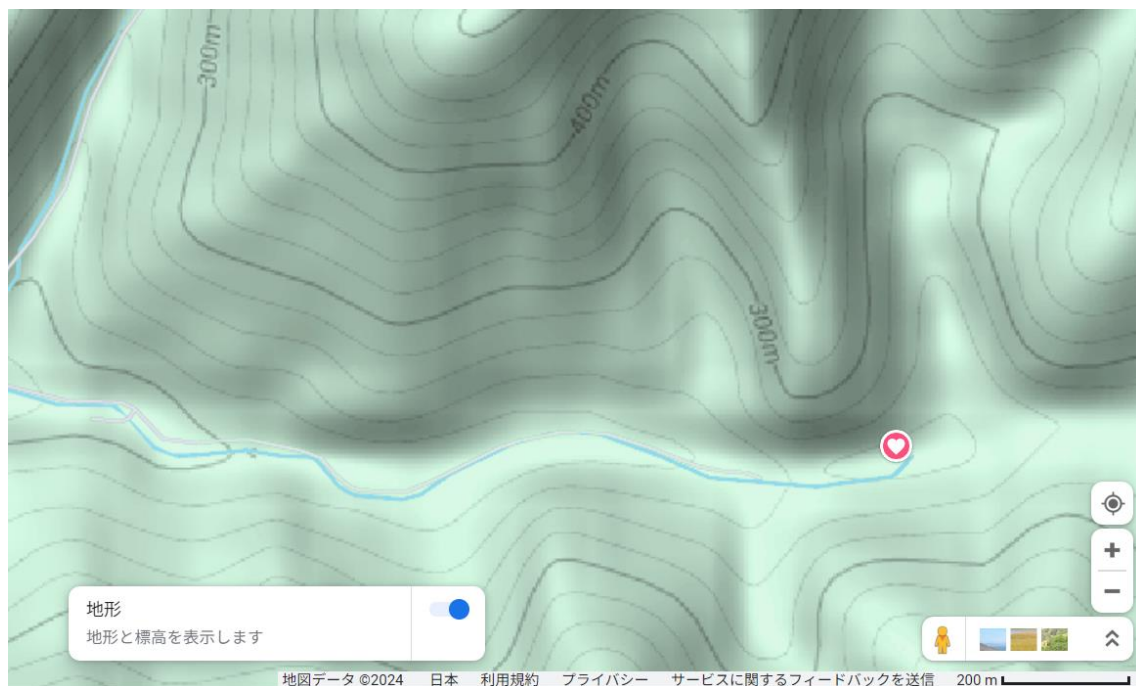


図 3 : 対象林分の地形図および衛星画像 (Google Map 拡大)

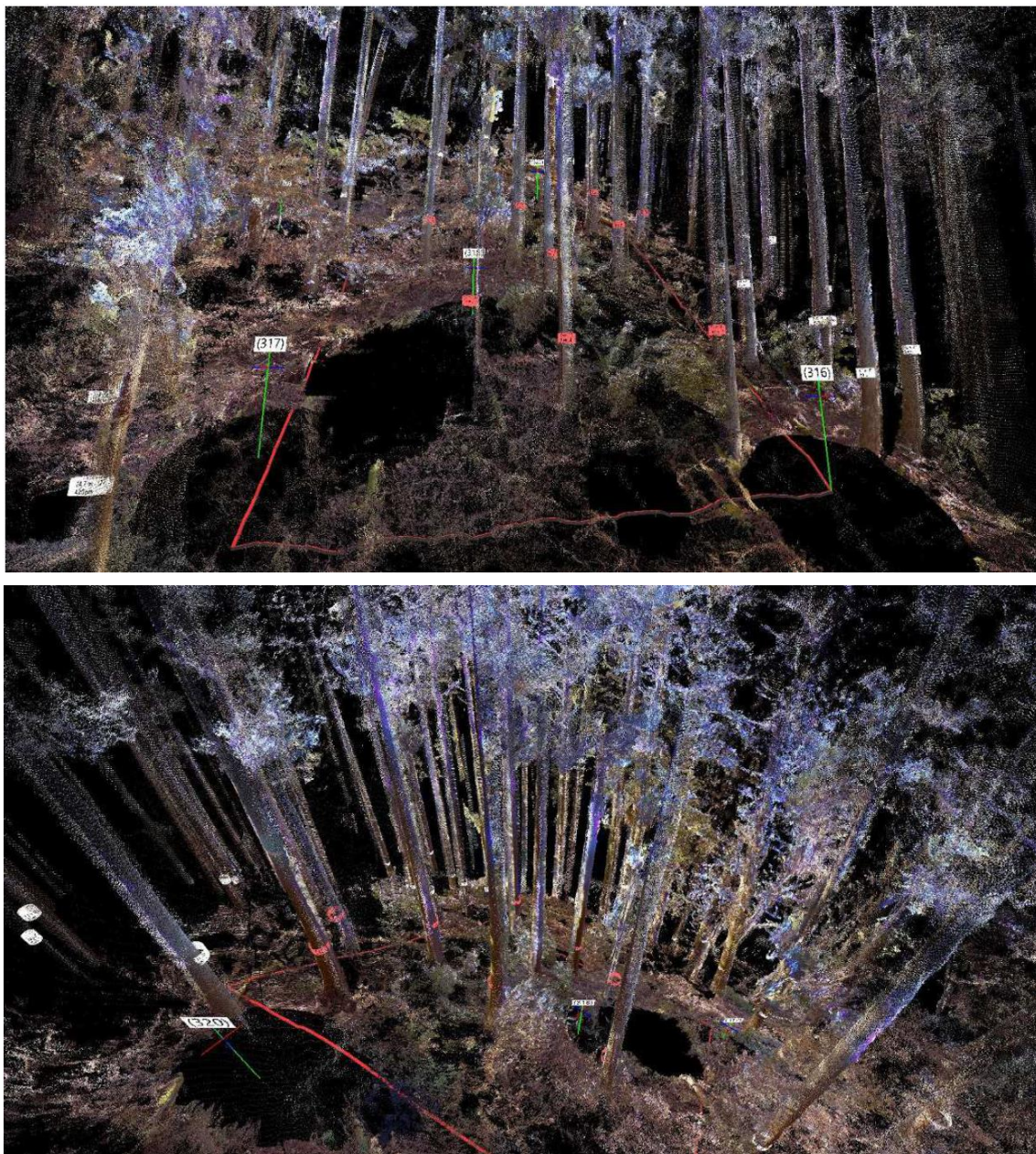


図 4：林分のレーザー測量により生成された三次元画像（中はりま森林組合提供）



図 5 : 伐採後の現地の様子 (2024 年 1 月撮影)

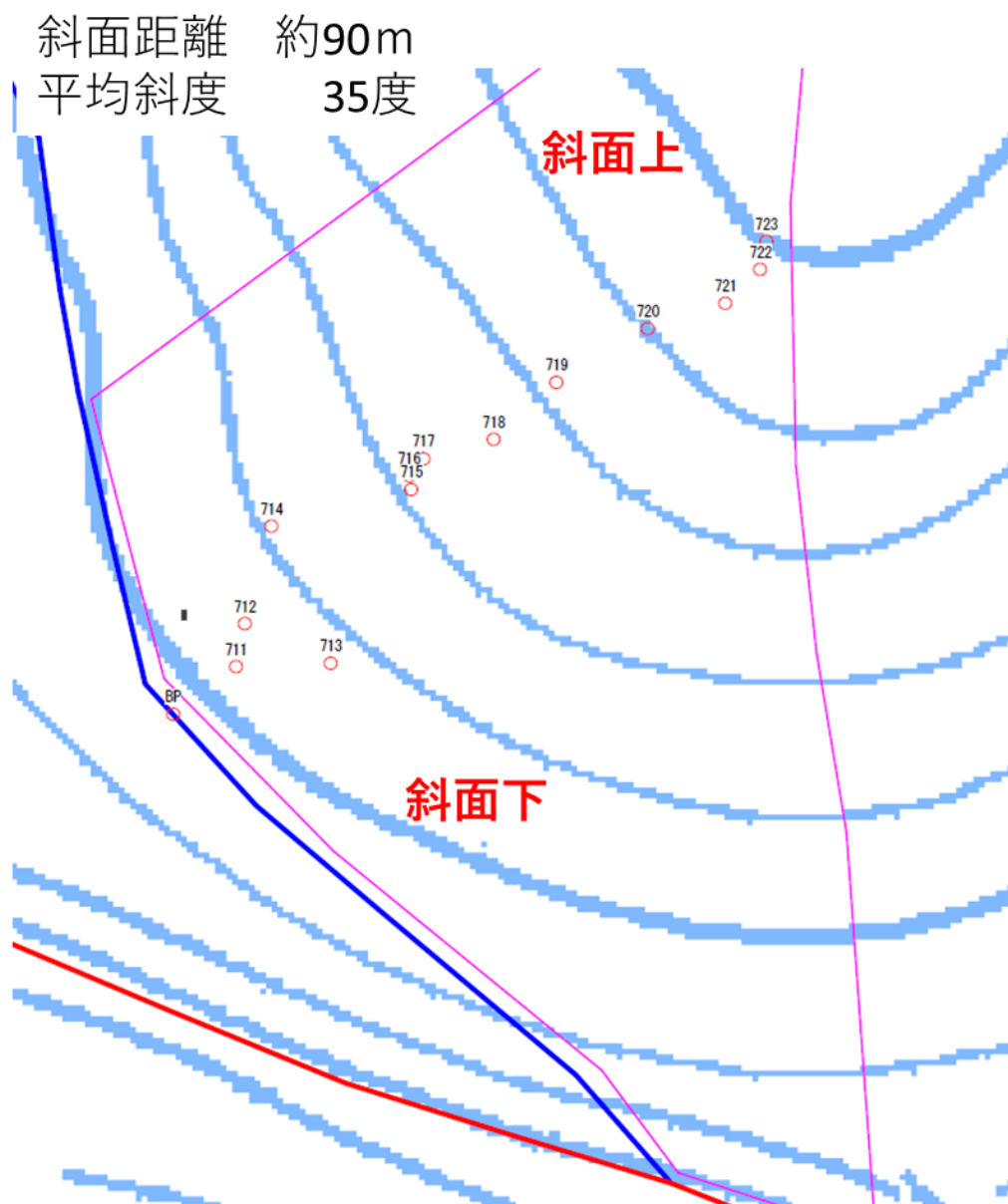


図6：樹高測定を行った樹木の位置



図 7 : 樹高測定を行った樹木 (斜面下および上から)



図 8 : 伐採後の現地の様子 (2024 年 1 月撮影)



図 9 : 顕微鏡を用いた年輪試料の測定

結果

広葉樹調査

伐採予定範囲には、22種の広葉樹種が見つかった。このうち18種が高木種であり、最も大きかったのは、胸高直径（DBH）20 cm以上のカナクギノキ、クリ、ホオノキなどである。

低木層にはチャノキとミツマタが多く存在し、かつて現地がお茶や和紙の原料の生産に用いられていた可能性が示唆された。

表1：広葉樹種の調査結果

樹種	DBH	周囲長(cm)	
カナクギノキ	25.2	79.2	中高木
クリ	23.0	72.2	中高木
ホオノキ	22.4	70.3	中高木
クマノミズキ	19.4	61.0	中高木
アラカシ	16.7	52.3	中高木
カキノキ	14.6	46.0	中高木
エゴノキ	11.2	35.3	中高木
ケヤキ	11.0	34.5	中高木
タムシバ	9.8	30.7	中高木
エノキ	9.5	29.7	中高木
カマツカ	8.3	26.0	中高木
ウリハダカエデ	6.8	21.3	中高木
ヒサカキ	5.9	18.5	中高木
アブラチャン	5.0	15.6	中高木
ガマズミ	4.5	14.2	中高木
ムラサキシキブ	4.5	14.1	中高木
リョウブ	4.2	13.2	中高木
サンショウ	1.0	3.1	中高木
チャノキ	0.0		低木種
モツマタ	0.0		低木種
アセビ	0.0		低木種
モチツツジ	0.0		低木種
ノリウツギ	0.0		低木種

樹高測定

調査地の平均斜度は約 35 度、斜面長は約 90m であった。表 2 に樹高測定の結果を示す。

斜面下部から上部にかけて樹高は約 22m から約 18m まで減少していた。斜面下部からの

相対標高と樹高の関係を図 10 に示す。相対標高と樹高には有意な負の相関があった ($P <$

0.05)。樹高は斜面下部から上部に向けて低くなっており、回帰式から求められた減少率は

-0.092m/m であった。これは標高差 10m につき約 10 cm 樹高が低くなることを示してい

る。

表 2 : 樹高測定の結果

【 森林調査 】

事業名： 循環型林業推進事業

事業地： 姫路市安富町末広字高德381-107地内

計測機械： レーザー距離計 TruPulse360

樹木No	樹種	樹高
711	ヒノキ	22.0m
712	ヒノキ	23.5m
713	スギ	22.7m
714	スギ	21.7m
715	スギ	22.6m
716	スギ	22.8m
717	スギ	19.5m
718	スギ	18.8m
719	スギ	20.2m
720	スギ	21.5m
721	スギ	19.2m
722	スギ	18.8m
723	スギ	17.8m
合計	13本	

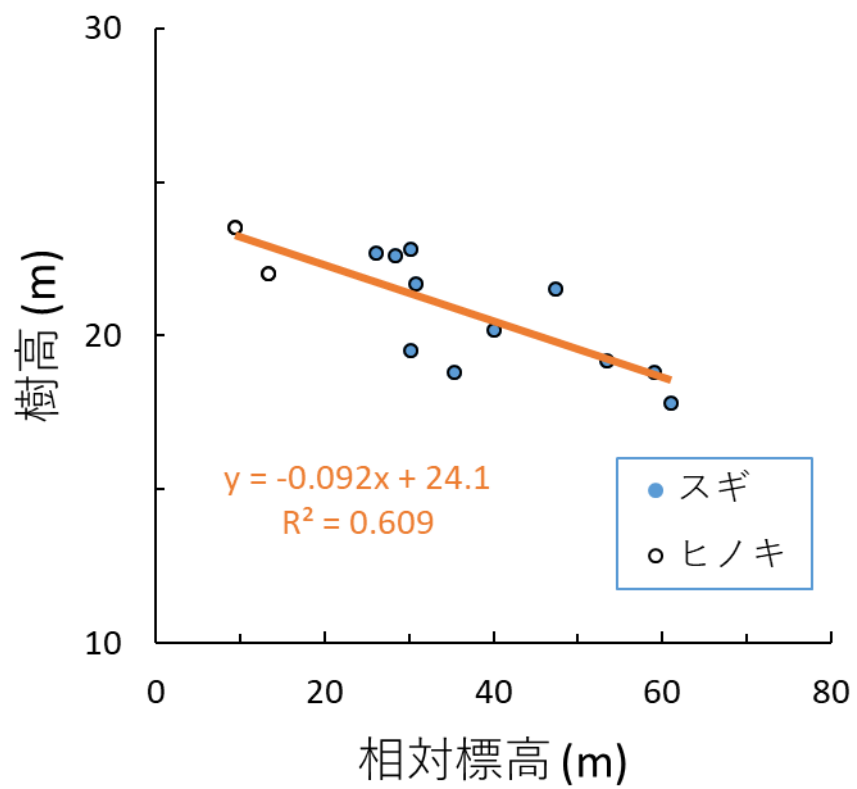


図 10 : 斜面位置と樹高の関係

年輪調査

図 11 に斜面上、中、下に位置する樹木から採取した年輪コアから求めた、平均直径成長量を示す。斜面上部では約 40 年前に成長量が増加した後、徐々に減少し、最近 30 年間は 5~7mm/年程度の直径成長が続いていたが、7 年ほど前から急激に成長量が低下していた。斜面中部では成長量が減少し続けており、最近 15 年は約 mm/年と低い値を示した。斜面下部では最近 15 年は 5~6mm/年の成長量を維持していたが、最近 5 年間に急激に低下していた。

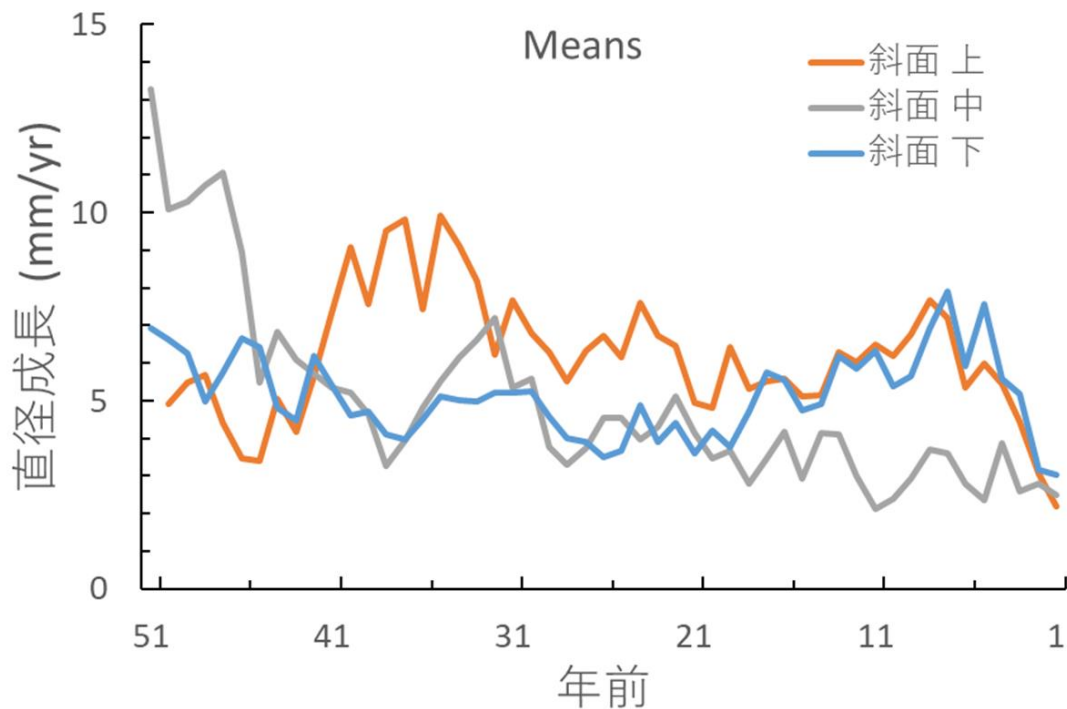


図 11 : 年輪試料による斜面上・中・下における平均直径成長量

考察

対象林分に現存した広葉樹の多くは落葉樹であり、遷移後期の照葉樹林樹種がほとんどなかった。周囲に自然林が存在しないため、遷移後期種の侵入は伐採後も期待できない。よって、種子供給源の制限から、天然性広葉樹林への誘導は難しいと考えられる。本林分は、有用広葉樹の植栽による生産型広葉樹林として維持管理していくことが望ましい。

樹高は林地の生産緑を表す地位指数の指標となる。谷口ら（2001）による収穫予想表の解析によると、本調査地の地位指数は斜面下部で2、斜面上部では3程度であると考えられる（図12）。

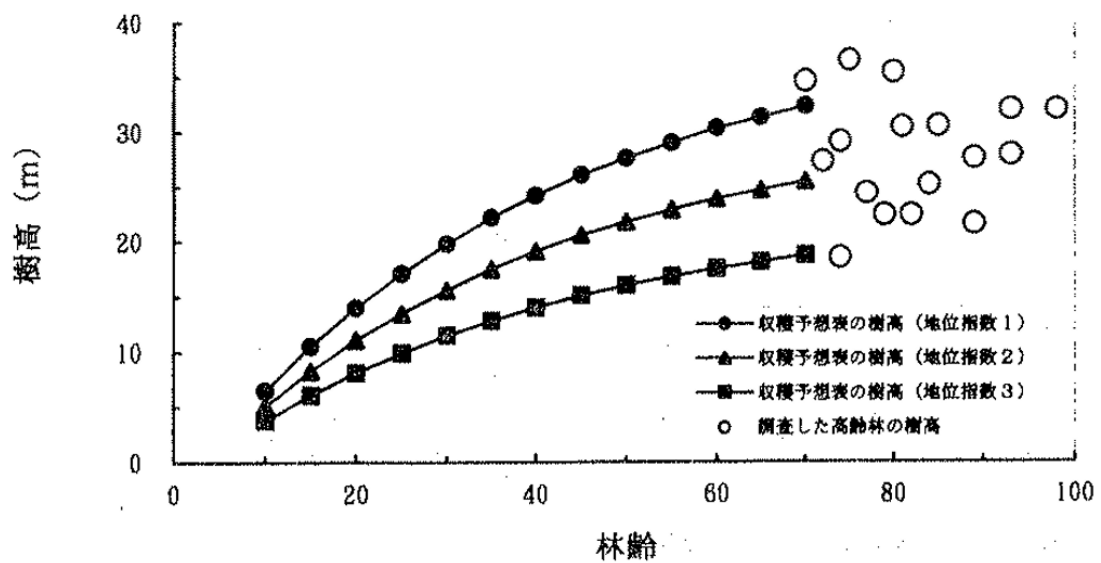


図12：収穫予想表から推定した樹高の推移（谷口2001より）

年輪解析の結果から、約 40 年前と 20 年前に間伐が実施されたと推測できる。しかし、現地は急斜面であることから斜面中部では土壌の流出が激しく、成長量が低迷しており、間伐の効果があまり明確にはなかった。斜面上部では樹高が低いことから貧栄養であることが推測されたが、成長量は維持されていた。この原因として日射量が多い可能性が考えられる。

その他の成果

現場視察：里山広葉樹林における常緑広葉樹を用いた備長炭生産の可能性

2024年2月27日は神戸市北区の小河山林において、里山広葉樹林におけるアラカシ・シラカシの資源量調査を視察した（図13）。同山林ではアラカシ・シラカシを用いた備長炭の生産を模索しており、その現状委調査を行うと同時に、同種の萌芽更新を可能にする管理手法について検討している。常緑広葉樹は姫路市を含む南西日本の極相林であることから、風土に適した樹種であると言える。また、備長炭は10～15年を伐期とし、付加価値のある広葉樹利用につながることから、人間活動のタイムラインに適した早生の広葉樹林を維持できる可能性があると考えた。

また、伐採現場にはスギ・ヒノキも植栽されおり、これらは木材利用および針広混交林への誘導を行うとのこと。



図13：神戸市北区の里山広葉樹林の再生事業の様子

現場視察：非木材林産物としてのウルシ林の可能性

2024年2月29日には、京都府福知山市夜久野にあるウルシ林の視察を行った（図14~16）。夜久野町ではNPO 丹波漆が中心となり、非木材資源として漆の生産を推進するため、ウルシの植林を進めている。人工林や里山、田畑をウルシ林に転換した場合の成長量、生存率の違いやウルシの適地などについて情報収集を行った。漆は約15年で生産開始できることから、夜久野のように、利用者が確保できる場合は、副産物として生産を行う早生樹として適していると考えた。



図14：スギ伐採後にウルシを植林した現場（福知山市夜久野町）



図 15 : スギ伐採跡地に植林されたウルシの苗木 (福知山市夜久野町)



図 16 : 利用が終わり、伐採されたウルシの成木

学術情報の収集：第 135 回森林学会大会

2024 年 3 月 8～11 日に東京農業大学において開催された第 135 回日本森林学会大会では、人工林の広葉樹林化に関する多くの報告があった。なかでも 3 月 8 日に開催された企画シンポジウム「広葉樹林化を進めるためには何が必要か？」では、静岡県、岐阜県の林業試験所の報告を含む、以下の 5 つの報告があった：

1. 広葉樹林化の困難性と可能性
酒井武（森林総合研究所）
2. 静岡県における針広混交林化に関する取組と現状について
高田航（静岡県）
3. 下層植生の回復と表土流亡の抑止に及ぼすヒノキ人工林の間伐方法の影響
渡邊仁志（岐阜県森林研究所）
4. 日照条件からみたスギ・カラマツ人工林の伐採幅の検討
朱宮丈晴（公益財団法人日本自然保護協会）
5. 関東森林管理局における広葉樹林化の取組：諏訪実（関東森林管理局） S12-6 広葉樹林化を加速させる播種方法
星野大介（森林研究・整備機構）

それぞれの発表の要旨は付録を参照されたい。

また、最後の総合討論では、宮崎大学の伊藤 哲教授をはじめ、申請者を含む数人の発言から、広葉樹林化を行うにあって重要な目標として、時間スケールと景観管理があげられた。つまり、目標とする広葉樹林の成立までに要する年数を明確にすることで、公的資金を用いた施業の達成度を評価すること。また、天然更新による広葉樹林化を行う場合や遷移後期の自然林へと誘導する場合、種子供給源となる天然林が景観内にあるかどうか

重要であるということである。さらに、山梨県林試の長池卓夫氏からは、かつての不成績造林地などが広葉樹林化しているという現実が指摘された。申請者は、このような林分を参考にしながら針葉樹人工林への広葉樹の侵入仮定を明らかにすることを提案した。具体的には神戸市北区にある無動寺のヒノキ人工林があげられる。同林分は古い地図では針葉樹林の記号が記されており、ヒノキ人工林として植林されたと考えられるが、現在はシイ・カシなどの常緑広葉樹の成木が多くみられる。お寺の境内にあった樹木が種子供給源となり、人工林に広葉樹が侵入定着したものと考えられる。生産的な人工林としては、管理・保育不足になるが、広葉樹林化の手本としてみるができる。来年度はこのような林分の調査も含め、広葉樹林化の目標設定や時間スケールについて検討を重ねたい。

S12. 広葉樹林化を進めるためには何が必要か

How can we encourage the regeneration of broadleaf trees in conifer plantations?

コーディネータ：星野大介，酒井武（森林総合研究所）

日時・会場：3月8日 9:00-12:00・342講義室

趣旨

令和6(2024)年度から国税として1人あたり森林環境税1,000円が賦課徴収される。森林環境税は、森林環境譲与税として都道府県、市町村の状況に応じて按分され、森林整備等の財源として譲与される。これらの税金は経済的に成り立たない人工林において、間伐を通じた広葉樹林化に用いられるケースも多いと考えられ、既にそうした取組が散見される。いま私たち会員には、どのようにすれば広葉樹林化を確実に進めることができるのか、その情報提供と技術開発が求められている。本シンポジウムでは広葉樹林化について現在の情報を交換しつつ、広葉樹林化を加速させる可能性のある技術情報を共有する場となることを狙いとする。自然に任せた広葉樹林化の難しさ、広葉樹林化の実態、有効な施業方法、行政の課題、更新補助技術など、各発表は誘い水であり、総合討論ではさらなる情報提供や議論をぜひお願いしたい。

第 135 回森林学会大会における広葉樹林化に関する企画シンポジウムの趣旨

現地学習

神戸大学農学部応用植物学コースの授業、応用植物学専門実験 II の現地学習として、2023 年 12 月に行われた収穫施業を見学した。神戸大学農学部には森林科学に特化した学科がないため、応用植物学コースの学部生は農場実習を除くフィールド演習を履修する機会がない。そこで、農学部応用植物学コースの森林資源学研究室に配属されたばかりの学部 3 年生 4 名を対象に、現地学習として、スギ林の伐採施業の見学を実施した。当日は中はりま森林組合姫路支所の酒井氏による施業や重機の説明を聞きながら、約 1 時間にわたって、現場の作業を見学した。



安富町末広の伐採現場における神戸大学の現地学習の様子



安富町末広の伐採現場における神戸大学の現地学習の様子

結論

広葉樹林化にあたっては、早生樹の植林が考えられるが、樹種の選定については、地位などを考慮して今後検討していく必要がある。センダンをはじめとする早生樹の植林も対象としつつ、多様性やリスク分散の観点から、複数の樹種を植栽することが望ましい。さらには、木材以外の林産物生産が期待できるクリやウルシの植栽も検討されたい。クリはもともと自生していたことから、立地条件に適していると考えられる。ウルシについては、夜久野町の視察の成果から、水はけの良い斜面中上部あるいは、作業道より上の部分に植栽することが望ましい。さらに、漆の需要を開拓することも必要である。

他の非木材林産物としては、下層に多く生息するミツマタに利用が考えられる。ミツマタは和紙の原料となることから、和紙職人など需要を開拓して出荷することができれば、早生樹林が成熟するまでの収入源となるだろう。同様に、低木として現存するサカキを利用することも考えられる。サカキは神事に用いる樹木として定期的に出荷することが可能である。また、ホオノキが存在することから、現地は比較的冷涼であると考えられ、クロモジの植栽にてきているかもしれない。クロモジの枝葉はアロマオイルの生産に用いることができる。

広葉樹材生産を目的とした植栽も検討されたい。現地は溪畔林であることから、河川沿いには直径 50 cm を超えるケヤキが数本植栽されている。同様に斜面下部の比較的湿潤な立地にはケヤキを植栽し、広葉樹材として育成することが可能だろう。

参考文献

兵庫県立農林水産技術総合センター森林林業技術センター（2022）広葉樹林化マニュアル

熊本県林業研究指導所（2015）センダンの育成方法

谷口真吾（2001）兵庫県但馬地方におけるスギ高齢人工林の立地環境と成長．兵庫県森林
技術研報 49：29－32

田内裕之（2010）広葉樹林への誘導の可能性．森林科学 59

付録

- ・ 成果報告会（2024年3月28日）の発表スライド

- ・ 広葉樹林化に関する企画シンポジウムにおける発表内容
（第135回日本森林学会大会要旨集より）



研究の目的と背景

1. スギ人工林の資源量・炭素蓄積量の把握
2. 早生樹を中心とした持続可能な再造林方法の検討

早生樹とは？

- ・従来のスギ林の約半期（20～30年）で収穫が可能

林業をめぐる社会情勢の変化

輸入自由化⇒木材価格の低下⇒林業の衰退
スギ花粉症など

森林の多面的機能（生態系サービス）の実現

- ・二酸化炭素の吸収・固定
- ・水源かん養、災害防止
- ・バイオマス利用

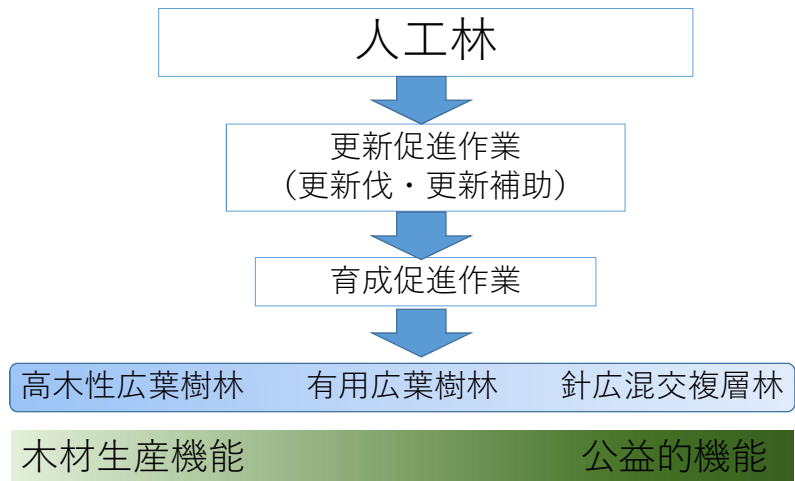
姫路市SDGs未来都市

- ・脱炭素社会の実現
- ・脱炭素型ライフスタイルへの転換

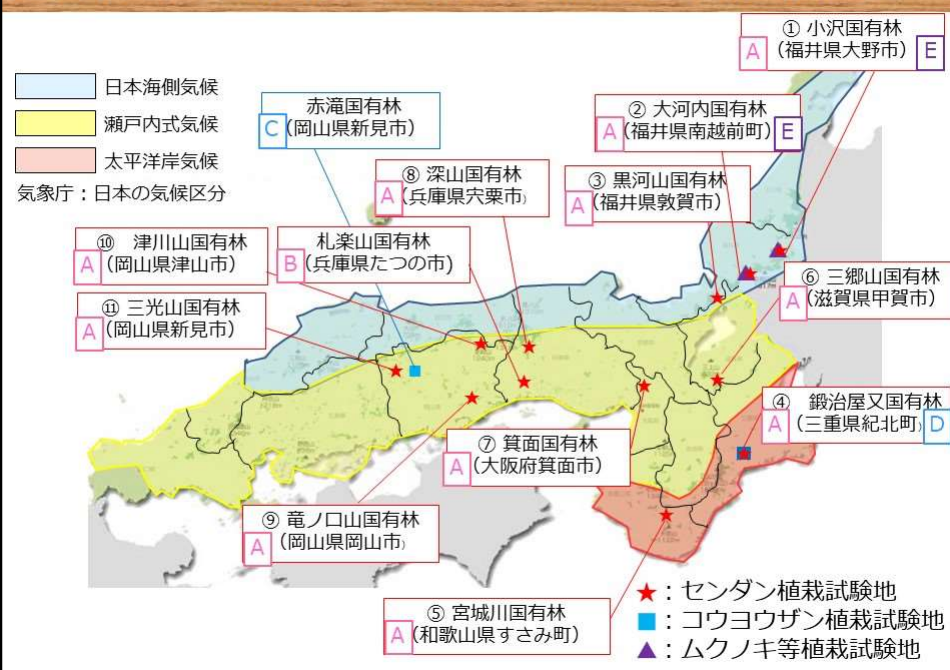


燃料：木質ペレットストーブ

針葉樹人工林の広葉樹林化



近畿中国森林管理局における早生樹植栽試験地位置図



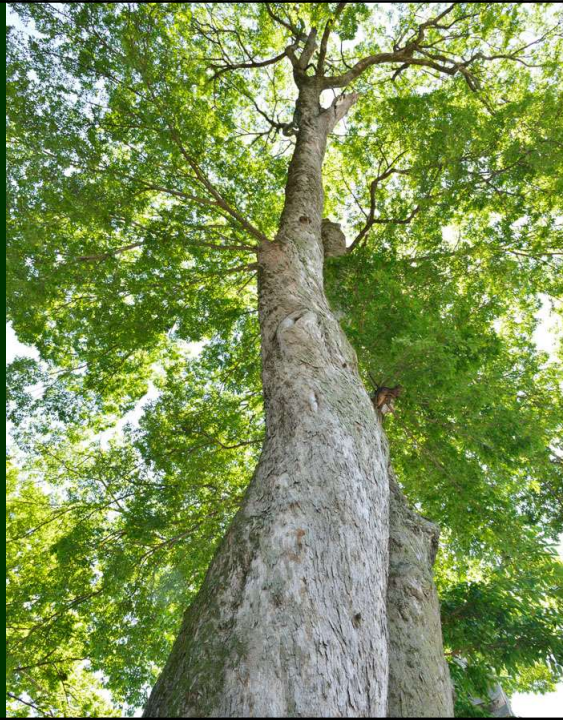
在来種

- ムクノキ
- ヤマハンノキ

その他外来種

- ユーカリ
- ポプラ
- ラジアータマツ
- ユリノキ

逸出、分布拡大に要注意



研究対象地

姫路市安富町末広
スギ・ヒノキ植林地



研究対象地

姫路市安富町末広
スギ・ヒノキ植林地



令和5年度

- 11月：現存する広葉樹の調査
- 12月：伐採・収穫、樹高調査
- 1月：年輪試料の採取（成長量の解析）

令和6年度

- ・残存広葉樹の成長量・生存率の調査
- ・植林木の保育作業の検討

11月：現存する広葉樹の調査

高木種 (18)	DBH (cm)
カナクギノキ	25.2
クリ	23.0
ホオノキ	22.4
クマノミズキ	19.4
アラカシ	16.7
カキノキ	14.6
エゴノキ	11.2
ケヤキ	11.0
タムシバ	9.8
エノキ	9.5
カマツカ	8.3
ウリハダカエデ	6.8
ヒサカキ	5.9
アブラチャン	5.0
ガマズミ	4.5
ムラサキシキブ	4.5
リョウブ	4.2
サンショウ	1.0

低木種 (4)

チャノキ
 モツマタ
 アセビ
 モチツツジ
 ノリウツギ



12月：スギ・ヒノキの伐採

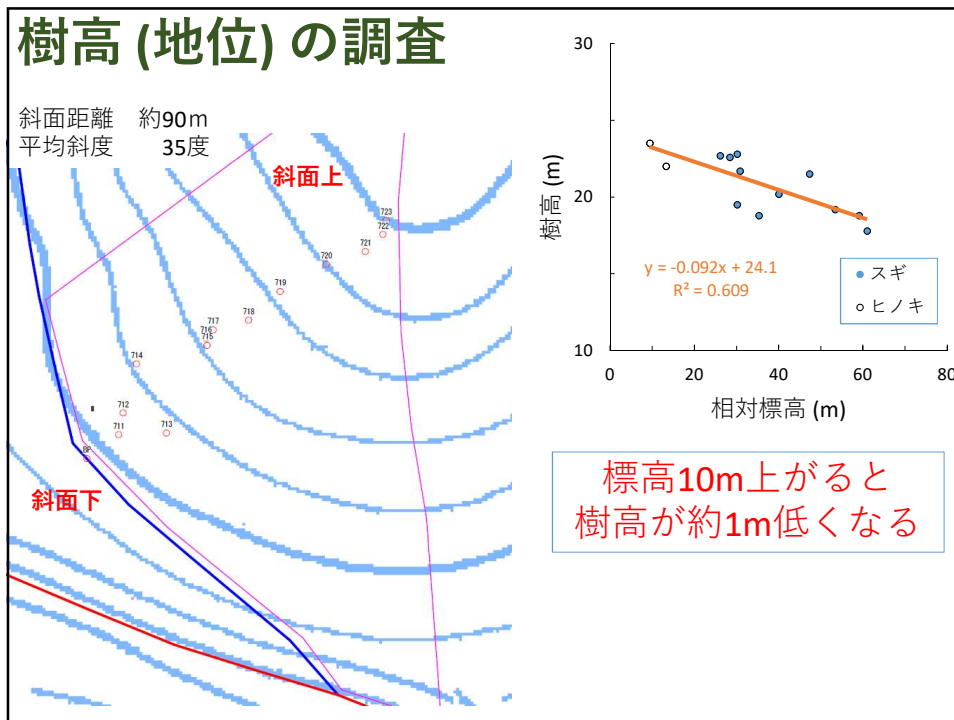


12月：スギ・ヒノキの伐採



12月：樹高（地位）の調査





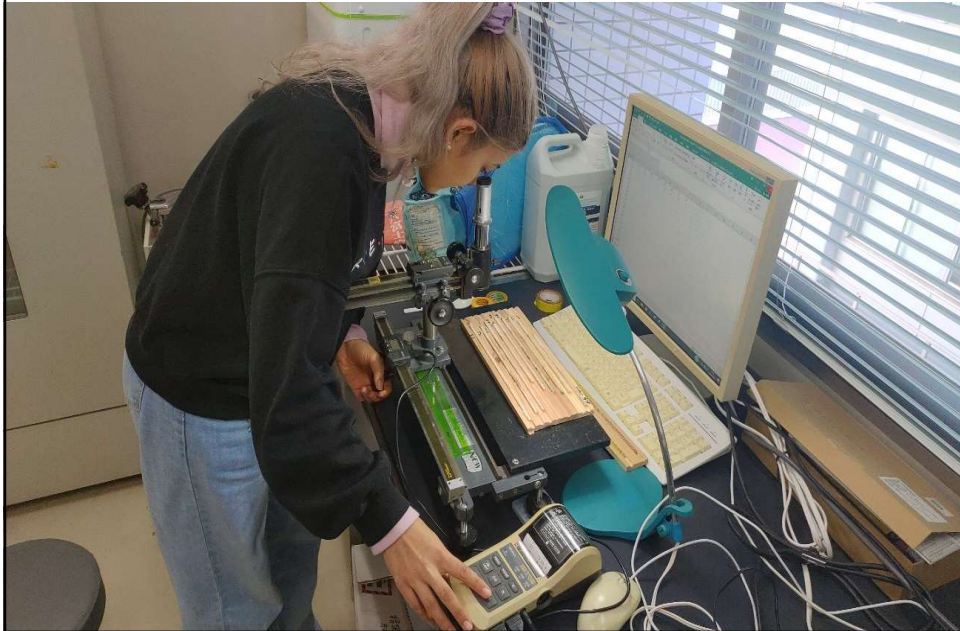
1月：年輪の調査



年輪の調査

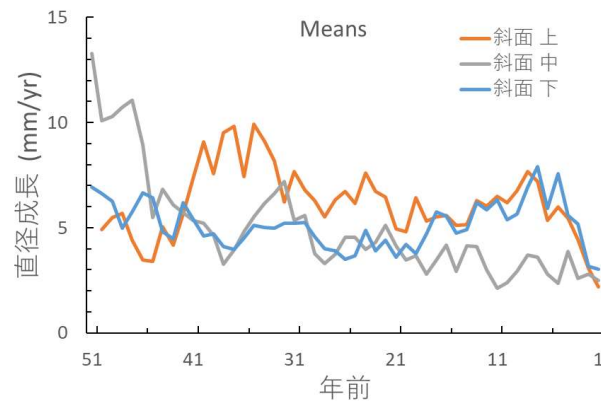


年輪の調査



胸高直径 成長量

- 斜面上：約40年前に成長量が増加した後、徐々に減少
最近30年間は5～7mm/年程度
約7年前から急激に成長量が低下
- 斜面中：部では成長量が減少し続けている
- 斜面下：最近15年は5～6mm/年の成長量を維持
最近5年間に急激に低下



令和6年度

- ・ 残存広葉樹の成長量・生存率の調査
- ・ 植林木の保育作業の検討



S11-1 スギの成長特性

○丹下 健

東京大学大学院農学生命科学研究科

スギは、日本の人工林面積 1020 万 ha の 44% を占める主要な造林樹種であり、アカマツとヒノキに比べて、土壌の肥沃度による成長差が大きい樹種とされ、高齢人工林では、斜面上部から下部にかけて樹高が高くなる様子が観察される。たとえば東京大学千葉演習林の 100 年生前後のスギ人工林の優勢木の樹高には、地形条件によって 16~45 m の差がある。戦後の拡大造林が盛んな時期に、スギを植栽した場合の地位指数推定の研究が行われ、土壌型や粗孔隙量に関わる土壌物理性との相関が報告されている。造林木の樹幹解析によって樹高成長経過を調べると、斜面上部の樹高の低い高齢木でも、幼齢期には斜面下部の造林木と同程度の成長を示していた場合も見られ、収穫表で用いられる地位ごとの樹高成長曲線とは異なる成長経過をたどる造林地もある。このことは、到達可能な樹高の高さを規定する環境要因と幼齢期の樹高成長速度を規定する環境要因とが異なることを示している。異なる林齢のスギ人工林での土壌特性と造林木の成長や生理状態の測定結果に基づいて、スギの成長特性について話題提供する。

S11-3 遺伝子発現から探るスギの高温順化メカニズム

○伊原徳子

国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所樹木分子遺伝研究領域

植物には高温ストレスを経験することにより高温耐性が増す「高温順化」の現象がある。高温順化はスギなど針葉樹でもみられるが、分子メカニズムには未解明の部分が残されている。人工光下 ($100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) のスギ実生を用いた実験では、高温順化処理の温度に応じてその後の 45℃ 処理での Fv/Fm 値の低下と回復の程度に違いがあった。最も順化の効果が大きかった 38℃ で処理した個体、未処理個体の 45℃ 処理下のトランスクリプトーム解析を行ったところ、熱ショック転写因子やレトロトランスポゾン様配列の発現が順化処理により変化していた。一方、自然光下では 38℃ 処理でも人工光下と比較して Fv/Fm 値が著しく低下するが、36℃ の順化処理で低下の程度は小さくなり回復が早まった。スギゲノム参照配列を利用してトランスクリプトーム解析を行ったところ、人工光下での結果と違いが見られ、順化処理は 38℃ 処理下のジャスモン酸生成経路関連遺伝子の発現に影響していた。また、遺伝子ネットワーク解析では Fv/Fm 値と光化学系 II 活性中心タンパク質の遺伝子発現に相関が検出され、これらの遺伝子は気温に対し転写レベルでの制御を受けていると考えられた。

S11-2 モデル植物としてスギを使う～針葉樹における新奇の光合成代謝の解明を例に

○宮澤真一¹・西口 満¹・大宮泰徳²・上野真義¹・丸山 E. 毅¹

¹ 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所樹木分子遺伝研究領域・² 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

近年、多くの遺伝子情報がインターネット上で公開され、代謝にかかわる酵素タンパク質を構築するアミノ酸配列について、様々な植物間で比較することが可能となってきた。その結果、裸子植物である針葉樹と被子植物とでは、光呼吸に関わるグルタミン合成酵素やカタラーゼの細胞内局在部位が異なることが明らかになってきている。また、針葉樹は、被子植物にはない、ラン藻などに特徴的な酸素分子を還元し水分子を生成する FLV タンパク質を有している。これらの結果は、被子植物であるシロイヌナズナなどのモデル植物を利用して明らかにされてきた光合成の代謝メカニズムが、針葉樹には必ずしもあてはまらないことを示唆する。加えて、針葉樹の光合成の代謝メカニズムを明らかにするためには、針葉樹独自のモデル植物が必要なることも意味している。最近になって針葉樹であるスギの全ゲノム情報が解明・公開され、さらにゲノム編集技術等によって発現遺伝子进行操作した遺伝子組換え体を作製することも可能となってきた。針葉樹の光合成の代謝メカニズムを明らかにするため、スギを用いた私たちの取り組みを紹介したい。

S12-1 広葉樹林化の困難性と可能性

○酒井 武

国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所

単一樹種で造成された人工林を、主に天然更新によって多様な種で構成する森林に変換する、いわゆる広葉樹林化施策に関する知見、技術が求められこれまでに多くの試験研究が行われてきた。その成果としてとして森林の生態学的な機能、更新のメカニズム等の科学的知見が得られ、それらに基づいた広葉樹林化技術、施策方法は取りまとめられてきた。しかしながら、現実に国有林などで事業ベースで実行するには様々なハードルが存在して思うように進んでいない。そのような困難性を踏まえた上で進めていくにはどのようなブレイクスルーが必要なのかを考える。

S12-2 静岡県における針広混交林化に関する取組と現状について

○高田 航¹・鷺山立宗²

¹静岡県経済産業部 森林・林業局 森林計画課・²静岡県農林技術研究所森林・林業研究センター

静岡県では「森林（もり）づくり県民税」を財源として、2006年度から「森の力再生事業」により、公益性が高いものの、所有者による整備が困難なために荒廃した森林の整備に取り組んでいる。本事業は、下層植生が消滅した森林について、群状伐採や列状伐採等の強度な伐採を実施することで、下草や広葉樹の生育を促し、公益的機能の回復と針広混交林への誘導を図る事業である。

事業の効果を検証するため、2006年度から県内8箇所、2016年度からは県内10箇所、光環境、下層植生の植被率・種数、下層木の本数・樹高について追跡調査をしている。調査の結果、光環境は整備後約3年で整備前の水準を下回り、その後も減少傾向であった。下層植生の植被率・種数は整備後に増加するが、植被率は整備から約6年後をピークに減少に転じ、種数も整備数年後には減少傾向となった。一部の事業地を除き、下層木の本数及び樹高の増加はみられなかった。また、ほぼ全ての調査地でシカ等の食害が確認され、下層植生はシカ採食圧の影響を受けていることが示唆された。

これらのことから、本県における針広混交林化の推進にかかる課題として、光環境の維持・改善と獣害対策が挙げられた。

S12-4 日照条件からみたスギ・カラマツ人工林の伐採幅の検討

○朱宮文晴

公益財団法人日本自然保護協会生物多様性保全部

本研究は、人工林を伐採し効果的に自然林に復元する手法を把握するため、伐採幅の異なる帯状伐採後の初期遷移群落と光環境との関係を明らかにすることを目的とした。調査地は群馬県みなかみ町の赤谷プロジェクトエリア内の冷温帯下部のスギ人工林間伐試験地（伐採幅4m、6m）及びカラマツ人工林漸伐試験地（伐採幅20m、30m、40m）に設置した。漸伐試験地では、伐採後、伐採幅によらず再生群落の樹高は時間の経過とともに高くなり、幹数密度は、急激に増加しその後は減少した。南側の植栽木による被陰の影響を考慮して4月から9月までの着葉期における伐採幅ごとの積算日照時間の推移モデルを構築し、拡張相対成長式から推定された上限樹高を比較したところ、積算日照時間と樹高はよく対応することがわかった。人工林の伐採では、南側の林分の被陰による影響を考慮する必要があることが示唆された。幅の狭い列状間伐で光を確保したい場合、南北方向に伐採すること、東西方向の列状伐採を行う場合は保残木の樹高以上の伐採幅をとること、伐採幅を大きくしたい場合、方向や幅を調整することで光制限を行い先駆種や萌芽再生を抑制することなどが考えられる。

S12-3 下層植生の回復と表土流亡の抑止に及ぼすヒノキ人工林の間伐方法の影響

○渡邊仁志

岐阜県森林研究所

表層土壌の移動がなく安定していることは、広葉樹の侵入・定着の第一歩である。岐阜県南部のヒノキ人工林の下層植生を植被率と優占種によって分類し、表土流亡の抑止効果を比較すると、土壌侵食危険度指数（表土流亡の発生のしやすさ）には低い順にシダ型<ササ型<草本型≤低木型≤貧植生型の序列が認められた。そこで、筆者らは木材生産を主目的とするヒノキ人工林の水土保全機能を担保するため、下層植生を表土流亡の少ないタイプに誘導する林分管理の方法を検討してきた。ここでは、主に列状間伐が下層植生の動態と表土流亡の抑止に及ぼす長期的な影響を報告する。岐阜県七宗町（標高550m、傾斜28度の西向き平衡斜面）にある19年生ヒノキ人工林を点状および列状（1伐2残、2伐4残、3伐6残）に伐採し、間伐12年後の状態を比較すると、3伐列区は他の調査区より相対散乱光強度、植被率、およびリター被覆率が高く、土壌侵食危険度指数が低かった。また、土壌侵食危険度指数は、植被率やリター被覆率が高い調査地で低い傾向がみられた。3伐列区では、光条件が保たれたため下層植生とリターが維持され、両者による地表面の被覆によって表土流亡が低減したと推測される。

S12-5 関東森林管理局における広葉樹林化の取組

○諏訪 実

林野庁関東森林管理局

国有林においては、公益重視の管理経営の観点から、長伐期化や複層林化、森林のモザイク配置等と並び、針葉樹と広葉樹の混交を促進する施業（針広混交林化）等を進めることとしている。

関東森林管理局においても、広葉樹林化を目指した施業や広葉樹の保残に配慮した施業が行われているほか、伐採後に結果として広葉樹林となった事例も存在している。このような事例的な取組は蓄積されつつあるものの、管内の人工林面積に対するこれらの取組面積は限られている。

国有林においては、民間事業者への請負発注という形で施業を実施していることから、施業内容については、仕様書への記載及び現場代理人への指示で対応していくことが基本となるが、これと同時に、受注事業者へのインセンティブ付与や技術力の強化も必要と考えられる。

S12-6 広葉樹林化を加速させる播種方法

○星野大介

国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所森林植生研究領域

針葉樹人工林の伐採跡地における広葉樹林化は、現地に広葉樹の母樹や前生樹が存在することが重要だが、本来、除伐や下刈りによって広葉樹の母樹や稚樹は排されているため、それらは存在しないか少ない。旺盛な初期成長力により広葉樹林化を加速させる広葉樹種群として期待される堅果樹種は、堅果が鳥獣にとって好餌であるために生残、定着が難しい。

我が国には人が伐採跡地に堅果を運んで播き、鳥獣による持ち去りを防ぐよう竹筒を被せた播種方法「竹筒播種」が伝承する。過去に成功、失敗の試験事例がある一方、定着後の成長は明らかでない。本研究ではこの竹筒播種の基礎知見を得るため圃場でコナラの堅果を用いた地表、地下、竹筒の3播種方法を実施し、5年間の追跡調査をおこなった。1成長期後の生存割合は森林性ネズミによる堅果の持ち去り被害を受けなかった竹筒播種が他方法より高かった。1~2成長期の竹筒播種の樹高は他方法より高く、下層植生との初期競争に有効であると考えられた。3~5成長期の樹高には差は認められなかった。本試験結果をうけて現在、複数の林地で竹筒播種等の実証試験を進行中であり、これらの設定も併せてこの場で紹介させていただく。

S13-2 多層ガス交換モデルに基づくスギ針葉のオゾン吸収量の樹冠内鉛直分布の推定

○田中亮志¹・浦島未有²・川俣建太²・松田和秀³・伊豆田猛³・渡辺 誠³

¹ 東京農工大学大学院連合農学研究所・² 東京農工大学大学院農学府・³ 東京農工大学大学院農学研究院

樹木の葉のオゾン吸収量の主な決定要因である葉の気孔コンダクタンス (g_s) と大気オゾン濃度 ($[O_3]$) は、樹冠の上層から下層にかけて変化する。しかし、これらの樹冠内鉛直分布は、成木のオゾン吸収量を推定する際にほとんど考慮されていない。本研究では、スギ成木の樹冠内における g_s と $[O_3]$ の鉛直分布が針葉のオゾン吸収量の鉛直分布に与える影響を評価することを目的とした。2022年4~9月に、東京都八王子市のスギ林から採取した針葉のガス交換速度を測定した。針葉のガス交換速度と樹冠内における葉面積の分布からモデルを構築し、スギの針葉のオゾン吸収量の樹冠内鉛直分布を推定した。針葉のオゾン吸収量は、 g_s の変化に応じて樹冠の上層から下層にかけて低下した。一方、 $[O_3]$ の樹冠内鉛直分布の有無は、針葉のオゾン吸収量の鉛直分布にほとんど影響しなかった。樹冠内における g_s の平均値から求めた針葉の平均オゾン吸収量は、スギ成木の樹冠全体の光合成に強く寄与する樹冠上層の針葉のオゾン吸収量に比べて著しく低かった。したがって、スギ成木の針葉のオゾン吸収量を推定する際には、樹冠内における g_s の鉛直分布を考慮する必要がある。

S13-1 ケヤキの成木と苗木の葉におけるオゾン吸収速度の比較とその違いの解析

○渡辺 誠¹・中寺美月²・遠藤 渉³・大井菜ノ香²・八木田彩乃²・伊豆田猛¹

¹ 東京農工大学大学院農学研究院・² 東京農工大学大学院農学府・³ 東京農工大学農学部

本研究では、大気汚染物質であるオゾンの葉における吸収速度を決定する主要因である気孔コンダクタンス (g_s) の推定モデルを、ケヤキの成木と苗木の葉を対象に作成し、それらから算出されるオゾン吸収速度の違いとその要因の解明を目的とした。東京農工大学府中キャンパスに生育するケヤキの成木 (樹高約 20 m) とポットに植えたケヤキの苗木 (樹高 1~1.5 m) の葉の g_s を様々な環境で 3 成長期間測定した。得られた g_s とその測定時における各気象要素などから Jarvis 型 g_s 推定モデルを成木と苗木で作成し、葉のオゾン吸収速度を 1 成長期にわたって推定した。苗木の g_s 推定モデルで求めたオゾン吸収速度は、成木のそれに比べて低かった。この原因として、苗木では g_s の最大値が低いこと、春季における g_s の増加が遅いこと、オゾンによって g_s が低下しやすいことが考えられた。一方、苗木と成木の g_s の光に対する応答は異なり、弱光下では苗木の g_s が成木のそれより高かったが、強光下では成木で高い g_s を示した。以上より、ケヤキの葉のオゾン吸収速度を推定する際には、樹体サイズの違いに伴う g_s とその環境応答の違いを考慮する必要がある。

S13-3 異なる土壌に生育したヤマナラシ属 2 種の虫害発生とオゾンの影響

○小池孝良¹・増井 昇^{1,2}・渡邊陽子¹・渡部敏裕¹

¹ 北海道大学大学院農学研究院・² 静岡県立大学薬食生命科学総合学府

オゾンは強力な酸化物質で光合成を抑制する。地表付近オゾン (= 光化学スモッグ) の前駆物質である二酸化窒素 (NO_2) の排出量は欧米では 1990 年代から漸減しているが、東アジアではやや減少傾向にあるが、それでも欧米の 4 倍量あってオゾンによる森林衰退が生じている (Kitao et al. 2016; Sci Rep)。しかも、タイトレーション効果によって郊外での影響が高い。エネルギー・繊維資源としてのポプラ類 (ドロノキと雑種 = ギンドロ × 欧州ヤマナラシ) では、通常大気 (対照) 区 (約 35 ppb) に比べ、オゾン区 (約 80 ppb) では、光合成生産が抑制され成長が抑制されるだけでなく、被食防衛物質量が低下し、病虫害に遭いやすくなると予想した。しかし、ポプラ類の地上部を毎年収穫すると、萌芽枝のバイオマス生産量は雑種では対照区とオゾン区では大差なく、ドロノキでは減少し、3 年目には虫害による枯死が増加した。オゾン区ではドロノキハムシの食害が少なく、香氣シグナルを妨げる環境攪乱物質としてのオゾンの影響が示唆された。