

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K05691

研究課題名（和文）アカエゾマツが根元及び幹曲がりに抵抗する遺伝的機構の解明と抵抗性予測モデルの構築

研究課題名（英文）Estimation of genetic mechanism to prevent root and stem bending and statistical model building to predict their genetic ability.

研究代表者

花岡 創（Hanaoka, So）

静岡大学・農学部・准教授

研究者番号：40598728

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）：本研究では、根元曲がりや幹曲がりの発生に家系間変異を生じる要因を解析した。我々は、雪圧に耐えるための初期成長量または材質形質が根元及び幹曲がりの発生確率に影響するという仮説を立て、これらのことをアカエゾマツのクローンおよび家系材料を用いて検証した。根元及び幹曲がりへの抵抗性が高い家系は、初期の樹高成長または材質形質のどちらかに優れる傾向にあり、上記の仮説を支持する結果が得られた。これらの結果は、成長と材質の両方に優れる個体を選抜しようとする従来の林木育種が根元曲がりや幹曲がりへの抵抗性が高い個体の選抜に貢献してきたことを示唆していた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

根元曲がりや幹曲がりは、積雪地域の林業において材価を損なう深刻な問題の一つである。これまで、根元曲がりや幹曲がりの発生に関して家系間変異があることは複数の研究が提示してきたが、その変異を生み出すメカニズムに迫った研究は非常に少ない。本研究は、雪圧に耐え得るサイズに早く到達する初期成長、あるいは、雪圧による曲がりを生じにくくする材の剛性が曲がりへの抵抗性に家系間変異を生む要因となることを示した。また、アカエゾマツについて、本研究で用いた家系と比較することで抵抗性の予測を可能とし、積雪地域の林業に適した品種の選抜に貢献し得る成果を得た。

研究成果の概要（英文）： Factors causing the family variation of stem and basal bending was analyzed in this study. We made hypotheses that initial tree growth or wood traits to resist snow pressure affect to the probability of occurrence of stem and basal bending, and they were examined by using family and clonal materials of *Picea glehnii*. Families which had higher resistance to stem and basal bending tended to have higher initial tree growth or wood properties, the results supporting our original hypothesis. These results also suggest that conventional forest tree breeding strategy which select fast growing and higher wood properties contribute to select higher resistance trees for stem and basal bending.

研究分野：林木育種学

キーワード：根元曲がり 幹曲がり アカエゾマツ 抵抗性育種 材質 初期成長

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

積雪地域では、雪圧や冠雪の影響を受けて根元曲がりや幹曲がりを生じやすく、材の利用効率や丸太の品質低下、さらには材価の低下が林業経営上の深刻な問題の一つとなっている。根元曲がりや幹曲がりの発生に関しては、曲がりの発生を誘引する環境的な要因を明らかにした研究や、特定の試験地での検証結果に基づき、根元曲がりや幹曲がりの発生程度に遺伝変異があることを示した研究事例は複数ある。しかし、なぜそのような遺伝変異が生じ得るのか、根元曲がりや幹曲がりの発生及び抵抗性に影響する形質に迫ろうとした研究は非常に少なく、十分に解明されていないのが現状である。

2. 研究の目的

本研究では、過去の研究(花岡・伊東 2020、森林立地 62: 39-50)を通して明らかとなった、根元曲がりや幹曲がりへの抵抗性に差があることが既知のアカエゾマツ家系を研究材料とし、根元曲がりや幹曲がりの抵抗性に差を生む要因として、(1) 雪で倒されにくいサイズになるまでの初期成長の差と、(2) 幹の曲がりにくさや折れにくさに影響する材質形質(ヤング率と木材密度)に着目し、これらの要因が曲がりへの抵抗性と関連するかを明らかにすることを目的とした。また、研究期間中の降雪により、大規模な冠雪害が発生した検定林があったため、冠雪害の発生確率に関する遺伝変異の有無とその影響形質の検証することも試みた。

3. 研究の方法

(1) 家系材料を用いた曲がりへの抵抗性に関連する形質の検証

北海道稚内市及び北海道紋別郡遠軽町に設定されたアカエゾマツの検定林 2ヶ所を調査対象地とした。両検定林は、1992年に造成され、共通した30家系が植栽されており、そのうち過去の研究で根元曲がりや幹曲がりへの抵抗性に差があると推定された14家系を対象に解析を行った。初期成長量のデータとして、植栽から5年次と10年次に取得された樹高の定期調査データを取りまとめた。また、本研究を通して曲がりの程度を再評価すると共に、材質形質として動的ヤング率と相関がある応力波伝播速度をファコップを用いて測定したことに加え、木材密度と相関があるピロディンによるピン陥入量を測定した。これらの結果から各家系の遺伝的能力を推定し、根元曲がりや幹曲がりへの抵抗性に関連する遺伝的能力の推定値と、初期成長及び材質形質の遺伝的能力の推定値との関連性を主成分分析を用いて解析した。

(2) クローン材料を用いた材質形質の遺伝性及び幼老相関の検証

上記の材質調査結果は、植栽から30年以上が経過して以降の材質形質となり、雪圧の影響を受けやすいと考えられる若齢時に変異の有無や樹齢間相関の程度を確認することが求められる。そこで、樹幹内の材質変異の程度および成熟木部の形質評価の妥当性を検証するため、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北海道育種場(北海道江別市)に保存された精英樹クローンを対象に成長錐コアを採取し、ミクロフィブリル傾角(MFA)及と材密度を5年輪ごとに測定し、これら形質に関する若齢時と成木時との幼老相関を解析した。なお、MFAと材密度は、樹幹のヤング率の差を生み出す要因となる形質である。

(3) 冠雪害の発生に関する家系間変異と変異に影響した形質の検証

2022年12月の降雪により、北海道紋別郡遠軽町にある一般次代検定林で大規模な冠雪害(幹折れや大幅な幹曲がり)が発生した。本検定林は1992年に造成され、35家系が植栽されていた。被害が生じる直前である30年次の定期調査で生存が確認されていた個体数は3231個体であった。被害から約6ヶ月が経過した2023年6月に被害木の調査を実施し、その結果を家系毎にとりまとめた。また、植栽から30年次に調査された樹高と胸高直径、及び樹高と胸高直径の比である形状比の結果もとりまとめ、家系毎に各形質の遺伝的能力の推定値を算出し、それぞれの関連性について主成分分析を用いて解析した。

4. 研究成果

(1) 家系材料を用いた曲がりへの抵抗性に関連する形質の検証

調査を実施した14家系における、初期成長の評価として5年次と10年次樹高を、材質形質として応力波伝播速度、ピロディンのピン陥入量、根元曲がりや幹曲がりの評価値(5段階評価)を元に推定した各家系の遺伝的能力の推定値(変量効果)の結果を図1に示す。それぞれの形質について一定の家系間差が見られた。主成分分析の結果(図2と表1)では、PC1~PC3の累積寄与率が91%となり、主にPC1の値が低いほど初期成長に優れ、PC2の値が大きいほど材質形質に優れることを示す特徴付けとなった。一方で、根元曲がりや幹曲がりについては、PC1の値が低く、PC2の値が大きいほど曲がりへの抵抗性が高いという特徴付けとなった。根元曲がりや幹曲がりへの抵抗性が高い傾向にあった家系は、初期成長に優れつつ材質形質が中庸、あるいは、初期成長が中庸ながら材質形質に優れるというどちらかの特徴を有しており、成長と材質形質の

両方の作用によって根元曲がりや幹曲がりへの抵抗性が決定されていることが示唆された。

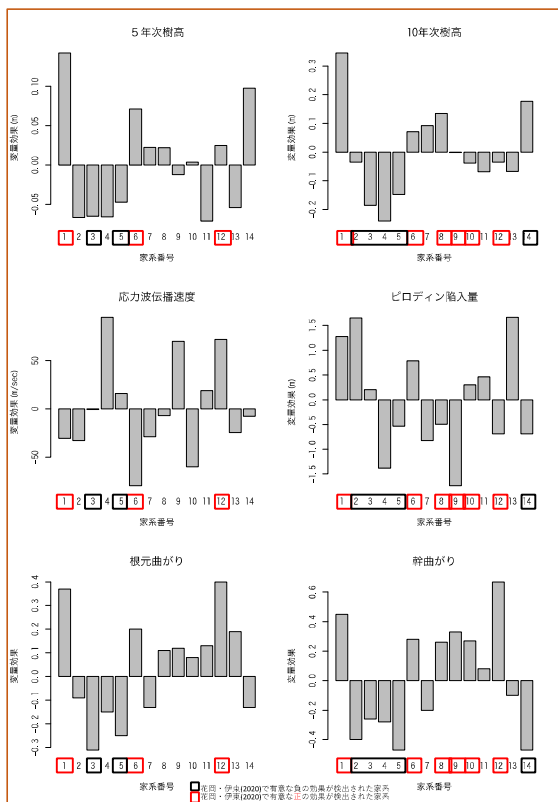


図 1. 形質毎に見た各家系の遺伝的能力の推定値

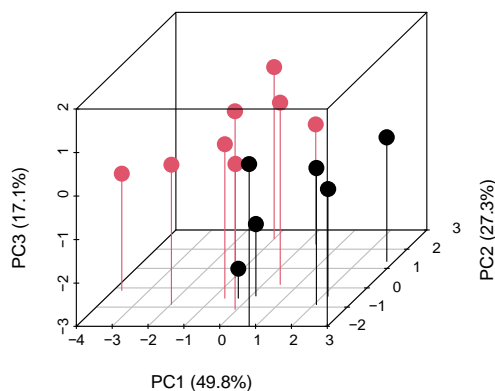


図 2. 主成分分析における主成分得点の結果

表 1. 主成分分析における主成分負荷量の結果

変数	PC1	PC2	PC3
5年次樹高	-0.485	0.047	-0.502
10年次受講	-0.504	-0.066	-0.415
応力波伝播速度	0.284	0.629	0.013
ピロディン陥入量	-0.218	-0.568	0.515
根元曲がり	-0.467	0.292	0.425
幹曲がり	-0.406	0.435	0.360

日本の林木育種は成長と材質の両方に優れた個体を選抜する戦略をとってきた。本研究の結果からまとめると、従来の林木育種の戦略は根元曲がりや幹曲がりの発生低減にも寄与してきた可能性がある。

(2) クローン材料を用いた材質形質の時系列トレンドの検証

容積密度について、5年輪ごとの測定値と5~45年輪目までの個体平均値を算出し、その相関係数を調査したところ、いずれの部位でも高い相関係数が得られた(表2)。MFAも同様に、5~40年輪目までの平均MFAは、各年輪部位のMFAと有意な高い相関係数を示した。これらのことは、アカエゾマツの材質形質の早期評価可能性を示すもので、今後の林木育種に資すると考えられる。本結果は、既往の研究(Tanabe et al. 2018、Silva Fenn 52(2): id9914)とも一致する結果であった。

アカエゾマツの材密度は、髓付近で高く、25年輪目程度まで減少し、その後樹皮側に向かって増加する傾向を示す(野堀ら1991日林誌73(5):339-343など)。非線形混合モデルによって、クローンごとの変動パターンを評価したところ、初期値や容積密度が低くなる年輪数にクローン間差があることがわかった(Tanabe et al. 2023 proceedings of ICWSE)。若齢時の木材密度は初期値の影響を受けやすく、30年程度の年輪数では密度が低くなる年輪数の寄与が大きいことが示され、これらの作用により、それぞれの樹齢において材質形質にはクローン間変動が生じ得ると考えられた。容積密度およびMFAにおいて、5年輪ごとの測定値同士で計算した年次間相関係数は、隣り合う年輪同士では高い値を示したが、年次が離れるほど相関係数は低くなる傾向があった。5および10年輪目のMFAの測定値と、30年輪目の測定値との相関係数は、それぞれ0.473および0.485となり、相関係数は決して高くはないものの、有意な相関が得られた。容積密度についても、1~5年輪目および6~10年輪目までの測定値と、26~30年輪の測定値との相関係数は、それぞれ0.417および0.357となり、MFAと同様に有意な相関が得られた。これらのことから、若齢時の段階で材質形質に家系間変異が生じると考えられると共に、誤差はやや大きくなる可能性があるものの、30年前後の材質形質の測定であっても、大まかに若齢時の材質形質を推定することは可能であると考えられた。

表2 容積密度およびMFAの幼老相関係数

形質	髓からの年輪数								
	5 th	10 th	15 th	20 th	25 th	30 th	35 th	40 th	45 th
容積密度	0.612	0.708	0.793	0.814	0.794	0.779	0.750	0.715	0.766
	186	186	186	186	186	186	186	184	172
MFA	0.848	0.830	0.746	0.754		0.788		0.661	
	30	30	30	30		30		29	

注) 太字は有意な相関係数 (p < 0.01)

(3) 冠雪害の発生に関する家系間変異と変異に影響した形質の検証

30年次の調査で生存が確認されていた検定林内の全3231個体のうち666個体で冠雪害が発生したことを確認し、被害率は20.6%であった。30年次の調査結果をもとに算出した遺伝的能力の推定値は図3の通りとなり、冠雪害の発生に関して、家系間差があったことを確認した。また、本検定林においても、樹高、胸高直径、形状比の3形質に関する家系間差が検出された。これらの推定値を基に主成分分析を行った結果を図4及び表3に示す。PC1とPC2の累積寄与率は84.3%となり、遺伝的能力の推定値に関して、冠雪害の発生が少ないほどPC1が負かつPC2が正の値に特徴付けられ、樹高に関しては推定値が高いほどPC1の値が負の値に、胸高直径に関しては推定値が高いほどPC1とPC2の両方が負の値に、形状比に関しては推定値が高いほどPC2が正の値となる特徴付けとなった。これらの結果から、樹高が高く形状比が高い傾向にあった家系で冠雪害の発生が多いことが示され、家系毎の成長と形状比の変異が冠雪害の発生に関する家系間変異を生じさせる要因であることが示唆された。しかし、形状比に関しては、北海道特有の2条植えの影響で全体的に高い値となっていたことも影響した可能性があり、この検証については今後の課題である。

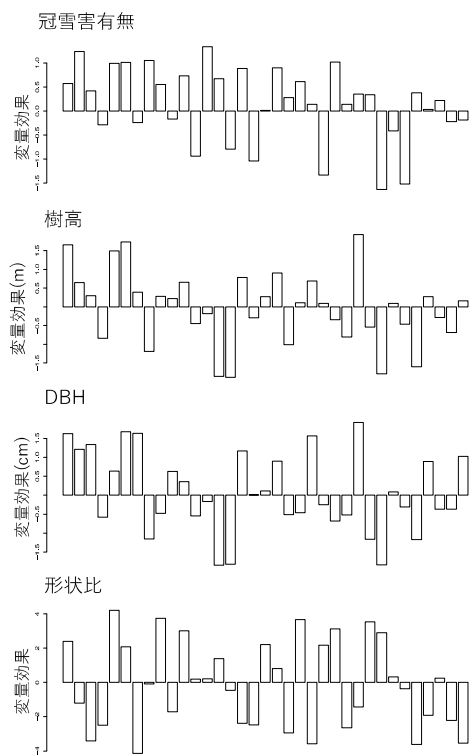


図3. 形質毎に見た各家系の遺伝的能力の推定値

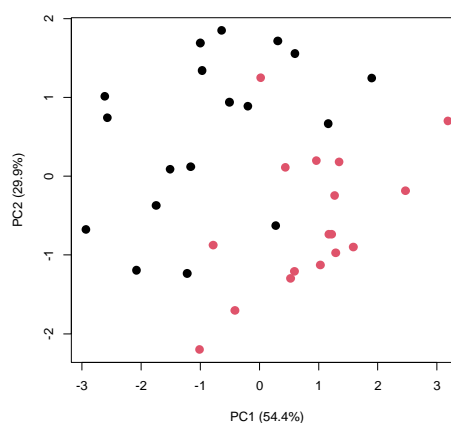


図4. 主成分分析における主成分得点の結果

赤丸：冠雪害の発生に関する遺伝的能力の推定値が平均以下を表す

表3. 主成分分析における主成分負荷量の結果

変数	PC1	PC2
冠雪害	-0.433	0.414
樹高	-0.648	0.041
胸高直径	-0.626	-0.303
形状比	0.019	0.857

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 花岡創、田邊純、福田陽子
2. 発表標題 アカエゾマツの根元曲がりと幹曲がりの抵抗性質に家系間差が生じる要因
3. 学会等名 第135回日本森林学会大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 加治屋杏奈、田邊純、花岡創、福田陽子
2. 発表標題 アカエゾマツ精英樹クローンの容積密度と気象要因との関係
3. 学会等名 第74回日本木材学会大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 花岡創、上田雄介、岩井大岳、福田陽子
2. 発表標題 アカエゾマツの冠雪害リスクと抵抗性に関する改良の可能性
3. 学会等名 第12回森林遺伝育種学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 加治屋杏奈、田邊純、花岡創、福田陽子
2. 発表標題 アカエゾマツの容積密度のクローン間差に寄与する産地の環境要因の影響
3. 学会等名 第12回森林遺伝育種学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Jun TANABE, Anna KAJIYA, So HANAOKA
2. 発表標題 Clonal variations of wood properties in Picea glehnii and relationships of them with climate factor of their geographic origins
3. 学会等名 ICWSE 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023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	田邊 純 (Tanabe Jun) (40800636)	千葉大学・教育学部・助教 (12501)	

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
---------	---------