

博士（農 学） 安 江 恒

学 位 論 文 題 名

北海道北部の気候復元についての年輪気候学的研究

学位論文内容の要旨

樹木の肥大成長には気候をはじめとする環境因子が影響することが知られている。したがって、年輪は過去数百年間にわたる気候変動を記録しており、年輪幅などの時系列を用いての気候の復元が可能である。しかしながら、わが国では、さまざまな環境因子が複合的に肥大成長に影響しているため、特定の気候要素に起因する年輪幅などの変動を抽出することは難しいとされ、年輪を用いた気候復元の試みも少なかった。また、年輪気候学的に気候復元を行う場合の前提条件として、気候復元の指標として用いる年輪幅や年輪内最大密度と気候要素との関係が統計的にはもちろんのこと、樹木の肥大成長に及ぼす気候要素の影響が生理学的な観点からも合理性を持つ必要があるが、気候要素が年輪形成に及ぼす細胞レベルでの影響を検討した研究は少ない。とくに、年輪内最大密度は気候要素を敏感に反映する指標であるとの報告が多く、気候復元に頻繁に用いられているにもかかわらず、その変動のしくみは十分に解明されていない。

以上の背景から、本研究では、生育地を代表する年輪幅または年輪内最大密度の時系列であるクロノロジーを作成し、気候復元を可能とする前提条件である年輪幅と年輪内最大密度に及ぼす気候要素の影響を統計的に解析した。さらに、気候変動に伴う針葉樹の年輪内最大密度の変動の仕組みについて、年輪後半部に位置する仮道管の放射径や細胞壁厚との関係から検討を行った。そのうえで北海道北部における年輪幅と年輪内最大密度の時系列を用いた気候復元の可能性を検証し、これらの結果をもとにして気候復元を行った。

対象とする樹種として比較的長寿命で試料の得易いアカエゾマツ (*Picea glehnii*) とヤチダモ (*Fraxinus mandshurica* var. *japonica*) を選択し、異なる土壌条件に生育する 3 生育地のアカエゾマツ計 104 個体、2 生育地のヤチダモ計 25 個体から試料を採取し

た。アカエゾマツの年輪幅および年輪内最大密度、ヤチダモの年輪幅を軟X線デンシトメトリーにより計測した。年輪が形成された年をクロスディテイニングによって検証したうえで、実測値に傾向曲線を当てはめてその比をとる標準化の方法の検討を行い、クロノロジーを作成した。年輪幅時系列の標準化方法として、年輪幅時系列中に短期間の極端な年輪幅の増加・減少が存在する場合には年輪幅時系列を2つ以上の区間に分割し、それぞれに対してフィルター長66年のスプライン関数を傾向曲線として当てはめる方法を、年輪内最大密度時系列には回帰直線または66年のスプライン関数を当てはめる方法を選択した。年輪幅・年輪内最大密度時系列の個体に特有な変動を標準化によって取り除いたところ、生育地内の個体間の年輪幅または年輪内最大密度指数の変動は高い共通性を示した。さらに、全個体の平均値を求めるこことによって、各生育地ごとに計8系列のクロノロジーを作成した。

次に、アカエゾマツの年輪幅・年輪内最大密度とヤチダモの年輪幅の変動に及ぼす気候要素の影響を、レスポンスファンクション解析および単相関分析によって統計的に明らかにした。レスポンスファンクション解析の結果、クロノロジーの変動の30~40%が気候要素によって説明された。アカエゾマツ年輪幅に影響する気候要素は生育地によって異なっていた。これは土壌条件の違いに起因するものと考えられた。一方、年輪内最大密度に影響する気候要素は生育地に共通し、夏期の気温が正に、8月の降水量が負に寄与していた。したがって、年輪内最大密度は夏期の気候条件に大きく影響され、土壌条件の違いによって制限因子が大きく異なることはないことが明らかとなった。2生育地のヤチダモ年輪幅には、7月の気温が共通して正の寄与をしていたが、それぞれの生育地で5月または7月の降水量が正に寄与しており、降水量の寄与の違いは土壌条件に起因すると考えられた。それぞれのクロノロジーと特定の気候要素との間に有意な相関が認められたことから、アカエゾマツとヤチダモは気候復元に適した樹種であることが示された。とくに、アカエゾマツの年輪内最大密度とヤチダモの年輪幅の変動は夏期の気候の変動を敏感に反映しており、これらは夏期の気候の復元に有効な指標であると考えられた。

当年の夏期の気候要素を敏感に反映する指標である年輪内最大密度の変動のしくみを明らかにするため、年輪内最大密度の変動に及ぼす仮道管の放射径と接線壁厚の影響、および放射径と接線壁厚に及ぼす気候要素の影響を解析した。アカエゾマツ9個

体の 91 年輪 (819 年輪) の仮道管の放射径・接線壁厚を光学顕微鏡像の画像解析によって計測し、軟 X 線デンシトメトリーにより計測した年輪内最大密度との相関関係を算出した。その結果、年輪内最大密度は年輪後半部の仮道管壁厚と相関が高かった。さらに、仮道管壁厚クロノロジーを作成し、レスポンスファンクション解析と単相関分析を用いて気候要素との関係を解析したところ、夏期の気温が正に、8 月の降水量が負に寄与していた。この反応は、年輪内最大密度の気候要素に対する反応と同様であった。したがって、夏期の気候が年輪後半部に位置する仮道管の壁肥厚の程度に影響し、結果として年輪内最大密度が変動することが明らかになった。また、既往の知見と併せて考察を行い、夏期の気候条件が細胞壁の肥厚期間を左右することによって細胞壁厚が変動していると考えられた。本研究の結果により、針葉樹材の年輪内最大密度が気候変動に伴って変動する原因を仮道管の放射径や接線壁厚の変動と関連づけて初めて明らかにすることが出来た。

ここまで的研究を通じ、作成したクロノロジーが気候変動を反映していることを確認した。そこで最後に、アカエゾマツの年輪幅・年輪内最大密度およびヤチダモの年輪幅のクロノロジー (7 系列) を用いた気候復元を試みた。作成したクロノロジーを独立変数、最近 91 年間の気候データを従属変数とする気候復元モデル式を作成し、気候復元モデル式の有効性を統計的に検証することにより、気候復元が行えることを確認した。作成した気候復元モデル式にクロノロジーを代入し、1750 年以降の約 240 年間にわたる夏期 (6~9 月) の平均気温と 8 月の降水量を復元した。この気候復元の結果は、わが国においても年輪気候学的な方法による気候復元が十分可能なことを初めて証明するものである。

本研究によって得られた知見は、東アジア地域における過去の長周期の気候変動を明らかにしていく上で重要であるとともに、今後の日本における年輪気候学的方法を用いた気候復元の進歩に大きく寄与すると考える。また、本論文で示された手法を用いて年輪幅・1 年輪内の密度値・木部細胞の形態を表す指標などと気候要素の関係を解析していくことは、樹木の肥大成長に与える環境要因の影響の解明することにも寄与すると考えられる。

# 学位論文審査の要旨

主査教授 大谷 謙  
副査教授 平井 順郎  
副査教授 松田 順  
副査教授 船田 良

## 学位論文題名

### 北海道北部の気候復元についての年輪気候学的研究

本論文は6章で構成され、図27、表10、引用文献165、総頁数144の和文論文である。別に参考論文5編が添えられている。

樹木の年輪幅や年輪内最大密度の時系列変動を年輪気候学的に解析することにより、その樹木の生育地の気候を復元することができる。しかし、日本の天然林に生育している樹木の年輪形成にはさまざまな外的要素が複雑に影響を及ぼしているため、気候復元を行う場合の解析方法について検討すべき点が多く、気候復元の可能性について今まで本格的に検討した報告はほとんどない。

本研究では、長期間連続した年輪を含む試料が多数必要であることから、北海道北部における土壌条件の異なる3生育地のアカエゾマツ104個体と2生育地のヤチダモ25個体の大径木を供試木とした。気候復元の指標として年輪幅と年輪内最大密度を選び、それらの時系列変動に及ぼす気候要素の影響を統計的のみならず木材解剖学的解析からも検討することにより、気候復元の可能性を明らかにし、1750年以降の北海道北部における6～9月の平均気温と8月の降水量を復元した。

アカエゾマツの年輪幅と年輪内最大密度、ヤチダモの年輪幅を軟X線デンシトメトリにより計測し、全試料についてクロスディイティングを行い、試料に含まれる年輪が形成された絶対年を決定した。つぎに、気候要素のみの影響が含まれる年輪幅と年輪内最大密度の時系列を得るために標準化の方法について検討し、各生育地における年輪幅と年輪内最大密度のクロノロジーを作成し、最長470年、最短175年の8系列のクロノロジーを得た。

レスポンスファンクション解析と単相関分析により、作成されたクロノロジーの変動に及ぼす月平均気温と月降水量の影響を解析した。アカエゾマツの年輪幅に及ぼす月平均気温と月降水量の影響は生育地によって異なっていたが、年輪内

最大密度には、3生育地に共通して、当年6～9月の月平均気温が正に、当年8月の降水量が負に寄与していた。ヤチダモの年輪幅には、2生育地に共通して当年7月の平均気温が正に寄与していたが、月降水量が正に寄与する月は生育地によって異なっていた。以上のように、それぞれのクロノロジーと特定の気候要素との間に有意な相関が認められたが、とくにアカエゾマツの年輪内最大密度は夏期の気候復元を行う場合に有効な指標であることがわかった。

つぎに、年輪内最大密度の変動のしくみを年輪を構成する仮道管の形態・構造から検討した。軟X線デンシトメトリにより計測した年輪内最大密度と、光学顕微鏡像を画像解析装置により計測した仮道管の放射径・接線壁厚の関係を解析した結果、年輪内最大密度の変動は年輪最終部における仮道管の細胞壁厚のそれと高い相関があることを見いだした。さらに、これらの仮道管の細胞壁厚のクロノロジーにおける月平均気温と月降水量の寄与についての統計的解析から、年輪最終部における仮道管の細胞壁厚の変動には当年7月の平均気温が正に、当年8月の降水量が負に寄与していることが認められた。以上のことから、当年夏期の気候が年輪最終部における仮道管の細胞壁肥厚の程度に影響を与え、その結果として年輪内最大密度が変動することを明らかにしている。

気候復元の対象として、複数の年輪幅や年輪内最大密度のクロノロジーと強い関係が認められた当年6～9月の平均気温と当年8月の降水量を選択した。複数のクロノロジーを独立変数、6～9月の平均気温または8月の降水量をその従属変数とする気候復元モデル式を作成し、気候データが存在する期間（1899～1990年）における実測値と気候復元モデル式からの推測値の一致性を検定した結果、気候復元モデル式が有効であることが証明された。気候復元モデル式にクロノロジーの値を代入し、気候データが存在しない1750年以降の149年間の北海道北部における6～9月の平均気温と8月の降水量を連続的かつ定量的に復元した。

気温や降水量が年輪形成の明らかな制限因子になる地域で得られている外国における気候復元結果と比較して、本研究での復元の精度はやや低いが、本研究は気候条件が温和な地域に生育する樹木の年輪を用いても気候復元を行うことが十分可能であることを年輪気候学的に初めて明らかにしたものであり、その成果は学術上高く評価される。

よって審査員一同は、最終試験の結果と合わせて、本論文の提出者安江恒は博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格があるものと認定した。