

論文内容の要旨

第1章 研究の背景と目的

高山は、冬期の低温や強風といったストレスと夏期の短い生育期間等、植物の生育にとって過酷な環境である。高山に分布する常緑針葉樹では、冬期に積雪面上に突き出たシュートの針葉が、初春に褐変・枯死する現象が知られている。気候変動により積雪深が低下すると、積雪面上に突き出る樹幹の割合が増加するため、褐変・枯死する部分が広がり、樹体の衰弱と植生の衰退が懸念されている。この針葉の褐変・枯死には、冬期に積雪面上で強風により吹き付けられる氷雪片によって、針葉のクチクラが損傷・剥離し、過度の蒸散により水不足となることが大きく関係していると考えられてきた。しかし、解剖学的な視点からクチクラが損傷しているかどうかは十分に検討されていなかった。また、針葉のクチクラを厚く発達させることで過度の蒸散を防いでいるとも考えられてきたが、クチクラが厚ければクチクラ蒸発は減少するのか、何がクチクラからの蒸発量の増減に起因しているのかは未解明であった。本論文では北アルプスの乗鞍岳の高山域に生育するハイマツとオオシラビソのクチクラに注目し、それらの針葉の褐変・枯死のメカニズムの一端を明らかにするため、クチクラの解剖学的観察と、クチクラ抵抗、クチクラの厚さとの関係性、そして、クチクラの成分含有率と、クチクラ抵抗、クチクラの厚さとの関係性を検討した。

第2章 : Needle browning and death in *Pinus pumila* in the alpine region of central Japan were not related to mechanical damage of cuticle and cuticle thickness

(中央日本の高山域のハイマツ針葉の褐変・枯死はクチクラの機械的ダメージとクチクラの厚さには関係していない)

日本の高山域を特徴づけるハイマツ帯に分布するハイマツでは、冬期に積雪面上に突き出たシュートの針葉が褐変・枯死する。この現象について、北アルプスの乗鞍岳の高山域(標高 2,770m)に分布するハイマツの針葉の解剖学的観察によるクチクラの損傷・剥離の有無の確認と、人為的なクチクラ剥離試験を行い自然環境下で生じる針葉の褐変部位の色調との比較、クチクラ抵抗とクチクラの厚さの関係性を調べた。その結果、人為的に針葉のクチクラを剥離すると褐変化するが、その色調は自然下で生じる褐変化とは異なっていた。さらに、自然環境下で冬期に積雪面上と積雪面下に位置する両方の針葉では、夏・冬前・冬後のどの季節においても全ての葉齢でクチクラの損傷・剥離箇所は認められなかった。さらに、クチクラ抵抗、クチクラの厚さは葉齢・季節により変化した。クチクラ抵抗とクチクラの厚さの間に関係性は見られなかった。以上より、ハイマツ針葉の褐変・枯死はクチクラの損傷・剥離とクチクラの厚さには関係しないことを明らかにした。

第3章 : Needle browning and death in the flagged crown of *Abies mariesii* in the timberline ecotone of the alpine region in central Japan

(中央日本の高山域樹木限界移行帯のオオシラビソ針葉の褐変・枯死)

日本の亜高山帯上部の森林限界移行帯に点在するオオシラビソの樹冠は、冬期の積雪面上に突き出た部分に位置するハタ型樹冠と、積雪面下に位置するクッション型樹冠から成る。ハタ型樹冠の針葉は、初春にしばしば褐変・枯死することが報告されている。本研究では、乗鞍岳の森林限界移行帯に分布(2,500m)するオオシラビソ針葉の解剖学的観察によるクチクラの損傷・剥離の有無の確認と、クチクラ抵抗、クチクラの厚さの関係性を調べた。その結果、ハタ型樹冠とクッション型樹冠の両方で、夏・冬前・冬後のどの季節においても全ての葉齢でクチクラの損傷・剥離箇所がないことを確認した。ただし、クッシ

ョン型樹冠では、針葉の表面と針葉表面から気孔までのくぼみの部分がエピッククラワックスに覆われていたが、ハタ型樹冠ではそのほとんどが消失していた。これは、ハタ型樹冠での針葉の乾燥がクッション型樹冠のそれよりも促進される可能性が大きいことを示唆した。ハタ型樹冠のクチクラ抵抗はクッション型樹冠のそれよりも小さいが、ハタ型樹冠のクチクラはクッション型樹冠のそれよりも厚かった。以上より、オオシラビソ針葉の褐変・枯死はクチクラの損傷・剥離とクチクラの厚さには関係しないことを明らかにした。また、厚いクチクラの発達は何のストレスへの対応であることを示唆した。

第4章 : Relationship between cuticular resistance or cuticle thickness and isolated needle cuticle components in the flagged crown of *Abies mariesii* in the timberline ecotone of the alpine region in central Japan

(中央日本の高山域樹木限界移行帯におけるオオシラビソのハタ形樹冠のクチクラ抵抗又はクチクラの厚さとクチクラの成分組成との関係)

これまで、厚いクチクラは葉内からの過度の蒸散を抑制すると考えられてきたが、第2章と第3章の研究結果、ならびにいくつかの先行研究から、必ずしもそうではないことがわかっている。これに関連して、クチクラ内の透水性にはクチクラの成分のひとつである多糖類の含有率が関係しているとする報告もある。そこで、本研究では、冬前後のクチクラ抵抗、クチクラの厚さと、クチクラの成分である多糖類、クチン、ワックスの3成分の含有率との関係性を検討した。その結果、ハタ型樹冠ではクチクラ抵抗が高まるにつれて多糖類の含有率が上昇したが、クッション型樹冠ではクチクラ抵抗と成分含有率の間に関係性は見られなかった。これは、クチクラ抵抗と成分含有率の関係性が樹冠の違いにより異なることと、ハタ型樹冠のみクチクラの水の透過性に多糖類の含有率が関係していることを示唆した。ハタ型樹冠の冬前では、クチクラが厚くなるほどクチンの含有率が上昇し、ワックスの含有率が低下したが、冬後のハタ型樹冠とクッション型樹冠ではクチクラの厚さと成分含有率の間に関係性は見られなかった。これは、クチクラの厚さと成分含有率の関係性が季節と樹冠の違いにより異なることを明らかにし、クチクラの厚さの増減は他のストレスに対する対応であることを示唆した。さらに、各成分の含有率を葉齢ごとに冬前後、樹冠間で比較をすると、それぞれに顕著な傾向と違いは認められなかった。これは、クチクラ抵抗、クチクラの厚さと成分含有率の間に明確な関係性がないことを明らかにし、それらには他のストレスに対する複合的な対応の関係を示唆した。

第5章 総括

本論文の結果から、ハイマツとオオシラビソの針葉の褐変・枯死には、針葉のクチクラの損傷・剥離が招く過度の蒸散による葉内の水不足とは関係なく、既往の研究から推測されてきた針葉の褐変・枯死メカニズムと異なることを明らかにした。また、クチクラが厚いことが、葉からの蒸発の抑制に必ずしも関係していないことを明らかにした。オオシラビソのクチクラの成分含有率の変化はクチクラ抵抗、クチクラの厚さの変化と顕著な関係性は認められず、成分含有率の変化がクチクラから蒸散する水分量の増減に起因していないことがわかった。特にクチクラの厚さの変化には他のストレスに対する複合的な対応と考えられた。これまでクチクラ表面を覆うエピッククラワックスの有無がクチクラ内の透水性に関係していることが示唆された一方で、生の葉や葉から単離したクチクラを用いてクチクラ中の透水メカニズムに関する研究が進んでおり、今後、温度、湿度、光や大気汚染物質といった複合的な非生物的要因との比較により、それぞれの種に固有なストレスに対する多様なメカニズムの解明が期待される。