

防風林の構造が気象改良効果に及ぼす影響に関する研究

学位論文内容の要旨

防風林は、減風効果、昇温効果など気象改良機能のほか、土壤保全機能も有しており、強風地域における作物の栽培および耕地の維持に重要な役割を果たしている。しかし、防風林の幅や植栽密度など防風林の計画・設計にあたっては、経験的な知見によるところが多く、定量的な計画・設計の指針がないまま今日に至っている。これは、野外観測で防風林の構造と気象改良効果の関係を把握することが困難なため、両者の関係が十分に解明されていないことが原因である。野外観測で現象の解明が困難な場合、モデルを構築して数値実験を行う手法が一般化しており、防風施設関係では、防風柵の空隙率と減風効果などが数値実験で明らかにされている。しかし防風林については、防風林の空隙率のパラメータ化、防風林内部の気流の動きの表現などが困難なため、精度の高い数値モデルはまだ構築されていない。

本研究は、以上のような問題点を踏まえ、防風林周辺の気流と熱的現象を精度良く再現できる数値モデルを構築することを通じて、防風林の構造と減風効果および昇温効果の関係を数値実験により定量的に把握することを目的とした。また得られた結果をもとに、最大の気象改良効果を得るための最適な防風林構造について検討した。研究結果の概要は以下のとおりである。

1. 構造の異なった防風林における風速と気温分布の観測

防風林の気象改良効果に関する数値モデルを構築するための基礎データを取得するために、構造の異なった6ヶ所の防風林において風速と気温分布の観測を実施し、気象改良効果と関連づけるための新たな構造因子を検討した。

その結果、防風林の構造因子の中で防風林の幅と葉面積密度が減風効果・昇温効果に影響を与えていることが明らかになった。また、昇温効果は気候環境、特に放射環境の影響も強く受けることがわかった。さらに、新たな構造因子として HPAI (Horizontal Plant Area Index; 葉面積密度を水平方向に積分した値) を考え、この HPAI と防風林風下における最小風速との関係を整理した結果、防風林の幅や葉面積密度を単独に用いた場合よりも強い相関関係が認められた。これにより、HPAI は、防風林を計画・設計するうえで有効な構造因子になることが明らかになった。

2. 防風林の構造が減風効果に及ぼす影響に関する数値実験

防風林の構造と減風効果の関係を数値実験で明らかにするため、防風林前後における風の流れを表現する数値モデルを構築した。構築したモデルは、2次元中立のレイノルズ方程式、連続の式、 $k-\epsilon$ モデルから成り立つ。本モデルの最大の特長は、乱流渦の変化を防風林内にも適用した点にある。このようなモデル構築の試みは本研究がはじめてである。

このモデルを使って野外観測を行った複数の防風林を対象に検証を行ったところ、計算結果と観測結果は良く一致し、本モデルが現象を精度良く表現していることがわかった。

本モデルを使って、防風林の幅、葉面積密度、樹幹層の高さが異なる様々な構造の防風林を対象に、防風林周辺の気流の変化に関する数値実験を行った。その結果、防風林の幅が等しい場合、葉面積密度が増加するにつれて最小風速は減少し、減風効果の範囲（防風林風下側における相対風速が80%以下の範囲）が拡大した。また、葉面積密度が等しい場合、防風林の幅が大きくなるにつれて最小風速は減少し、減風効果範囲は拡大したが、ある幅以上になると範囲の拡大が頭打ちになった。さらに、防風林下部に樹幹層が存在する場合、風の吹き抜けによって最小風速は増加するが、減風効果範囲は拡大する傾向がみられた。

以上の数値実験の結果をもとに、減風効果の指標として最小風速と減風効果範囲に着目して、HPAI との関係を整理した。その結果、HPAI と最小風速および減風効果範囲に強い相関が認められた。樹幹層が無い場合、HPAI が大きくなるにつれて最小風速は急激に減少し、HPAI が20を超えると風速の減少が頭打ちになった。一方減風効果範囲は、HPAI の増加に伴って拡大し、HPAI が15を超えるとわずかな縮小傾向に転じた。また、HPAI が等しくても樹幹層のある場合のほうが最小風速は大きかった。これらの結果から、減風効果を対象にした場合、樹幹層がなく、HPAI が15~20の値の防風林が最適な構造であることが明らかになった。

3. 防風林の構造が昇温効果に及ぼす影響に関する数値実験

防風林の構造と昇温効果の関係を明らかにするため、防風林前後における温度分布を表現する数値モデルを構築した。モデルは、2次元の熱の移流拡散方程式、地表面熱収支式などから成り立ち、植物体の熱収支も考慮している。このモデルの特徴は、防風林前後の温度分布を形成するプロセスを組み込んだ点にあり、このようなモデルは本研究が初めての試みである。このモデルを使って野外観測を行った複数の防風林を対象に検証を行ったところ、観測結果と計算結果が良く一致し、数値実験にこのモデルが使えることが確認された。

本モデルを使って、防風林の幅、葉面積密度、樹幹層の高さが異なる様々な構造の防風林を対象に、温度分布に関する数値実験を行った。その結果、防風林の幅が等しい場合、葉面積密度が増加するにつれて最大昇温量および昇温効果の範囲（防風林の風下側における気温が0.2℃以上上昇している範囲）は増加し、ある葉面積密度以上になると頭打ちになった。また葉面積密度が等しい場合、幅が大きくなるにつれて、最大昇温量および昇温効果範囲は増加し、ある幅以上になると減少に転じた。防風林における気流の変化と昇温効果の関係については、最小風速と最大昇温量、および減風効果範囲と昇温効果範囲に強い相関が認められた。

以上の数値実験の結果を基に、昇温効果の指標として最大昇温量と昇温効果範囲に着目して、HPAI との関係を整理した。その結果、HPAI と最大昇温量および昇温効果範囲に強い相関が認められた。HPAI が等しい場合、幅が広い防風林 ($5H \sim 10H$; H は樹高) よりも、狭い ($2H$ 以下) ほうが、最大昇温量、昇温効果範囲がともに大きかった。幅が狭く樹幹層が無い場合、HPAI が増加するにつれて HPAI が15~20までは最大昇温量は急増したが、その後は頭打ちになった。昇温効果範囲は HPAI の増加に伴い HPAI が15~20までは拡大し、その後はわずかな縮小傾向に転じた。HPAI が等しくても、樹幹層のある場合のほうが最大昇温量は小さかった。以上の結果より、昇温効果を対象にした場合、樹幹層がなく、幅が狭く ($2H$ 以下)、HPAI が15~20の防風林が最適な構造であることがわかった。

以上のように、本研究は、防風林の構造因子として新たに HPAI (Horizontal Plant Area Index) を提案し、新しい数値モデルを構築して数値実験を行うことにより、これまで明らかになっていなかった防風林の構造と減風効果・昇温効果の関係を定量的に明らかにし、減風効果と昇温効果からみた防風林の最適な構造を具体的に提案したものである。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 浦 野 慎 一
副 査 教 授 長 澤 徹 明
副 査 助 教 授 高 橋 英 紀
副 査 助 教 授 平 野 高 司

学 位 論 文 題 名

防風林の構造が気象改良効果に及ぼす影響に関する研究

本論文は5章からなる頁数157の和文論文で、図70、表10、引用文献71を含んでいる。他に参考論文5編が添えられている。

防風林は、減風効果、昇温効果など気象改良機能のほか、土壌保全機能も有しており、強風地域における作物の栽培および耕地の維持に重要な役割を果たしている。しかし、防風林の計画・設計にあたっては、防風林の幅や植栽密度など定量的な指針がないまま今日に至っている。これは、野外観測で防風林の構造と気象改良効果の関係を把握することが困難なため、両者の関係が十分に解明されていないためである。このような場合、モデルを構築して数値実験を行う手法が一般化しているが、防風林については、防風林の空隙率のパラメータ化、防風林内部の気流の表現などが困難なため、精度の高いモデルはまだ構築されていない。本研究では、気象観測の結果をもとに、防風林前後の気流と熱的現象を精度良く再現できる数値モデルを構築することを通じて、防風林の構造と減風効果、昇温効果の関係を数値実験で明らかにし、最大の気象改良効果を得るための最適な防風林構造を定量化したものである。

1. 構造の異なった防風林における風速分布と気温分布の観測

構造の異なる6ヶ所の防風林で風速分布と気温分布を観測し、気象改良効果と関連づけるための新たな構造因子を検討した。その結果、防風林の幅と葉面積密度が減風効果・昇温効果に影響を与えていることが明らかになった。さらに、新たな構造因子としてHPIA(Horizontal Plant Area Index; 葉面積密度を水平方向に積分した値)を考え、このHPIAと防風林風下における最小風速との関係を整理した結果、防風林の幅や葉面積密度を単独に用いた場合よりも明瞭な関係があることがわかった。これにより、防風林を計画・設計するうえでHPIAが有効な構造因子になることを明らかにした。

2. 防風林の構造が減風効果に及ぼす影響に関する数値実験

減風効果に関する数値実験を行うため、防風林前後における風の流れを表現する数値モ

デルを構築した。モデルは、2次元中立のレイノルズ方程式、連続の式、 $k-\epsilon$ モデルから成る。本モデルの特長は、乱流渦の変化を防風林内にも適用した点にあり、このような試みは本研究がはじめてである。観測を行った複数の防風林を対象に本モデルの検証を行ったところ、計算結果と観測結果は良く一致し、本モデルが現象を精度良く表現していることがわかった。

本モデルを使って、様々な構造の防風林前後の気流に関する数値実験を行い、最小風速と減風効果範囲に着目して、HPAI および樹幹層との関係を整理した。その結果、HPAI と最小風速および減風効果範囲の間に強い関係が認められ、HPAI の増加とともに最小風速は小さく、減風効果範囲は大きくなり、HPAI がある値を超えると両者とも頭打ちになること、またそれらは樹幹層の有無によって異なることがわかった。これらの結果から、減風効果を対象とした場合、樹幹層がなく HPAI が 15~20 の値の防風林が最適な構造であることを明らかにした。

3. 防風林の構造が昇温効果に及ぼす影響に関する数値実験

昇温効果に関する数値実験を行うため、防風林前後における温度分布を表現する数値モデルを構築した。モデルは、2次元の熱の移流拡散方程式、地表面熱収支式などから成り、植物体の熱収支も考慮した。本モデルの特徴は、温度分布形成のプロセスを組み込んだ点にあり、このようなモデル構築は本研究がはじめてである。観測を行った複数の防風林を対象にモデルの検証を行い、このモデルが現象を精度良く再現していることを確認した。

本モデルを使って、様々な構造の防風林を対象に温度分布に関する数値実験を行い、昇温効果と HPAI の関係を整理した。その結果、HPAI と最大昇温量および昇温効果範囲の間に強い関係が認められた。HPAI が等しい場合、幅が広い防風林よりも狭い方が最大昇温量、昇温効果範囲が大きかった。幅が狭く樹幹層が無い場合、HPAI が増加するにつれて最大昇温量は急増したが、その後は頭打ちになった。昇温効果範囲は HPAI の増加に伴い拡大し、その後は縮小傾向に転じた。また樹幹層がある場合の方が最大昇温量は小さかった。以上の結果から、昇温効果を対象にした場合、樹幹層がなく、幅が狭く ($2H$ 以下、 H は樹高)、HPAI が 15~20 の防風林が最適な構造であることを明らかにした。

以上のように、本研究は防風林の構造と減風効果・昇温効果の関係を数値実験で定量化し、防風林の最適な構造を具体的に提案したものであり、その成果は学術上、応用上高く評価される。よって審査員一同は、佐藤隆光氏が博士(農学)の学位を受けるのに十分な資格があると認めた。