

学位論文題名

林分構造が流域蒸発散に及ぼす影響の研究

学位論文内容の要旨

本研究は森林流域における蒸発散量、樹冠遮断量、蒸散量と林齢および林分構造との関係を、流域蒸発散の観測と蒸発散の林分構造依存モデルとによって定量的に評価するものである。

これまでのわが国の森林管理は木材生産を主眼に行われてきた。しかし、近年、森林管理の主要な目的は公益的機能の増進へと転換しつつある。一方、水保全上好ましい森林管理のあり方については多くの議論がなされてきたが、十分な解答は得られていない。これは、流域蒸発散が植生、気象、土壌の相互作用によって支配されるため、それぞれの要素を分離するのが困難なことによる。そこで本研究では、流域蒸発散の観測を行うとともに、蒸発散の林分構造依存モデルを構築して森林被覆の効果と気象の効果とを分離して蒸発散の評価を行った。

蒸発散量と樹冠遮断量は流域試験(水収支法)によって測定した。従来の流域試験の解析方法は、森林の変化の前後での水収支の違いを現象論的に記述するだけのものが多かった。本研究ではまず、森林の変化を含む期間の水収支から蒸発散量の季節変化および経年変化を観測値として求めた。次に、蒸発散の林分構造依存モデルを構築して観測値を再現し、モデルの適合性を確認した。モデルの構築に当たっては、「蒸発散量は林分構造(立地条件が一定なら林齢)に依存する」という仮説を提示し、これに基づいて森林パラメータの検討を行った。さらに、このモデルを用いて蒸発散量の林齢依存性と気象条件の違いによる応答の差を考察し、最後に間伐による蒸発散量の変化予測を行って今後の技術的応用の可能性を検討した。

対象とした常陸太田試験地は茨城県北部の太平洋岸に位置する。今回対象としたのは全流域(15.68 ha)とそのサブ流域であるB流域(2.48 ha)で、それぞれの流域で流量が測定されている。また、流域内の露場では雨量観測と気象観測が行われている。全流域は1984年までは1919年に植栽されたヒノキ・スギの壮齢林で覆われていたが、1985～1986年にB流域を残して皆伐された。その後、1987～1988年に再びヒノキとスギが植栽されている。蒸発散量の観測値は季節変化については短期水収支法、年変化については暦年を水文年とする年間水収支を用いて求めた。解析期間は全流域については1981～1985年、幼齢林流域(全流域とB流域との差)については1991～1997年である。B流域の壮齢林では林内雨量(樹冠通過雨量と樹幹流下量の和)が測定された。樹冠遮断量は1991～1994年について林外雨量(降水量)と林内雨量の差から算出した。

本研究では蒸発散の林分構造依存性を検討するためのモデルを新たに構築した。この研究の最大の新規性は、モデル中の森林パラメータを独自の表現形式で示した点にある。モデルは熱収支式(ペンマン・モンテイス式)を基礎にしたものである。蒸発散量は蒸散量と樹冠遮断量だけからなると仮定し、林床面蒸発や未閉鎖部分からの蒸発は森林パ

ラメータに含まれるとして扱った。蒸散量は一日ごと、樹冠遮断量は一降水ごとに計算した。モデルに用いる森林パラメータ（空気力学的抵抗 r_a 、群落抵抗 r_c 、樹体の保水容量 $SMAX$ ）は観測値と文献値に基づいて与え、「蒸発散量は林分構造（立地条件が一定なら林齢）に依存する」という仮説に基づき、林齢の関数として表した。空気力学的抵抗 r_a は、対数則に基づいて樹高の関数として計算し、さらに既往の研究のレビューを行って樹高との関係を考察した。その結果、樹高約 6 m 以下では樹高とともに r_a が減少したが、樹冠が閉鎖する約 6 m（林齢約 20 年）以上ではほぼ一定の値に収束した。樹高と r_a の関係は、樹高と林齢の関係をを用いて、林齢と r_a の関係に変換した。群落抵抗 r_c と樹体の保水容量 $SMAX$ は、葉面積指数 LAI を用いて林齢との関係を検討した。 LAI は樹冠が閉鎖する林齢 15 ~ 20 年でピークを示し、その後やや減少してほぼ一定となる傾向を示した。また、林齢約 20 年以下では LAI が収量比数 R_y とともに大きくなる傾向が見られたが、樹冠が閉鎖する林齢約 20 年以上では R_y との関係は明確ではなかった。これは立地条件、または施業履歴の違いによるものと考えられる。一方、パイプモデル理論によれば、断面積と葉量との間には相関関係が見られるはずである。そこで、 LAI と胸高断面積合計との関係を検討したところ、林齢 15 ~ 20 年に相当する胸高断面積合計において LAI がピークを示し、その後やや減少してほぼ一定の値となる傾向を示した。さらに胸高断面積合計と林齢とは一対一の関係にあることから、 LAI は林齢の関数として表せるだけでなく胸高断面積合計の関数としても表現できることが示された。ここでは他の研究との比較のし易さと生態学的意味から LAI を林齢の関数とすることにした。

水収支から求めた樹冠遮断量と蒸発散量の観測値は、どちらもモデルによって有意に再現できることが示された。これにより、「蒸発散量は林分構造（立地条件が一定なら林齢）に依存する」という仮説が妥当であることと、モデルの適合性が示された。壮齢林では林齢と年間蒸発散量との関係は明確ではなかったが、幼齢林では蒸発散量の観測値が成長とともに毎年明らかに増加を示した。蒸発散量、樹冠遮断量、蒸散量は年々の気象条件を反映して毎年異なった季節変化を示した。特に冷夏多雨の 1993 年には蒸発散量の計算値が小さな値となり（観測値なし）、猛暑少雨の 1994 年には観測値、計算値ともに大きな値となった。

さらに、このモデルを用いて以下の 3 種類の予測を行った。第一に、気象条件を一定にして森林パラメータを変化させることにより、蒸発散量の林齢依存性を検討した。その結果、 LAI の変化に対応して林齢 15 ~ 20 年で蒸発散量のピークが予測された。年間蒸発散量の観測データは林齢 4 ~ 10 年までしかないので、このことは実証されていない。しかし、幼齢林の蒸発散量が毎年増加しており、すでに壮齢林の値を上回っていることと、幼齢林は未閉鎖であることを考えると、今後、蒸発散量がピークに達した後、壮齢林の値にまで減少するのは確実である。第二に、モデルを用いて林齢を 4 年と 66 年の 2 種類に設定し、冷夏多雨だった 1993 年と猛暑少雨だった 1994 年、さらに平年（1981 ~ 1994 年の平均値）の 3 種類の気象データを入力して蒸発散量の違いを予測評価した。その結果、同じ気象条件を与えても林齢（林分構造）の違いによって蒸発散量、樹冠遮断量、蒸散量が異なった応答をすることが示された。

最後に人工林の間伐が蒸発散に及ぼす影響について予測を試みた。人工林の間伐を対象としたのは、国土の 28 % を占める人工林の多くが手入れ不足の状態にあり、その管理方法を検討する必要があるためである。予測によると、間伐による LAI の減少とともに蒸発散量は直線的に減少した。しかし、施業と森林パラメータの関係を示すデータが不十分であるため、今後、データを蓄積することが必要である。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 新 谷 融
副 査 教 授 浦 野 慎 一
副 査 教 授 笹 賀 一郎
副 査 助 教 授 中 村 太 士

学位論文題名

林分構造が流域蒸発散に及ぼす影響の研究

本論文は、図44、表4を含む総頁数135の和文論文であり、他に参考論文4編が添えられている。

水保全のための森林管理は流域保全上の重要課題とされているが、その基本となる流域水収支が未解明なためいまだに有効な手段が構築されていない。これは、流域水収支が植生、気象、土壌の相互作用に支配されていることから、それぞれの要素を分離し解析することが困難なためである。本研究は、流域における蒸発散と林分構造との関係について、水収支観測と熱収支モデルとによって森林と気象の効果を分離して定量評価する手法の構築を目的としたものである。成果の概要は以下のとおりである。

1. 研究方法

流域蒸発散の研究史を概観し、森林変化前後での水収支の違いを現象論的に記述する従来の流域試験解析方法とは異なる、水収支観測と熱収支モデル構築とによる新たな蒸発散の定量評価手法確立の意義と必要性を提起している。本研究方法は、蒸発散の観測方法として流域試験を用い、水収支法によって求めた樹冠遮断量・蒸発散量の観測値にもとづいて、モデル計算値の再現性ならびにモデル適合性の検証を行うものである。さらに、研究流域における流量・雨量・気象観測の方法と植栽・伐採による林分構造の推移、また蒸発散量の経年変化と季節変化とを求めるための水収支（年間・短期）解析方法、ならびに樹冠遮断量（樹冠通過雨量・樹幹流下量）の測定方法などについて述べている。

2. 森林パラメータの検討による蒸発散林分構造依存モデルの構築

蒸発散量は林分構造（立地条件が一定なら林齢）に依存するとの仮説に基づいて、熱収支モデル（ペンマン・モンティース式）を基礎としつつ、森林パラメータの独自表現形式による新たな蒸発散林分構造依存モデルを構築している。このモデルでは、蒸発散は蒸散と樹冠遮断後の蒸発からなり、林床面と樹冠未閉鎖部分の蒸発は森林パラメータに含まれると仮定している。

森林パラメータである空気力学的抵抗 r_a 、群落抵抗 r_c 、樹体保水容量 S_{MAX} については観測値

と文献値に基づいて林齢との関係について検討している。空気力学的抵抗 r_a について計算値に既往の文献値を加えて検討した結果、 r_a が樹冠の閉鎖する樹高約6 m（林齢約20年）以下では樹高増大とともに減少しこれ以上ではほぼ一定値に収束したことから、 r_a は林齢の関数に変換し得ることを明らかにしている。また群落抵抗 r_c と樹体保水容量SMAXについて葉面積指数LAIを用いて林齢との関係を検討した結果、LAIは林齢に依存して増加し樹冠閉鎖林齢（約20年）でピークを示すとともに、その後やや減少してほぼ一定となることから、 r_c とSMAXについてもLAIと林齢との関数として表すことが可能であることを明らかにしている。

3. 蒸発散の林分構造依存モデルの検証

水収支から求めた樹冠遮断量と蒸発散量の観測値はともに本モデルによって有意に再現できることを明らかにするとともに、蒸発散の林分構造（立地条件が一定なら林齢）依存仮説の妥当性と、本モデルの適合性を検証している。また蒸発散量の経年変化と林齢との関係については、とくに幼齢林の成長とともに蒸発散量が毎年増加したこと、また、蒸発散量は年々の気象条件を反映して毎年異なった季節変化を示したこと、さらに蒸発散量計算値が冷夏多雨年には小さな値となり猛暑少雨年には観測値と同様に大きな値となることなどから、本モデルは林分構造と気象の経年・季節変化を反映するモデルであることを確認している。

4. 林分構造と気象の経年変化に伴う蒸発散量の予測評価

このモデルを用いて以下の予測評価を行っている。まず気象条件を一定にして森林パラメータを変化させることにより、蒸発散量の林齢依存性を調べた結果、LAIの変化に対応して林齢15～20年で蒸発散量がピークに達すると予測している。

次に、林齢を設定（幼齢と壮齢）して、冷夏多雨年・猛暑少雨年・平年（観測期間14年の平均値）の実測気象データを入力して蒸発散量の違いを予測評価した結果、同じ気象条件を与えても林分構造（林齢）の違いによって蒸発散量が異なった応答をすることを明らかにしている。

さらに、人工林の間伐が蒸発散に及ぼす影響についての予測を試み、間伐によるLAIの減少が間伐率の増大による蒸発散量の減少をもたらすことを確認し、本モデルの技術的応用の可能性を提示している。

以上のように本研究は、水収支法による森林の蒸発散量・樹冠遮断量などの実測値にもとづいて、森林パラメータの検討によって新たに構築した蒸発散の林分構造依存モデルの適合性を検証したものであり、その成果は学術的・応用的に高く評価される。よって審査員一同は、村上茂樹が博士（農学）の学位を受ける十分な資格があるものと認定した。