

学 位 論 文 題 名

植物群落による降雨遮断過程に関する研究

学位論文内容の要旨

本論文は、図 66、表 10、135 ページからなる和文で、別に 23 編の参考文献が添えられている。

大規模な森林伐採による農耕地の拡大によって、降水量の変化が報告されている。森林から農耕地へ植生が変わることによる降雨遮断過程の変化は、地表における水循環に影響をもたらす。このように植物群落による降雨遮断過程は、流域あるいは地域の気象水文環境の形成に重要であるが、まだ不明の現象が多い。本論文は森林と作物群落における降雨遮断過程について、種々の測定法によって降雨遮断要素を測定し、新しい知見を導入した研究である。

第 1 章は「緒論」で、研究の背景と目的である。過去の降雨遮断研究には、統計的研究および物理的研究のふたつの系統がある。統計的研究によると、1 降雨における遮断雨量は雨量に比例して増加する。一方、物理的研究は遮断雨量を群落貯留量と遮断蒸発量の和と考え、物理的手法によってそれらの収支を動的に計算している。しかし、物理的研究においては群落貯留量または遮断蒸発量と雨量の間の因果関係が不明なため、統計的に遮断雨量が雨量に比例する理由は未知であった。そこで本論文は遮断雨量構成要素の詳細な測定から降雨遮断過程を解明し、統計的研究と矛盾しない物理的過程を記述することを目的とした。また、群落貯留量と遮断蒸発量に加え、従来考えられていなかった植物の雨水吸収量および飛沫による損失量を遮断雨量の構成要素として研究した。

第 2 章は「遮断雨量の測定と統計的解析」である。まず、落葉広葉樹林の遮断雨量を雨量収支法によって測定した。平均遮断率は 16.9%で、雨量が大きい降雨では遮断率が一定値に収束した。また、1 降雨の遮断雨量は雨量に比例し、過去の統計的研究と一致した。気象要素および降雨強度と遮断率および遮断速度の相関関係を調べたところ、降雨強度と遮断速度の間の相関が最も高く、他の気象要素の影響は小さかった。降雨強度と遮断速度の線形関係を仮定し、モンテカルロ・シミュレーションによって、1 降雨の雨量と遮断雨量、雨量と遮断率の関係を推定した。推定された遮断雨量および遮断率の分布範囲は観測値

と一致したため、降雨強度と遮断速度の線形関係が降雨遮断の基本的過程を表すことがわかった。次に、ダイズ群落の遮断雨量を秤量ライシメータを用いて測定した。遮断率は 13.3%で、落葉広葉樹林と同様に降雨強度と遮断速度の線形関係がみられた。

第 3 章は「遮断蒸発量の測定とモデルによる推定」である。まず、細線熱電対乾湿計を使用した渦相関法による顕熱・潜熱フラックス測定システムを作製した。細線熱電対乾湿計は放射による加熱および応答速度に欠点があったが、降雨中の測定精度は高く、雨滴の付着による誤差も小さかった。次に、このシステムを用い、落葉広葉樹林およびトウモロコシ群落における熱フラックスの測定をおこなった。風速が小さいとき降雨中の群落上の大気は飽和に近く、潜熱フラックスは日中で 20Wm^{-2} 程度、夜間はほぼ 0 であった。風速が大きいとき混合によって上空の比較的乾燥した空気が群落上に輸送されて飽和度が低下し、昼夜を問わず $50\sim 100\text{Wm}^{-2}$ 程度の潜熱フラックスと、これを補償する同程度の下向き顕熱フラックスが観測された。

さらに、バルク法を用いた単層植生モデルによって降雨中の熱フラックスを推定し、実測値と比較した。実測値と推定値の差の RMS は顕熱フラックスと潜熱フラックスはともに 20Wm^{-2} で、十分な精度であった。蒸発効率のパラメータである群落の最大貯留量として、葉と樹皮の最大貯留量の合計よりも葉のみの最大貯留量が適当であった。降雨終了後の急激な乾燥過程では、群落内の湿潤度の分布によって潜熱フラックスが過大推定となった。この効果を考慮するためには多層モデルが有効であるが、降雨終了後の遮断蒸発量は降雨終了時点の樹冠貯留量で既知のため、複雑な多層モデルの必要性は低いと判断された。

第 4 章は「植物による雨水吸収量の測定」である。植物茎内流測定法を応用して、雨水吸収に伴う下向き茎流量を測定した結果、従来の茎熱収支法では 2 種類の誤差が生じた。すなわち、茎熱収支ゲージの温度センサ位置のずれによる非対称誤差と、茎流量のゼロ近傍で計算値が発散するゼロ近傍誤差である。茎熱収支ゲージ内温度分布のシミュレーションから、ヒータ上下温度差の加重平均によって非対称誤差を補正する方法を考案した。また、茎流量のゼロ近傍でヒータ上下温度差を使用しない茎流量計算法を考案し、ゼロ近傍誤差を解消した。

この改良茎熱収支法を使用し、アオダモとトウモロコシの雨水吸収量を測定した。アオダモでは降雨開始 3~6 時間後に下向き茎流が発生し、個体の下向き茎流量の平均値は -0.36gs^{-1} (日中が -0.44gs^{-1} 、夜間が -0.29gs^{-1}) で、最大蒸散流量の 30%であった。下向き茎流量は降雨開始直後に大きく、次第に低下

した。降雨強度が変動しても、下向き茎流量はほとんど変動しなかった。また黄葉が進む 10 月上旬以降、下向き茎流は発生しなくなった。これらから、降雨時の下向き茎流は気孔を通して吸収された雨水流であると考えた。トウモロコシ個体の下向き茎流量の平均値は、 $-9 \times 10^{-3} \text{ g s}^{-1}$ （最大蒸散流量の 50%）と推定された。植物体内の水ポテンシャルの考察から、植物体内のリザーバ（水分貯留器官）への給水が吸収された雨水の移動の駆動力であるという仮説を示した。

第 5 章は「降雨遮断過程に関する総合考察」である。第 2～4 章で測定した遮断雨量の構成要素を比較し、降雨遮断過程について考察した。落葉広葉樹林の測定値から、遮断雨量と樹冠貯留量、遮断蒸発量、雨水吸収量の残差として飛沫損失量を推定した。各要素が遮断雨量に占める比率は、樹冠貯留量が 7%、遮断蒸発量が 2%、雨水吸収量が 32%、飛沫損失量が 59%であった。従来考えられていたよりも遮断蒸発量は小さく、飛沫損失量および雨水吸収量が相対的に重要であった。また、飛沫損失量は降雨強度と正の相関があることから、遮断速度が降雨強度に比例するという統計的解析の結果は、飛沫損失に由来すると考えられる。

蒸発に要する熱量からも、遮断蒸発よりも飛沫損失が多いという結果は妥当である。観測された最大遮断速度は 1000 W m^{-2} を越える潜熱に相当するが、降雨中にこれを補償する熱源は存在しない。飛沫の微水滴は長時間大気中に滞留できるため、小さい下向き顕熱を熱源として長時間かけて蒸発することができる。以上から飛沫による損失が遮断雨量の主たる要素であると考え、新しい降雨遮断過程の仮説を示した。作物群落についても降雨強度と遮断速度の相関が高く、最大遮断速度の潜熱当量が 1000 W m^{-2} を越えることから、落葉広葉樹林と同様の過程が存在すると考えられる。

以上の成果は、降雨中という特殊な状況に対応して開発した種々の測定法によるものである。特に、降雨中の熱フラックス測定と植物の雨水吸収量測定は、前例がない観測手法である。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 堀 口 郁 夫

副 査 教 授 長 澤 徹 明

副 査 教 授 浦 野 慎 一

学 位 論 文 題 名

植物群落による降雨遮断過程に関する研究

本論文は、図 66、表 10、135 ページからなる和文で、別に 23 編の参考論文が添えられている。

大規模な森林伐採による農耕地の拡大によって、降水量の変化が報告されている。森林から農耕地へ植生が変わることによる降雨遮断過程の変化は、地表における水循環に影響をもたらす。このように植物群落による降雨遮断過程は、流域あるいは地域の気象水文環境の形成に重要であるが、まだ不明の現象が多い。本論文は森林と作物群落における降雨遮断過程について、種々の測定法によって降雨遮断要素を測定し、新しい知見を導入した研究である。

第 1 章「緒論」は研究の背景と目的である。本論文の目的は遮断雨量構成要素の詳細な測定から降雨遮断過程を解明し、統計的研究と矛盾しない物理的過程を記述することである。また、従来考えられていなかった植物の雨水吸収量および飛沫による損失量を遮断雨量の構成要素として研究した。

第 2 章は「遮断雨量の測定と統計的解析」である。落葉広葉樹林の遮断雨量を雨量収支法によって測定した。その結果、雨量が大きい降雨では遮断率が一定値に収束した。また、1 降雨の遮断雨量は雨量に比例し、過去の統計的研究と一致した。さらに、遮断速度は降雨強度との相関が最も高く、他の気象要素の影響は小さかった。次に、遮断速度と降雨強度の線形関係を仮定し、1 降雨の雨量と遮断雨量、雨量と遮断率の関係を推定した。推定された遮断雨量および遮断率の分布範囲は観測値と一致したため、降雨強度と遮断速度の線形関係が降雨遮断の基本的過程を表すことが判明した。また、ダイズ群落の遮断雨量について測定した結果、落葉広葉樹林と同様に降雨強度と遮断速度の線形関係がみられた。

第 3 章は「遮断蒸発量の測定とモデルによる推定」である。細線熱電対乾湿計を使用した渦相関法による顕熱・潜熱フラックス測定システムを作製した。この細線熱電

対乾湿計は降雨中の測定精度は高く、雨滴の付着による誤差も小さかった。次に、このシステムを用い、落葉広葉樹林およびトウモロコシ群落における熱フラックスの測定を行った。風速が小さいとき、潜熱フラックスは日中で 20Wm^{-2} 程度、夜間はほぼ 0 であった。風速が大きいとき、昼夜を問わず $50\sim 100\text{Wm}^{-2}$ 程度の潜熱フラックスと、これを補償する同程度の下向き顕熱フラックスが観測された。

さらに、バルク法を用いた単層植生モデルによって、熱フラックスを推定した。実測値と推定値の差の RMS は顕熱フラックスと潜熱フラックスはともに 20Wm^{-2} で、十分な精度であった。

第 4 章は「植物による雨水吸収量の測定」である。植物茎内流測定法を応用して、雨水吸収に伴う下向き茎流量を測定した結果、従来の茎熱収支法では非対称誤差と、ゼロ近傍誤差が生じた。ヒータ上下温度差の加重平均によって非対称誤差を補正する方法を考案した。また、茎流量のゼロ近傍でヒータ上下温度差を使用しない茎流量計算法を考案し、ゼロ近傍誤差を解消した。

この改良茎熱収支法を使用し、アオダモとトウモロコシの雨水吸収量を測定した。アオダモは個体の下向き茎流量の平均値は -0.36gs^{-1} で、最大蒸散流量の 30% であった。下向き茎流量は降雨開始直後に大きく、次第に低下した。降雨強度が変動しても、下向き茎流量はほとんど変動しなかった。また黄葉が進む 10 月上旬以降、下向き茎流は発生しなくなった。これらから、降雨時の下向き茎流は気孔を通して吸収された雨水流であると考えた。トウモロコシ個体の下向き茎流量の平均値は、 $-9\times 10^{-3}\text{gs}^{-1}$ と推定された。植物体内の水ポテンシャルの考察から、植物体内のリザーバ（水分貯留器官）への給水が吸収された雨水の移動の駆動力であるという仮説を立てた。

第 5 章は「降雨遮断過程に関する総合考察」である。第 2～4 章で測定した遮断雨量の構成要素を比較し、遮断雨量と樹冠貯留量、遮断蒸発量、雨水吸収量の残差として落葉広葉樹における飛沫損失量を推定した。観測された最大遮断速度は 1000Wm^{-2} を越える潜熱に相当するが、降雨中にこれを補償する熱源は存在しない。飛沫の微水滴は長時間大気中に滞留できるため、小さい下向き顕熱を熱源として長時間かけて蒸発することができる。以上から飛沫損失が遮断雨量の主たる要素であると考え、新しい降雨遮断過程の仮説を示した。作物群落についても降雨強度と遮断速度の相関が高く、最大遮断速度の潜熱当量が 1000Wm^{-2} を越えることから、落葉広葉樹林と同様の過程が存在すると考えた。

以上のように、本論文は植物群落における降雨遮断過程について、種々の新しい方法によって降雨遮断要素を測定し、新しい知見を導入した研究である。この成果は学術的に高く評価される。よって審査員一同は、町村 尚が博士（農学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認めた。