

学 位 論 文 題 名

Micrometeorological effects on stomatal
response and evapotranspiration in a
cool-temperate mire, northern Japan

（北日本の冷温帯湿原における気孔の挙動と蒸発散に及ぼす微気象の影響）

学位論文内容の要旨

湿原において、蒸発散は地表面の熱分配および水消費を決定する主要な要素とされているが、この蒸発散は植物の群落構造及び生理的作用に大きく影響される。従って地表面植生の変化に伴い熱・水収支が変化する可能性が考えられる。現在、植物群落の熱収支や水収支を植物の生理的要因を考慮して評価する研究例は数多く見られる。しかし、湿原植物の水分生理・蒸散特性に関する研究は数少ない。さらには、微気象の変化が短期的に引き起こすストレスに対する、植物個体および群落の反応を比較考察した例はほとんど見られない。本研究の目的は高層湿原において、地表面植生が群落の水・熱収支に与える影響を明らかにすることである。そしてその影響を特徴づける維管束植物個体の蒸散特性の日変化を微気象要素と関連させて明らかにすることである。

研究は北海道北部の天塩川水系サロベツ川沿岸に広がるサロベツ湿原内部の高層湿原域（北緯45° 06′, 東経141° 42′）において行った。この高層湿原ではチマキザサの侵入により、ミズゴケを優占種とする群落（ミズゴケ群落）とチマキザサを中心とする維管束植物が優占する群落（維管束植物群落）が隣接して存在する。本研究ではこれら両群落を研究の対象とした。両群落の葉面積指数は8月下旬に最大値に達し、ミズゴケ群落で1.5、維管束植物群落で3.8であった。また植生高はミズゴケ群落で20～60 cm、維管束植物群落で40～60 cmであった。ミズゴケ群落では地表面は全体的にミズゴケによって覆われていた。

この研究地域において、以下の研究を行った。

(I) 熱収支ボ・エン比法により、ミズゴケ群落と維管束植物群落の蒸発散量を植物の生育期間を通して評価した。また微気象・水文観測および群落構造の調査を同時に行い、それらが両群落の蒸発散特性に及ぼす影響について考察した。

(II) 維管束植物群落において優占植物4種（チマキザサ (*Sasa palmata*), ヌマガヤ (*Molinio-opsis japonica*), ヤチヤナギ (*Myrica gale* L. var. *tomentosa*), ハイイヌツゲ (*Ilex crenata* var. *paludosa*)) の気孔伝導度および蒸散量の観測を行い、4種間の蒸散特性の違いを明らかにした。また微気象が個葉の蒸散特性に及ぼす影響について考察し、気孔開閉の日変化を微気象要素から説明した。

(III) 維管束植物群落における群落の蒸発散特性と植物個体の蒸散特性を比較することにより、植物個体の気孔制御が群落の蒸発散に及ぼす影響について考察した。特に大気の飽差によって短期的に引き起こされる水ストレスに対する個体・群落それぞれの反応に焦点を当てた。

(IV) 微気象要素の変化にともなう気孔開閉の日変化をモデル化し、観測値との比較によりその妥当性を検討した。

(I) の結果から以下のことが明らかになった。(1) 最大日蒸発散量は維管束植物群落で 4.6 mm, ミズゴケ群落で 4.2 mm であり、維管束植物群落の蒸発散量のほうが大きかった。植物生育期を通した 152 日間の積算蒸発散量を評価した結果、維管束植物群落で 370 mm, ミズゴケ群落で 285 mm となり、維管束植物群落の方が 85 mm 大きかった。そしてその差は 8 月中旬以降に現れた。この結果、ミズゴケ群落への維管束植物の侵入は湿原の乾燥化を促進させることが考えられた。(2) 両群落とも、地下水位は植物生育期を通して高く、そのため泥炭土壌の水分含量も高かった。この結果土壌水欠乏による維管束植物の水ストレスは起こりがたいことが考えられた。また、両群落において地下水位および土壌水分と群落の蒸発散能の間に相関は見られなかった。(3) 大気飽差が高い時に群落の蒸発散能が低くなる傾向が、盛夏期の維管束植物群落においてみられた。一方、同時期のミズゴケ群落では飽差の増加に伴い蒸発散能は増加した。この結果から、維管束植物群落では飽差の増加に対して蒸発散量を抑制する機構が盛夏期に発達することが明らかになった。

(II) の結果から以下のことが明らかになった。(1) 観測期間中の気孔伝導度および蒸散量の最大値は、チマキザサが $0.95 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ と $8.2 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, ヌマガヤが $1.2 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ と $10.1 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, ヤチヤナギが $1.55 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ と $10.7 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, ハイイヌツゲが $0.74 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ と $6.7 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ であり、4 種中ヤチヤナギが両値とも一番大きい値を示した。また大気飽差に対する気孔の開鎖反応もヤチヤナギが一番大きかった。反対にハイイヌツゲは気孔伝導度、蒸散量ともに 4 種中一番小さく、飽差に対する気孔の開鎖反応も一番小さかった。

(2) 気孔伝導度の日変化において、日最大の飽差の増加に伴い、日最大の気孔伝導度が低下する特異なヒステリシスが 3 種の植物において見られた。この反応により飽差が極度に大きい日には個葉の蒸散量は減少した。この特異な日変化パターンは、本研究で初めて明らかにされた現象である。(3) 気孔伝導度と蒸散量の日変化から飽差に対する気孔の 2 つの反応を認識した。一つは気孔伝導度の上限が飽差の増加に伴い減少する反応である。この反応は従来の研究でも明らかにされている。もう一つは、飽差の変化速度が大きい日には、飽差の変化に対する蒸散量の変化の割合が小さくなる反応である。この反応は本研究で始めて明らかにした現象である。

(III) の結果から、維管束植物群落において、大気飽差が高い時に群落の蒸発散能が低くなる傾向がみられた時期には、個葉でみられたヒステリシスが群落の蒸発散能にも現れることが明らかになった。独立した個体・群落レベルそれぞれの現地観測により、維管束植物群落においては飽差に対する気孔の蒸散制御が群落の蒸発散の増減に強く関与しており、飽差が高いときには維管束植物群落の蒸発散量が低下することが明らかになった。

(IV) 大気飽差に対する気孔の 2 つの反応を考慮して、気孔伝導度および蒸散量の日変化を 3 つの Phase に区分し、モデル化した。蒸散量および飽差の増加時を Phase 1 とし、このときの気孔伝導度を飽差の変化速度の関数として表した。気孔伝導度が飽差の増加にともない減少している時を Phase 2 とし、気孔伝導度を飽差の関数として表した。飽差の減少時を Phase 3 とし、本研究では Phase 2 の減少が引き続き起こることを仮定した。このモデルにより、観測で得られた気孔開閉の日変化を再現した。また観測値との相関も高かった。

以上の結果から以下の結論が導きだされた。

- (1) ミズゴケ湿原が維管束植物に覆われると蒸発散量は増大し乾燥化が促進される。
- (2) 大気飽差の増加によりおこる気孔の開鎖は群落の蒸発散量を減少させる。
- (3) 気孔開閉の日変化は、飽差および飽差の変化速度に対する気孔の反応を考慮することにより説明できる。

学位論文審査の要旨

主査	教授	小野有五
副査	教授	平川一臣
副査	助教授	高橋英紀
副査	助教授	岩間和人（農学部）

学位論文題名

Micrometeorological effects on stomatal response and evapotranspiration in a cool-temperate mire, northern Japan

（北日本の冷温帯湿原における気孔の挙動と蒸発散に及ぼす微気象の影響）

湿原環境は微妙な水収支の上に成立している。湿原において、蒸発散は地表面の熱分配、および水消費を決定する主要な要素とされているが、この蒸発散は植物の群落構造及び生理的作用に大きく影響される。現在、植物群落の熱収支や水収支を植物の生理的要因を考慮して評価する研究例は数多く見られる。しかし、湿原植物の水生理・蒸散特性に関する研究は数少なく、特に微気象の変化が短期的に引き起こすストレスに対する植物個体および群落の反応を比較考察した例はほとんど見られない。

本研究の目的は冷温帯の高層湿原において、植生が群落の水・熱収支に与える影響を明らかにし、その影響を特徴づける維管束植物個体の蒸散特性の挙動を微気象要素と関連させて明らかにすることである。

研究は北海道北部の天塩川水系サロベツ川沿岸に広がるサロベツ湿原内部の高層湿原域において行った。この高層湿原ではササの侵入にともないミズゴケを優占種とするミズゴケ群落とチマキザサを中心とする維管束植物が優占する群落が隣接して存在する。本研究ではこれら両群落を研究の対象とした。

この研究地域において(1)熱収支ボーエン比法により、ミズゴケ群落と維管束植物群落の蒸発散量を生育期間を通して評価するとともに微気象・水文観測および群落

構造の調査を同時に行いそれらが両群落の蒸発散特性に及ぼす影響を考察した。(2) 維管束植物群落において優占植物 4 種の気孔伝導度および蒸散量の観測を行い、種間の蒸散特性の違い、個葉の蒸散特性あるいは気孔伝導度の日変化に及ぼす微気象要素の影響、さらには植物個体の気孔制御が群落の蒸発散に及ぼす影響について考察した。(3) 微気象要素の変化にともなう気孔伝導度の日変化をモデル化し、観測値との比較によりその妥当性を検討した。

その結果、(1) ミズゴケ群落および維管束植物群落からの蒸発散量は 8 月上旬までは差はないが、その後、維管束植物群落の蒸発散量が大きくなることが明らかとなった。(2) 気孔の挙動に関しては、大気飽差が大きいときには大気飽差の増大に対し群落の蒸発散能が減少する現象が見いだされ、これが気孔伝導度の減少と結びついた植物による蒸散量抑制機構であることを明らかにした。(3) 個葉の気孔伝導度の飽差に対する挙動に見られるヒステリシス現象が群落伝導度にも明瞭に認められることを初めて明らかにした。(4) 気孔伝導度の日挙動モデルを飽差などの微気象要素を用いて構築し、気孔伝導度の日変化を再現した。モデルにより得られた結果は観測値とも良く対応し、相関も高かった。

本研究によりミズゴケ湿原の蒸発散への維管束植物侵入の影響、気孔の挙動および群落蒸発散への微気象要素の影響が明らかになり、モデルによるより詳細な解析への道を開くことができた。

審査員一同は、これらの成果を高く評価し、また本人が国際シンポジウムや学会に積極的に参加して研鑽を積んでいること、さらには特別研究員として研究に従事している農林省農業環境技術研究所における質の高い研究内容も併せ、申請者が研究者として誠実かつ熱心であり、博士(地球環境科学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと判定した。