

学 位 論 文 題 名

Micro-meteorological study on frost damage of
Hemerocallis esculenta in Sarobetsu Mire, Hokkaido, Japan

(北海道サロベツ湿原におけるゼンテイカの霜害に関する微気象学的研究)

学位論文内容の要旨

サロベツ湿原では、1960 年代にサロベツ川流域の農地への融雪洪水を防ぐために放水路が施工された。その結果、高層湿原部へのササの侵入を指標とした、湿原の乾燥化が報告された(高桑・伊藤 1986)。湿原の乾燥化は、表層泥炭の熱伝導率の低下をもたらし、晴天静夜の気象条件によって、顕著な気温の低下が懸念される。実際アメリカ・フロリダ州では、泥炭地の農地化による排水工事によって、地下水位の低下と泥炭表層の乾燥化をもたらし、晴天静夜に地表面温度の顕著な低下が報告された(Chen et al. 1979)。

北海道・サロベツ湿原では、晴天静夜には6月にもかかわらず降霜が発生する場合がある。降霜が発生すれば、耐凍性の弱い植物は、霜害を受ける可能性がある。サロベツ湿原では、6月にゼンテイカ(*Hemerocallis esculenta*)の霜害が発生した報告例がある(梅田 1978)。霜害が発生した原因は、地下水位の顕著な低下のためであると説明されたが、それらの因果関係が明確に説明されていない。

晴天静夜の気温鉛直分布は、植生に覆われている場合、植生高付近で最低気温が生じる。(e.g. Monteith and Unsworth 1991)。Geiger(1961)は、耐凍性の弱い器官が偶々その低温域に存在していた場合に霜害の危険が高くなる可能性を指摘した。一方、自然植生の場合には同じ植物種でも、同一局所個体群の中でさえ、成長段階が等しいとは限らない。自然植生を対象に、耐凍性の弱い器官の高さと植物群落を含む気温鉛直分布に注目し、霜害の関係を報告した研究例はなかった。

湿原における晴天静夜の低温現象は、地下水位だけでなく、大気条件にも支配される。また地下水位の低下による湿原の低温化を実測により明らかにするには実験の場所の確保など困難が多い。つまり表層泥炭の熱特性や植物群落の構造を考慮に入れた土壌-大気境界層熱拡散モデルを構築して、大気条件を変えず地下水位だけを変化させる数値実験が現実的な方法と言える。

そこで本研究の目的を、1)ゼンテイカ霜害発生状況を接地微気象学的な立場から明らかにすること、2)ゼンテイカ霜害発生時の接地微気象現象を数値モデルで十分な精度で再現すること、3)構築した数値モデルを用いて湿原環境の変化、特に地下水位の低下がゼンテイカ霜害発生に及ぼす影響を明らかにすることとし、最後に得られた成果に基づき、湿原生態系の保全管理に対し、接地微気象学の分野から提言を行なう。

本研究の目的を達成するために次のように、2001 から 2003 年までの 4 月から 7 月にかけて、現地観測を行なった。気温と地温は、それぞれ地上 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.5, 3.0m 高及び地下 0, 0.025, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.5m 深で計測し、10 分毎に記録した。風速・風向を 10 分毎に

記録した。地下水位と0.05, 0.1, 0.15mの体積含水率を計測した。ゼンテイカの花芽の高さは、花芽形成後、毎日6:00と18:00に記録した。霜害の判定方法は、花茎の伸長停止及び花芽の色が緑色から褐色に変化したことを目視観測した。

また数値モデルは次のような構成により構築した。計算領域を泥炭層、大気境界層に分けた。大気境界層は植生層と大気層を含む。泥炭層は、地表面から0.5m深まで、植生層は地表面から0.3mまで、大気層は0.3mから1000mまで選んだ。格子点の離散化は、コントロール・ボリューム法を用いた(Patanker 1980)。上部及び下部境界条件は、初期値で固定した。地表面は地表面熱収支式によって、タイムステップ毎に計算した。またタイムステップは60秒とした。本数値モデルの特徴は、1)地表面から地上1mの間の格子点を15点選択し、この範囲の気温の鉛直分布を詳細に表現することができること、2)植生層を0.05m刻みで6層に分割し、群落多層モデルを用いたこと、3)泥炭層の地下水位と体積含水率の鉛直分布の関係について Hayward and Clymo (1982)の実験データをもとに作成した、Granberg et al (1999)の式を改良した。

ゼンテイカの霜害は、3年間の観測期間中、花茎伸長期間中に北海道上空を寒気が通過し、かつ晴天静夜となった2001年6月15日、2002年6月5日、2003年6月5日の各年に1回観測された。つまり一晩だけの突発的な低温現象によってゼンテイカに霜害が出現することがわかった。これらの低温現象は、周辺植生高とほぼ等しい地上20–30cm高に最低気温が出現した。したがってゼンテイカの霜害は、花芽の位置が地上10–40cmに集中していた。ゼンテイカは、気温が0℃以下になっただけでは、霜害を受けることはなく、-2℃以下の気温が30分以上継続した領域に花芽が存在していた場合に霜害が発生したことがわかった。そのためゼンテイカの霜害には花芽の位置に対する上限高度が存在した。一方ゼンテイカは、花芽が形成されてから、花芽の高さが約15cmになるまでは、自分自身の葉に覆われていたため、霜害を免れることができた。つまりゼンテイカの霜害には、花芽の位置に対して下限高度が認められた。また低温の程度とその継続時間については、実験室による耐凍性の実験では別々のパラメータとして扱われていたが、本研究のような野外における自然現象では、ひとつのパラメータとして扱うことが可能であるという知見が得られた。さらに最低気温の出現する高さが周辺植生高よりも高くなるレイズドミニマム現象が湿原において初めて確認された。またゼンテイカは、葉が地上部に出現してから、花芽形成までの間は、霜害を受けることがなかった。

次に2002年6月5日の霜害日を対象にして、構築した数値モデルを用いて、気温の推移を予測した。その結果、地上10cmに最低気温が出現し、植生群落の存在が地表面付近の気温低下を促進することを、数値モデルによって確認することができた。また地表面の熱収支式を計算して、閉じていることを確認した。数値モデルの再現性の精度を計算したところ、地上1.5mでは1.1℃程度の誤差で再現することができた。本研究では評価の難しい地上1m以下を密に計算したにもかかわらず、過去の研究報告と同等以上の精度で再現させることができた。

上記の気象条件を用いて、地下水位の変動をさせて、ゼンテイカの霜害に大きな影響を与える地上20cmの気温を評価した。その結果、平均して地下水位が1cm低下するごとに0.7℃の割合で低下した。さらに上記の気象条件では、泥炭が乾燥履歴を持っていたために、そうでない条件と比較して0.7℃低下していた。また地下水位を2cm低下させると、ゼンテイカの霜害範囲が13cm上昇した。つまり1–2cm程度の地下水位変動によって、ゼンテイカの霜害範囲が大きく変動することがわかった。

以上の結果から、サロベツ湿原の晴天静夜の最低気温には、地下水位が大きく影響しており湿原生態系を維持するためには、地下水位の管理が重要であることが明らかとなった。

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 教 授 大 原 雅

副 査 助 教 授 石 川 信 敬

副 査 教 授 浦 野 慎 一 (農学研究科)

副 査 助 教 授 富 士 田 裕 子

(北方生物圏フィールド科学センター)

副 査 所 長 高 橋 英 紀 (北海道水文気候研究所)

学 位 論 文 題 名

Micro-meteorological study on frost damage of *Hemerocallis esculenta* in Sarobetsu Mire, Hokkaido, Japan

(北海道サロベツ湿原におけるゼンテイカの霜害に関する微気象学的研究)

北海道・サロベツ湿原において、晴天静夜に発生する接地気層内の低温現象が、湿原生態系に与える影響を調べるために、ゼンテイカ (*Hemerocallis esculenta*) を対象として、その霜害発生状況を明らかにすること、及び地下水位の低下が低温現象に与える影響を数値実験により明らかにすることを目的として研究を行なった。

ゼンテイカの霜害は、3年間の観測期間中 2001 年 6 月 15 日、2002 年 6 月 5 日、2003 年 6 月 5 日の各年に 1 回観測された。これらの霜害時の温度分布の特徴は、周辺植生高直上の地上 20–30cm に最低気温が出現したことである。ゼンテイカの霜害は、花茎伸長期に発生したこと、霜害を受けた個体は、花芽の位置が地上 10–40cm に集中したこと、また霜害を受けた個体の花芽の高さは、気温が -2°C 以下となる継続時間が 30 分以上継続した領域に位置したことが明らかとなった。

次に植物群落構造を組み込んだ土壌 - 接地境界層熱拡散モデルを構築し、2002 年 6 月 5 日の霜害日を対象として、気温の推移を予測した。その結果、地上 1.5m の気温は、既存のモデルよりも高い精度 (平均誤差 0.3°C 、二乗平均誤差 0.9°C) で、再現することができた。最低気温が出現する位置は数値モデルでは植物群落内の地上 10cm であった。最低気温出現高さが実測と異なる原因とし

ては、実測時には晴天静夜の接地気層に出現するレイズドミニマム現象 (Oke, 1970) が発生していたためと考えられる。

上記の気象条件を用い、数値実験により地下水位を変動させて、地上 20cm の最低気温 (T_{a20}) を評価した。その結果、地下水位が 1 cm 低下するごとに T_{a20} は約 0.7℃ の割合で低下した。また表層泥炭は一度乾燥履歴を持つと、地下水位が回復しても泥炭の体積含水率が乾燥以前の値に戻らないことが現地観測で明らかとなった。その乾燥履歴が接地気温におよぼす影響を数値実験で調べた結果、霜害発生日の地下水位で、乾燥履歴がある場合は、ない場合と比較して、 T_{a20} が 1.2℃ 低下していた。さらに地下水位変動によるゼンテイカの霜害範囲への影響を求めたところ、地下水位を実測値より 2cm 低下させた場合、霜害の上限が 15cm 上昇した。つまりわずか 1-2cm 程度の地下水位変動によって、ゼンテイカの霜害範囲が大きく変動することがわかった。

以上、ゼンテイカの霜害に関する現地観測及び数値実験の結果から、サロベツ湿原の湿原生態系を維持するためには、地下水位の低下と変動を抑制する地域管理が重要であることが明らかとなった。これらの成果は冷温帯に分布する泥炭湿原の保全管理に重要な指針を与えるとともに泥炭地開発にともなう局地気候変化の予測を可能とした。

審査員一同は、これらの成果を高く評価し、また大学院課程における研鑽や取得単位なども併せ、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。