

砂丘植物の研究 (第3報)
ネコノシタ直立茎とほふく茎の葉温の比較

遠山 枉雄* · 竹内 芳親* · 北村 栄* · 杉本 勝男*

Studies on the Native Plants in the Coastal Sand Dune (III)
Comparison of Leaf Temperature on the Shoot and
Stolon Stem of *Wedelia prostrata* Hemsl

Masao TOYAMA*, Yoshichika TAKEUCHI*, Sakae KITAMURA* and Katsuo SUGIMOTO*

Summary

The stolon and shoot stem leaf temperature of *Wedelia prostrata* Hemsl was investigated in comparison with the meteorological environmental conditions. The maximum leaf temperature was 33.4°C in the case of the stolon stem and 40.5°C on the shoot stem. However, the air temperature near the stolon stem leaf was 44.0°C, and the sand surface temperature was 63.0°C.

The correlation coefficient between the leaf temperature and the meteorological conditions is as follows:

1. Air temperature (x) and relative humidity (y) near the stem

| Stem (height) | Air temperature | |
|-----------------|--|--|
| | >30°C | <30°C |
| Stolon (15 cm) | $y = -3.12 x + 159.76$ $r = -0.996^{***}$ | $y = -6.80 x + 278.34$ $r = -0.997^{***}$ |
| Stolon (120 cm) | $y = -2.62 x + 137.84$ $r = -0.995^{***}$ | $y = -7.56 x + 290.06$ $r = -0.973^{***}$ |
| Shoot (15 cm) | $y = -6.15 x + 248.65$ $r = -0.984^{***}$ | |

* 砂丘利用研究施設乾地生態部門

* Division of Arid Land Agro-ecology, Sand Dune Research Institute

2. Air temperature (x) and leaf temperature (y)

| Stem | Air temperature | |
|--------|--|---|
| | >30°C | <30°C |
| Stolon | $y = 0.892x + 1.72$ $r = 0.987^{***}$ | $y = 0.841x + 0.901$ $r = 0.977^{***}$ |
| Shoot | $y = 0.897x + 2.70$ $r = 0.998^{***}$ | $y = 1.398x - 14.37$ $r = 0.874^{***}$ |

3. Solar radiation (x) and leaf temperature (y)

| | |
|--------|---|
| Stolon | $y = 9.474x + 22.81$ $r = 0.953^{***}$ |
| Shoot | $y = 7.669x + 21.74$ $r = 0.896^{***}$ |

はじめに

前報においては砂丘植物ネコノシタの葉内水分(1)および純群落の微気象(2)について直立茎とほふく茎の比較の上で明らかにした。その結果、直立茎部とほふく茎部の微気象には差異が示されたが、葉内水分については明確な差が見られなかった。

本報は葉温を測定することによって、直立茎とほふく茎の相違を調べたものである。特に、砂丘地は夏季日中の砂表面温度は60°C以上に達する(1)。このような植物に対する超高温環境下にありながら、旺盛な生育を続ける砂丘植物の実体を明らかにすることによって、耐暑性、耐乾性のメカニズムを解明する手がかりを探ることを目的としている。

材料および方法

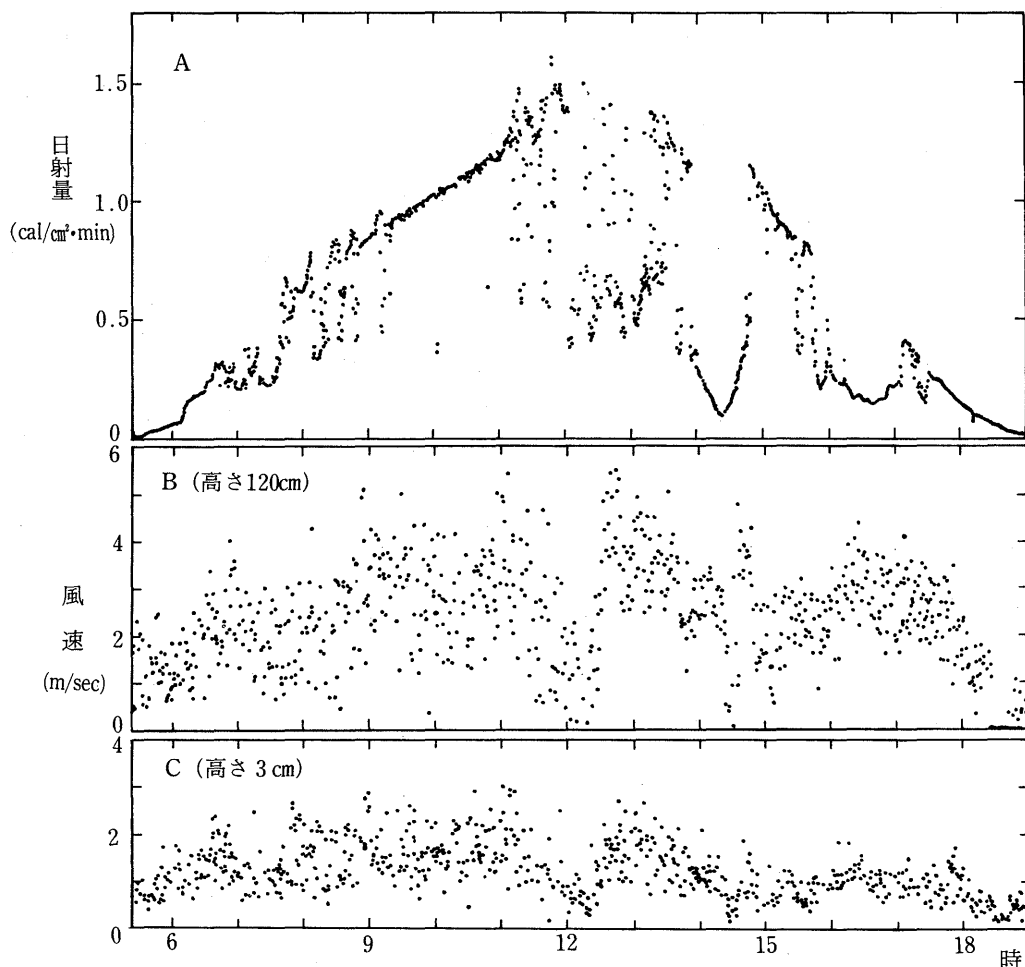
供試材料は前報(1, 2)において報告されたネコノシタ純群落と同じであり、実験は1982年に行った。葉温、葉近辺の気温、砂表面温度の測定は太さ0.1mmの銅・コンスタンタンの熱電対線(C-C線)を使用した。葉温は葉の裏面温度である。日射量はネオ日射計、風速は三杯型風速計、気温、湿度は測温抵抗体を使用した。風速は砂表面上120cmと3cmで測定した。3cmとは風杯の位置を砂表面上すれすれに設置したものである。

結果および考察

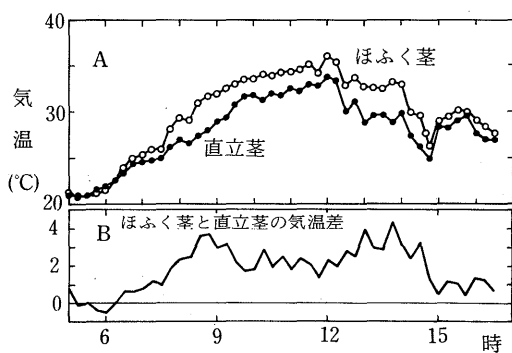
1. 気象環境の経時変化

実験を行った1982年8月中旬は折あしく天候が必ずしも快晴続きではなかった。第1図は8月12日の日射量(A)と風速(B, C)の瞬時値の経時変化を示したものである。雲のない9時半~11時の日射量が順調な値を示した以外は雲の影響を強く受けて、日射量は大きく変動した。特に14時20分頃は小雨が降り、日射瞬時値は0.1 cal/cm²・minまで低下した。一方、120cmの高さの風速は最高5.5m/secを示したが、12時前後と14時30分頃にほとんど無風状態を示した。この傾向はほふく茎の葉温測定の葉付近の風速(3cm)の場合も同様であった。高さ3cmの風速は最高で3m/secを記録したが、平均風速は約1.2m/secであった。

第2図に直立茎群落内とほふく茎部の気温の経時変化(A)、および、それぞれの気温の差(B)について示した。気温は地表面上15cmの位置の測定結果の比較である。それぞれの気温ともに日射量の増加傾向と同様に午前6時頃から上昇した。午前6時15分以後はほふく茎部の気温の方が直立茎部より高く推移した。両者の気温の差は早朝と15時以降は小さく、朝8時半頃と13時過ぎに差は大きくなり、2つのピークを示した。すなわち、2つのピーク時の気



第1図 日射量および風速の経時変化

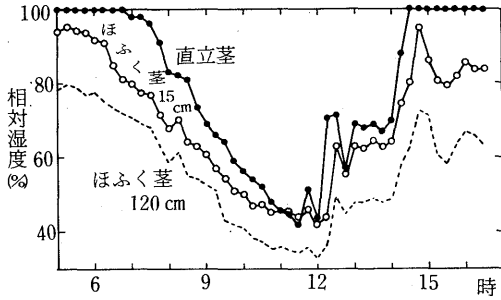


第2図 直立茎群落内とほふく茎の葉付近の気温 (高さ15cm) の経時変化

温差は8時45分に3.7°C, 13時45分に4.4°Cであった。2つのピーク中間の日中は2°C前後で推移した。

直立茎群落内とほふく茎部の気温の差の経時変化については日射量, 風速等の気象環境条件と密接な関係があると考えられる。しかし, 第1図に示される測定結果からは明確には考察できなかった。ただ, 14時45分の気温の急激な低下, それに伴う直立, ほふく茎両部の気温の差の減少は雨による影響と考えられる。

第3図は相対湿度の経時変化を示したものである。測定部位は第2図の気温に対応したものであり, さらに120cmの高さの湿度変化も示した。直立茎群落内



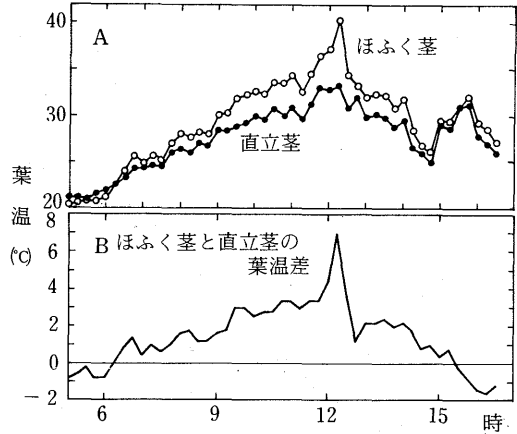
第3図 直立茎群落内とほふく茎の葉付近の相対湿度の経時変化

部の湿度は夜間100%に達し、朝7時45分まで続いた。その後は日射量、気温の上昇に伴い直線的に低下し、11時30分に最低の42%に達した。その後の湿度は増加を示し、14時30分に雨の影響で100%に達した後は、そのまま飽和湿度を維持した。11時30分の湿度42%が12時15分には71%まで急増加したのは第1図に示されるように風速の低下による結果、直立茎群落内に葉からの蒸散水分の停滞した結果と考えられる。

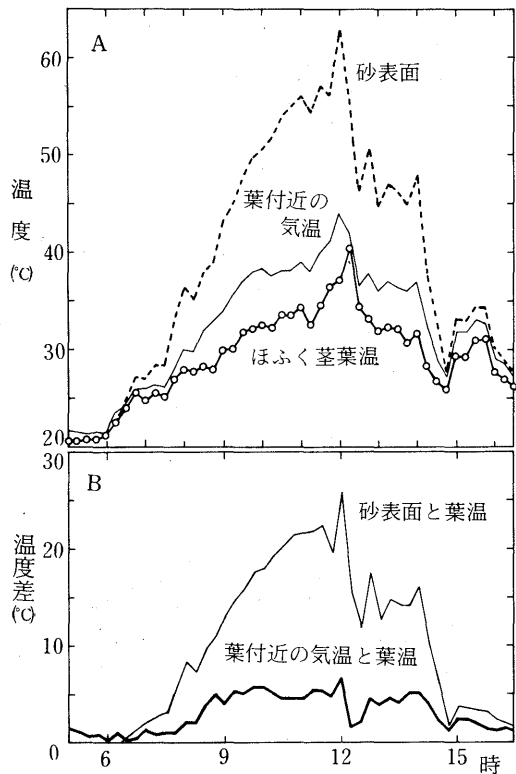
直立茎群落内部の相対湿度に比較して、ほふく茎部高さ15cmの湿度の経時変化は低い値で経過している。日の出前に約5%、7時18%、8時15%の直立茎群落内との差は、12時にはほとんど差がなくなった。高さ120cmは15cm部位からさらに相対湿度は低い値で経過し、砂表面からの蒸発、植物群落からの蒸散の影響がほとんどなく、また風による影響と考えられる。以上のように、第1～3図はネコノシタ葉温測定の日中の気象環境条件の推移を示したものであった。

2. 葉温の経時変化

第4図は直立茎とほふく茎の葉温(A)、さらに両者の差(B)の経時変化を示したものである。ほふく茎葉温は直立茎に比較して日中は高く推移しているが、日射量の少ない早朝と夕方はその差が逆転し低い値を示している。すなわち、ほふく茎葉温は朝6時15分以前および15時30分以後直立茎葉温より低い。日射量が増加し、気温が上昇し、葉温が高くなるに従って両者の葉温の差は大きくなる。その差は7時0.5°C、9時1.6°C、11時3.5°Cであった。12時15分に両者の差が7.1°Cに急に大きくなった。これは日



第4図 直立茎とほふく茎葉温の経時変化



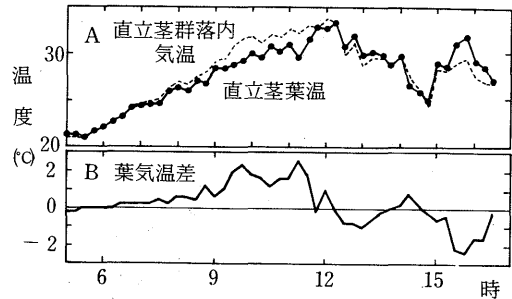
第5図 ほふく茎葉温、葉付近の気温と砂表面温度等の経時変化

射量が $1.4 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ と高いにもかかわらず、風がほとんど無風状態になったためと考えられる。このときは丁度、第2図に示される気温が 35°C と8月12日の最高値に達した時期であり、また、第3図の相対湿度の最低値と一致している。ほふく茎の葉は砂表面上に点々と存在するため、葉温は外圍の気象環境条件に大きく左右される。直立茎の葉温は周囲を多くの直立茎に囲まれているため、外部の影響による変化が少ないことを第4図の結果が明示している。

第5図(A)は砂表面温度とほふく茎葉温、葉付近の気温の経時変化を示したものである。また第5図(B)は砂表面温度とほふく茎葉温の差、ほふく茎葉温とその葉付近の気温、すなわち葉気温差の経時変化である。砂表面温度は日射量の増減に直接強く影響を受けている。朝6時 21°C の砂表面温度は日射量の増加に伴って上昇し、12時に 63°C に達した。その後雲による日射量の変動と低下に伴って、砂表面温度は低下した。朝6時から12時まで6時間の上昇は実に 42°C であり、平均上昇率は $7^\circ\text{C}/\text{時}$ であった。

一方、ほふく茎葉温の経時変化も砂表面温度の変化パターンによく類似しているが、上昇幅は小さかった。朝6時は 21°C と砂表面と等しかったが、最高値は砂表面温度の最高値の12時より15分遅れ、12時15分に 40.5°C を示した。この間の温度上昇は 19.5°C であり、 $3^\circ\text{C}/\text{時}$ の上昇率であった。葉温の最高値は砂表面温度の最高値より15分遅れて示されたが、この時期は日射量も雲の影響でかなりの乱れがある。このことは、高さ3cmの風速の低下と密接に葉温が影響を受けていると考えられる。

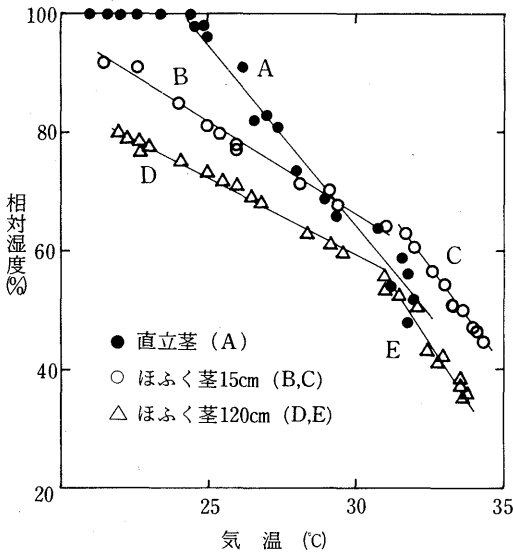
ほふく茎の葉付近の気温は葉温より $5\sim 7^\circ\text{C}$ 程度日中は高く経過している。ほふく茎の葉の付近の気温の場合の上昇率を同様に見てみると、 $3.8^\circ\text{C}/\text{時}$ であった。このように、ほふく茎葉温が付近の気温に比較して $5\sim 7^\circ\text{C}$ 低く、また1時間当たりの上昇率も約 0.8°C 低いことは、葉面からかなりの蒸散量があることが推測される。また、砂表面温度とほふく茎葉温の差は最高値の12時で 26°C であった。葉と砂表面は $0.3\sim 1\text{cm}$ 程度の空間があり、直接砂表面に葉は接していない。しかし、ほふく茎は砂表面上に直接



第6図 直立茎葉温と付近気温の経時変化

茎をはわせている。このため、ほふく茎は植物の生育環境としてはかなりの高温環境下に存在する。このため、葉温のみならず茎の各部位の体温測定も必要であると考えられる。葉温、茎温の測定によってネコノシタほふく茎の耐暑・耐熱機構解明の糸口がつかめるかも知れない。

第6図(A)は直立茎群落内の葉温と付近の気温の経時変化を示している。直立茎群落内の場合、第5図に示されるほふく茎部のように経時的温度変化の幅は大きくない。すなわち、6時から12時の葉温の上昇率も $2^\circ\text{C}/\text{時}$ であり、ほふく茎葉温よりも 1°C 低い。また、葉気温差も最高で11時15分の 2.7°C にしかすぎない。さらに、12時15分~13時45分および14時40分以降の気温は葉温より低い値であった。すなわち、葉温の方が気温より高いわけである。このことは、第1図に示される風速の低下の影響の結果と考えられる。直立茎の場合、高さ $20\sim 30\text{cm}$ の茎が砂表面から多数密生して繁茂し、それぞれの茎は十数節に葉を付けている。このため、風速の低下により群落内の湿度は第3図に示されるように高まった。相対湿度は12時15分に急増している。また、14時30分にも急増加が見られ、相対湿度は100%に達している。このように風の低下が相対湿度の急激な増加をもたらした。この結果、直立茎葉面からの蒸散量の低下が葉温の上昇をもたらし、気温より葉温が高くなったと考えられる。このような現象は、砂表面上に極めて粗な密度で生育しているほふく茎葉温には見られない。しかし、第5図(B)の葉気温差の場合、差の逆転は示されないにしても、葉気温差の減少が12時15分と14時以降見られる。水蒸気の空中へ



第7図 気温と相対湿度の関係

- A : $y = -6.15x + 248.65$
 $r = -0.984^{***}$
- B : $y = -3.12x + 159.76$
 $r = -0.996^{***}$
- C : $y = -6.80x + 278.39$
 $r = -0.997^{***}$
- D : $y = -2.62x + 137.84$
 $r = -0.995^{***}$
- E : $y = -7.56x + 290.06$
 $r = -0.973^{***}$

の拡散速度がほふく茎の場合速く、このため葉気温差は少なくなっても逆転は見られなかったと思われる。

3. 葉温と気象環境の相関

以上のように、第1～3図は気象環境、第4～6図は葉温とその付近の気温および葉気温差について経時的な変化の状態を示した。第7図は気温(x)と相対湿度(y)との相関関係について示したものである。15分毎の値について朝5時～10時45分までの限定された時間内について示したものである。直立茎群落内の場合(直線A) $y = -6.15x + 248.65$ の回帰直線で両者の関係は示され、相関係数は $r = -0.984^{***}$ (本文および図中の***0.1%水準有意性, *5%水準有意性を示す。以下同じ)と極めて高かった。但し、この場合の関係は相対湿度100%で

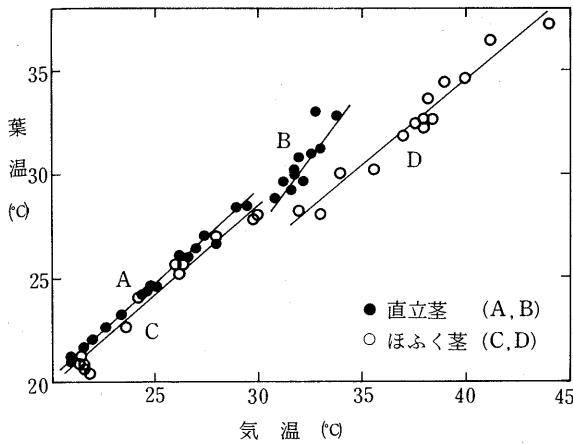
気温23.5°C以下の図中の5点を除いたものである。

このように、高さ20～30cmの直立茎が密生繁茂し、外界の環境条件の影響が比較的小さい直立茎群落内での気温—相対湿度の関係は1本の直線回帰で求めることができた。しかしながら、ほふく茎部の地表面上15cmおよびネコノシタ群落の影響のないと考えられるほふく茎上120cmの場合の関係は、1本の直線回帰で示すことは不可能であり2本の直線に分けて考える必要がある。すなわち、気温30～31°Cを境にして15cmと120cmの双方とも2本の直線に分けることができた。また、気温31°Cの上下に引かれたそれぞれ2本の回帰直線の勾配(直線BとD、CとE)はさほど大差はなかった。すなわち、風などによって水蒸気の周囲への拡散速度はほふく茎部の場合、高さによってさほど大差がないと考えられるため、気温の上昇に伴って減少する相対湿度の割合はほぼ等しいと言えよう。

気温31°C以下の場合、ほふく茎120cmの場合(直線D) $y = -2.62x + 137.84$, $r = -0.995^{***}$ であった。15cmの高さの場合(直線B) $y = -3.12x + 159.76$, $r = -0.996^{***}$ であった。このように、15cm部位の場合が相対湿度の減少速度はわずかに急であるが、両者に差はほとんどないと考えられる。また、双方とも相関係数は極めて高かった。気温31°Cより高温では双方とも回帰直線は31°C以下と比較して勾配が急となり、湿度の減少が急激であることを示している。すなわち、ほふく茎120cmの場合(直線E) $y = -7.56x + 290.06$, $r = -0.973^{***}$ であるのに対し、15cm部位(直線C)では $y = -6.80x + 278.39$, $r = -0.997^{***}$ であった。この場合も直線の勾配には差はほとんど認められず、また、気温—相対湿度の相関関係は極めて高かった。

ほふく茎の場合、気温30～31°Cを境界にして回帰直線が2本に分かれたが、この時期は8時半頃である。第1図の日射量の変化から見ると比較的雲が減少し、安定した日射量瞬時値を示し始めた時期である。このため、気温31°C以上の回帰直線の勾配が急になったのは日射量が大きく関与しているといえよう。

第8図は気温(x)と葉温(y)の相関関係を示したものである。図中の値は朝5時～12時の午前中



第8図 気温と葉温の関係

$$\begin{aligned} \text{A: } & y = 0.879x + 2.70 \\ & r = 0.998^{***} \\ \text{B: } & y = 1.398x + 14.37 \\ & r = 0.874^{***} \\ \text{C: } & y = 0.892x + 1.72 \\ & r = 0.987^{***} \\ \text{D: } & y = 0.841x + 0.90 \\ & r = 0.977^{***} \end{aligned}$$

のデータである。まず、直立茎、ほふく茎ともに葉温28°C付近に葉温と気温の相関関係に不連続点があることが明示されている。この点は気温では30~32°C付近である。気温30°C以下の低温域での葉温との関係はほふく茎の場合(直線C) $y = 0.892x + 1.72$, $r = 0.987^{***}$ であり、直立茎の場合(直線A) $y = 0.879x + 2.70$, $r = 0.998^{***}$ であった。両直線とも勾配にはほとんど差がなく、気温の上昇と葉温の上昇は気温30°C以下では全く同一であった。また、相関係数も極めて高い関係にあった。

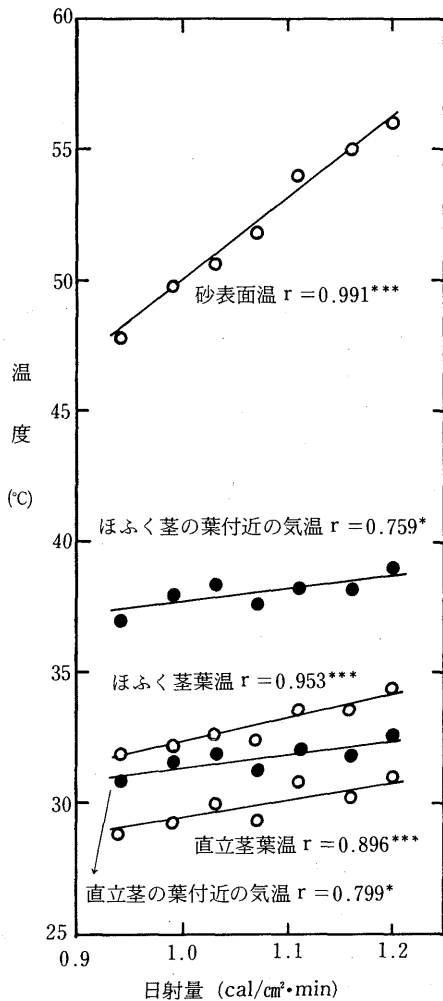
一方、気温30°C以上の高温域では、直立茎とほふく茎の間の葉温と気温の相関関係は異なる。特に、直立茎において30°Cの前後でその相違は大きい。すなわち、直立茎の場合(直線B) $y = 1.398x + 14.37$, $r = 0.874^{***}$ と勾配は直線Aと比較して急となり、葉温の上昇スピードが気温に比較して速くなっている。このことは、直立茎群落内は高温砂表面などの影響が少なく、気温が上昇しないが、相対湿度は高くなるため蒸散が抑制され葉温がほふく茎に比較

して高くなることを示している。これに対して、ほふく茎の場合(直線D) $y = 0.841x + 0.90$, $r = 0.977^{***}$ であり、葉温上昇の勾配は気温30°C以下の場合(直線C)と大差ない。また相関係数も直立茎の直線Bより高く、葉温は気温に強く影響を受けていることが示されている。

気温・葉温の不連続点が気温31°C付近にあることは、第7図に示された気温—相対湿度の関係が気温31°C付近で急激に減少するために生じた結果と考えられる。すなわち、気温30~31°Cで相対湿度の急激な減少は葉面からの蒸散を促進させるであろう。このため、第8図ほふく茎の葉温は気温が30°Cから32°Cに上昇したにもかかわらず、28°Cと変化がないことから、蒸散量の急増がほふく茎葉面で生じたと考えられる。また、ほふく茎の場合気温32°C以上の高温域と30°C以下の低温域での葉温と気温の上昇勾配に差がないことは、ほふく茎の生育する環境では水蒸気の拡散が阻止されず、速やかに行われるためと考えられる。

一方、直立茎の場合気温30°Cを境にして高温域の葉温上昇の勾配(直線B)が大きいことは、直立茎群落内の相対湿度上昇による蒸散抑制に基づくと考えられることは前述の通りであるが、このような外的気象要因のほかに、直立茎、ほふく茎の葉の蒸散能など周辺の環境に適應する生理機作も異なることも推測される。これらの解明のためには、両者の葉の断面組織の観察、気孔の分布状況、温度に対する蒸散反応などと合わせて究明する必要がある。

直立茎葉温の最高値であった33°Cの場合の気温は約33°C前後である。ほふく茎の場合の葉温33°Cは気温38°Cであり、両者の間の気温差は5°Cとなっている。直立茎群落内はほふく茎部位ほど気温は高くないし、また逆に相対湿度も低くない。直立茎の葉はそれぞれが日陰するため、直射日光を受ける時間的長さもほふく茎の葉ほど長くない。すなわち、植物の生育環境としてはほふく茎の葉より恵まれていると考えられる。この環境条件の差異は気孔の分布、葉の厚さ、内部組織など種々の形態面にも示されているであろう。それらの相違点が両葉の光合成、蒸散量などの生理面へも影響を与えているかも知れない。今後はこれらの点についての究明も合



第9図 日射量と葉温、気温、砂表面温度の関係

わせ行う予定にしている。

第9図は日射量(x)と砂表面温(y)や葉温(y)との関係を示したものである。本実験を行った1982年8月12日は第1図に示したように、日射量の経時変化は必ずしも満足いく状態ではなかった。このため、日射量は9時30分~11時までの時間内で15分毎の値でそれぞれの温度との関係を調べた。第9図から日射量との関係を見ると、最も相関係数の高いのが砂表面温度であり、 $r=0.991^{***}$ と極めて高い値を示した。次いで高いのはほふく茎葉温であり、 $r=$

0.953^{***} 、直立茎葉温は $r=0.896^{***}$ を示した。一方、気温との関係は砂表面温度より若干低く、直立茎の葉付近の気温が $r=0.799^*$ 、ほふく茎の葉付近の気温が $r=0.759^*$ であった。

このように、単に物理的特性のみで上昇する砂表面温度と日射量が極めて高い相関関係を示すのは当然であるが、葉温、特にほふく茎葉温の場合においても相関は高く、葉付近の気温以上に日射量の影響を強く受けて葉温は上昇していることが明らかに示された。

以上のように、本報告においてはネコノシタの葉温を測定し、葉温と気象環境条件との関係を明らかにした。ネコノシタは1株でほふく茎と直立茎の相違する2つの茎を有している特異な砂丘植物である。また、葉肉は厚く、剛毛を有し、耐暑、耐乾性は充分であるように思われる。ネコノシタの2種の異なった性格を有すると考えられる葉は、前報(1, 2)に示されたように葉内水分量や乾物重/葉面積には差が見られなかった。

しかしながら、本報告においては気温の上昇に伴い減少する相対湿度の減少勾配が、ほふく茎部、直立茎部では異なること。さらに、葉温の上昇勾配が気温 30°C 以上の高温域でも異なるなど多くの知見が得られ、これらの結果を日射量、風速、温度との関係で考察を行った。しかしながら、外的な気象要因のみでの両葉のもつ基本的な差異の解明は不可能であり、組織、形態学的な面からの解明が必要であろうと考えられた。さらに、ネコノシタほふく茎の葉温の示した特徴は他のほふく茎砂丘植物、例えばハマニガナ、ハマヒルガオなどとの比較検討も必要であろう。

摘 要

砂丘植物ネコノシタの直立茎とほふく茎葉温の比較を気象環境条件と対比して行った。直立茎葉温は最高で 33.4°C に対して、ほふく茎葉温は 40.5°C であった。しかし、ほふく茎の葉付近の気温は 44.0°C 、砂表面温度は 63.0°C であり、葉温との差はそれぞれ 3.5°C と 22.5°C であった。気温 31°C の上下で気温と葉温、葉付近の相対湿度の相関関係は変わる。関係は次の通りに示された。

1. 気温 (x) と群落付近の相対湿度 (y)

| 部 位 (高さ) | 気 温 | |
|--------------|---|---|
| | 30°C以下 | 30°C以上 |
| ほふく茎 (15cm) | $y = -3.12x + 159.76$ $r = -0.996^{***}$ | $y = -6.80x + 278.34$ $r = -0.997^{***}$ |
| ほふく茎 (120cm) | $y = -2.62x + 137.84$ $r = -0.995^{***}$ | $y = -7.56x + 290.06$ $r = -0.973^{***}$ |
| 直 立 茎 (15cm) | $y = -6.15x + 248.65$ $r = -0.984^{***}$ | |

2. 気温 (x) と葉温 (y)

| 部 位 | 気 温 | |
|---------|--|---|
| | 30°C以下 | 30°C以上 |
| ほ ふ く 茎 | $y = 0.892x + 1.72$ $r = 0.987^{***}$ | $y = 0.841x + 0.901$ $r = 0.977^{***}$ |
| 直 立 茎 | $y = 0.897x + 2.70$ $r = 0.998^{***}$ | $y = 1.398x - 14.37$ $r = 0.874^{***}$ |

3. 日射量 (x) と葉温 (y)

| | |
|-------|---|
| ほふく茎 | $y = 9.474x + 22.81$ $r = 0.953^{***}$ |
| 直 立 茎 | $y = 7.669x + 21.74$ $r = 0.896^{***}$ |

文 献

1. 遠山・竹内・北村・杉本. 1982. 砂丘植物の研究(第1報). ネコノシタの葉内水分. 砂丘研究. 29: 79-84.
2. 竹内・遠山・北村・杉本. 1982. 砂丘植物の研究(第2報). ネコノシタ純群落の微気象. 砂丘研究. 29: 85-91.