

# 草原における群落表面温度と微気象要素の日変化

## Diurnal Variations of Canopy Surface Temperature and Microclimate Parameter on the Grassland

下田 星児\*・李 勝功\*\*・及川 武久\*\*\*

Seiji SHIMODA\*, Sheng-Gong LI\*\* and Takehisa OIKAWA\*\*\*

### 1. はじめに

地球規模で CO<sub>2</sub> 濃度、気温等が上昇しつつあり、この環境変化に対する植物応答が注目されている。特に光合成回路の異なる C3 植物と C4 植物が混生する温帯草原では、生態的な特徴が CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O フラックスに大きな影響を及ぼす (Li, 2001)。そのため、微気象と生態特性の相互関係を解明することは重要である。これらの現象は、植物体表面を介して行われるため、群落表面温度が、解析するための要素となると考え、熱画像装置で群落表面温度を測定した。

群落表面温度の測定は、群落上部と下部で表面温度が異なることや、葉の傾斜角や鉛直分布等の空間分布や太陽高度により日射の群落内部への吸光度が異なることなどがあり、測定に注意を要する。Matsushima と Kondo(1997)は、放射表面温度を測定する場合、地温による影響を受けないように天底角 50° から 70° で測定した放射温度を群落の代表温度とできるとしている。また、LAI>2 の場合測定角度による誤差は小さくなることを示しており、本研究はこれを満たす条件で観測を行った。

畑のような均一な植生面において放射温度計を用

いた狭範囲の表面温度と、植物応答 (Baldecchi, 1994) や群落形状 (Wang and Horiguchi, 1998) について述べた例はある。また単一種により構成される草原で、熱交換に焦点を当てた研究 (池田ほか, 1998) はある。しかし異なる種の混在する草原で面的な放射温度測定を行った例はない。

本研究では、群落コンダクタンスを求めることで植物応答を気象要素から推測し、群落表面温度との関係について考察した。

### 2. 測定項目

筑波大学陸域環境研究センター草原圃場 (lat. 36.1N, long. 140.1E) で 2000 年 6 月下旬～8 月上旬にかけて観測を行った。フェッチを考慮し、直径 160m の圃場の中心から北西 60m に設置した 1 次元超音波風速計 (KAIJO-DAT600) と CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O 変動計 (アドバネット E009B) を用い、渦相関法によるフラックス観測を行った。

群落表面温度の測定には熱画像赤外放射温度計 (NEC 三栄 TH3100) を用いた。赤外波長 8～13 μm 帯に感度を持ち、1 度の測定で 255×222=56610 点のデータが得られる。今回の解析では、画像中の植

\*筑波大環境科学

\*\*ユタ大生物

\*\*\*筑波大学生物科学

生部分をひとつの範囲として平均化したものをその時刻の群落表面温度として使用した。射出率については今回の測定では考慮していない。

C3/C4 植物が混生している範囲（以下長茎群落）と短草のチガヤ（C4 植物）の優占群落（以下短茎群落）の 2 箇所に向けて高度 3.3m, 天底角 65° にカメラ位置を定めた。長茎群落は方角は混生群落で南向き、短草群落で南東向きの範囲を測定し、日射の過度の影響と測器自身の影を防いだ。1 週間毎に両群落を交互に 10 分間隔で測定した。雨天の日や風の強い日は、測器への悪影響を避けるために、その都度撤収した。測定範囲の LAI は、直接刈取りをせず、LAI2000 (Li-Cor 社製) で非破壊的に測定し、別域の刈取り値で補正した。

### 3. 解析方法

渦相関法を用いて、顕熱フラックス、潜熱フラックス、CO<sub>2</sub> フラックスを測定した。

$$H = \rho C_p \overline{w'T'} \quad (1)$$

$$LE = \rho \lambda \overline{w'q'} \quad (2)$$

$$Fc = \rho \overline{w'q'} \quad (3)$$

$H$  および  $LE$  はそれぞれ顕熱・潜熱フラックス ( $W/m^2$ )、の定圧比熱 ( $J/kg/K$ )、 $w$  は風速の鉛直成分 ( $m/s$ )、 $q$  は比湿 ( $kg/kg$ )、 $\lambda$  は水の気化熱 ( $J/kg$ )、 $c$  は CO<sub>2</sub> 濃度をそれぞれ示す。バーは平均を表わし、プライムは平均からの偏差を示している。

中立条件下の熱と水蒸気に対する空気力学コンダクタンス  $g_a$  を求めるための風速は、陸域環境研究センターでルーチン観測を行っている三次元超音波風速計 (KAIJO-DAT300) で、時間平均化された値を用いた。風速測定高度は 1.6m である。

$$1/g_a = \ln[(z-d)/z_{om}] \ln[(z-d)/z_{oh}] / k^2 u \quad (4)$$

$z$  は風速測定高度 1.6m,  $d$  は地面修正高,  $z_{om}$  と  $z_{oh}$  は運動量と顕熱に対する粗度パラメーターで、 $k$  はカルマン定数 (0.4),  $u$  は風速である。地面修正高

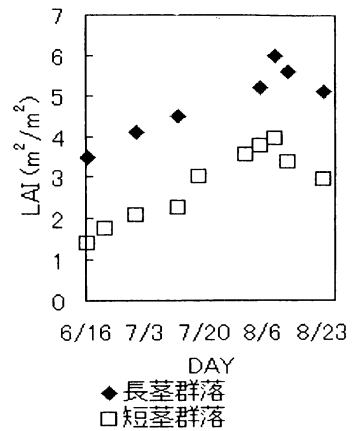


図1 群落表面温度測定範囲の LAI

は草丈  $hc$  の 0.67 倍 (Brutsaert, 1975) とし、粗度パラメーターは  $z_{om}=0.123hc$ ,  $z_{oh}=0.0123 z_{om}$  (Brutsaert, 1975) として計算した。

群落表面温度に対する飽和水蒸気圧と、地上 1.2m 地点における水蒸気圧の差から飽差 VPDL を算出した。これを用いて (5) 式より群落コンダクタンス  $g_c$  を求めた。

$$1/g_c = \rho C_p VPDL / (\gamma LE) + ((R_n - LE) \Delta / (\gamma LE - 1)) / g_a \quad (5)$$

$R_n$  は純放射量、 $\Delta$  は飽和水蒸気圧曲線の傾き、 $\gamma$  は乾湿計定数、葉温である。

### 4. 結果

群落表面温度の解析として、群落表面温度と地上 1.2m 地点の気温との差（以下群落-気温差）が、葉温からの飽差 VPDL、光合成有効放射量 PPFD とどのような関係があるかを調べた。LAI は短茎群落より長茎群落の方が高かった (図 1)。圃場全体の種別の LAI の結果は 7/16 で 4.1, 8/17 で 4.0 であった (横山, 2001)。長茎群落の LAI は 4.5 であり、圃場全体の LAI よりやや大きな値となっている。また短茎群落の LAI は 7/18 は 2.4 と小さいが、8/11 には 4.0 と圃場全体の LAI にほぼ等しくなっている。

図 2・a には、長茎群落の 7/12 の群落-気温差と  $g_c$ , VPDL, PPFD の日変化を示した。

8:00-11:00 頃の群落-気温差は比較的高い値を示

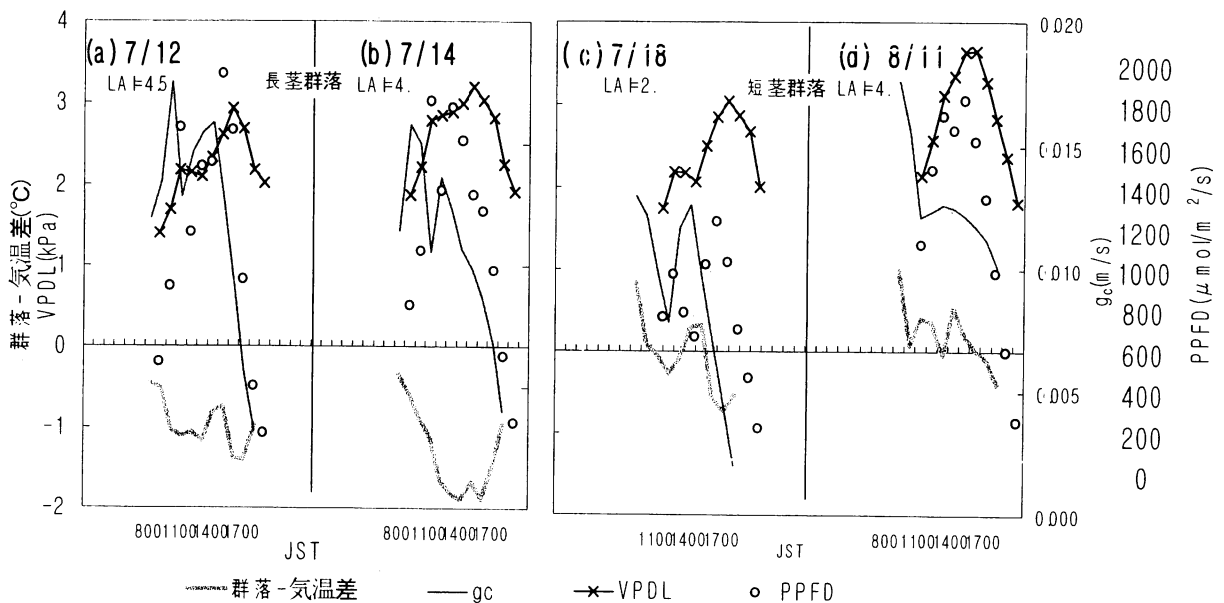


図2 群落-気温差、PPFD、VPDL、 $g_c$ の日変化(a)長茎群落 7/12、(b) 長茎群落 7/14

した。VPDLが小さく、 $g_c$ が大きいことからこの時間帯は主に  $g_c$  が群落表面温度を決定する要因になっている可能性が高い。

11:00-15:00 頃には  $g_c$  が減少傾向にあるが、VPDL が大きくなることから群落-気温差は比較的低い値を示した。

15:00-17:00 頃には  $g_c$  が急激に減少し、VPDL も減少した。気孔が閉鎖し、VPDL も小さくなったことが原因で群落-気温差は再び上昇傾向を示したと考えられる。

図2-d に、短茎群落の 8/11 の日変化を示す。短茎群落の群落-気温差は $\pm 1^\circ\text{C}$ の範囲で変化しており、長茎群落に比べ  $1\text{--}2^\circ\text{C}$  高い値を示したが、長茎群落ではこのような関係は見られなかった。短茎群落は日射の影響を強く受けているといえる。原因として①LAIの差、②群落形状の違い、③光合成回路の違いが考えられる。短茎群落は比較的 LAI が低いため高温な裸地表面温度の影響を受けたと考えられる。しかし測定期間の長茎群落の最小 LAI は 6/30 の 4.1 で、短茎群落の 8/11 の最大 LAI の 4.0 と大きな差がなかった。従って、LAI のみが原因とは考えられ

ない。短茎群落の形状を考えると、チガヤは成長すると葉端が大きく湾曲するため葉面が地表面の影響を受けやすかったと考えられる。またチガヤは C4 植物であることから光合成回路の違いが葉面温度に与える影響も考えられる。

図2-c に、短茎群落の 7/18 日変化を示す。PPFD が最高で  $1200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  で、天候は曇りであった。15:00 までの群落-気温差の日変化は  $g_c$  の日変化と一致しており、放射が弱い場合には  $g_c$  が群落-気温差を決める要因になっている可能性がある。

## 5. 考察

群落-気温差と VPDL、PPFD の関係は時刻によって異なり、群落表面温度を決定する要因は異なった。午前中の VPDL が小さい時に  $g_c$  が群落表面温度を決定する要因となるが、微気象要因と植物応答の変化により経時変化が見られた。

しかし、同じ LAI で晴天の条件でも 7/12 と 7/14 の群落-気温差の日変化には差があり、群落表面温度の変化の要因を風速など他の複数の微気象要因との

関係について解析を行う必要がある。

本研究で明らかになったように、植生が均一でない草原の場合、群落表面温度を評価する手法に課題が残る。長茎群落では、草丈の伸長によってカメラ高度と草丈の差が小さくなり群落側部を測定して群落表面温度を過小評価している可能性もある。今後は、測定高度を上げて測定を行い草丈の高低差による群落表面温度評価の差を小さくする必要がある。

群落表面温度と植生の関係については、群落構造の違いを考慮して評価し、また C3 植物と C4 植物の構成比の変化との関わり、について明らかにしたい。

#### 文献

- 池田駿介, 山田知裕, 杉本 高(1998) : 現地観測によるアシ原の乱流場及び熱・物質交換の測定. 土木学会論文集. 593, 79-92
- 横山智子(2001) : C3/C4 混生草原の季節動態に及ぼす地球温暖化の影響について生理生態学的解析. 筑波大学博士課程生物科学研究科修士論文
- Baldocchi, D. (1994) : A comparative study of mass and energy exchange rates over a close C3(wheat) and an open C4(corn) crop:2. CO<sub>2</sub> exchange and water use efficiency. *Agricultural And Forest Meteorology*. 52, 291-321.
- Brutsaert (1975) : The roughness length for water vapor, sensible heat and other scalars. *Journal of Atmospheric Science*. 32, 2028-2031.
- Li, S-G. (2001) : Micrometeorological and ecological analyses of energy budget and CO<sub>2</sub> flux over a C3 and C4 co-existing grassland under global warming conditions. *Doctor thesis in the Graduate Course of Biological Sciences, University of Tsukuba*. 91, 155p.
- Matsushima, D. and Kondo, J. (1997) : A proper method for estimating sensible heat flux above a horizontal-homogeneous vegetation canopy using radiometric surface observations. *Journal of Applied Meteorology*. 14, 1696-1711.
- Wang, X. and Horiguchi, I. (1998) : The relationship between remotely sensed canopy surface temperature and canopy structure. *Journal of the Faculty of Agriculture Hokkaido University*. 14, 45-60.