

# 生態環境計測学 2018.05.16 の質問・補足

回答者 : 植山

1. 風速が2倍になったときのプロファイルと夜間の温度・湿度プロファイルに関して、説明が欲しい。

[Answer]

大気-植物群落間の物質輸送は乱流拡散によって起こる。ここでその他の環境要因を変化させず、風速のみを  $6 \text{ m s}^{-1}$  から  $12 \text{ m s}^{-1}$  に2倍とすると機械的生成による渦による輸送が高まるため鉛直方向の輸送が盛んになり、気温、水蒸気、 $\text{CO}_2$  といった物理量の鉛直勾配が小さくなる。樹冠部の葉は日射によって暖められるが、風が強くなると境界層コンダクタンスが高くなるため、大気-葉面間の熱交換が盛んとなり葉温は風が弱いときよりも低くなる。風速が2倍になった

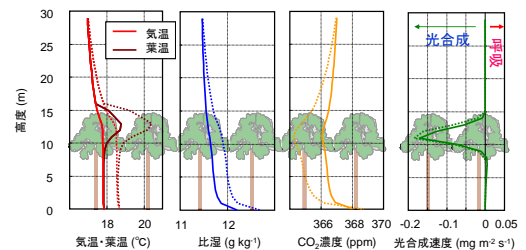


図1. 物理量の鉛直プロファイル  
実線：風速2倍、破線：1倍

ときの光合成速度に注目すると (図1)、葉面レベルでの光合成速度が低下していることが分かる。これは、風速の増加に伴って拡散が活発に行われて、樹冠部での湿度が低下し気孔コンダクタンスが低下したためである (大気の乾燥に伴い気孔が閉じ気味になった)。この場合、境界層コンダクタンスの上昇による葉面近傍の  $\text{CO}_2$  濃度の増加よりも、湿度の低下に伴う気孔コンダクタンスの低下のほうが、より強く群落光合成に影響したと考察することができる。ただし、ここでの光合成の低下の影響は小さく、 $\text{CO}_2$  濃度の鉛直勾配が小さくなった原因は拡散速度が増加したことによるものである。今回の実験では、風速を  $6 \text{ m s}^{-1}$  から  $12 \text{ m s}^{-1}$  と非常に強い風速に対する実験であるが、より低い風速の  $1 \text{ m s}^{-1}$  を  $2 \text{ m s}^{-1}$  に変化させる場合、さまざまな要因により非線形な応答を示す可能性があり、異なる結果になる可能性がある事に留意する必要がある。

夜間は放射冷却が発生するため、樹冠部の葉温が低下する (図2)。その為、大気から樹冠にエネルギーが奪われ、樹冠周辺の気温は低下する。一方、夜間は植物による蒸散が起こらない (光のない条件では気孔が閉じているため) ために、樹冠部からの水蒸気の供給がなくなり、その結果、樹冠と上空の大気における比湿の鉛直勾配は無くなる。土壌周辺で比湿が僅かに高くなるのは、土壌からの蒸発が生じているためである。 $\text{CO}_2$  については、夜間は光合成が行われず呼吸のみが行われるため、樹冠部において濃度が高くなる。また、地表面からは根や微生物からの呼吸によって  $\text{CO}_2$  が放出されるために、地表面付近の  $\text{CO}_2$  濃度は日中と同様に高くなる。

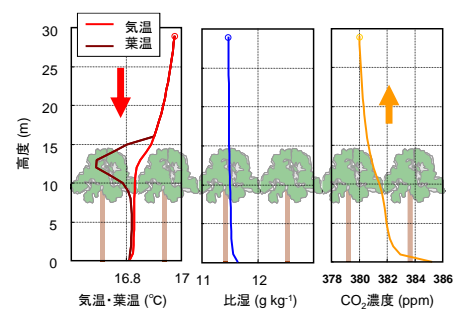


図2. 夜間の鉛直プロファイル

\* ここでの結果は、群落多層モデル (Kishihara et al., 2006) を用いたシミュレーションである。

引用文献 :

Kishihara, Y., Ueyama, M., Hamotani, K. and Monji, N., 2006: Vertical change of CO<sub>2</sub> flux within a larch forest. J.Agric.Meteorol. 62, 9-14.

## 2. 傾度法の式の意味

[Answer]

CO<sub>2</sub>フラックス、顕熱フラックスに関する傾度法の式は、以下のように表される。

$$Fc = -\rho K_c \frac{\overline{\Delta C}}{\Delta z} \quad (1)$$

$$H = -c_p \rho K_h \frac{\overline{\Delta \theta}}{\Delta z} \quad (2)$$

$$K_h = K_c = \frac{k^2 z^2}{\Phi} \frac{\overline{\Delta U}}{\Delta z} \quad (3)$$

ここで、 $\Delta C$ は2高度のCO<sub>2</sub>濃度差、 $\Delta \theta$ は2高度の温位差、 $Fc$ はCO<sub>2</sub>フラックス、 $H$ は顕熱フラックス、 $\rho$ は空気の密度、 $z$ は高さ、 $K$ は乱流拡散係数を表す。一般には顕熱に対する乱流拡散係数( $K_h$ )とCO<sub>2</sub>などのガスに関する乱流拡散係数( $K_c$ )は同等であるとみなすことが出来る。 $k$ はカルマン定数(0.4)、 $\Delta U$ は風速差、 $\Phi$ は大気不安定度に関する補正値を表す。

上記の式は、フラックスが2高度のCO<sub>2</sub>濃度差、風速差、不安定度(温位差、風速差)によって決まることを表している。例えば、上の高度のCO<sub>2</sub>濃度が下の高度よりも高い場合、CO<sub>2</sub>が上から下へと輸送され、フラックスは負となる。1式の先頭にマイナスが付いている理由は、この向きを合わせるためである。一般に、微気象学的手法によるフラックスの向きは、生態系(地表面)から大気への輸送を正、大気から生態系への輸送を負とすることが多い。

接地境界層(地表面の影響を強く受ける大気下端の気層)での物質輸送は乱流拡散を支配する渦によるが、傾度法ではこの乱流拡散を支配する渦を直接計測しているわけではなく、渦生成に伴う輸送効率の違いを拡散係数という指標を使ってモデル化している。即ち、拡散係数とは理想的な接地境界層内において、2高度の風速、温位の差が観測された際、それに起因して生成されるであろう渦を見積るために導入された指標と考えることができる。凹凸が大きいなどで地表面の状態が理想的でない場合、計算された拡散係数を補正する必要がある。3式のように拡散係数が表現されるとおり、風速差が同じであれば高度が高いほど拡散係数が大きくなり、大気不安定度の効果( $\Phi$ )は高さや風速差とは独立して拡散を強めたり弱めたりすることが分かる。拡散係数の数式は、運動量フラックスと顕熱フラックスが水平方向に一樣な地表面であれば高さによって変化しないとする相似則から導くことができる(文字, 2003)。

傾度法では、2高度間の物理量の差を正確に計測することが重要となる。そのため、計測に用いる温度計、風速計や赤外線ガス分析計などは、予測される高度差が十分に計測できる精度を有しているかを事前に検討し、差を十分な精度で計測するための観測デザインを考える必要がある。

引用文献：

文字信貴 (2003), *植物と微気象 群落大気の乱れとフラックス*, 大阪公立大学共同出版会, 大阪, pp140.

3. 暖かい空気の密度が低く、冷たい空気の密度が高くなる理由を教えてください。

[Answer]

理想気体の状態方程式を移項すると、下記のようになる。

$$n/V = P/(RT) \quad (4)$$

ここで、 $n$  はモル数、 $V$  は体積、 $P$  は圧力、 $T$  は気温、 $R$  は気体定数を表す。密度は単位体積あたりの質量であるため、 $n/V$  と等価である。4 式から気温が高くなれば密度が低くなり、低くなれば密度が高くなることから導ける。気温が高い状態とは、気体中の分子運動が高く、分子間距離が大きい状態である。このため、体積が膨張して密度が低くなる。

4. 夜間に潜熱フラックスは存在しないのか？

[Answer]

講義中の例題では、夜間に潜熱フラックスが無い状態での水蒸気プロファイルを考えて。実際、夜間の潜熱フラックスは無視できるほどに小さいことが多いが、いくつかのプロセスによって潜熱フラックスが夜間に生じることがある。地表面が放射冷却により冷えて結露が生じると、下向きの潜熱フラックスが観測される。すなわち、結露によって失われた水蒸気を補償するために、上空から水蒸気が輸送される。土壌からの蒸発が大きい場合は、夜間であっても上向きの潜熱フラックスが観測されることがある。この場合、蒸発に必要なエネルギーは、地中熱流量か下向きの顕熱フラックスによって補償される。