

生態環境計測学 2017.01.11 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2倍とすると機械的生成による渦が卓越するため鉛直方向の輸送が盛んになり、気温、水蒸気、CO₂といったもの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CO₂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出来る。ただし、ここでの光合成の低下の影響は小さく、CO₂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。

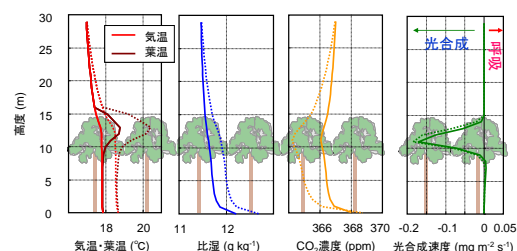


図1. 物理量の鉛直プロファイル
実線：風速2倍、破線：1倍

夜間は放射冷却が発生するため、樹冠部の葉面温度が低下する(図2)。その為、大気から樹冠にエネルギーが奪われるために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。CO₂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CO₂が放出されるために、地表面付近のCO₂濃度は高くなる。

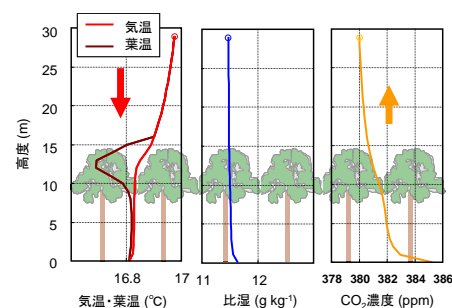


図2. 夜間の鉛直プロファイル

* 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 CO₂ flux within a larch forest. J.Agric.Meteorol. 62, 9-14.

2. 傾度法の式の意味

[Answer]

CO₂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。

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

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

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

ここで、 ΔC は2高度のCO₂濃度差、 $\Delta \theta$ は2高度の温位差、 F_c はCO₂フラックス、 H は顕熱フラックスを表す。 ρ 、空気の密度、 z は高さを表す。 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CO₂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)、 ΔU は風速差、 Φ 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CO₂濃度差、風速差、不安定度(温位差)によって決まることを表している。例えば、上の高度のCO₂濃度が下の高度よりも高い場合、CO₂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高くなり、大気不安定度の効果(Φ)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 群落大気の流れとフラックス, 大阪公立大学共同出版会, 大阪, pp140.

3. 傾度法における安定度補正の意味とは？

[Answer]

傾度法は、2 高度の物理量の差と拡散係数からフラックスを算出するための観測手法である。大気中においてたくさんの渦が生成されていれば、それだけ輸送が効率よくなされる。渦の生成には風速差によって機械的に生じる渦（シアー生成の渦）と浮力によって生じる対流性の渦がある。日中は、大気が不安定であるため対流が盛んに起こるため、輸送が活発に起こる。一方、夜間は大気が安定であることが多いため、日中に比べて輸送が起こりにくい。この大気安定度の効果を考慮したものが、拡散係数の式中（式 3）にある安定度補正項である。

安定度による補正、即ち浮力生成による渦を適切に考慮して計算したフラックス（図 3 の青線）は考慮せずに計算したフラックス（図 3 の赤線）に比べて日中のフラックスの絶対値が 2 倍程度大きくなる。このことは、浮力生成による渦により全輸送量のおおよそ半分が輸送されていることを示唆する。一方、夜間は安定度を補正しないとフラックスは過大評価となっている。このことは、大気が安定状態であるため輸送が起こりにくくなっていることをあらわす。安定成層下では上下の輸送が起こりにくいため、鉛直勾配は大きくなるが拡散係数が小さいため 1、2 式によって表されるフラックスの絶対値は小さくなる、

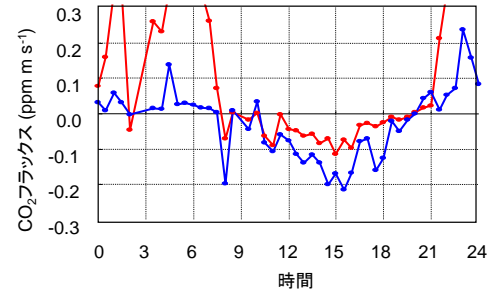


図 3. 傾度法により観測された CO₂ フラックス
赤線は安定度補正を考慮せずに計算された
フラックス、青線は考慮して計算されたフ
ラックスである。

4. 温位とは何か？

[Answer]

乾燥空気を持ち上げると乾燥断熱減率に従い気温は低下する。温位とはこの断熱を補正した気温のこといい、その定義は空気塊を乾燥断熱的に気圧 1000 hPa の基準高度まで移動させたときの気温である(小林, 1997)。中立条件であっても測定高度に差があれば上下の気温差が生じるが、温位であれば差は生じない。

引用文献：

小林守 (1997), 温位 (potential temperature), 新編農業気象学用語解説集—生物生産と環境の科学—, 日本農業気象学会 新編農業気象学用語解説集編集委員会編, pp5.

5. 水平方向に非一様な場所で微気象学的手法を用いることはできるのか？

[Answer]

水平方向に非一様な場所でも、測定システムや取り付け高度を工夫すれば微気象学的手法でフラックスを計測できる可能性はある。非一様な場所では、測定されたフラックスが何を代表したものであるかの検討が難しい問題となる。また、傾度法は 2 高度の差からフラックスを計算するが、この 2 高度の空間代表性が異なれば正しいフラックスを計算することができなくなる。例えば、樹木と建物が混在する都市で計測する際、下の高度が樹木の影響を受けた濃度を計測し、上の高度が建物の影響を受けた濃度を計測してしまうと、出てくる濃度差は上下の高度の拡散に起因する濃度差ではなく、単に空間的非一様に起因する濃度差を計測していることとなる。こういった空間非一様性の影響を受けない程度に高い高度で測定することが不可欠である。

6. 台風のようなスケールの大きなメカニズムを乱流で説明することができるのか？

[Answer]

空間・時間スケールによって大気の運動に重要なメカニズムが異なる（図4）。一般に乱流輸送が重要となるのは寿命が数秒～数十分の時間スケールで直径が数 cm～数百 m の空間スケールのマイクロスケールでの気象現象についてである。一方、台風は数百 km の空間スケールで数週間にわたるメソスケールからシノプティックスケールの現象であるため、台風の盛衰や進路には気圧傾度力、コリオリ力などの別の要因が重要なプロセスとなる。ただし、台風に伴い接地境界層内の風が強くなったり、それによって物質の拡散が促進されるなどのマイクロスケールな現象については乱流が重要なプロセスであるといえる。

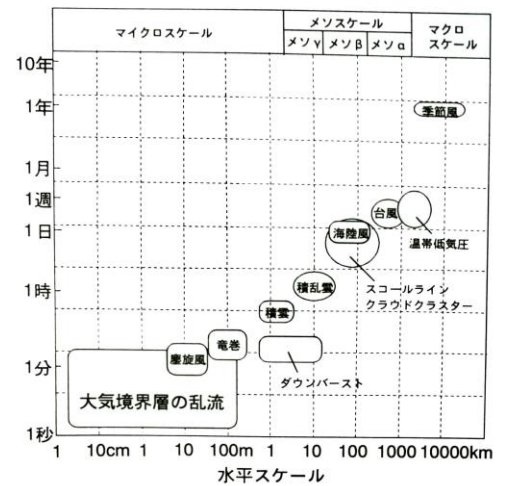


図4. 気象現象の時間スケールと空間スケール (日本気象学会, 1998)

引用・参考文献：

青野先生の「都市気候環境学のレジメ」

日本気象学会編, 1998: 大気の運動と仕組み, 新教養の気象学, 朝倉書店, 東京, pp. 31-46.