

## 4. 植物群落における微気象観測 / 傾度法

植山 雅仁

### 4. 1. 植物群落と物理量のプロファイル

気象要素の高度分布は鉛直プロファイル、或いは、単にプロファイルとよばれる。風速は、植物群落の摩擦抵抗によって群落に近づくにつれて緩やかに低下し、樹冠部で急激に減衰する。気温、水蒸気、CO<sub>2</sub>などのプロファイルも植物群落の様々なプロセスによって影響を受ける。例えば、CO<sub>2</sub>であれば、土壌からの呼吸、樹冠部の光合成によって、群落付近において濃度が低下する「く」の字型のプロファイルが日中しばしば観測される。大気の鉛直プロファイルとフラックスの間には明確な関係があることが分かっており、プロファイルを計測することでフラックスを推定することが可能である。

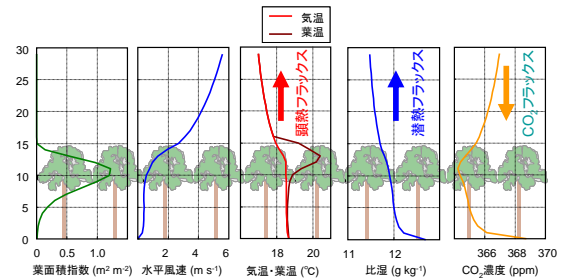


図1 日中における森林群落におけるフラックスとプロファイルの関係

以下の図2に、日中において図1の状態より風速が2倍になった時の各種プロファイルを、図3に夜間のプロファイルを記載せよ。

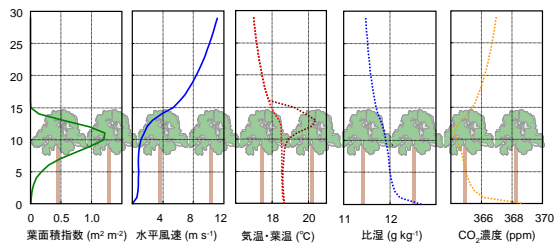


図2 風速が2倍になったときは？  
点線は1倍の風速時の鉛直プロファイル

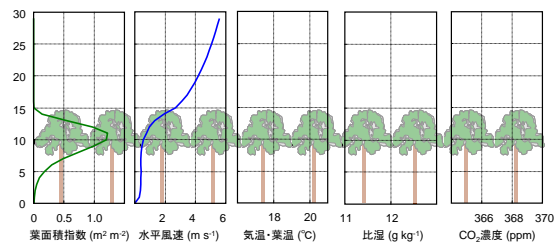


図3 夜間のプロファイルは？

### 4. 2. 傾度法 (空気力学的手法)

植物群落上などの地表面に近い大気では、乱流が引き起こす空気の移動、混合によって熱、水蒸気、CO<sub>2</sub>などの物質が運ばれる。このような乱流による輸送が卓越した気層においては、異なる性質を持った空気(気温の高い・低いやCO<sub>2</sub>濃度の高い・低いなど)が互いに混ざり合うことで、その性質を均質にしようとする働きがある。つまり、乱流輸送が卓越している状態においては、熱エネルギーは温度が高いところから低いところへ、CO<sub>2</sub>であれば高濃度から低濃度の場所へ輸送される。このような現象は、乱流拡散とよばれる。

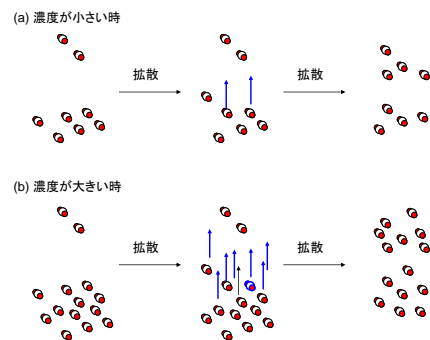


図4 乱流拡散の模式図

微気象学的にフラックスを計測する手法の一つとして傾度法と呼ばれる手法があるが、この手法は乱流拡散理論を利用した計測方法である。

$$\text{顕熱フラックス： } H = -c_p \rho K_h \frac{\Delta T}{\Delta z} \quad (1)$$

$$\text{CO}_2 \text{フラックス： } F_c = -\rho K_c \frac{\Delta C}{\Delta z} \quad (2)$$

ここで、 $\Delta T$ は2高度の気温（温位）差、 $\Delta C$ は2高度の $\text{CO}_2$ 濃度差を表す。 $H$ と $F_c$ は顕熱フラックス、 $\text{CO}_2$ フラックスを表し、 $c_p$ 、 $\rho$ 、 $z$ は空気の定圧比熱、空気の密度、高さを表す。 $K$ は乱流拡散係数を表し、一般には顕熱に対する乱流拡散係数( $K_h$ )と $\text{CO}_2$ などの物質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。

拡散係数は、以下のように表すことが出来る。

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

ここで、 $k$ はカルマン定数(0.4)、 $\Delta U$ は風速差、 $\phi$ は大気不安定性に関する補正値を表す。

(1)~(3)式は、鉛直のフラックスが2高度の濃度差、風速差、温度差によって決まる事を表している。

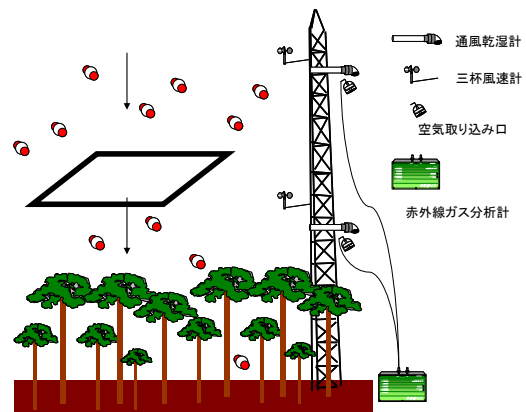


図5 傾度法によるフラックス観測システムの例

乱流拡散によって生じるフラックスを乱流輸送と呼ぶことも出来るが、この乱流輸送は大気中の乱れによって生じる渦による輸送である。つまり、大気中で効率的に渦が生成されれば、上下方向の輸送も効率的に行なわれる。

では、渦はどのように生成されるのか？

### シアーによる乱れ

強い風が吹くと、植物群落付近の空気は群落との摩擦が大きくなる。この時、摩擦によって群落付近の風が弱められるため、上層の風が巻き込まれるように、下層に入りこもうとするために渦が生成される。この現象による渦の生成はシアー生成と呼ばれ、傾度法の式の中の風速差の項( $\Delta U / \Delta z$ )で表わされる。

風が強い時は、上下の巻き込みが大きくなり、鉛直の輸送量が大きくなる。

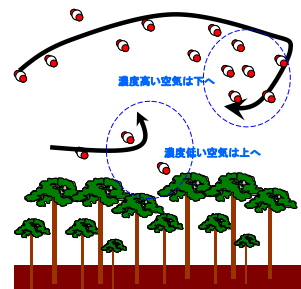


図6 風速差と輸送

**浮力による乱れ**

乱流輸送における渦生成の重要な要因として、シアー生成以外には浮力による生成が挙げられる。

**不安定状態**：群落付近の気温（高い） 少し高い大気の気温（低い）

密度の低い軽い暖かい空気が上昇することで渦が生成、鉛直方向の拡散が活発化（図 7a）

**安定状態**：群落付近の気温（低い） 少し高い大気の気温（高い）

密度の高い重く冷たい空気が下層にたまり、軽い空気が上層にのっかる。

空気は層状に蓄積して、渦の生成が抑制され鉛直方向の拡散は弱まる。（図 7b）

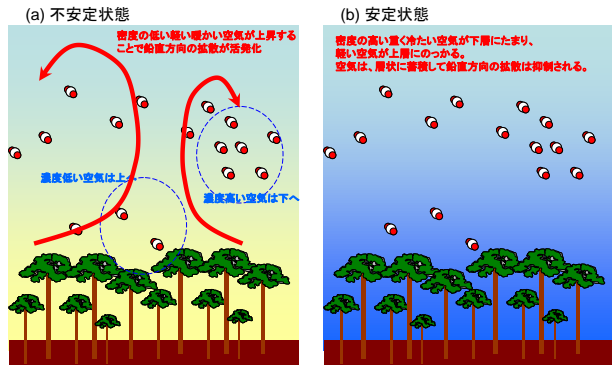


図 7 安定・不安定時の輸送の概念

**傾度法による計測の注意点**

傾度法では、上下の濃度差、風速差、温度（温位）差を正確に計測する必要がある。

- 大気が不安定となる日中では、
- 気温（温位）差：0.1 ~ 0.2°C
- CO<sub>2</sub>濃度差：0.1 ~ 0.2ppm
- の精度が必要とされる。

測定機器の器差には十分に気をつける必要がある。

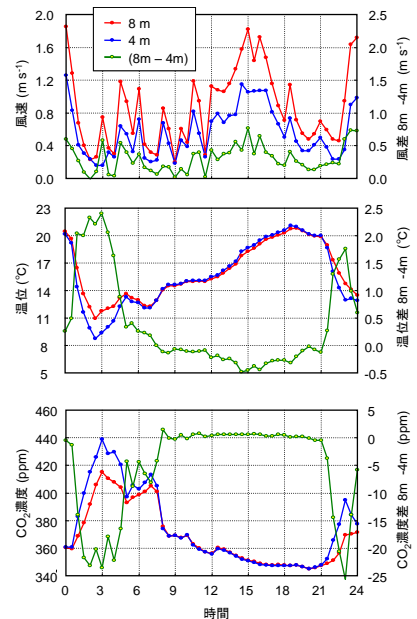


図 8 アラスカのクロトウヒ林上で観測された 8 m と 4 m の風速、温位、CO<sub>2</sub> 濃度と 2 高度の差  
植物群落の高さは 3 m 程度

**引用・参考文献**

日本農業気象学会編, 1997: 新編 農業気象学用語解説集—生物生産と環境の科学—, 313pp.  
 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, 140pp.  
 文字信貴・平野高司・高見晋一・堀江武・桜谷哲夫, 1997: 農学・生態学のための気象環境学, 丸善, 199pp.