

# 生態環境計測学 2017.1.18 の質問・補足

回答者 : 植山

1. 渦相関法の計算式が共分散の形で表現されているが、共分散とは何か？渦相関法では、なぜ  $\overline{w'T'}$  などを共分散の形であらわされるのか？

[Answer]

共分散とは、2変数間の1次的な関連の度合いを示す統計指標である。例えば、鉛直風速( $w$ )とある物理量( $s$ )の間の共分散は以下のようにあらわすことが出来る。

$$\overline{w's'} = \overline{(w - \bar{w})(s - \bar{s})} \quad (1)$$

ここで、オーバー・バーは時間平均、プライムは変動を表す。共分散は対象とする2変数間にどの程度相関があるかを表し、正であれば正の相関、負であれば負の相関があることを示す。また、相関係数( $r$ )は、共分散と標準偏差を用いて以下のようにあらわすことが出来る。

$$r = \frac{\overline{w's'}}{\sigma_w \sigma_s} \quad (2)$$

ここで、 $\sigma_w$  と  $\sigma_s$  は、それぞれ鉛直風速と対象とする物理量の標準偏差をあらわす。共分散は基本的な統計指標であるため、統計関係の書籍やインターネットなどから高校数学を復習しておくこと。ここでフラックスが鉛直風速と対象とする物理量の変動の積で表されるのは、高速で（高い鉛直風速で）少量のものが運ばれることと、低速で（低い鉛直風速で）大量のものが運ばれることが等価であるためである。

物理量  $s$  のフラックス ( $F_s$ ) は、以下のように表される。

$$F_s = \overline{ws} \quad (3)$$

変数は変動と平均に分けることができる。

$$\begin{aligned} w &= \bar{w} + w' \\ s &= \bar{s} + s' \end{aligned} \quad (4)$$

3式に4式を代入すると、

$$\begin{aligned}
\overline{ws} &= \overline{(w+w')(s+s')} \\
&= \overline{ws} + \overline{ws'} + \overline{w's} + \overline{w's'} \\
&= \overline{ws} + \overline{w's'}
\end{aligned}
\tag{5}$$

のように展開できる。ここで、変動の定義で  $\overline{w'}=0$ 、 $\overline{s'}=0$  である。 $\overline{w}=0$  が成り立つ条件であれば、フラックスは共分散の形で表すことができる。

参考文献：

文字信貴 2003. 植物と微気象 ー群落大気の乱れとフラックスー. 大阪公立大学共同出版会, 140pp.

2. 貯留の概念に関して完全に理解できなかった。

[Answer]

CO<sub>2</sub> 貯留とは、乱流輸送が不活発な時間帯において生態学的プロセス（例えば、光合成や呼吸）により発生・吸収された CO<sub>2</sub> が、測定高度より高い大気と混ざらず、その場の濃度変化に寄与した場合により起こる。貯留は、フラックス観測高度以下における CO<sub>2</sub> 濃度の変化量から評価できる。貯留は、専門用語 storage の和訳であるが、正確には貯留変化速度などがより妥当な和訳となるかもしれない。

図 1 の夜間 22 時～24 時頃に貯留が増えているのは、風速の低下などにより乱流拡散が低下し、呼吸により放出された CO<sub>2</sub> が上空に拡散されずに、その場にとどまった（測定高度以下の気層において CO<sub>2</sub> 濃度が上昇した）ことに起因する。一方、朝方について貯留が負の値をとることは、この時間に乱流拡散が低かったため植生は群落付近に滞留した CO<sub>2</sub> を使って光合成をおこなわれたことを示している。日中において貯留の絶対量が小さくなるのは、乱流拡散が活発であるため植生の光合成に使用された CO<sub>2</sub> がフラックス観測高度より上の大気から輸送されたことを示している。

CO<sub>2</sub> 濃度（密度）の変化に伴う貯留変化を評価する上では、高さ何メートルの気塊の濃度をどのくらい変化させたのかという情報が不可欠である。高さ 1 m の気塊の濃度を 1ppm 低下させた場合と、高さ 2 m の気塊の濃度を 1ppm 低下させた場合では、2 m の気塊の濃度を 1ppm 低下させた場合のほうが 2 倍の CO<sub>2</sub> を要する。この気塊の量を考慮するために、測定高度間の距離を単位時間における濃度変化量に乘じる必要がある。CO<sub>2</sub> 濃度に対するフラックス(w'c')の単位は[ppm m s<sup>-1</sup>]であり、貯留変化も[ppm m s<sup>-1</sup>]の単位をとる。フラックスと貯留変化の和として表される NEE についても、同じ[ppm m s<sup>-1</sup>]次元をもつ。

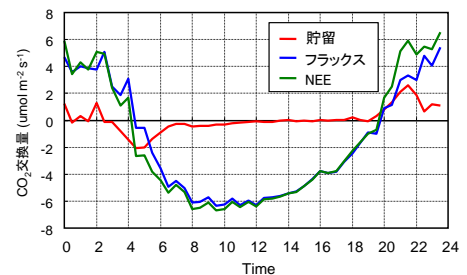


図 1 フラックスと貯留の関係  
アラスカのクロトウヒ林の場合

### 3. クロノシーケンスとは？問題点・不確かさは無いのか？

[Answer]

クロノシーケンスとは、時間による変化を空間による変化で代用する手法である。クロノシーケンスを用いると攪乱からの年数に応じて、フラックスやバイオマスなどがどのように変化するかを評価することが出来る。

クロノシーケンスは、攪乱からの年数以外の要因（気象条件、生育環境、攪乱前のバイオマス量など）が同じとみなせる複数の場所で開催される必要がある。その為、条件を満たしていない観測場所で比較観測をすると、攪乱からの年数以外の要因が結果に影響を及ぼし誤差をうむ。クロノシーケンスにおける誤差の原因となるものは以下にあげられる。

- 1) 空間代表性誤差：比較対照サイト間における攪乱前の環境条件の違い
- 2) 時間代表性誤差：計測を実施した時期の気象条件が長期間の気象条件を十分に代表できない
- 3) 計測誤差：各サイトにおける観測誤差・観測システムの統一が不完全であること

クロノシーケンスを実施する際は、上記の誤差がどの程度であるかなど、事前・事後に丁寧に評価する必要がある。図2の結果で、林齢40年の森林において炭素吸収量が一時的に低下した原因は、上記の理由の1)によるものであることが報告されている(Goulden et al., 2010)。

引用文献：

Goulden, M. L., McMillan, A. M. S., Winston, G. C., Rocha, A. V., Manies, K. L., Harden, J. W., Bond-Lamberty, B. P., 2010. Patterns of NPP, GPP, respiration, and NEP during boreal forest succession. *Glob. Change Biol.* 17, 855-871.

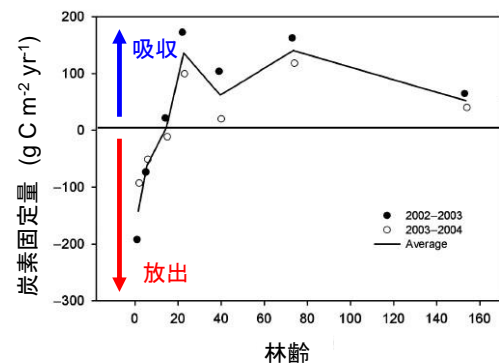


図2 カナダの森林における火災からの二次遷移に伴うCO<sub>2</sub>フラックスの変化 (Goulden et al., 2010)

4. 呼吸は温度に依存するということがあったが、他の要素（例えば、湿度、日射量、土壌水分量）などの影響は受けないのか？

[Answer]

多くの生態系において温度（気温や地温）が生態系呼吸量を決定する主要因であるが、いくつかの生態系においては土壌含水率等のそのほかの要因についても生態系呼吸量に強く影響を与える要因である(図3)。そのため、観測されたNEEをより正確にGPPと生態系呼吸量に分離するためには、温度環境に加えて、その他の要因についても考慮に入れたモデルを作成して、NEEを分離する必要がある。

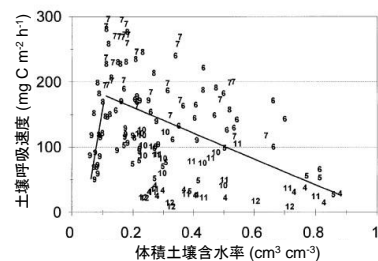


図 3. 森林における体積土壌含水率と土壌呼吸速度の関係 (Davidson et al., 1998)

引用文献

Davidson, E. A., Belk, E. and Boone, R. D., 1998: Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest, *Global Change Biol.*, 4, 217-227.