

生態環境計測学 2015.11.04 の質問・補足

回答者 : 植山

1. 貯留の概念に関して完全に理解できなかった。

[Answer]

CO₂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CO₂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CO₂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不活発となり、呼吸により放出されたCO₂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CO₂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不活発であったため植生は群落付近に滞留したCO₂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CO₂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。

CO₂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ことが情報が不可欠である。高さ1mの気塊の濃度を1ppm低下させた場合と、高さ2mの気塊の濃度を1ppm低下させた場合では、2mの気塊の濃度を1ppm低下させた場合のほうが2倍のCO₂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。CO₂濃度に対するフラックス(w'c')の単位は[ppm m s⁻¹]であり、貯留変化も[ppm m s⁻¹]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⁻¹]次元をもつ。

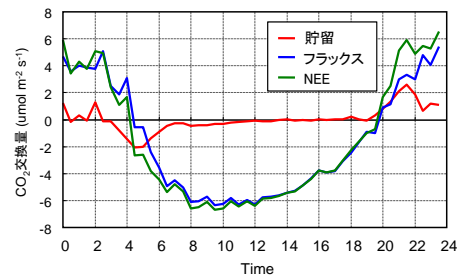


図1 フラックスと貯留の関係
アラスカのクロトウヒ林の場合

2. 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実施される必要がある。その為、上記の条件を満たしていない観測場所で比較観測を実施した場合、攪乱からの年数以外の要因が結果に影響を及ぼすため、比較の際に誤差となる。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が、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.

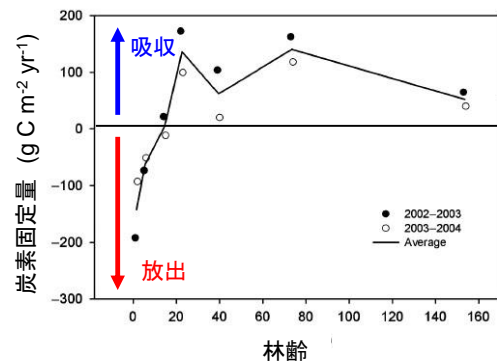


図 2 カナダの森林における火災からの二次遷移に伴う CO₂ フラックスの変化 (Goulden et al., 2010)

3. 熱収支式の説明をして欲しい。また、エネルギーインバランス問題について、顕熱フラックス、潜熱フラックス、地中熱流量以外に植物が吸収するエネルギー（光合成などに用いるエネルギー）や森林自体がもつエネルギーを考慮しても純放射量を満たせずインバランスとなるのか？

[Answer]

地表面のエネルギー収支は以下のように表すことができる。

$$Rn = H + IE + G + B + S$$

ここで、 Rn は純放射量、 H は顕熱フラックス、 IE は潜熱フラックス、 G は地中熱流量、 B は光合成の生化学反応に使用されるエネルギー、 S は土壌、群落に蓄えられる貯熱量を表す。図4は、カナダのクロトウヒ林が純放射として受けとったエネルギーがどのような要素に分配されているかを表したものである。図から読み取れるように、純放射として受けとったエネルギーの多くは、大気を暖めるのに使用される H と水を蒸発させるのに使用される IE に分配されている。光合成の生化学反応に使用されるエネルギーは 1%、地中熱流量は 3% と非常に小さい。また、図には貯熱量 S が示されていないが、これは純放射量に対して 5% 未満と群落に蓄えられるエネルギーとしては小さい。以上のことから、上の熱収支の式のうち群落スケールでは無視できる項を除くと、森林群落のエネルギー収支式は以下のように簡略化することができる。

$$Rn \cong H + IE + G$$

図4 のカナダのクロトウヒ林の場合は、エネルギー収支をほぼ満たしていたが、渦相関法によるフラックス測定におけるエネルギーインバランス問題では、図5 に示されるように殆どの観測サイトで2~3割程度、乱流フラックスの和が小さくなることが報告されている。このインバランスは、貯熱量や生化学反応に使用されたエネルギーを考慮したとしても大きく改善する事は期待できない。エネルギーインバランスについてはいくつかの原因が指摘されており、その原因の1つとして渦相関法では捉えきれていない大きなスケールの渦による輸送を過小評価しているためであると指摘されている。しかしながら、インバランスが生じる原因については、研究者間でも意見が分かれており、現段階では確定的なことはいえない。

引用文献：

Jarvis, P. G., Massheder, J. M., Hale, S. E., Moncrieff, J. B., Rayment, M., and Scott, S. L., 1997: Seasonal variation of carbon dioxide, water vapor, and energy exchanges of a boreal black spruce forest. *J. Geophys. Res.*, 102, 28953-28966.

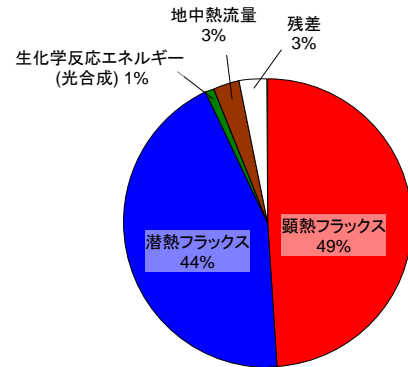


図4 カナダのクロトウヒ林で計測された120日間のエネルギー収支 (Jarvis et al., 1997)

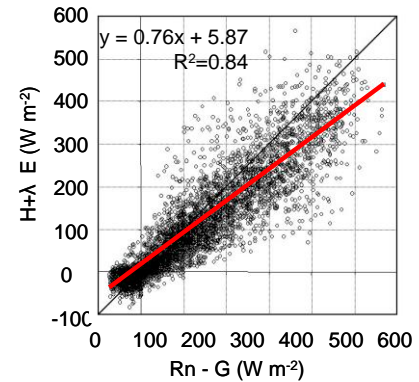


図5 有効エネルギー (Rn-G) に対するエネルギーフラックスの和