

FLUXNET が寄せるCAPS への期待

小野圭介 (農業環境技術研究所), CAPS 観測グループ

1. FLUXNET からの要請

生態系と大気間の水蒸気や CO₂ 交換量が時間的、空間的にどのように変化しているのかを知るために、チャンバー法や微気象学的手法が広く用いられている。CO₂ フラックスの測定においては、Open-path IRGA (Infra Red Gas Analyzer) のプロトタイプが1980年代に実用化されて以降、微気象学的手法の一つである渦相関法が主流となり現在に至っている。渦相関法のチャンバー法に対するメリットは、時間分解能が高いこと、sink-source の空間的なばらつきをある程度平均化できること、測定自身が環境に及ぼす影響が小さいことが挙げられる。また、同じ微気象学的手法である傾度法や熱収支ボーエン比法に比べ、用いる仮定が少ないため、より直接的にフラックスを計測することができると言われてきた。確かにこれらは間違いではない。しかし、FLUXNET が目指している年間のCO₂ 純交換量 (NEE, Net Ecosystem CO₂ Exchange) を推定するに当たって、現在の渦相関法の測定・計算方法やその精度は十分だろうか。

植物群落上の渦相関システム (群落下貯留量評価も含む) で測定される NEE は、光合成と呼吸との差し引きの結果である。したがって、わずかな測定誤差が NEE の符号 (吸収 放出 or 放出 吸収) を変えてしまうことも十分にありうる。ところが、残念ながら、現在広く使われている測器とデータ処理をもってしても、わずかではない大きさの測定誤差が含まれていることはどうも確からしい。また、ここで扱う問題とは別に、測定データの品質管理と棄却データの補間の方法によって、年間 NEE が -185 から 245 gCm⁻²year⁻¹ の幅を持つ例も報告されている (Anthoni et al, 2004)。

FLUXNET 関係者は、これらの誤差を小さくすることや、その大きさを見積もることに苦心しているが、彼ら自身が長期連続測定 (EUROFLUX では 3 年以上が推奨されていた) に従事しているため、それらを解決する時間的な余裕を持ちあわせていないのが現状である。ただ、現在指摘されている問題点の多くは、その解決のために必ずしも長期連続測定が必要なわけではない。理想的な条件下における数日から数週間の集中的な測定によって新たな解決策を提言できる可能性は十分にある。CAPS2002/2003 では CO₂ フラックスの測定は行われなかったが、スカラーが鉛直風速と別のセンサーで測定されるシステムが内包する問題は、潜熱フラックスでも確認することができるので、今後の解析によって、新たに問題提起を行い、具体的な解決策を提案することも十分に可能である。乱流の専門家も集う本研究グループに対して、FLUXNET が寄せる期待は決して小さくない。

以下に、CAPS2002/2003 形式の観測やそこで得られたデー

タから新たな知見が得られそうな例として、フラックス (コスペクトル) の高周波域におけるパワーの減衰について、その不確実性と NEE に及ぼす影響を紹介する。

2. コスペクトル高周波域の減衰が NEE に及ぼす影響について

鉛直風速とスカラー量との covariance がフラックスに相当するというのが渦相関法の基本原理である。ただし、鉛直風速とスカラーが無限小の volume で同時に測定されること、フラックスに寄与する周波数帯において測定システムが十分なレスポンスと安定性を保持していることが暗黙に仮定されている。しかし、実際の測定でこのような条件が満たされることはない。SAT も IRGA も測定部に volume を持ち、両者は物理的に離れているので、同じ変動を同時にサンプルできない。また、両者で反応速度や遅れ時間が異なる場合もある。これらはいずれも、low-pass filter としてシステム全体の時定数を大きくし、covariance を過小評価する方向に働く。例えば、単純に鉛直風速とスカラーの信号が 1 サンプルずれることによって、フラックスが平均で 7% 過小評価される (顕熱フラックスの場合、図 1)。Closed-path 方式の測定システムでは、考慮すべき low-pass filter がさらに増える。

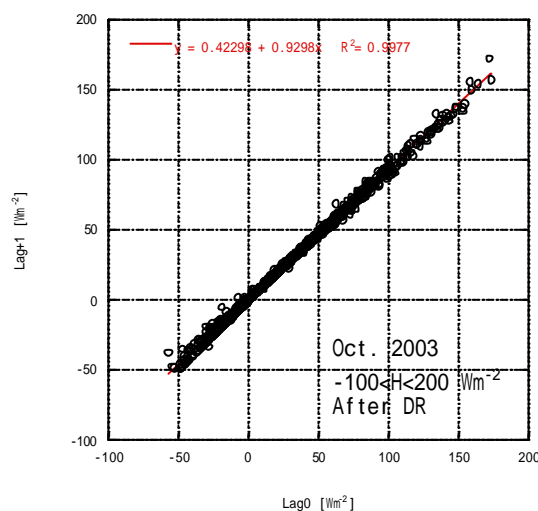


図 1 鉛直風速時系列に対して温度時系列を 1 つ遅らせて計算した顕熱フラックス。

横軸は遅らせずに計算した顕熱フラックス 2003 年 10 月のつづき市内水田 (このときは裸地) で測定された。サンプリングは 10Hz。測定高度は約 3m。安定度でスクリーニングはしていない。

これらの low-pass filter の伝達関数が求めれば、測定されたコスペクトルを伝達関数で除することによって減衰前のコスペクトルを復元することができる。Moore (1986) は、測定されたコスペクトルの代わりに Kansas Experiment で求められた関数形を用いたが、測定場所のコスペクトルが必ずしもこの関数形と相似である保証はないので、平均化時間内の代表的なコスペクトルを個々に求めてそれを用いる方がより正確である。Horst (1997), Massman (2000) も、基本的には Moore (1986) を踏襲している。いずれにしても、これらの方法でコスペクトルを復元するためには、個々の、もしくはシステム全体の伝達関数を推定しなければならない。これらの文献では、理論的、実験的に求められた伝達関数が明らかにされているが、実測データでの検証は行われていない。他の研究 (とくに closed-path 型において) でも、個々の伝達関数の積み上げによって減衰量を正確に説明できた例はほとんどない。よって、これまで実証されることがなかった個々の伝達関数の妥当性を検討することには大きな意味があり、さまざまな測器をそろえることができる本研究グループなら、実験的な観測を行い、これらについて新たな知見を得られる可能性が高い。

Low-pass filter は、CO₂ フラックスの測定を通して必然的に NEE の見積もりにも影響を及ぼす。しかし、影響の与え方は、顕熱、潜熱フラックスのように単純な過小評価とはならない可能性がある。なぜなら、NEE は昼夜で符号が逆転する CO₂ フラックスの積算であり、一般的に、コスペクトルがより高周波側にシフトする日中に減衰が顕著になると考えられるからだ。Moncrieff et al (1996) では、low-pass filter のような selective systematic error が 10% 含まれた NEE を 44 日間積算することによって、誤差は 2% に増大することが示されている。

さらに、open-path 方式で測定された CO₂ フラックスには、いわゆる WPL 補正 (Webb et al, 1980) が必須であるが、この補正には水蒸気フラックスと顕熱フラックスの両方が必要になる。水蒸気フラックスは WPL 補正適用後の値でなければならないので、水蒸気フラックスに対する伝達関数が正しく評価されていないと CO₂ フラックスまで影響を及ぼすことになる。さらに悪いことに、大気中の CO₂ 濃度が、乾燥空気の濃度、水蒸気の濃度に比べて小さいので、補正項が測定された CO₂ フラックスと同じオーダーになることも珍しくない。Closed-path 方式では、これまで WPL 補正は必要ないとされてきたが (Aubinet, 2000)、最近では水蒸気フラックスに関する補正項は見積もる必要があるという見解が一般的になりつつある。

NEE の見積もりには他にも不確定な部分が多く残されており、生態学にとどまらず、温暖化対策という政治的な領域から求められている精度に対して、FLUXNET の観測が十分に込められているとは言い難い。本研究グループには、open-path, closed-path の両方式で CO₂ フラックスの測定経験が豊富な研究者もいるので、今後の方向性として、伝達関数の再評価を

含めた渦相関 CO₂ フラックスの高精度化と年間 NEE への影響評価については外すことができないように思われる。

† <http://www.daac.ornl.gov/FLUXNET/>

引用文献

- Anthoni et al, 2004. Agric. For. Meteorol. 121.
Aubinet et al, 2000. Adv. Ecol. Res. 30.
Horst, 1997. B-L M. 82.
Massman, 2000. Agric. For. Meteorol. 104.
Moncrieff et al, 1996. Global Change Biology 2.
Moore, 1986. B-L M. 37.
Webb et al, 1980. Quart. J. Roy Meteorol. Soc. 106.