

速報

標準的な湿度計のデータから算出される水蒸気フラックスの
精度が保持される期間について*1

清水貴範*2

キーワード：水蒸気フラックス，乱流変動法，改良バンドパス法，精度比較

I. はじめに

溪流を含む森林地で、森林-大気間の水循環諸要素を定量化する目的で観測を行う場合、先ず森林への降雨量と流域からの水流出量が測定項目となる。その際、蒸発散量は降雨量と水流出量の残差として論じられるが、この前提として地表面地形による流域境界内で水収支が整合していることが必要である。しかし、地質や地層の傾斜等の影響で、この前提は成立しないことがある。このような場合も含めて、水蒸気輸送量も併せて測定を行い、相互にデータを補完することが望ましい。

森林地での水蒸気輸送量の測定には、近年単木の蒸散量をスケールアップする手法にも焦点が当てられている（例えば Kumagai *et al.*, 2004）が、一般的には大気を計測する微気象学的手法が採られることが多い。なかでも最も適用例が多い乱流変動法は、樹冠上で10Hz程度の間隔で風速及び水蒸気濃度を測定して、その結果から水蒸気フラックス（ λE ）を算出する方法である。乱流変動法ではほとんどの場合、超音波風速温度計（SAT）という機器を用いて風速を測定する。一方、水蒸気量の測定には、測定地点の大気における赤外光の吸収量から水蒸気濃度を算出する機器を用いる方法（オープンパス法・クロズドパス法）のほかに、通風式の湿度計による測定値に対し、高周波側の信号を補正して乱流変動法に用いるバンドパス法が考えられる。前者の利点は直接的な測定であること、後者の利点は安価で維持管理が容易であることが挙げられる。従来のバンドパス法では、高周波側の信号補正はSATなどで測定した鉛直風速-気温変動のコスペクトル（ $=C_{wT}(f)$ ）を参照して行うが、Watanabe *et al.* (2000) はオープンパス機器と通風式湿度計との5日間の比較観測から、バンドパス法で算出した λE 値をオープンパス法による算出値に近づけるための改良法を提示している。しかし、この“改良バンドパス法”を数ヶ月程度の期間に渡って用いることの妥当性については、論じられていない。そこで本研究では、九州のスギ・ヒノキ林の樹冠上で、オープンパス機器及び通風式湿度計による比較観測を行い、観測当初にオープンパス法との比較から得られた改良バンドパス法の補正パラメータが、2ヵ月後の観

測でも適用可能かどうかを検討した。

II. 観測データ及び検討方法の概要

森林総合研究所九州支所では、九州森林管理局と共同で、1992年より熊本県鹿北町に鹿北流域試験地を設定して水文・気象観測を行ってきた（Shimizu *et al.*, 2003）。試験地周辺の植栽樹種は谷筋から山腹にかけてスギ、尾根付近ではヒノキであるが、山腹から尾根にかけての一部には常緑広葉樹が繁茂している。今回検討に用いるのは、地上高51mの樹冠上で得られた2004年8月2日-8月11日（期間1）・同年9月8日-9月11日（期間2）・同年10月10日-10月16日（期間3）のデータである。オープンパスH₂O・CO₂アナライザー（Li-Cor, LI-7500）及び強制通風式温湿度計（Visala, HMP45D）は、SAT（Kaijo, DAT-600; TR-61C Probe）に対してそれぞれ北向きに0.35m、西向きに1.08m離れた場所に設置した。これらの機器から出力されるデータはデータロガー（Teac, DR-M3b）に10Hzで記録した。SAT及びオープンパスアナライザーのパス長はそれぞれ0.2m、0.125mであった。オープンパスアナライザーには受感部の汚れや不調を検出する機能があり、適宜これをチェックすることが可能であったが、通風式湿度計にはそうした機能は無く、1-2年程度の期間で受感部の交換が必要であるとされている。なお、各期間内には短時間の断続的な降雨があり、それに依るものと考えられるスパイク状変動が現れるデータは解析から除外した。

解析データは、先ずSATの受感部による風速減衰を補正（Shimizu *et al.*, 1999）した。データは30分間を平均化時間としてKaimal and Finnigan (1994) に基づく風速の座標変換を行った。風速・水蒸気の変動量は瞬間値データから30分間の算術平均を減じた値とし、水蒸気量変動に対しては密度補正（Webb *et al.*, 1980）を行って、鉛直風速-水蒸気変動のコスペクトル $C_{wq}(f)$ を算出した。そのうえで、Massman (2000) に基づく補正関数 $TF(f)$ を用いて、出力信号を補正することとした。

$$TF(f) = \{1 + (\omega\tau_e)^2\} \cdot \{1 + (\omega\tau_\beta)^2\}^{1/2} \cdot \exp[i\{p(\tau_e) + \tan^{-1}(\omega\tau_\beta)\}] \quad (1)$$

*1 Shimizu, T.: 2-month comparative study between “improved” bandpass covariance method and open-path method for measuring water vapor flux over the forest canopy

*2 森林総合研究所九州支所 Kyushu Res. Center, For. & Forest Prod. Res. Inst., Kumamoto 860-0862

ここで、 f は周波数、 $\omega = 2\pi f$ 、 τ_e はセンサー間の距離及びパス長による補正係数の総和、 $p(\tau_e)$ は τ_e による時間遅れ関数、 τ_β は機器の応答による時間遅れ係数、 i は虚数単位である。オープンパス法では $\tau_\beta = 0$ であるため、式(1)に変数は無く測定値から $C_{wq}(f)$ が算出できる。一方バンドパス法では、応答の減衰が見られる周波数帯でオープンパス法の $C_{wq}(f)$ に一致するようにこの τ_β をパラメタライズすることになる。通風式湿度計から得られたデータには0.1Hz以上の周波数帯で実効性がほとんどない(Watanabe *et al.*, 2000)ため、 $f < 0.1\text{Hz}$ の範囲では $TF(f)$ を乗じて補正を行い、 $f \geq 0.1\text{Hz}$ では $C_{wT}(f)$ を参照して補完を行う。これらをまとめると、改良バンドパス法による λE 値は以下のように計算される。なお、添え字 Band はバンドパス法を表す。

$$\lambda E_{\text{Band}} = TF(f) \cdot \sum_{f < 0.1} f C_{wq\text{Band}}(f) \cdot (1 + \sum_{f \geq 0.1} f C_{wT}(f) / \sum_{f \geq 0.1} f C_{wq}(f))$$

以上に基づき、期間1のデータを用いて決定した τ_β を期間2・期間3に適用したときに、改良バンドパス法で算出した λE がオープンパス法による算出値をどの程度再現できるかを比較した。

Ⅲ. 結果と考察

期間1のなかで $C_{wq}(f)$ の低周波成分が比較的安定している時間帯のデータを抽出して0.005Hz - 0.1Hzの範囲で $C_{wq}(f)$ の比較を行い、 $\tau_\beta = 3.172$ を得た。

次に期間1で得た $\tau_\beta (=3.172)$ を期間2・期間3の改良バンドパス法に適用して、得られた λE についてオープンパス法による算出値と比較を行った(図-1:●プロット)。時間を経るに従ってオープンパス法の λE 値を再現する精度は若干低下したが、その傾向は顕著ではなかった。また、 $f > 0.005\text{Hz}$ の全範囲で $C_{wT}(f)$ を参照する従来のバンドパス法(図-1:○プロット)と比較しても、改良バンドパス法で算出した λE の方が、オープンパス法による算出値とよく一致する傾向が継続することが分かった。測定期間中は台風による断続的な停電が頻発し、機器も断続的に風雨に曝されていた。このような環境にも関わらず、比較可能な期間では改良バンドパス法による λE 値は一定の精度を保持していたといえる。

Ⅳ. まとめ

スギ・ヒノキ人工林樹冠上でオープンパスアナライザー及び通風式湿度計を用いた並行観測を行い、オープンパス法・改良バンドパス法による水蒸気フラックス(λE)算出値を比較した。その結果、2ヶ月間ではオープンパス法に対するバンドパス法の精度の顕著な低下は見られず、概ね2ヶ月程度の間隔でオープンパス法との比較を行っておけば、改良バンドパス法による λE 値は相応の精度を維持しうることが示唆された。

引用文献

Kaimal, J. C. and Finnigan, J. J. (1994) Atmospheric boundary layer flows: their structure and measurement, Oxford Univ. Press, New York, 289 p.

Kumagai, T. *et al.* (2004) Agr. For. Met.: Submitted.
Massman, W. J. (2000) Agr. For. Met. 104: 185-198.
Shimizu, A. *et al.* (2003) Hydrol. Proc. 17: 3125-3139.
Shimizu, T. *et al.* (1999) Boundary-L. Met. 93: 227-236.
Watanabe, T. *et al.* (2000) Boundary-L. Met. 96: 473-491.
Webb, E. *et al.* (1980) Q. J. R. Met. Soc. 106: 85-100.

(2004年11月9日 受付; 2004年11月29日 受理)

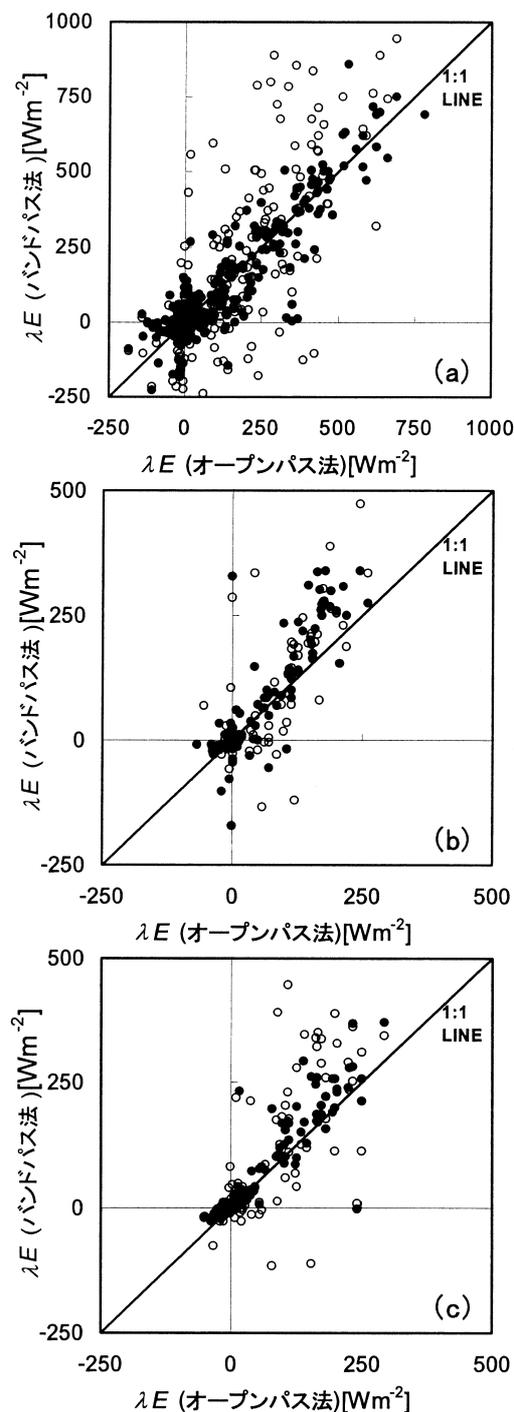


図-1. オープンパス法とバンドパス法のIE算出値の比較
●は改良バンドパス法, ○は従来のバンドパス法を表す
(a): 期間1(8月), (b): 期間2(9月), (c): 期間3(10月)