

山地森林流域における大気への鉛直輸送量の観測^{*1}

— 大型気象観測塔での観測の概要 —

清水 貴範^{*2} ・ 清水 晃^{*2} ・ 宮縁 育夫^{*2} ・ 小川 泰浩^{*2}

1. はじめに

森林-大気間の熱や水蒸気・二酸化炭素(CO₂)などの微量気体の交換量を観測することで得られるデータは、森林が地域の気象環境に及ぼす影響を評価するうえでも、地球温暖化などの大規模な気候変動に対する予測値を与えるうえでも、重要な意義がある。しかし、山地森林でこのような観測を行っている例は未だ少なく、暖温帯の人工林を対象にした観測例となると更に少ない。そこで森林総合研究所九州支所では、暖温帯のスギ・ヒノキ林である鹿北流域試験地に、地上高50mの大型気象観測塔を設置し、それをを用いた気象観測を1999年4月より開始した。本研究では観測の概要とともに、取得したデータの一部を整理・解析した結果を報告する。

II. 観測の概要

観測地である鹿北流域試験地とは、互いに近接する3つの小流域の総称で、1992年から雨量・流量の観測を開始している。また、「3号流域」と名付けた流域では、並行して高さ20mの観測塔を用いて純放射量・温湿度勾配などの計測を行ってきた(1)。今回、大型観測塔を設置したのは、3号流域に隣接する2号流域の標高165m地点である(図-1)。観測地は起伏のある山地で、主要な樹種は谷筋でスギ、尾根付近ではヒノキとともに広葉樹が繁茂している。谷沿いのスギは成長が良く、樹高は30mに達する。観測機器は樹冠上に配され(表-1)、森林-大気間の気温・風速・CO₂の変動値を測定し、鉛直輸送量の算出を行うとともに、放射量や温湿度・風速の勾配など、観測地点の森林における基礎的な気象要素の測定を行っている。

III. 取得データの解析方法及び結果

(1) 解析期間と基礎データの概観

大型観測塔を用いた気象観測は、いくつかの観測機器の交換や観測項目を付加しながら1999年4月から現在ま

で継続している。本研究では、観測初期の4月21日午後～28日午前のデータについて整理・解析した結果を用いて、考察を行った。解析期間は22日夜半～23日未明にかけて計6.5mmの雨が記録されたほかは、概ね曇天の期間前半と晴天の期間後半に分けられる(図-2)。日射の反射率(アルベド)は南中時に0.07程度であり、針葉樹林での既存の観測結果と概ね一致する。晴天日には気温の日較差は11℃～17℃と大きく、風速は昼に大きくなる傾向が明瞭である(図-3)。

(2) 熱・CO₂の鉛直輸送量算出

温度勾配による熱の輸送量である顕熱フラックス(以下、H:単位はW・m⁻²)と森林と大気のCO₂交換量であるCO₂フラックス(以下FC:単位はmg・m⁻²・s⁻¹)値は、観測塔頂上に設置した超音波風速温度計(Kaijo DA-600/プローブ:TR-61C)と、CO₂変動計(Kaijo KCO-100)のデータを基に算出される。鉛直風速w(m・s⁻¹)・気温T(K)・CO₂濃度C(kg・m⁻³)の平均量からの変動値(観測値と平均量との差)をそれぞれw'・T'・C'とすると、H, FCは

$$H = \rho c_p \langle w'T' \rangle, \quad FC = \langle w'C' \rangle$$

と表される。ここでρは空気密度(kg・m⁻³)、c_pは空気の比熱(J・kg⁻¹・K⁻¹)、<>は時間平均値を表す。ただし、FCに関しては温度や水蒸気量の変動による空気密度変動が無視できないため(2),

$$FC = \langle w'C' \rangle + 0.622(E/\rho) \cdot C/\rho + (1 + 0.622q/\rho) \langle w'T' \rangle \cdot C/T$$

と計算される。ここでqは水蒸気密度(kg・m⁻³)、Eは水蒸気フラックスで、ここでは便宜的に純放射量からHを差し引いた値に基づいて算出している。

観測に用いた超音波風速温度計に関しては、以下のような風速補正式が考案されている(3)。フラックス算出の際には補正した風速を使用した。

$$U_m/U_i = 1 - 0.233U_m^{-0.202} \exp(-15.5\sin^2\theta)$$

ここでU_mは観測風速、U_iは補正された風速、θは超音波風速温度計のプローブと風向とがなす角である。

また、地形傾斜のある山地森林では、風の吹き上げ・吹

^{*1} Shimizu, T., Shimizu, A., Miyabuchi, Y., and Ogawa, Y. : Measurement of turbulence exchange of a hilly forest watershed with the atmosphere — Site description and methods of analyses —

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

き下ろしの影響を考慮して、平均鉛直風速が0となるような仮の鉛直軸に沿ってフラックスを計算する方法が用いられる(4)。本研究では、時々刻々変化する風向に対応するために、以下の要領で算出されたフィルタ値 K_i をその瞬間の平均量として扱うこととした。 Δ_i 秒の間隔でデータを取得する際(今回の観測では $\Delta_i = 0.1$ 秒)、 $[K_i]$ を観測値、 K_{i-1} を Δ_i 秒前のフィルタ値とすると、観測時のフィルタ値 K_i は

$$K_i = \alpha K_{i-1} + (1 - \alpha) [K_i]$$

$$\alpha = -\exp(-C/\Delta_i)$$

と表される(4)。ここでCはフィルタ時定数であり、本研究の解析では $C = 100$ を用いている。上式でKとして風速の三成分(x・y・z軸方向風速)をおき、各々の瞬間で平均鉛直風速が0になるような仮の鉛直軸方向を算出し、フラックスの計算を行った。

以上のような手順を経て算出されたH、FCを図-4に示す。H、FCはそれぞれ10分毎に算出された値を1時間で平均して表している。解析期間後半3日間の晴天日では、H、FCともに、風が比較的強い日に輸送量が大きくなっている。FCはHと正反対の日変動をし、大気から森林樹冠に向かって、 CO_2 が吸収されている様子が分かる。ピーク時の吸収量が $1mg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ を大きく超える日もあり、晴天時には観測地での森林-大気間の CO_2 交換が盛んであったことが示唆されている。

IV.まとめ

暖温帯の山地に存する人工林で、大型気象観測塔を用

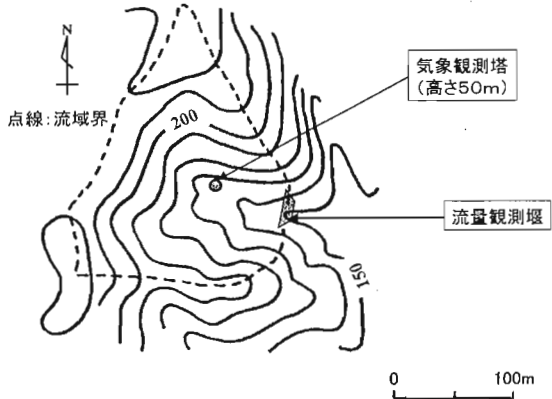


図-1 鹿北流域試験地2号流域 地形図

表-1 観測機器の配置

観測機器	設置高度
超音波風速温度計	51.1 m
二酸化炭素変動計	51.1 m
気圧計	50.8 m
放射収支計	47.2 m
アルベドメータ	47.2 m
通風乾湿計(バイサラ式)	51.4 m, 45.6 m
通風乾湿計(白金線式)	39.5 m, 33.7 m
三杯式風速計	45.7 m, 41.7 m
	37.7 m, 33.7 m

いて観測を継続している。今後は気象観測と流量観測による損失量の比較をはじめ、各観測項目でクロスチェックを行って観測精度を向上させるとともに、長期に渡って安定してデータを取得・解析できるよう整備を行ってきたい。

引用文献

- (1) 清水 晃ほか：日林九支研論, 47, 225~226, 1994
- (2) 山本 晋ほか：資源と環境, 5-5, 261~271, 1996
- (3) Shimizu, T. et al. : Boundary-Layer Meteorol., 93, 227~236, 1999
- (4) McMillen, R., T.:Boundary-Layer Meteorol., 43, 231~245, 1988

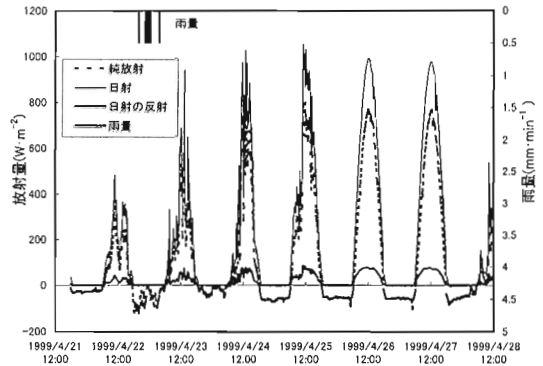


図-2 解析期間の放射量・雨量

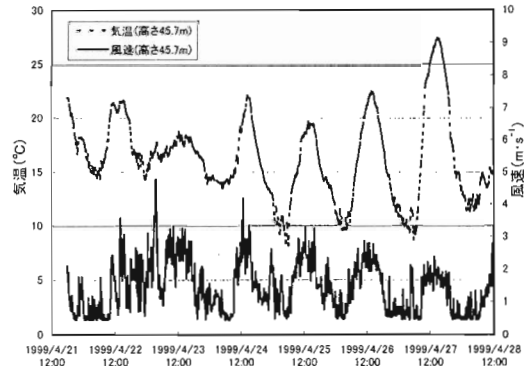


図-3 解析期間の気温と風速の推移

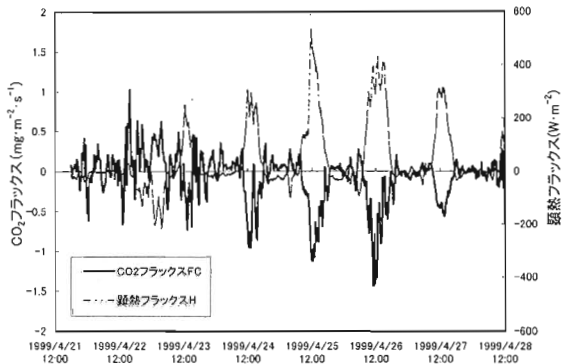


図-4 解析期間の顕熱・CO₂フラックス