不均一地表面において Monin-Obukhov 相似則が成立する条件の解析

東北大学大学院工学研究科	学生会員	〇 近 将史
東北大学大学院環境科学研究科	正会員	小森 大輔
東北大学大学院工学研究科	学生会員	坂井 七海
University of Phayao, School of Energy and Environment	非会員	SUWANNAPAT Pimsiri
農業環境変動研究センター	非会員	金元植

1. 序論

大気・水循環システムの研究の進展には、大気と地表 面との間で交換される顕熱・潜熱・CO2の正確な輸送 量の測定が必要である.これらフラックスの観測手法 は Monin-Obukhov 相似則(=均一地表面上にて乱流状 態にある風速や気温の各種統計量はすべて同じように 表されるという相似則; Monin and Obukhov, 1954)を始 めとした大気乱流理論を基に発展を遂げている¹⁾.現在 最も広く用いられているフラックスの観測手法として 渦相関法が挙げられる.しかし、この手法は対象領域に 建てた観測塔の1点で測定した乱流データに基づいて フラックスを算出するため、均一で定常な接地層内

(Monin-Obukhov 相似則が成立する領域)でなければ利 用できない. そのため,現代に至るまでフラックスに関 する研究のほぼ全ては均一地表面上に限定されてきた.

均一地表面上でのフラックスの誤差に関する研究と して、Foken らによる統計学的アプローチに基づくフラ ックスデータの定量的な品質管理する手法の研究が挙 げられる²⁾. また、不均一地表面上でのフラックスの動 態に関する研究としては、Kim らによる研究が挙げら れる. Kim らはフラックスの fractional uncertainty **の**最



図-1 研究対象地域

小値を求め、フラックスの fractional uncertainty とこの 最小値の差が地表面の不均一性に関係する可能性を示 した³⁾. いずれもフラックスの測定値に生じる誤差に関 する研究であるが、どの程度地表面が均一であれば Monin-Obukhov の相似則が成立するかといった議論は されてこなかった. そこで本研究では、不均一地表面に おいて Monin-Obukhov の相似則の成立するデータを抽 出し、その大気の状態について解析を試みた.

2. 対象地域とデータ

対象地域はタイ王国の Tak 県に建設された観測塔 (北緯 16°56'390 東経 99°25'793) とその周囲であ る(図-1). 観測高度は 100m で,平均風速の時 50%の 寄与率を持つフェッチが風上方向に 5km 程度に広がる. 対象地域の多くを畑・水田・落葉樹が占め(土地利用比 率,:常緑樹 33%,落葉樹:32%,畑:34%,裸地:1%), それぞれが混在した地形となっている.データは 2010 年の 5/1~5/3 の 3 日間のものを使用した.データの観測 頻度は 10Hz である.

3. 手法

Monin-Obukhov の相似則によると,接地層におけるあ る統計量 F は,摩擦速度,摩擦温度,Monin-Obukhov の 長さの 3 つの基本スケールから次元解析して得られた F と同じ次元を持つ F*によって F=F*× $\Phi_F(z/L)$ と表さ れる.このとき, Φ_F を普遍関数と呼び,Monin-Obukhov の相似則の検証は Φ_F の観測によって行うことが出来る. 普遍関数の形は既往研究より経験的な手法で求めら れており,これと本研究の対象領域での普遍関数の観 測値を比較しMonin-Obukhovの相似則の成立の確認を

行った.本研究では運動量の普遍関数である Φ m を Monin-Obukhov 相似則検証に用いた.普遍関数の理論値

キーワード モニンオブコフの相似則 不均一地表面 渦相関法連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 TEL:022-795-7459





図-3 安定度ごとの(ζ=z/L)抽出データ数出現頻度





Φm,tは Businger (1971)の式に習い以下の(1), (2)式を 採用した⁴⁾.

 $\Phi m, t = (1 - 15\zeta)^{-1/4} (\zeta < 0) \tag{1}$

$$\Phi m, t = 1 + 4.7\zeta \ (\zeta \ge 0) \tag{2}$$

ここで、 $\zeta = z/L$ で、zは観測高さ、Lはオブコフの長さである.また普遍関数の観測値 Φ m,o は以下の(3)式を用いて算出した.

$$\Phi m, o = \frac{kz}{u*} \frac{\partial \overline{U}}{\partial z}$$
(3)

ここで^一は平均を表し,k:カルマン定数(0.4),u*:摩 擦速度,U:風速である.普遍関数の理論値と観測値を

算出後,それらの一致度を測るため|Φm,o−Φm,t|の値

(以下, δとする.)を算出した.

4. 結果

δに関してヒストグラムを図-2に示す. δが1まで に総データ数の 47.0%が存在し、1以上のデータの出現 頻度が極端に下がるという特徴が見られる.全体とし てδは非常に高い値まで広く分布し,普遍関数の理論 値と観測値で乖離の激しいデータが多くみられた.

次に、得られた抽出データについて、安定度 $\zeta = z/L$ ご との出現頻度を図3に示す.全データでは安定度中立 のデータが最頻であり、次いで不安定よりのデータの 出現頻度が多かった. δ を0から0.5まで0.1ずつ刻み、 Monin-Obukhov 相似則との乖離に従って、 ζ ごとの抽出 データ数の出現頻度がどう変化するか示した.中立、安 定状態の抽出データ数はほぼ同じであったが、不安定 よりのデータはほぼ出現しない事が示された.

次に時間帯別の抽出データの出現頻度について図 4 に示した.対象地域のデータ取得時の日照時間はおよ そ 06:00~18:40 であり,昼間に比べ夜間のデータ出現 頻度が高いことが分かる.これにより図 3 の δ による 出現頻度について安定よりのデータの抽出割合高く, 安定よりのデータの方が Monin-Obukhov 相似則が成立 するケースが多いことの説明が出来る.これは,夜間の 風速が小さく安定度の高いデータが多く抽出されるた め,観測データが観測塔に近いフェッチの影響を受け たことが原因と考えられる.この観測塔の近辺に限定 して考えると,土地利用のほとんどが畑とでありフェ ッチは均一場に近いと考えられる.

5. まとめ

本研究における対象地域ではδが1以下のデータの 出現頻度が高く全データの47.0%存在することが示さ れた.また,夜間の風速の弱く安定度の高いデータが多 く抽出されていたことから観測塔近辺の均一場に近い フェッチの影響を良く受けていたことが示された.

謝辞

本研究は,科学研究費補助金(15K20858,代表:小森大 輔)の助成を受けたものである.ここに謝意を示します.

参考文献

- Monin, A.S. and Obukhov, A.M.; Basic Laws of Turbulent Mixing in the Surface Layer of the Atmosphere. Contrib. Geophys. Inst. Acad. Sci. USSR, 24, P163-187, 1954
- Foken; Tools for quality assessment of surface-based flux measurements: Agricultural and Forest Meteorology Volume 78, Issues 1–2, P83–105, 1996
- Wonsik KIM, Daisuke KOMORI, Jaeil CHO: The characteristic of fractional uncertainty on eddy covariance measurement: 農業気象 Vol. 67, No. 3 P 163-171, 2011
- J.A. Businger,: Flux-Profile Relationship in the Atmospheric Surface Layey, Journal of the atmospheric sciences, Volume 28,P181 -189, 1971