乱流フラックスデータの不確実性の定量化とデータ品質評価

東北大学大学院環境科学研究科　正 会 員　○小森　大輔
農業環境技術研究所　金　元植

１．はじめに

近年，数多くの研究領域から地表面での顕熱，潜熱，CO_2のフラックス（H，lE，Fc） の時空間データが求められており，測定されたフラックス値の品質評価とともに不確実性の評価が求められている（Raupach et al., 2005）．渦相関法はこれらフラックスの測定によく用いられる測定法であり，Kim et al. (2009)にて，フラックスの相対不確実性（Fractional uncertainty, T）は、時系列の自己相関特性を用いた積分スケール（Integral time scale）から求められ，この非定常性が ε として定量化されている。

そこで本研究では，異なる地表面状態および季節に渦相関法で観測されたフラックス値の品質評価と不確実性の評価を行った．

２．研究手法

タイ北部タク県にて，均一地表面であるキャッサバ畑に設置されたフラックス観測サイト（CTT: 16°54’N, 99°25’E, 129 m asl）において，乱流フラックスの品質評価（QC/QA）および不確実性の評価（Fractional uncertainty）を行った．解析対象期間は，乾期として 2012 年 4 月 2～10 日，雨期として同年 9 月 6～17 日とした．

QC/QA には乱流の定常性（SS）および積分乱流特性（ITC）を用いた．SS は風上方向に十分一様な領域が確保できているかなどの指標で，観測周期で算出した共分散（例えば 60 分）と観測周期を等分割した周期で算出した共分散の積算した値（例えば 6 分割で 10 分毎）から算出する．ITC は SS と共によく用いられる指標で（Kaimal and Finnigan, 1994），以下のように定義される：

$$\frac{\sigma_w}{u_*} = a_1\left[\left(z/L\right)\right]^{b_1}, \qquad (1)$$

ここで，a_i，b_i は Foken et al.（2004）によって安定度によって定義されている．これらの結果から表 1（Foken et al., 2004）に基づき，本地点において測定された乱流フラックスの QC/QA を行った．

Kim et al.（2009）が提案した Fractional uncertainty は，フラックスデータの不確実性を定量化した指標として以下のように定義される：

$$T = (\delta_r + \delta_s + \delta_i)/|F|, \quad (2)$$

ここで，F はフラックス値，δ_r，δ_s，δ_iはそれぞれ偶然誤差，系統誤差，過失誤差である．もしδ_sが 0 で，δ_rが$|F|$と線形関係（$\delta_r = \phi_r|F|$）が成り立つと仮定したとき，式（2）は$|F|$の関数とみなせ，以下のように変換される：

$$T = \frac{\phi_r|F| + \delta_i}{|F|}. \qquad (3)$$

本研究では，F と T を Leuning（2004）と Finkelstein and Sims（2001）の手法を用いて算出した．詳細は Kim et al.（2009）を参照いただきたい．

表 1　定常性（SS）および積分乱流特性（ITC）に基づく乱流フラックスデータ品質評価（QC/QA）判定表

FQF	SS	ITC	SS & ITC tests	
			Class	Difference (%)
1	1	1-2	1	0-15
2	2		2	16-30
3	1-2	3-4	3	31-50
4	3-4	1-2	4	51-75
5	1-4	3-5	5	76-100
6	5	≤5	6	101-250
7	≤6	≤6	7	251-500
8	≤8	≤8	8	501-1000
9	9		9	>1000

３．結果

紙面の都合により，CTT の雨季の図のみ図 1 に示

キーワード：渦相関法　不確実性　品質評価

東北大学大学院工学研究科水環境システム学研究室（宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06）

す． T < 0.1 にて QC/QA で最良と判定されたデータ比率（FQFs 1-3）はほぼ 100 %であり，除外と判定されたデータ比率（FQF > 7）は 0 %であった．これらの結果から，低い T 値は QC/QA の評価と一致することがわかった． 次に，QC/QA で包含と判定されたデータ（FQFs 1-6）は， T < 0.2 で 50 %， T < 0.3 で 60 %， T < 0.4 で 71～85 %であった．すなわち，QC/QA で包含と判定されたフラックスデータの 10 %は 20–30 %の不確実性を有し，また，残りのデータは 30 %以上の不確実性を有し，フラックスデータとして信頼できないことを意味する．

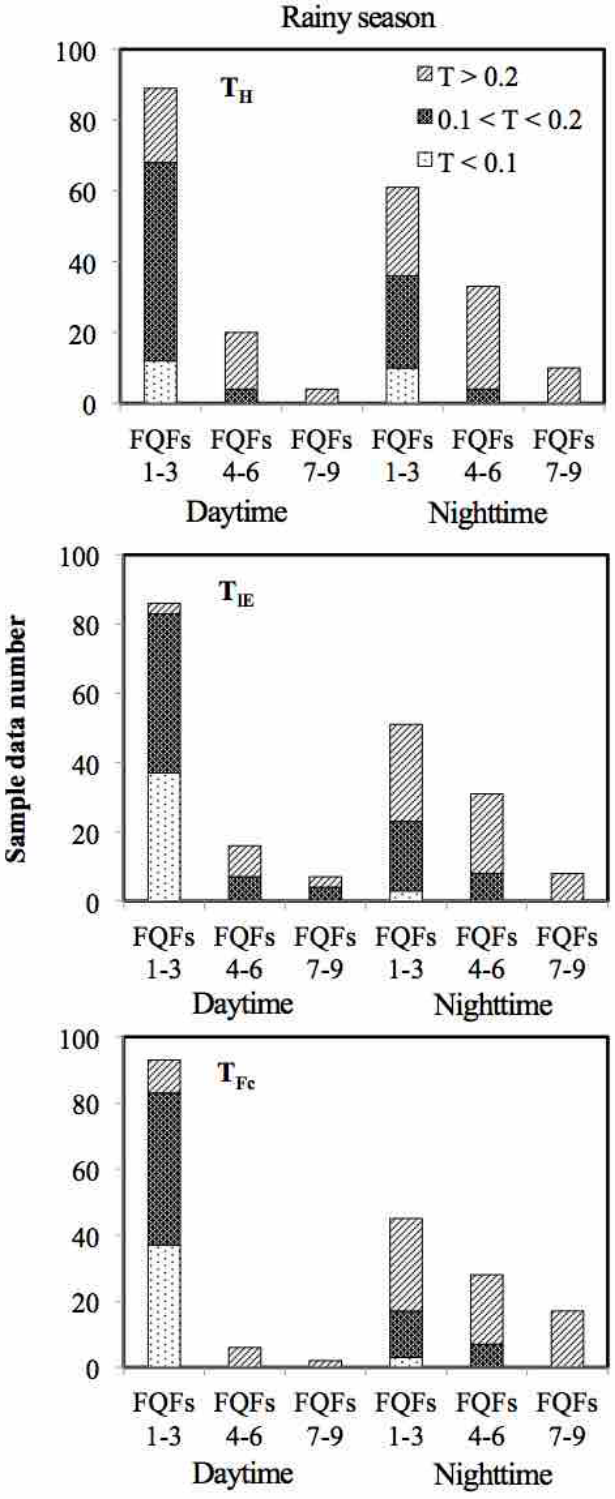

図 1 CTT の雨季における Fractional uncertainty および QC/QA 評価の比較

５．まとめ

本研究によって，Fractional uncertainty は定常性および積分乱流特性と関係があることが確認された．

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．

参考文献

1） Raupach, M. R., Rayner, P. J., Barrett, D. J., Defries, R. S., Heimann, M., Ojima, D. S., Quegan, S., and Schmullius, C. C., 2005: Model-data synthesis in terrestrial carbon observation: methods, data requirements, and data uncertainty specifications. *Glob. Chang. Biol.,* **11**, 378–397.

2） Kim, W., Komori, D. and Cho, J., 2009. The characteristic of relative error in eddy covariance measurements and its application to data quality control in rainfed paddy field. Journal of Agricultural Meteorology, 65: 201–207, doi: 10.2480/agrmet.65.2.11.

3） Kaimal, J. C. and Finnigan, J. J., 1994. Atmospheric boundary layer flows, Their structure and measurement. Oxford University Press, New York, US; 289.

4） Foken T., G. Mathias, Mauder M., Mahrt L., Amiro B., Munger W., 2004. Stationarity, homogeneity, and ergodicity in canopy turbulence. In Handbook of Micrometeorology, X. Lee, W. Massman, and B. Law (eds.). Kluwer Academic Publishers, The Netherlands; 181-208.

5） Leuning, R., 2004. Measurements of trace gas fluxes in theatmosphere using eddy covariance: WPL corrections revisited. In Handbook of Micrometeorology, X. Lee, W. Massman, and B. Law (eds.). Kluwer Academic Publishers, The Netherlands; 119-132.

6） Finkelstein, P. L. and Sims, P. F., 2001. Sampling error in eddy correlation flux measurements. J. Geophys. Res. 106: 3503–3509, doi: 10.1029/2000JD900731.