

不均一地表面における顕熱・潜熱・CO₂ フラックスの動態解析

東北大学工学部	学生会員	○ 近 将史
東北大学大学院環境科学研究科	正会員	小森 大輔
東北大学大学院環境科学研究科	学生会員	SRITAWAN Ananya
東北大学大学院環境科学研究科	学生会員	SUWANNAPAT Pimsiri
東北大学工学部	学生会員	坂井 七海

1. はじめに

大気・水循環システムの研究の進展には地表面から放出される顕熱・潜熱・CO₂ フラックスの正確な測定が必要であるが、その代表的な測定方法である渦相関法は不均一地表面上で使用できないという制約がある。既往研究により、フラックスの変動係数が地表面の不均一性を示す可能性が提案されたが¹⁾、未だ検証されていない。そこで、不均一地表面を対象領域としたフラックスの観測サイトにて観測されたデータを用いて、フラックスの変動係数と衛星観測から分類した対象領域の土地利用との関係を解析した。

2. 対象地域とデータ

対象地域はタイ王国の Tak に建設されたフラックスタワー(北緯 16° 56'390 東経 99° 25'793)とその周囲である(図-1)。赤い円は平均風速の場合におけるフェッチ(フラックスに影響を与える領域)の 50%を意味する。対象地域の多くを畑・水田・落葉樹が占め、それぞれが混在した地形となっている。使用したデータはそれぞれ 2004-2010 年のフラックスタワーで観測した乱流データと、MODIS の衛星観測データである。乱流データは 10Hz の頻度で観測されている²⁾。

3.1 渦相関法の原理

渦相関法とは乱流によって輸送される熱や CO₂ などの乱流気体のフラックスの測定方法であり、1954 年に発見された Monin-Obkhov の相似則を元に開発されている。この Monin-Obkhov の相似則により、定常で均一な接地層内であれば鉛直フラックスは任意の位置で一定になることが示され、その後のフラックスの測定に関わる機器の技術的な向上を経て実用的な段階へと至った³⁾。

ここで、求める鉛直フラックス F_c は鉛直風速 w 、乱流気体の濃度 c を用いて以下の式で表せことが出来る⁴⁾。

$$F_c = \overline{wc} \quad (1)$$

ここで $\overline{\quad}$ は平均を意味する。式(1)をレイノルズ分解を適用し、対象領域が乱流場であることから平均化時間 0.5-1 時間における鉛直風速の平均が 0 であると仮定すると式(1)は式(2)の通りに書き直すことが出来る。

$$F \approx \overline{w'c'} \quad (2)$$

ここで $'$ は偏差を意味する。すなわち、渦相関法は鉛直風速と濃度の共分散からフラックスを求めることの出来る直接的なフラックス測定法といえる。

3.2 フラックスの変動係数

土地利用の不均一度とフラックスの変動係数を比較するため、土地利用がフラックスの観測値に与える影響を定量化する必要がある。一般的に、観測値に生じる誤差は偶然誤差、系統誤差、過失誤差の 3 種類に分けられる。地表面の不均一さが与える誤差は過失誤差

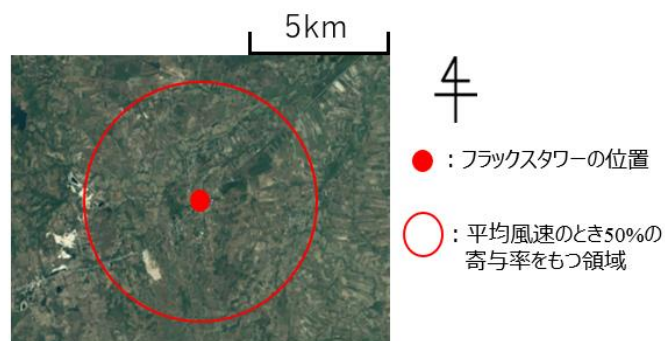


図-1 研究対象地域

キーワード 渦相関法 モニンオブコフの相似則 接地層

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

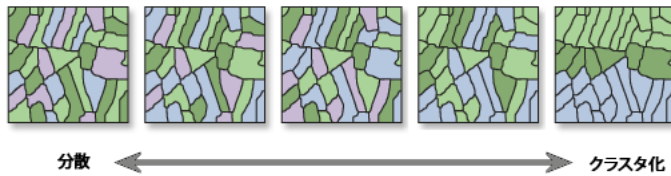


図-2 土地利用の分散とクラスタ化
(ArcGIS-高/低クラスター分析より引用)

に起因すると考えられる．ここで Q は真値， $E\{q\}$ は観測値の期待値， δ_r ， δ_s ， δ_i はそれぞれ偶然誤差，系統誤差，過失誤差を表す．3 種類の誤差のうち，偶然誤差は以下の式(3)で表され，その大きさも 0.07 に収束することが既往研究で明らかにされている¹⁵⁾．

$$\delta_r = \sqrt{\text{Var}\{q\}} \quad (3)$$

また系統誤差は同じ条件の測定の場合，常に同じ値発生するので，除去することが出来る．

$$\delta_s = E\{q\} - Q \quad (4)$$

本件急では，機器校正などの精密な観測を実施していることにより系統誤差は 0 とした．誤差をフラックスの絶対値で除したものをフラックスの変動係数とし，値が最小に近いものを土地利用の影響のみが現れた変動係数 ϕ とした．

$$\delta = \delta_r + \delta_i \quad \because \delta_s = 0 \quad (5)$$

$$\phi = \frac{\delta}{|F|} \quad (6)$$

3.3 土地利用の分類

対象領域の土地利用の分類を行うため，MODIS の Ch1(RED)と Ch2(NIR)のデータから式(7)を用いて，NDVI 値(植生指数)を算出した．次に，得られた NDVI 値の年間変化の特徴から土地利用を分類した⁶⁾．

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (7)$$

NIR は近赤外の反射率，RED は赤外の反射率を表す．得られた NDVI 値の年間変化の特徴から土地利用を分類した．対象地域の多くが農地であるため対象地域の土地利用の変化にかかる時間のオーダーは農耕と同じ 1 年スケールとした．土地利用図を 2003 年から 2010 年の 8 年分作成した．その後，対象領域のばらつきを

表-1 CO2 フラックスの変動係数の

1 - 3 月の最小値

CO2フラックスの変動係数▼	1月▼	2月▼	3月▼
1番	0.116	0.119	0.123
2番	0.157	0.124	0.126
3番	0.16	0.127	0.128

評価するため，土地利用の分散とクラスタ化の指数を K 関数法を用いて算出した．ここで算出した K 値が小さいほど土地利用の分布がよくばらついていることを意味し，大きいほど良くまとまっていることを意味する(図-2)．

4. 結果

4.1 フラックスの観測結果

表 1 に CO2 フラックスの変動係数を小さいものから順にまとめた．偶然誤差の大きさは 0.07 と既往研究により明らかになっている¹⁾．表の値はそれより小さな値を取ることはなく，0.07 に良く近づいた値を取った．1-3 月の風速の平均値が 2.06m/s であるのに対し，表 1 の場合の風速の平均は 6.28m/s と平均を大きく上回る結果となった．これは風速が大きくフェッチが十分に大きい場合，土地利用のばらつきが主要なフラックスの変動の要因として現れていることを示唆している．

参考文献

- 1) Wonsik KIM, Daisuke KOMORI, Jaeil CHO: The characteristic of fractional uncertainty on eddy covariance measurement, Boundary-Layer Meteorology (2006) 119: 431-447
- 2) Wonsik Kim, Daisuke Komori, Jaeil Cho, Shinjiro Kanae Taikan Oki : Long-term analysis of evapotranspiration over a diverse land use area in northern Thailand, Hydrological Research Letters 8(1), 45-50 (2014)
- 3) THOMAS FOKEN: 50 YEARS OF THE MONIN-OBUKHOV SIMILARITY THEORY, Boundary-Layer Meteorology (2006) 119: 431-447
- 4) G. Burba, D. AndersonA :Brief Practical Guide to Eddy Covariance FluxMeasurements
- 5) Bendat and Piersol,“Random Data, Analysis and Measurement Procedures,” 3rd Edition, Wiley, New York, 2000.
- 6) 永山 透:MODIS データを用いた NDVI データ作成のための調査研究 (第 4 年次)