

2：屋上におけるエネルギー・CO₂交換量の評価

担当：植山雅仁
実習場所：B11棟・238号室

1. 実習の目的

大気―陸面間のフラックスの一般的なデータ処理方法を学ぶと共に、計測したフラックスの物理的な意味を理解することを目的とする。また、計測期間中における大阪府立大学周辺のエネルギーとCO₂収支を明らかにする。

2. 熱収支の評価

2-1. 顕熱フラックス

渦相関法により評価される顕熱フラックスは以下のように表すことができる。

$$H = c_p \rho_a \overline{w'T_a'} \quad (1)$$

ここで、 c_p は空気の定圧比熱 ($1004 \text{ J K}^{-1} \text{ kg}^{-1} = 1004 \text{ W s K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$)、 ρ_a は空気の密度(kg m^{-3})、 $\overline{w'T_a'}$ は渦相関法により観測された温度フラックス($^{\circ}\text{C m s}^{-1}$)を表す。空気の密度は以下のようになり、

$$\rho_a = \frac{1.293}{1 + 0.00367 \times T_a} \quad (2)$$

ここで T_a は気温($^{\circ}\text{C}$)を表す。

【作業1】

温度フラックスから顕熱フラックスを計算せよ。

2-2. 潜熱フラックス

渦相関法により評価される温度フラックスは以下のように表すことができる。

$$LE = l \overline{w'q'} \quad (3)$$

ここで、 l は水の気化潜熱 ($2.50 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1} (\text{W s kg}^{-1}) = 2.50 \times 10^3 \text{ J g}^{-1}$)、 q は混合比(g kg^{-1})、 $\overline{w'q'}$ は渦相関法により観測された水蒸気フラックス($\text{g m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)を表す。

【作業2】

水蒸気フラックスから潜熱フラックスを計算せよ。

2-3. 密度から濃度・混合比の計算

オープンパス型分析計ではCO₂・H₂O密度が計測されている。これらの密度を以下の式を用いてCO₂濃度、H₂O混合比を計算することが出来る。

$$C_{\text{ppm}} = \frac{\rho_c / m_c}{\rho_a / m_a} \quad (4)$$

$$q = \rho_v / \rho_a \quad (5)$$

ここでC_{ppm}はCO₂濃度(ppm)、 ρ_c はCO₂密度(mg m⁻³)、 m_c はCO₂の分子量(44 g mol⁻¹)、 m_a は乾燥空気の分子量(28.966 g mol⁻¹)、 q は混合比(g kg⁻¹)、 ρ_v はH₂O密度(g m⁻³)をあらわす。

【作業3】

CO₂濃度、混合比を計算せよ。

3. CO₂フラックスと光合成・呼吸量

3-1. 陸面のCO₂収支

群落上で計測されるCO₂フラックス(F_c)は、光合成によって取り込まれる量と、呼吸によって放出される量、そして人為起源により放出される量との差である。

$$F_c = RE - GPP + A \quad (6)$$

ここで、 RE は生態系呼吸量(植物及び土壌微生物の呼吸の総和; Ecosystem Respiration)、 GPP は総一次生産量(光合成量; Gross Primary Productivity)、 A は人為起源放出(Anthropogenic Emission)を表す。負の F_c は陸面への吸収、正の F_c は陸面からの放出を表す。

3-2. 生態系呼吸量のモデル化

夜間には光合成が起らないこと、夜間は車の交通量が少ないこと、また、植物・土壌微生物の呼吸が温度に依存する事を利用して、CO₂フラックスを光合成と呼吸に分離することが出来る。呼吸の温度依存に関しては、様々な定式がなされているが、最も簡単なもので以下の式が広く使用される。

$$RE = R_{\text{ref}} \times Q_{10}^{T/10} \quad (7)$$

R_{ref} は基準温度(この場合、0°C)のときの生態系呼吸量、 Q_{10} は呼吸の温度依存係数、 T は温度(気温や地温)を表す。気温などの温度に対する生態系呼吸量を定式化しておくと、その式と日中の気温から日中の呼吸量を推定することが出来る。日中の呼吸量と観測されたCO₂フラックスから、(6)式により、日中の光合成量と人為排出量との総量を算定することができる。

【作業4】

夜間の呼吸速度と気温（或いは地表面温度）との関係式を導き、呼吸速度を評価せよ。ここでは日射量が 5 W m^{-2} 以下の時を夜間のデータとして取り扱うこととする。(7) 式の Q_{10} 及び R_{ref} を算出せよ。Excel の指数近似から得られる係数から Q_{10} を算出するには、以下の関係を用いる。

$$Q_{10}^{\frac{T}{10}} = e^{\frac{T}{10} \ln Q_{10}} \quad (8)$$

$$e^{aT} = e^{\frac{T}{10} \ln Q_{10}} \quad (9)$$

$$Q_{10} = \exp(10 \times a)$$

ここで、 a は Excel による指数関数の経験係数を表す(図1の場合は、0.0431)。

気温から推定した RE と観測された CO_2 フラックスを(6)式に代入し、 $(A - GPP)$ を算出せよ。

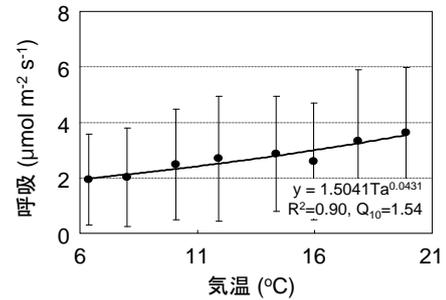


図1 夜間の CO_2 フラックスと気温の関係
(期間：2014.10.30 – 2014.11.28)

3-3. 平均日変化パターンを用いた欠測補間

フラックスや気象データは、雨天などの悪条件や測器のトラブルなどにより、欠測が生じる。観測データを用いて日平均や日積算、また年間積算値を計算するためには、これらの欠測を補完する必要がある。欠測データの補完方法には、さまざまな手法が存在するが、今回は、平均日変化法を用いた補完法を Excel で実行する手法を学ぶ。

【作業5】

測定されたデータのうち、純放射量、顕熱フラックス、潜熱フラックス、地中熱流量、 CO_2 フラックス、生態系呼吸量、 $(A - GPP)$ の平均日変化パターンを作成せよ。また、日変化パターンを使って、これらのフラックスの欠測補間を行え。

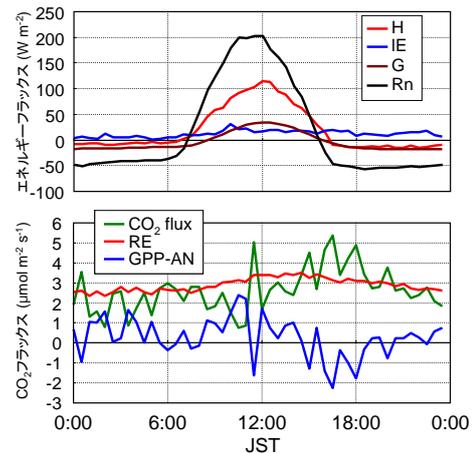


図2 フラックスの平均日変化パターン
(期間：2014.10.30 – 2014.11.28)

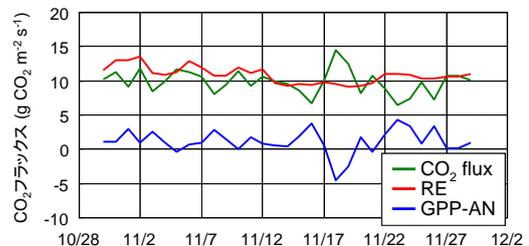


図3 CO_2 フラックス及び、フラックス積算値の季節変化

3-4. 日積算値の算出とエネルギーと CO₂ 収支の評価

【作業6】

欠測補完された 30 分値の純放射量、顕熱フラックス、潜熱フラックス、地中熱流量、CO₂ フラックス、生態系呼吸量、(A-GPP)を日積算し、それらの季節変化を示せ。この時、フラックスの単位を、($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)から($\text{g CO}_2 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$)に変換せよ。エネルギーフラックスの単位は、(W m^{-2})から($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)に変換せよ。

図3と同様のグラフを、気温、地表面温度などについて作図し、観測されたフラックスがどのような要因によって変化したかについて考察せよ。図4と同様の積算値のグラフを作成せよ。

日積算値・日平均値の計算には、Excel の OFFSET 関数を用いよ。

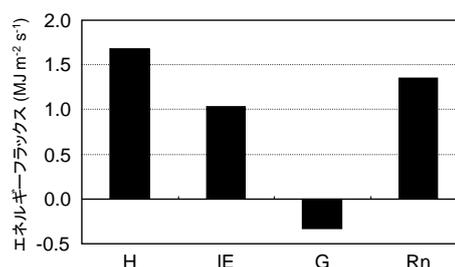


図4 エネルギーフラックスの積算値
(2014.10.30 – 2011.11.28)

4. 課題

上記の解析を図示して、結果を客観的に述べ、その結果が表すことや問題点などを考察せよ。解析については、上記以外の内容を盛り込んでもよい。レポートの最後には、この実験から得られた結果を自分なりに総括し、結論としてまとめよ。レポートの体裁は以下のようにすることが望ましい。

タイトル (自分なりに今回の実習に研究タイトルをつける)

1. はじめに (実験の目的、科学的仮説の設定など)
2. 手法
 - 2-1. 観測場所の概要
 - 2-2. 測定方法
3. 結果および考察
 - * 作業4~6の結果に関しては必須、作業1~3の結果については任意風向や曜日に分けて解析・考察してみよ。
4. 結論
5. 感想
6. 引用・参考文献

レポートの提出は、12月25日17時とする。