

## 気象条件の違いが冷温帯落葉広葉樹林における展葉後の

CO<sub>2</sub> フラックスの変動に与える影響 — 2017 年, 2018 年および 2019 年のデータ比較 —大庭流維<sup>1</sup>・小坂泉<sup>1</sup>・塩崎義彦<sup>1</sup>・牛田丞亮<sup>1</sup>・和田光<sup>1</sup>・瀧澤英紀<sup>1</sup>・阿部和時<sup>1</sup>

1 日本大学生物資源科学部

**要旨：** ブナが優占する冷温帯落葉広葉樹林において、気象条件の違いが展葉後の CO<sub>2</sub> フラックスの変動に与える影響を評価するため、3年間(2017年から2019年)において群馬県北部に位置する日本大学水上演習林で渦相関法による CO<sub>2</sub> フラックスの連続観測を実施した。その結果、2018年6月から7月の土壌含水率は、2017年および2019年のものより低かった。2019年6月から7月の日中(10~14時)の平均気温は、2017年および2018年のものより低かった。2017年6月から7月の日中における CO<sub>2</sub> フラックスは負値となったが、2018年7月下旬および2019年7月上旬のものは、正值を示すデータが多かった。CO<sub>2</sub> フラックスが正值を示した要因として、2018年7月では土壌含水率が低下したこと、2019年7月では PAR が小さく、気温が低かったことが考えられた。

**キーワード：** CO<sub>2</sub> フラックス, 気温, 土壌含水率, 渦相関法, ブナ

**Effects of different weather conditions on CO<sub>2</sub> flux after foliation  
in a cool-temperate deciduous broadleaf forest in Japan (2017–2019)**

Rui OBA<sup>1</sup>, Izumi KOSAKA<sup>1</sup>, Yoshihiko SHIOZAKI<sup>1</sup>, Josuke USHIDA<sup>1</sup>,  
Hikarui WADA<sup>1</sup>, Hideki TAKIZAWA<sup>1</sup> and Kazutoki ABE<sup>1</sup>

College of Bioresource Sciences, Nihon University, Fujisawa, Kanagawa 252-0880

**Abstract:** We investigated the effects of different weather conditions on CO<sub>2</sub> flux after foliation (June and July) in 2017, 2018, and 2019 in a cool-temperate deciduous broadleaf forest dominated by *Fagus crenata*. Continuous flux measurements were taken at a tower located on the summit of Mount Takahira (985 m a.s.l.) in the Nihon University Forest (Minakami-machi, Tone-gun, Gunma Prefecture, Japan). The daily mean volumetric soil water content was lower in 2018 than in 2017 and 2019. The midday (10:00–14:00) average temperature was lower in 2019 than in 2017 and 2018. The midday CO<sub>2</sub> flux was negative during June and July in 2017, but was positive in late July of 2018 and early July of 2019. The factors related to the positive CO<sub>2</sub> fluxes were reduced volumetric soil water content in July 2018, as well as low photosynthetically active radiation and low air temperature in July 2019.

**Key-word:** CO<sub>2</sub> flux, air temperature, volumetric soil water content, eddy covariance method, *Fagus crenata*

## I はじめに

近年、陸域生態系において占める割合が多い森林と大気間の CO<sub>2</sub> 交換量を日、季節および年毎の時間スケールで評価できる渦相関法が広く用いられている(2)。筆者らは、将来分布確率が低下することが報告されている(5)ブナ(*Fagus crenata*)が優占する冷温帯落葉広葉樹林を対象として、群馬県北部に位置する日本大学水上演習林内の最高標高地点(標高 985 m)に建設された観測塔を用いて、単位時間・単位面積あたりの CO<sub>2</sub> 吸収・放出量を精度高く測定できる渦相関法による CO<sub>2</sub> フラックスの連

続観測を実施している(6)。

朝倉ら(1)の先行研究では、降水量が多かった2017年6月から7月において大気から森林へ CO<sub>2</sub> を吸収する傾向を示したが、無降雨期間である2018年7月中旬から下旬において森林から大気へ CO<sub>2</sub> を放出する傾向を示したことを報告している。気象庁によれば2019年7月では西・東日本太平洋側の降水量は比較的多く、西・東日本の気温は平年より低くなったと報告され(3)、本試験地における2019年7月の気温は過去のものに比べ低く、日中の気温が20℃以下となる日が多かった。

そこで本研究では、気象条件の違いが本試験地における展葉後の CO<sub>2</sub>フラックスの変動特性に与える影響を明らかにするため、2019年の6月から7月において実施した渦相関法による CO<sub>2</sub>フラックスの測定データを2017年および2018年のものと比較した。

## II 材料と方法

**1. 調査地** 観測地は群馬県利根郡みなかみ町の日本大学水上演習林(36° 48' N, 139° 02' E, 標高 650-985 m)で、優占樹種はブナ(*F. crenata*)であり、その他の樹種としてミズナラ(*Quercus crispula*)などの落葉広葉樹が混在した平均樹高 15 m 程度の 50~60 年生の二次林である。測定は演習林内の高平山山頂(標高:985m)に設置された高さ 6 m の観測塔で行われた。山頂周辺の地形は斜面勾配が急な円錐形を呈し、山頂付近の樹高は 2 m 程度であるため、6 m の観測塔の上端での高さは山頂周辺にある樹木の樹高よりも高い。

**2. CO<sub>2</sub>フラックスおよび一般気象の測定** 6 m の観測塔の先端に Open-path 型ガスアナライザー(EC150, Campbell)および超音波風速温度計(CSAT3, Campbell)を

水平・東向きに設置し、10Hz で出力される 3 次元風速、気温、H<sub>2</sub>O および CO<sub>2</sub> 濃度のデータをデータロガー(CR1000, Campbell)に記録させ、渦相関法により CO<sub>2</sub>フラックスを算出した。フラックスの平均化時間は 30 分とした。詳細なフラックスの算定や解析方法については小坂ら(4)を参照されたい。

観測塔の 6 m の高さに温湿度センサー(HMP155, Vaisala)を用いて気温と湿度を計測し、観測塔の頂上に光子センサー(PQS-1, Kipp & Zonen)を設置し、全天光合成有効放射量(PAR)を計測し、10 秒毎に出力されるデータを 10 分平均した値をデータロガー(CR1000, Campbell)に記録させた。土壌含水率( $\theta$ )の計測では、TDR 土壌水分センサー(CS616, Campbell)を深度 10 cm に設置し、30 分毎の瞬間値をデータロガー(CR1000, Campbell)に記録させた。降水量は高平山山頂から北へ直線距離でおよそ 6 km 離れた藤原 AMcDAS (36° 52' N, 139° 04' E, 標高 700 m)のデータを使用した。解析期間は、2017 年、2018 年および 2019 年の 6 月 1 日から 7 月 31 日である。

## III 結果と考察

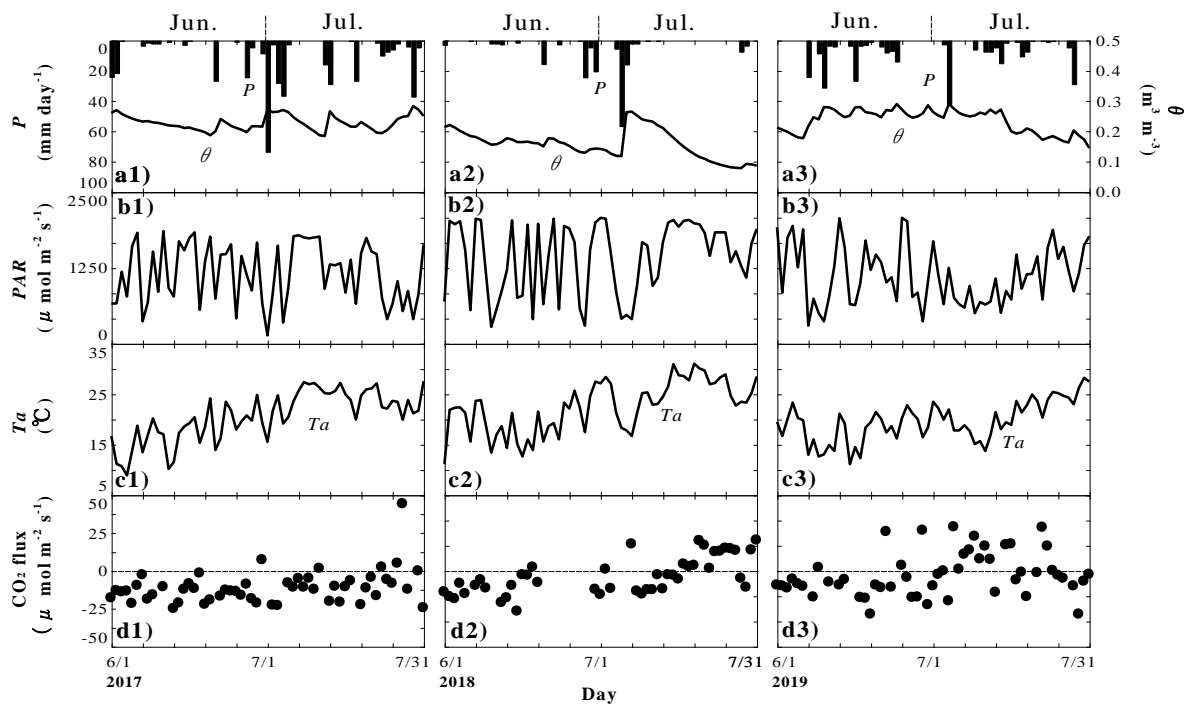


図-1. 1)2017 年、2)2018 年および 3)2019 年の 6 月から 7 月における a)日降水量( $P$ )および日平均土壌含水率( $\theta$ )、日中(10 時~14 時)平均した b)光合成有効放射量( $PAR$ )、c)気温( $Ta$ )、d)CO<sub>2</sub>フラックスの経時変化

Fig.1 Time series of (a) daily precipitation ( $P$ ; bars, left scale) and daily mean volumetric soil water content at a depth of 10 cm ( $\theta$ ; lines, right scale), (b) midday (10:00–14:00) average photosynthetically active radiation ( $PAR$ ), (c) air temperature ( $Ta$ ), and (d) CO<sub>2</sub> flux during the observation period (June and July, 2017–2019).

1. 一般気象および CO<sub>2</sub>フラックスの経時変化 図-1は、2017年、2018年および2019年の6月から7月における a) 日積算降水量(P)および日平均θ、日中(10時~14時)平均した b) PAR, c) 気温(Ta), d) CO<sub>2</sub>フラックスの経時変化を示す。

図-1 a1), a2)および a3)において、2017年、2018年および2019年の6月~7月の積算降水量は、それぞれ414.0 mm, 173.5 mm および 283.5 mm であり、2ヶ月間の降水量は2018年で最も少なかった。2017年および2019年の6月~7月のθは0.2~0.3 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>の範囲で変動し、2018年7月中旬から7月下旬にかけてθが0.1 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>以下になり、θの著しい低下がみられた(図-1 a2) 参照)。

図-1 b1), b2)および b3)において、2017年、2018年および2019年の PAR の平均値は、それぞれ 1,100, 1,500 および 1,000 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> となった。2018年の PAR は2017年および2019年のものに比べ大きく、2018年では他の年よりも晴天が多かったと考えられる。

図-1 c1), c2)および c3)において、6月の Ta については、20℃以下のデータ多く、年による違いはあまり見られないが、2017年、2018年および2019年の7月の平均気温は、それぞれ 23.8, 25.5 および 21.4℃となり、2019年で最も低かった。

図-1 d1), d2)および d3)において、日中 CO<sub>2</sub>フラックスの1日平均値を示す。2017年6月から7月にかけて、CO<sub>2</sub>フラックスは負値を示し、大気から森林へCO<sub>2</sub>を吸収していることが示された。2018年6月から7月中旬ではCO<sub>2</sub>フラックスは負値を示し、それ以降では正值となり、森林から大気へCO<sub>2</sub>を放出していることが示された。2019年におけるCO<sub>2</sub>フラックスは6月では負値を、7月では正值を示すデータが多くみられた。

2. CO<sub>2</sub>フラックスと PAR の関係 図-2は、a) 2017年、b) 2018年およびc) 2019年の6月から7月におけるCO<sub>2</sub>フラックスと PAR の関係を示す。図-2 a), b)およびc)は、それぞれ2017年、2018年および2019年のデータを示す。図-2 a), b)およびc)において、PAR が0~1,000 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>の範囲では、下向きCO<sub>2</sub>フラックスは緩やかに増加するが、PAR が1,000 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>以上では、下向きCO<sub>2</sub>フラックスの増加はあまりみられない傾向は、2017年、2018年および2019年のデータに共通していた。

図-2において、正值を示すCO<sub>2</sub>フラックスのデータは、図-2 b)の2018年では、PAR が1,500 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>以上の比較的高い場合で、図-2 c)の2019年では、PAR が1,000 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>の以下の場合で多くみられた。次節では、2018年および2019年において正值のCO<sub>2</sub>フラックスが多く示された7月のデータに着目して解析を行う。

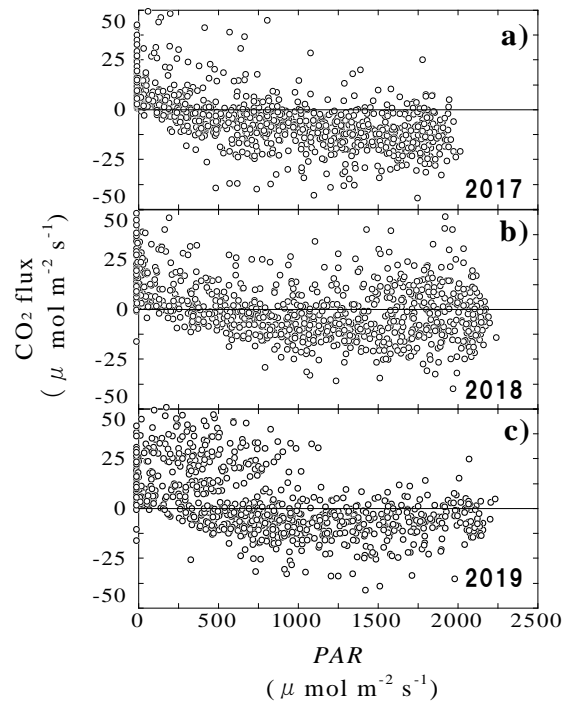


図-2. a) 2017年、b) 2018年およびc) 2019年の6月から7月におけるCO<sub>2</sub>フラックスと光合成有効放射量(PAR)の関係

Fig.2 Relationship between CO<sub>2</sub> flux and photosynthetically active radiation (PAR). Circles represent half-hourly data for June-July in (a) 2017, (b) 2018, and (c) 2019.

3. CO<sub>2</sub>フラックスと PAR および Ta の関係 図-3は、1) 2017年、2) 2018年および3) 2019年の7月の日中(10時~14時)におけるCO<sub>2</sub>フラックスと a) PAR の関係および b) Ta の関係を示し、図中の凡例をθによって色を分けて表示した。図-3 c)は、図-3 a)および b)で示された日中(10時~14時)のCO<sub>2</sub>フラックスの頻度分布図を示し、図中の凡例を気温によって色を分けて表示した。

図-3 a1), b1)においてθが0.2 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>以上、PAR が1,000 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>以上で、Ta が20℃以上の場合にはCO<sub>2</sub>フラックスが負値を示す場合が多かった。図-3 c1)で示されたCO<sub>2</sub>フラックスのデータは、Ta が20℃以下のものは少なく、全データ(n=193)の16%が正值であった。このため、日中においてPAR が比較的大きく、Ta が高く、土壌が比較的湿潤な条件では、大気から森林にCO<sub>2</sub>を吸収する傾向を示すと考えられる。

図-3 a2), b2)においてPAR が1,000 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>以上で、Ta が20℃以上で、θが0.15 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>未満である場合、正值を示すCO<sub>2</sub>フラックスのデータが多くみられた。図-3 c2)において、CO<sub>2</sub>フラックスの全データ(n=226)の56.8%

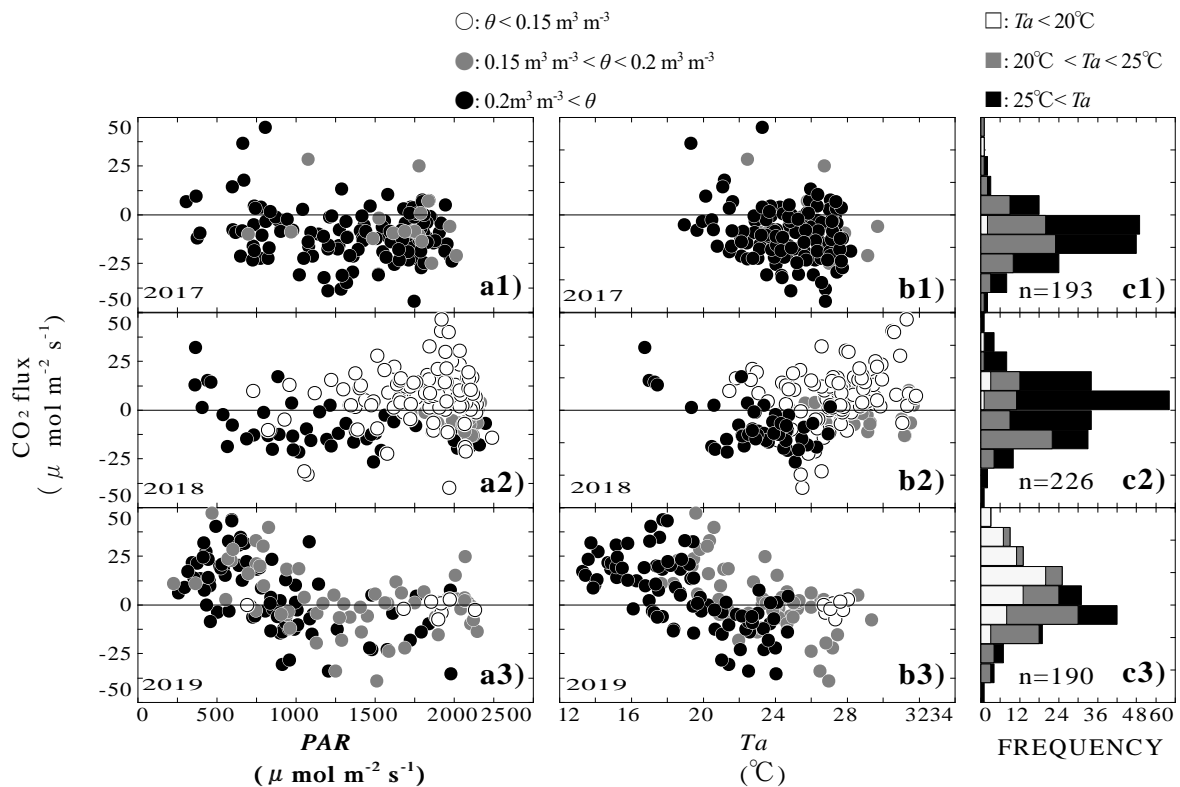


図-3. 1)2017年, 2)2018年および3)2019年の7月における日中(10時~14時)のCO<sub>2</sub>フラックスと a) 光合成有効放射量(PAR)および b)気温(Ta)の関係, c)CO<sub>2</sub>フラックスの頻度分布

Fig.3 Relationships of midday (10:00–14:00) CO<sub>2</sub> flux with (a) photosynthetically active radiation (PAR) and (b) air temperature (Ta), as well as (c) frequency distribution of CO<sub>2</sub> flux.

が正値を占め, その多くデータは Ta が 25°C以上であった。2018年7月のように, PAR が大きく, Ta が高い条件でも, 比較的長い無降雨期間により土壌が比較的乾燥する場合には, 森林から大気にCO<sub>2</sub>を放出する傾向を示す可能性が高いと考えられる。

図-3 a3), b3)において,  $\theta$  が  $0.2 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ 以上であっても, PAR が  $1000 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 以下で, Ta が 20°C以下の場合, CO<sub>2</sub>フラックスの多くのデータは正値を示した。図-3 c3)では, CO<sub>2</sub>フラックスの全データ(n=190)の 56.2%が正値を占め, その多くのデータは Ta が 20°C未満であった。このため, 土壌が比較的湿潤な条件であっても, PAR が小さく, Ta が低い場合では, 森林から大気にCO<sub>2</sub>を放出する傾向を示す可能性が高いと考えられる。

#### 引用文献

(1) 朝倉健介・小坂泉・島田悠暉・宮浦琴美・古旗果波・瀧澤英紀・阿部和時 (2019) ブナが優占する冷温帯落葉広葉樹林における春季から夏季のCO<sub>2</sub>フラックスの変動特性—2017年と2018年の比較—。関東森林研究 70(2): 印刷中

(2) Baldocchi, D. D. (2003) Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: past, present and future. Global Change Bio. 9: 479-492

(3) 気象庁. オンライン  
<https://www.jma.go.jp/jma/press/1908/01a/tenko1907.html>  
 (2019年10月31日参照)

(4)小坂泉・野中翔平・大塚羽純・関崎良美・田口裕也・清水伸大・瀧澤英紀・阿部和時 (2016) 冷温帯落葉広葉樹林における渦相関法によるフラックスの連続観測。関東森林研究 67(1): 77-80

(5) 松井哲哉・田中信行・八木橋勉・小南裕志・津山幾太郎・高橋潔 (2009) 温暖化にともなうブナ林の適域の変化予測と影響評価。地球科学 14(2): 165-174

(6) 野中翔平・小坂泉・瀧澤英紀・阿部和時 (2015) ブナが優占する冷温帯落葉広葉樹林における相対的な葉量がCO<sub>2</sub>フラックスに与える影響—2014年と2015年のデータ比較—。関東森林研究 67(1): 101-104