

冬季の沖縄県北部亜熱帯広葉樹林地域における CO₂ フラックスの地点および観測日による変動実態

酒井一人^{1,3}・仲村渠将¹・吉永安俊¹・長野敏英^{2,3}・大澤和俊^{2,3}・石田朋康^{2,3}

Variations of CO₂ flux according to observation points and days in broadleaf forest in the north part of okinawa

Kazuhito SAKAI^{1,3}, Tamotsu NAKANDAKARI¹, Anshun YOSHINAGA¹, Toshihide NAGANO^{2,3}, Kazutoshi OSAWA^{2,3} and Tomoyasu ISHIDA^{2,3}

Abstract : In this research we observed CO₂ flux, soil temperature, and soil moisture in the broadleaf forest in the northern area of Okinawa in order to identify the variance of CO₂ flux by observation point and day. We then compared the results with the values reported in previous studies. We also analyzed the particle distribution, organic matter content, and root content of gathered soils, and analyzed the relationship between these data and CO₂ flux. Moreover, we conducted indoor experiments of CO₂ flux and compared the results with those of the field observations. As a result, the following were recognized. (1) The observed CO₂ flux differed by observation point. It was suggested that because differences in soil temperature among observation points were small, its affect on CO₂ flux figures were minimal. (2) The observed CO₂ flux was smaller than these data reported in old studies due to the removal of A0 layers. (3) The increase in soil moisture is considered to have reduced CO₂ flux. (4) Relationships between CO₂ flux and particle distribution, organic matter content, and root content were not clear. (5) Soil temperature dependence of CO₂ flux was confirmed and Q₁₀ values were within the range of values reported in previous studies.

Key Words: CO₂ flux, subtropical, Q₁₀ value, forest soil, soil moisture

1. はじめに

IPCC 第4次報告(経済産業省, 2007)では, 森林関連の温暖化緩和活動は低コストで実行可能であり, 温暖化対策として森林管理が重要であることが報告されている。Eswaran et al (1993) は, 土壌中には約 1500 GtC の炭素が貯留しており, その土壌炭素のうち約 30% が熱帯地域に存在し, さらにその約 40% が森林地域に存

在すると見積もっている。また, Raich and Schlesinger (1992) は, 熱帯地域において最も土壌呼吸速度が速いことを指摘している。このことから, 熱帯多雨林における土壌呼吸の把握および制御は温室効果ガス排出抑制にとって重要であるといえる。木村・波多野 (2005a) は, 好気的環境では 25℃以上になると有機物の集積はほとんど起こらないことを述べている。沖縄県では, 月平均気温は5月~10月が, 月平均最高気温は1年中が約 25℃以上であり, 炭素固定(植物成長)は小さく, 有機物分解は大きいという状況に陥る可能性があるといえる。これまで, 日本の森林における CO₂ フラックスについての調査研究は温暖化が問題視される以前の 1970 年代から行われている(例えば, 河原 1976, 金沢ら 1976)。しかし, 沖縄県における調査は森林総合研究所 (2004a) や Ishizuka et al (2006) が全国規模で実施した研究がある程度である。

様々な地域・時間(季節など)での調査結果の蓄積は, 森林地域における CO₂ フラックスの定量的評価にとって重要であるといえる。しかし, CO₂ フラックスは, 土壌の温度, 水分, 有機物含有量, 植生など多くの要因の影響を受け(Luo and Zhou, 2006), 時間・空間的な変動が大きい。

そこで本研究では, 観測の1例として, 冬季に沖縄県北部の琉球大学与那演習林の亜熱帯広葉樹林地の沢沿いの複数の地点において, フィールド調査(CO₂ フラックス, 地温測定および土壌水分測定)を行い, CO₂ フラックスの地点間および観測日による変動実態の把握および, 既往の研究での報告との比較検討を行った。CO₂ フラックスの温度依存性はよく知られており, 指標として Q₁₀ 値(温度 10℃上昇に伴う CO₂ フラックスの変化率)がよく用いられる(木村・波多野, 2005b)。本調査では, 毎回沢地を移動しながら観測するために全地点の観測に十数時間かかる。対象地域では冬季は梅雨時期と同様に曇天日が多く気温の日較差が小さくなる傾向にある。本研究の冬季観測は, 観測時刻の影響が少なく, 同一観測日の地点間の差を見るには都合が良いという利点がある。また, CO₂ フラックスの観測は, 落葉などの A0 層を除去して行った。山盛(1994)は, 対象地域の与那演

¹Faculty of Agriculture, University of the Ryukyus, 1 Senbaru Nishihara-Cho Nakagami-Gun Okinawa, 901-2213, Japan.

Corresponding author: 酒井一人, ¹琉球大学農学部

²Faculty of Agriculture, Utsunomiya University, 350 Minemachi Utsunomiya Tochigi, 812-0053, Japan

³JST, CREST, 5-3 Yonban-cho, Chiyoda-ku, Tokyo 102-8666, Japan

2011年5月13日受稿, 2012年8月28日受理

土壌の物理性 122号, 23-31 (2012)

習林内の13地点において土壌調査を行いA0層が薄い(13地点の平均3.6 cm)ことを報告している。さらに、佐藤ら(1996)は、与那習習林内において裸斑(林床の落葉に覆われていない部分)が多くみられることを報告している。このような状況から対象地域では、A0層の存在にばらつきが生じることがあり、チャンパー内の落葉の有無が偶然である可能性があると考えられる。そのため、観測日によるチャンパー内の落葉の有無がフラックス測定値に与える影響を極力排除するようにA0層を除去してCO₂フラックスを測定した。次に、対象地点の土壌を採取し実験室で分析(粒度分布、有機物含有量、根量)を行い、CO₂フラックスと各分析項目の関係について解析した。本実験で分析対象としたこれらのパラメータに関して、Mendham et al (2002)は、土壌における粘土+シルトの割合が大きいほど土壌有機物が多いことを報告している。また、檀浦ら(2006)は、根呼吸と土壌表面近くの細根量の関係が強いことを報告している。このような報告から、本研究では、上記パラメータとCO₂フラックスの関係を見ることによりそれらパラメータの違いが地点間の差に影響しているかについて検討した。

さらに、詳細は後述するが、フィールド調査においてCO₂フラックスの温度依存性が明確ではなかったため、温度制御した円筒管土壌呼吸実験により対象土壌のCO₂フラックスの温度依存性について確認した。

2. 調査地点および方法

2.1 調査地点

観測は、沖縄県北部にある琉球大学与那フィールド(沖縄県国頭郡国頭村所在民有林76林班内、管理棟位置26°44' N, 128°14' E)の亜熱帯常緑広葉樹林地で行った。年平均気温は22.3℃、年降水量は2550 mm(1991~2000年の平均)である。林冠の優先種はスタジイ(*Castanopsis sieboldii*)、イジュ(*Schima liukiensis*)、イスノキ(*Distylium racemosum*)である。基岩は砂岩と粘板岩からなり、土壌は黄色土が発達している(Enoki 2003)。同じ対象地区で調査を行ったKusumoto and

Enoki (2008)の報告では、2 m以上の立木密度が11.5本ha⁻¹、単位面積当たりの胸高断面積が56.0 m²ha⁻¹であった。また久保田ら(2010)によると、対象地域でのA0層の乾燥質量は、年変動があるが約300 gm⁻²程度であると報告されている。調査地はFig. 1に示す地形図の帯30 m×150 m内で、尾根から沢を経由して向かい側の尾根までの範囲である。斜面方向はおおむね南北方向である。調査地点はFig. 2に示すように、南の尾根から沢までP.1からP.8、沢から北の尾根までP.9からP.12までとした。

2.2 フィールド測定

2.2.1 フィールドでのCO₂フラックス測定

直径10 cm、高さ10 cmのソイルカラーを各地点に一個ずつ計12個、深さ8 cmほど埋め込み設置した。ソイルカラーを設置する際に土が攪乱されるため、測定は設置後約1ヵ月経過してから実施した。調査項目として、CO₂フラックス、地温を測定した。CO₂フラックス測定時は、毎回土壌表面にあった落葉などA0層を除去した。ソイルカラーにチャンパー(容積1201 cm³)をかぶせ密閉状態にし、CO₂アナライザー(Li-840)を用いてチャンパー内のCO₂濃度の変化を測定した。チャンパー内の大気を循環させCO₂濃度を3分間測定、その後開放し、CO₂濃度が約350 ppmになった時点で、再度チャンパーをかぶせて同じ測定を繰り返した。1地点について、この測定を3回~4回行った。そして、CO₂濃度の時間変化からCO₂フラックスを算出した。地温は、温度計を土壌に約8 cm差し込み測定した。土壌水分は、TDR土壌水分計(藤原製作所TDR-431F 20 cm)をソイルカラーの周辺3~4地点にさしこみ測定し、その平均値をとった。現場での調査は2007年10月1-2日、10月22-23日、11月11-12日、12月18日、1月12日の計5回行った。今後、それぞれの観測日をDay-1~Day-5と呼ぶ。

2.2.2 土壌および根量分析

根量試験および有機物含有量試験では、ソイルカラー撤収時にソイルカラー内に残った土壌を使用した(直径10 cm、深さ約8~9 cm)。粒度試験では、ソイルカラー

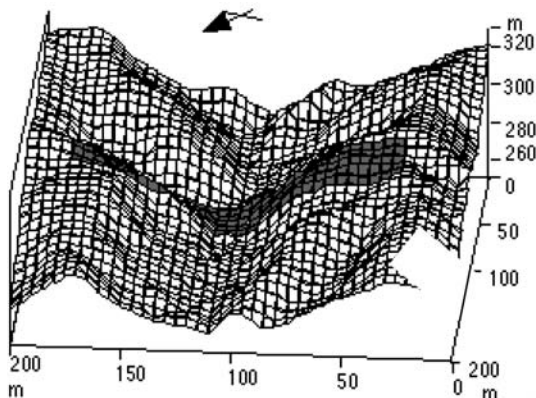


Fig. 1 調査対象地の地形図。
Topographical map of the observation area.

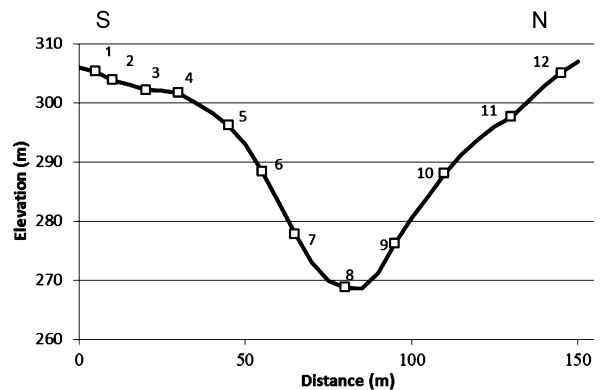


Fig. 2 調査地断面図と測定地点。
Cross section of the observation area and observation points.

Table 1 土層実験に用いた土壌の乾燥密度と土壌水分.
Bulk density and soil moisture of the soil used for soil column experiments.

地点	P.6	P.8	P.10
含水比 (%)	51.18	54.71	55.92
乾燥密度 (g cm ⁻³)	1.15	1.12	1.11

から半径 50 cm 以内の落葉など A0 層を除去した表層 5 cm 以内の土壌を採取し使用した。

粒度試験では JIS A 1204 より、粒径 5 ~ 0.075 mm について篩分析を行い、0.075 mm 以下はレーザー回折分析 (SHIMAZU SALAD) にかけた。ふるい分析では、2 mm ふるい通過試料に過酸化水素で前処理を行い、分散剤にて分散後ふるい分析を行った。有機物含有量試験では JSF T 9-1968 より、重クロム酸法を用い、乾燥土壌質量に対する有機物の質量割合を求めた。根量測定では、村上 (2003) による根系調査法 v 1.3 を参考にし、試料を煮沸後に 0.25 mm ふるいにて土と根を選別し、ポウルの水の中で回転をかけて落葉の破片などの有機物と根を分けた後に乾燥炉にて乾燥させ、乾燥土壌質量に対する根の質量割合を求めた。そして、採土したチャンバーの断面積から面積当たりの根の乾燥重量 (kgm⁻²)

および有機物量 (kgm⁻²) を算出した。なお P.8 については、ソイルカラー内の全量の土壌を採取できなかったため、P.8 に関する後述の考察においては乾燥土壌質量に対する有機物量の質量割合 (kg kg⁻¹) のみを用いている。

2.3 土壌呼吸室内実験

室内実験による CO₂ フラックスを測定するための試料は、地形の違いによる尾根や中腹での差を見るために、測定地点 P.6, P.8, P.10 で採取した。

CO₂ フラックスの測定では、粒度分析と同じ試料 (表層 5 cm までの土壌) の 2 mm ふるい通過試料を、長さ約 33 cm、直径約 10 cm の塩ビ管に底板を取り付けた円筒管に現場土壌の乾燥密度に近くなるように土層厚 22 cm に詰めたものを 3 本用意した。それぞれの土壌試料の土壌水分および乾燥密度を Table 1 に示す。その円筒管を約一週間常温で放置した後に、恒温水槽を用いて地温を 15 °C から開始し約 5 °C ずつ上昇させ 40 °C まで変化させた。CO₂ フラックスの測定はフィールド調査と同様に 3 分間の測定を 3 回行い、その都度土壌表面温度を測定し地温とした。

3. 結果および考察

3.1 フィールドでの CO₂ フラックス測定

各観測日における CO₂ フラックスおよび地温をそれ

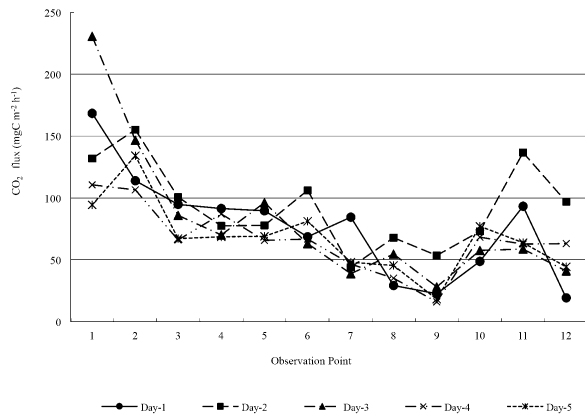


Fig. 3 各観測日における各観測地点での CO₂ フラックスの測定結果.
Result of CO₂ flux at observation points on observation days.

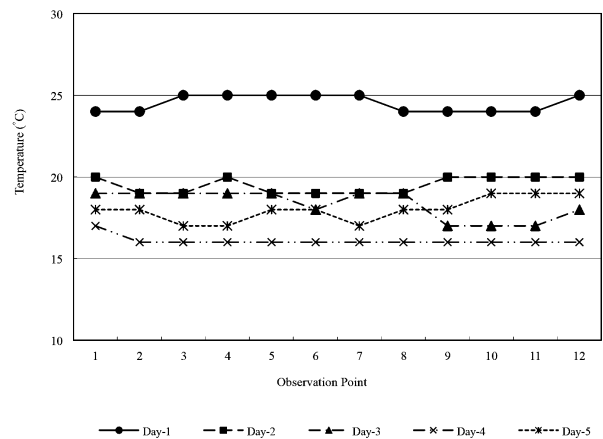


Fig. 4 各観測日における各地点での地温の測定結果.
Observed value of soil temperature at observation points on observation days.

Table 2 各観測日における CO₂ フラックスの基本統計値.
Stochastic values of CO₂ flux on each observed day.

測定日	平均値 (mgC m ² h ⁻¹)	標準偏差	変動係数 (%)	①最大値 (mgC m ² h ⁻¹)	(地点)	②最小値 (mgC m ² h ⁻¹)	(地点)	①/②
Day-1	76.92	42.75	55.58	168.08	(P.1)	19.18	(P.12)	8.76
Day-2	93.32	34.32	36.78	154.83	(P.2)	43.84	(P.7)	3.53
Day-3	80.87	56.58	69.97	230.26	(P.1)	28.02	(P.9)	8.22
Day-4	66.13	26.84	40.59	110.41	(P.1)	15.79	(P.10)	6.99
Day-5	67.56	29.11	43.08	134.12	(P.2)	18.03	(P.11)	7.44
Total	76.96	39.36	51.14					

Table 3 亜熱帯森林地域における CO₂ フラックス測定値.
Observed CO₂ flux in subtropical forests.

観測地	CO ₂ フラックス (mgC m ² h ⁻¹)	植生	温度	出典
沖縄県北部 26° 31'N, 127° 59' E	32 (最小) ~113 (最大)	シイ林	地温: 21.5 °C (年平均値)	Ishizuka et al. (2006)
沖縄県北部	132 (年平均)	常緑広葉樹	—	森林総合研究所 (2004a)
中国 広東省 肇慶市 23° 9'N, 112° 31' E	478 (年平均) 450 (10月) ~350 (1月)	シイ林	気温: 21.5 °C (年平均値) 21 °C (10月) ~13 °C (1月)	Yi Z. et al. (2007)
中国 福建省 三明市 26° 11'N, 117° 26' E	500 (10月) ~400 (1月) 人工林: 390 (年平均) 200 (10月) ~100 (1月)	シイ林	気温: 19.1 °C (年平均値) 20 °C (10月) ~10 °C (1月)	Yang Y. et al (2007)

中国での観測値は文献中のグラフから 10 月~1 月の対象期間の値を読み取った。

ぞれ Fig. 3 と Fig. 4 に示す。横軸は測定地点番号である。

Fig. 3 より, CO₂ フラックスは南尾根の P.1, P.2 で最大であり, 谷に向かって小さくなる傾向にあった。Fig. 4 より, 地温は Day-1 から, Day-2 で 5 °C 近い低下はあったが, Day-2 以降の変化は小さかった。また, 同じ観測日での地温の測定地点間の差は小さかった。このことより, 各地点の観測時の温度差が CO₂ フラックスの差に与えた影響は小さいと判断した。

Table 2 に各観測日での基本統計量を示す。どの観測日も地点による差は大きく最大値と最小値の比は, 3.5 倍 (Day-2) から約 7~8 倍という値であった。

本観測結果の比較のために, 亜熱帯森林地帯での土壌呼吸に関する研究事例を Table 3 に示す。沖縄県を対象とした観測例として, Ishizuka et al (2006) が北部の森林地帯における約 3 年間の観測により, CO₂ フラックスの範囲は 32 ~ 113 mgCm⁻²h⁻¹ であり, 地温から推定し

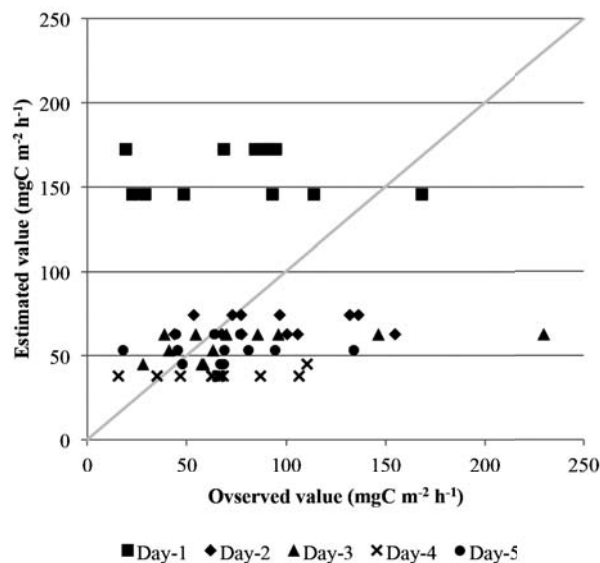


Fig. 5 観測値と Ishizuka の式による推定値の比較。
Comparison between the observed data and the value estimated by Ishizuka's equation.

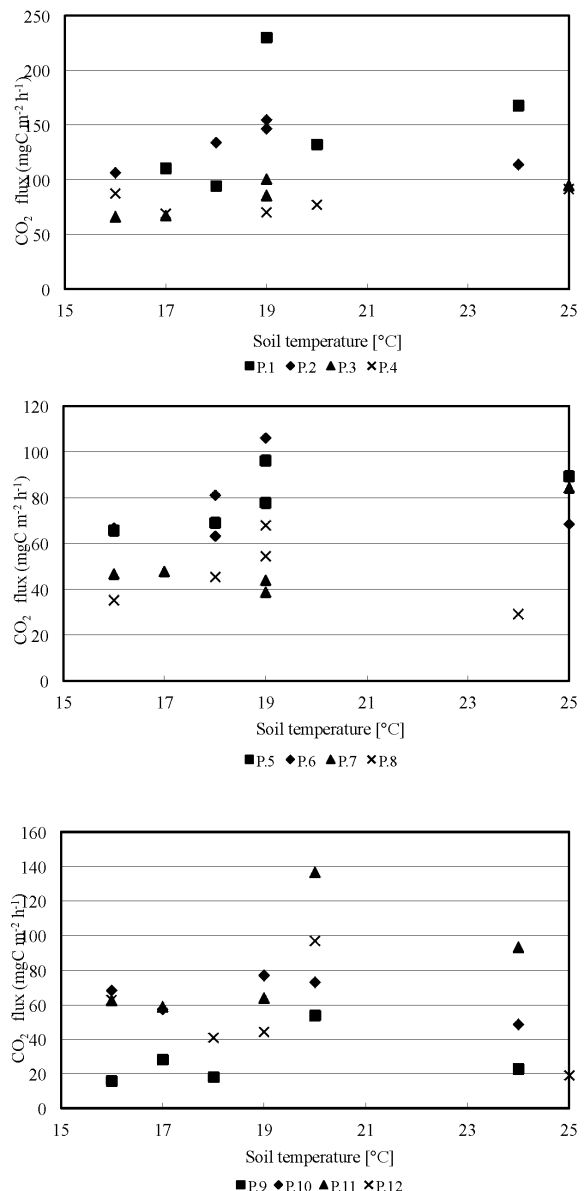


Fig. 6 フィールド観測における地温と CO₂ フラックスの関係
Relationship between soil temperature and CO₂ flux of field observations.

た年間積算値は 1.06 kgCm⁻²y⁻¹ (=120 mgCm⁻²h⁻¹) であったと報告している。また, Ishizuka et al (2006) は地温から CO₂ フラックスを推定する式を提案している。Fig.5 は本研究での観測日の値とその推定式と観測した地温を用いた推定値の関係を示している。本研究での値は, 対象期間中で地温が高かった Day-1 には Ishizuka et al (2006) の式による推定値が大きくなる傾向にあったが, その他の観測日ではほとんどの地点において観測値が大きい結果となった。森林総合研究所 (2004a) が報告している値との比較では, 本研究の観測値は小さく 58% 程度の結果となった。これは, A0 層を除去した影響があると考えられる。また, 同じ亜熱帯における観測例として, Yang et al. (2007) が中国福建省のシイ林において, 自然林と人工林における通年の観測結果を報告している。また, Yi et al (2007) は中国の広東省における通年の観測結果を報告している。2 つの中国の観測例での, 本研究の観測期間と同じ 10 月から 1 月までの値を比べた場合, 本研究の観測結果がどの場合との比較においても小さく, 約 25 ~ 70% 程度で

あった。これらの既往の研究との比較において, 本研究の観測値が小さい理由の 1 つは, A0 層を除去した影響があると考えられる。しかし, それら中国での測定結果と Ishizuka et al (2006) や森林総合研究所 (2004a) の示した値を比較した場合, 沖縄での観測値が小さくなっている。樹種が似ており気温がほぼ同じ地域の比較において, 沖縄での CO₂ フラックスが小さい理由については今後検討する必要がある。

Fig. 6 に, 各観測地点での地温と CO₂ フラックスの関係を示す。見やすいように 1 つの図に 4 地点の結果を示している。一般に土壌温度が大きくなるほど CO₂ フラックスは大きくなるが, 本調査ではその傾向は明確ではなかった。この理由について降雨および土壌水分に関するデータを用いて以下のように考察した。Fig. 7 に 2007 年 9 月 1 日から 2008 年 1 月までの与那演習林で測定された日降水量のデータを, Fig. 8 に各観測日の各観測地点での土壌水分測定値を示す。なお, 土壌水分値については, 計器のキャリブレーションおよび測定地点の飽和含水率を測定していないため, 同一地点における観測日

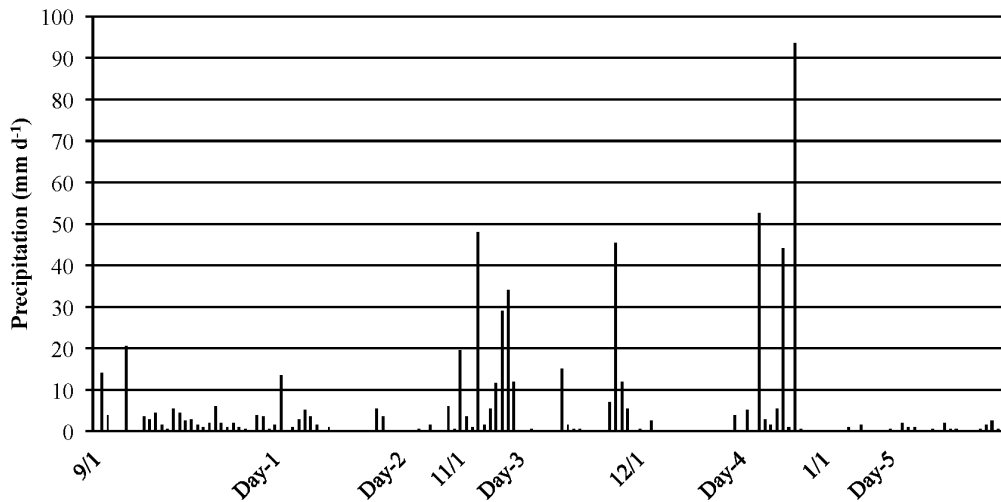


Fig. 7 観測期間の日降水量.
Daily precipitation during observation period.

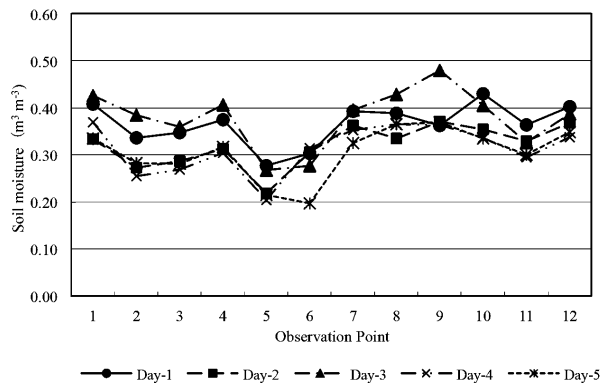


Fig. 8 各観測日, 観測地点における土壌水分の測定結果.
Observed value of soil moisture at observation points on observation days.

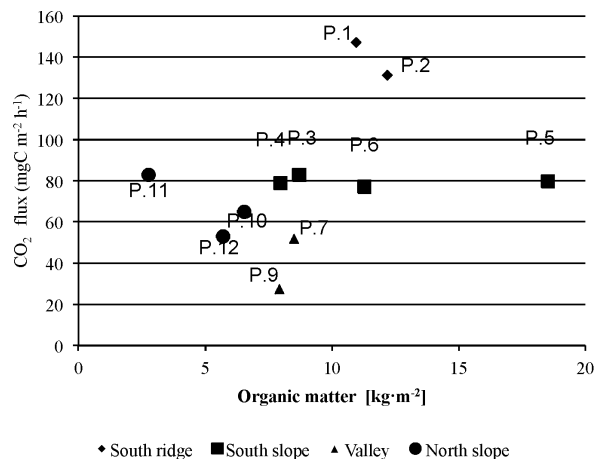


Fig. 9 単位面積当たりの土壌有機物量と CO₂ フラックスの関係.
Relationship between soil organic matter per unit area and CO₂ flux.

間での定性的な違いを比較することとする。

Liu et al (2002) は草地およびその土壌を用いた実験を行い土壌水分と CO₂ フラックスの関係について考察している。乾燥状態からある程度土壌水分が多くなる段階では微生物活性が上がることにより CO₂ フラックスが大きくなり、その後ある程度の土壌水分状態では CO₂ フラックスは影響を受けず、さらに土壌水分が多くなるとガス拡散が小さくなり CO₂ フラックスが小さくなることを述べている (後ほど、これを「CO₂ フラックスのプラトー現象」と呼ぶこととする)。森林地域における研究を見ると、Chang et al. (2008) は亜熱帯地域である台湾における CO₂ フラックス ($\mu\text{molCm}^{-2}\text{s}^{-1}$) と土壌水分、地温との関係を式 (1) で回帰しており、CO₂ フラックスは温度上昇により増加し、土壌水分上昇により減少する関係を示している。

$$\text{CO}_2\text{flux} = -0.095 + e^{0.88+0.17-6.99\theta} \quad \text{式 (1)}$$

ここで、 T : 温度 (°C), θ : 体積含水率 (m^3m^{-3})。

以下では、亜熱帯を対象とした研究から提案された式 (1) で表される関係から本研究の観測について考察する。まず、Fig. 7 より各観測日における先行降雨の様子を見ると、Day-1 および Day-3 で大きかったことがわかる。Fig. 8 の各観測地点の土壌水分を見ても Day-1 および Day-3 が大きくなっている。これらより、Day-1 が、他の観測日に比べて約 5°C 地温が高いにもかかわらず CO₂ フラックスが他の観測日とあまり変わらなかった理由を、土壌水分が多かったためだと考えた。また、Day-2 と Day-3 を比較した場合、ほぼ同じ地温であるが Day-3 の方が P.1, P.5 の 2 点を除いて CO₂ フラックスは小さい。この理由も、Day-3 において土壌水分が多いためであると考えた。Day-1 と Day-3 を比較した場合、両日とも土壌水分は高いので地温が高い Day-1 において CO₂ フラックスは大きいはずであるが、尾根部以外あまり変わらない結果であった。式 (1) の関係

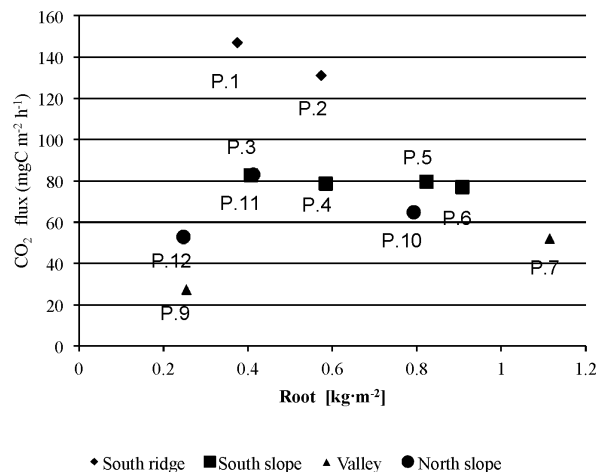


Fig. 10 単位面積当たりの根量と CO₂ フラックスの関係。
Relationship between amount of root per unit area and CO₂ flux.

では、土壌水分が大きいほど土壌温度による CO₂ フラックスの変化は小さくなる。本研究においても定性的にこのような関係があり、Day-1 と Day-3 に大きな差がなかったと考えた。塚原ら (2002) のポット試験では、前述の CO₂ フラックスのプラトー現象が 10 ~ 20°C の制御では現れず、20 ~ 25°C に制御した場合にのみ現れる結果となっている。この 1 例からでは明確なことは言えないが、この現象はある程度の温度が高い場合に起こり、Chang S. et al. (2008) や本研究での観測のような亜熱帯地域では見られやすい特徴ではないかと考えられた。

3.2 粒度組成、有機物量および根量と CO₂ フラックスの関係

南尾根部 (P.1, P.2), 南斜面 (P.3, P.4, P.5, P.6), 谷部 (P.7, P.8, P.9), 北斜面 (P.10, P.11, P.12) に分けて、Fig. 9 に、土壌有機物量と CO₂ フラックスの関係を、Fig. 10 に根量と CO₂ フラックスの関係を示す。また、Fig. 11 に粒度分析結果を示す。

各地点の有機物含有量は、2.76 ~ 18.53 kgm^{-2} とばらつきがあった。北斜面で小さい傾向があったが、北斜面のほうが尾根から傾斜が急になっており、落葉などが留まりにくい地形になっているためであると考えられた。全体的にみれば各地点の有機物含有量と CO₂ フラックスの両者には明確な関係性を見出すことはできなかった。特に P.5 では、有機物量が最も多いにもかかわらず CO₂ フラックスが小さく、その理由を次のように考えた。Fig. 11 から P.5 周辺では礫が多く、ソイルカラー内の有機物の存在状況を観察すると、礫の間に枯葉が挟まっているような状況であった。農地における有機物分解速度は、有機物を表面散布するより土壌へ鋤きこんだ方が大きく、これは有機物分解に関与する微生物への曝露の違いであることが言われている (例えば、千葉ら 1980, Bot and Benites 2005)。これらのことから、P.5 付近の落葉の状態の有機物は、土壌微生物により分解されにくい状況であり、CO₂ フラックスが小さかったと判断した。Fig. 11 より P.7, P.9 においても同様に礫が多いが、P.3, P.4 のような同等の有機物量の地点に対して CO₂ フラックスが小さくなっており、P.5 と同様の状況であったこ

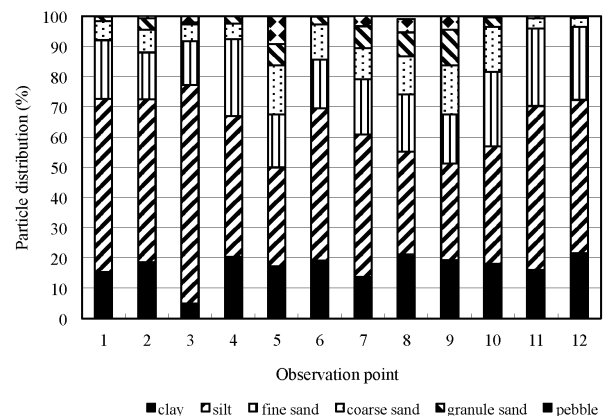


Fig. 11 各観測地点の土壌の粒度分布。
Soil particle distribution of observation points.

とが考えられた。

CO₂ フラックスの重要な要素として根呼吸がある。檀浦ら (2006) は、根呼吸を培養により測定し、地表面近くの細根の根呼吸量が多いこと、対象とした京都南部の広葉樹林において根呼吸の割合が 40% 弱であったことを報告している。本調査地域でも、その根呼吸の寄与を定性的に把握できるのではないかと、ソイルカラー内の表層近くの土壌内の微細根の量を調べたが、Fig. 10 からでは単位面積当たりの根量と CO₂ フラックスとの関連の把握はできなかった。

以上より、本研究で分析した粒度組成、有機物量、根量などは、それぞれは CO₂ フラックスに寄与する要因であるが、本研究での観測では、それら要因と CO₂ フラックスの関連性は明確ではなかった。

3.3 円筒管土壌呼吸室内実験

P.6, P.8, P.10 から採取した試料を充填した円筒管土壌呼吸実験で得られた温度と CO₂ フラックスとの関

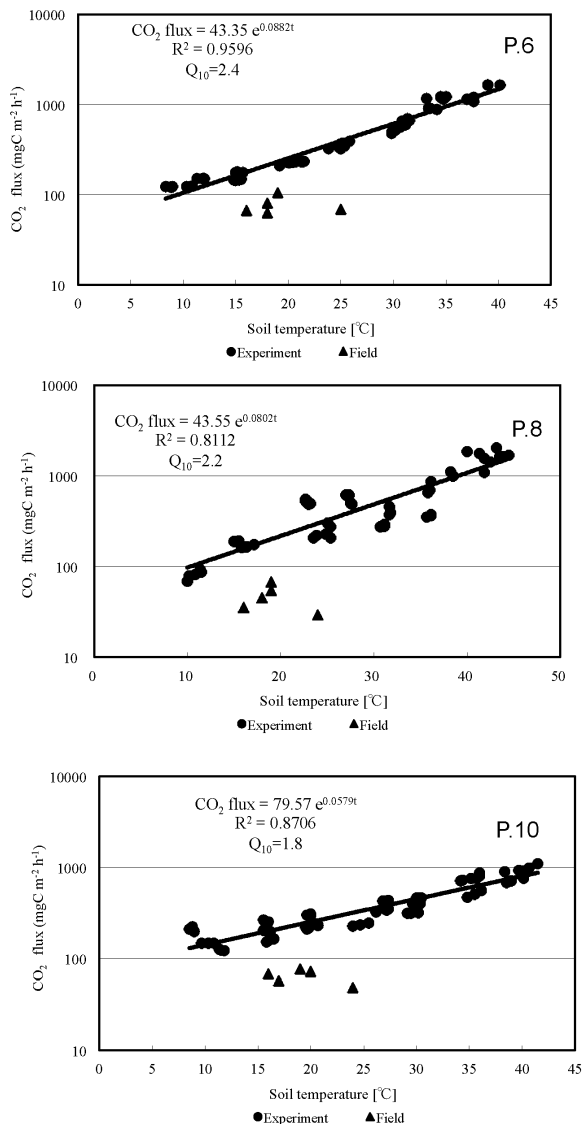


Fig. 12 室内実験における地温と CO₂ フラックスの関係。Relationship between soil temperature and CO₂ flux of indoor experiments.

係を Fig. 12 に示す。図中には、フィールド調査での値もプロットしている。また、図中の式は実験結果を指数関数で近似したもので、この式から Q₁₀ 値 (温度 10℃ 上昇に伴う CO₂ フラックスの変化率) を求めた。フィールド調査では、CO₂ フラックスの温度依存性は明確には表れなかったが、室内実験ではすべての地点試料を用いた実験において温度上昇により CO₂ フラックスが上昇し、その上昇は指数関数で表されることが確認できた。Hashimoto (2005) は、日本の森林土壌における Q₁₀ 値について整理し、その範囲は 1.30 ~ 3.45 で、平均が 2.18 であったことを報告している。本実験の結果においても、この研究で示された森林土壌における Q₁₀ 値の範囲に入っていた。各地点の乾燥土壌質量に対する有機物の割合は、P.6, P.8, P.10 でそれぞれ 0.140 kg kg⁻¹, 0.115 kg kg⁻¹, 0.067 kg kg⁻¹ となっており、有機物量が少ないほど Q₁₀ 値が小さくなっている。Zheng et al (2009) は、土壌有機物量と Q₁₀ 値には正の相関があることを報告しており、本実験でもその傾向が認められた。

さらに、フィールド調査の値と比較した場合すべての点において室内実験の値が大きい結果となった。一般的に実フィールドでは、根呼吸の影響があるために充填試料による実験に比べて CO₂ フラックスは大きくなることが多い。森林総研 (2004b) は、本調査と同様の実験に、さらに根呼吸を直接測る「積み上げ法」により根呼吸の寄与を測定している。それによると、沖縄県の常緑広葉樹林では、約 40% が根呼吸であると推定している。しかし、本研究では室内実験の値の方が大きい結果を得た。一般的に表層近くの土壌の方が、有機物含有量が多くなる傾向にある。本実験では表層の土壌を円筒管全体に充填したため、実フィールドより円筒管内の有機物量が多く CO₂ フラックスが大きくなった可能性があると考えられた。

4. おわりに

本研究では、冬季に沖縄県北部の琉球大学与那演習林の亜熱帯広葉樹林地の沢沿いの複数の地点で数回のフィールド調査 (CO₂ フラックス、地温測定および土壌水分測定) を実施し、CO₂ フラックスの地点間および観測日による変動実態を把握し、既往の研究での報告との比較検討を行った。さらに、対象地点の土壌を採取し実験室で分析 (粒度分布、有機物含有量、根量) を行い、CO₂ フラックスと各分析項目の関係について解析した。また、温度制御した円筒管土壌呼吸実験により対象土壌の CO₂ フラックスの温度依存性について確認した。その結果、以下のようなことが認められた。

- ① 今回の観測での CO₂ フラックスはばらつきがあり、南尾根で最大、谷に向かって小さくなる傾向にあった。同じ観測日での地温の測定地点間差は小さく、各地点の観測時の温度差が CO₂ フラックスの差に与えた影響は小さいと判断された。
- ② 既往の研究との比較では、本調査での値は小さく、A0 層を除去した影響が大きかったと判断できた。

- ③ 今回の調査結果では、観測日の温度の違いによる CO₂ フラックスの違いは明確ではなかった。それに対して、土壌水分の増加により CO₂ フラックスが減少するという土壌呼吸特性が見られたと考えられた。
- ④ 本研究で分析した粒度分布、有機物量、根量などは、それぞれは CO₂ フラックスに寄与する要因であるが、本研究での観測では、それら要因と CO₂ フラックスの関連性は明確ではなかった。
- ⑤ フィールド調査において CO₂ フラックスの温度依存性が認められなかったために、土層実験において温度依存性を調べた結果、既往の研究で示された Q₁₀ 値の範囲内の結果を得た。

引用文献

- Bot A., Benites J. (2005) : The importance of soil organic matter—Key to drought-resistant soil and sustained food production, FAO SOILS BULLETIN, 80, p.18, FAO, Roma
- Chang S., Tseng K., Hsia Y., Wang C., Wuc J. (2008) : Soil respiration in a subtropical montane cloud forest in Taiwan, Agricultural and forest meteorology, 148 : 788–798
- 千葉満男, 島津了司, 武藤和夫, 内田修吉 (1980) : 水田における稲わら施用と稲作の安定化, 岩手県立農業試験場研究報告, 22 : 81–117
- 檀浦正子, 小南裕志, 玉井幸治, 後藤義明, 植村真由子, 金沢洋一 (2006) : 京都府南部広葉樹林において短期間に測定された根呼吸量と土壌呼吸量に対する寄与の評価, 農業気象 62 : 15–21
- Enoki T. (2003) : Microtopography and distribution of canopy trees in a subtropical evergreen broad-leaved forest in the northern part of Okinawa Island, Japan, Ecological Research 18 : 103–113
- Eswaran, H., Berg, E. van den, Reich, P. (1993) : Organic carbon in soils of the world, Soil Sci. Soc. Am. J., 57 : 192–194
- Hashimoto S. (2005) : Q₁₀ values of soil respiration in Japanese forests, J. Forest Research, 10 : 409–413
- Ishizuka S., Sakata T., Sawata S., Ikeda S., Takenaka C., Tamai N., Sakai H., Shimizu T., Kanna K., Onodera S., Tanaka N., Takahashi M. (2006) : High potential for increase in CO₂ flux from forest soil surface due to global warming in cooler areas of Japan, Ann. Forest. Science, 63 : 537–546
- 金沢晋二郎, 浅見輝男, 高井康雄 (1976) : 亜高山帯針葉樹林下の土壌有機物の性状と分解過程 (第 3 報) 本地域における野外の土壌呼吸量について, 日本土壌肥料学会誌, 47 : 549–554
- 河原輝彦 (1976) : リターの分解について (IV) 土壌呼吸中の根の呼吸量の推定, 日本林学会誌, 58 : 353–359
- 経済産業省 (2007) : 気候変動に関する政府間パネル第 4 次評価報告書に対する第 3 作業部会の報告政策決定者向け要約, p.14, 経済産業省, 東京
- 木村真人, 波多野隆介 (2005a) : 土壌圏と地球温暖化, p.7, 名古屋大学出版会, 名古屋
- 木村真人, 波多野隆介 (2005b) : 土壌圏と地球温暖化, p.10, 名古屋大学出版会, 名古屋
- 久保田康裕, 榎木勉, 安田恵子, 楠本間太郎, 南木大祐 (2010) : 琉球列島における河畔生態系の生産量評価と生物多様性の保全に関する研究, 河川環境管理財団平成 19 年度 (第 22 回) 調査研究助成報告書, 河川環境管理財団, 東京
- Kusumoto B., Enoki T. (2008) : Contribution of a liana species, *Mucuna macrocarpa* Wall. to litterfall production and nitrogen input in a subtropical evergreen broad-leaved forest, J. Forest Research, 13 : 35–42
- Liu X., Wan S., Su B., Hui D., Luo Y. (2002) : Response of soil CO₂ efflux to water manipulation in a tallgrass prairie ecosystem, Plant and Soil, 240 : 213–223
- Luo Y., Zhou X. (2006) : SOIL RESPIRATION and the ENVIRONMENT, pp.79–104, ELSEVIER, Amsterdam
- Mendham D. S., O'Connell A. M., Grove T. S. (2002) : Organic matter characteristics under native forest, long-term pasture, and recent conversion to Eucalyptus plantations in Western Australia : microbial biomass, soil respiration, and permanganate oxidation, Australian Journal of Soil Research, 40 : 859–872
- 村上敏文 (2003) : 根系調査法. 長野県中信農業試験場 <http://www.h2.dion.ne.jp/~barnaba/manual.pdf> (確認日 : 2010/6/21)
- Raich J. W. and Schlesinger W. H. (1992) : The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. Tellus, 44 (B) : 81–99
- 佐藤一紘, 羽立光孝, H afif B. (1996) : 沖縄の照葉樹林の林床に見られる裸斑の特徴, 日本林学会論文集, 107 : 343–346
- 森林総合研究所 (2004a) : 森林海洋等における CO₂ 収支の評価の高度化, 交付金プロジェクト研究成果集 3, p.58, 森林総合研究所, つくば
- 森林総合研究所 (2004b) : 森林海洋等における CO₂ 収支の評価の高度化, 交付金プロジェクト研究成果集 3, pp.54–55, 森林総合研究所, つくば
- 塚原 高志, 山寺 喜成, 宮崎 敏孝 (2002) : 土壌呼吸量測定による土壌環境評価に関する研究, 日本緑化工学会誌 28 : 220–223
- 山盛直 (1994) : 与那演習林の森林環境, 琉球大学農学部附属演習林創設 40 周年記念誌, pp.35–53, 琉球大学, 沖縄
- Yang Y., Chen G., Guo J., Xie J., Wang X. (2007) : Soil respiration and carbon balance in a subtropical native forest and two managed plantations, Plant Ecology, 193 : 71–84
- Yi Z., Fu S., Yi W., Zhou G., Moa J., Zhang D., Ding M., Wang X., Zhou L. (2007) : Partitioning soil respiration of subtropical forests with different successional stages in south China, Forest Ecology and Management, 243 : 178–186
- Zheng Z., Yu G., Fu Y., Wang Y., Sun X., Wang Y. (2009) : Temperature sensitivity of soil respiration is affected by prevailing climatic conditions and soil organic carbon content : A trans-China based case study, Soil Biology & Biochemistry, 41 : 1531–1540

要 旨

本研究では、冬季に沖縄県北部亜熱帯広葉樹林地の沢沿い複数地点での CO₂ フラックス、地温測定および土壌水分測定により、CO₂ フラックスの地点間および観測日による変動実態を把握し、既往研究と比較した。さらに、対象地点の土壌の粒度分布、有機物含有量、根量と CO₂ フラックスの関係について解析した。また、温度制御した円筒管土壌呼吸実験により対象土壌の CO₂ フラックスの温度依存性について確認した。その結果、次の①～⑤が認められた。① CO₂ フラックスはばらつきがあり、南尾根で最大、谷に向かって小さくなる傾向にあった。同じ観測日での地温の測定地点間差は小さく、各地点の観測時の温度差が CO₂ フラックスの差に与えた影響は小さいと判断された。② 既往の研究との比較では、本調査での値は A0 層除去の影響により小さかったと判断できた。③ 観測日の温度の違いによる CO₂ フラックスの違いは明確ではなかった。それに対して、土壌水分の増加により CO₂ フラックスが減少するという土壌呼吸特性が見られた。④ 本研究での観測では、粒度組成、有機物量、根量などと CO₂ フラックスの関連性は明確ではなかった。⑤ 土層実験により温度依存性を調べた結果、既往研究で示された Q₁₀ 値の範囲内の結果を得た。

キーワード：CO₂ フラックス、亜熱帯、Q₁₀ 値、森林土壌、土壌水分