

アカマツ林床の土壌試料の分解に対する 外気 CO₂濃度の影響の実験的解析

Experimental Analysis of Ambient CO₂ Concentration Effect on
Decomposition Rate of Soil Samples from a Red Pine Forest

安井 弓子*・安田 恵子**・及川 武久***

Yumiko YASUI, Keiko YASUDA and Takehisa OIKAWA

I はじめに

最近、耕地土壌を対象とした研究(中台, 1990; 別宮, 1991)で、土壌呼吸速度が外気の CO₂濃度の影響を強く受けることが、通気法を用いた測定で発見され、これまで野外の土壌呼吸速度測定に多く使われてきたスポンジを用いたアルカリ吸収法(桐田, 1971a)では、チャンバー内が低 CO₂濃度になるため、微生物の呼吸が促進されて土壌呼吸速度が2~3倍も過大評価されていると結論づけられた。中台(1990)と Koizumi et al. (1991)は、耕地土壌(黒ボク土)とそこに生育する細菌、放線菌、糸状菌について、CO₂濃度が呼吸速度に影響を及ぼすことを報告している。別宮(1991)は *Tricoderma* sp. を接種した人工土壌と *Tricoderma* sp. 自身について、呼吸が低 CO₂濃度では促進され、高 CO₂濃度では抑制されることを環境制御した室内実験で明らかにしている。このことは、どのような方法であれチャンバーをかぶせて土壌呼吸速度を測定する場合、チャンバー内の CO₂濃度が外気の濃度と多少とも異なるので、測定値に影響を与える可能性があることを示唆している。このため、林床の土壌でも耕地土壌と同様に CO₂濃度が土壌呼吸速度に影響を及ぼすかどうか、確認する必要がある。野外では他の要因、特に地温も土壌呼吸速度に同時に影響

するため、土壌呼吸速度に対する CO₂濃度の影響を直接調べることができない。このため、実験室内において、温度を制御して実験を行った。測定時のチャンバー内 CO₂濃度の影響を受けるのは主に林床の表層と考えられるため、表層の土壌を試料として用いた。

II 材料および方法

2.1 試料

試料は別報(安井・及川, 印刷中)の野外測定場所であるアカマツ林床から、1992年10月28日、11月1日、6日、9日の4回、採取した。表層の土壌をリター層(未分解の落葉層, 以下Lと記述)と腐植層(肉眼で植物の組織が認められる程度に分解した腐植層に加えて、植物の組織が判別できないくらいに分解が進んだ腐植層, 以下FHと記述)の2層に分けてビニール袋にサンプリングして、この試料を1mmのナイロンメッシュを二重にして作った袋にそれぞれ入れて、CO₂放出速度の測定に用いた。

2.2 測定システム

実験室内に通気法の測定システムを組んだ(図1)。ソーダ石灰を通して外気中の CO₂を除いて作った 0ガスと、CO₂100%のボンベガスを、試験ガス発生装置(エステック, AGRU-712)で混合して CO₂濃度を一定に制御したガス(約100~800ppm)を作

*筑波大学・環境科学研究科 **筑波大学・生物学類 ***筑波大学・生物科学系

り、毎分0.6ℓでチャンバーに通気した。試料の乾燥を抑えるために、ガスは三角フラスコに入れた水を通り加湿し、チャンバーに通気した。続いて、チャンバーからのガスを冷却槽とパーマピュアドライヤーを通して除湿した。チャンバーの入口と出口のCO₂濃度を赤外線ガス分析計（Fuji Electric, ZFU, 以後IRGAと略記）で測定した。IRGAの出力はチャート式のアナログ記録計（渡辺測器、サーボコーダー）と小型多点温度データ収録システム（以下データロガーと表記：江藤電機、サーモダックⅢ）に接続して、アナログ記録計のCO₂濃度の指示値が安定した時点（約10～20分）で、その値をデータロガーに記録した。厚さ1cmの亚克力板で作成した立方形のチャンバー（8cm×8cm×8cm）からの空気漏れを防ぐために、本体と蓋との間にはゴム板をはさみ、上から圧力をかけて密着させた。蓋にはファンを取り付けて内部の空気を攪拌して、銅-コンスタンタン熱電対でチャンバー内の温度をモニターした。チャンバーの底部には、クールニット（COOLNIT：太陽科学工業、CL-19）で温度制御をした水を循環させて、内部を25±1℃に保った。

2. 3 試料の適正量の決定

チャンバーに入れる試料が多すぎると、内部まで

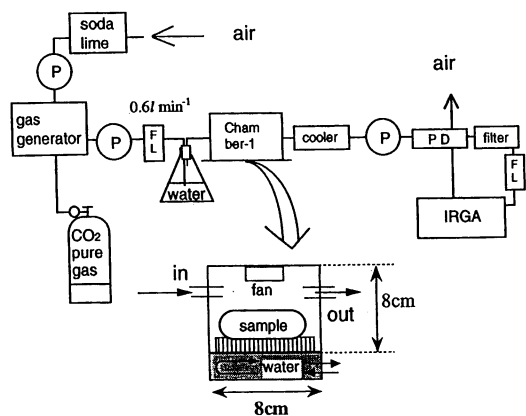


図1 実験室内に組んだ通気法による呼吸速度測定システム

P, ポンプ; FL, 流量計; PD, パーマピュアドライヤー; IRGA, 赤外線ガス分析計。

試験ガス発生装置で作った一定濃度のCO₂ガスを、流量0.6ℓ min⁻¹でチャンバーに通気した。

通気が行われなくなり、通気するガスと試料内部のCO₂濃度差による拡散の影響を考慮しなければならない。このため、本測定システムにおいて通気が十分行われる試料の適正重量の範囲を調べた。

実験は10月から11月にかけて行なったので、通気するCO₂濃度はこの頃の林床に近い約400ppmに保ち、試料の量を少しずつ増やして、CO₂放出速度を測定した。

2. 4 CO₂濃度制御実験

2. 3の結果得られた適正量の試料を用いて、CO₂濃度を変えてCO₂放出速度を測定した。試料は、採取したばかりのもの、1～2日風乾させたものと、給水して一晩置いたもの、の3つの状態で測定した。それぞれの状態について、試料の含水量を調べた。含水量の表記には、水分量を乾重量に対する百分率で表した、含水比を用いた。これは、CO₂放出速度を乾重量当たりの速度で示しているためである。

$$\text{含水比} = 100 \times (\text{FW} - \text{DW}) / \text{DW}$$

また、コントロールとしてオートクレーブ滅菌（121℃, 1.5時間）した試料と乾熱滅菌（200℃, 6時間）した試料についても、同様にCO₂放出速度、あるいは吸着速度を測定した。

III 結果

3. 1 試料重量

通気するCO₂濃度を約400ppmに保った条件下で、試料の量を増やしたときのCO₂放出速度の変化を図2に示す。CO₂放出速度はチャンバーの入口と出口のCO₂濃度差（ppm）で、試料の量は乾燥重量（g DW）で表わした。初めは試料の量とともに、CO₂放出速度も直線的に増加したが、Lでは6g以上、FHでは5g以上になると、CO₂放出速度の増加は鈍化した。本システムでCO₂放出速度とCO₂濃度との関係を見るには、Lでは乾燥重量で約6g以下、FHでは同じく5g以下が適している。

3. 2 土壌試料の分解に対するCO₂濃度の影響

コントロールとして測定した、通気するCO₂濃度を変えた時の滅菌土壌のCO₂放出・吸着速度を図3に示した。Y軸はチャンバーの入口と出口のCO₂濃度差（ppm）を表している。滅菌したL、FHの

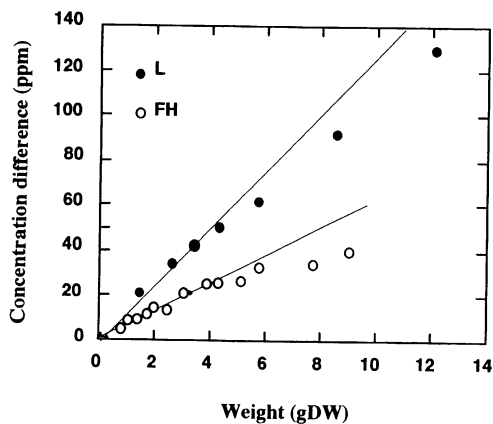


図2 室内実験で得られた試料の量とCO₂発生速度との関係

CO₂発生速度はチャンバーの入口と出口のCO₂濃度差(ppm)で表示, L, リター; FH, 腐植. 通気した空気のCO₂濃度は約400ppm, 流量は0.6 l min⁻¹, 25℃で測定. 試料の含水比は, Lが189%, FHが238%.

両試料とも, 全体として一貫したCO₂放出・吸着反応は見られなかった. 高CO₂濃度時に若干の吸着を見せる試料があったが, 濃度差はきわめて僅か(0~1.5ppm)であった. 実際に試料を用いてCO₂放出速度を測定する時には, 濃度差は常に数10ppmあったので, 本システムにおける測定に関しては, 土壤の物理的なCO₂放出・吸着反応は試料の分解速度に殆ど影響を与えない, と考えられる.

L, FH 両試料について, 土壤含水比をそれぞれ三段階で変えた, 3つの試料での, CO₂放出速度とCO₂濃度との関係を図4に示した. シンボルの違いは試料および含水比の違いを示している. 図5は, 図4の結果を, 林床のCO₂濃度に近い, 約400ppmの時の土壤呼吸速度を1として, 相対値で表したものであり, シンボルの違いは試料の違いを示している. いずれの試料でも, 中台(1990)や別宮(1991)が耕地土壤試料で示したような, CO₂放出速度が低CO₂濃度で促進され, 高CO₂濃度で抑制されるような明確な傾向は見られなかった.

L, FH の両試料において, CO₂濃度(100~800 ppm; 100ppm 刻み)と含水比(通常状態, 乾燥状

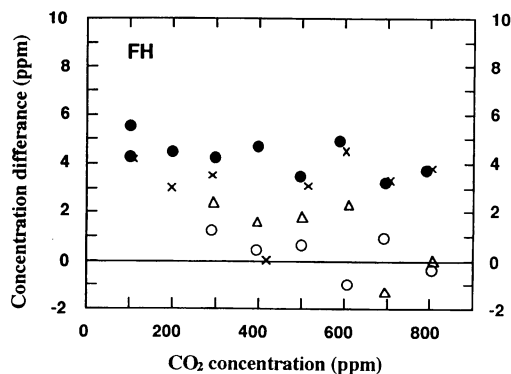
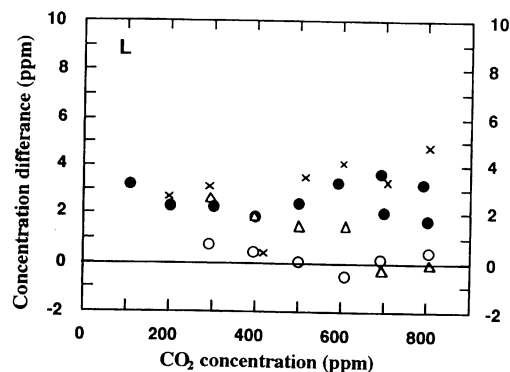


図3 滅菌土壤試料のCO₂放出・吸着速度
流量0.6 l min⁻¹, 25℃で測定.

- ×: オートクレーブ滅菌, 試料採取日は1992年11月6日, L 5.24 g DW, FH 2.89 g DW.
- : オートクレーブ滅菌, 試料採取日は11月25日, L 6.00 g DW, FH 3.14 g DW.
- △: オートクレーブ滅菌, 試料採取日は12月11日, L 6.00 g DW, FH 3.14 g DW.
- : 乾熱滅菌, 試料採取日は11月6日, L 6.00 g DW, FH 3.14 g DW.

態, 給水状態)の土壤試料のCO₂放出速度への影響を二元分散分析で解析した(表1). この時, 9月の野外測定で(安井・及川, 印刷中), 土壤呼吸速度の明らかな抑制が見られた含水率25%(含水比で34%)以下の試料を乾燥状態とし, この乾燥状態の試料に給水した試料を給水状態とした. この結果, 呼吸速度に対する含水比の影響は有意であったが(L, p<0.0001; FH, p<0.0001), CO₂濃度の影響は有意ではなかった(L, p=0.7619; FH, p=0.9668).

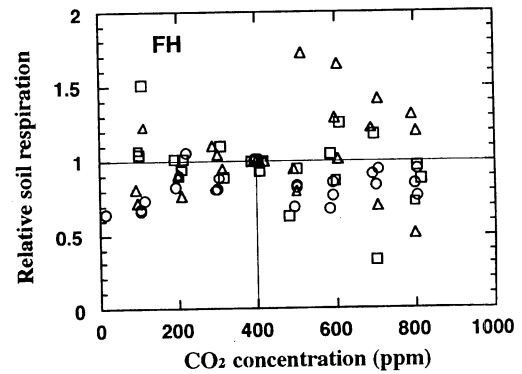
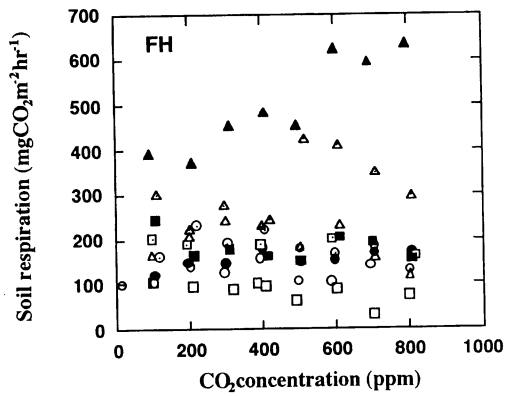
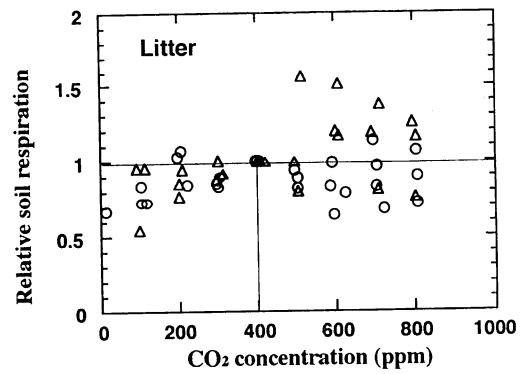
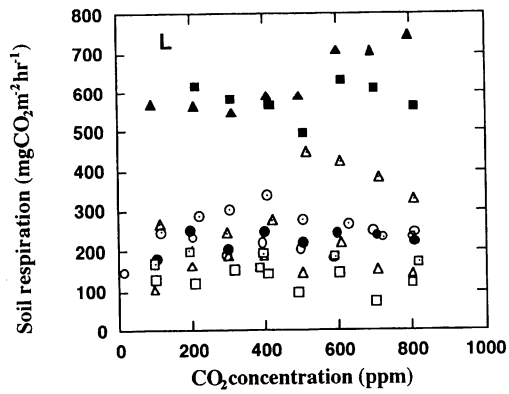


図4 室内実験による土壤試料のCO₂発生速度と通気する空気中のCO₂濃度との関係

CO₂濃度は100~800ppmの間で変え、流量は0.6 l min⁻¹、25℃で測定。

試料1 ○ : 含水比 L 99.9% (6.3 g DW) ; FH 182.9% (4.6 g DW).

○ : 含水比 L 78.8% ; FH 147.2%.

● : 含水比 L 94.3% ; FH 149.4%.

試料2 △ : 含水比 L 49.5% (4.7 g DW) ; FH 170.6% (4.0 g DW).

△ : 含水比 L 11.7% ; FH 83.0%.

▲ : 含水比 L 79.1% ; FH 177.6%.

試料3 □ : 含水比 L 38.4% (4.4 g DW) ; FH 98.0% (5.5 g DW).

□ : 含水比 L 22.6% ; FH 26.0%.

■ : 含水比 L 156.1% ; FH 117.3%.

図5 CO₂濃度と土壤試料の呼吸速度との関係
図4の結果を400ppmのときの値を1として相対値で表示。

○, 試料1 ; △, 試料2 ; □, 試料3.

表1 リターと腐植試料の呼吸に対する CO₂ 濃度と水分状態の影響についての二元分散分析の結果

CO₂濃度は100ppm 毎に100~800ppm の間で変え、水分状態は通常状態、乾燥状態、給水状態の3段階に分けて分析。

A. L層の試料

Source	d. f.	F-value	p-value
CO ₂	7	0.588	0.7619
Water condition	2	0.0192	0.0001
CO ₂ + Water condition	14	0.987	0.9912

B. FH層の試料

Source	d. f.	F-value	p-value
CO ₂	7	0.258	0.9668
Water condition	2	9.031	0.0005
CO ₂ + Water condition	14	0.3	0.9912

IV 考 察

アカマツ林床の表層土壌試料を用いた今回の実験では、中台(1990)や別宮(1991)の研究で報告されたような、耕地土壌試料のCO₂放出速度に対するCO₂濃度の影響は、明確には確認できなかった。この理由としては、耕地土壌試料を用いた先行研究では、土壌の拡散の影響を除ききっていない可能性が考えられる。今回、予備実験で林床のA層(無機質層)から採取した土壌試料でもCO₂放出速度を測定したが、一定面積あたりの放出速度が小さいのに対し、通気が十分なように表面積を大きくすると土壌の乾燥がひどく、拡散の影響を考えなくてもいい重量範囲での測定は困難であった。これと同じことが耕地土壌でもいえるかもしれない。

次に、耕地土壌とアカマツ林床土壌では、菌相が異なることも挙げられる。中台(1990)やKoizumi et al.(1991)は、土壌微生物の中でも、細菌や放線菌は呼吸に対するCO₂濃度の影響が大きかったが、糸状菌ではこれが顕著ではなかった、と報告している。また、別宮(1991)は糸状菌の一種であるTricoderma sp.によるグルコース分解実験で、中台(1990)やKoizumi et al.(1991)の実験では糸状菌については顕著でなかった、高CO₂濃度環

境下における呼吸速度の低下を認めている。これらのことは、土壌微生物の種類によって、呼吸速度に対するCO₂濃度の影響が異なることを示唆している。

土壌のミクロフロラは季節、植生、土壌型ならびに土壌の諸性質、気温、土壌の深さなどによって相違があるといわれる(石沢・鈴木, 1971)。微生物によって反応が異なるならば、供試土壌が違えば反応も当然異なるだろう。また、今回の室内実験は10、11月に行なっており、微生物の活動が活発な温かい季節の土壌では、また反応が異なることも考えられる。土壌呼吸に対するCO₂濃度の影響は季節によっても異なることが予想されるため、これを全般的に明らかにするには、季節を通じての室内実験や、異なる土壌試料を用いた実験、土壌微生物に関する知見が必要だろう。

二元分散分析の結果(表1)、野外測定で土壌呼吸速度の明らかな抑制が見られた含水率25%(含水比で34%)以下の試料を乾燥状態とし、この乾燥状態の試料に給水した試料を給水状態とした、含水比(通常状態、乾燥状態、給水状態)の土壌試料のCO₂放出速度への影響は有意であった。このことは含水率25%の9月の土壌呼吸速度が抑制され、その後、降水量が大きく増えた10月の土壌呼吸速度が、年間で見えた地温と呼吸速度の関係式から予想される値よりも大きくなった野外測定の結果(安井・及川、印刷中)と一致する。

謝 辞

本研究を行うにあたり、農業環境技術研究所植生生態研究室の皆さんには、研究施設の使用に際して、協力していただいた。その他、本研究に係わった全ての方々に、この場を借りて厚くお礼申し上げる。

引用文献

- 石沢修一・鈴木達彦(1973):生態学講座24. 土壌微生物の生態, 10-90, 共立出版
 桐田博充(1971a):野外における土壌呼吸の測定—密閉吸収法の検討. II KOH量が測定値に与える影響. 日生態誌, 21, 37-42
 - - - (1971b):野外における土壌呼吸の測定

- 一密閉吸収法の検討. IIIカバーの底面積とCO₂吸収面が測定値に与える影響. 日生態誌, **21**, 43-47
- - - (1971c): 野外における土壤呼吸の測定一密閉吸収法の検討. IVスポンジを利用した密閉吸収法の開発. 日生態誌, **21**, 119-127
- - - (1971d): 照葉樹林の土壤呼吸に関する研究. 日生態誌, **21**, 37-42
- - - ・穂積和夫 (1971): 野外における土壤呼吸の測定一密閉吸収法の検討. I. KOH量が測定値に与える影響. 生理生態, **14**, 23-31
- - - (1983): 3. 5. 4. 土壤呼吸, 170-172. 野村総合研究所編, 地球規模における二酸化炭素循環の測定法及びオゾン濃度の測定法に関する調査
- 瀬戸昌之・丹下勲・田崎忠良 (1977): 赤外線ガス分析計を用いた土壤呼吸速度の測定法について. 植物群落の物質代謝による環境保全に関する基礎的研究論文集, 147-150
- - - (1980): 土壤の二酸化炭素の放出速度と土壤の含水率および土壤溶液中の溶存有機炭素量との関係. 日生態誌, **30**, 385-391
- 鶴田治雄 (1992): 土壤生態系のガス代謝と地球環境5 二酸化炭素. 土肥誌, **63**, 237-244
- 中台利枝 (1990): 耕地の土壤呼吸速度に関する実験的研究. 筑波大学環境科学研究科修士論文, pp 53
- 別宮由紀子 (1991): 耕地生態系における土壤呼吸および炭素収支に関する研究. 筑波大学環境科学研究科修士論文, pp 81
- 安井弓子 (1993): アカマツ林床の土壤呼吸速度の日変化・季節変化特性と微気象環境. 筑波大学環境科学研究科修士論文, pp 68
- 安井弓子・及川武久 (印刷中): 筑波大学構内アカマツ林床における土壤呼吸速度と微気象環境の日変化・季節変化特性 水理実験センター報告
- Koizumi, H., Nakadai, T., Usami, Y., Satoh, M., Shiyomi, M. and Oikawa, T. (1991): Effect of carbon dioxide concentration on microbial respiration in soil. *Ecol. Res.*, **6**, 227-232
- Kucera, C. L. and Kirkham, D. R. (1971): Soil respiration studies in tallgrass prairies in Missouri. *Ecology*, **52**, 913-915
- Macfadyen, A (1973): Inhibitory effects of carbon dioxide on microbial activity in soil. *Pedobiologia*, **Bd. 13**, 140-149
- Seto, M. (1982): A preliminary observation on CO₂ evolution from soil *in situ* measured by an air current method-an example on rainfall and plowing sequences-*Jpn. J. Ecol.* **32**, 535-538
- Soulides, D. A. and Allison, F. E. (1961): Effect of drying and freezing soils on carbon dioxide production, available mineral nutrients, aggregation, and bacterial population. *Soil Sci.*, **91**, 291-298