

耕盤を有する農地土壌中の CO₂ と O₂ の挙動

藤川 智紀*

Behaviors of CO₂ and O₂ Gases in a Field Soil with a Hard Pan

Tomonori FUJIKAWA*

Department of Biological and Environmental Engineering, The University of Tokyo, 1-1-1 Yayoi,
Bunkyo-ku, Tokyo 113-8657, Japan

Abstract

Gas concentration in the soil air is different from that in atmosphere, because it is affected by activity of microorganisms, gas diffusion and chemical reaction. Under the field condition for cultivation, large changes in soil physical properties by human operations may affect the gas behavior in the soil. The objective of this study is to clear gases behaviors in the soil from field measurements, column experiments and simulations.

Under field condition, CO₂ and O₂ gas concentrations in the deeper layer than the hard pan changed remarkably with seasons, whereas those concentrations in the top layer changed little. From the column experiments, CO₂ gas concentrations in the top layer increased with infiltration, whereas CO₂ gas concentrations decreased both in the other layers and in the atmosphere. The changes of O₂ gas concentrations after infiltrations are opposite to those of CO₂ gas. Simulation with measured gas CO₂ gas concentration of column experiment suggested that the activity of microorganisms at the hard pan might be larger, and also, prevention of gas movement above the hard pan or large flux of gas through the top layer might be keep CO₂ gas concentration low in the top layer. It was concluded that gas concentrations changes above and below the hard pan, because the hard pan affects the activity of microorganisms and gas diffusion.

Key words : soil gas, field soil, hard pan

1. はじめに

近年、環境問題として取りざたされている地球温暖化の原因物質として 大気中の温室効果ガス (CO₂, N₂O, CH₄ など) が注目されてきた。土壌中から大気へのガス放出量は土壌の利用・管理方法によって大きく変化するため、土壌の状態と土壌中のガス挙動の関係を正確に把握することは温室効果ガスの制御にも非常に有効である。

これまでの研究で土壌中の CO₂ ガス濃度は大気よりも高く、O₂ ガス濃度は大気よりも低いことが明らかになったが、ガス濃度の大きさや濃度分布の形状は、研究の対象となった場所、時期、土地利用形態、作付け品目

によって大きく異なっている (Pyatt and Smith, 1983 ; Osozawa and Hasegawa, 1995 ; Sierra and Renault, 1998 ; Sotomayor and Rice, 1999)。これらの研究では、作目や測定場所によるガス挙動の変化を、作物種や土壌物理性から定性的に考察しているが、ガス挙動の基礎方程式に基づいたガス濃度分布の定量的な解析には至っていない。

土壌中のガス挙動は、土壌生物や植物根、土壌微生物による発生および消費、ガス濃度勾配に基づく拡散移動、CO₂ ガスの溶解に代表される化学反応、全圧勾配に基づくマスフロー、土粒子との吸脱着に影響を受けると考えられるが、CO₂、O₂ ガスに関しては、マスフローや吸脱着が無視できることが知られている一方、ガス発

* 東京大学大学院農学生命科学研究科 〒113-8657

キーワード : 土壌ガス, 農地土壌, 耕盤層

生、拡散移動、化学反応の相互作用は明らかではない。

そこで、農地土壌中のCO₂、O₂ガス濃度変化及びガス移動における微生物活性・ガス拡散・ガス溶解の寄与を明らかにすることを目的に現場調査・カラム実験・シミュレーションをおこなった藤川ら(2000)および藤川ら(2003)を紹介する。

2. 現場調査(藤川ら, 2000)

現場におけるCO₂、O₂ガスの濃度分布を明らかにすることおよび、各種土壌物理性の変化から微生物活性とガス拡散移動を把握することを目的に現場調査をおこなった。

2.1 調査および測定

調査対象地は宮崎県都城市の田畑輪換圃場とし、季節、作目によるガス濃度分布や土壌物理性の変化を調べるため、代掻き直前の1998年5月(以下5月調査)、稲収穫直後の1998年10月(10月調査)、畑作物(レタス)収穫直後の1999年3月(3月調査)の3回の調査をおこなった。各調査をおこなった圃場内の位置を図1に、また土壌断面図を図2に示す。土層のうち耕盤層は、土壌硬度や乾燥密度から判断した。

測定項目は、CO₂、O₂ガスの濃度、微生物活性に影響を与えると考えられる土壌微生物数、温度(地温)、三相分布(乾燥密度、含水比、真比重から計算)、ガス拡散に影響を与えると考えられるガス拡散係数である。土壌ガスは、pitに隣接した地域にガス採取管を埋設して採取した。本研究で用いたガス採取管を図3に示す。従来型はRolston(1986)を参考に作成し、5月調査で用いた。改良型は、ステンレスパイプを重ねたもので、従来型に

比べ、採取するガスの位置、蓄積したガスの体積を厳密に決定することができる。ガス採取管埋設後、24時間以上放置し、土壌ガスが平衡に達してからガスを採取した。

2.2 結果及び考察

現場で測定されたガス濃度を図4に示す。土壌中のCO₂、O₂ガス濃度は、深さ0~20cmまでは、大気中とほぼ同様であったが、耕盤層のある20cm近傍で、急激にCO₂ガス濃度が上昇し、O₂ガス濃度が低下した。耕盤層より深い部分でのガス濃度は大きく変動した。耕盤層におけるCO₂ガス濃度の最高値は16%、O₂ガス濃度の最低値は2%(10月調査の深さ80cm)であった。

各季節のガス濃度の比較から、表層0~20cmのガス濃度は、一年を通じて殆ど変化しないのに対して、耕盤層以深のガス濃度は時期により大きく変化することが明らかになった。特に、水田利用後の10月調査の耕盤層以深では、他の時期より高いCO₂ガス濃度、低いO₂ガス濃度が耕盤層以深で測定された。土壌微生物数、地温、三相分布の測定からは、地温、水分量が季節・作目により変化するのに対し、微生物数が一年を通じて殆ど変化しないことが明らかになった(図5~7)。また土壌のガス拡散係数は、気相率分布の影響を受け、10月の表層では、小さくなっていった(図8)。他の調査に比べ、耕盤層以深で10月調査のCO₂ガス濃度が高く、O₂ガス濃度が低くなった第一の原因として、高い地温と水分量による微生物活性の上昇が挙げられる。これは、地温や水分量ともにガス発生速度が上昇することを報告したRochette and Gregorich(1969)およびJoshi *et al.*(1991)の結果とも一致する。第二の原因として、地表付近の気

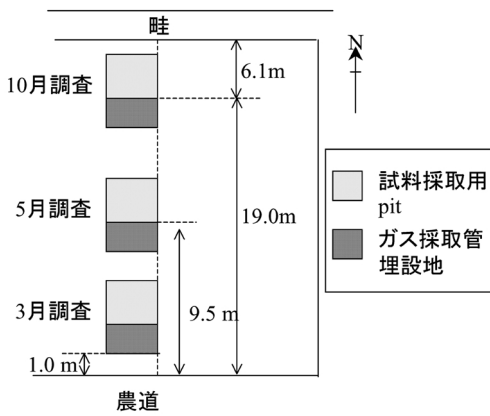


図-1 調査位置

Fig. 1 Locations of each research area in the field.

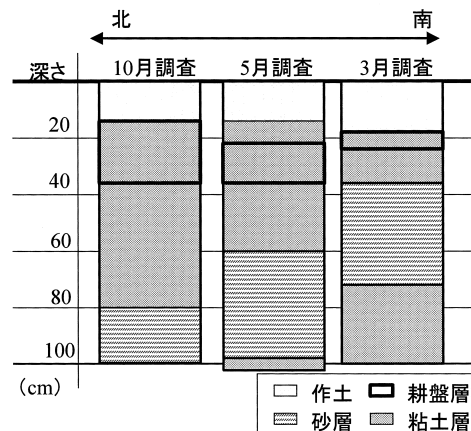


図-2 土壌断面図

Fig. 2 Soil profiles.

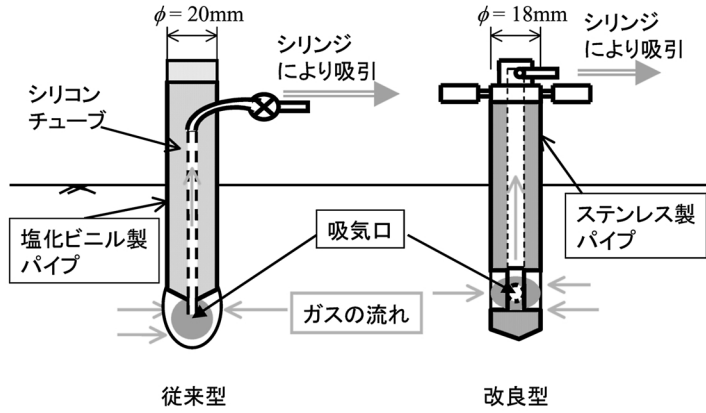


図-3 ガス採取管模式図

Fig. 3 Schematic diagrams of gas sampling pipes.

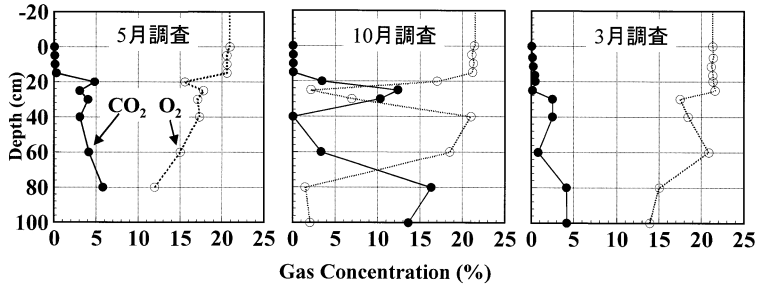


図-4 現場のガス濃度分布

Fig. 4 Gas concentration distributions in the field.

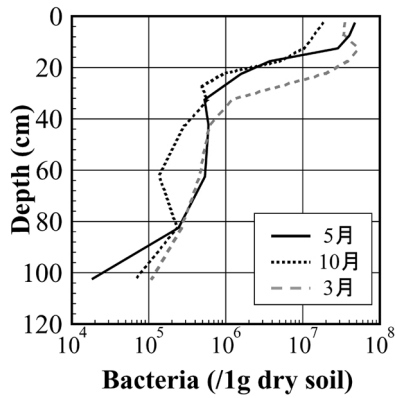


図-5 微生物数分布

Fig. 5 The distribution of the number of microorganisms.

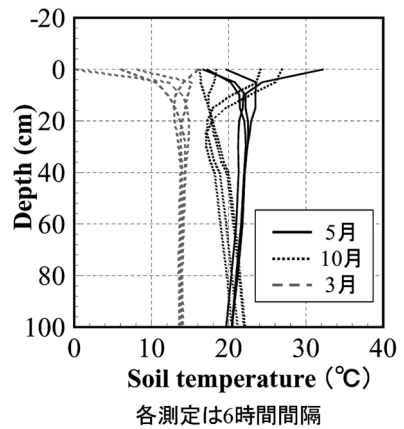


図-6 地温分布

Fig. 6 Soil temperature profiles.

相率の低下に伴いガス拡散移動が阻害され、CO₂ガスが土壌中に蓄積したことが考えられる。

3. カラム実験

3.1 耕盤が土壌中のガス挙動に及ぼす影響 (藤川ら, 2003)

現場測定で指摘された、耕盤層 (乾燥密度が高い層) がガス濃度分布に与える影響を調べることを目的にカラム実験をおこなった。

3.1.1 実験

実験に用いたカラムの概要を図9に示す。多孔質のパイプを土壌中に埋設し、土壌中のガスと平衡に達した、

パイプ内の気体をシリンジで採取し、土壌ガス試料とした。ガス試料は現場調査同様、ガスクロマトグラフを用いて、CO₂、O₂ガス濃度を分析した。

現場調査の対象圃場の表層、深さ0~10 cmから採取した攪乱試料の、2 mm 篩い通過分をカラムに充填した。試料の乾燥密度は、現場の乾燥密度を参考に、深さ0~10 cm (以下表層) および 25~57 cm (深層) では 1.00 Mg/m³、10 cm~25 cm (耕盤層) では 1.25 Mg/m³とした。

給水は12時間おこない、はじめの2時間は12~13 mm/hに、その後の10時間は、湛水深が10~15 mmに維持されるように調節した。ドリップポイントは地表か

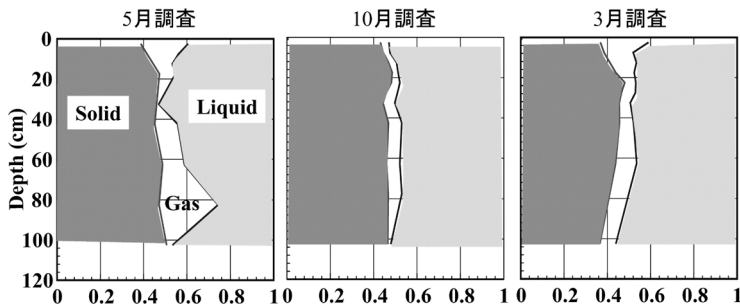


図-7 三相分布

Fig. 7 Solid, liquid and gaseous phases of soil.

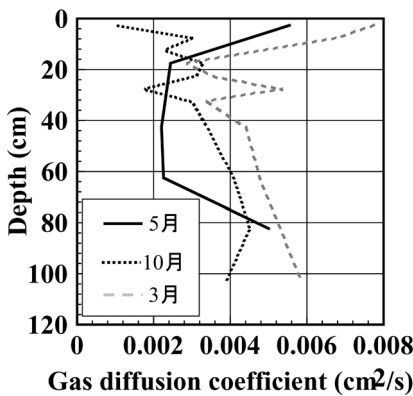


図-8 ガス拡散係数分布

Fig. 8 The distributions of gas diffusion coefficient.

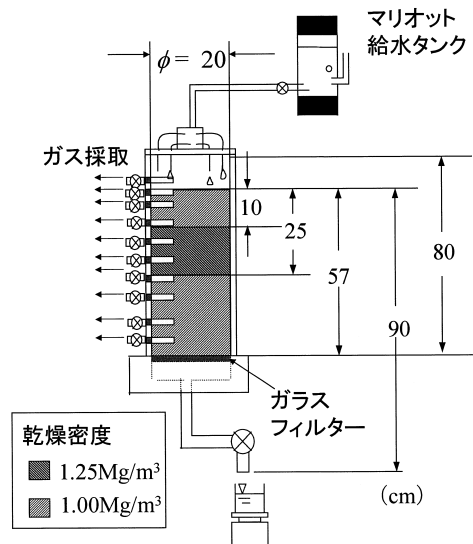


図-9 カラム実験装置図

Fig. 9 Schematic diagram of apparatus of column experiments.

ら深さ 90 cm に設定し、給水開始と同時に重力により自由排水した。

3.1.2 結果及び考察

給水後 17 日目に測定された、CO₂、O₂ ガス濃度と三相分布を図 10 に示す。ガス濃度は、表層 0~10 cm では大気と同様であるのに対し、乾燥密度の高い耕盤層 (10~25 cm) で急激に CO₂ ガス濃度が上昇し、O₂ ガス濃度が低下することが分かった。深さ 20 cm より深い層 (深層) ではガス濃度はほぼ一定であった。カラム実験で測定されたガス濃度と、現場で測定されたガス濃度を比較した結果 (図 11)、カラム実験のガス濃度分布は、特に、表層および耕盤層では現場のガス濃度をよく再現し、耕盤層の存在により土壌中の CO₂ ガス濃度が上昇し、O₂ ガス濃度が低下することが分かった。しかし、耕盤層以深では現場のガス濃度分布が深さ方向に大きく変動するのに対し、カラム実験で測定されたガス濃度はほぼ一定となった。耕盤層より深い層における現場とカラムのガス濃度分布の違いの原因として、①現場では深さ方向に微生物数が減少するのに対し、カラム土壌の微生物数は深さ方向に変化せず、深い層の微生物活性が異なること、②現場ではガス拡散係数のばらつきが大きく、場所により不均一な拡散移動量が生じていること、③カラム土壌は下方を飽和されたフィルターで拘束されていたため、ガスの下方移動が抑制されているのに対し、現場では地下水への溶解や、地下水からの溶脱も生じていることなどが考えられた。下方の境界条件がガス濃度に与える影響を調べるためには、より長いカラムを用いた実験が有効である。

一方、耕盤層以深の CO₂ ガス濃度と O₂ ガス濃度の和

は、現場同様、表層より低くなった。この原因として、脱窒反応による N₂ ガス濃度の上昇と土壌水中への CO₂ ガス濃度の溶解が考えられた。

3.2 浸潤にともなうガス濃度の変化

現場測定では、地温と水分量の変化が土壌中のガス濃度を変化させることが明らかになった。そこで、上述した土壌カラムに、繰り返し給水を与え、土壌水分量の急激な変化 (浸潤) にともなうガス濃度の変化を調べた。

3.2.1 実験

本実験 (以下浸潤実験) は上述の実験に引き続いておこなった。上記の実験開始後 20 日目を浸潤実験 0 日目とし、0、3、6、12、14 日目の 5 回給水した。各給水は強度 1.1~1.3 mm/h で 12 時間である。実験開始後のカラム内のサクション変化を図 12 に示す。

3.2.2 結果及び考察

測定された各深さの CO₂、O₂ ガス濃度変化を図 13 に示す。浸潤に伴い、CO₂ ガス濃度は地上部及び耕盤層以深では低下したのに対し、表層では上昇した。O₂ ガス濃度は CO₂ ガス濃度とは反対の傾向を示し、地上部 (大気中) 及び耕盤層以深では上昇したのに対し、表層では低下した。給水後の CO₂ ガス濃度の変化は深さ 20 cm (耕盤層) で最大 2.9%、深さ 5 cm (表層) で最大 0.46% であった。浸潤による、地上部および表層部のガス濃度変化の原因として、表層の気相率の低下によるガス拡散移動量の減少が重要であるといえる。浸潤に伴い表層のガス拡散移動が小さくなり、土壌中で発生した CO₂ ガスは土壌中に蓄積し、表層の CO₂ ガス濃度が上昇、また大気中の CO₂ ガス濃度が低下したと考えられる。一方、耕盤層以深の CO₂ ガス濃度変化の原因として、浸潤の際生じ

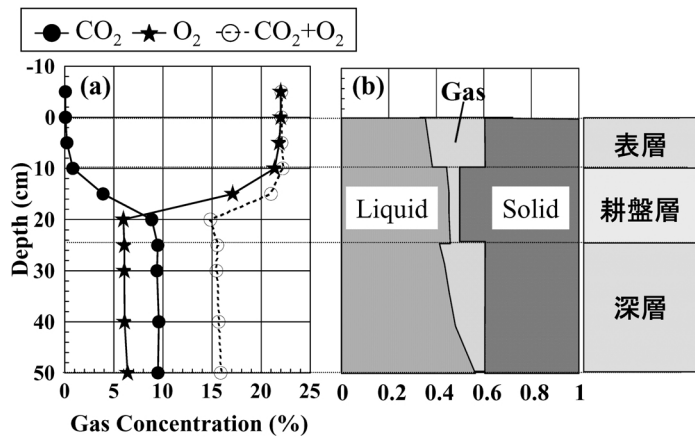


図-10 カラム土壌中のガス濃度分布

Fig. 10 Gas concentration distributions in the column.

た水分過多による土壌微生物の呼吸速度の低下 (Boeckx and Cleemput, 1996) と浸透水中への CO₂ ガスの溶解が考えられた。

4. シミュレーション (藤川ら, 2003)

4.1 支配方程式および各種条件

耕盤層を有する土壌中のガス挙動を解析することを目的に、カラム実験の結果を対象として、CO₂ ガス濃度変化のシミュレーションをおこなった。シミュレーションでは、ガス挙動の支配方程式を用いて CO₂ ガス濃度の時

間変化を計算し、カラム実験のガス濃度測定値と比較した。計算を単純化するために、土壌中の水分移動が平衡に達した場合のガス濃度変化を計算した。水分量が平衡に達しているという仮定から、気相率、ガス拡散係数の時間変化および溶解反応速度を無視することが出来るため、ガス挙動の支配方程式は以下ようになる。

$$\epsilon \frac{\partial C}{\partial t} = r + D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2}$$

または

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{r}{\epsilon} + \frac{D}{\epsilon} \frac{\partial^2 C}{\partial z^2}$$

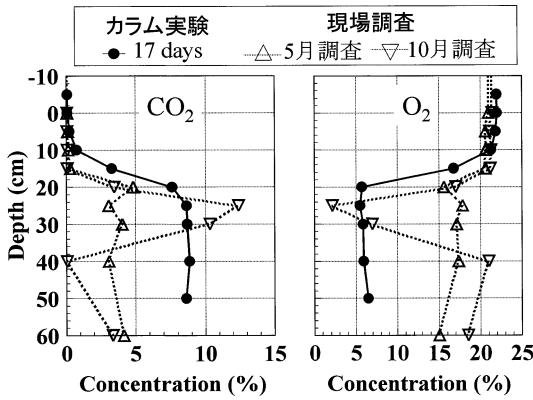
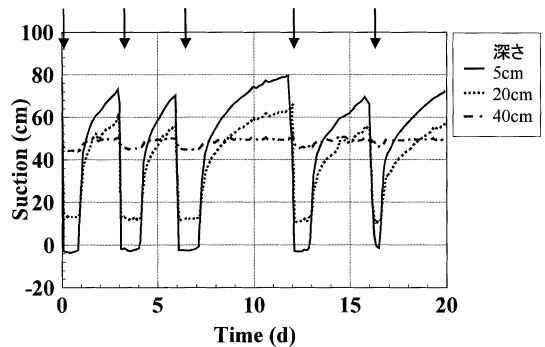


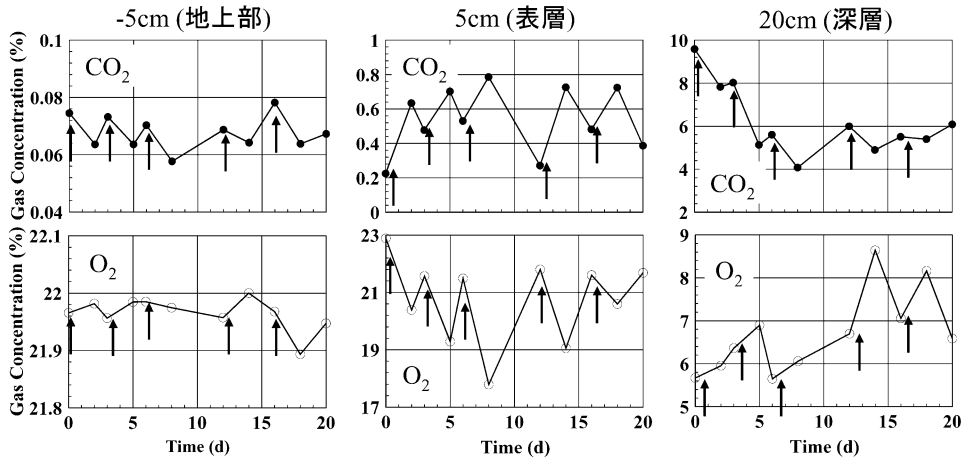
図-11 カラム実験と現場調査のガス濃度分布
Fig. 11 Comparison of gas concentrations between in column and in field soils.



矢印は給水した日を示す (0, 3, 6, 12, 16 days)

図-12 サクション変化

Fig. 12 Changes of suction with time.



矢印は給水した日を示す (0, 3, 6, 12, 16 days)

図-13 浸潤に伴うガス濃度変化

Fig. 13 Changes of gas concentrations after infiltration.

ϵ は気相率, C は注目するガスの濃度, r はガス発生速度, D はガス拡散係数, t は時間, z は位置である。 ϵ, D には, カラム実験で測定された値を用いた。 r には, 様々な分布を仮定して計算をおこなった。水分移動が平衡に達した状態と判断された時点 (3.1 カラム実験の給水後 17 日目) の CO₂ ガス濃度の測定値を初期条件として計算をおこない, シミュレーションによる 72 時間後の予測値と 3 日後 (給水後 20 日目) の測定値を比較した。

4.2 結果および考察

図 14 にシミュレーション結果を示す。図 14 (a) は $r/\epsilon=0$, つまりガス発生がない場合のガス濃度変化である。ガス発生がない場合, ガス拡散移動によってガス濃度が大きく変化し, 耕盤層直上ではガス濃度が上昇し, 直下では低下した。つまり, ガス発生を 0 とする過程は正しくないと言える。

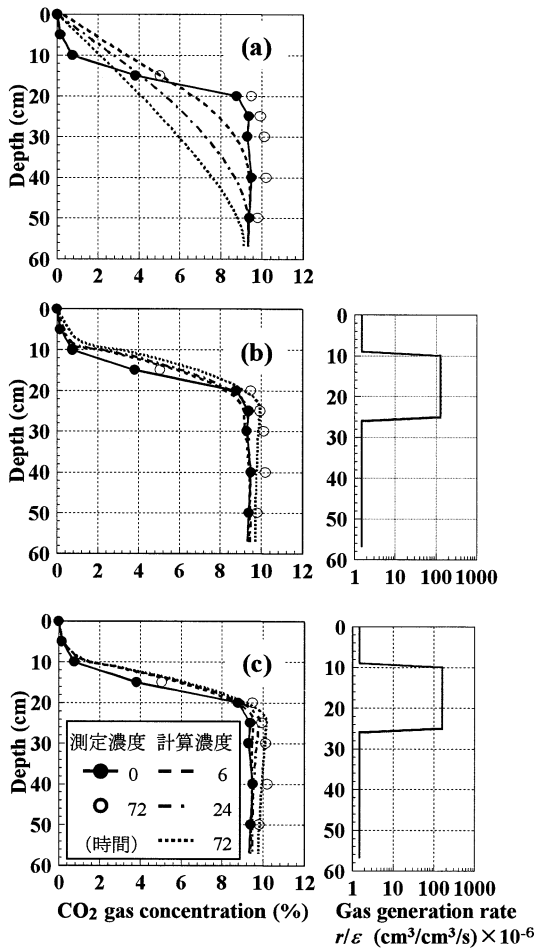


図-14 シミュレーション結果

Fig. 14 Simulated CO₂ gas concentrations.

耕盤層では乾燥密度が高く, 気相体積が小さいことから, 微生物からのガス発生がガス濃度に及ぼす影響が大きく, また耕盤層直上に水分や微細粒子が蓄積すると, ガス拡散移動が阻害されると考えられる。そこで, 気相体積あたりのガス発生速度が大きいこと, 耕盤層の直上の気相率が小さいことを仮定し, シミュレーションをおこなった。一例を図 14 (b) に示す。計算時に仮定したガス発生速度 r/ϵ は, 耕盤層で $1.3 \times 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{cm}^3/\text{s}$, その他の層で $1.5 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{cm}^3/\text{s}$ であり, 5~10 cm の気相率はサクシオン測定値から予測される値を 1/10 として, ガス拡散移動の阻害層と仮定した。

また, 気圧の変動や温度変化によるマスフローや, 地表面に出来た亀裂を通じた大きな拡散移動があると, 表層の CO₂ ガス濃度がより大気と近くなると考えられる。そこで, 先程同様, 耕盤層で大きいガス発生速度を仮定し, 0~10 cm の単位時間のガス濃度計算値に 1 より小さい係数を掛けて, 常に CO₂ ガス濃度が大気と近い値に近づくように操作して計算を行った。一例を図 14 (c) に示す。計算時に仮定した r/ϵ は, 耕盤層で $1.6 \times 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{cm}^3/\text{s}$, その他の層で $1.5 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{cm}^3/\text{s}$ であり, 係数は 0.95 である。仮定より, 大気中 ($z=0$) では CO₂ ガス濃度が 0 であるため, 係数の 0.95 は, 1 分間に表層の気相体積の 5% が大気と交換されることを表す。計算濃度は測定濃度とかなりよく一致した。

これらの計算で用いたガス発生速度は, 炭素質ベースでは $0.5 \sim 26 \mu\text{gC g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ であり Sakamoto and Oba (1994) が畑地土壌を用いて測定した発生速度 $0.3 \sim 1.1 \mu\text{gC g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ や Ross and Tate (1993) が森林土壌を用いて測定した発生速度 $0.1 \sim 1.8 \mu\text{gC g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ と近い値であった。本シミュレーションでは大気とのガス交換を仮定した方が測定値と近い結果をしめし, 確からしさが高いと考えられる。しかし, ガス移動阻害の要因も無視できないので, 更に詳細を明らかにする必要がある。

5. まとめ

これまでに得られた結果をまとめると以下のようなる。

(1) 現場測定の結果, 土壌中の CO₂, O₂ ガス濃度は, 耕盤層より深い部分で大気と大きく異なり, 深さ方向に変動した。またガス濃度分布は, 表層では一年を通じてほとんど変化しないのに対して, 耕盤層より深い部分では時期により大きく変化をすることが分かった。

(2) カラム実験の結果, 浸潤に伴う土壌中の CO₂, O₂ ガス濃度の変化は, 深さによって異なることが分かった。各深さのガス濃度変化は, 水分量変化に伴う, 微生物活性・ガス拡散・ガス溶解の変化から説明することが

出来た。

(3) シミュレーションの結果、耕盤層における高い微生物活性と、耕盤層直上のガス拡散係数の低下、または表層のガス濃度がより大気と近いことを仮定することにより、測定されたCO₂ガス濃度と近いガス濃度を計算によって得られることが分かった。

(4) 耕盤層が存在することにより、耕盤上下では微生物活性とガス拡散移動が変化するため、ガス濃度分布が大きく変化することが分かった。

また、今後の課題として、以下の点を挙げる。

シミュレーションの結果示唆された、耕盤層によるガス拡散移動の阻害と、表層の大きなガス移動が、現場のガス挙動にどのような影響を与えているかを検証する。

引用文献

- Boeckx, P. and van Cleemput (1996) : Methane oxidation in a neutral landfill cover soil : Influence of moisture content, temperature and nitrogen-turn over, *J. Environ. Qual.*, **25** : 178-183.
- 藤川智紀・宮崎 毅・井本博美 (2003) : 耕盤層を有する土壌中のCO₂、O₂ガス挙動に関する研究, *農土論集*, **225** : 111-118.
- 藤川智紀・宮崎 毅・関 勝寿・井本博美 (2000) : 田畑輪換圃場における土壌微生物数分布とCO₂、O₂ガス濃度分布の相関について, *農土論集*, **208** : 19-28.
- Joshi, M., Mer, G.S., Singh, S.P. and Rawat, Y.S. (1991) : Seasonal pattern of total soil respiration in unsaturated and disturbed ecosystem of Central Himalaya, *Biol. Fertil. Soils*, **11** : 267-272.
- Osozawa, S. and Hasegawa, S. (1995) : Diel and seasonal changes of carbon dioxide concentration and flux in an andisol, *Soil Sci.*, **55** : 55-62.
- Pyatt, D.G. and Smith, K.A. (1983) : Water and oxygen regime of four soil types at Newcastle Forest, south Scotland, *J. Soil Sci.*, **34** : 465-482.
- Rochette, P. and Gregorich, E.G. (1998) : Dynamics of soil microbial biomass C, soluble organic C and CO₂ evolution after three years of manure application, *Can. J. Soil Sci.*, **78** : 283-290.
- Rolston, D.E. (1986) : Gas Flux, Klute, A. ed., *Method of soil analysis*, Part 1, No. 9, Am. Soc. Agron. : pp. 1103-1109.
- Ross, D.J. and Tate, K.R. (1993) : Microbial C and N, and respiratory activity, in litter and soil of a southern beech (*Nothofagus*) forest : distribution and properties, *Soil Biol. Biochem.*, **25** (4) : 477-483.
- Sakamoto, K. and Oba, Y. (1994) : Effect of fungal to bacterial biomass ratio on the relationship between CO₂ evolution and total soil microbial biomass, *Biol. Fertil. Soils*, **17** : 39-44.
- Sierra, J. and Renault, P. (1998) : Temporal pattern of oxygen concentration in a hydromorphic soil, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **62** : 1398-1405.
- Sotomayor, D. and Rice, C.W. (1999) : Soil air carbon dioxide and nitrous oxide concentrations in profiles under tallgrass prairie and cultivation, *J. Environ. Qual.*, **28** : 784-793.

受稿年月日 : 2003年5月28日

受理年月日 : 2003年9月4日

藤川氏講演に関する質疑

質問：

シミュレーションの結果では耕盤層の微生物活性が 800 倍にもなるということだが、そういうことが実際に起こるとはわかには信じがたい。例えば耕盤層だと、容積重が大きくなり水分飽和度が高くなると思われるが、それに伴って実際に 800 倍もの微生物の活性を生じる可能性が示されている既往の研究があるのか。また、最後の OHP では耕盤層より浅い層で微生物活性が高くなるように見えるが、それはシミュレーション結果と矛盾するように思えるが、いかがか。

藤川（東大）：

耕盤層で約 800 倍もの微生物活性があるということについてだが、この値が非常に大きいと言うことは私にも理解でき、なぜそういう値になるかについて迷っている。まず、第 1 に言えることは、ガス発生速度だが、これは気相でのガス発生速度を示しており、3 相で見た場合の同じガス発生速度よりも大きな値となっている。つまり、気相率が 1/10 の場合には、同じ速度であっても 10 倍の高い評価となる。また、密度も 1.25 と高くなっており、影響は小さいと思うが、やはり大きくなる方向へ評価することになる。ただ、これらを含めても 800 倍というのは少し大きすぎるとは思う。

質問：

水分変化が定常となっているので化学反応の項が無視しうるとのことだが、その理由をわかりやすく説明して欲しい。

藤川：

時間の関係もあり端折って説明させてもらったが、水分が定常状態であるというだけでは水分量の変化があるかどうか分からないため、本来は化学反応項が無視しうかどうかは分からないと思う。ただ、これは一旦給水した後の状態を仮定しているので、水分分布が一定であるということは、下に流出する水分がごく僅かとみなせ、このため溶解、溶脱する CO₂ 量は非常に少ないと言える。また、ガス濃度変化が時間に対して非常に大きく変化するような場合、Henry の法則によって溶解量はガス分圧に比例するため、増加した分圧だけガスは水分に溶解してしまう。ただ、ここではガス濃度変化は 3 日間で 0.1% 程度という小さな値であるためここでは無視しうるものとした。

質問：

カラム実験で土壌は全て top soil を充填したとのことであるが、耕盤層の微生物活性が高いということをこれ

から一般化するのは難しいのではないか。また、実験で水を間欠的に灌水する場合、水の浸入によってガスが下方に押された結果として、作土の CO₂ が減少し耕盤層に集積したということは考えられないか。最後に、現場の圃場で 10 月に耕盤層付近に CO₂ 濃度の鋭いピークが見られるが、これは 1 次元のガス移動だけでなく、水平方向にも移動が生じた結果という可能性はないか。

藤川：

まず 1 点目だが、今回の実験では表層の土を用いて乾燥密度を高くすることによって耕盤層を模して行い、耕盤層で高い微生物活性を示すという結果が得られたが、現場で同様なことが言えるかということについては今後検討を進めていきたい。また、表土を試料として用いたのは、ガス発生速度の分布を簡単にするためだ。つまり、初期に微生物分布に違いがあるとこれを考慮しなければならぬので、これを単純化するために表土を用いた。今回のシミュレーションで特に注目したのは CO₂ 濃度が深さ 20 cm 付近の耕盤層で急激に高くなるという現象で、この現象は、現場、カラムを通して良く再現できたと思っている。このような大きなガス濃度勾配の存在は、拡散ではすぐに勾配が消滅してしまうため説明できず、この部分に高いガス発生があるのではないかと考えた。このことは現場にも適応でき、土壌中で大きなガス濃度勾配が継続して存在するのは、その部分に大きなガス発生があるのではないかと結論づけた。2 点目に、浸入する水の圧力によってガスが下方へと押されるのではないかということだが、それはあると思う。湛水状態で土中に水が浸入するとき、ガスが上方に抜けていく場合もあれば、また、圧力が上がるとガスは水に溶けやすくなるため、水に溶けていく場合も考えられる。ただ、耕盤層でのガスの蓄積によってガス濃度が上昇する問題については、移動してくるガスと蓄積されているガスの組成を調べれば分かると思うので、今後測定していきたい。最後に、圃場でのガスの水平移動についてであるが、水田でのガス濃度を計測された佐々木先生の結果を見ても、排水路からの距離と CO₂ 濃度の間には関係があるといわれている。そのため、ガス濃度の横方向への分布は存在すると思う。今回調査においても、ある測点と互いに隣接する 2 測点でもガスの採取を行ったが、ガスの濃度の分布は圃場の不均一性の影響を強く受けてしまうので、濃度の値自身や分布形状は多少異なってしまうが、高い値、低い値という傾向は月毎、場所に関係せず、横方向の分布は存在するのではないかと考える。

（文責：井上 久義）