

土壌からの温室効果ガス発生・吸収に関する研究動向

—畑地および森林の炭素循環と N_2O ・ CH_4 フラックスを中心に—

澤 本 卓 治*

A research trend of greenhouse gaseous emission from soils
 —Carbon cycling, N_2O and CH_4 flux in upland fields and forests—

Takuji SAWAMOTO*

* National Institute for Agro-Environmental Sciences, Tsukuba, Ibaraki, 305-8604, Japan

1. 緒 言

地球温暖化に対する危機感が高まる中、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) が 1988 年に設立された。IPCC (2001) によれば、人間活動に由来する大気中の温室効果ガス濃度の上昇とそれに伴う地球温暖化が生じており、全球平均気温は 1990 年から 2100 年に 1.4~5.8°C 上昇すると予想されている。

本稿では、土壌と関係が深い CO_2 、 CH_4 、および N_2O について、畑地および森林の炭素循環と N_2O ・ CH_4 フラックスを中心に、研究動向を紹介する。

2. 土壌からの温室効果ガス生成プロセスと制御因子

CO_2 の発生プロセスは、有機物分解 (微生物・動物) と植物の根呼吸であり、その制御要因としては、温度、水分、有機物、根活性などがある。 CH_4 は、土壌条件に応じて発生も吸収も生じる。そのプロセスは微生物反応であり、メタン生成菌およびメタン酸化 (消費) 菌による。温度、水分、酸化還元電位、基質 (有機物) 濃度などによって制御され、嫌氣的環境ではメタン生成菌の活性が優勢となる。 N_2O は土壌の無機態窒素の変換過程から生成する。通常、微生物反応によって生じるが、ふたつのプロセスがある。ひとつは、硝化菌によるもので、 $NH_4 \rightarrow NO_3$ の副生成物として N_2O が生成する。もうひとつは、脱窒菌によるもので、 $NO_3 \rightarrow NO_2 \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$ の中間生成物として N_2O が生成する。温度、水分、酸化還元電位、無機態窒素濃度、pH、有機炭素濃度などによって制御される。

土壌表面と大気とのガス交換は、拡散 (diffusion) と移

流 (mass flow) によるが、通常は拡散が主要である (Baver, 1972; Hillel, 1998)。そのため、土壌表面付近のガス濃度勾配と土壌のガス拡散係数がガスフラックスを規定する。土壌のガス拡散係数はおもに気相率によって変動する。なお、水稻などは茎や根の内部に通気組織が発達しており、水田土壌で生成されたメタンのほとんどはこの経路で大気に放出されることが知られている。

これまで農耕地および森林土壌からの温室効果ガス発生量や炭素循環に関しては、数々のレビュー (Bouwman, 1990; Raich and Schlesinger, 1992; Bouwman, 1996; 袴田ら, 2000; 犬伏, 2000; 鶴田, 2000; FAO and IFA, 2001; Le Mer and Roger, 2001) にまとめられている。

ここでは、GWP (地球温暖化指数、異なった温室効果ガスが排出されたときに、それらの温暖化影響を相対化したもので、100 年間では、 CO_2 が 1、 CH_4 が 23、 N_2O が 296 である) (IPCC, 2001) を用いて正味の温室効果ガス排出を評価し、それを削減する可能性について議論する。

3. 農 耕 地

Robertson *et al.* (2000) は、1991 年から 1999 年において、アメリカ中西部の耕作地と非耕作地の 10 の生態系において、温室効果ガスの排出構造を明らかにした。その結果を表-1 に示す。正味の温室効果ガス排出は慣行栽培区の 114 から、最近耕作を止めた区の $-211 \text{ g } CO_2 \text{ eq m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ の範囲を示した。土壌からの N_2O 発生が正味の温室効果ガス排出を上げる大きな要因であり、また、不耕起区における土壌炭素蓄積量は、その他の温室効果ガス排出を打ち消すほどであった。彼らの結果は、GWP を用いて集約農業からの正味の温室効果ガス排出

* 農業環境技術研究所 〒305-8604 茨城県つくば市観音台 3-1-3 (現 酪農学園大学 〒069-8501 北海道江別市文京台 582)

キーワード: 炭素循環, 温室効果ガス, 亜酸化窒素, メタン, 二酸化炭素

表-1 アメリカ中西部における管理が異なる10の農林生態系からの正味の温室効果ガス排出量見積もり。
Robertson *et al.* (2000) によって報告された事例。単位はCO₂換算 (g CO₂ m⁻² y⁻¹)

Table 1 An estimation of net greenhouse gas emission in 10 ecosystems with different managements in mid-west in USA (a case reported by Robertson *et al.*, 2000). Units are CO₂ equivalents (g CO₂ m⁻² y⁻¹)

生態系とその管理	CO ₂ の発生				土壌からの	土壌からの	正味の
	土壌炭素 の増加	窒素肥 料生産	石灰 施与	燃料 消費	N ₂ Oの 発生	CH ₄ の 発生	温室効果ガス 発生(net GWP)
単年性作物(トウモロコシ-ダイズ-コムギの輪作)							
慣行施肥と慣行耕起	0	27	23	16	52	-4	114
慣行施肥と不耕起	-110	27	34	12	56	-5	14
減施肥と冬期間マメ科植物被覆	-40	9	19	20	60	-5	63
有機物施与(化肥なし), 冬期間マメ科植物被覆	-29	0	0	19	56	-5	41
多年生作物							
アルファルファ	-161	0	80	8	59	-6	-20
ポプラ	-117	5	0	2	10	-5	-105
遷移生態系							
1989年から放置	-220	0	0	0	15	-6	-211
1950年から放置, それ以前は畑地	-32	0	0	0	16	-15	-31
1959年から放置, それ以前は採草地	0	0	0	0	18	-17	1
森林	0	0	0	0	21	-25	-4

の構造を明らかにし、排出を正味で削減するためにはいづれの要因を制御(あるいは抑制)すればよいかを示したものと見える。

温室効果を抑制する主要なもののひとつは、不耕起(保全的耕起)あるいは有機物投入による土壌への炭素蓄積(carbon sequestration)および化石燃料の消費を抑制することである。一般的に、保全的耕起によって土壌有機物含量が増加すれば、粒団化が促進され、保水性と排水性の改善、圧密影響の低減といった物理的な改善効果が期待される。また、作物の養分保持能の上昇、pHバッファー機能の上昇、重金属汚染の軽減、根の病気を制御するための(微)生物の供給といった化学生物学的な改善効果もある(Batjes, 1999; 伊藤, 2002)。欧米では、土壌や水の保全と省力化の要請から、ダイズ、コムギ、トウモロコシといった畑作物における不耕起栽培が拡がりつつあり(伊藤, 2002)、大気中CO₂削減オプションとして、農耕地土壌への炭素蓄積に関する研究が進んでいる(Batjes, 1999; Paul *et al.*, 1997; Kimble *et al.*, 2002)。一方、我が国では、不耕起栽培はおもに水稻栽培に適用されているが、その土壌肥料的な研究は、金澤(1995)および伊藤(2002)の総説に詳しい。最近では、日本の畑土壌においても、白戸(2003)が、ローザムステット・カーボン・モデルを黒ボク土にも適用できるように改良し、日本の畑土壌における炭素収支の広域評価を行っている。その結果、日本の農耕地土壌も堆肥施与

量を増加させれば、CO₂の大きな吸収源になりうることを明らかにした。また、日本の黒ボク土においても、不耕起(金澤, 1995)あるいは堆肥の長期連用(加藤・米田, 2001)によって実際に土壌炭素が増加することが測定されている。

Robertson *et al.* (2000)の結果では、土壌への炭素蓄積が正味の温室効果ガス排出削減に大きな寄与を示したが、この構造が日本の農耕地にそのまま適用されるかは不明である。なぜならば、彼らの圃場では測定を開始した時点の有機炭素濃度が低く(1%程度)、土壌への炭素蓄積が大きく評価された可能性があるのに対し、日本の黒ボク土などは、元来有機炭素濃度が高いため、土壌への炭素蓄積が正味の温室効果ガス排出にどの程度寄与するか不明なためである。今後、日本の農耕地土壌の炭素蓄積およびGWPを用いた温室効果ガスの排出について定量的な検討が必要である。

ところで、Robertson *et al.* (2000)の結果では、N₂Oも正味の温室効果ガス排出を上げる大きな要因であった。不耕起や堆肥の長期連用はN₂Oの発生に大きな影響を与える可能性がある。すなわち、土壌の有機炭素濃度の上昇、粒団の発達と土壌水分の増加(Franzluebbers *et al.*, 1995; Frye and Blevins, 1997)は、脱窒あるいは硝化を促進させる(Linn and Doran, 1984; Beauchamp *et al.*, 1989)。また、粒団化によって粒団内に嫌気サイトが発達するが(Smith, 1980; Smith, 1990)、その嫌気サ

イトで N₂O の生成が生じることがマイクロプローブによって実測されており (Sexstone *et al.*, 1985), 実際の不耕起土壌において N₂O 発生が増加した事例 (Linn and Doran, 1984) も報告されている。このように考えると、農耕地からの正味の温室効果ガス排出にとって、土壌への炭素蓄積による CO₂ の削減は N₂O の発生と中長期的にみてトレードオフの関係にあるかもしれない。同様なことを、メタンの発生と吸収にも考えなくてはならないだろう。例えば、石橋ら (2001) は不耕起乾田直播栽培の継続がメタン発生に及ぼす影響を調査している。また、窒素施用量を減らすことは、N₂O 発生抑制と施肥生産による CO₂ 発生抑制、硝酸溶脱を減少させるであろうが、これは作物生産とトレードオフの関係にある。

4. 森林などの自然生態系

N₂O と CH₄ の発生から生態系純生産 (NEP: Net Ecosystem Production, Melillo *et al.*, 1995) を差し引いたものが森林生態系からの正味の温室効果ガス排出となる。

現在、森林が正味で大気 CO₂ のシンクとして機能しているかどうかを検証するための研究が世界各地で行われつつある。ここでは、森林火災が頻発する極東シベリアのカラマツ林において著者らが行った、森林火災が炭素

循環と温室効果ガスの排出に与える影響についての調査結果を紹介する (Morishita *et al.*, 2001, 2003; Sawamoto *et al.*, 2003)。シベリア地帯は、温暖化によって最も温度上昇が激しい地帯と予想されている (IPCC, 2001)。測定地点は表-2 に示すように、砂質土壌 3 地点 (成熟カラマツ林, 火災地, 火災後若いカラマツ林) およびローム質土壌 2 地点 (成熟カラマツ林, 火災地) である。著者らは、測定あるいは推定した表中の各項を用いて正味の温室効果ガス排出を見積もった。この方法を用いたのは、炭素循環と温室効果ガス排出の構造的な変化とその主要な因子を明らかでできるといった利点があるためである。

生態系純生産 (NEP) は、純一次生産 (NPP) から土壌の有機物分解 (OMD) を差し引いて求めた。NEP は成熟林で 456 および 514 g CO₂ m⁻² y⁻¹ であり正味で大気 CO₂ を吸収している。一方、火災地によってわずかな草本しかない地点の NEP は -326 および 26 と成熟林と比較して大きな低下が認められた。これは、火災によって、生態系による大気 CO₂ 吸収が大きく低下したことを意味する。しかし、火災後若いカラマツ林が再生した地点では 876 であり、森林の再生によって正味で大気 CO₂ を大きく吸収していることを示している。

この NEP の変化は、土壌の有機物分解量と純一次生産量の変化によって生じている。表-2 によれば、砂質土

表-2 ロシヤヤクーツクの異なる森林火災履歴を持つ 5 つの生態系における正味の温室効果ガス排出の見積もり。単位は CO₂ 換算 (g CO₂ m⁻² y⁻¹ or g CO₂ m⁻²)。本表は未公表であるが、表中の値は、Morishita *et al.* (2001, 2003) および Sawamoto *et al.* (2003) から引用した

Table 2 An estimation of net greenhouse gas emission in 5 ecosystems with different histories of forest fire in Yakutsk, Russia. Units are CO₂ equivalents (g CO₂ m⁻² y⁻¹ or g CO₂ m⁻²) This table is unpublished but the original values are from Morishita *et al.* (2001, 2003) and Sawamoto *et al.* (2003)

調査地点とその土性	土壌中 カラマツ 有機 樹木炭素 炭素 (地上部) (0-1m)		年間土壌呼吸量		純一次生産(NPP)		生態系純生産 NEP= NPP -OMD	土壌からのガス発生		正味の温室効果 ガス排出 net GWP =CH ₄ +N ₂ O-NEP
	根呼吸 (RR)	土壌有機物 分解 (OMD)	カラマツ	草本類	CH ₄	N ₂ O				
g CO ₂ eq m ⁻²			g CO ₂ eq m ⁻² y ⁻¹							
砂質土壌										
1, 成熟した (>200 yrs) カラマツ林分	17,000	36,900	825	546	546	0	456	-0.94	0.93	-456
			734(89%)	91(11%)	546	0	456	-0.94	0.93	-456
2, 5年前の火災でカラマツ林が焼失した地点	19,000	0	436	110	0	110	-326	-1.76	ND	325
			0 (0%)	436(100%)	0	110	-326	-1.76	ND	325
3, 25年前の火災でカラマツ林が焼失後再生した地点	14,000	5,950	675	1045	931	114	876	-0.68	2.83	-874
			506(75%)	169(25%)	931	114	876	-0.68	2.83	-874
ローム質土壌										
4, 成熟した (>200yrs) カラマツ林分	48,000	37,600	1001	664	664	0	514	-1.34	0.39	-515
			851(85%)	150(15%)	664	0	514	-1.34	0.39	-515
5, 5年前の火災でカラマツ林が焼失した地点	51,000	0	99	125	0	125	26	ND	ND	- 26
			0 (0%)	99(100%)	0	125	26	ND	ND	- 26

壤地点では、火災地と若いカラマツ林のNEPは成熟林と比較してそれぞれ782減少および420増加を示した。NPP変化はそれぞれ、436減少および499増加であるから、NPP変化のNEP変化に対する寄与はそれぞれ56%および118%と高い。ローム質土壌においても、火災地ではNEPが488減少したが、NPPが539減少したので、その寄与率は111%と高い。このように、NEPの変化に対してはNPPの変化が主要因であることが推察される。

CH₄発生(吸収)は農耕地の例(表-1)の値と同じオーダーにあるが、正味の温室効果ガス排出に占めるN₂Oの寄与は農耕地の例よりも明らかに低い。今後の詳細な調査が必要であるが、これは窒素フローの違いが原因である可能性が高い。正味の温室効果ガス排出は、CH₄およびN₂Oの値が相対的に極めて小さいため、炭素循環過程(の変化)がシベリア森林における正味の温室効果ガス排出を規定しているようにみえる。この結果はRobertson *et al.* (2000)の農耕地の結果と構造的に異なっている点でも興味深く、今後の制御を考えたときに重要な情報であるといえよう。

ところで、最近、土壌の炭素循環過程に重要と思われることが幾つか指摘がされている。Boone *et al.* (1998)は、鉱質土壌、根圏土壌、および根呼吸の温度依存性Q₁₀が異なっており(それぞれ2.5, 3.4, および4.6)、このことは将来の温度上昇による土壌呼吸の変化に重要であると指摘している。またHögberg *et al.* (2001)は、菌根菌が土壌呼吸に大きな寄与を占める場合を報告しており、関連してHanson *et al.* (2000)は土壌呼吸に占める根呼吸割合についての研究をレビューし、その重要性、および先進的な測定方法を紹介している。

5. ま と め

以上、農耕地と森林生態系において、温室効果ガス発生と吸収および正味の温室効果ガス排出について紹介した。今後は、温室効果ガスの発生構造およびそれらを構成する素過程の詳細を明らかにし、温度上昇、大気CO₂濃度上昇、窒素降下物、火災などの攪乱、および土地利用変化などのインパクトを総合的に評価する必要があると思われる。そのために、モデルあるいはライフサイクルアセスメント(LCA)といった手法が有効であろう。土壌からの温室効果ガス発生予測では、Liらによって開発されたDNDCモデル(Li *et al.*, 1992; Li *et al.*, 1994; Li 2000; Li *et al.*, 2000)は、詳細なプロセスモデルであり、CO₂、N₂O、およびCH₄を同時に予測することができる唯一のプロセスモデルである。現在、日本においてもその適用が開始された(澤本, 2003)。

ところで、Mosier *et al.* (1998)の推定よれば、農耕地土壌からのN₂O直接発生量は全世界で2.1 Tg N y⁻¹であるのに対し、間接発生からも2.1 Tg N y⁻¹(そのうち窒素溶脱から1.6)と大きな発生があるとされている。今後、土壌・地下中の水移動・硝酸溶脱・あるいはその地下中での微生物過程についての詳細について、N₂O発生の観点からも更なる検討が必要と思われる。

引用文献

- Batjes, N.H. (1999): Management options for reducing CO₂-concentrations in the atmosphere by increasing carbon sequestration in the soil. Report 410-200-031, Dutch National Research Programme on Global Air Pollution and Climate Change & Technical Paper 30, International Soil Reference and Information Center, Wageningen.
- Baver, L.D., Gardner, W.H. and Gardner, W.R. (1972): Chapter 6 Soil aeration. In Soil physics, pp. 230-252, John Wiley & Sons, Inc. USA.
- Beauchamp, E.G., Trevors, J.T. and Paul, J.W. (1989): Carbon Sources for Bacterial Denitrification. *Advance in Soil Science*, **10**: 113-142.
- Boone, R.D., Nadelhoffer, K.J., Canary, J.D. and Kaye, J.P. (1998): Roots exert a strong influence on the temperature sensitivity of soil respiration. *Nature*, **396**: 570-572.
- Bouwman, A.F. (1990): Exchange of greenhouse gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. In Soils and the greenhouse effect. ed. A.F. Bouwman, pp. 61-127. John Wiley & Sons Ltd., Great Britain.
- Bouwman, A.F. (1996): Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **46**: 53-70.
- FAO and IFA, (2001): Global estimation of gaseous emissions of NH₃, NO and N₂O from agricultural land. FAO and IFA, Rome.
- Franzluebbers, A.J., Hons, F.M. and Zuberer, D.A. (1995): Tillage and crop effects on seasonal dynamics of soil CO₂ evolution, water content, temperature, and bulk density. *Applied Soil Ecology*, **2**: 95-109.
- Frye, W.W. and Blevins, R.L. (1997): Chapter 16, Soil organic matter under long-term no-tillage and conventional tillage corn production in Kentucky. In Soil organic matter in temperate

- agroecosystems, long-term experiments in north America, Edited by Paul, E.A., Paustian, K., Elliott, E.T., and Cole, C.V., pp. 227-234, CRC Press, Now York.
- 袴田共之・波多野隆介・木村真人・高橋正道・坂本一憲 (2000) : 地球温暖化ガスの土壌生態系との関わり 1. 二酸化炭素と陸域生態系, 土肥誌, **71** : 263-274.
- Hanson, P.J., Edwards, N.T., Garten, C.T. and Andrews, J.A. (2000) : Separating root and soil microbial contributions to soil respiration : A review of methods and observations. *Biogeochemistry*, **48** : 115-146.
- Hillel, D. (1998) : Chapter 11 Movement and exchange of gases in the soil. In *Environmental soil physics*, pp. 291-305, Academic Press, San Diego, USA.
- Höglberg, P., Nordgren, A., Buchmann, N., Taylor, A.F. S., Ekblad, A., Höglberg, M.N., Nyberg, G., Ottosson-Löfvenius, M. and Read, D.J. (2001) : Large-scale forest girdling shows that current photosynthesis drives soil respiration. *Nature*, **411** : 789-792.
- IPCC, (2001) : *Climate Change 2001 : The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change* [Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, Noguer M, van der Linden PJ, Dai X, Maskell K (eds)]. Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 pp.
- 犬伏和之 (2000) : 地球温暖化ガスの土壌生態系との関わり 2. メタンと土壌生態系, 土肥誌, **71** : 400-409.
- 石橋英一・赤井直彦・大家理哉・石井俊雄・鶴田治雄 (2001) : 不耕起乾田直播栽培の継続とメタン発生量の関係 土肥誌, **72** : 542-549.
- 伊藤豊彰 (2002) : フィールドから展開される土壌肥料学—新たな視点でデータを採る・見る—6. 耕起から不耕起にすると土壌と作物の何が変わるか? 土肥誌, **73** : 193-201.
- 金澤晋二郎 (1995) : 持続的・環境保全型農業としての不耕起栽培 畑作物の収量と土壌の特性 土肥誌, **66** : 286-297.
- 加藤哲郎・米田和夫 (2001) : 堆肥の長期連用が黒ボク土の理化学性ならびにキャベツとダイコンの収量に及ぼす影響 土壌の物理性, **87** : 3-17.
- Kimble, J.M., Lal, R. and Follett, R.F. (eds) (2002) : *Agricultural practices and policies for carbon sequestration in soil*. CRC Press, USA.
- Le Mer, J. and Roger, P. (2001) : Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils : A review. *Eur. J. Soil Biol.*, **37** : 25-50.
- Li, C. (2000) : Modeling trace gas emissions from agricultural ecosystems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **58** : 259-276.
- Li, C., Frolking, S. and Frolking, T.A. (1992) : A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events : 1. Model structure and sensitivity. *Journal of Geophysical Research*, **97** (D9) : 9759-9776.
- Li, C., Frolking, S. and Harriss, R. (1994) : Modeling carbon biogeochemistry in agricultural soils. *Global Biogeochemical Cycles*, **8** (3) : 237-254.
- Linn, D.M. and Doran, J.W. (1984) : Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **48** : 1267-1272.
- Melillo, J.M., Prentice, I.C., Farquhar, G.D., Schulze, E. D. and Sala, O.E. (1995) : Terrestrial biotic responses to environmental change and feedbacks to climate. In : *Climate Change 1995 : The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change* [Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Callander, B. A., Harris, N., Kattenberg, A. and Maskell, K. (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Morishita, T., Hatano, R., Takahashi, K. and Desyatkin, R.V. (2001) : Assessing the CH₄ and N₂O fluxes in thermo-karst ecosystems in Yakutsk, Russia. *Proceedings of the 2nd international workshop on global change : connection to the Arctic*. Edited by Masami Fukuda and Keiji kushida. Bulletin of research center for north Eurasia and north pacific regions, Hokkaido University, vol. 1, 2001, 115-116.
- Morishita, T., Hatano, R. and Desyatkin, R.V. (2003) : CH₄ flux in an Alas ecosystem formed by forest disturbance near Yakutsk, eastern Siberia, Russia. *Soil Sci. Plant. Nutri.*, **49** : 369-377.
- Mosier, A., Kroeze, C., Nevison, C., Oenema, O., Seitzinger, S. and Cleemput, O. (1998) : Closing the global N₂O budget : nitrous oxide emissions

- through the agricultural nitrogen cycle. OECD/IPCC/IEA phase II development of IPCC guidelines for national greenhouse gas inventory methodology. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **52** : 225-248.
- Paul, E.A., Paustian, K., Elliott, E.T. and Cole, C.V. (eds) (1997) : Soil organic matter in temperate agroecosystems : Long-term experiments in north America. CRC Press, USA.
- Raich, J.W. and Schlesinger, W.H. (1992) : The global dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus*, **44B** : 81-99.
- Robertson, G.P., Paul, E.A. and Harwood, R.R. (2000) : Greenhouse gases in intensive agriculture : Contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. *Science*, **289** : 1922-1925.
- 澤本卓治 (2003) : 日本の農耕地土壌からの温室効果ガス発生予測—DNDC モデル適用の検討—, 第19回気象環境研究会 地球環境変化に伴う陸上生態系の炭素・窒素循環の変化—生態系プロセスの実験・観測・モデリングの現状と展望—, 農業環境技術研究所, 講演資料 pp. 77-88.
- Sawamoto, T., Hatano, R., Shibuya, M., Takahashi, K., Isaev, A.P., Desyatkin, R.V. and Maximov, T.C. (2003) : Changes in net ecosystem production associated with forest fire in Taiga ecosystems, near Yakutsk, Russia. *Soil Sci. Plant. Nutri.*, **49** : 493-501.
- Sexstone, A.J., Revsbech, N.P., Parkin, T.B. and Tiedje, J.M. (1985) : Direct measurements of oxygen profiles and denitrification rates in soil aggregates. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **49** : 646-651.
- 白戸康人 (2003) : 日本の農耕地土壌への RothC モデルの適用, 第19回気象環境研究会 地球環境変化に伴う陸上生態系の炭素・窒素循環の変化—生態系プロセスの実験・観測・モデリングの現状と展望—, 農業環境技術研究所, 講演資料 pp. 89-92.
- Smith, K.A. (1980) : A model of the extent of anaerobic zones in aggregated soils, and its potential application to estimates of denitrification. *J. Soil Sci.*, **31** : 263-277.
- Smith, K.A. (1990) : Anaerobic zones and denitrification in soil : Modeling and measurement. In *Denitrification in soil and Sediment*, Edited by N. P. Revsbech and J. Sorensen, pp. 229-244, Plenum Press, New York.
- 鶴田治雄 (2000) : 地球温暖化ガスの土壌生態系との関わり 3. 人間活動による窒素化合物の排出と亜酸化窒素の発生, *土肥誌*, **71** : 554-564.

受稿年月日 : 2003年6月4日
受理年月日 : 2003年8月29日

澤本氏講演に関する質疑

質問：

農耕地からの CO₂ の発生に関して、酸度矯正で石灰を施用した場合、相当な部分は重炭酸として溶脱するのではないかと思うが、施用石灰全てを CO₂ の発生源として良いのか。また、石灰を施用しなくても土壌中に存在する重炭酸イオンが酸塩基反応によって CO₂ として発生するのだから正味の効果は小さいのではないかと思うが、いかがか。

澤本（農業環境技術研究所）：

そう思う。引用した論文にはそのようなことが触れられていなかったことと、私自身その辺に関しての知識に疎いため、そのようなことがあることは分かっていた

が、発表からは省かせてもらった。勿論この問題については今後考えて行かねばならない。

質問：

クロボク土で土壌有機炭素に対する土壌バイオマス炭素の比が小さいのは、有機物がクロボク土にくっついてしまっているからか。

澤本：

詳しいことはよく分からない。文献から分かることは、現象として土壌有機炭素に対する土壌バイオマス炭素の比が小さくなっているということだ。ただ、同時にアルミニウムも多いため、微生物活性が何らかの形で阻害されクロボク土中では腐植などが生物的に分解を受けにくい形態として集積しているのかも知れない。

（文責：井上 久義）