

## II . 汽水域の物質生産と循環

### 3. 低湿地土壌のガス代謝

陽 捷 行<sup>1</sup>

農業環境技術研究所

#### Biological Productivity and Material Circulation in Brackish Water Regions

##### 3. Production, oxidation, leaching and emission of radiative trace gases in wet lowland soils

Katsuyuki MINAMI<sup>1</sup>

National Institute of Agro-Environmental Sciences

土壌中の空気組成は、われわれが呼吸している大気組成とは大いに異なる。それは土壌中に存在する物質が、植物根の呼吸作用、無数に生息する微生物の働きかけ、さらにはさまざまな物理・化学・生化学的な作用を受けて変化し、その過程で多くのガス成分がたえず生成あるいは消失をくりかえしているためである。

そこでは、主に酸素 ( $O_2$ ) が消費され二酸化炭素 ( $CO_2$ ) が生成されている。したがって、土壌中の  $CO_2$  の濃度は大気の約 360 ppm にくらべると、数十倍から数百倍も高い。一方、 $O_2$  の濃度はそれに見合うだけ低くなっている。 $CO_2$  の生成量に比べれば少ないが、ほかにも窒素 ( $N_2$ )、窒素化合物、硫黄化合物、炭化水素などのガスの生成・消費もたえず進行している。このように、土壌空気は大気成分とは異なる独自の成分からなっている。

このような現象のなかで、土壌空気のある成分の濃度が高まれば、これらは土壌の層から大気の層へと一部放出される。逆に土壌空気のある成分の濃度が低下し、大気中での濃度が高まれば、同様な現象によって

土壌はこれらのガスを吸収する。また、大気に存在する活性の高いガスは土壌粒子に直接吸着される現象も認められる。

このように、土壌と大気の二つの層は絶えず互いに深く影響を及ぼしあっている。この土壌と大気間のガス交換は、土壌生態系のガス代謝や物理・化学的な作用の結果として現われる。この土壌と大気間のガス交換には二つのメカニズムが関わる。その一つは、土壌空気と大気間に全体としての圧力勾配があるために、土壌空気が成分の変化をともしうことなしに、全体が移動する対流型移動 (convection) である。もう一つの重要なメカニズムは、各成分ガスについて濃度勾配が存在するときに、ガスの分子運動の結果として高濃度側から低濃度側へ濃度勾配に比例したフラックスが生じる拡散 (diffusion) という現象である。

“土は生きている”とよくいわれる。これは、この土壌と大気間のガス交換も意味するであろう。

表 1 および 2 に、われわれが呼吸している大気成分と、土壌空気の平均的な成分の濃度を示した。これによって、土壌空気と大気の組成の相違がさらに明らかにされるであろう。これらのことから、土壌圏で行なわれているガス代謝の結果は、大気圏の大気組成の変動にも影響を及ぼすことが理解される。なかでも、土壌圏で生成し大気に放出される  $CH_4$  および  $N_2O$  な

<sup>1</sup>現住所 国際農林水産業研究センター環境資源部

: Environmental Resources Division, Japan International Research Center for Agricultural Sciences

表1 清浄な大気の成分

成分	温度 (ppmv)	成分	濃度 (ppmv)
N <sub>2</sub>	780,900	H <sub>2</sub>	0.5
O <sub>2</sub>	209,400	N <sub>2</sub> O	0.3
Ar	9,300	CO	0.1
CO <sub>2</sub>	345	Xe	0.08
Ne	18	O <sub>3</sub>	0.02
He	5.2	NH <sub>3</sub>	0.01
CH <sub>4</sub>	1.7	NO <sub>2</sub>	0.001
Kr	1.0	SO <sub>2</sub>	0.0002

表 2 土壤空氣の成分

成分	濃度 (vol%)	
N <sub>2</sub>	75-90	
O <sub>2</sub>	2-21	その他, 各種炭化水素, NH <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O,
CO <sub>2</sub>	0.1-10	NO, H <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, CS <sub>2</sub> , COS, CH <sub>3</sub> SH,
CH <sub>4</sub>	tr-5	DMS, DMDS, 揮発性アミン, 揮発
Ar	0.93-1.1	性有機酸など多数
N <sub>2</sub> O	tr-0.1	

どの微量ガスは、地球規模での温室効果やオゾン層破壊ともかかわりが深いので、近年これらのガスの土壌生態系での生成メカニズム、土壌中での挙動およびフラックスに多くの研究者の目が注がれている。

そこで、それぞれのガスについて、その生成メカニズムを簡単に説明しよう。

1) 二酸化炭素

高等植物の根や土壤中の細菌・菌類・地中動物の呼吸で  $\text{CO}_2$  が生成される。この現象を土壌呼吸と呼ぶ。土壌中に多量の有機物があり、施肥などにより栄養塩類が投入され、適度な土壌環境が成立すると、菌類や好気性細菌が活発になり、 $\text{CO}_2$  の生成量は増大する。

十壤呼吸速度 ( $\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$ ) は熱帯多雨林, 暖帯照

葉樹林および温帯落葉樹林で、それぞれ 0.4–1.0, 0.2–0.6 および 0.15–0.4 の範囲にあるといわれている。

## 2) メタン

CH<sub>4</sub>は沼地，水田，低湿地，反すう動物・シロアリなどの消化器官などの嫌気条件下における微生物の活動によって生成される。水田土壌で生成されるCH<sub>4</sub>には次の経路が明らかにされている。その一つは，CO<sub>2</sub> + 4 H<sub>2</sub>A → CH<sub>4</sub> + 2 H<sub>2</sub>O + 4 A で示される炭酸還元反応であって，CO<sub>2</sub>に対する水素供与体として，水素，ギ酸，C<sub>3</sub>以上の飽和脂肪酸，C<sub>2</sub>以上のアルコールが利用される経路である。他の一つは，C\*H<sub>3</sub>COOH → C\*H<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub> で示される。これは，メチル基がその結合水素の損失なしにそのままCH<sub>4</sub>に転移するメチル基転移反応で，その基質として酢酸，メタノールが利用される経路である。メタノールや酢酸を利用する菌としては *Methanosarcina barkerii*，水素やギ酸を利用する菌としては *Methanococcus vannielii* が知られている。

### 3) 亜酸化窒素

土壌から大気に放出される  $\text{N}_2\text{O}$  は土壌中の微生物活動によって生成される。生成メカニズムの一つに脱窒作用がある。脱窒とは、土壌中の微生物により嫌気条件下で硝酸態窒素または亜硝酸態窒素が、ガス状の窒素 ( $\text{N}_2$ ) か窒素酸化物 ( $\text{NO}$  または  $\text{N}_2\text{O}$ ) に還元される反応で、すでに 19 世紀に明らかにされた事実である。

脱窒のほかに  $\text{N}_2\text{O}$  の重要な生成メカニズムに硝化作用がある。これは、好気条件下で土壌中の  $\text{NH}_4^+$  が硝酸態窒素に酸化される過程で  $\text{N}_2\text{O}$  が生成する現象で、近年明らかにされた事実である。この過程では主として *Nitrosomonas* 属の細菌が関与している。他に

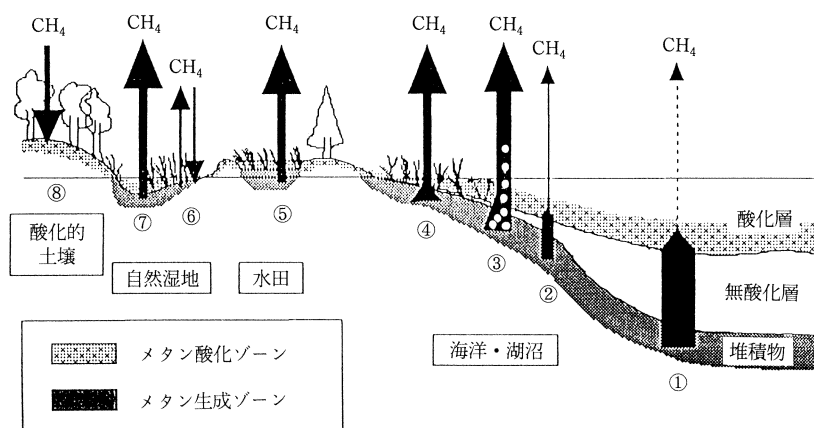


図1 低湿地帯土壌のガス代謝模式図

も非生物的過程で生成される場合もある。これは酸性土壌で  $\text{NO}_2^-$  または  $\text{NH}_2\text{OH}$  が集積したときにおこる反応で、化学的脱窒とよばれる。これは無菌状態でもおこるのが特徴であるが、一般的には量的にごく少ない。

#### 4) 含硫ガス

土壌では6種類の含硫ガスが生成され、大気に放出されている。これらのガスの土壌中での主要な起源が明らかにされている。 $\text{H}_2\text{S}$  の起源は主として硫酸塩、シスチンおよびシステイン、 $\text{COS}$  はシスチン、システインおよびチオシアン酸塩、 $\text{CH}_3\text{SH}$ 、 $\text{CH}_3\text{SCH}_3$  および  $\text{CH}_3\text{SSCH}_3$  はメチオニン、 $\text{CS}_2$  はチオ硫酸塩、シスチンおよびシステインである。これらのガスが、どの程度大気に放出されているかは、今後の研究の成果を待ちたい。

#### 5) その他のガス

その他、微生物による土壌中の有機物の分解によって、 $\text{H}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{C}_2\text{H}_4$ 、 $\text{C}_2\text{H}_6$ 、 $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{NH}_3$ 、ethylene, ethane, propylene, propane, propadiene および butadiene など炭化水素化合物 ( $\text{C}_1\sim\text{C}_6$ ) が生成している。

以上のことを前提にして、ここでは低湿地土壌でのガス代謝について考えてみる。とくに、環境保全的な観点から注目されているメタン、亜酸化窒素および含硫ガスについて触れる。なお、わが国では、古くから水田土壌について卓越した研究成果が得られている。この成果の汽水域への活用は、さまざまな意味でこの分野に有効と考えられる。

また、今後の研究を進めていくうえで重要になる点についても考える。その内容は、つぎの通りである。  
①発生-吸収 (Source-Sink), ②乾-湿 (Wet-Dry Conditions), ③酸化-還元 (Oxidation-Reduction),

④淡水-汽水-塩水 (Fresh-Brackish-Salt), ⑤植物-地域-地形連鎖 (Plant-Plot-Toposequence), ⑥窒素・炭素・イオウ・リンなどのガスの相互作用 (Mutual Reaction of C-N-S-P Gases), ⑦生成-酸化-溶脱-発生 (Production-Oxidation-Leaching-Emission), ⑧森林-草地-畑-水田-湖沼-海洋: 地形連鎖 (Forest-Grassland-Upland-Paddy-Lake-Sea: Toposequence)

「ガイアの科学: 地球生命圏」の著者 J. E. Lovelock は、その著書で次のように語っている。海に関して、その科学、物理、生物学をはじめ、それらのあいだで起こる相互作用のメカニズムも含めた情報を集めることは、人類のなすべきもっとも重要な仕事のひとつである。海を知れば知るほど、海洋資源の利用をどこまで進めていいのかもわかるだろうし、惑星上の最優秀種として、現在手にしている力を乱用し、海というもっとも肥沃な領域から無謀な略奪や搾取をつづければどんな結果を招くかも理解できるであろう。陸地は地球表面の三分の一にも満たない。生命圏が、農業と牧畜のもたらした根本的变化に抗し、おそらく今後、われわれの人口が増加して農業がさらに集約化していくなかで、バランスを失わずにすむのはこのおかげだろう。けれども、海洋開発、とくに耕作に適した大陸棚に農業を拡張するにあたって、いままでどおりの勝手が通用するとは思ってはならない。実際、生命圏の最重要地帯である大陸棚をかき乱したらどうなるか、誰ひとり知らないのである。それゆえに私は、われわれの探検航海にさいしては、つねに視界にガイアをおさめ、海が〈彼女〉の大事な部分であることを忘れないことこそ、もっとも賢明でむくわれることの多い道だと信じて疑わない。