

(10) 月ヶ湖湿原からのメタン放散に関する研究

Methane emissions from Tukigaumi Marsh

深澤 達矢*, 荒川 豊**, 浦安 功*, 工藤 憲三*, 橘 治国*, 清水 達雄*
Tatsuya Fukasawa*, Yutaka Arakawa**, Isao Urayasu*, Kenzo Kudo*, Harukuni Tachibana*, Tatsuo Shimizu*

ABSTRACT ; Over a half year from May 22 to December 11, 1997, We made measurements of the fluxes of methane and carbon dioxide by closed chamber techniques from 6 sites in Tukigaumi Marsh, Hokkaido, Japan. And besides, we collected and analyzed pore water and soil samples. The measured methane fluxes exhibited no daily trend, however, showed significant seasonal variations with Summer-Autumn maximum. Emissions from Tukigaumi Marsh averaged $0.8 \text{ mg-CH}_4 / \text{m}^2\text{h}$ ranged from 0.6 to $1.3 \text{ mg-CH}_4 / \text{m}^2\text{h}$ at Site-A. On the other hand, measured carbon dioxides fluxes showed remarkable daily and seasonal variations. The measured methane fluxes did not depend on groundwater levels and atmospheric temperature but slightly depended on soil temperature in the deep layer. Evapotranspiration processes by plants and oxidization processes by methanotrophs were not considered to affect the methane emissions from the marsh. Dissolved methane concentrations in the water, methane production potentials and number concentrations of methanogens increased with depth from the surface to 4 m depth, so that the methane emissions supposed to be controlled by the conditions at the deep layer of Tukigaumi marsh.

KEYWORDS ; methane emission, seasonal variation, dissolved methane, marsh, deep layer

1. はじめに

1997 年 12 月, 地球温暖化防止京都会議において気候変動に関する枠組み条約により温室効果ガスの削減目標が定められ, それに沿って排出源対策が進められることになった. 対象となる温室効果ガスは二酸化炭素, メタン, 亜酸化窒素, HFC, PFC, 六フッ化硫黄の 6 種類である. これらの温室効果ガスのうち, 二酸化炭素の次に温暖化への寄与が大きいメタンガスは, 湿原, 湖沼などの自然発生源, 水田, 家畜, 天然ガスシステム, 石炭採掘, 廃棄物埋め立て等の人為発生源を起源とし, そのうち約 22% が湿原から排出されていると言われている¹⁾. 世界的に見ると, これらの湿原の多くは, シベリアなどの高緯度地帯に集中して分布しており, 一方, 日本における湿原の約 80% は北海道に集中している²⁾.

本研究では, 1997 年 5 月から北海道石狩平野北部に位置する札幌市近郊の月ヶ湖自然保護区内の月ヶ湖湿原において調査を行った. 湿原内にチャンバーベースを常設し, メタン放散量の季節変化及び日変化を測定した. また, これまであまり注目されていなかった, 湿原土壌中のより深い部分に注目し, 泥炭層の底までの土壌間隙水中の基質濃度, 溶存メタン濃度, メタン生成ポテンシャル, メタン生成菌及び酸化菌数分布を明らかにし, メタン生成, 輸送, 消失等, 湿原からのメタン放散に影響を与える因子について検討した.

2. 調査地点の概要

月ヶ湖湿原は, 北海道樺戸郡月形町南部に広がる面積約 6.8ha の高層湿原であり, 石狩泥炭地の僅かな残存である. この地域は北海道中部日本海気候に属し, 年降水量は 1270mm, 年平均気温は 6.6℃で気候は比較的温暖である. 泥炭の厚さは 3~5m といわれ, 7,000~3,000

* 北海道大学大学院工学研究科 (Graduate School of Engineering, Hokkaido University)

** 環境調査技術研究所 (Environmental Investigation and Technology Institute Co., Ltd.)

年前に形成されたと言われている^{3, 4)}。調査は大沼の南の大沼側湿原で行った。湿原の南北両端部はやや乾燥しており、ササの侵入が見られる。中心部にはミズゴケやスゲが卓越する湿潤な地域が残っている。

3. 方法

3. 1 チャンバー法による放散量の測定

Whalen and Reeburgh⁵⁾の方法を元にチャンバー法による放散量の測定を行った。1997年5月22日から12月11日まで、週1回程度メタン及び二酸化炭素放散量を測定し、季節変化を求めた。放散量の季節変化は、湿原を南北に横切るA~Fの6地点にチャンバーベースを常設し測定した。また、7月7~8日と8月28日には前述のA~C地点において日変化の測定を行った。採取したガスは実験室に持ち帰り、その日のうちにガスクロマトグラフィー(GC-FID, GC-TCD; SHIMADZU GC-14B)で分析した。GC-FIDによるメタンの検出限界は0.1ppm, GC-TCDによるメタン及び二酸化炭素の検出限界は100ppmであった。チャンバー内ガス濃度の時間変化より放散量を算出した。放散量測定時には、気温及び土壌温度分布、地下水位の測定も行った。

3. 2 土壌間隙水の採取及び溶存メタン濃度他の測定

先端部に細孔を持つ内径2.5mmのステンレス管に50mlのシリンジを接続し湿原土壌中に挿入して一定間隔毎に土壌間隙水を吸引採取した。ただし、条件によっては、一定間隔毎に採水できなかったり、あるいは採水できないこともあった。採取した土壌間隙水は実験室に持ち帰り、ヘッドスペース法により溶存メタン濃度の測定を行った。またイオンクロマトグラフィー(Yokogawa IC7000)によるイオン成分の測定、TOCアナライザー(Shimadzu TOC5000A)による溶存有機炭素濃度、HPLC(Shimadzu LC10 series)による酢酸等の基質濃度の測定も行った。HPLCによる有機酸分析の検出限界は1ppmであった。

3. 3 湿原土壌中のメタン生成・酸化菌数分布及びメタン生成ポテンシャルの測定

ビートサンプラーにより土壌を採取し、MPN法によるメタン生成菌及び酸化菌数の測定を行った。またBest等⁶⁾の方法を参考に採取した土壌を現場において嫌気状態でバイアルに密封し、実験室に持ち帰り、35℃の恒温室に静置して、一定時間毎にヘッドスペース内のメタンガス濃度の変化を測定し、それを元に、単位乾燥土壌当たりのメタン生成速度を求め、メタン生成ポテンシャルとして算出した。

4. 結果及び考察

4. 1 メタン放散量の日変化及び季節変化

1997年7月7~8日にメタン放散量の日変化の測定を行ったが、明確な傾向は認められなかった。水田においては比較的浅い部分の土壌温度の日変化、あるいは植物の蒸発散量の変化に伴い顕著な日変化を示すとの報告があり(例えば7)、調査当日は天候不順により気温、土壌温度等の変化が小さかったことで日変化が不明瞭だった可能性も考えられたため、あらためて、8月28日の晴天時に朝5時から夜7時まで1時間毎に放散量の測定を行った。この時のメタン放散量の日変化と二酸化炭素放散量の日変化を各々図1, 2に示す。測定されたメタン放散量の範囲はA地点で0.7~1.0 mg-CH₄/m²h, B地点で0.2 mg-CH₄/m²h程度, C地点で0.5~0.8 mg-CH₄/m²hであった。同時に測定した土壌温度分布より、地下5cmの深さにおける土壌温度は約6℃, 地下10cmの深さで約3℃の幅で変化したが(図3)、7月の測定結果と同様に、それに伴うメタン放散量の増加・減少等の日変化の傾向は認められなかった。一方、二酸化炭素の放散量は正午頃をピークとする明確な日変化の傾向を示した。

次に、チャンバーベースを設置した6地点のうち最初から測定を行ったA~C地点におけるメタン放散量の季節変化を図4に、二酸化炭素放散量を図5に示す。A地点においては、

春先に $0.6 \text{ mg-CH}_4/\text{m}^2\text{h}$ 程度だった放散量は、夏から秋にかけて $1 \text{ mg-CH}_4/\text{m}^2\text{h}$ を超えるまで増加し、ピーク時の9月には $1.3 \text{ mg-CH}_4/\text{m}^2\text{h}$ になった。A・B両地点においては、積雪のあった12月にも春先と同程度の放散量が観測された。測定期間中に全地点において観測されたメタン放散量の範囲は、 $0.01 \text{ mg-CH}_4/\text{m}^2\text{h}$ 以下から $1.3 \text{ mg-CH}_4/\text{m}^2\text{h}$ であった。

測定期間中の地下水位は図6に示すように季節的な傾向を示さなかった。また、地下50cm程度までの土壌温度は8月に最大となり、それより深い地下1mの部分の温度は9月に最大となった(図7)。

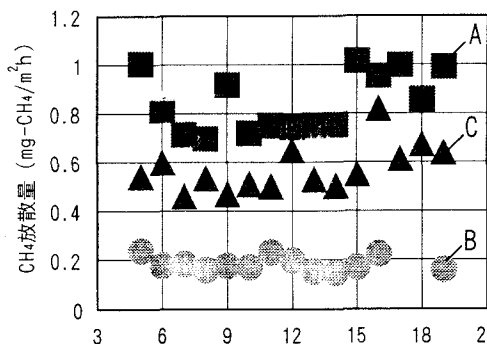


図1 A,B,C地点におけるメタン放散量の日変化(8月28日)

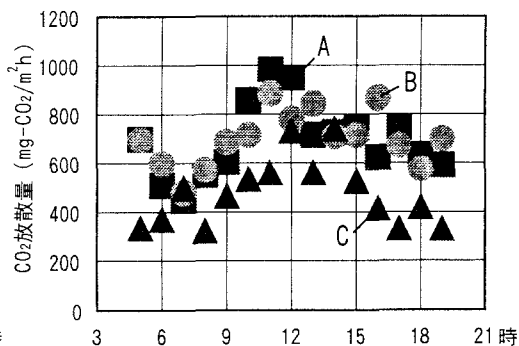


図2 A,B,C地点における二酸化炭素放散量の日変化(8月28日)

鶴田等^{8,9)}は、尾瀬ヶ原において温室効果ガスのフラックス測定を行い、i)メタン放散量の経日変化及び日変化は、季節変化と比較して非常に小さく、明確な日変化は見られなかったこと、ii)メタンフラックスは多くの地点で、8月上旬あるいは9月上旬に最大となる季節変化を示すこと、iii)二酸化炭素放散量はメタン放散量とは異なる傾向を示し、8月初旬に最大となる季節変化を示すこと、iv)また、日間では日中大きくなり、夜間小さくなる傾向を示す結果を得た。また Morrissey と Livingston¹⁰⁾は、アラスカのツンドラ地帯において調査を行い、i)メタン放散量は、地下水位が高くなるにつれて増加すること、ii)チャンパー内の植物量との相関が高いこと、iii)地中10cmの土壌温度と放散量の相関が高いことを報告した。同様に、Bartlett 等¹¹⁾も、地下10~20cmの土壌温度と放散量の相関が高いことを報告している。本研究においては、調査期間中の地下水位の変化と放散量の変化に相関は認められず、また気温との相関も認められなかった。メタン放散量と土壌温度との相関は全体的には低いものの、地下深い部分の温度との相関がやや高くなる傾向が見られた。

永久凍土地域においては、夏期の一時期に表層の数10cm程度が融け活動層を形成し、メタン生成はその層でのみ起こる。また水田も基質となる有機物が存在しメタン生成が起きる層は表層の僅かな部分である。一方、月ヶ湖湿原のような亜寒帯湿原では厚い泥炭層全層にわたってメタン生成能を持つ。永久凍土地域あるいは水田地域ではメタン生成層が薄い表層部分であるために地表面に近い部分の温度に感度が高く、逆に月ヶ湖湿原のようなメタン生成層が厚い地域では、地中温度と放散量の相関は不明瞭ではあるが、深い部分の温度と僅かに相関があると考えられる。

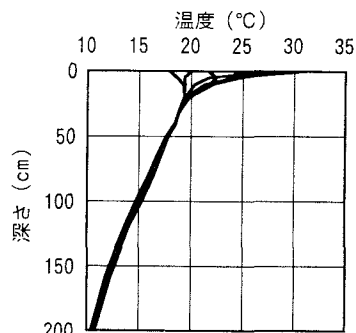


図3 地中温度の日変化(8月28日)

植物の蒸散に伴うメタンの放散は、二酸化炭素の放散が主として植物の寄与によるものと考え、二酸化炭素放散量の日変化・季節変化と比較してメタン放散量の変化が圧倒的に小さいことから湿原からのメタン放散にほとんど寄与していないと考えられた。地下のガス溜まりから気泡によるメタンの噴出も確認できたが、噴出によるメタン放散量の定量的な評価は行えなかった。

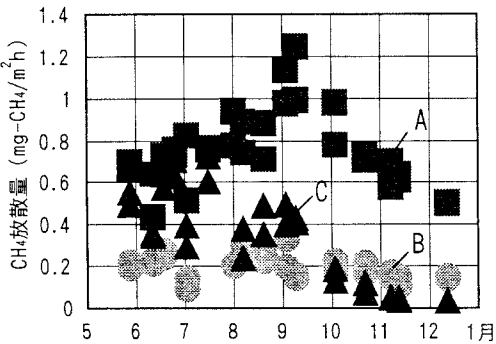


図4 A,B,C地点におけるメタン放散量の季節変化

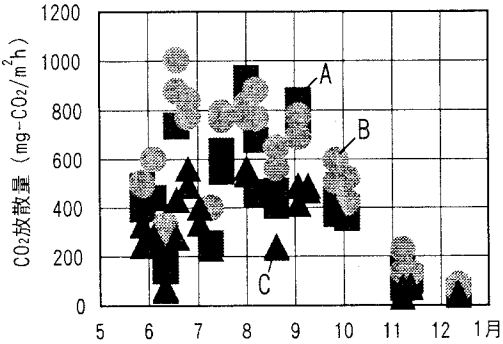


図5 A,B,C地点における二酸化炭素放散量の季節変化

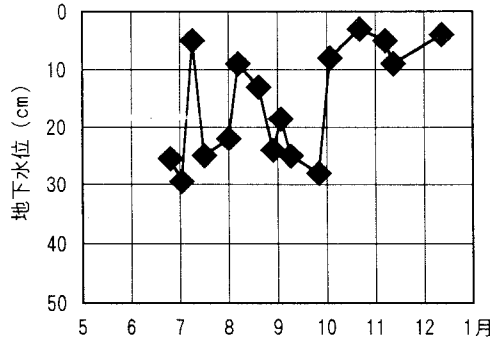


図6 地下水位の季節変化 (A地点)

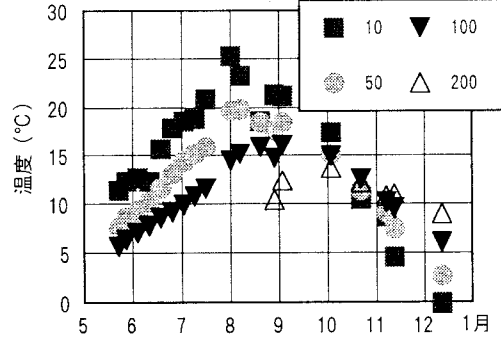


図7 地中温度の季節変化

4. 2 土壌及び土壌間隙水

1999 年 4 月 16 日に土壌間隙水及び土壌の採取を行った。土壌間隙水は 4m の深さまで採取できた。泥炭層の厚さは 450cm だった。土壌間隙水の pH，電気伝導度は深さとともに表 1 のように増加した。

土壌間隙水中の溶存有機炭素濃度の鉛直分布を図 8 に、溶存メタン濃度の鉛直分布を図 9 に示す。土壌間隙水中の溶存有機炭素濃度は、地下 10 cm の深さで約 6.5 mg/L，その後増加し 100 cm から 200 cm の深さでピーク (12 mg/L) を示し、以後 400 cm の 5.4 mg/L まで減少した。これに対し、溶存メタン濃度は、深さ 2 m 程度までは直線的に増加し、以後増加傾向は鈍化するものの、深さ 4 m 付近で最大 (14.3 mg/L) となった。Williams 等¹²⁾ によるミネソタの泥炭地における研究においても、溶存メタン濃度は 210cm

表1 pHと電気伝導度の鉛直分布

深さ (cm)	pH	電気伝導度 (μS/cm)
10	5.0	36
20	4.8	55
40	5.3	50
60	5.4	47
80	5.3	51
100	5.4	53
170	5.3	66
190	5.6	64
220	5.3	65
240	5.3	69
290	5.6	80
300	5.6	86
310	5.6	91
320	5.6	93
380	5.8	125
400	5.9	140

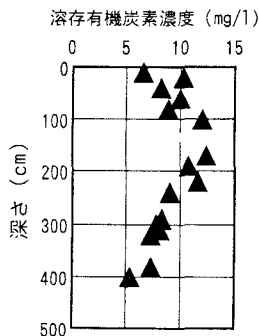


図8 1999年4月16日に測定された
溶存有機炭素濃度の鉛直分布

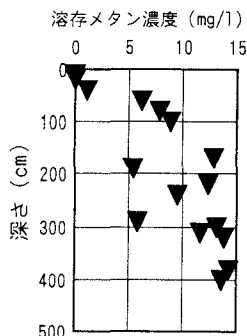


図9 1999年4月16日に測定された
溶存メタン濃度の鉛直分布

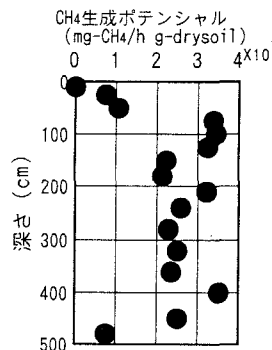


図10 1999年4月16日に測定された
メタン生成ポテンシャルの鉛直分布

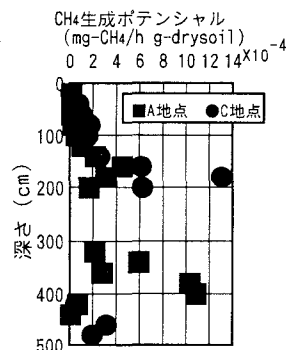


図11 1998年1月20日に測定された
メタン生成ポテンシャルの鉛直分布

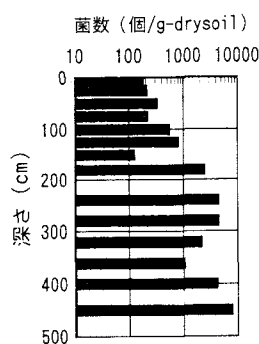


図12 1999年4月16日に測定された
メタン生成菌数の鉛直分布

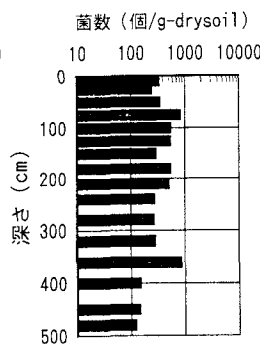


図13 1999年4月16日に測定された
メタン酸化菌数の鉛直分布

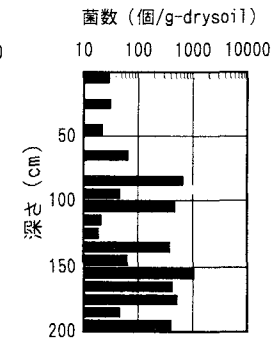


図14 1997年8月28日に測定された
メタン生成菌数の鉛直分布

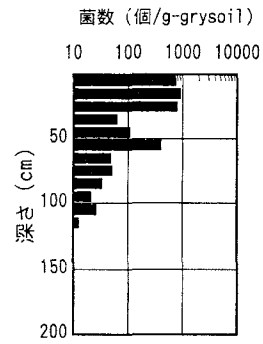


図15 1997年8月28日に測定された
メタン酸化菌数の鉛直分布

の深さまで直線的に増加する結果が得られている。

1999年4月16日のメタン生成ポテンシャルの鉛直分布を図10に、1998年1月20日のメタン生成ポテンシャルを図11に示す。図10に示すメタン生成ポテンシャルは地下1mまで直線的に増加し、それ以降ほぼ一定 ($2 \sim 3 \text{ mg-CH}_4 / \text{h g-dry soil}$) で、450 cm 以深の粘土層では再び低くなった。また、1998年1月20日に測定されたC地点におけるメタン生成ポテンシャルは、地下2mまでほぼ直線的に増加し、より深いところでは低下した。

1999年4月16日に行ったMPN法によるメタン生成菌数及び酸化菌数分布測定の結果を各々図12、13に、1997年8月28日に行った生成菌数及び酸化菌数分布測定の結果を各々図14、15に示す。図よりメタン酸化菌が表層に、メタン生成菌がより深い部分に分布している様子が分かる。

メタン生成菌は地下深くなるにつれ増加し、それに伴いメタン生成ポテンシャルが高くなり、結果として溶存メタン濃度も高くなっている。一般的にメタン生成は有機物の供給という点から土壌表層に近いところで最大を示すと言われるが¹³⁾、本結果ではメタン生成は地下1m以深の泥炭層部分でより活発に起こっていた。一方、図13では不明瞭なもの、図15

に示すようにメタン酸化菌は表層部分に最も多く存在しており、その寄与は小さいものの、表層でのメタン酸化が起こっていることが示唆された。

地下水中の有機酸は、いずれの試料においても、1ppm 以下の検出限界以下であった。このことから湿原土壤中においては、生成された有機酸はすぐに消費されるような貧栄養な環境であり、基質律速であることがわかった。また、図には示さなかったが、硫酸、硝酸イオン等のイオン成分濃度の鉛直分布と溶存メタン濃度等には、明確な関連は認められなかった。

5. おわりに

メタンガスの湿原における生成と放散機構について、これまでより深い泥炭層全層に注目して研究を行った。1997 年の夏期に日変化の測定を行い、また、5 月～12 月にかけて、メタン放散量の季節変化を測定した。メタン放散量の日変化は見られなかったが、9 月頃に最大となるような季節変化が見られた。放散量は A 地点の年間平均値で $0.8\text{mg-CH}_4/\text{m}^2\text{h}$ であり、範囲は $0.6\sim 1.3\text{ mg-CH}_4/\text{m}^2\text{h}$ であった。月ヶ湖湿原におけるメタン放散には、表層におけるメタン酸化および植物の蒸散はほとんど寄与していなかった。溶存メタン濃度、メタン生成ポテンシャルの測定により、メタン生成は主として地下 1 m 以深の部分で起きていることがわかった。

今後は、地下水中の溶存メタン濃度の長期的な変化を測定すると同時に、メタン放散機構のモデル化のための物理・化学・生物学的変数の測定を行いたい。

参考文献

- 1) (財) 日本環境衛生センター (1990) メタン等排出量分析調査結果報告書
- 2) (財) 自然保護助成基金 (1997) 北海道の湿原の変遷と現状の解析－湿原の保護を進めるために－1994・1995 年度研究助成報告書
- 3) 辻井達一 (1997) 石狩泥炭地に残存する小規模な高層湿原の保全と植生復元に関する研究報告書
- 4) 高桑純, 伊藤浩司 (1986) 湿原におけるササの生態的動向, 北海道大学環境科学研究科邦文紀要, No.2, pp.47-65
- 5) Stephen C. Whalen and William S. Reeburgh (1988) A Methane flux time series for tundra environments, GLOBAL BIOGEOCHEMICAL CYCLES, Vol. 2, No. 4, pp. 399-409.
- 6) Elly P. H. Best, F. H. H. Jacobs (1997) The Influence of raised water table levels on carbon dioxide and methane production in ditch-dissected peat grasslands in the Netherlands, Ecological Engineering, 8, pp.129-144.
- 7) H. Schutz, A. Holzapfel-Pschorn, R. Conrad, H. Rennenberg, and W. Seiler, A 3-Year continuous record on the influence of daytime, season, and fertilizer treatment on methane emission rates from an Italian rice paddy, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, Vol. 94, No. D13, pp.16405-16416.
- 8) 鶴田治雄, 米村祥央, 簗毛耕太郎, 赤木 右, 楊 宗興 (1996) 尾瀬ヶ原における温室効果ガスのフラックス測定 ----1995 年夏期の調査結果----, 平成 8 年大気環境学会講演要旨集, pp.483
- 9) 鶴田治雄, 米村祥央, 簗毛耕太郎, 赤木 右, 楊 宗興 (1998) 尾瀬ヶ原における温室効果ガスのフラックス測定 (2) --第 2 次調査 (1996 年度) の結果--, 平成 10 年大気環境学会講演要旨集, pp.455
- 10) L. A. Morrissey and G. P. Livingston (1992) Methane Emissions From Alaska Arctic Tundra: An Assessment of Local Spatial Variability, Journal of Geophysical Research, Vol. 97, NO. D15, pp.16,661-16,670
- 11) Karen B. Bartlett, Patrick M. Crill, Ronald L. Sass, Robert C. Harris, and Nancy B. Dise (1992), Journal of Geophysical Research, Vol. 97, NO. D15, pp.16,645-16,660
- 12) Richard T. Williams and Ronald L. Crawford (1984) Methane Production in Minnesota Peatlands, Applied and Environmental Microbiology, June, pp. 1266-1271
- 13) J. A. Amaral and R. Knowles (1994) Methane Metabolism in a Temperate Swamp, Applied and Environmental Microbiology, Nov., pp. 3945-3951