廃棄物埋立地における埋立ガス放出量 に及ぼす植物の影響に関する研究

高橋麻由¹・中山裕文²・小宮哲平²・島岡隆行²

¹学生会員 九州大学大学院工学府都市環境システム工学専攻 (〒819-0395 福岡市西区元岡744)

E-mail:m-takahashi@doc.kyushu-u.ac.jp

²正会員 九州大学大学院工学研究院環境都市部門 (〒819-0395 福岡市西区元岡744)

E-mail:nakayama@doc.kyushu-u.ac.jp, t-komiya@doc.kyushu-u.ac.jp, shimaoka@doc.kyushu-u.ac.jp

廃棄物埋立地では、有機性廃棄物の嫌気性分解によって埋立ガスが発生しているが、廃棄物層や覆土層からの埋立ガス放出メカニズム、特に覆土層に生育する植物の影響に関しては解明されていない。そこで、本研究では、廃棄物埋立地における埋立ガス放出量に及ぼす植物の影響について明らかにするための実験およびモデル構築を行った。カラム実験では植物を介して放出される CH_4 と土壌表面を介して放出される CH_4 を区別して測定し、植物を介した CH_4 放出の比率を評価した。さらに、植物を介した CH_4 放出比率には植物種および土壌の土質特性が影響していることを明らかにした。また、屋外実験により、植物の生育条件の異なる模型槽 3 つを用いて CH_4 フラックスを測定した結果、植物がある模型槽で植物が無い模型槽よりも CH_4 フラックスが大きくなるという結果を得た。さらに、植物からの CH_4 放出を再現するためのモデルを構築した。

Key Words : landfill gas, vegetation, earenychma, model of methane emission

1. はじめに

廃棄物埋立地は CH_4 の主要な発生源であることから、地球温暖化に大きく寄与しており、IPCC の報告によると廃棄物埋立地から放出される CH_4 は全人為 CH_4 発生量の約 10% に相当すると概算されている¹⁾。廃棄物焼却率が高い日本においては、 CH_4 が問題となっている埋立地は少ないものの、途上国をはじめとして海外には未焼却の廃棄物を直接埋立てている廃棄物埋立地が多数存在しており、 CH_4 の抑制が喫緊に対処すべき課題となっている。

廃棄物埋立地では、埋立終了後に覆土が施工され、一定期間が経過するとその上に植物が生育する。覆土の植生と廃棄物層内の CH_4 濃度やフラックスとの関連性について研究した例として、Chai et al. (2010)²⁾ や小宮ら (2006)³⁾ がある。これらの研究において、中国上海市の廃棄物埋立地における調査結果から、被植地と裸地では廃棄物層内の埋立ガス濃度は裸地の方が高く、一方、覆土表面からの埋立ガスフラックスは被植地で大きかった。

また、廃棄物埋立地と同様に、 CH_4 の主要な発生源である湿地や水田の灌水された嫌気土壌中で発生する CH_4 の大部分は、水稻やヨシ等の水生植物の通気組織を介して大気へ放出されるとされており、特に水田では、水稻

生育期間中の全 CH_4 放出量のうち 80~90% 以上が水稻体を通して放出されていると見積もられている。野内 (2001)⁴⁾ や細野 (2000)⁵⁾ の報告では、水稻では、水田土壌内の CH_4 濃度と大気中の CH_4 濃度の濃度差を駆動力とする分子拡散により、水稻の通気組織を通して CH_4 が大気中に放出されていることを明らかにしている。一方、地下茎を有するスイレン、ヨシ、ガマやマングローブでは、葉の内部にある微小な孔隙の両側における温度勾配や水蒸気勾配によって生じた加圧化や風による空気の引き込みや CO_2 と O_2 の水への溶解度の差異による O_2 の引き込みといった負圧化などにより空気のマスフローが生じ、その流れに乗って大気へ輸送されると考察している。植物による CH_4 放出の駆動力として、拡散よりもマスフローでガス輸送効率が良く、アサザ (*Nymphoides peltata*) のマスフローによる O_2 輸送は、分子拡散よりも 4.7 倍も大きく、このことは、 O_2 とは方向が逆となる CH_4 を大気へ大量に放出することを示している。さらに、水田における水稻からの CH_4 放出を水稻は CH_4 を放出する通導パイプで、植物体内のガス移動は分子拡散で表わされるとして CH_4 輸送モデルを提案し、 CH_4 フラックスの季節変化をモデルにより表現することに成功している。

以上のことから、廃棄物埋立地においても植物の通気組織が CH_4 放出量に影響を与えていることが考えられる。

廃棄物埋立地における植物を介した CH_4 放出メカニズムを解明することができれば、植物の植生分布や季節変動による CH_4 放出への影響を考慮でき、 CH_4 測定および推定手法において精度の向上が期待できる。また、植物を介した大気中への CH_4 放出と同時に大気中の O_2 が植物を介して覆土および廃棄物層へと送られることが考えられる。このようなガス交換が起こることで、覆土中の CH_4 酸化にも影響を及ぼしていると考えられることから、覆土施工時に CH_4 放出速度または CH_4 酸化量の制御等の目的に応じて、植物種や植物量を制御することによる CH_4 放出制御技術の検討のための知見が得られると期待される。

以上を考慮し、本研究では、廃棄物埋立地の覆土に植物が生育した状況を模擬したカラム実験および屋外実験により、植物を介した大気への CH_4 放出量の測定および影響要因について検討し、また、植物からの CH_4 放出を再現するためのモデルの構築を行った。

2. 土壌および植物を介した CH_4 放出比率

土壌表面から放出される CH_4 と植物を介して放出される CH_4 の比率をカラム実験により測定することを試みた。実験に用いたカラムを図-1 に示す。カラムは中央部に仕切りがあり、植物を介して大気中に放出されるフラックス(図中①のガス採取口より採取)と、土壌表面から放出されるフラックス(図中②のガス採取口より採取)を区別して測定できる構造になっている。実験では、カラム底部の CH_4 供給スペースの CH_4 濃度が所定の濃度となるよう CH_4 を供給し、その後、カラムの各採取口よりガスを採取して経時的な濃度変化を測定し、式-1 を用いて植物および土壌表面からのフラックスを算出した。なお本稿では、植物からのフラックスとは、土壌表面近傍の植物の茎の断面積を一定時間に通過して放出される量であると定義した。

$$F = \rho \cdot \frac{\Delta C}{\Delta t} \cdot \frac{V}{A} \times 10^{-6} \quad (\text{式-1})$$

ここで、 F はフラックス ($\text{g}/\text{m}^2/\text{hr}$)、 ρ は CH_4 密度 ($=716\text{g}/\text{m}^3$)、 $\Delta C/\Delta t$ は経過時間濃度変化 (ppmv/hr)、 V は体積 (m^3) ($V_{\text{土壌}}$: 下段カラム体積 - 土壌充填部体積 - CH_4 供給スペース体積、 $V_{\text{植物}}$: 上部カラム体積)、 A は底面積 ($A_{\text{土壌}}$: カラム底面積 - 茎の断面積、 $A_{\text{植物}}$: 茎の断面積) を示している。次に、全フラックスに対する植物および土壌表面からの CH_4 放出比率を得るため、直径 10cm の円内に実験に用いた植物(茎の直径: 約 0.7 cm) が一本の割合で生育していると仮定し、全フラックスおよび全フラックスに占める植物および土壌表面からの CH_4 フラックスを求めることにより、植物および土壌表面からの CH_4 放出

比率の計算を行った。

図-1 カラム実験装置概要

(1) 植物の有無が CH_4 フラックスに与える影響

実験は、土壌および CH_4 供給濃度の条件を変えて 2 つの条件で行った(実験 1, 実験 2)。なお、実験は室内で行われ、温度は約 20℃、湿度は約 30%であった。実験 1 および 2 の実験条件を表-1 に示す。土壌の充填密度は実験 1, 2 ともに $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ とした。実験に用いた植物として廃棄物埋立地で一般的に見られるヨシ(イネ科)およびセイタカアワダチソウ(キク科)の 2 種類を選定した。ヨシは水稻と同じくイネ科に属し、通気組織を発達させやすい種類であり、嫌気的環境下で通気組織の発達の程度は顕著になる。一方、セイタカアワダチソウはキク科に属し、イネ科ほどではないが通気組織を発達させるという報告がある。また、 CH_4 供給濃度は、著者らが中国において実施した廃棄物層内の CH_4 濃度測定結果を参考に決定した。なお実験 1, 2 では、実験開始時にカラム底部の CH_4 供給スペースに一定量の CH_4 が供給された後、供給スペースから CH_4 が徐々に土壌充填部に放出されるため、圧力状態が変化すると考えられるが、本実験では圧力状態については把握できていない。

実験1, 2ともに測定は5回行い、植物および土壌表面からの CH_4 フラックスの平均、標準偏差、直径10cmの円内に実験に用いた植物(茎の直径: 約0.7cm) が一本の割合で生育しているという仮定に基づいた全 CH_4 フラックスに占める植物および土壌表面からの CH_4 フラックスの平均およびそれぞれの CH_4 放出比率を求めた。実験1の結果を表

-2に、実験2の結果を表-3に示す。両種ともに植物を介したCH₄の放出が確認され、仮定に基づき植物が生育している場合には、土壌のみのCH₄フラックスよりも土壌および植物を合計した全CH₄フラックスが、実験1のヨシで0.06g/m²/hr、セイトカアワダチソウで0.04g/m²/hr、実験2のヨシで0.25g/m²/hr、セイトカアワダチソウで0.01g/m²/hr増加した。植物を介したCH₄放出比率に着目すると、実験1では、ヨシが7.7%、セイトカアワダチソウが4.2%であり、実験2では、植物を介したCH₄放出比率はヨシが63.3%、セイトカアワダチソウが2.9%となった。セイトカアワダチソウの実験1および実験2の結果の違いの一因は、供給したCH₄濃度の条件が異なることが考えられる。一方、ヨシについての実験1と2の結果が著しく異なる値となった原因として、土壌条件を変更したことで土壌表面からのCH₄放出量が制限され、よりガスの通りやすいヨシの植物体内を通るようになったことが考えられる。また、セイトカアワダチソウで同様の傾向が見られなかったのは、イネ科植物はキク科植物と比較して、茎根内に植物体内の放出経路と考えられる通気組織が形成しやすいことによると考えられた。

表-1 カラム実験条件

	実験1	実験2
土壌条件	粒径調節なし	2mm以下
CH ₄ 濃度	50%	30%
CH ₄ 供給量	99.0%CH ₄ ガス 278cm ³	99.0%CH ₄ ガス 167cm ³

表-2 実験結果(実験1)

植物の種類	CH ₄ フラックス (g/m ² /hr)			
	項目	植物	土壌表面	計
ヨシ	平均	13.83	0.80	
	標準偏差	9.69	0.27	
	平均(仮定)	0.07	0.80	0.86
	比率(%)	7.7	92.3	100
セイトカアワダチソウ	平均	21.81	1.11	
	標準偏差	42.23	0.67	
	平均(仮定)	0.05	1.11	1.15
	比率(%)	4.2	95.8	100

表-3 実験結果(実験2)

植物の種類	CH ₄ フラックス (g/m ² /hr)			
	項目	植物	土壌表面	計
ヨシ	平均	45.22	0.15	
	標準偏差	51.95	0.09	
	平均(仮定)	0.25	0.15	0.40
	比率(%)	63.3	36.7	100
セイトカアワダチソウ	平均	2.94	0.55	
	標準偏差	3.07	0.33	
	平均(仮定)	0.02	0.55	0.56
	比率(%)	2.9	97.1	100

(2) 植物を通じたCH₄フラックスに覆土の土質特性が与える影響

(1)の実験より、植物からのCH₄放出比率は植物種だけでなく、土壌の粒径に影響を受けることが示唆された。そこで、植物からのCH₄放出比率の大きかったイネ科植物について、土壌の粒径分布の異なる3種類の土壌(以下、土壌Ⅰ、土壌Ⅱおよび土壌Ⅲと示す)を用いて実験を行った(実験3)。3種類の土壌の土質特性として、平均粒径(D₅₀)、粒度の良さを示す均等係数(U_c)および通気係数(K_a)を表-4に示す。通気係数の大小関係は平均粒径と同じ土壌Ⅰ>土壌Ⅱ>土壌Ⅲであった。

カラム内に移植する植物として、ダンチク(イネ科)を選定し、植物根内のガスの放出経路と考えられる通気組織の観察を行った。実験に使用したダンチクの根の断面を写真-1に示す。根の中心柱の周囲に細長い柵状の空洞が見られ、実験に用いたダンチクに通気組織が発達していることを確認した。

実験3においても実験1、2と同様、測定は5回行い、植物および土壌表面からのCH₄フラックスの平均、標準偏差、直径10cmの円内に実験に用いた植物(茎の直径:約

表-4 実験に使用した土壌の土質特性

土壌の種類	平均粒径 D ₅₀ (mm)	均等係数 U _c (-)	通気係数 K _a (cm/sec)
土壌Ⅰ	1.15	8.24	5.30
土壌Ⅱ	0.56	6.70	2.22
土壌Ⅲ	0.25	4.53	0.35

写真-1 ダンチクの根の断面

表-5 実験結果(実験3)

土壌の種類	CH ₄ フラックス (g/m ² /hr)			
	項目	植物	土壌表面	計
土壌A	平均	0.93	0.39	
	標準偏差	2.08	0.20	
	平均(仮定)	0.00	0.39	0.39
	比率(%)	0.6	99.4	100
土壌B	平均	9.51	0.95	
	標準偏差	8.27	0.62	
	平均(仮定)	0.05	0.95	0.99
	比率(%)	4.6	95.4	100
土壌C	平均	5.46	0.33	
	標準偏差	3.58	0.30	
	平均(仮定)	0.04	0.33	0.37
	比率(%)	10.1	89.9	100

0.7 cm)が一本の割合で生育しているという仮定に基づいた全 CH_4 フラックスに占める植物および土壌表面からの CH_4 フラックスの平均およびそれぞれの CH_4 放出比率を求めた。実験3の結果を表-5に示す。3種類全ての土壌で植物を介した CH_4 フラックスを確認し、仮定に基づき植物が生育している場合には、土壌のみの CH_4 フラックスよりも土壌および植物を合計した全 CH_4 フラックスが、土壌Ⅰで $0.00\text{g/m}^2/\text{hr}$ 、土壌Ⅱ $0.04\text{g/m}^2/\text{hr}$ 、土壌Ⅲで $0.04\text{g/m}^2/\text{hr}$ 増加した。植物を介した CH_4 放出比率は土壌Ⅰで0.8%、土壌Ⅱで4.6%、土壌Ⅲで10.1%となった。ここで、3種類の土壌の違いによる結果の違いに着目すると、通気係数の大小関係土壌Ⅰ>土壌Ⅱ>土壌Ⅲとは逆の土壌Ⅰ<土壌Ⅱ<土壌Ⅲの順で植物からの CH_4 放出比率は大きくなる傾向が見られた。理由として、土壌中のガスの通気性が悪くなると、土壌表面からの CH_4 フラックスは制限され、一方で、土壌内にガスが滞留することによって、植物の根にガスが吸収される時間ができ、植物からの CH_4 フラックスは増加したと考えられる。

3. 植物を介した CH_4 放出に関する数値モデルの構築

(1) 廃棄物埋立地における植生を模擬した模型槽による CH_4 フラックスの測定

CH_4 の測定に用いた実験装置の概略を図-2に、実験条件を表-6に示す。ここで、植被率とは、設定した面積内における地表に対する植物の葉や茎による被覆割合を言う。屋外に設置された実験用コンテナは通常は大気に解放されており、実験時にはチャンバーを被せて密封出来るようになっている。設置した3つの実験コンテナには、コンテナAおよびBにそれぞれオヒシバ(イネ科)およびオオアワダチソウ(キク科)が移植されており、コンテナCには植物は移植されていない。植物を移植した土壌には市販の培養土を用いた。植物は2011年9月23日に移植され、実験開始時期は植物が土壌に定着する期間を考慮し2011年10月17日とした。実験では、 CH_4 60%、 CO_2 40%の混合ガスを底部から供給し、その後、植物および土壌から放出される CH_4 濃度の経時変化をチャンバー上部の窓からレーザーメタン検知器を用いて測定し、 CH_4 フラックスを算出した。実験結果を図-3に示す。 CH_4 フラックスはAで $0.25 \sim 0.98 \text{ g/m}^2/\text{hr}$ 、Bで $0.25 \sim 1.38 \text{ g/m}^2/\text{hr}$ 、Cで $0.16 \sim 0.74 \text{ g/m}^2/\text{hr}$ の範囲で変動しているが、実験期間中を通して植物のあるAおよびBにおける CH_4 フラックスが植物のないCよりも大きくなっていることから、植物が CH_4 放出経路として機能し、 CH_4 放出量を増加させていると考えられた。また、実験開始初期はAおよびBの CH_4 フラックスがCより顕著に高いが、次

図-2 屋外実験装置概要

表-6 実験条件

実験用コンテナ	A	B	C
植物種	オヒシバ (イネ科)	オオアワダチソウ (キク科)	なし
植被率	90%	90%	0%
CH_4 供給量	CH_4 60%、 CO_2 40%混合ガス 2.43ℓ

図-3 屋外実験による CH_4 フラックス測定結果

図-4 NDVI 測定結果

第に小さくなっており、この理由として、NDVIの変化(図-4)を見ても植物の活性度が低下しているのが分かるように、実験期間の秋から冬にかけて植物が次第に枯れたことにより植物を介した放出が制限されたと考えられる。

次に、 CH_4 フラックスと土壌の体積含水率およびNDVI(Normalized Difference Vegetation Index: 正規化植生指数)との関係を図-5および図-6に示す。NDVIとは、可視域赤と近赤外域の分光反射スペクトルから求められる指標であり、植正の分布状況や活性度を評価できる。 CH_4 フラックスと体積含水率には、A、B、Cともに相関は認められなかったが、AおよびBで体積含水率は10~40%、Cでは25~40%であり、体積含水率は植物のあるAおよびBでCよりも低くなっていた。また、NDVIは植物の生育するAおよびBで高く、Cで低くなっており、 CH_4 フラックスはNDVIの増加とともにばらつきが大きくなった。このことから、植物は様々な要因から CH_4 ガス放出量に影響を及ぼしており、その程度はより活性度が高い状態の植物で大きいと推察される。

図-5 CH_4 フラックス-体積含水率

図-6 CH_4 フラックス-NDVI

(2) 廃棄物埋立地における植物を介した CH_4 放出モデル

土壌のみの覆土と植物が生育している覆土の CH_4 フラックスの差は、土壌中の CH_4 が植物根内に透過され、植物を通過した後に大気中に放出された量であると仮定する。また、植物が生育している覆土からの CH_4 フラックスは、土壌中の拡散、移流および植物根内に透過され、植物根内を拡散により大気中へ放出された CH_4 であると考え、 CH_4 の物質収支式は式-2で表わされる。ここで、植物体内のガス移動の駆動力として拡散のみを考慮した理由としては、多くの水生植物のガス移動は拡散であり、マスフローをガス移動の主体とする植物はハスなどの葉鞘が4m以上と長距離をより効率良く輸送する必要がある植物に多いと報告されている⁵⁾ことから、屋外実験で用いた植生高さ60cm程度の植物ではマスフローによるガス移動は起こりにくいと考えたためである。また、 CH_4 の水への溶解度は23.58mg/l(20℃)と低いことから、本モデル中では土壌水中への CH_4 の溶解は考慮していない。

$$(\varepsilon_g + \varepsilon_r) \frac{\partial C}{\partial t} = - \left\{ -D_0 \left(\frac{\varepsilon_g}{\xi_g} + \frac{\varepsilon_r}{d_r} \right) \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial(vC)}{\partial x} \right\} \quad (\text{式-2})$$

$$v = -K \frac{\partial(RTC_{ALL})}{\partial x} \quad (\text{式-3})$$

ここで、 ε_g は土壌の気相率(-)、 ε_r は土壌中の根の体積割合(-)、 C はガス濃度(mol/m^3)、 t は経過時間(min)、 x は土壌高さ(m)、 D_0 は大気中のガス拡散係数(m^2/min)($\approx 0.00126 \text{ m}^2/\text{min}$)⁷⁾、 ξ_g は土壌の屈曲度(-)($\xi_g > 1$)、 d_r は根のガス輸送抵抗(-)、 v はガスの移動速度(m/min)であり、式-3によって求めた。 K は土壌の通気係数($\text{m}^2/\text{Pa/min}$)($\approx 0.0012 \text{ m}^2/\text{Pa/min}$: 実験値)、 R は気体定数($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{K/mol}$)、 T は温度(K)、 C_{ALL} は全ガス濃度(mol/m^3)である。モデルによる計算値と実験値との比較の一例と

図-7 チャンバー内 CH_4 濃度の計算値と実験値の比較(2012/1/5)

して、チャンパー内の CH_4 濃度の経時変化について 2012 年 1 月 5 日に行った実験結果を示す(図-7)。 ξ_g および ε_r/d_r は計算値と実験値が一致するように設定し、 ξ_g は 2.4 ~ 3.9 の範囲で変動させた。図-7 より、モデルにより植物を介した CH_4 放出現象を表現できたと考える。

次に、 ε_r/d_r と影響要因との関係を図-8~10 に示す。ここで、本研究とはモデル式の構造は異なるものの、細野(2000)⁶⁾ は水田における水稻を介した CH_4 輸送モデル構築の際、直接測定することが困難である植物の輸送抵抗(コンダクタンス)について、モデルによる解析の結果、地温と移植後日数を用いることで精度よく推定できたと報告している。 ε_r/d_r は、植物根内のガス拡散現象を表す特性値であり、植物種や植物根の成長、根周辺の土壌の状態によって変化する値であると考えられる。まず、図-8 に示した ε_r/d_r と体積含水率の間には、相関が認められなかった。これは、土壌の固相率が 17.2% と非常に低く、体積含水率が 40% に達しても、気相率が 42.8% と高い状態であることから、体積含水率の変化による影響は小さかったためだと考えられる。一方、図-9 に示した ε_r/d_r と NDVI との関係に着目すると、A で相関係数 $r=0.76$ 、B で $r=0.45$ となり、NDVI が低いほど ε_r/d_r が小さくなる傾向が見られた。また、A で ε_r/d_r と NDVI の間に高い相関が見られたのは、カラム実験で前述した通り、A のイネ科植物は植物体内にガスの通り道として通気組織を発達させやすい植物種であり、植物体内にガスを通しやすいために、A の ε_r/d_r は植物の状態に影響を受けやすかったためであると推察される。なお、屋外実験では図-3 および図-7 に示した通り、実験期間中、B の CH_4 フラックスが A よりも大きかったにも関わらず、B で ε_r/d_r と NDVI の間に高い相関が見られなかったのは、本モデルでは、植物が生育する土壌での植物の影響として、植物体内を通過した CH_4 放出のみを考えたが、実際には、植物体に沿ったガスの放出や植物の根の伸長による土壌内の孔隙構造の変化による通気性の変化が起こっており、B の場合には、それらの影響が A に比べて大きかったと考えられる。次に、図-10~11 に示した ε_r/d_r と気温および地温の関係をみると、A、B とともに温度が低くなると、 ε_r/d_r が小さくなる傾向が見られた。以上のことから、植物による放出を表す特性値 ε_r/d_r は NDVI や温度環境といった要因から推察できる可能性が示唆された。

次に、モデルによる計算の結果、屋外実験条件では、 CH_4 放出の駆動力として、土壌内および植物体内の拡散が支配的であったことから、モデル(式-1)中の土壌内のガスの移流を無視すると、植物および土壌からの CH_4 放出比率はそれぞれ式-4、式-5 で表わされる。

図-8 ε_r/d_r -体積含水率

図-9 ε_r/d_r -NDVI

図-10 ε_r/d_r -気温

図-11 ε_r/d_r -地温

$$F_r' = \frac{\varepsilon_r / d_r}{(\varepsilon_g / \xi_g + \varepsilon_r / d_r)} \times 100 \quad (\text{式-4})$$

$$F_g' = \frac{\varepsilon_g / \xi_g}{(\varepsilon_g / \xi_g + \varepsilon_r / d_r)} \times 100 \quad (\text{式-5})$$

ここで、 F_r' は植物からの CH_4 放出比率(%), F_g' は土壌からの CH_4 放出比率(%)を表わしている。以上の2式を用いて、屋外実験で使用した植生のある模型槽AおよびBについて、植物および土壌からの CH_4 放出比率を計算した結果を図-12および図-13に示す。図-12、図-13より、植物を介した CH_4 放出比率は、実験初期には、Aで40%、Bで50%と高くなっており、その後減少傾向にあった。植物を介した CH_4 放出比率の減少傾向は、前述のNDVIの傾向と一致し、植物の活性に大きく影響を受けると推察された。

図-12 CH_4 放出比率 (A: オヒシバ)

図-13 CH_4 放出比率 (B: オオアワダチソウ)

4. おわりに

本研究では、廃棄物埋立地における埋立ガス放出に植物が与える影響について明らかにすることを目的として検討を行った結果、次のような結果を得た。

- ・植物一本をカラムに移植した実験により、 CH_4 の一部が植物を介して大気へと放出されていることを確認し、本研究の実験条件における植物を介した CH_4 放出比率は0.6~63.3%であり、植物を介した CH_4 放出には植物種と土壌の土質特性が影響しており、土壌の通気係数が小さいほど植物を介した CH_4 放出比率は大きくなった。
- ・さらに、廃棄物埋立地の植生を模擬して植物を群生させた模型槽を用いた実験においても、カラム実験同様、植物を介した CH_4 放出が確認された。また、植物を群生させた模型槽の CH_4 フラックスは、実験開始初期の10月が高い値であったが、以後減少傾向を示し、実験を終了した2月に小さくなった。NDVIも同様の傾向を示したことから、この理由として、実験期間の秋から冬にかけて植物が次第に枯れたために植物を介した CH_4 放出が制限された、と推察された。
- ・土壌中の CH_4 が植物根に透過し、植物体内を拡散によって大気中へ放出されると仮定したモデルを構築し、植物を介した CH_4 放出を表現することができた。また、モデル中の植物による放出を表す特性値 ε_r/d_r にはNDVIおよび温度環境が影響を及ぼしていた。

以上のことから、廃棄物埋立地における埋立ガス放出量は、廃棄物埋立地に生育する植物、特に植物の持つガス放出機構による影響を受けており、影響の程度は植物の種類や覆土の土質特性、植物の活性度および温度環境といった要因により決定されると推察された。

参考文献

- 1) IPCC(2007) : IPCC Fourth Assessment Report (AR4) : Climate Change 2007, Cambridge University Press. <http://www.ipcc.ch/>
- 2) 小宮哲平, 石崎俊夫, 中山裕文, 島岡隆行 : 大規模最終処分場安定化モニタリングにおけるNDVIの利用可能性に関する検討, 環境システム研究論文集, Vol. 34, pp. 423-431, 2006
- 3) Chai Xiaoli, Lou Ziyang, Takayuki Shimaoka, Hirofumi Nakayama, Xhu Ying, Cao Xiaoyan, Teppei Komiya, Toshio Ishizaki, Zhao Youcai : Characteristic of environmental factors and their effects on CH_4 and CO_2 emissions from a closed landfill: An ecological case study of Shanghai, Waste Management, Vol. 30,

pp. 446-451, 2010

- 4) 野内勇：湿地・水田から大気への水生植物によるメタン放出機構：1. 水稻のメタン輸送経路，大気環境学会誌，Vol. 36, No2, 2001
- 5) 野内勇：湿地・水田から大気への水生植物によるメタン放出機構：2. ハス・スイレン・ヨシなどの水生植物のガス輸送：マスフロー，大気環境学会誌，Vol. 36, No. 5, 2001
- 6) 細野達夫：水田におけるメタンフラックスと水稻体

を通したメタン放出機構に関する研究，農環研報 Vol. 18, pp. 33-80, 2000

- 7) Rolston. D. E., Moldrup. P. : Gas diffusivity, Methods of Soil Analysis, Part. 4, SSSA Book Ser. 5. ASA and SSSA, Madison. WI, pp. 1113-1139, 2002

(2012. 8. 23 受付)

EFFECT OF VEGETATION ON LANDFILL GAS EMISSION FROM A LANDFILL SITE

Mayu TAKAHASHI, Hirofumi NAKAYAMA, Teppei KOMIYA
and Takayuki SHIMAOKA

Waste landfill sites are large emission source of methane. In landfill sites, waste is biologically degraded and landfill gas such as CH_4 and CO_2 are generated of anaerobic environment, but the detailed mechanisms of landfill gas emission in waste layer or in cover soil layer, especially the effect of vegetation on landfill gas emission, have not been clarified. In order to find out the effect of vegetation on landfill gas emission from a landfill site, two investigations were carried out in this study.

The column test was conducted to compare CH_4 flux rate from soil surface and the flux through plants. According to the experiment, the rate of CH_4 flux through plant was affected by kind of plant and soil property. The outdoor experiment was conducted by using two soil containers with vegetation and one soil container without vegetation. Through experimental period, CH_4 flux of the vegetated containers was bigger than CH_4 flux of the non-vegetated container. Additionally, the numerical model of the outdoor experiment was developed on the assumption that the difference of CH_4 flux between the vegetated soil containers and the non-vegetated soil container is caused by CH_4 emission through plants and the driving force of the emission is diffusion in plants bodies. As a result, the model explained the experimental results correctly.