

埋立時期を特定した廃棄物の時系列分析による メタン発生量の経時変化の推定

神尾 英俊¹・古市 徹²・石井 一英³

¹非会員 北海道大学大学院工学研究科修士課程 (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)
E-mail: kamio@kanri-er.eng.hokudai.ac.jp

²会員 北海道大学大学院工学研究院教授 (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)
E-mail: t-furu@eng.hokudai.ac.jp

³会員 北海道大学大学院工学研究院准教授 (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)
E-mail: k-ishii@eng.hokudai.ac.jp

生物分解性有機物 (以下, 有機物) 埋立による長期メタン発生が, 地球温暖化の一つの原因となっている。最終処分場からのメタン発生量推定に関する既存研究では, 模擬埋立ごみを用いたカラム実験など, 実験室レベルでの理想条件下で求められたパラメータを用いていた。それに対して本研究では, 20年以上にわたって厨芥等の有機物を埋立ててきた最終処分場から, 埋立時期が特定された廃棄物を採取し分析することを試みた。すなわち, 採取された埋立廃棄物から有機物を含む主たる廃棄物を特定し, メタン発生ポテンシャル量の時系列分析を行い, 一次分解反応式を仮定した分解速度係数を求めた。そして, 既存研究のアプローチとは異なった方法で, 最終処分場からの今後のメタン発生量の経時変化の推定を行った。

Key Words : *Age-defined wastes, methane emission rate, methane emission as a function time, and total amount of methane emission*

1. 研究背景と目的

廃棄物最終処分場 (以下, 処分場) から, 生物分解性有機物 (以下, 有機物) の嫌気分解より発生するメタンガス (以下, メタン) が, 温暖化ガスとして社会認識されるようになって以来, 特にEU諸国において有機物埋立の回避が叫ばれるようになってきた¹⁾。また, 厨芥に比べて難分解物質の紙や木などの有機物の埋立が, メタン発生の長期化を招き, 安定化するまでに長期間を要することが既存研究からも明らかになっている²⁾。すなわち, 処分場の安定化と温暖化問題を考える上で, 処分場からのメタン発生特性を把握することは重要な意義を持つ。

処分場から発生するメタン発生量の既存の推定は, 模擬埋立ごみを用いた実験室内での理想条件下でのバッチ試験やカラム試験により得られたパラメータを用いるものであった^{2,3)}。しかしこのような理想的な実験条件は, 実際の処分場とはスケールが著しく異なるだけではなく, 気温や降雨などの自然環境が変化する複雑な環境とは異なる。すなわち, 理想環境下と自然環境下では, 有機物の分解過程に差異が生じ, 結果としてメタン発生量も異なるものと考えられる。

処分場からのメタン発生量の経時変化は, 紙や厨芥などの有機物埋立量と各有機物からのメタン発生速度の経時変化に依存する。そして前述したようにメタン発生速度は, その埋立構造や気候などの条件によっても異なると考えられる。つまり, ある処分場から今後発生しうるメタン発生量の経時変化を推定するためには, 実自然環境条件下にさらされたその処分場の埋立時期が特定されている廃棄物を試料とした時系列分析を行う必要があると考えた。そこで本研究では, 実際に長期間埋立てられ, かつ埋立時期が特定された廃棄物の, 時系列分析を行うことで, 既存の実験室の研究では行うことができなかった新たなアプローチでメタン発生量を推定することを試みる。

そこで本研究の目的は, 過去20年以上にわたって有機物埋立を行ってきたA市の処分場を対象に, 埋立時期が特定された埋立廃棄物を採取し,

- ①各時期の埋立廃棄物のごみ組成分析より, 長期メタン発生の原因となる主たる廃棄物を特定し,
- ②各埋立時期の廃棄物のメタン発生ポテンシャル量から, メタン発生速度の経時変化を求めることにより,
- ③A市処分場からの今後のメタン発生量の経時変化を推定すると共に, A市の総CO₂排出量に対する処分場の寄

与を把握することを目的とした。

2. 既往の処分場からのメタンガス発生推定方法と本研究との比較

(1) 環境省（温室効果ガス総排出量算定方法ガイドラインの方法）

当ガイドライン³⁾は、地方公共団体が管理する廃棄物処分場において、焼却処理されずに埋立処分された廃棄物（食物くず、紙くず、木くず）が分解する際に排出されるメタン発生量を算定する目的で作成された。

a) 計算方法

ある算定期間までに焼却処理せずに埋立処分された廃棄物のうち、算定期間内（例えば一年間）で、それぞれ分解したものの量に廃棄物の種類ごとに決められた排出係数をそれぞれ乗じ、それらを合算することにより算定する（式(1)）。

$$\text{排出量 (kg-CH}_4\text{)} \\ = \text{廃棄物の分解量 (t)} \times \text{排出係数 (kg-CH}_4\text{/t)} \quad (1)$$

b) 廃棄物分解量の把握

埋立処分した廃棄物の算定期間内の分解量を直接実測することはできないため、本方法では食物くずは10年、紙（繊維）くずは21年、木くずは103年で完全に分解されると仮定し、それぞれの分解年数期間内で均等に分解するものと仮定されている。

c) 排出係数

この方法で用いられている国内の実測例に基づいた排出係数を表-1に示す³⁾。

d) メリットとデメリット

本方法は、計算が比較的容易でどの処分場においても埋立量とその組成が分かれば推定ができる。一方で、分解速度の時間変化が考慮されていないため、特に分解初期に多くのメタンを発生する食物くずからの発生量を正確に把握するのが困難であると考えられる。

(2) 実験室でのカラム実験

表-1 メタン排出係数

廃棄物区分	排出係数 (kg-CH ₄ /t)
食物くず	143
紙くず	138
繊維くず	149
木くず	138

表-2 IPCCのデフォルト値

	DOC _j (%)	k _j (1/y)
A: 紙・繊維	40	0.023
B: 庭ごみ	17	0.023
C: 厨芥	15	0.231
D: 木・わら	30	0.023

カラム実験²⁾は、実験室内で予め調整した模擬埋立ごみを円筒状のカラムに投入し埋立層内を模擬する実験である。

a) 実験条件の設定

カラム実験では、目的に応じて模擬埋立層内の環境を自由に制御できる（嫌気、好気、降雨量、温度など）。また、実際の処分場とは異なり、ごみの組成やごみ質を考慮した模擬ごみを埋立てることが可能なため、理想条件下での物質収支を考慮しながら、メタン発生量を測定できる。

b) メリットとデメリット

カラム実験を用いたメタン発生量の推定では、温度や散水量などの条件の制御が可能であり、用いるサンプルの特性を考慮した実験が可能である。さらに、浸出水などを含めた炭素の物質収支がとれうろというメリットが挙げられる。一方で、自然環境にさらされる実際の処分場とは、実験条件は必ずしも一致しないので、メタン発生量の推定結果は、必ずしも実態を反映したものにならない。

(3) IPCCモデル

a) 計算方法

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) においても、処分場から発生するメタン量の推定方法が定められている⁴⁾。IPCCのモデルでは、西暦 y 年におけるメタン発生量 MB_y [t]は下記の式(2)で表現される。

$$MB_y = \frac{16}{12} \cdot F \cdot DOC_f \cdot$$

$$MCF \sum_{x=A}^y \sum_{j=A}^D A_{j,x} \cdot DOC_j \cdot (1 - e^{-k_j}) \cdot e^{-k_j(y-x)} \quad (2)$$

ここで、

F : 埋立ガス中のメタン割合 (Default値=0.5)

DOC_j : 廃棄物 j 中の生物分解性有機物の割合

DOC_f : 埋立ガスとなるDOCの割合 (Default値=0.7)

MCF : メタン回収係数 (Default値=1.0)

$A_{j,x}$: ある年 x の廃棄物 j の埋立量 [ty]

k_j : 廃棄物 j の分解速度係数 [1/y]

j : 廃棄物の種類 (A: 紙・繊維, B: 庭ごみ

C: 厨芥, D: 木, わら)

x : 埋立年 (西暦) [y]

y : 推定対象年 (西暦) [y]

DOC_j と k_j のIPCCによるデフォルト値を表-2にまとめる⁴⁾。

b) メリットとデメリット

IPCCモデルのメリットとしては、一次分解式を用いた比較的精度の高いモデルであり、国際的にオーソライズされたものであることである。しかし、 DOC_j と k_j の値は実験室などで得られたデフォルト値が定められており、また同時にこれらの値の不確実性も認められている⁴⁾。

(4) 本研究での推定方法

a) 算定方法

本研究も基本的には一次分解式を用いることにする。ただし、分解速度係数を決定する際に、推定対象となる処分場で実際に埋め立てられた、かつ、埋立時期が特定された廃棄物を採取し、各廃棄物のメタン発生ポテンシャル量を用いるところが、従来の方法と大きく異なっている。

b) メリットデメリット

本方法のメリットは、人工的に制御された実験環境下ではなく、実際の自然環境下にある埋立地内に存在する廃棄物を用いることである。これにより、推定対象となる処分場に対しては、実際に近い条件での将来のメタン発生量を推定することが可能となる。しかし、本方法で求められた分解係数等のパラメータの他処分場へ適用することが困難なこと、実際の処分場で掘削調査を行うため埋立年代が特定された処分場でしかこの調査を行うことができないこと、そして埋立物の不均一性を考慮したサンプリングが必要であること、というデメリットもある。

3. 対象処分場と試料の採取及び分析方法

(1) 対象処分場について⁵⁾

a) 対象処分場の概要

一部の資源物（アルミ缶、ペットボトルなど）を除き、家庭系・事業系の生ごみを含む一般廃棄物を焼却処理せずに埋立ててきた北海道A市の新・旧処分場を本研究で対象とすることとした。表-3に新・旧処分場の概要をまとめた。ただし、旧処分場は、オープン型処分場であるのに対し、新処分場は被覆型最終処分場（CS処分場）である。

b) ごみ分別区分の経緯と資源化

表-4にA市の2010年現在のごみ分別区分と各資源物の収集開始年度を示す。計画収集ごみの分別は一般ごみ・大型ごみ・資源物の3区分であり、資源物はさらに15種類の項目に細分別している。

A市では、1997年より段階的に資源物回収を行っており、特にメタンガス発生量の推定に深く関与する廃棄物として、2001年以降に、紙などを対象とした資源回収を

表-3 処分場概要

	埋立期間	埋立廃棄物	埋立状況	埋立面積(m ²)	埋立容量(m ³)
第一区画	1988~1998	家庭系	埋立終了	205,700	1,200,542
第二区画	1999~2007	事業系一廃	埋立終了	6,750	6,463
第一区画	2007~2009	家庭系	埋立終了	2,250*	2,154*
第二区画	2010~	事業系一廃	埋立中		

*2010年度分の計画値

表-4 A市の家庭系ごみの分別区分

種類	分類	実施年
一般ごみ	一般ごみ	
大型ごみ	大型ごみ	
資源物	①缶	1997
	②びん	
	③ペットボトル	
	④紙パック	2001
	⑤新聞紙	
	⑥雑誌	
	⑦段ボール	
	⑧その他の紙	
	⑨古衣類	2006
	⑩蛍光管	
	⑪乾電池	
	⑫金属類	2008
	⑬容器包装プラスチック	
	⑭白色トレイ	
	⑮体温計	2009

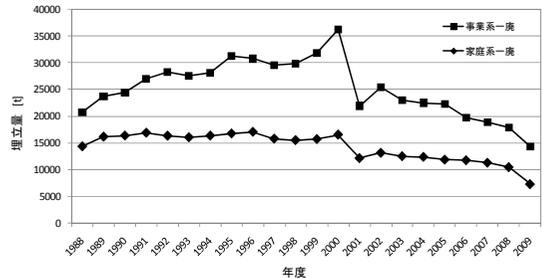


図-1 A市新旧処分場の埋立実績

始めている。このため2000年以前と2001年以降では埋立地内のメタンガス発生量に寄与するごみ組成に変化があると推測された。

b) 廃棄物の埋立実績

図-1にA市の1988年～2009年までの家庭系・事業系一般廃棄物の埋立実績を示す。2001年度以降、埋立量が大きく減少しているのは、前述したように2001年に紙などの資源回収並びに、ベッドや自転車などの大型ごみ収集の有料化が始まったためであると考えられる。本研究では、これら埋立物の量と質の時間変化も可能な限り考慮した。

(2) 本研究で想定した前提と仮定

本研究で行う埋立時期を特定した廃棄物の時系列分析を行うためには以下のような前提と仮定が必要である。

a) 処分場についての前提

本研究で対象とするA市処分場では、

- ①埋立年代が特定された廃棄物の採取が可能である、
- ②各埋立年代の埋立当時の埋立量や埋立ごみの組成の

推測が可能である、
の2点を満たす必要がある。

この2点に関しては、ある年代のごみ組成を除いてA市による情報提供が得られたため成立した。

b) 埋立物についての仮定

A市で1988年より過去23年間にわたり埋立てられた廃棄物については、以下の4つを仮定した。

- ①埋立られた廃棄物の各組成のごみ質について、過去23年間での変化は極めて小さい(過去に埋立てられた紙や厨芥の質と現在埋立れている紙や厨芥の質はほとんど同じである)。
- ②埋立物中の有機物の全てが、長期的には分解に伴い埋立ガス化しメタンガスと二酸化炭素となって放出される。
- ③覆土中などでメタン酸化反応は生じず全てが大気中に放出される。
- ④過去に埋め立てられた廃棄物は全て同環境条件下で分解される。

特に、旧処分場と新処分場では、被覆の有無による自然降雨の有無に違いが生じるなど環境条件が異なっている。しかしながら、新処分場の第一区画はキャッピングシートが施工され、雨水の浸入がほとんどなく、より嫌気性雰囲気になりやすいと考えられた。また通常の処分場でもガス抜き管の周辺以外はほとんどが嫌気性雰囲気下であることが知られている²⁾。このような点で、メタン発生に関して言えば、新・旧処分場とも嫌気的な条件でメタンが発生するものと考えられ、両者の分解速度等の違いはほとんど無視できるものと仮定した。

(3) 試料の採取

(1)で述べた新・旧処分場において実際の埋立物の掘削採取をおこなった。下記に詳細を記す。

a) 旧処分場

図-2に試料採取の区分を示す。埋立年代が特定された各領域から、空間的不均質性を考慮して2~3試料を採取し、代表値を求めることとした。具体的には、第一区画(1988~1998年埋立)を、(A)1988~1992年と(B)1993~1998年の2つに分け、それぞれ3つずつ試料を採取した。同様に第二区画(1999~2007年)を(C)1993~2003年と(D)2004~2007年の2つに分け、(C)からは3つ、(D)からは2つの試料を採取した。

なお、試料の採取方法は、重機で覆土を撤去した後に、その下の廃棄物のみを採取した。一定量の廃棄物(重機の1バケット分約0.4m³)を掘り起こし、その後スコップ等を用いて四分法で縮分した後、約20Lのポリバケツに入れて持ち帰った。

b) 新処分場

前述したように既に第一区画の埋立は終了しており、

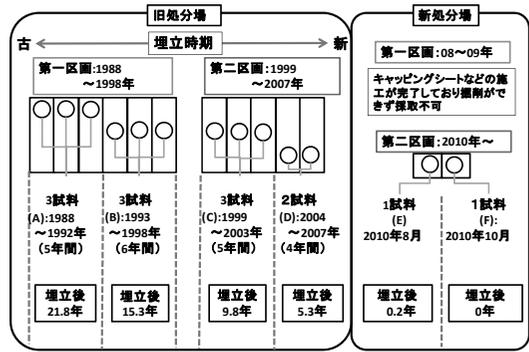


図-2 試料採取の区分

表-5 各埋立時期の試料のサンプリング概要

		時期	埋立年代	代表年	埋立年数	試料数
旧処分場	第一区画	A	1988-1992	1990	20.8	3
		B	1993-1998	1995.5	15.3	3
	第二区画	C	1999-2003	2001	9.8	3
		D	2004-2007	2005.5	5.3	2
新処分場	第一区画	E	2010年8月	2010.8	0.2	1
		F	2010年10月	2010.10	0	1

キャッピングシート等の措置が施され掘り起こしが困難だったため、第二区画のサンプリングのみを行った。

第二区画では2010年10月、2010年8月から各1試料を採取した。これは、埋立廃棄物中における厨芥などの易生物分解性有機物は、埋立から数カ月で著しく分解すると予測されたためである。

以上より、本研究では表-5のように各埋立時期別に試料を採取した。各試料の埋立代表年は埋立年代の平均をとって算出し、2010年10月時点をもととした場合の埋立年数を算出した。

(4) 試料の分析

a) 組成分析

試料を下記の12分類に手選別し、湿重量ベースで組成分析を行った。

[分類項目]

紙・竹、わら・その他草木、厨芥、金属、布、プラスチック(以下、プラ)、ゴム、ガラス、陶器、おむつ、動物のふん(犬)、その他

ここで「その他」とは、目視で他の11項目のいずれにも当てはまらなかったものを指す。なお、以下の三成分分析・回分実験の対象物は、処分場内に比較的多く残存していた有機物の内、メタン発生量に大きく寄与し得る物質として、紙、厨芥、その他とした。

b) 三成分分析

本分析⁹⁾では、試料を105℃で重量変化がなくなるまで蒸発乾固し水分量を求めた後、約600℃で6時間強熱

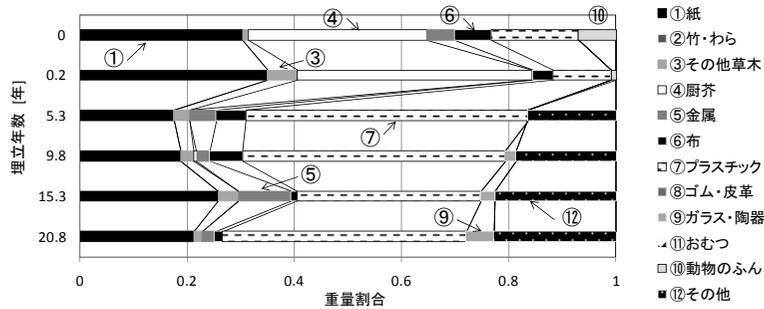


図-3 組成重量割合の経時変化

(②竹・わら, ⑧ゴム・皮革, ⑩おむつについては, 図上では微量で見えない)

した後に可燃分と灰分を求めた。

c) メタンガス発生ポテンシャル量

本研究では, 回分実験によりメタン発生ポテンシャル量(有機物分解に伴い発生し得る全メタン量)を測定する。下記に実験方法⁷⁾を示す。

- i. 200 mLのバイアル瓶に生ごみバイオガス施設で採取した汚泥(以下, 種汚泥)を100 mL入れる。
- ii. あらかじめ3cm四方程度に切り刻んだ乾燥試料を所定量(1g)入れ, ヘッドスペースを窒素で置換する(約2分間)。また, 種汚泥から発生するメタンガス量を把握するため種汚泥100 mLのみのもの(ブランク)も用意した。
- iii. 窒素置換後, プチルゴムとアルミシール, ビニールテープでバイアル瓶を密閉する。
- iv. 密閉したバイアル瓶を35°Cの恒温槽に入れ, 静置する。
- v. 3~4日に1度, 100mLのガラス製注射器を用いてバイオガス発生量を測定する。この際, バイアル瓶内ではバイオガス発生のため内圧が大気圧より高くなり, 圧力差により注射器内にガスが流入してくる。内圧と外圧が同じになった時の注射器の容量をバイオガス発生量とした。
- vi. バイオガス中の窒素, 二酸化炭素, メタンの濃度をガスクロマトグラフィーで測定する。

茶は目視では判断できない程度にまで分解が進行していると考えられた。紙は長期的には, その割合が減少している傾向があることから, 時間経過に伴い分解が進行していることが確認できるが, 図-3 からわかるように埋立てから20年が経過してもなお, 埋立物中の20%を占めることから埋立地内には未だに多くの紙が残存していることがわかった。一方, 時間経過に伴いプラとその他が増加傾向にあった。時間の経過に伴い, 紙と厨芥は微生物分解によって減少するのに対し, 微生物分解されないプラの割合が相対的に高くなったと解釈できる。また, その他に関しては, 特に厨芥などが微生物分解に伴い, 目視では判断できない様な状態に変化したため, 手選別の際にその他に分類されたと考えられた(紙もその他に分類されたと考えられたが, 主たるものとしてこのように仮定した)。過去の研究⁷⁾からも, 目視で判断できない埋立物のメタン発生ポテンシャル量が大さいことが確認され, 未分解性の有機物が多く, このその他に分類されていると考えられる。

以上の結果から, 埋立地内に残存する有機物のうち, 微生物分解に伴いメタンを発生する主たる廃棄物は紙, 厨芥とその他の3つであると考えられた。よって, これ以降はこの3つを対象とし実験を行った。特に, その他には, 主に厨芥の未分解分が移行したと仮定し, これ以降は厨芥(埋立年数0年と0.2年の試料)とその他(埋立年数5.3年以降の試料)は同一として表記することとし, 並べて時系列分析することとした。

4. 組成分析結果と三成分分析結果

(1) 組成分析結果

図-3 に組成分析結果である埋立物の湿重量割合の経時変化を示す。多少の変動はあるものの, 紙, 厨芥, プラ, その他で全体の8~9割を占めており, 長期メタンガス発生の原因となる竹わら, その他草木は少なかった。また, 埋立年数0.2年から5.3年にかけて厨芥の割合がゼロにまで低下していることから, 埋立てから数年で厨

(2) 三成分分析結果

図-4 に紙, 図-5 に厨芥・その他の三成分分析結果を示す。紙は埋立年数が経過するとともに可燃分が減少傾向にあった。しかし埋立年数約10年以降はその変化は小さかった。紙はリグニンやセルロースなどのどちらかといえば難生物分解性有機物で構成されており, そのうちセルロースが比較的容易に分解すると一般的に知られている。つまり, 外見が同じような紙でも埋立年数の

経過によって易分解性の成分の分解が進行したものと考えられる。なお、回分実験に供した紙質は、各サンプル間での顕著な違いは見られなかった。

厨芥・その他では、埋立年数 0.2 年から 5.3 年にかけては比較的大きな減少がみられるものの、それ以降はその変化は小さかった。

5. メタン発生量の経時変化の推測

(1) メタン発生ポテンシャル量の経時変化

回分実験より求めた乾燥ごみ 1 g 当たりのメタン発生ポテンシャル量の経時変化を図-6 に示す。

紙と厨芥・その他の比較では、紙の方がメタン発生ポテンシャル量が大きかった。これは、三成分分析の結果からも分かるように紙の方が可燃分の割合が多かったことでも説明できる。また、メタン発生ポテンシャル量の経時変化に着目すると、埋立からほぼ 20 年経過した紙のメタン発生量は、埋立直後の約 300 mL-CH₄/g の約 40% の 114 mL-CH₄/g であり、同様に厨芥・その他は、埋立直後の 250 mL-CH₄/g の約 26% の 65 mL-CH₄/g であった。

(2) 一次分解を仮定したメタン発生ポテンシャル量の経時変化の推定

メタン発生ポテンシャル量は、残存する有機物量と考えることができるので、一次分解式を仮定すると、式

(4)が成り立つ。

$$P_i(x) = P_i^0 e^{-k_i x} \quad (4)$$

$P_i(x)$: 埋立から x 年が経過したごみ i のメタンポテンシャル量 [m³/t]

P_i^0 : $x=0$ 時点 (埋立直後) のごみ i のメタンポテンシャル量 [m³/t]

k_i : ごみ i の分解速度係数 [1/y] (再喝)

i : ごみの種類 ($i=s$: 紙, $i=r$: 厨芥・その他)

次に西暦 y 年に埋立てられたごみ i の重量 W_i^y [t] を用いると、西暦 y 年に埋立てられたごみ i の x 年後の総メタン発生ポテンシャル量 $M_i^{y,x}$ [m³] は、式(5)によって表される。

$$M_i^{y,x} = W_i^y \times P_i(x) \quad (5)$$

W_i^x : 西暦 y 年の埋立当時のごみ i の重量 [t]

次にメタンガスポテンシャル量の経時変化の推定を試みる。図-6 のメタンガス発生ポテンシャル量の測定値を用いて、図-7 のようにカーブフィッティングにより P_i^0 と k_i を求めた結果、

$$p_s(x) = 326.4e^{-0.050x} \quad (6)$$

$$p_r(x) = 208.2e^{-0.062x} \quad (7)$$

となった。そのときの相関係数はそれぞれ、0.934、

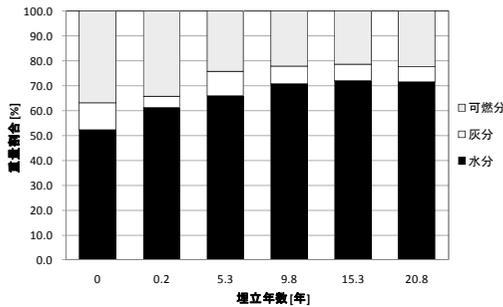


図-4 紙の三成分の経時変化

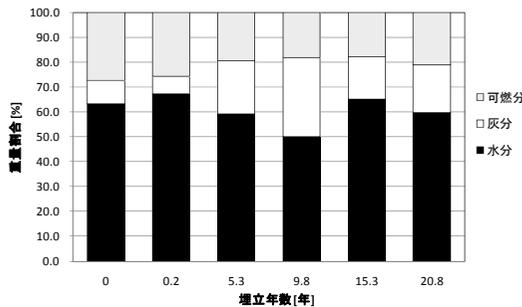


図-5 厨芥・その他の三成分経時変化

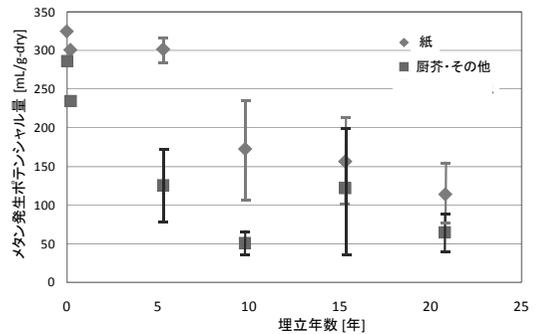


図-6 メタン発生ポテンシャル量の経時変化

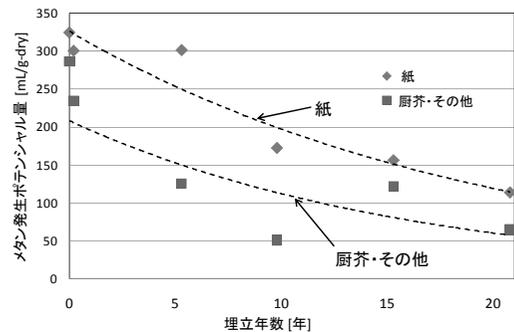


図-7 メタン発生ポテンシャル量の近似曲線

0.578 であり、厨芥・その他でやや低かった。

(3) 埋立当時の紙と厨芥量の推定

メタン発生量を推定するためには、埋立当時の紙と厨芥量を推定する必要がある。図-3 の組成重量割合は、既に長期間の分解等の変化を受けた後の組成のため用いることができない。そこで、紙の資源回収が開始された2001年以降のごみ組成には大きな変化がないものと仮定し、2004年にA市によって実施された家庭・事業系一般廃棄物のごみ組成調査結果を用いて2001年以降のごみ組成を推定した。一方、2000年以前のごみ組成は、A市での組成調査結果がなかったことから、同年代の紙資源化を行っていない他の自治体のごみ組成を文献から引用した^{7,8)}。全ての年代のごみ組成データを得ることができなかったため、2000年以前を1988～1993年と1994～2000年の2期に分割し、それぞれ文献から得られた組成調査結果を代表値として用いた。その結果を表-6に示す。また、埋立ごみ量に対する家庭系と事業系の一般廃棄物の量については、図-1の値を用いた。

(4) 大気中へのメタン発生量の経時変化の推定

式(6)と(7)から計算されるメタン発生ポテンシャル量の年ごとの差から、西暦y年の埋立からx年が経過した廃棄物に対して、その後さらにz年が経過するまでの間に大気中に放出されるメタン量は、

$$M_i^{y,x} - M_i^{y,x+z} = W_i^y \times (P_i(x) - P_i(x+z)) \quad (8)$$

で計算できる。例えば1988年に埋立られたごみが埋立から23年が経過した2010年現在から2011年の一年間で放出するメタン量は、

$$M_i^{1988,23} - M_i^{1988,23+1} = W_i^{1988} \times (P_i(23) - P_i(23+1)) \quad (9)$$

で計算することができる。他の年度(1989～2009年の実績値と2010年度計画埋立量を用いた)に埋め立てられた廃棄物に対しても同様に計算し、全メタン発生量を年ごとに積算することで新・旧処分場の埋立有機物である紙と厨芥・その他から今後発生するメタンガス発生量を推測することができる。図-8、図-9に新・旧処分場の今後46年のメタンガス発生量の推定結果を示す。なお、A市処分場に埋立られている最も古い23年前(1988年埋立)の廃棄物が今後さらに同じ23年間経過したという意味で46年間のメタンガス発生量変化の推定を行った。

特に着目すべきは今後40年以上経過してもなお新・旧処分場ともに、メタン発生が継続するという点である。また、時間経過に伴い紙からの発生量の割合が多くなっ

ていることもわかる。これより、難分解性物質である紙(今回は木質系の廃棄物が少なかったが、木質系も含めて)を分別資源化や焼却などの処理をせず処分場に埋め立ててしまうことが、メタン発生の長期化を招き、そのことが処分場の安定化そのものを遅延させてしまうことが再確認された。

表-6 各埋立時期当時のごみ組成

		1988～1993	1994～2000	2001～2010	2010
家庭系 一般廃棄物	紙	0.166	0.284	0.266	0.266
	厨芥	0.385	0.4395	0.474	0.474
	それ以外	0.449	0.277	0.26	0.26
事業系 一般廃棄物	紙	0.483	0.352	0.308	0.308
	厨芥	0.192	0.201	0.352	0.352
	それ以外	0.325	0.447	0.34	0.34

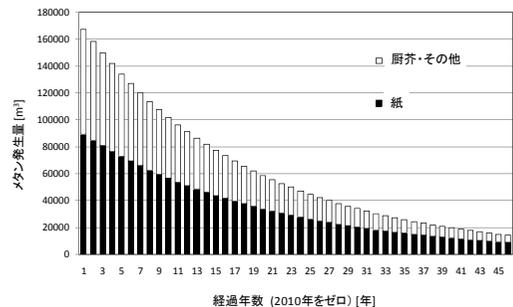


図-8 新処分場の今後46年間のメタンガス発生量変化

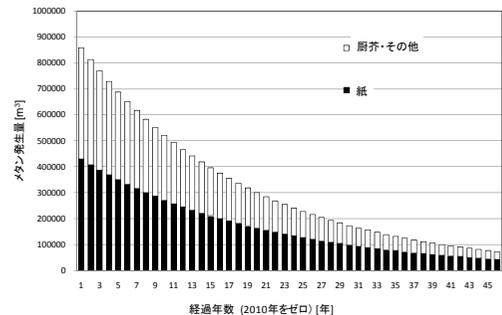


図-9 旧処分場の今後46年間のメタンガス発生量変化

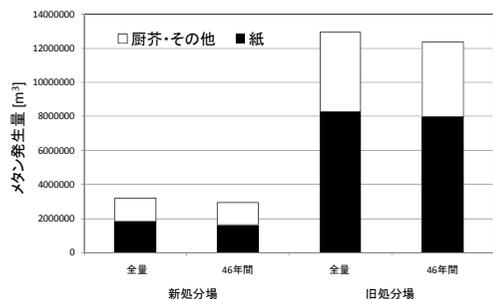


図-10 新・旧処分場の全メタンガス発生ポテンシャル量

次に、図-10に、新・旧処分場から今後発生し得る全メタン量、および図-8および図-9に示した新・旧処分場からのメタンガス発生量の46年間分の総和を求めて算出された全メタンガス発生ポテンシャル量を示す。まず、46年間経過した時点で、今後発生しうる全メタン量の9割以上は発生することがわかる。

また、新処分場では、全メタンガス発生ポテンシャル量における紙と厨芥の比率は約1:1であるのに対し、旧処分場では約2:1となっている。これは、新処分場では、埋立てられてから間もない厨芥の割合が多いため、今後発生するメタンガス発生ポテンシャル量の厨芥の寄与も比較的大きい。また、新処分場に比べて、埋立経過時間が長い旧処分場では、厨芥の分解のピークはすでに終わっているため、相対的に紙からのメタンガス発生ポテンシャル量が多くなっていると考えられる。このように、本研究では、実際の環境に長期間さらされた、実埋立廃棄物のメタンガス発生ポテンシャルの時系列解析により、長期メタンガス発生の原因となる廃棄物種を特定し、今後処分場から排出されるメタンガス発生量の推定を行うことができた。

(5) A市の二酸化炭素ガス排出量割合に対する埋立処分場の寄与

本研究結果より、A市の新・旧処分場からのメタン発生ポテンシャル量は、それぞれ今後46年間で、 2.9×10^6 、 1.2×10^7 [$\text{m}^3\text{-CH}_4$]となった(図-10参照)。また、A市の処分場から今後1年間で発生するメタンガス発生量について、新処分場からは 1.7×10^5 [$\text{m}^3\text{-CH}_4$] (図-8参照)、旧処分場からは 8.5×10^5 [$\text{m}^3\text{-CH}_4$] (図-9参照)であり、合計すると 1.0×10^6 [$\text{m}^3\text{-CH}_4$]となる。この値を、二酸化炭素量に換算すると、メタンガスの温室効果が二酸化炭素ガスの21倍であることを用いると、今後1年間でA市処分場から発生する二酸化炭素排出量は 1.5×10^4 [t-CO_2]である。

A市での2006年における二酸化炭素の総排出量が 5.3×10^5 [t-CO_2]である⁹⁾ので、処分場から発生する二酸化炭素ガス量は全体の2.9%に相当することがわかった。これは、処分場からのメタンガス発生量を抑制する対策、あるいはメタンガスを有効利用する対策が、A市にとって二酸化炭素ガス排出量抑制策に対して、一定の意義を持つことを示している。

一方、A市が、環境省で定められた方法を用いて算出した場合の処分場から発生するメタンガス量を二酸化炭素ガスに換算すると、全体量の約2.0%に相当する値であった⁹⁾。

つまり、環境省の方法を用いたものに比べて、本研究で用いた方法は、全体量に対する割合が0.9%大きかった。環境省の方法では、時間経過に伴う分解変化を考慮

していないため、実際の自然環境下における分解過程を経た有機物のメタン発生ポテンシャルの変化から発生量を推定した本研究との値には差が生じたものと考えられる。

6. 結論

本研究では、実際に長期間埋め立てられた、埋立年代が特定された廃棄物の採取を行い、その廃棄物の組成分析およびメタンガス発生ポテンシャル量の時系列解析を行うことで、従来とは異なる新しいアプローチで、今後処分場からのメタンガス発生量の経時変化の推定を行うことができた。以下に、得られた結論を述べる。

- ①組成調査結果から、20年前に埋立てられた有機物の内、長期メタンガス発生に大きく関与すると考えられた紙とその他の割合はともに約20%と高く、埋立地内には依然として多くの未分解の有機物が存在していることがわかった。
- ②従来とは異なるアプローチである埋立時期を特定した廃棄物の時系列分析により、メタンガス発生ポテンシャルの経時変化を求めることができた。そして、実際の処分場から今後発生するメタンガス量の経時変化の推定を行うことができた。
- ③A市処分場から、今後1年間でメタンガス発生量を二酸化炭素換算すると、A市の二酸化炭素総発生量の2.9%に相当することがわかった。すなわち、二酸化炭素排出抑制の観点から、メタンガス発生抑制や有効利用のための対策の意義があることが確かめられた。

謝辞

処分場のサンプリングや情報提供にご協力頂いた、A市の担当者、および処分場管理者の方々に深く感謝致します。

参考文献

- 1) European Commission Environment: Council Directive 99/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste, 1999.
http://ec.europa.eu/environment/waste/landfill_index.htm
- 2) 田中信壽:環境安全な廃棄物埋立処分場の建設と管理, 技報堂出版, p.123, 2000
- 3) 環境地球環境局:地球温暖化対策の推進に関する法律に基づく地方公共団体の事務及び温室効果ガス総排出量算定方法ガイドライン, pp. 33-35, 2007.
http://www.env.go.jp/earth/ondanka/sakutei_manual/i

- ndex.html
- 4) IPCC: Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, 2000
<http://www.grida.no/climate/gpg/english.htm>
- 5) A 市提供資料およびヒアリング調査
- 6) 建設省都市局下水道部・厚生省生活衛生局水道環境部監修：下水試験方法 上巻, p.297, 社団法人日本下水道協会, 1997
- 7) 谷川昇, 古市徹, 石井一英, 戸田佑紀, 小松敏宏, 稲葉陸太：最終処分場再生のための埋立廃棄物のバ
 イオガス化処理可能性の検討, 廃棄物学会論文誌, Vol. 18, No.1, pp.30-36, 2007
- 8) 東京都清掃研究所：平成7年度 東京都清掃研究報告書, p.12, 1995
- 9) 小森友明：地方都市における事業系一般廃棄物の排出状況－内容物詳細調査と減量化可能性－, 第5回 廃棄物学会研究発表会講演論文集, p.57, 1996
- (2011.8.8 受付)

Estimation of Change in Methane Emission Rate by Analysis of Age-defined Wastes in a Landfill site

Hidetoshi Kamio, Toru Furuichi, Kazuei Isii

Landfilling of biodegradable organic materials such as food waste, paper, woods and etc. causes long-term environmental pollution such as highly polluted leachate generation and methane gas emission. Especially, methane gas emission contributes global warming. There are many studies on prediction of long-term methane emission from landfill sites by laboratory column experiments under ideal situation. But in a real landfill site, landfilled biodegradable organic materials are influenced by climate, rainfall, etc. So it is predictable there is crucial difference in degradation mechanism between ideal and natural situation. Therefore, in this study, we attempted to obtain age-defined waste samples from a real landfill site, in city A, located northernmost part of Hokkaido, Japan, and predict the methane generation from now on considering the change in methane emission rate.