

廃棄物埋立地からのメタン放出量の推定

○渡辺征夫, 山田正人 (国立公衆衛生院)

松澤 裕 (厚生省水道環境部)

1. はじめに.

世界での人為的なメタン放出量は, 360 Tg(CH₄)/年(IPCC,1992) or 375(IPCC,1994)と見積もられていて, 廃棄物埋立地から放出するメタン量は30 Tg(CH₄)(IPCC,92) or 40(IPCC,94)で, 20-70 Tg(CH₄)/年の推定幅が想定されている。すなわち, 人為的なメタン放出量の約10%と見られている。また, 日本では, 446 Gg(CH₄)/年(日本国政府,1994) or 364 (同,1997)と推定されているが, これは, 国内の総メタン排出量[1548 Gg(CH₄)/年]の約1/4に当たる。ここでは, その推定の基礎とした考え方と手順を示し, 今後, どのようなデータが必要とされるか, またどのような改善が図られるべきかを考える。なお, 以後, 対象を一般廃棄物とする場合は, 「ごみ」と称する。

2. 推定のプロセス

埋立地からの放出量の推定でもっとも良く利用されている手法は, Bingemerら(1987)が用いたもので, 推定の基にごみの中のDOC (degradable organic carbon, 分解性有機炭素, 西独の例で20%)を考え, そのガス化率 (0.8) やガス中のメタンの割合 (0.5) などを仮定して, 1 tonのごみからの放出メタン量を; $1000 \text{ kg} \cdot 0.2 \cdot 0.8 \cdot 0.5 \cdot 16/12 = 106.7 \text{ kg}$ のように, 推定するわけである。

しかし, 実際はこのように単純ではなく, 上記のそれぞれの因子が, 地域・時間ごとに異なり, 正確な推定を困難にしている。たとえば, ごみの質により, プラスチック中の炭素のようにほとんどメタンの生成に係わらないもの, 木材のように分解に長い時間がかかり, かつ一部は炭化して分解しないものなど, 様々で, ガス化する時期を, Bingemer等は厨芥類; 1-5年, 紙類; 5-20年, リグニン以外の木質; 20-100年と見込んでいる。また, 後述するようにガス化率やメタンの割合は好気・嫌気 conditions で変わってくる。

3. 我々が行った日本での放出量推定の例

1994年版の放出量の推定では最終的な放出量を知ることが優先し経年的な変化を無視したが, 97年版を作成するに当たり, 年度ごとの変動を見る必要もあって放出の経年的な変化を推定した。その時に用いた数値や手法は, 各年度のごみの総量; 厚生省の統計, 各年度のごみの質; 日本環境衛生センタ資料(N=230-420), ごみ質ごとの炭素比率; ごみ施設構造指針解説, ガス化率(50%); 従来の値(東京都1975,松藤ら1992), メタン比率(55%); 実測値(渡辺ら1992), 分解半減期; 厨芥(3年),紙布(7),木竹藁(36),プラスチック(未分解)(伊藤1980),ガスの発生するパターン; Palos Verdesモデル(池口1983) ----などである。計算の結果を表1に示す。

4. このプロセスで不足していた事項

上記の事例は, 必要に迫られて行っているもので, どこまで実際に即応しているかが問題である。早急に対応すべきものとして, メタンが覆土を通過するときの酸化の影響がある。これまでは, 世界,あるいは国内の推定でこの影響を無視してきた。我々の小規模埋立地での結果では, ガス抜管と覆土透過のガスでメタンとCO₂で明確な差は無かった(渡辺ら1992)が, 実験室でのメタン酸化菌活性を調べた結果では, 50%程度低減する可能性も示された(Yamadaら1996)。今後, 覆土によるメタン酸化の効果をどの程度と見るかが問題となる。

5. 従来の研究と今後の展開

5.1 モデル実験や実測の事例

実験室での廃棄物の分解過程やガス発生状態の解析や, 実際の埋立地での調査は, 放出量推定の基礎を成すものであり, これまでに数多くの研究が成されている。

福岡大学では, ライシメータを用いて長期にわたり廃棄物の埋立中の変化を追跡してきた。その結果では, ガスの発生は, 好氣的な条件では, 総ガス化量の80%が1年目にガス化して3年目では完了するのに対し, 嫌気条件では年率8%がガス化の完了に7年ほどかかっている(Matufujiら1996)。また, 総ガス化量は好氣的な条件では75%, 嫌氣的な条件では60%と見積もられている。

実測は様々などで行われており、東京湾(渡辺ら1982)、大阪湾(福山ら1988)、首都圏丘陵地(渡辺ら1992,細見ら1992)、北海道平地部(石川ら1996)、バンコック市(渡辺ら1992)などの埋立地でのメタン放出実態が調査されている。また、調査・測定法としては、ガス抜管が有ればそれを利用し、無い場合は底の開いた箱を埋立地上にふせて発生ガスを捕捉するのが一般的である。

5.2 今後の展開

日本の総メタン放出量は世界の0.5%程度と少ない。それ故、単に国内を対象とするとメタン調査研究の必要性は低い、主要なメタン放出国のほとんどが開発途上国であるので、それを援助する活動が重要と成っている。廃棄物処理の分野では、様々な状況の廃棄物埋立地からのメタン放出量推定の精度向上および放出量低減化の対策に対する貢献が求められている。

Bingemerら(1987)は、全世界のごみ排出量を推定するに際し、全体を4群に分け〔①米国, カナダ, オーストラリア, ②それら以外のOECD諸国, ③ソ連と東欧, ④発展途上国〕, それぞれの排出量を, 1.8 kg/人/日, 0.8, 0.6, 0.5 とした。それぞれの群ごとにごみ中の紙類(分解性炭素分: 40%), 繊維類(40), 木・藁類(30), 厨芥類(15), 庭ごみ類(17)などの比率を推定し, 人口から都市ごみの総量を各群ごとに求め, 埋立処分の比率を各群ごとに定め, メタンの発生に関与するDOCの総量を85Mton/年とした。また, 産業廃棄物については, 西独のデータを基に世界総計として23-44MtonC/年, 埋立量として19-37MtonC/年(埋立比率: 83-85%)と推算した。以上のDOCの値は, 都市ごみから85Mton/年, 産業廃棄物から約28Mton/年で, 合わせて113Mton/年となる。この値には, 統計数値が完全でないことから, 30%の不確定を含んでいるとして, 全世界のメタンの放出量を40-70Mton-CH₄/年と推定した。この推定は現在でもIPCC推定の基礎となっていて, 彼らの設定値は, 今でもDefault valuesとしてIPCC"Greenhouse Gas Inventory Reporting Instructions, 1995"に採用・利用されている。

廃棄物は生産財と異なり, 統計が不足し精度も悪く正確な状態を知ることが第一の関門となる。発展途上国では, 廃棄物発生量そのものの計測値だけでは全体の推定が困難で入手可能な様々な統計データからの類推を援用し, Default valuesも用いることが必要となる。これまで, 我々は, タイ, インドネシア, 韓国, 中国などで埋立地の現地調査・測定を行ってきたが, それぞれの国や地域で大きく異なっていて, 埋立地搬入後, 紙や繊維などの有価物が回収されて再利用される例, 自然発火などで燃焼してしまう例など, 正確なメタン放出量の推定を困難とする多くの複雑な要因が認められ, それらに実態を解明して, それらを勘案したモデルを考える必要がある。

このようなことから単なる統計的な処理やモデル計算からだけで放出量を推定すると, 時間的な遅れと大きな誤差を想定せざるを得なくなる。それ故, 実際に代表的な埋立地からの放出量を定期的の実測し, モデルと実際の乖離を補正するシステムを考える必要がある。

埋立の現場でメタンなどを測定する技術は, 様々開発されているが, 今後特に, リモートセンシング技術を用いた面的濃度測定が注目される。現状では, 高価で移動も容易ではないが, 短時間で全体の様相を的確に把握できるなど極めて潜在能力を秘めた手法であり, 早期に実用化されることが望まれる。

表1 ごみ埋立地から放出されるメタン量の経年的な推定(日本)

年度	1990	1991	1992	1993	1994	1995
A1 Gg-C	255.4	258.9	248.1	231.5	207.1	182.6
A2 Gg-C	22.8	25.1	27.7	30.7	33.9	37.6
A3 Gg-C	762.7	725.1	700.7	687.8	677.6	675.7
GR %	50	50	50	50	50	50
CR %	55	55	55	55	55	55
Ech4 Gg-CH ₄	381.6	370.0	358.1	348.3	336.8	328.5

[計算式 Ech4(メタン排出量)=(A1+A2+A3)・GR・CR]

A1, A2, A3; 直接埋立ごみ中の当該年に分解する厨芥, 木竹類, 紙布類由来の炭素量
GR; 埋立ごみ中の炭素のガス転換率, CR; 発生ガス中のメタン比率

$$A_m = \sum_{n=1}^{n=Tf} M_n \cdot R_{m,n} \cdot CC_{m,n} \cdot \alpha_{m,n}$$

m=1(厨芥), 2(木竹類), 3(紙布類)に相当, n=1, ..., Tf(ガス発生終了年)

M_n; n年前の直接埋立量, R_{m,n}; n年前の埋立ごみ中の当該成分比率

CC_m; 当該成分の炭素比率, α_{m,n}; Palos Verdes モデルに従い当該成分の当該年の推定分解率, α_{m,n}=(G_i-G_{i-1})/Lo

Palos Verdes モデル;

分解の半期年以前; G_i=Lo・exp{k₁・(t-t_{1/2})/2}, 以後; G_i=Lo・[1-1/2・exp{-k₂・(t-t_{1/2})}]

ここで, G_i: 時間 t までに発生したガス量, Lo: 全発生ガス量,

k₁: ln50/t_{1/2}, k₂: ln50/(t_{99/100}-t_{1/2}), t_{1/2}: G_i=Lo/2 となる時期,}}

t_{99/100}}: 99・Lo/100 となる年(全発生期に相当)

第39回大気環境学会講演要旨集, 札幌, 1998年9月