

B-2. メタン・亜酸化窒素の放出源及び放出量の解明に関する研究
 (1) 廃棄物処理場からの放出量の解明に関する研究

研究代表者名 国立公衆衛生院 田中 勝

厚生省 国立公衆衛生院

廃棄物工学部 田中 勝, 井上雄三

廃棄物処理工学室 松澤 裕

最終処分工学室 大迫政浩

地球環境衛生学部 環境評価室 渡辺征夫

平成 2-6 年度合計予算額 24, 318 千円

(平成 6 年度予算額 6, 319 千円)

【要旨】 我が国または世界各地の廃棄物処理施設から排出される温室効果ガスを推計するため、ごみ焼却施設、し尿処理施設、合併処理浄化槽、一般廃棄物最終処分場から排出されるメタンおよび亜酸化窒素の排出特性および排出フラックスを観測した。廃棄物あたりのガス放出の原単位である排出係数は、メタンについて、焼却施設で $29.7 \sim 742 \text{ g-CH}_4 \cdot \text{ton}^{-1}$ 、し尿処理施設で $4.0 \sim 6.0 \text{ g-CH}_4 \cdot \text{L}^{-1}$ 、また、亜酸化窒素について、焼却施設で $115 \sim 144 \text{ g-N}_2\text{O} \cdot \text{ton}^{-1}$ 、し尿処理施設で $<0.01 \text{ g} \sim 630 \text{ N}_2\text{O} \cdot \text{L}^{-1}$ と評価された。これらは施設の種類で変化した。また、ガス化モデルと文献値を用い、一般廃棄物最終処分場からのメタン排出量を推定した。埋立地からの 1990 年におけるメタン放出量は日本で $130 \sim 520 \text{ Gg-CH}_4 \cdot \text{yr}^{-1}$ 、世界で $54 \text{ Tg-CH}_4 \cdot \text{yr}^{-1}$ と評価された。現在までの研究をまとめ、わが国で 1990 年に廃棄物処理施設から排出されたメタンおよび亜酸化窒素量は、それぞれ $390 \sim 770 \text{ Gg-CH}_4 \cdot \text{yr}^{-1}$ 、 $4.7 \sim 5.3 \text{ Gg-N}_2\text{O} \cdot \text{yr}^{-1}$ と推定された。

【キーワード】 地球温暖化, メタン, 亜酸化窒素, 排出分析, 廃棄物処理施設

1. 序

廃棄物処理過程においてもメタンや亜酸化窒素が生成される。世界の一般廃棄物の最終処分場から排出されるメタンは、 $20 \sim 70 \text{ Tg-CH}_4 \cdot \text{yr}^{-1}$ と推計され、これは人為的発生源からの全排出量の 3~10% に相当する¹⁾。しかし、この推定値の幅は大きく、不確定な部分が多く含まれている。また、焼却施設やし尿処理施設等、これ以外の廃棄物処理過程で発生する温室効果ガスに関する知見は乏しい。よって、より正確な排出量を推定し他の発生源と比較評価するためには、各排出源において、温室効果ガスの排出フラックスを定量的に把握し、排出原単位データを蓄積する必要がある。本研究では、ごみ焼却施設、し尿処理施設、合併処理浄化槽ならびに一般廃棄物最終処分場（埋立地）から排出されるメタンおよび亜酸化窒素の排出量を定量的に観測した。また、廃棄物処分場から排出されるメタンおよび亜酸化窒素については、東南アジア地域においても調査を行った。これら成果と文献値を用いて、わが国または世界規模で、各施設または全施設の年間の排出量の推計を行った。

2. 廃棄物焼却施設からの温室効果ガス放出量の把握

(1) 概要

わが国でもっとも一般的な固形廃棄物の焼却処理について、そこから排出されるメタン・亜酸化窒素の排出量に関する知見は限られている。また、間欠運転が行われる機械化バッチ炉では、メタンのような未燃ガス濃度が比較的高くなることが予想される。そこで、平成2～4年度には、一般廃棄物を焼却処分する全連続炉ならびに機械化バッチ式炉で、排ガス中のメタン・亜酸化窒素の放出濃度を実測し排出係数を求めた。また、得られた排出係数を用いて、わが国における廃棄物焼却施設からのメタン・亜酸化窒素排出量を推計した。

(2) 試料採取法および成分分析法の検討

試料保存中に、排ガス中の亜酸化窒素濃度が共存するガスと反応して変化する可能性がある。そのため、1N NaCO₃のトラップ、グラスウールを充填したミスト除去トラップを氷冷して試料採取容器の全段に取り付け、排ガス中に含まれる二酸化硫黄を予め除去する試料採取装置を考案した。また、排ガス中に高濃度で含まれる二酸化炭素は、酸素と同様に、ガスクロマトグラフの検知器であるECDの感度を著しく低下させる。そこで、GC-ECD分析において、キャリアーガスに微量の二酸化炭素を混入させるドーピング法を開発した。この手法により、検出感度は約5倍に向上し、二酸化炭素または酸素の影響が最小限に抑えられた。

(3) 排出係数および排出量の検討

連続式炉は定常状態で運転されるために排出ガス濃度がほぼ一定に保たれていた(CH₄: 0.3～2.5ppmv, N₂O: 2～7ppmv, 平成2年度)。しかし、機械化バッチ式炉では図1(平成4年度データ)に示したように、立ち上げおよび立ち下げ時に排出濃度が上昇した。このような場合、排ガス採取時に対応する燃焼ごみデータを得ることは困難であることが多いため、これを用いず、排ガス試料中の二酸化炭素濃度を用いて排出係数を算出する方法を考案した。ある成分nの排出係数(EF_n)は、排ガス中のCO₂濃度(C_{CO₂})、ある成分濃度(C_n)、その分子量(M_n)、ごみ中の炭素の割合(R_c; 0.2～0.25)を用いて;

$$EF_n = C_n \cdot M_n \cdot R_c \cdot 10^6 / C_{CO_2} / 12$$

と計算される。この式を利用して得られた排出原単位(排出係数)は、メタンについて29.7～742 g-CH₄・ton⁻¹、亜酸化窒素について115-144 g-N₂O・ton⁻¹であった。また、これと平成2年度におけるごみ焼却量²⁾データから、我が国における1990年のごみ焼却施設からのメタン・亜酸化窒素排出量を推算した。結果は表1に他の施設と共に示した。

3. し尿処理施設からの温室効果ガス放出量の把握

(1) 概要

わが国のし尿処理において、生物学的窒素除去過程を有する処理方式(標準脱窒素処理方式および高負荷脱窒素処理方式)は、現在、最も基幹的な方式として位置づけられている。これら処理方式では、嫌気条件下におけるメタンの発生また脱窒反応における亜酸化窒素の発生が予想される。平成3～5年度にはし尿処理施設から発生する温室効果ガスの実態調査を行った。また、得られたデータから排出係数を求め、わが国におけるし尿処理施設からのメタンおよび亜酸化窒素の放出量を推計した。

(2) 排出係数および排出量の検討

標準脱窒素処理方式（処理能力、130 kL・day⁻¹）の施設では、10² ppmv オーダーのメタン、10 ppmv オーダー亜酸化窒素を観測した。高負荷脱窒素処理方式（処理能力、40 kL・day⁻¹）では、1000 ppmv 以上の高濃度の亜酸化窒素の排出を観測した（図 2）。メタンの排出濃度のオーダーは数 ppmv から 170 ppmv であった。また、両施設とも、メタンおよび亜酸化窒素は主に嫌気過程から排出されていた。

実測された排出濃度および処理し尿量より、排出係数は、標準脱窒素方式でメタン；5.9 kg・kL⁻¹、亜酸化窒素；0.2 kg・kL⁻¹、高負荷脱窒素方式で、メタン；4-6 kg・kL⁻¹、亜酸化窒素；2-630 kg・kL⁻¹と評価された。これらと文献³⁾より得た嫌気処理方式におけるメタン排出係数；543 kg・kL⁻¹を用いて、平成 2 年度のし尿処理量²⁾から、わが国におけるし尿処理施設からのメタン・亜酸化窒素放出量を推算した。結果は表 1 に他の施設と共に示した。

4. 合併処理浄化槽からの温室効果ガス放出量の把握

(1) 概要

わが国の生活排水処理において、合併処理浄化槽は近年急速に普及している。温室効果ガス放出量の算定では、施設によって対象とする排水の性状、規模、装置などが大きく異なるため、それぞれ別個に排出係数を求める必要がある。平成 4~6 年度において、規模および処理方式の異なる合併処理浄化槽、コミュニティプラントおよび単独処理浄化槽について、メタン・亜酸化窒素の放出濃度を測定し、放出パターンを検討した。

(2) メタン放出量ならびに放出パターンの検討

調査は表 2 に示した処理方式ならびに対象人員の施設について行った。各施設において観測されたメタン放出濃度 1 時間値 (Ci) の最大値、最小値及び平均値 (Cave) を表 3 に示した。メタンの放出量は施設または季節によって変動した。しかし、無次元化した放出濃度および流入水量との関係（図 3）は、放出濃度の日間変動は流入水量の変動に従うことを示している。槽内では、嫌気部からの放出量の変動は小さく概ね安定し、接触曝気部からの放出量が主に変動していた。槽内水の水中溶存濃度は嫌気部で流入水量が減少する夜間に濃度が上昇する傾向が見られた。これらから、メタンは嫌気部で生成・放出され、水中に溶存したものが水の流入にともない後段の接触曝気槽に移送され、そこで曝気によって放出されるメカニズムが考えられた。

(3) 亜酸化窒素放出量ならびに放出パターンの検討

亜酸化窒素の放出濃度および放出量を測定した施設を表 4 に、測定結果を表 5 に示した。施設 I, K を除き、概ね空気レベルより 1 桁高い数 ppmv オーダーの放出濃度が観測された。亜酸化窒素の槽内水中の溶存濃度を表 6 に示す。これら濃度は、亜酸化窒素の大気中の濃度と水に対するヘンリー定数 [$k=1.501 \times 10^6$ (分圧 (mmHg) / モル分率)]⁴⁾ から求められた理論値、約 0.0002 ml・L⁻¹ よりも大きく、亜酸化窒素においてもメタンの場合と同じような溶存ガスの輸送が示唆される。

5. 廃棄物最終処分場からの温室効果ガス放出量の把握

(1) 概要

先に示したように、世界における廃棄物処分場からのメタンの放出量は人為的発生源の約 1 割

を占め、発展途上国で進行している急速な経済成長と都市化による都市ごみの増加に伴い、処分場からのメタン放出量の増加が今後大きな問題となることが予想される。

そこで平成3年から6年にかけて、日本国内また東南アジア地域の最終処分場において、メタンの放出量および放出パターンを把握するとともに、わが国ならびに全地球におけるメタン放出量を経時的に予測する手法について検討を行った。また最終処分場におけるメタン放出量を抑制・低減させる方法として覆土に存在するメタン酸化細菌による放出量抑制効果に着目し、最終処分場におけるメタン酸化細菌の存在状態を把握する調査を行った。

(2) 最終処分場におけるメタンフラックスの検討

平成5年度には、わが国の厨芥類等の可燃ごみを直接埋立てた準好気性の最終処分場で調査を行った。最終処分場埋立工区の概要を表7に示す。ガス抜き管からの発生ガスは、底に穴をあけてガラス管を通したシリコン栓を接着したプラスチック製バケツとポリエチレン製袋をガス抜き管にかぶせ発生ガスの全量を捕集し、ポンプでテドラーバッグに採取した。地表面フラックスは八木ら(1991)⁵⁾に準じてチャンパー法により求めた。採取したガスの成分としてメタン、二酸化炭素およびその他空気成分の分析を行い、メタン酸化の指標となるメタン比率($[\text{CH}_4, \%] / \{[\text{CH}_4, \%] + [\text{CO}_2, \%]\}$)を求めた。ガス抜き管および地表面でのメタンフラックスを表8に、メタン濃度とメタン比率の関係を図4、図5に示した。メタン濃度が%オーダーで観測される領域でメタン比率はおよそ60%であった(図4)。一方、地表面フラックスデータを示すppmvオーダーの領域(図5)では、これよりメタン比率が小さく、土中でのメタン酸化が示唆された。

発展途上国の都市ごみ処理は埋立処分が主流であり、オープンダンピングと称する野積み方式でごみの山をつくる方法が一般的である。このような処分場では比較的空気がごみ層に侵入しやすく、メタン酸化が起こりやすいと推測される。また、熱帯地域においてはごみの分解がより活発であることが予想され、温帯地域とは異なった機序で放出が行われていると考えられる。平成4年度には、バンコク東部に位置し、オープンダンピングが行われている廃棄物最終処分場(Onnut Site)で、雨季および乾季にメタンの放出濃度、メタンフラックスを観測した。また、平成5~6年度にはジャカルタ市郊外に位置する衛生埋立を実施しているBantar Gebang処分場において、処分場地表面からのメタンフラックス実測を中心とした現地調査を実施した。Onnut Siteは9 ha、17 mの高さのオープンダンピングである。埋立地地表面におけるメタン濃度は、雨季、乾季を通じて100ppmオーダーから10%オーダーにあった。図6にメタン化率を示した。メタン化率は8~60%と大きな変動を示したがメタン濃度5%以上の領域ではほぼ55%にあり、わが国の処分場と概ね一致していた。Bantar Gebang処分場の概要を表9に示す。ガス抜き管及び地表面におけるメタンフラックスの測定結果を表10に示す。地表面からのメタンフラックスは、表8に示した我国の処分場よりかなり大きい。メタン濃度に対するメタン比率を図7および図8に示した。メタン濃度が0.01~1%の範囲では、地表面におけるメタン比率がメタン濃度の増加とともに上昇する傾向が認められたが、ほとんどのプロットは地表面、ガス抜き管ともにほぼ50~60%付近に密集していた。平均は、ガス抜き管で61.9%、地表面で54.3%であり、ガス抜き管の結果に関しては、我国で得られた結果に近い比率を示した。これら調査におけるメタン比率の結果を比較すると、メタンの低濃度領域でもメタン比率が高い点が特徴的であり、埋立地形状による覆土への酸素供給能や地域によるメタン酸化菌の生育環境等の違いが示唆される。

(4) 最終処分場におけるメタン酸化細菌の分布の検討

土壌中ではメタン酸化細菌によるメタン酸化が生じている。これにより、土壌は、 $6\sim 200\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hr}^{-1}$ のメタン吸収速度を有し、特に最終処分場覆土において吸収速度が極めて大きいこと ($1875\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hr}^{-1}$) が報告^{6, 7)}されている。平成6年度には生ごみを埋め立てている最終処分場でメタン酸化細菌の覆土深さ方向における分布を調査した。

調査対象とした最終処分場では、平成5年から生ごみ(可燃ごみ)を数ヶ月単位で1万~2万トン埋め立てており、覆土材には処分場を掘削した際の地山を用いている。土壌湿潤重量当たりのメタン酸化細菌数の鉛直分布を図9に示した。表土からメタン酸化細菌の存在が認められ、細菌数のピークは深さ10~20cmで現れた。また、2mの深さでも存在することが確認された。また、今回採取した土壌物性(pH, 含水率(%), 強熱減量(%))とメタン細菌数には明確な関係は認められなかった。

(5) わが国の最終処分場におけるメタン放出量の推定

最終処分場からのメタン発生は、埋立ごみ中の生物分解可能な炭素量が埋立年次別に得られれば、ごみの分解速度を記述するごみ分解・ガス化モデルを用いて、炭素のマスバランスをとることから推定することが可能と考えられる。ごみ分解・ガス化モデルとして、米国において最終処分場からのメタン発生量を予測するために開発された Sheldon Arleta (S-A) モデルと Palos Verdes (P-V) モデル⁸⁾を用いて、わが国の廃棄物埋立地からのメタン放出量を推定した。メタン放出量推定のフローを図10に示した。

ガス化モデルには、埋立量^{1, 9)}、ごみ質分析結果¹⁰⁾、種類組成別炭素比率¹¹⁾より求めたごみ組成別埋立量(図11)を入力した。また、①ガス化率を東京都15号埋立地の推定値から50%¹²⁾と固定し、②モデルのパラメータであるごみの分解期間の不確実性を加味するため、中防値(厨芥類:10年, 紙・布類:21年, 木・竹・藁類:103年)¹³⁾を中心に最長と最小の分解期間を設定⁸⁾した。1990年度におけるメタン放出量として、中防値の場合の $380\ \text{Gg}\cdot\text{CH}_4\cdot\text{yr}^{-1}$ を中心に、 $130\sim 520\ \text{Gg}\cdot\text{CH}_4\cdot\text{yr}^{-1}$ なる推算域を得た。1990年度以降の経年変化を図12に示した(実線:P-Vモデル, 破線:S-Aモデル)。現在までの焼却率を向上させる方策によってメタン源となるごみ埋立量は著しく減少しており(図11)、モデルは、今後その効果がメタン放出量に現れてくることを予測している。この推定結果は他の処理施設と共に表1に示した。

(6) 世界の最終処分場からのメタン放出量の推定

わが国の廃棄物最終処分場におけるメタン放出量を推計結果に基づき、世界全体および地域毎に最終処分場からのメタン放出量を推定するモデルを構築した。その概略を図13に示した。ここでは、ごみ処理量・組成の実測データ^{14, 15, 16)}、人口および経済指標(GNP等)^{14, 17)}を基に、各国の経年的な組成別のごみ発生量および埋立量を推定し、炭素量に換算したものを Palos Verdes (P-V) モデルに入力してメタン放出量の時間変動を予測した。また、推定においては以下の仮定を用いた。①推定を行った世界各国群は、OECD諸国とOECD以外のアフリカ, 中央アメリカ, 南アメリカ, アジア, ヨーロッパ(主に東欧), オセアニアとした。また、推定は5年間に埋め立てられたごみを対象として行った②各国の一人当たりのごみ発生量の年次変動は、それぞれの国のGNPまたはGDPに比例して変動するとして、直線回帰で推定した。また、そのうちの埋立率はOECD以外では100%, OECDでは各国データを用いた。③ごみ分解期間は、厨芥; 半値時1年・全分解時間3年, 紙・布・木; 半値時36年・全分解時108年⁸⁾とした。ガス化率およびメタン比率は50%とした。また、現時点では、これら係数は、国, 気象条件および埋

立構造に関わらず一定であるとした。推定結果を表 11 に示した。推計値は、1990 年における全世界における最終処分場のメタン放出量の推計値 1985 年から 1989 年に埋め立てられたごみから放出)を示している。この推計では OECD 諸国からのメタン放出量が全体の 71%を占め、その寄与が大きい。アジア地域では人口およびごみ発生量が全体の 50%以上を占めるが、メタン放出量は全体の 9%に過ぎない。これは推定に用いたごみ組成中の厨芥が占める割合が、OECD 諸国で平均 28%であるのに対して、アジア地域では 9.4%と小さいことが原因であり、地域的なごみの質の違いが推定値に大きく影響することを示している。今回用いたモデルは、データをさらに整備すれば、わが国(図 12)と同様に、メタン発生量の変動を将来にわたって推定可能である。

6. まとめ

平成 2~6 年度にかけて、廃棄物処理施設から排出されるメタンおよび亜酸化窒素量を定量的に推計するため、ごみ焼却施設、し尿処理施設、合併浄化槽ならびに廃棄物最終処分場(埋立地)から排出されるメタンおよび亜酸化窒素の排出量を我が国ならびに東南アジア地域において把握するとともに、わが国および世界における全排出量の推計を行った。以下に得られた主な成果をまとめる。

(1) 廃棄物焼却施設からの温室効果ガス放出量を検討した。機械化バッチ炉において、立ち上げおよび立ち下げ時に排出濃度が上昇する傾向が認められた。メタンの平均排出係数は全連続燃焼式で $29.7 \text{ g} \cdot \text{ton}^{-1}$ 、准連続燃焼式で $617 \text{ g} \cdot \text{ton}^{-1}$ 、機械化バッチ式で $742 \text{ g} \cdot \text{ton}^{-1}$ 、また、亜酸化窒素の平均排出係数は全連続燃焼式で $144 \text{ g} \cdot \text{ton}^{-1}$ 、准連続燃焼式で $128 \text{ g} \cdot \text{ton}^{-1}$ 、機械化バッチ式で $115 \text{ g} \cdot \text{ton}^{-1}$ と評価された。

(2) し尿処理施設からの温室効果ガス放出量を検討した。メタン、亜酸化窒素とも嫌気過程で放出濃度が高くなる傾向があり、高負荷脱窒素処理方式において、亜酸化窒素が 1000 ppmv 以上の高濃度で排出されていることを観測した。平均排出係数は、標準脱窒素方式でメタン; $5.9 \text{ kg} \cdot \text{kL}^{-1}$ 、亜酸化窒素; $0.2 \text{ kg} \cdot \text{kL}^{-1}$ 、高負荷脱窒素方式で、メタン; $4\text{--}6 \text{ kg} \cdot \text{kL}^{-1}$ 、亜酸化窒素; $2\text{--}630 \text{ kg} \cdot \text{kL}^{-1}$ と評価された。

(3) 合併処理浄化槽からの温室効果ガス放出量を検討した。メタンの放出濃度の変動は流入水量の変動に従っていた。また、生成した一部が水中に溶存したまま移送され、曝気によって放出される過程が示唆された。

(4) 廃棄物最終処分場からの温室効果ガス放出量を検討した。わが国および東南アジアにおいてメタン濃度が%オーダーの領域すなわちガス抜き管で二酸化炭素に対するメタン比率は 50~60%であったが、ppmv オーダーの領域すなわち地表面ではメタン比率が低かった。また、処分場の表土からメタン酸化細菌の存在が認められ、細菌数のピークは深さ 10~20 cm で現れ、2m の深さにも存在していた。ごみ分解・ガス化モデルである Sheldon Arleta (S-A) モデルまたは Palos Verdes (P-V) モデルを用いて、わが国では 1990 年におけるメタン放出量を $380\text{--}760 \text{ Gg} \cdot \text{CH}_4 \cdot \text{yr}^{-1}$ 、また世界では $54 \text{ Tg} \cdot \text{CH}_4 \cdot \text{yr}^{-1}$ と推定した。

以上より、廃棄物処理分野におけるメタンおよび亜酸化窒素の排出量を推定する手法が整備され得られた知見により現在可能な範囲で最も精密な国内また世界における排出量が推定された。実測データから構築された本研究の成果は定量的な評価として重要である。また、本研究の成果

を世界的に敷延させ、データの蓄積を行えば、推定値の精度はより向上すると期待される。今後は、推定された排出量と本研究で指摘されたいくつかの排出パターンに検討を加え、温室効果ガス発生を抑制する対策技術の開発を進めることが望まれる。

引用文献

- 1) R. T. Watson et al. (1992) : Green House Gases: Sources and Sinks. In Climate Change 1992, The Supplementary Report of The IPCC Scientific Assessment, WMO/UNEP/IPCC, Cambridge Univ. Press, p.25-46.
- 2) (社)全国都市清掃会議 (1993) : 平成2年度実績 廃棄物処理事業実態調査統計資料 (一般廃棄物).
- 3) 日本環境センター (1990) : 平成元年度環境庁委託業務 メタン等排出量分析調査結果報告書.
- 4) West, C. J. (ed) (1983) : International Critical Tables of Numerical Data, Physics, Chemistry and Technology, New York and London, National Research Council (McGraw-Hill Book Co.), Vol. 3, pp.254-283.
- 5) 八木ら (1991) : CH₄・NO₂フラックス測定マニュアル, 資源・生態理科研究, 第7号, 143-158.
- 6) K. Minami & J. Goudriaan (1993) : The Significance of Grassland in Climate Change Processes, 17th International Grassland Conference.
- 7) M. Whalen et al. (1990) : Rapid Methan Oxidation in a landfill cover soil, Appl. Environ. Microbiol., 56, pp.3045-3411.
- 8) EMCON (1994) : Methane Generation and Recovery from Landfills, ANN Arbor Science.
- 9) (社)全国都市清掃会議 (1992) : 日本の廃棄物'91.
- 10) 日本環境衛生センター : 私信.
- 11) (社)全国都市清掃会議 (1987) : ごみ処理施設構造指針解説.
- 12) 東京都清掃局 (1985) : 昭和49年度15号埋立処分場汚水処理ガス処理等基本計画調査報告書, 日本工営株式会社.
- 13) 伊藤 : LFG発生量の推定についての一考察, 東京都清掃局, 清掃技報第18号, p.153-159.
- 14) OECD (1989) : OECD Environmental Data.
- 15) P. R. White et al. (1995) : Integrated Solid Waste Management: A Lifecycle Inventory, Blackie Academic & Professional (Chapman & Hall).
- 16) JICA (1992-1994) : Country Report for The Group Training Course in Solid Waste Management and Night Soil Treatment.
- 17) 北脇秀敏ら監訳 (1993) : WHO 環境保健委員会報告, 環境産業新聞社.

研究発表の状況

- 1) 渡辺征夫・庄司成敬・高橋哲也・宮崎正信・田中勝 (1991) : 廃棄物焼却により排出される温室効果ガスおよび関連化合物の分析手法および測定事例, 日本化学会第61会春季年次講演要集第1巻, p.76.
- 2) 渡辺征夫・宮崎正信・田中勝 (1992) : 地球温暖化と廃棄物処理, 廃棄物学会誌, Vol.3 (1), 27-38.
- 3) 渡辺征夫・宮崎正信・大塚康治・高橋哲也・庄司成敬・田中勝 (1991) : 廃棄物焼却炉からの温室効果化合物の一次推定, 第32回大気汚染学会講演要旨集, 326.
- 4) 渡辺征夫・岡本有香・大迫政浩・宮崎正信・田中勝 (1992) : 有機性廃棄物の生物分解に伴い発生する温室効果ガスの一次スクリーニング, 第13回全国都市清掃研究発表会講演論文集, 63-65.
- 5) I. Watanabe, M. Tanaka and M. Miyazaki (1992) : Emission Rate of N₂O from Municipal Solid Waste Incinerators, 5th International Workshop on Nitrous Oxide Emissions, July 1992.
- 6) 渡辺征夫・佐藤誠・宮崎正信・田中勝 (1992) : 廃棄物焼却炉からの温室効果関連化合物の排出量の推定, 第3回廃棄物学会研究発表会講演論文集, 259-262.
- 7)

渡辺征夫・手塚和人・小阪修一・松澤祐・大迫政浩・井上雄三・田中勝（1993）：し尿処理施設からの温室効果ガスの排出実態，第14回全国都市清掃研究発表会講演論文集，19-21. 8) Y. Matsuzawa et al. (1994) : Estimation of CH₄ and N₂O Emission from Waste Disposal Facilities in Japan, Proceedings of the International Symposium on Global Cycles of Atmospheric Greenhouse Gases, March, 1994. 9) 松澤祐・田中勝・岡本芽久美・北郷剛（1993）：最終処分場からのメタン放出量の推定，第4回廃棄物学会研究発表会講演論文集，433-436. 10) 岡本芽久美・北郷剛・松澤祐・大迫政浩・井上雄三・渡辺征夫・田中勝・仁木圭三・大森英昭（1994）：合併処理浄化槽からの温室効果ガス放出量の解明，第15回全国都市清掃研究発表会講演論文集，31-33. 11) 松澤祐・大迫政浩・井上雄三・田中勝・河野綾子・丹野幸一（1995）：最終処分場におけるメタン酸化細菌の分布，第16回全国都市清掃研究発表会講演論文集，205-207.

表1 わが国における廃棄物処分場からのメタン・亜酸化窒素排出量

施設	排出係数		推定処理量 (billion ton-yr ⁻¹)	放出量 (Gg-yr ⁻¹)	
	平均 (最小-最大)			CH ₄	N ₂ O
ごみ焼却施設	(g-ton ⁻¹)			7.1	4.7
全連続燃焼式	29.7 (-2.15-114)	144 (28.7-293)	251	0.7	3.6
准連続燃焼式	617 (258-975)	128 (97.4-145)	28	1.7	0.35
機械化バッチ式	742 (41-230)	115 (58.5-187)	58	4.3	0.67
固定バッチ式	same above	same above	5	0.4	0.06
し尿処理施設	(g-L ⁻¹)			0.04	0.002-0.6
標準脱窒素処理方式 (し尿のみ)	5.9	<0.01	49	0.03	<0.0005
高負荷脱窒素処理方式	4.0-6.0	2-630	14	0.006-0.008	0.002-0.6
嫌気処理方式 ^{*)}	—	—	1,100	5.4	—
最終処分場	—	—	—	130-520	—
合計				149-539	4.7-5.3

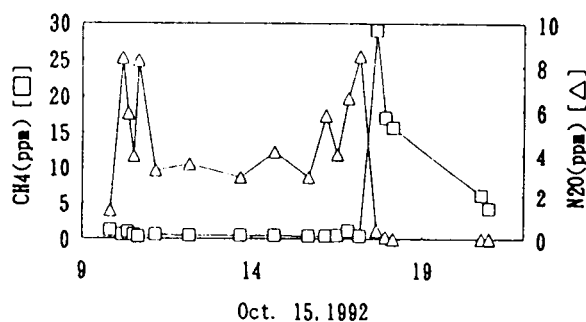


図1 機械化バッチ式焼却炉におけるメタン・亜酸化窒素の排出特性

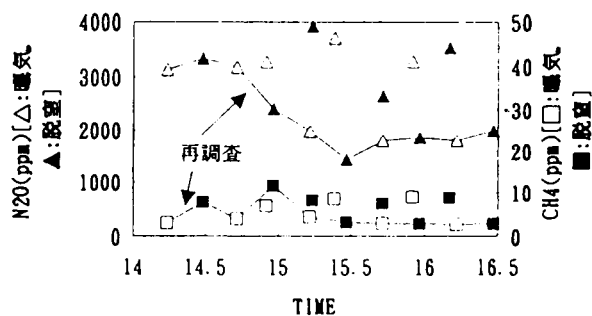


図2 高負荷脱窒素式し尿処理施設におけるメタン・亜酸化窒素の排出濃度

表2 調査対象施設の概要 (メタン排出量)

施設	処理対象人員	設計水量 (m ³)	方式	備考
A	6	1.2	嫌気ろ床曝気	家庭用
B	410	111	嫌気ろ床曝気	集落
C	114	25	分離接触曝気	スーパー

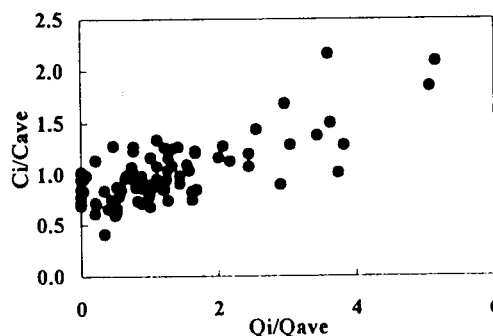


図3 メタン放出濃度と流入水量の関係

表3 合併処理浄化槽のメタン1時間放出濃度

施設	A		B		C	
	夏	冬	夏	冬	夏	冬
C _i (ppmv)	214~379	487~1,714	1,334~2,375	958~1,705	384~893	6.49~22.9
C _{ave} (ppmv)	276	820	1,774	1,344	530	10.6

表 4 調査対象施設の概要 (亜酸化窒素排出量)

施設	処理対象人員	設計水量 (m ³ /d)	方式	備考
A	6	1.2	嫌気ろ床曝気	家庭用
B	410	111	嫌気ろ床曝気	集落
C	114	25	分離接触曝気	スーパー
D	1,900	1,100	長時間曝気	コミュニティプラント
E	1,900	1,120	長時間曝気	コミュニティプラント
F	5	1	嫌気ろ床曝気	家庭用
G	5	1	嫌気ろ床曝気	家庭用
H	16	0.8	分離接触曝気	単独浄化槽
I	5	0.25	全曝気	単独浄化槽
J	10	0.5	分離接触曝気	単独浄化槽
K	5	1	嫌気ろ床曝気	家庭用

表 5 亜酸化窒素濃度及び排出量

施設名	場所	平均濃度 (最小-最大) (ppmv)	排出量 (L・hr ⁻¹)
A	接触曝気槽	7 (6-7)	0.02
	全体	2	0.02
B	全体	1	0.09
C	接触曝気槽	2 (0-6)	0.1
	全体	2 (1-6)	0.1
D	沈砂・原水槽室	2 (1-2)	2
	流量調整槽	2 (2-3)	0.4
	曝気槽	2 (2-3)	2
	汚泥濃縮槽臭気	1	0.00001
E	沈砂・原水槽室	1	2
	流量調整槽	2	0.3
	曝気槽	3 (3-4)	2
F	接触曝気槽	2 (1-2)	0.005
	全体	2 (2-3)	0.008
G	全体	4-6	0.01-0.02
H	沈澱分離槽	3-6	-
	全体	1	0.001
I	全体	0-0.3	<0.001
J	沈澱分離槽	4-6	-
	全体	0-0.3	<0.001
K	全体	0-0.4	<0.001

表 6 亜酸化窒素の水中溶存濃度

施設名	場所	平均濃度 (最小~最大) (mL・L ⁻¹)	施設名	場所	平均濃度 (最小~最大) (mL・L ⁻¹)
D	原水槽	0.009(0.003~0.02)	E	原水槽	0.007~0.008
	沈砂槽	0.007(0.004~0.009)		沈砂槽	0.005~0.007
	流量調整槽	0.02(0.008~0.03)		流量調整槽	0.005~0.006
	曝気槽	0.003~0.006		沈澱槽	0.007~0.01
	沈澱槽	0.005(0.003~0.008)			
F	原水流入部	0.03(0.02~0.03)	G	原水流入部	0.02~0.03
	嫌気第1室	0.03(0.02~0.04)		嫌気第1室	0.0005~0.03
	嫌気第2室	0.01(0.001~0.03)		嫌気第2室	0.008~0.03
	接触曝気槽	0.005(0.004~0.006)		接触曝気槽	0.05
H	沈澱分離槽	0.001~0.007	I	曝気槽	0.0008~0.0009
	曝気槽	0.001~0.003		沈澱槽	0.001
	沈澱槽	0.02~0.06			
J	沈澱分離槽	0.0007~0.002	K	沈砂槽	0.001
	曝気槽	N.D.~0.0008		嫌気第1室	0.0008~0.001
	沈澱槽	N.D.~0.001		嫌気第2室	N.D.~0.0008
		接触曝気槽		N.D.~0.0009	

表 7 調査対象処分場埋立工区の概要

埋立期間	埋立ごみ量	埋立面積	埋立深さ	ガス抜き管
1990・11~12	19,572 ton	約1,100 m ²	最深部ごみ層約9m, 最終覆土1m	11本 (3列, ハジリ状)

表 8 ガス組成及びメタンフラックスデータ

	ガス抜き管	地表面
メタン濃度/フラックス	0~54%	0.6~5.9 L·d ⁻¹ ·m ⁻²
二酸化炭素濃度	0.05~35%	0.05~0.1%

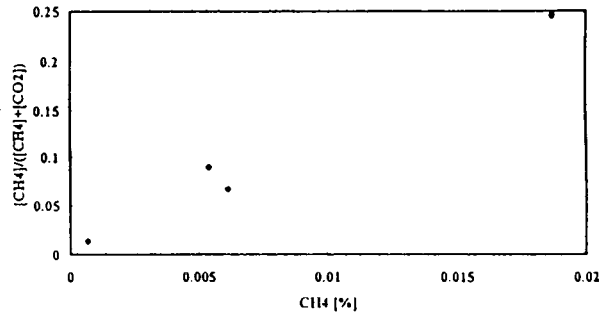


図 4 メタン濃度とメタン比率の関係 (日本：全データ)

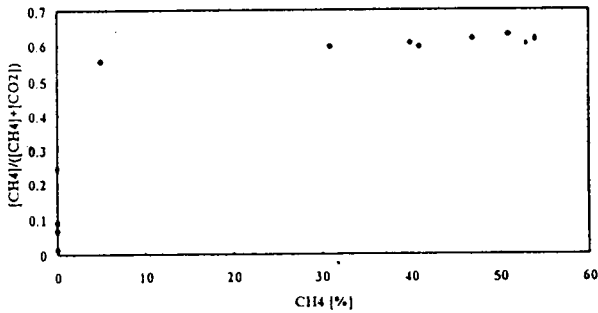


図 5 メタン濃度とメタン比率の関係 (日本：地表フラックスデータ)

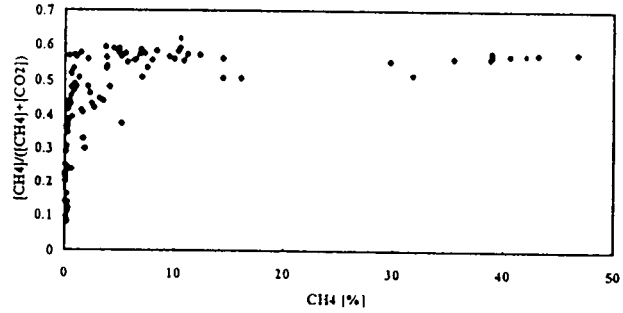


図 6 メタン濃度とメタン比率の関係 (タイ：全データ)

表 9 調査対象処分場の概要 (インドネシア・バンドルグバン処分場)

埋立期間	埋立面積	埋立深さ	覆土	ガス抜き管*
1985~	第1区画 25 ha	層厚 15m	赤土約 30 cm	無し
	第2区画 23 ha	不明 (埋立中)	(ごみ露出あり)	一部ガス管有

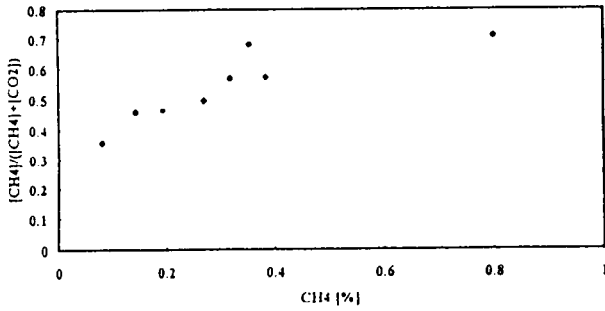


図 7 メタン濃度とメタン比率の関係 (インドネシア：全データ)

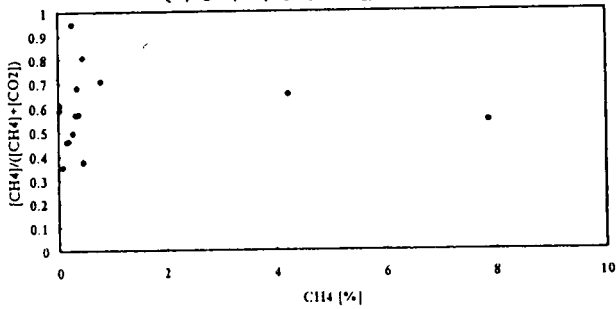


図 8 メタン濃度とメタン比率の関係 (インドネシア：地表フラックスデータ)

表 10 メタンフラックスの測定結果

ガス抜き管 (L·day ⁻¹ ·pipe ⁻¹)	地表面 (L·d ⁻¹ ·m ⁻²)
6.1~2300 (平均 620)	7.0~610 (平均 250)

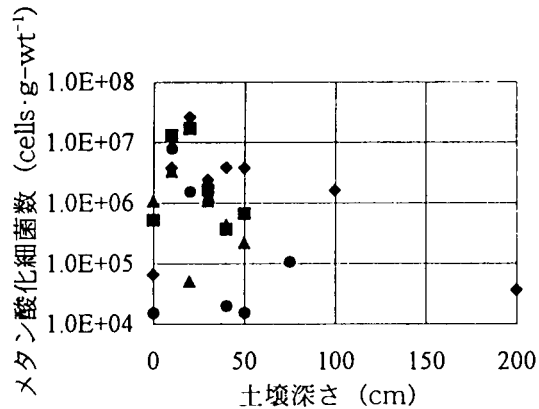


図 9 埋立地被覆土壌中のメタン酸化細菌の分布



図 10 日本におけるメタン排出量推定フロー

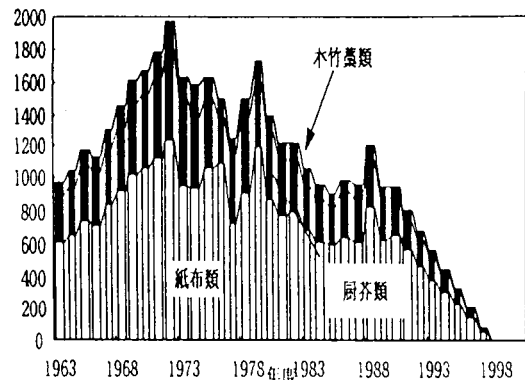


図 11 埋立てごみ量の炭素換算値の経年変化

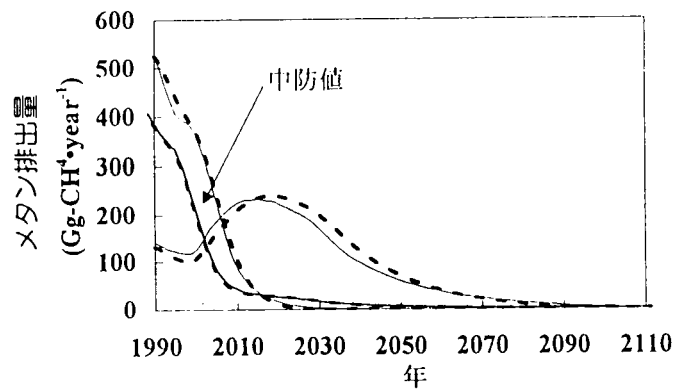


図 12 メタン放出量推定値の経年変化

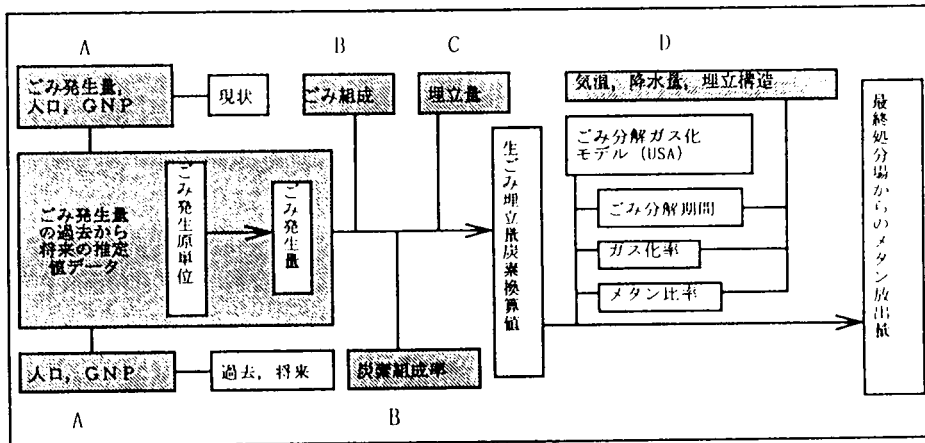


図 13 世界におけるメタン排出量推定フロー

表 11 世界における最終処分場からのメタン排出量

	単位	OECD加盟国以外						OECD加盟国	合計
		77リカ	中央7リカ	南7リカ	7ジ7	3-ロツパ	オ7ニ7		
人口	billion persons	641	146	296	2902	429	5.0	781	5200
ごみ発生量	billion ton-yr ⁻¹	138	33.1	68.3	626	122	1.09	236	1220
メタン排出量	Tg-yr ⁻¹	2.66	1.04	2.13	4.71	5.02	0.03	38.6	54.2