

(4) 廃棄物処理分野におけるメタン・亜酸化窒素の発生抑制対策技術に関する研究

研究代表者	国立公衆衛生院廃棄物工学部	田中 勝
厚生省国立公衆衛生院 廃棄物工学部	最終処分工学室	田中 勝 井上雄三 大迫政浩 山田正人
地域環境衛生学部	環境評価室	渡辺征夫

平成10～11年度合計予算額 14,957千円
(平成11年度当初予算額 7,062千円)

【要旨】現地観測により、単一槽型の高負荷膜処理生物脱窒素処理方式のし尿処理施設では、空気供給量によるORPの制御が重要であり、対象とした施設ではORPの変動幅を100mV以上に、ORPの平均値を0mVよりプラス側に調節することが亜酸化窒素の発生抑制に有効であることが分かった。最終処分場でオープンパス型のFTIR分析計を用いた観測を行ったところ、処分場内の地表面付近に大気レベルより高いメタン濃度が測定され、放出量の監視に使用可能であることが示された。さらに埋立地覆土土壤中でのメタン酸化を支配する因子として、ある含水比以上になると酸化速度が急激に減少することを示した。加えて、わが国の一般廃棄物と産業廃棄物について統計値からの分解性埋立ごみを推計する場合、埋め立てられるごみの種類や中間処理を十分に把握しないと、メタンの発生源となる分解性埋立ごみが過大または過小評価されることをわが国の事例を用いて示した。韓国の都市ごみ統計を用いてガス化モデルにより最終処分場からのメタン放出量を推計し、わが国の一般廃棄物における推計と比較したところ、韓国ではごみの埋立率が高く、生物分解性の高い厨芥が多く含まれることから、1990年にメタン放出量がわが国を逆転していると見積もられた。

【キーワード】メタン、亜酸化窒素、し尿処理、最終処分、施設管理、モニタリング、放出量推計

1. 序

メタンおよび亜酸化窒素は廃棄物の燃焼または生物処理により発生する。前者では最終処分場が、後者ではごみ焼却施設およびし尿処理場が発生源としての寄与が大きい¹⁾。これら発生源における温室効果ガスの放出を抑制するためには、実施による放出実態を正確に把握し、施設運営の現状に見合った制御因子を考える必要がある。また、世界的視野では最終処分場からのメタンの抑制が重要であり、わが国のみならず、都市化が進む開発途上国における排出実態の把握や社会状況に合わせた適正な抑制技術の開発が急務である。

本研究では、まず、わが国のし尿処理施設で行った現地観測により、亜酸化窒素の放出挙動に関与する施設の操作因子を調べた。また、最終処分場でメタン放出量を監視する手法として、オープンパス型のFTIR分析計の適用性を検討した。さらに埋立地覆土土壤中でのメタン酸化を支配する因子として含水比の影響を検討した。加えて、わが国の一般廃棄物と産業廃棄物について統計値からの分解性埋立ごみを推計する方法について議論し、また韓国のごみ処理に関する統計ならびに文献とガス化モデルを用いて最終処分場からのメタン放出量を推計した。

2. 高負荷膜処理生物脱窒素処理方式し尿処理施設における亜酸化窒素の排出抑制対策の検討

2.1 はじめに

昨年度までの報告²⁾で、高負荷膜処理生物脱窒素処理方式のし尿処理施設で、排気中に数千 ppm の亜酸化窒素が観測され、投入される窒素成分の数十%が亜酸化窒素に転換される事例があった。また、この処理方式の施設における放出量は 0.014~1.6 Gg/year (1993 年度) と推計され、廃棄物処理分野における発生源として重要である。亜酸化窒素は硝化過程におけるの副生成物または脱窒過程における中間生成物として生じ、影響因子として、C/N 比、DO 濃度、pH、SRT 等が挙げられている^{3) 4)}。実施で調べた窒素成分の亜酸化窒素への転換率は、COD/T-N 比の低下により上昇する傾向があった。し尿処理の本来の目的は有機物および栄養塩類の除去による水域への負荷の低減である。亜酸化窒素排出の制御策は、この目的を十分に満たす範囲で、現状の施設で適用可能でなければならない。本年度は昨年度に引き続き、し尿処理施設において亜酸化窒素放出量の連続観測を行い、施設の運転操作と亜酸化窒素の発生の関係について検討した。

2.2 方法

観測を行ったし尿処理施設は、平成 8 年に竣工された膜分離高負荷生物脱窒素処理方式の施設であり、処理能力は 38 kL/day である。本施設における主反応槽 (180.4m³) は密閉式の単一槽であり、断続的 (30 分毎) に循環ポンプを動かし、曝気空気を自然吸引して、硝化過程と脱窒過程を制御している。また、生物処理後の固液分離を限外ろ過 (UF) 膜でおこない、槽内に微生物を高濃度で保持することで高負荷運転をおこなっている。観測は平成 10 年 12 月 14~16 日にかけて行った。硝化脱窒反応槽上部の消泡装置を通過後の中濃度臭気排気ダクトのサンプリング孔より、水分除去の氷冷トラップ、粒子除去のフィルター (孔径 2μm) を経由して、テフロン管で分析装置まで配管

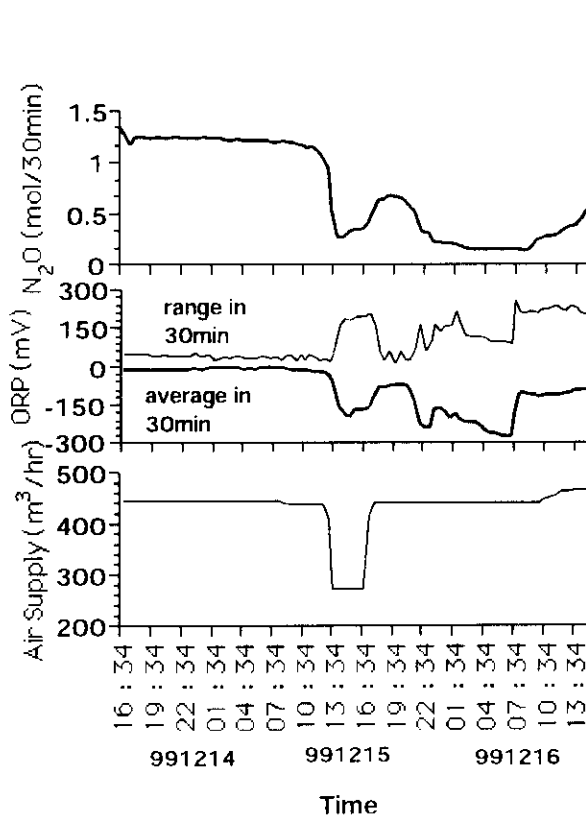


図1 亜酸化窒素放出量と操作因子の変動

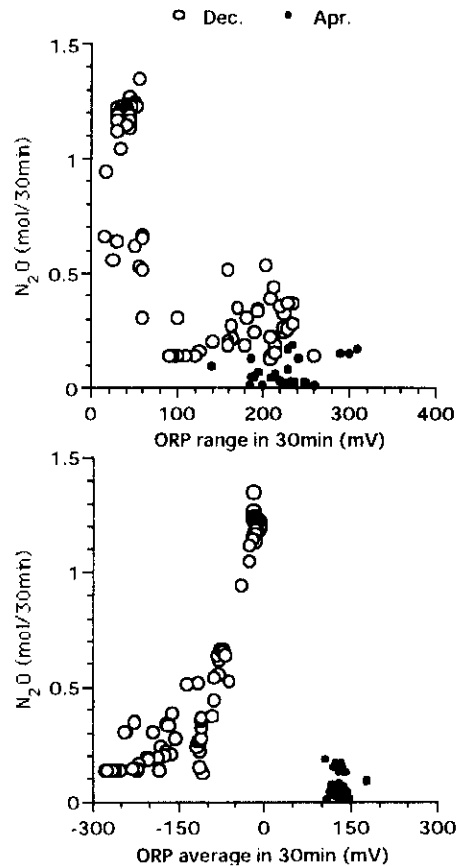


図2 ORP と亜酸化窒素放出量の関係

した。ダクトからの排気ガスの吸引採取（約 1L/min）および亜酸化窒素濃度の測定は、ガスフィルタ相関式赤外吸収分析計（Model 46C-HL, Thermo Environment Instruments）で行った。濃度はアナログでチャート紙に連続的に記録し、チャート紙から測定開始から 1 分間隔でデータを読み取って解析に用いた。なお、反応槽内の ORP、空気供給量および基質投入量等のデータは、施設管理のため自動計測されたものを用いた。

2. 3 結果

観測された排気中の亜酸化窒素濃度は、約 30 分毎にピークが現れる周期的変動を示し、基質の投入後に上昇、ORP の低下とともに下降し、ピーク濃度は最大で 550ppm ($0.023\text{mol}/\text{m}^3$) に達した。図 1 に運転サイクル 30 分間における排気中への亜酸化窒素排出量、主反応槽内の ORP の平均値と変動幅、ならびに空気供給量の平均値を示す。亜酸化窒素排出量は 12 月 14 日から 15 日昼まで $1.2\text{mol}/30\text{min}$ 付近で推移していた。この間 ORP はゼロ付近で推移して変動が小さく、基質の投入や空気量（循環ポンプの回転数の上げ下げ）という操作に追従していなかった。このため、施設側では脱窒が不良であるという判断より、15 日の午後に投入を 1 回キャンセルして、空気供給量を絞った。この操作により ORP はいったん周期変動を始め、亜酸化窒素発生量は $0.24\text{mol}/30\text{min}$ まで低下したが、夕方に空気供給量を元に戻すと ORP の変動は減衰し、亜酸化窒素発生量も $0.66\text{mol}/30\text{min}$ まで上昇した。午後 9 時過ぎになると ORP は再び周期変動を始め、亜酸化窒素発生量も $0.14\text{mol}/30\text{min}$ まで低下した。

2. 4 考察

主反応槽の運転操作に対応した 30 分毎の排気中の亜酸化窒素のピークは、前年度の調査（1998 年 4 月 24～25 日）でも観測された。ピークが現れる時点は、ORP が相対的に高い状態（硝化過程優勢）より、空気量が絞られ、基質が投入されるという脱窒過程優勢への移行期にあたり、両過程の進行が不完全になることが原因と推測される。一方、30 分間における亜酸化窒素の発生量は前年度の調査では $0.01\sim 0.19$ （平均 0.07 ） $\text{mol}/30\text{min}$ であったのに対して、今回の調査では $0.12\sim 1.35$ （平均 0.71 ） $\text{mol}/30\text{min}$ と大きな違いがあった。これは主反応槽の空気量等の操作とそれに追従する ORP 等の違いによるものと考えられる。図 2 には ORP の 30 分間の変動幅ならびに平均値と亜酸化窒素発生量との関係を示した。図より、この施設において亜酸化窒素の発生を低く抑えるためには、空気量を調整して ORP の変動幅が 100mV 以上、また ORP の平均値が 0mV 付近より両側に離して、特にプラス側に設定する必要があることがわかる。

3. 最終処分場における地表面メタン濃度の現場測定

3. 1 はじめに

IPCC (1994)⁵⁾ は、廃棄物最終処分場（埋立処分場）からのメタンの年間放出量を 40 (20-70) $\text{Tg}\text{-CH}_4$ と推計している。この推計は 1 年間に埋め立てられた生物分解性の廃棄物量から導かれたものである。埋め立てられた廃棄物からは場合によっては 20～100 年に渡りメタンが発生し、一部は土壤中で酸化される。よって、求められた値が過大評価である可能性が多分にあるが、これを検証するべく計画された現場観測の事例はほとんどなく、確かさを議論する術がないのが現状である。

最終処分場現場におけるメタン放出量の観測を困難にしている最大の要因は、放出フラックスの場所的な不均一さである。ガス抜き管からの放出は濃度が高く点数が限られているため比較的把握しやすいが、これだけでメタン放出量とするには十分ではない¹⁾。地表面からの放出量は廃棄物層や土壌の状態により場所的な変動が大きい¹⁾。ゆえに現在、地表面や水面からのガスフラックスの測定に用いられているチャンバ法では、正確な放出量を評価するためには過大に測点を増やすしか対処する方法が無い。そこで、最終処分場現場において、ガス抜き管、地表面を含めた面的なメ

タン放出量を包括的に観測する手法を目指して、大気汚染の監視に用いられているオープンパス型のフーリエ変換赤外分光分析計 (FTIR) の現場への適用性を調べた。

3. 2 方法

FTIR による観測は 1998 年の 12 月に行った。対象とした最終処分場は一般廃棄物最終処分場内の埋立が終了した 310×130m の区画であり、表面には覆土が施され、ガス抜き管が縦横約 50m 間隔で 18 本設置されていた。観測に用いたオープンパス型 FTIR は AirSentry-FTIR™ (Environmental

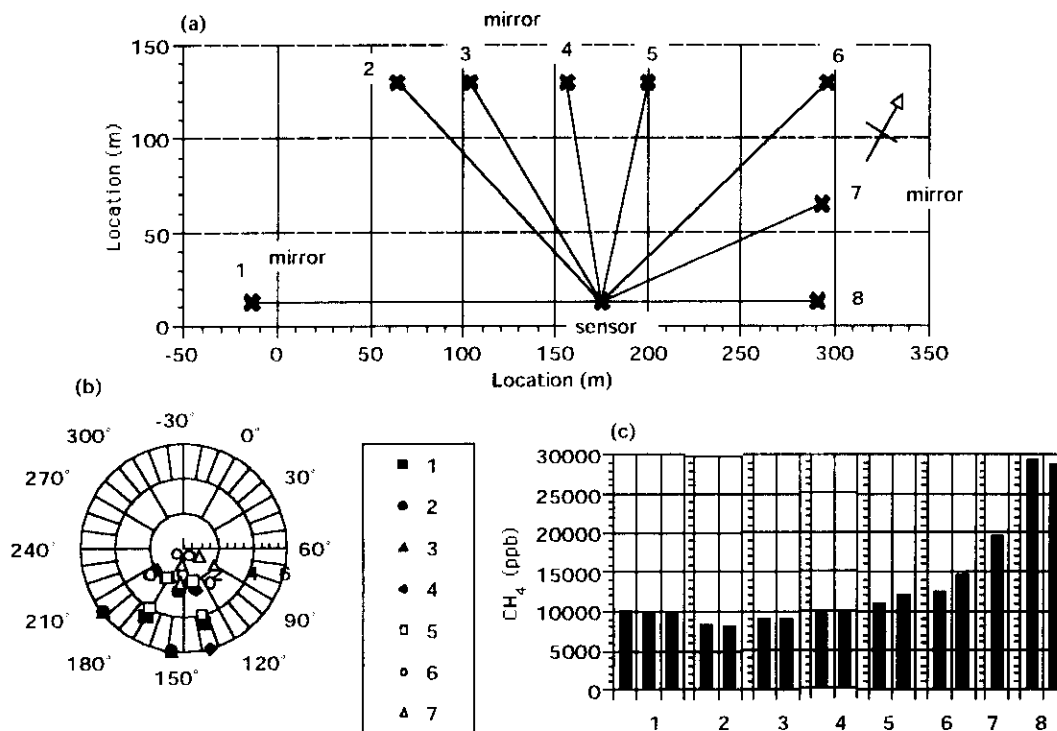


図3 オープンパス型 FTIR による観測結果：(a)位置、(b)風向風速、(c)メタン濃度

Technologies Groups, Inc.) である。装置は赤外線照射と受光、赤外分光を行う FTIR 本体と反射鏡 (コーナー・キューブ・ミラー)、データ記録・解析用のコンピューターより構成され、～ 1000m の範囲で本体から照射した赤外線を反射鏡で反射させ、戻ってきた光を受光し、光路に存在するガスによる赤外吸収スペクトルを得て、ガスを特定し、光路内の平均濃度を測定するものである。現場ではまず本体と反射鏡を密接させてバックグラウンド補正を行った。測定を行った地表面高さは約 1.8m であり、FTIR 本体は軽トラックの荷台に設置して移動した。1 回の測定につき 128 回赤外線を照射 (スキャン) して平均値を解析に用いた。赤外吸収スペクトルからのメタンの特性スペクトルの特定また濃度の定量は付属のコンピューターのソフトを用いて行った。

3. 3 結果

今回測定を行った光路長は 19～189m であり、検出強度 (Signal Strength) は 2175～12657 の範囲にあった。図 3 に本体と反射鏡の設置状態と風向風速、メタン濃度の区間内の測定例を示す。処分場区画内では 8～29ppm の範囲でメタンが検出された。調査中には風速 1～6m/s で風が吹いており、時間の経過とともに風向きが南よりから東よりに変化した。

3. 4 考察

処分場現場において、最長 189m の光路長で、地表面近くに大気レベルより高いメタン濃度が検出された。また、場内には草本が生えており若干光路を遮っていたが、検出強度にはほとんど影響しなかった。これらは本装置が埋立地におけるメタン放出量の監視に適用可能であることを示唆するものである。図3は区画内西側より東側でメタン濃度が高くなる傾向を示しているが、それぞれ時点では風向きが異なっており、周囲にも処分場があることを考慮すると、濃度の違いが埋立区画内のメタンフラックスの場所的分布を示しているとは断定できない。メタン放出量の観測に用いるためには、むしろ一側線上で常時監視を行い、現場に吹く風による水平方向での輸送フラックスを求めるか、または、仰角方向に走査し、メタン濃度の垂直分布を求める必要がある。

4. 土壌含水比のメタン酸化速度への影響の予備的検討

4. 1 はじめに

これまでに行った数理モデルを用いた検討²⁾で、最終処分場覆土内でのメタン酸化率を支配する因子として覆土の透気性が重要であることが示された。降雨等により覆土にもたらされる水分は土壌細菌群の代謝に必要な基質であるが、同時に覆土の透気性を著しく変化させる主要因であり、マクロ的に埋立地ガスが覆土を透過するフラックスを変えるだけでなく、ミクロ的に細菌へのメタンおよび酸素の供給(拡散)を制限する。今回は後者のミクロ的な視点で、土壌含水比がメタン酸化速度に与える影響を実験的に検討した。

4. 2 方法

最終処分場から採取した覆土土壌をメタンならびに酸素を封入した容器に入れ、30℃で2週間前インキュベートして活性化した。活性化した土壌を予め含水比を測定した後、約10gを秤量して褐色バイアルビン(125 mL)に入れ、純水を水分量が重量比で16.35%~80%になるよう滴下した。水分量を調整した土壌を1日放置して水分をなじませた後、バイアルビンにイソブチル栓とアルミシールで密閉し、埋立地覆土内の状況を想定した混合ガス(N₂: Base Gas, CO₂: 1000ppm, CH₄: 1000ppm, O₂: 20%)を充填し、30℃のインキュベーターに入れた。測定開始直前(0時間)と以降約1時間間隔で5時間後まで容器内のヘッドスペースガスを採取し、GC-Methanizer-FIDでメタンおよび二酸化炭素濃度を測定した。また0時間及び5時間後のガスについては、GC-TCDを用いて酸素、メタン、二酸化炭素濃度を測定した。得られたデータを用いて経時的なバイアル内ヘッドスペースガスのメタンの減量より、単位土壌乾燥重量あたりのメタン酸化速度を求めた。

4. 3 結果と考察

今回は、観測されたバイアルビンのヘッドスペースガスのメタン減少が、全てメタン酸化細菌群に酸化されたものとして酸化速度を計算した。求められた各含水比におけるメタン酸化速度を図4に示す。土壌のメタン酸化速度は含水比20%以上で 1.3×10^{-9} mol/min/g-dryであったが、20%~30%の間でメタン酸化速度は 3.1×10^{-10} mol/min/g-dryまで急激に減少し、これ以上の含水比では約 3×10^{-10} mol/min/g-

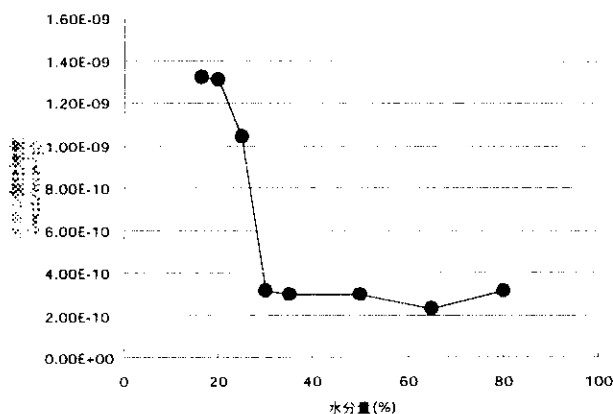


図4 土壌メタン酸化速度と含水比の関係

dry 付近で推移した。なお、実験の前後で pH はほとんど変化しなかった。

図4で観察された含水率上昇によるメタン酸化速度の急激な下降は、土壌の間隙に次第に水が満たされゆくにしたがって、間隙へのヘッドスペースガス中の気体の拡散が制限された結果であると考えられる。用いた土壌の真比重が採取時の測定データより $2.5\text{g}/\text{cm}^3$ 程度であり、乾燥土壌の間隙率が15%程度と仮定すると、含水比20%では水で満たされていない有効間隙率が5%あったものが、含水比30%では-2.1%となり、これら含水比の間で土壌の間隙は完全に水で満たさることになる。また、含水比30%以上では土壌間隙が完全に水で満たされた状態が続く。このような水分による間隙の占有が、土壌への気体の拡散すなわち微生物の基質（メタンと酸素）の利用可能性を制限することが、メタン酸化速度が減少した主な原因であると推測される。

この現象は、覆土のメタン酸化により埋立地、特に降雨が多い湿潤な地域で埋立地から放出されるメタンを抑制するときの制限因子となる。しかし、水分による土壌ガス移動の制限はまた、ごみ層から覆土経由での大気へのメタンの放出を物理的に抑制することにつながるため、両者の効果を勘案した覆土の設計またガス回収等のガス制御操作の最適化が必要である。

5. ごみ統計からの埋立ごみ量の推計手法に関する検討

5. 1 はじめに

IPCC のガイドライン¹³⁾では、ある排出カテゴリーからの温室効果ガスの排出量は、基本的にカテゴリー内の活動量と排出係数の積で算定される。廃棄物埋立地の場合、年間のメタン排出量は活動量としての年間廃棄物量（埋立廃棄物量）と排出係数に相当するメタンへの変換率の積で表される。この算出方法で問題となるのは、活動量として国の統計値から埋め立てられる分解性の廃棄物（炭素、DOC）を見積もることが、他の分野（特に動脈産業）における活動量の推計と比較して複雑であるということである。それは以下の理由による。

- 1) 世の中の全てのものが最終的には廃棄物となるのであるから、廃棄物を構成する成分は多様である
- 2) 廃棄物は、その性状によって焼却、コンポスト化、乾燥、中和など多様な処理を経るにつれ、量と質が変化してゆく。したがって、埋め立てる時点でモニタリングしないかぎり、量と質を推定することが困難である
- 3) 以上のように複雑な物質フローに対して、利用可能な統計値またはデータが極めて貧弱である。動脈産業における物流データに匹敵する統計値はまずみあたらない。

ここでは、上記のうち2)の因子による分解性埋立ごみ量（または分解性埋立炭素量）の推計の変動を我が国の統計値を用いて示した。

5. 2 一般廃棄物における分解性埋立ごみ量の推計

我が国の一般廃棄物統計（実態調査¹¹⁾は、管理主体が自治体（または公共事業体）であるため比較的精度の高い統計であると考えられる。また、中間処理の70%以上が焼却であり、シンプルなシステムである。しかし、統計から一般廃棄物の年間約5千万トンの一般廃棄物が発生し、直接埋め立てられる廃棄物が570万トンであり、中間処理後に埋め立てられるものが、610万トンであるということは読み取れるが、直接埋め立てられる廃棄物の組成、さらには中間処理による組成の変化に関する情報が不足しており、分解性廃棄物の構成比を統計値から決めることができない。

その場合、利用可能なごみ組成比（ここでは可燃ごみ等の排出時のカテゴリーにおけるごみ組成）より、埋立時の組成を推定することになるが、仮定によってメタンの排出量が大きく異なる。まず、中間処理の大部分は焼却であると仮定すると、中間処理後に埋め立てられる廃棄物の分解性ごみ量は無視できる。次に、直接埋め立てられる量から不燃物を差し引いた量が分解性の埋立ごみ量であると仮定する（埋め立てられる廃棄物はほとんど不燃物である）という仮定をおくと、その量は年

間118万トンとなる。一方、直接埋め立てられる量から混合ごみの中の不燃物量を差し引いたものが生物分解性の埋立ごみ量であると仮定すると、分解性埋立ごみ量は年間469万トンと、先の仮定の約4倍となる(図5)。なお、前者の仮定を用いた一般廃棄物最終処分場からのメタン放出量の推計は次節で示す。

Assumption 1; Direct Disposable Waste is mainly Uncombustible Waste		
Land Disposal Degradable Organic Waste	= Direct Disposal Waste - Uncombustible Waste	
	= 5,720,795 - 4,536,454 = 1,184,341 (ton/year)	
Assumption 2; Direct Disposable Waste is mainly Unseparated Waste		
Land Disposal Degradable Organic Waste	= Direct Disposal Waste - Unseparated Waste	
	x [Uncombustible Waste / (Combustible Waste + Uncombustible Waste)]	
	= 5,720,795 - 7,574,255 x [4,536,454 / (28,667,026 + 4,536,454)]	
	= 4,685,955 (ton/year)	

図5 一般廃棄物における分解性埋立ごみ量の推計

5.3 産業廃棄物における分解性埋立ごみ量の推計

我が国の産業廃棄物統計(実態調査)¹¹⁾は、法律で定められている産業廃棄物の品目(19品目)が分類されており、これをみれば発生時の廃棄物の組成はある程度把握できる。しかし、中間処理技術が多岐にわたるため、それぞれの品目が埋立前に経由する中間処理法を捉えることが難しい。中間処理では焼却のように廃棄物の有機物を除去する(安定化する)処理だけではなく、脱水や乾燥等、単に水分を除いて減容・減量する処理も主流であるため、中間処理された廃棄物には分解性炭素が存在しないという単純な仮定が立てられない。

例として、1995年の統計を用いて、分解性炭素を含む廃棄物として有機性汚泥、紙くず、木くず、動植物性残渣(統計にはこの他に動物のふん尿、動物の死体等、農業系の産業廃棄物が記載されている)における分解性埋立ごみならびに最終処分後のメタン発生量を推計する(表1)。まず、最大の見積もりとして、これら廃棄物が中間処理を経ないで直接埋め立てられるとすると、メタン発生量は合計して16,200 Gg/yearとなる。また最小の見積もりとして、産業廃棄物全体の直接埋立の割合である9%分が直接埋め立てられると考えると、メタン発生量は合計して1,458 Gg/yearと1オーダー低い値となる。この差が正確なメタン排出量を推計するために中間処理による埋立前の廃棄物の質変化を把握する重要性を示している。なお、いくつかの自治体では調査された産業廃棄物の各品目毎に中間処理法毎の最終処分量が集計されている¹⁶⁾。この統計で、中間処理で焼却またはコンクリート固化を経ないもの、すなわち脱水、脱水→乾燥、乾燥、油水分

表1 産業廃棄物埋立によるメタン放出量の推計

(a) 全量直接埋立を仮定			
	発生量	分解性ごみ埋立量	CH4放出量
	Gg/year	Gg/year	Gg/year
有機性汚泥	132,499	132,499	15,529
紙くず	2,904	2,904	82
木くず	6,433	6,433	200
動植物性残さ	4,410	4,410	389
計			16,200
(b) 直接埋立割合9%を仮定			
	発生量	分解性ごみ埋立量	CH4放出量
	Gg/year	Gg/year	Gg/year
有機性汚泥	132,499	11,925	1,398
紙くず	2,904	261	7
木くず	6,433	579	18
動植物性残さ	4,410	397	35
計			1,458

表2 産業廃棄物埋立によるメタン放出量の推計

中間処理毎の埋立量を考慮			
	発生量	分解性ごみ埋立量	CH4放出量
	Gg/year	Gg/year	Gg/year
有機性汚泥	132,499	11,925	1,398
紙くず	2,904	261	7
木くず	6,433	579	18
動植物性残さ	4,410	397	35
計			1,458

離、圧縮、破碎、中和、中和→脱水について、全発生量に対する埋立量の比を求め、これを全国統計の発生量に掛け戻して分解性埋立ごみ量を推計すると、メタン発生量は合計して 5,467 Gg/year となる(表2)。

5. 4 おわりに

以上に示したように、廃棄物処理分野における温室効果ガス排出量の推計では排出係数の精度向上以上に、活動量である廃棄物量の組成とそのフローの把握が非常に重要である。現在利用可能な統計はこれら基礎データの整理に必ずしも適合しておらず、また、現実性の高い仮定をたてるための情報も少ない。したがって、最近、国際機関(UNFCCC および IPCC) よりもとめられている排出量報告の精度向上においては、まず廃棄物フローの基礎調査が必須であると考えられる。

6. 韓国の最終処分場からのメタン放出量の推計

6. 1 はじめに

既報¹⁾で示したように、わが国の場合、一般廃棄物の焼却率が年々増加し、結果として埋め立てられる生物分解性の炭素が減少しているため、最終処分場からのメタン放出量は将来的には減少すると予想される。しかし、75%以上という高いごみの焼却率は、最終処分場容量が逼迫している日本の特殊事情である。多くの国では依然として直接埋立が多く、最終処分場からのメタン放出は制御すべき人為的発生源として引き続き重要である。本年度は、近年のアジア地域での現状を把握するため、韓国での調査時に入手した資料より、韓国における最終処分場からのメタン放出量の推計を行ってわが国における推計と比較した。

6. 2 方法

推計を行うごみの埋立期間は 1970 年から 1995 年とした。ソウル市立大学環境工学科、李東勲副教授の協力により、1985 年から 1995 年の一般廃棄物の発生量、埋立量および組成に関するデータ^{6) 7) 8) 9)} を入手した。1985 年以前のごみ量は GDP¹⁰⁾ とごみ排出量との回帰式を用いて推定した。日本のデータは日本環境衛生センター発行のデータブック^{11) 12)}記載のものを用いた。1975 年以前のデータは既報¹⁾にしたがって推計した。まず、生物分解性のごみとして、厨芥、紙、木を考え、統計資料を用いて各組成の年毎の埋立量を生物分解性炭素量として求めた。埋立ごみ量および可燃ごみの物理組成は両国のデータを用い、各組成の灰分および炭素含量は韓国の統計を用いた。木に含まれるリグニンは分解されないものとし含量として 25%¹²⁾を用いた。生物分解性炭素の分解率は 77%¹³⁾、ガス化率は 59%¹⁴⁾、うちメタンとなる比率は 50%¹³⁾とした。得られた組成別のメタン発生総量をそれぞれ Sheldon Arleta モデル¹⁵⁾に入力し、放出量の経年変動を求めた。Sheldon Arleta モデルは下水汚泥の嫌気消化実験を元に、ガス発生量が最大となる時点が全分解期間の 35% (半値時)としたガス化曲線により、放出の時間変化を求めるものである。厨芥、紙、木の半値時はそれぞれ 3 年、7 年、36 年¹⁾とした。なお、求めた 1985 年から 1995 年の放出量には 1970 年以前に埋め立てられた紙および木からの放出量が加えられていないが、埋立量および半値時から考えて、増加分は全放出量の 5%以下であると推測される。また、処分場におけるメタンの回収および燃焼については両国とも実態が把握できなかったため今回は考えていない。

6. 3 結果と考察

図6に日本および韓国における厨芥、紙、木の埋立量を生物分解性炭素量で示した。日本では年々埋立ごみ量は低下しているが、韓国では経済発展とともに 1991 年まで増加傾向にあった。最近では 1990 年のデータで見るとごみの発生量は日本は一日あたりで 13 万 8 千トン、韓国では 8 万 4 千トンと日本の方が大きい、埋立比率が 93%と大きいため、日本と比較して 4 倍の生物分解性炭素

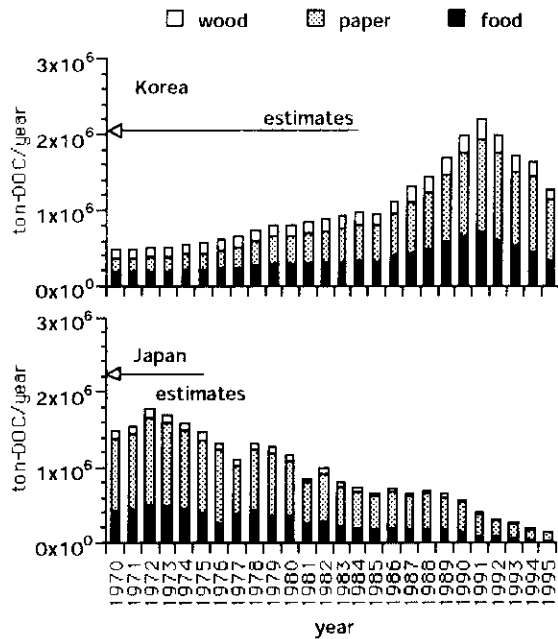


図6 生物分解性埋立ごみの経年変化

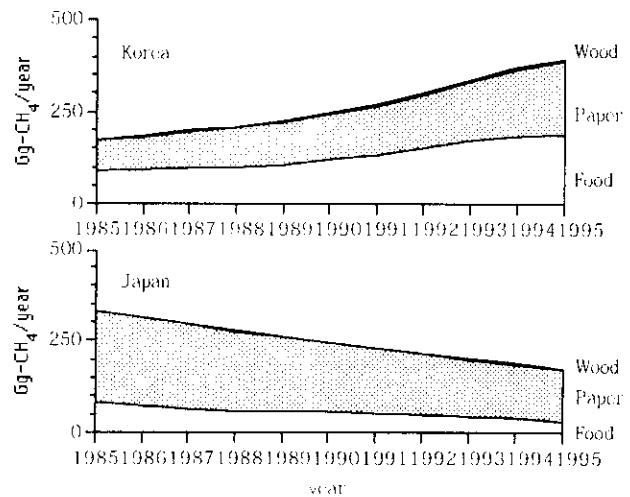


図7 最終処分場からのメタン放出量の推計値

が埋め立てられている。また、日本では紙の割合が大きいものに対して、韓国では厨芥の割合が大きいのが特徴である。図7に1985年から1995年のメタン放出量の推計値を示す。埋め立てられた生物分解性ごみ量の経年変化を反映して、日本では減少、韓国では増加傾向にある。1985年の時点ではこれ以前に埋め立てられた紙からのメタン放出のため日本の方が放出量が上回っているが、これは1990年に逆転し、1995年では日本で173 Gg-CH₄/yr、韓国では395 Gg-CH₄/yrとなった。韓国では1991年以降埋立ごみ量が低下しているが、以前に埋め立てられたごみからのメタン放出があるため、増加傾向は続くと考えられる。

なお、日本における推計値が従来のもより低く見積もられているのは、直接埋立量からの可燃物埋立ごみ量の算定で、収集ごみにおける比を用いるのではなく、韓国の統計にあわせて不燃物収集量を差し引いた値を用いたためである。

7. まとめ

廃棄物処理分野で、メタンおよび亜酸化窒素を発生源で抑制するためには、実施施設による放出実態を正確に把握し、施設運営の現状に見合った制御因子を考える必要がある。また、世界的視野では最終処分場からのメタンの抑制が重要であり、わが国のみならず、都市化が進む開発途上国における排出実態の把握や社会状況に合わせた適正な抑制技術の開発が急務である。本研究では、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実態の観測ならびに見積もりの方法、また、排出抑制因子について調べた。

現地観測により、単一槽型の高負荷膜処理生物脱窒素処理方式のし尿処理施設では、空気供給量によるORPの制御が重要であり、対象とした施設ではORPの変動幅を100mV以上に、ORPの平均値を0mVよりプラス側に調節することが亜酸化窒素の発生抑制に有効であることが分かった。最終処分場でオープンパス型のFTIR分析計を用いた観測を行ったところ、処分場内の地表面付近に大気レベルより高いメタン濃度が測定され、放出量の監視に使用可能であることが示された。さらに埋立地覆土土壌でのメタン酸化を支配する因子として、ある含水比以上になると酸化速度が急激に減少することを示した。加えて、わが国の一般廃棄物と産業廃棄物について統計値からの分解性埋立ごみを推計する場合、埋め立てられるごみの種類や中間処理を十分に把握しないと、メタン

の発生源となる分解性埋立ごみが過大または過小評価されることをわが国の事例を用いて示した。韓国の都市ごみ統計を用いてガス化モデルにより最終処分場からのメタン放出量を推計し、わが国の一般廃棄物における推計と比較したところ、韓国ではごみの埋立率が高く、生物分解性の高い厨芥が多く含まれることから、1990年にメタン放出量がわが国を逆転しているの見積もられた。

なお、産業廃棄物統計のを御提供いただいた（財）日本環境衛生センターに深謝する。

引用文献

- 1) 田中勝、井上雄三、松澤裕、大迫政浩、渡辺征夫：廃棄物処理場からの放出量解明に関する研究、地球環境研究総合推進費平成6年終了研究成果報告集、環境庁企画調整局地球環境部、48-59、1995
- 2) 田中勝、井上雄三、大迫政浩、山田正人、渡辺征夫：廃棄物処理分野におけるメタン・亜酸化窒素の排出抑制対策に関する研究、環境庁地球環境研究総合推進費終了研究報告書、地球温暖化抑制のための対策技術開発と評価に関する研究、平成7年度～平成9年度、91-102、1998
- 3) 花木啓祐・鄭 紅・松尾友矩（1993）：脱窒における一酸化二窒素の生成と操作因子の関係、下水道協会誌論文集、30、104-116
- 4) H. Zeng, K. Hanaki and T. Matsuo (1994) : Production of nitrous oxide gas during nitrification of wastewater, Preprint Book, 1, IAWQ Biennial International Conference, Budapest, 117-125
- 5) IPCC (1994) : Other Trace Gases and Atmospheric Chemistry, Radiative Forcing of Climate Change, 2-52
- 6) The Ministry of Environment, Korea: '97 National Status of Solid Waste Generation and Treatment, 1998
- 7) The Ministry of Environment, Korea: '96 National Status of Solid Waste Generation and Treatment, 1997
- 8) The Ministry of Environment, Korea: Korea Environmental Yearbook, 1990
- 9) 環境部: 96 全国廃棄物統計調査, 1997
- 10) Samsung Economic Research Institute: <http://www.seri-samsung.org/>, 1999
- 11) 日本環境衛生センター：廃棄物データ集 1998、日本環境衛生センター、1998
- 12) 岩波生物学辞典第4版、岩波書店、1996
- 13) IPCC : Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook, 1996
- 14) 松藤康司、立藤綾子：埋立構造の違いによる温室効果ガスの発生と制御、廃棄物学会誌、8(6)、438-446、1997
- 15) 池口 孝 (1983) : 埋立地における発生ガスの挙動 (その3)、都市清掃、36(134)、298-302
- 16) 日本環境衛生センター：私信

研究交流等の状況

最終処分場からのメタンの放出機構について、ソウル市立大学環境工学科李東勲副教授との共同研究を進めている。

研究成果発表の状況

(1) 口頭発表

- 1) 渡辺征夫、山田正人、松澤裕：廃棄物埋立地からのメタン放出量の推定、第39回大気環境学会講演要旨集、148-149、1998
- 2) 渡辺征夫、山田正人、大場宏行、大迫政浩、井上雄三、池口孝、田中勝、谷川昇：都市ごみ埋立地で発生するメタンの計測とその評価、第40回大気環境学会講演要旨集、1999

(2) 論文発表

- 1) I. Watanabe, M. Yamada, M. Osako, and M. Ikeguchi: Methane Fraction in Carbon Components in Biogas from Waste Disposal Sites in Japan and Southeast Asia, J. van Ham et al. (eds.), Non-CO2 Greenhouse Gases: Scientific Understanding, Control and Implementation, 121-126, Kluwer Academic Publishers, 2000

(3) 出願特許・受賞等

該当なし