

課題名	アジア諸国の廃棄物埋立地におけるCDM事業に資する温室効果ガス排出削減量予測および排出削減対策の評価に関する研究		
担当研究機関	独立行政法人国立環境研究所		
研究期間	平成16-18年度	合計予算額 (当初予算額 ベース)	33,750千円 (うち18年度 10,125千円)
研究体制	<p>研究体制</p> <p>(1) 国家レベルでの廃棄物埋立地からのメタン排出量推定法の提示 (独立行政法人国立環境研究所)</p> <p>(2) 埋立地におけるメタン排出量計測手法の高度化 (独立行政法人国立環境研究所、一部龍谷大学へ研究委託)</p> <p>(3) 埋立地からの温室効果ガス排出量削減対策実施の効果予測モデルの設計 (独立行政法人国立環境研究所)</p>		
研究概要	<p>1. 序 (研究背景等)</p> <p>我が国の2000年度の温室効果ガス総排出量は1990年の総排出量に対して8.0%の増加となっており、2008-2012年における削減目標 (1990年比6%減) を国内対策のみで達成することはきわめて困難な状況である。そのため、クリーン開発メカニズム (CDM) や共同実施 (JI) など京都メカニズムを活用する排出削減対策が、目標達成に向けて必要不可欠となっている。経済発展が著しいアジア諸国において、有機物を含む廃棄物が大量に埋立処分されている現状を鑑みると、廃棄物埋立地におけるメタンの発生抑制や回収利用による排出量の削減はCDM事業の対象として極めて有望である。一方で、埋立地からのメタン排出量の評価では、統計からの推計法、個別サイトにおける観測法ともに、特にデータの乏しい途上国において、得られた値の不確実性が問題視されており、精度向上と検証が求められている。様々な気候帯また社会条件下にある途上国に適合した国家排出目録や個別サイトにおける排出量予測法が精緻化されなければ、CDM事業の効果やベースラインの正当性の評価が困難となる。また、個別サイトにおけるモニタリングが不正確であれば排出量がクレジットとして認定されない。埋立地メタン排出量の削減方法としては、分別収集した後、堆肥化・焼却などの処理を行い、有機性廃棄物の埋め立てを回避する方法、埋立地内部を好気状態で管理することでメタンの生成量を低減する方法、また、発生したメタンをエンドオブパイプ的に回収利用または酸化分解させる方法があげられる。しかし、途上国において、埋立地の構造の変更、通気装置やメタン回収装置の設置には技術と経済が伴わず、発生源別の徹底や中間処理施設の設置には社会的な困難さがあり、これら我が国の廃棄物管理で培われてきた手法をアジア諸国へ適用することは決して容易ではない。さらに、廃棄物分野におけるCDM事業では、クレジットや収益だけでなく、未発達な廃棄物処理システムの改善による、公衆衛生の向上や公害問題の解決等の根源的なメリットが得られるべきである。以上を解決し、持続的なCDM事業立案に向けた知見の集積を行うことは、我が国の国策である排出削減目標達成のため、早急に取り組むべき課題である。</p> <p>2. 研究目的</p> <p>本研究では、我が国における排出削減目標達成、ならびにアジア途上国における持続可能な廃棄物処理システムの構築の双方を見据えたCDM事業の計画に必要な一連の手法の整備を目的とした。まず、国家および都市レベルでの廃棄物ストリームや埋立地の現状に関する基礎情報を収集し、ベトナムの都市を事例対象地域として、埋立地メタン排出量推計の方法論を提示した。次に、東南アジア地域で適用可能な埋立地メタン削減技術を開発するため、現地調達可能な材料を覆土材として利用し、メタン酸化を効率化する覆土工法と埋立地管理手法を提案した。また、ベトナムとタイの埋立地でメタン放出量や埋立廃棄物の性状を調べ、東南アジア地域の埋立地におけるメタン排出係数を得た。CDM事業におけるベースライン設定と事後評価に必要な現地で継続的に実施可能なモニタリング手法として、埋立地メタンのレーザーメタン検出器-チャンパー法ならびにオープンパス・フーリエ変換赤外分光 (FTIR) を用いた全放出量計測手法の開発を行った。さらに、廃棄物処理分野におけるCDM事業の温暖化を含めた環境影響を、適正処理の観点から総合的に評価する手法として、ライフサイクルアセスメント (LCA) の適用性を検討した。</p> <p>3. 研究の内容・成果</p> <p>(1) 国家レベルでの廃棄物埋立地からのメタン排出量推定法の提示</p>		

既存文献ならびに、ベトナム、韓国、中国、タイ、モンゴル、インドネシアの廃棄物管理専門家を招聘して開催したワークショップにて、アジアにおける廃棄物管理、廃棄物ストリームならびに埋立地の状況についての情報を収集・整理した。ベトナムのハノイ市およびホーチミン市における廃棄物処理の発生量、排出量、ごみ質等の現状把握を行い、産業構造、排出インベントリー、物質収支フローの推計のための基礎データを整理した。ハノイ市においては市街区の収集形態が異なる3種類の収集ごみの組成調査、また両市において都市環境公社等へのヒアリング調査等を実施し、廃棄物処理システムの改善等の可能性等について調べた。ハノイ市では、1日当たりの都市廃棄物の排出量は1,609 ton/日であり、うち8.5%に相当する137 ton/日がコンポスト施設に搬入処理され、91.5%に相当する1,472 ton/日が直接埋立処分されていた(図1)。ごみ組成調査の結果、平均で厨芥・草・葉が47.8%、ガレキと分別不能な微細物等が32.5%であり、両者で約80%を占めていた。また、堆肥化のため分別収集されている有機系ごみの組成は厨芥・草・葉が全体の75%を占め、堆肥化に不適なものが25%含まれていた。ホーチミン市では、生活系廃棄物の収集率は90%であり、1日1人当たりの排出量は661gでありハノイ市の1.2倍と高いことが示された。搬入先の埋立地は2カ所あり、埋立時の資源回収も実施されていないなど、ハノイ市とは管理体系が異なっていた。東南アジア諸国に適用可能な新規の排出量削減技術としての埋立地覆土の適用性について示した。現地調達可能な農業系資材を混合させた覆土材として利用するとともに、メタン放出抑制の促進についても検討した。木くず混入砂(含水率10%)において、17%というメタン分解率が達成され、複数の条件で10%を超えるメタン分解が確認された。また、メタン酸化分解の反応は表層から30cm下で活発であることが示された。東南アジア地域の気候の特徴である雨季と乾季の双方に対応可能という観点からは、幅広い含水率で高いメタン分解率を示した木くず混入覆土材を用いるのが適していると考えられる。また、メタン酸化細菌数が一定量(pmoA遺伝子数で10⁷オーダー程度)存在している条件下にあればメタン分解率に寄与するのは透気係数などの土壌物性であった。

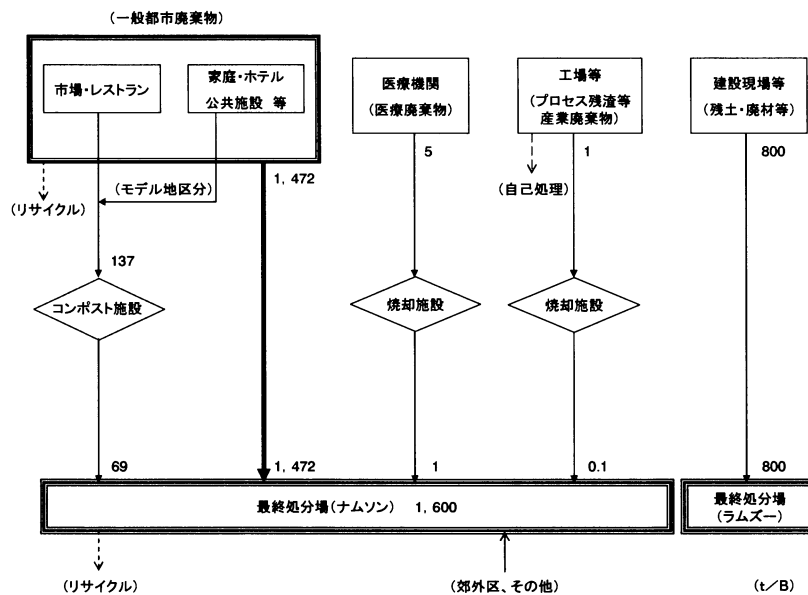


図1 ハノイ市市街区の廃棄物ストリーム (2002年)

(2) 埋立地におけるメタン排出量計測手法の高度化

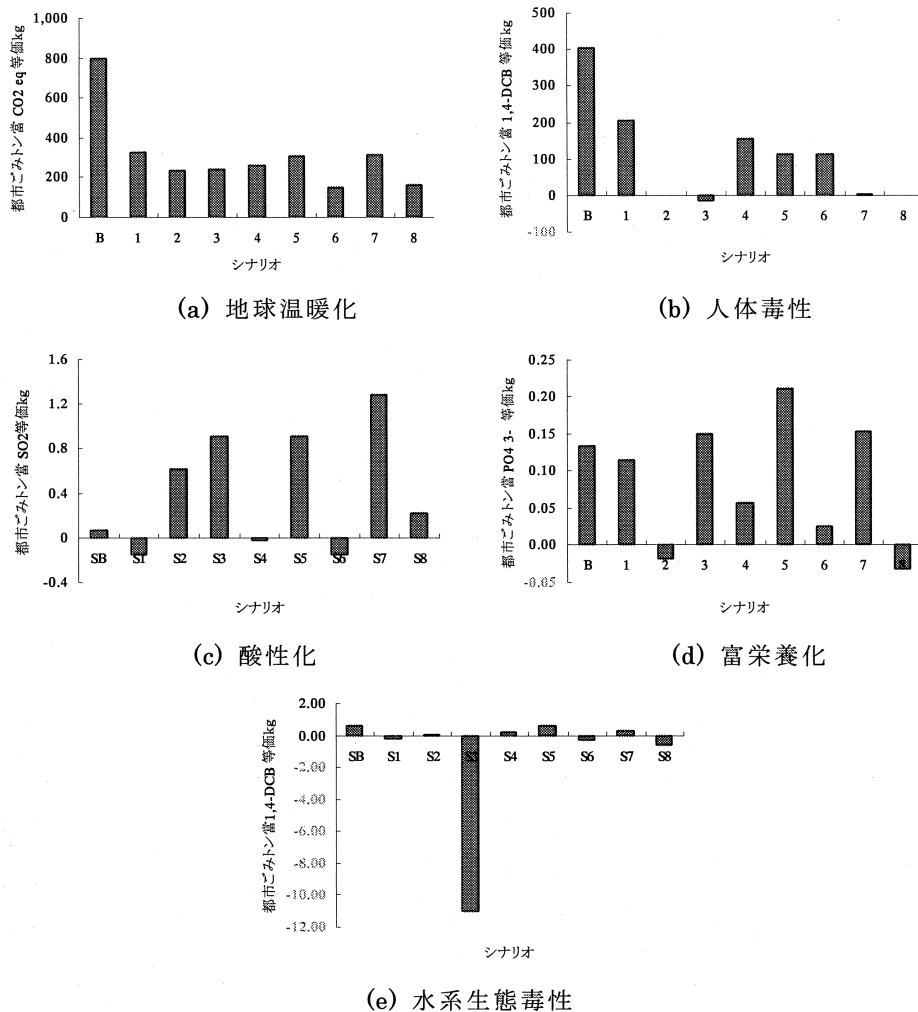
最終処分場における温室効果ガス排出量調査を実施するとともに、排出量算定のための速度因子の算出を試みた。ハノイ市の埋立年数が異なる埋立地(0.5、2および8年)を調査し、それぞれメタン放出量は76、21、1.15 ml/min/m²と評価された(表1)。これより、メタン生成の一次速度定数は0.74と評価された。廃棄物埋立量ならびに埋立物組成の統計データと、メタン排出に関する現地調査から得られたメタン生成速度を用いることで、埋立地からのメタン放出量の正確な予測が可能であった。また、年次の異なる複数の埋立地における掘削調査でも、廃棄物分解速度係数の提示が可能であることが示された。途上国等で限られた情報を用いてメタン排出量予測の精緻化を実現するためには、廃棄物埋立量および埋立物の組成の情報整備とともに、実際の発生量やメタン生成速度等の現地の埋立地の状況に依存するパラメータを求めることが重要である。また、埋立地表面におけるフラックス計測を迅速化するための手段として、赤外線レーザーメタン検出器(LMD)を利用した現場対応型の閉

鎖式チャンバー法によるフラックス計測法を開発し、従来の実験室での分析による計測方法と比較した。本手法は、小さいフラックスならびに極度に大きいフラックスに対する改善が必要であるが、現時点でも、 10^0 から 10^2 g-CH₄/m²/dayの範囲では従来法と同等にフラックスを計測することが可能であった。さらに、オープンパスFTIRを用いた一定領域からのメタン放出量計測手法は、低労力で、地形に左右されず、連続観測が可能であった。

表1 地表面メタンフラックス計測結果 (ハノイ)

	フラックス計測地点数内訳				フラックス範囲 ml/min/m ²	平均(ml/min/m ²) と変動係数	全放出量 (ml/min/m ²)
	測点数	正	負	非検出			
Tay Mo	13	3	4	6	-2.8~29	4.38±277%	1.15
Nam Son (phase 1)	14	10	2	2	-0.89~150	22.5±186%	21
Nam Son (cell4)	18	11	7	0	-5.6~770	120±171%	76

(3) 埋立地からの温室効果ガス排出量削減対策実施の効果予測モデルの設計



S1: 埋立ガスの回収(50%)、S2: 焼却して埋立、S3: 炭化、S4: 機械・生物学的な前処理の後埋立、及びS5-S8: 有機物の別途処理 (それぞれ、有機物の堆肥化、嫌気性消化、有機物を除外した成分の埋立、焼却して埋立)

図2 ハノイ市の廃棄物処理シナリオ別環境影響

LCA手法を廃棄物処理改善によるCDM事業の温室効果ガス低減量及び環境的持続可能性の評価の手段として適用した。1997年と全ての残飯の直接埋立が禁止された2005年のソウル市の生ごみの発生量と処理方法における環境影響を比較し、埋立量の減少により、地球温暖化の影響が30%、人体への毒性影響が70%減少した。また、飼料化と堆肥化では、飼料化の環境影響が比較的小さいことが明らかになった。ハノイ市では（図2）、既に最も広く適用されている埋立ガスの回収シナリオはエネルギーの消費は少ないが、埋立地の消費や環境的影響及び温室効果ガス低減量などの評価は比較的小さかった。有機物を生物学的に処理してリサイクルまたは埋立する方法は140-300kgの温室効果ガスを低減するだけでなく、埋立ガス回収に比べて環境的影響と埋立地所要量が減った。特に、好気性処理よりは嫌気性処理の方がエネルギー回収という利益があるため、CDM事業として有利と評価された。

4. 考察

アジアの開発途上国において廃棄物管理は優先順位が低い課題であり、将来的に埋立地が大量の有機性廃棄物を受け入れてメタンを発生し続けることを意味している。この点でアジアにおける埋立地のCDM事業が廃棄物管理の改善と地球温暖化の防止に重要である。また、アジアの廃棄物ストリームにおいては、有価物のリサイクルは進められているものの、廃棄物の野積みや野焼きが未だ主流であり、収集率の向上を基本として、有機性廃棄物の資源化と埋立地の設置と改善が課題となっている。有機性廃棄物埋立量の精緻な推計のためには、廃棄物の発生量や収集量とともに、直接埋立、資源化処理等のストリーム毎の廃棄物の組成等の基礎データの整備が重要である。現地で調達可能な覆土材を用い、含水率や透気係数などの土壌物性を制御し、メタン酸化を酸化する技術は、維持管理が容易、安価な新しい排出量削減技術として、東南アジア諸国に適用可能と考えられる。廃棄物埋立量と埋立物組成の統計と、ガス放出量の観測や廃棄物の掘削試料から評価されたメタン生成速度を用いることで、埋立地からのメタン放出量をより正確に予測することが可能となる。また、本研究で評価したメタン排出量ならびに速度定数は、情報が限られている東南アジア地域の廃棄物埋立地からのメタン排出挙動に関する貴重な知見である。埋立地表面におけるフラックスを簡易かつ迅速に計測する手法として開発した、赤外線レーザーメタン検出器(LMD)を利用した手法（LMD-チャンバー法）は、現場において、多測点を、数～数十分間で計測・評価可能な手法として有効である。廃棄物処理分野のCDM事業の環境に対する持続可能性の評価に、事業導入前後における廃棄物ストリームをバウンダリとしたLCAが有用であることを示した。また、CDM事業による温室効果ガスの低減効果と他の環境影響の間にはトレードオフの関係があるため、温室効果ガス削減量が大きい技術導入が、必ずしも環境的な持続性の面で有利ではない。