

ベトナムホーチミン市における 都市廃棄物の埋立処分場の現状

Nguyen Nhu Sang*・惣田 訓**・石垣 智基***
清 和 成****・池 道彦*****

Current Situation of Solid Waste Landfill in Ho Chi Minh City, Vietnam

NGUYEN Nhu Sang*

SODA Satoshi**

ISHIGAKI Tomonori***

SEI Kazunari****

IKE Michihiko*****

Abstract

Current practices in landfills for municipal solid waste (MSW) in Ho Chi Minh City (HCMC) were reviewed. Results show that waste generation rate of HCMC's 6 million residents was more than 6,000 ton day⁻¹ in 2003, but waste collection was only about 4,800 ton day⁻¹. The MSW generation rate was 0.5-1.0 (0.74 in average) kg capita⁻¹ day⁻¹. Public service companies of local district municipalities collect household waste, waste from streets, markets, and public parks and from rivers and canals. The city environmental company transports solid waste from waste stations and operates final disposal sites. Dong Thanh (43 ha), Go Cat (25 ha), and Tam Tan (45 ha) landfills are the three main landfill sites in HCMC. Of them, only Tam Tan landfill is now in use for commingled solid waste. Go Cat landfill closed in 2007 after 6 years' operation. The

平成21年10月27日 原稿受理

*ベトナム国立大学ホーチミン校講師

**大阪産業大学 人間環境学部非常勤講師 大阪大学大学院工学研究科准教授

***龍谷大学理工学部准教授

****大阪大学大学院工学研究科助教

*****大阪大学大学院工学研究科教授

Dong Thanh dumping site receives construction waste and bio-solid waste from septic tank. Dong Thanh, Go Cat, and Tam Tan landfills generate leachate of 600, 400, and 500 m³ day⁻¹, respectively and much more during the rainy season, polluting areas near landfills. Gas emission is also causing troubles in the neighbor area. Leachate shows high organic matter contents, dark color, and odor attributable to the digestion of the high biodegradable organic fraction in the waste. By 2020, three sanitary landfills are scheduled for construction, including a new area of Tam Tan (822 ha), Da Phuoc (256 ha), and Thu Thua (1,760 ha). Strategies to improve the landfill operation are discussed for sustainable development of HCMC.

Keywords : Ho Chi Minh City, landfill, leachate, municipal solid waste, Vietnam

要旨

ホーチミン市（HCMC）における都市固形廃棄物（MSW）の埋立処分場の現状を調査した。ホーチミン市の600万人の住民による廃棄物発生量は2003年において一日当たり6,000t以上であったが、廃棄物収集量は一日当たり約4,800tのみであった。都市固形廃棄物発生量は一人一日当たり0.5～1.0kg（平均0.74kg）であった。地方自治体の公益企業が家庭ごみおよび街路、市場、公園、河川や運河から発生する廃棄物を収集し、ホーチミン市環境公社がごみ置き場から固形廃棄物を輸送し、最終処分場を管理している。Dong Thanh埋立処分場（43ha）、Go Cat埋立処分場（25ha）、Tam Tan埋立処分場（45ha）がホーチミン市における主要な3つの埋立処分場である。それらのうち、Tam Tan埋立処分場のみが現在、混合固形廃棄物の処理場として利用されている。Go Cat埋立処分場は6年間の運転の後、2007年に閉鎖された。Dong Thanh埋立処分場は建設廃棄物および浄化槽由来の生物固形廃棄物を受け入れている。Dong Thanh, Go Cat, Tam Tan埋立処分場における一日当たりの浸出水発生量はそれぞれ、600, 400, 500m³であり、雨期にはさらに多くの浸出水が発生し、浸出水および発生するガスによって埋立処分場周辺の土地を汚染する。浸出水は高い有機物質含有量を示し、暗色で、廃棄物中の生分解性の高い有機物の消化による臭気を示す。2020年までに、Tam Tan埋立地に新設される埋立処分場（822ha）、Da Phuoc埋立処分場（256ha）、Thu Thua埋立処分場（1,760ha）の3つの埋立処分場の建設が計画される予定であり、埋立処分場の管理手法を改善するための戦略がホーチミン市の持続可能な開発のために議論されている。

キーワード : ホーチミン市、埋立処分場、浸出水、都市廃棄物、ベトナム

1. はじめに

ベトナムのホーチミン市は、面積2,095km²の大都市であり、19の区と5つの県に区分されている。人口600万人以上を有し、その85%以上が都市部に集中している。ホーチミン

市は、急激な人口増加、工業化、都市化に加え、不適切な廃棄物管理によって引き起こされる環境汚染に直面しており、行政は住宅地や商業地域から発生する多量の都市廃棄物を管理しなければならない。ホーチミン市の都市廃棄物の主要な処理プロセスは、埋立処分であるが、処分場および都市廃棄物の明確な管理基準は未だ確立されておらず、遮水工の設置や毎日の覆土にも関わらず、埋立処分場から発生する浸出水やガスは周辺地域を汚染してしまっている。行政の経験、指導力、財源の欠如等が都市廃棄物の不十分な管理の大きな理由といえる。

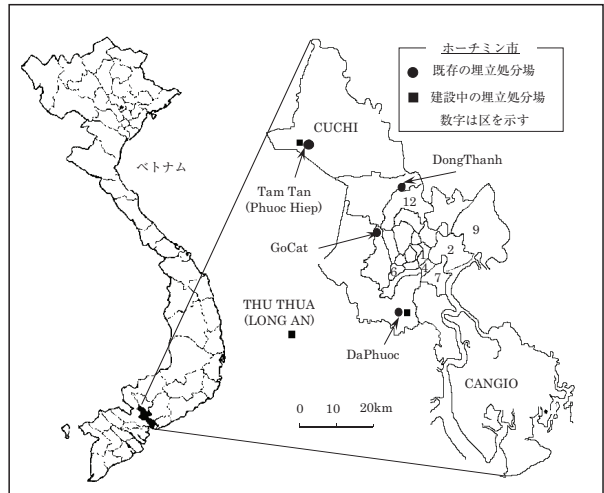


図1. ホーチミン市における埋立処分場の位置

ホーチミン市の埋立処分場の位置を図1に示す。Dong Thanh処分場、Go Cat処分場、Tam Tan (Phuoc Hiep) 処分場が3つの主要な埋立処分場である。現在、Tam Tan埋立処分場のみが一般的な混合廃棄物の処分のために使用されている。Go Cat埋立処分場は6年間運用され、2007年8月に閉鎖された。Dong Thanh埋立処分場は、建設廃棄物および浄化槽由来の有機性廃棄物のみを受け入れている。これらに加えて、Than An (Can Gio県) にいくつかの小規模な野積みの処理場が存在する。さらに、一日当たり3,000tの収容力を有する138haのDa Phuoc埋立処分場が新規に試験運用されている。

本報告では、ホーチミン市における廃棄物埋立処分場の現状や、汚染の実例、および埋立処分場の状態を改善するための方策を整理する。

2. 都市廃棄物の発生量および組成

ホーチミン市における廃棄物収集量、人口、国内総生産 (GDP) の経年変化を図2に示す。都市廃棄物は急激に増加しており、これは都市人口の増加や生活様式、食習慣、生活水準の変化によって引き起こされていると考えられる。また、ホーチミン市においては、住宅地および商業地域から発生する都市廃棄物は分別回収されておらず、発生量は2003年において一日当たり6,000t以上であったが、収集量は一日当たりわずく4,800tであった (VEPA, 2006)。ベトナム環境保護庁 (VEPA) によると、2005年のベトナムにおける都

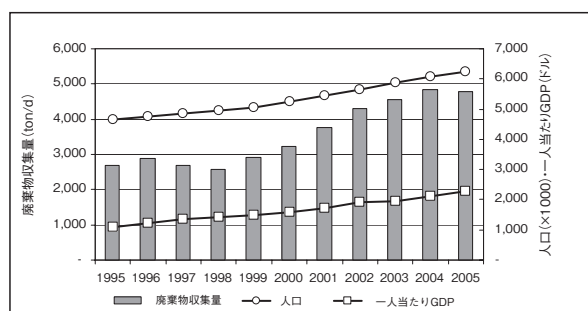


図2. ホーチミン市における都市廃棄物発生量, 人口, GDPの経年変化 (Center of Environmental Technology and Management, 2006; Statistical Office in HCMC)

市廃棄物の平均発生量は一人一日当たり0.9～1.3kgであった。この値は低所得層および中間所得層のアジア圏の国々の平均発生量（一人一日当たり0.4～1.1kg）と比べて、わずかに高い (Hogland et al., 2005)。加えて、ベトナムにおける海外および国内からの旅行者は1990年の25万人から2001年の250万人へと増加したが、旅行者らはホテルで一人一日当たり

0.5～32.3kgの廃棄物を排出していると試算されている (Trung and Kumar, 2005)。

表1はホーチミン市の各地区における都市廃棄物発生量を示す。廃棄物発生量は一人一日当たり0.5～1.0 (平均0.74) kgであった。これらの値は都市化の進んでいない2区, 7区, 9区, 12区, Binh Chanh県, Hoc Mon県, Thu Duc区において低かった。対照的に発生

表1. ホーチミン市各地区の平日の都市廃棄物発生量 (2003年)

	人口*	廃棄物発生量 (ton 日 ⁻¹)**	一人当たり廃棄物発生量 (kg 人 ⁻¹ 日 ⁻¹)
1区	232,186	230	0.99
2区	113,727	79	0.70
3区	223,274	189	0.85
4区	202,415	187	0.92
5区	211,809	187	0.89
6区	267,769	237	0.89
7区	143,035	84	0.59
8区	352,158	294	0.84
9区	164,891	104	0.63
10区	250,189	229	0.92
11区	248,976	220	0.88
12区	227,930	117	0.51
Phu Nhuan 区	184,987	172	0.93
Binh Thanh 区	413,705	354	0.86
Tan Binh 区・Tan Phu 区	680,040	448	0.69
Go Vap 区	406,087	203	0.50
Thu Duc 区	247,698	144	0.58
Hoc Mon 区	220,337	140	0.64
Nha Be 県	68,856	54	0.78
Binh Chanh 県・Binh Tan 県	440,083	225	0.51
Cu Chi 県	265,857	226	0.85
Can Gio 県	64,183	48	0.75
合計	5,630,192	4,171	0.74

* Statistical office of HCMC. ** Institute for Environment and Resources, 2005.

量が多かったのは、生活水準の高い都市部である1区, 3区, 5区であった。廃棄物の量や質は家族構成, 収入, 教育レベルのような多くの因子と関連しているが、ホーチミン市内でもその状況は多様なようである (Stephen, 2007, Sujauddin et al., 2008)。

表2にホーチミン市における固形廃棄物の組成例を示す。家庭廃棄物と建設廃棄物によってその大半が占められている。さらに、ホーチミン市の住宅地における典型的な家庭廃棄物の組成を表3に示す。食品廃棄物, ボール紙, 紙, ガラス, 缶, ゴム, 革のように, 多様な廃棄物が含まれている。有機物が多いため, 廃棄物の頻繁な収集および除去が衛生管理のために必要であり, 堆肥化が有望な処理方法の選択肢と考えられている。プラスチック, 布, ゴム, ガラス, 金属のような不燃物に加え, 電池, 電球, 油のような危険な廃棄物も, 分別システムが欠如しているために混在している。

表2. ホーチミン市の固形廃棄物組成 (2002年1 - 6月)

	重量%
家庭廃棄物	74.6
建設廃棄物	18.7
浄化槽からの有機性廃棄物	3.7
有害廃棄物	2.0
河川・運河に投棄された廃棄物	0.9
医療廃棄物	0.1

Institute for Environment and Resources, 2005

表3. ホーチミン市の家庭廃棄物の組成 (2003年)

	重量%
食品残渣	60.14
プラスチック	3.13
紙, ダンボール	5.35
缶	1.24
ガラス	4.12
土砂, 瓦礫	17.14
皮, ゴム	3.23
衣類, 木材	4.38
その他 (電池, 電球, など)	1.27

Center for Environmental Engineering of Towns and Industrial Areas, 2003.

3. 固形廃棄物の収集およびリサイクルシステム

ホーチミン市における都市廃棄物の収集およびリサイクルシステムの概略を図3に示す。ホーチミン市の都市廃棄物の約70%は, これらの公益会社や民間会社によって収集されている (VEPA, 2005)。家庭, 街路, 市場, 公園, 河川や運河から発生する廃棄物は, 地方自治体の公益会社が主に収集している。公益会社とともに, 民間会社も廃棄物置き場・集積所へ都市廃棄物を収集, 輸送している。日常の収集は, 各戸に訪問して行われるか, もしくは地域の収集コンテナや貯蔵所が利用される (Mehra et al., 1996)。世帯当たりの収集料金は, 一月当たり約10,000VND (ドン) である。廃棄物置き場・集積所からの廃棄物の輸送および最終処分場の建設, 運用は, ホーチミン市環境会社 (City Environmental Company; CITENCO) が行っている。

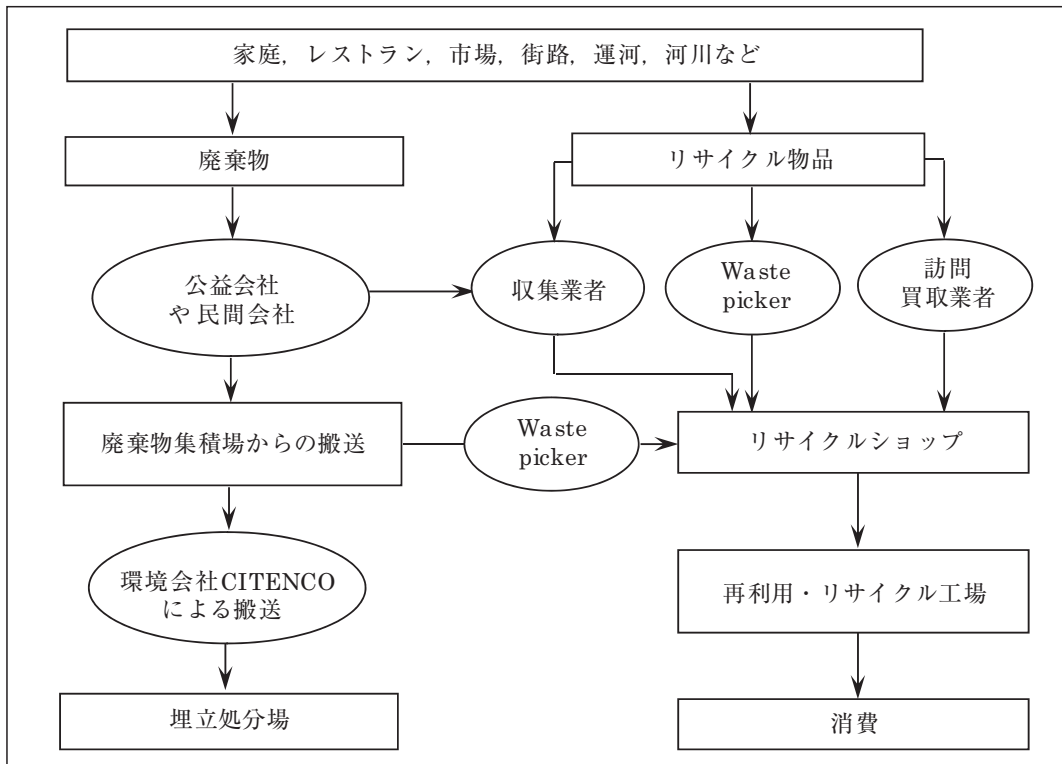


図3. ホーチミン市の都市廃棄物の収集・再利用システム

また、waste pickerと呼ばれる人々の活動は、都市廃棄物中の有価物の回収において重要な役割を果たしている。再資源化および再使用は、廃品回収業者によっても行われており、プラスチック、紙、金属、ガラスは、巡回する廃品回収業者によって集積場から再資源化業者へと輸送され、収集および輸送過程においても、作業員および収集者によって輸送される。鉄、非鉄金属、廃タイヤ、紙、ボール紙、プラスチック、ガラスなどが再利用・再資源化されており、多くの民間会社が、物質を収集、売買、再加工している。廃棄物の再資源化および再使用は、2003年に設立されたホーチミン市の固形廃棄物管理事業部によって推奨されており、ベトナム環境保護庁（VEPA, 2005）によると、廃棄物を再資源化しやすいように分別すれば、都市廃棄物を10～12%削減することができると予想されている。

4. 埋立処分場の現状

Dong Thanh処分場

Dong Thanh処分場はHoc Mon県Dong Thanh区に位置する。この埋立処分場はホーチミン市の中心からわずか9 kmの場所にあり、1989年ごろの不法投棄を起源とする。1992年に43haの範囲に覆土が行われ、公的な埋立処分場となり、埋立てが行われた期間の収容力は一日当たり約4,000tであった。Dong Thanh処分場は2002年末に都市廃棄物の受入れを停止した。2006年12月からは、建設廃棄物（一日当たり約1,000t）および浄化槽由来の有機性廃棄物（一日当たり100～300t）を受け入れている。この埋立処分場は衛生埋立型の処分場としてデザインされていないため、周辺環境や公衆衛生に悪影響を引き起こしており、廃棄物によって害獣および害虫が大量に発生している。埋立処分場から発生する浸出水は、周辺の水域に流れ込んでおり、2000年の6月・7月には、雨期における多量の降水によって池の堤防が決壊し、未処理の浸出水が溢れ出すことで、周辺地域を深刻に汚染した。埋立処分場の周囲に生えていた樹齢4年の約1,500本の木々が、溢れ出した浸出水によって枯死してしまっている。こうした現状に対して、2001年4月には、近隣住民が埋立処分場に廃棄物を運搬するトラックの通行を妨害する運動を起こした。2002年12月には、強い臭気が埋立処分場から5 kmの範囲に及んだ。2004年にも、約200,000m³の浸出水が池に流出し、その汚染によって埋立処分場から2 km圏内に存在する浅井戸（深さ15m以下）および深井戸（深さ35m以上）が使用できなくなった（VEPA, 2006）。2007年3月には、有機性廃棄物によって発生した蠅が周辺地域で爆発的に増加した。埋立処分場や周囲における表層水および地下水の汚染は、現在も続いており、公衆衛生や生活環境の保全に関する問題は解決されていない。

Go Cat処分場およびTam Tan処分場

Dong Thanh処分場における深刻な汚染を経験し、行政は新規埋立処分場の計画および建設にあたって、いくつかの改善を進めた。Go Cat処分場およびTam Tan処分場は、衛生型嫌気性処分場として建設された。このホーチミン市環境改善計画は、1999～2007年にアジア開発銀行の援助によって行われた。Binh



図4. ホーチミン市のGo Cat埋立処分場

Tan区の都市部に位置するGo Cat処分場は2001年から運転されている（図4）。この嫌気性処分場は25haの面積を有し、混合廃棄物を一日当たり2,000t受け入れる収容力を有する。また、2002年にホーチミン市はDong Thanh処分場を拡張する代わりに、Cu Chi県に埋立処分場を新設することを決定した。一方、Phuoc Hiep区の45haの土地においては、2003年からTam Tan埋立処分場が運転されている。農村地域にあるこの処分場の収容力は一日当たり3,000tである。

これらの埋立処分場は、朝6時から夜6時まで廃棄物を受け入れている。まず、廃棄物は、トラックで計量所に輸送される。処分場の側面および底部には、浸出水の漏出を防ぐため、厚さ2mmの高密度ポリエチレン（HDPE）シートが設置されており、廃棄物は埋められ、圧縮減容される。悪臭を減少させるため、EM菌と呼ばれる微生物の培養液が毎日散布され、殺虫剤も一週間に一度散布されている。廃棄物層が厚さ2.2mに達するごとに0.15～0.3mの厚さの土で覆われる。本計画の特徴の一つに、埋立地ガス回収・発電の実施が含まれており、廃棄物層が予定された高さ（Tam Tan処分場においては10m、Go Cat処分場においては17m）に達すると、バイオガスの発生を促進し、効率的に回収するためにHDPEシートで覆土層の表面が覆われる。その後、表面の覆いを貫通した縦型ガス抜き管と浸出水集排水管が設置される。

しかしながら、モンスーン気候による降水量の多さは、これらの埋立処分場では必ずしも十分に考慮されていない。ホーチミン市の年間降水量1,800mmのうち、80～85%が通常5月～10月の雨期に集中する（PCHCMC, 2002）。雨によって極めて多量の浸出水が発生し、浸出水処理施設は高負荷状態になり、さらに施設の不適切な管理によって周辺水環境の水質汚濁が生じてしまっている。限外ろ過膜を使用しているGo Cat処分場の浸出水処理施設は、一日当たり400m³の計画処理能力を有するが、2006年8月にろ過膜が詰まったため、一日当たり50m³で運転されている。また、モンスーン風は、周囲の居住地域に悪臭と粉塵の被害を拡散させており、Go Cat処分場からの強い悪臭は、Binh Tan区、Tan Phu区、Tan Binh、その他12の地域の居住者に悪影響を与えている。一方、Tam Tan処分場は、浸出水処理施設が設置されていない状態で2003年1月に運用が開始されたため、5月には漏出した浸出水が6,000m²の水田と20haの畑に大損害を与えた。そのため、Phuoc Hiep区の居住者は、Tam Tan処分場に廃棄物を運搬するトラックの通行を妨害する運動を起こした。この問題の解決策として、行政は、300m圏内の居住者に対して健康診断のための補償金を支払うこととなった。

5. 浸出水およびガスの発生

埋立処分場から発生する浸出水とガスによって、環境リスクが引き起こされている。浸出水は埋立物に含まれる水分と、浸透する雨水により、物理的、化学的、微生物学的反応によって量と組成を変えながら移動する。その水質は、廃棄物の種類、埋立て方法、地理的条件、気候、年数などの条件に影響を受ける。埋立処分場の水収支は正確には測定されていないが、Dong Thanh処分場、Go Cat処分場およびTam Tan処分場における浸出水の発生量は、一日当たりそれぞれ約600、400および500m³であり、雨期にはより多くの浸出水が発生する (ODAP, 2003)。表4および表5は、それぞれDong Thanh処分場およびGo Cat処分場における浸出水の水質を示す。浸出水は有機物含有量が高く、暗色を呈し、有機物の腐敗に伴う強い臭気を示す。浸出水の水質は降水量に強く依存し、生物化学的酸

表4. Dong Thanh処分場の浸出水組成

	乾期 (2002年2月)	雨期 (2002年8月)
pH	6-8.24	7.79-8.26
全溶存物質 (g l ⁻¹)	13.2-15.9	11.4-15.8
硬度 (gCaCO ₃ l ⁻¹)	0.7-6.1	0.4-2.5
浮遊物質 (mg l ⁻¹)	243-3,270	447-793
COD (g l ⁻¹)	8.6-65.3	7.1-22.9
BOD (g l ⁻¹)	4.4-33.6	2.6-12.8
全窒素 (mg l ⁻¹)	1,804-2,783	1,683-2,637
全リン (mg l ⁻¹)	9.6-42.2	18.8-23
Ca ²⁺ (mg l ⁻¹)	187-1,844	40-454
Mg ²⁺ (mg l ⁻¹)	81-405	40-340
Fe (mg l ⁻¹)	89-710	95-134

Center of Environmental Technology and Management, 2003.

表5. Go Cat処分場の浸出水組成

	乾期				雨期			
	2003年11月		2004年4月		2004年5月		2004年8月	
pH	4.8	6.2	5.6	6.5	7.6	7.9	7.8	8.6
全溶存物質 (g l ⁻¹)	7.3	12.2	18.3	20.7	9.1	11.1	9.4	16.1
硬度 (g-CaCO ₃ l ⁻¹)	5.8	9.7	5.7	8.1	1.5	1.9	0.6	1.5
浮遊物質 (g l ⁻¹)	1.8	4.3	0.8	6.7	0.2	0.2	0.1	0.2
BOD (g l ⁻¹)	30.2	48.4	39.0	48.5	1.0	1.9	0.8	2.7
COD (g l ⁻¹)	39.6	59.8	50.6	57.3	1.4	2.7	1.1	4.0
BOD/COD	0.76	0.81	0.77	0.85	0.70	0.70	0.73	0.68
全窒素 (mg l ⁻¹)	560	900	980	1,800	400	550	300	380
有機態窒素 (mg l ⁻¹)	250	410	300	790	30	160	50	140
NH ₄ ⁺ -N (mg l ⁻¹)	250	430	580	1,550	370	390	230	320
NO ₂ -N (mg l ⁻¹)	0	2	0	2	0	2	0	2
NO ₃ -N (mg l ⁻¹)	0	5	0	5	0	5	0	5
全リン (mg l ⁻¹)	12.5	17.1	29.3	32.9	4.7	9.5	5.2	12

Sang et al., 2007.

素要求量 (BOD) および化学的酸素要求量 (COD) は雨期に低下する傾向にある。モンスーン気候特有の夏期の激しい降水は浸出水の発生量を増加させ、生物分解の促進や希釈によって水質は大きく変化する。全有機物質質量に対する易分解性有機物の割合の指標である BOD/COD 比は高く、生物学的プロセスによる処理が適している (Sang et al., 2007)。しかしながら、浸出水の量や質の変化が処理プロセスの設計や運転に考慮されていないため、雨期は浸出水の急増や、逆に乾期には汚濁物質の高濃度化によって、浸出水処理施設は過負荷となる。全般に BOD, COD, 全窒素濃度は高く、それぞれ、50, 100, 60mg l^{-1} という国の排水基準値 Type B (TCVN 5945-1995) を満たすことは容易ではない。

また、埋立処分場からは、メタン、CO₂、CO、窒素、硫化水素、アンモニアのような様々なバイオガスが生じており、毒性や刺激臭を有する。Go Cat 処分場のガス発生量は、2005～2014年において、メタンが233,600t、CO₂が646,050tと推定されている。メタンは、エネルギー源として利用できるため、2.43MW (年間平均生産16GWh規模) の発電所が2005年からGo Cat 処分場で運転されている。廃棄物から回収されるエネルギーは、1kWhあたり600VNDでホーチミン市の電力会社に直接売却されている。Tam Tan 処分場にも新たな発電所が設置される予定である。なお、ハノイでは処分場からのメタン発生量および排出挙動が、京都議定書に規定されているクリーン開発メカニズムを適用するために調査されている (Ishigaki et al., 2008)。

6. 廃棄物埋立処分場の改善に向けて

ホーチミン市では、設備や運転管理のコストの低さから、埋立処分が当面は都市廃棄物の主要な処理方法として継続されると考えられる。行政にとっての長年の課題は、衛生型処分場の建設場所の選択であった。2002年までに、Tam Tan 処分場 (Cu Chi 県 Phuoc Hiep 区) 新地区に822ha、Da Phuoc 処分場 (Binh Chanh 県 Da Phuoc 区) に256ha、Thu Thua 処分場に1,760haの3つの衛生型処分場が新設され、総面積は2,838haとなった。Tam Tan 処分場には、埋立処分場に付随して、家庭廃棄物、産業廃棄物、有害廃棄物のための焼却炉が建設される予定である。メコンデルタのLong An 省に位置するThu Thua 処分場は、未だ計画段階である。Dong Thanh 処分場およびGo Cat 処分場がホーチミン市の中心からほど近い位置にあるのに対し、新規処分場はホーチミン市の中心から40～60km離れている。新規処分場への廃棄物の輸送コストは高くなるが、人口が少ない地域にあるため、埋立地由来のリスクは低くなるであろう。

また、既存の埋立処分場を改善することがホーチミン市の持続可能な発展のためには必

要である。バイオガスを活用した電力の供給は魅力的であるが、メタンを発生させ続けることによって、著しく汚染された浸出水や悪臭の発生を長引かせるような第二の問題を生じる懸念もあり、電力供給よりもむしろ周辺住民の健康影響の低減を優先しなくてはならない。埋立処分場の問題を直ちに解決することは困難であるが、全ての問題の解決に向けて、行政区分を超えた協調的な努力が必要である。まず、処分場周辺の住宅は、安全な他の場所へ移設されるべきである。降雨に直接的に曝されないように廃棄物の即日覆土は徹底すべきであり、乾期と雨期では中間覆土の頻度も変更することが望ましい。また、現存する浸出水処理施設は、適切な雨水排除と十分な浸出水貯留を可能にした上で改修されるべきである。悪臭の低減のために処分場周辺に植樹を施し、生育することも重要であろう。表層水や地下水の水質、浸出水とバイオガスのモニタリングも必要である。

現存する処分場および計画段階の処分場において、浸出水循環や、強制または受動的な通気運転 (Chong et al., 2005) が、廃棄物・浸出水の減容に効果的であると提案できる。埋立処分場の現状を改善するため、浸出水循環によって生物反応を制御し、バイオリアクターとして埋立処分場を運転すれば、ガスや電力の生成を促進することが期待できる。さらに、受動的あるいは強制的な通気によって、埋立処分場の好気性微生物を刺激し、廃棄物の安定化を促進することも有望である。廃棄物の分解に關与する微生物の研究もGo Cat処分場において実施されている (澤村ら, 2007)。また、浸出水循環と通気の両者を同時に行う埋立処分場バイオリアクターは、嫌気性・好気性の微生物群を活性化し、悪臭や浸出水の発生を抑制する効果は更に高くなると思われる。いずれの場合においても、浸出水が適正に集排水されるように設計し、維持管理することが最低限の条件となるため、遮水工と集排水管の建設には不備がないように注意を払う必要がある。仮に、埋立処分場がバイオリアクターとして適切に運転されるならば、長期期に見てモニタリングと管理の期間・コストを大幅に減少させることが期待できる (Reinhart et al., 2002; Sang et al., 2008)。

謝辞

ベトナムとの交流の契機を与えてくださいました藤田正憲教授 (大阪大学名誉教授、高知工業高等専門学校校長) に感謝します。また、本研究の一部は、日本学術振興会-ベトナム科学技術アカデミー拠点大学交流事業およびニッセイ財団環境問題研究助成の支援を受けて実施されました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- Center of Environmental Technology and Management, [2003] Report: Reducing methods of pollution from old landfill sites and applying stabilization waste for agriculture (in Vietnamese).
- Chong, T.L., Matsufuji, Y., Hassan, M.N., [2005] Implementation of the semi-aerobic landfill system (Fukuoka method) in developing countries: A Malaysia cost analysis. *Waste Management*, vol. 25, pp. 702-711.
- Hogland, W., Visvanathan, C., Marques, M., Manandhar, D.R., [2005] Landfill in Asia, improving sanitation of landfill sites. *Waste Management World* July/August, pp. 87-96.
- Institute for Environment and Resources, [2005] Report of waste-econ program funded by CIDA-Industrial waste in HCMC (in Vietnamese), pp. 38-41.
- Ishigaki, T., Chung, C.V., Sang, N.N., Ike, M., Otsuka, K., Yamada, M., Inoue, Y., [2008] Estimation and field measurement of methane emission from waste landfills in Hanoi, Vietnam. *Journal of Material Cycles Waste Management*, vol. 10, pp. 165-172.
- Mehra, R., Du, T.T.N., Nghia, N.X., Lam, N.N., Chuyen, T.T.K., Tuan, B.A., Tran, P.G., Nhan, N.T., [1996] Women in waste collection and recycling in Hochiminh City. *Population and Environment*, vol. 18, pp. 187-199.
- ODAP Newsletter: No. 15 [2003].
- People's Committee of Ho Chi Minh City, [2002] VIE/96/023 project, Technical reports for the HCMC environmental quality management strategy, Section 2, Part 2 and Part 10.
- Reinhart, D., McCreanor, P., Townsend, T., [2002] The bioreactor landfill: Its status and future. *Waste Management Research*, vol. 20, pp. 162-171.
- Sang, N.N., Soda, S., Sei, K., Ishigaki, T., Triet, L.M., Ike, M., Fujita, M., [2007] Performance of lab-scale membrane bioreactor for leachate from Go Cat landfill in Ho Chi Minh City, Vietnam. *Japanese Journal of Water Treatment Biology*, vol. 43, pp. 43-49.
- Sang, N.N., Soda, S., Sei, K., Ike, M., [2008] Accelerative stabilization of solid waste and monitoring of microorganisms in anaerobic/aerobic lab-scale landfill bioreactors. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, vol. 106, pp. 425-432.
- 澤村啓美・山田正人・宮城俊彦・石垣智基・池道彦, [2007] 亜熱帯・熱帯地域の廃棄物埋立地における微生物生態系の調査. *水環境学会誌*, vol. 30, pp. 621-628.
- Stephen, J.B., [2007] A review of municipal solid waste composition in the United Kingdom. *Waste Management*, vol. 27, pp. 1274-1285.

ベトナムホーチミン市における都市廃棄物の埋立処分場の現状 (Nguyen・惣田・石垣・清・池)

Sujauddin, M., Huda, S.M., Hoque, A.T., [2008] Household solid waste characteristics and management in Chittagong, Bangladesh. *Waste Management*, vol. 28, pp. 1688-1695.

Trung, D.N., Kumar, S., [2005] Resource use and waste management in Vietnam hotel industry. *Journal of Cleaner Production*, vol. 13, pp. 109-116.

Vietnam Environmental Protection Agency, [2005] Report of State of Environment, Vietnam, 2005.

Vietnam Environmental Protection Agency, [2006] Report of State of Environment, Vietnam, 2006.