

｜ 第6章 ｜

都市の有機性廃棄物—有害物を資源に



第6章 都市の有機性廃棄物—有害物を資源に

1. はじめに

途上国の、特に人口が密集した都市部において、未回収または不適正にしか処理されていない有機性廃棄物は衛生上有害であり、深刻な社会問題となっている。しかし、この有機性廃棄物は植物の養分とエネルギーを有しており、資源となる潜在力を秘めている。有機性廃棄物が引き起こす問題を軽減しようと地方自治体が取る典型的な施策は、収集システムを作り、集めた廃棄物を町はずれの荒廃地などにオープン・ダンピング(野積み)することである。その結果、近隣の住民(低所得層であることが多い)は健康・環境両面の影響に曝され、なかでも、捨てられたごみの中から有価物を取り出すウェイト・ピッキングで生計を立てている人々がさらされているリスクはさらに大きい。このため、多くの地方自治体はオープン・ダンピングを埋立地に転換しようと努めているが、その内容は、周囲をフェンスで囲うだけのものから、排ガスと排液(滲出水)の回収システムを備えた施設まで、さまざまである。既存のオープン・ダンピングを改善して整備するという方法は、財政的には比較的容易であり、当座の健康リスクを回避し環境汚染物質の流出を軽減することができる。しかし、長期的には、家庭系廃棄物を分別しないまま埋立地に輸送するのでは、次のようなさまざまな理由から持続可能な選択肢とはいえない。すなわち、埋立地の適地はどこでも限られており、しかもその土地は他の用途に必要とされている。混入している有価資源が埋め立てられて価値が消失してしまう。埋立地から滲出する物質によって周辺の土壌、植物、地表水、地下水が汚染される可能性がある。有機物が分解して発生するメタンは強力な温室効果ガス(GHG)のひとつである。気候変動対策における廃棄物セクターの重要性は、国際的にますます強く認識されてきている(IPCC 2007)。

本章では、アジア太平洋地域の途上国の都市部における有機性廃棄物処理と気候変動の関連性を取り上げ、持続可能な開発と気候変動政策の両立を可能にする施策を明らかにしようと試みる。対象とするのは、家庭、商業施設等から排出される食物残渣及び家庭ごみを中心とする生分解性廃棄物であり、これらの廃棄物の処理に伴って発生するメタンの放出をいかに回避(または回収利用)するかという点に焦点を当てることにする。結論として、コンポスト化(堆肥化)が廃棄物処理によるGHGの発生を抑制する1つの方法であり、当該地域での実施可能性が高いと考えられた。従って、本章では都市部におけるコンポスト化の導入と普及の実態を分析する。特に、いかにすれば国と地方の政策立案者がコンポスト化のイニシアティブを促進できるかという点に着目していく。本研究は、当該地域の主要先進国における有機性廃棄物管理に関する政策についての文献調査ならびに現地6カ所のケーススタディーについての文献調査、現地視察及びヒアリングにより実施した。

2. 廃棄物処理によるGHGの放出

廃棄物処分場の嫌気性条件下で有機性廃棄物が分解すると、メタンを約50%含有するバイオガスが生成される(IPCC 2006)。メタンは温暖化の寄与度が二酸化炭素(CO₂)の25倍も強いGHGであり、地球温暖化の要因である人為的排出物としてはCO₂に次いで量が多い(IPCC 2007)。有機性廃棄物の処理過程で排出されるCO₂は、生物学的炭素循環の一部とみなされているため、人為的GHGの排出量には含めないのが普通である。

廃棄物処分場から発生するメタンは世界の人為的GHG排出量のおよそ3~4%を占めている(IPCC 2006)。より多くのメタンを排出しているセクターは他にあるものの、廃棄物からの排出はこの

ように既に相当な量になっており、途上国の今後の経済成長と消費形態の変化により、さらに増大するものと考えられている。このセクションでは、アジア太平洋地域の途上国における廃棄物管理過程からの GHG 排出量を、1995 年と 2025 年の廃棄物発生量についての世界銀行による推計値に基づいて算定する。併せて、2000 年の最新データに基づく算定値も提示する。

2.1. 1995 年と 2025 年のメタン放出量

廃棄物処分場でのメタン発生は以下の要素に依存する。すなわち、(i) 固形廃棄物の総量、これは人口規模と生活水準によって決定される、(ii) 固形廃棄物の組成、そして (iii) 廃棄物処分場の特性 (例えば、気候、容量・深度、pH、水分) である。今後、固形廃棄物の発生量は、人口増大、所得増加及び工業化の進展により増大し、その結果、廃棄物処分場からのメタン発生量も加速する可能性があると考えられている (Bogner *et al.* 2007; USEPA 2006)。

世界銀行が実施した研究 (Hoornweg *et al.* 1999) では、調査対象国の都市部人口 1 人当たりの廃棄物発生量は 1995 年から 2025 年までの間に 1.14~1.73 倍に増加すると予測している。また、同研究は 2025 年までに廃棄物の組成も大幅に変化すると予測している。廃棄物発生量の急激な増加と組成の変化は、限られた財源と未整備の廃棄物管理システムに難題を投げかけるであろう。また、廃棄物処理技術が現在の水準に留まるとするならば、廃棄物量の増大はそのままメタン排出量の増大につながってしまう。

表 6.1. 廃棄物発生量と廃棄物処分場からのメタン放出量 (1995 年と 2025 年)

国名	1995 年実績			2025 年予測		
	MSW 発生量 (kg/人/日)*	メタン放出量 (千トン/年)	メタン放出量 (kg/人/年)	MSW 発生量 (kg/人/日)*	メタン放出予測量 (千トン/年)	メタン放出予測量 (kg/人/年)
中国	0.79	898.52	2.35	0.90	4,075.12	4.93
インド	0.46	474.55	1.92	0.70	2,774.92	5.37
インドネシア	0.76	457.49	6.52	1.00	1,581.74	9.05
タイ	1.10	165.33	9.44	1.50	424.39	13.58
フィリピン	0.52	127.83	3.46	0.80	451.11	5.61
マレーシア	0.81	68.91	6.08	1.40	281.11	11.09
バングラデシュ	0.49	38.66	1.46	0.60	243.69	3.29
ベトナム	0.55	31.76	1.96	0.70	189.87	4.60
ミャンマー	0.45	18.46	1.61	0.60	106.41	3.94
カンボジア	0.69	2.67	1.64	0.80	25.50	3.50
ラオス	0.69	1.33	1.64	0.80	10.41	3.50

* MSW 発生量のデータは Hoornweg *et al.* 1999 の引用による。MSW = 都市廃棄物

1995 年と 2025 年のメタン放出量は、IPCC のガイドライン (IPCC 1997) の物質収支法を用いて算出した。調査対象国のメタン放出量は 2025 年までに 2.6~9.6 倍にも急増すると予測されている (表 6.1)。

人口 1 人当たりのメタン放出量は 1995 年レベルの 1.4~2.8 倍に増加すると予測されている。平均するとおおむね倍増との予測である。さらに、国連人口局の推計によれば、対象国の都市部人口は 1.8~4.5 倍に増加する。これを重ね合わせると、廃棄物処理からの GHG 排出量が急速に増加し、今後ますます重要になっていくことは明白である。

1995 年の人口 1 人当たりのメタン放出量は、タイ、インドネシア及びマレーシアが、それぞれ 1 日 9.4 kg、6.5 kg、6.1 kg と、他の国々に抜きんでいた。2025 年には、経済成長と都市化の進行により、マレーシアが全調査対象国の中では人口 1 人当たりで第 2 位のメタン排出国となるものと見込まれる。

2.2. 2000年のメタン放出量

ほとんどの調査対象国での急速な経済発展が進む一方で、廃棄物に関する基礎的データの信頼性が必ずしも十分ではないことに鑑み、より最新のデータを用いて排出量を再計算してみた。各国の固形廃棄物発生量を算出するため、国別の人口1人当たり廃棄物発生量を各種文献から求めた。次いで、国別の人口1人当たり廃棄物発生量と2000年の都市部人口データ(国連統計より)を用いて、各国における都市廃棄物の発生量を算出した。その他の変数は、IPCCガイドライン2006年版の既定値を用いた(IPCC 2006)。

表 6.2. 2000年都市廃棄物からのメタン放出量

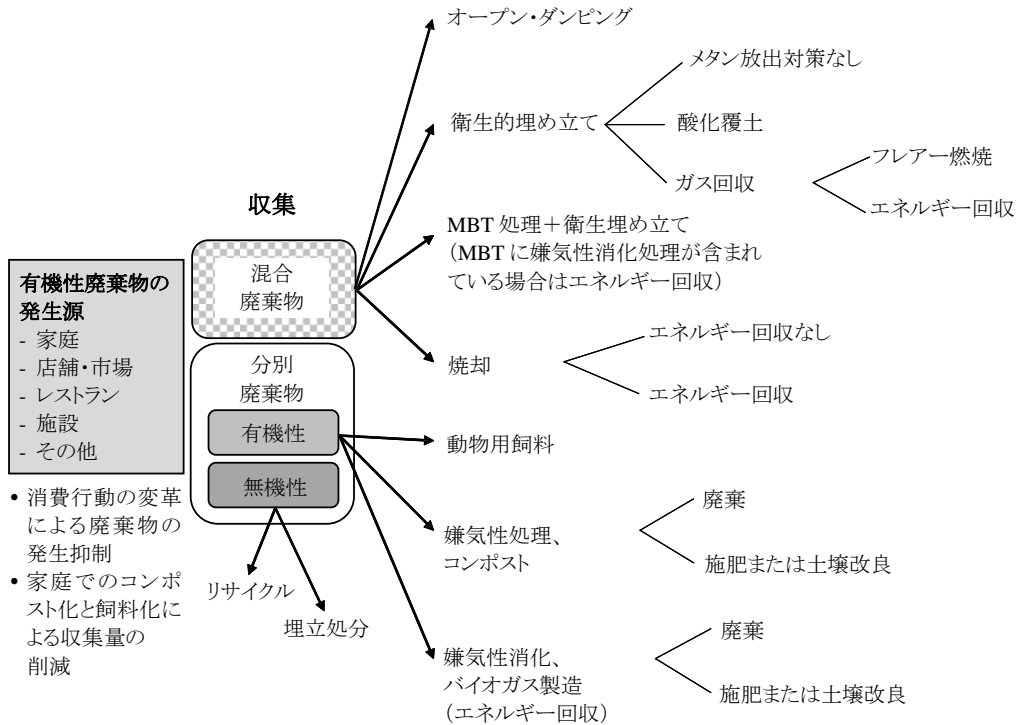
国名	都市廃棄物発生量 (kg/人/日)	都市部人口 (千人)	廃棄物処分場 での 処分率	メタン放出 予測量 (千トン/年)	1人当たり メタン放出量 (kg/人口/年)
中国	1.00	456,247	0.50	2,281	5.00
インド	0.47	281,255	0.70	1,121	3.98
インドネシア	0.77	88,863	0.80	663	7.46
タイ	1.10	18,974	0.80	176	9.26
フィリピン	0.52	44,327	0.62	173	3.90
マレーシア	0.82	14,212	0.70	98.8	6.95
バングラデシュ	0.49	31,996	0.50	94.9	2.97
ベトナム	0.70	19,006	0.60	96.7	5.09
ミャンマー	0.44	13,290	0.60	42.5	3.20
カンボジア	0.76	2,223	0.40	8.18	3.68
ラオス	0.75	1,018	0.40	3.70	3.63

廃棄物セクターのメタン排出総量は一義的に都市部の人口規模に支配される。予想されるとおり、排出量が最も多いのは人口が多い国、すなわち中国とインドである(表 6.2)。両国はまた、GHG排出量の世界上位5カ国内にもランクされている(Baumert *et al.* 2005)。すでに2000年の時点で、調査対象国の廃棄物セクターからのメタン排出量は1995年よりも1.1~3.1倍にまで増加している。今回の再計算では、2000年の人口1人当たりメタン排出量は中国、ベトナム、カンボジア及びラオスにおいてすでに2025年の予測値を上回ってしまっている。もし現在の傾向が続くなら、排出量の大幅な増加が予想される。

3. 有機性廃棄物の処理

途上国における都市廃棄物の処理方法として最も一般的なのは、オープン・ダンピングと単純埋め立てである。その主たる理由は投資額と運営費用が低廉だからである。しかし、これらの処理方法による環境問題はよく知られており、冒頭で述べたように、多くの地方自治体と地域社会がより優れた方法を導入しようと試みている。しかし皮肉なことに、オープン・ダンピングを一定の深さの圧縮式の埋立処分方式に転換した場合、高さもあまりなく緩やかに積んだだけのオープン・ダンピング方式に比較し嫌気性条件となるため、メタンの発生が増加する可能性がある。このため、埋立処分場を整備することによって、地方政府は健康影響、水質汚濁、悪臭、土地不足という地域の環境問題を、気候変動という地球環境問題に転換してしまうというリスクを犯すのである。しかし、図 6.1 が示すように、都市有機性廃棄物の処理方法の代案はいくつも存在し、それらの採用実績も徐々にではあるが増えてきている。本セクションではこうした主な処理方法を紹介し、特にGHGの排出抑制に着目しつつ持続可能性の観点から、それぞれのメリットとデメリットについて検討する。

図 6.1. 都市有機性廃棄物の処理方法



注：MBT＝機械生物処理

3.1. 廃棄物の発生抑制

持続可能な廃棄物管理のための最も根本的な戦略は廃棄物の発生抑制であり、いかなる廃棄物管理計画も廃棄物の発生そのものを抑制する努力を排除することは許されない。廃棄物の発生抑制には資源の節約と廃棄物の収集・処理コストの低減という一挙両得のメリットがある。先進国では廃棄物の発生抑制の意義が広く認識されるようになってきている (OECD 2000)。ほとんどの途上国では 1 人当たりの廃棄物発生量は比較的少なく、発生抑制の余地は先進国に比べて小さいともいえるが、他方、途上国においても、とりわけ都市部においては、先進工業国の国民と同程度の廃棄物を排出する人の数が増加している。廃棄物発生的大幅抑制には、多数の家庭が消費行動様式・生活習慣を改めることが必要であり、短時日で実現できることではない。

廃棄物の収集・処理に責任を持つ地方自治体から見れば、各家庭がコンポスト化して自家消費や農地や牧草地の肥料として使用することは、廃棄物の発生抑制策と考えることができる。しかし、今回の検討では、その他の生物処理方法と併せて論じることとする。

3.2. 高度な埋立処分法

3.2.1. 埋立地でのガス処理

埋立地でのガス回収は 1970 年代から実施されており、世界各地 1,100 ヶ所以上に設備が設置されている (Willumsen 2003)。よく見られるのは、埋立地の埋め立て完了区画(埋め立て敷地の一部分)を囲いで覆い、当該区画で発生するガスを配管システムで捕集する方式である。回収したガ

スフレア—燃焼するかあるいは燃料として利用することができる。回収ガスが化石燃料を代替すれば、気候変動対策としての効果がそれだけ増えることになる。

先進国の高効率の設備では、約 90%という回収率が達成されている。しかし、このように高い回収率は、覆土が適切に行われ、ガス回収配管が緻密な格子配置(グリッド)となるように設計されている最終処分地でないと実現は難しい。途上国の場合、回収率は一般に低く、漏洩率は 60%にも上ると推定されている(Hoornweg *et al.* 1999)。CDM 用のガイドラインで推奨されているプロジェクト案のガス回収率は 50%である。従って、気候政策の観点からは、ガス回収設備付き埋め立てという方式は、有機性廃棄物の処理方策としてあまり適切であるとはいえない。

埋立地からのメタン放出を抑制する別の方法は、酸化覆土の利用である。メタン酸化細菌は好気的条件下でしか活動できないので、細菌によるメタン分解が進むよう、酸化覆土の換気を十分に維持する必要がある。酸化覆土の効率は、厚さ、基質、温度及び湿度に左右されるが、75%に達する除去率も報告されている(Chiemchaisr 2008)。

もう 1 つの方法は、埋立地全体に通気してメタン発生を抑制する方法である。配管システムを設置し、処分場区画に空気をポンプで送出することによって、嫌気性条件の拡大を抑制してメタンの発生を抑制するというものである。

3.2.2. 機械選別・生物的処理

機械選別・生物的処理(Mechanical-Biological Treatment: MBT)とは、未分別の廃棄物に前処理を施した後、埋立地に埋め立てるという組み合わせ式の処理方法を指す。さまざまな方式を設計することが可能ではあるが、よく見られる MBT 前処理方式としては、(i)鉄やプラスチックのような再生利用可能な物質を機械的に除去し、その後、(ii)有機成分を生物学的に部分的に分解する、という組み合わせがある。生物学的工程には嫌気性と好気性とがあり、発生するバイオガスの回収工程を含むこともある。MBT 法の採用により、廃棄物を 40%も減量化し、埋立地からの浸出水とガス放出を大幅に低下させることができる(Visvanathan *et al.* 2005)。処理済みの廃棄物に含まれる汚染物質が低レベルならば、埋立地に埋め立てるのではなく盛土用途に使うことも可能であるが、食料生産用に利用してはならない。

すでに幾つかの MBT システムが欧州を中心に稼働している。また、ドイツの資金的・技術的支援により、中国とタイに幾つかの MBT システムが設置された。これらの事例のほとんどで採用されている技術は、手選別を多くし、好気性処理だけを組み込んだ簡単なものである。途上国にとっての本方式の可能性を評価することは、現時点では難しい。

3.3. サーマル・生物処理法

3.3.1. 焼却

都市廃棄物の焼却処理は先進工業国では広く普及しており、現在、全世界で 600 以上の施設が稼働している。焼却には幾つかのメリットがあり、そのためこれだけ広く普及しているのである(Bogner *et al.* 2007)。すなわち、焼却は有機系廃棄物の持つ衛生上のリスクを実質的に除去し、廃棄物の体積を大幅に縮減する。メタン発生を完全に抑制し、化石燃料由来エネルギーの代替として電気と熱を産出することも可能である。

しかし、都市廃棄物の焼却処理に成功している途上国は少ない。途上国の廃棄物は一般的に先進国と比べてカロリー値が低い。また、水分が比較的多く、特に湿潤な熱帯地方ではその傾向が強い。このため石炭をはじめとする補助燃料を加えなければならないことが多い(Solenthaler and

Bunge 2005)。その結果、回収可能なエネルギーは少なく、コストが高くなる。焼却プラントの所要投資額は他の方式に比べて高額であり、用いられる技術も高度なものである。しかも、焼却処理は有害性の極めて高いダイオキシンなどの汚染物質を排出するとの理由で、多くの都市で強い抵抗にあっている。こうした物質の排出は燃焼ガスの高度処理によって相当低いレベルにまで抑制することができるが、焼却プラントの投資額は大幅に上昇してしまう。

3.3.2. コンポスト化

コンポスト化とは管理された条件下で微生物に有機物を分解させる好気性プロセスである。これにより廃棄物の体積は約 3 分の 1 に減少する。コンポスト化はさまざまな規模で実施可能であり、小さいものは個人の家庭から、大きいものは 1 日当たり処理量数百トンの大規模集中施設までいろいろである。コンポスト化技術もさまざまであり、すべて人手で行うものから、分解中の廃棄物を機械で曝気するものまでである。また、天然に存在する微生物をそのまま活用するものがある一方、処理時間短縮のためにミズのような虫（蠕虫コンポスト化）や特殊な微生物を添加するものもある。処理過程で高温になるため残渣物には病原体が含まれておらず、土壌成分の改良や土壌への養分添加目的に利用することができる。ほとんどの種類の土壌がコンポスト添加によってメリットを受けるが、特に有機成分の含有度が低い砂質・粘土質の土壌では有用性が高い。乾燥地帯では、コンポストは土壌の保水率向上に役立つ。また、コンポストは都市部あるいは都市周辺部の農業向けの資源となり、農家にコンポスト代金の負担能力がある場合は都市の住民（または地方自治体）にとっての収入源ともなり得る。コンポストはもともと農村部では長年にわたって行われているもので、目新しく実績の乏しい方法というわけでは決してない。ただし、コンポスト化にも若干のリスクとデメリットがある。すなわち、コンポスト化のプロセス管理が不十分な場合は、異臭が発生したり、媒介生物に起因する疾病が蔓延したりする懸念がある。しかし総体的には、コンポスト化は技術的にシンプルであり、アジア途上国の多くの地方自治体にとって、埋め立てによる最終処分に対して経済的に実現性の高い方法であるといえるだろう。

理想的条件の下ではコンポスト化によるメタン発生はないが、実際には嫌氣的分解により若干のメタンが放出される可能性はある。このリスクは、コンポスト化のプロセス管理が不適切な場合、とりわけ基質の曝気が不十分であったり、含水率が多すぎたりした場合に高くなる。 N_2O も若干放出される可能性があるが、少量であり、埋め立て処理した場合の発生量に比較すれば無視できる量にすぎないとの研究結果がある。最近の研究では、ある種の蠕虫コンポスト化はかなりの量の N_2O を発生することがあると報告されている (Hobson *et al.* 2005)。このような初期的所見は、蠕虫コンポスト化が本格的に推奨可能となるまでには、なお一層の研究が必要ということを示唆している。コンポスト化によるガス排出の度合いは個々のコンポスト化の方式やプロセス管理の良否に依存するため、コンポスト化が気候変動にどの程度貢献するのか、具体的結論を出すことはできない。また、コンポスト化によるガス発生に関する研究はほとんどが先進国で実施されたものであり、本研究の対象国とは条件が大きく異なっている。しかしながら、幾つかの国の環境担当省庁は、適切に実施されれば、コンポストから発生する GHG の量は極めて少量であると結論づけている (MFE 2002)。

3.3.3. 嫌気性消化

嫌気性消化は農業廃棄物、有機性産業廃棄物及び下水汚泥の処理に長年使われているが、都市廃棄物に利用されだしたのはつい最近のことである。これは圧縮型埋め立てと基本的に同じプロセスである、すなわち、微生物が無酸素状態で有機物を分解し、メタン濃度の高いガスを発生するプロセスである。このプロセスは密閉したタンクの内部で進行させ、ガスを回収する。嫌気性消化ではコンポスト化に比べて悪臭の発生は少なく、より小さい面積で同程度の消化能力が達成できる。発生ガスは燃料として利用できるので化石燃料の代替となり、残渣は好気性プロセスで処理すれば、肥料として利用可能である。理論上は嫌気性消化には多くの利点があり、先進工業国中心ではあるが幾つかのシステムが実用化されている。

しかし、現実の条件下では、メタンガスが消化タンク及びガスを燃料とする燃焼機関から若干漏出することは避けられない。英国における研究では、農場の消化設備から 3.4～8.4%の排出が確認されており、デンマークにおける別の研究では、ガスを燃料とする燃焼機関からの漏出は平均 3.5%と見積もられている (Reeh and Møller)。しかしながら、途上国では平均の漏出率はこれを上回り、個々のケースでは相当高いものになると想像して間違いないだろう。

3.3.4. 家畜用飼料

食品廃棄物を家畜用飼料として利用することは、人類が家畜を飼育するようになって以来ずっと行われてきた。これは農村部では現在も一般的に行われているが、大都会では極めて限定的な需要しかないのが普通である。中国、カンボジア及びタイでは、家畜用飼料用途に食品廃棄物を比較的大規模に収集している事例が存在するが、一般的にはこの選択肢は有機性廃棄物管理において副次的役割しか期待し得ない。

3.4. 各種有機性廃棄物処理方法の評価

一般的に、有機性廃棄物を前処理またはガス制御なしで埋め立て処分することは、持続可能性の観点から好ましいとは言えず、選択肢としては排除すべきものである。埋立地のガス回収及び酸化覆土方式の採用は、既存の埋立地及び現在操業中の埋立地からの将来の GHG の排出を抑制するために重要な役割を果たし得る。しかしながら、未処理の有機性廃棄物用に埋立地の新規造成を検討している地方自治体は、たとえガス回収設備が計画に含まれていたとしても、以下の事項に留意すべきである。すなわち、(i) GHG の排出量は依然として比較的高いこと、(ii) 利用可能な栄養分が喪失され汚染物質に混入してしまうこと、(iii) 当該用地はより生産的な用途に活用される可能性があること、そして (iv) 水質汚染の危険性がゼロとはならないこと、である。

焼却方式は途上国の多くの都市にとって、コスト高または実現不可能であり、地域の廃棄物処理の本命と考えることはできない。ただし、公衆の理解が得られるのなら、一部の新興工業国では焼却方式も重要な役割を持ち得ると思われる。MBT は主として一つの前処理方式ととらえるべきであり、埋め立て方式が持つ諸問題を軽減するものと理解される。

持続可能性の観点からは、生物処理方法 (コンポスト化と嫌気性消化) が優れた利点を有している。これらは GHG の排出量を大幅に削減し、栄養分を回収し、低コストで小規模なものから導入可能である。両プロセスのいずれが低廉かという点については、文献調査した中で意見が分かれているが、焼却方式に比べればいずれも大幅に低廉であることは間違いない。嫌気性消化はコンポスト化よりも技術的に複雑であり、プロセス操作は専門のスタッフが行わないと良好な性能は発揮されない。それに対してコンポスト化は労働集約的に実施することが可能であり、それだけ雇用機会を創出できる。設備投資額も少なく済むため、資金的制約のあるプロジェクトにはコンポスト化が特に適している。高度な技術は必要とせず、極めて小さい規模でも採用できるという特徴もあるので、コンポスト化はコミュニティ主導型の廃棄物管理には非常に適した選択肢であるといえる。Barton *et al.* (2008) による最近の調査も同様の結論に至っており、コンポストの普及が途上国においてオープン・ダンピングを改善する第一歩であると指摘している。

以上のことから、本章のこれ以降ではコンポスト化に焦点を当て、各国の中央政府及び地方自治体が気候変動緩和に配慮した廃棄物管理改善方策としてのコンポスト化を、いかにして推進していけるか検討することとしたい。ただし、だからといって、いかなる都市のいかなる有機性廃棄物でも、コンポスト化が最善の処理方策と考えられるというのではない。製造したコンポストを食料生産に利用するには、汚染物質の混入を効果的に防止する必要があるが、これをすべての廃棄物に対して実施するのは不可能である。とはいえ、コンポスト化は多くの都市で重要な役割を果たすことができる。とりわけ、自治体に廃棄物収集・処理能力が不足し、未回収廃棄物が腐敗して生活環境を悪化させ、大きなスラム地区を抱えているような都市では、大きな意味を有している。

これまで述べてきた各種処理方式は必ずしも対立するものではない。個々の地域条件に応じて、地方自治体と地元の関係者が幾つかの方式を組み合わせ、相乗効果が出るような統合的システムを構築することが必要なのである。処理方式の成否を左右する要因には次のようなものがある。すなわち、廃棄物の量と組成、経済条件、各種処理方式の過去の採用実績、家庭での分別に対する意識・意欲、廃棄物問題に取り組む NGO またはコミュニティグループの有無、利用可能な用地の状況及び有機肥料の需要である。典型的には、最善のシステムとは複数の処理方法を適切に組み合わせたものであり、またいかなるシステムであれ、時間の経過とともに諸条件の変化に適応していかなければならない。

4. 都市廃棄物のコンポスト化

このセクションでは、アジアの途上国の都市部におけるコンポスト化について検討し、同地域でコンポスト化を推進するための施策について考える。まず、アジアの廃棄物セクターにおけるプロジェクトの財政支援の現状について述べる。次に、有機性廃棄物管理に関する各国の政策を概観し、アジアの途上国 5 カ国におけるコンポスト化の現状について簡単に述べる。対象国には廃棄物セクターの GHG 算定排出量が上位の国々を含む(表 6.2)。そして、コンポスト化が重要な役割を果たしている 6 つの都市におけるケースについて分析する。最後に、これら各国の概観と各都市における事例の分析結果に基づき、都市部のコンポスト化を支援するための中央政府及び地方自治体の政策について改善策を提言する。

4.1. 気候政策と廃棄物セクター

現在のところ、気候変動についての懸念は、アジアの途上国における都市廃棄物の管理に関する政策決定に大きな影響を与えるには至っていない。それよりも公衆衛生やコストといった要因が優先事項となっている。しかしながら、今後数年のうちに、アジアの途上国は他の国々と同様に、気候変動の危機に直面し、自らの排出量を抑制する措置を講じなくてはならなくなる。そのためには、社会の関連セクターすべてが行動を起こすことが必要であり、廃棄物セクターも当然含まれる。従って、いかにすれば、各国の政策担当者が地方自治体、地域社会、その他関係者に対して、気候変動の緩和に貢献して、より持続可能な廃棄物管理システムを展開するよう働きかけられるかを検討することは、十分意義のあることなのである。

気候政策と廃棄物セクターを関連づけるものは、京都議定書に基づく CDM である。CDM プロジェクトには、その GHG 削減可能量に応じて認証排出削減量(CER)が与えられる。この CER は売却することができるので、廃棄物処理システムのさらなる整備のための歳入をもたらす。CER の平均価格は、2007 年で二酸化炭素換算トン(tCO₂e)当たり 10.90 US ドルと報告されている(Cooper and Ambrosi 2007)。

2008 年 3 月 1 日時点において、全世界の CDM プロジェクト登録数は 1,035 件であり、そのうち 641 件がアジアにおけるプロジェクトである。廃棄物セクターについては、全世界で 256 件が登録されているが、そのうちアジアは 63 件で、全体の 24.6%にすぎない。アジアで上位にある国々はマレーシア(18 件)、インド(13 件)、フィリピン(12 件)、そして中国(10 件)である(CDM Project Activities Database 2008)。

廃棄物セクターで最も一般的な CDM プロジェクトの形態は埋立地のガス回収である。ただし、コンポスト化プロジェクトの CER を算定する方法が近年になって開発され、都市型コンポスト化では初めての CDM プロジェクトが、2006 年にバングラデシュのダッカで登録された。ダッカでのコンポスト化の経緯についてはセクション 4.3.2 で詳述する。その後、中国及びインドでのコンポスト化事業も CDM プロジェクトとして登録された。原則として、一定規模以上のコンポスト化事業は、信

頼性ある基礎データの提出がありさえすれば CDM プロジェクトに認定可能なのである。しかし、この部門での CDM という資金調達法は、まだ利用度が低い比較的新たなチャンスと考えてよいだろう。

各国の廃棄物セクターからの排出 GHG の経済的価値について大まかに推定する目的で、それぞれの推定メタン排出量に CER の平均単価を適用してみた(表 6.3)。その結果、もし発生メタン全量の排出を回避して CER に換金することが可能だとした場合、年間の歳入額は 4 億 US ドル以上に達すると判明した。この潜在的歳入がどの程度であるかを見るため、各国が毎年廃棄物管理に支出している経費の推定額と比較すると¹、13～60%という範囲になる。しかし、小さな自治体では廃棄物管理に対する人口 1 人当たりの支出額は低いので、この数字は実際よりも過大である可能性が高い。従って、この試算結果は十分に注意して解釈すべきものではあるが、市場メカニズムによる潜在的歳入額は、現状の歳出費用との比較において有意であることを示している。

表 6.3. 各国の埋立地からの排出 GHG の経済的価値と都市廃棄物関係歳出額

国名	メタン 排出量 (千トン/年)	CO ₂ 換算量 (千トン/年)	潜在的歳入額 (百万 US ドル)	都市廃棄物 関連歳出 (百万 US ドル/年)	都市廃棄物 関連歳出に対する 潜在的歳入額の 比率(%)
インド	1,121	28,025	305	506	60
バングラデシュ	949	2,373	25.8	46.7	55
フィリピン	173	4,325	47.1	177	27
マレーシア	98.8	2,470	26.9	213	13
ベトナム	96.7	2,417	26.3	66.5	40

4.2. 各国の廃棄物政策とコンポスト化

4.2.1. 中国

中国における都市廃棄物管理は、主として「中華人民共和国固体廃棄物環境污染防治法」によって規制されている。この法律は固形廃棄物を十分かつ合理的に利用することを目的としている (FAOLEX 2004)。2000 年の「都市ごみ処理及び汚染の防止と取締に関する技術的指針」(The Technical Policies for Municipal Refuse Disposal and the Prevention and Control of Pollution of 2000) では、都市廃棄物の処理方法として、埋め立てをその用地が確保可能な場合に最優先とし、焼却を主たる代替案と定めている。しかしながら、同指針には「適切な生物処理技術の積極的開発を図るものとし」との記述があり、コンポスト化に向けた実践的な方法について、独立した項目で扱っている (SEPA 2000)。現在は埋め立てが 85%以上を占めており、そのうちガス回収システムが設置されているものはほとんどない (Wiaofei 2008)。基本的に生物処理は、現在主流の埋立処分と焼却に対する補完的な方法と位置づけられているように思われる。なお、この他中国では廃棄物管理に関する多くの法律が存在する。世界銀行の報告(2005 年)は、固形廃棄物に関する法制度は複雑であり、重複している分野もあれば担当省庁についての規定が欠落している分野もあると指摘している。

Huang *et al.* (2006) は、2002 年に発生した都市廃棄物の約 7%がコンポスト化されたとしているが、2003 年に国連に正式に報告された 4.8%という数字 (UN Statistics 2007) を大幅に上回っている。Xiaofei (2008) の報告では、コンポスト化は、コンポストの品質不良や市況の悪化が主な原因で減少傾向にあり、処理能力も 2001 年の 8.8%から 2005 年には 4.3%と減少した。比較的簡易な槽内コンポスト化を実施している幾つかの都市ではある程度成功しているが、大規模技術を採用した多くの都市では致命的な技術上の問題が発生して、閉鎖を余儀なくされたところもある。こうした施設のコンポストは、金属類、燃え殻、プラスチック類及びガラスが混入した混合廃棄物を原料として使用しているため、一般的に品質が低い。このような低品質のコンポストは限られた用途にしか利用できない上に (World Bank 2005)、製造コストもしばしば市価を上回ってしまうことが報告されて

いる (Rissanen and Naarajärvi 2004)。コンポスト化は地方自治体が主導している場合がほとんどのようである。他国とくらべ、中国においてコミュニティグループや NGO が廃棄物管理に果たしている役割は、おそらくウェスト・ピッカーを除いては、小さいものと思われる (World Bank 2005)。

4.2.2. インド

インドの 2000 年「都市廃棄物(管理及び処理)規則」は、埋め立て処分する廃棄物の量は最小化しなければならないと明確に規定している。さらに、「生分解可能な廃棄物はコンポスト化、蠕虫コンポスト化、嫌気性消化またはその他の適切な生物学的方法により処理するもの」としている (MOEF 2000)。また、コンポスト化及びコンポストの品質基準についての具体的指示も含まれている。しかし、2004 年までにこの新しい規則を遵守し始めた地方自治体はほとんどない (Gupta 2004)。コンポスト化を普及するため、「統合的植物栄養管理のための省庁間タスクフォース」(Inter-Ministerial Task Force on Integrated Plant Nutrient Management) が全国各地に 1,000 基のコンポスト化施設を建設することを提言し、そのために 2 億 US ドルを超える予算措置を講じた (Gopal 2006)。しかし、政府は一方で化学肥料に補助金を給付しているため、コンポスト化事業を成立させるのは採算的に困難である (Zürbrugg *et al.* 2004 年)。

1997 年のインドの都市廃棄物は、その約 10% がコンポスト化により処理されたと推定されている (SOE Asia 2000)。しかし、この推計は 10 年以上も前のものであり、現状での妥当性には疑問がある。人口密度が最も高いデリー市の場合、収集された都市廃棄物の 9% がコンポスト化されたと、最近報告されている (Talyan *et al.* 2007)。インド各地には多くの集中型コンポスト化施設が存在し、その代表的能力は日産 100~700 トンである。これらの施設の大半は地方自治体の委託により民間企業が運営しており、食品市場からの廃棄物だけを処理している。しかし、集中型コンポスト化事業が失敗し、閉鎖に追い込まれた例も数多く存在する。そこに共通する問題は製品の販売に困難を伴うことであった。

1990 年代以降、小規模で人力によるコミュニティ規模のコンポスト化施設が市民のイニシアティブと NGO により開始された。この動きはバンガロール、チェンナイ、プネ、ムンバイなど多くの主要都市に広がっている (Zürbrugg *et al.* 2004)。ムンバイでは、コミュニティによるコンポスト化によって地方自治体の廃棄物処理費用が削減されたとの報告もある (Sarika 2005)。

都市部でコンポスト化を行おうとしたときは、たいていの場合高額な用地費が問題となるが、地方自治体が無償または低廉な地代で用地を提供している例が多い。これはコミュニティグループが主導であっても民間企業であっても共通している (Ali 2004)。もう 1 つの共通障害は、コンポスト化施設に必要な投資資金を借りることが困難であるという問題である。銀行は廃棄物処理プロジェクトを高リスクと見ており、高金利を要求したり融資に消極的であったりするのである (前掲)。

4.2.3. インドネシア

インドネシアでは、1999 年に都市住民に対する公共サービス事務の多くが地方自治体に移管された。中央政府の役割は主として地方レベルに対する指針と技術的支援の提供だけになったのである。しかしながら、地方政府には都市廃棄物の収集・処理システムを企画、構築、運営するための財源は限られており、そのための十分な技術的・経営的能力も欠けている (Sanitation Country Profile 2004)。2004 年以来、インドネシア政府は地方の都市廃棄物管理規制制度を改善するための基本法を制定する考えだが、現在はまだ草案作成の段階である (WALHI 2007)。

廃棄物管理は、インドネシアの各都市において深刻な問題と認識されており、何度か紛争を引き起こしてきた。廃棄物問題に取り組む活発な NGO もいくつかあり、埋立地や焼却施設の建設計画はしばしば強硬な反対運動を受けている。

2000年に都市部で発生した固形廃棄物の1.6%がコンポスト化されたとの報告がある(Sanitation Country Profile 2004)。複数のNGOが首都ジャカルタをはじめ幾つかの都市で分散型コンポスト化を推進している(Pasang *et al.* 2007)。

4.2.4. タイ

タイでは、1992年以来、都市廃棄物管理に関して4つの重要な法律が成立しているが、コンポスト化はそのいずれにおいても具体的な規定がない。しかし、1998年になって、工業省がコンポスト化を産業廃棄物の処理方法の代替案と位置づけ(MOI 1998)、2005年には農業協同組合省がコンポストと生物性肥料の品質規格を強化した。

タイにおいてはコンポスト化の促進の一つの要因として、健康的なイメージの輸出型農業・食品産業の発展を図るという国家的戦略を持っていることが挙げられる。このため、天然資源環境省が幾つかのコンポスト化事業を推進しており、県、地区、準地区レベルでも自治体によるプロジェクトが提案されている。さらに、幾つかのタイの大学では、家庭でのコンポスト化の方法の改良に関する研究が行われている(Thaipost 2004; Tripetchkul and Chaiprasert 2003)。

また、2007年には省エネルギーと代替エネルギー生産促進の目的から、エネルギー省と内務省の間で、エネルギーと都市廃棄物管理の問題について協力する旨の覚書が調印された。両省が目標として打ち出したのは、発生した有機性廃棄物は燃料生産、肥料用のコンポスト化及び魚類養殖用飼料の生産という形で有効利用しなくてはならないとするものである(OPT 2007)。

4.2.5. フィリピン

フィリピンでは、2000年に「環境配慮型固形廃棄物管理法」(Ecological Solid Waste Management Act of 2000)が成立したが、そこでは廃棄物の発生抑制、発生源での分別及び再利用(リサイクル)の必要性が強調されている。都市廃棄物の焼却は1999年の大気汚染防止法によって明示的に禁止されている。この環境配慮型固形廃棄物管理法は、コンポスト化の役割を強調しており、フィリピンの最小行政単位であるバラングイに対して環境に配慮した固形廃棄物管理計画の策定と「資源回収施設」の設置を義務づけている(NSWMC 2000)。

しかしながら、同法の実施は容易ではなく、2007年時点で約4%のバラングイがわずか1,714件の施設を設置していたにすぎない(Ecowaste Coalition 2007)。このように実施が進まない原因として指摘されているのは、法規制の軽視、政治的意志の欠如、財源不足、面倒で時日を要する行政手続、不十分な技術的能力、収集用車両の量的・質的な不足そして各家庭への働きかけの困難さなどである(Globe-Net 2007)。Sapuay(2006)は、同法が固形廃棄物管理に変革をもたらすためのインセンティブをいかに創るかということよりも、技術面の詳細に偏重しており、また法律違反に対する罰則が軽いため、多くの当事者は都市廃棄物の管理体制を整備するよりも処罰を受ける道を選ぶと指摘している。さらにChiuは、同法で義務化された「固形廃棄物管理基金」(Solid Waste Management Fund)がまだ設立されていないことが一因と見ている。

1997年時点では都市廃棄物の10%がコンポスト化されたとの推定がある(SOE Asia 2000)が、最近の状況については推計値がない。コンポスト化が成功した事例を見ると、NGOかコミュニティグループが推進した活動が大半であり、地方政府やバラングイによるものは少ないように思われる。フィリピンでは有機食品の市場が成長中であり、農業省は有機肥料の使用を奨励している。それでも多くのコンポスト化事業が製品市場を見出すのに苦勞していると報告されている(Chiu)。

4.2.6. 分析と政策提言

最も注目されるのは、アジア太平洋地域の二大国、中国とインドに関して、それぞれの廃棄物政策における優先事項が大きく異なっている点である。すなわち、中国が埋め立て処理を主流と考えているのに対して、インドは埋め立て回避を強調している。また、中国は焼却処理を支持しているが、フィリピンでは法律でこれを禁止している。

いずれの国でもコンポスト化事業が幾つかの都市で操業中であるが、コンポスト化される都市廃棄物の割合は小さい(10%またはそれ以下)のが現状である。ただし、信頼できる統計はなく、報告されている数字は必ずしも正確ではない。欧州諸国と比較した場合、アジアの途上国の都市廃棄物は有機物の含有率が高くコンポスト化により適しているのに、コンポスト化率は低い。

インドとフィリピンは、廃棄物の発生抑制、発生時の分別及び生物処理を強調した都市廃棄物処理に関する法制度を有している。程度の差はあるものの、中国とタイもこれらの廃棄物管理要素を、それぞれの国家政策・国家戦略で強調している。しかしながら、いずれの国々も法目的の実現に向けて条文を実際に運用するための能力が欠けているように思われる。法律上では、高い環境基準を実現するよう、現場の各主体に固形廃棄物管理体制の改善が義務づけられているが、地方政府には通常、必要な財政能力も技術的知見も欠けている。中央政府からは、現場の各主体が法定義務を履行できるようにするための促進誘導策はほとんど講じられていない。

コンポスト化は政府の複数の機関に関係しているため、さまざまな調整が必要なことは明らかである。廃棄物関係法規は環境省が取り扱うのが典型だが、製品が土壌品質の改良に用いられる持続的なコンポスト化にあっては、農業省のような他の機関からの支援が必要である。コンポスト化を普及拡大するにはコンポスト製造の推進のみならず農家における利用拡大の促進が重要である。供給指向型政策と需要指向型政策を調整する省庁間組織が必要とされているのではないかと。

コンポストその他有機肥料の利用拡大に対しては、化学肥料向けの補助金が大きな障害となっている。政府はコンポストの有効利用を促進しようとするなら、これらの補助金を削減するか有機肥料も助成対象に含めるべきである。そのほか、コンポストとコンポスト化施設についての税の減免措置も、中央政府による財政支援策の一つとして考えられる。

調査対象国においてもその輸出先市場においても、有機食品に対する需要は伸長している。このことはコンポストのような有機肥料の需要を増加させることに繋がっている。しかし、こうした傾向があるにもかかわらず、コンポスト化事業の多くが製品市場を見つけるのに困難を感じている。コンポストの製造者とその潜在的需要者との間のマッチングがうまくいっていないように思われる。この点において、各国の政府は取引コストの削減という形で、コンポスト市場の拡大に貢献することが可能である。コンポストのグレード別の公的品質規格、品質管理システム及び表示(ラベリング)制度は重要な政策ツールとなり得る。コンポストの販売と安全使用には、他の成分の混入防止が前提条件であり、過去の混入事例も発生源での徹底した分別が必要であることを示している。コンポスト化事業と肥料会社とのパートナーシップの確立を図ることもまた有効である。コンポスト化事業の多くは小規模で運営されているため、潜在的な需要者を開拓する能力は通常極めて限られている。同様に、有機農業を営む農家も信頼性のある肥料の供給者を見つけるのに苦労している。特にこうした中小規模の関係者については、買い手と売り手が情報交換・交流できるデータベースが有用となろう。農業協同組合とコンポスト化事業のネットワークは、情報の仲介者として重要な役割を果たすことが可能であり、政府はこの面で両者がより活発に連携するよう奨励すべきである。

コンポスト化を実施するのは、さまざまな主体であってよい。廃棄物管理について公的に責任があるのは通常、地方自治体だが、幾つかの国では当自治体よりも NGO やコミュニティグループがコンポスト化事業を運営している場合が多い。こうした事業を円滑に進めるためには、地方自治体が

廃棄物管理計画をさまざまな関係者と対話しながら策定する必要がある。従って、国の廃棄物関連法制の中で、地方の廃棄物管理計画策定におけるステークホルダーの参画を義務化すべきである。

4.3. 都市廃棄物管理におけるコンポスト化 6つのケーススタディー

以下に紹介する 6 つのケースを通じて、コミュニティ主導でのコンポスト化の取り組みから地方政府による事業まで、そして家庭でのコンポスト化から集中システムまでなど、コンポスト化に対するさまざまなアプローチを紹介する。また、これらのケースは異なったタイプの都市や町の代表例でもある。すなわち、バンコクとダッカは国の首都であり巨大都市である。ノタブリとスラバヤは大都市だが、ピサヌロークとサンフェルナンドはともに小さな町である。ダッカとスラバヤにおけるコンポスト化事業は成功例として国際的に知られるようになってきているが、フィリピンのサンフェルナンドはそれほど知られていないものの、地方政府とコミュニティグループとの協力態勢は興味深いモデルである。タイの 3 ケース、すなわちバンコク、ノタブリ及びピサヌロークのケースは、それぞれ異なったタイプの都市の状況を体現しているものであり、またコンポスト化事業の成功度合いも異なっている。各ケーススタディーについては、簡単な背景説明、主な主体とその役割、コンポスト化の仕組みの特徴及び他の都市の参考になるとと思われる教訓を記述することにする。これら 6 ケースの総括表を表 6.4 として示した。

4.3.1. バンコク(タイ)

バンコクは常住人口が約 550 万人で、人口密度は 1 km^2 当たり 3,600 人を超えている。毎日の廃棄物発生量は約 8,369 トン、人口 1 人当たりに直せば 1.5 kg である。バンコクでは家庭でのコンポスト化が試みられたこともあるが、現在は民間企業が行う集中型コンポスト化が主流となっている。

バンコク都(BMA)は、1999年から2002年にかけて各家庭で食品廃棄物から液肥を生産するというキャンペーンを展開した(BMA 2005)。各戸には廃棄物の分解を促進する有用微生物(EM菌)が配布された。この方式は所要期間が短いのが特徴であり、全体で2、3週間しか要しない。得られる液体製品は有機肥料として施肥可能であることはもちろん、例えばトイレなどの消臭剤として利用することもできる。この取り組みに対するBMAの支援は現在は終了しており、家庭でのコンポスト化が現在どの程度の規模で続いているかは不明である。最近、家庭でのコンポスト化への関心が復活し、北九州市の援助により、スラバヤでの経験を取り入れたプロジェクトが進行中である(Baitragul 2007)。

表 6.4. 地方におけるコンポスト・イニシアティブのケーススタディーの比較

実施場所	タイ バンコク市	インドネシア スラバヤ市	タイ バンタブリ市	タイ ダッカ市	タイ バンタブリ市	タイ ピサスローク市	フィリピン サンフェルナンド市
コンポスト化の提唱者	市	NGO	市	NGO	市	市	市・コミュニティ協議 会(バランガイ) 市
主たる実施ステーク ホルダー	市及び受託民間企業	NGO	市	NGO	市及び主婦たち	市	市
国際協力	日本	UNDP 及び UNESCAP	EU:アジア Urbs プロ ジェクト 市場	日本	日本	ドイツ	なし
廃棄物発生源	家庭及び廃棄物多量 排出事業所	家庭及び事業所	市場	家庭及び事業所	家庭及び市場	家庭	家庭
コンポスト化する有機 廃棄物量(トン/日)	1,000	13-14	なし	13-14	0.6	データ不詳、少量	~1
インセンティブ・補助金	バスケット	市が NGO に用地提供	なし	市が NGO に用地提供	所得水準に応じたバス ケット配布	コンポスト・ボックスとマ ーケティング支援(立 上げ時)	市がシュレツダーを供 与し製品コンポストを 買上げ コミュニティ
コンポストの規模	- 家庭 - 集中型大規模	コミュニティ	集中型小規模	コミュニティ	家庭及びコミュニティ	家庭	コミュニティ
コンポスト化技術	- 新ウインドロウ方式 - 槽内コンポスト化	新ウインドロウ方式	バイオセル方式	新ウインドロウ方式	- 新ウインドロウ方式 - 高倉式家庭用バスケ ット	ウインドロウ方式・竹・ セメントボックス	ドラム・コンポスターと 蠕虫コンポスト
コンポスト市場と製品 利用	- 家庭用 - 企業が農家向けに 販売	NGO が肥料メーカー に販売	市が農家に販売	NGO が肥料メーカー に販売	- 家庭用 - 市場向け販売 - 市が使用	家庭用及び市場向け 販売	市の造園・苗床用

家庭でのコンポスト化のほか、BMA は集中型コンポスト化システムも整備している。2005 年以来、同市では教育機関、デパート、ホテル、市場、病院、住宅団地など特定の発生源において分別済みの有機性廃棄物を収集し、3 ヶ所ある廃棄物積替え施設のうちの1つに近接するコンポスト化施設に搬入している。この施設は民間企業に運営を委託しており、有機性廃棄物の処理能力は1日当たり1,000トン、コンポストの生産量としては日産300トンの規模である(BMA 2006)。同施設の従業員数は約100名である。地方自治体にとつての経費は廃棄物1トン当たり15 USドルであるが、これは埋め立て費用とほぼ等しい(BMA 2005)。製品コンポストは1トン約60 USドルという価格で農家に販売されている。

このバンコクの事例は、家庭でのコンポスト化事業は継続的支援がないと持続困難であることを示している。また、市が廃棄物処理事業を民間セクターにアウトソースするという道を選んだ例でもある。

4.3.2. ダッカ市(バングラデシュ)

バングラデシュの首都ダッカ市は、人口700万人で1日の廃棄物発生量は3,200~4,000トンである。現在、市が収集している量はこの半分にも満たず、残りは路上、排水溝及び低平地に放置されており、周辺環境と公衆衛生の悪化をもたらしている。

この問題に対処するため、1995年にウェイスト・コンサーン(Waste Concern)という名のNGOがコミュニティに根ざしたコンポスト化事業をダッカ市で立ち上げた。この活動は官民協同・住民参加型のもので、公共機関がコンポスト化施設の用地を提供し、NGOが技術支援と事業推進を担当する。コンポスト製品のマーケティングは民間企業が行い、各家庭は戸別訪問による廃棄物収集費用として月額0.22 USドルを負担する形で参加している。ウェイスト・コンサーンが当初建設したコンポスト化施設は日量3トンの廃棄物処理能力を有し、1,400世帯から廃棄物を収集し、日量0.75トンのコンポストを生産した。現在稼働している2つの施設では、合計1,800世帯からそれぞれ日量1.75トンと2トンの廃棄物を受け入れている。コンポストは肥料会社との提携により農家に販売されており、1トン当たり37~74 USドルの収入を生んでいる。1998年には中央政府がウェイスト・コンサーンの活動を公認し、UNDPの支援を得て、コンポスト化活動をダッカ市以外の地区にも拡大した。その結果、これまでに26の市町でこのモデルが採用されている。バングラデシュ以外では、UNESCAPの支援の下、ベトナムとスリランカにおいても同様のモデルの取組が進行中である。

ダッカ市におけるコンポスト化事業は、地方政府ではなくNGOが全面的に運営しているにもかかわらず、住民が収集費の負担に応じている点がユニークである。この事業は資金的に自立しており、唯一の助成は政府が用地を無償提供していることだけである。この事例は都市部においても家庭という発生源での分別が可能であり、巨大都市から得られるコンポストでも高品質で農家に有償で販売可能であることを示している。

2006年には、ウェイスト・コンサーンがオランダの共同事業者とともにバングラデシュ政府の協力を得て実施する、ダッカ市大規模コンポスト化事業がCDMプロジェクトとして登録された。これはコンポスト化事業としては世界初のCDM登録プロジェクトである。本プロジェクトの気候変動に対する貢献度は年間89,259 tCO₂eと推定されている(CDM Project Activities Database 2008)。同事業は2008年3月、日量10トンの施設で市場からの廃棄物の受け入れを開始した。同年8月までには処理能力を日量130トンに増強し、家庭からの廃棄物も受け入れる予定である。処理能力については、2009年までに処理能力を日量700トンに引上げる計画である。

4.3.3. バンタブリ市(タイ)

バンタブリ市は人口約 27 万人、人口密度が 1 km² 当たり 6,900 人のバンコク郊外の町である。廃棄物の発生量は合計で 1 日当り 360 トンである。ここで主流となっているのは、市が運営する市場系廃棄物の集中型コンポスト化である。

2002 年に、市が EM 菌を用いた家庭系廃棄物のコンポスト化事業を開始した。この取り組みは現在も続いているが、現在の参加世帯数に関する情報は無い。2005 年からは、市が食品市場で発生する廃棄物日量約 4 トンを処理するコンポスト・センターを運営している。このセンターは、EU の資金・技術の援助の下に建設された。コンポストの品質は高く、農家に販売されている。その収入はコンポスト・センターの運営費用の一部に充当しているが、同市はこの事業は廃棄物処理が主目的であって、歳入目当てではないと捉えている。しかし実際には、同市の推計では、コンポスト・センターは廃棄物管理費の約 1.5% の削減効果をもたらしている。

現在のところ、同市は家庭でのコンポスト化よりも市場系廃棄物²をコンポスト・センターで処理する事業に力を入れている。このケースは、協力してくれる発生源がたった 1 つであっても、自治体がコンポスト化事業を開始することができた好事例である。市場からの廃棄物は汚染物質や不活性物質の混入が比較的少ないので、コンポスト化には最適である。その上、家庭系廃棄物と異なり、市場系廃棄物は収集が容易であり、各世帯に分別実施を説得する必要もないので、立ち上げ期間が短くて済む。従って、市場系廃棄物はコンポスト化を目指す自治体が最初に取り組みむものとして好適であり、そこで経験を蓄積し技術の向上を図ることができる。ただし、市場系廃棄物は都市廃棄物全体の一部に過ぎず、埋め立て削減に与える影響は限られる。

4.3.4. スラバヤ市(インドネシア)

東ジャワ州の州都であるスラバヤ市は、人口約 300 万人のインドネシア第 2 の都市である。スラバヤ市では、集中型コンポスト化と家庭でのコンポスト化の両方が実施されている。日量 40 トン以上がコンポスト化されており、その内訳は 30 トンが市場からの廃棄物で、残りの 10 トンが家庭からの廃棄物である。スラバヤ市は、このようなコンポスト化の取組と発生源での分別の実施により、廃棄物発生量が 2005 年に日量 1,500 トンであったものが 2007 年には日量 1,300 トンと、10% 以上の削減を達成している。スラバヤ市の特徴は、家庭でのコンポスト化を広範囲に実践することに成功したことにある。

2000 年に、大学に本部を置くプスダコタ(Pusdakota)という名称の NGO が廃棄物問題に関する意識啓発キャンペーンを行っていた。またこの NGO が主導して、小規模のコンポスト化事業を立ち上げた。当時のスラバヤ市の都市廃棄物収集・処理システムは劣悪な状況にあり、多くの市民が懸念を抱いていた。市内唯一の埋立地が近隣住民の反対運動で閉鎖に追い込まれると、新たな埋立地へ移行するまでの間、スラバヤ市の一部地区の廃棄物管理体制が事実上崩壊し、耐え難い状況に陥ってしまった。2004 年に入り、財団法人北九州国際技術協力協会(KITA)がスラバヤ市の廃棄物管理体制の整備を支援することになり、コンポスト化についての技術協力を行った。廃棄物管理の深刻な状況が市民の行動を呼び起こし、その後数年の間に小規模家庭用コンポストが次第に広まった。市は早い段階から関心を寄せ、コンポスト化の市内の他地区への普及を支援した。

この仕組みでは、各戸は製品コンポストを自分で使用してもよいし、販売してもよい。しかし、ほとんどの世帯にとって動機づけとなっているのは、コンポスト化から得られる収入ではなく、衛生状態の改善と目に見えた生活環境の向上である。コンポスト化はとりわけ多くの主婦に支持されており、普及活動も主婦層をターゲットにしている。コンポスト化は市が支給した専用バスケットを用いて行われているが、技術は比較的簡単である。

家庭でのコンポスト化に加え、集中型システムも展開されている。このシステムでは、自分ではコンポスト化ができない世帯または戸口収集を希望する世帯から廃棄物を受け入れる。製品コンポストは、市が公園や緑地で使用している。市ではこのシステムを普及させるため、13カ所のコンポスト・センターを建設した。家庭からの有機性廃棄物の収集にも NGO とコミュニティグループが参画し、コンポスト・センターに搬入する。また、彼らが家庭コンポスト化の導入にも努めている地域も多い。

プスダコタは3年間で家庭用コンポスト・バスケットを2万個近く販売したが、これはインドネシアの他の都市でも採用されてきている。この事例の中心的な役割を果たしているのは、NGO、コミュニティグループと市政府で、それが海外からの技術支援と民間会社からの資金援助で支えられている。

4.3.5. ピサヌロック市(タイ)

ピサヌロック市は人口約8万人、タイ北部低地の社会経済活動の中心地である。廃棄物発生量は人口1人当たり日量1.6kg、市域全体で131トンである。コンポスト化は市が主導して、家庭・コミュニティレベルと市レベルの双方で実践されている。

1990年代の後期、ピサヌロック市長がドイツからの資金・技術援助を受けて、家庭コンポストと小規模の集中型コンポスト事業を開始した。各家庭は自らコンポスト化に取り組むか、あるいは有機性廃棄物をコンポスト・センターに持ち込むかする。この事業は住民に好評で、コンポスト化は次第に拡大した。ピサヌロック市の事業が成功例として、タイ中に知れ亘るようになり、その経験に学ぼうと国内各地から見学者が押し寄せるまでになった。市は他の自治体から研修生を受け入れることになり、その資金は国の天然資源環境省から供与された。

しかし、このコンポスト化事業は、当初こそ成功を収め知名度も高かったものの、数年後には低調になってしまった。地域コミュニティの一部の次期リーダーは、前任者ほどコンポスト化に熱心ではなかった。さらに、各家庭もコンポスト化や分別についての熱意が冷めてしまった。コンポスト化は時間と手間がかかるわりに見返りが少ないと、不満を訴えた。若い世代はコンポスト化にかかる時間的余裕はないと感じており、コンポスト化が続いているのは、高齢者がいてコンポストの世話をしている世帯がほとんどである。その結果、現在ではコンポスト化される量が激減してしまった。

コンポスト化されない有機性廃棄物の処理を改善するため、ピサヌロック市は MBT 施設建設の資金供与をまたもドイツから受け入れた。同施設は稼動して数年になるが、直接埋め立てに回っていったはずの分を全量処理している。この施設では有機性廃棄物を減量化するため好気性条件下で分解し、有機物を安定化することにより、埋立地からのメタン発生を抑制する。廃棄物は発生源で適正に分別されていないため、残渣は汚染されており食品生産用途には適さない。この処理施設には日量約80トンの廃棄物が持ち込まれている。

同市は現在、民間企業に委託して、コンポスト・センターの運営とさらなる展開を図らせることを計画している。家庭におけるコンポスト化の過去の経験から、同市は集中型システムが唯一実施可能な解決策と考えている。また同市は、現状の MBT 施設と埋め立ての運営費用を超えない額を負担し、当該民間企業は製品コンポストの所有権を持ち、営利目的で販売する予定である (Hantrakul 2007)。

4.3.6. サンフェルナンド市(フィリピン)

サンフェルナンド市はフィリピンの地方中心都市であり、人口は約12万人である。ここはコミュニティ主導のコンポスト化の仕組みがうまく機能している代表例である。

サンフェルナンド市では、バランガイ(地域共同体)が有機性廃棄物を含め分別された廃棄物を各戸から収集し、機械攪拌システムと蠕虫コンポストの組み合わせによりコンポスト化している。市が製品コンポストを固定価格で買い上げるので、バランガイには安定した収入が保証されている。その他の収入源として、バランガイは再生可能な廃棄物を古物商に販売し、また各戸から収集費用を徴収する。住民は費用を支払うとなると良好なサービスを要求するため、バランガイ・リーダーにはより良いサービスを提供しなければとのプレッシャーがかかる。バランガイの中には廃棄物収集とリサイクルで得た収益と市からの助成金を併せて、自分たちの収集用車両を購入してきたものもある。こうしたバランガイが、廃棄物収集サービスを他のバランガイにまで拡大した例も存在する。

バランガイは廃棄物を減量し、残った廃棄物は自ら埋立地に搬入するので、市には予算節約効果をもたらしている。こうして節減された予算は、収集用車両の購入を希望するバランガイに対する助成に向けたり、コンポストの買い取り保証価格に関わる特別コストをカバーするのに用いたりすることが可能である。このように収集・埋め立ての負担軽減による自治体の費用節約分を、それを肩代わりする人々やコミュニティが分かち合うという仕組みは、コミュニティ主導型の活動に対する財政支援策として有効であり、他の地域にも応用可能と思われる。

4.3.7. 分析と政策提言

以上紹介した事例は、コンポスト化事業にはさまざまな形態があることを物語っている。対象とする廃棄物の排出源、中心となる事業主体、規模と適用技術及び最終製品の用途はそれぞれ異なる。いずれか 1 つのモデルだけが成功の可能性が高いと断定することはできない。コンポスト化している廃棄物の量が多い上位 2 事例(バンコクとスラバヤ)では、それぞれの手法は大きく異なっている。スラバヤ市のコンポスト化はボトムアップ方式で始まり、相当多数の世帯が参画しているのに対して、バンコク市では市が事業を推進しており、特定の大規模発生源に絞ったコンポスト化が行われている。

ほとんどの都市において最も大量の有機性廃棄物を排出しているのは家庭であり、埋め立て処分量の大幅削減を図りたい市としては、家庭系廃棄物対策を展開する必要がある。家庭系廃棄物のコンポスト化は容易なことではないが、成功した事業もあることを、今回の事例は示している。農家に製品コンポストを販売して収入を得ようとする事業にあつては、廃棄物発生源での適切な分別が極めて重要である。従って、各家庭にどれだけの知識と意欲があるかが、成功の鍵を握っている。ただし、ピサヌロークの事例が示すとおり、各戸の意欲は継続的に維持されなくてはならない。初めが好調だからといって、長期的に分別が継続されるとはかぎらない。

スラバヤ市での事例に見るとおり、住民の参加理由は必ずしも経済的見返りだけとは限らない。経済的メリットがあれば、コンポスト化を容易に導入することができるが、多くの家庭にとっては生活環境の改善の方がより効果的なインセンティブになっているケースも多いであろう。住環境の美化は短期間に実現できる目に見えるメリットである。このため、廃棄物の収集体制が未整備の地区では各戸の参画が得やすいのに対して、頻繁な戸口収集に慣れている家庭では参画意欲が高まらないという皮肉な結果になる可能性もある。

コンポスト化に関する目的や動機は、各主体によって異なる。典型的な例を挙げれば、各家庭は清潔で健康的な住環境を求め、自治体は廃棄物管理費用の削減と住民満足度の向上を目指す、環境 NGO は汚染の低減を望み、事業者は収益を、ウェイスト・ピッカーと失業者は安定した仕事を、そして農家は安全で安価な土壌改良剤を求めているのである。これらの目的をすべて十分に満足することは困難であり、ある 1 つのコンポスト化の仕組みが一部の主体の目的に合致したとしても、他の主体の目的にも合致するとは限らない。従って、コンポスト化事業を企画するに際しては、各ステークホルダーが何を期待しているかを明確にし、導入予定のモデルがそれにどの程度対応でき

るかを評価することが重要である。成功のためにはさまざまな主体の協力が必要なのに、一部の主体の期待にしか応えられないような事業は、失敗に終わるのである。

コンポスト化は継続的努力を必要とするものであり、短期間で成果がでることを期待すべきではない。典型的な成功例は、非常に小さな規模からスタートし何年もかけて拡大してきた。過去の経験が示しているとおりに、優良事例だからといって、近隣のコミュニティにでさえ自動的に伝播するというものではない。さまざまな異なる目的を持ったグループを巻き込み、意欲を高めていくような能力を持った指導者が必要とされている。

コンポスト化事業を成功させるには多くの技能が要求される。コンポスト化の技術ノウハウのほか、農業セクターに対するマーケティング能力及び各家庭に対する啓発教育活動の実践能力が必要であろう。通常、単独組織でこうした技能をすべて具備しているところはないので、ネットワークとパートナーシップの確立が極めて重要である。

今回の一部の事例では、国際協力が重要な役割を果たしていた。開発援助機関は必要な投資資金や技術が不足している場合にこれらを提供することができる。これらの機関は多くの国々での活動を通じ、成功事例と失敗事例の両方から豊富な経験を蓄積することができる。援助機関は、ある途上国から別の途上国へノウハウを移転することができるというユニークな立場にいる。ただし、資金援助を得ようとする地方自治体は、その事業が地元の廃棄物処理業者やウェイスト・ピッカーのように既に廃棄物の収集・処理に従事している関係者に対してどのような影響を及ぼすかということに十分に配慮しなければならない。

コミュニティグループや NGO が運営するコンポスト化事業には、地方自治体の資金援助が重要であると考えられる。コンポストの収入だけで財政的に自立することは困難である。上述の事例で見たとおり、支援の形式は次のように多種多様である。すなわち、(i)スラバヤ市の例のように、コンポスト化用具の直接的助成、(ii)サンフェルナンド市の例のように、廃棄物収集用車両の購入資金の助成、または(iii)ダッカ市の例のように、用地の無償又は優遇地代での提供である。また、サンフェルナンド市での事例で見られるように、製品コンポストについての価格保証も適切な支援形態である。収集・処理量が減少すれば、地方自治体は予算が節約できるので、市全体の便益を向上させるために特段の努力をしているグループとの間で、この経済的メリットを分配することは合理的と言えよう。

5. 結論と提言

アジアの多くの都市は、自らの廃棄物処理方式を、現在行われているオープン・ダンピングから埋め立て処分へ改善しようと努力している。こうした処分方式の改善は、現場の環境影響を軽減するだろうが、同時にメタンの排出を増加させ、気候変動を助長してしまうかもしれない。廃棄物管理に関する政策決定者は、この改善が環境負荷を地方レベルから地球レベルに移してしまう危険があることを十分認識し、気候への悪影響がより少ない処理技術を真剣に検討すべきである。

もしも、現在優先的に採用されている処理法が廃棄物処理システムの主流であり続けるならば、途上国における廃棄物分野からの GHG 排出量は、今後 20 年から 30 年のうちに急激に上昇すると予想されている。この急増に歯止めをかけるため、廃棄物管理に関する政策決定者は、国レベルと地方レベルそれぞれにおいて、以下の事項を推進する必要がある。

- (i) 廃棄物の発生抑制
- (ii) 有機性廃棄物に対しては、コンポスト化や嫌気性消化などの生物処理方法の導入
- (iii) 生物処理方法が実施不可能で、廃棄物の組成が適しており、そして厳しい環境基準を満足できる排ガス処理設備が設置可能な場合に限っては、焼却処理

- (iv) 既存の埋立地、または他の処理方式が実施不可能で適切な用地が確保可能な場合には、埋立地におけるガス回収と利用

現在のところ、国別の GHG 排出量において廃棄物セクターは数パーセントしか占めておらず、気候政策の中であまり重視されていないかもしれない。しかし、本章では有機性廃棄物処理の改善は、気候保全のほかにも以下のような大きなメリットをもたらすことが明らかにされた。

- (i) 最終処分量の削減とそれに伴う：
 - a. 処分コストの削減
 - b. 既存処分地の延命化
 - c. 新規処分用地確保の必要性の低減及びそれによる土地利用紛争の軽減
- (ii) 滲出水の地下水及び表流水への漏出の減少
- (iii) コンポストが肥料として利用される場合、栄養分の循環利用と土質の向上
- (iv) コンポストが販売可能な場合、家庭と地域社会にとっての追加的収入機会
- (v) CDM による追加的歳入創出の可能性

本白書の他の章で述べたように、気候政策は他の持続可能な開発に関する政策と切り離して展開することはできず、統合されなければ効果を生むことは難しい。都市部における有機性廃棄物処理の問題は、統合的アプローチが先に概説したコベネフィットを生み出すことを可能にするということの好例である。これまでとは違った処理法を導入することにより、GHG の排出削減と同時に、地元の環境と住民の生活環境の改善が可能なのである。以上の理由から、コンポスト化などの優れた有機性廃棄物処理方法についてアジア途上国の政策決定者はもっと真剣に検討すべきであり、こうした処理方法に対する支援は、国の気候戦略のひとつに位置づけられるべきである。

参考文献

- Ali, M. 2004. *Sustainable Composting: Case studies and guidelines for developing countries*. Water, Engineering and Development Centre. Loughborough University.
- Baitragul, T. 2007. Personal communication. Bangkok Metropolitan Administration, Thailand. 13 November 2007.
- Barton, J.R., I. Issaia and E.I. Stentiford. 2008. Carbon – Making the right choice for waste management in developing countries. *Waste Management* 28: 690-698.
- Baumert, K.A., T. Herzog, and J. Pershing. 2005. *Navigating the Numbers: Greenhouse Gas Data and International Climate Policy*. Washington DC: World Resources Institute.
- BMA. 2005. *Office of Cleanliness 2003-2004*. Bangkok: Bangkok Metropolitan Administration.
- . 2006. *Bangkok State of the Environment 2005*. Bangkok: Bangkok Metropolitan Administration.
- Bogner, J., M. A. Abdelrafie, C. Diaz, A. Faaaj, Q. Gao, S. Hashimoto, K. Mareckova, R. Pipatti, and T. Zhang. 2007. "Waste Management." In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R.Dave and L.A. Meyer, Cambridge, UK and New York: Cambridge University Press.
- CDM Project Activities Database. 2008. <http://cdm.unfccc.int/index.html> (accessed 3 March 2008)
- Chiemchaisri, C. 2008. Personal communication. Kasetsart University, Thailand. 13 February 2008.
- Chiu, A.S.F. no date. *Metro Manila Solid Waste Management and Circular Economy Promotion Study*. Hayama: Institute for Global Environmental Strategies.
- Cooper, K. and P. Ambrosi. 2007. State and trends of the carbon market 2007. Washington D.C.: World Bank. <http://carbonfinance.org> (accessed 1 February 2008).
- Ecowaste Coalition. 2007. Ecowaste Coalition appeals for Barangay leadership and action vs garbage, Central, QC: Ecowaste Coalition, 27 November 2007.
- FAOLEX. 2004. The Law of the People's Republic of China on the Prevention and Control of Environmental Pollution by Solid Wastes. <http://faolex.fao.org/faolex/> (accessed 24 January 2008) Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Legal Office.
- Globe-Net. 2007. Market Reports: the Philippines: Solid waste management. British Columbia: Globe-Net, 25 December 2007.
- Gopal, K. 2006. "Burning biomass is not green." *India together*, 8 July 2006.
- Gupta, S. K. 2004. Rethinking waste management, *India together*, April 2004.
- Hantrakul, S. 2007. Personal communication. Phitsanulok Municipality, Thailand. 9 November 2007.
- Hobson, A.M., J. Frederickson, N.B. Dise. 2005. CH₄ and N₂O from mechanically turned windrow and vermicomposting systems following in-vessel pre-treatment. *Waste management* 25(4): 345-352.
- Hoorweg, D., L. Thomas, K. Verma. 1999. *What a Waste: Solid Waste Management in Asia*. Washington DC: The International Bank for Reconstruction and Development/World Bank.
- Huang, Q., Q. Wang, L. Dong, B. Xi, B. Zhou. 2006. The current situation of solid waste management in China. *Journal of Material Cycles and Waste Management* 8(1): 63-69.
- IPCC. 1997. *Revised 1996 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories: Reference manual*. IPCC: the National Greenhouse Gas Inventories Programme.
- . 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. IPCC: the National Greenhouse Gas Inventories Programme.
- . 2007. "Summary for policymakers." In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of working group III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, edited by B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R.Dave and L.A. Meyer, Cambridge, UK and New York: Cambridge University Press.
- MOEF. 2000. Municipal Solid Wastes (Management and Handling) Rules, 2000. (<http://faolex.fao.org/>) (accessed 24 January 2008) Ministry of Environment and Forests, India.
- MOI. 1998. *Prakard krasuang utsahagam chabab thi hnung por sor 2541, ruang kam kam chad khong sia hruo wassadu thi mai chai laew tam pra rachabanyat krom rong ngan*. [Notification of Ministry of Industry, No. 1 (1998), disposal of waste or unused materials corresponding to the Factory Act 1992]. Bangkok: Ministry of Industry.
- MFE. 2002. *Assessment of greenhouse gas emissions from waste disposal as a result of implementation of the proposed New Zealand Waste Strategy*, Reference No. 19518. Ministry for the Environment, New Zealand.

- NSWMC. 2000. Ecological waste management act of 2000: Republic act No. 9003. <http://eia.emb.gov.ph/nswmc/> (accessed 9 March 2008). Manila: National Solid Waste Management Commission, the Philippines.
- OECD. 2000. *OECD Reference Manual on Strategic Waste Prevention*, ENV/EPOC/PPC(2000)/5/FINAL, Paris: Organization for Economic Cooperation and Development.
- OPT. 2007. *Karn chad karn palangarn ngan chak khaya tessaban*. [Energy management from municipal waste]. Telecom Journal, 9 June 2007.
- Pasang, H., G.A. Moore, G. Sitorus. 2007. Neighbourhood-based waste management: a solution for solid waste problems in Jakarta, Indonesia. *Waste management*, 27(12): 1924-1938.
- Reeh and Møller. No date. Evaluation of different biological waste treatment strategies. <http://orgprints.org/1924>. (accessed 25 January 2008).
- Rissanen, J. and Naarajarvi, T. 2004. *China waste management working paper for streams technology programme*. Shanghai: Tekes Beijing and Environmental Resources Management.
- Sanitation Country Profile 2004. Indonesia. <http://un.org/esa/agenda21/natlinfo/countr/indonesia/sanitationIndonesia04f.pdf> (accessed 24 February 2008).
- Sapuy, G.P. 2006. Ecological solid waste management act of 2000 (RA 9003): a major step to better solid waste management in the Philippines. In *Proceedings: International Conference on Integrated Solid Waste Management in Southeast Asian Cities*, July 5-7, 2005, Siem Reap, Cambodia. Southeast Asian Urban Environment Management Applications (SEA-UEMA) Project, Asian Institute of Technology. pp. 51-58.
- Sarika, R. 2005. Alternative approaches for better municipal solid waste management in Mumbai, India. Waste management (7 November 2005). <http://lib.bioinfo.pl/pmid:16288861> (accessed 9 March 2008).
- SEPA. 2000. Technical Policies for the Municipal Refuse Disposal and the Prevention and Control of Pollution. (http://english.sepa.gov.cn/Policies_Regulations) (accessed 10 February 2008). Beijing: State Environmental Protection Administration, China.
- SOE Asia. 2000. State of the Environment in Asia and the Pacific 2000. UNESCAP. (<http://www.unescap.org>) (accessed 9 March 2008).
- Solenthaler, B. and R. Bunge. no date. Waste Incineration in China. Rapperswil: Institute für angewandte Umwelttechnik (www.umtec.ch) (accessed 9 March 2008).
- Talyan, V., R.P. Dahiya, S. Anand, and T.R. Sreekrishman. 2007. State of municipal solid waste management in Delhi, the capital of India. *Waste management*, 50(3): 240-259.
- Thaipost. 2004. "Research on earthworms for sexual stimulant." *Thaipost*, 22 December 2003.
- Tripetchkul, S. and P. Chairprasert. 2003. *Karn pattana technology karn bambad khaya insri raya thi 1-2* [Development of organic waste treatment technology (Phase 1-2)], Bangkok: King Mongkut University of Technology, Thonburi.
- UN Statistics. 2007. Environmental Indicators. Waste. Municipal waste treatment. <http://unstats.un.org/unsd/environment/wastetreatment.htm> (accessed 26 February 2008).
- US EPA. 2006. *Global Anthropogenic Non-CO₂ Greenhouse Gas Emissions: 1920-2020*. Washington DC: Environmental Protection Agency, Office of Atmospheric Programs, Climate Change Division.
- Visvanathan, C., J. Tränkler, C. Chiemchaisri. 2005. Mechanical-biological pre-treatment of municipal solid waste in Asia. International Symposium MBT 2005 www.wasteconsult.de (accessed 28 January 2008).
- WALHI. 2007. WALHI Jakarta's general perspective regarding the draft law on waste management. Jakarta: WALHI, 25 May 2007.
- Willumsen HC. 2003. Landfill gas plants: number and type worldwide. Proceedings Sardinia'03 waste management and landfill symposium. Cited in Spokas K. et al. 2005. Methane: Signs of progress along the road. *Waste management* 27(4): 459-460.
- World Bank. 2005. Waste management in China: Issues and Recommendations, Urban Development Working Paper No. 9.
- Xiaofei, P. 2008. Personal communication. Policy Research Center for Environment & Economy State Environmental Protection Administration, China. 1 April 2008.
- Zürbrugg, C., S. Drescher, A. Patel and H.C. Sharatchandra. 2004. "Decentralised composting of urban waste – an overview of community and private initiatives in Indian cities." *Waste management* 24: 655-662.

注

¹ 廃棄物にかかる経費のデータは各国の首都についての人口 1 人当たりの経費に各国の都市部人口を乗じて求めている (Hoornweg et al. 1999)。

² 野菜市場から発生する生ごみ

