

国立環境研究所 ニュース

Vol.37
No.4

平成30年(2018)10月

National Institute for Environmental Studies



インドネシア・サクラごみ銀行のごみ保管庫

特集 | アジア圏における持続可能な統合的廃棄物処理システムへの高度化

- 日本とアジアと世界のごみ処理 | 2
- アジア新興国の都市廃棄物問題の解決に向けたとりくみ | 3
- 日本の排水処理技術の東南アジア地域への展開 | 7
- 東南アジアにおける自立可能な廃棄物適正管理技術システムの開発 | 10
- インドネシアのユニークな廃棄物管理・リサイクル政策 | 15
- 国際アドバイザーボード助言会合開催報告 | 19

日本とアジアと世界のごみ処理

山田 正人

日本のごみ処理の代表的な技術として、埋め立てるごみを減らし、生ごみに含まれる有機物を除去する焼却処理があります。また、家庭で行われる排出源分別は、焼却に適さないものを選び分けることで、焼却処理を支えています。昭和の初めにこの2つの技術の導入が始まりました。その後、燃えるごみと燃えないごみの分別から多種類の資源ごみの分別へ、臭い黒い煙が出る露天焼却から、燃焼効率がが高く、高度な排ガス処理設備を備えた焼却施設へ、それぞれ技術は進歩し、今では家庭からでるごみの約8割が焼却処理されるようになりました。

他の世界の国や地域のごみ処理の方法は、長らく、欧米などの先進国においても、集められたごみを直接埋立処分することでした。この方法では、有機物の分解による埋立地からのガスや浸出水の発生が長引き、埋め立て終わって数十年経過しても管理がやめられないという問題が生じました。また、発生するガスの主成分はメタンガスで温室効果ガスの一つです。そのため、1990年代の終わり頃から、欧州で、有機物を埋め立てる前に減らす取り組みが始まりました。その際に導入された主な技術は、ふるいなどを用いた機械によるごみの選別と堆肥化やバイオガス化でした。燃えにくい生ごみを焼却処理するためには、排ガスを処理する設備や燃料が必要なため、建設や維持管理の費用が高くつくからです。

埋立地を管理する上で一番重要なことは、発生する汚水を汚れたまま環境に出さないことで、底部に合成樹脂のシートなどを敷いて地下への水の浸透を防ぐ遮水工が備えられています。底部を遮水すると浸透した降水やごみに含まれていた水が汚水となって埋立地の中に貯まります。そのため、集排水設備と浸出水処理施設が備えられますが、その維持管理にはお金がかかります。そこで欧米がとった作戦は、埋立地の上部の表面も底部と同じように遮水して、降水の浸透を抑え、浸出水量を減らすことでした。この方法は確かに処理しなければならない浸出水量を減らすことはできるのですが、水を減ら

したことで有機物分解が緩慢になり、ガスの発生がなかなか止まらず、前述の維持管理の期間の長期化をもたらしました。

日本の準好気性埋立（本特集の記事「アジア新興国の都市廃棄物問題の解決に向けたとりくみ」を参照下さい）という技術は、浸出水量を減らす代わりに、埋立地の内部でなるべく浄化しようとするものです。埋立地に設置された集排水管やガスを抜くための配管と埋立地内部と外気の温度差を利用し、大気を埋立地内部に導入することで、ごみや浸出水中の有機物の好気性分解を促します。好気性分解は、嫌気性の分解と比べて速度が速く、メタンガスが発生しません。すなわち、準好気性埋立には、浸出水処理のための費用を減らし、メタンガスの発生を抑え、維持管理期間を短縮するという効果があります。

なぜ、日本はこのような、排出源分別、焼却処理、準好気性埋立という独自の技術を生み出したのでしょうか。それは、日本の食べ物に含まれる水の量が多く、気候が温暖で、生ごみが腐りやすく、他のものと混ぜてしまうと分けにくいからです。または、降水量が多く、埋立地への降水の浸透を完全に防ぐことができないからです。この生活様式と気候は多くのアジアの地域に共通するものです。経済発展で都市化が進み、大量に発生するごみに悩まされるアジア新興国に対しては、生活様式や気候が似ている日本のごみ処理技術を、地域に合わせてカスタマイズすることが導入の近道であると考えられます。しかし、そこには技術以外にも超えなければならない課題があります。それはそれぞれの地域の制度や経済のレベルの問題です。すなわち、開発し導入した技術を現地に実装し、根付かせるためには、技術に合わせた制度の構築や、費用の低廉化、資金調達の方法などを同時に検討する必要があります。

本特集では、本稿では触れなかった日本独自の生活排水処理技術である浄化槽を合わせて、アジアに向けた適正な廃棄物処理システムの導入に関する私たちの取り組みを紹介します。

(やまだ まさと、資源循環・廃棄物研究センター
国際廃棄物管理技術研究室 室長)

執筆者プロフィール：

ここ数年は新宿や渋谷の地下現場を徘徊するのが趣味です。夜な夜な多様な音楽が奏でられるステージの上に、未来へと続く新しい種を見つけたときの興奮は、研究上の閃きに似ているのではないかと力説しておきます。



【研究プログラムの紹介：「資源循環研究プログラム」から】

アジア新興国の都市廃棄物問題の解決に向けたとりくみ

石垣 智基

はじめに

アジアの大都市圏ではめざましい経済発展に伴って、廃棄物の発生量の増加と質の多様化がすすんでいます。廃棄物を適切に回収し、環境に対して安全な状態となるよう処理・処分するための都市インフラの整備と公共サービスが拡充され、アジア都市の代名詞でもあった廃棄物の散乱やオープンダンプ（集積投棄）等の状況には改善の兆しがみえています。また、行政による廃棄物リサイクルのための枠組みづくりや、廃棄物のエネルギー転換のための技術導入などもすすみ、廃棄物フローやそれに関わる主体も多岐にわたり複雑化しています。廃棄物処理の改善の度合いは都市の実情によって異なりますが、ほとんどのアジア都市では、廃棄物埋立地の不足という共通の問題を抱えています。これは都市開発に伴って用地確保が困難となったこと、近隣住民の忌避感が強いことなどに起因しており、廃棄物埋立量の削減は解決すべき喫緊の課題として挙げられています。しかし、アジアの大都市は成長を続けており、解決しなければいけない課題は廃棄物問題だけではありません。都市の成長を維持すると同時に、都市における諸問題を解決していくためには、都市の開発計画に沿った形で統合的に廃棄物の管理方法を検討していく必要があると考えます。このような背景で実施している「アジア圏における持続可能な統合的廃棄物処理システムへの高度化」プロジェクト(図1)について、活動のいくつかをご紹介します。

アジア都市における廃棄物管理システム：真の実態を知るには

アジア新興国では、経済成長に伴う都市と地方の格差の拡大が顕著となっており、都市への人口流入が、さらに都市の廃棄物問題を増幅しています。また、リサイクルの実施者についても、個人や小規模で資源回収を営む事業者が今なお存在する一方で、公的および半公的な施設の建設やサービスが導入され公共関与を強めているほか、公共サービスの実施に外資系の廃棄物処理企業が参画したり、再資源化物やエネルギーの安定的な利用先として大規模製造業の協力をあおぐなど、多様な主体が関わっています。

都市の廃棄物管理の実態を知る一次的な情報源として統計は欠かせません。人口・世帯構成、生産力と家計収入・支出、そして廃棄物排出量や組成などの情報は、細かい行政区分で収集されているほど、利用価値は高いものとなります。一方で、都市に移住する低所得者層の一部は、正規の住民登録をせずに都市居住を開始することがあります。貧民街（スラム）を有するコミュニティや区においては、統計には含まれない居住者人口が実態として多くを占めることとなり、同一都市内においても統計情報の信頼性に地域差が生じます。このことは、都市の廃棄物排出実態の誤った解釈につながってしまう恐れがあります。たとえば、統計上の人口より算出した2015年のバンコクの一人一日廃棄物排出量は1.68 kg

特集 アジア圏における持続可能な統合的廃棄物処理システムへの高度化

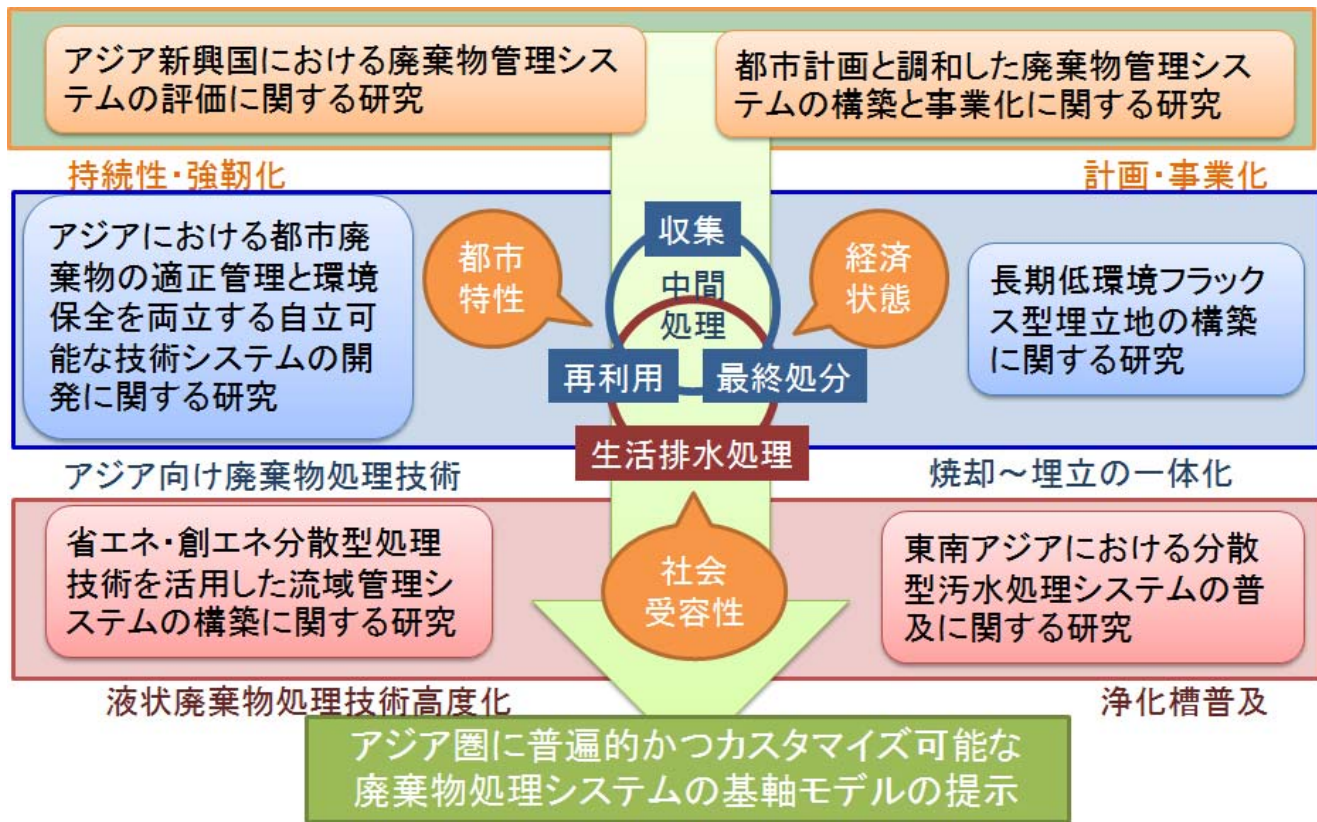


図1 アジアの都市における持続可能な統合的廃棄物管理に向けた学際的なアプローチ

で、これは日本人の一人一日廃棄物排出量である 0.90 kg と比べるまでもなく、世界的に見ても高い水準です。しかし、推計未登録人口を加味した上で再計算するとバンコクの一人一日廃棄物排出量は 1.12 kg となります。このような実態を正しく理解することで、効果的な排出削減策や適正管理のための技術導入が可能になると考えています。また、廃棄物回収に関する統計的な数値と実態の乖離についても大きな問題です。行政としては貧民街に対しても最低限の福祉・公共サービスの実施を図る一方で、その規模や実態が把握できていないことから、適切な開発計画が立てられないのが現状です。都市の衛生管理に関わる廃棄物の回収計画については、収集車両・人員や収集頻度が確保できず、局地的な低回収率エリアを生んでしまっています。未収集の廃棄物は路上や水路に投棄され、景観の悪化、交通障害、ひいては排水機能の損失による都市浸水の発生など、副次的な都市問題を引き起こすことにも留意する必要があります。

廃棄物の性状に応じた処理・処分・資源化技術の検討と開発

すでに述べたように、都市の成長に伴って生じる諸問題の解決を目的として、廃棄物処理・リサイクルに多様な技術導入が検討されています。その際には、都市の状況に見合った廃棄物処理システムとして、廃棄物の排出量や性状の地域差、優先的に解決されるべき課題、導入される処理技術の社会受容性、技術的・経済的な持続可能性が考慮されなければいけません。これまでアジア都市に導入された技術やシステムの多くが定着しなかった理由として、導入された技術が高度すぎる、または現地の状況にあっていない、そのため効果的に運転制御できない、また継続して運転するための追加費用（薬品・保守・人材育成等）が不足する、などが挙げられています。すなわち現地の政策決定者および廃棄物管理の実施者に対して、技術上の課題と長期的な予算確保・人材育成の必要性について正しく情報提供され、その上で合理的な判断をおおぐことが必要です。

埋立地管理方法	埋立期間	エネルギー	温室効果ガス	浸出水	優先的な環境対策
オープンダンプ	△	△	△	× (水質汚染)	崩壊・火災防止 浸出水漏洩防止
衛生埋立	× (長期化)	△	×	× (水質汚染)	浸出水の適正排水・ 処理
浸出水循環	○	× (水循環の動力)	× (嫌気化による 排出量増加)	○	埋立地内の塩分蓄積 未循環水の処理
埋立地ガス発電	× (長期化)	◎ (エネルギー回収)	× (発電終了後)	× (浸出水質悪化)	浸出水質悪化に対応 した高度処理
準好気性埋立	○ (分解促進)	△	◎	◎	水質・水量に応じた 簡易処理設備
強制通気埋立	◎ (分解促進)	× (送気の動力)	◎	◎	乾燥・火災防止

表1 埋立地管理方法と環境・エネルギー的特性

我々は、環境面だけでなく技術面や財政面でもアジア都市の状況に見合った廃棄物処理・リサイクルのための技術とその都市・社会システムでの位置づけを図ってきました。産業強化と環境対策がリンクした「サーキュラーエコノミー（循環経済）」の発想は、製品の長寿命化、生産・消費活動の低エネルギー・資源効率化、未利用廃棄物量の抑制などを包含していますが、アジア都市ではこれからも更新で生じる老朽化した廃製品や、資源価値がなく安全性が懸念される不要物の受け入れ先として、長期的に環境安全な廃棄物処分システムの構築が当面の課題として捉えています。その中心となる廃棄物埋立地にも過去に多くの技術が導入されてきました（表1）。我々は追加コストの必要性が少なく、高度な維持管理を必要としない国産技術である、準好気性埋立のアジ

ア地域への導入可能性について検証してきました。準好気性埋立とは、埋立地内に設置した配管を通じて水分の排出を推進し、その上で埋立地内で発生したガス（主に二酸化炭素とメタン）と外気の交換を促し、埋立地に浸透した酸素を活用して廃棄物分解を促進するという原理に基づく技術です。動力がほとんど不要である点、廃棄物分解の加速化によって汚水の水質が軽減される点、可燃性の温室効果ガスであるメタンの発生量を削減できるという点で、アジア都市にも適した技術であると考えています。ただし熱帯地域においては、雨季の集中的な降水の影響によって埋立地内の水分量が増えるため、効果的な排水によって外気の導入経路を確保することが技術上の課題です。同時に、排水された汚水を環境影響がないように制御することも求められます。準好

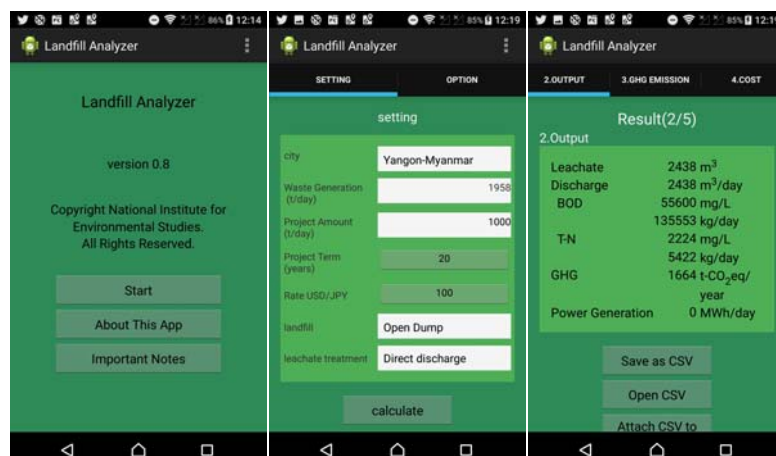


図2 アジア都市の廃棄物管理システムの簡易評価システム（アプリ画面）

特集 アジア圏における持続可能な統合的廃棄物処理システムへの高度化

気性埋立地から発生する汚水の水質はある程度軽減されていますが、雨季の汚水発生量の増加にも対応可能で、高度な維持管理や追加コストを必要としない処理技術として、人工湿地処理の適用が有効であり、準好気性埋立との組み合わせは環境上適正かつ持続的で実現可能性が高いことを明らかにしました。また、都市への統合的な廃棄物処理の導入を簡易に評価可能なスマホアプリを開発し、政策決定者の支援ツールとして提供しています（図2）。

廃棄物埋立量の削減は、アジア都市において解決すべき急務のひとつです。技術、財政、社会的受容性を加味した上で、技術導入によりインセンティブを与えることの出来る埋立前処理の方法として、機械選別・生物処理技術（MBT）が挙げられます。MBTは破碎選別処理と生物処理の組合せによって、混合廃棄物を資源物、固形燃料、残さに分離するシステムです。アジアの湿潤した都市ごみを効率的に分離するには、適度に乾燥させることが必須ですが、我々は動力消費の少ない乾燥工程である「バイオドライ」技術を適用し、水分蒸発と生物分解により埋立される残さ量を元の廃棄物量の15%程度まで削減できること、および選別によって得られた固形燃料が産業用途で要求される品質を満足できるレベルであることを確認しました。ただし、元の廃棄物の性状や気候の影響により選別効率が低下することがあり、固形燃料品質の変動要因となることも示されました。MBTの自律的な成立には、生産される固形燃料が滞りなく流通することが必須で、都市熱供給・産業需要を確保することが不可欠です。品質を確保するための技術的検討に加えて、品質保証のためのスキームを構築することで、製造者とユーザー間のコミュニケーションが容易となり、固形燃料の流通を促進することが期待されます。現在、国際標準化機構（ISO）において、廃棄物から生産される固形燃料の共通規格と評価方法の確立に向けた作業が進められており、当研究所からもメンバーが参画

しています。

都市計画と調和した廃棄物管理システムの構築と事業化に関する研究

都市レベルでは成長に伴う様々な歪みが廃棄物の諸問題を産み出し、その解決のために埋立量削減、環境汚染防止、資源・エネルギー効率性向上など様々な努力が重ねられている状況ですが、より小さい行政単位、たとえばコミュニティレベルであれば、環境配慮を前面に押し出した都市生活がアジア諸国で成立する時期に来ていると考えます。我々はこれまでの研究成果を元に、都市の代謝システムというべき生活廃棄物および下排水処理システムを、コミュニティレベルで自立的に運営し、衛生面・環境面における生活の質に関する満足度を高めるというコンセプトでの開発モデルを提示しています。コミュニティの開発に際して、包括的な環境対策を導入するプランを複数用意した上で、環境負荷の低減効果や費用便益分析を行っています。環境面での理想的な生活環境の達成が、居住者の好奇心と満足感を満たすことが明らかにできれば、そのインセンティブを民間開発だけでなく行政的な都市計画の一環に組み込んでいくことも可能になるのではないかと期待しています。

（いしがき ともり、資源循環・廃棄物研究センター 国際廃棄物管理技術研究室 主任研究員）

執筆者プロフィール：

先日、シュナイダー・アヴェンティヌスというビールを樽でいただきました。アルコール度数は8%とビールにしては高めですが、これを凍らせて濃縮した「アイスボック」は12%、さらにこれを蒸留した40%のお酒もあると聞き、テンションと尿酸値が同時に跳ね上がりました。



【研究ノート】

日本の排水処理技術の東南アジア地域への展開

蛭 江 美 孝

排水を処理する日本独自の技術 ～浄化槽～

私たちは毎日、トイレ、台所、洗濯場、風呂場などから汚れた水を流しています。その量は日本人1人1日あたり約200Lです。日本の総人口が1億2,754万人(2016年度)であることを考えると、毎日、とてつもない量の排水が流されていることになります。日本には、この生活排水を処理するために、下水道と浄化槽があります。下水道と浄化槽の大きな違いは、排水収集の仕組みです。下水道は、対象地域に下水管網を整備して、数千人～数十万人程度の生活排水を1ヶ所に集めて処理する集中型です。これに対して、浄化槽は、日本で開発された分散型の生活排水処理施設で、一戸建ての住宅やアパート、マンション、ショッピングセンター、ホテルなどの建物単位で生活排水を処理しています。戸建住宅の場合、車1台分のスペースで設置できますので、浄化槽の上を駐車場として利用することもできます(図1)。下水道を使用している人口は9,982万人で、これに比べると少ないですが、浄化槽を使用している人口も1,175万人となっています(2016年度末)。

排水処理の基本的な原理は、下水道も浄化槽も同様で、微生物の力を借りて排水中の汚濁物質を処理しています。浄化槽の内部は図2のようにいくつかの部屋に分かれていて、酸素を好む微生物(好気性

微生物)と好まない微生物(嫌気性微生物)が上手く棲み分けられるようになっています。嫌気槽は、嫌気性微生物のための部屋で、固形物を沈殿・貯留する役割も担っています。好気槽は、好気性微生物のための部屋で、空気を吹き込む散気管の他、微生物が付着・増殖しやすいように接触材と呼ばれる板状のプラスチックなどが入っています。

施設整備の面では、都市中心部などの人口密集地域では下水道がエネルギーやコストの面で効果的ですが、農山村や新興住宅地など生活排水の発生場所と処理施設との距離が長くなる場合は、下水管を張り巡らせるよりも家庭から出た排水を浄化槽でその場で処理し、河川など地域の水環境へ戻した方が効率的な場合もあります。浄化槽は建設費が安く処理能力が高い、短期間で設置できるため速やかに生活排水を処理できる、設置場所について地形の制約が少ない、などの特長を有していますので、上記のような場所で、効果的に整備されています。

東南アジアの生活排水の処理状況

東南アジア地域では、生活排水がどのように処理されているかご存知でしょうか?下水道の普及率を見ると、シンガポールは100%ですが、マレーシアで約60%、タイでは20%程度で、それ以外の国では

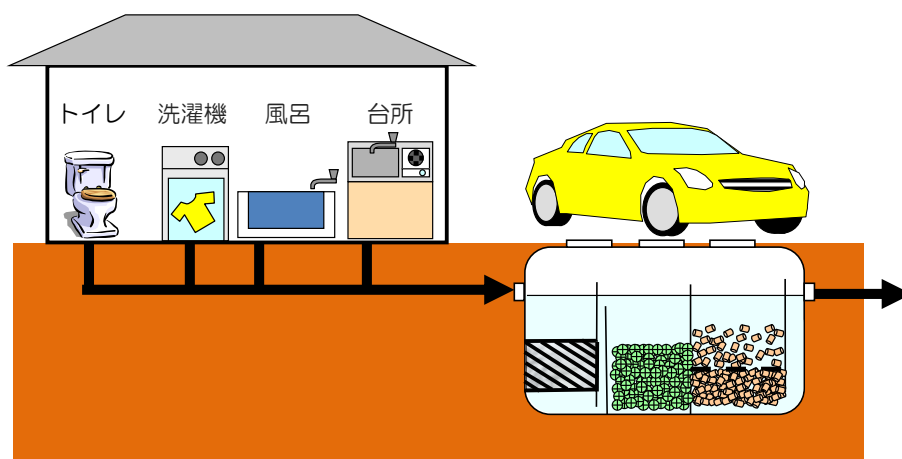


図1 生活排水を処理する浄化槽

特集 アジア圏における持続可能な統合的廃棄物処理システムへの高度化



図2 浄化槽の内部構造(例)

5%以下となっています。下水道は多くの生活排水をまとめて効率的に処理することができますが、その整備には多大な費用と長期にわたる工事が必要となります。人口増加の著しい東南アジアでは、予算の制約や工事の難しさもあり、その整備が追いついていないのが現状です。下水道を使用していない人々は、セプティックタンクと言われる処理装置を設置していることが多いのですが、浄化槽でいうところの嫌気槽のみの簡易な処理装置で、沈殿分離(固形物を沈殿させ、上澄みを流す)と嫌気性処理しかありません。またトイレ排水だけを対象としていたり、排水量に対して容量が小さかったりすることも多いため、環境へ負荷が高く、地域の水環境への悪影響が懸念されています。

そこで私たちは、浄化槽という日本独自の分散型排水処理システムを活用して、東南アジアの水環境・生活環境の保全・改善に貢献しようと考え、研究を進めています。

浄化槽の東南アジアへの展開に向けたポイント

しかしながら、日本の浄化槽を東南アジアに持つ

ていけば問題が解決する、という訳ではありません。浄化槽という技術が確立しているのに、海外展開にあたって研究が必要な理由の一つは、浄化槽が日本生まれだからです。浄化槽は、日本の気候や生活様式に合わせて開発されてきたため、海外でそのまま使った場合に、必ずしも効率的とは限りません。私たちは、インドネシアを中心として研究を進めていますが、当該地域は熱帯のため、気温が30℃程度と高温で安定していて、一年中、常夏のような状態です。東京の年平均気温は15~16℃程度で、もちろん夏も冬もあります。排水処理は微生物が主役ですので、温度の違いは処理効率に大きく影響します。また、インドネシアは人口の90%近くがイスラム教徒であるため、生活様式も日本とは大きく異なっていて、これが生活排水の特性にも反映されています。例えば、イスラム教徒は日の出の前にお祈りをしますので、家で水を使うタイミングが日本よりも2~3時間程度早くなっています。また、お風呂に浸かる習慣がありませんので、浴槽の水が一度に排水されるということもありません。このようなことから、浄化槽の技術を現地にカスタマイズしていく必要が



図3 ステークホルダー会合の様子とインドネシア版性能評価試験方法（草案）

ありますし、それによって、より効率的で低コストな浄化槽を開発することができると考えています。

さらに、浄化槽は単体の技術ではなく、様々な制度や規格を含めたシステムとして成熟してきました。日本を含め、先進国では関連する法整備およびその実効性が担保され、排水は処理するものとして理解されているのに対し、途上国では、該当する法令がないか、あっても実効性が極めて乏しいことが指摘されています。このため、浄化槽を設置しただけでは所期の性能を得ることは期待できませんし、実際、これまでに日本政府は途上国に対して浄化槽のモデル設置などの支援を行ってきましたが、本格的な普及・定着には至っておりません。適切な排水処理施設が十分に普及していない地域では、そもそも、排水処理に関する制度・システムが無い、あっても不十分であることが多く、技術的には浄化槽への転換ができて、製品や施工の質の確保、継続的な運転管理、汚泥の収集・処理などの仕組みがなければ、所期の性能を発揮することはできないのです。これらが、適切な排水処理施設の普及の大きな障壁になっていると考えられます。

インドネシア版性能評価試験方法の確立

上記の通り、途上国において適切な排水処理施設の普及を進める上では、関連する制度や基準、運用のノウハウなどのソフトインフラを同時に展開していくことが重要です。そこで私たちは、インドネシアにおいて中央・地方政府、学識経験者、現地企業等の産学官のステークホルダーを集めた会合を主催し、課題の整理と解決に向けた取り組みを推進して

います。2015年の初会合では、排水基準等の環境法制度自体は存在するものの、市場の製品の処理性能を適正かつ公平に評価・認証する仕組みがないことを課題として共有し、性能評価制度・試験方法の確立が必要であることを参加者全員で確認しました。これを踏まえ、日本や欧米の性能評価試験方法を参考に、1日のなかで、どのようなタイミングでどのくらいの排水が発生しているのか、などの現地調査も行い、このステークホルダー会合を通じて、インドネシア版の試験方法（草案）を作成しました（図3）。現在、この試験方法をインドネシアの国家標準とすべく、手続きを進めているところです。現在このステークホルダー会合では、性能評価制度の運用方法や体制作りについても議論を重ねているところです。

浄化槽技術のカスタマイズ

浄化槽をインドネシアの生活排水の特性に適したものにしていくため、熱帯地域を想定した浄化槽の技術開発も実施しています。これは、国立環境研究所の大型恒温実験室で試験を実施しています（図4）。既に述べたとおり、東南アジアは熱帯地域で気温が



図4 熱帯地域を想定した浄化槽試験

特集 アジア圏における持続可能な統合的廃棄物処理システムへの高度化

高く、浴槽を使用しないなどの特徴がありますので、室温と排水の温度を 30℃に設定し、1 日の排水パターンも現地調査に基づいた設定としました。

これまでの結果から、30℃の条件では、日本で使用するよりも高い処理性能を発揮できること、汚泥の発生量が少ないことなどがわかってきており、効率化、低コスト化に向けた知見が得られています。

国際的な目標の達成に向けて

2015 年、国連に加盟している 193 国は、「我々の世界を変革する：持続可能な開発のための 2030 アジェンダ」を採択し、貧困問題や環境課題など 17 の目標に全世界が取り組む「持続可能な開発目標 (SDGs)」が掲げられました。この中で、目標 6 は「すべての人々の水と衛生の利用可能性と持続可能な管理を確保する」であり、その具体的なターゲットの一つとして、未処理の下水の割合半減を謳っています。

日本では、2016 年度末時点で総人口の 90.4%の生活排水が処理されていますし、人口減少社会に突入していますが、東南アジアでは人口増加が顕著で、今後ますます、排水処理施設の整備が重要になっていきます。私たちの研究が、SDGs 達成の一助となることを願いつつ、引き続き、研究を続けていきたいと思えます。

(えびえ よしたか、資源循環・廃棄物研究センター 国際廃棄物管理技術研究室 主任研究員)

執筆者プロフィール：

開発途上国への出張が多いのですが、排水処理施設はなくても、何なら、トイレが無い地域でもスマートフォンがインターネットに繋がるという状況に、不思議な感覚を覚えます。段階的な進展ではない、一足飛びの展開を環境技術の分野でも実現できたらと思っています。



【研究ノート】

東南アジアにおける自立可能な廃棄物適正管理技術システムの開発

尾形 有香

はじめに

東南アジアでは、近年の急激な人口増加や経済発展に伴う廃棄物量増加によって、都市部の埋立用地が逼迫し始めているにも関わらず、多くの都市では、廃棄物の焼却等の埋立前処理・減容化は実施されず、直接埋立てられています。また、埋立地からの排水（浸出水）は、貯留池に集められ、貯留池からの蒸発に依存した管理がされているため、雨季の降雨時には、貯留池の容量を超える浸出水が発生し、未処理浸出水の越流による周辺環境への汚染が顕在化しつつあります。こうした問題を解決するためには、都市廃棄物の適正な管理と技術導入が必要ですが、現地では、投入可能な予算、エネルギー、技術力等に限界があります。先進国型の技術はこれらに強く依存するため、東南アジアにおいて自立的に定着することは稀で、開発援助や技術支援の終了に伴って、

維持管理が困難となり、運転が中断される場合が多いのが現状です。東南アジアにおいて、持続可能な廃棄物の適正管理システムを構築するためには、現地の経済状況、技術力、資源・エネルギー調達に見合った技術の導入・開発が必要となります。加えて、高温多湿で乾季・雨季を有する熱帯気候の特性や、近年、地価が急激に上昇しており、将来、より一層、埋立用地の確保が困難となることが予想されるため、埋立用地を効率的に利用可能な廃棄物の適正管理が求められます。私達のグループでは、東南アジア都市に適合した廃棄物中間処理技術として機械選別・生物処理 (Mechanical Biological Treatment: MBT) を、また浸出水処理技術として人工湿地を対象とし、タイの廃棄物管理現場における実証試験を通じて、技術開発と適用可能性の検討を行ってきました (図 1)。

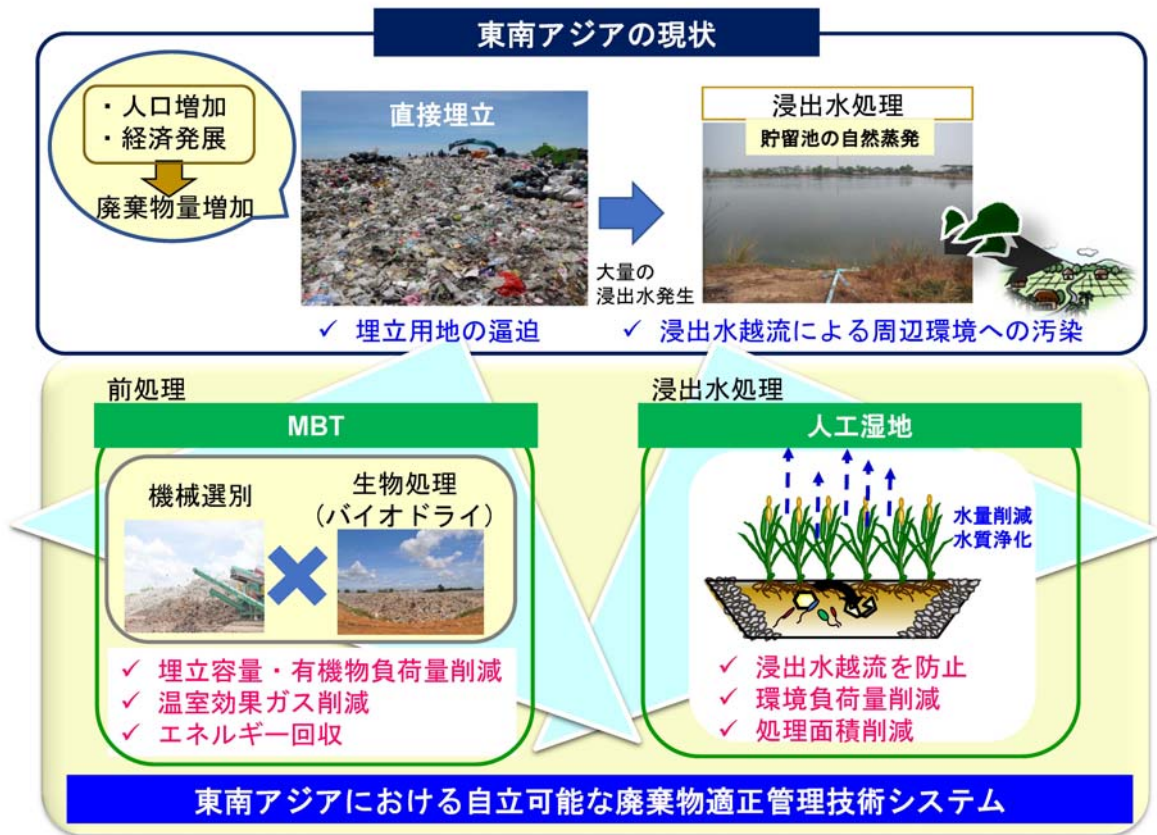


図1 MBT および人工湿地を活用した統合的な廃棄物適正管理技術システムの提案

東南アジアにおけるMBTの適用可能性評価

MBTは、埋立量と有機物負荷の削減を目的として、機械選別と生物処理（有機物の発酵）を組み合わせた欧州において開発された埋立前処理技術です。機械選別によって、廃棄物から資源、工業原料、燃料を回収するとともに、堆肥化やバイオガス化等の生物処理によって有機物を削減した後、残渣を埋立処分するというのが原則的な流れとなっています。機械選別と生物処理の実施順序や回数および選択される技術等は一意的に定められるものではなく、投入される廃棄物の組成や含水率等の性状に応じて、最適化を図る必要があります。MBTは低い含水率（35～40%）の欧州の廃棄物性状に特化して開発されてきたため、東南アジアへの適用に際しては、含水率が高い（60～70%）廃棄物性状に応じた知見の集積が必要です。

近年、主に埋立量の削減を目的とし、東南アジアにおいてもMBTの導入が検討されており、2016年時点において、タイでは5箇所のMBT施設が運用されています。私達は、サラブリー県およびピサヌ

ローク県の2つのMBT施設における処理フローの実態を調べました（図2）。サラブリー県の施設では、受け入れ廃棄物量が比較的少ない（13 ton/日）ため、最初に機械選別（主に破碎）工程を実施した後、屋根付きの発酵槽内において7～10日間、スクリーオーガーを用いた開放型攪拌方式による生物処理工程（バイオドライ）を実施し、原則的にはその全てを原燃料としてユーザー（セメント工場）に搬出しています。しかし、セメント工場において、さらに選別をかけられた上で、品質や炉の運転状況に応じて、およそ2割が自治体に返送されているのが現状です。一方、ピサヌローク県の施設では、受け入れ廃棄物量が多い（80～90 ton/日）ため、湿潤廃棄物を先に破碎・選別することは効率的でなく、まずバイオドライ工程により、乾燥および減量させる必要があります。ここでは、野外の広い用地（32,000 m²）を活用し、長期間（9～15 カ月）の堆積型処理を採用し、天日乾燥と切り返しによる低コストでの運転を行っています。その後、多段比重選別により、40 mm以上の画分は原燃料としてセメント工場に輸送され、

特集 アジア圏における持続可能な統合的廃棄物処理システムへの高度化



図2 タイのMBT施設における廃棄物処理フロー

40 mm 以下の画分の大半は埋立処分されます。このように、施設規模に応じて異なる方式のMBTが導入されています。共通して言える特徴は、投入廃棄物の含水率の高さに起因して、物質収支における水分蒸発の寄与が大きいことです。生物処理工程における重量削減は54～64%と欧州の実例(30%弱)と比較して高い効果を示すほか、発生残渣量を投入廃棄物の10%弱まで削減可能です。またMBTによって生産される固形燃料の低位発熱量は、18,000 kJ kg⁻¹程度と欧州と比較しても遜色ありません。一方で、残渣中には分解性有機物が多く残存(欧州の埋立基準の約8倍)しており、残渣の性状には改善の余地があります。私達が行った費用便益分析の結果から、残渣処理の目的で追加的な好気性発酵処理を実施することで、埋立量・有機物負荷の削減だけでなく、MBTシステム全体での費用対効果を向上できることが示されました。

加えて、MBTプロセスにおける環境への負荷を明らかにする目的で、温室効果ガス(メタンおよび亜酸化窒素)の排出実態調査を行いました。これまでMBTからの温室効果ガス量の算定にあたっては、廃棄物の堆肥化処理が類似のプロセスとして考えられ、算定方法が代用されてきましたが、私達の調査により少なくとも東南アジアの気候および廃棄物性状においては排出量は小さく、既存の堆肥化よりも小さい排出係数を適用可能であることが示されました。また、MBTを導入した廃棄物管理システムにおいて排出される温室効果ガス量(固形燃料の輸送や産業利用(燃焼)を含む)は、既存の直接埋立と比べて、およそ70%削減可能であり、環境面からの持続可能性が高いことも示されました。

都市廃棄物処理へのMBTプロセス導入の成否を分けるのは、地域における固形燃料の受け入れ先の確保であり、自治体への返送をできる限り減らし安定した利用を可能にするためには、ユーザーの要求を満たす品質の固形燃料を生産するための技術的な取り組みが必須となります。東南アジアの廃棄物の特徴を踏まえた技術開発を通じて、MBT導入による埋立量と環境負荷量の削減は達成可能であることが示されました。

東南アジアにおける人工湿地を用いた埋立地浸出水処理の適用可能性評価

人工湿地は、ろ材によるろ過・吸着作用と植物体による吸着・吸収作用、微生物分解等の生態系の機能を活用した排水処理技術であり、省エネルギー、低コストかつ維持管理が容易な低炭素型の処理プロセスが構築できる利点があります。主に欧米において生活排水や下水の二次処理として用いられてきましたが、近年、畜産排水、鉱山排水や埋立地浸出水等、多様な排水処理への適用が進んでいます。最近では、水のリユースの観点より、人工湿地の水質浄化機能に加え、蒸発散作用による水量削減機能についても関心が高まっています。

東南アジアの浸出水処理においては、浸出水の越流防止が喫緊の課題であることから、人工湿地の水量削減機能を浸出水の水量制御へ応用することを想起しました。これまで、人工湿地の水量削減効果を踏まえ熱帯地域の浸出水処理への適用可能性評価を行った報告例は無いことから、まず、私達は、タイのノンタブリ県の廃棄物埋立地において、パイロットスケールの人工湿地を構築し(図3)、水量削減に



図3 タイの最終処分場に構築した人工湿地装置(横2m, 縦1m, 高さ1m)

特集 アジア圏における持続可能な統合的廃棄物処理システムへの高度化

関する知見を得るための実証試験を行いました。本技術の現地化のため、人工湿地の構築にあたっては、資材の現地での調達可能性を配慮するとともに、植栽植物は、入手・栽培が容易であること、生長速度が速いこと、浸出水への耐性があることを念頭におき、現地植生よりガマ (*Typha sp.*) を選定しました。実浸出水を用いて、異なる流入方式 (表面流、伏流) および流入頻度の条件での人工湿地による水量削減量を評価した結果、表面流方式 ($17 \pm 1 \text{ L/m}^2/\text{日}$) の方が伏流方式 ($10 \pm 2 \text{ L/m}^2/\text{日}$) よりも高いことや、伏流方式においても、流入頻度を高めることによって、水量削減効果を促進 ($17 \pm 1 \text{ L/m}^2/\text{日}$) できることが確認されました。また、人工湿地の水量削減量は既存の貯留池よりも 2.0~3.5 倍程度高く、雨季と乾季の季節変化や降雨量に関わらず、水量削減に効果があることが確認されました。一方、人工湿地による水質浄化については、表面流よりも伏流の方が、 COD_{cr} (化学的酸素要求量)、SS (浮遊物質)、TN (全窒素) の除去率は高く (70~80%)、難分解性の有機物や有害化学物質の除去にも有効であることが示されました。

次に、現場実証試験で得られたパラメータを用いて、雨季の降雨強度が高い時期も含め、浸出水越流を防止するために必要な処理面積を算出したところ、既存の貯留池と比較して、35~60%削減できることが示されました。加えて、人工湿地は、年間の内部貯留および地下浸透による環境負荷量 (COD_{cr} 、TN) を、貯留池と比較して大幅に削減できることが推測されました。仮に貯留池の面積が人工湿地と同等の場合、貯留池 1m^2 当たり、年間 $0.04 \sim 0.15\text{m}^3$ の浸出水が周辺環境に越流することが推定されました。一方、短期間であるものの、特に降雨強度が高い時期において、人工湿地のろ材充填による間隙率の低下により、水位が急激に上昇するという課題も見いだ

されました。

人工湿地の導入は、東南アジアにおける浸出水の水量削減と環境負荷の削減を促進し、既存の貯留池と比較して、より狭い面積において未処理浸出水の越流による周辺環境汚染の防止に有効であることが確認されました。

おわりに

本稿では、東南アジア都市に適合した廃棄物処理技術として、MBTと人工湿地の適用可能性の評価について紹介しました。両技術とも、現地に見合ったコスト、技術力、資源・エネルギー調達で実施可能な処理技術であり、既存の処理方式と比べ、環境負荷の削減に有効であることが示されました。MBTは、処理過程でエネルギーを回収できるとともに、埋立量の削減により、埋立地の延命化に繋がります。また、人工湿地は、より狭い浸出水処理用地において、浸出水による周辺環境への汚染を防止することができ、埋立用地を効率的に使用できることが示されました。埋立地の逼迫と浸出水処理の問題を抱える東南アジアの現状において、MBTと人工湿地の両技術を付与した統合的な廃棄物管理システムの導入は、自立可能な廃棄物の適正管理の構築に繋がることが期待されます。

(おがた ゆか、資源循環・廃棄物研究センター
国際廃棄物管理技術研究室、研究員)

執筆者プロフィール：

料理は作るよりも食べる方が好きです。タイの現場に行く時は、いつも何を食べるか考えています。苦手だったビールも、調査後は、(特に) 美味しいと感じるようになりました。



【調査研究日誌】

インドネシアのユニークな廃棄物管理・リサイクル政策

横尾英史

ごみの捨て方や分別のルール・仕組みは国によって違います。例えば、日本では自治体ごとに分別排出のルールが決まっています、それに従って家の近くの指定された場所にごみを出せば、収集トラックが集めに来てくれます。しかし、一歩日本の外に出ると、自治体のごみの収集に家のそばまで来てくれない、そういう国もあります。私たちにとっては当たり前前の仕組みも、ところ変われば全く異なる場合があります。

筆者はごみの捨て方に関するルールや制度について経済学の考え方や分析方法を応用して研究しています。ここでは、インドネシアで近年進められているちょっと変わった取り組みについて紹介します。

住民による住民のためのごみ収集

一つ目は、住民によるごみ収集の取り組みです。インドネシアでは自治体によるごみの収集サービスが日本ほど行き届いていない現状があります。筆者の研究対象地であるパレンバン市のあるエリアでは、ごみ捨て場まで家から徒歩 10 分以上もかかるという場合が珍しくありません。結果として、ごみ捨て場まで行くのが面倒になり近所の道端にごみを不法投棄したり、側溝に捨てたり（写真 1）、空き地で燃やしたりしてしまう人がいます（写真 2）。排水溝にごみで埋まっていると、大雨の時に洪水を引き起こす原因となりますし、ごみを燃やすと有害な物質が出て周辺住民の健康に悪影響を与える恐れがあります。また、道端にごみが散らかるのは衛生面でも問題となります。これでは廃棄物管理として適正とは言えません。

そこでインドネシア政府が考案した仕組みが Tempat Pengolahan Sampah-3R（略称 TPS-3R）モデルと呼ばれるものです。ここで出てくる Tempat Pengolahan Sampah とはインドネシア語で廃棄物処理施設を意味します。そして、3R とはリデュース・リユース・リサイクルのことを指します。コミュニティ内でボランティア・ベースの住民グループを作ってもらい、ごみ収集サービスの運営や最終処分量の減量化を担ってもらうのです。自治体として、収集に使う三輪トラックなどは用意します（写真 3）。



写真 1 ごみで埋まった側溝



写真 2 不法投棄・焼却されたごみ



写真 3 収集に使う三輪トラック

特集 アジア圏における持続可能な統合的廃棄物処理システムへの高度化

運営に携わる住民は収集スタッフを雇い、毎日あるいは二日に一回といったペースでコミュニティ内の家庭のごみを玄関で受け取り、自治体のトラックが来る集積所まで運びます。このサービスを受ける住民は対価としてサービス料金（例えば月額 15,000 インドネシアルピア）を運営側の住民に支払います。これは、屋台での昼食おおよそ一回分の金額です。

また、TPS-3R モデルで収集したごみの処理方法にも特徴があります。日本では収集されたごみを焼却場で燃やし、残った灰を最終処分場に埋め立てる方式が一般的です。しかし、世界的にみると焼却処理してから最終処分をする国は決して多くありません。インドネシアを始めとした多くの国では収集したごみを野積み（オープンダンプ）することが一般的です。写真 4 はパレンバン市の廃棄物最終処分場の様子です。インドネシアでは、収集サービスが行き届いていないことに加えてこの処分場の確保も問題となっています。人口の増加や経済成長に伴って、ごみの発生量が増えており収集される廃棄物の量の増加が著しいのです。想像に難くないですが、野積み処分場が近隣に建設されることを嫌がる住民が多く、それゆえに新たな処分場の確保は自治体の悩みの種となっています。

そこでインドネシア政府は TPS-3R モデルで収集を担ってくれる住民たちに対して、さらにごみの削減も頼んでいます。政府が特に推奨しているのが、生ごみの堆肥化です。各家庭から収集した生ごみを砕いて適切に処理することで肥料をつくるのです。そして実は、TPS-3R という言葉自体がこのようなごみの削減を行うための施設を指しています。写真 5 はパレンバン市にある TPS-3R 施設と運営側の住民です。（なお、写真中央には筆者もいます）。建物の中には生ごみの堆肥化を行うための設備が整備されています。自治体側がこれらの用地と設備を提供しました。ただし、実際の堆肥の製造は住民が行います。写真 6 は集めたごみを運営側の住民が分別している様子です。資源ごみとして売ることができる空き缶、プラスチック製品、段ボールなどを取り除き、その上で生ごみを選び分けます。その後、機械を使って生ごみを砕き、写真 7 の設備を使って乾燥・発酵させることで堆肥を製造します。製造された堆肥はコミュニティ内の植物を育てる際などに使われます。時には近隣の農家に販売する場合もあります（写真 8）。このようにして、ごみの一部を堆肥として再利用することで、最終的に野積み処分されるごみの量を減らそうとしています。



写真 4 パレンバン市最終処分場



写真 5 収集・減量を担う住民たち



写真 6 収集したごみの分別の様子



写真 7 TPS-3R 施設内の堆肥化設備



写真 8 販売用の堆肥



写真 9 サクラごみ銀行が発行する通帳



写真 10 レインボーごみ銀行の顧客管理ノート



写真 11 サクラごみ銀行のごみ保管庫

ごみでお金が貯まる銀行

日本にはペットボトルや空き缶の分別ルールがたくさんあります。しかし、インドネシアを始めとするアジアの国々では分別ルールがないことの方が一般的です。つまりごみを何でもまとめて捨てられるわけです。しかし、ペットボトルや空き缶などを買う業者は世界中にいて、これらのごみを分別すれば多少のお金を得ることができます。次に紹介する「ごみ銀行」というインドネシアの取り組みは、こうしたペットボトルや空き缶などに対する需要を背景にしており、リサイクルを推進することでごみの最終処分量を減らし、資源の有効利用を促そうという試みです。

「ごみ銀行」は一般の家庭から資源ごみを買取り、リサイクル業者に引き渡す組織・グループです。元々は企業や NGO による社会的活動の一環として始まりました。自治体のごみ銀行の運営に積極的に関与する場合がありますが、多くは思い立った住民が立ち上げて運営しており、コミュニティ規模の自発的なリサイクル活動といえます。近年、インドネシア政府は省令を施行するなどしてごみ銀行の設立・運営を公的にも後押ししています。

多くのごみ銀行の特徴として、資源ごみを引き取る際にその場ですぐに現金を渡すのではなく、資源ごみの時価相当額を通帳に記録していくという点があります。顧客はごみ銀行に資源ごみを引き渡し、自分の口座に貯金をしていきます。預金引き出しのルールは銀行によってまちまちですが、多くの場合、一定期間以上経つと現金を引き出すことができますようになります。写真 9 はパレンバンのサクラごみ銀行が発行している通帳です。

預金をしても一定期間以上経たないとお金を引き出すことができない。この一見すると不便な仕組みが、逆に多くの人の心をつかんでいるようです。「手元にお金があるとついつい使ってしまう」という経験はありませんか？貯金をしたいけれどなかなか貯まらない。そして今まで捨てていたごみが、リサイクルを行うことでお金になる。こういった人間の心理に着目した仕組みと言えます。これが功を奏し、楽しみながらリサイクルに取り組む人が増えていきます。ただし、この仕組みが絶対というわけでもなく、即日換金を認めているごみ銀行もあるようです。それでも換金履歴を通帳に記録してして見える化しているようです。それぞれのごみ銀行がかなり柔軟に

【行事報告】

国際アドバイザーボード助言会合開催報告

山 川 茜

国立環境研究所（以下、国環研）では、幅広い知見を持った海外の学識者から研究成果や中長期的な研究の方向性に対して助言を頂くこととし、平成27年度より、国際アドバイザーボード（IAB）助言会合を開催しております。

今回の助言会合では、第4期中長期計画で実施している災害環境研究プログラム（環境回復研究 PG（廃棄物管理システム、環境動態・影響評価）、環境創生研究 PG、災害環境マネジメント研究 PG）の分科会をつくば国際会議場にて開催しました（日程：平成30年8月28日（火）～29日（水））。

IAB 委員については、これまでの助言会合でも議長をつとめていただいたミランダ・シュラーズ教授（ドイツ）をはじめ、ヨンチル・ソ教授（韓国）、クレメント・トックナー博士（オーストリア）という世界各国で活躍している3名の有識者をお招きしました。分科会では、各研究プログラム代表による概要説明後、研究担当者から研究成果等についての発表があり、それに対して活発な意見が飛び交いました。また、分科会最後のディスカッション&クロージングセッションでは、IAB 委員から科学的・学術的な貢献、プログラム間の連携および所内外の協力関係、今後の研究発展性に関して、非常に有益な助言をいただきました。

30日（木）には福島視察として、地産地消型のエネルギー利用を核とした復興まちづくりを行っている新地町スマートコミュニティや、除染で取り除いた土壌や放射性物質に汚染された廃棄物を安全に管理・保管するための施設（中間貯蔵施設）を訪問し、非常に熱心にご覧いただきました。

最後にこの場をお借りして、非常にお忙しい中、国環研のために貴重な時間と労力を惜しみなく使っていただいたIAB委員各位に心から感謝を申し上げます。

（やまかわ あかね、企画部研究推進室
研究企画主幹）



写真1 IAB委員と国環研関係者



写真2 IAB助言会合での発表



写真3 福島視察

新刊紹介

環境儀 No.70 「和風スマートシティづくりを目指して」

国立環境研究所では、地球温暖化の将来予測や各種対策に関する研究を総合的に進めています。近年急速に発展してきた IoT やスマートフォン・GPS などのデータを活用することにより、新しい概念の環境に優しい都市デザインが可能となってきました。

本号では、地球温暖化を防ぐことができ、しかも安全で健康に楽しい生活ができる日本らしいスマートシティの実現を目指す都市システム・デザインの研究について紹介します。

○<http://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/70/02-03.html>



NIES Annual Report 2018

「NIES Annual Report 2018」は、海外に向けて、国立環境研究所の最近の研究成果を紹介する英文の年次報告書です。今回の報告書は、第4期中長期計画（平成28～32年度）の第2年次にあたる平成29年度の活動状況を中心にとりまとめたものです。

○<http://www.nies.go.jp/kanko/annual/ae24.pdf>



国立環境研究所プロジェクト報告 第132号

「アジア地域におけるチャンパー観測ネットワークの活用による森林土壌 CO₂ フラックスの定量的評価」

本報告書は、土壌微生物に由来する二酸化炭素の排出量の測定を、国立環境研究所が独自に開発した大型自動閉鎖チャンパーシステムを用いて、日本を含むアジアモンスーン地域における世界最大規模の観測ネットワークとして展開し、得られたデータを取りまとめたものです。

○<http://www.nies.go.jp/kanko/tokubetu/setsumeisr-132-2018b.html>



----- **編 集 後 記** -----

隔月に刊行しているこの国立環境研究所ニュースですが、ここ数年は5つの課題解決型研究プログラムと災害環境研究プログラムの6つについて、プログラム毎に年に一回のペースで話題提供されています。たとえば低炭素研究プログラムでは傘下に3つのプロジェクトがあるので、各プロジェクトは3年に一度機会が回ってきます。プログラムによって抱えるプロジェクトの数はまちまちなので、より遅い、または早いペースで回

て来るのかも知れませんが、ニュースという側面がある以上、あえてそのようなルーチン化をしないプログラムもあるでしょう。また、ニュースなのだから毎月刊行するのが望ましいという意見もあるでしょうし、逆に刊行頻度を落とすべき、ということもあるでしょう。そのような議論がこのニュース編集小委員会の親組織で始まったところです。 (TS)

国立環境研究所ニュース Vol. 37 No. 4 (平成30年10月発行)

編 集 国立環境研究所 編集分科会
 ニュース編集小委員会
 発 行 国立研究開発法人 国立環境研究所
 〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16 番 2
 問合せ先 国立環境研究所情報企画室 pub@nies.go.jp

●バックナンバーは、ホームページからご覧になれます。
<http://www.nies.go.jp/kanko/news/>

無断転載を禁じます



この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。