

地球規模課題対応国際科学技術協力

(環境・エネルギー研究分野「地球規模の環境課題の解決に資する研究」領域)

スリランカ廃棄物処分場における地域特性を活かした汚染防止

と修復技術の構築

(スリランカ)

平成 24 年度実施報告書

代表者：田中 規夫

埼玉大学環境科学研究センター・教授

<平成 22 年度採択>

1. プロジェクト全体の実施の概要

開発途上国において廃棄物問題は深刻な社会・環境問題となっており、廃棄物処分場およびその周辺域では健康被害の発生や環境劣化が急速に進行している。開発途上国における一般廃棄物の大半は、特定の場所に汚染防止措置を講ずることなく不衛生なオープンダンプ（開放投棄）として処理されている。本プロジェクトで対象とするスリランカ（以下、ス国）においても、商業活動の活発化、生活の多様化等により一般廃棄物の排出量が増加するとともに、廃棄物管理システムの未熟や廃棄物処分場未整備も相まって、廃棄物処分場およびその周辺域を中心における健康被害や環境劣化を招いている。しかし、技術的な問題も含めて、廃棄物が投棄されている処分場の汚染状況は未把握であり、既存処分場の環境改善・汚染修復についても、現地で適用可能な低コスト・低メンテナンス・低環境負荷の技術開発・導入には至っていない。これらを背景に、本プロジェクトではス国において地域特性を活かした廃棄物処分場汚染防止及び修復技術を構築し、適用可能かつ持続可能な廃棄物処分場計画・維持管理ガイドラインを提案することを目的とする。さらに、本国際共同研究を通じた協力相手先機関の研究開発能力の強化、若手技術者・研究者の育成も目的の一つである。ここで、廃棄物処分場計画・維持管理ガイドラインは、相手国の地方政府・州議会省と環境省において公式文書化され、現地において有効に活用され、持続可能な廃棄物管理に貢献するものとなることを目指している。

本プロジェクト内容は、【社会・経済的分析】【モニタリング】【技術開発】の 3 つからなる。【社会・経済的分析】には活動 1: 廃棄物処分場計画・維持管理ガイドラインの明確化、活動 2: ス国に適した新規廃棄物処分場の適地選定手法の作成が含まれる。【モニタリング】(活動 3) には既存廃棄物処分場の長期環境モニタリング（浸出水の水質や埋立ガス）、処分場モニタリング基準やモニタリング実施・管理手法の提案が含まれる。【技術開発】(活動 4) には、地域特性・地域材料を活かした廃棄物処分場汚染防止及び修復技術の開発が含まれる。これらの活動成果を統合し、ス国において適用可能かつ持続可能な廃棄物処分場計画・維持管理ガイドライン（2016 年版）を作成する（活動 5）。

プロジェクト第 1-2 年次、【活動 1】に関しては、ス国中央州・南部州を対象として、地方自治体の排出ゴミ量・ゴミ質調査、地方財政調査、環境ビジネス調査を実施してス国廃棄物管理事業の実態把握を行うとともに、環境省中央環境庁及び地方政府・州議会省全国廃棄物管理支援センターと情報交換・協議を密に行い、ガイドラインのコンセプト・項目・内容・考慮すべき事項などを協議してきた。ガイドラインの項目・内容は、第 3 年次活動予定の社会的能力評価や住民意識調査を経て、第 3 年次終了時を目処に暫定版を作成し、第 4 年次に確定させる予定である。【活動 2】に関しては、入手可能な基本的情報（地形地質、土地利用等）の収集・整理を行うとともに、これらを用いた予備的解析を行ってきた。具体には、GIS 解析と環境リスク評価を組み合わせ、特定地域を対象として廃棄物処分場立地に関するリスクマップを作成した。第 3 年次は、適地選定のための社会・経済的要因も含めた形でのス国廃棄物処分場選定基準（観点）・手法を明確化し、第 4 年次中期にはこれらの内容を含めた新規廃棄物処分場の選定手順書を作成する予定である。

【活動 3】では、第 1-2 年次はス国既存廃棄物処分場を対象に、埋設廃棄物および埋立ガスを採取し、ゴミ質及びガス組成の地域的特性を調査した。同時に、湿潤及び乾燥気候帯の既存廃棄物処分場を対象に、地下水・埋立ガス観測井を設置し、2013 年 3 月より初動環境モニタリング（簡易水質・埋立ガス）を開始した。今後、本格環境モニタリングを開始する予定である。これらのモニタリングを通して得られたデータやノウハウは、第 4 年次に処分場汚染レベルや浸出水質の季節変動などを把握するのに利用されると同時に、第 5 年次に処分場モニタリング基準やモニタリング実施・管理手法の提案に活用される。【活動 4】として、現在までに「浸出水処理」「遮水ライナー」「キャッピング」に関する地域特性を活かした技術開発を進めている。「浸出水処理」では、ス国で入手が容易なバイオマス資源であるココヤシの繊維やパウダーを利用して、汚水処理能力や重金属吸着

能を野外実験及び室内実験で調べ、その有効性を得ている。「遮水ライナー」では、ス国中央州及び南部州で産出する膨潤性粘土に注目し、透水性などを調べている。「キャッピング」に関しては、廃棄物層の安定化促進を目的とし、覆土地盤材料のガス交換能などを実験的に調べている。第4年次終了時を目処にこれらの地域特性・地域材料を活かした開発技術のスペックを明確化し、第5年次初期から実証試験を開始する予定である。

以上の通り、プロジェクト全体としては研究開発やカウンターパートへの技術移転には着実に進捗が見られるものの、現地での分析機器導入の遅れにより、一部活動は当初予定よりも遅れている。しかし、第3年次中旬頃までには分析機器が導入されるため、第3-4年次にかけてこれらの遅れを取り戻す予定である。

2. 研究グループ別の実施内容

本プロジェクトは、日本側研究代表機関埼玉大学が国内分担研究機関である埼玉県環境科学国際センター、独立行政法人産業技術総合研究所、及び早稲田大学とともに研究活動を実施している。相手国では、研究代表機関ペラデニヤ大学が分担研究機関であるルフナ大学、キャンディー基礎研究所、及び政府系機関である全国廃棄物管理支援センター及び中央環境庁と共同で研究活動を実施している。

本プロジェクトでは、スリランカ国内の代表的な気候区分である湿潤気候帯(年間降雨量2000mm以上)のガンボラ処分場*と乾燥気候帯(年間降雨量800mm以下)のハンバントタ処分場の二つを長期モニタリング対象サイトとし、それぞれの処分場が位置する中央州及び南部州の地方自治体を中心に、地方レベルの組織、人員体制、予算規模、技術力などに関する調査を実施している。

*本研究で対象とするガンボラ処分場は、正しくはガンボラ町ではなく隣接するウダパラータ村に位置する。平成23年3月ウダパラータ村は本処分場へのガンボラ町を含む新たなゴミの搬入を禁止したため、2011年4月以降本処分場へのゴミの搬入は行われていない。本処分場は現在放棄された処分場ではあるが、これまでに投棄されたゴミの大半がガンボラ町から搬入されたものであったことから、本実施報告書では引き続き本処分場をガンボラ処分場と呼称する。

各研究グループの実施内容の概要を以下に示す。ここで、各研究グループは【活動1】から【活動4】の順になるように並べてある。

【活動1】主担当:早稲田大学グループ

研究題目:持続的かつ適用可能な廃棄物処分場計画・維持管理ガイドラインの構築

①研究のねらい

本グループは埼玉大学と共同で、【活動1】スリランカに適用できる廃棄物処分場計画・維持管理ガイドラインのコンセプトが明確にされる(H23年～H25年)と、【活動5】持続的かつ適用可能な廃棄物処分場の計画・維持管理ガイドラインが最終化される(H25年～H27年)、の二つの成果を達成することを目的とする。

②研究実施方法

【活動1】については、本研究調査対象サイトが含まれる中央州及び南部州の複数地方自治体(市・町・村)を対象として、廃棄物管理に関する組織、人員体制、予算規模、技術力などに関する調査を実施し、地方自治体における廃棄物管理システムの社会的能力(Social Capacity)を分析し、評価を行う。それらの結果を踏まえて、廃棄物処分場の計画・維持管理のためのガイドラインで必要となる項目及び内容等を明確にし、スリランカ廃棄物関係者を対象としたワークショップを開催して意見を聴取する。【活動5】については、新規廃棄物処分場の適地可能性マップ、新規廃棄物処分場のモニタリング基準、モニタリング方法及び汚染防止・修復技術を統合化し、スリランカ国で適用できる廃棄物処分場計画・維持管理ガイドラインを最終化し、相手国地方・州議会省及び環境省に提案し、ガイドラインの公式文書化を行う。この際、ケーススタディーとして、本研究調査対象サイトが含まれる中央州及び南部州の地方自治体における廃棄物処分場計画・維持管理ガイドラインの適用例を示す。相手国実施担当機関についてはJICA R/Dを参照のこと。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

【活動 1】には次の 4 つの活動が含まれる。

1-1 スリランカにおける廃棄物管理事業及び廃棄物政策をレビューし、改善すべき課題を把握する。

1-2 ガンボラ町及びハンバントタ市の廃棄物管理に関する組織、人員体制、予算規模、技術力に関する調査を実施する。

1-3 1-1 及び 1-2 の結果を踏まえ、策定するガイドラインで網羅する項目と内容を明確にする。

1-4 スリランカ廃棄物関係者を対象としたワークショップを開催し、1-3 に対する意見を聴取し、ガイドラインの項目に反映させる。

第 1-2 年次は、1-1、1-2 の活動を中心に実施した。具体的には、ガンボラ町及びハンバントタ市を含む中央州及び南部州を対象として、廃棄物管理に関する SCA (Social Capacity Assessment: 社会的能力評価) に必要な項目の基礎調査(第 1 次調査)を行うとともに、ス国中央州及び南部州を対象として地方財政調査・排出ゴミ量・ゴミ質調査(写真 1)・環境ビジネス調査・を実施した。第 2 年次に当初予定していた住民意識調査や SCA は、第 3 年次に着手する予定である。第 3-4 年次は、これらの活動成果を統合化し、地方自治体の廃棄物管理に関する社会的・経済的・技術的制約条件を定量的に明らかにするとともに、2 つ以上の地方自治体で廃棄物管理事業改善計画の作成に着手し、策定するガイドラインで網羅する項目と内容を明確にする予定である(1-3)。また、1-4 に関連して、第 1-2 年次は 3 回 スリランカ廃棄物関係者を対象としたワークショップを開催した(中央政府関係者、中央州関係者、南部州関係者)。

④カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

各自治体の廃棄物管理システムの社会的能力を適切に評価するために必要な調査項目を記載した、調査シートを日本側で作成し、相手国メンバーと共有した。また、現在ゴミ量・ゴミ質調査の調査マニュアル及びシートを作成した(SATREPS Annual Report FY2012 参照)。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況

地方自治体の廃棄物管理事業に関する財政調査・環境ビジネス調査は、当初現地 RA 大学院生(中央州 1 名、南部州 1 名)の活動の一部として実施

していた。しかし、財政に関する正しいデータ・情報の入手・整理が極めて困難であること、現地 RA 大学院生及びカウンターパートは工学系出身であり、これら調査を実施するためのバックボーンを有しないことなどから、外部専門家チームに基礎データ収集を依頼することとなった。



写真 1 2012 年に実施したゴミ量・ゴミ質調査の風景

【活動 2】主担当：産業技術総合研究所グループ

研究題目：新規廃棄物処分場の適地選定手法の構築

①研究のねらい

本グループは、【活動 2】新規廃棄物処分場の適地選定手法が定められる（H23 年～H25 年）、を達成することを目的とする。

②研究実施方法

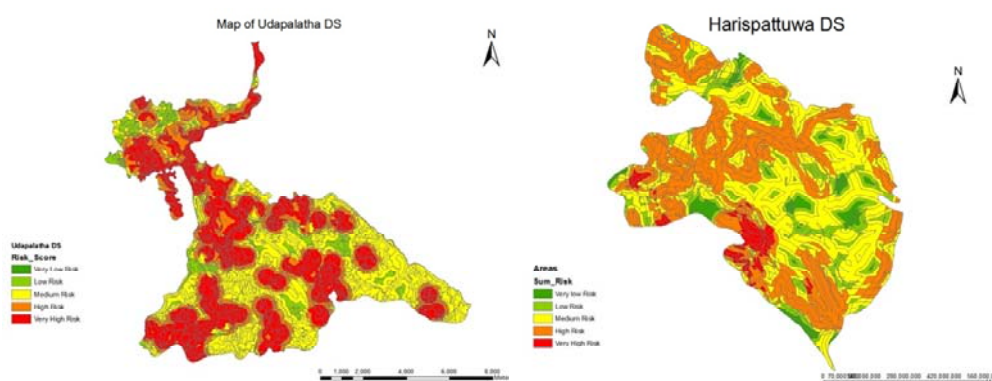
新規廃棄物処分場候補地選定のための、本研究調査サイトであるガンボラ町及びハンバントタ市を含むス国中央州及び南部州対象に、基本的情報（地形地質、土地利用等）の収集・整理を行うとともに、相手国特有の技術的・社会的・経済的条件を見出し、見出した条件に関するデータを収集・整理する。それらのデータを総合的に分析し、適地選定のための総合的評価手法を構築し、選定手順書を作成する。相手国実施担当機関については JICA R/D を参照のこと。

③当初の計画（全体計画）に対する現在の進捗状況

【活動 2】には次の 6 つの活動が含まれる。

- 2-1 新規廃棄物処分場候補地選定のための技術的条件を見出す。
- 2-2 新規廃棄物処分場候補地選定のための社会・経済的条件を見出す。
- 2-3 ガンボラ町及びハンバントタ市を対象に、2-1 及び 2-2 で見出したデータを収集する。
- 2-4 2-3 のデータを総合的に分析し、適地選定のための総合的評価手法を構築する。
- 2-5 2-4 をもとに、新規処分場の選定手順書を準備する。
- 2-6 調査・研究結果を共有するためのセミナーを開催し、ニュースレター、紙面、Web、学会での発表を通じて広報活動を行い、研究者だけでなく、廃棄物管理にかかわる関係者に対して調査・研究結果を広める。

第 1-2 年次は、2-1、2-3、2-4 に関して、中央州及び南部州の基本的情報（地形地質、土地利用等）のデジタルデータを入手し、中央州における適地選定のための技術的部分の予備的解析を実施した。具体には、GIS 解析と環境リスク評価を組み合わせ、廃棄物処分場立地に関するリスクマップを作成した（図 1; Balasooriya et al., ICSBE 2012）。このようなリスクマップ作成はスリランカで初の試みとなる。



Case studies on the risk categorizations map. (1) Udapalatha DS, (2) Harispattuwa DS

図1 中央州の2地区における廃棄物処分場立地に関するリスクマップ
(Balasooriya et al., 2012)

第 3 年次は、適地選定のための社会・経済的要因（2-2）も含めた形でのス国廃棄物処分場選定基準（観点）・手法を明確化し、第 4 年次中期にはこれらを含めた新規廃棄物処分場の選定手順書を作成する予定である。（2-5、2-6）④カウンターパートへの技術移転の状況（日本側および相手国側と相互に交換された技

術情報を含む)

2012 年 11 月にカウンターパート 7 名を招へいし、GIS 解析ソフト(Arc GIS)の操作法に関する基礎的トレーニングを実施した。さらに、2013 年 9 月にも 7 名を招へいし、トレーニング(中級レベル)を実施する予定である。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況

GIS 解析や環境リスク評価の精度を高めるために必要な、水文学的情報の地表透水性データがス国では存在しなかった。このため、日本側研究機関より原位置透水試験装置(ゲルフパーミアミータ)を持ち込み、中央州を中心に約 200 地点での原位置透水係数試験を実施している。

【活動 3】主担当:埼玉県環境科学国際センターグループ

研究題目:廃棄物処分場及びその周辺域の汚染状況モニタリング

①研究のねらい

本グループは埼玉大学と共同で、【活動 3】既存廃棄物処分場の現状を把握するために、処分場及び周辺域の汚染状況のモニタリングが行われる(H23 年～H27 年)、を達成することを目的とする。

②研究実施方法

本研究調査対象サイトであるガンポラ処分場(湿潤気候帯)及びハンバントタ処分場(乾燥気候帯)にて、汚染状況モニタリングを実施する。これらの本格的調査に先立ち、第 1-2 年次はスリランカ処分場のゴミ質などの基本的情報を得ることを目的として、スリランカ国内の異なる条件(気候・土地利用・人口密度など)にある処分場を 20 箇所程度選定し、ゴミ試料・ガス試料の採取・分析を行う予定である。本格調査におけるモニタリングでは、水質項目として BOD、COD、浮遊物質(SS)、全窒素、鉛、カドミウムなど全 31 項目、ガス項目としてメタン、二酸化炭素、総揮発性有機化合物など 9 項目を予定している。本研究の実施内容には、具体的に次の項目が含まれる。①基本情報を収集・整理と予備的な分析・解析、②モニタリング計画の作成、③相手側研究機関での品質保証・品質管理(QAQC)体制の確立、④モニタリングマニュアルの作成と実施、⑤モニタリング結果の整理・分析、⑥廃棄物処分場からの汚染物質の移動予測及び暴露評価。これらの成果は【活動 5】の処分場モニタリング基準やモニタリング実施・管理手法の提案に活用される。相手国実施担当機関については JICA R/D を参照のこと。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

【活動 3】には次の 8 つの活動が含まれる。

3-1 モニタリング計画作成に必要な基本情報を収集、整理する。

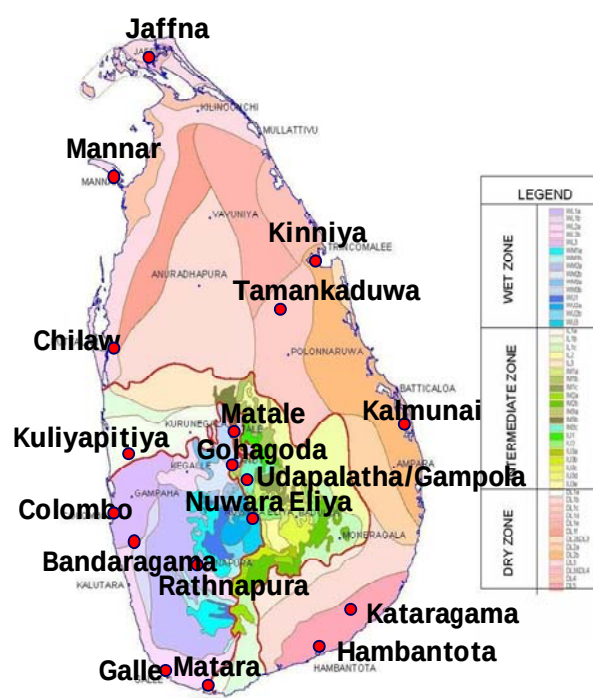
3-2 予備的な試料分析や解析を行い、モニタリングに必要な活動(試料採取・分析等)を選定する。

3-3 3-2 に基づき、モニタリング計画(調査地点、調査頻度、調査項目、機材、人員体制等)を作成する。

3-4 QAQC が実施される。(Quality Assurance:品質保証, Quality Control 品質管理)

3-5 3-3 の計画に沿って、現地計測システムの構築、ラボラトリの整備、スタッフの能力強化を行い、モニタリング実施手順をマニュアル化する。

3-6 3-5 でマニュアル化された実施手順に基づき、ガ



ンポラ処分場及びハンバントタ処分場、並びにそれら周辺域における汚染状況のモニタリングを行う。

3-7 モニタリング結果を整理・分析し、廃棄物処分場からの汚染物質の移動予測及び暴露評価を行う。

3-8 調査・研究結果を共有するためのセミナーを開催し、ニュースレター、紙面、Web、学会での発表を通じて広報活動を行い、研究者だけでなく、廃棄物管理にかかわる関係者に対して調査・研究結果を広める。

第1-2年次は、3-1と3-2に関連して、スリランカ国内も含め、未焼却一般廃棄物が埋設された処分場でのモニタリング事例に関する文献調査(学術論文、報告書、資料等)を行い、情報を収集・整理するとともに、ガンボラ処分場及びハンバントタ処分場を含めた、スリランカ国内の異なる条件(気候・土地利用・人口密度など)にある処分場を20箇所程度選定し、ゴミ試料・ガス試料の採取・分析を行った(図2;現時点で14か所の試料採取・分析を実施)。そして、これまで得られた埋設ゴミデータに対して、低位発熱量や残渣含有量(<2mm)などを変数としたクラスター分析を行い、デンドログラムを作成し、相似性・相違性に基づいた既存廃棄物処分場の分類を試みている(図3; Wijewardane et al., ICSBE 2012)。このような分類アプローチにより、既存廃棄物処分場の特性を単に搬入廃棄物量(規模的特徴)のみで分類するのではなく、埋設廃棄物の質的特性を加味した分類方法の提案が可能となり、処分場環境影響評価、処分場モニタリング計画、処分場修復対策を考える際に効果的に活用されることが期待される。今後は、埋立ガス組成や浸出水水質分析の結果も踏まえて、その有効性をさらに検証していく予定である。埋立ガスデータに対しては、特に、ガス種としてはメタン・酸素・二酸化炭素濃度と、埋設廃棄物の有機分含量や廃棄物年齢の関係に注目して、その相関性を調べた。その結果、各種ガス濃度と廃棄物年齢の関係は、湿潤気候帯及び乾燥気候帯に位置する廃棄物処分場ともに相関は概ね低いこと、メタン濃度は残渣含有量(<2mm)と比較的良好な関係があること、などが明らかになった(Koide et al., ICSBE 2012)。

第2年次後半より、湿潤気候帯と乾燥気候帯に位置する二つの既存廃棄物処分場を対象に、地下水観測井・埋立ガス観測井の設置工事を開始し、2013年3月より初動環境モニタング(モニタリング観測井設置後の簡易水質・埋立ガスモニタリング)を開始した。第3年次中期(2014年9月)まで初動環境モニタングを継続するとともに、モニタリング計画(調査地点、調査頻度、調査項目、機材、人員体制等)の作成(3-3)、機器のQAQC・モニタリングマニュアル作成を実施する(3-4)。初動環境モニタングの後、本格環境モニタリングを開始し、以降プロジェクト終了時まで環境モニタリングを継続する(3-5、3-6)。これらの継続モニタリングを通して得られたデータやノウハウは、第4年次に既存処分場の汚染レベルや浸出水質の季節変動などを把握するのに利用される。

第2年次後半より、湿潤気候帯と乾燥気候帯に位置する二つの既存廃棄物処分場を対象に、地下水観測井・埋立ガス観測井の設置工事を開始し、2013年3月より初動環境モニタング(モニタリング観測井設置後の簡易水質・埋立ガスモニタリング)を開始した。第3年次中期(2014年9月)まで初動環境モニタングを継続するとともに、モニタリング計画(調査地点、調査頻度、調査項目、機材、人員体制等)の作成(3-3)、機器のQAQC・モニタリングマニュアル作成を実施する(3-4)。初動環境モニタングの後、本格環境モニタリングを開始し、以降プロジェクト終了時まで環境モニタリングを継続する(3-5、3-6)。これらの継続モニタリングを通して得られたデータやノウハウは、第4年次に既存処分場の汚染レベルや浸出水質の季節変動などを把握するのに利用される。

④カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

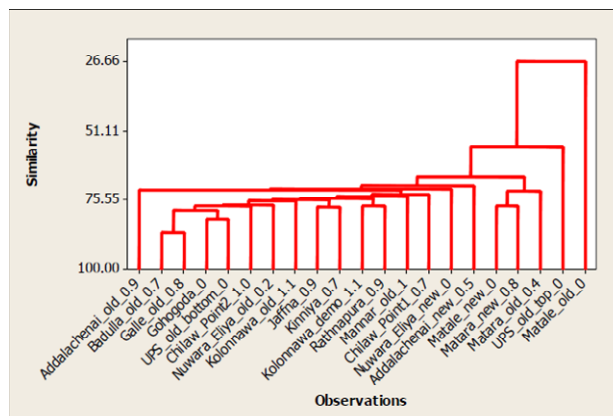


図3 埋設廃棄物のクラスター分析例(Wijewardane et al., 2012)



図4 廃棄物処分場における埋設ガスサンプリング

埋設ゴミ試料分析法を作成し、相手国メンバーと共有した(SATREPS Annual Report FY2011 参照)。廃棄物処分場における埋立ガス採取法(図 4)及び電磁探査法をカウンターパートに教授した。初動環境モニタリング実施にあたり、モニタリング実施方法メモを作成しカウンターパートと共有した。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況

ス国大学ストライキの影響もあり、現地においてモニタリング観測井設置工事が当初より遅れるとともに、第 2 年次内に環境分析用供与機材の設置ができなかった。モニタリング観測井設置工事は 2013 年 4 月に終了する予定であり、環境分析用供与機材は 2013 年 4 月末に現地に到着予定である。環境モニタリングの本格実施に向けて、供与機材の到着後すぐに操作法トレーニングを実施する(5-8 月)。

【活動 4】主担当:埼玉大学グループ

研究題目:地域特性を活かした廃棄物処分場汚染防止・修復技術の構築

①研究のねらい

本グループは、【活動 4】廃棄物処分場の汚染防止・修復技術が構築される(H23 年～H27 年)、を達成することを目的とする。

②研究実施方法

研究実施内容は、汚染防止ならびに処分場の環境改善のために現地で適用可能な、低コスト・低メンテナンス・低環境負荷材料を用いた修復技術を開発する。具体的な活動は、①浸出水処理技術、②遮水ライナー技術、③安全な廃棄物積み上げ層厚及びその傾斜角の決定、④処分場キャッピング技術、⑤反応性浸透壁技術の 5 項目について、適用・導入可能な汚染防止・修復技術を研究開発する。そして、汚染防止・修復技術の開発スペックを明確化したのち、野外スケール試験(実証試験)を実施し、その有効性を検証する。相手国実施担当機関については JICA R/D を参照のこと。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

【活動 4】には次の 10 の活動が含まれる。

4-1 1-4 のガイドラインのコンセプトと 3-7 の結果に基づき、研究開発能力の向上を行いつつ、浸出水処理材料等の検討を行い、適用・導入可能な浸出水処理技術を構築する。

4-2 1-4 のガイドラインのコンセプトと 3-7 の結果に基づき、研究開発能力の向上を行いつつ、遮水ライナー材料等の検討を行い、適用・導入可能なライナー技術を構築する。

4-3 1-4 のガイドラインのコンセプトと 3-7 の結果に基づき、研究開発能力の向上を行いつつ、廃棄物地盤の強度・変形特性の検討を行い、安全な廃棄物積み上げ層厚及びその傾斜角を決定する。

4-4 1-4 のガイドラインのコンセプトと 3-7 の結果に基づき、研究開発能力の向上を行いつつ、処分場キャッピング材料の検討を行い、適用・導入可能な処分場キャッピング技術を構築する。

4-5 1-4 のガイドラインのコンセプトと 3-7 の結果に基づき、研究開発能力の向上を行いつつ、新規処分場汚染防止及び既設処分場修復のための反応性浸透壁材料の検討を行い、適用・導入可能な反応性浸透壁技術を構築する。

4-6 4-1 から 4-5 で開発された技術や知見を基に、野外スケール研究(実証試験)の計画(方法、サイト、技術の評価方法等)を策定する。

4-7 4-6 で策定された計画に基づき、ガンボラ処分場及びハンバントタ処分場で野外スケール研究を実施する。

4-8 4-7 の結果を 4-1 から 4-5 で開発された技術に反映する。

4-9 調査・研究結果を報告書に取りまとめる。

4-10 調査・研究結果を共有するためのセミナーを開催し、ニュースレター、紙面、Web、学会での発表を通じて広報活動を行い、研究者だけでなく、廃棄物管理にかかわる関係者に対して調査・研究結果を広める。

第 1-2 年次は、4-1～4-5 の活動内容に着手した。4-1 の浸出水処理技術に関しては、低コストかつ低メンテナンスの処理技術の確立を目指し、ス国で入手が容易なバイオマス資源であるココヤシや籾殻などのフィルター材や生物膜担体としての積極的な活用を検討している。例えば、ココヤシ繊維を生物膜担体として組み込んだ汚水処理システム（安定化池の一種）、Coconut-Fiber Biofilm Treatment System (COTS)の汚水処理能力の定量的評価(ス国野外試験)を実施している(図 5a)。その結果、汚水中の COD や BOD は比較的効率的に除去できて



図5 ココヤシ繊維を活用した汚水処理システム
(a)現地COTS
(b)室内マイクロコズム試験
(稼働前)

おり、処理水はス国放流水の排水基準(Sri Lanka Standard 652, SLSI, 1984)を概ね下回るものの、リンの除去が不十分であることなどが明らかとなった(Sato et al., 2012)。今後は、ココヤシ繊維の生物膜処理の効果について詳しく検討するため、室内マイクロコズム実験を予定している(図 5b)。また一方、ココヤシ繊維を粉末状にしたココハスクを用いた汚水中の重金属(特に、鉛とカドミウム)除去についての研究も進めた(後述の図 8 参照)。その結果、ココハスクの重金属吸着能は、既往研究で報告されているバイオマス材料吸着能と比較して同程度以上であること、さらに、ココハスクをフミン酸処理(コーティング)することにより、さらに重金属吸着能が 2～3 倍大きくなることが明らかとなった(Sewwandi et al., ASCE, 2013)。このことは、現地廃棄物処分場の浸出水中の重金属類除去に、フィルター材としてココハスクの適用が有効であることを示唆している。4-1 の浸出水処理技術に関しては、上記以外にも地元産の種子(Ingini seeds)粉末の凝集沈殿材としての適用性や、汚水の最終処理としての人工造成湿地の適用に関する研究にも着手した。

4-2 の遮水ライナー技術に関しては、ス国で産出する膨潤性粘土を活用した粘土ライナーの開発を目指して、室内実験を用いて、その透水性などを評価している。具体には、湿潤気候帯に位置する中央州では、Digna 土壌と Moragahakanda 土壌を用いて、圧密応力(有効土被り圧)と透水係数の関係性を調べた。その結果、両土壌ともに粘土ライナーとしての標準的な基準(例えば、Quality Assurance and Quality Control for Waste Containment Facilities, USEPA, 1993; Technical Guidelines on Solid Waste Management in Sri Lanka, CEA, 2005 & 2007)を満たしていること、遮水効果とし



図6 室内実験で用いた廃棄物試料
(a)埋設産業廃棄物、(b)焼却灰
(c)不燃廃棄物(一般)、(d)産業廃棄物(プラ主体)

ては Moragahakanda 土壌が優れていることなどが明らかとなった (Wanigarathna et al., ICSBE, 2012)。乾燥気候帯に位置する南部州では, Buttala 土壌を今後検討する予定である。今後は, これら地元産の膨潤性粘土の粘土鉱物組成などを詳しく調べるとともに (日本側研究機関), 遮水効果が長期にわたり十分に機能させるための粘土ライナー層厚の検討, 膨潤・透水・溶質拡散特性にイオン種や溶質濃度が及ぼす影響を検討する予定である。

4-3 の廃棄物積上層厚と傾斜角の解明に関しては, ガンボラ処分場及びハンバントタ処分場を対象に, 埋設廃棄物および周辺地盤からのボックスサンプリング (約 30cm×30cm×30cm, 深さ 0.5m と 3m 付近 (基盤上部)) を実施した。これらのサンプルは, 原位置の埋設廃棄物層の基本的物理量 (単位体積重量や間隙比) に用いられるのと同時に, 室内実験を用いて各種地盤力学的特性 (圧密, 締固め, セン断抵抗角や摩擦角) の測定に用いられる。これらの各種地盤力学的特性は廃棄物処分場の地盤安定解析や積上層厚・傾斜角の検討に直接的に組み込まれる。また, 日本側研究機関では, 先行研究として, 我が国の処分場搬入廃棄物や埋設廃棄物を用いて, 各種地盤力学的特性の実験的検討を既に開始している (Nandika et al., ICSBE 2012) (図 6)。両国の廃棄物材料の地盤力学的特性を比較することにより, これまであまり報告例のない途上国における未焼却埋設廃棄物の力学的特性をより明確に理解することが期待できる。

4-4 の処分場キャッピング技術に関しては, 遮水機能とガス交換機能 (廃棄物層安定化促進) を強化したキャッピング用土質材料の開発を目指し, オレイン酸 (ココヤシより抽出されるオイル) 添加砂の撥水性評価, 締固め土質材料のガス

拡散・通気性評価を室内実験により実施している (図 7)。その結果, オレイン酸を砂 1kg あたり数 g 添加することで撥水性機能が著しく向上すること, オレイン酸添加砂の撥水性に乾湿履歴の影響は小さいことなどが明らかとなり, 遮水機能を向上させるキャピラリーバ

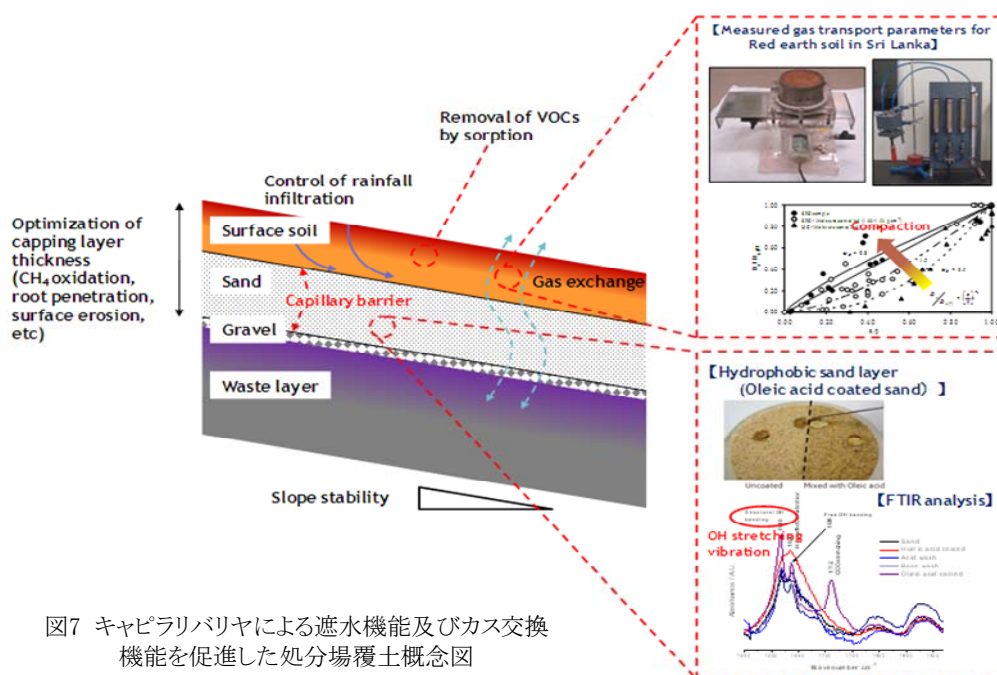


図7 キャピラリーバリアによる遮水機能及びガス交換機能を促進した処分場覆土概念図

リヤ材として有効であることが示された (Subedi et al., VZJ, 2012)。今後は, 室内実験において散水浸潤実験を行い, キャピラリーバリア特性を詳細に検討していく予定である。ガス交換機能に関しては, 覆土材料を締固めの度合いで, ガス拡散性 (拡散係数) が大きく変化すること, 締固め度合いが大きい程同一水分量におけるガス拡散係数が大きくなることなどが明らかとなった (Wickramachchi et al., ASCE, 2011; Waste Management, 2011)。このことから, 覆土のガス交換機能を高めるためには, 十分に締固めた状態で, 乾燥状態に土壌水分状態を維持することが有効であることが示唆された。今後は, ス国地盤材料も含めて締固めた覆土材料の微視的間隙構造解析などを実施し, そのガス移動メカニズムを詳細に検討すると同時に, 先行研究で開発した新たなガス拡散係数測定装置 (Rouf et al., WRR, 2012) を用いて, 乾湿履歴がガス拡散性に及ぼす影響を調べる予定であ

る。

4-5 の反応性浸透壁材料の開発に関しては、現地で入手が容易な地盤材料、バイオマス資材、建設廃材からなる混合材料を用いた反応性浸透壁材料の開発を目指している(図8)。地盤材料については、スリランカの代表的な土壌の鉱物分析や表面荷電測定などを行い、イオン交換能の高い土壌を選定している。バイオマス資材としては、重金属吸着能の高い先述のココハスクを候補としてしる。建設廃材としては、ス国廃棄物処分場に搬入される粘土レンガを候補とし、破碎レ

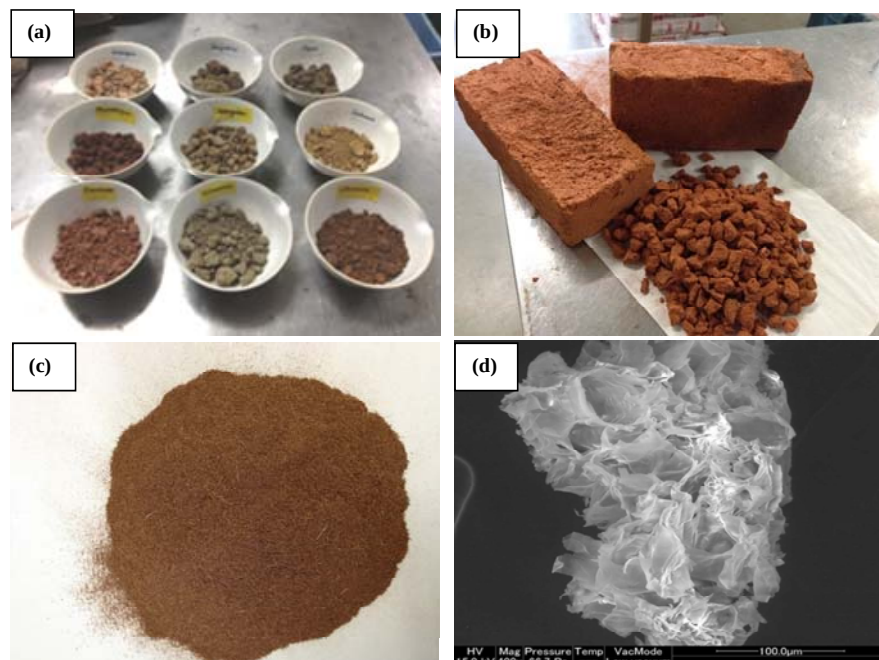


図8 反応性浸透壁材料

(a)ス国の異なる土壌試料, (b)粘土レンガ, (c)ココハスク, (d)ココハスクのSEM画像

ンガ画分(粒径)を変化させて透水係数を調べている。今後は、地盤材料選定後、各種材料の混合割合を決定し、室内カラム実験を用いて長期汚水浄化試験を実施する予定である。

上記の 4-1 浸出水処理技術、4-2 遮水ライナー技術、4-4 処分場キャッピング技術は第3年次終了時を目処に開発技術のスペックの明確化を目指すとともに、第4年次終了時には4-3 廃棄物積上層厚と傾斜角の解明と4-5 反応性浸透壁材料の開発を目指している。そして、第5年次初期から実証試験を開始し、これらの開発技術の有効性を検証する予定である。

④カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

日本側で先行研究として行っていたベントナイト(Na型モンモリロナイト)の基本的膨潤特性や透水性(Rashid et al., JPGU 2012)を相手国へ提供した。ベントナイトの膨潤・透水・溶質拡散特性は、今後現地において選定・試験を進めるライナー材料の基本的機能である遮水性等を評価する際の目標値として位置付けられる。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)

ス国大学ストライキの影響もあり第2年次内に環境分析用供与機材の設置ができなかった。環境分析用供与機材は2013年4月末、地盤解析システムは2013年10月には現地設置予定となっている。供与機材の到着後すぐに操作法トレーニングを実施し、現地においても本格的に分析・室内実験を開始する。

3. 成果発表等

(1) 原著論文発表

- ① 本年度発表総数(国内 0 件、国際 5 件)
- ② 本プロジェクト期間累積件数(国内 0 件、海外 9 件)
- ③ 論文詳細情報

【査読付国際学術論文】

1. Wickramarachchi, P., K. Kawamoto, S. Hamamoto, M. Nagamori, P. Moldrup, and T. Komatsu. 2011. Effects of dry bulk density and particle size fraction on gas transport parameters in variably saturated landfill cover soil. *Waste Management* 31, 2462–2472, DOI: 10.1016/j.wasman.2011.07.008.
2. Wickramarachchi, P., K. Ranasinghe, S. Hamamoto, K. Kawamoto, U.P. Nawagamuwa, P. Moldrup, and T. Komatsu. 2011. Gas transport parameters for compacted reddish brown soil in Sri Lankan landfill final cover. *J. Hazardous, Toxic and Radioactive Waste* 15: 285–295, DOI: 10.1061/(ASCE) HZ. 1944-8376.0000078.
3. Rouf, M. A., S. Hamamoto, K. Kawamoto, T. Sakaki, T. Komatsu, and P. Moldrup. 2012. Unified measurement system with suction control for measuring hysteresis in soil-gas transport parameters under variable saturation. *Water Resour. Res.* 48, W02506, doi:10.1029/2011WR010615.
4. Subedi, S., K. Kawamoto, T. Komatsu, L. Jayarathna, and M. Vithanage, P. Moldrup, and L.W. de Jonge. 2012. Characterizing time-dependent contact angles for sands hydrophobized with oleic and stearic acids. *Vadose Zone J.*, doi:10.2136/vzj2011.0055.
5. Sewwandi, B.G.N., M. Vithanage, S.S.R.M.D.H.R. Wijesekara, M.I.M. Mowjood, S. Hamamoto, and K. Kawamoto. 2013. Adsorption of Cd(II) and Pb(II) humic acid treated coconut (*Cocos nucifera*) husk. *J. Hazardous, Toxic and Radioactive Waste*, ASCE (in press).

【査読付プロシーディングス論文】

1. Wijerathna, D.M.C.B., K.B.S.N. Jinadasa, G.B.B. Herath, S. Iijima, K. Kawamoto, C.S. Kalpage, and L. Mangalika. 2012. Solid waste management issues in the developing world - A case study from Sri Lanka. *Proceedings of the 7th Asian-Pacific Landfill Symposium (APLAS 2012)*, OMS 1-28-OMS 1-35, ISBN 978-602-18925-0-3.
2. Herath, G.B.B., R. Jayathilake, K.H.P. Madusanka, D.D.S.S. Weerasooriya, N.K. Wijewardana, K. Kawamoto, N. Tanaka. 2012. Characterizing solid waste at dumps in different geographical settings of Sri Lanka for potential energy generation. *Proceedings of the 7th Asian-Pacific Landfill Symposium (APLAS 2012)*, OSL 3-347-OSL 3-352, ISBN 978-602-18925-0-3.
3. Sato, N., K. Kawamoto, and L. Mangalika. 2012. Current condition and issues of municipal solid waste management in Sri Lanka. *Proceedings of the 7th Asian-Pacific Landfill Symposium (APLAS 2012)*, OMS 6-58-OMS 6-66, ISBN 978-602-18925-0-3.
4. Nagamori, M., Y. Isobe, Y. Watanabe, N.K. Wijewardane, M.I.M. Mowjood, T. Koide, and K. Kawamoto. 2012. Comparison of several landfill gas compositions between Japan and Sri Lanka. *Proceedings of the 7th Asian-Pacific Landfill Symposium (APLAS 2012)*, P 19-558-P19-564, ISBN 978-602-18925-0-3.

(2) 特許出願

- ① 本年度特許出願内訳(国内 0 件、海外 0 件、特許出願した発明数 0 件)
- ② 本プロジェクト期間累積件数(国内 0 件、海外 0 件)

4. プロジェクト実施体制

(1) 埼玉大学グループ(研究題目:廃棄物処分場における地域特性を生かした汚染防止と修復技術の構築)

①研究者グループリーダー名:

【日本側】 田中規夫(埼玉大学環境科学研究センター・教授)

【相手国側】 G.B.B. Herath (ペラデニヤ大学 Senior Lecturer)

② 研究項目

主に、下記の【活動 4】及び【活動 5】に含まれる活動項目。

【活動 4】廃棄物処分場の汚染防止・修復技術が構築される

4-1 1-4 のガイドラインのコンセプトと 3-7 の結果に基づき、研究開発能力の向上を行いつつ、浸出水処理材料等の検討を行い、適用・導入可能な浸出水処理技術を構築する。

4-2 1-4 のガイドラインのコンセプトと 3-7 の結果に基づき、研究開発能力の向上を行いつつ、遮水ライナー材料等の検討を行い、適用・導入可能なライナー技術を構築する。

4-3 1-4 のガイドラインのコンセプトと 3-7 の結果に基づき、研究開発能力の向上を行いつつ、廃棄物地盤の強度・変形特性の検討を行い、安全な廃棄物積み上げ層厚及びその傾斜角を決定する。

4-4 1-4 のガイドラインのコンセプトと 3-7 の結果に基づき、研究開発能力の向上を行いつつ、処分場キャッピング材料の検討を行い、適用・導入可能な処分場キャッピング技術を構築する。

4-5 1-4 のガイドラインのコンセプトと 3-7 の結果に基づき、研究開発能力の向上を行いつつ、新規処分場汚染防止及び既設処分場修復のための反応性浸透壁材料の検討を行い、適用・導入可能な反応性浸透壁技術を構築する。

4-6 4-1 から 4-5 で開発された技術や知見を基に、野外スケール研究(実証試験)の計画(方法, サイト, 技術の評価方法等)を策定する。

4-7 4-6 で策定された計画に基づき、ガンボラ処分場及びハンバントタ処分場で野外スケール研究を実施する。

4-8 4-7 の結果を 4-1 から 4-5 で開発された技術に反映する。

4-9 調査・研究結果を報告書に取りまとめる。

4-10 調査・研究結果を共有するためのセミナーを開催し、ニュースレター、紙面、Web、学会での発表を通じて広報活動を行い、研究者だけでなく、廃棄物管理にかかわる関係者に対して調査・研究結果を広める。

【活動 5】持続的かつ適用可能な廃棄物処分場の計画・維持管理ガイドラインが最終化される

5-1 成果1から4までの成果を活用し、低コスト、低メンテナンス、低環境負荷な廃棄物処分場汚染防止・修復技術の組み合わせ案を複数作成する。

5-2 ガンボラ町及びハンバントタ市における処分場建設可能性評価マップを作成する。

5-3 自治体に対し、新規処分場のモニタリング基準が提示される。

5-4 既存のガンボラ処分場及びハンバントタ処分場のモニタリング方法及び環境負荷削減方法を示す。

5-5 5-1 から 5-4 の結果を共有・検討するためのワークショップを開催する。

5-6 5-5 におけるコメントを反映させ、スリランカ国内に適応できる、ガイドラインを最終化する。

(2) 埼玉県環境科学国際センターグループ(研究題目: 廃棄物処分場及びその周辺域の汚染状況モニタリング)

① 研究者グループリーダー名:

【日本側】 長森正尚(埼玉県環境科学国際センター・専門研究員)

【相手国側】 M.I.M. Mowjood (ペラデニヤ大学・Senior Lecturer)

②研究項目

主に、下記の【活動 3】に含まれる活動項目。

【活動 3】既存廃棄物処分場現状を把握するために、処分場及び周辺域の汚染状況モニタリングが行われる

3-1 モニタリング計画作成に必要な基本情報を収集、整理する。

3-2 予備的な試料分析や解析を行い、モニタリングに必要な活動(試料採取・分析等)を選定する。

3-3 3-2 に基づき、モニタリング計画(調査地点、調査頻度、調査項目、機材、人員体制等)を作成する。

3-4 QAQC が実施される。(Quality Assurance:品質保証, Quality Control 品質管理)

3-5 3-3 の計画に沿って、現地計測システムの構築、ラボラトリの整備、スタッフの能力強化を行い、モニタリング実施手順をマニュアル化する。

3-6 3-5 でマニュアル化された実施手順に基づき、ガンボラ処分場及びハンバントタ処分場、並びにそれら周辺域における汚染状況のモニタリングを行う。

3-7 モニタリング結果を整理・分析し、廃棄物処分場からの汚染物質の移動予測及び暴露評価を行う。

3-8 調査・研究結果を共有するためのセミナーを開催し、ニュースレター、紙面、Web、学会での発表を通じて広報活動を行い、研究者だけでなく、廃棄物管理にかかわる関係者に対して調査・研究結果を広める。

(3)産業技術総合研究所グループ(研究題目:新規廃棄物処分場の適地選定手法の構築)

①研究者グループリーダー名:

【日本側】 駒井武(産業技術総合研究所・副研究部門長)

【相手国側】 M. Vithanage (キャンディー基礎研究所・主任研究員)

②研究項目

主に、下記の【活動 2】に含まれる活動項目。

【活動 2】新規廃棄物処分場の適地選定手法が定められる

2-1 新規廃棄物処分場候補地選定のための技術的条件を見出す。

2-2 新規廃棄物処分場候補地選定のための社会・経済的条件を見出す。

2-3 ガンボラ町及びハンバントタ市を対象に、2-1 及び 2-2 で見出したデータを収集する。

2-4 2-3 のデータを総合的に分析し、適地選定のための総合的評価手法を構築する。

2-5 2-4 をもとに、新規処分場の選定手順書を準備する。

2-6 調査・研究結果を共有するためのセミナーを開催し、ニュースレター、紙面、Web、学会での発表を通じて広報活動を行い、研究者だけでなく、廃棄物管理にかかわる関係者に対して調査・研究結果を広める。

(4)早稲田大学グループ(研究題目:持続的かつ適用可能な廃棄物処分場計画・維持管理ガイドラインの構築)

① 研究者グループリーダー名:

【日本側】 松岡俊二(早稲田大学・教授)

【相手国側】 L. Mangalika (全国廃棄物管理支援センター・所長)

②研究項目

主に、下記の【活動 1】に含まれる活動項目。

【活動 1】スリランカに適應できる廃棄物処分場計画・維持管理ガイドラインのコンセプトが明確にされる

1-1 スリランカにおける廃棄物管理事業及び廃棄物政策をレビューし、改善すべき課題を把握する。

1-2 ガンボラ町及びハンバントタ市の廃棄物管理に関する組織、人員体制、予算規模、技術力に関する調査を実施する。

1-3 1-1 及び 1-2 の結果を踏まえ、策定するガイドラインで網羅する項目と内容を明確にする。

1-4 スリランカ廃棄物関係者を対象としたワークショップを開催し、1-3 に対する意見を聴取し、ガイドラインの項目に反映させる。

以上