

[別紙 1]

論文内容の要旨

A COMPARISON OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF MUNICIPAL SOLID WASTE MANAGEMENT OPTIONS BY LIFE CYCLE ASSESSMENT

(ライフサイクルアセスメントによる都市廃棄物管理オプションの環境影響比較分析)

Mendes Mara Regina

メンデス マラ レジナ

都市廃棄物 (MSW) の処理・処分における環境インパクトとして最も大きく寄与するファクターを調べることを目的として、東京 (区部) とサンパウロの二都市においての都市廃棄物管理 (MSWM) オプションの評価におけるライフサイクルアセスメント (LCA) の適用を行った。

環境インパクトに与える地域特性の影響をより深く理解するために、上記二都市の都市廃棄物 LCA (MSW-LCA) の結果を比較した。主な目的は次に掲げる通りである。

- 廃棄物処理・処分の各オプションによる環境影響を評価するために都市廃棄物 LCA を構築する。
- これらのオプションの環境インパクト・ポテンシャルを二都市間で比較する。
- どのファクターが都市廃棄物管理の環境インパクトに最も影響を及ぼすかを調べる。
- 政策評価のような他の取り組みに対して都市廃棄物 LCA 研究の結果を適用し評価する。

焼却処理、ガス化溶融、バイオガス化 (嫌気性消化)、コンポスト、埋立処理について LCA を行った。これらの処理プロセスは廃棄物処理の 12 のオプションを組み合わせてあり、ここでは廃棄物処理手段 (WTA) と呼ぶことにする。本研究ではシステムの範囲を拡大し、電力利用、補助物質、資源とエネルギーの再利用についても計算している。都市廃棄物の収集、運搬は含まない。大気中に放出される主な汚染物質 (CO₂、CO、CH₄、SO₂、NO₂、N₂O、H₂S、HCl、HF、NH₃、煤塵) と水環境中に放出される汚染物質 (COD、T-N、T-P) をすべての WTA において推定した。これらの物質を地球温暖化係数 (GWP)、酸性化係数 (AP)、富栄養化係数 (NE) の 3 つの環境インパクト・カテゴリに整理して示した。環境インパクト・ポテンシャルは、実際のインパクトでなく起こりえる最大のインパクトに対応していることに注意する。インパクトは実際には、主に地域の特徴に関連する多くファクターに依存する。この都市廃棄物 LCA の結果にどのパラメータがより重要であるかを特定するために、主要なパラメータの値を変えて計算し感度分析を行った。各地域の平均廃棄物組成とあわせ 1998 年の都市廃棄物 1 トン当たりの処理を機能単位として選んだ。

サンパウロ市のケーススタディでは、すべてのインパクト・ポテンシャルが他より小さい値を示す WTA は一つもなく、どの WTA が望ましいかを特定することはできない。最善の処理オプションはなく、政策決定者にはあらゆる WTA の間のトレードオフへの対処が求められる。ガス化溶融が最も低い酸性係数を示す一方、生物処理を行い埋立を行うものが最も低い GWP を示した。結果

的には、いくつかの WTA でサンパウロの現在の処理法である埋立に比べて非常に大きな環境インパクトの削減があった。すべての環境インパクト・カテゴリについて評価した結果、ブラジルの電力は主に水力で賄われているため、発電によるインパクトの削減はそれほど大きくなかった。環境インパクトにおいては小さな削減しか見込めないが、サンパウロでは電力不足であることを考慮すると発電は望ましい。将来は電力需要の増加が火力発電の増加という結果につながるかもしれない。これらのことから、都市廃棄物による発電は魅力的なオプションである。

東京のケーススタディでは、いくつかの WTA で廃棄物の分別不徹底が原因で GWP や NE が増加していることがわかった。よって都市廃棄物管理を変える代わりに、排出源での分別を徹底することが好ましいと考えられる。エネルギー回収を行うことによって AP はかなり減り、よってガス化溶融は最もエネルギー回収率の高いプロセスであるので最も低い AP を示した。ガス化溶融はまた NE も最も低い結果となった。熱処理における発電は、発電が化石燃料で行われていた場合に排出されていたと考えられる排出量を削減することになる。二都市の都市廃棄物 LCA の結果比較から、同じ廃棄物処理を行っても場所が異なると様々な環境インパクトをとりうるということがいえる。その主な原因は、廃棄物組成、排出源での分別、エネルギー源に関連している。熱処理プロセスを盛り込んだ廃棄物管理オプションはかなりエネルギー回収でき、二都市のエネルギー源を考慮すると、東京ではサンパウロよりずっと低い環境インパクトを示す傾向がみられた。発電量 1 kW 当たりの二酸化炭素と大気汚染物質の排出量はブラジルよりも日本の方が大きいので、排出削減効果はサンパウロより東京の方がずっと大きくなる。コンポストによる肥料代替に関しては、窒素濃度が比較的低いので少量の化学肥料の代替に大量のコンポストが必要になるものの、本研究では肥料代替によって環境インパクトが減少した。コンポストは肥料と土壌改良剤の両方の役割を果たすため、コンポストの土壌への適用もまた有用なオプションである。しかし、東京においては需要の減少と農地との距離の遠さにより、コンポストの実現可能性は低いと考えられる。

二都市においてすべての WTA の中で、分別収集した生物分解性廃棄物をバイオガス化とコンポストにし、農業への処理排水の再利用とあわせて他の廃棄物をガス化するという組み合わせ (WTA4c) が、AP と NE を回避してより低いインパクト・ポテンシャルを示した。非常に魅力的ではあるが、現状ではこのオプションの実現可能性は低いと思われる。バイオガス化も MSW のガス化もまだ完全に確立されていないからである。さらに、農業への処理排水の再利用は比較的良質の原料の使用と特別な輸送形態、そして言うまでもなく市場が必要となる。そうは言うものの、WTA4c は近未来のよい最適化の例である。

一方、埋立は最も高いインパクト・ポテンシャルを示した。安価なオプションではあるが、埋立は本研究で評価した環境インパクトの全カテゴリーに大きく寄与することがわかった。埋立の環境インパクトは過小評価してはならない。

計算過程で用いたパラメータは二都市で同じだが、エネルギー源、廃棄物組成、廃棄物の分別での捨て間違いによって、ライフサイクル・インベントリとライフサイクル・インパクト評価の結果に違いが現れた。

廃棄物組成と発電の燃料源の将来変化の影響も評価した。廃棄物量の削減と電源構成の変化による影響はサンパウロと東京で異なり、この種の評価はサイト別に行わなければならない。しかしながら、変動幅を広くして評価しても WTA の順位は変わらなかった。この結果から WTA の選定が、例えば廃棄物量の減少といったことよりも、もっと大きく影響しているということが言える。

本研究において構築した MSW-LCA のフレームワークを、中国で急速に発展している都市である広州にあてはめてケーススタディを行った。広州の都市廃棄物は生物分解性分が高い割合を占めているので、通常コンポストが最も適切な処理手段であると考えられている。しかしこの MSW-LCA を適用すると、エネルギー回収を含む熱処理が、各環境インパクト・カテゴリに対して最も低いインパクトを示した。これは中国全体と同じく広州地域の電力が基本的に石炭によって供給されているためである。中国の石炭火力発電プラントによって、地球温暖化や酸性化に寄与する CO₂ や SO₂、NO₂ の排出が上昇している。そのため、最先端の焼却炉やガス化炉が都市廃棄物に用いられた場合はよりクリーンな電源となるであろう。

本研究から以下の結論が得られた。

- 廃棄物処理・処分について同じ技術を用いた場合でも、都市によって多様な環境インパクトを与えうる。類似した廃棄物管理モデルを当てはめた場合でも、インパクト・ポテンシャルはかなり異なった。廃棄物組成や排出源での分別のほか、エネルギー源がケーススタディの結果に大きな影響を与える重要なファクターであった。
- 基本的に廃棄物処理技術あるいは廃棄物管理オプションはどれも、全面的に最も小さい環境インパクトとなるものはない。どのケーススタディにおいても管理オプションの間にトレードオフの関係が見られた。これは、その地域においてどの環境インパクトがより望ましくないかということを検討して選択しなければならないことを示している。
- 単一の処理技術の評価も重要であるが、その技術を広い視野で捉え、周辺のシステムと合わせて組み込むことが持続可能性を決定するのに重要である。都市の観点から見た場合、単一技術の評価するのではなく、上流・下流でのシステムを含め複数の技術を組み合わせたシステムの評価を行う方が適切である。
- 排出源での分別において、分別不徹底は環境インパクト・ポテンシャルに大きく影響し、LCA による検討が必要である。
- 都市廃棄物管理の評価に LCA を適用することで、分別と管理の変化による効果を評価することができた。

最後に、特定の地域で実行する廃棄物処理の種類を決定する際には、ライフサイクルでの考え方とより広いシステム境界が重要であることが示された。