

セルオートマトンによるバンコク首都圏における一般廃棄物の発生分布予測

井内正直・松林健一・吉田城治・松井武史

A Cellular Automata Model to Investigate the Future Distribution of Municipal Solid Waste in Bangkok Metropolitan Area

Masanao IUCHI, Kenichi MATSUBAYASHI, Joji YOSHIDA and Takeshi MATSUI

Abstract: Recycling and energy conversion of municipal solid waste (MSW) has not developed in Asian region regardless of its population expansion. To advance effective use of MSW, it is necessary to know precise amount of MSW generation, and develop effective MSW collection system and distribution system of product and energy generated from MSW. Then, we estimated amount of MSW generation and distribution of MSW in Bangkok Metropolitan Area in present and the future to examine distribution efficiency of MSW using a Cellular Automata Model.

Keywords: 一般廃棄物 (MSW), セルオートマトン (a cellular automata), エネルギー (energy)

1. はじめに

世界的な化石エネルギー源の枯渇への対応と地球温暖化対策が急がれる中、経済成長と人口増を続けるアジア地域 (ASEAN10ヶ国) においては廃棄物発生量の増大が続いている。

とりわけ生活系廃棄物である一般廃棄物は都市域で発生する有望なバイオマス資源として注目されているにもかかわらず、そのほとんどが焼却されることなく埋立て処分され、一般廃棄物のエネルギー化やリサイクルがなかなか進まない現状にある。(経済産業省産業技術環境局 2005)

一般廃棄物のバイオマス資源としての有効活用を進めるためには、空間的な分布量(特に利用可能量)を詳細に把握すること、継続的かつ効率的に資源の収集ができるしくみを構築すること、電力だけではなく、熱利用や再製品等様々な形態で供給できるしくみの構築が必要なことをこれまで著者は指摘してきた (井内 2005)。アジア地域におけるバイ

オマス資源の発生分布量を表したデータとしては、著者らがアジアを対象として整備したGISデータ (井内 2006) がある。こうしたデータがあれば、バイオマス資源量の把握、収集や供給のあり方や事業化の効率的な検討や評価が効率的に行える。

しかし、アジア地域における一般廃棄物の発生分布量データは、国や県程度の広域的な集計にとどまっており、都市域のどこでどのような性状の廃棄物がどれだけの量発生し、将来的にはどのような発生分布となるのか等の実態はほとんど把握されていない。

そのため、詳細な一般廃棄物の発生分布データを整備することは、廃棄物の有効活用に向けた検討や評価を行う上で意義があると考えられる。

そこで、本研究ではアジアにおける廃棄物の活用検討の第一段階として、タイのバンコク首都圏における廃棄物発生量、土地利用面積、人口増加率、人口密度、土地利用図を入力データとして市街化予測モデルに基づいて、現在および将来の一般廃棄物の詳細な分布発生量の計算方法について検討し、推計を行った。

井内正直 〒201-8511 東京都狛江市岩戸北 2-11-1

財団法人 電力中央研究所 社会経済研究所

Phone: 03-3480-2111

E-mail: iuchi@criepi.denken.or.jp

2. 手法の概略

2.1 対象地および推計対象

対象地であるバンコク大都市圏（BMR, Bangkok Metropolitan Region）はタイの首都圏に相当する地域である。BMR はバンコク首都圏（BMA, Bangkok Metropolitan Area）および周辺 5 県（Nakhon Pathom, Nonthaburi, Pathum Thani, Samut Prakan, Samut Sakhon）から構成され、2006 年の人口は、994.8 万人（2006 年）にのぼり、タイ最大の人口密度であり、タイ全土の約 16% の人口にあたる。その面積は 7,758 km² であり、タイ全土の 15.5% の面積にあたる。

バンコク首都圏の廃棄物発生量は 6 つの Amphoe に集計されている。それらの Amphoe 内部を 50m メッシュ単位にて現状および将来の廃棄物発生量および組成比について計算を行うこととした。

2.2 計算手順と使用データ

国全体の一般廃棄物発生量は Statistical Year Book Thailand（2005 年版）を利用した。より細かい行政単位では Amphoe（日本の県と市町村の間の郡に相当する行政単位）レベルの Waste composition and volume of office space environment（2003 年版）があり、一般廃棄物発生量と組成比が掲載されている。

これらの資料では、国レベルの一般廃棄物発生量の合計値と Amphoe レベルの合計値が一致しないため、Amphoe レベルの合計値が 2005 年のタイ全国の発生量と一致するよう補正方法の検討を行い、Amphoe レベル発生量を補正した。次に、詳細な図に変換を行うため、衛星データと現地踏査から 2008 年時点の土地被覆図を作成し、さらに市街地を抽出することで市街化区域図を作成した。次に 2008 年および将来の一般廃棄物発生量の統計データは存在しないため、2018 年の人口推計値で市街化シミュレーションを行い、2018 年の市街化区域予測図を作成した。さらに、これらの市街化区域図を用いて 1 平方 km メッシュにて、それぞれの時期の一般廃棄物発生分布図を作成した。

2008 年の市街化区域図を作成するため、まず補正済の Amphoe レベルの一般廃棄物発生量と Amphoe レベルの人口から一般廃棄物発生量と一日一人あたりの一般廃棄物発生量（単位：kg/人/日。以下、MSWPPD）を求めた。次に、一般廃棄物発生量、MSPPD、廃棄物の組成情報に対する Amphoe の人口、面積、人口密度から、それぞれの相関係数を求めた。次に最も相関係数が高い説明変数から一般廃棄物の発

生量を求める推定式と組成比を求めた。さらに現地踏査（2008 年 11 月実施）の結果を踏まえ、ALOS/Avnir2 衛星データ（2008 年 12 月 17 日撮影）画像の目視判読により市街地部分を抽出し、50m メッシュにて作成した。

2018 年の市街化区域予測図は、渡辺（2000）のセルオートマトンモデルを用いた市街化予測モデルに基づき、2008 年の市街化区域図から作成した。

同モデルは、複雑系の手法であるセルラーオートマタを応用したもので、既存の市街地を基に市街地が広がる様子を予測できる。同モデルでは、都市化を誘発する因子から、解析対象の各セルが「非都市地域」→「市街地域」への変化の有無を判定することで、市街化の進行を予測できる。モデルに投入したパラメータを表-1 に示す。

表-1 パラメーター一覧

パラメータ	内容
1 市街化区域	ALOS/PRISM 衛星データ（2008 年 12 月 17 日撮影）画像を目視判読により作成
2 人口増加率	POPULATION PROJECTIONS FOR THAILAND (2005-2030) 記載の 2008 年以降の人口推計値から県単位かつ毎年の人口増加率を算出
3 道路ネットワーク	ArcData Roads network, ESRI Thailand の transportation レイヤに登録された全ての道路ネットワークデータ
4 市街化区域予測図	1. 2. 3. の値から 1 年ごとの市街地の広がりセルオートマトンモデルにより予測した図、翌年の市街化予測時に前年の計算結果を使用
5 行政界	バンコク首都圏を構成する 6 地域の行政界

次に、市街化区域図と市街化区域予測図から人口密度を求め、人口密度あたりの廃棄物発生量の原単位と掛け合わせて、1 平方 km メッシュにて 2008 年および 2018 年の一般廃棄物発生図を作成した。

廃棄物発生量の原単位は Amphoe レベルの統計資料から人口密度に対する廃棄物発生量の相関式を求めてこれを用いた。

3. 結果

3.1 一般廃棄物発生量の補正

タイ国全ての Amphoe における一般廃棄物発生量の合計値は 7,896,509(t/年)であった。それに対して国単位の一般廃棄物発生量 14,315,665(t/年)と約 1.8 倍程度と、国レベルの統計値の発生量の方が多かった。この理由は Amphoe の統計値は Amphoe の集積場や処分場に一般廃棄物を搬入したトラックの台

数から算出されたものであり，Amphoe が処分に関与しない廃棄物はAmphoeの統計に記録されていないためであった．このようなこの Amphoe で発生したのか不明な 6,419,156(t/年)については各 Amphoe の人口で案分することで，一般廃棄物発生量の補正を行った．

3.2 衛星データによる市街化区域図の作成

判読により作成した土地被覆図を図-1 に示した．バンコク首都圏の市街地はチャオプラヤー川の左岸の内陸を中心に発達している．近年は河口海岸部分の低湿地帯や右岸の内陸部において戸建ての新興住宅地の建設が急速に進んでいることが確認できた．

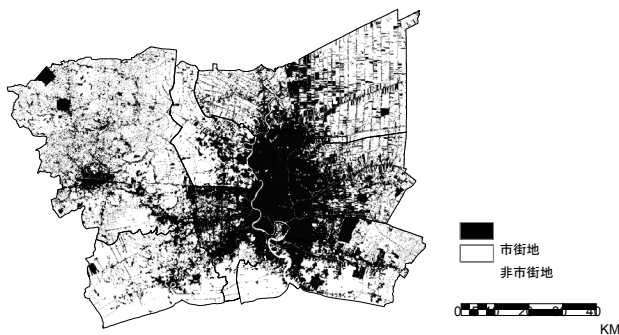


図-1 衛星データおよび現地踏査により作成した市街化区域図（2008 年）

3.3 市街化シミュレーションによる市街化区域予想図の作成

モデル計算により作成した市街化区域図（2018 年）を図-2 に示す．バンコク中心部では図の見た目は大きく変わらない．その理由として，バンコク中心部では空洞化現象と少子高齢化が同時進行するとされ，今後人口減となることが考えられる．しかし，モデルでは，人口減少しても一旦市街化した場所が非市街地に戻るとはしないため，市街地の領域は縮退しなかった．

一方，バンコクの郊外 5 地域においては，バンコク中心部のように集約的な市街化は生じず，緩やかな人口増加によるスプロール化により，小規模な市街地が散在的に拡張するがことが確認された（図-3）．

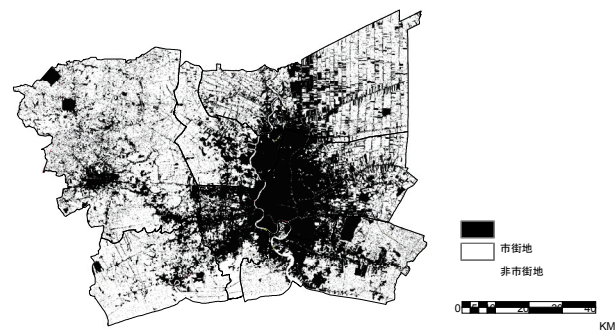


図-2 市街化シミュレーションにより作成した市街化区域予想図（2018 年）

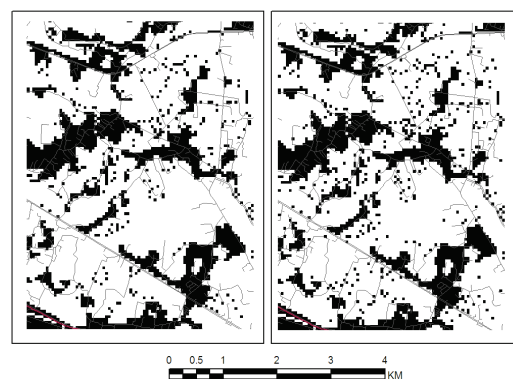


図-3 市街化区域予想図拡大 右 2008 年，左 2018 年

3.4 一般廃棄物発生分布予想図の作成

人口 面積 人口密度との相関について検討した結果を表-2 に示す．

表-2 相関係数一覧

	人口	面積	人口密度
一般廃棄物発生量	0.48	0.02	0.57
MSWPPD	0.47	-0.38	0.85
生ごみ比率	0.07	-0.14	0.13
可燃ごみ比率	0.16	0.09	-0.13

一般廃棄物発生量は地域内の人口数に応じて増減するため，人口との相関係数は 0.48 と高かった．MSWPPD については，人口は一般廃棄物発生量と同程度の 0.47 であった．面積は-0.38 と，面積が広がるほど MSWPPD は小さかった．また，人口密度は 0.85 と最も高く，相関式は $(MSWPPD) = 0.0009$ （人口密度） $+0.193$ となった．この式（図-4）を用いて，廃棄物発生量を求めることにした．

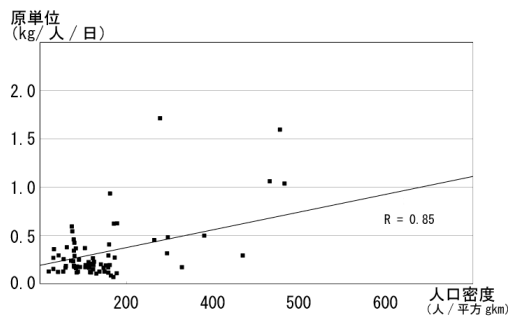


図-4 廃棄物発生量相関式

一般廃棄物発生推計結果を表-3 に示す。人口減に伴い 2018 年には発生量が減少することが分かった。2008 年の発生量分布予想図を図-5 に、2018 年を図-6 に示す。

表-3 市街化シミュレーション計算結果

地域名	2003年 統計値補正值	2008年 推計値	2018年 推計値
Bangkok	4,002,880	4,816,968	4,713,117
Nakhon Pathom	187,773	218,907	236,537
Nonthaburi	258,765	249,039	265,097
Pathum Thani	193,114	182,700	198,179
Samut Prakan	294,193	341,926	377,957
Samut Sakhon	133,207	162,939	177,984
発生量計	5,069,932	5,972,477	5,968,871

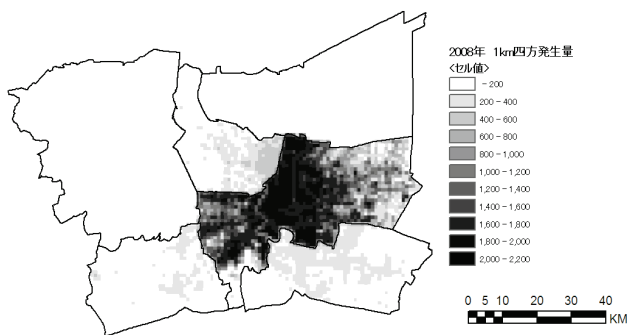


図-5 廃棄物発生量分布予想図 (2008 年)

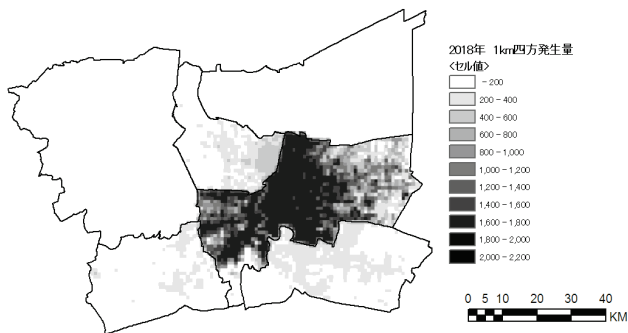


図-6 廃棄物発生量分布予想図 (2018 年)

組成のうち、生ごみ比率（一般廃棄物発生量に占める生ごみの割合・可燃ごみも同様）は、人口、面積、人口密度とも-0.14～0.13 と相関は低かった。また、生ごみ以外の可燃ごみ（紙くず廃プラスチック、繊維くず等）についても、-0.13～0.16 と低い値となった。

なお、都市化が進んでいない地方都市ほど生ごみの比率が低いと想定していたが、その比率にほとんど差異はみられなかった。

4. おわりに

バンコク首都圏を対象として衛星データから作成した市街化区域図の市街化シミュレーション結果から一般廃棄物の現状および将来の発生場所と発生量の推計を行った。その結果、バンコク中心部において集中的に発生していること、今後は高齢化、空洞化が進むため、一般廃棄物発生量はごく緩やかに減少していくことが分かった。

インドネシア等、今後人口増大が進むと考えられる国の都市部において、同様の方法で発生場所と発生量の把握できれば、処理施設の立地検討が可能となり、バイオマス資源としての活用検討が行えるものと考えられる。

謝辞

鳥取大学の長澤良太教授にはバンコク首都圏の土地被覆図の作成と現地踏査に際し多大な助言と協力をいただいた。深く謝意を表明します。

参考文献

- 井内正直 (2006) : アジア地域バイオマス賦存量GISデータベースの開発とエネルギー利用の現状, 電中研報告 Y05030.
- 井内正直 (2005) : バイオマス資源の収集・運搬及び利用の現状と課題, 電中研報告 Y04016 .
- 経済産業省産業技術環境局リサイクル推進課 経済産業調査会 (2005), アジアリサイクル最前線 - 動き始めた循環資源.
- 渡辺公次郎 (2000) : セルラーオートマタを用いた市街地形態変化のモデル開発, 日本建築学会計画系論文集, 533, 105-112.