

Title	消滅型生ごみ処理容器「キ工一口」と微生物叢の網羅的解析
Sub Title	Extinguishable garbage disposal container "Chiero" and comprehensive analysis of its microbial flora
Author	松本, 信夫(Matsumoto, Nobuo) 平野, 理恵(Hirano, Rie) 黄, 穎(Huang, Ying) 宮本, 憲二(Miyamoto, Kenji)
Publisher	慶應SFC学会
Publication year	2024
Jtitle	Keio SFC journal Vol.23, No.2 (2023.) ,p.14- 30
JaLC DOI	10.14991/003.00230002-0014
Abstract	地球は温暖化から灼熱化の時代へと入り、気候変動への抜本的な対策が必要となってきた。そのような状況の中、我々が排出しているごみを分別し、利用可能なものをリサイクルすることは不可欠である。一方で、焼却処分しているごみの内、約40%は生ごみであり、水分を多く含むことから焼却には多くのエネルギーを必要とする。そこで、生ごみを各家庭で処分できれば、エネルギーや二酸化炭素の削減の有効な解決策と考えられる。したがって、微生物により生ごみを消し去るキ工一口は、生ごみ問題を解決する切り札と期待できる。
Notes	特集「循環創造学」を目指して 招待論文：総説・レビュー論文
Genre	Journal Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AA11671240-00230002-0014

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

[招待論文：総説・レビュー論文]

消滅型生ごみ処理容器「キエーロ」と 微生物叢の網羅的解析

Extinguishable Garbage Disposal Container “Chiero” and Comprehensive Analysis of Its Microbial Flora

松本 信夫

キエーロ葉山代表

Nobuo Matsumoto

Representative, Chiero Hayama

平野 理恵

ゴミフェス 532 (ゴミニティ) 運営

Rie Hirano

Administrator, GomiFes 532 (Gominity)

黄 穎

慶應義塾大学先端科学技術研究センター (KLL) 博士研究員

Huang Ying

KLL Postdoctoral Researcher, Keio Leading-edge Laboratory of Science and Technology

宮本 憲二

慶應義塾大学理工学部教授

Kenji Miyamoto

Professor, Faculty of Science and Technology, Keio University

Correspondence to: kmiyamoto@bio.keio.ac.jp

Abstract: 地球は温暖化から灼熱化の時代へと入り、気候変動への抜本的な対策が必要となってきた。そのような状況の中、我々が排出しているごみを分別し、利用可能なものをリサイクルすることは不可欠である。一方で、焼却処分しているごみの内、約 40% は生ごみであり、水分を多く含むことから焼却には多くのエネルギーを必要とする。そこで、生ごみを各家庭で処分できれば、エネルギーや二酸化炭素の削減の有効な解決策と考えられる。したがって、微生物により生ごみを消し去るキエーロは、生ごみ問題を解決する切り札と期待できる。

The earth has entered an era of scorching heat from global warming, necessitating drastic measures to combat climate change. Under such circumstances, it is essential to separate the waste we generate and recycle what can be used. On the other hand, approximately 40% of the waste that is incinerated is food waste, which contains a lot of water and therefore requires a lot of energy to incinerate. Therefore, if each household can dispose of food waste, it is considered an effective solution for reducing energy and carbon dioxide emissions. Therefore, Chiero, which uses microorganisms to eliminate food waste, is expected to be a trump card to solve the food waste problem.

Keywords: 生ごみ処理容器、キエーロ、網羅的解析、微生物叢
garbage disposal container, chiero, comprehensive analysis, microbial flora

1 はじめに

今まで我々人類は、様々な製品等を大量に生産して使用し、そしてごみとして大量に廃棄してきた。その結果、環境に対して多大な負荷を与え、これが現在の地球環境の悪化の原因の一つと考えられる。我が国のごみの総排出量は徐々に減少はしてきて、これは国民や事業者がごみの削減に取り組んできた成果である（環境省、2023）。それに伴い国内の焼却施設も減少しているが、世界と比較すると日本のごみ焼却への依存度は高いままである。燃焼により発生する熱を回収するサーマルリサイクルは、処理が難しい廃棄物を有効に利用できるメリットもある。一方で、ダイオキシンなどの有害物質や大量の二酸化炭素を発生するデメリットもある。そもそも、サーマルリサイクルは、リサイクルではないとの指摘もある。したがって、焼却ではない新たな環境低負荷なごみの処理方法の開発は喫緊の課題である。

ごみの削減のためには、回収の際に分別を行うことが極めて重要である。細かく分別を行うことで、その後のリサイクルなどの再資源化が容易になるからである。一方で、ごみの排出量そのものを減らすことも必要不可欠である。例えば、鎌倉市から排出される可燃ごみの内、約42%は生ごみである（鎌倉市、2019）。生ごみはおよそ80%が水分であり、焼却の際に多くのエネルギーを必要とする。そこで鎌倉市では、生ごみを捨てる前に水切りが推奨されている（鎌倉市、2014）。各家庭が生ごみの水切りに取り組むことで、生ごみから約10%の水分を除去可能である。この取り組みだけでも、鎌倉市の年間ごみ

排出量約6万トンのうち、約880トンものごみの減量効果が望めると試算されている(鎌倉市, 2014)。生ごみは、基本的には有機物であり、多くのものは微生物によって分解が可能である。そこで、各家庭において生ごみを処理することができれば大きなイノベーションとなり、ごみの排出量の大幅な削減が期待できる。さらに生ごみが減ることで、焼却時の燃焼効率の向上、ごみ収集車の燃費向上や悪臭発生の低減などの多くの利点が生じる。一方で、家庭での生ごみの処理を実現するためには、市民の誰もが使える簡便な処理装置が必要となる。本稿では、生ごみの家庭処理を実現する画期的な消滅型生ごみ処理容器「キエーロ」について、その誕生の経緯や使用方法等について解説する。さらに、キエーロにおける生ごみの分解に関わる微生物を知る目的で、異なる環境に置かれたキエーロの微生物叢の網羅的解析を行ったので紹介する。また最後に、鎌倉で行われているごみ問題解決に向けた市民の取り組みについても紹介したい。

2 キエーロの誕生と使用方法

現在、大量の水分を含み燃えにくい生ごみの多くは、焼却によって処理されており、その際大量のエネルギーが必要となり、大量の二酸化炭素が発生する。一方で生ごみは有機物なので、堆肥として再資源化が可能なおみでもある。そこで、生ごみの家庭での処理機がいくつか提案されている。例えば、堆肥を作るコンポスターや嫌気発酵を利用するEMバケツなどである。一方で、どのような処理方法も最終的には生ごみを水と二酸化炭素に分解する必要がある。そのためには、「土の中の微生物に分解してもらおう」のが、最もローコストで環境にもやさしい方法と考えられる。「それなら最初から土に投入すれば良いのではないか?」という発想から消滅型生ごみ処理容器「キエーロ」が誕生した。

1978年頃の神奈川県三浦郡葉山町は下水道の普及率が低く、山の上の団地の生活排水は道路の側溝から川に合流し、直接相模湾に流されていた。したがって、各家庭の台所から流された排水は、そのまま海に到達していたことになる。そこで、筆者(松本)は、そのような環境汚染問題に関心を持ち、家庭から出る生ごみの処理方法について検討を始めた。最初に、葉山町が無

料で配布していたコンポスターを設置したが、悪臭の発生がひどく、うまく使えなかった。次に、電動のバイオ式生ごみ処理機を購入して数年間使用した。しかし、基材の価格が高額な割には投入物の制限が多く、それに加えて度重なる機器の故障で結局使用を断念した。その間、EM バケツなども使ってみたが、悪臭の発生がひどく1か月で使用を中止した。仕方なくしばらくは庭に穴を掘って、場所を変えながら生ごみを埋めて処理していた。もう少し良い方法はないものかと考え込む日々が続いたある日、ふと子供達が昔砂場として遊んでいたコンクリートブロックで囲んだスペースが目に残った。そこは砂場としては使わなくなってから、ケヤキの落葉を集めて腐葉土を作る場所になっていた所であった。大量の落葉を効率よく腐葉土化するために時々土をかけ水分も与え、乾燥しないようにポリカーボネート製の波板をかぶせていた。深く考えることもなく、生ごみをその落葉の間にサンドイッチのように投入した。そして、1週間後に掘り返してみると生ごみは跡形もなく消滅していた。1995年キエーロの原型が誕生した瞬間であった。それから10年以上かけて、筐体や基材について少しずつ改良を重ねた。

2007年頃、葉山町は近隣自治体とのごみの広域処理施設の建設問題で揺れていた。町長選挙でもごみ問題が争点となり、その結果「ゼロウェイスト」を掲げる新町長が誕生した。これを契機として、葉山町のごみ政策は大きく舵を切ることになり、葉山町の各家庭での生ごみの自家処理に関心が高まった。2008年頃から各種イベントや交流会において、消滅型生ごみ処理容器を紹介する機会が増えた。しかしこの時点で、まだ名前が付いておらず「不便だから早く名前を付けてほしい」との要望が高まった。検討した結果「バクテリア de キエーロ (以下、キエーロ)」に決定した。そして、2009年になると神奈川県逗子市でキエーロの購入者に対する助成金制度が始まった。2010年には鎌倉市でも助成の対象となり、続いて葉山町でもモニター実験が開始された。最初は土の上に直接設置する「バクテリア de キエーロ」だけであったが、「集合住宅のベランダや、土がない所でも使えるキエーロが欲しい」との声に応じて「ベランダ de キエーロ」を開発した。その後、筆者(松本)は、「ベランダ de キエーロ」の実用新案権と「キエーロ」の商標権を取得した。

家庭での生ごみ処理について「最初は多くの人が始めるが、最終的にはご

く少数の人だけしか使わない」という名言がある。続かない原因は色々あると思うが、そのトップは「虫の発生と悪臭の問題」である。次に「堆肥がどんどん出来ても使い道がない」や、「生ごみは可燃ごみとして収集日に出せばよいので、自分で処理するのは面倒くさい」が続く。一方でキエーロは、生ごみを土に投入して微生物の力で消し去るという全く新しい発想で誕生した。キエーロは、「土」「太陽」「水」「空気」の力を借りて生ごみを完全分解するシンプルで環境に負荷をかけない自然な装置である。キエーロは故障することはないし、基材の交換も電気も必要ない。微生物が働きやすい環境を用意するだけで生ごみが消滅する画期的な装置である。以下の表1に、キエーロの特徴を示す。使用する上で多くの長所を有しているが、基本的に屋外に設置するので外部環境の影響を受けやすい。したがって、気温の低下する冬場には、微生物の活性が低下してどうしても分解が遅くなる。また、ある程度の量の生ごみを処分するには、それに応じた基材を入れることができる大きさの筐体が必要になる。しかし、一般的な家庭から排出される生ごみの量であれば、自治体で購入できる大きさのキエーロで十分処理可能である。

表1 キエーロの特徴

キエーロの長所	キエーロの短所
匂いが発生しない	微生物の働きは温度に依存している ので、冬場は分解速度が低下する
ランニングコストがかからない	
生ごみを投入しても基材の量が増えない	微生物数は基材の量に比例するので、 ある程度の大きさの筐体が必要になる
生ごみの水切りの必要がない	

キエーロには、底板がなく土の上に直接置くタイプ「バクテリア de キエーロ」(図1左)と、底板があり土が無い場所でも使えるタイプ「ペランダ de キエーロ」(図1右)がある。キエーロの筐体は自分で作ることもできるし、様々な自治体が斡旋販売を行っており補助金を受けて購入することも可能である。基材は、市販の黒土が推奨されているが、竹チップなどを利用することもできる。



バクテリア de キエーロ (左) とベランダ de キエーロ (右)

図1 キエーロの筐体

2.1 キエーロの作り方

以下に示すいくつかのポイントを押さえれば、キエーロの筐体の大きさや形状に特に制約はない。

- ▶ 直接基材に雨が当たらないように、ポリカーボネートなどの屋根を付ける
- ▶ 透明な屋根板を付けるなどして太陽光を効率よく取り入れ、土の温度を上げる工夫をする
- ▶ 屋根と筐体の間は密閉しないようにして、風通しを確保する
- ▶ 筐体部分を作るための材料には特に制約はなく、木材、プラスチック、金属、レンガやブロック等が使用可能
- ▶ 微生物の数は土の量で決まるので、キエーロの筐体は可能な範囲で大きく作ると良い

2.2 キエーロの使い方

以下に、キエーロを使用する上で注意すべき点を示す。

- ▶ 生ごみは、ステンレスやガラスの蓋付き容器に何日分か貯めておく（タッパーなどのプラスチック容器は微生物により劣化が進むので避ける）
- ▶ キエーロの基材に穴を掘り、生ごみを入れよく混ぜる
- ▶ 水分が足りない場合は水を加える

- ▶ その上に乾燥した土をかぶせて、虫の発生を防ぐ
- ▶ 次回は、前回埋めた場所と異なるところにずらして埋める
- ▶ 時々土をかき混ぜ、空気を入れる

2.3 分解がうまく起こらない原因

上手に分解が起こらない場合の原因は以下のようなものが考えられる。

- ▶ 生ごみの入れすぎ（投入量が多すぎると微生物による分解が不十分で、生ごみが残ってしまい、結果的に虫が湧く原因となる）
- ▶ 生ごみと土をよく混ぜなかったために、微生物との接触が不十分

2.4 よくある質問

Q1: 生ごみに塩分や油分が含まれても良いのか？

A1: 生ごみに含まれる程度の塩分は問題ない（植物の発芽実験で実証済み）。油分については、微生物の良好な炭素源となるので、生ごみの分解を促進する。

Q2: どのような土を使用すればよいのか？

A2: 含まれる微生物の少ない砂や粘土は適さないが、それ以外のものであればほぼ使用可能である。例えば、プランターで使い古した土や竹チップも使用できる。

Q3: 虫が発生するのだが？

A3: 土の量と生ごみの量とのバランスが重要である。少量の土に大量の生ごみを投入すると、虫が湧きやすくなる。

Q4: 冬場気温が下がった時の対策は？

A4: 微生物が食べやすいように生ごみを細かくしたり、少量の廃食油を投入したりすると改善する。

2.5 生ごみが消滅するしくみ

目視での観察によれば、土の中に生ごみを入れると最初に生育の良い糸状菌が増殖する。その後、放線菌などの様々な土壌菌によって分解されていくと考えられているが、詳細は明らかとなっていない。最終的に生ごみは、水と二酸化炭素に代謝分解されるが、生ごみに含まれている無機イオンなどは

土中に残ると考えられる。しかし、数年間生ごみを入れ続けても基材の量の増加はほとんど観察されない。

2.6 微生物に効率良く分解してもらうためには

以下に、分解速度を上げるための方法を示す。

- ▶ 生ごみと微生物の接触面積を増やす⇒生ごみをブレンダーなどで細かく切る
- ▶ 投入する生ごみの多様性が重要⇒色々な種類の生ごみを一緒に投入する
- ▶ 温度を上げる⇒日当たりの確保や廃食油の投入が有効
- ▶ 水分の調整がポイント⇒分解には適度な水分量(60%程度)が必要であるが、多すぎると酸素不足になり、好気的な分解は進みにくくなる

2.7 経験からわかったこと

以下に長年使用してきてわかったキエーロの特徴をまとめる。

- ▶ 大昔の貝塚が残るくらいなので、有機物ではない貝殻の分解は難しい
- ▶ 丈夫な動物の骨は分解されにくいですが、構造の弱い魚の骨は分解が速い
- ▶ 柑橘類（特にレモン、グレープフルーツ）の皮は抗菌作用が強く分解が遅い
- ▶ 新鮮な野菜類は分解が遅い
- ▶ 冷凍した野菜類は、細胞壁が壊れているためか分解が速い
- ▶ 調理したものや味が付いているものは分解が速い
- ▶ 貝殻や果物の種のような人が食べないものは微生物も分解しない
- ▶ もも、梅干し、アボカド等の大きな種は苦手
- ▶ キエーロの土は野菜の栽培に使用可能で、野菜の育ちは非常に良い
- ▶ 何年間使っても土の量はほとんど増えない

2.8 キエーロの歩みと今後の課題

2008年に湘南地域で助成金制度がスタートしたキエーロだが、その後の普及速度はとてもゆっくりとしたものであった。地域によってはそれなりの反響もあった。しかし、時々新聞や雑誌に載る程度で、助成制度の対象外の自治体では拡がりは限定的であった。そのような状況が続く中、2015年に神奈川新聞に「キエーロとともに」というタイトルで、15回の連載記事が載った。

これをきっかけに、徐々に拡がりの輪が大きくなっていった。さらに、その頃から地球温暖化や SDGs などのフレーズが世の中でよく聞かれるようになり、それと連動するようにキエーロの認知度も急速に上がっていった。実用新案や商標登録もかなりオープンであったことも幸いし、北は北海道から南は沖縄まで全国各地でキエーロを使ってみたい、作ってみたい、普及活動をしたい、という人達が増えていった。一方で、キエーロに関わる人が増えるにつれて、間違った使い方や作り方が散見されるようになった。そこで、正しい情報を伝えることを目的として、「キエーロ葉山」と並行して 2019 年に「全国キエーロ普及推進協議会」が発足した。この会は数人の中心メンバーでスタートしたが、現在でも多くの問い合わせに対応しながらキエーロの普及活動を行っている。また、2019 年に設立された四日市市民を中心とした市民活動団体「ネクストステップ研究会」から、キエーロに関する詳細な報告書が公表されている（ネクストステップ研究会，2022）。

各家庭で生ごみを処理できれば、自治体にとって焼却ごみの大幅な減量に繋がるメリットがある。さらに、可燃ごみから生ごみを差し引いた分よりも、大幅にごみが減ることがわかっている。その理由は、各個人が生ごみを処理することによって、ごみに関心を持つからである。ごみに関心を持ち始めると、これまで収集に出していた可燃ごみから資源物を取り出して分別するようになる。その結果、トータルとして生ごみを差し引いた分よりごみが減ることになる。生ごみを処理する本人も楽になり、収集員の負担も軽減され、自治体もコスト削減となり、道路からカラスも減り、良いことづくめのはずである。しかし、思ったようには家庭での生ごみの自家処理は進んでいないのが実情である。生ごみの自家処理を持続可能なものにするためには、本人にとってのご褒美つまり何らかのインセンティブが必要と考えられる。しかし、自治体に対して助成金制度やインセンティブプログラム等を働きかける時には、客観的なデータが必要である。「メカニズムは良くわからないけど臭いは出ないし、生ごみは適当に消えて良いよ」ではなく、「基材の中にはどのような微生物がどのくらいの割合で含まれていて、キエーロ 1 台で分解できる生ごみの量は年間何キロ位」というような客観的なデータが必要である。そのような観点から、異なる家庭で使用されているキエーロの基材の科学的な菌叢解

析を実施した。

3 キエーロの微生物の網羅的菌叢解析

キエーロは、微生物の能力を利用して生ごみを効率よく完全分解することが可能な画期的な装置である。分解に関わる微生物は土などの基材中に生息しているが、その科学的な解析は行われたことがなかった。そこで、異なる家庭で数年間使用されたキエーロの基材について、次世代シーケンサーを用いた微生物叢の網羅的解析を実施した。以下に、その方法と結果を示す。

3.1 解析に用いたキエーロの基材

神奈川県三浦郡葉山町の M 家の 2 サンプル (M-Bamboo、M-Soil) と神奈川県鎌倉市腰越の H 家の 1 サンプル (H-Soil) のキエーロの基材 (竹チップや土) を解析用サンプルとして用いた。M 家の M-Bamboo サンプルは、竹チップを微生物源として用いており、キエーロは箱型のものであった。一方、M-Soil と H-Soil サンプルは、黒土を最初の微生物源として用いており、キエーロは土の上に置いて使うタイプであった。いずれも、食物残渣を数日毎に入れて、数年間生ごみの処理に使用されてきたものである。そこから基材をサンプリングして、以下の解析に用いた。

3.2 土壌サンプルからの微生物と DNA の分離方法

50 mL のファルコンチューブに基材サンプル (5 g) を入れ、そこへ滅菌した生理食塩水 (20 mL) を加えてミキサーで十分に攪拌した。次に 10 分間の超音波処理を行うことで、基材に付着している細菌を剥離させた。細菌を含む上澄み 2.0 mL をチューブに取り、5 分間遠心分離 (14,000 × g) することにより、上澄み中の全ての細菌を集めた。そして、市販のキットを用いて、細菌の集団から全ゲノム DNA を抽出した。

3.3 PCR 法による遺伝子の増幅

細菌の系統分類を行うために全ゲノム DNA をテンプレートとして、16S rRNA 遺伝子の V4 領域を PCR により増幅した。そして、電気泳動により目

的の大きさの遺伝子が増幅されていることを確認後、その PCR 産物をキットにより精製した。

3.4 次世代シーケンス解析用試料の調製

精製した PCR 産物をテンプレートとして、次世代シーケンス解析に必要なアダプター配列と試料判別用のインデックス配列を含むプライマーを用いた PCR を行った。そして、得られた PCR 産物をキットにより精製した。また同時に、目的サイズ以外の DNA 断片を除去し、解析用サンプルとした。

3.5 塩基配列の決定と解析

イルミナ社製次世代シーケンサー MiSeq により網羅的配列解析を行った。得られた全てのリードを塩基配列が同一である ASV (Amplicon sequence variant) に分類した。次に、各 ASV の遺伝子配列と既存データベース (SILVA database, SSU_v138) とを比較して、検出配列の系統分類を行った。1 種の菌類は 1 種の塩基配列なので、ASV 数は試料中の菌種数と考えられる。また、全リード数に対する 1 種の ASV にまとめられたリード数の割合は、試料中の存在割合を反映しているとして以下の解析を行った。

3.6 最近縁種の同定

各 ASV 配列の解析には、相同性検索プログラム NCBI blast+ (2.13.0+) を用いた。参照データベースには、16S_ribosomal_RNA (v5) と nt database を使用して最も近縁な種を推定した。この際、16S rRNA 遺伝子の相同性が 95% 以上の場合に同属と見なした。

3.7 解析結果

各サンプルのリード数は数十万以上であり、試料中に存在する種を網羅できる情報量と判断した (表 2)。また、菌種数を示す ASV 数は、竹チップを基材とする試料①のサンプルが、土を基材とする他サンプル (試料②や③) と比較して極端に少ないことがわかった。これは、竹チップに存在する菌種が、土壌 (試料②や③) と比較して少ないことを示しており (図 2)、両者で環境

が大きく異なることが示唆された。また、試料③では基材は黒土であるが、土が硬くなった際は竹チップを加えていることがわかっている。そこで、試料③の基材の環境は、試料①と②の中間程度と考えられた。その結果、菌種数 (ASV 数) としては、M-Bamboo < H-Soil < M-Soil となったと推定された。

3つのサンプルの中で唯一竹チップを基材として用いている M-Bamboo と、土を基材とする他のサンプルとを比較する。すると、M-Bamboo だけに多く見られる微生物 (No.9, 10, 13, 17, 18) がいるのがわかる (表 3)。この中で、No.17, 18 は乳酸菌の一種 (*Lactococcus* 属と *Enterococcus* 属) である。一般的に、竹の表面には乳酸菌が多く存在していることが知られており、これが

表 2 試料と ASV の関係

試料 No.	試料名	リード数	ASV 数
①	M-Bamboo	742,165	937
②	M-Soil	734,374	3,114
③	H-Soil	1,189,253	2,512

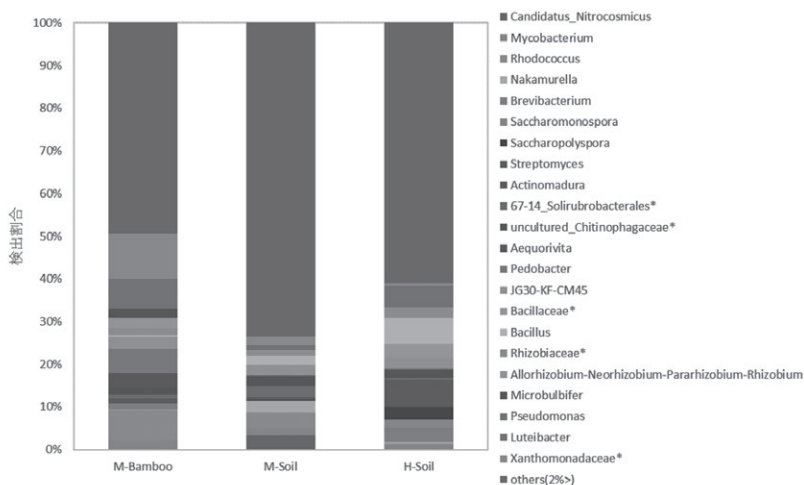


図 2 各試料の細菌叢 (属レベル)

表3 基材中の代表的な微生物

No.	属	M-Bamboo (%)	M-Soil (%)	H-Soil (%)
1	<i>Mycobacterium</i>	2.25	1.64	1.02
2	<i>Rhodococcus</i>	6.89	3.69	0.34
3	<i>Nakamurella</i>	0.21	2.79	0.29
4	<i>Brevibacterium</i>	1.43	0.01	3.27
5	<i>Saccharomonospora</i>	0.03	0.00	2.11
6	<i>Saccharopolyspora</i>	0.00	0.02	2.91
7	<i>Streptomyces</i>	1.01	0.58	4.12
8	<i>Actinomadura</i>	0.17	0.12	2.12
9	<i>Aequorivita</i>	3.49	0.15	0.02
10	<i>Pedobacter</i>	5.72	0.10	0.29
11	<i>Bacillus</i>	0.41	2.07	6.12
12	<i>Rhizobiaceae</i> (科)	1.44	1.07	2.37
13	<i>Microbulbifer</i>	2.23	0.00	0.01
14	<i>Pseudomonas</i>	3.62	0.66	2.21
15	<i>Luteibacter</i>	3.30	0.42	2.93
16	<i>Xanthomonadaceae</i> (科)	10.71	2.16	0.55
17	<i>Lactococcus</i>	0.87	0.01	0.00
18	<i>Enterococcus</i>	0.76	0.03	0.00
	Others (2%>)	49.33	73.41	61.06
	Total	100.0	100.0	100.0

(科) は科のレベル、その他は属のレベルでの分類である

検出されたものと思われる。次に、M家とH家の土を基材としたサンプル（試料②と③）を比較する。するとM-Soilに優先的に存在するもの（No.2、3）、H-Soilに優先的に存在するもの（No.4~8、11）がいることがわかる。同じ黒土が初発の微生物源にもかかわらず、加える生ごみや周辺的环境によって、

菌叢は大きく異なることがわかった。M-Soil と H-Soil は、土の上に置いて使うタイプのキエーロのサンプルなので、キエーロを置いている土の微生物叢の影響も大きいと考えられる。

一方で、全ての環境において同じような割合で存在するもの (No.1、12、14) がいることもわかる。これらが、生ごみの分解のメジャープレーヤーかどうかは明らかではないが、この中の No.14 の *Pseudomonas* 属細菌は様々な環境に生息することが知られている従属栄養細菌であり、生ごみの分解には関与していると強く示唆される。また、今回は細菌のみを解析対象としているため、カビなどの糸状菌の寄与はわからない。

今後、より多くのサンプルについて解析を行い、異なる環境のキエーロと微生物叢の相関に関する理解が進めば、分解速度の向上やごみの種類に応じた微生物叢の設計などが可能になると期待している。そして、キエーロの深い理解は、キエーロの普及の加速につながると考えている。

4 鎌倉における市民によるごみ問題解決への取り組み

ゴミフェス 532 (ゴミニティ) とは、ゴミ×コミュニティの造語である。「市民発のコミュニティの力でごみ問題を楽しく解決」を合言葉に、2020 年に発足した任意団体である。鎌倉では、この街を愛する人を全力で支援し、全部ジブンゴトとして受け入れる面白いコミュニティがあり、「カマコン」と呼ばれている。この一環として、「自分は鎌倉でこんなことをやってみたい!」というプレゼン大会が毎月行われている。そして、2020 年 8 月のプレゼンターが、偶然にもごみをテーマとしたプレゼンを行った。それを聞いたカマコン主催者の 1 人である面白法人カヤック CEO の柳澤氏が、「だったら皆さん一緒にゴミフェスとかやったらいいんじゃないの?」と発案された。これを契機として有志が集結し、ゴミフェス 532 という団体が発足することとなった。

現在鎌倉市では、市唯一の可燃ごみの焼却施設である名越クリーンセンターの稼働が 2024 年度末に停止することが決まっており、ごみの削減や循環系の構築が喫緊の課題となっている (鎌倉市, 2019)。また鎌倉は、由比ガ浜などの風光明媚な海岸のある街であり、これらのきれいな海岸を維持するために市民によるビーチクリーンが盛んに実施されている。ただ、砂浜からは毎

回多くのプラスチックが見つかっており、プラスチック問題の深刻さが身をもって感じられる瞬間でもある。2018年には、由比ヶ浜にシロナガスクジラの赤ちゃんが打ち上がり、大きな衝撃をもって報道された。解剖の結果、死因はプラスチックによるものではなかったものの、胃の中からはビニール袋が見つかり、ごみ問題に関する市民の関心がさらに高まることとなった。

2024年度末には、名越クリーンセンターの閉鎖が決まっている。そして、鎌倉市で1年間に発生する2万トンの可燃ごみのうち、1万トンはお隣の逗子市に運んで焼却する予定となっている。この様な状況の中、鎌倉市民自らが、ごみを減らす努力をしようという動きが出てきた。現在鎌倉市は、ごみを21種類に分別して回収している。例えば、紙類などは6種類（ミックスペーパー、新聞紙、雑誌・古本、ボール紙、紙パック、段ボール）に分別することで、それぞれ適した資源にリサイクルされている。他の自治体では燃やされているごみが鎌倉市ではリサイクルされた結果、鎌倉市は、平成30年度から4年連続で、人口10万人以上の市の中でリサイクル率全国第1位となり、令和3年度（2021年度）には、52.6%を達成した（鎌倉市、2023）。これは、全国平均の19.9%に対し高い値であり、SDGs未来都市として全国から注目を集めている。

ゴミフェス532では、毎年5月30日を「ごみゼロの日」と設定して、この近くの日曜日にイベントを行っている。「ごみを減らす・循環させる」をテーマに、鎌倉市のごみ減量対策課の取り組みや、鎌倉市民ができることを具体的に紹介していくトークショーやワークショップなどを行っている。このイベントにおいて、10年以上キエーロを愛用している松尾鎌倉市長の協力もあり、キエーロの開発者である筆者（松本）による鎌倉市民への紹介が行われた。また鎌倉市には、生ごみ処理機に対する助成があり、キエーロのような非電動型は9割を市が負担している（上限3万円まで）。コロナ禍では補正予算が使われるほど市民には大変好評であり、キエーロは家庭での生ごみの処理に大きく貢献している。

2023年5月の第3回ゴミフェス532では、小学3年生から学校給食のストローをなくす活動を続けていた女子中学生によるトークショーが行われた。また、西鎌倉小学校での「地球に還すストロープロジェクト」で使用された

生分解性プラスチックストローの紹介も行われた。

現在我々が生活で排出している生ごみは、キエーロで完全分解可能である。生ごみを燃やすという選択ではなく、微生物の力を借りて低コスト・低エネルギーでごみを無くすことは、地球環境を守るうえで極めて重要である。微生物が分解しやすい条件を整えるだけで、生ごみを効率よく完全分解できるキエーロは、その切り札と考えられる。ゴミフェス 532 主催のイベントなどでキエーロの有効性などを発信し普及活動を行うことは、極めて重要だと考えておりこれからも推進していきたい。

5 おわりに

消滅型生ごみ処理容器「キエーロ」の開発の歴史、作り方、使用方法などについて解説してきた。使い方さえ慣れてしまえば、家庭からの生ごみの排出をほぼゼロにすることが可能な画期的で実用性の高い処理容器である。キエーロにおいて、生ごみは微生物によって水と二酸化炭素に分解されるので、基本的には焼却と変わりはない。しかし、重い生ごみの輸送の際の輸送車からの二酸化炭素発生や、水分を多く含む生ごみの焼却の際に必要なエネルギーなどを考えると、キエーロを用いる意義は極めて大きいと考えられる。今後は、微生物の最適化による分解速度の向上や、現在のキエーロでは苦手なものを高速分解できるような改良が期待されている。COI-NEXT「リスペクトでつながる「共生アップサイクル社会」共創拠点」において、微生物を改良した超高活性キエーロの開発にも挑戦する予定である。そして、キエーロの更なる普及を行い、近い将来に生ごみを一切出さない社会の構築を実現したいと考えている。

謝辞

微生物叢の網羅的解析に関する研究は、JST 共創の場形成支援プログラム JPMJPF2111 の支援を受けたものである。

利益相反

利益相反に該当する事項はない

引用文献

- 鎌倉市 (2014) 「鎌倉ごみ減量通信」 <https://www.city.kamakura.kanagawa.jp/gomi/documents/gomigentsushin26-08-1.pdf> (2023年9月20日アクセス)
- 鎌倉市 (2019) 「将来のごみ処理体制についての方針」 https://www.city.kamakura.kanagawa.jp/skensetsu/documents/310326_syourainogomisyoritaisei.pdf (2023年9月20日アクセス)
- 鎌倉市 (2023) 「鎌倉市のリサイクル率が全国第1位に」 https://www.city.kamakura.kanagawa.jp/gomi/recycle_rate.html (2023年9月20日アクセス)
- 環境省 (2023) 「一般廃棄物の排出及び処理状況等 (令和3年度) について」 https://www.env.go.jp/press/press_01383.html (2023年9月20日アクセス)
- ネクストステップ研究会 (2022) 「令和3年度エコパートナー環境学習等業務委託事業・生ごみの資源循環推進のための調査・研究」 https://www.city.yokkaichi.lg.jp/www/contents/1649763916683/files/R3_houkokusyo_2.pdf (2023年9月20日アクセス)

[受付日 2023. 9. 22]

