

2025年度 油脂産業論文

B: 持続可能な社会と油脂産業の未来

『シロアリがつなぐアフリカ油脂自給と循環型社会』  
～マイクロな生物が動かすマクロな社会経済循環～

花王株式会社  
加工・プロセス開発研究所

のなか のぶひろ  
野中 伸洋

いりえ ゆたか  
入江 裕

## <目次>

はじめに	1
第1章 アフリカ油脂産業の現状と構造的課題	
1-1. 人口爆発がもたらす油脂需要の急拡大	1
1-2. 小規模農家の生産性制約と収量格差	2
1-3. 土壌劣化と栄養循環不足を生む構造的要因	4
第2章 シロアリの生態と資源循環への応用可能性	
2-1. アリ塚土壌と共生微生物が生み出す肥沃性	5
2-2. パーム古木と食品廃棄物を資源化するシロアリ	7
2-3. 既存手法と比較したシロアリコンポストの優位性	9
2-4. 社会実装に必要な技術と取組み	10
第3章 シロアリコンポストの社会実装モデル	
3-1. 地域分散型による生産・供給体制の設計	12
3-2. ナイジェリア・エド州における試算と導入展望	15
3-3. サプライチェーン最適化と ICT 連携モデル	18
3-4. 導入から普及・波及へのロードマップ	19
3-5. 施肥拡大がもたらすアフリカ油脂産業への波及効果	20
第4章 国際展開シナリオと持続可能性への貢献	
4-1. 日本の知見と国際的パートナーシップの活用	21
4-2. 東南アジアへの展開戦略と制度適合	22
4-3. 適地選択型モデルによる国際展開と最終的ゴール	22
おわりに	23
参考文献	27

## はじめに

アフリカは世界の中で最も急速な人口増加を遂げている地域であり、この人口増加に伴い生活に不可欠な食料・油脂需要も急速に拡大することが予想される。現在のアフリカを含めた世界の油脂供給は依然として東南アジアのパーム油に依存しているが、油脂生産の拡大余地は限定的であり、現状の「東南アジア偏重」の供給構造のままではアフリカで急拡大する油脂需要を全て賄うことは難しい。また、昨今のひまわり油の高騰に代表されるように、グローバルな相互依存が高まる現代社会において、輸入油脂価格は世界紛争や関税政策、為替変動といった地政学的影響を強く受けるため、価格面での安定調達にも課題がある。上記の点から、アフリカにおける油脂自給率の向上はアフリカの持続的な経済発展や安定社会の実現に必要不可欠と言える。

ここで、アフリカはアブラヤシ（パーム油生産植物）の原産地であり、実は油脂植物の生育に適した気候条件を備えている。しかしながら、過去の過剰耕作や土壌管理不足によって肥沃度<sup>注1</sup>の低い土壌が広がり、アフリカの油脂栽培は土地当りの生産効率が非常に低いことが課題となっている。今回この課題に対し、日本で研究開発が進められている「シロアリ」という生物の力を活用する技術に注目した。シロアリは一般には住宅の害虫として認識されているが、実はその生態には土壌改良や有機物分解といった農業に活用し得る多くの特性がある。

本論文では、アフリカにおけるシロアリの活用可能性を科学的・経済的視点から検討し、廃棄物の処理や土壌栄養の循環といった複数課題を同時に解決する、アフリカで持続可能な油脂自給アプローチ「シロアリコンポスト構想」を提案する。第1章でアフリカ油脂産業の現状と課題を整理し、第2章でシロアリの生態的特徴と優位性を分析、さらに第3章で社会実装に向けた導入モデルと展開戦略を提示する。そして第4章では、アフリカ発モデルの国際展開について考察する。

## 第1章 アフリカ油脂産業の現状と構造的課題

### 1-1. 人口爆発がもたらす油脂需要の急拡大

世界人口は今後25年間で大きく増加し、2024年時点の82億人の人口は2050年には約100億人に達すると予測されている。この人口増加の中心となるのが、若年層比率が高く急速に成長するアフリカである（図1）<sup>1</sup>。アフリカは現時点において農業生産性が著しく低く、食料・油脂の多くをアフリカ外からの高価な輸入品に依存して

いる。将来的な人口増加に伴う油脂需要の拡大は輸入依存をさらに高め、アフリカでは貧困層の拡大が懸念される。また、この地域における油脂需要の拡大は、国際的な価格高騰や供給不安にも波及する可能性がある。

このように、今後著しい人口増加が予測されるアフリカでの油脂自給生産の実現は油脂産業界全体の課題であり、持続的な油脂自給体制の確立が不可欠である。次節では、その鍵を握る“油脂生産現場の制約”について考察する。

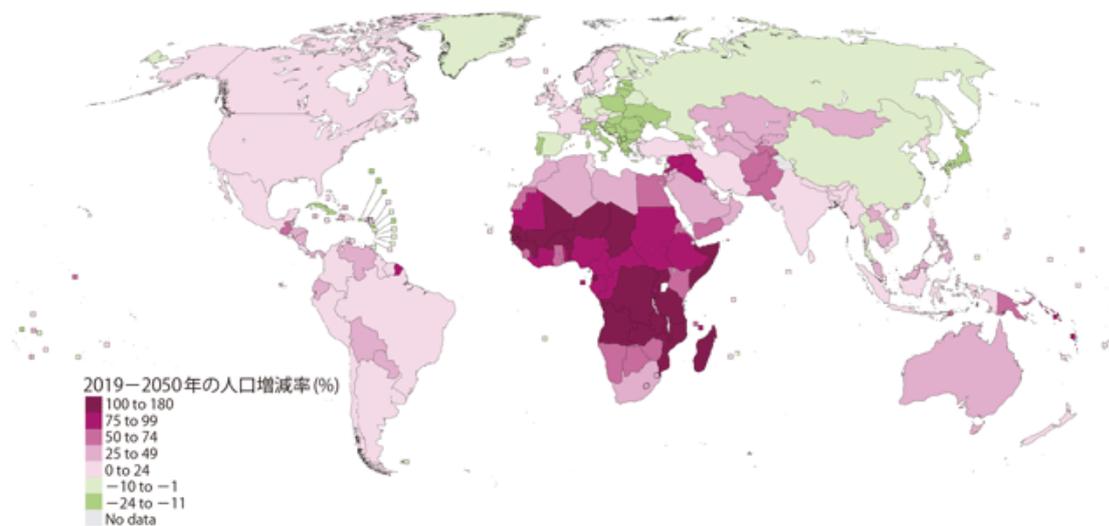


図1 世界の人口増減率（2019-2050年）

（出典：参考文献1、国土交通白書2020より）

## 1-2. 小規模農家の生産性制約と収量格差

世界で最も油脂生産量の多いアブラヤシは西アフリカ原産であり、アフリカにおいても油脂植物を栽培することは可能である。2015年に発行された Global oil palm suitability assessment<sup>2)</sup>では、気候の視点からアブラヤシの生育に適した地域がマップ化されており、アフリカでもアブラヤシの栽培に適した地域が存在することが分かる（図2）。特にコンゴ民主共和国は主要パーム油生産国であるマレーシアとインドネシアを合算した規模の潜在的栽培面積を有している（表1）。

しかしながら、世界全体で見るとアフリカにおける生産量は4%に留まり、コンゴ民主共和国においてもほとんどパーム油は生産されていない。その背景には、外資企業である大手プランテーションメーカー<sup>注2)</sup>の参入に対する反発が根強く、油脂生産が小規模農家中心に偏っているという構造的要因がある。アフリカにおけるアブラヤシ

生産面積の約 70%は小規模農家によって運営されているが、小規模農家の生産量は全体の 30%に留まり<sup>3)</sup>、面積あたりのパーム油生産性は、大規模農家の 20%以下である。

このような背景の下、2019 年にアフリカで開催された「持続可能なパーム油に関する円卓会議 (RSPO<sup>注3)</sup>)」では小規模農家でのパーム油収量の改善が重要であると議論されている。アフリカ油脂産業の持続可能性を左右するのは小規模農家の生産性向上であり、その鍵を握るのは土壌肥沃度と栄養循環の改善である。次節では、その制約要因となっている土壌環境の実情と、構造的な改善の必要性について考察する。

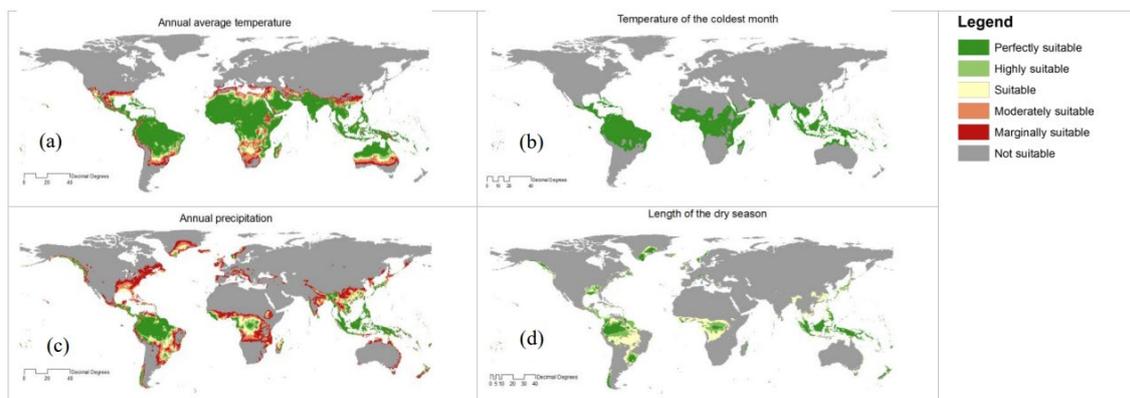


図2 パーム油栽培の気候適性分布

a)年間平均気温、b)最寒月の気温、c)年間降水量、d)降水量 100mm 以下の月数

(出典：参考文献2より)

表1 主要国におけるパーム油栽培面積と潜在適地面積  
(出典：参考文献2より)

Country	Current oil palm cultivated area [1000 ha]*	Highly suitable area [1000 ha]	Total suitable area [1000 ha]	Share of the country territory suitable [%]
Indonesia	6,500	52,812.48	134,278.95	71%
Malaysia	4,360	13,736.51	28,916.85	88%
Papua New Guinea	145	10,542.08	28,704.48	62%
<b>Subtotal: Asia (including Oceania)</b>	11,606			
Nigeria	3,250	279.20	20,217.24	22%
Democratic Republic of Congo (DRC)	180	58,201.28	166,933.38	71%
Cameroon	123	1,366.92	31,233.65	66%
<b>Subtotal: Africa</b>	4,614			
Colombia	166	28,388.40	81,896.86	72%
Brazil	113	110,218.67	416,739.88	49%
Peru	32	27,054.11	61,839.29	48%
<b>Subtotal: Americas</b>	864			

\*Source: FAO 2014

### 1-3. 土壌劣化と栄養循環不足を生む構造的要因

この小規模農家でのパーム油生産性の改善に向けては様々な課題があるとされるが、その1つが土壌品質の劣化である。小規模農家では農業に必要な土壌管理に関する知識が不十分であり、過去の過剰耕作や土壌養分となる家畜糞の燃料利用等によって土壌に還元される有機物や窒素源、リン源等が不足することで肥沃度の低い土壌と化している。

ここで、土壌の養分不足を補う手段としては一般的に肥料が利用される。Our World in Data<sup>4)</sup>で公開されている「農作地当りの肥料利用率」を見てみると、アフリカでは他地域に比べて明らかに肥料利用率が低いことが分かる(図3)。アフリカでは経済的な制約によって高価な肥料の利用が難しく、肥料利用率は世界平均の約20%に留まっている。この課題に対し、2024年5月にアフリカ連合によって開催された「アフリカ肥料・土壌健全性サミット」では、2034年までの目標肥料利用量を2022年平均の3倍となる54kg/haに掲げ、肥料利用率の向上を促している<sup>5)</sup>。ただし、現時点では肥料利用を促進する持続的な改善策は見えておらず、油脂生産課題の根底にある「低い土壌肥沃度」と「高価な化学肥料」の問題を解決するアフリカで持続可能な経済性

のある土壌栄養循環システムの構築が急務である。

そこで次章では、地域内で得られる有機資源を活用し安価に土壌養分として循環する新たなアプローチとして、自然生態系における“分解者”であるシロアリの活用について提案する。

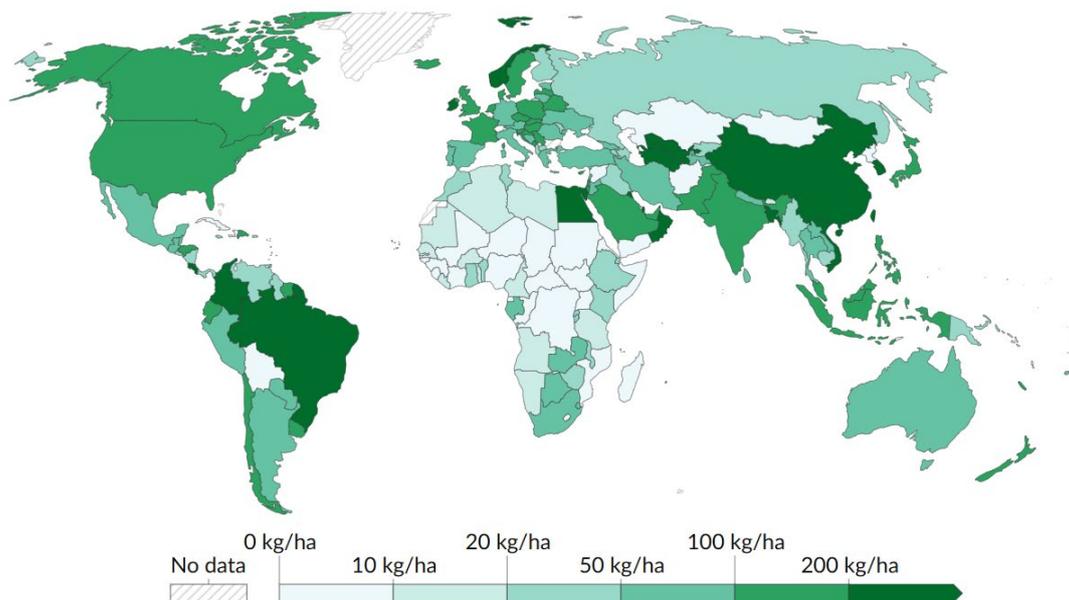


図3 地域別肥料利用率とアフリカの低位性

(出典：参考文献4より)

## 第2章 シロアリの生態と資源循環への応用可能性

### 2-1. アリ塚土壌と共生微生物が生み出す肥沃性

シロアリはセルロースを主食とする昆虫であり、好んで食す餌資源によって草食、リター食（落葉）、多食（食品残渣・動物残渣）、土食（腐植）、木食（生木・枯木）に分類される。このシロアリは多様な環境下で生息可能な昆虫であり、乾燥地帯では保湿度の高いアリ塚<sup>注4</sup>を形成して生息することも知られている。

ここで、シロアリが形成するアリ塚の土壌の品質に関する研究例がある。山科らの研究<sup>9)</sup>によると、アリ塚の土壌はシロアリ種に依らず周囲土壌と比較して有機物含量が高い粘土質であり、団粒安定性や保水容量が高いことが報告されている（表2）。また、肥料源となるリン酸含量や窒素含量も高く、植物の生育に適した土壌であることが分かる。このアリ塚の土壌は、南アフリカなどアフリカの一部地域で肥料の代わりとして利用される慣習もあり、実際にアフリカの農業でも利用されてきた歴史があ

る。そこで、この農業に適した栄養豊富なアリ塚の土壌を形成するシロアリの生態に着目した。

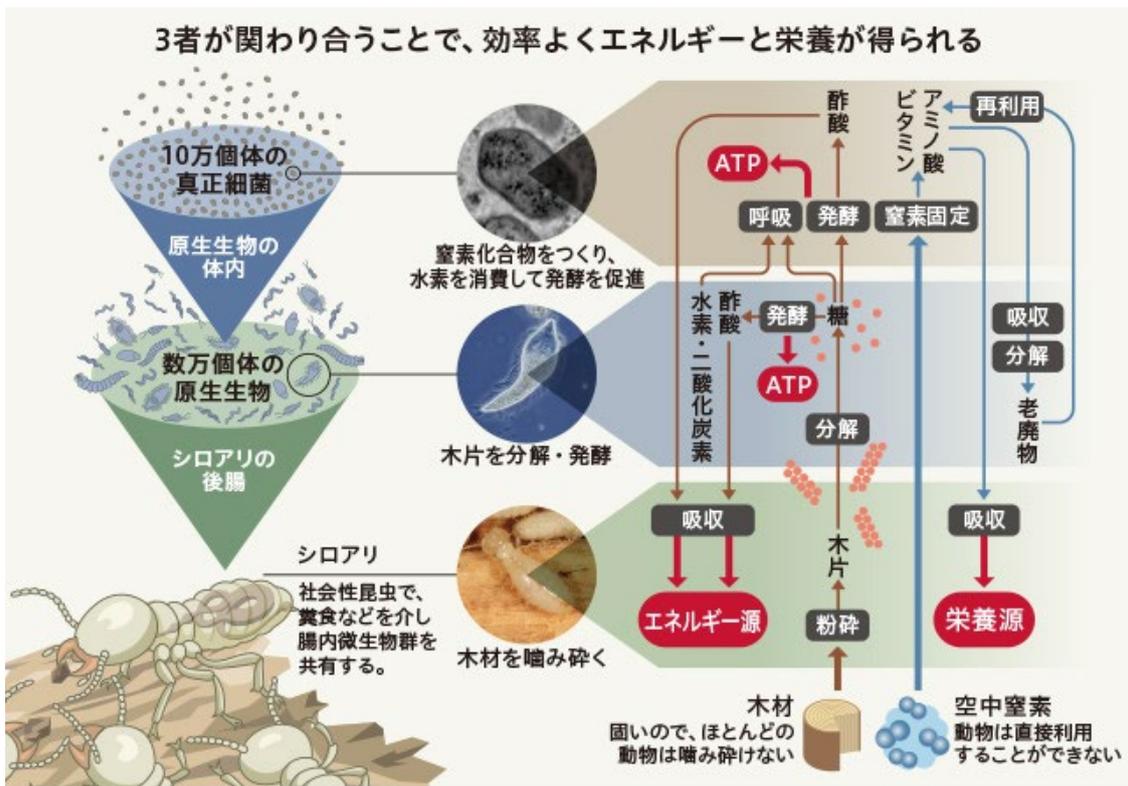
シロアリの体内には、セルロースを糖に分解する微生物や分解された糖を酢酸に変換する微生物、大気中の窒素をアンモニアに変換する微生物、アンモニアや酢酸を原料にアミノ酸やビタミンを生成する微生物などの数万種の微生物が共生しており、セルロースしか存在しない環境下においても様々な有機物や窒素化合物を体内で生産できると言われている(図4)<sup>7)</sup>。このセルロースを主原料として生産された有機物や窒素化合物がアリ塚形成時にシロアリ体外へ分泌され、栄養豊富なアリ塚土壌が形成されていると考えられる。こうした特性を持つシロアリはアフリカの広範な地域に生息しており、アフリカ土壌の改良に適した有望な昆虫種であると位置づけられる。

これらの特性により、シロアリは単なる生物的存在を超えて、土壌改良の“生態系インフラ<sup>注5)</sup>”として活用できる可能性を秘めている。次節では、このシロアリの力を社会課題の解決に活用する具体的な手段として、アフリカでの増加が見込まれる廃棄資源との組み合わせに着目する。

表2 シロアリの食性とアリ塚土壌改良特性  
(出典：参考文献6より)

土壌特性	食性グループ				
	草食	リター食	多食	土食	木食
容積重	++	++	NA	++	NA
団粒安定度	++	++	NA	++	NA
保水容量	++	++	NA	++	NA
透水係数	--	--	NA	--	NA
粘土	++	++	++	+	++
粗砂	--	-	--	--	--
pH	+	+	+	++	--
有機態炭素	++	++	+	++	++
炭素率(C/N比)	+-	++	--	--	++
リン酸	++	+/-	NA	++	NA
塩基類	++	++	++	++	++
微量養分	+	+	NA	+	NA

改変度合(対照土壌と比較してシロアリ塚土壌で): --大きく減少; -減少; +-変化なし; +増加; ++大きく増加; +/-増加・減少ともあり; NA不明



## 2-2. パーム古木と食品廃棄物を資源化するシロアリ

シロアリを土壌改良昆虫として利用するためには、「シロアリの養殖技術」や「土壌品質を改善するための原料」が必要となる。しかしながら、一般的な昆虫用餌料である小麦ふすまやオートミールは価格が高く、また現地での調達性にも課題がある。そこで経済性や現地調達性を踏まえ、今後アフリカで生じる人口増加や油脂生産拡大の際に増加する廃棄物の利活用に着目した。これにより、土壌改良といった単一課題に対して改善を図るのではなく、複数課題を同時に解決するアプローチとすることで、コスト・対策効率・持続性の観点で優位性が創出できると考える。

### 2-2-1 パーム古木の再資源化と持続的利用

まず、今後アフリカでパーム油を増産した場合に想定される課題について考える。世界最大のパーム油生産地域である東南アジアにおけるパーム油産業の課題として、パーム古木<sup>注6</sup>の放置による土壌環境悪化の課題が存在する。パーム古木は伐採後に農

園に放置されることが多く、病害虫の温床となり後作のアブラヤシの生育不良を招いている<sup>8)</sup>。このパーム古木の課題に対しては様々な利活用研究が行われているが、現状ではペレット化して燃料として利用する以外に経済的な利用が難しく、有効な利活用手段が確立されていない。また、アブラヤシ栽培時に土壌の栄養を消費するため、持続的なパーム油生産に向けてはパーム古木を上手く土壌栄養として循環することが望ましい。

ここで、間伐材<sup>注7)</sup>が多く発生する日本ではその有効利用に向けた取り組みが盛んに行われており、その一つとして間伐材でシロアリを養殖し、動物用飼料として展開するための技術開発が行われている<sup>9)</sup>。本技術を応用することにより、アフリカでシロアリを養殖できると考える。技術の詳細は2-4で説明する。

## 2-2-2 食品廃棄物の堆肥化資源への転換

次にシロアリによって土壌品質を改善する餌原料について考える。今後アフリカにおける人口増加に伴って食料・油脂需要が急増することは先述した通りであるが、合わせて食品廃棄物量も急増すると予想される。世界銀行が2018年に公表した報告書「What a Waste 2.0」<sup>10)</sup>では世界で発生する廃棄物の多くは食品廃棄物であり、アフリカにおける2050年の廃棄物量は3倍に膨れ上がると予測されている。

ここで、国連が2023年に発表した報告書「Global Waste Management Outlook 2024」<sup>11)</sup>に記載される、世界で発生する廃棄物のリサイクル率を見てみる。西欧や西アジアでは20~60%の廃棄物がリサイクルされ、堆肥<sup>注8)</sup>やバイオガス燃料、家畜飼料に利用されている。一方、今後人口が大きく増加するサブサハラ・アフリカ地域<sup>注9)</sup>では僅か4%しかリサイクルされておらず、食品工場や家庭、流通過程で発生した食品廃棄物はゴミ処理場へ投棄されているのが現状である。この食品廃棄物には、シロアリが好むセルロースに加え、糖や窒素成分、リンやカリウム等、堆肥化に必要な成分も豊富に含まれており、シロアリによって良質な堆肥を生産できると考えられる。

ここで、アフリカで食品廃棄物のリサイクルが進まない理由は複数存在するが、主要原因として処理インフラの不足が挙げられる。ただし、先進国で用いられている技術や設備をそのまま導入することは経済性や適応性に課題がある。そこで本論文では、アフリカで実現可能な“低投資で経済的な処理手法”として、シロアリを生物的処理システムとして活用し、廃棄物と組み合わせることで、パーム古木処理・食品廃棄物処

理・土壌改良という三重課題を同時に解決する“資源循環型ソリューション（図5）”を提案する。次節では、このアプローチがなぜ他手法よりも優位であるのか、その特徴を具体的に整理する。

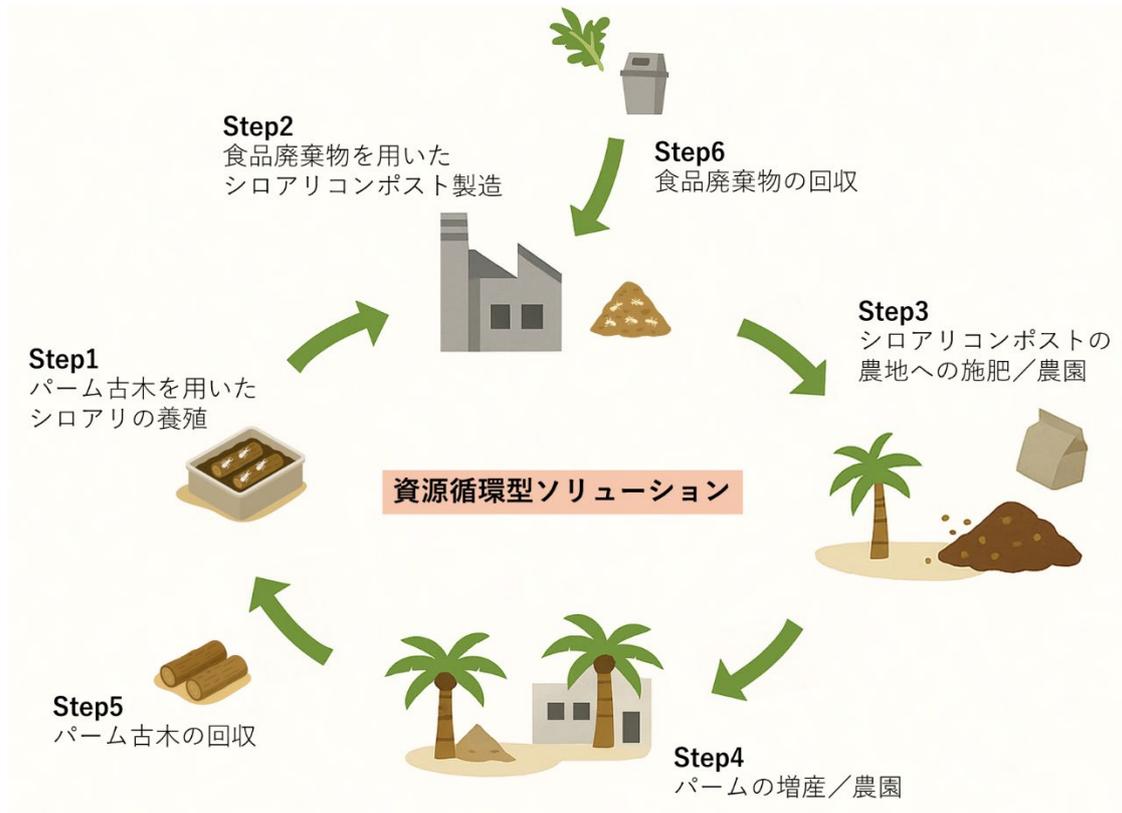


図5 パーム古木・食品廃棄物を同時解決するシロアリ資源循環モデル

### 2-3 既存手法と比較したシロアリコンポストの優位性

本節では、シロアリを用いた堆肥化手法の優位性を述べるに先立ち、まず一般的な微生物を用いた手法の課題を整理する。通常の堆肥化処理では、食品廃棄物と微生物を混ぜることで廃棄物に含まれる成分を植物や土壌微生物が利用しやすい形に分解する。この処理は通常2~3カ月の期間を要することから、堆肥化設備が大型化し、設備コストが高くなる。また、処理時に微生物に酸素を供給する必要があるため、設備に酸素を供給するためのエネルギーコストもかかることが課題となる。

これに対し、アフリカの大地で生育可能なシロアリを活用する方法では必ずしも食品廃棄物の堆肥化を設備内のみで完了する必要がなく、廃棄物とシロアリを混合するだけで、農作地の土壌において廃棄物が分解され、土壌改良が促進されると期待される。このことから、廃棄物とシロアリをマイルドに混合する装置があれば十分であり、

大型の堆肥化設備が不要になると期待される。

昆虫による堆肥生産の代表的な事例として、オランダで行われているワーム（ミミズ）による手法を取り上げ、シロアリとの比較を行う。表3では、シロアリとワームの生育条件やアフリカ環境への環境適応性について整理する。ワームは分解力に優れるが高温・乾燥下では生育困難であり、セルロースも利用できないため、パーム古木利用には不適である。一方、シロアリはセルロースを利用できるためパーム古木の利用が可能であり、またアフリカのような高温・乾燥地域でも生育出来るため、アフリカでの利用性はワームを大きく上回ると考える。

以上のように、乾燥耐性・セルロース利用性・設備簡索性といった観点から、シロアリはアフリカでの現実的かつ持続可能な堆肥化手法として有望である。次節では、この手法をどのように農業現場へ実装するか、そのために必要な技術と取組みについて検討する。

表3 アフリカ適性におけるシロアリとワームの比較

(出典：参考文献12～14(シロアリに関して)、参考文献15～17(ワームに関して)を基に作成)

比較項目	シロアリコンポスト	ワームコンポスト
生育環境 (温度/湿度)	高温・乾燥環境に強く、適応幅も広い (アフリカ屋外で生育可能)	低温・高湿環境のみで生育可能 (アフリカ屋外では生育不可)
餌原料の適応性 (粗質な廃棄物)	セルロース含有廃材にも適応 様々な残渣適応性あり(雑食性)	セルロースは分解不可/土壤微生物に依存 柔らかい食品残渣のみに適応
設備依存性	簡易な容器と土壌ベースで飼育可能 (低設備依存)	温度・湿度制御が可能な コンポスターが必要
分解スピード (処理期間)	約3～4週間：△ (環境により変動)	約2～3週間：○ (適温・適湿条件下)
飼育持続性 (繁殖・継代の容易さ)	女王個体の長寿命(10年以上) 自然繁殖力が高く継代が安定	短寿命のため人為的な繁殖管理が必要 継代に注意が必要
人材負荷 (運用難易度)	比較的容易/一般作業者での管理が可能	要研修/衛生・湿度管理など 専門性が必要
アフリカ乾燥環境への適応性	◎ アフリカ土壌でのコンポスト化が可能	× アフリカ環境で生育不可・大型設備が必要

## 2-4 社会実装に必要な技術と取組み

シロアリコンポスト構想を実現するために必要な技術・取組みとして、「シロアリ養殖技術」、「シロアリを活用した堆肥化技術」、「生態系への影響評価」が考えられる。以降で詳しく説明する。

### 2-4-1 パーム古木を活用したシロアリ養殖技術

まず、シロアリ養殖用の餌として考えているパーム古木は硬度が高く、一般的にシロアリが食べにくい種類の木材であることが知られている。そのため、パーム古木をシロアリの養殖へ利用するためには、シロアリが食べやすい状態へ加工することが必要となる。

ここで京都大学では、内閣府のムーンショット計画<sup>注10</sup>の一環として、通常はシロアリが食べにくい硬度の高い杉の木を水へ浸漬処理することで利用しやすくし、その後簡易コンテナ容器内で杉の木を餌にしてシロアリの養殖する研究開発が進められている<sup>18)</sup>。また、シロアリの繁殖にはコロニー<sup>注11</sup>を形成することが重要とされており、酵母で発酵処理した木材を餌として利用することでコロニー形成率が飛躍的に向上することも報告されている<sup>19)</sup>。このように、日本を中心に開発されているシロアリ養殖技術をパーム古木へ応用することで、通常利用しにくいパーム古木を餌にして効率的にシロアリの養殖できると期待される。

#### 2-4-2 食品廃棄物を対象としたシロアリ堆肥化技術

現時点では、シロアリの活用した食品廃棄物の堆肥化技術は世の中において確立されていない。食品廃棄物にはシロアリが主食とするセルロースに加えて、ヘミセルロースやリグニン、炭水化物や脂質等も含まれるため、これら成分も含めて堆肥化できるかがポイントとなる。

ここで、京都大学の研究では、シロアリに与える餌成分を変化させることで餌に合わせてシロアリ体内の共生微生物の菌叢<sup>注12</sup>が変化することが報告されている<sup>20)</sup>。つまり、現地食品廃棄物の成分に合わせてシロアリ内の菌叢が適応する可能性が高く、堆肥化への柔軟性が期待できる。まずは、アフリカで発生する食品廃棄物のシロアリ分解性の確認や生成堆肥中の肥料成分の分析を進めることでシロアリ堆肥の有効性を把握すると共に、水分濃度や温度等の適した処理条件を明らかにすることで必要な設備や運用管理方法を具体化できると考える。

#### 2-4-3 生態系への影響評価と安全性確保

シロアリコンポストには生きたシロアリも含まれるため、農地に施肥する際には生態系に悪影響しないシロアリ種の選定が重要となる。一般的にシロアリは柔らかい樹木を好んで食すと言われており、松やモミのような柔らかい樹木に比べてアブラヤシ

はシロアリ耐性が高いとされるが、完全にシロアリ耐性があるわけではない。一方、一部のシロアリは生立木<sup>注13</sup>を食わず枯れた樹木のみを食すと言われており、シロアリコンポスト構想の実現には栽培するアブラヤシを含めた生態系に悪影響しないシロアリ種の選定が重要と考える。シロアリの利用に向けては、段階的な生態系への影響評価を進めていく必要があり、まずは密閉容器下での生きた木材サンプルにおける食害評価を行い、続いて実際の適用環境に近い物理的に遮蔽された農園にて生立木への影響を定期的にモニタリングしていく必要がある。このように、実装に向けては生態系への影響評価や地域住民の理解促進といった社会的側面への配慮も欠かせず、段階的な導入が望まれる。

これらの技術的・生態的知見を踏まえ、次章ではシロアリコンポストの具体的な製造体制と社会実装手法について検討する。

### 第3章 シロアリコンポストの社会実装モデル

#### 3-1. 地域分散型による生産・供給体制の設計

アフリカのアブラヤシ栽培における栄養不足と、急増する人口に伴う資源循環の必要性を背景に、本節では資源循環を担うシロアリの力を活用し、食品廃棄物とパーム古木を資源に変換して土壌へ栄養を還元する『シロアリコンポスト製造体制』と、その社会実装を提案する。合わせて農家・工場・地域社会における行動変容を促す仕組みを組み込み、地域循環と雇用を同時に動かす社会モデルとして設計している。図6では、廃棄物の利活用、肥料と副資材の双方向物流、ICTによる需給調整といった要素を、農家・工場・行政が連携する全体構造として図示しており、以降で各構成要素について具体的に示す。

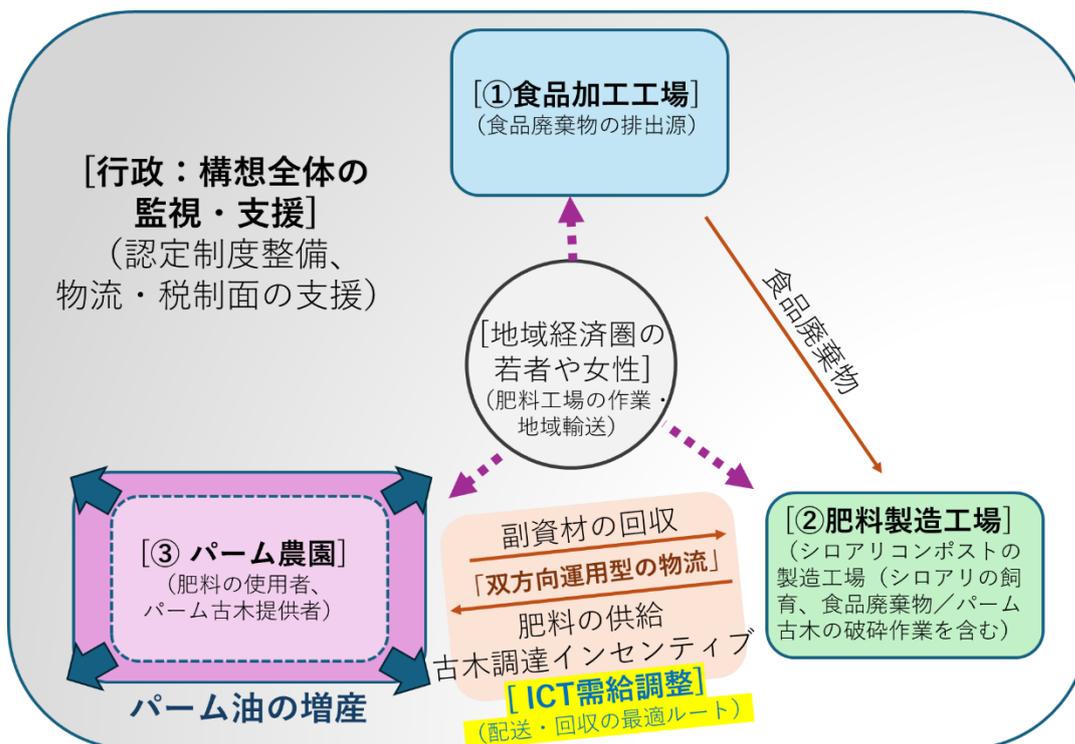


図6 地域循環を担うシロアリコンポスト社会実装モデル

本提案の核は、都市部の食品廃棄物と農園に放置されたパーム古木を回収し、シロアリで堆肥化する「地域分散型肥料生産体制<sup>注14</sup>」を構築する点にある。小規模農家が多いアフリカでは、大規模集約型の生産体制よりも、既存の肥料工場を活用する小規模分散型体制が現実的で、初期投資も抑制できる。すなわち、本構想は低投資と実装スピードが最大の強みである。

一般的なブレンド肥料工場には肥料成分の混合・包装・保管・出荷設備が備わっているため、シロアリコンポストの製造が可能であり、既存肥料工場の活用は本構想の拡大を促進する鍵となる。食品廃棄物やパーム古木には破砕工程<sup>注15</sup>の追加が必要となるが、小規模であり最小限の投資で対応できる（図7）。

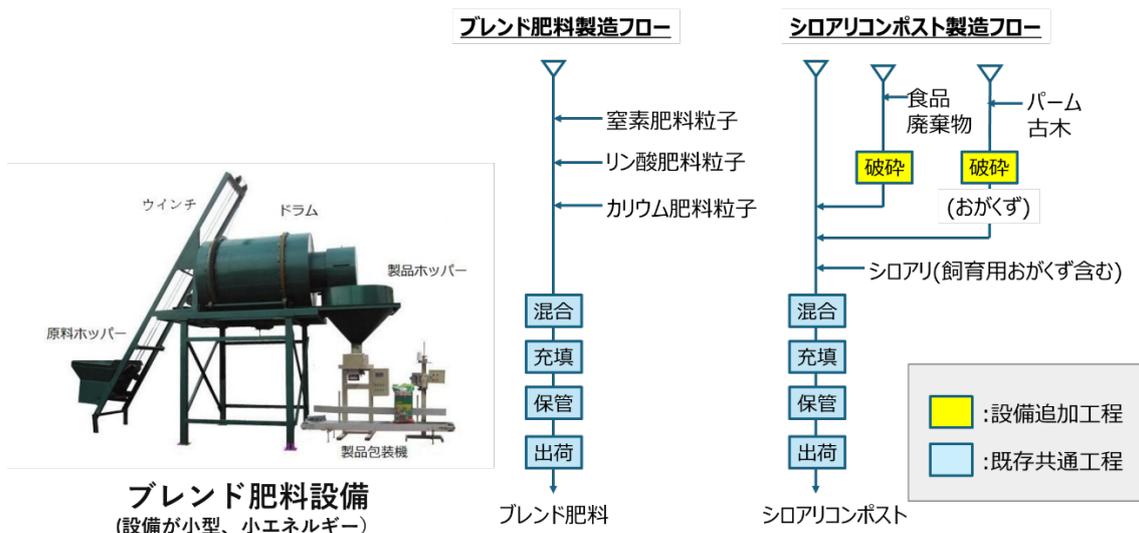


図7 既存肥料製造とシロアリコンポスト製造の比較フロー  
(出典：参考文献 21 をもとに作成)

加えて、肥料工場の視点から見ても、化学肥料はCO<sub>2</sub>排出量が多く、原料であるリン鉱脈<sup>注16</sup>も地球上に限られた有限資源であり、持続的な供給に課題を抱えている。したがって、本構想は地域資源を活用でき環境対応型の肥料価値に加え、新たな収益機会を創出する成長戦略にもなり得る。

製造された肥料は、一定期間倉庫で保管された後に農家へ供給される。包材に充填された肥料は、シロアリ内の共生微生物の働きにより、保管中に分解がさらに進行し、栄養豊富な堆肥となる。合わせて、農家への配送後に、農園で伐採・放置されたパーム古木を回収することで、帰り便を活用した物流の効率化が可能となる。この一連の流れは、地域資源の循環活用と物流効率化を同時に達成するものであり、地域分散型肥料生産体制の基盤となる。

また、工場運営に伴い破碎・収集・飼育管理など新たな業務が生じ、地域の若者や女性に雇用機会を創出する。同時に、実装に向けてはシロアリの逸走防止などの安全管理も不可欠である。飼育境界にはアルカリ石灰処理<sup>22)</sup>を施し、万一の脱走時には誘引剤<sup>23)</sup>で捕獲する体制を整えるなど、安全性と社会的受容性に配慮し、地域資源の循環と雇用の循環を同時に生み出す社会モデルとなる。

### 3-2. ナイジェリア・エド州における試算と導入展望

本節では、アフリカ最大のパーム油生産国であるナイジェリアの中でも、農業インフラや廃棄物供給体制が比較的整っているエド州<sup>注17</sup>をモデルとし、本提案の実現可能性を検証する。このエド州の試みは、将来的にアフリカ及び世界市場へ展開する出発点としての意義を持つ。エド州はパーム農園・食品加工工場・肥料工場が州都ベニンシティ周辺に集積しており、80km 圏内で資源循環が成立する好条件を備える（図8）。

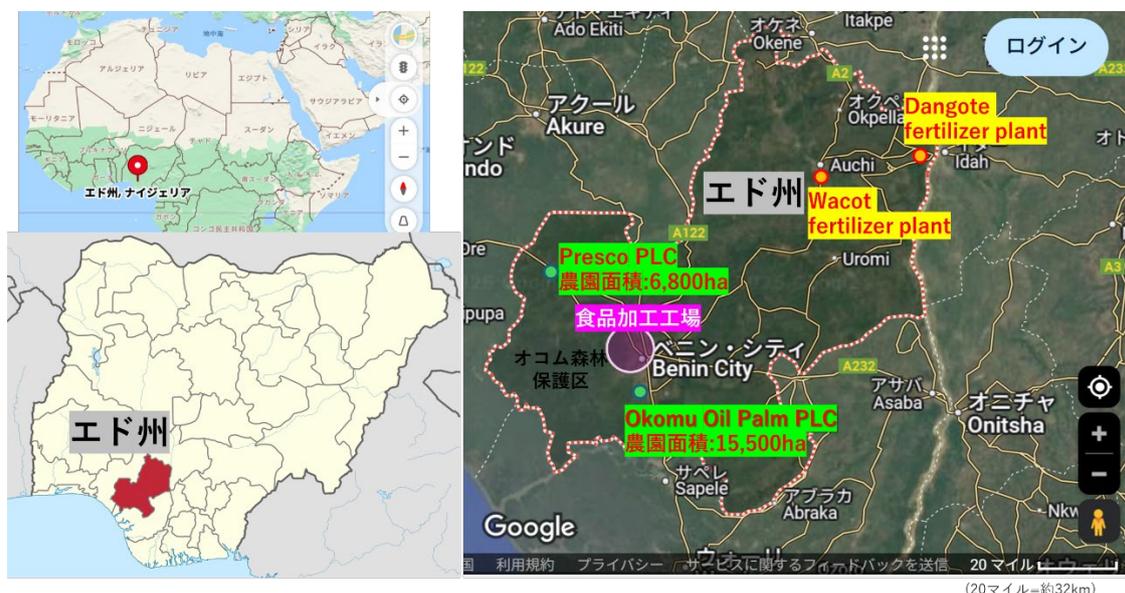


図8 ナイジェリア・エド州における資源循環拠点の立地関係

肥料製造コストは、日本国内のブレンド配合肥料（183 円/kg<sup>24</sup>、その約 13%を人件費<sup>25</sup>）を基準に分析した。ナイジェリアの賃金水準は<sup>25</sup>、日本の 1/10 以下であり加工費を大幅に削減できる。つまり、人件費構造の違いにより、国際的コスト競争力を獲得できる。

肥料コストの約 6 割を占める「原材料費」についても、次の工夫で大幅削減が可能である。

- ・パーム古木の回収：農園内に副資材<sup>注18</sup>ステーションを設置し、古木提供量に応じた肥料割引や優先配送などインセンティブを付与することで、放置されがちな古木を効率的に回収する。
- ・食品廃棄物の調達コストゼロ化：食品工場などの排出者から処理費を徴収すること

で、原材料費を実質ゼロにできる。この仕組みが、シロアリコンポストのコスト競争力を決定づける。

・トレーサビリティ<sup>注19</sup>と制度信頼：処理の透明性を確保するため、肥料工場が「再資源化証明書」を発行し、排出事業者へ ESG/CSR<sup>注20</sup>対応できる体制を整える。また、行政による認証制度と連動させることで、社会的信頼性を備えた循環スキームにつながる。

導入や普及を加速するには、既存制度との連携も重要となる。たとえば、ナイジェリアで既に運用されている「肥料バウチャー制度<sup>注21</sup>」や、廃棄物の再資源化スキームと組み合わせることで、農家にとって分かりやすく、継続的な参加が得られやすくなる。こうした制度連携を通じて、行政・企業・地域社会が一体となった持続可能な社会モデルを構築できる。

エド州のパーム農園面積（約 118 千 ha）から、必要な肥料生産量を約 4,800 トンと試算した結果、シロアリコンポストのコストは 41 円/kg となり、ブレンド配合肥料の約 2 割にまで低減できる（図 9）。試算の詳細は、以下の通り。

- ・破砕機及びシロアリ飼育設備の投資：1 億円、償却年数：10 年、償却費 2.0 円/kg
- ・加工費（人件費）：ナイジェリアの一般職工賃を基準に、2.4 円/kg と設定
- ・輸送費：地域内短距離輸送に限定されるため、総コストの約 10%を配分し 4.0 円/kg
- ・包装費・保管料・販管費については、ブレンド配合肥料同等に設定

項目	ブレンド配合肥料 (日本) <sup>23,24)</sup>		シロアリコンポスト (ナイジェリア エド州)	
	コスト[円/kg]	割合[%]	コスト[円/kg]	割合[%]
原材料費	116.3	63.7	0	0.0
加工費(人件費)	23.9	13.1	2.4	5.8
加工費(償却費)	5.5	3.0	7.5	18.3
輸送費	9.9	5.4	4.0	9.8
包装費	7.5	4.1	7.5	18.3
保管料	1.3	0.7	1.3	3.1
その他販管費	18.3	10.0	18.3	44.6
<b>合計</b>	<b>183</b>	<b>100</b>	<b>41</b>	<b>100</b>

#### シロアリコンポストにおけるコスト試算

##### 1.シロアリコンポストの原材料費

- 1.パーム古木を集積・保管して、パーム農家から無償提供。
2. 肥料供給の帰り便を利用し、古木の輸送コストを実質ゼロ。
- 3.食品廃棄物の再資源化施設として、廃棄料を収入源に転換。
- 4.以上を踏まえ、シロアリコンポストの原材料費を実質無償化

##### 2.シロアリコンポストの加工費(人件費)

- 1.ナイジェリアの一般職工の人件費:月額31 USドル (日本の1.5%)
- 2.食品廃棄物やパーム古木の破砕加工費が新たに発生
- 3.シロアリコンポストの加工費(人件費)を日本の10%2.4円/kgとした。

##### 3.シロアリコンポストの加工費(償却費)

- 1.エド州パーム農園面積(118,264ha)から必要な肥料生産量 4848ton
- 2.設備投資費用 計1億円(破砕機:5,000万円、シロアリ飼育設備:5,000万円)
- 3.設備償却年数10年とした場合の償却費2.0円/kg
- 4.既設の償却費5.5円/kgと合算し、シロアリコンポストの加工費(償却費)7.5円/kg

##### 4.輸送費

- 1.主要農園と肥料工場との距離が比較的短く、地域内での供給網が成立
- 2.シロアリコンポストに占める輸送費を約10%とした

##### 5.包装費、保管料、その他販管費

- 1.既存のブレンド肥料製造コストに準ずる(変更無し)

##### 6.シロアリコンポストとブレンド配合肥料のコスト比較

- ブレンド肥料の約22%(183→41円/kg)まで低減

図9 ブレンド配合肥料との比較におけるシロアリコンポストのコスト優位性

(出典:参考文献26~28をもとに作成)

このコスト優位性は、地域資源の利活用と低人件費に基づくものであり、アフリカに持続的かつ競争力のある肥料供給体制を築く根拠となる。つまり、シロアリコンポストは農家にとって“高価な選択肢”であった施肥を、“手の届く身近な現実”へと変える技術である。

実際、FAO(国連農業機関)およびIFDC(国際肥料開発センター)の報告<sup>27)</sup>によれば、施肥増加により、トウモロコシやキャッサバの収量は15~25%程度増加することが確認されている。これは、農家の収益向上に直結すると同時に、地域の油脂供給

力を安定させる基盤ともなる。

価格低下を契機に施肥行動が広がり、生産性向上の成功体験が農家の使用意向を高め、肥料需要の安定確保が期待できる。肥料工場にとっても、需要の拡大は製造単価の低減につながり、結果的に事業の収益性も向上する。すなわち、価格低下を起点として、施肥行動・生産性・供給拡大が連鎖的に強化される、持続的な好循環モデルが構築される。

### 3-3. サプライチェーン最適化と ICT 連携モデル

アフリカでは道路や倉庫のインフラ不足により物流コストが高く、農家が分散しているため効率的な配送網の構築も困難である<sup>29-30)</sup>。こうした物流インフラの課題に対し、肥料を農家に届ける“供給の流れ”と、パーム古木を農園から回収する“回収の流れ”を連携させた「双方向物流」を提案している。その実現には、農家ごとの需給や配送・回収を可視化し、統合管理する仕組みが不可欠であり、ICT<sup>注22)</sup>の役割は大きい。

例えばナイジェリアの「Farmers App」<sup>31)</sup> は、農家が需要を入力すると政府補助と連動した肥料の一括配送を行っており、ICT 活用の実装可能性を示している。本提案では、農家がアプリ上で必要量を入力し、AI が配送・回収の最適ルートを自動算出する。これは、インフラ不足を技術と地域協力で補う現実的な解決策である。

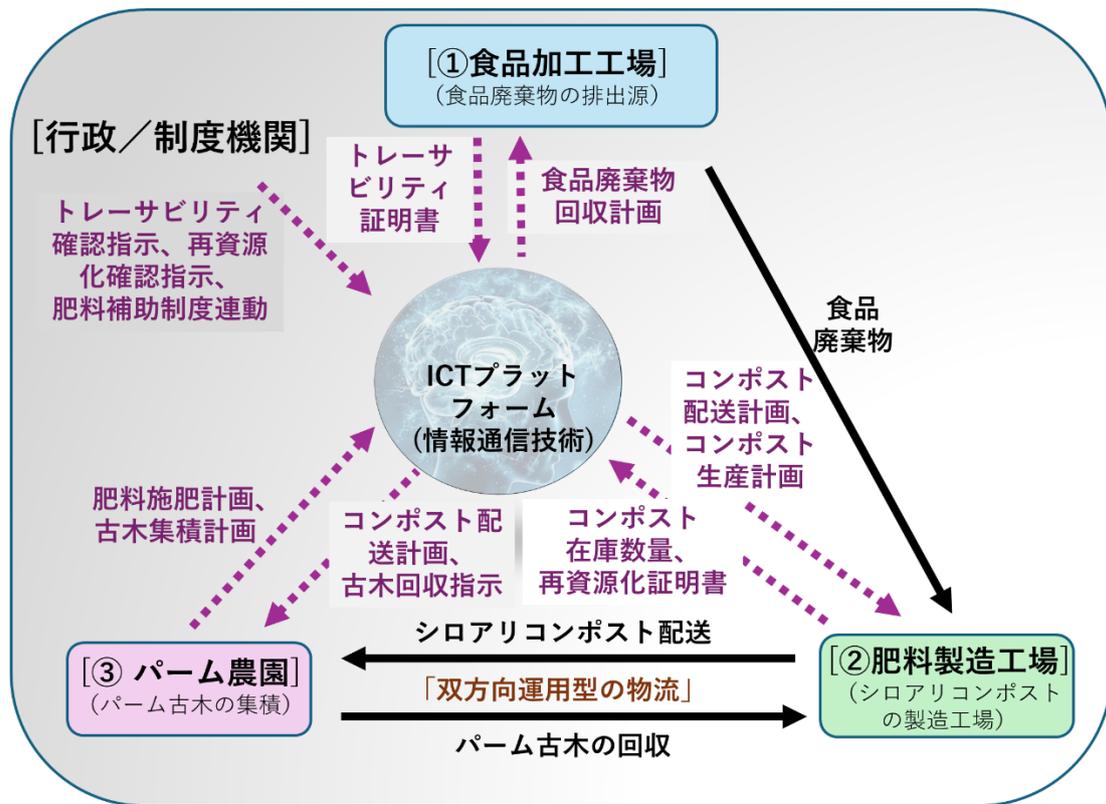


図 10 ICTによる肥料供給・廃棄物回収の統合管理モデル

図 10 には、食品加工工場・肥料製造工場・パーム農園の三者が、ICT プラットフォームを介した情報連携により、廃棄物資源の供給とシロアリコンポストの配送を一体的に管理し、効率的な物流を実現する仕組みを示している。この仕組みによって、物流インフラが脆弱な地域でも、持続可能な地域循環モデルを支える中核的インフラとなる。

### 3-4. 導入から普及・波及へのロードマップ

本構想をアフリカにおいて社会実装するには、政策・資金・制度が相互に連携した三位一体による実行基盤が不可欠である。具体的には、政策面では肥料補助制度や廃棄物再資源化スキームの整備、資金面では公的基金や国際協力機関による初期投資支援、制度面ではトレーサビリティ認証や環境適合型肥料の規格認定などが必要である。特に、肥料供給や土壌改良といった理念が合致するアフリカ連合開発庁ーアフリカ開発のための新パートナーシップ (AUDA-NEPAD) の公的基金<sup>32-34)</sup>を活用すれば、行政や国際機関と連携しつつ現実的な導入を後押しできる。

実装の進め方は、導入→普及→波及の3ステップで構成される。

- ・ステップ1（導入）：ナイジェリア・エド州の肥料工場1拠点と農家約200戸を対象に、小規模なパイロット事業を展開し、モデルの有効性検証とデータ収集を行う。
- ・ステップ2（普及）：得られた成果をもとにナイジェリア国内の複数州（ラゴス州、オグン州、カノ州など）へ展開し、物流網と制度整備を並行して進める。
- ・ステップ3（波及）：技術移転と政策連携を通じて、カメルーン、コートジボワール、ガーナなど周辺国への波及展開を図り、持続可能な資源循環モデルの域内普及を目指す（表4）。

表4 導入から普及・波及までの段階的ロードマップ

マイルストーン	ステップ1導入ステージ 2026～2027	ステップ2普及ステージ 2028～2030	ステップ3波及ステージ 2031～2035	
目標	パイロット導入による実証検証	実行地域をナイジェリア国内に拡張	パートナー国選定と制度輸出	
導入地域	ナイジェリア エド州	ナイジェリア3州へのモデル拡張 案：ラゴス州、オグン州、カノ州	パートナー国への技術輸出 案：カメルーン、コートジボワール、 ガーナ	
生産規模	5,000t/年	50,000t/年	500,000t/年	
担当主体	肥料会社	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 補助金申請</li> <li>● シロアリ飼育設備導入</li> <li>● 破砕設備の導入・据付</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 3州へ展開</li> <li>● 既存ブレンド肥料工場の段階的転用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 他国向け仕様書策定</li> <li>● 連携先企業の選定</li> </ul>
	行政（州・連邦）	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 肥料認定制度の整備</li> <li>● 食品廃棄物処理許可</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 税制優遇／肥料バウチャー制度の連携</li> <li>● 初期成果報告の国際発表</li> <li>● 物流網の整備</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 認証制度・廃棄物法制の整備</li> <li>● 輸送・副資材網の構築支援</li> <li>● 現地企業・NGO・農協との協定締結</li> </ul>
	JICA（日本）	<ul style="list-style-type: none"> <li>● シロアリ飼育技術提供</li> <li>● 人材育成支援</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 中間評価／次段階への指針</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 技術輸出支援</li> <li>● 現地JICA事務所連携</li> </ul>
	農家・工場	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 農家200戸パイロット参加</li> <li>● 副資材供給開始</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 全土連携農協への展開</li> <li>● シロアリコンポスト肥料の農業普及</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 現地普及団体と農民教育体制整備</li> </ul>
	ICT事業者	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 試作アプリ開発・現地実装 (需給管理・配達アプリの初期設計)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 配送最適化本格運用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 多言語・域外対応拡張</li> </ul>

### 3-5. 施肥拡大がもたらすアフリカ油脂産業への波及効果

この段階的アプローチが実現すれば、油脂産業の供給構造やコスト体系に明確な変化が起こる。

- ・ステップ2（ナイジェリア国内）：農地の約30%（100万ha）に導入すれば、施肥量の増加に伴い作物の収量は約20%向上が見込まれる。パーム油の自給率は79%から95%へ改善し、化学肥料との差額（142円/kg）によって年間50億円以上のコスト削減が実現する。これは農家1世帯あたり数万円規模の負担軽減に相当し、生活の安定に直結する。
- ・ステップ3（アフリカ全体）：パーム栽培エリアに30%導入（施肥面積：約1,000万ha）すれば、油脂自給率は約40%から50%へと改善。パーム油生産量も約30%（+90万トン）増加し、世界全体のパーム油生産量に対して約1.2%に相当する増収

効果が見込まれる（表5）。

表5 シロアリコンポスト導入による油脂産業への波及効果

（出典：参考文献35-36をもとに作成）

ステージ区分	ステップ2普及	ステップ3波及	備考
対象国	ナイジェリア	アフリカ諸国全体	
シロアリコンポスト導入面積	100万ha	1000万ha	導入率30%
施肥量	4.1万トン	41万トン	41kg/haで算出
肥料コスト削減額	約50億円	約500億円	単価差：142円/kg
パーム油年間生産量（増加率）	150万トン→180万トン <sup>35)</sup> (+20%)	300万トン→390万トン <sup>36)</sup> (+30%)	収量向上と施肥量増加による
油脂自給率	79→95%	40%→50%	パーム油消費量 ナイジェリア：190万トン アフリカ諸国：790万トン

加えて環境面の効果も無視できず、気候変動対策としての価値も大きい。ステップ3に進んだ場合、副次効果として年間約84万トンのCO<sub>2</sub>排出削減効果（表6）が見込まれる。これは、ナイジェリア全体の年間排出量<sup>37)</sup>の約0.8%に相当し、単一施策として顕著な成果である。

表6 シロアリコンポスト普及によるCO<sub>2</sub>排出削減効果（ステップ3試算）

（出典：参考文献38をもとに作成）

項目	数値（推定）	備考
①化学肥料の削減量	410,000トン	シロアリコンポスト導入により代替された量
CO <sub>2</sub> 削減係数（化学肥料）	1.3 t-CO <sub>2</sub> /1 t肥料	肥料製造・施用によるCO <sub>2</sub> 排出係数（1.3 t CO <sub>2</sub> /t）
<b>化学肥料由来のCO<sub>2</sub>削減量</b>	<b>533,000 t-CO<sub>2</sub></b>	
②再資源化された廃棄物量	1,025,000トン	食品廃棄物+パーム古木（コンポスト肥料の2.5倍量）
CO <sub>2</sub> 回避係数（有機廃棄物）	0.3 t-CO <sub>2</sub> /1 t廃棄物	有機廃棄物の堆肥化によるCO <sub>2</sub> 回避効果（0.3 t-CO <sub>2</sub> /t）
<b>廃棄物処理由来のCO<sub>2</sub>削減量</b>	<b>307,500 t-CO<sub>2</sub></b>	
<b>合計CO<sub>2</sub>削減量（年間）</b>	<b>840,500 t-CO<sub>2</sub></b>	<b>中規模火力発電所の年間排出量に相当</b>

とりわけコンゴ民主共和国など、主要産地に匹敵する潜在的栽培適地を有する未開拓地域や、土壌劣化で利用されてこなかった土地を新たに開拓することで、パーム油生産の拡大と供給安定に一層大きく貢献し得る。

## 第4章 国際展開シナリオと持続可能性への貢献

### 4-1. 日本の知見と国際的パートナーシップの活用

ここからは視点を域外に移し、国際展開の意義を考察する。アフリカでの実装を推進するうえでは、域外からの知見や経験を活用することが不可欠である。日本の油脂産業界が長年培ってきた研究開発の知見や品質保証に関する経験は、アフリカにおける油脂関連産業の発展に寄与できる可能性が高い。加えて、日本はシロアリ研究や間伐材の活用に関する先進的な知見を蓄積しており、それをアフリカに還元することで、現地の課題解決を支援する重要な役割を果たし得る。

特に、油脂工業会館は「油脂工業に関する調査研究の助成」「情報提供や内外関係機関との交流・協力」といった会館目的に即して、産業界と研究機関、国際機関をつなぐ中立的なハブとして機能することが期待される。この役割を通じて、アフリカにおける品質認証制度の整備や標準化の検討に必要な知見や情報を提供し、各国が主体的に制度設計を行う際の参考となるだけでなく、日本の研究成果を現地に共有する橋渡し役となり、国際的な枠組み構築と人材育成が同時に進むだろう。

#### 4-2. 東南アジアへの展開戦略と制度適合

本構想はアフリカに特化した地域適応型モデルとして設計されたが、その「高温乾燥地に対応可能な土壌改良技術」は、東南アジア諸国においても高い親和性を示す。特に世界最大のパーム油生産国インドネシアでは、アフリカ同様、食品廃棄物の急増や土壌劣化が深刻化している。本構想をインドネシアに適用すれば、パーム油生産量は約20%（約940万トン）増加し、世界市場のパーム油供給安定化に直結すると見込まれる。

一方、インドネシアをはじめとする東南アジアでの展開にあたっては、各国固有の制度や文化的背景への対応が欠かせない。特にインドネシアではRSPOに基づく環境認証制度が普及しており、RSPOの基準や土地利用規範と整合させる必要がある。ここでも、油脂工業会館は国際的規格に関する知見の提供や関係機関との交流促進を通じて、現地での制度適合を支援する立場を果たすことができる。

#### 4-3. 適地選択型モデルによる国際展開と最終的ゴール

アフリカ発のシロアリコンポスト構想は、地域課題の解決から出発し、世界的な資源循環モデルへと展開し得る潜在力を持つ。施肥改善と土壌循環の取り組みにより、

油脂生産の安定化と自給の可能性が広がり、アフリカの一部地域では、油脂産業を「輸入依存型」から脱却できる実現性が高まる。

この取り組みは、COP21（パリ協定）で定められた「気温上昇を産業革命前比で1.5℃以内に抑える」とされた国際目標に整合し、CO<sub>2</sub>削減を通じてSDGs13「気候変動対策」への具体的成果をもたらす。同時に、SDGs2「飢餓をゼロに」が掲げる食料安全保障の強化にも貢献し、AUDA-NEPADが提唱する「持続可能な農業成長戦略」とも方向性を共有し、地域レベルの取り組みが国際的政策課題の最前線へと結びつく。

国際展開においては、一律に普遍展開するのではなく、廃棄物特性や制度環境に応じた適地選択型モデルとして段階的に広げることが重要である。第1段階では西アフリカでの成功事例を確立し、第2段階では土壌劣化や廃棄物増大が深刻なインドネシアやマレーシアに導入する。そして最終的なゴールは、未開拓地や劣化地を新たに再生し、パーム油生産の拡大と供給安定に大きく貢献することであり、その道筋を示すことが本構想の国際的意義である。

## おわりに

本論文では、アフリカの油脂自給に関わる根深い課題に対し、肥料不足・廃棄物の未活用・土壌劣化といった複数の構造的制約を統合的に捉え、自然の生態機能を活かした「シロアリコンポスト構想」を提案した。これは、日本の昆虫生態や微生物馴化、間伐材利活用といった知見を土台とし、アフリカの現場に適応させた、現地実装型の自然循環モデルである。さらに、インドネシアをはじめとする他地域への波及可能性を持ち、CO<sub>2</sub>削減に加え、自給率向上と増産を実現し、食料安全保障と国際市場の供給安定に寄与する。加えて、雇用創出や地域経済の活性化など社会的波及効果も期待できる。

本構想の核心は、生態系へのリスクから生まれた「小さな生物が大きな社会経済循環を動かす」という理念を、シロアリを通じて具体化する点にある。自然に学び、社会を再設計する——この共生思想こそが、私たちの届けたい価値である。

私たちは、この構想をアフリカの土壌に根づかせ、自然と社会の共生・循環を体現する新たな産業へと育てていく。そして、油脂産業がこれまで歩んできた「外部資源依存・大量生産・大量消費」の構造を脱し、「自然共生・分散型生産・地域循環利用」

へと変革し、自然の力を活かした新しい循環型社会のモデルを発信していくことが、私たち油脂産業に携わる者の使命である。

私たちの小さな行動こそが、持続可能な社会を築く推進力となる。アフリカ油脂自給の課題を突破口に、地域課題の解決が国際課題解決に直結する新しい循環型社会の姿を目指す。

#### <注釈>

(注1) 土壌肥沃度：土壌が植物の生育に適している度合い。要素としては、栄養分の量や土壌の構造、有機物の量、pHなどが含まれる。

(注2) プランテーション：アブラヤシ等の作物を大規模に栽培する農園のこと。主に熱帯・亜熱帯地域で行われている農業形態。

(注3) RSPO：Roundtable on Sustainable Palm Oilの略。持続可能なパーム油の生産と利用を促進するための国際的な認証制度および非営利組織。

(注4) アリ塚：アリやシロアリが作る地上に盛り上がった巣の構造物。保温や保湿、空気循環の調整の効果があり、乾燥地域等で生き抜くために作ることが知られている。

(注5) 生態系インフラ：自然（昆虫、植物など）の仕組みや働きを社会の基盤インフラとして活用する考え方。

(注6) パーム古木：果実の収穫が終わったアブラヤシの幹や枝。伐採後に農園に放置されることが多く、病害虫の温床となる。

(注7) 間伐材：森林の木が密集しすぎないように間引き（間伐）された木材のこと。環境に優しい資源として注目されている。

(注8) 堆肥：有機物（食品廃棄物、木くず、落ち葉など）を微生物や昆虫の力で分解させ、土壌に栄養を補う肥料のこと。化学肥料と異なり、天然資源を再利用できる点で環境負荷が低く、土の保水力や微生物環境を整える効果もある。近年は都市ごみの再資源化にも活用されている。

(注9) サブサハラ・アフリカ：アフリカ大陸のうち、サハラ砂漠より南に位置する地域の総称。

(注10) ムーンショット計画：日本の内閣府が推進する国家プロジェクト。2050年を目標に、社会課題を根本から解決する革新的な技術やシステムの開発を目指すもの。

(注11) コロニー：数百から数百万匹の個体が集団で生活する巣のこと。シロアリは高度な社会性昆虫であり、コロニー内では女王アリや王アリ、働きアリ等の明確な役割を持つシロアリが集団で生息している。

(注12) 菌叢：特定の環境に生息する微生物の集団。人体や動物の体の各部位に様々な微生物が定着している。

(注13) 生立木：自然に地面に根を張って生育している生きた木のこと。

(注14) 地域分散型肥料生産体制：中央集約型とは異なり、各地域に小規模な処理・製造拠点を配置することで、廃棄物の地産地消と物流負荷の軽減を同時に実現する肥料製造モデル。

(注15) 破碎工程：廃材や原料を細かく砕く加工工程。コンポスト製造においては、微生物や昆虫が分解しやすくするための前処理として重要。

(注16) リン鉱脈：化学肥料の原料となるリン鉱石の鉱脈。地球上で偏在し埋蔵量が限られるため、長期的な資源安定供給が懸念されている。

(注17) エド州：ナイジェリア南部に位置する州で、パーム油の生産や農業が盛んに行われている。州都はベニンシティ。

(注18) 副資材：製造や生産過程で主原料を補助する目的で使われる材料。ここでは、肥料を作る際に水分調整や腐敗防止のために混ぜるパーム古木などが該当する。品質調整や安定性を高める役割を持ち、原材料の分解を助け、微生物が活動しやすい環境を整える。

(注19) トレーサビリティ：生産から流通・販売に至るまで、製品が「いつ・どこで・誰によって」扱われたかを追跡できる仕組み。食品安全、品質管理、リサイクル工程の信頼確保などに活用される。提案では、廃棄物が適切に処理され堆肥化されていることを証明する手段として用いられる。

(注20) ESG/CSR：ESG（環境・社会・ガバナンス）は企業の持続可能性を評価する指標。CSR（企業の社会的責任）は企業が社会課題に取り組む姿勢

(注21) 肥料バウチャー制度：政府や援助機関が農家に対して発行する、肥料を安価または無償で購入できる引換券（補助制度）のこと。特にアフリカ諸国において、小規模農家の肥料使用を促進し、農業生産性を高める目的で導入されている。ナイジェリア、タンザニア、マラウイ、ルワンダなどで既に導入運用されている。

(注22) ICT (Information and Communication Technology)：情報通信技術の略。コンピュータやスマートフォンを活用し、情報の収集・分析・連携・管理を効率化する仕組み。ここでは、肥料の需要予測、農家からの注文、配送ルート最適化、副資材の回収など、物流と情報の連携を行う“見えない中枢”を担う技術。

## <参考文献>

- (1)国土交通省, “国土交通省白書 2020”,  
<https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/r01/hakusho/r02/pdf/np102300.pdf>, 2025 年 7 月 6 日閲覧
- (2)J.Pirker, “Global oil palm suitability assessment”, International Institute for Applied Systems Analysis, <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/11682/1/IR-15-006.pdf>, 2025 年 9 月 15 日閲覧
- (3)Roundtable on Sustainable Palm Oil, “African palm oil industry moves for a sustainable balance between conservation and development”, <https://rspo.org/african-palm-oil-industry-moves-for-a-sustainable-balance-between-conservation-and-development>, 2025 年 7 月 6 日閲覧
- (4)H.Ritchie, “Fertilizers”, “Our World in Data”, <https://ourworldindata.org/fertilizers>, 2025 年 7 月 6 日閲覧
- (5)JETRO, “「アフリカの肥料と土壌の健康サミット」、AU がナイロビで開催”,  
<https://www.jetro.go.jp/biznews/2024/05/4200ef326ab14fc2.html>, 2025 年 7 月 6 日閲覧
- (6)山科千里(筑波大学), 「土壌生態系サービスを支える土壌動物の役割」, 『日本土壌肥科学雑誌』, 89 巻, 2 号, 2018
- (7)JT 生命誌研究館, ”マトリョーシカ型共生が支えるシロアリの繁栄”,  
<https://www.brh.co.jp/publication/journal/086/research/2>, 2025 年 7 月 8 日閲覧
- (8)国際農林水産業研究センター, “パーム古木のデンプン蓄積メカニズムを解明—環境負荷軽減に貢献する持続可能なパーム産業の実現へ—”,  
<https://www.jircas.go.jp/system/files/press/press202408.pdf>, 2025 年 6 月 29 日閲覧
- (9)広岡博之(京都大学), 「食用および飼料用のための昆虫の生産と利用に関する研究動向と今後の課題」, 『日畜会報』, 94(1):1-13, 2023
- (10)Silpa K(世界銀行), “What a Waste 2.0\_Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050”, 2018 年
- (11)Zoë Lenkiewicz (国連環境計画 (UNEP)), “Global Waste Management Outlook 2024”,  
<https://wedocs.unep.org/20.500.11822/44939>, 2025 年 7 月 6 日閲覧
- (12) T. Abe, Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology Chapter 3(pp.53-75),2000
- (13) David Edward Bignell (School of Biological and Chemical Sciences Queen Mary

- University of London), *Biology of Termites: A Modern Synthesis*. Springer Science, 2011
- (14) Wood, T. G., *The role of termites in ecosystems*,  
<https://ia601405.us.archive.org/20/items/wood-sands-1978/Wood%20%26%20Sands%201978.pdf>, 2025年6月28日閲覧
- (15) C. A. Edwards, *Biology and Ecology of Earthworms*. Chapman & Hall, 1996
- (16) Jorge Dominguez<sup>1</sup>, *Vermicomposting organic wastes: a review.*,  
<https://jdguez.webs.uvigo.es/wp-content/uploads/2011/10/cairo1.pdf>, 2025年6月28日閲覧
- (17) Glenn Munroe, Organic Agriculture Centre of Canada, *Manual of On-Farm Vermicomposting and Vermiculture*,  
[https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/E-Learning/Moocs/Solid\\_Waste/W4/Manual\\_On\\_Farm\\_Vermicomposting\\_Vermiculture.pdf](https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/E-Learning/Moocs/Solid_Waste/W4/Manual_On_Farm_Vermicomposting_Vermiculture.pdf)
- (18)内閣府, “ムーンショット目標5”,  
<https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/yusikisha/20220331/siryō2-5.pdf>, 2025年8月29日閲覧
- (19)Y. Mitaka (Texas A&M university), *Media made from brown-rotted elm and pine wood for rearing Reticulitermes termites*, *Insectes Sociaux* 70 巻, 381-389, 2023
- (20)吉村(京都大学), シロアリとエネルギー, *Jpn.J. Environ. Entomol. Zool.*, 20(4), 153-163, 2009
- (21)BSI 生物科学研究所, 「肥料加工学」BB 肥料  
<https://bsikagaku.jp/f-processing/bulk%20blending%20fertilizer.pdf>, 2025/6/28 参照
- (22) Zamali Bin Omar, *The Study on the Effectiveness of Anti Termites by using Natural Agent for Organic Pesticides (OP's) Based on its Safety and Economics*, *SAST Journal of Science and Technology*, Vol.1, No.1, 2018
- (23) Masahiko Tokoro, *Identification of Trail Pheromone Precursors from Subterranean Termite, Coptotermes formosanus Shiraki (Isoptera: Rhinotermitidae)*, *Journal of Chemical Ecology*, Vol.18, No.3, pp.517-526, 1992
- (24)一般財団法人肥料経済研究所 (肥料時報、肥料データベース、施肥改善情報), 肥料の農家購入価格情報, 配合肥料令和7年4月価格, [https://www.hi-ken.jp/05\\_1\\_2.html](https://www.hi-ken.jp/05_1_2.html), 2025年6月29日閲覧

- (25) 経済産業省製造産業局化学課, 平成24年度中小企業支援調査「化学肥料製造における実態調査」報告書, 平成 25 年 3 月
- (26) 日本からアフリカへの投資動向 | 「次のフロンティア」アフリカを巡る世界各国・地域の動向 - 特集 - 地域・分析レポート - 海外ビジネス情報 - ジェトロ,  
<https://www.jetro.go.jp/biz/areareports/special/2025/0601/68e4370be3b0fd95.html>, 2025 年 6 月 28 日閲覧
- (27) FAO Fertilizer, World fertilizer trends and outlook to 2020,  
<https://www.fao.org/3/i6895e/i6895e.pdf>, 2025 年 6 月 29 日閲覧
- (28) World bank group, Transport Connectivity for Food Security in Africa, World Bank Document, [https://documents1.worldbank.org/curated/en/099013125143525383/pdf/P17993919896090b31b8c71d9df51feffc3.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://documents1.worldbank.org/curated/en/099013125143525383/pdf/P17993919896090b31b8c71d9df51feffc3.pdf?utm_source=chatgpt.com), 2025 年 6 月 30 日閲覧
- (29) Peter Njenga, IFRTD, Agricultural Logistics Management and Related Infrastructure, Agricultural Logistics Management, 2015,  
[https://www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/Documents/Events/DakAgri2015/Agricultural\\_Logistics\\_Management\\_and\\_Related\\_Infrastructure.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/Documents/Events/DakAgri2015/Agricultural_Logistics_Management_and_Related_Infrastructure.pdf?utm_source=chatgpt.com), 2025 年 6 月 30 日閲覧
- (30) Structure of Logistics Costs and Fertilizer Import Procedures along 4 Corridors in West Africa, August 2019, <https://api.hub.ifdc.org/server/api/core/bitstreams/4a405c81-2e3a-458c-a77d-be03d44970fd/content>, 2025 年 6 月 30 日閲覧
- (31) Agromall | Mobile for Development, <https://www.gsma.com/solutions-and-impact/connectivity-for-good/mobile-for-development/digital-grantees-portfolio/agromall/>, 2025 年 6 月 29 日閲覧
- (32) NEPAD Home | AUDA-NEPAD, <https://www.nepad.org/>, 2025 年 7 月 4 日閲覧
- (33) CAADP Results Framework 2015-2025 - CAADP,  
<https://caadp.org/document/caadp-results-framework-2015-2025/>, 2025 年 7 月 4 日閲覧
- (34) CAADP Strategy and Action Plan: 2026-2035 (Building Resilient and Sustainable Agrifood Systems in Africa), January 11, 2025,  
[https://au.int/sites/default/files/documents/44705-doc-OSC68108\\_E\\_Original\\_CAADP\\_Strategy\\_and\\_Action\\_Plan.pdf](https://au.int/sites/default/files/documents/44705-doc-OSC68108_E_Original_CAADP_Strategy_and_Action_Plan.pdf), 2025 年 7 月 4 日閲覧
- (35) USDA, Oilseeds and Products Annual,

[https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Oilseeds+and+Products+Annual\\_Lagos\\_Nigeria\\_NI2023-](https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Oilseeds+and+Products+Annual_Lagos_Nigeria_NI2023-0005.pdf&utm_source=chatgpt.com)

0005.pdf&utm\_source=chatgpt.com ,2025 年 7 月 9 日閲覧

(36)世界のパーム油統計: アフリカ諸国,

[http://worldfood.apionet.or.jp/graph/graph.cgi?byear=1964&eyear=2025&country=AFRICA&article=oil\\_palm&pop=0&type=2](http://worldfood.apionet.or.jp/graph/graph.cgi?byear=1964&eyear=2025&country=AFRICA&article=oil_palm&pop=0&type=2),2025 年 7 月 9 日閲覧

(37)Nigeria – Countries & Regions-

IEA,<https://www.iea.org/countries/nigeria/emissions>,2025 年 8 月 15 日閲覧

(38) Publications – IPCC-TFI, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,

<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>,2025 年 8 月 15 日閲覧