

# 生物活性テラリウムにおける微小動物飼育基材の技術革新：クレイ・メソッドの組成分析と自家製レシピの体系的考察

## 序論：微小生態系管理におけるクリーンアップ・クルーの重要性と基材の変遷

現代のテラリウムおよびビバリウム管理において、生物活性(Bioactive)システムの構築は、飼育個体の健康維持と環境の長期安定性を確保するための標準的な手法となっている。このシステムの核心を成すのが、クリーンアップ・クルー(CUC)と称される微小動物群であり、中でもトビムシ(Collembola)は、有機廃棄物の分解、カビの抑制、および土壌の通気性向上において、代替不可能な役割を果たしている<sup>1</sup>。トビムシはデトリタス食者として、腐敗した植物体、排泄物、および真菌を摂取し、それらを無機物へと還元することで、ビバリウム内の栄養サイクルを循環させる<sup>1</sup>。

伝統的に、トビムシの飼育・繁殖には炭(チャコール)やピートモス、あるいは土壌ベースの基材が主に使用されてきた。特に炭を用いた手法は、多孔質構造による表面積の確保と、水を張ることでトビムシを浮かせ、容易に回収できるという利点から、長らく愛好家の間で重宝されてきた<sup>1</sup>。しかし、近年の海外、特に北米のヤドクガエル(Dart Frog)ブリーダーやテラリウム専門家の間では、粘土(クレイ)をベースとした飼育基材への転換が顕著に見られる<sup>3</sup>。

この「クレイ・メソッド」の台頭は、単なる飼育スタイルの流行ではなく、基材がトビムシの生理的欲求にどのように適合するかという科学的理解に基づいている。クレイ基材は、トビムシの繁殖効率を飛躍的に向上させるだけでなく、捕食者である両生類や爬虫類に対する栄養供給源としての機能を強化する「ガットローディング」の場としても機能する<sup>4</sup>。本報告書では、海外で主流となっている自家製クレイ基材のレシピを詳細に分析し、その構成成分の化学的特性、物理的機能、および具体的な作成・管理手順について包括的な解説を行う。

## クレイ基材の主要構成成分と材料科学的特性

トビムシ用クレイ基材の設計において、最も重要なのは使用する鉱物の種類とその混合比率である。海外で普及しているプロトコルでは、特定の陶芸用粘土や工業用鉱物が指定されており、これらには明確な材料科学的根拠が存在する。

### レッドアート・クレイ(Red Art Clay)の物理化学的役割

多くの自家製レシピにおいて主成分として指定されるのが「レッドアート・クレイ(Cedar Heights Red Art Clay)」である<sup>3</sup>。これはオハイオ州で採掘される天然の粘土であり、その鉱物組成は基材の安定性に極めて重要な影響を及ぼす。

構成要素	詳細データ・特性	関連ソース
主な鉱物組成	イライト(約40%)、シリカ、カオリナイト、その他の粘土鉱物	7
化学分析値	$SiO_2$ (58-64%), $Al_2O_3$ (19-22%), $Fe_2O_3$ (2.8-3.5%)	8
粒度分布	200メッシュ(エアフロート処理による微粉末)	9
物理的性質	中程度の可塑性、低い収縮率、高い鉄分含有量	9
熱的挙動	500°F以上で $SO_2$ , $CO$ , $CO_2$ を放出(未焼成状態で使用)	11

レッドアート・クレイが選ばれる最大の理由は、その「適度な可塑性」と「低い収縮率」にある。純粋なベントナイトのように過度に膨潤してベタつくことがなく、乾燥後も完全に硬化して撥水することなく、微細な多孔質構造を維持する特性がある<sup>9</sup>。また、豊富な鉄分( $Fe_2O_3$ )はトビムシの体内を通じて、最終的な捕食者である両生類に微量元素を供給する役割を果たす<sup>5</sup>。

### ベントナイトの選定: ナトリウム型とカルシウム型の比較

レンピの調整役として加えられるベントナイトには、ナトリウム型(Na型)とカルシウム型(Ca型)が存在し、その選択は基材の質感を決定づける<sup>12</sup>。

特性	ナトリウム型ベントナイト	カルシウム型ベントナイト
主要イオン	ナトリウムイオン ( $Na^+$ )	カルシウムイオン ( $Ca^{2+}$ )
膨潤容量	乾燥容積の15~20倍	乾燥容積の2~3倍

透水性	極めて低く、遮水壁を形成する	比較的高い透水性を維持する
pHレベル	強アルカリ性 (9.0~10.5)	中性~弱アルカリ性 (6.0~8.5)
陽イオン交換容量	高い(有害物質の吸着に優れる)	高い(ミネラル供給に優れる)
主な用途	掘削泥水、土木用遮水材	健康・美容食品、飼料添加物

トビムシ用基材としては、過度な膨潤を抑えつつカルシウムを供給できる「カルシウム・ベントナイト（モンモリロナイト）」が推奨されることが多い<sup>14</sup>。これは、基材が完全なゲル状になってトビムシを窒息させるリスクを低減しつつ、安定したコロニー形成を助けるためである。ナトリウム型は、基材の結合力を強めるための副次的な添加物として利用される<sup>3</sup>。

## 構造維持および機能性添加剤

クレイ単体では通気性や保水力の動的な制御が困難であるため、以下の材料が補助的に混入される。

1. 炭粉末 (**Charcoal Powder**): 基材の腐敗を防止し、微細な空気層を形成することで好気的な環境を維持する<sup>6</sup>。また、代謝産物であるアンモニアなどの有害ガスを吸着する機能も期待される。
2. 炭酸カルシウム (**Calcium Carbonate**): pHの急激な低下を防ぐバッファーとして機能すると同時に、トビムシの外骨格形成や繁殖に不可欠なカルシウムを直接供給する<sup>3</sup>。
3. ヤシガラ (**Coco Coir**) または 樹木シダ繊維 (**Tree Fern Fiber**): 基材に繊維質を加えることで、クレイが過度に密着するのを防ぎ、トビムシの移動経路を確保する<sup>6</sup>。
4. アラゴナイトサンド (**Aragonite Sand**): 海洋由来の炭酸カルシウム鉱物であり、緩やかに溶け出すことで長期的なpHの安定化に寄与する<sup>3</sup>。

## 海外の代表的な自家製クレイレシピの構造分析

海外の著名なブリーダーや研究者が公開しているレシピは、その目的に応じて成分比率が調整されている。ここでは、最も信頼性の高い3つのモデルを比較検討する。

### ダグ・ホリスター (**Doug Hollister**) の「カルシウム支持クレイ」プロトコル

ヤドクガエル愛好家の間で「オリジナル・レシピ」として知られるこの配合は、多様な鉱物を組み合わせることで、自然界の土壌組成に近いミネラルバランスを再現することを意図している<sup>3</sup>。

成分	指定配合量(容積比)	期待される物理的・化学的機能
レッドアート・クレイ	3 クォート	基材の主骨格を形成し、鉄分を供給する
ナトリウム・ベントナイト	0.5 クォート	粘着性と保水性を向上させ、形状を維持する
カルシウム・ベントナイト	0.5 クォート	カルシウム供給と吸着機能を強化する
アラゴナイトサンド(細粒)	0.5 クォート	pHバッファーおよび物理的表面积の増大
炭酸カルシウム(Whiting)	1/4~1/2 カップ	直接的な栄養補給とpHの安定

このレシピの精妙さは、2種類のベントナイトを等量混ぜることで、保水力と構造的安定性のバランスを追求している点にある。また、アラゴナイトサンドの混入は、クレイが乾燥した際に発生する収縮ひび割れを微細に分散させ、トビムシの隠れ場所を増やす効果がある<sup>3</sup>。

### The Bio Dude の「マスター・カルチャー」レシピ

商業的な成功を収めている The Bio Dude のレシピは、入手性の高い材料を用いながらも、トビムシの活動性を最大化するように設計されている<sup>6</sup>。

- レッドアート・クレイ(Art Clay): 3部
- 炭酸カルシウム: 0.5部
- 炭粉末: 1部
- ココア(脱塩処理済み): 1部

この配合の特徴は、炭粉末とココアの比率が比較的高いことにある。これにより、基材が非常に「軽く」なり、トビムシがクレイの表面だけでなく、基材内部の微細な隙間にもアクセスしやすくなっている<sup>6</sup>。

### Frog and Frond の生産効率特化型レシピ

プロのブリーダーである Frog and Frond が提唱する手法は、大規模な生産と容易な管理に重点を置いている<sup>14</sup>。

- カルシウム含有クレイ粉末(プレミックス): ベース材料

- 蒸留水: 調整剤
- 混合比: クレイ 2: 水 1(重量比)

このレシピにおいて最も重要な洞察は、「容積ではなく重量での管理」を推奨している点である。クレイ粉末 3オンスに対し、水 1.5オンスを加えることで、理想的な「ピーナッツバター状の硬さ」が保証される<sup>14</sup>。

## 製造工程における技術的留意事項と安全管理

クレイ基材の自作には、物理的な混合作業に伴うリスクと、理想的な質感を達成するためのコツが存在する。

### 粉塵暴露と呼吸器系の保護

クレイやベントナイトの微粉末を取り扱う際、最も警戒すべきは「遊離シリカ(結晶質シリカ)」の吸入である。レッドアート・クレイには最大30%の石英が含まれる場合があり、長期間の暴露は珪肺症のリスクを伴う<sup>11</sup>。

- 個人用保護具(PPE): N95またはP95規格以上の防塵マスクの着用が必須である<sup>18</sup>。
- 混合場所: 粉塵が滞留しないよう、屋外または換気設備の整った場所で作業を行う<sup>14</sup>。
- 乾式混合: 材料を容器に入れる前に、ジップロック等の密閉袋内で乾式混合を行うことで、粉塵の飛散を最小限に抑制できる<sup>3</sup>。

### 水分調節と攪拌技術

理想的な質感は、単に混ぜるだけでは得られない。水は一度に加えず、徐々に添加して調整を行う必要がある。

1. ドライミックス: すべての乾燥成分を均一になるまで混ぜ合わせる<sup>3</sup>。
2. 加水プロセス: 規定量の3/4程度の水を加え、電動ドリルにプラスチック製の攪拌羽根(ペイントミキサー)を取り付けて攪拌する<sup>3</sup>。
3. 質感の検証: 最終的な質感は「厚みのある泥(thick peanut butter consistency)」であるべきで、容器を逆さまにしても基材が移動しない程度の粘度が理想とされる<sup>6</sup>。
4. 表面加工: 容器に敷き詰める際、指や道具を使って意図的に凹凸(indentations)を作る。これにより、平坦な面よりも表面積が増大し、トビムシの産卵部位が増加する<sup>6</sup>。

## クレイ基材における生物学的相互作用と繁殖メカニズム

クレイ基材がなぜ炭や土壌よりも優れた生産性を示すのか、その理由は鉱物表面における生物化学的なプロセスにある。

### イオン交換と代謝産物のバッファリング

トビムシの過密飼育において最大の敵は、自身の代謝産物による環境汚染である。クレイ、特にモ

ンモリロナイトは高い「陽イオン交換容量(CEC)」を有しており、アンモニア( $NH_4^+$ )などの有害な陽イオンを一時的に結晶構造内に吸着し、環境の急激な悪化を防ぐバッファーとして機能する<sup>8</sup>。

## 水分ポテンシャルの均一化と毛細管現象

クレイ基材は、基材全体で水分ポテンシャルを一定に保つ能力が高い。炭の場合、底部の水溜まりと上部の乾燥という極端な勾配が生じやすいが、クレイは毛細管現象により、表面付近でも安定した湿度(sheen)を維持し続ける<sup>5</sup>。これは、トビムシが基材の広範囲を移動・利用することを可能にし、単位面積あたりの収容力を高める要因となっている。

## ガットローディングと栄養連鎖の最適化

クレイ基材で飼育されたトビムシは、微細なクレイ粒子を直接摂取することが観察されている<sup>21</sup>。これにより、トビムシの消化管内には豊富なカルシウムや鉄分、微量元素が蓄積される。この「クレイを摂取したトビムシ」を両生類が捕食することで、従来のビタミン粉末の塗布(ダスティング)よりも生物学的に吸収されやすい形でミネラルが供給される<sup>4</sup>。

供給源	主なメリット	生物学的影響
カルシウム・ベントナイト	豊富なカルシウムと微量元素	骨格形成、代謝機能の維持
レッドアート・クレイ	高い酸化鉄含有量	血液健康、酸化還元反応の補助
アラゴナイトサンド	持続的なカルシウム放出	pHの長期的安定化

## 飼育管理: 給餌、湿度、および空気交換の最適化

基材の完成はスタートに過ぎず、長期的なコロニーの維持には厳密な管理プロトコルが求められる。

### 給餌戦略とカビの管理

クレイ基材自体には有機栄養分が含まれていないため、外部からの給餌が唯一のエネルギー源となる。

- 推奨食材: ドライイースト(Active Dry Yeast / Brewer's Yeast)が最も安価で効果的である<sup>1</sup>。米粉やキノコ粉末も併用されるが、炭水化物過多はカビの暴走を招く恐れがある<sup>3</sup>。
- 給餌量: 「3~7日で完全に消費される量」を基準とする<sup>21</sup>。粉末が見えなくなってから次の給餌を行うことが、環境悪化を防ぐ鉄則である<sup>5</sup>。
- カビへの対応: 過剰給餌によりカビが発生した場合は、給餌を一時停止する<sup>4</sup>。軽度のカビであ

ればトビムシが消費するが、悪化した場合は手作業で取り除く必要がある。

## 水分補給と空気交換のジレンマ

クレイ基材は高湿度を好むトビムシに適しているが、酸素供給が途絶えると二酸化炭素中毒によりコロニーがクラッシュする<sup>19</sup>。

- 水分維持: 基材表面の「光沢 (sheen)」が消失したり、クレイにひび割れが見られたりした場合は、蒸留水を1~2滴、あるいは極めて軽いミストで補給する<sup>5</sup>。
- 空気交換: 密閉容器を使用する場合でも、3日に1回は蓋を開けて空気を入れ替えるのが理想的である<sup>5</sup>。通気孔を設ける場合は、微細なメッシュを使用してダニの侵入を防止する<sup>19</sup>。
- 温度: 多くの種において、65~75°F (18~24°C) の安定した温度が最適である。78°Fを超える高温は、多くのトビムシにとって致命的となる<sup>5</sup>。

## 比較分析: クレイ vs. 炭 vs. 土壌

基材の選択は、飼育者の目的 (回収のしやすさ、生産量、長期維持) によって決定されるべきである。

評価項目	クレイ基材	炭 (チャコール)	土壌ベース
収穫の容易さ	最高 (叩くだけで落ちる)	高い (水を張って浮かせる)	低い (個別の分離が困難)
繁殖密度	非常に高い (表面に密集)	中程度	高い (内部にも生息)
栄養価 (ガットロード)	非常に高い (ミネラル豊富)	低い	中程度
維持の簡便さ	中程度 (水分管理に敏感)	高い (放置に強い)	非常に高い (自浄作用あり)
寿命 (リセット頻度)	6ヶ月~1年程度	長期的 (数年可能)	非常に長期的 (10年以上例あり)
輸送適性	低い (衝撃に弱い)	低い (破碎の恐れあり)	最高 (緩衝材になる)

研究によれば、クレイ基材はトビムシが表面に集まるため「多く見える」という視覚的効果があるが、土壌基材は垂直方向の移動が可能であるため、全個体数では土壌が上回る場合もある<sup>23</sup>。しかし、

餌としての「回収効率」と「栄養価」を最優先するならば、クレイ基材が圧倒的に有利であることは疑いようがない。

## トビムシ種の適応性と基材選定

すべてのトビムシがクレイ基材で同様に繁殖するわけではない。

1. シロトビムシ(*Folsomia candida*): クレイ基材に最も適した種であり、世界中で広く利用されている<sup>1</sup>。
2. アオトビムシ(*Proisotoma minuta*): 粘土上での繁殖が非常に良好である<sup>5</sup>。
3. Lilac / Yellow Springtails (*Ceratophysella* sp.): クレイ上でも生存するが、本来は土壌や木材を好む種であるため、基材に少量の有機物を混ぜることが推奨される<sup>5</sup>。
4. *Yuukianura aphoruroides*: 大型で動きが緩慢なこの種は、クレイよりも土壌基材を好む傾向があるが、回収目的でクレイを用いることは可能である<sup>24</sup>。

## トラブルシューティング: 一般的な問題と解決策

クレイ基材の運用において直面する主要な課題とその対策を体系化する。

### ダニ(Mites)の発生

ダニはトビムシのコロニーに壊滅的な打撃を与える。クレイ基材は炭よりもダニの発生を抑制しやすいとされるが、一度侵入を許すと根絶は困難である<sup>1</sup>。

- 予防策: 給餌の際に容器を放置しない。新しい培養株を導入する際は隔離期間を設ける。
- 対策: 発生が軽微な場合は、表面のクレイを薄く削り取って除去する。深刻な場合は、トビムシの一部を炭水に浮かせて救出し、新しいクレイ容器で再スタートさせる<sup>19</sup>。

### 基材の劣化とリセットのタイミング

クレイ基材は時間とともに代謝産物が蓄積し、生産性が低下する。

- 劣化のサイン: トビムシの繁殖スピードが明らかに低下する。基材の色が変わり、不快な臭いがする。
- リセット手順: 使用済みのクレイは、そのままビバリウム製の土壌改良材として廃棄できる<sup>4</sup>。トビムシの卵が含まれているため、ビバリウムのCUCを強化する効果も期待できる<sup>4</sup>。

## 高度な洞察: クレイ・メソッドが示唆する次世代の生物管理

クレイベースの手法がもたらした最大の功績は、微小動物の飼育を「維持」の段階から「最適化」の段階へと引き上げたことにある。粘土鉱物の多孔質構造、イオン交換能、そしてミネラル組成を精緻に制御することで、閉鎖生態系内での栄養の高度な循環が可能となった。

今後の展望としては、特定のトビムシ種に対して最適化されたプレミックス・クレイの開発や、有用な細菌群(マイクロバイーム)をあらかじめ接種した「プロバイオティクス・クレイ」の登場が予想され

る。これにより、ビバリウム内での分解効率と生体の健康維持は、より予測可能で安定したものへと進化していこう。

結論として、海外で主流となっているクレイ自作レシピの採用は、日本の飼育環境においても、餌の品質向上と管理コストの削減において多大なメリットをもたらす。適切な鉱物選定と正確な配合、そして日々の観察に基づく微調整こそが、成功への唯一の道である。

## 引用文献

1. Springtail Care & Breeding Information - NEHERP, 1月 24, 2026にアクセス、  
<https://www.neherpetoculture.com/springtailcare>
2. What is the difference between clay and charcoal cups? (Springtail Cultures), 1月 24, 2026にアクセス、  
<https://rainbowmealworms.answerbase.com/3565977/What-is-the-difference-between-clay-and-charcoal-cups>
3. Clay based Springtail culturing - Dart Den, 1月 24, 2026にアクセス、  
<https://www.dartden.com/Thread-Clay-based-Springtail-culturing?pid=58336>
4. Calcium Clay Springtail Cultures FAQ and Care | Frog and Frond % %, 1月 24, 2026にアクセス、  
<https://frogandfrond.com/resources/calcium-clay-springtail-cultures-faq-and-care/>
5. DIY Clay Springtail Culture - MI Beneficials, 1月 24, 2026にアクセス、  
<https://mibeneficials.com/blogs/how-to-guides/how-to-starting-a-clay-springtail-culture>
6. How to Create a Clay-Based Springtail Master Culture - The Bio Dude, 1月 24, 2026にアクセス、  
<https://www.thebiodude.com/blogs/isopod-and-springtail-clean-up-crew-guides-culturing-care-and-breeding/how-to-create-a-clay-based-springtail-master-culture>
7. Clay Minerals - Ceramic Arts Network, 1月 24, 2026にアクセス、  
<https://ceramicartsnetwork.org/ceramic-recipes/recipe/Clay-Minerals>
8. Calcium Bentonite Vs Sodium Bentonite In Clay Bodies - Forums - Ceramic Arts Network, 1月 24, 2026にアクセス、  
<https://community.ceramicartsdaily.org/topic/16350-calcium-bentonite-vs-sodium-bentonite-in-clay-bodies/>
9. Redart - Digitalfire, 1月 24, 2026にアクセス、<https://digitalfire.com/material/redart>
10. Red Art Clay, Cedar Heights - The Ceramic Shop, 1月 24, 2026にアクセス、  
<https://www.theceramicshop.com/product/299/red-art-clay-cedar-heights/>
11. cedar heights clay, 1月 24, 2026にアクセス、  
[https://www.uww.edu/riskmanagement/msds/data/clay-redart\\_cedar\\_heights\\_clay\\_8.1.87.pdf](https://www.uww.edu/riskmanagement/msds/data/clay-redart_cedar_heights_clay_8.1.87.pdf)
12. ベントナイト - 大阪ニッタン株式会社, 1月 24, 2026にアクセス、  
<https://osakanittan.co.jp/bentonite>
13. What is the difference between calcium bentonite and sodium bentonite clay?, 1月 24, 2026にアクセス、

- <https://www.akamaibasics.com/blogs/living-clay/calcium-bentonite-compared-to-sodium-bentonite-clay>
14. Springtail Clay Info / FAQ / How To | Frog and Frond, 1月 24, 2026にアクセス、  
<https://frogandfrond.com/resources/springtail-clay-info-faq-how-to/>
  15. Sodium Bentonite vs. Calcium Bentonite - The Sharad Group, 1月 24, 2026にアクセス、  
<https://thesharadgroup.com/sodium-bentonite-vs-calcium-bentonite/>
  16. Bioactive Substrates For Terrariums and Vivariums - NEHERP, 1月 24, 2026にアクセス、  
<https://www.neherpetoculture.com/substratesvivariumsubstrates>
  17. Springtails on Calcium Clay Powder: How To - YouTube, 1月 24, 2026にアクセス、  
<https://www.youtube.com/watch?v=6BGaf7oxCQk>
  18. Calcium Bentonite vs. Sodium Bentonite: What's the Difference and Which One to Choose?, 1月 24, 2026にアクセス、  
<https://elchemy.com/blogs/personal-care/calcium-bentonite-vs-sodium-bentonite-whats-the-difference-and-which-one-to-choose>
  19. Culturing Springtails - Houston Frogs, 1月 24, 2026にアクセス、  
<https://houstonfrogs.com/culturing-springtails>
  20. Sodium Bentonite vs. Calcium Bentonite: Key Differences, Uses, and Benefits - CMS Industries | Bentonite | Bentonite clay | Bentonite powder | Bentonite lumps | Sodium bentonite | Piling bentonite | Oil drilling bentonite | Foundry bentonite | Indian bentonite | API bentonite, 1月 24, 2026にアクセス、  
<https://www.cmsindustries.in/post/sodium-bentonite-vs-calcium-bentonite-key-differences-uses-and-benefits/>
  21. Springtail Clay Care Guide, 1月 24, 2026にアクセス、  
<https://www.springtails.us/springtail-clay-care-guide>
  22. How To: Starting a White Springtail Feeder Culture on Clay - MI Beneficials, 1月 24, 2026にアクセス、  
<https://mibeneficials.com/blogs/diy-guides/how-to-start-your-own-springtail-coll-embola-culture>
  23. Soil, Charcoal, or Clay for Springtails - IHEARTBUGS, INC., 1月 24, 2026にアクセス、  
<https://iheartbugs.com/blogs/news/soil-charcoal-or-clay-for-springtails>
  24. Clay Substrate Help : r/Springtail - Reddit, 1月 24, 2026にアクセス、  
[https://www.reddit.com/r/Springtail/comments/1fbnaxd/clay\\_substrate\\_help/](https://www.reddit.com/r/Springtail/comments/1fbnaxd/clay_substrate_help/)