

十和田石砕石の臭気緩和資材、 ならびに堆肥化促進資材としての可能性

菅井裕一^{※1)} 佐々木久郎^{※2)} 高畑重幸^{※3)}
中秀男^{※4)}

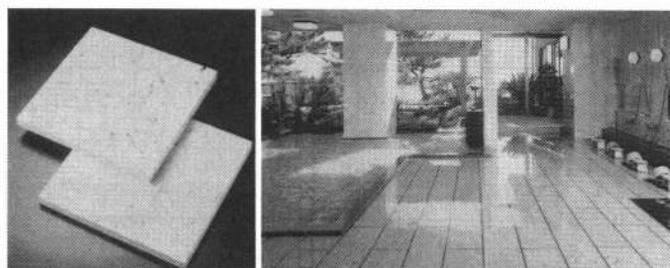
1. はじめに

秋田県大館市比内町で産出する緑色凝灰岩は淡緑色の美しい色彩を特徴とし、「十和田石」の製品名で全国の温泉施設やビルの内装材に利用されている。一方で、この採掘場では、原石採掘時や石板加工時に大量の砕石（製品にはできない端材や石粉、図1）が発生し、その量は年間約3,300トン（平成16年度）にも達する。これは年間総採掘量の約6割にも相当する量であるが、現在のところその活用法が確立されておらず、その大部分が採掘跡空間に埋め戻されている。著者らは本砕石も多大なエネルギーを投じて採掘した貴重な資源としてとらえ、その活用法の確立を目的とした研究を進めている。

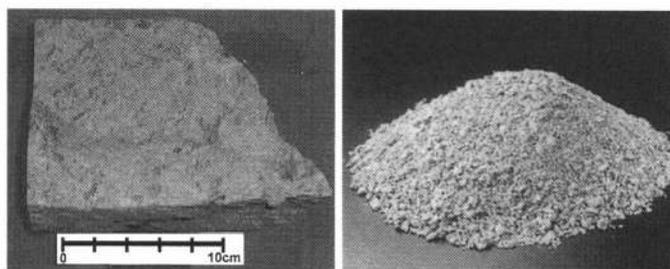
本砕石の活用法の一つとして、同町でさかんな養鶏業や農業への利用が考えられている。すでに地元の養鶏家や農家らによって、本砕石を鶏舎や田畑に散布して臭気緩和や土壌改良を図る試みが行われており、経験的にはあるものの総じて効果が報告されている。このことから、著者らは図2に示すような、本砕石と地場産業とを結びつけた地域内循環型の活用法を着想した。すなわち、採掘場で発生した本砕石を鶏舎の敷料に混合して臭気緩和資材として利用した後、本砕石と鶏糞などが混合した敷料を回収して発酵させ、得られた堆肥を農業に利用し、その取

穫物を十和田石採掘跡空間に貯蔵する¹⁾、という地域内循環型の活用法である。このような地域内循環が確立されれば、本砕石が副産物であることとその運送費を低く抑えられることから、臭気緩和資材や堆肥を安価に供給することが可能となり、地場産業の活性化が期待できる。また、近年同町では養鶏業の拡大に伴う養鶏場周辺の臭気や使用済敷料の処理などが問題となっており、本砕石の利用によるこれらの問題の軽減も期待できる。

このような本砕石の活用法を確立するためには、本砕石の臭気緩和効果、堆肥化促進効果ならびに土壌改良効果を明確にすることが重要である。そのための基礎的検



(a) 十和田石の製品石板とその施工例



(b) 原石採掘・石板加工の際に生じる端材ならびに石粉

図1 十和田石の製品石板と端材・石粉

※1) 秋田大学ベンチャービジネス・ラボラトリー
※3) 中野産業株式会社

※2) 秋田大学工学環境資源学部

※4) 同左東京営業所

討として、これまでに前記の効果をもたらす種々の微生物（臭気物質を分解する微生物、堆肥化に資する微生物、ならびに農産物の育成に関わる土壌微生物など）に対する本碎石の影響を調べており、本碎石とともにこれらの微生物を培養すると、その増殖が10~100倍に活性化することを明らかにしている²⁾。さらにこの成果を生かして、本碎石によって増殖が活性化される有用微生物と、本碎石とを複合化した種々の環境浄化資材の開発研究も進めている³⁾。

以上のような経緯を踏まえて、本稿では図2に示した地域内循環のうち、本碎石の臭気緩和効果と堆肥化促進効果について検討し、本碎石を各資材として活用する有用性について評価したので報告する。

2. 碎石の発生状況とその基礎特性

十和田石を採掘・加工・販売している中野産業株式会社の調査によれば、平成16年度に発生した碎石のうち、原石採掘時に発生する碎石（割れ等が生じた不良品や石

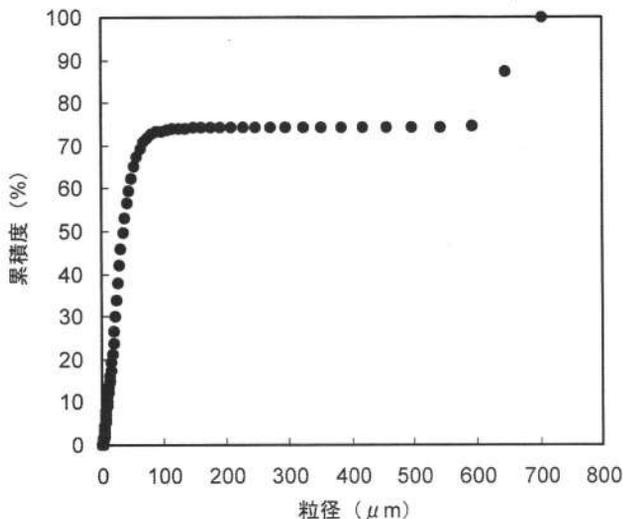


図3 十和田石碎石の累積粒度分布

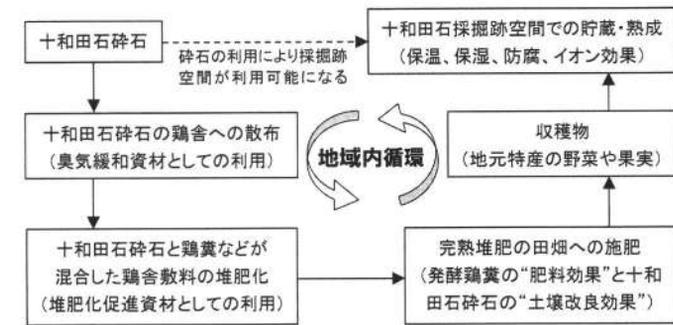


図2 十和田石碎石を養鶏業・農業に有用活用する地域内循環構想

粉など)は約800トンであり、石板加工時に発生する碎石(端材や石粉など)は約2,500トンであった⁴⁾。さらに不良品や端材の一部は粉砕処理されているため、最終的に発生する碎石の多くは石粉となっている。図3に示すように、石粉は粒径100 μ m以下の細粉と粒径600 μ m以上の粗粉とに大別され、細粉は主に石板加工の際に生じ、粗粉は主に不良品や端材の粉砕の際に生じるものと考えられる。碎石はこのような状況で年間を通して安定的に発生している。なお、本碎石を鶏舎や田畑に散布する場合は粗粉の方が扱いやすいと思われるため、本研究では粗粉を用いることとした。

本碎石には曹長石と石英が主要鉱物として含まれており、その他に緑泥石と沸石も5~7%含まれている²⁾。化学組成でみると、主成分であるケイ素とアルミニウムの他に、ナトリウム、鉄、カリウム、カルシウム、マグネシウムなどが1~4%ずつ含まれている(表1)。このうち、主にカルシウムが水素イオンとイオン交換することにより酸性雰囲気中和され、一般的な微生物の増殖に適したpH環境に調整される。前述した本碎石による微生物増殖の活性化効果は、このような本碎石のpH調整作用に起因したものである²⁾。

本碎石は、その空隙率(約4%)、

比表面積(約 $4\text{ m}^2/\text{g}$)とともに天然デオライトに比べると小さいが、図4に示すように微細な岩石粒が集結することにより多孔質構造を形成しているため、臭気物質の吸着や微生物のすみかとしての効果が期待できる。

3. 実験方法

本研究では、本砕石の臭気緩和効果と堆肥化促進効果について検討し、本砕石の各資材としての有用性を評価した。以下にそれぞれの実験方法を説明する。

3.1 臭気緩和効果に関する実験方法

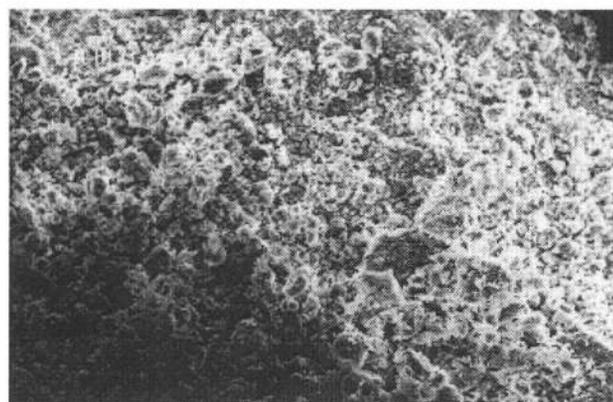
実験には比内町の「比内地鶏」鶏舎の敷料を用いた。実験に用いた敷料は朽殻を主成分としたものであり、約6ヶ月間鶏舎に敷かれていたため多量の鶏糞を含んでいる。この敷料20gを清涼飲料水用のペットボトル(2000ml容量)に投入し、蒸留水を4ml加えてよく混合した後、30℃で静置した。その後、適時ポータブルニオイモニター(理研計器株式会社製 OD-85)を用いて図5に示すような方法でペットボトル内の臭気レベルを測定した。なお、本実験で用いた敷料中には、アンモニアの他にもいくつかの臭気物質が含まれて

いるため、前記の装置を用いて総合的な臭気の強さを測定することとした。

まず前述した条件のペットボトルを4本調整し、敷料のみの状態で臭気レベルの測定を数日間行った。各ペットボトル内の臭気レベルが安定したところで各、ペットボトルに本砕石や有用微生物液を表2に示すような条件で添加した。ここで有用微生物液とは、臭気物質の分解

表1 十和田石の化学組成

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	MgO	TiO ₂	残余
72.1	12.7	4.10	3.23	2.30	1.30	1.00	0.49	2.78



33.3 μm

図4 十和田石砕石表面の電子顕微鏡写真

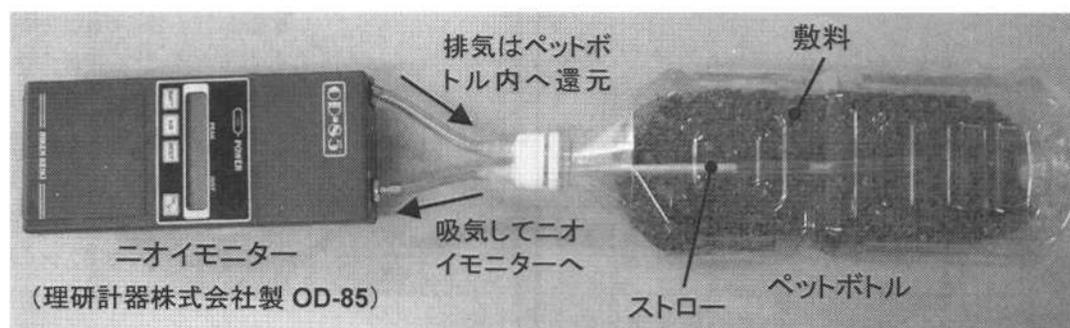


図5 臭気緩和実験装置

バチルス
 には有用な *Bacillus* 属の微生物を 4.0×10^7 cells/ ml の濃度で含む液体である。この微生物は本碎石を含む培地中で培養すると、その増殖が活性化することが分かっている²⁾。また、各試料には蒸留水を適量加えて、一律50%の初期含水率となるように調整した。実験中は適時各ペットボトル内の臭気レ

ベルを測定した。また、適時試料を採取して滅菌蒸留水に懸濁させ、これを超音波処理 (30秒照射→30秒静置を10サイクル繰り返す) に供して、試料表面に付着している微生物を液中に遊離させ、この液中の総微生物数と添加微生物数を寒天平板培養法により計数した。なお、添加微生物は、寒天平板培地上に形成されるコロニーの色や形状から判別し計数した。

3. 2 堆肥化促進効果に関する実験方法

3. 1の実験と同じ敷料を市販の生ごみ処理機 (松下電工(株)製“生ごみイーター”TK410) 内で発酵させ堆肥化する実験を行った。この生ごみ処理機は、発酵槽内容積が約30 l であり、発酵槽内に水平攪拌羽を備えている。この攪拌羽が実験開始時 (電源投入時) に 4 rpm で2分間回転し、以後1時間に1回30秒間作動する。攪拌時には内部気体が強制排気され、排気した分だけ外気を吸気する。なお、ヒーターによって運転中の発酵槽内温度は、概ね30~40℃に保持されている。

まず敷料を発酵槽内に2000 g 投入し、これに本碎石や前述した有用微生物液を表3に示すような条件で添加した。各試料には蒸留水を適量加えて一律50%の初期含水

表2 臭気緩和実験条件

試料名	添加物			
	敷試料(g)	有用微生物液(ml)	十和田石碎石(g)	蒸留水(ml)
敷料のみ	20	0	0	6
有用微生物液添加	20	6	0	0
十和田石碎石添加	20	0	6	8
十和田石碎石・有用微生物液添加	20	6	6	2

率となるように調整した。各試料への水の添加は実験開始時のみであり、実験中は添加しなかった。

実験中は試料の温度を10分おきに計測した。また24時間おきに試料を採取し、試料 pH、試料中の総微生物数、ならびに添加微生物数を測定した。試料は8.0 g 採取し、これに20mlの蒸留水を加えて攪拌した後の水の pH を試料 pH とした。微生物数の計数方法は3. 1の実験と同様である。実験期間はすべての場合で4日間とした。

4. 実験結果ならびに考察

4. 1 臭気緩和効果

敷料のみの場合の臭気レベルを100とし、臭気が全く気にならない程度の屋外の臭気レベルを0としたときの、各試料の臭気レベルの変化を図6に示す。また、各試料中の総微生物数に占める添加微生物の棲息割合の変化を図7に示す。

まず、実験開始から8日目まではすべての試料は同じ条件であり、臭気レベルもほぼ同程度のレベルで推移した。実験開始から8日間経過した時点で各試料に各添加物を添加したところ、すべての場合で臭気レベルの低下が確認された。特に本碎石を添加した2つの場合については、図中に実線円で示すように、添加から5時間後に顕著な臭気レベルの低下が認められ、さらに1日後には敷料のみの場合に比して7%程度の臭気レベルにまで低下した。その後、有用微生物液のみを添加した場合も含めて、敷料のみの場合に比して10~30%程度の臭気レベルで安定した。有用微生物液のみ

表3 堆肥化実験条件

試料名	添加物			
	敷試料(g)	有用微生物液(ml)	十和田石碎石(g)	蒸留水(ml)
敷料のみ	2000	0	0	700
有用微生物液添加	200	200	0	600
十和田石碎石添加	2000	0	120	800
十和田石碎石・有用微生物液添加	2000	200	120	700

を添加した場合、ならびに本砕石と有用微生物液を添加した場合の、総微生物数に占める添加微生物の棲息割合は、添加時にはともに1.5%程度であったが、その5日後にはそれぞれ7.7%、ならびに10.0%にまで増加した。添加微生物の棲息割合は本砕石存在の方が高く、このことも本砕石と有用微生物液とを添加した場合において、最も臭気レベルが低下した理由の一つであると考えられる。

以上の結果から、すべての添加物について敷料の臭気緩和効果が認められ、特に本砕石を添加した場合には、速やかに臭気レベルが低下することが分かった。微生物による臭気物質の分解には、少なくとも1日以上時間を要するものと考えられることから、この段階で生じた臭気レベルの低下は、主に本砕石による臭気物質の吸着に起因したものであると思われる。

続いて各添加物の添加から7日間経過した時点で、さらに各試料に敷料を20gずつ追添加し、各添加物の臭気緩和効果の持続性について検討した。

その結果、本砕石のみを添加した場合の臭気レベルは敷料追添加後1日目で、有用微生物液のみを添加した場合の臭気レベルは敷料追添加後3日目で、それぞれ敷料のみの場合と同等もしくはそれ以上にまで上昇した。本砕石のみの場合の臭気緩和は主に臭気物質の吸着によるものと思われ、本砕石の吸着許容量以上の臭気物質が追添加されたために、臭気レベルが上昇したと思われる。また、

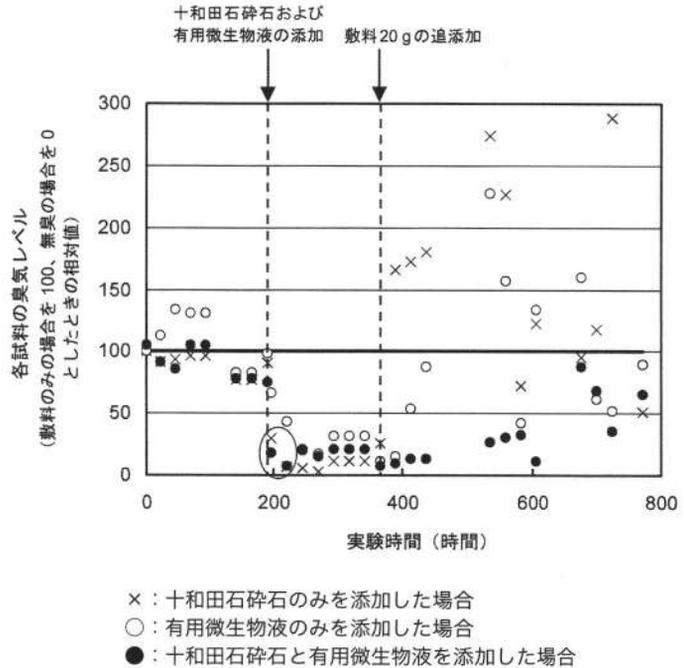


図6 各試料の臭気レベルの時間変化

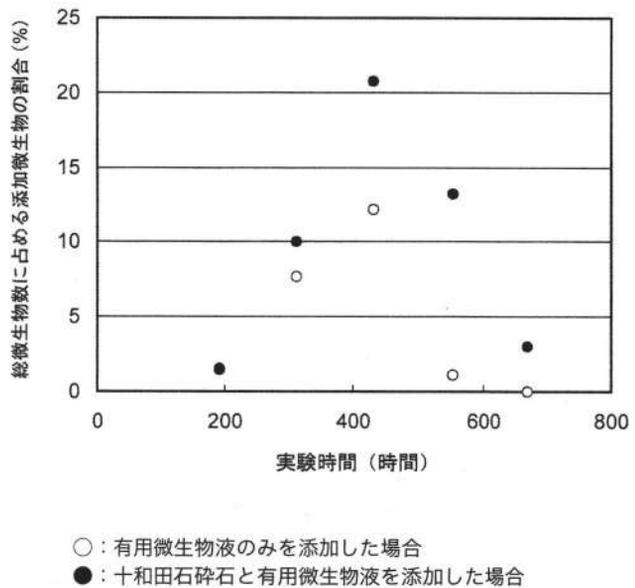


図7 各試料中に棲息する総微生物数に占める添加微生物の割合の時間変化

有用微生物のみを添加した場合は、臭気物質の分解に伴う有用微生物の代謝産物（有機酸など）の蓄積により微生物の棲息環境が悪化（pHの低下など）し、添加微生物が減少したため臭気レベルが上昇したものと思われる。これに対して、本砕石と有用微生物液を添加した場合は、敷料追加から10日間経過した時点でも、敷料のみの場合の10～30%の臭気レベルを維持しており、臭気緩和効果の持続性が認められた。本砕石の存在下では、添加微生物の棲息割合が高いことから、本砕石の存在によりpHの低下が緩和され、長期間有用微生物に好適なpH環境が維持されて、臭気物質の分解が持続したものと思われる。

以上の結果から、臭気緩和資材として本砕石を単独で用いても、特に臭気物質の吸着による即効的な臭気緩和効果が期待できるが、さらに臭気物質を分解するような有用微生物と本砕石とを複合的に用いることで、臭気緩和効果の即効性と持続性を兼ね備えた臭気緩和資材として期待できることが明らかになった。

4. 2 堆肥化促進効果

(1) 試料温度の変化

各試料の温度変化を図8に示す。なお、実験開始直後の温度上昇は生ごみ処理機のヒーターによるものであり、40℃に達した時点でヒーターが停止するため、40℃以上の温度上昇が試料の発酵によるものである。

まず、無添加試料については生ごみ処理機のヒーター停止後の温度上昇が認められず、速やかに温度が低下して約35℃で一定となった。このことから無添加試料はほとんど発酵していないと考えられる。一方、微生物添加試料については僅かに温度上昇が認められ、実験開始から約10時間で最高温度43.5℃にまで達した。それ以後は温度が低下し、概ね、35℃で一定となった。本砕石添加試料は前記二つの場合よりも発酵が進み、実験開始から約15時間まで温度が上

昇し続けた。最高温度は54.1℃であり、無添加試料に対して約14℃も高い値であった。また、最高温度に達した後の温度低下も微生物添加試料に比して緩やかであるため、発酵が長期間継続したものと考えられる。さらに本砕石・微生物添加試料は、実験開始から約20時間まで温度が上昇し続け、最高温度も55.9℃にまで達し、すべての実験条件の中で最も高い発酵温度を示した。また、その後の温度低下も本砕石添加試料より緩やかであり、実験開始から3～4日経過した時点においても、他の場合と比して約3～5℃程度高い温度を維持していた。すなわち、極めて良好な発酵が長期間にわたって行われていることが示された。

以上の結果から、本砕石を添加した場合についてはいずれも高い発酵温度を示し、高温状態を長期間維持する傾向が認められたため、敷料への本砕石の添加は、敷料の堆肥化に有用であることが示された。さらに、堆肥化を促進するような有用微生物と本砕石とを複合添加することにより、より効果の高い堆肥化促進資材となることが明らかになった。

(2) 微生物数の変化

各試料の総微生物数の変化を図9に示す。また、微生

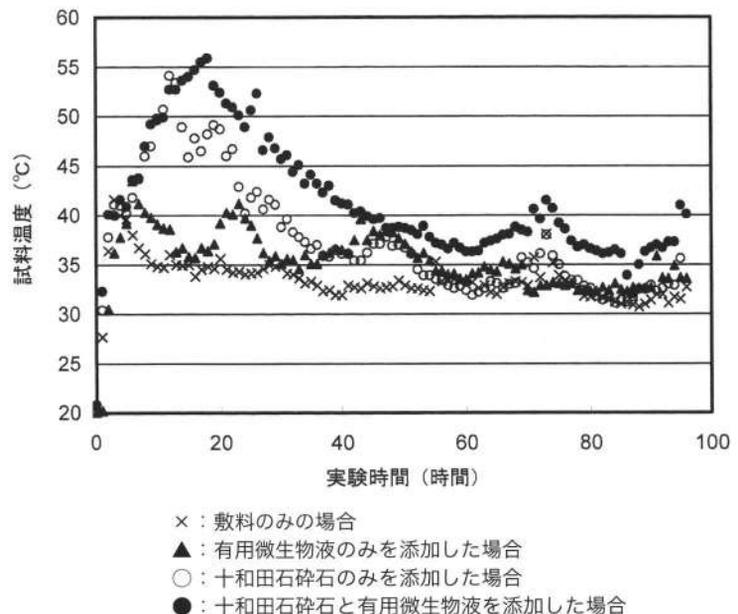


図8 各試料温度の時間変化

物添加試料、および本碎石・微生物添加試料中の総微生物数に対する添加微生物の棲息割合も同図に示す。

初期微生物数はすべての場合において約 1.0×10^{10} cells/mlでほぼ同様であり、敷料中には極めて多数の微生物が棲息していた。しかし、発酵等による急激な温度上昇が終了する1日後には、その温度で棲息不可能な微生物が死滅し、特に最高到達温度が高かった本碎石添加試料と、本碎石・微生物添加試料において、微生物数の著しい減少が認められた。さらに2日以降も栄養源の不足や試料の乾燥などによるものと思われる微生物の死滅が生じている。微生物添加試料と本碎石・微生物添加試料において、実験開始時の添加微生物の棲息割合はいずれの場合も0.001%未満と極めて低かったが、本碎石・微生物添加試料については、試料が最高温度に達した直後において、添加微生物が約10%の割合で棲息しており、それ以後も徐々にその割合が増加し、4日後には総微生物数の約半数を占めるまで

に至った。このことから、実験初期における発酵促進、ならびに長期間にわたる発酵の継続に、添加した微生物が深く関わっていたものと思われる。微生物のみを添加した場合は添加微生物の棲息割合が極めて低かったことから、添加微生物は本碎石と共存することによって、多種の微生物が混在する環境下においても確実に棲息し、期待された効果を発揮することができるものと考えられる。

(3) pHの変化

各試料のpHの変化を図10に示す。本碎石や有用微生物液がアルカリ性を示すため、無添加試料に比して他の試料の初期pHが高いが、一般に堆肥化に資する微生物は概ねpH 8~9であれば良好な増殖性を示すものと思われ、本実験における各試料の初期pHの違いは大きな影響を及ぼさないものと考えられる。

一般に、堆肥化の過程では有機物が微生物によって分解され有機酸などの酸性物質が生成するため、発酵の進行とともに試料のpHは低下する。無添加試料の場合にはその傾向が顕著に見られ、実験開始時にpH7.9であったのに対して1日目でpH5.8にまで低下した。微生物添加試料について時間の経過とともにpHの低下が認められたが、本碎石を含む場合についてはいずれもpHの低下が殆ど認められなかった。すなわち本碎石のpH調整作用によって試料pHの低下が抑えられたものと考えられる。このことから、本碎石を添加した試料において良好な発酵が生じたのは、試料の初期pHならびに発酵中のpHが、堆肥化に資する微生物にとって好適なpHに調整・保持されたためであると推察される。

様々な環境において効果を発揮する汎用性の高い微生物資材には、微生物の高い能力に加えて、適用環境をその微生物にとって好適な環境に整える機能を備えている

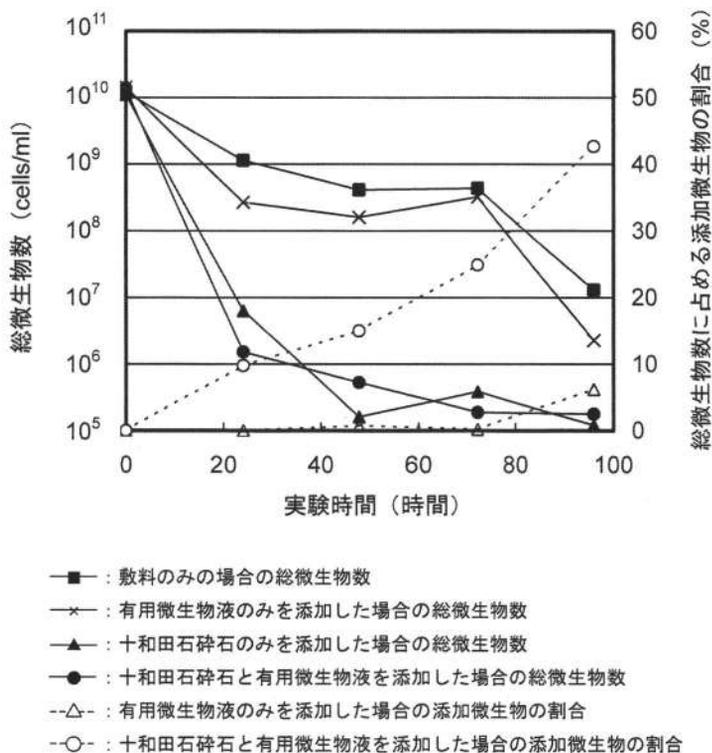


図9 各試料中の総微生物数と、総微生物数に占める添加微生物の割合の時間変化

ことが求められる。特にpHは微生物の活動に大きな影響を与えるため、多くの微生物に好適なpHに調整する本砕石は、微生物資材の材料としても極めて有用であると考えられる。

5. まとめ

本報では、秋田県大館市比内町で産出する十和田石の砕石と、同町でさかんな養鶏業ならびに農業とを結びつけた地域内循環の確立を目的として実施している研究事例について紹介した。

本砕石が鶏舎の臭気緩和や、使用済みの鶏舎敷料の堆肥化促進に有用であることを明らかにするとともに、臭気緩和や堆肥化促進に有用な微生物と本砕石とを複合添加することで、より効果の高い臭気緩和資材や堆肥化促進資材にすることが可能であり、本砕石の高価値製品化の可能性を示した。

本砕石以外の石材・工業原料資源についても、臭気物質の吸着効果や、pH調整作用などに起因する有用微生物の活性化効果などを有するものは多いと思われる。したがって、畜産業や農業分野における石材・工業原料資源の利用は、今後の開拓・普及が大いに期待できる用途の一つであろう。特に畜産業においては、昨年から本格的に稼働した家畜排泄物法により、家畜排泄物の適切な処理（臭気を抑えながらの発酵など）が求められており、

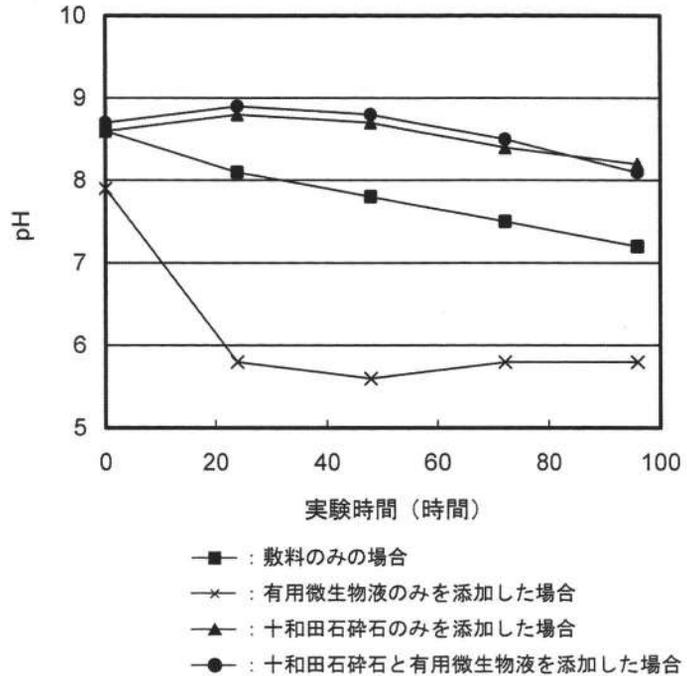


図10 各試料 pH の時間変化

安価で安定供給が可能な資材に対するニーズが高まっている。さらに、石材・工業原料資源の性質に合致した有用微生物を担持させて微生物資材とすることで、さらなる高価値製品化も可能であると思われる。

加えて、本砕石のように副産物であるがゆえのコスト面での優位性を最大限に生かすためには、石材・工業原料資源が発生する近隣地域での利用が望ましく、地場産業との連携を考慮した利用法の検討も重要である。本報で紹介した研究事例が石材・工業原料資源、さらには骨材資源の新たな利用用途開拓の一助となれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) 佐々木久郎、中秀男、大川浩一、菅井裕一、小助川洋幸：冷却坑井を利用した岩盤冷却による地下貯蔵施設の特性、(社)資源・素材学会平成17年度春季大会講演要旨集〈I〉資源編、2005.03
- 2) 菅井裕一、佐々木久郎、松葉谷治、中秀男、田中富士夫：比内緑色凝灰岩のpH調整作用と微生物活性化効果に関する検討、資源と素材（投稿中）
- 3) 菅井裕一、佐々木久郎、中秀男、田中富士夫：特願2004-339754「環境浄化資材及びその製造方法」、2004.11
- 4) 中野産業株式会社：経済産業省・平成16年度鉱山採鉱等促進事業費補助金（副産物用途開発等調査・開

Possibility of the Towada-Stone Dust for the Deodorizer and the Compost Accelerator

SUGAI Yuichi, SASAKI Kyuro, TAKAHATA Shigeyuki,
NAKA Hideo