

かき殻を用いた水質浄化材の畑地における 有効利用に関する研究

芋川あゆみ・早田 隆典

キーワード：かき殻配合資材、リン、カルシウム、水質浄化

Research on Effective Use in Field of Water Quality Purification Material
which Uses Oyster Shell.

Ayumi IMOKAWA, Takanori SOUDA

目 次

1. 緒 言	82
2. かき殻を用いた水質浄化材の肥料的成分の調査	82
1) 各種成分含量比較	82
2) 各種成分溶出量調査	83
3) 灌水試験	85
3. 作物の栽培試験	89
1) ヒラドツツジ	89
2) ソルガム	90
4. 総合考察	92
5. 摘 要	94
6. 謝 辞	94
7. 引用文献	94
8. Summary	95

1. 緒 言

近年廃棄物処理問題は深刻化しており、廃棄物最終処分場の不足もあり廃棄物の減量化や再利用は早急に取り組むべき課題となっている。県内の貝殻廃棄物であるかき殻も年間約500トンにも達しているが、これらはほとんどがそのまま廃棄されているのが現状である。

一方、事業所排水や生活排水は窒素やリンを多く含んでいるが、水域の富栄養化の原因となる窒素やリンを除去する処理施設の未設置などからほとんど未処理のまま放流されている。県民生活環境部⁹⁾の報告によると、長崎県では西大川、半造川、時津川などの都市部を流れている河川や、大村湾、佐世保湾、伊万里湾、有明海など閉鎖性が強い海域で窒素やリンの含有が多くなっている。

門間⁹⁾によると、石灰は水中のリンを除去することができ、また阿部ら¹⁾はかき殻の主成分が炭

酸カルシウムであることに着目し、かき殻には重金属やリン酸イオンを固定する能力があることを報告している。さらに横田⁷⁾は、アルファルファ、ミカン及びブドウにかき殻を施用し、アルファルファには多量をミカンやブドウの果樹には少量をそれぞれ施用することにより増収効果が期待でき、永年にわたり適当な土壌pHが保たれることを報告している。

そこで、かき殻を利用して水中のリンを除去し、さらに農業面において再利用するための検討を行ったので、その結果を報告する。

なお、本研究は(財)長崎県産業技術振興財団の委託による長崎県技術開発研究委託（学・官枠）事業「未利用資源を活用した水質浄化材の開発研究」の中の7分担課題の一つとして1998～'99年の2カ年にわたり実施したものである（表1）。

表1 当事業の研究実施体制

実施機関名	個別研究テーマ名
長崎大学	廃棄物を利用した水質浄化材の開発に関する研究
長崎県産業技術センター	牡蠣殻等配合リン吸着材の能力向上に関する研究
(株)一龍陶苑	牡蠣殻等配合リン吸着材の製造技術に関する研究
長崎県衛生公害研究所	リン吸着材の吸着能及び効果持続性の検証及びフィールド応用方法の研究
長崎県県央保健所	リン吸着材のフィールド応用方法の研究
長崎県総合農林試験場	浄化処理後のかき殻等配合資材の畑地における有効利用法の開発
長崎県果樹試験場	浄化処理後のかき殻等配合資材の樹園地における有効利用法の開発

2. かき殻を用いた水質浄化材の肥料的成分の調査

1) 各種成分含量比較

かき殻を用いた水質浄化材の肥料的成分量を把握するため、各種成分の分析を行った。

(1) 供試資材

ア. かき殻配合資材

水中のリン除去用の資材は、佐世保市相の浦地区の水産会社から提供を受けたかき殻を天日乾燥し、粗粉碎したのち、トロンミルで24時間粉碎し、

脱水及び105℃で乾燥した。このかき殻を70%、愛知県瀬戸・猿投地域本山地区産の木節粘土（粘土鉱物：カオリナイト）30%（重量%）を混合した後8mm孔のダイスから押しだし約8mmの長さに連続的に切断したものを粒状整粒機において、球形に近い造粒物を得た。これを105℃で約3時間乾燥させた後、650℃で1時間焼成し製造されたものをかき殻配合資材とした。なお、これは県産業技術

センターで作製²⁾し、提供を受けた。

イ. 模擬吸着資材

かき殻配合資材にリン酸 2 水素カリウムを使用し、模擬的にリン化合物を吸着させ風乾させたものを分析に供試した。この時のリン吸着量はかき殻配合資材 1 g 当たり 0.03 g であった。なお、これは県衛生公害研究所において作製した。

ウ. 浄化済資材

県央保健所に設置してある毎日 5 トンの放流がある合併浄化槽の沈殿分離槽にかき殻配合資材 250 g を約 2 ヶ月間放置し、リンを吸着させた。放

置後、浄化槽からかき殻配合資材を取り出し風乾させたものを分析に供試した。

(2) 分析及び分析法

分析項目は、pH(1:2.5)、EC(1:5)、全リン、可給態リン、水溶性リン、全カルシウム、水溶性カルシウムであり、全リンおよび水溶性リンはバナドモリブデン酸アンモニウム法、可給態リンはトルオーグ法、全カルシウムおよび水溶性カルシウムは原子吸光光度法によって測定した。

(3) 結果および考察

各種資材の分析値を表 2 に示した。

表 2 各種資材の成分値

供試資材	pH	EC H ₂ O m Sm ⁻¹ (1:5)	リン酸		カルシウム	
			T-P g kg ⁻¹	水溶性 P g kg ⁻¹	T-Ca g kg ⁻¹	水溶性 Ca g kg ⁻¹
かき殻配合資材	11.7	0.17	0.6	N.D	412	2.39
模擬吸着資材	10.1	0.27	30.0	1.54	352	0.07
浄化済資材	8.5	0.25	2.3	0.16	268	1.46

模擬吸着資材は全リンで 3.00% と吸着させたリン含量とほぼ一致した。しかしその中で作物に吸収されやすい成分である水溶性リンは 0.15% であった。一般的なリン酸肥料の水溶性リンの保証量は過燐酸石灰で 14~15.5%、苦土過燐酸で 1~8% であることを考えると、非常に少ない。これはリンがカルシウムに固定化され、リン酸カルシウムとして存在しているためと考えられる。また、浄化済資材は全リンで 0.23%、水溶性リンは 0.016% であった。これも過燐酸石灰や苦土過燐酸と比較すると非常に少ない。このことから、リンを吸着させたかき殻配合資材のリン資材としての畑地における利用を図るには、リンを吸着させたかき殻配合資材の多量の施用が必要となるものと思われる。

一方、浄化済資材の全カルシウム含量は模擬吸着資材より少なかった。これは浄化済資材に茶色の被膜ができており、被膜を含めて粉碎し分析に供したためと考えられる。また、水溶性カルシウムは模擬吸着資材ではかき殻配合資材の約 3% であるのに対し、浄化済資材ではかき殻配合資材の約 60% も含まれていた。これはかき殻配合資材を浄化槽に設置した際、被膜が形成されたため水溶性カルシウムの溶出が抑制されたものと考えられ

る。

横田⁷⁾によると、石灰岩の酸化カルシウム含有率は約 53% であるとしている。かき殻配合資材は表 2 の全カルシウムから換算すると 57.6% とそれを上回っているが、浄化済資材でも酸化カルシウムに換算すると 37.5% と石灰岩の酸化カルシウム含有率の約 71% 含有していた。このことから、リンを吸着させたかき殻配合資材の石灰質資材としての畑地における利用は十分に可能であると考えられる。

2) 各種成分溶出量調査

模擬吸着資材に含まれているリン及びカルシウムがどのようなパターンで溶出されるかを把握するため、様々な抽出液を用いた成分溶出量の調査を行った。

(1) 材料および方法

供試した資材は、かき殻配合資材、模擬吸着資材及び乳鉢で粉碎した模擬吸着資材（以下、粉状資材）であった。各抽出液と抽出液ごとの分析項目を表 3 に示した。浸出は土壌分析時に使用するショーレンベルガー法を用いた。すなわち、長さ 12cm、内径 1.3cm のリーチング管に一定量の資材を充填させ、上部から一定量の各抽出液で浸出した。なおかき殻配合資材及び模擬吸着資材については

表3 模擬吸着資材抽出液の種類及び分析項目

抽出液	分析項目
イオン交換水	pH、EC、リン、カルシウム
0.002規定硫酸 (pH=3.0)	リン
1規定酢酸アンモニウム (pH=7.0)	カルシウム

リーチング管内部の空隙を埋めるため一定量の海砂を充填させた。また抽出液は1回につき100mlで浸出し、浸出は合計2,000mlになるまで繰り返し20回行った。

分析項目は、pH、EC、水溶性リン、水溶性カルシウムであり、水溶性リンはバナドモリブデン酸アンモニウム法（400nm測定）およびモリブデンブルー法（710nm測定）、水溶性カルシウムは原子吸光光度法によって分析を行った。

(2) 結果および考察

浸出液のpHは、模擬吸着資材では浸出液の増加に伴い低下し、1,200ml以上になると6.7前後で安定した。粉状資材は500mlまでで7.7付近まで低下したが、その後8.2前後で安定した。かき殻配合資材は、10.0前後で3種類の中で最も高かった（図1）。

ECは模擬吸着資材とかき殻配合資材では最初の200mlまでは22~12mSm⁻¹程度であったが、200~300mlで急激に低下し、その後は徐々に減少した。また粉状資材は最初の100mlまでの抽出液では1450mSm⁻¹と非常に高い値を示したが、200mlでは約27mSm⁻¹と急激に減少し、その後は模擬吸着資材及びかき殻配合資材と大差なかった（図2）。

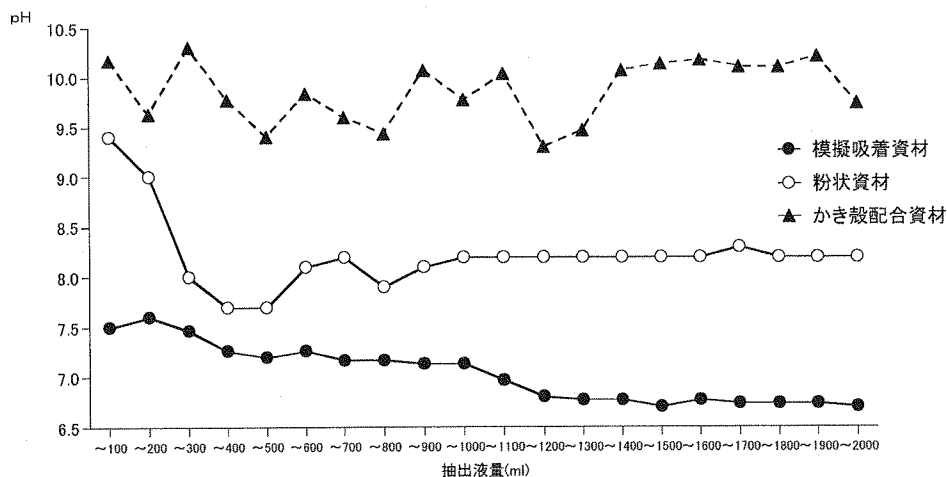


図1 各種資材の水抽出におけるpHの推移

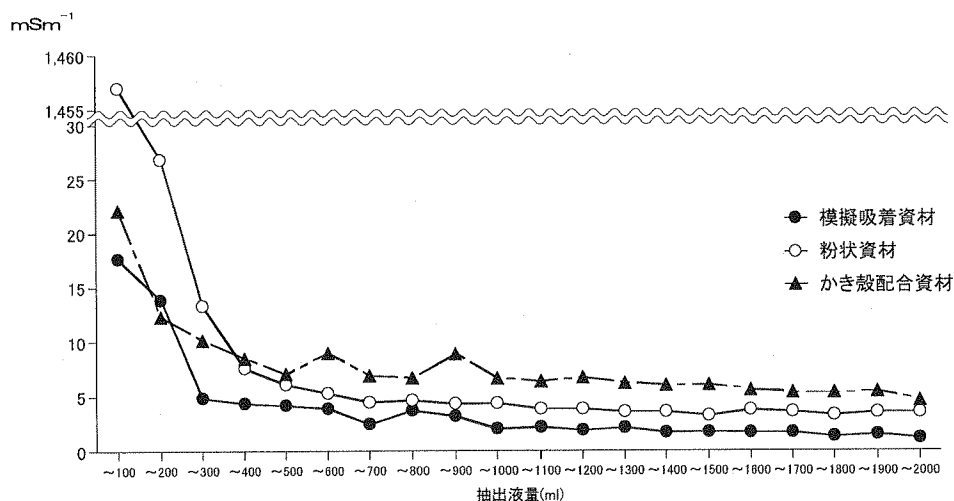


図2 各種資材の水抽出液におけるECの推移

リンは水抽出及び硫酸抽出ともに最初の100~200mlでそのほとんどが溶出された。リンは資材の表面のみに吸着されているために早い段階で溶出されたと言える。また、水抽出では800~1,000ml、硫酸抽出では700~800ml及び1,000~1,200mlの間において若干ではあるがリン含量の増加が認められた(図3~5)。

カルシウムは水抽出において、模擬吸着資材で $0.43\sim 0.13\text{mg l}^{-1}$ と非常に少ない溶出量しか認められなかった。またリンとは違い2,000mlでも最初とあまり変わらない量が溶出された。粉状資材は最初 0.1mg l^{-1} 未満であったが抽出液量の増加に伴いその溶出量も増加し、2,000ml時では 4.8mg l^{-1} まで増加していた。従って模擬吸着資材は少量ずつではあるが継続的に溶出されるのに対し、

粉状資材ではカルシウムの溶出スピードが遅い傾向を示した(図6)。一方、酢酸アンモニウム抽出では模擬吸着資材、粉状資材共に水抽出より多量のカルシウムが溶出された。模擬吸着資材では水抽出と同様に最初から2,000mlまでほぼ同量ずつ溶出されたのに対し、粉状資材では水抽出時とは逆に抽出液量が増加する毎に溶出量は減少する傾向を示した。これは酢酸アンモニウム中のアンモニウムイオンが模擬吸着資材のカルシウムと素早く交換され、早い段階で溶出したためと推察される(図7)。

3) 灌水試験

模擬吸着資材に含まれているリン及びカルシウムが土壤に施用した際、土壤中への蓄積及び溶脱を把握するためワグネルポットを用いて灌水試験を行った。

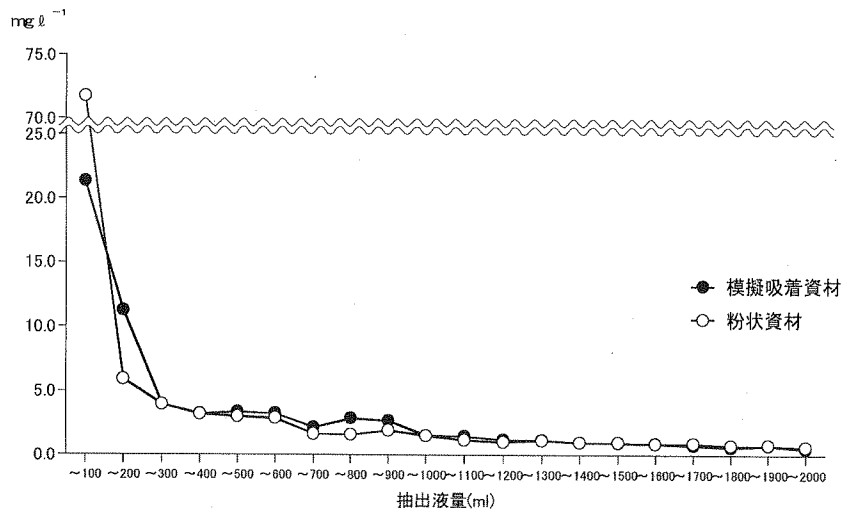


図3 各種資材の水抽出におけるリン含量の推移(400nm測定)

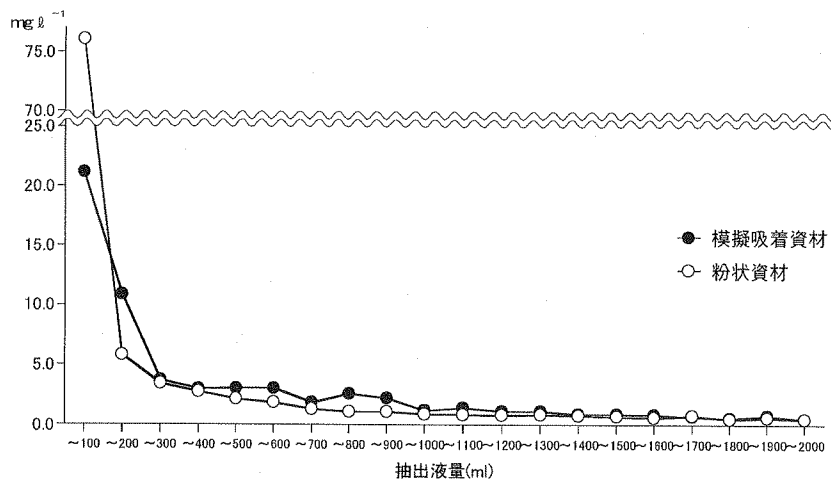


図4 各種資材の水抽出におけるリン含量の推移(710nm測定)

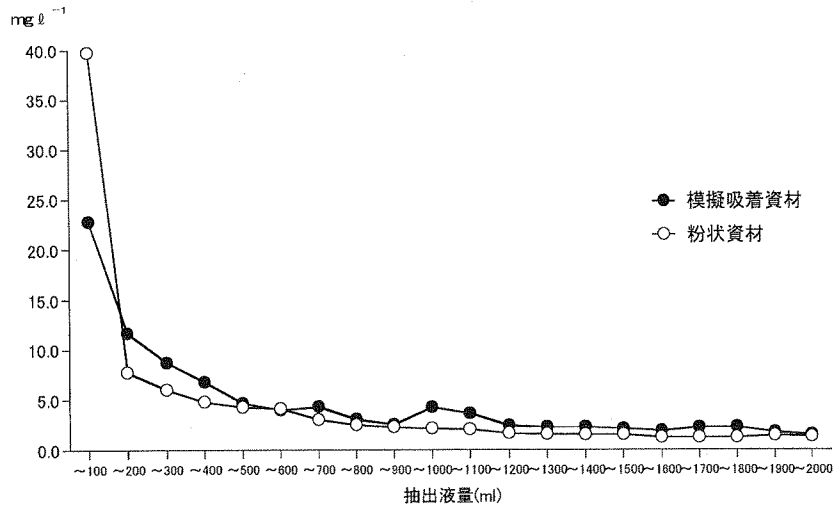


図5 各種資材の硫酸抽出におけるリン含量の推移 (710nm 測定)

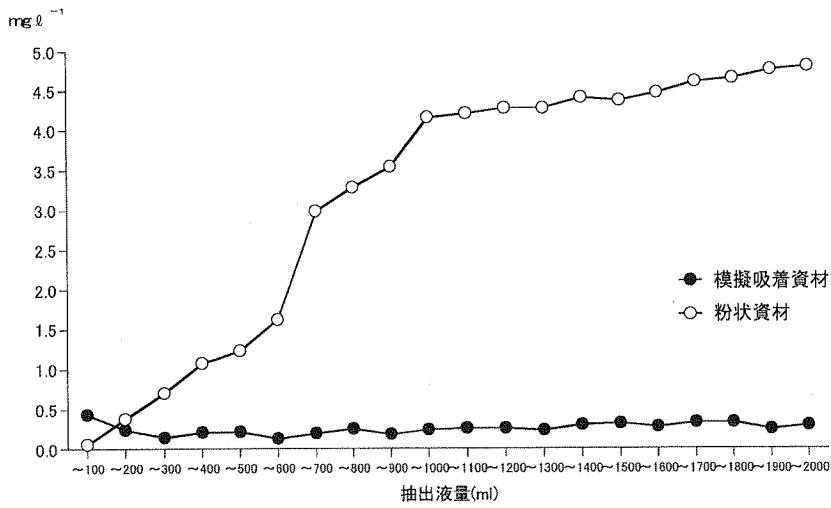


図6 各種資材の水抽出におけるカルシウム含量の推移

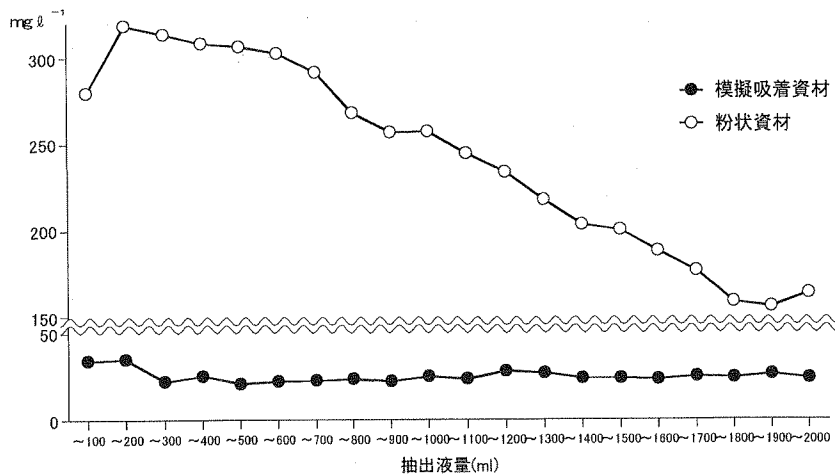


図7 各種資材の酢安抽出におけるカルシウム含量の推移

表4 灌水試験における試験区の構成

区名	模擬吸着資材投入量 (1ポット当たり)
資材0	0 g
資材2.5	2.5 g
資材5	5 g
資材10	10 g
資材25	25 g
資材50	50 g

ア) 供試土壌：赤色土及び黒ボク土

イ) 1区2反復 (ハウス内に設置)

(1) 材料および方法

土壌は赤色土と黒ボク土の2種類を使い、1/2000 aワグネルポットに風乾させた土壌を5 kg充填した。模擬吸着資材は1ポット当たり2.5 g、5 g、10 g、25 g、50 gをそれぞれ土壌上部の乾土2 kgまでのところに混和した。試験区の構成を表4に示した。最初の灌水は赤色土で3 l、黒ボク土で4 lとした。両土壌とも2回目と3回目の灌水は1 l、4回目～15回目(最終)の灌水は2 lとした。灌水はほぼ7日おきに実施し、浸透水は採取し分析に供した。試験終了後、ポットの土壌

は乾土2 kgまでの上層部とそれより下部の下層部に分けて採土し、模擬吸着資材は取り出し、風乾後粉碎し、分析に供した。項目は、浸透水がpH、EC、リン、カルシウム、跡地土壌が可給態リン酸、リン酸吸収係数、交換性カルシウム、模擬吸着資材が全リン、可給態リン、水溶性リン、全カルシウム、水溶性カルシウムである。

(2) 結果および考察

浸透水のpHは、赤色土の場合、無施用区が低い傾向にあった(図8)。模擬吸着資材を施用した区は模擬吸着資材からの養分の溶脱があり、無施用区よりpHが上昇したためと思われる。しかし赤色土の処理間に有意な差は認められなかった。一方、黒ボク土は各区ともほぼ同程度で推移した。赤色土のECは、模擬吸着資材施用量の多少による差はなかった。しかし、黒ボク土は模擬吸着資材投入量が多くなると、ECが高くなる傾向にあった(図9)。カルシウムは両土壌とも大きな差は見られなかった(図10)。リンは採取後5回目までは多く溶出するが、それ以降の溶出は微量であった(図11)。

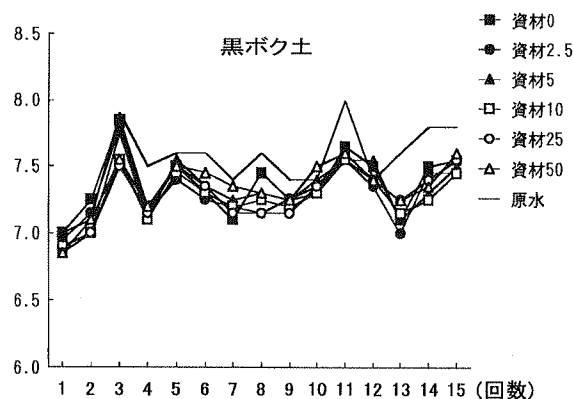
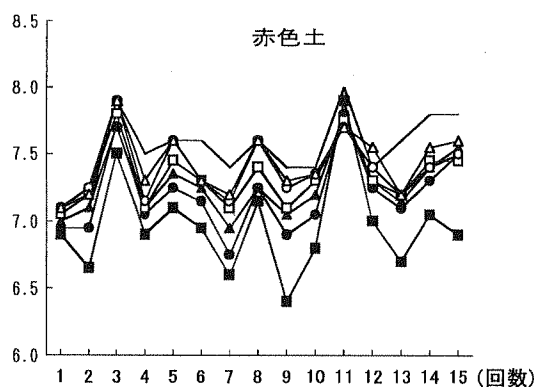


図8 浸透水のpHの推移

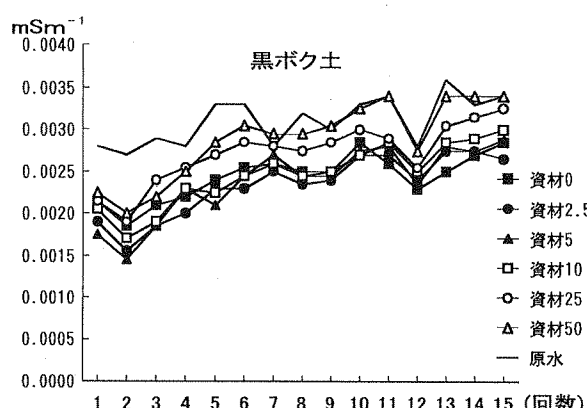
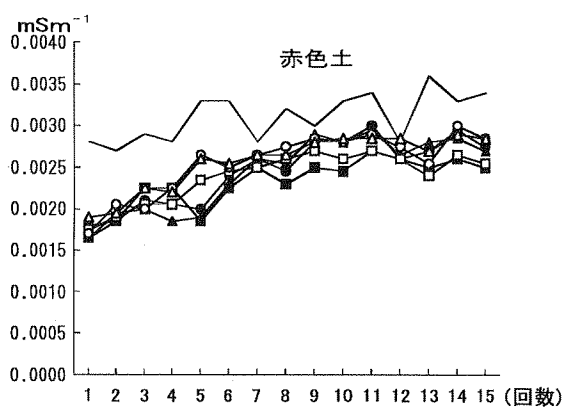


図9 浸透水のECの推移

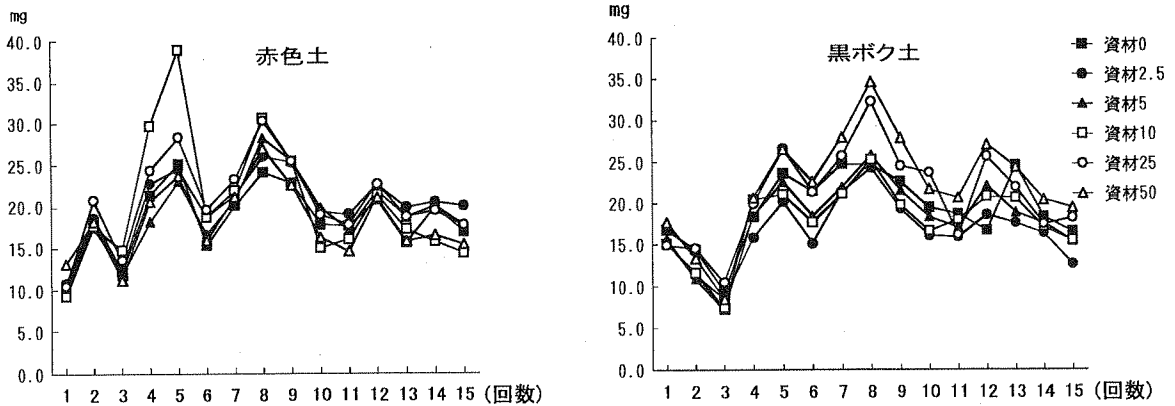


図10 浸透水のCa溶脱量の推移

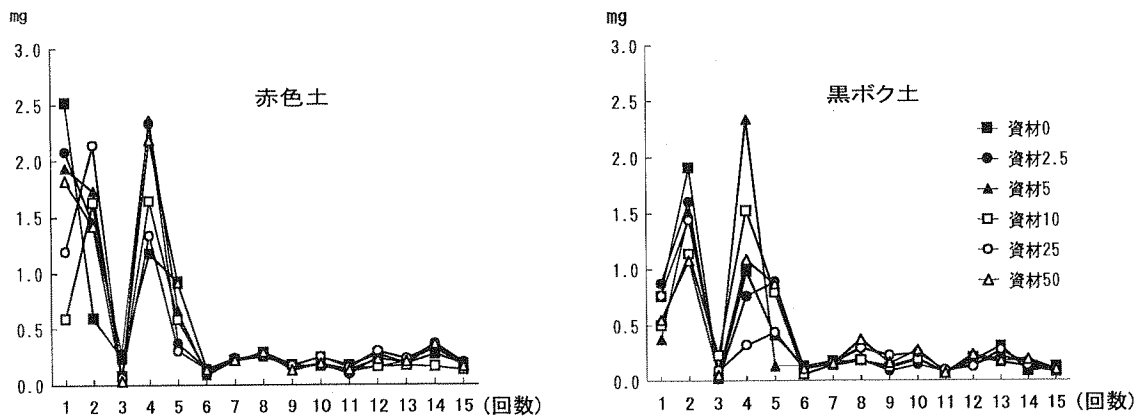


図11 浸透水のP溶脱量の推移

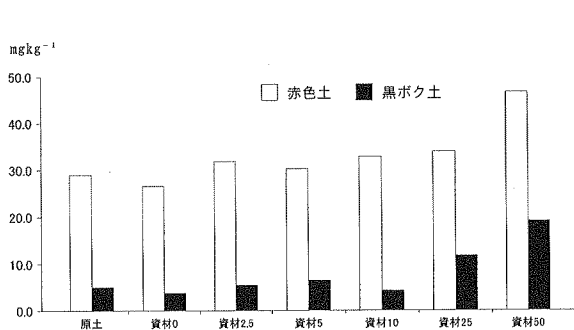


図12 試験終了後の可給態リン酸含量（上層部）

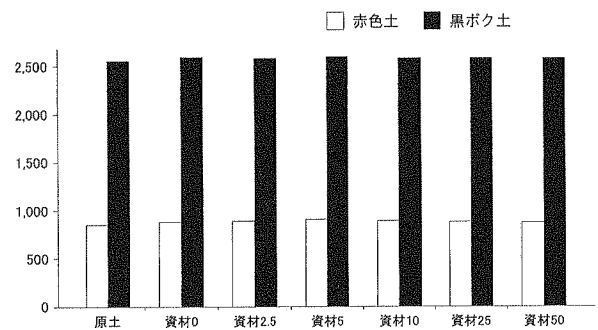


図13 試験終了後のリン酸吸収係数（上層部）

次に試験終了後の土壌の可給態リン酸は赤色土の場合、1ポット当たり模擬吸着資材を50g施用のみで蓄積が認められた。一方、黒ボク土は模擬吸着資材を1ポット当たり25g及び50g施用で蓄積が認められた(図12)。リン酸吸収係数は両土壌とも模擬吸着資材を施用しても無施用と同様であった(図13)。交換性石灰は両土壌とも模擬吸着資材施用に伴い蓄積が認められた。しかし、両土壌とも模擬吸着資材施用量の多少による差異は判然としなかった(図14)。

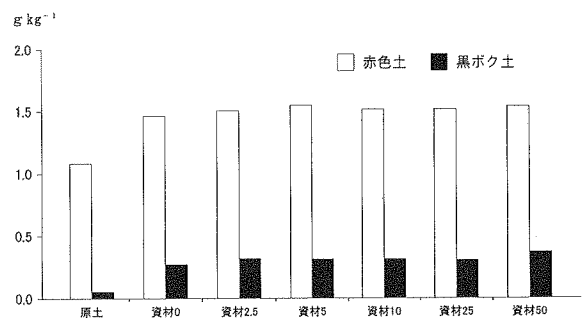


図14 試験終了後の交換性塩基（CaO）含量（上層部）

3. 作物の栽培試験

栽培試験の供試作物は、実際にリンを吸着させたかき殻配合資材の用途として街路樹への散布を想定しヒラドツツジを、また、短期間でかき殻配合資材の施用効果を検討するためにソルガムの2種類を用いた。

1) ヒラドツツジ

(1) 材料および方法

試験区の構成を表5に示した。赤色土と黒ボク土の2種類を用い、1/2000 a ワグネルポットに風乾後8 kg充填した。なお、両土壌には排水対策の

ため鹿沼土を20%混合した。模擬吸着資材は、0.5 Mg ha^{-1} 及び1 Mg ha^{-1} 相当量をヒラドツツジの根に直接接触しないよう苗の下部に施用した。また対照として模擬吸着資材無施用区を設けた。肥料は各区とも定植時に1ポット当たり硫酸を約2.5 g、過石を約5.6 g、硫加を約0.6 gをそれぞれ施用した。

土壌は植付け前と掘取後の2回に分けて分析を行った。ヒラドツツジは掘取後新梢部（開花終了後に伸びた枝葉）及び地下部について分析に供した。

表5 ヒラドツツジの栽培試験における試験区の構成

区No	供試土壌	模擬吸着資材施用量 (Mg ha^{-1})	1ポット当たり施用量 (g)
1.	赤色土	0	0
2.	赤色土	5	25
3.	赤色土	10	50
4.	黒ボク土	0	0
5.	黒ボク土	5	25
6.	黒ボク土	10	50

ア) 供試作物：ヒラドツツジ

イ) 試験規模：1/2000 a ワグネルポット 3反復（雨よけ栽培）

ウ) 定植日：平成10年7月24日 解体日：平成11年9月29日

エ) 供試土壌には、排水対策のため鹿沼土を20%混合した。

生育調査は、定植後完全に活着した時点、その半年後及び掘取直前に樹容積を算出した。樹容積の算出方法は、長径、短径及び樹高を測定し、7かけ法により算出された値を m^3 で表示した。さらに各ポットについてその年の開花終了後に伸びた枝から無作為に5枝ずつ選んでマークし、1998年9月2日から'98年11月6日まで概ね10日ごとに同一枝の枝長を調査した。また、掘取時に新梢部の生重量を測定した。

模擬吸着資材は掘取後に風乾後粉碎し分析に供した。

(2) 結果および考察

ヒラドツツジは、模擬吸着資材施用による生育障害等が特に見受けられず、順調な生育を示した。赤色土において、模擬吸着資材の施用量に伴い樹容積が増加する傾向にあった。しかし、黒ボク土では無施用と同様の生育であった。枝長は、赤色

土が3区で黒ボク土が5区で最も長かった。掘取後の新梢部の生重は、両土壌とも模擬吸着資材の施用量の増加に伴い多くなった。しかし、処理間の生育は各ポットごとの個体差が大きく、有意な差がなかった。また、土壌の違いによる生育の差も認められなかった（表6）。

跡地土壌の交換性石灰は赤色土、黒ボク土とも増加した。可給態リン酸は赤色土においては3区で多く残っていた。一方、黒ボク土においては模擬吸着資材からリンの溶出があっても土壌がリン酸を固定するため、原土と比較して減少した。リン酸吸収係数は赤色土、黒ボク土とも原土と同様であった。交換性カリは模擬吸着資材施用量の増大に伴い増加が認められた。模擬吸着資材にはリン酸水素カリウムを吸着させたためにカリウムも多く含まれていることが分析によって確認されていることから、模擬吸着資材に吸着されたカリウ

表6 ヒラドツツジの生育調査

区 No.	樹 容 積 (m³)			新 梢 長 (cm)							掘取後新梢長 生重 (g)
	'98.9.2	'99.3.4	'99.9.28	9.2	9.14	9.24	10.6	10.14	10.26	11.6	
1	17(100)	21(126)	77(470)	4.8	5.2	5.3	5.5	5.4	5.4	5.4	89.7
2	17(100)	24(142)	72(432)	5.4	5.6	5.8	5.9	5.9	5.9	5.9	85.2
3	16(100)	21(128)	105(651)	6.6	7.0	7.1	7.2	7.2	7.2	7.2	101.0
4	18(100)	27(145)	81(439)	4.5	4.9	4.9	5.0	5.0	5.0	5.0	85.4
5	17(100)	27(159)	81(478)	5.6	5.8	6.0	6.1	6.2	6.2	6.2	88.1
6	17(100)	25(144)	84(483)	4.8	5.0	5.3	5.3	5.4	5.4	5.4	93.4

注) 新梢長の調査は全て1998年。

表7 ヒラドツツジの跡地土壌の化学性

(乾土当たり)

区No.	pH		EC mSm ⁻¹ (1:5)	T-N g kg ⁻¹	CEC cmol(+)kg ⁻¹	交換性塩基 g kg ⁻¹				可給態 リン酸 mgkg ⁻¹	リン酸 吸収係数
	H ₂ O	KCl				CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O		
	赤土原土	5.9	4.0	0.002	0.1	14.0	0.90	0.51	0.49	0.28	25
1	5.5	4.2	0.002	0.2	13.3	1.50	0.54	0.44	0.38	32	1090
2	5.5	4.2	0.002	0.1	14.0	1.54	0.54	0.52	0.40	32	1080
3	5.6	4.3	0.002	0.1	14.4	1.56	0.54	0.61	0.40	42	1070
黒ボク原土	5.2	4.6	0.003	2.2	20.3	0.18	0.03	0.11	0.03	6	2200
4	5.3	4.7	0.002	1.1	20.4	0.91	0.14	0.10	0.20	3	2510
5	5.3	4.7	0.002	1.1	20.2	0.92	0.14	0.17	0.18	4	2520
6	5.4	4.8	0.002	1.4	20.5	1.08	0.15	0.23	0.21	3	2520

ムが溶出されたものと推察される(表7)。

作物体については新梢部、地下部ともに模擬吸着資材の施用効果による主な成分吸収量の差は認められなかった。

以上のことから、赤色土では模擬吸着資材の施用により樹容積の増加が認められ、肥料代替及び土壌改良資材として有効であった。しかし、黒ボク土では模擬吸着資材のリンの溶出があっても土壌がリン酸を固定するため、リン酸が作物に吸収困難な状態になり、施用効果を上げるためには模擬吸着資材を今回の施用量より増加させる必要があると考えられた。

2) ソルガム

(1) 材料および方法

試験区の構成を表8に示した。土壌はヒラドツツジの試験同様赤色土と黒ボク土の2種類を用い、1/2000 a ワグネルポットに風乾後5kg充填させた。模擬吸着資材を石灰の補給資材としてとらえ、標準区と少量区および多量区の3区を設けた。対照として炭酸カルシウム施用区、化学肥料単用区を設けた。また、模擬吸着資材以外にも粉状資材を

リン酸肥料の代替として施用する区を設けた。

土壌は植付け前と刈取り後の2回、ソルガムは刈取り後、地上部と地下部を分析に供した。

生育調査は、各ポット6株ずつマークし、それぞれについて草丈を調査した。また刈取り時に地上部の収量を調査した。

模擬吸着資材は刈取り後、風乾後粉碎し分析に供した。

(2) 結果および考察

生育及び収量は、赤色土では模擬吸着資材を施用した区が化学肥料単用区より良好な生育を示し、収量も同様の傾向を認めた。黒ボク土では粉状資材施用区と模擬吸着資材少量区が化学肥料単用区より生育、収量とも劣った。赤色土では粒状資材施用量の違いによる差は見られなかったが、黒ボク土では模擬吸着資材投入量の増加に伴い生育、収量とも優った。模擬吸着資材施用区は播種後初期の段階で他区より生育が劣っていたが、播種後3週間から1ヶ月の間に急激に生育が良好になった(表9)。

跡地土壌における交換性石灰含量は、赤色土、

表8 ソルガムの栽培試験における試験区の構成

処 理 区	1ポット当たり施肥量(g)			
	N	P	K	Ca
1. 赤色土 化学肥料単用区	2.38	2.94(0.6)	1.0	0
2. 赤色土 炭カル区	2.38	2.94	1.0	5.0 (1.0)
3. 赤色土 粉状資材施用区	2.38	<u>18.5</u> (3.7)	1.0	0
4. 赤色土 模擬吸着資材少量区	2.38	2.94	1.0	<u>3.57</u> (0.7)
5. 赤色土 模擬吸着資材標量区	2.38	2.94	1.0	<u>7.14</u> (1.4)
6. 赤色土 模擬吸着資材多量区	2.38	2.94	1.0	<u>14.3</u> (2.9)
7. 黒ボク土 化学肥料単用区	2.38	2.94	1.0	0
8. 黒ボク土 炭カル区	2.38	2.94	1.0	5.0
9. 黒ボク土 粉状資材施用区	2.38	<u>18.5</u>	1.0	0
10. 黒ボク土 模擬吸着資材少量区	2.38	2.94	1.0	<u>3.57</u>
11. 黒ボク土 模擬吸着資材標量区	2.38	2.94	1.0	<u>7.14</u>
12. 黒ボク土 模擬吸着資材多量区	2.38	2.94	1.0	<u>14.3</u>

ア) 供試作物：ソルガム 播種量：30kg ha^{-1}

イ) 試験規模：1/2000 a ワグネルポット 2 反復（露地栽培）

ウ) 定植日：平成11年5月6日 解体日：平成11年7月29日

エ) 施用した化学肥料および模擬吸着資材の種類

窒素：硫安 (N 21%)

リン酸：過石 (P 17%)

カリ：硫加 (K 50%)

カルシウム：炭カル (Ca 50%)

上記表の二重線：模擬吸着資材 (P 2.7% Ca 35%)

また、平成11年6月4日に各ポット当たり硫安3.57g、硫加1.0gの追肥を行った。

オ) 表中の施肥量の横のかっこ内の数値はha当たりの施用量 (Mg)。

黒ボク土ともに模擬吸着資材の施用量の多少に関わらずほぼ同量含まれていた。可給態リン酸含量は、赤色土では模擬吸着資材多量区が他区より多く残存していた。一方、黒ボク土では処理区による差は認められなかった。また、原土とほぼ同量であったがこれはリン酸が土壌に固定されたため

と思われる。リン酸吸収係数は赤色土、黒ボク土とも模擬吸着資材の施用の有無に関わらず植付け前と同様であった (表10)。

作物体では地上部のリン酸含量は、粉状資材施用区が他区より少なかった。石灰含量は赤色土では炭カル区が多く、黒ボク土では逆に少なかった。

表9 ソルガムの草丈 (cm) 及び生草量

区No.	草丈調査月日					草 丈 生育指数	生草量 Mgha $^{-1}$	指 数
	6月4日	6月14日	6月28日	7月13日	7月29日			
1	23.9	51.4	73.0	96.1	126.8	100	40.8	100
2	32.9	61.2	88.3	117.5	148.9	117	50.6	124
3	25.9	47.8	67.2	113.4	143.2	113	48.5	119
4	30.5	60.4	84.4	110.4	147.5	116	48.6	119
5	31.5	59.4	84.3	111.4	148.7	117	48.5	119
6	29.3	59.4	85.5	112.1	139.1	110	45.4	111
7	18.8	34.1	48.3	71.0	88.4	100	19.6	100
8	26.9	48.0	67.1	97.1	125.5	142	42.5	217
9	15.9	31.6	34.4	62.8	81.0	92	9.9	51
10	17.2	27.2	39.7	55.7	68.0	77	13.2	68
11	16.9	33.1	53.4	79.2	100.2	113	23.5	120
12	20.3	40.9	63.7	90.0	111.1	126	38.8	198

表10 ソルガム跡地土壌の化学性

(乾土当たり)

区No.	pH		EC mSm ⁻¹ (1:5)	T-N g kg ⁻¹	CEC cmol(+)kg ⁻¹	交換性塩基 g kg ⁻¹				可給態 リン酸 mgkg ⁻¹	リン酸 吸収係数
	H ₂ O	KCl				CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O		
	赤土原土	6.2	4.2	0.0002	0.2	13.2	1.08	0.62	0.50	0.26	28
1	5.4	3.8	0.0003	0.2	13.0	1.16	0.46	0.46	0.004	45	840
2	5.7	4.0	0.0003	0.2	13.6	1.64	0.46	0.33	0.004	43	870
3	6.3	4.7	0.0004	0.2	13.4	2.53	0.42	0.47	0.004	85	910
4	5.5	3.8	0.0003	0.2	13.2	1.20	0.46	0.43	0.004	48	850
5	5.5	3.8	0.0003	0.2	12.9	1.26	0.48	0.42	0.004	45	860
6	5.3	3.7	0.0003	0.2	13.1	1.26	0.41	0.49	0.004	59	830
黒ボク原土	5.0	4.7	0.0002	2.4	20.6	0.05	0.01	0.07	0.01	4	2560
7	5.2	4.6	0.0005	2.1	21.2	0.31	0.04	0.22	0.002	7	2620
8	5.4	4.7	0.0006	1.8	20.8	0.75	0.07	0.16	0.002	5	2620
9	5.7	5.0	0.0008	2.0	20.9	1.50	0.06	0.26	0.002	10	2600
10	5.2	4.6	0.0005	1.6	20.6	0.35	0.04	0.20	0.002	5	2620
11	5.3	4.6	0.0005	2.1	20.3	0.32	0.04	0.21	0.001	8	2620
12	5.3	4.6	0.0005	1.2	20.3	0.34	0.04	0.21	0.001	6	2610

地下部では模擬吸着資材の施用によるリン酸及び石灰含量は差異がなかった。

以上のことから、ソルガムでは両土壌とも炭酸カルシウムと同量あるいは倍量の石灰分相当量の

模擬吸着資材を施用すると化学肥料単用より生育、収量とも良好であり、肥料代替及び土壌改良資材として利用可能と思われた。

4. 総合考察

今回の研究において、かき殻配合資材を畑地に施用する際の特徴及び作物に施用した際の効果を明らかにした。特に赤色土においては模擬吸着資材を施用することにより、ヒラドツツジ、ソルガムとも生育及び収量が良好になる結果を認めた。黒ボク土においては、ソルガムで模擬吸着資材を炭酸カルシウムと同量あるいは倍量の石灰分を施用することにより化学肥料単用より生育が良好となった。しかし、リン酸吸収係数の大きい黒ボク土では、リン資材として模擬吸着資材から溶出されたリンが土壌に固定され、作物が吸収困難な形態になり、今回施用した量ではリンの肥料効果が小さかったものと推察される。また一般に低pHを好むとされるツツジにおいて根に直接触れないようにしてかき殻配合資材を施用することにより生育が良好であったということは、かき殻配合資材の施用可能な作物の可能性を高めるものであると思われる。

実際に、かき殻配合資材由来のリン及びカルシウムがどの程度作物に吸収されたのかはかき殻配合資材に標識を行っていないので明らかではないが、栽培終了後の模擬吸着資材を分析してみると、ヒラドツツジで水溶性リンは平均で17.3%の溶出があったが、水溶性カルシウムは逆に平均33倍の増加が認められた(表11)。またソルガム栽培後の模擬吸着資材においても水溶性リンで平均11.5%の減少、水溶性カルシウムは平均17.5倍の増加が認められた(表12)。これは模擬吸着資材の表面に吸着されていたリンが溶出されたことに伴い、模擬吸着資材の中に含まれている遊離のカルシウムが増加し水溶性カルシウムの増加に寄与したものと推察される。いわゆるリン未吸着のかき殻配合資材に近い状態になっているものと考えられる。

以上により、今後かき殻配合資材を作物に施用する際2作、3作と施用したままにしておく1作目はリン及びカルシウムの施用効果、2作目か

表11 ヒラドツツジ掘取後における模擬吸着資材の成分

区No.	リン		カルシウム	
	T-P g kg ⁻¹	水溶性 P g kg ⁻¹	T-Ca g kg ⁻¹	水溶性 Ca g kg ⁻¹
施用前	24.8	2.21	332	0.04
2	22.8	0.36	350	1.18
3	23.0	0.36	354	1.27
5	22.0	0.41	345	1.03
6	22.8	0.40	345	1.13

表12 ソルガム刈取り後における模擬吸着資材の成分

区No.	リン		カルシウム	
	T-P g kg ⁻¹	水溶性 P g kg ⁻¹	T-Ca g kg ⁻¹	水溶性 Ca g kg ⁻¹
施用前	30.0	1.54	352	0.07
4	26.7	0.14	351	0.92
5	26.9	0.15	365	0.92
6	27.4	0.14	354	1.06
10	26.1	0.12	351	1.36
11	28.0	0.08	372	1.30
12	26.5	0.08	357	1.26

らはカルシウムの施用効果と施用後の時間の経過に伴いかき殻配合資材の施用効果に変化が出てくることが考えられる。リンは窒素やカリウムと並び作物の3大肥料の一つであり、どの作物においても必要不可欠な養分であるが、カルシウムは養分に対する要求の差が現れる。一般に単子葉類のイネ科植物は双子葉類に比べると地上部のカルシウム含有率に約10倍もの開きがある。しかし橘によると、双子葉類のキャベツだけでなくイネ科のオオムギもカルシウム濃度の増加に対してこれらの作物が積極的に対応しているためカルシウムに対する要求が大きい作物であるとし、一方キャベツと同じ双子葉類で地上部のカルシウム含有率も高いキュウリはカルシウム含有率が高くなると生長率が低下してしまうためカルシウムに対する要求は小さい作物としている⁶⁾。従って、施用する作物の選定を上手に行っていくことによりかき殻配合資材のより一層の施用効果を高め、効率的な施肥体系の確立が行えるものと考えられる。

最後に今後の展望及び課題として、このかき殻配合資材自体が現在も、より汚水中のリンが効率的に吸着可能のかき殻配合資材の形状やかき殻以外の配合物等様々な事柄についての検討がなされている。今回の研究においてはかき殻に木節粘土を配合したものを使用した、さらに研究が進みデンプンやセメントを配合したものの試作も行われている。また、実際の河川あるいは浄化槽においてリンを吸着させると今回の研究で使用した浄化資材のように被膜形成など様々な問題点が出てくることも十分に考えられる。そのためにもかき殻を利用した安価で効率的な水質浄化材を早期に完成させ、実用化を目指していかなければなら

ない。近年、環境保全という観点から全国各地で水質浄化に関する研究（特に富栄養化の原因となる窒素やリンの除去に関するもの）やビオトープの創出等、自然保護の動きが高まってきている。その一方、増加の一途をたどる廃棄物の処理問題が将来ますます深刻になるものと思われる。このような状況の中、本県でも2000年度に「長崎県環境基本計画」を策定し、2010年度を目標年度とする環境保全に関する施策を推進している。その中で特に重要な事項として循環型社会づくり、良好な流域環境と豊かな海づくり、地域から地球へ環境にやさしい人づくりの3点を重要施策として掲げている⁷⁾。かき殻を利用した水質浄化材の研究は他県においても一部なされているが、本研究は廃棄物であるかき殻を水質汚濁物質の除去に利用した後、さらに農地に還元するという全国においても珍しい取り組みであり、まさに上記の重点施策に通じるものと考えている。

今回の研究の成果はあくまでも基礎的ではあるが農業面にこのかき殻配合資材を使用する際の貴重なデータになるものと思われる。今後はこのような未利用資源の積極的な活用や、有効利用により農業面においてもリサイクルや循環型社会づくりへの貢献が期待される。

5. 摘 要

貝殻廃棄物であるかき殻を利用して、水中のリンを除去した水質浄化材を用いて農地における有効利用を目的とし、①肥料的成分の調査、②作物の生育に及ぼす影響について検討を行った。

その結果、以下のことが分かった。

- 1) リンはほとんどがかき殻配合資材の表面に付着する。そのため、早い段階の溶出が認められた。一方、カルシウムは少量ずつ継続的に溶出される。
- 2) ヒラドツツジは赤色土で模擬吸着資材を10 Mg ha⁻¹施用すると模擬吸着資材無施用より樹

容積が増加した。黒ボク土では模擬吸着資材無施用と同様の生育を示した。また、施用に伴う生育障害は見受けられなかった。

- 3) ソルガムでは両土壌とも炭酸カルシウムと同量あるいは倍量の石灰分相当量の模擬吸着資材を施用すると化学肥料単用より生育、収量とも良好であった。

以上のことから、赤色土における模擬吸着資材の施用は、ヒラドツツジ及びソルガムの生育、収量に好影響を及ぼし、畑地での肥料資材及び土壌改良資材として有効であると考えられた。

6. 謝 辞

事業の遂行にあたっては、県窯業技術センター専門研究員阿部久雄氏をはじめ関係各位には貴重な多くのご助言や終始綿密で懇切なご協力をいただいた。

本研究を進めるにあたり、当時環境部長小川義雄氏には懇切丁寧なご指導とご鞭撻をいただいた。

当時野菜花き部長岡野剛健氏、愛野馬鈴薯支場長宮崎孝氏には綿密なご校閲と数々のご助言を賜った。

ヒラドツツジの苗木については、当時研究調整科長北村信弘氏に快くご提供いただいた。

圃場調査及び分析資料の調整等については、当時土壌肥料科技師黒田正伸氏に懇切なご指導をいただくとともに、大藪サツエ氏、高橋醇子氏、平田邦子氏、久松由美子氏に多大なご協力をいただいた。

本稿を草するにあたり、以上の各位および関係機関に衷心より感謝の意を表する。

7. 引用文献

- 1) 阿部久雄, 福永昭夫, 香月幸一郎, 本田邦隆, 松尾征吾: 牡蛎(かき)殻を配合した環境浄化材の開発, 平成8年度長崎県窯業技術センター研究報告, 60~66 (1997)
- 2) 阿部久雄, 福永昭夫, 本多邦隆, 坂本文孝: 未利用資源を活用した水質浄化材の開発研究(1) 蛎殻等配合リン吸着材の能力向上に関する研究, 平成10年度長崎県窯業技術センター研究報告, 11~16 (1999)
- 3) 門間英毅: 環境素材の化学(VI) - 石灰による排水中のリン酸イオンの固定 -, 無機マテリアル, 3, 607~614 (1996)
- 4) 長崎県: 長崎県環境基本計画, 75~87 (2000)
- 5) 長崎県県民生活環境部: 平成11年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 8~14 (2000)
- 6) 橘泰憲: 農業技術体系土壌施肥編, 2, 作物栄養18~19 (1984)
- 7) 横田弘司: カキ殻の利用に関する土壌肥料的な研究, 広島農業短期大学研究報告, 6, 4, 549~639 (1981)

Research on Effective Use in Field of Water Quality Purification Material
which Uses Oyster Shell.

Ayumi IMOKAWA, Takanori SOUDA

Summary

The water quality purification material which removed phosphorus in water was made by using the oyster shell which was the shell waste. It aimed at effective use in the field by using the water quality purification material adsorbed phosphorus, it examined ① fertilizer element and ② the influence on the growth of crops.

As a result, the following have been understood.

1) As for phosphorus, most adheres to the surface of the oyster shell mixing materials. Therefore, the render down of an early stage was admitted. On the other hand, the render down is continuously done little by little as for calcium.

2) In Red soil, the capacity of the tree has increased more than the one that a mock adsorption oyster shell materials were not manured when *Hirado azalea hybrids* uses a mock adsorption oyster shell materials in 10Mg ha^{-1} . In Andosol, growth was much the same as the one that a mock adsorption oyster shell materials were not manured. Moreover, there was not a growth trouble because of using a mock adsorption oyster shell materials either.

3) In the sorghum (*Sorghum bicolor* (L) Moench), when a mock adsorption oyster shell materials of the calcium of the same amount as calcium carbonate or the double of the amount were used, growth and amount were more excellent than the one that only a chemical fertilizer was used.

It was thought that using a mock adsorption oyster shell materials used the good influence on the growth and amount of *Hirado azalea hybrids* and the sorghum and amount in a red soil, and was effective as the fertilizer materials in the field and the soil improvement materials from the above-mentioned.