

## 強酸性化草地の生産性回復技術の確立

鶴岡 克彦・酒井 奏<sup>1)</sup>

大分県農林水産研究指導センター畜産研究部

**要 約** 牧草地表層への土壌改良材の散布では、牧草の収量の増加はなかった。草地更新時の牧草地への転炉スラグの散布では、pH(KCl)が 4.5 以下の草地では牧草の収量が増加する傾向があった。pH(KCl)が 4.5 以下の非アロフェン質黒ボク土の牧草地では、酸性矯正により牧草の収量が増加することが示唆された。

(キーワード: 非アロフェン質黒ボク土, 転炉スラグ, pH)

### 緒 言

弱酸性の性格を持つアロフェン質黒ボク土ではアルミニウムイオン(Al<sup>3+</sup>)の過剰障害は問題とならないが、強酸性の性格を持つ非アロフェン質黒ボク土ではアルミニウムの過剰障害が問題となる<sup>1)2)</sup>。久保寺らは久住高原で断面を調査し、厚層多腐植質黒ボク土の上部が非アロフェン質、下部がアロフェン質であることを示している<sup>3)</sup>。リン酸は黒ボク土で栽培される作物の生育をしばしば制限する成分である。黒ボク土に施用されたリン酸肥料は速やかに非晶質のアルミニウムや鉄鉱物などに収着され、植物への可給性が著しく低下する<sup>4)</sup>。これらのことから、非アロフェン質黒ボク土では、アルミニウム障害によりリン酸の吸収が抑制されるとされており、近年頻発する牧草地の裸地化はこれに起因することが示唆される。

牧草地は、草地更新後長期間耕起されないことから、更新時の土壌改良により長期的に酸性矯正されることが望ましい。転炉スラグは、酸性改良資材として施用すると、既存の石灰資材と比較して酸性改良効果が持続することが報告されている<sup>5)6)</sup>。そこで本研究では、転炉スラグ等の土壌改良材による牧草地の改良が牧草の収量および無機物含量、並びに土壌の化学性に及ぼす影響を調査し、久住地域の牧

草地における効果的な酸性改良方法について検討した。

### 材料および方法

1. 土壌改良材の表面散布による土壌酸性矯正効果の検討

(1) 各種土壌改良材の表面散布効果の検討

試験は、畜産研究部内採草地でおこなった。土壌改良材として苦土石灰、鶏糞焼却灰、および転炉スラグを 2015 年 10 月 23 日に散布した。苦土石灰の散布量を 200kg/10a とし、アルカリ分が等量になるように鶏糞焼却灰を 489kg/10a、転炉スラグを 275kg/10a 散布する区を配置した。転炉スラグは 1000kg/10a 散布区も配置した。試験区は 1 区 50m<sup>2</sup>、3 反復とした。2016 年 4 月 4 日に尿素、塩化カリ、およびリン安により窒素 6kg/10a、カリ 6kg/10a、およびリン酸 8kg/10a を散布した。牧草のサンプリングは 1 番草のみ行った。土壌のサンプリングは、1 番草サンプリング時および 3 番草刈り取り後に行った。土壌の化学性および飼料中無機物含量の分析は、九州沖縄農業研究センターで ICP 発光分析法により行った。

(2) 炭酸カルシウムの施用量が土壌の化学性および飼料中の無機物含量に及ぼす影響の検討

1) 南部振興局

試験は、畜産研究部内採草地で行った。炭酸カルシウムの施用量は、100kg/10a および 300kg/10a とし、2016 年 12 月 1 日に散布した。無散布区を対照区とした。試験区は、1 区 9m<sup>2</sup>、3 反復とした。2016 年 12 月 1 日および 2017 年 3 月 13 日に尿素、塩化カリ、およびリン安により窒素、カリ、およびリンをそれぞれ、6, 5, 1kg/10a, および 6, 8, 6kg/10a 散布した。牧草の収量調査および土壌採取は、1 番草収穫時に行った。土壌中交換性塩基含量は、バッチ法により 1 N 酢酸アンモニウムで抽出し、交換性カルシウム(Ca)およびマグネシウム(Mg)は ICP 発光分析法により、交換性カリウム(K)およびナトリウム(Na)は原子吸光分析法により、有効態リン酸はトルオーグ法により分析した。飼料中無機物含量は、乾式灰化法によって有機物を除去し、塩酸に溶解し溶液化し、Ca, Mg, およびリン(P)は ICP 発光分析法により、K は原子吸光法により分析した。非アロフェン質の判定のため、非晶質成分 (0.2mol/L 酸性シウ酸塩(pH3.0) で溶出するケイ素(Sio), アルミニウム(Al<sub>o</sub>), 鉄(Fe<sub>o</sub>)および 0.1mol/L ピロリン酸塩溶液(pH10.0) で溶出するアルミニウム(Al<sub>p</sub>) を、伊藤の方法<sup>7)</sup>で抽出し ICP 発光分析法により分析した。

## 2. 草地更新時の炭酸カルシウムおよび転炉スラグの散布が土壌の化学性および飼料中の無機物含量に及ぼす影響の検討

試験は畜産研究部内採草地(A)および現地牧野 2カ所 (B, C)の計 3カ所で行った。耕起前に各草地の土壌と炭酸カルシウムまたは転炉スラグを混合し、最大容水量の 60%を加水後、1 週間培養する方

法により、pH(KCl)緩衝曲線を作成し、炭酸カルシウムおよび転炉スラグの散布量を決定した<sup>8)</sup>。設定 pH(KCl)は 4.8, 5.0, および 5.3 とした。2016 年 8 月上旬にグリサホートカリウム塩を散布し、2016 年 8 月下旬に炭酸カルシウムおよび転炉スラグを散布後に耕起および整地を行った。耕起前にリン酸吸収係数の 2%相当量のリンを苦土重焼燐により散布した。B および C 草地は 9 月 27 日、A 草地は 10 月 4 日にグリサホートカリウム塩を散布後、オーチャードグラス (アキミドリ III) を 3kg/10a 播種し、ケンブリッジローラーにより鎮圧した。分析は、1 (2) と同様に行った。

統計処理は、R を用いた tukey の多重比較法により行った。

## 結 果

### 1. 土壌改良材の表面散布による土壌酸性矯正効果の検討

#### (1) 各種土壌改良材の表面散布効果の検討

各種土壌改良材の散布は、牧草の収量および無機物含量に影響しなかった(表 1)。苦土石灰区は、無処理区と比較して、1 番草収穫後の 0~5cm の土壌の pH(KCl)は有意に高かった( $P < 0.05$ , 表 2)。炭化鶏糞区は、無処理区と比較して、1 番草収穫後の 0~5cm の土壌の K<sub>2</sub>O、MgO および Na<sub>2</sub>O 含量が有意に高く、K<sub>2</sub>O および Na<sub>2</sub>O 含量は、5~15cm においても有意に高かった( $P < 0.05$ , 表 2)。3 番草収穫後においても炭化鶏糞区は 0~5cm および 5~15cm において K<sub>2</sub>O 含量が有意に高かった( $P < 0.05$ , 表 2)。

表 1 土壌改良材の表面散布が牧草の乾物収量および無機物含量に及ぼす影響(1 番草)

	施用量 (kg/10a)	乾物収量 (kg/10a)	Ca Mg K P			
			(% )			
無処理区	0	493.1	0.32	0.20	1.83	0.14
苦土石灰	200	515.9	0.44	0.21	1.40	0.14
炭化鶏糞	489	562.2	0.37	0.17	2.19	0.15
転炉スラグ	275	567.7	0.42	0.21	1.55	0.15
転炉スラグ	1000	536.6	0.41	0.20	1.47	0.14
SEM		62.9	0.06	0.02	0.29	0.01

表 2 土壌改良材の表面散布が土壌の化学性に及ぼす影響

1 番草収穫後

	施用量 (kg/10a)	pH(H <sub>2</sub> O)	pH(KCl)	Y1	mg/100g				
					CaO	K <sub>2</sub> O	MgO	Na <sub>2</sub> O	
0-5cm	無処理区	0	5.5 <sup>B</sup>	4.5 <sup>B</sup>	1.7	339.3	27.4 <sup>B</sup>	106.1 <sup>B</sup>	5.3 <sup>B</sup>
	苦土石灰	200	5.9 <sup>AB</sup>	5.0 <sup>A</sup>	0.7	555.4	32.0 <sup>B</sup>	136.7 <sup>AB</sup>	5.6 <sup>B</sup>
	炭化鶏糞	489	6.1 <sup>A</sup>	4.9 <sup>AB</sup>	0.9	429.7	151.0 <sup>A</sup>	189.1 <sup>A</sup>	18.0 <sup>A</sup>
	転炉スラグ	275	5.7 <sup>AB</sup>	4.6 <sup>B</sup>	1.4	405.7	30.1 <sup>B</sup>	108.6 <sup>B</sup>	5.4 <sup>B</sup>
	転炉スラグ	1000	5.5 <sup>B</sup>	4.6 <sup>B</sup>	1.5	495.4	28.8 <sup>B</sup>	103.8 <sup>B</sup>	5.3 <sup>B</sup>
	SEM		0.2	0.2	0.4	80.9	20.8	16.4	1.5
5-15cm	無処理区	0	5.4	4.6	2.2	283.5	15.5 <sup>B</sup>	48.8	3.6 <sup>B</sup>
	苦土石灰	200	5.6	4.5	2.2	294.6	16.4 <sup>B</sup>	52.5	4.0 <sup>B</sup>
	炭化鶏糞	489	5.7	4.4	2.1	262.9	68.4 <sup>A</sup>	52.7	9.1 <sup>A</sup>
	転炉スラグ	275	5.6	4.6	2.1	289.9	15.2 <sup>B</sup>	47.8	3.6 <sup>B</sup>
	転炉スラグ	1000	5.4	4.6	2.7	256.3	16.1 <sup>B</sup>	43.7	4.1 <sup>B</sup>
	SEM		0.1	0.1	1.6	62.3	11.1	8.4	0.5

3 番草収穫後

	施用量 (kg/10a)	pH(H <sub>2</sub> O)	pH(KCl)	Y1	mg/100g				
					CaO	K <sub>2</sub> O	MgO	Na <sub>2</sub> O	
0-5cm	無処理区	0	5.2	4.4	2.5	289.5	28.6 <sup>B</sup>	82.6	3.9
	苦土石灰	200	5.6	4.9	1.4	491.7	21.4 <sup>B</sup>	131.9	4.0
	炭化鶏糞	489	5.6	4.6	1.3	331.6	96.7 <sup>A</sup>	129.1	8.1
	転炉スラグ	275	5.3	4.5	2.0	333.9	25.2 <sup>B</sup>	82.7	3.5
	転炉スラグ	1000	5.4	4.7	1.4	489.7	22.7 <sup>B</sup>	84.3	3.1
	SEM		0.2	0.2	0.4	85.2	17.1	26.8	1.7
5-15cm	無処理区	0	5.2	4.4	2.8	235.9	9.3 <sup>B</sup>	42.1	4.5 <sup>AB</sup>
	苦土石灰	200	5.4	4.5	2.2	263.5	9.9 <sup>B</sup>	52.9	3.6 <sup>AB</sup>
	炭化鶏糞	489	5.4	4.4	3.3	232.5	45.9 <sup>A</sup>	48.6	5.3 <sup>A</sup>
	転炉スラグ	275	5.3	4.5	2.6	250.4	9.1 <sup>B</sup>	45.6	2.4 <sup>B</sup>
	転炉スラグ	1000	5.3	4.4	3.5	252.6	9.5 <sup>B</sup>	42.4	2.8 <sup>AB</sup>
	SEM		0.1	0.1	1.6	42.1	6.8	8.4	0.9

同列異符号間に有意差あり AB  $P < 0.05$

(2) 炭酸カルシウムの施用量が土壌の化学性および飼料中の無機物含量に及ぼす影響の検討  
炭酸カルシウムの表面散布では、牧草の乾物収量に有意な差は無かった(表 3)。300kg 区は、牧草中の Ca, Mg, および P 含量が無処理区および 100kg

区より有意に高かった( $P < 0.05$ , 表 3)。300kg 区の 0-5cm の土壌の CaO 含量は無処理区より有意に高く、K<sub>2</sub>O 含量は有意に低かった( $P < 0.05$ , 表 4)。5-15cm の土壌の化学性は、炭酸カルシウム散布区は無処理区と比較して、有意な差は無かった(表 4)。

表 3 非アロフェン質黒ボク土における炭酸カルシウムの表面散布が牧草の収量および無機物含量に及ぼす影響

	乾物収量 (kg/10a)	Ca	Mg	K	Al	P
		(%)				
無処理区	360.1	0.34 <sup>B</sup>	0.18 <sup>B</sup>	1.96 <sup>a</sup>	0.023	0.30 <sup>B</sup>
100kg区	387.5	0.40 <sup>B</sup>	0.18 <sup>B</sup>	1.75	0.009	0.33 <sup>B</sup>
300kg区	370.5	0.62 <sup>A</sup>	0.28 <sup>A</sup>	1.47 <sup>b</sup>	0.013	0.45 <sup>A</sup>
SEM	37.1	0.05	0.02	0.17	0.014	0.01

同列異符号間に有意差あり AB  $P < 0.05$ , 傾向あり ab  $P < 0.1$

表 4 非アロフェン質黒ボク土における炭酸カルシウムの表面散布が土壌の化学性に及ぼす影響

	pH(KCl)	y1	(mg/100g)					
			CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
0-5cm	無処理区	4.70 <sup>B</sup>	3.44 <sup>B</sup>	737.4 <sup>B</sup>	118.8	76.9 <sup>A</sup>	13.6	23.2
	100kg区	4.85 <sup>A</sup>	2.52 <sup>AB</sup>	922.0 <sup>AB</sup>	141.0	66.1 <sup>A</sup>	8.6	25.0
	300kg区	4.98 <sup>A</sup>	2.21 <sup>A</sup>	1092.2 <sup>A</sup>	141.2	34.2 <sup>B</sup>	10.2	26.6
	SEM	0.05	0.31	76.3	12.9	9.9	3.2	5.3
5-15cm	無処理区	4.85	2.46	591.9	81.0	17.6	4.6	6.6
	100kg区	4.91	2.35	755.7	91.6	19.3	6.7 <sup>A</sup>	6.0
	300kg区	4.92	2.77	673.4	84.9	17.8	4.0 <sup>B</sup>	5.3
	SEM	0.09	0.3173	115.1	13.6	1.3	0.9	0.6

同列異符号間に有意差あり AB  $P < 0.05$

2. 草地更新時の炭酸カルシウムおよび転炉スラグの散布が非アロフェン質黒ボク土における土壌の化学性および飼料中の無機物含量に及ぼす影響の検討

C 牧野の転炉スラグ 5.3 区は 1 番草および合計収量が対照区より高い傾向があり、転炉スラグ 5.0 区は合計収量が対照区より高い傾向があった ( $P < 0.1$ , 表 5). A 採草地の牧草中の無機物含量は、1 番草では Ca 含量において転炉スラグ 5.3 区が無処理区および炭酸カルシウム 4.8 区より高い傾向にあり ( $P < 0.1$ )、3 番草では Ca 含量において転炉スラグ 5.3 区が無処理区、炭酸カルシウム区、および転炉スラグ 4.8 区より有意に高かった ( $P < 0.05$ , 表 6). B 牧野の牧草中の無機物含量は、2 番草では Ca 含量において転炉スラグ 5.3 区が無処理区および炭酸カルシウム区より有意に高かった ( $P < 0.05$ , 表 6). Mg 含量は、転炉スラグ 5.0 区が炭酸カルシウム 4.8 区より有意に低く ( $P < 0.05$ )、炭酸カルシウム 5.3 区より低い傾向があった ( $P < 0.1$ , 表 6). C 牧野の牧草中の無機物含量は、1 番草では Ca 含量において転炉スラグ 5.3 区は無処理区および炭酸カルシウム 4.8 区より高い傾向があり ( $P < 0.1$ )、転炉スラグ 5.0 区は無処理区より有意に高く ( $P < 0.05$ )、炭酸カルシウム 4.8、および 5.3 区より高い傾向があった ( $P < 0.1$ , 表 5). Mg 含量は、転炉スラグ 5.0 及び 5.3 区は炭酸カルシウム 4.8 区および 5.3 区より有意に低く、転炉スラグ 4.8 区はすべての炭酸カルシウム区より有意に低かった ( $P < 0.05$ , 表 6). P 含量は、転炉スラグ 5.3 区が、無処理区より高い傾向があった ( $P < 0.1$ , 表 6). 2 番草では、Ca 含量において転炉スラグ 5.3 区が無処理区および炭酸カルシウム 4.8 区より有意に高く ( $P < 0.05$ )、炭酸カルシウム 5.3 区より高い傾向があった ( $P < 0.1$ , 表 6). Mg 含量においては、転炉スラグ 4.8 区は、転炉スラグ 5.3 区およびすべての炭酸カルシウム区より有意に低かった ( $P < 0.05$ , 表 6). 炭酸カルシウム 5.3 区は無処理区より有意に高く ( $P < 0.05$ )、炭酸カルシウム 4.8 区および 5.0 区は高い傾向があった ( $P < 0.1$ , 表 6). 3 番草では、Ca 含量において転炉スラグ 5.3 区は無処理区、炭酸カルシウム 4.8 区、および 5.3 区より有意に高く、転炉スラグ 5.0 区は炭酸カルシウム 4.8

区より有意に高かった ( $P < 0.05$ , 表 6). Mg 含量は、転炉スラグ 4.8 区および 5.0 区が、すべての炭酸カルシウム区より有意に低かった ( $P < 0.05$ , 表 6). y1 においては、A 牧野では、1 番草収穫後は転炉スラグ 5.3 区が無処理区および炭酸カルシウム 4.8 区より有意に低く ( $P < 0.05$ )、転炉スラグ 5.0 区は無処理区より有意に低かった ( $P < 0.05$ , 表 7). 3 番草収穫後は、すべての転炉スラグ区、炭酸カルシウム 5.0 区、および 5.3 区が無処理区より有意に低かった ( $P < 0.05$ , 表 7). B 牧野では、1 番草収穫後はすべての処理区が無処理区より有意に低く、3 番草収穫後は転炉スラグ 5.3 区が無処理区より有意に低かった ( $P < 0.05$ , 表 7). C 牧野では、1 番草および 3 番草収穫後はすべての転炉スラグ区、炭酸カルシウム 5.0 区、および 5.3 区が無処理区より有意に低くあった ( $P < 0.05$ , 表 7). 3 番草収穫後の転炉スラグ 5.0 区および 5.3 区は炭酸カルシウム 4.8 区より有意に低かった ( $P < 0.05$ , 表 8). 土壌中の交換性塩基含量においては、A 牧野の 1 番草収穫後では、CaO 含量は、転炉スラグ 5.3 区が無処理区、炭酸カルシウム区、および転炉スラグ 4.8 区より有意に高く、転炉スラグ 5.0 区は無処理区より有意に高かった ( $P < 0.05$ , 表 8). 3 番草収穫後では、CaO 含量は、転炉スラグ 5.3 区はその他の区より有意に高かった ( $P < 0.05$ , 表 8). 転炉スラグ 5.0 区は、無処理区および炭酸カルシウム 4.8 区より有意に高く ( $P < 0.05$ )、炭酸カルシウム 5.0 区および転炉スラグ 4.8 区より高い傾向があった ( $P < 0.1$ , 表 8). 転炉スラグ 4.8 区は、炭酸カルシウム 5.3 区より有意に低かった ( $P < 0.05$ , 表 8). 3 番草収穫後の有効態リン酸含量は、転炉スラグ 5.3 区が無処理区、炭酸カルシウム区、および転炉スラグ 4.8 区より有意に高かった ( $P < 0.05$ , 表 8). B 牧野の 1 番草収穫後では、CaO 含量は、転炉スラグ 5.3 区が無処理区、炭酸カルシウム 4.8 区、および 5.0 区より有意に高く ( $P < 0.05$ )、転炉スラグ 5.0 区は無処理区より高い傾向があった ( $P < 0.1$ , 表 8). 3 番草収穫後では、転炉スラグ 5.3 区は無処理区、炭酸カルシウム区、および転炉スラグ 4.8 区より有意に高く ( $P < 0.05$ )、転炉スラグ 5.0 区は無処理区、炭酸カルシウム 4.8 区、および 5.0 区より

有意に高かった ( $P < 0.05$ , 表 8). 転炉スラグ 4.8 区は無処理区および炭酸カルシウム 4.8 区より有意に高く ( $P < 0.05$ ), 炭酸カルシウム 5.0 区より高い傾向があった ( $P < 0.1$ , 表 8). MgO 含量は, 1 番草収穫後では, 転炉スラグ 5.0 区および 5.3 区が炭酸カルシウム 5.3 区より有意に低く ( $P < 0.05$ ), 転炉スラグ 4.8 区は低い傾向があった ( $P < 0.1$ , 表 8). 3 番草収穫後は転炉スラグ区は, 炭酸カルシウム 5.3 区より有意に低かった ( $P < 0.05$ , 表 8). 転炉スラグ 4.8 区は無処理区より高い傾向があった ( $P < 0.1$ , 表 8). C 牧野の 1 番草収穫後では, CaO 含量は転炉スラグ 5.0 区, 5.3 区, および炭酸カルシウム 5.0 区が無処理区より有意に高かった ( $P < 0.05$ , 表 8). 3 番草収穫後では, 転炉スラグ 5.3 区は無処理区, 炭酸カルシウム区, 転炉スラグ 4.8 区より有意に高か

った ( $P < 0.05$ , 表 8). 転炉スラグ 5.0 区は無処理区および炭酸カルシウム 4.8 区より有意に高く ( $P < 0.05$ ), 炭酸カルシウム 5.0 区および 5.3 区より高い傾向があった ( $P < 0.1$ , 表 8). MgO 含量は, 転炉スラグ 4.8 区は炭酸カルシウム 5.3 区より有意に低かった ( $P < 0.05$ , 表 8). 3 番草収穫後の有効態リン酸含量は転炉スラグ 5.3 区が無処理区より有意に高かった ( $P < 0.05$ , 表 8). 3 牧野の土壌の仮比重を 0.5 に補正した時の炭酸カルシウムおよび転炉スラグの散布量と pH(KCl) の上昇値との間には有意な相関が認められ ( $P < 0.01$ ), 決定係数は, 炭酸カルシウムが 0.77, 転炉スラグが 0.85 であった. pH(KCl) を 0.1 上昇させるための施用量および経費は, 炭酸カルシウムが 168kg/10a および 4,002 円/10a, 転炉スラグが 888kg/10a および 3,835 円/10a であった.

表 5 草地更新時における非アロフェン質黒ボク土への炭酸カルシウムおよび転炉スラグの散布が牧草の収量に及ぼす影響

試験場所	試験区	設定pH	乾物収量(kg/10a)			合計収量
		(KCl)	1番草	2番草	3番草	
A	無処理区		436.9	460.5	352.9	1250.3
		4.8	476.5	443.7	315.9	1236.1
	炭カル	5	382.7	463.4	365.6	1211.7
		5.3	475.2	469.8	375.7	1320.7
		4.8	402.4	440.2	356.9	1199.4
	転炉スラグ	5	463.4	506.1	399.8	1369.2
		5.3	482.5	570.2	405.3	1458.0
	SEM		68.0	63.4	39.2	101.1
	無処理区		339.3	262.9	-	602.2
		4.8	414.0	267.8	-	681.8
B	炭カル	5	331.0	246.9	-	577.9
		5.3	357.9	257.4	-	615.3
		4.8	316.7	292.7	-	609.4
	転炉スラグ	5	345.9	276.4	-	622.3
		5.3	373.8	281.3	-	655.1
	SEM		37.7	26.9	-	45.2
C	無処理区		355.3 <sup>b</sup>	197.7	101.7	654.6 <sup>b</sup>
		4.8	417.5	210.2	140.2	767.9
	炭カル	5	416.1	220.3	177.5	813.8
		5.3	413.3	198.5	145.4	757.3
		4.8	422.0	245.3	160.5	827.9
	転炉スラグ	5	452.7	244.3	177.8	874.8 <sup>a</sup>
		5.3	469.1 <sup>a</sup>	257.0	165.7	891.8 <sup>a</sup>
	SEM		33.4	38.9	25.7	72.2

同列異符号間に傾向あり ab  $P < 0.1$

表 6 草地更新時における非アロフェン質土壌への炭酸カルシウムおよび  
転炉スラグの散布が牧草中の無機物含量に及ぼす影響 (単位：%)

試験場所	試験区	設定pH (KCl)	1番草				2番草				3番草				
			Ca	Mg	K	P	Ca	Mg	K	P	Ca	Mg	K	P	
A	無処理区		0.46 <sup>b</sup>	0.27	2.12	0.34	0.41	0.22	1.37	0.24	0.40 <sup>B</sup>	0.26	1.30	0.30	
	炭カル	4.8	0.43 <sup>b</sup>	0.27	2.27	0.34	0.40	0.24	1.39	0.23	0.41 <sup>B</sup>	0.27	1.45	0.29	
		5	0.48	0.29	1.81	0.33	0.40	0.25	1.28	0.23	0.40 <sup>B</sup>	0.27	1.31	0.31	
		5.3	0.47	0.27	2.44	0.32	0.44	0.23	1.44	0.24	0.44 <sup>B</sup>	0.25	1.30	0.29	
	転炉 スラグ	4.8	0.47	0.26	2.21	0.35	0.39	0.19	1.49	0.24	0.41 <sup>B</sup>	0.24	1.26	0.30	
		5	0.52	0.25	2.17	0.36	0.45	0.23	1.32	0.27	0.47	0.25	1.20	0.29	
		5.3	0.57 <sup>a</sup>	0.24	2.07	0.37	0.45	0.20	1.24	0.27	0.55 <sup>A</sup>	0.25	1.23	0.29	
	SEM		0.04	0.02	0.24	0.02	0.03	0.02	0.15	0.02	0.03	0.02	0.12	0.02	
	B	無処理区		0.31	0.23	2.96	0.29	0.35 <sup>B</sup>	0.27	3.13 <sup>a</sup>	0.28	-	-	-	-
		炭カル	4.8	0.29	0.25	2.58	0.30	0.38 <sup>B</sup>	0.31 <sup>A</sup>	2.47 <sup>b</sup>	0.28	-	-	-	-
5			0.30	0.25	2.95	0.32	0.37 <sup>B</sup>	0.29	2.45 <sup>b</sup>	0.26	-	-	-	-	
5.3			0.30	0.24	2.97	0.29	0.38 <sup>B</sup>	0.30 <sup>a</sup>	2.62	0.25	-	-	-	-	
転炉 ス ラグ		4.8	0.33	0.22	2.70	0.31	0.40	0.28	2.63	0.29	-	-	-	-	
		5	0.32	0.21	2.71	0.28	0.39	0.24 <sup>Bb</sup>	2.67	0.25	-	-	-	-	
		5.3	0.34	0.22	2.74	0.30	0.46 <sup>A</sup>	0.28	2.56	0.28	-	-	-	-	
SEM			0.02	0.02	0.21	0.02	0.02	0.02	0.21	0.02	-	-	-	-	
C		無処理区		0.31 <sup>Bc</sup>	0.17 <sup>C</sup>	2.37	0.27 <sup>b</sup>	0.37 <sup>B</sup>	0.20 <sup>BCb</sup>	2.76	0.29	0.38 <sup>BC</sup>	0.21 <sup>B</sup>	2.72	0.35
		炭カル	4.8	0.32 <sup>c</sup>	0.25 <sup>A</sup>	2.86	0.31	0.38 <sup>B</sup>	0.29 <sup>ABa</sup>	2.88	0.36	0.36 <sup>C</sup>	0.30 <sup>A</sup>	2.78	0.39
	5		0.37	0.23 <sup>AB</sup>	2.68	0.30	0.43	0.29 <sup>ABa</sup>	2.83	0.39	0.44 <sup>AC</sup>	0.30 <sup>A</sup>	2.54	0.39	
	5.3		0.32 <sup>bc</sup>	0.25 <sup>A</sup>	2.71	0.28	0.39 <sup>b</sup>	0.30 <sup>A</sup>	2.88	0.37	0.39 <sup>BC</sup>	0.30 <sup>A</sup>	2.88	0.35	
	転炉 ス ラグ	4.8	0.34	0.18 <sup>C</sup>	2.75	0.29	0.37	0.19 <sup>C</sup>	2.42	0.29	0.42 <sup>AC</sup>	0.22 <sup>B</sup>	2.81	0.37	
		5	0.42 <sup>Aa</sup>	0.20 <sup>BC</sup>	2.52	0.30	0.50	0.27 <sup>AC</sup>	1.99	0.40	0.48 <sup>AB</sup>	0.24 <sup>B</sup>	2.55	0.38	
		5.3	0.41 <sup>ab</sup>	0.19 <sup>BC</sup>	2.55	0.32 <sup>a</sup>	0.54 <sup>Aa</sup>	0.28 <sup>AB</sup>	2.42	0.40	0.52 <sup>A</sup>	0.25 <sup>AB</sup>	2.55	0.39	
	SEM		0.03	0.01	0.31	0.02	0.05	0.03	0.35	0.04	0.03	0.02	0.37	0.03	

同列異符号間に有意差あり ABC  $P < 0.05$ , 傾向あり abc  $P < 0.1$

表 7 草地更新時における非アロフェン質土壌への炭酸カルシウムおよび  
転炉スラグの散布後の土壌 pH および y1

試験場所	試験区	設定 pH(KCl)	1番草後			3番草後			
			pH(KCl)	pH(H <sub>2</sub> O)	y1	pH(KCl)	pH(H <sub>2</sub> O)	y1	
A	無処理区		4.60	5.59	3.94 <sup>A</sup>	4.64	5.60	3.98 <sup>A</sup>	
	炭カル	4.8	4.76	5.70	3.21 <sup>AB</sup>	4.87	5.76	2.42 <sup>AB</sup>	
		5	4.90	5.84	2.50 <sup>AC</sup>	5.02	5.93	2.13 <sup>B</sup>	
		5.3	5.02	5.96	2.50 <sup>AC</sup>	5.32	6.16	1.29 <sup>B</sup>	
	転炉 スラグ	4.8	4.77	5.80	2.81 <sup>AC</sup>	4.94	5.80	1.79 <sup>B</sup>	
		5	5.15	5.99	2.25 <sup>BC</sup>	5.39	6.23	1.63 <sup>B</sup>	
		5.3	5.48	6.29	1.65 <sup>C</sup>	5.91	6.59	0.60 <sup>B</sup>	
	SEM		0.12	0.09	0.45	0.10	0.11	0.54	
	B	無処理区		4.85	5.86	3.23 <sup>A</sup>	4.82	5.92	2.33 <sup>A</sup>
		炭カル	4.8	4.96	5.89	1.60 <sup>B</sup>	5.02	6.10	1.48 <sup>AB</sup>
5			5.04	5.99	1.75 <sup>B</sup>	5.05	5.98	1.13 <sup>AB</sup>	
5.3			5.27	6.17	1.38 <sup>B</sup>	5.43	6.36	0.90 <sup>AB</sup>	
転炉 スラグ		4.8	5.05	5.97	1.42 <sup>B</sup>	5.24	6.21	0.81 <sup>AB</sup>	
		5	5.11	6.07	1.25 <sup>B</sup>	5.36	6.33	1.02 <sup>AB</sup>	
		5.3	5.36	6.22	1.17 <sup>B</sup>	5.51	6.45	0.60 <sup>B</sup>	
SEM			0.10	0.06	0.35	0.06	0.07	0.33	
C		無処理区		4.41	5.28	6.65 <sup>A</sup>	4.50	5.46	7.10 <sup>A</sup>
		炭カル	4.8	4.89	5.79	4.06 <sup>AB</sup>	4.84	5.78	4.85 <sup>AB</sup>
	5		5.16	5.95	2.13 <sup>B</sup>	5.02	5.99	1.81 <sup>BC</sup>	
	5.3		4.92	5.93	2.69 <sup>B</sup>	5.18	6.10	1.92 <sup>BC</sup>	
	転炉 スラグ	4.8	5.08	5.90	2.17 <sup>B</sup>	5.10	5.83	2.23 <sup>BC</sup>	
		5	5.27	6.16	1.50 <sup>B</sup>	5.46	6.20	1.08 <sup>C</sup>	
		5.3	5.25	6.07	1.31 <sup>B</sup>	5.75	6.51	1.04 <sup>C</sup>	
	SEM		0.13	0.08	0.86	0.21	0.22	1.09	

同列異符号間に有意差あり ABC  $P < 0.05$

表 8 草地更新時における非アロフェン質土壌への炭酸カルシウムおよび転炉スラグの散布が土壌中の化学性に及ぼす影響 (単位：mg/100g)

試験場所	試験区	設定 pH(KCl)	1番草後					3番草後				
			交換性塩基				有効リン酸	交換性塩基				有効態リン酸
			CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O		CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	
A	無処理		522.6 <sup>C</sup>	84.3	47.0	10.0	7.9	409.9 <sup>D</sup>	37.5	11.8	6.9	6.3 <sup>B</sup>
	炭カル	4.8	616.4 <sup>BC</sup>	103.8	42.4	9.3	8.0	456.9 <sup>BC</sup>	43.5	15.4	6.9	6.0 <sup>B</sup>
		5	724.8 <sup>BC</sup>	153.5	42.6	8.6	9.0	553.2 <sup>BDbc</sup>	70.2	10.8	6.2	6.5 <sup>B</sup>
		5.3	923.7 <sup>BC</sup>	127.9	41.4	7.6	7.0	821.1 <sup>BCa</sup>	65.4	12.5	6.1	5.7 <sup>B</sup>
	転炉スラグ	4.8	658.2 <sup>BC</sup>	83.1	42.7	9.2	8.5	564.5 <sup>BDbc</sup>	36.6	10.8	6.9	7.5 <sup>B</sup>
		5	1149.2 <sup>AB</sup>	113.6	44.4	8.3	8.6	948.5 <sup>Ba</sup>	56.4	11.2	6.2	9.0
		5.3	1744.3 <sup>A</sup>	128.9	35.9	7.2	9.7	1394.4 <sup>A</sup>	65.2	7.9	6.4	14.0 <sup>A</sup>
SEM		180.7	26.6	6.7	1.8	1.7	116.3	12.4	2.7	0.8		
B	無処理		889.6 <sup>Bc</sup>	162.3 <sup>B</sup>	43.9	14.6	11.0	578.6 <sup>D</sup>	61.1 <sup>Cb</sup>	13.9	7.1	6.0
	炭カル	4.8	918.7 <sup>Bbc</sup>	170.4 <sup>B</sup>	42.6	11.1	11.5	601.5 <sup>D</sup>	75.5 <sup>BC</sup>	11.0	6.8	6.5
		5	985.8 <sup>B</sup>	200.8	34.3	7.6	10.9	611.0 <sup>Cdb</sup>	77.9 <sup>B</sup>	13.1	6.3	6.3
		5.3	1271.2 <sup>a</sup>	245.3 <sup>Aa</sup>	43.1	8.2	10.6	827.0 <sup>BCa</sup>	106.5 <sup>A</sup>	11.0	6.2	5.4
	転炉スラグ	4.8	1120.5	191.0 <sup>b</sup>	31.7	7.9	12.8	828.3 <sup>BCa</sup>	76.6 <sup>BCa</sup>	9.6	6.3	9.5
		5	1241.4 <sup>ab</sup>	182.0 <sup>B</sup>	31.1	5.1	9.5	960.6 <sup>AB</sup>	75.0 <sup>BC</sup>	11.1	6.4	7.9
		5.3	1457.8 <sup>A</sup>	176.9 <sup>B</sup>	30.4	5.5	11.4	1059.7 <sup>A</sup>	74.3 <sup>BC</sup>	10.0	6.5	7.6
SEM		111.8	16.2	7.3	3.2	1.5	64.6	4.9	1.7	0.3	1.8	
C	無処理		117.0 <sup>B</sup>	20.8 <sup>D</sup>	50.3	7.6	8.6	155.6 <sup>C</sup>	14.3 <sup>Bb</sup>	21.5	6.8	5.9 <sup>B</sup>
	炭カル	4.8	531.5	145.1 <sup>A</sup>	55.6	8.1	13.4	331.3 <sup>C</sup>	51.9 <sup>ABa</sup>	20.6	6.2	11.4
		5	1136.9 <sup>A</sup>	101.8 <sup>AC</sup>	57.2	7.8	10.9	544.7 <sup>BCb</sup>	51.0 <sup>ABa</sup>	18.6	6.9	10.5
		5.3	508.1	129.1 <sup>AB</sup>	49.1	6.5	12.5	532.2 <sup>BCb</sup>	68.2 <sup>A</sup>	19.9	8.1	9.8
	転炉スラグ	4.8	819.1	48.1 <sup>CD</sup>	53.3	8.5	15.6	580.1 <sup>BC</sup>	21.7 <sup>B</sup>	18.1	5.8	9.2
		5	1287.1 <sup>A</sup>	64.1 <sup>CD</sup>	39.6	7.3	9.9	988.3 <sup>ABa</sup>	32.3 <sup>AB</sup>	15.0	6.7	10.0
		5.3	1308.7 <sup>A</sup>	69.7 <sup>BCD</sup>	45.8	7.3	15.8	1246.8 <sup>A</sup>	38.8 <sup>AB</sup>	13.6	5.7	14.9 <sup>A</sup>
SEM		323.3	18.4	7.5	1.5	2.6	146.2	12.0	3.7	1.3	2.5	

同列異符号間に有意差あり ABCD  $P < 0.05$ , 傾向あり abc  $P < 0.1$

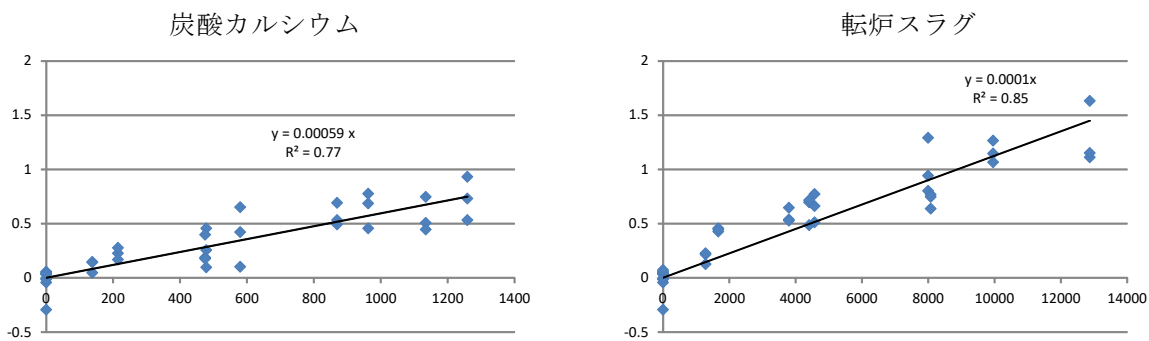


図 1 炭酸カルシウムおよび転炉スラグの散布量と pH(KCl) 上昇値との相関  
散布量は仮比重 0.5 としたときの散布量に補正したもの

表 9 炭酸カルシウムおよび転炉スラグの pH(KCl) を 0.1 上昇させるための施用量と経費

	施用量 (kg/10a)	経費 (円/10a)
炭酸カルシウム	168	4,002
転炉スラグ	888	3,835

### 考 察

1. 土壤改良材の表面散布による土壤酸性矯正効果の検討
  - (1) 各種土壤改良材の表面散布効果の検討

土壤改良材の表面散布では、苦土石灰の散布により 1 番草収穫後の土壤表層の pH(KCl) は有意に上昇したが、牧草の収量に影響は認められなかった。pH(KCl) が 4.5 程度の草地では、酸性改良は牧草の収量に影響しないと考えられた。転炉スラグについて

ては、アルカリ分に基づいて散布したことから、散布量が少ないことや溶出が遅いことなどから pH に影響しなかったと考えられた。いずれの土壤改良材の散布でも、5 ~ 15cm の土壤の pH に影響は認められず、表層散布では下層の酸性改良効果は得られないことが明らかとなった。炭化鶏糞の散布により、土壤中の K<sub>2</sub>O、MgO および Na<sub>2</sub>O 含量が有意に高くなった。炭化鶏糞は無機物含量が高く、散布量が多かったことが影響したと考えられた。

#### (2) 炭酸カルシウムの施用量が土壤の化学性および飼料中の無機物含量に及ぼす影響の検討

炭酸カルシウムの散布量の増加により、pH (KCl) は有意に上昇した。また、交換性アルミニウムを主体とする土壤中の酸性物質の量を示す交換酸度 y1 も低下したが、牧草の収量に影響はなかった。非アロフェン質黒ボク土でも、pH (KCl) が 4.7 程度の土壤では、酸性改良が牧草の収量に影響しないと考えられた。また、下層の pH に影響はなく、炭酸カルシウム表面散布も下層の酸性改良効果は得られないことが明らかとなった。土壤中の CaO 含量が増加し、K<sub>2</sub>O 含量は低下した。また、牧草中の Ca、Mg、および P 含量は増加し、K 含量は低下した。Ca、Mg、および P と K の間には拮抗作用があり、炭酸カルシウムの表面散布により土壤表層の CaO が増加し、K<sub>2</sub>O 含量が減少することにより、牧草中の無機物組成も変化したものと考えられた。

#### 2. 草地更新時の炭酸カルシウムおよび転炉スラグの散布が非アロフェン質黒ボク土における土壤の化学性および飼料中の無機物含量に及ぼす影響の検討

C 牧野では、転炉スラグ散布により牧草の収量が増加する傾向が認められた。C 牧野は pH が低く、y1 も高いことから、酸性化が進んでいる非アロフェン質黒ボク土では、転炉スラグによる酸性改良により牧草の収量性が高まることが示唆された。転炉スラグ散布区では、設定 pH (KCl) より実際の pH (KCl) が高くなった。pH 緩衝曲線を作成するために用いた農研機構の手法<sup>7)</sup>は、粉状の転炉スラグを用いた手法であり、本研究で用いた 5mm 以下の転炉スラグは粉状の転炉スラグより溶解性が低く、pH の上

昇が遅かったためであると考えられた。

牧草中の Ca 含量は転炉スラグの散布量が多いほど高くなる傾向があり、土壤中の CaO 含量についても同様であった。牧草中の Mg 含量は転炉スラグ散布区で炭酸カルシウム散布区より低く、土壤中の MgO 含量についても同様の傾向であった。転炉スラグの施用では、マグネシウムが不足することが報告されており、本研究で用いた転炉スラグでも同様の結果となったと考えられる<sup>8)</sup>。本研究の結果は、施用後 1 年の短期間の結果であり、今後長期的な影響を調査する必要がある。

## 文 献

- 1) Saigusa M, Matsuyama M, Honna T, Abe T. 1991. Chemistry and fertility of acid andisols with special reference to subsoil acidity; in plant soil interactions at low pH, ed. R. J. Wright and V.C. Baligar, 73-80, Kluwer Academic Publishers.
- 2) 三枝正彦, 松山信彦, 阿部篤郎. 1993. 東北地方におけるアロフェン質黒ボク土と非アロフェン質黒ボク土の分布. 日本土壤肥料学雑誌, 64, 4, 423-430
- 3) 久保寺秀夫, 増田泰久, 小路敦. 2009. 久庄高原に見られる非アロフェン質およびアロフェン質十層の累積した黒ぼく土断面、ペドロジスト, 53, 11-20
- 4) 久保寺秀夫, 草場敬, 島武男, 猪部徹, 影井雅夫. 2015. 久住高原から阿蘇外輪山北方における非アロフェン質の黒ボク土表層の特性. 日本土壤肥料学雑誌. 86,1,17-23
- 5) 後藤逸男. 1987. 鉄鋼スラグの農業利用に関する研究, 東京農業大学博士論文
- 6) 村上圭一, 篠田英史, 丸田里江, 後藤逸男. 2004. 転炉スラグによるブロッコリー根こぶ病の防除対策. 日本土壤肥料学雑誌, 75, 1, 53-58
- 7) 伊藤豊彰. 1997. 選択溶解法による可溶性鉄・アルミニウム・ケイ素. 土壤環境分析法編集委員会編 土壤環境分析法, 288-297



- 8) 転炉スラグによる土壌 pH 矯正を核とした土壌伝染性フザリウム病の被害軽減技術，2015，農研機構