

鹿児島県内サトウキビ畑の土壤酸性化の実態と陽イオン交換容量に基づいた酸度矯正対策

餅田利之・井上健一*¹・橋口健一郎*²・脇門英美

要 約

鹿児島県産サトウキビの単収維持・向上を支える土づくりを推進する観点から、サトウキビ畑土壤酸性化の実態を解析すると同時に、酸度矯正に要する石灰質肥料の施用量を簡易に把握する方法を検討した。その結果、種子島の黒ボク土畑では約7割、徳之島の赤黄色土畑では8割を超える圃場で土壤 pH (H₂O) が土壤診断基準値を下回り、交換性カルシウム含量も少なかった。このことから、これらの地域では酸度矯正の必要な圃場が多いことが明らかとなった。そこで、圃場の中和石灰量を簡易に把握し効率的かつ効果的な酸度矯正を産地で実践してもらうため、土壤 pH と陽イオン交換容量から推定する中和石灰量の早見表を黒ボク土と赤黄色土で作成した。また、赤黄色土の早見表については、徳之島以外の奄美地域でも適応可能であることを確認した。なお、陽イオン交換容量の把握は、過去の土層改良事業等のデータを参考にすることが可能であり、ここでは地域別の具体例を提示した。

キーワード：サトウキビ，中和石灰量，土壤酸性化，早見表，陽イオン交換容量

緒 言

サトウキビは、種子島や奄美群島の鹿児島県南部島しょ地域において主要な基幹作物である。2017年度のサトウキビの農業産出額は、県全体では作目別で上位10位、総産出額の2.1%にとどまるものの¹³⁾、種子島内および奄美群島内ではそれぞれ15%、30%と肉用牛に次いで高い割合を占めている。また、主要品目の栽培面積に占めるサトウキビの割合も種子島、奄美群島でそれぞれ、31%、57%と最も高い^{10)・15)}。

しかし、近年、サトウキビの生産は年次間差も大きく不安定で、低単収や低糖度が問題になっている。サトウキビの単収について新植、株出、夏植など全作型の5か年移動平均で解析すると、奄美群島では過去30年間で収量が低下傾向を示し、近年の単収は30年前に比べ15 Mg ha⁻¹程度少なくなっている(図1)。また、種子島では2007年前後から低下し続け、2013年以降は60 Mg ha⁻¹を下回っている(図2)ことから、サトウキビの単収回復及び生産安定は喫緊の課題である¹⁴⁾。この原因については、台風や干ばつなどの気象条件、病害虫の発生、労働力不足による栽培管理の不徹底、機械化による土壤物理性の悪化など複合的な要因が考えられ、現在も継続し

て要因解析が行われている。同時に、生産安定に向けた作業受委託や品種の育成等の検討もなされている。

県内サトウキビ畑における土壤理化学性については、ここ数年、種子島畑土壤の酸性化^{21)・5)}、徳之島における次層ち密度の経年変化²⁰⁾、奄美地域における畑土壤の可給態リン酸不足やケイ酸供給の必要性⁶⁾等の指摘がある。ここでは、早急なサトウキビの単収回復やそれを支える効果的な土づくりを推進する観点から、サトウキビ畑土壤酸性化の実態を解析すると同時に、酸度矯正に要する石灰質肥料の施用量を簡易に把握する方法を検討したので報告する。

試験材料および方法

1 供試土壤

供試土壤は、鹿児島県熊毛支庁(種子島)及び大島支庁徳之島事務所管内で実施する県営畑地帯総合整備事業(土層改良事業)の対象地区(以下、調査地区と記す)内のサトウキビ栽培圃場から採取した(図3～5)。整備前の表層0～20cmの土壤を複数か所(5か所以上)から採取し、風乾後2mmで篩別し分析に供した。

2 調査地区、調査圃場数

調査地区は、種子島が西之表市4地区、中種子町1地区の計5地区、徳之島が天城町4地区、徳之島町7地区、伊仙町3地区の計14地区とした。また、調査数は種子島が2012～2017年の6年間で927圃場、徳之島が2010

(連絡先) 生産環境部

*1 北薩地域振興局出水市駐在

*2 農業大学校農学部

～ 2015 年の 6 年間で 1,500 圃場であった (表 1)。

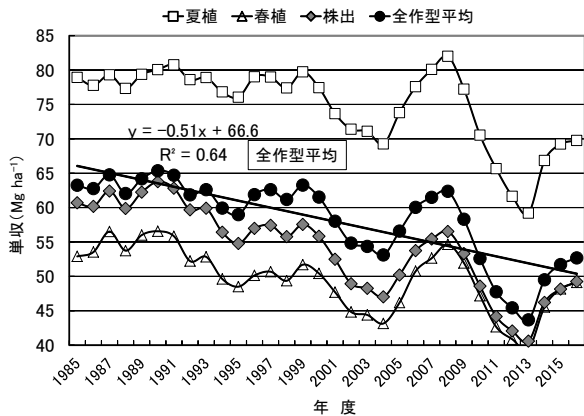


図 1 奄美地域における作型別サトウキビ 5 年移動平均単収の推移

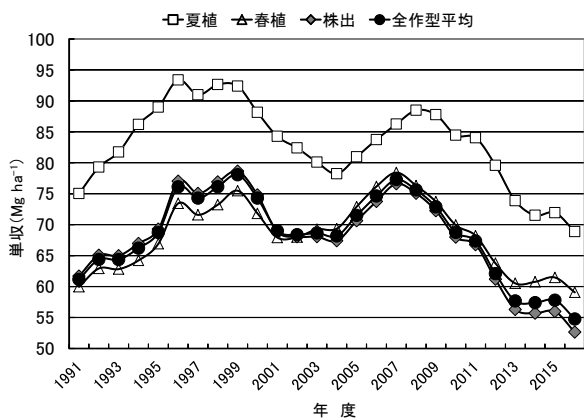


図 2 種子島における作型別サトウキビ 5 年移動平均単収の推移

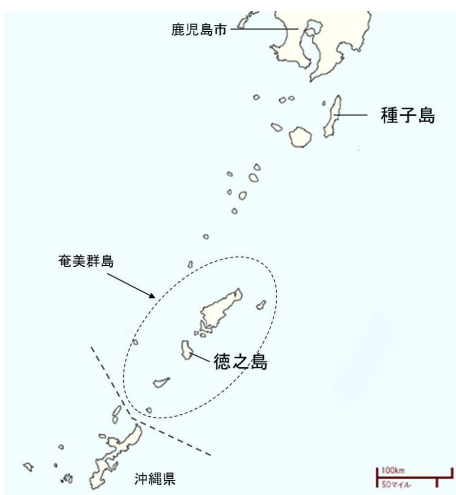


図 3 種子島および徳之島の位置

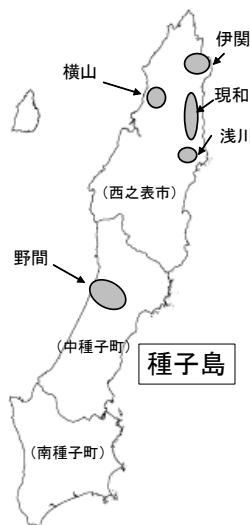


図 4 調査地点 (種子島)

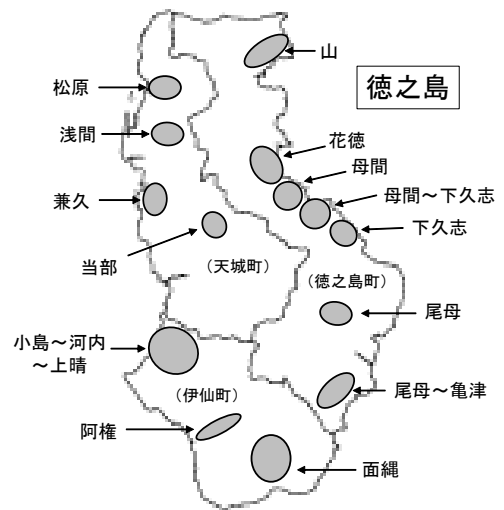


図 5 調査地点 (徳之島)

3 土壌化学性の分析

土壌 pH (H₂O) はガラス電極法により測定した (東亜ディーケーケー, HM-25R および HORIBA, F-22)。土壌中の交換性塩基類は Schollenberger 法で交換・抽出したものを原子吸光法 (パーキンエルマー, PinAAcle700 および日立ハイテクサイエンス, ZA5310) で定量した。陽イオン交換容量 (以下, CEC と記す) は交換・抽出した NH₄⁺を蒸留法で定量した。可給態リン酸はトルオーグ法で抽出し, 分光光度計 (島津製作所, UV-1700 および日立ハイテクサイエンス, U-1500) で定量した²³⁾。

4 中和石灰量の算出

サトウキビ畑における土壌 pH (H₂O) の診断基準下限値は 6.0¹²⁾ であることから, 土壌 pH (H₂O) が 6.0 に満たない圃場 (種子島 n=638, 徳之島 n=450) について, 炭酸カルシウム添加一通気法を用い緩衝曲線を作成し, 中和石灰量を算出する回帰式を求めた^{24, 27)}。50 ml 容ポリ瓶に秤量した風乾土 10 g に対して, 炭酸カルシウム (以下, 炭カルと記す) 0, 10, 25, 50, 75, 100 mg を添加し, 水 25 ml を加え, よく混ぜてから室温で 24 時間静置した。その後 5 時間振とうし, 細口のガラス管を通じてエアポンプにより毎分 2L の割合で 2 分間空気を吹き込みしばらく静置後, pH を測定した。緩衝曲線から求めた回帰式を用いて, 炭カル添加量と測定した pH から土壌 pH (H₂O) が 6.0 となる乾土 1 kg 当たりの炭カル量を試算した。圃場への施用量を算出する仮比重は, 調査初年度の平均値を用い, 種子島 0.86, 徳之島 1.00 とした。なお, 施用量は, 生産者が改良を希望する土層の厚さやロータリ耕の深さなどに対応しやすいよう, 土壌の深さ 10 cm 当たりの炭カル量 Mg ha⁻¹ とした。

5 中和石灰量早見表の作成

中和石灰量の算出に供した土壤を島別(土壤タイプ別)および CEC の範囲別に分類した。つまり、種子島(黒ボク土)は CEC が $10 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 未満, 10 以上 15 未満, 15 以上 20 未満, 20 以上 25 未満, 25 以上 30 未満, $30 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上の 6 つに、徳之島(赤黄色土)は、 $5 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 未満, 5 以上 10 未満, 10 以上 15 未満, 15 以上 20 未満, $20 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上の 5 つに分類した。次いで、CEC の範囲別に、土壤の pH (H₂O) と pH6.0 へ矯正するために必要な中和石灰量 ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) の回帰式を作成した。この回帰式から、測定した土壤 pH (H₂O) の値 4.0 から 5.8 まで、0.1 ごとに中和石灰量を算出した。この中和石灰量を推定する方法は、宮丸ら¹⁸⁾の手法に準じた。また、中和石灰量は小数第 2 位を四捨五入して早見表に記した。なお、種子島の土壤について、CEC が $10 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 未満では黒ボク土ではない可能性が高く、 $30 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上の土壤については決定係数が 0.32 と予測精度が低いことから表から除外した。

結 果

1 調査地区の土壤分類及び地質

調査地区の農耕地土壤分類および地質について表 1 に示す。なお、土壤分類は農耕地土壤図¹¹⁾の県土壤統から第 3 次改訂版に読み替えを行った^{8), 22)}。

種子島は全畑土壤の 9 割以上が黒ボク土に分類されることから、調査地区内もほぼ黒ボク土が分布した。西之表市東部および中種子町野間地区では腐植質普通黒ボク土非埋没腐植質が分布し、西之表市横山地区では典型淡色黒ボク土非埋没腐植質が分布した。

一方、徳之島には島内に様々な種類の土壤が分布している。特に伊仙町の 3 地区は石灰岩由来の普通暗赤色土が分布した。天城町、徳之島町は全般に黄色土が広く分布し、北部では赤色土が分布した。ただし、現地での観察では天城町の北部に位置する松原、浅間、当部地区、徳之島町の花徳地区など、花崗岩風化土(山砂)の客土が広範囲で行われていた。特に花徳地区では山砂を客土している圃場が多く、農耕地土壤図上に表記されている黄色土や粘土質の圃場は基盤整備地区内では比較的少なかった。徳之島町の下久志、尾母地区は頁岩や粘板岩(緑石岩類)風化土とされる粘質の土壤が分布していた⁹⁾。

2 土壤化学性

表 2 に種子島および徳之島におけるサトウキビ畑の土壤化学性を示す。なお、徳之島の土壤は石灰岩由来とそれ以外の土壤では特性が大きく異なるため、赤黄色土と暗赤色土に分けた。

種子島では約 7 割の圃場で土壤 pH (H₂O) が土壤診断基準値(以下、基準値と記す)を下回り、9 割の圃場で交換性カルシウム含量が基準値を下回った。

徳之島の赤黄色土では、約 8 割の圃場で土壤 pH (H₂O) が基準値を下回り、約 8 割の圃場で交換性カルシウム含量が基準値を下回った。一方、暗赤色土は土壤 pH (H₂O)、交換性カルシウム含量ともに、基準値を下回った圃場は 1 割以下であった。

CEC の平均値は種子島の黒ボク土壌が 21.6、徳之島の赤黄色土、暗赤色土がそれぞれ 11.5、14.5 $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ で、種子島が徳之島に比べて高かった。

可給態リン酸含量は、種子島では基準値を下回る圃場 1 割未満に対し、徳之島の圃場では赤黄色土で約 7 割、暗赤色土で約 9 割の圃場が基準値を下回った。また、徳之島の暗赤色土は交換性カリウム含量も基準値を下回る圃場が 8 割超と多かった。

以上のことから、種子島の黒ボク土、および徳之島の赤黄色土では低 pH (H₂O) でカルシウム不足の圃場が多く、酸度矯正の必要な圃場が多いことが明らかとなった。

3 中和石灰量の緩衝曲線および炭カルの施用量

図 6 に種子島、徳之島のそれぞれ 2 地区各 1 圃場における炭酸カルシウム添加一通気法による緩衝曲線を示す。炭カル添加量と土壤 pH (H₂O) の関係を二次式で表すと高い相関が得られた。また、他の圃場においても同様の傾向であった(データ省略)。このことから、今回、中和石灰量の測定を行った全ての土壤サンプルについては緩衝曲線を二次の回帰式とし、中和石灰量はその回帰式を用いて試算した。

表 3 に島別の中和石灰量(施用量)の特性値(最大値、平均値、最小値)を示す。最大値は種子島が 9.16、徳之島の赤黄色土が 7.56 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 、平均値は種子島が 3.46、徳之島が 2.19 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ で、全般に種子島の中和石灰量が徳之島の赤黄色土に比べて多い傾向であった。

4 CEC 範囲別の土壤 pH と中和石灰量との関係

CEC 範囲別に分類した土壤 pH (H₂O) と中和石灰量との関係について、種子島は図 7 に、徳之島の赤黄色土は図 8 に示す。なお、島別に全サンプルの土壤 pH (H₂O) と中和石灰量の散布図を示す。中和石灰量の測定に供したサンプル数は、種子島が $20 \leq \text{CEC} < 25 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、徳之島(赤黄色土)が $10 \leq \text{CEC} < 15 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ の範囲が最も多く、表 1 で示した各島ごとの調査数の CEC 平均値もこの範囲内であった。種子島、徳之島(赤黄色土)ともに CEC が高いほど一次回帰式の負の傾きが大きく中和石灰量が多くなった。回帰式の決定係数について、

表 1 調査地区，調査数，農耕地土壌分類および地質

市町名	調査数	調査地区		農耕地土壌分類 (第 3 次改訂版)	地質，母材 (鹿児島県地質図より抜粋) 主に火山放出物 (火山灰)
		地区名	(県事業地区名)		
西之表市	150	浅川	浅川	主に腐植質普通黒ボク土非埋没腐植質	"
	114	現和	西京南		
	369	伊閑	伊閑		
	77	横山	横山		
中種子町	217	野間	野間東部，西部他	主に腐植質普通黒ボク土非埋没腐植質	"
種子島計	927				
天城町	16	松原	天北松原	山地黄色土細粒質強粘質	砂岩 (一部花崗岩)
	79	浅間	第一，二浅間	山地黄色土細粒質強粘質	砂岩，砂礫層
	61	兼久	天南兼久	普通暗赤色土	石灰岩
	80	当部	第二当部	山地黄色土細粒質強粘質	花崗岩
徳之島町	100	山	山	普通赤色土細粒質強粘質	花崗岩，砂岩・頁岩
	156	花徳	第一花徳	山地黄色土細粒質粘質	花崗岩，砂礫層
	20	母間	第四母間	山地黄色土細粒質粘質	緑色岩類
	186	母間～下久志	第一母志	山地黄色土細粒質強粘質	緑色岩類，砂礫層，頁岩
	85	下久志	第二下久志	普通赤色土細粒質強粘質	砂礫層，頁岩
	110	尾母	第二尾母	山地黄色土細粒質強粘質	頁岩，緑色岩類
93	尾母～魚津	第一南亀	普通褐色低地土礫質壤土または砂質	石灰岩，緑色岩類	
伊仙町	199	小島・河内・上晴	小島河地上晴	普通暗赤色土	石灰岩
	58	阿権	第二阿権	普通暗赤色土	石灰岩
	257	面縄	第一，二面縄	普通暗赤色土	石灰岩
徳之島計	1500				

表 2 種子島および徳之島におけるサトウキビ畑の土壌化学性

島名 (圃場数)	項目	pH (H ₂ O)	CEC (cmol _c kg ⁻¹)	塩基				可給態リン酸 (mg kg ⁻¹)
				Ca 飽和度 (%)	Mg	K		
種子島 (n=927)	平均値	5.48	21.6	42	28	7	6	178
	基準値 (火山灰土)	6.0~6.5	15~35	70~85	60~65	8~15	2~5	50~500
	基準値未滿割合	69%	—	82%	90%	61%	5%	8%
徳之島 赤黄色土 (n=986)	平均値	5.32	11.5	65	43	18	4	80
	基準値 (非火山灰土)	6.0~6.5	5~20	72~90	60~70	10~15	2~5	100~500
	基準値未滿割合	81%	—	66%	79%	33%	23%	73%
徳之島 暗赤色土 (n=514)	平均値	7.08	14.5	158	142	14	2	50
	基準値 (石灰質土)	6.0~6.5	15~35	65~85	55~65	8~15	2~5	100~500
	基準値未滿割合	9%	—	8%	8%	25%	83%	87%

注 1) 基準値；鹿児島県土壌管理指針 (2014) による土壌診断基準値 (サトウキビの項)

注 2) 可給態リン酸：トルオーグ法

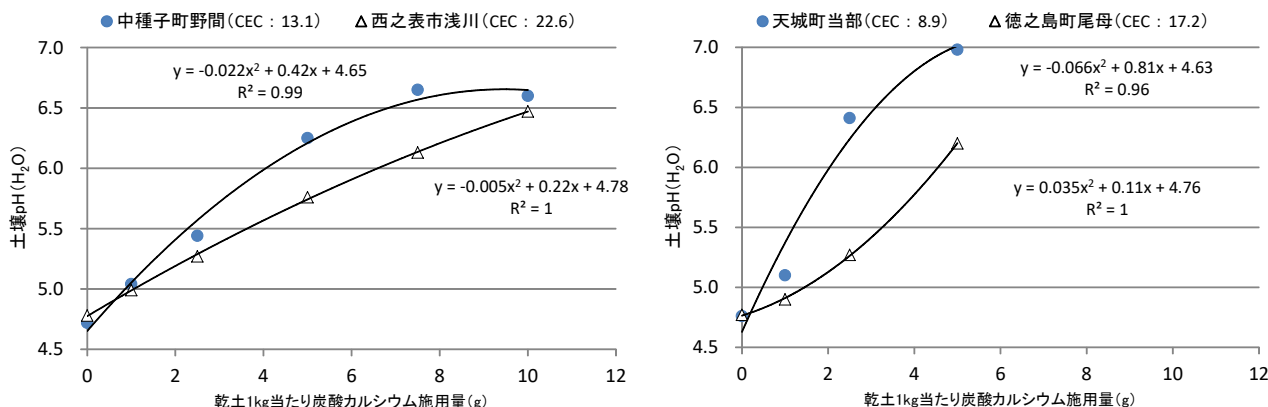


図 6 炭酸カルシウム添加一通気法 (中和石灰量測定) による緩衝曲線 (左：種子島，右：徳之島)

注 1) CEC 単位：cmol_c kg⁻¹ (乾土)

表 3 島別中和石灰量（施用量）の特性値

特性値	種子島 (n=638)	徳之島・赤黄色土 (n=450)
最大値	9.16	7.56
平均値	3.46	2.19
最小値	0.02	0.05

注 1) 炭カル量 Mg ha^{-1} ，深さ 10 cm

種子島はサンプル全体では 0.65 ， $10 \leq \text{CEC} < 15$ の範囲では 0.56 ， 30 以上で 0.32 であったが，それ以外の範囲では 0.7 を超えた。また，徳之島の赤黄色土はサンプル全体での相関を除き，いずれの範囲も決定係数は 0.6 を超え，CEC が 5 未満および 20 以上の場合は， 0.98 ， 0.87 と高かった。

同じ CEC の範囲で，中和石灰量を種子島の黒ボク土と徳之島の赤黄色土と比較した場合， $10 \leq \text{CEC} < 15$ の範囲では徳之島の赤黄色土が一回帰式の負の傾きが大きく中和石灰量が多いが， $15 \leq \text{CEC} < 20$ では逆に種子島の黒ボク土が多くなった。

5 島別（土壌タイプ別）および CEC 範囲別中和石灰量早見表

土壌 pH (H₂O) と中和石灰量の関係から，島別（土壌タイプ別）および CEC 範囲別の中和石灰量早見表を作成した（表 4）。

この表から，種子島の平均的な黒ボク土畑 ($20 \leq \text{CEC} < 25 \text{ cmol. kg}^{-1}$) および徳之島の平均的な赤黄色土 ($10 \leq \text{CEC} < 15 \text{ cmol. kg}^{-1}$) を比較すると，土壌 pH (H₂O) が同じ場合， 6.0 に矯正する中和石灰量は種子島の黒ボク土が徳之島の赤黄色土に比べてより多かった。例えば，土壌 pH (H₂O) が 4.0 の場合，中和石灰量（炭酸カルシウム量）は種子島，徳之島それぞれ 7.5 ， 5.2 Mg ha^{-1} （深さ 10cm ）必要で種子島が 2.3 Mg ha^{-1} 多く，同様に土壌 pH (H₂O) が 5.0 の場合，中和石灰量はそれぞれ 3.8 ， 2.3 Mg ha^{-1} で種子島が 1.5 Mg ha^{-1} 多かった。

一方，土壌の pH (H₂O) および CEC 値が種子島，徳之島（赤黄色土）の双方で同じでも，CEC 値の大小によって中和石灰量が異なる場合があった。例えば，種子島，徳之島ともに土壌 pH (H₂O) が 5.0 ，CEC が $10 \leq \text{CEC} < 15 \text{ cmol. kg}^{-1}$ の場合，中和石灰量は種子島が 2.1 ，徳之島が 2.3 Mg ha^{-1} と徳之島のほうが種子島に比べて 0.2 Mg ha^{-1} 多くなるのに対し，CEC が $15 \leq \text{CEC} < 20 \text{ cmol. kg}^{-1}$ の場合は種子島が 3.5 ，徳之島が 2.5 Mg ha^{-1} と，種子島が 1.0 Mg ha^{-1} 多い結果となった。

考 察

1 土壌 pH とサトウキビの生育・収量について

土壌 pH とサトウキビの生育および収量について，宮里¹⁹⁾はサトウキビの根の生育に適する土壌酸度について，酸性よりも中性からアルカリ性の土壌を好み，酸性土壌では根の生育が阻害され，収量・品質が低下すると報告している。また，久場¹⁷⁾は pH (H₂O) 3.8 の強酸性土壌にも関わらず高収量を得た事例があるものの，造成畑では pH を 5.5 まで上げると明らかに増収することを報告している。さらに，山口ら²⁰⁾は南大東島の畑土壌では pH 以外の分析項目とサトウキビとの生育に相関はないが，土壌 pH と仮茎長および茎数に正の相関があり，酸度矯正が収量増に寄与すると報告している。これらのことから，土壌管理の面でサトウキビの収量増を図るには，第一に酸性土壌の改良を推進することが重要であると考える。

土づくりとしての堆肥施用は単収向上や生産安定に効果的であるが，特に奄美地域では堆肥の生産量が少なく価格も高いことから，地域全体への堆肥利用促進は難しい。産地では新植時に 20 Mg ha^{-1} の堆肥施用を推奨しているが，大島支庁の報告¹⁶⁾から，耕地 1 ha 当たりの散布可能量はその 10 分の 1 を下回ると試算される（表 5）。また，後藤ら³⁾は，サトウキビの茎葉（ハカマ）を原料とした堆肥を 50 Mg ha^{-1} 以上， 7 年の連用するとサトウキビの単収は増加傾向を示すが，土壌 pH を維持することはできないことを報告している。このことから，有機物の施用のみでは土壌酸度の適正化につながらないため，さらなる増収を図るには，定期的な土壌診断による酸度矯正に取り組む必要がある。

2 中和石灰量の算出

サトウキビ畑における中和石灰量の算出にあたっては簡易に把握できること，具体的には土壌 pH (H₂O) の測定値から判断可能であることを目標とした。この理由として，①自治体や JA 等の土壌分析センター，普及機関による土壌分析では，中和石灰量の分析・測定がほとんど実施されていないこと，②土壌分析項目の中では pH (H₂O) の測定は比較的容易で，その頻度も高く，簡易な測定器具の普及により生産者自らも測定が可能であること，などが挙げられる。

土壌 pH (H₂O) と中和石灰量（目標 pH6.0）の全データを，土壌タイプ別に散布図へプロットした場合，その回帰式から土壌 pH (H₂O) を元にした中和石灰量の推定はある程度可能であるが，その量が多い場合はその誤差が大きくなる（図 7，8「全体」）。今井ら⁴⁾は酸度矯正資材施用量の算出法の一つに，腐植含量と CEC を考慮したオランダの方法を紹介している。同時に土壌 pH

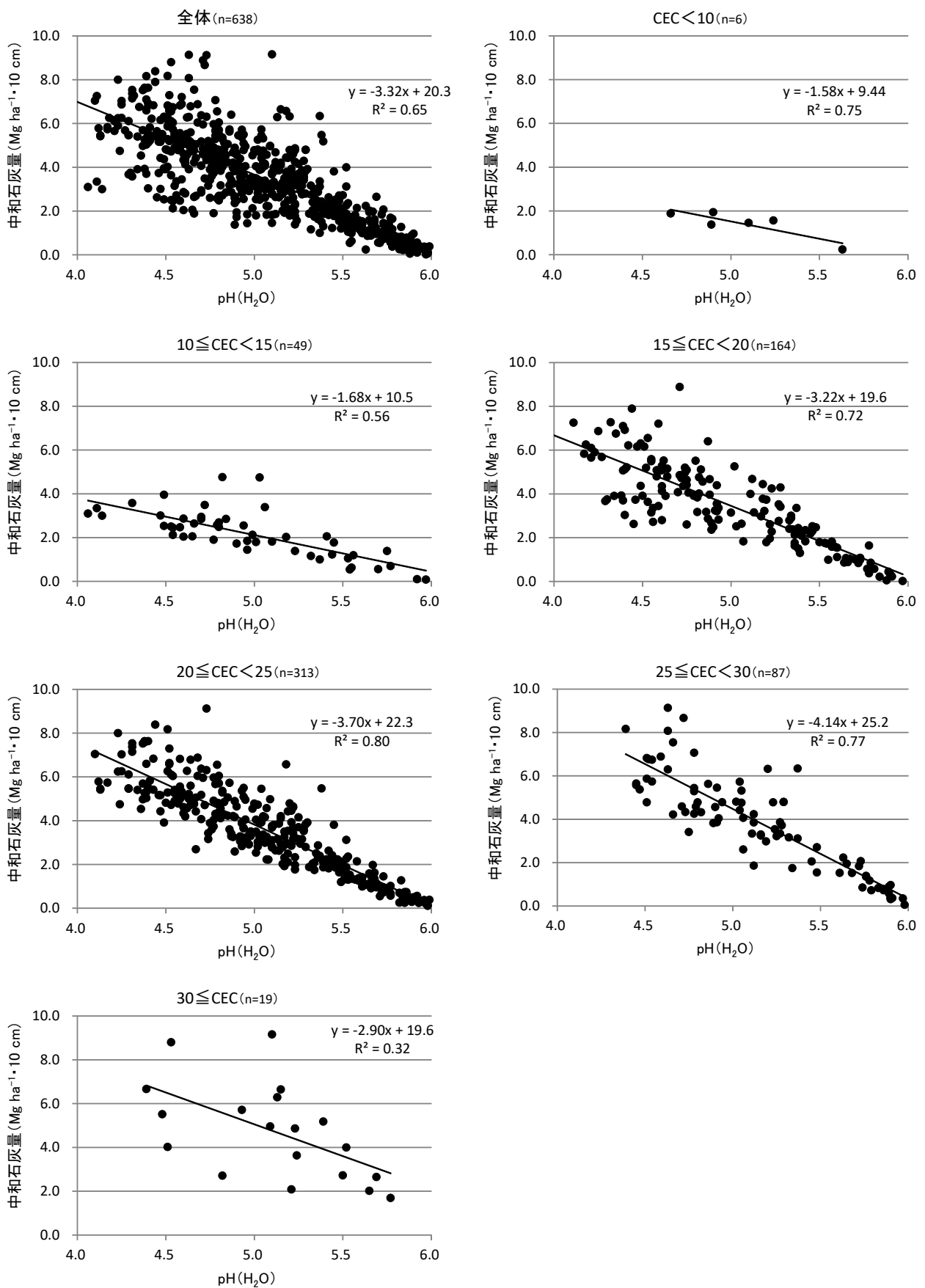


図 7 種子島 (黒ボク土) における CEC 範囲別の土壌 pH (H₂O) と中和石灰量との関係

注 1) 中和石灰量は pH6.0 に矯正する炭カル量を示す

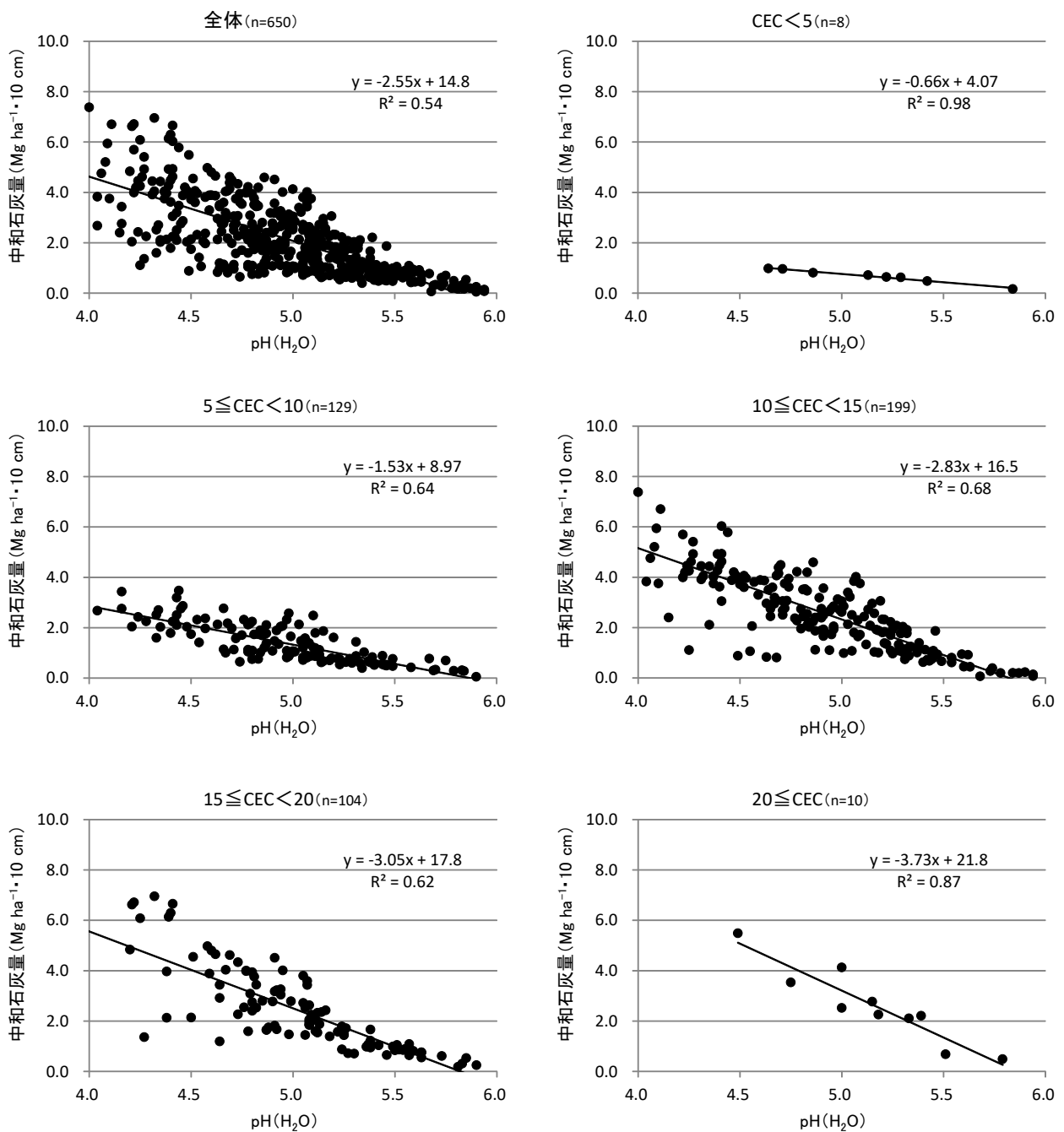


図8 徳之島（赤黄色土）における CEC 範囲別の土壤 pH (H₂O) と中和石灰量との関係

注1) 中和石灰量は pH6.0 に矯正する炭カル量を示す

表 4 島別および CEC 範囲別中和石灰量早見表 (炭カル量 $Mgha^{-1}$, 深さ 10cm)

対象地域 → CEC 原土pH	種子島 (黒ボク土)				徳之島 (赤黄色土)				
	$10 \leq x < 15$	$15 \leq x < 20$	$20 \leq x < 25$	$25 \leq x < 30$	$x < 5$	$5 \leq x < 10$	$10 \leq x < 15$	$15 \leq x < 20$	$20 \leq x$
4.0	3.8	6.7	7.5	8.6	1.4	2.9	5.2	5.6	6.9
4.1	3.6	6.4	7.2	8.2	1.4	2.7	4.9	5.3	6.6
4.2	3.5	6.0	6.8	7.8	1.3	2.6	4.6	4.9	6.2
4.3	3.3	5.7	6.4	7.4	1.2	2.4	4.3	4.6	5.8
4.4	3.1	5.4	6.0	7.0	1.2	2.2	4.0	4.3	5.4
4.5	3.0	5.1	5.7	6.5	1.1	2.1	3.7	4.0	5.1
4.6	2.8	4.7	5.3	6.1	1.0	1.9	3.5	3.7	4.7
4.7	2.6	4.4	4.9	5.7	1.0	1.8	3.2	3.4	4.3
4.8	2.5	4.1	4.6	5.3	0.9	1.6	2.9	3.1	4.0
4.9	2.3	3.8	4.2	4.9	0.8	1.5	2.6	2.8	3.6
5.0	2.1	3.5	3.8	4.5	0.8	1.3	2.3	2.5	3.2
5.1	1.9	3.1	3.4	4.1	0.7	1.2	2.0	2.2	2.8
5.2	1.8	2.8	3.1	3.6	0.6	1.0	1.8	1.9	2.5
5.3	1.6	2.5	2.7	3.2	0.6	0.9	1.5	1.6	2.1
5.4	1.4	2.2	2.3	2.8	0.5	0.7	1.2	1.3	1.7
5.5	1.3	1.8	2.0	2.4	0.4	0.6	0.9	1.0	1.3
5.6	1.1	1.5	1.6	2.0	0.4	0.4	0.6	0.7	1.0
5.7	0.9	1.2	1.2	1.6	0.3	0.3	0.3	0.4	0.6
5.8	0.8	0.9	0.9	1.2	—	—	—	—	—

注 1) 太線枠 (太字) は各地域全調査地点の平均値が入る範囲

注 2) 表中の x は CEC。CEC 単位 : $cmol. kg^{-1}$

表 5 奄美群島の堆肥センターで 1 年間に生産される堆肥生産量

	耕地面積 (ha)	堆肥生産量 (Mg)	単位面積あたり 生産量 ($Mg ha^{-1}$)
奄美大島	2,180	5,700	2.61
喜界島	2,250	574	0.26
徳之島	6,890	14,500	2.10
沖永良部	4,480	8,166	1.82
与論島	1,110	300	0.27
計	16,910	29,240	1.73

注 1) 奄美農林業の動向 (鹿児島県大島支庁奄美群島農政推進協議会, 2011 年度) より引用

を用いたこれらの推定方法は、粘土鉱物種が異なる土壌や異なる地域の土壌への適応には限界があることを指摘している。また、千葉ら¹⁾は、炭カル添加による pH の上昇は腐植含量で差がみられることを指摘している。これらのことは、中和石灰量の多少が土壌の緩衝能に関与していることを示唆している。そこで、黒ボク土と赤黄色土の調査で得られた CEC 値を考慮した中和石灰量の算出法を検討した。その結果、CEC の範囲別にデータをプロットすると相関が高まり、中和石灰量の誤差が小さくなることから、より精度の高い中和石灰量の提案が可能となった (図 7, 8)。

ただし、種子島の黒ボク土で CEC が $30 cmol. kg^{-1}$ を超える土壌では、土壌 pH と中和石灰量との相関が低いことから早見表へは記載しなかった。また、CEC が $10 cmol. kg^{-1}$ 未満の場合、採取された土壌サンプル数が少ないことや、CEC が低く黒ボクの混入割合が低いかもしれないか、是非黒ボク土の可能性もあることから、こちらも早見表から除外した。

3 従来の中和石灰量簡易推定方法との比較

酸性土壌を改良する際、中和石灰量を簡易に判断する方法として、アレニウス氏表を用いて土壌 pH、土性および腐植含量から炭カル量を推定する方法がよく知られており、本県の土壌管理指針の中でも記述している¹²⁾。アレニウス氏表は幅広く様々なタイプの土壌に対応したツールであるが、サトウキビの場合、①土壌の種類に関わらず、本県の改良目標 pH は 6.0 であること (アレニウス氏表の目標 pH は 6.5)、②サトウキビ栽培圃場の土壌の種類が必ずしも複雑でないこと (黒ボク土、赤黄色土、暗赤色土が主な土壌)、③土層改良事業に伴う土壌調査など、サトウキビ畑に関する土壌化学性の分析値が蓄積していること、④アレニウス氏表が指標項目としている土性や腐植程度の判断は、「壤土」や「富む」などの表現であり、既知の CEC 値を用いた方がより客観的であること、などの相違点がある。そこで、サトウキビ

畑土壌を対象とし、従来の中和石灰量簡易推定方法に比べより精度の高い中和石灰量早見表を作成することとした。

4 暗赤色土および徳之島赤黄色土以外の奄美群島の土壌における早見表の適応性

暗赤色土は、母材が石灰岩でカルシウムを多く含んでいることから土壌 pH が高い圃場が多く、酸度矯正が必要な圃場が少なかった（暗赤色土の全調査圃場 514 のうち 29 圃場、5.6 %）。そのため、赤黄色土と同等の手法で中和石灰量の算出はできなかった。そこで、29 圃場

のサンプルについて、炭酸カルシウム添加一通気法の緩衝曲線から求めた値（目標 pH6.0）と赤黄色土の回帰式に暗赤色土のデータを代入して得られた値を比較し（図 9 左）、赤黄色土の早見表が暗赤色土にも適応可能か検討した。赤黄色土の回帰式で得られた値は緩衝曲線法に比べて 2 割程度少ないものの、決定係数が 0.73 で比較的高いと考えられる。暗赤色土に対する赤黄色土早見表の適応については、若干の過小評価に留意する必要があるものの、資材施用量に大きな誤差は生じさせないと考えられることから適応可能と判断する。なお、参考ま

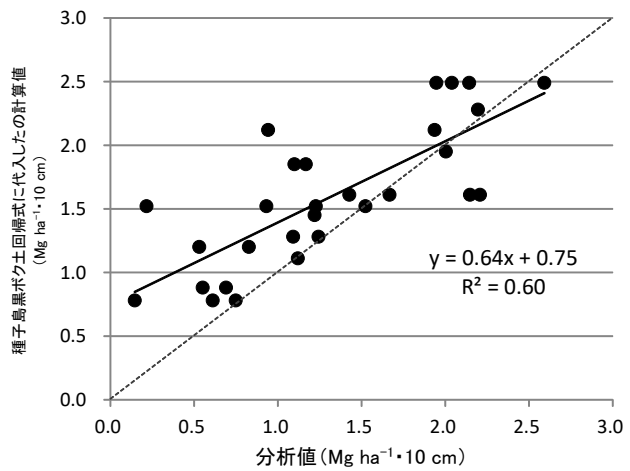
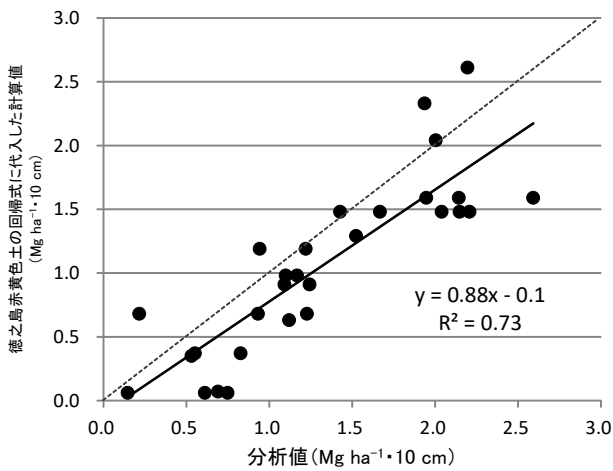


図 9 徳之島暗赤色土の中和石灰量分析値および回帰式からの中和石灰量計算値との関係

注 1) 左図の Y 軸は徳之島赤黄色土の CEC 別回帰式に、右図の Y 軸は種子島黒ボク土の CEC 別回帰式に、それぞれ暗赤色土 29 点のデータを代入して算出した値

注 2) 図中の破線は X 値 : Y 値 = 1 : 1 を示す

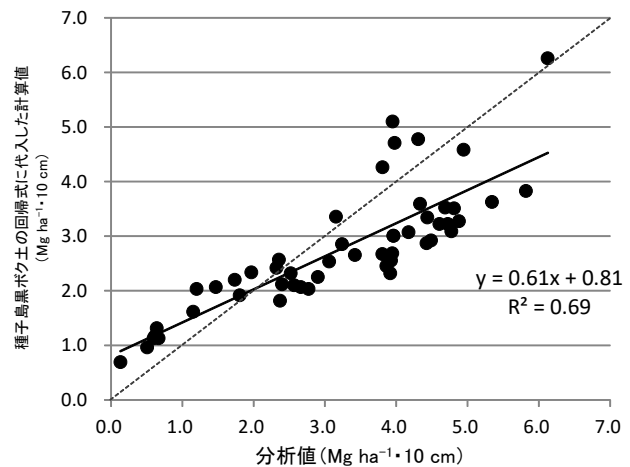
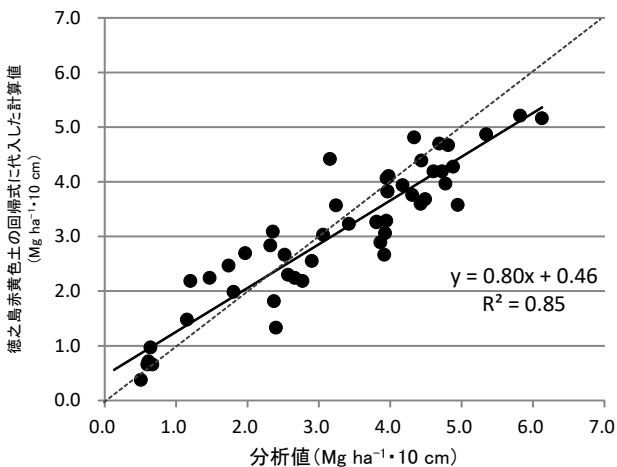


図 10 奄美大島笠利地区*の中和石灰量分析値および回帰式からの中和石灰量計算値との関係

注 1) 左図の Y 軸は徳之島赤黄色土の CEC 別回帰式に、右図の Y 軸は種子島黒ボク土の CEC 別回帰式に、それぞれ笠利地区 51 点のデータを代入して算出した値

注 2) * 調査年度：2016 年，調査機関：農業開発総合センター徳之島支場，調査地区（県事業地区名）：笠利東部 2 期地区，土壌分類：山地黄色土および普通赤色土

注 3) 図中の破線は X 値 : Y 値 = 1 : 1 を示す



図 11 奄美大島笠利地区の位置

で種子島黒ボク土の回帰式に代入した値との比較を図 9 右に示す。赤黄色土に比べて決定係数は 0.60 と相関は低く、中和石灰量が少ない場合に分析値と大きく乖離する傾向であった。

徳之島以外の奄美地域の土壌について、2016 年度に

調査した奄美大島笠利地区（図 11）の土壌分析データ（n=51）を用いて、徳之島赤黄色土早見表の適応性を検討した（図 10 左）。なお、同地区のサトウキビ畑は山地黄色土および普通赤色土が分布している。その結果、中和石灰量が多くなると緩衝曲線から求めた中和石灰量に比べて回帰式からの計算値がやや少なくなるものの、決定係数は 0.85 と比較的相関は高く、中和石灰量が 5 Mg ha⁻¹ 程度の場合でも誤差が 1 割程度であった。また、奄美地域に分布する土壌は全般に腐植含量も少なく、リン酸吸収係数もほとんどが 1,000 未満であることから、当地域に分布する赤黄色土については圃場の土壌特性が大きく異なることはないと考えられる。したがって、奄美地域全体の赤黄色土については表 4 の早見表が適応可能と判断する。なお、喜界島や徳之島に分布する泥炭岩風化土壌（ジャーガル）については、土壌調査・分析等を行っていないため、検討の対象としなかった。また、前述同様、参考までに奄美大島笠利地区のデータについて、種子島黒ボク土の回帰式に代入した値との比較を

表 6 土層改良地区別 CEC 平均値

島名	市町名	地区名	(県事業地区名)	調査圃場数	CEC平均値
種子島	西之表市	浅川	浅川	150	22.7
		現和	西京南	114	22.5
		伊関	伊関	369	22.5
		横山	横山	77	19.3
	中種子町	野間	野間東部, 西部他	217	19.7
		増田	千草原 ¹⁾	13	26.1
		坂井	南部 ¹⁾	48	16.6
南種子町	西之	西之西 ¹⁾	7	25.6	
	横峯	横峯 ¹⁾	7	16.5	
徳之島	天城町	松原	天北松原	16	8.4
		浅間	第一, 二浅間	79	10.3
		兼久	天南兼久	61	11.6
		当部	第二当部	80	9.6
	徳之島町	山	山	100	10.4
		花徳	第一花徳	156	7.0
		母間	第四母間	20	6.9
		母間～下久志	第一母志	186	13.1
		下久志	第二下久志	85	13.7
		尾母	第二尾母	110	15.7
伊仙町	尾母～亀津	第一南亀	93	13.8	
	小島・河内・上晴	小島河地上晴	199	15.6	
	阿権	第二阿権	58	13.7	
	面縄	第一, 二面縄	257	13.9	
奄美大島	奄美市	笠利	笠利東部 2 期 ²⁾	72	12.6

¹⁾旧種子島農業改良普及センター調べ(千草原および西之西地区:2001 年, 南部地区:2004 年, 横峰地区:2003 年)

²⁾農業開発総合センター徳之島支場調査 (2016 年)

注 1) CEC 単位: cmol. kg⁻¹ (乾土)

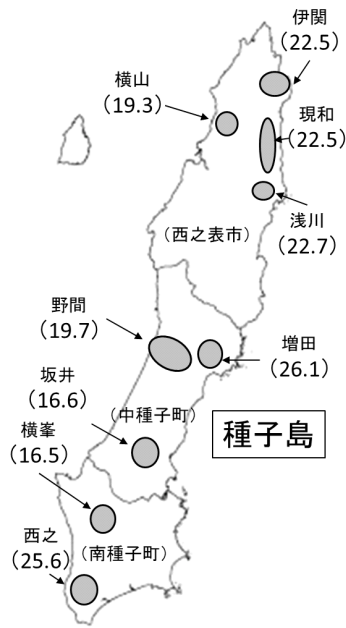


図 12 各地域の CEC 平均値 (種子島)

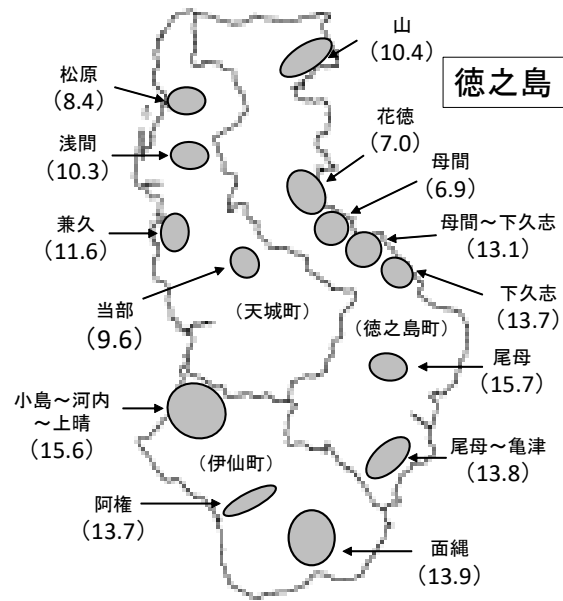


図 13 各地域の CEC 平均値 (徳之島)

図 10 右に示す。暗赤色土と同様、赤黄色土の計算値に比べて相関は低く、中和石灰量の増加に伴い誤差が大きくなる傾向であった。

5 CEC 値の把握

圃場毎に CEC を測定することが望ましいが、現実的には難しく、現場における CEC の測定実績や頻度は少ないと推察される。一方、サトウキビ栽培地帯では、これまで区画整理や基盤整備事業、それに関連する土層改良事業等が数多く実施され、その結果、同時に実施される土壤分析値も数多く蓄積している。そこで、対象とする圃場の CEC 値がない場合は、土層改良事業等のデータを活用して推定することを提案する。表 6 に土層改良事業地区別の CEC の平均値について、種子島 9 地区、徳之島 14 地区、奄美大島 1 地区を示す。対象とする圃場が土層改良地区外でも、近隣地区の分析値を活用することができる。なお、表 4 の太枠内は種子島の黒ボク土および徳之島の赤黄色土の CEC の全調査地点の平均値が入る範囲を示した。

6 酸度矯正以外の問題点

今回の土壤化学性の調査から、徳之島全般のサトウキビ圃場で可給態リン酸含量が低く、暗赤色土の大部分の圃場でカリ飽和度が基準値を下回る実態が明らかとなった。また、このことは他の奄美群島でも同様の実態であることが推察される。土壤管理の面でサトウキビの単収回復や安定生産を支えるためには、有機物やケイ酸質肥料の施用および前述の酸度矯正に加えて、特に奄美群島

では土壤中のリン酸やカリ不足への対応も重要であると考える。

謝 辞

本研究を実施するに当たり、下山かおり氏をはじめとする土壤環境研究室職員および伊藤勲氏をはじめとする徳之島支場園芸土壤研究室職員各位に多大なご協力を頂いた。また、土壤サンプル収集にあたっては、熊毛支庁農林水産部農地整備課および大島支庁徳之島事務所農村整備課職員各位にご尽力頂いた。ここに心からの感謝の意を表す。

引用文献

- 1) 千葉明・新毛晴夫 1977.炭酸カルシウム添加・通気法による中和石灰量の測定, 土肥誌 48 : 237-242
- 2) 土壤環境分析法編集委員会編 1997.土壤環境分析法, 博友社, 199-201
- 3) 後藤忍・永田茂穂 2008.亜熱帯地域の暗赤色土畑における堆肥の連用がサトウキビの収量と土壤理化学性に及ぼす影響, 土肥誌 79 : 9-16
- 4) 今井弘樹・尾形昭逸・田中明 1984.酸性土壌とその農業利用—特に熱帯における現状と将来—第 9 章酸性土壌の改良, 田中明, 博友社, 266-281
- 5) 井上健一・白尾史・西裕之・古江広治 2015.種子島の露地畑における中和石灰量の算出, 土肥誌要旨集 61 : 147

- 6) 井上健一・橋口健一郎・餅田利之・西裕之・白尾吏・古江広治 2016.鹿児島県サトウキビ栽培地域の土壌化学性の実態, 土肥誌要旨集 62 : 297
- 7) 井上健一 2017.品種特性と土壌条件を考慮したサトウキビの栽培管理法に関する研究, 学位論文, 84-90
- 8) 鹿児島県 1978.地力保全基本調査総合成績書
- 9) 鹿児島県 1990.鹿児島県地質図
- 10) 鹿児島県熊毛支庁 2019.熊毛地域の概況, 119-120
- 11) 鹿児島県農業試験場 1969.水田及び畑地土壌生産性分級図, 鹿児島県種子島地域および奄美大島地域
- 12) 鹿児島県農政部 2014.鹿児島県土壌管理指針(六訂版), 124 および 241
- 13) 鹿児島県農政部 2019.かごしまの農業, 14
- 14) 鹿児島県農政部農産園芸課 2018.さとうきび及び甘しゃ糖生産実績
- 15) 鹿児島県大島支庁 2019.奄美群島の概況, 102
- 16) 鹿児島県大島支庁奄美群島農政推進協議会 2011.奄美農林業の動向
- 17) 久場峯子 1993.沖縄の農地の実態と土壌管理—土壌化学性とサトウキビ畑における施肥管理—, ペトロジスト 37 : 126-137
- 18) 宮丸直子・大城浩照・中村英二郎・儀間靖 2013.粗砕石灰岩による低コストで持続性が高い酸性矯正技術, 土肥誌 84 : 302-306
- 19) 宮里清松 1986.サトウキビとその栽培, (社) 沖縄県糖業振興協会, 218-221
- 20) 餅田利之・橋口健一郎 2016.徳之島におけるサトウキビ栽培基盤整備ほ場のち密度の実態と経年変化, 土肥要旨集 62 : 298
- 21) 森清文・久保寺秀夫・西裕之・古江広治 2015.種子島の土地利用型作物圃場における黒ボク土の pH (H₂O) 低下要因, 土肥誌 86 : 299-302
- 22) 農耕地土壌分類委員会 1995.農耕地土壌分類—第3次改訂版—, 農業環境技術研究所資料 17 : 45-46
- 23) 農林水産省農産園芸局農産課 1979「土壌環境基礎調査における土壌, 水質および作物体分析法」
- 24) 山口典子・前田健二郎・儀間靖・與那嶺介功・吉田晃一・金城和俊・生駒泰基・具志堅篤・宮丸直子 2007.新しい土地改良に向けて(3)土壌 pH が南大東島のサトウキビ生育に及ぼす影響, 沖縄農業研究会講演要旨

Characterization of Soil Acidification in Sugar Cane Fields in Kagoshima Prefecture and Cation Exchange Capacity (CEC)-Based Strategies for Acidification Amelioration

Toshiyuki Mochida, Kenichi Inoue, Kenichiro Hashiguchi and Hidemi Wakikado

Summary

We developed a simple method for determining the rate of calcium fertilizer application for acidification amelioration, to promote soil health in the context of Kagoshima-produced sugar cane unit crop maintenance and improvement, and to analyze the extent of acidification in sugar cane fields. Results showed that the soil pH (H₂O) was below the diagnostic soil standards in approximately 70% of andisols in Tanegashima and over 80% of red-yellow soils in Tokunoshima, with low exchangeable calcium content in both soil systems. This suggested that many fields in these regions require acidification amelioration. Therefore, we created a lookup table of neutralizing lime amounts, calculated from soil pH and cation exchange capacity (CEC) of andisols and red-yellow soils, in order to develop an efficient and effective method of acidification amelioration for these field sites. Additionally, we confirmed that the red-yellow soil lookup table is applicable outside of Tokunoshima, including in the Amami region. We also provided concrete examples in each region demonstrating that CEC measurements can be used as a reference for data collected during past subsoil amelioration experiments in agricultural field improvement projects.

Keywords :Cation Exchange Capacity, Lookup Table, Neutralizing lime Amount, Soil Acidification, Sugar Cane