

有機物資材を混和したマージ土壤の硬化強度の経時変化

誌名	日本土壤肥料學雜誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者名	久保寺,秀夫
発行元	日本土壤肥料學會
巻/号	78巻6号
巻号補足	
掲載ページ	p. 587-590
発行年月	2007年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



ノート

有機物資材を混和したマージ土壌の
硬化強度の経時変化*

久保寺秀夫**

キーワード マージ土壌, 乾燥, 硬化, 有機物資材

1. はじめに

国頭マージ（堆積岩や礫層を母材とする赤色土や黄色土）ならびに島尻マージ（石灰岩を母材とする暗赤色土）は、沖縄本島の全農耕地の72%を占める¹⁾。これらのマージ土壌は全般的に物理性が不良であり、保水性の低さや下層土の緻密性（島尻マージ）、排水不良や受食性（国頭マージ）などが営農上問題となる。さらに、マージ土壌は乾燥した際に強く硬化して耕耘碎土の支障となる場合が多く、とくに細粒質・高pHの土壌で硬化が著しい²⁾。

このように物理性が不良な土壌の改良方法として、一般に、堆肥など有機物資材の施用が有効な方法とされる。堆肥の施用は土壌の団粒化を促進し³⁾、その結果土壌の膨軟化、通気性・保水性・排水性の向上をうながす作用があり、その効果は多くの試験により実証されてきた。

一方、有機物の施用により、土壌物理性がかえって悪化する例も報告されている。松本⁴⁾は、淡色黒ボク土に対する豚ふん堆肥の多量施用に伴い、粗孔隙量が増大して下層土との毛管連絡が切れ、表層土が乾燥しやすくなることを示した。大橋・岡本⁵⁾は牛ふん堆肥の施用によるハクサイ・ダイコンの収量不安定化を報じ、その原因を、下層土の亀裂に有機物が詰まり地下水を毛管上昇させたための湿害、または固相率の低下に伴う干害とした。南條・山田⁶⁾は、牛ふんコンポストの多量施用による水浸透性の低下を報じている。

物理性がもとより劣悪なマージ土壌に有機物を施用する場合、このような物理性への悪影響が生じないように十分に注意し、適正な施用を行うべきである。そのためには、有機物の施用がマージ土壌の物理性に及ぼす影響を詳細に把握する必要がある。これは、有機物資材の有効利用の観点

からも重要である。沖縄県の耕地における堆肥施用量（原物重）はhaあたり9tと、九州沖縄全体の平均値（地目によって異なるが、最小の茶園でhaあたり13t, 最大の普通畑で24t, いずれも土壌保全対策事業定点点調査3巡目の結果⁷⁾）に比べて小さく、その原因の一つが資材の入手難とされているからである。

そこで本研究では、マージ土壌の問題の一つである乾燥時の硬化強度に対する有機物資材の影響を、埋設試験により経時的に調査した。その結果、有機物の施用により硬化が助長される場合があることを明らかにしたので報告する。

2. 試料と方法

供試土壌は沖縄県宜野座村で採取した。同村は沖縄本島中央部東岸に位置し、海岸段丘から丘陵にかけての傾斜地にある。村内の土壌は赤色土と黄色土（国頭マージ）が276ha, 暗赤色土（島尻マージ）が54ha分布している⁸⁾。本地域での土壌の理化学性は非常に多様であり、とくに土壌pHは隣接した圃場や一圃場内の地点間でも大きく異なる場合が多く⁹⁾、堆積岩や礫層を母材とする低pHの国頭マージと石灰岩を母材とする高pHの島尻マージが複雑に混在しているように見える。しかし国頭マージと島尻マージを土壌分類的に区別するには、土壌断面調査を行い次表層の形態と理化学性を調べる必要があるが、この調査は行っていないので、本論文では供試土壌を一括して「マージ土壌」と称する。

マージ土壌の硬化強度は、粒径組成およびpHによって影響され、細粒のもの、pHが高いものほど強く硬化する²⁾。そのため、粒径組成とpHが異なり硬化強度に差がある土壌を供試し、それぞれの土壌の硬化強度に及ぼす有機物資材の影響を明らかにすることが、現象を解析する上で、また現場への応用を図る上で有用と考えた。そこで、粒径組成とpHが異なる4種類のマージ土壌を農家圃場の作土から採取し供試した。以下では各土壌をアルカリ性細粒土壌、酸性細粒土壌、アルカリ性粗粒土壌、酸性粗粒土壌と呼ぶ。なお粗粒土壌でも粘土含量は30%以上あり、土性はLiCで土壌分類上は細粒質（土壌統群レベル）、強粘質（土壌統レベル）に相当するが¹⁰⁾、本論文ではより細粒の土壌との比較で「粗粒」と呼ぶ。各土壌の粒径組成、pH、全炭素含量および風乾した土塊の強度（後記のように一軸圧縮試験で測定した。以下では硬化強度と呼ぶ）は表1のとおりで、硬化強度はアルカリ性細粒土壌>酸性細粒土壌>アルカリ性粗粒土壌>酸性粗粒土壌の順である。これらのうちアルカリ性細粒土壌、酸性細粒土壌、酸性粗粒土壌は、少なくとも2年以上堆肥施用がされていない土壌であり、酸性細粒土壌は鶏ふん堆肥施用がされているが、その量はhaあたり年間6tと、本試験で施用する量（haあたり100t）にくらべて小さい。

有機物は、同村内で多く施用されている鶏ふん堆肥、豚ふん堆肥、牛ふん堆肥およびバガス（サトウキビ搾りかす）を用いた。鶏ふん堆肥は同村の堆肥センターで製造さ

Hideo Kubotera : Long-Term Change of Hardening Degree of Mahji-Soils after Organic Matter Application

* 本研究は農業・生物系特定産業技術研究機構の地域先端技術総合研究「亜熱帯」の予算で行われた。本報告の一部は2006年度日本土壌肥科学会秋田大会で発表した。

** 九州沖縄農業研究センター（861-1192 合志市須屋2421）

2007年1月25日受付・2007年5月30日受理

日本土壌肥科学雑誌 第78巻 第6号 p.587~590 (2007)

表 1 供試土壌*

	粘土 (%)	砂 (%)	pH (H ₂ O)	全炭素 (g kg ⁻¹)	硬化強度 (MPa)**
アルカリ性細粒	57	23	7.8	10	2.6
酸性細粒	60	24	4.4	13	2.0
アルカリ性粗粒	36	46	7.6	7	1.5
酸性粗粒	31	52	4.1	12	0.6

* 農家圃場の作土を採取。採取時の作物はアルカリ性細粒とアルカリ性粗粒がキャベツ、酸性細粒がサトウキビ、酸性粗粒が牧草。 ** 久保寺 (2001) の方法により、風乾土を毛管水飽和させ、1×1×2 cm 程度の直方体に整形し、40℃の通風乾燥機で風乾後、一軸圧縮試験機により破壊に至る圧力を測定。

れたもので、ビール滓を副資材としている。豚ふん堆肥は市販のものを使用した。牛ふん堆肥は、九州沖縄農業研究センター畜産総合研究チームの堆肥製造施設でおがくずを副資材として製造されたもので、通常の形態のものと、径 5 mm にペレット化したものを供試した。これらの資材の成分分析値を表 2 に示した。分析値のうち pH, EC, 全リン酸, 全加里, 全石灰, 全苦土は日本土壤協会「堆肥等有機物分析法」の方法¹¹⁻¹³⁾, 全炭素と全窒素は Elementarr 社製分析装置 Vario EL による乾式燃焼法, 交換性塩基はショーレンベルガー法¹⁴⁾により測定した。

埋設試料の作成にあたり、堆肥はそのまま、バガスはウイレー粉砕器で粉砕し、風乾土 (10 mm メッシュで篩ったもの) と混合した。混合する量は重量比で風乾土:有機物=15:1 とした。これは、土壌の容積重を 1 Mg m⁻³, 作土深を 15 cm として、ha あたり 100 t の施用量に相当する。沖縄県¹⁵⁾ が示した土壌管理指針では、マージ土壌への堆肥の施用量は ha あたり年間 30 t 以上が推奨されているが、宜野座村内の農家への聞き取り調査によると、堆肥の施用量は ha あたり年間 20 t 以下の場合が多い。本試験では有機物資材が土壌の物理性に及ぼす影響を端的に示すため、現場での一般的な施用量に比べて多量に設定した。

混合した試料 800 g を、ガラス繊維ろ紙で作成した筒 2 本に 400 g ずつ分けて入れ、防根シートで包んだ。2 つに分けた理由は、ガラス繊維ろ紙は強度が小さいため大容量の筒を作ることが難しかったためであり、反復をとるためではない。アルカリ性の二試料はアルカリ性細粒土壌の圃場に、酸性の二試料は酸性粗粒土壌の圃場に、それぞれ

15 cm 程度の深さの溝を掘り、試料を置いて覆土した。試料の厚みが 7 cm 程度あるため、覆土の厚さは 8 cm 程度である。埋設は 2000 年 9 月に行い、1 カ月、3 カ月、6 カ月および 12 カ月後に回収した。なお、アルカリ性粗粒土壌の試料は破損のため 1 カ月目が欠測となったが、これは全体的な結果に影響していない。

回収した試料は分析に先立ち、同じ試料を詰めた 2 つのろ紙筒の内容物を混合して、一つに合わせた。その一部を用いて、久保寺²⁾の方法により硬化強度を測った。この試験では、風乾した土壌を、粉碎や篩別を行わずそのまま毛管水飽和させ、指と包丁を用いて、圧密を極力生じさせないように最小限の力で約 1 cm×1 cm×2 cm 角に整形した。その整形試料を 40℃の通風乾燥機で風乾させたのち、一軸圧縮試験機で長軸方向に荷重をかけ、破壊に至る圧力を測定した。測定は 4 連で行った。残りの試料は 2 mm の篩を通し、全炭素を供試資材と同じく乾式燃焼法で、pH (H₂O) をガラス電極法¹⁶⁾で、交換性カルシウム含量をショーレンベルガー法で測定した。

3. 結果および考察

硬化強度の経時変化を図 1 に示した。4 連で行った測定値のばらつきを示す変動係数 (平均値に対する標準偏差の割合) は、土壌によって異なる傾向を示した。アルカリ性細粒土壌、酸性細粒土壌、アルカリ性粗粒土壌では変動係数は概ね 5~25% の範囲にあり、平均は 15% であった。酸性粗粒土壌では概ね 15~40% の範囲にあり、平均は 26% と、他の土壌に比べ測定値のばらつきが大きかった。また、図内に点線で示した値は対照値 (資材を混合しない土壌の硬化強度) である。供試土壌へ過去に施用された堆肥の量 (過去 2 年以上ゼロ~ha あたり 6 t) は、試験で施用した資材の量 (ha あたり 100 t) に比べて小さいため、過去に施用された堆肥の経時変化による測定値への影響は小さいと考え、無混合土壌を埋設して経時変化を見ることはせず、圃場から採取した直後の土壌の硬化強度を対照値とした。

アルカリ性細粒土壌では、資材を混合した直後は硬化強度が 1.3~1.5 MPa と、対照の 2.6 MPa にくらべて顕著に低下し、硬化を緩和する効果が得られた。しかし試料を圃場に埋設して 1 カ月後には 1.5~2.4 MPa、3 カ月後には 1.8~2.5 MPa と硬化強度は増大し、6 カ月後には

表 2 供試した有機物資材*

	全炭素	全窒素	炭素率	pH	EC	全リン酸	全加里	全石灰	全苦土	交換性 カルシウム	交換性 マグネシウム	交換性 カリウム
	(g kg ⁻¹)				(dS m ⁻¹)		(g kg ⁻¹)			(cmol _c kg ⁻¹)		
バガス	478	3.5	137	6.0	0.6	0	1.3	2.1	0.7	6.3	2.2	3.5
鶏ふん堆肥	318	31.1	10	8.0	6.8	57.8	29.4	119.9	15.8	67.3	30.3	59.0
豚ふん堆肥	307	38.3	8	7.8	4.5	117.9	28.3	91.5	32.1	28.4	41.2	57.6
牛ふん堆肥	400	21.2	19	8.2	7.8	35.1	31.6	20.7	12.6	31.0	36.5	72.8
牛ふん堆肥 ペレット	420	21.4	20	8.5	4.0	30.6	25.3	18.0	11.3	41.4	38.2	62.2

* 成分含量は乾物あたりの値を示した。pH と EC は 1:10 の水抽出で測定した。全リン酸, 全カリ, 全石灰, 全苦土は酸化形態の含量を表示した。

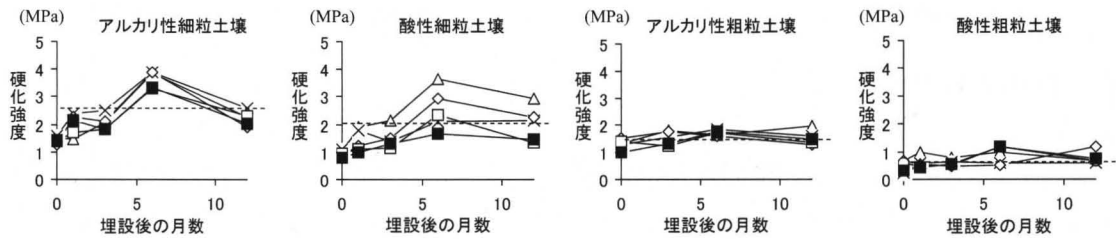


図1 土壤の硬化強度（風乾時の一軸圧縮強度）の経時変化

×バガス, △鶏ふん堆肥, ◇豚ふん堆肥, □牛ふん堆肥, ■牛ふんペレット堆肥。点線は資材を混合しない土壌の値。

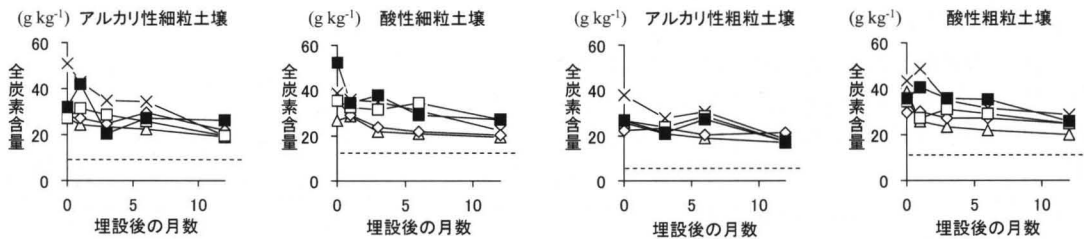
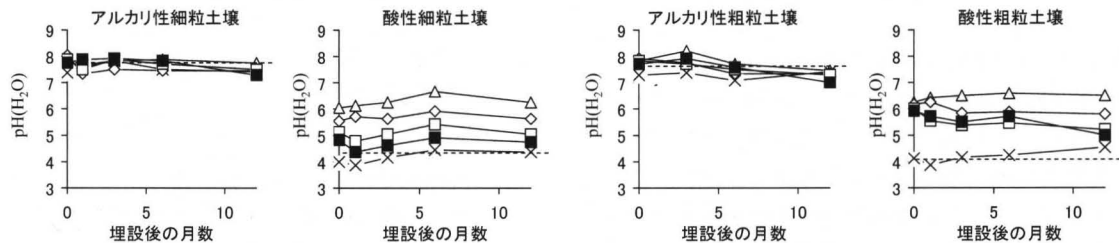


図2 全炭素含量の経時変化

×バガス, △鶏ふん堆肥, ◇豚ふん堆肥, □牛ふん堆肥, ■牛ふんペレット堆肥。点線は資材を混合しない土壌の値。

図3 pH(H₂O) の経時変化

×バガス, △鶏ふん堆肥, ◇豚ふん堆肥, □牛ふん堆肥, ■牛ふんペレット堆肥。点線は資材を混合しない土壌の値。

3.3~3.9 MPa と、対照を上回った。12 カ月後には1.9~2.3 MPa と、硬化強度は対照の値以下に戻った。硬化強度に及ぼす影響の資材間の差は見られなかった。

酸性細粒土壌でも、硬化強度は埋設後の時間経過とともに増大し、6 カ月後には1.7~3.7 MPa と、対照の硬化強度2.0 MPa と同等または上回る値となった。12 カ月後では、硬化強度は再び減少し、鶏ふん堆肥区以外は対照の値を下回った。酸性細粒土壌では、硬化強度は混合した資材の種類によって異なり、鶏ふん堆肥と豚ふん堆肥が他の資材に比べて大きい硬化強度をもたらした。

アルカリ性粗粒土壌では全期間を通して硬化強度は1.0~2.0 MPa と、対照(1.5 MPa)との差が小さく、資材の種類による違いや経時変化も明確ではなかった。酸性粗粒土壌でも同様の傾向であった。

このように、細粒土壌では堆肥を ha あたり 100 t と多量施用した場合、数カ月後に乾燥時の硬化が助長される場合があることが明らかになった。もともとの硬化強度が小さい粗粒土壌では、明瞭な硬化助長は見られなかった。

試料の全炭素含量の経時変化を図2に示した。いずれの土壌でも、全炭素含量は時間の経過に伴ってゆるやかに減

少したが、12 カ月後でも混合時の全炭素量のうち38%以上が残存していた。後藤¹⁷⁾が徳之島の島尻マージで行った試験では、土壌に施用した有機物は初期の分解が速く、3 カ月後には3~7割が失われるが、その後は分解速度が極めて遅くなる。本試験の結果も、似た傾向を示している。有機物資材の種類別に見ると、資材中の全炭素含量(表2)を反映して、バガス区、牛ふん堆肥区、牛ふん堆肥ペレット区が鶏ふん堆肥区、豚ふん堆肥区に比べて炭素が多い傾向を示した。バガス区は、混合時の炭素量が多いが、埋設後の経時的な減少も大きく、12 カ月後では堆肥区と変わらなくなった。

pH(H₂O)の経時変化を図3に示した。アルカリ性細粒土壌では、資材混合区のpH(H₂O)は7.3~8.0と、対照の値7.8と大差がなく、区間の差や経時変化も見られない。酸性細粒土壌では鶏ふん堆肥の混和直後に、pH(H₂O)は6.0と、対照の4.4に比べて大きく上昇した。豚ふん堆肥の混和直後のpH(H₂O)は5.6、牛ふん堆肥と牛ふんペレット堆肥では5.1~4.9といずれも対照に比べて上昇したが、バガスでは4.0と対照より低くなった。全ての区で、pHの経時変化は小さかった。アルカリ性粗粒土

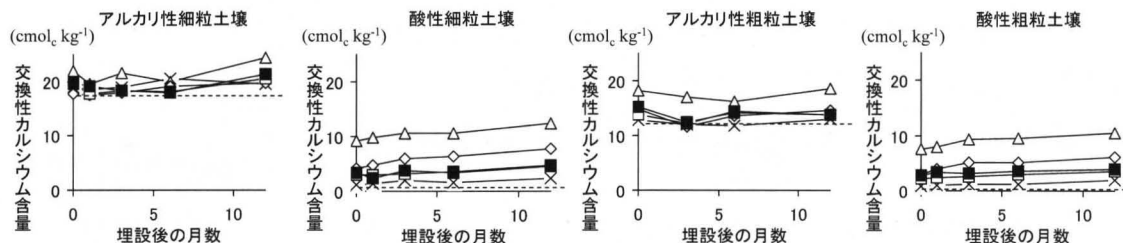


図 4 交換性カルシウム含量の経時変化

×バガス, Δ鶏ふん堆肥, ◇豚ふん堆肥, □牛ふん堆肥, ■牛ふんペレット堆肥, 点線は資材を混合しない土壌の値。

壤はアルカリ性細粒土壌と、酸性粗粒土壌は酸性細粒土壌と同様の傾向を示した。なお pH は交換性カルシウム含量と非常に密接な正の関係を示し (図 4), 資材の施用による上昇は資材に含まれるカルシウムによるものと考えられる。資材中の交換性カルシウム含量は鶏ふん堆肥>牛ふん堆肥ペレット>牛ふん堆肥, 豚ふん堆肥>バガスの順であるが、全石灰量は豚ふん堆肥が鶏ふん堆肥に次いで大きく (表 2), これが埋設後の酸性土壌の pH と交換性カルシウム含量が鶏ふん堆肥区と豚ふん堆肥区で大きいことの原因であろう。

久保寺²⁾はマージ土壌にアルカリ溶液や塩化カルシウム溶液を添加し, pH や交換性カルシウム含量を増大させると硬化が促進することを示している。本試験でも, 堆肥とくに鶏ふん堆肥と豚ふん堆肥を施用した区では pH と交換性カルシウム含量の増大による硬化の促進が生じたと考えられる。本来の pH が高いアルカリ性細粒土壌では資材間の差が見られなかったのに対し, もとの pH が低い酸性細粒土壌では鶏ふん堆肥, 豚ふん堆肥で硬化強度が大きかったことは, この仮説と整合する。ただし, pH と交換性カルシウム含量は, 埋設後の経時変化は小さいので, 硬化強度の経時変化の原因とは考えられず, 経時変化には他の何らかの要因が働いている。その要因の特定が, 今後の課題である。

謝 辞: 試験の遂行にあたり, 末石森春氏をはじめとする宜野座村役場と土地改良区の方々, 同村の農業者新里勝義氏, 嘉手納良徳氏には土壌採取と埋設試験に多大なご協力をいただいた。東恩納良徳氏, 亀谷 茂氏をはじめとする沖縄県農業研究センターの方々, 地域総合研究「亜熱帯」に参画した九州沖縄農業研究センターと国際農林水産業研究センターの研究者の方々には研究全般にご支援とご協力をいただいた。九州沖縄農業研究センターの山本克巳氏, 荒川祐介氏, 松永俊朗氏, 田中章浩氏には試験設計と試料分析にあたりご指導とご協力をいただいた。同センターの薬師堂謙一氏には供試した堆肥をご提供いただいた。同センター非常勤職員の山田康子氏には試料作成と分析にご協力いただいた。以上の方々に深甚の謝意を表す。

文 献

- 1) 土壤保全調査事業全国協議会: 日本の耕地土壌の実態と対策新訂版, p. 44~45, 博友社, 東京 (1991)
- 2) 久保寺秀夫: 沖縄本島中央部のマージ土壌の乾燥に伴う硬化強度に影響する要因, 土肥誌, **72**, 649~659 (2001)
- 3) 安西徹郎: 土壌診断と土づくり, 土壌学概論, p. 118~125, 朝倉書店, 東京 (2001)
- 4) 松本泰彦: 土壌表面の乾燥に及ぼす豚糞多施用の影響, 土肥誌, **51**, 175~178 (1980)
- 5) 大橋恭一・岡本将宏: 厩肥連用による露地畑土壌の改善 (第一報) おがくず入り牛ふん厩肥連用による野菜収量と土壌水分環境の変動, 同上, **56**, 373~377 (1985)
- 6) 南條正巳・山田恵子: 牛ふんコンポストの積載・灌水による土壌の化学性と水浸透性の変化, 土壌の物理性, **99**, 45~54 (2005)
- 7) 九州農政局生産流通部農産普及課: 九州・沖縄地域における土壌の実態と変化一定点調査結果からみた土壌の変遷一, p. 22, 155, 163 (1995)
- 8) 沖縄県: 耕地土壌の実態, 地力保全基本調査総合成績書, p. 140~147, 281~294 (1979)
- 9) 久保寺秀夫: 多様な理化学性の土壌が混在する地域での土壌管理とペドロロジー—沖縄本島のマージ土壌の乾燥に伴う硬化の問題を例にして, ペドロジスト, **47**, 41~45 (2003)
- 10) 農耕地土壌分類委員会: 土壌統群の区分基準, 土壌統の区分基準, 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**, 1~79 (1995)
- 11) 原 正之: pH, 電気伝導度 (EC), 堆肥等有機物分析法, p. 21~23, 日本土壤協会, 東京 (2000)
- 12) 郡司掛則昭: リン, 堆肥等有機物分析法, p. 35~37, 日本土壤協会, 東京 (2000)
- 13) 松元 順: カリウム, カルシウム, マグネシウム, 堆肥等有機物分析法, p. 35~37, 日本土壤協会, 東京 (2000)
- 14) 亀和田國彦: 交換性陽イオン・陰イオン [A. 交換性陽イオン] 常法・浸透法, 土壌環境分析法, 土壌環境分析法編集委員会編, p. 215~216, 博友社, 東京 (1997)
- 15) 沖縄県: 土壌統群ごとの土壌管理方針, 地力保全基本調査総合成績書, p. 281~294 (1979)
- 16) 亀和田國彦: pH (ガラス電極法), 土壌環境分析法, 土壌環境分析法編集委員会編, p. 195~197, 博友社, 東京 (1997)
- 17) 後藤 忍: 琉球石灰岩風化土壌の圃場条件における各種有機物の分解速度と土壌有機物の集積予測, 土肥誌, **69**, 129~134 (1998)