

消化液・堆肥・化学肥料の長期連用草地における土壌物理化学性

— 開始6年目までの土壌有効態リンと交換性陽イオン濃度 —

澤本卓治¹⁾・原田大二郎²⁾・松中照夫³⁾

Soil physicochemical properties of a grassland receiving long-term applications of anaerobically digested cattle slurry, farmyard manure, or chemical fertilizer
— Concentrations of soil available phosphorus (P) and exchangeable cations (K, Ca, Mg) in sixth-year measurements —

Takuji SAWAMOTO¹⁾, Daijiro HARADA²⁾ and Teruo MATSUNAKA³⁾
(Accepted 12 July 2013)

1. はじめに

家畜排せつ物の処理によって生じた物質を適切に農地に還元し、循環型農業・環境保全型農業を構築することは現代的課題である。本学では2000年3月にバイオガスプラントが建設された。ここでは、学内で飼養されている乳牛のふん尿が嫌気発酵され、メタン発酵消化液が学内の農地に液肥として利用されている。この消化液の長期連用による土壌の物理化学性等に与える影響を検討するために、無施用区・消化液区・堆肥区・化学肥料区を設けた長期連用草地が本学附属農場内に設けられ、定期的なモニタリングが開始された(2003年耕起・播種, 2004年10月処理区設置)。

筆者らは、土壌の経年的変化を解析するための基礎的データを得るために、本草地における処理開始1年後(2005年9月), 3年後(2007年9月), および6年後(2010年9月)において土壌を採取(深さ0-5, 7.5-12.5, 15-20 cm)し、物理化学性(容積重, 水素イオン指数(pH(H₂O)とpH(KCl)), 電気伝導度EC, 強熱減量IL)の分析を行い、結果を本紀要にて報告してきた(澤本ら, 2006, 2007, 2008, 2011)。これまで得た重要な結果は前報(澤本ら, 2011)で報告したが、それを要約すれば以下のとおりである。

うかを検討するために、処理開始1, 3, 6年後のデータを用い、「処理×年」の交互作用を検討した。

2. 深さ0-5 cmにおけるpH(KCl), EC, ILには、「処理×年」の交互作用に有意性($P < 0.05$)が認められ、堆肥区の6年後に上昇していた。この事実から、堆肥区土壌の表層(0-5 cm)に栄養塩類および有機物(腐植)の蓄積が生じていることが示唆された。
3. 堆肥区の表層土壌における有機物の増加は、炭素量換算として 0.32 kg C/m^2 と推定された。精度は高くないが堆肥からの炭素供給量は 1.32 kg C/m^2 程度と推定された。散布後の分解を考慮すると、堆肥からの有機物供給が土壌有機物の増加を説明しているようにみえる。
4. 一方、消化液からの炭素供給量は 0.65 kg C/m^2 と推定された。これは堆肥の半量程度であるため、消化液区の表層土壌でも有機物の増加が期待されるが、それは検出されなかった。消化液区の炭素供給量が少なかったことや分解率の違いによるかもしれない。
5. 以上から、堆肥の連用が表層土壌の有機物を増加させた可能性は高いが、これを断定はできないと結論づけた。

1. 処理(施用資材)による違いが認められるかど

このように本連用草地では堆肥区の表層土壌にお

¹⁾ 酪農学園大学酪農学部酪農学科土壌環境学研究室

Soil and Environmental Science, Department of Dairy Science, Faculty of Dairy Science, Rakuno Gakuen University, 583 Midorimachi, Bunkyo-dai, Ebetsu-shi, Hokkaido, 069-8501, Japan

²⁾ 北海道糖業株式会社

Hokkaido Sugar Co., Ltd., 1 Tateyamashita-cho, Date-shi, Hokkaido, 052-0034, Japan

³⁾ 酪農学園大学酪農学部酪農学科土壌植物栄養学研究室

Soil Fertility and Plant Nutrition, Department of Dairy Science, Faculty of Dairy Science, Rakuno Gakuen University, 583 Midorimachi, Bunkyo-dai, Ebetsu-shi, Hokkaido, 069-8501, Japan

いて、有機物と養分の蓄積が示唆されている。本稿では、これまでに採取・保存されている風乾土の養分分析を行った結果を報告する。すなわち、有効態リン(P_2O_5)、交換性カリ(K_2O)、交換性石灰(CaO)、および交換性苦土(MgO)のデータの提示と考察が目的である。

2. 材料と方法

調査草地

本長期連用草地はチモシー主体草地であり、酪農学園大学附属農場 No.23 圃場(面積は 1.0 ha)である。天野・水野(2002)によれば、本草地は野幌丘陵地の移行斜面から低位段丘に位置し、高位段丘の平坦地には普通灰色台地土、本草地と国道 12 号線の間やや凸地には腐植質の普通黒ボク土が分布している。

本草地では、2003 年度に草地造成(チモシーとシロクローバーを混播)が行われ、2004 年 10 月に処理区が設置された。これ以降、6 年後(2010 年)までの管理履歴は前報(澤本ら, 2006, 2008, 2011)に示した。斜面方向と直交方向に、4 処理 2 反復の処理区が設定されている。すなわち、何も施用しない区(無施用区, 記号 N)、堆肥のみを施用する区(堆肥区, 記号 M)、消化液のみを施用する区(消化液区, 記号 S)、および化学肥料のみを施用する区(化肥区, 記号 C)の 4 処理である。各処理区内の斜面位置を等間隔に 5 つに分割した。すなわち、斜面最上部(記号 U)、斜面上部(記号 UM)、斜面中部(記号 M)、斜面下部(記号 LM)、および斜面最下部(記号 L)とした。これらの 40 地点において、処理開始 1 年後(2005 年 9 月)、3 年後(2007 年 9 月)、および 6 年後(2010 年 9 月)に、土壌採取を行ってきた。なお、2012 年に無施用区から土壌を採取し、これを分析した結果、リン酸吸収係数および陽イオン交換容量は、それぞれ 860 mg/100g および 24 cmol_c/kg であっ

た。

2005 年の土壌採取後から 2010 年の土壌採取前までの間(5 年間)に、各処理区に施用された施用資材の量、それらに含まれた P_2O_5 、 K_2O 、 CaO 、および MgO 成分量を表 1 に示す。 P_2O_5 施用量は、堆肥区 > 消化液区 > 化学肥料区の順に多く、それぞれ 620, 433, 214 kg/ha であった。 K_2O は、消化液区 > 堆肥区 > 化学肥料区の順に多く、それぞれ 1143, 696, 357 kg/ha であった。 CaO と MgO については、堆肥区のデータがないが、いずれの成分についても、施用量は消化液区 > 化学肥料区であった。

土壌の養分分析

処理開始 1, 3, および 6 年後に、深さ 0-5, 7.5-12.5, および 15-20 cm から採取され、保存された風乾土 360 点(40 地点 × 3 深度 × 3 カ年)を分析対象とし、有効態リン酸と交換性陽イオンを測定した。方法は定法(橋本, 1992)に従った。系統誤差を避けるため測定順はランダム化した。また、一連の分析の正確さを確認するため、全ての分析日において、試料の始め、中間、および終わりに標準試料(2012 年春に無処理区で採取した表層土壌)を加え、分析値に大きな変動がないことを確認した。

有効態リン酸の測定では、ブレイ第二法を用いた。なお、本法は北海道施肥ガイド 2010(北海道農政部, 2010)において、草地土壌の有効態リン酸の測定法として定められている。100 mL のポリビンに、風乾土 1 g をとり、抽出液(0.03 N NH_4F , 0.1 N HCl) 20 mL を加え、1 分間、手で振とう(メトロノームを用い、1 分間約 100 往復)後、直ちにろ過し、ろ液を得た。30 mL 試験管に、ろ液 1 mL・純水 7 mL・発色液 2 mL の順に加え攪拌し、発色するまで 15 分以上待ち、それを試料液とした。分光光度計(日立ハイテクノロジー U-1500)を用い、試料液中の P 濃度、および土壌有効態リン(mg P_2O_5 /100 g 乾

表 1 2005 年の土壌採取後から 2010 年の土壌採取前までの間(5 年間)に、各処理区に施用された施用資材の量、それらに含まれた P_2O_5 、 K_2O 、 CaO 、および MgO 成分量

	無施用区(N)	堆肥区(M)	消化液区(S)	化学肥料区(C)
堆肥 [t/10 a]	0	10	0	0
消化液 [t/10 a]	0	0	31	1
化肥料 [kg/10 a]	0	10	0	200
P_2O_5 [kg/ha]	0	620	433	214
K_2O [kg/ha]	0	696	1143	357
CaO [kg/ha]	0	ND	781	25
MgO [kg/ha]	0	ND	298	90

注 1 堆肥区に化学肥料、化学肥料区に消化液が少量散布されているが、これらは誤って散布されたときのものである。

注 2 ND はデータがないことを示す(堆肥中の CaO 、 MgO 成分のデータがないため)。

土)を計算により求めた。

交換性陽イオンは簡便振とう法に準拠し、交換性カリ(K₂O)、交換性石灰(CaO)、および交換性苦土(MgO)を測定した。100 mL ポリビンに風乾土 1 g を入れ、抽出液(1 M CH₃COONH₄) 20 mL 加え、土壤振とう器(大起理化学工業 DIK-2102)を用い、30 分間振とう(90 rpm)した。振とう後、直ちにろ過し、ろ液を得た。カリウムについてはこれを試料液とした。カルシウム・マグネシウムについては、30 mL 試験管に、ろ液 2 mL・純水 17 mL・ランタン(20,000 ppm) 1 mL 加え、攪拌しこれを試料液とした。分析機器は、原子吸光分光光度計(島津製作所 AA-7000)を用いた。試料液中の各塩基濃度および交換性陽イオンの濃度を計算により求めた。

データ解析

経年的データを解析するために、対応のある2元分散分析(Two Way Repeated Measures ANOVA)を用いた。統計解析ソフトウェア Sigma-

Plot 11 (Systat Software, 2008) を使用した。

3. 結果および考察

有効態リン酸

付表1~3に有効態リン酸の測定値一覧を示し、経年的変化を図1に示す。どの深さにおいても、「処理×年」の交互作用に有意性($P_{TXY} < 0.05$)が認められた。したがって、有効態リン酸の経年的変化のしかたは、処理(施用資材)によって異なるといえる。

次に、各処理区内の年次変動についてみる。ここでは、1年目と6年目の年次変動に有意差があるかを、Tukeyの多重比較によって検定した結果(表2)を検討する。無施用区と化学肥料区では、どの採取深度においても両年次で有意に低下していた。これに対し、堆肥区(全ての深さ)と消化液区(7.5-12.5 cm 以外)では、両年次に有意な差は認められなかった。すなわち、この5年間に於いて、リン酸施肥量が少なかった無施用区と化学肥料区では土壌有効態リン酸が低下し、リン酸施肥量が多かった堆肥区と

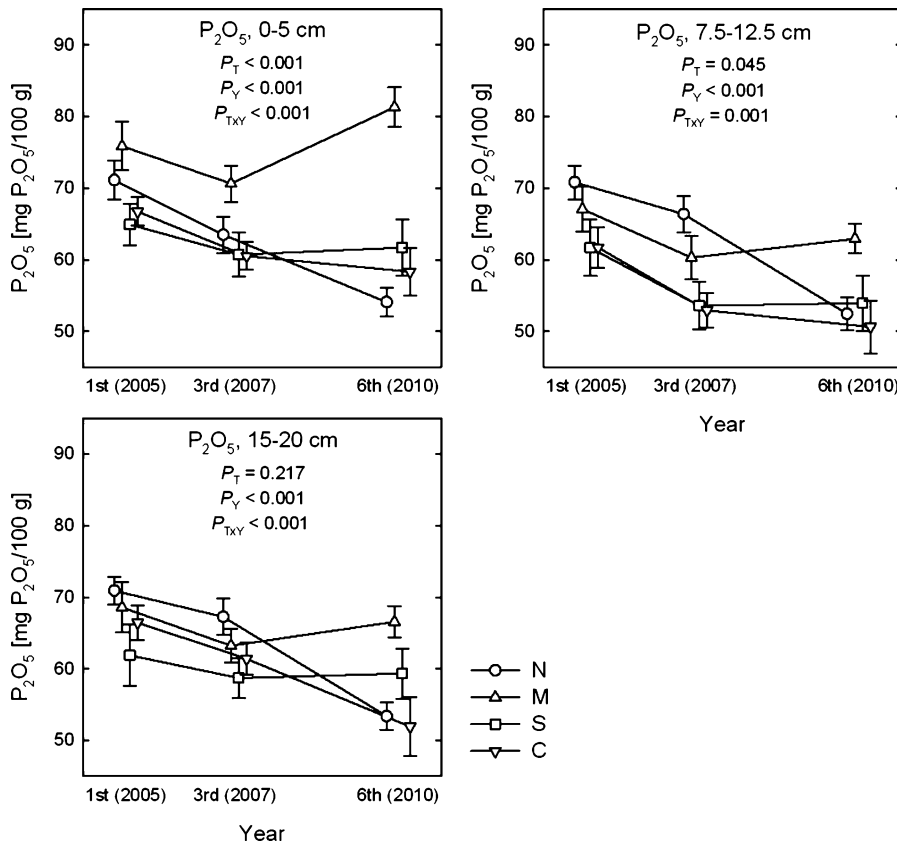


図1 土壌中の有効態リン酸の年次推移。上段左は採取深さ0~5 cm, 上段右は同7.5~12.5 cm, 下段左は同15~20 cmを示す。凡例のNは無施用区, Mは堆肥区, Sは消化液区, Cは化学肥料区を示す。点と誤差棒はそれぞれ10地点の平均値と標準誤差を示す。P値は対応のある2元分散分析の結果を示し、P_T値は処理の主効果、P_Y値は年の主効果、P_{TXY}値は処理×年の交互作用を示す。

表2 5年間の施用量と土壤中濃度の変化

	5年間 施用量 ^{#1} kg/ha	土壤中の濃度 (mg/100 g) と変化の有意性判定 ^{#2}								
		深さ 0-5 cm			深さ 7.5-12.5 cm			深さ 15-20 cm		
		2005年	2010年	判定 ^{#3}	2005年	2010年	判定 ^{#3}	2005年	2010年	判定 ^{#3}
P₂O₅		有効態リン酸 (P₂O₅)								
無施用区 (N)	0	71.1	54.1	↓	70.8	52.4	↓	70.9	53.4	↓
堆肥区 (M)	620	75.8	81.3	NS	67.1	62.9	NS	68.6	66.6	NS
消化液区 (S)	433	64.9	61.7	NS	61.7	53.9	↓	61.9	59.3	NS
化学肥料区 (C)	214	66.7	58.3	↓	61.7	50.6	↓	66.5	51.9	↓
K₂O		交換性カリ (K₂O)								
無施用区 (N)	0	18.5	9.1	↓	10.7	6.4	↓	13.6	9.1	↓
堆肥区 (M)	696	20.9	18.8	NS	7.5	6.6	NS	6.6	5.7	NS
消化液区 (S)	1143	17.7	7.8	↓	6.2	4.3	↓	7.0	4.4	↓
化学肥料区 (C)	357	11.3	7.6	NS	5.9	4.3	↓	6.2	4.4	NS
CaO		交換性石灰 (CaO)								
無施用区 (N)	0	355	342	NS	376	365	NS	373	371	NS
堆肥区 (M)	ND	325	359	↑	336	316	NS	336	321	NS
消化液区 (S)	781	337	323	NS	360	330	↓	355	341	NS
化学肥料区 (C)	25	292	275	NS	319	310	NS	319	313	NS
MgO		交換性苦土 (MgO)								
無施用区 (N)	0	39.7	36.0	NS	33.2	29.5	↓	31.5	28.5	↓
堆肥区 (M)	ND	43.8	57.4	↑	31.2	31.1	NS	28.1	26.4	NS
消化液区 (S)	298	39.8	47.0	↑	26.0	30.7	↑	25.5	27.4	NS
化学肥料区 (C)	90	35.9	39.2	NS	25.4	29.1	↑	25.3	26.7	NS

#1 2005年の土壌採取後から2010年の土壌採取前までの間(5年間)(表1)。NDはデータなし。

#2 Tukeyの多重比較による、1年目(2005年)と6年目(2010年)の比較(判定はP=0.05を基準)

#3 NSは有意性なし、矢印は有意な上昇もしくは低下を示す。

消化液区では土壌有効態リン酸が維持されていたと思われる。いいかえれば、施用量と土壌中濃度変化には対応関係があると思われる。

交換性カリ

付表4~6に交換性カリの測定値一覧を示し、経年的変化を図2に示す。どの深さにおいても、「処理×年」の交互作用に有意性($P_{\text{TX}} < 0.05$)が認められた。したがって、有効態リン酸と同様に経年的変化のしかたは、処理(施用資材)によって異なるといえる。

次に、有効態リン酸と同様に各処理区内の5年間の変化(表2)について検討する。無施用区と消化液区では、どの採取深度においても両年次で有意に低下していた。これに対し、堆肥区(全ての深さ)と化学肥料区(7.5-12.5 cm以外)では、両年次に有意な差は認められなかった。これらの結果は有効態リン酸と異なるものである。すなわち、有意な低下が認められたのは、カリウムが施用されていない無施用区と、逆に最も多量のカリウムが施用された消化液区であり、中程度のカリウム施用量であった堆肥区と化学肥料区では有意な変化が認められない。いいかえれば、交換性カリでは施用量と土壌中濃度変化には対応関係がないと思われる。

交換性石灰

付表7~9に交換性石灰の測定値一覧を示し、経年的変化を図3に示す。表層(0-5 cm)のみににおいて、「処理×年」の交互作用に有意性($P_{\text{TX}} < 0.05$)が認められた。したがって、7.5 cm以深においては、処理(施用資材)による経年的変化のしかたに有意性はなく、それは表層のみにあるといえる。

表層における5年間の変化(表2)について検討すると、堆肥区のみ有意な上昇が認められ、それ以外の区では有意な変化が認められなかった。堆肥区における施用量データがないためにこの区を除外して考えると、カルシウム施肥量の多寡は土壌の交換性石灰濃度の有意な変化を生じさせていないといえる。

交換性苦土

付表10~12に交換性苦土の測定値一覧を示し、経年的変化を図4に示す。どの深さにおいても、「処理×年」の交互作用に有意性($P_{\text{TX}} < 0.05$)が認められた。したがって、有効態リン酸と交換性カリ同様に、経年的変化のしかたは、処理(施用資材)によって異なるといえる。

施用量が不明な堆肥区を除き、5年間の変化(表

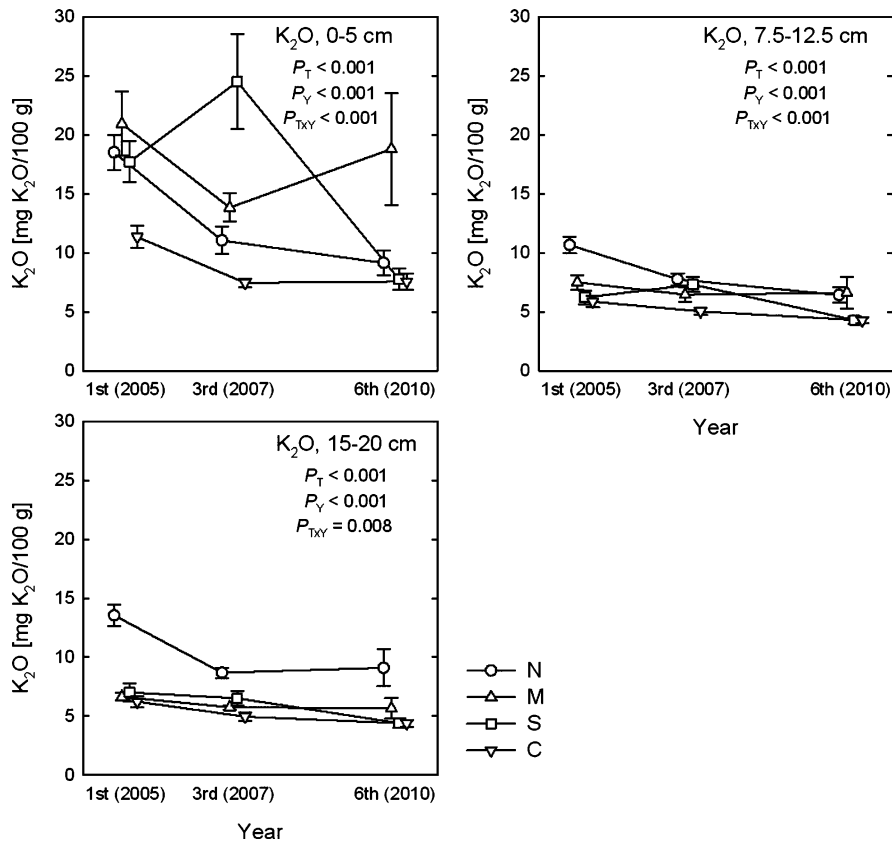


図2 土壌中の交換性カリの年次推移。(書式は図1と同様)

2) について検討する。無施用区では変化なし (0-5 cm) もしくは低下 (7.5-12.5, 15-20 cm) を示したのに対し、施用量が最も多かった消化液区では上昇 (0-5, 7.5-12.5 cm) もしくは変化なし (15-20 cm) であった。施用量が中程度であった化学肥料区では変化が小さかった (7.5-12.5 cm のみで上昇)。これらの事実から、マグネシウム施用量と土壌の交換性苦土濃度の変化には、リン酸ほど強くないが、対応関係があるように思える。

処理 (施用資材) による違い (効果)

以上で述べたように、表層土壌 (0-5 cm) では有効態リン酸と全ての交換性陽イオンについて、「処理×年」の交互作用に有意性が認められた。このことは、この5年間に於いて施用資材による何らかの効果 (経年的変化のしかたが異なること) を示唆するものである。しかしながら、5年間施用資材由来のリン酸、カリウム、石灰、および苦土の施肥量とそれらの土壌濃度変化の関係について検討した結果は成分によって異なるものであった。すなわち、有効態リン酸と交換性苦土においては施用量が多いほど土壌濃度変化が増加する傾向を示したのに対し、

交換性カリと交換性石灰ではそのような傾向は認められなかった。したがって、「各資材からのリン酸、カリウム、石灰、および苦土の施用量の多寡とそれらの土壌濃度の経年的な変化が対応する」という結論を導くことはできない。

今後の課題

本報告は、異なる資材を連用した時、それに由来するリン酸、カリウム、石灰、および苦土施用量と土壌の有効態リン酸およびそれらの交換性陽イオンの経年的変化について検討したものである。しかしながら、これらの土壌養分における土壌中での濃度変化は物質収支 (インプットとアウトプットの差)、および形態変化 (リン酸では有効態と非有効態の、交換性陽イオンでは交換性と非交換性のあいだの形態変化 (松中, 2003) によって決まるものであることを考えれば、本報告の検討は不十分であるといわざるをえない。物質収支については、下層への溶脱および牧草の養分吸収による持ち出しが含まれていない。前者に関して、リン酸は有機物として多量に施用された場合に下層に溶脱する可能性があること、塩基は過剰に施用された場合に下層へ溶脱する

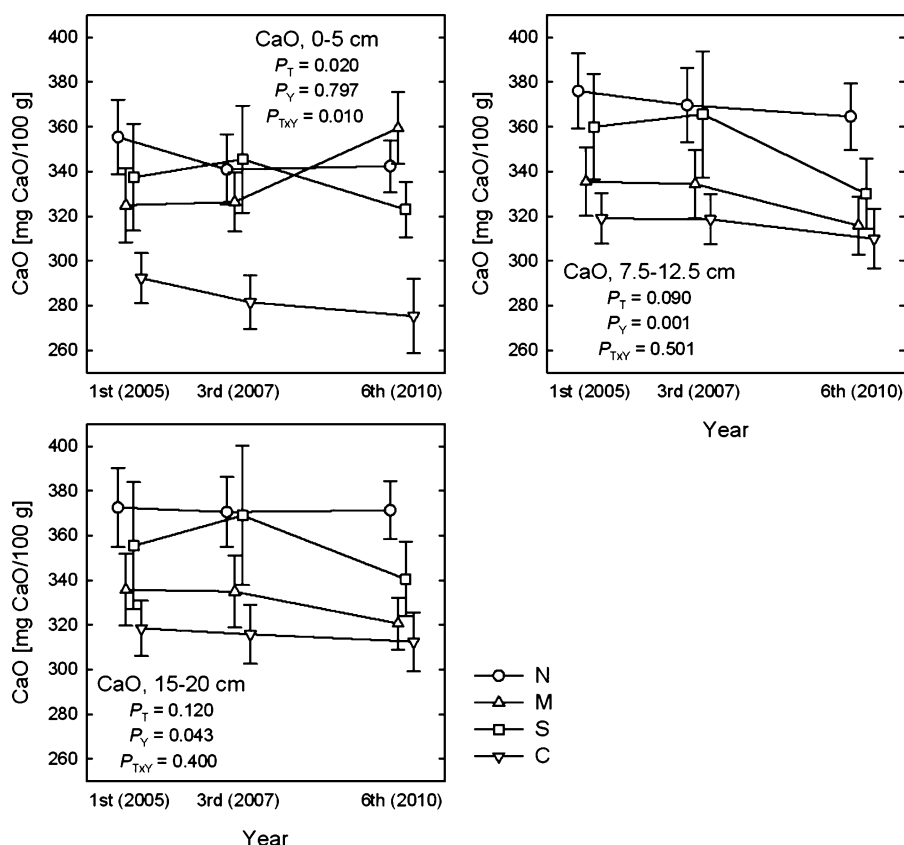


図3 土壌中の交換性石灰の年次推移。(書式は図1と同様)

可能性があることが認められている (松中, 2003)。後者については, 牧草の根の多くが表層付近に分布していることを考えると無視できない。したがって, 少なくとも牧草の養分吸収を含めた物質収支 (施用量-吸収量) と土壌養分の変化量の関係を検討することが必要と考えられる。そのような検討から上述した土壌養分における形態変化に関しても示唆されるものがあるかもしれない。稿を改めて, 牧草による養分吸収を含めた検討を行うことを予定している。

4. 要 約

本学附属農場内に設けられた消化液・堆肥・化学肥料の長期連用草地における土壌の有効態リン酸および交換性陽イオン (カリウム, 石灰, 苦土) の経年的変化について調査した。草地内 40 地点において, 開始 1 年後 (2005 年 9 月), 3 年後 (2007 年 8 月), および 6 年後 (2010 年 9 月) に採取された風乾土壌を用いた。対応のある 2 元分散分析を用いた解析の結果, 表層土壌 (0-5 cm) では全ての施肥成分について, 「処理×年」の交互作用に有意性が認められた。このことは, この 5 年間に於いて土壌中の有

効態リン酸や交換性陽イオンの経年変化が, 各施用資材によって異なることを示唆するものである。しかしながら, 施用量と土壌濃度の経年的変化に対応関係が認められたのは, リン酸と交換性苦土についてのみであった。このことは物質収支を考慮した検討が必要であることを示唆している。

Summary

The objective of this study was to analyze long-term changes in soil properties of a grassland at Rakuno Gakuen University, where anaerobically digested cattle slurry, farmyard manure, or chemical fertilizer had been continuously applied to the surface since 2004. We sampled the soil (0-20 cm) from 40 points of the grassland in September 2005 (1 year after the application treatments), in August 2007 (3 years), and in September 2010 (6 years). We measured the concentration of four nutrients in the soil: available phosphorus (P_2O_5) and exchangeable cations (K_2O , CaO , MgO). The results of two way repeated measures ANOVA showed the signifi-

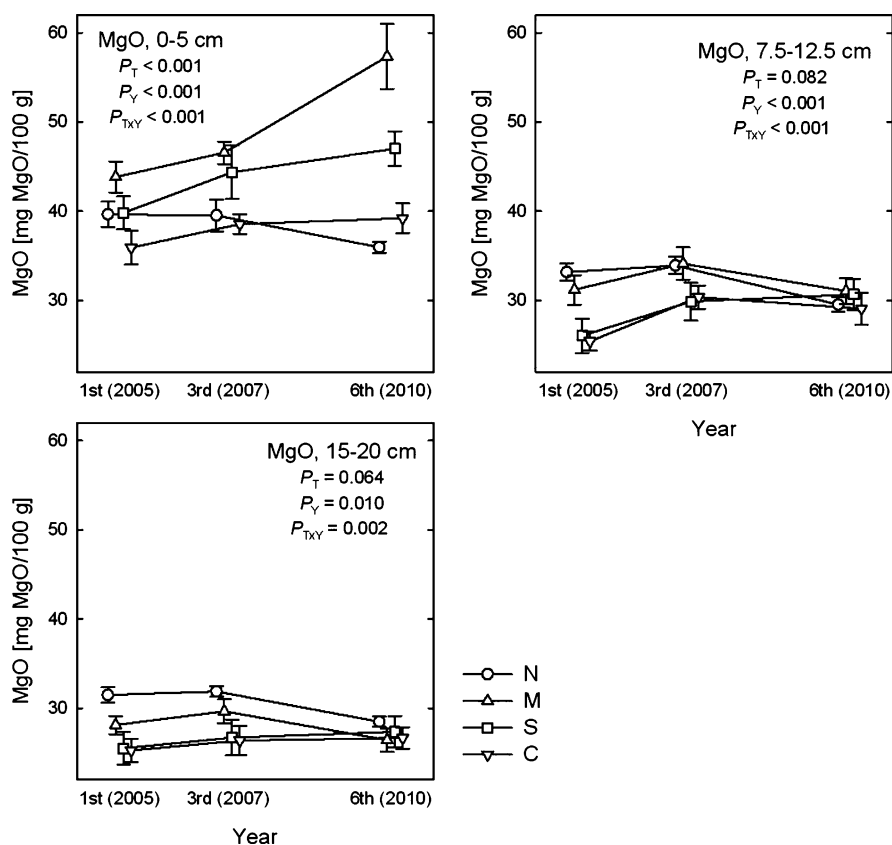


図4 土壌中の交換性苦土の年次推移。(書式は図1と同様)

cant interaction (treatment x year) for all nutrients in the topsoil (0-5 cm). These results indicate that time courses of the nutrient concentration in the topsoil during five years were different among applied materials. However, the relationship between the amount of applied nutrition and the change in its concentration in the topsoil was observed only in P_2O_5 and MgO, suggesting that mass balance should be considered to explain the change in soil nutrient.

謝辞：本調査研究を行うにあたり、本学の名久井忠教授、義平大樹教授、野 英二教授、ならびに附属農場職員の皆様、特に上野秀樹氏、尾崎邦嗣氏には大変お世話になりました。ここに記してお礼申し上げます。

文 献

天野洋司・水野直治 2002. 酪農学園の自然（土壌篇）——野幌層の誕生と学園の土壌——, 酪農学園大学発行, 酪農学園大学入試部入試課編集, 23-41.
 橋本 均 1992. 土壌および作物栄養の診断基準——分析法（改訂版）——, 北海道立農業試験場,

北海道農政部農業改良課, 59-63.
 北海道農政部 2010. 北海道施肥ガイド2010——施肥標準・診断基準・施肥対応——, 190-191.
 松中照夫 2003. 土壌学の基礎——生成・機能・肥沃度・環境——, 農産漁村文化協会, 196-234.
 澤本卓治・岡部彰洋・斎藤忠義・松中照夫 2006. 消化液・堆肥・化学肥料の長期連用草地における土壌物理化学性——初年度の結果——, 酪農学園大学紀要 自然科学編, 31, 7-20.
 澤本卓治・井上徳子・松中照夫 2007. 消化液・堆肥・化学肥料の長期連用草地における土壌化学性——初年度の結果（続報）——, 酪農学園大学紀要 自然科学編, 32, 43-54.
 澤本卓治・水上朋美・松中照夫 2008. 消化液・堆肥・化学肥料の長期連用草地における土壌化学性——開始3年目までの結果——, 酪農学園大学紀要 自然科学編, 33, 75-84.
 澤本卓治・青木理有・松中照夫 2011. 消化液・堆肥・化学肥料の長期連用草地における土壌物理化学性——開始6年目までの結果——, 酪農学園大学紀要 自然科学編, 36, 1-15.
 Systat Software 2008. SigmaPlot® 11.0 User's Guide, San Jose, CA USA.

付表1 深さ 0-5 cm における可給態リン酸 (ブレイ No. 2) [mg P₂O₅/100 g] の結果。

	N-a	M-a	S-a	C-a	M-b	S-b	C-b	N-b
U_(2005)	62.0	74.5	68.6	75.3	73.1	55.0	70.7	61.8
_(2007)	55.7	64.0	52.1	65.0	78.0	48.5	61.5	53.8
_(2010)	52.8	74.9	69.3	59.8	94.1	65.3	54.9	46.0
UM_(2005)	61.1	68.4	51.4	55.0	64.3	63.8	58.8	68.4
_(2007)	56.6	63.6	50.2	58.9	58.8	69.3	62.9	56.1
_(2010)	51.5	77.0	43.4	49.1	86.8	71.4	66.4	51.9
M_(2005)	68.2	77.6	62.4	64.8	173.7	62.0	67.7	74.7
_(2007)	63.2	69.2	57.9	50.8	82.7	59.4	64.6	63.1
_(2010)	56.7	76.5	46.5	42.6	68.5	60.6	70.5	51.1
LM_(2005)	71.5	62.1	58.4	64.6	83.4	74.0	68.5	82.5
_(2007)	65.5	63.5	58.0	53.5	72.9	72.2	56.1	73.7
_(2010)	60.3	86.6	47.6	42.8	91.7	68.8	63.2	52.6
L_(2005)	74.2	90.9	72.5	67.4	88.3	81.0	74.4	86.7
_(2007)	70.1	79.7	61.9	60.0	73.8	77.6	71.7	77.0
_(2010)	68.4	71.9	62.6	65.7	85.0	81.3	68.0	49.3

最上行の N-は無施用区, M-は堆肥区, S-は消化液区, C-は化肥区を示す。

最左列の U は斜面最上部, UM は斜面上部, M は斜面中部, LM は斜面下部, L は斜面最下部を示す。

各地点の上段が 2005 年 (1 年目), 中段が 2007 年 (3 年目), 下段が 2010 年度 (6 年目) の値を示す。

M-b 区の斜面中部における 2005 年 (1 年目) では, 173.7 という極めて高い値を得たが, これは異常値と判断し, 作図や解析等から除外した。

付表2 深さ 7.5-12.5 cm における可給態リン酸 (ブレイ No. 2) [mg P₂O₅/100 g] の結果。(書式は付表1に同じ)

	N-a	M-a	S-a	C-a	M-b	S-b	C-b	N-b
U_(2005)	60.9	75.1	63.4	66.9	64.7	50.7	61.8	64.5
_(2007)	55.4	63.2	60.0	62.6	66.6	48.5	55.1	53.0
_(2010)	51.8	66.9	48.6	50.7	66.6	59.1	46.9	42.7
UM_(2005)	65.4	56.7	44.3	46.4	50.0	52.6	55.6	64.8
_(2007)	64.9	48.0	35.4	46.7	50.6	54.6	52.2	60.7
_(2010)	47.8	54.3	42.3	40.1	62.9	63.5	54.5	53.8
M_(2005)	74.2	66.1	53.5	64.2	62.2	62.1	54.8	67.1
_(2007)	70.8	67.7	52.1	46.0	48.4	44.5	59.6	68.3
_(2010)	56.2	50.6	42.4	38.1	59.5	53.7	59.5	49.1
LM_(2005)	74.6	65.6	60.1	64.3	78.1	68.1	67.8	73.6
_(2007)	70.4	54.2	49.8	48.1	59.5	53.2	45.9	70.3
_(2010)	61.8	64.7	39.7	43.5	72.0	54.1	65.9	49.3
L_(2005)	78.3	83.6	76.4	56.4	68.5	85.3	78.8	84.6
_(2007)	71.0	74.1	64.8	46.3	70.6	72.9	66.6	78.9
_(2010)	66.4	68.0	55.0	37.0	63.7	80.9	69.9	45.4

付表3 深さ 15-20 cm における可給態リン酸 (ブレイ No. 2) [mg P₂O₅/100 g] の結果。(書式は付表1に同じ)

	N-a	M-a	S-a	C-a	M-b	S-b	C-b	N-b
U_(2005)	66.9	72.0	59.5	67.5	62.2	65.2	70.8	64.5
_(2007)	57.4	70.0	57.6	67.5	59.0	54.0	63.3	55.0
_(2010)	54.0	69.0	57.2	57.2	67.2	64.8	48.5	50.5
UM_(2005)	65.5	53.4	43.9	54.7	48.1	50.2	58.9	69.8
_(2007)	67.5	51.4	41.7	48.9	59.9	60.6	62.3	63.5
_(2010)	49.8	53.7	41.1	39.5	68.9	62.5	54.4	49.0
M_(2005)	73.3	73.1	42.8	67.4	74.6	69.3	66.0	63.7
_(2007)	69.0	67.7	53.3	63.6	63.3	57.6	65.6	64.0
_(2010)	57.6	63.8	50.0	47.1	68.2	64.0	61.2	49.3
LM_(2005)	74.0	65.4	55.6	73.7	78.9	77.2	69.5	73.6
_(2007)	71.3	58.3	55.2	49.8	57.7	63.4	58.3	69.4
_(2010)	59.9	64.3	46.9	43.9	74.6	61.6	67.8	51.5
L_(2005)	74.3	81.0	75.1	57.1	77.1	80.0	78.9	83.5
_(2007)	72.7	69.5	72.4	63.7	75.4	71.2	70.9	82.8
_(2010)	65.8	77.4	64.9	29.1	58.6	80.4	70.6	46.5

付表4 深さ 0-5 cm における交換性カリ [mg K₂O/100 g] の結果。(書式は付表1に同じ)

	N-a	M-a	S-a	C-a	M-b	S-b	C-b	N-b
U_(2005)	12.3	14.9	10.1	12.8	13.6	14.1	15.5	20.1
_(2007)	10.9	16.1	15.8	7.2	14.3	11.5	6.9	9.2
_(2010)	7.1	6.3	6.8	6.7	10.9	10.5	6.7	9.8
UM_(2005)	17.8	12.4	20.2	7.5	15.8	19.1	13.4	18.3
_(2007)	14.0	11.8	24.3	8.6	13.7	37.2	8.5	9.5
_(2010)	6.3	10.8	4.5	6.5	19.8	7.8	6.3	13.3
M_(2005)	12.2	26.9	18.3	7.7	25.1	14.7	9.7	21.9
_(2007)	7.7	12.6	18.0	5.6	9.4	20.5	5.8	7.6
_(2010)	5.9	11.0	4.8	6.1	11.7	7.2	7.3	13.6
LM_(2005)	15.8	16.0	14.7	8.0	15.8	16.7	11.8	26.9
_(2007)	8.2	16.1	21.8	7.9	21.9	42.1	7.5	16.9
_(2010)	6.3	25.1	5.6	7.6	28.7	6.7	6.7	11.5
L_(2005)	16.2	33.8	18.6	12.7	35.1	30.7	14.3	23.6
_(2007)	9.1	8.5	8.6	9.4	13.9	45.2	7.1	17.3
_(2010)	5.5	7.7	9.8	13.5	56.0	13.8	8.2	12.1

付表5 深さ 7.5-12.5 cm における交換性カリ [mg K₂O/100 g] の結果。(書式は付表1に同じ)

	N-a	M-a	S-a	C-a	M-b	S-b	C-b	N-b
U_(2005)	8.9	7.6	5.4	5.4	5.9	5.6	6.8	12.7
_(2007)	6.3	4.8	6.6	5.7	7.0	5.5	4.8	7.0
_(2010)	4.5	3.7	3.3	3.6	6.1	3.6	4.8	7.8
UM_(2005)	13.3	6.7	5.1	4.2	5.4	4.8	5.6	8.4
_(2007)	10.2	6.0	6.9	5.0	4.4	6.3	4.5	6.2
_(2010)	4.5	5.1	4.1	3.3	5.9	4.0	4.1	7.3
M_(2005)	8.8	8.3	4.4	4.4	5.1	6.3	5.4	8.5
_(2007)	7.0	6.7	6.6	3.6	4.8	5.7	4.5	6.3
_(2010)	4.4	4.6	3.3	3.3	3.9	4.7	4.3	8.9
LM_(2005)	10.0	7.4	6.1	4.8	8.0	7.2	8.5	12.6
_(2007)	7.0	5.6	10.4	4.0	10.5	9.1	5.5	10.4
_(2010)	4.3	6.7	4.0	3.9	7.3	4.6	4.9	9.8
L_(2005)	9.2	8.8	6.3	5.3	11.7	10.9	8.1	14.2
_(2007)	8.1	6.0	5.3	6.9	8.7	10.7	5.8	9.1
_(2010)	4.7	4.7	4.5	5.3	18.1	6.8	5.2	8.0

付表6 深さ 15-20 cm における交換性カリ [mg K₂O/100 g] の結果。(書式は付表1に同じ)

	N-a	M-a	S-a	C-a	M-b	S-b	C-b	N-b
U_(2005)	13.8	6.8	6.1	5.6	6.8	11.6	7.9	15.3
_(2007)	8.6	6.0	5.0	4.7	5.2	4.9	5.1	8.5
_(2010)	5.4	4.1	3.5	4.0	4.4	4.1	5.1	9.2
UM_(2005)	15.6	7.7	4.5	4.3	4.9	5.3	6.2	12.8
_(2007)	10.2	6.3	5.1	3.7	5.7	8.3	4.9	7.7
_(2010)	5.1	4.0	3.6	3.2	4.9	4.1	4.0	11.3
M_(2005)	10.6	7.2	4.9	4.6	6.0	8.5	6.5	7.9
_(2007)	7.5	6.1	5.8	3.5	4.6	5.6	4.7	6.4
_(2010)	4.7	4.2	3.3	3.4	4.1	4.8	4.0	15.2
LM_(2005)	14.6	6.1	6.0	4.8	5.6	6.6	8.3	14.5
_(2007)	8.2	6.0	5.2	3.9	6.2	7.4	6.0	10.7
_(2010)	4.5	5.4	4.1	4.1	7.9	4.5	4.7	18.1
L_(2005)	11.9	7.8	6.1	6.0	7.5	10.6	8.1	18.5
_(2007)	8.7	5.2	6.8	7.0	6.2	11.0	6.1	10.3
_(2010)	5.1	4.8	4.1	5.5	12.7	8.0	5.8	12.4

付表7 深さ 0-5 cm における交換性石灰 [mg CaO/100 g] の結果。(書式は付表1に同じ)

	N-a	M-a	S-a	C-a	M-b	S-b	C-b	N-b
U_(2005)	415	267	249	248	261	476	269	312
_(2007)	394	269	282	264	275	531	259	301
_(2010)	346	303	284	263	401	346	239	328
UM_(2005)	380	333	361	326	282	310	292	294
_(2007)	337	336	347	316	312	316	267	285
_(2010)	308	346	350	275	323	329	246	294
M_(2005)	369	334	281	257	273	253	260	265
_(2007)	334	319	312	250	297	302	262	286
_(2010)	322	351	279	247	289	298	237	304
LM_(2005)	392	354	322	290	364	339	292	321
_(2007)	384	341	332	269	343	316	243	290
_(2010)	371	403	291	276	379	308	245	366
L_(2005)	405	362	334	339	419	449	350	401
_(2007)	402	363	295	354	409	422	331	396
_(2010)	399	344	340	407	455	405	318	386

付表8 深さ 7.5-12.5 cm における交換性石灰 [mg CaO/100 g] の結果。(書式は付表1に同じ)

	N-a	M-a	S-a	C-a	M-b	S-b	C-b	N-b
U_(2005)	442	299	280	251	274	508	333	344
_(2007)	420	310	311	291	267	596	318	333
_(2010)	380	272	259	274	306	403	307	341
UM_(2005)	401	331	367	355	285	309	315	314
_(2007)	376	326	359	360	316	334	337	302
_(2010)	337	311	360	301	290	328	277	288
M_(2005)	369	365	316	296	281	292	294	300
_(2007)	370	349	318	264	281	316	295	303
_(2010)	344	307	290	263	278	290	291	330
LM_(2005)	393	367	335	310	355	374	312	329
_(2007)	409	355	348	316	341	316	283	322
_(2010)	367	330	313	325	311	314	302	389
L_(2005)	448	383	351	347	415	468	377	420
_(2007)	448	360	321	354	439	437	368	414
_(2010)	446	336	330	400	417	413	359	424

付表9 深さ 15-20 cm における交換性石灰 [mg CaO/100 g] の結果。(書式は付表1に同じ)

	N-a	M-a	S-a	C-a	M-b	S-b	C-b	N-b
U_(2005)	426	316	281	271	274	555	312	334
_(2007)	406	287	293	272	279	614	297	316
_(2010)	395	282	274	280	312	443	289	346
UM_(2005)	386	313	362	352	283	316	317	306
_(2007)	380	325	357	351	308	322	327	307
_(2010)	358	317	369	304	293	330	283	292
M_(2005)	382	357	283	304	282	285	286	292
_(2007)	378	339	312	281	292	311	288	318
_(2010)	358	304	297	289	286	302	283	345
LM_(2005)	408	361	306	323	371	349	270	323
_(2007)	402	355	350	302	353	341	279	332
_(2010)	382	334	323	327	330	328	300	388
L_(2005)	459	366	347	362	434	470	388	409
_(2007)	449	359	322	371	452	468	390	417
_(2010)	437	339	327	403	409	412	367	412

付表 10 深さ 0-5 cm における交換性苦土 [mg MgO/100 g] の結果。(書式は付表 1 に同じ)

	N-a	M-a	S-a	C-a	M-b	S-b	C-b	N-b
U_(2005)	33.1	54.8	39.9	40.6	40.1	29.3	40.5	35.8
_(2007)	33.6	54.0	40.4	43.5	45.2	27.6	38.7	36.8
_(2010)	37.8	49.1	56.9	36.1	74.3	42.1	39.9	36.9
UM_(2005)	40.4	44.7	40.6	34.0	37.5	43.5	38.7	43.3
_(2007)	41.4	47.4	45.6	40.4	40.4	48.9	40.1	45.5
_(2010)	38.4	58.0	40.9	30.5	60.7	52.7	47.7	33.7
M_(2005)	35.7	49.1	43.1	27.8	37.1	35.7	30.8	37.7
_(2007)	32.3	49.8	40.0	32.3	43.5	44.3	38.6	34.6
_(2010)	37.2	62.7	44.1	33.3	37.4	42.6	38.6	33.4
LM_(2005)	38.5	41.7	37.0	29.3	41.3	39.4	31.2	41.2
_(2007)	37.1	44.7	47.4	35.5	50.4	60.4	34.5	44.3
_(2010)	37.3	64.4	40.1	39.5	56.1	48.7	38.5	34.0
L_(2005)	42.2	46.0	38.2	40.9	46.1	51.5	45.3	48.7
_(2007)	40.4	43.9	34.2	42.1	46.3	55.0	39.9	49.3
_(2010)	34.1	42.5	46.7	46.1	68.3	55.3	41.9	36.8

付表 11 深さ 7.5-12.5 cm における交換性苦土 [mg MgO/100 g] の結果。(書式は付表 1 に同じ)

	N-a	M-a	S-a	C-a	M-b	S-b	C-b	N-b
U_(2005)	31.2	36.0	22.6	22.5	27.3	15.8	25.3	29.8
_(2007)	33.5	41.6	33.5	33.5	31.3	15.3	32.0	33.7
_(2010)	28.6	30.2	33.3	27.9	34.0	25.1	35.3	28.6
UM_(2005)	33.4	36.0	24.6	22.3	24.3	23.5	26.5	34.8
_(2007)	34.4	38.0	28.8	27.4	25.2	29.0	29.6	35.6
_(2010)	30.0	32.3	25.0	18.6	27.5	31.2	31.9	28.2
M_(2005)	29.1	36.1	25.5	20.8	23.0	25.3	23.5	31.9
_(2007)	30.8	41.2	26.1	21.4	25.2	28.9	31.0	29.4
_(2010)	26.8	28.5	25.1	20.6	21.7	26.7	28.2	29.8
LM_(2005)	33.1	34.5	27.8	26.0	27.4	29.5	26.6	36.0
_(2007)	33.3	34.2	35.2	28.3	34.9	32.9	31.0	35.5
_(2010)	26.2	34.1	29.6	28.9	33.2	32.6	31.2	34.0
L_(2005)	32.7	35.3	26.1	29.0	32.0	39.7	31.7	39.8
_(2007)	32.2	33.5	28.2	36.7	36.2	40.9	32.7	40.7
_(2010)	29.5	30.4	38.1	35.6	38.6	40.0	32.5	33.5

付表 12 深さ 15-20 cm における交換性苦土 [mg MgO/100 g] の結果。(書式は付表 1 に同じ)

	N-a	M-a	S-a	C-a	M-b	S-b	C-b	N-b
U_(2005)	31.8	30.6	21.8	19.8	24.7	19.2	29.7	28.4
_(2007)	32.9	35.4	25.1	25.1	23.9	15.3	28.1	29.2
_(2010)	26.9	25.8	25.8	25.8	25.5	19.1	29.4	25.7
UM_(2005)	32.9	28.8	21.7	19.7	22.2	24.7	25.9	30.5
_(2007)	32.4	31.5	22.5	22.1	24.4	29.8	26.6	31.5
_(2010)	27.3	24.8	23.1	21.4	22.5	28.3	24.7	27.4
M_(2005)	27.8	32.6	22.8	20.3	25.0	25.8	25.4	28.5
_(2007)	30.5	33.4	22.5	16.2	23.6	29.1	26.2	29.3
_(2010)	28.2	22.2	23.9	22.2	21.2	25.0	24.7	29.2
LM_(2005)	35.1	28.4	26.1	25.3	28.5	31.5	26.0	31.0
_(2007)	31.4	32.6	28.3	26.1	30.0	30.9	26.4	34.9
_(2010)	27.6	28.6	29.7	27.7	30.5	28.3	27.2	30.5
L_(2005)	33.3	30.6	22.5	28.5	29.8	38.9	32.0	35.6
_(2007)	32.7	29.6	24.4	35.5	32.1	39.2	31.4	34.0
_(2010)	30.3	28.6	30.0	34.2	34.7	40.3	29.3	31.7