

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 —

澤本卓治¹⁾・青木理有¹⁾・松中照夫²⁾

Soil physicochemical properties in a grassland receiving long-term applications of anaerobically digested cattle slurry, farmyard manure, or chemical fertilizer

— Results of sixth-year measurements —

Takuji SAWAMOTO¹⁾, Riyu AOKI¹⁾ and Teruo MATSUNAKA²⁾

(Accepted 15 July 2011)

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、メタン発酵消化液が学内の農地に還元されている。しかしながら、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については検討されていない。この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)。我々は、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、本長期連用草地における処理開始1年後(2005年9月)、および3年後(2007年9月)において土壌の採取・分析を行い、その結果を本紀要にて報告した(澤本ら, 2006; 澤本ら, 2007; 澤本ら, 2008)。結果を要約すれば以下のとおりである。

1. 処理開始1年後の土壌化学性は空間的特異性を示した。すなわち、斜面下部ほど有機物(腐植)含量やCEC(陽イオン交換容量)が高いといった特徴が認められた(澤本ら, 2006; 澤本ら, 2007)。
2. 処理開始1年後において、施用資材の効果が発現している可能性があると思われたのは表層(0-5 cm)土壌の水素イオン指数(pH(H₂O))のみであった(澤本ら, 2006)。すなわち、pH(H₂O)

と塩基飽和度は化学肥料施用区で最も低く、両者に正の有意な関係が認められた(澤本ら, 2007)。

3. 処理開始1年後と3年後の結果から、施用資材による土壌化学性の変化は発現していないと結論された(澤本ら, 2008)。すなわち、上記2で述べた化学肥料区におけるpH低下は確認されなかった。

本草地はその後維持管理されている。処理開始6年後の2010年において、前回までと同様の土壌採取と物理化学性の測定を行った。本稿の主な目的は、これまでに得られたデータから、土壌の物理化学性の状況を報告するとともに、空間的特異性と経年的変化がある中で、処理(資材)による違いが認められるかどうかを検討することである。ただし、本試験は肥料要素を合わせるような設計になっていないため、処理の効果を比較できるようになっていない。よって、後述するように本試験の資材施用量の条件のもとで、処理と年との交互作用を検討することになる。

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 圃場である。図1に処理区の模式図を示す。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、その土壌は黄色土(細粒質)に分類されている。

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, Ebetsu, Hokkaido, 069-8501, Japan

²⁾ 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, Ebetsu, Hokkaido, 069-8501, Japan

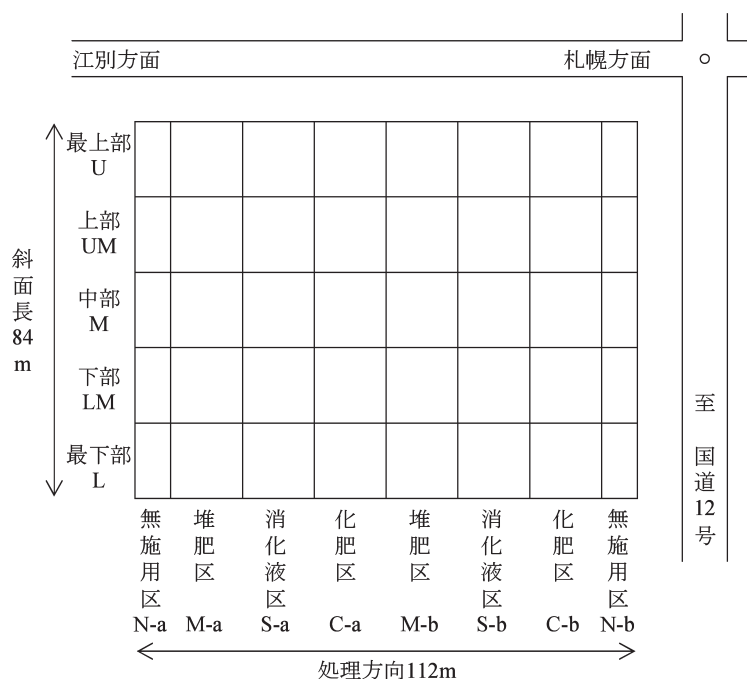


図1 長期連用試験が行われている草地（酪農学園大学附属農場 No. 23 圃場）および試験区の模式図。無施用区の幅は8 m、堆肥区、消化液区、および化肥区の幅は16 mである。

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（天野・水野，2002）。

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。管理履歴を表1に示す。附属農場報告（2004年度）（酪農学園大学・酪農学園短期大学部，2006）によれば、面積は1.0 haである。斜面方向と直交方向に（江別—札幌方向に）、4処理2反復の処理区が設定されている（図1）。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。各処理区の反復は、それぞれ江別方面側の処理区をa、札幌方面側の処理区をbとした。各処理区は「消化液区a」や「S-a」のように略記する。また、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。

土壌の採取と物理性（容積重）

2010年8月30日～9月8日に40区画のおおよそ中心で、深さ0-5、7.5-12.5、および15-20 cmの土壌を採取した。各深さの採取には100 cm³容の円

筒採土管を2つ用いた。これを実験室で風乾後、粗大有機物を取り除き2 mmの篩に通したものを測定用風乾土とした。篩に通らなかったものは石礫とした。風乾土の水分を測定し乾土重を計算した。乾土重に粗大有機物と石礫の乾物重量を加えた総重量を200 cm³で除し、容積重（BD, Mg/m³）を計算した。なお、作業慣れ等による系統誤差を避けるため、土壌採取順はランダムとした。

土壌化学性の測定

水素イオン指数（pH（H₂O）ならびにpH（KCl））、電気伝導度（EC, mS/m）、および強熱減量（IL, %）を測定した。手順は前報（澤本ら，2008）に示した。系統誤差を避けるため測定順はランダム化し、各風乾土につき3反復とし平均値を得た。pHと電気伝導度の測定は、前回、前々回と同じガラス電極式水素イオン濃度指示計D-54（堀場製作所）を使用した。

なお、pH（KCl）は、土壌の負荷電に吸着している水素イオン（H⁺）も測定されるため、pH（H₂O）よりも低い傾向を示す。これは、潜在的な酸性の強さを測定しているためである。ECは土壌中の塩類の多寡を示す指標である。ILは、有機物（腐植）含量と正の有意な関係があることが報告されている（中橋・橋本，1995）ことから、ILが高いほど有機物（腐植）含量が高い。

表1 管理履歴 (2003年から2007年の履歴については、前報(澤本ら, 2006; 澤本ら, 2008)に示した。)

年月日	作業等の内容
2008年04月24日	化肥区に, 化学肥料散布 (30kg/10a)。消化液区に, 消化液散布 (3 t/10a)。
06月27日	圃場全体で, 一番草収穫。収穫ロール17本 (総量7.8t, ロール1本当たり458kg)。
07月10日	化肥区に, 化学肥料散布 (20kg/10a)。消化液区に, 消化液散布 (2 t/10a)。
09月04日	圃場全体で, 二番草収穫。収穫ロール5本 (総量2.4t, ロール1本当たり480kg)
11月13日	消化液区に, 消化液散布 (2 t/10a)。
11月18日	堆肥区に, 堆肥散布 (2 t/10a)。
2009年04月21日	消化液区に, 消化液散布 (3 t/10a)。
04月27日	化肥区に, 化学肥料散布 (30kg/10a)。
06月26日	圃場全体で, 一番草収穫。
09月01日	圃場全体で, 一番草収穫。収穫量は一番草と二番草合計で7.35t。
11月12日	堆肥区に, 堆肥散布 (2 t/10a)。
11月13日	消化液区に, 消化液散布 (2 t/10a)。
2010年04月21日	消化液区に, 消化液散布 (3 t/10a)。
04月27日	化肥区に, 化学肥料散布 (30kg/10a)。
06月25日	圃場全体で, 一番草収穫。収穫ロール12本 (総量4.98t, ロール1本当たり415kg)。
08月25日	圃場全体で, 二番草収穫。収穫ロール4本 (総量1.81t, ロール1本当たり452kg)
09月24日	圃場全体に, 薬剤散布 (ハーモニー)
10月24日	消化液区に, 消化液散布 (2 t/10a)。
11月09日	堆肥区に, 堆肥散布 (2 t/10a)。

注1 上記の化学肥料の名称と成分等, および薬剤の名称と散布方法等は前報(澤本ら, 2006)に示したものと同一である。

注2 消化液の成分については, 土壌植物栄養学研究室(2004~2010年)による分析結果(未発表3件含む)(赤田2005, 山下2006, 吉田2006, 岡野2007, 桃野2008, 白崎2008, 田代2009, 塩澤2009, 後藤2010)から, 以下の値(平均値±標準偏差)を得た。pH 7.84±0.16, EC 17.10±1.14 (mS/m), T-N 3.03±0.32 (g/kg), NH₄-N 1.45±0.22 (g/kg), T-P 0.61±0.10 (g/kg), T-K 3.06±0.42 (g/kg), T-Ca 1.80±0.76 (g/kg), T-Mg 0.58±0.24 (g/kg), T-C 21.01±3.46 (g/kg)。

注3 堆肥は学内で生産された麦稈・古紙堆肥である。2001年頃の古いデータによれば, T-N 0.60%, P₂O₅ 0.70%, K₂O 0.80%であったとのことである。2007年に飼料作物学研究室によって行われた簡易分析の結果(越前谷2008)によれば, T-N 0.71%, NH₄-N 0.04%, P₂O₅ 0.51%, K₂O 0.55%であった。平均すれば T-N 0.66%, NH₄-N 0.04%, P₂O₅ 0.61%, K₂O 0.68%であったと推定される。ただし, データが不足しているため信頼性が低い推定値である。

過去の調査・測定との関係

処理開始1年目および3年目においても, 今回の6年目とほぼ同様の方法で土壌採取と測定を実施した。いずれの土壌採取も二番草収穫直後であり, 土壌採取を行った期間には施肥・薬剤散布などは実施されていない。このため, ほぼ同じ条件の採取と測定が行われたといえる。

しかしながら, 機器を用いる測定の場合, 測定年による系統的誤差の懸念がある。そこで, 化学性の全ての項目で, 過去に採取・保存してある風乾土の再測定を実施した。すなわち, 各年から5点(計10点)の風乾土を抽出し, 上記の手順に混ぜて測定した。このことによって, 過去と今回の測定に系統的誤差がないかどうかを検討した。

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。過去と今回の測定比較には対応のあるt検定(Paired t-test)を用いた。いずれも統計解析ソフトウェアSigmaPlot 11 (Systat Soft-

ware, 2008)を使用した。

3, 結果および考察

施肥量と収穫量の推移

2004年春から2010年秋までに各処理区に施用された肥料三要素の推定量を図2に示す。どの要素についてもそれらの施用量は処理区によって異なる。すなわち, 全窒素(T-N), アンモニウム態窒素(NH₄-N), およびカリ(K₂O)では消化液区がもっとも多く, リン(P₂O₅)は堆肥区でもっとも多い。このように本圃場では, 肥料要素をあわせるような設計とはなっておらず, 厳密な比較ができる試験圃場というよりは展示圃場というべきである。圃場全体における2004年から2010年における乾草収穫量を図3に示す。後半期間において収穫量の逓減が認められた。本報告はこのような圃場において, 土壌採取とその物理性・化学性の測定を行ったものである。

測定値の一貫性

2005年および2007年に採取・測定・保存されてい

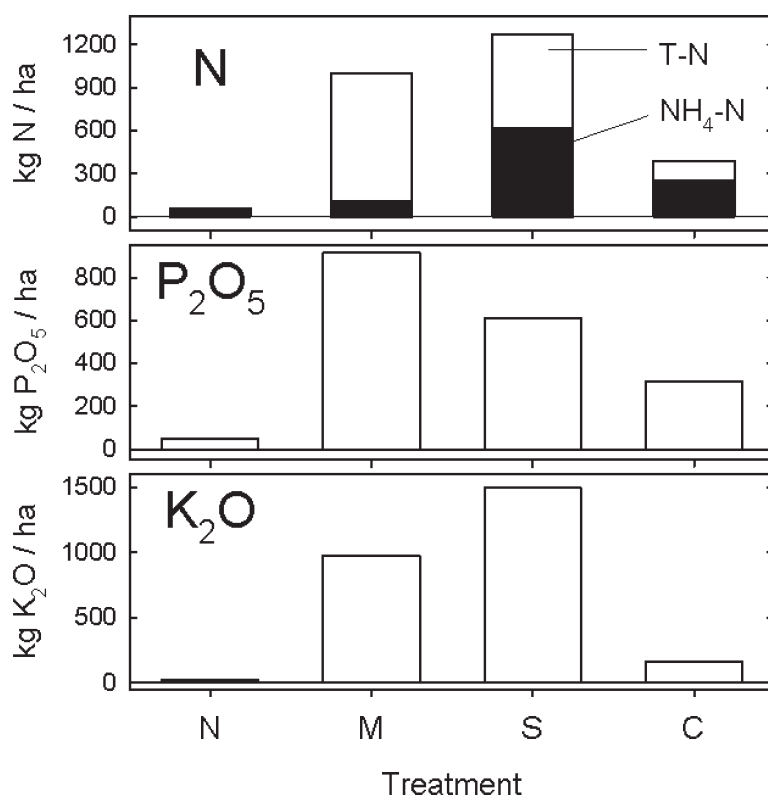


図2 2004年春から2010年秋までに各処理区に施用されたと推定される肥料三要素の量。横軸は処理区を示す(Nは無施用区, Mは堆肥区, Sは消化液区, Cは化肥区)。各資材の面積あたりの施用量と成分(表1)を掛け合わせて求めた。表1の注3で述べたように堆肥区の信頼性は高くない。

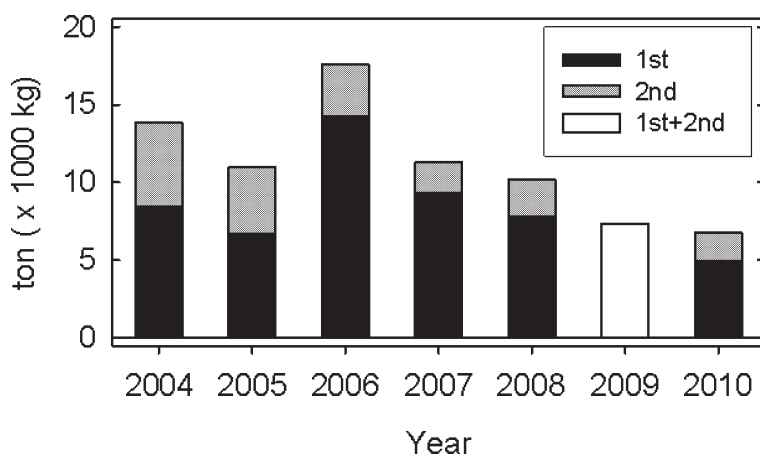


図3 No. 23 圃場全体における2004年から2010年における乾草収穫量。一番草を黒色, 二番草を灰色, 一番草と二番草の合計を白色の棒で示している。2009年は一番草と二番草の合計のみが記録されている。

た風乾土の再測定結果を図4に示す。pH (KCl) とILは, 過去の測定値と再測定値が良く一致し, t検定の結果も5%水準で有意な差は認められなかった。pH (H₂O) は高pH領域において不一致の程度が大きくなるように見受けられる。しかし, t検定の結果, 過去の測定値と再測定値には5%水準で有意な差が認められなかった。以上から, これらの化学性

については測定年による系統誤差の問題はないと判断した。

一方, ECについては過去の測定値と再測定値に不一致が認められた。t検定の結果も, 0.1%水準で両者に有意な差が認められた。ECの測定開始前にはセル定数の確認と標準液を用いたチェックを実施したにもかかわらず, このような系統誤差が認めら

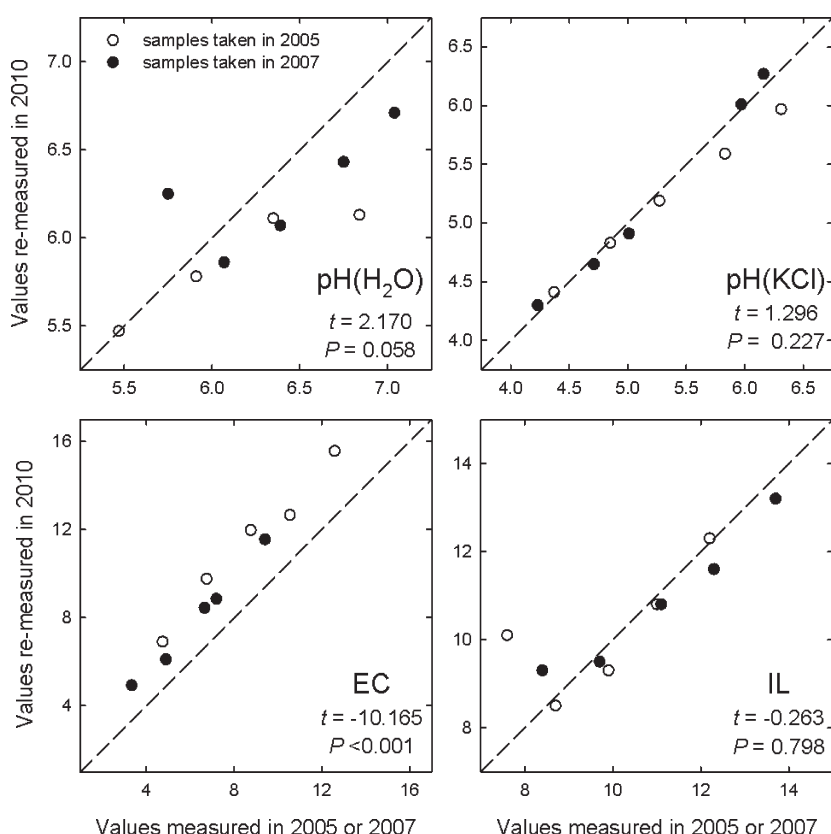


図4 2005年および2007年に採取・測定・保存されていた風乾土を再測定した結果。横軸は過去に測定された値（3反復の平均値）、縦軸は今回再測定した値（反復なし）である。白抜きのプロットは2005年採取の土壌であり、黒のプロットは2007年採取の土壌である。点線は採取時と再測定の値が等しい場合（1：1）を示したものである。t値およびP値は対応のあるt検定の結果である。

れた。この原因は不明である。したがって、ECは測定年による系統的な誤差が生じていたと考えられる。2005年と2007年の測定間においても同様なことが生じていた可能性も否定できない。このような測定年間の系統誤差は、対応ある分散分析において主効果の「年」に影響を与える。しかし、測定順をランダム化しているため、測定年内における系統誤差はなく、「処理×年」の交互作用には影響を与えない。そのため幸いなことに、本稿の主目的である「空間的特異性と経年的変化がある中で、処理（資材）による違いが認められるかどうかの検討」には影響しない。

土壌化学性

付表1～12にこれまでに得られた土壌化学性の結果を示す。深さ0-5 cm, 7.5-12.5 cm, および15-20 cmにおける経年変化を、それぞれ図5, 図6, および図7に示す。どの化学性・深さにおいても、程度の差はあるが処理や年による変動が認められる。特徴的な点について以下に述べる。

まず、年による変動であるが、pH(H₂O)とECについてはどの深さにおいても年変動が大きかった。すなわち、「年」の主効果に高い有意性 ($P_Y < 0.001$)が認められた。データを示していないが、ECのF値はどの深さにおいても140以上と高い値であり(pH(H₂O)のそれは30以下)、年変動が極めて大きいことを示している。これは前述したECの測定年による系統誤差によってもたらされたものと考えられる。

次に、「処理」の主効果に着目する。pH(H₂O)とpH(KCl)の深さ0-5 cmにおいて「処理」の主効果に高い有意性 ($P_T < 0.001$)が認められた(図5)。このことは、「1, はじめに」で述べた前報の要約と対応するものである。すなわち、どちらのpHにおいても化肥区において低い値を示した。この化肥区における低いpHは化学肥料によってもたらされたものであろうか。もしそうであると仮定すれば、化学肥料が継続的に散布されている化肥区のpHは、年数の経過とともに他の区と比較して一層低下すると予想される。しかしながら、図5をよくみるとそ

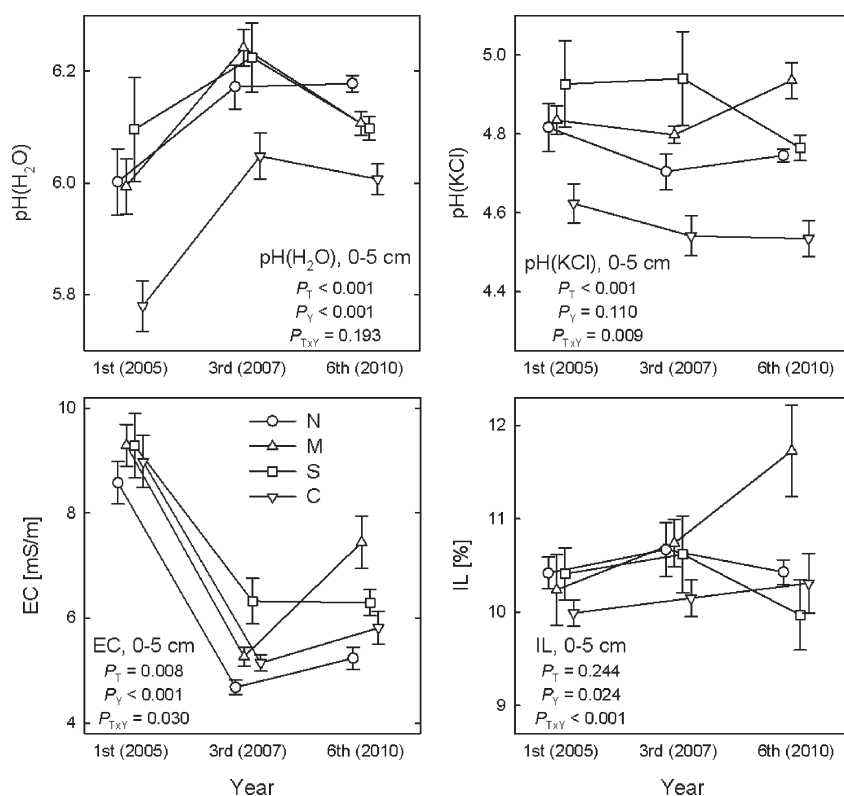


図5 深さ0-5 cmにおけるpH(H₂O), pH(KCl), EC, ILの年次推移。凡例のNは無施用区, Mは堆肥区, Sは消化液区, Cは化学肥料区を示す。点と誤差棒はそれぞれ10地点の平均値と標準誤差を示す。 P 値は対応のある2元分散分析の結果を示し, P_T 値は処理の主効果, P_Y 値は年の主効果, P_{TXY} 値は処理×年の交互作用を示す。

のようになっていない。むしろ化肥区の推移は無施用区のそれと一定の差を保ちながら年変動しているように見える。つまり、化肥区におけるpHが低いことは化学肥料の継続的な散布によってもたらされている可能性は低いと思われる。化肥区におけるpHがもともと低かった可能性もある。

このように考えると、本稿の主目的である「空間的特異性と経年的変化がある中で、処理（資材）による違いが認められるかどうかの検討」には、「処理×年」の交互作用を検討する必要があることが理解されよう。「処理×年」の交互作用に有意性($P_{TXY} < 0.05$)が認められたのは、深さ0-5 cmにおけるpH(KCl), EC, IL, および深さ15-20 cmにおけるILの4項目であった。深さ15-20 cmにおけるILについては明瞭な特徴を見出せないが(図7)、深さ0-5 cmの3項目については、いずれも堆肥区における値が2010年に上昇するという共通の特徴が認められた(図5)。この事実は、堆肥区土壌の表層(0-5 cm)における栄養塩類および有機物(腐植)の蓄積が生じていることを示唆する。

堆肥連用が土壌有機物を増加させたか

前述したように表層(0-5 cm)では、特にILに極めて高い交互作用の有意性($P_{TXY} < 0.001$)が認められた。このことについて考察する。図5のILにおいて、無施用区、消化液区、および化肥区においては年変動が認められるものの、その変動は誤差範囲内にあるように見える。分散分析の処理区内における年次比較の検定結果では、この3処理区全てにおいて2005年と2010年のあいだには有意差が認められなかった。このことは表層(0-5 cm)の有機物(腐植)の変化が検出されていないことを示すものである。これに対し堆肥区においては上昇傾向が認められ、堆肥区内の年次比較の検定結果では、2005年と2010年および2007年と2010年のあいだには有意差($P < 0.001$)が認められた。このことは表層(0-5 cm)の有機物(腐植)が増加してきていることを示すものである。この堆肥区におけるILの有意な上昇は堆肥の連用によるものと断定してよいであろうか。

付表10より堆肥区における表層(0-5 cm)のILの平均値は、2010年と2005年はそれぞれ11.73%と10.24%であった。その差は1.49%である。本圃場の

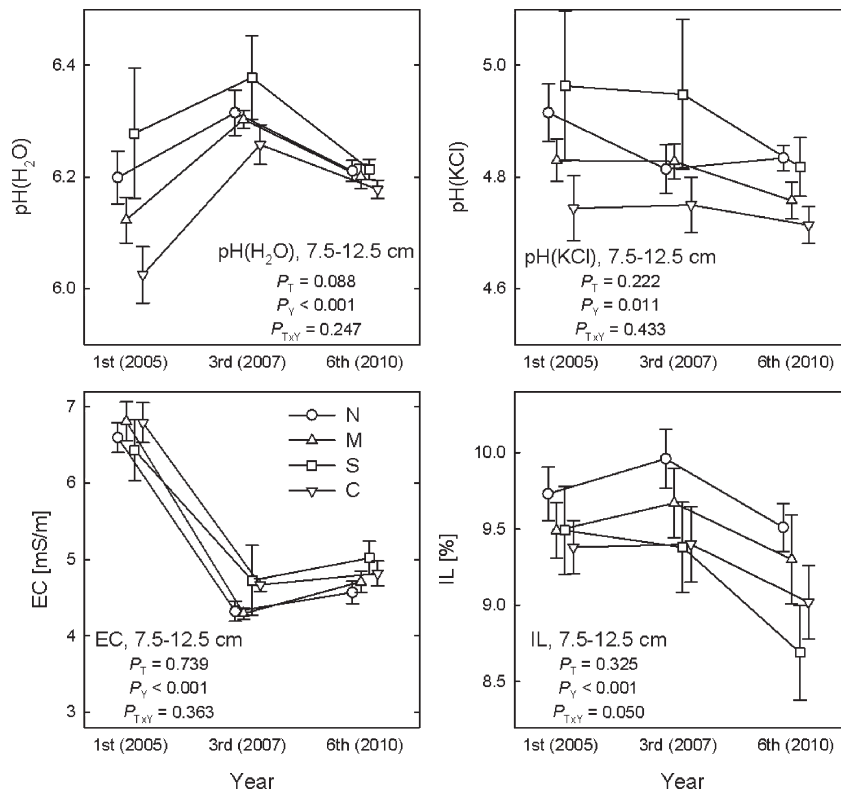


図6 深さ 7.5-12.5 cm における pH (H₂O), pH (KCl), EC, IL の年次推移。(書式は図5と同様)

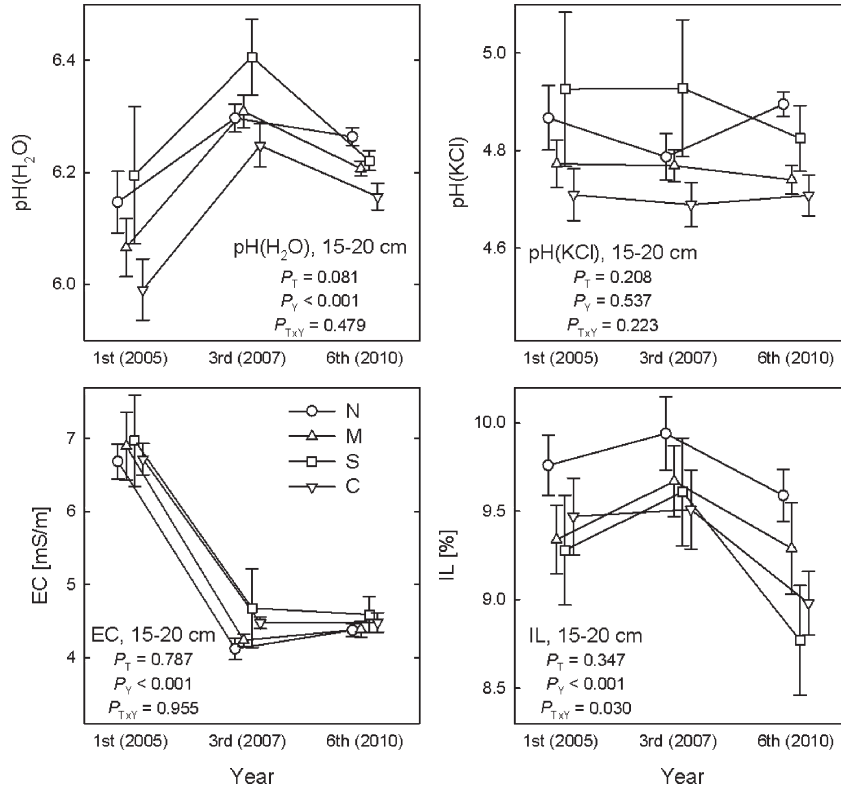


図7 深さ 15-20 cm における pH (H₂O), pH (KCl), EC, IL の年次推移。(書式は図5と同様)

風乾土（2005年採取分）を対象とした結果（井上，2007）によれば，強熱減量（IL，%）と全有機炭素含量（TC，%）には以下の有意な関係が認められた。

$$TC = 0.3679 \times IL - 0.3892 \quad (7.6 \leq IL \leq 12.2, \\ 2.2 \leq TC \leq 4.3, n = 120, r^2 = 0.46, P < 0.001)$$

この関係から，上記の差（1.49%）をTCに換算すると0.548%に相当する。堆肥区表層（0-5 cm）土壌の容積重は1.16 Mg/m³（全測定期間平均値：付表13）であり，深さは0.05 mであるので，これらの数値を掛け合わせると，0.32 kg C/m²となる。すなわち，5年間の表層（0-5 cm）のILの上昇は全有機炭素増加として0.32 kg C/m²相当と推定される。一方，同じ5年間に10 t/10 aの堆肥が施用された。堆肥の全窒素含量は0.66%と推定された（表1注3）が，全炭素含量のデータはない。堆肥のC/N比として20と仮定すると，堆肥から炭素の供給量は1.32 kg C/m²相当と推定される。

このように不確かさが大きい推定と比較ではあるが，面積あたりの炭素量換算（kg C/m²）としてILの上昇は0.32，堆肥からの供給は1.32と推定される。散布後の分解があることを考慮すると，ILの上昇は堆肥からの有機物供給量でおおむね説明される

ように見える。

一方，同じ5年間に消化液が31 t/10 a施用された。消化液中の有機炭素含量は21.01 g/kgであった（表1注2）ので，消化液から炭素の供給量は0.65 g C/m²相当と推定される。このように消化液からも無視できない量の炭素（有機物）が供給されているにもかかわらず，消化液区ではILに有意な上昇が認められなかった。この理由は不明であるが，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。

以上の考察から，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。しかしそれを断定するには，今後の経過を含め，さらなる検討が必要であろう。

土壌物理性

付表13~15にこれまでに得られた土壌物理性（容積重）の結果を示す。すべての深さにおける経年変化を図8に示す。どの深さにおいても，「年」の主効果に有意性（ $P_{TXY} < 0.01$ ）が認められたが，「処理×年」の交互作用に有意性は認められなかった（ $P_{TXY} > 0.05$ ）。いいかえれば，経年的変化の中で，処理（資材）による違いは認められないといえる。

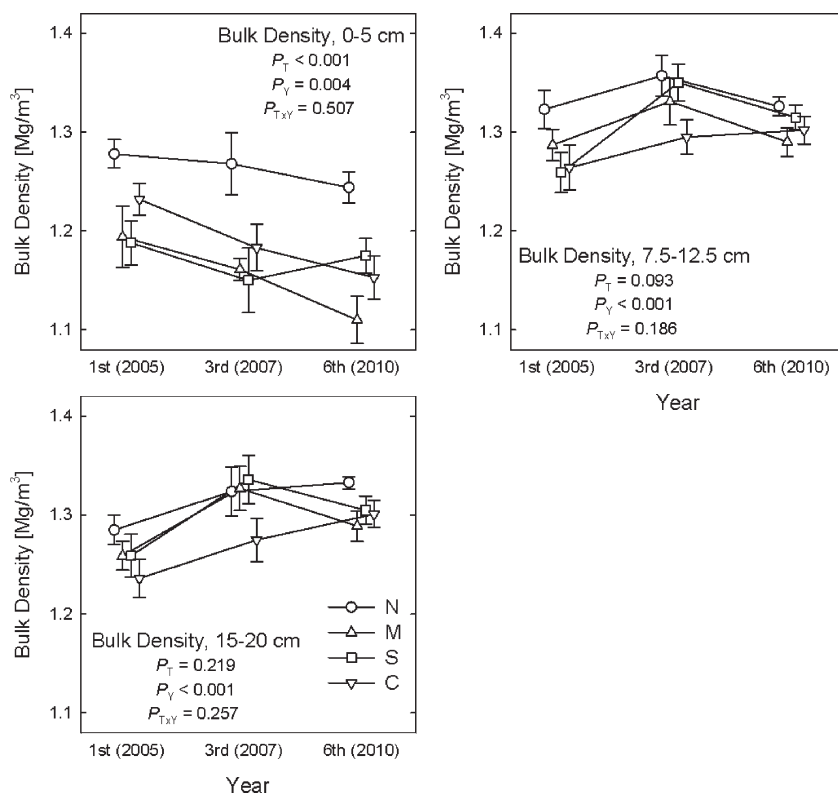


図8 各深さにおけるBDの年次推移。（書式は図5と同様）

今後の課題

徳田ら (2010) はキャベツ栽培において、化学肥料を施用した栽培跡地と消化液を施用した栽培跡地における土壌化学性には違いが認められなかったことを報告している。また、報告されている消化液を利用した栽培試験の多くは試験期間が短いため、長期連用試験が必要であることも指摘している (徳田ら, 2010)。本連用草地は展示圃場として維持管理されているが、6年の長期にわたり連用されているため、得られた結果はそれなりの価値があろう。本圃場においては、徳田ら (2010) と同様に消化液区と化肥区の化学性に違いは認められなかった。

そもそも土壌の化学性は、インプット (資材の施用, 作物残渣, 降水, 無機化や風化等) とアウトプット (作物吸収と持ち出しや下層への溶脱等) の差, すなわち物質収支によって変化するものである。本草地においては現時点で物質収支を提示できないが、長期連用の一事例として調査の継続には一定の意味があると考えている。

本稿では付表に全てのデータを提示した。このような時空間的データセットは geostatistics (地球統計学, 地統計学などと訳される) にとっても興味深い対象であり, データセットの提示は学術資料的価値があろう。また, 40 地点, 3 深度, 3 年間の合計 360 点の風乾土を保管してある。今後これらの試料について交換性塩基などの測定を行い, さらに解析を試みたいと考えている。

4. 要 約

本学附属農場内に 2004 年から設けられた消化液・堆肥・化学肥料の長期連用草地における土壌の経年的変化を解析することを目的とした。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) に採取された土壌の物理化学性 (容積重, pH (H_2O), pH (KCl), 電気伝導度, 強熱減量) を測定した。対応のある 2 元分散分析を用いた解析の結果, 堆肥区の表層土壌に塩類と有機物 (腐植) が蓄積してきていることが示唆された。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ものの, 断定はできないと考えられた。

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

- 赤田繁尚 2005. 家畜ふん尿に含まれる有機態窒素の無機化過程, 酪農学園大学・酪農学園大学短期大学部, 酪農学科, 卒業論文.
- 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.
- 越前谷健志郎 2008. チモシー主体草地に対するバイオガスプラント消化液, 堆肥および化学肥料の連用が収量, 植生, サイレージ発酵品質および嗜好性に及ぼす影響 —— 施用 3 年目の結果 ——, 酪農学園大学・酪農学園大学短期大学部, 酪農学科, 卒業論文.
- 後藤賢治 2010. メタン発酵消化液への硝化抑制剤 (DCD) の添加は亜酸化窒素排出を抑制しない —— 圃場試験の例 その 1. チモシー草地の場合, 酪農学園大学・酪農学園大学短期大学部, 酪農学科, 卒業論文.
- 井上徳子 2007. 消化液・堆肥・化学肥料の長期連用圃場における初年度の土壌化学性 —— 特に, 全炭素窒素, 陽イオン交換容量, 交換性塩基について ——, 酪農学園大学・酪農学園大学短期大学部, 酪農学科, 卒業論文.
- 桃野耕一 2008. 草地に対する乳牛メタン発酵消化液の数種施与方法における肥効比較, 酪農学園大学・酪農学園大学短期大学部, 酪農学科, 卒業論文.
- 中橋正行・橋本均 1995. 土壌診断の簡便化について —— 腐植および湛水法ケイ酸の場合 ——, 北農, 62, 276~281.
- 岡野智子 2007. 過リン酸石灰を添加した乳牛消化液の牧草に対する肥料の効果の向上, 酪農学園大学・酪農学園大学短期大学部, 酪農学科, 卒業論文.
- 酪農学園大学・酪農学園短期大学部 2006. 農場報告 第 29 号 (2004 年度).
- 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.
- 塩澤恭子 2009. 乳中ふん尿消化液への硝化抑制剤添加は草地土壌からの亜酸化窒素ガス排出を抑制する, 酪農学園大学・酪農学園大学短期大学部, 酪農学科, 卒業論文.
- 白崎里美 2008. 土壌表面に施与された乳牛ふん尿に由来する N_2O 放出抑制対策 その2, 硝化抑制剤添加効果と土壌条件の関係, 酪農学園大学・酪農学園大学短期大学部, 酪農学科, 卒業論文.
- Systat Software 2008. SigmaPlot® 11.0 User's Guide, San Jose, CA USA.
- 田代幸賢 2009. 草地に対する乳牛メタン発酵消化液の数種施与法間における牧草生産と環境負荷抑制効果の影響比較, 酪農学園大学・酪農学園大学短期大学部, 酪農学科, 卒業論文.
- 徳田進一・田中康男・東尾久雄・村上健二・相澤証子・浦上敦子・國久美由紀 2010. キャベツの露地栽培におけるメタン発酵消化液の効果的な施用方法, 土肥誌, 81, 105~111.
- 山下賢治 2006. 家畜ふん尿に由来する有機態窒素の無機化と無機化した窒素のトウモロコシによる吸収利用過程, 酪農学園大学・酪農学園大学短期大学部, 酪農学科, 卒業論文.
- 吉田亮 2006. バイオガスプラント消化液連用草地における温室効果ガスの発生および吸収の特徴——化学肥料連用の場合との比較, 酪農学園大学・酪農学園大学短期大学部, 酪農学科, 卒業論文.

Summary

The objective of this study was to analyze long-term changes in soil properties in a grassland at Rakuno Gakuen University, where anaerobically digested cattle slurry, farmyard manure, or chemical fertilizer had been continuously applied to the surface of grassland since 2004. We sampled the topsoil (0-20 cm depth) 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 following soil physicochemical properties: bulk density, pH(H_2O), pH(KCl), electrical conductivity, and loss on ignition. The results of two-way repeated measures ANOVA suggest that nutrient salts and organic matter (humus) have accumulated in the topsoil of the plots where farmyard manure had been repeatedly applied. It is likely that continuous application of farmyard manure increased the organic matter content of the top soil. However, this has not yet been completely proved.

付表1 深さ0-5 cmにおけるpH (H₂O) の結果。

	N-a	M-a	S-a	C-a	M-b	S-b	C-b	N-b
U_ (2005)	6.19	5.89	5.77	5.70	5.78	6.84	5.81	5.89
_ (2007)	6.34	6.24	6.24	6.09	6.22	6.75	6.03	6.09
_ (2010)	6.10	6.12	6.24	5.98	6.08	5.98	6.07	6.24
UM_ (2005)	6.13	6.13	6.05	5.96	5.80	5.96	5.81	5.98
_ (2007)	6.15	6.20	6.18	6.20	6.45	6.20	5.96	6.36
_ (2010)	6.13	6.01	6.09	5.87	6.07	6.07	5.93	6.18
M_ (2005)	6.07	5.96	6.01	5.71	5.88	5.92	5.47	5.59
_ (2007)	6.18	6.23	6.17	6.07	6.14	6.21	6.18	6.14
_ (2010)	6.24	6.12	6.11	6.06	6.26	6.07	5.88	6.18
LM_ (2005)	6.14	6.17	6.14	5.86	6.00	5.90	5.69	5.88
_ (2007)	6.29	6.33	6.25	6.02	6.12	6.05	5.75	5.98
_ (2010)	6.13	6.15	6.08	6.05	6.07	6.11	6.05	6.20
L_ (2005)	5.95	6.12	6.17	5.91	6.21	6.20	5.88	6.20
_ (2007)	6.15	6.34	6.10	6.16	6.15	6.10	6.02	6.04
_ (2010)	6.18	6.08	6.16	6.11	6.11	6.07	6.07	6.20

最上行のN-は無施肥区, 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。

付表2 深さ7.5-12.5 cmにおけるpH (H₂O) の結果。(書式は付表1と同じ)

	N-a	M-a	S-a	C-a	M-b	S-b	C-b	N-b
U_ (2005)	6.52	6.04	5.92	5.85	6.02	7.26	6.00	6.13
_ (2007)	6.36	6.31	6.24	6.22	6.25	7.04	6.35	6.31
_ (2010)	6.14	6.23	6.29	6.17	6.12	6.15	6.27	6.23
UM_ (2005)	6.24	6.14	6.34	6.34	6.08	6.16	6.05	6.18
_ (2007)	6.25	6.29	6.34	6.29	6.26	6.29	6.20	6.39
_ (2010)	6.25	6.27	6.22	6.19	6.22	6.27	6.16	6.24
M_ (2005)	6.24	6.30	6.23	5.99	5.87	6.00	5.81	5.96
_ (2007)	6.31	6.28	6.26	6.11	6.26	6.29	6.26	6.15
_ (2010)	6.08	6.25	6.29	6.15	6.09	6.22	6.09	6.24
LM_ (2005)	6.29	6.16	6.22	6.11	6.12	6.13	5.88	6.05
_ (2007)	6.59	6.39	6.29	6.30	6.30	6.34	6.14	6.21
_ (2010)	6.24	6.16	6.13	6.23	6.14	6.23	6.12	6.20
L_ (2005)	6.16	6.25	6.29	6.18	6.25	6.23	6.04	6.22
_ (2007)	6.19	6.30	6.28	6.50	6.39	6.41	6.21	6.39
_ (2010)	6.21	6.27	6.18	6.20	6.26	6.16	6.20	6.28

付表3 深さ15-20 cmにおけるpH (H₂O) の結果。(書式は付表1と同じ)

	N-a	M-a	S-a	C-a	M-b	S-b	C-b	N-b
U_ (2005)	6.47	5.81	5.92	5.87	5.96	7.25	5.99	6.06
_ (2007)	6.25	6.28	6.30	6.24	6.34	6.97	6.20	6.42
_ (2010)	6.33	6.19	6.27	6.14	6.15	6.17	6.11	6.24
UM_ (2005)	6.26	5.97	6.14	6.13	6.01	6.12	5.98	5.99
_ (2007)	6.39	6.31	6.49	6.28	6.42	6.26	6.25	6.26
_ (2010)	6.33	6.15	6.13	6.23	6.20	6.28	6.07	6.22
M_ (2005)	6.20	6.21	6.03	6.09	5.90	5.88	5.71	5.92
_ (2007)	6.29	6.26	6.49	6.14	6.13	6.31	6.16	6.21
_ (2010)	6.24	6.26	6.22	6.23	6.16	6.22	6.07	6.20
LM_ (2005)	6.27	6.14	6.12	6.15	6.17	6.05	5.73	5.95
_ (2007)	6.24	6.33	6.37	6.26	6.33	6.30	6.12	6.20
_ (2010)	6.25	6.24	6.27	6.24	6.22	6.16	6.11	6.25
L_ (2005)	6.25	6.14	6.22	6.21	6.35	6.22	6.05	6.10
_ (2007)	6.39	6.24	6.29	6.55	6.45	6.28	6.28	6.32
_ (2010)	6.24	6.25	6.29	6.26	6.25	6.20	6.11	6.34

付表4 深さ0-5 cmにおけるpH (KCl) の結果。(書式は付表1と同じ)

	N-a	M-a	S-a	C-a	M-b	S-b	C-b	N-b
U_ (2005)	5.07	4.76	4.61	4.54	4.63	5.83	4.60	4.78
_ (2007)	4.90	4.80	4.84	4.63	4.74	5.97	4.46	4.71
_ (2010)	4.79	4.80	4.82	4.64	5.19	4.91	4.48	4.78
UM_ (2005)	4.96	4.95	5.01	4.91	4.71	4.90	4.76	4.85
_ (2007)	4.77	4.90	4.94	4.76	4.84	4.98	4.46	4.68
_ (2010)	4.69	4.93	4.87	4.59	5.00	4.87	4.43	4.68
M_ (2005)	4.84	4.88	4.84	4.54	4.81	4.60	4.37	4.38
_ (2007)	4.74	4.81	4.86	4.49	4.79	4.83	4.57	4.43
_ (2010)	4.72	4.91	4.72	4.53	4.76	4.58	4.34	4.72
LM_ (2005)	4.94	4.88	4.87	4.68	4.82	4.74	4.47	4.65
_ (2007)	4.84	4.78	4.82	4.51	4.70	4.70	4.23	4.50
_ (2010)	4.71	5.11	4.71	4.61	4.91	4.69	4.36	4.79
L_ (2005)	4.79	4.87	4.91	4.76	5.03	4.95	4.60	4.90
_ (2007)	4.76	4.71	4.61	4.79	4.90	4.85	4.51	4.71
_ (2010)	4.72	4.75	4.78	4.83	4.99	4.69	4.53	4.85

付表5 深さ7.5-12.5 cmにおけるpH (KCl) の結果。(書式は付表1と同じ)

	N-a	M-a	S-a	C-a	M-b	S-b	C-b	N-b
U_ (2005)	5.27	4.80	4.68	4.52	4.69	6.11	4.82	4.91
_ (2007)	5.00	4.91	4.96	4.85	4.75	6.11	4.69	4.91
_ (2010)	4.94	4.71	4.70	4.74	4.96	5.20	4.82	4.87
UM_ (2005)	5.02	4.93	5.10	5.10	4.76	4.83	4.78	4.85
_ (2007)	4.90	4.98	4.94	5.00	4.82	4.96	4.83	4.78
_ (2010)	4.77	4.80	4.96	4.75	4.78	4.90	4.64	4.77
M_ (2005)	4.93	5.00	4.83	4.67	4.63	4.64	4.53	4.65
_ (2007)	4.87	4.90	4.82	4.57	4.72	4.66	4.72	4.54
_ (2010)	4.74	4.73	4.72	4.66	4.61	4.62	4.65	4.79
LM_ (2005)	4.96	4.85	4.79	4.86	4.79	4.82	4.56	4.76
_ (2007)	4.85	4.89	4.84	4.73	4.77	4.70	4.46	4.62
_ (2010)	4.79	4.78	4.78	4.80	4.63	4.81	4.53	4.89
L_ (2005)	4.89	4.89	4.88	4.88	4.96	4.95	4.72	4.91
_ (2007)	4.79	4.67	4.67	4.90	4.87	4.82	4.75	4.88
_ (2010)	4.85	4.71	4.73	4.88	4.87	4.76	4.67	4.93

付表6 深さ15-20 cmにおけるpH (KCl) の結果。(書式は付表1と同じ)

	N-a	M-a	S-a	C-a	M-b	S-b	C-b	N-b
U_ (2005)	5.22	4.68	4.71	4.58	4.58	6.31	4.75	4.87
_ (2007)	5.01	4.77	4.80	4.70	4.60	6.16	4.71	4.72
_ (2010)	5.01	4.68	4.73	4.77	4.95	5.34	4.68	4.92
UM_ (2005)	5.02	4.79	4.94	4.89	4.65	4.81	4.70	4.65
_ (2007)	4.86	4.86	4.97	4.90	4.78	4.87	4.74	4.70
_ (2010)	4.87	4.79	5.01	4.77	4.78	4.88	4.61	4.74
M_ (2005)	4.94	4.93	4.71	4.75	4.58	4.57	4.50	4.53
_ (2007)	4.84	4.82	4.78	4.59	4.60	4.71	4.54	4.51
_ (2010)	4.86	4.70	4.72	4.79	4.62	4.62	4.53	4.86
LM_ (2005)	4.98	4.84	4.68	4.88	4.84	4.75	4.40	4.64
_ (2007)	4.97	4.82	4.77	4.76	4.79	4.68	4.41	4.63
_ (2010)	4.83	4.70	4.84	4.78	4.67	4.69	4.55	4.92
L_ (2005)	4.99	4.78	4.83	4.88	5.06	4.95	4.76	4.83
_ (2007)	4.84	4.72	4.66	4.85	4.93	4.88	4.69	4.79
_ (2010)	4.95	4.71	4.73	4.96	4.80	4.69	4.64	4.99

付表7 深さ 0-5 cm における電気伝導度 (EC) [mS/m] 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)	10.29	10.20	9.21	8.12	8.48	11.58	6.49	10.23
_ (2007)	4.24	4.38	5.28	5.30	5.64	9.30	4.48	4.94
_ (2010)	6.52	6.30	5.84	6.68	9.87	8.27	5.31	4.86
UM_ (2005)	9.44	8.29	12.58	10.72	10.55	11.03	10.33	8.88
_ (2007)	5.05	5.26	5.43	5.46	5.38	7.20	5.68	3.99
_ (2010)	5.17	7.43	6.23	7.81	6.72	6.45	5.15	4.79
M_ (2005)	8.21	11.63	8.86	8.56	9.05	6.30	9.87	7.16
_ (2007)	4.35	5.70	6.66	5.18	5.67	5.31	4.22	4.43
_ (2010)	5.73	6.05	6.40	5.08	6.00	5.52	5.41	4.37
LM_ (2005)	8.76	7.27	7.36	9.21	8.99	9.15	7.95	7.45
_ (2007)	4.64	4.50	4.92	4.94	5.51	7.06	5.78	4.96
_ (2010)	5.66	7.73	6.34	5.37	8.82	5.35	4.79	4.40
L_ (2005)	8.93	8.81	8.21	11.27	9.64	8.52	7.26	6.40
_ (2007)	4.72	4.65	5.09	5.34	5.94	6.95	5.05	5.48
_ (2010)	5.53	5.67	6.28	7.04	9.83	6.23	5.48	5.31

付表8 深さ 7.5-12.5 cm における電気伝導度 (EC) [mS/m] 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)	7.54	7.57	7.88	5.86	5.61	8.83	7.90	6.81
_ (2007)	4.26	3.96	4.93	4.63	4.38	8.70	4.39	4.08
_ (2010)	5.58	4.07	4.05	4.67	4.92	6.56	5.32	4.38
UM_ (2005)	7.72	8.15	7.30	6.44	6.21	5.56	6.85	5.89
_ (2007)	4.63	4.11	4.02	5.02	4.68	4.73	5.06	3.93
_ (2010)	4.71	4.32	5.63	4.55	4.77	5.21	4.88	3.78
M_ (2005)	6.44	6.03	5.07	6.20	7.36	5.69	6.11	6.03
_ (2007)	4.74	4.33	3.91	4.37	4.29	3.95	4.41	3.99
_ (2010)	4.87	4.14	4.98	3.81	4.60	4.40	5.25	4.29
LM_ (2005)	6.15	7.10	5.22	8.27	6.31	6.15	6.20	6.30
_ (2007)	4.12	4.16	4.45	4.54	4.28	4.17	4.55	3.90
_ (2010)	4.53	5.13	4.99	4.19	5.07	4.84	5.37	4.45
L_ (2005)	6.75	6.39	5.52	7.52	7.37	7.10	6.55	6.33
_ (2007)	5.13	4.08	3.94	5.02	4.67	4.47	4.70	4.42
_ (2010)	4.66	4.64	4.63	5.14	5.43	4.90	4.99	4.44

付表9 深さ 15-20 cm における電気伝導度 (EC) [mS/m] 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)	7.35	9.99	7.81	5.98	4.93	11.70	6.82	7.28
_ (2007)	4.25	3.99	4.36	4.44	3.98	9.41	4.28	3.34
_ (2010)	4.46	4.07	3.87	4.59	4.49	6.60	4.97	4.25
UM_ (2005)	7.41	8.38	8.27	6.97	5.52	5.75	6.53	5.50
_ (2007)	4.25	3.92	4.14	4.41	4.62	4.89	4.69	3.74
_ (2010)	4.31	3.92	4.98	4.17	4.98	4.63	4.45	3.78
M_ (2005)	7.26	7.12	6.89	6.03	5.79	5.65	7.31	5.39
_ (2007)	4.34	4.04	3.85	4.57	4.34	4.06	4.29	3.74
_ (2010)	4.60	4.07	4.55	3.74	4.14	3.88	4.54	4.31
LM_ (2005)	6.80	7.14	4.75	7.92	6.47	6.25	5.77	6.08
_ (2007)	4.82	4.37	3.71	4.50	4.21	3.85	4.10	3.95
_ (2010)	4.21	4.46	4.13	3.96	4.58	4.62	4.67	4.87
L_ (2005)	6.99	6.29	5.64	7.28	7.33	7.04	6.58	6.82
_ (2007)	4.76	4.24	3.83	5.03	4.68	4.69	4.47	4.03
_ (2010)	4.49	4.45	4.21	5.08	4.75	4.45	4.68	4.50

付表 10 深さ 0-5 cm における強熱減量 (IL) [%] 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)	10.5	10.5	9.8	9.7	9.6	9.3	10.1	10.0
_ (2007)	10.3	10.4	10.2	10.0	10.4	9.3	10.1	9.7
_ (2010)	10.7	11.2	9.9	9.7	11.6	9.1	9.9	9.8
UM_ (2005)	10.3	10.6	11.2	9.8	10.0	10.5	10.4	9.6
_ (2007)	10.6	11.6	10.1	10.0	9.6	10.3	10.5	9.3
_ (2010)	10.4	11.6	9.0	10.0	11.3	10.3	10.8	10.1
M_ (2005)	10.1	11.8	10.4	9.4	9.8	9.8	10.3	10.2
_ (2007)	10.1	11.0	9.9	9.2	10.2	10.8	10.7	10.3
_ (2010)	10.1	10.7	8.9	9.4	10.7	10.3	10.3	10.2
LM_ (2005)	10.5	10.0	9.4	9.5	10.7	10.7	9.6	10.8
_ (2007)	11.3	9.9	9.6	9.4	11.0	12.0	10.1	11.2
_ (2010)	11.0	11.5	9.1	9.2	12.9	10.5	9.8	10.3
L_ (2005)	11.6	7.6	10.8	10.4	11.8	12.2	10.7	10.6
_ (2007)	12.0	11.0	10.3	10.1	12.3	13.7	11.4	11.9
_ (2010)	11.1	10.2	9.7	12.4	15.6	12.9	11.6	10.6

付表 11 深さ 7.5-12.5 cm における強熱減量 (IL) [%] 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)	9.1	10.0	9.4	8.9	8.7	9.0	9.8	9.4
_ (2007)	9.9	10.1	8.4	8.9	9.1	9.1	10.2	9.0
_ (2010)	9.4	9.5	8.4	7.9	8.8	8.5	9.4	8.8
UM_ (2005)	9.6	9.9	9.2	8.9	8.8	9.5	9.6	9.4
_ (2007)	10.2	10.1	9.1	9.1	8.8	9.4	9.6	9.1
_ (2010)	9.4	9.4	8.5	8.3	8.8	9.0	9.4	8.9
M_ (2005)	9.2	10.1	9.0	8.7	9.0	9.4	9.7	9.8
_ (2007)	9.9	10.1	8.8	8.5	8.8	9.6	10.1	9.8
_ (2010)	9.4	8.9	7.9	8.2	9.0	9.1	9.5	9.4
LM_ (2005)	9.7	9.1	8.4	8.9	9.7	10.0	9.5	9.9
_ (2007)	10.3	9.3	9.1	8.6	9.7	9.7	8.9	9.9
_ (2010)	10.0	8.4	7.9	8.4	10.3	8.9	9.2	9.6
L_ (2005)	11.0	9.3	9.2	9.3	10.3	11.8	10.5	10.2
_ (2007)	11.1	9.6	8.8	9.2	11.1	11.8	10.9	10.4
_ (2010)	10.5	8.5	7.6	9.7	11.4	11.1	10.2	9.7

付表 12 深さ 15-20 cm における強熱減量 (IL) [%] 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)	9.2	9.8	8.9	8.9	8.4	9.0	9.9	9.2
_ (2007)	9.7	10.1	9.4	9.0	8.9	8.8	10.0	9.1
_ (2010)	9.4	9.5	8.5	8.5	8.7	8.6	9.2	9.2
UM_ (2005)	9.6	9.5	9.1	9.1	8.4	9.1	9.9	9.6
_ (2007)	9.9	9.6	9.4	8.8	9.0	9.7	9.8	9.1
_ (2010)	9.5	9.2	8.4	8.4	8.8	9.1	8.9	8.7
M_ (2005)	9.5	9.9	8.1	8.9	9.2	9.7	10.2	9.6
_ (2007)	9.8	10.2	8.6	8.7	9.2	10.4	10.3	9.7
_ (2010)	9.6	9.1	8.0	8.4	9.3	9.3	9.3	9.9
LM_ (2005)	9.6	9.0	8.5	8.8	9.8	10.4	9.6	9.9
_ (2007)	10.4	9.3	8.8	8.7	9.8	10.1	9.4	10.0
_ (2010)	9.9	8.4	7.7	8.4	10.2	9.1	9.2	9.9
L_ (2005)	10.8	9.2	8.6	8.7	10.2	11.4	10.7	10.6
_ (2007)	11.3	9.6	9.1	9.7	11.0	11.8	10.7	10.4
_ (2010)	10.4	8.6	7.9	9.4	11.1	11.1	10.1	9.4

付表 13 深さ 0-5 cm における容積重 (BD) [Mg/m³] 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)	1.33	1.24	1.12	1.20	1.25	1.29	1.29	1.24
_ (2007)	1.34	1.17	1.25	1.09	1.12	1.31	1.16	1.26
_ (2010)	1.22	1.12	1.10	1.19	1.09	1.25	1.25	1.24
UM_ (2005)	1.30	1.26	1.08	1.16	1.15	1.10	1.21	1.31
_ (2007)	1.22	1.12	1.21	1.13	1.21	1.06	1.06	1.39
_ (2010)	1.22	1.04	1.24	1.12	1.07	1.22	1.11	1.19
M_ (2005)	1.33	0.98	1.21	1.22	1.26	1.25	1.19	1.23
_ (2007)	1.37	1.13	1.09	1.23	1.14	1.11	1.16	1.31
_ (2010)	1.28	1.17	1.21	1.15	1.17	1.20	1.09	1.28
LM_ (2005)	1.33	1.33	1.21	1.31	1.16	1.18	1.22	1.23
_ (2007)	1.21	1.20	1.23	1.22	1.14	1.01	1.25	1.13
_ (2010)	1.17	1.11	1.13	1.22	1.08	1.15	1.19	1.29
L_ (2005)	1.23	1.18	1.26	1.30	1.13	1.18	1.22	1.25
_ (2007)	1.34	1.20	1.20	1.25	1.18	1.03	1.28	1.11
_ (2010)	1.33	1.26	1.14	1.02	0.99	1.11	1.19	1.22

付表 14 深さ 7.5-12.5 cm における容積重 (BD) [Mg/m³] 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)	1.39	1.25	1.23	1.21	1.29	1.32	1.19	1.33
_ (2007)	1.42	1.32	1.33	1.32	1.45	1.46	1.28	1.38
_ (2010)	1.31	1.26	1.26	1.36	1.27	1.31	1.28	1.35
UM_ (2005)	1.39	1.31	1.31	1.32	1.30	1.21	1.25	1.30
_ (2007)	1.22	1.27	1.31	1.24	1.33	1.29	1.34	1.33
_ (2010)	1.27	1.25	1.32	1.33	1.29	1.28	1.21	1.35
M_ (2005)	1.37	1.21	1.18	1.29	1.25	1.22	1.13	1.21
_ (2007)	1.39	1.31	1.34	1.38	1.28	1.35	1.20	1.32
_ (2010)	1.33	1.29	1.35	1.33	1.29	1.29	1.27	1.37
LM_ (2005)	1.39	1.37	1.34	1.34	1.28	1.23	1.30	1.29
_ (2007)	1.42	1.42	1.33	1.27	1.31	1.37	1.26	1.33
_ (2010)	1.31	1.36	1.36	1.34	1.24	1.34	1.32	1.35
L_ (2005)	1.28	1.36	1.35	1.36	1.25	1.20	1.25	1.28
_ (2007)	1.43	1.41	1.44	1.34	1.21	1.28	1.32	1.33
_ (2010)	1.32	1.38	1.37	1.31	1.27	1.27	1.27	1.30

付表 15 深さ 15-20 cm における容積重 (BD) [Mg/m³] 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)	1.33	1.28	1.30	1.19	1.22	1.25	1.20	1.24
_ (2007)	1.43	1.32	1.28	1.13	1.38	1.40	1.26	1.30
_ (2010)	1.32	1.26	1.25	1.31	1.31	1.27	1.26	1.37
UM_ (2005)	1.33	1.30	1.28	1.29	1.26	1.16	1.20	1.20
_ (2007)	1.32	1.26	1.35	1.29	1.32	1.20	1.25	1.32
_ (2010)	1.31	1.26	1.33	1.31	1.25	1.29	1.21	1.33
M_ (2005)	1.31	1.25	1.28	1.24	1.17	1.18	1.12	1.30
_ (2007)	1.38	1.24	1.36	1.33	1.34	1.29	1.22	1.29
_ (2010)	1.36	1.27	1.33	1.35	1.28	1.30	1.30	1.33
LM_ (2005)	1.32	1.31	1.33	1.31	1.29	1.20	1.32	1.30
_ (2007)	1.45	1.47	1.30	1.36	1.31	1.38	1.35	1.31
_ (2010)	1.33	1.39	1.35	1.35	1.26	1.33	1.30	1.34
L_ (2005)	1.30	1.30	1.38	1.26	1.21	1.23	1.23	1.22
_ (2007)	1.21	1.38	1.48	1.30	1.25	1.32	1.26	1.23
_ (2010)	1.31	1.36	1.37	1.34	1.25	1.23	1.28	1.33