

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 ——

澤 本 卓 治・岡 部 彰 洋・斎 藤 忠 義
松 中 照 夫

Soil physicochemical properties of a grassland receiving long-term applications of
anaerobically digested cattle slurry, farmyard manure and chemical fertilizer
— Results of first year measurement —

Takuji SAWAMOTO, Akihiro OKABE, Tadayoshi SAITOH
and Teruo MATSUNAKA

酪農学園大学紀要 別 刷 第 31 卷 第 1 号

Reprinted from

”Journal of Rakuno Gakuen University” Vol.31, No.1 (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 ——

澤本卓治¹⁾・岡部彰洋¹⁾・斎藤忠義¹⁾
松中照夫²⁾

Soil physicochemical properties of a grassland receiving long-term applications of anaerobically digested cattle slurry, farmyard manure and chemical fertilizer
— Results of first year measurement —

Takuji SAWAMOTO¹⁾, Akihiro OKABE¹⁾, Tadayoshi SAITOH¹⁾
and Teruo MATSUNAKA²⁾
(June 2006)

1. はじめに

家畜排泄物を適切に処理し、その処理によって生じた物質を適切に農地に還元しながら循環型農業・環境保全型農業を構築することは現代的課題である。現在のところ、家畜ふん尿の処理としては大きく分けて、好氣的に有機物を分解させる方式（堆肥化やばっ気による浄化）と、バイオガスプラントで嫌氣的に有機物をメタンと二酸化炭素に分解されるかのふたつの方式がある¹⁾。

バイオガスプラントによるメタン発酵はエネルギーを取得しながら、家畜ふん尿を肥効性が高く、悪臭や病原性微生物が少ない消化液に変えることができるというメリットがある¹⁾。住宅地に密接した本学においても、2000年3月にバイオガスプラントが建設され、同年11月より本格的に稼動されており、消化液が学内の農地に還元されている。

ところで、松中²⁾によれば、牧草栽培そのものが土壌の団粒構造を作り出すため、草地表面に施与される堆肥の効果については、土壌との混和によってもたらされる土壌の物理的性質の改良効果（安定腐植による透水性・保水性の改良）はあまり期待できず、養分としての効果が中心になると述べている。一方、消化液の肥効について検討した例は多くないものの、渡部³⁾によれば、チモシー単播草地においては、窒素の利用率は乳牛スラリーを草地に施用した場合

と類似していると述べている。しかしながら、消化液を連用した場合の肥効や土壌の理化学性等に与える影響は検討されていない。

このことを多方面から定性的に明らかにするために、消化液・堆肥・化学肥料の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。経年的変化を解析するための基礎データを得るために、本長期連用草地における初年度の土壌物理化学性の空間分布調査を行った。本稿の目的は、得られたデータを報告し、それらの解析を行うことである。

2. 材料と方法

調査草地

酪農学園大学附属農場 No.23 圃場において調査を行った。図1に本草地および試験区の模式図を示す。本草地は、2003年度に長期連用試験用の牧草が播種され、2004年10月に試験処理区が設置された。管理履歴を表1に示す。なお、2002年度以前は、江別側半分にはアルファルファが栽培され、札幌側半分にはチモシーが栽培されていた。

本草地は野幌丘陵地の斜面上にある。附属農場報告(2004年度)⁵⁾によれば、面積は1.0 haである。本草地内に斜面方向と直交方向に（江別—札幌方向に）、4処理2反復の試験処理区が設定された（図1）。すなわち、何も施用しない区（無施用区、記号

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

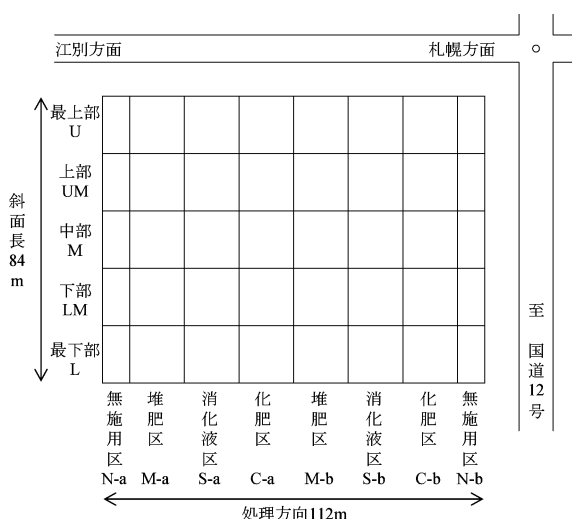


図1 長期連用試験が行われている草地（酪農学園大学附属農場 No.23 圃場）および試験区の模式図。無施用区の幅は 8 m, 堆肥区, 消化液区, および化肥区の幅は 16 m である。

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。これ以降, 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。以上から, 合計40区画において調査を実施した。

各処理区における管理は, 本学慣行とほぼ同じである。施用された化学肥料は尿素主体であり, 消化液は本学バイオガスプラントで生産されたものを施用した。それらの性状・施用量は表1に記載した。堆肥は学内で生産された麦稈・古紙堆肥であるが,

表1 管理履歴

年 月 日	作 業 等 の 内 容
2003年04月24日	圃場全体に, 消化液 ^{#1} 散布 (1t/10a)
05月02日	圃場全体を耕起
05月05日	圃場全体に, 炭カル (50kg/10a), 化学肥料 ^{#2} (20kg/10a), リン肥料 ^{#3} (50kg/10a) を散布
05月05日	圃場全体に, アルファルファ (2.5kg/10a) を播種
08月14日	圃場全体を耕起
08月18日	チモシー (ホクエイ) 2.4kg/10a・シロクローバ (リベンデル) 0.2kg/10a を播種
2004年04月23日	ギシギシ抜き (酪農実習にて)
05月19日	圃場全体に, 化学肥料 ^{#2} 散布 (30kg/10a)
06月28日	圃場全体で, 一番草収穫 収穫ロール21本 (総量8.45t, ロール1本当たり402.4kg)
07月05日	圃場全体に, 化学肥料 ^{#2} 散布 (20kg/10a)
08月21日	圃場全体で, 二番草収穫 収穫ロール13本 (総量5.39t, ロール1本当たり414.6kg)
09月06日	圃場に, 薬剤散布 ^{#4} (途中で降雨があり1/3散布で中止)
10月01日	圃場に, 薬剤散布 ^{#5} (前月散布していない部分2/3に散布)
10月20日	杭打ちを行い, 処理区を設置(確定)した
11月10日	消化液区に, 消化液 ^{#1} 散布 (2t/10a), 堆肥区に, 堆肥 ^{#6} 散布 (2t/10a)
2005年04月05日	融雪剤散布 (圃場全体で約40kg)
04月25日	化肥区に, 化学肥料 ^{#2} 散布 (30kg/10a)
05月12日	消化液区に, 消化液 ^{#1} 散布 (3t/10a)
06月28日	圃場全体で, 一番草収穫 収穫乾草コンパクト (圃場全体で421個×16kg/個=6.7t)
07月04日	化肥区に, 化学肥料 ^{#2} 散布 (20kg/10a), 消化液区に, 消化液 ^{#1} 散布 (2t/10a)
08月31日	圃場全体で, 二番草収穫 圃場全体で, 収穫ロール12本 (×361.7kg/個=4.3t)
09月01日	本論文における現地土壌調査・採取開始 (6日終了)
11月04日	堆肥区に, 堆肥 ^{#6} 散布 (2t/10a)
11月06日	消化液区に, 消化液 ^{#1} 散布 (2t/10a)

#1 性状: pH7.8, 電気伝導度 17 mS cm⁻¹, 蒸発残留物 54 g kg⁻¹, 全窒素 3.1 g kg⁻¹, 全炭素 21 g kg⁻¹, アンモニウム態窒素 1.4 g kg⁻¹, 全リン 0.78 g kg⁻¹, 全カリウム 3.4 g kg⁻¹, 全カルシウム 1.2 g kg⁻¹, 全マグネシウム 0.47 g kg⁻¹, (2003年秋, 2004年春, 2004年秋, 2005年春の平均値)であった⁴⁾。

#2 化学肥料の名称と成分等 かくさん 206/登録番号 生第 58634号/肥料の種類 化成肥料/肥料の名称 中日本草地用苦土入り 尿素高度化成 206/保証成分量% 窒素全量 12.0(内アンモニア性窒素 8.0), く溶性りん酸 10.0(内水溶性りん酸 6.0), く溶性加里 4.0(内水溶性加里 2.0)/原料の種類 (窒素全量を保証する原料) 尿素

#3 リン肥料の名称と成分等 20.0 塔成りん肥/登録番号 輪第 5853号/肥料の種類 塔成りん肥/保証成分量% く溶性りん酸 20.0, アルカリ分 45.0, く溶性苦土 12.0, 可溶性けい酸 20.0

#4 薬剤の名称と散布方法等 ハーモニー75D水和剤/輸入販売元 デュボン株式会社/成分 チフェンスルロンメチル水和剤, 界面活性剤/希釈倍率 水 100 L に対して本剤 3g を希釈 (10 a あたり)/散布量 約 300 L

#5 薬剤の名称と散布方法等 アージラン液剤/販売元 塩野義製薬株式会社/成分 アシユラム, 展着剤/希釈倍率 水 100 L に対して本剤 300 mL を希釈 (10 a あたり)/散布量 約 700 L

#6 学内で生産された麦稈・古紙堆肥であるが, 堆肥性状に関する情報は得られていない

その性状に関する情報は得られていない。

土壌物理性の測定

40区画のおおよそ中心点において、土壌調査ならびに土壌採取を行った。下記の物理性および化学性の測定は定法⁶⁾に従った。

土壌の物理性として、作土深、深さ2.5, 5.0, 10, 15, および20 cmにおける土壌硬度、深さ2.5-7.5 cmにおける飽和透水係数・液相率・気相率、深さ0-5, 2.5-7.5, 7.5-12.5, および15-20 cmにおける容積重を求めた。以下に、その手順を示す。

- 1, 幅50 cm程度の土壌断面を作成し、作土深(表層土壌の厚さ)(DOT, cm)を測定した。
- 2, 深さ2.5, 5.0, 10, 15, および20 cmにおいて各深さ5反復で土壌硬度を測定した。測定には、山中式土壌硬度計を用い、硬度(H, mm)、すなわち指標硬度目盛りをmm単位で読み取った。
- 3, 深さ2.5-7.5 cmにおいて、不攪乱土壌を採取した。採取には、内径50 mm、高さ51 mmの円筒採土管(容積100 cm³)を用い、各地点で3つの不攪乱土壌を採取した(3反復)。これらの土壌を実験室に持ち帰り、飽和透水係数(Ks, cm/s)、液相率(WR, m³/m³)、気相率(AR, m³/m³)、および容積重(BD, Mg/m³)を測定した。
- 4, 深さ0-5, 7.5-12.5, および15-20 cmにおいて土壌を採取した。各深さの採取には、上記と同じ円筒採土管を2つ用い、それらをあわせてひとつの袋に収納した。これを実験室に持ち帰り、風乾後、風乾土全重および風乾土水分を測定し、全乾土重を計算した。この全乾土重を200 cm³で除し、容積重(BD, Mg/m³)とした。

なお、以上の現地調査ならびに採取は、2005年9月1日~同6日に実施した。この間に降水は認められなかった。またランダムに地点順を選定し、作業慣れ等による誤差が生じないように留意した。実験室による測定においても、測定順をランダム化した。

土壌化学性の測定

土壌の化学性として、深さ0-5, 7.5-12.5, および15-20 cmにおける水素イオン指数、電気伝導度、および強熱減量を求めた。以下に、その手順を示す。

- 5, 上記4によって得られた風乾土を2 mmの篩に通し、化学性分析用風乾土とした。
- 6, 風乾土10 gを100 mL容ポリビンにはかりとり、純水25 mLを加え、一時間振とう後、ガラス電極により懸濁液の水素イオン指数(pH(H₂O))

を測定した。各風乾土につき、上記操作を3回(3反復)行った。

- 7, 風乾土10 gを100 mL容ポリビンにはかりとり、pH7に調整した1 M KCl溶液25 mLを加え、一時間振とう後、ガラス電極により懸濁液の水素イオン指数(pH(KCl))を測定した。各風乾土につき、上記操作を3回(3反復)行った。一般的に、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とが知られている。これは、潜在的な酸性の強さを測定しているといえる。
- 8, 風乾土10 gを100 mL容ポリビンにはかりとり、純水50 mLを加え、一時間振とう後、懸濁液の電気伝導度(EC, mS/m)を測定した。各風乾土につき、上記操作を3回(3反復)行った。ECは、土壌中の塩類の多寡を示す指標である。
- 9, 風乾土約10 gをるつぼにはかりとり、550°Cで5時間以上加熱した。加熱により減少した重量の割合(乾土換算)を強熱減量(IL, %)とした。各風乾土につき、上記操作を3回(3反復)行った。本方法によって得られた強熱減量は、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⁷⁾ことから、ILが高いほど有機物(腐植)含量が高いといえる。

データ解析

交互作用なしの二元配置による分散分析、および二元分散分析において有意性が認められた要因に対して、Tukeyの多重比較を行った。統計解析ソフトウェアSigmaStat⁸⁾を使用した。

3. 結果および考察

付表1~25に得られた土壌物理性・化学性のデータ、ならびにTukeyの多重比較の結果を示す。表2に二元配置による分散分析の結果を示す。土壌物理性では、作土深、硬度(深さ2.5 cm)、容積重(深さ0-5および2.5-7.5 cm)、飽和透水係数(の対数値)、および気相率、土壌化学性では、pH(H₂O)(深さ0-5 cm以外)、pH(KCl)(全深さ)、電気伝導度(全深さ)、強熱減量(深さ0-5 cm)において、処理および斜面因子ともに有意性が認められなかった。いいかえれば、これらの物理性および化学性においては、空間的な特異性が検出されず、処理および斜面の影響が認められないことを示している。これに対して、上

表2 二元配置による分散分析の結果

	処理因子に有意性が認められたもの (P<0.05)		処理因子に有意性が認められなかったもの (P>0.05)	
斜面因子に有意性が認められたもの (P<0.05)	(土壌物理性) H (深さ5.0cm) H (深さ10cm) H (深さ15cm) BD (深さ7.5-12.5cm) BD (深さ15-20cm)	(土壌化学性) IL (深さ7.5-12.5cm) IL (深さ15-20cm)	(土壌物理性) 該当なし	(土壌化学性) 該当なし
斜面因子に有意性が認められなかったもの (P>0.05)	(土壌物理性) H (深さ20cm) WR (深さ2.5-7.5cm)	(土壌化学性) pH (H ₂ O) (深さ0.0-5.0cm)	(土壌物理性) DOT H (深さ2.5cm) BD (深さ0.0-5.0cm) BD (深さ2.5-7.5cm) pKs (= -logKs) (深さ2.5-7.5cm) AR (深さ2.5-7.5cm)	(土壌化学性) pH (H ₂ O) (深さ7.5-12.5cm) pH (H ₂ O) (深さ15-20cm) pH (KCl) (深さ0.0-5.0cm) pH (KCl) (深さ7.5-12.5cm) pH (KCl) (深さ15-20cm) EC (深さ0.0-5.0cm) EC (深さ7.5-12.5cm) EC (深さ15-20cm) IL (深さ0.0-5.0cm)

DOT 作土深さ (cm) ; H 土壌硬度 (mm) ; Ks 飽和透水係数 (cm/s) ; WR 液相率 (m³/m³) ; AR 液相率 (m³/m³) ; BD 容積重 (m³/m³) ; pH(H₂O) 水抽出による水素イオン指数 ; pH(KCl) KCl による水素イオン指数 ; EC 水抽出による電気伝導度 (mS/m) ; IL 強熱減量 (%)

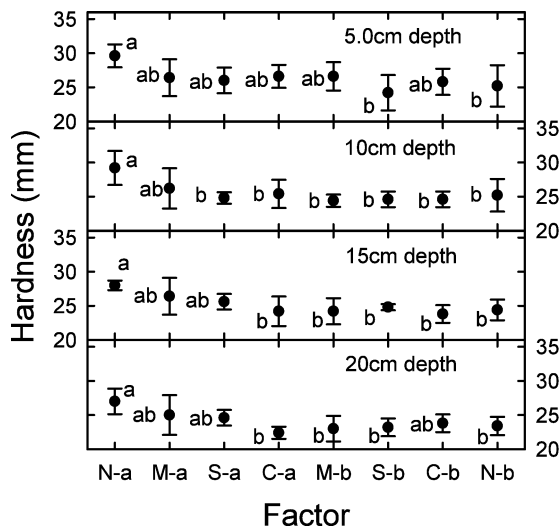


図2 処理因子に有意性が認められた土壌硬度 (Hardness)。横軸は現地処理区の並び順になっており、Nは無施用区、Mは堆肥区、Sは消化液区、Cは化肥区、-aは江別方面側の処理区、-bは札幌方面側の処理区を示す。点および誤差棒は、それぞれ平均値と標準偏差を示し、符号は多重比較の結果を示す (同符号間に有意差はない)。

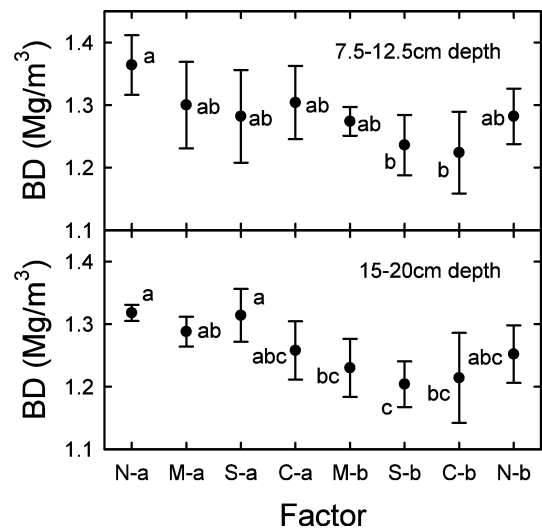


図3 処理因子に有意性が認められた容積重 (BD)。図の書式は図2と同様である。

記以外の土壌物理性・化学性については、なんらかの空間的特異性が検出された。

処理方向の土壌物理性の空間的特異性

図2には、処理因子に有意性が認められた土壌硬度 (深さ5, 10, 15, および20 cm) の結果を示す。また、図3には、同じく処理因子に有意性が認められた容積重 (深さ7.5-12.5 および15-20 cm) の結果を示す。これらの値は、江別方面において硬度およ

び容積重が高い傾向を示し、最も江別側の無処理区 N=a で、どの深さも最高値を示していた。一方、図4に示すように、液相率は江別方面において低い傾向を示した。以上のことは、本草地では江別方面ほど土壌がち密で比重が高く、その結果、土壌水分が低い傾向を持つことを示したものと見える。このように、処理方向における土壌物理性の空間的特異性は堆肥や消化液などの施用資材によるものではないと思われる。

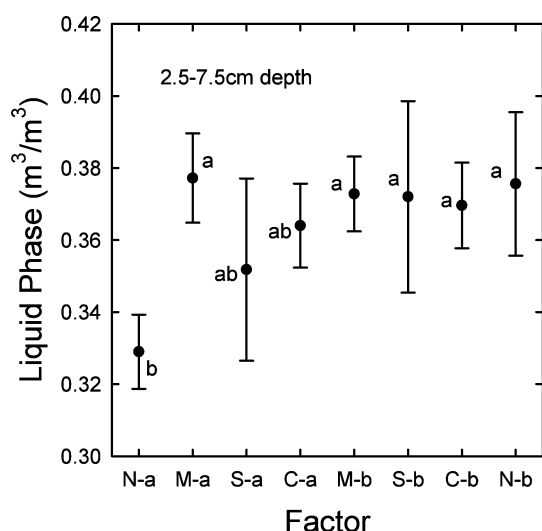
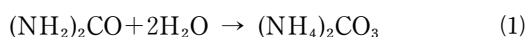


図4 処理因子に有意性が認められた液相率 (Liquid Phase)。図の書式は図2と同様である。

処理方向の土壌化学性の空間的特異性

図5には、処理因子に有意性が認められた pH(H₂O) (深さ 0-5 cm) の結果を示す。また、図6には、同じく処理因子に有意性が認められた強熱減量 (深さ 7.5-12.5 および 15-20 cm) の結果を示す。pH(H₂O) について検討すると、最低値および次最低値は、いずれも化肥区 (C-b および C-a) において認められた。このことから、尿素主体とした化学肥料の施用による pH の低下が生じた可能性が考えられる。しなしながら、図5から判断するとその効果は現時点では顕著ではなく、今後の pH の推移を継続的にモニタリングする必要があると思われる。なお、附属農場報告(2004年度)⁵⁾によれば、本草地の土壌分析の結果、pH(H₂O) 6.18, pH(KCl) 4.92 と報告されている。これらの値は、本調査の結果(付表14~19の平均値)と同程度であった。

ところで、尿素主体とした化学肥料の施用による pH 低下のメカニズムは以下のように推察される。尿素 ((NH₂)₂CO) はそれ自身では pH の変化をもたらさないが⁹⁾、施用後は土壌中の酵素 (urease) によって加水分解され、炭酸アンモニウム ((NH₄)₂CO₃) となる (式1)¹⁰⁾。炭酸アンモニウムにより一時的に pH が上昇する⁹⁾が、以下のプロセスによって酸性化 (pH の低下) が生じる。



まず、土壌溶液中にアンモニウムイオン (NH₄⁺) が放出される。アンモニウムイオンの一部は根に植物根 (Root) に吸収されるが、このときに土壌中に陽イオンが不足するため、陽イオンである水素イオン

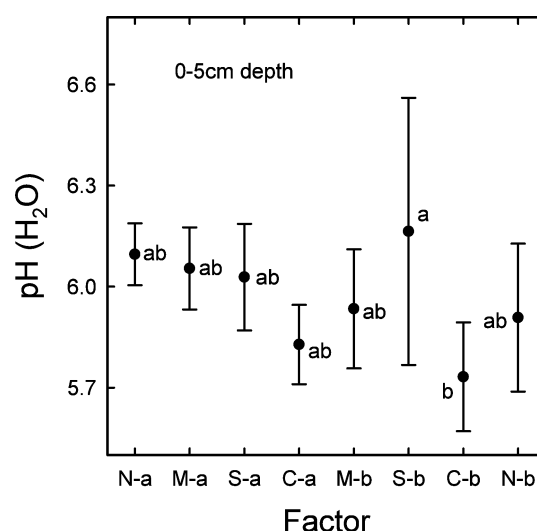
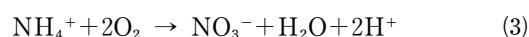


図5 処理因子に有意性が認められた水素イオン指数 (pH(H₂O))。図の書式は図2と同様である。

(H⁺) が土壌中に放出することが知られている (式2)。これが酸性化のひとつの原因である^{9,11)}。



また、植物根に吸収されなかったアンモニウムイオンは、酸素分子 (O₂) によって酸化され硝酸イオン (NO₃⁻) が生成する (式3)。



このプロセスを硝化というが、このときに水素イオン (H⁺) が土壌中に放出される。これが酸性化のもうひとつの原因である^{9,11)}。さらに、(式3)で生じた NO₃⁻ は溶脱されやすいためにその随伴イオンとして各種塩基の溶脱が促進され、その結果 pH が低下するといわれている^{9,12)}。ただし、草地の場合、表層土壌にはりめぐらされた十分量の牧草根によって、生じた NO₃⁻ はすみやかに吸収されるため、この効果は限定的である可能性がある。

消化液にもアンモニウムイオンが含まれており (表1)、尿素主体とした化学肥料と同様に上記の3つプロセスによって酸性化が生じると考えられる。しかしながら、消化液自体は弱アルカリ性であり (表1)、各種塩基を含んでいるため、尿素主体とした化学肥料の施用による pH 低下が検出されたものと推察される。

なお、尿素による土壌の酸性化は硫酸や塩安よりも緩やかであることが明らかになっている^{9,12)}。これは、尿素の場合、単位窒素当たりで見ると硝酸化によって生成する H⁺ が硫酸や塩安の半量であり、かつ(1)で生成した炭酸イオン濃度上昇による緩衝作

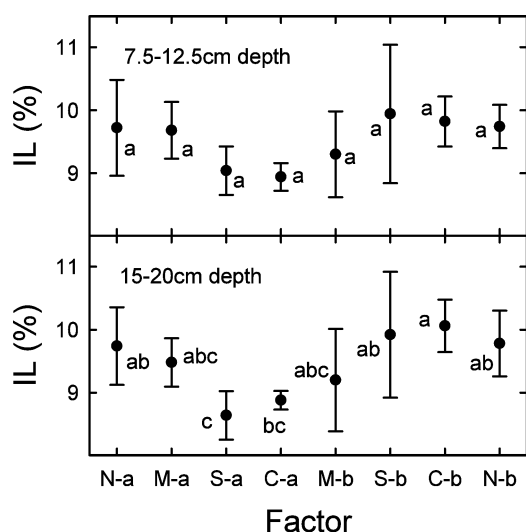


図6 処理因子に有意性が認められた強熱減量(IL)。図の書式は図2と同様である。

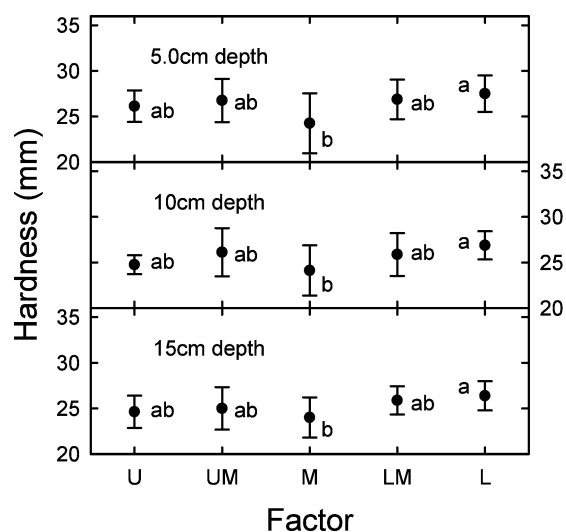


図7 斜面因子に有意性が認められた土壌硬度(Hardness)。横軸は斜面の並び順になっており、Uは斜面最上部、UMは斜面上部、Mは斜面中部、LMは斜面下部、およびLは斜面最下部を示す。点および誤差棒は、それぞれ平均値と標準偏差を示し、符号は多重比較の結果を示す(同符号間に有意差はない)。

用のためである^{9,12)}。

次に、強熱減量(図6)であるが、上記のpHに認められたような施用資材による特徴(例えば、堆肥区、消化液区が高いなど)は認められなかった。そもそも、有機物は堆肥および消化液によって表面に施用されており、その効果が現れる深さは表層(0-5 cm)である可能性が高いと思われる。以上のことから判断すれば、強熱減量で認められた江別一札幌方向の空間的特異性は、堆肥や消化液などの施用資材によるものではないと思われる。

ところで、上述した江別一札幌方向の土壌物理性(硬度、容積重)および化学性(強熱減量)の空間的特異性であるが、これは長期連用開始前の圃場管理の影響と土地本来の特性(地形等)による複合的な結果であると考えるのが自然であろう。しかし、両者がどのくらいの寄与を持つものかは、本調査の目的ではなく、また本データセットからは明らかにできない。それを明らかにするためには、別の調査・解析が必要である。

斜面方向の土壌物理性の空間的特異性

図7には、斜面因子に有意性が認められた土壌硬度(深さ5、10、および15 cm)の結果を示す。また、図8には、同じく斜面因子に有意性が認められた容積重(深さ7.5-12.5および15-20 cm)の結果を示す。これらの値は、どの深さにおいても斜面中部で

最低値を示した。すなわち本草地では斜面中部で土壌が膨軟で比重が低い傾向を持つことを示したものとイえる。

斜面方向の土壌化学性の空間的特異性

図9には、斜面因子に有意性が認められた強熱減量(深さ7.5-12.5および15-20 cm)の結果を示す。これらの値は、斜面下部ほど高い傾向を示し、どちらの深さにおいても斜面下部で最高値を示した。すなわち本草地では斜面下部ほど有機物含量が高い傾向を持つことを示したものとイえる。

ところで、なぜこのような斜面方向の空間的特異性が発現しているのかは不明であるが、長年に渡る斜面上の土壌流亡/土壌浸食などによってもたらされたのかもしれない。

継続調査の必要性

以上に述べたように、本草地の土壌物理性および土壌化学性は空間的特異性を示した。しかし、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pH(H₂O)のみであった。それ以外の空間的特異性は、施用の効果ではなく、いわば「土地本来の特性」であるといえる。これには、長期連用開始前の圃場管理の影響も含まれるであろう。本調査は長期連用の初年度にあたる。もし、施用資材の効果が発現するとすれば、それは数年以

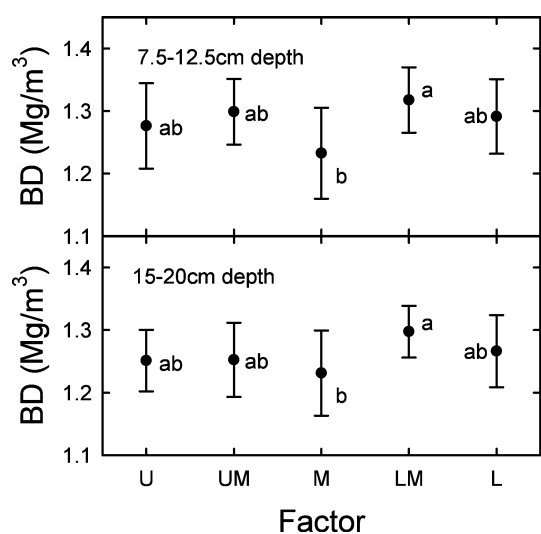


図8 斜面因子に有意性が認められた容積重(BD)。図の書式は図7と同様である。

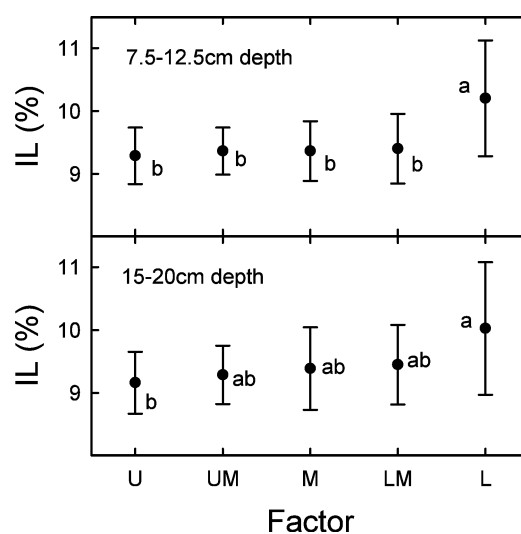


図9 斜面因子に有意性が認められた強熱減量(IL)。図の書式は図7と同様である。

上先であるかもしれない。今回得られたデータをそれぞれの地点の初期値とし、将来的に同一地点における継続調査によって得られる値と初期値を比較する(差分をとる)ことで、施用資材の効果をより確かな形で検出することが可能になるだろう。よって、より詳細な圃場作業履歴の積み重ねと継続調査の実施が望まれる。また、土壌物理性・化学性の空間的特異性は、牧草の収量等に影響を与える可能性が高い。収量等のデータは、いずれ報告されることになると思われるが、本報告のデータを有効に活用されることを期待している。

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経年的変化を解析するための基礎データを得るために、初年度の土壌物理化学性の空間分布調査を実施した。本草地の土壌物理性および土壌化学性は空間的特異性を示した。しかし、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pH(H₂O)のみであった。それ以外の空間的特異性は、施用の効果ではなく、いわば「土地本来の特性」(長期連用開始前の圃場管理の影響も含む)であると考えられた。

謝 辞

本調査研究を行うにあたり、名久井 忠 教授ならびに農場職員の皆様、特に上野 秀樹 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

- 1) 松田従三：バイオガスシステムの基本的考え方、バイオガスシステムによる家畜ふん尿の有効利用、酪農ジャーナル増刊号, p. 8~14, 酪農学園大学エクステンションセンター, 江別 (2002).
- 2) 松中照夫：土壌学の基礎, p. 290, 農文協, 東京 (2003).
- 3) 渡部政：5. 消化液の利用技術、バイオガスシステムによる家畜ふん尿の有効利用、酪農ジャーナル増刊号, p. 48~53, 酪農学園大学エクステンションセンター, 江別 (2002).
- 4) 吉田亮：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部 酪農学科 土壌植物栄養学卒業論文 (2006).
- 5) 酪農学園大学・酪農学園短期大学部：農場報告第29号(2004年度) (2006).
- 6) 土壌標準分析・測定法委員会編：土壌標準分析・測定法, 博友社, 東京 (1986).
- 7) 中橋正行・橋本均：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 (1995).
- 8) SPSS: SigmaStat 2.0 for Windows User's Manual, SPSS Inc., Chicago, IL USA (1997).
- 9) 松田敬一郎：第7章 化学肥料の施用による土壌の酸性化, 田中明編, 酸性土壌とその農業利用, p. 195-216, 博友社, 東京 (1984).

付表1 作土深さ (cm)。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値	有意差 [#]
斜面最上部	36	32	42	39	34	25	36	27	33.9	—
斜面上部	37	30	29	26	27	33	29	35	30.8	—
斜面中部	30	33	33	30	33	40	31	36	33.3	—
斜面下部	27	29	36	32	27	27	29	32	29.9	—
斜面最下部	31	29	32	28	28	31	30	31	30.0	—
平均値	32.2	30.6	34.4	31.0	29.8	31.2	31.0	32.2	31.55	
有意差 [#]	—	—	—	—	—	—	—	—		

二元分散分析において、有意性が認められた要因に対して、Tukeyの多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表2 深さ 2.5 cm における硬度 (mm)。各地点の値は、測定反復(5)の中央値である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値	有意差 [#]
斜面最上部	22	26	22	23	26	26	28	29	25.3	—
斜面上部	29	25	29	18	22	24	25	25	24.6	—
斜面中部	31	16	25	25	27	24	21	22	23.9	—
斜面下部	26	21	24	25	24	20	24	27	23.9	—
斜面最下部	25	25	29	22	29	26	27	22	25.6	—
平均値	26.6	22.6	25.8	22.6	25.6	24.0	25.0	25.0	24.7	
有意差 [#]	—	—	—	—	—	—	—	—		

二元分散分析において、有意性が認められた要因に対して、Tukeyの多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表3 深さ 5.0 cm における硬度 (mm)。各地点の値は、測定反復(5)の中央値である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値	有意差 [#]
斜面最上部	27	26	25	25	27	23	28	28	26.1	ab
斜面上部	31	28	28	27	24	24	25	27	26.8	ab
斜面中部	30	22	24	25	28	21	23	21	24.3	b
斜面下部	31	27	25	29	25	25	26	27	26.9	ab
斜面最下部	29	29	28	27	29	28	27	23	27.5	a
平均値	29.6	26.4	26.0	26.6	26.6	24.2	25.8	25.2	26.30	
有意差 [#]	a	ab	ab	ab	ab	b	ab	b		

二元分散分析において、有意性が認められた要因に対して、Tukeyの多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表4 深さ 10 cm における硬度 (mm)。各地点の値は、測定反復(5)の中央値である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値	有意差 [#]
斜面最上部	25	26	24	24	23	25	25	26	24.8	ab
斜面上部	31	29	25	25	24	24	24	27	26.1	ab
斜面中部	30	22	24	23	25	25	23	21	24.1	b
斜面下部	31	25	25	27	25	23	25	26	25.9	ab
斜面最下部	29	29	26	28	25	26	26	26	26.9	a
平均値	29.2	26.2	24.8	25.4	24.4	24.6	24.6	25.2	25.55	
有意差 [#]	a	ab	b	b	b	b	b	b		

二元分散分析において、有意性が認められた要因に対して、Tukeyの多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表5 深さ 15 cm における硬度 (mm)。各地点の値は、測定反復(5)の中央値である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値	有意差 [#]
斜面最上部	28	26	24	23	23	25	23	25	24.6	ab
斜面上部	27	29	26	23	22	25	23	25	25.0	ab
斜面中部	28	22	26	22	24	25	23	22	24.0	b
斜面下部	29	27	25	26	25	25	26	24	25.9	ab
斜面最下部	28	28	27	27	27	24	24	26	26.4	a
平均値	28.0	26.4	25.6	24.2	24.2	24.8	23.8	24.4	25.18	
有意差 [#]	a	ab	ab	b	b	b	b	b		

二元分散分析において、有意性が認められた要因に対して、Tukeyの多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 6 深さ 20 cm における硬度 (mm)。各地点の値は、測定反復(5)の中央値である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値	有意差 [#]
斜面最上部	26	26	25	24	25	25	23	24	24.8	—
斜面上部	27	27	23	22	20	23	23	24	23.6	—
斜面中部	27	20	25	22	24	22	23	21	23.0	—
斜面下部	30	27	24	22	23	24	26	24	25.0	—
斜面最下部	25	25	26	22	23	22	24	24	23.9	—
平均値	27.0	25.0	24.6	22.4	23.0	23.2	23.8	23.4	24.1	
有意差 [#]	a	ab	ab	b	b	b	ab	b		

二元分散分析において、有意性が認められた要因に対して、Tukey の多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 7 深さ 0.0-5.0 cm における容積重 (Mg/m³)。各地点の値は、100 mL 土壌コア 2 個分から求めた値 (反復数 1) である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値	有意差 [#]
斜面最上部	1.33	1.24	1.12	1.20	1.25	1.29	1.29	1.24	1.25	—
斜面上部	1.30	1.26	1.08	1.16	1.15	1.10	1.21	1.31	1.20	—
斜面中部	1.33	0.98	1.21	1.22	1.26	1.25	1.19	1.23	1.21	—
斜面下部	1.33	1.33	1.21	1.31	1.16	1.18	1.22	1.23	1.25	—
斜面最下部	1.23	1.18	1.26	1.30	1.13	1.18	1.22	1.25	1.22	—
平均値	1.30	1.20	1.18	1.24	1.19	1.20	1.23	1.25	1.223	
有意差 [#]	—	—	—	—	—	—	—	—		

二元分散分析において、有意性が認められた要因に対して、Tukey の多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 8 深さ 2.5-7.5 cm における容積重 (Mg/m³)。各地点の値は、測定反復(3)の平均値である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値	有意差 [#]
斜面最上部	1.35	1.23	1.25	1.26	1.36	1.38	1.24	1.35	1.30	—
斜面上部	1.40	1.34	1.31	1.35	1.30	1.17	1.31	1.35	1.32	—
斜面中部	1.36	1.22	1.19	1.35	1.30	1.29	1.14	1.27	1.27	—
斜面下部	1.35	1.44	1.35	1.36	1.35	1.27	1.29	1.36	1.35	—
斜面最下部	1.32	1.36	1.38	1.36	1.33	1.28	1.29	1.35	1.33	—
平均値	1.36	1.32	1.30	1.34	1.33	1.28	1.25	1.34	1.313	
有意差 [#]	—	—	—	—	—	—	—	—		

二元分散分析において、有意性が認められた要因に対して、Tukey の多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 9 深さ 7.5-12.5 cm における容積重 (Mg/m³)。各地点の値は、100 mL 土壌コア 2 個分から求めた値 (反復数 1) である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値	有意差 [#]
斜面最上部	1.39	1.25	1.23	1.21	1.29	1.32	1.19	1.33	1.28	ab
斜面上部	1.39	1.31	1.31	1.32	1.30	1.21	1.25	1.30	1.30	ab
斜面中部	1.37	1.21	1.18	1.29	1.25	1.22	1.13	1.21	1.23	b
斜面下部	1.39	1.37	1.34	1.34	1.28	1.23	1.30	1.29	1.32	a
斜面最下部	1.28	1.36	1.35	1.36	1.25	1.20	1.25	1.28	1.29	ab
平均値	1.36	1.30	1.28	1.30	1.27	1.24	1.22	1.28	1.283	
有意差 [#]	a	ab	ab	ab	ab	b	b	ab		

二元分散分析において、有意性が認められた要因に対して、Tukey の多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 10 深さ 15-20 cm における容積重 (Mg/m³)。各地点の値は、100 mL 土壌コア 2 個分から求めた値 (反復数 1) である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値	有意差 [#]
斜面最上部	1.33	1.28	1.30	1.19	1.22	1.25	1.20	1.24	1.25	ab
斜面上部	1.33	1.30	1.28	1.29	1.26	1.16	1.20	1.20	1.25	ab
斜面中部	1.31	1.25	1.28	1.24	1.17	1.18	1.12	1.30	1.23	b
斜面下部	1.32	1.31	1.33	1.31	1.29	1.20	1.32	1.30	1.30	a
斜面最下部	1.30	1.30	1.38	1.26	1.21	1.23	1.23	1.22	1.27	ab
平均値	1.32	1.29	1.31	1.26	1.23	1.20	1.21	1.25	1.260	
有意差 [#]	a	ab	a	abc	bc	c	bc	abc		

二元分散分析において、有意性が認められた要因に対して、Tukey の多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 11 深さ 2.5-7.5 cm における飽和透水係数 (cm/s) の対数値 (pKs)。各地点の値は、測定反復(3)の中央値である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値	有意差 [#]
斜面最上部	3.07	3.64	3.40	3.38	3.85	3.80	3.36	4.00	3.563	—
斜面上部	4.76	4.19	3.39	4.09	3.06	2.46	4.02	3.90	3.734	—
斜面中部	2.63	2.66	2.59	3.49	3.37	4.24	2.62	3.53	3.141	—
斜面下部	2.33	5.00	3.25	4.00	3.68	3.31	3.15	1.98	3.338	—
斜面最下部	3.14	4.06	3.63	4.26	4.37	3.98	3.11	4.68	3.904	—
平均値	3.186	3.910	3.252	3.844	3.666	3.558	3.252	3.618	3.5358	
有意差 [#]	—	—	—	—	—	—	—	—		

二元分散分析において、有意性が認められた要因に対して、Tukeyの多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 12 深さ 2.5-7.5 cm における液相率 (m³/m³)。各地点の値は、測定反復(3)の平均値である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値	有意差 [#]
斜面最上部	0.326	0.370	0.382	0.362	0.369	0.364	0.360	0.344	0.3596	—
斜面上部	0.327	0.375	0.359	0.369	0.368	0.332	0.362	0.371	0.3579	—
斜面中部	0.328	0.398	0.312	0.379	0.371	0.374	0.362	0.389	0.3641	—
斜面下部	0.318	0.377	0.355	0.347	0.391	0.402	0.387	0.395	0.3715	—
斜面最下部	0.346	0.366	0.351	0.363	0.365	0.388	0.377	0.379	0.3669	—
平均値	0.3290	0.3772	0.3518	0.3640	0.3728	0.3720	0.3696	0.3756	0.36400	
有意差 [#]	b	a	ab	ab	a	a	a	a		

二元分散分析において、有意性が認められた要因に対して、Tukeyの多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 13 深さ 2.5-7.5 cm における気相率 (m³/m³)。各地点の値は、測定反復(3)の平均値である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値	有意差 [#]
斜面最上部	0.165	0.165	0.147	0.165	0.117	0.114	0.173	0.148	0.149	—
斜面上部	0.146	0.121	0.146	0.123	0.143	0.226	0.142	0.120	0.146	—
斜面中部	0.158	0.140	0.238	0.111	0.138	0.139	0.206	0.132	0.158	—
斜面下部	0.173	0.081	0.136	0.139	0.101	0.118	0.127	0.094	0.121	—
斜面最下部	0.156	0.120	0.129	0.124	0.133	0.129	0.136	0.111	0.130	—
平均値	0.160	0.125	0.159	0.132	0.126	0.145	0.157	0.121	0.1408	
有意差 [#]	—	—	—	—	—	—	—	—		

二元分散分析において、有意性が認められた要因に対して、Tukeyの多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 14 深さ 0.0-5.0 cm における pH(H₂O)。各地点の値は、分析反復(3)の平均値である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値	有意差 [#]
斜面最上部	6.19	5.89	5.77	5.70	5.78	6.84	5.81	5.89	5.984	—
斜面上部	6.13	6.13	6.05	5.96	5.80	5.96	5.81	5.98	5.978	—
斜面中部	6.07	5.96	6.01	5.71	5.88	5.92	5.47	5.59	5.826	—
斜面下部	6.14	6.17	6.14	5.86	6.00	5.90	5.69	5.88	5.973	—
斜面最下部	5.95	6.12	6.17	5.91	6.21	6.20	5.88	6.20	6.080	—
平均値	6.096	6.054	6.028	5.828	5.934	6.164	5.732	5.908	5.9680	
有意差 [#]	ab	ab	ab	ab	ab	a	b	ab	ab	

二元分散分析において、有意性が認められた要因に対して、Tukeyの多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 15 深さ 7.5-12.5 cm における pH(H₂O)。各地点の値は、分析反復(3)の平均値である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値	有意差 [#]
斜面最上部	6.52	6.04	5.92	5.85	6.02	7.26	6.00	6.13	6.218	—
斜面上部	6.24	6.14	6.34	6.34	6.08	6.16	6.05	6.18	6.191	—
斜面中部	6.24	6.30	6.23	5.99	5.87	6.00	5.81	5.96	6.050	—
斜面下部	6.29	6.16	6.22	6.11	6.12	6.13	5.88	6.05	6.120	—
斜面最下部	6.16	6.25	6.29	6.18	6.25	6.23	6.04	6.22	6.203	—
平均値	6.290	6.178	6.200	6.094	6.068	6.356	5.956	6.108	6.1563	
有意差 [#]	—	—	—	—	—	—	—	—		

二元分散分析において、有意性が認められた要因に対して、Tukeyの多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 16 深さ 15-20 cm における pH(H₂O)。各地点の値は、分析反復(3)の平均値である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値	有意差 [#]
斜面最上部	6.47	5.81	5.92	5.87	5.96	7.25	5.99	6.06	6.166	—
斜面上部	6.26	5.97	6.14	6.13	6.01	6.12	5.98	5.99	6.075	—
斜面中部	6.20	6.21	6.03	6.09	5.90	5.88	5.71	5.92	5.993	—
斜面下部	6.27	6.14	6.12	6.15	6.17	6.05	5.73	5.95	6.073	—
斜面最下部	6.25	6.14	6.22	6.21	6.35	6.22	6.05	6.10	6.193	—
平均値	6.290	6.054	6.086	6.090	6.078	6.304	5.892	6.004	6.0998	
有意差 [#]	—	—	—	—	—	—	—	—		

二元分散分析において、有意性が認められた要因に対して、Tukeyの多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 17 深さ 0.0-5.0 cm における pH(KCl)。各地点の値は、分析反復(3)の平均値である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値	有意差 [#]
斜面最上部	5.07	4.76	4.61	4.54	4.63	5.83	4.60	4.78	4.853	—
斜面上部	4.96	4.95	5.01	4.91	4.71	4.90	4.76	4.85	4.881	—
斜面中部	4.84	4.88	4.84	4.54	4.81	4.60	4.37	4.38	4.658	—
斜面下部	4.94	4.88	4.87	4.68	4.82	4.74	4.47	4.65	4.756	—
斜面最下部	4.79	4.87	4.91	4.76	5.03	4.95	4.60	4.90	4.851	—
平均値	4.920	4.868	4.848	4.686	4.800	5.004	4.560	4.712	4.7998	
有意差 [#]	—	—	—	—	—	—	—	—		

二元分散分析において、有意性が認められた要因に対して、Tukeyの多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 18 深さ 7.5-12.5 cm における pH(KCl)。各地点の値は、分析反復(3)の平均値である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値	有意差 [#]
斜面最上部	5.27	4.80	4.68	4.52	4.69	6.11	4.82	4.91	4.975	—
斜面上部	5.02	4.93	5.10	5.10	4.76	4.83	4.78	4.85	4.921	—
斜面中部	4.93	5.00	4.83	4.67	4.63	4.64	4.53	4.65	4.735	—
斜面下部	4.96	4.85	4.79	4.86	4.79	4.82	4.56	4.76	4.799	—
斜面最下部	4.89	4.89	4.88	4.88	4.96	4.95	4.72	4.91	4.885	—
平均値	5.014	4.894	4.856	4.806	4.766	5.070	4.682	4.816	4.8630	
有意差 [#]	—	—	—	—	—	—	—	—		

二元分散分析において、有意性が認められた要因に対して、Tukeyの多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 19 深さ 15-20 cm における pH(KCl)。各地点の値は、分析反復(3)の平均値である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値	有意差 [#]
斜面最上部	5.22	4.68	4.71	4.58	4.58	6.31	4.75	4.87	4.963	—
斜面上部	5.02	4.79	4.94	4.89	4.65	4.81	4.70	4.65	4.806	—
斜面中部	4.94	4.93	4.71	4.75	4.58	4.57	4.50	4.53	4.689	—
斜面下部	4.98	4.84	4.68	4.88	4.84	4.75	4.40	4.64	4.751	—
斜面最下部	4.99	4.78	4.83	4.88	5.06	4.95	4.76	4.83	4.885	—
平均値	5.030	4.804	4.774	4.796	4.742	5.078	4.622	4.704	4.8188	
有意差 [#]	—	—	—	—	—	—	—	—		

二元分散分析において、有意性が認められた要因に対して、Tukeyの多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 20 深さ 0.0-5.0 cm における EC (mS/m)。各地点の値は、分析反復(3)の平均値である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値	有意差 [#]
斜面最上部	10.29	10.20	9.21	8.12	8.48	11.58	6.49	10.23	9.325	—
斜面上部	9.44	8.29	12.58	10.72	10.55	11.03	10.33	8.88	10.23	—
斜面中部	8.21	11.63	8.86	8.56	9.05	6.30	9.87	7.16	8.705	—
斜面下部	8.76	7.27	7.36	9.21	8.99	9.15	7.95	7.45	8.268	—
斜面最下部	8.93	8.81	8.21	11.27	9.64	8.52	7.26	6.40	8.630	—
平均値	9.126	9.240	9.244	9.576	9.342	9.316	8.380	8.024	9.0310	
有意差 [#]	—	—	—	—	—	—	—	—		

二元分散分析において、有意性が認められた要因に対して、Tukeyの多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 21 深さ 7.5-12.5 cm における EC (mS/m)。各地点の値は、分析反復(3)の平均値である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値	有意差 [#]
斜面最上部	7.54	7.57	7.88	5.86	5.61	8.83	7.90	6.81	7.250	—
斜面上部	7.72	8.15	7.30	6.44	6.21	5.56	6.85	5.89	6.765	—
斜面中部	6.44	6.03	5.07	6.20	7.36	5.69	6.11	6.03	6.116	—
斜面下部	6.15	7.10	5.22	8.27	6.31	6.15	6.20	6.30	6.463	—
斜面最下部	6.75	6.39	5.52	7.52	7.37	7.10	6.55	6.33	6.691	—
平均値	6.920	7.048	6.198	6.858	6.572	6.666	6.722	6.272	6.6570	
有意差 [#]	—	—	—	—	—	—	—	—		

二元分散分析において、有意性が認められた要因に対して、Tukeyの多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 22 深さ 15-20 cm における EC (mS/m)。各地点の値は、分析反復(3)の平均値である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値	有意差 [#]
斜面最上部	7.35	9.99	7.81	5.98	4.93	11.70	6.82	7.28	7.733	—
斜面上部	7.41	8.38	8.27	6.97	5.52	5.75	6.53	5.50	6.791	—
斜面中部	7.26	7.12	6.89	6.03	5.79	5.65	7.31	5.39	6.430	—
斜面下部	6.80	7.14	4.75	7.92	6.47	6.25	5.77	6.08	6.398	—
斜面最下部	6.99	6.29	5.64	7.28	7.33	7.04	6.58	6.82	6.746	—
平均値	7.162	7.784	6.672	6.836	6.008	7.278	6.602	6.214	6.8195	
有意差 [#]	—	—	—	—	—	—	—	—		

二元分散分析において、有意性が認められた要因に対して、Tukeyの多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 23 深さ 0.0-5.0 cm における強熱減量 (%)。各地点の値は、分析反復(3)の平均値である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値	有意差 [#]
斜面最上部	10.5	10.5	9.8	9.7	9.6	9.3	10.1	10.0	9.94	—
斜面上部	10.3	10.6	11.2	9.8	10.0	10.5	10.4	9.6	10.3	—
斜面中部	10.1	11.8	10.4	9.4	9.8	9.8	10.3	10.2	10.2	—
斜面下部	10.5	10.0	9.4	9.5	10.7	10.7	9.6	10.8	10.2	—
斜面最下部	11.6	7.6	10.8	10.4	11.8	12.2	10.7	10.6	10.7	—
平均値	10.6	10.1	10.3	9.8	10.4	10.5	10.2	10.2	10.27	
有意差 [#]	—	—	—	—	—	—	—	—		

二元分散分析において、有意性が認められた要因に対して、Tukeyの多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 24 深さ 7.5-12.5 cm における強熱減量 (%)。各地点の値は、分析反復(3)の平均値である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値	有意差 [#]
斜面最上部	9.1	10.0	9.4	8.9	8.7	9.0	9.8	9.4	9.29	b
斜面上部	9.6	9.9	9.2	8.9	8.8	9.5	9.6	9.4	9.36	b
斜面中部	9.2	10.1	9.0	8.7	9.0	9.4	9.7	9.8	9.36	b
斜面下部	9.7	9.1	8.4	8.9	9.7	10.0	9.5	9.9	9.40	b
斜面最下部	11.0	9.3	9.2	9.3	10.3	11.8	10.5	10.2	10.2	a
平均値	9.72	9.68	9.04	8.94	9.30	9.94	9.82	9.74	9.523	
有意差 [#]	a	a	a	a	a	a	a	a		

二元分散分析において、有意性が認められた要因に対して、Tukeyの多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 25 深さ 15-20 cm における強熱減量 (%)。各地点の値は、分析反復(3)の平均値である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値	有意差 [#]
斜面最上部	9.2	9.8	8.9	8.9	8.4	9.0	9.9	9.2	9.16	b
斜面上部	9.6	9.5	9.1	9.1	8.4	9.1	9.9	9.6	9.29	ab
斜面中部	9.5	9.9	8.1	8.9	9.2	9.7	10.2	9.6	9.39	ab
斜面下部	9.6	9.0	8.5	8.8	9.8	10.4	9.6	9.9	9.45	ab
斜面最下部	10.8	9.2	8.6	8.7	10.2	11.4	10.7	10.6	10.0	a
平均値	9.74	9.48	8.64	8.88	9.20	9.92	10.1	9.78	9.463	
有意差 [#]	ab	abc	c	bc	abc	ab	a	ab		

二元分散分析において、有意性が認められた要因に対して、Tukeyの多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

- 10) Benbi D.K. and Richter J.: Nitrogen Dynamics. *In Handbook of Processes and Modeling in the Soil-Plant System*, edited by Benbi D.K. and Nieder R., p. 414, Food Products Press, Binghamton, NY, USA (2003).
- 11) Brady N.C. and Weil R.R.: *The Nature and Properties of Soils*, 13th Edition, p. 366-367, Pearson Education Inc., New Jersey, USA (2002).
- 12) 寶示戸雅之：草地土壌の経年的酸性化と牧草の生育特性に関する研究，北海道立農業試験場報告 第 83 号，p. 25，北海道立根釧農業試験場 (1994).

Summary

The spatial distributions of physicochemical properties of a grassland soil were measured to obtain a basic understanding of the effects caused by long-term, repeated applications of anaerobically digested cattle slurry, farmyard manure, and chemical fertilizer. The grassland site is located at Rakuno Gakuen University, and was established one year before the measurements began. After one year of applications, some soil physicochemical properties showed spatial variability. However, only the spatial variability of pH(H₂O) of the topsoil (0-5cm) was considered to be affected by the applied materials. The spatial variability of other properties was considered to be due to the natural soil variation, topography and other factors, including the management before grassland establishment.