

バイオエタノール残渣液の島尻マーヅ土壤への施用が 浸透溶脱と土壤理化学性に与える影響

陳 媽*・塩野隆弘*

目 次

I 緒 言	153	2 結果と考察	161
II 供試した残渣液の特性	154	V 残渣液の施用が土壤蒸発に与える影響	163
III 残渣液の施用が浸透水成分に与える影響	154	1 試験方法	163
1 試験方法	154	2 結果と考察	163
2 結果と考察	156	VI 結 言	167
IV 残渣液の施用が土壤透水性に与える影響	160	参考文献	168
1 試験方法	160	Summary	169

I 緒 言

沖縄県宮古島市におけるサトウキビの栽培面積は全畑地面積の約80%を占めている。サトウキビ製糖業の副産物である糖蜜は、現在県外に持ち出して飼料として使用されている。宮古島では、平成17年度から糖蜜の有効利用と運輸部門における二酸化炭素排出削減を目的として、現地プラントにおいて糖蜜を原料とする燃料用エタノールの製造の試運転を開始し、糖蜜由来のバイオエタノールをガソリンに混ぜてCO₂を削減し、地球温暖化を防止しようとする実証的な試みが始まっている。このバイオエタノールの製造過程では多量の蒸留残渣液が発生する。1Lのバイオエタノールを製造すると15~20L程度の高BODの蒸留残渣液（以下残渣液とする）が排出される。宮古島は河川がなく、浄化槽による下水処理が主流であるため、残渣液がそのまま雑排水として地下浸透すると、貴重な水資源である地下水の水質悪化が懸念される。そのため、持続的なバイオエタノール生産のためには、製造時多量に排出される残渣液の処理および利用技術の開発が不可欠となる。

農地に人為的に新たな物質を投入する際には、作物と環境に悪影響がないかを確認することが不可欠である。これまでの知見では、ブラジルで残渣液を農地に還元して作物栽培で有効利用する研究が行われ、残渣液の施用

により化学肥料の一部代替が可能であることが報告されている(Booth and Lightfoot, 1990; Resende, 2006)。筆者ら(陳・凌, 2010)もトマトとダイコンの栽培試験を通して残渣液のカリウム代替の可能性を示している。また、宮古島の総耕地面積の89.9%を占めている島尻マーヅ土壤は有機物が乏しく、粘土質に富む琉球石灰岩の風化堆積土で、透水性がよく、保水性に乏しい特徴をもっている。このことから、島尻マーヅは良好な耕土とはいえず、有機資材などの投入による土壤改良を必要とする特殊土壤といえる(足立・與古田, 1981)。そのため、島尻マーヅに対して有機物を含む残渣液の施用が土壤の理化学性を改善する効果があれば、残渣液の利活用の可能性を示すことができると考えられる。一方、宮古島は生活および農業用水のほとんどを地下水に依存しているため、残渣液の農地への大量投入による地下水水質への影響を明らかにする必要がある。

そこで、本研究では残渣液の島尻マーヅ土壤畑への農地施用による浸透の動態や土壤の理化学性への影響を明らかにし、残渣液の農地施用の可能性を考察した。本研究の成果はバイオエタノールの持続的生産利用による循環型社会を構築する上で重要な知見となる。

なお、本研究は、農林水産省委託プロジェクト研究「地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発(バイオマス利用モデルの構築・実証・評価)」において行われた。同プロジェクト研究の関係者各位、残渣液を提供していただいた現地プラントの株式会社りゅうせきに対して感謝申し上げる。

* 農地・水資源部 農地工学研究室

平成23年1月18日受理

キーワード：バイオエタノール, 残渣液, 浸透, 透水性, 分散, 蒸発

本研究の一部は農業農村工学会論文集265号で公表した。

II 供試した残渣液の特性

供試した残渣液は現地プラントから2007年12月と2008年1月に提供され、農村工学研究所畑地灌漑実験棟（茨城県つくば市）で常温保存した。残渣液の理化学性として、SS、色度、pH、COD_{Mn}、COD_{Cr}、TOC、BOD、K⁺、Na⁺、Cl⁻、PO₄²⁻、SO₄²⁻、T-Nなどの項目を分析した。K⁺、Na⁺、Cl⁻、PO₄²⁻は原液および濾紙を通過した濾液の2種類を分析し、TOCは濾紙を通過した濾液のみ分析した。SSは乾燥法より、色度は分光光度計（700nm）により、pHはpH/COND meterにより分析し、COD_{Mn}（酸化剤として過マンガン酸カリウムを使用）、COD_{Cr}（酸化剤としてニクロム酸カリウムを使用）、TOC、BOD、K⁺、Na⁺、Cl⁻、PO₄²⁻、SO₄²⁻、T-Nは工業排水試験法 JIS K 0102 に基づいて分析した。

残渣液の化学特性を **Table 1** に示す。バイオエタノール製造における原料、発酵条件および生産過程の差異によって残渣液の成分にバラツキがあるが、異なる採取日の残渣液の各成分の構成率には顕著な差は見られなかった。粘性が低く、浮遊物質を約10%含んでおり、TOCとCODが高く、浮遊物質の多くが有機物であるという特徴があった。また、残渣液はCOD_{Cr} > COD_{Mn} > BODという特徴もあった。一般的に、COD_{Cr}法は最も酸化力が強く、ほぼ全量の有機物が分解されるが、COD_{Mn}法は比較的酸化力が弱く、COD_{Mn}値は生物分解性物質に近いと解釈される（下水道用語集、2000）。COD_{Cr}がCOD_{Mn}より大きいことは、残渣液に難分解性有機物が多く含まれることを示唆する。生物処理によってBOD値が下げられても、難分解性有機物の高度な色素（高分子有機色素）が残っており、残渣液を安易に流域などに放流することは難しいと考えられる。一方、残渣液はカリウム含量が高く、ほとんどが水溶性であり、カリウム肥料としての利用が示唆される。トマトとダイコンのカリウム肥料の1/3を代替した栽培試験（陳・凌、2010）では、カリウム肥料として利用できることが実証された。ただし、塩素濃度が高いことから、肥料として利用する

場合は、塩類障害を引き起こさないよう施用量に十分な注意を払うべきである（陳・凌、2010）。

一方、土壤中の浸透や理化学性の視点から見ると、残渣液を農地施用する場合、以下の制限要因があると考えられる。①年平均降雨量が多い宮古島では、有機物含量が多く、カリウムと塩素の濃度が高い残渣液が土壤中に浸透することによる地下水水質の悪化。②平均気温が高い宮古島では、有機物添加することで微生物増殖により土壤間隙が閉塞し、飽和透水係数が低下するバイオクロッキング現象（Allison, 1947）の発生。③粘土含量が多い島尻マージ土壤では、一価陽イオン濃度が高い残渣液の添加により粘土分が分散して土壤間隙が閉塞し、透水性や蒸発特性が変化することによる土壤水分特性変化。そこで、①についてはⅢ章に示す実験により残渣液成分の浸透について検討する。②と③についてはⅣとⅤ章に示す実験により残渣液成分が土壤物理性に与える影響について検討する。

III 残渣液の施用が浸透水成分に与える影響

1 試験方法

農地に施用した残渣液の降雨や灌水による地下への浸透、その施用が土壤の物理性に与える影響、残渣液の施用量や施用方法による色素成分の浸透変化を明らかにするため、試験1～3の試験を行った。試験1は2007年12月の残渣液を使用し、その他の試験は2008年1月の残渣液を使用した。

a 試験1

残渣液を基肥として農地土壤に全面混合した場合、降雨によって残渣液の成分が作土の下層に浸透して地下水水質に影響を及ぼすことが想定される。そこで、残渣液を施用した土壤の浸透水の水質特性を明らかにするため、25℃の恒温室でカラム試験を行った。使用したカラムは **Fig.1** に示す通り、内径20cm、高さ50cmの塩ビ製の円筒形カラムである。カラムの底部に排水孔（φ2cm）をあけ、カラムの側面に時間別、層別に土壤採取がで

Table 1 残渣液の化学特性
Chemical properties of vinasse

生産時期	pH	色度 (度)	SS (mg/l)	TOC (mg/l)	TN (mg/l)	COD _{Mn} (mg/l)	COD _{Cr} (mg/l)
2007.12	4.28	44000	108000	55400	1976	81900	172000
2008.1	4.56	34800	86000	32950	1560	61900	100000
	BOD (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	PO ₄ ²⁻ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	
	50900	17000 (13500)	767 (120)	508 (423)	11500 (1400)	11400	
	40600	15400 (12700)	390 (30)	420 (311)	9820 (900)	9880	

注：K⁺、PO₄²⁻、Na⁺、Cl⁻の数値について、前記の値は原液、括弧内の値は濾過液の値（水溶性に相当）と記載している。

きるように、頂部から 17.5cm（土壌表面から 15cm）、32.5cm（土壌表面から 30cm）の 2 層に同間隔の 6 個の孔（φ 1.5cm）をあけた。試験に使用した土壌は鳥尻マージで、土壌の物理性は **Table 2** に示している。5mm のふるいを通じた鳥尻マージ土壌に化学肥料または残渣液を混合し、カラム内の土壌乾燥密度が現地サトウキビ畑の平均的の値（0.9g/cm³）になるように、土壌を秤量し、均一になるようにカラムに圧縮充填し供試体を作成した。カラム試験の処理は **Table 3** に示す 4 種類で、試験は 2 反復行った。処理（2）では宮古島の夏植えサトウキビの施肥基準に従って、240kgN/ha 等量の硫酸を全層土壌に混合した。処理（3）では 240kgN/ha 等量の残渣液を全層土壌に混合した。処理（4）では残渣液投入初期の窒素飢餓（陳・凌，2010）を考慮し、240kgN/ha 等量の硫酸に加えて処理（3）の半分量の残渣液を全層土壌に混合した。土壌カラムの下端とマリオットタンクをチューブで繋ぎ、土柱下部の礫層に水を張った状態で 2～3 日静

置して、すべてのカラム内の水頭が一定になったのを確認し、これを初期条件として実験を開始した。灌水は週 1 回の割合で、合計 6 回行った。1 回の灌水量は 1800ml であり、これは宮古島市の平均月間降雨量（気象庁，2009）の 1/3 に相当する。灌水後 24 時間まで排水孔からの排水を採取し、排水量、硝酸態窒素とアンモニア態窒素濃度、EC、pH および色度について測定を行った。なお、硝酸態窒素濃度は銅カドミウムカラム還元法により、アンモニア態窒素濃度はネスラー法により分析した。灌水の 24 時間後、時計廻りに、6 カ所の採土孔の中の 1 つから土壌を乾土重量で約 10g 採取し、土壌含水比を測定した。

b 試験 2

限られた面積の農地に残渣液を施用する場合、作物栽培に必要な窒素成分よりも多量の窒素成分量に相当する残渣液の投入が求められる。そこで、残渣液を土壌に大量混合または連続表面散布した場合における浸透水の色度や EC などへの影響を明らかにするため、室温（20℃）条件下のカラム試験を行った。試験に用いたカラムは、内径 10cm、高さ 60cm の塩ビ製の円筒形で、底部には排水孔（φ 1.5cm）がある。5mm のふるいを通じた鳥尻マージ土壌を乾燥密度が 0.9g/cm³ になるようにカラムに圧縮充填し供試体を作成した。試験は、**Table 4** に示す（1）～（4）の 4 処理条件で行った。試験開始前、カラムの排水孔から排水が出るまで表面から蒸留水を供給した後、カラム内の土壌が圃場容水量に達してから実験を開始した。処理（2）では、夏植えサトウキビ栽培に必要な窒素成分量 2 倍以上の窒素成分量に相当する残渣液を上層土壌に混合し、灌水による残渣液成分の溶脱を検討した。処理（3）では、多量の残渣液を数回に分けて表面散布し、残渣液成分が下方への移動を検討した。処理（4）では、残渣液の希釈液を表面散布し、地下水水質に悪影響をおよぼす残渣液成分の流出における限界投入量を検討した。残渣液の浸透度合を見ながら、各カラムの土壌表面が乾いた時点で蒸留水または残渣液を与えた。ただし、処理（2）の残渣液投入土壌－水投入カラムと処理（3）の残渣液無投入土壌－残渣液原液投入カラムで

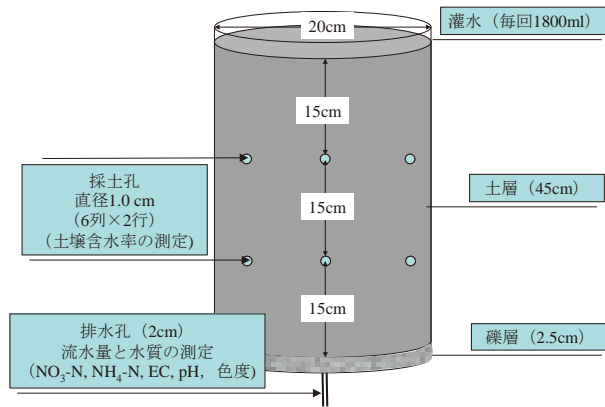


Fig.1 カラム実験装置
Diagram of column experiment

Table 2 供試土壌の物理性
The physical properties of soil

真比重	粒径組成 (%)					土性
	礫	粗砂	細砂	シルト	粘土	
2.76	0.26	0.77	7.32	32.96	58.69	HC

Table 3 実験条件
Experimental condition

処 理	投入窒素量	硫酸や残渣液の施用条件
(1) 無施肥	0kgN/ha 0gN/ 314cm ²	—
(2) 標準施肥 (硫酸)	240kgN/ha 7.5gN/ 314cm ²	夏植えサトウキビ標準施肥量
(3) 100%残渣液代替	240kgN/ha 7.5gN/ 314cm ²	残渣液量330t/ha (1.03L/314cm ²) 窒素以外の調整なし (残渣液肥効率は1/3として計算)
(4) 標準施肥 + 50%残渣液増肥	360kgN/ha 7.5(硫酸) + 3.8(残渣液)g N/ 314cm ²	残渣液量165t/ha (0.52L/314cm ²)

は、液体の浸透速度が遅く、土壌表面に液体が溜まったため、供給量は他の2カラムより少なく、処理(1)の残渣液無投入土壌-水投入カラムの各々23%、39%であった。灌水後24時間までの排水を採取し、排水量、EC、pHおよび色度を測定した。ただし、処理(2)残渣液投入土壌-水投入カラムと処理(3)残渣液無投入土壌-残渣液原液投入カラムについては、灌水から24時間以後の排水も採取し、灌水から24時間後に採取した排水に混合した。さらに、実験終了後、残渣液の物質移動を明らかにするため、カラムの表層から5cm、30cmと55cmの土壌を採取し、C/Nアナライザーを用いて土壌の有機物含量を測定した。

c 試験3

飽和土壌に残渣液を液肥として施用した直後に降雨や灌水があった場合、残渣液の施用量が少量であっても、土壌間隙に保持されている残渣液の成分が下方へ移動し、地下水水質に影響を及ぼす可能性がある。そこで、降雨や灌水による残渣液の色素成分の下方への移動動態を明らかにするため、室温条件下のカラム試験を行った。試験には内径10cm、高さ20cmの塩ビ製の円筒形カラムを用いた。カラムの底部には排水孔(φ1.5cm)がある。カラム内土壌の乾燥密度が0.9g/cm³になるように、5mmのふるいを通した島尻マージ土壌を秤量し、均一になるようにカラムに圧縮充填し供試体を作成した。

試験は、Table 5に示す(1)~(6)の6処理条件で行った。

試験開始前、カラムの排水孔から排水が出るまで表面から蒸留水を供給した後、カラム内の土壌が圃場容水量に達してから、実験を開始した。土壌表面から残渣液を前述の(1)~(6)の条件で与えた。具体的に処理(1)と(4)では、残渣液原液または希釈液の投入によって、投入前に存在していた間隙水が下方へ押し流されて入れ替わった状態を想定し、浸透水の色度が100度を超えるまで残渣液原液または希釈液を表面散布した。処理(2)と(5)では処理(1)と(4)の2/3の量、処理(3)と(6)では処理(1)と(4)の1/3の量の残渣液原液または希釈液を表面散布した。その後、土壌表面に100ml(水深12.7mm)の蒸留水を与え、カラム下部の排水孔から100mlの浸透流出水を採取し、色度を測定した。さらに、この蒸留水を与えて色度を測定する操作を排水の色度が100以下になるまで行った。

2 結果と考察

a 残渣液を基肥として土壌に全面施用する場合

試験1における各試験カラムの累積排水水量、排水の全窒素(硝酸態+アンモニア態窒素)濃度、全窒素負荷、EC、pHおよび色度の時間変化をFig.2に示す。また、各試験カラムの上下層の土壌含水比の変化をFig.3に示す。各試験カラムの浸透流出水量は、処理(4)の標準施肥+50%残渣液施肥カラムを除いて、顕著な差が

Table 4 実験条件
Experimental condition

処 理	残渣液投入量 (方法)	蒸留水投入量 (方法)
(1) 残渣液無投入土壌-水投入	—	毎回250mlずつ、計22回、5500ml投入
(2) 残渣液投入土壌-水投入	土壌深さ0-30cmの上層に600ml (770t/ha) 原液混合	毎回250mlずつ、計5回、1250ml投入
(3) 残渣液無投入土壌-残渣液原液投入	毎回250 or 150ml (一回のみ) ずつ、計9回、2150ml (2760t/ha原液) 表面投入	—
(4) 残渣液無投入土壌-残渣液希釈液投入	毎回250ml or 150ml (一回のみ) ずつ、10倍希釈液計9回、5倍希釈液計2回、2倍希釈液計9回 (内1回は150ml投入)、5125ml (1813t/ha原液相当) 表面投入	—

Table 5 実験条件
Experimental condition

処 理	残渣液投入量 (方法)
(1) 原液570t/ha投入	浸透水の色度が100度を超えるまで、土壌表面から450ml (570t/ha) 原液投入
(2) 原液380t/ha投入	(1) の2/3の量原液投入
(3) 原液190t/ha投入	(1) の1/3の量原液投入
(4) 2倍希釈液760t/ha投入	浸透水の色度が100度を超えるまで、土壌表面から600ml (760t/ha) 希釈液投入 (380t/ha原液相当)
(5) 2倍希釈液560t/ha投入	(4) の2/3の量希釈液投入 (280t/ha原液相当)
(6) 2倍希釈液250t/ha投入	(4) の1/3の量希釈液投入 (125t/ha原液相当)

見られなかった。処理(4)の標準施肥+50%残渣液施肥カラムの累積排水量は約4,400mlであった。これは、総灌水量の41%であり、最も累積排水量が多い処理(3)の100%残渣液代替カラムの排水量の62%であった。その理由はFig.3に示す通り、処理(4)の標準施肥+50%残渣液施肥カラムの灌水24時間後(重力水が排水された時点)の上下層土壤の含水比が他のカラムより高いためであった(実験の後半に採取した下層土は泥濘状態であった)。

また、時間経過に伴って、各カラムでは窒素成分が徐々

に流出し、処理(2)の標準施肥カラムでは直ちに全窒素負荷のピークを迎えたが、処理(3)の100%残渣液代替カラムと処理(4)の標準施肥+50%残渣液施肥カラムは、実験開始26日後に全窒素負荷のピークが現れ、その後下降する傾向が見られた。処理(3)の残渣液窒素代替カラムの全窒素累積流出量は、処理(2)の標準施肥カラムより低いことから、夏植えサトウキビ栽培において窒素100%代替量の残渣液の施用は無機態窒素の浸透流出の面では問題がないことが示唆された。ただし、処理(3)の100%残渣液代替カラムと処理(4)の標準施肥+

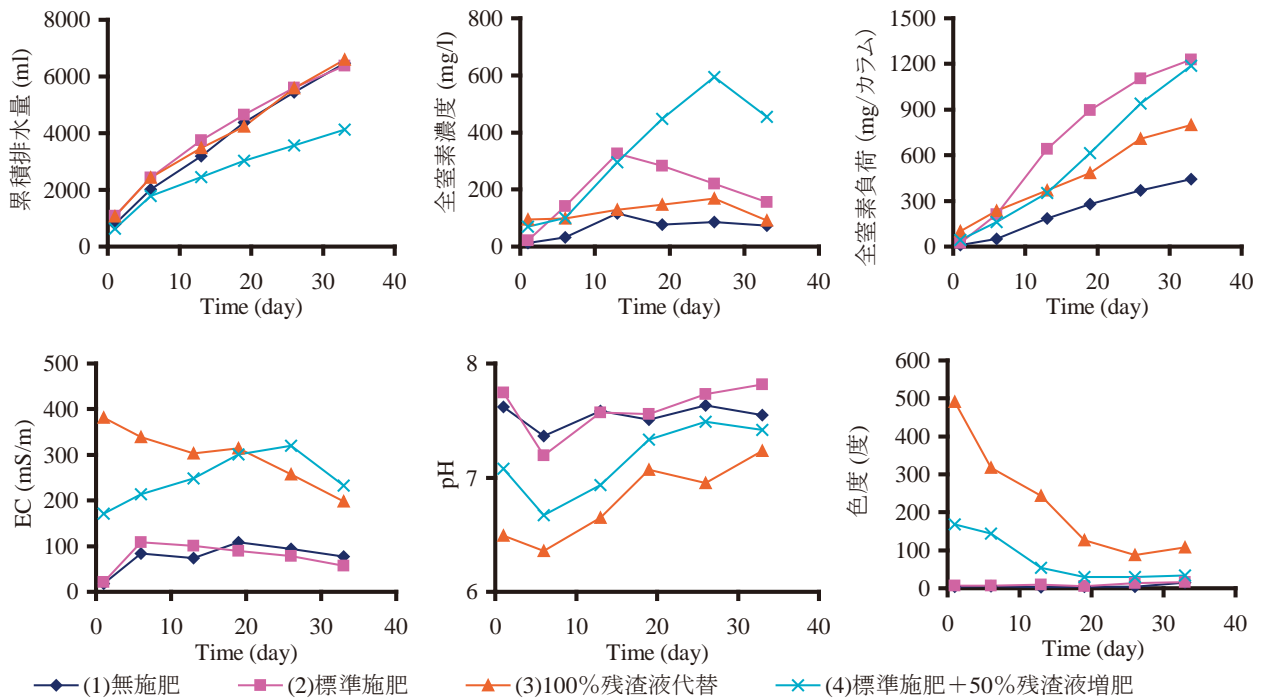


Fig.2 累積排水量と排水の水質
Changes in cumulative percolating water volume and water quality in each column

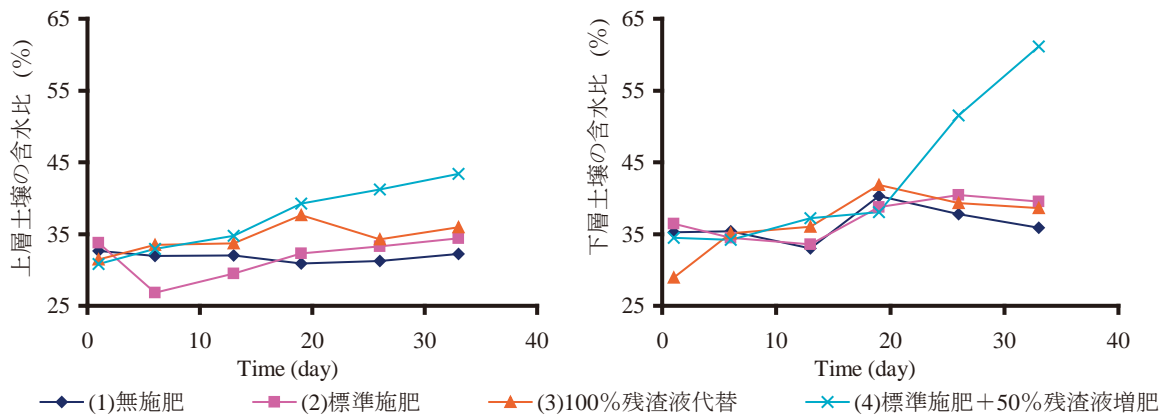


Fig.3 土壤含水比の変化
Change in water contents of soil in each column

50%残渣液施肥カラムでは、浸透流出水のECと色度の値が処理(2)の標準施肥カラムより高く、pHは処理(2)の標準施肥カラムより低かった。全実験期間中、処理(3)の残渣液窒素代替カラムのECの平均値は299mS/mで、処理(4)の標準施肥+50%残渣液施肥カラムの247.8mS/mとほぼ同じで、処理(1)の無施肥カラムの76.0mS/mと処理(2)の標準施肥カラムの76mS/mの3.9倍であり、農業用水基準(農林水産省:昭和46年10月4日農林水産技術会議)の30mS/mより大きく上回った。また、実験初期における処理(3)の100%残渣液代替カラムの浸透排水の色度は490度で、処理(4)の標準施肥+50%残渣液施肥カラムの3倍であり、処理(1)の無施肥カラムと処理(2)の標準施肥カラムの70倍以上であった。

これらの実験では、連続灌水によって浸透排水のEC値と色度が下がりpHは中性付近になったが、農業用水を地下ダムから直接利用する宮古島ではEC値が農業用水基準を超えることや浸透水の色が目視で確認できることから、土層厚が小さい場所において多量の残渣液を農地施用する場合、降雨や灌水のタイミングを考慮する必

要がある。

b 残渣液を土壤に大量混合施用または連続して表面施用する場合

試験2における各試験カラムの累積排水量、排水のEC、pHおよび色度の時間変化をFig.4に示す。処理(1)の残渣液無投入土壤-水投入カラムと処理(4)の残渣液無投入土壤-残渣液希釈液投入カラムの浸透排水量には顕著な差が見られず、累積排水量は総給液量の約80%であった。処理(2)の残渣液投入土壤-水投入カラムの累積排水量は約520mlで、総給液量の41%であり、処理(3)の残渣液無投入土壤-残渣液原液投入カラムの累積排水量は約1600mlで、総給液量の74%であった。処理(2)の残渣液投入土壤-水投入カラムは、実験開始から浸透率が非常に低く、土壤の乾燥に伴って浸透率が高くなった。処理(3)の残渣液無投入土壤-残渣液原液投入カラムは、給液量が約750ml(960t/ha相当)の時点から浸透率が低下し、処理(4)の残渣液無投入土壤-残渣液希釈液投入は、給液量が約5000ml(1730t/ha原液相当)の時点から浸透率が低下した。これらのことから、飽和し

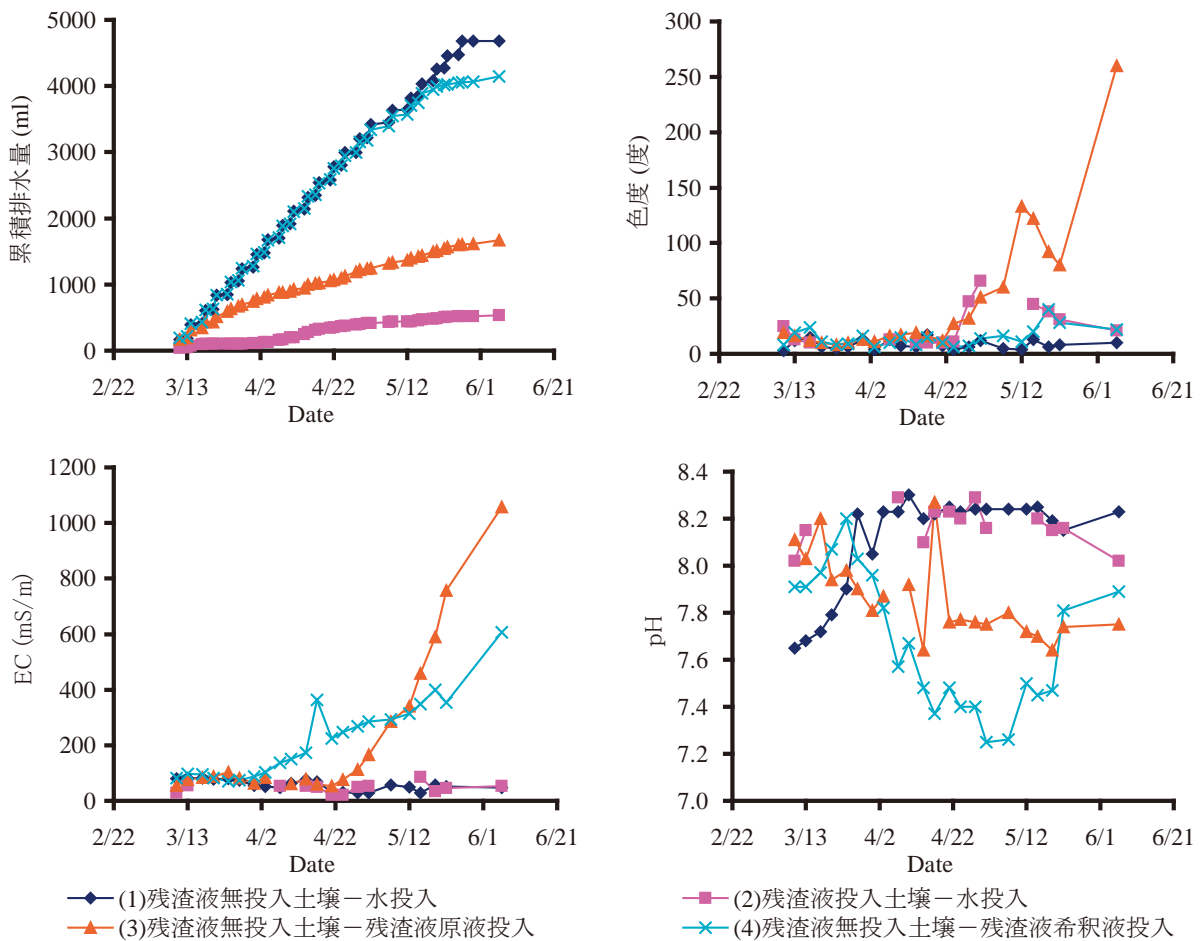


Fig.4 累積排水量と排水の水質
Changes in cumulative percolating water volume and water quality in each plot

た土壤に大量の残渣液を混合または表面散布することによって土壤透水性が急激に低下すると推察される。

実験後における各試験カラムの各層の土壤有機物含量を Fig.5 に示す。処理 (2) の残渣液投入土壤－水投入カラムは、水の浸透が少なく、有機物は殆ど残渣液を混合した部分に留まり、下方への移動が見られなかった。このことから残渣液混合層の土壤間隙の閉塞が土壤透水性の低下の要因であることが推察された。処理 (3) の残渣液無投入土壤－残渣液原液投入と処理 (4) の残渣液無投入土壤－残渣液希釈液投入カラムでは、表層 5cm に多量の有機物が溜まっていたが、浸透に伴って下方への移動が見られた。このことから、残渣液の土壤混合より表面散布のほうが土壤間隙の閉鎖が少なく、土壤透水性に与える影響が小さいことが推察される。

残渣液を連続表面散布することによって、浸透流出水の EC と色度は増加する傾向にあり、pH が低くなる傾向があった。処理 (3) の残渣液無投入土壤－残渣液原液投入カラムの EC 値は、1000ml (1280t/ha) の残渣液原液投入した時点で上昇し始め、最終的に 1058mS/m に達した。処理 (4) の残渣液無投入土壤－残渣液希釈液投入の EC 値は、2000ml の (原液 200ml (260t/ha) 相当) 希釈残渣液投入した時点で上昇し始め、最終的に 607mS/m に達した。また、処理 (3) の残渣液無投入土壤－残渣液原液投入カラムの色度は 1600ml (2100t/ha) の残渣液原液投入した時点で 60 度になり、最終的に 260 度に達した。処理 (2) の残渣液投入土壤－水投入カラムの色度は浸透水量が 400ml を超えた時点で 66 度に達した。

以上のことから、残渣液を大量に土壤へ投入する場合、土壤透水性の急激な低下を抑制させるためには、残渣液を飽和土壤に混合するよりも表面散布することが望ましい。また、残渣液の散布量が原液で 1000ml (1280t/ha)、10 倍希釈液で 2000ml (原液 200ml 相当 (約 250t/ha)) を超える時点で土壤の浄化・保持する能力が限界に達

し、浸透流出水の EC や色素は急激に増加したことから、残渣液の投入量は短期的に流出する成分を考慮すると 250t/ha 以下に設定する必要があると考える。

c 飽和土壤へ残渣液施用後の色度の溶脱特性

試験 3 における各試験カラムの浸透水の色度の時系列変化を Fig.6 に示す。各試験カラムの排水の色度は直ちにピークを迎えた。処理 (1) の原液 570t/ha 投入、処理 (2) の原液 380t/ha 投入、処理 (3) の原液 190t/ha 投入、処理 (4) の 2 倍希釈液 760t/ha 投入、処理 (5) の 2 倍希釈液 560t/ha 投入、処理 (6) の 2 倍希釈液 250t/ha 投入カラムの色度ピーク値は各々 4590, 2500, 654, 2145, 1530, 564 度であった。色度が 100 度以下になるまでの灌水量は各々 636mm, 420mm, 509mm, 356mm, 420mm, 318mm で、残渣液の投入量が少ないほど色度の溶脱が少ないことが明らかになった。また、同じ原液相当量投入の処理 (2) の原液 380 t/a 投入と処理 (4) の 2 倍希釈液 760t/ha 投入に比べ、2 倍希釈投入における色度のピーク値が小さかった。

異なる残渣液投入方法による色度の溶脱特性を比較するため、ここでは、残渣液投入色度を (1) 式、排水累積色度を (2) 式に定義した。

$$\text{残渣液投入色度 (度} \cdot \text{L)} = \text{残渣液の色度 (度)} \times \text{投入量 (L)} \quad (1)$$

$$\text{排水累積色度 (度} \cdot \text{L)} = \sum \text{排水の色度 (度)} \times \text{流出量 (L)} \quad (2)$$

排水累積色度の動態変化および残渣液投入色度と排水の累積色度の比較を Fig.7, Table 6 に示す。処理 (2) の原液 380t/ha 投入と処理 (4) の 2 倍希釈液 760t/ha 投入については、投入した残渣液投入色度が同じであったが、処理 (4) の 2 倍希釈液 760t/ha 投入の色度のピーク値や色度が 100 度以下までの時間が短いため、排水累積色度は処理 (2) の原液 380 t/a 投入より少ない。また、処理 (1)

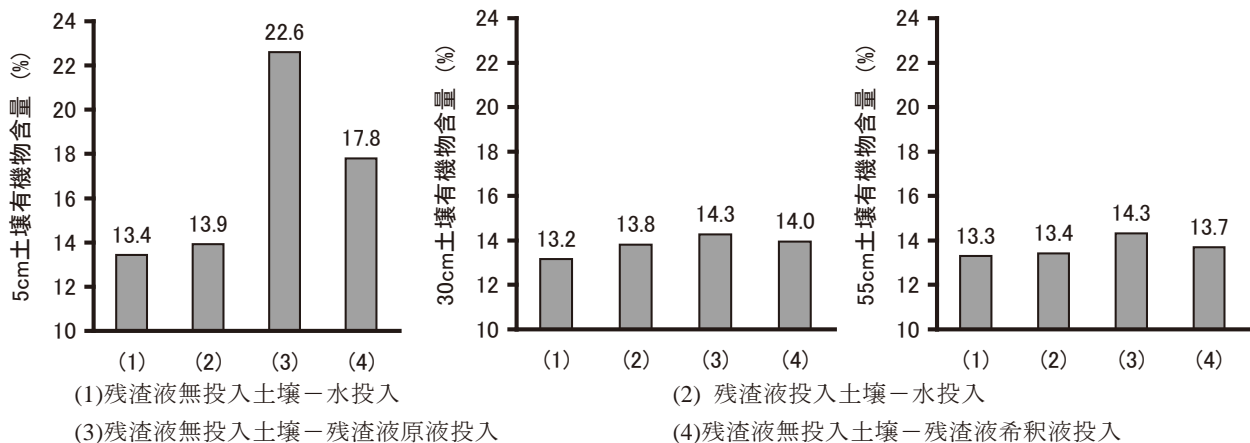


Fig.5 各層の土壤有機物含量

The organic matter contents of each soil layer in each column

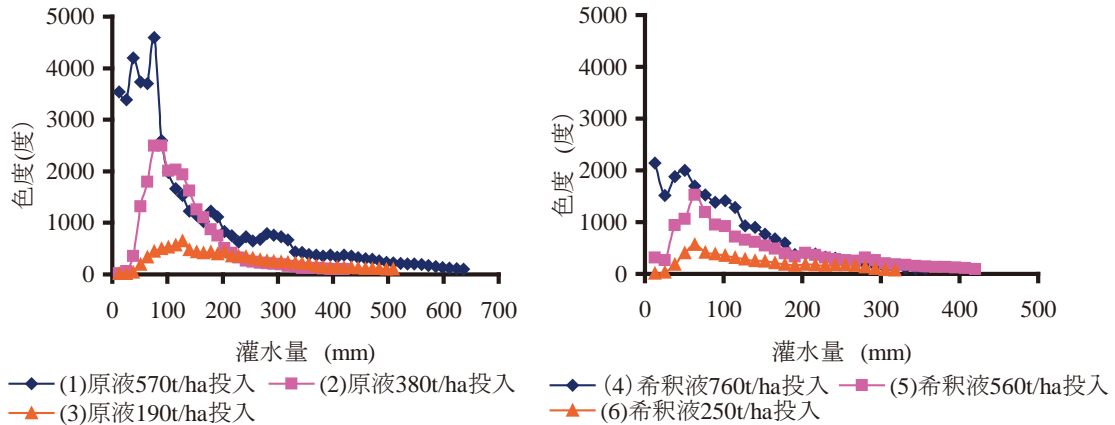


Fig.6 排水の色度
Changes in chromaticity of percolating water in each column

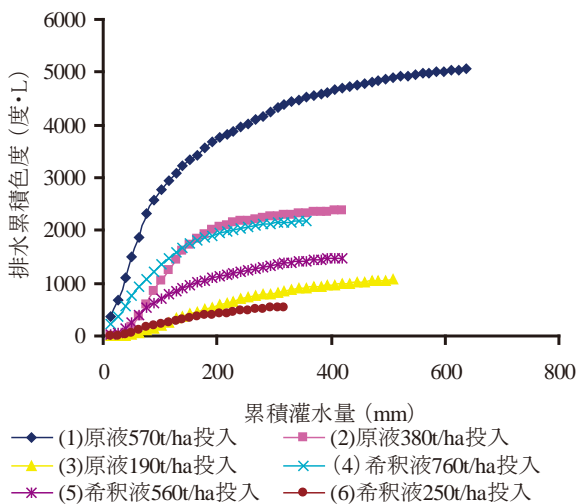


Fig.7 排水の累積色度
Changes in cumulative discharge chromaticity in each column

Table 6 投入色度と排水累積色度
Applying and cumulative discharge chromaticity

処 理	投入色度 (度・L)	排水累積色度 (度・L)
(1) 原液570t/ha投入	19800	5056
(2) 原液380t/ha投入	13200	2381
(3) 原液190t/ha投入	6600	1067
(4) 2倍希釈液760t/ha投入 (原液380t/ha相当)	13200	2184
(5) 2倍希釈液560t/ha投入 (原液280t/ha相当)	9900	1481
(6) 2倍希釈液250t/ha投入 (原液125t/ha相当)	4400	539

の原液 570t/ha 投入, 処理 (2) の原液 380t/ha 投入, 処理 (3) の原液 190t/ha 投入, 処理 (4) の 2 倍希釈液 760t/ha 投入, 処理 (5) の 2 倍希釈液 560t/ha 投入, 処理 (6) の 2 倍希釈液 250t/ha における排水累積色度と投入色度の比は各々 0.28, 0.18, 0.16, 0.16, 0.14, 0.12 であった。原液相当投入量が同じであっても, 希釈液を散布する方は排水累積色度が低い。また, 飽和した土壤に残渣液を投入後, 降雨などにより過剰の間隙水圧が生じると, 土壤間隙に拘束された色素が直ちに浸透流出するため, 土壤が飽和状態である場合や降雨予報がある時の残渣液投入または残渣液投入直後の灌水を避けるべきである。

IV 残渣液の投入が土壤透水性に与える影響

有機物含量が多い残渣液を鳥糞マージに施用した場合, 土壤透水性に影響をあたえると考えられる。土壤透水性は, 土中の粘土含量と土壤溶液の塩濃度, 組成に強く依存する (Quirk and Schofield, 1955)。粘土分は土壤溶液中に多価の陽イオンが多いと凝集しやすく, 一価の陽イオンが多く存在すると分散しやすい。膨潤性の低い鳥糞マージでは, 残渣液中の多量のカリウム成分 (一価陽イオン) による粘土粒子の分散や残渣液中の多量な有機物成分による土壤間隙の目詰まりにより透水性が低下すると考えられる。そこで, 残渣液施用が鳥糞マージ土壤の透水性に与える影響を明らかにするため, 異なる残渣液施用量が土壤透水性に与える影響と微生物の増殖が土壤透水性に与える影響について, 残渣液混入した土壤試料の変水位透水試験を行って検討した。

1 試験方法

農地への残渣液の投入方法は土壤混入と表面散布の 2 種類を想定して試験を行った。土壤混入条件の試験では, 乾土重量 90, 100, 110g の鳥糞マージ土壤に, 0, 5,

10, 15, 20, 25, 30ml (100g と 110g の試料のみ) の残渣液を混入した試料について飽和透水係数を測定した。表面散布条件の試験では、乾土重量 90g, 100g の鳥尻マージ土壌を 100ml 円筒に充填し、水飽和後、円筒上部に接続したゴムリングと変水位目盛り管を残渣液原液, 2 倍希釈液, 5 倍希釈液, 10 倍希釈液と脱気水で満たし、目盛り管内の水面の上部線から下部線まで降下する時間を測定し、透水係数を求めた。1 試験あたりの表面散布の回数は 20 回までとし、各試験は 2 反復行った。

残渣液を投入した土壌の微生物増殖が透水性に与える影響を明らかにするため、変水位透水試験を行った。乾土重量 90g, 100g, 110g の鳥尻マージ土壌に、0, 5, 10, 15, 20, 25ml, 30ml (100g と 110g の試料のみ) の残渣液を混入して、100ml の円筒に充填した。24 時間水飽和と 1 週間水飽和後 (25℃ 静置) の飽和透水係数を測定し、比較した。ここで、1 週間水飽和の処理は、微生物の増殖状態と想定した。

残渣液の投入が土壌の分散に与える影響を調べるため、残渣液を添加した土壌懸濁液の浮遊物質含量を測定した。用いた土壌懸濁液は 0.2mm ふるいを通過した 5g の土壌に、残渣液を 0ml, 10ml, 20ml, 50ml, 100ml 添加し、純水を加え 500ml にした後、攪拌機で 10 分間攪拌 (回転数 1500rpm) する処理と 3 回手動反転する処理により作成した。攪拌または反転直後と静置 1 時間後に液面から深さ 5cm までの懸濁液の浮遊物質量を測定した。また、懸濁液中の浮遊物質は浮遊土粒子と残渣液成分の浮遊物で構成されているため、残渣液 10ml, 20ml, 50ml, 100ml 添加の 500ml 残渣液懸濁液も同様の攪拌処理と反転処理を行い、攪拌直後と静置 1 時間後の残渣液成分の浮遊物質量を測定した。最後に、懸濁液中の浮遊土壌含量を全浮遊物質量と残渣液成分の浮遊物質量の差から求めた。

2 結果と考察

残渣液の土壌混入条件での透水試験において、各試験条件における残渣液の添加量が土壌の飽和透水係数に与える影響を Fig.8 に示す。乾燥密度 0.9g/cm^3 の土壌では、25ml 以上の残渣液の添加によって土壌が泥濘状態になるため、残渣液の添加を 25ml までとした。一方、乾燥密度 1.0g/cm^3 と 1.1g/cm^3 の土壌には、30ml の残渣液を添加した。各乾燥密度の土壌では、0 ~ 20ml の残渣液添加による土壌透水係数の差が見られなかったが、土壌飽和含水比に近い 25ml 以上の残渣液の混合により土壌透水係数は一気に低下した。

残渣液の表面散布条件での透水試験において、各試験条件における残渣液の添加量が土壌の飽和透水係数に与える影響を Fig.9 に示す。各乾燥密度の土壌の透水係数は原液 > 2 倍希釈液 > 5 倍希釈液 > 10 倍希釈液 > 脱気水の順であった。原液散布については、土壌溶液が初期の間隙水からすべて残渣液に入れ替わる期間における透水係数の低下が早く、土壌溶液がすべて残渣液に入れ替

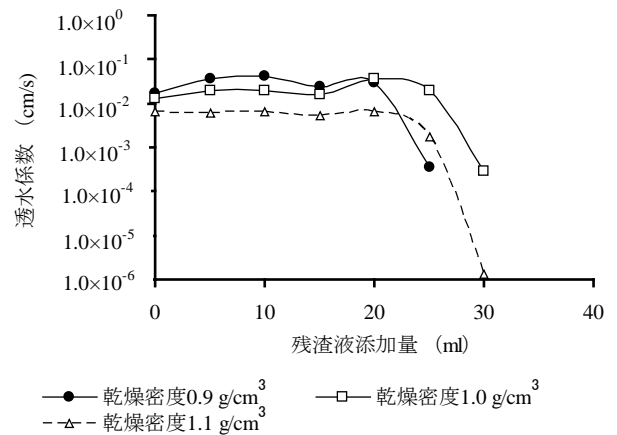


Fig.8 土壌透水性の変化 (残渣液土壌混入条件)
Changes of soil permeability

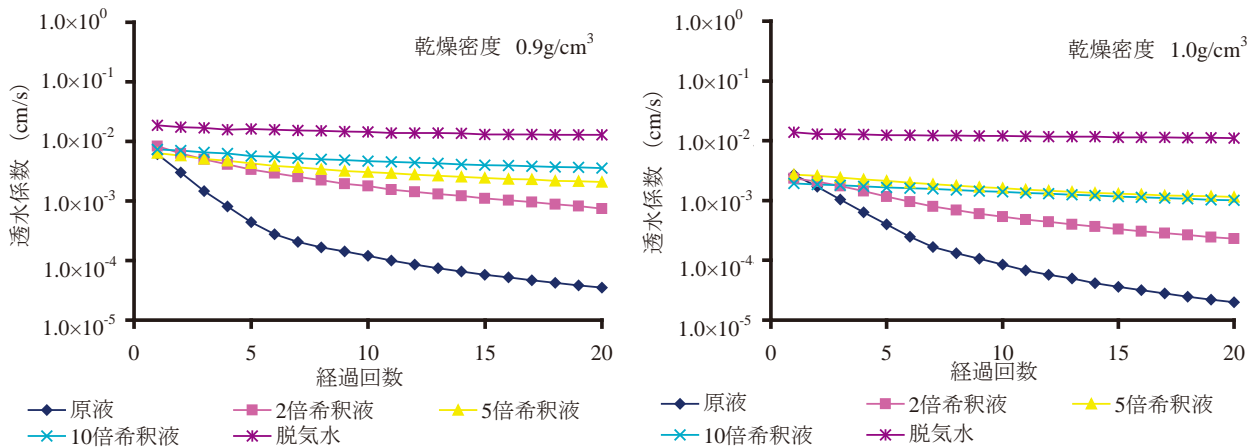


Fig.9 土壌透水性の変化 (残渣液表面散布条件)
Changes of soil permeability

えると、透水係数の低下率が小さくなった。乾燥密度 1.0 g/cm^3 における10倍、5倍、2倍希釈液添加による透水性の低下率は乾燥密度 0.9 g/cm^3 にくらべて大きい。その理由は、乾燥密度 1.0 g/cm^3 の土壌では間隙量が少ないことによると考えられる。

Fig.10 は残渣液添加後、飽和状態で1週間放置した土壌表面の写真である。カビが土壌表層に膜を作っていたことが目視で確認できる。カビ増殖による土壌の透水性の変化を **Fig.11** に示す。いずれの乾燥密度の土壌サンプルについても、カビ増殖後の土壌透水係数は、増殖前に比べ小さい。また、残渣液添加量が多いほど透水係数の低下率が大きいことも明らかであった。その理由は、増殖した微生物による土壌表面の撥水性膜の形成と土壌間隙の詰まりであると考えられる。

残渣液を添加した懸濁液分散直後と分散1時間後の懸濁液表層5cmの浮遊土砂濃度を **Fig.12** に示す。5倍希釈液(残渣液100ml添加の500ml溶液)では、分散1時間後においても、分散した粘土粒子が浮遊し続けている。このことから、土壌中の残渣液濃度は5倍希釈であ

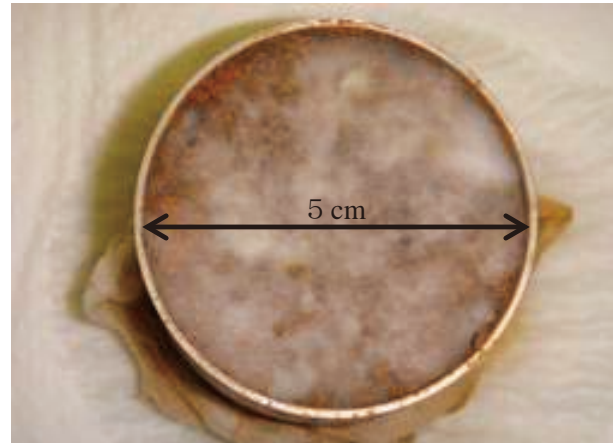


Fig.10 カビの増殖
Mold propagation

れば(液相の1/5が残渣液より入れ替わった場合)、粘土分が分散して、土壌透水性を低下させる可能性があると考えられる。

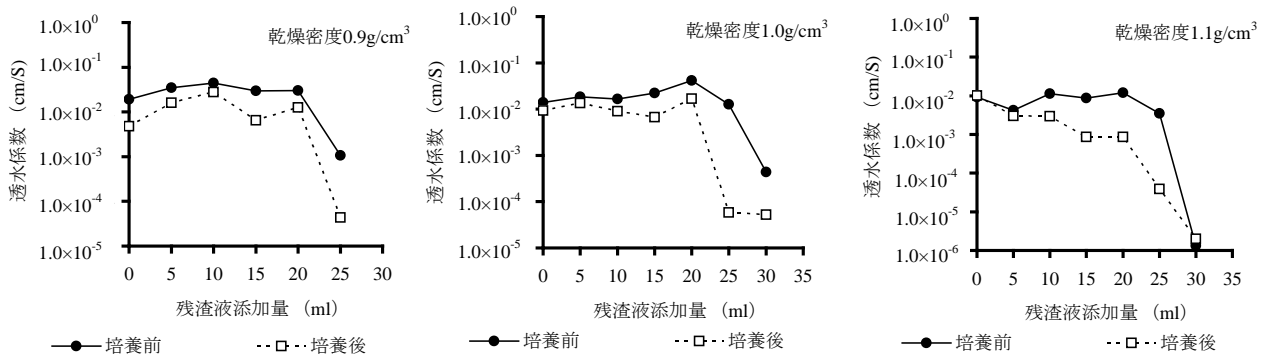


Fig.11 土壌透水性の変化(カビ増殖)
Changes of soil permeability (mold propagation)

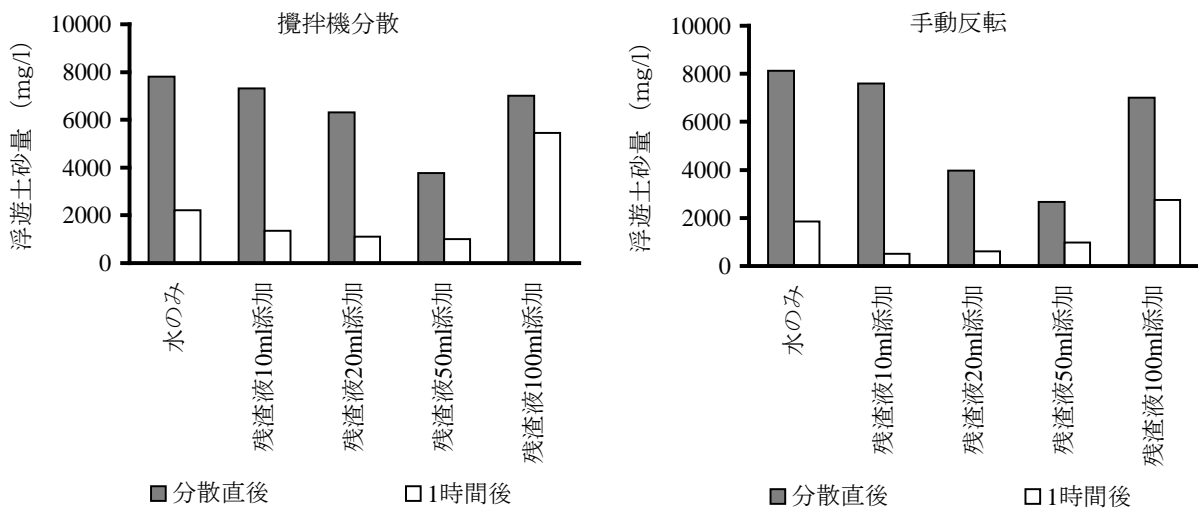


Fig.12 浮遊土砂の変化
Suspended solid in different concentration of vinasse

V 残渣液の施用が土壤蒸発に与える影響

1 試験方法

前章の結果から、残渣液の投入が膨潤性の低い鳥尻マーヅ土壌の水分特性に及ぼす影響は、粘土粒子の分散や残渣液中の有機物による土壤間隙の目詰まりによるものであると推察され、これにより土壤蒸発が減少することが考えられる。また、大量の有機物を含む残渣液を表面散布することで、土壤表面に有機物の膜が形成され、通気性が低下し、土壤表面からの蒸発量の減少につながる事が考えられる。

そこで、土壤蒸発に対するこれら二つの要因の影響を検証するためカラム実験を行った。まず、残渣液の蒸発特性を明らかにするため、100gの純水、残渣液原液、残渣液2倍希釈液、残渣液10倍希釈液をビーカーに入れ、温室（平均気温30℃）に静置し、定期的にカラムの重量を測定し、重量変化から蒸発量を求めた。また、残渣液の投入による粘土分の分散の影響を段階的検討するため、粘土含有率が異なる豊浦砂、黒ボク土、鳥尻マーヅを試料として用い、内径6cm、高さ10cmの円筒（Fig.13）に試料（豊浦砂、鳥尻マーヅ、黒ボク土）を詰め、試料が飽和するまで上部からの液体（純水、残渣液原液、残渣液2倍希釈液、残渣液10倍希釈液）を供給した。カラムを温室（平均気温30℃）に静置し、定期的にカラムの重量を測定し、重量変化から蒸発量を求めた。試料表面土壌の水分ポテンシャルが -60000Pa ～ -50000Pa 程度に達した時点で観測を終了し、観測終了後の円筒内土壌の上下層の含水比を測定した。

また、大量の一価陽イオンの添加が土壤蒸発に与える影響を明らかにするため、最も粘土含量が多い鳥尻マーヅ土に、純水、2% KCl 溶液（残渣液2倍希釈液相当）、4% KCl 溶液（残渣液原液相当）添加して、蒸発量の変化を比較した。なお、残渣液は K^+ と Cl^- の含量が多いため、本実験ではKCL溶液を用いることとした。

次に、残渣液の投入が土壤蒸発に伴う水分特性の変動に与える影響を明らかにするため、土壤カラム実験を行った。内径12cm、高さ20cmの円筒形カラム（Fig.14）

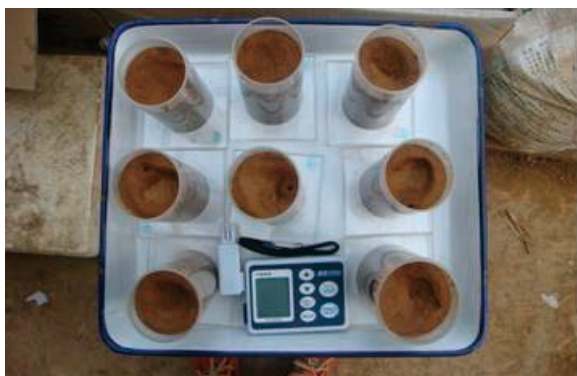


Fig.13 蒸発実験

The evaporation experiment

に試料（豊浦砂、鳥尻マーヅ土、黒ボク土）を底辺から15.5cmまで詰め、試料が完全に飽和するまで、カラムの下端の吸水口から液体（純水、残渣液原液、残渣液2倍希釈液、残渣液10倍希釈液）を供給した。カラム側面の土壤表面から0.5cm、5.5cm、15.5cmの位置にテンシオメーターを取り付けてポテンシャル水頭を測定した。さらに、カラム全体を電子天秤の上に設置し、自動計測した重量変化から積算蒸発量を求めた。試料の上部乾燥し、最上部のテンシオメーターが -90000 ～ -80000Pa 程度に達して測定不能になった段階で、実験を終了した。その後、カラムの0～10cmの上と10～20cm下層の試料を採取し、含水比、透水性および -100000 ～ -3160Pa の土壤水分特性を測定した。なお、 -100000 ～ -3160Pa の土壤水分特性は100ml円筒で採取した試料を加圧板法で測定した。

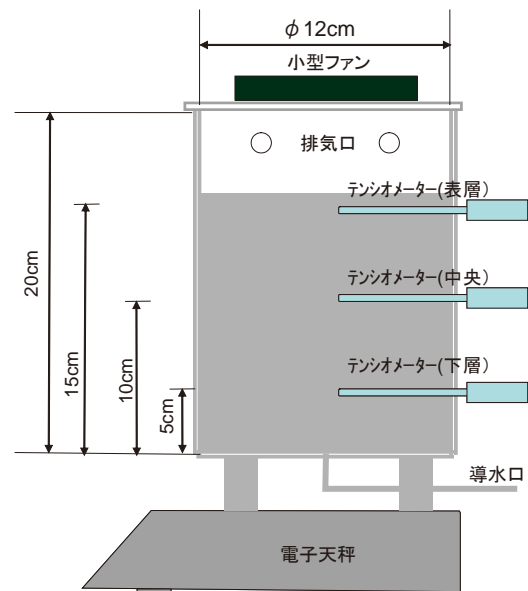


Fig.14 蒸発実験装置

Diagram of evaporation experiment

2 結果と考察

残渣液原液、2倍希釈液、10倍希釈液と純水の蒸発量の変化をFig.15に示す。残渣液の原液の蒸発量が最も多く、純水の蒸発量の1.1倍であった。その理由として、残渣液の色による熱吸収性と残渣液中に残留していたメタノールの蒸発による影響と考えられる。

残渣液原液、2倍希釈液、10倍希釈液と純水で飽和した鳥尻マーヅ土、豊浦砂および黒ボク土の蒸発量の変化をFig.16～Fig.18に示す。全てのカラムは、観測初期にくらべて観測後期の蒸発量が小さい。また、残渣液原液と2倍希釈液で飽和したカラムの蒸発量は純水で飽和したカラムのより蒸発量より小さい。鳥尻マーヅ土では残渣液原液と2倍希釈液で飽和したカラムの累積蒸発量は純水で飽和したカラムの62%、82%で、豊浦砂では残渣液原液と2倍希釈液で飽和したカラムの累積蒸発量

は純水で飽和したカラムの44%, 56%であり, 黒ボク土では残渣液原液と2倍希釈液で飽和したカラムの累積蒸発量は純水で飽和したカラムの74%, 91%であった。一方, 鳥尻マーヅ土と黒ボク土では, 10倍希釈液で飽和したカラムと純水飽和したカラムの蒸発量に顕著な差が見られなかった。黒ボク土は鳥尻マーヅに比べて粘土

分が少なく, 残渣液の投入による蒸発量の減少量も少ないことから, 残渣液が土壌の分散に与える影響は粘土分の多い鳥尻マーヅ土壌のほうが大きいと考えられる。また, 残渣液を投入した豊浦砂の土壌蒸発量の減少が最も多いのは, 残渣液中の有機物が土壌表面で形成した黒い膜層 (Fig.19) が最も厚いためと考えられる。

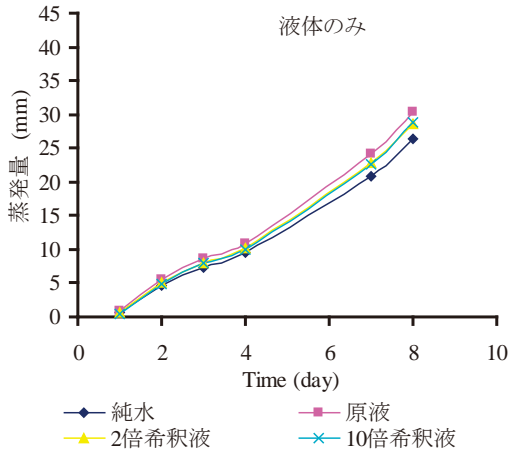


Fig.15 液体蒸発量変化
Changes in evaporation of liquid

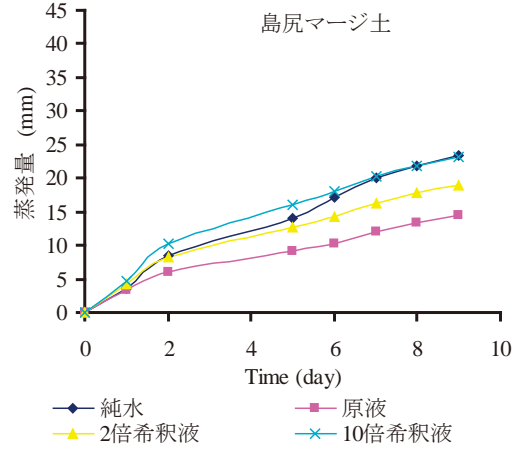


Fig.16 土壌蒸発量の変化 (鳥尻マーヅ土)
Changes in evaporation of soil (Shimajiri-maji)

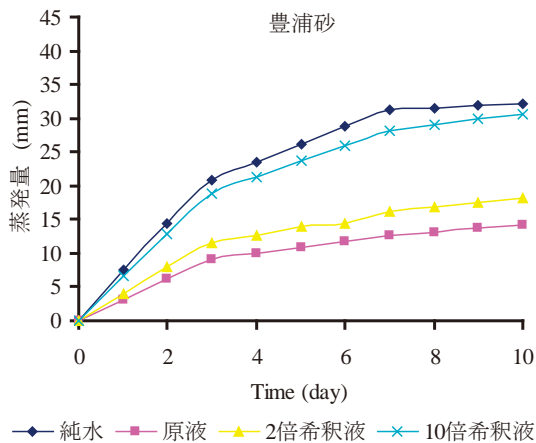


Fig.17 土壌蒸発量変化 (豊浦砂)
Changes in evaporation of soil (Sand)

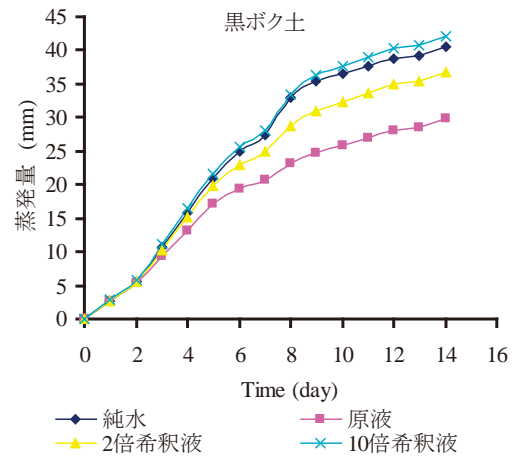


Fig.18 土壌蒸発量の変化 (黒ボク土)
Changes in evaporation of soil (Andosols)

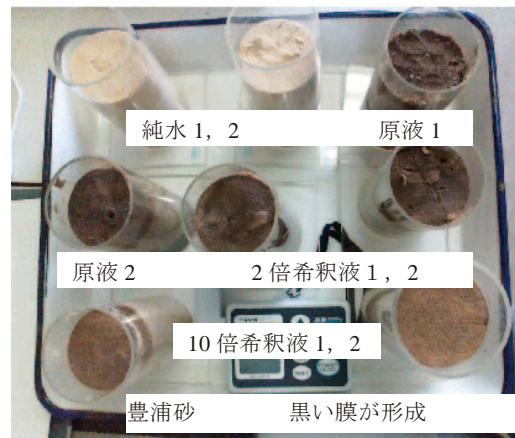
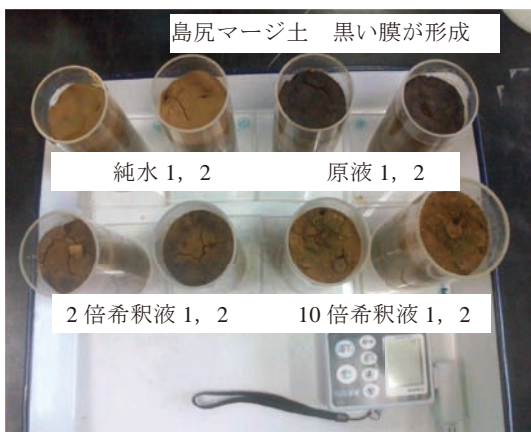


Fig.19 土壌表面の黒い有機物膜
Black organic film on surface of soil

異なる KCl 濃度の溶液で飽和した鳥尻マージの蒸発量の変化を Fig.20 に示す。KCl 4% 溶液と KCl 2% 溶液で飽和した土壌の累積蒸発量は純水飽和した土壌の 77%, 87%であった。KCl の投入が土壌蒸発量を減少させたことが明らかになり、残渣液の大量の一価陽イオンは土壌蒸発量を減少させた要因の 1 つであることが推察

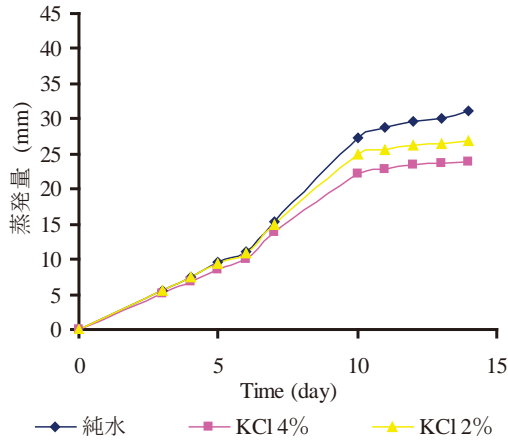


Fig.20 土壌蒸発量変化 (KCl 添加)
Changes in evaporation of soil (applying KCl)

される。

蒸発カラム試験で観測した豊浦砂、鳥尻マージ土、黒ボク土の土壌蒸発の時系列変化とテンシオメーターで観測された各土層の水分変化を Fig.21 ~ 23 に示す。豊浦砂と鳥尻マージ土では、下層土壌の水分ポテンシャルに比べ、表層土壌の水分ポテンシャルの急激な低下が見られた。一方、クロボク土では表層と下層土壌の水分ポテンシャルの低下が緩やかであった。純水、残渣液原液、残渣液 2 倍希釈液、残渣液 10 倍希釈液投入カラムにおいて最上部のテンシオメーターが $-80000 \sim -90000$ Pa 程度に達するまでの所要時間は、豊浦砂では各々 8.7, 10.0, 18.1, 15.1 日、鳥尻マージ土では各々 9.7, 9.7, 9.0, 17.9 日、黒ボク土では各々 9.8, 6.0, 20.7, 34.7 日であった。累積蒸発量は、豊浦砂では各々 57.2, 50.9, 27.4, 20.1mm、鳥尻マージ土では各々 44.4, 51.2, 31.6, 31.9 mm、黒ボク土では各々 47.8, 40.8, 41.5, 38.1 mm であった。平均日蒸発量は、豊浦砂では各々 6.6, 5.1, 1.5, 1.3mm/d、鳥尻マージ土では各々 4.6, 5.3, 3.5, 1.9 mm/d、黒ボク土では各々 4.9, 6.9, 2.0, 1.1mm/d であった。土壌性質によって異なるが、残渣液 2 倍希釈液や原液の投入した場合、カラムの最上部のテンシオメーターが $-80000 \sim -90000$ Pa 程度に達するまでの所要時間が長くなり、平均日土壌蒸発量が少なくないことが明らか

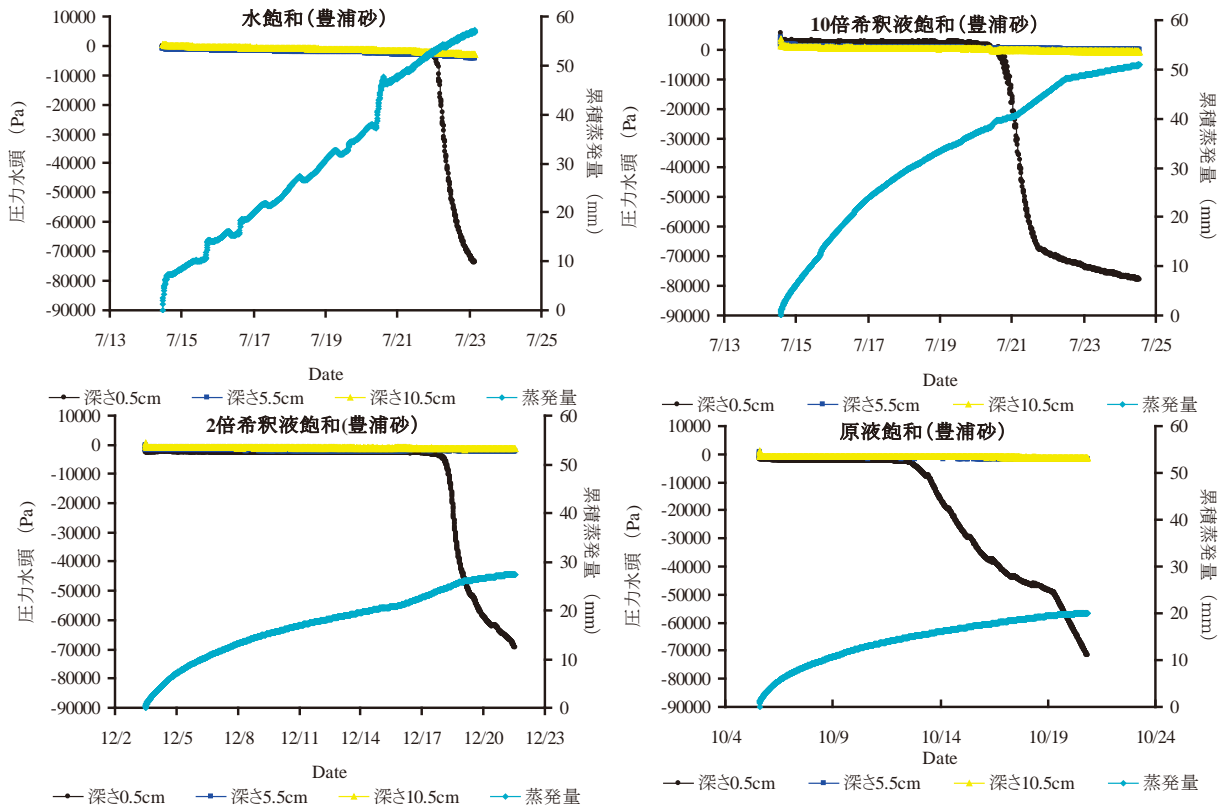


Fig.21 土壌蒸発量の変化 (豊浦砂)
Changes in evaporation of soil (Toyoura sand)

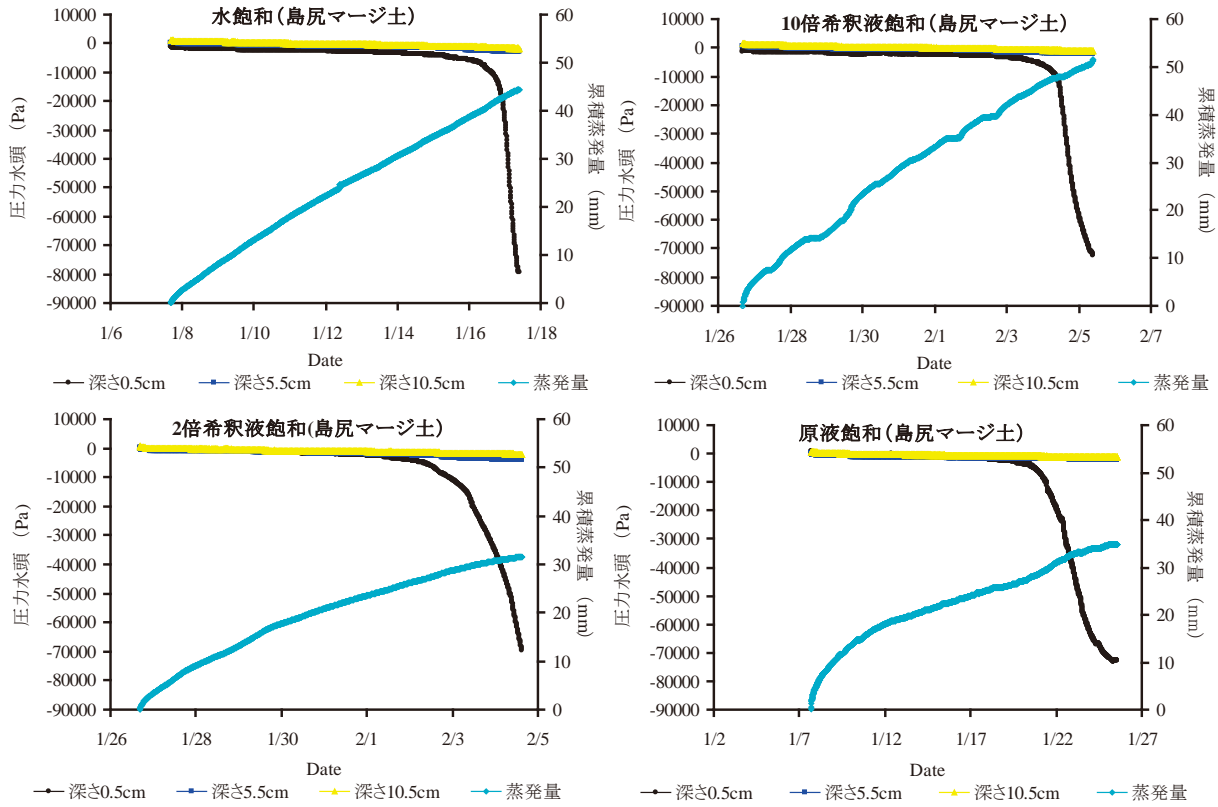


Fig.22 土壤蒸発量の変化 (島尻マーヅ)
Changes in evaporation of soil (Shimajiri-maji)

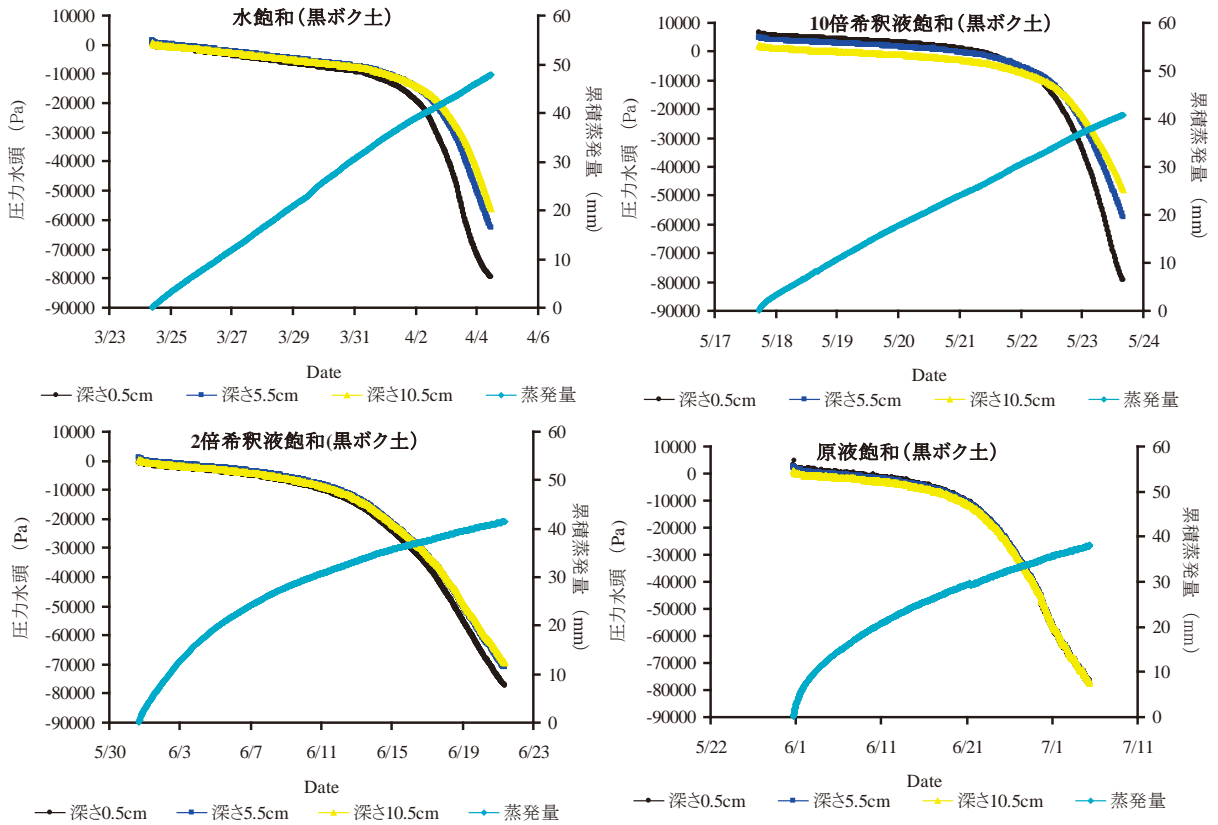


Fig.23 土壤蒸発量の変化 (クロボク土)
Changes in evaporation of soil (Andosol)

となった。

実験終了後カラム上下層土壌の含水比、 $-100000 \sim -3160\text{Pa}$ の体積含水比および透水係数を **Table 7** に示す。豊浦砂および鳥尻マージ土では、残渣液を添加したカラムの土壌含水比は純水を添加したカラムより高い傾向が見られた。黒ボク土では残渣液を添加したカラムの土壌の含水比は純水を添加したカラムより低い傾向が見られた。また、豊浦砂と黒ボク土では、残渣液を添加したカラムの透水係数は純水を添加したカラムのより低い傾向が見られた。さらに、鳥尻マージ土について残渣液を添加したカラムの $-100000 \sim 3160\text{Pa}$ の体積含水比は純水を添加したカラムより高い傾向が見られた。透水性が良く、保水性が悪い鳥尻マージ土は残渣液の投入によって、有機物や分散した粘土粒子が土壤間隙を閉塞し、土壌の有効水分量（ $-100000 \sim -3160\text{Pa}$ の水分量）が増加したことが明らかになった。

VI 結 言

残渣液を農地土壌に還元する場合、作物に与える影響のみならず、農地土壌中における残渣液の動態および土壤環境の変化も検討しなければならない。そのため、本研究ではエタノール蒸留残渣液の農地施用による土壌の水分・養分の移動特性や土壤物理性への影響を各種試験により明らかにし、残渣液の農地施用の留意点や可能性を示すことが必要である。そこで、残渣液の農地への施用が地下水水質に与える影響を明らかにするため、施用量については、残渣液中の窒素成分を窒素肥料としての有効利用する場合と限られた面積に残渣液の大量施用する場合を考慮して3つの浸透試験を行った。また、施用方法については、作土層混合と表面散布の違い、原液散布と希釈液散布の違いを検討した。また、施用時期については、施用直後に降雨が発生した場合を想定して、降雨に伴う残渣液の色素の浸透特性を検討した。さらに、保水性が悪い鳥尻マージに対して有機物を含む残渣液の

施用が土壤理化学性改善する効果を検討するため、残渣液施用による土壌水分移動の変化を透水性試験と蒸発試験を行った。これらの試験結果から、以下の事項が明らかになった。

(1) 夏植サトウキビ栽培に必要な窒素成分の全量を残渣液で代替（ 330t/ha ）する実験では、残渣液施用による無機態窒素の下方への浸透量は化学肥料施用より少ないが、浸透水のEC値が農業用水基準を超えることや、浸透水の色が目視で確認できることが明らかになった。このことから、土層が浅い場所で多量の残渣液を農地還元するには、降雨期や施用直後の灌水を避けるべきである。

(2) 飽和した鳥尻マージ土壌に大量の残渣液を混合すると鳥尻マージ土壌の透水性を著しく低下することが確認されたため、農地に残渣液を投入する場合は土壤混合よりも表面散布することが望ましい。また、希釈した残渣液の散布量が原液相当で約 250t/ha を超える時点で浸透流出水のECの急激な増加が見られたため、残渣液の施用量は原液成分に換算して 250t/ha 以下に設定する必要がある。

(3) 飽和した土壌に残渣液を施用した後、降雨などにより過剰間隙水圧が発生すると、色素が直ちに浸透流出するため、土壌が飽和状態である場合は残渣液を施用してはならないと判断される。また、残渣液に含まれる成分の施用量が同じ場合、希釈液の色素の流出率が原液のよりも低いことから、残渣液の希釈液による施用が望ましい。

(4) 保水性が悪い鳥尻マージ土は残渣液の施用によって、有機物や分散した粘土粒子が土壤間隙を閉塞して、土壌の透水性と蒸発を低下させることが明らかとなった。一方、土壌の有効水分量が増加して土壌の保水性を改善する効果が見られた。

以上のことから、鳥尻マージ土壌畑における多量の残渣液の農地施用は土壌の保水性を改善する効果があると考える。ただし、残渣液の農地施用にあたっては、降雨期や施用直後の灌水を避け、 250t/ha 以下の原液相当量

Table 7 実験終了後各カラムの土壤物理性
The physical properties of soil in each column

	含水比 (%)			$-100000 \sim -3160\text{Pa}$ の体積含水比 (%)			透水係数 (m/h)		
	豊浦砂	鳥尻マージ土	黒ボク土	豊浦砂	鳥尻マージ土	黒ボク土	豊浦砂	鳥尻マージ土	黒ボク土
水 (上層)	0.30	21.59	39.48	2.96	6.91	10.93	2.26	0.28	0.34
水 (下層)	3.41	34.48	43.00	2.68	6.74	14.05	2.38	0.29	0.36
10倍希釈液 (上層)	4.92	28.22	40.12	3.15	6.49	10.71	1.42	3.57	0.32
10倍希釈液 (下層)	9.53	35.21	41.91	2.77	6.60	11.73	1.28	0.89	0.10
2倍希釈液 (上層)	8.89	24.88	37.58	3.04	7.08	9.11	0.82	0.97	0.07
2倍希釈液 (下層)	16.04	32.81	38.46	3.01	7.15	8.49	0.71	0.34	0.27
原液 (上層)	7.76	35.06	31.85	3.70	7.30	7.03	0.45	1.09	0.04
原液 (下層)	21.53	44.04	39.51	3.56	9.32	7.70	0.97	0.91	0.11

の希釈残渣液を施用すべきである。

なお、本研究では、残渣液の農地施用にあたり、土壌物理性と地下水に悪影響を与えない投入限界を検討した。現地における残渣液の農地施用の可能性については、作物生育の面についても十分な検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 足立嗣雄, 與古田幹也 (1981) : 主要土壌群の生産的特性, 沖縄県に分布する特殊土壌の生産的特性, 九州農業試験所研究資料, 60, 1-35
- 2) Allison, L. E. (1947) : Effect of microorganisms on permeability of soil under prolonged submergence, *Soil Sci.*, 63, 439-450
- 3) 赤江剛夫 (1988) : 添加塩濃度がベントナイト・水系の分散・凝集および流動特性に及ぼす影響—ベントナイト・水系の分散・凝集と流動特性 (II)—, 農業土木学会論文集, 133, 43-50
- 4) Booth, R. J. and Lightfoot, C. J. (1990) : The reticulation of ethanol stillage through irrigation systems and its use for fertilisation of sugarcane in Zimbabwe, *Agricultural Water Management*, 17(1), 49-58
- 5) 陳 嫣, 凌 祥之 (2010) : バイオエタノール蒸留残渣液の農地利用について—土壌環境およびトマト・ダイコンの生育・品質に与える影響—, 農業土木学会論文集, 265, 1-7
- 6) 北原はるか, 軽部重太郎 (2002), 火山灰土の分散凝集特性に及ぼす土壌構成成分の影響, 農業土木学会論文集, 220, 43-49
- 7) 馬 玉露, 軽部重太郎 (2004) : カオリナイトとハロイサイト質粘土の分散凝集特性およびそれらに対するイモゴライト添加の効果, 農業土木学会大会講演会講演要旨集, 2004, 332-333
- 8) 日本下水道協会 (2000) : 下水道用語集 2000 年版
- 9) Quirk, J. P. and Schofield, R. K. (1955) : The effect of electrolyte concentration on soil permeability, *J. Soil Sci.*, 6, 163-178
- 10) Resende, M. D. V. de (2006) : Selection via simulated individual BLUP based on family genotypic effects in sugarcane., *Pesquisa Agropecuária Brasileira (Brazil)*, 41 (3), 421-429
- 11) 関 勝寿, 神谷準一, 宮崎 毅 (2005) : 湛水浸透条件下における細菌・糸状菌による飽和透水係数の低下およびその温度依存性について, 農業土木学会論文集, 237, 13-19

A Study on The Effect of Applying Vinasse From Bio-Ethanol Production to Farmland on Leaching and Physical and Chemical Properties of Soil

CHEN Yan and SHIONO Takahiro

Summary

During bio-ethanol production from sugarcane molasses, a large amount of vinasse, which is strongly acidic with high COD and BOD, is produced as a by-product. Disposal of vinasse poses restriction in conducting sustainable bio-ethanol production. This study therefore investigates the effect of applying vinasse to farmland on leaching and physical and chemical properties of soil, in order to evaluate the possibility of applying vinasse to farmland.

The results indicate that, when large amounts of vinasse are applied to farmland as a substitute for the nitrogen in conventional chemical fertilizers in sugarcane cultivation, it is necessary to take into account the leaching of ions and colored materials contained in the vinasse.

It is recommended that the vinasse be applied to soil surface after being diluted. This reason is because: (1) incorporation of a lot of vinasse into soil reduced permeability of the Shimajiri-maji soil remarkably; and (2) the leaching rate of colored materials after applying the diluted vinasse was lower than that after applying the undiluted vinasse. Moreover, if soil is saturated and there is a rainfall after vinasse application, there would be a sudden increase in leaching of ions and colored materials in the vinasse. Therefore, applying undiluted vinasse in excess of 250t/ha is not recommended.

In addition, the high contents of monatomic cations and organic matters of vinasse would have significant impacts on the dispersion of clay, which in turn caused a change in soil porosity and eventually permeability and evaporation capacity of the soil.

Keywords : bio-ethanol, vinasse, infiltration, soil permeability, dispersion, soil evaporation