

令和3年(2021年)度 地域連携活動報告書

連携先名称：ワタミ株式会社

協定締結日：2021年3月12日

活動状況：継続中

連携先窓口：小出浩平氏（ワタミオーガニックランド株式会社代表取締役）

中村正明氏（関東学園大学・六次産業コーディネーター）

活動資金：アイテムを選択してください。

※活動資金については、ワタミオーガニックランドからの資金提供により実施。

担当教員（所属）：上岡美保（国際食料情報学部 国際食農科学科）

活動体制（単位）：大学

関連教員（所属）：

藤川智紀教授（地域環境科学部 地域創成科学科）、

入江満美准教授（国際食料情報学部 国際農業開発学科）

本間裕人助教授（応用生物科学部 醸造科学科） 他

活動目的：

福島県陸前高田市に開設中である日本最大級の有機農業テーマパークのワタミオーガニックランドに関わる農業技術的指導や商品開発等の指導・協力・共同研究。それを通じた陸前高田市の復興と地域活性化への協力。

ワタミオーガニックランド関連に加え、ワタミ株式会社本体の運営するワタミファームに関わる農業の技術的指導・協力。

活動内容・成果：

2021年度までにモデルエリアの区画（ハウス・ブドウ畑等）については、土壌分析、植樹・植栽する品種の選定等について指導・協力・共同研究を実施してきた。さらに、共同研究として、土壌改良材の混合が土壌の排水性を規定する透水性や保水性にどのように影響を与えるかを明らかにすることを目的とした実験についても実施した。その結果、バーク堆肥の混合量を増やすと混合後の土壌の透水性が上がるということが明らかになった（研究室内実験室での調査）。

活動に関する写真

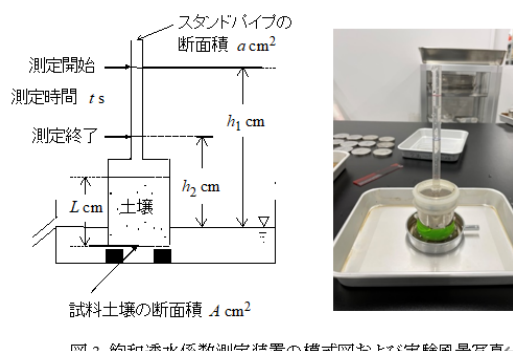


図1 研究で用いた試料 (左:パーク堆肥 右:試料土壌)

※活動成果については、追加資料をご参照ください。

課題・改善点：

2021年度は2020年度に引き続き、コロナ禍において、現地での調査ができなかった部分もあったため、現地での実地調査を伴った実験も可能としたい。

2022年度以降は、ワタミオーガニックランドのハウスエリアでの植物工場や圃場エリアの着工を予定しており、順次現地での各分野からの協力と共同研究を実施予定である。

共同研究報告書

バーク堆肥を用いた土壌の排水改良に関する研究
報告書(案)

2022.3.31

東京農業大学 地域環境科学部 地域創成科学科
地域環境工学研究室 藤川 智紀

1. はじめに

近年国内の農家人口の減少、農家の高齢化の大きな原因の一つに農業の収益性の低さがある。農業における収益は、作物の単価と収量の積で表される収入と、肥料や資材などに掛かるコストの差で表される。このため、農業という産業を持続的に発展させる、少なくとも維持するために、収穫物の品質改良やブランド化による単価の上昇、栽培方法の工夫による収量の増加、ICT化や機械化、各種農作業プロセスの省略による省力化、のいずれかまたは複数に関する試みを続けていく必要がある。

植物への水や養分の供給元となる土壌の性質は、作物の生育に強く影響し、その結果、収穫物の品質、収量共にも影響する。このため、現場では土壌を栽培する作物の生育により適した状態にすることを目指してさまざまな管理(肥培管理)がおこなわれる。作物の生育に関係する土壌の性質は大きく分けて、土壌の物理的性質をあつかう土壌物理学、化学的性質をあつかう土壌化学、または土壌肥料学、生物的性質をあつかう土壌生物学の3種類がある。物理的性質とは土壌中の物質やエネルギーの移動に関係する性質であり、例えば土壌の中の水や溶けている溶質、熱の移動などに関係する性質である。化学的性質とは土壌中の化学変化、特に肥料成分、例えば窒素化合物の変化や土粒子との吸着、保肥性などに関する性質であり、生物的特性とは大型であればミミズなどの小動物から小さい方は微生物に至る土壌中に生息する生物の活性に関する性質のことを指す。例えば「肥料を与える(施肥する)」ことで土壌中に存在する肥料成分を増加させることができるが、その肥料成分がより効率的に作物生育に効くようにするためには、肥料成分が水に溶けて、植物に利用できる状態、例えば窒素化合物であれば硝酸態窒素に変化して、植物が吸いたい時に根の近くに存在していなければならない。このようなメカニズムに対して、土壌のそれぞれの特性を改良する作業が土壌改良となる。例えば代表的な土壌改良材である堆肥であれば、土壌中に異物として混入し、間隙、つまりすきまを増やして水の流れを促進して土壌中に空気(酸素)を供給する効果や、堆肥に含まれる有機物に肥料成分を保持させる(保肥性を上げる)効果、分解されて肥料成分を供給する効果、さらに微生物を活性化させて土壌中の肥料成分を有効な化合物に変化させる効果などが期待される。

一方、近年、施肥や灌水のタイミングや量を植物の生育ステージに合わせて細かく制御することで、高品質の作物を生育する動きも加速している。畑地や樹園地においても圃場整備の際に灌水設備が整えられることが増え、新規の作物の導入も合わせて高付加価値化した作物の栽培への取り組みが可能となっている。土壌中の水分管理の視点からは、任意の時期に土壌を乾燥させることが難しいため、土壌の排水性を上げて水分量を低く維持しながら、必要に応じて灌水して水分量を上げる方向で制御されるのが一般的である。一部の湿潤な状態を好む作物以外は、病気の発生を抑制する観点からも、土壌の排水性が良く、根に十分な酸素が供給される条件が望まれる。もちろん気象状況(渇水など)により用水が確保できなくなると急激に収量や品質が低下する危険性が高まることや水資源の節約(節水)の観点からもある程度の保水性が必要であることは当然であり、さらに排水性が過度に高い場合には肥料成分の溶脱がコスト面、環境面に負の影響を与えることは間違いないため、有機物や土壌微生物、粘土鉱物などの働きを利用しながら保水性や保肥力

を保ち、同時に排水性を確保すること、そしてそれに応じた適切な施肥設計と灌漑計画を立て実行することが重要であり、そのためには土壌の排水特性を知り、さらに適切な種類、量の土壌改良材により作物にとって良好な環境を作り出す必要がある。

土壌の排水性は、土壌の透水性(水の移動しやすさ)と保水性(水保ち)のバランスによって規定される。透水性、保水性どちらも土壌の間隙構造(間隙の大きさや量、連続性など)に強く影響を受けるため、土壌改良資材を用いて土壌の排水性を改良する際には、資材を混合することでどのような大きさの間隙がどのくらい作られるかが非常に重要である。現在、様々な資材が排水性を改良するために用いられているが、もとの土壌の粒子の大きさの(粒径分布)や形状、粘土や有機物の有無により、資材混合後の間隙構造に与える影響は様々であり、その予想は難しい。土壌改良材の確保は経済的にも大きな負担となり、また施工にも費用が掛かることから、無駄なく、そして効率の高い土壌改良材の混合量の見積もりが重要である。実験室でのモデル試験とそのデータの蓄積により、効率的な排水改良を進めることが期待される。

本研究では、土壌改良材の混合が土壌の排水性を規定する透水性や保水性にどのように影響を与えるかを明らかにすることを目的として、室内実験をおこなうこととした。

2. 試料および方法

2.1 実験の概要

今回の実験では土壌の排水性を改良するための土壌改良材として、バーク堆肥に着目した。バーク堆肥は樹皮に鶏糞や油かすを加えて発酵させて作られる資材であり、有機物を多く含み、微生物の餌になるため、資材内に多くの微生物が住みつくと同時に土壌中の微生物が活性化されるといわれている。施用後は土壌の膨軟化の効果が高く、保水性・通気性の改善が期待できる¹⁾。分解されにくいことから効果が長持ちして長期的に使えることが期待され、緑化造園工事などでも広く用いられている。このバーク堆肥を対象とする土壌に混合し、混合する量の増加に伴う土壌の透水性、保水性の変化を調べた。

2.2 試料

本研究では、岩手県陸前高田市で 2021 年に新規造成された畑地の表土として用いられている砂質土とバーク堆肥を用いた。どちらの試料もワタミオーガニックランドから提供を受けたものである(図 1)。



図 1 研究で用いた試料 (左：バーク堆肥 右：試料土壌)

これらの試料を風乾させたのち、砂質土に関しては 5mm のふるいにかかけ、粒子の大きい小石を取り除いた。次に、砂質土とバーク堆肥を、混合後の質量に対してバーク堆肥が 0, 5, 10, 20, 30% (以下、混合率: 0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3) となるように混合した。実際に混合した試料の質量を表 1 に示す。

表 1 砂質土とバーク堆肥の混合率

砂質土(g)	バーク堆肥(g)	混合率
2000	0	0.0
1900	100	0.05
1800	200	0.1
1600	400	0.2
1400	600	0.3

なお、混合作業時の土壌の含水率が不明ではあるため概数ではあるが、実際の圃場に混合することを想定した場合、表土の乾燥密度を $1.2 \text{ Mg/m}^3 (\text{g/cm}^3)$ 、混合する土壌の厚さを 10 cm と過程すると、混合率 0.1 で 12 kg/m^3 (10a あたり 12t)となる。混合率 0.2 や 0.3 は通常の施用に比べれば過剰施用の危険性も考えられるが、今回の試験では排水改良効果の検証に特化しており、また一度排水性が改善されれば効果が持続する(分解の早い有機物資材に比べ施用の間隔を空けることができる)ことを考えて、このような条件を設定した。次に、これらの試料を、各混合率で 3 つずつ 100cm^3 定積サンプラー(内径 5.0cm 、高さ 5.1cm)に均一になるように金属の棒を使って詰めた(図 2)。土の密度による差も調べるため、直径 25mm で 210g の円柱の棒と 70g の円柱の棒の二種類を用意し、2 回でサンプラーが充填できる程度の混合試料をサンプラーに入れた後、試料の上に静かに棒を置いた。それぞれの棒の底面の圧力は 340Pa (以下、きつく詰めた)、 110Pa (ゆるく詰めた)であり、平均的な人(体重 60kg 、足裏の面積(片足) 150cm^2 と仮定)の圧力の約 20kPa に比べると約 $1/50$ 程度である。今回の設定は試料の混合後、地表での人の作業に伴う踏圧などによる締固めはない状態を初期条件としている。また、これらの他に既に圃場で使用されているバーク堆肥が混合された土壌についても、混合率不明のサンプルとして同様に実験を行った。



図 2 充填された混合試料 (左：充填のための棒 右：充填後の試料)

2.3 測定項目および方法

2.3.1 透水性

飽和した土壌中の浸透による動水勾配の時間変化を測定する変水位法を用いて飽和透水係数を測定した(図 3)。変水位法ではまずサンプラーに採取した土壌を水で飽和し、スタンドパイプを丈夫に装着した後、噴射びんでスタンドパイプ上端から水を供給する。スタンドパイプの中に水が十分たまった時点で給水を止め、水位が一定の距離($h_1 \rightarrow h_2$ cm)を降下するのに要する時間(t 秒)を測定する。この時間と土壌の断面積(A cm²)、スタンドパイプの断面積(a cm²)、土壌の高さ(L cm)を用いると、この土壌の飽和透水係数(K_s cm/s)は

$$K_s = \frac{2.3aL}{At} \log_{10} \frac{h_1}{h_2}$$

によって求められる。

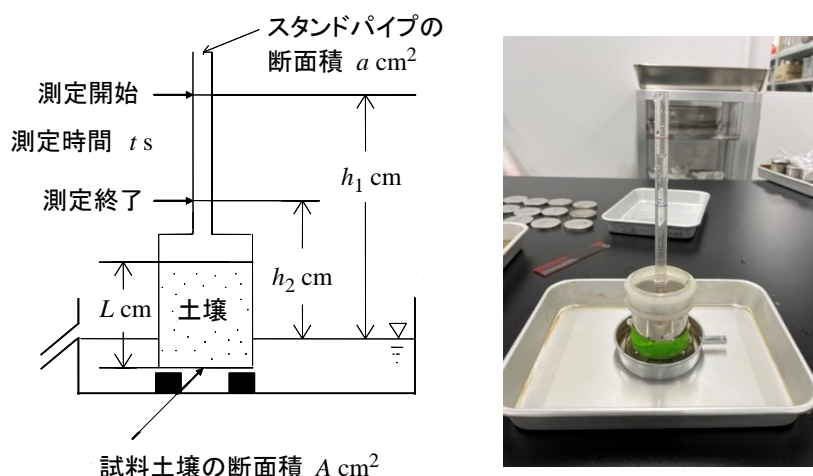


図 3 飽和透水係数測定装置の模式図および実験風景写真

一般に水田においては栽培期間中に水をためること(湛水する)が要求されるため、水田の整備を実施する際の飽和透水係数は $10^{-5} \sim 10^{-4}$ cm/s が目標になる。これは 1 日に水面が数 cm 低下するのに相当する。畑においてはより排水性が求められ、通常の降雨や灌漑で地表が湛水してはいけなことから、 10^{-4} cm/s より大きくなる様に整備され、この基準を満たした畑地では地下水位が極端に高くない(50 cm より深い)場合は湛水することはないと考えられる。土が湿った状態が長期間続いた場合「根腐れ」を起こす危険性が高いため畑地ではできるだけ透水性が高いことが望まれるが、あまり透水性が高すぎると灌漑する水の量が増えること、流下する水によって肥料成分が地下に溶脱する危険性が高いことから、(基準化された数値はないが経験上 10^{-3} cm/s あたりを超えるあたりから)栽培する作物に合わせて保肥性の高い堆肥や粘質土などの投入を検討することになる。

2.3.2 保水性

砂柱法 (pF1.0, 1.3, 1.5:それぞれ地下水位にして 10, 20, 30cm) および加圧板法 (pF1.6, 2.0, 2.4, 2.8:40, 100, 250, 630cm), 遠心法 (pF2.8, 3.4:630, 2500cm)を用いて試料の水分状態を制御し、その際の土壤に含まれる水分量を測定した(図 4)。また、全ての測定が終了した後、水分量を把握するために炉乾し、さらにそのときの実容積(液相部分と固体部分の和の体積、炉乾後は固相部分の体積と等しくなる)を測定して、固相率および 100 から固相率を引いて間隙率を算出した。一部の試料では透水性の試験のための通水や保水性の試験における排水で収縮したが、その際には収縮分の高さを測定して体積を再計算し、水分量の補正をおこなった。

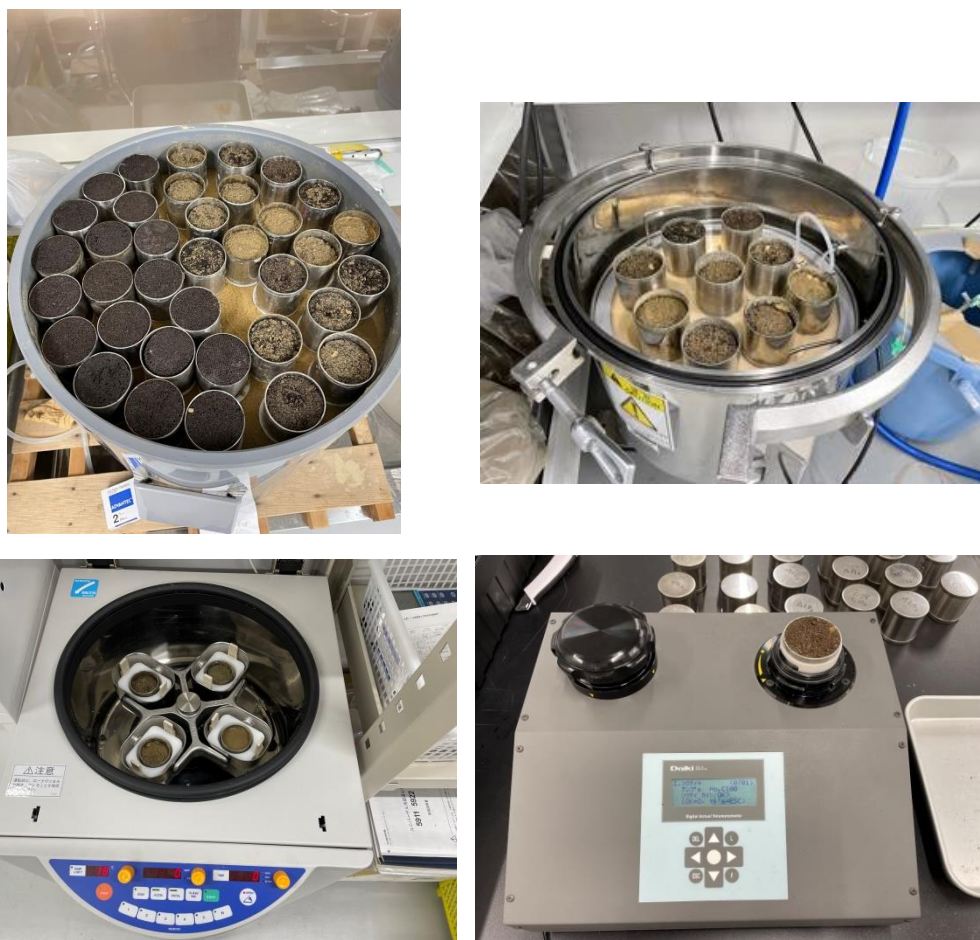


図 4 保水性測定装置

(左上:砂柱法 右上:加圧板法 左下:遠心法 右下:実容積計)

なお、全ての実験は東京都世田谷区の東京農業大学世田谷キャンパスサイエンスポート 1 階の地域環境工学研究室内の実験室(S112)にて実施した。作業期間は 2021 年 9 月から 2021 年 12 月である。

3. 結果および考察

3.1 混合率が試料の固相に与える影響

試料充填時直後の混合率と試料質量の関係を図 5 に示す。混合率が高いほど、充填後の質量が軽くなっていることが確認された。また、きつく詰めたときの方がゆるく詰めた時よりも重くなり、その差はすべての混合率で 10g 前後だった。また、現場のサンプルの重量は混合率 0.2 のときと最も近かった。

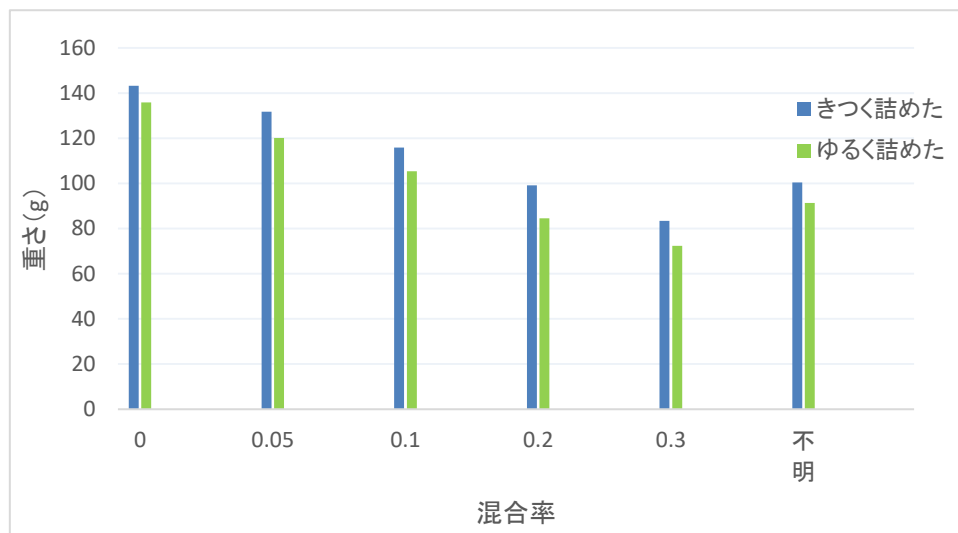


図 5 混合率と充填後の試料の重さの関係
(データは各条件の 3 試料の平均値)

透水性、保水性試験終了後に炉乾した各試料の実容積(試料の固相率に相当)を図 6 に示す。混合率を上げるとともに固相率が下がっており、バーク堆肥の混合量を増やすことで土壌中の間隙が増加していることが確認された。バーク堆肥による間隙量の増加の原因としては、土壌よりも大きいバーク堆肥と土壌粒子の間に広いすきまができた可能性と、バーク堆肥同士がすきまを作っている可能性がある。一方、試料充填直後はきつく詰めたときの方が質量が大きく、固相率も大きかったと予想されるが、測手終了後は混合率 0.2 を除いてゆるく詰めたときの方が固相率が高いという結果になった。この原因として、透水係数や水分特性を測定する過程で生じる土壌の通水や排水によって土壌が締め固められたと考えられる。実際に一度目の透水係数の測定の時点では最大、0.5cm 程度の凹みが見られ、実験を進める過程で凹みが大きくなっていくものもあり、終了時には 0.9cm から 1.8cm の幅で凹みがあった。なお本研究の固相率や体積含水率などのデータは試料の凹みから、土杖の全体積を計算して補正した値である。最初にゆるく詰めた試料の方が最終的に圧縮された理由については、充填時に生じている間隙の構造(形や大きさ、連続性など)に影響を受けていると考えられるが、今回の研究では明らかにすることはできなかった。

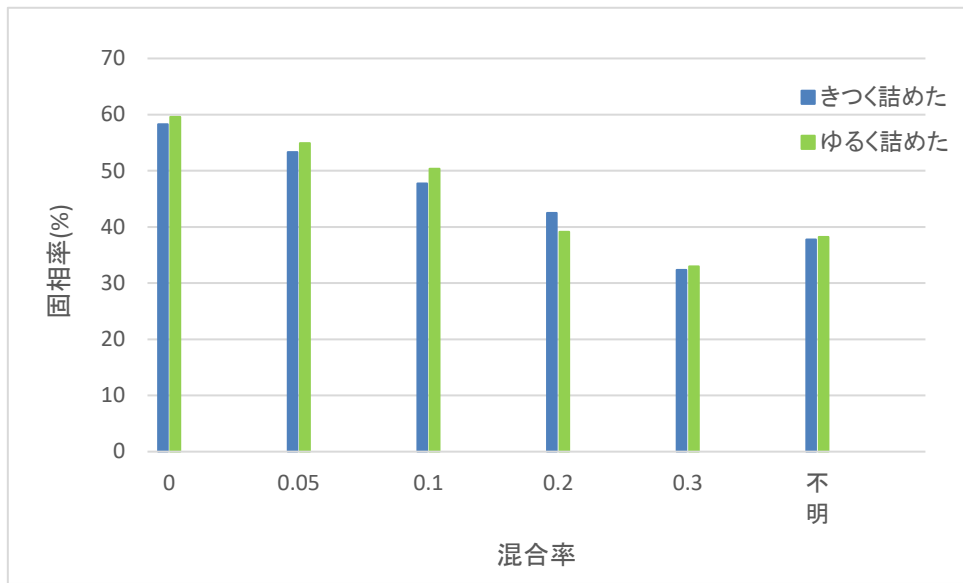


図6 実験終了時の混合率と試料の固相率の関係
(データは各条件の3試料の平均値)

3.2 混合率が試料の透水性に与える影響

充填直後の混合試料の混合率と飽和透水係数の関係を図7に示す。バーク堆肥の混合率が上がると共に、混合後の試料の透水性が向上することが明らかになった。ゆるく詰めた試料では混合していない土のみの試料の飽和透水係数に比べて混合率が0.1で13倍に、0.3では130倍に、きつく詰めた試料ではそれぞれ5倍、37倍になった。バーク堆肥の混合によって生じた間隙により、水が流れやすくなっていると考えられる。

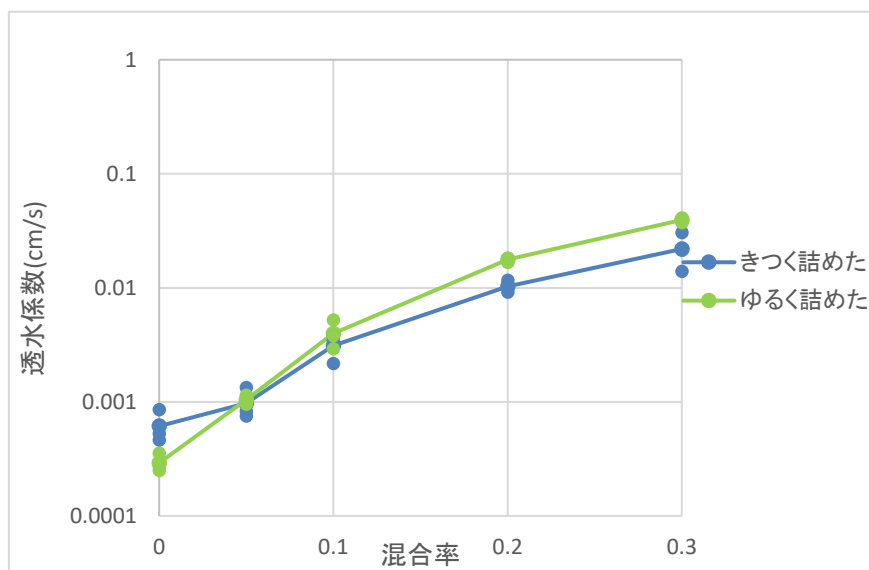


図7 充填直後の混合率と飽和透水係数の関係

詰め方で比較すると、同じ混合率でもゆるく詰めたときの方が飽和透水係数は大きく、混合率 0.1 で 1.27 倍、0.2 で 1.7 倍、0.3 で 1.8 倍と混合率を上げるほど差は大きくなった。混合率不明のサンプルの飽和透水係数は 5.9×10^{-2} cm/s(ゆるく詰めた場合)、 2.9×10^{-2} cm/s(きつく詰めた場合)といずれもどの混合率のときよりも透水性が高い結果となった。

保水性試験終了後に測定された結果からは、充填時より全体的に飽和透水係数が小さくなっていくことが示された。これは、上述の飽和透水係数の測定のための通水と保水試験の際の排水により、土壌間隙が収縮したことが原因と考えられる。ゆるく詰めた試料では、保水性試験の前後で飽和透水係数は 55%(混合率 0)~9%(混合率 0.3)に低下した。低下の割合は混合量が大きくなると増加したが、充填直後同様、混合率の増加に伴い混合試料の透水係数は混合量にともない増大し、きつく詰めた時の試料では土壌のみの試料に比べ、混合率 0.1 で 15 倍、0.3 で 180 倍に、ゆるく詰めた時の試料では混合率 0.1 で 11 倍、0.3 で 21 倍になった。今回の保水性試験後の透水性測定は農地での水移動による土壌環境の変化を想定したものであるが、営農時の灌水やその後の乾燥程度であればバーク堆肥による排水性の効果がある程度持続できていると判断される。

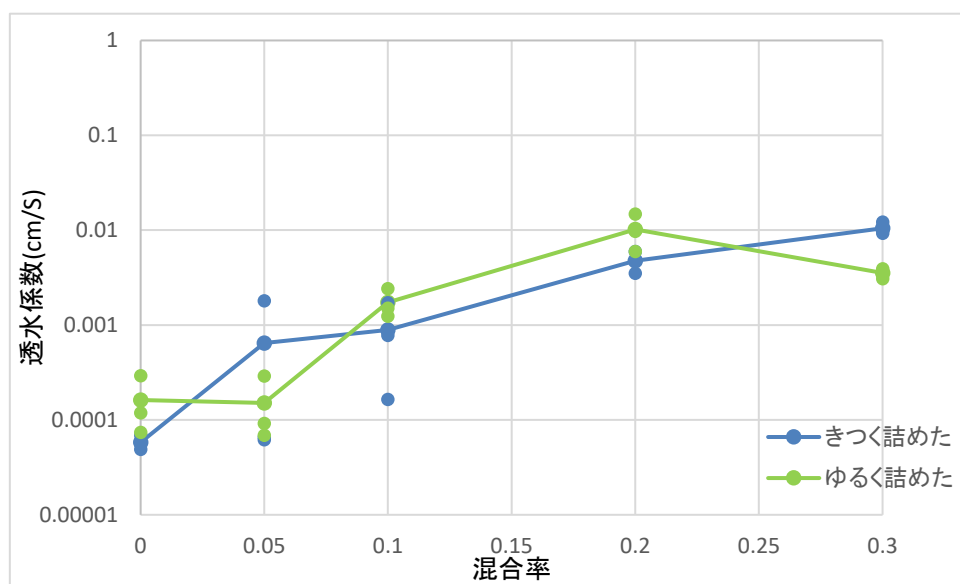


図 8 保水性試験終了後の混合率と飽和透水係数の関係

3.3 混合率が試料の保水性に与える影響

バーク堆肥の混合率が保水性に与える影響をそれぞれ図 9(きつく詰めた場合)、10(ゆるく詰めた場合)に示す。なお、測定値は 3 試料の平均値である。どちらの試料についても、混合率が高い試料ほど pF1.0 から pF1.5 の段階で多くの水が抜ける傾向が見られた。このことより、混合率が高いほど pF1.5 以下の弱い力で容易に排水される大きな間隙が増加していることが予想される。一方、pF1.6 から pF2.5 付近では混合率が低い 0.05, 0.1 の試料の傾きが大きくなった。このことから、混合率と共に間隙量全体が大きくなるだけでなく、大きな間隙の割合も増えていることが示唆された。

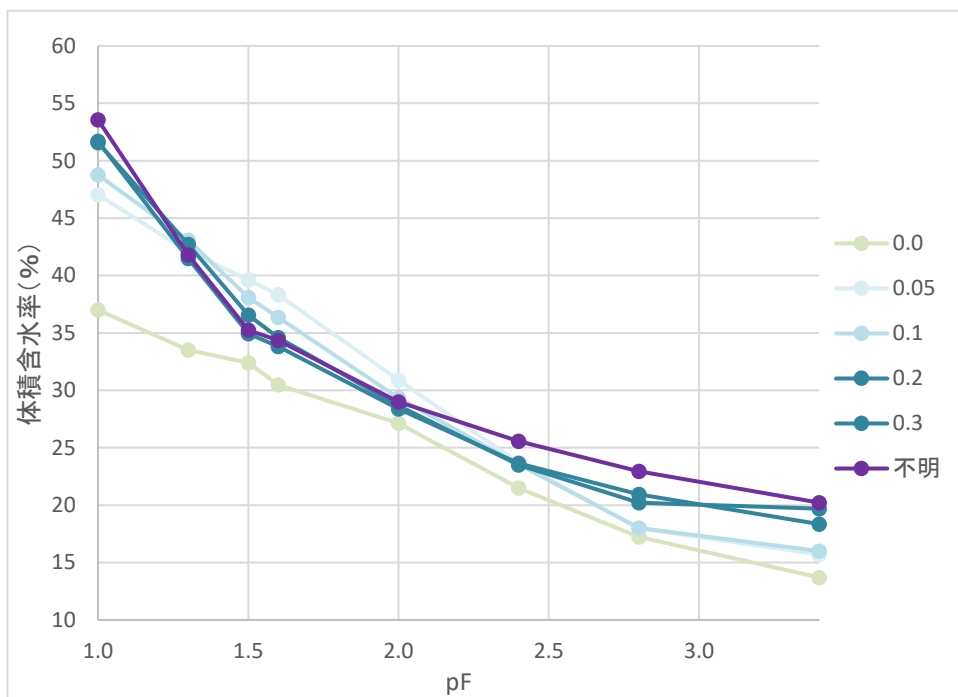


図 9 混合試料の水分特性曲線(きつく詰めた試料)

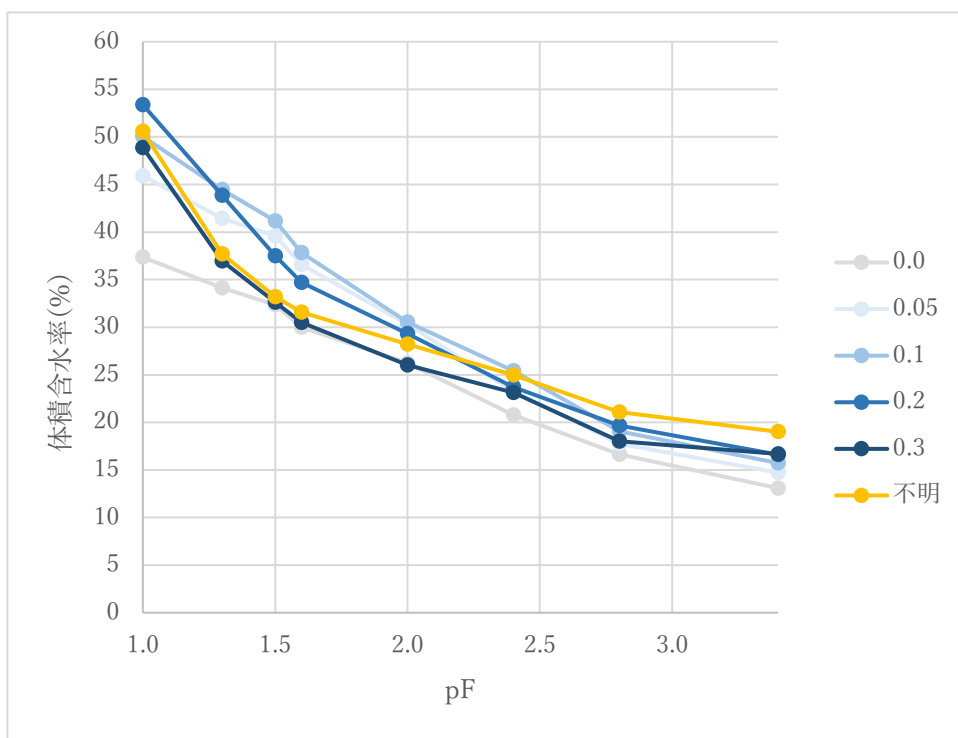


図 10 混合試料の水分特性曲線(ゆるく詰めた試料)

次に、実際に植物が利用できる水分量を見積もるために、生長有効水分量を算出した。根が土壌中の水を利用するためには土壌水を吸収する必要があることから、根の吸引力より強い力で土壌に保持、吸引される水は植物には利用できない。反対に、あまりに弱い力で保持されている水も容易に重力によって下方に移動してしまうために吸収する前に土壌からなくなってしまう。このため、土壌学では、植物が利用可能な水はある範囲の力で保持されている水であると考えて、水分特性曲線における特定の2つの保水力(pF)の水分量の差を生長有効水分量として算出し、植物が利用できる水分量の目安としている。畑地においては、一般には pF2.0 と pF2.8 の差を用いることが多いが、植物によって吸水する力が異なり、また土壌の管理方法なども影響する。今回の対象地ではブドウの栽培が計画されていることから、長野県園芸作物生産振興協議会の「ナガノパープル栽培マニュアル(<https://www.pref.nagano.lg.jp/enchiku/sangyo/nogyo/engei-suisan/documents/naganopapurumanyuaru.pdf>)を参考に(表 1)、各混合率の pF1.6 から pF2.4 の水分量の差を計算した(図 11)。

表 1 ブドウ栽培において目標とする土壌水分

生育時期	生長第 1 期	第 2 期 (硬核期)	第 3 期 (水まわり期以降)
土壌水分(pF)	1.8~2.2	1.8~2.2	2.2~2.3

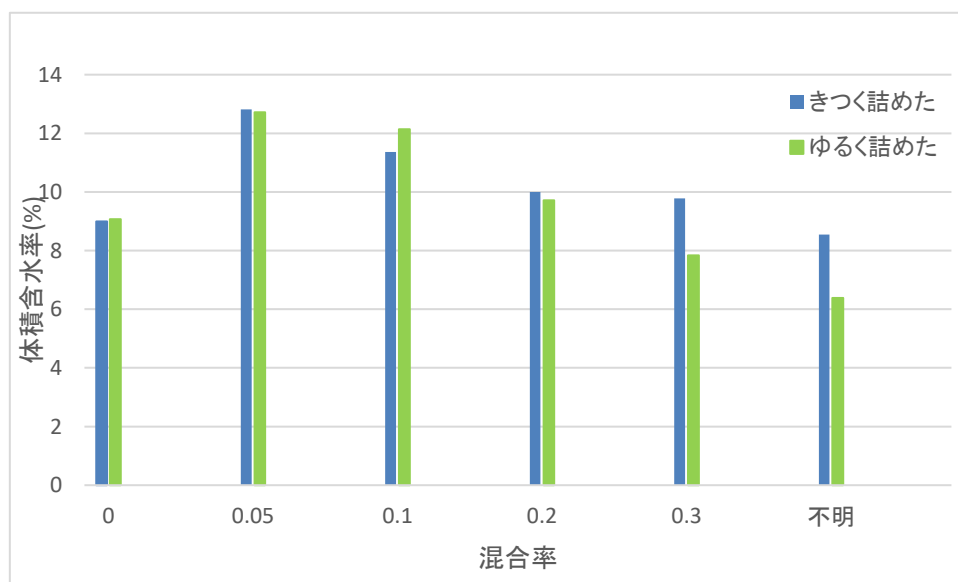


図 10 混合試料の生長有効水分量(pF1.6~2.4)

データは 3 試料の平均値

図からは、きつく詰めた場合もゆるく詰めた場合も、混合率 0.05 で生長有効水分量が最大となることが示された。上述の通り、混合率の増大に伴って大きな間隙が増えることが示唆されており、

混合率が 0.05 を超えると、排水性が上がりすぎてしまう危険性が示された。一方、よりブドウの品質を向上させることを考えると、どの pF に注目して有効水分量を管理するかは今後の課題となる。

3.4 混合率が試料の気相率に与える影響

降雨や灌漑から 24 時間経過後の水分状態として用いられることの多い pF2.0 の時点の混合試料の混合率と気相率の関係を図 11 に示す。気相は空隙内の土壌水で満たされない部分であり、土壌中の気体成分、特に酸素と二酸化炭素の移動に強く影響を与え、植物根だけでなく土壌生物、微生物の活動にも大きな役割を担っている。図からは混合率をあげるとともに気相率が上昇することが明らかになった。作物が正常に生育するための基準として、気相率が 20%程度に維持されることが望まれるが、混合率 0.1 以上で 20%を確保できていた。なお、詰め方による気相率の違いは見られなかった。

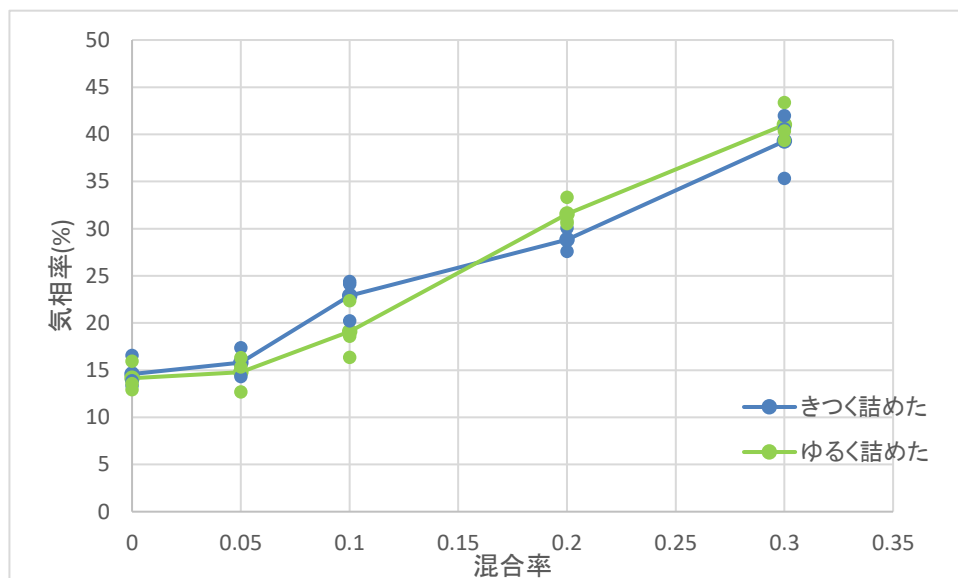


図 11 混合試料の気相率(pF2.0)

4. まとめと今後の課題

4.1 本研究のまとめ

ワイン用ブドウの品質向上を目指した排水改良を想定して、土壌改良材としてバーク堆肥を選定し、その混合量が排水改良に及ぼす効果を検討した。

その結果、バーク堆肥の混合量を増やすと混合後の土壌の透水性が上がるということが明らかになった。実容積の測定からはバーク堆肥の混合によって土壌中に間隙が増加することが確認されたが、保水性の測定からは混合量の増加に伴い大きな間隙の割合が増えていることが示された。これまでに示されているブドウ栽培の水管理を参考にブドウの生育に有効な水分量を見積もったところ、バーク堆肥が混合後の土壌の 5%となる時に最大となった。また、根の呼吸などに影響を与える気相については、10%程度の混合で十分に確保されていた。バーク堆肥の混合による間隙の増大は通水や排水によって圧縮されるが、混合していない土壌よりも透水性は高く維持され、排水改良の効果が、大きな踏圧などが内場合は栽培期間中維持されると推測された。

4.2 現場への適応に向けて

今年度の研究では、土壌改良材としてバーク堆肥を選定し、土壌の排水改良効果を検討した。現場の栽培形態を想定して、混合後の試料に大きな力が掛からないように充填したが、試験時の通水などにより土壌が圧縮してしまった。保水性の測定の終盤ではほぼ表面の沈下も収まり、2 回目の飽和透水係数の測定では平衡に達した状態での測定ができているとは思われるが、さらに現場では作業時の踏圧や、制限された領域での根の生育による土壌の圧縮により、排水改良の効果が変化(減少)する可能性がある。また、バーク堆肥の分解は他の堆肥(厩肥など)に比べて遅いと言われているが、栽培期間が長期に及ぶ果樹では微生物による分解や土壌の乾湿や寒暖によるバーク堆肥の構造の変化が排水改良効果の持続性に影響を与える可能性が高いため、追加の施用の必要性も考慮して、今後の検証が必要である。

また、提供を受けた実際に現場で用いられている土壌についても測定をおこない、研究室内で混合した試料の結果と比較したところ、本試験で定義した混合率で 0.3 程度、つまり混合後の試料の 30%(土 7 に対してバーク堆肥 3)と推測された。現場においては体積ベースの 1:1 で混合しているとの情報であったが、現場では質量を用いた厳密な混合割合の設定が難しいため、体積を指標とした混合と実験における混合率の関係(たとえば体積ベースで 2:1、バックホーで土 2 杯に対してバーク 1 杯、だと混合率がどのくらいになるかなど)を把握することも効果的である。

今回は生長有効水分量として測定条件(設定 pF)も考慮して pF1.8~2.4 としたが、生育の各ステージ、さらには品種によって要求される pF が異なるため、どの段階を主のターゲットとして土壌改良するかによって最適となる混合率は変わってくるのが予想される。今回の実験で得られた水分特性曲線は測定法が変わっても広い範囲で曲線がなめらかに繋がっていることから、何らかの数式で近似することで任意の pF における水分量のある程度高い精度で予想することができると考えられる。栽培上特に重要な時期において求められる pF 値(範囲)が決まれば、それに応じて水分量が最大となる混合率を求めることができると考えられる。水が豊富にあり、灌漑の間隔を短くす

ることができるのであればある程度大量のバーク堆肥を混合して排水性を上げる方が管理をしやすいが、施用量を制限することで灌漑間隔を広げることや肥料の溶脱を防ぐ効果も期待でき、また資材の使用量の削減にも繋がることから、保水性を考慮した資材使用量の検討が勧められる。