

## 和訳

### 湿潤剤はサンドグリーンの土壤水分含量を均一にします！！

…良く灌水された土壤でも撥水性になり、土壤水分含量の均一性を良くすることによって撥水性は減少します…

米国 ゴルフコースマネジメント誌 2010年8月号

ウイスコンシン-マディソン大学

土壤科学科

Dung Soldat, Ph.D

Birl Lowery, Ph.D

Wayne Kussow, Ph.D

(トモグリーン・ケミカル 高橋 巖 訳)

局在的ドライスポット(以下、単にドライスポットと記す)は疎水性または撥水性土壤によって引き起こされる。土壤撥水性は土壤粒子が周囲の有機物に被覆されることにより発現すると考えられている。サンドグリーンでは、砂地土壤粒子は他のタイプの土壤より表面積が小さいので、芝から大量に作られた有機物で被覆されるため、ドライスポットが発生し易い状態にある。なぜなら、表面積が小さい土壤はシルトや粘土のような表面積が大きい土壤よりも厚くしかも速やかに有機物に被覆されるからである。

撥水性土壤では土壤水分含量のバラツキが大きく、水道(みずみち)を作り易いので肥料や農薬の流亡が起こり易くなる。

経済的にも、環境的にもまた機能的にもグリーンでの水の使用をなるべく少なくするように望まれている。ゴルファーは締まったグリーン表面を望んでおり、それは灌水を少なくすることにより達成できる。規制や水道料の値上げにより、監督者からは水の使用量の削減や、再処理水等の異なった水源に切替えることを強要されるが、両方とも土壤の撥水性を増す原因になることが知られている。

湿潤剤の使用は土壤の撥水性をコントロールするのに非常に有効な対処法である。しかしながら、市場には沢山の異なった湿潤剤があり、それらを大学で全部評価することは不可能であるが、それでも、それぞれの湿潤剤がいろいろな環境下で土壤水分含量とその均一性にどう影響を与えるか研究する必要がある。

理想的なサーファクタントは、土壤水分含量の均一性を最高にしてドライスポットの発生を妨げ、その結果、少ない水の使用で見た目の芝の品質を高く保つことを可能にする。この試験は、3つの湿潤剤が極端に少ない灌水条件下でドライスポットの発生に如何に効果を及ぼすかを調べるために米国北中西部のサンドグリーンで実施された。

#### 材料および方法

この試験はウイスコン州マディソンの O. J. Noer Turfgrass Research and Education Facility に USGA 仕様で建設されたペンクロス クリーピング ベント

グラス パッティング グリーンで行い、1.8m×1.8mの 20 区をランダムに配置した。そのグリーンは、週に 6 日、3.18mm(0.125 インチ)に刈り込み、尿素の 1m<sup>2</sup>当り 14.64 g (3 ポンド/1000ft<sup>2</sup>)を 15 回に分けて 1m<sup>2</sup>当り 0.98 g ずつ施肥した。土壌中のリンとカリウムは土壌分析で十分だった。5 種の試験区への処理は、推定水分蒸散量(ET)の 100%で灌水された対照区(以下、適量灌水対照区)、ET の 30%の灌水量にした対照区(以下、少灌水対照区)、および同じく ET の 30%の少灌水条件のアクアダクト、プライマー 604 (国内流通品のプライマーセレクトはこのバージョンアップ品)、レボ (米国での商品名はレボリューション) の 3 種類 (いずれもアクアトロール社製) の湿潤剤処理区で構成し、湿潤剤は毎月 1.9ml/m<sup>2</sup> (6 オンス/1000ft<sup>2</sup>) を水 81.5ml/m<sup>2</sup>(2 ガロン/1000ft<sup>2</sup>)に希釈して処理した。



▲5 種の処理区に分けられたグリーンで土壌水分含量が測定された。適量灌水対照区、少灌水対照区、3 種の湿潤剤処理の 30% E T 灌水区

\* E T ; 気象等によって変動する日々の植物体、土壌表面等からの蒸発水分量の推定値

## データの収集

目視の芝品質は毎週 1~9 の格付けで評価し、1 が枯れた状態、9 が最高の品質で 6 が最低許容範囲の品質を表す。各区のドライスポット発生面積パーセントを毎週調査した。土壌水分含量マップを作るため、および土壌水分含量の均一性を確認するために 30.5 cm(12 インチ) 間隔で土壌表層 5 cm(2 インチ)の土壌水分含量を測定した。各シーズンの始めと終わりに土



▲ガイド用穴のある木製ボードを使用して試験区の土壌水分を格子状パターンで測定しているところ。



▲湿潤剤処理区では 2 年目の試験で一様な干ばつ症状がみられた。この症状は降雨で速やかになくなったが、無処理区ではそうはならなかった。

壌コアを  
抜き取り、

土壌表面から 1 cm(0.4 インチ)の撥水性を標準水滴浸透時間試験(WDPT)で測定した。WDPT は小さな水滴を土壌表面に落とし、土壌に浸透するのに要する時間を測定するもので、時間が長いと強い撥水性を有することになる。

## 結果

### ドライスポットと目視のクオリティ

少雨が長引いた 2007、2008 年の両年の少灌水対照区にはドライスポットのエリアが形成された。事実、両年ともドライスポットは少灌水対照区に連続 10 週間、区面積の 10~50%に形成された。それと比較して適量灌水対照区には形成されなかった。これは最初のドライスポットが土壌の乾燥状態が長引くことによって引き起こされ、

常に土壌水分含量がある程度以上に保持されれば撥水性が発達しないことを示す。しかし、過剰灌水やいろいろな問題を引き起こさずに灌水管理を行なうのは「言うは易く行いは難し」である。

1年目の研究期間を通して、ドライスポットレベルの評価結果は湿潤剤区と適量灌水対照区とで類似しており、すなわち、湿潤剤を処理した区は70%水分を削減してもほとんど或いは全く適量灌水対照区と変わらなかった。

2年目には更に厳しい干ばつが起こり、少灌水対照区ではドライスポットが10週間以上、20~50%の面積に及んだが、適量灌水対照区は発生しなかった。また、湿潤剤処理区にも数週間に渡って干ばつ症状が見られた。私達はこの症状が典型的に観察されるドライスポットよりもっと自然で一様な状態だったのでこの干ばつ症状をドライスポットと呼ぶことは適当でないと思った。

加えて、干ばつ被害を受けた湿潤剤処理区はその後の降雨により速やかに回復したが（シーズンの終わりには10%以下の干ばつ症状だった）、少灌水対照区のドライスポットは降雨があってもおよそ40%のドライスポットのままだった。

この結果は、1年目はETの30%の水が良く働いてくれたが、2年目は芝を高品質に維持するには十分な灌水ではなかったことを示している。

写真は1年目を通しての少灌水対照区の水溜りを示している。この2年経過したサンドベースの根域の水溜りは灌水後、たった15~20分後にはでき、撥水性土壤によって引き起こされる厳しい浸透制限によるものである。この写真の時は、ドライスポットは観察されなかったが次の週にはドライスポットで荒れた区になった。赤旗の適量灌水対照区と湿潤剤区の3区は水溜りが無く良い浸透性を有していたが、適量灌水対照区は湿潤剤区より多少高目のターフクオリティを有していた。

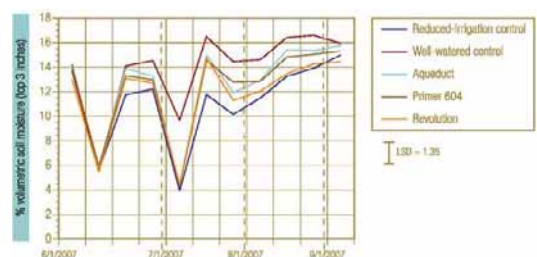


▲2つの対照区と2つの湿潤剤区。適量灌水対照区と少灌水対照区。造成して日の浅いサンドグリーンでも撥水性土壤が故に少灌水対照区(右上)は灌水後たったの15分で水溜りができた。湿潤剤処理区(左上、右下)では水溜りはできず、適量灌水対照区(左下)に匹敵するターフクオリティだった。

全般的に、適量灌水対照区は干ばつ期間を通して最高のターフクオリティであり、それに湿潤剤処理区が続き、少灌水対照区よりかなり良いターフクオリティが観察され、湿潤剤区の間ではあまり差は無かった。湿潤剤区は2年目の第5週以外のほとんどの試験期間中、最低許容範囲のレベル（格付け6）に近いか上回るターフクオリティを維持した。

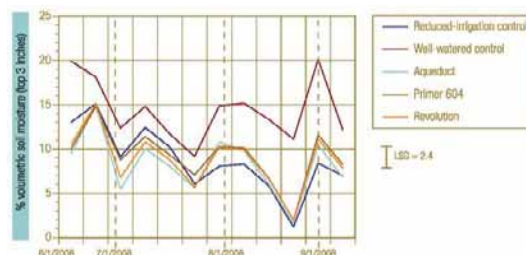
## 土壌水分含量

1年目を通して、上部5cmの土壌水分はいつも適量灌水対照区が最も多く、少灌水対照区が最も少なく、湿潤剤処理区はその中間だった(図1)。しかしながら、2年目の湿潤剤処理区は最初の5週間の内4週は少灌水対照区より少なかった。これは比較的雨の多い期間



▲図1. 1年目の試験を通しての土壌水分含量(2007) (表の縦軸は土壌水分含量容量%)

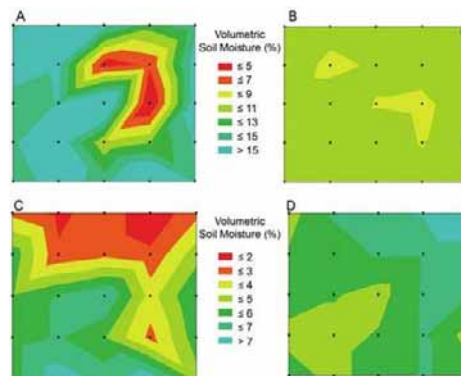
であり、湿潤剤が無処理区に比較して表面の土壤水分を減少させたことを示している。乾燥条件が繰り返されると、湿潤剤処理区は1年目に見られた2つの対照区の中間の土壤水分パターンを取戻した。



▲図 2. 2年目の試験を通しての土壤水分含量(2008)  
(表の縦軸は土壤水分含量容量%)

### 土壤水分含量の均一性

平均土壤水分含量は重要な測定値であるが、土壤水分の均一性はもっと重要かもしれない(平均水深 1.2mの川を横切っている間に溺れ死んだ統計学者のジョークを思い出そう。平均というものは時々全体の内容を語らないことがある)。グリーン上の平均土壤水分含量 10%は私達はその測定範囲を知っているなら意味がある。例えば、測定値のほとんどが 9%と 11%の間に入っている方が、いくつかは 5%で他は 15%であるよりずっと望ましい。この試験で私達は標準格子のパターンで土壤水分を測定し、試験区の土壤水分の分布図を作り、均一性を検討した。描かれた図の例を図 3 に示す。



▲図 3. 対照区 (A と C) と湿潤剤区 (B と D) の土壤水分分布図。B 区と D 区の比較的均一な土壤水分分布に比べて A 区と C 区には非常に湿ったエリアと非常に乾いたエリアがあることに注目

撥水性土壤は土壤水分の均一性に大きな影響を及ぼす。撥水区域と普通の区域に 0.5 インチの降雨があったと考えてみよう。その雨は普通の区域では浸透するが、撥水区域では水溜りができてゆっくり浸透するか、表面を流れてつながっている普通区域に行くであろう。もし、普通区域と撥水区域が同面積なら普通区域はおよそ 2 倍の(1 インチ)の雨を受け入れることになる。もし、撥水区域が広域なら、たった 0.5 インチの雨でも普通区域に数インチの雨水を浸透させる結果となる。浸透許容性のこの差は土壤水分の不均一性をもたらす。

土壤水分の均一性は、土壤水分含量の標準偏差値を算出することで求めることができる。

標準偏差値が 0 なら全ての測定値は同じであり、1 なら測定値の 2/3 が平均値の ±1% 以内にあることを示し(すなわち、土壤水分の平均値が 10%なら 2/3 は 9%から 11%にある)、標準偏差値が高ければ低い均一性を意味する。この研究では少灌水対照区の均一性が最も低く、次いで適量灌水対照区であり(表 1)、湿潤剤処理区は最も均一性が高く、両年とも同様であった。最近、他の研究者等も同じような結果を開示している。

この試験を通して適量灌水対照区のドラ

Treatment	Standard deviation of soil moisture	
	2007	2008
Reduced irrigation control	2.22a*	2.29a
Well-irrigated control	1.85ab	1.64ab
Aqueduct	1.51b	1.19b
Primer 604	1.33b	1.37b
Revolution	1.44b	1.32b

▲表 1. 土壤水分含量  
土壤水分含量の標準偏差は土壤水分の均一性の指標として使用される。標準偏差が小さいほど水分の均一性が良い。\*同じ列の異なった文字(a, b, c)は 95%信頼限界で統計的に大きな差を意味する。

Treatment	Start 2007	End 2007	Start 2008	End 2008
	Seconds to penetration of water drop			
Reduced irrigation control	26.9a*	39.1a	34.6a	148a
Well-irrigated control	14.1a	17.4ab	36.0a	52.1ab
Aqueduct	21.0a	11.5b	45.8a	10.5c
Primer 604	30.9a	19.6ab	51.1a	40.4b
Revolution	25.2a	5.6c	43.3a	28.9b

▲表 2. 水滴が浸透する時間  
1cm の表層の風乾土壤コアサンプルに落とした小さな蒸留水の水滴が浸透する時間。スタート時のコアサンプルは各年の処理前に採取された。\*同じ列の異なった文字(a, b, c)は 95%信頼限界で統計的に大きな差を意味する。

イスポットの発生は一度も観察されず高いターフクオリティを維持したが、土壤水分の均一性が下から二番目であるのは興味を引く。この水分均一性が低いのは芝を見ただけでは分からないが、土壤の撥水性によって生じていると思われる。表 2 には 2007 年と 2008 年の処理初期と終了時の撥水性測定値（以下、WDP T 値）を示した。2007 年の終了時では処理区の中でレボが最も低い WDP T 値を有し、次いでアクアダクトであった。2008 年はアクアダクト区が最も低く、次いでレボ区で、2 つの対照区は最大だった。対照区が何れも処理初期より終了時の方が撥水性は強くなったが、湿潤剤区はいずれも終了時の方が撥水性が弱まり、湿潤剤による撥水性改善効果が出ている。適量灌水対照区の撥水性が高くなったのは表 1 で見られるように土壤水分の均一性があまり良くないのが原因しているのだろう。

## 結論

本試験で使用した湿潤剤（アクアダクト、レボ、プライマー 604）はターフグラスのクオリティを改善でき、厳しい水不足によるドライスポットを減らすことができる。どの湿潤剤処理区も土壤水分含量に多少の差が見られるものの無処理対照区に比較して土壤水分の均一性は大きく改善された。適量灌水対照区ではドライスポットは全く発生しなかったが、土壤の撥水性は高まり、それが土壤水分の均一性を低下させた原因であると思われる。

## この試験で分かったこと

クリーピングベントグラスのパッティンググリーンで、ET の 30% の灌水による 3 種類の湿潤剤区が適量灌水対照区と少灌水対照区に比較された。

試験の両年において、少灌水対照区は 10 週間以上に亘って 10~50% のドライスポットが発生し、ターフクオリティは低かった。適量灌水対照区にはドライスポットは全く発生せず、高いターフクオリティを維持できたが、撥水性（WDP T 値）は高まり、それは土壤水分の均一性を低下させた原因であると思われる。湿潤剤の処理は無処理に比較して土壤水分の均一性を大きく向上させた。