

# 夏の散水管理：タイミング、水量、シリンジング、および水質

マイカ・ウッズ博士\*

## 摘要

クリーピング・ペントグラス (*Agrostis stolonifera*) は、平均気温がおよそ 20°C の時に最も旺盛に成長するが、日本のほとんどの地域においては、夏の平均気温が 25°C を超えるのが普通である。このような高温環境下においてペントグラスを管理するためには、最適なタイミングで最適量的な水やりを行うことが絶対に必要である。根圏における水分不足や水分過多が少しでも長引いてしまうと、ターフに重大なダメージが発生する危険が常に存在する。土壌水分を低めに維持することにより、芝草のクオリティを改善し、ペントグラスの根系をより広範囲に成長させることが可能となる。散水タイミングは、散水量ほど重要ではない。しおれを起こしたターフの表面温度は非常に高くなるが、正常に蒸散作用を行っているターフの表面温度は気温とほぼ同じである。グリーンへのシリンジングは、ターフの表面温度を有意に下げるものではない。夏の散水では、水量だけでなく、水質にも気を使う必要がある。具体的には、塩度およびナトリウム吸着率(SAR)を把握し、これらに対して適切な手段を講ずることにより、ターフへの障害を未然に防ぐことができる。

## 散

水管理は、グリーンキーピングの中でも最も重要な業務の一つである。夏の高温条件下において水やりが不足するとペントグラスは急激に衰退するが、逆に水やりが過多になっても、ペントグラスは同様に急激に衰退する。ちょうどよい水量を厳守することこそ、夏のグリーンキーピングにおける最重要項目の一つである。

芝草は土から水を得るということを常に意識していることが必要である。ターフに散水すること (Figure 1)、すなわち土に水を撒くことであり、我々は、実は土壌中の水分の管理を行っているのである。したがって、芝草をうまく育てようと思うならば土壌中の水分を最適レベルに維持することがポイントとなる。土壌が保持することのできる水の最大量を圃場容水量と呼んでいる。これは大雨の後や大量の散水の後で重力の働きによって抜けるべき水分が抜けた後に土壌に残っている水の量のことである。

圃場容水量の対極概念としてしおれ点というものがある。これは、芝草がしおれを起こす時点において土壌内部に保持されている水分量である。しおれ点においても土壌の内部には必ず幾分かの水が残っているのであるが、こうした水は土壌内部の小さな隙間に強い力で閉じ込められているために芝草が利用できないのである。つまり土壌水分管理とは、土壌水分量をこのしおれ点よりも高く、かつ、圃場容水量と同じまたはそれ以下のレベルに維持しようとする行為なのである。

土壌中の水は根から吸収されるから、グリーンにおいては芝草による吸水のほぼすべては地表から 10 cm までの深さで行われる。したがって、筆者はグリーンの根圏を地表から



Figure 1: ゴールデンクロス CC(千葉県) の 9 番グリーンにおける夏の散水風景

10 cm までの深さとみなしている。土壌に含まれている水分を表す概念としては、土壌水分体積率(VWC: Volumetric Water Content) を用いてパーセントで表示されることが多い。たとえば 100 L の土壌の中に、水が 20 L 含まれているのであれば、この時のこの土壌の VWC は 20% となる。あるいは、完全に乾燥した土を 500 cm<sup>3</sup>用意して、これに 100 cm<sup>3</sup>の水を加えた場合にも、この土壌の VWC は 20% となる。

芝草が「蒸散」を通じて消費する水の量と、土壌表面から「蒸発」によって失われる水の量を合計したものは蒸発散量と呼ばれ、多くの場合 ET と略称される。ET は mm で表す。ET は、あるエリアがどれだけ水を消費するかを表す数値である。散水管理を行う時、1 m<sup>2</sup>の面積に対して 1 mm の散水(降水)を行った時に使用した水の体積は 1 L になる、ということを知っておくと便利である。

## 散水のタイミングと水量

ここで、二つの散水方法について考えてみる。圃場容水量が 27% でありしおれ点が 10% のグリーンがあるとしよう。圃場容水量が 27% であるから、このグリーンはどんなに長時間散水しても土壌水分がこの値を超えることはない。また、しおれ点が 10% であるから土壌水分を常にこれより高く維持しなければならない。Figure 2 に、このグリーンにおける 8 月の最初の 14 日間の土壌水分率の変化を示した。前提条件として、この間には降雨が一切なく、また毎日の ET が 4 mm であったものとしている。ひとつ目の散水方式は少回数方式(オレンジ色の線)で、土壌水分率が 11% を切るまでは散水を行わないという方式である。もうひとつの方法は多回数方式で、こちらは毎日散水を行うが、その量は翌日の土壌水分率が 18% を切らない量に限定する。

Figure 2 に示した二つの散水方式を比較すると、14 日間の平均土壌水分率は、多回数方式で 21.9% となり、少回数方式で 19.2% となる。すなわちこの場合は、少回数方式の散水よりも多回数方式の方が土壌中の水分保持率を高く保持することになる。しかし、やり方によっては、多回数方式で

\*第 2 回 KGM セミナー配布用資料(2013 年 6 月 27 日、宝塚 GC にて開催)

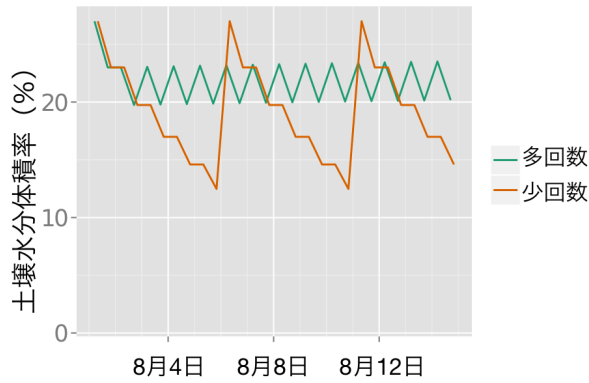


Figure 2: 8月1日から14日までの根圏(10 cm までの深さ)における土壌水分率(VWC)を計算によって求めた模式的なグラフ。ただし、この期間中に降水は発生しないものとし、日間の蒸発散量(ET)を4 mmとし、8月1日のVWCを圃場容水量(Field Capacity: FC)である27%とする。以上の条件の下で、多回数散水方式では、翌日のVWCが18%未満にならないように散水を行うという方針にしたがってモデル計算を行い、少回数散水方式では、翌日にVWCが11%未満になることが予想される場合に散水を実施してVWCをFCに戻すという方針にしたがってモデル計算を行った結果をグラフにしたものである。

散水を行って少回数方式よりも土壌水分率を低く維持することも可能なのである。これは何となく常識に反するようであるが、Figure 3 のような散水を行えば可能なのである。

こちらの図のモデルでは、少回数方式は前回と同じである。すなわち、土壌中の水分が翌日に11%未満になることが予想される場合のみ散水を行い、その散水によって土壌中の水分量を圃場容水量まで戻すというやりかたである。一方、このFigure 3 に示した多回数方式では、翌日の土壌水分率が14%未満にならないように、毎日散水を繰り返している。

このようにすると、8月1日から14日間の平均VWCは少回数方式では前回と同じ19.2%となるが、多回数方式(ほぼ毎日の散水)での平均土壌水分率は17.6%と、少回数方式よりも低くなり、以下のような利点が生まれてくる：

- 平均VWCがより低くなる結果、より硬いグリーンとなり、ボールマークがでにくくなる。
- 土壌に含まれる空気の量が、より多くなる。
- より一定したプレーコンディションとなる。
- 設定している土壌水分の最低レベルが、少回数方式の場合よりも高いので、干ばつストレスを起こす危険性やドライスポットを出す危険性が少なくなる。

散水回数についての研究実験では、ほとんどがFigure 2のようなパターンを使用して行われている。すなわち、多回数散水の場合には、土壌水分含有率を圃場容水量に非常に近いところに維持して実験が行われる。そのような方法で実験を行って(Jordan et al., 2003; Fu and Dernoeden, 2009a,b)、少回数散水によって管理したほうが、8月末のターフのクオリティがより高く、根量がより多かったという結論を出している。しかし、すでにお分かりのように、こうした実験では、多回数散水の場合のVWCが少回数散水の場合よりも高く維持されているのである。実際、Fu and Dernoeden (2009b) の行った実験では、多回数散水の場合には、少回数散水の場合の2倍もの量の散水を行っている。

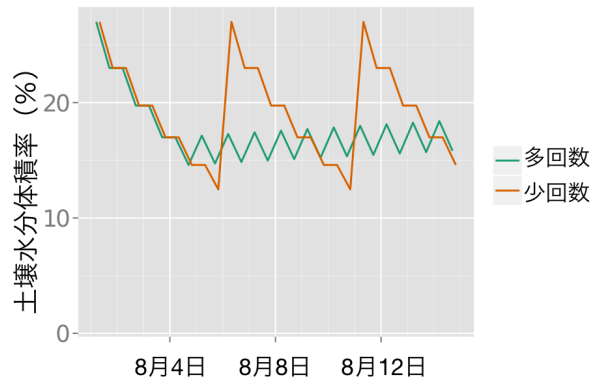


Figure 3: 8月1日から14日までの根圏(10 cm までの深さ)における土壌水分率(VWC)を計算によって求めた模式的なグラフ。ただし、この期間中に降水は発生しないものとし、日間の蒸発散量(ET)を4 mmとし、8月1日のVWCを圃場容水量(Field Capacity: FC)である27%とする。以上の条件の下で、多回数散水方式では、翌日のVWCが14%未満にならないように散水を行うという方針にしたがってモデル計算を行い、少回数散水方式では、翌日にVWCが11%未満になることが予想される場合に散水を実施してVWCをFCに戻すという方針にしたがってモデル計算を行った結果をグラフにしたものである。

こうした研究結果を総合的に眺めてみると、むしろ次のような結論へ導かれてくるだろう。すなわち、ターフのクオリティを高め、根をしっかりと育てるためには、散水回数よりもVWCを低く維持することの方が重要ではないのかということである。実際論としては、原則として少回数方式で臨むけれども、臨機応変に少量散水を織り交ぜる(Johnson, 2003)というやり方がベストであるということだ。筆者なりの言葉で表現すれば、多回数散水か少回数散水かということにあまりこだわらず、その時々ちょうど良い量の散水を行ってVWCをできるだけ低く維持することこそがカギであるということだ。

### 土壌水分計を使うべし

土壌の中にどれだけの水が含まれているか。カンで当たることもあるが、今は実測することが可能だ。土壌水分計を使えば土壌内部の水分を正確に把握することができるから、芝草が使える水が今どれくらいあるか、そして、次の散水時にどれだけの水量を撒くのがベストかを正確に知ることができる。それぞれの場所で土壌の組成が異なり、草種が異なり、気候が異なり、管理手法が異なり、営業期間が異なり、ターフに求めることが異なるのであるから、それぞれの場所に適したVWC範囲、ベストのVWCというものがあるはずである。

とはいえ、どんな場所で土壌水分を管理する場合であっても、共通のコツがいくつか存在する。以下に、それらの共通点をまとめる：

1. 十分に大量の降雨があった後で、土壌が間違いなく最大の水分を含んでいると確信できるときに、重力水が抜けるのを待ち、その時点でVWCを測定してみよう。実践的感覚では、この値が、その土壌(そのエリア)の圃場容水量と考えて差し支えない。
2. 土壌が非常に乾燥して芝草がしおれ始めた時点を狙って<sup>1</sup>VWCを測定してみよう。芝草がしおれを起し始めたこの時点のVWCがしおれ点である。

<sup>1</sup>しおれを全く起こさないターフ、干ばつストレス症状を決して起こさないターフは、水をやりすぎていると考えるべきであろう。



Figure 4: 2013 年 5 月 3 日、14:00 のバンコク市内の 4 種類の面における表面温度。このときの気温は 38°C であった: a) コンクリート - 53.6°C; b) しおれを起こしている *Zoysia matrella* - 48.8°C; c) 正常に蒸散中の *Axonopus compressus* - 39.2°C; d) 正常に蒸散中の *Zoysia matrella* - 36.2°C.

3. しおれ点の VWC と圃場容水量の VWC との差が有効水(芝草が利用可能な水)の範囲である。

4. 根圏の深さを 10 cm とした場合には、VWC が 1% 変化することは、土壌中の水量が 1 mm 変化すること、すなわち 1m<sup>2</sup>あたりにつき 1L の水が失われた(または追加された)ことを意味する。

これだけの情報があれば、VWC の管理は自在である。いつでも、自分が望むとおりの VWC に維持することができる。

### 早朝の散水か、それとも夕方の散水か

一日のうちでターフに水やりを行うべき時間帯というものがあるのだろうか? 筆者の考えでは、芝草が水を必要としている(と我々が判断した)時こそがベストの散水タイミングである。とはいえ、実際の管理業務においては、いつでも好きな時に散水できるというものでもない。現実的には、散水が必要と判断したら、できる限り早く散水を開始するのがベストということになるだろう。

Guertal and Han (2009) は、早朝(08:00)に行う散水と午後(16:00)に行う散水の比較を行っている。この研究から得られた知見の一つは、早朝に散水するほうが、午後遅くに散水するよりも地温を下げる効果が大きい場合がある、ということであった。

しかし送風機(ファン)を使用した場合には、ファンを使用しない場合に比べて地温はいつでも低く推移することが確認された。また、ファンを使用することによって根の長さおよび密度が増したが、この効果は、早朝に散水を行う場合と午後に散水を行う場合との間で違いが見られなかった。

### シリンジングによるベントグラスグリーンの冷却

まず、シリンジング(もしくはミスティング)という言葉は、少量の散水によって芝草のみをぬらして、ターフの表面を冷却することであると定義しておこう。もし筆者がグリーンキーパーで、真夏にベントグラスのグリーンを管理する立場であったら、シリンジングは実施しない。以下にその理由を説明する:

#### しおれているターフと正常に蒸散中のターフ

Figure 4 は、快晴の日のバンコク(気温は 38°C)における 4 箇所の表面の温度を測定したときの写真である。十分な量の水を根から吸水できなくなると、芝草はしおれる。そして、天気の良い日に芝草がしおれてしまうと、その表面温度は気温よりも高くなる可能性がある。一方、土壌中に十分な水分があれば、芝草は正常に蒸散を続ける。そしてこの時のターフの表面温度は、気温との差がおおむね 1 または 2°C 程度以内である。

#### シリンジングで温度はどう変わるか

以上、土壌中に水分が確保されていれば、ターフ表面の温度は気温とほとんど同じであるという知見から出発して、ターフにシリンジングを行ったらどうなるかを考えてみよう。シリンジングによってターフ表面の温度はどのように変化するだろうか? DiPaola (1984) は、これに関して詳細な研究を行い、以下のような発見を行っている: すなわち、50 または 100 mL m<sup>-2</sup> の水量では、実施後 30 分における表面温度低下は見られない。水量を 1.4 mm (1.4 L m<sup>-2</sup>) よりも多くすると、実施後 30 分においてターフ表面の温度が平均でおよそ 0.7°C 低下していることが確認された。しかし実施後 1 時



Figure 5: 千葉県で行ったベントグリーンの冷却実験。氷、氷水、水温 26°C の水道水の 3 種類の資材を使って、ターフ表面と地温がどのように変化するかを調べた。

間を経過すると、水量に関わりなく、シリンジングを行った区画と行わなかった区画の差は見られなくなった。

水量が  $100 \text{ mL m}^{-2}$  を超えるようなものは、もはやシリンジングとは呼べないだろう。撒いた水のほとんどは葉の上に留まることなく土壌に落下して土をぬらしてしまう。これはもう散水と呼ぶべきものである。

筆者が行った実験 (Figure 5) を一つ紹介する。千葉県のベントグラスグリーンにおいて、氷、氷水 (1.5°C)、および水道水 (26°C) を、それぞれターフの上から撒いて、地温とターフ表面温度の変化を実測した。<sup>2</sup> この実験で使用した  $\text{H}_2\text{O}$  の量は、降水量に換算すると 7.8 mm に相当するので、これをシリンジングについての実験と同一視することはできない。しかし、氷または氷水を使うと、ターフの表面温度および地温とを数時間にわたって数度も下げることができる一方、水道水では、ターフの表面温度は朝に撒いた場合でわずか 0.5°C 程度しか下がらず、日没時に撒いた場合にはわずかながら温度が高くなるという結果が得られたことが非常に興味深い。

ここでもう一度、正常に蒸散を続けているターフの表面温度と、正常な蒸散が停止してしまっただけのターフの表面温度を見てもらいたい。両者の差は 10°C 以上もある (Figure 4)。ターフへの散水がターフの表面温度にどんな影響を及ぼすのかについて DiPaola (1984) が行った広範な実験でわかったことは、芝草がしおれている時でない限り散水はターフの表面温度をほとんど変えないということであった。芝草がしおれていてターフの表面温度が非常に高くなっている時でなければ、散水によって表面温度を下げることはできないということである。

## 散水用水の水質

散水を行うとき、その水に何が含まれているのかを知っておくことが重要である。水に含まれている物質、そしてその結果としての水の化学的性質が、ターフの状態や土壌の性質を変える可能性があるからである。こうした潜在的な問題は回避可能なものであるが、そのためには、自分が撒いている水のことをきちんと把握していることがどうしても必要である。具体的には二つの因子を把握しておきたい。

### 塩度

第一の因子は塩度、すなわち、水に溶け込んでいる無機イオン (塩) の量である。代表的な塩は食塩である。この物質は

<sup>2</sup> これらの実験についての詳しい報告は、ゴルフ場セミナー誌 (2012 年 7 月号と 2012 年 10 月号) で発表した。

水に溶解してイオン化し、 $\text{Na}^+$  と  $\text{Cl}^-$  に分離する。食塩以外にも、散水用水中には、硫酸塩、カルシウム塩、マグネシウム塩、カリウム塩、アンモニウム塩、硝酸塩などが溶け込んでおり、これら以外のイオンもさらに含まれているのが普通である。これらのイオンの量をすべて合計したものを総溶解固形物 (Total Dissolved Solids: TDS) と呼んでおり、これが水に含まれる塩分 (水の塩度) を表す一つの目安になっている。

TDS は  $\text{mg L}^{-1}$  という単位で表される。実際に計測するには、ちょうど 1 L の水を容器にとり、この水をすべて蒸発させて、容器内部に残った固形物の重量を測定する。<sup>3</sup> 塩分を含んだ水を散水用水として使用すると、芝草は水は利用するが、すべての塩分は利用しない可能性が高く、その場合には、利用されなかった塩分が土壌中に蓄積することになる。たとえば、散水用水の TDS が  $1000 \text{ mg L}^{-1}$  であったとして、この水を  $4 \text{ mm d}^{-1}$  ずつ一ヶ月間にわたって散水したとすると、根圏には  $120 \text{ g m}^{-2}$  の塩が蓄積する。これは大変な量である! 幸運なことに、日本の場合は散水用水にこれほど大量の塩が含まれていることはまれである。とはいえ、自分が使っている水がどのようなものなのかは知っておくべきだし、それは測定しなければわからないものなのだ。

水の塩度が高い場合には、芝草が必要とするよりも大量の散水を行い、この余剰の水によって塩分を溶脱させることによって問題を回避することができる。このような散水によって、余剰の水の幾分か根圏よりも深いところまで浸透し、その水に乗って塩分のうちの幾分かが溶脱して根圏よりも深いところに到達する。<sup>4</sup>

### ナトリウム吸着率

散水用水中に含まれるナトリウムの量がカルシウムやマグネシウムの量よりも多い場合には、土壌に悪影響が出る可能性がある。すなわち、このような水を使用し続けると、土壌の陽イオン交換サイトにナトリウムが蓄積し、最も小さな土壌粒子である粘土粒子が単粒化して膨張し、土壌中の気相の割合が低下して透水性が悪くなる。この危険性を示す目安となるのが、ナトリウム吸着率 (SAR: Sodium Adsorption Ratio) である。

SAR の危険性をどう見積もるかについては色々な流儀があり、その気になって調べれば様々なデータが見つかるはずだが、日本の水についていえば、ほとんどの場合、SAR が 6 未満であれば問題は出ないだろうといえる。SAR の値がこれよりも高い場合には問題が発生することを前提に対策を立てるべきである。基本的には石膏 (硫酸カルシウム) を使用する。土壌にカルシウムを散布する、散水用水中にカルシウムを注入するといった方法で問題を回避することが可能である。

## 参考文献

J.M. DiPaola. Syringing effects on the canopy temperatures of bentgrass greens. *Agronomy Journal*, 76:951-953, 1984.

Jinmin Fu and Peter H. Dernoeden. Creeping bentgrass putting green turf responses to two summer irrigation practices: rooting and soil temperature. *Crop Science*, 49:1063:1070, 2009a.

<sup>3</sup> 水の電気伝導度 (EC) を測定することによっても TDS を知ることができる。EC の値  $1 \text{ dS m}^{-1}$  が、およそ  $640 \text{ mg L}^{-1}$  に相当する。

<sup>4</sup> 溶脱率については、ゴルフ場セミナー誌 2011 年 7 月号で解説を行い、いくつかの計算例も示した。

- Jinmin Fu and Peter H. Dernoeden. Creeping bentgrass putting green turf responses to two irrigation practices: quality, chlorophyll, canopy temperature, and thatch-mat. *Crop Science*, 49:1071–1078, 2009b.
- E.A. Guertal and D.Y. Han. Timing of irrigation for cooling bentgrass greens with and without fans. *USGA Turfgrass and Environmental Research Online*, 8(17):1–5, 2009.
- Paul G. Johnson. The influence of frequent or infrequent irrigation on turfgrasses in the cool-arid West. *USGA Turfgrass and Environmental Research Online*, 2(6):1–8, March 2003.
- J.E. Jordan, R.H. White, D.M. Vietor, T.C. Hale, J.C. Thomas, and M.C. Engelke. Effect of irrigation frequency on turf quality, shoot density, and root length density of five bentgrass cultivars. *Crop Science*, 43:282–287, 2003.