

# アメリカの最新コース管理情報を読む

## ● USGA GREEN SECTION RECORD ● GCSAA GOLF COURSE MANAGEMENT

### キーポイント

- ・ 遠隔センサーの利用は、ゴルフコース管理の効率、成果の向上に繋がるが、現時点で可能なテクノロジーの範囲では限界もある。
- ・ 遠隔センサーを活用すれば、

### USGA GREEN SECTION RECORD

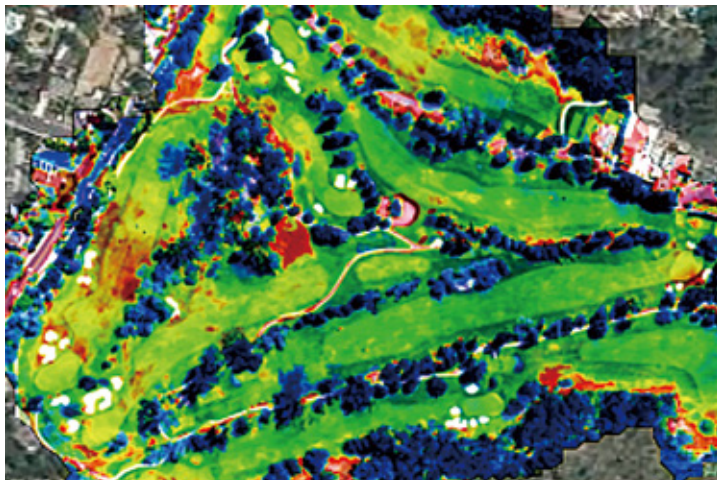
## Making Sense of Remote Sensing

By Cory Isom, senior consulting agronomist, West Region

### 遠隔センサーによる分析は果たして有効か？

コーリー・アイソム 西部地区担当シニアコンサルティングアグロノミスト

〈2024年8月3日号〉



フェアウェイの目砂散布は芝の健康とプレイヤビリティを向上させるが、優れた結果を出すには、相応の投資と入念な作業プランが欠かせない

- ・ 遠隔センサーを用いた分析システムを活用して精緻なデータと画像を作成するには、計測値の較正と検証が欠かせない。

### ゴルフコースの

スケーリングとデータによって、携帯用土壌水分計の登場は画期的であり、それによって土壌の水分体積量 (Volumetric Water Content) の計測が可能

な段階以前に見極めることができる。

現行の研究による基本的な知見として、遠隔センサーが計測する土壌水分の値は今ひとつ不安定で、正確さに欠ける場合がある。

になったことは、散水作業に革命をもたらした。目視による判断や、土壌を触った感覚に依存するのではなく、実際のデータを基に設定した水分値 (%) と比較し、散水作業ができるようになった。携帯用土壌水分計を

活用した区域では、灌水作業効率が著しく向上したが、一方で問題点もある。何よりもまず、一度に計測できる範囲がごく小さな面積に限られる。スーパージンテントの多くが、携帯用土壌水分計の使用をグリーンに限定しているのは、そのためである。フェアウェイの土壌水分(VWC%)計測にも使っているコースがないわけではないが、一般的には非効率と言える。

より広大な範囲の土壌観察や分析を行うためのテクノロジは、数十年前から開発が進み、主として農業分野と研究に应用されている。そうした機材はかつてほど高価ではなく、また手に入りやすくなっており、遠隔センサーを応用した分析技術に手を伸ばすゴルフコースは、ともに増加している。しかし、その成果が大いに期待される反面、留意すべき深刻な問題点もある。本稿では、スーパージンテントにとって選択肢となり得る幾通りかの遠隔センサー技術とその仕様について詳述し、散

見する長々しい専門用語も噛み砕いていきたい。さらに、遠隔センサー技術が真価を發揮するのは如何なる状況下であるかを解き明かしている研究リサーチに触れた上で、日々の管理作業にこれらの新しいツールをどのように取り入れていくべきかを考える。

### 様々な遠隔センサー技術

「遠隔センサーの世界」に一步踏み入れただけで、小難しい専門用語が容赦なく迫ってくる。サーマル/マルチスペクトル・イメージング (Thermal and multispectral imaging) 、Lバンド放射計 (L-band Radiometers) 、宇宙線中性子センサー (Cosmic Ray Neutron Sensors=CRNS) 、電磁誘導 (Electromagnetic Induction) 、合成開口レーダー (Synthetic Aperture Radar=SAR) 等、どれもこれも、SF映画の小道具さながらであるが、これらは皆、ゴルフコースの責任者が芝の健康状態と土壌水分を大きな視点で検証する一助となるべく、現

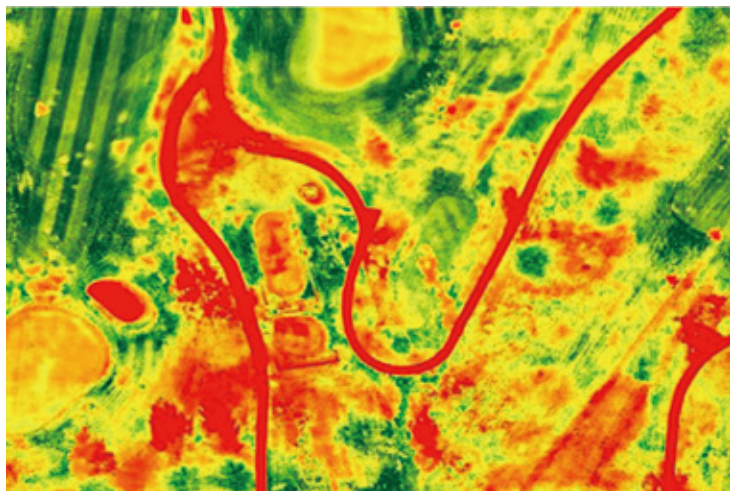
在進行形で使用、或いは試用されている機器である。各々の「効能書き」を見ていこう。

サーマル・イメージング・名称が示す通り、物体の温度、或いは表面温度を検知するサーマルカメラを内蔵している。撮った画像を解読できるよう変換するには、後処理が必要。温度レベルごとに定められた色の変化によって、温度の違いを読み取ることができる。

マルチスペクトル・イメージング・マルチスペクトルセンサーが電磁誘導によって、肉眼

では見えないレベルまで光エネルギーを集束する。各バンドの光度によって植生指数を割り出し、その結果を色分けされた画像に変換して芝の健康度の差異を示す。画像の生成には電磁周波数帯域の異なる二種の指標、即ち正規化植生指数 (NDVI)

NDVI画像は芝の健康状態の度合いを可視化することによって、スーパージンテントがトラブルを検知し、対処する際の指標を提供する



と正規化レッドエッジ指数 (NDRE) を使用することが多い。こうして得られる画像は、相対的な芝の健康状態を知る目安となる。

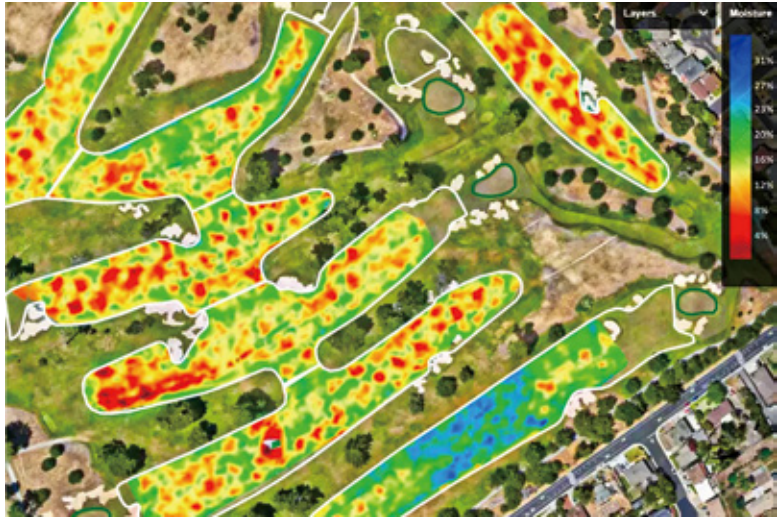
芝の状態が良くも悪くも均一であれば、センサーが感知する光の強さはほぼ一定に保たれ、

現れる画像もほとんど均一となる。しかし、各画像内で目立ったバラツキが認められないとしても、

「全体的に良い」画像と「全体的に悪い」画像ではセンサーへの反射光の相対的な強さが異なるため、見え方が違ってくる。

一方、実験区内で様々なコンディションが混在する場合は、肉眼での目視以前に、それらの差異を画像によって検知できることが多い。

**Lバンド放射計**…土壌水分量は、大気中に放射されるマイクロ波放射線の強度に影響を与える。Lバンド放射計は土壌内のこのマイクロ波放射線量を測定する。テスト区画全体の土壌水分量分布図作成のため、放射線量ごとに土壌の水分含有率が設定される。測定用のこれらセ



Lバンド放射測定器はモアや他の車両にも搭載可能であり、土壌水分量の分布図作成に必要なデータを効率良く取得できる。

ンサーは、モアまたはカートに搭載が可能。現行の規格では35度の計測範囲があり、旧来のポータブル土壌水分計より遥かに多くのサンプリングができる。**合成開口レーダー**…Lバンド放射測定方法と同様、合成開口レ

ーダー方式では、土壌から放射されたマイクロ波電磁波を利用する。この電磁波は地上遥か上方の衛星によって計測される。こうして取得した電磁波のデータは、土壌水分量分布の推定画像に変換される仕組みである。広範囲にわたる土壌水分量（VWC%）の全体像を分かりやすく画像化するため、水分量のレベルごとに色分けする。

**宇宙線中性子センサー**…宇宙線中性子（CRNS）方式は、土壌内と土壌表面の大気の間で素早く運動する中性子を検出することによって、土壌水分量を計測する。中性子は、土壌内の水素と衝突する度にエネルギーを失い減速するが、水素原子の減速能力は他の原子よりも極端に大きい。そのため、水素原子の量的変化が、水の量的変化の大きな要因となる。そのエネルギーの低下した中性子をCRNSが検出する仕組みである。例えばフェアウェイの近くに設置すると、半径100mにまで及ぶ範囲の中性子反射率をモニタリングで

きる。さらに大規模になると、広大なエリアの平均土壌水分を検知するに留まり、ゴルフコースのスーパージンテントにとっては有用性がない。カートやモアに搭載できるタイプのCRNS検出器も開発されており、こうした小型ユニットは小さい面積において解像度がより高く、迅速なデータ収集が可能である。集めたデータはVWCのレベルごとに色分けして土壌水分量分布図に変換される。

**電磁誘導**…ターフ面に複数のコイルを設置し、土壌基盤に電磁場を作る。土壌基盤を通過する電流を解析し、土壌水分量等を検証する。設置する検出コイルの間隔と電源の大きさによって、計測深度が左右される。これらは既に挙げた他の機器と同様、色分けした画像でVWC分布を表示する。

センサーを利用したこれらの技術は、スーパージンテントがデータに基づく芝草管理を行えるよう、コースの状態を視覚化した図・画像の作成を目的

# おまかせ下さい 防球ネット

- プレーヤーを守ります。
- 景観を損ないません。
- どんな場所にも設置できます。



特に大型機械の入らない現場での防球ネット工事ならおまかせ下さい。

## 営業品目

- 目立たないカラーネット各種
- 防球ネットフェンス
- ゴルフ練習場設計施工

## 主なゴルフ場工事実績

- 鷹之台カントリー倶楽部 千葉県
- レイクウッドゴルフクラブ 神奈川県
- 磯子カントリークラブ 神奈川県
- 上野原カントリークラブ 梨県
- 我孫子ゴルフ倶楽部 千葉県
- 烏山城カントリークラブ 千葉県
- 東武藤が丘カントリークラブ 千葉県
- 多古カントリークラブ 千葉県
- セントレジャー市原 千葉県
- 久邇カントリークラブ 千葉県
- 小金井カントリー倶楽部 東京都
- イーグルレイクゴルフクラブ 千葉県
- 笠間カントリークラブ 茨城県

## 第一ゴルフ工事(株)

〒158-0081 東京都世田谷区深沢7-18-23  
☎03(3702)3136(代) FAX03(3702)3138

として開発されている。土壌水分量の画像、或いは踏圧等のストレス要因を示すNDVI画像を例に採っても、的確に取得された遠隔センサーのデータは、スーパージンテントによる管理業務の質を高めるための一助となる。さらに、問題点の見極めをより迅速に、効率的にする。その上で起こる重大な疑問…果たしてこのテクノロジはゴルフコースに関してでも有効なのであるのか？

センサーを利用したこれらの技術は、スーパージンテントがデータに基づく芝草管理を

行えるよう、コースの状態を視覚化した図・画像の作成を目的として開発されている

## 遠隔センサーの利用は果たして有効か？

これらのテクノロジはまるでSFさながらに響くにもかかわらず、現実の世界で、科学的理論に基づき、広く機能している。NASAでさえも、農地や地表の水分を検分するために活用している。しかし、ゴルフコースに関してはどうであろうか？スーパージンテントにとって有益で詳細な知見を提供で

きるのだろうか？

残念ながら、現時点ではこの問いに対して、単なるイエス・ノーでは答えられない。遠隔センサー技術によって、芝にかかるストレスの様々な形態を、肉眼で目視できる以前の段階で検知できることは、これまでの研究で明らかになっている。一方で、この新しいテクノロジがもたらす多岐に亘る恩恵について、伝聞による逸話が夥しく流布しており、中でも「ゴルフ場における散水量の削減」と「芝ストレスの迅速な可視化」が、その顕著な例と言える。しかし、専門的なコントロールの下に繰り返し行われる実験に基づいた

科学的根拠が、果たして認められるのだろうか。

## リサーチによる最新の知見

サーマル及びマルチスペクトル・イメージングと芝の健康との相関関係について検証した研究は数多い。それらによれば、地際部の温度、近赤外線を用いた分析画像、小型無人飛行機または携帯測定器が取得したNDVI、NDREなどは、肉眼で目視できる以前に芝が被るストレスを可視化してくれる、優れた指標である。ペント芝の乾燥ストレスを、目に見える症状が現れるより5日も前に顕示した遠隔センサーについて取り上げ

たりサーチもある。また、NDVIとNDRE画像によって線虫害を検知した事例もある。これらの植生指数画像の増減に連動して、植物に寄生する線虫の数も増減したという。

以上の二件を取り上げたのには理由がある。芝が受けるストレスは実に多岐に亘る。乾燥、病害、虫害、日照不足、芝種の不適合、踏圧、塩害、線虫害、その他にも様々な原因で芝の健康が損なわれる。サーマル又はマルチスペクトル・イメージング或いはその併用によって、芝の健康や密度の低下を見逃すことなく検証できる。しかし、画像を見るだけで問題の本質を見極められるのだろうか？もちろん、一目瞭然な場合もあるだろう。

例えば各スプリンクラーヘッドの周囲には緑の輪、明らかに水が達していない箇所には黄色やオレンジが表示されるといったケースでは、散水の到達範囲を見直す必要がある。一方で、そ



ドローンや他の携帯用測定器が提供するセンサー画像は、肉眼で目視できるより以前に芝のストレスを検知する優れた指標であることが研究によって報告されているが、その結果見つけたストレスの原因を詳しく出すのは、管理チームの仕事である。

れほど問題が明らかにならないこともある。そんな時こそ、管理スタッフが実際に現場に向いて調べなければならぬ。画像や画像を手掛かりに問題箇所を絞り込めば、調査の効率向上に繋がるが、コースで起きているトラブルを理解するためには、文字通り地に足を付けた探求に代わるものはない。

### 更なる研究リサーチ

業界への「遠隔センサー」の新規参入は、どんどん増えてきている。宇宙線中性子センサー、

Lバンド放射計、合成開口レーダー、そして電磁誘導等は、遠隔センサーとして必ずしも新しい技術ではないが、芝草管理に導入されてからは日が浅い。これまででは、ゴルフコースのフェアウェイ、グリーン、ティーグラウンドなどよりも遥かに大きなスケールで活用されている。こうした測定器材とそれらの技術にとつての難題は、その視野、即ち分析面積を縮小しつつ、解像度と精度を上げることである。

ゴルフコースのスーパーインテグメントにとつては、30km先まで正確に表示する土壌水分含有量の画像も、フェアウェイの50〜75cm深度の土壌水分分析も必要ない。これらのテクノロジが「ゴルフコースの芝草管理」業界に参入しつつある今、果たしてゴルフコースにとつて有用なデータとは何なのか、また、使用に足る十分且つ安定したサービスを継続して提供するにはどうしたらよいかを掘り下げることが肝要である。

こうした「ゴルフ業界にとつては新しい」遠隔センサー応用技術の有効性を検証するため、USGAの資金提供による二件のリサーチトリアルが進行中である。テキサスA&Mとニューメキシコ州立大学で、詳細なテスト分析が行われている。今のところ、これまでの土壌水分測定とこれらの新しいセンサー技術の間に、はっきりした相関性は認められない。初歩段階で判明したのは、遠隔センサーで計測された土壌水分の値は今ひ

とつ不安定で、正確さに欠ける可能性があるということだった。言うなれば、これらのセンサーが従来のVWCと同様の土壤水分レベルを読み取れるかどうかの確立は五分五分である。しかし、あくまでこれは現時点での判断であり、さらに研究が進み、こうしたプラットフォームが進化すれば、両者に強い相関性が生まれる段階に到達するであろう。

現時点では、これまでの土壤水分測定とこれらの新しいセンサー技術の間に、はっきりした相関性は認められない

## 課題と展望

土壤水分を計測する新しいセンサー機器について、大きな課題となるのがサンプリングの深度である。携帯用土壤水分計には、地中に差し込む探りプローブ(針)がついており、特定の

深度で計測し、土壤VWC%の平均値を出す。一方、遠隔センサー方式では、深度をピンポイントに設定することができない。リサーチでは、計測深度と含水量と表層温度の間には大きな相関があることが分かっている。特定の深度における土壤水分を計る上で、センサーの精度は電

流信号の強さ、表層との距離、反射の角度、その他の要因にかかっている。コースの各エリアにおける土壤コンディションが多様である中で、全域同じ深度で計測するべく、遠隔センサーの設定を調節することは、不可能とは言えないまでも、極めて困難である。

さらに、こうした新しいセンサーを活用して実用性のあるデータを得るには、設定の調整を頻繁に繰り返さなければならぬ。土壤水分について言えば、

遠隔センサーが実際の水分含有率を割り出すわけではないので、データをVWC値に変換するには、使用するソフトウェアプラットフォームのアルゴリズムに頼ることになる。これらのソフトウェアプラットフォームは、計算を行うための、有効なVWC読み取り機能を備えていない

ればならない。地中の土壤水分計、或いは現場でのウェザーステーションのような限られた場所での気象観測器でデータを読み取るのであれば、何らかの定期的な検証、校正が必要となるだろう。

ここまで述べた上で改めて問われるのは、ゴルフコースにおいて、遠隔センサーを応用した測定技術をどのように活かせるか、ということである。既に長年に亘って取り入れているスパーインテンデントも少なくない中、重宝しているというケースも、そうでないケースもある。擁護派は遠隔センサーで取得したデータや画像を、散水プログラム、スプレー散布、コース整備等、多岐に亘って活用している。片や懐疑派は、得られる情報が量、質共に精度に欠け、実用には心もとないと考える。しかし、遠隔センサーによるデータと土壤水分計の生の計測値との間にズレがあったとしても、特定のコース、ロケーションで使用を重ねることによって、現



遠隔センサーが取得したデータを検証、校正するには、地中の水分計が有用と思われる

場に限定した誤差調整と関係の理解に繋がるのではないだろうか。言い換えれば、取得したデータが実際のVWCと一致するか否かにかかわらず、同地点で過去に得た画像と比較することによって、意味を持ち始めるのではないか。もし結果が同じであれば、スーパージンデントは状況を把握し、経験と検証に基づいた対策の基準値を見出すであろう。このようなプロセスは、携帯用TDRメーターが好んで使われる状況と似ている。得られた情報を地上検証にかけて初めて、実際に問題が起きているかどうかを見極められるとしても、少なからずトラブル追求の効率は向上すると思われる。

他のあらゆる新技術と同様、担当コースで遠隔センサー技術を導入する際には、自ラリサーチを徹底しなければならぬ

## 結び

ゴルフコース管理を助けるテクノロジは目覚ましく進歩しており、毎年何かしら新しいツールやサービスが出現し、スーパージンデントをアシストしている。他のあらゆる新技術と同様、担当コースで遠隔センサー技術を導入する際には、自ラリサーチを徹底しなければならぬ。取得したデータを検証し、メーカー側に建設的なフィードバックを返すことによって、製品の更なる改良が進められていく。我々が当たり前に使っている携帯電話が今の形になるまでに、どれだけの年月をかけて進化してきたかを考えてみるとよいだろう。遠隔センサー分析のプラットフォームが更に洗練を重ね、今後ゴルフコース業界にも信頼できる優れた情報を、より広範に提供してくれることを願う。

Reprinted with permission of  
USGA Green Section Record

特注ヤード標示板

回ゴ入りヤード標示板

ティーマーク&灰皿

置き型ヤード標示板 (3サイズ)

創業 昭和41年 ゴルフ場サインメーカー

一資料請求先一

**ヤマグチ工芸** 〒241-0823 神奈川県横浜市旭区善部町90-5  
<http://www.yamaguchi-kg.com>

**TEL 045-391-3667**  
**FAX 045-391-3677**