

3.8 水位，水温，灌漑・排水量

Water level, Water temperature, Irrigation and drainage

概要

湛水している場所，あるいは地下水面が高い場所では，水位・水温の変化が地表面特性に大きな影響を及ぼす。底の定まった系では，水位の増加とともに系の熱容量が大きくなる。高層湿原では，水位の増減とともに地表面の空気力学特性および蒸発効率が見かけ上変化する。水体の貯熱量を算出するためには，水位と水温の両方を測定する必要がある。また，水位・水温の急激な変化からは，水の水平方向の移動に関する情報を得ることができる。灌漑農地では，灌漑・排水量の把握が水収支を評価する上で不可欠である。系によっては，灌漑・排水にともなう溶存・非溶存態の炭素および窒素の流入出が各々の収支において無視できない場合もある。

水位は，基準面に対する水面の高さである。水面に対して垂直に設置した定規等の目盛りを，目視あるいはコマ落としカメラ等で観測する方法は，最も基本的で信頼性が高く，センサを用いた測定の校正にも用いられる。水位センサには，測定原理の異なるものが各種揃っており，水位変動の大きさに応じて使い分ける。これらは，蒸発量を測定するためのライシメータやパン，後述の流量を測定するための量水堰にも用いられる。

大気と同様に水体にも温度成層が生じるため，水温の測定は気温（地温）と同様に測定する高さ（深さ）に注意する必要がある。水位の変化が早く大きい場所では，水位とともにセンサの感部が上下に移動するような仕組みが求められる。

灌漑農地について，広域では用水計画からおおよその灌漑水量を知ることができるが，フラックス観測に対応する圃場レベルでの灌漑・排水量は，量水堰を用いた実測が基本となる。日本国内の圃場整備が行われた農地では，耕区単位で開水路あるいは管水路から直接灌漑がなされるため，灌漑量は比較的精度よく測定できる。一方，排水は形態が多様で1枚の圃場で複数の排水経路を持つ場合も多いが，本節では水田の表面排水を主に扱う。暗渠の有無と種類，土壌の浸透性，地下水面の高さ等を事前に把握できれば，効果的な測定が可能となる。

3.8.1 水位

測器の種類

水面上の基準点から水面までの距離を測定する方法と，水面下の基準点から水面までの距離を測定する方法がある。

フロート式水位計

浮子（フロート）の動きから水位を読み取る。フロートの上下動がプーリーのシャフトの回転に変

換できるため，簡便な装置で連続測定が可能である。ただし，可動部が多く，精度を維持するためには頻繁なメンテナンスが必要である。

超音波式水位計

超音波パルスを水面に向けて発射し，その反射時間から水面までの距離を測定する。可動部がないため測器自体はメンテナンスを要さないが，超音波のパス内に障害物が侵入していないかを定期的を確認する必要がある。音波を利用するため，音速の温度依存性を補正する必要があるが，通常は補正回路が内蔵されている。ただし，井戸等，水体とセンサの温度が大きく異なる場合には補正の精度が低下する恐れがある。

光波（レーザ）式水位計

上述の超音波の代わりに水面に向けてレーザを照射し，反射光が到達するまでの時間を水面までの距離に換算する。ミリ単位の測定には，レーザ変位計を用いる。対象とする水が懸濁していない場合は，レーザの透過を防ぐため平らな浮子を用いることがある。

静電容量式水位計

電極間の静電容量が流体の量に比例することを利用し水位を測定する。市販されているのは電極の長さが 0.5～2m 程度のものである。1 台で対応できる測定レンジが他のセンサに比べ狭いため，水位の変化幅を予め調査し，最適な長さのものを選定する。

圧力式水位計

ダイアフラムの変位から水压を求め水位に換算する。大気圧を同時に測定する必要があるが，負圧側を大気に開放し大気圧の補正を要しないタイプもある。ダイアフラムの性質上，耐圧性が高いものは分解能がよくない。

測定方法

水流が生じて動くことがないように，センサは基礎の強固な支柱に確実に固定する。温度依存性の大きいセンサ用いる場合は，センサに日射が当たらないように日よけを工夫する。超音波式およびレーザ式では，センサと水面の間に葉などの障害物が侵入しないように，塩ビパイプや筒状の網で測定パスを確保する。ただし，それ自身が測定パスを遮らないように，とくに音波の場合は検出領域を取扱説明書等で事前に確認しておく必要がある。大気圧補正が必要な圧力式水位計は，大気圧を同時に測定する。圧力式水位計で深さが足りない場合は，水底を掘り下げ塩ビパイプを挿入し，見かけ上水深を大きくする。

実際の水位および基準点からセンサのゼロ点までの距離を定期的に測定し，センサの出力値と比較し問題がないことを確かめる。水田のような比較的狭い水面では，強風時に水が風下側に吹き寄せられることがある。そのため，サイト訪問時，圃場内に設けた複数の観測定点で水位を記録しておくこと後の解析に有用である。

校正

超音波式とレーザ式の水位計は、適当な平板を準備し、その平板までの距離を変えて測定することで、室内での校正が可能である。また、静電容量式と圧力式の水位計のうちレンジの小さいものも、水槽あるいはバケツを用いて室内で校正できる。温度補正回路を持つものは、その確認のため、サイトに設置後も定期的に水位を実測し、センサの出力と比較する。

3.8.2 水温

測器の種類

水温測定には、気温あるいは地温と同様に、熱電対、サーミスタ、白金抵抗測温体が一般に用いられる。各々の特徴については、3.3「気温」、3.5.1「地温」を参照されたい。

測定方法

水面からの深さを一定になるように測定する場合は、センサを浮子につり下げる（Photo 3.8-1）。水底からの高さが一定になるように測定する場合は、センサに重りを付けて沈め、浮子で水中に浮揚させる。いずれも、浮子およびセンサが風や水流で流されないように、筒状の網で浮子とセンサの全体を覆うとよい。ただし、測温部がその網に触れないように注意する。



Photo 3.8-1 浮子を用いた田面水温の測定例。（真瀬水田フラックスサイト）

💡 Tips!

水田では、植物が生長する前は水底が熱源となるため水温が比較的均一であるが、植物が十分に繁茂した状態では水面が熱源となるため温度成層が発達しやすい。水温を複数の深度で測定しておくと、水体の貯熱変化量の解析に有用である。

Tips 3.8-1

校正

気温測定用のセンサと同様に恒温槽を用いて行う（3.3「気温」参照）。

3.8.3 灌漑・排水量

測器の種類

基本的に流量の測定となる。流量が $1 \sim 2 \text{ Lmin}^{-1}$ 程度で適当な落差がある場合は、バケツ、ビーカー、ストップウォッチを用いて直接測定できる。しかし、長期に渡り連続的に測定するためには、下記の測器を用いる。

堰式流量計

堤頂部が矩形または三角形に切り取られた堰（量水堰）で流水を貯め、その切欠き部分から溢れる水量と堰の水位から流量を算出する（Photo 3.8-2）。水位センサには堰の深さに対応したものをを用いる。水位と流量の関係は、切欠きの形状によって決まる。切欠きが直角三角形の三角堰、矩形の四角堰について流量公式が JIS で定められている（JISK0094: <http://www.jisc.go.jp/> から閲覧可）。灌漑・排水量の測定に適用する際は、通常、切欠きを設けた水槽を用いる。例えば、管水路からの直接灌漑の場合、給水栓から出た水を一旦この水槽に貯め、その水位を測定する。

パーシャルフリュウム式流量計

開水路の流量測定には、パーシャルフリュウムも用いられる。パーシャルフリュウムは、鼓のような形をした金型で、狭窄部で水位が上昇することを利用して流量の測定を行う（Photo 3.8-3）。土砂が堆積しにくい構造のため、メンテナンスは堰・水槽型ほど頻繁に行う必要がない。

水道メータ

管水路で最大流量が水道程度であれば、プロペラ式の水道メータが利用できる。家庭用で主に用いられる接線流式は構造が単純で故障が少なく安価（数千円／個）である。ただし、農業用水は、メータの故障の原因となる藻などのごみが十分に除かれていない場合が多く適していない。一方電磁式の水道メータは高価ではあるが、可動部がなくプロペラ式に比べて適用範囲は広い。いずれも通常は上水道での使用が前提となっているため、保証の条件に注意する必要がある。



Photo 3.8-2 水槽型量水堰（三角堰）を用いた排水量の測定例。（真瀬水田フラックスサイト）



Photo 3.8-3 開水路の流量測定に用いられるパーシャルフリュームの設置例。（写真：㈱セネコム提供）

測定方法

まず、圃場の灌漑・排水の様式、および取水・排水口の位置と落差を把握する。取水・排水口から水面までの落差が大きい場合は、その間に水槽型の量水堰を設置する。管水路で十分な水圧が与えられている場合は、水槽を蛇口付近に設置し、ホースで水槽に水を導入する。パーシャルフリュームは、開水路に直接挿入する。水路の幅がパーシャルフリュームの入り口の幅より広い場合は、盛り土等で上流からパーシャルフリュームの入り口に向けて徐々に狭くする必要がある。このため、一般に三面張りの水路には適していない。いずれも、水位から流量を正しく算出するためには、設計どおりに（通常は水平）設置しなければならない。また、堰が水流で移動しないように、大雨時の流量および貯水時の重さを十分考慮して足場パイプ等で確実に固定しておく。水道メータは必要に応じて異径パイプ等を用いながら給水栓に直接設置する。堰およびパーシャルフリュームの水位は、静電容量式あるいは圧力式の水位計を用いて 10～30 分間隔で測定する。補助データとして、サイト訪問時に灌漑・排水の状態を記録しておく。

校正

特殊な量水堰を用いる場合は、予め水位と流量の関係を実測し水位流量曲線を作成しておく。流量は、一定時間内に堰から流出する水をバケツに貯め、その量を秤あるいはメスシリンダで測定する。水位センサを用いる場合は、前述の水位センサの校正も実施しておく。サイトに設置した状態で水位と流量をチェックしておくことも有用である。