

平成22年 6月10日現在

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19580302  
 研究課題名（和文） 土壌の乾燥程度、蒸発量、水濡れを1つの安価な測器で計測する手法の開発  
 研究課題名（英文） Development of method for measuring soil moisture, evaporation and wetness with cheap material  
 研究代表者  
 黒瀬 義孝（KUROSE YOSHITAKA）  
 （独）農研機構・近中四農研暖地温暖化研究近中四サブチーム・サブチーム長  
 研究者番号：80355651

研究成果の概要（和文）：ポーラスカップの空気侵入特性を利用し、土壌の乾燥程度、蒸発量を測定する手法を確立し、この手法を用いた測器を開発した。測器はポーラスカップと透明の塩ビ管を接着した構造で、塩ビ管内に水を満たし、シリコン栓をして測定する。塩ビ管内の水位が指標となり、測器を土壌に設置すれば土壌の乾燥程度、空中に吊せば蒸発量が測定できる。この測器の最大の特徴は、土壌の乾燥程度や蒸発量に応じた水位の低下が日々積算される点である。

研究成果の概要（英文）：Using the air infiltration characteristics of a porous cup we developed a device with cheap material that measures the soil moisture and evaporation. This device consists of a porous cup, a transparent polyvinyl-chloride pipe and a silicon stopper. If this device is installed in the soil, soil moisture can be measured, and the evaporation can be measured if it hangs it in the air. For this device, the water level in the pipe is the index of the soil moisture and evaporation. The most important feature of this device is that the water level in the pipe depends on the degree of soil moisture or evaporation is quantified on a daily basis.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業環境工学

キーワード：土壌水分、蒸発量、水収支、測器、ポーラスカップ

## 1. 研究開始当初の背景

土壌の乾燥程度、蒸発量、水濡れは作物への灌水や薬剤防除の必要性を判断する上で、気温や降水量などの一般的な気象要素以上に重要な情報である。しかし、これらの測定

にはそれぞれ専用のセンサーが必要であり、測定装置はいずれも高価である。そのため、土壌水分や水濡れを基に灌水や防除の指標が作成されても、農家には使えない指標であった。このため、土壌の乾燥程度、蒸発量、

水濡れを簡単に測定できる安価な測器の開発が望まれていた。

## 2. 研究の目的

ポーラスカップ（土壌水分計などで使われる石膏ブロック）が水や空気を通す特性を利用して、土壌の乾燥程度、蒸発量、水濡れの3要素を測定する手法を確立し、この手法を用いた安価な測器を開発する。この測器を土壌に設置すれば土壌の乾燥程度（簡易土壌水分計）、空中に吊せば蒸発量（ポーラスカップ蒸発計）、雨に当てれば水濡れの測定を可能にする。開発する測器はポーラスカップ、透明の塩ビ管、シリコン栓のみで構成し、塩ビ管内の水面の位置を読み取ることで、これらの要素を簡便に計測できるようにする。また、指示値が毎日積算されることを示し、瞬時値しか測定できない一般的な測器より利用場面を広げる。

## 3. 研究の方法

### (1) 測器の構造

図1に測器の構造を示す。測器はポーラスカップ、透明の塩ビ管、シリコン栓から構成され、ポーラスカップと塩ビ管を接着した構造である。ポーラスカップは直径18mm、有効長5cmのニッカトー製を使用した。この他に、藤原製作所の低pF用のポーラスカップ（特注）を使用した。塩ビ管は呼称13と呼ばれる内径13mmの透明塩ビ管を使用し、塩ビ管の長さは1mを基準とした。塩ビ管には上端をゼロとした目盛りを1cm間隔で付け、塩ビ管内の水位（指示値）の読み取りにはこの目盛りを使った。

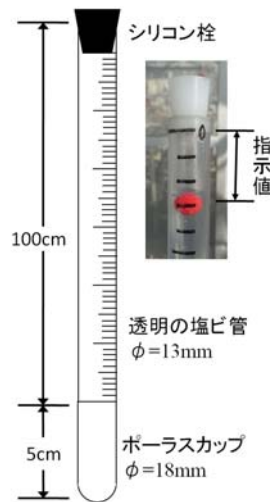


図1. 測器の構造

### (2) 簡易土壌水分計に関する試験

簡易土壌水分計の使用方法は、測器を土壌に挿した後、塩ビ管内に脱気水を満たし、シリコン栓をする。土壌の乾燥程度は塩ビ管内の水位から判定する。

簡易土壌水分計の基本的な特性を明らかにするため、代表的な土壌水分計であるテンシオメータおよびTDR土壌水分計と比較した。簡易土壌水分計、テンシオメータ、TDR土壌水分計を同じポットに設置し、それぞれの指示値を比較した。

簡易土壌水分計の指示値の読み取り方法として2通りの方法を試した。1つは指示値を読み取った後に水を塩ビ管上端まで毎回

補充する方法、他方は塩ビ管内の水が無くなるまで水を補充しない方法である。

土壌の違いが簡易土壌水分計の測定に及ぼす影響を明らかにするため、ポットに灰色低地土、黒ボク土、砂を充填し、測定を行った。ポット試験は植生の影響が無いように裸地状態で行った。

植生の有無が簡易土壌水分計の測定に及ぼす影響を明らかにするため、ポット試験を行った。ポットに雑草（イネ科）が生えそろうた時点で簡易土壌水分計を設置し、測定を開始した。土壌が乾燥して簡易土壌水分計の指示値が60cm以上になった日に、ポットの雑草を引き抜いた。除草したポットと除草しなかったポットにおける簡易土壌水分計の指示値を比較することにより、簡易土壌水分計の測定に及ぼす植生の影響を調査した。さらに、実際の栽培条件に近い状況で植生の影響を調査した。夏作として黒大豆、冬作として小麦を雨除けハウスで地床栽培し、そこに簡易土壌水分計を設置して測定を行った。

### (3) ポーラスカップ蒸発計に関する試験

ポーラスカップ蒸発計の使用方法は、塩ビ管内に水を満たしてシリコン栓をし、測器を空中に吊すことにより測定する。蒸発量は、ポーラスカップから蒸発した水量をポーラスカップの表面積で割ることにより求める。ここで、ポーラスカップから蒸発した水量は塩ビ管内の水位から求める。1目盛り（1cm）は0.44mmの蒸発量に相当し、指示値は0.5cm単位で読み取った。ポーラスカップ蒸発計では、塩ビ管に水を満たしてからの積算蒸発量が測定される。そのため、1日当たりの蒸発量は前日の水位との差から求めた。

ポーラスカップ蒸発計を用いた蒸発量の測定において、測定値に影響を及ぼす要因として、①ポーラスカップの透水性、②ポーラスカップの表面積、③塩ビ管の長さ、④水の補充方法が考えられた。そこで、これらの影響を明らかにするため、以下に示す試験を行った。①透水性に関しては、透水性の異なるポーラスカップで蒸発計を作成し、蒸発量の測定を行うことで評価した。2005年から2007年に製造された5つのロットを対象に、各ロットにつき5本ずつポーラスカップ蒸発計を作成し、透水性と蒸発量を測定した。②ポーラスカップの表面積に関しては、ポーラスカップに幅1cm、2cm、3cm、4cmのビニールテープで被覆することによりポーラスカップの表面積を変え、蒸発量の測定を行うことで評価した。③塩ビ管の長さに関しては、0.3m、1.0m、2.0mの塩ビ管でポーラスカップ蒸発計を作成し、長さの異なる測器を並べて蒸発量の測定を行うことで評価した。④水の補充方法に関しては、塩ビ管内の水が無くなるまで水を補充しない方法と、塩ビ管内の水位を読み取った後に毎回水をいっぱいまで

補充する方法とで測定を行い、蒸発量を比較した。

ポーラスカップ蒸発計を近畿中国四国農業研究センターの気象観測露場に設置し、小型蒸発パンの測定値と比較した。ポーラスカップ蒸発計の測定値に意味を持たせるため、小型蒸発パンで測定した蒸発量への換算を試みた。換算式の作成には2007年に行った気象観測露場およびガラス温室のデータを用いた。作成した換算式の妥当性を検証するため、2008年にポーラスカップ蒸発計と小型蒸発パンをガラス温室、プレハブ小屋、気象観測露場に設置し、測定を行った。

#### (4) 水濡れに関する試験

測器の使用方法はポーラスカップ蒸発計と同じで、空中に吊して測定する。ただし、ポーラスカップに雨が当たるように設置する。ポーラスカップに雨が当たると塩ビ管内の負圧によって水が吸い込まれ、塩ビ管内の水位は上端に向かって上昇する。この現象を利用して水濡れ時間を測定できるかを検討した。ポーラスカップには空気侵入値や透水性の異なるタイプがあり、これらのポーラスカップを使って試験を行った。近畿中国四国農業研究センターの気象観測露場に雨が当たるようにポーラスカップ蒸発計を設置し、測定を行った。指示値と雨量、水濡れ時間との関係を解析した。

### 4. 研究成果

#### (1) 成果のインパクト

本課題の最大の成果は、開発した手法を使った測器が製品化され、農業現場で普及した点にある。簡易土壌水分計については、藤原製作所と特許実施許諾を締結し、土壌水分目視計として販売が始まった。また、簡易土壌水分計（土壌水分目視計）は新聞に取り上げられたり、講習会が開催されたりしたことで、大豆農家を中心に灌水のタイミングを判定する測器として使用され始めた。これにより、本課題の成果が国民に還元されたと考える。簡易土壌水分計が農家に普及した要因の1つは価格にある。簡易土壌水分計の材料を定価で揃えても2千円程度であり、かつ、ポーラスカップと塩ビ管を接着すれば測器を作

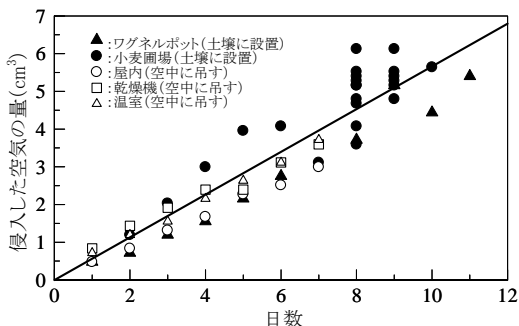


図2. ポーラスカップの空気侵入特性

成できるという手軽さにある。もう1つは、簡易土壌水分計の指示値が土壌の乾燥程度に応じた値を日々積算している点である。瞬時値しか測定できない従来の土壌水分計には無い特性であり、灌水指標として優れていた。

ポーラスカップの空気侵入特性を利用して土壌の乾燥程度や蒸発量を測定する手法が学会誌に掲載され、学問上でも大きなインパクトがあったと考える。

#### (2) 測器の基本特性

ポーラスカップ（ニッカトー製）の空気侵入特性を明らかにした。図2にポーラスカップから侵入した空気量（1気圧の状態）と、簡易土壌水分計を土壌または空中に設置した日数との関係を示す。測器内に侵入した空気量は日数（時間）に比例していた。この関係は、簡易土壌水分計を土壌に設置した場合でも空中に吊した場合でも同じであった。ポーラスカップが空気侵入値以上の吸引圧を受けると、ポーラスカップを通して測器内部に空気が入る。吸引圧が大きくても単位時間にポーラスカップを通過できる空気量は決まっており、1気圧換算の空気量で0.566cm<sup>3</sup>/dayであった。これは塩ビ管（φ13mm）0.43cm分の空気層に相当する。空気の侵入量はポーラスカップの製造ロットや透水性には左右されなかった。

ポーラスカップの空気侵入特性を利用し、土壌の乾燥程度、蒸発量、水収支を測定する手法を示し、この手法を用いた測器を開発した。開発した測器はポーラスカップと透明の塩ビ管を接着した構造で、塩ビ管内に水を満たした後にシリコン栓をして測定する（図1）。塩ビ管内の水位が指示値となり（図1）、本測器を土壌に挿せば土壌の乾燥程度、空中に吊せば蒸発量が測定でき、雨に当てれば水収支の指標となった。

#### (3) 簡易土壌水分計

簡易土壌水分計の測定メカニズムを以下に示す。土壌がポーラスカップの空気侵入値以上に乾燥すると、ポーラスカップから塩ビ管内に空気が入る。この空気が土壌の吸引圧に釣り合うまで引き伸ばされ、塩ビ管内の水

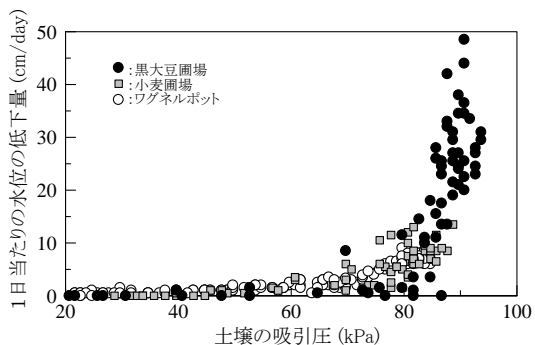


図3. 簡易土壌水分計の指示値と吸引圧との関係

位が低下する。単位時間当たりの空気の侵入量はほぼ一定のため、塩ビ管内の水位は土壤の乾燥程度に応じて日々低下する。これにより、本測器は塩ビ管内の水位を指標として、日々の土壤の乾燥程度を積算値として測定することができる。

図3に裸地状態のポット（灰色低地土、黒ボク土）、小麦圃場、黒大豆圃場に設置した簡易土壤水分計の1日当たりの水位の低下量と土壤の吸引圧との関係を示す。土壤の吸引圧に対して水位の低下量は指数関数的に変化した。この関係は、1気圧の空気が吸引圧によって引き伸ばされる長さと同じであった。土壤や作物が違っても土壤の吸引圧に応じた指示値が得られた。ただし、砂に関しては簡易土壤水分計の指示値はゼロ付近から動かなかった。簡易土壤水分計が作動するには、土壤中の水とポーラスカップ内部の水が水理的に連続している必要があり、砂に関してはその連続性が保たれなかったと考えられる。

図4に除草の有無と塩ビ管内の水位（指示値）との関係を示す。除草しなかったポットの水位は直線的に低下しているが、除草したポットの水位は低下が小さくなっている。また、図3の黒大豆の測定例では、1日で塩ビ管内の水位が40cm以上低下する場合があった。このような水位の低下から、植物がポーラスカップ内の水を利用している可能性が推察され、本測器の指示値が植物の水ストレスの指標となる可能性が示された。黒大豆の事例では、塩ビ管内の水位の低下量に比例して収量が低下した。

藤原製作所の低pF用ポーラスカップ（pF2.0、2.3、2.5）を使用した結果、それぞれのpF値に応じた土壤の吸引圧から塩ビ管内の水位が低下し始めた。低pF用ポーラスカップの使用により、野菜などの灌水指標としても利用できる可能性が示された。

#### (4) ポーラスカップ蒸発計

ポーラスカップ（ニッカトー製）の透水性はロットによって異なったが、蒸発量の測定には影響しなかった。

表面積を小さくしたポーラスカップほど

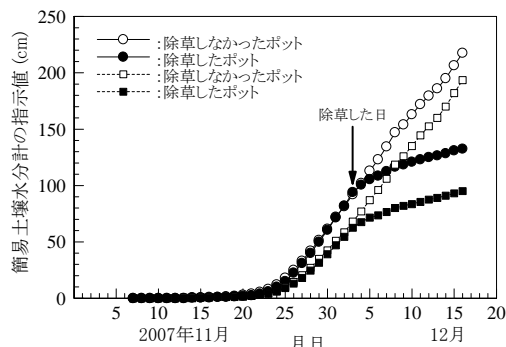


図4. 簡易土壤水分計の測定における植生の影響

蒸発量を過大評価した。この結果は、表面積が異なるポーラスカップで蒸発計を作成した場合、同じ気象条件下で測定を行っても蒸発量に違いが現れることを意味している。

塩ビ管の長さおよび水の補充方法を変えて蒸発量を測定した結果、塩ビ管の長さは蒸発量の測定に影響しなかった。また、水を毎日補充した場合では、水を補充しない場合と比べて蒸発量を約4%過小評価した。この原因は、水を補充した後では水が滴るほどポーラスカップが濡れており、この濡れを蒸発させるエネルギー分ほど蒸発量が少なくなったと考えた。

近畿中国四国農業研究センターの気象観測露場に設置したポーラスカップ蒸発計と小型蒸発パンで測定した蒸発量の測定結果を図5に示す。小型蒸発パンおよびポーラスカップ蒸発計ともに夏季に蒸発量が大きく、冬季に小さくなる季節変化を示した。小型蒸発パンを基準にした蒸発量の比（ポーラスカップ蒸発計/小型蒸発パン）の季節変化から、ポーラスカップ蒸発計は冬季に蒸発量を過大評価する傾向があり、蒸発量の比に明瞭な季節変化が認められた。

蒸発量の比（ポーラスカップ蒸発計/小型蒸発パン）と種々の気象要素との関係を調べた結果、気温との間に関係が認められた。この関係を基に、ポーラスカップ蒸発計の蒸発量を小型蒸発パンの蒸発量に換算する式を算出した。

$$E_{pan} = E_{cup} / (a + b \cdot T_a) \quad T_a < 28.4^\circ\text{C} \quad \cdots (1)$$

$$E_{pan} = E_{cup} / c \quad T_a > 28.4^\circ\text{C} \quad \cdots (2)$$

ここで、 $T_a$  は日平均気温 ( $^\circ\text{C}$ )、 $E_{pan}$  は小型蒸発パンの蒸発量 (mm/day)、 $E_{cup}$  はポーラスカップ蒸発量 (mm/day)、 $a$ 、 $b$ 、 $c$  は係数であり、 $a$  は 2.00、 $b$  は -0.0388、 $c$  は 0.9 となった。

次に、(1)、(2)式の妥当性をチェックした。換算式(1)、(2)に気温を用いていることから、妥当性のチェックでは幅広い温度条件下で検証を行う必要があった。2008年に測定を行

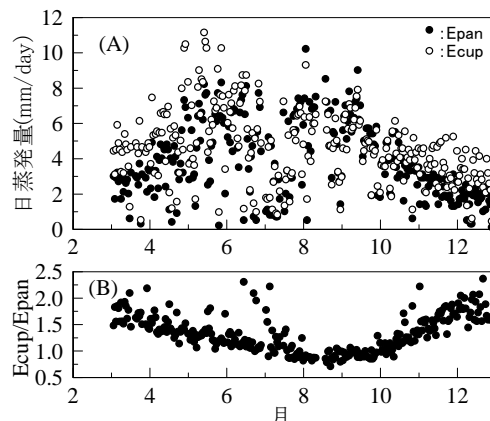


図5. 蒸発量の季節変化

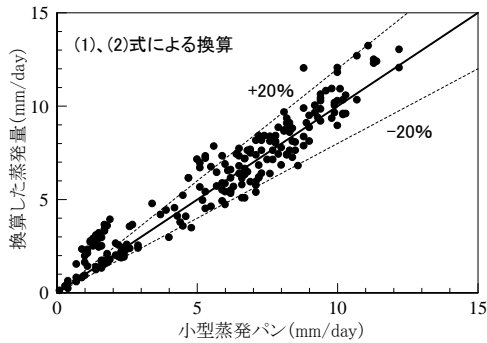


図6. 小型蒸発パンの蒸発量と換算した蒸発量

ったガラス温室では、最高気温が塩ビ管の耐熱温度に近い 57.5℃を記録した。逆に、2008年 1~2 月に行った気象観測露場での測定では、小型蒸発パンの水が 27 回凍結し、ポラスカップ蒸発計内の水も 6 回凍結した。このことから、検証に用いたデータはポラスカップ蒸発計の使用限界温度の上限と下限を含んでいると考えた。図 6 は気象観測露場、プレハブ小屋、ガラス温室で測定した小型蒸発パンとポラスカップ蒸発計の蒸発量である。ポラスカップ蒸発計の蒸発量は(1)、(2)式を用いて換算してある。換算した蒸発量が 1 対 1 の線を中心に、ほぼ±20%の範囲に収まった。

ニッカー製のポラスカップで蒸発量を測定すると、測器内部は真空に近い状態となった。そのため、ポラスカップに雨が当たると塩ビ管内の負圧によって水が吸い込まれ、蒸発量が算出できなくなった。ポラスカップ蒸発計に低 pF 用ポラスカップを使用すると、測器内部は 1 気圧程度に保たれ、水に浸けても水位はほとんど変化しなかった。これにより、雨に濡れても蒸発量のみが測定される蒸発計が作成できることが示された。

#### (5) 水収支

蒸発によって塩ビ管内の水位が十分に低下した後、測器を水に浸けると、塩ビ管内の負圧によって水が吸い込まれ、水位が上昇した。水位の上昇速度はポラスカップの透水性に比例した。このことは、濡れに対して反

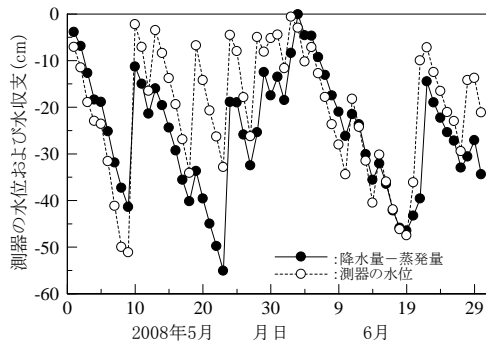


図7. 測器の水位および水収支の経日変化

応が異なる測器が作成できる反面、比較観測を行うときには透水性が同じポラスカップで測定を行う必要があることを示している。

濡れに伴う塩ビ管内の水位の上昇は、ポラスカップの透水性、降雨強度、降雨継続時間に左右された。ただし、塩ビ管内の水位が上昇して、塩ビ管内がほぼ 1 気圧の状態になると水位の上昇は止まり、これ以降の水濡れは測定できなくなった。

図 7 に雨量計と小型蒸発パンから算出した水収支(降水量-蒸発量)とポラスカップ蒸発計の水位の変化を示す。蒸発による水位の低下と、降雨の吸水による水位の上昇から、おおよその水収支を測定できる可能性が示された。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

- ①黒瀬義孝、ポラスカップの空気侵入特性を利用した簡易な土壌水分計の開発、農業気象、査読有、66-3、2010、印刷中
- ②黒瀬義孝、農作物の安定生産を目指して-灌水の必要性が一目で分かる簡易土壌水分計-、アグリート、査読有、23、2009、20
- ③黒瀬義孝、ポラスカップを利用した蒸発計の開発、中国・四国の農業気象、査読有、21、2008、2-7

[学会発表] (計 8 件)

- ①黒瀬義孝、ポラスカップの空気侵入特性を利用した土壌水分計および蒸発計の開発、日本農業気象学会、2010年3月19日、名城大学
- ②黒瀬義孝、Development of soil moisture meter using air infiltration characteristic of porous-cup、農業気象国際シンポジウム、2008年3月21日、海峽メッセ下関
- ③黒瀬義孝、ポラスカップを利用した蒸発計の試作と蒸発パンとの比較、日本農業気象学会、2008年3月21日、海峽メッセ下関

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

黒瀬 義孝 (KUROSE YOSHITAKA)

(独) 農業・食品産業技術総合研究機構・近畿中国四国農業研究センター暖地温暖化研究近中四サブチーム・サブチーム長  
研究者番号：80355651