

研究種目：基盤研究 (B)  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18380151  
 研究課題名 (和文) 根域温度が作物群落の吸水・蒸散に及ぼす影響とアクアポリンの役割に関する研究  
 研究課題名 (英文) The effect of root temperature on water uptake and transpiration of rice crop and the role of aquaporins  
 研究代表者  
 桑形 恒男 (KUWAGATA TSUNEO)  
 独立行政法人農業環境技術研究所・大気環境研究領域・主任研究員  
 研究者番号：90195602

研究成果の概要：イネの吸水・蒸散に及ぼす根域温度の影響について調べ、それを合理的に説明するモデルを構築した。イネの通水機能と蒸散量は根域温度に依存して変化し、臨界温度 (13.5～15℃) 以下になると急激に低下する。これらのプロセスは、新たに構築した個体～群落レベルの吸水・蒸散モデルで定量的に再現することができる。根域温度の低下にともなった根の通水機能の変化には、アクアポリンによる細胞レベルでの水透過活性の変化が関与していることがわかった。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	7,500,000	0	7,500,000
2007 年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
2008 年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
年度			
年度			
総計	14,900,000	2,220,000	17,120,000

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：アクアポリン、イネ、植物水分生理、蒸散、根域温度、農林水産物、農業生産環境、膜蛋白質

## 1. 研究開始当初の背景

近年、局地的な異常高温・異常低温、干ばつ等が多発し、地球温暖化にともなう気象変動が今後ますます激しくなることが懸念されている。世界的な食糧危機を回避するために、変動する気象条件の下でも食糧を安定的に生産する方策が模索されている。作物の生育・収量は気温や土壌水分量などに加えて、地温の影響も強く受けている。気温や土壌水分量の変動が、温度ストレスや水ストレスなどを通して作物の生育・収量に及ぼす影響に

ついては、これまで数多くの知見が蓄積され、それらの影響を評価するための手法も開発されてきた。しかし、地温が作物の水バランス(吸水・蒸散)や生育に及ぼす影響の重要性については、これまで十分認識されていたとはいえず、これらを定量的に把握する手法も確立されていない。

植物は根を通して吸水し、その水を葉から蒸散させることによって、体内の水分バランスを保っている。吸水の原動力は土壌と植物体の水ポテンシャル差であり、吸水の抵抗と

なるのは土壌および植物体内での通水抵抗である。通水抵抗は根域温度によって著しく変化し、吸水量が減少すると気孔閉鎖・光合成低下をもたらす、植物の物質生産にも悪影響を及ぼす。この事実は古くから知られていたものの、その作用機序は長らく不明であった。近年、植物体内の通水抵抗は単に根の分布形態および量だけでなく、根の細胞の膜にある特殊な水透過孔（アクアポリン）の働きによってダイナミックに制御されていることが明らかになりつつある。これまでに分子生物・植物生理学の研究から、1個の細胞の水透過率はアクアポリンの開閉およびその数によって10~100倍も変動することが明らかになっている。しかし、アクアポリンと温度との関係については世界でも研究が始まったばかりであり、これが植物の吸水・蒸散バランスにどのような影響を及ぼすかについての定量的な議論はなされておらず、植物水分生理、生態学的な立場から解決すべき重要な研究課題となっている。

## 2. 研究の目的

本研究では、根域の温度環境が植物の吸水・蒸散プロセスに及ぼす影響を実験的に明らかにする。この実験結果に基づいて、根域温度に対する根の吸水機能の応答を考慮した、個体~群落レベルでの作物（イネ）の吸水・蒸散モデルを構築する。さらに、根域温度に依存した根の吸水機能の変化に対するアクアポリンの寄与を評価し、その役割について解明する。

## 3. 研究の方法

### (1) 吸水・蒸散に及ぼす根域温度の影響

人工気象室で生育した水耕栽培イネを用いて、吸水・蒸散に及ぼす根域温度と気象条件の相互影響について調べる。実験材料には栄養成長期の「あきたこまち」を使用する。本実験においては、根域温度を変化させたときの蒸散量や植物全体の通水コンダクタンス（通水抵抗の逆数）、植物体の水ポテンシャルなどの変化を、湿度環境を変化させて測定する。

### (2) 根の通水機能の根域温度依存性

温度制御が可能なプレッシャーチャンバーを作成し、根の通水機能の測定システムを構築する。その測定システムを用いて、地上部を切除したイネの根の通水コンダクティビティ（単位根表面積当りの根の通水能力）の根域温度による変化を測定する。測定結果に基づいて、根の通水機能の根域温度に対する依存性を定量化する。

(3) 根域温度に依存した吸水・蒸散量の変化に対するアクアポリンの役割

根域温度が細胞膜型(PIP)ならび液胞膜型(TIP)のアクアポリンの発現量に及ぼす影響を、遺伝子およびタンパク質レベルの両面から解析する。

またアクアポリンによる水透過の阻害剤である  $\text{HgCl}_2$  を水耕液に添加し、蒸散量の変化を測定することによって、イネの吸水・蒸散におけるアクアポリンの貢献度を評価する。

(4) 根の吸水機能の応答を考慮した吸水・蒸散モデル

(1)と(2)で得られた結果に基づいて、根域温度に対する根の吸水機能の応答を考慮した個体~群落レベルでのイネの吸水・蒸散モデルを構築する。モデルシミュレーションに基づく感度実験によって、根域の温度環境の変化がイネの吸水・蒸散に与える影響について定量的に評価する。

## 4. 研究成果

### (1) 吸水・蒸散に及ぼす根域温度の影響

#### ① 短期的な応答

人工気象室内の環境（気温、根域温度とも  $25^\circ\text{C}/20^\circ\text{C}$  [明期/暗期]、湿度約 80%）で生育したイネを対象に、根域温度の変化に対する蒸散量の短期的な応答を調べた。根域温度を不連続に変化させると、蒸散量は速やかに応答して変化し、2~3時間で定常に達した。定常状態における蒸散量は根域温度の低下と共にゆるやかに減少し、臨界温度（ $13.5\sim 15^\circ\text{C}$ ）以下で急速に低下した。このような蒸散量の変化は、根域温度に依存した植物全体の通水コンダクタンス  $1/l_p$  の変化によって説明できる。すなわち根域温度が低くなると  $1/l_p$  が減少し、植物体の水ポテンシャル（葉の木部圧ポテンシャル） $\phi_x$  が低下する。 $\phi_x$  の低下は、気孔開度の低下を通して蒸散量を減少させる。

湿度の低下は蒸散量の増加をもたらすが、気孔コンダクタンス（気孔開度）は低湿条件ほど小さくなった。通水コンダクタンス  $1/l_p$  は、湿度の低下によってやや減少する傾向が見られた。

#### ② 長期的な応答

長期的な根域温度  $T_r$  の変化がイネの吸水・蒸散に及ぼす影響について調べた。実験では  $T_r=25^\circ\text{C}$  で生育しているイネサンプルの半分の個体の  $T_r$  を  $13\sim 14^\circ\text{C}$  に低下させ、残りのサンプルと比較した。単位葉面積当りの蒸散量は  $T_r$  の低下によって減少し、20日以内の処理期間では顕著な回復は見られなかった。

長期的な根域温度の低下にともなって、地下部への分配と根の形態の変化が確認された。16日間の低温処理を行ったイネの根の通水コンダクティビティ  $L_p$  に回復傾向が見られた事実を考えると（(2)②を参照）、これら

地下部への分配や根の形態の変化が、蒸散量に対して影響を及ぼしていた可能性が示唆される。

## (2) 根の通水機能の根域温度依存性

### ① 短期的な応答

根域温度  $T_R$  の変化に対する根の通水コンダクティビティ  $L_p$  の短期的な応答を調べた。 $T_R$  を不連続に変化させると  $L_p$  も直ちに応答して変化し、 $T_R$  が臨界温度  $T_{RC}$  ( $\sim 15^\circ\text{C}$ ) 以上の場合、10 分以内で新たな定常値に達した。 $T_R < T_{RC}$  の場合は、 $L_p$  が定常に達するまでに 2~3 時間程度かかった。

根の通水コンダクティビティ  $L_p$  の根域温度  $T_R$  に対する依存性は、アレニウスの関係式で表すことができた (図 1)。温度依存性の程度を表す活性化エネルギー  $E_a$  は、 $T_R > T_{RC}$  で  $28 \text{ kJ mol}^{-1}$  となり、 $T_R < T_{RC}$  では  $L_p$  の急減に対応して  $E_a = 204 \text{ kJ mol}^{-1}$  に増大した。

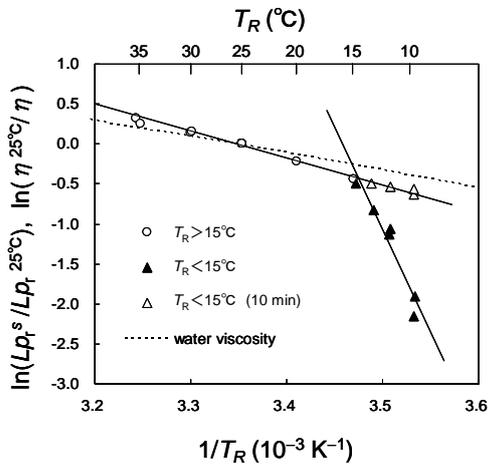


図 1 根の通水コンダクティビティ  $L_p$  の根域温度  $T_R$  に対する依存性 (短期応答)。縦軸の結果は  $T_R = 25^\circ\text{C}$  における値で無次元化され、破線は水の粘性係数の温度依存性を表す。 $\Delta$  は温度を変化させて 10 分後における値を示している (Murai et al., PCP, 49,

### ② 長期的な応答

$T_R = 14^\circ\text{C}$  で 16 日間の低温処理を行ったイネの  $L_p$  を、 $T_R = 25^\circ\text{C}$  で生育したイネの  $L_p$  と比較した結果、両者には有意な差は検出されなかった。これは短期的な応答 (図 1) とは異なる結果であり、前者のイネの  $L_p$  が低温処理の途中で回復した可能性を示唆している。

一方、根系全体の通水コンダクタンス (個体全体の根の吸水能力) は、 $T_R = 14^\circ\text{C}$  で処理されたイネにおいて顕著な低下が見られた。これは  $T_R = 14^\circ\text{C}$  で処理されたイネの根の形態が変化し、単位葉面積当たりの根表面積が減少したためである (1)②を参照)。

(3) 根域温度に依存した吸水・蒸散量の変化に対するアクアポリンの寄与

### ① 吸水・蒸散に対するアクアポリンの貢献度

アクアポリンによる水透過を阻害する  $\text{HgCl}_2$  をイネの根域に添加し、吸水・蒸散に及ぼす影響を解析した。 $\text{HgCl}_2$  を添加後、根域温度  $25^\circ\text{C}$  と  $8^\circ\text{C}$  に対する蒸散量は同一レベルまで急激に低下した (図 2)。これは低い根域温度における根の吸水機能の低下が、アクアポリンの水透過活性の低下によって生じている可能性を示唆している。

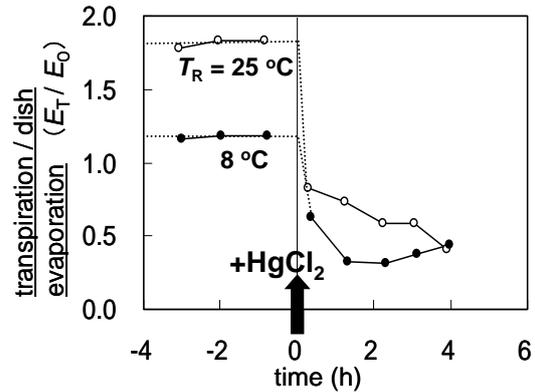


図 2  $\text{HgCl}_2$  をイネの根域部 (水耕液) に添加したときの蒸散量の変化 (人工気象室での測定結果)。縦軸は蒸発皿からの蒸発量  $E_0$  で無次元化したイネの蒸散量  $E_t$  を表す。根域温度  $T_R = 8, 25^\circ\text{C}$  の水耕栽培イネを使用した。

### ② 短期的な応答

本研究の実験結果で示されたように、根の通水コンダクティビティ  $L_p$  は根域温度の低下に対して 2~3 時間以内に応答し、蒸散量に影響を与える。このような短期的な応答に対するアクアポリンの役割を解明するために、イネの吸水に重要な役割を果たしていると思われるアクアポリン分子種に対して、根域温度  $T_R$  を  $25^\circ\text{C}$  から  $10^\circ\text{C}$  に低下させたときのタンパク量の変化を調べた。 $T_R$  の低下から 5 時間経過しても、全分子種のタンパク量には顕著な変化は見られなかった。

アクアポリンの水透過活性は、リン酸化/脱リン酸化や細胞質 pH などに依存して変化することが知られている。根域温度の低下が根の通水性に及ぼす短期的な応答に関しては、このようなアクアポリンの水透過活性の変化が影響している可能性が高い。

### ③ 長期的な応答

次に根域温度の長期的な低下が、根のアクアポリン発現量におよぼす影響について調べた。具体的には、根域温度  $T_R$  を  $25^\circ\text{C}$  から  $13^\circ\text{C}$  に低下させ、6~16 日間経過後に主なアクアポリン 12 種を対象にして mRNA 量の変化を調べた。その結果、細胞膜型アクアポリン  $PIP2;1$  や  $PIP2;4$ ,  $PIP2;5$  などの分子種の mRNA 量に顕著な増加が確認された。これらアクアポリン分子種の mRNA 量の増加は、長期

的な低根域温度の環境における根の通水コンダクティビティの回復 ((2)②を参照) と関係している可能性がある。長期的な根域温度の低下がアクアポリンのタンパク量に及ぼす影響についても、今後解析を実施する予定である。

#### (4) 根の吸水機能の応答を考慮した吸水・蒸散モデル

個体～群落レベルに適用可能な、根域温度に対する根の吸水機能の応答を考慮したイネの吸水・蒸散モデルを構築した。モデルは以下の5つの方程式で記述される。

$$\text{吸水量: } W = E_T = (\phi_G - \phi_X) / r_P$$

$$\text{蒸散量: } E_T = 2\rho(q_{SAT}(T_L) - q) / (r_A + r_S)$$

$$\text{顕熱輸送量: } H = 2c_p\rho(T_L - T) / r_A$$

$$\text{葉面熱収支: } R^l - 2\sigma T_L^4 = H + lE_T$$

$$\text{気孔抵抗: } r_S = f(\phi_X, \dots)$$

ここで  $E_T$  と  $W$  は単位葉面積当りの蒸散量と吸水量 ( $E_T = W$  を仮定)、 $\phi_G$  は根域 (水耕液) の水ポテンシャル ( $= -0.03\text{MPa}$ )、 $\phi_X$  は植物体の水ポテンシャル (葉の木部圧ポテンシャル)、 $1/r_P$  は植物全体の通水コンダクタンス、 $T_L$  は葉温、 $T$  は気温、 $\sigma$  はステファン-ボルツマン定数、 $q_{SAT}(T_L)$  は葉面の飽和比湿、 $q$  は大気比湿、 $\rho$  は大気密度、 $H$  は顕熱、 $R^l$  は入力放射量、 $1/r_S$  はバルク気孔コンダクタンス (バルク気孔抵抗の逆数)、 $1/r_A$  は葉面の空気力学的コンダクタンス、 $c_p$  は空気定圧比熱、 $l$  は水の気化熱である。バルク気孔コンダクタンスは、個体全体の平均的な気孔コンダクタンスに対応している。最後の式における  $r_S$  の関数形については、本研究における人工気象室での実験条件では、 $\phi_X$  のみの関数で表すことができた。

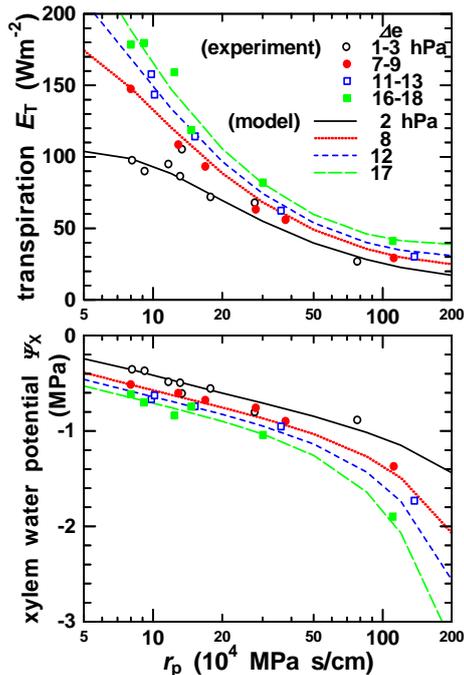


図3 イネの蒸散量  $E_T$  と木部圧ポテンシャル  $\phi_X$  の通水抵抗  $r_P$  と大気飽差  $\Delta e$  に対する依存性 (ライン: モデル、マーク: 人工気象室での実験結果)。

人工気象室での実験条件における、イネの蒸散量  $E_T$  と植物体の水ポテンシャル  $\phi_X$  の通水抵抗  $r_A$  (通水コンダクタンスの逆数) と大気飽差  $\Delta e$  に対する依存性を図3に示した。モデル計算の結果は実験データを良好に再現し、今回構築したモデルが妥当であることを示している。蒸散量と植物体の水ポテンシャルは、通水抵抗の増大と共に減少し、根の通水機能の低下が植物体の水分状態の悪化と蒸散量の減少をもたらすことが確認できる。特に通水抵抗が  $70 \times 10^4 \text{MPa s/cm}$  より大きくなると、植物体の水ポテンシャルは急速に低下する。湿度の低下 ( $\Delta e$  の増大) は蒸散量の増加をもたらすが、植物体の水ポテンシャルとバルク気孔コンダクタンス (図省略) は低下する。

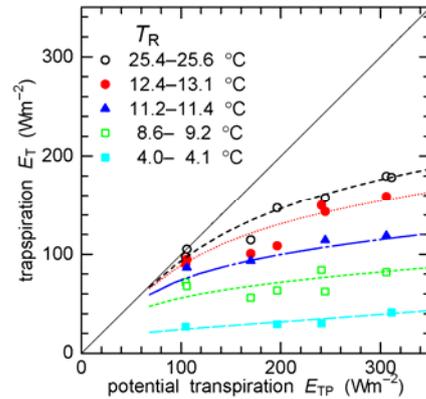


図4 イネの蒸散量  $E_T$  の蒸散要求量  $E_{TP}$  と根域温度  $T_R$  に対する依存性 (ライン: モデル、マーク: 人工気象室での実験結果)。

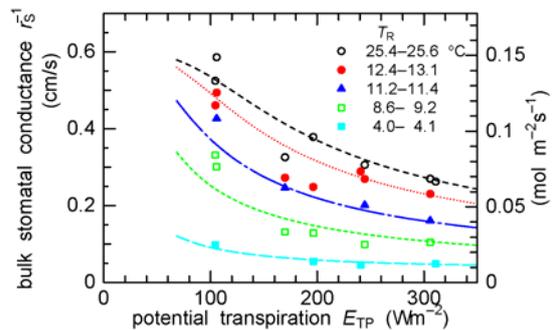


図5 イネのバルク気孔コンダクタンス  $1/r_P$  の蒸散要求量  $E_{TP}$  と根域温度  $T_R$  に対する依存性 (ライン: モデル、マーク: 人工気象室での実験結果)。

図4はモデル計算で得られた蒸散要求量  $E_{TP}$  (気孔が最も開いた時の蒸散量) と実蒸散

量  $E_T$  の関係である。蒸散要求量に対する実蒸散量の比 ( $E_T/E_{Tp}$ ) は、蒸散要求量が大きな場合 (低湿度の条件) ほど小さくなる。また  $E_T/E_{Tp}$  の値は根域温度  $T_R$  に依存して変化し、特に臨界温度 ( $\sim 13^\circ\text{C}$ ) 以下で大きく減少する。次にバルク気孔コンダクタンス  $1/r_p$  の蒸散要求量  $E_{Tp}$  と根域温度  $T_R$  に対する依存性を図 5 に示す。バルク気孔コンダクタンスは蒸散要求量の増大および根域温度の低下によって減少する。すなわち、低地温による気孔開度の低下は、蒸散要求量が大きな低湿度環境ほど発生しやすい。

#### (5) まとめと今後の展望

- ①人工気象室での実験によって、根域温度と気象条件 (湿度) の変化がイネの蒸散量や気孔開度におよぼす影響を、初めて定量的に評価することができた。特に臨界温度 ( $13.5\sim 15^\circ\text{C}$ ) 以下の低地温環境において、根域温度がイネの蒸散量や気孔開度に大きな影響をもたらしていることがわかった。
- ②イネの根の通水機能の根域温度に対する依存性 (短期的な応答) を、定量化することができた。臨界温度以下の低温による通水機能の低下の原因は、アクアポリンの量的な減少ではなく、その機能が抑制されるためであることが明らかになった。アクアポリンの機能調整のメカニズムについては、今後の課題として残された。長期的な根域温度の低下に対しては、アクアポリンの機能と根の形態の変化の両者が、蒸散量に影響を与えている可能性が示唆された。定量的な貢献度の評価については、今後の課題である。
- ③根域温度に対する根の吸水機能の応答を考慮した、個体～群落レベルでのイネの吸水・蒸散モデルを構築した。このモデルを用いると、根域温度や気象条件がイネの吸水・蒸散におよぼす影響を定量的に評価できる。今後は作物生育モデルなどとの有機的な連携が期待される。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 7 件)

- ①村井麻理, 櫻井淳子, 桑形恒男 (2009) 植物の吸水機能に着目して地上部と地下部の結びつきを考える, 日本生態学会誌, 59(1), 43-54 (査読有).
- ②Ku wagata T., Hamasaki T., and Watanabe T. (2008) Modeling water temperature in a rice paddy for agro-environmental research, Agric. For. Meteorol., 148, 1754-1766 (査読有).
- ③Murai-Hatano M., Ku wagata T., Sakurai J., Nonami H., Ahamed A., Nagasuga K.,

Matsunami T., Fukushi K., Maeshima M. and Okada M. (2008) Effect of low root temperature on hydraulic conductivity of rice plants and the possible role of aquaporins, Plant and Cell Physiology, 49, 1294-1305 (査読有).

- ④Maruyama, A., and Ku wagata T. (2008) Diurnal and seasonal variation in bulk stomatal conductance of the rice canopy and its dependence on developmental stage, Agric. For. Meteorol., 148, 1161-1173 (査読有).
- ⑤Sakurai J., Ahamed A., Murai M., Maeshima M. and Uemura M. (2008) Tissue- and cell-specific localization of rice aquaporins and their water transport activities. Plant and Cell Physiology, 49, 30-39 (査読有).
- ⑥Ku wagata T., and Murai-Hatano M. (2007) Osmotic water permeability of plasma and vacuolar membranes in protoplasts. II. Theoretical basis, Journal of Plant Research, 120(2), 193-208 (査読有).
- ⑦Murai-Hatano M., and Ku wagata T. (2007) Osmotic water permeability of plasma and vacuolar membranes in protoplasts. I. High osmotic water permeability in radish (*Raphanus sativus*) root cells as measured by a new method, Journal of Plant Research, 120(2), 175-189 (査読有).

[学会発表] (計 18 件)

- ①櫻井淳子, イネアクアポリンの環境ストレス下における機能, 日本植物生理学会第 50 回年会講演要旨, 90, 2009 年 3 月, 名古屋大学.
- ②Sakurai J, Effect of nitrogen concentration on root water uptake and mRNA levels of rice aquaporins, IU-UGAS IU-GSA IU-COE Joint Symposium, 2008 年 10 月, アイーナホール(盛岡市).
- ③長菅輝義, 低水温条件がイネの成長および根の吸水に及ぼす影響, 日本作物学会第 226 回講演会, 日本作物学会紀事, 77, 別 2, 170-171, 2008 年 9 月, 神戸大学.
- ④村井麻理, 身近な植物の低温応答と栽培技術への応用, 日本生物環境工学会 2008 年度松山大会講演要旨, 298-299, 2008 年 9 月, 愛媛大学.
- ⑤村井麻理, 植物の吸水機能に着目して地上部と地下部の結びつきを考える, 第 55 回日本生態学会, 2008 年 3 月, 福岡国際会議場.
- ⑥村井麻理, 低地温によるイネ根の通水コンダクタンスの低下とアクアポリンの関係, 農業環境工学関連学会 2007 年合同大

- 会, 2007年9月, 東京農工大学.
- ⑦ 桑形恒男, 根域温度と蒸散要求量の変化がイネの吸水・蒸散プロセスに及ぼす影響, 農業環境工学関連学会 2007年合同大会, 2007年9月, 東京農工大学.
- ⑧ 丸山篤志, 水稲田におけるバルク気孔コンダクタンスの日変化と季節変化, 農業環境工学関連学会 2007年合同大会, 2007年9月, 東京農工大学.
- ⑨ Murai-Hatano M., Osmotic Water permeability of plasma and vacuolar membranes in radish protoplasts as measured by a new method, The 5th International Conference Aquaporin Exploring new functions of aquaporin Program and Abstract Book, 138, 2007年7月, 奈良セントラルホール.
- ⑩ Kuwagata T., Effect of root temperature on hydraulic conductivity of rice root and the role of Aquaporin, The 5th International Conference Aquaporin Exploring new functions of aquaporin Program and Abstract Book, 137, 2007年7月, 奈良セントラルホール.
- ⑪ Sakurai J., Thirty-three rice aquaporin members: their expressions and water transport activities, The 5th International Conference Aquaporin Exploring new functions of aquaporin Program and Abstract Book, 47-48, 2007年7月, 奈良セントラルホール.
- ⑫ 桑形恒男, 根域温度がイネの吸水・蒸散に及ぼす影響とアクアポリンの役割, 第48回日本植物生理学会年会要旨集, 317, 2007年3月, 愛媛大学.
- ⑬ 村井麻理, 低温下における植物の水輸送と糖蓄積, 平成18年度日本農業気象学会東北支部大会シンポジウム「生物の温度・ストレス反応ー最近の話題からー」, 15, 2006年11月, 岩手大学農学部.
- ⑭ Murai-Hatano M., High osmotic water permeability of plasma and vacuolar membranes in radish root protoplasts as measured by a new method, Iwate Plant Science Symposium 2006, Program and Abstracts, 38, 2006年10月, 岩手大学農学部.
- ⑮ Kuwagata T., Effect of root temperature on water uptake and transpiration of vegetation and its relation with aquaporins, The Biology of Transpiration: From Guard Cells to Globe, Abstract book, 15-16, 2006年10月, Snowbird.
- ⑯ 桑形恒男, 地温・気温バランスがイネの吸水・蒸散プロセスに及ぼす影響, 農業環境工学関連7学会 2006年合同大会講演要旨

- 集, 2006年9月, 北海道大学.
- ⑰ 丸山篤志, 水稲の形態変化を考慮した簡易な群落内日射伝達モデル, 農業環境工学関連 2006年合同大会講演要旨集, 2006年9月, 北海道大学.
- ⑱ 村井麻理, 細胞膜・液胞膜の水透過と植物細胞の水バランス, 日本農業気象学会 2006年春季大会講演要旨, 60, 2006年4月, 千葉大学園芸学部.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

なし。

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

桑形 恒男 (KUWAGATA TSUNEO)  
独立行政法人農業環境技術研究所・大気環境研究領域・主任研究員  
研究者番号: 90195602

### (2) 研究分担者

村井 麻理 (MURAI MARI)  
独立行政法人農業・食品産業技術研究機構・東北農業研究センター・主任研究員  
研究者番号: 00343971

櫻井 淳子 (SAKURAI JUNKO)

独立行政法人農業・食品産業技術研究機構・東北農業研究センター・主任研究員  
研究者番号: 40343959

### (3) 連携研究者

なし

### (4) 研究協力者

長菅 輝義 (MAGASUGA KIYOSHI)  
三重大学大学院・生物資源学研究科・附属紀伊・黒潮生命地域フィールドサイエンスセンター・准教授

丸山 篤志 (MARUYAMA ATSUSHI)

独立行政法人農業・食品産業技術研究機構・九州沖縄農業研究センター・主任研究員