

大気CO₂濃度の上昇が水田の蒸発散・光合成速度・水利用効率に及ぼす影響 Effects of Elevated CO₂ on Evapotranspiration, Photosynthesis and Water Use Efficiency in a Rice Paddy Field

○大上博基*, 吉本真由美**, 桑形恒男**, 小林和彦***

○Hiroki Oue*, Mayumi Yoshimoto**, Tsuneo Kuwagata** and Kazuhiko Kobayashi***

1. はじめに

大気CO₂濃度の上昇は地球温暖化の大きな原因となる一方で、植生の生化学的な環境応答を変化させるため、蒸発散量と光合成速度に影響を及ぼす。CO₂濃度の上昇が植物の蒸散・光合成速度に及ぼす影響は、すでに温室、環境制御チェンバー、オープントップチェンバーで詳細に検討され、現状のCO₂濃度(約 370ppm)条件下と比較して気孔が閉鎖することで個葉蒸散量が減少する(Kimball & Idso, 1983)が個葉光合成速度は増加することがよく知られている。しかしながら実際の(屋外の)植生群落では、光合成速度などの変化にともなう生育の変化によって群落内部の光環境が変化したり、水田の生態系を構成する様々な要因が変化すると予想されるため、実際の水田の大気CO₂濃度を上昇させるFACE (Free Air CO₂ Enrichment) 実験が行われた。今回は 2000 年に実施した観測結果と、それをもとに構築した水田多層モデルを用いた数値実験結果を紹介する。

2. 観測方法と観測項目

岩手県雫石町の広域水田にFACE (Free Air CO₂ Enrichment) 試験地が設定された。水田イネ群落上にチューブを直径 12mの八角形リング状に張り、チューブからCO₂を噴出させてリング内の大気CO₂濃度を自然大気中よりも 200ppm高い状態に制御した(Okada et al., 2001)。高CO₂区と現状CO₂区(対照区)は4対設置されて生育、育種、土壌、病理などの観測が行われ、本研究が対象とする蒸発散・光合成速度の観測はそのうちの1対で行った。主な観測項目は、イネの気孔コンダクタンスと個葉蒸散・光合成速度(LI-6400, Li-Cor.)の鉛直分布、葉面積密度の鉛直分布(層別刈取法による実測)、群落内部と上部の気温・湿度鉛直分布、放射収支項目、地中熱フラックスなどである。

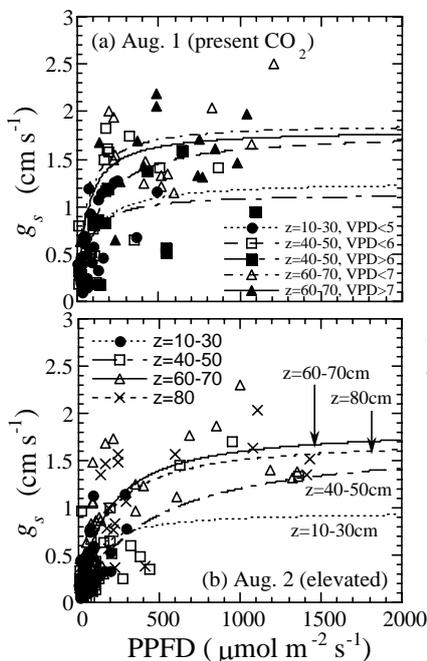


Fig. 1 Measured relationships between PPFD and stomatal conductance of a rice leaf under (a) the present and (b) elevated CO₂.

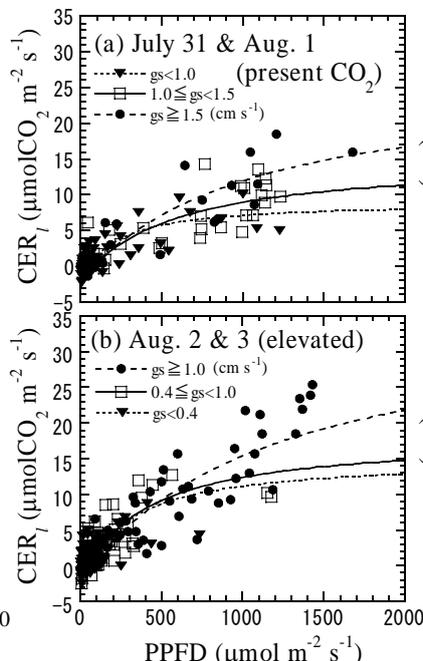


Fig. 2 Measured relationships between PPFD and photosynthesis of a rice leaf under (a) the present and (b) elevated CO₂.

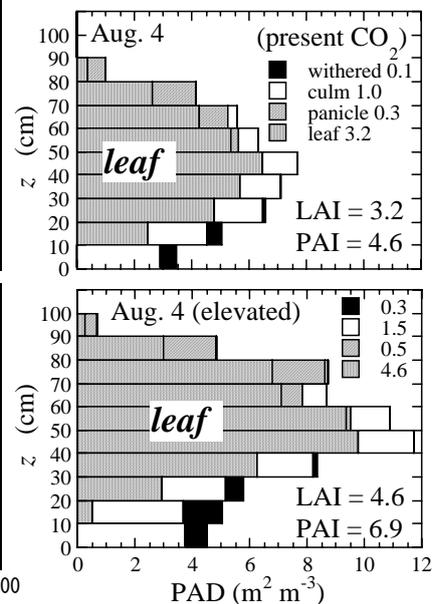


Fig. 3 Measured vertical profiles of rice plant areas under (a) the present and (b) elevated CO₂.

* 愛媛大学農学部 Ehime University, ** 農業環境技術研究所 NIAES, *** 東京大学農学部 University of Tokyo

キーワード: FACE (開放大気CO₂濃度上昇), 水田, 蒸発散, 光合成速度, 多層モデル

3. 高CO₂区と現状CO₂区における気孔コンダクタンスと個葉光合成速度の比較とパラメタ化

高CO₂区 (elevated) と対象区 (present) で測定した出穂期の気孔コンダクタンス (g_s) をFig. 1に、個葉光合成速度 (CER_l) をFig. 2に示す。両者とも光合成有効放射 (PPFD) との関係で整理し、よく使う非直角双曲線を当てはめた。気孔コンダクタンスは、PPFDに次いで相関の高かった葉位 (葉の高度であり葉齢とも関連する) および大気飽差 (VPD) で分類し、個葉光合成速度は気孔コンダクタンスで分類した。高CO₂環境下では気孔が閉鎖する一方で個葉光合成速度が上昇することがわかる。また、基本的には高い高度の新しい葉ほど、また飽差の小さい条件ほど気孔コンダクタンスが大きく、気孔コンダクタンスが大きいほど個葉光合成速度が高いことがわかる。

4. 両区におけるイネ植物体面積密度の比較

両区で測定したイネ植物体 (葉, 稈, 穂, 枯葉) 面積密度の鉛直分布をFig. 3に示す。高CO₂区の方が対象区よりも出穂日が数日早く、群落全体としての植物体面積は大きかった。しかし高CO₂区では、群落下部層で枯死した葉が多かった。

5. 多層モデルによるCO₂濃度上昇が蒸発散・光合成速度・水利用効率に及ぼす影響の定量化

高CO₂環境下ではイネの生化学的な環境応答が変化し、それとの相互作用で植物体の大きさも変化する。ここでは、高CO₂条件が水田の蒸発散量と光合成速度および水利用効率に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、多層微気象モデルを用いた数値シミュレーション結果を示す。

適用した多層モデル (Oue, 2001; 大上, 2003) は、2ストリームモデルを基礎とする群落各層放射収支、群落各層における運動量・熱・水蒸気の保存、2次クロージャモデルを基礎とする乱流輸送、群落各層のエネルギー収支のサブモデルで構成され、3の気孔コンダクタンスモデルと個葉光合成モデルを組み込んで、群落各層の放射環境、風速、葉温、気温、湿度、顕熱・潜熱・CO₂フラックスが計算される。入力条件は2000年8月1日11時の気象条件 (全天日射量 899.2 Wm⁻², 高度 2.4 mの気温 31.2 °Cと湿度 32.5 hPa, 高度 1 mの風速 0.80 ms⁻¹) と対象区の植物体面積密度である。

Figure 4に群落各層の顕熱・潜熱フラックスの計算結果を示す。最下層の水面におけるフラックスから各層のフラックスを上向きに積算した値を表している。潜熱フラックスに注目すると、群落下部層では高CO₂環境下における気温上昇の影響で潜熱フラックスがわずかに増加するが、中部層よりも上では高CO₂環境下で気孔コンダクタンスが小さくなる影響で潜熱フラックスが低下した。その結果水田全体の蒸発散量は、現状CO₂環境下における 0.75 mmh⁻¹が 0.66 mmh⁻¹に低下すると予測された。両CO₂濃度環境下における群落各層の光合成速度の計算結果をFig. 5に示す。葉面積の多い群落中部層を中心に、高CO₂環境下での光合成速度が大きく増加した。イネ群落全体の光合成速度は 43%増加すると予測された。最後に蒸散量に対する光合成速度の割合である水利用効率 (WUE)の計算結果をFig. 6に示す。群落下部層では蒸散が増加する影響でWUEが減少するが、中・上部層ではWUEが大きく増加し、群落全体では 70%増加すると予測された。

謝辞 本研究はCREST(課題「CO₂倍増時の生態系のFACE実験とモデリング」、代表者小林和彦)の補助を受けて遂行された。また岡田益巳博士をはじめ研究グループの皆様にはご指導をいただいた。関係各位に深謝申し上げる。

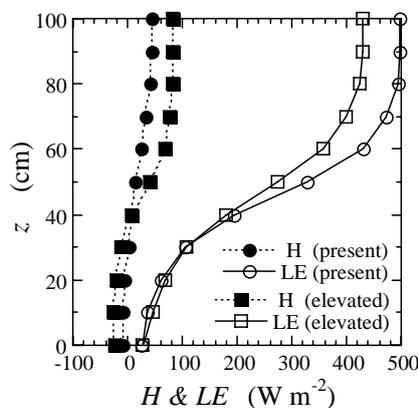


Fig. 4 Predicted effect of elevated CO₂ on sensible (H) and latent heat (LE) fluxes in a paddy field.

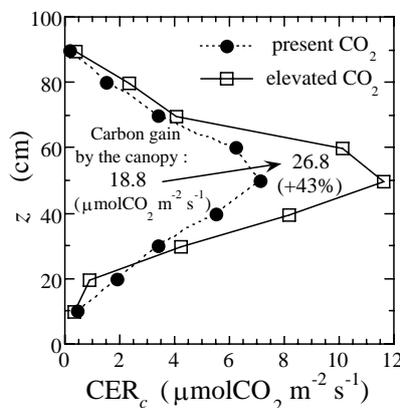


Fig. 5 Predicted effect of elevated CO₂ on photosynthesis in each canopy layer.

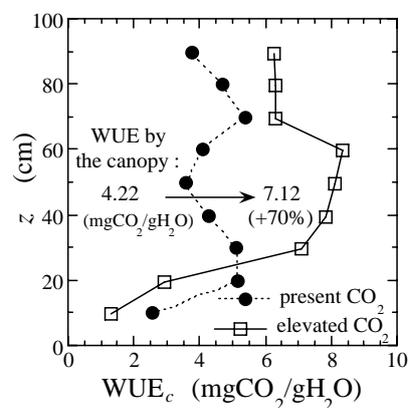


Fig. 6 Predicted effect of elevated CO₂ on water use efficiency in each canopy layer.