

水田における生育ステージごとのエネルギー・水収支の変化

Changes in energy and water balances in a rice paddy field in several growth stages.

矢崎友嗣 ・ 登尾浩助

Tomotsugu Yazaki and Kosuke Noborio

はじめに 水田におけるエネルギー・水収支の把握は、灌漑計画策定のみならず、近年懸念されている温暖化が水田の水収支や微気象に及ぼす影響の予測に重要な知見を提供する。また、地球温暖化の原因物質の一つであるメタンは、湛水時に微生物によって生成されるため、湛水状態の水田におけるエネルギー収支は、メタン放出に関係するかもしれない。しかし、湛水状態の水田においてエネルギー収支の配分を決定する要因はよくわかっていない。本研究では、営農条件下の水田において、微気象学的手法を用いてエネルギー収支を測定し、微気象環境との関係を詳細に検討したので、その結果を報告する。

方法 現地調査は、神奈川県平塚市内の「ミルキークイーン」が栽培されている水田で2007年6月17日から8月29日に実施した。水田に気象観測ステーションを設置し、エネルギー収支をボーエン比法で測定した。気温と相対湿度は、高度1.2 mと2.2 mで測定した。観測地点は、水田端から40 m以上離れているため、フェッチは十分と考えられる(Heilman *et al.*, 1989)。水田湛水深はTDR 土壌水分計を用いて測定し(矢崎ら、出版中)、表層水の水温はフロートに熱電対を取り付けて測定した。また、風向風速は、高度2.0 mに設置した超音波風速計で測定した。風速以外の気象データは、10秒間隔で、風速は0.1秒間隔で測定し、データロガーに5分ごとに記録した。

水田表面のエネルギー収支は、以下のように表わされる:

$$Q_{RN} = Q_G + Q_{SW} + Q_E + Q_H \quad \dots(1)$$

ただし、 Q_{RN} 、 Q_G 、 Q_{SW} 、 Q_E 、 Q_H はそれぞれ、正味放射量、地中熱流量、湛水への貯熱量、潜熱伝達量、顕熱伝達量($W m^{-2}$)である。正味放射量は、正味放射計を高度1.5 mに設置し測定した。地中熱流量は、水田土壌深さ5 cm深に埋設した熱流板の出力と水田土壌0-5 cmの貯熱量の変化をたして求めた。湛水中の貯熱量は、湛水深と水温の変化から計算した。潜熱伝達量と顕熱伝達量は、ボーエン比法によって以下の式から計算した:

$$Q_E = \frac{Q_{RN} - Q_G - Q_{SW}}{1 + \beta} \quad \dots(2) \quad Q_H = \frac{Q_{RN} - Q_G - Q_{SW}}{1 + 1/\beta} \quad \dots(3)$$

ここで、ボーエン比 β は2高度間の気温(T)と水蒸気圧(hPa)の差(T と e)と乾湿計定数($= 0.667 \text{ hPa K}^{-1}$)を用いて、以下の式によって求められる(Bowen, 1926)。

$$\beta = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad \dots(4)$$

結果と考察 観測サイトでは、日中のボーエン比は 0.3~0.6 の範囲で推移しており、地表面に入射した有効エネルギー($Q_{RN} - Q_G - Q_W$)の多くが潜熱伝達量(蒸発散)に配分されていた。図 1 に、(A,D)生育初期、(B,E)中干し後、(C,F)幼穂形成期以降のエネルギー収支と正味放射量に対する表層水への貯熱量と潜熱フラックスの比の変化を示す。生育初期と中干し以降では、地表面に入射したエネルギーの配分が異なっていた。生育初期では、午前中は地表面に入射したエネルギーの多くの表層水を温めるのに用いられ、潜熱フラックスは午前 10 時以降に大きくなった。一方、中干し後や幼穂形成期以降は、生育初期に比べて表層水への貯熱量は小さくなり、午前中から潜熱フラックスが大きかった。このようにエネルギー収支の配分に違いがみられたのは、生育初期ではイネの植物体が小さく水面が露出していたため放射エネルギーの多くが表層水に到達したこと、生育初期の午前中は水温が低く水面に到達した放射エネルギーによって水が温められやすかったこと、また午前中は海風が進入しておらず風速が小さかったため蒸発散が抑制されていたことなどが原因として考えられる。このように、水田では植被の状態、水温、風速によってエネルギー収支や蒸発散量が変化しやすいことが推察された。

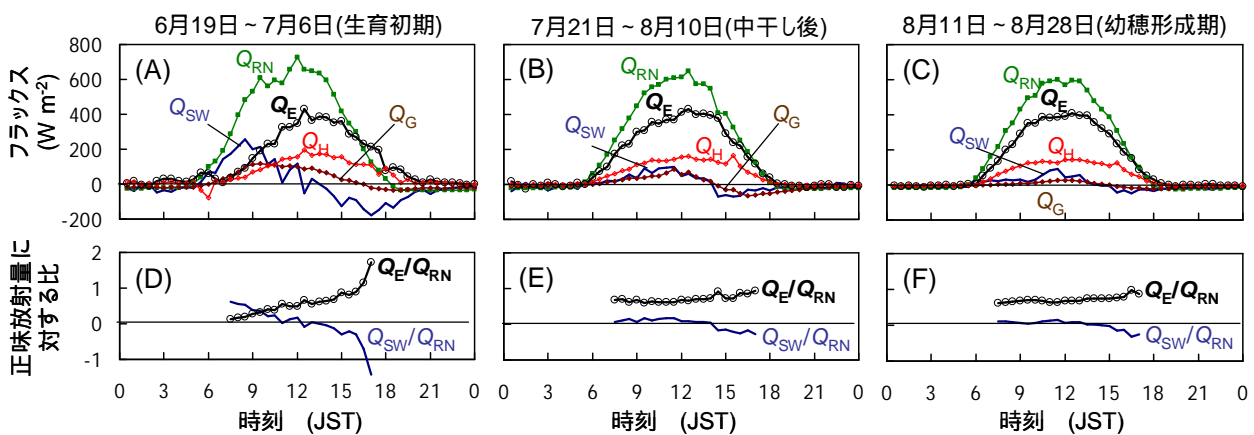


図.1. 水田における生育初期(6/19 - 7/6)、中干し後(7/21 - 8/10)、幼穂形成期(8/11 - 8/28)の晴天日の地表面エネルギー収支。値は、期間内の晴天日の平均値。(A~C)30分ごとのエネルギー収支の変化と(D~F)正味放射量に対する湛水中への貯熱量と潜熱伝達量の比(Q_{SW}/Q_{RN} と Q_E/Q_{RN})

Figure 1. Surface-energy fluxes in a rice paddy field in early growing season, after mid-drainage, and tillering stage. Values are averages of sunny days during respective periods. (A~C) Temporal changes in surface-energy fluxes every 30 minute, and (D~F) ratios of heat-storage in surface water and latent heat flux to net radiation.

引用 Bowen, I.S., 1926. The ratio of heat loss by conduction and by evaporation from any water surface. *Phys. Rev.* **27**, 779-787. Heilman, J.L., Brittin, C.L., and Neale, C.M.U., 1989. Fetch requirements for Bowen ratio measurements of latent and sensible heat fluxes. *Agr. For. Meteorol.* **44**, 261-273.

謝辞 本研究を行うに際し、神奈川県平塚市の熊澤肇治氏より水田の提供を受けた。また、神奈川県農業研究センターの山田良雄氏には現地調査について便宜を図っていただいた。この研究の一部は(財)日本学術振興会科学研究費補助金(基盤研究(A)(課題番号:18208021)及び、若手研究(B)(課題番号:19780183))の補助を受けて行った。記して謝意を表す。