

Ⅱ-20 稲穂上を吹く風による熱の鉛直輸送についての現地観測

芝浦工業大学工学部 正会員 菅 和利
東京電力 江森吉洋

1. はじめに

都市部の熱環境の悪化と反して、農村地帯ではさわやかな風による夏季の快適な熱環境が期待できる。また、このような水域、緑地における潜熱の放出による冷減効果の存在も指摘されている。水田上を吹く風は稲穂を揺らし、その風景は我々にさわやかさ、涼しさを与えてくれる。しかし、稲穂上を通過した風によりどの程度温度が低下するのか、また温度低下のメカニズムについてはしっかりした観測が行われていない。熱画像を用いて稲穂のゆらぎと稲穂表面の温度を測定すると、風が吹いて稲穂の揺らぎも大きいときに表面温度の低下が見られる。この温度の低下は、稲穂からの蒸散による潜熱の放出、葉面裏側の低温部分の出現、風による稲穂内の低温気体の鉛直輸送などの要因が考えられる。

このメカニズムを解明するために、夏季に琵琶湖水田地帯で観測を行った。

2. 観測概要

観測は1997年7月30日～31日に、滋賀県高月町井口の稲穂が茂っている集中田で行った。また、稲穂からの蒸散と水面からの蒸発を区別するために水田の水を抜いた状態で観測を行った。観測日の気象は晴天ではあったが、台風通過直後ということもあり大気状態は決して良好でなかった。さらに、台風の影響で得られたデータも少量となってしまった。観測した水田は50m×100mの面積で、稲穂の高さは約0.8mであった。この水田に、図-1に示すように測定機器を設置した。地上には0.8mに放射収支計、0.5m、0.8mに温湿度センサー、1.6mまで0.2m間隔で熱伝対温度計、2mに超音波風速・温度計、地中には0.1mに熱流計を設置し熱収支、風速、気温、湿度の測定を行った。

また、水田を挟んで風上側と風下側での2地点で同時に鉛直観測を行い、水田の気温緩和効果の大きさについて検討した。この観測は熱線式風速計およびタフトを用いて1地点2名、計4名による連続観測を行なった。

3. 熱収支

ボーエン比法によって算出した7月30日12時から7月31日7時までの算出結果を図-2に示す。 R_n は正味放射量を下向きを正として、 H は顕熱輸送量を LE は潜熱輸送量をそれぞれ上向きを正として示し、 G は地中伝導熱を地中に入っていく方向を正として示しています。ボーエン比は水田内に設置した稲上端部(高度0.7m)とその上部(高度1.0m)の2地点の温度、比湿から求めた。

観測当日は日中曇りがちで一時小雨が降るなどやや不安定な天候であったため、正味放射量が日中特に大きく変動し、日中の潜熱輸送量がその時の正味放射量のほとんどを占める結果となった。しかし、

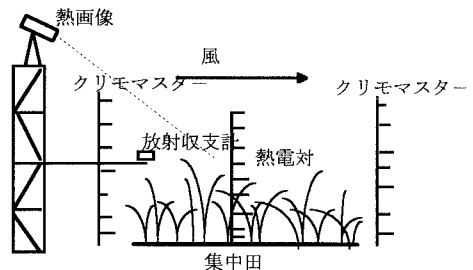


図-1 測定方法、機器設置の概要

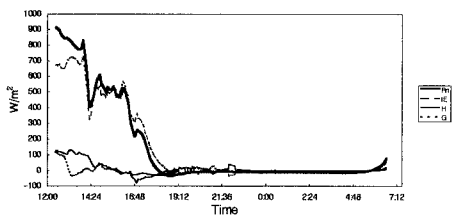


図-2 水田内の熱収支

キーワード 熱環境 稲穂 冷源効果 都市化 熱輸送

〒108-0023 東京都港区3-9-14 芝浦工業大学工学部土木工学科 TEL 03-5476-3055 FAX 03-5476-3166

ボーエン比 ($Bo = H/1E$) の値が異常に小さく、潜熱フラックスがあまりにも大きすぎるとも思われる。これは観測高度の問題で、最も気温変動の激しい高度を選定してしまったことに起因している。

4. 水田内の温度変動について

10秒ごとに観測した熱電対の観測値から1時間ごとに区切り、2高度での相関係数を算出した。この相関係数の値が高ければ、その2高度の温度がより似通った変動を示すことになる。

図-3は9~10時、13~14時、15~16時、21時から22時における地表面の温度とそれぞれの高度の温度から相関係数を算出し、その時間ごとに鉛直分布を示したものである。朝の9~10時では全域にわたって0.9前後の高い値を示し、どの高度も同じような温度の変動をしている。13~14時、15~16時、21~22時は互いに同じような鉛直勾配を示している。稲の上端部である0.8mまでは0.8程度の比較的大きい値を示していますが、1mから大きく減少し1.4mまで直線的に一次関数的に値が小さくなる。これらの結果は、水田内熱収支の構成の違い、及び風による鉛直方向への熱の輸送が活発に生じていることを示唆している。相関係数の変曲点である0.8m付近に及ぼす風の乱流成分による鉛直輸送の影響について検討した。

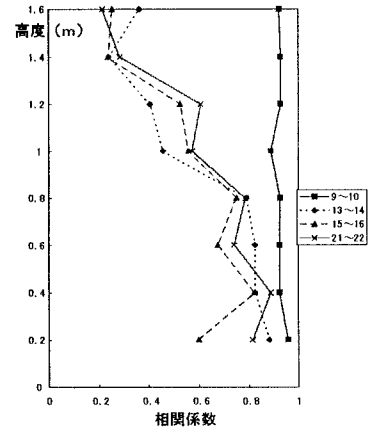


図-3 地表面との温度変動相関

5. 風による熱の鉛直輸送

風速のデータは、同地点で長岡技術大学が超音波風速計での観測を行っていたので、ご厚意により観測データを一部使わせていただくことができた。ただし、風速の絶対値は観測できず、変動成分のみのデータを使用した。図-4は放射量の安定した15:06から1分間の風向方向の変動成分 u と鉛直方向の変動成分 w を示したものである。

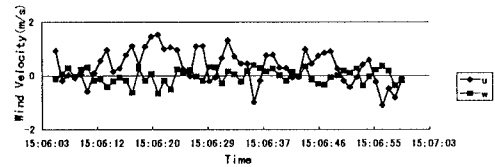


図-4 風速変動

レイノルズ応力と稲上端部2高度の温度との関連について検討した。今回算出するレイノルズ応力は水田内に接地した熱電対の出力にあわせて、10秒ごとの算出を試みた。図-5、図-6は風の乱流輸送と温度との関連をより明確にするため、放射量の安定した時刻における稲上端部2高度の温度とレイノルズ応力との時間変化を示したものである。2高度の温度、レイノルズ応力ともある一定周期約40秒を持っている。また、レイノルズ応力の上昇期に温度が下降し、逆にレイノルズ応力の下降期に温度が上昇するといった負の相関性が確認された。そしてレイノルズ応力の変動が10秒間に $0.2 \sim 0.3 \text{ m}^2/\text{s}^2$ を超えるような大きな変動を示すときには0.8mの温度が上昇、0.6mの温度が下降するという2高度で異なった挙動を示すことが多いことも見られた。これらのことより、稲上端部付近では風向方向とは逆向きに縦回転の渦が形成されると考えられ、この渦によって稲内部の低温気体が鉛直方向に輸送され、これが風によって風下に輸送されていると考えられる。

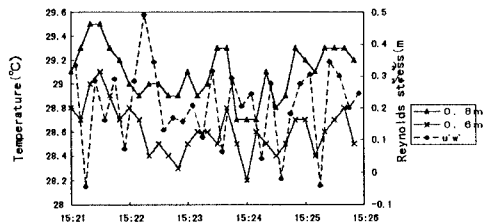


図-5 レイノルズ応力と温度変動

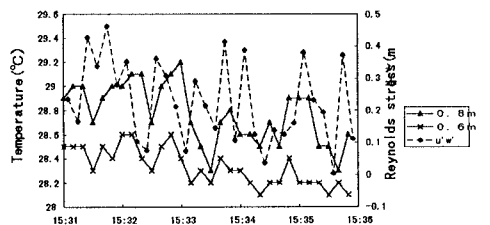


図-6 レイノルズ応力と温度変動