

## 渦相関法を用いた水田での熱収支の検討

### *Study on Heat Balance in Rice Paddy Field using Eddy Correlation Method*

○濱上 邦彦\*, 佐々木 啓太\*, 倉島 栄一\*

HAMAGAMI Kunihiko, SASAKI Keita, KURASHIMA Eiichi

#### 1. はじめに

渦相関法は植生や土壌と、大気との間でのガス輸送量を測定することで陸域生態系のガスや熱エネルギーの循環の解明に用いられている。渦相関法は水平方向の移流による物質と熱の輸送の影響が無視できるとの仮定に基づいており、観測地点の周辺には地形と植生などの地表面の状態について水平方向の一様性が重要となる。しかし、本国では一般的な水田の区画が小さく、水田周辺には集落や農道、かんがい施設などが混在し、渦相関法に求められる理想的な一様性を保証することは困難な場合が多い。また観測と営農が競合し、長期間にわたる観測には困難が伴う。また森林での渦相関法の適用例は多い一方で、稲作地における観測は非常に少ない。さらに、渦相関法に基づく熱収支の問題点として、純放射量に対して潜熱と顕熱の和が過小に見積もられるインバランス問題があるが、水田においては、一般的な熱収支要素に加えて灌漑にともなう人為的要素が伴うため、その評価は大変難しい問題である。本研究では、秋田県大潟村の水田において渦相関法の観測を行った。一般的には理想的とはいえない条件下で計測せざるを得ないデータを評価するため、適切な補正について検討を行うとともに、フットプリント解析を用いた大潟村水田の渦相関法への適用性について検討を行った。

#### 2. 観測概要

観測地は秋田県大潟村の水田地帯の圃場である。水田に高さ 2m のフラックスタワーを設置した。観測期間は 2021 年 6 月 8 日～9 月 6 日である。観測項目は 3 成分風速、CO<sub>2</sub>・H<sub>2</sub>O フラックス、日射、反射日射、下向き長波放射、上向き長波放射、地中熱流量、降雨量、水温、水深、灌漑水量である。

データ解析には、渦相関解析ソフトの EddyPro を用いた。データ補正として、スパイク除去、傾斜の補正、トレンド除去、タイムラグ補正、ドロップアウト、尖度・歪度、入射角についての補正を行った。本研究では異常値と判断される閾値を EddyPro のデフォルトの推奨値として、平均化時間内に現れる異常値の数を 5% まで許容した。また、フーリエ変換とフィルターによるフーリエ係数の補正、および逆フーリエ逆変換によってフラックスを求めることで、潜熱の補正を行った。

さらにフットプリント解析により、観測機器の風上側の吹送距離 (fetch)、すなわち地表面の水平方向の一様性が保たれているか否かを判断した。フラックスの 90% が寄与する距離と Google Earth での計測結果を比較した結果、今回の観測においては Eddy Pro の解析データすべてが有効データとして判断された。この結果より、大潟村は渦相関の観測値として適すると判断し、熱収支に関する検討を行った。

---

\*岩手大学農学部 Faculty of Agriculture, Iwate University

キーワード：渦相関，熱収支，インバランス問題，潜熱・顕熱

### 3. 結果と考察

熱収支式はかんがい水の流入があるため、(1)式のように定義した。

$$R_{net} + Q_{adv} = H + \lambda E + G_w + G_s \quad (1)$$

ここに、 $R_{net}$ ：純放射、 $Q_{adv}$ ：かんがい水による熱変化量、 $H$ ：顕熱、 $\lambda E$ ：潜熱、 $G_w$ ：水の貯熱、 $G_s$ ：地中熱流である。インバランス問題に関しては、顕熱・潜熱フラックスと熱収支式の右辺を左辺で除した整合比  $r$  を用いて検討を行った。フラックスの品質をデータの定常性と大気安定度で評価する Mauder et. al.(2013)が示した品質評価の判定を用いて顕熱と潜熱の品質評価と熱収支の整合比を比較する。Table 1 は、観測期間中で整合比が 1 に近い日(7/20)と 1 番小さい日(7/14)を抽出して示している。熱収支の整合比  $r$  が 1 に近い日では顕熱・潜熱ともに品質評価で高品質である 0 が多く出現した。一方、熱収支の整合比  $r$  が 1 番小さい日では低品質である 2 が多く出現した。

次に、Fig.1 にスペクトル補正なし、高低周波補正、低周波補正のみの 3 条件での熱収支の比較を示す。高低周波補正、低周波補正のみの場合において整合比（傾き）が 1 に近づいており、低周波補正が結果に大きく影響を及ぼしていることがわかる。

整合比の頻度を確認するために Fig.2 に低周波補正のみを行った結果に関して整合比の度数分布を示した。整合比が 1 付近のデータが多く現れており、水平一様な距離が保たれている場では熱収支において良好な結果が得られた。しかし、整合比が 1 を超えるデータも多く現れている。こういったデータは観測後期に多く見られ、原因の一つとして、鳥のフン等のセンサーへの影響が考えられ、維持管理の重要性が示された。

Table 1 潜熱・顕熱の品質評価  
Quality Assessment of Latent and Sensible Heat

日にち	顕熱H		潜熱λE	
	7/20	7/14	7/20	7/14
0のデータ数	29	7	29	7
1のデータ数	14	29	16	24
2のデータ数	5	12	3	17

### 4. まとめ

フットプリント解析により、大潟村は渦相関法を用いるのに十分な水平一様距離を有していることが確認された。熱収支の検討として、顕熱・潜熱の品質評価と整合比には高い相関があり、熱収支の検討には顕熱・潜熱がより支配的であることが示された。スペクトル補正での検討では、低周波補正が支配的であり、水平一様な距離を持つ場では整合比が 1 に近いデータが多く現れた。

#### 参考文献

Mauder M, Cuntz M, Drüe C, Graf A, Rebmann C, Schmid HP, Schmidt M and Steinbrecher R (2013) A strategy for quality and uncertainty assessment of long-term eddy-covariance measurements. Agric Forest Meteorol. 169:122-135

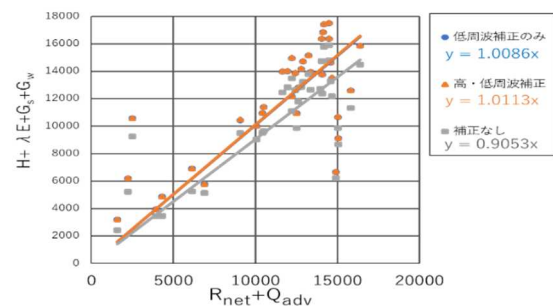


Fig.1 スペクトル補正による熱収支の比較  
Comparison of heat balance with spectral correction

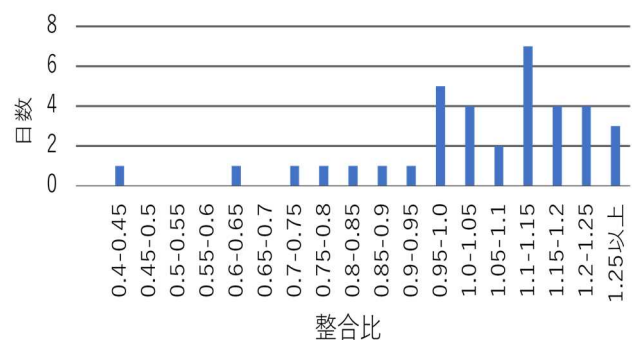


Fig.2 整合比の度数分布  
Frequency Distribution of Consistency Ratio