

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 16 日現在

機関番号：13601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K21036

研究課題名(和文) 大気低周波輸送の影響を考慮した大気 地表面間の熱・ガス交換量の評価

研究課題名(英文) Evaluation of heat and gas exchanges at the atmosphere-land interface considering the effect of low-frequency transport

研究代表者

岩田 拓記 (IWATA, Hiroki)

信州大学・学術研究院理学系・助教

研究者番号：10466659

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：渦相関法は大気 地表面間の熱・ガス交換を測定する標準的な方法であるが、地表面熱収支が閉じない問題が残されており、交換量データの精度の不確実な部分となっている。本研究では、大気境界層内の低周波輸送に注目し、その渦相関法測定への影響を明らかにすることを目的とした。渦相関法で測定される顕熱と潜熱交換量を地表面交換量と非地表面起因の低周波輸送に分離する方法を開発し、非地表面起因の低周波輸送の特性を調べた。その結果、大気境界層が急速に発達し、エントレインメントが強い午前中に、低周波輸送の寄与が大きくなっており、大気境界層上部での現象が地表面での渦相関法の観測に影響を与えていることが示された。

研究成果の概要(英文)：The eddy covariance is the standard technique for atmosphere-land exchange of heat and gases. However, due to surface energy imbalance, the observed data still have uncertainty. In this study, we focused on the effect of low-frequency transport in the atmospheric boundary layer on the eddy covariance observation. We developed a methodology to partition the observed exchange data into surface exchange and non-surface low-frequency transport, and examined the characteristics of the low-frequency transport. We found that the contribution of low-frequency transport became large when the atmospheric boundary layer rapidly developed in the morning. This suggested that entrainment process at the top of the boundary layer affected the eddy covariance observation conducted on the ground surface.

研究分野：微気象学

キーワード：地表面フラックス 渦相関法 地表面熱収支 ガス交換 大気乱流輸送 大気低周波運動

1. 研究開始当初の背景

大気 地表面間の熱・ガス交換は気候を制御する大きな要因であり、この交換過程を理解することは将来の気候変動を予測するうえで重要である。そのため現在、FLUXNETとよばれるネットワークが形成され、世界中の600ヶ所以上の観測サイトで渦相関法とよばれる手法を用いて、顕熱や水蒸気、二酸化炭素などの交換量の測定が継続的におこなわれている。このことから大気 地表面間の熱・ガス交換研究において渦相関法の果たす役割は大きい。渦相関法は生態系上の大気中で熱やガスの鉛直方向の乱流輸送を測定することで生態系 大気間の交換量を評価している。しかし、渦相関法で測定される顕熱、潜熱交換量の和が正味放射エネルギーよりも小さく地表面熱収支が閉じない問題がほぼすべてのサイトで存在している（例えば、Wilson et al., 2002; Hendricks Franssen et al., 2010; Iwata et al., 2012）。この問題により渦相関法で測定される交換量がすべて過小評価になっているのではないかという疑問が残り、交換量データの精度の不確実な部分となっている。

交換量の過小評価は、乱流による高周波輸送と低周波輸送の取り逃がしに関係していると考えられてきた。そのうちの高周波輸送の過小評価は観測システムの不十分な応答性によるもので、これは適切に補正すれば取り除くことができる（例えば、Massman, 2000; Iwata et al., 2014）。一方で、低周波輸送の過小評価は、一般的な交換量評価が30分程度の平均化時間でおこなわれるため、それよりも長い時間で起こる輸送の取り逃がしにより生じていると考えられてきた（例えば、Finnigan et al., 2003; Malhi et al., 2004）。しかし、このような補正をおこなっても依然として熱収支が閉じない問題は残っており、この問題を解決するには低周波輸送の特性のさらなる理解が必要である。

近年、いくつかの研究が大気境界層内の乱流による低周波輸送に着目し、大気境界層よりも上空（高さ1000mほど）から混入した自由空気が低周波輸送により地表近くに到達し、測定に影響を及ぼしている可能性を示している（例えば、Saito et al., 2007）。このような低周波輸送は、地表面での熱やガス交換とは異なる現象であり、この低周波輸送を除去することで正確な地表面交換量を評価することができるかと仮説を立てた。

2. 研究の目的

本研究では、大気境界層内の低周波輸送の解析に適したウェーブレット解析を駆使して、低周波輸送の挙動を把握し、地表面交換量の新しく信頼性の高い評価方法の確立を目的とした。具体的な目的は以下のふたつである。

(1) ウェーブレット解析を活用し、測定した乱流データから地表面交換量と非地表面起因の低周波輸送に分離する手法を開発する。この分離手法の妥当性を検証するために、分離した地表面交換量データを、個葉の観測などから独立して得られる地表面パラメータと比較する。

(2) 分離した非地表面起因の低周波輸送データを解析することにより、低周波輸送が大気境界層内外の状態や観測地点周りの局地的なメソスケール循環とどのように関連しているかを明らかにする。

3. 研究の方法

本研究は、農業環境技術研究所が管理する茨城県つくば市の真瀬水田サイトでおこなった。真瀬水田サイトは平坦で水平方向に一樣な水田が広がっており、微気象観測に最適である。この研究サイトでは、渦相関法による顕熱、潜熱交換量の観測と関連する気象観測が連続的におこなわれている。

地表面パラメータを得るために、観測サイトに温度、湿度の勾配測定を追加し、地表面ボーエン比データを取得した。また、水稻の各生長段階（生長初期、成熟期、老齢期）の晴天日の数日間に、携帯型光合成・蒸散測定装置を用いて、水稻個葉の気孔コンダクタンスの日変化データを取得した。

上記の個葉の観測と同時に、GPS ソンデ観測により大気境界層内外の風速、風向、温度、湿度プロファイルを測定した。またこのデータから大気境界層の高さの日変化を推定した。

4. 研究成果

(1) 地表面熱収支

夏季の真瀬水田サイトでは、地表面が受け取る正味放射エネルギーのうち約60%が潜熱エネルギーとして、約5%が顕熱エネルギーとして大気に輸送されていた。また、約5%が貯熱としてエネルギーが消費されていた。結果として、平均的には約30%の地表面熱収支のインバランスが生じていた。午前中の熱収支インバランスは午後のそれよりも大きくなる傾向があった。この平均的な地表面熱収支インバランスの割合は他の観測サイトで観測されているものと同程度である。

また、通常の渦相関法により計算した交換量から求めたボーエン比と傾度測定から計算したボーエン比を比較すると、一致する場合と一致しない場合があることがわかった。一致しない原因として、非地表面起因の低周波輸送が渦相関法で測定した交換量に影響していることが考えられる。

(2) 地表面交換量と非地表面起因の低周波輸送量への分離

平均化時間である 30 分間内の顕熱と潜熱交換量の特徴を調べるために、ウェーブレット変換を用いて、各時刻における各スケールの輸送の評価をおこなった。その結果、輸送の大きく影響している中間スケールでは顕熱、潜熱共に上向きに輸送されていた。しかし、より大きなスケール(すなわち低周波)では顕熱や潜熱の下向き輸送が表れる場合があった。各時刻、各スケールでの顕熱と潜熱の輸送量を調べると、中間スケールからより小さいスケールの輸送のボーエン比は地表面ボーエン比に近い値をとるのに対し、より大きなスケールの輸送は地表面ボーエン比と大きく異なるものが存在することがわかった(図1)。後者は大気境界層上端でのエントレインメント(自由大気の大気境界層内への混入)の影響を示しているのかもしれない。

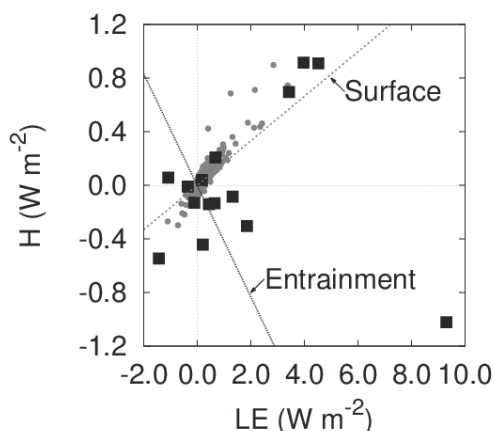


図1 ある 30 分間内の各時刻、各スケールにおける顕熱フラックスと潜熱フラックスの比較。黒い四角は大きなスケールの輸送、灰色の丸はそれよりも小さなスケールの輸送を示す。二つの直線の傾きは地表面ボーエン比(Surface)と大気境界層上端の温湿度プロファイルから計算したボーエン比(Entrainment)を示す。

図1のように地表面ボーエン比からはずれる輸送を非地表面起因の低周波輸送と定義し、渦相関法によって測定されている交換量を地表面交換量と非地表面起因の低周波輸送量に分離した。

図2は上述の方法で分離した非地表面起因の低周波輸送量のある日の変化を示す。また、推定された大気境界層の高さと大気境界層上端の安定度を表す対流リチャードソン数も共に示されている。このある特定の日においては、大気境界層が急速に発達する午前中に潜熱の非地表面起因の低周波輸送が大きくなっており、大気境界層の発達に伴うエントレインメントが地表面での測定に影響している可能性が示された。

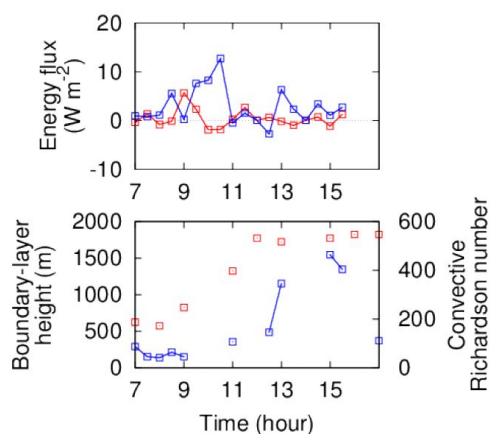


図2 (上図)ある日の非地表面起因の低周波輸送の日変化。赤線が顕熱輸送、青線が潜熱輸送を示す。(下図)同日の大気境界層の高さの変化(赤印)と対流リチャードソン数の変化(青印)。

(3) 群落コンダクタンスの計算を基にした地表面熱収支インバランスの考察

渦相関法によって観測された顕熱と潜熱交換量からダブルソースモデルを用いて群落コンダクタンスを算出し、それを個葉の気孔コンダクタンスと比較することで、地表面熱収支が閉じない原因がどの交換量にあるかの考察をおこなった。その結果、地表面熱収支インバランスは渦相関法により測定された顕熱交換量の測定誤差に起因しているという結果を得た。しかし、インバランス分を顕熱交換量に分配すると、温度勾配に逆らう交換が生じている結果となり、モデルの改良が必要であることが示された。

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)

[学会発表](計 3件)

岩田拓記・高橋壮太・小野圭介・小杉緑子, 「群落コンダクタンスの計算を基にした地表面熱収支インバランスの考察」, 日本農業気象学会 2017 年全国大会, 平成 29 年 3 月 28 日, 北里大学(青森県・十和田市)

高橋壮太・岩田拓記・小野圭介, 「コンダクタンス計算を基にした水田におけるエネルギーインバランスの考察」, 日本農業気象学会関東支部 2016 年度例会, 平成 28 年 11 月 18 日, 千葉県福祉ふれあいプラザ(千葉県・我孫子市)

岩田拓記, 小野圭介, 「水稻群落上で渦相関法と傾度法により測定したフラックスの比較: 低周波輸送の影響」, 日本農業気

象学会 2016 年全国大会，平成 28 年 3 月
15 日，岡山大学（岡山県・岡山市）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩田 拓記 (IWATA, Hiroki)
信州大学・学術研究院理学系・助教
研究者番号：10466659

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

小野 圭介 (ONO, Keisuke)