

超音波風速計がとらえた乱流フラックス — 勢水丸での黒潮横断観測 —

Turbulent flux measured by Ultrasonic anemometer

— Observation of traversing Kuroshio with SEISUI MARU —

地球環境気候学研究室 508304 安藤 雄太 (Yuta Ando) 指導教員 立花 義裕 教授

Keywords: air-sea interaction, eddy correlation, SST front, direct observation, atmospheric boundary layer

1. 研究背景・目的

1) 背景

中緯度の大気海洋相互作用に関する研究は、最近注目されている。これまで、中緯度の海洋から大気への影響は少ないと考えられてきたが、最近、中緯度の海洋が大気に影響を与えることが明らかになりつつある (e.g. Tanimoto *et al.* 2003¹)。

この大気海洋相互作用の素過程は、海面の乱流フラックスである。乱流フラックスは、乱流によって海洋と大気の間を移動するエネルギー量であり、大気海洋相互作用を考察する上で重要な要素である。衛星データや数値モデルを使用した研究が多くあるが、これは間接的に推定して乱流フラックスを計算しており、直接観測による研究は非常に少ない (Takahashi *et al.* 2000)²。その原因は、直接乱流フラックスを測定する超音波風速計が常設されている船が国内に2隻のみだからである。そのうちの1隻が三重大学練習船「勢水丸」である。勢水丸は2009年1月にリニューアルした際に、超音波風速計が常設された。この観測データは現在に至るまでほぼ全期間存在する。

2) 乱流フラックスの計算方法

乱流フラックスを計算する方法は主に2つある。1つ目がバルク法である (式(1), (2))。これは、10分程度の平均風速などから推定するため、間接的な方法ではあるが、比較的容易に観測・計算することができる (e.g. 塚本ら 2001³)。したがって、乱流フラックスを推定する方法として数値モデルを含め、広く用いられている。しかし、風速が0 m/sのとき、乱流フラックスが0になってしまうことや計算に使用するバルク係数の風速や安定度への依存性が研究者によって異なるなどの理由により、その信頼性は現在でも議論する余地が大きい (e.g. 塚本ら 2001³)。

$$\text{乱流顕熱フラックス: } Q_H = \rho C_p C_H U (T_0 - T) \quad (1)$$

$$\text{乱流潜熱フラックス: } Q_E = \rho L_E C_E U (q_0 - q) \quad (2)$$

ρ : 空気密度, C_p : 定圧比熱, L_E : 蒸発潜熱, U : 風速, T_0 : 海面水温, T : 気温, q_0 : 海面水温における飽和比湿 (水蒸気量), q : 比湿 (水蒸気量), C_H : バルク係数 (顕熱), C_E : バルク係数 (潜熱)

もう1つの方法が、渦相関法と呼ばれる乱流フラックスを直接測定する唯一の方法である (式(3), (4))。これは、風速などの変動成分から計算するものだが、非常に短い時間での変動を計測する必要があるため、容易に観測・計算することができない。しかし、勢水丸に常設された超音波風速計は0.05秒間隔で変動成分を計測することができるため、乱流フラックスを直接とらえることができる。

$$\text{乱流顕熱フラックス: } Q_H = \rho C_p \overline{w'T'} \quad (3)$$

$$\text{乱流潜熱フラックス: } Q_E = \rho L_E \overline{w'q'} \quad (4)$$

ρ : 空気密度, C_p : 定圧比熱, L_E : 蒸発潜熱, w' : 鉛直風の変動成分, T' : 気温の変動成分, q' : 水蒸気量の変動成分

3) 目的

日本南岸を流れる黒潮上では、年間を通して海洋から大気に熱輸送 (乱流フラックス) が行われる。したがって、黒潮上の乱流フラックスを正確に評価することは、中緯度域の海洋から大気への影響を考察する上で非常に重要である。しかし、直接観測でかつ、複数事例を統計的に解析した研究は存在しない。そこで、勢水丸で直接観測された膨大なデータを基に、統計的に黒潮上での乱流フラックスを評価することで、複数の事例で黒潮が大気に与える共通的な影響を明らかにする。本研究では、そのための第一歩として、黒潮上の複数事例において渦相関法とバルク法の2種類で乱流フラックスを計算し、その違いを明確にすることを目的とする。

2. 対象データ

超音波風速計の観測データが存在する期間のうち、紀伊半島沖、伊豆半島沖、東シナ海上の黒潮を横断した2010~2011年4, 5, 6, 11, 12月の5事例について解析を行った (図1)。全事例においても高気圧下で安定した気象状況であるため、気象擾乱による乱流フラックスへの影響は小さいと考えられる。

使用したデータは、超音波風速計で観測された風速と気温、そして赤外線アナライザーで観測された水蒸気量、ジャイロ計で記録された加速度・角速度 (ノイズ除去で使用) である。また、これらとは別に船舶で記録された風速、気温、海面水温、相対湿度も使用した。

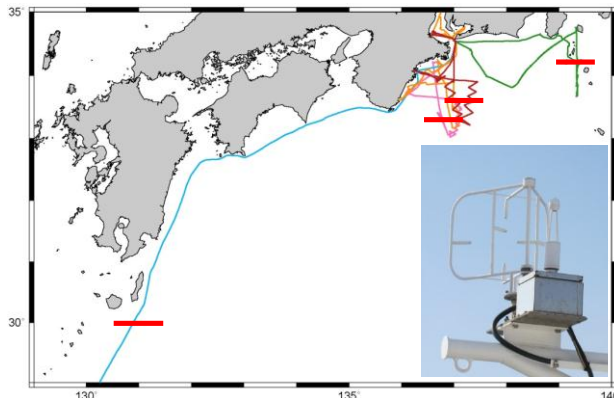


図1 解析対象の航路と勢水丸に常設された超音波風速計・赤外線アナライザー・ジャイロ計。4月 (ピンク), 5月 (緑), 6月 (青), 11月 (オレンジ), 12月 (茶) である。赤線は SST フロントの位置。

3. 解析手法

渦相関法で計算された乱流フラックスは直接測定したものであるため、本研究では真値とし、間接推定であるバルク法で計算したものと比較した。バルク法は、風が弱い場合に適合性がよい COARE3.0 バルクモデル (Fairall *et al.* 2003)⁴ を使用した。

超音波風速計での観測は船が動揺することにより「見かけ」の風速が発生する。また、船体の影響を受け、境界層が屈折する。これらをノイズとして取り除くため、塚本ら (2001)³ の手法を用いて補正した。この作業により、ある程度船上での観測で発生するノイズを取り除くことができたと考えられる。

黒潮からの距離によって乱流フラックスがどう変化するかを見るため、渦相関法とバルク法を用いて計算した乱流顕熱・潜熱フラックスと SST フロント (黒潮北側の境界線) からの距離の関係をそれぞれプロットした (図 2)。SST フロントの位置は季節変動するため、事例ごとに設定した。さらに、事例ごとに回帰直線と相関係数を求めた。

渦相関法とバルク法との違いを見るため、黒潮上 (SST フロント南) と黒潮北側 (SST フロント北) での乱流顕熱・潜熱フラックスの平均値とその差を求めた。

4. 結果

1) 乱流顕熱フラックス

図 2 より黒潮北側より黒潮上の方が全体的に乱流顕熱フラックスが高いことが分かった。また、冬ほど黒潮上と黒潮北側での値のコントラストが大きい。

黒潮上と黒潮北側での乱流顕熱フラックスの差は、バルク法と渦相関法でほぼ同じであった。

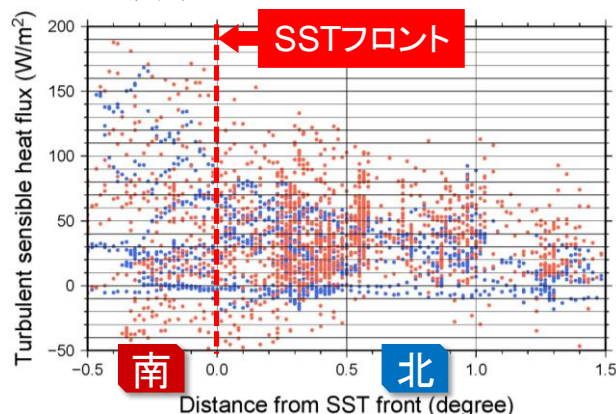


図 2 乱流顕熱フラックスと SST フロントからの距離の関係。赤が渦相関法、青がバルク法で計算したものである。縦軸は、乱流顕熱フラックスで上向きを正とした。横軸は、SST フロントからの距離(°)で、正が北である。また、航海ごとに設定した SST フロントの緯度を 0° とした。

2) 乱流潜熱フラックス

乱流顕熱フラックス同様、黒潮北側より黒潮上の方が値が高い。また、冬に黒潮上と黒潮北側での値のコントラストが大きく、相関係数も大きい (図 3)。黒潮上と黒潮北側での乱流潜熱フラックスの差は、乱流顕熱フラックス同様、バルク法と渦相関法でほぼ同じであった。

5. 考察とまとめ

黒潮上と黒潮北側との乱流フラックスの変動量は渦相関法、バルク法でほぼ同じであった。しかし、値自体は渦相関法が高い傾向にある。この原因を明らかにすることで、黒潮上のより正確な乱流フラックスを求めることができる。

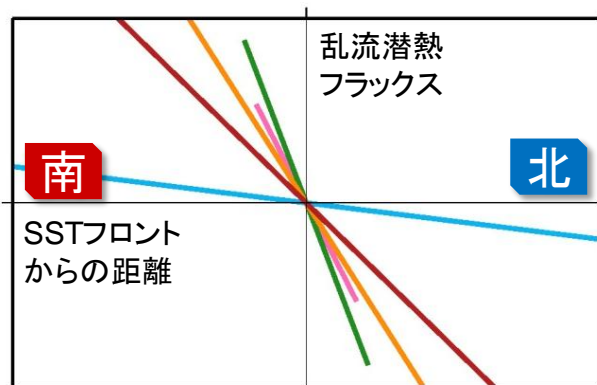


図 3 図 2 の事例ごとの回帰直線 (ただし乱流潜熱フラックス)。右下がりの傾きが急なほど、黒潮上と黒潮北側での乱流潜熱フラックス差が大きい。直線の長さは相関係数であり、長いほど相関が高い。色は図 1 と同様。

6. 今後の予定

2012 年度も勢水丸は黒潮上を航行する予定である。そのデータも追加し、解析を行う。また、ラジオゾンデデータを解析することで、大気への影響を考察する。

7. 謝辞

本研究を進めるにあたりご指導していただいた立花義裕教授、多くの助言をくださった研究室のメンバー、要旨の添削をくださった小松謙介氏、データ品質の改良について助言いただいた京都大学理学研究科の根田昌典助教、関連論文の提供をいただいた同大学防災研究所の林泰一准教授、超音波風速計等の測定機器資料を提供していただいた (株)ソニック取締役の伊藤芳樹氏、そして勢水丸乗員の皆様に感謝の意を表します。最後に、本研究に必要な超音波風速計を勢水丸に常設する計画をされた、福山薫特任教授には、感謝の念に堪えません。

8. 引用文献

- 1) Tanimoto, Y., H. Nakamura, T. Kagimoto, and S. Yamane, 2003: An active role of extratropical sea surface temperature anomalies in determining anomalous turbulent heat flux. *J. Geophys. Res.*, **108** (C10), 3304, doi:10.1029/2002JC001750.
- 2) Takahashi, S., O. Tsukamoto, H. Ishida, and K. Yoneyama, 2000: Automated observation of sea surface eddy flux on a cruising ship. (in Japanese with English abstract), *Okayama Univ. Earth Science Reports*, **7**, 1-14.
- 3) 塚本修, 文字信貴, 伊藤芳樹, 2001: 乱流変動による運動量・顕熱・潜熱 (水蒸気) のフラックス測定, 気象研究ノート, 第 199 号, 19-56.
- 4) Fairall, C. W., E. F. Bradley, J. E. Hare, A. A. Grachev, and J. B. Edson, 2003: Bulk parameterization of air-sea fluxes: Updates and verification for the COARE algorithm. *J. Climate*, **16**, 571-591.