

中高緯度帯海流フロント域の海面水温分布に対する下層大気循環の応答

大気海洋圏環境科学専攻 大循環力学講座 博士後期課程 3年

時長 宏樹 (指導教官: 谷本 陽一)

1. 研究背景

地球温暖化予測に使われている現在の気候モデルは様々な不確定要因を抱えており、世界各国の気候モデル間で温暖化予測結果に大きなばらつきがあることが知られている。その不確定要因の1つとして、気候モデルが中高緯度の気候をうまく再現できていないことが指摘されており、特に中高緯度海洋が中高緯度の気候に及ぼしている影響については未だ不明な点が多い。そのため、将来的にはこの影響を気候モデルに組み込むことによって地球温暖化などの気候変動予測の精度が向上することが期待されている。

中緯度帯における海盆スケールの海上風速と海面水温の関係は、時間変動場において海上風速が強い(弱い)領域で海面水温が低い(高い)という空間構造によって特徴付けられてきた。これは風速変化に伴う潜熱放出が海面水温の変化に大きく寄与しており、大気から海洋への強制が中緯度帯において支配的であることを示唆している。一方、近年の高解像度人工衛星観測データによると、中緯度海流フロント域の一つである黒潮続流においては、海面水温フロントの冷(暖)水側で海上風速が弱い(強い)という空間構造の存在が明らかになりつつある。このような空間構造は潜熱放出の原理では説明することができず、黒潮続流において海上風速が海面水温の分布によって変調を受けていることを示唆している。しかしながら、中緯度帯独特の強い大気強制や海上での観測データが少ないという問題点もあることから、中緯度海洋が大気へ及ぼす影響については時間変動の場だけではなく気候学的な場についても多くの不明な点が残されている。そこで本研究では、中緯度海流フロントに伴う大気の応答を調べるために以下2つの解析を行なった。

2. 結果および考察

第1の解析では、中緯度海流フロント域の一つであるブラジル海流 - マルビーナス海流フロントに対して、高解像度の人工衛星データと船舶観測データを用いて海面付近の安定度と海上風速の関係を調べた。南大西洋のアルゼンチン沖(南緯 35 - 50 度)では岸に沿って大陸棚が広がっており、亜寒帯循環系のマルビーナス海流がその斜面に沿って北上している。それに対し、沖合では亜熱帯循環系のブラジル海流が南下しているため、それらの海流の間には明瞭な海

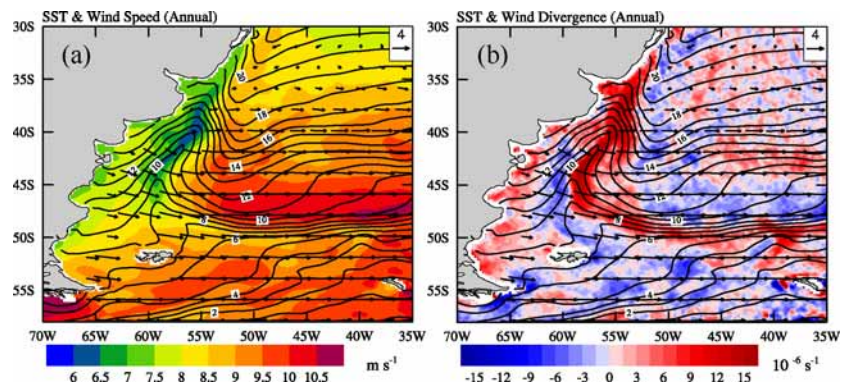
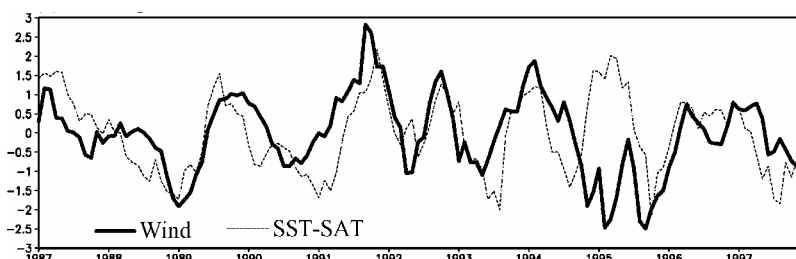


図1 南大西洋アルゼンチン沖における海面水温(実線: 等値線間隔1)と(a) スカラー風速 (m s^{-1}), (b) 風の発散 (10^{-6}s^{-1})。値は全て衛星観測データの年平均気候値。

海面水温フロントが1年中形成され、その東西に海面水温の暖水舌と冷水舌構造が卓越している(図1a)。それに対して、海面付近の風速場は冷水側で風速が弱く、暖水側で風速が強くなっており、特に冷水側においては風速の極小域が海面水温の極小域と一致している。この海面水温と海上風速の関係は「風が強いと大気から海洋への熱放出が促進され、それにより水温が冷える」という潜熱放出の原理では説明がつかないため、海面水温が風速場に影響を及ぼしていることを示唆している。さらに、マルピーナス海流とブラジル海流が作り出す海面水温フロントは南北方向に伸びており、気候学的な西風と直交している。そのため、海上を吹く中緯度特有の西風はこの海面水温フロント上で発散している(図1b)。このような特徴は1年を通して見られ、黒潮やメキシコ湾流に伴う海面水温フロントでは見られない特徴である。

海面水温が風速を変化させるメカニズムの1つとして、大気の静的安定度の変化による鉛直混合メカニズムが熱帯域に対する過去の研究によって指摘されている(Wallace et al. 1989)。海面付近の静的安定度は海面水温と海上気温の差(SST-SAT)が大きい(小さい)ほど不安定(安定)になるものの、人工衛星では気温が測定できないため、本研究では船舶資料から得られたSST-SATを作成した。SST-SATの分布(図2)は、暖かいブラジル海流(冷たいマルピーナス海流)の上で大きく(小さく)大気下層は不安定(安定)になっている。大気が不安定な海域では鉛直混合が起こりやすいため、運動量が大きい上層の空気が下層に下りてきて海上風を加速するのに対し、安定な海域では鉛直混合が起こりにくいいため海上風の加速は小さいと考えられる。

さらに本研究では経年変動の場においても海洋から大気への強制が存在することを示した。これまでの研究では中緯度帯における支配的な大気強制のため、経年変動の場に関しては海面水温偏差と海上風偏差の間には負の相関関係のみが提示されてきた。それに対してこの海面水温フロント上では海面水温偏差と海上風偏差が互いに正の有意な相関を示している(図3)。さらに船舶による海上気象要素データを用いて、このフロント上で平均した海上風速、およびSST-SATの偏差の時系列は互いに有意な正の相関を示している(図4)。これは経年変動の場において



も気候学的な場と同様に海面水温が大気下層の鉛直安定度を変化させ、それによって鉛直混合の強さ

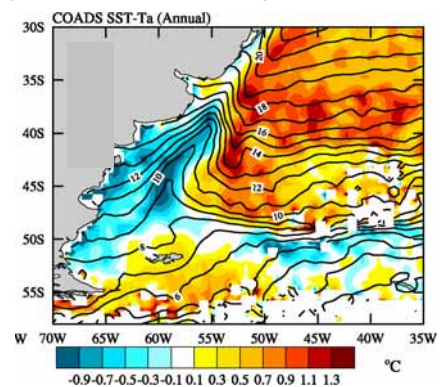


図2 南大西洋アルゼンチン沖における海面水温(実線: 等値線間隔1)と海面水温と海上気温の差(カラー:)。値は船舶観測データの年平均気候値。

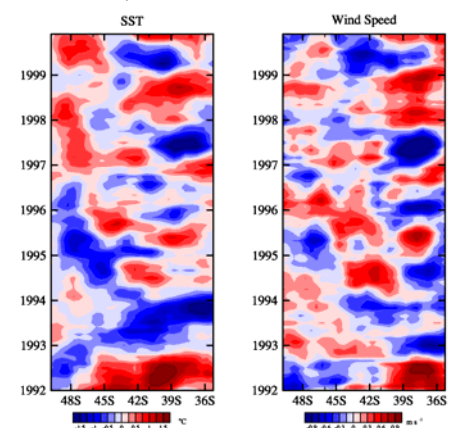


図3 海面水温フロント(53.25W)に沿った海面水温偏差(左)と海上風偏差(右)の緯度-時間断面

図4 海面水温フロント(36-39S, 53.25W)に沿って平均した海上風偏差(実線)とSST-SAT偏差(点線)の規格化時系列。データは船舶観測データ

が変化して下層風の加減速を引き起こすことを示唆している。

第2の解析では、黒潮続流域においてGPSラジオゾンデ観測を行い、海面水温フロント近傍での気圧・気温・湿度・風向風速の鉛直構造を調べた。北緯30–37度のGPSラジオゾンデ観測データを用いて、SST-SATが1よりも小さいときを安定、5よりも大きいときを不安定として、仮温位と風速に対してコンポジット解析を行った(図5)。海面付近の静的安定度の指標であるSST-SATは、観測期間を通して海面水温の変化を反映するように海面水温が高い(低い)海域でSST-SATも大きくなるという正の相関関係が見られた。

SST-SAT < 1 のとき(図5 a: 破線)は仮温位が高度とともに増加しており大気境界層が安定な状態を示しているのに対し、SST-SAT > 5 のとき(図5 a: 実線)は仮温位が高度約600mまでほぼ一様になっている。仮温位の鉛直変化率に違いが見られたのは高度1300m(約850 hPa)までだったことから、海面付近の大気安定度の影響がその高度まで及んでいたと考えられる。一方、風速の鉛直分布は高度約600mよりも下層で安定度によって差が見られ、SST-SAT < 1 (SST-SAT > 5) のときは風速の鉛直シアが大きく(小さく)なっている(図5 b)。その結果、高度1500mの風速を基準値としてみた海上風速はSST-SAT > 5 のときの方がSST-SAT < 1 のときよりも約 4 m s^{-1} 大きくなっている。

今回の観測によって得られた風速と仮温位の鉛直分布は、黒潮続流において鉛直混合メカニズムが作用していることを支持している。大気の安定度が大きい(小さい)場合は大気境界層内の鉛直混合が抑制(促進)され、運動量の混合も抑制(促進)される。その結果として、海上風速は周辺よりも小さく(大きく)なり、風速の鉛直シアは大きく(小さく)なると考えられる。それゆえ、本研究において示された中緯度海流フロントにおける観測事実は、大気と海洋の相互作用が一方方向ではなく、双方向であることを示唆している。

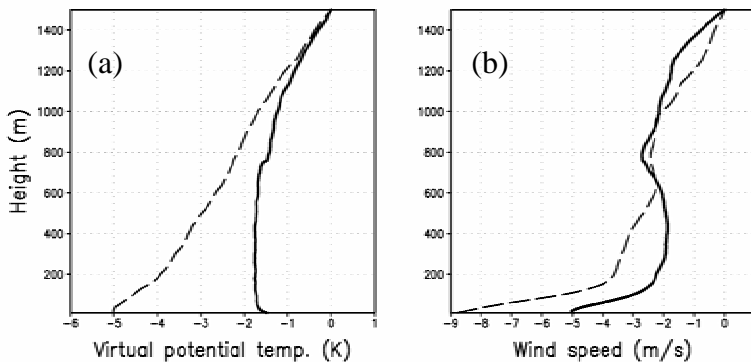


図5 北緯30–37度のGPSラジオゾンデ観測データ(開洋丸)から得られた(a)仮温位と(b)風速の鉛直分布の合成図。破線(実線)はSST-SAT < 1 (> 5)のときの高度1500mの値からの差を示す。

3. 論文および学会発表リスト

< 投稿論文 >

- [1] Tanaka, H. L. and H. Tokinaga, 2002: Baroclinic instability in high latitudes induced by polar vortex: A connection to the arctic oscillation, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 59 (1), 69-82, 2002.
- [2] Xie, S.-P., J. Hafner, Y. Tanimoto, W.T. Liu, H. Tokinaga, and H. Xu, 2002: Bathymetric effect on the winter sea surface temperature and climate of the Yellow and East China Seas, *Geophysical Research Letters*,

29, 2228, doi: 10.1029/2002GL015884.

- [3] Tokenaga, H. and Y. Tanimoto, 2004: Seasonal transition of SST anomalies in the tropical Indian Ocean during El Nino and Indian Ocean Dipole years, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 82, 1007-1018.
- [4] Tokenaga, H., Y. Tanimoto, and S.-P. Xie, 2004: SST-induced surface wind variations over the Brazil/Malvinas Confluence: Satellite and in-situ observations, *Journal of Climate*, in press.
- [5] Xie, S.-P., M. Nonaka, Y. Tanimoto, H. Tokenaga, H. Xu, W. S. Kessler, R. J. Small, W. T. Liu, and J. Hafner, 2004: A fine view from space. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 85, 1060-1062.

< 学会口頭発表 >

- [1] 時長 宏樹, 田中 博: 北極振動 (AO) に伴う極渦と傾圧不安定波との相互作用の研究. 日本気象学会, つくば (平成 12 年 5 月)
- [2] 時長 宏樹, 谷本 陽一: インド洋ダイポールモード現象とエルニーニョ/南方振動との独立性の検証. 日本気象学会, 岐阜 (平成 13 年 10 月)
- [3] Tokenaga, H., Y. Tanimoto, and K. Yamazaki: Seasonal modulation in a linkage between the Indian Ocean Dipole Mode and the El Nino/Southern Oscillation. American Geophysical Union (AGU) – The 11th Ocean Sciences Meeting, Honolulu (平成 14 年 2 月)
- [4] 時長 宏樹, 谷本 陽一: インド洋ダイポール現象と熱帯太平洋大気海洋変動との季節的な関係. 日本気象学会, さいたま (平成 14 年 5 月)
- [5] 時長 宏樹, 谷本 陽一: 中高緯度帯海流フロント域の海面水温分布に対する下層大気循環の応答. 日本海洋学会, 東京 (平成 15 年 3 月)
- [6] Tokenaga, H., and Y. Tanimoto: SST forcing to surface wind speed over the Brazil/Malvinas Confluence. The 2003 International Union of Geophysics and Geodesy (IUGG) general assembly, Sapporo (平成 15 年 7 月).
- [7] 時長 宏樹, 谷本 陽一, 野中 正見, 田口 文明, 深町 知宏, 謝 尚平, 中村 尚, 渡邊 朝生, 安田 一郎: 冬季黒潮続流における海面水温フロント上での GPS ラジオゾンデ観測. 日本気象学会, 福岡 (平成 16 年 10 月)