

2006年梅雨期の黒潮続流域における大気観測

甲斐浩平¹・谷本陽一²

¹北海道大学大学院環境科学院

²北海道大学大学院地球環境科学研究院

1.はじめに

黒潮続流は赤道側から極側に大量の熱を輸送する亜熱帯循環系の北端に位置しているため、冬季における黒潮・黒潮続流域では海面水温と海上気温に大きな差があり、大気に放出される熱量が多い海域として知られている。この海面から大気へ放出される熱が大気下層を温め、大気下層の温度・湿度・風の鉛直構造を変化させることが衛星観測データや数値実験結果を用いた最近の研究によって指摘されている。また、亜熱帯循環系の黒潮続流は亜寒帯循環系の親潮と西部北太平洋で接しているために強い海面水温前線(以下 SST フロント)を形成しており、黒潮続流域は暖水域上の大気の構造と冷水域上の大気の構造を比較しやすく、海洋から大気への熱放出による大気の変質の様子を捉えやすいと期待される海域である。衛星観測データや数値実験結果を用いた研究で指摘されている海面から大気への熱放出による大気下層の温度・湿度・風の鉛直構造の変質を理解するためには、船舶による直接観測が不可欠である。しかし、これまで黒潮続流域の船舶による大気直接観測は集中的に行われてはいなかった。そのため我々の観測チームは2003年冬季に照洋丸(水産庁所有)で、2004年冬季に開洋丸(水

産庁所有)でラジオゾンデ観測を行い、冬季に黒潮続流の熱に温められて大気境界層内の温度・湿度・風の鉛直構造が変化していることを明らかにした(Tokinaga2005)。

北太平洋上の下層雲量は6~8月の夏季にもっとも卓越しており、その季節変動には大気下層や海面付近の安定度の季節変動との間に正相関がある(Klein and Hartmann 1993)。このことは、海面付近の安定度が大気下層の温度・湿度の鉛直構造に影響を与えることで、下層雲の形成に影響を及ぼしていることを示唆している。

大気下層の安定度と下層雲形成の関係を詳しく知るためには、十分な解像度の温度・湿度の鉛直分布と下層雲の成り方を知る必要がある。そこで、本研究では夏季(梅雨期)黒潮続流域におけるラジオゾンデ観測で得られた鉛直方向に詳細なデータを用いて、大気下層の気温・湿度の詳細な鉛直構造を示し、大気下層の安定度と下層雲の形成に関して考察した。

2.観測概要と解析手法

KESS05(Kuroshio Extension System Study 2005)の大気観測は2005年6月17日~7月17日に30~40°N、140~150°Eの黒潮続流域において行われた。35~37°N付近に

存在する海面水温フロントを数回横切り、全部で 116 個のセンサーから気温・相対湿度・風速・風向のプロファイルを得た。また、航海期間中の海上気象要素はラジオゾンデ放球の前後 30 分の平均値を用いる。観測期間中シーロメーターを用いて雲底高度の観測も行った。この雲底高度データは1分値を使用した。気象庁のメソ客観解析データの海上風の収束や天気図によると、梅雨前線は平均的に 30~37°N 付近に存在していたが、1ヶ月の観測期間中にこの範囲を南北に移動し、梅雨前線の南北の気温・水蒸気量・風速などが異なる2つの気団の支配下で観測を行った。

そこで、海上風の南北成分で場合分けをし、北寄りの海上風が吹いている場合と、南寄りの海上風が吹いている場合でそれぞれ緯度間隔 0.4° の bin に分け、ラジオゾンデ観測データ、海上気象要素の緯度コンポジットを行った。これにより、大気の大規模擾乱の影響をできるだけ取り除き、梅雨前線の北側から流入する空気と、南側から流入する空気を区別することができる。

また、黒潮続流に伴う暖水域から大気への熱の移動が大気下層の温度・湿度の鉛直構造・雲のでき方に影響を与えている事を示すために、相対的に梅雨前線の北側で観測を行ったラインと相対的に梅雨前線の南側で観測を行ったラインにおいて、1~2日の比較的短い期間で黒潮続流 SST フロントを横切った時の大気下層の温度・湿度の 3000m までの鉛直分布と、シーロメーターで観測された雲底高度を示した。

2006年6月1日~7月5日にも、観測サンプリングを増やし黒潮続流域における海洋と大気の熱交換による大気下層の温度・湿度・風の鉛直構造の変化、境界層雲の形成を調べるために、昨年に続いて KESS06 (Kuroshio Extension System Study 2006) が行われた。KESS05 の大気直接観測データの解析結果と同様の解析を行ったがここでは海上気温が変化せず黒潮続流 SST フロントを跨いだために海面水温が変化した観測の大気下層の大気下層の温度・湿度の 3000m までの鉛直分布のみを示す。

3. 観測結果

3.1 総観規模擾乱による性質の異なる性質の空気塊の流入による大気海洋相互作用

海上風の南北成分が北寄りの場合(図 1a) と南寄り(図 1b) の場合の、仮温位と相対湿度の緯度-高度断面図と海上気象要素の緯度分布を示す。北よりの海上風が吹く場合には、断面図の緯度全域に渡って海面で不安定であり、南よりの海上風が吹く場合には、30~37°N で安定となっている。海上気温は北よりの海上風が吹く場合のほうが、南よりの海上風が吹く場合よりも低く、海面水温はどちらも同程度であるため、海面の安定度の緯度分布の違いは海上気温によってもたらされている。仮温位の鉛直勾配は海面付近が不安定(安定)なときに大きい(小さい)。不安定な海上では、1000~1200m の厚さの混合層が形成され、北からの冷たい空気の下層への移流に伴う気温逆転の下部で相対湿度 90%、その直上で 50%程度と乾燥し

ていて、気温逆転の高度で下層雲が形成されていることを示唆する。一方、南よりの海上風が吹く安定な海上においては、相対湿度は、海面で90%になっており、空気が海面に冷やされて霧が発生していたと考えられる。また、高度1500~2400mまで相対湿度が80%以上となっている。気象庁メソ客観解析データの観測期間の海上風(図省略)は収束を示しており、この高い相対湿度は梅雨前線に伴う雲であると考えられる。

3.2 海面水温フロント付近の大気海洋相互作用

図2(a)に KESS05 において梅雨前線の北側で黒潮続流に伴う SST フロントを横切って観測を行った時(2005年7月13日06:00UTC~2005年7月14日12:00UTC)の、図2(b)に梅雨前線の南側で黒潮続流に伴う SST フロントを横切って観測を行った時(2005年7月11日06:00UTC~2005年7月12日18:00UTC)の仮温位と相対湿度の緯度-高度断面図と海上気象要素の緯度分布を示す。梅雨前線の北側における観測では海面付近は全体的に不安定になっており、混合層が800~1000mの高度まで達し、相対湿度が混合層のトップで95~100%に達している。また、シーロメーターから得られた雲底も相対湿度が最高値を示す高度に位置していることから下層雲が形成されている事がわかる。一方、梅雨前線の南側における観測では海面付近は全体的に安定で混合層ははっきりとした形で現れておらず、相対湿度は海面で最高値をとっている。シーロメータ

ーから得られた雲底は海面付近に位置している事からも海面で大気が冷やされて霧が発生していた事がわかる。この結果は3.1で説明したコンポジット図の結果と符号する。

また、梅雨前線の北側の観測は黒潮続流に伴う暖水域からの熱フラックスの大気下層の温度・湿度の鉛直構造、混合層の高さ、下層雲の形成高度・厚さへの影響を示唆している。梅雨前線の北側の観測では35.5°N付近でSSTが急激に変化し南側でSSTが高くなっている。これはこの緯度に黒潮続流に伴うSSTフロントが位置しており、SSTフロントを跨いで観測を行った事を示す。黒潮続流に伴う暖水域ではSST-SATで示される海面付近の大気の安定性が大きく変化し、黒潮続流に伴う冷水域ではSSTフロントの北側の冷水域上に比べ不安定となっている。これに伴い300Kの仮温位の等値線で代表される混合層の高さは黒潮続流に伴う暖水域上で1000mであるのに対し、SSTフロントの北側の冷水域上では800mとなっていた。また、黒潮続流に伴う暖水域上では相対湿度が最大値をとる高度は500~1000mであるのに対し、SSTフロントの北側では700~1000mとなっていた。シーロメーターから得られた雲底高度は黒潮続流に伴う暖水域上では500m程度であるのに対し、SSTフロントの北側の冷水域上では1000mとなっていた。相対湿度の分布とシーロメータの雲底高度は黒潮続流に伴う暖水域上ではより厚い下層雲が形成されていた事を示している。

図3に KESS06 において黒潮続流 SST フロントを南北に横切って観測を行ったとき

(2006年6月23日18:00UTC～2006年6月25日00:00UTC)の仮温位と相対湿度の時間-高度断面図と海上気象要素の時間分布を示す。南下しながら観測を行ったため、以下時間軸の右側を北、左側を南として解説する。断面図の全緯全緯度帯で海上気温(SAT)は22°Cとほとんど変わらないため、SST-SATはSSTに依存し、黒潮続流に伴う暖水域上では不安定、SSTフロントの北側の冷水域上では安定となっている。302Kの仮温位の等値線で示される混合層の厚さは黒潮続流に伴う暖水域上では600～900mの高度まで達しているが、SSTフロントの北側の冷水域上では混合層が見られない。相対湿度は黒潮続流に伴う暖水域上では500～1000mで95～100%、SSTフロントの北側の冷水域上では海面で95～100%に達している。これは高(低)SST上で下層雲(霧)が発生していた事を示唆している。

これらの観測結果から、黒潮続流に伴う暖水域から供給される海面熱フラックスが混合層を厚くし、暖水域からより多く供給される水蒸気が下層雲を厚くしている事を示唆している。

4. まとめ

梅雨期には、気温に比べて変わりにくい海面水温の分布を持つ海域に、梅雨前線の移動に伴う特性の異なる2つの空気塊が流入する。これら2つの空気塊は海洋の影響でそれぞれ異なった熱交換をするため、大気下層の温度・湿度の鉛直分布が梅雨前線の南北で異なる。この異なる大気下層の

温度・湿度の鉛直分布が下層雲や霧の形成に大きく関与していることを、現場のラジオゾンデ観測結果で明らかにした。

5. 謝辞

本報告に関わる研究には以下の研究チームのメンバーが関わっている。三瓶岳明(ハワイ大学国際太平洋研究センター)、Jian Ma(ハワイ大学気象学科)、Karl Stein(ハワイ大学気象学科)、時長宏樹(JAMSTEC 地球環境観測研究センター)、謝尚平(ハワイ大学国際太平洋研究センター)、野中正見(JAMSTEC 地球環境フロンティア研究センター)、小橋史明(東京海洋大学海洋工学部)、中村尚(東京大学大学院理学系研究科)、後藤敦史(東京大学大学院理学系研究科)、高垣吾郎(北海道大学大学院地球環境科学研究科)、Mathew Roxy(北海道大学大学院地球環境科学研究科)。

また、観測にご協力いただいた米国 University of Rhode Islands の Randolph Watts の研究グループ、カリフォルニア大学 Scripps 海洋研究所 R/V Roger Revelle、R/V Melville の船長を始めとする乗組員の方々には深く感謝を申し上げます。

尚、今回の研究集会参加のための旅費を援助していただいた京都大学防災科学研究所の向川均助教授にお礼を申し上げます。

参考文献

Tokinaga, H., Y. Tanimoto, M. Nonaka, B. Taguchi, T. Fukamachi, S.-P. Xie, H. Nakamura, T. Watanabe, and I. Yasuda,

2006: Atmospheric sounding over the winter Kuroshio Extension: Effect of surface stability on atmospheric boundary layer structure, Geophysical Research Letters, 33, L04703, doi:10.1029/2005GL025102.

Klein, S.A. and D.L. Hartmann, 1993 : The Seasonal Cycle of Low Stratiform Clouds. J. Climate. 6, 1587-1606.

Norris, J.R., 2000 : Interannual and interdecadal variability in the storm track, cloudiness, and sea surface temperature over the summertime North Pacific. J. Climate. 13, 422-430.

Xie, S.-P., 2004 : Satellite observations of cool ocean-atmosphere interaction. Bull. Amer. Meteor. Soc. 85, 195-208.

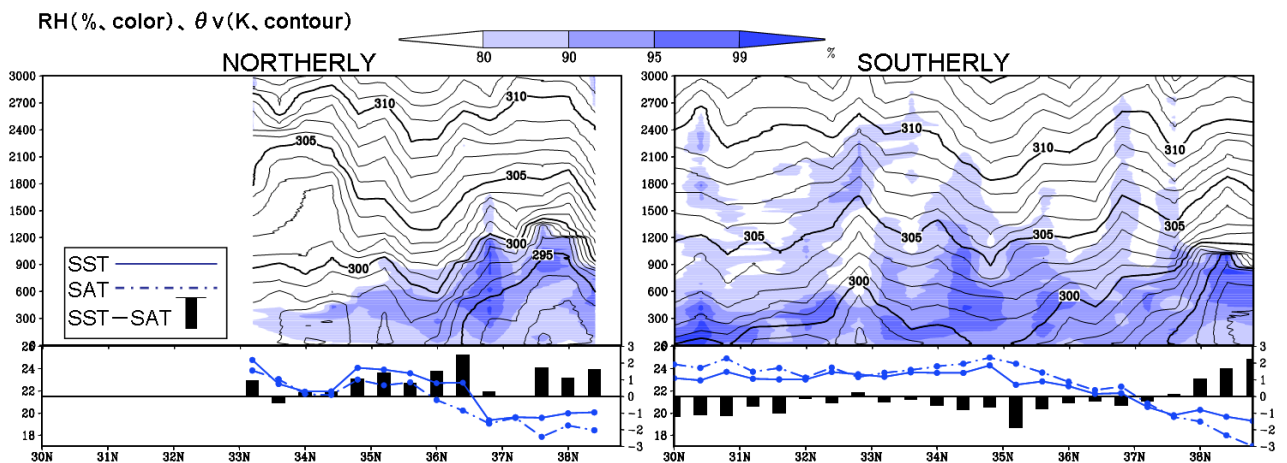


図1 海上風の南北成分により場合分けを行った緯度コンポジット図.

2005年6月17日~7月17日の観測期間中に30~40°N、140~150°Eの黒潮続流域で行ったラジオゾンデ観測において(a)北寄りの海上風が吹いていた場合と、(b)南よりの海上風が吹いていた場合の緯度コンポジット図.

上図はラジオゾンデ観測で得られた相対湿度(%、カラー)と仮温位(K、コンター)の3000mまでの緯度-高度断面を、下図は観測船で連続的に測った海面水温(実線)と海上気温(破線)、海面水温と海上気温の差で表した海面付近の安定度(バー)を示す.

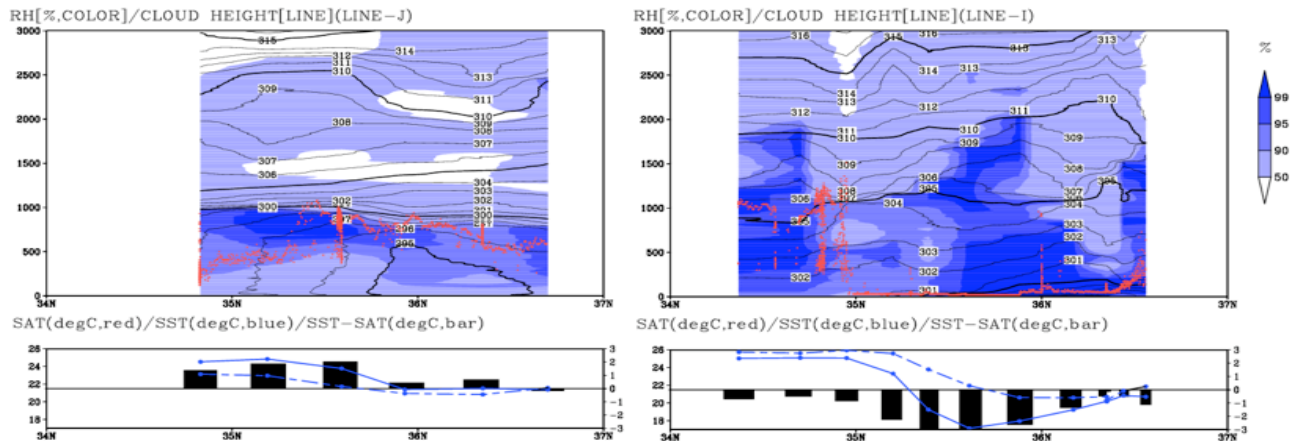


図 2. 黒潮続流 SST フロントを横切って行ったラジオゾンデ観測

(a) 梅雨前線の北側(2005年7月13日06:00UTC~2005年7月14日12:00UTC)

(b) 梅雨前線の南側(2005年7月11日06:00UTC~2005年7月12日18:00UTC)

上図はラジオゾンデ観測で得られた相対湿度(%、カラー)と仮温位(K、コンター)の3000mまでの緯度-高度断面を、下図は観測船で連続的に測った海面水温(実線)と海上気温(破線)、海面水温と海上気温の差で表した海面付近の安定度(バー)を示す。

また、シーロメーターで観測した雲底高度は上図に赤い点で示す。

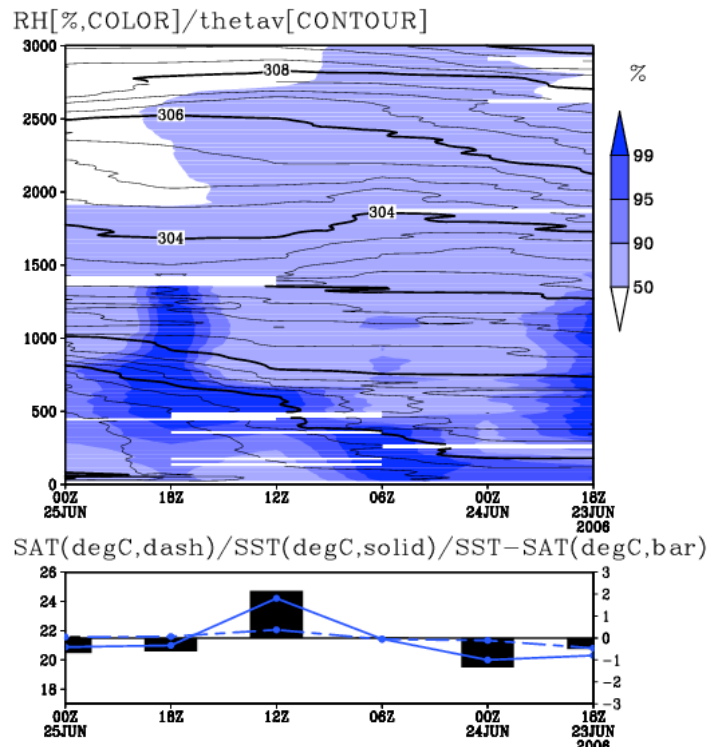


図 3. 黒潮続流 SST フロントを横切って行ったラジオゾンデ観測
2006年6月23日18:00UTC~2006年6月25日00:00UTC

上図はラジオゾンデ観測で得られた相対湿度(%、カラー)と仮温位(K、コンター)の3000mまでの緯度-高度断面を、下図は観測船で連続的に測った海面水温(実線)と海上気温(破線)、海面水温と海上気温の差で表した海面付近の安定度(バー)を示す。