

# 黒潮大蛇行域におけるシーロメーターによる大気境界層構造の観測

村山 利幸, 小橋 史明

東京海洋大学 (〒135-8533 東京都江東区越中島 2-1-6)

## Observation of Structure of Marine Atmospheric Boundary Layer by Ceilometer over meandering Kuroshio

Toshiyuki MURAYAMA<sup>1</sup> and Fumiaki KOBASHI<sup>2</sup>

Tokyo Univ. of Marine Science and Technology, 2-1-6 Etchujima, Koto, Tokyo 135-8533

**Abstract:** Shipboard ceilometer observation was conducted during May 2021 on R/V Shinseimaru in the southwest region of the middle of Japan to study the effects of the large meandering warm Kuroshio current on the atmosphere. Here we focus on the observations across the Kuroshio from the offshore to a colder sea inshore under clear sky condition. The marine atmospheric boundary layer (MABL) heights determined by the BL-View software coincide well with those observed by the radiosonde. In addition, following interesting variation of MABL was captured by the ceilometer with the BL-View. The height of the ABL over the Kuroshio varied at 500-800 m. In the transitional region between the Kuroshio and the cold sea inshore, spontaneous lifts of the ABL by 400 m were observed. Those might be explained by the passage of an anticyclone over the Honshu Island. Over the cold sea, a shallow ABL newly appeared, while the upper ABL was continuously existed at the same level as observed over the offshore.

**Key Words:** Ceilometer, Marine Atmospheric Boundary Layer, Kuroshio

### 1. はじめに

黒潮及びその続流域では、海洋は大量の熱量を大気に放出するため、北半球の気象や気候に大きな影響を与えている<sup>1)</sup>。我々は過去 10 年の間、日本近海の北太平洋において、シーロメーターを観測調査船に載せることによって、海洋上の雲及びエアロゾルの観測を行ってきた<sup>2,3)</sup>。Vaisala の BL-View (Boundary Layer View Software) を用いることによって、シーロメーター観測データより雲底高度のみならず、大気境界層高度を得ることが出来る。また、シーロメーターによる観測は連続なため、ラジオゾンデ及び観測船による様々な大気及び海洋の観測と統合した研究に資することが期待される。一般に、シーロメーターは陸上の特定の場所での長期間における大気境界層の研究にしばしば用いられる<sup>4,5)</sup>。一方、船舶に搭載したシーロメーターの利用は陸上に比べ限られている<sup>2,3,6)</sup>。この報告では、晴天時に黒潮フロントを横断した航海に着目して議論する。

### 2. 観測及び解析方法

2021 年 5 月 24 日から 31 日の間、JAMSTEC の R/V 新青丸の KS-21-9 航海が、黒潮の日本沿岸の大気を与える影響を調べるため、黒潮の大蛇行領域で行われた。この航海は文部省科学研究費・新学術領域研究「変わりゆく気候系における中緯度大気海洋相互作用 hotspot」の一環として行われた<sup>7)</sup>。Fig. 1 に航跡図をラジオゾンデの観測点 (S001~S031) 及び衛星による海表面温度 (SST)<sup>8)</sup>と共に示す。Vaisala 社のシーロメーター CL31 を上甲板に設置 (海表面から約 10 m) した。この航海では、CL31 から CL-View (Vaisala) により、15 秒毎に分解能 10 m で高度 7.5 km まで後方散乱係数を記録した。本研究では、得られた生データを後から BL-View を用いて解析した。BL-View では条件に応じて自動的に時間及び高度方向の平均化がなされる。典型的な平均時間は夜間の 14 分から、明るく曇った天候では信号ノイズに応じて 52 分まで変わる。高度方向の平均は高度によって変わり、表面近くの 80 m から 1.5 km 以上の 360 m まで変わる。ここでは、勾配法のアルゴリズムを用いた BL-View の結果について示す<sup>9)</sup>。一般に、表面付近から放出されたエアロゾルは上空の温度逆転層によって上方への拡散を妨げられるため、後方散乱プロファイルの局所極小値が大気境界層高度 (BLH; Boundary Layer Height, ここでは BL-View によって判定される境界層高度を BLH と称する) に対応する。BL-View は 3 層までの BLH を検出する。GPS ラジオゾンデ観測は明星電気の iMS-100 ラジオゾンデと RD-08AC 受信機を用いて行われた。ラジオゾンデでは高い高度分解能 (約 5 m) で気温、相対湿度、風速、風向の精密なプロファイルが得られる。

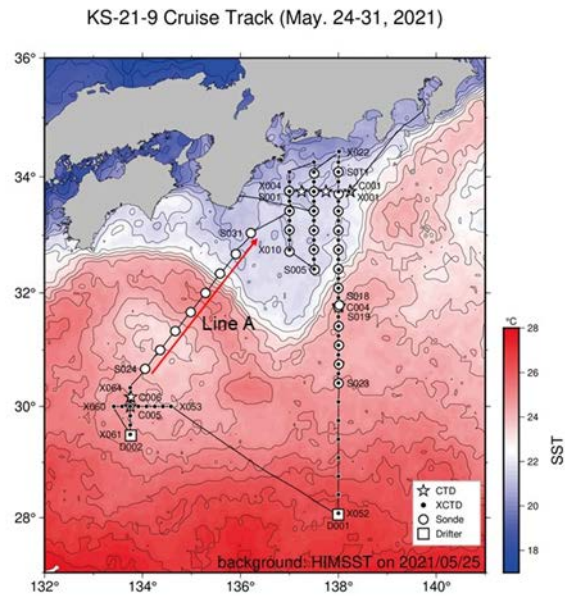


Fig. 1. Ship track and radiosonde launch site (circle) during the KS-21-9 cruise. The color contour indicates the SST on 25 May 2021<sup>8)</sup>. Line A shows the straight track across the Kuroshio front.

しかしながら、ラジオゾンデの観測数はその費用などによって制限される。観測船には大気及び海洋の状況をモニターする数多くのセンサーが装備されている。ラジオゾンデとシーロメーターから得られる大気境界層構造はよく一致する。最低高度の大気境界層高度を混合層 (MLH; Mixing Layer Height) とみなす。ラジオゾンデ観測からは海表面から仮温位 ( $T_v$ ) が  $1^\circ\text{C}$  上昇した高度を混合層と定義する<sup>10)</sup>。S026 においてラジオゾンデとシーロメーターから得られた混合層高度の比較例を Fig. 2 に示す。この例は黒潮上空で、均一な仮温位  $T_v$  で示されるように混合層内は非常によく混合されている。観測船は黒潮大蛇行域から北の陸に近い冷たい海域に向かって航行した。その航跡を Fig.1 に line-A (赤線) として示し、その航路に沿っての観測結果について示す。7つのラジオゾンデが S024 から S031 まで、緯度 30 分毎に放球された。

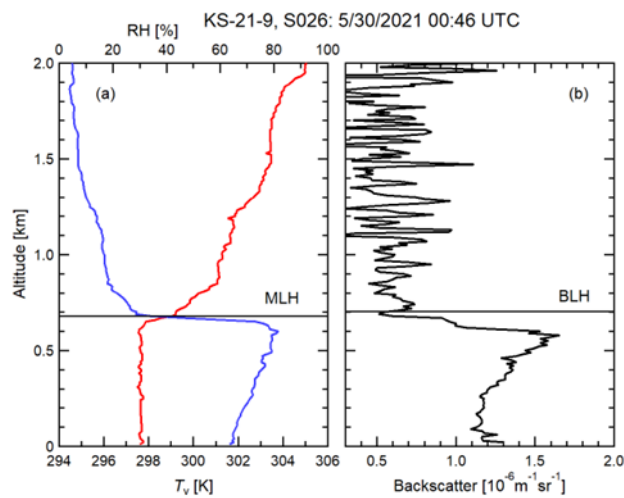


Fig. 2. Example of the deamination of the mixing layer height by the radiosonde S026 and the ceilometer: (a)  $T_v$ , and RH, (b) backscatter profile. The horizontal lines indicate the MLH and BLH at 00:46 UTC (LT=UTC-9) 30 May 2021.

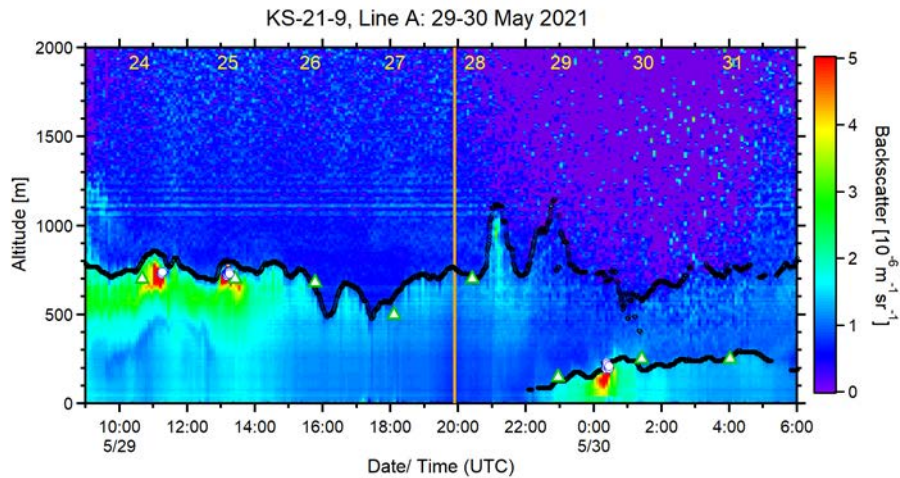


Fig. 3. Time to height plot of the attenuated backscatter on 29-30 May 2021 along the line A together with the BLHs (black circle). The white and blue circle indicates cloud bases. The white and green triangles show the MLH derived from the radiosondes (S024-S031; the numbers are indicated in orange at the top). The orange vertical line indicates the sunrise time.

### 3. 解析結果と考察

減衰後方散乱係数の時間高度断面図を Fig. 3 に示す。図にはシーロメーターによる雲底、境界層高度とラジオゾンデによる混合層高度も示されている。Fig. 4 には BLH, SST, 海洋表面気温 (SAT), 顕熱と潜熱フラックス ( $Q_h, Q_e$  [ $W/m^2$ ]), 風速  $U$  [ $m/s$ ] 及び風向 DIR [ $deg.$ ] の時系列データを示す。SST-SAT (=S) は大気安定度の指標となる<sup>10)</sup>。海表面での熱フラックスはバルク法によって海表面での気象データから計算した<sup>11)</sup>。line-A の航海において、興味深い現象が黒潮フロントを横断する際に見られた (暖かい海から冷たい海に移る際に)。黒潮上では、BLH は比較的高い正の S 及び海洋からの熱フラックスと共に 500 m から 800 m の高度となっている。突然の高度 700 m から 1100 m への BLH の急激な上昇が 5 月 29 日 2030-2330 UTC の間に 2 回起こっている。この注目すべき BLH のジャンプは次のような理由で起こったと考えられる。偶然、高気圧が日本の本州を通過し、観測地点に北風をもたらした。このことは Fig. 4f の風向の急激な変化から示唆される。そのため、SAT は SST の減少より約 30 分早く低下している。これにより、熱フラックスと S をそれぞれ  $100 W/m^2$  及び  $1.5^\circ C$  増加させた。黒潮フロントの通過後、北からの冷たい大気と低い海表面温度によって、低い混合層が形成されたと思われる、2つの境界層構造が 2100 UTC 以降みられる。上方の浮いた BLH は黒潮上の混合層高度と同じ高さであり、ラジオゾンデからも 2層構造が確認された。従って、2層目の BLH は黒潮領域からの残留層と考えられる。我々は 2022 年度の新青丸の航海 KS-22-9, 10 においてもシーロメーターを搭載し、BL-View によりリアルタイムで大気境界層構造を観測する予定である。

### 謝 辞

新青丸の船長及び乗組員に感謝します。この研究は科学研究費補助金・新学術領域 No. JP19H05699 及び No. 19H05700 の支援を受けた。

### 参考文献

- 1) S. Minobe et al.: Nature **452** (2008) 206, doi:10.1038/nature06690.
- 2) Y. Tanimoto et al.: J. Climate **22** (2009) 1360, doi:10.1175/2008JCLI2420.1.
- 3) Y. Kawai et al.: J. Meteorol. Soc. Japan **97** (2019) 423.
- 4) T. N. Knepp et al.: Atmos. Meas. Tech. **10** (2017) 3963.
- 5) A. Mues et al.: Atmos. Chem. Phys. **17** (2017) 8157.
- 6) A. M. Sempreviva et al.: Ann. Geophys. **28** (2010) 17.
- 7) [https://www.jamstec.go.jp/apl/hotspot2/overview\\_e.html](https://www.jamstec.go.jp/apl/hotspot2/overview_e.html).
- 8) [https://ds.data.jma.go.jp/gmd/goos/data/pub/JMA-product/him\\_sst\\_pac\\_T/Readme\\_him\\_sst\\_pac\\_T](https://ds.data.jma.go.jp/gmd/goos/data/pub/JMA-product/him_sst_pac_T/Readme_him_sst_pac_T).

- 9) C. Münkel et al.: Boundary-Layer Meteorol. **124** (2007) 117.  
 10) H. Tokinaga, H. et al.: Geophys. Res. Lett. **33** (2006) L04703, doi:10.1029/2005GL025102.  
 11) 1NOAA PMEL Homepage, <https://www.pmel.noaa.gov/ocs/flux-documentation0>

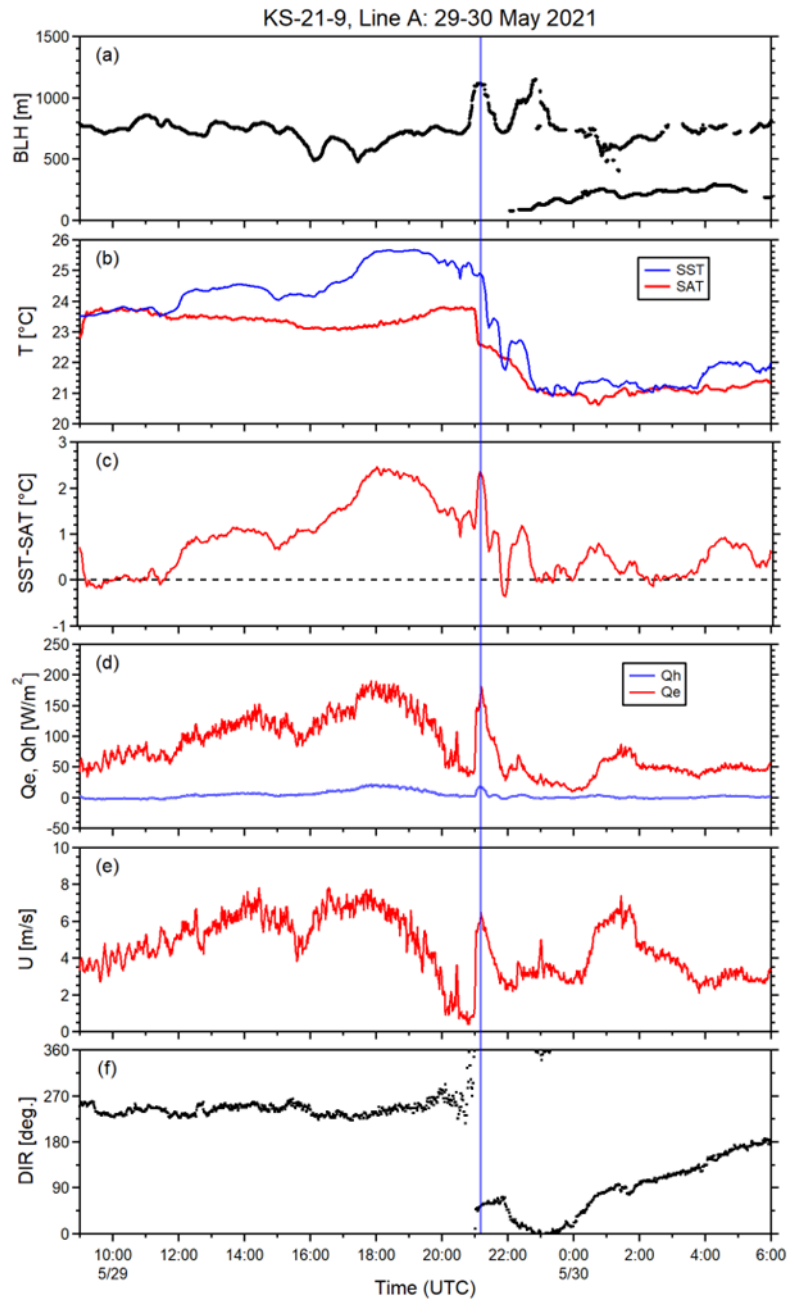


Fig. 4. From top to bottom, time series of the (a) BLH, (b) SST and SAT, (c) the difference SST-SAT, (d) sensible heat flux  $Q_h$  and latent heat flux  $Q_e$ , (e) wind speed  $U$ , (f) wind direction DIR during the line A of the cruise KS-21-9 on 29-30 May 2021. Vertical line indicated the time when the first peak of the BLH appeared.