下北半島太平洋岸で観測された海風について

菅野洋光*・岡 秀一**・前島郁雄***

要 旨 1989年7月25日に下北丘陵で小気候観測を行なった。係留気球を用いた観測により、高さ約200 m以下で気温約20℃の海風が捉えられた。海風の鉛直構造を解析したところ、高さ約100 m以下の海からの風に対応した層(水蒸気量が相対的に小さいことで特徴づけられる)と、100~200 mの反流が認められた。アメダスデータから、この海風は、太平洋側に局限されたものであることがわかった。

キーワード 下北丘陵 小気候観測 海風 ヤマセ 鉛直構造

I. はじめに

東北地方に夏季の低温をもたらす「ヤマセ」は、背の低い寒気層であるため、地形により大きく影響を受ける。例えば、脊梁山脈を境にして太平洋側が低温となることはよく知られた事実であり(浅井, 1950), また, 下北丘陵や津軽半島の中山山脈のような, 標高500 m前後の山地でも, 十分ヤマセの障壁となり得ることが指摘されている(小鹿, 1974; 工藤, 1981; 卜蔵, 1990)。一方, 筆者らは, 1984年と1987年の7月に下北丘陵を対象とした小気候観測を実施したが, より低温な場合に, 丘陵(240 m)をはさんだ東西の温度差がほとんど認められなかった(菅野ほか, 1989)。東北地方太平洋岸では, 海風により局地的に低温となる場合があることから(浅井, 1952; Shitara, 1952, 1964), 冷夏年において, 平均気温あるいは水田の収量で小規模山地をはさんだ東西の差が認められたとしても, それは, ヤマセ気団の変質だけではなく, 低温の海風も影響している可能性がある。ところで, ヤマセ気団と低温の海風は, 風の日変化から区別されてはいるが(小鹿, 1974;

昆, 1984), 気温の鉛直分布等の違いは明らかにされていない。これは, 東北地方太平洋岸での海風の解析がShitara (1952, 1964)以降ほとんど行なわれておらず, その鉛直構造が示されていないことによる。海風の鉛直構造, 性質, 分布を明らかにすることは, 定常的に存在する海上の寒気層を把握することになると考えられ, ヤマセ気団の形成過程を考える上でも重要である。

筆者らは, 前回報告した観測(1984, 87年)に続き, 下北丘陵で小気候観測を実施した。今回は係留気球を用いた鉛直方向の観測を重点的に行った。係留気球を用いた観測は, 井上, 阿部(1990)により久慈沿岸で行われ, ヤマセにともなう海霧の微気象特性が解析されている。従って, その効果は実証済みであると同時に, このような鉛直方向の観測データを蓄積することの意味は大きいと考えられる。観測の結果, 海風による寒気層の鉛直構造が解析できたので, ここに報告する。

II. 資料と観測方法

第1図に観測地の概要を示す。係留気球(明星電気株式会社製, CBS-T-14型係留ゾンデ使用)による観測は, 六ヶ所村泊の海岸(標高約1 m, 汀線から約100 m内陸)において, 7月25日の日中, 午前11

* 学振特別研究員(東京都立大学)

** 東京都立大学

*** 日本大学

第1図 観測地点およびアメダス観測点
網域は標高 200 m 以上を、○は係留気球観測地点を示す。

Fig. 1. Observation station and AMeDAS stations.
Shadings indicate above 200 m.
○: observation station by captive balloon.

時 11 分から午後 4 時 26 分まで行なった。観測方法は、気球を高度 10~25 m おきに 1~2 分間停止させ、得られた気象要素（気温、湿度、風向風速、気圧）を平均してその高度の値とし、さらに相当温位と混合比を計算した。高度は気圧から計算して求め、観測開始と終了とで表示高度が異なる場合は、その差を時間で割って観測高度を補正した。また、同じ地点でアスマン型通風乾湿計とマイクロアナモ風向風速計を用いて定時気象観測を行ない、気温、湿度、風向風速を 30 分間隔で測定した。さらに、アメダス観測点（むつ、小田野沢、六ヶ所、三沢）のデータを用い、下北半島付近での気温、風向風速の時間変化を検討した。

III. 結 果

第 2 図に 1989 年 7 月 25 日午前 9 時の地上天気図を示す。観測期間中は、台風 11 号が本州南方に発生し、北上していたものの、優勢な太平洋高気圧が張り出しており、夏型の気圧配置であった。

三沢における 7 月 25 日午前 9 時の高層気象観測

第 2 図 地上天気図 (1989 年 7 月 25 日 09JST)
Fig. 2. Synoptic chart, 09JST July 25, 1989.

第 3 図 三沢における高層気象観測結果 (1989 年 7 月 25 日 09JST)
t: 気温, h: 湿度, θ : 温位, θ_e : 相当温位, x: 混合比

Fig. 3. Vertical profiles of temperature (t), humidity (h), potential temperature (θ), equivalent potential temperature (θ_e), mixing ratio (x), wind direction and wind speed at Misawa meteorological observation station, 09JST July 25, 1989.

結果をみると（第3図），気温は1,000 mbで27.6℃と高く，ヤマセの侵入は認められない。混合比は地表付近から上へ向かって大きい減率を示すが，700 mbから568 mbの間では減率が小さく，5 g/kg前後の値を示している。その結果，568 mbでは湿度が78%と高く，雲ができやすい状態となっている。温位は上へ向かって値が増加しているが，相当温位は700 mbまで逆に減少しており，湿潤対流不安定な成層であることを示している。

第4図に，係留気球による観測結果の高度-時間断面を示す。観測は，途中で中断した1回(15時頃)を除いて3回行なった。

1回目の観測は11時11分から11時57分まで行ない，高度100 mまで測定した。このときは上りと下りの気温差が大きく，時間とともに昇温していた。風向は，地表で東～東南東，それより上では東南東～南で，風速は3 m/s以下であった。

2回目の観測は12時8分から14時6分まで行ない，高度450 mまで測定した。その結果，上りでは450 mまで22～23℃でほぼ様な気温分布が得られたのに対し，下りでは175～225 mに明瞭な逆転層が認められ，それ以下に気温20℃前後の低温の気

塊が侵入していた。風は，上りの場合，90 m以下で東南東，100～250 mでは主に南東～南南東であり，また，275～350 mではほぼ無風であった。下りになると，325 m以上では2～2.5 m/sの南東風で，275～300 mが無風，逆転層付近では北よりの風となり，175 m以下の低温の気塊は東北東～東南東の風に対応していた。この気塊は，日中になって侵入してきたこと，風向が海岸線とほぼ直行していたことから海風であると考えられる。また，逆転層付近で認められた北よりの風は，海風内で反流が形成されていることを示している。地上での気温観測結果をみると（第6図中泊），13時から13時30分の間に気温が急降しており，その時刻に海風の侵入が始まったことが推測される。

3回目の観測は，15時14分から16時26分まで行ない，高度400 mまで測定した。その結果，上り，下りともほとんど差のない気温分布が得られ，160～200 m以下の海風の存在を明瞭に示している。一方，200 m以上では気温は時間とともに上昇しており，その結果，200 m付近の気温の逆転も時間とともに大きくなっている。三沢での7月25日9時と21時の高層気象観測結果を検討したところ，850 mb面

第4図 係留気球観測による気温，風向風速の高度-時間断面（1989年7月25日）
Fig. 4. Time-height section of temperature, wind direction and wind speed by captive balloon observation (July 25, 1989).

の気温が9時に18.4℃であったのに対して、21時では19.4℃と1℃の昇温が認められた。従って、200 m以上の気温の上昇は周辺域への暖気移流によるものと考えられる。風は、300 m以上で主に南東風、逆転層のすぐ上で無風、逆転層上限から130 mないし150 mまでは西～北西風、120 m以下では北東～東南東の風になっている。従って、120 m以下の層が海風の本体であり、その上から200 mないし220 mまでの層は海風の反流になっていると考えられる。

つぎに、海風の鉛直構造を詳細に解析する。代表事例として海風が明瞭に認められた15時14分(地上)から15時51分(400 m)までの観測結果をとりあげた。第5図は気温、湿度、相当温位、混合比、風向風速の鉛直分布である。175～210 mに約5℃のき

わめて明瞭な気温逆転層が存在しており、175 m以下には、地表を除いて、20℃以下の海風が認められる。気象庁海洋気象部発行の海況旬報によれば、1989年7月下旬の旬平均海面水温度は、下北半島沖の北緯41.0度、東経141.7度で約18℃であり、この海風はより低温な海面から冷却されて形成されたものであることが推測される。湿度は50～175 mまで99%になっており、地表付近を除いてほぼ飽和していた。なお、観測中は上空に薄いもやが認められたが、下層雲は形成されていなかった。

海風の構造を詳しくみると、風向は、80 m以下で東南東であるのに対して、125～225 mでは北西～西風になっており、海風の内部に反流が存在していることがわかる。この循環は、例えばSimpson *et al.* (1977)の観測結果やモデルに示されているように、海風前線の後面に形成されるもので、海風が上昇反転したものが反流となっている。また、反流(北西～西風)の200 m以上は、逆転層の上限からやや上の部分に対応しており、上からの下降気流が混ざっていると考えられる。

また、相当温位、混合比ともに100 m以下では値が小さくなっており、海からの風に対応した下層は水蒸気量が相対的に小さいことで特徴づけられる。なお、15時51分から16時26分の観測では、この層は120～130 m付近にまで上昇していた。

最後に、第6図に示した同日のアメダスデータから海風の侵入状況を見る。小田野沢では、泊の気温の時間変化とほぼ平行した変化傾向を示しており、13時以降急降している。風向も14時には東南東で、海から風が吹いており、海風の侵入が認められる。なお、泊の気温が小田野沢よりも高いのは、観測地点が海岸の広い砂浜であったため、日射による地面の加熱が地上付近の気温を上昇させていたためである。

また、六ヶ所でも12時から14時にかけて気温が大きく低下しており、風向も東から東北東であるこ

第5図 気温(t)、湿度(h)、相当温位(θ_e)、混合比(x)、風向風速の鉛直分布
1989年7月25日15時14分(地上)から、
15時51分(400 m)までの観測による。

Fig. 5. Vertical profiles of temperature (t), humidity (h), equivalent potential temperature (θ_e), mixing ratio (x), wind direction and wind speed.
Observation was done from 15:14 (surface) to 15:51 (400 m).

第6図 アメダス観測点と泊における気温の時間変化

小田野沢と六ヶ所の風向風速も示す。

Fig. 6. Time variations of temperature at AMeDAS stations and Tomari. Wind direction and wind speed at Odanosawa and Rokkasho are shown.

とから、海風が侵入していることが考えられる。なお、気温が小田野沢と比較して高いことから、海風は地表からの加熱により変質していることが推測される。一方、むつ、および三沢では、ほとんど海風の侵入が認められない。従って、この海風は、下北半島の太平洋側に局限されていることがわかる。

今回観測された海風と Ninomiya and Mizuno (1985)の解析によるヤマセ気団と比較すると、ヤマセ気団の方が背が高く（～1 km）、かつ低温であり（下北半島太平洋岸で約 17℃）、両者は異なったものとして把握できる。また、加藤(1985)、児玉、山本(1990)は、オホーツク海気団の形成に層雲の上面からの長波放射による冷却が大きく効いていることを示した。今回観測された海風は、水蒸気はほぼ飽和

していたものの、霧もしくは層雲が認められず、海面からの冷却のみによって形成されていると考えられる。従って、オホーツク海周辺で形成され、北日本を吹走する気団とはその成因が異なっている可能性がある。この点に関しては、霧をともなう海風を解析することにより検討する必要がある。

今回観測された海風を、筆者ら(1989)による 1984 年の観測結果と比較すると、太平洋側に局限された低温の気塊と、気温、相当温位がほぼ一致していた。従って、この時期に下北半島太平洋側に侵入する海風は、気温 20℃ 前後であることが推測される。また、牛来、佐々木(1990)が、ヤマセ開始時に、寒気が三陸沖の気団と北太平洋極気団の二段階に流入することを指摘したことから、このような海風(寒気層)は、北日本の太平洋上に定常的に存在することが推測される。それが、北日本周辺海域でヤマセが吹走する場合に、ヤマセ気団の維持に有利に働いているのか否かについては、今後検討する必要がある。

さらに、今後は、このような海風の出現頻度および分布について明らかにし、海風による低温とヤマセによる低温とを分離すること、そして、東北地方の夏季の低温現象について、その原因を海風とヤマセの両面から検討していく必要がある。

IV. ま と め

1989 年 7 月 25 日に下北丘陵で小気候観測を行ない、海風の鉛直構造を解析した。

係留気球を用いた観測により、高さ約 200 m 以下で気温約 20℃ の海風が捉えられた。海風の侵入は、13 時から 13 時 30 分の間であったと推測される。

海風の鉛直構造を解析したところ、気温と湿度は 175 m 以下で様な値を示していたが、風向が 100 m 付近を境にして異なっており、海風から上昇反転した反流が認められた。相当温位と混合比の鉛直分布から、約 100 m 以下の海からの風に対応した層は、水蒸気量が相対的に小さいことで特徴づけられ

る。

アメダスデータを検討したところ、この海風は、下北半島の太平洋側に局限されたものであることがわかった。

謝 辞

本研究での現地観測にあたっては、泊の村役場出張所の方々にご便宜を計っていただき、また、五十嵐誠・高根澤良英・早坂祐一・古屋主税の4人の学生諸君のご協力をいただいた。さらに、東北地理編集委員およびレフェリーの方からは適切なアドバイスを頂いた。以上の方々には、ここに記して厚く御礼申し上げます。

本稿は、東北地理学会 1989 年度秋季学術大会において発表した内容を加筆修正したものである。

(1991 年 4 月 19 日 受理)

文 献

- 浅井辰郎 (1950): ヤマセ吹走時における東北地方の気温分布について. 資源研彙, **16**, 58~66.
- 浅井辰郎 (1952): 東北地方沿岸の海風による低温地帯. 内田寛一先生還暦記念祝賀会編: 内田寛一先生還暦記念論文集下巻. 帝国書院, 215~233.
- 卜蔵健治 (1990): 農業気象学からみた「やませ」. 海洋, **22**, 391~394.
- 井上君夫・阿部博史 (1990): 久慈海岸で観測される海霧の微気象特性. 東北農業試験場研究報告, **81**, 19~31.
- 加藤内蔵進 (1985): オホーツク海域における大気中の熱収支と下層気温の変動について. 天気, **32**, 425~433.
- 菅野洋光・岡 秀一・前島郁雄 (1989): 東北地方北部における夏季の低温時の気温分布—下北丘陵での小気候観測を例にして—. 東北地理, **41**, 15~24.
- 児玉安正・山本浩之 (1990): オホーツク海気団の冷却機構. 海洋, **22**, 427~431.
- 牛来 充・佐々木洋 (1990): “やませ”の流入過程とその変質. 海洋, **22**, 386~390.
- 工藤泰子 (1981): ヤマセの立体構造とそれに及ぼす山地の影響. 東北地理, **33**, 204~211.
- 昆 幸雄 (1984): “やませ”について. 昭和 58 年秋季大会シンポジウム「東北地方の冷夏について」の報告. 天気, **31**, 165~170.
- Ninomiya, K. and Mizuno, H. (1985): Anomalous cold spell in summer over Northeastern Japan caused by northeasterly wind from polar maritime airmass. Part 2. Structure of the north-easterly flow from polar maritime airmass. *J. Met. Soc. Japan*, **63**, 859~871.
- 小鹿洋子 (1974): ヤマセ吹走時における青森県の気温分布. 東北地理, **26**, 45~49.
- Shitara, H. (1952): On the temperature distribution of a coastal plain—In the case of the Plain of Sanbongi, Aomori prefecture—. *Sci. Rep. Tohoku Univ. 7th. Ser. (Geogr.)*, **1**, 43~55.
- Shitara, H. (1964): Sea-breeze air-mass boundary in a coastal plain as an example of meso-climatic divide. *Sci. Rep. Tohoku Univ. 7th. Ser. (Geogr.)*, **13**, 37~50.
- Simpson, J.E., Mansfield, D.A. and Milford, J.R. (1977): Inland penetration of sea-breeze fronts. *Quart. J. R. Met. Soc.*, **103**, 47~76.

The Sea Breeze on the Pacific Side of the Shimokita Peninsula

Hiromitsu KANNO*, Shuichi OKA**
and Ikuo MAEJIMA***

The Yamase wind is a cold north-easterly wind that causes summertime low temperatures in North Honshu. Because of its low elevation, the Yamase wind is affected by the mountain ranges. According to Ojika (1974), Kudo (1981) and Bokura (1990), small scale topographic features, such as the Shimokita hills (500 m above sea level), are also affect the Yamase wind. However, local climate data did not show the topographic effect at the Shimokita Hills in 1987 (Kanno *et al.*, 1989). Because the sea breeze on the Pacific side of North Honshu also causes low temperatures (Asai, 1952; Shitara, 1952, 1964), the east-west temperature contrast between the small-scale mountains may be result from not only the Yamase wind but also the sea breeze. However, the sea breeze on the Pacific side of North Honshu has not been examined since Shitara's studies in 1952 and 1964, and its vertical structure is still unknown. We here report on the results of our investigation of the sea breeze.

A captive balloon observation was done on July 25 in 1989 at Tomari (Fig.1). The Ogasawara anticyclone strongly spread (Fig.2) and the Yamase wind did not blow on the observation day (Fig.3). A distinct sea breeze (about 20°C) was found under about 200 m elevation in the afternoon (Fig.4). The vertical profiles of wind direction, wind speed, mixing ratio and equivalent potential temperature show that a return flow is formed in the sea breeze and the water vapor under about 100 m is relatively small (Fig.5). The temperature data of AMeDAS stations indicate that this sea breeze is restricted in the Pacific side of the Shimokita Peninsula (Fig.6).

The sea breeze observed in this work is characterized by lower elevation and higher temperature than the Yamase wind. Since the stratus and the fog were not found in the sea breeze, the sea breeze may form only by cooling from the sea surface. This process is different from the formation of the Yamase wind which results from the heating of air from the sea surface and cooling by the long wave radiation at the upper part of the stratus. Further analyses about the frequency and distribution of the sea breeze will be made in the future.

* Fellow of the Japan Society for the Promotion of Science for Japanese Junior Scientists (Tokyo Metropolitan University)

** Tokyo Metropolitan University

*** Nihon University