ヤマセと海風の地域的な気象特性と中山間地 (岩手県久慈市～山形村) への侵入

菅野洋光*・徐 健青**・小沢 聖*

(* 東北農業試験場
** 東北農業試験場所属 (科学技術振興事業団特別研究員))

Localized Meteorological Features of Yamase and Sea Breezes and Their Movements to Hilly Mountain Area (Kuji City and Yamagata Village in Iwate Prefecture)

Hiromitsu KANNO*, Jianqing XU** and Kiyoshi OZAWA*

(* Tohoku National Agricultural Experiment Station, Akahira, Shimo-
Kuriyagawa, Morioka, Iwate, 020-0198 Japan
** Tohoku National Agricultural Experiment Station (Research Fellow of
Japan Science and Technology Corporation))

Abstract

The meteorological features of Yamase (cold northeasterly wind) and sea breezes are investigated for the summer of 1997, and their invasion to the hilly mountain area on the Pacific side are discussed.

When sea breezes are present, solar radiation is generally large, but the temperature decreases on the coastal region of the Pacific due to the cold air masses brought by the wind from the ocean. During the Yamase period, both solar radiation and temperature decrease, and the lowest solar radiation areas are found on the eastern side of the mountains.

The Yamase process has three stages: early, peak, and late. In the peak stage, there was a mixed layer from the surface to about 900 hPa (1,000 m) and easterly winds reached above 800 hPa (2,000 m). In the early and late stages there were stable layers at lower height with easterly winds. In spite of the different vertical profiles of stratification and easterly wind, clouds were formed at the same height (below 1,500-2,000 m) through the three stages.

Northeastern Japan was covered by a large and homogeneous air mass during the Yamase period, however, below 800 hPa relative humidity and potential temperatures differed between the Pacific and Japan Sea sides. These differences were due to modifications of the low level air mass, by processes such as damming up of air masses by mountains and heating from the surface.

In the study area (hilly mountain area), during the sea breeze period, the low temperatures were confined to the coastal area and the meteorological conditions differed from inland area. On the other hand, the potential temperatures were almost the same from the coastal to inland areas during the Yamase period. In this case, the air mass with mixed layers invaded from the coast to the inland with very small and/or no air mass modification.

Key words: Air mass, Hilly mountain area, Sea breeze, Yamase.

キーワード: 海風, 気団, 中山間地, ヤマセ

1. はじめに

1998年7月30日 全国大会にて発表

1999年2月26日 受付, 1999年11月8日 受理

日本の東北地方では, 梅雨期から夏季にかけて, 「ヤマ

セ」とよばれる低温の北東風が吹く。ヤマセが持続して吹くと、その低温により農作物が被害を受けて冷害となる。ヤマセに関する研究は、Asai (1950, 1952) による一連のものに始まる。これにより、ヤマセの一般的な性質が自然科学的に記述された。その後、Bokura (1975) により、ヤマセに伴う雲の特性が解析され、また、Rikiishi and Sasaki (1990) はヤマセの日変化成分について論じた。Inoue (1992), Inoue *et al.* (1997), Inoue and Abe (1998) はヤマセに伴って侵入する霧の特性について解析した。さらに、Kudo (1984), Ninomiya and Mizuno (1985a, b), Urano *et al.* (1990), Kodama and Yamamoto (1990) などによって、典型的なヤマセの成因や成層状態などが明らかにされた。最近では、Kodama (1997) がヤマセの流入経路に依存した気団変質の違いを明らかにし、Kanno (1997b) はヤマセの鉛直構造に基づいた分類を行っている。また、Kawamura (1995) にはヤマセに関する研究成果がとりまとめられている。

ところで、東北地方の太平洋沿岸地域では、海風もヤマセと同様に低温の海面上を吹走してくるため、沿岸に局地的な低温をもたらす。さらにこの地域は、山地が海岸まで迫っており、地形が複雑なため、気象条件に局地的な差が出やすい。このような、林野率の高い「山間地域」と、比較的林野率が高く、農地の傾斜度も比較的高い「中間地域」を合わせて「中山間地域」と呼んでいる。詳しくは Odagiri (1994) に解説されているが、東北地方の北上山地周辺の市町村は、そのほとんどが中山間地域に区分されており、農業生産力の低さと人工定住力や担い手が脆弱なことが大きな問題となっている。特に太平洋沿岸地域の中山間地は、ヤマセと海風による低温の影響を受けて、農業にとってより厳しい気象条件となっている。しかしながら一方では、夏季の低温をホウレンソウ栽培に利用する試みもなされており、局地的な気象条件を把握さえすれば、むしろ夏季の低温を積極的に利用することができ、中山間地における農業の活性化につながると考えられる。

ヤマセに関するこれまでの研究では、極東アジアか東北地域全体、あるいは県単位のスケールで解析されたものが多く、中山間地のような地形の複雑な沿岸での観測・解析例はほとんどない。Kanno (1993) は青森県八戸のデータからヤマセと海風の気象特性の統計的な差異を明らかにしたが、それらによりもたらされる地域的な特性については検討されていない。また、最近 1 km メッシュの気象データが整備されつつあるが、それらを用いてのヤマセや海風の解析はあまり行われていない。

本研究では、1 km メッシュデータや高層データを用

いてヤマセと海風の気象特性を解析し、太平洋岸に面した中山間地である岩手県久慈市～山形村にかけての地域に、それらによってどのように低温がもたらされるのかを明らかにすることを目的とする。

2. 資料と方法

解析に使用した資料は、既存のアメダス観測点と八戸気象官署の気温・風向風速データ、三沢、仙台、秋田および山陰地方の米子の高層気象観測データ、約 1 km 四方のメッシュごとに計算された東北地方の日平均気温および日積算日射量データ、および東北農業試験場気象評価制御研究室で独自に設置した気象観測点から得られた気象データである。米子は山陰地方の日本海に面した高層気象観測点で、東北地方における高層気象データとの比較に用いた。データ解析は 1997 年の 7 月と 8 月の期間を主として行った。

Fig. 1 には研究対象地域の概要と気象観測点の分布を示す。Fig. 1 の右側の図には、久慈市と山形村、およびそれらの周辺町村の一部が含まれるが、久慈市の一部が都市的地域に区分されている他は、山間地域と中間地域の中山間地域に区分されている。本論文では以後、この地域を久慈・山形地域と称することとする。久慈 (Fig. 1 中 Kuji, 標高 5 m) と川井 (Kawai, 290 m) はアメダス観測点で、その他の 3 地点は東北農業試験場で独自に設置した観測点である。このうち、袖山観測点 (Sodeyama, 標高 1,130 m) では気温と風向風速および日射量を、山口 (Yamaguchi, 30 m) と霜畑 (Shimohata, 310 m) では気温のみを観測している。気温はサーミスタ温度センサーを用いて、アメリカヤング社のラディエーションシェルター (袖山) および百葉箱 (山口, 霜畑) を用いた自然通風方式で 1 時間ごとのデータを取得した。気温観測高度は地上およそ 1.2 m である。得られた気温データは、以下の式のように標高 100 m あたり 0.977°C の乾燥断熱減率分をプラスした値を求め、標高 0 m まで気塊を引き下ろしたときの近似的な温位として用いた。このような簡便な計算でも、今回のように標高 1,000 m 程度以下で議論する場合には、十分標高 0 m における温位として近似できる。

$$\theta = t + (h/100) \times 0.977$$

ここで、 θ は近似的な温位 (°C), t は気温 (°C), h は標高 (m), 0.977 は 100 m あたりの乾燥断熱減率である。これらの観測点の気温データを用い、沿岸～内陸～山頂までの断面上で低温気塊の侵入を把握した。

また、久慈・山形地域における成層状態を推定するにあたっては、直線距離でおおよそ 60 km 北に離れている三沢の高層気象データを用いた。なお、高層気象データ

Fig. 1. Geographical maps of northeastern Japan (left) and study area (Kuji-Yamagata area: right). Misawa, Sendai and Akita are the aerological observation stations and Hachinohe is the weather station. Contours indicate 500 m, 1,000 m, and 1,500 m above sea level (left). Yamaguchi, Shimohata and Sodeyama are the air temperature observation stations, which were set up for this study. Two AMeDAS (Automated Meteorological Data Acquisition System) stations (Kuji and Kawai) are also in the study area (right), located near Kuji City Hall and Yamagata Village Office.

からは温位と相当温位を計算したが、この場合の温位は 1,000 hPa 等圧面を基準とした通常用いられる温位で、以下の式で計算している。

$$\theta = T \times (1,000/p)^{R/C_p}$$

ここで、 θ は温位 (K), T は気温 (K), p は気圧 (hPa), C_p は気体の定圧比熱, R は気体定数である。また、相当温位はロスビーの定義による式から積分項を省略した以下の式を用いて計算した。

$$\theta_e = T \left(\frac{1,000}{p-e} \right)^{R/C_p} \exp \left\{ \frac{L_e x}{C_p T_e} \right\}$$

ここで、 θ_e は相当温位, T は気温 (K), p は気圧 (hPa), e は蒸気圧 (hPa), T_e は凝結層での気温 (K), L_e は温度 T_e 時の水の気化熱, x は混合比である。

1 km 四方のメッシュ気温データは、東北農業試験場気象評価制御研究室が作成したもので (Kanno, 1997 a), ホームページ上でも <http://www.tnaes.affrc.go.jp/~kanno/trmain.html> において公開されている。なお、ここでは、気温偏差を求めるのに 1979 年から 1997 年までの 19 年分のメッシュデータを日ごとに平均した

19 年平均値を用いている。

1 km 四方のメッシュ日射量データは、気象衛星「ひまわり」から送られてくるマルチチャンネルのデータから日射量を推定したもので、東北大学理学部川村 宏教授の作成による (Kawamura *et al.*, 1997)。これもホームページ上 (http://www.sendai.tao.go.jp/apl/tohoku_index.html) において公開されている。

Fig. 2 には、青森県八戸における 1997 年 6~9 月の日平均気温および 1961~1990 年の気温平年値の時間変化を示す。6 月上旬~中旬と 8 月中旬に明瞭な低温が認められる。この 4 カ月について、Kanno (1993) によるヤマセ判定基準を用いてヤマセ吹走日を特定した。すなわち、八戸における 1 日 24 回の風向観測値のうち、その 3/4 以上が N~SSE であり、かつ日平均気温平年偏差が 0°C 以下である日をヤマセ吹走日とした。これにより、ほぼ 1 日中東よりの風が吹いて低温となった日がヤマセ吹走日と判定され、風向風速に日変化が卓越する海風吹走日とは区別される。その結果、Fig. 2 に示すように、6 月に 12 日間、7 月に 2 日間、8 月には 11 日間

Fig. 2. Time variation of daily mean air temperature in Hachinohe weather station from June to September in 1997. Smooth line shows the normal air temperatures (1961-1990) and jagged line shows the air temperature in June~September of 1997. The letter "a" indicates sea breeze period and "b" shows Yamase blowing. Dark screen means that the daily mean temperature is below normal and light screen is the opposite.

Fig. 3. Surface weather maps of a) 22nd July and b) 15th August 1997. These weather maps are cited by Japan Meteorological Agency ed. (1997 a, b).

のヤマセ吹走日を判定した。このうち、本論文では8月11~20日までの、連続したヤマセ吹走日の解析結果を主として紹介する。8月19日はヤマセ吹走日ではないが、その前後がヤマセ吹走日であることと低温であるため、解析対象期間にふくめた。Fig. 3-b)には1997年8月15日午前9時の地上天気図を例として示す。優勢なオホーツク海高気圧が存在する典型的なヤマセ型の気圧配置となっており、対象期間中このような気圧配置が持続していた。

また、7月20~25日にかけては、優勢な高気圧が北太平洋に存在し、東北地方はその圏内にあった。Fig. 3-a)には7月22日午前9時の地上天気図を例に示すが、東北地方は気圧傾度が小さく、海陸風循環が卓越しやすい気圧配置であった。八戸気象官署および久慈と川井アメダスでは、7月20~25日にかけての期間に、日中は海から風が吹き、夜間は陸からもしくは風が弱く、明瞭

な風向の日変化が認められた。日照時間も、23日の久慈アメダスでのみ日積算値が3.7時間で少なかったのを除き、7時間~12時間と多かったことから、海陸風循環が卓越していたと考えられる。また、6日間のうち4日間までが、八戸の日平均気温年偏差が負であることから、海風が吹きし低温をもたらした事例として選択した。

以下では、7月20~25日に海風が久慈・山形地域に侵入した事例 (Fig. 2中間 a) と、8月11~20日にヤマセが東北地方に低温をもたらした事例 (期間 b)) に関して、はじめにメッシュ気温データとメッシュ日射量データを用いて東北地方全体で低温気塊の侵入状況を把握し、次に高層データを用いてヤマセと海風の成層状態を解析し、最後に久慈・山形地域における気温観測値から低温気塊の侵入状況を明らかにする。なお、解析期間が7~8月の暖候季で大気中の水蒸気量が多いことか

Fig. 4. Mean air temperature deviation and accumulated solar radiation over northeastern Japan for 20~25 July, 1997. a) Temperature deviation, contour interval is 1°C. b) Accumulated solar radiation, contours indicate 500 m, 1,000 m, and 1,500 m above sea level. The estimated 1-km mesh temperature and solar radiation data were used. Squares in figures indicate Kuji-Yamagata area.

Fig. 5. Same as Fig. 4 except for the ten day period 11~20 August 1997.

ら、成層状態の把握には相当温位を用いた。また、東北地方における気温・日射量データに関しては、対象期間で平均した値を用い、平均的な分布をみた。

3. 結 果

3.1 海風とヤマセ吹走時の東北地方の気温偏差・日射量分布

Fig. 4-a) には 7 月 20～25 日の海風吹走時における 6 日平均気温の 19 年平均値からの偏差を示す。これは、対象となった 6 日間の平均気温から 19 年平均値の同 6 日平均値の差を求めたものである。偏差 0°C 以下の低温は東北地方南部の太平洋岸にほぼ限定されている。また、東北地方北部の下北半島から太平洋沿岸にかけての地域では偏差が 1°C 以下で、内陸よりも相対的に低温となっている。これらの太平洋岸の相対的な低温は、海風によりもたらされたと考えられる。

Fig. 4-b) には海風吹走時における 6 日平均日射量分布を示す。奥羽山脈を境にして、太平洋側と日本海側とで日射量の東西コントラストが認められる。特に日本海で日射量が多い。一方、東北地方中部の、奥羽山脈東側には低日射量域 (図中黄緑色) が認められる。北上山地や奥羽山脈の北部でも局地的に日射量が小さい。日射量分布と気温偏差分布とを比較すると、仙台付近の平野で相対的に低温となっており、日射量の少ない地域と一致しているが、その他については、両者が特に対応しているとはいえない。

Fig. 5-a) には 8 月 11～20 日のヤマセ吹走時における 10 日平均気温の 19 年平均偏差を示す。東北地方北東部に偏差 -3°C 以下の強い低温域が形成されている。この低温域は、その西縁が奥羽山脈東側に、また南縁が北上山脈北側に一致しており、その分布が地形によって決められている。また偏差 -2°C 以下の低温は、東北地方北部では日本海側まで分布しているが、それより南では奥羽山脈がその西縁と一致している。これらの分布から、ヤマセの侵入が山地によって影響を受けている様子が把握できる。具体的には、山地を越えた気塊が日本海側へ下降するにあたって断熱的に昇温したり、それに伴い雲が減少して日射量が増加するなどして、太平洋側ほどの低温とはならないことが考えられる。

Fig. 5-b) には 8 月 11～20 日のヤマセ吹走時における 10 日平均日射量分布を示す。ヤマセ吹走時の日射量は海風の時に比較して絶対値が小さく、特に下北半島付近、北上山地の東側から太平洋沿岸、および奥羽山脈の東側で日射量が極めて小さい。これらの地域では山地が急峻で、ヤマセがぶつかって気塊が上昇し、局地的な下層雲が定常的に形成されることが考えられる。な

お、北上山地の西に位置する地域では、その南北と比較して日射量がやや多い。これは、北上山地が太平洋からのヤマセの直接的な侵入を阻止したため、その西側への雲の侵入が相対的に少なくなったためであると推測される。

このような特徴的な日射量分布がヤマセの吹走時に一般的なものなのか否かについては、より多くの事例からの確認が必要である。Bokura *et al.* (1981, 1982) は、気象衛星「ひまわり」のデータをもとに、ヤマセ吹走時の青森県における雲の分布を解析し、下層雲の侵入状況と水稻の冷害との対応状況を把握している。しかしながら、東北地方全域での同様の研究例は無く、今後のさらなる解析が必要である。

ヤマセ吹走時における気温偏差分布と日射量分布とを比較すると、例えば東北地方北東部では気温偏差 -3°C 以下が広く分布しているのに対して、日射量の方は、下北半島付近、北上山地の東側から太平洋沿岸、および奥羽山脈の東側で極めて小さい値を示すなど、より局地的な分布をしている。これに関しては、今後、メッシュ作成に用いたデータソースの違い、すなわち気温は平均 17 km 間隔で分散しているアメダス観測点の値を用いているのに対して、日射量は数 km 単位の解像度をもつひまわり画像から推定しているなどの、異なった条件を考慮してさらに調べる必要があろう。

3.2 高層データを用いた海風とヤマセの気団解析

Fig. 6-a), b) には 1997 年 7 月の三沢における温位と風の高度-時間断面を示す。Fig. 6-a) には雲の発生を把握するために相対湿度 90% 以上の領域をドットで示した。また Fig. 6-b) には、下層の成層状態を把握するために、約 800 hPa 以下の相当温位減率を示す。ここで、ドット領域は相当温位の鉛直減率が負 (上空へ行くほど相当温位が低いか同じ) の混合層を、縦線領域は鉛直減率が $0.5\text{ K}/10\text{ hPa}$ 以上 (10 hPa あたり 0.5 K 以上の割合で上空へ行くほど相当温位が高い) の安定層を示している。両方に属さない空白領域はそれらの間の減率をもつ部分である。

Fig. 6-a) から 7 月 20～25 日の海風吹走期間の特徴をみると、900～950 hPa 面より下層で温位傾度が大きく、特に 22 日と 23 日には地上から 950 hPa (高さ 500 m 程度) 付近まで相対湿度 90% 以上となっており、霧または下層雲が発生していることを示している。この間の地上付近の温位は 292 K 以下で、前後の期間と比較して最も低温となっている。Fig. 6-b) から、この海風の期間中には、800～900 hPa 面より下層で東成分を持った風が高頻度で観測されており、その前後と比較して東よりの風が吹きやすい状況にあったといえる。ただし、

Fig. 6. Time-height cross-section of a) potential temperature and relative humidity (above 90%) and b) wind and lower stratification condition at Misawa in July, 1997. Data are linearly interpolated at 10 hPa intervals. b) Solid lines divide easterly and westerly wind. Dotted area indicates the mixing layer (lapse rate of equivalent potential temperature is negative) and hatched area indicates the stable layer (lapse rate is over 0.5 K/10 hPa).

地上付近 (1,000 hPa) では東よりの風の吹走がやや不明瞭であるが、これについては、高層気象観測の時間が 00Z (午前 9 時) と 12Z (午後 9 時) の 1 日 2 回で、いずれも日中の海風の最盛期から時間的にずれているため、海風を観測しにくいことが原因として考えられる。成層は地上から 950 hPa (500 m) 程度まで常時安定しており、22 日と 23 日には一時的に 850~800 hPa (1,500~2,000 m) 付近まで安定成層となっている。

7 月の全期間についてみると、全般的に西風吹走時には下層に混合層が形成されている一方で、南から東よりの風の時に安定層が形成される傾向が認められる。この時期の海面上で定常的に安定成層が形成されるのか否かは、今後統計的に調べる必要があるが、東北地方の海風を調べていく上で重要な要素となろう。また、7 月 9 日と 17 日はヤマセと判定されているが、一過性の弱いヤマセであったため、その特徴は図からは把握しにくい。

Fig. 7-a) には 1997 年 8 月の三沢における温位と相対湿度 (90% 以上) の、b) には風と下層の成層状態の高度-時間断面を示す。Fig. 7-a) のヤマセ吹走期間につ

いてみると、800 hPa 面より下層部分が相対湿度 90% 以上となっており、ヤマセに伴う高さ 2,000 m 程度の下層雲が定常的に形成されていることが推測される。Fig. 7-b) では、特に 14~17 日に東風が高く、下層で混合層が、その上に安定層が形成されている。これは、海面からの加熱により安定成層の下層気団中に混合層が形成されるため、例えば Kudo (1984) や Ninomiya and Mizuno (1985 b) が述べているような、典型的なヤマセの特徴を示している。これに対して、海風の場合は、Fig. 6-b) に示したような下層の安定成層が特徴であり、ヤマセと海風は全く異なった現象であることが理解できる。

ヤマセの吹走期間を通じた時間変化を見ると、はじめに 900 hPa 面より下層に東風が吹き出し、高さ 1,000 m (900 hPa) 程度の安定層が形成される (8 月 11~13 日)。この時点から霧もしくは下層雲が形成されはじめる。それが 14 日以降になると、東風が 800 hPa 面 (約 2,000 m) よりも上に達し、900 hPa 面より下層では混合層が形成される。これは、ヤマセの温度が低下した

Fig. 7. Same as Fig. 6 except for August, 1997.

ため、海水面温度とヤマセとの温度差が増加して、海面からの熱の供給が増大し、混合が促進されたためにおこると考えられる。それが18日以降では再び東風が低くなり、下層には安定層が形成されるようになる。このように、ヤマセの吹走は、吹走初期(11~13日)と最盛期(14~17日)、終期(18~20日)の大きく3つのステージに分けることができ、最盛期と初期・終期は風や成層状態が異なっている。この3ステージを通じて下層気団の成層状態が異なっているにも関わらず、相対湿度90%以上の領域は800 hPa面よりも下に定常的に存在しており、興味深い点である。このようなヤマセの吹走ステージの一般性については、今後、他の事例からも検討・確認する必要がある。

また、8月25・26日もヤマセと判別されており、800 hPa面付近までの東風の吹走とその上面での安定層の形成が認められているが、11~20日のヤマセほどその特徴が明瞭ではない。それ以外の期間では下層まで西風が卓越し、安定層・下層雲の生成はほとんど認められない。

次に、秋田の高層気象データを用いて、ヤマセ吹走時の日本海側の大気の鉛直構造をみることにする。Fig. 8-a)には1997年8月の秋田における温位と相対湿度(90%以上)の、b)には風と下層の成層状態の高度-時間断面を示す。はじめにFig. 8-b)から風の変化をみる

と、14日から19日に連続して東風が吹き、特に16日には一時的に600 hPa面まで東風が高まっており、三沢と同じ変化をしている。成層状態も、ヤマセ最盛期(14~17日)に関しては、下層に混合層が、その上には安定層が形成されており、三沢と同様である。しかしながら、Fig. 8-a)から温位をみると、三沢のような290 K以下の強い寒気の侵入は認められない。また、相対湿度90%以上は11日と18日以降に一時的に認められるだけで、三沢のように800 hPa面を上限とした高湿度域はほとんど形成されていない。したがって、ヤマセの最盛期の風と成層状態に関しては、三沢と秋田で大きな違いはないものの、三沢の方がより低温で、かつヤマセ吹走期間を通じて霧または下層雲が定常的に形成されていることが大きな違いとして指摘できる。

Fig. 9より、1997年7~8月の三沢、仙台、秋田、および米子の可降水量の時間変化をみる。可降水量とは単位底面積の鉛直気柱に含まれる水蒸気量で、地球上では1 kg/m²(極地)から約60 kg/m²(熱帯)まで分布し、平均約30 kg/m²である(Kondo, 1994)。定義式は以下の通りである。

$$w \equiv \int_0^{\infty} \rho_w(z) dz = -\frac{1}{g} \int_{P_s}^0 q dp$$

ここで、 ρ_w は水蒸気の密度(kg/m³)、 z は高さ(m)、 w は可降水量(kg/m²)、 P_s は地表面気圧(Pa)、 q は比

Fig. 8. Same as Fig. 6 except for Akita in August, 1997.

Fig. 9. Time variations of precipitable water at Misawa, Sendai, Akita and Yonago from July to August in 1997. Precipitable water data are the daily mean values calculated from aerological observation data at 00Z and 12Z.

湿 (kg/kg), p は気圧 (Pa) である。日平均可降水量は 1 日 2 回 (00Z と 12Z) の高層データ (指定面と特異点) から計算した w の平均値である。

海風吹走日についてみると、7 月 20 日を中心としたその前後の期間、4 地点ともに値が小さい。これは、7 月 17 日から高気圧が大陸から移動してきて日本列島を覆い、20 日以降は北太平洋高気圧に吸収されるという気圧配置の変化から (Fig. 3-a)), 大陸起源の乾燥した気

団に日本列島が広く覆われたことに起因すると考えられる。

ヤマセ吹走時には、東北地方の 3 観測点で可降水量が小さく、ほぼ同じ値であるが、米子だけ値が大きくなっている。これは、優勢なオホーツク海高気圧に覆われた東北地方は同一の性質を持った気団に支配されているが、その範囲が山陰地方まで及んでいないことを示していると考えられる。海風吹走時に東北地方の 3 地点で値

が若干異なるのと比較すると、ヤマセの場合の可降水量は地点間でほとんど差がない。したがって、ヤマセ吹走時の東北地方は、海風の場合と比較して、同一の気団に覆われていると考えられる。また、三沢と秋田でヤマセ最盛期の風の鉛直分布はほとんど同じであったことから、大規模な風の場合では、日本海側と太平洋側とで大きな違いのないことが示唆される。一方では、日射量や気温分布で太平洋側と日本海側、山地の風上側と風下側、海岸と内陸などで大きな地域差が生じる。これは、三沢 (Fig. 7) と秋田 (Fig. 8) の高層データの比較からわかるように、太平洋側と日本海側とでは、800 hPa 面よりも下層で温度や湿度が大きく異なっており、おおむねこの高さ以下で生じる気団変質、すなわち太平洋側から日本海側へ下層気団が通過するに伴い、地表からの加熱などによる変質によってもたらされていると考えられる。例えば、Ku wagata (1995) は 1993 年のヤマセ吹走時の気団変質を、仙台と秋田の高層データを用いて比較・検討したところ、850 hPa 面の高さ以下で両地点の温位と比湿が異なっており、気団変質は主にこの高さ以下で生じることを指摘している。

したがって、ヤマセとは、オホーツク海高気圧の規模等から、現象の広がりとしては極東アジアのスケールで考えなければならないが、鉛直スケールでみるならば、高さ 1,500~2,000 m 以下の下層の気団変質によって局地的な気象条件の差異をもたらす現象として説明できる。今後は、ヤマセを解明するにあたり、高さ 1,500~2,000 m 以上の中・高層大気の部分とそれ以下とを分離して把握し、それらの動きや変質過程を解析していく方向付けが必要となろう。

3.3 海風とヤマセの中山間地への侵入状況

Fig. 10-a), b) には 1997 年 7 月と 8 月の太平洋岸 (久慈、山口) ~ 内陸 (川井、霜畑) ~ 山頂 (袖山) までの気温の時間変化を、Fig. 11-a), b) には標高 0 m における近似的な温位 (以下、温位と呼ぶ) の時間変化を示す。また、Table 1 には、各観測点における 7 月 23 日の海風吹走日と 8 月 15 日のヤマセ吹走日の、夜間 (0~3 時) と日中 (12~15 時) の平均温位を示す。

1997 年 7 月は全般的に高温で推移し、ヤマセは 9 日と 17 日の 2 日間しか吹走しなかった。東北地方の梅雨明けは 7 月 19 日で、それ以前は梅雨前線や低気圧の影響で曇りがちの日が多かった。久慈・山形地域においては、12~13 日の移動性高気圧の影響を受けて晴れた日を除いて、明瞭な地域差はほとんど認められない。ところが、7 月 20 日以降は太平洋高気圧の勢力が強まり、特に 20~25 日に内陸と海岸の温度差が大きく、海風の侵入が明瞭に把握できる。そして、26 日以降は台風 9 号の

影響を受けて局地循環が弱まり、海風の侵入が不明瞭になる。

7 月 20~25 日の海風が侵入した期間は、海岸では気温の日変化が小さいのに対して、内陸では日変化が非常に明瞭に認められる (Fig. 10-a), Fig. 11-a))。内陸では日中は海岸よりも高温になり、夜間はより低温になるが、これを気温分布でみると、内陸がスポット的に高温・低温となっている (Fig. 10-a))。海岸との気温差は最大で 10°C 以上あり、海風吹走時の地域差は非常に大きい。また、温位分布でみると、日中の海風による低温が海岸に限定されていると同時に、内陸から山地までの温位差が小さい (Fig. 11-a))。Table 1 から 23 日の日中の温位をみると、特に霜畑と袖山とで 1.1°C しか差がなく、ほぼ等温位となっている。ここで、Fig. 6 から大気の成層状態をみると、7 月 20~25 日の期間を通しておよそ 950 hPa 面より下層が安定しており、低温は地表近くの下層に限られている。したがって、海岸の平地は海風の侵入により低温となるが、標高の高い内陸では、海風が侵入した場合でも、安定層の上部に相当するため低温とならないか、あるいは久慈・山形地域内では日射量の差がほとんど認められないことから (Fig. 4-b), 仮に地表付近の海風が内陸まで侵入する場合でも、日射により昇温してしまうことが考えられる。

夜間についてみると、海岸から内陸までの温位差は小さい (Fig. 11-a))。23 日夜間の温位をみると、久慈と霜畑で 1.8°C の差となっており、特に内陸が海岸に比較して夜間により冷え込むとはいえない。一方、山地 (袖山) のみ温位が高く、夜間の放射冷却による温度低下が小さいことがうかがえる。

1997 年 8 月は、前線が日本付近にほぼ定常的に存在し、北日本では低温、西日本では天候不順であった。Fig. 10-b) から気温分布の時間変化をみると、8 月 10 日までは、海岸から内陸まで日中は気温 25°C 以上を観測しているが、11~20 日のヤマセの吹走期間は全地点で低温となり、特に 14~17 日のヤマセの最盛期には各観測点での気温の日変化および観測点間の気温差が小さい。21 日以降になると、25~26 日のヤマセ日を除いて、再び気温が上昇し、日変化も明瞭になる。

Fig. 11-b) から温位分布の時間変化をみると、ヤマセ吹走期間の値が全地域で低い。特に 14~17 日のヤマセの最盛期には温位の日変化が小さく、また同時に海岸から内陸までの温位差が非常に小さい。Fig. 7 によると、8 月 16 日前後には 900 hPa 面 (高さ 1,000 m) 付近まではほぼ等温位の混合層が形成されている。その混合層がそのまま陸地に侵入した場合、混合層の温位が 290 K (16.8°C) 以下であることから、温位で 16~17°C 前後

Fig. 10. Time variations of surface air temperature from coastal area (Kuji and Yamaguchi) through inland area (Kawai and Shimohata) to mountain (Sodeyama) in a) July and b) August 1997. Isotherm lines are at 5°C intervals. The altitudes above sea level of each station are: Kuji, 5 m; Yamaguchi, 30 m; Kawai, 290 m; Shimohata, 310 m; Sodeyama, 1,130 m.

Fig. 11. Same as Fig. 10 except for potential temperature at sea level.

Table 1 Potential temperatures of every station in the nighttime and daytime on 23rd July and 16th August. The nighttime values are averaged from 0 to 3 JST and the daytime values are averaged from 12 to 15 JST.

	7/23	0-3 h	12-15 h	8/15	0-3 h	12-15 h
Sodeyama	29.3		34.1	23.1		23.1
Shimohata	17.6		33.0	19.6		19.8
Kawai	19.0		29.7	19.2		18.5
Yamaguchi	18.3		23.9	18.0		17.5
Kuji	19.4		21.1	18.2		17.6

の値が海岸から内陸まで分布することが予想される。

Table 1 の温位は、海岸で 17.5 と 17.6°C、内陸で 19°C 前後と、それよりも高いが、三沢（高層観測点）が久慈・山形地域よりも北に位置していることや、高層データが 9 時と 21 時の 2 回のみで、日中の値がないこと等を考えるならば、8 月 16 日の事例は、混合層を伴ったヤマセが海岸から内陸までほとんど変質することなく侵入している状況を示していると考えられる。山地では温位が 23.1°C で海岸よりも 5°C 程度高いが、これについては、山地の標高が 1,000 m を超えており、ヤマセの混合層の上に形成されている安定層の影響を受けている可能性がある。Fig. 5-b) からヤマセ吹走時における久慈・山形地域の平均日射量分布をみると、特に海岸で日射量が少なく、明瞭な地域差が認められる。しかしながら、8 月 16 日のようにヤマセが直接的に内陸まで侵入する事例では、久慈・山形地域の地形スケールではほとんど地域差が生じないことがわかった。

8 月 16 日の夜間については、日中と同様、海岸から内陸までほぼ等温位となっており、また山地のみ 5°C 程度高い。従って、ヤマセが侵入する際には、日中・夜間ともヤマセの混合層がその性質を維持したまま海岸から内陸まで侵入すると考えられる。

4. ま と め

1997 年の 7 月と 8 月に東北地方に吹走したヤマセと海風について、気温・日射量および高層気象観測データを用いてその特性を解析した。また、東北地方の、太平洋に面した中山間地である岩手県久慈市～山形村を対象地域として、ヤマセと海風の吹走時における低温気塊の侵入状況をみた。

東北地域全体でみると、海風吹走時には日射量が多く、ヤマセ吹走時には非常に少ない。特にヤマセ吹走時の日射量は、下北半島付近、北上山地の東側から太平洋沿岸、および奥羽山脈の東側で日射量が極めて小さい、特徴的な分布を示していた。

ヤマセの吹走は、吹走初期と最盛期、終期の大きく 3 つのステージに分けることができた。最盛期には東風の高さが 800 hPa 面（約 2,000 m）よりも上に達し、900 hPa 面（約 1,000 m）より下層では混合層が形成される。初期・終期では下層に東風が吹き、高さ 1,000 m 程度の安定層が形成される。この 3 つのステージを通して、下層気塊の成層状態が異なっているにも関わらず、雲の高さは 850～800 hPa 面（1,500～2,000 m）で一定であると推測される。

全気柱の可降水量をみることにより、ヤマセ吹走時の東北地方は同一の気団に覆われていると考えられるが、一方では、太平洋側と日本海側とは 800 hPa 面の高さ以下で相対湿度や温位が異なっている。このような下層での気団変質、すなわち太平洋側から日本海側へ下層気塊が通過するに伴い、地形によるせき止め、あるいは地表からの加熱などによる変質によって、気温や日射量に大きな地域差が生じる。したがって、ヤマセとは、現象の広がりとしては極東アジアのスケールで考えなければならないが、鉛直スケールでみるならば、高さ 1,500 m～2,000 m 程度以下の、局地性を生じやすい領域での気団変質過程の違いによってもたらされる現象として説明できる。今後は、ヤマセを解明するにあたり、高さ 1,500～2,000 m 以上の中・高層大気の部分とそれ以下とを分離して把握し、それらの動きや変質過程を解析していく方向付けが必要となろう。

久慈・山形地域では、海風の侵入により海岸のみ低温となり、内陸と全く異なった気象条件となる。一方、ヤマセは久慈・山形地域の内陸まで低温をもたらすが、混合層を伴ったヤマセが海岸から内陸までほとんど変質することなく侵入していると考えられる。

謝 辞

東北大学の川村 宏教授が作成した日射量メッシュデータを本研究における解析に使用させていただいた。また、東北農業試験場総合研究部第 5 チームの天野哲郎チーム長（現北海道農業試験場）からは中山間地問題に関するご助言をいただいた。ここに記して厚く御礼申し上げます。

引用文献

- Asai, T., 1950: On the distribution of air temperature in Tohoku District when "Yamase" cold wind prevails. *Miscellaneous Reports of the Research Institute for Natural Resources*, No. 16, 58-66.
- Asai, T., 1952: Low temperature area due to the sea breeze in the coastal region of the Tohoku District. *Memorial collection of papers for Uchida*

- Kan-ichi's sixty-first birthday*, second volume. Teikoku-Shoin, Tokyo, pp. 215-233 (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, 東京, pp. 215-233).
- Bokura, T., 1975: Observations of the special clouds on the lee side of Yamase wind. *Jour. Agr. Met.*, **31**, 1-5.
- Bokura, T., Yamashita, H. and Suzuki, T., 1981: Applications of the geostationary meteorological satellite data to the study of cool summer weather. *Jour. Agr. Met.*, **37**, 47-52.
- Bokura, T., Yamashita, H. and Suzuki, T., 1982: Applications of the geostationary meteorological satellite data to the study of cool summer weather, 2. The analysis of the cool summer damage in Tohoku district in 1980. *Jour. Agr. Met.*, **37**, 309-315.
- Inoue, K., 1992: Meteorological properties of sea fog induced by Yamase. *Tenki*, **39**, 459-467.
- Inoue, K., Yoshimoto, M. and Abe, H., 1997: Cloud physical property of sea fog induced by Yamase in the Sanriku seashore. *Jour. Agr. Met.*, **53**, 21-28.
- Inoue, K. and Abe, H., 1998: Remote sensing of height of a fog layer and temperature of fog droplets using infrared thermometer and meteorological satellite. *Jour. Agr. Met.*, **54**, 55-61.
- Japan Meteorological Agency ed., 1997a: *Meteorology*, No. 485, 48 pp. (気象庁監修, 1997a: 気象, No. 485, 48 pp.).
- Japan Meteorological Agency ed., 1997b: *Meteorology*, No. 486, 48 pp. (気象庁監修, 1997b: 気象, No. 486, 48 pp.).
- Kanno, H., 1993: Differences of temperature and humidity between Yamase and sea breeze and their seasonal variations at Hachinohe in Aomori Prefecture. *Tenki*, **40**, 751-757.
- Kanno, H., 1997a: Estimation of daily-mean air temperatures on a 1 km² mesh during the occurrence of a Yamase wind. *Jour. Agr. Met.*, **53**, 11-19.
- Kanno, H., 1997b: Classification of the Yamase (cold northeasterly wind around northeastern Japan) based upon its air-mass vertical structures. *J. Met. Soc. Japan*, **75**, 1053-1071.
- Kawamura, H. ed., 1995: Yamase, Meteorological Study Note, No. 183, 179 pp.
- Kawamura, H., Tanahashi, S., Takahashi, T., Yuza, H. and Nemoto, Y., 1997: Construction of high temporal and spatial resolution surface solar radiation picture making system. *Proceedings of the 1997's Spring Meeting of Japan Meteorological Society*, 225 (川村 宏・棚橋修一・高橋知行・遊佐裕行・根元義章, 1997: 高時空間分解能地上日射量画像作成システムの構築. 日本気象学会 1997 年度春季学術大会講演予稿集, 225).
- Kodama, Y. and Yamamoto, H., 1990: Cooling system of Okhotsk air mass. *Kaiyo Monthly*, **22**, 427-432 (児玉安正・山本浩之, 1990: オホーツク海気団の冷却機構. 月刊海洋, **22**, 427-432).
- Kodama, Y., 1997: Air-mass transformation of the Yamase air-flow in the summer of 1993. *J. Met. Soc. Japan*, **75**, 737-751.
- Kondo, J., 1994: *Meteorology of the water environment—Water and heat balance of the earth's surface—*. Asakura Shoten, Tokyo, 348 pp. (近藤純正編著, 1994: 水環境の気象学—地表面の水収支・熱収支. 朝倉書店, 東京, 348 pp.).
- Kudo, T., 1984: Characteristics of Okhotsk air mass during the typical Yamase period (1981. 6. 18~21). *Tenki*, **31**, 411-419.
- Kuwagata, T., 1995: The effect for Yamase's structure by topography in Northeastern Japan. Extended Abstract of Yamase Symposium—"Yamase in 1993" and Its Around, Center for Atmospheric and Oceanic Studies, Faculty of Science, Tohoku Univ., pp. 174-178 (桑形恒男, 1995: 東北地方の地形がヤマセの構造に及ぼす影響. ヤマセシンポジウム「'93 ヤマセ」とその周辺 Extended Abstract 集, pp. 174-178).
- Ninomiya, K. and Mizuno, H., 1985a: Anomalous cold spell in summer over Northeastern Japan caused by northeasterly wind from polar maritime air-mass. Part 1. EOF analysis of temperature variation in relation to the large-scale situation causing the cold summer. *J. Met. Soc. Japan*, **63**, 845-857.
- Ninomiya, K. and Mizuno, H., 1985b: Anomalous cold spell in summer over Northeastern Japan caused by northeasterly wind from polar maritime air-mass. Part 2. Structure of the north-easterly flow from polar maritime airmass. *J. Met. Soc. Japan*, **63**, 859-871.
- Odagiri, T., 1994: *Hilly mountain area problem in Japanese agriculture*. Norin Tokei Kyokai, Tokyo, 251 pp. (小田切徳美, 1994: 日本農業の中山間地問題. 農林統計協会発行, 東京, 251 pp.).
- Riki-ishi, K. and Sasaki, Y., 1990: Yamase and the land and sea breeze. *Kaiyo Monthly*, **22**, 401-407 (力石國男・佐々木有子, 1990: ヤマセと海陸風. 月刊海洋, **22**, 401-407).
- Urano, A., Nakamura, K. and Asai, T., 1990: The formation of low-level cloud and the effect of infrared radiation on Yamase blowing. *Kaiyo Monthly*, **22**, 417-421 (浦野 明・中村晃三・浅井富雄, 1990: やませ時における海上の下層雲の形成と赤外放射の効果. 月刊海洋, **22**, 417-421).