

# 地球温暖化に伴う局地風の変容について

大和田道雄\*・鳥居 司<sup>1</sup>

\*理科教育講座(地学)

## On the Changes in Local Wind by the Global Warming, Central Japan

Michio OWADA\*, Tsukasa TORII<sup>1</sup>

\*Department of Science, Aichi University of Education, Kariya 448-8542, Japan

### Abstract

This study attempts to clarify the influence of global warming on local meteorology. The region of Ise-Bay exceeds in strong local winds. These local winds are called Ibuki-Oroshi and Suzuka-Oroshi, and blow in west high and east low pressure patterns, as Akagi-Oroshi, Nasu-Oroshi, Tsukuba Oroshi in the Kanto District, and Rokko-Oroshi in Kansai District. In recent years, Ibuki-Oroshi days has decreased while Suzuka-Oroshi days increased. This is due to the expansion and going up north of subtropical high pressure belts, and zonal index going up north. This is because of the changes in Nangan-Cyclones and Nihonkai-Cyclones's moving lines.

As a result, there is a higher probability that the center of cyclones going through the north of the Sea of Okhotsk which has made Suzuka-Oroshi to blow west. Central Japan International Airport is located in the west of Chita Peninsula facing Ise-Bay and is susceptible to the influence of eastward Suzuka-Oroshi. Therefore, this airport has to put off the aircraft occasionally because of strong west winds blow.

### 1. ま え が き

2001年次のIPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)の報告によれば, 全球的な気温の上昇が1.5~4.5℃, 海面水位上昇率は13~94cmの範囲とされているが, 2007年次では地球温暖化による気温上昇率が加速し, これらの予測値を上回る結果が出されている。地球温暖化の要因とされている温室効果ガスは, 石油・石炭などの化石燃料の消費によるものであるが, 京都議定書における我が国のCO<sub>2</sub>(二酸化炭素)の削減目標は6%である。これは, EUの8%, アメリカの7%に比べて低い値であるが, まだ達成されていないのが現状である。したがって, 2012年までに削減目標値に達成するためには抜本的な排出対策が必要である。

Bengtsson *et al.* (1996)の気候予測モデルは, グローバルスケールでの数値実験モデルであるのに対し, 平口(1994), およびHiraguchi and Giorgi(1995)のモデルは東アジアスケールでの地域予測がなされている。したがって, 東アジアの梅雨前線の北上, および

日本列島を通過する南岸低気圧の発生頻度が高まることが指摘されている。これは, 西太平洋の熱帯海域のSST(海面温度)が上昇傾向にあり(Strong *et al.*, 2000), ハドレー循環が強化されて日本列島付近の亜熱帯高圧帯を強めたことによる亜熱帯ジェット気流の蛇行によるものと考えられる。西太平洋は, 他の海域に比較して年間を通じてSST(海面温度)が高く(大和田・井上, 2002), 上昇傾向が著しいだけでなく西太平洋海域は冬季においても高圧帯が形成されやすい(大和田・石川, 2002a・b)。高圧帯の北側には亜熱帯ジェット気流が流れており, 南岸低気圧の発生位置や移動経路も北上傾向にあることから, 南岸低気圧が日本海に侵入して日本海低気圧と合体し, オホーツク海付近での異常発達が見られるようになった(中川他, 2007)。その結果, 中部地方では強い西よりの風の頻度が高まり, 常滑沖に位置する中部国際空港(セントレア)の航空機への影響が懸念される。

そこで本研究は, 地球温暖化に伴う大気大循環場の変動による温帯低気圧の移動経路と中部地方の局地風への影響を明らかにしようと試みたものである。

1 愛知教育大学大学院生

## 2. 研究対象地域

吉野(1968)の研究によれば、東アジアはヨーロッパや北アメリカと並び、偏西風が蛇行してトラフを形成することから、温帯低気圧の発生・通過頻度が高い地域である。したがって、日本列島上を通過するジェット気流は北の寒帯前線ジェット気流、南の亜熱帯ジェット気流に分けられる。近年、寒帯前線ジェット気流は蛇行が激しくなり、極寒気を中緯度帯まで南下させ(中川他, 2007)、亜熱帯ジェット気流は北上傾向にあることから(鳥居・大和田, 2007)、南岸低気圧(亜熱帯ジェット気流)と日本海低気圧(寒帯前線ジェット気流)との接近がみられるようになってきた(中川, 2007)。このため、日本列島上を2つの低気圧が同時に通過する2つ玉低気圧型の冬型気圧配置が増えてきた。この低気圧は、その後合体してオホーツク海付近で異常発達する傾向が強まっている。

伊勢湾岸地域は、西高東低の冬型気圧配置において濃尾平野では「伊吹おろし」、伊勢平野は「鈴鹿おろし」が吹走することで知られている(Owada, 1990)。これらの局地風は、関東平野の赤城おろし・那須おろし・筑波おろし、および大阪平野の六甲おろしに相当するものであるが、中部地方は日本列島の狭隘部の風下側にあたるため、我が国でも有数の局地強風の吹走地域にあたる(図2-1)。

伊吹おろしの吹く気圧場は、低気圧の中心が三陸沖に抜け、日本列島が南北の縦縞模様の気圧配置で吹くため、風向は主にNW~NNWである。これに対して鈴鹿おろしは、低気圧の中心がオホーツク海北部、および千島列島に位置する場合であり、W~WNWの風である。しかし、これらの局地風は、1980年のClimate shift以降吹走頻度が激減した(大和田・櫻井, 2005)。しかし、伊勢平野では、吹走頻度が低いものの強い西

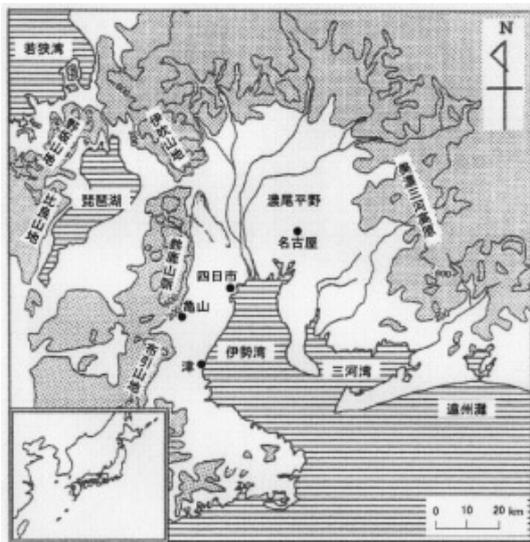


図2-1 研究対象地域

よりの風が吹くようになった。伊勢平野に吹く鈴鹿おろしは、御在所岳(1,212m)を中心とした1,200m前後の山脈が南北に連なり、風下波動(lee wave)が起こりやすい地形的要因を持っている(Yoshino, 1975)。世界の風下波動距離は5~30kmであるが、鈴鹿おろしの風下波動距離は5~6kmと短い傾向にある(Owada, 1990)。対岸の知多半島は、風下波動による強い西風の影響を受ける地域にあたる。

## 3. 資料および解析方法

客観解析に用いた資料は、NCER(National Centers for Environmental Prediction)/NCAR(National Center for Atmospheric Research)の再解析データである。この資料から、200hPa面と500hPa面の等圧面高度場と水平風ベクトルを用いて寒帯前線ジェット気流、および亜熱帯ジェット気流の緯度的・経度的位置を特定した。

また、おろし日は伊勢湾奥に位置し、北北西の伊吹おろしの風道にあたる四日市気象観測所、西北西の鈴鹿おろしの風道にあたる亀山測候所、および伊勢平野を代表する津地方気象台から得たものである。

解析期間は四日市が1966~2004年度、亀山は1979~2004年度、津が1961~2004年度であり、観測期間に差異はみられるが、1980年代のClimate shiftを挟んでいるため比較は可能である。また、おろし日の選定は、これまでの大和田(1976)、および大和田・原田(1978)の基準に基づくものである。

## 4. おろし日の経年変化

図4-1は、伊吹おろしの吹走する四日市の風向別おろし日数の経年変化を表したものである。伊吹おろしと思われる北西系の風は、1970年代前半に多く吹いていたが、1980年代からは吹走日数が減少傾向にあり、2000年以降は年間で1~2日しか吹いていない。これは、北西系のおろしがClimate shift以降激減していることを物語るものである。これに対し、伊吹おろし、あるいは鈴鹿おろしとの区別が十分でない西北西の風は、四日市では以前からほとんど吹いていないことがわかる。特に、1995年以降は1度も吹いていない。このようなおろし吹走日の減少傾向は鈴鹿おろしと思われる西の吹走頻度にもみられ、1960年代後半では10日以上も吹いていたが、1980年を境に4日以下となった。四日市における西風は2000年以降吹いていない。四日市は、その地理的位置から中部地方の局地風(伊吹おろし、鈴鹿おろし)の影響を受ける地域と考えていたが、おろし日そのものの減少傾向が顕著であることが判明した。

これに対し、鈴鹿おろしの風道にあたる亀山では(図4-2)、四日市とは逆に吹走日数に増加傾向がみられた。亀山のおろし日は、1980年代前半までは北西、西北西、および西の各風向でほとんど現れないが、1980

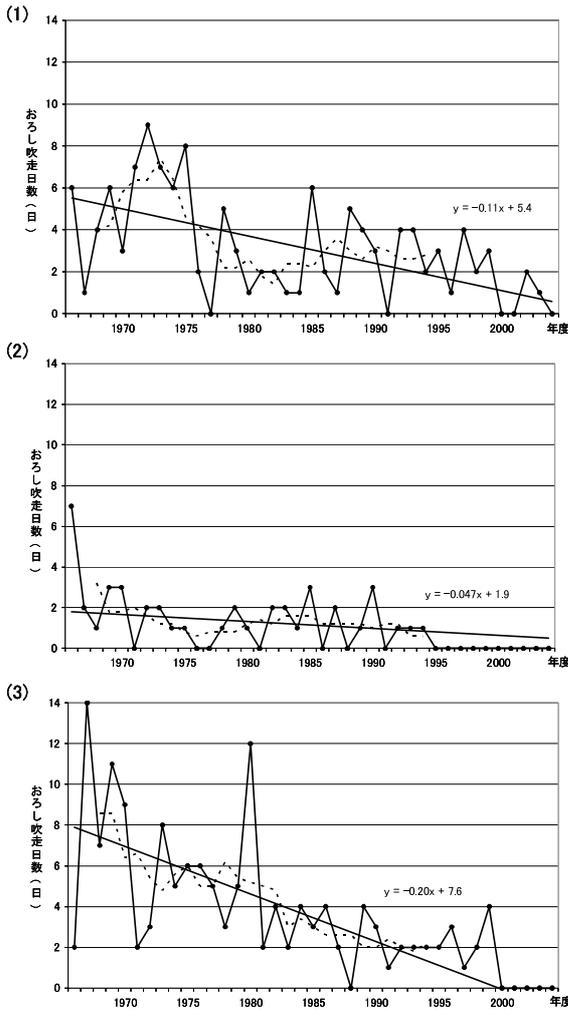


図4 1 伊勢平野北部（四日市）における風向別おろし吹走日数の経年変化（1961～2004年度）  
 (1)北西 (2)西北西 (3)西  
 実線はおろし日数、破線は5年間の移動平均値である。吹走日数の傾向は、最小二乗法による近似線で表した。

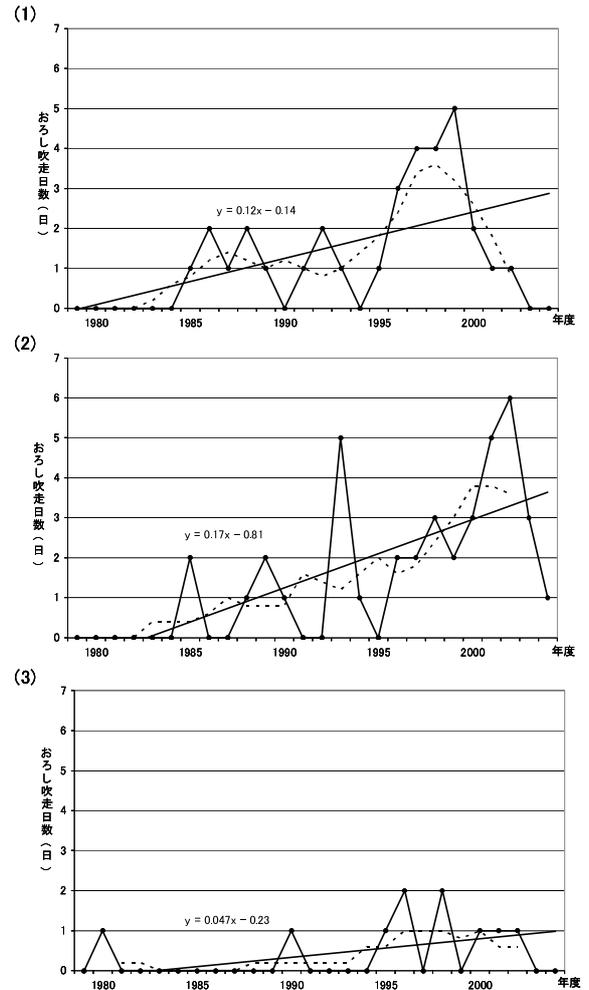


図4 2 伊勢平野中央部（亀山）における風向別おろし吹走日数の経年変化（1961～2004年度）  
 (1)北西 (2)西北西 (3)西  
 実線はおろし日数、破線は5年間の移動平均値である。吹走日数の傾向は、最小二乗法による近似線で表した。

年代後半からは北西、並びに西北西の風が増加傾向にある。特に、年々変動は激しいものの、2000年を中心に吹走日が増え、四日市とは逆の傾向にあることが判明した。さらに、鈴鹿山脈と布引山地との狭隘部から吹き出す鈴鹿おろしの風道にあたる津では(図4 3)、北西の風が1985年以降急激に増加した。これは、津地方気象台の移転に伴う観測地点の移動によるもので、急激におろし日数が増加したものではない。しかし、1980年代前半に比較して2000年以降はおろし日が10日を僅かに上回る程度であり、最も多かった1980年代に比較して1/3以下である。注目すべきことは、西北西、および西のおろし日に減少傾向がみられず、特に西の風は1980年代から増加傾向を示していることである。この津における西風は、1980年代前半は吹走日数が5日程度であったが、2000年以降約13日吹いており、西北西の風と合わせると20日以上に達することに

なる。

以上のことから、伊勢平野北部（四日市）の北西よりのおろし日数が減少するなかで、平野中央部の亀山、南部の津では西よりのおろし日が増加傾向にあることが判明した。そこで、観測地点の移動の弊害がみられず、おろしの観測日が時系列で比較できる伊勢平野中央部に位置する亀山のおろし日における風速の変化を探ってみた(図4 4)。これは、吹走日数の増加傾向が著しくなった1990～2004年度の15年間におけるおろし日の風速を示したものであるが、徐々に強まる傾向にあった。したがって、中部地方の太平洋側で吹く局地風は、西高東低の冬型気圧配置で吹走する風であり、この季節に日本列島を通過する温帯低気圧の発生位置、および移動経路が変化してきていることに起因すると考えた。

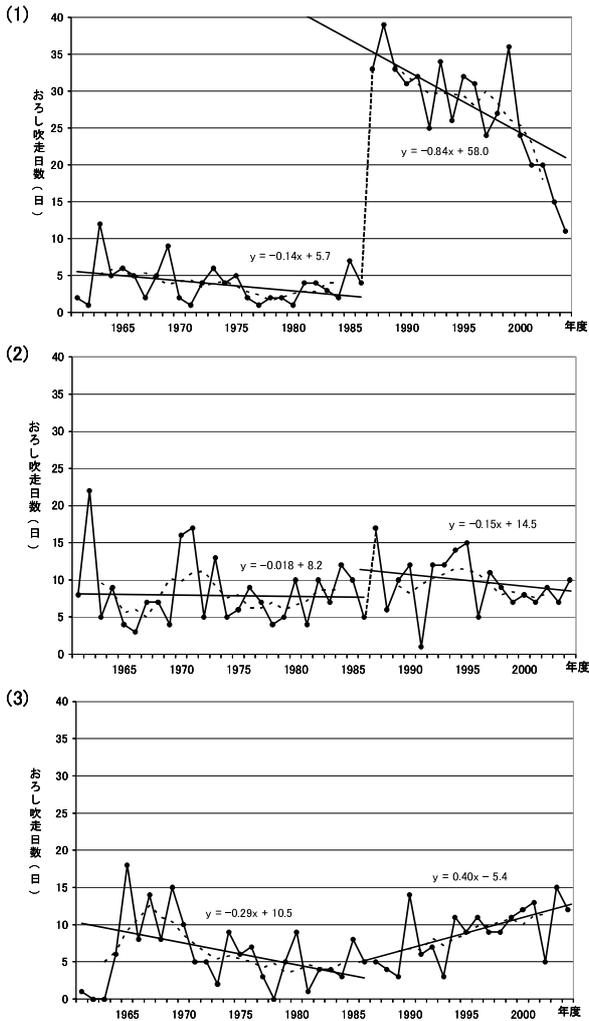


図4 3 伊勢平野南部(津)における風向別おろし吹走日数の経年変化(1961~2004年度)

(1)北西 (2)西北西 (3)西

実線はおろし日数,破線は5年間の移動平均値である。吹走日数の傾向は,最小二乗法による近似線で表した。

1987年に観測地点が変更になった。

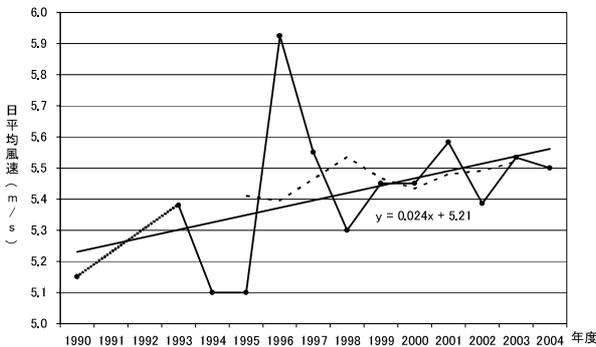


図4 4 伊勢平野中央部(亀山)におけるおろし日の日平均風速経年変化(1990~2004年度)

実線は日平均風速,破線は5年間の移動平均値である。日平均風速の傾向は,最小二乗法による近似線で表した。

### 5. 伊勢平野に吹く局地風に及ぼす低気圧の移動経路

冬季,日本列島を通過する温帯低気圧は,寒帯前線ジェット気流(PJ)による日本海低気圧と亜熱帯ジェット気流(STJ)の傾圧不安定波による南岸低気圧である。したがって,日本海低気圧は,朝鮮半島北部の北緯40度付近で発生し,南岸低気圧は日本列島の南の海上北緯30度付近から北上してくる低気圧である。鈴鹿おろしが吹いた日(1999年12月9~12日)の日本海低気圧は(図5 1),大陸東部の北緯45度,東経130度付近で低気圧が発生し,その後樺太付近で勢力を増してオホーツク海北部で発達している。その結果,北日本は等圧線が南北の縦縞模様となり,強い冬型気圧配置となっているが,西日本は低気圧の中心が北海道北部に位置するため,大陸からの高気圧が張り出して中部地方では西よりの風が吹いたと思われる。

これに対し,南岸低気圧で吹いた日(2001年1月6~9日)の気圧配置は(図5 2),北緯30度,東経120

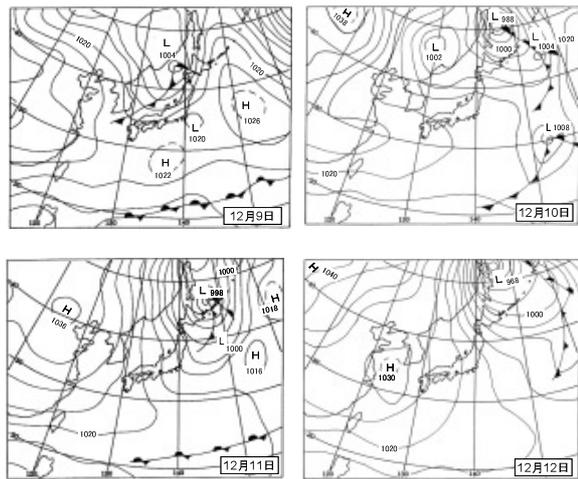


図5 1 日本海低気圧で鈴鹿おろしが吹走した低気圧の発生位置と移動経路(1999年12月9~12日)

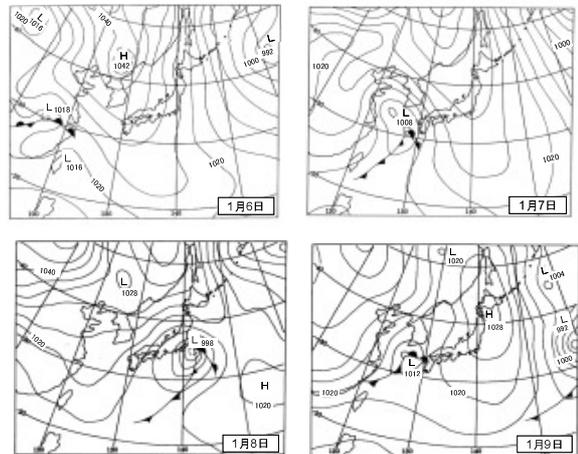


図5 2 南岸低気圧で鈴鹿おろしが吹走した低気圧の発生位置と移動経路(2001年1月6~9日)

度に低気圧が発生し、発達しながら東シナ海を通り太平洋岸に沿って北上している。したがって、この時は西日本の気圧傾度が大きくなって吹いたと考えられる。これらの事例に対し、日本海低気圧と南岸低気圧が同時に発生する場合もある。図5-3は2001年12月12～15日に日本列島を通過した2つ玉低気圧によるおろし日の気圧配置である。12月12日に朝鮮半島北部に日本海低気圧、台湾付近に南岸低気圧が発生し、翌13日には日本海低気圧が南下、南岸低気圧が北上して接近し、15日になると2つ玉低気圧が合体して台風並みに発達した。このため、日本列島は強い冬型気圧配置となり、伊勢湾岸地域でも強い局地風が吹き荒れた。

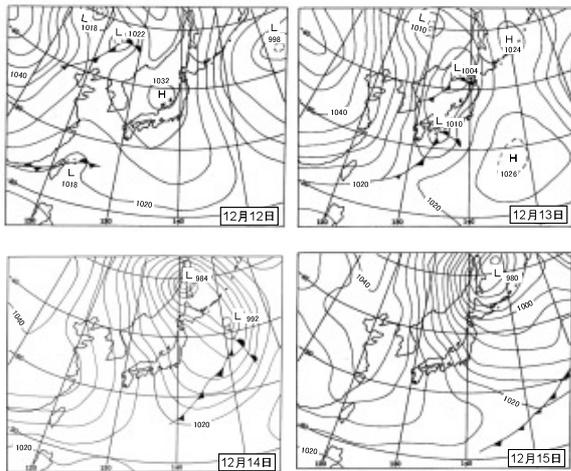


図5-3 2つ玉低気圧で鈴鹿おろしが吹走した低気圧の発生位置と移動経路（2001年12月12～15日）

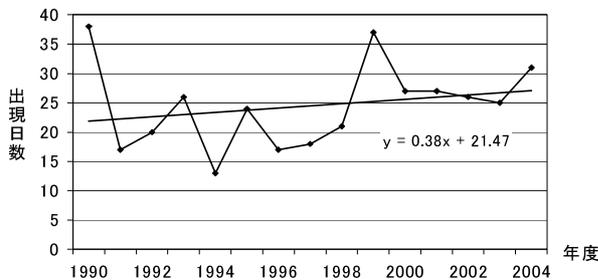


図5-4 2つ玉低気圧型の出現日数の経年変化（1990～2004年度）

出現日数の傾向は、最小二乗法による近似線で表した。

表5-1 中部国際空港（セントレア）の開港以来強い西風による欠航日と便数

	国内線	国際線	合計
2005年12月5日	58便	6便	64便
2005年12月17日	19便	10便	29便
2005年12月22日	182便	42便	224便
2006年4月11日	47便	11便	58便
2006年11月7日	23便	1便	24便
2006年12月28日	16便	8便	24便
2006年12月29日	80便	13便	93便
2007年1月7日	114便	39便	153便
2007年2月15日	19便	10便	29便

このような気圧配置は、図5-4に示すように増加する傾向にあり、最近では年間25日以上現れている。特に、中部国際空港（セントレア）では、2005年から2007年にかけて強風による欠航が相次いだ（表5-1）。これらの欠航日における気圧配置は、いずれも2つ玉低気圧の通過に伴うものであり、今後の影響が懸念される。

## 6. 中部国際空港欠航日における気象事例

最近では、2007年1月7日に国内線114便、国際線39便が欠航した。この時の気圧配置は（図6-1）、1月6日に日本海と南岸に低気圧があって、翌7日には北海道付近で合体して中心気圧が964hPaにまで発達し、8日には千島列島北部で952hPaに達した。この低気圧の中心位置は、西日本に大陸からシベリア高気圧が張り出すため、鈴鹿おろしが吹きやすい気圧配置となった。したがって、153便が欠航した1月7日は深夜から早朝にかけて16m/s以上の西風が吹き荒れ、航空機の離発着ができない13m/s以上の強風が午後まで持続した。

この時の500hPa面における気圧場は（図6-2）、北海道東部に中心をもつ低気圧があって、日本付近は深い気圧の谷に位置していることがわかる。さらに、これを1月の平年値（1996～2005年）との高度差（m）を求めると、その傾向が明瞭に現れる（図6-3）。その結果、日本列島付近を中心にして負の領域が集中しており、三陸沖では-250mにも達している。これは、いかに猛烈に発達した低気圧が日本列島上を通過したかを裏付けるものである。その原因は、同日の500hPa面における水平風ベクトルとジェット気流の流れからも判断できる（図6-4）。寒帯前線ジェット気流は、東経80～100度付近では北緯50度以北に位置しているが、東経100度から東経140度にかけて一気に南下している。これは、帯状流の蛇行が激しかったからである。

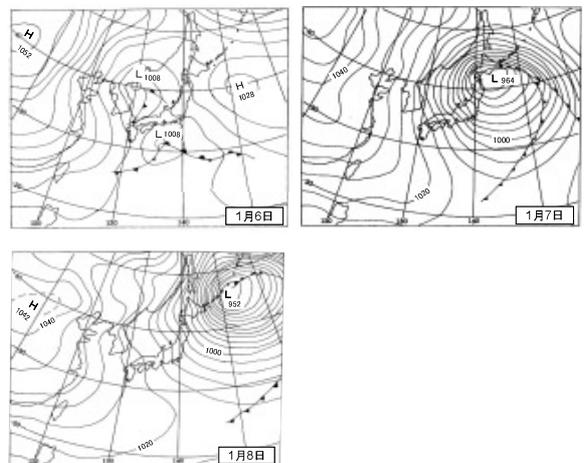


図6-1 中部国際空港（セントレア）の欠航日（2007年1月7日）における地上気圧配置（2007年1月6～8日）

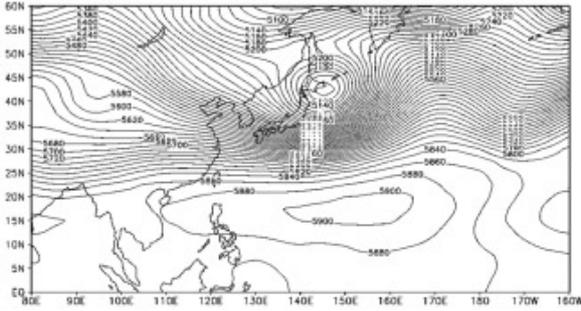


図6 2 中部国際空港（セントレア）欠航日の500hPa 面における等圧面高度場（2007年1月7日）

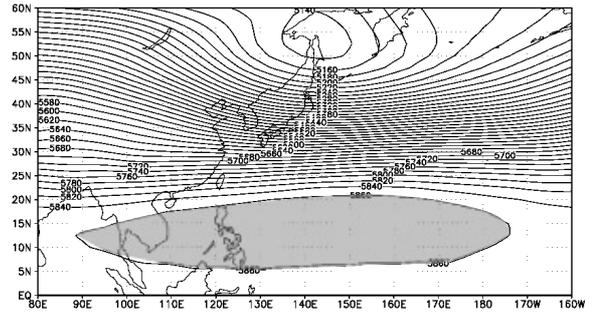


図6 5 500hPa 面における1月の平均等圧面高度場（1996～2005年）

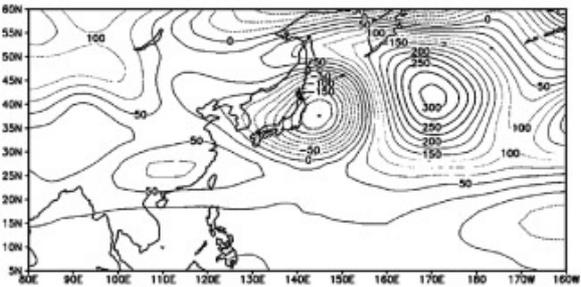


図6 3 2007年1月7日における500hPa 等圧面高度場の平均偏差分布（m）

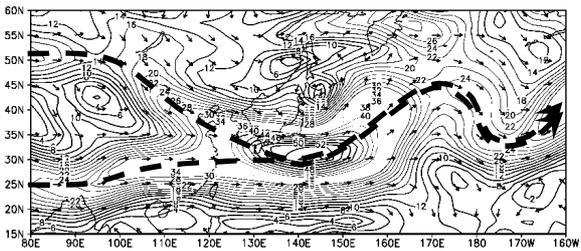


図6 4 中部国際空港（セントレア）欠航日（2007年1月7日）の500hPa 面における水平風ベクトルと風速分布（m/s）  
破線は、強風軸（ジェット気流）の位置を表す。

これに対して亜熱帯ジェット気流は、東経80度付近では北緯25度であって寒帯前線ジェット気流と離れているが、東経100度付近から北緯30度まで北上した。亜熱帯ジェット気流の緯度的・経度的位置は、亜熱帯高圧帯の位置によって決定されるため、この日は平年（図6 5）に比較して高圧帯の領域面積が広く、その中心位置も北上していたことが伺われる（図6 2）。

その結果、東経140度、北緯30度付近で寒帯前線ジェット気流と亜熱帯ジェット気流とが接する結果となり、高緯度側の寒気と亜熱帯ジェット気流の南側からの暖気流との間に大気擾乱が活発となって低気圧が異常発達したと考えられる。

## 7. 今後の予測

地球温暖化に伴う海面温度（SST）の上昇傾向は、中緯度、および低緯度と高緯度側との温度差によって寒帯前線ジェット気流、および亜熱帯ジェット気流の蛇行が激しくなる傾向にある。その結果、冬季（1月）の500hPa 面における東西指数の傾向を1976～2006年までの時系列からみていくと（図7 1）、指数は低くなっていく傾向が見られた。これは、寒帯前線ジェット気流の蛇行が著しくなっている証拠である。また、ハドレー循環の下降域にあたる亜熱帯高圧帯領域面積

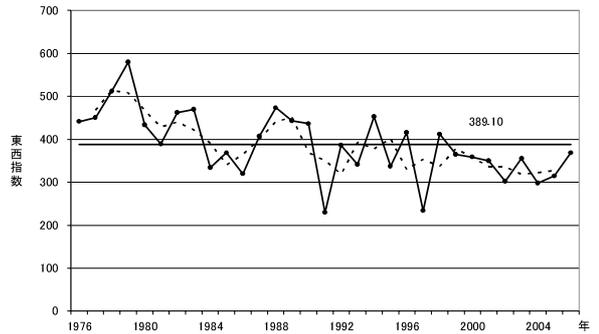


図7 1 冬季（1月）における東アジア（東経120～150度）の東西指数の経年変化（1976～2006年）  
実線は経年変化、破線は3年間の移動平均値である。

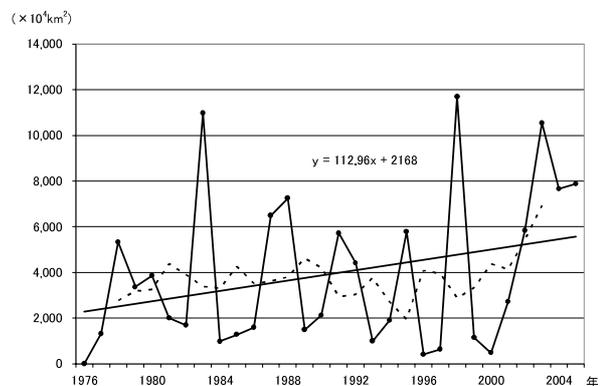


図7 2 北半球における冬季（1月）の亜熱帯高圧帯領域面積（5 860m 以上）の経年変化（1976～2005年）  
実線は経年変化、破線は5年間の移動平均値である。

(500hPa面)は、年変動が激しい(実線)ものの、移動平均(破線)からも明らかなように拡大傾向が見られた。これは近似線からも実証できる(図7-2)。したがって、今後は亜熱帯高圧帯領域の拡大に伴う亜熱帯ジェット気流の北上、および高緯度と中緯度との温度差による寒帯前線ジェット気流の蛇行によって、日本海低気圧と南岸低気圧とが日本付近で合体して異常発達し、千島列島北部に移動して西日本、特に伊勢湾岸地域に吹く鈴鹿おろしの勢力を強める傾向が予測される。

## 8. 結語とあとがき

- (1) 中部日本の太平洋側に位置する伊勢湾岸地域は、西高東低の冬型気圧配置時において強い伊吹おろし、および鈴鹿おろしと呼ばれる局地風が吹走する。しかし、近年のClimate shift以降からこれらの局地風の吹走頻度が減少傾向にある。特に、低気圧の中心が三陸沖に位置する気圧配置で吹く局地風が減ってきているのに対し、低気圧がオホーツク海北部で異常発達した時に吹く傾向が強まった。
- (2) これは、寒帯前線ジェット気流の蛇行が激しくなり、日本海低気圧の南下と亜熱帯高圧帯領域の拡大に伴う亜熱帯ジェット気流の北上によって、南岸低気圧が日本海に侵入する経路が現れ始めたからである。
- (3) その結果、日本海低気圧と南岸低気圧との同時発生・移動による2つ玉低気圧型の気圧配置が多くなり、これらの低気圧が合体してオホーツク海北部で発達するようになった。これは、日本海低気圧からの寒気と南岸低気圧からの暖気が直接接触し合うことによって大気擾乱が活発となり、低気圧が台風並みに異常発達するからである。
- (4) このため、中部地方では、西日本に大陸からの高気圧が張り出してきて気圧傾度風向が西よりになりやすく、中部国際空港(セントレア)の滑走路に対して直交する鈴鹿おろしが吹き出しやすくなり、航空機離発着への影響が懸念される。

この研究は、2006年3月の日本地理学会春季大会、2006年10月の日本気象学会、および2007年3月の日本地理学会春季大会で発表したものに加筆・補正したものである。発表時において御指導・御助言いただいた国連大学上席顧問の吉野正敏先生を始めとする関係各位に深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- IPCC (2001) *Climate Change 2001: Synthesis Report*, Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the IPCC. Cambridge Univ. Press, UK, 398pp.
- IPCC (2007) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Working Groups I, II, and III, Contribution of to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge Univ. Press, UK, 1056pp.
- Bengtsson, L., M. Botzet and M. Esch (1996) Will greenhouse gas-induced warming over the next 50 years lead to higher frequency and greater intensity of hurricanes? *Tellus*, 48A, 57-53.
- 平口博丸・丸山康樹・筒井純一・加藤央之・西澤慶一(1994) 地球温暖化に伴う東アジア地域の気候変化予測(その2) 大気・海洋混合層モデルを境界条件とした地域気候モデルによる結果. 電力中央研究所研究報告, U94023, 48pp.
- Hirakuchi, H. and F. Giorgi (1995) Multi-year present day and 2 × CO<sub>2</sub> simulations of monsoon climate over eastern Asia and Japan with a regional climate model nested in a general circulation model. *J. Geophys. Res.*, 100, 21105-21126.
- Strong, A. E., Kearns, E. J., and Gjovig, K. K. (2000) Sea surface temperature signals from satellites: An update. *Geophys. Res. Lett.*, 27, 1667-1670.
- 大和田道雄・井上智垂(2002): 熱帯海域における海面水温の経年変動と亜熱帯高圧帯との関係について 2002年日本地理学会春季大会予稿集.
- 大和田道雄・石川由紀(2002a): 北半球における亜熱帯高圧帯の鉛直分布の季節変動について. 愛知教育大学研究報告, 51(自然科学編), 33-39.
- 大和田道雄・石川由紀(2002b): 地球環境変化にかかわる中緯度高気圧の変化 最近の北半球における亜熱帯高圧帯の面積拡大傾向と移動性高気圧の帯状化との関係について 地球環境, 7, 117-127.
- 中川由雅・大和田道雄・鳥居司(2007): 温帯低気圧の異常発達に関わる帯状流変動解析. 2007年日本気象学会秋季大会予稿集.
- 吉野正敏(1968): 気候学. 地人書館, 274pp.
- 鳥居司・大和田道雄(2007): 冬季における亜熱帯高圧帯領域と西太平洋 SST との関係 2007年日本気象学会秋季大会予稿集.
- 中川由雅(2007): 大気大循環場の変動と温帯低気圧の異常発達との関係 2006年度愛知教育大学大学院教育学研究科理科学研究専攻修士論文.
- Owada, M. (1990) A Climatological study of local winds (oroshi) in central Japan. *Doctoral Thesis, Inst. Geosci., Univ. Tsukuba*, 98pp.
- 大和田道雄・櫻井麻理(2005): 局地風の変容と大気汚染濃度. 2005年日本地理学会春季大会予稿集.
- Yoshino, M. M. (1975) *Climate in a Small Area*. University of Tokyo Press, 549pp.
- 大和田道雄(1976): 濃尾平野における「伊吹おろし」の小気候学的研究. 愛知教育大学地理学報告, 45, 132-139.
- 大和田道雄・原田香子(1978): 伊勢平野に卓越する局地風「鈴鹿おろし」の局地候学的研究. 愛知教育大学研究報告, 27(人文・社会科学), 173-182.

(平成19年9月18日受理)

