

那覇における寒気吹き出し構造と 冬季モンスーンの経年変化

栗 山 佳 恵*・山 本 勝**

要 旨

1988年から2006年の寒候期（11月から3月）において、那覇では「吹き出し開始初期から厚い北風層が卓越し、それが維持されるもの（N型）」と「吹き出し開始から下層の北風層が徐々に発達するもの（S型）」の2つの寒気吹き出し構造が見られた。そこで、その経年変化や特徴的な気圧配置を明らかにし、海面水温（SST）や冬季モンスーンの経年変化と那覇周辺域の寒気吹き出し構造の関係を調べた。寒候期平均のNINO3海域SSTの年間偏差は1000 hPa南北風と相関が高く、00/01年までの降水量とも相関が高い。また、那覇周辺海域のSSTは海面気圧や1000 hPa比湿と相関が高く、北極振動指数は900 hPaの相対湿度と相関が高い。

さらに本研究では、総観規模の気象解析もおこなった。寒気吹き出し初期の500 hPaの太平洋高気圧の張り出しがS型とN型の構造を決定づける。また、エルニーニョと関連して東シナ海上空500 hPaの南風が強い冬季では、S型が卓越する。

1. はじめに

那覇周辺の東シナ海域では、黒潮によってフィリピン東方から莫大なエネルギーが運ばれており、寒気吹き出し時に大量の熱や水蒸気が大気に供給され、それに伴い大気混合層が発達する。また、この領域は日本の南岸を通る低気圧の発生・発達域としても重要である。AMTEX74 (Air Mass Transformation Experiment 1974, 例えば Ninomiya 1974 ; Kondo 1976 ; Nitta 1976) で得られた寒気吹き出し時の黒潮域からの熱エネルギー放出量 ($\sim 750 \text{ Wm}^{-2}$, Ninomiya 1974) は、地表面が吸収する全球平均日射量の約4倍で、全球平均地表面熱エネルギー（顕熱+潜熱）フラックスの約7倍にも達することから、東シナ海黒潮域の寒気吹き出しは気団の変質やエネルギー収支の点から非常に重要である。

11月から3月の寒候期（NDJFM）における寒気

吹き出しやそれに関連した気象要素は、エルニーニョやモンスーンと密接な関わりがある。南シナ海の冬季季節風の経年変化は寒気の吹き出しによって支配され、南方振動指数と高い相関をもつ (Zhang *et al.* 1997)。また、エルニーニョ成熟期の対流活動の変化は、東アジアの大気大循環に影響を及ぼし、その結果モンスーンが弱まる (Zhang *et al.* 1996)。降水に関しては、東アジアの降水と赤道域の海面水温 (SST) との関連を指摘する研究が多い中 (例えば Zhang and Sumi 2002 ; Wu *et al.* 2003)、対馬暖流流量に関連して日本海沿岸域のSSTと冬季降水量との相関が高いという報告もある (Hirose and Fukudome 2006)。このことは、東アジア縁辺海域が、SSTの遠隔強制 (例えばエルニーニョによるテレコネクション) と近接強制 (例えば対馬暖流と降水量の関係) の両方が関与する複雑な地域であることを意味する。本研究では、はじめに、東シナ海黒潮域のすぐ近くに位置する那覇の冬季モンスーンに関連した個々の気象要素が、「赤道域のSSTによる遠隔強制」と「那覇周辺のSSTによる近接強制」のどちらと関係するのかについて整理する。また、SSTによる近接

* 九州大学総合理工学府（現所属：東芝テック）。

** 九州大学応用力学研究所。

—2007年12月13日受領—

—2008年7月14日受理—

強制や遠隔強制に加えて、北極振動 (AO) と寒気吹き出しやモンスーンとの関係を指摘する研究もあるので (例えば, Gong *et al.* 2001; Jeong and Ho 2005; Isobe and Beardsley 2007), 北極振動の指標である AO index についても調べる。

日本海の寒気吹き出しの多くは発達したシベリア高気圧とアリューシャン低気圧による西高東低の典型的な気圧配置時に起こるが, 東シナ海の寒気吹き出しは, 日本海や南岸の比較的弱い低気圧が関与する場合が多く見られる。このことは, 発達した大陸の高気圧のみならず, 発生および発達初期の日本海や南岸の低気圧も, 東シナ海の寒気吹き出し構造を特徴づける重要な要素であることを意味する。

Ninomiya and Akiyama (1976) では東シナ海黒潮域の寒気吹き出し時における大気構造や熱・水蒸気収支が詳しく調べられた。さらに, Ninomiya (1977) では, 東シナ海黒潮域の寒気の吹き出しは, 「吹き出し開始初期から下層から上層まで北風が卓越し, その後も厚い北風層が維持されるもの」と「吹き出し開始初期では下層で北風, 上層で南風となり, その後下層の北風層が徐々に発達するもの」の2つに分類されている。異なる2つの発達過程は, 気団変質や大気混合層形成において重要であるが, その頻度や経年変化, 総観規模の構造は詳しく調べられていない。本研究では, 「寒気吹き出し構造と気候変動との関係」や「寒気吹き出し構造を特徴付ける気圧配置」を明らかにする。

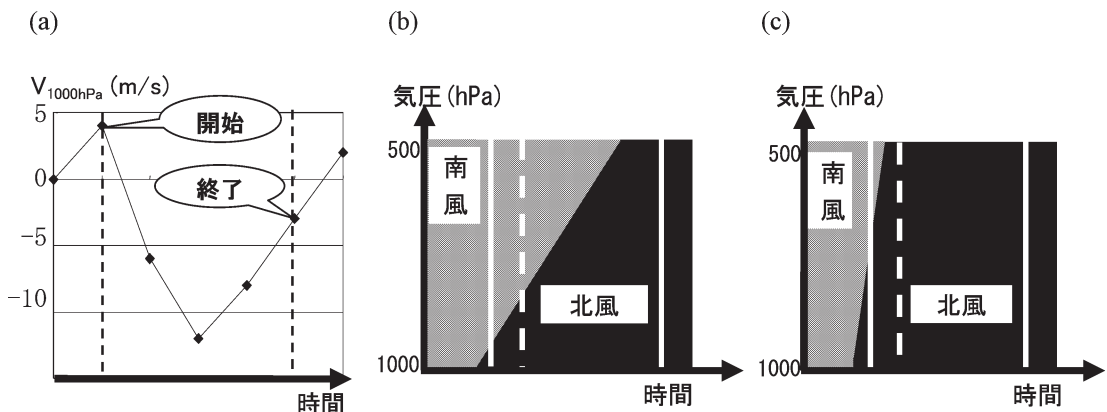
上で述べた東シナ海黒潮域における寒気の吹き出し構造や冬季モンスーンと SST や AO index との関わり

りを整理するために, 11月から3月までの寒候期 (NDJFM) に関して, 那覇における1988年から2006年までの寒気吹き出しの経年変化と総観規模構造について調べた。

2. データ

本研究では, 高層気象データを用いて, NDJFM の那覇の1000 hPa で 10 ms^{-1} を超える寒気吹き出しの発達構造を2つに分類し, 頻度を調べた。分類方法は, 北風が 10 ms^{-1} を超えるイベントに関して1000 hPa で北風が 5 ms^{-1} に達する直前の時刻を寒気の吹き出し開始時, 1000 hPa で北風が 5 ms^{-1} を下回った直後の時刻を寒気吹き出し終了時とした (第1図 a)。500 hPa において, 期間中半分以上南風 (Southerly) が吹いており, 吹き出し開始から1日以上南風が吹き続けているものをS型とした (第1図 b)。また, 500 hPa において, 期間中半分以上北風 (Northerly) が吹き, 吹き出し開始時から1日以内に北風となるものをN型とした (第1図 c)。Ninomiya (1977) の「吹き出し開始初期から下層から上層まで北風が卓越し, その後も厚い北風層が維持される事例」と「吹き出し開始初期では下層で北風, 上層で南風となり, その後下層の北風層が徐々に発達する事例」は, それぞれN型とS型に分類される。

那覇における12時間ごとの南北風, 温位, 比湿, 相対湿度は気象庁高層気象観測年報 (CD-ROM) より, 月ごとの NINO3 海域 (5°S - 5°N , 150 - 90°W) の SST 平年偏差 (以下, NINO3 と記す) と那覇の気象官署で観測された地上気象観測データ (降水量, 海面



第1図 (a) 寒気吹き出しの定義および (b) S型と (c) N型の分類の模式図。SおよびN型の分類の模式図の白実線は寒気吹き出し開始と終了を示し, 白破線は開始から1日後を示す。

気圧, 地上蒸気圧) は気象庁より, AO index は米国 National Weather Service/Climate Prediction Center より入手した. 気圧配置等の解析には, NCEP/NCAR の Reanalysis1を用いた. また, 那覇周辺の SST の平均値は, 25-30°N, 125-130°E 域の NOAA の OISST を用いた (以下, 那覇 SST と記す).

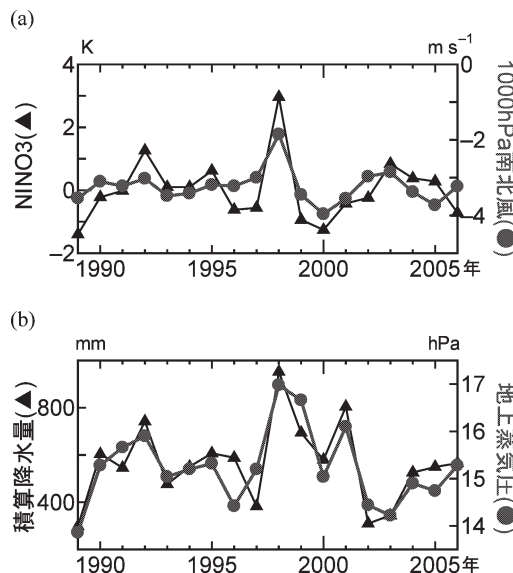
3. 那覇の寒候期平均した気象要素

第1表に, 寒候期 (NDJFM) 平均の NINO3, 那覇 SST, AO index と那覇の気象要素に関する相関係数 (R) をまとめる. R とサンプル数 (18年) より, t 検定をおこない, 危険率 5% を超える (95% の有意水準を満足しない) 値には表中で括弧をつけてある. 第2図 a に示した NDJFM 平均 NINO3 の値は97/98年で最大となっており, 次いで, 91/92, 02/03年で値が大きくなっている. NINO3 と那覇における1000 hPa での南北風との相関係数は0.77となっている. また, 積算降水量と地上蒸気圧 (第2図 b) では, 97/98年で最大となっており, 次いで, 91/92, 00/01年の値が大きくなっている. NINO3 と積算降水量の相関係数は88/89-00/01年の期間で0.68, 01/02-05/06年では-0.29であり, 2001年を境に相関が低くなっている. また, NINO3 と地上蒸気圧の相関係数は88/89-00/01年の期間で0.60, 01/02-05/06年の期間で-0.66となっている. 前半 (88/89-00/01年) の相関係数については95%の有意水準を満たす. また, 後半の01/02-05/06年に関しては, 期間が短いので相関係数の統計的な有意性までは議論できないが, グラフを見れば正の相関でないことは明らかである. このように, 2001年を境に NINO3 に対する那覇での水循環の応答が変わっているようである.

NDJFM 平均した那覇 SST について見てみると (第3図 a), 95/96年から01/02年の期間は, 全期間にわたって平均した値 (22.4°C) より大きく, 1000 hPa における比湿 (第3図 b) が高い時期と重なる. 特に, 那覇 SST で極大となる98/99年と00/01年では, 1000 hPa の比湿も極大を示している. また, 海面気圧 (第3図 b) は極小を示している. 那覇 SST と1000 hPa における比湿の相関係数は0.71, 海面気

第1表 1988-2006年の寒候期における NINO3, 那覇 SST, AO index と平均気象要素の相関係数. () の値は95%有意水準を満足しないことを示す.

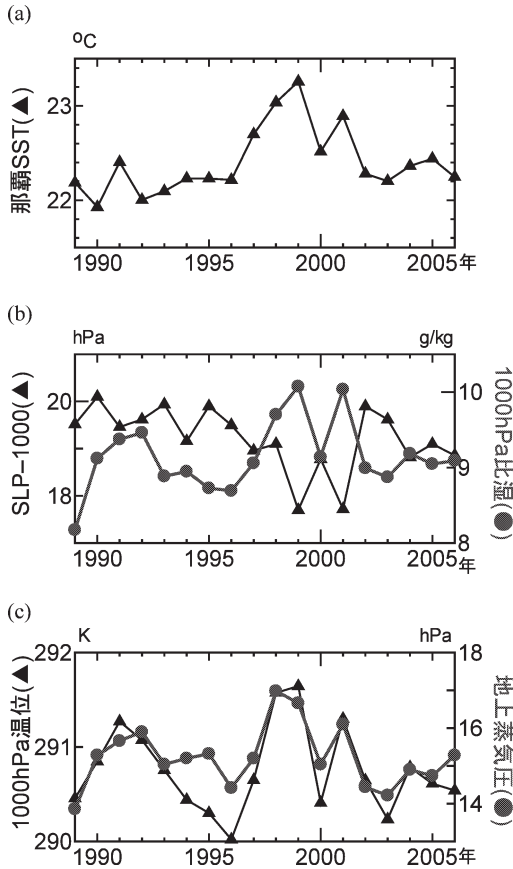
	南北風 1000 hPa	比湿 1000 hPa	温位 1000 hPa	相対湿度 900 hPa	海面気圧	地上蒸気圧	積算 降水量
NINO3	0.77	(0.25)	(0.32)	(-0.18)	(0.24)	(0.43)	0.50
那覇 SST	(0.15)	0.71	0.64	0.47	-0.81	0.65	0.47
AO index	(-0.21)	-0.52	(-0.18)	-0.69	0.60	(-0.32)	(-0.42)



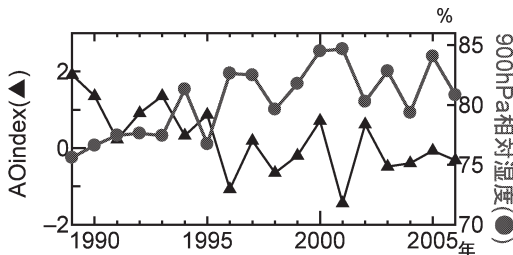
第2図 NDJFM 平均した気象要素の時系列. (a) NINO3 (K, ▲) と那覇における1000 hPa 南北風 (ms⁻¹, ●), (b) 積算降水量 (mm, ▲) と地上蒸気圧 (hPa, ●). 横軸の年は1月の西暦で表される (例えば1998年の値は97/98年のNDJFM の値を示す).

圧との相関係数は-0.81となっている. また, 那覇 SST と地上蒸気圧 (第3図 c) の相関係数は0.65, 1000 hPa の温位 (第3図 c) とは0.64である. 那覇周辺海面温度の変動は, 気団変質を介して, これらの気象要素に影響を与えている.

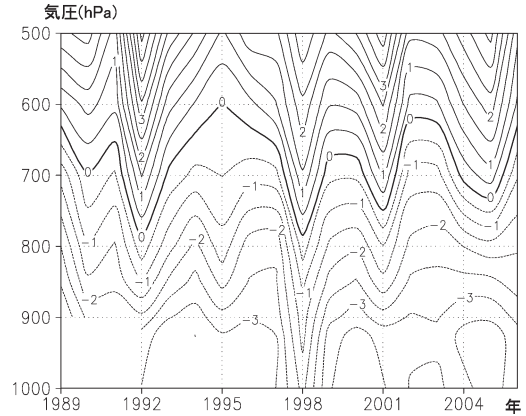
NDJFM 平均 AO index は数年周期で変動をしており, 95/96, 00/01年で極小となっている (第4図). 900 hPa の相対湿度は AO index と相関係数が-0.69となっている. 900 hPa は, 相対湿度の極大高度で, 混合層上部の雲層に対応する. 相対湿度が80%前後の高い値で変動していることから, (相対湿度が100%に近い) 雲形成の頻度が多く, 形成期間が長ければ, 寒



第3図 NDJFM平均した気象要素の時系列。(a) 那覇周辺域 (25-30°N, 125-130°E) の SST (°C), (b) 海面気圧-1000 (hPa, ▲) と1000 hPa 比湿 (g/kg, ●), (c) 1000 hPa 温位 (K, ▲) と地上蒸気圧 (hPa, ●)。横軸の年は1月の西暦で表される (例えば1998年の値は97/98年のNDJFMの値を示す)。



第4図 NDJFM平均した気象要素の時系列。AO index (▲), 900 hPaにおける相対湿度 (%), ●)。横軸の年は1月の西暦で表される (例えば1998年の値は97/98年のNDJFMの値を示す)。



第5図 那覇におけるNDJFM平均南北風 (ms⁻¹) の時間-高度断面。横軸の年は1月の西暦で表される (例えば1998年の値は97/98年のNDJFMの値を示す)。

候期平均相対湿度も高くなると考えられる。したがって、雲形成の頻度や期間と関連して、900 hPaの相対湿度がAO indexと相関が高いものと推察される。

第5図はNDJFM平均南北風の時間-高度断面である。91/92, 97/98, 00/01, 04/05年の期間で北風層が薄くなっており、概ね1000 hPaから750 hPaまで北風が吹いている。それ以外の期間では、700 hPa高度を超える厚い北風層が見られる。中でも94/95年と02/03年の北風層は特に厚く、その上端は650 hPa高度を超えている。500 hPaの南北風について見てみると、91/92, 97/98, 00/01, 04/05年では、NDJFM平均で3 ms⁻¹を超える南風が見られる。また1000 hPaについては、97/98年で極大であり(北風が弱く)、99/00年で極小となっている(北風が強い)。上でも述べたが、1000 hPaにおける南北風とNINO3の相関は高い(R=0.77)。NINO3が大きく降水も多かった91/92年と97/98年では北風層が薄く、下層の風速も弱くなっている。

4. 寒気吹き出し構造の経年変化

第6図は、寒気吹き出し回数およびN型とS型の頻度(%)の経年変化を表す。寒気吹き出しの期間は、1日間から10日間であり、平均は3.0日であった。また、寒気吹き出し回数平均は年14.6回であり、N型は平均3.2回、S型は平均7.6回であった。全期間でのS型、N型、それ以外の頻度は、それぞれ、52%、22%、26%である。

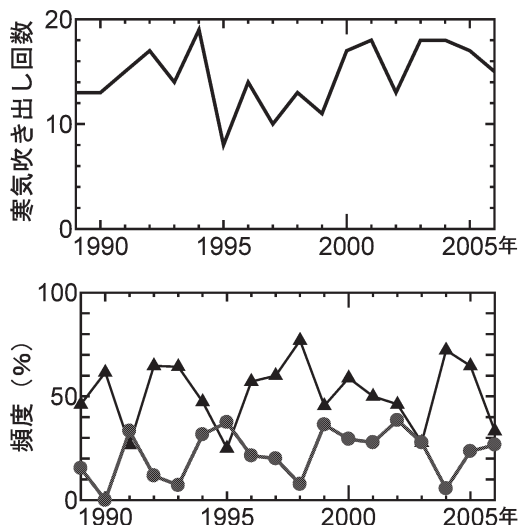
N型とS型の頻度(%)に注目してみると、それぞれの頻度は年々変動しており、N型とS型の頻度で高い逆相関が見られる($R = -0.73$)。全体的にはS型の方が発生頻度は高くなっているが、S型とN型がほぼ同じ頻度である期間も見られる。91/92, 97/98, 03/04年の寒候期では、S型の頻度がN型の5倍以上高く、 2.5 ms^{-1} を超えるNDJFM平均南風が500 hPaで見られる(第5図)。それに対して、90/91, 94/95, 02/03年の寒候期では、S型頻度は30%より小さく、N型頻度と概ね等しい。この時期のNDJFM平均500 hPa南風は弱い。

NDJFM平均NINO3が1Kを超える91/92年と97/98年のエルニーニョでは、500 hPaの南風が強く、S型の頻度が高い。しかし、02/03年のエルニーニョでは、500 hPaの南風が弱く、S型が卓越しなかった。

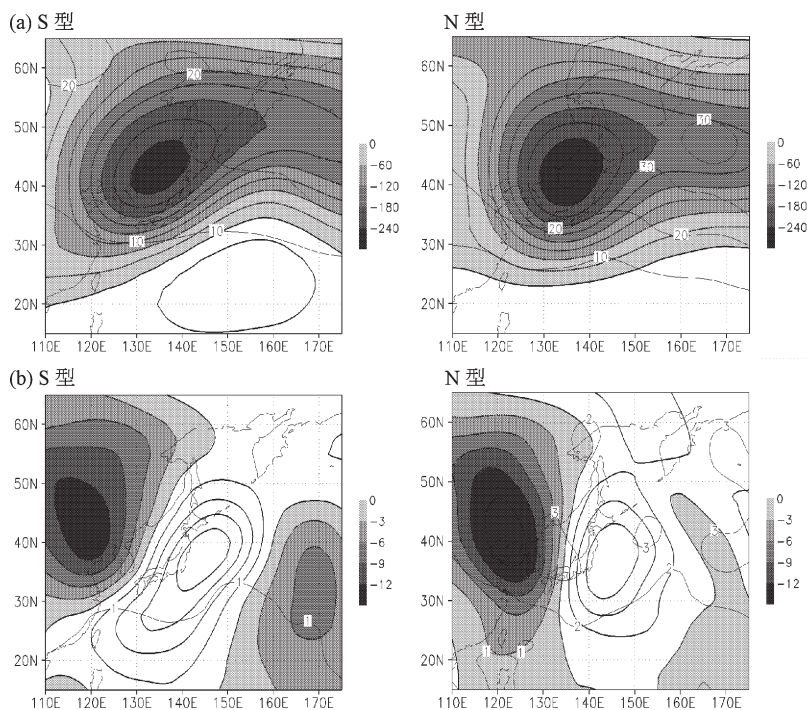
5. 寒気吹き出しの特徴

はじめに、すべての期間にわたり平均したS型とN型の気象要素について議論する。第7図は、寒気吹き出し開始から1日後の500 hPaのジオポテンシャル高度偏差と南北風偏差を

N型とS型ごとに平均した分布を示す。本稿での偏差は、帯状平均からの偏差を意味する。S型の500 hPaでは、 160°E の低緯度にある高圧部が 30°N 付近まで張り出しているのに対して、N型では南方からの高気圧の張り出しが弱い(第7図a)。500 hPa面におけるS型の気圧の谷は、日本海ロシア沿岸から朝鮮半島を通り華南に延びており、この気圧の谷の東側の那覇では西南西の地衡風となる。N型の気圧の谷は日本海から九州、南西諸島、台湾の東へと延びる。この場合、那覇は気圧の谷のやや西に位置しているので、地衡風は西北西となる。S型では、ユーラシア大陸沿岸を境に大陸側に北



第6図 NDJFMの寒気吹き出し回数(上段・実線)とS型(下段▲)およびN型(下段●)の頻度(%)。横軸の年は1月の西暦で表される(例えば1998年の値は97/98年のNDJFMの値を示す)。



第7図 全期間にわたり寒気吹き出し時で平均した500 hPaの(a) ジオポテンシャル高度偏差(m)と(b) 南北風偏差(ms^{-1})の水平分布。左がS型で、右がN型の分布を表す。太線コンターと濃淡が平均値を表し、細線コンターとラベルは95%の信頼区間を表す。

風偏差が位置し、台湾、南西諸島、日本列島、千島列島に沿って南風偏差が位置する(第7図b左)。それに対して、N型では、135°Eをはさんで西側で北風偏差、東側で南風偏差が見られる(第7図b右)。

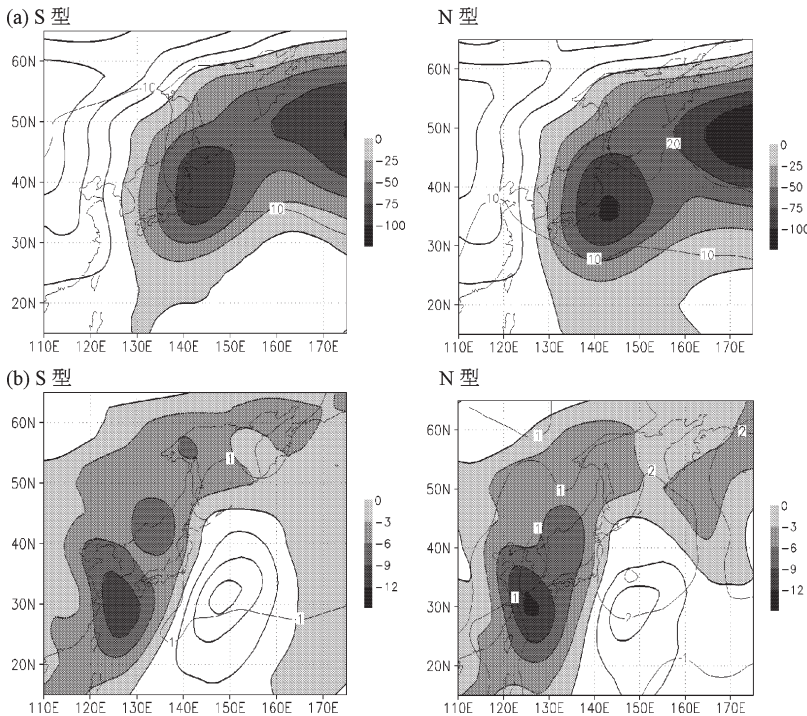
925 hPa面のジオポテンシャル高度偏差の分布は地表付近の気圧配置を表す。そこで、第8図は、寒気吹き出し開始から1日後の925 hPaのジオポテンシャル高度偏差と南北風偏差をN型とS型ごとに平均した分布を示す。地表付近では、125°Eをはさんで西高東低の気圧配置となる。それに伴い東シナ海上では北風が卓越する。大陸の高圧部は両型で同じであるが、海洋の低圧部はS型とN型で異なる。140°E付近では、N型の海洋の低圧部のほうがS型よりもやや南に張り出している。上空の高気圧の張り出しが強いS型では、30°N以南の低圧部の広がり小さい。

上述の925 hPaと500 hPaの結果をまとめると、那覇の黒潮流域での寒気吹き出し構造の違いは、大陸の高気圧ではなく、日本南方の高気圧の盛衰が支配している。日本南方における500 hPa高圧部の北への張り

出しによって、気圧の谷の軸に違いが生じ、上層の南北風の分布を大きく変える。他方、地表付近では、西高東低の気圧配置で北風が卓越する。したがって、寒気吹き出し初期のS型では南風が卓越する中を下層で北風が吹く構造となり、N型では上層も下層も北風が吹く構造になる。

すべての期間にわたり平均した場合、N型とS型の低気圧の位置の違いが下層であり明瞭ではなかったが、年によっては明瞭な差異が見られる事例もある。そこで、N型とS型の頻度の差が大きくNINO3が正の値をもつ91/92, 97/98, 03/04年をSD期(SはS型, Dはdominantの頭文字)とし、N型頻度がS型頻度以上となる90/91, 94/95, 02/03年をNH期(NはN型, Hはhigherの頭文字)と分類する。SD期はS型が64%を超える高頻度年で、NH期はS型が28%を下回る低頻度年である。この2つの時期に関して、寒気吹き出し初期の平均的な気圧やジェット

の配置を調べた。第9図は、NH期(90/91, 94/95, 02/03年)における寒気吹き出し開始から1日後の500 hPa ジオポテンシャル高度偏差、500 hPa ジェット、925 hPa ジオポテンシャル高度偏差をN型とS型ごとに平均した分布をカラー濃淡で示す。S型の500 hPaでは、160°Eの低緯度にある高圧部が30°N付近まで張り出している(第9図aの左)。この高圧部の張り出しに伴い、500 hPa ジェットの軸は、東シナ海から日本南岸に沿って東北東に延びる(第9図bの左)。このような上空でジェットが強い領域は、一般的に傾圧性が高く、地上低気圧の発生や発達場所と密接な関係がある(北島・三井 1998)。925 hPa面の低圧部の極小の位置は、36 ms⁻¹ジェットの出口付近の北側(40°N, 145°E)にある(第9図



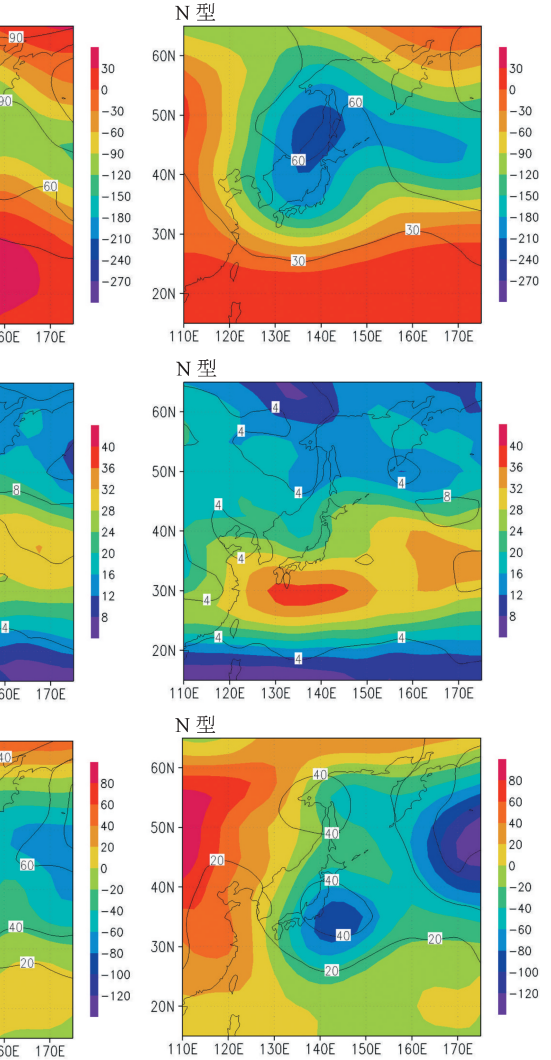
第8図 全期間にわたり寒気吹き出し時で平均した925 hPaの(a) ジオポテンシャル高度偏差(m)と(b) 南北風偏差(ms⁻¹)の水平分布。左がS型で、右がN型の分布を表す。太線コンターと濃淡が平均値を表し、細線コンターとラベルは95%の信頼区間を表す。

cの左). 500 hPaの低圧部は朝鮮半島北部の日本海沿岸に位置するのに対して, 925 hPaでは北海道および東北地方に位置しており, 低気圧中心の鉛直に伸びる軸は西に傾いている.

N型では, S型と異なり, 500 hPa高圧部の北への張り出しが見られず(第9図aの右), ジェットの軸は, 東シナ海から西に延びる(第9図bの右). 925 hPa面では, S型と同様に低圧部の極小が日本付近にあるが, その位置は33°N, 145°Eであり, S型よりやや低緯度であった(第9図cの右). 500 hPaの低圧部は樺太付近に位置するのに対して, 925 hPaでは関東太平洋沿岸に位置する. この場合, 低気圧中心の鉛直に伸びる軸は北に傾いている.

以上より, NH期における寒気吹き出しの特徴をまとめると以下ようになる. S型では, 160°E付近の南からの500 hPaの高圧部の張り出しによって那覇上空で南風が吹き, 日本付近の低気圧と大陸上の高気圧によって地上では北風が吹いている. それに対して, N型では500 hPaの高圧部の張り出しが弱く, 地上では西高東低を生み出す低気圧が比較的南にあるので, 地上の低圧部の極小がN型で低緯度になっていると考えられる. この場合, 那覇における吹き出し初期における南北風は, 500 hPaでも地上でも北風となる.

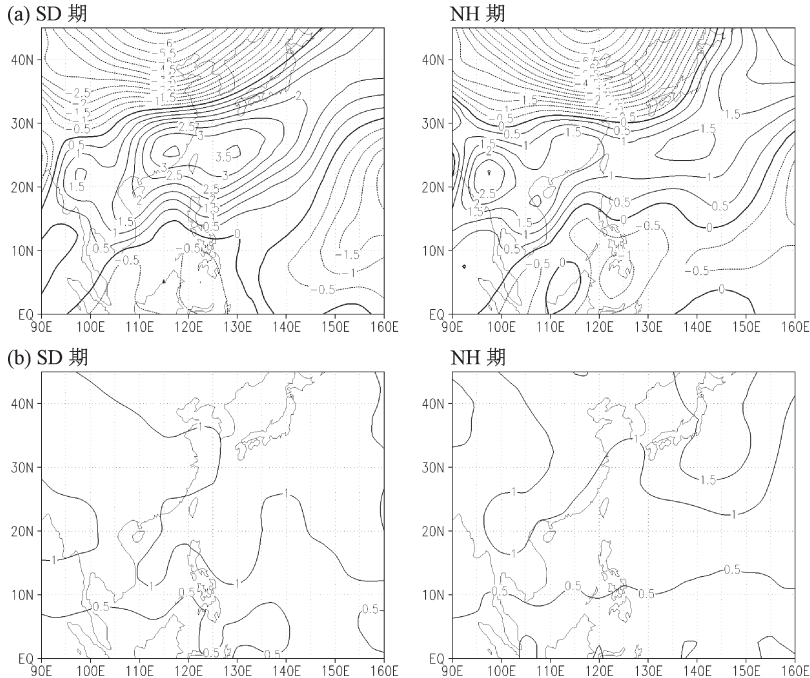
SD期(91/92, 97/98, 03/04年)は, S型と比較してN型が非常に少ないので, ここでは統計的に議論が可能なS型についてのみ述べる. SD期のS型の気



第9図 NH期における寒気吹き出し時で平均した(a) 500 hPa ジオポテンシャル高度偏差 (m), (b) 500 hPa ジェット (ms^{-1}), (c) 925 hPa ジオポテンシャル高度偏差 (m) の水平分布. 左がS型で, 右がN型の分布. カラーが平均値を表し, コンターとラベルは95%の信頼区間を表す.

圧配置は, NH期と同様に, 500 hPaでは低緯度の高圧部の張り出しが見られ, その張り出しに伴い, 東北東にジェットが延びる. 地上付近の低圧部は, 40°N, 145°Eであり, SD期におけるS型の気圧やジェットの配置の特徴は, NH期におけるS型とほぼ同じであった.

次に寒候期平均場と寒気吹き出し頻度との関係を調べるため, SD期(91/92, 97/98, 03/04年の計15ヶ月)とNH期(90/91, 94/95, 02/03年の計15ヶ月)



第10図 500 hPaにおける (a) SD期 (左, 91/92, 97/98, 03/04年) とNH期 (右, 90/91, 94/95, 02/03年) のNDJFM平均南北風 (ms^{-1}) と (b) SD期 (左) とNH期 (右) の平均値の信頼区間を表す。

の寒候期平均場について議論する。第10図はNDJFM平均の500 hPa南北風を表す。SD期では 3 ms^{-1} を超える南風領域が華南から南西諸島にかけて位置し、NH期では 2 ms^{-1} を超える南風領域がインドシナ半島に位置する。東シナ海域では、SD期に500 hPaの南風が強化されている。那覇周辺域について見てみると、平均南北風は、SD期では 3 ms^{-1} を超える南風だが、NH期では 1 ms^{-1} 程度の弱い南風となり、高層観測 (第5図) と矛盾しない。

SD年とNH年を個別に比較しても、SD年では那覇周辺域で500 hPa南風が大きく、NH年ではインドシナ半島に南風の極大が位置する。91/92年や97/98年のエルニーニョはS型が支配的なSD期であり、NDJFM平均南風域の極大は東シナ海に位置する。過去の研究でも議論されているように (例えば、Zhang *et al.* 1996)、エルニーニョ/ラニーニャ現象は東アジア域の大気大循環に影響を与え、寒候期平均南風の位置や強度を大きく変える。特に、寒候期平均NINO3が1Kを超えるエルニーニョの冬 (91/92, 97/98年) では、那覇上空の南風強化が顕著になり、このような (南風が強い) 状況で寒気の吹き出しが始

まるとS型になりやすく、S型頻度が増えるのかもしれない。あるいはその逆で、S型頻度が多い結果として、500 hPa南風の寒候期平均値が大きくなるのかもしれない。いずれにせよ、91/92年と97/98年のエルニーニョとS型頻度増加は、東シナ海域の大気循環 (上層での南風強化) を介して密接に関係しているものと推察される。

6. まとめ

はじめにも述べたが、那覇における寒気吹き出しは黒潮による気団の変質が顕著である点からも非常に重要である。その那覇では、遠隔SST強制によるテレコネクションのみならず (例えば、Zhang *et al.*

1996; Wang and Zhang 2002)、周辺海域のSST (近接SST強制) やAO indexと相関が高い気象要素もあり、東シナ海黒潮流域の寒気吹き出しやモンスーンは複雑である (第1表)。NINO3と相関が高い気象要素は1000 hPa南北風 ($R=0.77$) である。積算降水量や地上蒸気圧は2001年を境にNINO3との相関が大きく変わるので、この年を境にNINO3に対する那覇周辺域の水循環の応答が変わっているように見える。那覇SSTと相関が高い気象要素は、海面気圧 ($R=-0.81$) と、1000 hPaにおける比湿 ($R=0.71$) であった。また、海面気圧や雲形成高度付近の900 hPa相対湿度は、AO indexと相関が高い。

SD期 (91/92, 97/98, 03/04年) では、那覇におけるNDJFM平均の北風層が薄く、500 hPaの南風が強い。NH期 (90/91, 94/95, 02/03年) では、500 hPaの南風は弱くなり、北風層は厚くなる。91/92年と97/98年のエルニーニョのように、寒候期平均NINO3が高く、那覇上空で南風が卓越している冬では、薄い北風層や地表風速の顕著な低下が見られる。

全期間にわたり平均した吹き出し初期のS型の気圧配置は、500 hPaでは160°E付近の太平洋高気圧が

張り出しており、925 hPa では日本海や南岸の低気圧と大陸の高気圧によって西高東低になっている。それに対して、N 型では、500 hPa での太平洋高気圧の張り出しは見られず、925 hPa では S 型に比べて日本付近の低圧部はやや南に張り出している。

S 型と N 型の頻度がほぼ同じである NH 期では、全期間平均同様に、S 型 (N 型) で 500 hPa の太平洋高気圧の張り出しが見られる (見られない)。925 hPa では、N 型における日本付近の低気圧は S 型と比べて低緯度に見られる。また、500 hPa のジェットは S 型が東北東方向、N 型が西方向にのびている。寒気吹き出し初期のジェットの位置や向きが、ジェットの傾圧性に関連して、地上低気圧の位置や経路に影響を与えるものと考えられる。また、S 型が卓越する SD 期の S 型の気圧配置やジェットの位置は、NH 期の S 型とよく似ている。

エルニーニョによる太平洋-東アジア・テレコネクションは、東シナ海付近のモンスーン循環に影響を与え、那覇上空 500 hPa では南風が卓越する。寒候期平均 NINO3 が大きいエルニーニョ期では、南風が吹く中を下から徐々に北風層が発達していく S 型が多く、SD 期となる。

本稿では S 型と N 型のジオポテンシャルと水平風の特徴について議論したが、他の気象要素に関する寒気吹き出し構造についても議論しなければならない。また、N 型や S 型の間でも熱・水蒸気収支状況に違い (Ninomiya 1977) が報告されていることから、遠隔および近接 SST 強制と那覇の気象を結び付ける熱および水収支や気団変質プロセスについて今後詳しく整理する必要がある。

参 考 文 献

- Gong, D.-Y., S.-W. Wang and J.-H. Zhu, 2001: East Asian winter monsoon and Arctic Oscillation. *Geophys. Res. Lett.*, **28**, 2073-2076.
- Hirose, N. and K. Fukudome, 2006: Monitoring the Tsushima Warm Current improves seasonal prediction of the regional snowfall. *SOLA*, **2**, 61-63.
- Isobe, A. and R. C. Beardsley, 2007: Atmosphere and marginal-sea interaction leading to an interannual variation in cold-air outbreak activity over the Japan Sea. *J. Climate*, **20**, 5707-5714.
- Jeong, J.-H. and C.-H. Ho, 2005: Changes in occurrence of cold surges over east Asia in association with Arctic Oscillation. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L14704, doi: 10.1029/2005.GL023024.
- 北島尚子, 三井 清, 1998: 晩秋に日本海で急発達した低気圧の構造. *天気*, **45**, 827-840.
- Kondo, J., 1976: Heat balance of the East China Sea during the air mass transformation experiment. *J. Meteor. Soc. Japan*, **54**, 382-398.
- Ninomiya, K., 1974: Note on synoptic situation and heat energy budget during the AMTEX '74. *J. Meteor. Soc. Japan*, **52**, 452-455.
- Ninomiya K., 1977: Heat energy budget of the polar air-mass transformed over Kuroshio region under the situation of strong subsidence. *J. Meteor. Soc. Japan*, **55**, 431-441.
- Ninomiya, K. and T. Akiyama, 1976: Structure and heat energy budget of mixed layer capped by inversion during the period of polar outbreak over Kuroshio region. *J. Meteor. Soc. Japan*, **54**, 160-174.
- Nitta, T., 1976: Large-scale heat and moisture budgets during the air mass transformation experiment. *J. Meteor. Soc. Japan*, **54**, 1-14.
- Wang, B. and Q. Zhang, 2002: Pacific-East Asian teleconnection. Part II: How the Philippine Sea anomalous anticyclone is established during El Nino development. *J. Climate*, **15**, 3252-3265.
- Wu, R., Z.-Z. Hu and B. P. Kirtman, 2003: Evolution of ENSO-related rainfall anomalies in East Asia. *J. Climate*, **16**, 3742-3758.
- Zhang, R. and A. Sumi, 2002: Moisture circulation over East Asia during El Nino episode in northern winter, spring and autumn. *J. Meteor. Soc. Japan*, **80**, 213-227.
- Zhang, R., A. Sumi and M. Kimoto, 1996: Impact of El Nino on the East Asian monsoon: A diagnostic study of the '86/87 and '91/92 events. *J. Meteor. Soc. Japan*, **74**, 49-62.
- Zhang, Y., K. R. Sperber and J. S. Boyle, 1997: Climatology and interannual variation of the East Asian winter monsoon: Results from the 1979-95 NCEP/NCAR reanalysis. *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 2605-2619.

Interannual Variations of Cold-Air Outbreak Structure and Winter Monsoon at Naha

Kae KURIYAMA* and Masaru YAMAMOTO**

* *Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University (Present affiliation : Toshiba TEC corporation).*

** *Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University.*

(Received 13 December 2007 ; Accepted 14 July 2008)

Abstract

In the 1988–2006 cold seasons (November to March), two structures of cold-air outbreak were observed at Naha : Case N (for which a thick layer of northerly wind was predominant through a cold-air outbreak event) and Case S (for which an initially thin layer of northerly wind was gradually thickened as a cold-air outbreak was developed). We elucidate the interannual variations of cold-air outbreak and winter monsoon and the typical structures of the two different cold-air outbreaks, and investigate the relationship of the cold-air outbreak structures around Naha with sea surface temperature (SST) and monsoon. The NINO3 SST anomaly averaged over the cold season correlates with the meridional wind at 1000 hPa and the precipitation until the '00/01 season. The mean SST around Naha correlates with the sea-level pressure and the specific humidity at 1000 hPa, while the Arctic Oscillation index correlates with the relative humidity at 900 hPa.

The synoptic-scale meteorological analysis elucidates that the Pacific anticyclone at the early stage of the cold-air outbreak determines the structures of Cases N and S. In the cold seasons when the southerly winds are strong at 500 hPa over the East China Sea in the association with El Nino, the cold-air outbreaks for Case S are predominant.