

日本上空の気温の経年変化

－札幌，館野，鹿児島，那覇，南鳥島の5地点について－

中島 浩一*

Trend of Upper Air Temperature over Japan

－ Analysis of 5 Weather Stations, Sapporo, Tateno, Kagoshima, Naha and Minamitorishima －

Koichi NAKASHIMA

要旨

日本上空の気温の変化傾向を調べるため、5地点を選び経年変化および気温変化率について調査を行った。選択地点は、札幌(1951～2003年)、館野(1953～2003年)、鹿児島(1951～2003年)、那覇(1973～2003年)、南鳥島(1971～2003年)で、資料は21時(JST)の高層気象観測における指定気圧面の月平均気温値を用いた(各地点に付した括弧内は使用した資料の期間)。

調査の結果次のことがわかった。年平均気温の経年変化から、対流圏下部では全地点でやや昇温化(850hPaで $+0.05\sim+0.12^{\circ}\text{C}/10$ 年)、成層圏下部では全地点で低温化(100, 50hPaで $-0.36\sim-0.07^{\circ}\text{C}/10$ 年)していることが認められた。対流圏上部では、高緯度地点は低温化、低緯度地点は昇温化の傾向がみられた。

季節別の気温変化率では、地上付近(1000hPa)は季節を問わず昇温化、成層圏下部は低温化していた。対流圏上部(特に200hPa付近)は季節による変動が大きく、成層圏中部では全般的には低温化の地点が多いものの、20～15hPaでは、主に春季、夏季に昇温化している地点がみられた。

1. はじめに

上空の気温の経年変化に関して、最近では、池田・小林(1997)、山本(1999)、工藤(2000)などの報告がある。池田・小林(1997)は、潮岬上空の対流圏下部の気温に、昇温化の傾向があることを指摘した。山本(1999)は、米子、稚内、南大東島の気温について、地上の昇温化、50hPa(成層圏下部)の低温化が共通していることを指摘した。一方、500hPa(対流圏)についてははっきりとした傾向は言えない、としている。また工藤(2000)は、秋田上層の高層気温について調査し、対流圏下部での昇温化、対流圏上部および成層圏下部での低温化を指摘している。

日本全体の上空の気温の経年変化については、宮川(1991)や気象庁(1999a, b)の調査がある。宮川(1991)は、1951～1988年の日本の全18か所の高層気象官署の資料を用いて分析を行い、対流圏上部での北日本の低温化、南西諸島の昇温化、成層圏下部での低温化(北日本ほど顕著)などを指摘している。気象庁(1999a, b)は、南北に緯度約5度

間隔で選んだ稚内、秋田、館野、鹿児島、名瀬の計5地点の資料を用いた調査を行い、「気温のトレンド(期間：1950～1997年)は、地上付近では明瞭な上昇がみられるが、対流圏下部及び中部では明瞭な傾向はみられない。しかし、成層圏下部では気温は下降する傾向にある。」(気象庁：1999a)と指摘している。

これらの各調査では、地上付近での昇温化、成層圏下部での低温化は共通しているが、地上付近を除く対流圏については地点ごとに傾向が異なる。

今回、高層気象官署5地点の2003年までの資料を用いて、日本上空の気温の経年変化および気温変化率について調査した。

2. 使用資料について

2.1 使用統計値および調査地点、期間

日本の18か所の高層気象官署のうち、観測地点の地理的な分布バランスを考慮して札幌、館野、鹿児島、那覇、南鳥島の5地点を選択した。

使用した資料(統計値)は、各地点の21時(JST、以下同

*高層気象台 観測第二課

様)の高層気象観測による指定気圧面月平均気温である(ただし、2.3で述べるとおり、1957年に観測時刻の変更がある)。気温値は、1971～2000年の平均値(那覇のみ1973～2000年の平均値)からの偏差に変換した値を使用した。なお、本調査で用いた資料は、日本上高層資料30年報(気象庁：1983)、高層月報(気象庁：1981-1988)、高層気象観測年報(気象庁：1996-2004)に掲載または収録されている。

資料の期間は地点ごとに異なり、次のとおりである(括弧内は地点の北緯、東経)。

- ・札幌 1951～2003年：(43度03分，141度20分)
- ・館野 1953～2003年：(36度03分，140度08分)
- ・鹿児島 1951～2003年 ※観測点の移転あり
{1951～1957年：(31度34分，130度33分)
1957～1994年：(31度38分，130度36分)
1994～2003年：(31度33分，130度33分)}
- ・那覇 1973～2003年 ※観測点の移転あり
{1973～1987年：(26度12分，127度40分)
1987～2003年：(26度12分，127度41分)}
- ・南鳥島 1971～2003年：(24度18分，153度58分)

本来、高層大気は、圏界面高度が季節、地点により異なるため高度による鉛直大気層の分類に明確な定義はないが、本稿では記述の便宜上、各指定気圧面を、おおむね、対流圏下部(1000～700hPa)、対流圏中部(600～400hPa)、対流圏上部(350～200hPa)、成層圏下部(175～50hPa)、成層圏中部(40～15hPa)に分類して記述した。また、対流圏下部のうち1000hPaを別途、地上付近と記述した箇所もある。

2.2 統計値の品質

上空の気温の月平均値に関しては、統計値の品質として、「完全値」(「資料不足値」および「資料なし」以外の場合)、「資料不足値」(観測値に欠測があり、欠測を除いた日数が20日未満の場合、あるいは5日以上連続して欠測した場合)、「資料なし」(観測値がすべて欠測の場合)の3種に分類される。「資料不足値」は「完全値」より信頼性は低下する(気象庁：2005)。

指定気圧面月平均気温は、月1回でも観測値があれば資料には月平均値として掲載されている。各地点、各年月の個々の指定気圧面月平均気温が、「完全値」か「資料不足値」かを識別することは、特に資料が電子データ化されていない1987年以前については各年月の高層月報に当たって調査する必要があり、作業量が膨大になるため容易ではない。しかし、「資料不足値」は信頼性が低下す

るものの、多くの資料が必要な調査では利用価値は高い。こうした理由から、今回の調査においては「資料不足値」についても「完全値」と同様に扱った。なお、資料の信頼性を判断するため、資料に占める「完全値」の割合をある程度把握しておくことは必要である。高層月報の5年報(気象庁(1966)など)には月間観測回数に関する情報が掲載されており、資料に占める「完全値」の割合を比較的容易に集計することができる。一般的に、高い高度の指定気圧面ほど観測値の欠測率が増え、近年になるほど気球の品質向上により欠測率が減る傾向にある。

参考のため、気象庁(1966)、気象庁(1987)、気象庁(2002)の資料を用いて、50hPaと20hPa指定気圧面月平均気温に占める「完全値」の割合を調査した(表1)。使用資料の違いにより、1961～1965年、1981～1985年は5年間、2001年は1年間の集計だが、約20年ごとの変化傾向が読み取れる。50hPaは1960年代前半から平均で90%を超えている。20hPaは1960年代前半は平均で10%に満たないが、2001年には97%に達している。成層圏中部付近の指定気圧面月平均気温は、古い年代ほど「完全値」の占める割合が低いことを考慮して資料を取り扱う必要がある。

2.3 観測方法等の変更

1957年4月に観測時刻が00時から21時に変更された(気象庁：1983)ため、札幌、館野、鹿児島の1000hPaは1958年からの資料を、70hPaは1961年1月に指定気圧面に指定された(気象庁：1983)ため1961年からの資料を用いた。観測に使用する測器については1981年3月と1992～94年(館野は92年10月、那覇は93年2月、南鳥島は93年12月、札幌と鹿児島は94年2月(気象庁観測部高層課：1995)に大きな変更があった。

表1 50hPa、20hPa指定気圧面月平均気温に占める「完全値」の割合

単位：%，「-」は値なし。

気圧(hPa)	期間(年)	地点					平均
		札幌	館野	鹿児島	那覇	南鳥島	
50	1961-1965	93	87	92	-	-	91
	1981-1985	100	100	100	98	-	100
	2001	100	100	100	100	100	100
20	1961-1965	15	0	13	-	-	9
	1981-1985	53	68	58	75	-	64
	2001	100	100	100	92	92	97

1981年3月には、符号式ゾンデが周波数変調方式のパルス式ゾンデに変わった。このとき、センサ部は、気圧計が燐青銅製空ごうから鉄ニッケル合金製抵抗接点式空ごうへ、温度計がバイメタルからサーミスタへ、湿度計が毛髪からカーボンへそれぞれ変更された。

1992～94年にはゾンデの変更に伴い、気圧計センサ部が鉄ニッケル合金製抵抗接点式空ごうから鉄ニッケル合金製静電容量変化式空ごうへ、湿度計センサ部がカーボンから高分子静電容量変化式へ変更された(迫田ほか：1999)。

3. 調査および結果

3.1 指定気圧面別の経年変化

図1a, bに、大気各層の代表として選択した6つの指定気圧面(850, 500, 300, 100, 50, 20hPa)の年平均気温偏差の経年変化を示す。

(1) 850hPa(対流圏下部)の気温変化

1960年代前半は、札幌と館野で高温期となっている。1980年代中頃は、札幌、館野、鹿児島で低温期だが、低緯度側の他の2地点ではほぼ平年並である。1990年頃は南鳥島を除く4地点で高温期となっているが、南鳥島はほぼ平年並である。1990年代中頃は札幌を除く4地点で低温期、2000年頃は同様に4地点で高温期(那覇はそれほど明瞭ではない)となっている。グラフの変化の様子からは、10～20年程度の周期で高温期と低温期が繰り返されているようにみえる。

回帰直線による結果では、全地点で昇温化の傾向がある。南鳥島が最も気温上昇率が高く $+0.12^{\circ}\text{C}/10$ 年、他の地点は $+0.05\sim+0.07^{\circ}\text{C}/10$ 年である。

(2) 500hPa(対流圏中部)の気温変化

1960年代前半は、札幌では高温期だが鹿児島では逆に低温期となっている。1980年代中頃は、札幌、館野、鹿児島で低温期(高緯度側ほど明瞭)、1990年頃は札幌、館野、鹿児島で高温期(高緯側ほど明瞭)、1990年代中頃は館野、鹿児島、那覇で低温期(鹿児島はそれほど明瞭ではない)となっている。2000年頃は全地点で高温期となっている。高温期と低温期の時期を見ると、850hPaと共通している点が多い。

回帰直線による結果では、札幌はほとんど変化なし($0.00^{\circ}\text{C}/10$ 年)、他の4地点は昇温化傾向($+0.03\sim+0.14^{\circ}\text{C}/10$ 年)で、南鳥島が最も気温上昇率が高い。

(3) 300hPa(対流圏上部)の気温変化

1960年代前半は、札幌、館野で高温期だが、鹿児島では逆に低温期となっている。1980年代、札幌、館野、

鹿児島で低温期となっており、2000年頃は、全地点で高温期となっている。

回帰直線による結果では、札幌($-0.07^{\circ}\text{C}/10$ 年)、館野($-0.04^{\circ}\text{C}/10$ 年)は低温化、鹿児島($+0.03^{\circ}\text{C}/10$ 年)、那覇($+0.14^{\circ}\text{C}/10$ 年)、南鳥島($+0.17^{\circ}\text{C}/10$ 年)は昇温化の傾向がある。高緯度側と低緯度側で変化傾向が異なっている。300hPaは図1に示した6指定気圧面のうち、地点による変化傾向の違いが最も大きくみられる気圧面である。高緯度側の2地点(札幌、館野)の回帰直線は低温化を示しているが、年平均気温の経年変化(折れ線(実線))では、1980年代以降、昇温化に転じているようにもみえる。

(4) 100hPa(成層圏下部)の気温変化

1960年代は札幌、館野、鹿児島の3地点で共に高温期となっている。1980年代前半は全地点で高温期、1990年後半以降は全地点で低温期となっている。1990年頃は、低緯度側の鹿児島、那覇、南鳥島3地点では高温期となっている。

回帰直線による結果は、 $-0.36^{\circ}\text{C}/10$ 年(那覇)～ $-0.17^{\circ}\text{C}/10$ 年(館野)と全地点で低温化の傾向で、低緯度の那覇と南鳥島が明瞭である。

(5) 50hPa(成層圏下部)の気温変化

1960年代にかけて、札幌、館野、鹿児島ともに高温期となっている。1980年代前半は5地点ともに高温期である。1990年頃は、札幌を除く4地点で高温期である。1990年代後半以降は全地点で低温期となっている。高温期、低温期の時期など、気温変化の傾向は100hPaと共通点が多いが、気温偏差の振幅は100hPaより大きい。

回帰直線による結果では、全地点で低温化の傾向がある。南鳥島($-0.07^{\circ}\text{C}/10$ 年)を除く4地点は、 $-0.36^{\circ}\text{C}/10$ 年(札幌)～ $-0.25^{\circ}\text{C}/10$ 年(鹿児島)と、気温減少率が大きい。

(6) 20hPa(成層圏中部)の気温変化

1980年頃までは地点によって欠測の年が所々ある。また過去に遡るほど完全値の割合が少ないと考えられる気圧面である。

1960年代の高温期(札幌、館野、鹿児島)、1980年代前半の高温期(全地点)、1990年頃の高温期(札幌はそれほど明瞭ではない)、1990年代後半以降の低温期(全地点)などの特徴は、100hPa、50hPaと共通している部分が多く、成層圏の気温変化は似通っている点が多い。また、成層圏は対流圏に比べて気温変化の振幅が大きいのも特徴である。

回帰直線による結果では、南鳥島($+0.02^{\circ}\text{C}/10$ 年)を除

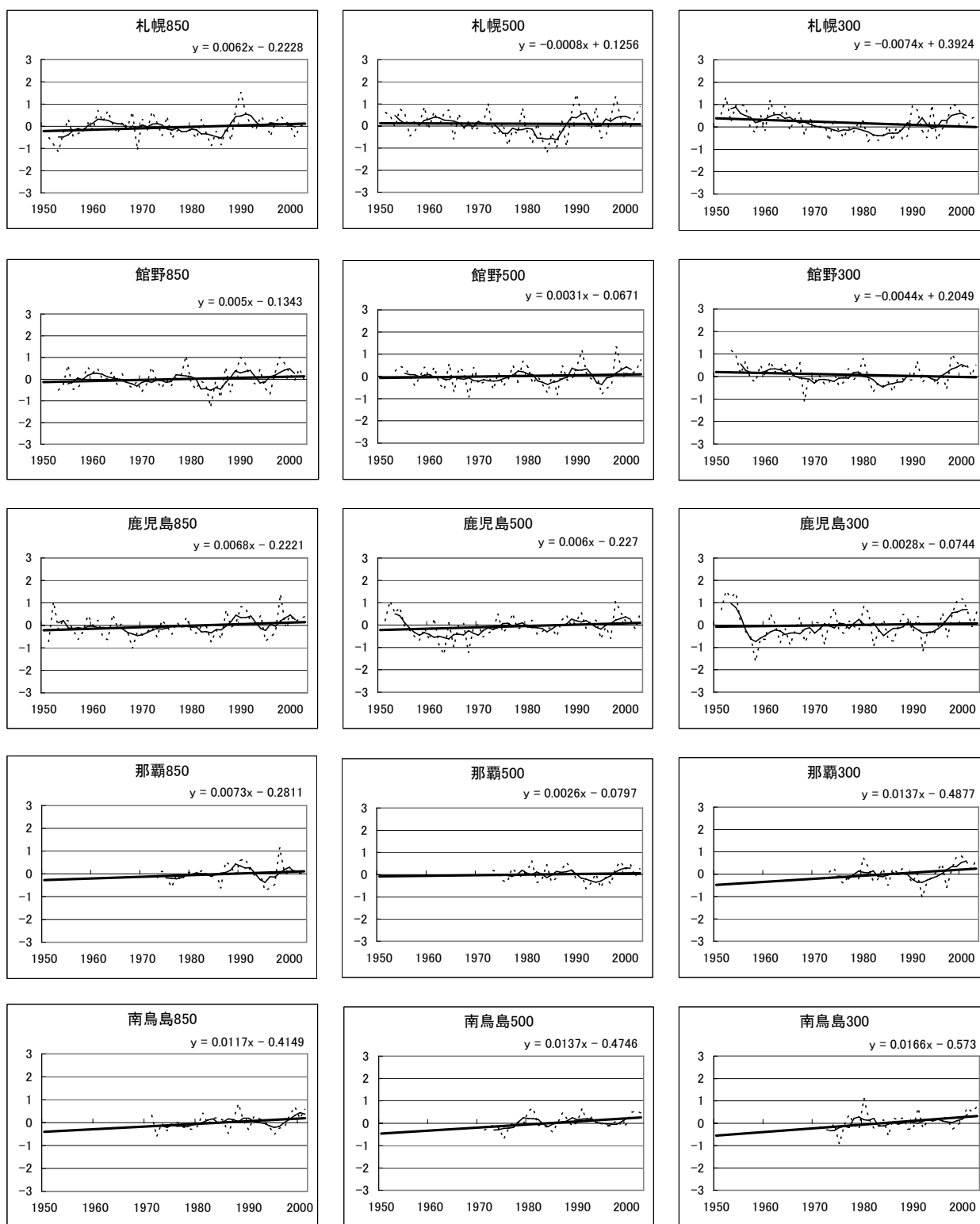


図 1a 年平均気温偏差の経年変化 (左：850hPa, 中：500hPa, 右：300hPa)

縦軸：1971～2000年(那覇のみ1973～2000年)の気温平均値からの偏差(°C)。横軸：年。折れ線(破線)：年平均気温偏差の各年値。折れ線(実線)：5年移動平均値。直線：各年値から求めた回帰直線。グラフ右上は回帰直線の式。

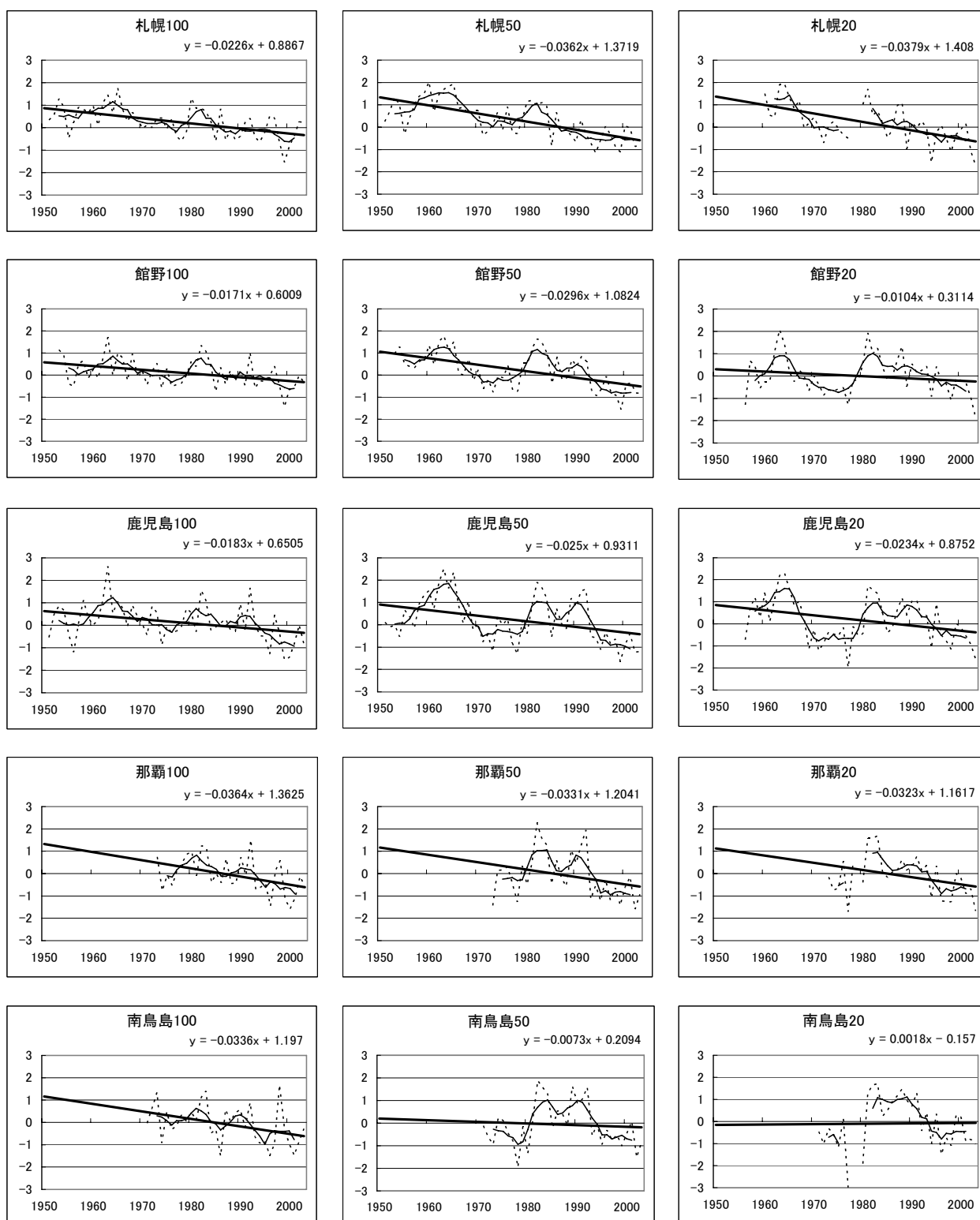


図 1b 年平均気温偏差の経年変化 (左 : 100hPa, 中 : 50hPa, 右 : 20hPa)

図の説明は図 1a に同じ。

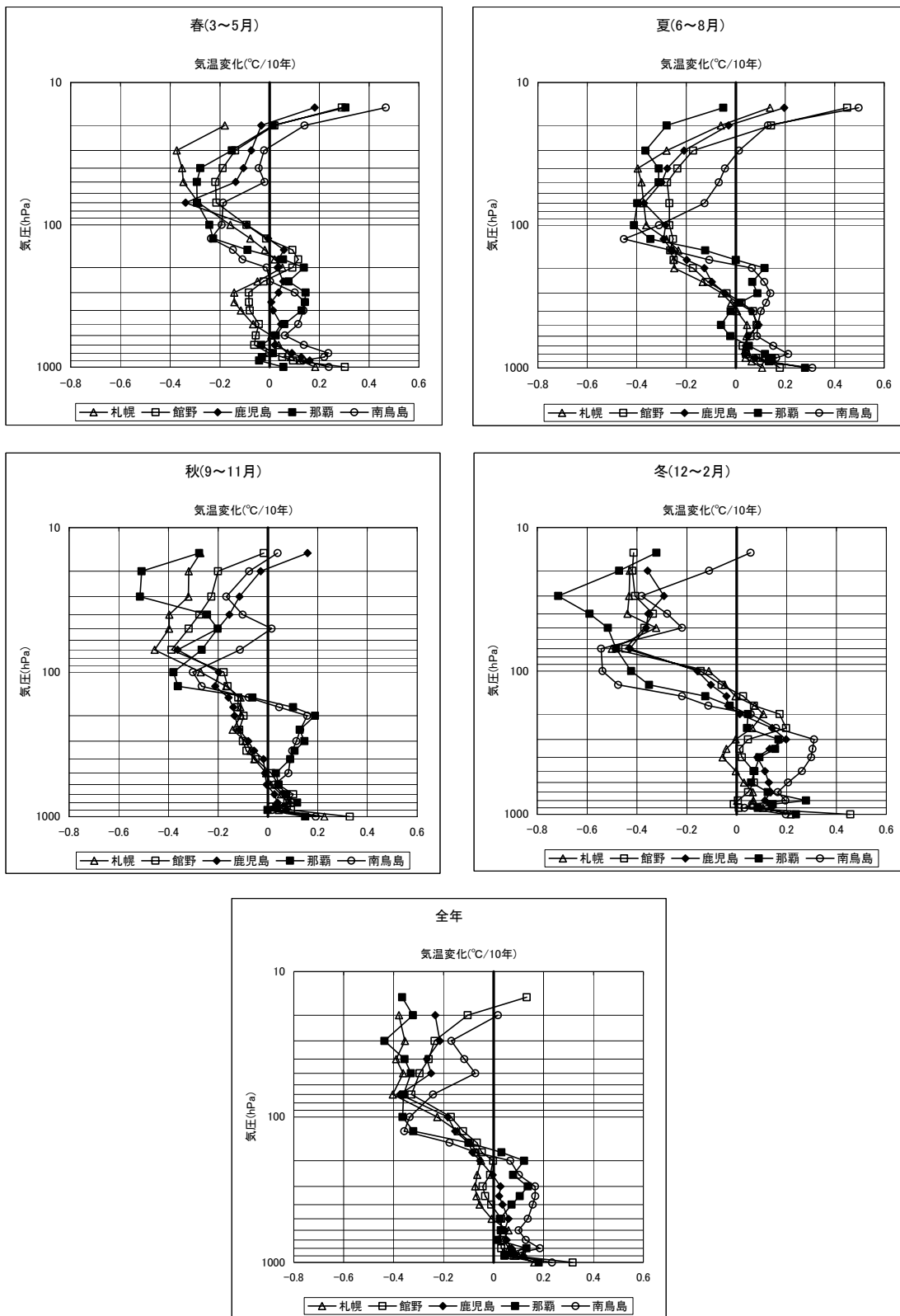


図2 季節別および全年の気温変化率の鉛直分布図

き低温化の傾向(-0.38°C/10年(札幌)～-0.10°C/10年(館野))がある。

3.2 季節別の指定気圧面別気温変化率

各地点の季節別および全年の気温変化率の鉛直分布を図2に示す。気温変化率は、各指定気圧面における気温の経年変化から求めた回帰直線の傾きとして得た値である。鹿児島は1957～1994年まで観測地点が標高282.6mの吉野分室にあったため、1000hPaについては資料期間が短く、変化率を求めている。また、資料が全資料期間の8割に満たない指定気圧面については気温変化率を算出していない。このため15hPa面の値がない地点がある。

(1) 春(3～5月)の気温変化率分布

地上付近(1000hPa)では、値のない鹿児島を除く4地点で昇温化傾向である(那覇はそれほど明瞭ではない)。対流圏下部から中部は、南鳥島の850～800hPaで+0.2°C/10年を越えているほかは、各地点とも変化量の少ない気圧面となっている。対流圏中部から上部の400～300hPaでは、札幌、館野は低温化、鹿児島はほぼ変化なし、那覇、南鳥島は昇温化の傾向を示し、緯度による違いがみられる。

200hPaは全地点でおおむね昇温している。

成層圏下部から中部の100～30hPaは全地点で低温化している。しかし、さらに上層の20～15hPaでは逆に昇温化に転ずる地点が増え、15hPaは値のない札幌を除く4地点すべてで明瞭な昇温化傾向がみられる。

(2) 夏(6～8月)の気温変化率分布

地上付近(1000hPa)では、値のない鹿児島を除く4地点で昇温化傾向である。対流圏下部から中部は、春同様、南鳥島の800hPa付近で昇温化が目立つ程度で各地点とも変化量の少ない気圧面となっている。対流圏上部の300～200hPaでは、高緯度側の札幌、館野、鹿児島で低温化、低緯度側の那覇、南鳥島で昇温化の傾向がある。

200hPaにおいて、春はやや昇温化の傾向があった札幌、館野、鹿児島の3地点が、夏には-0.2°C/10年前後の明瞭な低温化傾向に変わっているのが目立つ。

成層圏下部から中部の125hPa～30hPaは、南鳥島を除く4地点で約-0.4～-0.2°C/10年という明瞭な低温化傾向を示す気圧面となっている(南鳥島も低温化傾向だが、125hPaを除いて他の4地点ほど明瞭ではない)。春同様20hPa付近で昇温化に転ずる地点が増え、15hPaでは那覇を除く4地点で昇温化傾向となっている。

(3) 秋(9～11月)の気温変化率分布

地上付近(1000hPa)では、値のない鹿児島を除く4地点で昇温化傾向である。対流圏下部から中部は、全地点でやや昇温化傾向だが変化量としては少ない。対流圏中部から上部の400～200hPaは高緯度側の札幌、館野、鹿児島で低温化、低緯度側の那覇、南鳥島で昇温化しているのは夏と同様の結果であるが、夏よりも明瞭に表れている。

200hPaは夏と同様、高緯度側の3地点が低温化、低緯度側の2地点が昇温化している。

成層圏下部から中部の150～20hPaは、南鳥島の50hPaを除いて低温化傾向である。最上層の15hPaで、鹿児島、南鳥島がわずかながら昇温化に転じている。

(4) 冬(12～2月)の気温変化率分布

地上付近(1000hPa)では、値のない鹿児島を除く4地点で昇温化傾向である。館野は+0.4°C/10年を超える顕著な昇温化傾向を示している。対流圏全体的に、札幌を除く4地点でおおむね昇温化傾向であり、南鳥島の昇温化が明瞭である。

200hPaでは全地点で春同様やや昇温化傾向を示しているが、そのやや上層の125hPaになると全地点で低温化へ転じている。

成層圏では、15hPaの南鳥島を除く全地点で低温化傾向で、-0.4°C/10年以下の明瞭な低温化を示す気圧面が多く、中でも那覇の30hPaは約-0.7°C/10年と各季節を通じて最も変化率が大きかった。

(5) 全年の気温変化率分布

地上付近(1000hPa)では、値のない鹿児島を除く4地点で昇温化傾向である。600hPaより下の層は、全地点で昇温化傾向にあり、特に南鳥島は他の4地点よりも明瞭である。対流圏中部から上部の400～300hPaは、高緯度側の札幌、館野は低温化、鹿児島はほぼ変化なし、低緯度側の那覇、南鳥島は昇温化傾向を示す。

成層圏下部から中部の150～30hPaでは全地点で低温化傾向である。20hPaの南鳥島、15hPaの館野が昇温化に転じている。

4. まとめ

4.1 指定気圧面別の経年変化

各大気層を代表する6つの指定気圧面について、年平均気温偏差の経年変化を調べた結果、おおむね、対流圏下部(850hPa)では昇温化、成層圏下部から中部(100, 50, 20hPa)で低温化の傾向があることがわかった。対流圏下部の変化率は+0.05～+0.12°C/10年程度であるが、成層圏下部から中部の変化量は大きく、-0.3°C/10年以下の低温化を示す地点も少なくない。対流圏上部(300hPa)については、高緯

度側の地点は低温化, 低緯度側の地点は昇温化の傾向がみられた。ただし, 高緯度側の地点も, 1980年以降は昇温化しているようにもみえる。この変化傾向の違いは, 資料期間の長さの違いによる影響もあると考えられる。

こうした今回の結果は, 1. で述べた「地上付近での昇温化, 成層圏下部での低温化は共通しているが, 地上付近を除く対流圏については地点ごとに傾向が異なる」という他の調査結果と同様の傾向であった。

高温期, 低温期の時期については, 対流圏の 850hPa と 500hPa において共通点が多く, 成層圏では 100, 50, 20hPa に共通点が多かった。また, 成層圏は対流圏に比べて気温変化の振幅が大きいという特徴もみられた。

4.2 指定気圧面別気温変化率の季節による違い

地上付近(1000hPa)では全地点で, 季節を問わず昇温化の傾向がみられる。

対流圏下部から中部にかけては, 南鳥島の春, 夏, 冬に +0.2°C/10年 を超える指定気圧面があるのが目立つものの, 他の地点については, 総じて変化量の少ない大気層である。

対流圏上部については, どの季節も相対的に高緯度ほど低温化, 低緯度ほど昇温化の傾向がみられる。しかし, 分布のプロファイルについては季節変化が大きく, 札幌, 館野, 鹿児島 の 200hPa について, 夏と秋は低温化, 冬と春は昇温化という逆の傾向を示している。

成層圏下部から中部の 100~30hPa 付近は, 全地点とも季節を問わず低温化の傾向で, 成層圏中部の 20~15hPa では, 春, 夏を中心に昇温化傾向がみられる。

5. おわりに

今回は, 経年変化の特徴について述べるにとどめ, それぞれの変化の気象学的な要因については言及しなかった。

圏界面付近に相当する 200hPa 付近は, 季節による気温変化率の変動が大きく興味深い気圧面である。圏界面高度の変化と何か関連があるかもしれないが, 今後の課題としたい。

完全値の資料がまだ少ない 30hPa 付近より上の成層圏中部については, 気球の性能向上や, 館野で 1999年7月 から行っている高高度レーウィンゾンデ観測により, 今後は資料が蓄積されることから, この気圧面付近のより正確な変化傾向の把握に期待したい。

また, オゾン量の変化等と関連して調べると, さらに興味深い結果が得られると考えられる。

気温の変化率について, 単純に回帰直線で近似したが, 低温化後昇温していると思われるパターンや, 数年から 10年 で周期的に低温化と昇温化を繰り返していると思われるパターンもあり, 変化傾向をより詳しく調べるにはさらなる工夫が必要である。また, 地点ごとに資料の期間に長短があり, 地点間の比較を行う場合はこの影響も考慮する必要があるが, その点についても今後の課題としたい。

謝 辞

多くの有益なご意見, ご助言をいただいた観測第二課の阿部豊雄課長はじめ課員の皆様に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 池田源司・小林俊彦(1997): 潮岬の高層データの経年変化. 平成9年度大阪管区府県気象研究会誌, 286-287.
- 気象庁(1966): Aerological Data of Japan 5-year period averages (1961~1965). 気象庁, 197pp.
- 気象庁(1981-1988): 高層月報(Aerological Data of Japan). 気象庁.
- 気象庁(1983): Aerological Data of Japan 30-year period averages (1951~1980) Part 1(日本上高層資料30年報 その1 指定気圧面高度・気温・湿度の部). 気象庁, 604pp.
- 気象庁(1987): Aerological Data of Japan 5-year period averages (1981~1985). 気象庁, 204pp.
- 気象庁(1996-2004): 高層気象観測年報(CD-ROM). 気象庁.
- 気象庁(1999a): 近年における世界の異常気象と気候変動 ~その実態と見通し~(VI)(総論). 気象庁, 10.
- 気象庁(1999b): 近年における世界の異常気象と気候変動 ~その実態と見通し~(VI)(各論). 気象庁, 26-27.
- 気象庁(2002): 高層気象観測年報2001年(CD-ROM). 気象庁.
- 気象庁(2005): 気象観測統計指針. 気象庁, 148pp.
- 気象庁観測部高層課(1995): 高層気象観測の変遷と観測実施官署の履歴—観測資料の有効利用のために—, 97pp.
- 工藤正哲(2000): 秋田における高層気温の特徴, 平成12年度仙台管区調査研究会資料, 57-58.
- 宮川幸治(1991): 日本の高層大気における気温の経年変化 および相互関係について. 高層気象台彙報, 51, 15-24.
- 迫田優一・永沼啓治・萩原裕一・井上長俊・三田昭吉(1999): RS-91型レーウィンゾンデ. 気象研究ノート, 194, 3-24.
- 山本文夫(1999): 米子高層気温の経年変化. 平成10年度大阪管区府県気象研究会誌, 415-416.