

気象庁における高層気象観測の変遷と観測値の特性

第2部 観測値の特性

阿部 豊 雄*

1. はじめに

第1部（阿部 2015）では、気象庁が1951年以降に高層気象観測の定常観測で使用したラジオゾンデ（以下「ゾンデ」）の概要と観測処理方法の変遷について解説した。また、高層風観測については、方向探知機の変遷と測角方法の改善、航跡図作成のための高度と風向風速の算出方法の変遷、GPS ゾンデ観測について解説した。

本稿（第2部）では、ゾンデの移行時に実施された特性比較観測結果の報告から概要を紹介する。次にゾンデ等観測器や観測方法の変更による観測値の特性の違いが及ぼす観測値の連続性への影響などについて、気象要素ごとに2010年平年値との差の時系列図を中心に解説する。

2. ゾンデの移行時に実施された特性比較観測

気象庁は、新しい型式のゾンデを導入した直後に、新旧ゾンデの系統的な特性の違いや観測データの連続性を確認するため、連結飛揚による比較観測（以下「連結比較観測」）を行ってきた。

特性比較のための連結比較観測時の飛揚形態を模式的に示したのが第1図である。気球は、ゾンデ、連結棒、パラシュート等の懸垂物重量の違いによって、1200 g、1500 g または2000 g ゴム気球を用いた。1200 g ゴム気球は、地上での直径が約1.8 m であるが、破裂高度付近の約35 km で直径およそ11 m になる。2000 g ゴム気球は、地上での直径が約2.1 m で、破裂時の直

径が約15 m に達する。このため、ゴム気球と連結棒間の吊紐の長さは、気球後流（熱航跡）によるゾンデ測定値への影響（Tiefenau and Gebbeken 1989；鎌田ほか 2002；Shimizu and Hasebe 2010）を防ぐため、1200 g ゴム気球の場合30 m に、2000 g ゴム気球の場合50 m 以上（飛揚時の風が強くと30 m 巻下器を2個使用する場合は60 m）にした。観測終了後の飛揚器材を緩降下させて安全に着水（地）させるため、ほぼ中間にパラシュートを取付けた。比較対象ゾンデは、ゾンデ間の電波干渉が生じないように1.5～2 m の長さの竹製の連結棒の両端に取付け、両ゾンデが常に同じ高度になるようにした。実際の連結比較観測の飛揚風景を第2図に示す。

連結比較観測は、春分、夏至、秋分、冬至の頃の4シーズンに分け、つくば市の高層気象台（館野）において実施された。観測時刻は、原則として、00UTCと12UTCであった。00UTCは日本時間の08時30分に放球する昼の観測で気温測定値に日射補正が施される。12UTCは同20時30分に放球する日射の影響がない夜の観測である。

連結比較観測では、観測値の層別同時刻観測値比較と指定気圧面值比較が行われた。層別同時刻観測値比較は、比較対象ゾンデ間で時刻が同期した観測値に関して、1000～5 hPa 間を何層かに分割しそれぞれの気層に含まれる観測値の差を求めて比較するもので、センサの特性や日射補正などの補正値の妥当性が検証された。指定気圧面值比較は、各指定気圧面における観測値の差を求めて比較し、気圧測定やデータ処理の違いを含めた観測値の総合的な特性の違いが把握された（能登 2014）。層別同時刻観測値比較と指定気圧面值比較では、特に、気圧計の相対誤差が大きくなる成層圏において、両比較による結果の違いが大きくなる。このため連結比較観測の結果は両比較の特徴を理

* Toyoo ABE（無所属）、
東京都青梅市東青梅4-14-13.

—2015年1月27日受領—

—2016年2月15日受理—

解して利用する必要がある。

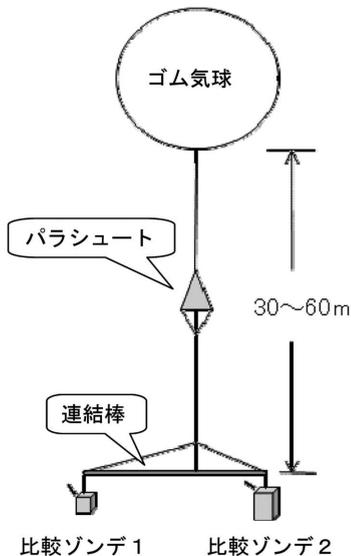
次節に各連結比較観測の報告からの概要を紹介する。文中の「著者補記」は、原典の記述の補足説明や、定性的な記述を原典の図から定量的に補記したものである。詳細な解釈や図および表は原典を参照されたい。

2.1 RS II56型とRS2-80型レーウィンゾンデの連結比較観測

本節では、測候時報第50巻第5号に掲載された連結比較観測の結果（観測部高層課 1983）について概要を紹介する。

連結比較観測の実施回数と実施期間を第1表に示す。

観測値の比較は、RS2-80型レーウィンゾンデ（以下「80型」）とRS II56型レーウィンゾンデ（以下



第1図 連結比較観測時の飛揚形態図。ゴム気球と連結棒間の吊紐の長さは、1200gゴム気球の場合30m、2000gゴム気球の場合50m以上（飛揚時の風が強く30m巻下器を2個用いる場合60m）にした。連結棒は比較対象ゾンデ同士が電波干渉を生じないように1.5~2mの長さのものを用いた。連結棒への比較ゾンデの取付けは、ゾンデの形状や気温・湿度センサの位置を考慮して、図のように数十cmの間隔をあけて紐で吊るす場合と直接結びつける場合があった。パラシュートは気球の破裂によって観測が終了した後に飛揚器材一式を緩降下させるための安全対策として取付けた。

「56型」）の毎分の観測値の差（80型-56型）を求め、観測時刻別、季節別、全季節、全観測について、80型の気圧値で1000~10hPa間を12層に分けて各層の平均値等を求め層別同時刻観測値比較が行われた。第2表に00UTCと12UTCにおける層別同時刻観測値比較の全季節平均差を示す。気温と湿度の指定気圧面値比較に関する報告は原典に記述されていない。

(1) 気圧の層別同時刻観測値比較の結果

- ①平均差は、昼夜（以下「00UTC、12UTC」）とも正の値で、平均的に80型が56型よりも常に大きい気圧値を示す。平均差は00UTCの方が12UTCよりも小さい値を示す。
- ②標準偏差は、00UTCの方が12UTCよりも大きな値を示し、観測ごとの気圧差のバラツキは00UTCの方が大きい。

(2) 気温の層別同時刻観測値比較の結果

- ①00UTCの平均差は、全層にわたり負で、80型



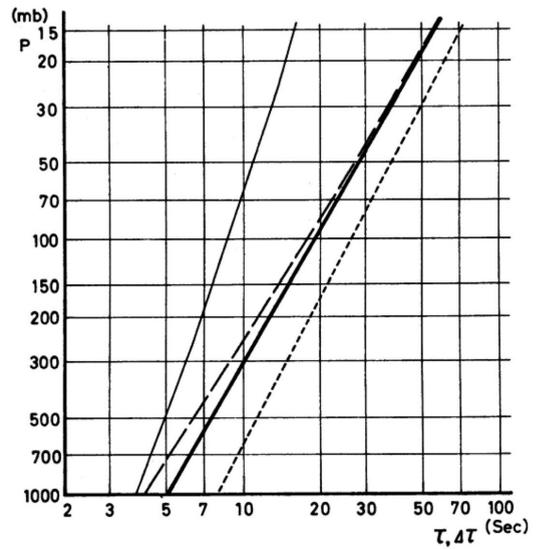
第2図 連結比較観測時の飛揚風景（2012年3月8日に岩渕真海氏撮影）。高層気象台（つくば市）における飛揚風景で、気球は1200gゴム気球を使用。写真中央の観測者Aが気球とパラシュートを支え、写真左側の観測者Bが比較ゾンデ1と比較ゾンデ2を取付けた連結棒を保持している。観測室からの指示により最初に観測者Aが気球を放し、その後観測者Bが吊紐の状況を見ながらタイミングを計って連結棒を放ち飛揚する。

(サーミスタ温度計)の方が56型(バイメタル温度計)より低い気温を示す。

- ②12UTCの平均差は、100 hPaを境として下層で負、上層で正の値を示す。
- ③12UTCの80型と56型との気温差は、両気温センサー間のレスポンス遅れ(時定数)の差として説明できるが、00UTCの気温差は、遅れの差の他に80型と56型の日射補正等も含めた相対的な差であるため再検討が必要である(80型と56型の時定数の比較図を第3図に示す：著者補記)。

(3) 湿度の層別同時刻観測値比較の結果

- ①湿度の平均差に負の偏りが見られ、80型(カーボン湿度計)は56型(毛髪湿度計)より低湿を示す。



第3図 RS II56型とRS2-80型の気温の遅れの時定数の比較図。点線は56型のバイメタル温度計の遅れの時定数を、細い実線は80型のサーミスタ温度計の遅れの時定数を、破線は遅れの時定数の差(56型-80型)を示す。太い実線は夜(12UTC)全季節の層別同時刻観測値比較の回帰式による平均的な遅れの時定数の差を示す。観測部高層課(1983)掲載の第3図を転載。

第1表 RS II56型とRS2-80型の連結比較観測実施状況。観測部高層課(1983)より作成。

観測時刻	実施回数				
	春季	夏季	秋季	冬季	計
00UTC	5	6	5	5	21
12UTC	5	5	5	5	20

春季：1981年3月23日～27日に実施
 夏季：1981年6月22日～28日に実施
 秋季：1981年9月28日～10月3日に実施
 冬季：1981年12月21日～26日に実施

第2表 RS II56型とRS2-80型の連結比較観測における層別同時刻観測値比較の全季節平均差。同時刻観測値の比較であり、センサーの特性や気温の日射補正を含む観測値の違いを示す。気圧層は80型の気圧値による層分けで、各要素の差は、80型の測定値から同時刻の56型の測定値を引いた値の全季節平均差である。各要素の差欄のN, MEAN, SDは各々の気圧層内において要素の差が得られた連結比較観測回数、平均差、標準偏差である。56型の湿度観測は約-30°Cまでのため湿度値の比較も約-30°Cまでである。観測部高層課(1983)掲載の第2表、第5表、第6表より引用して作成。

気圧層 80型(hPa)	気圧差 (hPa)						気温差 (°C)						湿度差 (%RH)					
	00UTC			12UTC			00UTC			12UTC			00UTC			12UTC		
	N	MEAN	SD	N	MEAN	SD	N	MEAN	SD	N	MEAN	SD	N	MEAN	SD	N	MEAN	SD
10~15	10	1.1	1.2	8	1.2	1.0	10	-1.24	1.46	10	1.10	1.37						
16~20	16	1.4	1.7	13	1.7	1.6	16	-1.19	1.40	15	0.58	1.04						
21~30	18	1.5	1.6	16	2.1	1.4	18	-1.30	0.65	18	0.32	0.77						
31~50	18	2.2	1.6	16	2.9	1.3	18	-1.10	0.66	18	0.38	0.46						
51~70	19	2.1	1.7	16	2.8	1.1	19	-0.72	0.71	18	0.47	0.45						
71~100	20	2.4	1.5	18	3.2	1.1	20	-0.63	0.52	20	0.15	0.51						
101~150	20	2.3	1.7	18	3.2	1.2	20	-0.70	0.38	20	-0.35	0.51						
151~200	20	2.1	2.2	18	3.0	1.4	20	-0.72	0.49	20	-0.39	0.59						
201~300	20	1.3	2.1	18	2.7	1.1	20	-0.58	0.49	20	-0.45	0.38	3	-29.0	4.1	3	-18.0	4.1
301~500	20	0.2	1.9	18	1.8	1.7	20	-0.48	0.47	20	-0.31	0.34	20	-4.0	11.7	20	-9.9	13.6
501~700	19	0.6	2.3	18	1.1	1.9	19	-0.28	0.43	20	-0.21	0.38	19	-5.9	6.6	20	-4.5	7.1
701~1000	20	1.4	2.4	18	1.4	1.8	20	-0.08	0.47	20	-0.18	0.39	20	-7.9	4.4	20	-8.8	5.4

②定性的には相対的な遅れ（毛髪湿度計がカーボン湿度計に対し約0.7分の遅れ）と系統的な差（カーボン湿度計の値が毛髪湿度計の値に対し-6.7%RHの差）が認められるが、標準偏差などから判断して定量的に個々のデータへの適用には無理がある。

(4) 高度の指定気圧面值比較の結果

①全観測平均で、80型が56型より500 hPaで5 m、100 hPaで40 m低いが、この値を定量的に扱うには41回の比較例では不足に思われる。

2.2 RS2-80型とRS2-91型レーウィンゾンデの連結比較観測

本節では、気象研究ノート第194号に掲載された連

第3表 RS2-80型とRS2-91型の連結比較観測実施状況。迫田ほか(1999)より作成。

観測時刻	実施回数				
	春季	夏季	秋季	冬季	計
00UTC	5	6	5	6	22
12UTC	20	6	6	5	37

春季：1993年2月17日～3月11日に実施

夏季：1994年6月20日～27日に実施

秋季：1994年9月26日～10月3日に実施

冬季：1993年12月7日～10日に実施

第4表 RS2-80型とRS2-91型の連結比較観測における気温の指定気圧面值比較の全季節平均差。指定気圧面值の比較であり、気圧計のずれ等も含んだ結果である。各指定気圧面の気温差は、91型の気温観測値から80型の気温観測値を引いた値の全季節平均差である。この表は迫田ほか(1999)に掲載の図1.1.21から0.05°C単位で読取り作表したものである。表のN, MEAN, SDは、それぞれ連結比較観測の回数、平均差、標準偏差である。

指定気圧面 (hPa)	気温差 (°C)					
	00UTC			12UTC		
	N	MEAN	SD	N	MEAN	SD
10	18	1.00	1.45	28	0.70	1.10
20	20	0.25	0.60	32	0.50	0.55
30	20	0.10	0.60	33	0.15	0.65
50	20	0.00	0.65	34	0.05	0.55
70	20	-0.40	0.50	36	-0.05	0.30
100	20	-0.50	0.50	36	-0.15	0.35
150	20	-0.25	0.45	36	0.00	0.30
200	21	-0.20	0.45	36	0.05	0.25
250	21	-0.20	0.40	36	0.05	0.25
300	21	-0.20	0.30	36	0.05	0.25
500	22	-0.20	0.25	36	-0.15	0.40
700	22	-0.15	0.50	36	-0.25	0.40
850	22	-0.30	0.20	36	-0.30	0.15
1000	21	-0.20	0.50	33	-0.20	0.25

結比較観測の結果（迫田ほか 1999）について概要を紹介する。

連結比較観測の実施回数と実施期間を第3表に示す。春季の連結比較観測は「第4回国際ラジオゾンデ比較」において実施されたものである（迫田ほか 1999；Yagi *et al.* 1996）。

気圧と気温の観測値の比較は、80型の気圧値で1000～6 hPa間を13層に分けて、層別同時刻観測値比較の差（RS2-91型レーウィンゾンデ（以下「91型」）-80型）の平均値などの統計が行われた。湿度観測値の比較は、同時刻における80型の湿度観測値対91型の湿度観測値の散布図を作成して行われた。指定気圧面值比較は、気温と高度について観測値の差（91型-80型）の平均値などの統計が行われた。

(1) 気圧の層別同時刻観測値比較の結果

①地上付近で80型が91型より低い気圧を示し（約1 hPa：著者補記）、300 hPa付近まで上昇するにつれてその差が減少して、300 hPa以上での気圧差はほぼ一定である（地上付近とは逆に91型が0.4～0.5 hPa低い：著者補記）。

②下層で80型が91型より低い気圧を示すのは、80型の接点式気圧計に起因する。

(2) 気温の層別同時刻観測値比較の結果

①00UTCの20 hPa以上で91型の気温が高くなっている（20～16 hPa間の気温差の平均が約+0.7°C、15～11 hPa間が約+1.2°C、10～6 hPa間が約+1.8°C：著者補記）のは、80型の日射補正が過大であるためと考えられる。

②12UTCの30 hPa以上で91型の気温が高くなっている（30～21 hPa間の気温差の平均が約+0.4°Cで高度とともに徐々に増加し10～6 hPa間が約+1.1°C：著者補記）のは、80型気温センサの白色塗料が91型気温センサのアルミ蒸着に比

ベ赤外領域で放射吸収率（放射率）が大きいことから、80型が周囲の気温より低く測定されるためである。

(3) 湿度の同時刻観測値比較の結果

①80型の湿度が30～80%RHの時は、91型の方が0～20%RH程度高い湿度を示す。

②80型は10%RH以下の低湿、91型は95%RH以上の高湿が観測されにくい。

(4) 指定気圧面值比較の結果

原典は、気温と高度の指定気圧面值比較の結果について、観測時刻別に観測値の差の平均と標準偏差をグラフで報告している。このため、気温の指定気圧面值比較結果については、他の比較観測資料と数値的に比較できるように、原典掲載の図1.1.21から平均差と標準偏差を読み取り作成したのが第4表である。指定気圧面值比較の気温差は、気圧測定値等の違いも含めた気温プロファイルの違いを示していることから(2)の結果と異なる。

2.3 RS2-91型レーウィンゾンデとRS92-SGP型GPSゾンデの連結比較観測

本節では、測候時報第78巻第6号に掲載された連結比較観測の結果（高層気象台 2011）について概要を

紹介する。なお、91型とRS92-SGP型GPSゾンデ（以下「SGP型」）の連結比較観測の結果については、同じ連結比較観測のデータを用いた報告にKobayashi *et al.* (2012) と古林 (2014) もあるので参考にされたい。

連結比較観測の実施回数と実施期間を第5表に示す。

観測値の比較は、91型の気圧値で1000～5 hPa間を13層に分けた層別同時刻観測値比較と指定気圧面值比較において、両ゾンデの差（SGP型－91型）の平均値などの統計が行われた。指定気圧面值比較における各要素の全季節平均差を第6表に示す。

第5表 RS2-91型とRS92-SGP型の連結比較観測実施状況。高層気象台（2011）より作成。

観測時刻	実施回数				
	春季	夏季	秋季	冬季	計
00UTC	15	12	15	14	56
12UTC	15	14	15	15	59

春季：2010年3月1日～19日に実施
 夏季：2010年5月24日～7月8日に実施
 秋季：2010年9月27日～10月26日に実施
 冬季：2009年12月3日～2010年1月15日に実施

第6表 RS2-91型とRS92-SGP型の連結比較観測における指定気圧面值比較の全季節平均差。指定気圧面值の比較であり、気圧計のずれ等も含んだ結果である。各指定気圧面の要素の差は、SGP型の観測値から91型の観測値を引いた値の全季節平均差である。各要素の差欄のN、MEAN、SDはそれぞれ連結比較観測の回数、平均差、標準偏差である。湿度の観測は-40℃までで、300 hPa面と250 hPa面の湿度差はほとんどが夏と秋の観測データである。Kobayashi *et al.* (2012) 掲載のTable 5より引用して作成。回数と標準偏差は古林絵里子氏の提供による。

指定気圧面 (hPa)	気温差 (°C)						湿度差 (%RH)						高度差 (m)					
	00UTC			12UTC			00UTC			12UTC			00UTC			12UTC		
	N	MEAN	SD	N	MEAN	SD	N	MEAN	SD	N	MEAN	SD	N	MEAN	SD	N	MEAN	SD
10	42	0.53	1.04	30	1.35	1.79							42	25.3	25.2	30	23.2	31.9
20	47	0.21	0.88	42	0.44	0.84							47	18.1	21.6	42	7.7	21.9
30	47	0.32	0.96	45	0.22	0.87							47	15.0	17.2	45	4.3	17.0
50	49	0.03	0.57	46	0.14	0.69							49	12.6	13.6	46	0.6	12.8
70	50	0.10	0.55	49	0.04	0.55							50	10.4	11.9	49	-1.0	10.5
100	50	0.10	0.43	51	-0.04	0.43							50	7.9	10.3	51	-1.7	8.7
150	51	0.04	0.37	51	-0.08	0.35							51	7.1	8.3	51	-1.2	7.4
200	51	0.04	0.42	51	-0.22	0.29							51	6.7	7.3	51	-0.4	7.0
250	52	-0.12	0.26	51	-0.21	0.29	5	-4.8	4.0	4	-11.8	8.0	52	6.9	6.8	51	1.1	6.8
300	52	-0.07	0.25	51	-0.24	0.21	23	-4.0	5.3	27	-7.6	7.6	52	7.1	6.5	51	1.9	6.4
500	52	0.19	0.29	51	0.01	0.34	52	-3.4	5.0	51	-4.3	4.8	52	6.1	4.7	51	3.6	5.2
700	52	0.27	0.27	51	0.20	0.35	51	-4.4	3.8	51	-4.5	3.7	52	3.6	2.9	51	2.3	2.9
850	52	0.38	0.43	51	0.20	0.27	51	-5.2	3.5	50	-4.4	3.6	52	1.4	1.3	51	0.9	1.1
1000	49	0.06	0.28	47	0.18	0.21	49	-3.8	2.9	47	-4.7	4.0	52	-0.3	0.4	51	-0.2	0.5

(1) 気圧と高度の層別同時刻観測値比較の結果

- ①気圧観測値の差は全体的に正で、SGP型の気圧観測値が大きい。
- ②100 hPaより上の気圧層では0.5~0.6 hPaのほぼ一定した気圧差がある (SGP型の気圧観測値が大きい: 著者補記)。
- ③ジオポテンシャル高度は、気圧差に対応して、上空に行くに従い差が大きくなる (100~70 hPa間の高度差の平均が約-50 m, 30~20 hPa間が約-150 m, 10~5 hPa間が約-500 mでSGP型のジオポテンシャル高度が低い: 著者補記)。

(2) 気温の層別同時刻観測値比較の結果

- ①1000~500 hPaではSGP型が高い気温観測値を示す (700~500 hPa間の気温差の平均は、00UTCが約+0.3°C, 12UTCが約+0.2°CでSGP型が高い: 著者補記)。
- ②30 hPaより上空で、日射のある00UTCは91型の気温観測値が高く、日射のない12UTCはSGP型が高い (00UTCの気温差の平均は30~20 hPa間が約-0.0°C, 10~5 hPa間が約-0.1°CでSGP型が低く, 12UTCは30~20 hPa間が約+0.2°C, 10~5 hPa間が約+0.4°CでSGP型が高い: 著者補記)。
- ③気温差は高層気象観測で必要とする精度の0.5°C (WMO 2008: 著者補記) より小さい。

(3) 湿度の層別同時刻観測値比較の結果

- ①91型の湿度観測値は平均で5%RH程度高く、高湿度の環境下においてその傾向が強い。
- ②1000~700 hPaの層よりも気温の低い500~300 hPaの層で湿度差が大きい (SGP型の湿度観測値が低い: 著者補記)。

(4) 指定気圧面值比較の結果

- ①気温観測値は、1000~500 hPa面でSGP型が0.1~0.6°C高く、300 hPa面付近では91型が0.1~0.3°C高い。冬を除く季節の12UTC観測では30 hPa面より上でSGP型が高く、夏の00UTC観測では100 hPa面より上で正の偏差が続く (SGP型が高い: 著者補記)。
- ②湿度観測値は、全体的に5%RH程度91型が高い。
- ③指定気圧面の比較による各要素の差は、層別同時刻観測値比較で示した気圧差による影響、すなわちデータが取得される実際の気圧の違いによる差も含まれることになる (これは特に成層圏で顕著となる。たとえば第6表では、00UTCと12UTCの高

度差が50 hPa面以高全てプラスで、SGP型が高く (1)の③の記述と矛盾するように見受けられるが、このことによる: 著者補記)。

3. 観測値の特性

高層気象観測値の長期時系列変化には、季節変化や年々の大気循環の変動、気候の長期変動など自然起源の変化と、ゾンデの変遷や観測方法の変更 (以下「観測方法等の変更」)などに起因した人為起源の変化が複合している。各種要因による変化が重なり合っている現象から観測方法等の変更成分のみを抽出することは困難である。しかし、観測値の時系列図において、ある程度明瞭で同一な変化が観測方法等の変更時期と一致して各々の観測地点で同様に生じている場合は、日本上空の全域規模での自然現象である場合を除き、観測方法等の変更に伴う観測値の不均質による影響の変化と判断できる。

気象庁は、高層気象観測値の平均値を求める累年の統計では、80型の導入前後で観測値の連続性に問題があるため、観測開始から56型による観測期間の00UTCの高度・気温・湿度と12UTCの湿度を用いないと説明している (気象庁 2015)。本節では、観測方法等の変更が蓄積された観測値にどのような変化を与えているか、気象要素ごとに、第2節での連結比較観測の結果による補正を加えない観測値の時系列図を示し、その特性について解説する。

高層気象観測値の特性を見るための時系列図は、気象庁が初めて高層気象観測資料の平年値を刊行 (気象庁 1983) した際の統計開始年である1951年から2010年までの期間について作成した。対象観測地点は、年々変動の地域性などを考慮し、気象庁の観測地点で最も高緯度の稚内、ゾンデ移行時に特性比較観測が実

第7表 第3節に登場する観測地点の情報。気象庁ホームページ (2014.12.8閲覧) と高層月報を参照して作成。

観測地点名	緯度 Lat.(N)	経度 Long.(E)	気圧計の高さ (M.S.L)
稚内	45°25'	141°41'	11.7 m
館野	36°03'	140°08'	27.4 m
鹿児島	31°33'	130°33'	31.7 m
仙台 ^{*1)}	38°16'	140°54'	43.9 m
綾里 ^{*2)}	39°02'	141°50'	260.9 m

* 1) 2008年3月31日21時で高層気象観測を終了

* 2) 2001年3月21日で気象ロケット観測を終了

施された館野，前2地点と経度が約10°離れた東経130°付近の鹿児島市の3地点とした。本節で扱う観測地点の情報を第7表に示す。時系列図の作成には観測値の季節変化を除くため各気象要素の年平均値を用いた。

観測値の特性に影響を及ぼす可能性のある観測方法等の変更については，それぞれの気象要素の項で細述するが，各気象要素および観測地点に共通するものを次に記す。

(1) 観測時刻の変更

観測時刻は，1957年4月1日に，03UTC（日本時間12時）と15UTC（同24時）から00UTC（同09時）と12UTC（同21時）へ変更された。

(2) ゾンデの吊紐の長さの変更

気球とゾンデ間の吊紐の長さは，1968年6月に，7mから15mへ変更された（観測地点によって変更開始月は異なる）。

3.1 時系列図に使用した資料

気象庁刊行の日本上高層資料30年報（1983），高層月報（JAN. 1981～DEC. 1994）と高層気象観測年報（1995～2010年版）に掲載の指定気圧面資料を使用した。1957年3月31日までの03UTCと15UTCの観測値は，03UTCの値を00UTCの値とし，15UTCの値を12UTCの値として取り扱った。また，年平均値は，5日以上連続した欠測がなく，20日以上観測値がある場合に月平均値を求め，月平均値が12か月そろっている場合のみ求めた。

指定気圧面における気温・湿度・高度の年平均値の時系列図は気象庁のホームページ（<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/upper/index.php>，2014年12月8日閲覧）に掲載されている各観測地点の2010年平年値（1981～2010年の30年間の平均値，以下

「平年値」との差の図を作成した。平年値が掲載されていない高層風の東西・南北成分については，平年値と同じ1981～2010年の30年間の平均値（以下「30年平均値」）を求め，この値との差の図を作成した。

3.2 気温観測値の特性

気温観測値の均質性に及ぼす影響は，ゾンデの移行に伴う日射補正と吊紐の長さの変更が重要な点である。気温測定値に対する日射の影響の程度はセンサの種類や形状，センサ表面のコーティング剤などで異なることから，日射補正の方法はゾンデの型ごとに固有の補正方法が行われる。このため，ゾンデの変更に伴う気温観測値への影響は，日射のある00UTC（昼）の時系列の方が12UTC（夜）の時系列よりも検知しやすい。また，吊紐の長さは気温センサに対する気球からの照り返しや気球の熱航跡の影響を防ぐために重要な点である。このことから，気温の長期変化傾向の調査には，日射の影響を受けない12UTCの観測値が適していると言える。

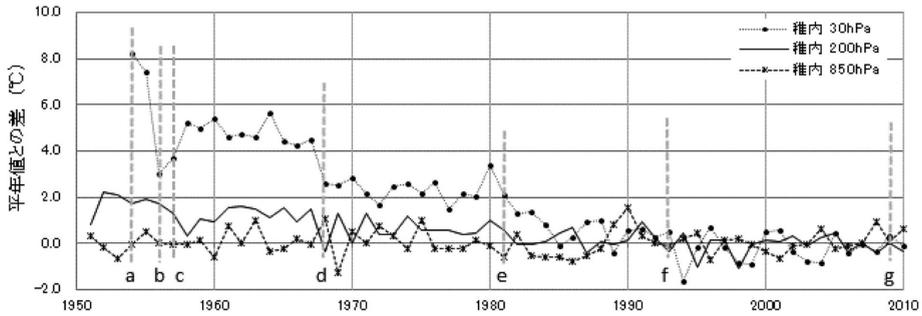
気温観測値に関する観測方法等の変更事項と起日を第8表に示す。

第8表 気温観測値に関する観測方法等の変更事項と各観測地点の起日。

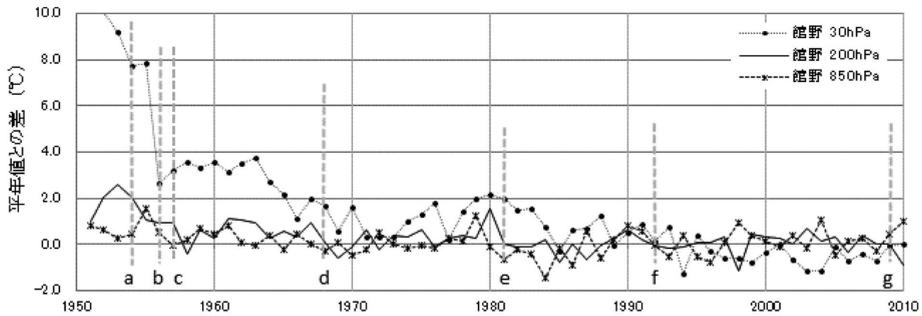
観測方法等の変更事項	起日（年・月・日）		
	稚内	館野	鹿児島
a ・全ての気温センサは，発振器からの熱伝導を小さくするため，バイメタルと支持桿の結合機構を改良した熱伝導遮断型バイメタル温度計に変更	1954. 5. 27	1954. 4. 12	1954. 4. 28
b ・気温測定値に日射補正を開始	1956. 4. 1	1956. 4. 1	1956. 4. 1
b ・RS53型からRS II56型へ移行したが気温センサのバイメタル温度計は変更なし	1956. 7. 11	1956. 7. 8	1956. 7. 2
c ・観測時刻を03UTCと15UTCから00UTCと12UTCへ変更 ・気温測定値に対する日射補正方法を一部改正	1957. 4. 1	1957. 4. 1	1957. 4. 1
d ・ゾンデの吊紐の長さを7mから15mへ変更	1968. 6.	1968. 7. 8	1968. 6.
e ・RS II56型（バイメタル温度計）からRS2-80型（サーミスタ温度計）へ移行	1981. 3. 1	1981. 3. 3	1981. 3. 2
f ・RS2-80型（サーミスタ温度計）からRS2-91型（サーミスタ温度計）へ移行	1993.12.13	1992.10. 1	1994. 2.25
g ・RS2-91型（サーミスタ温度計）からRS92-SGP型（静電容量式ワイヤ温度計）へ移行	2009.12. 1	2009.12. 1	2009.12. 1

注：a～gは第4～6図の時系列図の縦点線の同符号と対応

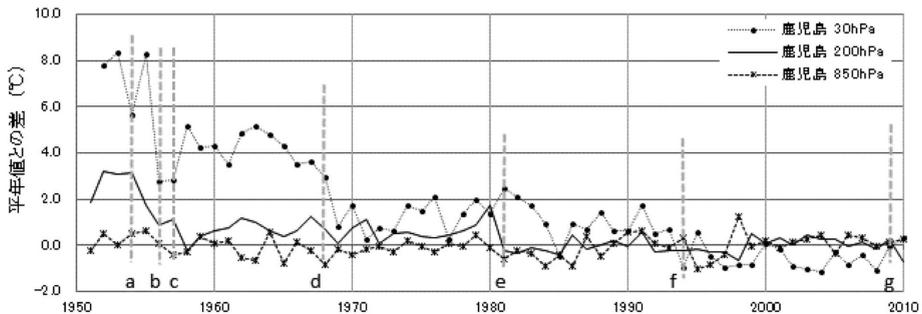
a) 稚内の00UTC



b) 館野の00UTC



c) 鹿児島島の00UTC



第4図 年平均気温の年平均値との偏差図(00UTC)。稚内、館野、鹿児島島の年平均気温から各々の年平均値を引いた値の時系列。図中の縦点線は気温の観測方法等の変更があった年を示す線で第8表のa~gに対応。

3.2.1 年平均気温の年平均値との差による時系列特性

年平均気温と年平均値との差(以下「年平均値との差」)の時系列図を第4図(00UTC)と第5図(12UTC)に示す。図示した指定気圧面は、地上付近の850 hPa面、圏界面付近の200 hPa面、連続して年平均値が得られた最も高い30 hPa面である。観測方法等の変更があった年は図中にa~gの縦点線で示した。

(1) 00UTCの時系列特性 [第4図]

00UTCの偏差図では、稚内・館野・鹿児島(以下「3地点」)の30 hPa面における年平均値との差に大きな変動が見られる。

①気温センサは1954年(図中の縦点線a)に全て熱伝導遮断型バイメタル温度計に変更されたが、これによる3地点共通の変化は見られない。

熱伝導遮断型バイメタル温度計は発振器本体からの熱伝導を小さくするためにバイメタルと支持桿の結合機構が改良されたもので、1953年7月に一部の

ゾンデで使用され、1954年のRS53型（以下「53型」）から全て熱伝導遮断型に変更された（北岡・松山 1955）。第4図で変化が見られないのは、バイメタル温度計による測定値を切断式温度計の値で補正していたことによると考えられる。

- ②日射補正の開始とゾンデが53型から56型へ移行した1956年（縦点線b）は、3地点とも、30 hPa面の平年値との差（●印付きの点線）が約5°C急減した。しかし、1958年以降の平年値との差の経過から判断して、この変化は日射補正の開始とゾンデの変更、自然起源の要因が複合した結果と推測される。200 hPa面（実線）と850 hPa面（*印付きの破線）の平年値との差には特徴的な変化が見られない。

日射による気温測定値への影響について、気象庁（1983）は高空で大きく30 hPaで3~9°Cと説明している。日射補正と観測時刻の変更による変化量は、各地点で異なるが、図から約4°Cと推測される。

- ③30 hPa面における平年値との差は、館野と鹿児島が1963年を、稚内が1964年をピークに1968年まで漸減している。これに対応した観測方法等の変更の記録は不明で、この現象の原因には1963年3月のインドネシアのAgung山の噴火に伴う影響（Newell 1970；Angell 1988）が想定される。
- ④ゾンデの吊紐の長さを7 mから15 mへ変更した1968年（縦点線d）を境に稚内と鹿児島の30 hPa面の平年値との差は約2°C減少したが、館野での変化は不明である。200 hPa面の平年値との差は稚内と館野でわずかな減少が見られ、850 hPa面の平年値との差は3地点とも変化が不明である。

鈴木・旭（1978）は、吊紐の長さの変更による30 hPa面の昼夜温度差について、太陽高度角が20°（冬至の頃）のとき約2.3°C、太陽高度角が60°（夏至の頃）のとき約0.8°C減少したことを報告している。

- ⑤56型から80型へ移行（縦点線e）した後の30 hPa面の平年値との差は、稚内で減少が見られ、館野と鹿児島で対応した現象と考えられる変化が見られない。200 hPa面の平年値との差は、3地点とも80型に移行した年に減少し、その後稚内が0°C付近で、館野と鹿児島で負の年が多い。850 hPa面の平年値との差は、3地点とも移行後負の年が多く見られる。

56型と80型の連結比較観測で指定気圧面值比較の結果は報告されていないが、200 hPa面と850 hPa面の平年値との差は80型の観測値が56型の観測値よりも低く第2表の層別同時刻観測値比較の結果とほぼ整合する。30 hPa面の平年値との差は、稚内で第2表の30 hPa付近の気温差に近い減少があるが、館野と鹿児島で整合が見られない。

- ⑥80型から91型への移行（縦点線f）による変化は館野の時系列に見られない。91型の日射補正式は、補正不足を改修（30 hPa付近で約-0.5°C）するため、1993年3月と11月に変更が行われた（気象庁観測部 1994）。この変更の翌1994年以降、30 hPa面の平年値との差は、3地点で負の年が多くなり南の鹿児島が明瞭である。91型による観測期間の経年変化は、3地点とも30 hPa面での低温化、200・850 hPa面での昇温傾向が見られる。

80型と91型の連結比較観測による指定気圧面值比較（第4表）の結果は、30 hPa面が+0.10°Cで91型が高く、200・850 hPa面が-0.20・-0.30°Cと91型が低い。80型から91型への移行による変化と連結比較観測結果との整合性は、日射補正式の改修が連結比較観測期間中に実施されていること、第4図での年々変動が連結比較観測の気温差よりも大きいことから不明である。91型による観測期間中の30・200・850 hPa面での気温観測値の変化傾向は、1980年代から3地点で同様に見られ、成層圏での寒冷化、対流圏での温暖化に伴う気温トレンド（上里ほか 2008）と推測される。

- ⑦91型からSGP型への移行（縦点線g）に伴う変化は移行後の観測期間が1年と短いため、観測値の時系列特性は不明である。

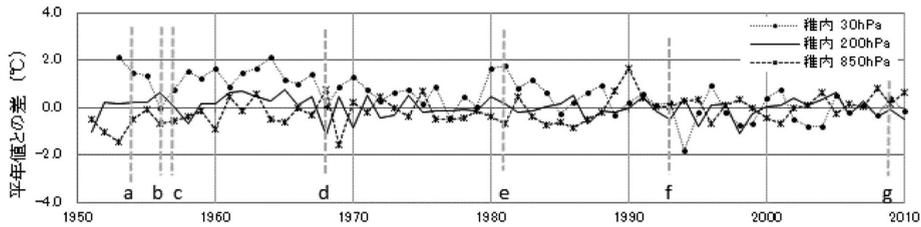
91型とSGP型の連結比較観測による指定気圧面值比較（第6表）の結果は、30・200・850 hPa面で+0.32・+0.04・+0.38°CとSGP型の気温観測値が高い。2010年の平年値との差は、館野の200 hPa面の変化を除き、この結果と整合しているように見える。

- (2) 12UTCの時系列特性 [第5図]

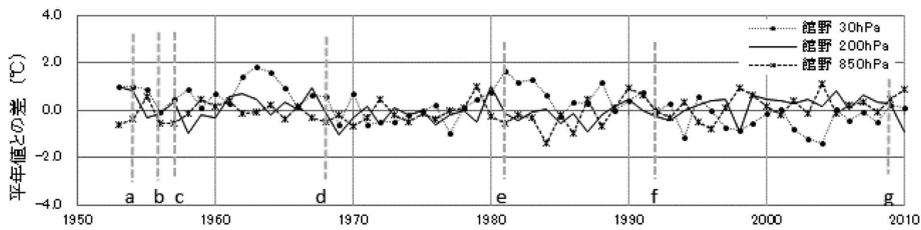
各指定気圧面における平年値との差は、稚内と鹿児島での一部の年を除き±2°C以内で、00UTCの時系列図と異なり特徴的な変化は見られない。

- ①熱伝導遮断型バイメタル温度計への変更（縦点線a）、53型から56型への移行（縦点線b）と観測時刻の変更（縦点線c）に伴う3地点に共通した特徴的

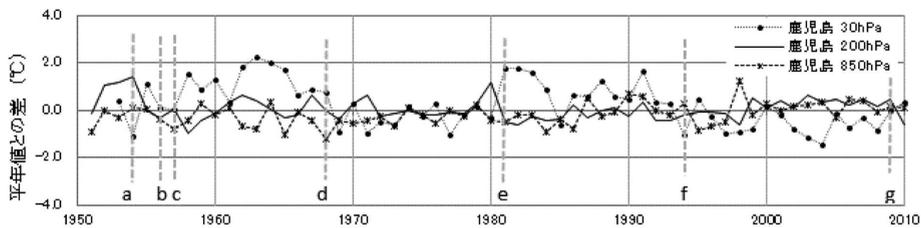
a) 稚内の12UTC



b) 館野の12UTC



c) 鹿児島島の12UTC



第5図 年平均気温の年平均値との偏差図(12UTC)。時系列の値および縦点線は第4図と同じ、ただし12UTC。

な変化は見られない。稚内の850 hPa面と鹿児島島の200・30 hPa面における年平均値との差の時系列には1957年以前と1958年以後とに不連続が見られるが原因は不明である。

- ②館野と鹿児島島で1963年を、稚内で1964年をピークに漸減する30 hPa面の現象は、00UTCと同様に12UTCの時系列にも見られる。
- ③ゾンデの吊紐の長さの変更(縦点線d)に対応した3地点共通の現象は見られない。
- ④56型から80型へ移行した1981年(縦点線e)から館野と鹿児島島の30 hPa面における年平均値との差には顕著な正偏が見られる。この正偏現象は、稚内で1980年から始まり、1984年から3地点で同時に減少に転じており、80型への移行と原因が異なると考えられる。200・850 hPa面には3地点に共通した変化が見られない。

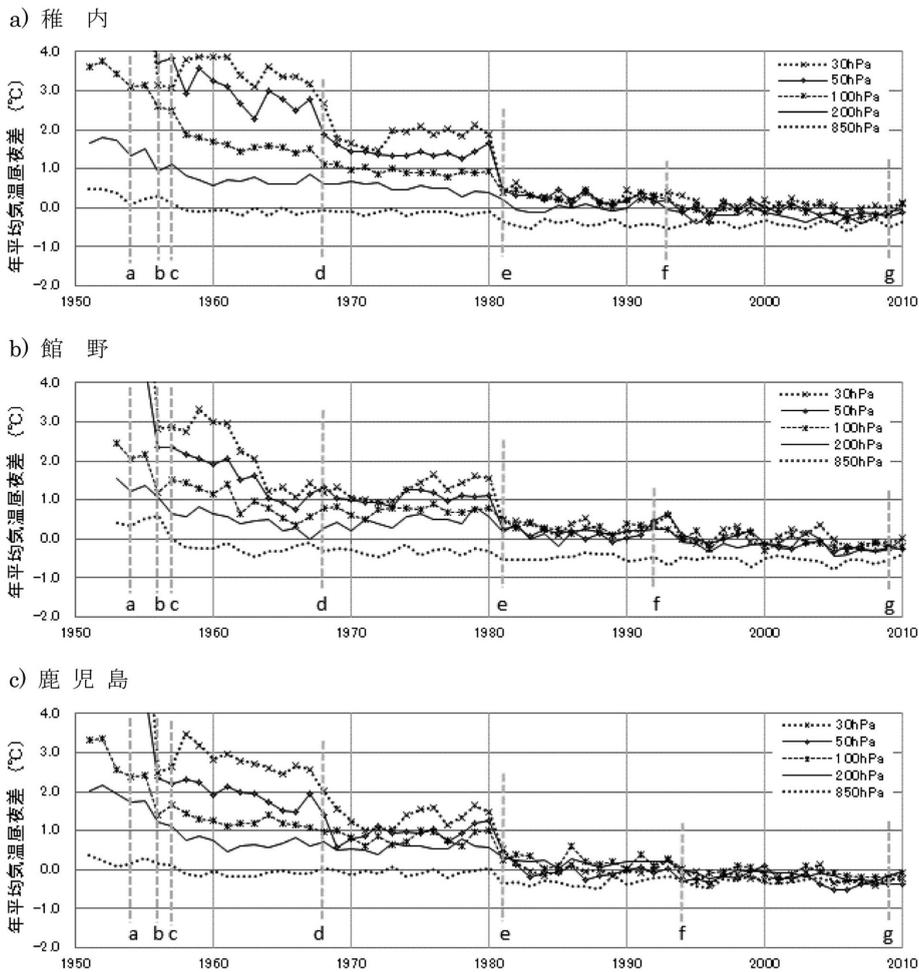
56型と80型の連結比較観測における12UTCの気

温の層別同時刻観測値比較の結果「100 hPaを境として下層で負(80型が低い)、上層で正(80型が高い)」を考慮すると、30 hPa面における年平均値との差の変化は、56型と80型の観測値の特性の違いと年々変動が複合した結果と考えられる。

- ⑤80型から91型への移行(縦点線f)時における3地点共通の変化は見られない。91型による観測期間の経年変化には、3地点で30 hPa面における低温化、200・850 hPa面における昇温傾向が見られる。

80型と91型の連結比較観測による指定気圧面値比較(第4表)の結果は、30・200 hPa面が $+0.15 \cdot +0.05^\circ\text{C}$ で91型が高く、850 hPa面が -0.30°C で91型が低い。第5図では年々変動が大きくこの結果との整合は不明である。91型による観測期間の経年変化傾向は00UTCと同じ気温トレンドと考えられる。

- ⑥91型からSGP型へ移行(縦点線g)した翌年の



第6図 指定気圧面年平均気温の昼夜差の図。稚内，館野，鹿児島における00UTC（昼）の年平均気温から12UTC（夜）の年平均気温を引いた値の時系列で，図中の縦点線は第4図と同じ。

2010年の各気圧面における平年値との差は3地点とも00UTCに似ている。

91型とSGP型の連結比較観測による指定気圧面値比較（第6表）の結果は，30・850 hPa面の気温差が $+0.22 \cdot +0.20^\circ\text{C}$ でSGP型の気温観測値が高く，200 hPa面が -0.22°C でSGP型の気温観測値が低い。2010年の平年値との差は，稚内の30 hPa面を除く各気圧面の差の符号が一致し，ほぼ同じ値で整合が見られる。

3.2.2 年平均気温の昼夜差による特性

日射による気温観測値の違いを見るため，日射のある00UTCの年平均気温から日射のない12UTCの年平均気温を引いた値（以下「昼夜差」）を時系列に示

したのが第6図である。気温の日射補正の開始（縦点線b）と観測時刻が現行の時刻に変更（縦点線c）される前の昼夜差は30 hPa面で $+4^\circ\text{C}$ を超える。第6図の縦軸の上限は昼夜差の小さい1981年以降の変化も見えるように $+4^\circ\text{C}$ とした。図示した気圧面は30・50・100・200・850 hPaの5指定気圧面である。

第6図の昼夜差では，館野の1962年，稚内と鹿児島の1968年（縦点線d），3地点の1981年（縦点線e）と1994年（鹿児島の縦点線fの年）に明瞭な変化が見られる。

①熱伝導遮断型バイメタル温度計への変更（縦点線a），日射補正の開始（縦点線b）と観測時刻の変更および日射補正方法の一部改正（縦点線c）に対応

した変化は3地点の200 hPa 以上の気圧面の昼夜差の減少に見られる。昼夜差の減少は気圧面が高いほど顕著である。

- ②吊紐の長さが7 mから15 mに変更(縦点線 d)された前後の昼夜差の違いは稚内と鹿児島において顕著で、30・50 hPa 面の昼夜差はほぼ半減した。館野の昼夜差の減少は吊紐の変更に先行して1962年から見られる。

館野で吊紐の変更による変化が明瞭でない理由として、鈴木・旭(1978)は00UTC時に吊紐を15 m使用するエコーゾンデ観測がすでに実施されていたことをあげている。館野における00UTC時のエコーゾンデ観測は1962年から始まり、年間の実施率は1962年が約41%、1963年が約65%、1964年以降が約70%であった。館野における1962年からの昼夜差の減少はエコーゾンデ観測の実施率に対応している。鹿児島でもエコーゾンデ観測を1961年10月から始めていたが、年間の実施率は1964年が最も多く約8%で、その他の年はほとんどが4%未満であったため昼夜差には影響しなかったと判断される。

- ③56型から80型に移行した1981年(縦点線 e)以降の昼夜差は、3地点とも全指定気圧面で+0.5°C以下に減少する顕著な変化が見られる。昼夜差の減少量は緯度の高い稚内で大きい。850 hPa 面の昼夜差は負の値で、00UTCより12UTCの年平均気温が高い。この傾向は56型の時よりも大きくなっている。

56型から80型へ移行したことによる昼夜差の変化量は、56型と80型の連結比較観測における層別同時刻観測値比較(第2表)の00UTCと12UTCの差と整合する。本節の始めに記述した00UTCの気温

の平均値を求める累年の統計で80型導入以前の気温観測値を用いない理由には、56型の気温観測値は日射補正が不十分なため80型以降と均質でないことにある。

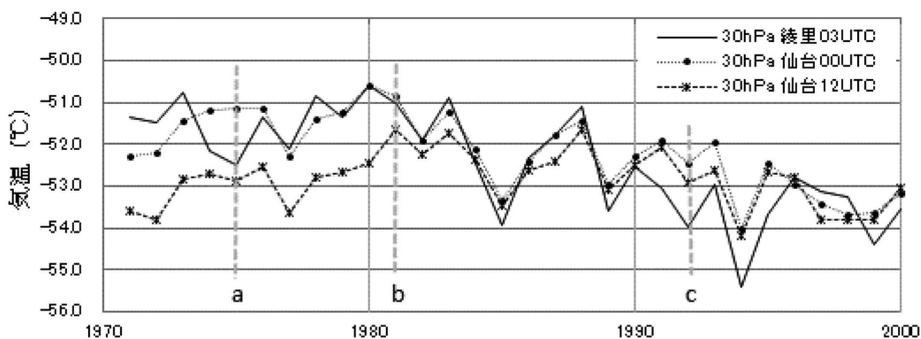
- ④91型の日射補正式は1992年10月に館野へ導入された翌1993年に補正不足のため改修された(気象庁観測部 1994)。日射補正式の改修に対応した昼夜差の変化は、稚内と館野で1994年に、鹿児島で移行年(縦点線 f)に見られる。日射補正式改修後の昼夜差は、200 hPa 面以上で80型の観測期間より小さく、負(00UTCより12UTCが高温)の年が多い。この傾向は稚内よりも南の鹿児島で明瞭である。稚内と館野における850 hPa 面の昼夜差は80型と91型による観測期間で同じであるが、鹿児島では91型への移行後80型よりも負偏差がわずかに減少した。

上層における気温が00UTCより12UTCに高いのは、大気潮汐(Sakazaki *et al.* 2012)に伴う自然起源の可能性が考えられる。

- ⑤91型からSGP型への移行(縦点線 g)時における昼夜差の特徴的な変化は不明である。

3.2.3 気象ロケット観測資料との比較による特性

気象庁は、岩手県気仙郡三陸町綾里(現在の大船渡市三陸町綾里)において、1970年7月から2001年3月までの間、気象ロケットを打ち上げて高度約20 kmから約60 kmまでの気象観測を実施した(観測部観測課 2005)。レーウィンゾンデと気象ロケットゾンデによる観測高度は約20 kmから約30 kmの範囲で重なっている。このことから気象ロケットゾンデ観測と綾里の近隣高層気象観測地点である仙台のレーウィンゾンデ(00UTCと12UTC)観測による30 hPa 面の年平均気



第7図 綾里の気象ロケットゾンデ(原則として毎週水曜日の02UTC打ち上げ)と仙台のレーウィンゾンデによる30 hPa 面年平均気温の比較図。図中の縦点線は気温の観測方法等の変更があった年を示す線で、a: 気象ロケットゾンデの気温センサであるバルコワイヤの長さを180 mmから220 mmへ変更、b: レーウィンゾンデを56型から80型へ移行、c: レーウィンゾンデを80型から91型へ移行した年である。

温を時系列図で比較したのが第7図である。

(1) 気象ロケット観測について

気象ロケットは、週1回、原則水曜日の02UTCに打ち上げられた。気象ロケットゾンデは、最高到達高度の約60 km付近で分離されてパラシュートで緩降下しながら測定値を地上に送信する。気象ロケットゾンデは、高度50 km付近で約70 m/sec、30 km付近で約15 m/sec、20 km付近で約6 m/secの速度で降下し、打ち上げから約50分後に高度20 km付近を通過する。

気象ロケットゾンデの気温センサには、ニッケルと鉄の合金であるバルコワイヤが使用された。バルコワイヤは、直径20 μmで長さ180 mmのものを用いたが、1975年3月(縦点線 a) からフランス製に変更した。このとき0°Cにおける抵抗値を従来品に合わせるためにバルコワイヤの長さは220 mmに変更されたが、この他の変更はなかった(観測部観測課 2005)。

気温の鉛直プロファイルを再現するための気温観測点と気温観測値は、気象ロケットゾンデから4 msecごとに送信される気温測定信号をアナログ記録器または計算機で取得し計算処理が行われた。気温観測値は、観測点の気温測定信号(測定値)に空力加熱誤差・日射誤差・測定電流によるジュール熱誤差・長波長放射誤差の補正が施された。

(2) 30 hPa 面における年平均気温の比較

第7図において、仙台における00UTCのレーウィンゾンデ観測値と気象ロケットゾンデの観測値(以下「綾里」)には約3時間の時間差があり、年平均値を求めたデータ数には大きな差があることも注意が必要である。

①1980年以前の56型による観測期間は、1974年と1975年を除き、綾里と仙台の00UTCがほぼ一致

していて、仙台の12UTCは綾里より約2°C低い年が多い。

②56型から80型へ移行(縦点線 b) した後の1982年からは、綾里と仙台の00・12UTCとの年平均気温の差が小さく年々変動も良く一致している。

③80型から91型への移行(縦点線 c) 前後の1991～1995年は綾里が仙台より約1°C低い。1996年以降は綾里と仙台の年平均気温はほぼ同じ値である。

第7図から、80型と91型の気温観測値は気象ロケットゾンデによる観測値と良く一致し、80型以降における気温観測値の均質性が読み取れる。

3.3 湿度観測値の特性

湿度の観測範囲は、第1部で記述したとおり気温により定められ、56型までは約-30°Cまで、80型からは-40°Cまでである。このため湿度の観測高度は観測地点や季節によって異なる。年平均湿度の平年値があるのは、緯度が高い稚内と札幌が600 hPa 面まで、館野が500 hPa 面まで、福岡が400 hPa 面まで、鹿児島が350 hPa 面まで、父島や南大東島などの北緯28°

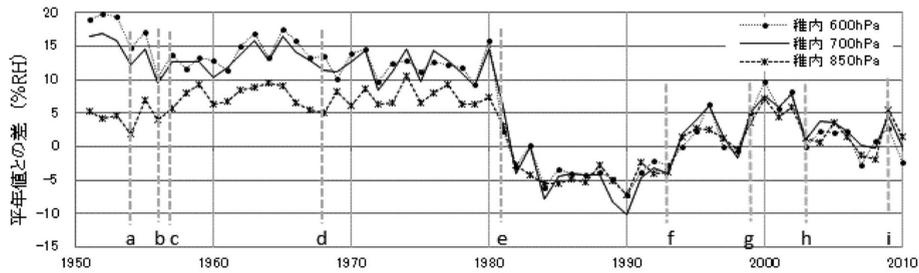
第9表 湿度観測値に関する観測方法等の変更事項と各観測地点の起日。

観測方法等の変更事項	起日(年.月.日)		
	稚内	館野	鹿児島
a • 毛髪湿度計にエーテル処理と圧延処理を行った毛髪を使用開始	1954. 6.	1954. 6.	1954. 6.
b • RS53型からRS II56型へ移行(毛髪湿度計の毛髪使用数は20本で変更なし)	1956. 7.11	1956. 7. 8	1956. 7. 2
c • RS II56型の毛髪湿度計は毛髪20本使用から10本使用へ変更	1957. 1.	1957. 1.	1957. 1.
c • 観測時刻を03UTCと15UTCから00UTCと12UTCへ変更	1957. 4. 1	1957. 4. 1	1957. 4. 1
d • ゾンデの吊紐の長さを7mから15mへ変更	1968. 6.	1968. 7. 8	1968. 6.
e • RS II56型(毛髪湿度計)からRS2-80型(カーボン湿度計)へ移行	1981. 3. 1	1981. 3. 3	1981. 3. 2
f • RS2-80型(カーボン湿度計)からRS2-91型(高分子静電容量式湿度計)へ移行	1993.12.13	1992.10. 1	1994. 2.25
g • RS2-91型の湿度計を加湿・除湿方向の特性の差が小さいセンサへ変更*1)	1999. 7. 3	1999. 7.13	1999. 7. 3
h • RS2-91型の湿度測定値へ温度補正を適用	2003. 2. 1	2003. 2. 1	2003. 2. 1
i • RS2-91型(高分子静電容量式湿度計)からRS92-SGP型(薄膜静電容量式加熱2センサ湿度計)へ移行	2009.12. 1	2009.12. 1	2009.12. 1

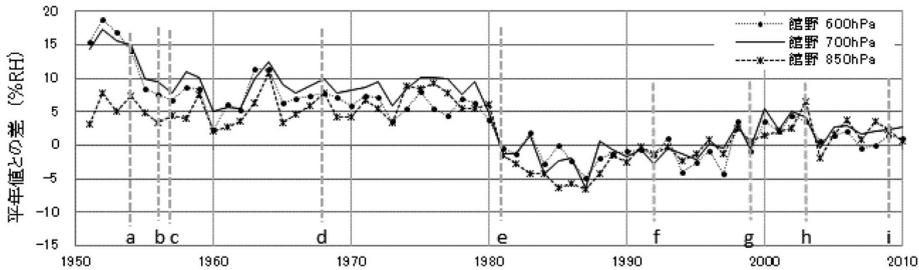
注：a～iは第8～10図の時系列図の縦点線の同符号と対応

*1) 第1部(阿部 2015)の4.4.3(3)の1997年7月は1999年7月の誤り

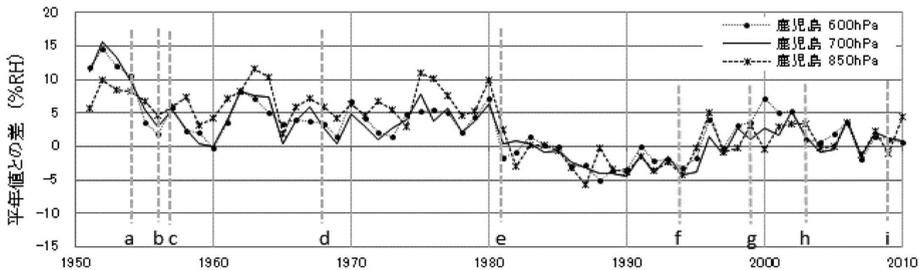
a) 稚内の00UTC



b) 館野の00UTC



c) 鹿児島島の00UTC



第8図 年平均湿度の平均値との偏差図(00UTC)。稚内、館野、鹿児島島の年平均湿度から各々の平均値を引いた値の時系列。図中の縦点線は湿度の観測方法等の変更があった年を示す線で第9表のa~iに対応。

以南の観測地点が300 hPa面までである。ここでは600 hPa面までの湿度観測値を対象とする。

湿度観測値に関する観測方法等の変更事項と起日を第9表に示す。

3.3.1 年平均湿度の平均値との差による時系列特性

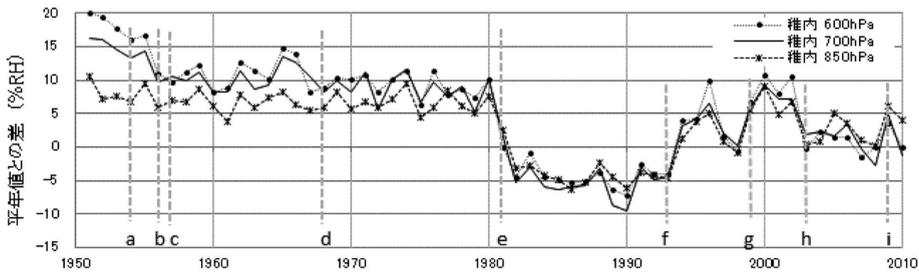
年平均湿度と平均値との差(以下「平均値との差」)の時系列図は、気温と同様に稚内・館野・鹿児島島の3地点について、気温がほぼ0°C以上の850 hPa面、0°C前後の700 hPa面、0°C以下の600 hPa面について作成した。00UTCと12UTCにおける平均値との差の時系列図を第8図と第9図に示す。観測方法等の変更があった年は図中にa~iの縦点線で示した。時

系列図からは次のことがわかる。

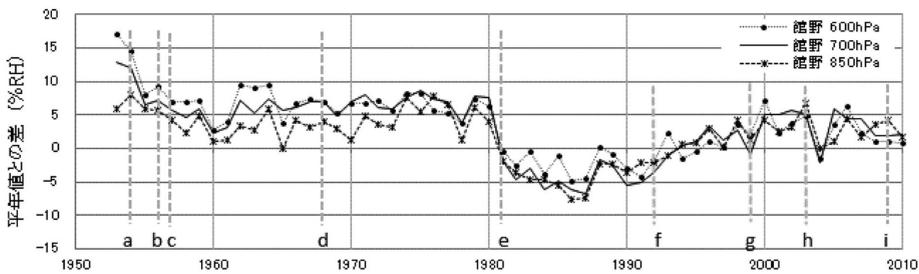
(1) 00UTCの時系列特性 [第8図]

- ①毛髪湿度計の湿度変化に対する遅れとヒステリシスの改善のための圧延処理と化学処理(Kobayashi 1960; 小林 2007)が1954年(縦点線a)から実施された効果は、平均値との差の減少として3地点で見られる。特に700・600 hPa面での減少が顕著である。
- ②53型から56型への移行(縦点線b)に対応して稚内の700・600 hPa面の平均値との差には大きな変化が見られるが、毛髪湿度計の仕様変更の記録はないため56型への移行による現象が不明である。
- ③1957年の毛髪湿度計の毛髪10本使用への変更と観測

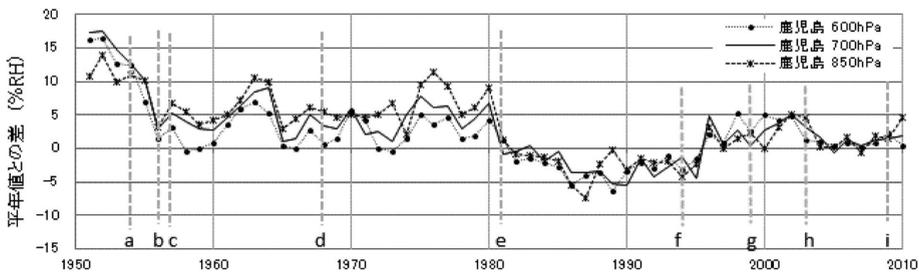
a) 稚内の12UTC



b) 館野の12UTC



c) 鹿児島島の12UTC



第9図 年平均湿度の年平均値との偏差図(12UTC)。時系列の値および縦点線は第8図と同じ、ただし12UTC。

時刻の変更(縦点線c)、1968年の吊紐の長さの変更(縦点線d)に対応した3地点共通の変化は見られない。

- ④56型による観測期間の年平均値との差は、850 hPa面が3地点とも+5~+10%RHの範囲でほぼ同じである。700・600 hPa面における年平均値との差は、稚内が大きく+15%RHで、次いで館野が+10%RH弱、鹿児島で+5%RH未満の年が多く、南の地点ほど小さい。

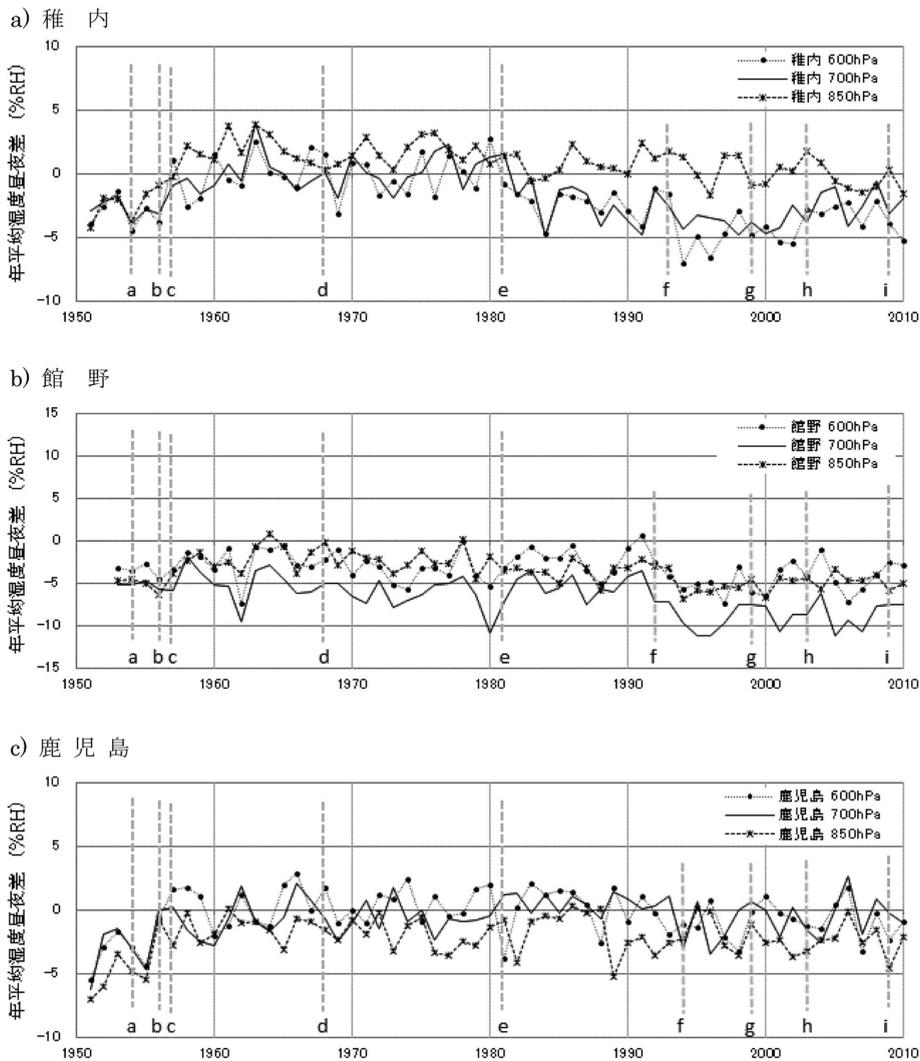
- ⑤56型から80型に移行した1981年(縦点線e)は、3地点とも負偏差への変位が顕著で、特に高緯度の稚内における変化が大きい。

56型と80型の連結比較観測による層別同時刻観測

値比較の結果は、80型が56型より低湿で、-6.7%RHの系統的な差が報告されている。年平均値との差はこの結果と整合した変化と判断される。稚内と鹿児島の変化量は1980年が高湿であったために連結比較観測の結果より大きい。

- ⑥80型による観測期間の850・700・600 hPa面の年平均値との差は、館野の850 hPa面を除き、ほぼ同じ値で年々変動も似た変化をしている。

- ⑦80型から91型への移行(縦点線f)時における年平均値との差は3地点で異なった変化が見られる。稚内の年平均値との差は移行直後に正偏して高湿に転じ、館野では徐々に高湿へ変化し、鹿児島では移行直後の変化が見られず1996年に正に転じた。



第10図 指定気圧面年平均湿度の昼夜差の図。稚内，館野，鹿児島における00UTC（昼）の年平均湿度から12UTC（夜）の年平均湿度を引いた値の時系列で，図中の縦点線は第8図と同じ。

80型と91型の連結比較観測における層別同時刻観測値比較の結果は30~80%RHの時に91型が0~20%RH程度高い湿度を示し，第8図で見られる3地点での変化は定性的に整合する。

⑧湿度センサを加湿方向と除湿方向において特性の差が小さいセンサへ変更（縦点線g）した後の平年値との差は3地点とも正偏差の年が増えた。

⑨湿度測定値に温度補正を適用（縦点線h）したことによる平年値との差の減少は，稚内と館野で明瞭である。鹿児島での温度補正の適用による変化は，第8図では不明瞭であるが，高度の高い500・400 hPa

面の時系列図に認められる。

2003年導入の温度補正は0℃以下の湿度測定値に適用され，0℃で約3%RH，-40℃で約6%RH低湿側への補正が施される（気象庁2004）。

⑩91型からSGP型への移行（縦点線i）に対応した3地点共通の変化は見られない。

連結比較観測による指定気圧面値比較（第6表）の結果はSGP型の湿度観測値が91型より全体的に5%RH程度低い。稚内の平年値との差は約5%RH減少しているが，館野と鹿児島で同じ現象が見られないことから連結比較観測の結果との整合は不

明である。

(2) 12UTC の時系列特性 [第9図]

12UTC の平年値との差の時系列図は、3地点とも、年々変動、観測方法等の変更に対応した変化が00UTC の時系列図 (第8図) と良く似た特徴を示している。

00UTC の時系列図と異なる点は次の現象である。

- ① 稚内と館野における平年値との差は、56型による観測期間の700・600 hPa 面の差が約5%RHほど00UTC より小さい。
- ② 鹿児島00UTC で不明瞭であった温度補正の適用 (縦点線 h) 効果は、平年値との差が約5%RH 低湿側へ変化し明瞭である。

3.3.2 年平均湿度の昼夜差による特性

日射による湿度観測値の特性の違いを見るため、00UTC の年平均湿度から12UTC の年平均湿度を引いた値 (以下「昼夜差」) を時系列に示したのが第10図である。昼夜差の時系列図において、観測方法等の変更 (縦点線 a~i) と対応した3地点共通の変化が見られるのは、56型の毛髪湿度計の使用本数の変更と観測時刻が現在の時刻に変更された1957年 (縦点線 c) を境とする現象のみである。1958年以降における昼夜差の経年変化には3地点3様の異なった特徴があり、日射の影響と考えられる現象は見られない。

① 1957年以前の昼夜差 (03UTC-15UTC) は3地点とも負で03UTC よりも15UTC が高湿であったが、1958年以降の昼夜差 (00UTC-12UTC) は稚内と鹿児島でほぼ解消した。館野の昼夜差は850・600 hPa 面で減少した。

② 稚内における昼夜差の経年変化は、850 hPa 面が2004年まで正 (00UTC の高湿) の年が続きその後負 (12UTC の高湿) に転じた。700・600 hPa 面の昼夜差は、56型によ

る観測期間に正負一方への偏りがなく、80型に移行した後の1982年から負偏差 (12UTC の高湿) に転じた。館野と鹿児島ではこの現象に対応した変化が見られない。

- ③ 館野における昼夜差は、850・700・600 hPa 面とも負 (12UTC が高湿) で、特に700 hPa 面が顕著である。12UTC の高湿状態は1994年からさらに増した。この変化に対応した観測方法等の変更はなく、稚内と鹿児島の昼夜差にも対応した変化が見られない。
- ④ 鹿児島における昼夜差は、700・600 hPa 面が1992年まで正負一方への偏りがなく、91型に移行 (縦点線 f) した後負偏差 (12UTC の高湿) の年が多くなった。850 hPa 面の昼夜差は、ほとんどの年が負で稚内とは逆に12UTC が高湿で、1989年以後12UTC の高湿が増した。鹿児島の昼夜差は稚内と館野の昼夜差よりも変動幅が小さいことも特徴である。

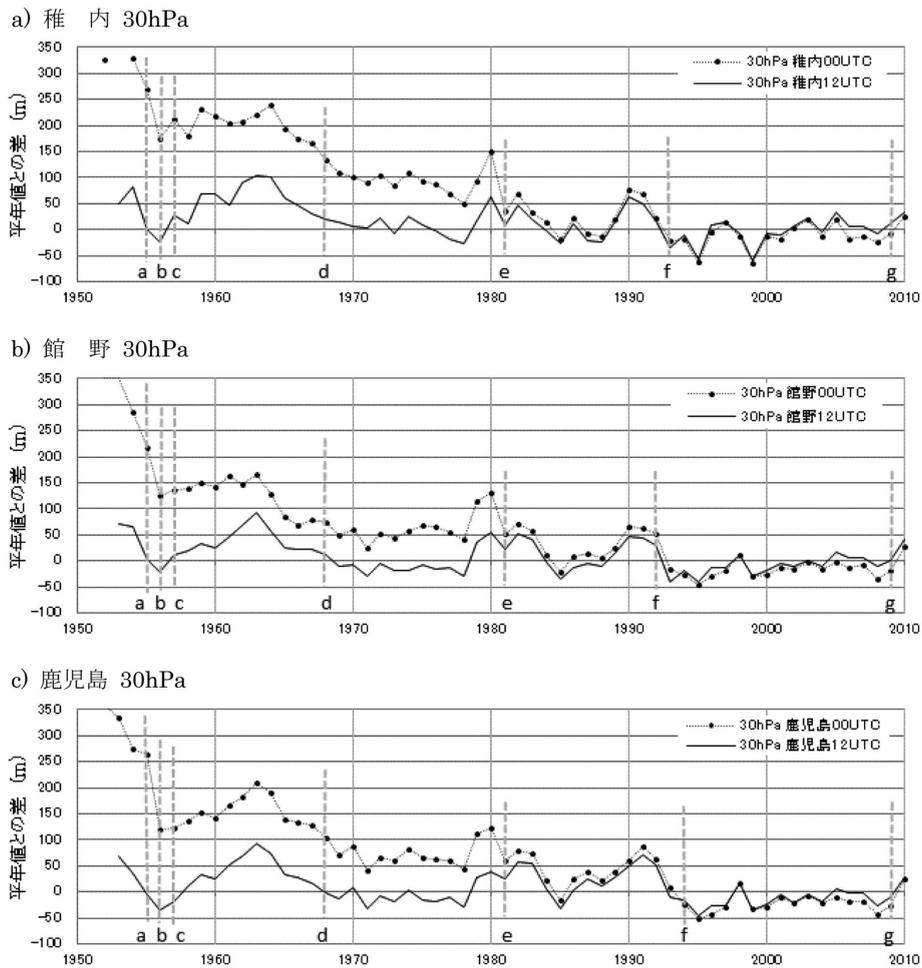
3.4 指定気圧面高度の特性

ラジオゾンデ観測の高度は、P-T 線図による指定気圧面間または測高公式により各気温湿度観測点間の

第10表 高度計算に関する変更事項と各観測地点の起日。

高度計算に関する主な変更事項	起日 (年. 月. 日)		
	稚内	館野	鹿児島
a ・気圧計現地点検時の室温と飛揚時の地上気温との差による空ごうの温度補正 (気圧第二補正) を開始	1955. 5. 1	1955. 5. 1	1955. 5. 1
b ・飛揚時の地上気温と飛翔中の空ごう気圧計付近の温度との差による空ごうの温度補正 (気圧第三補正) を開始 ・気温測定値に日射補正を開始	1956. 4. 1	1956. 4. 1	1956. 4. 1
b ・RS53型から RS II56型へ移行	1956. 7. 11	1956. 7. 8	1956. 7. 2
c ・観測時刻を03UTC と15UTC から00UTC と12UTC へ変更	1957. 4. 1	1957. 4. 1	1957. 4. 1
d ・ゾンデの吊紐の長さを7m から15m へ変更	1968. 6.	1968. 7. 8	1968. 6.
・高度計算に用いる重力加速度を9.8 m/s ² から9.80665 m/s ² へ変更 (本稿では変更以前の高度を補正して使用)	1973. 1. 1	1973. 1. 1	1973. 1. 1
e ・RS II56型から RS2-80型へ移行 ・高度計算は P-T 線図による方法から計算機での測高公式による計算に変更	1981. 3. 1	1981. 3. 3	1981. 3. 2
f ・RS2-80型から RS2-91型へ移行	1993.12.13	1992.10. 1	1994. 2.25
g ・RS2-91型から RS92-SGP 型へ移行	2009.12. 1	2009.12. 1	2009.12. 1

注：a~g は第11~13図の時系列図の縦点線の同符号と対応



第11図 30 hPa 面年平均高度の年平均値との偏差図。稚内、館野、鹿児島の年平均高度から各々の年平均値を引いた値の時系列で、図中の縦点線は観測方法等の変更があった年を示す線で第10表のa～gに対応。

層厚を求め積算して得る。層厚は気圧面間の平均気温と平均湿度から計算する。このため、指定気圧面の高度はその面より下層における気温および湿度の状態の積算値である。

高度計算に関する変更事項と起日を第10表に示す。

3.4.1 年平均高度の年平均値との差による時系列特性

高度の時系列特性を見るため、連続して年平均値が得られた最も高い高度の指定気圧面である30 hPa面について、年平均高度と年平均値との差（以下「年平均値との差」）を示したのが第11図である。年平均値との差は、00UTC（●付き点線）と12UTC（実線）の両方を図示してある。また、高度計算に関する変更があっ

た年は図中にa～gの縦点線で示した。

①1957年以前は観測値の信頼性向上のために高度計算に関する多くの改善が図られた。気圧測定値は、空ごう気圧計の温度による測定誤差を補正するため、1955年（縦点線a）から気圧第二補正が、1956年（縦点線b）から気圧第三補正が施された（気象庁1973）。気温および湿度の測定においては、3.2項と3.3項で記述した改良が行われた。03UTCと15UTCの年平均値との差には、3地点とも高度計算に関する変更に対応した変化が見られる。特に日射のある03UTCにおいて変化は顕著である。

1955～1957年の変化は、年平均気温の年平均値との差（3.2.1項）と同じく、高度計算に関する変更と

自然起源の要因が複合した結果と考えられる。

- ②1957年の観測時刻の変更(縦点線c)以後, 00UTCの平年値との差は3地点とも250 m以下になったが, 3地点に共通して12UTCよりも大きい。
- ③1964年を境に00・12UTCの平年値との差は, 気温観測値の変化(第4・5図)と同様, 3地点で漸減しているがこれに対応した高度計算に関する変更の記録は不明である。
- ④1968年の吊紐の長さの変更(縦点線d)に対応し, 00・12UTCの平年値との差は3地点で減少した。
- ⑤1979年と1980年における平年値との差の急激な増加は, 第4図と第5図の気温変化に対応している。
- ⑥56型から80型への移行(縦点線e)に伴い00UTCの平年値との差は3地点で減少し, 00UTCと12UTCの平年値との差はほぼ同程度に縮まった。

56型と80型の連結比較観測における高度の指定気圧面值比較で30 hPa面の比較結果はないが, 100 hPa面の高度は80型が56型より40 m低い。00UTCの平年値との差は連結比較観測の結果と整合するが12UTCは不明である。

- ⑦80型から91型へ移行(縦点線f)した後, 3地点の平年値との差は00・12UTCともに負に転じ, 年平均高度は平年値よりも低くなった。1993年に日射補正式を改修した後は, 3地点とも, 12UTCより00UTCの負偏差が増えた。

80型と91型の連結比較観測における指定気圧面值比較では, 00UTCの30 hPa面で91型が80型より約20 m低く, 12UTCがほとんど差のないことが報告されている(迫田ほか1999)。第11図(縦点線f)では3地点共通の変化がなく, 平年値との差の変化量も異なり, 連結比較観測の結果との整合は不明で

ある。

- ⑧91型からSGP型への移行(縦点線g)後の観測は1年のみであるが, 00・12UTCの平年値との差は3地点とも正に転じ, 年平均高度は平年値より高い。

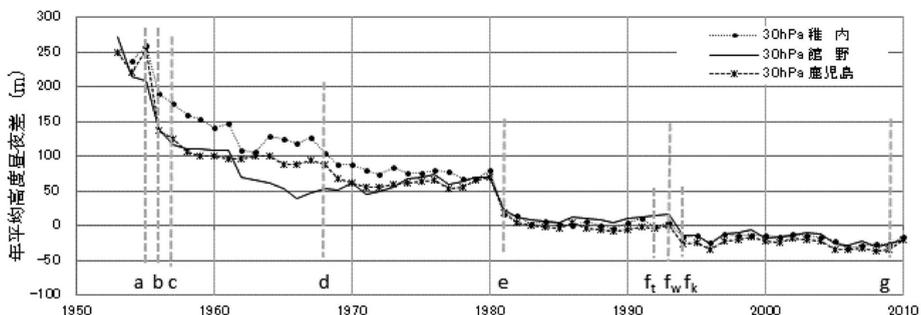
91型とSGP型の連結比較観測による指定気圧面值比較(第6表)では, 30 hPa面の00UTCが+15.0 m, 12UTCが+4.3 mでSGP型の高度が高い。第11図における平年値との差の変化は連結比較観測の結果と整合する。

3.4.2 年平均高度の昼夜差による特性

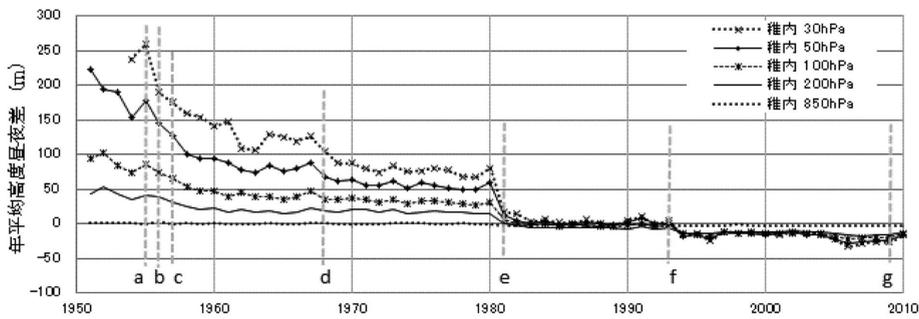
(1) 30 hPa面年平均高度の昼夜差

稚内・館野・鹿児島島の30 hPa面における年平均高度の昼夜差を時系列に示したのが第12図である。昼夜差は00UTCの年平均高度から12UTCの年平均高度を引いた値である。第12図は第11図よりも高度計算に関する変更に対応した変化が明瞭である。第11図で見える00UTCと12UTCの違いは, 両観測時刻における平年値の差が介在しており, 第12図の直接比較の昼夜差と値が異なることに注意が必要である。

- ①1950年代の昼夜差には, 気圧第二補正と気圧第三補正および気温測定値への日射補正の開始による観測値の信頼性向上のための改善, 観測時刻の変更に対応した減少(縦点線a~c)が見られる。
- ②稚内と館野の昼夜差は1961年から1962年に約50 m減少しているが, 鹿児島島の昼夜差は変化がなく, 対応した高度計算に関する変更は不明である。
- ③吊紐の長さの変更(縦点線d)に伴う変化は稚内と鹿児島島の昼夜差に見られる。館野では, 年平均気温の昼夜差の変化(3.2.2項②)と同様に, エコーゾンド観測を開始した1962年から減少が見られる。



第12図 稚内, 館野, 鹿児島における30 hPa面年平均高度の昼夜差の図。昼夜差は00UTC(昼)の年平均高度から12UTC(夜)の年平均高度を引いた値で, 図中の縦点線は第11図と同じ。ただし, f_t , f_w , f_k は館野, 稚内, 鹿児島が80型から91型へ移行した年である。



第13図 稚内の各指定気圧面における年平均高度の昼夜差の図。昼夜差は00UTC（昼）の年平均高度から12UTC（夜）の年平均高度を引いた値で、図中の縦点線は第11図と同じ。

- ④56型から80型への移行（縦点線 e）に伴い 3 地点の昼夜差は急減して、稚内と鹿児島はほぼ解消し、館野の昼夜差はわずかに正で00UTCが高い。
- ⑤80型から91型への移行に伴う変化は館野での移行時（縦点線 f_1 ）に見られず、91型の日射補正式を改修（3.2.2項④）した翌年の1994年（縦点線 f_2 ）から 3 地点の昼夜差は負に転じて00UTCより12UTCの年平均高度が高い。
- ⑥91型から SGP 型へ移行（縦点線 g）した翌2010年の昼夜差は 3 地点ともほぼ同じ値で、00UTCより12UTCの年平均高度が高い。

(2) 各指定気圧面における年平均高度の昼夜差

指定気圧面の高度は、前述のとおり、その面より下層における気温および湿度の状態の積算値である。このことから3.2.2項での各々の指定気圧面における年平均気温の昼夜差は各指定気圧面高度でどのように見えるか、稚内を代表例に、各指定気圧面における年平均高度の昼夜差を時系列に示したのが第13図である。第13図は、稚内における各指定気圧面の年平均気温の昼夜差を図示した第6図 a) の時系列図と一致しているが、経年変化が滑らかで観測方法等の変更に対応した変化が明瞭である。稚内で見られる特徴は館野と鹿児島島の年平均高度の昼夜差でも同様である。

- ①850 hPa 面の年平均高度の昼夜差は1951年の + 1 m から2010年の - 2 m へほぼ直線的に経過している。
- ②56型による観測期間の昼夜差は気圧面の高度が高くなるにつれて拡大し、00UTCの年平均高度は12UTCより高い。
- ③吊紐の長さを 7 m から15 m へ変更（縦点線 d）したことに伴う昼夜差の減少量は高度の高い気圧面ほど大きい。

- ④56型から80型への移行（縦点線 e）に伴い各指定気圧面の昼夜差はほとんど解消した。
- ⑤80型から91型へ移行（縦点線 f）した翌年の1994年以降は、各指定気圧面の昼夜差が負に転じ、00UTCより12UTCの年平均高度が高いという特性が見られる。
- ⑥91型から SGP 型へ移行（縦点線 g）した翌2010年の昼夜差は、91型よりわずかに減少したが00UTCより12UTCの年平均高度が高い。

3.5 高層風の特徴

高層風の統計は1955年まで指定高度面について行われ、指定気圧面風の統計が開始されたのは1956年からである（気象庁 1983）。このことから、時系列図は1956年以降について作成した。

高層風は向きを示す風向と大きさを示す風速のベクトルである。高層風の統計は、東向きが正方向の東西成分（以下「東向き成分」）と北向きが正方向の南北成分（以下「北向き成分」）に分けて行う。指定気圧面の平均風は、東向き成分と北向き成分のそれぞれの平均値を求め合成して得る。本節では、偏西風の影響を受けて大きく変化する東向き成分について、偏西風が強く高度角（仰角）が低くなる冬季（12～2月）と偏西風が弱く比較的高度角が高い夏季（6～8月）の平均風（以下「冬季東向き成分」、「夏季東向き成分」）とそれぞれの季節の30年平均値との差の時系列図について解説する。対象とした観測地点は、気温・湿度・高度と同じ稚内・館野・鹿児島である。時系列図は、1分法による高層風計算高度の850 hPa 面、2分法による計算高度で極大風速面近傍の200 hPa 面、重複4分法による計算高度の30 hPa 面の3指定気圧面について作成した。時系列図の作成に使用した東向き成分の30年平均値は第11表のとおりである。

第11表 高層風の東向き成分の30年平均値 (1981~2010年の平均)。

単位：m/sec

季節	冬季 (12~2月) の30年平均値						夏季 (6~8月) の30年平均値					
	稚内		館野		鹿児島		稚内		館野		鹿児島	
地点名	00UTC	12UTC	00UTC	12UTC	00UTC	12UTC	00UTC	12UTC	00UTC	12UTC	00UTC	12UTC
30 hPa	9.9	10.6	5.0	7.0	4.3	7.2	-6.7	-6.2	-11.1	-10.2	-14.8	-13.4
200 hPa	27.0	27.0	64.8	64.3	70.4	69.9	21.2	22.3	20.8	21.2	11.3	11.7
850 hPa	5.5	5.6	7.0	6.7	7.7	7.0	2.6	2.9	1.9	1.1	2.6	1.4

注：東向き成分の符号が正の場合は西風で、負の場合は東風である。

第12表 高層風観測に関する変更事項と各観測地点の起日。

観測方法等の変更事項	起日 (年. 月. 日)		
	稚内	館野	鹿児島
・水平距離の計算に地球曲率補正 (弧距離) を導入	1956. 1. 1	1956. 1. 1	1956. 1. 1
・RS53型から RS II56型へ移行	1956. 7. 11	1956. 7. 8	1956. 7. 2
a 観測時刻を03UTCと15UTCから00UTCと12UTCへ変更	1957. 4. 1	1957. 4. 1	1957. 4. 1
a GMD-1A型からD55A型自動追跡記録型方向探知機へ移行		1957. 4. 14	
a D49E型からGMD-1A型自動追跡記録型方向探知機へ移行	1957. 9. 11		
a D49E型からD55A型自動追跡記録型方向探知機へ移行			1957. 11. 23
b 1分毎の高層風計算を飛揚から14分まで1分毎 (1分法), 14分から40分まで2分毎 (2分法), 38分以降は2分ずらしの4分毎 (38~42分, 40~44分, 42~46分・・・, 重複4分法) に変更	1959. 1. 1	1959. 1. 1	1959. 1. 1
c GMD-1A型からD55B型自動追跡記録型方向探知機へ移行	1965. 10. 16		
c D55A型からD55B型自動追跡記録型方向探知機へ移行		1972. 12. 8	1973. 11. 20
d ゾンデの吊紐の長さを7mから15mへ変更	1968. 6.	1968. 7. 8	1968. 6.
e 高層風の計算は航跡図による方法から計算機による方法に変更	1977. 5.	1977. 5.	1977. 5.
f RS II56型からRS2-80型へ移行	1981. 3. 1	1981. 3. 3	1981. 3. 2
g D55B型からJMA-91型高層気象観測装置へ移行し, 追跡方式は円錐走査方式からモノパルス方式へ変更	1993. 12. 13	1992. 2. 12	1994. 2. 25
g RS2-80型からRS2-91型へ移行	1993. 12. 13	1992. 10. 1	1994. 2. 25
h 自動追跡型方向探知機による方式からGPS測位方式へ移行 ・RS2-91型からRS92-SGP型へ移行	2009. 12. 1	2009. 12. 1	2009. 12. 1

注：a~hは第14~17図の時系列図の縦点線の同符号と対応

高層気象観測に用いた方向探知機と高層風観測の方法に関する変更 (以下「観測方法等の変更」) 事項と

起日を第12表に示す。

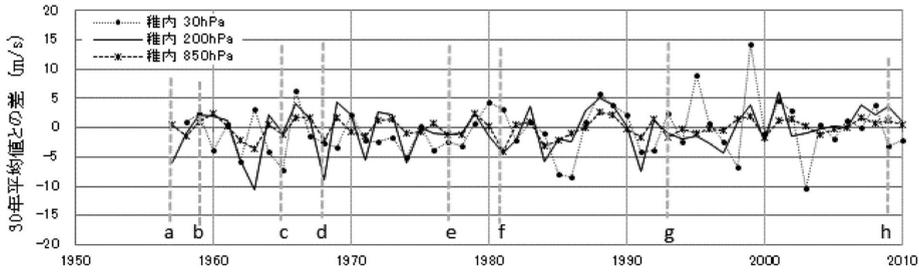
3.5.1 冬季東向き成分の時系列特性

各年の冬季における00UTCの東向き成分と30年平均値との差の時系列図を第14図に、00UTC (昼) の冬季東向き成分から12UTC (夜) の冬季東向き成分を引いた昼夜差の時系列図を第15図に示す。同図には観測方法等の変更があった年をa~hの縦点線で示した。

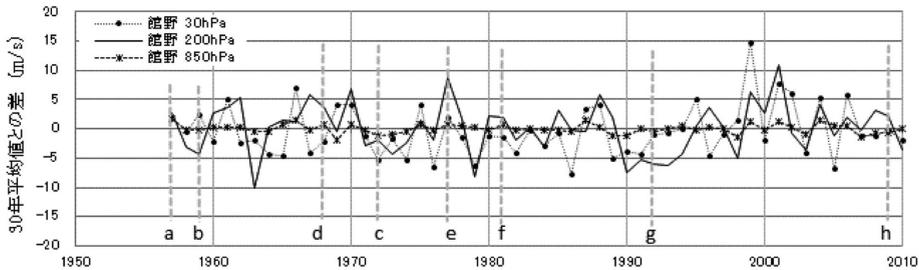
- (1) 30年平均値との差による時系列特性 [第14図]
- ①200・30 hPa面の冬季東向き成分は、3地点とも年々変動の振幅が大きい。
 - ②観測時刻の変更 (縦点線 a) に対応した変化は不明である。
 - ③方向探知機の移行 (縦点線 a, c, g) とゾンデの移行 (縦点線 f, g, h) および観測方法の変更 (縦点線 b, d, e) に対応した変化は3地点の時系列図に見られない。
 - ④30 hPa面の時系列図において、第11図の年平均

高度と平年値との偏差図で見られた00UTCの高度変化に対応した変化は3地点とも不明である。

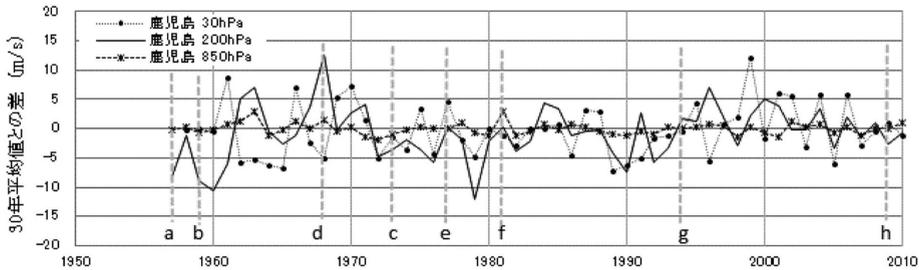
a) 稚内の00UTC



b) 館野の00UTC



c) 鹿児島島の00UTC



第14図 各年の冬季(12~2月)における高層風の東向き成分の30年平均値との偏差図(00UTC)。稚内, 館野, 鹿児島島の各年の冬季平均値から各々の30年平均値を引いた値の時系列。図中の縦点線は高層風の観測方法等に変更があった年を示す線で第12表のa~hに対応。

⑤館野の時系列図においてエコゾンデ観測が頻繁に実施されていた1962~1974年の期間とその前後での違いは見られない。

(2) 昼夜差の時系列特性 [第15図]

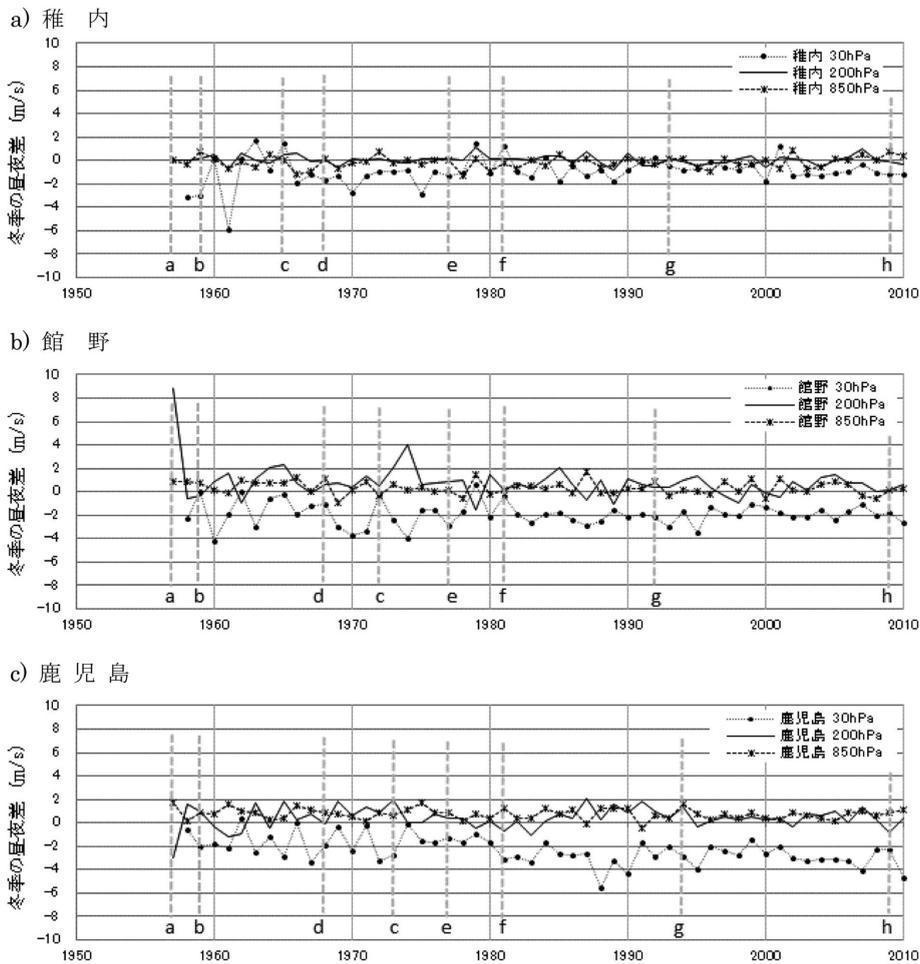
①850・200 hPa 面における昼夜差の時系列図では3地点とも観測方法等の変更(縦点線a~h)に対応した変化が見られない。

②3地点の昼夜差の経年変化には, 30 hPa 面における年平均高度の昼夜差(第12図)に対応した変化が見られない。

③館野の200 hPa 面における1957年の大きな正偏差は, 1・2月における12UTCの東向き成分が弱かったためである。

④鹿児島における30 hPa 面の昼夜差は56型から80型への移行(縦点線f)を境に拡大し不連続な変化が見られる。稚内と館野の時系列図に同様の変化が見られないことから56型から80型への移行に起因した現象とは考えられない。鹿児島における1981年以降の昼夜差の拡大は, 第11表からも推測できるように, 12UTCの東向き成分が強いため, その原因は不明である。

⑤30 hPa 面の昼夜差は稚内よりも南の鹿児島で大きい。南に位置する観測地点ほど昼夜差が大きい現象は3地点以外でも確認されることから, 昼夜差が低緯度に向けて増加する傾向は高層風における一日周期の自然現象と考えられる。



第15図 各年の冬季(12~2月)における高層風の東向き成分の昼夜差の図。稚内、館野、鹿児島における00UTC(昼)の冬季平均値から12UTC(夜)の冬季平均値を引いた値の時系列で、図中の縦点線は第14図と同じ。

3.5.2 夏季東向き成分の時系列特性

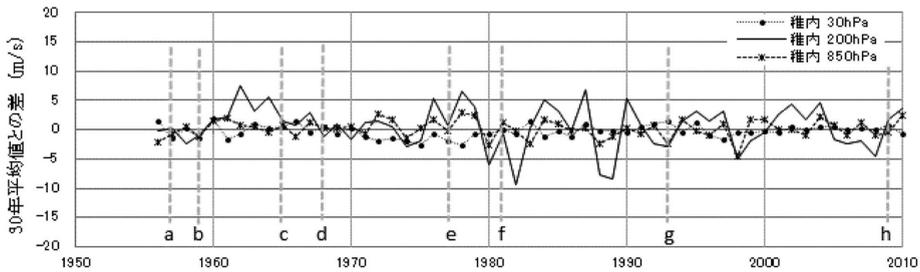
各年の夏季における00UTCの東向き成分と30年平均値との差の時系列図を第16図に、00UTCの夏季東向き成分から12UTCの夏季東向き成分を引いた昼夜差の時系列図を第17図に示す。同図には観測方法等の変更があった年をa~hの縦点線で示した。

- (1) 30年平均値との差による時系列特性 [第16図]
- ①夏季東向き成分は、極大風速面近傍の200 hPa面を除き、年々変動の振幅が小さい。
 - ②観測方法等の変更(縦点線a~h)に対応したと判断される変化は、3地点の時系列図に見られない。
 - ③30 hPa面の時系列図において、第11図の年平均高度と平年値との偏差図で見られた00UTCの高度変

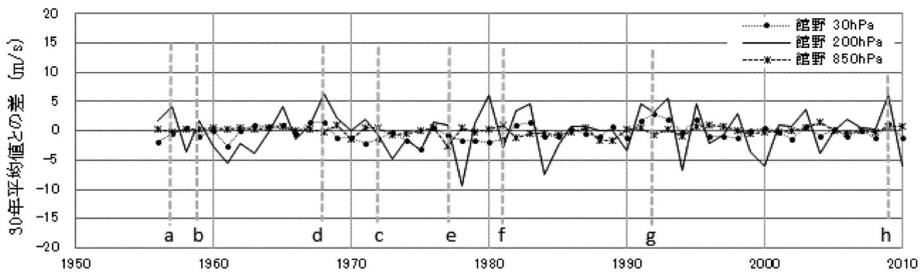
化に対応した不連続な変化は、冬季の東向き成分と同様に3地点とも不明である。

- ④館野の時系列図には、冬季東向き成分の時系列と同様にエコーゾンデ観測が実施された期間(1962~1974年)とその前後での違いは見られない。
- (2) 昼夜差の時系列特性 [第17図]
- ①昼夜差の時系列図では3地点とも観測方法等の変更(縦点線a~h)に対応した変化が見られない。
 - ②3地点の昼夜差の経年変化には、冬季の東向き成分と同様に、30 hPa面における年平均高度の昼夜差(第12図)に対応した変化が見られない。
 - ③稚内の昼夜差は3指定気圧面とも負で、1972年以降の200 hPa面でも明瞭である。

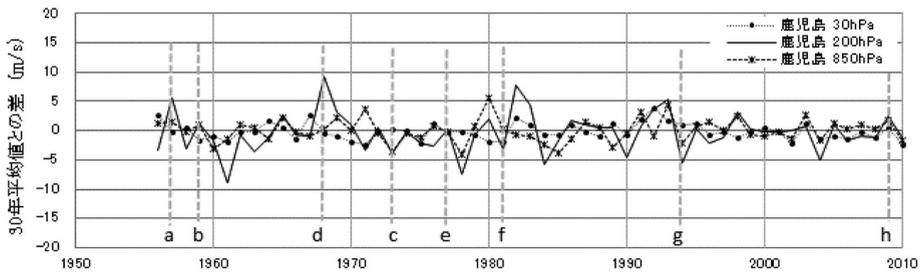
a) 稚内の00UTC



b) 館野の00UTC



c) 鹿児島島の00UTC



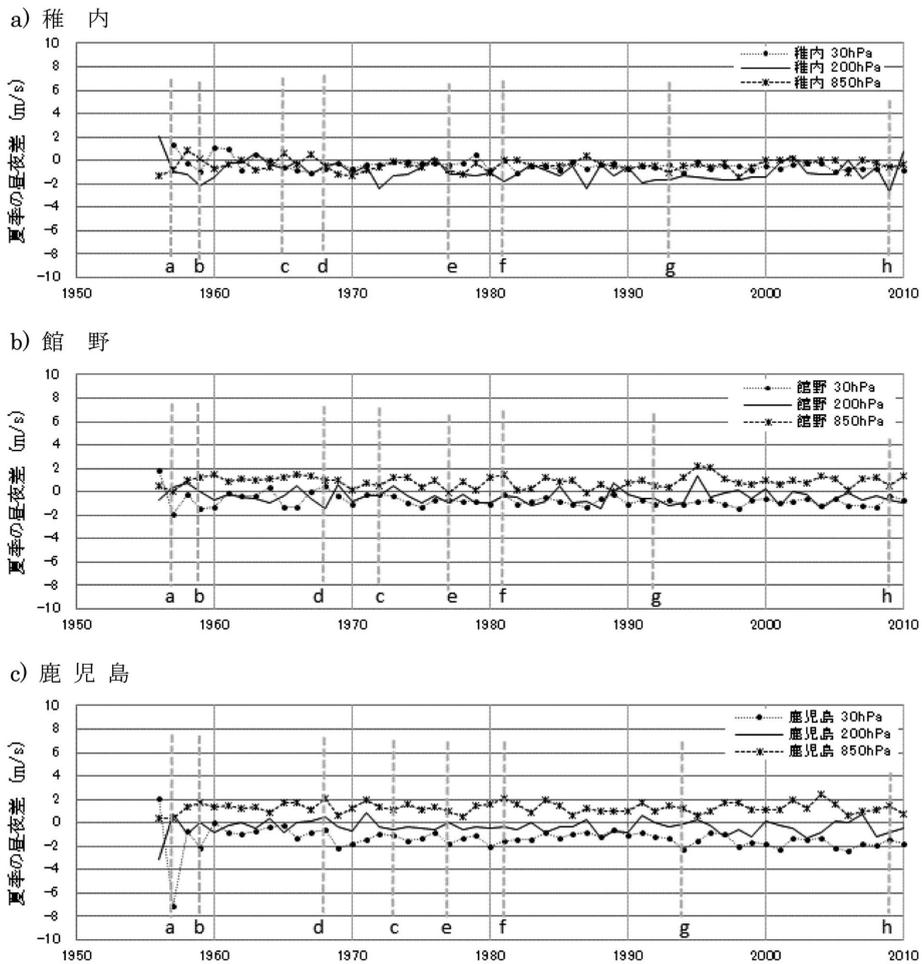
第16図 各年の夏季（6～8月）における高層風の東向き成分の30年平均値との偏差図（00UTC）。時系列の値および縦点線は第14図と同じ、ただし夏季。

- ④館野の昼夜差には、850 hPa 面が正、200・30 hPa 面が負の特徴が見られる。
- ⑤鹿児島島の昼夜差は、館野での特徴が拡大し、850 hPa 面の正と30 hPa 面の負が明瞭である。30 hPa 面の昼夜差には、冬季東向き成分の昼夜差（第15図）で見られた1981年を境とする不連続が見られない。
- ⑥鹿児島島の30 hPa 面における1957年の大きな負偏差は、6月の12UTCの東向き成分が他の年と異なり正であったことによる。
- ⑦30 hPa 面の昼夜差は、冬季東向き成分の昼夜差と同様に稚内よりも鹿児島で大きく、低緯度に向けて増加する傾向が見られる。

4. まとめ

本稿では、気象庁がラジオゾンデの移行時に実施した56型と80型、80型と91型、91型とSGP型の連結比較観測結果についてこれまでの報告から主な特徴を抜粋して紹介した。

観測値の特性については、稚内・館野・鹿児島島の観測資料を用いて気象要素ごとに、年平均値と平年値（高層風の場合は30年平均値）との差および昼夜差の時系列図を例示し、観測方法等の変更および日射による観測値への影響について説明した。高層気象観測資料を使用して長期変化を検討するには次の特性があることに注意して利用する必要がある。



第17図 各年の夏季（6～8月）における高層風の東向き成分の昼夜差の図。時系列の値および縦点線は第15図と同じ、ただし夏季。

(1) 気温観測値の特性

気温観測値の時系列には日射の影響と考えられる観測方法等の変更に対応した変化が見られる。

- ①熱伝導遮断型バイメタル温度計への変更，気温測定値への日射補正の開始と観測時刻の変更に対応した変化は，00UTCの年平均値との差の30・200 hPa面，年平均気温の昼夜差の200 hPa面以高の指定気圧面で見られる。このことから00UTCにおける200 hPa面以高の気温観測値は1957年以前と1958年以後で均質性が乏しい。
- ②吊紐の長さの変更（1968年）による効果は，00UTCの稚内と鹿児島での30 hPa面における年平均値との差の減少，稚内の100 hPa面以高と鹿児島の50 hPa

面以高における昼夜差の減少として明瞭に見られる。館野では15 mの吊紐を用いるエコゾンデ観測を開始した1962年から昼夜差の減少が見られる。

- ③56型から80型への移行に伴う変化は気温の昼夜差の顕著な減少として見られる。56型による観測期間中の昼夜差は，200 hPa面以高において気圧面が高くなるにつれて増大し，00UTCの年平均気温は12UTCより高いことから，56型と80型の不連続は日射の影響が原因と考えられる。
- ④80型から91型への移行に伴う変化は移行時でなく日射補正式を改修した1994年以後の昼夜差に見られ，00UTCの年平均気温は12UTCより低い。
- ⑤12UTCの年平均気温と年平均値との差は稚内と鹿児

島で一部の年を除き $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内で、観測方法等の変更に伴う際立った変化は時系列図に見られない。

- ⑥綾里の気象ロケットゾンデ観測と仙台のレーウィンゾンデ観測による30 hPa 面年平均気温の比較結果は、観測時刻に違いはあるが、80型と91型の観測期間において気温差が小さく年々変動も一致し80型へ移行した後の気温観測値の均質性を実証する。

(2) 湿度観測値の特性

湿度観測値の時系列は、00・12UTCともに、湿度センサが異なる56型・80型・91型による観測期間で明瞭に区分される。

- ①毛髪の圧延処理等による遅れとヒステリシスの改善、毛髪の使用本数の変更と観測時刻の変更に対応した変化は、3地点に共通して、00・12UTCの各指定気圧面の年平均湿度と平年値との差の時系列に見られる。このことから850 hPa 面以高の指定気圧面の湿度観測値は1957年以前と1958年以後の時系列において均質性が乏しい。
- ②56型から80型のカーボン湿度計への移行に伴い年平均湿度と平年値との差は急減して負偏差になった。特に緯度の高い稚内での変化は顕著でカーボン湿度計の低湿が際立ち、平年値との差の時系列には不連続な変化がある。
- ③80型から91型の高分子静電容量変化式湿度計への移行によって年平均湿度は平年値との負偏差が解消し、1999年に新センサへ変更した後正偏差に戻った。この現象は、3地点で、00・12UTCの平年値との差の時系列に見られ、湿度測定値の均質性に疑問がある。
- ④2003年に91型の湿度測定値への適用を開始した温度補正による変化は稚内の平年値との差の時系列に明瞭に見られる。湿度観測値の経年変化を議論する場合は注意が必要である。
- ⑤年平均湿度の昼夜差では3地点に共通した観測方法等の変更に対応した変化が見られず、それぞれ異なった特徴が見られる。稚内の昼夜差は、56型による観測期間に正の年が多く00UTCが高湿で、80型への移行と同時に700・600 hPa 面が負になり12UTCの高湿に転じた。館野の昼夜差は、一部の年を除き負で12UTCが高湿、1994年から12UTCの高湿傾向が増し特に700 hPa 面が顕著である。鹿児島島の昼夜差では特徴的な変化が見られない。

(3) 指定気圧面高度の特性

高度の時系列変化は気温観測値の経年変化に対応

し、年々変動は気温観測値の場合よりも滑らかで観測方法等の変更に対応した変化が明瞭である。

- ①00UTCの30 hPa 面年平均高度と平年値との差（以下「00UTCの平年値との差」と）と30 hPa 面年平均高度の昼夜差（以下「30 hPa 面昼夜差」）および稚内を代表例とする指定気圧面高度の昼夜差（以下「稚内指定気圧面昼夜差」）の200 hPa 面以高は、気温観測値と同様に、1957年以前と1958年以後の時系列において不連続があり、00UTCの年平均高度の均質性が乏しい。

- ②吊紐の長さの変更（1968年）に伴う変化は、稚内と鹿児島における00UTCの平年値との差と30 hPa 面昼夜差および稚内指定気圧面昼夜差の100 hPa 面以高で見られる。館野では、30 hPa 面昼夜差において、エコーゾンデ観測を開始した1962年から吊紐の変更に伴う減少が見られる。

- ③56型から80型への移行によって00UTCの平年値との差は12UTCとほぼ同程度まで減少した。この変化は3地点の30 hPa 面昼夜差と稚内指定気圧面昼夜差の200 hPa 面以高で顕著に見られ、56型と80型の00UTCの年平均高度は連続性が乏しい。

- ④80型から91型への移行に伴う3地点共通の変化は不明であるが、日射補正式が改修された1994年以降の平年値との差は、3地点で負に転じ、12UTCより00UTCの負偏差が増えた。00UTCの高度の低下は、3地点の30 hPa 面昼夜差と稚内指定気圧面昼夜差の200 hPa 面以高で明瞭で、00UTCの年平均高度の均質性について検討を要する。

- ⑤稚内指定気圧面昼夜差の経年変化は、年平均気温の昼夜差と同じ特徴を示し、気温観測値の時系列図より明瞭である。この特徴は本稿で省略した館野と鹿児島島の指定気圧面昼夜差でも同様である。

(4) 高層風の特性

冬季（12～2月）と夏季（6～8月）の東向き成分において、00UTCの各年の平均値とそれぞれの30年平均値との差および各年の平均値の昼夜差の時系列には、観測方法等の変更に対応した変化が不明で、均質性の問題は見られない。本稿では省略したが、12UTCの冬季と夏季の東向き成分および00・12UTCの冬季と夏季の北向き成分にも均質性の問題は見られなかった。

- ①指定気圧面高度の特性で見られた高度変化に対応した変化は、冬季と夏季の年平均東向き成分と昼夜差の時系列に見られない。

第13表 気象庁のラジオゾンデと気象ロケットゾンデによる高層気象観測資料に関する情報。

(1) 気象庁ホームページの気象庁情報カタログ掲載情報

ホーム>各種データ・資料>気象庁情報カタログ>気象>観測・解析/統計>高層気象観測

http://www.jma-net.go.jp/common/cgi-bin/catalogue/make_product_page.cgi?id=KosoKish (2015.8.25閲覧)

情報名	内容	提供期間	提供媒体	提供方法	備考
高層気象観測原簿	<ul style="list-style-type: none"> 国内の高層気象観測実施官署の観測毎の資料 各指定気圧面の高度、気温、相対湿度、風（風向・風速） 気温湿度特異点の気圧（高度）、気温、相対湿度 風特異点の気圧（高度）、風 	1940～1976	その他*1)	閲覧*2)	<ul style="list-style-type: none"> 観測原簿は各観測毎の結果を記録したもので、観測地、観測日時、指定気圧面、気温湿度特異点、風特異点、圏界面、極大風速面等に関する資料をいい、気象庁で永久保存される。
		1940～1990	CD・DVD	閲覧 支援センター*3)	
高層気象観測年報	<ul style="list-style-type: none"> 国内の高層気象観測実施官署、気象観測船、気象ロケット観測所の観測毎の資料 高層気象観測原簿とほぼ同じ内容で、気象ロケット観測の要素は気圧、高度、気温、風、空気密度、音速、落下速度 	1988～2010	CD・DVD	閲覧 支援センター	<ul style="list-style-type: none"> 気象官署で閲覧する場合のCD収録期間は、1988～1990年、1991～1994年、1995年以後2010年まで各年単位である。 気象ロケット観測の期間は1970年8月から2001年3月。
高層気象観測月別累年値	<ul style="list-style-type: none"> 国内の高層気象観測実施官署の月別平均値 各指定気圧面の高度、気温、相対湿度、風、風ベクトル 	1951～1987	CD・DVD	支援センター	
高層気象観測統計値	<ul style="list-style-type: none"> 国内の高層気象観測実施官署の年、月、日ごとの平年値、観測史上1～10位に関する統計値 各指定気圧面の高度、気温、相対湿度、風、風ベクトル 	観測地点により異なる	その他	気象庁 HP*4)	・1回/日更新
				支援センター	・1回/月発行
気象ロケット観測原簿	<ul style="list-style-type: none"> 岩手県気仙郡三陸町綾里の気象ロケット観測所の資料 上空約60 kmまでの気圧、高度、気温、風、空気密度、音速、落下速度、風ベクトル等 	1970/08～2001/03	その他	閲覧	<ul style="list-style-type: none"> 各観測毎の資料で、熱力学的基礎資料、気温特異点資料、指定高度面資料、指定気圧面資料、補助レーウィンゾンデ資料、補足資料で構成される。
気象ロケット30年報	<ul style="list-style-type: none"> 気象ロケット観測開始から終了までの観測毎の資料 各指定気圧面、指定高度面（1 km 毎）および観測点における気圧、高度、気温、風、空気密度、音速、落下速度 	1970/08～2001/03	CD・DVD	閲覧 支援センター	

(2) 気象庁情報カタログに掲載されていない刊行資料

資料名	内容	収録期間	刊行期間/発行年	記録媒体	備考/提供形態
Aerological data of Japan 和文名：高層月報	<ul style="list-style-type: none"> 国内高層気象観測実施官署、気象観測船、気象ロケット観測所の観測毎の資料 掲載資料は高層気象観測年報と同じ 	月毎	1947年7月から1994年12月までの月刊	印刷物	<ul style="list-style-type: none"> 同じ内容の資料は1988～2010年が高層気象観測年報(CD)で刊行、観測地点により開始年は異なるが気象庁HPに掲載(12 UTCの資料は1981年から)。 閲覧
Aerological data of Japan 30-year period averages (1951-1980) 和文名：日本上高層資料30年報 その1 指定気圧面高度・気温・湿度 その2 指定気圧面成分風・風速	<ul style="list-style-type: none"> 国内高層気象観測実施官署、気象ロケット観測所の指定気圧面高度、気温、湿度、指定気圧面成分風、風速の月平均値、1951-1960、1961-1970、1971-1980の各10年平均値と1951-1980の30年平均値、1961-1980の20年平均値等 		1983年7月	印刷物	・閲覧
Aerological data of Japan 30-year period averages (1961-1990) 和文名：日本高層気象資料30年報 1990年統計	<ul style="list-style-type: none"> 国内高層気象観測実施官署の指定気圧面高度、気温、湿度、風速、成分風の月別平年値、高度と気温の月平均値の極値、日別値の極値等 		1991年3月	印刷物	・閲覧
平年値 統計期間 1971～2000年	同上		2001年3月	CD	・閲覧
平年値 統計期間 1981～2010年	同上		2011年3月	CD	・閲覧

*1) 刊行物、HDD、CD・DVD以外の媒体。

*2) 気象庁または気象官署での閲覧による提供。

*3) 一般財団法人気象業務支援センターが利用者の要望に応じてCDまたはDVDで提供。

*4) 気象庁のホームページ [ホーム>各種データ・資料>気象(過去の気象データ検索)>高層の気温、風など]。

- ②館野の冬季と夏季の年平均東向き成分の時系列には、レーウィンゾンデ観測とエコーゾンデ観測の違いによる変化が見られない。
- ③冬季と夏季の年平均東向き成分の30年平均値との差は、極大風速面近傍の200 hPa 面における年々変動が30・850 hPa 面より大きい特徴がある。
- ④冬季の年平均東向き成分の30年平均値との差と昼夜差の年々変動は、夏季より大きい特徴がある。

5. おわりに

気象庁における高層気象観測は、測定精度の改善と観測値の信頼性向上のため幾多の変遷を経た。このためラジオゾンデのセンサや観測方法の変更により、一部の気象要素には蓄積されたデータの性質に不連続が生じていることも事実である。本稿が、高層気象観測値の長期間データを用いたトレンドなど各種解析において諸現象を考察するさいの一情報になれば幸いである。

気象庁がこれまでに実施したラジオゾンデによる高層気象観測の処理過程について理解され、75年を超えて継続されてきた高層気象観測資料が気候変動などの調査研究に利活用されることを切に願う。

気象庁のラジオゾンデによる高層気象観測資料関連情報を第13表に示す。

謝 辞

本稿をまとめるに際し、木津暢彦氏と成田 修氏(気象庁観測部観測課)に観測方法の変更に関する情報の収集でお世話になった。古林絵里子氏(高層気象台)にRS2-91型とRS92-SGP型の比較観測資料を提供していただき、岩渕真海氏(高層気象台)に連結飛揚風景の写真を提供していただいた。また、下道正則氏(元高層気象台長)には原稿の作成に当たり多くの貴重な助言をいただいた。記して感謝の意を表します。

また、不備な原稿を丁寧にご校閲いただき、原稿改善のために貴重なご意見とご指導をくださった査読者および担当編集委員の方々に深謝申し上げます。

参 考 文 献

- 阿部豊雄, 2015: 気象庁における高層気象観測の変遷と観測値の特性 第1部 高層気象観測の変遷. 天気, 62, 161-185.
- Angell, J. K., 1988: Variations and trends in tropo-

- spheric and stratospheric global temperatures, 1958-87. J. Climate, 1, 1296-1313.
- 鎌田吉博, 藤田 建, 日野原正己, 澁江 昇, 川江 訓, 2002: 気球後流が観測に及ぼす影響に関する調査(第一報). 高層気象台彙報, (62), 17-26.
- 観測部観測課, 2005: 気象ロケット観測30年の記録. 測候時報, 72, 81-191.
- 観測部高層課, 1983: RS2-80型とRS II-56型レーウィンゾンデの比較観測について. 測候時報, 50, 373-384.
- 気象庁, 1973: 高層気象常用表.
- 気象庁, 1983: 日本上高層資料30年報 (Aerological data of Japan 30-year period averages (1951-1980)).
- 気象庁, 2004: 高層気象観測指針2004.
- 気象庁, 2015: 気象観測統計の解説. <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/kaisetu/index.html> (2015.8.27閲覧).
- 気象庁観測部, 1994: 平成6年度高層気象技術打合せ会資料.
- 北岡龍海, 松山外喜男, 1955: ラジオゾンデS50LとRS52Mの精度について. 研究時報, 7, 16-33.
- 古林絵里子, 2014: RS2-91型レーウィンゾンデとRS92-SGPJ型GPSゾンデの比較観測と検証結果. 気象研究ノート, (229), 27-36.
- Kobayashi, E., Y. Noto, S. Wakino, H. Yoshii, T. Ohyoshi, S. Saito and Y. Baba, 2012: Comparison of Meisei RS2-91 rawinsondes and Vaisala RS92-SGP radiosondes at Tateno for the data continuity for climatic data analysis. J. Meteor. Soc. Japan, 90, 923-945.
- Kobayashi, J., 1960: Investigations on hygrometry. Pap. Meteor. Geophys., 11, 213-338.
- 小林壽太郎, 2007: ゾンデ開発の余韻—湿度とオゾンの計測—. 気象研究ノート, (213), 111-116.
- 高層気象台, 2011: 明星電気RS2-91型レーウィンゾンデとヴァイサラRS92-SGP型GPSゾンデの相互比較試験観測と検証結果. 測候時報, 78, 221-257.
- Newell, R. E., 1970: Stratospheric temperature change from the Mt. Agung volcanic eruption of 1963. J. Atmos. Sci., 27, 977-978.
- 能登美之, 2014: ラジオゾンデ相互比較観測の意義. 気象研究ノート, (229), 21-27.
- Sakazaki, T., M. Fujiwara, X. Zhang, M. E. Hagan and J. M. Forbes, 2012: Diurnal tides from the troposphere to the lower mesosphere as deduced from TIMED/SABER satellite data and six global reanalysis data sets. J. Geophys. Res., 117, D13108, doi:10.1029/2011JD017117.
- 迫田優一, 永沼啓治, 荻原裕之, 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.
- Shimizu, K. and F. Hasebe, 2010: Fast-response high-resolution temperature sonde aimed at contamination-free profile observations. *Atmos. Meas. Tech.*, **3**, 1673-1681.
- 鈴木 茂, 旭 満, 1978: ラジオゾンデのつりひもの長さの変化における日射の気温測定に及ぼす影響. *研究時報*, **30**, 93-97.
- Tiefenau, H. K. E. and A. Gebbeken, 1989: Influence of meteorological balloons on temperature measurements with radiosondes: Nighttime cooling and daytime heating. *J. Atmos. Ocean. Technol.*, **6**, 36-42.
- 上里 至, 伊藤智志, 熊本真理子, 茂林良道, 中村雅道, 2008: ラジオゾンデの歴史的変遷を考慮した気温トレンド (第1報). *高層気象台彙報*, (68), 15-22.
- WMO, 2008: Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. 2008 edition, ANNEX 12. A. Updated in 2010 (WMO-No.8), 1.12-34. <http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/CIMO-Guide.html> (2015.4.25閲覧).
- Yagi, S., A. Mita and N. Inoue, 1996: WMO International Radiosonde Comparison —Phase IV—, Tsukuba, Japan, 15 February-12 March 1993, Final Report. WMO/TD-No.742. Instruments and Observing Methods Report No.59. World Meteorological Organization, Geneva, 130pp.

The Historical Changes of Upper-air Observation and the Characteristics of
Aerological Data at Japan Meteorological Agency.
Part 2 The Characteristics of the Aerological Data

Toyoo ABE

Higashiome 4-14-13, Ome-shi, Tokyo 198-0042, Japan.

(Received 27 January 2015; Accepted 15 February 2016)
