



羽田空港

WEATHER TOPICS



定期号

通巻 第 62 号

2016 年 (平成 28 年)

6 月 30 日

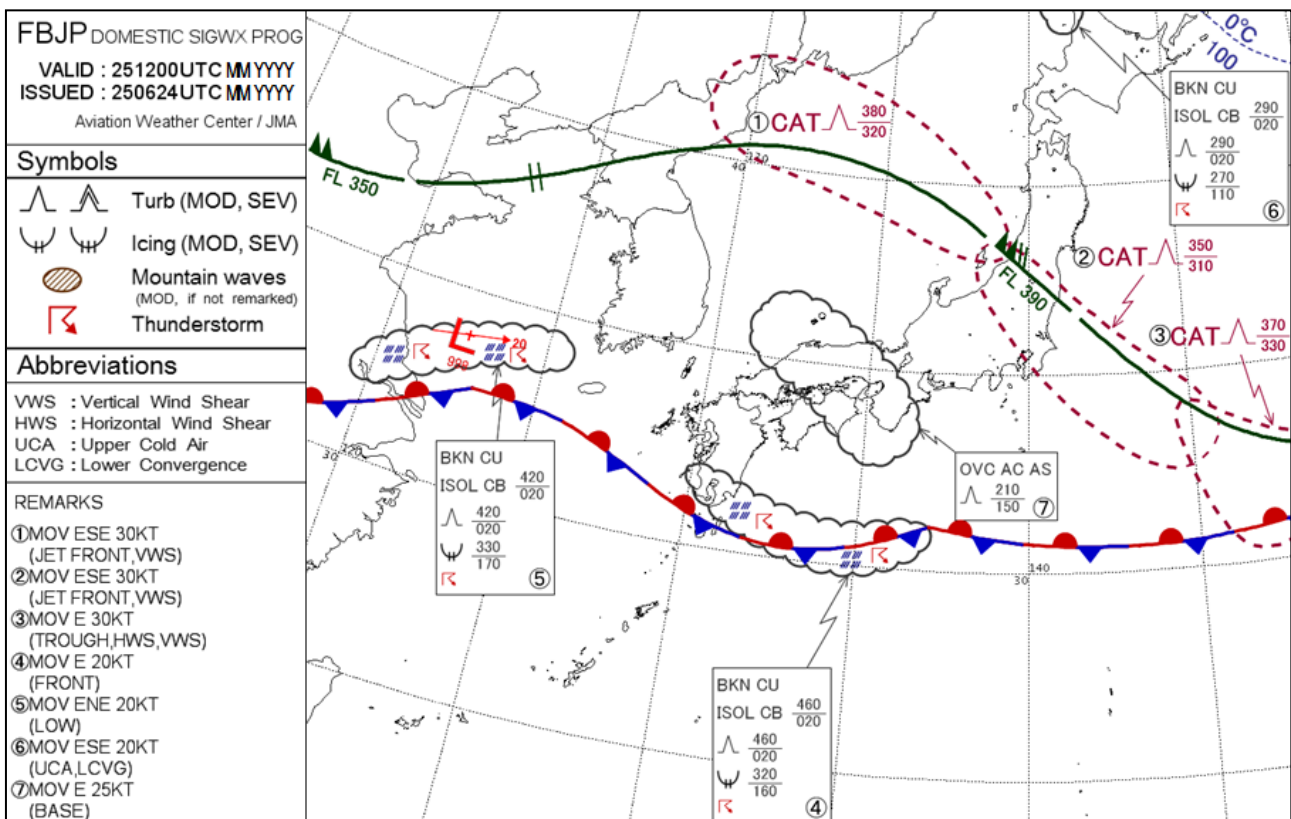
発行

東京航空地方気象台

中層雲の雲底付近で発生する乱気流

1. はじめに

気象庁は、国内や日本周辺の空域におけるジェット気流、CAT(晴天乱気流)や山岳波、積乱雲等によるMOD(並)以上の乱気流域等の悪天について、おおむね6時間先を予想する国内悪天予想図(以下、FBJP)や実況を解析した国内悪天解析図(以下、ABJP)などを提供しています。第1図は、気象庁が発表したある日のFBJPの一部を切り出した図です。第1図の中で日本海～関東～日本の東にかけての①～③のえんじ色の破線はCAT、九州南部～紀伊半島沖の④及び黄海の⑤の雲型オブジェクトは積乱雲や積雲による雲中乱気流、そして西日本の⑦の雲型オブジェクトが中層雲の雲底付近で発生する乱気流(以下、中層雲雲底乱気流)の予想域です。FBJPにおいて中層雲雲底乱気流の予想域は、雲量/雲形「OVC AC AS」と乱気流の予想強度と高度を記した雲型オブジェクトで表現され、REMARKSの括弧内の発生場所には雲底を示す「BASE」(図中の赤線部分)と表記されます。



第 1 図 国内悪天予想図(FBJP)の例

(注)一部を切り出して、加工してあります

2. 中層雲雲底乱気流の発生メカニズム

中層雲雲底乱気流は、CATの主因であるケルビン・ヘルムホルツ(K-H)波(参照:「[羽田空港 WEATHER TOPICS 第25号](#)」)や対流雲中の上昇・下降気流とは異なる要因で発生していると考えられています。第2図は、中層雲雲底乱気流の発生メカニズムを示した図です。まず、中層雲雲底乱気流の発生条件は(1)厚い中層雲が存在すること、(2)中層雲の雲中・雲底の気温が0℃以下であること、そして(3)中層雲の下の大気が乾燥していることです。

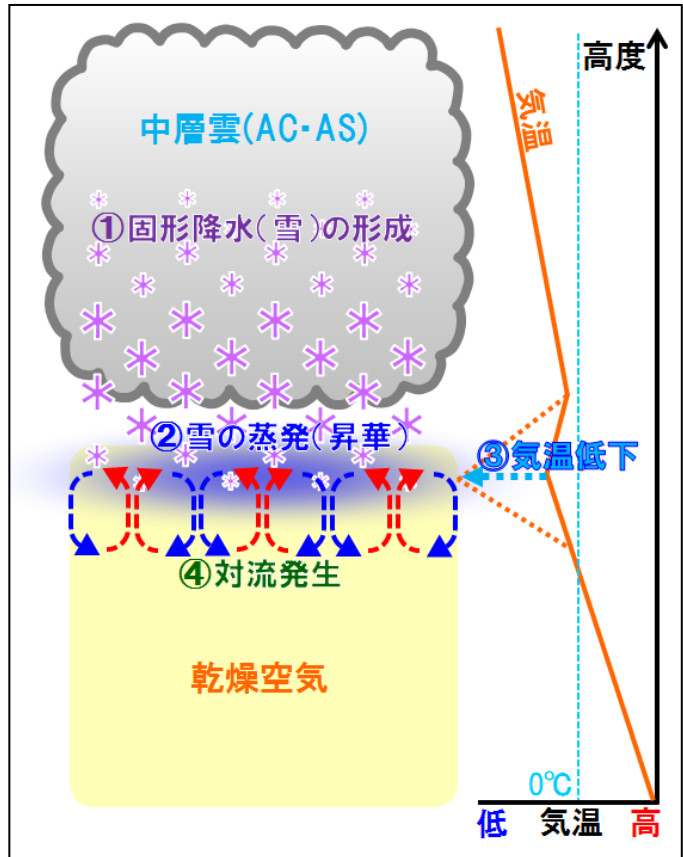
これらのうち条件(1)・(2)により、中層雲の中で固形降水(雪)が形成されて落下します(第2図①)。そして、条件(3)により雪は雲底下で蒸発(昇華)します(同②)。雪は昇華する際にまわりの空気から熱を奪うため、気温が低下します(同③)。雪は落下速度が遅いため雲底下のほぼ同じ高度で昇華が繰り返され、空気の冷却が進みます。気温の低下は空気の密度の増加、つまり空気が重くなることを意味します。重くなった空気は下降し、下層の相対的に暖かい空気と入れ替わるため、対流が発生します(同④)。この対流が中層雲雲底乱気流を引き起こすと考えられおり、この対流の存在はレーダーによる観測や精緻な数値シミュレーションでも確認及び再現されています。

さて、第2図において中層雲の雲底付近は、気温が下層で低く、上層で高い逆転(安定)層となっています。これは、厚い中層雲は暖気が寒気の上に乗る上げる温暖前線面上に形成されることが多いためです。また、条件(2)に絡んで、もし中層雲中・雲底の気温が0℃以上で中層雲からの降水が雨の場合、雨の落下速度は速いため雲底下の空気が十分に冷却されません。その結果、上下の空気の対流は起こりにくいと考えられます。

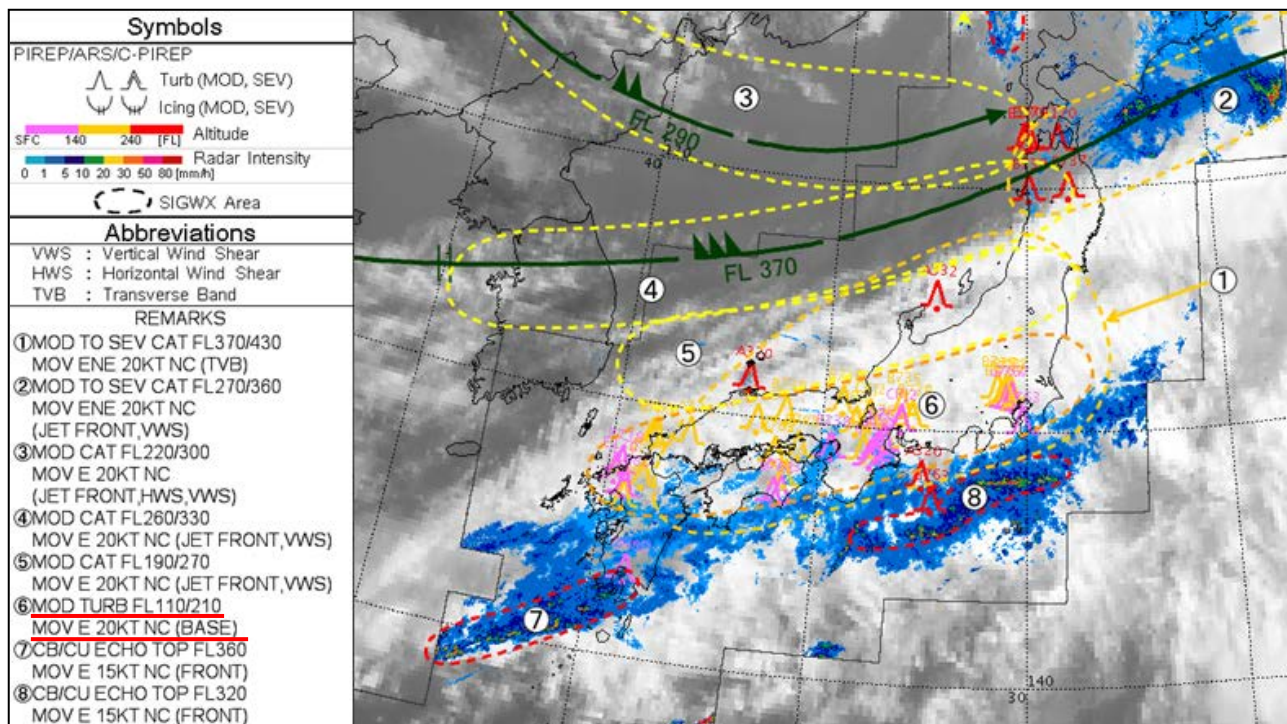
3. 事例紹介

第3図は、2015年6月9日06UTCのABJPの一部を切り出した図です。ABJPはジェット気流、CAT・乱気流域、積乱雲を含む対流雲域等の実況解析に、衛星赤外面像、レーダーエコー、前1時間のMOD(並)以上の乱気流及び着氷観測を重ねた解析図です。第3図において九州北部～関東の濃い橙色の破線領域⑥に対するREMARKS(図中の赤線部分)には、MOD TURB FL110/210(BASE)と記述されており、中層雲雲底乱気流が解析されています。⑥の領域では桃色及び黄色(SFC:地表～FL240)のMODの航空機からの乱気流観測が多数プロットされています。⑥の領域は雲に覆われているものの、積乱雲域(赤破線)である⑦や⑧の様な目立ったレーダーエコーはありません。

第4図は、同日12UTCの館野(茨城県つくば市)の高層気象観測値をプロットした図(エマグラム)です。20,000～35,000ft付近は気温と露点温度に差のない湿潤域で雲中だったと考えられます。逆に、その下の8,000～20,000ft付近は気温と露点温度の差が大きい乾燥域となっています。そして、湿潤域の気温は0℃以下となっており、先に述べた中層雲雲底乱気流の発生条件(1)～(3)を満たしています。さらに、湿潤域の下限22,000ft(雲底)付近



第2図 中層雲雲底乱気流の発生メカニズムの模式図



第3図 2015年6月9日06UTCの国内悪天解析図(ABJP)

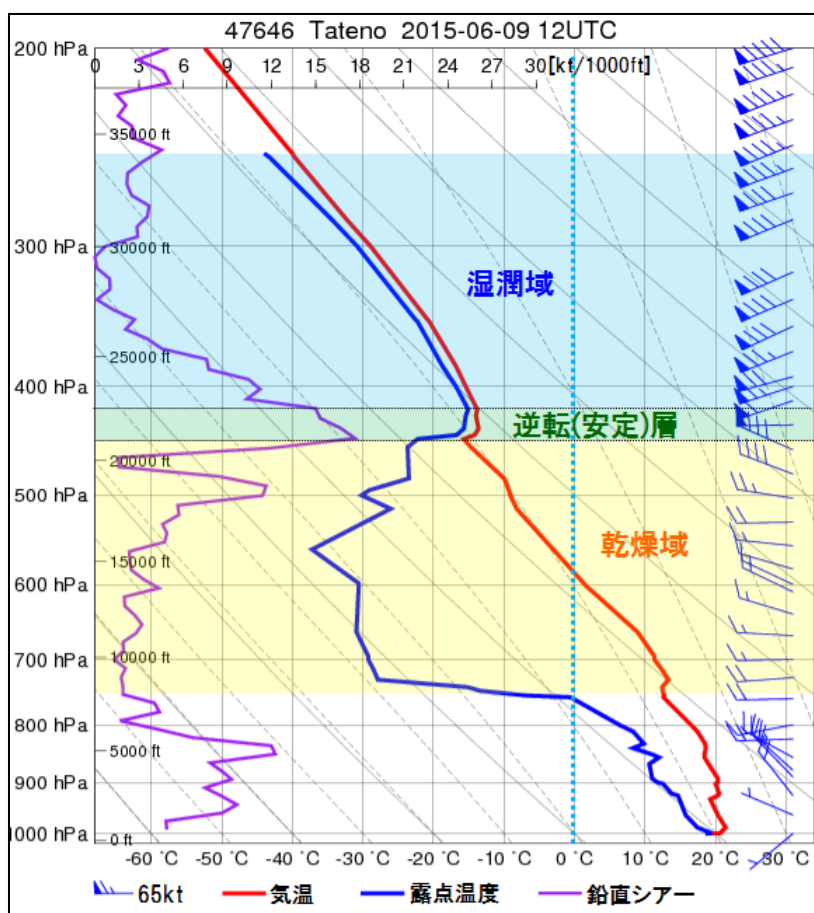
(注)一部を切り出して、加工してあります。

は逆転層となっており、第2図の気温のプロファイルと矛盾しません。この逆転層は南西風と西風の境界で、鉛直シア（以下、VWS:Vertical Wind Shear）が大きくなっており(18kt/1,000ft程度)、この逆転層は第3図において日本海を走向する高度FL370のジェット気流のジェット前線面に対応しています。

第5図は、同日03UTC～12UTCの羽田空港(RJTT)を中心とした緯度経度0.5°以内(第5図の右上の図の赤枠に対応)の航空機観測(気温と風)とMOD以上の乱気流観測をプロットした時系列図です。ジェット前線面は、第4図の館野のエマグラムでも見られるように南西風と西北西風の境界でVWSの大きい20,000ft付近(18kt/1,000ft程度)にあると考えられます。

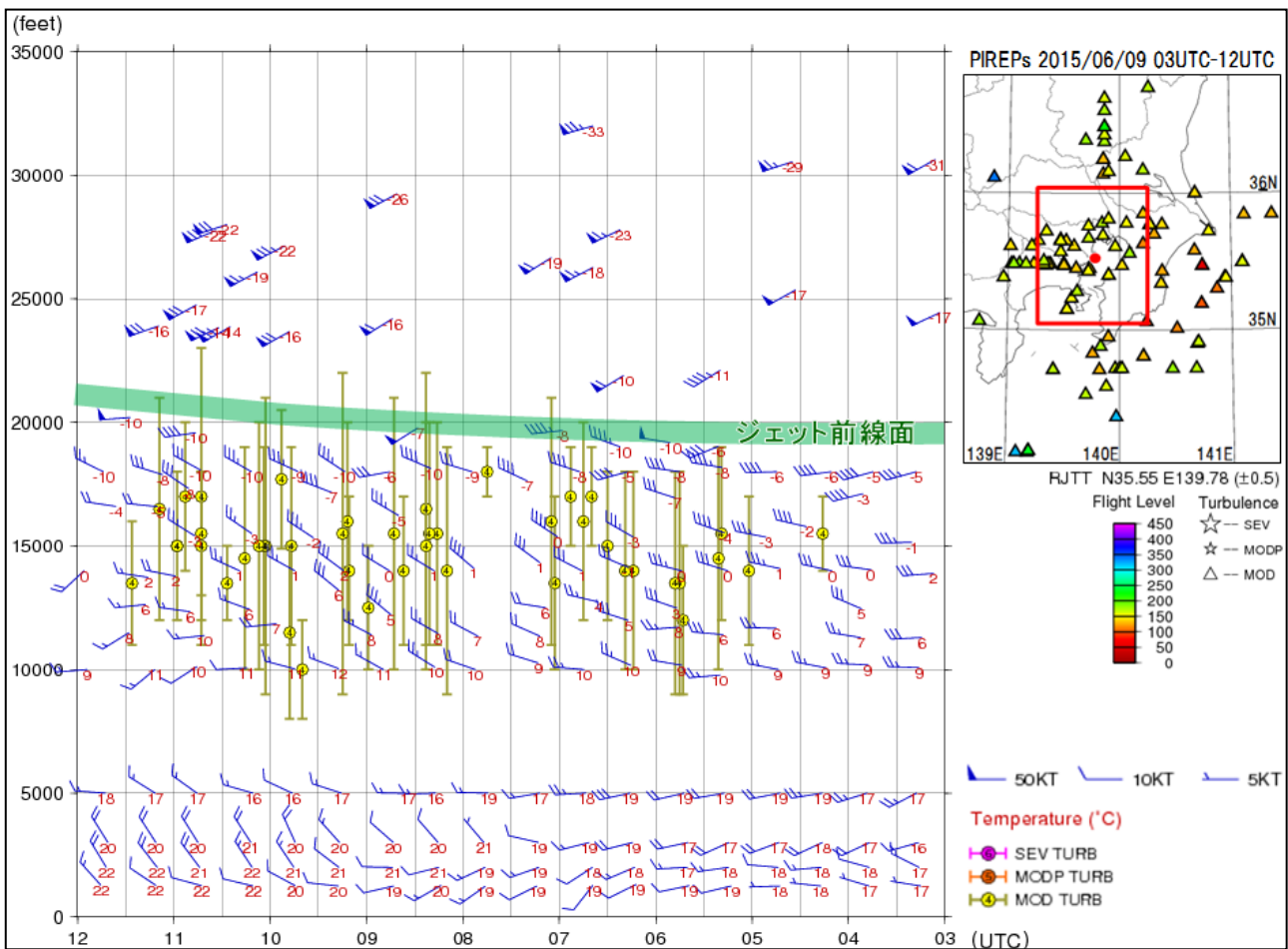
航空機からのMOD以上の乱気流観測は、VWSの大きい

20,000ft付近ではなく、その下のVWSの小さい10,000～20,000ft付近でも発生しており、VWS(18kt/1,000ft程度)の高度と乱気流の発生高度の対応は良くありません。これは、ジ



第4図 2015年6月9日12UTCの館野のエマグラム

ジェット前線面内で生じる CAT と中層雲雲底乱気流が全く異なるメカニズムで発生することを裏付けていると言えます。



第5図 2015年6月9日03UTC～12UTCのRJTT $\pm$ 0.5° 以内の航空機自動観測とMOD以上の乱気流上図作成にあたり日本航空(株)及び全日本空輸(株)の航空機自動観測データを使用した。

4. 最後に

中層雲雲底乱気流の発生に不可欠な厚い中層雲は暖湿気の流入が活発な春季～梅雨及び秋季に多く発生します。また、その発生メカニズムから中層雲からの雪(降水)は雲底下で昇華してしまうため、地上には達しません。第1図のFBJPにおいて中層雲雲底乱気流を予想したOVC AC ASの雲型オブジェクトに雨や雪マークの表記がないのはそのためです。そして、中層雲雲底乱気流は、VWSの大小に関係なく発生することに注意が必要です。ただし、厚い中層雲の雲底は温暖前線面、つまりジェット前線面に対応することが多いため、そのジェット前線面でVWSが大きい場合があります。そのような場合、ジェット前線面にあたる雲底付近ではCAT、雲底の下では中層雲雲底乱気流が同時に発生すると推測されます。FBJPの中層雲雲底乱気流に対するREMARKSのコメントに「BASE,VWS」と記述があった場合は、CATと中層雲雲底乱気流の両方を予想していることになります。

本稿を通して、中層雲雲底乱気流の発生メカニズムや特徴を知って頂くとともに、気象庁の提供するFBJPやABJPを活用して頂くことで、航空機の安全運航の一助となれば幸いです。

(東京航空地方気象台予報課)

発行 東京航空地方気象台
〒144-0041
東京都大田区
羽田空港 3-3-1

航空気象観測月表

官署名 東京航空地方気象台

地点略号 RJTT

2016 年 05 月

日/要素	平均気圧		気温			相対湿度		最大風速		最大瞬間風速		降水量			降雪の 深さの 合計 cm	積雪の 深さ 09h cm	大気現象
	飛行場 現地 ×0.1hPa	海面 ×0.1hPa	平均 ×0.1℃	最高 ×0.1℃	最低 ×0.1℃	平均 %	最小 %	風向 36 方位	風速 kt	風向 36 方位	風速 kt	合計 ×0.1mm	最大 1時間 ×0.1mm	最大 10分間 ×0.1mm			
1	10117	10128	175	239	126	71	45	170	16	170	21	-	-	-			
2	10196	10208	168	199	138	83	70	50	14	50	16	-	-	-			=
3	10163	10174	198	240	158	83	62	190	25	170	32	-	-	-			
4	10026	10037	217	260	187	61	27	180	36	170	45	130	95	40			☇=
5	10085	10096	223	265	189	41	21	220	21	210	26	-	-	-			
6	10158	10170	186	209	166	67	40	190	15	180	20	25	10	5			●
7	10059	10070	204	235	173	70	47	180	26	180	40	0	0	0			●☇
8	10148	10159	209	258	182	51	19	190	21	190	29	-	-	-			
9	10160	10171	185	218	162	84	58	160	15	170	19	170	40	10			●=
10	10065	10076	190	220	166	93	77	90	17	100	20	55	25	5			●☇=
11	9992	10003	222	262	181	84	71	190	33	200	44	75	50	15			☇=
12	10124	10135	214	261	176	62	33	180	15	360	20	-	-	-			
13	10180	10191	210	256	170	70	29	200	16	190	22	-	-	-			
14	10217	10228	196	226	150	71	56	50	19	60	23	-	-	-			
15	10208	10219	172	213	134	74	56	50	16	50	19	-	-	-			
16	10139	10150	194	238	153	74	54	180	23	170	30	-	-	-			
17	10107	10118	190	211	159	93	76	180	21	170	29	255	75	30			☇=
18	10169	10180	198	240	155	59	33	70	20	70	22	-	-	-			=
19	10198	10209	194	226	161	55	37	50	22	50	27	-	-	-			
20	10195	10206	172	195	154	70	57	30	15	30	18	-	-	-			
21	10160	10171	189	239	144	70	47	60	21	60	24	0	0	0			☇
22	10154	10165	220	277	180	62	31	90	17	20	21	-	-	-			
23	10132	10143	236	295	177	48	30	190	12	180	18	-	-	-			
24	10125	10136	233	284	199	60	32	190	22	170	31	-	-	-			
25	10130	10140	217	240	202	81	65	180	25	180	31	0	0	0			☇
26	10104	10115	226	260	204	83	69	180	21	170	28	0	0	0			☇=
27	10078	10089	198	228	176	91	82	50	26	40	30	265	80	25			☇=
28	10078	10088	198	229	168	81	62	190	13	170	19	-	-	-			=
29	10070	10081	220	268	177	78	57	200	16	190	23	0	0	0			●=
30	10061	10072	180	219	163	90	82	30	18	30	21	215	65	20			●☇=
31	10034	10045	204	248	171	82	64	180	20	170	29	0	0	0			●

上旬	10118	10129	196	234	165	70						380					
中旬	10153	10164	196	233	159	71						330					
下旬	10102	10113	211	253	178	75						480					
月	10124	10135	201	241	168	72						1190					
極値				295	126		19	180	36	170	45	265	95	40			
起日				23	1		8		4		4	27	4	4			

気温 日数 ℃							最大風速階級別日数 kt				日降水量階級別日数 mm								降雪の深さの日合計階級別日数 cm					
日最低 <0.0	日平均 <0.0	日最高 <0.0	日最低 >=25.0	日平均 >=25.0	日最高 >=25.0	日最高 >=30.0	>=20	>=30	>=40	>=50	>=0.0	>=1.0	>=5.0	>=10.0	>=30.0	>=50.0	>=70.0	>=100.0	>=0	>=5	>=10	>=20	>=50	>=100
0	0	0	0	0	11	0	16	2	0	0	14	8	7	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

日最深積雪階級別 日数 cm							視程継続時間 分			RVR継続時間 分						最低雲高継続時間 分						大気現象出現日数			
>=0	>=5	>=10	>=20	>=50	>=100	>=200	m <5000	m <3200	m <1600	m <1600	m <800	m <600	m <400	m <200	m <100	ft <1500	ft <1000	ft <500	ft <300	ft <200	ft <100	雷	霧	雪	
0	0	0	0	0	0	0	1508	768	159	42	0	0	0	0	0	3232	1921	509	57	0	0	0	0	1	0

特記事項	26日 08AMOS 3ヶ月点検のため、10:03～10:28の気圧、気温、露点温度、相対湿度は欠測。