

## 平成15・16年度気象講演会開催報告

講演会担当幹事 綱藏 真  
(財団法人 日本気象協会北海道支社)

### ■平成15年度(旭川市)

平成15年度の気象講演会は、防災を主題として、旭川地方気象台の防災気象講演会との共催により旭川市で開催した。テーマは「旭川市周辺の自然災害と気象」で、火山災害への備え、大雨の事例、はるか中国から北海道に飛んでくる黄砂について講演が行われた。

この中で、火山災害や大雨災害を防ぐには予知や予測も大事ではあるが、各関係機関や住民の連携が最も重要であるということが強く語られ、人のネットワークの大切をあらためて痛感した。また、火山噴火予知は特定の火山を除いて困難であること、一般に気象災害が少ないと思われている旭川でも大雨災害があることが指摘された。

雄大でミクロな話題は黄砂であった。衛星写真には黄砂が中国内陸で発生し日本海を渡って北海道を通り過ぎ、黄土色の雲が墨絵のように太平洋まで拡がっている様子が一目瞭然であった。北海道では冬季に黄砂の降った跡が積雪断面に縞状に残り履歴が分かるということで、身近な雪の中の気付かない点を教えられた。

日時：平成15年10月24日（金）13時30分～17時00分

場所：旭川市民文化会館

参加者：141人

講演：テーマ「旭川市周辺の自然災害と気象」

(1) 「道北地方で観測された黄砂粒子について」

櫻井 兼市（道都大学 経営学部教授、北海道教育大学名誉教授）

(2) 「北海道の活火山：噴火予測はどこまで可能か」

宇井 忠英（北海道大学大学院 理学研究科教授）

(3) 「上川・留萌地方の大雨について」

加賀 俊博（旭川地方気象台 技術課予報官）

共催：旭川地方気象台

後援：旭川市、旭川市教育委員会、NHK旭川放送局、北海道新聞旭川支社

日本気象協会旭川支店

### ■平成16年度(千歳市)

平成16年度の気象講演会は、テーマを「風と私たちの生活」として千歳市で開催した。この年の9月8日は台風第18号の猛烈な暴風が北海道を吹き荒れ、札幌などでは瞬間風速が50mを超えて各地に甚大な被害を与えたが、風を主題にしたことは空港という視点からでまったくの偶然であった。講演は、航空気象について空を飛ぶ立場と地上から監視する立場からの話題と風力発電の現状と展望について行われた。

普段何気なく雲を下から見上げているが、コックピットからパイロットの眼で見た雲は安全に空を飛ぶための情報源であること、一方、雲がない青空にも異常気流という危険が隠れていることなどがよく分かった。また、地上の新千歳空港では、離着陸の気象

監視にドップラーレーダーが活躍しており、マイクロバーストという異常な速さの下降気流を捉えることが説明された。

温暖化対策のひとつである風力発電は、日本でも最近は急速に導入されているが、欧米に比べてまだまだ遅れているということであった。しかし、風力エネルギーに対する世間の関心は高まっており、日本独自技術も進歩しつつあるということで、今後の展開が楽しみである。

日時：平成16年10月23日（土）13時30分～16時30分

場所：千歳市民文化センター

参加者：134人

講演：テーマ「風と私たちの生活」

(1) 「パイロットの眼から見た気象」

花田 孝順（日本航空機操縦士協会 北海道支部長）

(2) 「航空機の安全を守る気象監視と予測」

菅谷 重平（新千歳航空測候所 観測課技術専門官）

(3) 「風力エネルギーの展望」

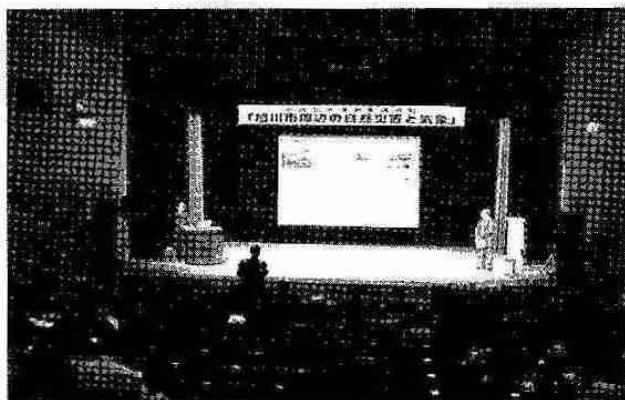
松宮 煉（九州大学大学院 工学研究院教授）

後援：千歳市、千歳市教育委員会、千歳民報社、北海道、NHK札幌放送局

北海道新聞社、日本気象協会北海道支社、新千歳航空測候所、札幌管区気象台

両気象講演会はともに参加者数が140名前後に達し、とても多くの方に集まって頂いた。講演では身近にある気象の見落としがちな点を気付かされたことから、多くの質問が出されて気象への関心の高さが実感された。

今回も盛況のもとに無事終えることができ、参加頂いた方々や講師の方々含めて関係各位に深く感謝する。



平成15年旭川市での講演会風景



平成16年千歳市での講演会風景

## 道北地方で観測された黄砂粒子について

道都大学経営学部 櫻井兼市  
(前北海道教育大学旭川校)

### 1 はじめに

中国の砂漠地帯または黄土地域を発生源とする黄砂粒子が、しばしば北海道に飛来するようになってきました。これまで黄砂は主に西日本で観測されることが多く、3月、4月の季節を代表する気象現象となっています。一方、北海道には、これまで黄砂の輸送ルートから外れていたため、顕著な黄砂現象は観測されることはありませんでした。しかし、この数年、輸送ルートが北に移動したことで北海道においても高濃度の黄砂が観測されるようになり、新聞テレビなどで報道されました。例えば、1999年2月18日早朝に降った黄砂は北海道の広い地域で積雪中に茶褐色の縞模様を残しました。また、2002年3月、4月には、高濃度の黄砂が旭川をはじめ全道各地で観測され話題となりました。

黄砂粒子の生成は中国の乾燥地帯で発生する砂嵐が原因です。タクマラカン砂漠、ゴビ砂漠、黄土地帯では2月から4月にかけて、低気圧の発達と共に強風が吹き、砂塵を巻き上げます。そして、それらの砂塵粒子即ち黄砂粒子が上空の偏西風に乗り日本に運ばれてきます。

黄砂粒子は日本の気象現象に重要な役割をしています。特に、冬季日本海上の雪雲中に形成する雪結晶の核(氷晶核)として働きます。シベリアから吹き出した寒気が日本海上を渡って来る間に、海面から熱と水蒸気が補給され、雲が形成します。それが日本に近づく従って発達し、雲内で氷晶核の働きで雪が出来ます。雪結晶の中心にある粒子を調べると、多くが土壤粒子であることが分かってきました。

今回は留萌、旭川そして大雪山で採取された黄砂粒子の大きさ、形状、組成と氷晶核としての能力について報告します。

### 2 旭川での黄砂の観測

先に記したように、昨年3月22日旭川において高濃度の黄砂が観測され、午前9時に視程が1.5kmまで低下しました。このような顕著な黄砂は近年に例を見ません。表1に昨年3月5日、22日及び4月9日の旭川地方気象台の黄砂の観測記録を示します。

表1、1999年2月と2002年3月、4月の黄砂の観測結果

	観測日時	備考
1999年	2月 18日	積雪に茶褐色層
2002年	3月 5日	積雪に着色
	3月 22日	黄砂 最低視程 1.5km
	4月 9日～11日	黄砂 最低視程 3.0km
	15日	黄砂 最低視程 15km
	18日	黄砂 最低視程 10km

過去5年の間、旭川では2002年まで黄砂としての記録はありません。黄砂を含んだ気塊は、偏西風により中国大陸から西日本に流れてくるのが例年のコースです。従って、九州、中国地方で黄砂を観測する頻度が高くなります。

一方、北海道はこのコースから外れているため、顕著な黄砂現象は観測されていませんが、黄砂を含んだ気塊の端がかかったとき、積雪を着色させる程度の黄砂粒子が確認されます。それが、1999年2月18日、及び2002年3月5日のケースです。

2002年3月22日、4月の黄砂は、粒子を含んだ気塊の移流ルートが北に偏り、高濃度の部分が北海道を通過しました。それで、旭川での最低視程がそれぞれ1.5km、3kmまで低下しました。

### 3 黄砂粒子の粒径、形状及び組成

これまで、旭川、留萌と大雪山で採取された黄砂粒子の粒径分布を図1に示します。

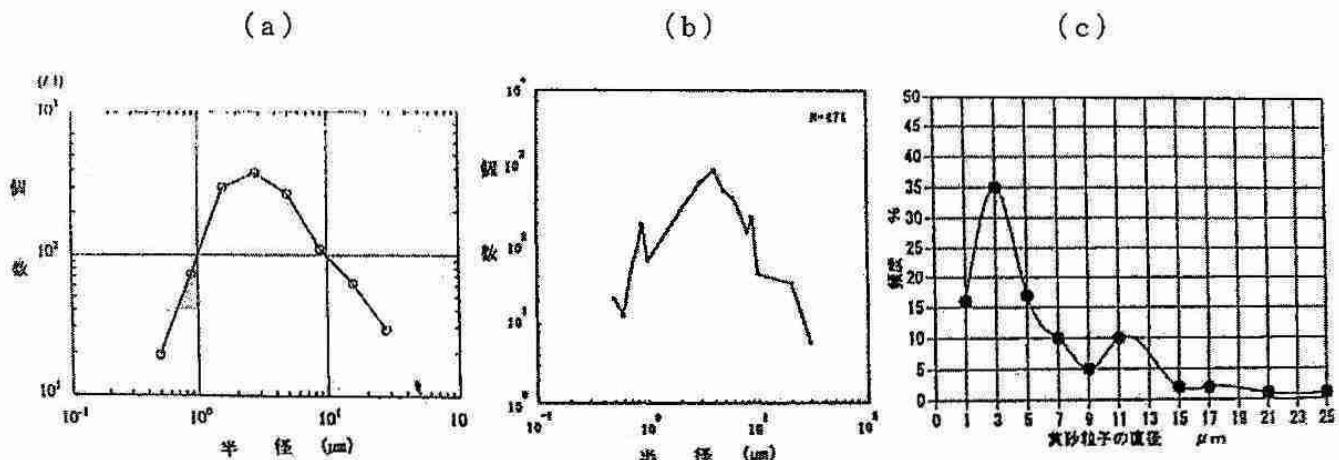


図1 黄砂粒子の粒径分布 (a) 留萌、(b) 勇駒別、(c) 旭川

黄砂の形は千差万別ですから、その大きさを求めることは難しいのですが、近似として電子顕微鏡写真の長径と短径の平均値から粒子の大きさを求めました。北海道に飛来する黄砂粒子の最大頻度の大きさは直径で3~5 μm (1 μmは1,000分の1mm)です。なお、大雪山の粒径分布は積雪中の粒子のですから粒子同士の付着等があり、最大頻度を示す半径が大きいほうにシフトしています。

黄砂粒子の走査型電子顕微鏡(SEM)写真を図2に示します。前述したように、粒子は多種多様な形状をしています。従って、形から粒子の種類を特定することは困難です。この図の下のスペクトルはX線マイクロアナライザ(EDX)による、粒子から射出された特性X線スペクトルです。EDX解析により粒子の組成を確認できます。

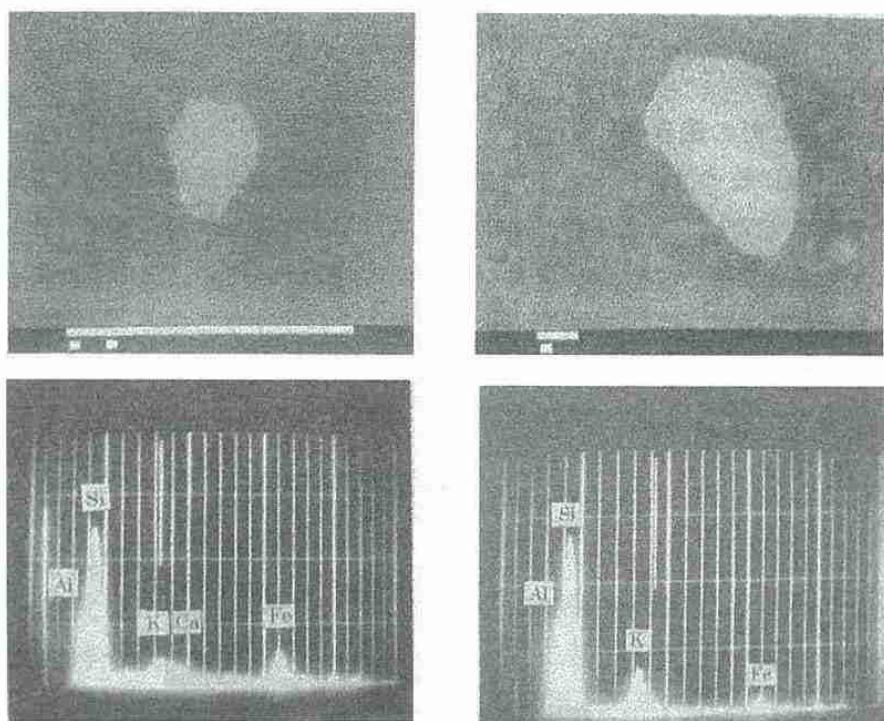


図2 黄砂粒子のSEM像（上）とEDX解析（下）

黄砂粒子の殆どは、Al(アルミニウム)とSi(ケイ素)を主成分とする粘土鉱物です。それ以外の元素(例えば、鉄、マグネシウム、カルシウム、カリウム等)の存在量の違いにより、黄砂粒子には多くの種類の粘土鉱物が含まれていることが知られています。ただ、黄砂粒子の大きさが数 $\mu\text{m}$ ですからEDX解析による種類の特定には限界があります。昨年3月5日(ケース1、積雪が着色)と3月22日(ケース2、視程が1.5kmに低下)の黄砂粒子に含まれている元素の組み合わせとその粒子の全体の粒子数に対する割合を表2に示します。

表2 ケース1とケース2の粒子に含まれる元素の組み合わせとその割合

	ケース1	ケース2
1 Al, Si	15%	11%
2 Al, Si, K, Fe	6%	49%
3 Al, Si, K, Ca, Fe	27%	20%
4 Al, Si, K, Ti, Fe	8%	4%
5 Al, Si, K, Ca, Ti, Fe		2%
6 Si	17%	5%
7 Si, Ca		5%
8 Si, Ca, Fe		4%
9 Al, Si, Ca, Fe	10%	
10 Al, Si, K	4%	
11 Al, Si, Fe	2%	
12 Si, K	2%	
13 Si, Fe	2%	
14 Fe	2%	
15 Fe, Cu	2%	
16 Ca	2%	
	99%	100%

この表からケース 1 では 3 番の組成を持つ粒子が全体の 27%を占めていますが、その他の多様な組み合わせの粒子も含まれています。一方、ケース 2 では 2 番の組成を持つ粒子が 49%を占め、比較的一様な黄砂粒子から成っていたことが分ります。

#### 4 黄砂粒子の氷晶核としての働き

中国大陆から飛来する黄砂粒子は、冬季日本海上の雪雲内で雪結晶を形成させる氷晶核として働きます。氷晶核としての能力は温度に依存します。図 3 は旭川と留萌でフィルター上に採取した粒子の SEM-EDX 解析例と、粒子の氷晶核としての温度スペクトルです。この図から、-15°C で働く粒子は 1000 個当たり 0.3 個、-20°C で 4 個であることが分かります。この値は黄砂粒子を実験室で活性化させた値とほぼ一致しています。

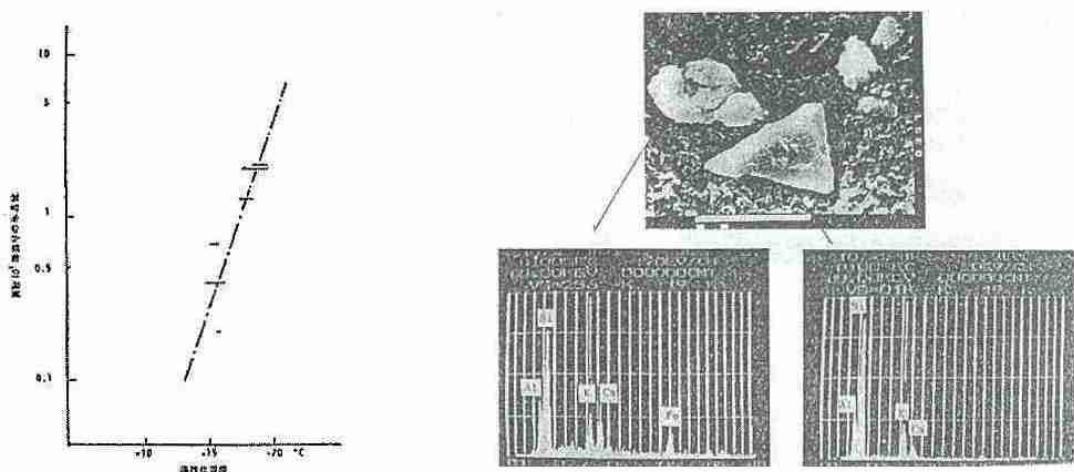


図 3 黄砂粒子の温度スペクトル（左）と粒子の SEM-EDX 解析（右）

更に、最近黄砂粒子が日本海上を渡って来る途中で、海塩粒子と衝突・併合し混合粒子を形成することが明らかになってきました。この混合粒子は雲粒を作る凝結核としても働きますから、雪雲を形成する上で重要な役割を担っているといえます。その例を図 4 に示します。

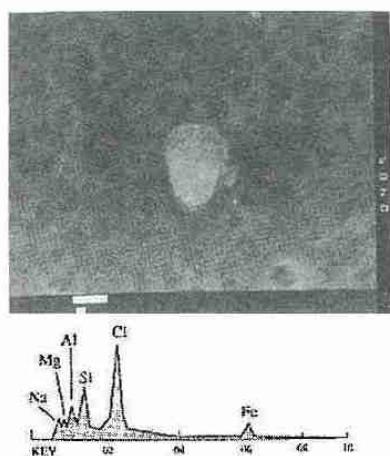


図 4 混合粒子の SEM-EDX 解析

黄砂粒子は中国の乾燥地帯で大気中に放出され、偏西風に乗って日本にまで運ばれてきます。日本で「黄砂」として観測されるのは、高濃度の粒子を含んだ気塊が到達したときです。しかし、その他の時にも低濃度の黄砂が飛来していると考えられます。また、粒子は上空の西風により、地球を周回していると思われます。

## 北海道の活火山：噴火予測はどこまで可能か

北海道大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻  
宇井忠英

有珠山の2000年噴火は事前に気象庁が噴火予知情報を流した最初の事例である。そして一人の犠牲者も出さずに噴火の危機を乗り越えることができた。しかし、噴火予知技術が画期的に進歩したためにどこでも噴火予知が可能になったのではない。この講演では噴火と災害の多様性、噴火は何をどこまで予知できるかを解説し、十勝岳など道央の活火山とそのほかの道内の主要活火山での将来の噴火シナリオを述べる。最後に現在抱えている課題を指摘する。

### 1 噴火と災害は多様である

噴火とは火口から溶岩流や噴石などの固体物質や火山ガスが出てくる現象である。噴火とそれに伴う現象は多様で、火山それぞれに起こりやすい噴火も異なる。噴火の途中で異なる現象に移行することがあり、クライマックスは噴火の立ち上がりにあるとは限らない。同じ火山でも噴火シナリオは噴火規模の大きさや季節、噴火口の位置などに左右されて多様である。噴火現象が多様なため、噴火に伴う火山災害も多様である。しかし、カルデラ形成を伴う巨大噴火を除いては火山災害が発生する場所は限定されるという、ほかの自然災害とは違う利点もある。

### 2 噴火はどこまで予知できるか

火山災害を軽減するためには、噴火の予知情報の提供が求められる。必要な噴火予知情報とは、1) いつどの火山で噴火するかだけではない。2) どんな噴火が起こるのか、3) どんな経過をたどるのか、4) どこまで影響が及ぶのか、5) いつ噴火が終わるかという情報提供も必要である。しかし、これらを全て満たした予知情報をあらかじめ示すことは不可能である。不完全であいまいさが伴うという了解のもとに、短期の予知・予測情報と長期の予知・予測情報を示すことが可能である。そのためには火山の観測や調査を充実させることがもちろん必要である。

短期の予知・予測情報とは火山やその近傍に種々の観測計器を設置して、マグマの動きに伴う異常を検出し、今何が起きているか、また今後数日程度の間にどうなる可能性があるのかを判断して示すことである。異常を検出するためには平常時のリアルタイムの観測データの積み重ねが求められる。噴火現象の繰り返し頻度が少ないために、他の火山の事例を参考する必要がある。最近の岩手山や富士山の事例のように異常が検出されても必ずしも噴火には繋がらない。

一方噴出物の調査や、噴火年代測定、そして古文書の記述に基づいて過去の噴火履歴を明らかにすることが長期の予知・予測情報を提供する基礎となる。単に噴火年代ばかりではなく、噴火の規模や噴火の推移、そして噴火により災害を蒙ったに違いない範囲を推測することができる。但し、噴火の推移は前後関係が判るだけの定性的な時間尺度し

が得られない。こうした情報を基礎資料として、将来の噴火に際して災害を蒙る可能性のある範囲を地図上に示した火山防災マップを作ることができる。

### 3 主要活火山の将来予測

2000 年以前の三宅島のような極く一部の例外火山を除いて、噴火は規則的に繰り返す周期性はない。興味本位の無責任な話題満載の週刊誌ならいざしらず、行政機関が作成した広報資料にまで周期性が言及されている事例があり、防災担当者の資質向上が問われる。道央の活火山の全てである十勝岳・大雪山・丸山と、有珠山を除く主要活火山である樽前山と北海道駒ヶ岳の噴火シナリオを以下に述べる。

#### 3-1 十勝岳

十勝岳は山頂部付近の西向き斜面上に主要な噴火ごとに火口が形成されるという特徴がある。融雪泥流が発生しやすい積雪期と夏季では噴火災害が異なる。

**水蒸気爆発**：山頂の火口群の中の熱異常が見られる場所から小規模な爆発が起こり、火山灰を放出し、热水を噴出する。1950 年代から 1961 年に繰り返された。影響は火口周辺に留まる。

**小規模なマグマ噴火**：1 ヶ月以上前兆の有感地震が繰り返され、噴火が始まって降灰がある。新しい火口と火碎丘を作る。火碎サージが発生することや、火碎丘が崩れて小規模な岩屑なだれを発生することもある。積雪期にこのタイプの噴火が起こると泥流が発生する。1962 年と 1988-89 年に起きた。

**大正噴火**：3 ヶ月以上に渡り噴火と降灰を繰り返し、ついに火口壁の一部が崩れて岩屑なだれを発生、積雪を溶かして山麓の平野部まで泥流が流下した。この規模の噴火は過去 1000 年間で 1 回しか起きていない。

**溶岩流噴火**：中央火口丘から望岳台付近まで溶岩流が流れる噴火が 1670 年頃に起きた。

**火碎流噴火**：大規模なマグマ噴火に伴って火碎丘を作り火碎流が白金温泉まで達する噴火がある。過去 3500 年間で 3 回発生した。

#### 3-2 大雪山

道内の主要火山の一つではあるが現在は比較的活動度が低い。

**水蒸気爆発**：旭岳西麓の噴気孔地帯で小規模な水蒸気爆発が起こる可能性がある。火口から直径 1.5km 程度の範囲に噴石が放出され、ユコマンベツ沢及びピウケナイ沢に小規模な泥流が発生する可能性がある。最近では約 500-600 年前に起きた。

**火山ガス**：お鉢平及び旭岳西麓の噴気孔地帯では気象条件次第だが硫化水素が滞留して火山ガス災害を起こす可能性がある。

#### 3-3 丸山

過去 600 年間に 2 回小規模な水蒸気爆発が起こっている。今後も頻度は低いが山頂付近を含む北西-南東方向の割れ目火口列を作つて水蒸気爆発を起こす可能性がある。火口列周辺に噴石火山灰の降下があり、幌加音更川水系かニペソツ川水系の上流部で小規

模な泥流が発生する可能性がある。

### 3-3 北海道駒ヶ岳

日本の中では最も活動度の高い火山の一つである。3万年以上前から始まつた火山活動は活動期と休止期の繰り返しであり、1640年の約5000年ぶりの噴火以来活動期に入っている。

小噴火シナリオ(1996,1998,2000など)：短時間の水蒸気爆発が起こる。前兆は殆どない。噴石や降灰がある。災害は起こるとすれば山頂部の火口原のみである。

中噴火シナリオ(1942)：山頂部で割れ目状の火口列を作り噴石と火山灰を放出。マグマ噴火により火碎サージを発生したが山麓まで達しなかった。

大噴火シナリオ(1929,1856,1694)少なくとも1-2日の人体に感ずる前兆の後、軽石が降下し、火碎流は山麓に達する。

山体崩壊シナリオ：約5000年ぶりに始まつた1640年噴火では南と東に大きく崩れ落ちる山体崩壊から始まり引き続き軽石の降下と火碎流の発生に移行した。同様の現象は過去に少なくとも3回起つているが、現状では火山体の再生が不十分であり、次回の山体崩壊は遠い将来と思われる。

### 3-4 樽前山

樽前山は4万年前に形成された支笏カルデラの南縁に約1万年前から活動を開始した比較的若い活火山である。北海道駒ヶ岳と共に日本の中で最も活動度は高い。

小噴火シナリオ(1978,1955,1954,1953,1951,1944,1936等)：山頂の溶岩ドームに新たに亀裂を作りながら水蒸気爆発がおこる。火口原の一部には噴石・火山灰が放出されるが山麓には影響は及ばない。

中噴火シナリオ(1909,1874,1,867等)：現在山頂にある溶岩ドームが完全に破壊されたり、その跡に新しく溶岩ドームが再生されるような噴火。噴火は断続的に1ヶ月ないし半年くらい繰り返され山麓の市街地でも降灰の被害が発生する。

大噴火シナリオ(1739,1667,3000BP等)：大規模に噴煙柱が立ち上る噴火。東方の風下には大量の軽石・火山灰が降下する。火碎流・火碎サージも発生する。降灰中には日中でも太陽光が遮られ、都市交通は麻痺する。航空路も閉鎖される。

## 4 観測体制の現状と防災の課題

近い将来起つであろう北海道の火山噴火を考えると多くの課題がある。2000年の有珠山噴火対応がうまく行ったため、“火山の噴火は直前予知が出来るし、火山専門家が居て手厚く助言してくれる”という誤った印象を国民はもつてしまつたのではないだろうか？気象庁は火山の監視観測業務を全国4箇所のセンターに集中してしまつたので、各火山の地元との間で相手の顔が見える関係を構築できなくなってしまった。ルーチンの観測にはかからない地元の住民が察知する異常を直接伝えるルートが断たれてしまった。一方、大学の現役の火山研究者は噴火機構の解明に关心があるのが普通であり、研究成果の質と量が厳しく問われる現状では、行政やマスコミとの普段からの“おつきあい”や、市民への啓蒙教育に精をだすことには期待するのが無理である。また、研究者

が火山近傍の観測施設に常駐するのは従来でも稀であり、現状では現場から撤退する傾向にある。

今年の1月に気象庁は活火山として扱う範囲を、国際的な研究者のコンセンサスに合せて過去1万年間に噴火履歴を持つ火山まで拡大した。全国で海底の活火山も含めて108となった活火山には活発な火山から噴火履歴の微小な火山まで多様なため、火山活動履歴情報を精査して、3つのランクに区分した。しかし、ランクの判断には火山近傍の居住者とか、投下資産など、起こるべきリスクの大小に関わる情報を取り込まれていないので、リスク評価に基づいたランクとはいえない。リスク評価手法を確立し、評価作業を行って防災対応の重要さを含んだ活火山の序列を明らかにしてゆく必要がある。火山の防災マップは有珠2000年噴火対応で有効性が実証されたこともあって急増しているが、それでも現時点では28火山しか出版配布されていないし、記載内容が適切とはいいかねる事例も見られる。配布しただけでは防災意識の啓発育成には繋がらず、啓蒙活動を開拓する仕組みづくりも必要である。

## 上川・留萌地方の大雨について

旭川地方気象台 加賀 俊博

### 1. はじめに

上川・留萌地方の大雨について、アメダス（地域気象観測所）がほぼ現在のように整備された1979年（昭和54年）から2002年（平成14年）までのデータを用い、主に総観規模の地上パターンから7つのタイプに分類して、その特徴を調べた。その中で最も雨量が多くなるタイプについて、実際の事例を解析した。また、旭川市で過去に被害をもたらした大雨のタイプと気象災害について述べる。

### 2. 一般的な大雨の要因

雨は水であり、空气中には水蒸気という気体の状態で含まれている。空気が含むことの出来る水蒸気の量は温度のみで決まる。図1は各温度における飽和水蒸気量（相対湿度100%の場合、但し、0°C以下は水に対する飽和水蒸気量）で、温度が高いほど含むことの出来る水蒸気量は急速に多くなる（温度が8°C高くなると飽和水蒸気量は約2倍）。

従って、空気の温度が徐々に下がり、一般的に相対湿度が100%を越えると水蒸気は凝結し、液体の水となって雲や雨を作る。

凝結を起こすような時間スケールで空気の温度を下げる要因は、一般的にはその空気が上昇する事である。気圧は上空の方が低いため、上昇した空気は膨張して温度が下がる。

空気の上昇は、低気圧や前線のように温度が低く重たい空気の上に、相対的に温度が高く軽い空気が乗る場合、地表付近で風が集まる場合、山などの地形に乗り上げる場合などに起こる。

更に、大雨になるためには、多量の水蒸気を含んだ（暖かい）空気が上昇する必要がある。災害を起こすような大雨の場合、もう一つ忘れてはならないのが雨の継続時間である。短時間に激しい雨が降って、道路冠水や土石流などの土砂災害が起きる場合もあるが、規模が大きく顕著な災害になるのは、時間的に長く量的にも多い雨の中で短時間の激しい雨が降る場合である。

### 3. 上川・留萌地方の大雨

1979年～2002年までのアメダスデータで、どこかの地点の日雨量（0時～24時）が60ミリ以上の日を選び、毎時の雨量（以下R1）から「ひと雨」ごとにまとめ129事例を抽出した。年ごとの事例数が図2である。その年によってかなりのばらつきがあることが分かる。また、図3は事例の月別の回数で、7月から急速に増え、8月にピークを迎えて、その後徐々に減っていく。

任意の24時間雨量（以下R24）120ミリが、ほとんどの地域の大気・洪水警報の基準なので、その事例数は分けて表示してある。

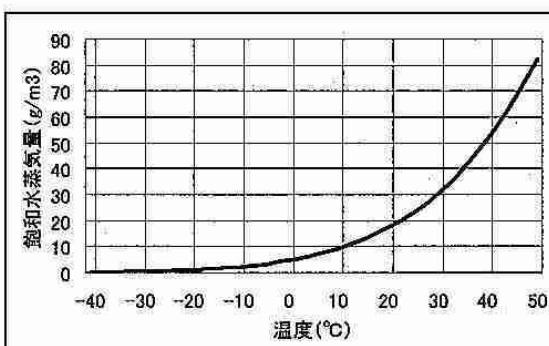


図1 温度と飽和水蒸気量(密度)の関係

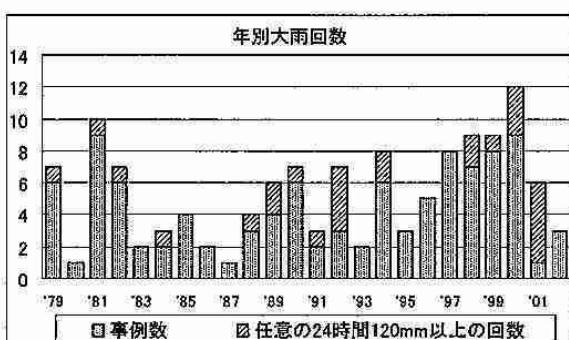


図2 年別の大気回数

#### 4. 総観規模での大雨のタイプ分け

降水時間の違う各事例を比較するため、各アメダス地点の R24 の最大（以下 R24Mx）を求め、その最大（以下 MxR24Mx）とその全地点の平均（以下 AvR24Mx）を求め、事例ごとにそれらの比を取って比較を行った。

上川・留萌地方の大雨は総観規模の地上パターンからは、おおむね以下の 7 つのタイプに分けられる（図 4 参照）。

◎タイプ 1：北海道の北を低気圧が通過し、上川・留萌地方を寒冷前線が通過する。

◎タイプ 2：上川・留萌地方を低気圧や閉塞点が東進又は東北東進する。

◎タイプ 3：日本海や本州方面を北上した低気圧や台風が北東進してオホーツク海に進む。

◎タイプ 4：東進または北上してきた低気圧や台風が北海道の南岸を東進する。

◎タイプ 5：上川・留萌地方に前線が停滞する。

◎タイプ 6：タイプ 1 又は 5 とタイプ 2・3・4 の複合。

◎タイプ 7：総観規模では低気圧や前線が表現されていない。

図 5 の AvR24Mx とその比でそれぞれのタイプの降り方を概観すると、雨量はタイプ 6 で最も多く、タイプ 7 が少ない。比で見ると、タイプ 3 と 6 は小さく、局地性は少ない。タイプ 7 は非常に局地性が強く、タイプ 1・4 もやや局地性が強い。

##### (1) タイプ 1 の特徴

天塩山地など山地の西側で雨量の多くなる場合が多い。短時間に激しい雨が降る場合も多い。上川南部では雨量が少ない（図 6 参照）。

##### (2) タイプ 2 の特徴

地域による差はあまり大きくないが、上川北部・中部の山沿いを中心に雨量が多い。短時間に激しい雨が降る場合もある（図 6 参照）。

##### (3) タイプ 3 の特徴

地域による差は少ないが、上川南部で特に雨量が多い。山沿いでは稀に短時間の激しい雨が降る（図 6 参照）。

##### (4) タイプ 4 の特徴

地域による差が大きく、上川南部から中部にかけて雨量が多く、留萌から上川北部にかけては少な

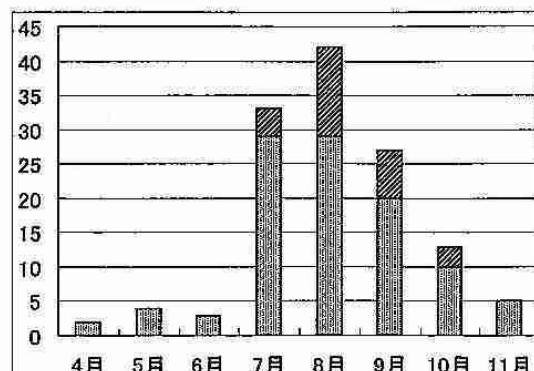


図 3 月別大雨回数（凡例は年別と同様）

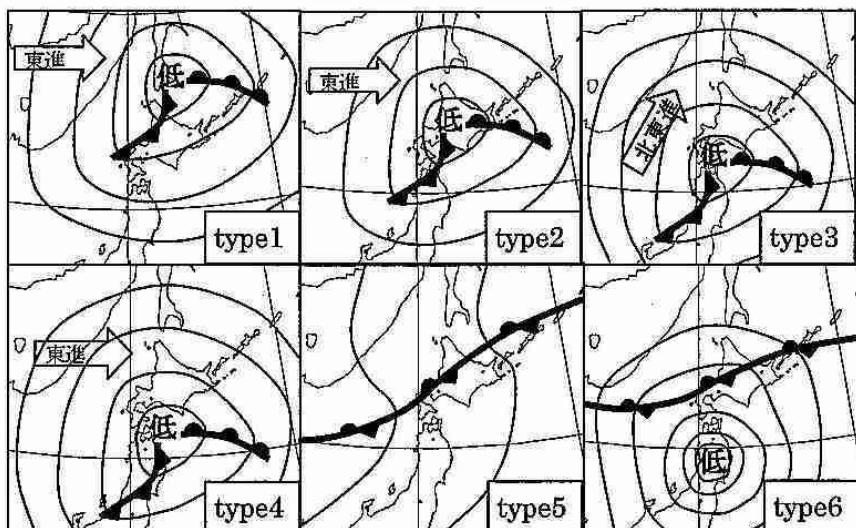
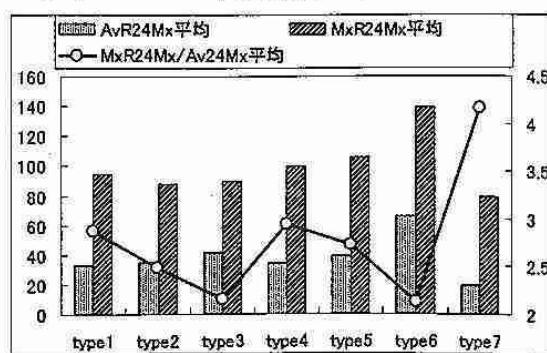


図 4 タイプ 1～6 の気圧配置のイメージ



い。短時間の激しい雨の可能性は低い  
(図6参照)。

#### (5) タイプ5の特徴

平均してしまうと地域による差はあまり大きくないが、個々の事例を見ると、前線近傍のみで雨量が多く、差は大きい。局地的だが稀に短時間の激しい雨を伴う事がある。

#### (6) タイプ6の特徴

地域による差は少ないが、全体に雨量は多く、最も災害に結びつきやすい。前線近傍では、稀に短時間の激しい雨が降る場合がある。

#### (7) タイプ7の特徴

局地性が非常に大きい。山沿いを中心には短時間に激しい雨が降るが、まったく降らない所もある。

### 5. タイプ6の事例解析

最も雨量の多くなるタイプ6の2001年9月9日～12日の事例を解析した。低気圧の雨が全地域で同じ様に降らないのは、更に小さな構造があるためである。一般に気象現象は、大きな構造の中に小さな構造があり、その中に更に小さな構

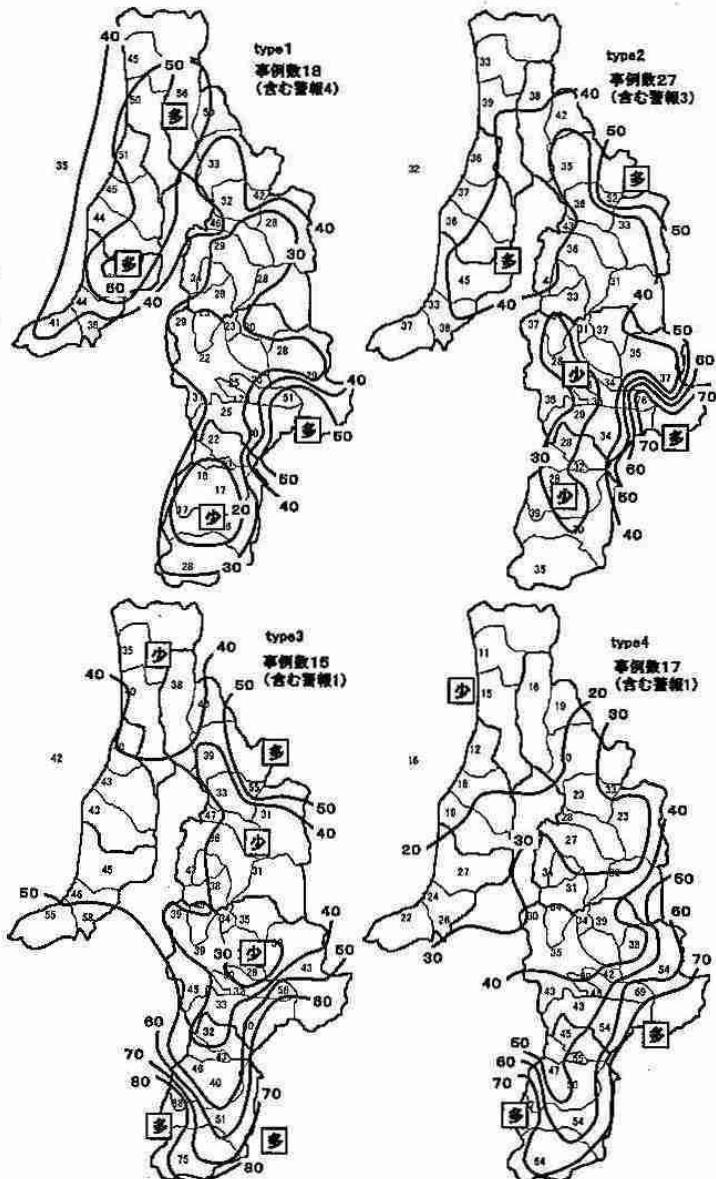


図6 タイプ1～4のR24Mxの平均分布図

造があるという階層構造をしている。この事例は総観規模で見ると、停滞前線が一旦北上して上川・留萌地方にかかるてから南下し、そこに台風が北上して釧路沖に進んだ。タイプ4とタイプ5の複合のタイプとなる。停滞前線が北上しつつある9日14時～19時にかけては、全体の雨雲の中で、下層に暖湿気の移流が強くなる場所で次々と非常に強い雨雲が発生・発達して北東に進んだ。

図7は停滞前線が南下を始めた9日23時～10日2時までを、1時間ごとに解析したもので、前線上に総観規模の低気圧より小さく・寿命の短い低気圧が発生・消滅していた。

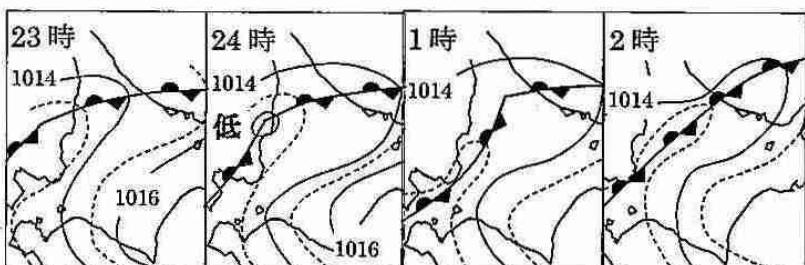


図7 停滞前線上の小さな低気圧の発生・消滅  
(9日23時～10日2時)、実線は2hPaごと

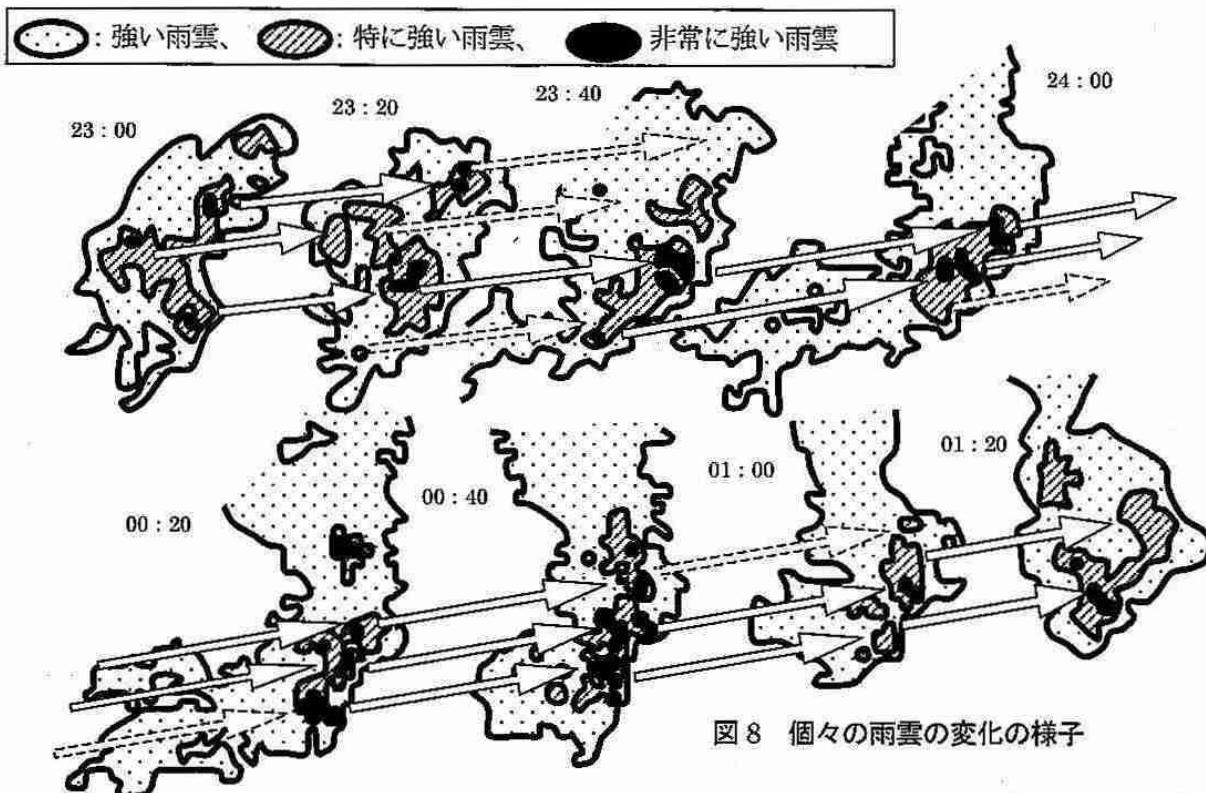


図8 個々の雨雲の変化の様子

図8はその低気圧の発生・発達した23時～1時20分のレーダーによる雨雲の様子を、20分ごとに模式化したもので、非常に強い雨雲一つ一つの寿命は短いが、世代交代を繰り返しながら全体としては東北東に進んだ。

## 6. 旭川市の気象災害

旭川市の地域防災計画に掲載の気象災害の履歴は、ほとんどが大雨による洪水・浸水災害である。旭川市はその名の通り川が多く、集まった川が神居古澤付近で狭まっているため洪水が多くあった。しかし、河川の改修が進み、大規模な洪水の発生は少なくなっている。一方で、都市化の進行により水の染み込まないアスファルト路面が増え、下水の排水能力を超える大雨によって浸水の被害が起きている。

前述の履歴による1979年以降の12災害を今回のタイプ別で見ると、タイプ2・5・6のみであった。即ち、低気圧が上川中部を進む場合や前線が停滞する場合、南からの台風やそれから変わった低気圧も関連して、多量の暖かく湿った空気が持ち込まれる場合に災害が発生している。

図9は前述の履歴による戦後の災害を旬別に表したもので、7月中旬～9月上旬に集中している。但し年代別に分けると、原因は不明だが、近年は時期的に遅れてきていているように見える。

災害を軽減するには河川改修などの基盤整備が必要である。しかし、自然を相手にする場合全ての想定を行う事は不可能なので、常に想定以上の現象が起こる可能性を考えておかなければならぬ。そして、今年の台風10号のように、想定以上の現象が起きると非常に大きな災害になる。大雨が降らないようにする事は出来ないが、その被害を軽減する事は可能である。被害に最初に対処するのは各個人なので、各個人が災害に対する知識を身に付けることも重要である。気象台も役立つ情報を出すべく日々努力を重ねている。今回の話が災害軽減の知識の一助になれば幸いである。

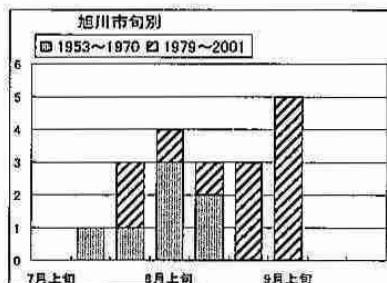


図9 旭川市の旬別被害回数

## パイロットの眼からみた気象

日本航空機操縦士協会北海道支部  
支 部 長 花 田 孝 順

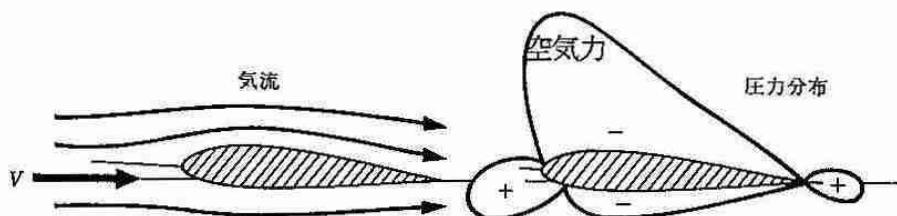
### 1、飛行機と風

鳥を見て、鳥はなぜ、飛ぶのだろうと考える人は少ないと思います。しかし、ジャンボ機を見てあんな大きい物がどうして飛ぶのだろうと、思う人が多いと思います。

今の子供さんは飛行機は鳥と同じく飛ぶものだと、何の不思議さも感じないでしょう。

鳥と飛行機を見て、両者は共通した姿であることはお分かりの通りです。飛ぶために、広い土地を要する飛行機に比べ、鳥はわずかな地上滑走距離で、又その場からすぐ飛べるのがなぜでしょう。それは翼に原因があるのではないかでしょうか。

翼が支える重量は一番の基礎になりますが、航空工学の勉強ではありませんので、簡単に翼がどうして重量を支えるか、これは空気、つまり風のおかげで発生する揚力です。



しかし、風が正面から吹いてる場合は図で見られるように最大の揚力が得られますが、これが、真上から、または真下から、風が吹いたらどうなるでしょう。

飛行機の速度と風の速度との関係がありますが、飛行機にとって一番良いのは正面だけの風が一番ありがたいのですが、気象状態が常に変化し、飛行機にとって最悪の乱気流が発生すると飛行機はどのような飛行状態になるのでしょうか。

### 2、乱気流とは何か

定常状態の空気の流れを層流と言っています。この流れの中にいろいろな要因で空気の渦運動が含まれる場合に乱流と呼んでいます。大気中では、空気の運動は乱気流になっている場合が多い。我々は飛行を始める前に必ず今日の気流はどうかを確認します。

地上天気図が地上の災害を防止するために毎3時間に発表されますが、航空気象は毎時間に又急激に変化するとその変化傾向が定時通報に関係無く詳しく発表されます。その中に悪天予想図がありますが、大局的なもので、局地的にはあまり参考になりませんが一応見て、地上天気図、航空実況気象通報・高層天気図の風、及び温度の変化を詳しく検証します。

乱気流が話題になったのは1966年(昭和41年)3月5日に英國の英國海外航空会社機(BOAC機)の富士山地区での空中分解による墜落事故だと思います。

それまでは、パイロット・ミス、又は機材故障等で簡単に取り扱われておりました。

BOAC機はイギリス(ロンドン)を出発し、サンフランシスコ・ホノルル・羽田・香港・ロンドンと運航している会社で、羽田を離陸後15分後に富士山上空15,000 ftを飛行中、7,000 ftまで落下し空中分解して、富士山麓の太郎坊付近の森林に墜落し、乗

客・乗員合わせて124名、全員が死亡した事故です。

事故原因は富士山上空で発生する山岳波に巻き込まれたのではないかと言われております。

ボーイング707は強度約6, 5Gで、機体が破壊する設計になっております。

この時の乱気流は7, 5Gがかかり瞬時に空中分解したものと思われます。通常国際線は計器飛行方式で出発するのですが、機長は有視界飛行で出発しております。

富士山を乗客に見せるため遊覧飛行をしたのではないかと言われております。昨年スイスに行ったおりに、珍しく晴天だったためか、ローマに向かうおり、アルプスの上空を何回か旋回してサービスして頂いたおり、BOAC機の事故の事を思い出しました。

私も、運航している時に、大雪山とか、阿寒湖の上空を旋回して乗客サービスに勤めたものです。地域の天候特性を知つていれば安全が阻害されませんが、BOAC機は富士山の特性をあまり知らなかつたのではないでしょうか、空にはいろいろな罠があります。

### 3、乱気流の種類

#### (1) 人工乱気流

飛行機のおこす乱気流

#### (2) 対流性乱気流

サーマルや積乱雲（マイクロ・バースト）

#### (3) 力学的乱気流

地形の凹凸や風のシャー

#### (4) 山岳波の中の乱気流

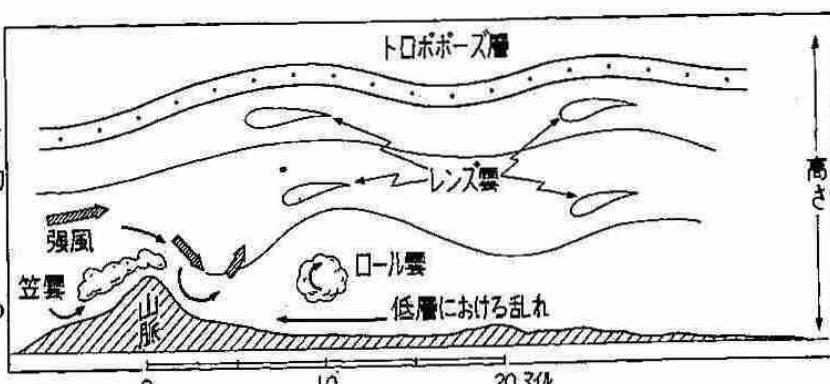
一般流と山岳風下波の相互影響

#### (5) 高高度乱気流

高度20,000ft以上で発生する。晴天乱気流

### 4、山岳波の中の乱気流

風が大きな山の稜線を吹き越える時に発生する。安定大気の中で風は風上側山の斜面を吹き昇る時は、気流は比較的滑らかである。上昇気流は始めは乾燥断熱的に上昇冷却するので、山頂高度では自由大気より冷たくなる。



このため密度の大きくなった山超え気流は、風下側では急速にこぼれ落ちて、乱気流性の強い下降気流をつくる。これをドラフトと呼んで、パイロットから一番恐れられています。

若い頃、大雪山地の山岳遭難の救助飛行を小型機で実施した事がありました。

旭川側より、白金温泉上空を通り十勝岳・美瑛岳・トムラウシ・旭岳と通り白雲岳の裏に入ったところ、下降気流に巻き込まれ、裏大雪に吸い込まれたことがありました。

180馬力の小型機では出力を最大にしても上昇せず、とても旭岳を越えることが出来ず

不時着を決心しましたが、裏大雪は斜面ばかりで適当な不時着場が見つからず、ウロウロしていると赤土の広いところがあったので不時着態勢に入ったらそこに上昇気流があり、層雲峡に向かい無事大雪山地から脱出したことがありました。熊笹のところは下降気流が水平に広がり上昇流にはならず、熊笹の無いところでは上昇流になることを知りました。下降気流はどこかで上昇流に変化するものです。北海道の山岳波の発生で注意する空域は幾つかあります。その第一は狩勝峠でしょう。この峠は日高山地、大雪山地の中心にあり西には夕張山地、があり、3つの山地に囲まれ山岳波の集積空域になっております。

1961年(昭和35年)狩勝峠で空中分解したオースター・オトカ一機(4人乗)の事はあまり知られてないと思います。

全日空の初期に道庁がチャーターしたヘリコプターによる山林の野ネズミ退治の薬剤散布の状況視察のため中野専務他3名が同乗しており、機体は操縦席近くまで土中に埋まり、整備士は機体の近くに、操縦士は100mも遠方に、左の翼は500mも離れたところにあつたそうです。乱気流の怖さは当時からパイロットに恐れられており、狩勝峠は高さ726mですが、周りの山地は2,000m以上でこれから吹き出す山岳波は想像を絶するものがあります。山岳波はその山の近くより、山の高さにもよりますが10kmから100kmまで様々な渦で現れるので判断は難しいものです、むしろ湿度があり雲が発生してくれた方が眼で見ることができます。

## 5. 対流性乱気流

対流現象は上昇気流・下降気流とともに鉛直気流のことですが、これを上手に利用しているのが滑空機ではないでしょうか。平地の熱上昇気流の利用・山岳地の斜面上昇気流の利用等で渦を回避して楽しく飛行しております。

上昇気流中の含水量が大きく、上昇する不安定エネルギーが十分であれば、対流性の目に見える積雲・積乱雲が発生するので回避は可能です。現在はほとんどの幹線はジェット機で巡航高度は20,000ftから30,000ft(約7,000m~10,000m)ですので寒冷前線でもない限り巡航で悪気流の中を飛行することはありません。

しかし、巡航高度に達するまで、又は巡航高度から着陸するまではこれらの目でみえる積雲の中を通過しなければなりません。積乱雲の場合はその進行方向・速度を判断し飛行場上空を通過するまで待って着陸態勢に入るようにしております。

しかし、熱上昇の他に  
風の変化・地形による  
上昇・下降流・風のシャー  
等が混合され一定の降下  
角を維持して着陸する技術  
は訓練された操縦士には  
前もって予想された状況  
であれば余り難い  
操作ではありません。



しかし、予想されないのがウンド・シャーです。管制塔からの風の情報は着陸操作中常に伝えられますが飛行機に真横の風は滑走路を逸脱する恐れがあるので一番注意する項目です。

余り高度のとれないプロペラ機は巡航高度においても雲中飛行になる場合が多い。北海道では真冬は上空の温度が低いために雲頂高度は7,000 ft位ですので、運航も比較的楽です。しかし、着陸はいつも吹雪で苦労させられます。

夏から秋にかけては各山地に積雲・積乱雲が発生します。特に日高山地の積乱雲は20,000 ftにも達し、上昇気流・下降気流の中を直線的に飛行することになります。

一つ一つのセルはそれぞれ発達過程が違うので、最盛期が終わり衰退期に入っているセルを突破すると比較的乱流は少なく2分程度で通過することができます。

発達期にあるか、最盛期が又衰退期かの見極めは積乱雲の色で判断するしかありません。

キラキラ光ってどんどん上空に伸びている積乱雲は上下に激しい乱気流が存在するため、絶対に飛行してはなりません。昨年レーダーの無い飛行機で訓練しているとき、判断の誤りで秋田空港上空で積乱雲の中に入り、一瞬のうちに高度9,000 ftから13,000まで上昇させられ、積乱雲の巣の区域に入り苦労したことがあります。

層雲の中に積雲・積乱雲が存在することは、高高度から見ればすぐ分かることですが、低高度を飛行している飛行機はレーダーが無いと無謀と言える飛行です。

このように事故にならない飛行を航空機の異常運航として当協会で行っているインシデント報告がありますが、気象による異常運航が如何に多いかということが分かります。ある飛行クラブで新人の単独飛行を実施中に急に風が変わり追い風となり予想以上の着陸距離となつた危うく事故になりかけた例がありました。我々パイロットは常に気象の変化に注意し、正しい気象判断に勤めております。

## 6. 晴天乱気流

しばしば、新聞で見ることと思います。千歳を離陸後25分後の上空で乱気流に逢い00名が怪我をした等、又、離陸して巡航高度に達しシートベルト・サインが消灯された後、必ず「気流が悪い場合がありますので、シート・ベルトはそのまま、お閉め下さい」それなら、初めからシート・ベルトのサインは消灯しなければと思うのですが、トイレの使用等で致し方がないでしょう。それほど晴天乱気流の予報は難しいものです。飛行前天気図で風のシャー・温度変化等高層天気図で検討するのですが今のところは先に飛んでいるパイロットの乱気流レポートが唯一の参考とされております。

## 風力エネルギーの展望

九州大学大学院工学研究院 松宮 煉

### 1. 風力開発の現状

風力エネルギーはクリーンで再生可能な1次エネルギー資源であり、人類にとって地球温暖化防止の天賦のエネルギー資源である。

わが国は、2004年4月時点で644MWの設備容量に達した<sup>(1)</sup>。これは3年前の倍であり、年間の平均伸び率は33%となる。図1に風力設備容量の推移を示した。2010年の政府目標値は3000MWであ

るが、現在はその1/5強を達成した。しかし目標の達成を危ぶむ情況がある。北海道、東北の電力会社による導入容量規制。RPS法施行や安易な風力開発による風力発電事業の経営悪化。景観問題による規制の強化。鳥問題による開発断念。落雷の多発。台風災害の発生<sup>(2)</sup>。多難とも言えるが、わが国の風力技術を我が物とするうえで初めての試練を迎えたとも言える。

### 2. 世界の動向と日本

世界の風力発電設備容量は2004年4月には39,391MW(39.4GW)に達し、過去5年間の平均で年率31%の増加を記録している<sup>(1)</sup>。日本は世界9位のランキングになっているが、設備容量を基準としたシェアはわずかに1.6%に過ぎない。これは、風力開発は地域または国のあるべきで大きな偏りがあるのである。国別の開発状況を図2に示す。本年4月時点では、ベスト5は上位からドイツ(14.6GW,シェア37%)、アメリカ(6.4GW,シェア16%)、スペイン(6.2GW,シェア16%)、デンマーク(3.1GW,シェア8%)、インド(2.1GW,シェア5.4%)となっている。欧州では、量的な展開が目覚しいばかりでなく、質的な転換にも注目される。それは洋上ウインドファームである(図3)。北海沿岸は遠浅という好条件に恵まれてはいるものの、風力プラントの開発に当っては新たに波浪荷重や氷荷重を考慮しなければならない。また海底地質を調査し、海洋生物への影響も考慮している。

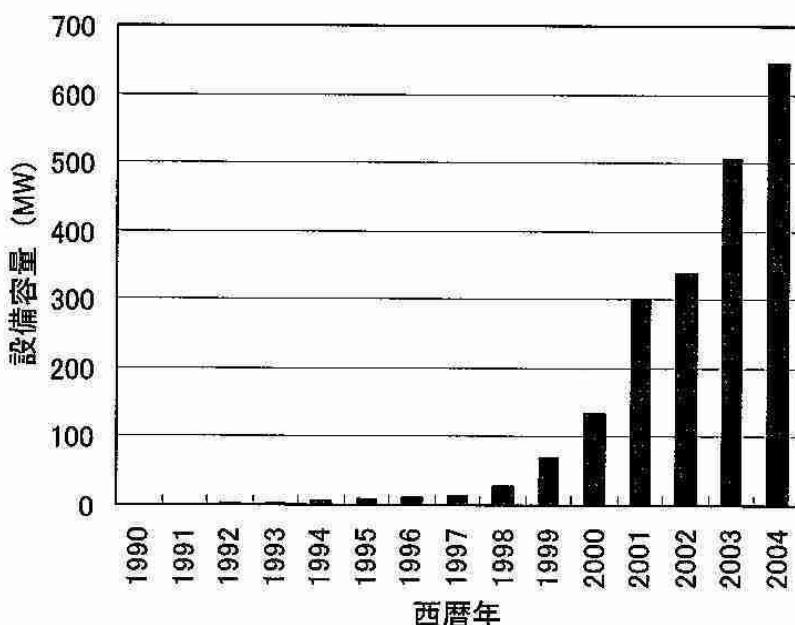


図1 わが国の風力開発の推移

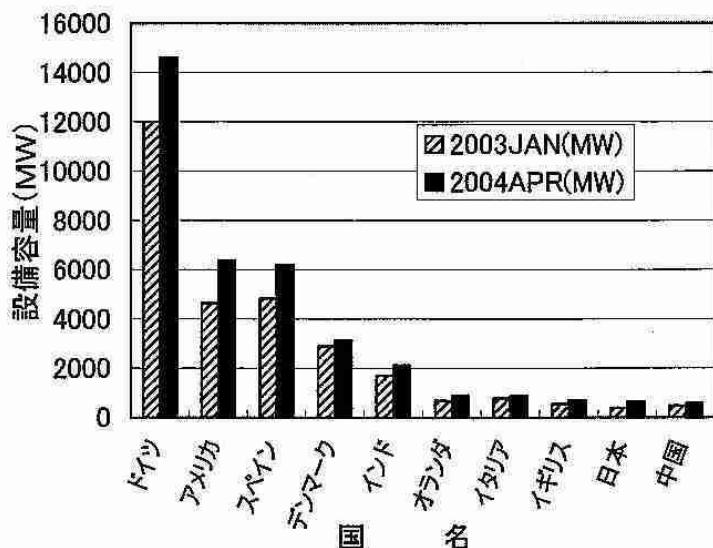


図2 世界の風力開発国別



図3 Horns Rev 洋上ウィンドファーム(デンマーク、80基 160MW)

### 3. 21世紀の風力発電技術

前述のように、今日の風力技術の新たな特徴は洋上への進出である。デンマーク以外にも、オランダ、イギリス、ドイツ、スウェーデンをはじめ、欧州諸国はこぞって洋上風車の開発を進めている。運転中および計画中の代表例を表1に示す<sup>(3)</sup>。米国でもエネルギー省(DOE)は、広大な大陸を有し、陸上のサイト難の問題は発生していないが、エネルギーポテンシャルをもつ洋上風力技術の開発は不可欠としており、特に次世代技術である“深海海洋風力”技術の開発をすすめている。

洋上風力は風車の大型化をさらに促進し、最近までは1-2MWの規模であったが、今や5MW級の風車が相次いで開発されている。表2に開発中の大型機も含めてその技術的特徴をまとめた<sup>(4)</sup>。MW未満の従来機の多くに見られた定速運転、ストール制御の風車から、可変速運転、可変ピッチ制御の風車に推移していることがきわだった特徴である。反面、ダイレクト・ドライブ風車は必ずしも主流になったとはいえない。

### 4. 明らかになってきた課題

ヨーロッパ風力エネルギー協会とグリンピースは2003年春、「Wind Force 12」と題する小冊子を発行し、2020年までに全世界の電力需用の12%を風力発電で賄える、という展

表1 世界の洋上ウィンドファーム

国	名称	発電規模(MW)	年
<b>運転中</b>			
デンマーク	Vindeby	4.95	1991
オランダ	Lely	2	1994
デンマーク	Tunoe Knob	5	1995
オランダ	Dronten	16.8	1996
スウェーデン	Bockstigen	2.75	1997
スウェーデン	Utgrunden	10.5	2000
英国	Blyth	4	2000
デンマーク	Middelgrunden	40	2000
スウェーデン	Yttre Stengrund	10	2001
デンマーク	Horns Rev	160	2002
デンマーク	Palludan	23	2002
デンマーク	Nvsted	158.4	2003
	Havmoellpark		
英國	North Hovle	60	2003
<b>計画中(大規模なもの代表例)</b>			
ドイツ	Noerdisher Crund	360	2004
ベルギー	Thornton Bank	216	2005
フィンランド	Kokkola	207	2005
アイルランド	Arklow Bank	216	2005
ポーランド	Bialogora	120	2005
スウェーデン	Fladen	140	2005
米国	Cape Wind	468	2006
フランス	Lle de Groix	100	2006
スペイン	Trafigar Park	20	2006

望を示した。このシナリオにおける日本への期待値は90,000MWであると分析される。これは現在の政府目標値3,000MWの20倍に相当し、国内の電力需要の8%前後（達成年次の需用見通しに依存する）と見積もられる。もとより、COP3に基づく2010年温室効果ガス削減目標は一通過点に過ぎない。風力技術をわが国に定着させ、温暖化防止に一層貢献させるためには、以下のような解決すべき課題がある。

- ① 台風被害： 2003年9月、宮古島は台風14号により7基の風車全てが倒壊またはブレード飛散等の被害を被った（図4）。
- ② 冬季雷被害： 東北・北陸地方の日本海沿岸部で頻繁に風車の雷被害が発生している。
- ③ 高乱流・高突風： 複雑地形・山岳性気象により国際標準を超える強い乱流強度や突風が観測されている。
- ④ 電力品質問題： 組合電力の弱小な地域では風力電力が電力品質を害する危険があり、導入規模が制限されている。
- ⑤ 洋上風力への足踏み： 海洋国でありながらわが国は洋上への進出を足踏みしている。以上のように、わが国の立地・気象環境（いわゆる外部条件）は欧米よりも厳しい側面が多く、安定した風力開発を定着させる上で正念場を迎えており、政府（経済産業省）も日本型外部条件に対応できる技術基準や標準化の研究の必要性を認識しており、積極的な施作が期待

表2 世界の大型風車

CS=一定速、2S=2段速、VS=可変速、VP=可変ピッチ、S=ストール、AS=アクティヴストール、D=直結、G=歯車式、NA=不詳、H=ハイブリット

メーカーと型式	国	ロータリタ径(m)	出力(MW)	運転	制御	歯車
三菱重工	日本	75	2	VS	VP	D
Bonus 2MW	デンマーク	70-77	2	2S	AS	G
Bonus 2.3MW	デンマーク	82.4	2.3	2S	AS	G
Dewind D6	ドイツ	62	1.25	VS	VP	G
Dewind D8	ドイツ	80	2	VS	VP	G
Enercon E66 1.5MW	ドイツ	66	1.5	VS	VP	D
Enercon E66 1.8MW	ドイツ	66	1.8	VS	VP	D
Fuhrlander MD77	ドイツ	77	1.5	VS	VP	G
NEG Micon NM1500C	デンマーク	64	1.5	CS	VP	G
NEG Micon NM200	デンマーク	72	2	CS	AS	G
NEG Micon NM2750	デンマーク	92	2.75	VS	VP	G
Nordex N60/62	ドイツ	60/62	1.3	2S	VP	G
Nordex 2.5M	ドイツ	80	2.5	VS	S	G
Repower MM79	ドイツ	70	2	VS	VP	G
GE Wind 1.5	米国	65/70.5	1.5	VS	VP	G
Vestas V66	デンマーク	66	1.5	VS	VP	G
Vestas V80	デンマーク	80	2	VS	VP	G
(以下開発中)						
三菱重工	日本	100-125	3.5-5	VS	VP	D
Bonus xx	デンマーク	不詳	3-3.5	NA	NA	NA
Dewind	ドイツ	不詳	3.5-5	VS	VP	D
Enercon E112	ドイツ	114	4.5	VS	VP	D
GE 3.6s	米国	104	3.2	VS	VP	G
GE 3.6 offshore	米国	100	3.6	VS	VP	G
NEG Micon NM92/2750	デンマーク	92	2.75	VS	VP	G
NEG Micon NMxx/xxx	デンマーク	>100	>4	VS	VP	G
NM(DOWEC) 6 MW	DK/NL	129	6	VS	VP	G
Nordex Nxx	ドイツ	115-120	5	VS	VP	G
Pfleiderer Multibrid	ドイツ	125	5	VS	VP	H
Repower 5M	ドイツ	125	5	VS	VP	G
Vestas V90	デンマーク	90	3	VS	VP	G
Vestas Vxx	デンマーク	不詳	5	NA	NA	NA
WinWind WW2.6.94	フィンランド	94	2.6	VS	VP	H
Win Wind WW3.90	フィンランド	90	3	VS	VP	H
W.I.P 5MW	ドイツ	不詳	5	NA	NA	NA



図4 2003年、台風14号により倒壊した宮古島の風車（写真出所：朝日新聞Webサイト）

されている<sup>(5)</sup>。

## 5. 風特性の把握

風車の安全設計・強度設計は、台風、高い乱流強度、落雷などの厳しい日本の気象条件下で設置、運転される風車の基本的な要件である。IEC国際標準は風力技術体系の標準を策定しているが、日本のような厳しい条件が十分に反映されていない。例えば、風車のクラス分けが4段階に分類されており、これらは年間平均風速が10m/s以下、8.5m/s以下、7.5m/s以下、6m/s以下という基準でクラスI、II、III、IVとなっている。これらの平均風速の5倍を基準風速と定め、その1.4倍がいわゆる耐風速となっている。したがって、クラスIでは、70m/sが風車の耐風速に相当する。しかし、台風下ではこれを超える瞬間風速が観測される。IEC標準はこれを無視しているわけではないが、数値が逸脱する場合をSクラス（特別クラス）と定め、個別に対応することとしている。

最近の動きは、日本の風特性（Jクラス風特性と称している）を観測により正確に把握し、風車設計に反映させるものである。また、観測データを統計的に評価し、数学モデルとして規定する。図5に、日本の鈴鹿山系で観測された突風データ(WT)とIEC標準の数学モデル（IEC EOG model）を比較した。

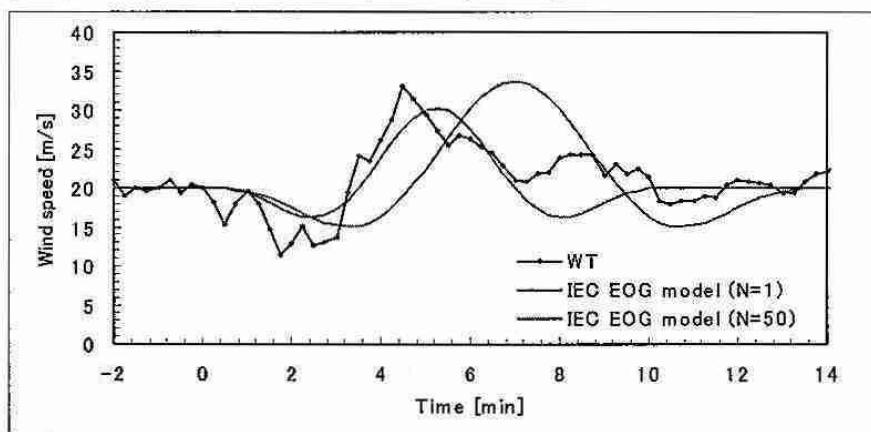


図5 日本の鈴鹿山系で観測された突風データ(WT)とIEC標準の数学モデル(IEC EOG model)の比較。N=1と50はそれぞれ1年再現頻度と50年再現頻度。

## 6. 終わりに

現在、わが国に適合する風力技術の確立をするべき正念場にある。この認識は風力産業界や設置者のみならず、政府および研究開発、標準を担う関係団体にも浸透してきた。また、従来は海外技術に追従してきた日本の技術も、数値計算技術など、世界をリードするものも生まれてきた。

## 文 献

- (1) Wind Power Monthly、2004年4月号
- (2) 奥田泰雄、2003年台風14号（マエミー）による宮古列島での強風被害、第25回風力エネルギーシンポジウム、(2003)
- (3) WindDirections、Vol.22, No.5、p.23、(2003)
- (4) 勝呂幸男、大型風力発電システムの技術的展開と展望、第25回風力エネルギーシンポジウム、(2003)
- (5) 荒木由季子、風力発電普及政策とその動向、風エネルギー、Vol.27、No.4、(2003)

# 航空機の安全を守る気象監視と予測 —空港気象ドップラーレーダーの機器の紹介—

新千歳航空測候所観測課 菅谷重平

## 1. はじめに

航空機の安全運航には、乱気流や雷が大敵です。また、霧や低い雲により滑走路がよく見えないと、航空機は安全に離着陸できません。

気象庁は我が国の気象業務主管庁として、 I C A O (国際民間航空機関) と W M O (世界気象機関) が定める国際的な統一基準に基づいて全国の空港に気象台や測候所など（これらを航空気象官署と呼びます）を設置し、空港周辺や航空路、飛行空域の気象情報を航空関係者に提供することにより、航空機の安全な運航を支援しています。

今回は、新千歳航空測候所などの航空気象官署が行っている航空気象業務をお伝えすると共に、平成12年新千歳空港に設置された空港気象ドップラーレーダーについてご紹介いたします。

## 2. 航空象業務とは・・・

航空機が空港を離陸してから目的の空港に着陸するまでの間、安全性が求められるのは当然ですが、同時に燃料消費のもっとも少ない最適飛行コースで、目的空港に時間どおりに着陸することも要求されます。これらを可能にするための1つの要素として気象情報が挙げられます。

航空機の運航に先立って飛行計画を立てる際、パイロットは気象情報を入手し、飛行コースの気象状態が当該飛行に適するか否かを判断しなければなりません。気象情報は、主に飛行計画などに関連する

「航空気象予報」と、空港の気象実況を伝える「航空気象観測」の2つに大きく分けることができます。飛行空域の乱気流や雷などの悪天情報や目的空港の予報などは飛行中の航空機にとって必要な情報ですし、着陸直前の航空機には、その空港の風や視程などの気象実況が重要な情報となっています。

その他、空港に駐機している航空機や空港施設、空港で働く人々の安全確保のためにも気象情報が必要であり、航空気象官署はこのような情報を伝達する「航空気象業務」を行っています。

### (1) 航空気象観測

航空気象官署では、航空機の安全な離着陸のために、空港とその周辺の気象を観測しています。特に低い雲や視程、風など、運航に影響が大きい気象の重要な変化を認めた場合には、随時観測を実施し、国際的に決められたルールによって空港内の航空管制機関や航



### いろいろな目的に利用される気象情報

空会社などに通報しています。また、風や滑走路視距離などの刻々と変化するデータも秒刻みで提供しています。

#### (2) 航空気象予報

航空気象予報では次のような業務を行っています。

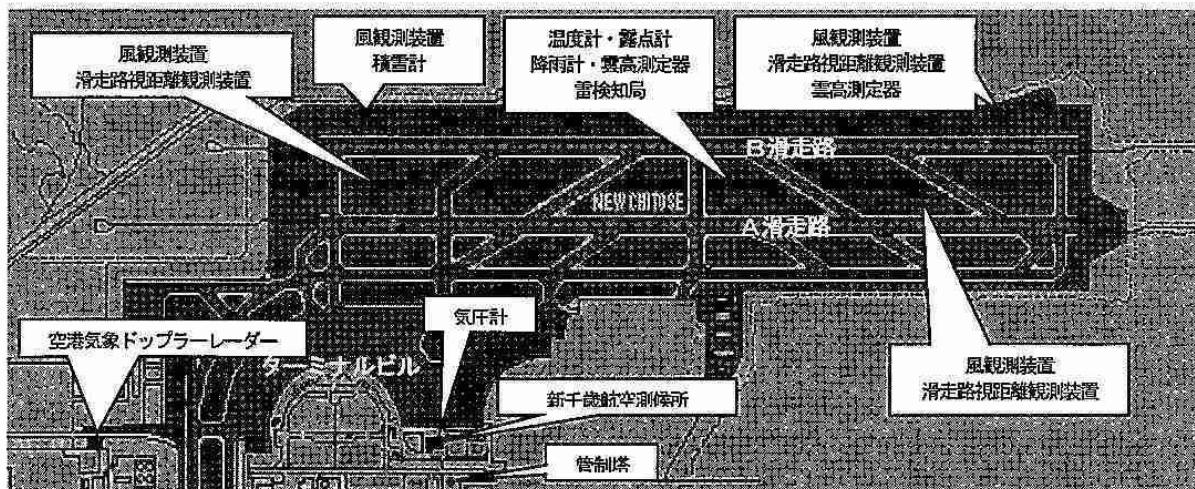
##### ① 飛行場予報

主要な空港の気象台などでは、空港の気象状態をきめ細かに予想し、航空機の運航形態に合わせて飛行場予報を発表しています。飛行場予報は出発前の飛行計画の作成時や、飛行中に到着予定空港がどのような気象状態になっているか把握するために利用されています。

##### ② 飛行場警報・飛行場気象情報

主要な空港の気象台などでは、駐機中の航空機や空港施設などに災害が起こると予想される場合は、強風や大雪などについての飛行場警報を発表し警戒を呼びかけます。

また、必要に応じ台風やウインドシヤー、火山の噴煙などその他必要とする事項についての飛行場気象情報を発表し、関係機関に注意を促します。



新千歳空港の気象観測機器配置図

(これらの機器と目視より、風(風向・風速)・視程・滑走路視距離・大気現象(降水量や霧など)・雲(量・形・雲底高度)・気温・露点・気圧(高度計補正値)・降水量(強度)・積雪深・降雪深などを観測しています。)

### ③ 空域の気象監視

空港の気象台などでは常に空港の気象を監視していますが、さらに安全な飛行のためにには航空機が飛行する海上を含む広い領域の気象を監視する必要があります。これら情報として、空域気象情報（新千歳航空測候所でも行っています）・航空路予報（成田航空地方気象台）・国内悪天予想図（東京航空地方気象台）があります。

### ④ 口頭解説、航空予想図の交付

空港の気象台などでは、パイロットや運航管理者に対しては出発空港や目的空港、航空路の気象状態について、航空管制機関に対しては離着陸機に対する管制、使用滑走路の決定などさまざまなニーズに応じて、口頭解説を行っています。

また、パイロットや運航管理者に対しては航空予想図の交付を行い、飛行計画の決定などに利用されています。

## 3. 運航に影響を与える気象

新千歳空港で航空機が離着陸するときに大きく影響している現象として、次のようなものが上げられます。

### (1) 雪

新千歳空港だけでなく、雪の多い地方では冬には雪の影響を大きく受けます。“雪”と言っても、「降って来る雪」による悪視程などもありますが、「積もった雪」が多くなると滑走路の除雪が追いつかなくなったり、滑走路表面の状態が滑りやすくなっていたりすると滑走路そのものが使えず離着陸ができなくなる、という影響も出てきます。

### (2) 霧

新千歳空港や道東方面の空港は時期によっては霧に悩まされます。霧がかかると視程が悪くなり、着陸だけでなく離陸にも影響を与えることがあります。

しかし新千歳空港の場合、朝一番の航空機が運航を開始する前に霧は解消する場合が多いので、大雪のときほどの影響は少ないと言えるかもしれません。

### (3) 風

新千歳空港に限らず、どこの空港でも航空機の離着陸に大きく影響しているのが風です。航空機は風に正対して（向かい風で）離着陸を行うので、強い横風が吹いている場合には運航に支障を与えることがあります。また、離着陸する航路に風向や風速が急に変化しているところがあると、機体が大きく揺れるなどして非常に危険な状態になることがあります。

この風が急に変化しているところを捉えて、航空機の安全運航に貢献しよう、というのが空港気象ドップラーレーダーです。



新千歳空港の空港気象ドップラーレーダー

#### 4. 空港気象ドップラーレーダーとは?

##### (1) 概要

空港気象ドップラーレーダーは、空港周辺の降水などを観測する一般気象レーダーの機能に加えて、航空機の離着陸に影響を与える、大気下層の急激な風の変化（低層ウインドシヤー）を的確に探知することを目的としたレーダーです。このレーダーは、空港周辺の降水強度とその分布、低層ウインドシヤーの検出結果などの各種情報を航空気象業務に利用すると共に、航空関係機関に提供して航空機の安全運航に寄与しています。

空港気象ドップラーレーダーは、現在国内では6台（設置された順に、関西・成田・羽田・新千歳・伊丹・那覇）が運用されています。

##### (2) 一般気象レーダーとの比較

空港気象ドップラーレーダーは、一般気象レーダーに比べて高精度での観測（距離分解能を小さくする）を要求されています。このために、ビーム幅が小さく、大きなアンテナを使用する

##### 一般気象レーダーと空港気象ドップラーレーダーとの比較表

（富士山レーダーは1999年11月1日に廃止されています）。

装置	項目	仕様		
		空港気象ドップラーレーダー	一般気象レーダー	富士山レーダー
空中線装置	アンテナ幅	7m	3~4m	5m
	ビーム幅	0.1°	1.0°	1.6°
送信装置	送信周波数	5.2GHz	5.300MHz	2.880MHz
	送信出力	200kW	1250kW	1,600kW
信号処理装置	距離分解能	1.6cm	375m	495m
	方位分解能	0.1°	1.0°	1.6°
データ処理装置	出力データ	エコー強度	ドップラー速度	エコー強度
データ表示装置	表示データ	雨雲高度・等	雨雲高度・等	雨雲高度・等
観測レンジ	120km	最大200km	最大800km	最大800km
レドーム直徑	11.7m	6~7m	9.0m	9.0m

ようになっています。

##### (3) 観測原理

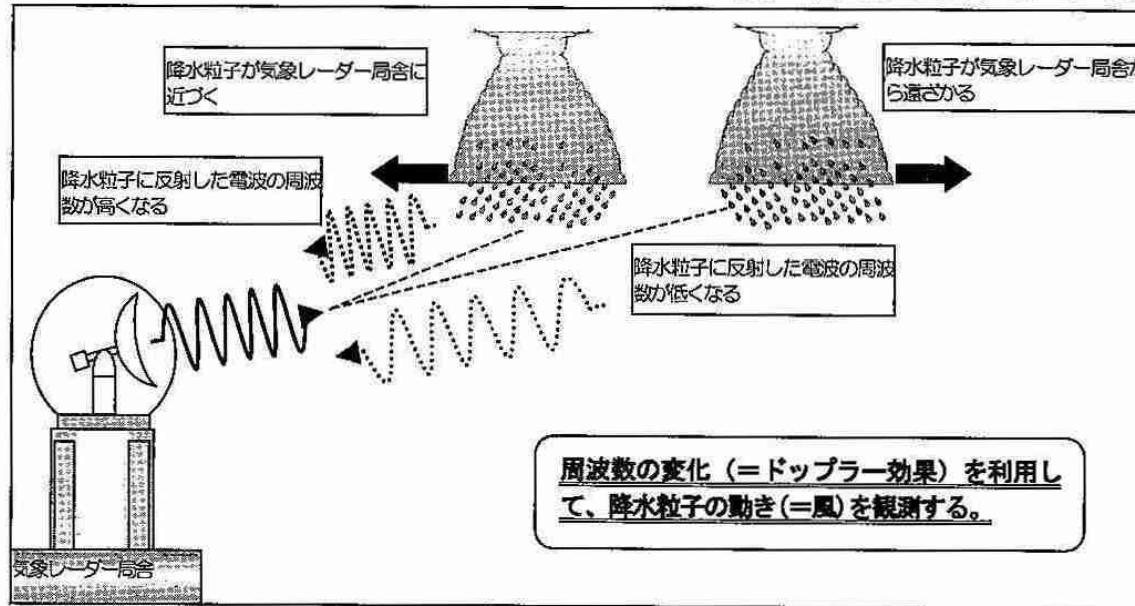
空港気象ドップラーレーダーは、一般気象レーダーと同様に、降水粒子で反射される電波の強さを利用して降水強度を観測すると共に、電波におけるドップラー効果を利用して降水粒子の速度を観測し、これから気流（風）の情報を得ています。

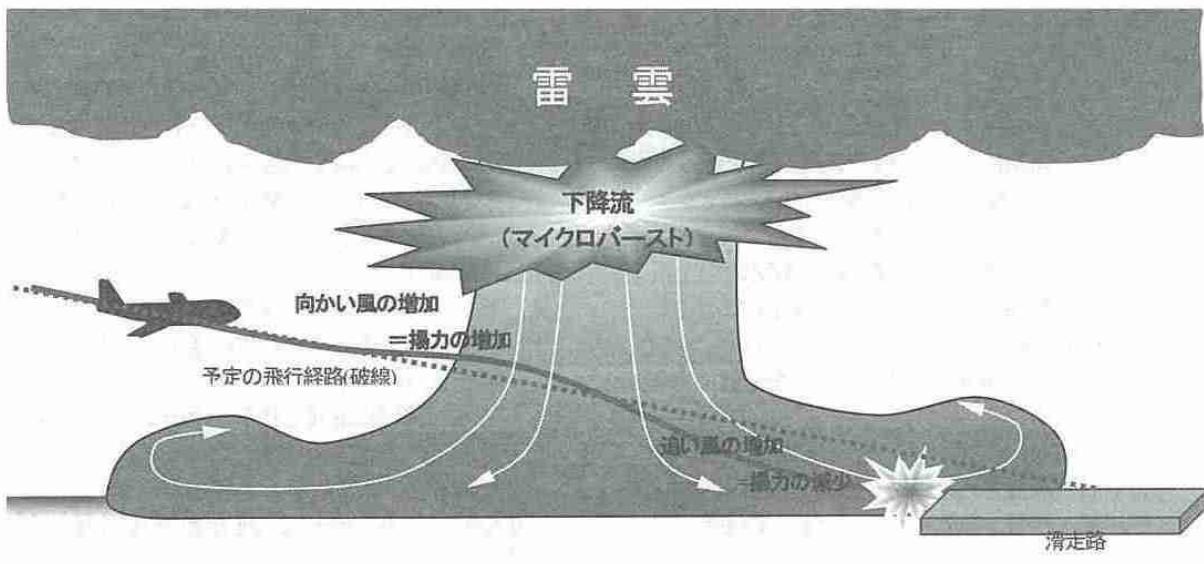
##### (4) 捉えようとしている現象

上空から降下してくる重い空気が地表付近で弾けるように発散するマイクロバーストや風の収束域が線状に形成されるシャーラインなどのうち、高度が地表から概ね500mまでのものを「低層ウインドシヤー」と呼んでいます。この低層ウインドシヤーは、離着陸中の航空機に大きな影響を与えることになります。

着陸中の航空機がマイクロバーストに遭遇したとします。向かい風の中着陸しようとしている航空機はマイクロバーストに遭遇すると強い向かい風を受け、揚力（上昇しようとする力）が働きます。ところが、マイクロバーストの中心を抜けると、今度は追い風を受けることになり、揚力が減少してしまいます。風の変化が急であるほど揚力の増減は激しく、最悪の場合航空機が滑走路手前で墜落してしまうことになります。

空港気象ドップラーレーダーは、得られた風の情報から、このような風が急激に変化している場所を検出し、特に離着陸に影響をおよぼす範囲で検出された場合には、管制機関からパイロットに情報が伝達されるようになっています。



風の急変が航空機におよぼす影響

## 5. ドップラーレーダーで見た新千歳空港の特徴

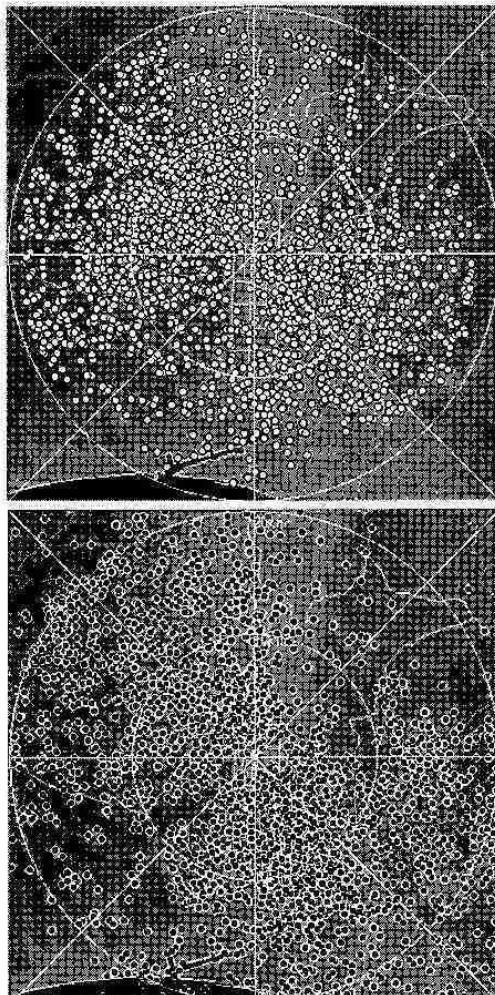
右図は過去3年間に新千歳空港の空港気象ドップラーレーダーが検出した、マイクロバースト（上）とシャーライン（下）の検出状況です。両方とも空港の北西側と南東側での検出が顕著になっています。また、特に風の強いときには、マイクロバーストは空港東側の丘陵地域でも多く検出されています。

新千歳空港で吹く風は、東西を山に挟まれているのでほとんどが南北からの風です。しかし、風は地形の影響を大きく受けているため、図のような低層ウインドシャーの検出状況になっているものと思われます。

## 6. 最後に

空港気象ドップラーレーダーは、降水現象の強度を観測しているだけでなく、風を捉えて航空機の運航に影響を与える風の急変域を検出し、航空機の安全運航に寄与しています。しかし、レーダーには「電波を反射するものが無いと観測できない」という弱点があります。また、高い山や建物などがあると、その裏側は観測できませんし、そこからの反射により誤観測（低層ウインドシャーの誤検出）を行ったりすることがあります。航空気象業務を行う上では、このような弱点も頭に入れておかなければなりません。

気象庁が空港気象ドップラーレーダーの運用を開始して約8年になりますが、低層ウインドシャーの検出だけでなく、ドップラーレーダーのデータの使い方はまだまだあるものと思われます。気象庁では、いろいろな調査を行いつつ、これから航空気象業務にさらに役立てていこうと考えています。



新千歳空港の空港気象ドップラーレーダーが検出したマイクロバースト（上）とシャーライン（下）の検出状況（各図の中心が新千歳空港）