



日本気象学会北海道支部市民大学講座

平成16年度気象講演会

『風と私たちの生活』

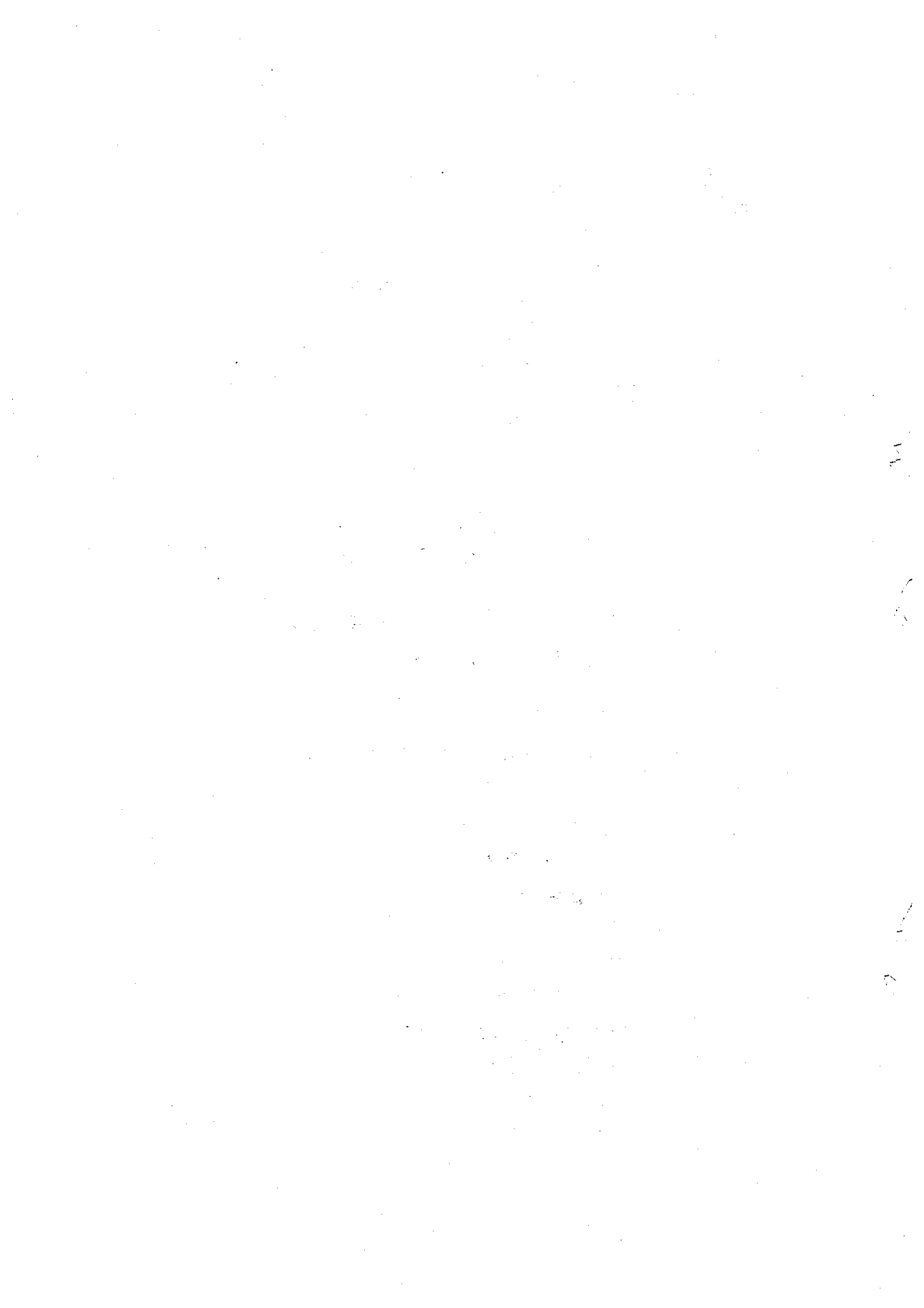
～ 航空気象・風による災害と風力エネルギー ～

と き 平成16年10月23日(土) 午後1時30分～

ところ 千歳市民文化センター 4階大会議室
千歳市北栄2丁目2番11号

主 催 (社) 日本気象学会北海道支部

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
札幌管区气象台



気象講演会次第

1 開会

日本気象学会北海道支部常任理事
山崎 孝治 (北海道大学大学院地球環境科学研究科 教授)

2 あいさつ

日本気象学会北海道支部長
松尾 敬世 (札幌管区気象台 台長)

3 講演

(1) 『パイロットの眼から見た気象』

日本航空機操縦士協会 北海道支部
支部長 花田 孝順

(2) 『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
技術専門官 菅谷 重平

(3) 『風力エネルギーの展望』

九州大学大学院 工学研究院
教授 松宮 輝

4 閉会

日本気象学会北海道支部常任理事
山崎 孝治 (北海道大学大学院地球環境科学研究科 教授)

ご挨拶

日本気象学会北海道支部は、気象学の研究を盛んにし、研究や技術の成果を社会に広く浸透させ、人々の生活が潤いのあるものになるように努力しております。これに関連して、気象講演会を北海道各地を巡回して毎年1回開催しております。住民の皆様にご研究の成果を紹介し、気象学会の活動を身近に感じていただくことを心がけております。

今回は、千歳市で気象講演会を開催することに致しました。今回のテーマは「風と私たちの生活」です。風は昔から最も身近に感じる現象であり、私たちの生活に潤いと変化を与えてくれています。その反面、今年の台風第18号に見られるように暴風や突風となって災害の原因にもなります。一方、近年、空の交通網が発展しており、千歳市の新千歳空港は北海道の代表的な空港となっております。航空機の安全な飛行や経済的な運航にとって、風は重要な現象として注目されています。また、風の力を利用する風力発電は二酸化炭素を出さないクリーンなエネルギーとして地球温暖化防止の一助となることが期待されております。今回は、風に関する最近の話題について三人のご専門の方々から講演を頂くことになっております。講演会を通して風に対してさらに関心を深めていただければと思います。今後とも、日本気象学会北海道支部の活動に御理解と御支援をお願い申し上げます。

最後に、この講演会のご後援をいただきました千歳市、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、札幌管区気象台ならびに講師の皆様にご厚くお礼を申し上げます。

(社) 日本気象学会北海道支部

支部長 松尾敬世

(札幌管区気象台長)

平成16年度気象講演会

開催日 平成16年10月23日(土)
場 所 千歳市民文化センター

目 次

- | | | |
|---|---|-------|
| 1 | パイロットの眼から見た気象 | 花田 孝順 |
| 2 | 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～ | 菅谷 重平 |
| 3 | 風力エネルギーの展望 | 松宮 輝 |

時 間 割

時 間	事 項	講師等
13:30	1 開会 2 あいさつ 3 講演 (座長)	山崎 孝治 松尾 敬世 山崎 孝治
13:35~14:30	(1) パイロットの眼から見た気象	花田 孝順
14:30~15:25	(2) 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～	菅谷 重平
15:25~15:35	休 憩	
15:35~16:30	(3) 風力エネルギーの展望	松宮 輝
16:30	4 閉会	山崎 孝治

パイロットの眼から見た気象

日本航空機操縦士協会北海道支部
支 部 長 花 田 孝 順

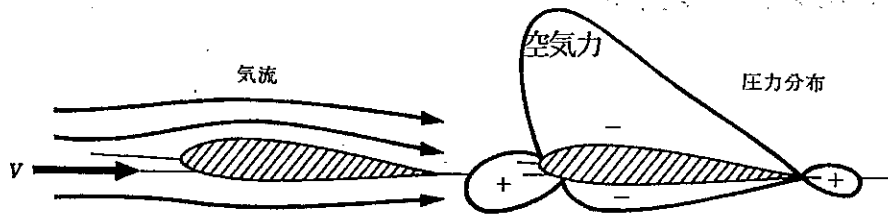
1、飛行機と風

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のでしょうか。

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い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おります。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日に英国の英国海外航空会社機(BOAC機)の富士山地区での空中分解による墜落事故だと思えます。

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15,000ftを飛行中、7,000ft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されており。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。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されており。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に、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に、BOAC機の事故の事を思い出しました。

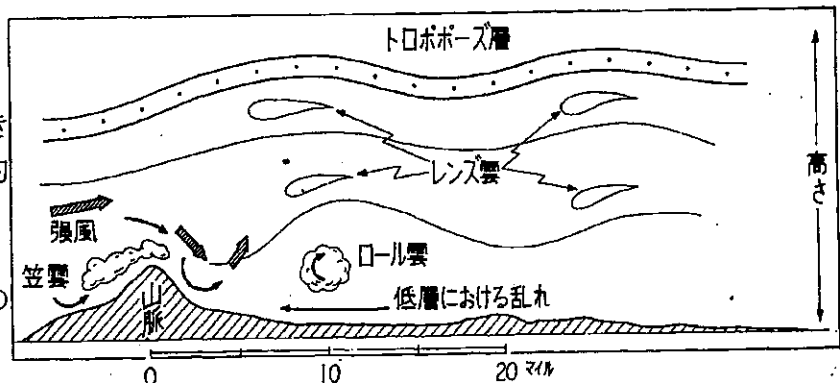
私も、運航している時に、大雪山とか、阿寒湖の上空を旋回して乗客サービスに勤めたものです。地域の天候特性を知っていれば安全が阻害されませんが、BOAC機は富士山の特性をあまり知らなかったのではないのでしょうか、空にはいろいろな罫があります。

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ヤー
- (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事がありました。

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、層雲峽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・オートカー機(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ったそうです。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るので助かります。

5、対流性乱気流

対流現象は上昇気流・下降気流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つ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・風のシヤア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しい操作ではありません。



しかし、予想されないのがウインド・シヤアです。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7,000ft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20,000ft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9,000ftから13,000mまで上昇させられ、積乱雲の雹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っ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のでしょう。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。

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、ICAO（国際民間航空機関）とWMO（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. 航空気象業務とは・・・

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、目的の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も必要な情報ですし、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。

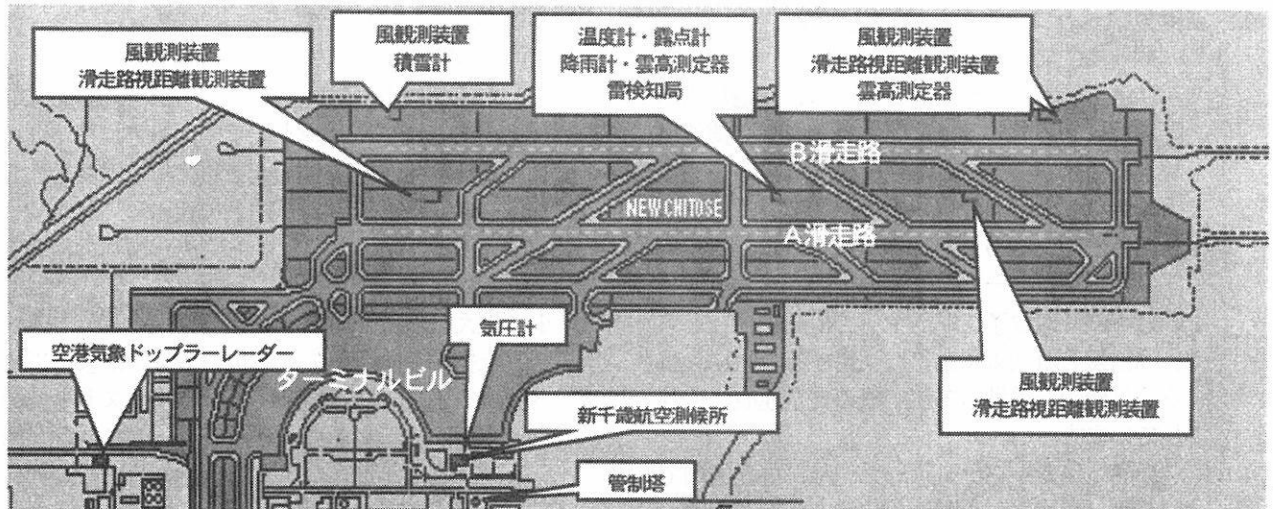
① 飛行場予報

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れ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(降水や霧など)・雲(量・形・雲底高度)・気温・露点温度・気圧(高度計補正值)・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は航空機が飛行する洋上を含む広い領域の気象を監視する必要があります。これらの情報として、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”と一言で言っても、「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

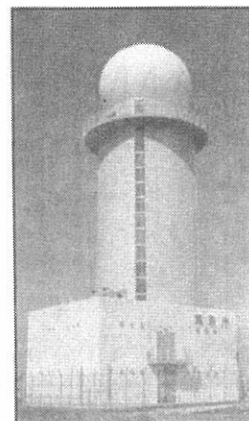
新千歳空港や道東方面の空港は時期によっては霧に悩まされます。霧がかかると視程が悪くなり、着陸だけでなく離陸にも影響を与えることがあります。

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ケースが多いので、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（低層ウインドシャー）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、低層ウインドシャ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	アンテナ径	7m	3~4m	5m
	ビーム幅	0.7°	1.0°	1.6°
送信装置	送信周波数	5.280MHz	5.300MHz	2.880MHz
	送信出力	200kW	250kW	1.500kW
信号処理装置	距離分解能	150m	375m	495m
	方位分解能	0.7°	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 じょう乱度、等	エコー強度	エコー強度
データ表示装置	表示データ	同上	同上	同上
観測レンジ	観測レンジ	120km	最大200km	最大800km
	レドーム直径	11.3m	6~7m	9.0m

ようになっています。

(3) 観測原理

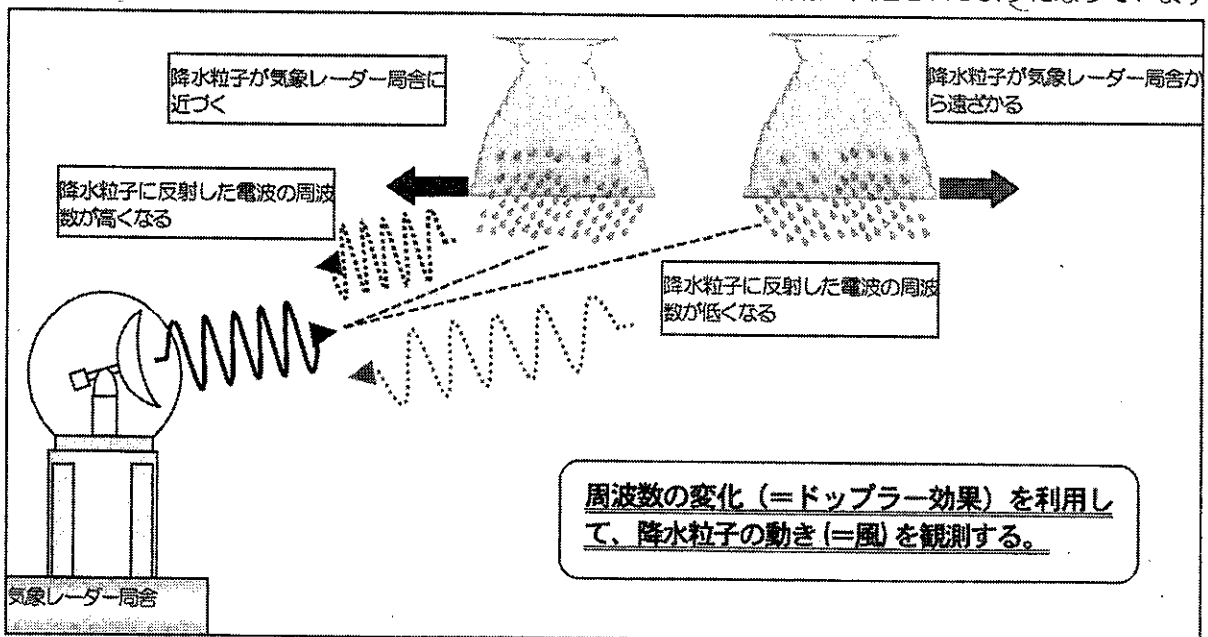
空港気象ドップラーレーダーは、一般気象レーダーと同様に、降水粒子で反射される電波の強さを利用して降水強度を観測すると共に、電波におけるドップラー効果を利用して降水粒子の速度を観測し、これから気流（風）の情報を得ています。

(4) 捉えようとしている現象

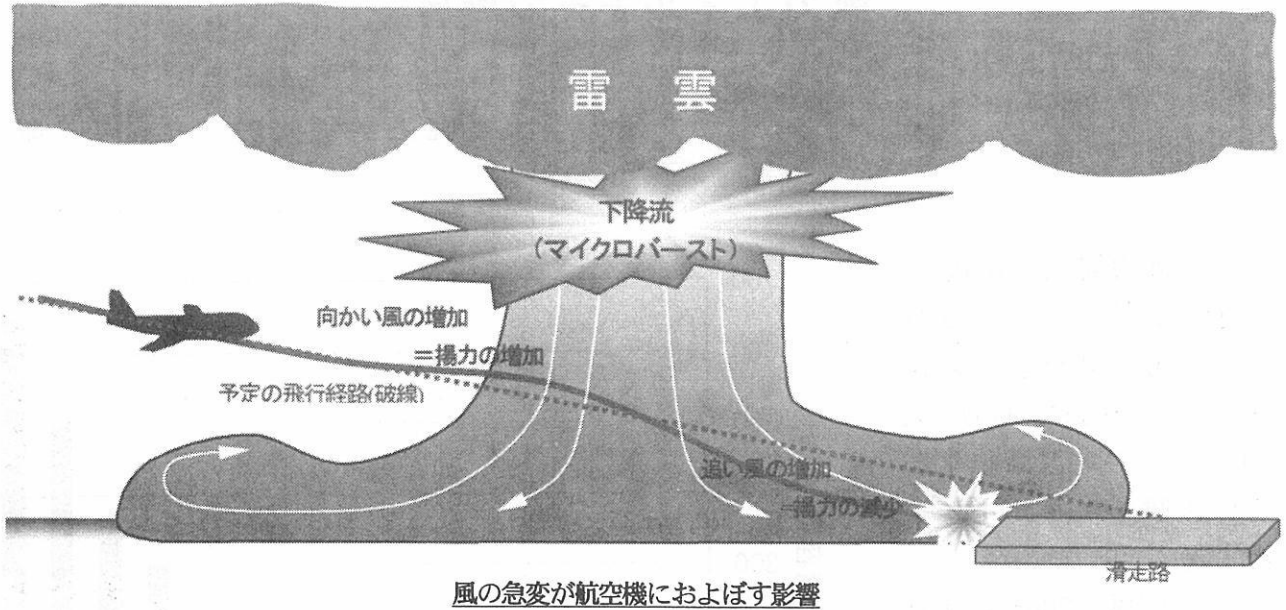
上空から降下してくる重い空気が地表付近で弾けるように発散するマイクロバーストや風の収束域が線状に形成されるシャーラインなどのうち、高度が地表から概ね500mまでのものを「低層ウインドシャー」と呼んでいます。この低層ウインドシャーは、離着陸中の航空機に大きな影響を与えることになります。

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。



ドップラー速度の観測原理



5. ドップラーレーダーで見た新千歳空港の特徴

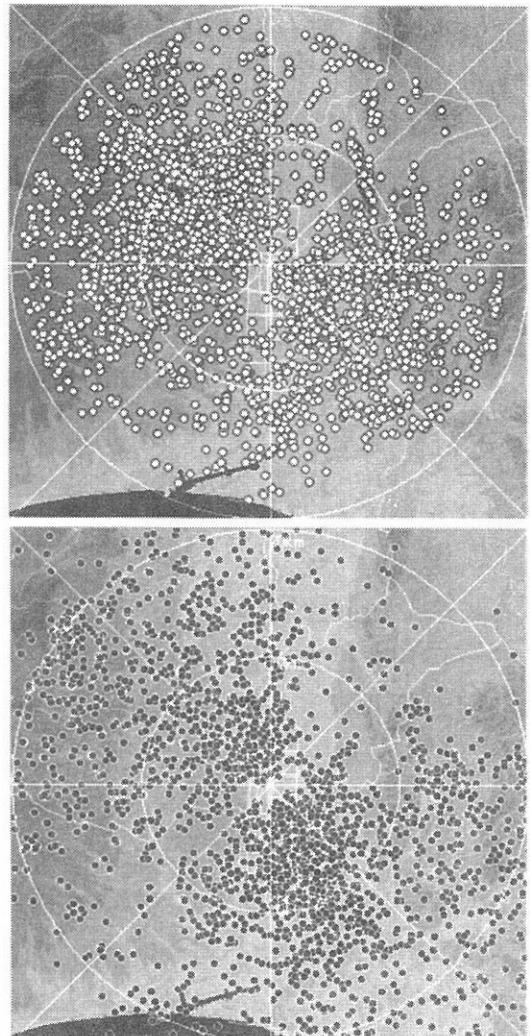
右図は過去3年間に新千歳空港の空港気象ドップラーレーダーが検出した、マイクロバースト(上)とシャーライン(下)の検出状況です。両方とも空港の北西側と南東側での検出が顕著になっています。また、特に風の強いときには、マイクロバーストは空港東側の丘陵地域でも多く検出されています。

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、これからの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)

風力エネルギーの展望

九州大学大学院工学研究院 松宮 輝

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⁽¹⁾。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状況がある。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⁽²⁾。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⁽¹⁾。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いだ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、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、量的な展開が目覚ましいばかりでなく、質的な転換にも注目される。それは洋上ウィ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。

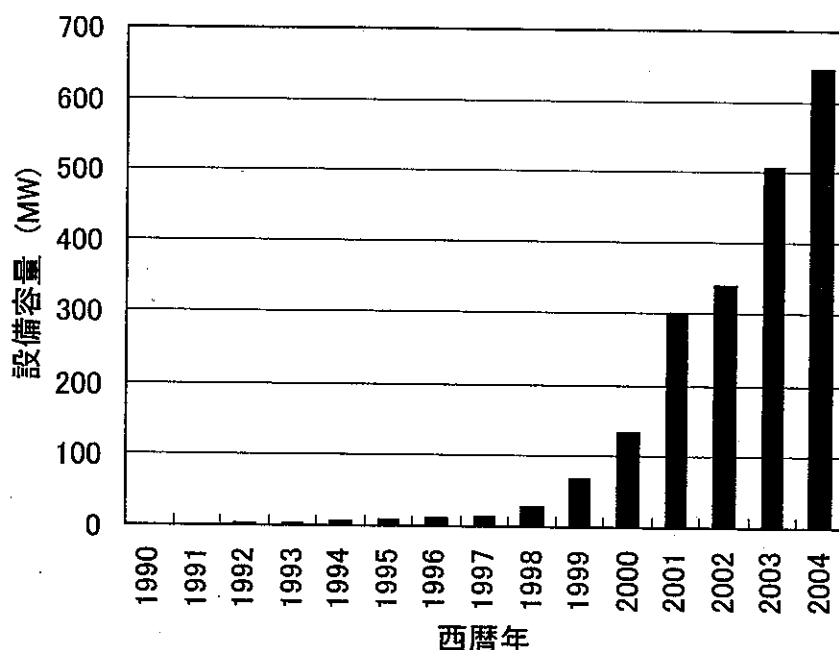


図 1 わが国の風力開発の推移

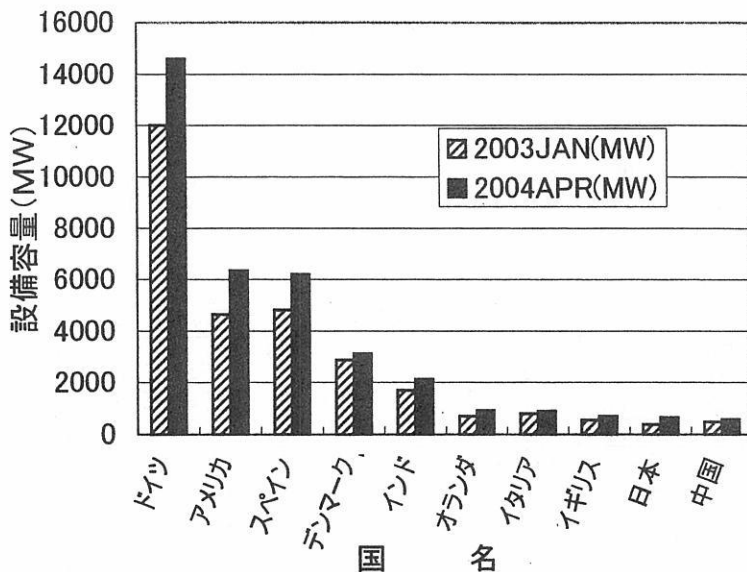


図2 世界の風力開発国ベス

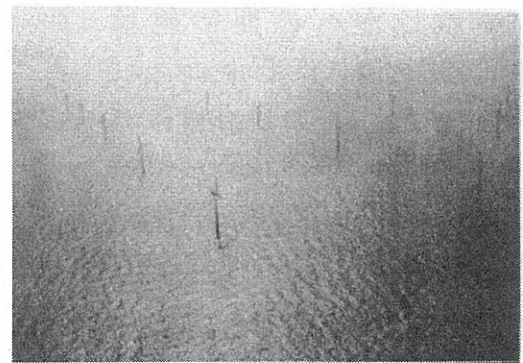


図3 Horns Rev 洋上ウィンドファーム (デンマーク、80基 160MW)

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⁽³⁾。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“深海洋上風力”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⁽⁴⁾。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。

表1 世界の洋上ウィンドファーム

国	名称	発電規模 (MW)	年
運転中			
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	Middlegrunden	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 Havmoellpark	158.4	2003
英国	North Hovle	60	2003
計画中 (大規模なもの代表例)			
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	Trafalgar Park	20	2006

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ーンピースは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

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： 系統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いる。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=アクティブストール、D=直結、G=歯車式、NA=不詳、H=ハイブリッド

メーカーと型式	国	ロータ径 (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

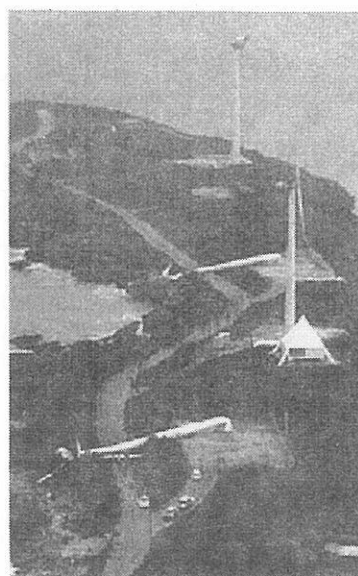


図 4 2003年、台風14号により倒壊した宮古島の風車（写真出所：朝日新聞 Web サイト）

されている⁽⁵⁾。

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。

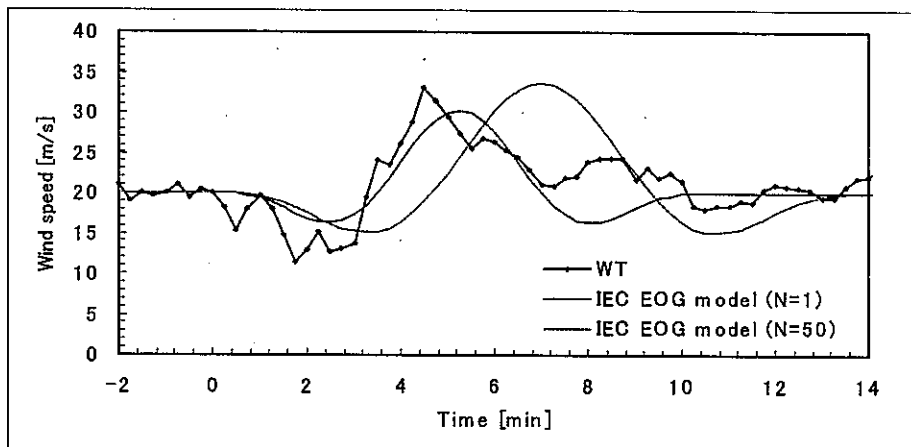


図5 日本の鈴鹿山系で観測された突風データ(WT)とIEC標準の数学モデル(IEC EOG model)の比較。N=1と50はそれぞれ1年再現頻度と50年再現頻度。

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)

日本気象学会の紹介と入会のご案内

1 気象学会とは

創 立：1882年に社団法人日本気象学会として創立。

目 的：気象学の研究を盛んにしてその進歩をはかり、国内国外の関係学会と協力して学術文化の発展に寄与する。

2 事 業

- ・全国大会：春季（東京近辺）・秋季（地方都市の持ち回り）の年2回開催。
（大会の内容：会員の研究発表・シンポジウム・交流等）
- ・図書刊行：機関誌「天気」、論文集「気象集誌（英文）」、「気象研究ノート」の刊行。
- ・国際会議：気象に関する国際会議の開催（不定期）。
- ・気象講演会：気象知識の普及のため一般の人々を対象に実施。

3 会 員

通常会員、特別会員、団体会員、賛助会員、名誉会員で構成。

現在、各官庁・大学の気象研究者や学生、教職員、公営・民間の企業で気象に関連する業務に携わっている人達、また気象に興味を持っている人達が会員になっています。

4 会 費

通常会員・特別会員とも

A会員：年会費 6,900円（学生4,200円）

B会員：年会費 12,600円（学生8,100円）

5 会員の特典

- ・機関誌「天気」は全員に、論文集「気象集誌」はB会員に配布されます。
- ・気象学会の刊行図書を会員価格で割引購入できます。
- ・気象学会が主催する各種の学術会議に参加できます。
- ・機関誌、気象集誌へ投稿できます。

6 北海道支部事業

- ・研究発表会を年2回開催（札幌市）。
- ・機関誌「細氷」の年1回刊行と会員への配布（研究内容の要旨や解説記事を掲載）。
- ・気象講演会を一般の人々を対象に地域の実情に沿ったテーマで開催。
- ・夏季大学「新しい気象」を年1回開催（札幌市青少年科学館と共催）。

気象学に関心のある方なら、どなたでも加入できます。詳しくは下記にお問い合わせ下さい。

問い合わせ先 〒060-0002 札幌市中央区北2条西18丁目
札幌管区気象台技術部気候・調査課内
日本気象学会北海道支部事務局
TEL 011-611-6147
FAX 011-611-3206