

# 第11回(平成28年度)

## 航空気象シンポジウム

平成28年11月11日(金)

午後1時～午後5時30分

会場／東京国際空港第一旅客ターミナルビル ANA 講堂

◇講演◇

- JAXAにおける低層風情報提供システムの研究開発
- 空港低層風情報(ALWIN)について

◇公開座談会◇

- 「低層ウィンドシアアとその対策」

主催 公益社団法人 日本航空機操縦士協会

一般財団法人 航空交通管制協会

後援 気 象 庁

国土交通省航空局

Intentionally  
Left Blank

## 目 次

<b>JAXA における低層風情報提供システムの研究開発</b> .....	<b>1</b>
<b>空港低層風情報(ALWIN)について</b> .....	<b>27</b>
特別寄稿 藤田先生の思い出 (桜美林大学教授 小野寺 三郎 氏) .....	49
参考資料 1 2015年2月13日冬型時のマイクロバースト .....	57
参考資料 2 2015年7月1日暖域内の沿岸前線 .....	67
参考資料 3 低層ウィンドシアア-について .....	75
参考資料 4 Windshear Alert System .....	81

# 第11回（平成28年度）航空気象シンポジウム

## プログラム

1. プロローグ・開会の挨拶 (13:00～13:30)

気象庁観測部観測課 航空気象観測整備運用室

室長 小川 完 氏

2. 講演 (13:30～15:20)

JAXAにおける低層風情報提供システムの研究開発 <60分>

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 航空技術部門

主幹研究開発員 又吉 直樹 氏

空港低層風情報（ALWIN）について <50分>

気象庁観測部観測課 航空気象観測整備運用室

航空気象観測班長 藤田 英治 氏

—————休憩————— (15:20～15:35)

3. 公開座談会 (15:35~17:15)

「低層ウィンドシアアとその対策」

パネリスト:

全日本空輸 B787 機長

ソラシドエア B737 操縦士

東京航空局 東京空港事務所 航空管制官

東京航空局 成田空港事務所 航空管制官

日本航空 運航管理者

ファシリテーター

日本航空機操縦士協会 航空気象委員長

真下 和之 氏

真島 裕介 氏

山根 誉正 氏

戸島 靖人 氏

林田 厚志 氏

山本 秀生

(日本貨物航空 B747 機長)

4. まとめ (17:15~17:25)

5. 閉会 (17:25~17:30)

総合司会 : 日本航空機操縦士協会 森 さやか (NHK ワールド)

Intentionally  
Left Blank

---

# JAXAにおける 低層風情報提供システムの 研究開発

又吉直樹

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構(JAXA)  
航空技術部門 航空技術実証研究開発ユニット

第11回 航空気象シンポジウム

1

## 目次

- 
1. 低層風の運航への影響と対策(現状と課題)
  2. 課題解決に向けたJAXAの取り組み  
(低層風情報提供システムの研究開発)
    - ① LOTAS の研究開発
    - ② ALWIN の研究開発
    - ③ SOLWIN の研究開発
    - ④ 第三者委員会によるニーズ、便益の明確化
  3. まとめ

2

# 低層風による航空機運航への影響



国内には離着陸時に低層風の影響を受けやすい空港が多く、**航空機事故や、就航率、運航効率の低下の要因**となっている。

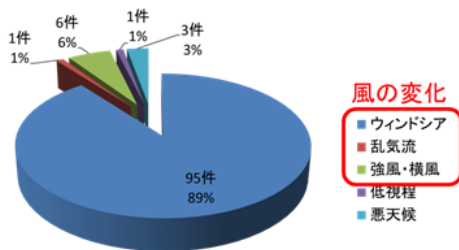
風変化が要因と考えられる着陸時の主な事故例(1990年以降)

発生年	場所	機種	状況
2012年	成田空港	B767-300	強い突風を伴う横風の状況下でハードランディングし、胴体が変形。9名が軽傷。
2009年	成田空港	MD-11F	風向風速の変化や気流の乱れが間接的な要因となり、着陸の際にバウンドを繰り返し、横転、炎上。2名死亡。
2002年	函館空港	A321	ウィンドシアーにより胴体後部が接触し中破。3名が軽傷。
1993年	花巻空港	DC-9-41	ウィンドシアーによりハードランディングし大破、炎上。3名が重傷。
1990年	成田空港	L-1011	ウィンドシアーによりハードランディングし主翼を破損。2名が重傷。



成田空港でのMD-11F横転事故  
出典:航空事故調査報告書 AA2013-4-2

出典:運輸安全委員会ホームページ(<http://www.mlit.go.jp/jtsb/index.html>)



成田空港での着陸復行の発生原因(2008年)  
⇒90%以上(102件)は、**風変化が原因**

出典:空港ターミナルエリア内で発生する悪天候の航空機運航への影響調査報告書  
財団法人 航空保安研究センター、平成21年10月

3

# 現在の対策:低層ウィンドシアー情報

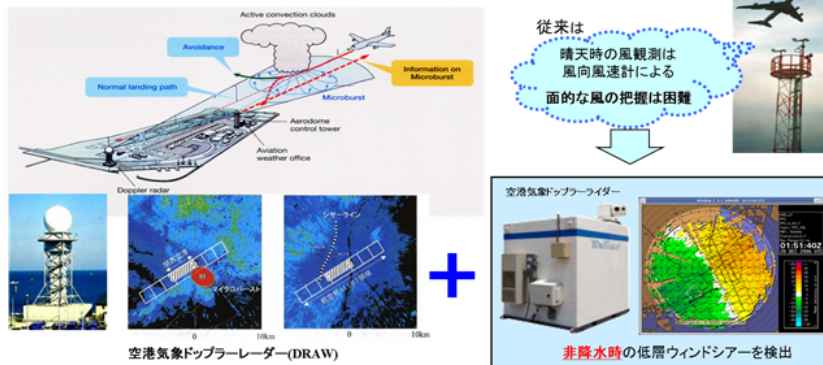


全国の主要空港では、事故に直結する強いウィンドシアー、マイクロバーストを空港気象ドップラーレーダー(20空港\*)、同ドップラーライダー(3空港)で**検知**、**情報提供**が行われている。

\*気象庁設置9空港、自衛隊設置11飛行場

## 全天候型低層ウィンドシアー情報の提供

出典:第4回航空気象研究会 気象庁観測部山本氏発表資料より



○ 低層ウィンドシアー(LLWS)情報

WIND SHEARの情報

20ノット以上の向かい風成分の増加、若しくは20ノット以上の向かい風成分の減少が観測された時に航空機に提供される情報

MICROBURSTの情報

30ノット以上の向かい風成分の減少が観測された場合に航空機に提供される情報

Japan Meteorological Agency

4



# 現在の対策: 低層ウィンドシアア情報



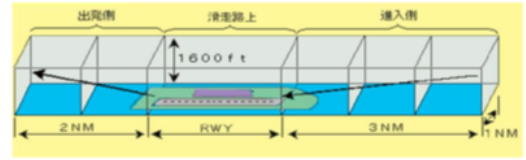
20kt以上の正対風の変化を伴うアンダーライン、マイクロバーストは、その位置、風速差が低層ウィンドシアア情報として、管制官から無線交信により提供される。

## Wind shear alert (WSA)

向かい風成分に20kt以上の風速差がある

## Microburst alert (MBA)

向かい風成分が30kt以上減少する



低層ウィンドシアア情報の提供対象領域

## 低層ウィンドシアア情報の例

出典: 航空気象情報の利用の手引き、気象庁



### 情報文(時刻 09:00(JST)の場合)

0900 27A MBA 30kt- 3nm FNL  
0900 27A WSA 25kt+ 3nm FNL

管制官からパイロットへの通報例

0000UTC RUNWAY 27 ARRIVAL MICROBURST ALERT. 30KNOT LOSS. 3MILE FINAL.  
0000UTC RUNWAY 27 ARRIVAL WIND SHEAR ALERT. 25KNOT GAIN. 3MILE FINAL.

5

# 低層ウィンドシアア情報の課題



課題① 情報提供が事故に直結する極端な正対風の変化に限られている。

(理由)

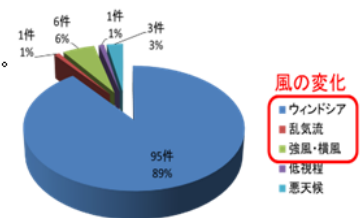
- 運航を止めうる警報的な情報のため、情報発出の閾値を高く設定。
- 情報提供に管制用無線周波数を使うため、情報量を限定。

(影響)

- 情報が発出されない場合でも、着陸できない事態(着陸復行)が発生している。

⇒事故低減には有効。

⇒運航効率改善の観点では改善の余地あり。



成田空港での着陸復行の発生原因(2008年)

⇒90%以上(102件)は、風変化が原因

風情報を日常運航に活かせないか?

課題② 観測装置(ドップラーレーダー、ライダー)のコストが高い。(1台数億円)

(理由)

- 国際民間航空機関(ICAO)で要求される高度500m(1600ft)までの観測距離を確保するため、大型のドップラーライダーが必要。

(影響)

- 地方空港への展開が進まない。

6

# 目次



## 1. 低層風の運航への影響と対策（現状と課題）

## 2. 課題解決に向けたJAXAの取り組み （低層風情報提供システムの研究開発）

- ① LOTAS の研究開発
- ② ALWIN の研究開発
- ③ SOLWIN の研究開発
- ④ 第三者委員会によるニーズ、便益の明確化

## 3. まとめ

7

# JAXAの取り組み（1／2）



課題① 情報提供が事故に直結する極端な正対風の変化に限られている。

⇒事故低減には有効だが、運航効率改善の観点では課題あり。

### JAXAの取り組み

- 定量的・視覚的な風情報を、任意のタイミングで航空機に提供する低層風情報提供システム（ALWIN／LOTAS／SOLWIN）を研究開発。
- Web、ACARSの既存インフラを活用し、航空機は改修の必要なし。
- 既存のレーダー・ライダーを活用したALWINは平成28年度中に実運用開始予定。

⇒課題をある程度解決。

	ALWIN	LOTAS	SOLWIN
情報提供範囲	着陸経路上、高度1000ft以下	着陸経路上、高度500ft以下	センサー直上のみ、高度300ft以下
風情報	水平風（正対風＋横風）	水平風（主に正対風） （横風も対応可能）	水平風（正対風＋横風） 鉛直風
使用センサー	空港気象ドップラーレーダー 空港気象ドップラーライダー 観測範囲：半径10km以上	小型ドップラーレーダー 小型ドップラーライダー 観測範囲：半径5km程度	ドップラーソーダー 観測範囲：センサー直上
運用評価	平成25～28年度 羽田・成田空港で評価	平成24年度 庄内空港で評価	平成28～29年度 大分空港で評価（予定）

8

# JAXAの取り組み(2/2)



## 課題② 観測装置(ドップラーレーダー、ライダー)のコストが高い。(1台数億円)

⇒地方空港への展開が進まない。

### JAXAの取り組み

- 低コストセンサ(小型レーダー・ライダー、ソーダー)を用いた低コストシステム(LOTAS、SOLWIN)を開発するも、便益を定量化しきれず、地方空港への導入計画は未だ無し。

⇒課題を解決できていない。

⇒ステークホルダーが会した第三者委員会により、低層風情報のニーズ、便益の明確化を行う。  
「国内空港への低層風情報提供システムの整備に関する調査委員会」

	ALWIN	LOTAS	SOLWIN
情報提供範囲	着陸経路上、高度1000ft以下	着陸経路上、高度500ft以下	センサー直上のみ、高度300ft以下
風情報	水平風(正対風+横風)	水平風(主に正対風) (横風も対応可能)	水平風(正対風+横風) 鉛直風
使用センサー	空港気象ドップラーレーダー 空港気象ドップラーライダー 観測範囲:半径10km以上	小型ドップラーレーダー 小型ドップラーライダー 観測範囲:半径5km程度	ドップラーソーダー 観測範囲:センサー直上
運用評価	平成25~28年度 羽田・成田空港で評価	平成24年度 庄内空港で評価	平成28~29年度 大分空港で評価(予定)

9



## ① LOTAS の研究開発

## ② ALWIN の研究開発

## ③ SOLWIN の研究開発

## ④ 第三者委員会によるニーズ、便益の明確化

参考: 低層風情報提供システムの開発と委員会のスケジュール

	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29
LOTAS		研究開発		運用評価			実用化ベンディング 実用化判断		
ALWIN				研究開発		運用評価		実運用	
SOLWIN							研究開発	運用評価	
委員会								評価検討	

10

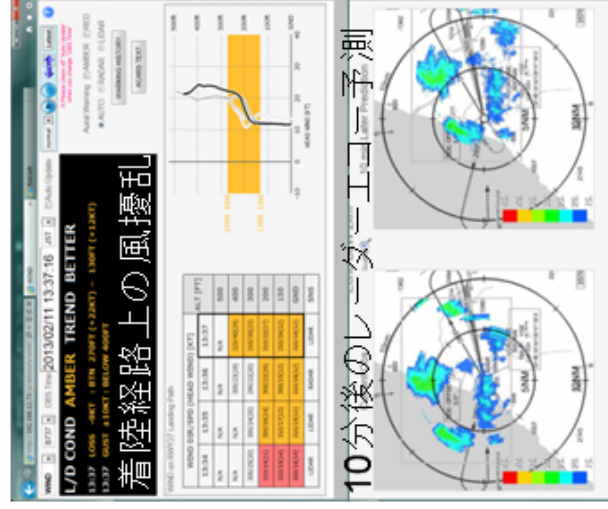
# LOTAS (Low-level Turbulence Advisory System)



- 着陸復行につながらりうる正対風の変動を自動検知。
- Web、ACARSを活用し、視覚的・定量的な風情報を、任意のタイミングで航空機に提供。
  - ✓ LOTAS⇒エアライン： Webによる情報提供
  - ✓ エアライン⇒航空機： 運航支援者からテキスト情報を手動でアップリンク(Push型)
- 入手性の高い小型レーダー、ライダーを使用し、低コスト化(従来の半分以下)。観測範囲は高度**500ft**以下。
- 着陸難易度推定、レーダーエコー予測等の実験的な機能も有する。
- JAXA、大阪大学の共同研究。



入手性の高い小型レーダー、ライダーにより、全天候下で空港周辺を観測



運航関係者へ

航空機へ

# LOTAS: 風情報画面



## 着陸経路上の風の状態、着陸の難易度を表示

WIND B737 OBS. Time 2013/02/11 13:37:16 JST

**L/D COND AMBER TREND BETTER**

13:37 LOSS -9KT : BTN 270FT (+22KT) - 130FT (+12KT)

13:37 GUST ±10KT : BELOW 400FT

WIND on RWY27 Landing Path

WIND DIR/SPD (HEAD WIND) [KT]		ALT [FT]
13:34	13:35 13:36 13:37	500
N/A	N/A N/A	400
N/A	300/23(19) 320/40(24)	300
300/25(20)	300/24(20) 290/22(20) 310/30(23)	200
310/14(11)	300/16(14) 300/22(19) 310/22(17)	150
310/19(14)	310/17(13) 300/15(13) 310/16(12)	GND
300/16(14)	310/15(11) 310/16(12) 310/16(12)	SNS
LIDAR	LIDAR RADAR LIDAR	

※ Please check off "Auto Update" Auto Update

着陸難易度の定義

**GREEN** 問題なし

**AMBER** 注意が必要

**RED** 復行の確率大

着陸経路上の風向・風速と正対風を表とグラフで表示

# LOTAS: ACARS用テキスト表示



RJSY OBS TIME 06:22:00Z (JAXA SYS/UNOFFICIAL) 観測時刻

L/D COND RED TREND WORSE  
 LOSS -9KT: 150FT(+30KT)- 0FT(+20KT)  
 GUST +-10KT: BELOW 400FT  
 GUST +-15KT: BELOW 170FT

着陸の難易度、  
 ウインドシア、  
 乱気流の情報

	HEAD WIND [KT]	AGL	WIND DIR/SPD (HEAD WIND)
I	*	500FT	290/37KT (35KT)
I	*		
I	*	400FT	290/36KT (34KT)
I	*		
I	*	300FT	290/37KT (34KT)
I	*		
I	*	200FT	290/29KT (27KT)
I	*	150FT	300/37KT (33KT)
I	*	100FT	300/31KT (28KT)
I	*		
I	*	GND	310/27KT (25KT)

RWY27  
 着陸経路上の  
 正対風

150FT:+30KT

0FT:+20KT

-----  
 -10 0 10 20 30 40 50  
 HEAD WIND [KT]

RWY27着陸経路上の  
 風向・風速(括弧内)



進入開始前に、機上で  
 着陸経路上の風の状態を把握

撮影協力 ANA

# 庄内空港でのLOTAS運用評価



- 冬期に北西風が卓越し、主に地形性の風擾乱が低高度で発生しやすい庄内空港にLOTASプロトタイプを設置し、エアラインに試験的に情報提供(平成24年12月～平成25年2月)。
- 飛行中の航空機には、ACARS経由で風情報を提供。  
⇒航空機への風情報提供に特に高い評価。  
⇒事故防止だけでなく、進入時の操縦計画の立案等に利用可能、とのコメント。



LOTAS  
情報表示端末

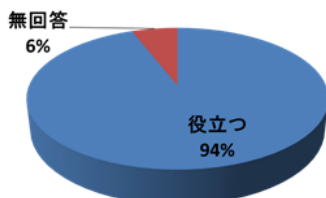
ANA庄内STCへの  
LOTAS情報表示端末の設置



撮影協力 ANA

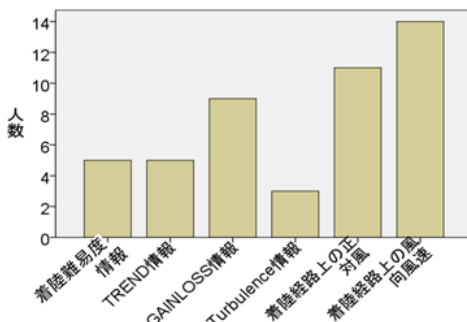
航空機への風情報の送信例(ACARS)

# パイロットによるLOTAS評価



ACARSで受信したLOTASテキスト情報の有効性評価(パイロットアンケート)

LOTASテキスト情報を実際に受信したパイロットの90%以上が、有効と回答



ACARSで受信したLOTASテキスト情報の中で役立つ項目(パイロットアンケート)

500ft以下限定の情報でも有効。  
接地間際での対気速度減少が予測でき、  
パワーコントロールの計画ができる。

## ■ 役立つ観点

- ① 状況認識の向上、予測
  - 正対風の変化トレンドの認識
  - コースがずれるタイミングの予測
  - 接地間際での対気速度減少の予測

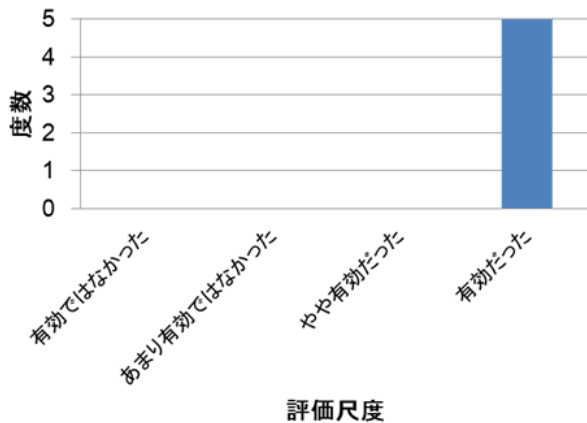
## ② 操縦方策の計画

- パワーコントロールの計画
- Windshearを予測しながらの操作
- アプローチ・ブリーフィングへの使用
- 風向・風速が変化しているところで揺れ出すことを共通に認識

## ■ 問題点

- 着陸難易度は、情報の意味、およびREDが出た際の対処方針が明確でなかったため、利用が困難とのコメント有り
- 評価者の数が少ない(約20名)

# 運航支援者によるLOTAS評価



風擾乱情報の有効性が明らか



## LOTAS使用の具体例

場面	ACARSアップリンク状況
西風による乱気流が予想される場合	到着の20~30分前に1回
北西風で平均15KT以上やGUSTがある場合	2回
着陸難易度「AMBER」、「RED」が出るような状況時	2~3回

運航支援者は、風擾乱の厳しさを表す情報として、着陸難易度を肯定的に評価。

## 問題点 評価者の数が少ない。(5名)

16

# 費用対効果の壁



平成26年度の航空局CARATS航空気象検討WGにて、LOTASのような小型レーダー・ライダーを利用した風情報提供システム導入の費用対効果を検討。

- LOTASの便益：地方空港での気象による欠航便の直接的損害(旅客の時間損失+直接運航費)の軽減。
- LOTASの費用：主に小型レーダー・ライダーの導入・保守費用。

⇒効果<費用となり、費用対効果が成立しない。



## CARATS航空気象検討WGの評価結果

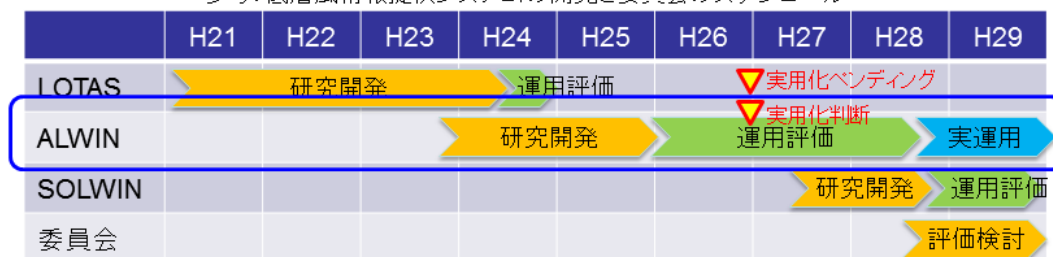
- 定性的な効果は認められるが、現時点の導入費用に見合った効果を認めることは困難。⇒導入見送り
- 年間数億円オーダーで被害のある航空機避雷対策への活用可能性への意見があり、引き続き研究開発課題と位置づけ、検討する。
- 一方、既存のレーダー・ライダーを用いた情報提供のコストは埋没コストと見なせるため、導入を決定。⇒空港低層風情報ALWINの実用化へ

17



- ① LOTAS の研究開発
- ② ALWIN の研究開発
- ③ SOLWIN の研究開発
- ④ 第三者委員会によるニーズ、便益の明確化

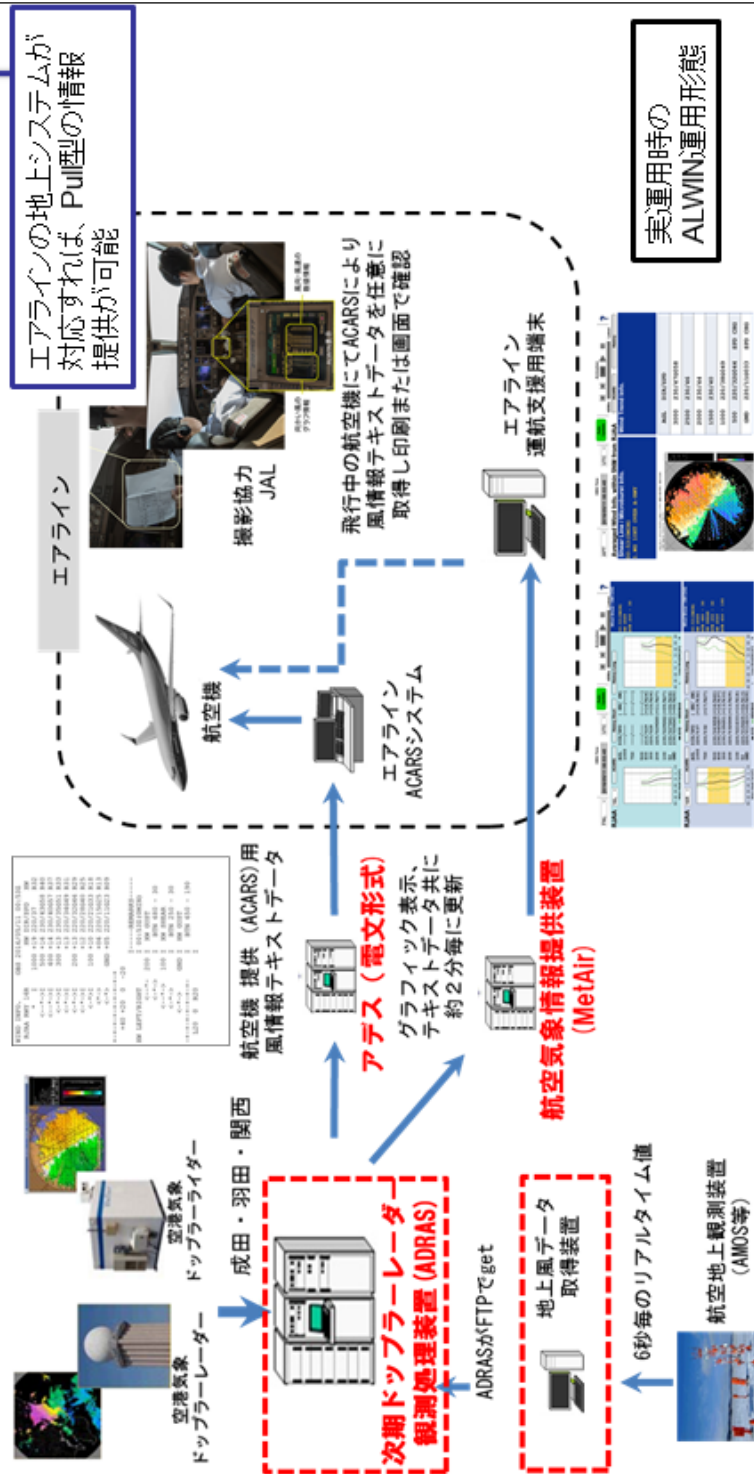
参考: 低層風情報提供システムの開発と委員会のスケジュール



# 空港低層風情報ALWIN (Airport Low-level Wind Information)



- 羽田・成田両空港の各滑走路の着陸経路上1000ft以下の風情報をリアルタイム提供。
- 気象庁空港気象ドップラレーダー・ライダーによる全天候観測。
- Web (MetAir) に加えて、テキスト情報の電文送信に対応。 ⇒ Pull型の情報提供に対応。
- 気象庁とJAXAの共同開発。JAL、ANAが評価に協力。 ⇒ 平成28年度中に実運用予定。



地上運航支援者 提供用 風情報グラフィックデータ

# ALWIN Web情報：FNL画面（評価時）



2滑走路の着陸経路上の風情報を上下に並べて表示。風変動を自動検知

**RJAA 16L**

**着陸経路上の正対風のグラフ**

**着陸経路上の横風のグラフ**

**検出した風変動**

**情報文:  
直近10分間以内の  
最新の風変動**

**RJAA 16R**

**着陸経路上の正対風のグラフ**

**着陸経路上の横風のグラフ**

**風向/風速 (正対風/横風)の数値表示**

Altitude	Dir/Spd	HW/XW
1000	---	(---/---)
750	210/029	(+16/R24)
500	220/028	(+15/R24)
400	220/029G40	(+11/R27)
300	230/029G42	(+09/R27)
200	230/027G41	(+08/R26)
100	230/026G41	(+08/R25)
50		
GND		

Legend: ■ AVG ■ MIN/MAX

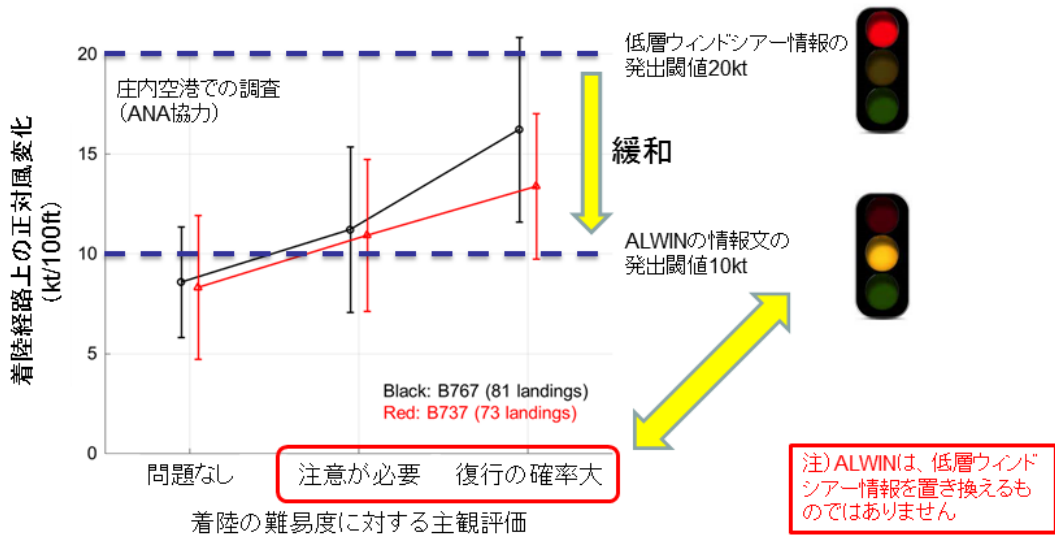
**Wind Shear / XW CHG**

Runway	W Shear	XW GUST	BTN
16L	00 : 53 (OMIN)	680 - 30	200 - 30
16R	00 : 53 (OMIN)	650 - 30	190

# ALWINの「風変動」検出の閾値



- ✓ ALWINの風変化検出の閾値は、「高度100ft当たり10kt以上の変化」  
低層ウィンドシアア情報(WSA)の「20kt以上の正対風変化」に比べて、緩和されている ⇒注意喚起の意図
- ✓ ALWINのGust検出の閾値は、「最大風速が平均風速より10kt以上大きい」  
地上風の通報基準と同じ



# ALWIN Web情報: APT画面(評価時)



空港5NM以内の平均風、およびマイクロバースト/シアラインの検出情報を提供

OBS.Time: 2016/05/11 00:53:45 UTC

APT [dropdown] [Auto Update]

Animation: [Latest] [History]

### Averaged Wind Info. within 5NM from RJAA

Shear Line / Microburst Info.  
00:53 (0MIN)  
1. WS 10KT OVER A-RWY

Wind Trend Info.  
風の時間変化(トレンド)の情報

AGL	DIR/SPD	
3000	230/47G058	
2500	230/46	平均風の風向/風速の数值表示
2000	230/44	
1500	230/40	
1000	220/38G049	
500	220/32G044	SPD CHG
GND	220/11G033	SPD CHG

2016/05/11 00:53:35(UTC) LIDARドップラー速度(第2仰角) 成田(RJAA)  
LIDAR Doppler Velocity (2nd EL)

直近10分以内の最新のマイクロバースト/シアラインの情報

ドップラーライダーで観測した空港周辺の風速分布

# ALWIN テキスト情報



Webとほぼ同等の風情報を、ACARSで送信可能なテキスト形式で提供

## FNL 情報

```

WIND INFO.      OBS 2016/05/11 00:53Z
RJAA RWY 16R   * I      HW DIR/SPD  XW
<--*-->I      1000 +19 220/37   R32
<--*-->I      500 +16 230/43G58 R40
<--*-->I      400 +14 230/40G57 R37
<--*-->I      300 +13 230/35G51 R33
<--*-->I      +13 220/34G49 R31
<--*-->I      200 +13 220/32G46 R29
<--*-->I      +12 220/28G40 R25
<--*-->I      100 +10 220/21G33 R18
<*-->         +06 220/15G25 R13
<*-->         GND +05 220/11G23 R09
+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+
+40 +20 0  -20
XW LEFT/RIGHT  <--*-- 200 I  XW GUST
<--*-->       <--*--> I  BTN 680 - 30
<--*-->       <--*--> I  XW SHEAR
<--*-->       <--*--> I  BTN 250 - 30
<--*-->       GND I   HW GUST
+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+
L20 0  R20    I   BTN 650 - 190
    
```

着陸経路上の  
正対風/横風のグラフ

情報文:  
直近10分以内の  
最新の風変動

風向/風速(正対風/横風)の数値表示

## APT 情報

```

WIND INFO.      OBS 2016/05/11 00:53Z
RJAA AIRPORT
AVERAGE WIND WITHIN 5NM FROM RJAA
AGL DIR/SPD
3000 230/47G058
2500 230/46
2000 230/44
1500 230/40
1000 220/38G049
500 220/32G044 SPD CHG
GND 220/11G033 SPD CHG
    
```

平均風の風向/風速  
の数値表示

---REMARKS---  
00:53Z (OMIN)  
WS 10KT OVER A-RWY

直近10分以内の最新の  
マイクロバースト/シアラインの情報

# コックピット内でのALWIN活用例(評価時)



進入開始前にALWINで風の状況を確認



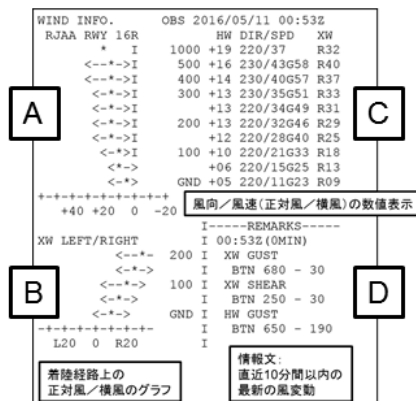
撮影協力 JAL

# 評価で頂いた主なパイロットコメント

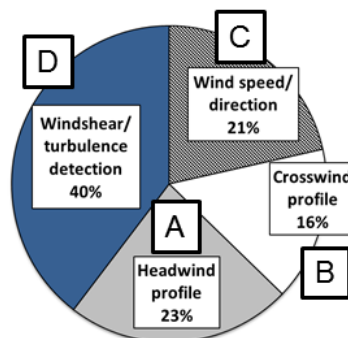


## 主なパイロットコメント

- 事前のイメージ作りに非常に有効
- FNLの状況を具体的にイメージし、両者(PF/PM)で共有するツールとして役に立った
- Flareまでのクロスコントロールのイメージが作りやすかった
- 数回取得することで時間変化の傾向分かった。何ft以下で注意すべきか予測もできた
- 34Lと22の両方を取得し、風がまったく異なっていたので、シアラインを予想できた
- VERY ROUGH AIR(100'以下)のPIREPがあったが、時系列に傾向を見ることができ、RWY選択(34L or 34R)の判断材料として使った(自分(はPMであった)
- 34LのHunger Waveを回避する決定の一助となった
- 1000ftより上空の風を見て、これから変化があることが予想できた
- 水平方向のw/sについてはdata通りであったが、実際にはdown draftもあった



ALWIN FNL情報



役に立ったALWINの情報

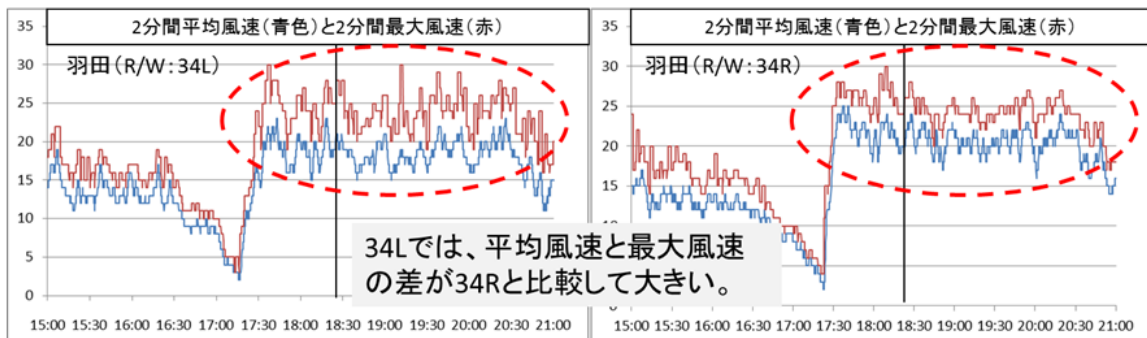
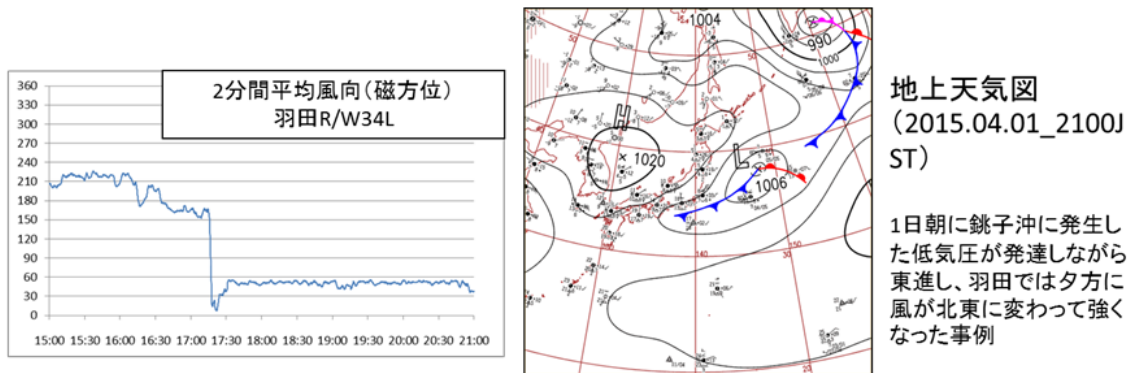
# 評価期間中の主な改良点(フィードバック)



指摘事項	指摘に関する具体的な理由	対策
実際の風と提供した風が違う場合あった	・ALWIN取得時間と実際の着陸時間の差(約10分間)に伴う風の変化	・一定時間以内の過去の検出情報も表示可能とした
	・UP/DOWN DRAFTによる揺れ(風の息や乱れに伴う変化)	・ACARS 風グラフに風(正対風・横風)に変動幅を表示した
提供する情報の高度範囲	・風が厳しい時は、より低高度の情報が欲しい	・経路上データで50FTまで提供
(現行は地上~1000FT)	・着陸プラン作成のためには、ある程度高い高度までの情報が欲しい	・空港代表風は3000FTまで表示とした
レイアウト	機内ディスプレイ表示した際に、画面が分割されて見にくい	分割されないようにレイアウトを修正した
降水時に利用できない	降水時はライダーのレーザー光が減衰してデータが得られない	ライダー(DRAW)の観測データの利用について開発中

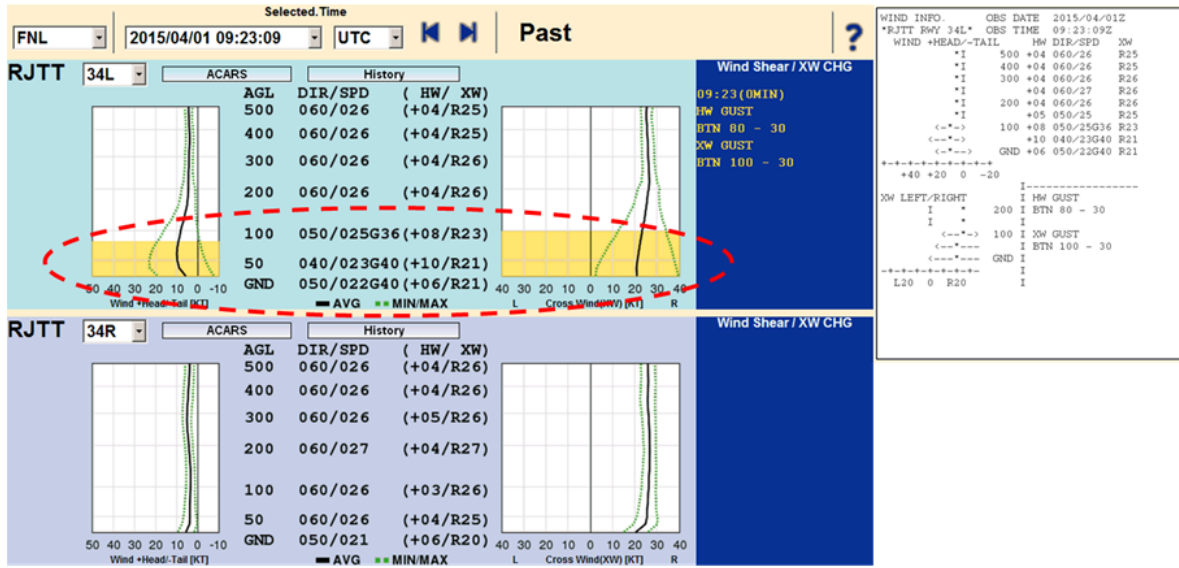
出典:平成27年度第1回航空気象懇談会資料、気象庁

# 評価期間中の観測例(羽田空港 北東風)



出典:平成27年度第1回航空気象懇談会資料、気象庁

# 評価期間中の観測例(羽田空港 北東風)



4月1日1823JSTのALWIN(上: APT(34L/34R))の画像、右: 同テキスト情報(34L)

右からの横風が20KT~30KTで強いが、34Lのみ下層100FT以下で風速の変動がとても大きくなっている。一方、34Rでは地上風はやや弱くなる変化をしているが、風速の大きな変化は無く、34Lの風速の変動は格納庫(ハンガー)の風下における風の乱れを捉えていると考える。

出典:平成27年度第1回航空気象懇談会資料、気象庁

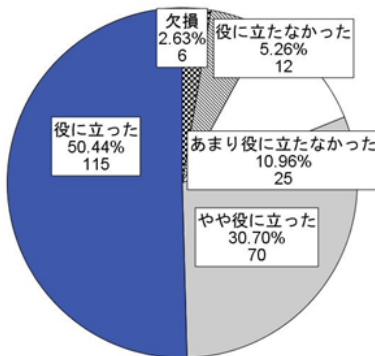
# ALWINの運用評価結果



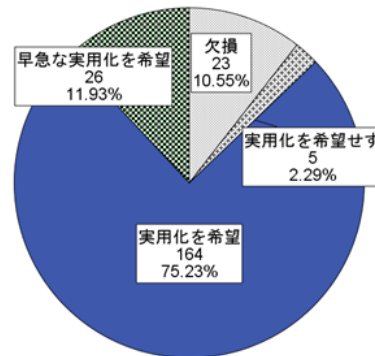
- 80%以上のパイロットが、ALWINが有効と回答。
- 90%近くのパイロットが、ALWINの実用化を希望。



この評価結果を受けて、気象庁は羽田・成田空港での実運用を決定



ALWINの有効性の評価



ALWINの実用化要望



- ① LOTAS の研究開発
- ② ALWIN の研究開発
- ③ SOLWIN の研究開発
- ④ 第三者委員会によるニーズ、便益の明確化

参考: 低層風情報提供システムの開発と委員会のスケジュール

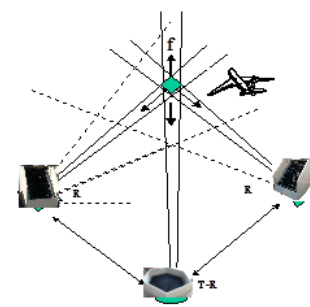
	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29
LOTAS	研究開発			運用評価			△実用化ベンディング		
ALWIN			研究開発		運用評価		△実用化判断	実運用	
SOLWIN							研究開発	運用評価	
委員会								評価検討	

30

## SOLWINで用いる最新型ドップラーソーダー

バイスタティック型ドップラーソーダー(送受信機1台+受信機2台で構成)

- ① 低高度において高分解能で風の変化を監視  
3次元風速(上昇・下降風)、ICAO乱気流指標(EDR)の測定が高度10m分解能で可能
- ② 降雨時、晴天時を問わない全天候型リモートセンシング装置
- ③ 気温構造の検知(逆転層の生成・崩壊など)  
音響モセンは低層ジェット気流と密接な関係がある逆転層の監視が可能
- ④ 設置が容易  
夜間2日程度で機器の設置調整ができ工事費・空港運用の負担が軽い
- ⑤ 低価格  
ドップラーレーダー・ライダーなど他の風観測リモートセンシング装置に比べて導入コストは1/10程度(仕様により2,000万円～)



Arrangement of T-R and R



R1 (Receiver)



T-R (Transmitter-Receiver)、Controller



R2 (Receiver)

32

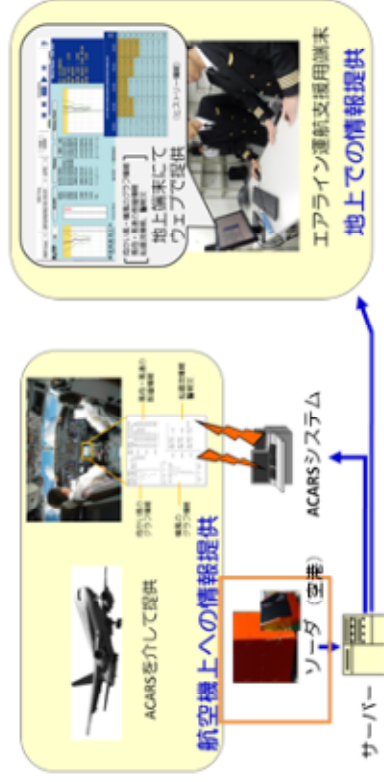
# SOLWIN (Sodar-based Low-level Wind Information)



- 低コストの全天候センサー(ドップラーソナー)を採用し、Web、テキストの両形式で風情報を提供。⇒LOTASのようにPush型で風情報を航空機に提供可能。
- メリット： 低コスト。LOTASの1/3～1/4程度。
- メリット： 鉛直風を観測可能。
- デメリット： 観測範囲に制限。装置直上300ft程度まで。
- JAXAと(株)ソニックの共同研究(JAXAオープンラボ制度)により開発中(平成27～29年度)。
- 平成28年末～平成29度末まで大分空港に設置し、運用評価を予定。



(株)ソニックが開発したドップラーソナー  
(音波により装置直上の風(鉛直流含む)を計測)

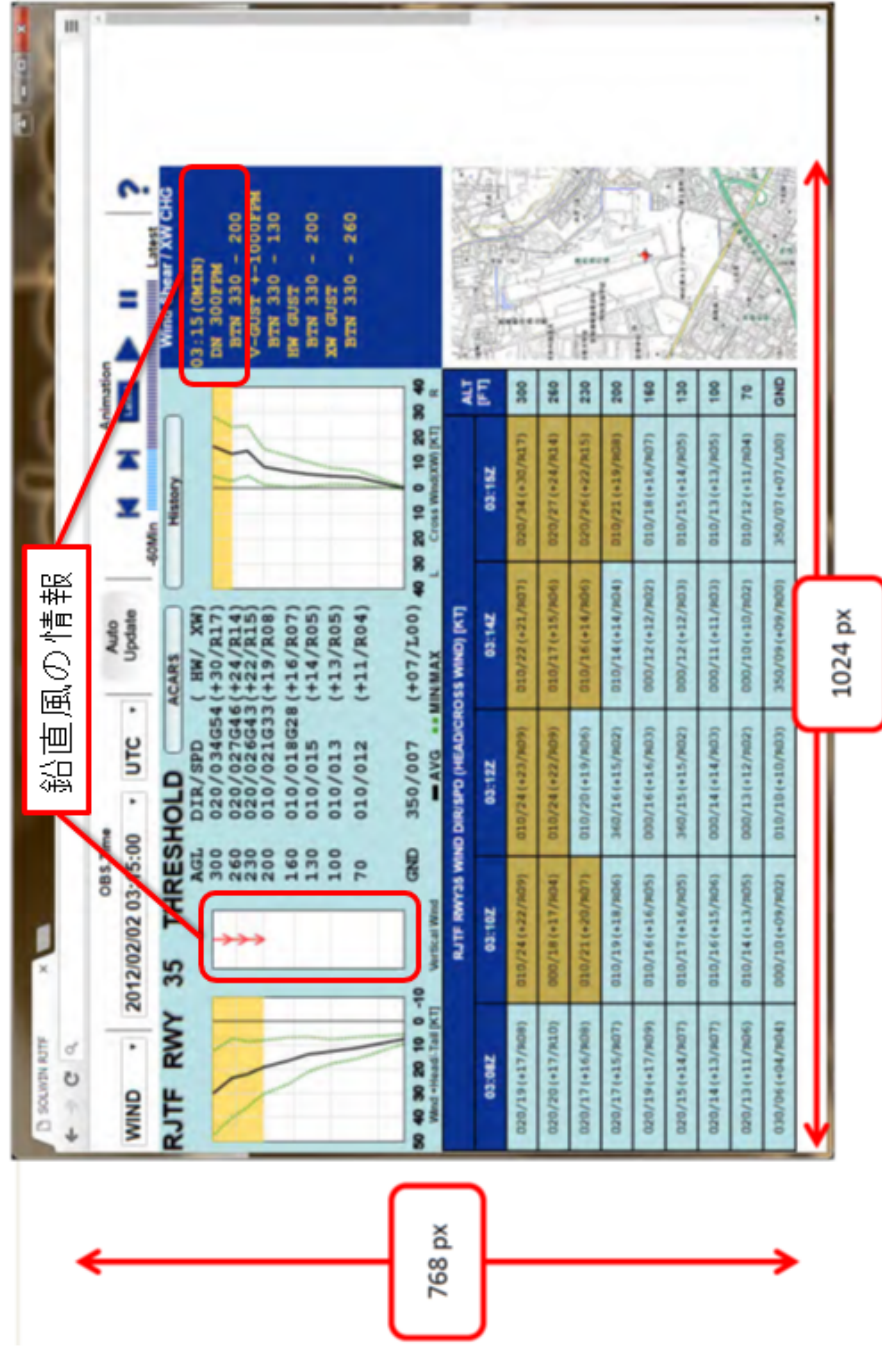


運用評価のイメージ

# SOLWIN Web情報：WIND画面



センサー上空300ftまでの風情報（鉛直風含む）を提供。



ヘッダ・上段：ALWIN画面を踏襲、鉛直風情報を追加  
 下段：旧History Short画面、観測地点地図（静止画像）を配置

# SOLWIN テキスト情報



ALWINとほぼ同形式。鉛直風の情報を追加。

```

WIND INFO.      OBS 2012/02/02 03:15Z
*** CAUTION * WIND OVER THRESHOLD ***
RJTF RWY 35    U/D      HW DIR/SPD  XW
---*---> I      DN 300 +30 020/34G54 R17
<---*--->I      DN      +24 020/27G46 R14
<---*---> I      DN      +22 010/26G43 R15
<---*---> I      DN 200 +19 010/21G33 R08
<---*--->I      +16 010/18G28 R07
* I            +14 010/15 R05
* I            100 +13 010/13 R05
* I            70  +11 010/12 R04
* I            GND +07 350/07 L00

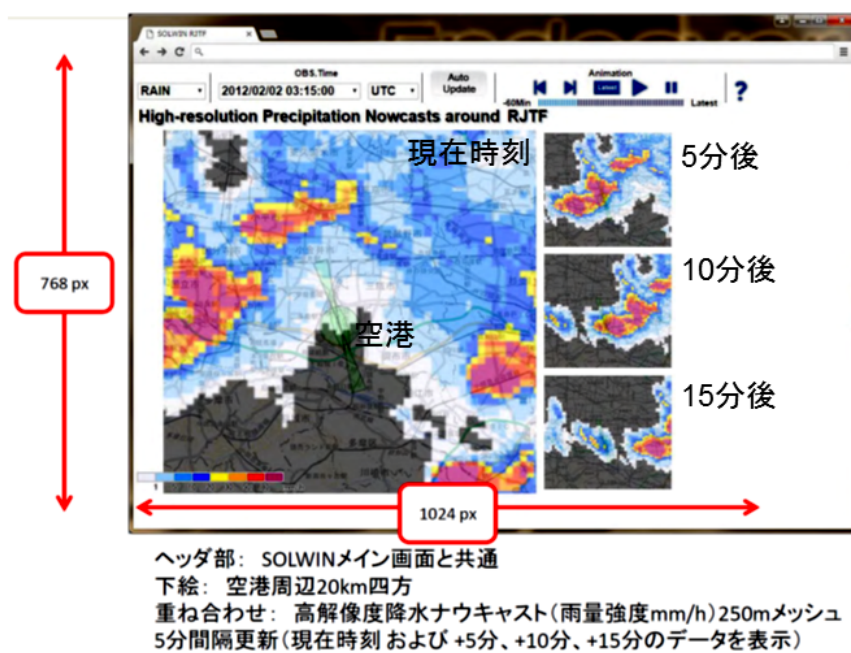
+++++
+40 +20 0 -20

XW LEFT/RIGHT  I-----REMARKS-----
<+---> 160 I      DN: 300FPM
I*      I      BTN 330 - 200
I*      I
I*      100 I V-GUST: +-1000FPM
I*      70 I  BTN 330 - 130
*      GND I
+++++
L20 0 R20      I HW GUST
I      BTN 330 - 200
    
```

# SOLWIN Web情報: 高解像度降水ナウキャスト



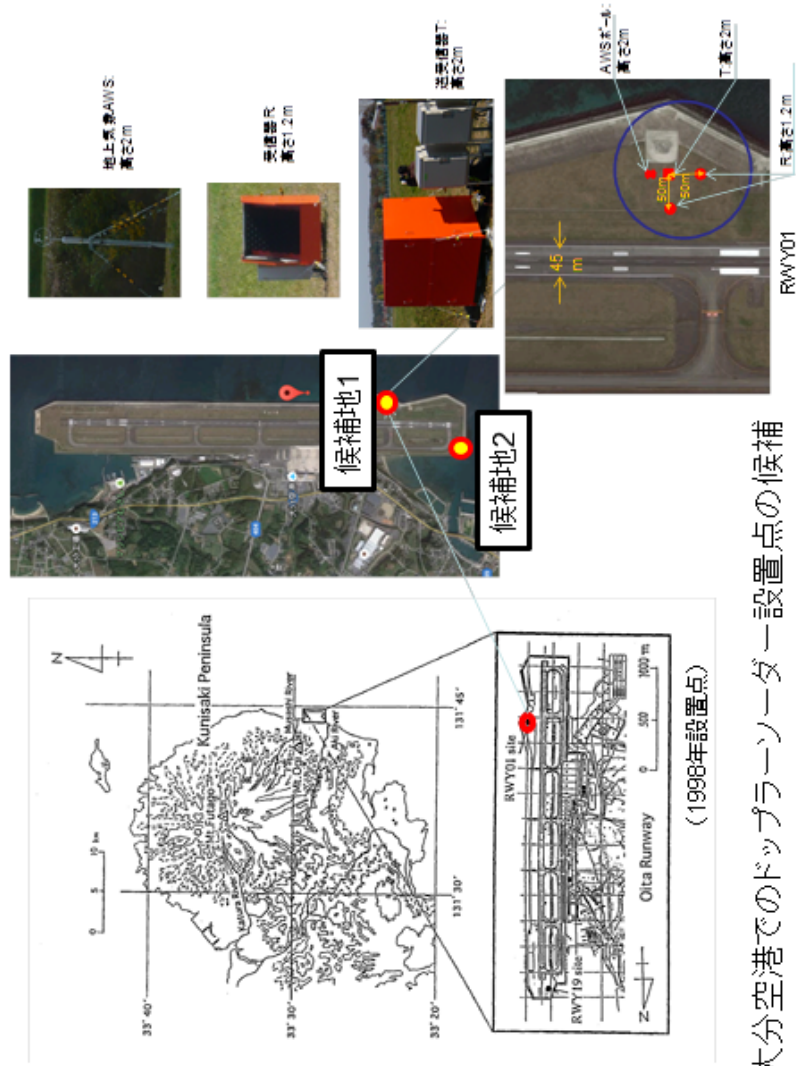
面的な情報として、気象庁の高解像度降水ナウキャスト情報の併用を検討中。



# 大分空港でのSOLWINの運用評価



- 平成29年1月～平成30年2月を予定。
- 大分空港RWY01端付近にドップラーセンサーを設置し、RWY01端の風情報を提供。
- ACARSや無線交信での風情報提供の有効性を評価。

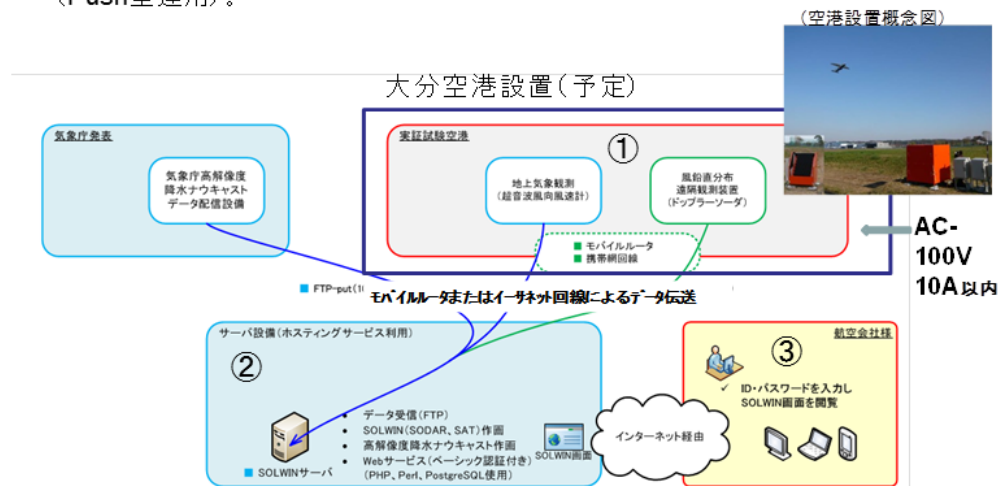


大分空港でのドップラーセンサー設置点の候補

# SOLWINの構成(運用評価時)



- ① 空港にはドップラーソーダー、超音波風速計を設置。
- ② SOLWINサーバーは、以下を実施。
  - ✓ 観測データの受信・処理
  - ✓ 気象庁高解像度降水ナウキャスト情報の受信・処理
  - ✓ SOLWIN Web情報の配信
- ③ ユーザー(エアライン等)は、SOLWIN Web画面を閲覧し、航空機に情報を適宜送信(Push型運用)。



37



- ① LOTAS の研究開発
- ② ALWIN の研究開発
- ③ SOLWIN の研究開発
- ④ 第三者委員会によるニーズ、便益の明確化

参考: 低層風情報提供システムの開発と委員会のスケジュール

	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29
LOTAS		研究開発		運用評価			△実用化ベンディング		
ALWIN				研究開発		運用評価	△実用化判断		実運用
SOLWIN							研究開発		運用評価
委員会									評価検討

38

## 低層風情報のニーズ、便益の明確化



- ステークホルダーが一堂に会した委員会を組織し、低層風情報のニーズ、便益の明確化を行う。  
ステークホルダー：エアライン、航空機使用事業者、個人パイロット、航空局、気象庁、学識経験者、研究機関、観測機器メーカー、民間気象情報事業者など
- 調査・評価対象は国内開発で数年内に利用可能と目されるALWIN、LOTAS、SOLWINの3システム。特定のシステムの導入を前提とせず、客観的に評価。
- 調査結果に客観性を持たせるため、事務局・報告書の取りまとめは、航空輸送技術研究センター（ATEC）が行う。



### 「国内空港への低層風情報提供システムの整備に関する調査委員会」

- 委員会の目的：
  - ① 低層風の運航への影響の明確化(定量化)
  - ② 低層風情報提供システムの利用方法、便益の明確化(定量化)
  - ③ システム整備の候補空港の選定、整備に向けた課題抽出
- 平成28年10月に第1回委員会を実施。平成29年度末までに計5回の委員会を実施し、ATEC報告書にまとめる予定。

39

## まとめ



- JAXAは、事故防止だけでなく、日常運航の効率改善にも活用することを目的として、定量的・視覚的な風情報を、任意のタイミングで航空機に提供する低層風情報提供システム(ALWIN／LOTAS／SOLWIN)の研究開発を進めている。
- 既存の空港設置センサーを用いるALWINは、気象庁により平成28年度中に羽田・成田空港で実運用開始予定。→一定の成果
- 地方空港への低層風情報提供システムの整備は、便益の定量化が課題で進んでいない。→第三者委員会で客観的に検討

41

# まとめ：低層風情報提供システムの比較



- 共通する特徴
  - ・ 事故や着陸復行等につながらりうる風変動を全天候で自動検知。
  - ・ Web、ACARSの既存インフラを活用し、定量的・視覚的な風情報を、任意のタイミングで航空機に提供。(航空機は改修の必要なし)
- システム間の違い
  - ・ 使用センサーの違い ⇒ 情報提供範囲、コストの差
  - ・ 機能の違い ⇒ SOLWINの鉛直風観測、LOTASのレーザーエコー予測、等

	ALWIN	LOTAS	SOLWIN
情報提供範囲	着陸経路上、高度1000ft以下	着陸経路上、高度500ft以下	センサー直上のみ、高度300ft以下
風情報	水平風(正対風+横風)	水平風(主に正対風) (横風も対応可能)	水平風(正対風+横風) 鉛直風
使用センサー	空港気象ドップラレーダー 空港気象ドップラレーダー 観測範囲：半径10km以上	小型ドップラレーダー 小型ドップラレーダー 観測範囲：半径5km程度	ドップラレーダー 観測範囲：センサー直上
運用評価	平成25～28年度 羽田・成田空港で評価	平成24年度 庄内空港で評価	平成28～29年度 大分空港で評価(予定)
メリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 観測範囲が広い、(高度1000ft)</li> <li>・ Pull型の運用が可能</li> <li>・ 実運用予定あり</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 高機能(難易度推定、レーダーエコー予測)⇒実験的な機能であり、さらには検証が必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 鉛直風が観測可能</li> <li>・ 低コスト(LOTASの数分の1)</li> <li>・ 製品化の予定あり</li> </ul>
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 高コスト(センサーを新規整備の場合)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 実用システムがはなない(現時点で製品化の予定がはなない)</li> <li>・ まだ高コスト(ALWINの半分以下だが)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 観測範囲が狭い(センサー直上のみ)</li> </ul>



# くこうていそうかぜじょうほう 空港低層風情報(ALWIN)について

【ALWIN: Airport Lowlevel Wind Information】

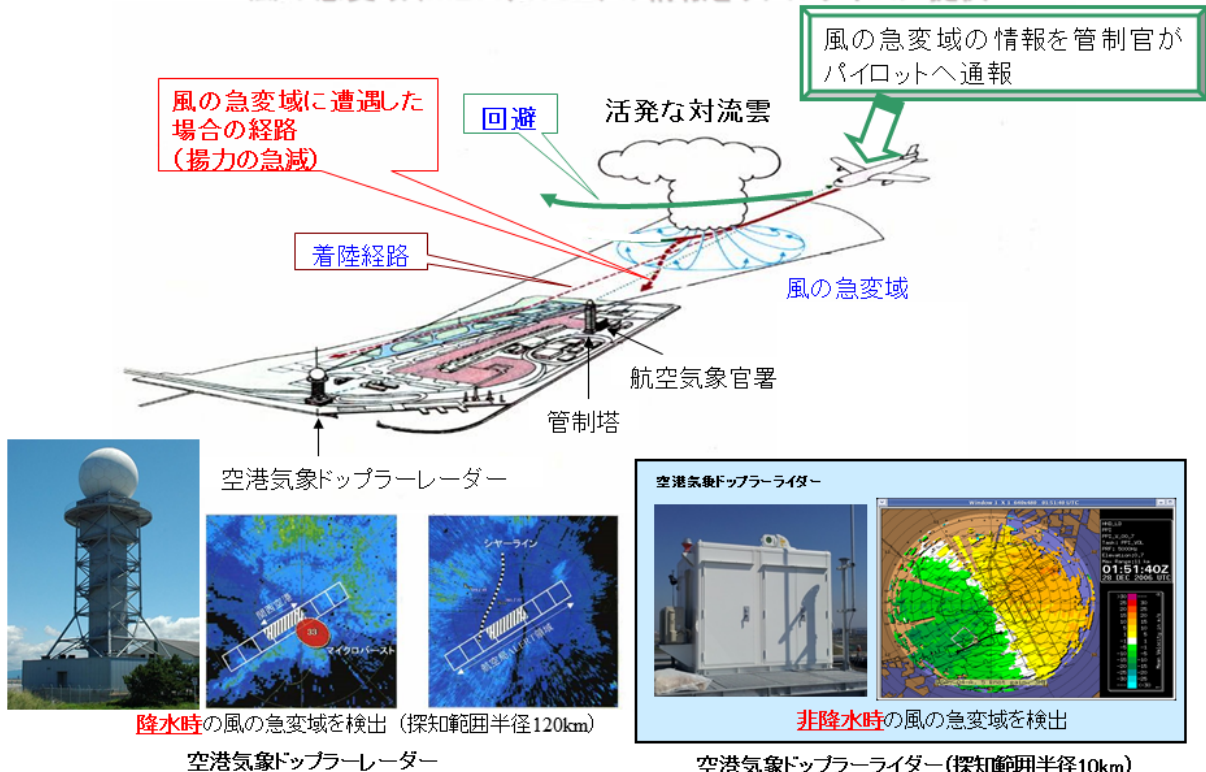
平成28年度 第11回 航空気象シンポジウム  
平成28(2016)年11月11日

藤田 英治(気象庁観測部観測課航空気象観測整備運用室)

1

## 現行の低層ウィンドシアア情報提供

空港気象ドップラーレーダーと空港気象ドップラーライダーにより  
風の急変域(MBA、WSA)の情報をリアルタイムに提供



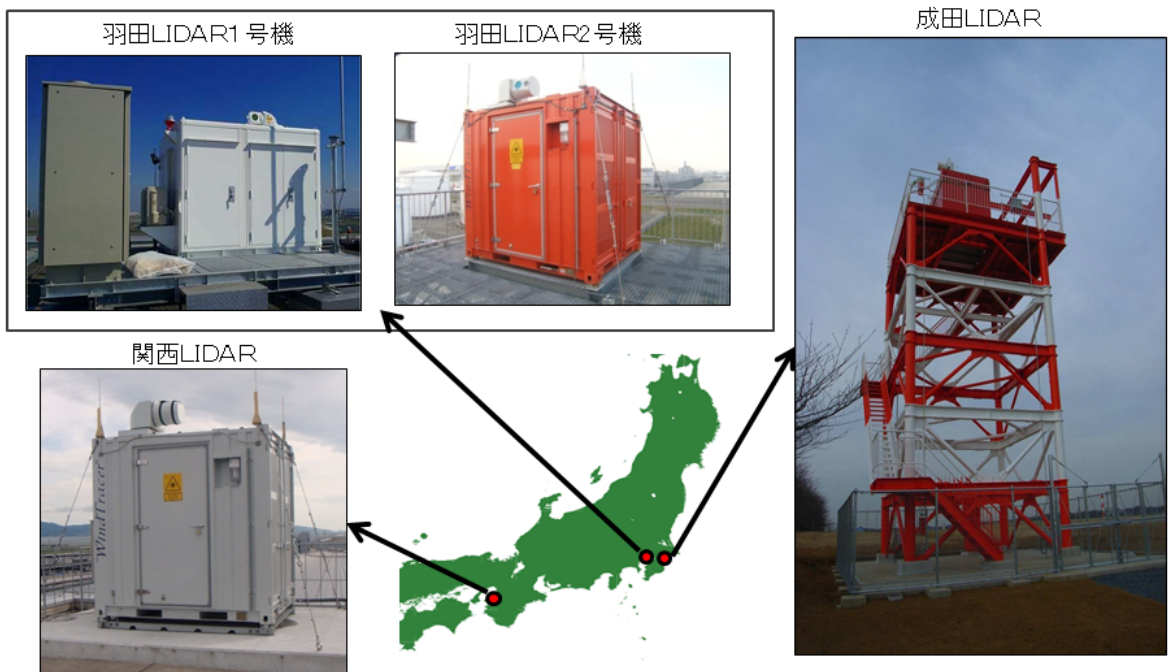
2

## 空港気象ドップラーレーダー(DRAW)観測網

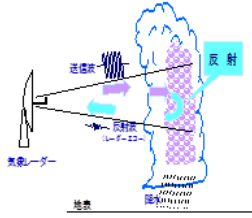

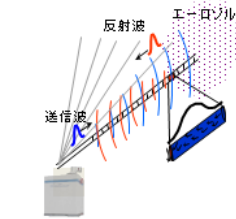


## 空港気象ドップラーライダー(LIDAR)

東京国際空港(1号機) 2007(H19)年4月運用開始 ⇒ 2015(H27)年3月更新  
 成田国際空港 2008(H20)年4月運用開始 ⇒ 2016(H28)年6月更新  
 東京国際空港(2号機) 2010(H22)年10月運用開始  
 関西国際空港 2011(H23)年8月運用開始

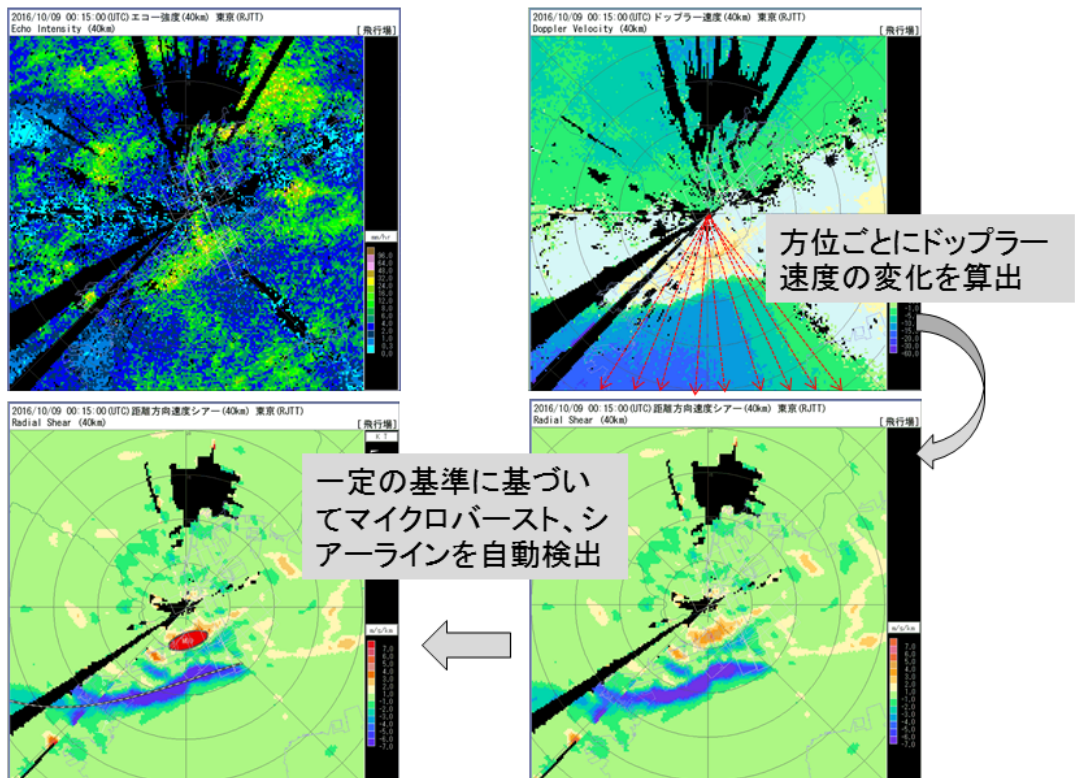


## DRAWとLIDARの観測の違い

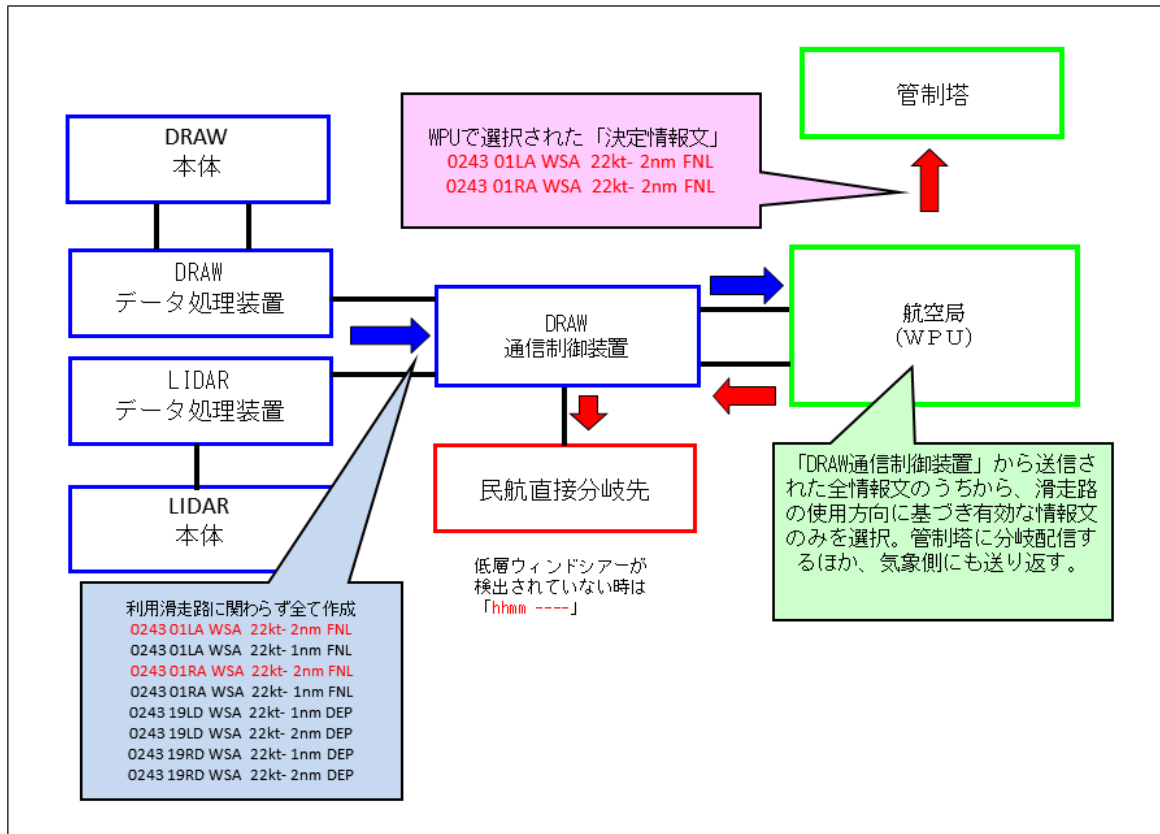
	目的	測定方法	探知範囲	分解能ほか	
空港気象ドップラー レーダー	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 降水時における低層ウィンドシアアや、発達した積乱雲に伴って発生するマイクロバースト等の風の急激な変化を探知</li> <li>○ 空港から半径120kmの範囲の雨域・風分布を探知</li> </ul>	送信波周波数: 5GHz (マイクロ波) 	探知範囲 雨域・風分布 半径120km マイクロバースト 半径20km シアアライン 半径60km	分解能 空港周辺 (10km以内) について 150m以下 観測周期 約1分間に1回 最低観測高度 滑走路 約70m	空港気象 ドップラーレーダー と 空港気象 ドップラーライダー は 観測条件・探知範囲 が異なり、 それぞれ補い合う 装置である。 
空港気象ドップラー ライダー	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 非降水時における低層ウィンドシアア等の風の急激な変化を探知</li> </ul>	 送信波長: 1.5~2μm (赤外線)	探知範囲 マイクロバースト シアアライン 半径10km	分解能 空港周辺 (10km以内) について 80m以下 観測周期 約1分間に1回 最低観測高度 滑走路 20~30m	降水時・非降水時に 関わりなく 航空機の安全運航に 危険を及ぼす ウィンドシアアを監視

【参考】羽田空港における日降水量1mm以上の日数 2011(H23)年 90日、2012(H24)年 103日、2013(H25)年 87日、2014(H26)年 94日、2015(H27)年 121日

## 低層ウィンドシアア(MB、SL)の自動検出の概念



## 航空局と気象庁が協力して発表する低層ウィンドシアア情報の流れ



7

## 航空局と気象庁が協力して発表する低層ウィンドシアア情報

DRAW、LIDARを用いて、シアライン(SL)・マイクロバースト(MB)を自動検出している。警報領域において以下の基準値に達すると、自動で情報が発表される。

### WSA(ウィンドシアアラート)

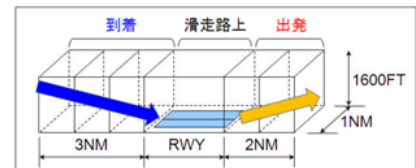
20ノット以上の向かい風成分の増加、若しくは減少が観測

### MBA(マイクロバーストアラート)

30ノット以上の向かい風成分の減少が観測

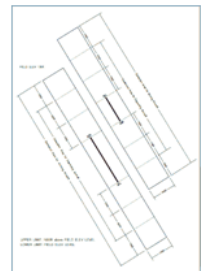
(通報例)

**0837 34LA MBA 39kt- 3nm FNL**



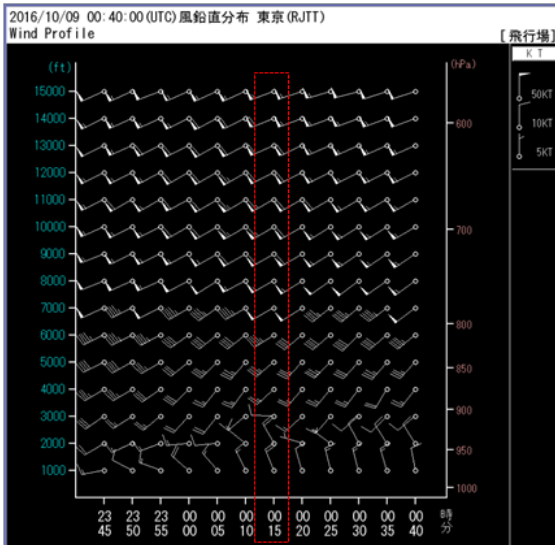
低層ウィンドシアア情報の警報領域

- 34LA: 34L(滑走路番号)
- 39kt-: 39kt(航空機速度の変化量)
- A---ARRIVAL(到着)
- +: 増加(GAIN)
- D---DEPARTURE(出発)
- -: 減少(LOSS)
- MBA: MBA(マイクロバーストアラート)
- 03nm FNL: 03nm(発生位置)
- WSA(ウィンドシアアラート)
- FNL(進入側)
- DEP(出発側)
- RWY(滑走路)

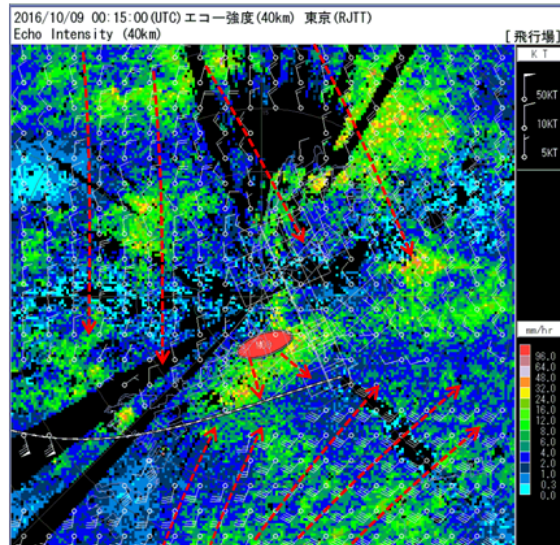


8

## DRAW、LIDARによる風向・風速の観測例



風の鉛直分布 (VAD風)

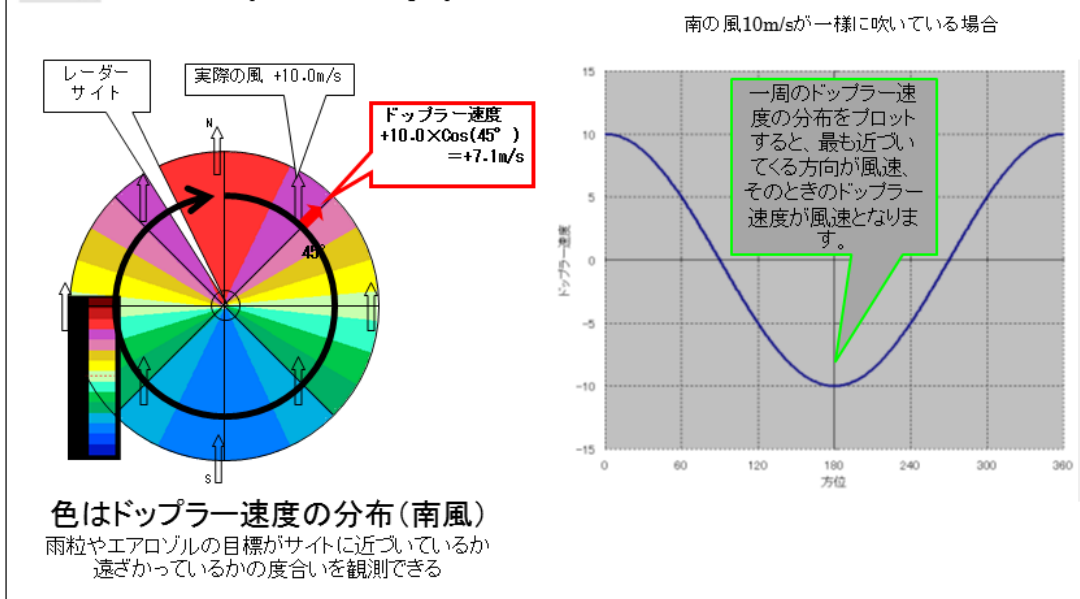


風向風速表示 (図中の白い矢羽根)  
(VVP風)

## DRAW、LIDARによる風の測定原理

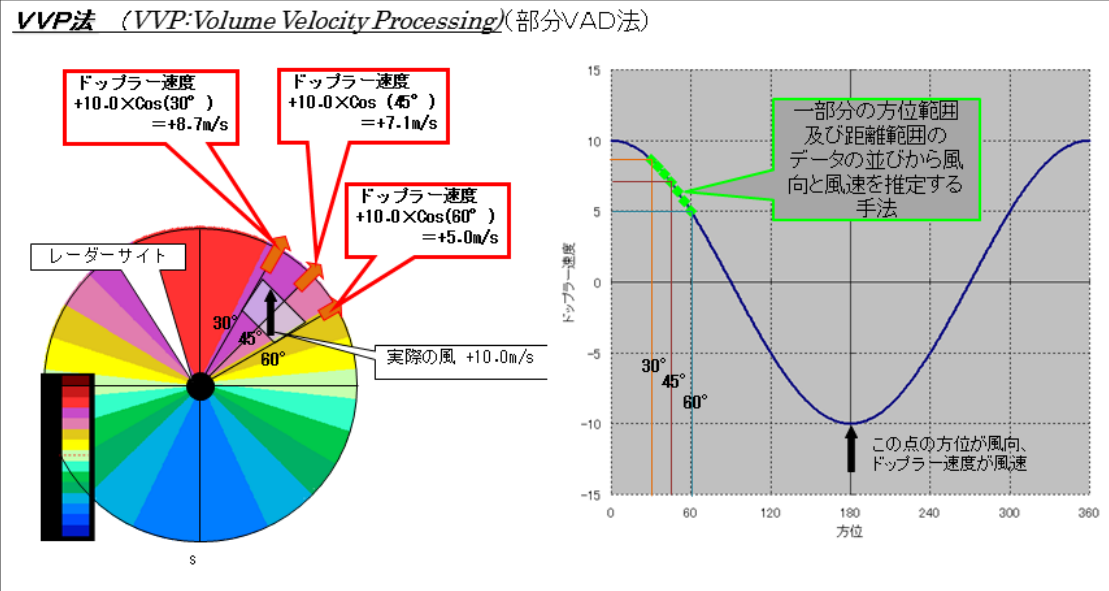
DRAWやLIDARでは、目標から反射してきた受信信号の周波数のズレから、目標が近づいている(または遠ざかっている)速度が測定できますが、直接風向風速の測定は出来ません。PPIデータからサイトを取り囲む速度の分布から風向風速を求めます。

### VAD法 (VAD: Velocity Azimuth Display)



## DRAW、LIDARによる風の測定原理

航空機の着陸経路上の風など観測領域の一部分の風について求めるためには、限定した領域について一様な風が吹いているという仮定を行い、その領域内でわずかな方向別のドップラー速度の違いから風向風速を算出します。



11

## ライダーデータを用いた新しい情報提供の開発

空港気象ドップラーレーダーに加えて、ライダーによる「低層ウィンドシアア情報」提供は開始されたが、引き続き航空機へ与える影響の関連、またライダーデータを用いて非降水時の低層ウィンドシアアに関する新しい情報提供を目指し、技術開発を実施。

課題: 様々な統計的な調査を行いライダーデータの加工・利用技術は向上。  
一方、航空機データとの関連付けや運航方法に合わせた情報提供の形を  
考える上で航空分野の専門的知識が欲しい。

気象庁における技術開発内容とも合致することから  
気象庁とJAXAによる共同研究を実施

JAXAでは庄内空港においてライダー、レーダーを利用した低層風擾乱の情報提供  
システム(LOTAS: **LOW**-level **TUR**bulence **ADV**isory **S**ystem)の開発実施。

12

## 気象庁とJAXA共同研究の概要(H24～H26)

### 1. 研究の目的

空港周辺で発生する低層ウィンドシアアや地形・建築物(格納庫等)の影響による乱気流等をドップラーライダー等によって観測し、航空機の安全かつ効率的な運航に必要な情報を提供する技術を確立すること。

### 2. 実施期間

2012(H24)年 2月 ～ 2015(H27)年 3月 (3年1か月間)



### 3. 研究の内容

成田空港の空港気象ドップラーライダーを用いて、同空港で発生する低層ウィンドシアア、乱気流に対する有効な情報提供を行うために必要な技術を研究開発する。

研究の分担	気象庁	JAXA
(イ) 観測機器のデータ処理技術の研究	◎	○
(ロ) 航空機への影響解析技術の研究	○	◎
(ハ) 航空機への情報提供技術の研究	◎	◎

※共同研究契約書の別表から



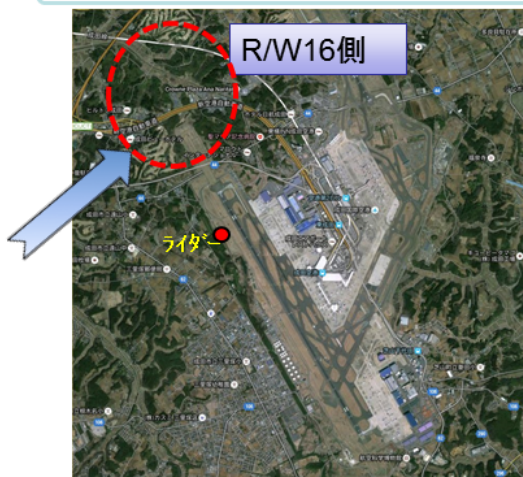
#### JAL、ANAの両社から以下のご協力を得て開発

- 提供する情報やインターフェースへの意見、各種アンケートによるご協力
- JAXA提供による評価環境(試験システム)により実運用に近い形での利用評価へのご協力

13

## 共同研究の調査における情報提供の対象領域

成田における南西風の地形による乱流



#### 理由

1. 春に多く発生する南西強風時の乱流について情報提供の要望が多い(パイロットへのJAXAアンケート)
2. 就航便数が多く、PIREPによる事例の報告が多く見込めるため検証が行いやすい。

羽田における北東風時のハンガーによる乱流



#### 理由

1. 北東強風時に航空機ハンガー風下となる34Lで乱流が発生することから情報提供の要望がある

平成26年度(最終年度)後半に  
羽田空港を追加

14

## 運航支援者・パイロットに提供すべき情報の調査 (開発初期: 成田16R/16L調査時)

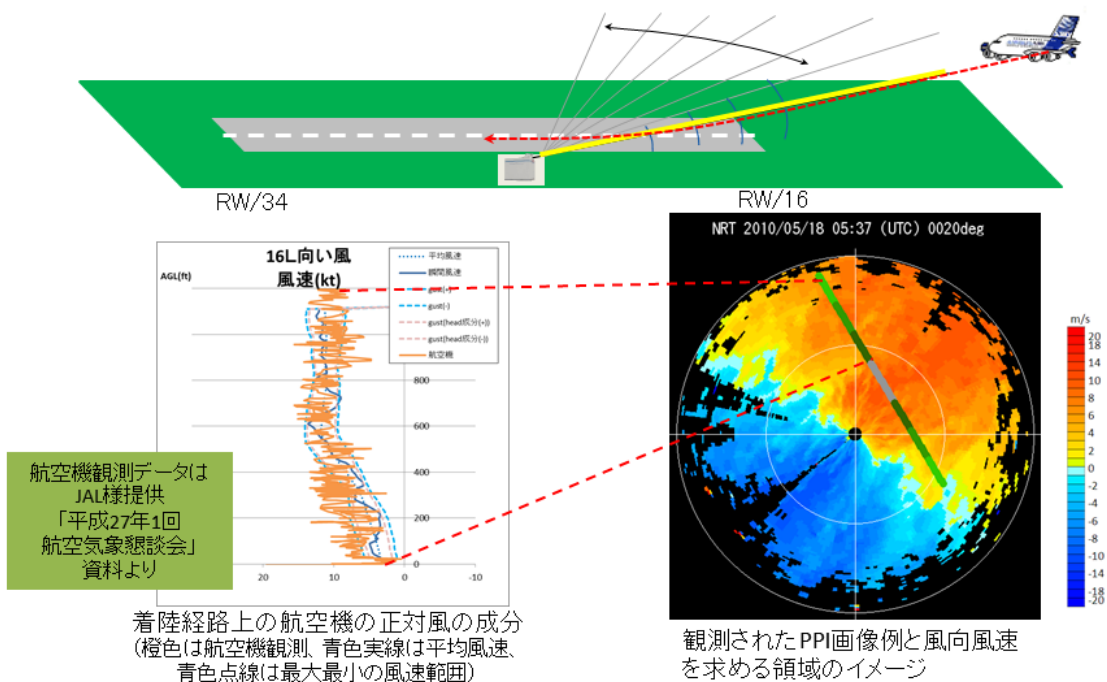
	民間航空会社からの要望により開発に取り組んだプロダクト	主な用途
1	16L及び16Rの航空機経路上の風 高度: 着陸～500FTもしくは1000FT	着陸時の情報
2	16L及び16Rの航空機経路上の乱流情報 航空観測で使われるガスト通報(最大瞬間風速と平均風速の差)	着陸時の情報
3	16L及び16Rの航空機経路上の風のシア情報 向い風のシア及び横風シアの検出	着陸時の情報
4	地上風およびVAD風による空港を代表する風の高度情報 高度: 地上～3000FT	運航支援情報
5	風の時間変化傾向	運航支援情報
6	情報文に利用されていないSL,MBの位置・移動予測の情報	着陸時の情報 運航支援情報
7	着陸難易度の情報	着陸時の情報

JAL, ANA両社から色々な意見をいただき作成情報を決定。  
基本的に多かった意見は、既存の風情報を地上以外の上空に拡張展開するイメージ。「着陸経路上の風の予測値」、「航空機の挙動予測」などの要望も多数。

15

## ALWINとして提供する着陸経路上の風の算出について

ライダーが観測したデータから着陸経路上の風向風速を求め、着陸する航空機における「正対風」「横風」の成分を算出し高度ごとに表示する。



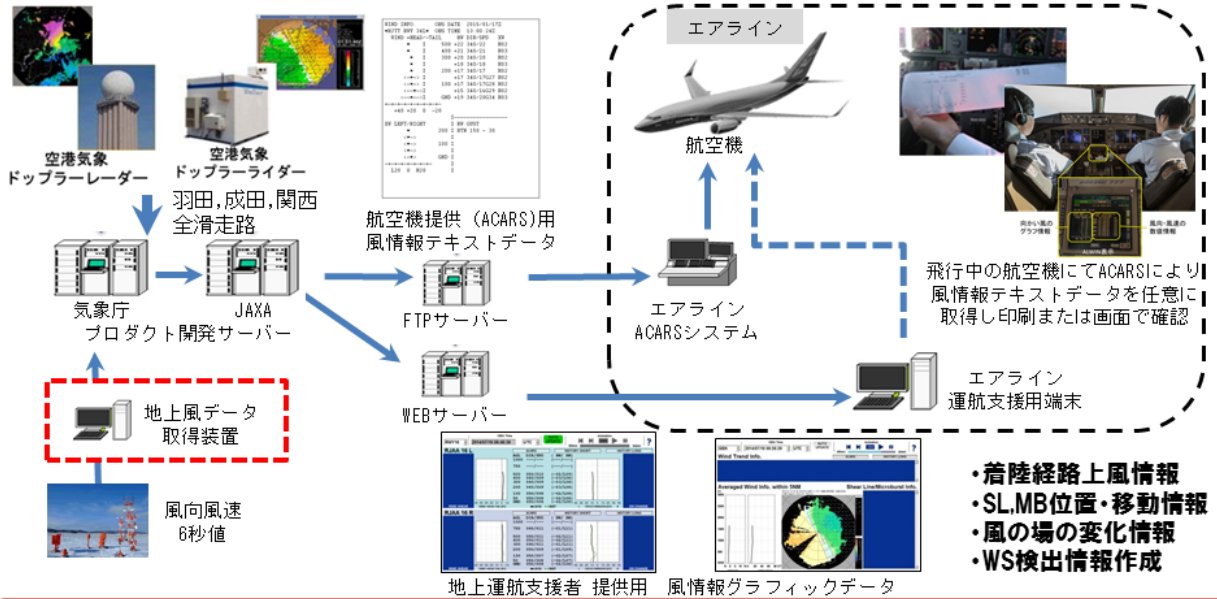
16



# JAXA-気象庁の共同研究における航空機への低層風情報(ALWIN)評価システム



## ALWIN (Airport Low-Level Wind Information) 評価システムの概要



ライダーより算出した低層の航空機経路上の風の各情報を航空機へ直接送信し、航空機の離着陸時の安全性向上を目指す。

## 着陸経路上の風情報画面

**運航支援者向け**

向い風 | テキスト情報 | 横風

**航空機向け**

テキスト情報

風が大きく変動する時には検出情報内容: 高度、風速変化量  
・一定時間内の過去検出も表示

横風グラフ

検出情報 (最大3件)

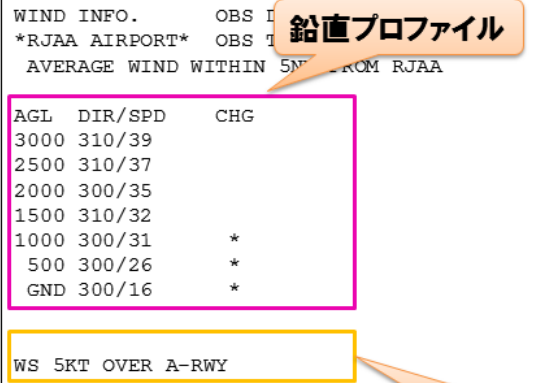
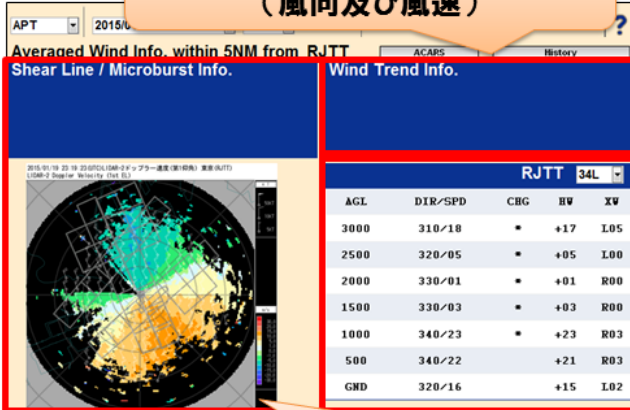
# 空港全体の風、SL、MB情報

運航支援者向け



航空機向け

風の時間変化に関する検出情報  
(風向及び風速)



検出情報

空港周辺で検出されたSL, MBの位置、移動予測の情報

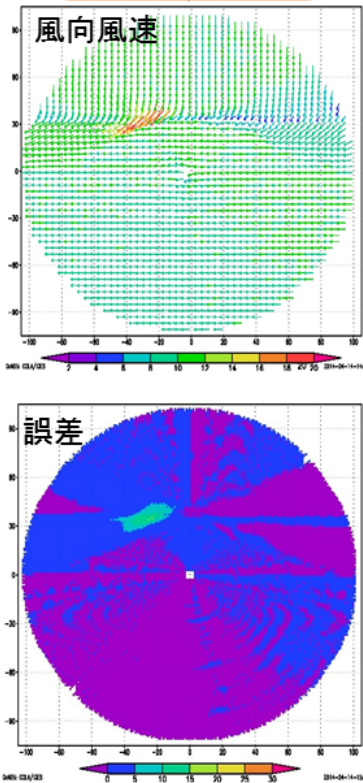
3000	110/02
2500	020V100/03
2000	010/06

2500 VRB03

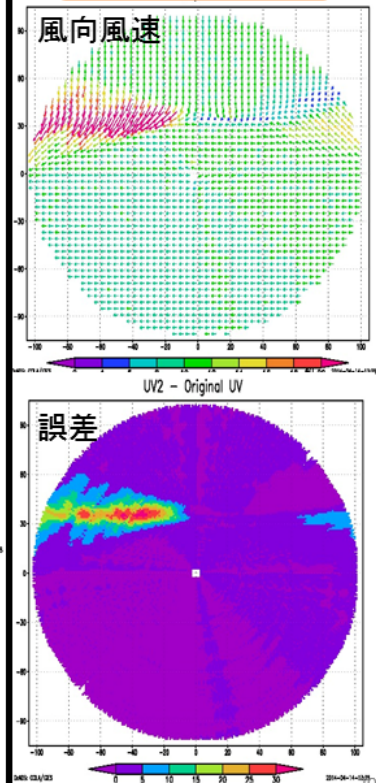
空港全体の風鉛直プロファイル  
 ・風の変化域を「\*」で表示  
 ・風のVRBやVを検出  
 (VRB02、330V040 など)

## 風向風速算出技術の開発

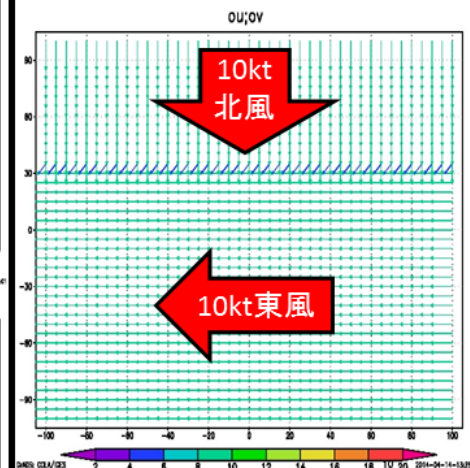
ALWINのVVP風



通常のVVP風



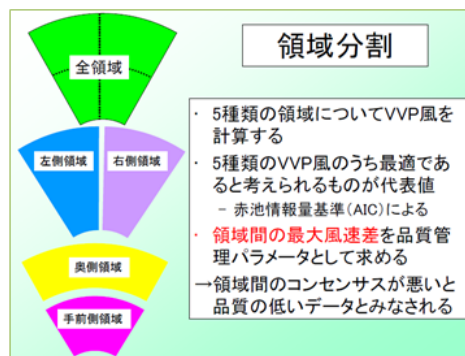
急激なSLの例



通常のVVP風では急激な風の変化(非線形的な領域)に対して誤差が大きくなる。ALWINのVVP風は非線形な場に対して特に注意した。

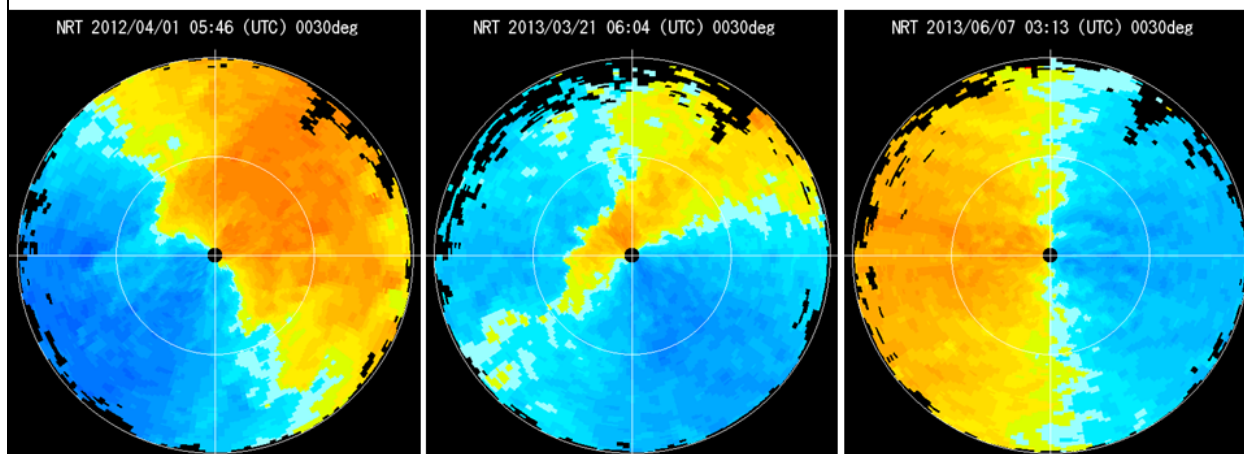
## ALWINにおける風向風速算出の概要

- ①求めたVVPに対するライダー視線方向成分データを用いた補正
- ②ボリュームの最適化(拡張型VVP)



21

## 観測事例による着陸経路上の風向・風速算出評価



2012年04月01日  
0546UTC  
(横風強風事例)

2013年03月21日  
0604UTC  
(シアーライン通過事例)

2013年06月07日  
0313UTC  
(水平ロール事例)

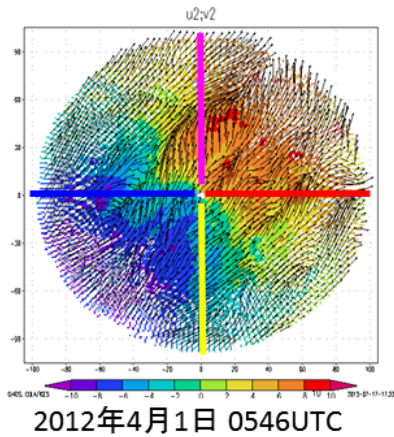
上記の事例において開発水平風算出アルゴリズムを適用し試験した一例

○評価方法

1. ライダーの0,180度方位データ(100bin)とVVPの南北成分比較
2. ライダーの90,270度方位データ(100bin)とVVPの東西成分比較

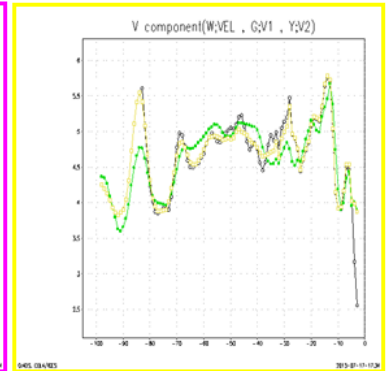
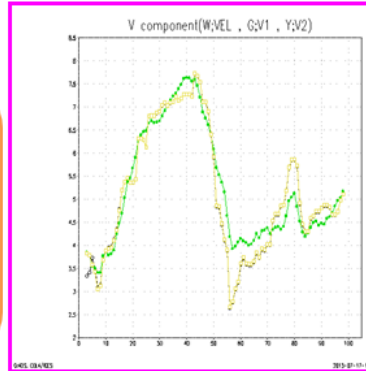
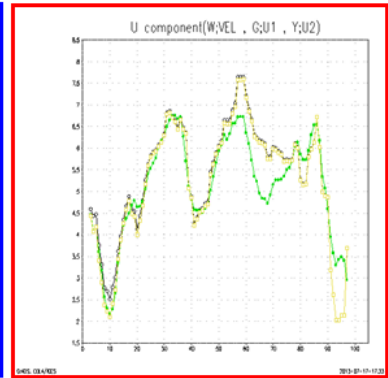
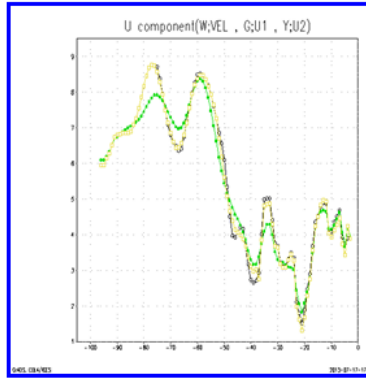
22

## 観測事例による着陸経路上の風向・風速算出評価



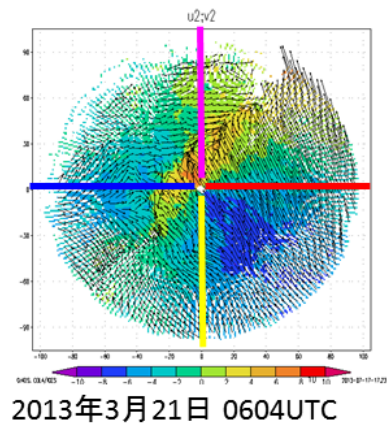
各線上の断面図は  
青、赤が東西風成分  
黄色、紫色が南北風成分  
と算出された水平風の比較結果。

黒線：観測値  
緑線：算出された水平風(拡張型VVP)  
黄線：補正計算された水平風



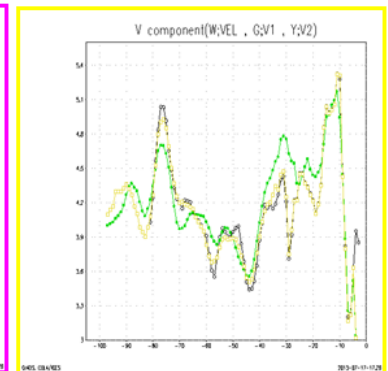
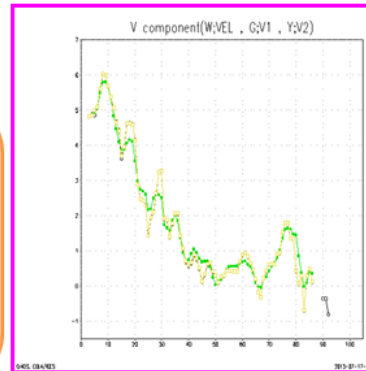
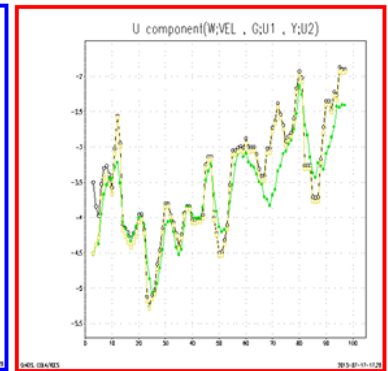
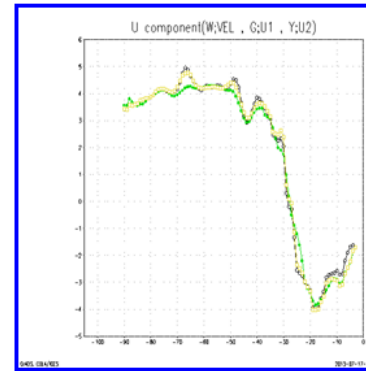
23

## 観測事例による着陸経路上の風向・風速算出評価



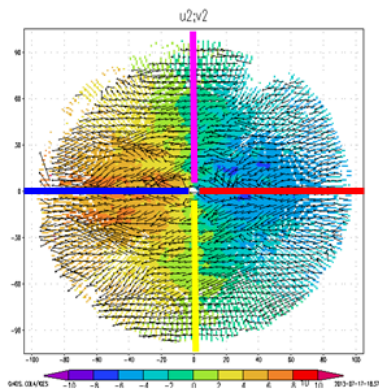
各線上の断面図は  
青、赤が東西風成分  
黄色、紫色が南北風成分  
と算出された水平風の比較結果。

黒線：観測値  
緑線：算出された水平風(拡張型VVP)  
黄線：補正計算された水平風



24

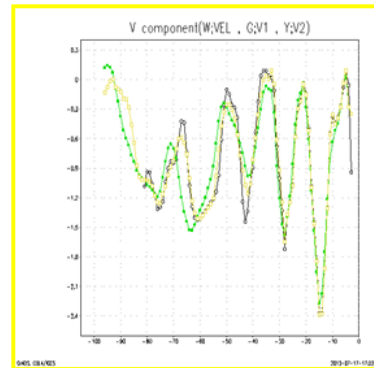
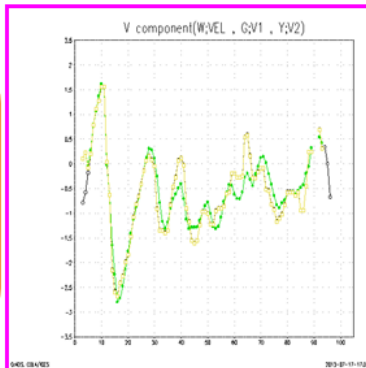
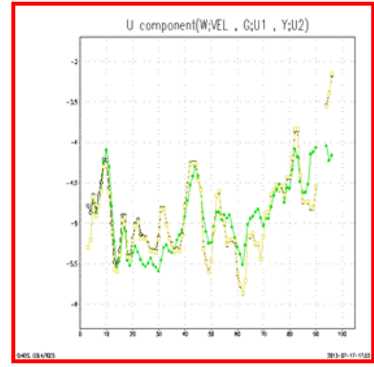
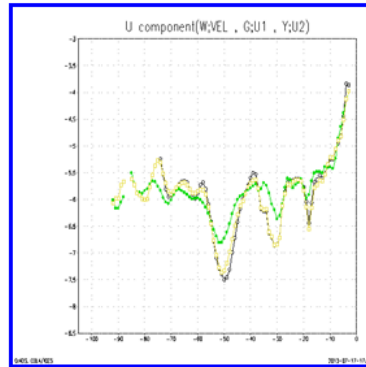
## 観測事例による着陸経路上の風向・風速算出評価



2013年6月7日 0313UTC

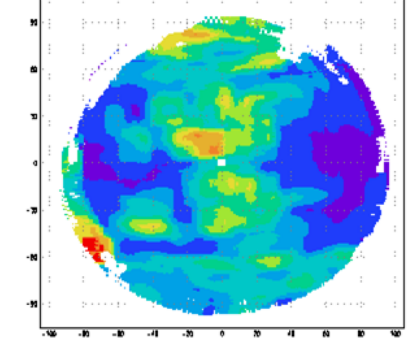
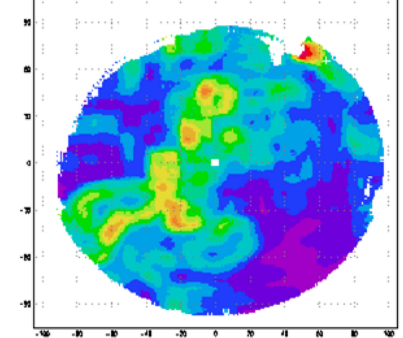
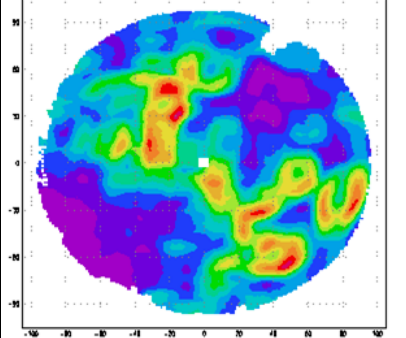
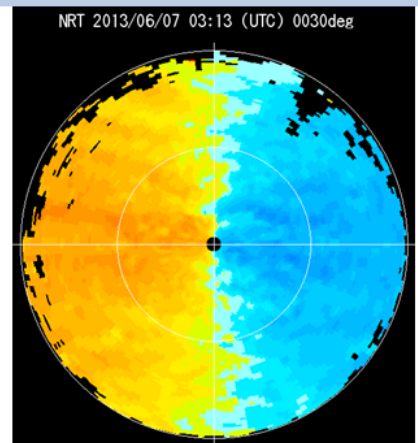
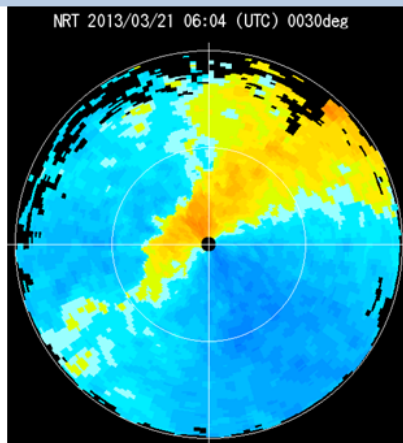
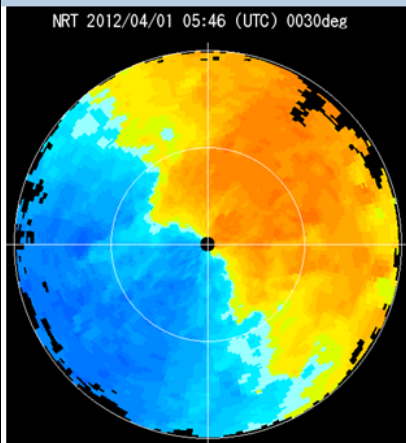
各線上の断面図は  
青、赤が東西風成分  
黄色、紫色が南北風成分  
と算出された水平風の比較結果。

黒線：観測値  
緑線：算出された水平風(拡張型VVP)  
黄線：補正計算された水平風



25

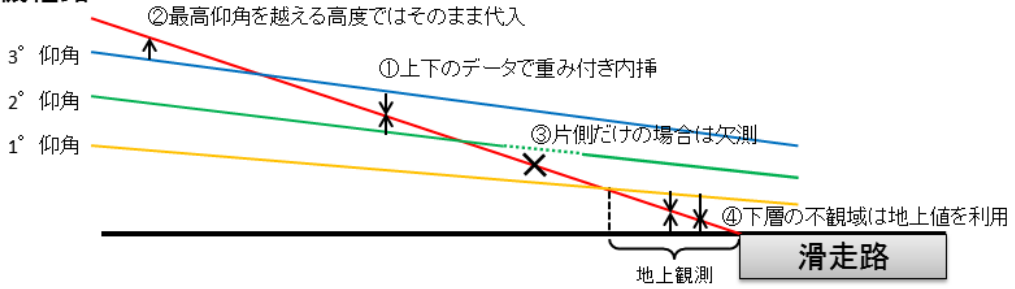
## 乱流(風速の最大最小)情報の作成



風速に基づき可変する矩形内の平均値と最大値の差分でGUST値を表現

# 航空機経路上の風のデータの求め方

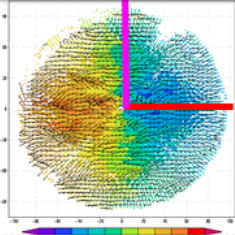
## 航空機経路



- 基本的には重み付き内挿を用いて航空機経路上の風を求める。
- 地上風は分岐基礎から各滑走路の6秒値を取得して値を利用。
- もし該当滑走路の情報が得られない場合は、代表風の値を利用。
- 上記のデータを航空機の「向かい風」と「横風」に成分分解。

# 提供する風情報の精度について

## ライダー視線速度成分と推定風の同成分比較



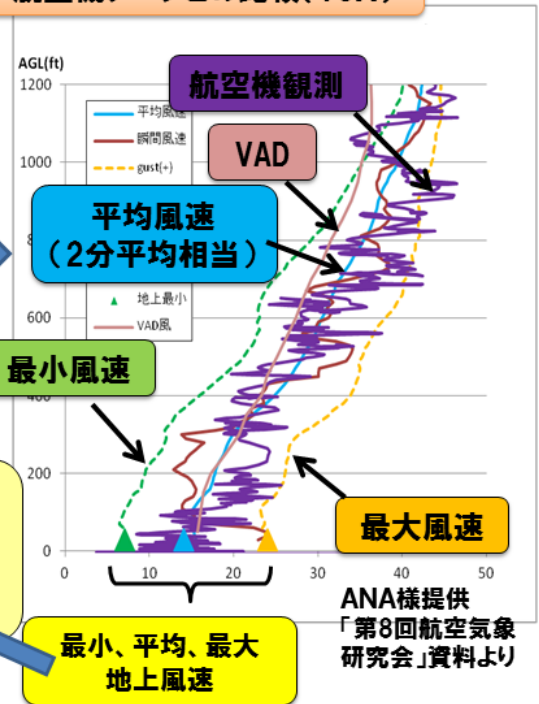
水平ロールも補足  
 RMSEは0.5m/s

## 平均、最大、最小の風速推定

風速計との誤差(kt)	RMSE
平均風向	6.48
平均風速	1.16
最大風速	2.14
最小風速	1.85
ガスト値(最大-平均)	1.61

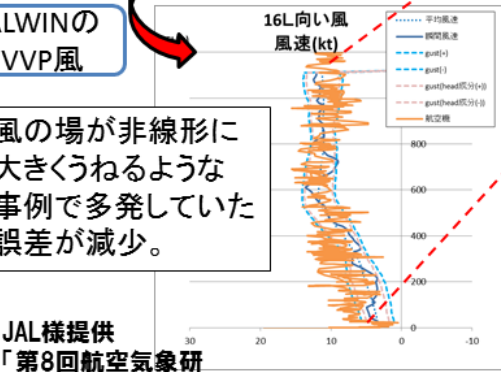
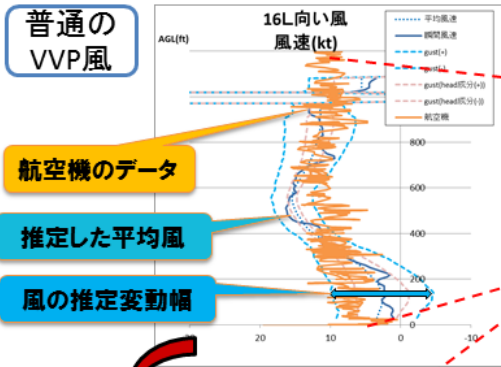
地上風を使った補正前の風速誤差は約2kt (地上との比較)

## 航空機データとの比較(16R)



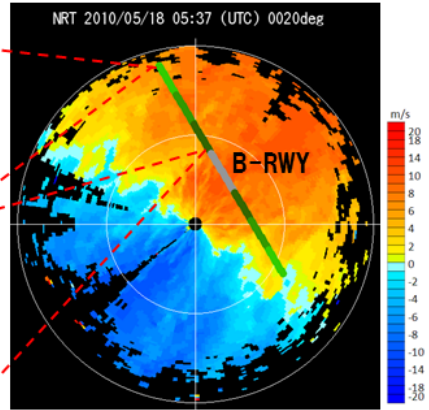
最小、平均、最大地上風速

# 風向風速算出アルゴリズム改良の効果



風場が非線形に大きくうねるような事例で多発していた誤差が減少。

JAL様提供  
「第8回航空気象研究会」資料より

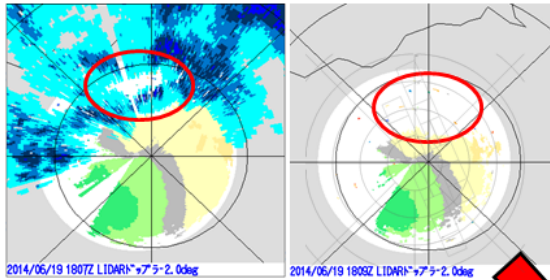


地上の風向風速計との誤差(RMSE)

誤差(RMSE)	従来VVP	新VVP
平均風速(kt)	2.048246	1.155714
最大風速(kt)	2.632838	2.141071

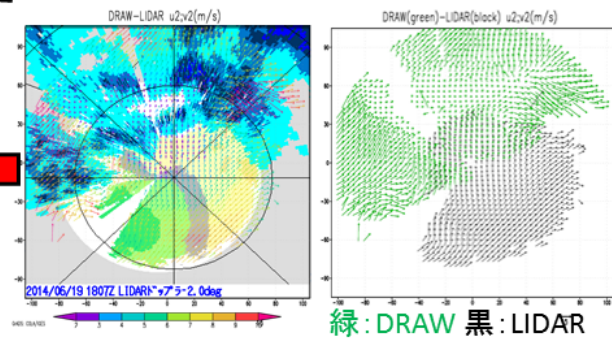
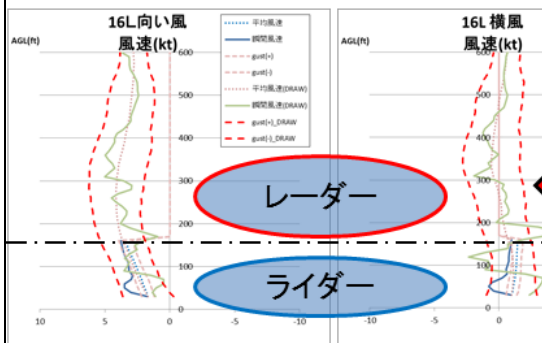
集計：2010年、2012年のPIREPによるWS報告の16L着陸事例

# DRAWによるドップラー速度データの利用



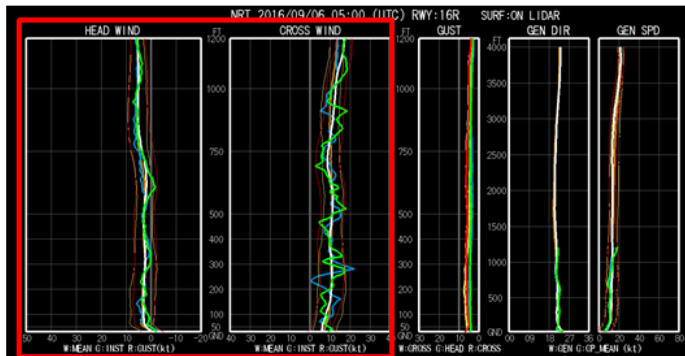
(DRAW:Doppler Radar for Airport Weather)

降水時にLIDARが観測できない事に対応するため、雨天時にはDRAWを利用し、切り替えを行う。

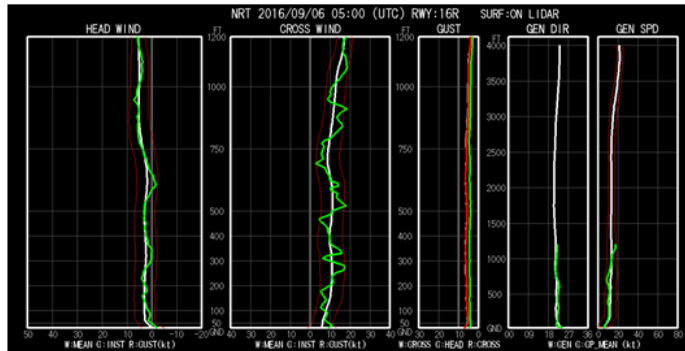


## DRAWとLIDARによる風向風速データの比較

レーダーを重ねた図



ライダーのみ

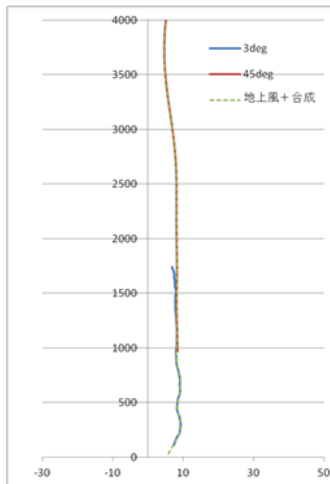


データがしっかりと取得できていればDRAWもライダーもほぼ同等なデータが出力される。

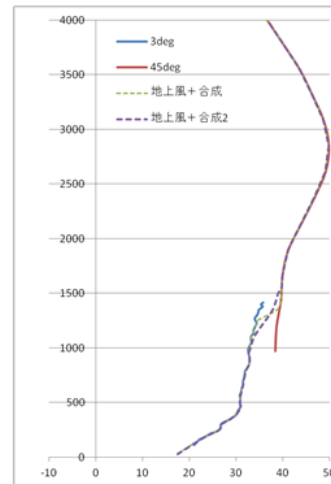
雨天時も安定してデータの提供が行われている。

31

## 地上風及び全仰角を利用した空港代表風の作成



通常のVAD風の合成状況(風速)



ANA着陸機損傷事故発生時のライダーデータ(風速:南西強風)  
2012年6月20日

地上風、1, 2, 3, 45° の仰角を全て使い再作成。  
最下層は風向風速計で内挿し、1,2,3° がそれぞれ重なる部分は全てのデータを利用してVADを算出。  
3° と45° が重なる部分は違いが大きくなり段差ができる時があったので1000FTから1500FTにかけて3° から45° のデータに移行する形で作成。

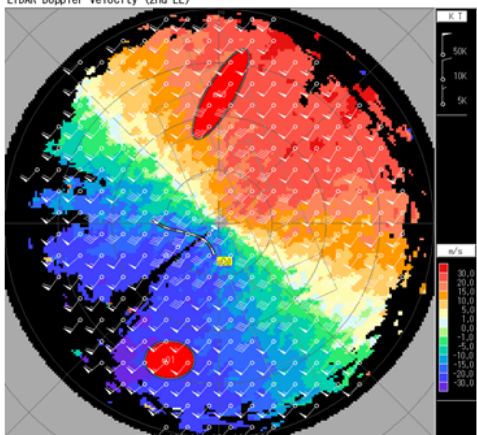
32



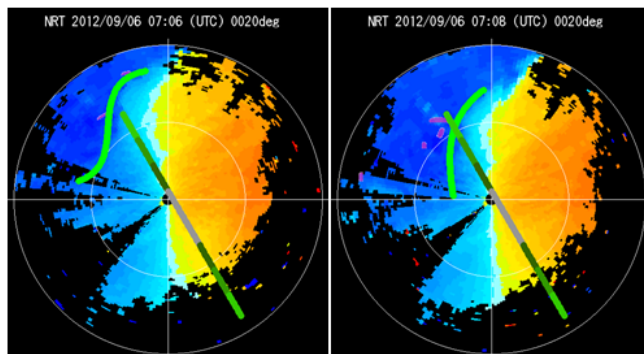
# ライダーを用いた新しい補足情報

## SL, MBの位置及び移動予測の自動電文化

2012/06/19 16:27:50 (UTC) LIDAR Doppler Velocity (2nd EL) 成田 (RJAA)  
LIDAR Doppler Velocity (2nd EL)



MB 25kt 2NM 16L FNA  
MB 15kt 4NM S 16R THR  
**WS 5KT 1NM SW 16R THR**



WS 20KT 3NM 16R FNA **MOV E**

従来の低層ウィンドシアー情報はシビア現象のみの通報。**弱めの現象の通報や移動予測情報を追加。**

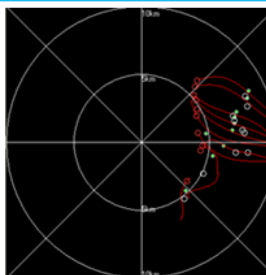
33

# SL、MBの位置、移動情報の作成

## 簡易版 SL移動の算出について

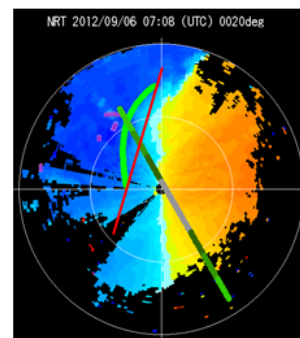
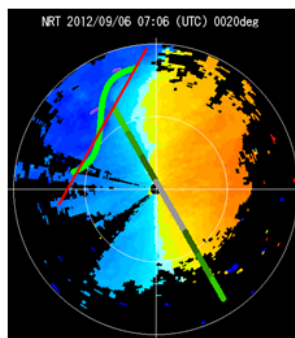
1. 2つの時間のSLの角度を出す。
2. 直線的なもので、平行的なものを見つける。
3. 重心の移動距離をSLの回転成分を補正して移動速度を求める。
4. 2つのSL角の平均を求め、その直角方向に動くとした場合の移動方向を求める。
5. 重心の移動方向と照らし合わせて妥当そうであれば移動性SLとする。

線の重心移動はバラつきが大きいので使用しない。セグメント重心を使う。



○現在の閾値  
移動速度 4.0m/s  
SLの並行角 30deg  
SLの移動と重心の移動方向差 45deg

白丸:線の重心  
緑丸:セグメントの重心

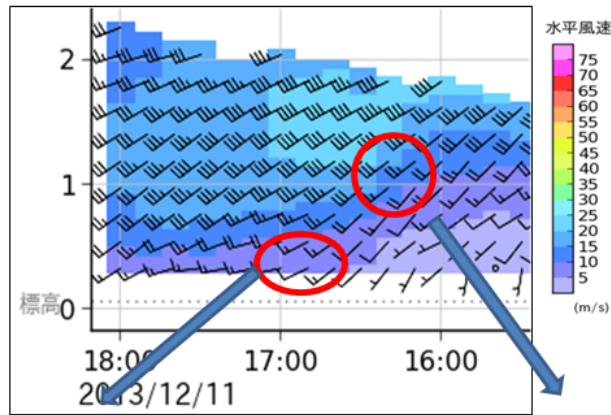


SLの角度:30.8 deg SLの角度:10.8 deg  
2つのSLの角度差: 19.0 deg  
重心の距離:2151.0 m  
重心の移動方向: 87.5 deg  
回転補正後の重心の移動距離:2033.8 m  
時間差: 148.0 sec  
移動速度: 13.7m/s  
SLの移動方向:110.8 deg  
重心とSLの移動方向の差: 23.0 deg

34

# 風の時間変化傾向の検出について

## 風向及び風速の変動の検出



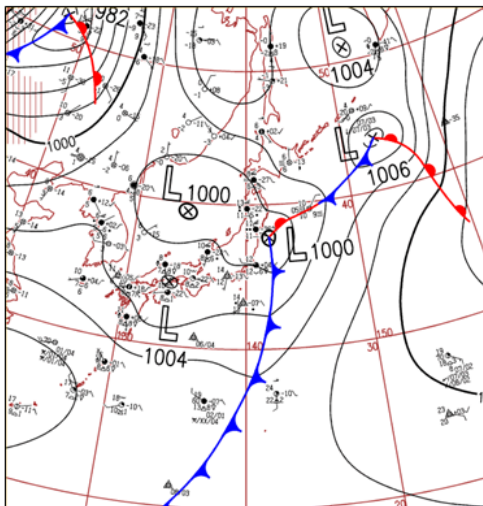
WIND DIR CHANGE BTN 150FT AND 250FT

WIND SPD GAIN BTN 3250FT AND 4000FT

○各表示の閾値  
 風向変化: 15分以内の30度以上の変化  
 風速変化: 15分以内に10kt以上の増加  
 風速、風向共に150FT以内に変化が検出されれば一つの層とみなして表示する。

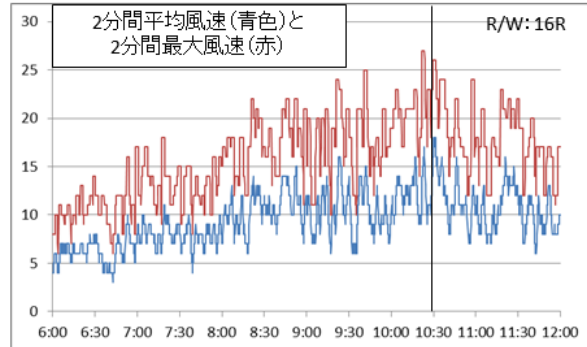
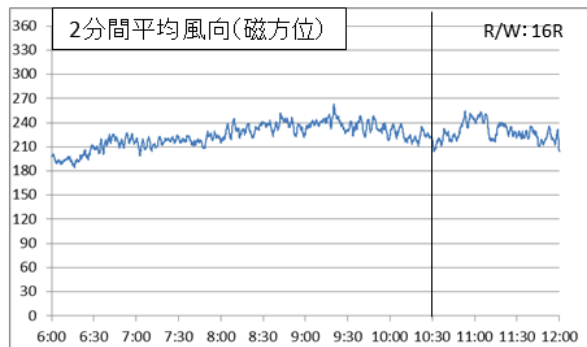
この電文はパイロット向けというよりも  
 運行支援者向けの情報

# 評価試験における観測事例(成田空港:南西風)



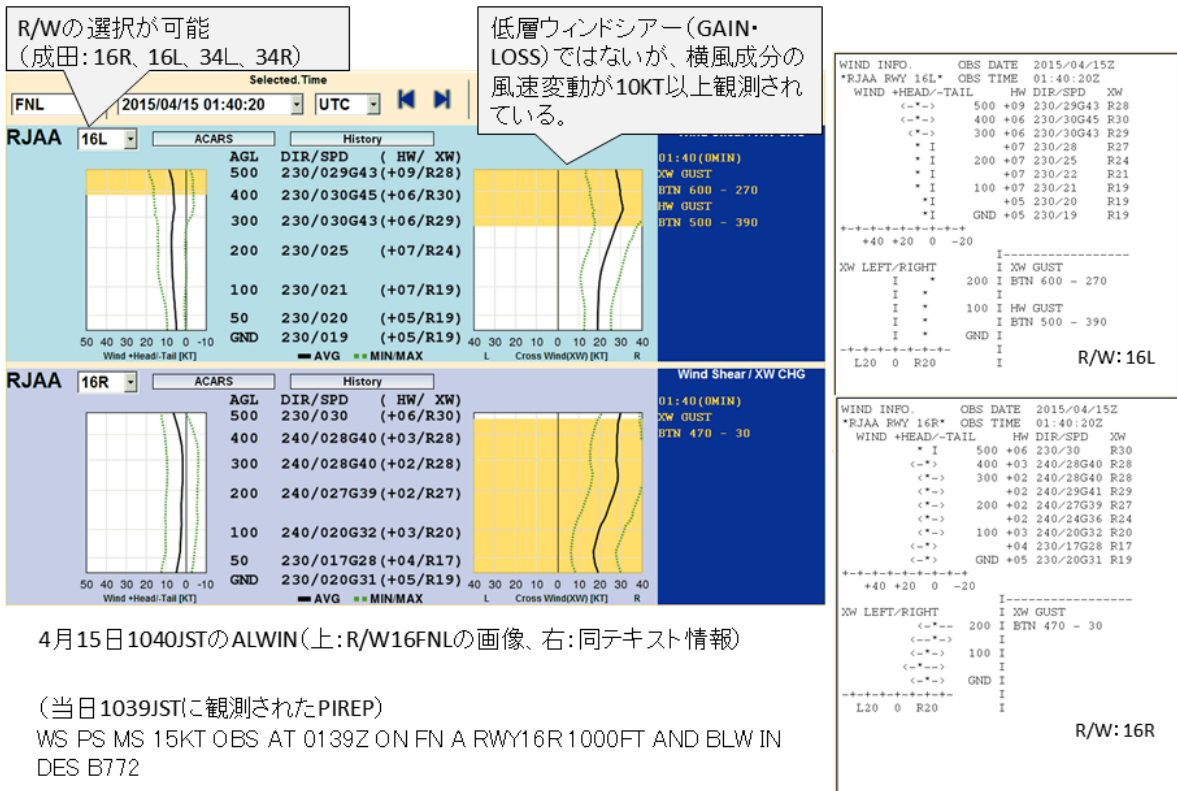
地上天気図(2015.04.15\_0300JST)

低気圧が本州南岸を発達しながら通過し、成田では15日早朝、風が南から西南西に変わって強まった事例。



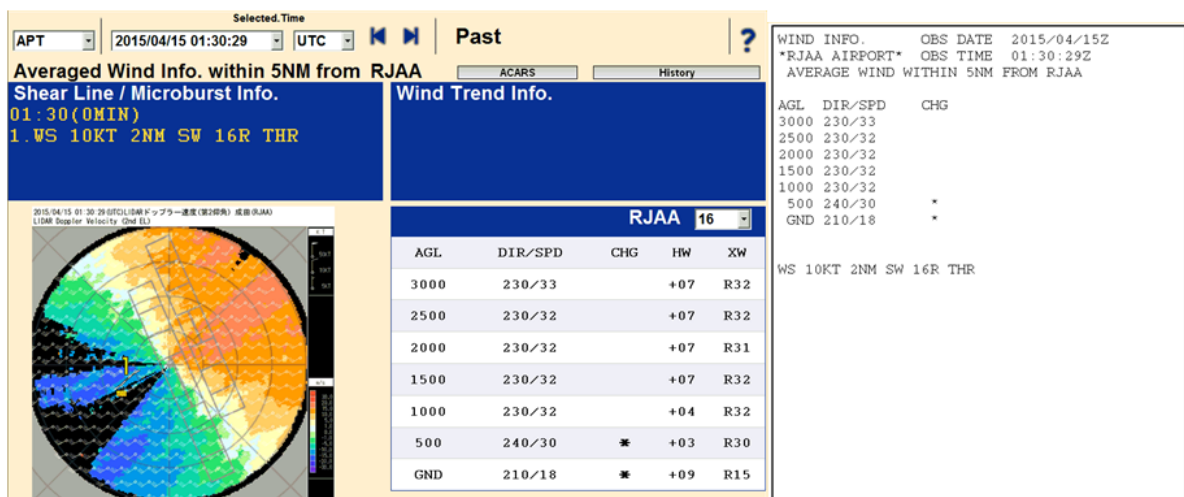
成田(R/W: 16R)の2分間平均の風向風速

## 評価試験における観測事例(成田空港:南西風)



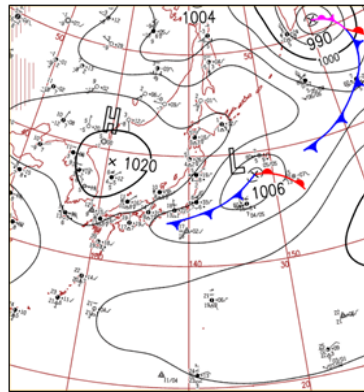
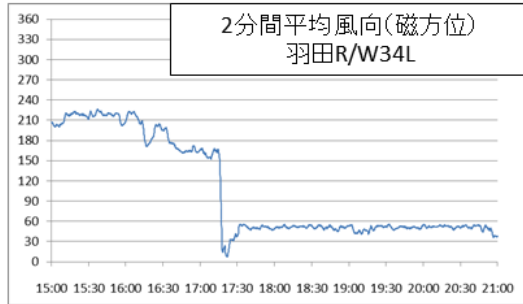
37

## 評価試験における観測事例(成田空港:南西風)



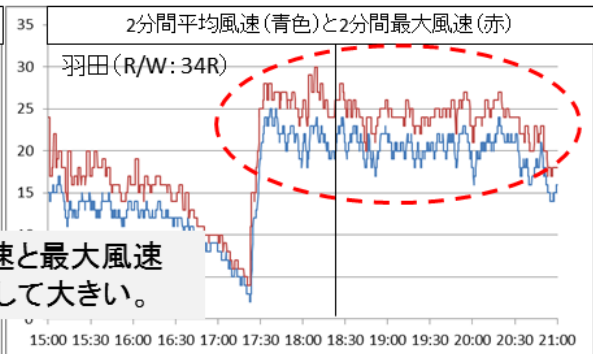
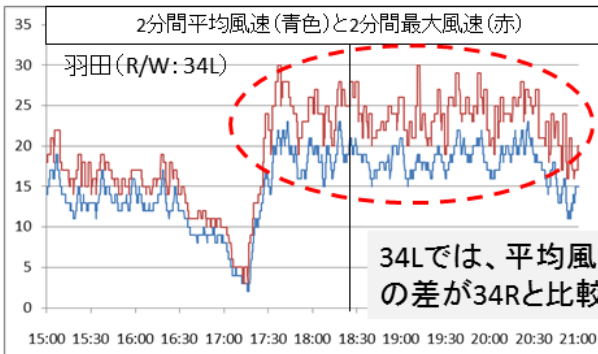
38

## 評価試験における観測事例(羽田空港:北東風)



地上天気図  
(2015.04.01\_2100JST)

1日朝に銚子沖に発生した低気圧が発達しながら東進し、羽田では夕方に風が北東に変わって強くなった事例

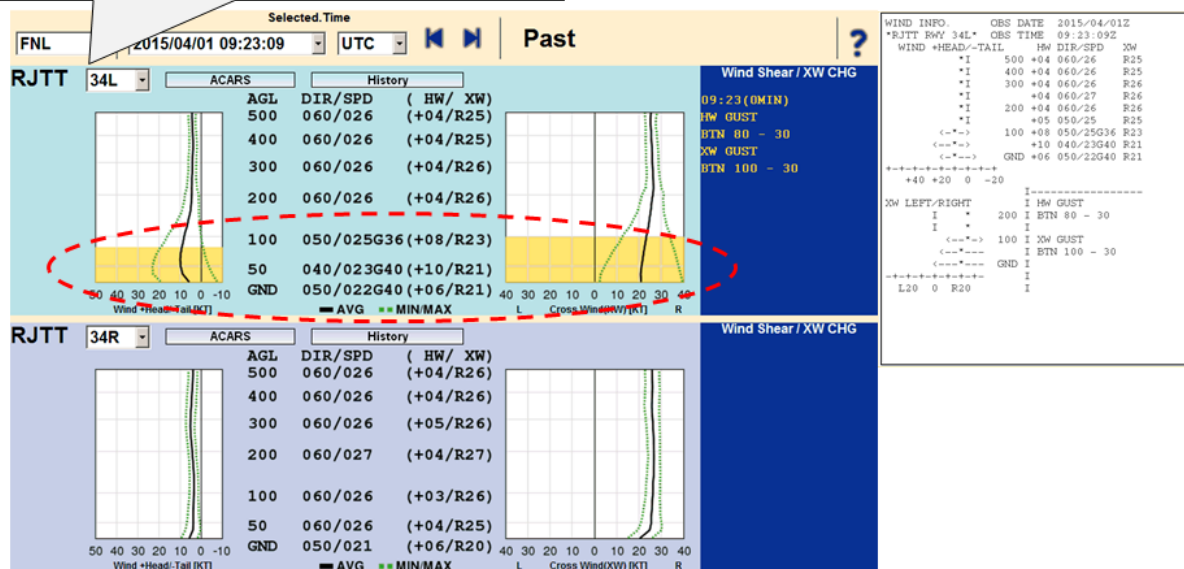


34Lでは、平均風速と最大風速の差が34Rと比較して大きい。

39

## 評価試験における観測事例(羽田空港:北東風)

R/Wの選択が可能  
(羽田: 16R, 16L, 34L, 34R, 04, 22, 05, 23)

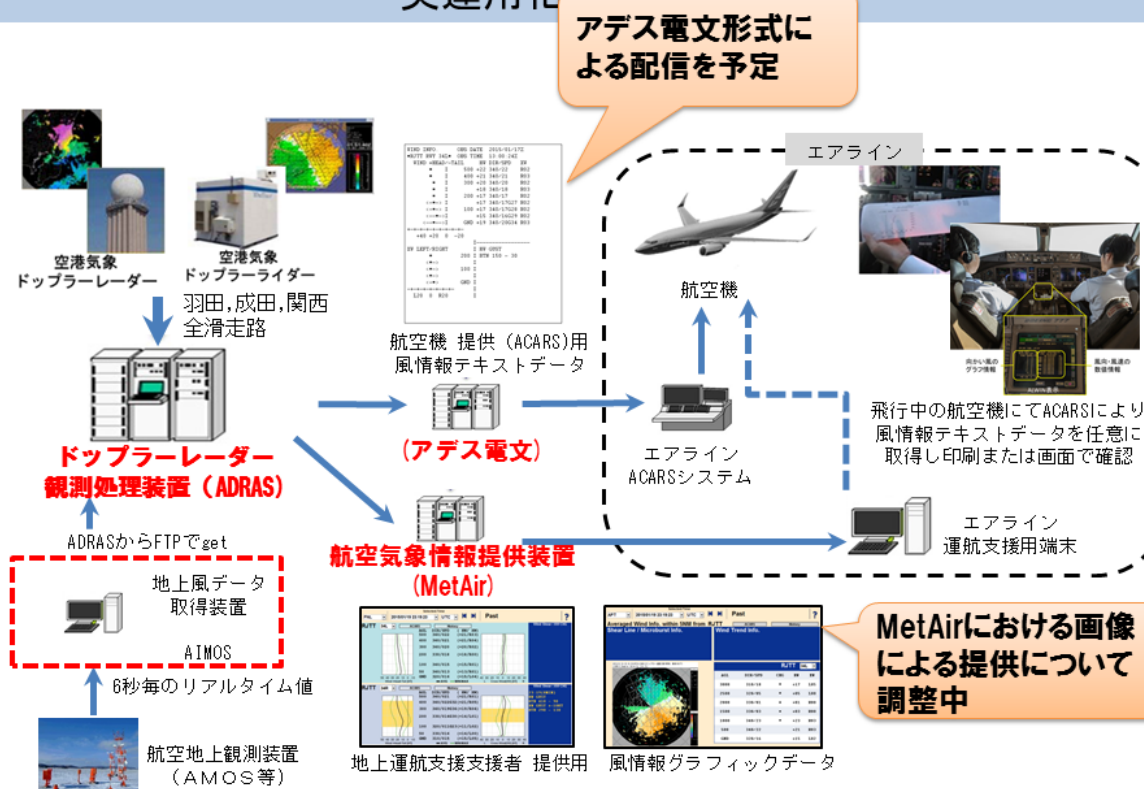


4月1日1823JSTのALWIN(上: APT(34L/34R)の画像、右:同テキスト情報(34L))

右からの横風が20KT~30KTで強いが、34Lのみ下層100FT以下で風速の変動がとても大きくなっている。一方、34Rでは地上風はやや弱くなる変化をしているが、風速の大きな変化は無く、34Lの風速の変動は格納庫(ハンガー)の風下における風の乱れを捉えていると考える。

40

## 実運用化に向けて



電文形式は年内、MetAirも2月を目指して調整中

41

## 最後に

- ALWINはJAXAとの共同研究でANA様、JAL様の協力も得てユーザーの要望を形に出来た風の補足情報です。
- 引き続き2016年12月中の運用に向けて取り組みます。
- 引き続きのご理解ご協力をお願い致します。



ご静聴ありがとうございました

42

Intentionally  
Left  
Blank

## 特別寄稿 藤田先生の思い出

桜美林大学 小野寺三朗

### 1. はじめに：

米国始め各国気象関係者には 1960 年代から竜巻研究者として既にその名が知られ、1970 年代以降はダウンバーストの存在を最初に主張しそれを客観的科学的に実証した研究者として、Pilot や運航関係者の間でも著名となったシカゴ大学特別貢献名誉教授 藤田哲也先生は、病気療養中の 1998 年 11 月、シカゴ大学近くの自宅で静かに息を引き取られた。藤田先生の研究意欲は病に伏した後も少しも衰える事なく、自宅病床で El Nino の研究に取り組んでおられたが、研究室での研究再開の日を迎える事のないまま、藤田先生にとっては若過ぎる 78 歳でその生涯を閉じられた。

本稿は、筆者が 2016 年度航空気象シンポジウムで藤田先生の思い出を語る様にとの指示を主催者から戴いたので、限られた時間での口頭報告を補う趣旨で記したものである。航空会社の気象担当部署で藤田先生を至近距離から仰ぎ見る機会に恵まれた一人として、航空分野を中心に藤田先生のご貢献を振り返り、改めてその意義を考える機会としたい。

### 2. 竜巻研究と「F-スケール」の考案・普及

藤田先生は北九州市にある明治専門学校（現九州工業大学）で教鞭を取る傍ら著した積乱雲からの下降気流に関する論文を、シカゴ大学に送り、それが認められて 1950 年代からシカゴ大学に招かれ、爾後その生涯をシカゴで気象学研究に捧げた。藤田先生渡米の経緯と、竜巻を始めとするその偉大な業績とについては、既に多くの書物・TV 等でも紹介されているのでここでは割愛させて戴くが、藤田先生は竜巻以前にも、例えば、今日では茶の間でもお馴染みの、気象衛星画像を時系列的連続的に移動し観察・解析する方法を、位置評定を正確に行う事により初めて実用化する等、既に早い段階から旧来の考え方に捕らわれない独自の発想・手法を用い未解決の課題に取り組み障害を克服し成果を収めている。

藤田先生の名を一躍有名にした竜巻の「F-スケール」（藤田スケール）は、藤田先生の精力的な被害現地調査とその解析とを通じ考案されたものであり、「コロンブスの卵」とも言う事の出来る「ユニークな発想」と「発想の転換」の賜物であった。「F-スケール」は現代風に言えば、究極の Cost Performance に優れたアイデアでもあった。「F-スケール」が竜巻研究と被害防止に果たした役割は、時を経て建造物に変化した今日でも「F-スケール」の補強強化版が米国内で使用され、また、環境条件の異なる米国外でも、例えば日本の様に日本地域版「F-スケール」が導入され微調整され使用拡大され続けている現状を見るだけでも明らかであろう。「F-スケール」は微調整され続けながら今後も使用され、藤田先生の名前と共に語り継がれて行くものと見られる。

### 3. 「ダウンバースト」現象の認識と航空事故防止への貢献

#### (1) 航空機事故の原因となる「ダウンバースト」の存在の主張と長期の論争

Pilot Error ではなく強烈な風に遭遇した事による事故として今日では皆が認識する、1975年6月24日のJFK空港EA（イースタン航空）66便事故は、藤田先生が最初に手掛けた、ダウンバースト概念を世に発表する契機ともなったダウンバースト事故であった。この前年の1974年、ウェストバージニア州竜巻被害調査時にセスナ機から「スターバースト」状の被害跡を目撃していた藤田先生は、JFK事故時にもそれに類する風が吹いたのではとの発想から、FDR（Flight Data Recorder）と目撃証言等の解析を進めた。その結果、事故発生当時、「強い下降気流が上空から吹き降りて来て、地表付近で爆発的に発散し破壊的な被害を及ぼす風」が存在していた事が解析された。藤田先生はこれを「ダウンバースト」と命名し発表した。当時の気象学者の多くは「下降気流は地表付近で弱まる筈」として藤田説に否定的であった。論争に決着をつけるべく、藤田先生はシカゴ大学グループと大規模野外観測を実施し、観測データの収集解析を行った。

#### (2) 観測による「ダウンバースト」の存在の実証と「マイクロバースト」・「マクロバースト」及び「ドライマイクロバースト」・「ウェットマイクロバースト」への現象理解と分類の深化

##### (i) 空中写真によるダウンバースト痕跡の確認

ダウンバーストの存在を実証する作業の一環として藤田先生とそのグループは、セスナ機に搭乗し望遠レンズも用い地上の痕跡を観察・撮影する作業を繰り返した。その結果、上空から殆ど発散せずに地表付近迄下降し、そこから水平方向に発散する破壊的強風が吹いた事を示す被害の痕跡を多数写真撮影する事に成功した。

##### (ii) NIMROD 観測計画（1978年、イリノイ州・シカゴ）の実施と成果

藤田先生とシカゴ大学グループは1978年、イリノイ州シカゴ市郊外で3台のドップラーレーダーと27地点の自動気象観測器による観測網を構築し42日間観測を行った（NIMROD計画）。その結果、ダウンバーストの観測に成功し、更に、水平規模が小型と大型の物がある事も新たに判明した。これらは藤田先生により「マイクロバースト」「マクロバースト」とそれぞれ命名・分類された。また、降水を伴う場合と伴わない場合とがあり、それぞれ「Dry」「Wet」タイプのものとして分類・命名された。NIMRODでは最終的に50個のダウンバースト（内訳：Dry=36%、Wet=64%）の発生が確認・観測された。

##### (iii) JAWS 観測計画（1982年、コロラド州・デンバー）の実施と成果

2回目の大規模観測（JAWS計画）は1982年シカゴ大学とNCAR（国立大気研究センター）によりコロラド州デンバー市郊外で実施された。観測機器の配置数はNIMROと同数であったが、ここではマイクロバースト向けに機器配置され観測が実施された。観測の重点をマクロバーストではなくマイクロバーストに置いたのは、



マイクロバーストによる事故が各地で発生し続けていた理由による。JAWS 86 日間の観測期間中に観測されたマイクロバーストは 186 個 (Dry=83%、Wet=17%) に達した。乾燥地域で実施されたこの観測により Dry マイクロバーストについて多くの知見が得られた。

(iv) MIST 観測計画 (1986 年, アラバマ州・ハンツビル) の実施と成果

3 回目の大規模観測 (MIST) は 1986 年、南部の湿潤地域に位置するアラバマ州ハンツビル市郊外で実施された。NIMROD・JAWS の観測結果から既に「マイクロバースト論争」には決着がついていたが、ここでは Wet マイクロバーストに焦点を合わせ南部のアラバマ州で観測が実施された。この観測研究は FAA (連邦航空局)、NASA (航空宇宙局) のそれぞれ独自の観測計画とも連携し並行して実施された。尚、MIST では JAWS 迄の観測機器に加えて、NOAA (海洋大気庁) からハリケーン観測用航空機 (WP-3D) 1 機を 1 週間借り切り機上からの観測に投入された。藤田先生が観測飛行の Director として乗り組み、操縦席後ろで機長に飛行高度や経路を指示して飛ぶ方法で観測飛行は実施された。観測飛行中に運よく発生したマイクロバーストについて、親雲となる積乱雲の発達段階から下降気流及びマイクロバースト発生期迄、観測チームは地上観測網・ドップラー気象レーダー・航空機観測等全ての機器に於いて多角的に捉える事に成功した。これにより、湿潤地域での Wet マイクロバーストについて、豊富なデータが得られ研究も前進した。

(3) 低高度ウィンドシアー事故防止に対する貢献と日本の関係者への指導

(i) 米国の対策と日本への浸透

米国では 1978 年の NIMROD 観測結果等を受けてマイクロバースト対策の検討も進んだ。官民一体となって、Flight Simulator 等も用いマイクロバーストに遭遇した場合の対処方法を検討する等、より具体的に検討が進められた。また、成果の一部は FAA Advisory Circular 等を始めとする媒体を通じ直ちに関係者に紹介された。また、Pilot の Simulator 訓練で使用される低高度ウィンドシアーモデルには、JFK 事故を始めとするマイクロバースト事故時の風モデルも組み込まれ使用されるようになった。

日本国内では関係者により米国最新情報が Pilot 向け教材や資料を通じて伝えられ、知識教育や訓練手順等にも反映される様になった。例えば日本航空の Line Pilot 用気象教科書「気象便覧」(岩下晴彦氏執筆・編集) の 1982 年 10 月 1 日改訂版では、FAA Advisory Circular (00-50A,1979) の内容が紹介され、Dry マイクロバーストの特徴等についても詳述されている。

(ii) 操縦士協会の活動

一方、上記情報環境下で、マイクロバーストについて Pilot 団体の立場として積極的に活動を行っていたのが日本航空機操縦士協会（以下、操縦士協会と略記）であった。操縦士協会は1984年に藤田先生を米国から招き最初の講演会を実施している。1984年9月の上記講演会に出席した後、シカゴ大学に藤田先生の門をたたき、藤田先生著「Downburst」の邦訳を行い、1985年5月に操縦士協会を通じ日本語訳版として出版したのが、操縦士協会理事を務めた上田恒夫氏（当時日本航空機長）であった。藤田先生の早期来日と講演実施、及び、マイクロバースト問題についての国内関係者の意識の高まりは、当時の会員諸氏の熱心さと操縦士協会の活発な活動抜きにしては考えられないと言って良い。

(iii) 講演会を通じての対策の重要性についての啓蒙活動

その後も Pilot 有志を中心に、藤田先生のご指導を希望する声が続いた。関係者による検討の結果、86年度以降、藤田先生の来日と講演及びその後の継続的指導等については、手弁当集団でもある操縦士協会に代わって会社組織である日本航空が日本を代表する形で指導を仰いで行く事になった。

藤田先生と日本航空との間で簡単な文書が交わされ、藤田先生講演会は1986年から日本航空が事務局となり年1回から数年に一度程度の頻度で1990年代半ば迄実施された。講演会には日本航空の Pilot や運航関係者を始め、気象庁・関係機関の担当官、研究者、及び全日空・JAS（当時）の気象担当者等、国内の関係者が羽田の日本航空に集まり講演を聴講した。講演会場は多数の聴講者で溢れ、会場はいつも熱気に包まれた。

藤田先生の講演は気象専門家だけでなく Pilot や運航担当者にとっても分かり易く、ユーモアにも富む肩の凝らないものであった。マイクロバーストやその対策の研究を進めていた気象庁を始めとする関係機関の専門家にとっては、米国での最新の観測研究結果を知り方向性を探る上で貴重な機会の一つとなったと見られる。

(iv) 国内関係者の米国マイクロバースト観測研究現場への招待

①1986年アラバマ州ハンツビル（MIST 観測）への招待

日本航空が藤田先生のご指導を戴く様になって日も浅い1986年夏、藤田先生から日本航空宛に、「7月にアラバマ州で MIST 観測計画を実施し観測機 WP-3D も加わる予定である。ついては、日本航空担当者を体験搭乗に招待したい」旨の招待状が届いた。日本航空運航部は当時気象業務を担当し藤田先生と会社との事務窓口を担当していた筆者を出張させ観測機に搭乗させた。この飛行中に発生し、地上及び航空機からほぼ完全な形で観測された7月20日午後のマイクロバーストは、藤田先生により発生地点の地名にちなみ、“Monrovia Microburst”と命名された。そのデータと解析結果は藤田先生グループにより関係者に広く紹介され報告された。

## ②1987年コロラド州デンバー（FLOW87）他への招待

藤田先生は1987年夏、コロラド州デンバー近郊でFAA-MIT Lincoln Laboratoryが共同実施中のTDWR（Terminal Doppler Weather Radar）のマイクロバースト自動判定機能評価の為の観測研究現場に、再び日本航空担当者を招いた。藤田先生はトレーラーハウスのレーダー観測基地を訪れ、若い研究者と気軽に言葉を交わしながら観測状況を視察した。また、国立大気研究センター（Boulder市）では研究者に講演し、誤警報防止の観点から風観測機器立地条件を見直す必要性を強調した。

藤田先生は更にデンバー空港（Stapleton）周囲の、FAAのLLWAS（Low Level Wind shear Alert System）（低高度ウィンドシアア警報装置）の風観測用測器感部の配置状況視察に筆者を同行させた。藤田先生は自らレンタカーを運転し12か所のうち7か所の測器設置場所を訪れ、状況を記録し写真撮影を行った。7か所の測器の地上からの高さのバラつきと周囲の木々や建築物等障害物による風観測への影響は、品質管理上の問題だけでなく、LLWASによる低高度ウィンドシアア警報の誤警報発出の原因となる旨指摘した。現地調査を徹底的に行い、問題が見つければ相手が米政府機関であっても臆することなく問題点を指摘し改善を求めて行く、藤田先生の行動力と厳しい考え方を拝見出来た思いであった。

筆者が見学した1986年のアラバマ州ハンツビル、87年コロラド州デンバーの2回の観測現場見学の概要は出張報告書や紙媒体等を通じ関係先に報告された。

### (v) 新著の国内関係機関・組織への寄贈

藤田先生の著書がシカゴ大学出版会から発刊される都度、それらは100冊、200冊単位で藤田先生から日本航空のシカゴ支店に届けられ、そこから羽田の日本航空運航部に運ばれた。藤田先生からの寄贈品である著書は、羽田の日本航空から国内の気象や航空安全対策に関係の深い官庁・関係機関・大学・研究者・国内航空会社に届けられた。

### (4) 藤田先生の航空安全への貢献

藤田先生の講演や藤田先生著書の国内関係機関への寄贈等を通じ、日本国内での官民関係者のマイクロバーストに対する理解は深まり関心はより一層高まって行った。関係者の対策の必要性に対する共通認識も徐々に醸成されて行った。それらはその後のDoppler導入を始めとする基本政策策定の面でも少なからぬ影響があったのでは見られる。米国のマイクロバースト事故を踏まえ、我が国では悲惨な航空機事故が当時発生していなかったのにも拘らず、1995年から関西空港・成田空港を皮切り全国主要9空港に気象庁Doppler気象レーダーが導入・展開された。これらのお蔭により今日迄マイクロバースト事故が未然に防止されているが、藤田先生はもとより、気象庁を始めとする関係機関・関係者の尽力に航空関係者の一人として、改めて感謝の意を表したい。

気象庁は空港気象Dopplerレーダーの展開を完了した後、更にLIDARを一部導入

し Dry Type の現象への対策強化を図っている。我が国に於いてこの様に世界に誇れる空港の風対策充実が図られた重要な要因の一つとして、藤田先生の精力的な普及啓蒙活動とそれに呼応する気象庁を始めとする関係機関・関係者の真摯な取り組みがあった事を銘記しておきたい。

#### 5. 藤田先生について特筆すべき点

- (1) 旧帝大等の知的エリート養成コースを経ずして、地方の高等専門学校教員を続けながら、独自に論文をまとめ、それをシカゴ大学に送り認められ、シカゴ大学に招聘される事になった。
- (2) 数学的・物理学的な基礎理論と図学的裏付け等に基づき、精密・緻密な観測・計算を行い、更にそれらを客観的・数量的に正確な且つ説得力のある図として提示する能力に優れていた。例えば、風の痕跡を示す図中に描かれる補助線は、それらがあたかも読者に何かを語りかけ主張しているかの様な印象すら与えるものであった。
- (3) 一見大雑把で非科学的とも見える方法であっても、それを大胆に採用し、科学的に有意な説得力のある水準に迄高めて行った(=「F-スケール」)。同様にダウンバーストに於いても最初から数値には拘らずに、「破壊的な強さの風」として定義し、データ収集・判別の困難性を克服している。細部に拘らずに大局的にその本質を追求して行く思考方法が、常識を覆し新たな概念を確立する事に繋がった。
- (4) 「マイクロバースト論争」では米国の気象学者・研究者の間で藤田説を否定する者が多い中で、その存在を強く主張した。また、存在を実証する為に大規模な野外観測を繰り返し、マイクロバースト存在の証拠となる客観的データを収集し実証する事に成功した。現場での観測結果を信じ信念を貫いた。
- (5) 政府機関 (FAA) の設置した空港周辺の LLWAS (低高度ウィンドシアア警報装置) について、そのマイクロバーストに対する機能の原理的限界、及び風観測機器設置環境の杜撰さ及び誤警報の実例を示し、観測・警報発出に対する考え方の杜撰さを徹底して批判し改善を迫り続け、政府機関を最終的に動かす事に成功した。
- (6) 様々な現象に興味を抱き、常に新たな発想で真理を求め続けて行く研究者であった。最晩年は El Nino 問題に興味を持ち研究を進めて行った。
- (7) Pilot の立場に立って物事を考え説明の出来る研究者であった。現場での最終的な使用方法に迄思いを巡らし解決しようとする研究者であった。
- (8) 形式に拘らず、気さくでユーモアに富み、難しい内容でも簡潔な言葉で分かり易く解説してくれる先生であった。講演会では常に聴講者を魅了し楽しませた。
- (9) 1986 年からお亡くなりになる 1998 年迄、日本航空を実質的には「気象顧問」として指導したが、この間、無給で指導を続けた。報酬や謝礼等も一切受け取らな

かった。また、新著出版の都度、国内航空会社や国内関係機関にそれらを寄贈している。自宅も学者らしい質素で慎ましいものであった。

- (10) 藤田先生が学生だった当時学業を支援する為に力を注いでくれた方を始めお世話になった方々に対し、感謝の気持ちを持ち続け、著名になった後も自著の中でそれら恩人の方々の名前を度々引用・紹介する等、恩義を忘れる事はなかった。また、米国での生活が長くなっていたのにも拘らず、義理固さに於いては、最後迄通常の日本人以上のものを持ち示し続けた。

## 6. おわりに

筆者には藤田先生の偉大さを十分に説明出来る力はないが、読者に於かれては可能であれば、藤田先生の著書や藤田先生を紹介する図書等に触れて藤田先生の偉大さに触れて戴ければ、と願う次第である。

最後に藤田先生が講演会で「Pilot の皆さんに是非覚えておいて欲しい」と仰っておられた言葉を紹介したい。

“The speed increase in front of a shower means Microburst “

(意味) 進入中に、空港上空にある CB から Microburst が発生した場合の、CB 直下の降水域とそこから周囲に拡散して行く外出流と航空機との位置関係から、「上記の様な風変化に遭遇した場合はマイクロバーストを疑ってみる必要がある」との趣旨の言葉。

Doppler 気象レーダーのない空港でも Pilot 自らが採れる対策がある、例として示された。

## 参考文献

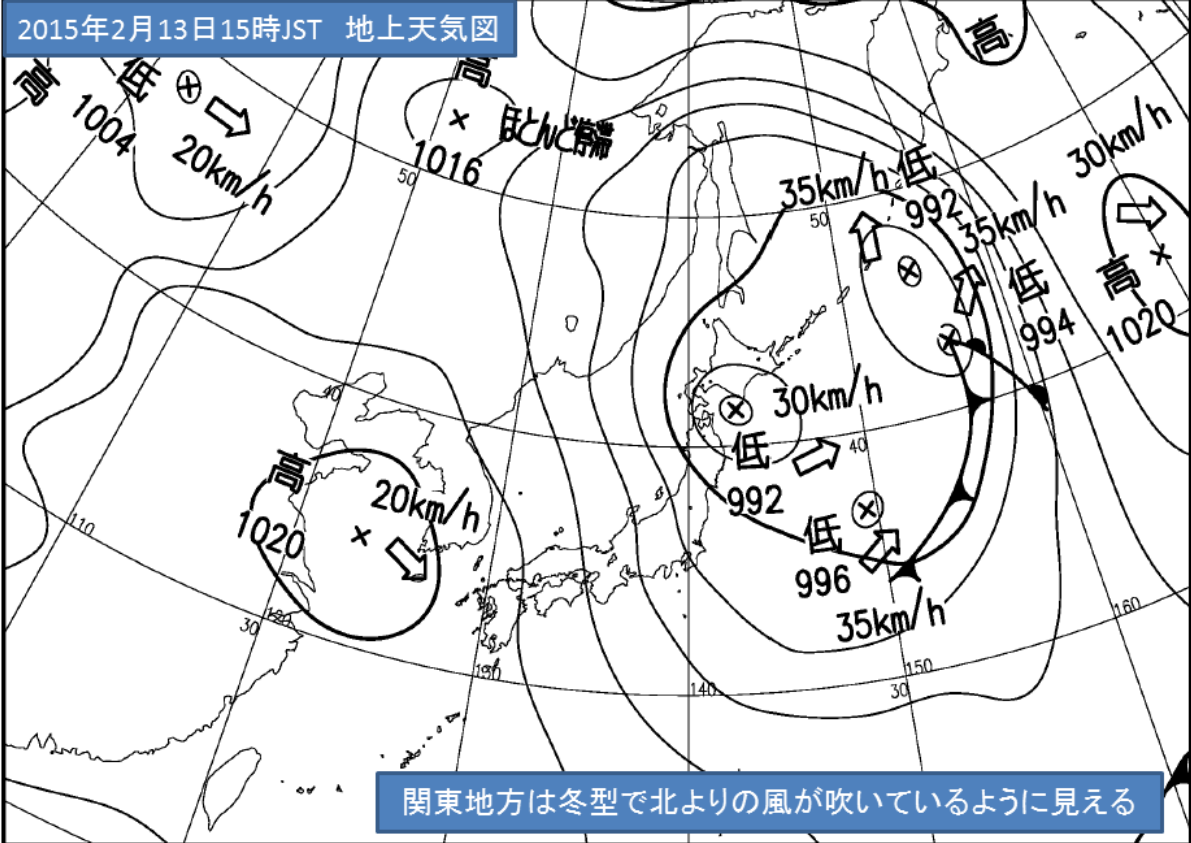
(藤田哲也先生著書・論文等： 主要なもの及び航空関係等の文献の一部)

- Fujita, T., 1951: Micro-analytical study of thunder-nose. *Geophys.Mag.Japan*.22, 78-88.
- Fujita, T. T., et al., 1967: *Estimation of tornado wind speed from characteristic ground marks*. SMRP Res. Paper, 69, Univ. of Chicago, 19p.
- Fujita, T. T., 1972: *F-scale classification of 1971 tornadoes*. SMRP Res. Paper, 100, Univ. of Chicago, 16p.
- Fujita, T. T., and Byers, H. R., 1977: Spearhead echo and downburst in the crash of an airliner. *Mon. Wea. Rev.*, 105, 129-146.
- Fujita, T. T., 1985: *The Downburst*. SMRP Res. Paper, 210, Univ. of Chicago, 122p.
- Fujita, T. T., 1986: *DFW Microburst*. SMRP Res. Paper, 217, Univ. of Chicago, 155p.
- Fujita, T. T., 1992: *The Mystery of Severe Storms*. SMRP Res. Paper, 239, Univ. of Chicago, 298p.
- Fujita, T. T. et al., 1999: *World Atlas of Typhoons and Hurricanes 1951-1995*. WRL Paper, 250, Univ. of Chicago, 102p.
- 藤田哲也, 1973 : たつまき - 上 (渦の脅威) 共立科学ブックス, **20**, 共立出版, 252p.
- 藤田哲也(上田恒夫訳), 1985:ダウンバースト(下降噴流). 日本航空機操縦士協会, 160p.
- 藤田哲也・藤田碩也, 1996 : 或る気象学者の一生. WRL Paper, 239, Univ. of Chicago, 94p.
- 藤田哲也・藤田碩也, 1997 : 或る気象学者の晩年. WRL Paper, 239, Univ. of Chicago, 128p.
- 藤田碩也(編), 2001 : ドクタートルネード藤田哲也. 藤田記念館建設準備委員会事務局.113p.
- (その他の著者による、本日の話題に直接関係のある参考文献)
- 日本航空運輸部, 1982 : FAA Advisory Circular (00-50A,1979). 気象便覧, 1982年10月1日改訂版, 日本航空運輸部, 4-94-(1)・4-94-(2).
- 二宮洗三, 1999 : 藤田哲也名誉会員の研究業績を偲ぶ. 天気, **46**, 日本気象学会, 34-35.
- 小野寺三朗, 1986 : マイクロバースト野外観測実験を視察して. *Flight Crew News*, **30**, 1986年12月号, 日本航空運輸本部 FCN 編集委員会, 12-19.
- 小野寺三朗, 1987 : Wet マイクロバースト -MIST Project から- (藤田先生 1986年11月26日講演要旨). *Flight Safety*, **52**, 1987年4月号, 日本航空運輸安全推進部, 8-15.
- 小野寺三朗, 1988 : 1987年低高度ウィンドシア観測実験現場から(その1・デンバー発). *Flight Crew News*, **43**, 1988年1月号, 日本航空運輸本部 FCN 編集委員会, 25-27.
- 小野寺三朗, 1988 : 低高度ウィンドシアについて. 航海, **95**, 1988年3月号, 日本航海学会, 99-104.
- 小野寺三朗, 1998 : 衰えぬ研究意欲・新分野に挑む 喜寿のフジタ教授. 気象新聞, **32**, 1998年5月20日, 気象業務支援センター, 1.

# 2015年2月13日 東京国際空港

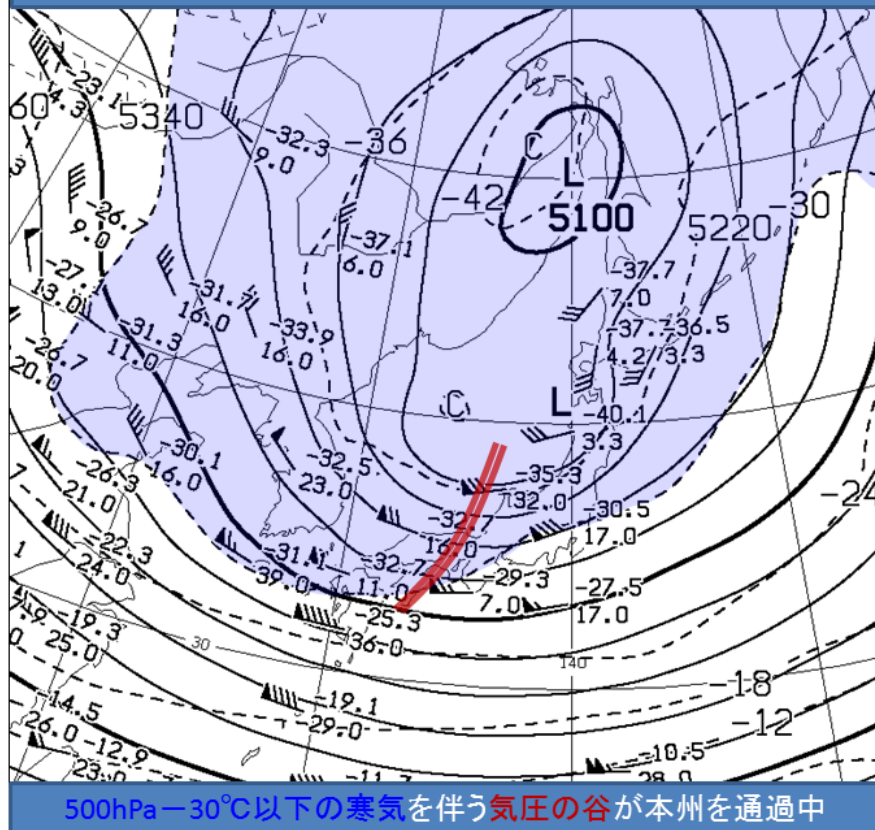
## 冬型時のマイクロバースト

2015年2月13日15時JST 地上天気図



関東地方は冬型で北よりの風が吹いているように見える

2015年2月13日09時JST500hPa高層天気図



TAF RJTT **122305Z** 1300/1406 **32008KT** 9999 FEW030  
**BECMG** 1304/1306 **32018KT**  
**TEMPO** 1306/1312 **32025G35KT**  
**BECMG** 1315/1318 30008KT=

TAF AMD RJTT **130345Z** 1303/1406 **16008KT** 9999 FEW030  
**BECMG** 1304/1306 **33018KT**  
**TEMPO** 1307/1312 **33025G35KT**  
**BECMG** 1312/1315 28008KT=

TAF RJTT **130512Z** 1306/1412 **33018KT** 9999 FEW030  
**TEMPO** 1307/1312 **33025G35KT**  
**BECMG** 1313/1315 28008KT=



# アメダスの風 (m/s)

## 羽田のMETARの風

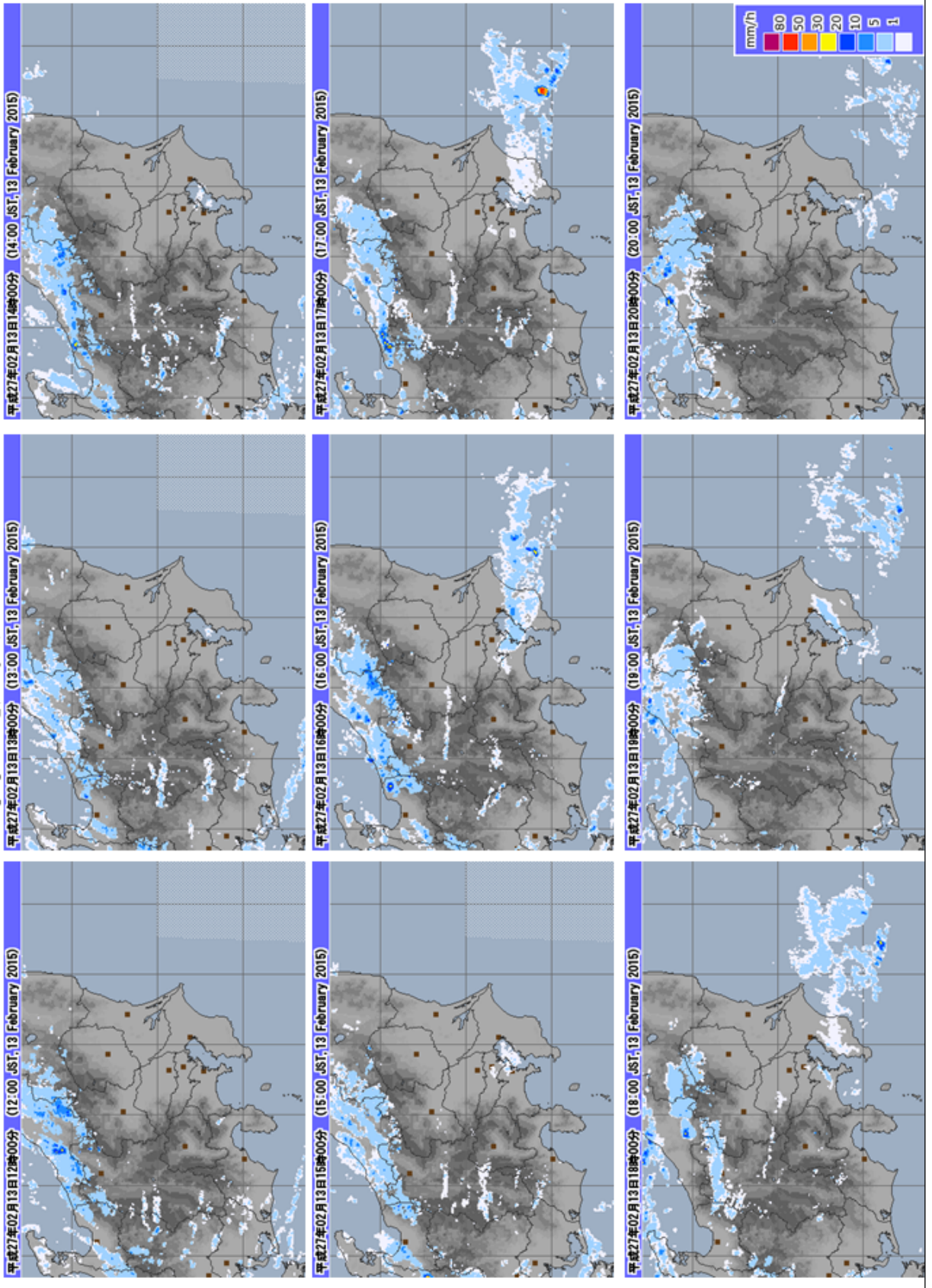


※アメダス、METARの風はいずれもRWY16L

気象庁HPより

# レーダー降水強度 12:00～20:00JST

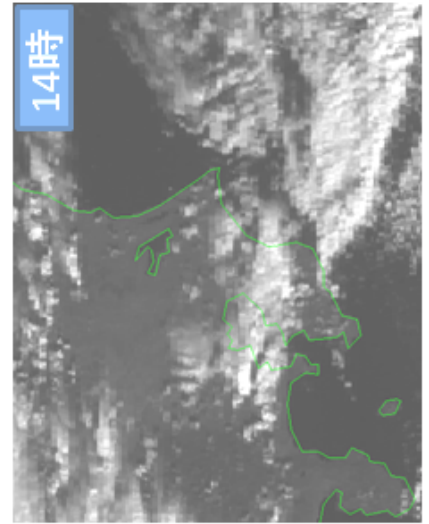
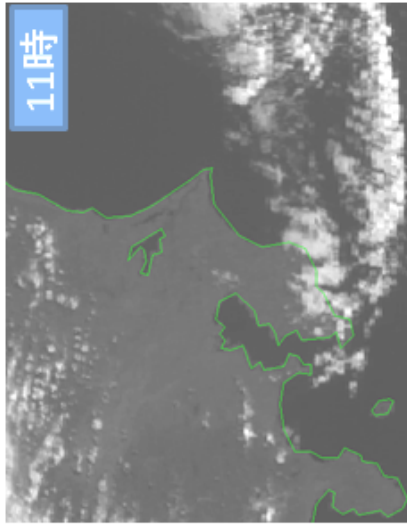
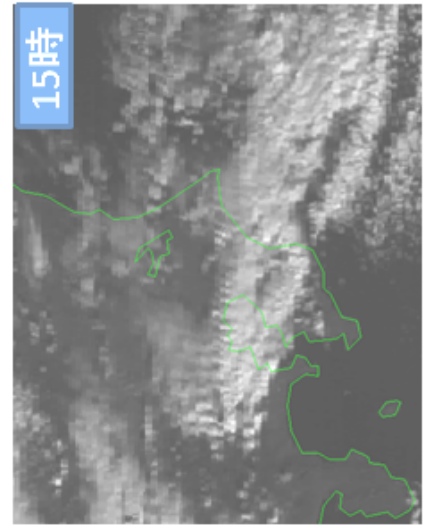
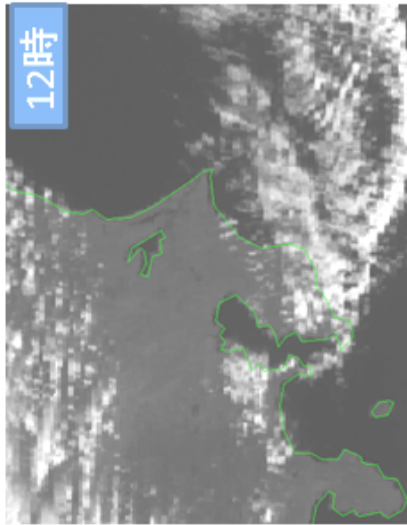
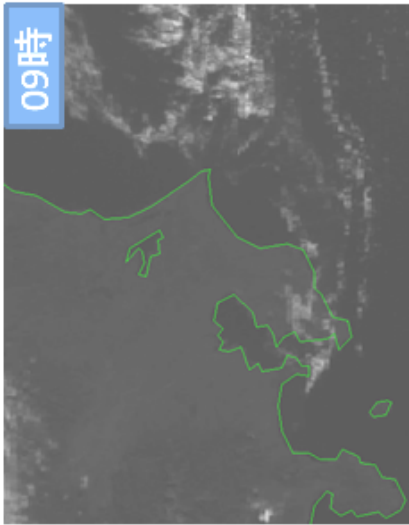
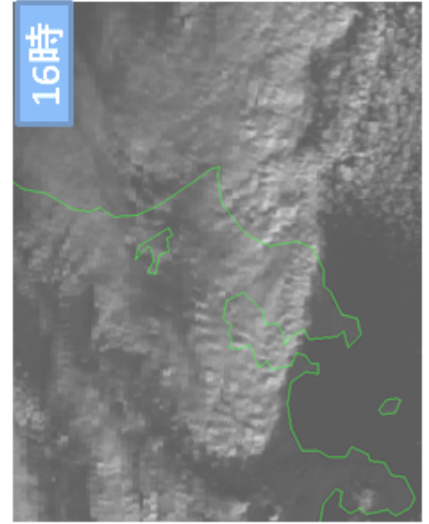
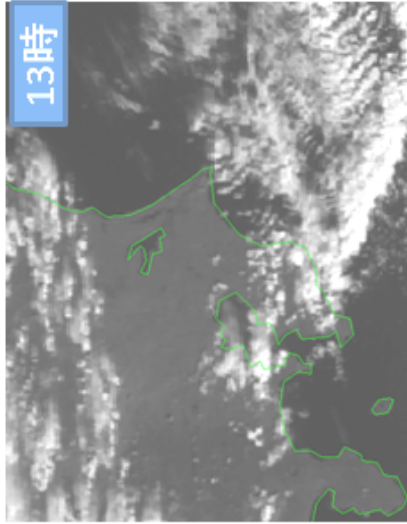
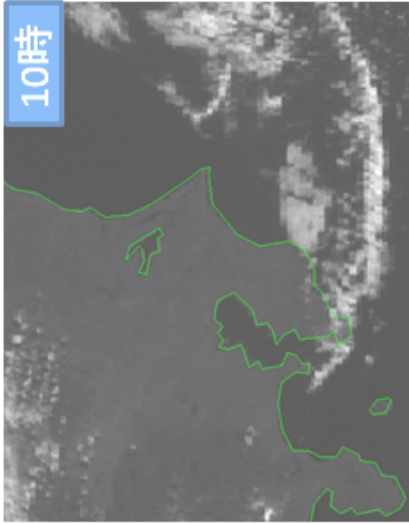
気象庁HPより



# 気象衛星可視画像

09:00 ~ 16:00JST

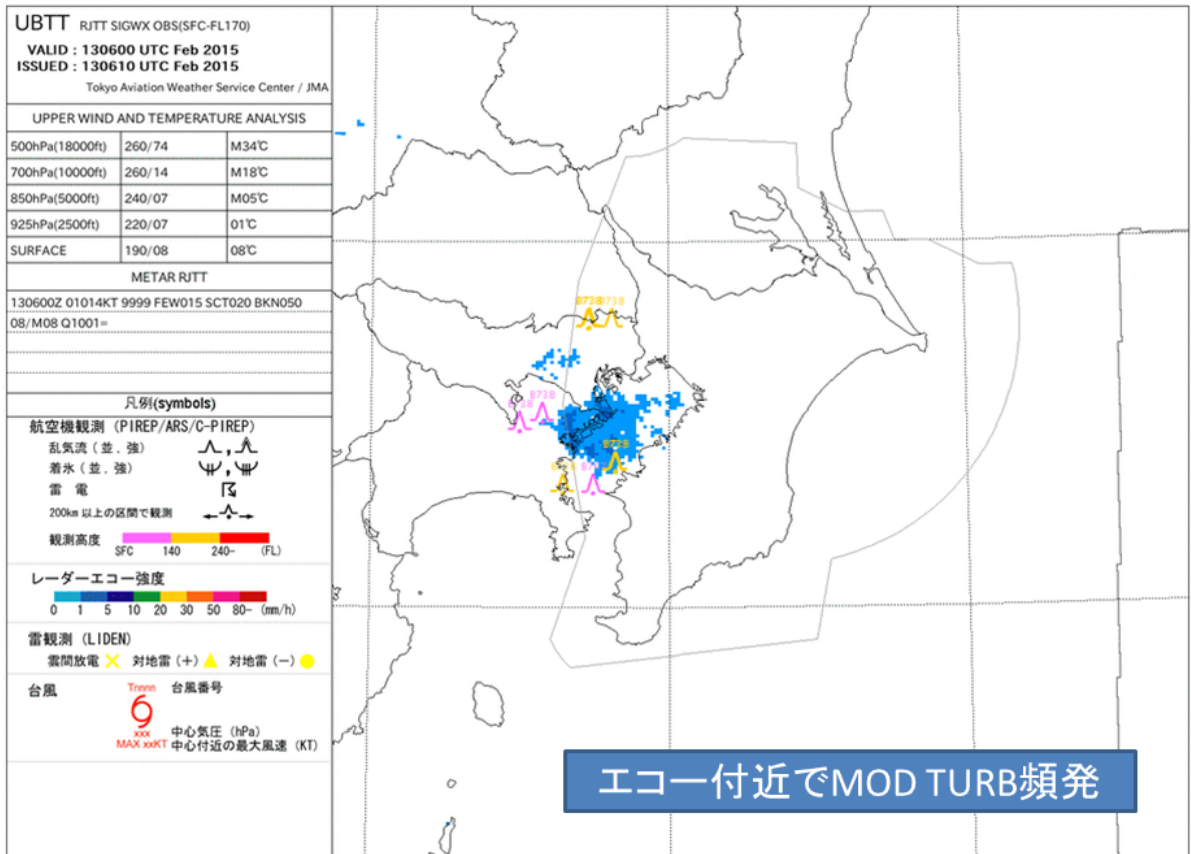
寒気の通過に伴い  
次第に対流雲が湧く





METAR RJTT 130400Z VRB03KT 9999 FEW030 BKN070 09/M09 Q1000 BECMG  
 33016KT RMK 1CU030 6AC070 A2953 . . .  
 VIRGA ABT 15KM S MOV UNKNOWN=  
 SPECI RJTT 130425Z 14013KT 9999 FEW030 BKN080 09/M05 Q1000 RMK  
 1CU030 6AC080 A2953 VIRGA 20KM SE MOV E=  
 METAR RJTT 130430Z 14013KT 9999 FEW030 BKN080 08/M06 Q1000 BECMG  
 33016KT RMK 1CU030 6AC080 A2953 VIRGA 20KM SE MOV E=  
 METAR RJTT 130500Z 19008KT 9999 FEW030 BKN060 08/M09 Q1000 BECMG  
 33016KT RMK 1CU030 6SC060 A2953 VIRGA ABT 20KM SE MOV  
 UNKNOWN=  
 METAR RJTT 130530Z 14009KT 9999 -SHRA FEW015 SCT025 BKN050 08/M08  
 Q1000 BECMG 33018KT TEMPO FM0700 33025G35KT RMK 1CU015  
 3CU025 7SC050 A2954=  
 SPECI RJTT 130555Z 01017KT 9999 FEW015 SCT020 BKN050 08/M07 Q1001  
 RMK 1CU015 3CU020 7SC050 A2956 . . .  
 VIRGA OHD MOV UNKNOWN=  
 METAR RJTT 130600Z 01014KT 9999 FEW015 SCT020 BKN050 08/M08 Q1001  
 TEMPO FM0700 33025G35KT RMK 1CU015 3CU020 7SC050 A2957  
 VIRGA OHD MOV UNKNOWN=  
 SPECI RJTT 130608Z 36016G27KT 9999 -SHRA FEW015 SCT020 BKN050  
 08/M06 Q1001 RMK 1CU015 3CU020 7SC050 A2956=  
 SPECI RJTT 130623Z 06011G22KT 360V170 9999 -SN FEW015 SCT020 BKN060  
 06/M06 Q1001 RMK 1CU015 3CU020 7SC060 A2959 4000NE-SE  
 MOD TURB OBS AT 0616Z OVER CREAM 4000FT BY B738=  
 METAR RJTT 130630Z 36012G24KT 330V040 9999 -SN FEW015 SCT020 BKN060  
 07/M07 Q1001 TEMPO 33025G35KT RMK 1CU015 3CU020 7SC060  
 A2958 4500SE-S=

## 狭域悪天実況図

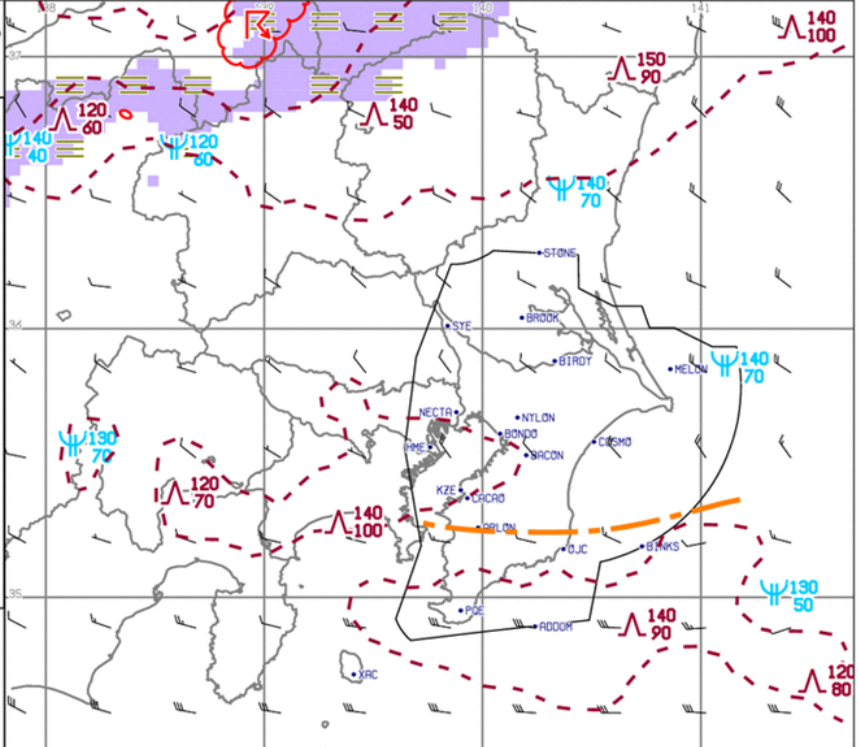


# 狭域悪天予想図

FBTT07 TOKYO APP-Area  
SIGWX Prognostic Chart (SFC - FL200)  
**VALID TIME : 0700 UTC 13 Feb 2015**  
BASE TIME : 0000 UTC 13 Feb 2015  
Japan Meteorological Agency

Point	FL	Wind (kt)	T/T-Td(°C)
SYE	150	270	55 M30 >10
SYE	080	270	30 M16 03
HME	080	270	25 M15 03
KZE	150	270	55 M28 >10
STONE	110	250	35 M23 03
NYLON	050	300	25 M08 05
NECTA	030	310	20 M03 10
BACON	070	270	20 M12 04
BONDO	050	300	20 M08 05
5NM_N_HME	010	320	20 03 >10
5NM_S_HME	010	330	20 03 >10
CACAO	040	320	20 M04 07
ARLON	050	310	15 M07 06
OJC	080	290	20 M14 02
PQE	100	300	30 M19 08
ADDUM	100	290	30 M18 09
XAC	150	270	55 M26 >10
MELON	090	240	25 M17 02
BINKS	100	280	20 M18 01
COSMO	040	310	20 M05 08
BROOK	040	300	25 M06 06
BIRDY	020	300	20 00 >10

■ Rain area ■ Snow area  
 0.4 5.0(mm/h)  
 SFC Wind  
 Shear line  
 TS SFC VIS < 1km  
 MOD TURB (OCNL SEV)  
 MOD ICE



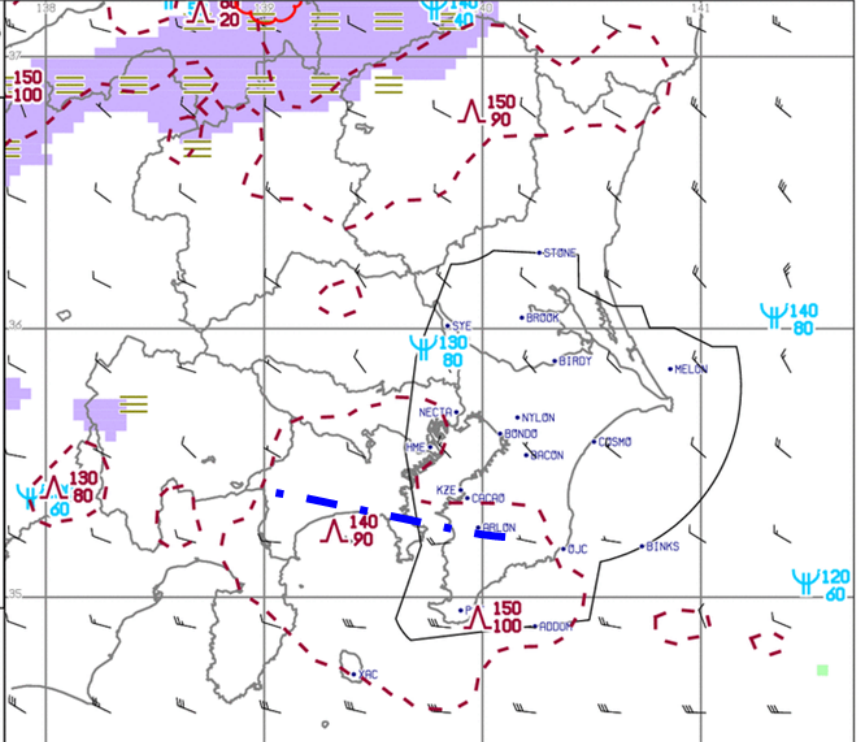
09時JST初期値ではシアーラインを予想

# 狭域悪天予想図

FBTT03 TOKYO APP-Area  
SIGWX Prognostic Chart (SFC - FL200)  
**VALID TIME : 0600 UTC 13 Feb 2015**  
BASE TIME : 0300 UTC 13 Feb 2015  
Japan Meteorological Agency

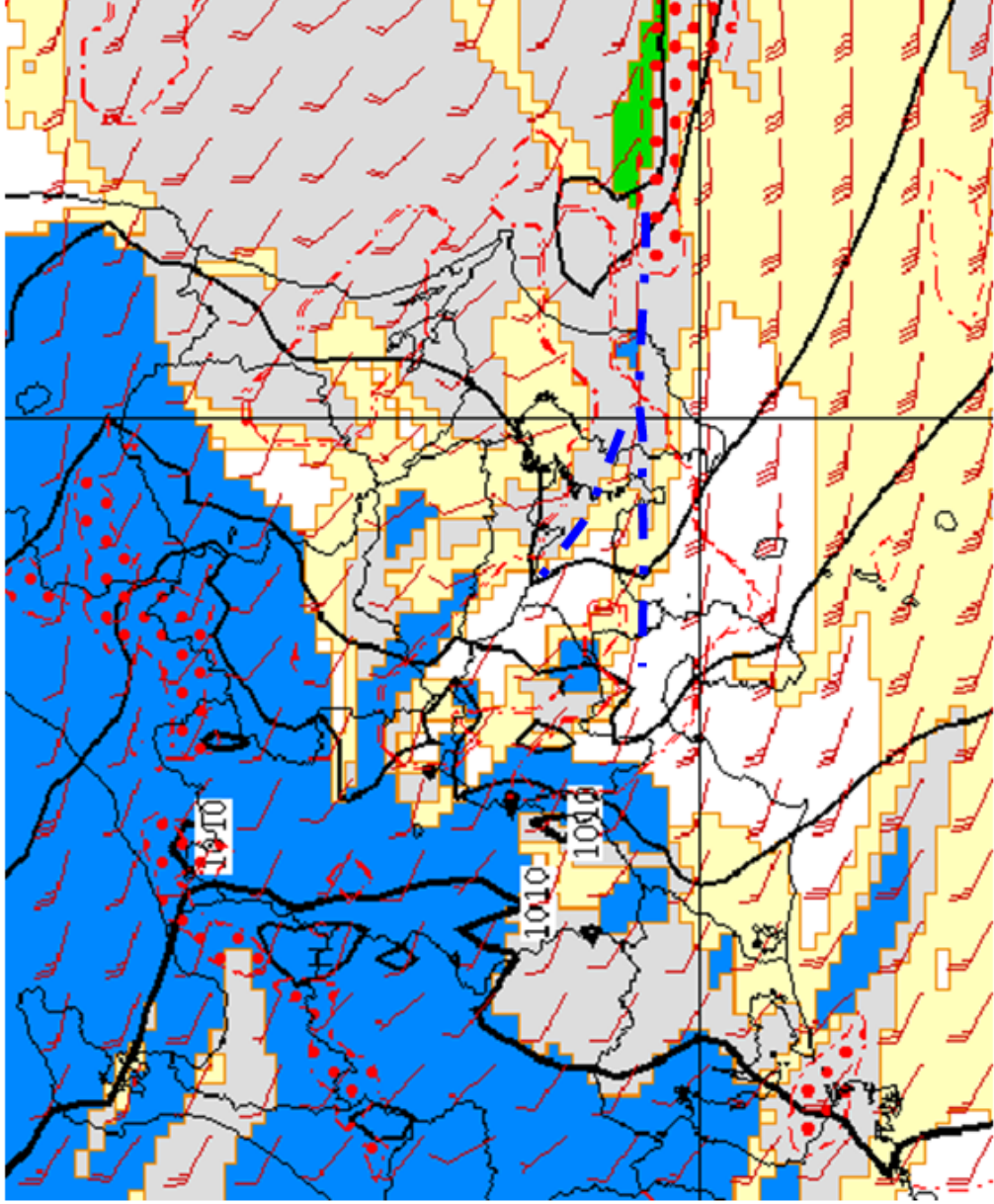
Point	FL	Wind (kt)	T/T-Td(°C)
SYE	150	260	50 M29 >10
SYE	080	280	25 M15 02
HME	080	280	15 M13 07
KZE	150	260	40 M28 06
STONE	110	240	35 M22 02
NYLON	050	320	15 M06 08
NECTA	030	340	20 M01 >10
BACON	070	280	10 M11 06
BONDO	050	320	15 M06 09
5NM_N_HME	010	350	20 04 >10
5NM_S_HME	010	300	20 07 >10
CACAO	040	300	15 M02 >10
ARLON	050	280	10 M05 06
OJC	080	270	15 M13 01
PQE	100	280	25 M17 07
ADDUM	100	280	25 M16 >10
XAC	150	270	60 M25 >10
MELON	090	280	15 M17 01
BINKS	100	250	20 M17 01
COSMO	040	290	15 M02 >10
BROOK	040	310	25 M05 08
BIRDY	020	320	20 02 >10

■ Rain area ■ Snow area  
 0.4 5.0(mm/h)  
 SFC Wind  
 Shear line  
 TS SFC VIS < 1km  
 MOD TURB (OCNL SEV)  
 MOD ICE



12時JST初期値ではシアーラインの予想が消えるが...

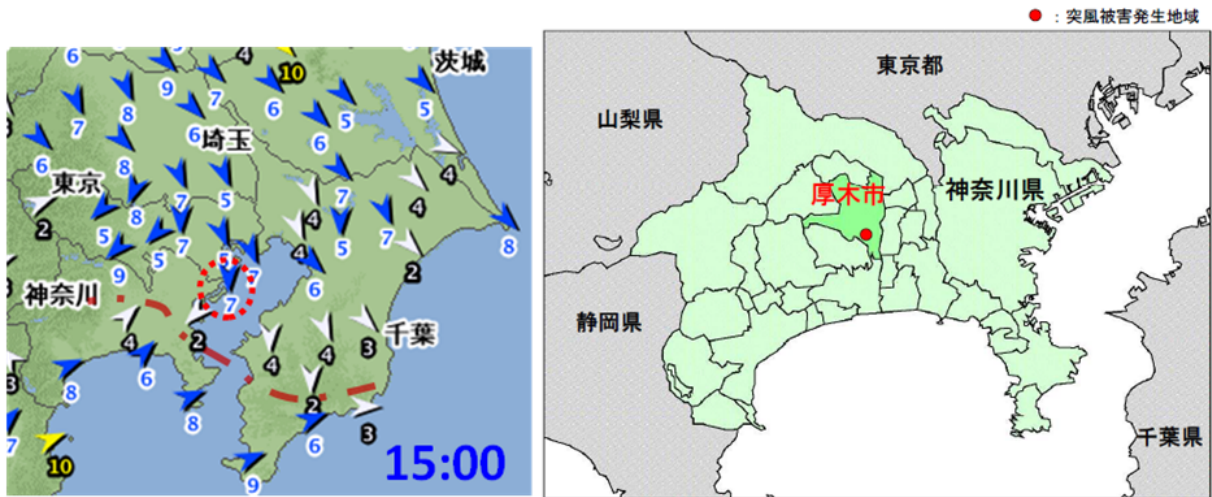
気象庁MSM(メソモデル)13日06時JST初期値  
 13日16時JSTに関東南部でシアーラインとそれに伴う雲域・雪を予想



矢羽根は地上風、実線は等圧線(2hPa毎)、灰色は曇り、青色は雪、緑色は雨  
 赤色のハッチはSSI(シユワルターの安定指数)700-850hPaでマイナスの領域

## 15時10分JST頃、神奈川県厚木市長谷付近で突風が発生

- ・倉庫や非住家の屋根の一部が飛散する、コンテナが横転するなどの被害が発生
- ・突風をもたらした現象は、**局地的な前線に伴う旋風**と推定



現地災害調査速報「平成27年2月13日に神奈川県厚木市で発生した突風について」(平成27年2月20日発行:横浜地方気象台、東京管区気象台)より

## 被害状況写真



① 屋根の一部が飛散した倉庫  
【南から撮影】



② 屋根の一部が飛散した倉庫及び飛散物  
※楕円は特に大きな飛散物(屋根の破片)  
【北西から撮影】



③ 扉の一部が損壊した倉庫  
【北西から撮影】



④ 屋根がめくれた事務所  
【西から撮影】



⑤ 倒壊したフェンス(長さ約70m)  
【南から撮影】



⑥ 横転したコンテナ(南に約7m移動)  
【東から撮影】

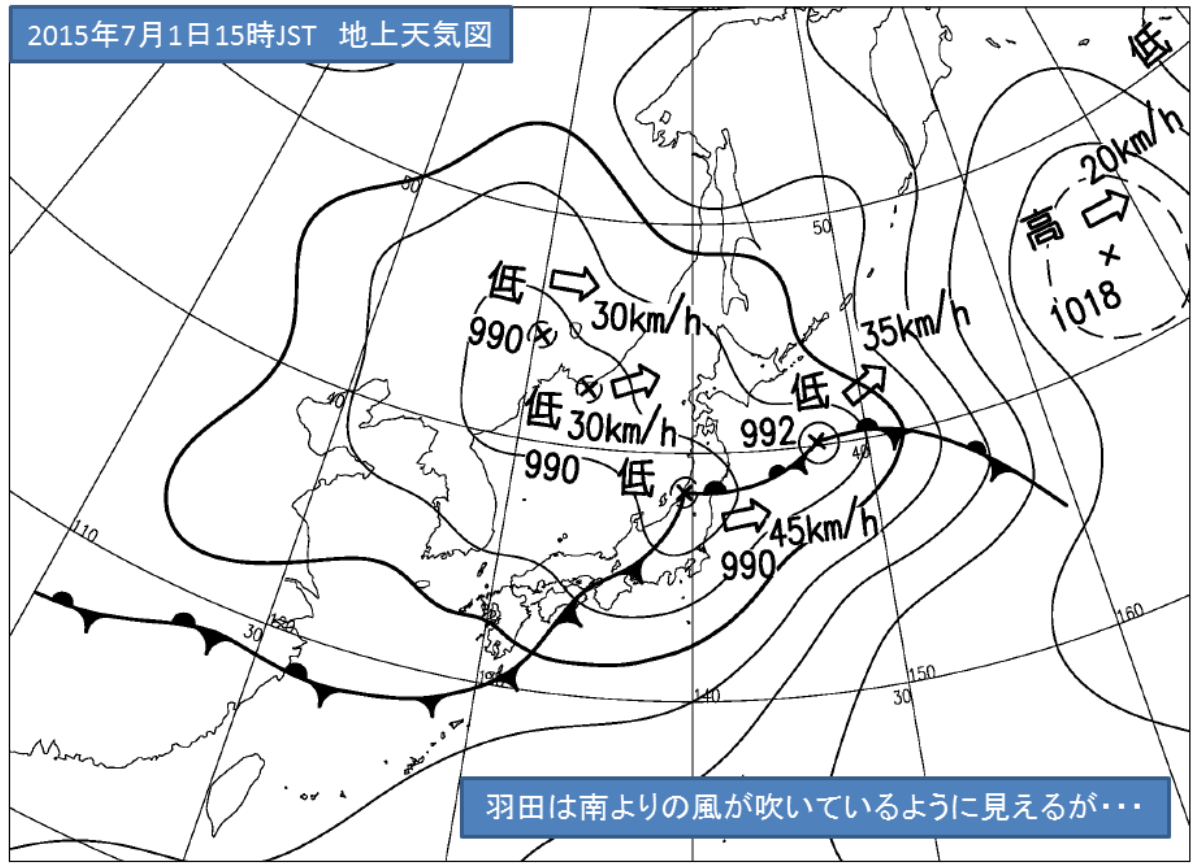
現地災害調査速報「平成27年2月13日に神奈川県厚木市で発生した突風について」(平成27年2月20日発行:横浜地方気象台、東京管区気象台)より



# 2015年7月1日 東京国際空港

## 暖域内の沿岸前線

2015年7月1日15時JST 地上天気図



TAF RJTT **302306Z** 0100/0206 18014KT 9999 FEW015 BKN025  
TEMPO 0100/0103 3000 SHRA BR FEW003 BKN005  
BECMG 0102/0104 21025KT  
TEMPO 0103/0109 21032G42KT  
BECMG 0112/0115 22008KT  
BECMG 0203/0206 18018KT=

TAF AMD RJTT **010003Z** 0100/0206 07010KT 8000 FEW015 BKN025  
TEMPO 0100/0103 3000 SHRA BR FEW003 BKN005  
BECMG 0101/0103 21023KT  
TEMPO 0103/0109 21032G42KT  
BECMG 0112/0115 22008KT  
BECMG 0203/0206 18018KT=

TAF AMD RJTT **010439Z** 0104/0206 21027KT 8000 FEW015 BKN020  
TEMPO 0104/0109 21035G45KT  
BECMG 0110/0112 22008KT  
BECMG 0203/0206 18018KT=

TAF RJTT **010505Z** 0106/0212 21027KT 8000 SCT008 BKN015  
TEMPO 0106/0109 21035G45KT  
BECMG 0110/0112 22008KT  
BECMG 0203/0206 18018KT=

# アメダスの風 (m/s)

## 羽田のMETARの風



09008KT



13007KT



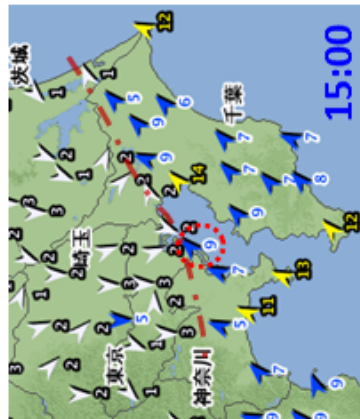
18010KT



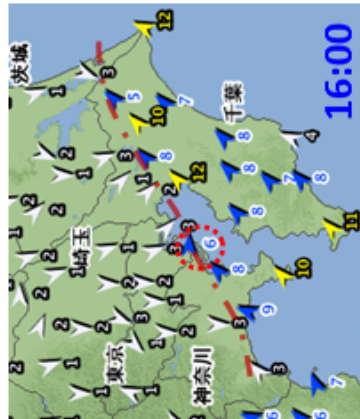
27004KT



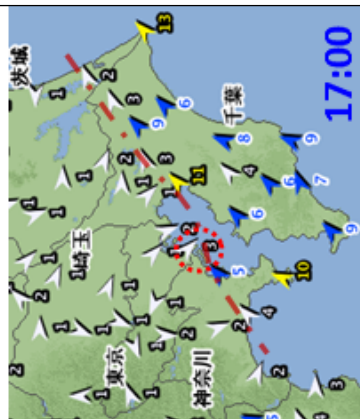
27008KT



22018G29KT 180V250



29011KT



32005KT

※アメダス、METARの風はいずれもRWY16L

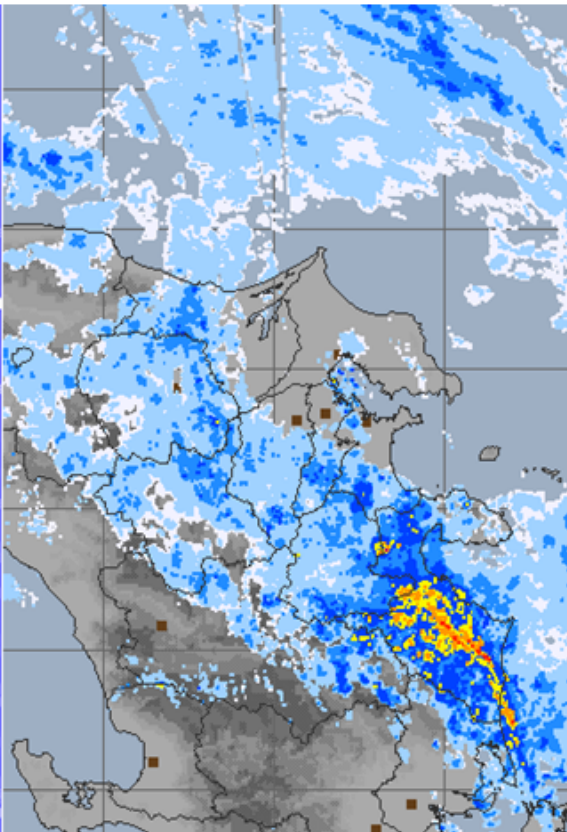
気象庁HPより

# レーダー降水強度

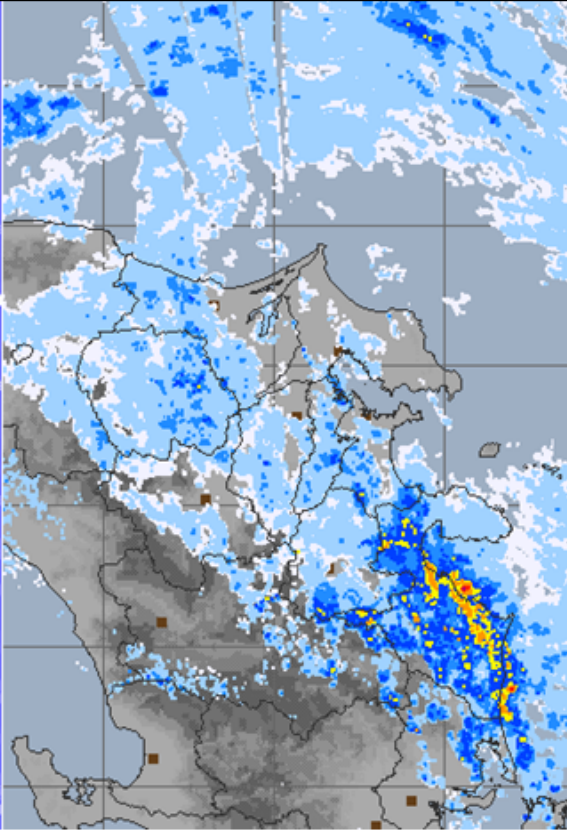
## 13:30～14:30JST

気象庁HPより

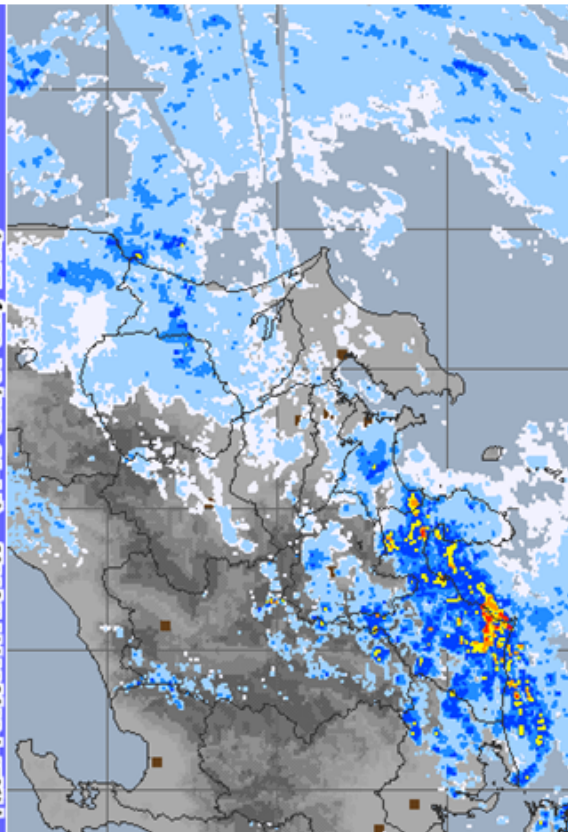
平成27年07月01日13時30分 (13:30 JST, 01 July 2015)



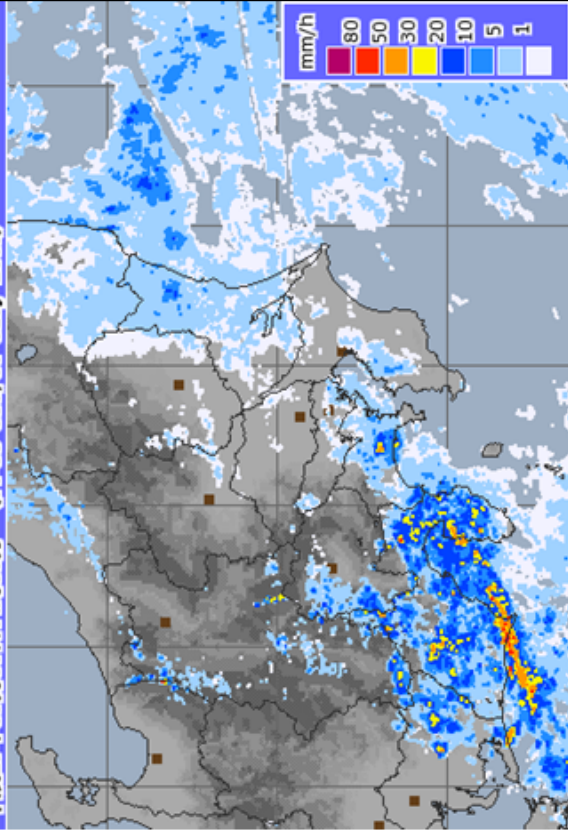
平成27年07月01日13時50分 (13:50 JST, 01 July 2015)



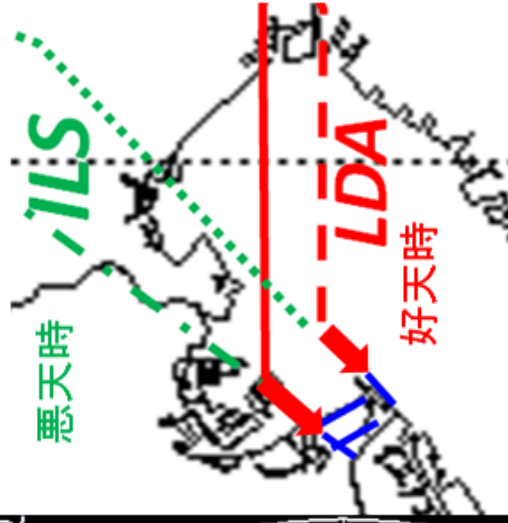
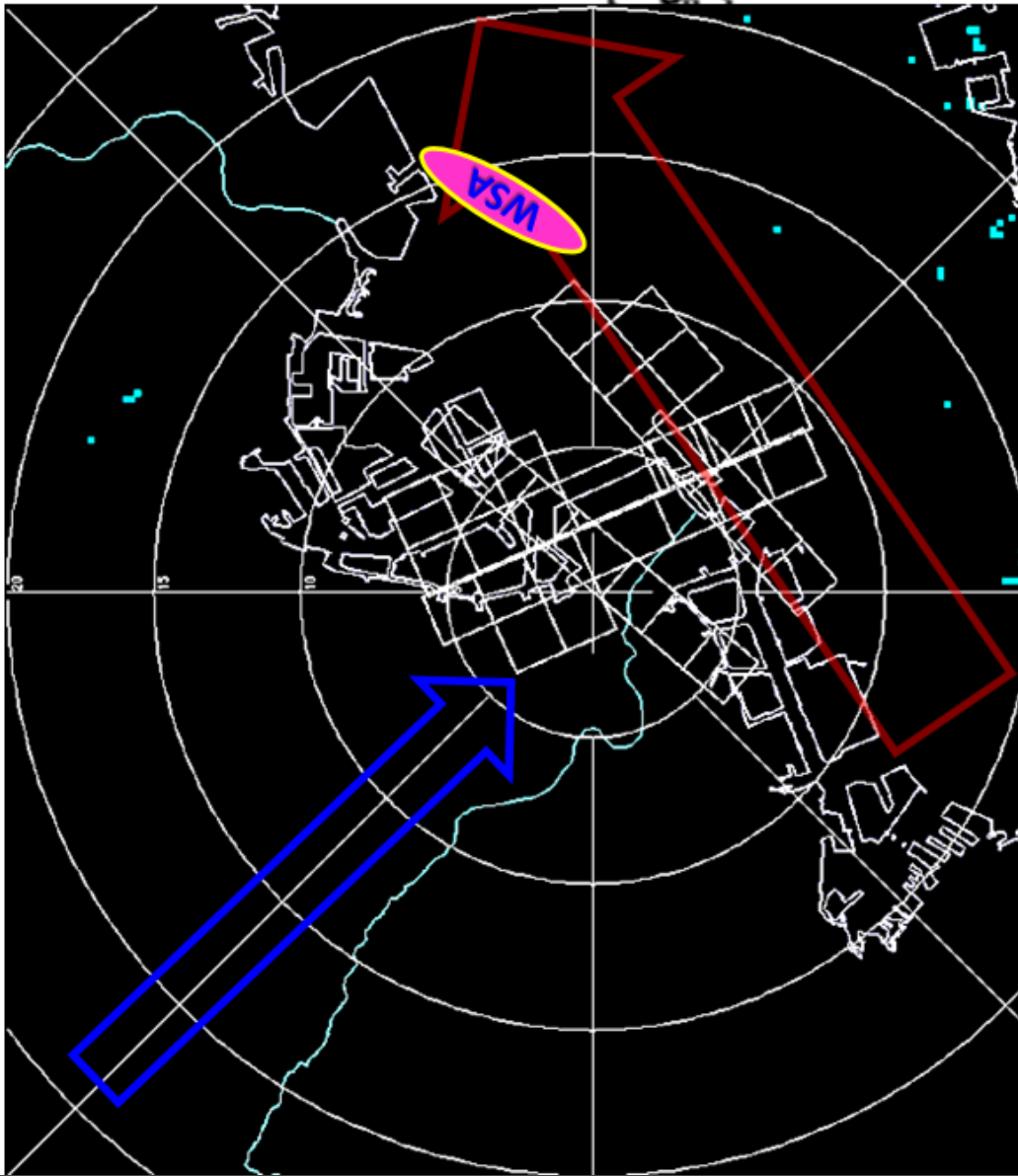
平成27年07月01日14時10分 (14:10 JST, 01 July 2015)



平成27年07月01日14時30分 (14:30 JST, 01 July 2015)



空港気象ドップラーレーダーによる上空の風 14:30JST

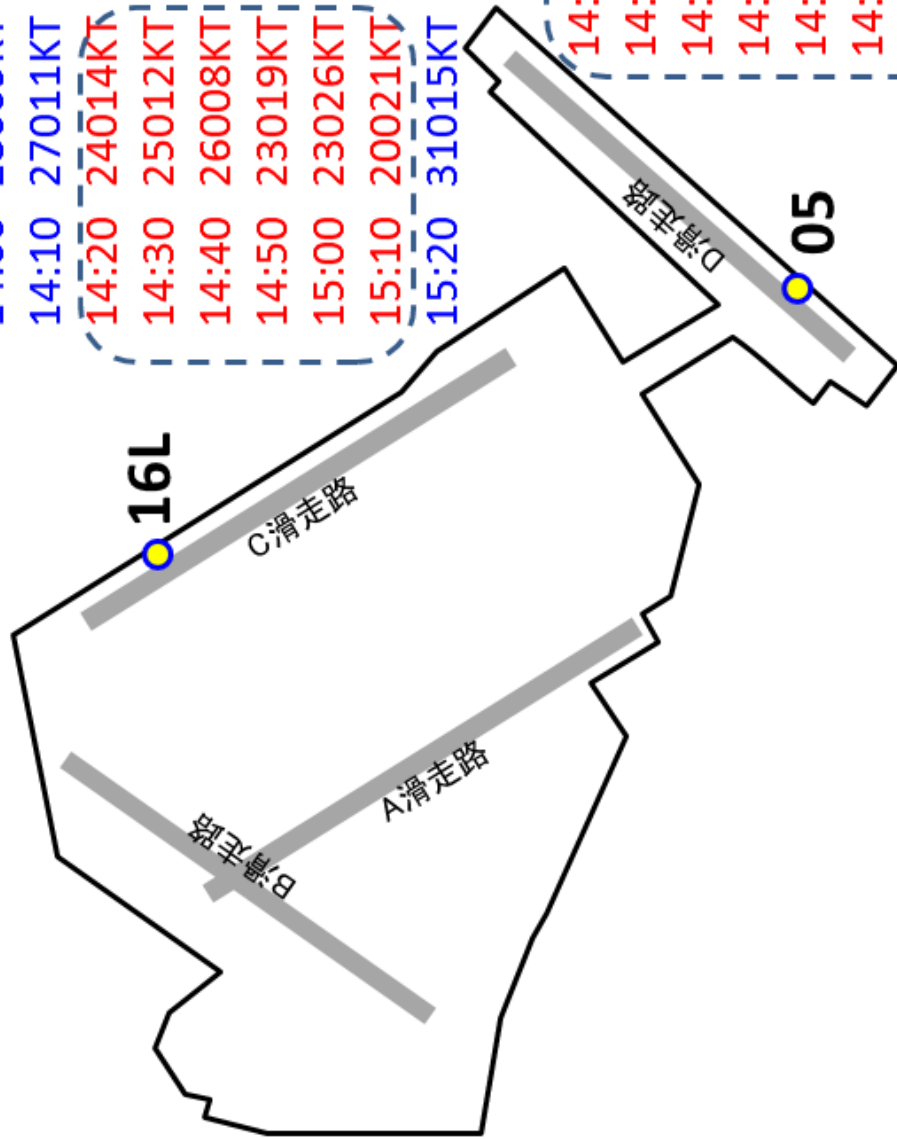


METAR RJTT 010530Z 25009KT 190V310 3000 -SHRA FEW010 SCT025 BKN040  
25/23 Q0990 BECMG 21022KT RMK 1CU010 4CU025 6CU040 A2924=

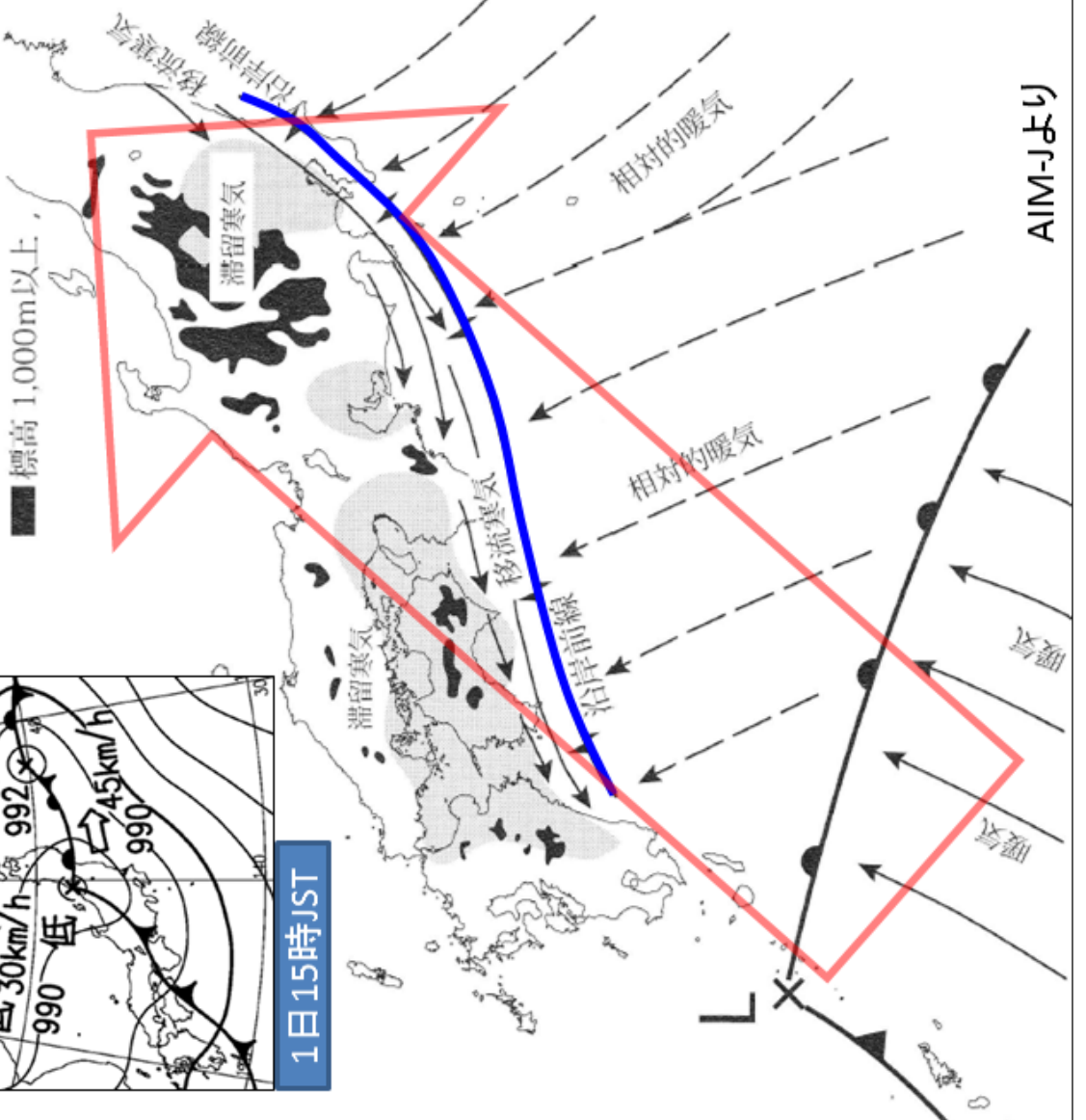
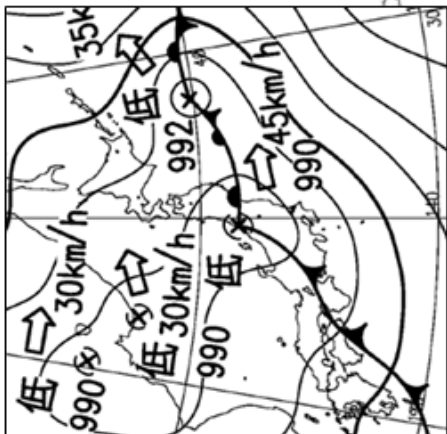
# 14:00～15:20JSTのRWY16LとRWY05の風の変化

14:00 28009KT  
 14:10 27011KT  
 14:20 24014KT  
 14:30 25012KT  
 14:40 26008KT  
 14:50 23019KT  
 15:00 23026KT  
 15:10 20021KT  
 15:20 31015KT

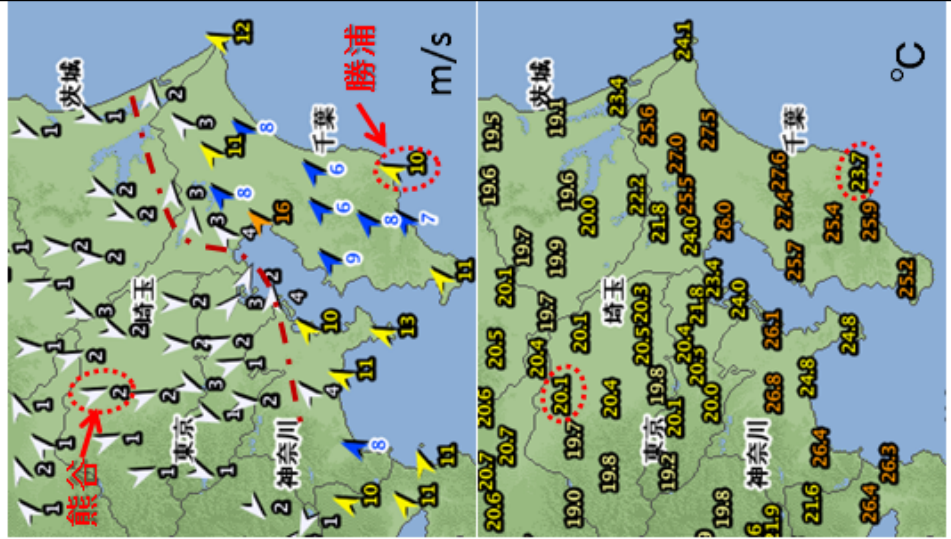
14:00 22018KT  
 14:10 22025KT  
 14:20 22022KT  
 14:30 21017KT  
 14:40 22023KT  
 14:50 21022KT  
 15:00 21021KT  
 15:10 21024KT  
 15:20 22031KT



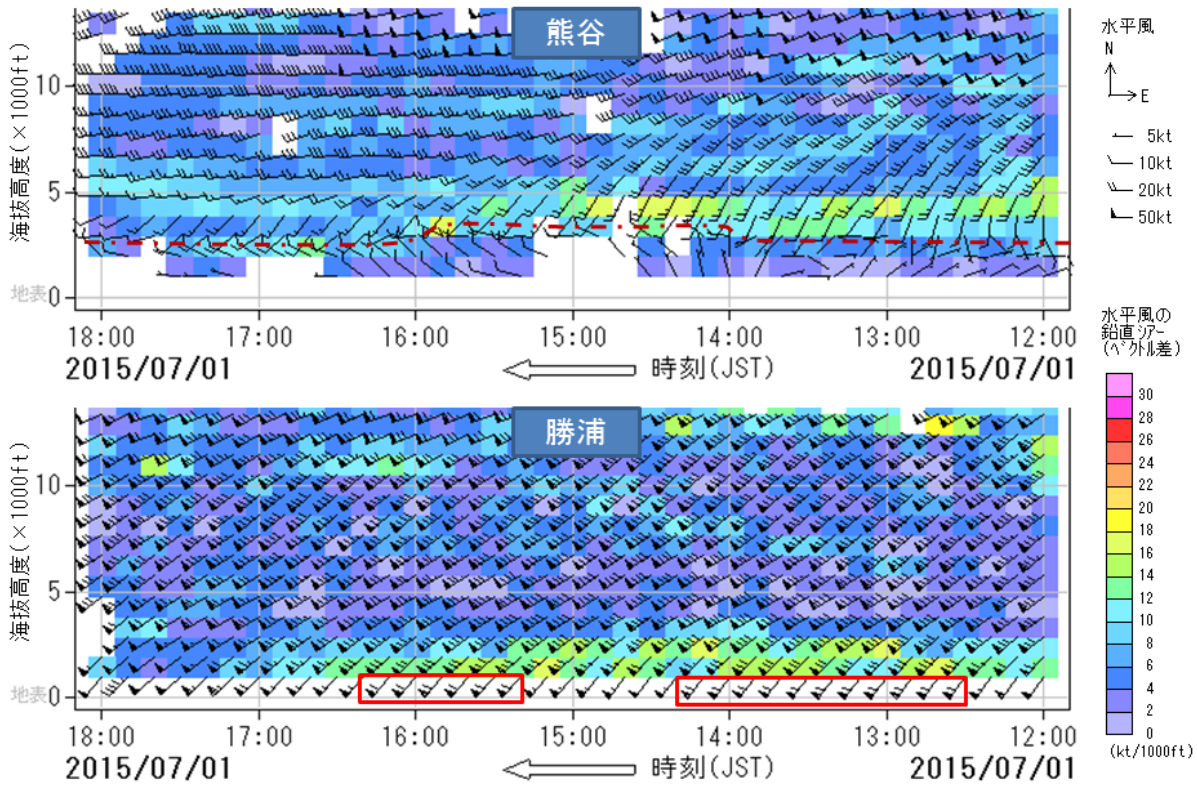
# 沿岸前線の概念図



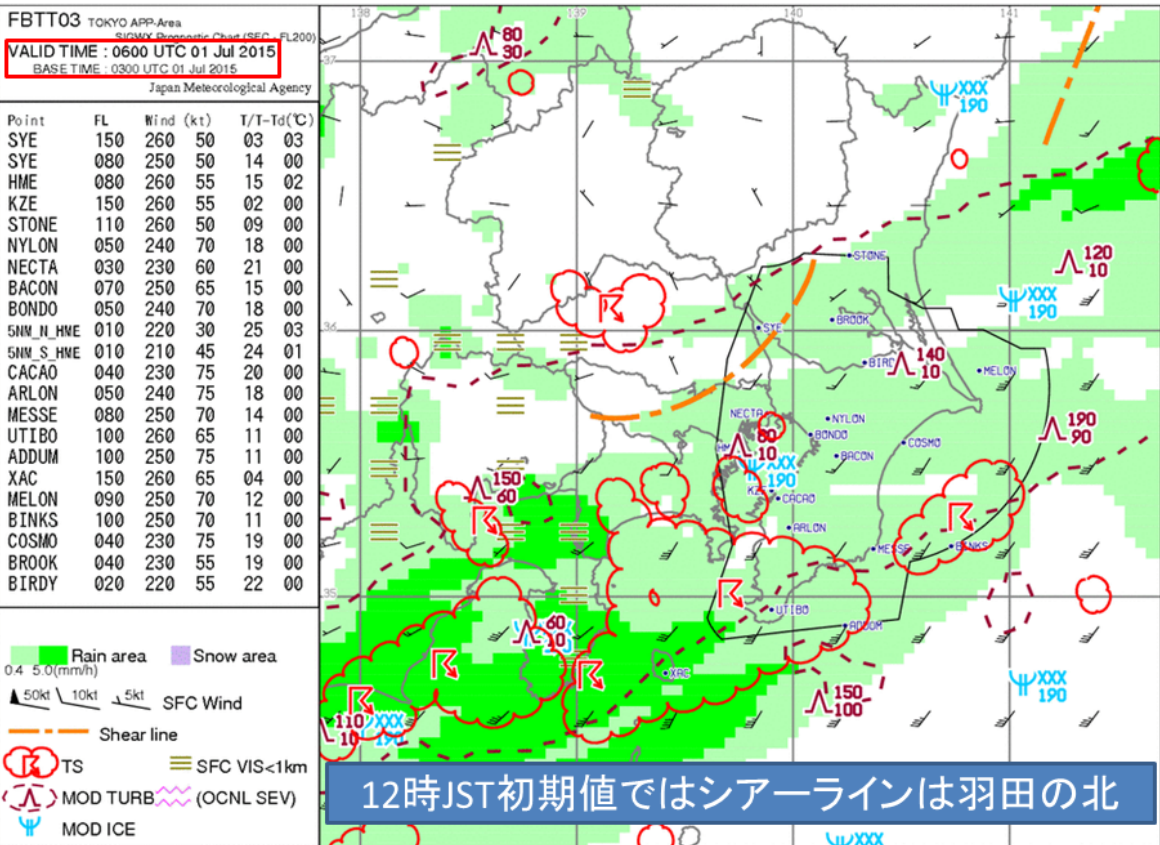
14:00JSTの風と気温



# ウィンドプロファイル



# 狭域悪天予想図





## 低層ウィンドシアアについて

### 1 低層ウィンドシアアとは何か

気象学での「シアア (Shear)」は、「風向に直交する方向の風ベクトル変化」と定義されているものや「風向に直交」という条件が外されているものもあり、統一的な定義が確立していない。一方、ICAO (国際民間航空機関) の「低層ウィンドシアアマニュアル」には、「上昇流及び下降流を含む風速・風向の空間的な変化」とあり、わかりやすくいえば、ウィンドシアアは「鉛直または水平方向の風速や風向の差」ということになる (図 1)。

ウィンドシアアが大きい領域を航空機が横切ると、対気速度が急変するとともに揚力も変化する。離着陸時の低高度で遭遇すると、失速寸前の速度で飛行しているため、操縦に重大な影響を及ぼすことがある (図 2)。なお、ICAO では、ウィンドシアア警報の上限高度を 1,600ft 未満としている。

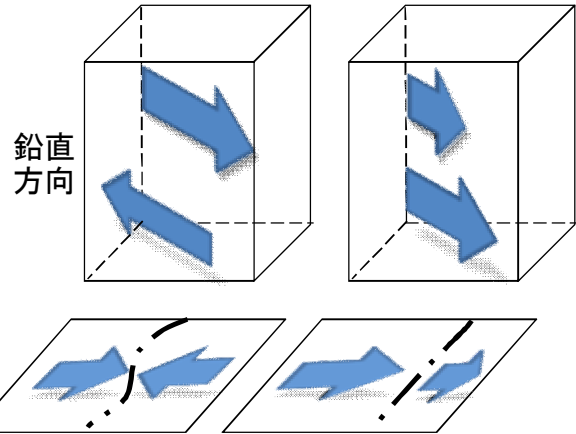


図 1 様々なウィンドシアアの例

風向が異なる以外に、風向が同じでも風速差がある場合もウィンドシアアとなる  
一点鎖線は地上のシアアライン



図 2 離着陸時に大きなウィンドシアアに遭遇した時の影響

白抜き矢印は風、実線はフライトパス、破線はフライトパスからそれた飛行経路

### 2 低層ウィンドシアアの発生しやすい条件

低層ウィンドシアアを発生させる原因として、次の現象が挙げられる。

#### (1) 強風

強風的主要原因として、低気圧や台風、冬の季節風などがある。図 3 は 2006 年 10 月 6 日の地上天気図で、関東の南岸を発達中の低気圧が通過し、成田国際空港では午後、並雨や強雨を伴う北東から北の強風 (10 分間平均で 30kt、ガスト 45kt 前後) が続き、低層ウィンドシアアが頻発した。当時 A 滑走路がノングルーピングであ

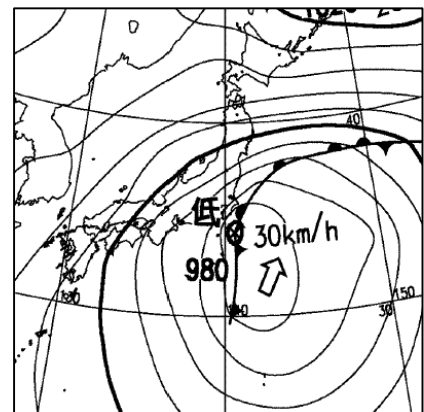


図 3 地上天気図

2006 年 10 月 6 日 12UTC

ったことで横風制限値が下がったことも加わり、開港以来最多の 85 便がダイバート、91 便が欠航した。

## (2) 積乱雲

積乱雲の中及び周辺の風は、図 4 のようになっていて、積乱雲の下に発生する下降気流をダウンバーストという。このうち、風の吹き出し口の直径が 4km 以下のものをマイクロバーストと呼び、この中に入ると強い低層ウィンドシアアに遭う。また、ダウンバーストが地表まで達すると水平に広がり、その先端付近を（ガストフロントという）を航空機が横切ると低層ウィンドシアアに遭遇する。

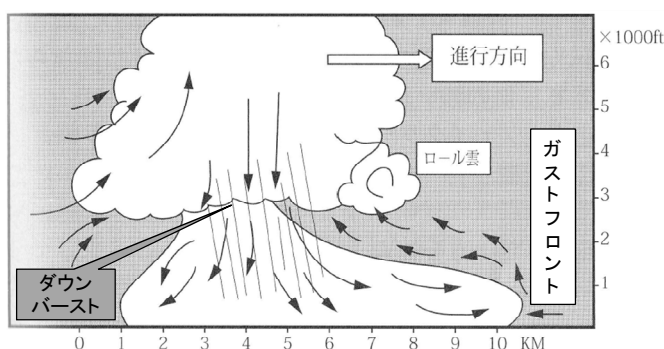


図 4 積乱雲の中及び周辺の風 (AIM-J を改変)

図 5 は東京国際空港の北東側に発生した積乱雲から吹いてきたガストフロントを捉えた風向・風速の記録で、南東の風 4kt 前後から突然北東 42kt の突風を観測している。このガストフロントの接近は、同空港の空港気象ドップラーライダーによって捉えられていた (図 6)。なお、このガストフロントにより、着陸態勢にあった航空機が着陸復行している。

## (3) 前線通過による水平シアア・鉛直シアア

低気圧に伴う寒冷前線や温暖前線、日変化で生じる海陸風前線まで、スケールによらず前線面を横切ると、低層ウィンドシアアに遭遇することが多い。ここでは、関東地方でしばしば発生する沿岸前線に伴う低層ウィンドシアアの事例を紹介する。

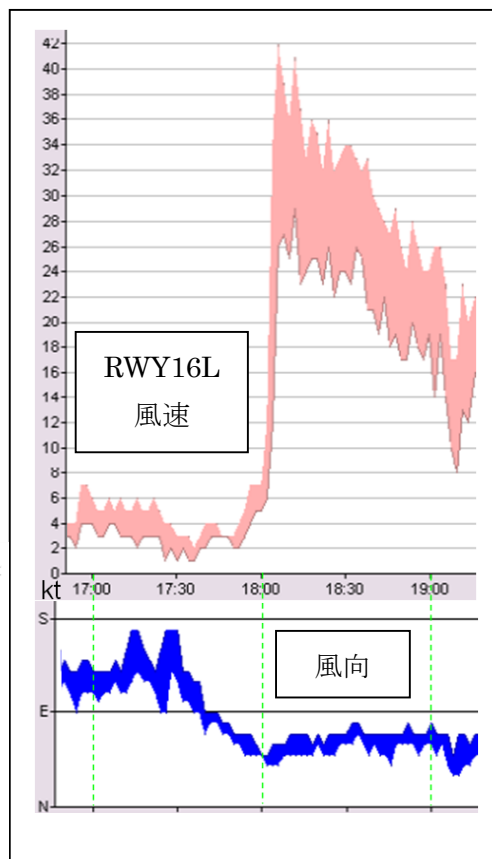


図 5 東京国際空港で観測されたガストフロント

2008 年 8 月 21 日

グラフの時刻は JST

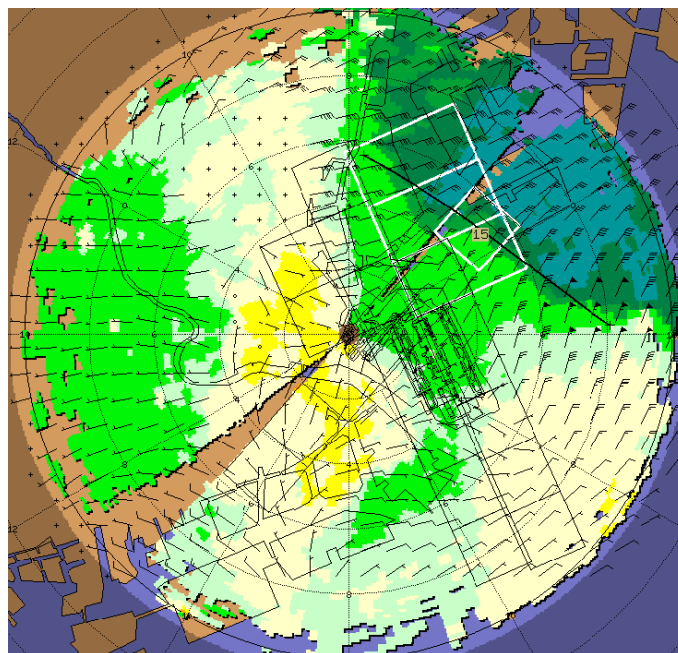


図 6 東京国際空港の空港気象ドップラーライダーが捉えたガストフロント (右上の実線)

8 月 21 日 0857UTC、空港は中心の右側

沿岸前線は、日本の南岸を低気圧が通過する時に、関東地方から九州地方の沿岸部に発生することが多い（図 7）。特に関東地方は、関東平野に寒気が滞留しやすいため、他の地方と比較して発生頻度が高く、顕著な沿岸前線がしばしば発生する。沿岸前線上に積乱雲が発生したり、じょう乱が通過してシビアな気象現象をもたらしたりすることもあるので注意を要する。

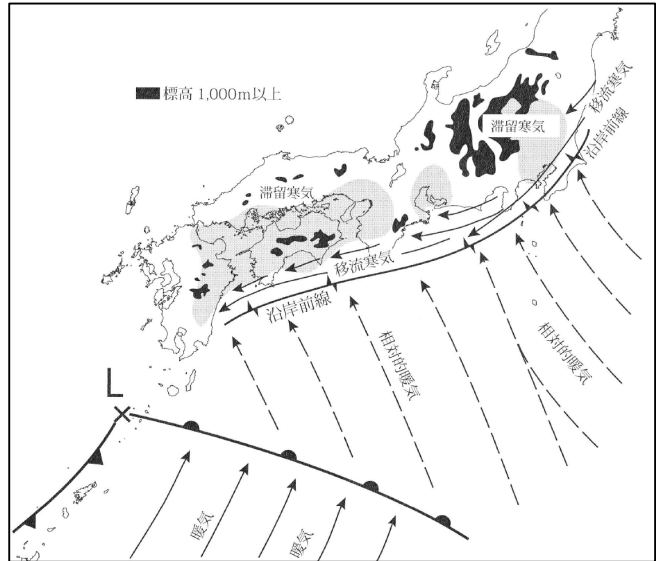


図 7 沿岸前線の概念図 (AIM-J より)

図 8 の左図は 2003 年 5 月 31 日 03UTC の地上天気図で、四国地方には台風第 4 号から変わった低気圧が北東に進んでいて、中心から温暖前線が伊豆

諸島南部へのびている。同時刻の関東地方を細かく見てみると（図 8 の右図）、駿河湾から東京国際空港にかけては、地上天気図には表現されていない北風と南風がぶつかるシアーラインがあり、これが沿岸前線である。図 9 は、当日 0230～0440UTC の東京国際空港に離着陸した航空機が観測した上空の風向・風速と気温の観測である。地上は北寄りの弱い風が吹いているが、高度 1,500ft より上空は 25～30kt の南東から南の強風となっている。0334UTC 頃に着陸を試みた航空機が高度 2,000ft 以下で低層ウィンドシアーと乱気流に遭遇したため、着陸復行している。このように、沿岸前線は陸上の薄い寒気層と、その上に流れ込む暖かい空気の境界に発生するため、前線近傍では風向・風速が急変するなどが特徴である。沿岸前線に限らないが、空港の近くに前線が存在している場合は、かなりの低高度でウィンドシアーに遭遇する可能性を考えるべきである。

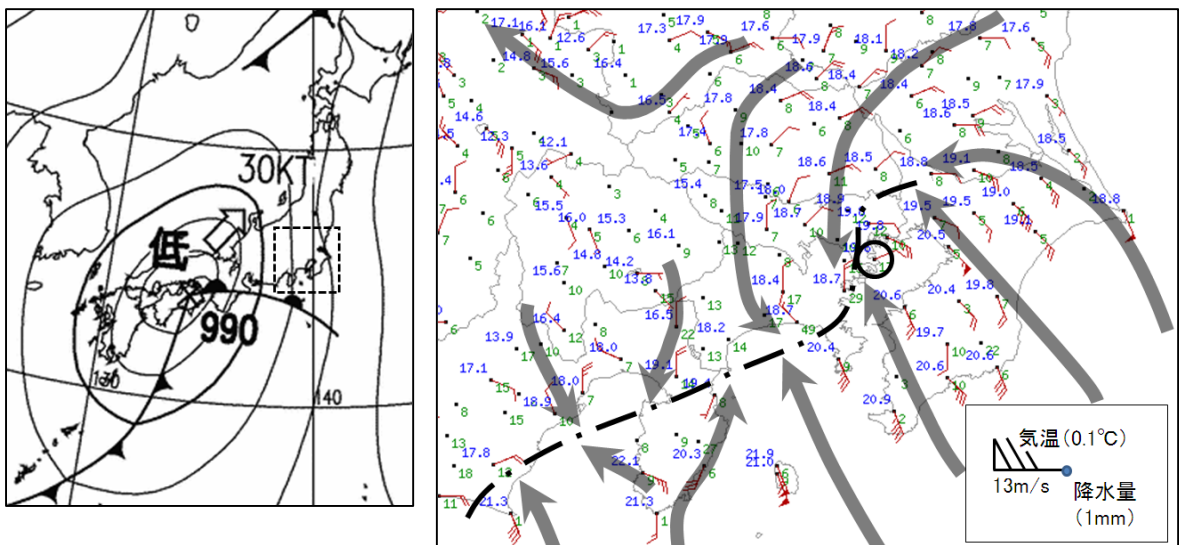


図 8 2003 年 5 月 31 日 03UTC の地上天気図 (左図) と局地解析図 (右図)

右図は左図の破線内のアメダスで、地点の●の左上の 0.1 単位の数字は気温、右下の整数は前 1 時間降水量、矢印は風の流線、一点鎖線は沿岸前線

(4) 地形や構造物等の影響による  
局地的な上昇・下降気流

日本の空港は、山の近くに位置していたり、山や丘を切り崩して造成した空港があったりと、地形による風の影響を受ける空港が各地に存在している（花巻、福島、庄内、成田国際、南紀白浜、大分、鹿児島、八丈島など）。また、空港内に格納庫やターミナルビルなど大きな施設があるため、その構造物による風の影響を受ける空港がある（東京国際、関西国際）。これらの空港では、強風でなくとも、ある一定以上の風が吹くと、空港周辺の地形や構造物による乱流の影響で、低層ウィンドシアーが発生する空港がある。このような空港では、ひとたび強風になると、強い低層ウィンドシアーが発生し、しばしば航空機の離着陸に影響を及ぼす。

地形による風の影響を受ける代表的な空港として、成田国際空港が挙げられる。日本海低気圧の南西強風時には、パイロットの間では「成田の地獄風」と呼ばれている低層ウィンドシアーが頻発し、時々ハードランディングも発生している。この原因は、滑走路が台形状になっていることで、着陸寸前の高度に乱流が発生しやすくなっていることが関係している（図10）。

次に構造物による風の影響を受けやすい空港として、東京国際空港がある。風向が東北東～北東で、ある一定上の風が吹くと、RWY34Lの東側にある格納庫の風下に乱流が発生しやすくなる（図11）。低気圧が関東に接近している時や高気圧が北に偏って張り出している時の北東強風時は、低層ウィンドシアーが頻発する。

(5) 山岳波

山岳波は、山頂高度付近に逆転層か安定層があり、山脈に直角に近い風向で風速が強い時に発生する。大気が湿っていればロール雲や波状雲ができるので、一見して山岳波の山沿いを知ることができるが、大気が乾燥している

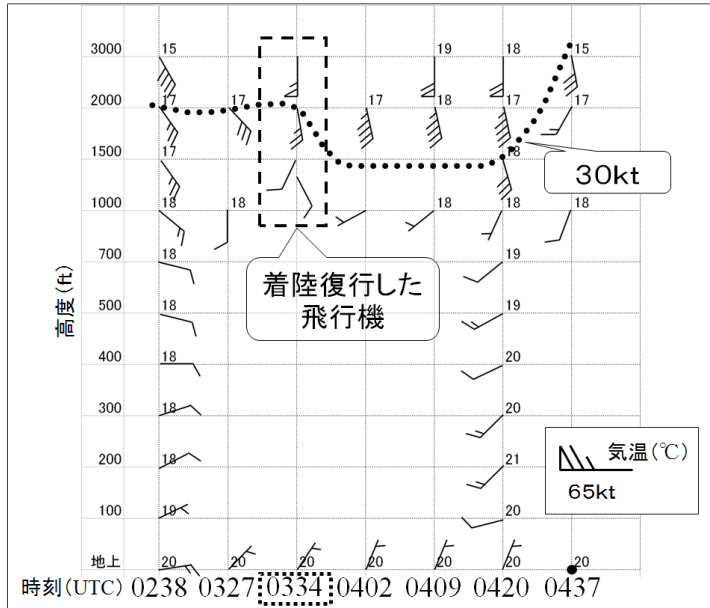


図9 2003年5月31日、東京国際空港に離着陸した航空機が観測した上空の風向・風速、気温



図10 台形状の滑走路に発生する乱流の概念図

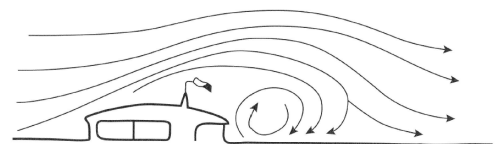


図11 構造物による風の乱れ (AIM-Jより)

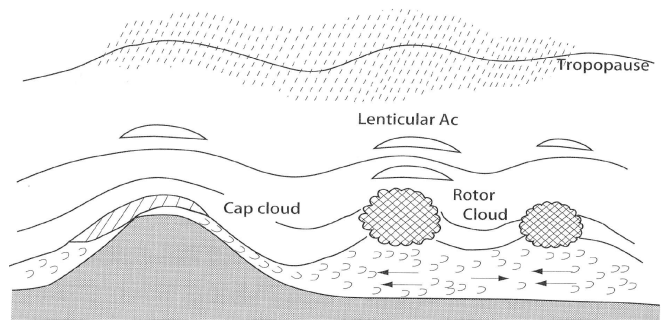


図12 典型的な山岳波 (AIM-Jより)

場合は雲が発生しないので注意を要する。あまり規模の大きくない六甲山地くらいの山脈でもかなり激しい山岳波ができる。また、山岳波の影響は、地表まで及んでいることがある(図 12)。

### 3 低層ウィンドシアアに関する気象情報

#### (1) METAR/SPECI

離着陸時にパイロットが低層ウィンドシアアに遭遇した場合、パイロットから管制官にパイロットレポートが伝えられ、その内容は METAR や SPECI の中に通報される。

通報例

RJAA 090130Z 23021G37KT 9999 FEW030 21/08 Q1000 WS R16R WS R16L NOSIG RMK 1CU030 A2953 0110 WS PS 30KT MS 20KT 2000FT ON DEP COURSE RWY16R B744 AND 0115 WS PS MS 20KT BLW 3000FT ON DEP COURSE RWY16L DH8C AND 0115 WS PS MS 15KT BLW 3000FT ON DEP COURSE RWY

RJAA 090430Z 23022G36KT 200V260 9999 FEW030 20/04 Q0997 WS R16R WS R16L NOSIG RMK 1CU030 A2944 0409 MOD TURB 500FT AND BLW ON FNA RWY16R B752

#### (2) 飛行場気象情報

気象庁は、飛行場予報を発表している 37 空港に対し、ウィンドシアアに関する飛行場気象情報を発表している。当該情報は飛行場標点から 9km 以内を対象とし、高度は原則として 1,600ft 以下としているが、航空機からの報告を基にする場合の高度は 3,000ft 以下としている(高度 3,000ft を超えるものは SIGMET で発表)。

発表例

RJCC ウィンドシアアに関する飛行場気象情報 第1号  
2016年10月24日04時39分UTC  
新千歳航空測候所発表  
有効期間 24日10時39分UTCまで

ウィンドシアアが

24日04時39分UTCから24日10時39分UTCまで予想される。

#### (3) 低層ウィンドシアアの情報提供について

ウィンドシアアまたはマイクロバーストが、空港気象ドップラーレーダーまたは空港気象ドップラーライダーで観測された時、状況に応じて管制官からパイロットへ対し、ウィンドシアアの情報またはマイクロバーストの情報が提供される。

注：ウィンドシアアの情報とは、進入経路上、離陸経路上または滑走路上で局地的に 20 ノット以上の向かい風成分の増加、もしくは 20 ノット以上の向かい風成分の減少が観測された場合に航空機に提供される(30 ノット以上の向かい風成分の減少が観測された場合はマイクロバーストの情報)。

通報形式

RUNWAY [number] ARRIVAL/DEPARTURE WIND SHEAR/  
MICROBURST ALERT, [wind speed] KNOT GAIN/LOSS [location].

通報例

“RUNWAY 16 ARRIVAL WIND SHEAR ALERT, 25 KNOT GAIN 3MILE FINAL”

“RUNWAY 24 DEPARTURE MICROBURST ALERT, 30KNOT LOSS 2 MILE DEPARTURE”

“RUNWAY 34R MICROBURST ALERT, 35 KNOT LOSS OVER THE RUNWAY”

ATIS においては、次の用語により放送される。

“WIND SHEAR ADVISORIES IN EFFECT” 又は “MICROBURST ADVISORIES IN EFFECT”

発表領域は図 13 のように進入側 3NM、出発側 2NM を基本とし、高度 1,600ft 未満である。

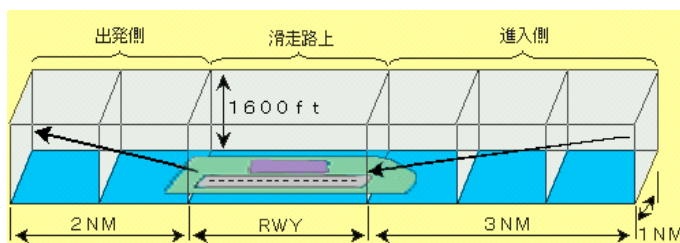


図 13 低層ウィンドシアアの情報提供の領域



図 14 管制卓に表示されるマイクロバーストやシアアラインの表示例 (左図)

とウィンドシアアの情報が表示された画面 (右図)

左図の矢印の先にマイクロバーストやシアアラインが表示されている

#### (4) ACARS、カンパニー無線、管制官によるウィンドシアアの情報の提供

航空会社は、ACARS (文字情報によるアップリンク) や自社の航空無線を用いて、適宜パイロットへ低層ウィンドシアアを伝達しているが、音声による伝達は、離着陸の繁忙時に対して行われることはほとんどない。管制官は、離着陸直前のパイロットに対し、先行機が低層ウィンドシアアを観測している場合は、その情報を提供している。

この資料は第 5 回航空気象シンポジウム参考資料 1 をもとに再編集を行ったものです。

## Windshear Alert System (ウィンドシアア警報システム)

航空機は空気の中を前進して得られる空気の圧力(揚力)を利用して飛行している。従って、航空機にとっては周りの空気に対してどのくらいの速度で飛行するか(対気速度)が非常に重要で、その時々状況によって飛行できる最低速度(失速速度)というものがある。航空機が Windshear に遭遇すると、対気速度が大きく変化し、最悪の場合は失速する危険もある。従って、航空機は極力 Windshear を避けて飛ばなければならない。

こうした Windshear を検知する装置として開発されたのが、Windshear Alert System で、航空機の対気速度の変化をいち早く捉え、パイロットに警報を発するものである。また、近年、航空機の前方に電波を発し、雨滴などに反射して返ってくる電波から空気の動き(風)を捉えて、航空機の運航に危険なほどの Windshear を検知するとパイロットに警報を発する Predictive(予知型) Windshear System (PWS) が開発された。ジェット旅客機には従来型の Windshear System を装備しているが、1999 年後半から Predictive(予知型) Windshear System の装備が開始された。

## Windshear Alerts について

### 1. Windshear Alerts とは

パイロットに Windshear を知らせるために GPWS (EGPWS) に組み込まれた機能であり、ほとんどの機体で GPWS の MODE 7 が該当する。MODE 1 から MODE 6 までは航空法で求められる機能であるが、MODE 7 はオプション機能である。

※航空法施行規則 147 条 : 航空運送事業の用に供する航空機で客席数 9 または最大離陸重量 5700kg を超える航空機に対地接近警報装置(GPWS)の装備が求められる

搭載義務になってはいないが、現在の多くの旅客機は MODE 7 機能を有している。  
→ボーイング社では B737-300 型機以降の機体には標準装備するよう社内で推奨。  
→エアバス社も A300 以降の機体には標準装備となっている。

参考文献 ICAO Operation of Aircraft からの抜粋

Chapter 6 Annex 6 – Operation of Aircraft

6-11 12/31/111/0/016 No. 30

6.21 Turbo-jet aeroplanes – forward-looking

wind shear warning system

6.21.1 Recommendation. – All turbo-jet aeroplanes of a maximum certificated take-off mass in excess of 5 700 kg or authorized to carry more than nine passengers should be equipped with a forward-looking wind shear warning system.

JET 機には MODE 7 (Windshear Alert System) の搭載が推奨されている。ターボプロップ機(エンジンは JET エンジンであるが推力はプロペラで得ている機体)に関しては推奨の対象ではなかった。実際、国内航空会社で運航されているターボプロップ機には EGPWS の MODE 7 は搭載されていない(最新鋭のターボプロップ機 ATR42 型機にも搭載なし)。

GPWS 開発の背景

1970 年頃から CFIT (Controlled Flight Into Terrain) による事故が増える。NTSB の調査および研究で GPWS があれば事故が防げた(今後減らせる)ケースが多く存在し、ボーイング社他 2 社が共同で GPWS の開発を始めた。1978 年までに JET 機プロペラ機問わずすべての定期旅客機に搭載されるようになった。  
→GPWS の目的は CFIT を防ぐことを目的としており Windshear Alerts は開発当初はなかった。

## 2. MODE 7 が開発されるまで

MODE 7 の開発が始まったのは 1985 年からである (B737-300 の頃)。  
1991 年以降製造の以下の航空機では Windshear Warning System の搭載が求められている。

### 参考文献

Appendix 6

LOW-ALTITUDE WIND SHEAR SYSTEM

EQUIPMENT REQUIREMENTS (5.1.52 refers)

Note.— The text below is extracted from the United States Code of Federal Regulations, 14 CFR, Chapter 1, Part 121, and reproduced with the permission of the Federal Aviation Administration.

(a) Airplanes manufactured after January 2, 1991. No person may operate a turbine-powered airplane manufactured after January 2, 1991, unless it is equipped with either an approved airborne windshear warning and flight guidance system, an approved airborne detection and avoidance system, or an approved combination of these systems.

(b) Airplanes manufactured before January 3, 1991. Except Airspeed provided in paragraph (c) of this section, after January 2, 1991, no person may operate a turbine-powered airplane manufactured before January 3, 1991 unless it meets one of the following requirements Airspeed applicable:

(1) The makes/MODEls/series listed below must be equipped with either an approved airborne windshear warning and flight guidance system, an approved airborne detection and avoidance system, or an approved combination of these systems:

(i) A-300-600; (ii) A-310 – all series; (iii) A-320 – all series; (iv) B-737-300, 400, and 500 series;

(v) B-747-400; (vi) B-757 – all series; (vii) B-767 – all series;

(viii) F-100 – all series; (ix) MD-11 – all series; and

(x) MD-80 series equipped with an EFIS and Honeywell-970 digital flight guidance computer.

(2) All other turbine-powered airplanes not listed above must be equipped with Airspeed a minimum requirement, an approved airborne windshear warning system. These airplanes may be equipped with an approved airborne windshear detection and avoidance system, or an approved combination of these systems.

→上記以外の機体、つまりターボプロップ機は搭載が求められていない。

## 3. MODE 7 機能および作動原理について

低高度で急激な風の変化を検知した際にパイロットにオーラルメッセージとビジュアルメッセージを用いて注意を促す。

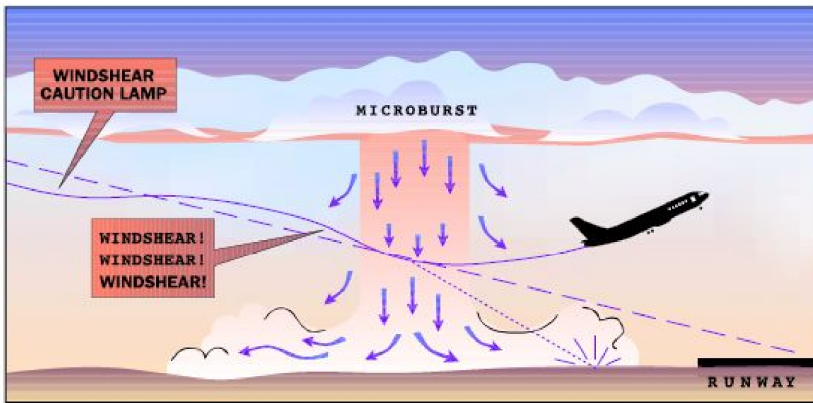
オーラルメッセージ: "CAUTION WINDSHER" / "WINDSHEAR WINDSHEAR WINDSHEAR"

ビジュアルメッセージ: Caution Light / Warning Light

低高度とは→着陸直前の低高度または離陸・着陸復行時の低高度を指す。具体的な作動条件は、

- ・離陸時および進入復行後に関しては 高度が 1500AGL に達するまで
- ・進入中は 1500feet から 10feet AGL までの状況で MODE7 は作動する





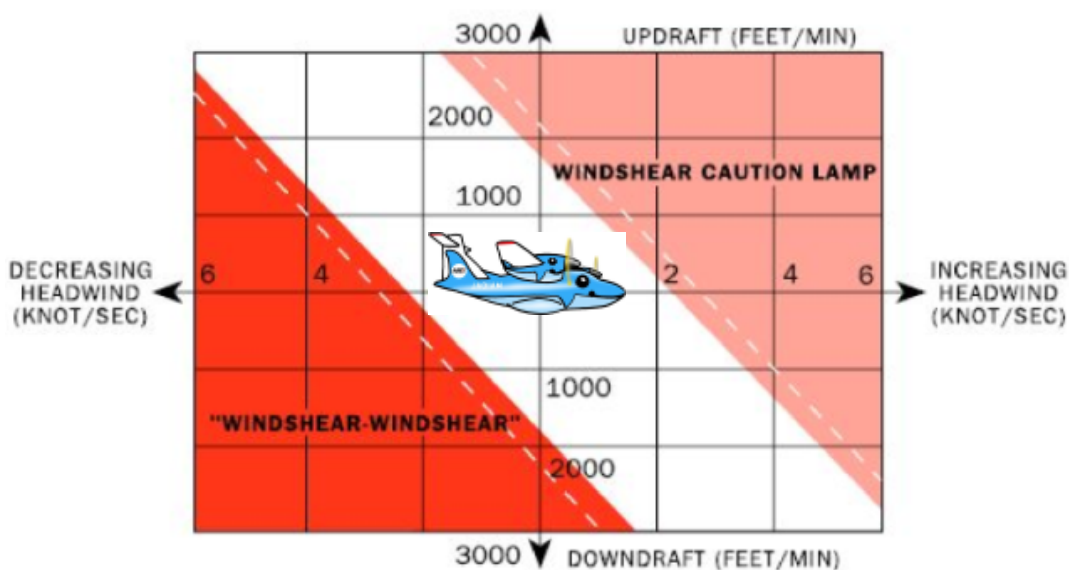
Mode 7 Windshear alerting is active under the following conditions:

- During takeoff; from rotation until an altitude of 1500 feet AGL is reached,
- During approach; From an altitude of 1500 feet down to 10 feet AGL,
- During a missed approach; until an altitude of 1500 feet AGL is reached.

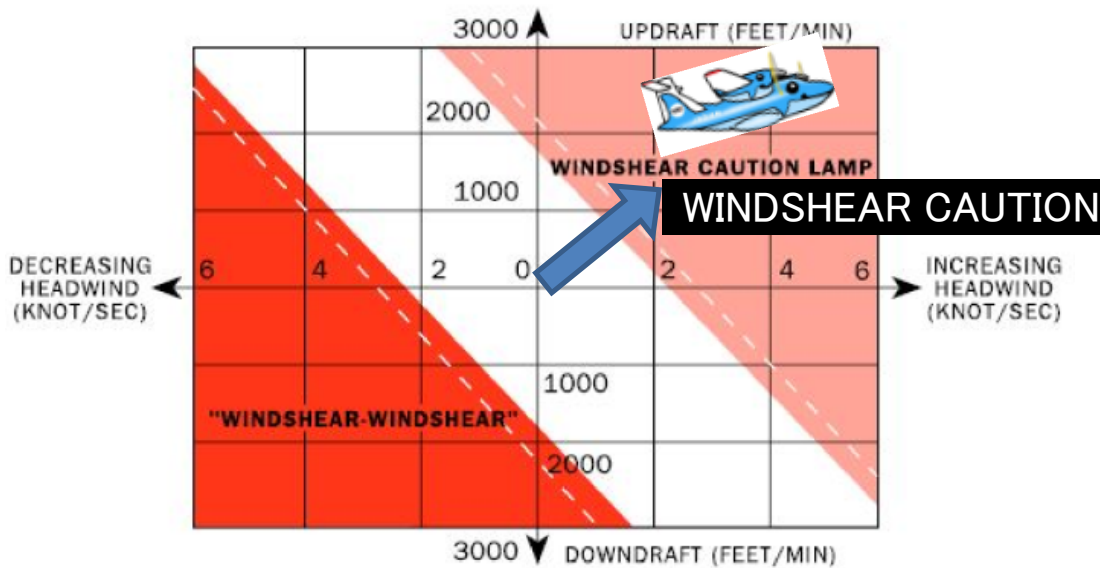
高高度での万が一、Windshear に遭遇しても揺れを伴いはするもののリカバリー操作を実施できるため、高度を失うような場面に遭遇しても飛行機が地面に叩きつけられるようなことないが、着陸時、特に低高度での Windshear、特にマイクロバーストは非常に危険である。ダウンバーストによる高度の喪失、Tailwind の急激な増加に伴う、Airspeed 低下による揚力の減少、Airspeed 低下によりパイロットが Pitch Down 操作をすることで CFIT を引き起こす可能性があるためである。

#### 4. Windshear Caution Alert について

Headwind が著しく増加、または UP DRAFT が計測された場合、“CAUTION WINDSHEAR” のオーラルメッセージ、Caution light (アンバーライト)にてパイロットに警報を発し注意喚起を促す。



通常の Approach の状態を上記の状態とする (Head Wind の変化なし、Up/Down Draft なし)

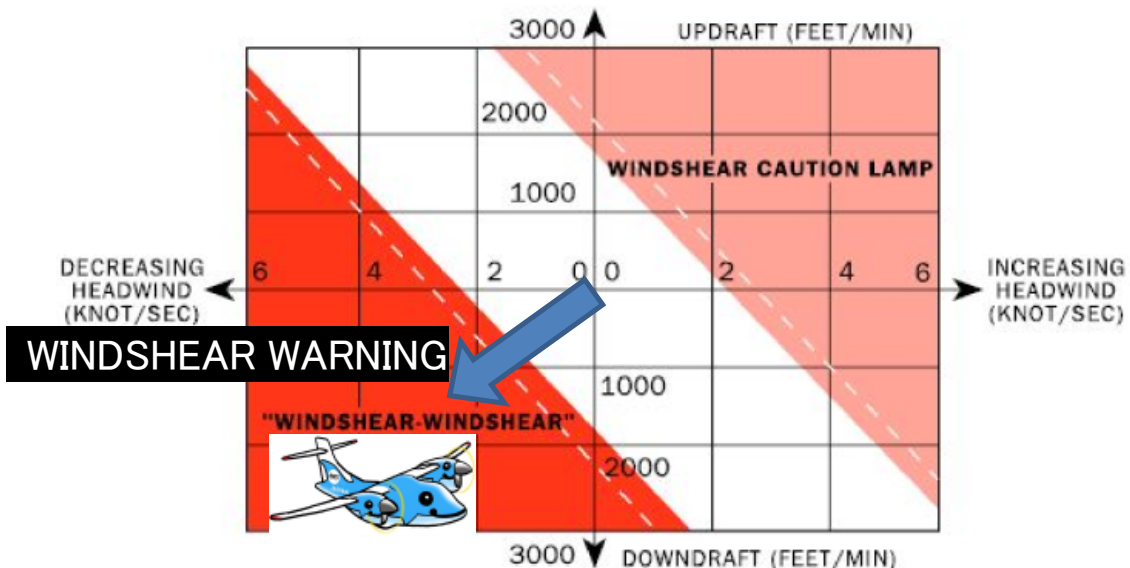


航空機が上記の状態(Head Wind の増加と Up Draft)が検知されると Caution を出す

## 5. Windshear Warning について

Headwind が著しく減少または過大な Downdraft が計測された場合に警報を発する。“WINDSHEAR WINDSHEAR WINDSHEAR” のオーラルメッセージ、**Warning Light**で視覚からもパイロットに警報を発する。

WINDSHEAR WINDSHEAR” のオーラルメッセージ、**Warning Light**で視覚からもパイロットに警報を発する。



航空機が上記の状態(Headwind の減少と Down Draft)が検知されると Warning を出す

## 6. 作動原理

作動原理については公開されていないが、RA(radio altitude)、ADC(Air Data Computer)から Airspeed 等、AOA(Angle Of Attack)等の Data が入力されている。

参考文献 Honeywell 社 PILOT`s GUIDE

# Predictive Windshear System（予知型ウィンドシアシステム）

## 1. PWS の概要

当該機材には、従来の Windshear Warning 機能に加えて、Predictive Windshear System (PWS) と呼ばれる新しい Windshear Warning 機能が追加されている。PWS は、Weather Radar による反射波の Doppler 効果を利用して雨滴などの粒子の速度を測定し、この速度を気流の動きとして解析することにより、離着陸時に航空機前方の Windshear を検知する System である。

PWS には、以下のような特徴がある。

- ・ Reactive Windshear System (RWS) と呼ばれている従来の Windshear System は、航空機 が Windshear に遭遇してからでないとその存在を検知することができないのに対し、PWS は航空機が Windshear に入る前にその存在を検知し、乗員に知らせることができる。
- ・ 従来の RWS の機能は変わらずに、PWS の機能が新たに追加される。RWS とは Aural Alert、Message などの発生するタイミングが異なる。
- ・ PWS の Alert には、Warning Alert と Caution Alert がある。Warning Alert と Caution Alert の違いは、Windshear を検知した場所の違いによるものであり、Windshear の強さの違いによるものではない。
- ・ Windshear が検知された場合は、PFD 上 (Warning Alert のみ) および ND 上に “WINDSHEAR” Message が表示され、Windshear が検知された位置 (方向、距離) に Windshear を表す Symbol が表示される。同時に、スピーカーから Aural Alert が発生する。
- ・ Doppler 効果を利用しているため、雨滴などの反射物を伴わない Windshear に対しては作動しない、垂直方向の風は直接検知できないなどの制限がある。

## 2. PWS の作動条件

PWS は、離着陸時において、Weather Radar の On/Off に関係なく、高度 2300ft RA 未満で自動的に作動する。また、地上においては、以下のいずれかの条件で自動的に作動する。

- ・ EFIS Control Panel の WXR Switch が On の時。
- ・ Thrust Lever が Takeoff に Set されている時。

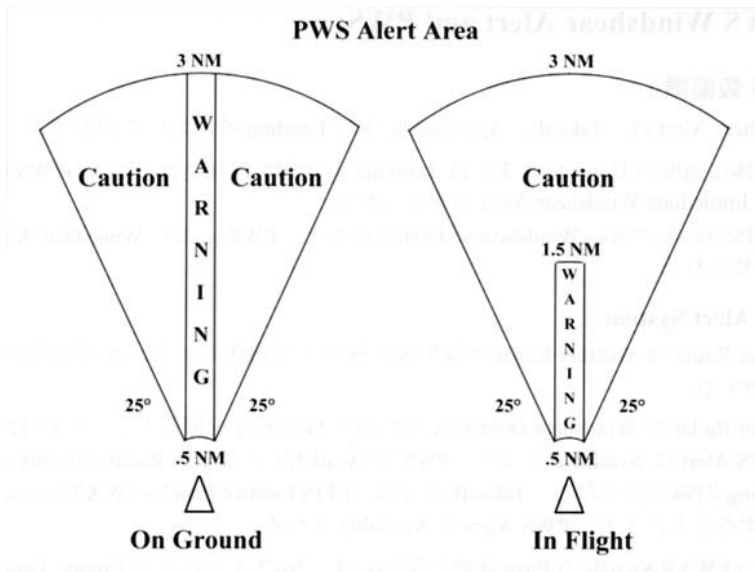
ただし、Alert (Caution および Warning) は、高度 1200ft 未満でのみ発生する。また、以下の条件では Alert が Inhibit される。

- ・ Caution Alert: 速度 80kt IAS から高度 400ft RA の間。
- ・ Warning Alert: 速度 100kt IAS から高度 50ft RA の間。

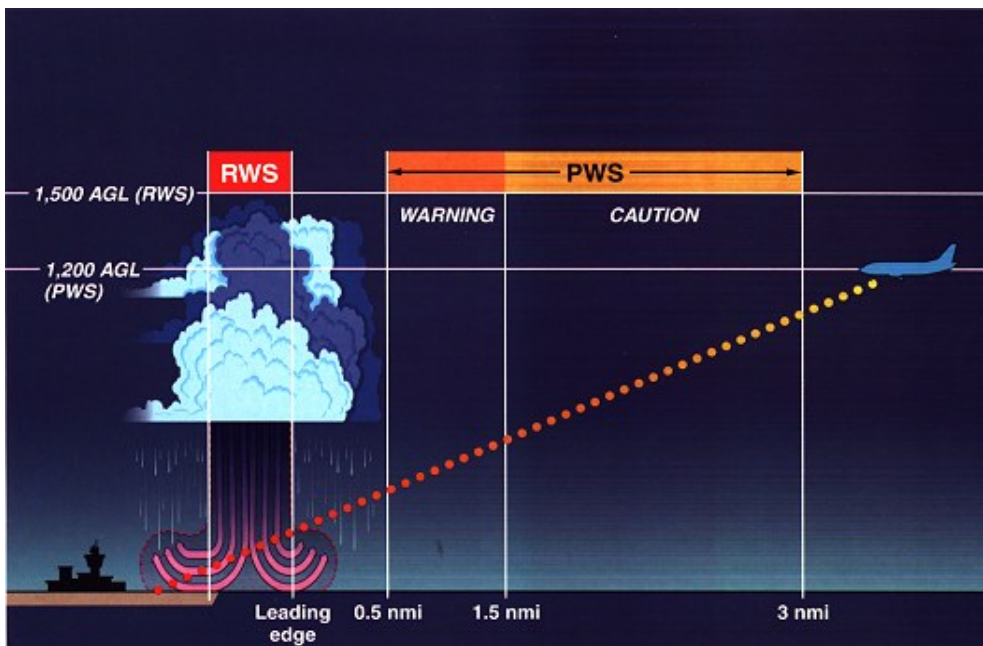
当該機材には Enhanced Ground Proximity Warning System (EGPWS) も装備されているが、Weather Radar Return と EGPWS の Terrain Data を同時に同じ Display 上に表示することはできない。しかしながら Pilot Display は各々独立しており、片側に Weather Radar Return を表示し、片側に Terrain Data を表示させることは可能である。

また、PWS の Alert が発生すると、Weather Radar Return が表示される Mode (Expanded MAP, Center MAP Expanded VOR あるいは Expanded APP Mode) であれば、下記のように自動的に切り替わり、PWS Symbol および Weather Radar Return を表示する。

### 3. PWS の検知範囲



Windshearを検知する範囲は、航空機の中心線から左右それぞれ250、航空機の前方向0.5～3nmの範囲である。この内 Warning Alertの範囲は、0.5nmの幅で、地上においては航空機の前方向0.5～3 nm、飛行中は航空機の前方向0.5～1.5 nmの範囲である。(図参照)



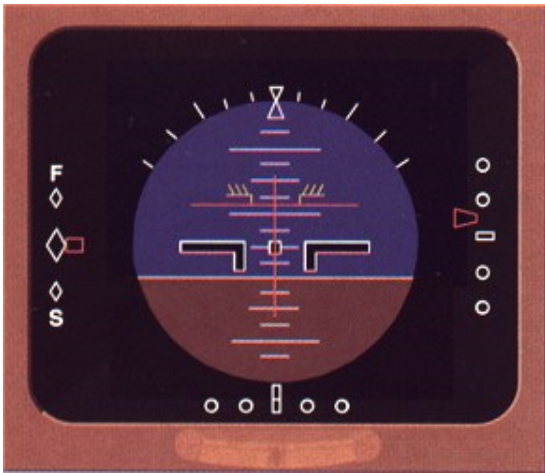
反応型ウインドシアーシステム(Reactive Windshear System = RWS)とは異なり、予知型ウインドシアーシステム(Predictive Windshear System = PWS)は、ウインドシアー状態が差し迫った脅威となる前に、航空機乗員に対する警告を提供することができる。

- オレンジ色のエリアは注意エリアを示す。
- 薄赤色エリアは警告エリアを示す。
- マイクロバーストの中心にある赤いエリアはRWSの警告エリアを示す。

下記のイラスト例は聴覚に訴える callout および視覚的ディスプレイとして操縦室内に表示される Windshear Caution および Windshear Warning の例である。

Windshear Warning はフライトのフェーズ(離陸や着陸)によって異なる Aural Alert が発生するようになっている。

(Windshear Ahead、Windshear Ahead/Go Around)



**Windshear Caution:**

Aural Alert



Flight Director Windshear Guidance:  
Pitch Limit までの Pitch Up Command



Amber **WINDSHEAR** メッセージ  
および EHSI/ND 上で windshear の位置の表示。



**Windshear Warning:**

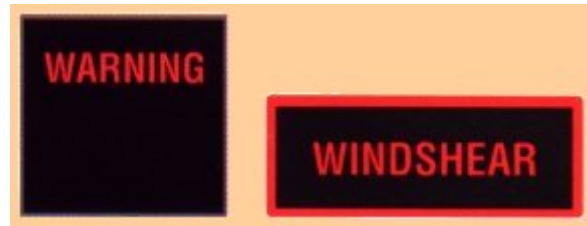
Aural Alert:

Flight Director Windshear Guidance:  
Pitch-up command to the pitch limit.

Red **WINDSHEAR** annunciation on the EADI



Red **MASTER WARNING** light and Red **WINDSHEAR** light illuminate.



Red **WINDSHEAR** message and indication of the windshear-position on the EHSI/ND.

**Windshear Warning** while penetrating a microburst is still provided by RWS.



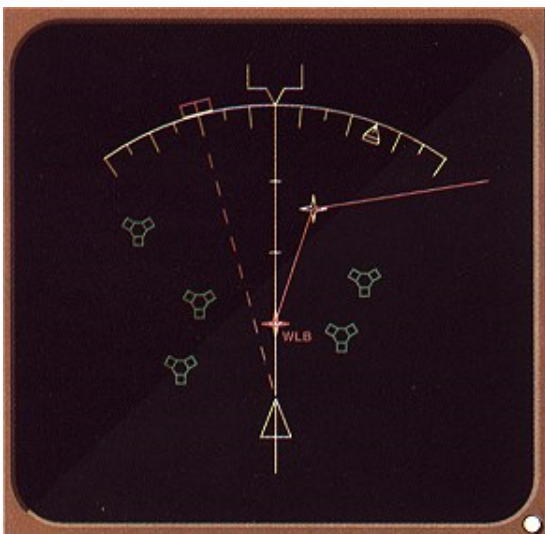
## Windshear Warning:

Aural Alert:



Flight Director Windshear Guidance:  
Pitch-up command to the pitch limit.

Red **WINDSHEAR** Annunciation on the EADI.



Red **MASTER WARNING** light and Red **WINDSHEAR** light illuminate.



EHSI/ND 上に示された **WARNING** はない。

## 「Windshear Warning 作動時の操作」

### I GPWS (Reactive Windshear System )による Windshear Warning

通常 RA1500ft 未満の高度において作動します。

離着陸時に Aural や Visual による Alert が作動した場合は、Decreasing Headwind や Downdraft に抗して安全な高度を確保するために、即座の対応が必要となります。

機種によって若干異なりますが、通常以下のような Escape Maneuver を行います。

1. **まず TO/GA Sw を押し Pitch Mode を TO/GA とします。**
2. **Max Thrust を Apply し、Autothrottle を Disengage します。**
3. **Wing Level にし、Pitch Attitude を 15° (Turbo Prop の場合 10° )まで Rotate します。**
4. **Speedbrake を Retract します。**
5. **使用可能な場合は FD の TO/GA Guidance に従います。**

この、Guidance は製造メーカーによってそれぞれ異なるようですが、最大の Pitch Attitude は Stick Shaker 作動の迎え角となっています。

また、Automatic Flight により飛行の継続が可能と判断した場合は Automatic System の Performance を Monitor します。

6. **Windshear の危険性がなくなるまで**
  - ・Flap あるいは Gear の Configuration Change
  - ・Airspeed の回復**を行ってはならない**

とされています。これは一時的とはいえ上昇性能の低下を防ぐためです。

### II Predictive Windshear Warning

通常 1200ftRA 未満で作動します。

離陸時の V1 以降に Alert が発生した場合は原則上記 Escape Maneuver を実施することになります。

しかし、進入時には前述の Escape Maneuver もしくは判断により通常の Go-Around を実施する、となっています。

これは Windshear が数マイル先に存在する場合、通常の Go-Around 操作により Flap や Gear を Retract しておくことにより性能的な余裕を作り出すことができるからです。