

衛星搭載ドップラーライダーが 航空機運航にもたらすインパクトについて



ANAホールディングス株式会社
デジタル・デザイン・ラボ 松本 紋子

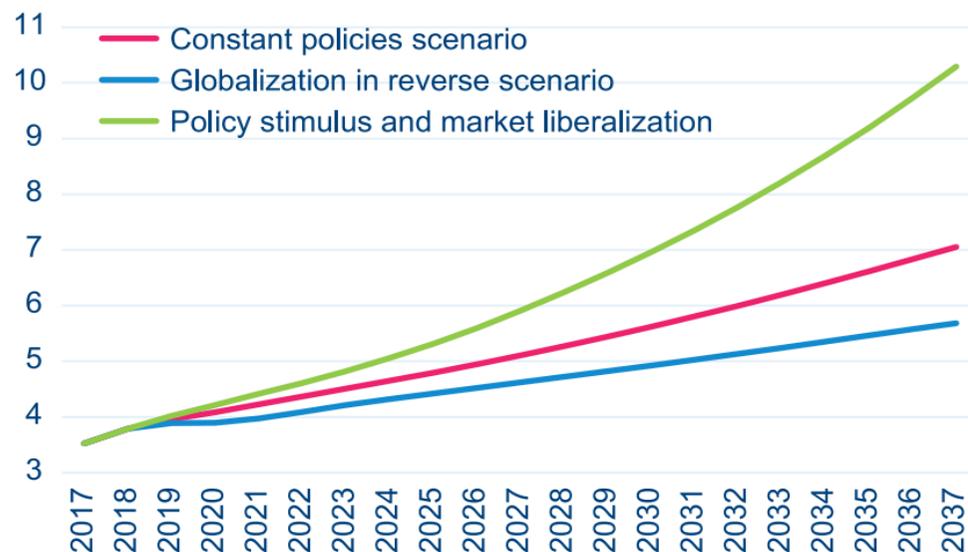
2020/1/24

第5回 超低高度衛星の利用に向けたワークショップ

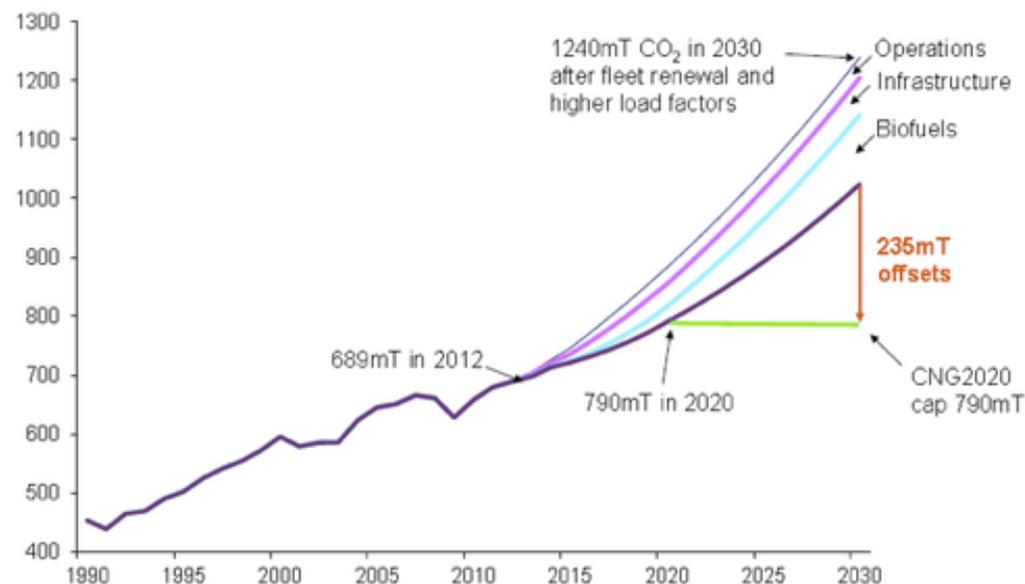
航空業界の課題



Passengers (billion, O-D basis)



航空機需要予測 Sources: IATA/IE



Source: IATA Aviation Carbon Model. Note revisions to IEA aviation fuel data have slightly increased the emissions profile from previous estimates.

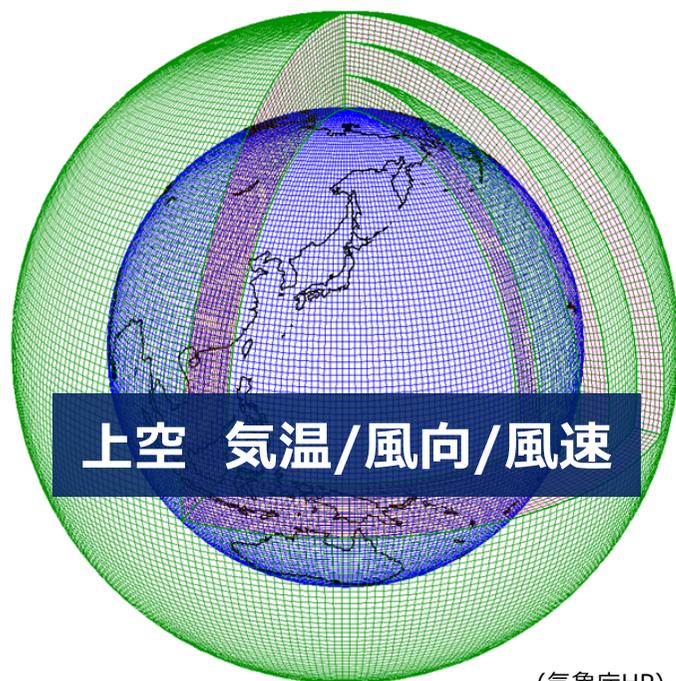
CO₂排出量予測

CO₂排出量削減 → 燃料削減の必要性



航空業界の課題

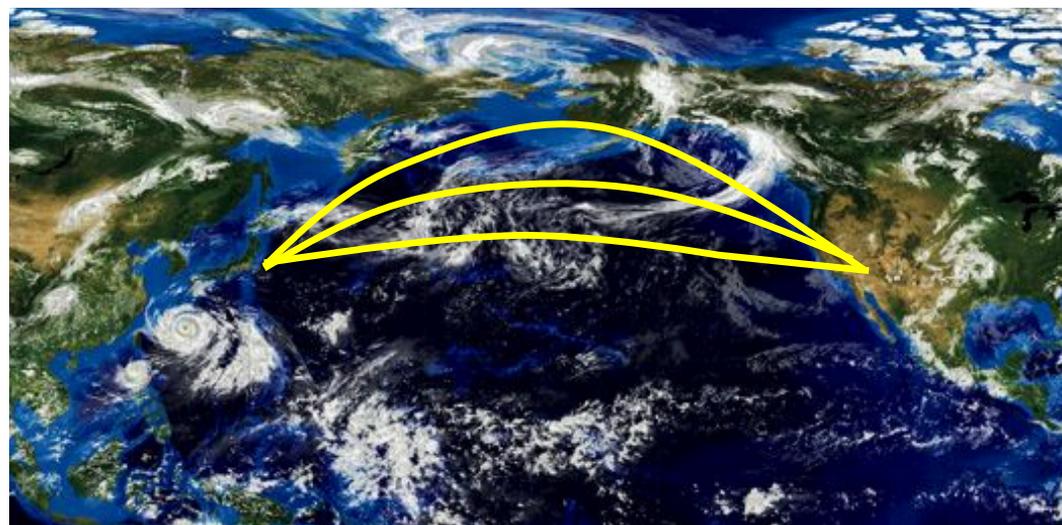
数値予報モデル 気象予測データ



(気象庁HP)



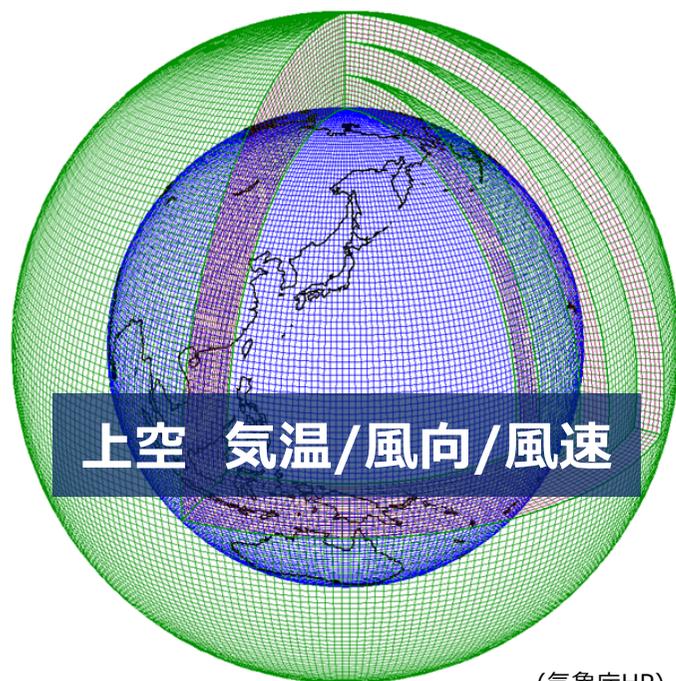
最適な飛行経路・飛行高度決定
使用燃料量を推定



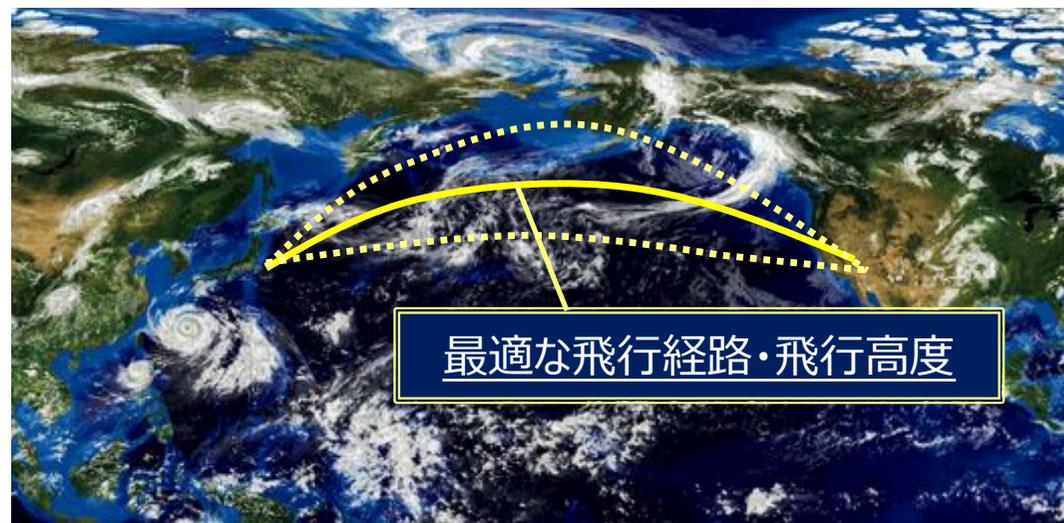
航空業界の課題



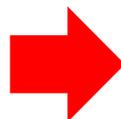
数値予報モデル 気象予測データ



最適な飛行経路・飛行高度決定
使用燃料量を推定



予測誤差

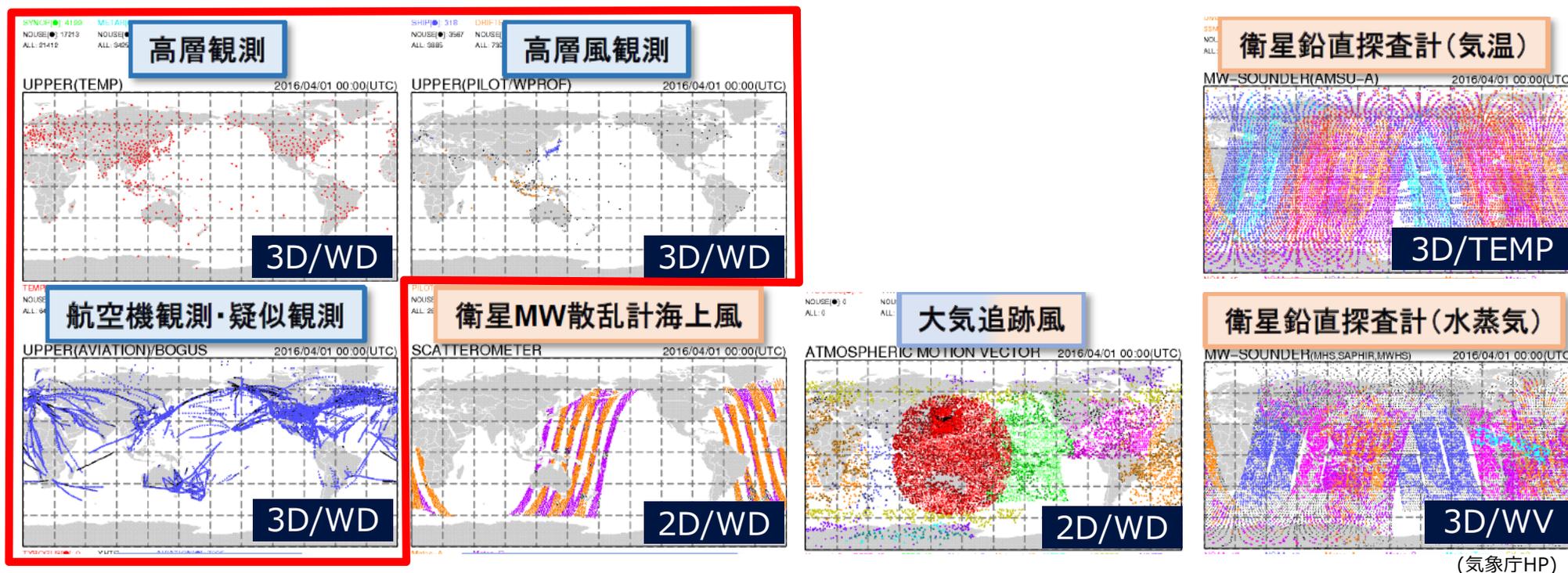


最適経路の選定/搭載と使用燃料誤差

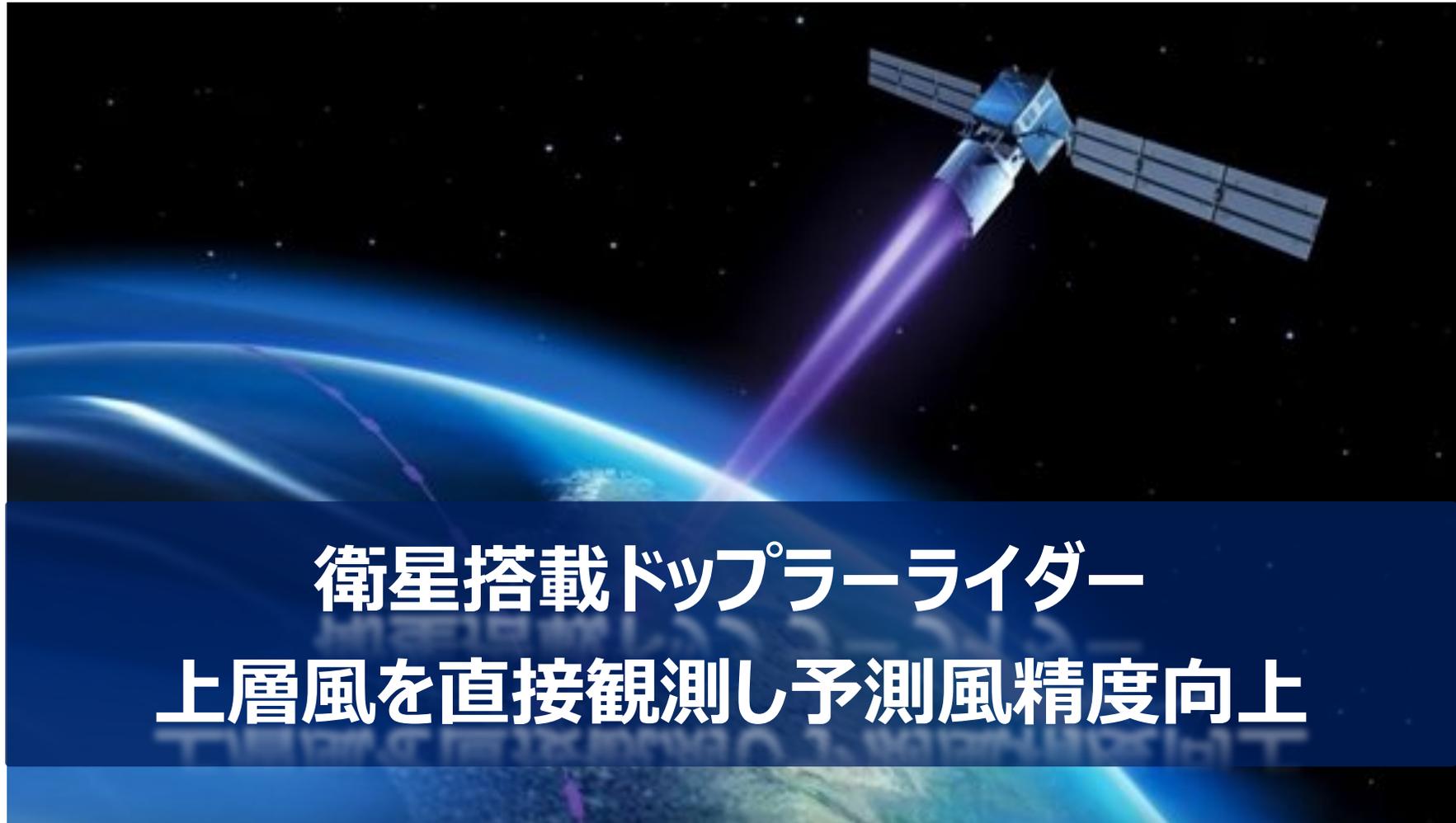


航空業界の課題

- ◆ 数値予報精度向上のためには、広域・高頻度・高精度な観測が必要
- ◆ 気温、水蒸気は、衛星観測により、鉛直方向を含む全球的な3次元観測が実現
- ◆ 風は、全球的な鉛直分布観測が極めて限定的



(気象庁HP)



**衛星搭載ドップラーライダー
上層風を直接観測し予測風精度向上**

1. 現状予測精度検証



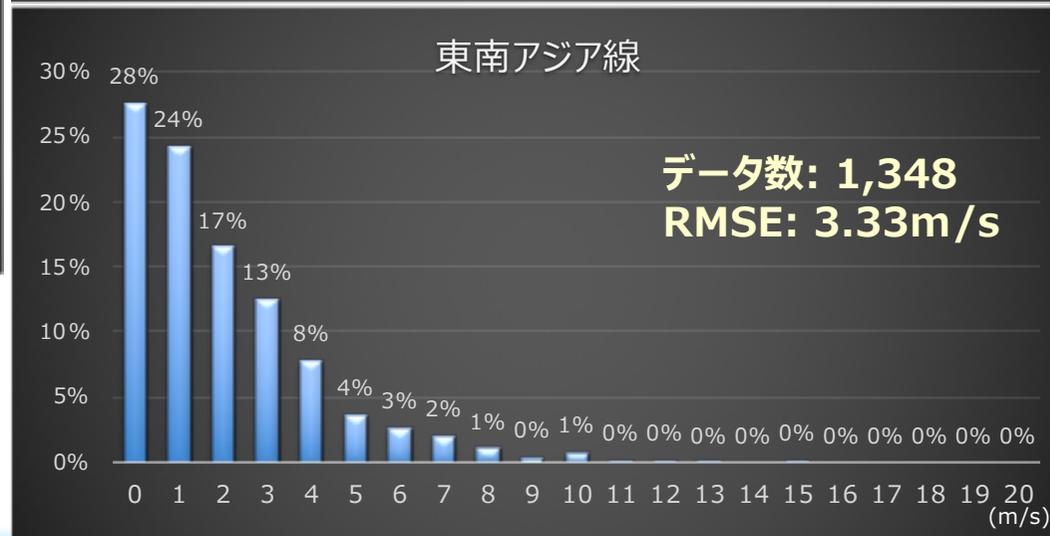
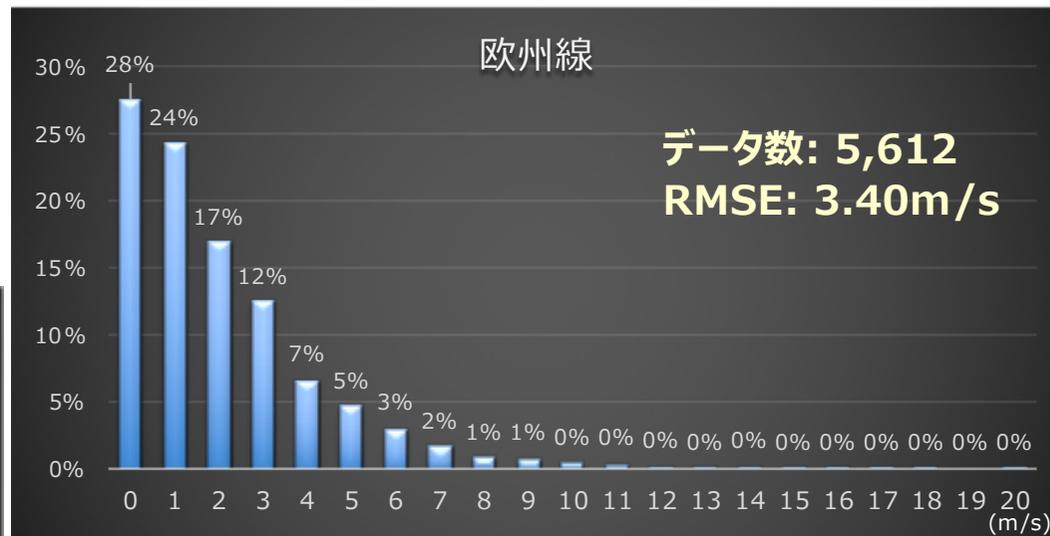
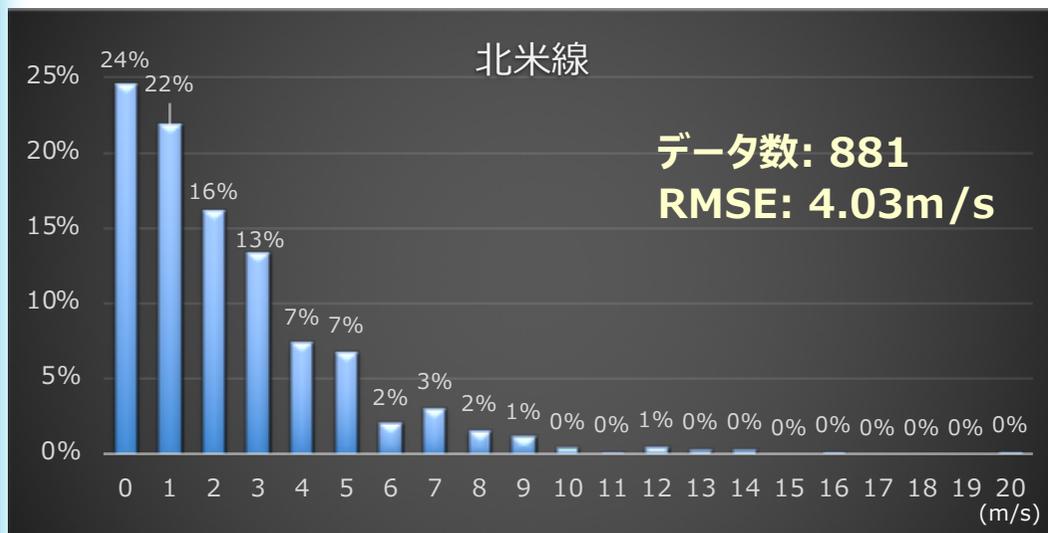


現状予測精度検証方法

- 検証路線：日本＝欧州、日本＝北米、日本＝東南アジア 3路線
- 検証期間：2017年9月～2018年8月
各月ランダムピックアップした5日分のデータを使用
- 使用データ：数値予測データと航空機観測データの比較
数値予測データ・・・Flight Plan作成時に用いられた予測データ
(NWS or UK Met office作成データ)
航空機観測データ・・・飛行した三次元位置における航空機観測データ



各路線における予測風 風速誤差頻度分布



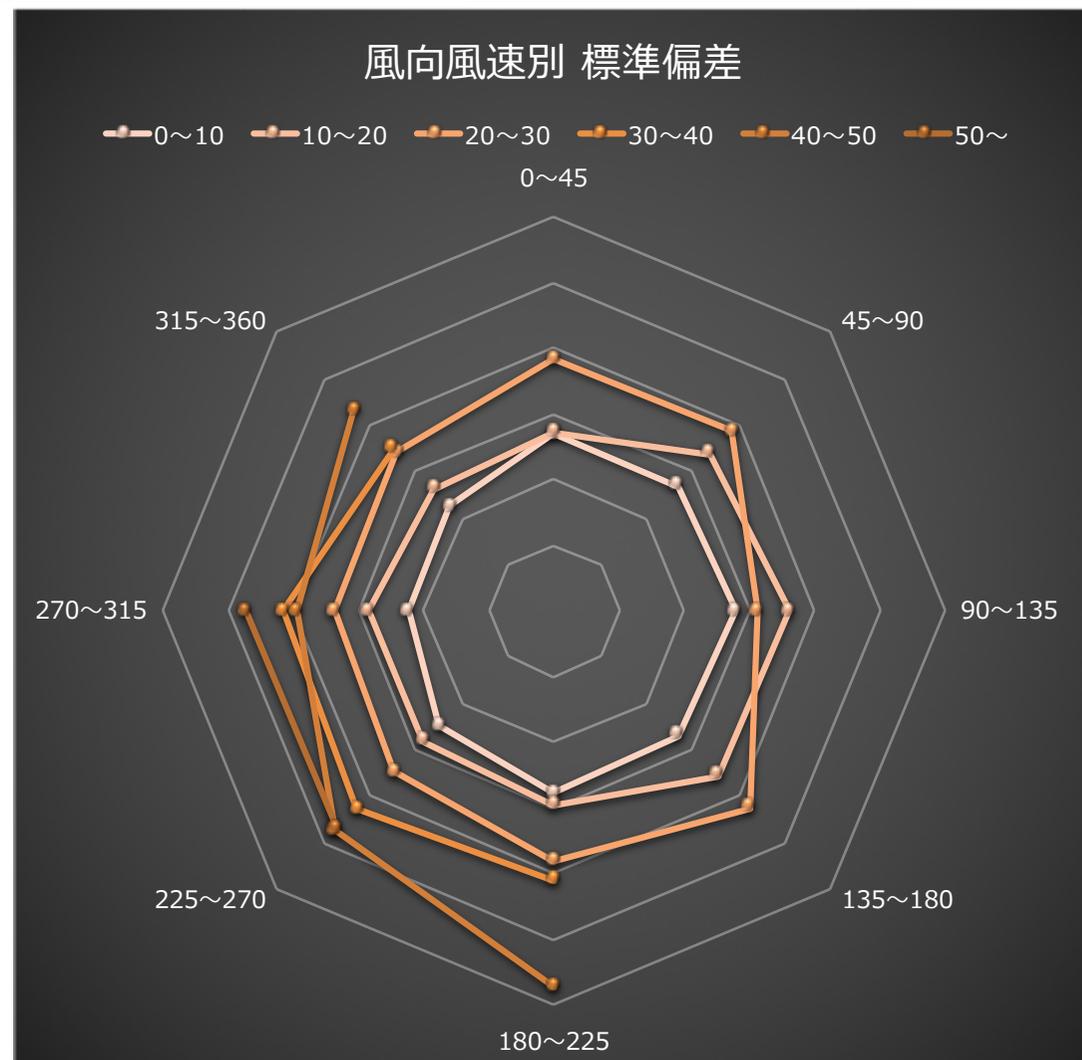
北米線：風速予測精度のばらつきが比較的大きい

各風向における風速毎の誤差値標準偏差

予測された風向風速の風向を45度ずつ8分割
各風向における風速毎の誤差値標準偏差を示す

【標準偏差】

予測風向	予測風速(m/s)					
	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~
0~45	2.70	2.71	3.83			
45~90	2.69	3.38	3.86			
90~135	2.79	3.61	3.12			
135~180	2.69	3.55	4.24			
180~225	2.77	2.97	3.82	4.11	5.73	
225~270	2.48	2.82	3.47	4.26	4.75	4.70
270~315	2.23	2.84	3.36	4.15	3.94	4.72
315~360	2.25	2.61	3.39	3.48	4.33	



2. 衛星搭載ドップラーライダー導入時・未導入時 比較検証





衛星搭載ドップラーライダー導入時・未導入時 比較検証方法

- 検証期間：2010年1月1日～31日、2010年8月1日～31日
- 使用データ：情報通信研究機構と気象研究所により作成された以下のOSSE
 1. 衛星搭載ドップラーライダーの情報が含まれていない予測データ (ND)
 2. NDデータに太陽同期極軌道衛星の情報を追加した予測データ (PD)
 3. NDデータに低傾斜角(熱帯)軌道衛星の情報を追加した予測データ (TD)

OSSE(Observing System Simulation Experiment)とは、仮想的な衛星搭載ドップラーライダーデータを擬似的に作成し、データ同化を実施し、その効果を評価すること

(参考) OSSE作成時想定されたドップラーライダーと衛星は以下の通り。

ドップラーライダー

コヒーレント方式、波長2.0 μ m

パルスエネルギー：125mJ、繰り返し周波数:30Hz

2本のレーザーで、2つの視線方向風を測定（方位角45度、135度）

天底角度35度

平均処理

□ 水平：100km (以下)

□ 鉛直：19層(地表~27km)

➤ 分解能: 0.5km ($Z < 3$ km), 1km ($3 < Z < 9$ km), 2km ($9 < Z < 27$ km)

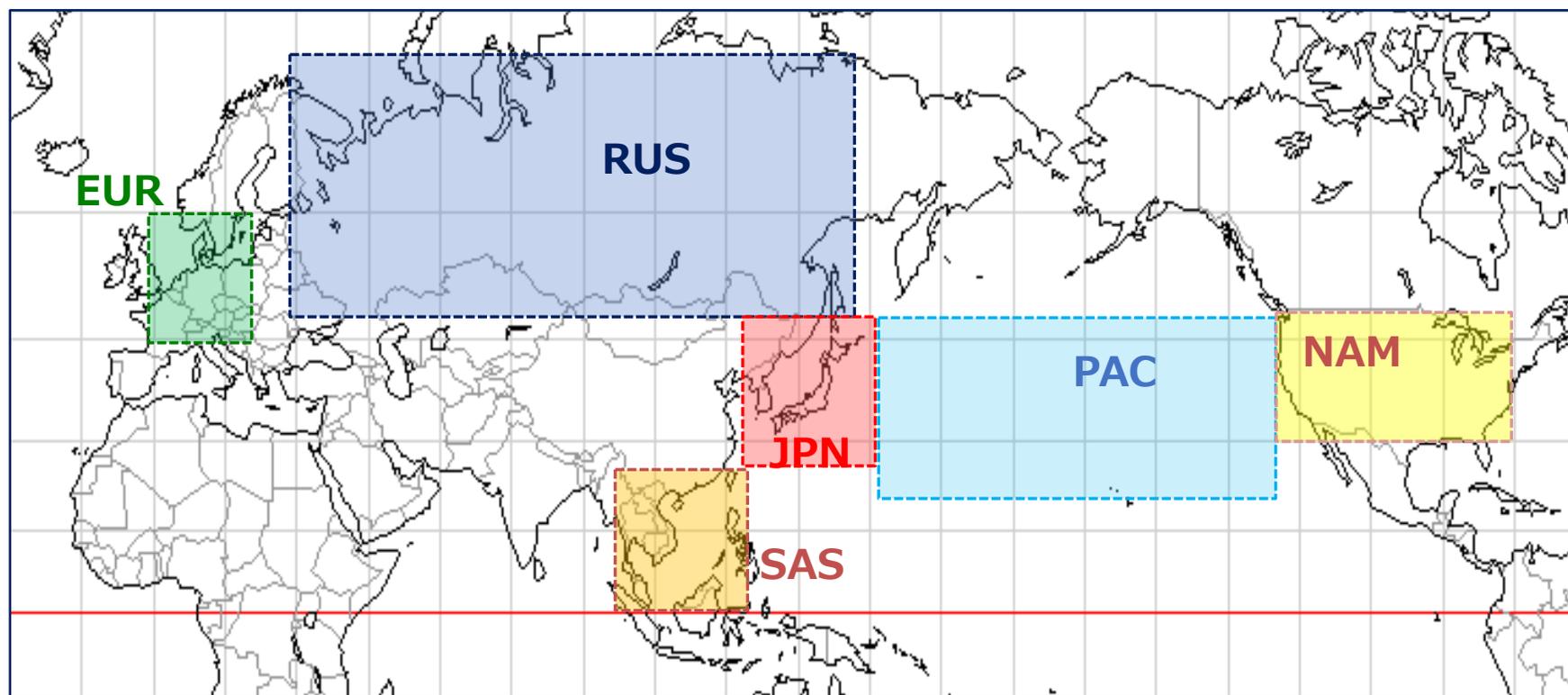
衛星

超低高度衛星SLATS

太陽同期極軌道と低傾斜角（熱帯）軌道を想定



衛星搭載ドップラーライダー導入時・未導入時 比較検証エリア



ヨーロッパ (EUR)	ロシア (RUS)	東南アジア (SAS)	日本 (JPN)	太平洋 (PAC)	アメリカ (NAM)
N60E0 - N60E20 N45E0 - N45E20	N70E30 - N70E140 N50E30 - N50E140	N25E100 - N25E125 N0E100 - N0E125	N50E125 - N50E150 N25E125 - N25E150	N50E150 - N50W125 N20E150 - N20W125	N50W125 - N50W70 N30W125 - N30W70

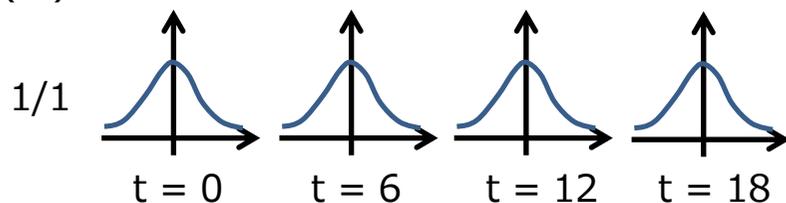
衛星搭載ドップラーライダー導入時・未導入時の真値比較

極軌道・熱帯軌道衛星DWL導入時とDWL未導入時のいずれの予報値が真値に近い値を取る可能性があるか確認が必要。現実世界の値として検証期間中の航空機観測データは残っていないことから、今回は上空の風をECMWFによって再解析されているERA5データを用いることとした。

【検証方法】

1月と8月の各日、0,6,12,18の各予報時刻におけるERA5とND,PD,TDそれぞれの差を抽出

(例) ND-ERA5

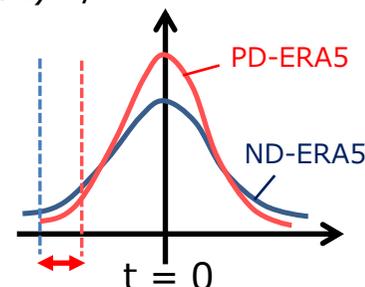


1/2	•	•	•	•
	•	•	•	•
	•	•	•	•
	•	•	•	•
	•	•	•	•

各日時予報のND-ERA5, PD-ERA5, TD-ERA5
頻度分布図を作成 ➡ 標準偏差算出

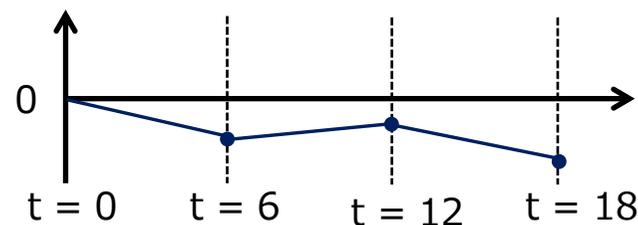
各日時予報におけるそれぞれの標準偏差の差を抽出

(例) 1/1



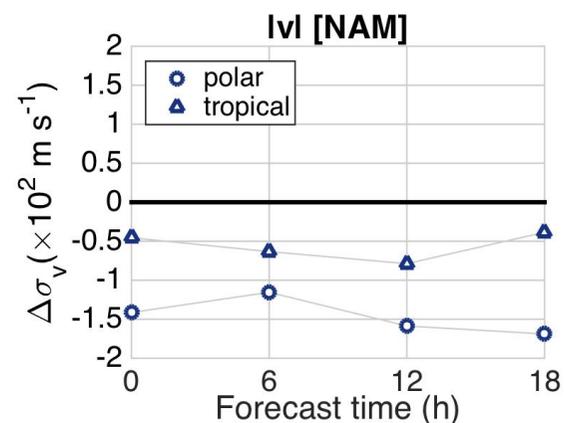
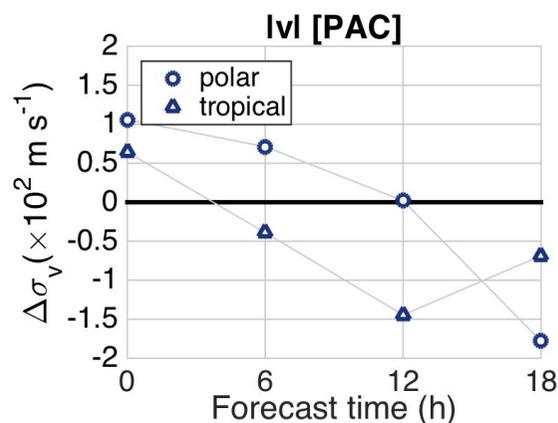
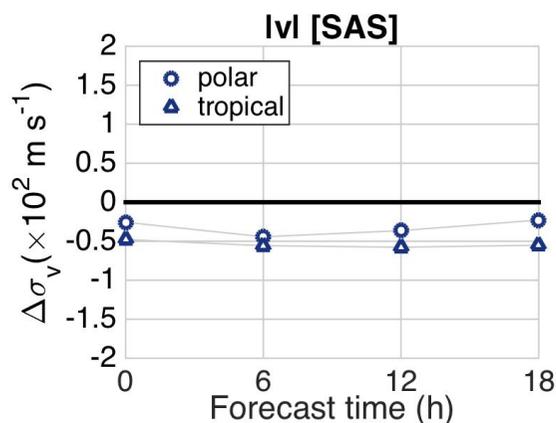
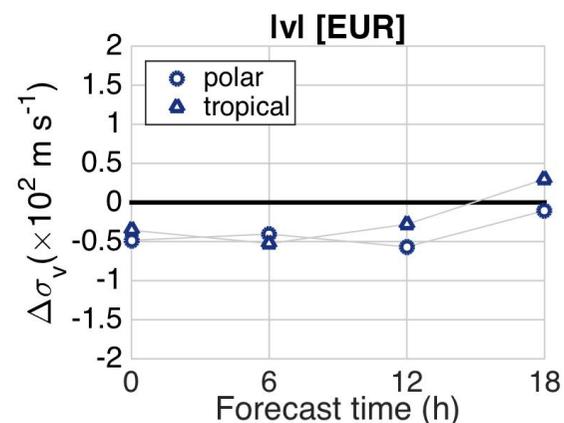
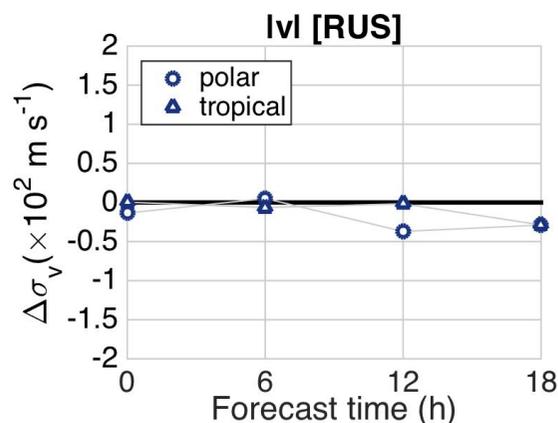
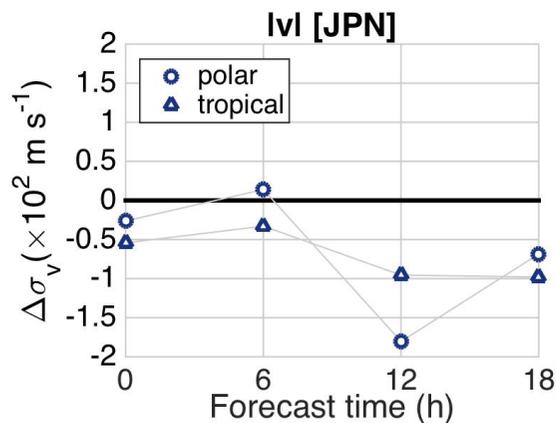
「1/1 t=0におけるPD-ERA5の標準偏差」から
「1/1 t=0におけるND-ERA5の標準偏差」を引く
1/1~31, 8/1~31まで実施し差の平均を抽出

平均値をグラフ化



マイナスに傾いていれば、
DWL有りの方が精度が高い
可能性があると言える。
ただし、サンプル数が少ないた
め、統計的に優位性がある
とは言えない。

衛星搭載ドップラーライダー導入時・未導入時の真値比較

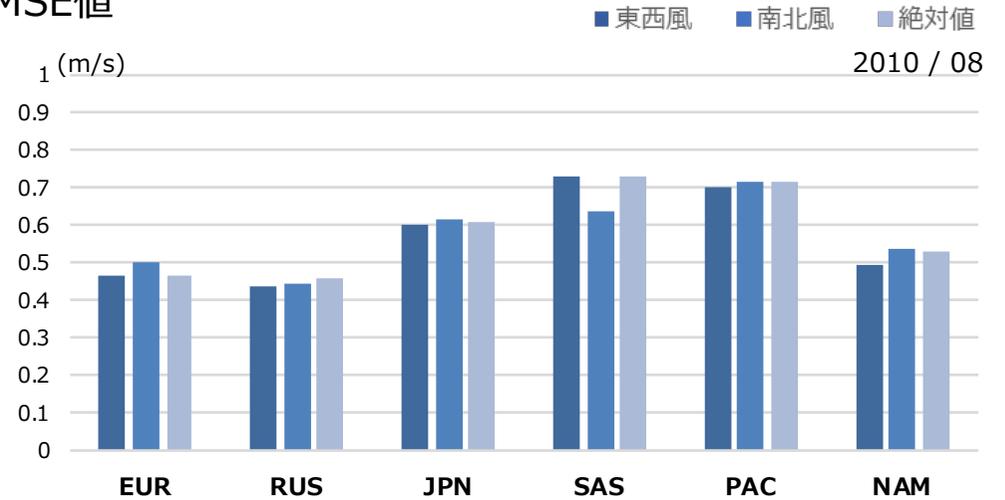
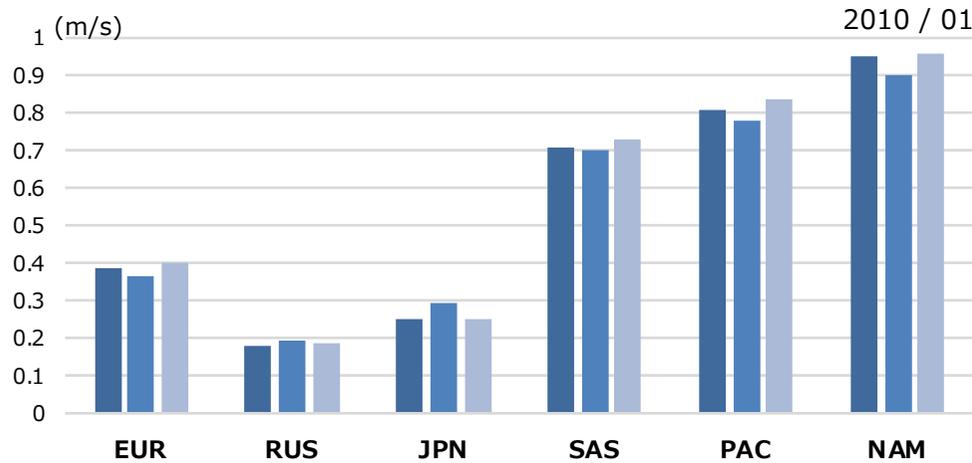


**PACエリア極軌道衛星の結果以外、
数値予報にドップラーライダーの値を追加した場合の方が現実場により近い値となることが確認された。**

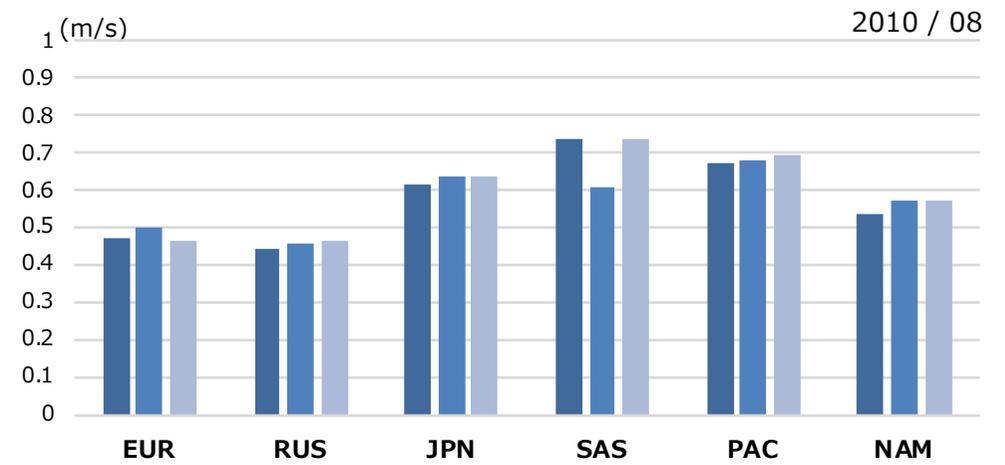
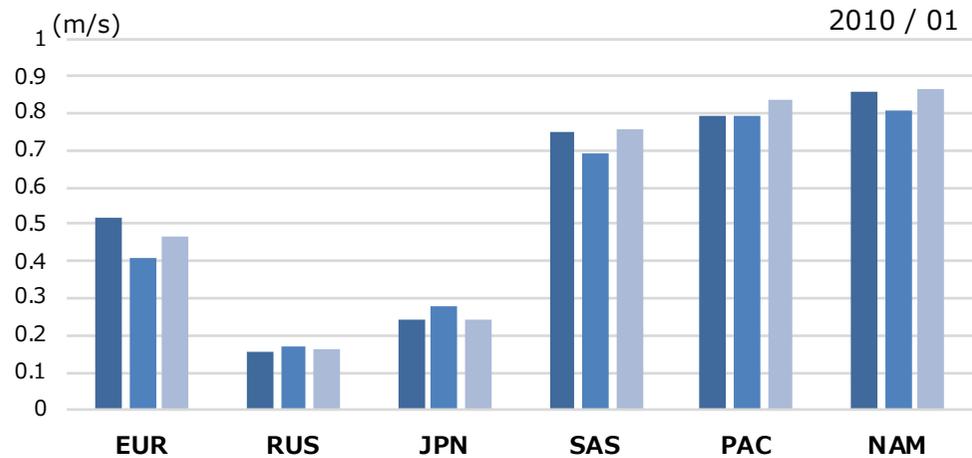
衛星搭載ドップラーライダー導入時の影響調査

各エリア12時間後
250hPaの予測精度比較

極軌道衛星を導入した場合と導入していない場合の差分のRMSE値



熱帯軌道衛星を導入した場合と導入していない場合の差分のRMSE値



3. 衛星搭載ドップラーライダーがもたらすメリット



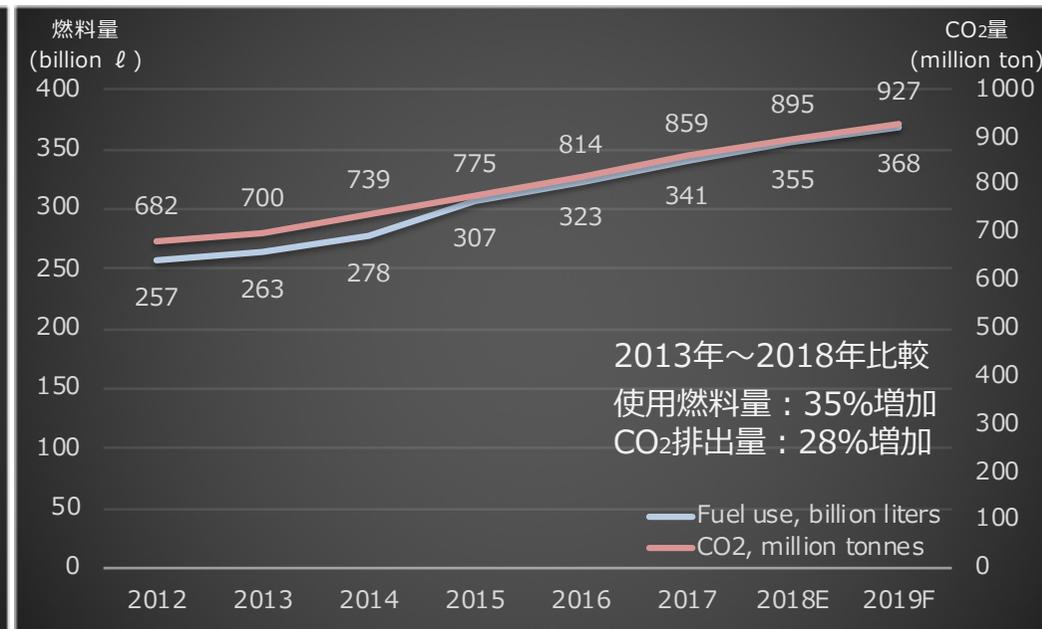


IATA加盟全航空会社に適用

【利用者数、定期飛行便数】



【使用燃料量、CO₂排出量】



(参照: ECONOMIC PERFORMANCE OF THE AIRLINE INDUSTRY 2018-IATA)

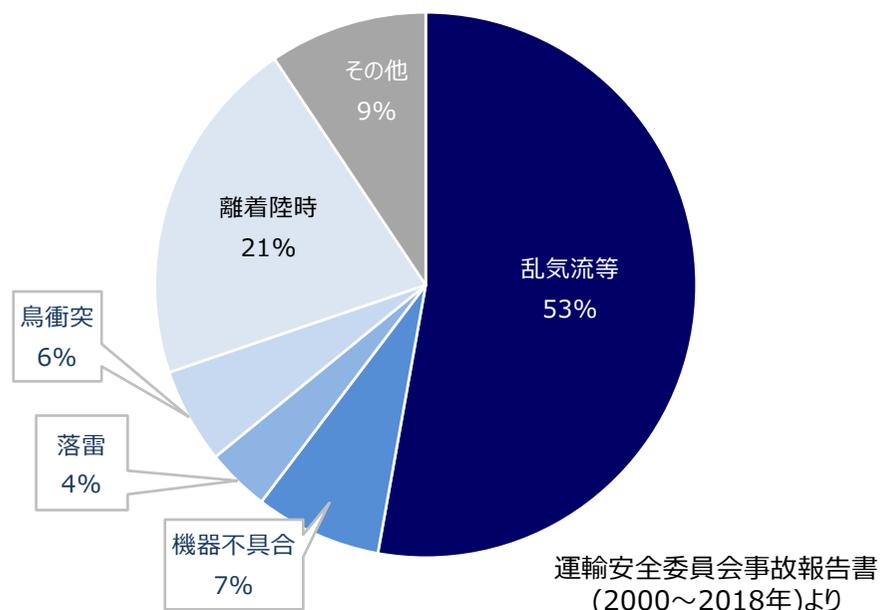
予測精度向上に伴う消費燃料削減量は、**2018年使用燃料量の0.3%量に相当**(※1)する。
 消費燃料によるCO₂排出削減量は、**2018年CO₂排出量の0.2%量に相当**する。

(※1: 1LBS=0.5815 l)



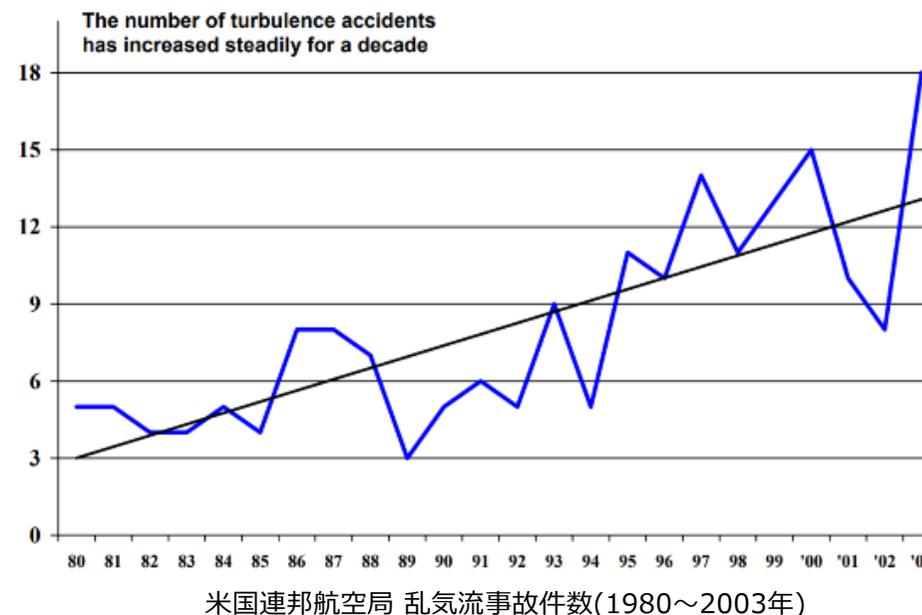
今後 (CO₂排出量削減以外にも)

大型航空機事故の半数以上 ➡ 乱気流が要因



事故認定は、重傷以上の被害者が発生した場合のみ
軽傷以下の事故は、航空事故として扱われないため、
実際の被害件数は上記事故データよりも相当多いと想定。

乱気流による事故件数年々増加



航空機数の増加に伴う事故件数増加並びに、
地球温暖化の影響により乱気流発生エリアが変化する
予測もあるため、今後増加傾向にある。

現状の乱気流予測の精度は良くない
精度の高い乱気流予測の重要性



まとめ

今回使用したデータによると、衛星搭載ドップラーライダー導入により予報値の精度が向上することが確認され、航空機運航に一定度の有効性をもたらすことが見受けられた。

また、乱気流予測や火山灰拡散予測への有効性が確認された場合、航空機の安全運航へ寄与すると考えられる。

ご協力機関：

- ◆ 宇宙航空研究開発機構 (JAXA) ※J-SPARC コンセプト共創
- ◆ 情報通信研究機構 (NICT)
- ◆ 気象庁気象研究所 ※NICTとの共同研究データ利用として
- ◆ 慶應義塾大学SFC研究所
- ◆ 電子航法研究所 (ENRI)

a.matsumoto@anahd.co.jp
ANAホールディングス株式会社 松本 紋子

