

# 台風予報の高精度化に向けた高解像度海上風検出

つくば事業所 磯口 治

JAXA: 田殿 武雄、大木 真人

気象研究所: 嶋田 宇大、山口 宗彦、林 昌宏、柳瀬 亘



All rights reserved RESTEC 2020

# 1. 背景

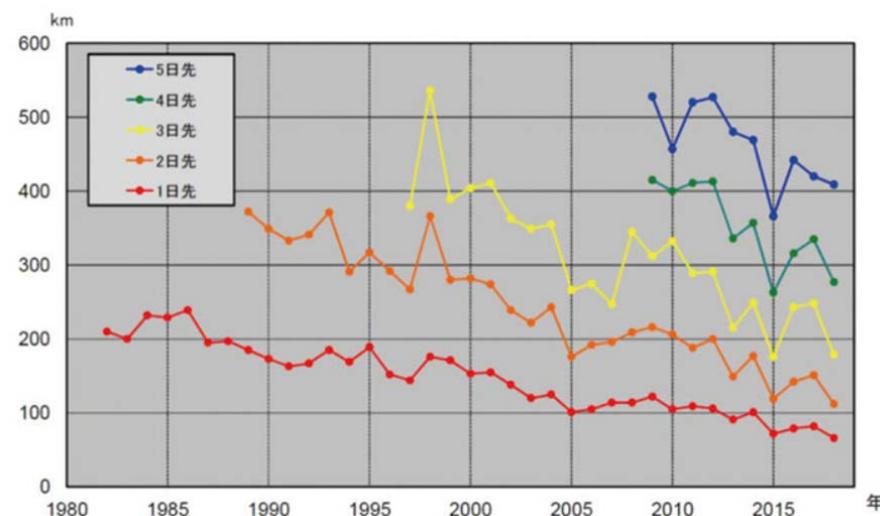
- 台風は地球上で発生する最も激しい自然現象の一つで、大雨、強風、高潮など、さまざまな災害を引き起こす
- 日本で暮らすうえで避けることが出来ない自然現象
- 予報精度を改善していくことは永遠のテーマと言っても過言ではない

山口(2019),“台風予報改善のための研究の最前線~社会の多様なニーズに応える~”,気象研究所成果発表会(“<https://www.mri-jma.go.jp/Topics/R01/011207/04.pdf>”)より

予報精度は年々向上

台風進路予報誤差の経年変化

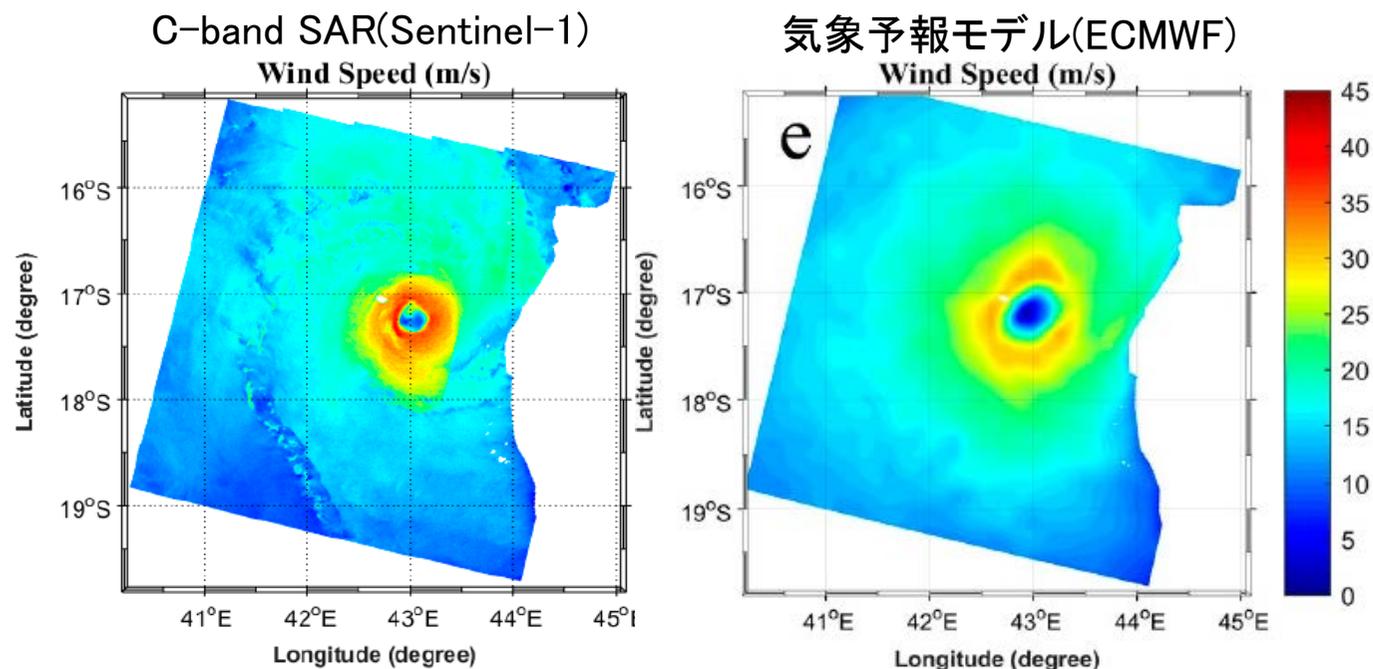
- さらなる進路、強度予報精度の改善に向けて
  - より多くの、また、詳細な観測情報(海上風分布)を数値モデルに取り込むことで精度向上が期待
  - 台風の強風下での現場観測は困難
  - 衛星観測の中でも波長が長いL-band SARは強風域の海上風検出に期待



“<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/hakusho/2019/index4.html>”より引用

# 1. 背景

## 台風下の海上風のSARと気象モデルの比較



- 眼の大きさ、形状、最大風速、風速分布が異なる

Yu et al.(2019). A Study of the Intensity of Tropical Cyclone Idai Using Dual-Polarization Sentinel-1 Data Remote Sens. 2019, 11(23), 2837; <https://doi.org/10.3390/rs11232837>. より引用

- 現況: 台風下の海上風の分布が分かっていなく、**相対的な風速の空間分布**がわかるだけでも (気象予報モデルの改善や風災害に対する情報として) 有用な情報
- 予報: 台風のSAR海上風を気象予報モデルに取り込むことで**位置**や**強さ**の予測精度が向上

**高空間解像度の台風下の風速分布は、強度・風速分布の予報精度の改善や風水害情報の提供に繋がる有効な情報の1つ**

# 1. 背景

## JAXAと気象研究所による ALOS-2海上風データの利用検討



### JAXA-気象研連携協力における実施内容・計画

JAXA	気象研
<p><u>SARによる風速検出</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>■ 台風状況下での風速検出手法の開発<ul style="list-style-type: none"><li>■ 風速モデル関数の検討・開発</li></ul></li><li>■ PALSAR/PALSAR-2による過去の台風観測事例を用いた検出</li></ul> <p>※RESTEC実施</p>	<p><u>精度検証・現業利用に向けた調査</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>■ 精度検証(対アメダス風)</li><li>■ 現業利用可能性調査(インパクト調査)</li></ul>
<p>■ 実利用に向けた検討(観測頻度・手順等)、新規台風観測</p>	

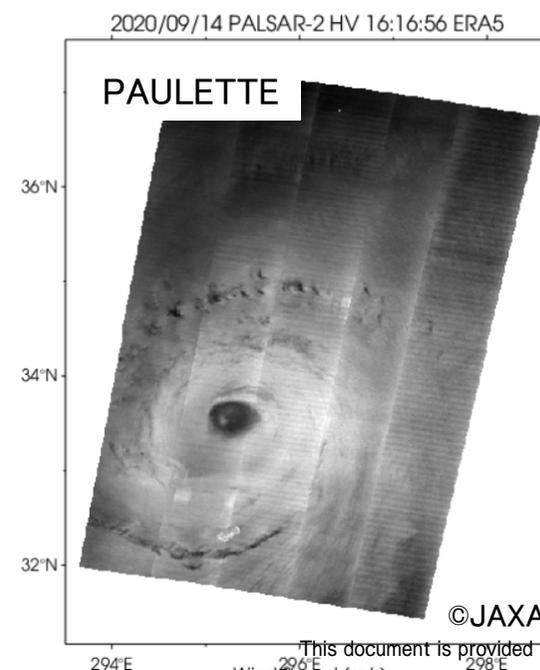
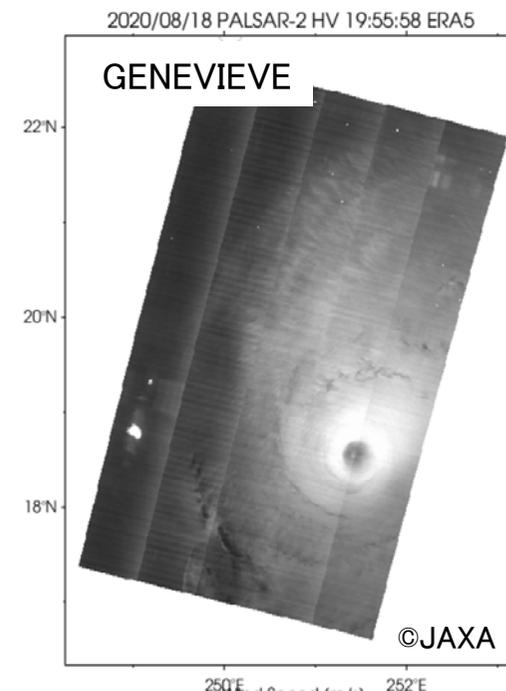
気象予報業務での**現業利用**を目指した研究であり他への応用も可能となる研究

# 1. 背景

## 台風・ハリケーン観測実績

台風・ハリケーン	観測日時(UT)	モード	モード 観測方向	同期観測
DORIAN	2019/9/5 17:19:45	ScanSAR	W2/右	○
台風19号(HAGIBIS)	2019/10/9 13:59:42	ScanSAR	W3/左	
	2019/10/11 14:42:48	ScanSAR	W1/右	
DOUGLAS	2020/7/26 9:40:58	ScanSAR	W2/左	○
GENEVIEVE	2020/8/18 19:55:30	ScanSAR	W3/左	
	2020/8/19 6:39:26	ScanSAR	W3/左	
	2020/8/20 7:00:59	ScanSAR	W1/左	
LAURA	2020/8/26 5:52:46	ScanSAR	W1/右	
	2020/8/26 17:48:56	ScanSAR	W3/右	○
台風9号(MYSAK)	2020/9/2 3:59:05	ScanSAR	W2/左	
PAULETTA	2020/9/14 4:23:41	ScanSAR	W3/右	○
	2020/9/14 16:16:29	ScanSAR	W2/右	
TEDDY	2020/9/18 16:05:16	ScanSAR	W1/左	○
	2020/9/19 2:51:53	ScanSAR	W4/左	

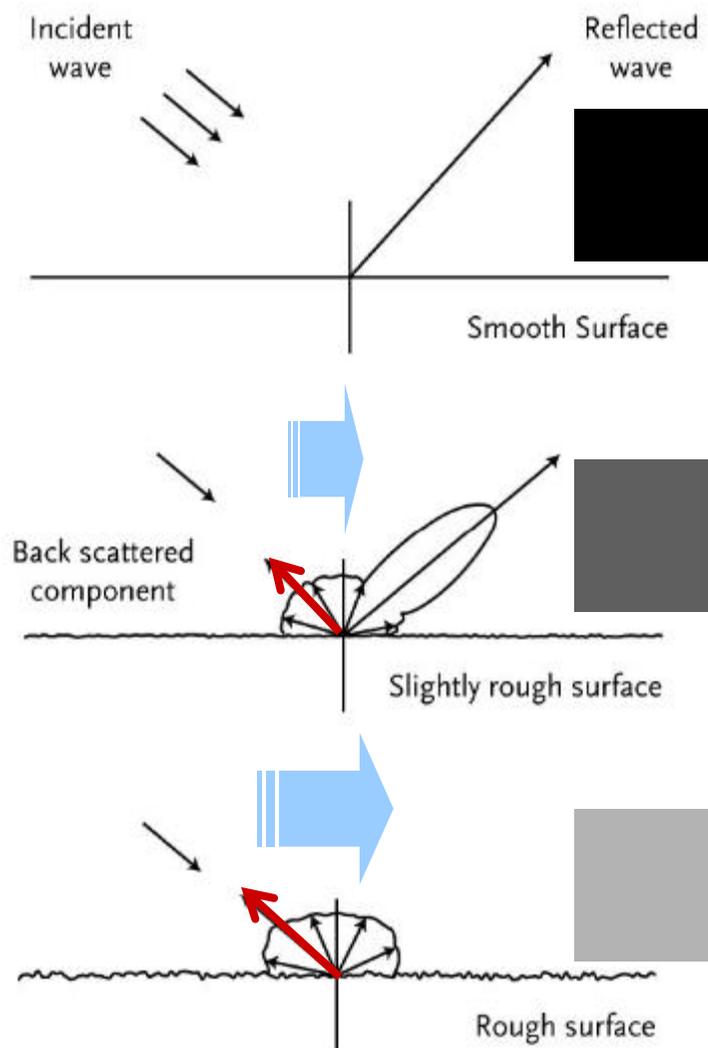
進路予報を考慮した観測要求による観測を実施  
 同期観測が実施された観測データを基に風速モデル関数を開発  
 今後、取得データに対して風速検出を実施し精度検証



1. 背景
2. SARによる海上風観測
3. 強風域に対応した風速変換モデル関数の構築
4. ハリケーンの海上風推定
5. 今後の計画

## 2. SARによる海上風観測-SAR海上風観測の原理

### 海面でのマイクロ波の散乱・反射



- 後方散乱強度(輝度)は直上の風に応答するマイクロ波の波長程度の波の密度に比例
- 海上風とマイクロ波後方散乱係数の経験的な関係を基に海上風算出モデル関数を構築

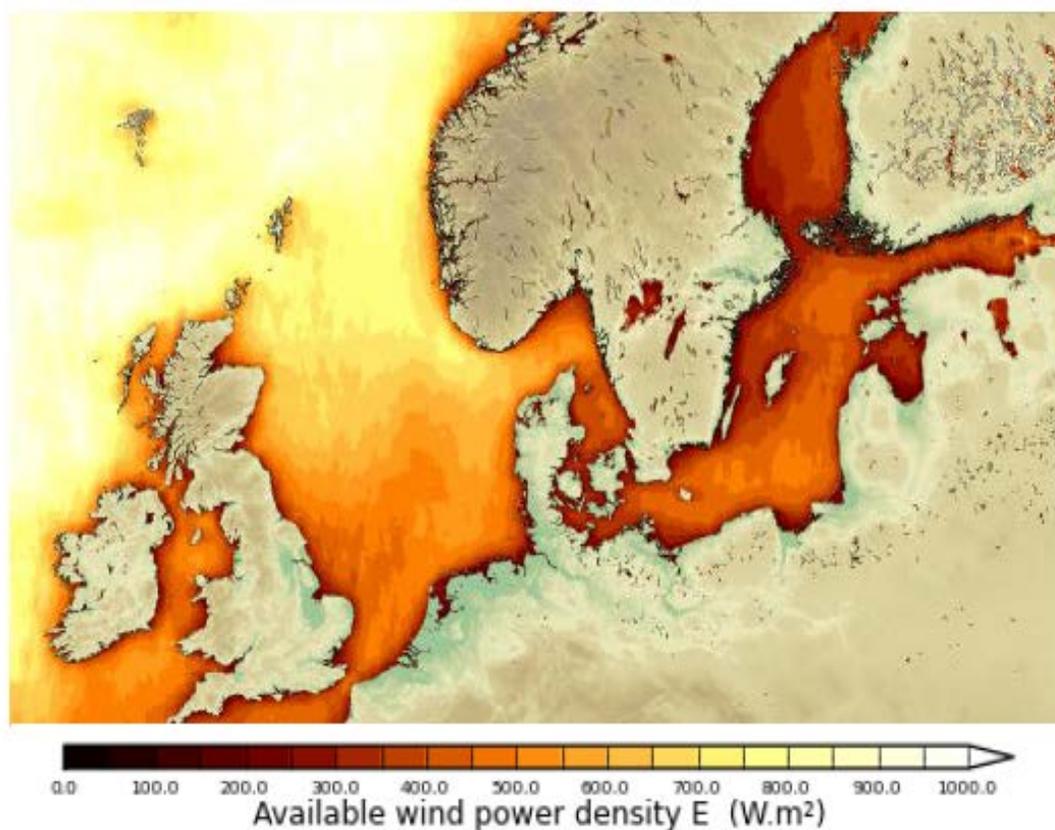


ASCAT wind product user manualより引用  
([http://www.knmi.nl/scatterometer/publications/pdf/ASCAT\\_Product\\_Manual.pdf](http://www.knmi.nl/scatterometer/publications/pdf/ASCAT_Product_Manual.pdf))

## 2. SARによる海上風観測- SAR観測の利用例

### 洋上風力発電に対する適地選定

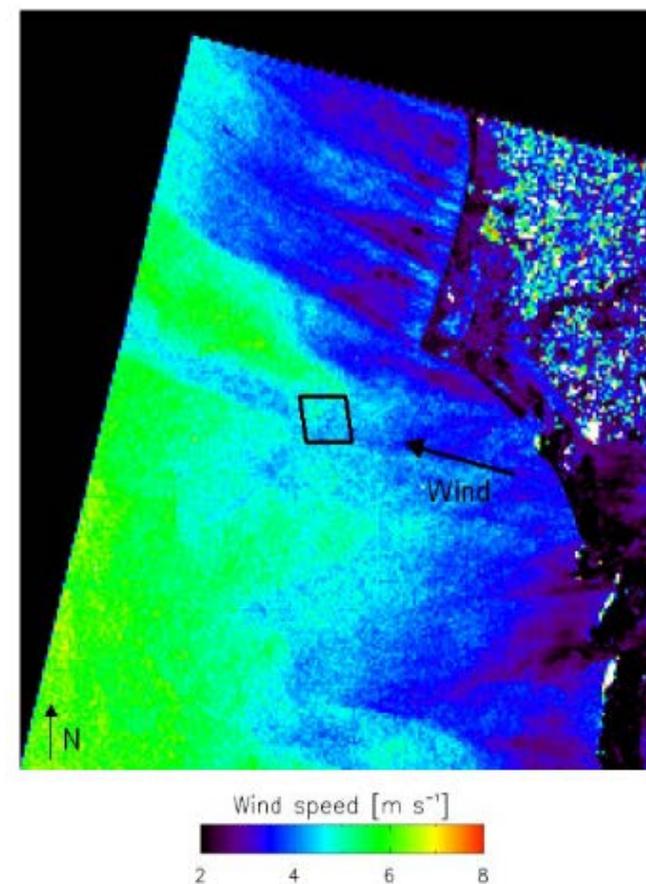
9000シーンのSARから算出された風力エネルギー密度マップ



After Degestad et al. (2013) Original image is from  
“<http://www.norsewind.eu/>”

### モニタリング (稼働後のエネルギー収量評価)

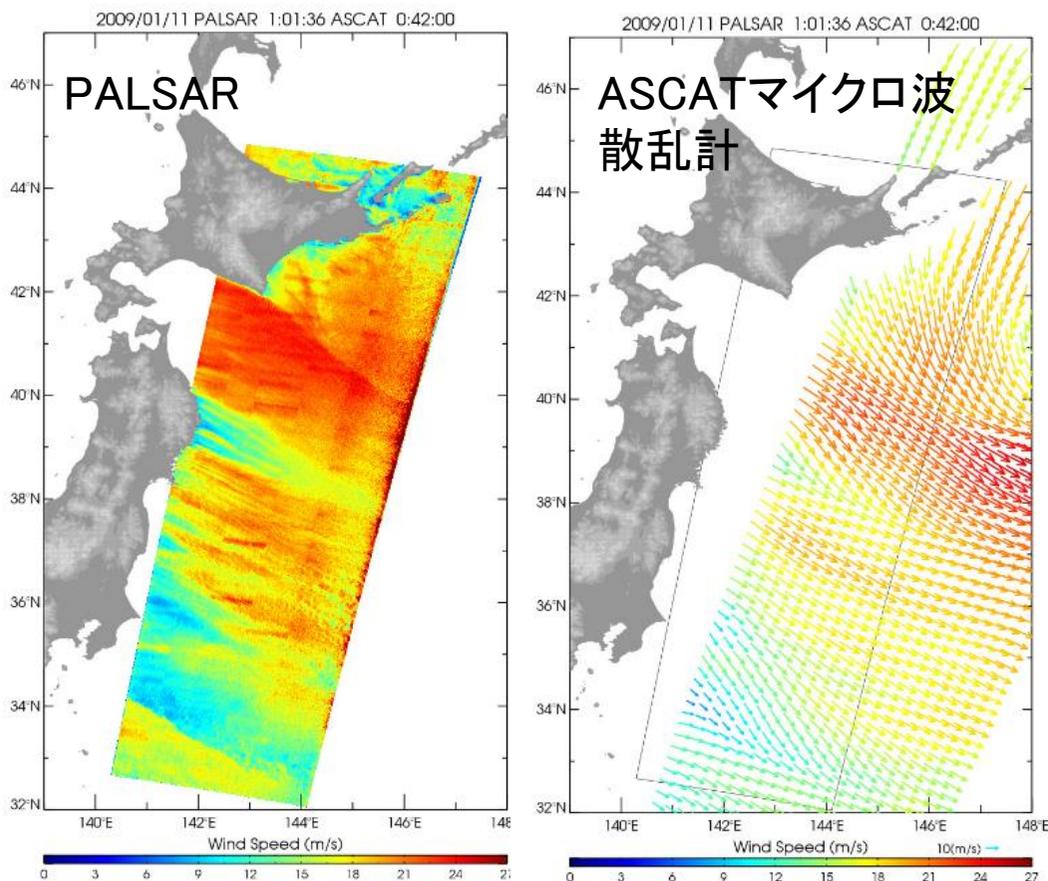
風車により変形した海上風分布



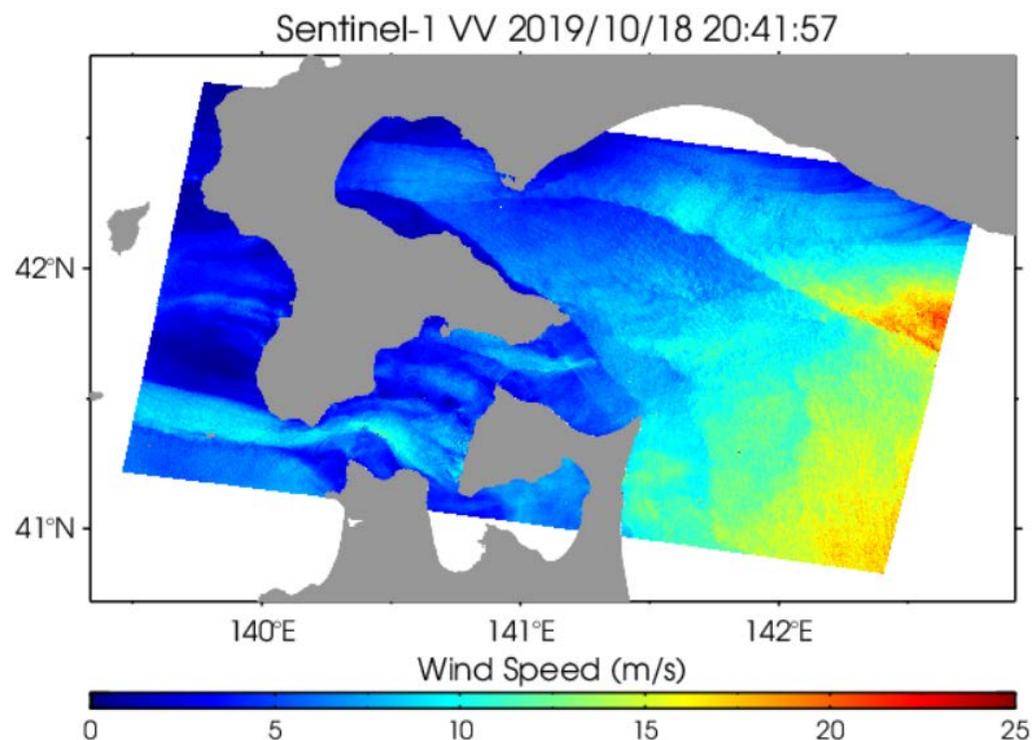
After Christiansen (2006) “Wind Energy Application of Synthetic Aperture Radar”

## 2. SARによる海上風観測- SAR海上風に関する実績

L-band の風速算出モデル関数の開発  
およびPALSAR/PALSAR-2による海上風推定



Sentinel-1 SAR (C-band)による海上風推定



- 現状L-bandの風速算出モデル関数は強風域の同期観測データが少なかったことにより**強風域(>25m/s)には未対応**
- 一方で、一般的に**長波長ほど強風域の検出限界が広い**と考えられる
- 台風海上風計測に向けてL-bandの**高風速域(>25m/s)**に対応する風速モデル関数を構築

### 3. 強風域に対応した風速変換モデル関数の構築

モデル関数構築の流れ



# 3. 強風域に対応した風速変換モデル関数の構築

## モデル関数構築の流れ

ラジオメトリック(輝度値)補正



同期観測(SFMR)海上風との  
マッチアップデータ作成

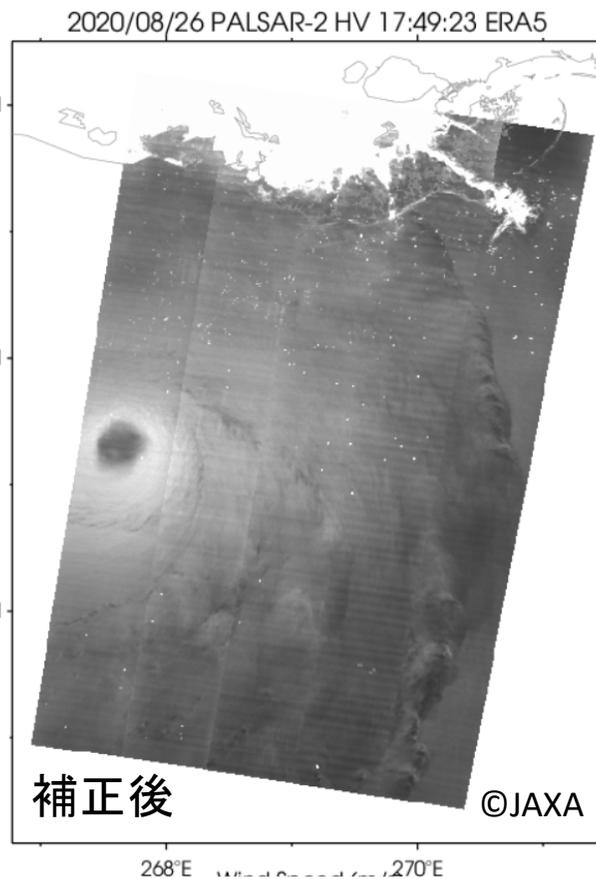
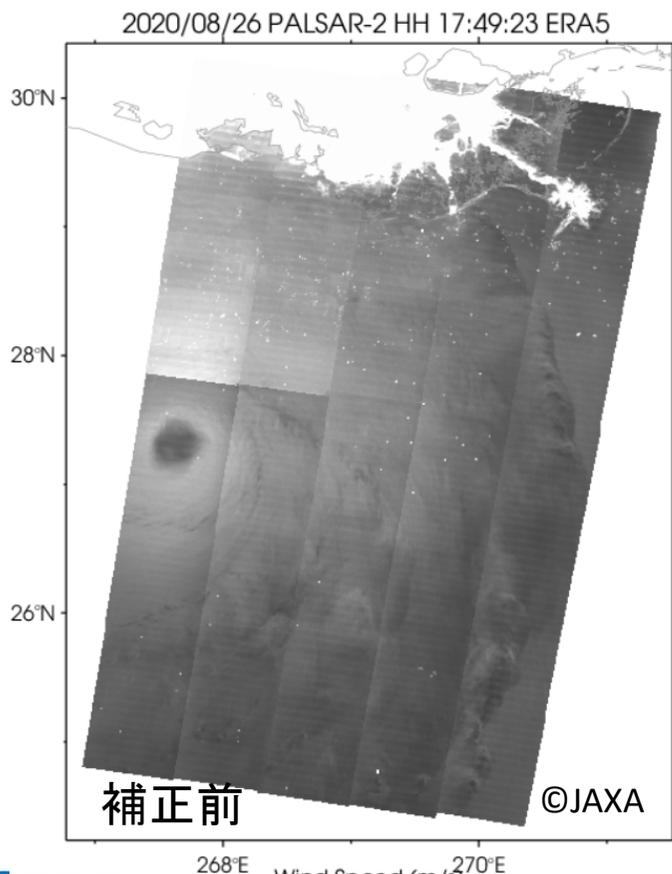


海上風モデル関数構築

## 校正検証業務成果の応用

- 観測ビーム・スキャン間の輝度値(後方散乱係数)の高精度補正
- 電離層による輝度値変化の補正

風速算出には仕様値よりも厳密なレベルでの**後方散乱係数(輝度値)決定が必要**



# 3. 強風域に対応した風速変換モデル関数の構築

モデル関数構築の流れ

ラジオメトリック(輝度値)補正

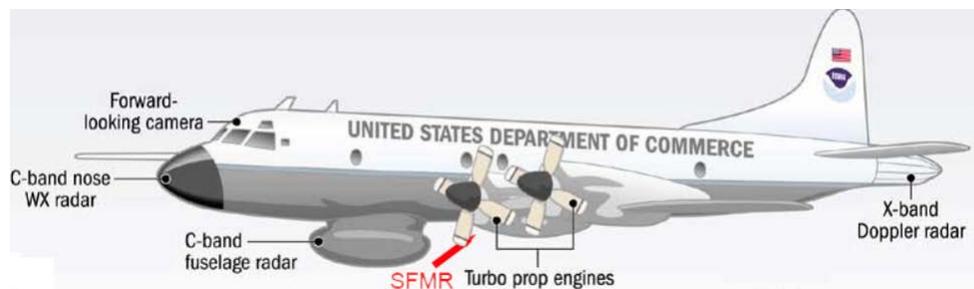


同期観測(SFMR)海上風との  
マッチアップデータ作成



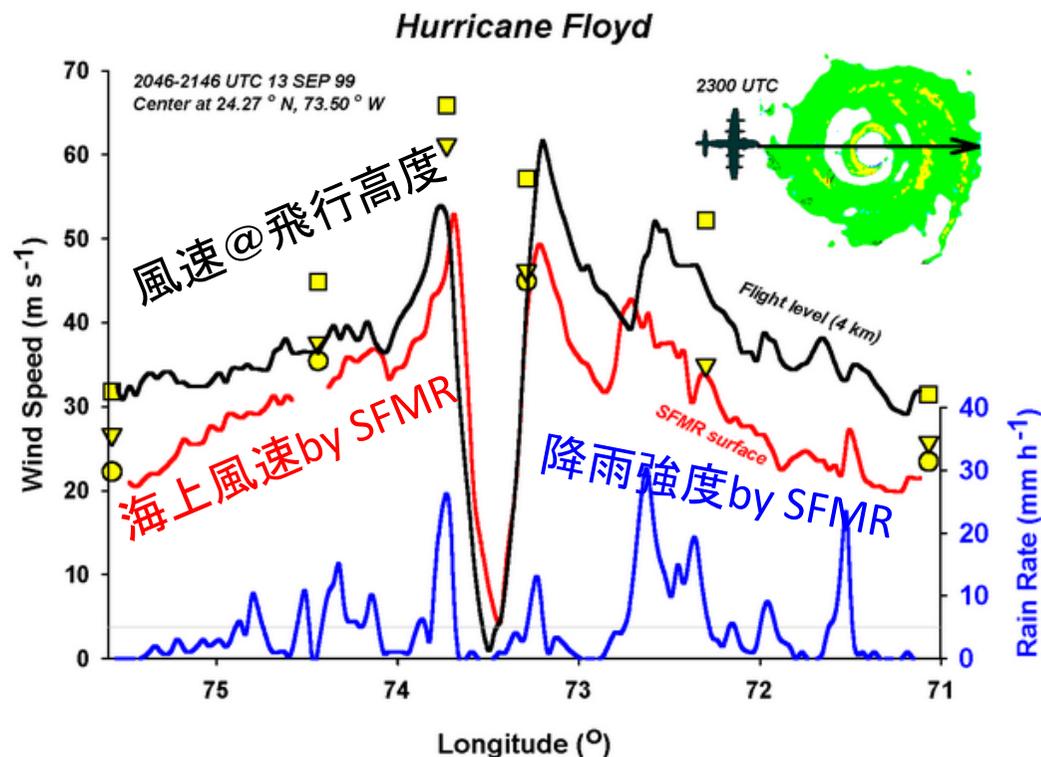
海上風モデル関数構築

NOAA/Hurricane Research Divisionの航空機搭載マイクロ波放射計(Stepped-Frequency Microwave Radiometer :SFMR) によるハリケーンの海上風観測



- 主要なハリケーンに対して約6時間間隔で観測が実施
- ハリケーン下の強風域の実測データとの比較により強風域のモデル関数の構築が可能に

The SFMR in Hurricane Floyd 1999



# 3. 強風域に対応した風速変換モデル関数の構築

モデル関数構築の流れ

ラジオメトリック(輝度値)補正



同期観測(SFMR)海上風との  
マッチアップデータ作成

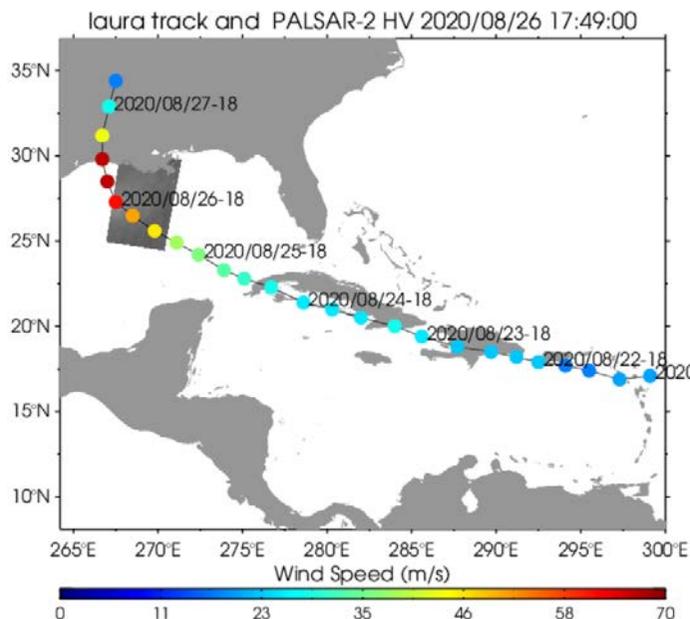
海上風モデル関数構築

同期観測事例

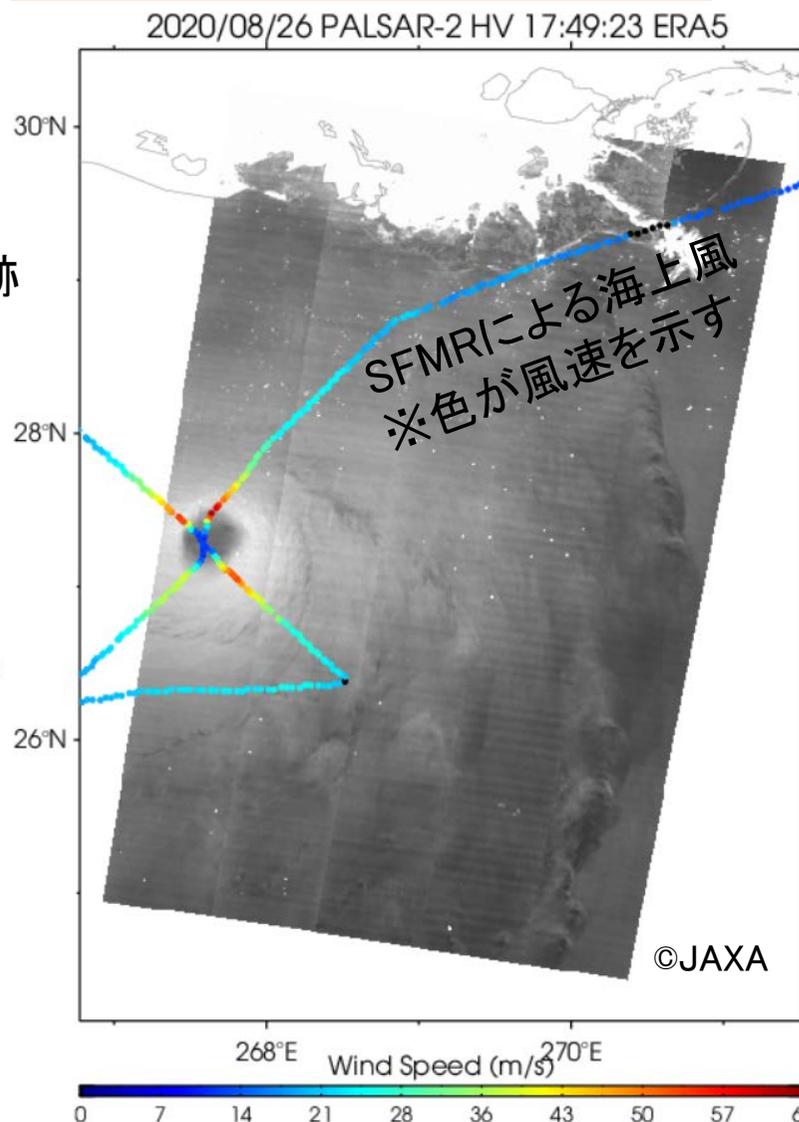
ハリケーン: Laura

2020/8/26

ベストトラックによるハリケーンの軌跡



ハリケーンが発達して最大風速  
60m/s程度に達した時にPALSAR-  
2観測が実施



PALSAR-2から確認できる  
ハリケーンの眼を貫く航  
空機観測が実施

# 3. 強風域に対応した風速変換モデル関数の構築

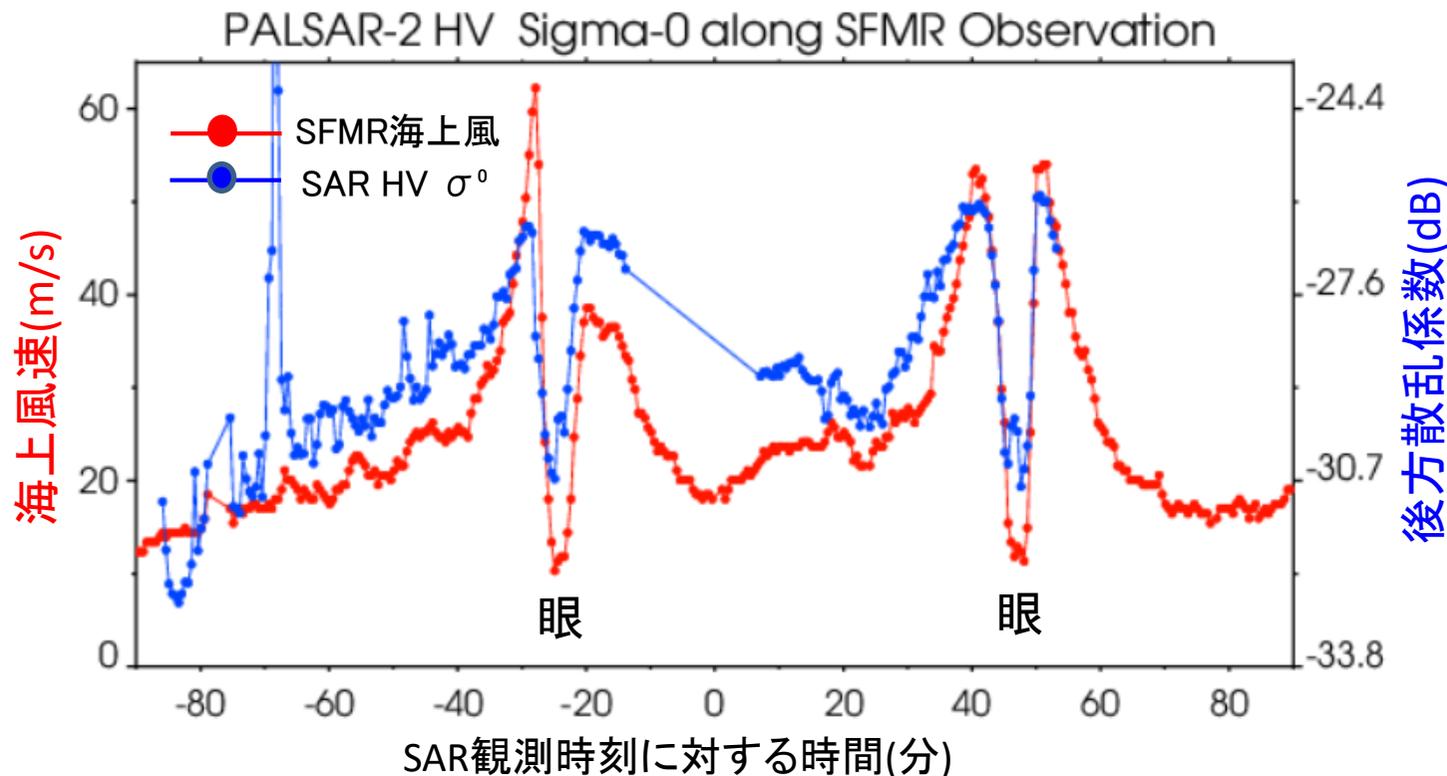
モデル関数構築の流れ



SFMR海上風とPALSAR-2の後方散乱係数( $\sigma^0$ )との比較

SFMRとの時間差<90分のマッチアップ

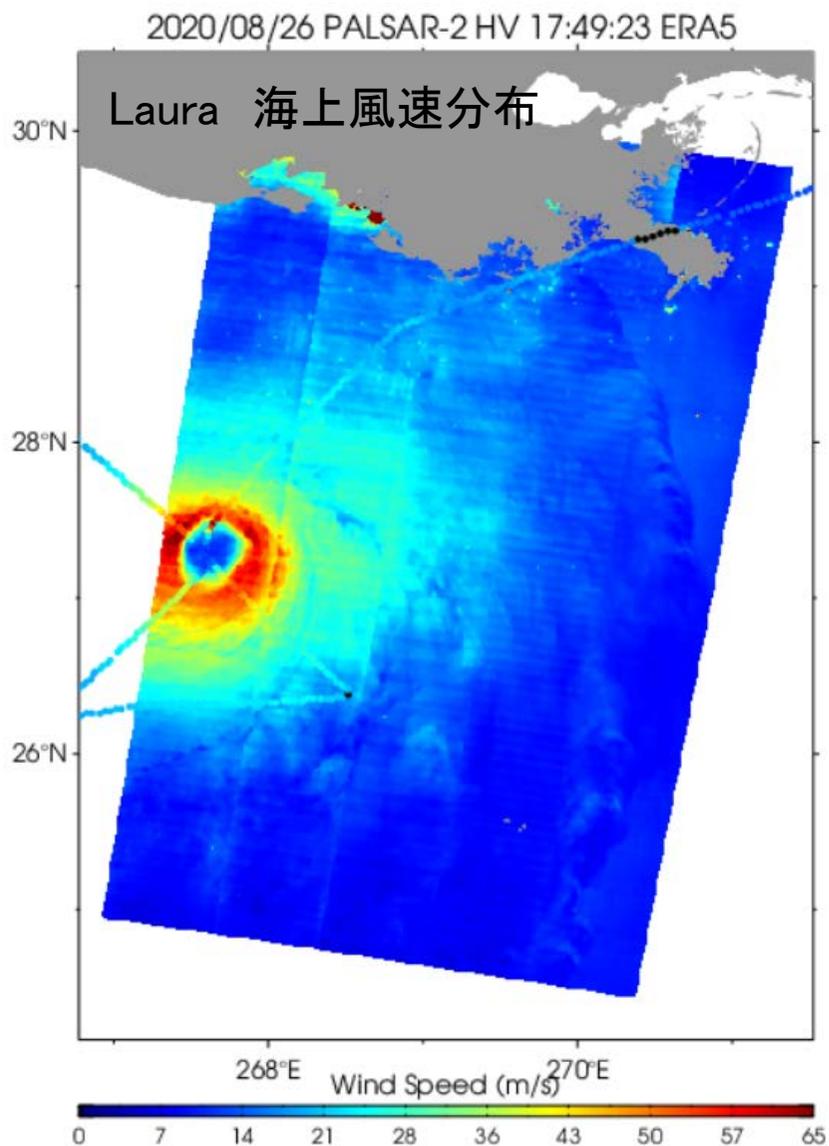
Laura



- ハリケーンの眼付近での急激な海上風の変化とPALSAR-2の後方散乱係数の変動が一致
- ⇒ モデル関数構築-海上風とPALSAR-2の後方散乱係数の関係を適切にモデル化

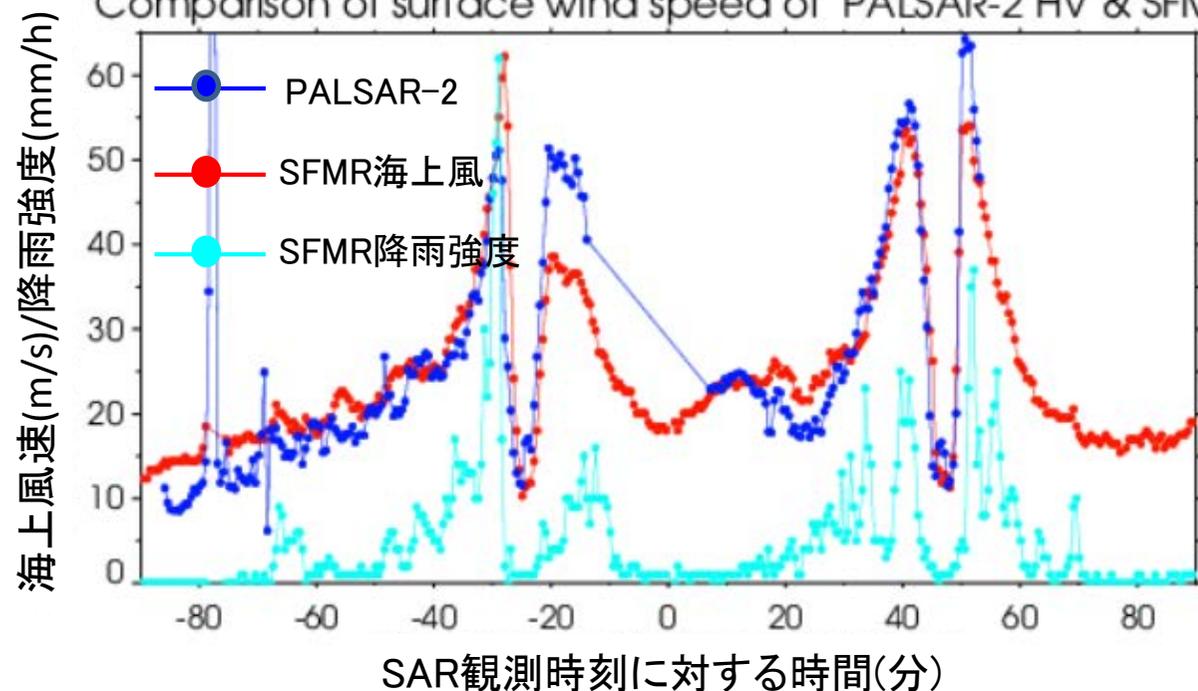
# 4. ハリケーンの上風推定

算出モデル関数をPALSAR-2データに適用して海上風速分布を算出



航空機観測線での同期観測(SFMR)風速との比較

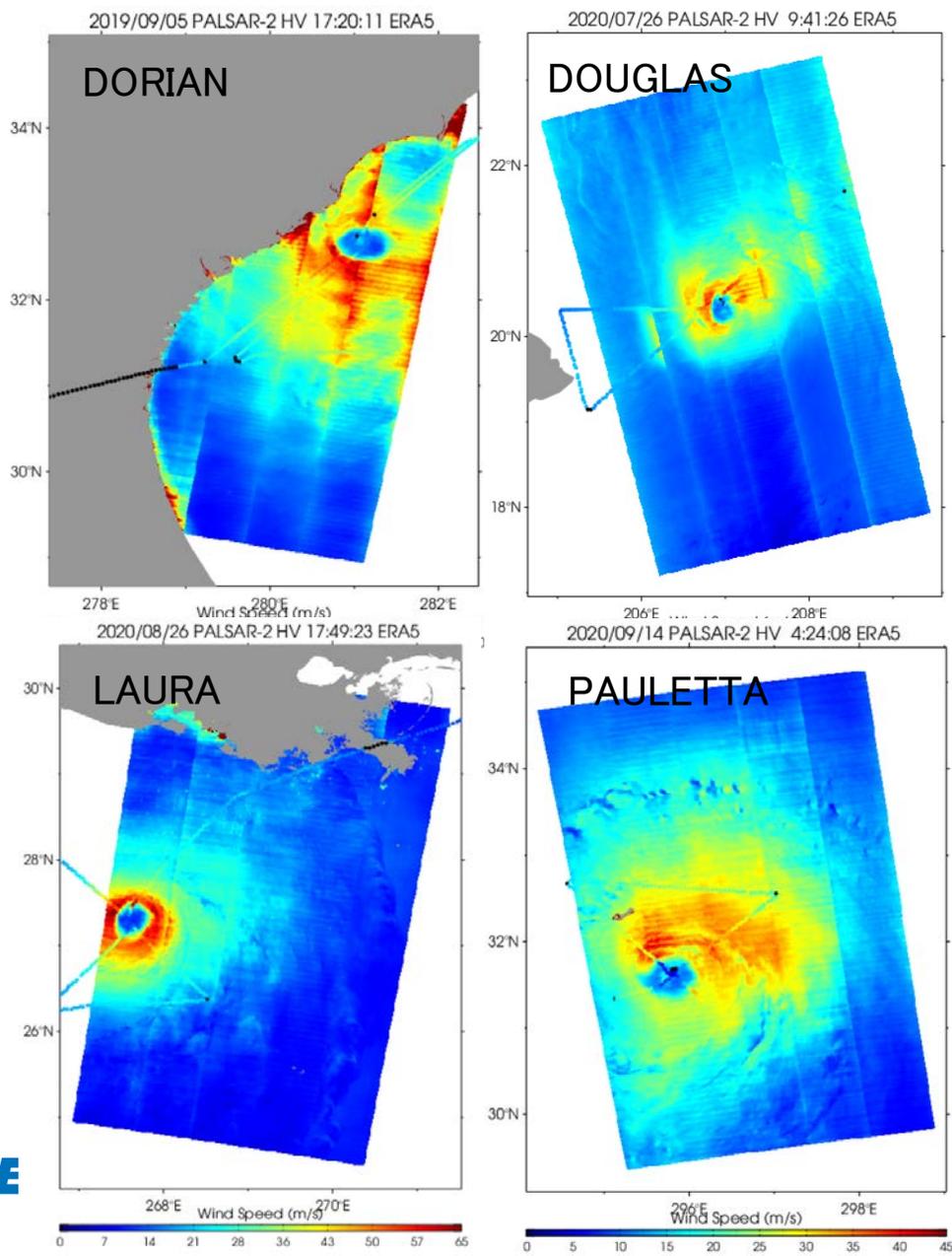
Comparison of surface wind speed of PALSAR-2 HV & SFMR



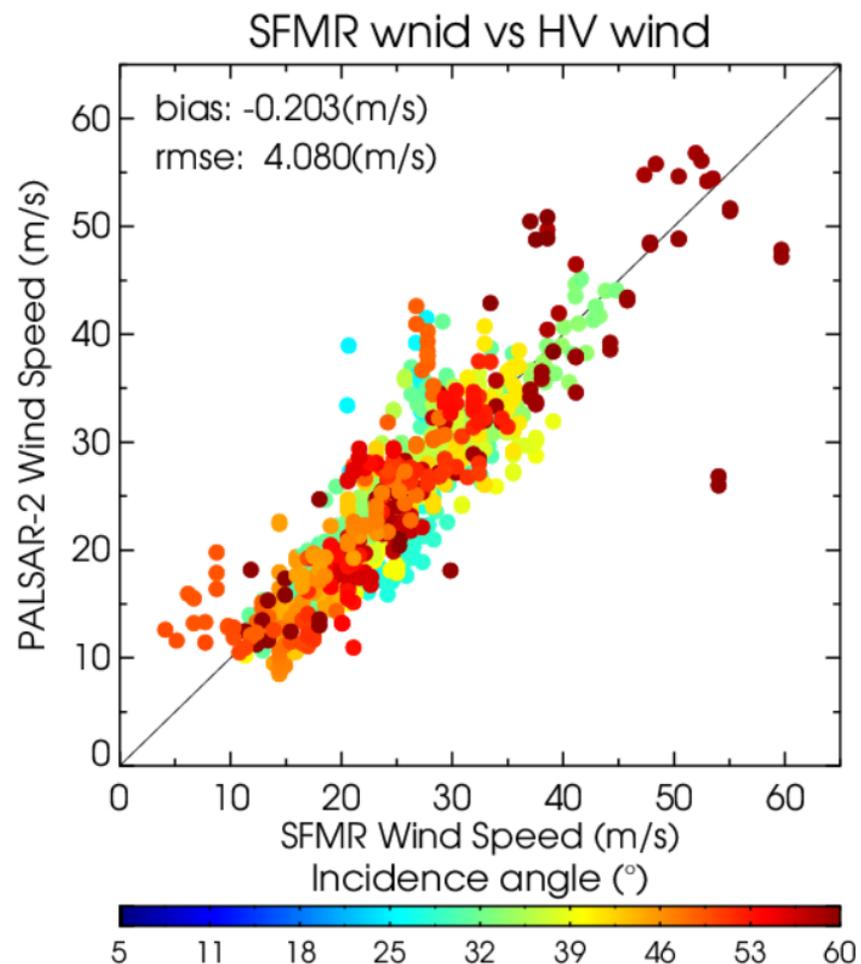
- 最大風速や眼付近での急激な風速変化(約10kmの距離で15m/sから65m/sに50m/s風速が増加)を含む詳細な変動パターンが捉えられている。

# 4. ハリケーンの上風推定-検証

同期観測4ケースの風速分布算出および比較



SFMR海上風とPALSAR-2による推定海上風の比較



おおよそ風速55m/s以上まで検出可能

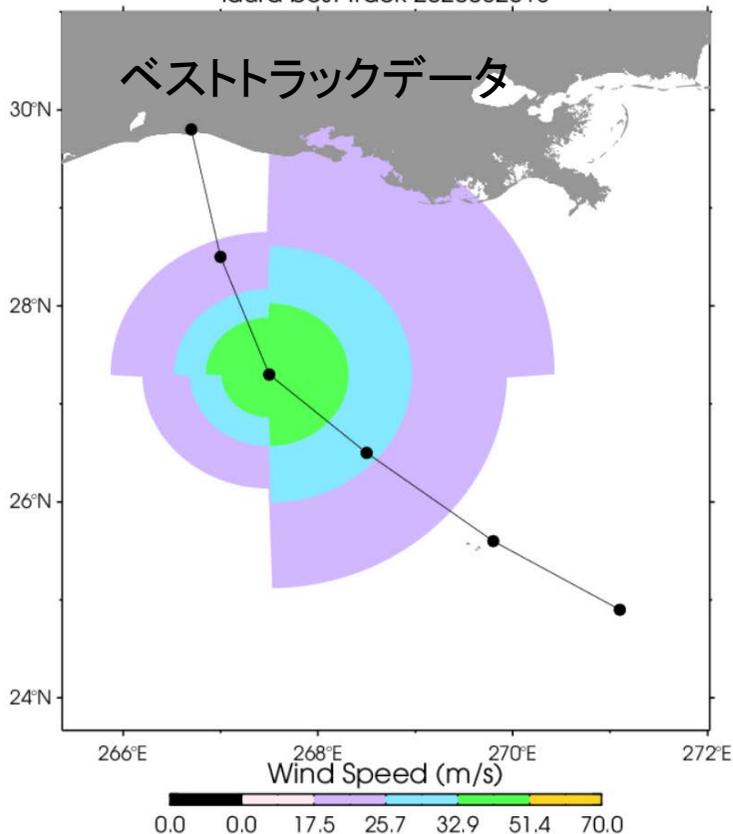
課題

DORIAN: 地上レーダーの干渉波と思われるノイズ

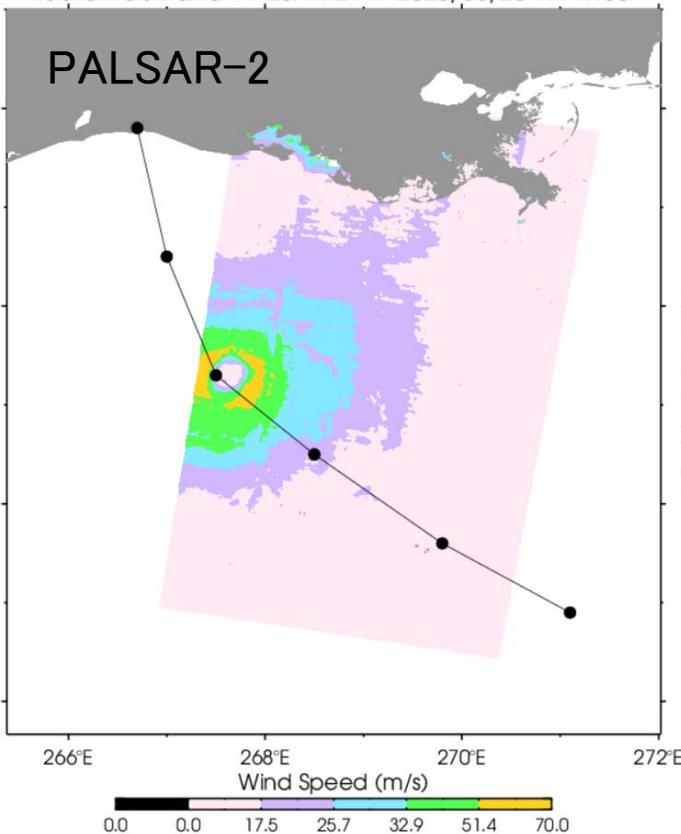
# 4. ハリケーンの上風推定-風速の空間構造の比較

ベストトラックデータの3レベル(34Knot: 熱帯低気圧風速, 50Knot, 64Knot: ハリケーン風速)の風速半径との比較

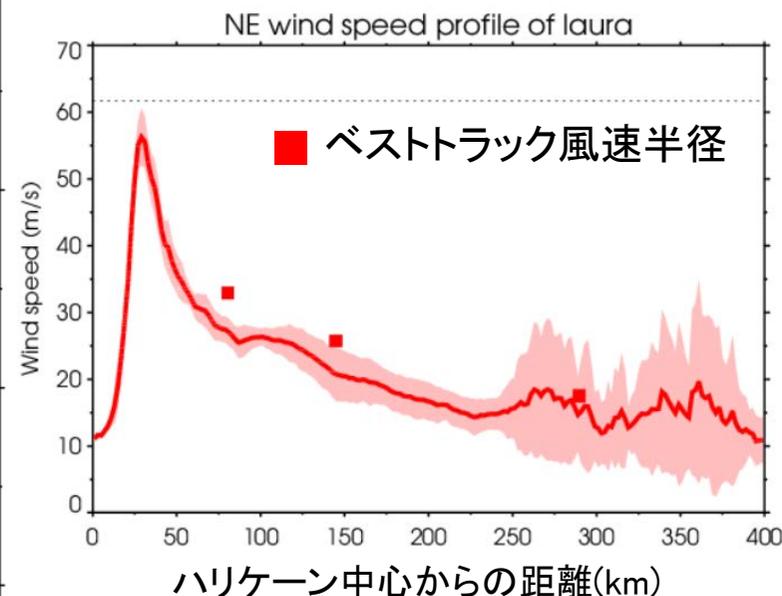
laura best track 2020082618



laura track and PALSAR-2 HV 2020/08/26 17:49:00



北東象限での中心からの距離に対する風速分布



衛星画像、天気図、利用できる観測データ等から現況の台風諸元(中心位置、最大風速、暴風域、強風域)をベストトラックデータとして算出。

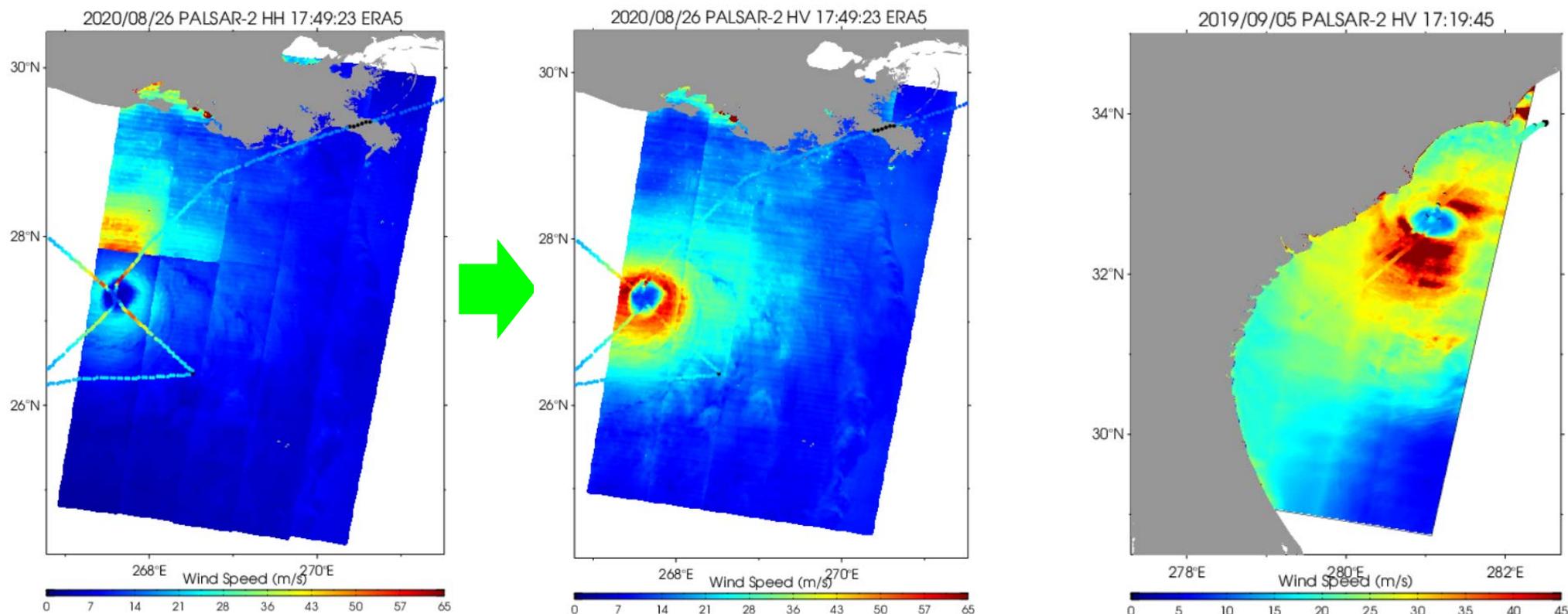
北東象限で強風域が広い傾向がベストトラックと一致  
 検証を重ねることにより詳細な暴風域、強風域の提供が可能に

## 5. 今後の計画

### ■ 現業利用に向けた(耐えうる)風速検出の高精度化

#### ■ ラジオメトリック(輝度)補正の高精度化

#### ■ ノイズパターンの除去・低減



■ 衛星からの情報抽出には**校正・検証**による品質保証が重要であり、校正・検証技術を活用した**データ品質の高精度化**がより高付加価値情報検出に繋がる

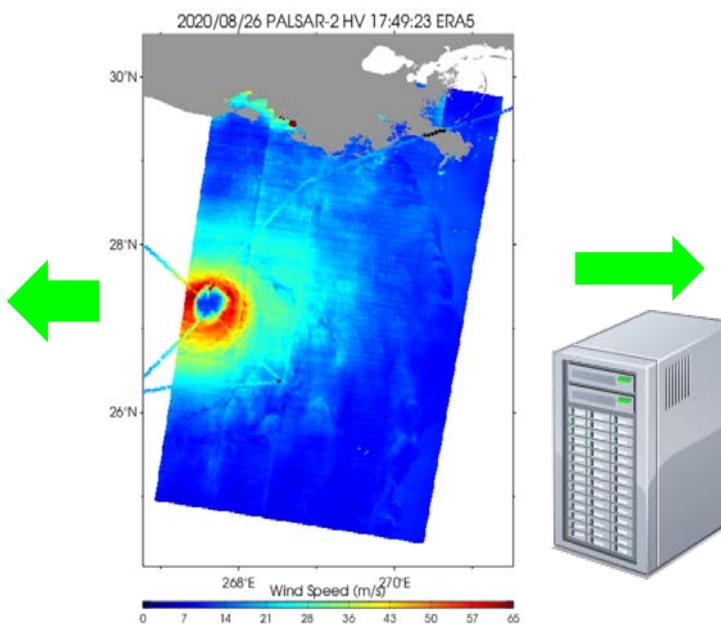
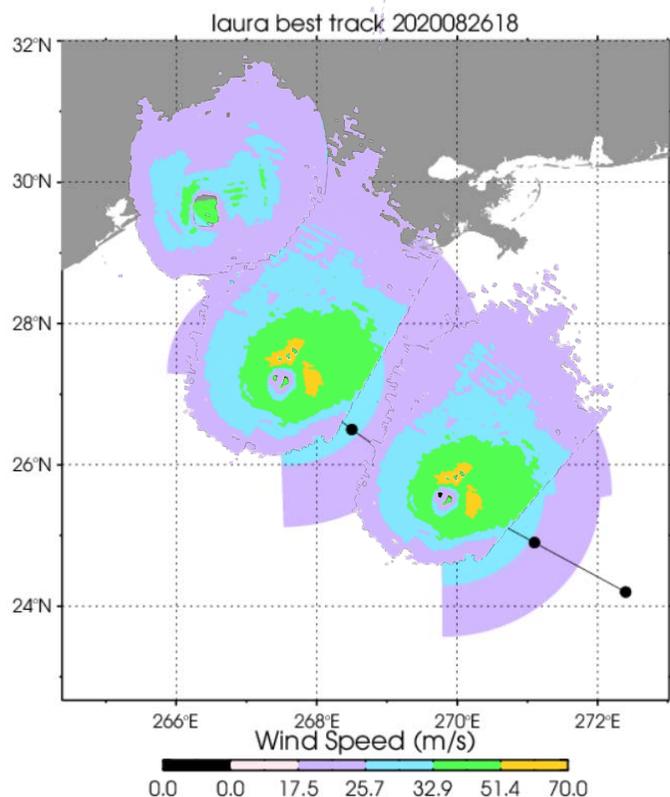
■ 今後、**小型衛星**等で飛躍的に増える衛星データからの情報抽出に対しても適用可能

# 5. 今後の計画

## JAXA-気象研連携協力 SAR検出海上風の気象業務への活用

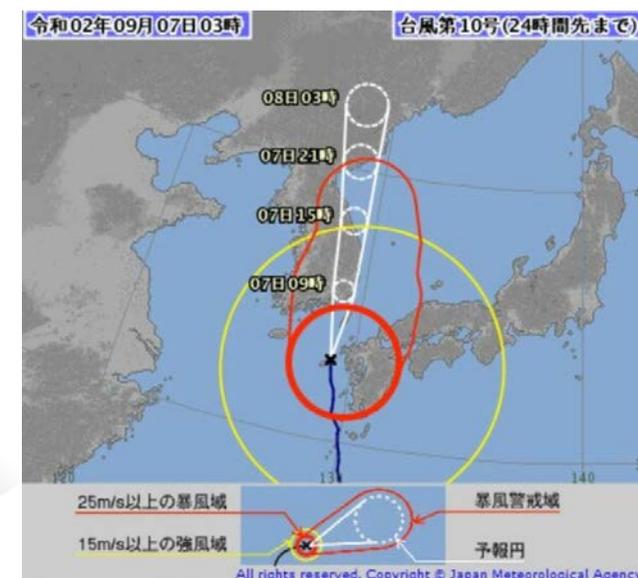
	アーカイブデータ	リアルタイム観測
現況: 強度推定	<ul style="list-style-type: none"> <li>衛星の雲パターンから風速分布を推定する手法の開発</li> <li>ベストトラックの精度検証</li> <li>静止衛星からの大気追跡風の精度検証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>進路予報に基づいた観測方法の確率</li> <li>実況監視</li> </ul>
予測: 強度予測	<ul style="list-style-type: none"> <li>数値モデルの検証(台風の風速分布、眼の大きさ等)</li> <li>数値モデル予報を適切に補正する(ガイダンス)手法の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>データ同化を通じた数値予報への活用</li> </ul>

### 現況推定



NASA Earth Observatory story A Dangerous Storm Nears the Gulf Coast(<https://visibleearth.nasa.gov/images/147169/a-dangerous-storm-nears-the-gulf-coast/147178w>)より引用

### データ同化を通じた数値予報



台風10号の現在位置と進路予想図=2020年9月7日午前3時45分発表(気象庁HP引用)



***RESTEC***  
Sense your Earth