

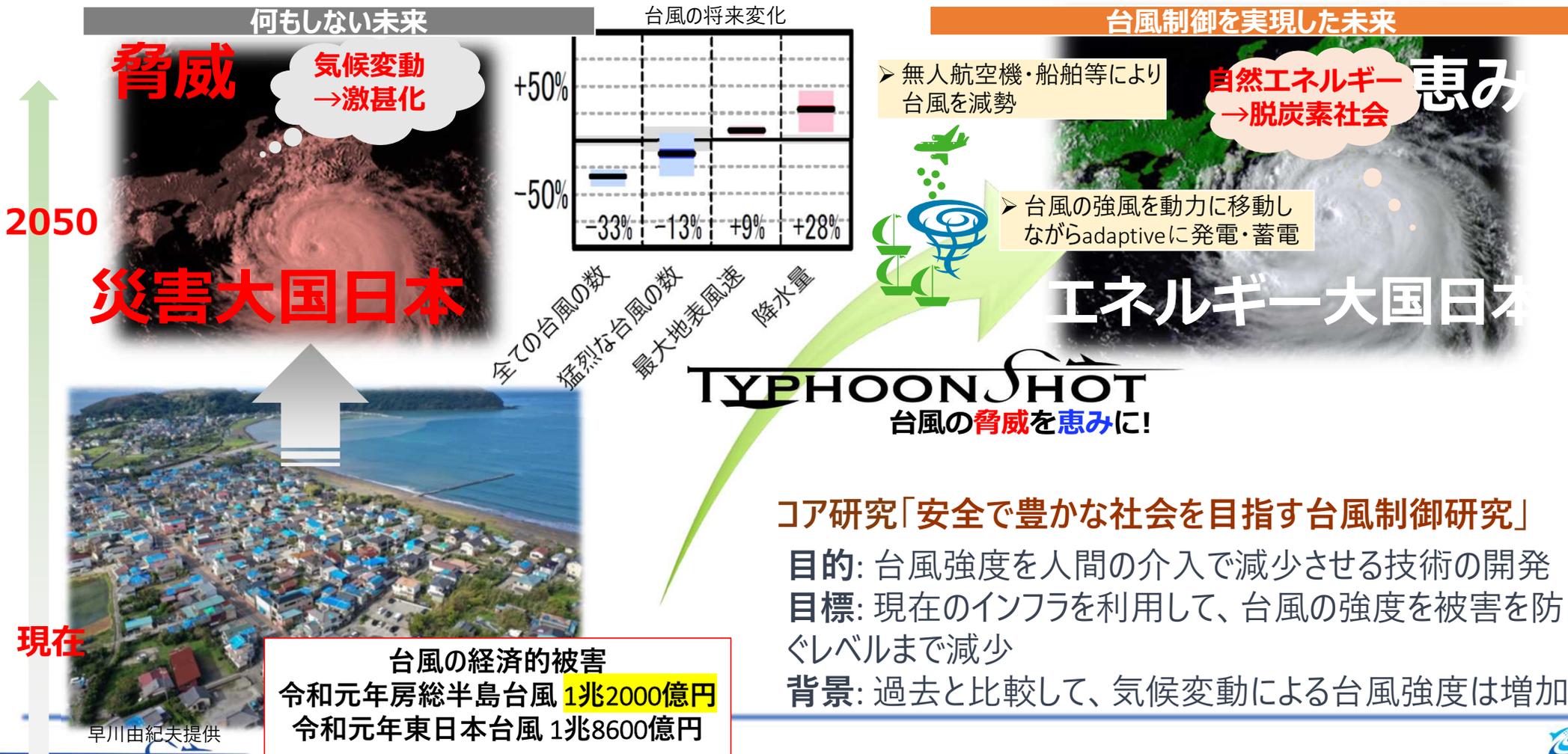
ムーンショット目標 8  
2050年までに、激甚化しつつある台風や豪雨を制御し  
極端風水害の脅威から解放された安全安心な社会を実現

研究開発プロジェクト コア研究  
安全で豊かな社会を目指す台風制御研究

プロジェクトマネージャー 筆保弘徳  
横浜国立大学 台風科学技術研究センター

【本研究の背景・目的】 2050年までに、台風制御技術により台風は人類にとっての脅威ではなくなり、安全で豊かな社会を実現

Provided by Yoshida et al. (2017)



コア研究「安全で豊かな社会を目指す台風制御研究」

目的: 台風強度を人間の介入で減少させる技術の開発

目標: 現在のインフラを利用して、台風の強度を被害を防ぐレベルまで減少

背景: 過去と比較して、気候変動による台風強度は増加

# 【チーム体制】 気象学的アプローチに重点をおきつつ、工学的アプローチと影響評価チーム、ELSIチームにより、現実的な介入方法も検討する

## 気象学的アプローチ

- 台風制御理論の確立
- 高精度予測モデルの開発
- 人為的な台風制御方法の定量的検証
- 室内実験によるMicrophysics
- 衛星観測データを用いた台風の物理的診断
- データ同化システムを用いた改変影響
- 船舶を用いた継続的シームレス観測 (予定)
- 航空機観測を用いたシームレス観測 (予定)

## 数理研究

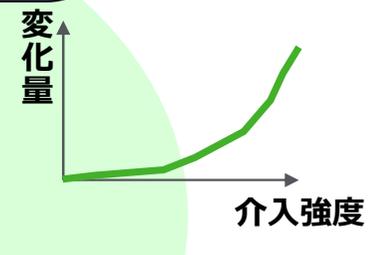
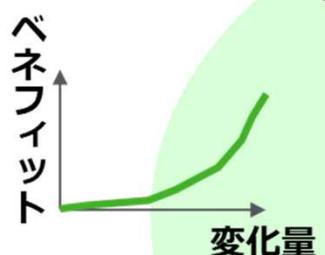


北海道大 京都大 Ryukyu Univ. JAMSTEC

各介入手法をインプット

**ELSI (倫理的・法的・社会的課題)**

- 台風制御に関わるELSIの分析と検討



## 工学的アプローチ

- 物質散布等の大気側制御 (予定)
- 船舶を利用した台風制御研究
- 海洋構造物を利用した台風制御
- 海面活性剤で蒸発抑制

影響評価に適した変化量の指標を提案

## 影響評価

- 台風制御による被害軽減の推計
- 台風水災害影響評価モデルの開発
- 被害軽減効果の社会的影響の分析
- 台風変化の地球規模の影響

**コスト**

横浜国大

- ELSI/RRI検討項目を更新・確定、各研究開発課題にフィードバック
- 2050年までのロードマップとアクションプランを確定

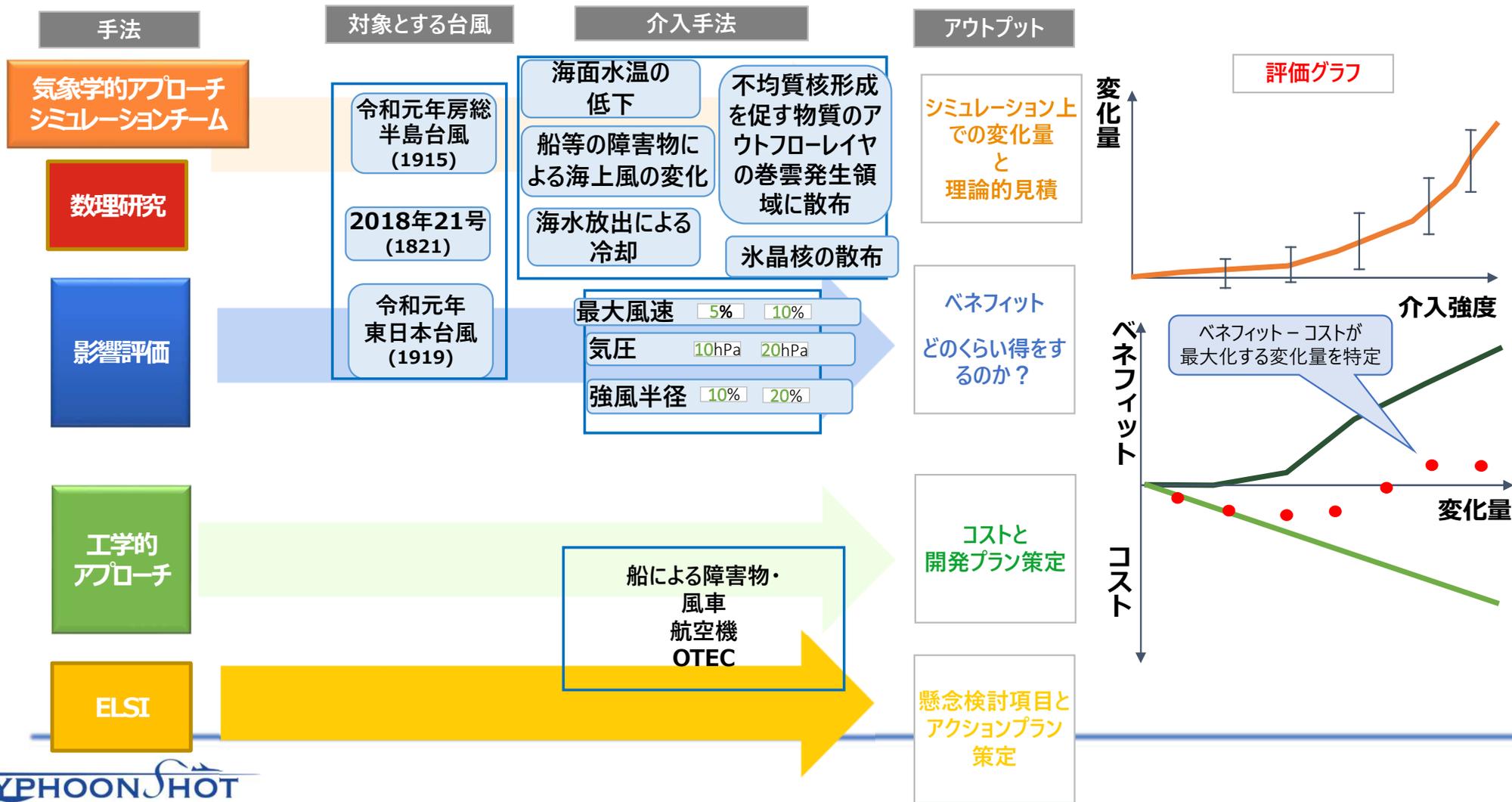


京都大 東京大 JAMSTEC 東京海上研究所

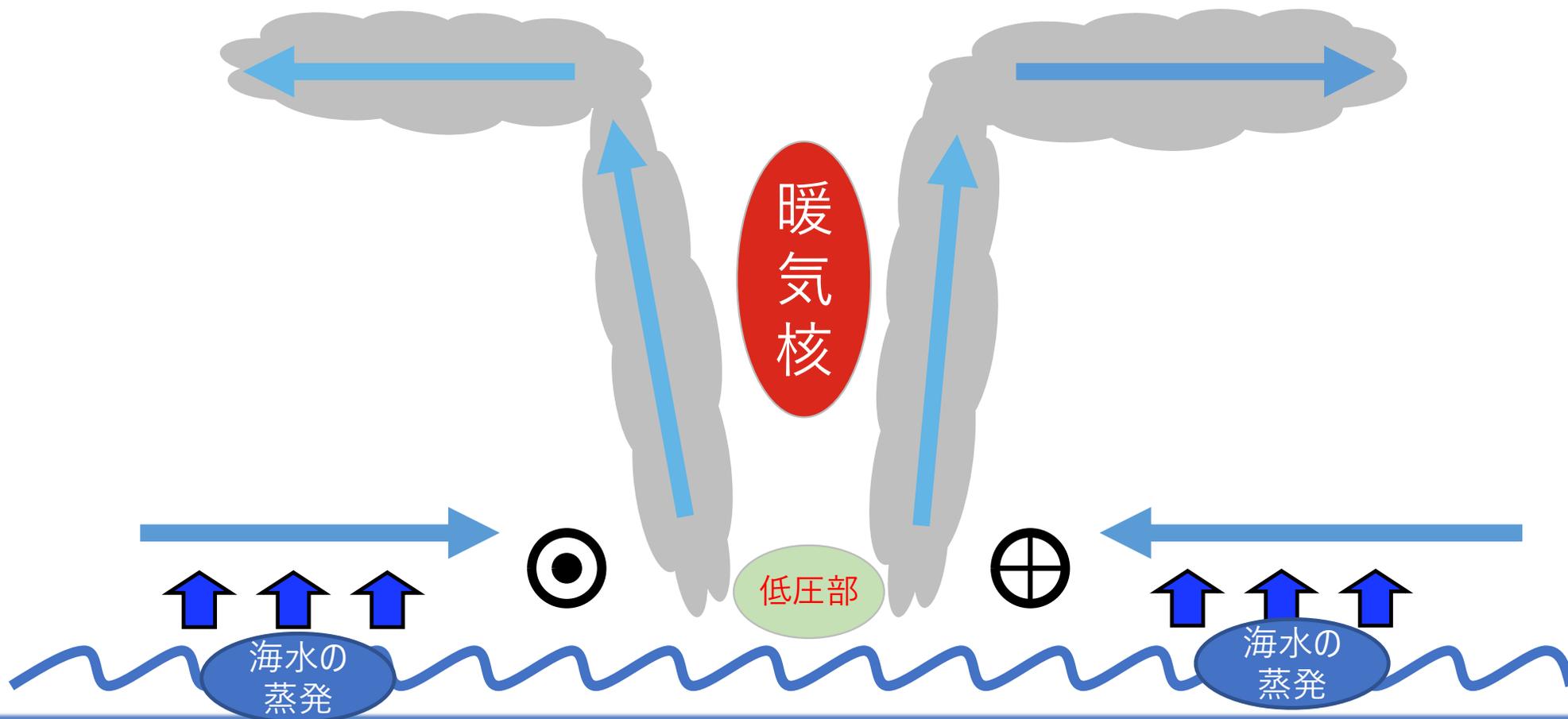


横浜国大

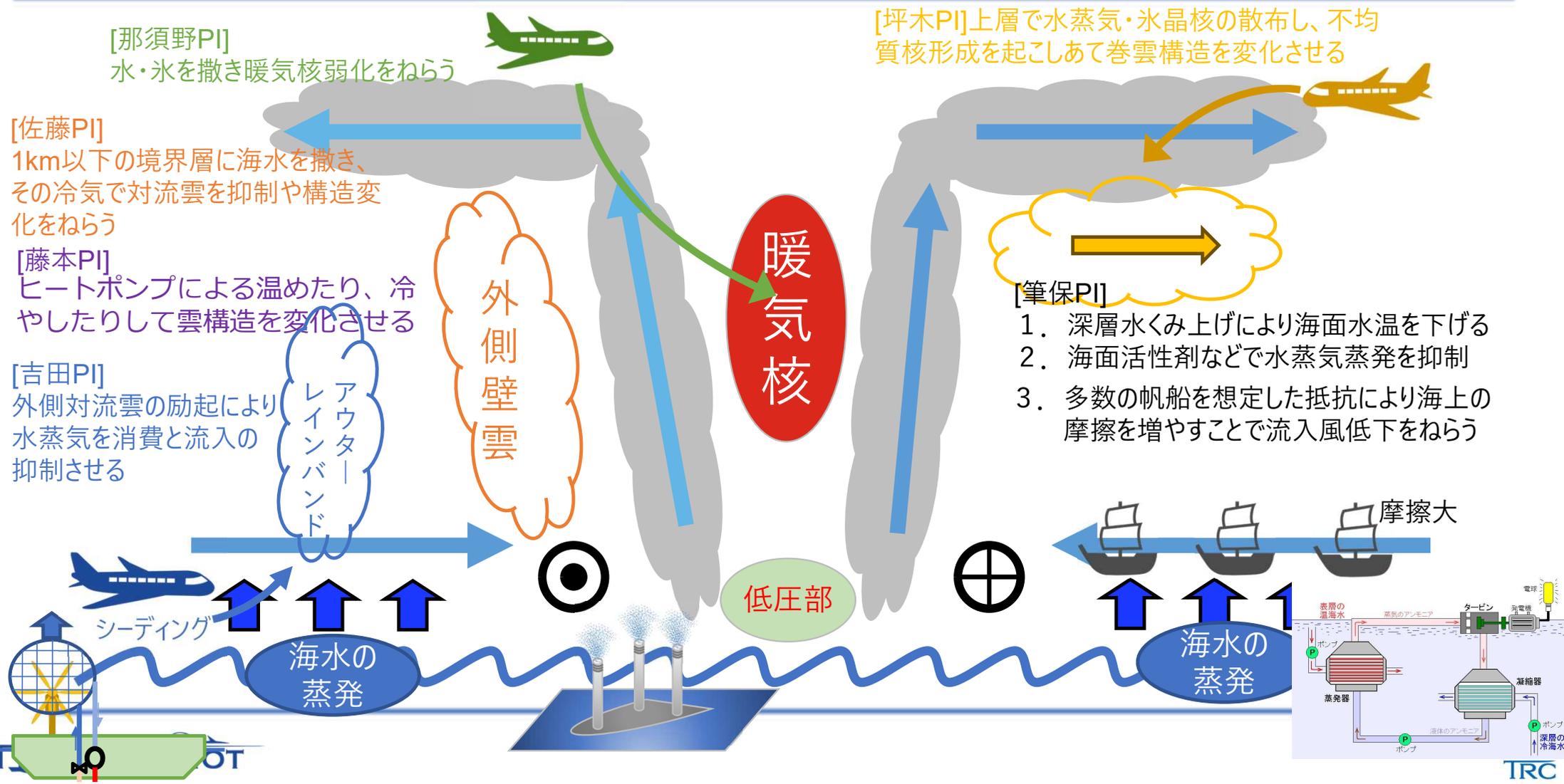
# 【研究戦略】 それぞれのアプローチの結果を待つシリアルな進め方ではなく、共通の前提を置いた上で、各アプローチがコンカレントに進めていく



【台風発達メカニズム】 海上の内向き風による蒸発促進と水蒸気の流入、雲形成による暖気核、低圧部が深まることで内向き風の強化する



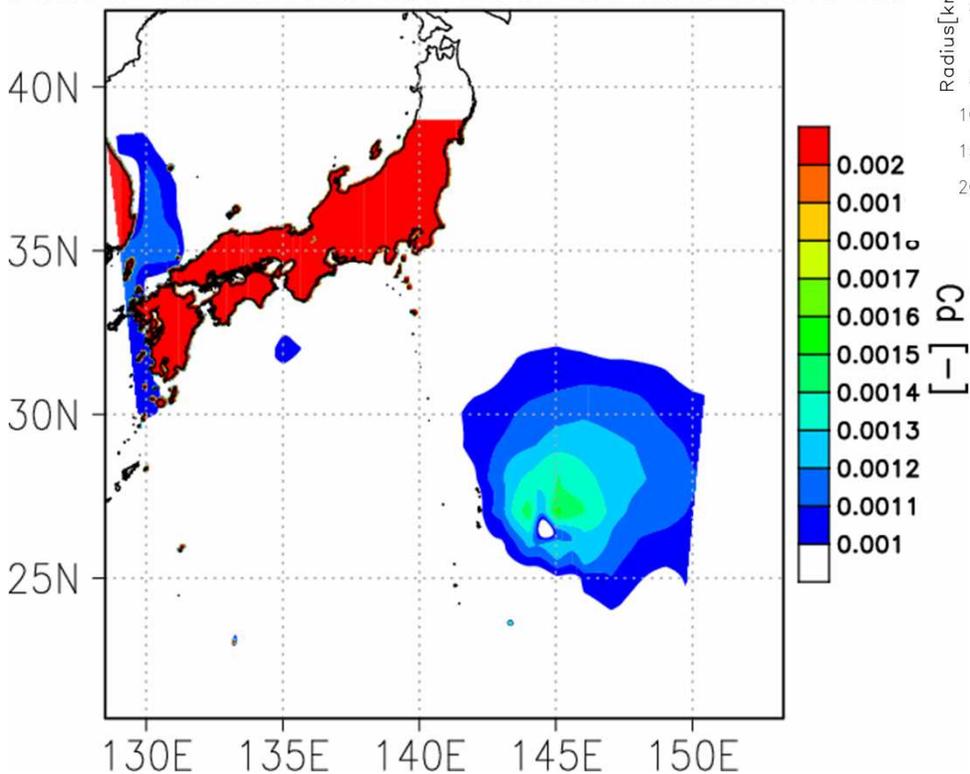
# 【介入方法案】 数値シミュレーションにより、現実に行える介入方法で台風の発達メカニズムを遮断する



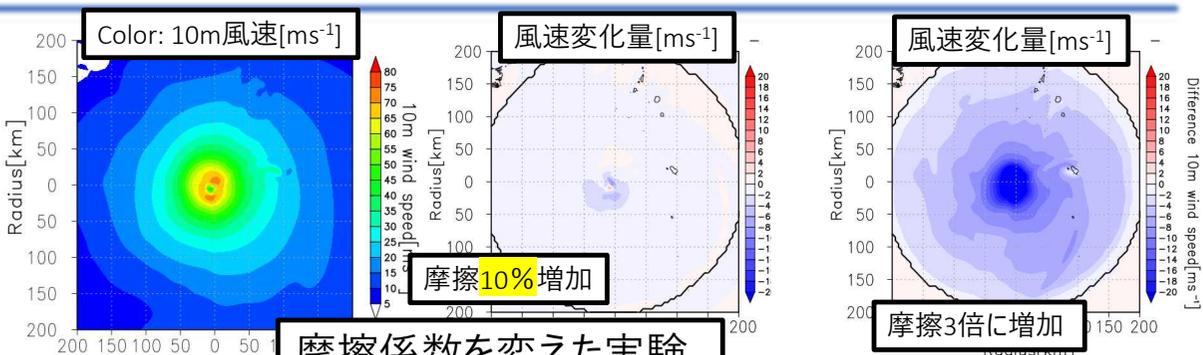
# 【気象学的アプローチ】 海面摩擦を上昇させた制御シミュレーション 摩擦10%増加でも風速は～5 m/s低下がみられる

**$C_D$ 3倍, R200km, FT12-72**

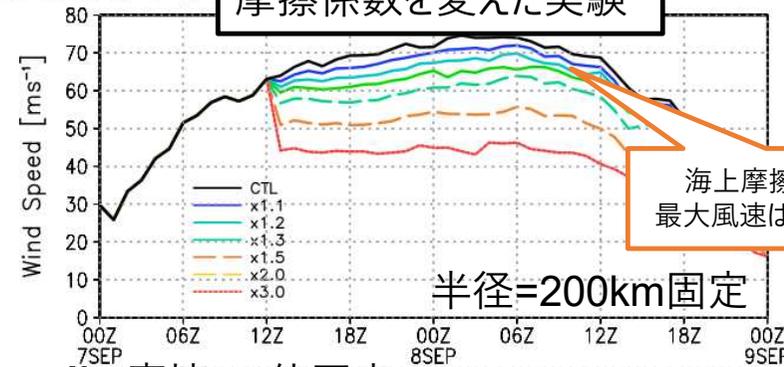
FT000 Valid:00Z07SEP2019 Init:00Z07SEP20



Color:  $C_D$ [-] Contour:  $C_D$ 変更領域



摩擦係数を変えた実験



$C_D$ の変更により台風付近の風速が低下した。

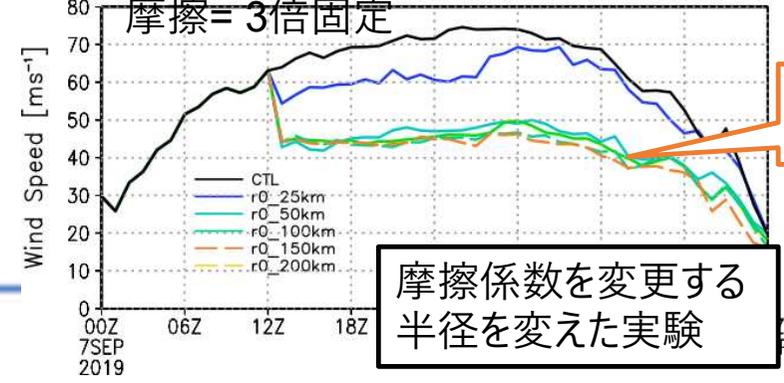
海上摩擦を10%増  
最大風速は～5m/s低下

減少が大きい(1.1)  
摩擦が増えれば気圧上昇も起きる。

摩擦係数を大きくするほど、減勢効果は高くなる。

気圧は摩擦係数を変更してから応答するまでに1時間ほど。

半径50kmで  
減勢効果は頭打ち



摩擦係数を変更する  
半径を変えた実験

# 【理論的なオーダーエスティメイト】 摩擦増加量と勢力低下量のオーダーを見積もる 摩擦を10%増加させるのに100km四方で双胴船200隻が必要となる

## ■ 台風最大強度の理論から、海上摩擦増加と台風減勢力を見積もる

### ✓ 台風最大強度理論 (Emanuel 1988)

$$|v_m|^2 = \frac{C_k}{C_d} \frac{T_s - T_o}{T_s} (k_s^* - k) \quad |v_m| \text{ 台風の最大風速}$$

$$C_d \text{ 地表面摩擦}$$

### ✓ 地表面摩擦を増加

多数の帆船が大気に与える抵抗増加となる

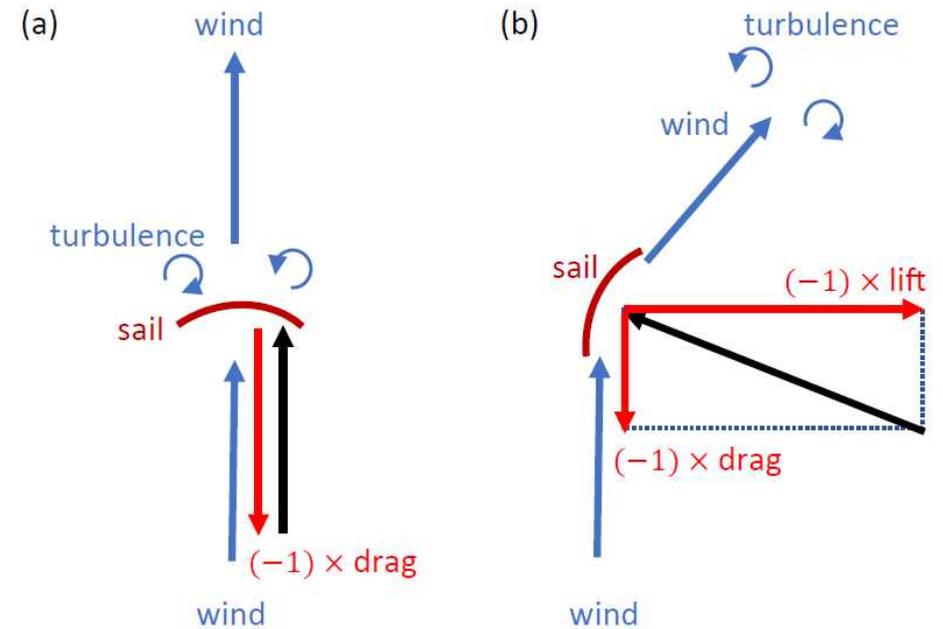
単位底面積当たりの帆の面積がキーパラメタ。

$C_d$  (摩擦) の変化に換算できる。

現在考えられている**双胴船200隻**を100 km四方の海域に展開すると **$C_d$  (摩擦) 10%増**

### ✓ 台風理論では **$C_d$ 10%増 > 勢力10%減**

### ✓ 海洋への影響評価や揚力効果の定量化も必要



論文：Horinouchi & Mitsuyuki (2023) “Gross Assessment of the Dynamical Impact of Numerous Power-Generating Sailing Ships on the Atmosphere and Evaluation of the Impact on Tropical Cyclones”, SOLA, <https://doi.org/10.2151/sola.2023-008>

# 【工学的アプローチ】 既存の船のスペックを想定して、台風介入船のコストを見積もる 3パターンの台風介入船で検討すると、発電は必須となる

- 前提条件**
- 「The Sailing Hydrogen Generator」のスペックとほぼ同様の台風介入船を想定
  - 評価グラフにおける横軸として硬翼帆の面積を採用 (16枚/隻で 25,600m<sup>2</sup>)

**3パターンの台風介入船で検討**

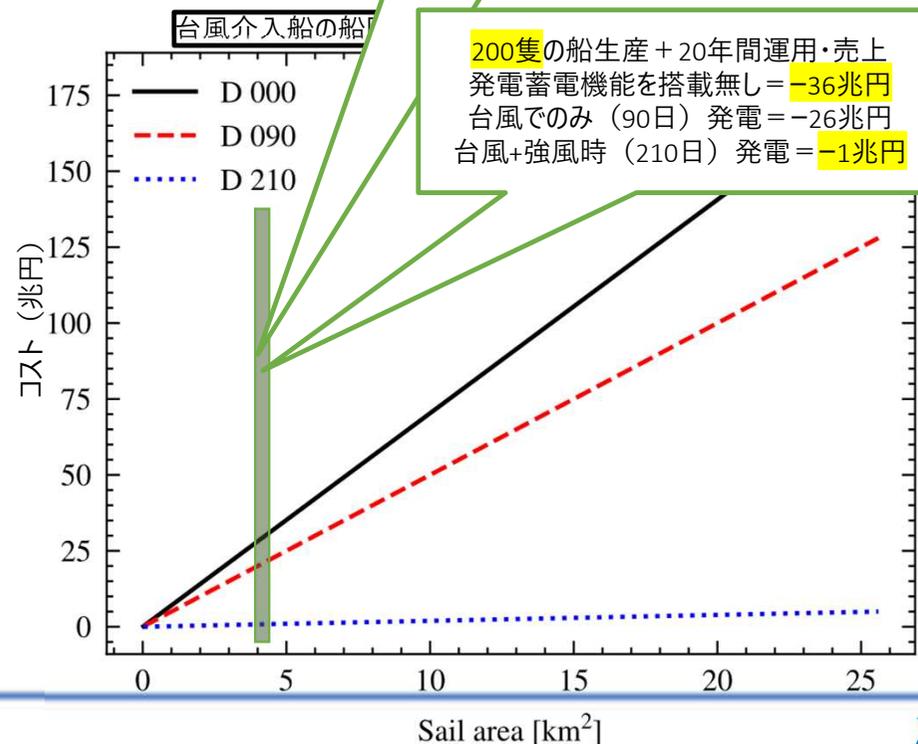
- D 210 : 台風+強風で発電 (210日間発電)
- D 090 : 台風でのみ発電 (90日間発電)  
単なる強風では発電しない
- D 000 : 発電蓄電機能を搭載しない

- 台風介入船は無人化自動運航システム費用 = 10兆円 (自)
- 発電 & 蓄電機能ありの場合、200隻の船生産 + 20年間運用・売上  
での水素製造期間は90日、常として積算

Horinouchi & Mitsuyuki(2023)をベースに、  
台風中心付近の100 km四方に展開して  
台風強度1割減となりそうな帆の総面積  
(200隻弱程度の導入)

台風介入船 1隻あたりの費用想定 (単位：億円)

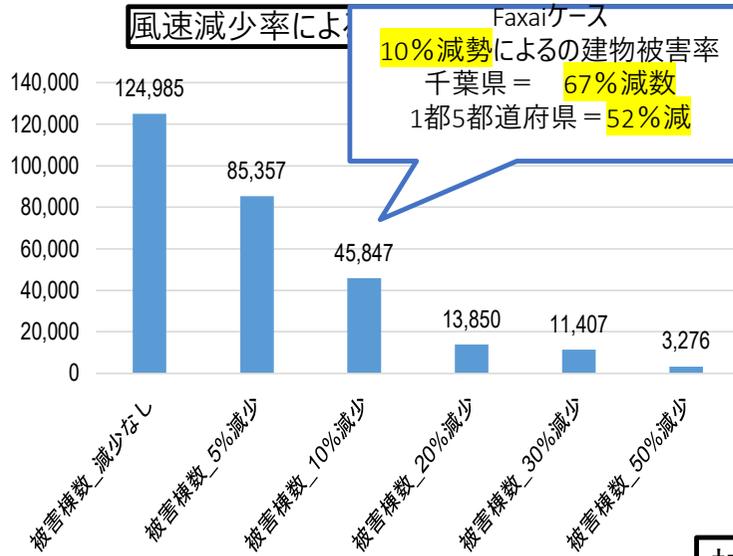
	D 210 台風+強風発電	D 090 台風発電	D 000 発電なし
<b>費用</b>	220	220	180
<b>建造費</b>	150	150	100
船体	50	50	50
タービン発電機など	50	50	0
硬翼帆 16枚	50	50	50
<b>運航費(20年)</b>	70	70	70
保守・維持費	30	30	30
船員費	0	0	0
自動運航システム費	40	40	40
<b>売上</b>	215	92	0
水素製造 & 販売(20年)	215	92	0
<b>利益</b>	-5	-128	-180



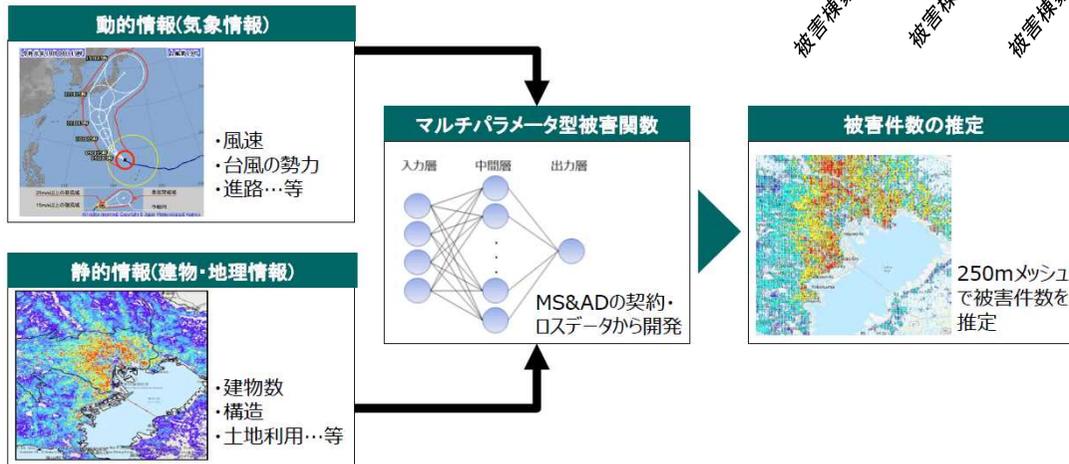
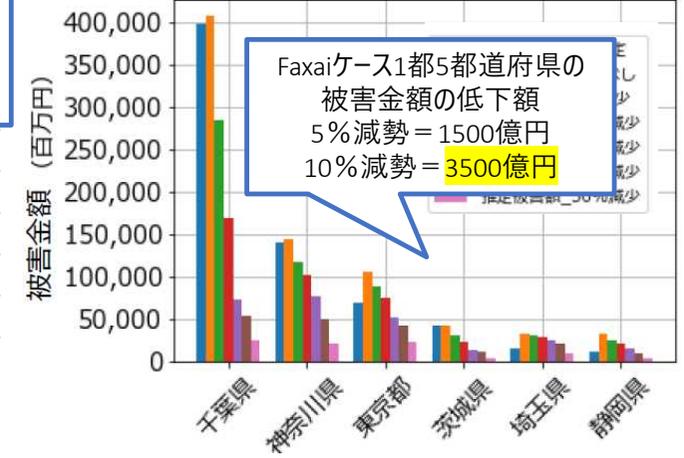
# 【影響評価グループ】 風災被害推定モデルを開発し制御シナリオから被害削減を推定 千葉県における令和元年房総半島台風10%減勢によるの建物被害率は67%減

■ 損保グループの強みである技術力とデータを結集して住家被害推定モデルを開発

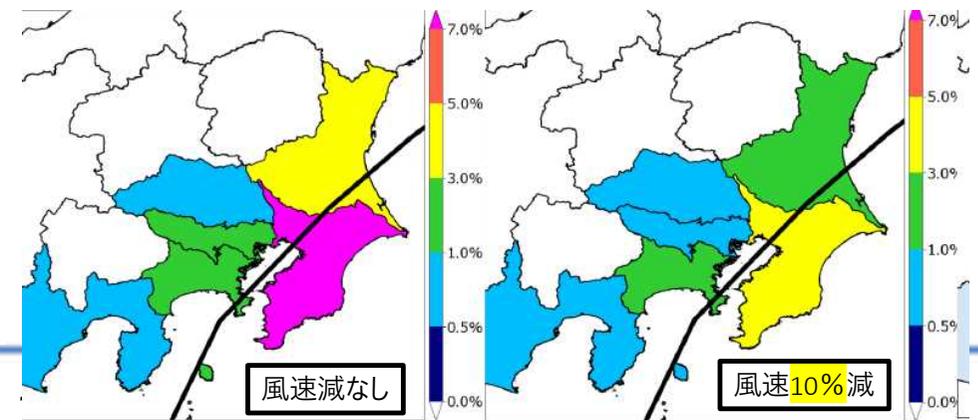
- MS & ADの契約・ロスデータを分析して開発したマルチパラメータ型被害関数を利用
- 独自に開発した250mメッシュの日本全国住宅資産データを利用



## 風速減少率による県別被害金額見積



## 被害率の平面分布

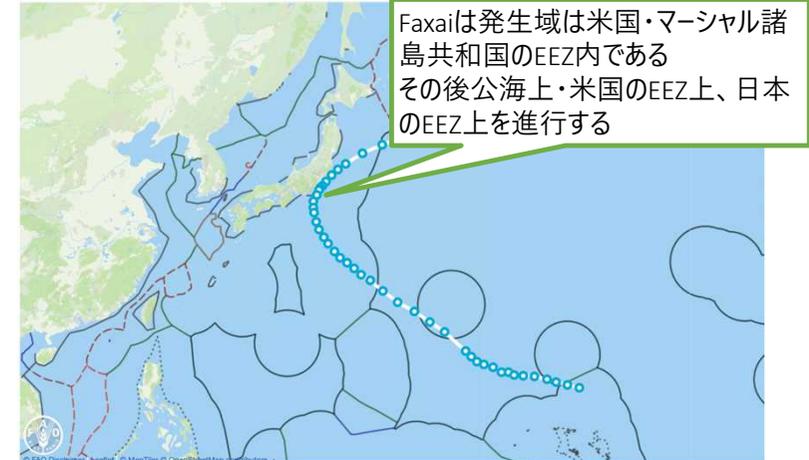
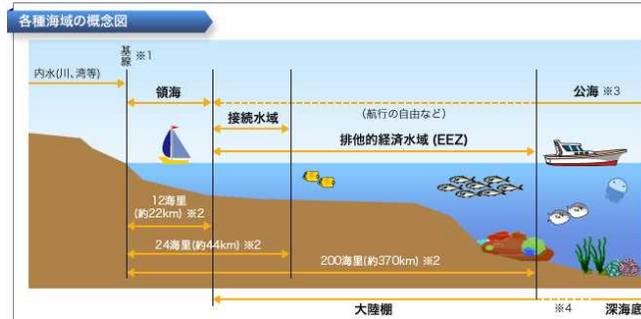


# 【EKSIグループ】 介入手法ごとにELSI論点の洗い出しと体系化を行う 船舶による介入方法には船級協会規則などの規制、国交省ガイドラインに従って実証実験



台風制御を実施すると仮定したら

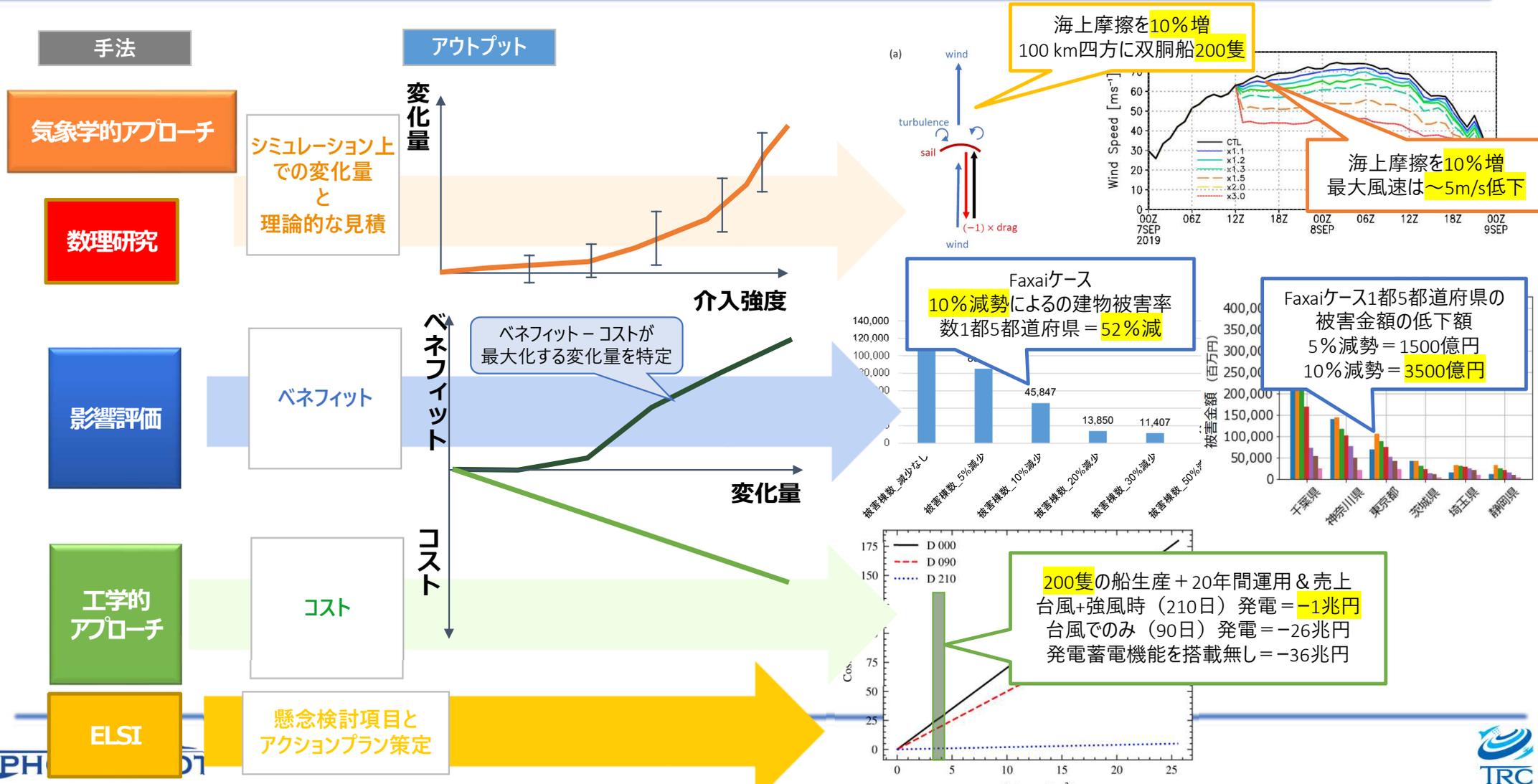
- 懸念すべき事項とは何か？
- 検討すべき課題とは何か？
- 課題解決のあり方にはどのようなものがあるか？
- 必要となる技術レベル・予測精度の基準はどの程度かを明確化する



いつ（発生期／発達期／最盛期）、どこで（眼の壁雲付近／レインバンド）制御を行うのか明らかになると、より精緻な議論が可能となる。

手法	懸念される事項	論点	シナリオ
【手法2】 船舶からの フォーシングによる介入	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 現行法規制との関係</li> <li>• 第三者・環境への影響                             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 環境変化の程度</li> <li>➢ 漁業等の海上活動への影響</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 無人船舶の航行可能性（国際海事機関（IMO）ではMASSコード作成中。ただし、現在のところは、機関部無人までは想定されていない（自動運航≠無人）） →各種規格、船級協会規則などの自主規制、国交省ガイドラインに従って実証実験</li> </ul>	Case2：（中心気圧が基準値を下回った／被害予測が閾値を超えた）台風が（日本の領海／公海／他国の排他的経済水域）上を進行している間に、無人船舶を用いて台風の下層にフォーシング（海水を汲み上げて気化熱を放出する等）を与えて攪乱を起こすことにより、台風を弱体化させる。

# 【これまでの成果】 介入方法が多数の船舶による海面摩擦増加の場合 台風発電で利益を生みながらならば実現性の道はあるのかも？



# 【まとめ】 今後もコンカレントに研究し、あらゆる角度から台風制御方法を調べて社会が受容可能な台風被害を軽減する介入手法を特定する

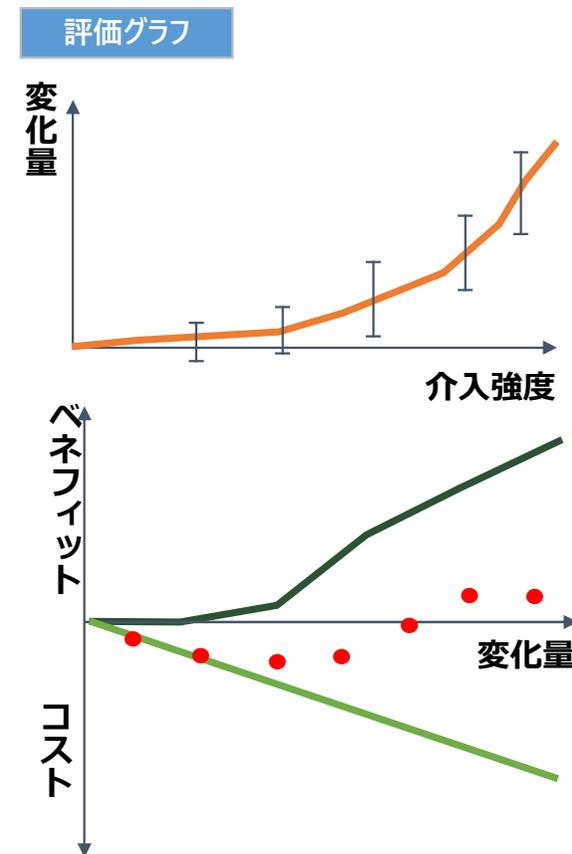
## ■ 研究進捗の概要や主な成果

気象学的アプローチ・数理研究・工学的アプローチ・影響評価グループ・ELSIグループにより、台風制御手法とその効果率、ベネフィット、コスト、オペレーション、実装するまでの課題やシナリオなどを見積もり、実現可能性を調べている。

多数の帆船による海面摩擦増加の場合：数百隻の帆船で海面摩擦10%増加、制御手法では家屋被害は半分になり、台風・強風発電での利益を生みながらならであれば実現性はある

## ■ 今後の予定

台風制御のための介入の有効性をあらゆる角度から調べて、その介入方法別の評価グラフに基づいて、社会が受容可能な程度に台風被害を軽減する、様々な介入手法候補を特定する。





# TYPHOON SHOT

台風の脅威を恵みに!

応援よろしくお願いします

