

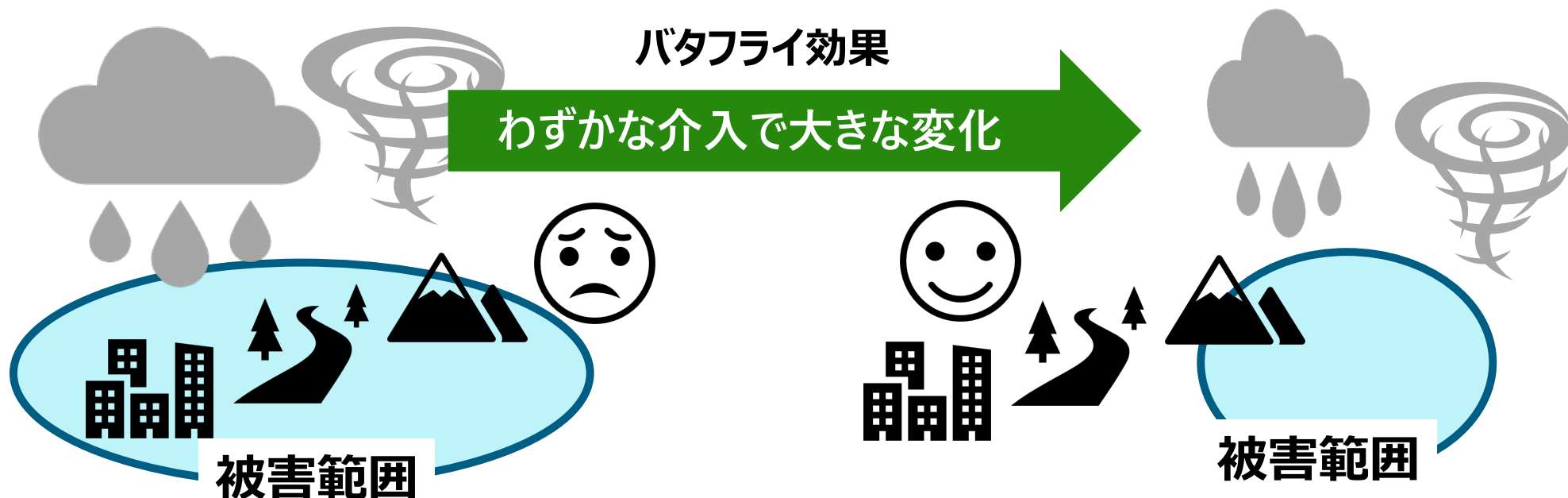
目標候補名：

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

**発表者：筆保弘徳（横浜国立大学） チームタイフーンショット
三好建正（理化学研究所） 気象制御可能性検討チーム**

目指す社会像・ターゲット

- 2050年までに、激甚化しつつある台風・豪雨の強度・タイミング・発生範囲などを変化させる制御によって極端風水害による被害を大幅に軽減し、我が国及び国際社会に幅広く便益を得る。
- 2030年までに、現実的な操作を前提とした台風や豪雨の制御によって被害を軽減することが可能なことを計算機上で実証するとともに、広く社会との対話・協調を図りつつ、操作に関わる屋外実験を開始する。



問題意識

- **地球温暖化**は着実に進み、**台風や豪雨による極端風水害が激甚化・増加**



坪木和久氏提供

- 1998-2017年の全世界での自然災害被害額は2兆2,450億ドル
前20年間の約**2.5**倍。このうち気象災害は**46**%を占める。

保険金支払いの多かった風水害等（2020年3月末）

順位	災害名	支払い保険金
1	平成30年 台風 第21号	1兆678億円
2	令和元年 台風 第19号 (令和元年東日本台風)	5,826億円
3	平成3年 台風 第19号	5,680億円
4	令和元年 台風 第15号 (令和元年房総半島台風)	4,656億円
5	平成16年 台風 第18号	3,874億円
6	平成26年2月雪害	3,224億円
7	平成11年 台風 第18号	3,147億円
8	平成30年 台風 第24号	3,061億円
9	平成30年7月 豪雨	1,956億円
10	平成27年 台風 第15号	1,642億円

出典：「過去の主な風水災等による保険金の支払い」一般社団法人日本損害保険協会ウェブ

なぜ今まで気象制御は実現できなかったか？

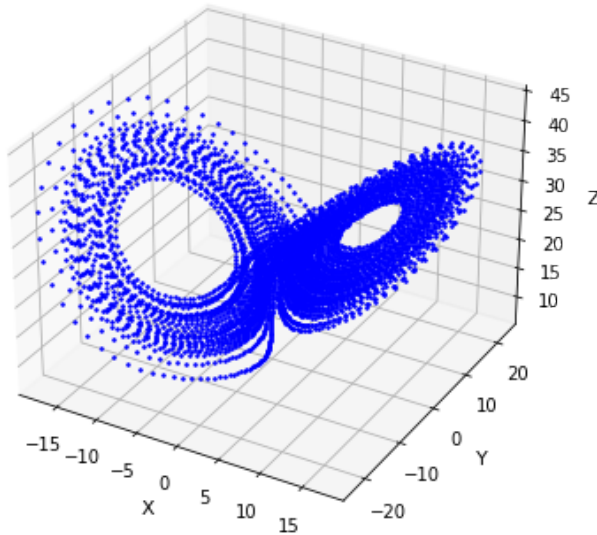
- 雨乞いなどの弱い気象改変は行われてきた。
- 災害レベルのエネルギーを持つ気象現象の制御については、米国のハリケーンを対象にした1960年代の米国STORMFURY計画での事例はあるが、**自然現象と制御効果の切り分け「効果判定」ができず**に断念。その後、成功事例は報告されていない。
- 気象制御理論が確立されていない。

なぜ今ならできる可能性があるのか？

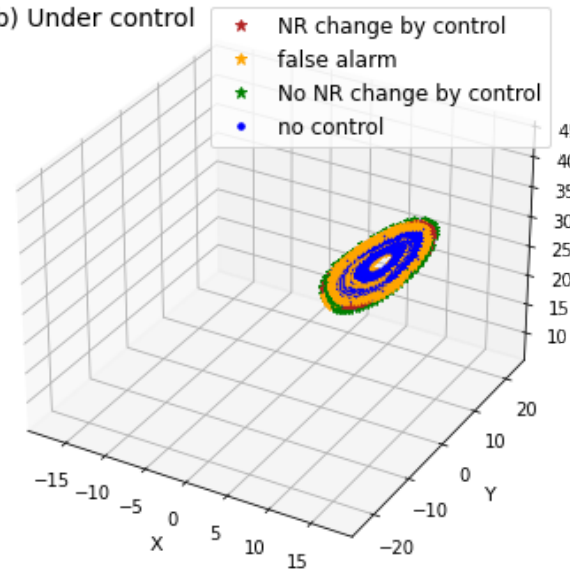
- 観測技術・気象モデル・データ同化・スパコン分野のそれぞれで技術・性能が大幅に向上
- シミュレーション技術により**自然現象と制御効果を切り分けて評価検討できる。**
- ミレニア・プログラムにおいて、**制御の可能性**が見えてきた。

ミレニアプログラムにおける制御可能性検討（例：ローレンツモデル）

(a) No control



(b) Under control



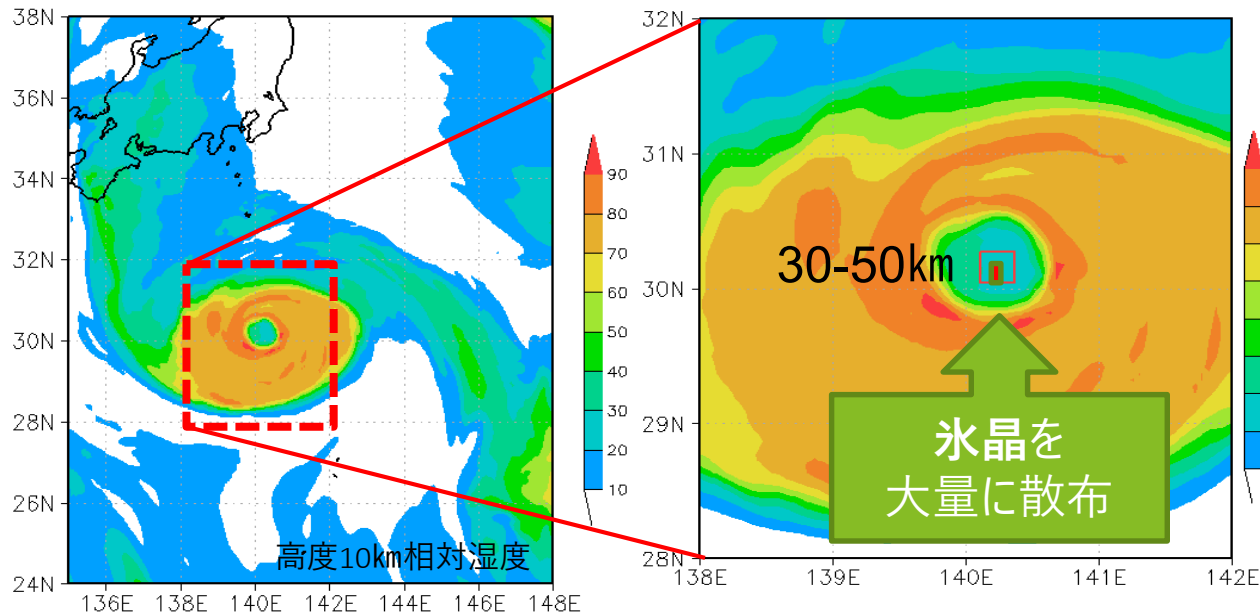
The Lorenz-63 model

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= -px + py \\ \frac{dy}{dt} &= -xz + rx - y \\ \frac{dz}{dt} &= xy - bz\end{aligned}$$

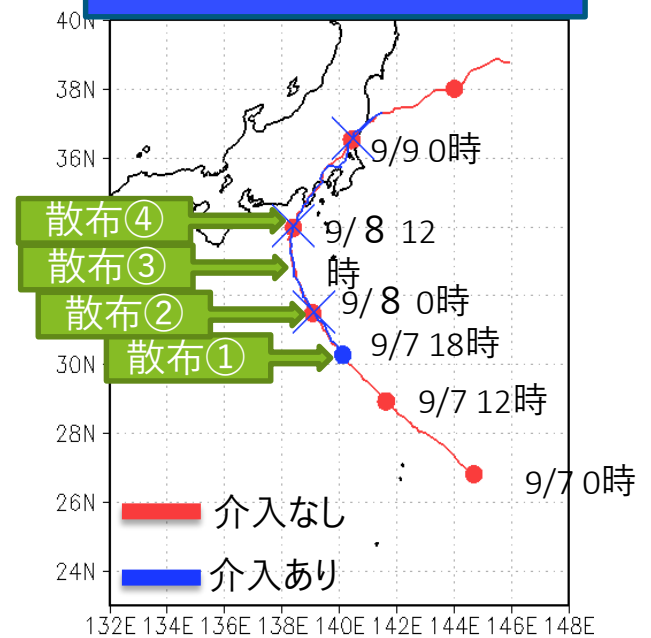
$$p = 10, r = 28, b = 8/3$$

Miyoshi, T. and Sun, Q.: Control Simulation Experiment with the Lorenz's Butterfly Attractor, Nonlin. Processes Geophys. Discuss. [preprint], <https://doi.org/10.5194/npg-2021-24>, in review, 2021.

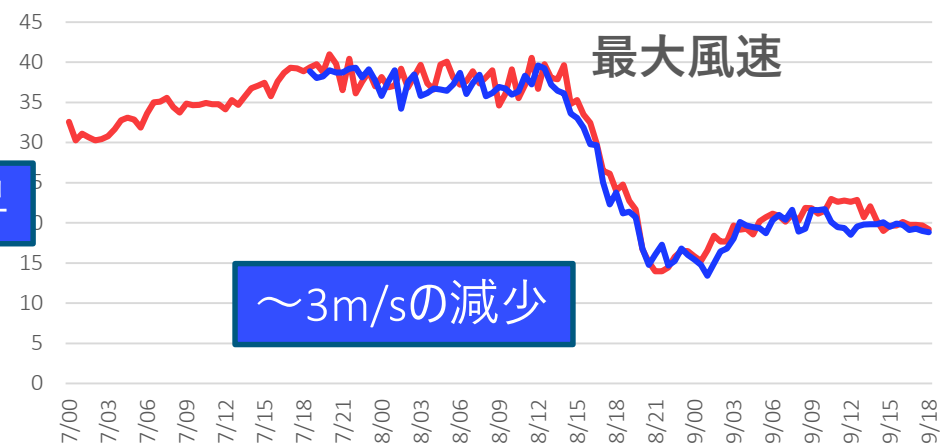
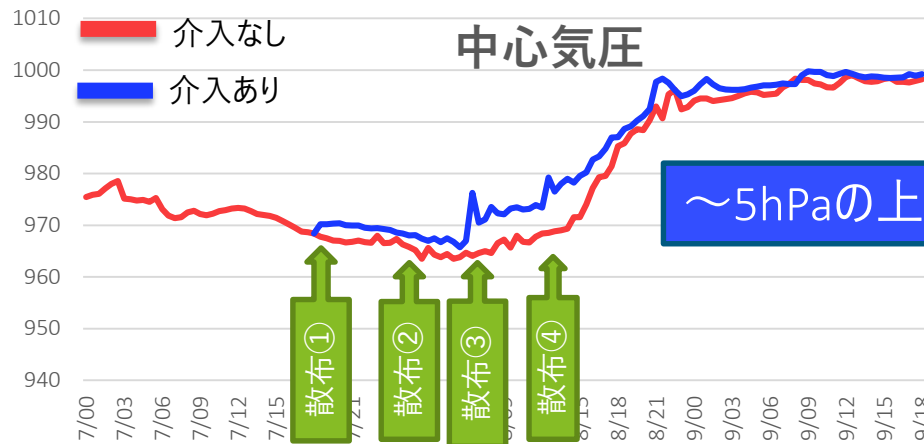
令和元年房総半島台風への人為的介入シミュレーション



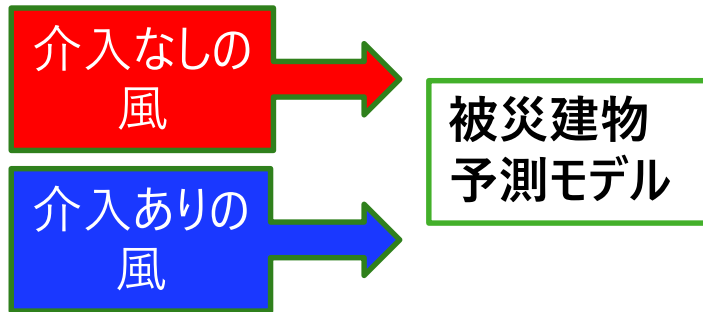
進路はまったく変わらない



自然現象と制御効果を切り分けて評価検討

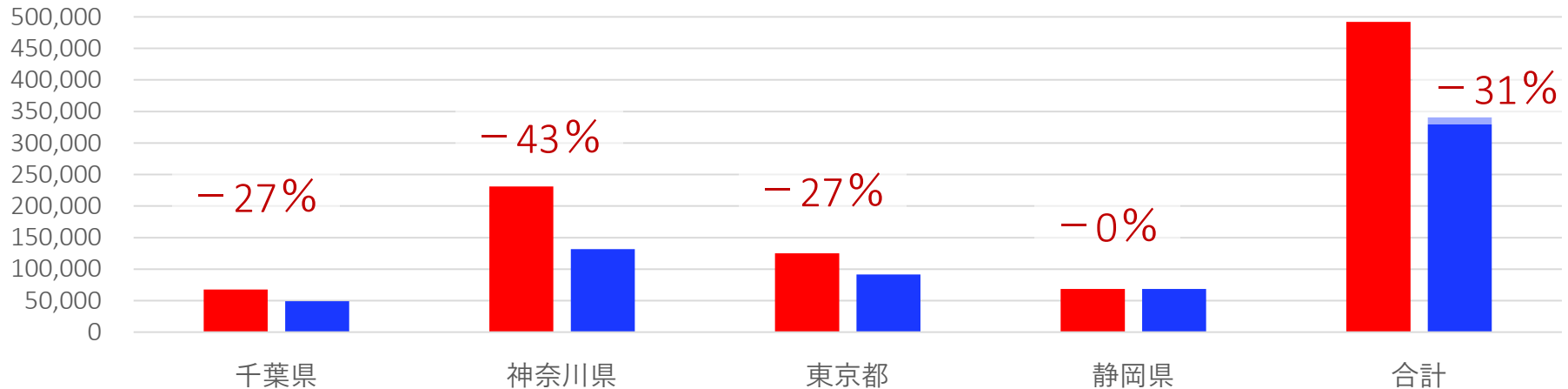


台風への人為的介入による社会的影響評価



経済損失 **1兆2000億円**
半分 が建物被害とすれば、
その**30%**の**1800億円**が軽減

被災建物予測数 ■ 制御なし ■ 制御あり



(エーオンジャパン株式会社協力)

①シミュレーションによる効果判定が可能となった

②被害規模や社会的影響の見積もりまで可能となった

③風速の低下が小さくても、暴風災害は大きく軽減される

ムーンショット型研究開発事業で推進すべき主な研究開発課題と進め方

- ・台風・豪雨等の気象現象の精緻な把握

課題：さらなる**現象の正確な理解**が必要。

→フェーズドアレイレーダーや台風の直接観測等、我が国の気象観測技術は世界最先端にあり、あらたな**機器開発や既存機器の小型可搬化・高度化**などにより達成を目指す。

- ・気象シミュレーションの精度向上

課題： 台風の場合は進路予測の精度は徐々に向上しているが、勢力予測は精度が格段に低い等、まだ発展途上にあり、気象制御には精度不足。

→世界最速のスパコン「富岳」をつかった**シミュレーションの深化**等により達成を目指す。

- ・気象制御理論と気象介入技術の確立

→**有効で現実的可能な気象介入技術の開発**が必要。どんな介入が有効か？と、どんな介入が可能か？ 新たな**介入方法と介入技術**を考案する。

- ・ELSIの検討

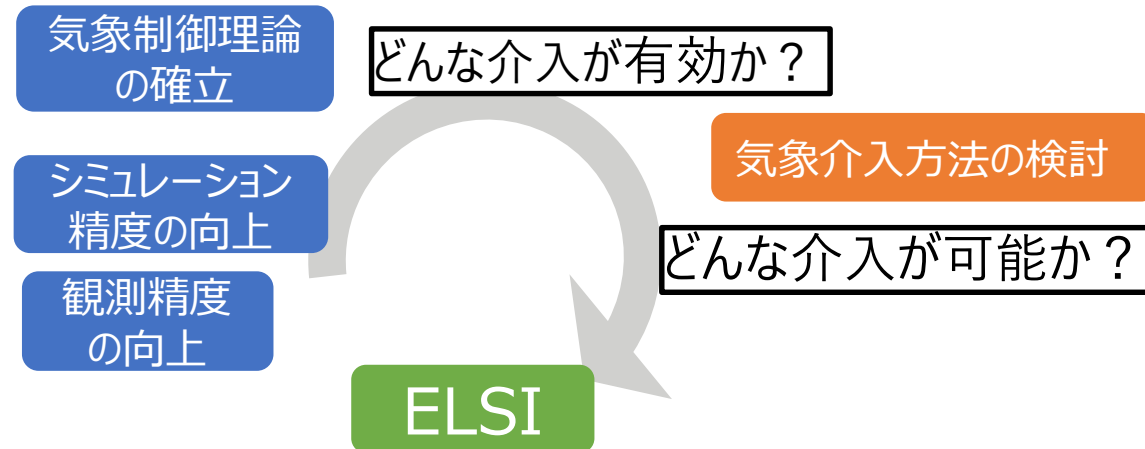
課題：合意形成、経済合理性、倫理的な課題。

→合意形成などは早期に着手し、技術確立に伴って**実地試験が可能となるよう準備**を進めることが肝要。

→費用便益分析等を高度化し、**国民の理解醸成**等にも利用することが必要。

気象制御が社会実装されるための倫理的・法的・社会的課題（ELSI）への対応

- 社会に実装するためには、社会科学分野で**ELSI**の課題を解決していく必要

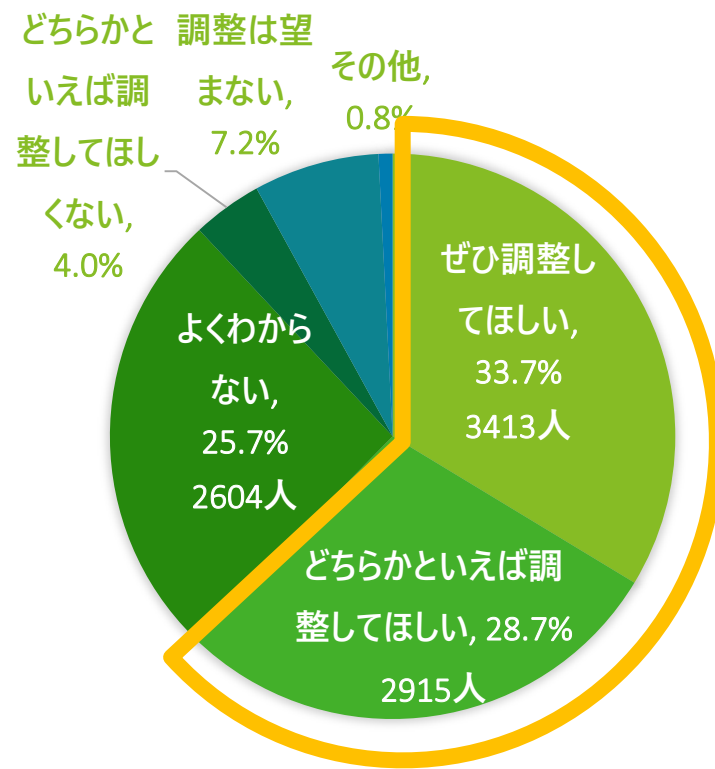


有効で技術的に可能な介入を社会で実装するには？

課題	方策
合意形成	国家間での条約や国内での法令の整備
経済合理性の検討	気象制御による経済効果の検討 誤差のある情報の扱い
倫理	周知して広く議論を深める 気象制御を受け入れられるか？

国民アンケート

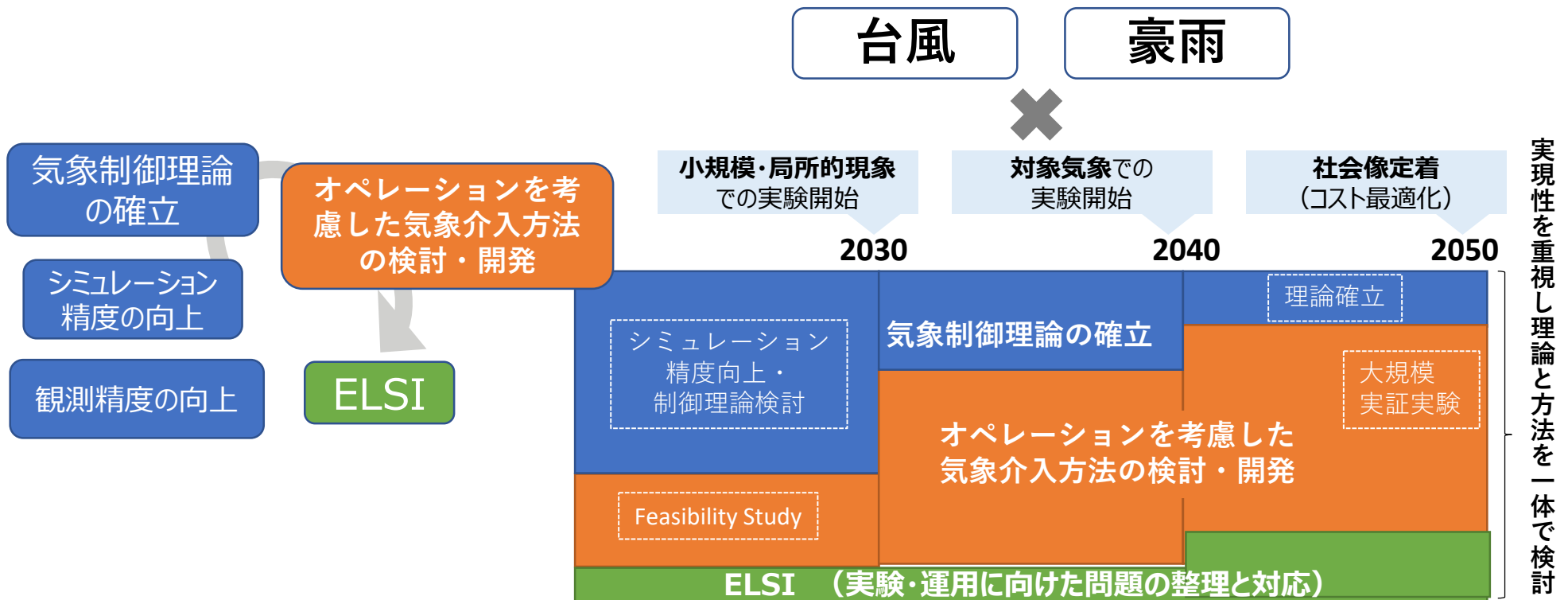
・ 台風の人為的調整についてどう思いますか？
(回答者=10141)



2030・2040・2050年のマイルストーン 達成が見込める具体的な目標

2030年までに

現実的な操作を前提とした台風や豪雨の制御によって被害を軽減することが可能なことを計算機上で実証するとともに、広く社会との対話・協調を図りつつ、操作に関わる屋外実験を開始する。

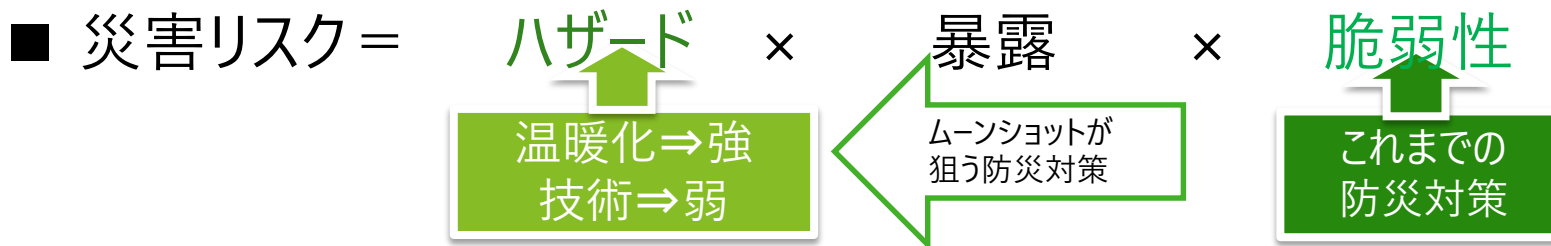


■ 日本は世界トップのシミュレーション研究集団

- 世界トップの計算機性能を誇る「富岳」が利用可能
- 自国開発の数値モデルの存在とデータ同化システム
- シミュレーションで閉じない戦略：実測データと組み合わせた世界唯一のビックデータ活用
⇒ 世界唯一のゲリラ豪雨予測を実現

■ 時代的要請・地理的条件

- 地球温暖化の進行とともに日本域では台風・豪雨の激甚化が予測されている
- 太平洋沖の外洋上で、制御技術の開発・実証が行いやすい



■ 台風制御は半世紀前から検討されてきたテーマ！

- 台風制御は日本の夢：災害対策基本法制定(1961年)から「国及び地方公共団体は、災害発生を予防し、又は災害の拡大を防止するため、特に次に掲げる事項の実施につとめなければならない」で「九 台風に対する人為的調節」がある。

■ 科学技術で国民がワクワクするテーマ！ 世界を変えるテーマ！