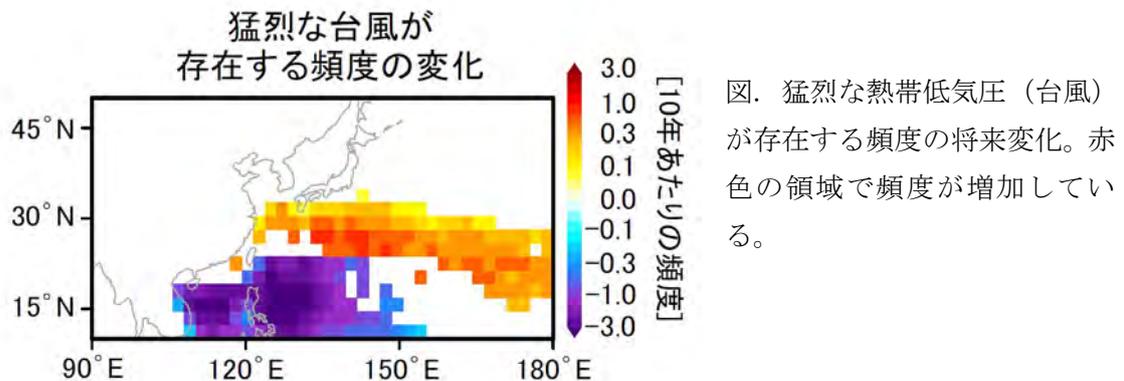


## 地球温暖化で猛烈な熱帯低気圧（台風）の頻度が日本の南海上で高まる ～ 多数の高解像度温暖化シミュレーションによる予測 ～

これまでにない多数の高解像度地球温暖化気候シミュレーション実験の結果を解析して、温暖化が最悪のシナリオで進行した場合の21世紀末には、全世界での熱帯低気圧（台風）の発生総数は3割程度減少するものの、日本の南海上からハワイ付近およびメキシコの西海上にかけて猛烈な熱帯低気圧の出現頻度が増加する可能性が高いことが示されました。この結果は10月4日付けで国際的科学誌「Geophysical Research Letters」に掲載されました。



気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第五次評価報告書では、温暖化の進行とともに地球全体での台風の発生数が減少または実質的に変化しないことと、個々の台風の最大風速や降水量が強まる可能性が高いことが示されています。一方、猛烈な台風の数については、地球全体として数が増加するのか、減少するのか、また海域ごとにどのような変化傾向があるのかについて、既存の気候シミュレーションデータベースでは精度の良い結論を導き出すのは困難でした。

この問題を解決するために、今回、(一財) 気象業務支援センター及び気象庁気象研究所の研究グループは、将来気候予測についての不確実性を考慮したこれまでにない多数の高解像度地球温暖化気候シミュレーション実験結果をとりまとめた「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース（d4PDF）」<sup>\*1</sup>を活用して、台風の将来変化を高精度で求めました。

その結果、IPCC 第五次評価報告書の RCP8.5 シナリオ<sup>\*2</sup>での 21 世紀末に相当する気候状態で、最大地表風速 59m/s 以上の猛烈な台風<sup>\*3</sup>の数は地球全体では現在よりも減るものの、日本の南海上からハワイ周辺およびメキシコの西海上にかけて、現在よりも高頻度で現れる可能性が高いことが分かりました。その一方で北東太平洋において、猛烈な台風の数が

どの程度増えるのかについては、将来にどの領域で大きい海面水温上昇を予測しているかによって大きく異なることもわかりました（詳しい解説は別添1）。

今回の研究成果は、防災や水資源管理など社会性の高いテーマにも関連し、学術的にも高い評価が得られています。さらに、日本国内だけでなく地球規模での将来の防災対策・適応計画を立案する上で考慮されるべき結果であると考え、調査結果をまとめ、国際的な科学誌であるアメリカ地球物理連合の「Geophysical Research Letters」に発表しました。本論文が示した将来の台風についての見通しが、国民生活の安全性を高める施策決定に役立つことを期待します。また、IPCC 第五次評価報告書では、台風の将来変化について、根拠不十分で確度の高い評価ができませんでした。今回の成果である地域的な熱帯低気圧発生の変化傾向や量的な変化については、次回の評価報告書に貢献できるものと期待されます。

※1 地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース (d4PDF: database for Policy Decision making for Future climate change)

気象研究所、東京大学、京都大学、国立環境研究所、筑波大学、海洋研究開発機構が共同で実施した、将来気候予測についての不確実性を考慮したこれまでにない多数の高解像度地球温暖化気候シミュレーション実験をとりまとめたアンサンブル気候予測データベースである。実験では、気象研究所が開発した高解像度大気モデルが使用された。d4PDF では、シミュレーションのサンプル数が少ない従来の温暖化データベースでは求めることのできなかつた、豪雨や豪雪、台風などの極端現象の発生頻度や強度の将来的な変化について、精度良く求めることができる。気象庁の現業用大気モデルを元に気象研究所が温暖化研究用として開発した全球モデルと日本域モデルを使用して作成した地球温暖化気候シミュレーション実験結果のデータベースからなる。全球モデルでは、過去 60 年×100 メンバー（のべ 6000 年）、将来 60 年×90 メンバー（のべ 5400 年）分の多数のシミュレーションを行って作成されている（詳しい解説は別添2）。本データベースは、国立研究開発法人海洋研究開発機構が公募した「平成 27 年度地球シミュレータ特別推進課題」（<https://www.jamstec.go.jp/es/>）で、文部科学省の「気候変動リスク情報創生プログラム」（<https://www.jamstec.go.jp/sousei/>）ならびに「地球環境情報統融合プログラム」（<http://www.diasjp.net/>）の協力を得て作成された。

※2 RCP8.5 シナリオ

IPCC 第五次評価報告書における地球温暖化シナリオのうち最も温暖化が進む想定シナリオ。政策的な地球温暖化の緩和策が行われず、放射強制力が 2100 年の時点で  $8.5 \text{ W/m}^2$  を超え（現在よりも地球上の平均気温が 3 度以上高くなる）、その後も気温の上昇が続く。

※3 猛烈な台風

本研究では、世界の熱帯低気圧研究で広く使われている、Saffir-Simpson Hurricane wind scale において、カテゴリー 4 以上（最大地表風速  $59 \text{ m/s}$  以上）の台風を「猛烈な台風」と定義しています。米国海洋大気庁 National Hurricane Center のウェブページ

（<http://www.nhc.noaa.gov/aboutsshws.php>）によると、カテゴリー 4 では、壊滅的 (catastrophic)

な被害が発生します。ほとんどの木は、引き抜かれたり、電柱が倒れたりするなど、大きな被害が発生します。気象庁における台風の強さの階級では最大風速 54 m/s 以上が「猛烈な」台風に相当。

謝辞.

本研究は文部科学省による統合的気候モデル高度化研究プログラム<sup>1</sup>の、一般財団法人気象業務支援センター<sup>2</sup>を主管機関とする領域テーマC「統合的気候変動予測」課題（研究代表：高藪 出）のもとで行われた。

1:[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/boshu/detail/1384493.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/boshu/detail/1384493.htm)

2:<http://www.jmbc.or.jp/jp/gecrpo/gec-research.html>

**【本件に関する問い合わせ先】**

（一財）気象業務支援センター地球環境・気候研究推進室

029-853-8617（直通）

気象庁気象研究所企画室

029-853-8535（直通）

## 本研究の成果の詳しい解説

高解像度気候シミュレーションデータベース d4PDF は、現在と将来の気候状態についてこれまでにない多数のシミュレーション（以下、それぞれ現在気候再現実験と将来気候予測実験）を行うことで台風のような発生数の少ない極端現象の年変動の傾向や将来的な変化を精度良く求めることができます。それは世界を 60 km 間隔の格子で覆った高解像度モデルにより台風は現実的に表現されるようになり、データのサンプル数を増やすことで統計的な信頼性が高まるためです。さらに本研究では再現するのが特に難しい台風の強度をより適切に評価するため観測の台風の最大地表風速を用いてシミュレーションの台風の最大地表風速を補正し、再現性を高めています。また、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第五次評価報告書で報告された将来予測についての不確実性を考慮したシミュレーションであることから、以下に述べる実験結果の信頼性は高いと考えられます。

現在と将来の気候状態で熱帯低気圧が地球上で年間何個発生するかについて確率分布を見たのが図 1 です。観測の場合は限られた年数（本研究では 32 年間）のデータしかないので、凸凹の大きい粗い確率分布になります（黒実線）。一方、d4PDF の現在気候を再現した実験では観測の 100 倍程度のデータがあるため非常に詳細で滑らかな確率分布を描くことができます（青実線）。将来予測シミュレーションの確率分布についても同様です（赤実線）。結果として、地球温暖化が進行した状態において d4PDF では台風の地球全体の発生数は現在気候より 33%程度減少することが分かりました。また 1 つあたりの台風に伴う最大地表風速と降水の強さが地球全体として増加することが過去の研究と同様に確認されました。

シミュレーションで得られた全ての台風の経路から、地球上の各地点で台風がどれだけ通過したか（以下、存在頻度）を求め、図 2 上段にその将来変化を示しました。全ての台風に着目すると従来の研究で指摘されてきたとおり、地球全体で減少するとともに、ハワイを中心とした東部～中部北太平洋域では増加します。猛烈な（最大地表風速が 59 m/s 以上）台風に着目すると地球全体では減少します。個々の台風の強化に伴い、地球全体で全ての台風発生数に占める猛烈な台風の数の割合は将来増加しますが、全ての台風発生数の減少が大きいため、猛烈な台風の数は減るという結果となりました（図 3）。しかし地球上の各地点では、日本の南海上からハワイ付近およびメキシコの西海上にかけて猛烈な台風の存在頻度が増加する可能性が高いことがわかりました（図 2 下段）。限られた数の気候シミュレーション結果に基づく従来研究では上記のように結論することは信頼性が十分でないために困難でしたが、今回の多数のアンサンブル実験では、サンプル数の多さと、将来予測についての不確実性を適切に考慮することで、上記の結論を示すことができました。そして海域ごとに見た場合でも猛烈な台風の発生数が統計的に有意な変化をしていることもわかります（図 4）。これらの変化の幅には各国の気候モデルで予測された将来の海面水温上昇分布の不確実性が主に影響し、特に北東太平洋で猛烈な台風の数がどの程度増加するのか、北大西洋で増加するのか減少するのかについては、値が大きくばらつくことが示され、海域ごとの台風の変化を評価するには将来の海面水温上昇の不確実性を考慮することが重要であることも示されました。本研究では高解像度気候モデルによる将来の海面水温上昇の予測不確実性を取り込んだかつてない多数アンサンブルシミュレーションにより信頼性の高い台風の将来予測を示すことができました。しかし、将来予測に用いるシナリオや、気候モデルの違い等による不確実性、現行モデルで取り込めてない大気海洋相互作用

等の影響は本研究では十分には考慮されていません。また、日本域を含む中緯度での台風の変化については今回詳しく述べませんでした。今後はより精度の高いモデル開発を進めていくと同時に、世界各国の気候モデルとの相互比較などによる多角的な評価が必要と考えています。

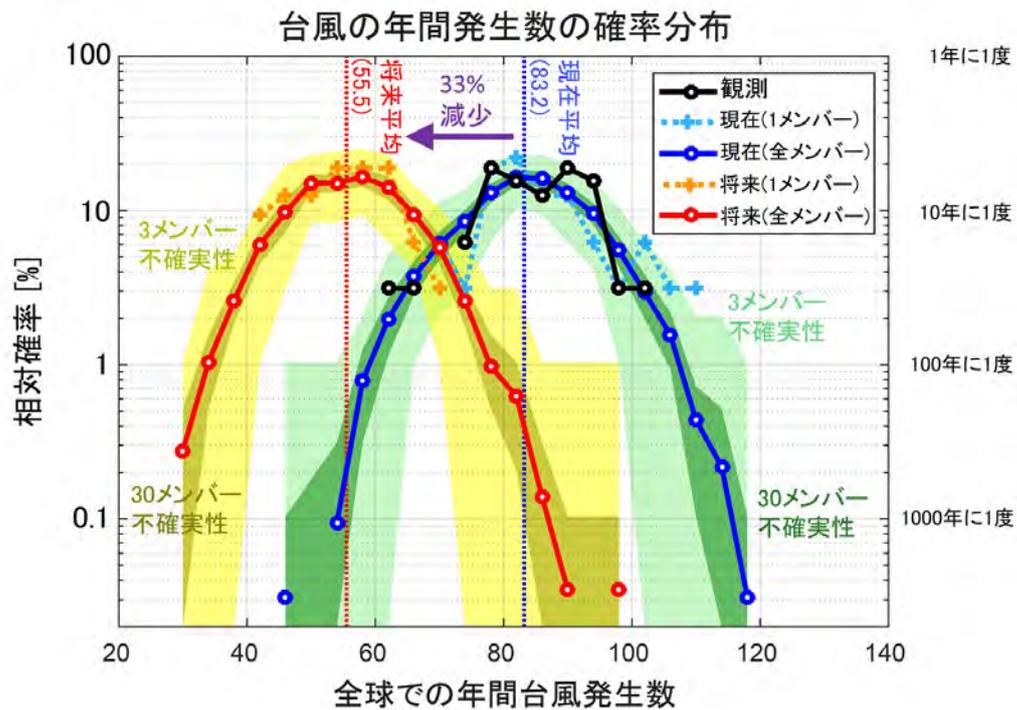


図 1. 現在気候再現と将来気候予測における地球全体での熱帯低気圧の年間発生数の確率分布。これまでになく多数のシミュレーションにより、現在再現と将来予測の両方で熱帯低気圧の発生数について滑らかなで詳細な確率分布が得られた。

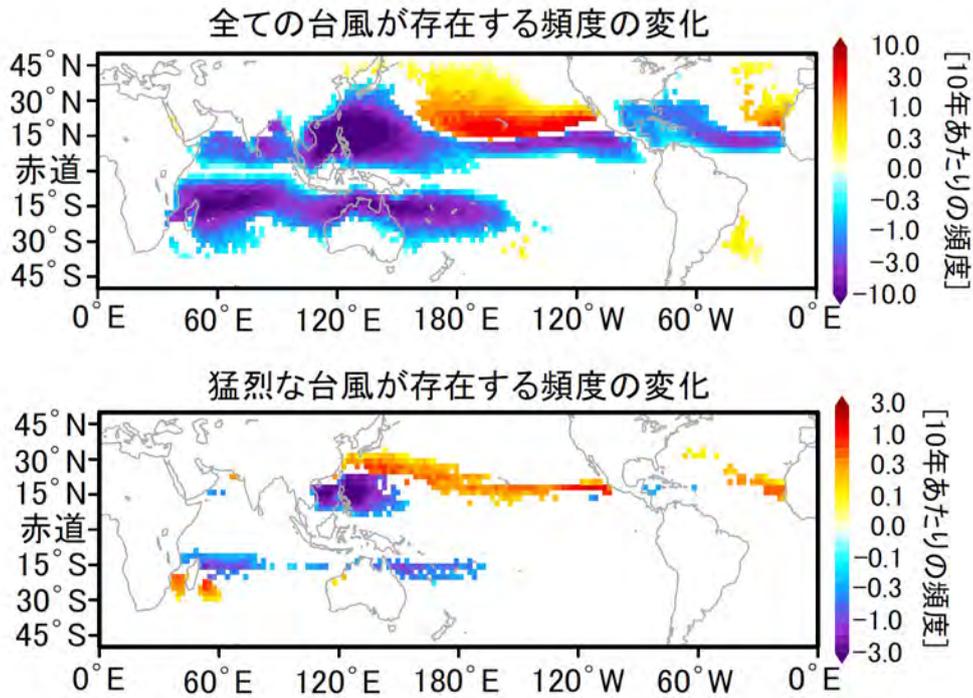


図2. 緯度経度 2.25 度×2.25 度格子で見た熱帯低気圧の存在頻度の将来変化で赤い領域で頻度が増加する。統計的に有意な変化をしている領域のみ描いている。(上段) すべての強度の熱帯低気圧 (下段) 地表最大風速が 59 m/s を超える猛烈な熱帯低気圧。

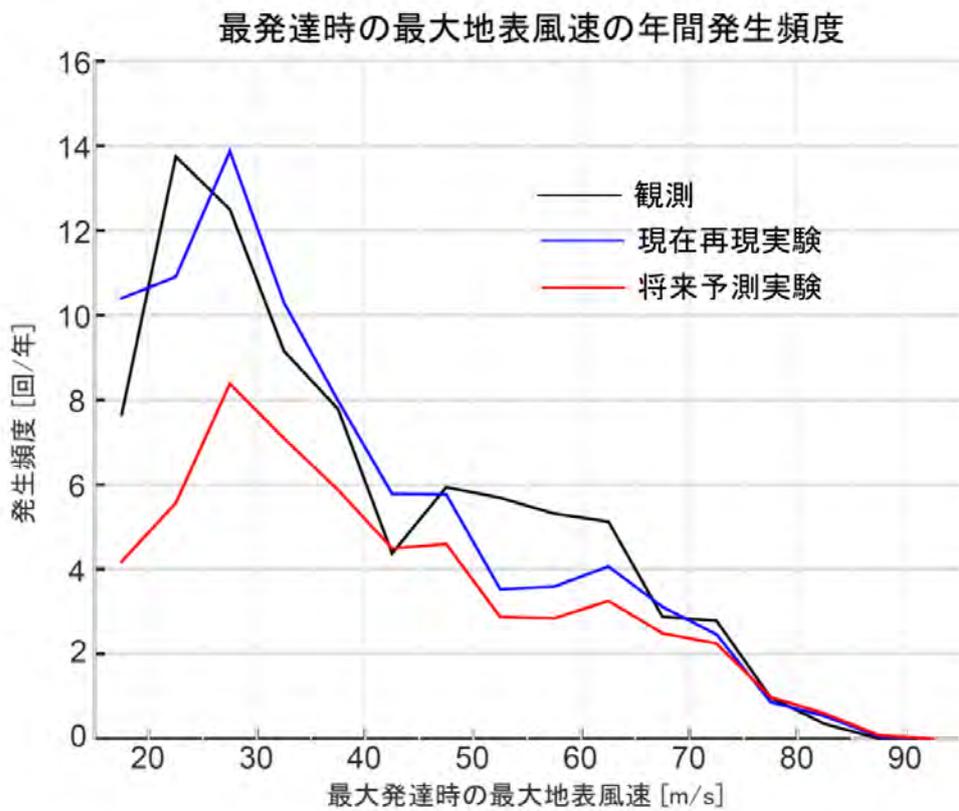


図3. 個々の台風が最も発達した時の最大地表風速の地球全体での年間発生頻度。将来、猛烈な台風の発生頻度は減っているが、すべての台風に占める猛烈な台風の割合は増加し、70 m/s を超える台風の発生頻度は現在とほとんど変わらない。

## 猛烈な台風の発生数の将来変化率

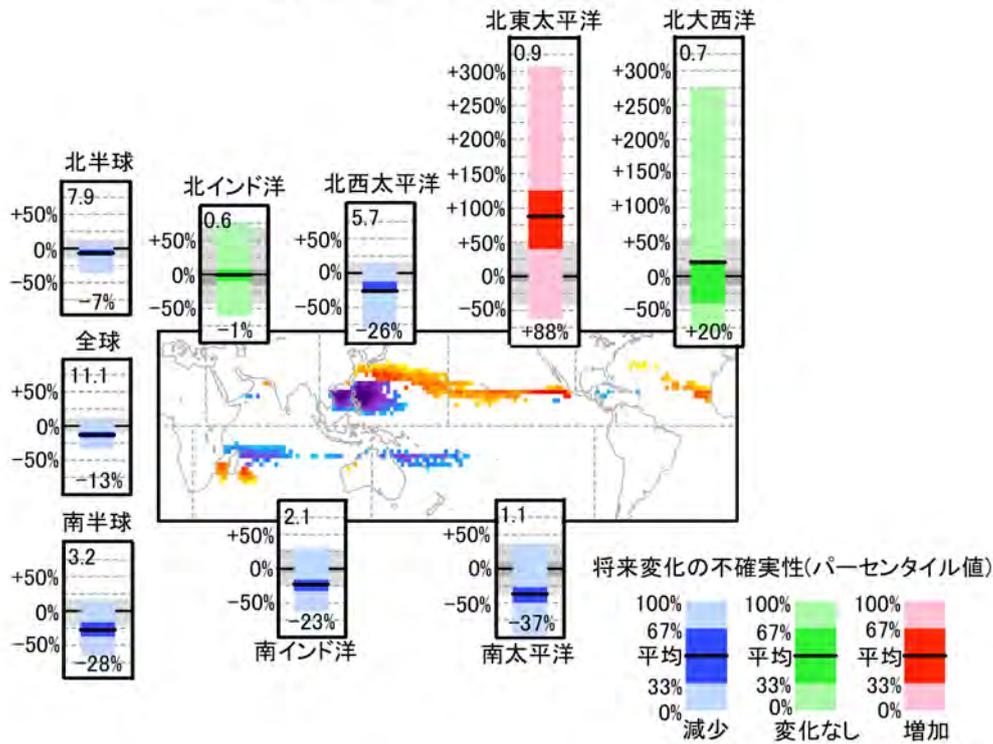


図4. 海域別に見た猛烈な台風の発生数の将来変化率を図3下段の存在頻度マップ上に示している。各々の横実線とグラフ下側の数値は現在気候再現実験と将来気候予測実験の期間平均・アンサンブル平均した変化率を示す。グラフ左上の数値は現在再現実験における1年あたりの猛烈な台風発生数を示す。青・緑・赤のエラーバーは将来実験の期間平均した各アンサンブルメンバーの不確実性、灰色のエラーバーは現在気候再現実験の変動の大きさを示している。他の海域に比べて北大西洋と北東太平洋で予想される将来変化の幅が大きいのが分かる。これらの海域では、現在気候での発生数が少ないことも、大きな幅の一因となっている。

○ Geophysical Research Letters 10月4日付で掲載された論文

Kohei Yoshida, Masato Sugi, Ryo Mizuta, Hiroyuki Murakami, and Masayoshi Ishii, 2017: Future changes in tropical cyclone activity in high-resolution large-ensemble simulations, *Geophys. Res. Lett.*, 44, doi:10.1002/2017GL075058.

2017年10月4日オンライン発表：

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2017GL075058/full>

## 地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース [ d4PDF ]の詳しい解説

地球温暖化への適応策を考えるにあたっては、気候変動の予測結果にどのくらい不確実性があるのか評価すること、つまり温暖化に伴う自然災害がいかなる頻度で生じるのかを知ることが必須です。しかし従来は、発生頻度の低い台風・豪雨などの極端事象についてはアンサンブル実験を行うモデル数が10程度と少なく、信頼性は十分とはいえませんでした。今回、各テーマ間で連携し、世界でも例のない最大100にもものぼる多数のアンサンブル実験を行うことによって、極端事象の再現と変化について十分な議論ができる「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース、database for Policy Decision making for Future climate change (d4PDF)」を作成しました。d4PDFを公開することにより、過去の極端事象の要因分析、将来変化予測の不確実性の理解、影響評価研究などが飛躍的に進むこと、また、各省庁や自治体、産業界での温暖化適応策の策定が推進されることが期待されています。

現在、極端事象の発生頻度や強度の将来変化を解明する研究、将来の高潮や洪水に対する防災研究、農業や環境への影響評価研究等に、d4PDF は活用されています。

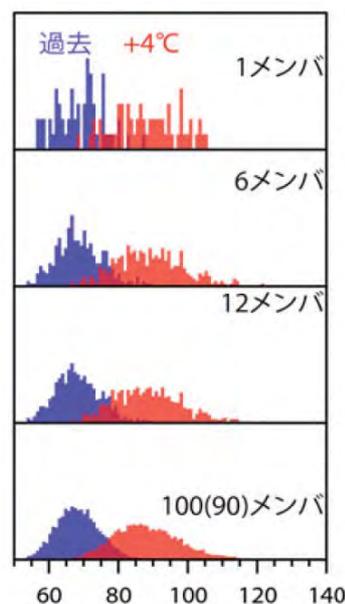
## 関連情報

<http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/>

<http://www.jamstec.go.jp/sousei/jp/event/others/d4PDFsympo/index.html>

## ●d4PDFで豪雨のより正確な災害リスク予測が可能に

右の図は、中国南部で平均した年最大日降水量の頻度の分布です。図から、モデル数が増えるにつれ頻度分布が滑らかになり、データの信頼性が上がってることが見て取れます。多数アンサンブルでは、平均からはみ出た予測のサンプルが十分に取得できるため、豪雨のようなめったに起こらない現象の起きる確率を知ることができます。



## ●多数のサンプルから、台風による災害リスク予測の精度も向上

下の図は、アンサンブル実験で得られたすべての台風の経路を示したもので、左図 (a) は、30 年間気候計算によるもの、右図 (b) は d4PDF の全ケースに相当する 5400 年実験 (60年×90メンバー) から求めたものです。

台風による災害が、特定の地域で将来どのように変化するかを確率的に調べるためには十分な数のサンプルが必要です。しかし台風は日本全土でも年間2、3個しか上陸しません。そのため、通常のタイムスライス実験では十分な数のサンプルは得られませんでした (a)。d4PDFならば (b) に見るように非常に大きいサンプル数が得られ、台風による超低頻度のハザードを確率的に調査することができるようになります。

