CIGS The Canon Institute for Global Studies

CIGS Working Paper Series No. 26-034J

台風の激甚化についての統計的検討

杉山 大志（キヤノングローバル戦略研究所 研究主幹）

2026. 11. 8.

※Opinions expressed or implied in the CIGS Working Paper Series are solely those of the author, and do not necessarily represent the views of the CIGS or its sponsor.
※CIGS Working Paper Series is circulated in order to stimulate lively discussion and comments.
※Copyright belongs to the author(s) of each paper unless stated otherwise.

General Incorporated Foundation
The Canon Institute for Global Studies
一般財団法人 キヤノングローバル戦略研究所
Phone: +81-3-6213-0550 https://cigs.canon/

台風の激甚化についての統計的検討

ワーキングペーパー
杉山大志
2026 年 11 月 08 日

平易な要約

台風について、最大風速と中心気圧の長期データを分析したところ、統計的に有意な強まりは認められなかった。なお、1987〜2025 年という短い期間には「猛烈な」台風の個数は有意に増加していたが、1977〜2025 年とより長い期間では、その増加は統計的に有意とはならなかった。近年の増加だけを根拠に、長期にわたり増加したと結論付けることはできない。

要約

本稿は、気象庁のベストトラックに基づき、北西太平洋・南シナ海における台風の強度変化を分析したものである。最大風速については 1977〜2025 年、最低中心気圧については 1951〜2025 年の全期間を対象とした。双方について、年平均値と、強度別の個数・割合を調べた。その結果、採用した指標のいずれにも、台風の強まりを示す統計的に有意な傾向は認められなかった。

解析期間を 1987〜2025 年の 39 年間とすると、「猛烈な」台風の個数と全台風に占める割合には有意な増加が認められた。一方、1977 年からの 49 年間では統計的に有意な増加にはならない。本稿の分析からは、猛烈な台風の近年の増加は確認できるものの、それだけを根拠に、台風全般が長期にわたり強まってきたと結論付けることはできない。

目次

平易な要約 1

要約 1

1　研究の目的と対象 3

2　データと分析方法 4

3　全期間における強度の変化 5

4　最大風速による強度別の変化 6

5　最低中心気圧の長期変化 7

6　猛烈な台風の増加と解析期間 8

7　長期傾向の解釈と観測資料の均質性 9

　数十年間の増加と長期変動 9

　観測記録の長さと均質性 9

8　世界の熱帯低気圧との比較 10

9　既存研究との比較と結論 11

　強度の増加を報告した研究との比較 11

10 結論 11

付録　補助指標と再現方法 12

　計算と検定 12

参考文献とデータ 13

1　研究の目的と対象

台風が過去に比べて強くなったかどうかを検討するためには、強度を表す指標と解析期間を定める必要がある。本稿では、北西太平洋・南シナ海の台風を対象に、各台風が一生のうちに達した最大風速と最低中心気圧を集計する。これらの年平均値から平均的な強度の変化を調べるとともに、所定の強度に達した台風の個数と割合から、とくに強い台風の出現状況を検討する。

このように複数の指標を用いるのは、強い台風の個数が、台風全体の発生数と、そのうち強い勢力に達する割合の双方によって変わるためである。分析の対象は、海域全体で見た各台風の最盛期の強度とする。日本上陸時の強度、雨量、高潮、人的・経済的被害には、それぞれ異なる要因が関わるため、本稿の結論は上記の強度指標の範囲に限定する。

2　データと分析方法

気象庁 RSMC Tokyo が公開するベストトラックのうち、2026 年 9 月 24 日に取得した資料を用い、観測年が完了している 1951〜2025 年の 1,951 個の台風を集計した［1、2］。各台風の所属年は国際台風番号に従って定めた。集計した年別の台風数は、気象庁の発生数表と全 75 年について一致した［4］。

各台風について、台風の強度に達している間の記録から最大風速の最大値と中心気圧の最小値を求めた。最大風速には 10 分間平均値を用い、熱帯低気圧の段階と温帯低気圧への変化後の記録は集計から除いた。強度別の個数は、各閾値に一度でも達した台風を 1 個と数え、同じ台風の複数時刻の記録をまとめて集計した。

指標	集計の定義
最大風速の年平均	各台風の生涯最大風速を、年ごとに台風へ等しい重みを与えて平均する。
「強い」以上	生涯最大風速 64 kt 以上。本データの 5 kt 刻みでは 65 kt 以上と同じ。
「非常に強い」以上	生涯最大風速 85 kt 以上。
「猛烈な」	生涯最大風速 105 kt 以上。
各区分の割合	区分に達した台風数を同年の全台風数で割る。
最低中心気圧の年平均	各台風の生涯最低中心気圧を、年ごとに平均する。
中心気圧の閾値別個数と割合	980、960、940、920 hPa 以下に達した台風を集計する。

強度区分は気象庁のノット表示に従う［3］。上位の区分は下位の区分にも含まれるため、3 区分の個数には重複がある。中心気圧は低いほど強い勢力に対応する。

1951〜1976 年の 707 個には有効な風速値が収録されていないため、最大風速の分析には 1977〜2025 年の 1,244 個を用いた。この期間の台風段階の記録には風速の欠測がなく、中心気圧については 1951〜2025 年の全期間に有効値がある。観測・解析方法の変更に伴う資料の均質性については、第 7 節で検討する。

年次系列に通常の最小二乗法（OLS）による直線回帰を適用し、10 年当たりの傾き、95％信頼区間、両側 p 値を算出した。有意水準は 5％とした。検定方法による結果の違いを調べるため、自己相関と不均一分散を考慮した HAC 標準誤差、および Kendall 順位検定を併用した。さらに、解析開始年を順次変更し、期間の選択が傾向の評価に及ぼす影響を調べた。計算方法の詳細は付録に示す。

基本の解析には各指標で利用可能な全期間を用いた。これに加え、1987 年前後の観測体制の変化を踏まえ、1987 年以降の結果を別に示した。両期間を比較することにより、記録を長く確保する利点と、異なる観測体制の資料を接続する際の問題を併せて検討する。

3　全期間における強度の変化

表 1 に、各指標で利用可能な全期間の解析結果を示す。最大風速の年平均には低下、最低中心気圧の年平均には上昇の傾向が推定されたが、いずれも通常 OLS では統計的に有意ではなかった。強度別の個数と割合についても有意な増加は認められず、全期間の結果からは、対象とした強度指標の増加を示す明瞭な傾向は得られなかった。

表 1　主要指標の線形傾向と統計的不確実性

指標と傾きの単位	期間	傾き	95%区間 通常 OLS	p 値 通常 OLS	p 値 HAC
最大風速の年平均 kt/10 年	1977〜2025	-0.70	-1.80〜+0.40	0.209	0.085
「強い」以上の個数 個/10 年	1977〜2025	-0.80	-1.47〜-0.12	0.021	0.009
同割合 ポイント/10 年	1977〜2025	-1.79	-3.82〜+0.23	0.081	0.007
「非常に強い」以上の個数 個/10 年	1977〜2025	+0.03	-0.59〜+0.65	0.924	0.906
同割合 ポイント/10 年	1977〜2025	+0.88	-1.41〜+3.17	0.443	0.321
「猛烈な」の個数 個/10 年	1977〜2025	+0.16	-0.18〜+0.51	0.347	0.391
同割合 ポイント/10 年	1977〜2025	+0.73	-0.67〜+2.13	0.300	0.340
最低中心気圧の年平均 hPa/10 年	1951〜2025	+0.24	-0.48〜+0.96	0.508	0.520
920 hPa 以下の個数 個/10 年	1951〜2025	-0.09	-0.27〜+0.09	0.322	0.261

出典：気象庁［1〜4］から計算。割合の傾きはパーセントポイントで表示した。p 値は多重比較未補正。

「強い」以上の台風の個数には有意な減少が認められ、その傾きは 10 年当たり－0.80 個であった。同区分の割合も低下したが、p 値は通常 OLS で 0.081、HAC で 0.007 となり、有意性の判定は検定方法によって異なった。

ただし、傾きの推定には不確実性がある。例えば「猛烈な」台風の個数の傾きの 95%信頼区間は－0.18〜＋0.51 個/10 年であり、一定の増加もデータと整合する。各指標は同じ台風の記録に基づいて相互に関連するため、信頼区間と変化の方向を併せて評価する必要がある。

4　最大風速による強度別の変化

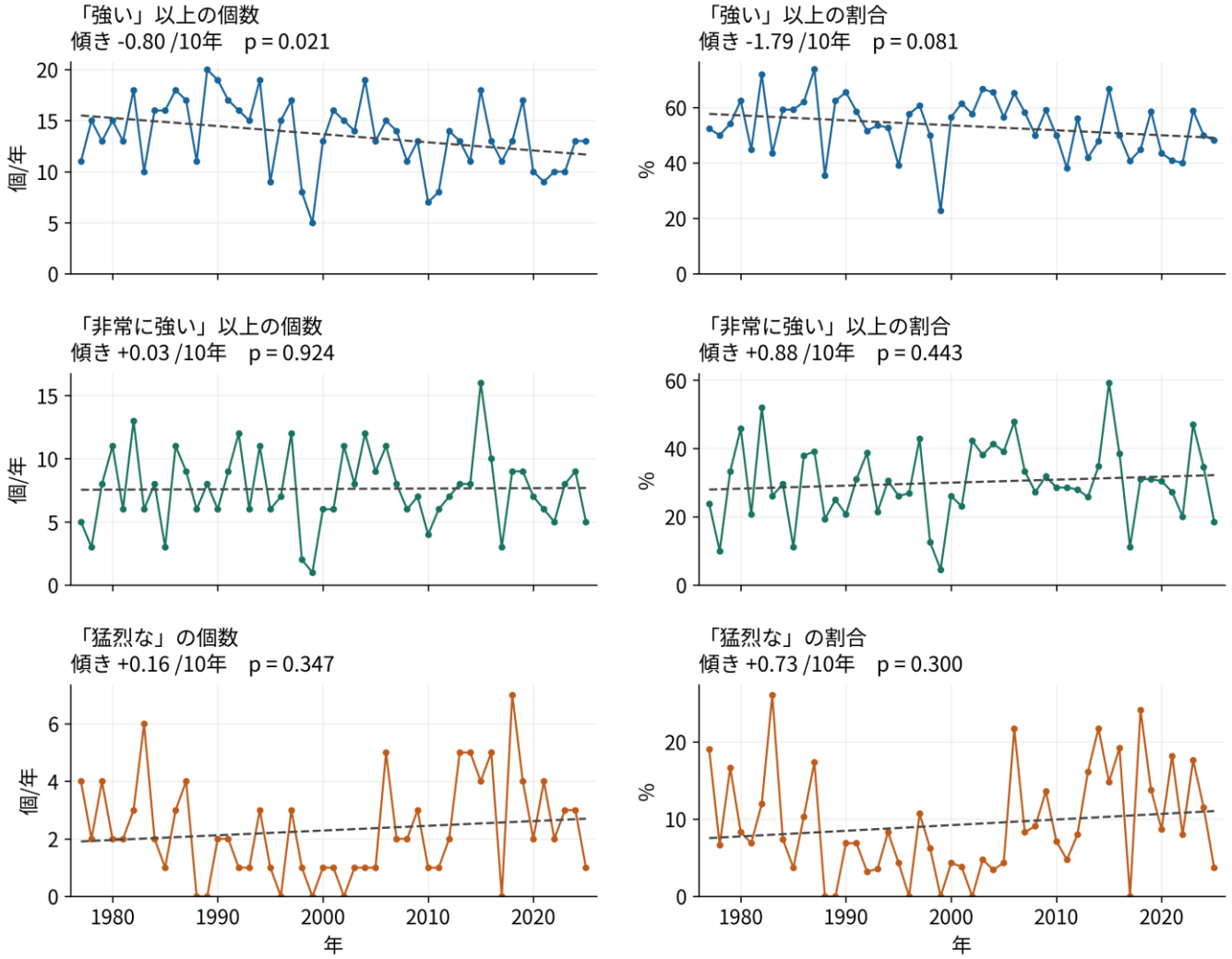


図 1　強度別の年次個数と全台風に占める割合　1977～2025 年
出典：気象庁［1～3］から計算。実線は年次値、破線は通常 OLS の回帰直線。「強い」以上は 65 kt 以上、「非常に強い」以上は 85 kt 以上、「猛烈な」は 105 kt 以上。

図 1 に、最大風速の閾値ごとの年次変化を示す。「強い」以上の個数が減少する一方、「非常に強い」以上の個数はほぼ横ばいであった。「猛烈な」の個数と割合には増加方向の傾きが推定されたが、1977～2025 年の 49 年間では統計的に有意ではなかった。これらの違いから、強度の変化を評価する際には、複数の閾値を比較する必要があることがわかる。

個数と割合の比較も有用である。ある強度に達する割合が同じでも、台風全体の発生数が減れば、その強度に達する台風の個数は減少する。個数の変化を台風自体の強度変化と結び付けて解釈する際には、図 1 に示した割合や、表 1 の平均風速も併せて検討する必要がある。

5　最低中心気圧の長期変化

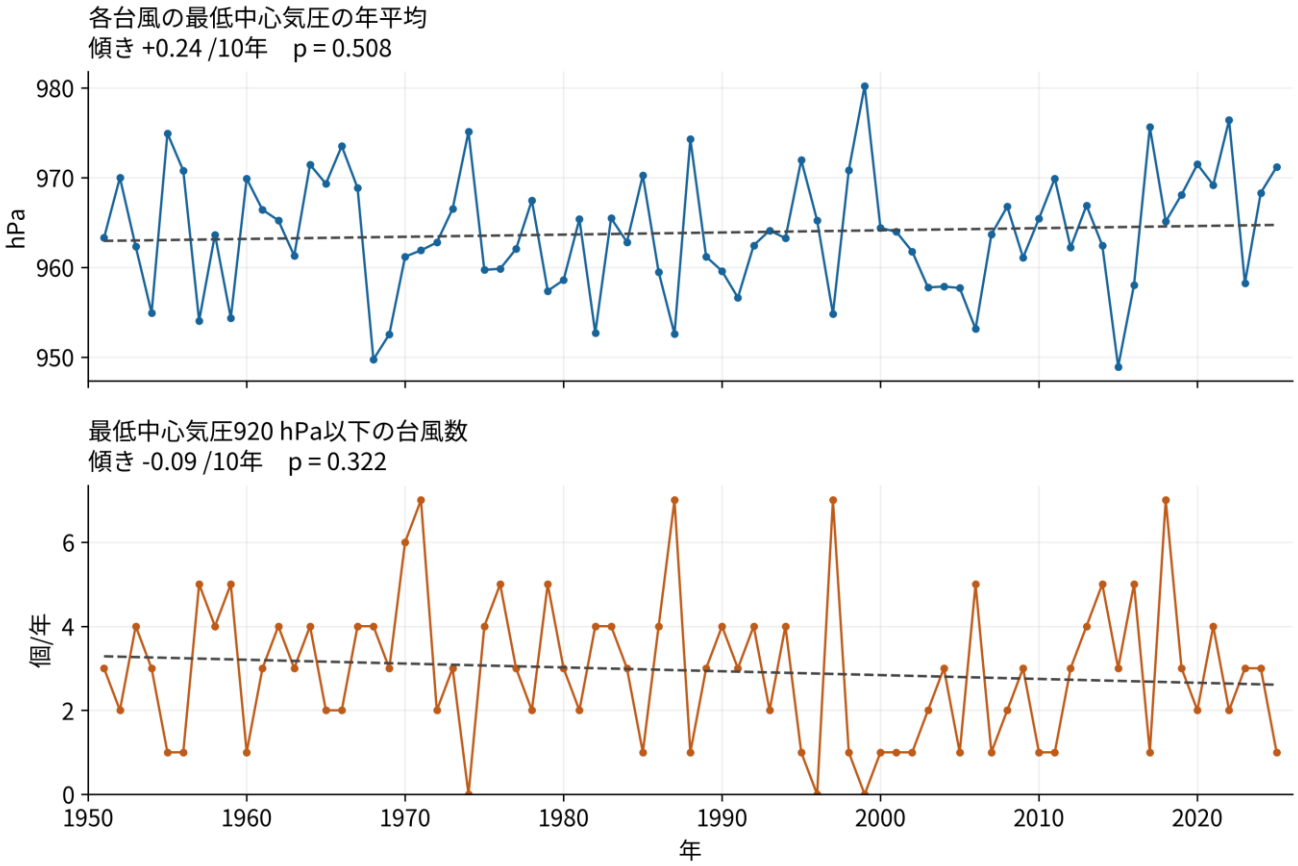


図 2　最低中心気圧による年次指標　1951～2025 年
出典：気象庁［1、2］から計算。上段は、各台風が一生のうちに達した最低中心気圧を年ごとに平均した値。中心気圧は低いほど強い勢力に対応する。破線は通常 OLS の回帰直線。

最低中心気圧は、最大風速よりも長い 1951～2025 年の 75 年間について分析できる（図 2）。その年平均値の傾きは＋0.24 hPa/10 年、95％信頼区間は－0.48～＋0.96 hPa/10 年であり、強度の増加に対応する有意な低下は認められなかった。920 hPa 以下に達した台風の個数にも有意な増加は見られなかった。低い中心気圧を持つ台風は 1950～1960 年代にも多く現れており、系列全体では年々および年代間の変動が大きい。

強度の高い台風の変化を詳しく調べるため、980、960、940、920 hPa の各閾値について個数と割合を集計した（付録表 3）。1951～2025 年では、いずれの閾値にも有意な増加は認められなかった。980 hPa 以下の個数の減少は通常 OLS では有意となったが、HAC では有意水準に達せず、この指標でも検定方法による違いが見られた。

中心気圧と最大風速の関係は、台風の大きさや周辺の気圧にも左右される。このため、中心気圧の系列は風速の系列を補完する資料として位置付けられる。とくに過去の航空機観測による気圧記録は長期変化を検討するうえで有用であるが、観測・解析方法の変更は気圧資料にも影響する［6］。75 年間の結果の解釈には、この資料の均質性に関する制約を伴う。

6　猛烈な台風の増加と解析期間

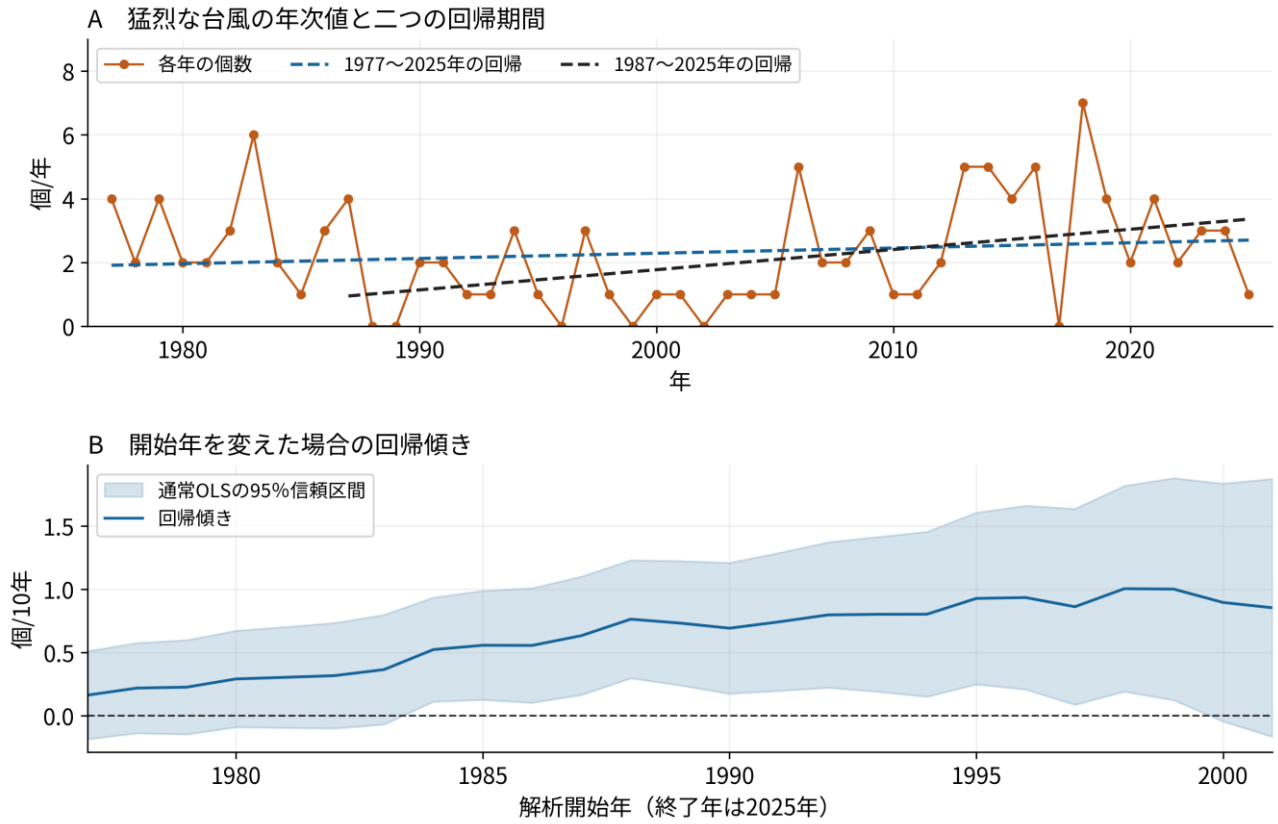


図 3　猛烈な台風の個数と解析開始年による傾きの変化
出典：気象庁［1～3］から計算。B は終了年を 2025 年に固定し、開始年を 1977～2001 年の各年に変更した結果。帯は各期間の回帰から個別に求めた通常 OLS の 95％信頼区間であり、同時信頼帯ではない。

表 2　猛烈な台風の個数と割合の期間別比較

期間	個数の傾き 個/10 年	p 値 通常 OLS	割合の傾き ポイント/10 年	p 値 通常 OLS
1977～2025	+0.16	0.347	+0.73	0.300
1987～2025	+0.63	0.009	+2.73	0.004
1991～2025	+0.74	0.009	+3.25	0.003
2001～2025	+0.85	0.096	+3.37	0.085

1987～2025 年には、「猛烈な」台風の個数と割合に有意な増加が認められた（表 2）。傾きの 95％信頼区間は、個数で＋0.17～＋1.10 個/10 年、割合で＋0.95～＋4.51 ポイント/10 年である。個数の増加に対する p 値は、通常 OLS で 0.009、HAC で 0.005、Kendall 順位検定で 0.011 となり、複数の方法で有意性が確認された。また、開始年を 1984～1999 年のいずれに変更しても、個数の増加は通常 OLS で有意となった（図 3）。したがって、この増加は 1987 年を開始年とした場合に固有の結果ではなく、開始年をある程度変更しても認められる傾向である。

7　長期傾向の解釈と観測資料の均質性

数十年間の増加と長期変動

前節で確認した 1987〜2025 年の増加は、39 年分の年次記録に基づくものである。これは、地上の気象を観測するアメダスの運用開始（1974 年）以降の期間よりも短い［13］。数十年規模の変動を含む系列では、この時間幅で捉えた上昇が、さらに長い変動のどの部分に当たるかが、長期傾向を論じるうえで問題となる。

傾向の検出に必要な記録の長さは、年々の変動の大きさや持続性、観測精度、対象とする現象によって異なる。39 年間の記録からも、その期間内の増加を統計的に検出することは可能である。ただし、それを 100 年規模の変化や将来まで続く上昇として解釈するには、より長い記録や変動の成因に関する知見との照合が求められる。

図 3 では、調べたすべての開始年で猛烈な台風の個数の傾きは正であるが、1977 年開始の 95%信頼区間はゼロを含み、1987 年開始では含まない。この比較が示すのは、有意性の判定が解析期間に左右されるという点である。二つの傾きの差そのものを検定した結果ではなく、両期間が多くの年を共有していることにも留意を要する。

また、数十年間の変化には、気候の自然な内部変動、人為的な外部要因、観測方法の変化が重なって現れ得る。本稿の回帰分析が示すのは記録上の傾向であり、それぞれの寄与を分離するには別途、原因帰属の分析が必要となる。したがって、近年の増加と解析期間への依存性を確認したうえで、その成因の解明は今後の検討課題として残る。

観測記録の長さと均質性

北西太平洋では、1987 年前後に航空機観測から衛星画像による推定を主体とする体制へ移行した。その後も衛星、画像処理、解析手順は変化している。ベストトラックは、各時代に利用できた情報を基に作成された事後解析であるため、長期傾向にはこうした方法の変化が影響し得る。全期間に一貫した解析方法を適用した資料との比較が重要になるのは、このためである［5］。

この点を検討した Kawabata ほか（2023）は、1987〜2016 年の衛星画像に一貫したドボラック法を適用し、CI 数 6.0 以上の強い台風の個数と割合を調べた。同研究では、初期の台風強度を再評価した結果、元のベストトラックで見られた増加傾向が再解析資料では認められなくなった［5］。

同研究は、資料の均質化によって傾向の評価が変わり得ることを具体的に示している。ただし、対象期間は 30 年間で、強度の閾値も本稿の 105 kt 以上とは異なるため、本稿の 1987〜2025 年の増加のうち、どの程度が観測・解析方法の変化によるものかは、この比較だけでは定量化できない。

長期の記録は数十年規模の変動を把握するうえで有用であり、均質化された記録は観測方法の変化による影響を抑えるうえで有用である。したがって、記録の長さと均質性の両面から複数の資料を比較することが、台風強度の長期変化を評価するための基本となる。

8　世界の熱帯低気圧との比較

解析期間と長期変動の関係を考えるため、世界の熱帯低気圧の記録を参照する。ピールキーJr.とマウエは、2024 年 1 月 24 日付の記事「Global Tropical Cyclones」において、世界のハリケーン級熱帯低気圧の個数の変動を示した［7］。図 4 は、同記事に掲載されたマウエの原図を改変せずに引用したものである。

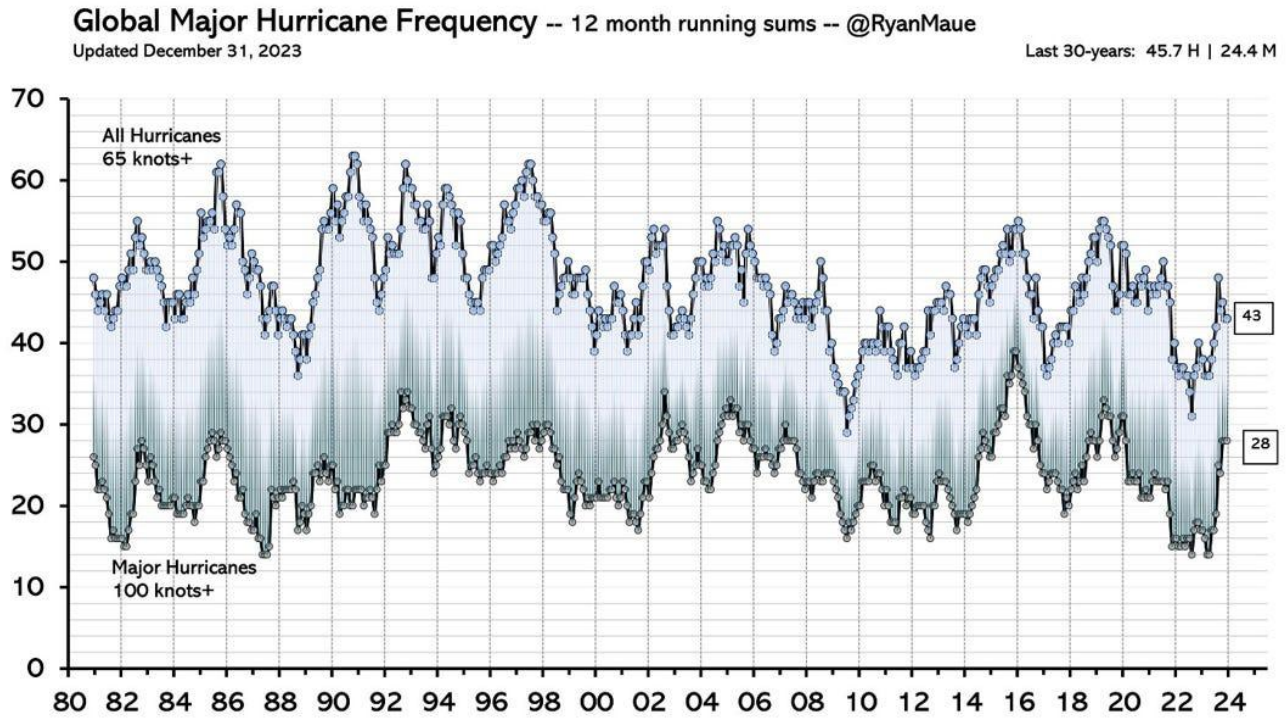


図 4　世界のハリケーン級熱帯低気圧の個数の変動　1980～2023 年
原図作成：Ryan Maue。出典：Pielke Jr. and Maue（2024）［7］、データ提供サイト［8］。原図の更新日は 2023 年 12 月 31 日。青は 1 分平均最大風速 65 kt 以上、黒は 100 kt 以上（major）に達した個数の 12 か月移動合計。英語表記と凡例は原図のまま。

図 4 には、個数が増える時期と減る時期が繰り返し現れている。表示されているのは 2023 年までの 12 か月移動合計であり、隣接する月の値には同じ台風が重複して含まれる。このため、本稿では統計的な傾向の検定には用いず、変動の時間的な広がりを概観する資料として参照する。また、図中の major は 1 分平均風速による区分であり、気象庁の 10 分平均風速による「猛烈な」と比較する際には、定義の違いを考慮する必要がある。

さらに長い期間を扱った研究として、北大西洋における Vecchi ほか（2021）の分析がある。同研究は過去の観測の見逃しを補正した系列を作成し、1970 年代以降のハリケーンと major hurricane の増加を、1960～1980 年代の低活動期からの回復として解釈した。すなわち、近年の増加は、19 世紀末から続く一方向の上昇としては捉えられないとされた［9］。

この研究では、内部変動とエアロゾルの影響によって、温室効果ガスの寄与が覆い隠されてきた可能性も論じられている。長期変動の存在と人為的影響の評価は、併せて検討すべき問題である。全球の図と北大西洋の研究は、数十年間の増加をより長い記録の中に位置付ける意義を示す例として有用であるが、北西太平洋で観測された変化の原因は、同海域の資料に即して検討する必要がある。

9　既存研究との比較と結論

強度の増加を報告した研究との比較

既存研究には、熱帯低気圧の強度の増加を報告したものもある。Kossin ほか（2020）は、均質化した 1979〜2017 年の全球の衛星資料を用い、ハリケーン級の 6 時間ごとの強度観測に占めるカテゴリー3〜5 の割合が増加したことを示した［10］。同研究は一定時間ごとの強度観測を標本とするのに対し、本稿は個々の台風を単位として、生涯に達した最大風速を集計している。対象海域や強度の閾値にも違いがある。

この標本単位の違いにより、強い台風の個数に明瞭な増加が見られない場合でも、高い強度の観測記録が占める割合は増加し得る。平均強度、強度別の個数と割合、高い強度の継続時間は、それぞれ変化の異なる側面を表している。約 40 年間の資料から増加を検出した研究を評価する際にも、期間の長さに加え、資料の均質性と指標の定義を確認することが重要である。

気象庁『日本の気候変動 2025』は、北西太平洋のカテゴリー4〜5 の熱帯低気圧について、1980 年代半ば以降の増加を中程度の確信度で紹介している。同時に、強度の定義、期間、手法、データセットによって評価が異なり、十分な評価には至っていないとしている［12］。本稿で得られた期間や指標による結果の違いは、こうした評価の不確実性を、気象庁の年次系列に即して示したものと位置付けられる。

Knutson による NOAA/GFDL サイトの解説も、北大西洋で 1980 年以降に見られる一部の増加傾向が、より長い期間を代表するとは限らないと指摘している［11］。本稿の分析とこれらの研究を合わせると、近年の変化を長期傾向として評価するには、時間幅、観測資料、強度指標の異なる結果を照合することが求められる。

10 結論

気象庁のベストトラックに基づく本稿の分析では、最大風速について 1977〜2025 年、最低中心気圧について 1951〜2025 年の全期間を対象とした場合、年平均値と強度別の個数・割合のいずれにも統計的に有意な増加は認められなかった。「強い」以上の台風の個数には有意な減少が認められた一方、1987〜2025 年に限ると、「猛烈な」台風の個数と割合は有意に増加していた。

猛烈な台風の近年の増加は、複数の検定方法と開始年で確認される。しかし、利用可能な全期間では有意性が得られず、観測・解析方法の変化による影響も残ることから、この結果だけをもって、台風全般が長期にわたり強まってきた、あるいは「激甚化した」と結論付ける根拠は十分ではない。世界の熱帯低気圧に関する長期記録と均質化研究も、数十年間の増加を、より長い変動と観測体制の変化の中に位置付けて評価する重要性を示している。

以上の結論は、北西太平洋・南シナ海における台風の最盛期の強度について、指定した期間と資料から得られたものである。推定の不確実性を縮小し、温暖化を含む各要因の寄与を明らかにするためには、均質化した資料の拡充と原因帰属の分析が必要となる。

付録　補助指標と再現方法

表 3　中心気圧の閾値別傾向　1951〜2025 年

指標	傾き	95%区間 通常 OLS	p 値 通常 OLS	p 値 HAC	p 値 順位検定
980 hPa 以下の個数	-0.40	-0.796〜-0.004	0.048	0.086	0.110
980 hPa 以下の割合	-0.67	-1.766〜+0.426	0.227	0.275	0.316
960 hPa 以下の個数	-0.09	-0.449〜+0.266	0.610	0.668	0.597
960 hPa 以下の割合	+0.11	-1.196〜+1.426	0.862	0.874	0.815
940 hPa 以下の個数	-0.05	-0.335〜+0.232	0.717	0.719	0.664
940 hPa 以下の割合	+0.11	-0.982〜+1.200	0.842	0.827	0.974
920 hPa 以下の個数	-0.09	-0.274〜+0.091	0.322	0.261	0.255
920 hPa 以下の割合	-0.26	-0.974〜+0.455	0.472	0.366	0.339

出典：気象庁［1、2］から計算。個数の傾きは個/10 年、割合はパーセントポイント/10 年。p 値はいずれも両側、多重比較未補正。

計算と検定

ベストトラックの階級 3、4、5、9 を台風段階として扱い、その間の記録から各台風の最大風速と最低中心気圧を求めた。集計対象とする記録時刻による差を確認するため、UTC の 00、06、12、18 時の記録に限定して再集計したところ、風速の極値はすべての台風で一致し、気圧の極値に差が生じた台風は 3 個であった。

回帰の説明変数には、年から対象期間の平均年を引き、10 で割った値を用いた。通常 OLS の信頼区間と p 値は、自由度 n − 2 の t 分布から求めた。HAC 標準誤差には Newey–West 法を用い、Bartlett 重み、最大ラグ 3 年、n/(n − 2)の有限標本補正を適用し、検定には t 分布による近似を用いた。HAC が考慮するのは残差の自己相関と不均一分散であり、観測・解析方法の系統的な変化は別途検討を要する。Kendall 順位検定には自己相関の補正を加えていない。

開始年の感度分析では、終了年を 2025 年に固定し、各期間に少なくとも 25 年分の記録を確保した。複数の開始年および指標について算出した p 値には多重比較補正を行っていないため、個々の p 値は探索的な比較の目安として示した。結果の解釈には、傾きの大きさ、信頼区間、開始年を変更した場合の傾向を併せて用いた。終了年を変更した網羅的な検定と、気候変動の原因帰属は、本稿の分析範囲に含めていない。

本稿が独自に実施した分析は、公開ベストトラックの集計と統計的検定である。均質化した資料に関する知見は文献に基づいており、ドボラック法による再解析、他機関の資料の再集計、最大風速の推定誤差の定量化は今後の課題となる。分析を再現できるよう、原データ、年次集計、回帰結果、開始年の感度分析、作図コードを再現用資料に収録し、取得した原データには SHA-256 を付した。

参考文献とデータ

［1］気象庁 RSMC Tokyo. Best Track Data 全期間ファイル。2026 年 9 月 24 日取得、2025 年までを使用。
https://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/Besttracks/bst_all.zip

［2］気象庁 RSMC Tokyo. Format of RSMC Best Track Data.
https://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/Besttracks/e_format_bst.html

［3］気象庁「台風の大きさと強さ」。10 分間平均風速とノットによる強度区分。
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/typhoon/1-3.html

［4］気象庁「台風の発生数」協定世界時基準。年次集計の照合に使用。
https://www.data.jma.go.jp/typhoon/statistics/generation/generation.html

［5］Kawabata, Y., Shimada, U., and Yamaguchi, M. (2023). The 30-year (1987–2016) Trend of Strong Typhoons and Genesis Locations Found in the Japan Meteorological Agency's Dvorak Reanalysis Data. Journal of the Meteorological Society of Japan, 101, 435–443.
https://doi.org/10.2151/jmsj.2023-025

［6］Knapp, K. R., Knaff, J. A., Sampson, C. R., Riggio, G. M., and Schnapp, A. D. (2013). A Pressure-Based Analysis of the Historical Western North Pacific Tropical Cyclone Intensity Record. Monthly Weather Review, 141, 2611–2631.
https://doi.org/10.1175/MWR-D-12-00323.1

［7］Pielke Jr., R., and Maue, R. (2024). Global Tropical Cyclones. The Honest Broker, 24 January 2024. 図 4 の原掲載記事。
https://rogerpielkejr.substack.com/p/global-tropical-cyclones

参考文献とデータ　続き

［8］Maue, R. Global Tropical Cyclone Activity. Climatlas. 更新型のデータ・図提供サイト。本稿の図4 は［7］に保存された 2023 年 12 月 31 日更新版。
https://climatlas.com/tropical/

［9］Vecchi, G. A., Landsea, C., Zhang, W., Villarini, G., and Knutson, T. (2021). Changes in Atlantic major hurricane frequency since the late-19th century. Nature Communications, 12, 4054.
https://doi.org/10.1038/s41467-021-24268-5

［10］Kossin, J. P., Knapp, K. R., Olander, T. L., and Velden, C. S. (2020). Global increase in major tropical cyclone exceedance probability over the past four decades. PNAS, 117, 11975–11980. 訂正：PNAS, 117, 29990, DOI 10.1073/pnas.2021573117。
https://doi.org/10.1073/pnas.1920849117

［11］Knutson, T. (2024). Global Warming and Hurricanes. NOAA/GFDL ウェブサイト掲載の研究解説、2024 年 11 月 20 日改訂。著者個人による解説。
https://www.gfdl.noaa.gov/global-warming-and-hurricanes/

［12］気象庁・文部科学省（2025）『日本の気候変動 2025』本編第 7 章「熱帯低気圧（台風など）」。
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ccj/2025/html_honpen/cc2025_honpen_7.html

［13］気象庁「地域気象観測システム（アメダス）」。1974 年 11 月 1 日の運用開始を確認。
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/amedas/kaisetsu.html