

台風の勢力と死者・行方不明者数の関係

津島俊介¹・牛山素行²

The Relationship between Typhoon Strength and Dead and Missing People

Shunsuke TSUSHIMA¹ and Motoyuki USHIYAMA²

Abstract

To show the relationship between typhoon strength and the scale of damage, we calculated typhoon strength using a simple index that combines the central pressure and the size of the typhoon and examined the relationship with the number of deaths and missing people. We also examined the relationship with the central pressure of the typhoon. Both indices were correlated with the number of deaths and missing people, and a relationship was found in which the stronger the typhoon strength, the greater the damage, which was similar to the results of previous studies conducted on typhoons before the 1980s. In addition, the damage caused by typhoons of the same strength has decreased over time, and this was also true for recent typhoons.

キーワード：台風，被害，勢力，死者・行方不明者，工率

Key words: Typhoon, Damage, Strength, Deaths and missing people, Power

1. はじめに

自然災害の被害は、台風や地震などその原因となる現象による力 (hazard, 外力) によってもたらされる。外力の規模と災害の規模の関係を示すことができれば、災害の発生が予想されるときに社会に対して注意を喚起する上で重要な情報となり得るが、こうした関係は必ずしも明確になっているわけではない。また、外力の規模と災害

(disaster, 被害) の規模の関係は1:1ではなく、長期的に見ればインフラ整備など社会環境の変化の影響を受けることが考えられるが、その実態も十分に明らかになっていない。外力と災害の関係の変化を長期的に検討するためには、時代を問わず得られ、共通に扱うことが出来る基本的な要素に基づいた指標を用いる必要がある。また、災害時に社会へ向けた注意喚起を行うことを考えると、

¹ 関西航空地方気象台
Kansai Aviation Weather Service Center, JMA

² 静岡大学防災総合センター
Shizuoka University Center for Integrated Research and Education of Natural Hazards

本稿に対する討議は2026年8月末日まで受け付ける。

なるべく簡便な指標でわかりやすく表現することができれば、効果的であると期待される。

災害をもたらす自然現象にも様々なものがあるが、本調査では全国各地に高頻度に災害をもたらしている気象を対象とし、その勢力というパラメータにより一意に外力を評価することが期待できる台風に着目する。

気象庁では、台風について1991年以降は中心付近の最大風速に準拠する「強さ」と平均風速15 m/s以上の強風が吹く領域（以下、強風域）に準拠する「大きさ」で勢力の目安を表しており（気象庁予報課，1991），1991年以前の「強さ」は中心気圧に、「大きさ」は1,000 hPaの等圧線に囲まれた領域の半径にそれぞれ準拠していた（館，1962）が、現在まで単一に勢力を表す指標は使用されていない。しかし、過去においては長期間に勢力と被害との関係を検討することを目的として、単一の指標（中心気圧，工率，M（台風マグニチュード））で勢力を見積もった調査が行われている。

高橋（1954）は、1938～1952年に上陸した主な台風について日本に上陸した時の「中心気圧」を勢力とし、被害（死傷者数，全半壊家屋数，流他家屋数など）との関係を調査し、上陸した台風の中心気圧が低いほど被害が大きくなる傾向を見出している。

高橋（1951）は、台風が1秒間ごとに失うエネルギーを、台風と地面と空気の摩擦により失われる運動エネルギー（右辺第一項）と大気中の流れの勾配によって失われる運動エネルギー（右辺第二項）の和として中心気圧（ ΔP ：上陸時の中心気圧と1,010 hPaの差，単位：hPa）と台風領域の半径（ R ：上陸時の台風領域の半径，単位：km）を用いた「工率（ W ）」として以下のように定義^[1]し、上陸時の工率を台風の勢力として、1934～1950年に日本に上陸した7つの台風による死者数および全壊家屋数と比較した。その結果，上陸した台風の工率が大きいほど被害が大きくなる傾向が見られた。

$$W = 1.5 \times 10^{12} \Delta P^2 R^3 + 1.7 \times 10^{13} \Delta P^4 R^2 \quad (\text{erg/sec})$$

高橋（1954）は1938～1952年，船津（1962）は

1940～1959年，高橋（1969）は1933～1961年に上陸した主な台風について，日本に上陸した時の工率を台風の勢力として被害（死者数，全壊家屋数など）との関係を調査し，上陸した台風の工率が大きいほど被害が大きくなる傾向を見出している。倉嶋・原（1972）は1961～1971年に日本に上陸したすべての台風について，日本に上陸した時の工率と死者数との関係を調べ，これを高橋（1954）による1938～1952年の結果と比較した。上陸時の台風の工率が大きいほど被害も大きくなるという傾向は時代が経過しても維持されるものの，1938～1952年において死者1,000人以上の大きな被害をもたらしたものと同程度の勢力の台風が上陸しても，1961～1971年については同様な被害は生じなくなったことなど，その度合いは時代が経過するごとに緩和されるという傾向も見出された。倉嶋・他（1984）は1971～1980年に本州に上陸した，横山・高瀬（1990）は1974～1988年に日本に上陸した台風すべてについて，日本に上陸した時の工率と死者・行方不明者数との関係を調べ，高橋（1954）および倉嶋・原（1972）の結果と比較した。倉嶋・原（1972）と同じく，上陸時の台風の工率が大きいほど被害が大きくなるという傾向が見え，その度合いは時代を経るごとに少なくなっていることが見られた。

福眞・櫃間（1991）は，台風の強さと大きさを総合した指標を「M（台風マグニチュード）」として，強さの階級と大きさの階級をあわせて数値化したものとして表1のように定義して，1961～1990年に日本に上陸したすべての台風について犠牲者（死者・行方不明者数）の関係を調べた。工率による結果と同じく，Mが大きいほど犠牲者は増加する傾向が見られた。また，同一規模の台風による犠牲者数は，1961～1970年に比べ1981～1990年は犠牲者が約半分になるなど，時代を経るごとに犠牲者数が少なくなる傾向も見られた。福眞（1992）は1951～1990年に日本に上陸したすべての台風についてMと犠牲者との関係を，福眞（1993）はMと住家被害及び船舶被害との関係を調べ，福眞・櫃間（1991）と同様の傾向が見られること，住家・船舶被害の減少は人命被害に比べ

表1 台風の強さと大きさを総合した指標「M」(福眞・櫃間, 1991)

		大きさ				
		ごく小型	小型	中型	大型	超大型
強さ	弱い	I	I	II	III	IV
	並み	II	II	III	IV	V
	強い	III	III	IV	V	VI
	非常に強い	IV	IV	V	VI	VII
	猛烈な	V	V	VI	VII	VIII

より大きな減少傾向を示すことを見出している。

近年においては、こうした台風の勢力を表す指標を用いた、外力と被害の関係については調査されていない。近年においても引き続き台風の勢力が強いほど被害が大きくなる傾向が維持されているのか、またその度合いについて、時代を経る事による変化が生じているのかということは興味深い。また、簡便な台風の勢力を表す指標と被害に一定の関係があるとわかれば、今将来襲する台風の予想勢力からある程度の被害の見積もりを行い、リアルタイムに注意喚起を行う事も期待できる。こうした動機のもと、本調査では1951~2023年に日本に上陸したすべての台風について、長期間に渡り連続性がある指標である工率を用いて上陸時の台風の勢力を評価し、集計の時期による基準の変動が比較的少ない死者・行方不明者数を被害の指標として、その関係を調査する。

一方で、先行研究における工率を算出する際に必要な台風の大きさは、台風領域と見なされる等圧線に囲まれた領域からそれぞれの方法で得られる半径から導出しており、半径の導き方および等圧線の選び方により、その長さおよびそこから得られる台風の大きさには作業員間の差が発生することが避けられない。加えて、台風領域を特定し半径を導出するには天気図を取り寄せることが必要で、決して簡便に算出できる指標ではないといえる。そこで、統一的かつ簡素な指標として用いることができる台風の大きさの指標として、現在気象庁により台風の大きさとして使用されている強風域(平均風速15m/s以上の強風が吹く領域)の半径(以下、強風半径)を用いて工率を算出し、被害との関係を調査する。もし等圧線に囲まれた領域から得られる半径(以下、等圧線半径)から

算出する工率に比べ同程度もしくはよい対応であれば、被害と対応が可能となり簡便な指標を得ることになる。

また、工率を算出する式はやや煩雑で、等圧線半径、強風半径のいずれを用いる場合でも算出には一定の手間が発生する。より簡便な、計算を要しない指標として、台風上陸時の中心気圧を勢力とすることも模索する。

2. 利用資料

本調査に利用した資料は項目別に以下の通りである。

2.1 上陸時刻, 中心気圧

上陸時刻, 中心気圧は, 気象要覧(1951~2000年, 中央気象台・気象庁作成)および台風位置表(2001~2023年, 気象庁作成)を用いた。

2.2 台風の領域, 等圧線半径

台風の領域を導出し, 等圧線半径を算出するための天気図は, 09時及び21時のものは極東天気図(1951~1958年7月, 中央気象台・気象庁作成)およびアジア太平洋天気図(1958年8月~2023年, 気象庁作成), 03時及び15時のものは速報天気図(1951~1996年, 中央気象台・気象庁作成)およびアジア太平洋天気図(1997~2023年, 気象庁作成)を用いた。

2.3 強風半径

強風半径は, 台風ベストトラック(1977~2023年, 気象庁作成)を用いた。

2.4 死者・行方不明者数

死者・行方不明者数は気象要覧（1951～1988年，中央气象台・気象庁作成），全国異常気象概報（1989～2013年，気象庁作成），消防白書（2014～2022年，消防庁作成）および被害及び消防機関等の対応状況（2023年，消防庁作成）を用いた。

3. 台風の勢力と被害の比較

本章では，1951～2023年に日本に上陸した台風213個について台風の勢力と被害（死者・行方不明者数）との関係を調査する。3.1節では台風を中心気圧および等圧線半径を用いて算出した工率（以下，等圧線工率），3.2節では台風を中心気圧，3.3節では台風を中心気圧および強風半径を用いて算出した工率（以下，強風工率）をそれぞれ台風の勢力として被害との関係を調査，またそれぞれの指標の比較も行う。

まず1951～2023年に日本に上陸した台風により生じた死者・行方不明者数を年ごとに示す（図1）。なお，死者・行方不明者が0人であった41個については除外している。また，ほぼ同時に複数の台風が上陸した場合（3例）には，被害（死者・行方不明者）がどちらの台風によるものかの区別が困難なため，勢力の大きい台風に統合している。

1,000人以上の死者・行方不明者が出た台風は1950年代までに，100人以上の死者・行方不明者

が出た台風は1970年代までに限られるなど，年を経るごとに台風による被害が小さくなっていることが見られる。しかし，1980年代から2010年代にかけてもおおよそ10年ごとに100人近くの死者・行方不明者が出た台風がある。

死者・行方不明者数の分布変化を定量的に見るために，20年（2011～2023年は13年）ごとの上陸台風による死者・行方不明者数を4つに区分して集計したものが表2である。1950～60年代には約2割の上陸台風が100人以上の死者・行方不明者を出していたが，1970年代以降は1つの上陸台風により100人以上の死者・行方不明者は出ていないことが見られる。また，10～99人の死者・行方不明者を出した上陸台風も時代を経るごとに徐々に減っていることが見られる。

3.1 等圧線工率

本節では，等圧線工率（台風を中心気圧および等圧線半径を用いて算出した工率）を台風の勢力とし，被害（死者・行方不明者数）との関係を調査する。関係を調査する前に，等圧線半径の導出方法および等圧線工率の算出方法について触れ，先行研究において導出された等圧線工率との比較を行う。

(1) 算出方法

1章にて前述した高橋（1951）により定義され

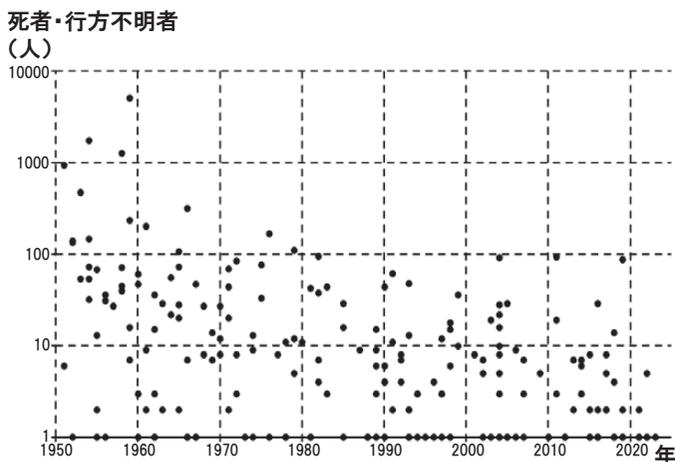


図1 1951～2023年に日本に上陸した台風による死者・行方不明者数

表2 上陸台風に対する死者・行方不明者数の分布

期間 [上陸数]	0人	1~9人	10~99人	100人以上
1951~1970 [64]	6 (9%)	18 (28%)	28 (44%)	12 (19%)
1971~1990 [49]	9 (18%)	20 (41%)	18 (37%)	2 (4%)
1991~2010 [56]	14 (25%)	28 (50%)	14 (25%)	0 (0%)
2011~2023 [41]	12 (29%)	24 (57%)	5 (12%)	0 (0%)
全期間 [210]	41 (19%)	90 (43%)	65 (31%)	14 (7%)

2~5列目の先頭行は死者・行方不明者の数、2~5列目の2行目以降の数字は上陸した台風の数、カッコ内は期間内の全上陸数に対する割合を示す。

た式を本稿でも用い、工率 (W) を求める。なお、単位は高橋 (1951) が用いた「erg/sec」から SI 単位系である「J/sec (以下、J/s と表記)」へと変更するため、以下のような式となる。なお、 ΔP は「上陸時^[2]の中心気圧と1,010 hPaの差 (単位: hPa)」、 R は「上陸時の台風領域の半径 (単位: km)」である。

$$W = 1.5 \times 10^5 \Delta P^3 R^2 + 1.7 \times 10^6 \Delta P^4 R^3 \text{ (J/s)}$$

本節における「台風領域」とは、高橋 (1951) にある「ほぼ円形に近い等圧線の範囲をもって台風の範囲とする」との記述を参考とし、「天気図において等圧線が密に閉じた範囲 (凹部を含んでもよい)」とした。図2に平成16年台風第22号について採った円形の等圧線を示す (点線)。北東側に凹となっているが、先行研究ではこの程度の凹部は許容することとしているため、多くの場合この領域の半径を一意に決定できない。倉嶋・他 (1984) は可能な限り作業員による値のずれを少なくするために「長径2個、短径2個を読み取り、それを平均」する方法を採ったが、これによってもまだ作業員により値が異なる懸念がある。そこで本調査では領域における長さを直接測り取る方法を取らず、台風領域の面積を算出し、そこから逆算して半径を求める方法を採用する^[3]。導出方法を以下に述べる。

- ①天気図上での台風領域のピクセル数 (A) を画像解析ソフト (ImageJ: <https://imagej.net/software/imagej/>) によって得る。
- ②天気図上で定まった面積を持つと分かっている領域 (本調査ではこれを東経130~140度の経線および北緯30~40度の緯線に囲まれた領域とし

た) のピクセル数 (B) を同ソフトによって得る。

- ③A を B で除算し、B の面積 (地球を回転楕円体と仮定して計算を行い約 $1.01 \times 10^6 \text{ km}^2$ と算出している) で乗算することで台風領域の面積を算出する。
- ④台風領域を円であると見なして、面積から円の半径を逆算することで「台風領域の半径 (台風の大きさ)」を算出する。

なお、図2に示した平成16年台風第22号については、上記の導出方法により台風領域の半径とし

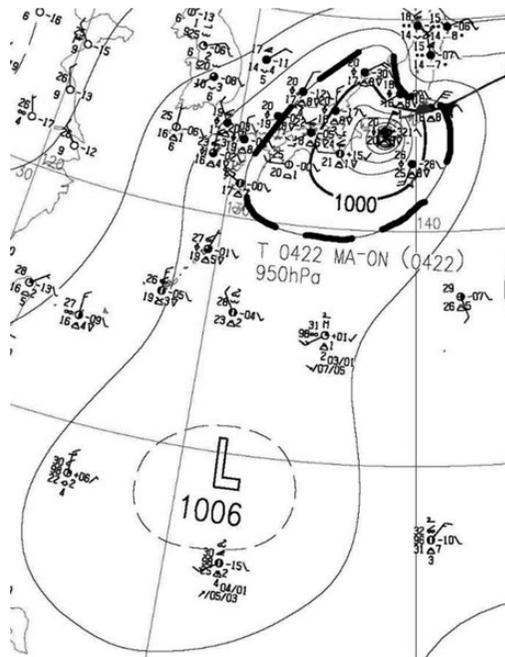


図2 2004年10月9日15時 (06UTC) のアジア太平洋天気図 (気象庁、抜粋)

本調査では太点線に囲われた部分を「台風領域」とした。

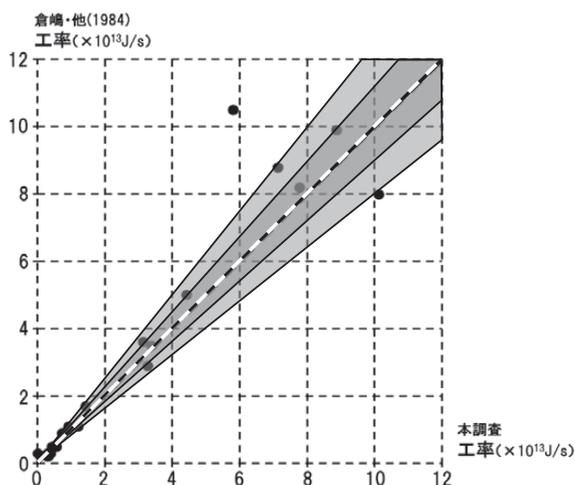


図3 1971～1980年に上陸した台風について、本調査と倉嶋・他(1984)にて算出された上陸時の等圧線工率

て約484 km という値を得ている。

(2) 先行研究による等圧線工率との比較

図3は、1971～1980年において上陸した台風21個について、本調査と倉嶋・他(1984)にて算出された上陸時の等圧線工率を比較したものである。全体に本調査において算出した等圧線工率よりも、倉嶋・他(1984)の等圧線工率の方が大きい傾向にある(傾き1の太い点線の上部により多くの点が分布している)。(図中に薄い灰色で示す)0.8～1.25倍の範囲に66%(14個)の台風が入っており、(図中に濃い灰色で示す)0.9～1.11倍に狭めた場合は33%(7個)の台風が入る。

等圧線工率の作業員間の比較の議論は倉嶋・原(1972)でも行われている。その際にも同じ台風に対する等圧線工率の作業員による相違が指摘されており、「円形等圧線の半径を求めるのに若干の主観がはいるため、台風の工率の数値は調査する人によっていくぶん異なってくる」との記載がある。しかし一方で、「(台風の工率の数値は)ケタ数までは異なることはない」「この程度の数値の相違は、本調査で得られた結論には相違しない」と結論に大きな影響はないとしている。本調査で行う勢力と被害(死者・行方不明者数)の解析(3.1(4))でも工率を対数として10倍を1目盛りとして軸を取るため、1.25倍の相違は約0.1目盛

りというわずかな差として表示されることもあり、こうした相違は本調査の結論に対して大きな影響を及ぼすことはないと考えられる。しかし、台風によっては倉嶋・原(1972)では2倍以上、本調査でも2倍程度の小さくない相違が見られるものもある。本調査では作業員による相違をできるだけ少なくするように等圧線半径の導出方法を模索したが、それでも等圧線の選び方により相違は生じうるため、より簡素に台風の勢力の算出方法を検討する必要がある。

(3) 調査期間における等圧線工率

図4は、1951～2023年に日本に上陸した台風について、上陸時の等圧線工率を年ごとに示したものである。概して工率の小さい上陸台風ほど数が多いことが見られる。また、時代を経るごとに等圧線工率の大きい台風の上陸が増えている、ないしは減っているなどの明瞭な時代による変遷は見られないものの、等圧線工率が突出して大きい(15.0×10^{13} J/s以上)の上陸台風が1950～60年代に見られる。しかし、近年においてこうした台風は上陸していない。

(4) 死者・行方不明者数の関係

図5は、台風の上陸時の等圧線工率とその台風による死者・行方不明者数を両対数の散布図にプロットしたものである。

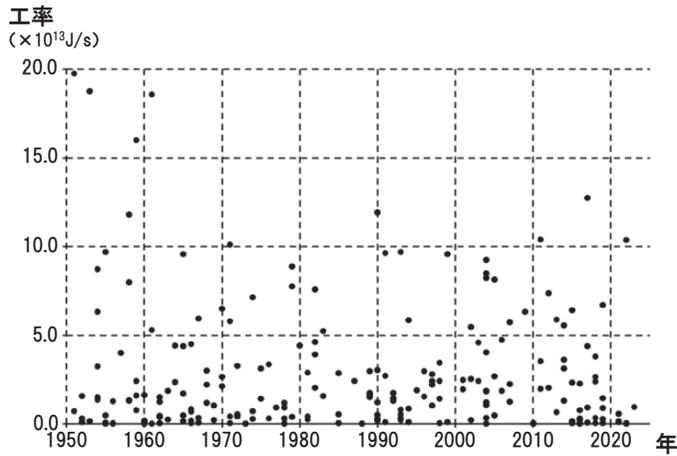


図4 1951～2023年に日本に上陸した台風の上陸時工率

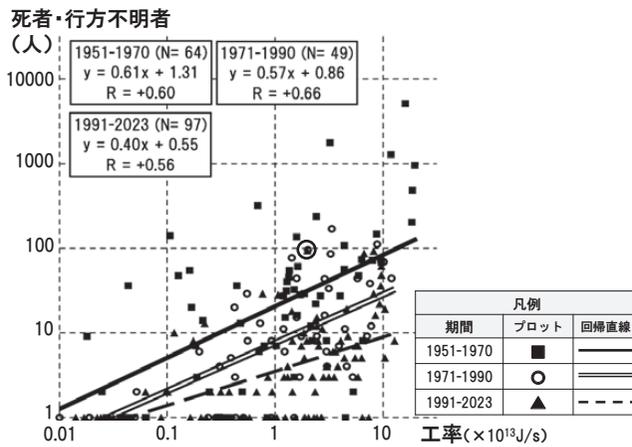


図5 1951～2023年に日本に上陸した台風の上陸時の等圧線工率と死者・行方不明者数の関係

3 期間に分け、それぞれ凡例の通りのプロット記号、線を用いて散布図、回帰直線を描いている。また、それぞれの期間における上陸台風の数 (N)、回帰直線の式、相関係数 (R) を左上部分に記載する。

調査した全期間において、等圧線工率が大きくなるとともに死者・行方不明者が増加するという先行研究でも見られたものと同様の傾向が見られる。また、1991～2023年の相関係数 (R) が他期間に比べ小さくなっていることから、近年はその傾向がやや不明瞭であるといえる。また、回帰直線が近年になるに従いグラフの下部に移動していき、また傾きも小さくなってきていることから、近年になるにつれて同じ等圧線工率の台風による

死者・行方不明者は少なくなっており、より等圧線工率の大きい台風に対しては顕著に死者・行方不明者数が減少しているといえる。この傾向も先行研究で見出された結果と一致しており、先行研究では調査されていない1990年代以降もこの傾向が継続していることが見られる。故に今後上陸する台風について近年 (1991～2023年) の関係をもとに、例えば約 3.0×10^{13} J/s の工率を持つ台風が上陸したときに、およそ6名の死者・行方不明者

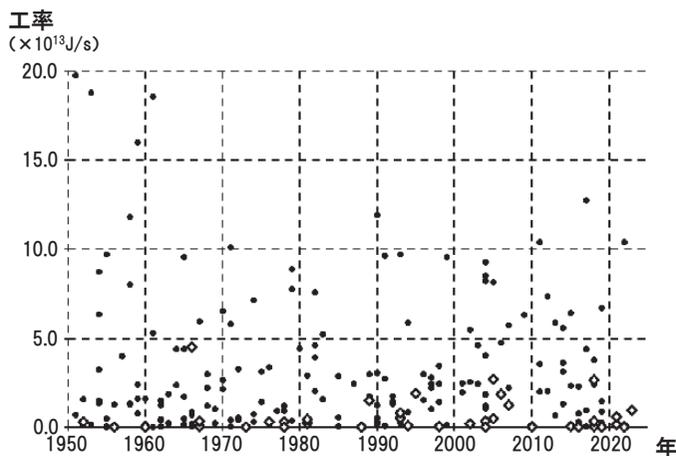


図6 死者・行方不明者が0人であった台風の上陸時の等圧線工率
 図4 (1951～2023年に日本に上陸した台風の上陸時の等圧線工率) について、死者・
 行方不明者が0人であったものについて表示を「◇」としている。

が出る可能性がある、というように上陸時の等圧線工率からおおよその被害を見積もることは可能と考える。しかし前述のように、1970年代以降においては等圧線工率が突出して大きい台風の上陸事例がないため、同等の勢力を持つ台風がもし現代に上陸したとして、死者・行方不明者数がかつてより減少するとは限らない。

(5) 死者・行方不明者0人の台風

図5は、死者・行方不明者0人の台風を除外している。これらの事例を取り上げるため、1951～2023年に日本に上陸した台風について、上陸時の等圧線工率を年ごとに示したもの(図4)の死者・行方不明者0人の台風について記号を「◇」に変えたものを図6に示している。死者・行方不明者0人の台風は、等圧線工率が比較的小さい(5.0×10^{13} J/s以下)の台風に限られている。また、1980年代まではその中でも等圧線工率がより小さい台風(1.0×10^{13} J/s以下)にはほぼ限定されていたが、1990年代からはそれよりも等圧線工率が高い台風(2.0×10^{13} J/s以上)の台風にも死者・行方不明者0人のものが出てきている、等圧線工率がより大きい台風による被害も減ってきていることを示唆する変化が見られる。

表2の2列目に、10年(2011～2023年は13年)ごとの死者・行方不明者が0人であった台風の数

とその期間に上陸した台風に対する割合を示しているが、これを見ると1950～60年代は台風の数に占める死者・行方不明者が0人の台風の割合がおおよそ10%であったものが、1970～80年代にはおおよそ20%、1990年代以降はおおよそ30%と、徐々に割合が高くなっていることが見られ、図6によるものと同じく台風による被害が年々減っている傾向が見られる。

3.2 中心気圧

3.1(2)にて先述した通り、等圧線工率の算出に際しては台風領域と見なす等圧線の選び方が作業により異なる可能性があり、それによって導出される半径に相違が生じる可能性がある。また、台風の領域面積、半径を見積もるには天気図を取り寄せ、解析を行うという手間が生じる。そこで一いつ簡素に勢力を見積もる方法として、台風の中心気圧を用いた方法を検討する。

本節では、上陸時の台風の中心気圧を台風の勢力とし、3.1節と同様に被害(死者・行方不明者数)との関係を調査する。また、3.1節での等圧線工率による結果を比較し、被害の見積もりに際して、等圧線工率のように利用可能かどうかについても模索する。

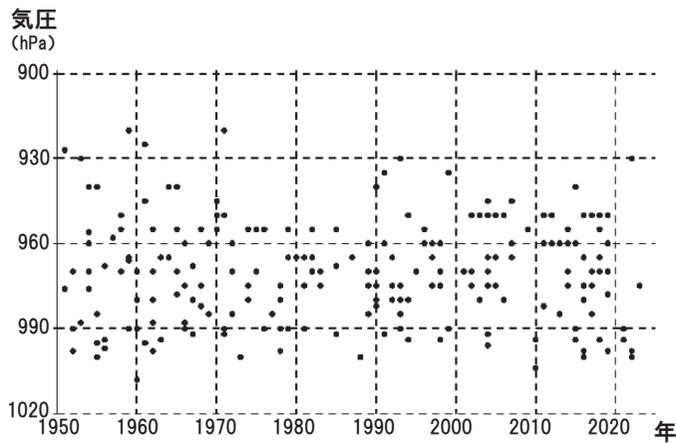


図7 1951～2023年に日本に上陸した台風の上陸時中心気圧

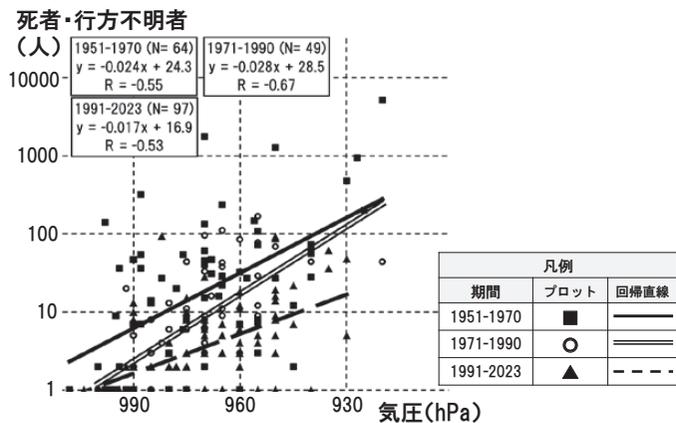


図8 1951～2023年に日本に上陸した台風の上陸時中心気圧と死者・行方不明者数の関係

3期間に分け、それぞれ凡例の通りのプロット記号、線を用いて散布図、回帰直線を描いている。また、それぞれの期間における上陸台風の数(N)、回帰直線の式、相関係数(R)を左上部分に記載する。

(1) 調査期間における台風の中心気圧

図7は1951～2023年に日本に上陸した台風213個について、上陸時の中心気圧を年ごとに示したものである。

全時代に共通して、960～990 hPaの中心気圧で上陸した台風が多い。また、時代を経るにつれて中心気圧の低い(勢力が強い)台風の上陸が増えている、または減っているなどの明瞭な相違は見られないなかで、1970～80年代において950 hPa未満の上陸台風が他の期間に比べ少ないこと、

1950～60年代においてのみ930 hPa未満の台風が上陸していることなど、細かい相違が見られる。

(2) 死者・行方不明者数との関係

図8は、1951～2023年に日本に上陸した台風について、台風の上陸時の中心気圧とその台風による死者・行方不明者数を、後者のみ対数軸にした散布図にプロットしたものである。なお、図5と同様、死者・行方不明者が0人であった41個については除外し、ほぼ同時に複数の台風が上陸した場合(3例)は、中心気圧の低い(勢力の大きい)

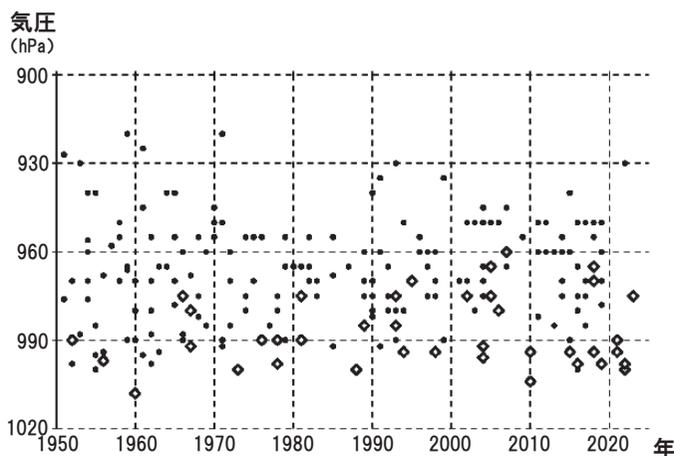


図9 死者・行方不明者が0人であった台風の上陸時の中心気圧

図7 (1951～2023年に日本に上陸した台風の上陸時中心気圧) について、死者・行方不明者が0人であったものについて表示を「◇」としている。

台風に統合している。

調査した全期間において、勢力が大きく（中心気圧が低く）なるとともに死者・行方不明者数が増加するという傾向が見られる。また、1991～2023年の相関係数(R)が他期間に比べ小さくなっていることから、近年はその傾向がやや不明瞭であるといえる。また、回帰直線が近年になるに従いグラフの下部に移動していることから、近年になるにつれて同じ中心気圧で上陸する台風による死者・行方不明者は少なくなっているといえる。しかし、1970年代以降については930 hPa未滿の中心気圧を持つ台風の上陸事例がなくなっているため、この勢力を持つ台風が今後上陸した場合、死者・行方不明者数がかつてより減少するとは限らない。

この結果を、等圧線工率を勢力とした被害との関係(3.1(4)、図5)と比較すると、「勢力が大きくなるとともに死者・行方不明者数が増加するという傾向」および「近年になるにつれて同様の勢力で上陸する台風による死者・行方不明者は少なくなる傾向」については一致しているといえる。また、それぞれの年代の相関係数(R)の値より、等圧線工率を勢力としたものの方が、わずかに相関が強いといえるがその差は大きくなく、等圧線工率の代わりに、中心気圧を用いて台風の勢力を

評価し、被害を見積もることは十分可能と考えられる。

(3) 死者・行方不明者0人の台風

前項(2)における分析は、死者・行方不明者数を対数軸にプロットしたため、死者・行方不明者が0人の事例を除外している。これらの事例について評価するために、1951～2023年に日本に上陸した台風について、上陸時の中心気圧を年ごとに示したもの(図7)の死者・行方不明者が0人であった台風について記号を「◇」に変えたものを図9に示している。死者・行方不明者が0人の台風は、比較的勢力の小さい(960 hPa以上)の台風に限られている。また、1980年代まではその中でもより勢力の小さい台風(975 hPa以上)に限定されていたが、1990年代からはそれよりも勢力の大きい台風(970 hPa以下)の台風にも死者・行方不明者が0人のものが出てきている、より勢力が大きい台風による被害も減ってきている、という時代による変化が見られる。

3.3 強風工率

3.1(2)にて先述した通り、等圧線工率の算出に際しては台風領域と見なす等圧線の選び方が作業者により異なる可能性があり、それによって導出される等圧線半径に相違が生じる可能性がある。

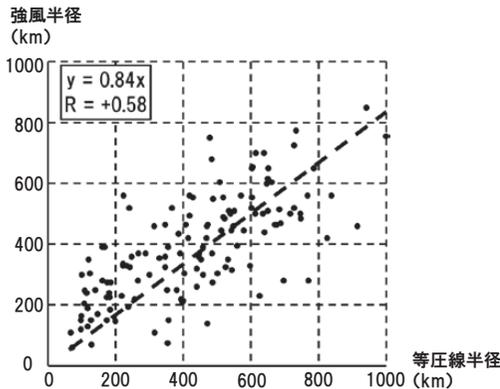


図10 1977~2023年に上陸した台風についての上陸時の等圧線半径と強風半径の関係
回帰直線の式、相関係数(R)を左上部分に記載する。

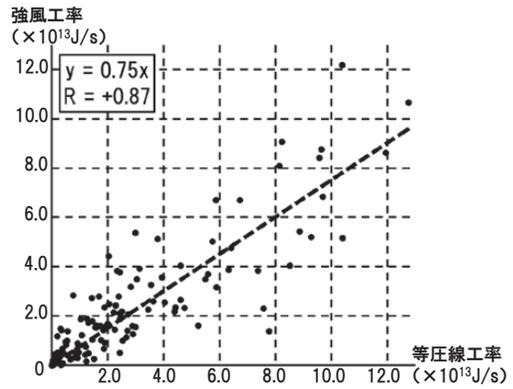


図11 1977~2023年に上陸した台風についての上陸時の等圧線工率と強風工率の関係
回帰直線の式、相関係数(R)を左上部分に記載する。

また、台風の領域面積、半径を見積もるには天気図を取り寄せ、解析を行うという手間が生じる。そこで一意かつ簡素に工率を求める方法として、台風の大きさに強風半径を用いる方法を検討する。強風半径を用いて得られた工率(強風工率)を台風の勢力とし、3.1節と同様に被害(死者・行方不明者数)との関係を調査する。また、3.1節での等圧線工率による結果と比較し、被害の見積もりに際して等圧線工率のように利用可能かどうかについても模索する。

(1) 算出方法、強風半径と等圧線半径および強風工率と等圧線工率の比較

台風の強風半径は台風の強風域(平均風速15 m/s以上の強風が吹く領域)の半径のことをいい、台風ベストトラック(気象庁)データにまとめられている(1977年~)。なお、台風を中心に対して等しく風が吹いていない状況では、「南西側600 km, 北東側400 km」など、偏った分布となることもあるが、その場合はこの値を平均したものを強風半径とし、これを半径Rとして3.1(1)にて記載した式に代入、計算して強風工率を得る。

図10は1977~2023年において上陸したすべての台風133個について、等圧線半径と強風半径の上陸時の値をプロットした散布図である。等圧線半径が大きくなれば強風半径も大きくなるという正

の相関があり、回帰直線(点線)から強風半径は等圧線半径に対して約0.8倍と、やや小さくなる傾向が見られる。

図11は1977~2023年において上陸したすべての台風133個について、等圧線工率と強風工率の上陸時の値をプロットした散布図である。等圧線工率が大きくなれば強風工率が大きくなるという傾向がみられ、互いの相関も強い。また、回帰直線から(点線)から強風工率は等圧線工率に対してやや小さくなる、半径と同様の傾向が見られる。

(2) 死者・行方不明者数との関係

図12と図13は、図5と同様に台風の上陸時の両工率とその台風による死者・行方不明者数を両対数の散布図にプロットしたものである。図12には強風工率、図13には等圧線工率を用いている。なお、強風半径に用いるデータが1977年からであるため、図のデータ期間も1977~2023年とし、期間の区分もおおよそ15年ごと(1977~1990年, 1991~2005年, 2006~2023年)として、等圧線工率に関する図は図5とは異なる、図13として描き直している。

調査した全期間において、強風工率が大きくなれば死者・行方不明者数が増加するという傾向が見られる。また、2006~2023年の相関係数(R)が他期間に比べ小さくなっていることから、近年はその傾向がやや不明瞭であるといえる。また、

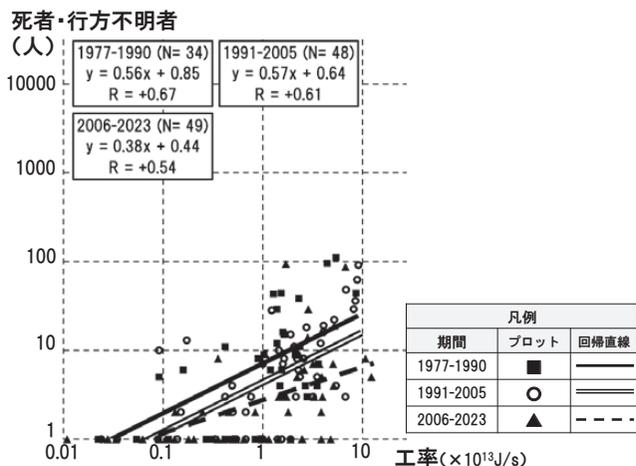


図12 1977～2023年に日本に上陸した台風の上陸時強風工率と死者・行方不明者数の関係

3 期間に分け、それぞれ凡例の通りのプロット記号、線を用いて散布図、回帰直線を描いている。また、それぞれの期間における上陸台風の数 (N)、回帰直線の式、相関係数 (R) を左上部分に記載する。

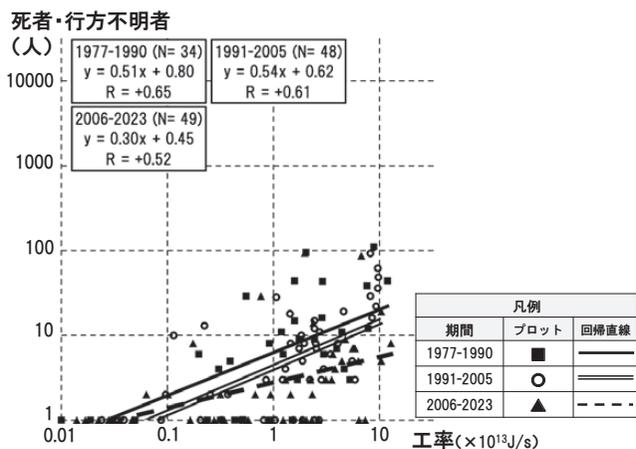


図13 1977～2023年に日本に上陸した台風の上陸時等圧線工率と死者・行方不明者数の関係

3 期間に分け、それぞれ凡例の通りのプロット記号、線を用いて散布図、回帰直線を描いている。また、それぞれの期間における上陸台風の数 (N)、回帰直線の式、相関係数 (R) を左上部分に記載する。

回帰直線が近年になるに従いグラフの下部に移動していることから、近年になるにつれて同じ強風工率の台風による死者・行方不明者は少なくなっているといえる。

この傾向は同期間における等圧線工率においても同様にいえ、またそれぞれの年代の相関係数

(R) の値より、強風工率を勢力としたものの方が差は大きくないとはいえ等圧線工率よりわずかに値は高く、等圧線工率の代わりに強風工率を用いて台風の勢力を評価し、被害を見積もることは十分可能と考えられる。今後上陸する台風について近年 (2006～2023年) の関係をもとに、例えば約

3.0×10^{13} J/s の工率を持つ台風が上陸したときに、およそ 4 名の死者・行方不明者が出る可能性がある^[4]、というように上陸時の強風工率からおおよその被害を見積もることは可能と考える。

4. まとめ

台風による外力の規模と災害の規模の関係を示すために、台風の勢力を過去の研究で用いられていた簡便な指標である工率（等圧線工率）で算出した。上陸時の等圧線工率を台風の勢力として、死者・行方不明者数との関係を1951～2023年に日本に上陸した台風について比較し、調査した。

また、等圧線工率はその算出に用いる、等圧線半径の導出に作業者による相違が生じるため、より一意な値となる簡便な指標として台風の中心気圧および強風半径から算出される強風工率を用いることを検討、等圧線工率の結果と比較した。その結果、以下が得られた。

- ・全期間（1951～2023年）において、勢力が強く（等圧線工率が大きく）なるとともに死者・行方不明者数が増加する傾向が見られた。これは先行研究で見られた傾向と同様のものであり、先行研究では調査されていない1990年代以降も傾向が継続しており、近年においても上陸時の勢力（等圧線工率）からおおよその被害を見積もることは可能であると考えられる。
- ・時代別の比較より、近年になるにつれて同じ勢力（等圧線工率）で上陸する台風による死者・行方不明者は減っていく傾向も見られた。
- ・上陸した台風の勢力に時代による大きな変化は見られない。しかし、主に1950～60年代に上陸していた特に勢力の強い台風（工率 15.0×10^{13} J/s 以上）は、それ以降の期間についてはほぼ上陸していない。このため、今後このような勢力の台風が上陸したときにどのくらいの被害が生ずるかを見積もることはできない。
- ・台風の中心気圧および強風工率を勢力の指標とした場合も、等圧線工率を指標とした場合とほぼ変わらず、上記の傾向が見られた（1977年以降を対象とする強風工率については、3点目の特徴は除外される）。このため、台風の被害を

見積もるために、等圧線工率よりも簡素に算出が可能な中心気圧および強風工率を用いることは有効だと考えられる。

台風による災害が懸念される際に、その台風が接近・上陸した場合にどの程度の被害が起ころうかを見積もることができれば、一定の裏付けを持った注意喚起を促す災害情報となることが期待される。こうした見積もりにはより高度な手法も考えられるが、災害情報として広く社会に伝えることを考慮すると、多くの人がその内容を理解しうる簡単な手法にも意義があると考えられる。本調査で検討した被害の見積もりは、若干の数学的な処理が必要ではあるが、中心気圧と強風半径という、台風接近時に広く伝えられている情報だけで算出可能であり、見積もり方の説明が比較的容易であると考えられる。台風に伴う被害軽減のための簡易な災害情報のひとつとして有効であろう。

本調査で用いた指標は、気圧によるもの、つまり外力としては風によるものを評価している。しかし、台風による被害は風による暴風害、波浪害、高潮害などに加え、雨による土砂災害、洪水害、浸水害によってももたらされ、牛山・他（2021）は、1999～2018年の風水害に伴う死者・行方不明者数の約9割は洪水または土砂災害によるものであるとしている。例えば、2011年台風第12号は、勢力としては比較的弱いものであったが、死者・行方不明者数は97名と近年（1991～2023年）では最大の被害が生じた。この台風の勢力と被害を示したマーク（▲）を等圧線工率について図5に丸で囲んでいるが、台風の勢力と死者・行方不明者数の近年の分布からは外れている。

雨による外力を評価する方法としては、上陸した台風による総降水量を水の重さである「億トン」で求め評価したもの（関口（1964））があり、近年においては、雨量による土砂災害、浸水害、洪水害の指数も開発されている（気象庁大気海洋部気象リスク対策課（2023））。ただ、本調査で台風の勢力を評価した指標については、外力としては風によるもののみを評価しているが、一般に台風が大きければ、また強ければその雨量も多くなるであろうということも考えることが可能であり、雨

による外力と全く無縁とは言い切れない。しかし、台風の種類や前線の影響、地形の効果により小さい、または弱い台風によるものでも雨量が多くなることも考えられる。中心気圧や工率と雨量の関係、ならびに被害との関係を明らかにすることは今後の課題と考えている。

補注

- [1] 高橋 (1951) では半径 R を 111 km 単位として立式しているが、本稿では km 単位に修正し式変形している。
- [2] 上陸時とは、台風が上陸した時刻 (日本時) より前の 03, 09, 15, 21 時のいずれかの時刻とする。例えば、「01時ごろ」に上陸した台風の上陸時は前日 21 時、「09時前」であればその日の 03 時となる。
- [3] 面積の算出には GIS を利用することも考えられたが、本研究では導入することができず、本手法を用いている。
- [4] 3.1(4) とは期間および工率の値が異なるため、見積もられる死者・行方不明者数も若干異なる。

参考文献

- 気象庁予報課：台風の大きさ・強さの階級分けの基準を変更 - 「気圧準拠」から「風速準拠」へ、*気象*, No.408, pp.17, 1991.
- 館知之：台風の大きさと強さの分類について、*気象庁測候時報*, Vol.29, No.10, pp.339-342, 1962.
- 高橋浩一郎：日本の風水害について、*予報研究ノート*, Vol.5, pp.312-340, 1954.
- 高橋浩一郎：台風のエネルギーについて、*中央気象台彙報*, Vol.35 (3), pp.268-283, 1951.
- 船津康一：台風災害について (災害規模と台風の発

- 生地域、経路との関係)、*天気*, Vol.9 (4), pp.117-125, 1962.
- 高橋浩一郎：総観気象学、岩波書店, pp.197-229, 1969.
- 倉嶋厚・原達也：死者数からみた気象災害の変遷について、*気象庁研究時報*, Vol.24, pp.317-332, 1972.
- 倉嶋厚・舟田久之・中鉢幸悦：1970年代の台風と死者災害について、*気象庁研究時報*, Vol.36 (1), pp.15-22, 1984.
- 横山博・高瀬邦夫：気象災害史, 昭和災害史, 日本損害保険協会, pp.148-162, 1990.
- 福眞吉美・櫃間道夫：台風による犠牲者数の変遷と今後の課題、*気象*, Vol.409, pp.10-12, 1991.
- 福眞吉美：台風の上陸に伴う犠牲者数の変遷、*災害の研究*, Vol.23, pp.84-89, 1992.
- 福眞吉美：台風の規模を用いた住家及び船舶被害の変遷と防災要因の評価の試み、*災害の研究*, Vol.24, pp.128-135, 1993.
- 近畿地方整備局：2011年紀伊半島大水害 国土交通省近畿地方整備局災害対応の記録, 2012.
- 気象庁大気海洋部気象リスク対策課：雨による災害危険度を表す指数と警報の危険度分布、*気象庁測候時報*, Vol.90, No.8, 2023.
- 牛山素行・本間基寛・横幕早季・杉村晃一：2019年台風19号による人的被害の特徴、*自然災害科学*, Vol.40, No.1, pp.82-102, 2021.
- 関口武・福岡義隆：兩台風と風台風、*天気*, Vol.11 (2), pp.53-57, 1964.
- 気象庁、台風ベストトラック、<https://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/besttrack.html> (2025年3月13日確認)

(投稿受理：2025年3月13日
訂正稿受理：2025年7月21日)

要 旨

台風の強さと被害規模の関係性を示すため、中心気圧と台風の大きさを組み合わせた単純な指標で台風の強さを算出し、死者・行方不明者数との関係性を調べた。また、台風の中心気圧との関係性も調べた。両指標は死者・行方不明者数と相関関係にあり、台風の勢力が大きいほど被害が大きいという関係がみられ、これは1980年代以前の台風を対象に行われた先行研究と同様な結果だった。また、時代を経るほど、同じぐらいの強さの台風による被害は少なくなっており、近年の台風についても同様であった。