2013 年台風 18 号の降雨形態の特徴

Characteristics of Rainfall Noticing to 2013 Typhoon 18

北海道大学工学部 ○学生員 北海道大学院工学院 学生員 ¾ 北海道大学大学院工学研究院 正員 ↓

中臺銀河(Ginga Nakadai) 渡部大和(Yamato Watanabe) 山田朋人(Tomohito Yamada)

1. はじめに

2013 年 12 月現在、同年に発生した台風は 31 個であ り、1977 年に気象衛星ひまわり Multi-functional Transport Satellite(以下 MTSAT)による観測が開始されて 以降の 37 年間の台風発生個数の年平均 25.5 個を上回っ た。同年に発生した台風は日本及び周辺国に甚大な被害 をもたらした。台風の発達機構を明確にすることは、台 風の進路や規模の予測の可能性を向上させ、被害軽減を 図る上で不可欠である。

中でも、2013 年台風 18 号(以下、台風 18 号)は北緯 30 度以北の日本付近で急激に発達した特異な例である。 (図-3 において議論)Gray(1975)は台風の発生を 6 つの因 子で説明しており、下層の相対渦度、コリオリ因子及び 鉛直シアーを力学的要因として、海洋の熱エネルギー、 地表付近と対流圏中層の間の相当温位傾度及び中層の湿 度を熱的要因として挙げた¹⁾。また、今後地球温暖化の 影響で海面水温の上昇が予想されていることは周知の事 実であり、前述の熱エネルギーに起因して、台風 18 号 のような日本付近で急激に発達する台風が増加する可能 性が示唆される。よって本研究では海面水温に着目し、 台風 18 号の発達過程との関連性を解析する。また台風 の強度の指標となる中心気圧の時間変化についても議論 を行う。

台風 18 号に伴って、日本全国で記録的な大雨が観測 された。その結果、床下及び床上浸水の被害件数は全国 で1万件以上となった2)。このように台風に伴う降雨に よる被害は深刻であり、降雨強度の予測は防災面におい て重要である。現在、日本では 5cm の波長を有する C バンドレーダがレーダ雨量計として実用化されている。 レーダ雨量計は広範囲の降雨を観測できるが、降雨の種 類によっては降雨強度を正しく測定できない場合がある。 そのため対流性雲及び層状性雲ごとの関連パラメータを 決定することが重要であると指摘されており、先行研究 では降雨強度によって対流性雲と層状性雲を分類し、対 流性雲に対してレーダ因子と降雨強度の関係Z= 368R^{1.21} を採用している^{3), 4)}。そこで本研究は、地上レ ーダ雨量計の降雨強度推定の精度向上に資することを目 的とし、MTSAT 近赤外線放射データによる雲分類手法 に基づき雲種類ごとの雨滴粒径分布特性を明らかにする 5),6)

2 章にて使用するデータについて説明し、3 章におい て本研究の解析対象である台風 18 号の概要と本研究に おける解析により得られた特徴を記述する。4 章におい ては、雨滴粒径分布と降雨強度の関係の概要と雲分類デ ータに基づく降雨強度の推定に関する結果を紹介する。 最後に5章でまとめを示す。

2. 使用データ

2.1 雨滴粒径分布と降雨強度

本研究は和歌山県白浜沖にある京都大学田辺中島高潮 観測塔の観測データを使用する。当観測塔は東経 135' 20"北緯 33'42"に位置し、我が国唯一の洋上固定観 測点である。著者らは 2013 年 8 月中旬から 11 月中旬ま で観測を行った。尚観測対象は風速、風向、気温、湿度、 水温、日射、気圧、波高、微粒子、雨滴粒径と通過速度 及び降雨強度である。本研究では 2013 年 9 月~10 月の 61 日間の観測データを使用した。 雨滴粒径と降雨強度 の観測にはディスドロメーター雨滴計を利用し、粒径 32 種類(0~25mm)×速度 32 種類(0~22.4m/s)のデータ が取得可能である。2 つの最小粒径は、信号に対する騒 音の影響が大きくなるため⁴⁾、また地上において粒径 8mm 以上の雨は地上で観測されていないため⁷⁰、本研 究で使用する雨滴粒径は、0.312mm-7.5mm の 21 種類と する。当データは5章及び図-7にて使用する。

2.2 MTSAT データによる雲分類

本研究では、MTSAT の近赤外線データを基にした雲 分類手法は、氷と水の近赤外線放射の吸収特性の差と、 雲頂高度により輝度温度が異なることを利用し雲を分別



図-1 本研究において使用する雲分類ダイアグラム ^{5).6)}。横軸は IR により得られた輝度温度を縦軸 には IR1 と IR2 で得られた輝度温度の差を示 す。

する。この際、氷と水の吸収特性の差が最も大きい、 IR1(infrared 1 10.8µm)と IR2(infrared 1 12.0µm)を利用す る。尚、時空解像度1時間且つ 0.05°の分解能を有する。 図-1 に示す Cb は積乱雲、M-Cb は積雲、Tk-Ci は厚い 巻雲、Ti-Ci は薄い巻雲、MC は中層雲、LC は低層雲、 Clear は晴天を表す⁵⁾。積乱雲と積雲を対流性、巻雲と 中層雲及び低層雲を層状性の雲として解析を行う。

2.3 その他のデータ

4 章で使用している海面水温データは、気象庁ホーム ページより取得した⁸⁾。このデータは人工衛星とブイ及 び船舶による観測値を基にした複合データである。台風 に関するデータは、国立情報学研究所によるデータベー スであるデジタル台風より取得した。当データベースは MTSAT により観測される可視画像に基づくものである。 中心気圧は衛星画像をドボラック法により解析したもの である⁹。

3. 台風 18 号

3.1 台風 18 号の概要

台風18号は日本時間9月13日0時頃小笠原諸島付近 で熱帯低気圧から台風に変わり、同15日23時頃愛知県 豊橋市付近に上陸した。関東地方から東北地方を通過し、 同16日12時頃北海道の東の海上で温帯低気圧となった (UTC時刻)。その中心位置と強度を図-2に示す。台風 18号の最低中心気圧は960hPa、最大風速は33.4m/s で ある。台風18号通過時、日本は広い範囲で大雨となり、 各所で突風が発生した。全国で死者6人、行方不明者1 人という被害をもたらした²⁾。

通常台風は北緯 15~20 度、東経 125~150 度で発達す ることが多いが、台風 18 号は前述したように北緯 30 度



図-2 台風の中心位置と強度を表す図。大〇は 0 時地 点、中〇は 12 時地点、小〇は 3~6 時間おきの地 点、数字は日付を示す。青は熱帯低気圧:Tropical Depression(class2)17m/s 以下、緑は台風:Tropical Storm(class3)18m/s 以上 24m/s 以下、黄は台 風:Severe Tropical Storm(class4)15m/s 以上 32m/s 以 下、赤は台風:Typhoon(class5)33m/s 以上、紫は温 帯低気圧:Extratropical Cyclone(class6)を表す。

以北の日本付近で急速に発達した。このように上陸直前 の北緯 30 度以北において台風が発達していたことが、 被害を大きくした要因の一つであると考えられる。図-3 は 1977 年以降の台風発生個数の推移を示す。このよう に北緯 30 度以北で台風が発達した例は過去 37 年間に発 生した台風 943 個中、わずか 9 個であった。

3.2 台風通過時の海面水温の特徴

2011 年から 2013 年の間に日本に上陸した台風の大凡 の経路と最盛期地点、及び最盛期の日の海面水温を図-4(a)~(g)に示す。図-4(d)及び(e)については枠外で最盛期 を迎えたため図中に最低中心気圧発生箇所は示されてい ない。図-4 の台風 18 号を除く 6 例の中には台風 18 号 の様に、北緯 30 度以北で発達した台風は観測されなか った。図-4 よりを北緯 30 度以北の日本付近の海面水温 が 30 度前後を観測された台風は 17 号及び 18 号(図-4(f) 及び(g))であった。図-4(f)より台風 17 号の経路は台風 18 号と異なり、東シナ海上を通過していることが見て 取れるが、東シナ海の海面水温が高くないことから台風 17 号は 18 号ほど発達しなかったと推定される。また、 台風 18 号は対象とする 7 個台風の中、最盛期を最北で 迎えたことが図-4 から確認できる。

また、Gray(1975)は海洋の熱エネルギーを水深 60m ま での温度分布を用いて定義しているため、本研究は水深 50m の海水温に着目する。図-4(h)は台風 18 号の中心気 圧が最低となった時刻における水深 50m の海水温を表 す。また京都大学田辺中島高潮観測塔において観測され た海水温の 2013 年 9 月の推移を図-5 に示す。台風 18 号接近から通過にかけて水深 30m における海水温が 26℃前後まで上昇したことが確認できる。

3.3 台風通過時の雲と中心気圧の推移

台風通過時の最低気圧を記録した地点を中心に緯度経 度3度ずつの正方形の領域を対象に、その領域内の各雲 が存在する面積率のことを雲種類ごとの雲割合と定義す る。図-6は台風18号の最盛期前後の(a)層状性雲及び対 流性雲の雲割合、(b)中心気圧の時間変化を示す。赤線 は対流性雲、緑線は層状性雲を表す。中心気圧が低下す ると対流性雲の割合は減少し、層状性雲の割合は増加し たことが明瞭である。一方、中心気圧が最低になった直 後、対流性雲割合がわずかに減少している。これは九州



北緯 30 度以北で発達した台風、青はそれ以外の 台風を表す。縦軸は台風の個数、横軸は時間を示 す。



 図-4 (a)-(g)2011 年から 2013 年に日本に上陸した台風の大 凡の経路と○最盛期地点、及び最盛期の日の海面水 温を示す。2011 年(a)06 号(b)12 号(c)15 号、2012 年 (d)04 号(e)17 号、2013 年(f)17 号(g)18 号、(h)台風 18 号最盛期の日の深さ 50m 表層水温を表す。図の下 のカラーバーが色と温度の対応を表している。

地方上空で弱まった雲が台風の中心付近に流れ込み、対 流性雲が減少したためだと考察する。また、中心気圧の 上昇後において対流性雲割合が数時間概ね変化しないこ とが確認できる。今後解析のサンプル数を増やすことで、 より定量的に雲割合と中心気圧の関係を見出すことが可 能である。

また、現在海洋上における台風の中心気圧はドボラック法により算出されるが、未だ経験的要素が含まれている。今後、図-6 で示す様な、雲の割合と中心気圧の関係が明らかになれば、気圧計が存在しない箇所において、定量的な中心気圧予測方法の確立を可能にし得る。

4. 雲分類と雨滴粒径分布による降雨強度の推定 4.1 雨滴粒径分布と降雨強度の関係

レーダ雨量計によって降雨強度を定量的に測定するこ



図-5 京都大学田辺中島高潮観測塔で観測された海中水温 の 2013 年 9 月の推移を示す。色と深さの対応は図 中に示す通りである。縦軸は水温(℃)、横軸は時間 を表す。

とを目的とした雨滴粒径分布に関する多くの先行研究が なされてきた。レーダ雨量計から得られるレーダ反射因 子は粒径の 6 乗に比例し、一般的に次式のように表す¹⁰。

$$Z = \int_0^\infty D^6 N(D) dD \quad (1)$$

ここで Z はレーダ反射因子(m^6m^{-3})、D は雨滴粒径(m)、 N(D)は雨滴の個数($m^{-3}m^{-1}$)である。式(1)はレーダ反射 因子の関数が粒径分布に密接に関係していることを示す。

また、雨滴粒径分布によって降雨強度が推定されることは Marshall and Palmer(1948)により説明されており、 粒径分布を表す関数は現在までに多くの研究者によって 提唱されている¹¹⁾。中でも一般的に知られているのは Ulbrich(1983)による次式である¹²⁾。

$$N(D) = N_0 D^{\mu} \exp(-\gamma D) \quad (2)$$

式(2)中のパラメータはそれぞれ、 N_0 は分布関数の切片 ($m^{-3}m^{-1-\mu}$)、 γ は分布曲線の傾斜(m^{-1})を表す。また、 μ は定数であり、雨滴粒径分布の形状に依存する。例え ば粒径が大きくなるに従い単調減少する分布の場合は $\mu \leq 0$ 、最小粒径ではない特定の粒径が支配的な場合は $\mu > 0$ がよく用いられる。

また、降雨強度は次式で表される¹⁰⁾。

$$R_{S} = \frac{\pi}{6} \int_{D_{min}}^{D_{max}} D^{3} N(D) w_{T}(D) dD \quad (3)$$

ここで降雨強度 R_s は、水平単位面積を単位時間に通過 する雨の体積で表され、単位は $(m s^{-1})$ である。 $w_T(D)$ は降水粒子の落下速度 $(m s^{-1})$ であり、 w_T を求めるため に多くの式が提案されている。

レーダ反射因子 Z と降雨強度 R は一般的に B-β法が 用いられ、次式のように表される。

$$Z = BR^{\beta} \quad (4)$$

ここで R は一時間あたりの雨量の高さを表し、単位は (mm h^{-1})である。この時 B と β は粒径分布により変化す る定数パラメータである。前述したように、現状では降 雨強度に閾値を設け、雲の種類を分ける手法が一般的だ が³、本研究では前述の雲分類手法により、層状性雲と 対流性雲を分類し、粒径分布を解析し B と β を推定する。 4.2 雲分類による降雨強度の推定

図-7 に対流性雲と層状性雲それぞれの雨滴粒径分布 を強降雨強度(6.3~23.0 mm h⁻¹)を対象に比較を行った

平成25年度 土木学会北海道支部 論文報告集 第70号



は層状性の雲、緑は対流性の雲を示す。縦軸は雲 面積の割合を、横軸は時間(GMT)を表す。 (b)201318 号の中心気圧の推移のグラフ。縦軸は 中心気圧(hpa)、横軸は時間(UTC)を表す。

結果を示す。ここでは強降雨強度の $6.3 \sim 23.0 \text{ mm } h^{-1}$ の範囲のサンプルを抽出した。図-7 から明らかに対流 性雲と層状性雲で粒径分布が異なることがわかる。層状 性雲では大きい粒径の雨滴の個数、対流性雲では小さい 粒径の雨滴の個数が多いという結果になった。これより 雨滴粒径分布の傾き、即ち4章で示した推定式のパラメ ータyが雲の種類によって異なると考えられる。

5. まとめ

本研究では、2013年に日本を襲った台風18号を対象 に雲の種類、中心気圧、及び海水温に着目し解析を行っ た。さらに、雨滴粒径分布と雲分類データを用い雲の種 類ごとに雨滴粒径分布と降雨強度の特徴の解析を行った。

- 台風 18 号のように日本付近で急激な発達の台は非 常に珍しく、その発達には北緯 30 度以北の日本付 近の海面水温が影響していることが過去の台風の比 較により明らかになった。また台風 18 号通過時は 海中水温も上昇傾向にあることが確認できた。
- 2) 台風の中心気圧と雲割合の推移には密接な関係を 見出した。一方で中心気圧と対流性雲割合との時間 的変化には数時間の前後差が見られた。今後台風の 中心付近の対流性雲割合と中心気圧の関係性をより 明確にしていく必要がある。
- 3) 雲を分類し降雨強度ごとに雨滴粒径分布を解析したことで、雲の種類によって粒径分布の傾きが異なることが分かった。今後は式(4)中の定数パラメー



図-7 降雨強度(6.3mm/h-23.0 mm/h) 雨滴粒径分布図 青は対流性雲、赤は層状性雲を示す。縦軸は雨滴 の個数(m⁻²h⁻¹mm⁻¹)、横軸は粒径(mm)を表す。

タの精度を高め、降雨強度推定式に適応する。

謝辞:本研究は地球規模課題対応国際科学技術協力(IMPAC-T)、 文部科学省 SOUSEI(C-i-C)/RECCA、及び CREST(Core Research for Evolutional Science and Technology)の成果の一部である。 参考文献

William M. Gray : Tropical Cyclone Genesis, *Atmospheric Science Paper* No.234, 1975.

- 2) http://www.fdma.go.jp/b/, (2013 年 12 月 10 日アクセス)
- 中北英一・竹畑栄伸・中川勝広,2008:: Cバンド偏波 レーダーによる降雨量推定アルゴリズムの構築に関す る研究,水工論文集,第52巻,2008年.
- 4) Baojun Chen, Jun Yang, and Jiangping Pu : Statistical Characteristics of Raindrop Size Distribution in Meiyu Season Observed in Eastern China, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 2012.
- Suseno. D. P. Y., and Y. J. Yamada: Two-dimensional, threshold-based cloud type classification using MTSAT data, *Remote Sensing Letters*, Vol. 3, No.8, pp737-746, 2012.
- (渡部大和、山田朋人、D. P. Y. SUSENO: MTSAT による輝度温度情報から作成した東南アジアにおける雲の気候特性、土木学会論文集 B1(水工学)第 57 巻、 Vol.69, No4 I_306-I306, 2013.
- 7) 小倉義光,2003:一般気象学,東京大学出版会。
- 8) 気 象 庁 ホ ー ム ペ ー ジ : <u>http://www.jma.go.jp/jma/index.html</u>
- 9) http://www.digital-typhoon.org/http://www.fdma.go.jp/b/, (2013 年 12 月 10 日アクセス)
- 深尾昌一郎・浜津亨助,2009:気象と大気のリモート センシング,京都大学学術出版会
- J. S. Marshall and W. McK. Palmer, : Shorter Contributions the Distribution of Raindrops with Size, *Journal of Meteology*, 1948.
- Carlton W. Urbrich : Natural Variations in the Analytical Form of the Raindrop Size Distribution, 1983.