

阿蘇カルデラに土砂災害を招く降雨特性と 防災対応強化について

田中 祐一¹・吉永 一貴²・寺本 泰之³

¹⁻³九州地方整備局 熊本復興事務所 工務第一課(〒869-1404 熊本県阿蘇郡南阿蘇村大字河陽 3574 番地)

阿蘇地域における過去の主要な土砂災害を発生させた降雨について、地形条件、気象条件の観点から降雨特性を分析し、土砂災害が発生する可能性が高い気象条件を前線や台風などの要因別に整理することで、降り始めの早い段階で、防災対応上注意すべき時期と区域を明確にする手法を考察する。また、検討成果を事務所の防災体制強化はもとより、地元自治体へ情報周知することにより地域防災力強化につながる取り組みについて述べる。

Key Words: 土砂災害, 阿蘇カルデラ地形, 降雨特性, 豪雨要因分析, 地域防災

1. はじめに

阿蘇カルデラは、中央に標高 1,500m 級の阿蘇五岳（中央火口丘）を擁し、南北 25km、東西 18km にわたり標高 900m~1,000m 級の外輪山が周囲を囲う面積 380km² の広大なカルデラ地形を有し、魅力的な草原景観など「世界文化遺産への登録」に向けた取組がなされている。

また、阿蘇地域は阿蘇くじゅう国立公園に指定されており、ハナシノブやヒロハトラノオなど阿蘇特有の希少な植物が自生するなど、自然資源が大変豊富な地域であるとともに日本屈指の観光地でもある。阿蘇市の気候は年平均気温が約 13°C で、年間降水量は約 3,000mm と国内年間平均降水量（1,718mm）と比較しても大変多く、四季を通じて比較的冷涼で多雨な地域である。そのため、平坦地では稲作を中心とした農業が盛んであり、山間地では高冷地野菜づくりが取り組まれている。阿蘇カルデラ内では、1990（平成 2）年 7 月、2012（平成 24）年 7 月に阿蘇カルデラ北東部を中心とした地域で激甚な土砂災害を被った。いずれも同一地区で発生していることから、災害を引き起こす豪雨と地形の関係が疑われる。

本研究ではまず、過去の土砂災害の実績から阿蘇カルデラにおける前線や台風別に豪雨要因を推定した。次に、気象モデル WRF を使用し、気象場の湿度を一定とし風向を変化させるシミュレーションを行い、阿蘇カルデラで最大雨量となる風向と過去の豪雨時の風向を比較した。これにより、阿蘇カルデラに豪雨をもたらす暖湿流の流入方向を解析し、豪雨特性を分析した。

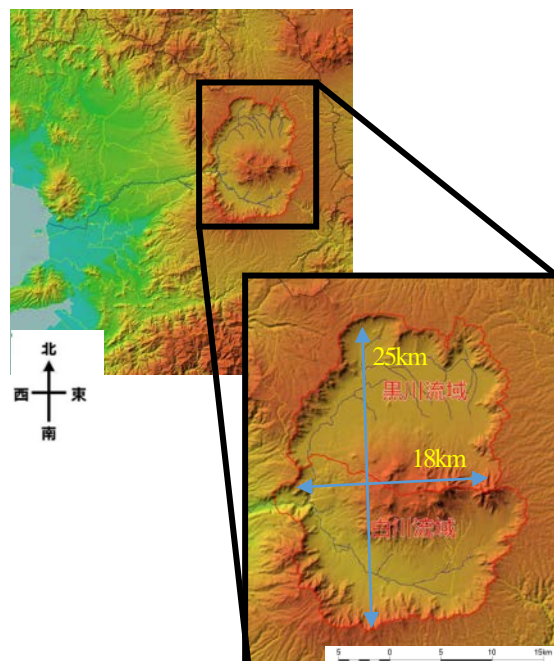


図-1 阿蘇カルデラ位置図

2. 阿蘇カルデラにおける豪雨要因分析

2.1 過去の災害事例

阿蘇カルデラ内での災害は、1990（平成 2）年、2012（平成 24）年と阿蘇カルデラ北部（阿蘇谷）の東壁のほぼ同じエリアで発生している。また、1990（平成 2）年から 2019（令和 1）年の期間に発生した土砂災害発生事例を整理した結果、土石流が 92 地点、がけ崩れが 15

地点発生しており（図-2）、土砂災害発生降雨条件は総雨量 300mm 以上かつピーク雨量 50mm/h であることが判明した。（図-3）

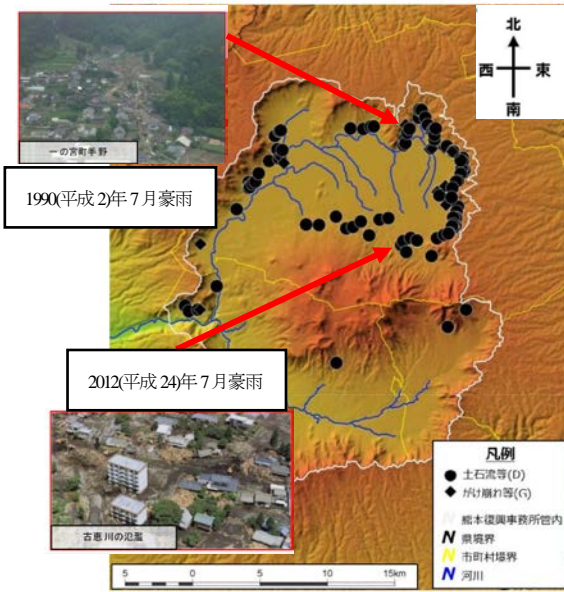
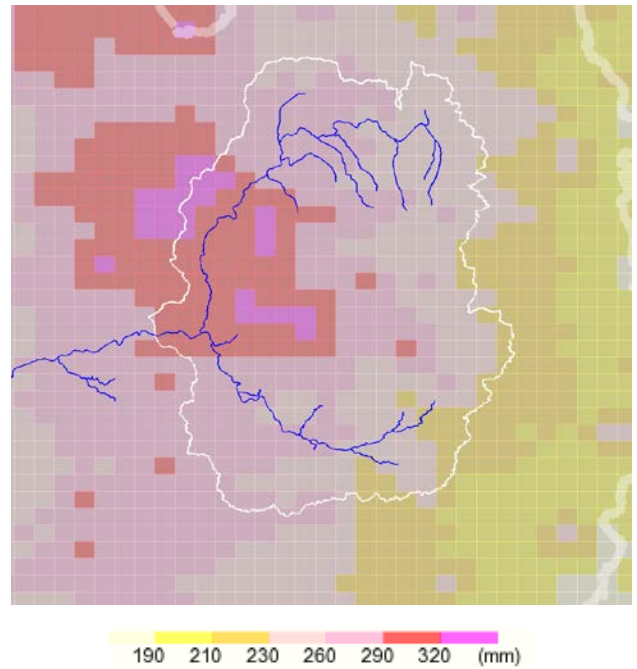


図-2 土砂災害発生箇所（1990年～2019年）



| |
|-----------------------------------|
| 抽出期間：2006（平成18）年～2018（平成30）年 13年間 |
| 抽出基準：警戒閾値（総雨量200mmかつピーク雨量30mm/hr） |
| 大雨事例数：39事例（前線：32、台風：3、大気不安定：4） |

図-4 土砂災害降雨実態図

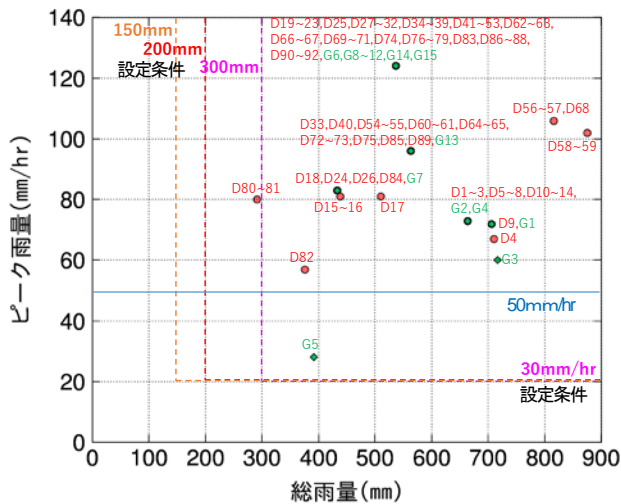


図-3 土砂災害発生事例の総雨量とピーク雨量の関係

2. 2 豪雨の抽出と降雨実態図

土砂災害の発生実績から設定した条件（総雨量 200mm かつピーク雨量 30mm/hr）を超える豪雨を抽出したところ、雨量観測所全 12 地点で 6 月中旬から 7 月下旬までの前線による豪雨が卓越していることが分かった。

また、2006（平成 18）年以降の前線による豪雨事例について、1 事例あたりの雨量（メッシュ毎に降雨要因毎の大雨事例（39 事例）の全雨量を積算し、事例数（39 事例）で割った雨量＝大雨 1 事例あたりの平均雨量）を算出したところ、特に、カルデラ内北西部で雨量が多いことが分かった。

2. 3 前線による豪雨メカニズムと危険前線の特徴

阿蘇で土砂災害が発生した 1990（平成 2）年 7 月、2012（平成 24）年 7 月の豪雨と、福岡県朝倉地方で土砂災害が多発した 2017（平成 29）年 7 月の豪雨は、同じ前線性の豪雨ではあるが、気象メカニズムが異なることが報告されている。前者 2 つは暖湿流型の前線性豪雨に対し、2017（平成 29）年は寒気による前線性豪雨である。

これらを踏まえ、1980（昭和 55）年以降の前線による大雨事例（総雨量上位 10 事例と 2017（平成 29）年 7 月豪雨）11 事例を抽出して、それぞれの天気図を確認し、阿蘇カルデラと前線の位置関係や、風向に影響を及ぼす等圧線の走向、寒気の入りに具合等を整理した。

表-1 各事例の総雨量とピーク雨量（観測所：阿蘇乙姫）

| 対象期間：昭和55(1980)年～平成30(2018)年 39年間 | | | | | |
|---------------------------------------------|--------------------------|-----------|----------|----------------|--------|
| 対象事例：阿蘇乙姫 前線による大雨事例総雨量ランク10位+平成29年7月豪雨の11事例 | | | | | |
| No. | 観測開始時期 | 観測終了時期 | 積算雨量(mm) | 最大1時間雨量(mm/hr) | 総雨量ランク |
| 1 | 昭和55(1980)年 08/28 15時 | 08/31 15時 | 666 | 77 | 4 |
| 2 | 昭和57(1982)年 07/11 00時 | 07/15 06時 | 506 | 35 | 10 |
| 3 | 昭和62(1987)年 07/15 20時 | 07/21 05時 | 568 | 61 | 8 |
| 4 | 平成02(1990)年 06/29 01時 | 07/04 05時 | 706 | 67 | 3 |
| 5 | 平成05(1993)年 06/28 07時 | 07/03 01時 | 599 | 36 | 6 |
| 6 | 平成07(1995)年 07/02 03時 | 07/07 01時 | 658 | 40 | 5 |
| 7 | 平成09(1997)年 07/05 17時 | 07/13 05時 | 1055 | 36 | 1 |
| 8 | 平成18(2006)年 07/17 11時 | 07/21 14時 | 589 | 43 | 7 |
| 9 | 平成23(2011)年 06/10 09時 | 06/13 00時 | 508.5 | 45.5 | 9 |
| 10 | 平成24(2012)年 07/11 14時 | 07/14 17時 | 816.5 | 106 | 2 |
| 11 | 平成29(2017)年 07/04 07時 | 07/08 16時 | 407 | 63.5 | - |

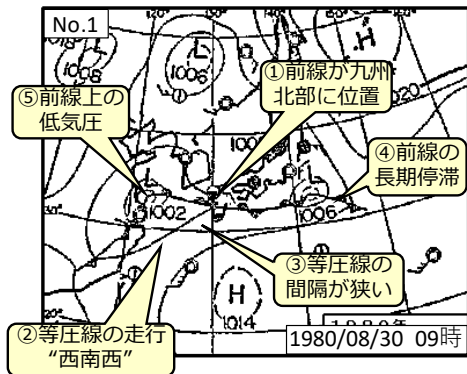
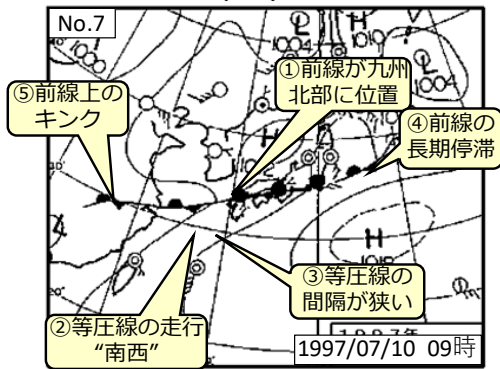


図5 総雨量ランク1位と4位の天気図

これらの大雨事例となる気象条件を整理すると下記①～⑥の通りである。

- ①前線が管内直上から対馬海峡付近に位置（前線南側は暖湿気が流入する領域）
前線位置が①の時に、下記②～⑤の気象条件となる場合、大雨の可能性が高まる。
- ②前線の南側の等圧線の走向が、「南西」もしくは「西南西」（特に南西が危険）
上記走向になると、暖湿気が管内に流れ込みやすくなる。
- ③前線の南側の等圧線の間隔が狭い（風が強く、多量の水蒸気を運ぶ湿舌の誘発）
- ④前線が長期に渡って停滞（降雨の長期化）
- ⑤前線上の低気圧、もしくはキンクが通過。（上昇気流の強化）
- ⑥上空寒気の流入による大気不安定、ピーク雨量が大きくなりやすい。

上記から前線を起因とした土砂災害が発生する豪雨の気象条件は天気図と天気図の予測を確認することが非常に重要であることがわかった。

■実際に天気図を自分で解析してみた

ここで、2018（平成30）年7月に西日本を中心に起こった豪雨発生時の天気図を解析し、地元自治体の方へ説明する際にポイントとなってくる点を整理した。

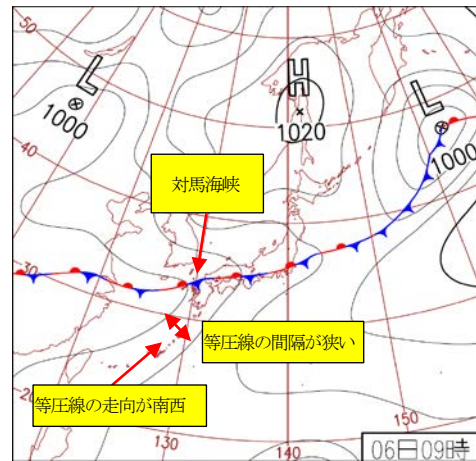


図6 2018（平成30）年7月6日の天気図

この時（7月6日～7月7日にかけて）の総雨量は261mm、最大1時間雨量は22.5mmとなった。

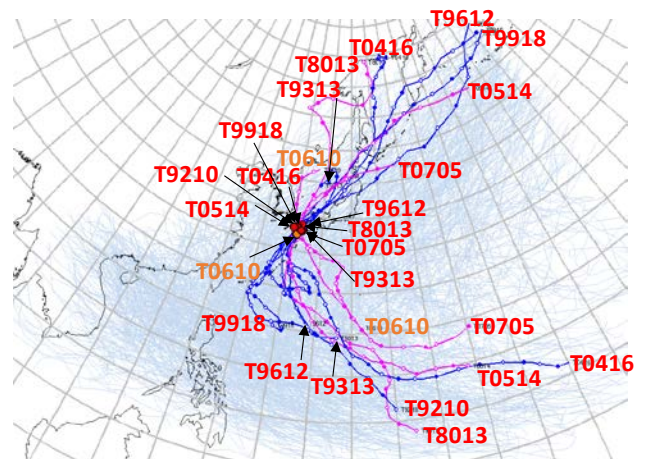
実際に天気図を解析してみた結果、それぞれの気象条件について下記のようなことがわかった。

- ①前線が管内直上から対馬海峡付近に位置していた。
- ②等圧線の走向が「南西」となっていた。
- ③前線の南側の等圧線の間隔が狭い。
- ④長期（7/4～7/9）に渡って停滞していた。
- ⑤前線上の低気圧、キンクは通過していなかった。
- ⑥上空の寒気は確認できなかった。

2. 4 台風による降雨メカニズムと台風ルート降雨図

1980（昭和55）年以降において発生した台風の経路から、台風の位置と各雨量観測所の雨量との関係を分析し、結果を「台風ルート降雨図」としてまとめ、台風がメッシュ上に位置するときの観測所雨量を、そのメッシュ上に表示した。「台風ルート降雨図」により、台風の中心位置と阿蘇地域の各雨量観測所の降雨の関係が判明した。

青：警戒閾値(総雨量200mm、最大時間雨量30mm/hr)を超える大雨をもたらした台風経路
 ピンク：特別警戒閾値(総雨量300mm、最大時間雨量30mm/hr)を超える大雨をもたらした台風経路
 薄青：観測期間中の全台風の経路



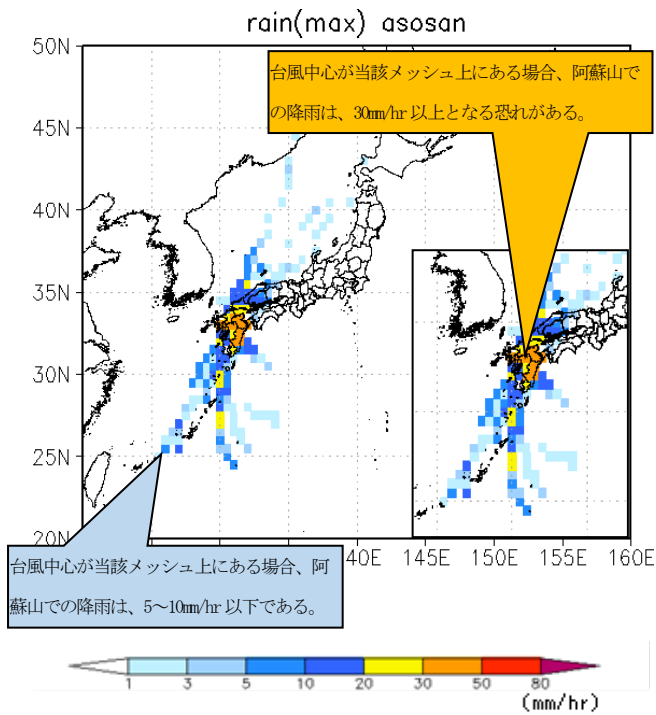


図-7 台風ルート降雨図

以上の分析結果から、台風中心が阿蘇地域に来る場合は、阿蘇山では 30mm/hr 以上の降雨となり土砂災害発生の恐れがあることが判明した。

■ 台風ルート降雨図の使い方

気象庁や米軍より発表されている台風ルート予想図と台風ルート降雨図を見比べることにより、今後の台風ルート予測に合わせた阿蘇地域での降雨を予測することができる。

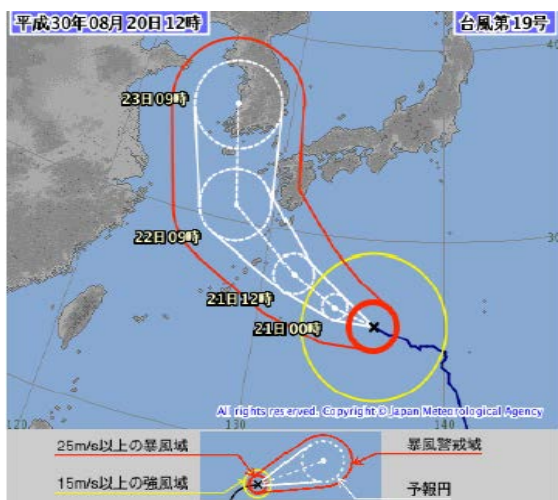


図-8 台風ルート予想図

3. 風向別降雨特性を知るための気象モデル構築

これまでの前線時、台風時の豪雨となる気象条件を整理する中で、共通するファクターが存在することがわかってきた。それが風向である。

そこで、阿蘇カルデラ内において「どの風向」によって、「どこに強い雨が降る」のか、地形による降雨現象（地形性降雨）への影響を把握するために、気象モデル（WRF）を用いて解析を実施した。

具体的には、360度 16方位+2方位（南西微西、西微南）に一樣な風を与えた地形性降雨シミュレーションを実施した。風速は土砂災害が発生した2012年7月豪雨を参考に、20m/sに決定した。

シミュレーションの結果、16方位+2方位（南西微西、西微南）のうち、最も雨が強かったのは「西微南」であった。この特性は「平成24年豪雨」においても同様の風が卓越しており、阿蘇地域付近では大雨であった。

この結果はこれまで検証した前線時、台風時の結果とも整合がとれている。

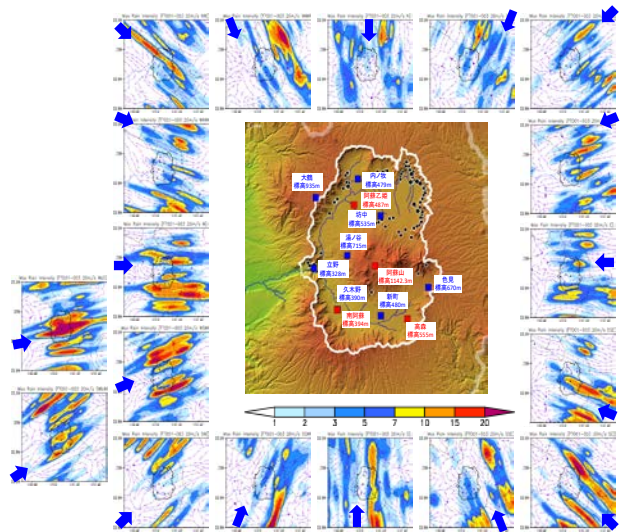


図-9 16方位+2方位のシミュレーション結果

4. 地域防災への関わり

平成30年4月に阿蘇山直轄砂防事業に着手して、阿蘇カルデラ内における、防災の一助を担う事務所となったことで、地域住民の方々が少しでも安心・安全な暮らしができるよう、地域防災力の向上に寄与したいと考えている。

そこで、地元自治体から防災体制の現状や必要な情報、参考として豪雨にまつわる言い伝えなどをヒアリングし、言い伝えについては降雨特性から検証し、自治体へ情報提供することとした。



図-10 左:阿蘇市 右:南阿蘇村

4. 1 地元自治体へのヒアリング

阿蘇市役所、南阿蘇村役場（以下、地元自治体）へ、降雨や土砂災害に関する以下の①～④についてヒアリングを行った結果を表-2に示す。

①土砂災害実績、②降雨特性、③降雨や土砂災害の予測、④その他

表-2 ヒアリング結果

| 阿蘇市役所 | |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ① | <ul style="list-style-type: none"> 1990（平成2）年と2012（平成24）年の災害は同じ地区で発生しているが、偶然とは思っておらず、災害が発生しやすい地区と認識している。 カルデラ西壁は傾斜が緩やかで崩れにくいですが、東壁は切り立っており災害が発生しやすい。 |
| ② | <ul style="list-style-type: none"> 乙姫観測所あたりは、雨が多い地域と認識している。 西側（天草・菊池）から雨が降ってきた場合は、大雨を警戒している。 |
| ③ | <ul style="list-style-type: none"> 土砂災害警戒情報は早くに分かった方が体制がとりやすい。 阿蘇市全体に警戒情報を出すのではなく、旧町村単位の細かい範囲で発令してほしい。 |
| ④ | <ul style="list-style-type: none"> 気象庁火山防災連絡室が常駐しており、気象情報の提供を受けている。 |

| 南阿蘇村役場 | |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ① | <ul style="list-style-type: none"> 南郷谷（南阿蘇側）は、人工林が滑るイメージがある。 |
| ② | <ul style="list-style-type: none"> 阿蘇谷（阿蘇市側）の方が雨が多いイメージがある。 阿蘇谷（阿蘇市側）の積乱雲は南阿蘇村には雨を降らせないが、南側の積乱雲はあつという間に雨を降らせる。 |
| ③ | <ul style="list-style-type: none"> 気象庁から発表される警報等をメールで受信し、役場内での体制を指揮している。 気象庁のHPに掲載している今後の警報級の可能性を予測した表を参考にしている。 |
| ④ | <ul style="list-style-type: none"> 避難勧告等に対して、避難率が1桁と低い状況。 住民が避難行動につなげられる資料を作っていかなければならないと考えている。 |

ヒアリング結果より、地元自治体は気象庁からの発表を基に、防災体制をとっていることがわかった。また、地元自治体のニーズとしては、早く住民に避難情報（避難準備、避難勧告、避難指示等）を促す情報が必要であるとわかった。そこで、我々としては阿蘇カルデラ内に土砂災害をもたらす降雨特性「前線を起因とした気象条件」「台風を起因とした気象条件」の確認のポイントについて地元自治体にわかりやすく説明することで、防災対応の一助になればと考えている。

4. 2 言い伝えの検証【参考】

阿蘇地域における雨にまつわる言い伝えについて、降雨特性から検証を行った。

地域の言い伝えについては、「南郷の川後田誌（南阿蘇村）」より抽出した。

■ 言い伝えその1

「阿蘇頭巾」と称して、阿蘇が嶺に頭巾を冠ったように雲がかけたら雨になる。」

阿蘇高岳は、標高 1,592m で、暖湿流の標高の目安 850hpa（標高 1,500m）付近にある。頭巾を被ったような「傘雲」は、強い日射によって山の斜面が暖められ、上昇気流が起こり、山頂付近の暖湿流が昇る際に断熱冷却されてできる現象である。よって晴れていても湿った空気が侵入し、空気が上昇（低気圧）する現象が起きているため、雨になる予兆と言える。

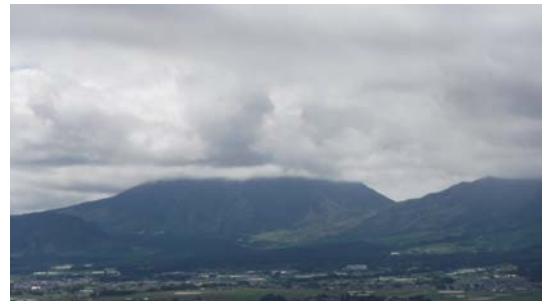
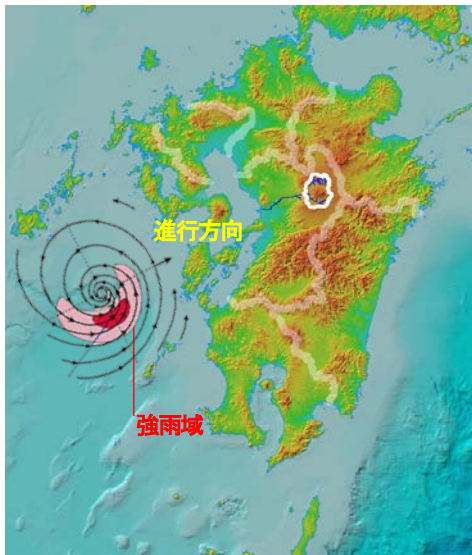


図-11 山頂に雲がかかっている様子

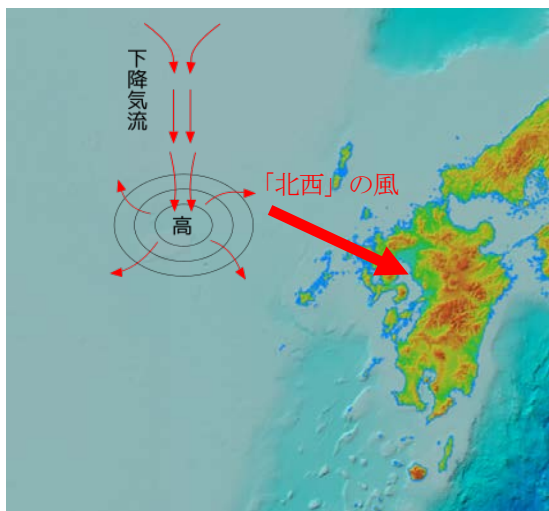
■ 言い伝えその2

「阿蘇の噴煙が北西になびくときは大方雨、東南に傾くときは概ね晴れである。」

西から低気圧や台風が阿蘇方面に近づいてくる場合低気圧の外郭に吹く南東の風によって阿蘇山の噴煙が北西になびくものと考えられる。（図-12）一方、西から高気圧が近づいてくる場合、高気圧の外郭に吹く北西の風によって噴煙が南東に傾くと考えられる。（図-13）



7図-12 南東風と降雨の関係



8図-13 北西風と降雨の関係

参考文献

- 1) 国土地理院
- 2) 災害地点：国総研土砂災害 DB
地形図：国土地理院
- 3) 国立情報学研究所「デジタル台風：100年天気図データベース」
- 4) 気象庁
- 5) 気象庁
- 6) 国土地理院
- 7) 国土地理院
- 8) 国土地理院

5. おわりに

阿蘇カルデラ内では、同じ地域に土砂災害が繰り返し発生している。今回の降雨特性の分析成果は、土砂災害を引き起こす可能性のある気象場を「見える化」したものと言え、これは、阿蘇地域の防災において、前線の走向（西微南）等から読み解く危険度分析や、警戒避難地域の絞り込み、砂防事業の重点整備区域の特定に有用であると考えられる。

また、地元自治体の防災担当者や地域住民に対して、災害を引き起こす気象条件を分かりやすく説明し、理解を深めて頂くことで、早めの自主避難（予防的避難）に繋がることも期待できる。

熊本復興事務所としては、今後も地域防災力の向上に寄与できるよう努めて参りたい。