

天竜川上流域の (諏訪・上伊那・飯伊) 降雨特性および三六災害等の特性



〒399-4114
長野県駒ヶ根市上穂南7番10号
TEL 0265-81-6411 FAX 0265-81-6419
<https://www.cbr.mlit.go.jp/tenjyo/index.htm>

令和3年6月

国土交通省 中部地方整備局
天竜川上流河川事務所

発刊に寄せて

伊那谷は、西に駒ヶ岳を中心とする中央アルプス、東に南アルプスの山々に囲まれた美しい地域です。

この山々は伊那谷と他地域の交通の障壁となりましたが、その一方で、峠を越えて文化が伝わり、伊那谷では大鹿歌舞伎等各所に独自の豊かな文化が開花してきました。

山々に囲まれた伊那谷の特性は自然災害とも関連し、昭和36年6月の三六災害や平成18年の天竜川の堤防の決壊や伊那谷北部の土石流災害など、伊那谷では豪雨に起因した多くの災害が発生しています。

三六災害から60年が経過し、今年は干支が一回りした新しい時代となります。近年、気象解析の技術は大きく進歩し、山や谷などからなる地形、そして上空の湿った空気がどのような条件のときに峠を越えて伊那谷に入り込み、災害を引き起こすのかもわかってきています。

地球温暖化の影響を受け、豪雨災害の頻発や激甚化が議論されていますが、本冊子は、伊那谷に暮らす皆様が、当地の気象や降雨特性、当地ならではの警戒すべき気象条件を理解することで、災害に備える一助となることを祈念するものです。

令和3年6月
天竜川上流河川事務所長
伊藤 誠記

目次

第1章	天竜川上流域の降雨特性と地形	1
	(part 1)天竜川上流域の降雨特性	2
	(part 2)天竜川上流域の地形	11
	(part 3)地形と降雨の関係	14
	(part 4)第1章 天竜川上流域の降雨特性と地形のまとめ 峠を越えて雨がやってくる	18
第2章	上伊那・飯伊地域の前線の降雨特性 ～三六災害豪雨の特性～	19
	(part 1)三六災害とは	20
	(part 2)三六災害豪雨の特性	21
	(part 3)気象シミュレーションによる風向別降雨特性との関連	23
	(part 4)気象シミュレーションによる三六災害豪雨の再現	24
第3章	諏訪地域の前線の降雨特性 ～平成18年7月岡谷豪雨の特性～	29
	(part 1)平成18年7月岡谷豪雨災害の概要	30
	(part 2)平成18年7月岡谷豪雨災害の要因	32
第4章	天竜川上流域の台風の降雨特性	35
	(part 1)天竜川上流域の台風の降雨特性	36
	(part 2)令和元年台風19号による降雨分布の特徴	39
第5章	各地域の注意すべき気象条件	43
	(part 1)諏訪地域	44
	(part 2)上伊那地域	45
	(part 3)飯伊地域	46
	(part 4)天竜川上流域の危険な降雨の原因となる暖湿流の風向とその入口の峠	47
付録1	気象の基礎知識 (中学校 理科の教科書から)	49
付録2	数値予報天気図を用いた簡易な降雨予測の方法	58

はじめに

本冊子では、気象の基礎知識を踏まえ、天竜川上流域(伊那谷)における過去60年間の豪雨の特徴を整理し、降雨と地形の関係について分析した上で、天竜川上流域に危険な豪雨をもたらす気象条件をまとめました。

天竜川上流域の降雨特性

全国的に見れば天竜川上流域は比較的降水量が少ないとはいえ、三六災害豪雨などの大雨が発生しています。そこで、天竜川上流域での最近の大雨の要因と降雨分布を整理したところ、大雨の主要因は前線であり、天竜川上流域の南部ほど降水量が多いという特徴があることがわかりました。

天竜川上流域の降雨と地形の関係

気象の基礎知識を踏まえてこの特徴を分析すると、天竜川上流域を囲う山々や峠によって降雨が規定されていることがわかりました。具体的には、暖かく湿った水蒸気(気体)を含む空気と、空気中の暖かな水(液体)が混合したものの流れ(以下、「暖湿流」という)が天竜川上流域に向かって流れてくるとき、天竜川上流域を囲う高い山々の斜面を上昇するうちに冷やされ、天竜川上流域外の山々の斜面や稜線付近で大雨となります。このため、天竜川上流域内では比較的降水量が少ないのです。

三六災害・平成18年7月岡谷豪雨災害

しかし、暖湿流が峠を通る場合は、天竜川上流域内にまで到達し、豪雨を引き起こします。三六災害豪雨は、前線の停滞に加えて太平洋上に台風くずれの低気圧があり、低気圧と前線による風により南からの暖湿流が峠を越えて前線に供給され続けたため、豪雨となりました。また、平成18年7月岡谷豪雨は、天竜川上流域の北にあった前線が南下し諏訪地域に停滞したため、西からの暖湿流が峠を越えて流入し、諏訪市付近に大雨をもたらしました。

台風

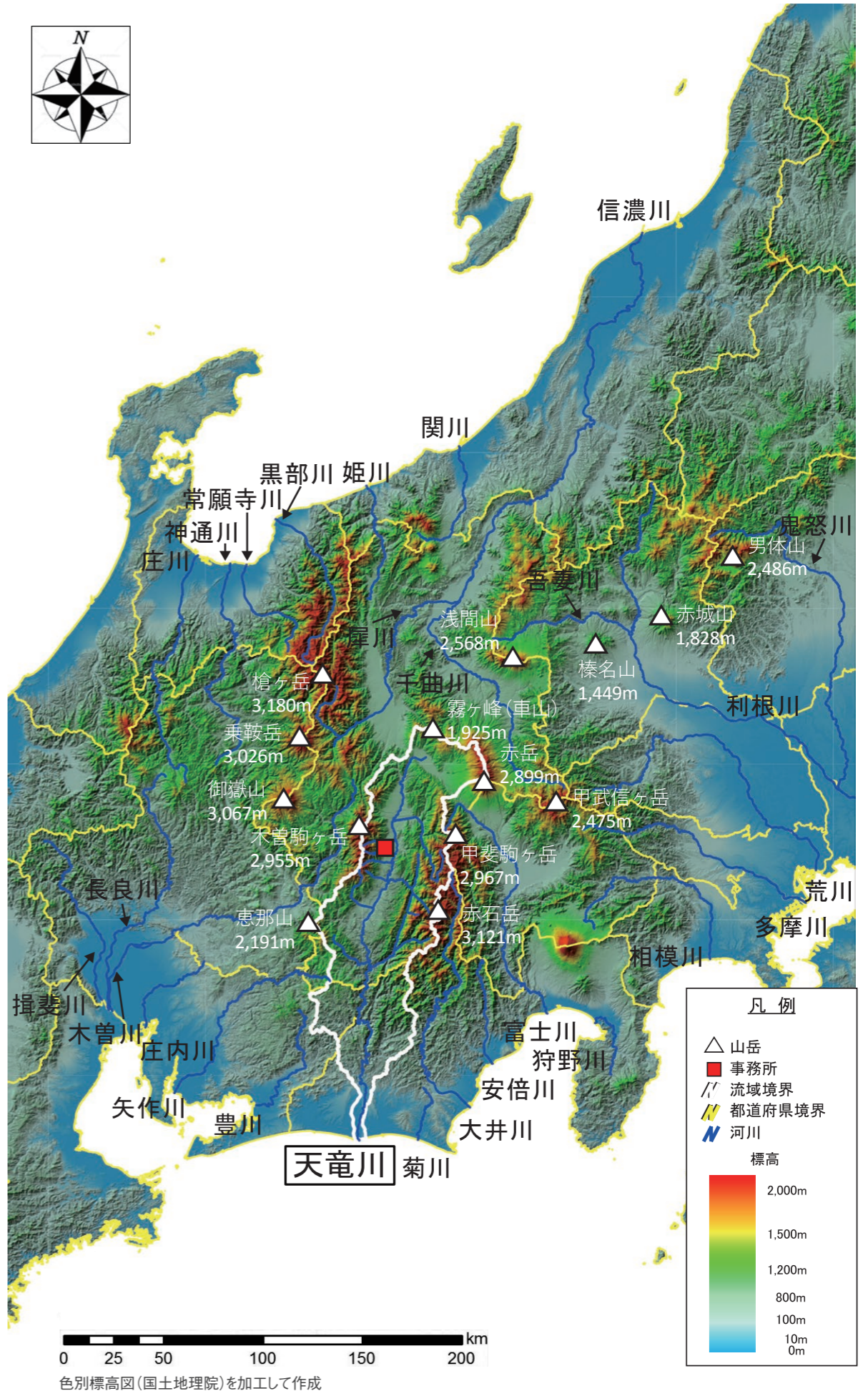
また、天竜川上流域に大雨をもたらす台風は少ないものの、天竜川上流域の南部は他の地域と比べて台風による大雨が多いことがわかりました。これは、台風の中心に向かって反時計回りに吹き込む風に伴う暖湿流が、天竜川上流域の南から峠を越えて侵入するためです。一方、令和元年台風19号のように、天竜川上流域では大雨が降らなかったものもあります。このときは、3000m級の南アルプスによって台風からの暖湿流は天竜川上流域に入り込めず、天竜川上流域内では三峰川上流域を除いて大雨とはなりませんでした。

本書の目的

このような過去の大雨事例の要因分析結果を踏まえて、天竜川上流域の地形が降雨を規定し「大雨が峠を越えてやってくる」ことを明らかにし、あわせて、諏訪、上伊那、飯伊の各地域において注意すべき気象条件をまとめました。

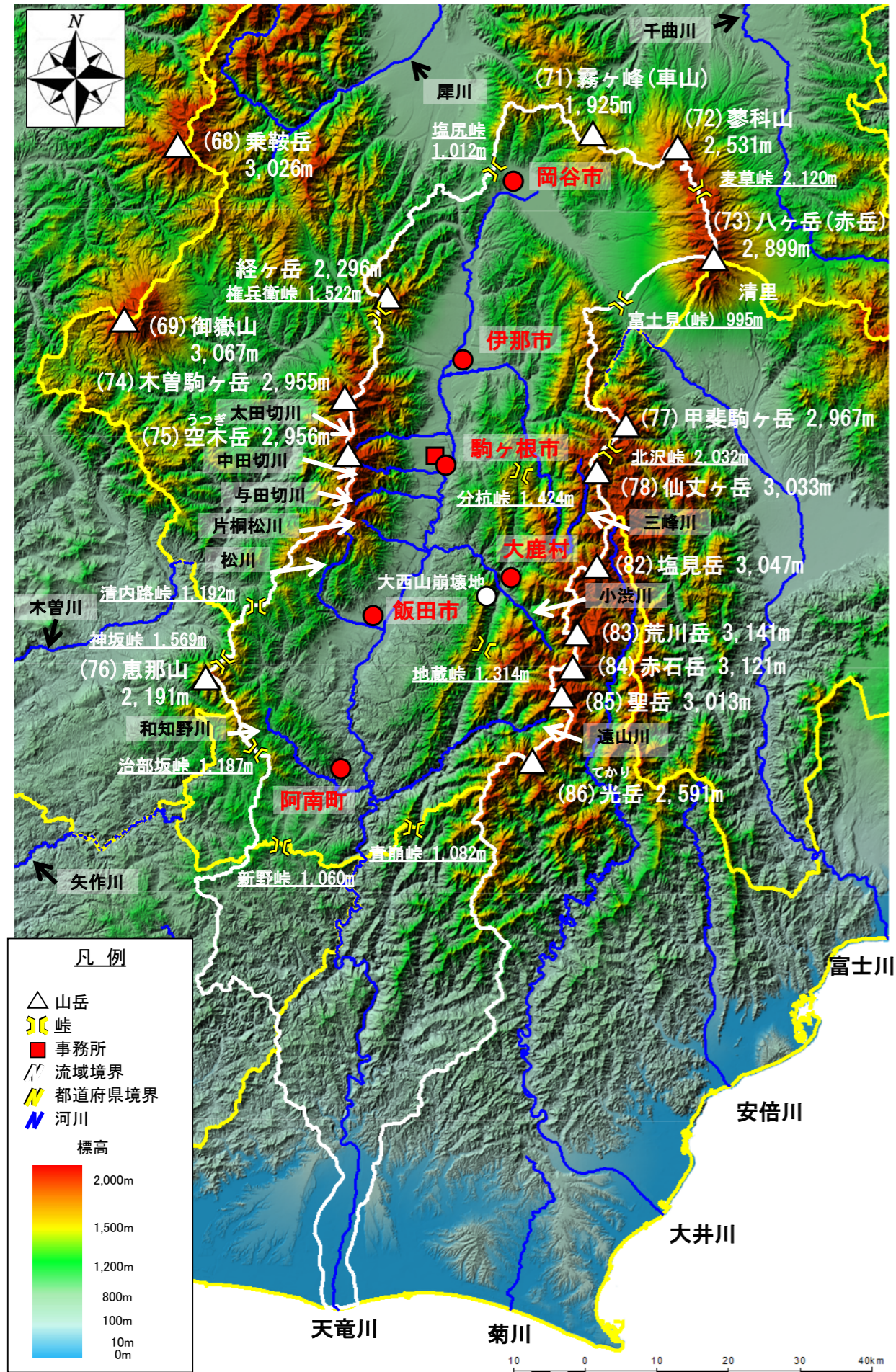
また、付録として、長野県内の中学校の教科書の内容をもとに気象の基礎知識を整理するとともに、気象庁の数値予報天気図と天竜川上流域内の気象要因毎の降雨分布をもとに、地域毎の72時間先までの降雨予測の目安を算定する方法を記載しました。

本冊子を参考に、危険な豪雨に備えていただければ幸いです。



色別標高図(国土地理院)を加工して作成

伊那谷および周辺の地形図



第1章 天竜川上流域の 降雨特性と地形



天竜川上流域の降雨特性

天竜川上流域は、日本全国の中でも雨が少ない地域です。しかしながら、昭和36年6月に天竜川上流域で発生した大規模な災害である三六災害豪雨や平成18年7月岡谷豪雨など、大雨が発生した実績があります。

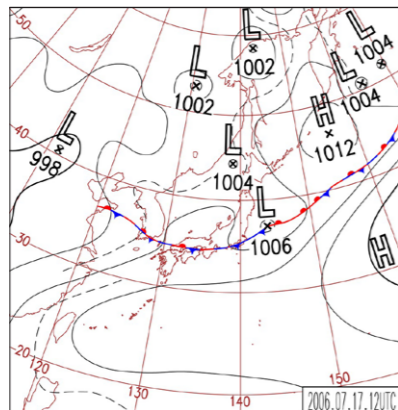
降雨分布は、気象条件だけでなく、地形によっても規定されています。天竜川上流域での大雨の要因を分析するにあたり、まず、大雨の降雨分布、台風の位置と雨量の関係を整理します。

大雨の降雨分布

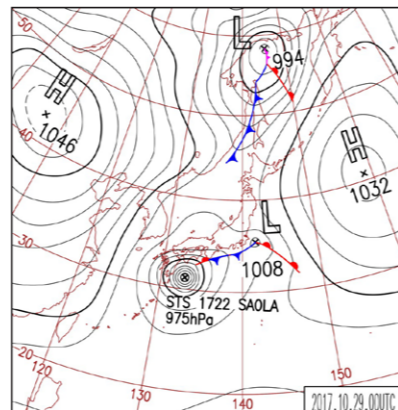
大雨の主な気象要因には、前線、台風、低気圧があります。天竜川上流域での大雨の降り方は気象要因によって異なります。本冊子では、気象要因を次の4つに分類します。

- ・前線：天竜川上流域付近に停滞前線が位置する場合（寒冷前線および温暖前線が位置する場合は「低気圧」に分類）。平成18年7月岡谷豪雨の気象要因はこれに分類される。
- ・前線+台風：台風の進行方向に前線が位置する、または、台風からの暖湿流が停滞前線に向かって流入し、台風からの暖湿流が前線を活発化させる場合。三六災害豪雨の気象要因はこれに分類される。
- ・台風：天竜川上流域付近を台風中心付近の発達した雨雲域が通過する場合。令和元年台風19号はこれに分類される。
- ・低気圧：天竜川上流域付近を低気圧および低気圧から伸びる寒冷前線または温暖前線が通過する場合。

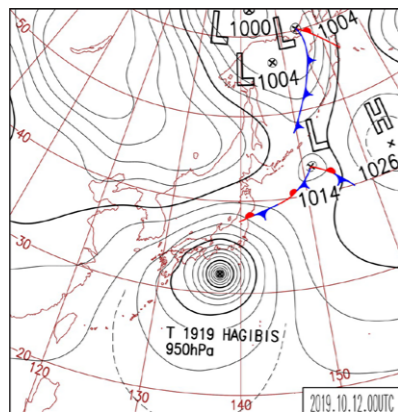
「前線」の天気図の例
(平成18(2006)年7月17日21時)



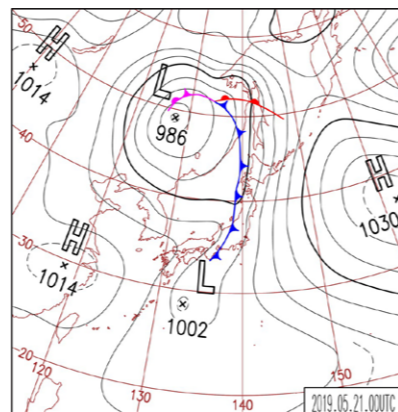
「前線+台風」の天気図の例
(平成29(2017)年10月29日9時)



「台風」の天気図の例
(令和元(2019)年10月12日9時)



「低気圧」の天気図の例
(令和元(2019)年5月21日9時)



出典:日々の天気図(気象庁HP)

図 大雨の4つの気象要因の天気図の例

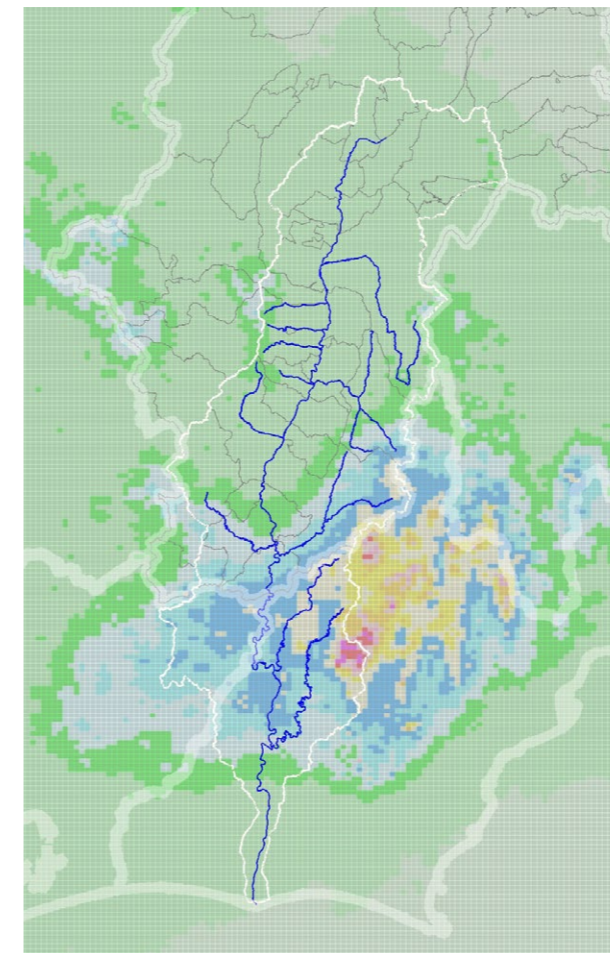
平成18(2006)年~令和2(2020)年(15年間)の大雨事例(天竜川上流域内の雨量観測所において総雨量「80mm以上かつ最大1時間雨量20mm/hr以上を記録した降雨」)を解析雨量*をもとに抽出すると、29事例があります。大雨の気象要因毎では、

・前線	: 14事例
・前線+台風	: 5事例
・台風	: 5事例
・低気圧	: 5事例
合計	: 29事例 です。

天竜川上流域に大雨をもたらす気象の主要因は、前線であることがわかります。

全事例および気象要因毎の1事例あたりの平均的な降雨分布図と特徴を整理すると、次のようになります。この降雨分布には三六災害豪雨(第2章)は含まれていませんので、使用にあたってはご注意ください。

全29事例(前線、前線+台風、台風、低気圧)の一雨平均の降雨分布



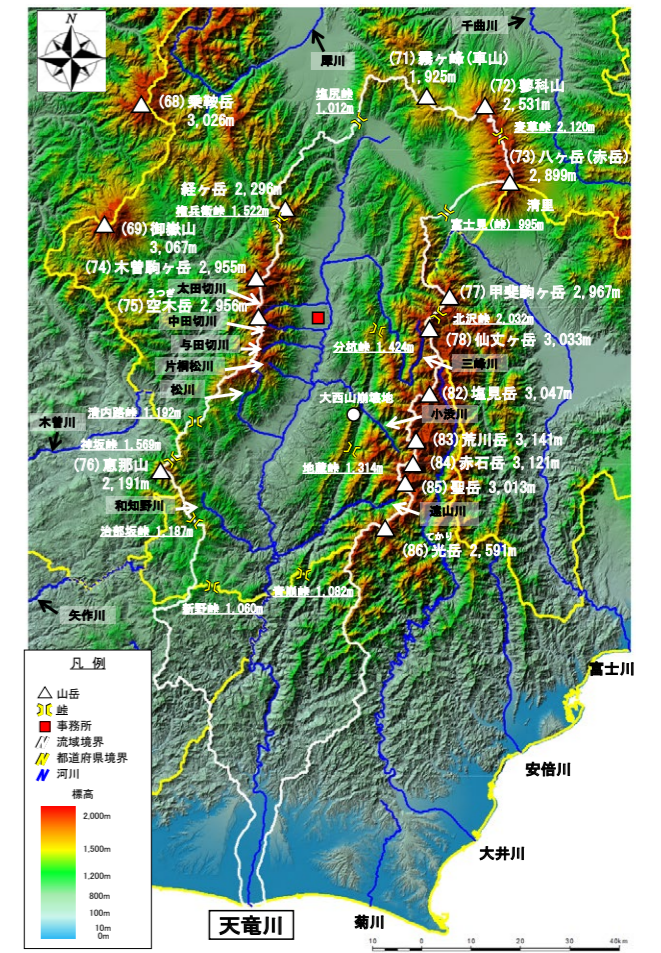
0 50 100 120 140 160 180 200 220 240 260 280 300 (mm)

解析雨量(国土交通省)を加工して作成

*平成18年~令和2年(15年間)の総雨量80mm以上かつ最大1時間雨量20mm/hr以上の雨を抜粋し、事例数で割って一雨平均を算出。

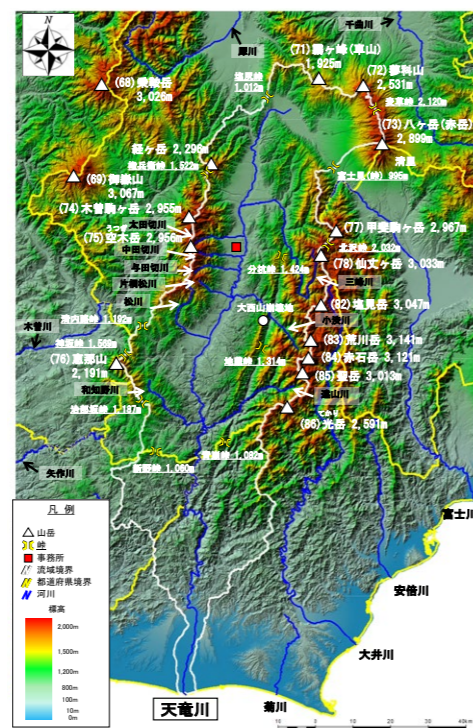
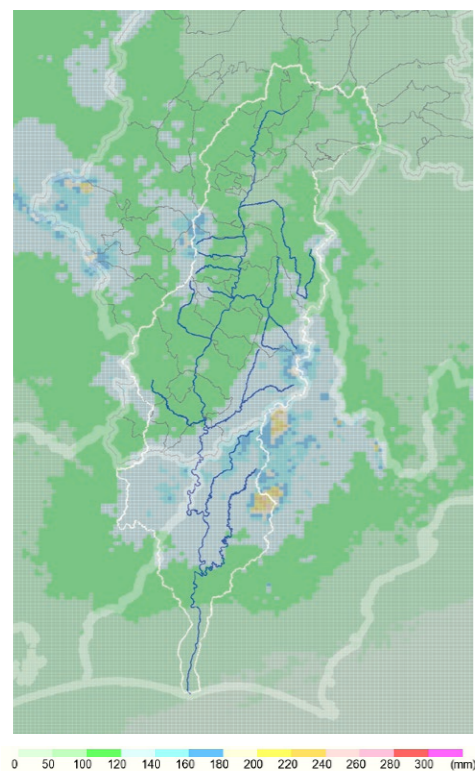
南アルプスの南東側で雨量が多いことがわかります。北部の諏訪地域は雨量が少なく、南部ほど雨量が多いことがわかります。

*解析雨量:レーダーやアメダス等の地上の雨量計の観測値をもとに最も可能性の高い降雨分布を解析したもので、平成18年から整備が進められ、現在は1km四方の細かさで解析されている。



色別標高図(国土地理院)を加工して作成

前線14事例の一雨平均の降雨分布

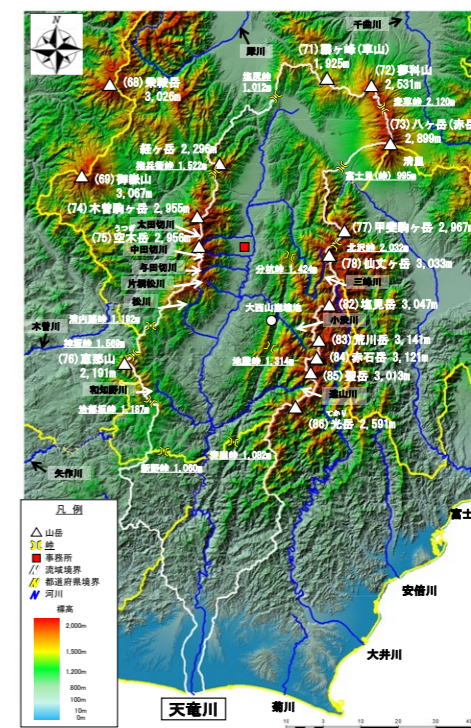
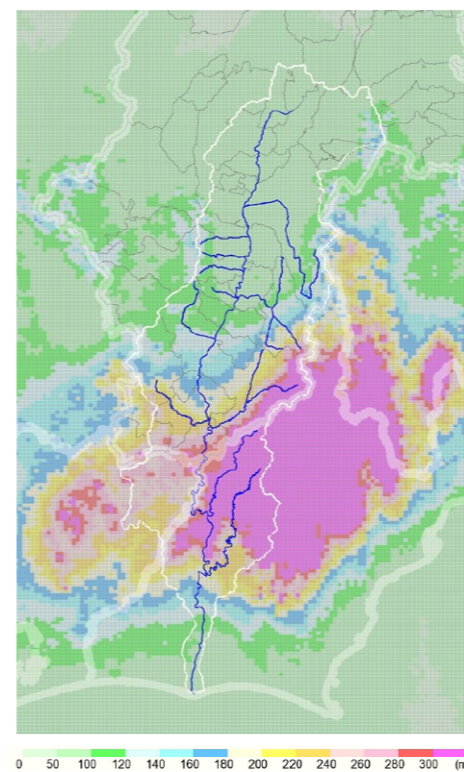


左図:解析雨量(国土交通省)を加工して作成
右図:色別標高図(国土地理院)を加工して作成

※平成18年～令和2年(15年間)の総雨量80mm以上かつ最大1時間雨量20mm/hr以上の前線による雨を抜粋し、事例数で割って一雨平均を算出。

南アルプスの南東側で雨量が多いことがわかります。諏訪地域では雨量が少なく、上伊那地域、飯伊地域の平地部では、雨量は概ね同程度であることがわかります。

台風5事例の一雨平均の降雨分布

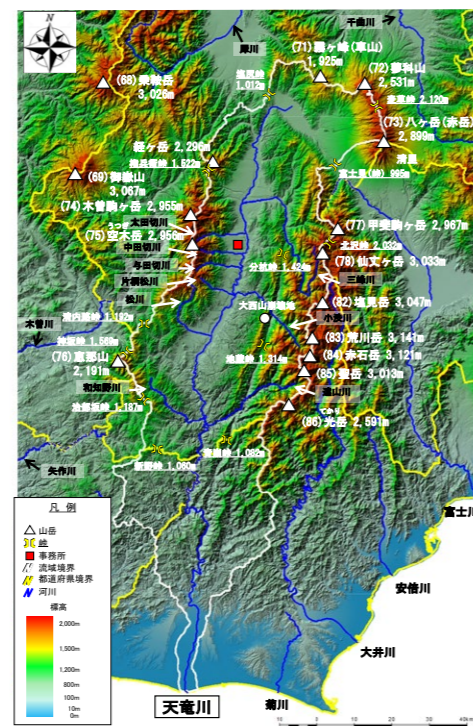
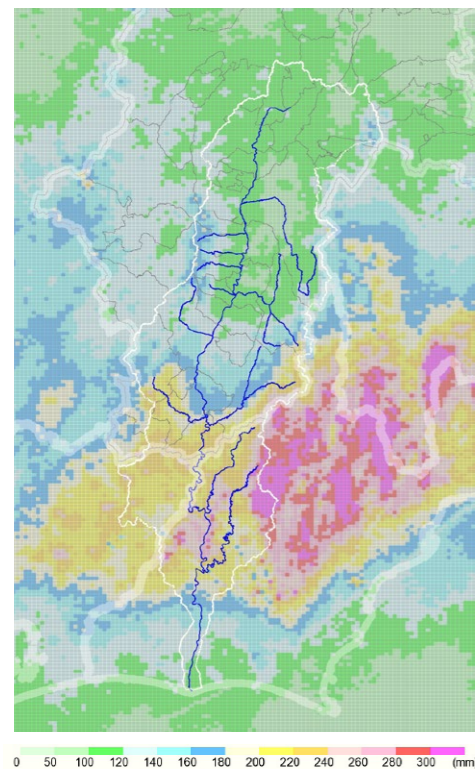


左図:解析雨量(国土交通省)を加工して作成
右図:色別標高図(国土地理院)を加工して作成

※平成18年～令和2年(15年間)の総雨量80mm以上かつ最大1時間雨量20mm/hr以上の台風による雨を抜粋し、事例数で割って一雨平均を算出。

南アルプスの南側で雨量が多いことがわかります。北部の諏訪地域では雨量が少なく、南部の飯伊地域では雨量が多いことがわかります。

前線+台風5事例の一雨平均の降雨分布

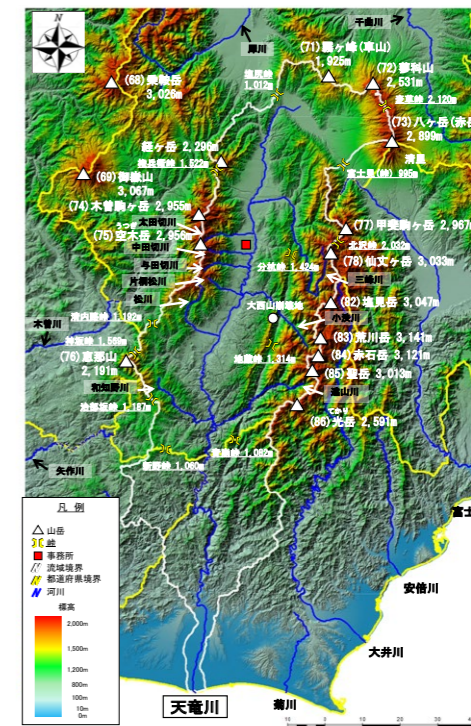
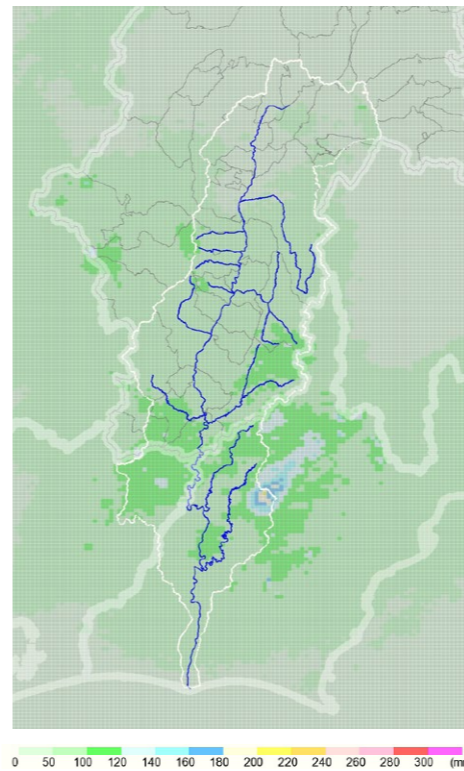


左図:解析雨量(国土交通省)を加工して作成
右図:色別標高図(国土地理院)を加工して作成

※平成18年～令和2年(15年間)の総雨量80mm以上かつ最大1時間雨量20mm/hr以上の前線+台風による雨を抜粋し、事例数で割って一雨平均を算出。

南アルプスの南東側および遠山川、小沢川流域で雨量が多いことがわかります。全体的に降雨は前線事例よりも多く、飯伊地域では他の地域よりも雨量が多いことがわかります。

低気圧5事例の一雨平均の降雨分布



左図:解析雨量(国土交通省)を加工して作成
右図:色別標高図(国土地理院)を加工して作成

※平成18年～令和2年(15年間)の総雨量80mm以上かつ最大1時間雨量20mm/hr以上の低気圧による雨を抜粋し、事例数で割って一雨平均を算出。

北部の諏訪地域では雨量が少なく、南部の飯伊地域では雨量が多いことがわかります。総雨量が120mmを超えるところがほとんどなく、比較的穏やかな雨であることがわかります。

台風の位置と雨量の関係

気象庁では、昭和26(1951)年以降の全ての台風(令和2(2020)年までで1,833個)の経路図が整理されています。これをもとに、天竜川上流域に大雨をもたらした台風の経路と、台風の位置と地点雨量の関係を整理したものを、ここでは「台風ルート危険図」と呼びます。

例えば、下に大鹿地点の台風ルート危険図を示し

ます。これより、大鹿地点に大雨をもたらした台風は昭和26(1951)年～令和2(2020)年までで1個(平成25(2013)年台風18号)しかなく、台風が太平洋上にあった時から10mm/hr以下の雨が降り続き、台風が天竜川上流域の直上付近にあった時に20mm/hrを超えるピーク雨量を観測したことがわかります。

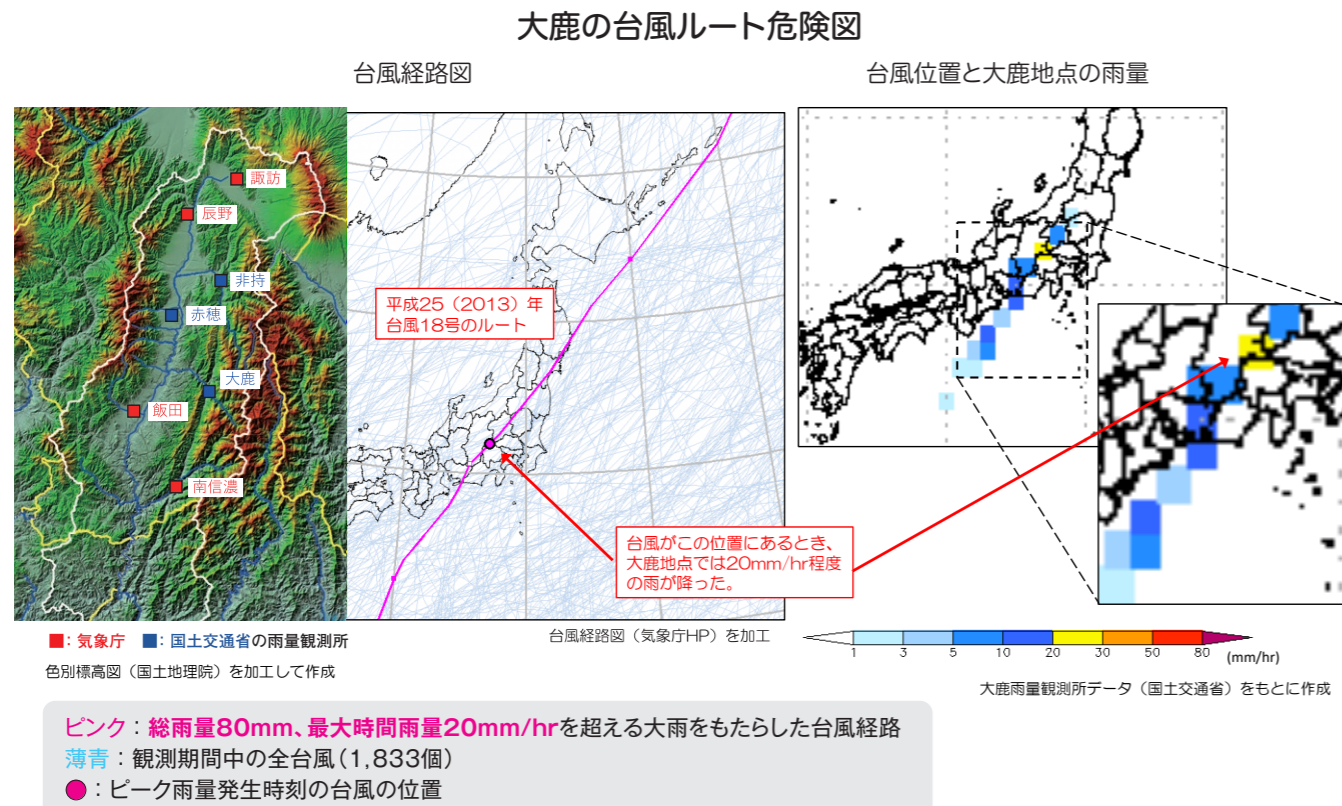


図 台風ルート危険図(大鹿)とその見方

南信濃の台風ルート危険図

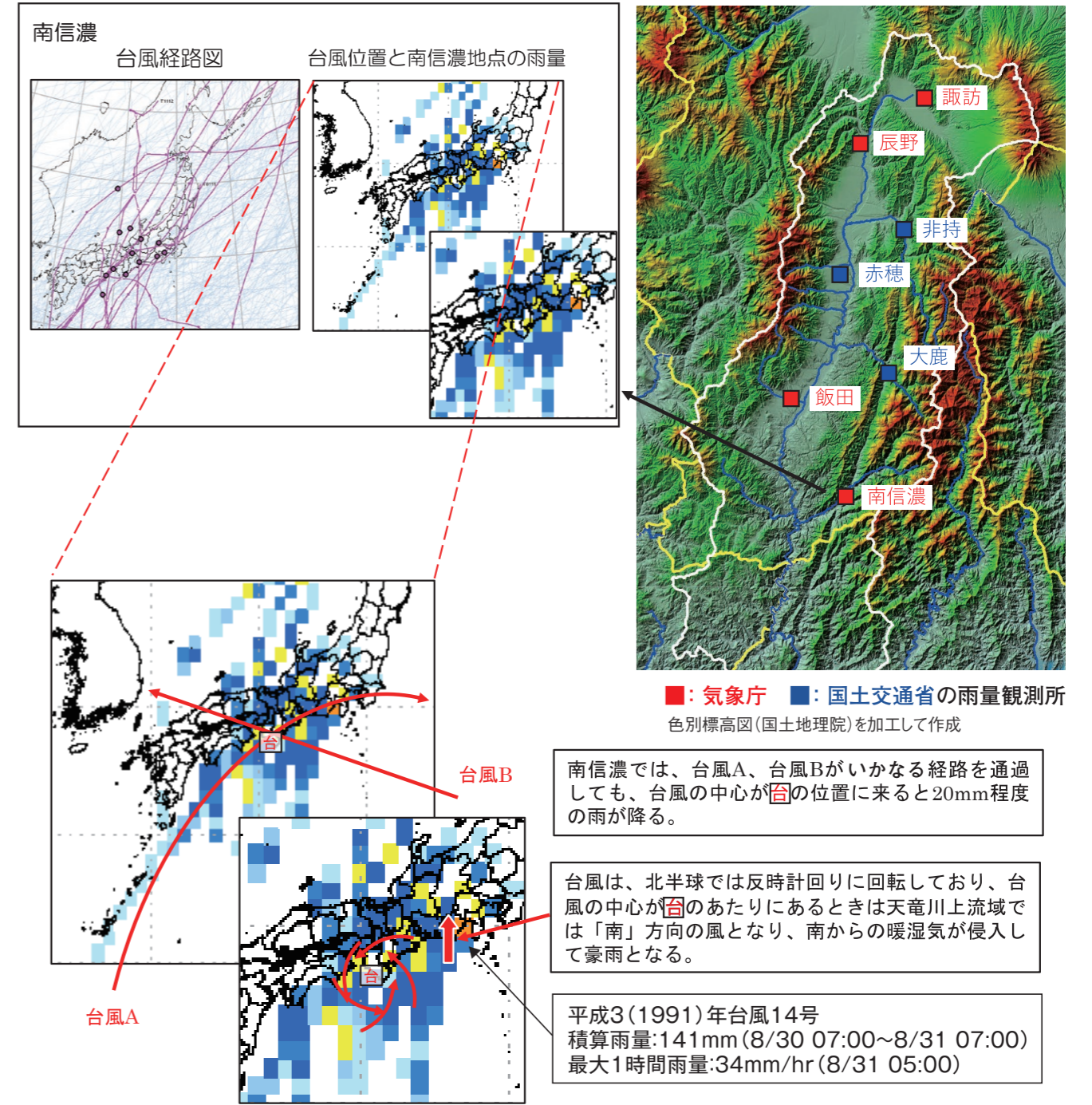
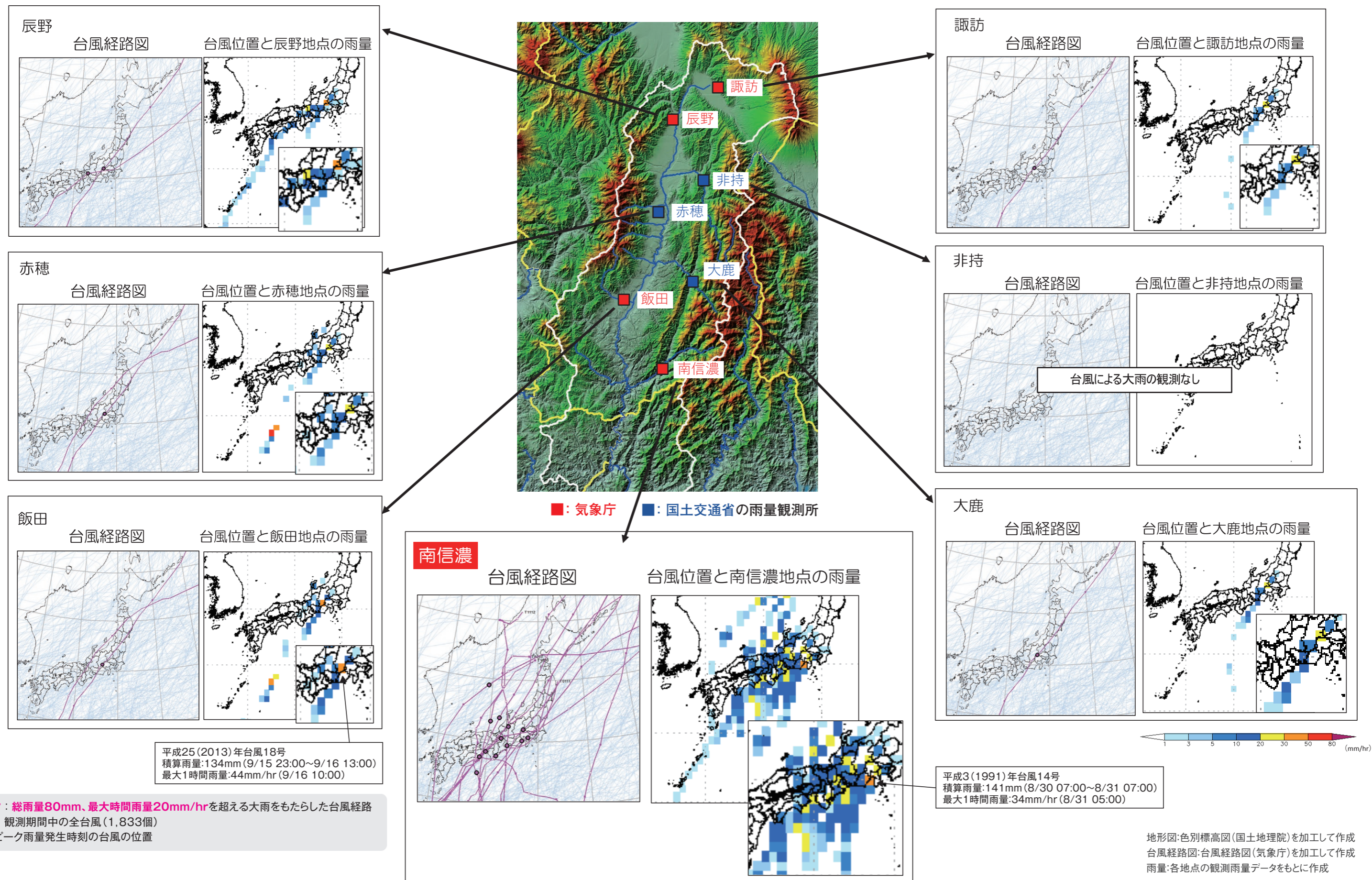


図 台風ルート危険図(南信濃)とその見方と台風の風向の関係

天竜川上流域の雨量観測所について台風ルート危険図を整理すると、次の図のようになります。

天竜川上流域は、南部に位置する南信濃を除いて台風により大雨をもたらされることは少なく、大

雨が降るのは台風が天竜川上流域の直上を通過する場合であることがわかります。一方、南信濃は他の地点と比較して明らかに台風による大雨が多いといえます。



天竜川上流域の地形

天竜川上流域は、東は南アルプス、西は中央アルプスに挟まれた盆地です。天竜川上流域を囲う山々は、日本百名山の内13座を占め、標高は2,000~3,000m以上のものがほとんどで、日本の屋根を形成しています。

このように、天竜川上流域は高い山々に囲まれ

ていますが、山と山の間には比較的標高が低いところ、すなわち峠がいくつかあります。これらの峠を次ページに示します。古来、人々は峠を通して往来し、現在でも主要道路や鉄道が通る交通の要衝となっています。



写真 天竜川上流域を北から望む

※霧：大気中に低く立ちこめた、薄い霧や煙霧（液体の水）。

日本列島周辺は850hPa気圧面より下部に霧（液体の水）が浮かんでおり、水圏と気圏の境界は海面の他に850hPa気圧面があるとも考えられる。

13. 権兵衛峠



(標高1,522m) 千曲川(犀川支流奈良井川)との境界:国道361号

1. 塩尻峠

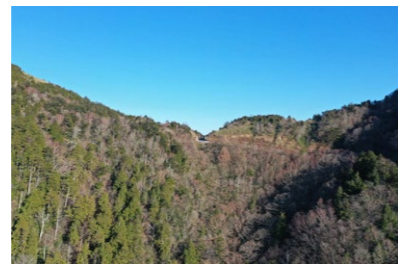


(標高1,012 m) 千曲川(犀川支流田川)との境界: 国道20号,長野自動車道,中央本線

11. 神坂峠



中央自動車道 神坂パーキングエリア から見た神坂峠



岐阜県側から見た神坂峠

7. 青崩峠



(標高1,082m) 天竜川水系内の長野県と静岡県の間

10. 治部坂峠



(標高1,187m) 長野県内の天竜川水系と矢作川水系の境

9. 新野峠



(標高1,060m) 長野県と愛知県の境界:国道151号

8. 天竜峡から南部の狭窄部



長野県内の天竜川の狭窄部:JR飯田線

4. 麦草峠



(標高2,120m) 千曲川との境界:国道299号

5. 富士見(峠)



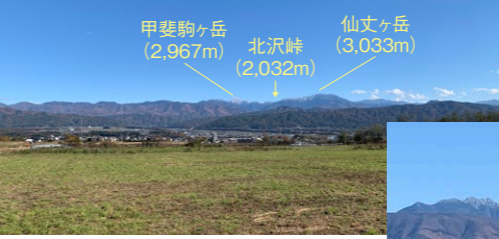
塩尻峠から見た富士見(峠)。富士見(峠)は天竜川水系と富士川水系を隔てる峠であるが、八ヶ岳の噴火の影響を受け、明確な山体を形成しておらず、国道20号もJR中央本線も平地状態で分水境を越えて行く。



長野県側から見た富士見(峠) 富士山は西の風を受け、西に雲が発生

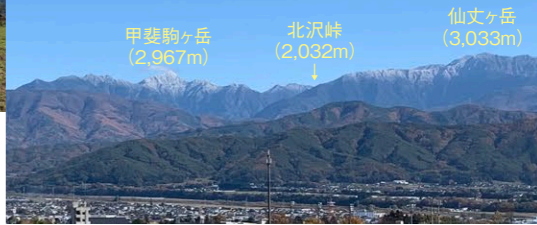
山梨県(標高約995m) 富士川との境界:国道20号,中央自動車道,中央本線

6. 北沢峠



(標高2,032m) 富士川(早川)との境界:南アルプス林道

小黒川SAから見た 甲斐駒ヶ岳と仙丈ヶ岳の間の北沢峠



15. 分杭峠



(標高1,424m) 伊那市の三峰川と大鹿村の小渋川流域との境界

16. 地藏峠



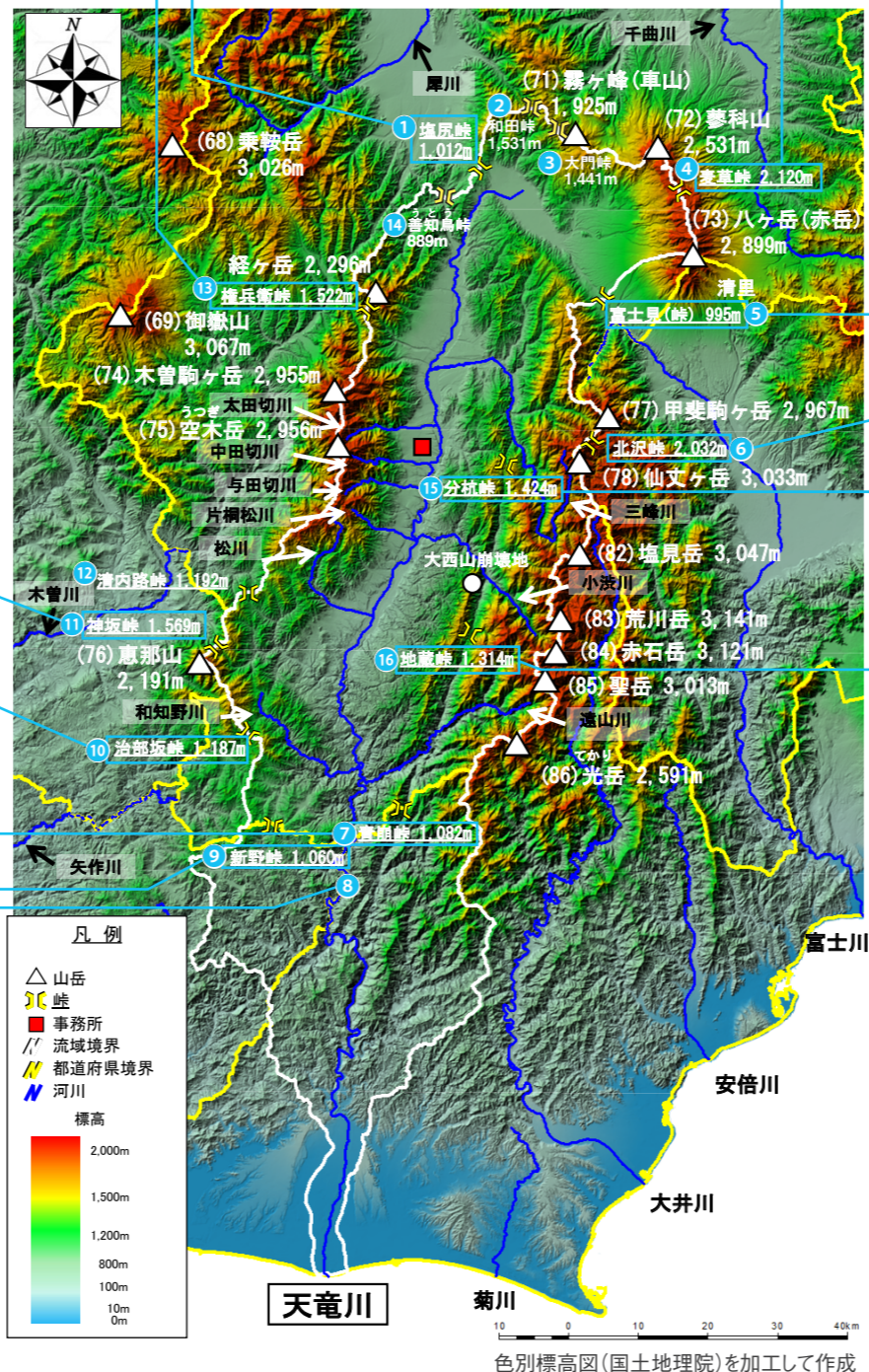
(標高1,314m) 大鹿村の小渋川流域と伊那市遠山川流域の境界 遠山川側から見た地藏峠 雲底高度約1,800m(低層の暖湿流が伊那山脈によって上昇し雲が発生)



小渋川側から見た地藏峠写真、奥地藏峠と大西山崩壊地。

小渋川合流点下流上空より南方を望む

天竜川上流の地形および峠



色別標高図(国土地理院)を加工して作成

地形と降雨の関係

地形性降雨

地表付近で運ばれてきた暖湿流が山地をはい上がることによって冷却、凝結して発生する降雨を、「地形性降雨」といいます。運ばれてくる水蒸気量が多いほど(暖かく湿っているほど)大きな雨となりやすく、前線や台風が起因のときには土砂災害を引き起こす豪雨となることがあります。暖湿流が生成される場所は、一般的には南方の太平洋上です。

以下に、地形性の雲の例を示します。

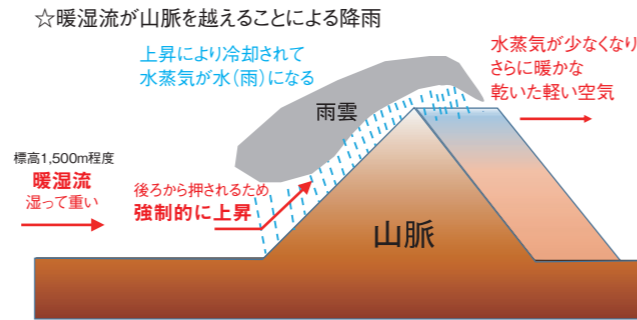


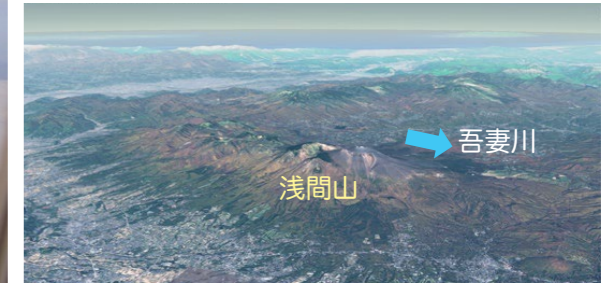
図 地形性降雨



写真 南アルプスに形成された地形性の雲



浅間山(あさまやま:標高2,568m)とそれに続く連山に形成された地形性の雲 撮影:平成29(2017)年11月8日14:15



雲がないときの浅間山 出典:国土地理院撮影の空中写真(地理院地図Globeより)

気象シミュレーションの概要

湿度や風速などを条件として与え、雨雲や降雨の発生過程を計算します。ここで用いた気象シミュレーションは、WRF (Weather Research and Forecasting model) という、米国大気研究センター(NCAR)、米国環境予測センター(NCEP)、米国海洋大気庁(NOAA/FSL)、米国空軍気象局(AFWA)などが中心となり、実用的な天気予報とそれに関連する研究のために開発されたものです。解析範囲は、下図に示すように、天竜川上流域を中心として第一領域~第二領域を設定し、天竜川上流域付近の降雨を詳細に計算したものです。

気象シミュレーションで見る天竜川上流域の地形性降雨

気象シミュレーションを利用し、一定の湿度(三

六災害時の天竜川河口部上空の湿度)とし、360°18方位(北、北北東…の16方位+西微北、西微南の2方向)の風を地表から上空まで一様に与えた場合の天竜川流域の降雨分布を示します。これにより、天竜川流域に対してどの方向から風が吹いたときに地形の影響により雨が多くなる傾向にあるかがわかります。

風速20m/s(前線に伴う風速程度)の場合、南の成分を持った風を与えた場合、降雨域が天竜川南部と、中央構造線に沿って遠山川流域から小渋川流域南部にかけて発生していることがわかります。一方、南南東~東の風の場合は、天竜川流域の東側の山地の斜面で暖湿流が上昇するため天竜川流域の東側の稜線付近で降雨量が多くなり、天竜川流域内部では大雨となりにくいことがわかります。

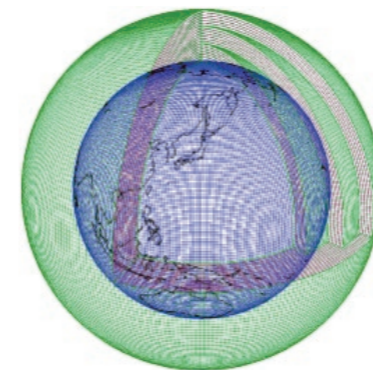
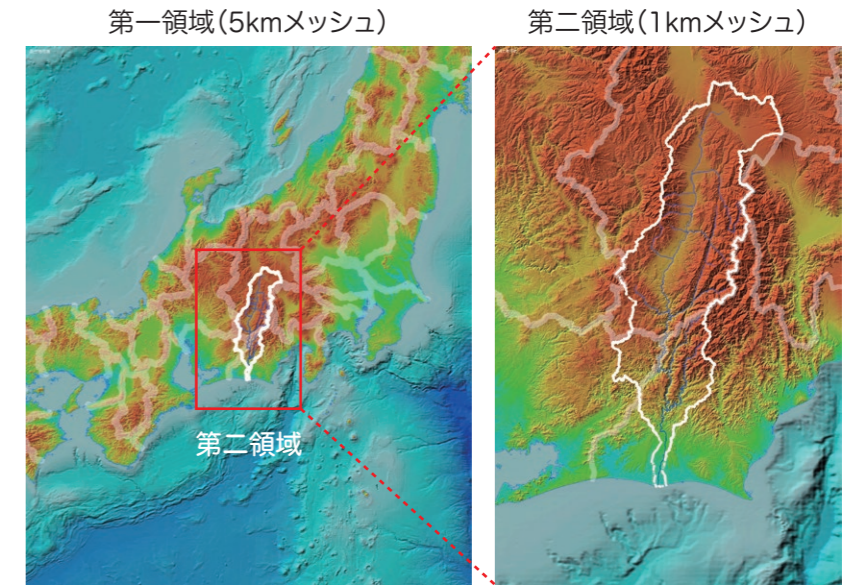


図 気象シミュレーションモデルの格子点イメージ

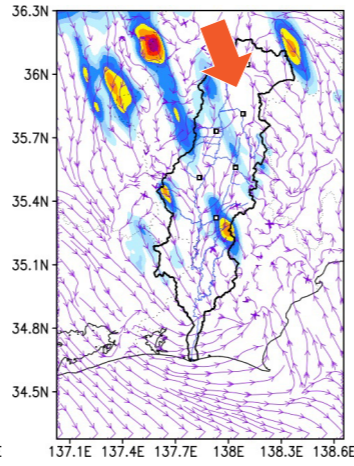
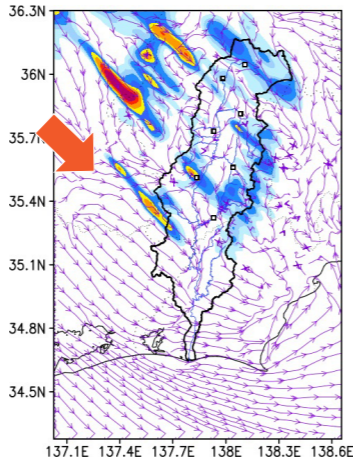
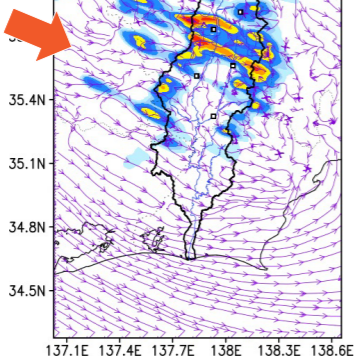
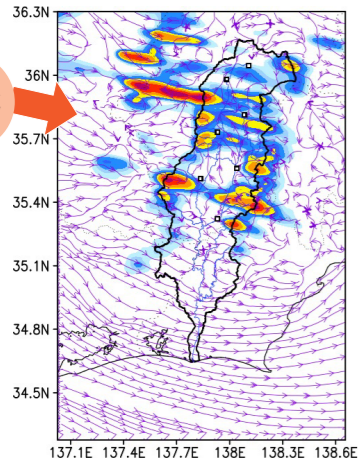


色別標高図(国土地理院)を加工して作成
 図 気象シミュレーションの解析範囲

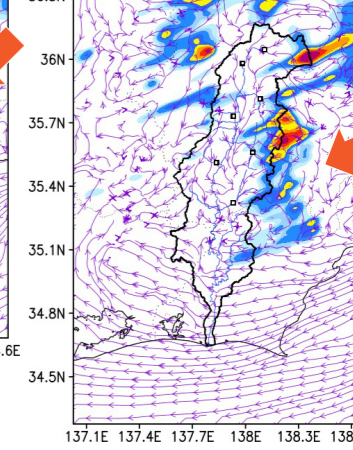
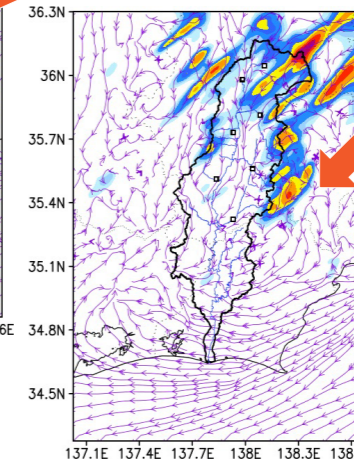
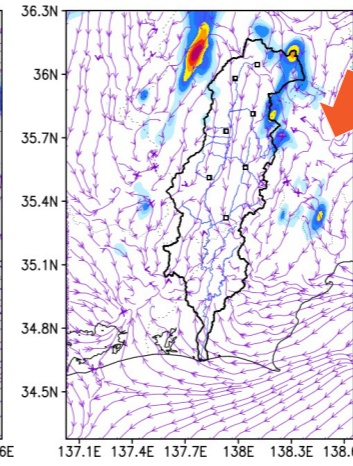
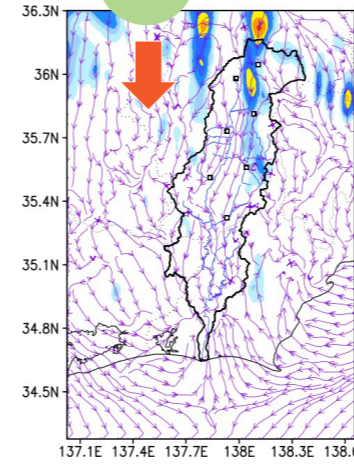
気象シミュレーションによる
風向別最大1時間雨量分布図(風速:20m/s)

→ : 風向

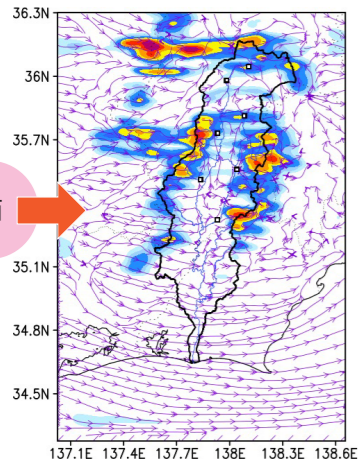
西微北



北



西

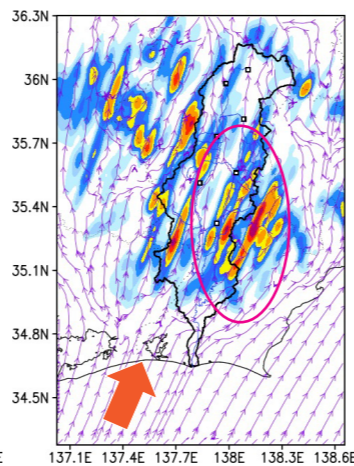
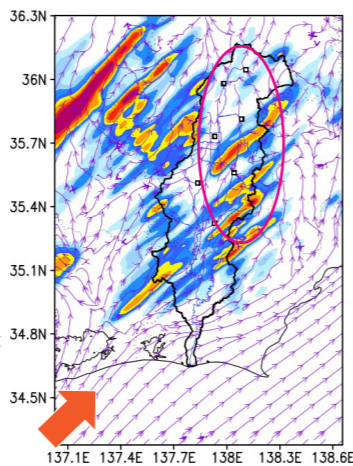
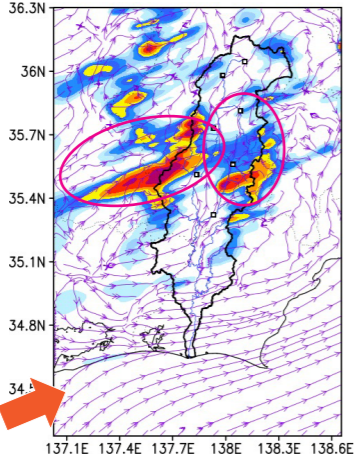
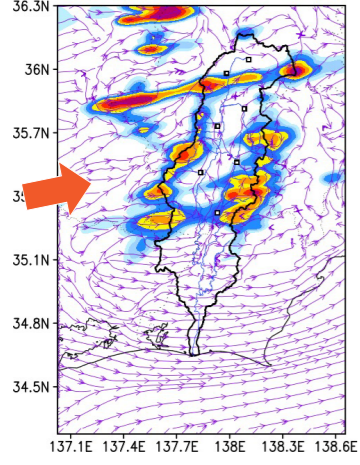


●解析領域内を一定の湿度とし、360°18方位(北、北北東…の16方位+西微北、西微南の2方向)の風を地表から上空まで一様に与えた場合の天竜川流域の降雨分布の気象シミュレーション結果。
●これにより、天竜川流域に対してどの方向から風が吹いたときに地形の影響により雨が多くなる傾向にあるかがわかる。

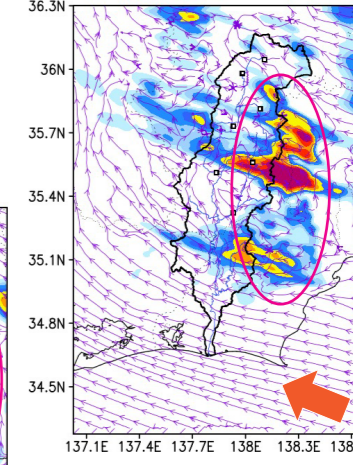
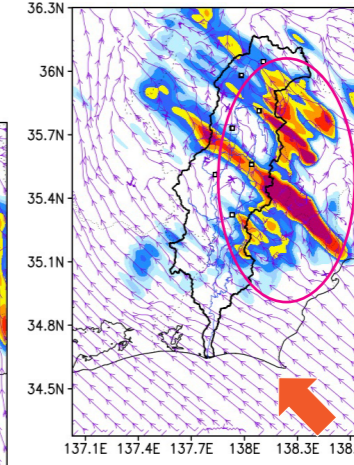
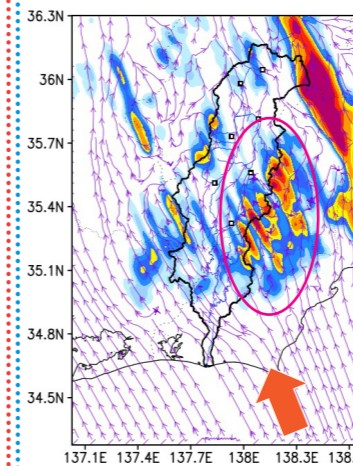
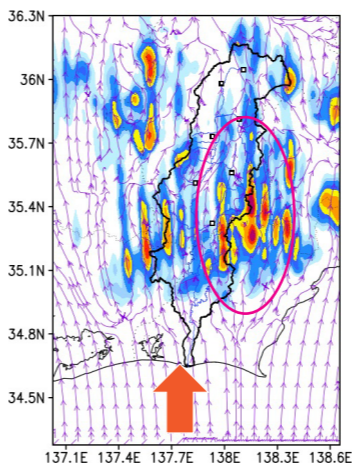
- ① 風向が南~西微南の場合は、降雨域が天竜川南部と、中央構造線に沿って遠山川流域から小渋川流域南部にかけて発生する。
- ② 風向が南南東~東の場合は、天竜川流域の東側の山地の斜面で暖湿流が上昇するため天竜川流域の東側の稜線付近で降雨量が多くなり、天竜川流域内部では大雨となりにくい。

①

西微南

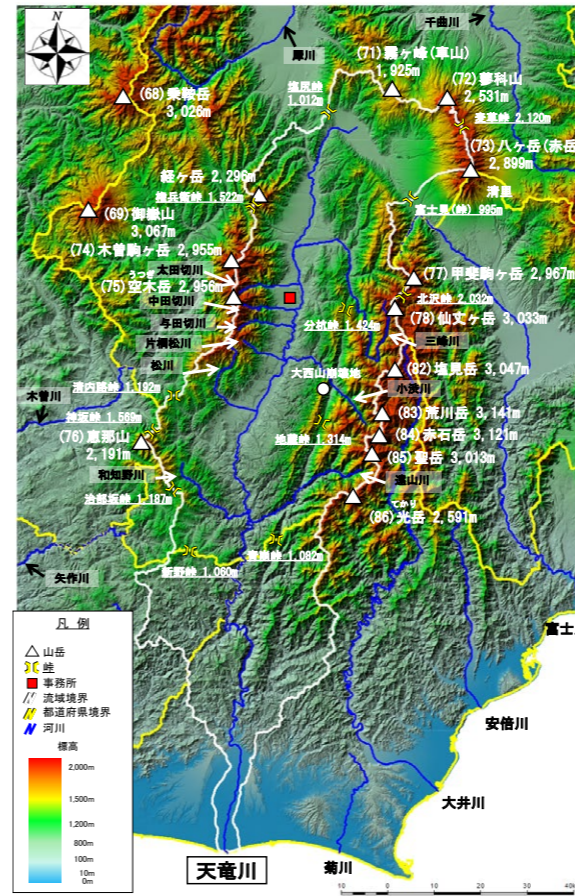
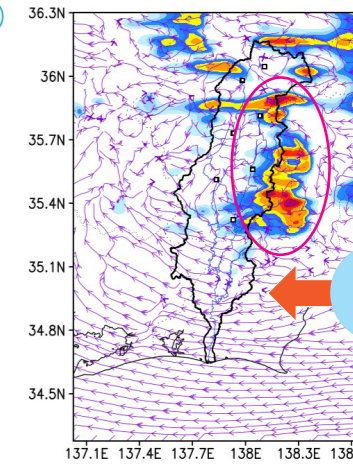


南

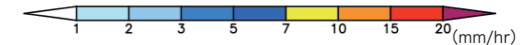


東

②



色別標高図(国土地理院)を加工して作成



峠を越えて雨がやってくる

地域毎の地形と降雨の関係

天竜川上流域の地形を踏まえて降雨分布図や台風ルート危険図、気象シミュレーションによる風向別降雨分布を見ると、暖湿流が人々が往来する峠を越えて天竜川上流域に侵入し、中央アルプスや南アルプスの高い山々に行く手を阻まれ雨となっていることがわかります。

具体的には、太平洋からの暖湿流は、駿河湾から富士川(早川)を通じて南に開いた「北沢峠」を、南東に開いた「青崩峠」、天竜峡から南部の「狭窄部」、「治部坂峠」、「分杭峠」、「地藏峠」を通ってきます。このうち、「分杭峠」に到達する暖湿流は、「青崩峠」と「地藏峠」の2つの峠を越え、湿度を落とされるため、「分杭峠」付近の降雨量は他と比べると少なくなります。また、前線に伴う西からの暖湿流は、木曾川と信濃川(奈良井川)を経由して、西に開いた「権兵衛峠」を通ってきます。

このような暖湿流の通り道を踏まえ、天竜川上流域の地形性降雨を諏訪、上伊那、飯伊の地域毎に見ると、次のとおりです。

■ 諏訪地域

天竜川上流域の北部に位置する諏訪地域は、P.3～5の降雨分布図から、天竜川上流域の中でも雨量の少ない地域であることがわかります。降雨要因別では、台風や低気圧による雨量は特に少なく、前線による大雨が比較的多い傾向が見られます。台風や低気圧の風に伴い暖湿流が天竜川上流域の南から侵入する場合は、ほとんどが南部で雨となり、北部まであまり到達しません。一方、前線の場合は、暖湿流が西から侵入し、諏訪地域で大雨をもたらすことがあります。

諏訪地域の前線の降雨特性は平成18年7月岡谷豪雨を例に第3章で、台風の降雨特性は第4章で詳しく説明します。

■ 上伊那地域

天竜川上流域の中部に位置する上伊那地域は、降雨分布図から、前線、台風ともに、中央の平地部では雨量は少ないものの、山の稜線付近では雨量が多いことがわかります。これは、天竜川上流域を囲う山々を越える暖湿流が稜線付近で雨となり、また、稜線を越えて侵入した暖湿流が平地部を通り過ぎ、反対側の山腹を上昇する際に雨となるためです。

上伊那地域の前線の降雨特性は三六災害豪雨を例に第2章で、台風の降雨特性は第4章で詳しく説明します。

■ 飯伊地域

天竜川上流域の南部に位置する飯伊地域は、降雨分布図から、前線、台風ともに雨量が多く、特に台風による雨量が多いことがわかります。これは、南～南西からの暖湿流が異なる峠を越えるため、風向きが変わっても暖湿流が天竜川上流域に侵入し雨となり続けるためです。

飯伊地域の前線の降雨特性は三六災害豪雨を例に第2章で、台風の降雨特性は第4章で詳しく説明します。

第2章

上伊那・飯伊地域の
前線の降雨特性
～三六災害豪雨の特性～

小渋川側から見た地藏峠と大西山崩壊地

上伊那・飯伊地域の前線の降雨特性 ～三六災害豪雨の特性～

上伊那・飯伊地域の大雨は、南側の峠から暖湿流が流入することにより発生することがわかりました。具体的にどのような場合に上伊那・飯

伊地域において豪雨となるのか、三六災害豪雨を例に降雨特性を詳しく見てみましょう。

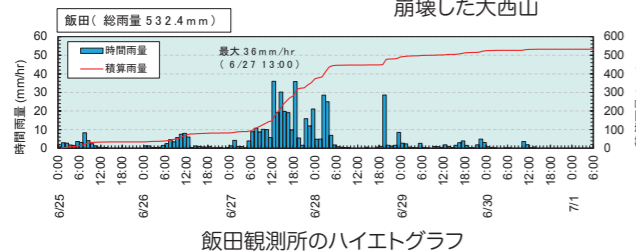
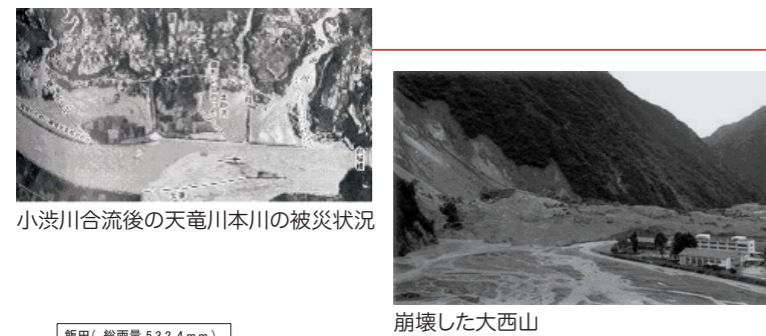
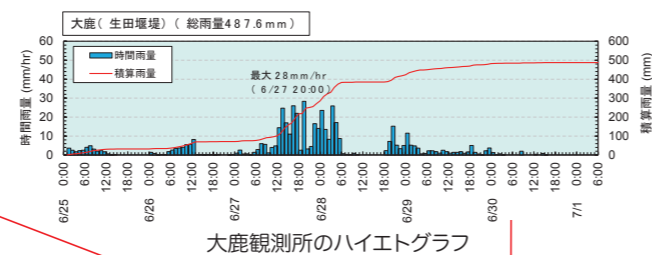
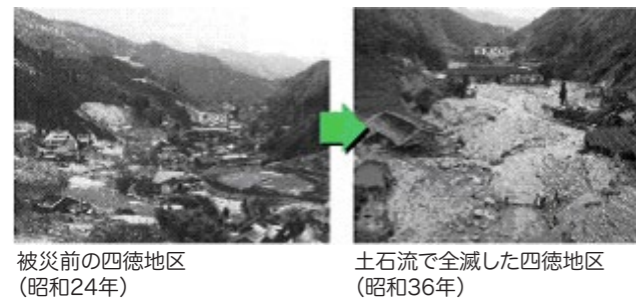
三六災害とは

昭和36(1961)年6月、台風6号の接近と梅雨前線の停滞により、天竜川上流域では1週間で年間平均雨量の3割を超える豪雨(飯田観測所における6月25日0時～7月1日6時の総雨量532.4mm)を記録しました。この豪雨のため、各地の支川で大増水となり、天竜川本川や支川の各地で堤防の破堤、氾濫が発生しました。

この三六災害の被害を大きくした最大の要因は、土砂災害です。流域の各地で土石流、土砂崩れなどの土砂災害が発生し、その数は伊那地方全体で

1万箇所を超えたとされています。特に、大鹿村では、6月28日に大西山が大崩落(深層崩壊)して32戸が流失、死者40人、行方不明者15人を出すという大惨事が発生しました。一方、中川村の四徳集落では、四徳川からの土石流により集落が流され、集落が壊滅状態に陥りました。

この災害後、天竜川では河川改修計画の変更や土砂災害対策(砂防事業)などが全面的に実施されることになりました。



三六災害豪雨の特性

三六災害は非常に大きな雨によって引き起こされましたが、なぜそのような大雨が降ったのか、大鹿地点の過去60年間の大雨事例と比較して見てみましょう。

この表から、三六災害豪雨は60年間で最大の降雨であり、大雨が発生したときの風向は南南西～西南西であったことがわかります。これは、天竜川上流

域の地形と大きく関係していて、暖湿流が天竜川上流域の南～西南西に位置する峠を越えて流入し大雨をもたらすためです。三六災害豪雨は、最大1時間雨量は他と比較してもあまり大きくなかったものの、総雨量が非常に多かったことがわかります。

表 大鹿地点における過去60年間の大雨事例

総雨量上位10事例	降雨要因	降り始めから降り終わりまでの降雨継続時間 (hr)	降り始めから降り終わりまでの総雨量 (mm)	最大1時間雨量 (mm/hr)	大雨時の風向	上位10位の総雨量 (mm)						
						0	100	200	300	400	500	600
第1位 (三六災害) 昭和36(1961)年 6月25日1時～6月30日16時	前線+ 台風6号	135	487.6	28.3	南南西 →西南西	[Red bar representing 487.6 mm]						
第2位 令和2(2020)年 7月5日22時～7月11日23時	前線	145	409.0	43.0	西南西	[Blue bar representing 409.0 mm]						
第3位 昭和45(1970)年 6月14日14時～6月17日4時	前線	62	372.5	18.0	南西	[Blue bar representing 372.5 mm]						
第4位 平成18(2006)年 7月17日4時～7月19日11時	前線	55	311.0	21.0	西南西	[Blue bar representing 311.0 mm]						
第5位 平成30(2018)年 7月4日6時～7月7日5時	前線+ 台風7号	71	281.0	21.0	南西	[Blue bar representing 281.0 mm]						
第6位 昭和58(1983)年 9月26日22時～9月29日0時	前線+ 台風10号	50	274.0	34.5	南	[Blue bar representing 274.0 mm]						
第7位 昭和33(1958)年 7月20日4時～7月26日17時	前線	157	261.3	19.4	南西	[Blue bar representing 261.3 mm]						
第8位 昭和57(1982)年 9月10日3時～9月12日21時	台風18号	66	245.5	15.0	南西	[Blue bar representing 245.5 mm]						
第9位 昭和43(1968)年 8月27日10時～8月29日22時	前線+ 台風10号	60	228.5	26.0	南西	[Blue bar representing 228.5 mm]						
第10位 昭和63(1988)年 9月24日2時～9月25日22時	前線+ 台風22号	44	223.5	47.5	南南西	[Blue bar representing 223.5 mm]						

気象シミュレーションによる風向別降雨特性との関連

大鹿地点における過去60年間の総雨量上位10事例の風向は、全て西南西～南です。

では、いずれの風向でも天竜川上流域内で強い降雨が発生していることがわかります。

気象シミュレーションを利用した風向別降雨分布

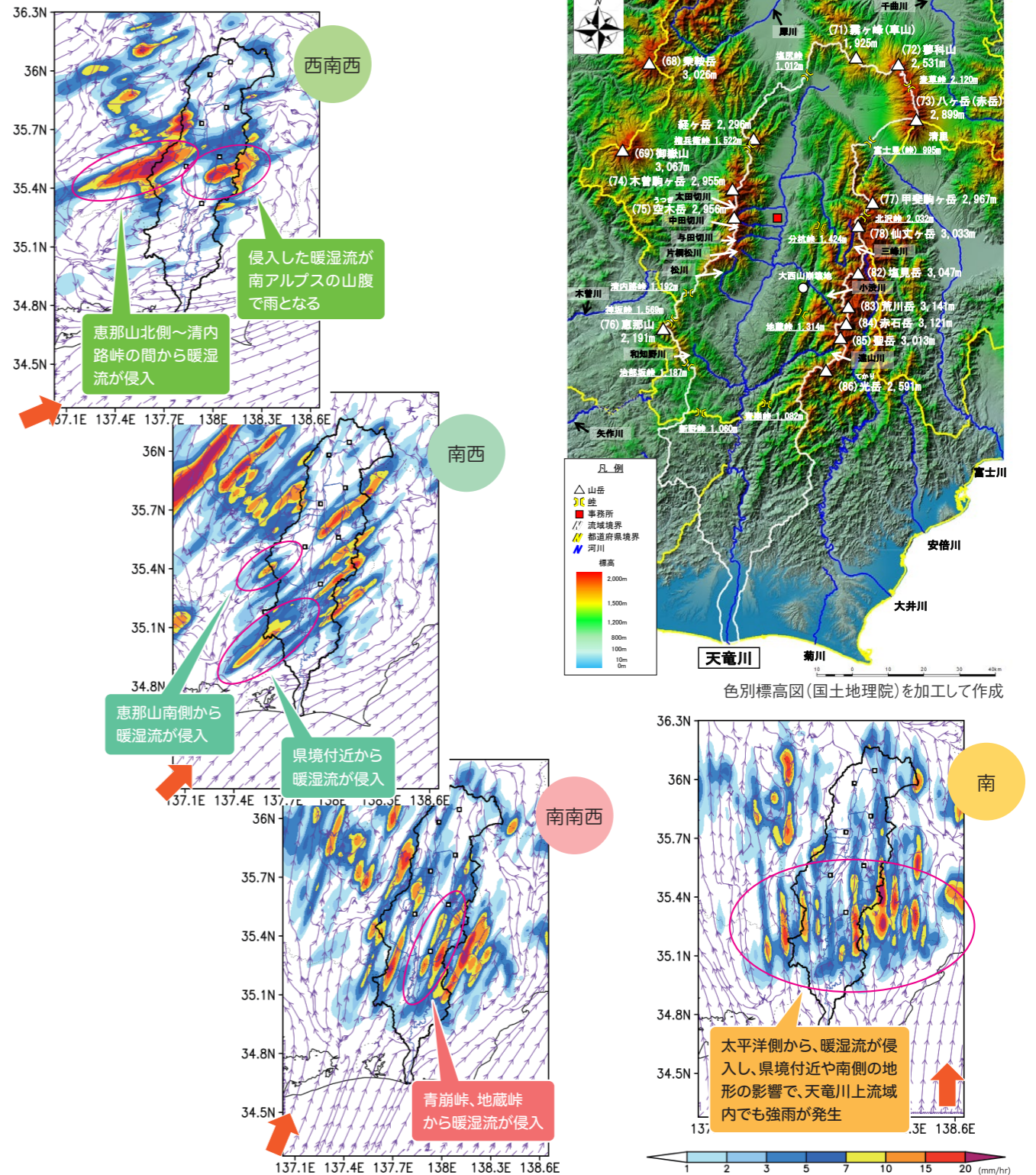


図 気象シミュレーションによる風向別降雨分布 (風速:20m/s、西南西～南) (P.16・17の再掲)

地上天気図からの分析 ~台風と前線からの暖湿流が「南」から天竜川上流域に侵入した~

三六災害豪雨時の地上天気図を見ると、天竜川上流域の上空に前線が停滞、南西には台風6号が位置していました。これより、太平洋高気圧からの吹き出しと台風6号への吹き込みの風により暖湿流が天竜川上流域に向かって流れ込んでいたことがわかります。

850hPa気圧面高層天気図*からの分析

台風と前線からの暖湿流が、「南」から天竜川上流域に侵入したことがわかります。

*850hPa気圧面高層天気図:対流圏下層を代表する層で、地上の摩擦力などの影響がなくなる高さにあたり、対流圏下層の湿った空気の流れを把握できる。主に前線の解析や、相当温位から暖気移流、寒気移流などが解析できる。海拔高度は約1,300~1,600m付近(気温、湿度、地上気圧等で変動)に相当する。

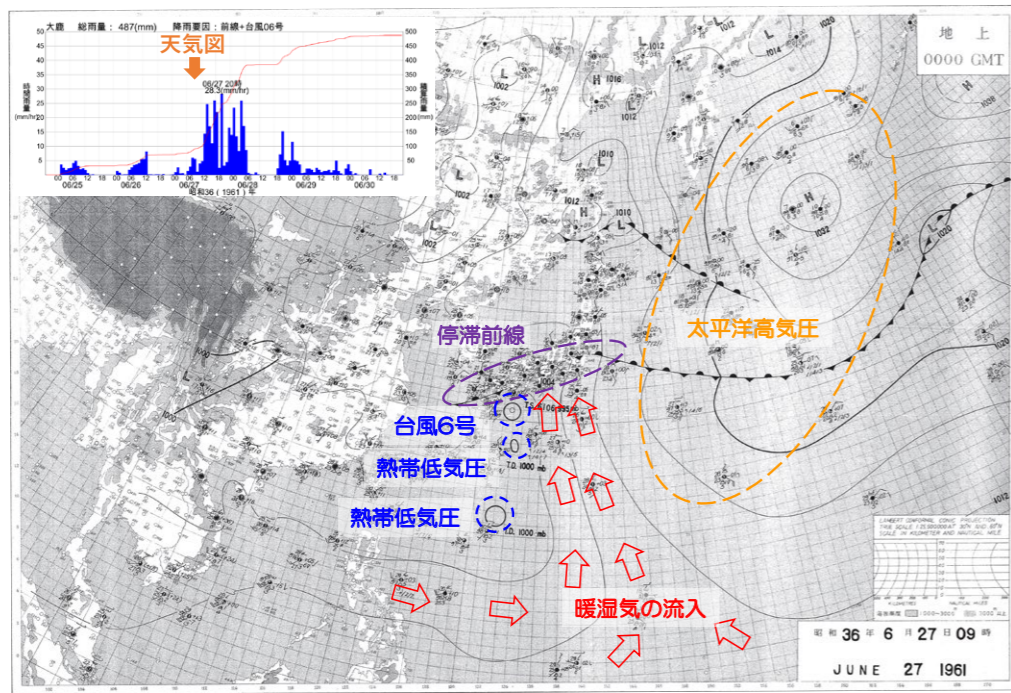


図 三六災害豪雨時の地上天気図(昭和36年6月27日9時)

国立情報学研究所「デジタル台風」(原典:気象庁)に加筆

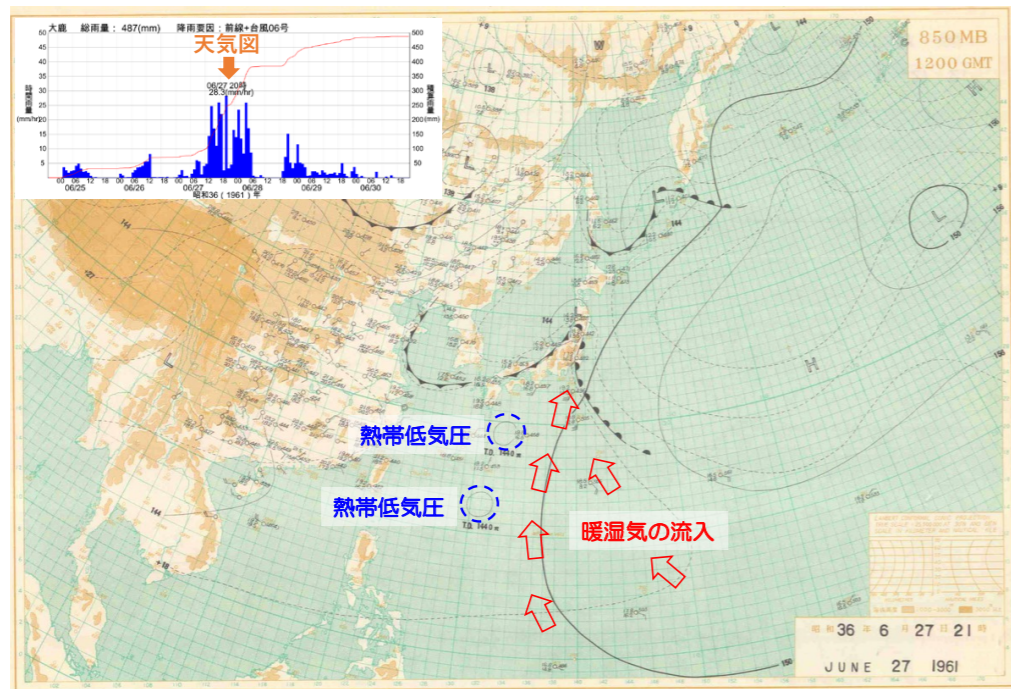


図 三六災害豪雨時の850hPa気圧面高層天気図(昭和36年6月27日21時)

国立情報学研究所「デジタル台風」(原典:気象庁)に加筆

気象シミュレーションによる三六災害豪雨の再現

三六災害当時に気象台が作成した総雨量分布図

長野地方気象台において、三六災害豪雨の総雨量分布が整理されています。当時の気象観測者の「観測魂」を感じます。しかし、総雨量分布の整理は長野県内に限定され、また、昭和36(1961)年当時は雨量観測所が少なく、限られた観測雨量データをもとに作成されたものとなっています。

三六災害豪雨の気象シミュレーションによる再現

気象シミュレーションを用いると、任意の範囲の総雨量分布を再現し、過去の降雨の時間変化や空間分布を把握することができます。三六災害豪雨を気象シミュレーションにより再現した結果をP.25の下の図に示します。

時間分布・空間分布の正確な再現結果

まず、総雨量分布図を見ると、御嶽山、恵那山、光岳付近の600mmを超える非常に強い雨域や、諏訪、伊那付近の300~400mm程度の雨域が再現され、総雨量は飯伊地域や上伊那地域南部で非常に多く、これに比べると上伊那地域の北部や諏訪地域では少なかったことがわかります。また、三六災害豪雨の再現計算による地点雨量を観測値と比較すると、ほぼ正確に再現できていることがわかります。

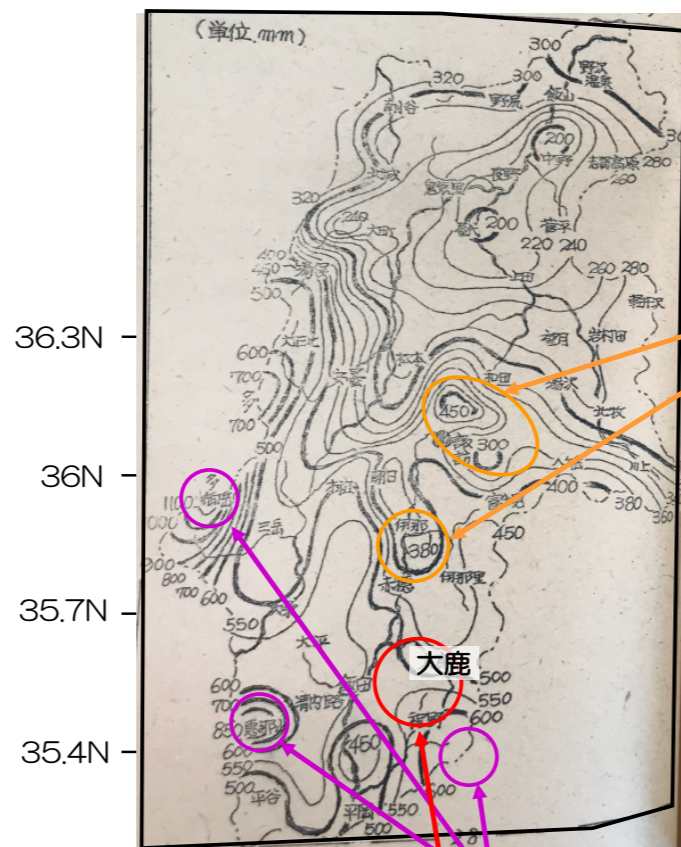
降雨の時系列変化

次に、降雨分布の時系列変化を見ると、大鹿周辺では、6月27日21時頃には「南南西」の風に伴い暖湿流が青崩峠、地蔵峠を越えて流入し、大雨をもたらしました。さらに、28日3時頃には「西南西」の風に伴い暖湿流が神坂峠を越えて流入し、南アルプスの山々を越えられず、大鹿周辺に大雨をもたらしました。

三六災害豪雨の特性

このように、三六災害豪雨は、台風6号から変化した熱帯低気圧に起因したと推定される風向の変化(南南西~西南西)によって降雨分布が変化したものの、大鹿周辺ではその2つの降雨分布のいずれによっても大雨が続いたため大きな被害につながったと考えられます。

三六災害時の長野県内の総雨量分布図



長野地方気象台(昭和36年梅雨前線豪雨概報)に加筆

大鹿村付近の非常に強い雨域は、昭和36年当時の総雨量分布図では把握できないが、気象シミュレーションによる再現計算には現れている。

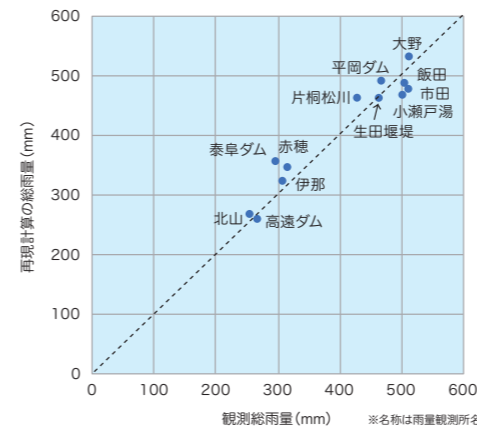


図 三六災害豪雨の再現計算による地点雨量と観測値の比較(総雨量の相関)

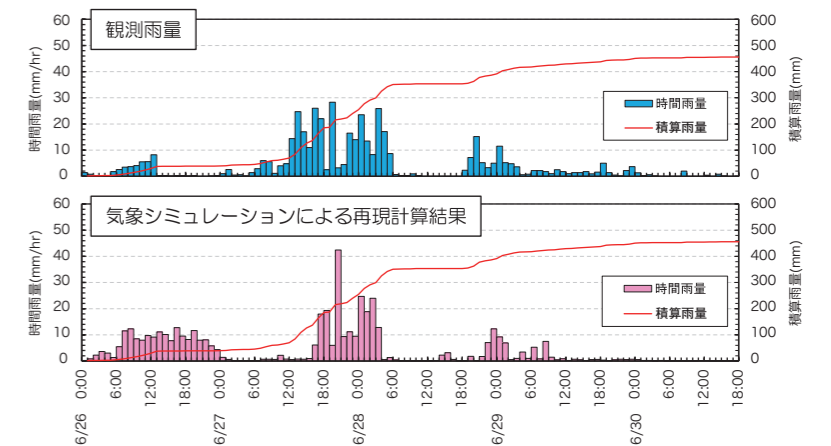
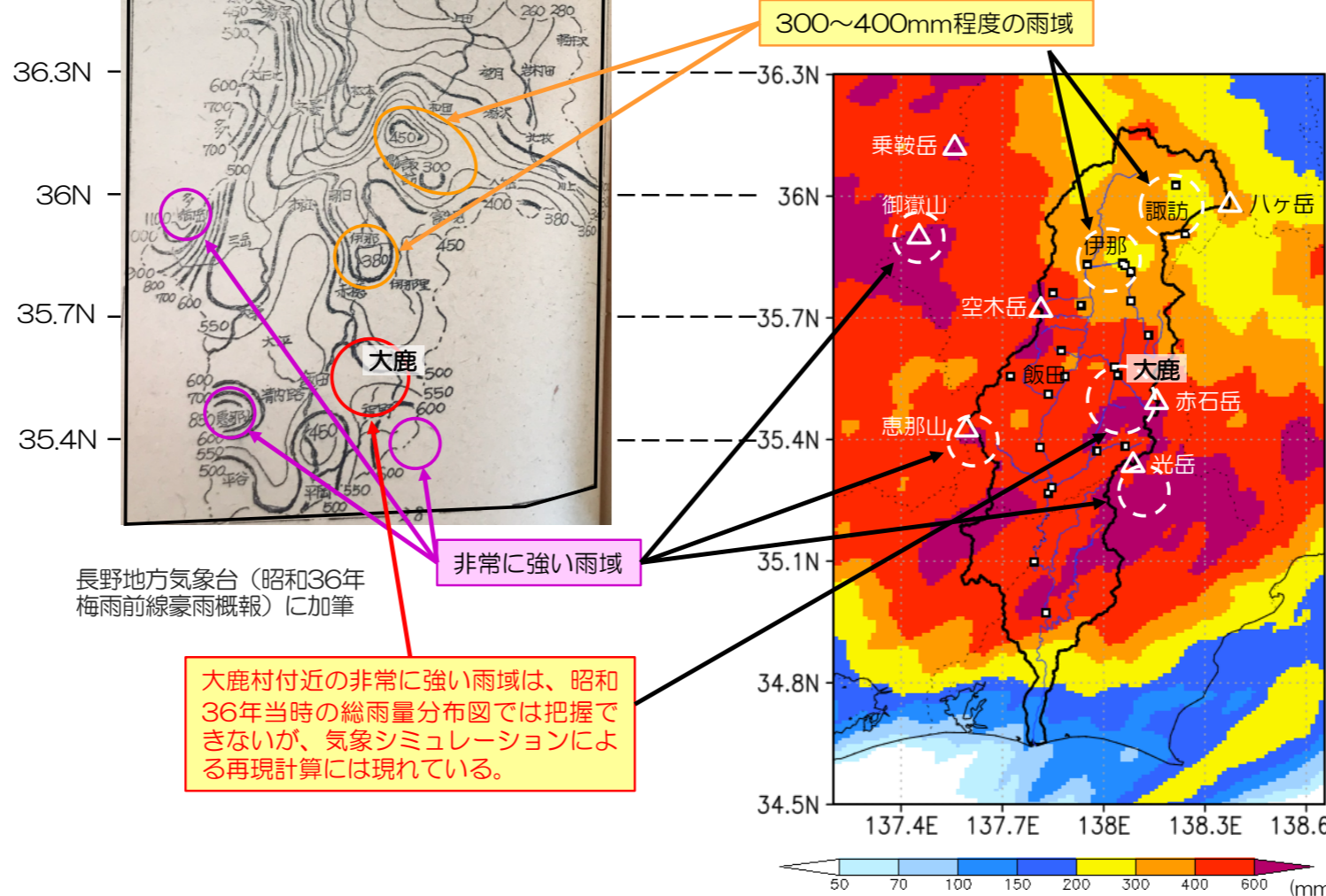


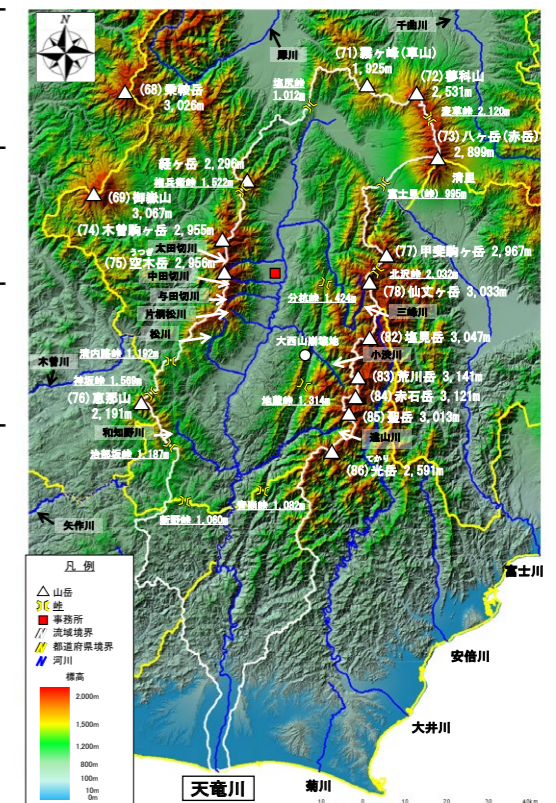
図 三六災害豪雨の大鹿(生田堰堤)地点の雨量

気象シミュレーションによる三六災害豪雨の再現計算結果に基づく総雨量分布図

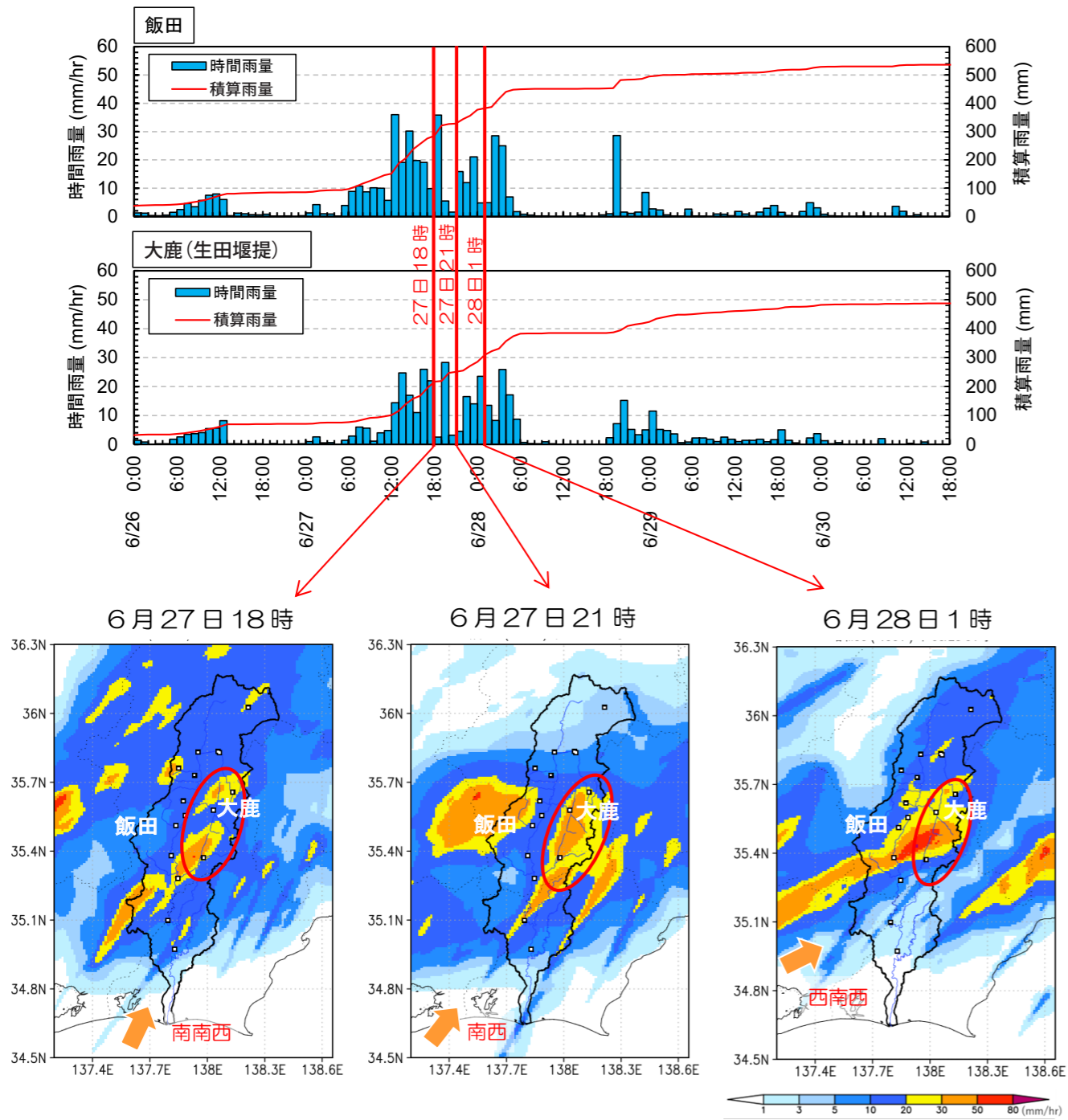


300~400mm程度の雨域

非常に強い雨域



色別標高図(国土地理院)を加工して作成



- ・時間の経過とともに、風向が南南西から西南西に変化した。
- ・風向の変化に伴い、暖湿流は異なる峠を通過して天竜川上流域に侵入し、雨域のでき方が変化した。
- ・しかし、大鹿村付近では強雨域が継続して発生したため、大雨が降り続いた。

図 気象シミュレーションによる三六災害豪雨の再現結果

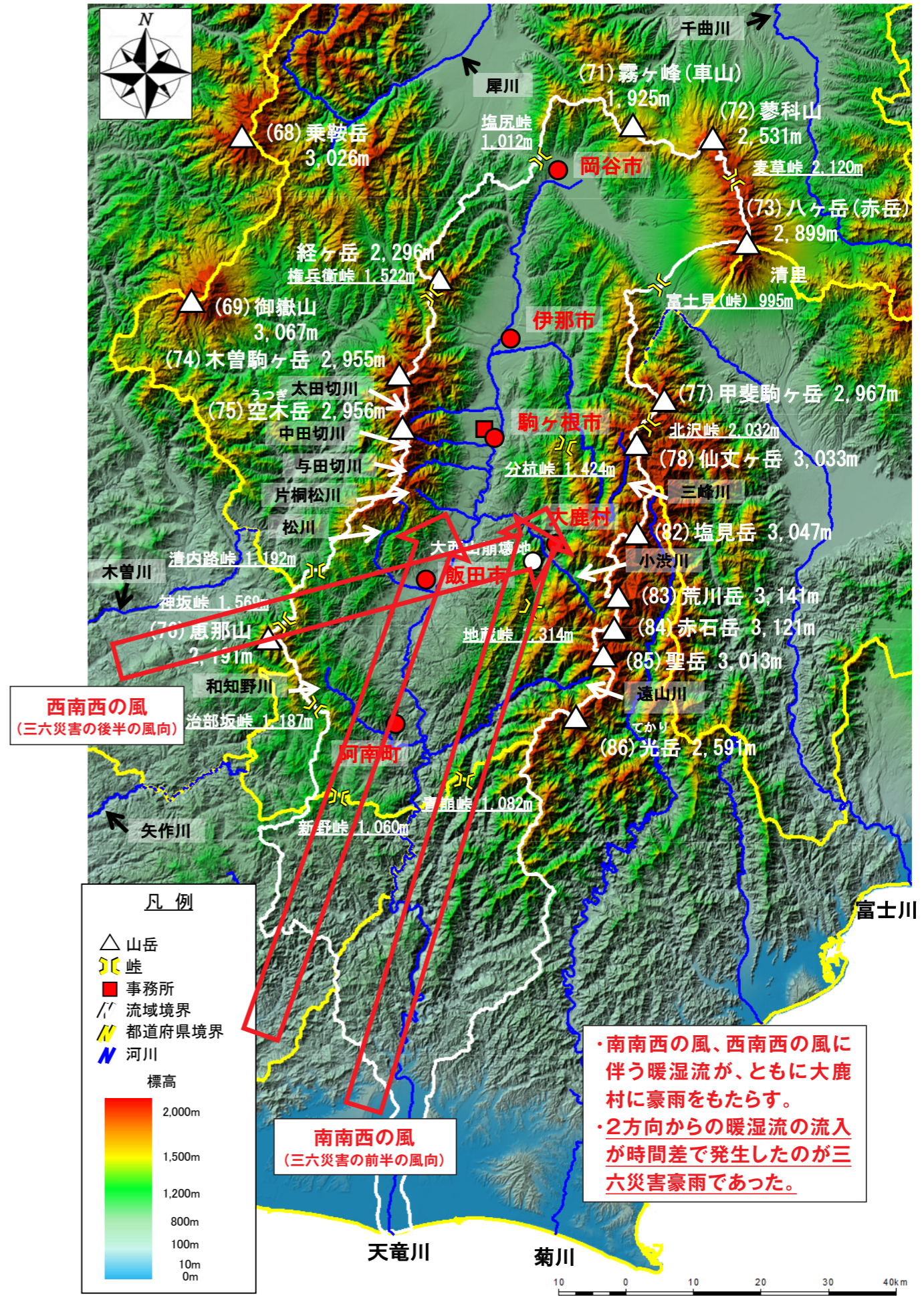


図 三六災害豪雨の要因 色別標高図(国土地理院)を加工して作成

第3章 諏訪地域の前線の降雨特性 ～平成18年7月岡谷豪雨の特性～



Photo-by-Makino

平成18年7月岡谷豪雨に伴う土石流による被災状況

諏訪地域の前線の降雨特性 ～平成18年7月岡谷豪雨の特性～

諏訪地域は天竜川上流域の中でも大雨が少ないものの、過去には平成18年7月岡谷豪雨災害が発生しています。この災害は前線に伴う

豪雨によってもたらされたものですが、具体的にどのような気象条件であったのか、詳しく分析します。



写真 天竜川本川(箕輪町松島地区)の堤防決壊箇所

天竜川本川では、箕輪町松島地区の堤防決壊をはじめとする直轄河川管理施設の被害が18箇所が発生しました。また、田畑等の浸水被害が12地区で発生し、殿島橋が落橋したほか、被災範囲は箕輪町から飯田市までの広範囲に及びました。

この大雨により諏訪地域の各地で土石流が発生し、長野県で10名の方がお亡くなりになりました。死者8名となった岡谷市湊の土石流は、その代表的事例です。



写真 土石流による被災状況およびボランティアによる復旧作業の様子

平成18年の土砂災害

Occurrence of sediment-related disasters in 2006

【国土交通省 砂防部】

土砂災害発生件数 **1,441件**

（土石流：169件
がけ崩れ：1,057件
地すべり：215件）

死者：**25名**
（うち梅雨前線豪雨：21名）

<7月豪雨による被災状況> -1- (長野県 岡谷市湊3丁目 小田井沢川)

写真 岡谷市湊の土石流

(出典:国土交通省HP <https://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/h18dosya/h18dosya-houkoku.pdf>)

平成18年7月岡谷豪雨災害の概要

part 1

平成18年7月15日から梅雨前線が本州付近に停滞し、南からの暖湿流の影響で活動が活発となり、長野県内では18日夕方から記録的な豪雨となりました。

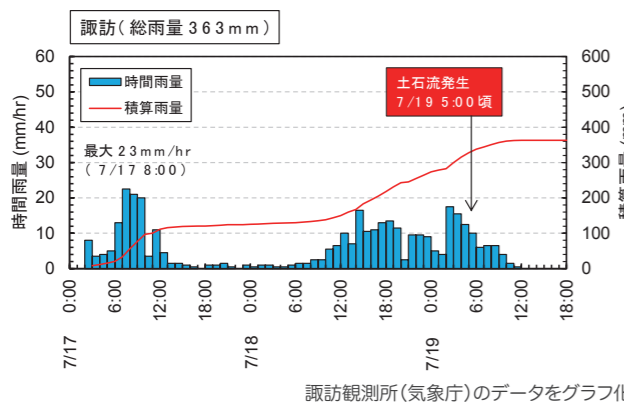


図 平成18年7月岡谷豪雨時の観測雨量と土石災害発生時刻

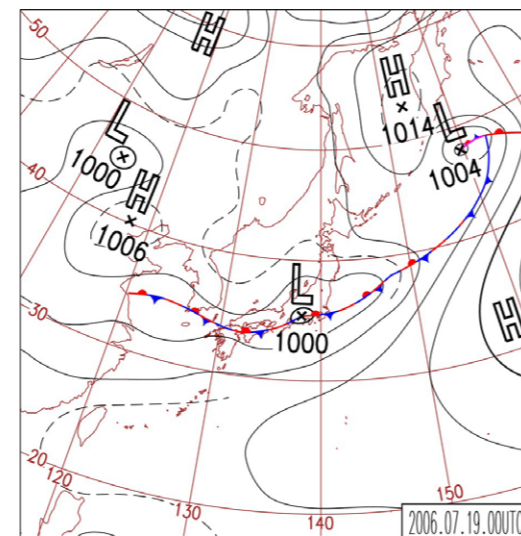


図 平成18年7月岡谷豪雨の地上天気図 (平成18(2006)年7月19日9時)

特に、諏訪湖上流域、伊那伊北地区の天竜川右岸地域で多量の降雨を記録し、諏訪観測所では降り始めからの総雨量が363mmに達し、昭和51(1976)年～令和2(2020)年で最多の降雨量となりました。この363mmは、第2位の総雨量215mmの実に**1.7倍**の雨量です。

表 諏訪観測所における総雨量上位5事例

総雨量上位5事例	降雨要因	降り始めから降り終わりまでの降雨継続時間 (hr)	降り始めから降り終わりまでの総雨量 (mm)	降り始めから降り終わりまでの最大1時間雨量 (mm/hr)	上位5位の総雨量 (mm)
第1位 (岡谷豪雨) 平成18(2006)年 7月17日2時～7月19日11時	前線	57	363	23	363
第2位 昭和58(1983)年 9月27日2時～9月28日23時	前線+ 台風10号	45	215	16	215
第3位 平成9(1997)年 7月9日12時～7月13日20時	前線	104	203	19	203
第4位 昭和63(1988)年 9月23日18時～9月25日19時	前線+ 台風22号	49	189	10	189
第5位 令和2(2020)年 7月23日4時～7月28日2時	前線	136	185.5	13.5	185.5



写真 岡谷市川岸の土石流

志平川 岡谷市 川岸橋原
死者1名

平成18年7月岡谷豪雨災害の要因

諏訪地域の雨の降り方

諏訪観測所の降雨時系列を見ると、7月18日6時頃から19日12時頃にかけて雨が降り続けていますが、19日2時頃に雨が少なくなっていたところに3時頃から再び強い雨が降り、5時頃に土石流が発生したことがわかります。降雨期間前半（18日6時頃～19日2時頃）と後半（19日2時頃～12時頃）に分けて豪雨の要因を分析すると、次のようになります。

降雨前半の豪雨の要因

降雨期間前半の風向は南西でした。このため、南西からの暖湿流が神坂峠、権兵衛峠付近を通って天竜川上流域に侵入し、霧ヶ峰等の千曲川との分水嶺で上昇・冷却され、諏訪でまとまった降雨となったと考えられます。

降雨後半の豪雨の要因

その後、前線が南下して天竜川上流域にかかり、19日3時に諏訪観測所で1時間雨量17mmの強雨を記録しました。このときの風向は西微南でした。

気象シミュレーションによる風向別降雨分布の結果では、風向が西微南の場合には御嶽山の南を通った暖湿流が経ヶ岳・権兵衛峠付近を通って諏訪地域に侵入し、八ヶ岳によりブロックされて上昇・冷却され、諏訪地域で強い雨域を発生させていることがわかります。

このことから、降雨後半の強雨は、大きな気象場である前線による降雨と、御嶽山から諏訪湖周辺の

地形に起因する降雨が重なり、増幅したことによりもたらされたと推察されます。

平成18年7月岡谷豪雨災害の要因

以上のことから、平成18年7月岡谷豪雨災害の要因は次のように考えられます。

- ① 降雨前半は、「南西」の風による地形性降雨が諏訪地域に発生していた。
- ② そこに前線が南下し、前線直下の気象場に伴う降雨に「西微南」の風による御嶽山後方の収束に伴う降雨が加わり、後半の降雨となった。
- ③ 前半の降雨で土砂災害を発生させる準備ができていたところに後半の強い雨が加わり、諏訪地域で土石流が発生した。

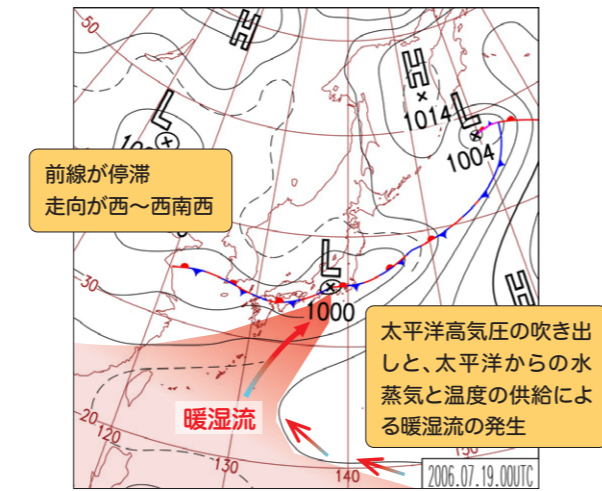


図 平成18年7月岡谷豪雨時の暖湿流の流れ込み日々の天気図(気象庁HP)を加工して作成

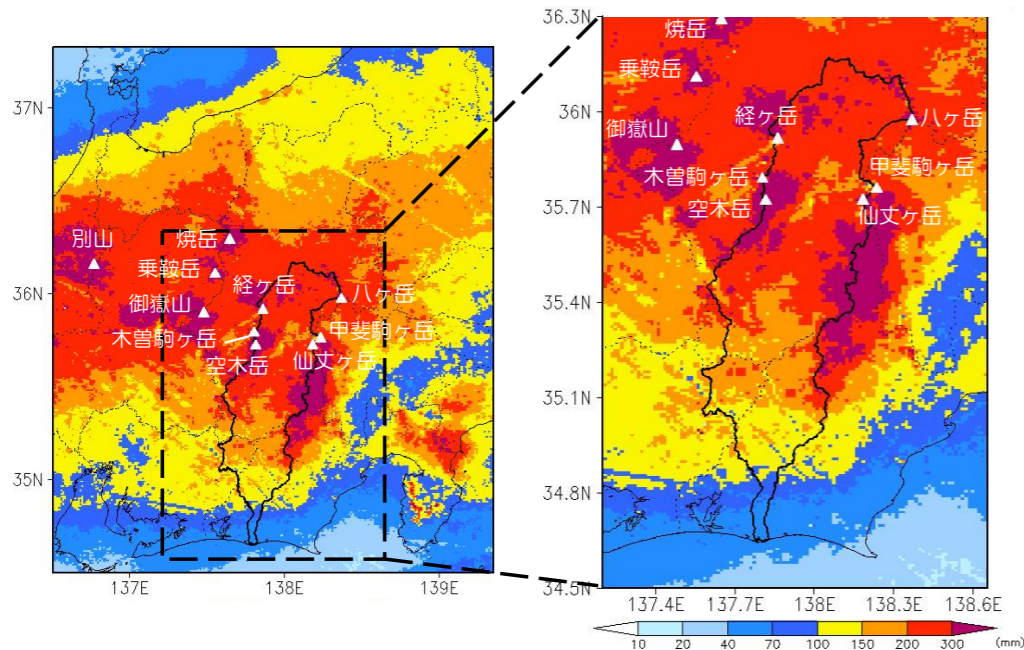
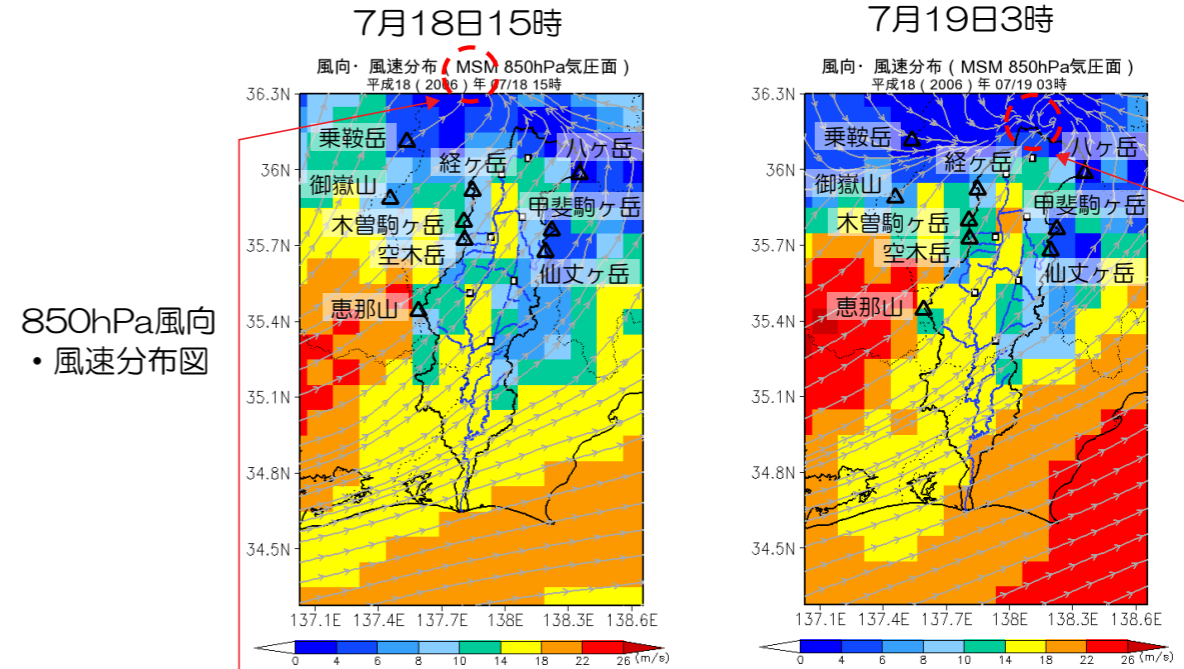
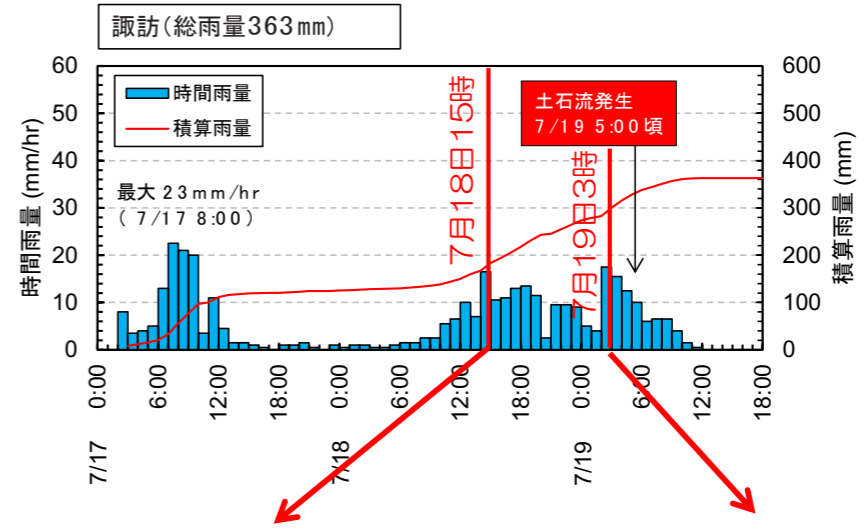


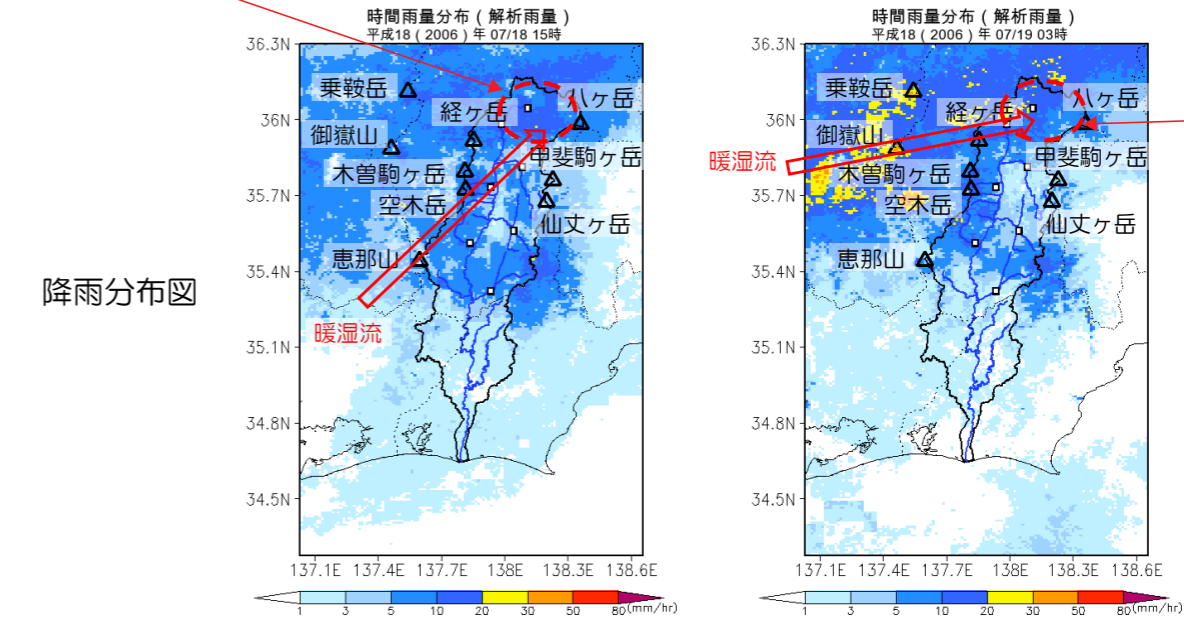
図 平成18年7月岡谷豪雨の総雨量分布(解析雨量) 解析雨量(国土交通省)を加工して作成



850hPa風向・風速分布図

天竜川上流域の北側で風が収束し、南西の風に伴い暖湿流が諏訪地域に侵入し10~20mm/hrの雨が降った。

諏訪地域の直上付近で風が収束し、西微南の風に伴い暖湿流が御嶽山、経ヶ岳付近を通って諏訪地域に侵入し、強い雨が降り続いた。



※MSM:気象庁が作成した水平格子間隔5kmの気象モデル(メソモデル)

図 平成18年7月岡谷豪雨の850hPa風向・風速分布と降雨分布の時間変化

第4章 天竜川上流域の 台風の降雨特性

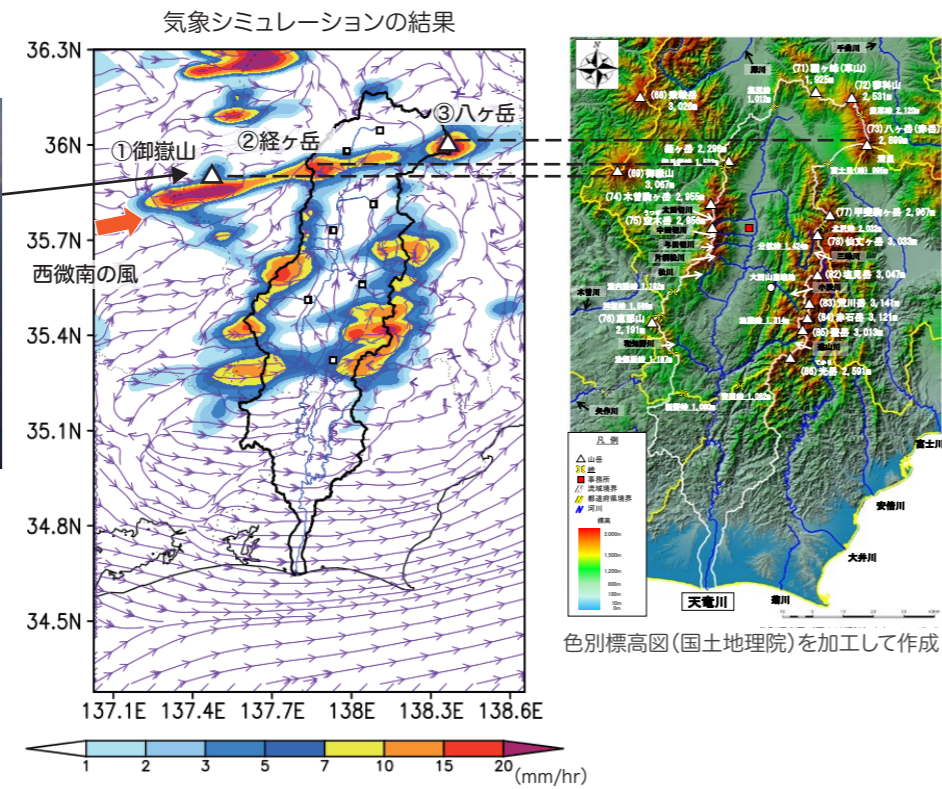


図 西微南の風を与えた場合の気象シミュレーションの結果
(風向別最大1時間雨量分布図・P.16の再掲)



図 独立峰後方の収束により発生する降雨



天竜川上流域の台風の降雨特性

第1章で触れたように、天竜川上流域の南部ほど台風によって大雨がもたらされます。この要因も、台風来襲時の風向から説明できます。

台風には、中心に向かって反時計回りに風が吹き込みます。暖湿流は、この風で運ばれます。このため、台風が天竜川上流域の南西に位置するとき、天竜川上流域には南から暖湿流が流れ込むことになります。

例えば、平成25(2013)年9月台風18号が天竜

川上流域の直上を通過したとき、平成10(1998)年9月台風7号が天竜川上流域の南西に位置したときは、台風にかき込む風に伴って暖湿流が天竜川上流域の南から流れ込みました。

この台風の吹き込みの風に伴う暖湿流が天竜川上流域の南側の峠を越えて侵入するため、天竜川上流域の南部は台風によって大雨がもたらされることが多いのです。

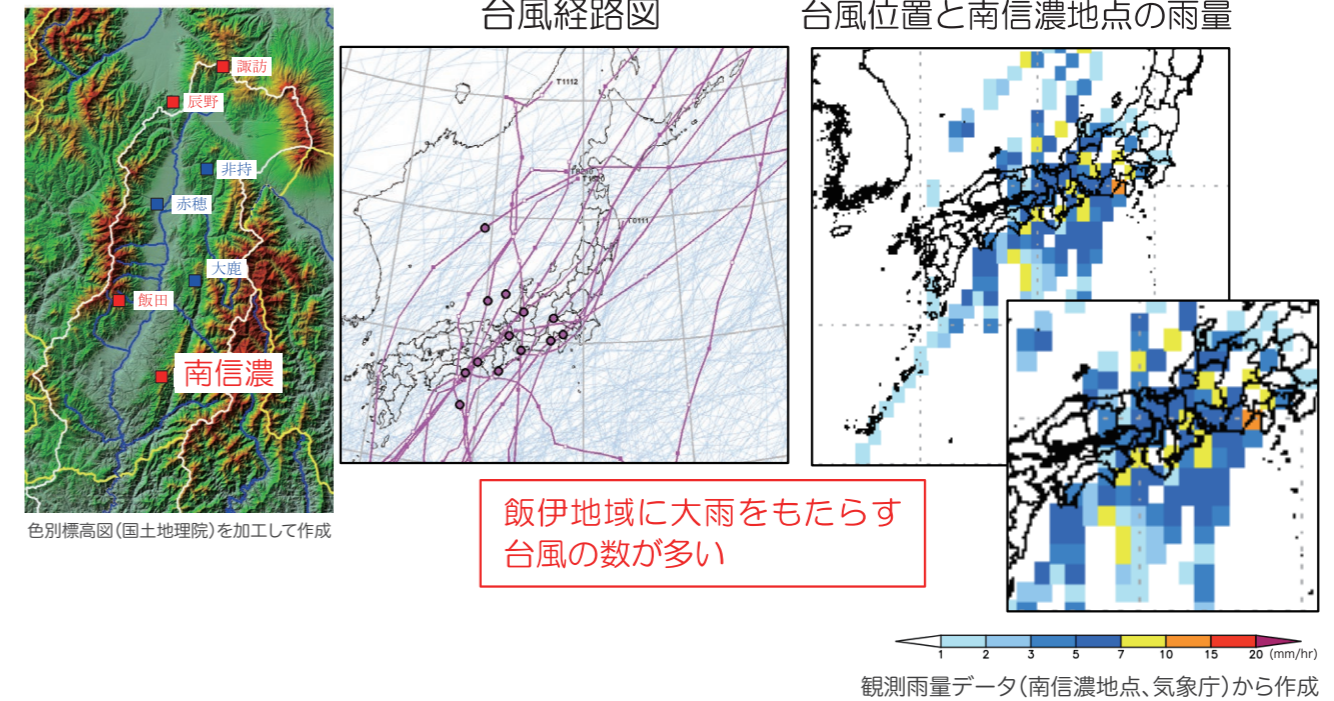


図 南信濃地点の台風ルート危険図(P.8・9の再掲)

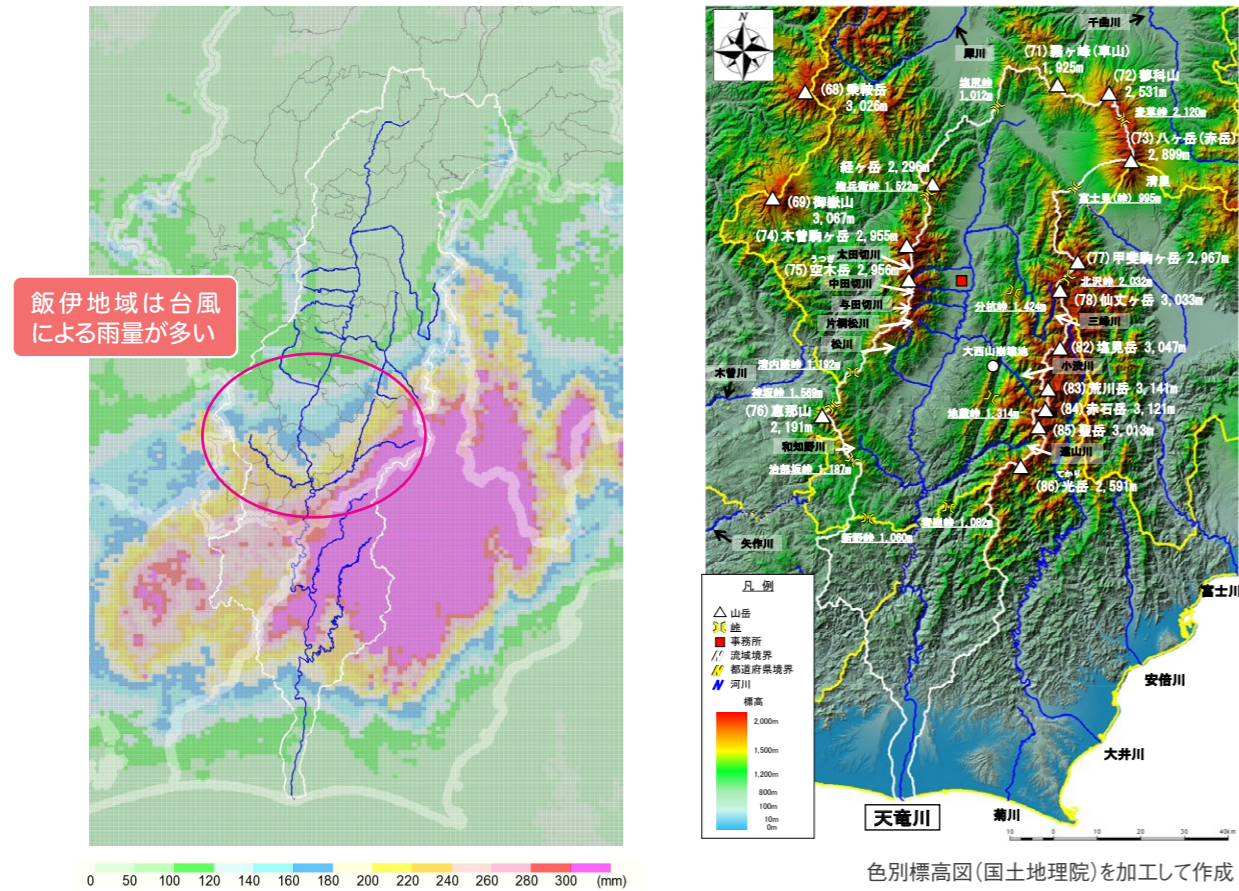


図 台風事例の一雨平均の降雨分布(P.5の再掲)

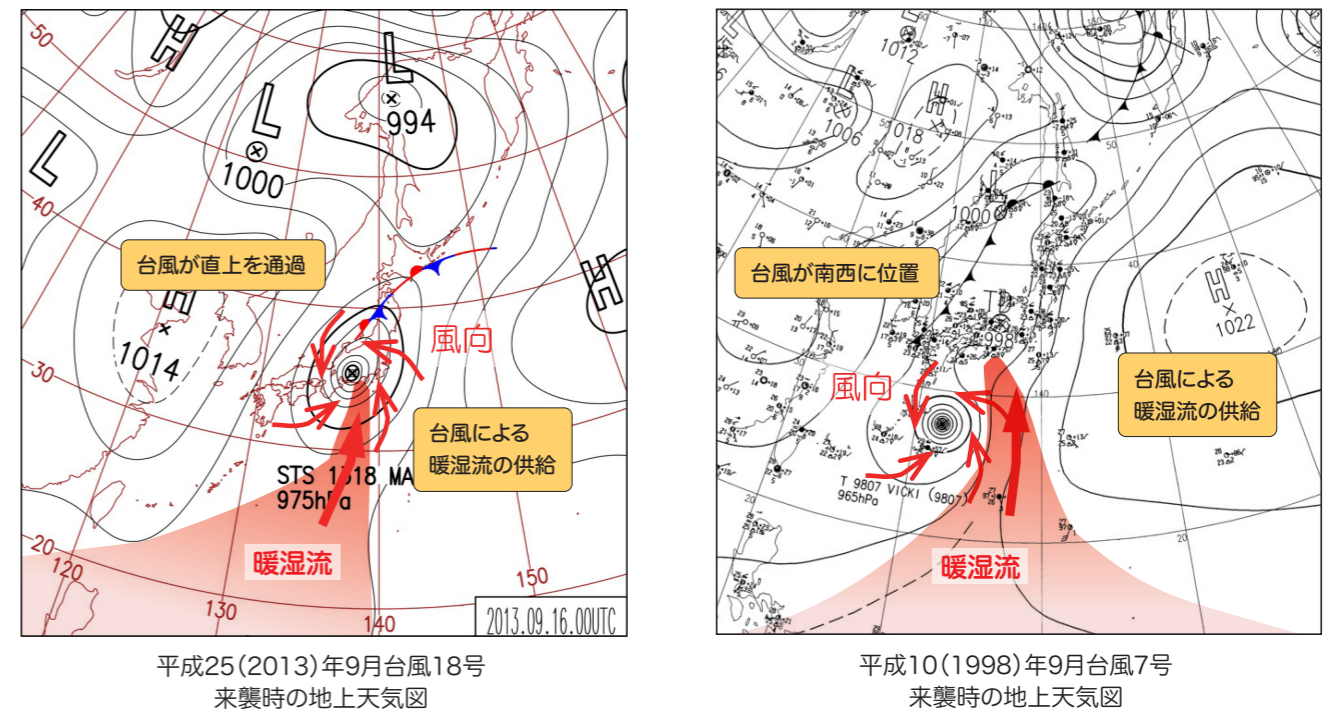


図 台風来襲時の地上天気図の例

日々の天気図(気象庁HP)を加工して作成

令和元年台風19号による降雨分布の特徴

一方、最近では令和元(2019)年台風19号が関東地方を直撃し、千曲川の堤防が決壊するなど、各地で甚大な被害をもたらしました。天竜川上流域では、天竜川水系三峰川において洪水が発生しましたが、小瀬戸第1砂防堰堤が土砂・流木を捕捉し下

流での被害を防止しました。

しかし、天竜川上流域全体では、あまり雨量は多くありませんでした。令和元年台風19号は天竜川上流域の南側を通過しましたが、Part 1で述べた台風とは何が違ったのでしょうか。

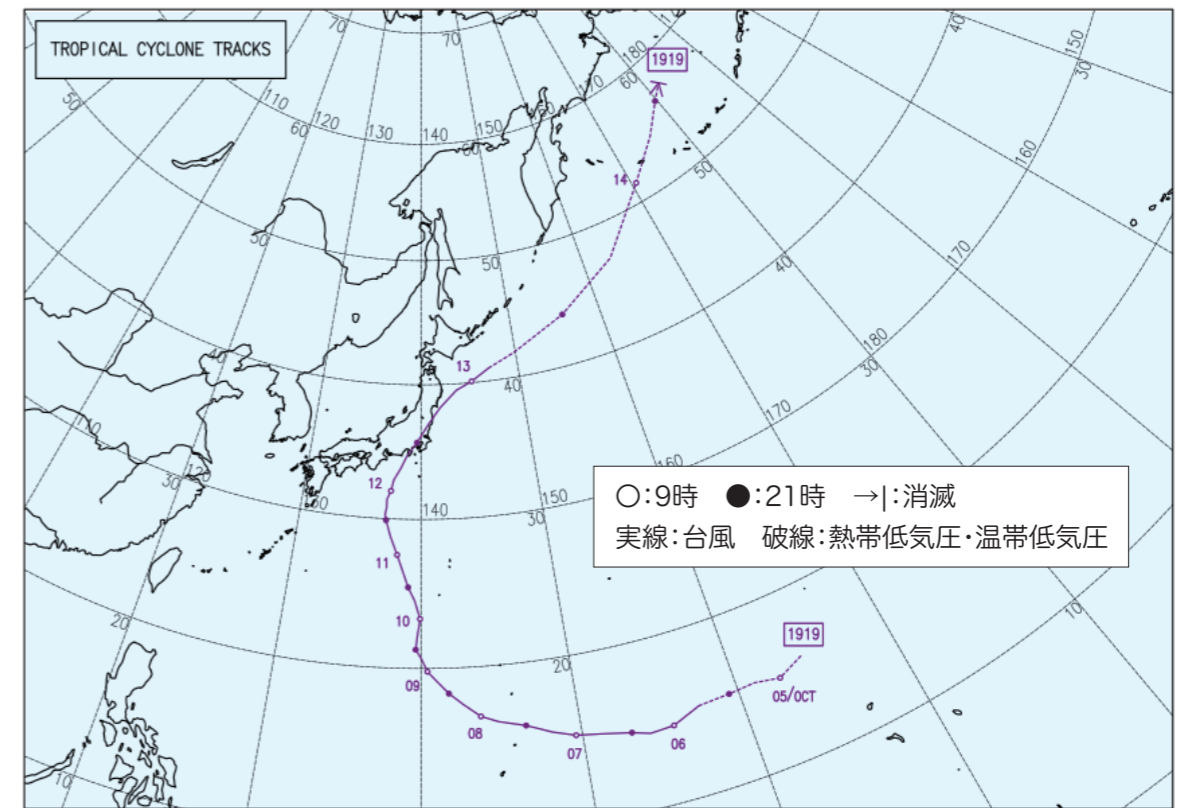


図 台風19号経路図

台風経路図(気象庁HP)に加筆

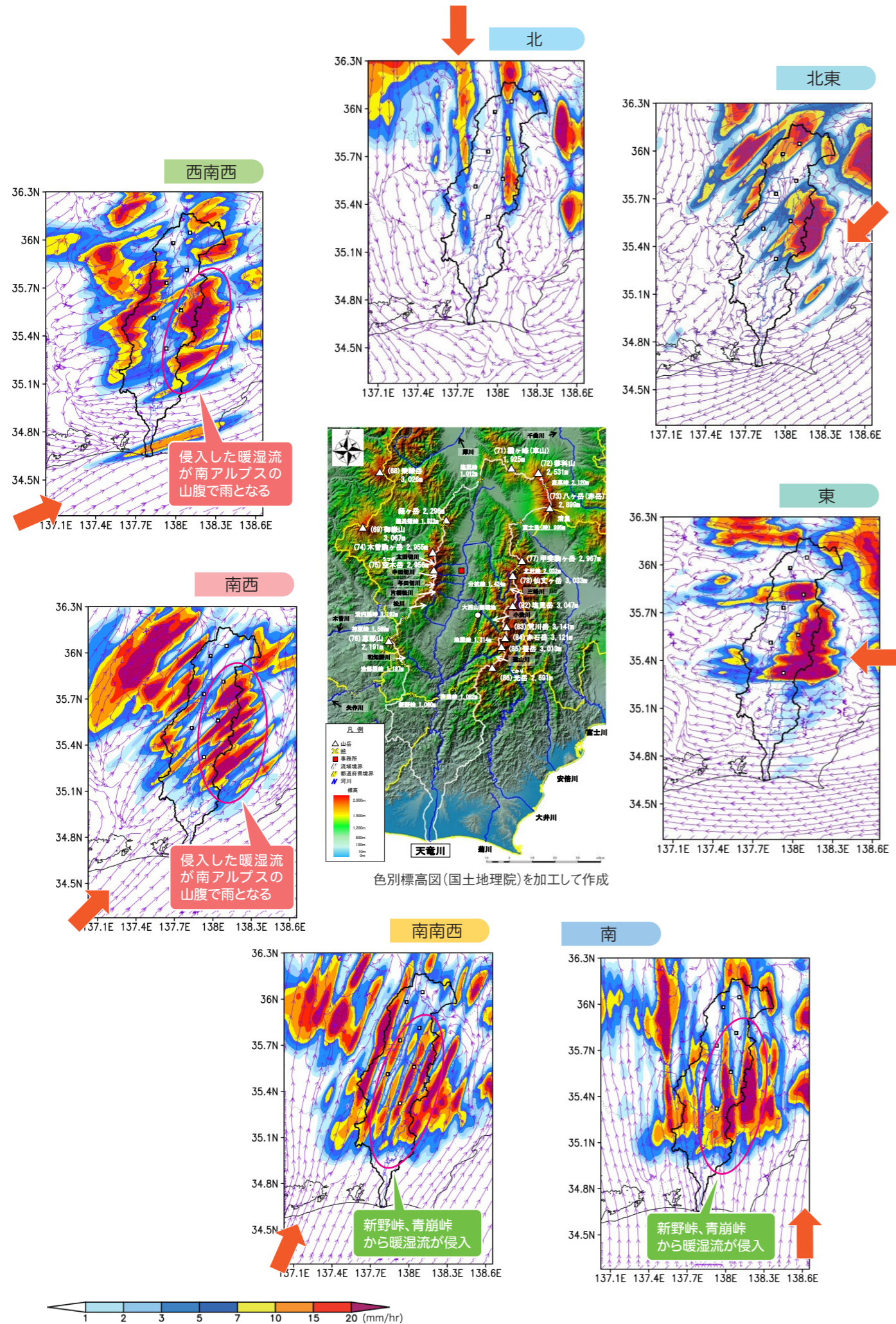


図 気象シミュレーションによる風向別降雨分布(風速:35m/s)



写真 令和元年台風19号の豪雨による千曲川の堤防決壊



写真 令和元年台風19号による洪水時に土砂・流木を捕捉した小瀬戸第1砂防堰堤(三峰川本川上流部)

総雨量の分布

解析雨量に基づく総雨量分布図を見ると、天竜川上流域の東側で雨量が多いものの、天竜川上流域内はあまり雨量が多くありません。

また、台風19号の位置と風向、降雨量の関係を見ると、10日、11日は、天竜川上流域では「南東」～「東南東」の風が吹いていましたが、台風は遙か南方にあり、天竜川上流域に降雨はありませんでした。12日0時には「東」の風となりましたが、台風は依然として南方（紀伊半島沖）にあり、天竜川上流域での降雨量はわずかでした。12日12時には、風向は「北東」となり、北沢峠方向から天竜川上流域に暖湿流が侵入し、南アルプスの東斜面や稜線付近で大雨となりました。12日18時には、風向は「北東」～「北」となり、天竜川上流域への暖湿流の侵入は減少し、降雨量が減少しました。

このように、令和元年台風19号による降雨分布は、台風による強い東風によって暖湿流が流れ込み、天竜川上流域外の東側斜面や稜線付近で大雨となったものの、天竜川上流域内ではあまり多くありませんでした。伊那谷の地形が降雨分布をこのように規定しました。

なお、三峰川の上流部を見ると、伊那市長谷の総雨量は204.4mmでしたが、その東側の尾根沿い（図中緑○）では総雨量600mm以上だったことがわかります。このため、三峰川には多くの水が流れ込みました。

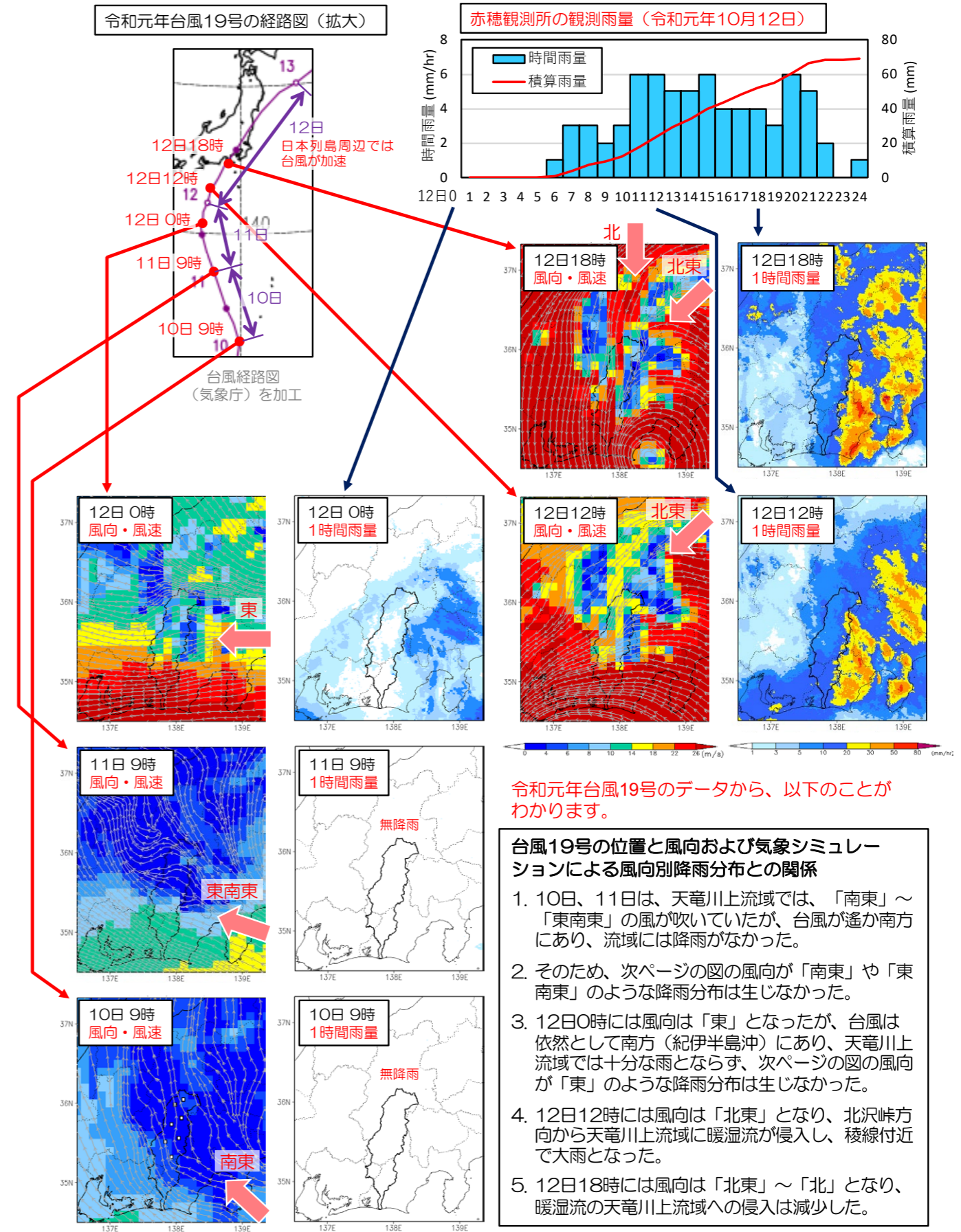
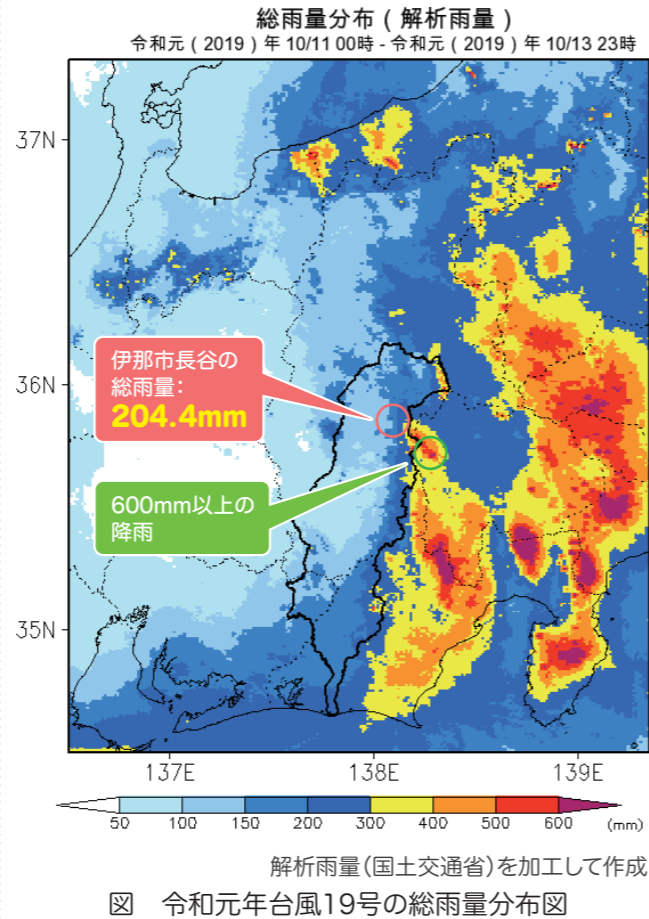
風向との関係

この降雨分布の特徴を、気象モデルによる風向別降雨特性と関連付けて見てみましょう。

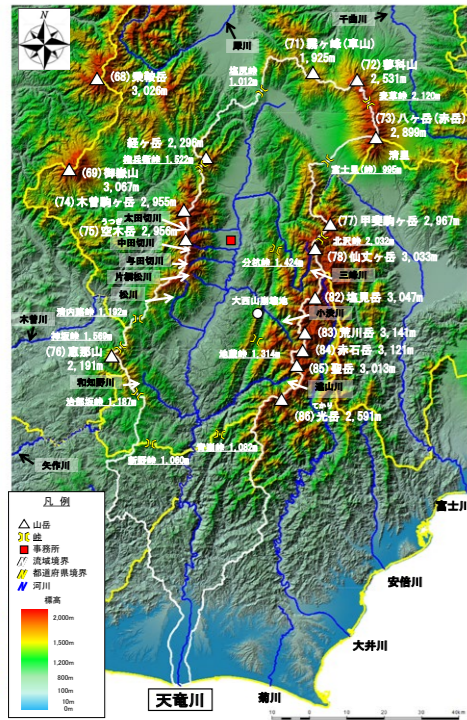
南東～東の風の風向別降雨分布図（風速35m/s、台風に伴う風速程度）を見ると、令和元年台風19号と同じように、天竜川上流域の東側の南アルプスで暖湿流が上昇するため稜線付近で降雨量が多くなり、湿った空気が雨になってしまうため、天竜川上流域内部では大雨となりにくいことがわかります。

P.14の写真との関係

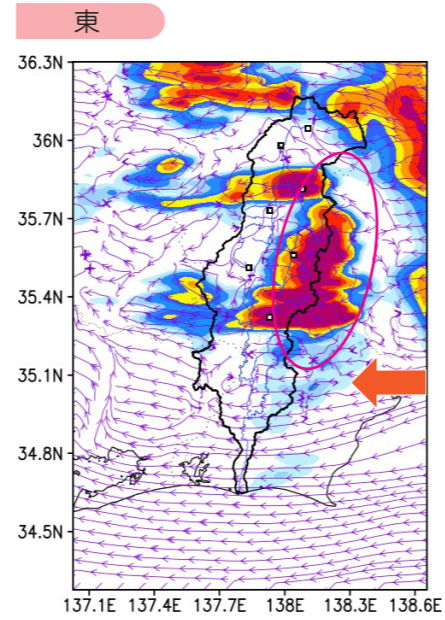
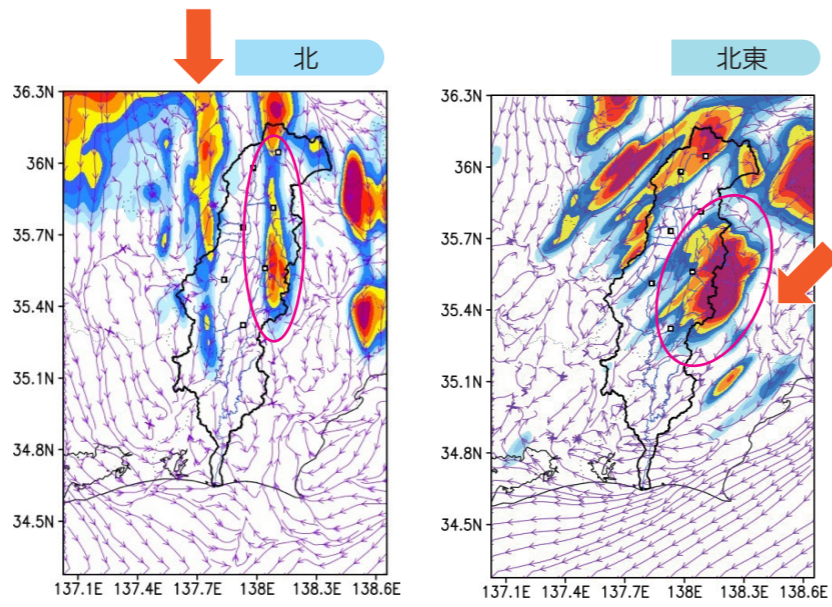
P.14の写真を再掲します。東から押し寄せる湿潤な空気が南アルプスによって上昇し冷却されて、富士山から大井川流域は雲が厚くかかっています。一方、天竜川上流域は南アルプスを越えた乾いた空気が流れてきています。写真は雲の様子を示していますが、台風来襲時にはこの現象を激しくした気象現象が起きているのです。



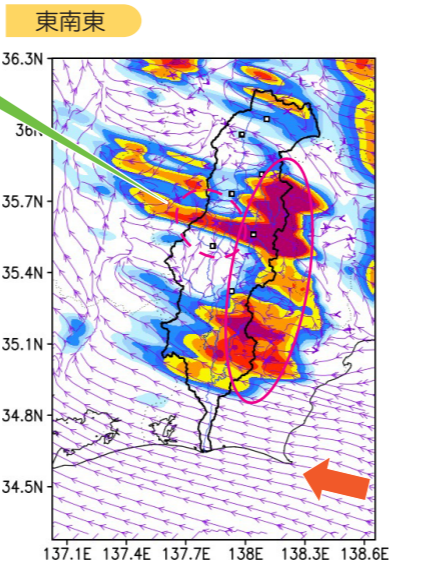
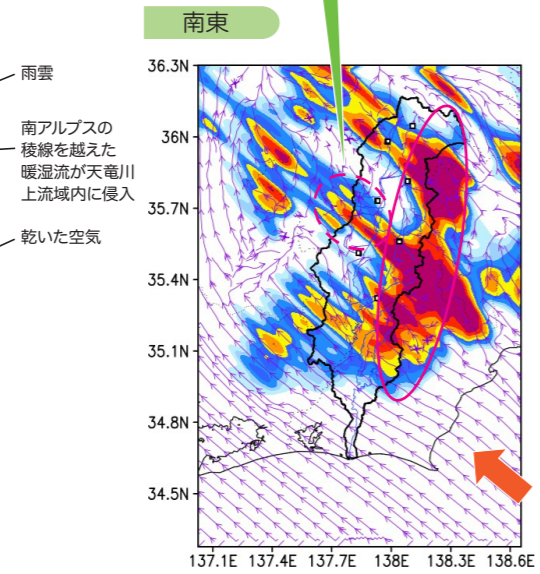
第5章 各地域の注意すべき気象条件



色別標高図(国土地理院)を加工して作成



稜線を越えて暖湿流が侵入し大雨となる可能性はあるが、「南東」～「東南東」の風の場合、台風が中心が遠く南方の場合が多く、天竜川流域に雨は降らないことが多い。



風向が南東～東の場合は、暖湿流が南アルプスの山腹を上昇する際に雨となるため、天竜川上流域の外側で大雨となる。



図 気象シミュレーションによる風向別降雨分布(風速:35m/s、北～南東)



遠山川支川上村川上空から地蔵峠を望む

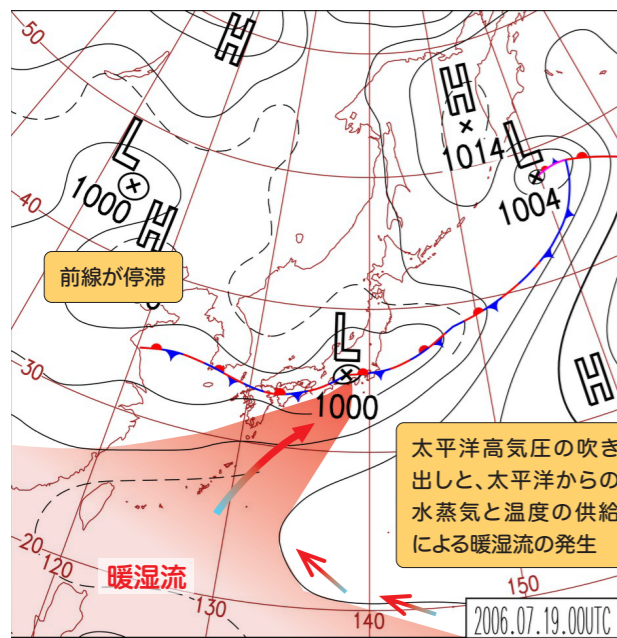
諏訪地域

前線 前線が天竜川上流域の北側に停滞し、走行が西南西の場合(例:平成18年7月岡谷豪雨)

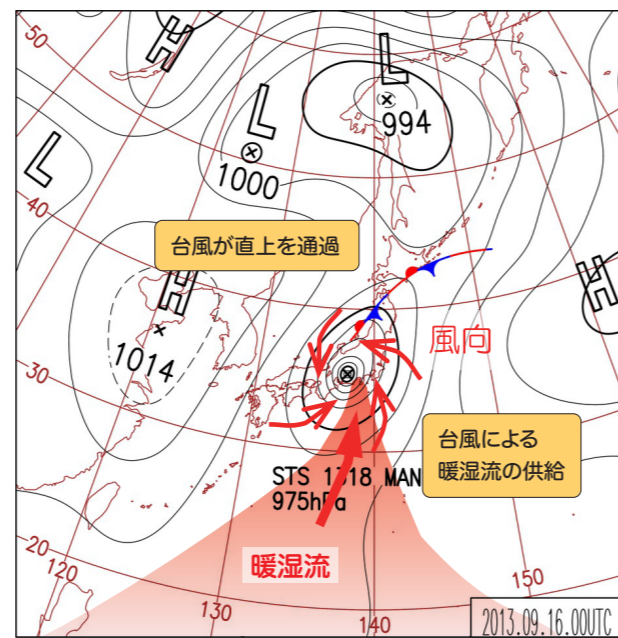
▶ 諏訪地域は天竜川上流域の中でも特に雨が少ない地域ですが、平成18年7月岡谷豪雨のように、暖湿流が西から「権兵衛峠」を越えて侵入し、諏訪地域に大雨をもたらすことがあります。

台風 台風が天竜川上流域の直上を通過する場合

▶ 台風本体の雨雲により、大雨が降ります。



前線の地上天気図の例
(平成18(2006)年7月岡谷豪雨)



台風の地上天気図の例
(平成25(2013)年9月台風18号)

図 諏訪地域において注意すべき気象条件

日々の天気図(気象庁HP)を加工して作成

上伊那地域

前線 前線が天竜川上流域の北側に停滞し、走向が西南西の場合(例:平成18年7月岡谷豪雨)

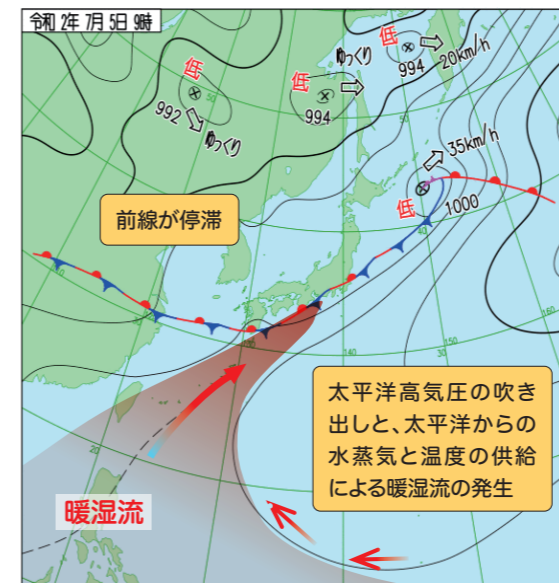
▶ 暖湿流が西から「権兵衛峠」を越えて侵入し、上伊那地域の北部に大雨をもたらします。

前線 前線が天竜川上流域の直上に停滞し、走向が南南西～西南西の場合(例:三六災害豪雨)

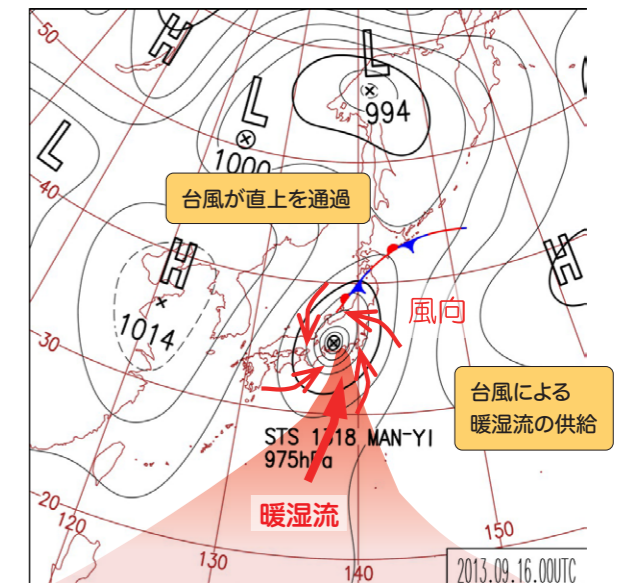
▶ 暖湿流が南南西から「青崩峠」～「地蔵峠」、「天竜峡から南部の狭窄部」、「新野峠」、「治部坂峠」、西南西から「神坂峠」を越えて侵入し、上伊那地域の南部に大雨をもたらします。三六災害豪雨のように、前線の走向が変わって風向が変わっても、暖湿流は異なる峠を越えて侵入し、同じところで大雨を降らせ続けることがあります。

台風 台風が天竜川上流域の直上を通過する場合

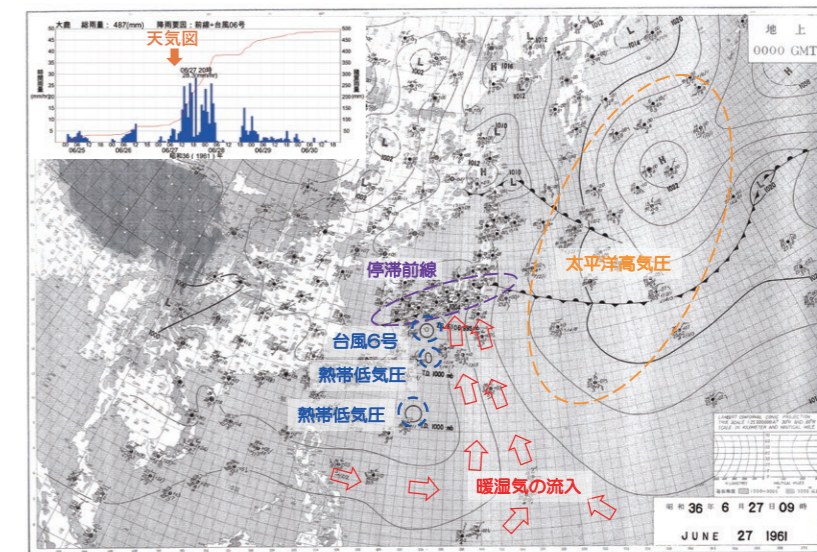
▶ 台風本体の雨雲により、大雨が降ります。



前線の地上天気図の例(令和2(2020)年7月5日9時)
過去の天気図(気象庁HP)を加工して作成



台風の地上天気図の例(平成25(2013)年9月台風18号)
日々の天気図(気象庁HP)を加工して作成



前線+台風の地上天気図の例(昭和36年6月27日9時(三六災害豪雨))

図 上伊那地域において注意すべき気象条件

国立情報学研究所
「デジタル台風」
(原典:気象庁)に加筆

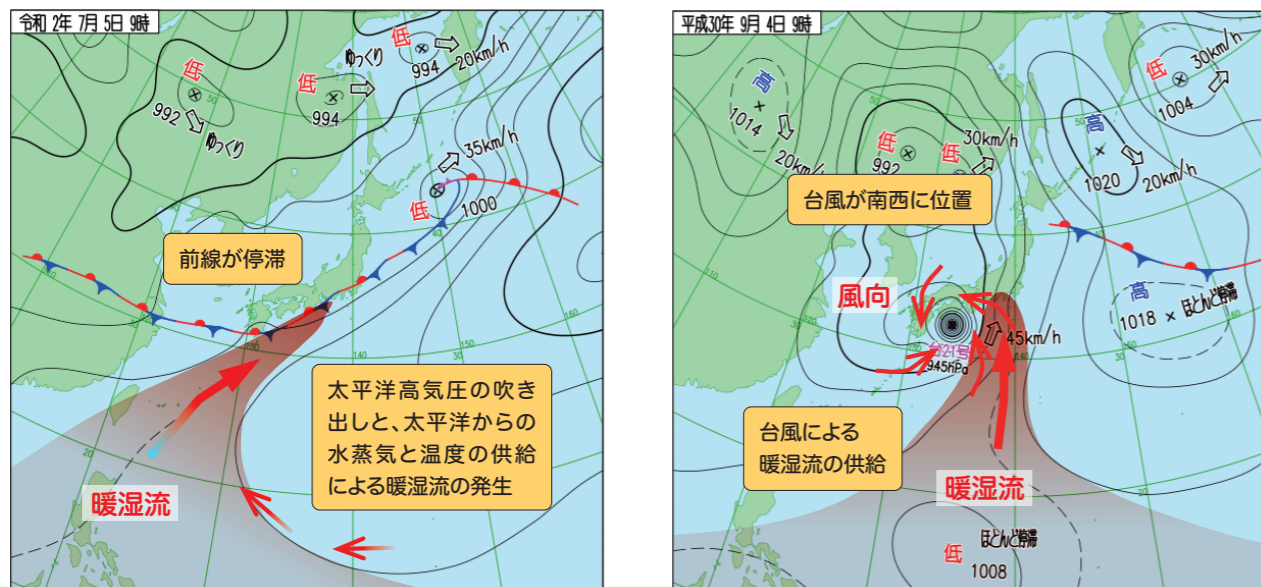
飯伊地域

前線 前線が天竜川上流域の直上に停滞し、走向が南南西～西南西の場合(例:三六災害豪雨)

▶暖湿流が南南西から「青崩峠」～「地藏峠」、「天竜峡から南部の狭窄部」、「新野峠」、「治部坂峠」、西南西から「神坂峠」を越えて侵入し、飯伊地域に大雨をもたらします。三六災害豪雨のように、前線の走向が変わって風向が変わっても、暖湿流は異なる峠を越えて侵入し、同じところで大雨を降らせ続けることがあります。

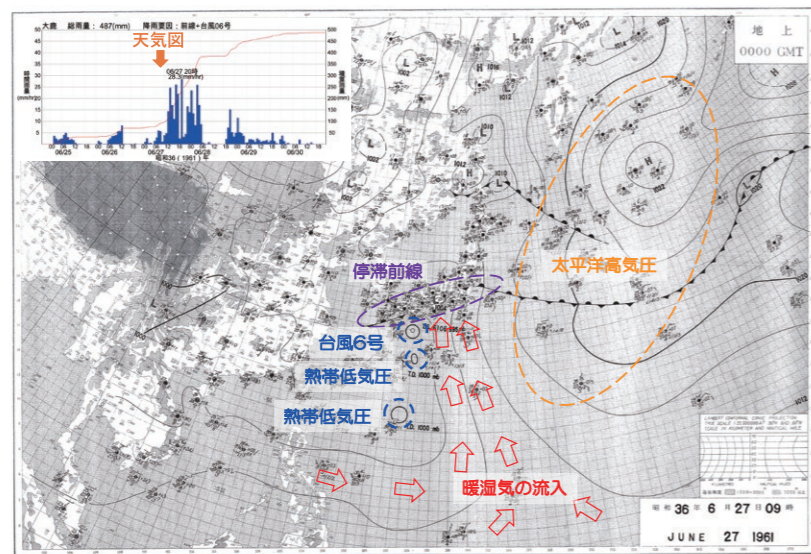
台風 台風が天竜川上流域の直上を通過する場合または南西に位置する場合

▶台風が直上を通過する場合は、台風本体の雨雲により大雨が降ります。
台風が南西に位置する場合にも、暖湿流が南から峠を越えて侵入し、飯伊地域で大雨を降らせることがあります。



前線の地上天気図の例(令和2(2020)年7月5日9時)

台風の地上天気図の例(平成30(2018)年9月台風21号)過去の天気図(気象庁HP)を加工して作成



前線+台風の地上天気図の例(昭和36年6月27日9時(三六災害豪雨))

国立情報学研究所「デジタル台風」(原典:気象庁)に加筆

図 飯伊地域において注意すべき気象条件

天竜川上流域の危険な降雨の原因となる暖湿流の風向とその入口の峠

各地域の危険な降雨を降らせる暖湿流とその通り道の峠の関係を図解すると、下図のようになります。

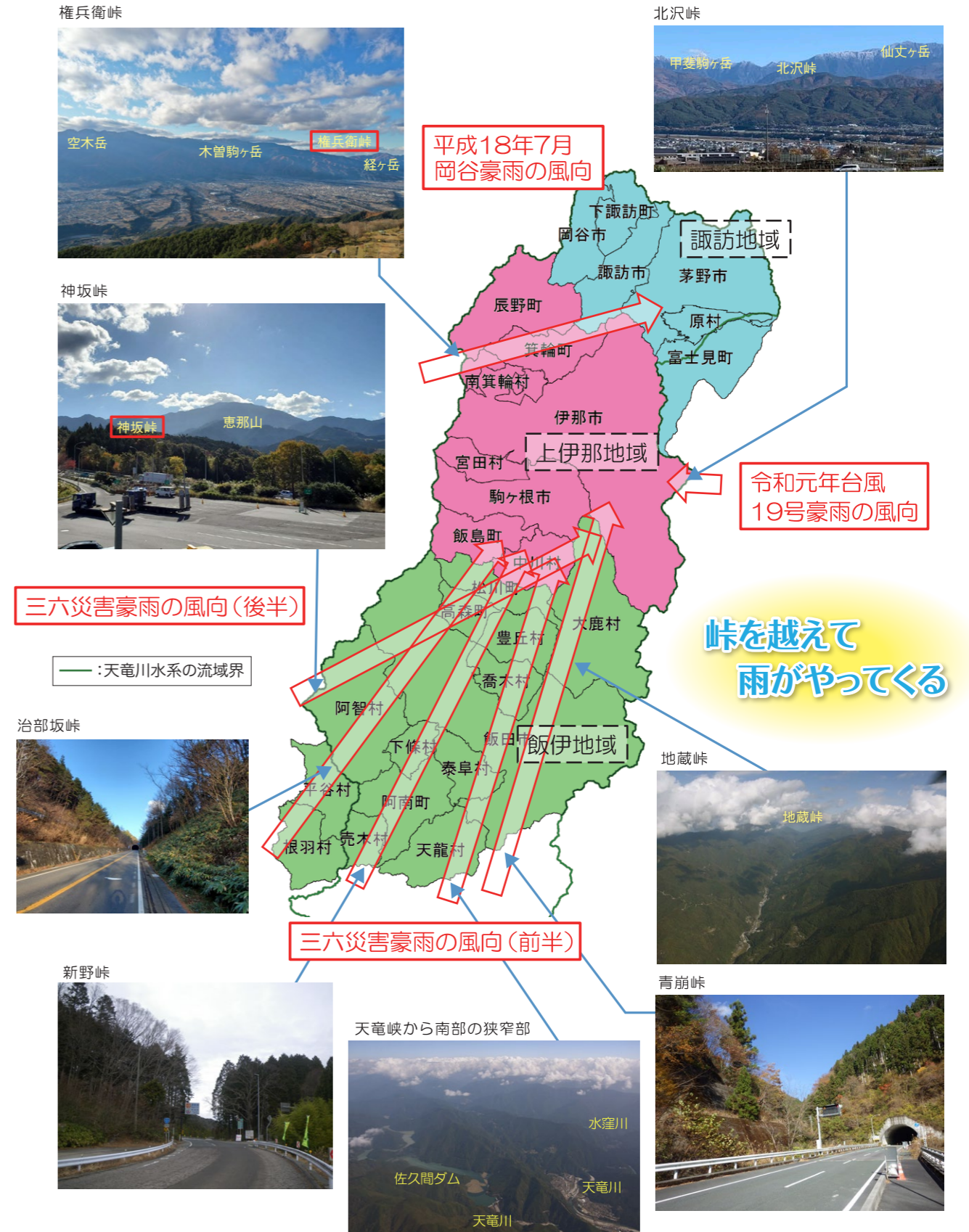


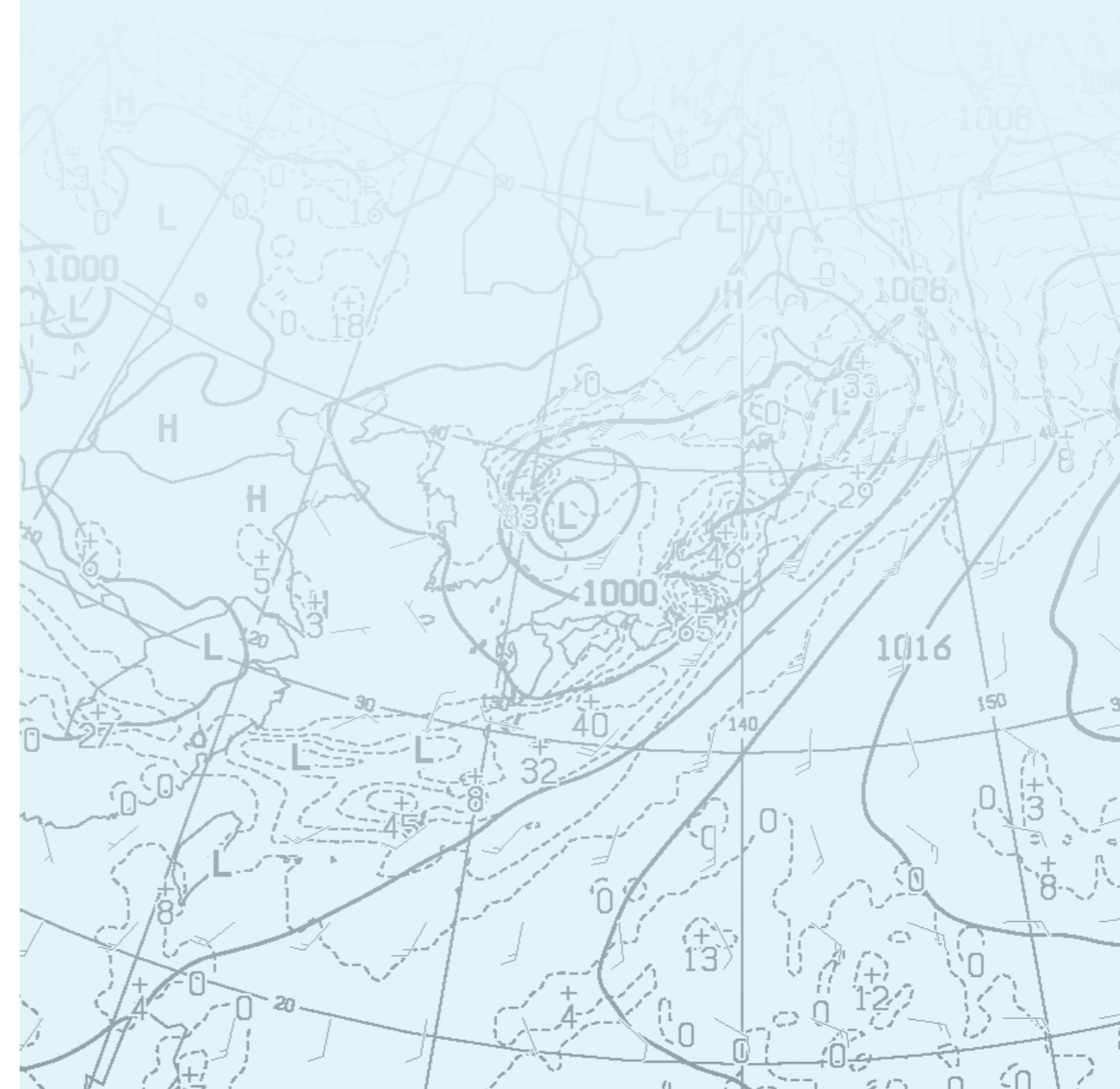
図 天竜川上流に特に危険な豪雨をもたらす暖湿流の風向とその入口となる峠

国土数値情報 行政区域データ(長野 世界測地系 令和2年)を使用

(付録1)
気象の基礎知識

(中学校 理科の教科書から)

(付録2)
数値予報天気図を用いた
簡易な降雨予測の方法



気象の基礎知識として、長野県内の中学校の教科書*の内容を見てみましょう。

中学校の理科では、(part 1)水蒸気の変化から (part 7) 地域によって異なる日本の気候の内容を学びます。(part 1)水蒸気の変化では、気温の変化に伴う1m³の空気の中に含まれる水蒸気量の変化を「露点」、「飽和水蒸気量」などの用語を使用して学んでいます。同様に気象の変化の概念を物理現象として捉え、(part 2)雲のでき方、(part 3)気圧と風、(part 4)気団と前線、(part 5)台風、

(part 6)世界から見た日本の気候、(part 7)地域によって異なる日本の気候を学びます。

教科書の学習対象は日本全体のことなので、(part 8)天竜川上流域の気候を追加しました。これにより、中学校で学ぶ気象の基礎と天竜川上流域の気候から、天竜川上流域において過去に災害をもたらした豪雨の要因を分析するとともに、今後に発生するであろう豪雨の特性を推察することが可能になります。

以下、P56までが中学生が学ぶ教科書の内容です。

水蒸気の変化

part 1

冷たい飲み物が入ったペットボトルを冷蔵庫の外に置いておくと、ペットボトルの表面がくもり、さらに置いておくと、くもりは次第に大きな水滴になることがあります。私たちのまわりの空気には、水蒸気(気体の水)が含まれています。ペットボトルに付いたくもりは、空気中の水蒸気が小さな水滴になって出てきたものです。

水蒸気が水滴に変化する温度は、空気に含まれる水蒸気量によって変わります。一定量の水に溶けることができる物質の量には限界があるように、空気を含むことのできる水蒸気量にも限界があります。1m³の空気を含むことのできる水蒸気量の最大質量を飽和水蒸気量といいます。飽和水蒸気量を超える水蒸気は、気体として空気中にとどまることができないので液体の水滴となって出てきます。

飽和水蒸気量は気温によって決まっています。気温が高くなると飽和水蒸気量は大きくなり、気温が低くなると飽和水蒸気量

は小さくなります。

水蒸気を含む空気を冷やしていくと、ある温度で含んでいる水蒸気量と飽和水蒸気量が等しくなり、さらに温度が下がると、水蒸気の一部が水滴変わります。この現象を凝結といいます。また、空気に含まれる水蒸気が凝結し始める温度を露点といいます。

冷たいペットボトルや窓ガラスなどの表面に水滴ができるのは、その表面付近の空気の温度が露点よりも下がったためです。表面の温度が0℃より低い場合、水蒸気が直接、固体に変化して、霜になることがあります。

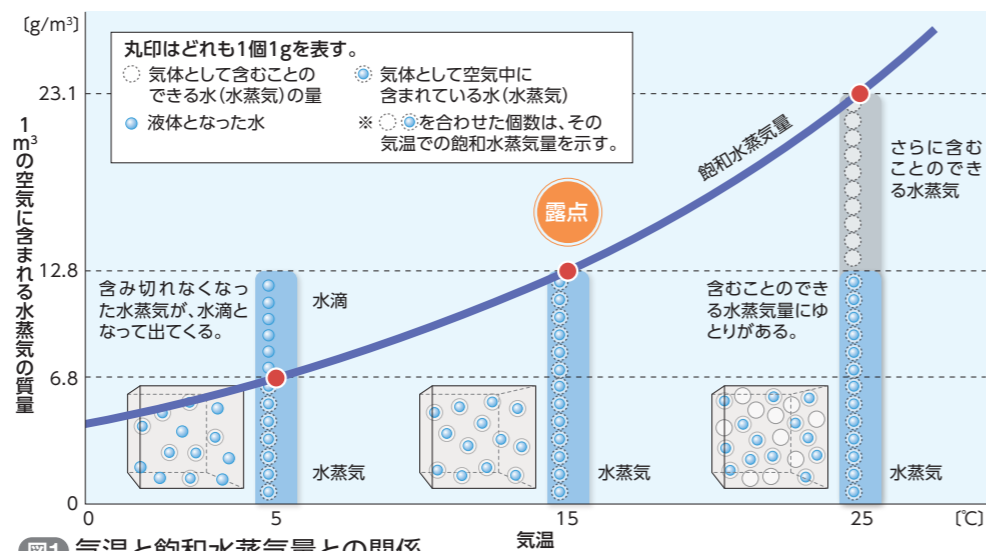


図1 気温と飽和水蒸気量との関係

雲のでき方

part 2

地表面からの高度が上がるほど、気圧は低くなります。これは、その場所より上にある空気の層がうすくなるからです。密閉された菓子の袋を持って高い山に登ると袋が膨らむのは、麓よりもよりも気圧が低いために、袋の中の空気が膨張するからです。同じように、地上付近の空気が上昇すると膨張します。

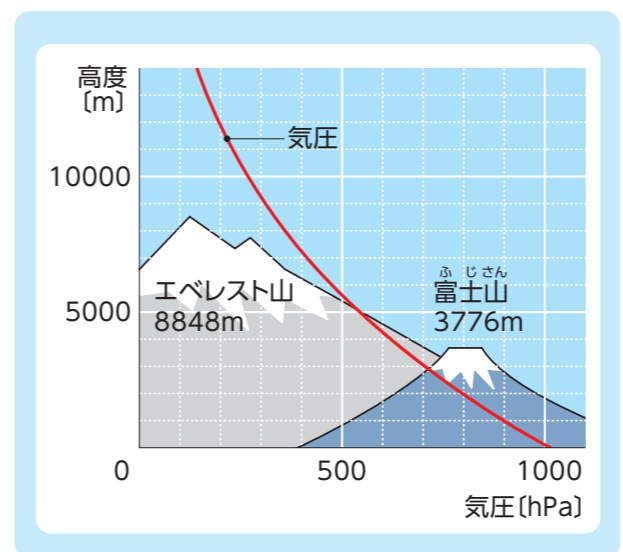
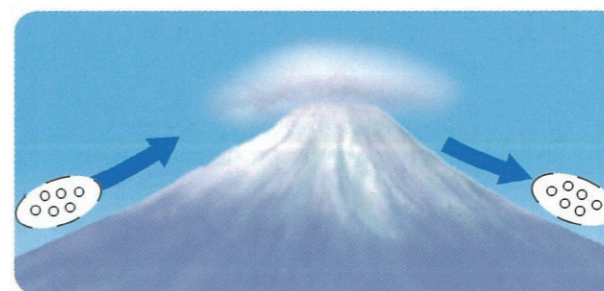


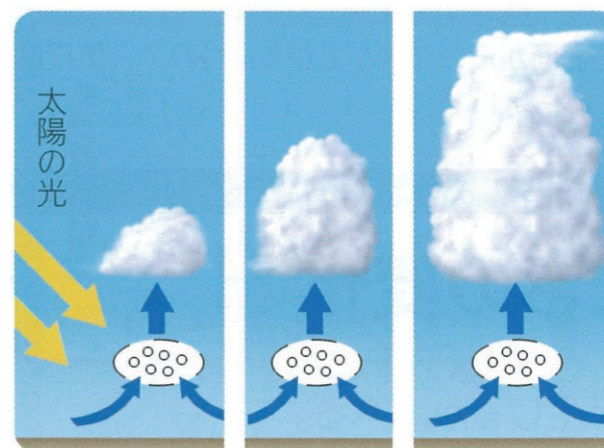
図2 高度による気圧の変化
地表面からの高度が上がるにつれて、気圧は下がっていく。

水蒸気を含む空気の塊が上昇すると、周囲の気圧が低いために膨張して気温が下がる。露点よりも低い温度では、空気には含み切れなくなった水蒸気は水滴になります。このようにしてできた水滴が集まって、雲をつくっています。雲ができる高さは、空気に含まれている水蒸気量や上空の気温によって異なります。

雲をつくる水滴や氷の結晶は非常に小さいため空中に浮かんでいますが、まわりの水蒸気を取り込んだり水滴どうしがぶつかったりして大きくなると落下します。雨は、水滴がそのまま落ちてきたり、氷の粒が途中でとけて落ちてきたりしたもので、雪は、氷の結晶がとけずに落ちてきたものです。



ア 空気が、山の斜面にぶつかることで上昇する。



イ 太陽の光で地面があたためられ、その地面にあたためられた空気が上昇する。



ウ あたたかい空気が、冷たい空気の上にはい上がる。

図3 上昇気流のでき方の例 ★

上昇気流ができる原因は、いろいろある。雲は、いくつかの上昇気流が組み合わさってできる場合が多い。

気圧と風

part
3

気圧は、同じ場所であっても時間とともに変化します。また、広い範囲で気圧を調べた結果を示した天気図を見ると、同じ時刻であっても場所によって気圧が異なることがわかります。



Column

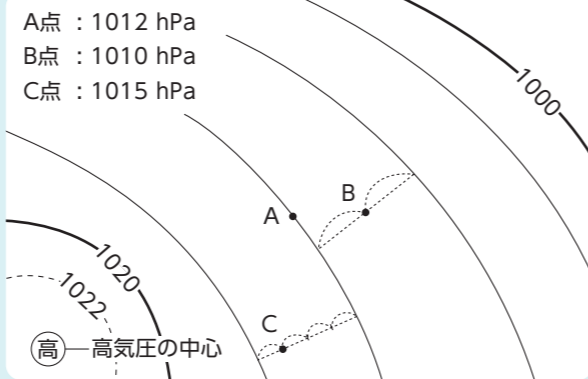
等圧線の読み方

等圧線

同時刻に観測した気圧の値の等しい地点をなめらかな曲線で結んだものを等圧線という。

高気圧・低気圧の定義

等圧線は、もとの位置にもどる閉じた曲線になることもある。等圧線で囲まれ、周辺より気圧が高い部分を高気圧、周辺より気圧が低い部分を低気圧という。



等圧線は、1000hPaを基準に、4hPaごとに実線で引いてある。20hPaごとに太線にし、必要に応じて2hPaごとの点線を引くこともある。

図4のように、風は、気圧の高いところから低いところへ向かって吹いています。風は空気が移動する現象なので、空気は気圧の高いところから低いところへ向かって移動しているといえます。

等圧線の間隔が狭いところは、気圧の変化が急なので、空気の移動する速さが速くなり、強い風が吹きます。

高気圧は、中心部の方が周辺よりも気圧が高いため、中心部から周辺へ向かって風が吹きます。低気圧は周辺の方が中心部より気圧が高いため、周辺から中心部へ向かって風が吹きます。

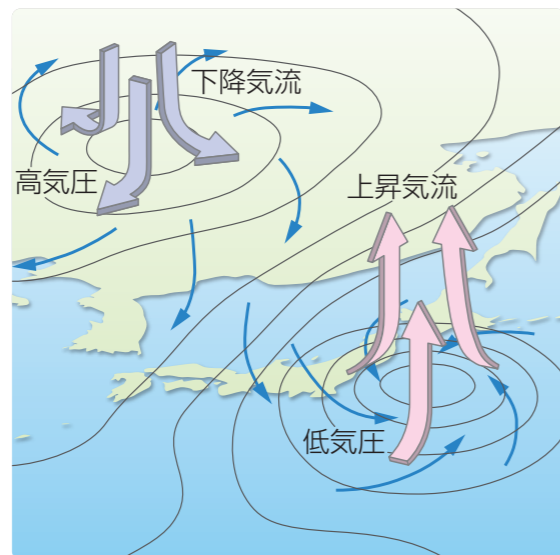


図4 高気圧・低気圧と風の吹き方

高気圧の中心部では、空気は上空から地上に向かって移動する(下降気流)ため、雲がなく晴れることが多いです。一方、低気圧の中心部では、空気は地上から上空に向かって移動する(上昇気流)ため、雲が発生することが多いです。

空に向かって移動する(上昇気流)ため、雲が発生することが多いです。

気団と前線

part
4

気象衛星から雲を見ると、雲の帯ができてい場所があることがわかります。

空気は、大陸上や海上などに長期間とどまると、気温や湿度が広い範囲でほぼ一様な塊になります。このようにしてできた空気の塊を気団といいます。

気温や湿度など性質の異なる空気の塊が接してもすぐには混じり合わず、境の面ができます。これを前線面といい、前線面と地表面が交わる場所を前線といいます。

前線には、寒気(冷たい空気)が暖気(暖かい空気)の下にもぐり込み、暖気を押し上げながら進んでいく寒冷前線、暖気が寒気の上にはい上がり、寒気を押しやりながら進んでいく温暖前線、寒冷前線が温暖前線に追いついてできる閉塞前線、もぐり込もうとする寒気とはい上がろうとする暖気がぶつかり合って、ほとんど前線の位置が動かない停滞前線があります。

同じ質量で比べた場合、暖気は寒気に比べて体積が大きく、密度が小さくなります。そのため、暖気は寒気の上に、寒気は暖気の下に移動します。空気の塊が上昇する場所では雲が発生しやすいので、前線の付近では雲が多くなります。

前線が通過すると、その地域の空気は、今まで覆われていた空気と異なる性質の空気になるので、気温や湿度などが急激に変化することが多いです。

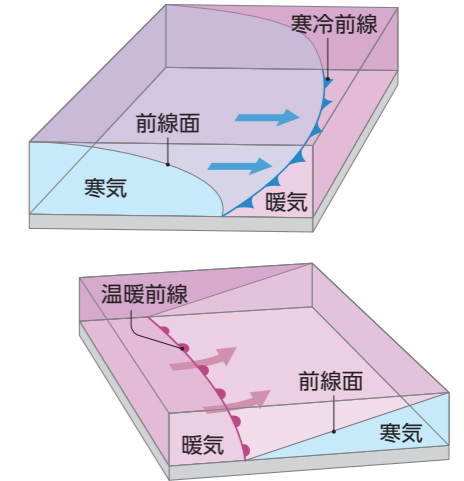


図5 寒冷前線と温暖前線の様子。それぞれの前線は上のような記号で表す。

閉塞前線は下のような記号で表す。

また、停滞前線は下のような記号で表す。

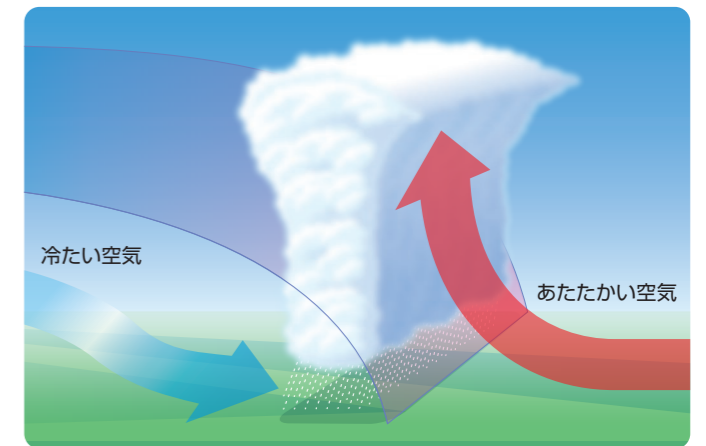
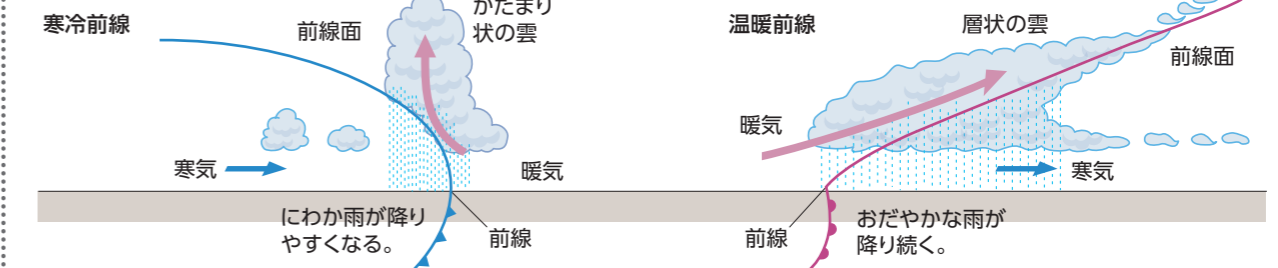


図6 前線付近で押し上げられる暖気

●前線の通過と天気の変化



▶寒冷前線の通過後は、寒気に覆われ気温が下がる。風は、北寄りの風になる。

▶温暖前線の通過後は、暖気に覆われ気温が上がる。風は、南寄りの風になる。

世界から見た日本の気候

世界的に見ると、年間降水量が1,000mmに満たない地域の方が圧倒的に多いです。しかし、日本ではほとんどの地域で1,000mm以上、多いところでは2,000mmを超える降水量があります。これは、日本列島が地理的にユーラシア大陸と太平洋の影響を受ける場所にあり、低気圧や前線、台風などが通過することが多いためです。

日本が属する温帯は、年間を通じた気温と降水量の変化によって3つの気候区に分けられます。地中海性気候は、夏にほとんど雨が降らず乾燥して、冬に雨が降るのが特徴です。西岸海洋性気候は、大陸の西側に多く見られ、暖流とその上を吹く暖かい偏西風の影響で、冬は緯度が高い割に暖かく、一年を通じて雨が降ります。温帯(温暖)湿潤気候は年間の降水量が多く、降水量や気温の、一年の中での変化が大きく、大陸の東岸に多く見られ、日本の大部分はこの気候区に属します。

ユーラシア大陸と太平洋に挟まれた日本は、太平洋から吹き込む湿気を大量に含んだ、夏の暖かい季節風(モンスーン)と、シベリアから吹き込む、冬の冷たい季節風の影響を強く受けます。また、低気圧と前線の通り道に位置し、雨が多く降ります。このため、北海道を除く日本は、温帯の中でも特に春夏秋冬の四季がはっきりしている。

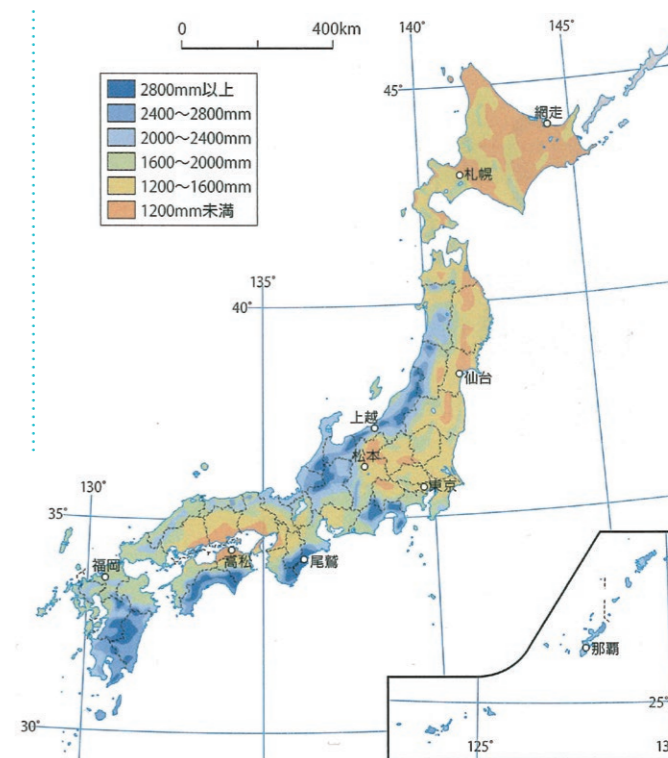


図9 世界と日本の降水量の分布 ★
降水量は地域による差が大きい。日本列島は、世界のなかでは、比較的降水量の多い地域である。

ます。さらに、梅雨という降水量の多い時期もあります。梅雨は東アジアだけで見られます。夏から秋にかけての時期には、赤道の北側で発生した台風や熱帯低気圧がしばしば日本列島を襲い、梅雨の時期の豪雨とともに、風水害を起こします。

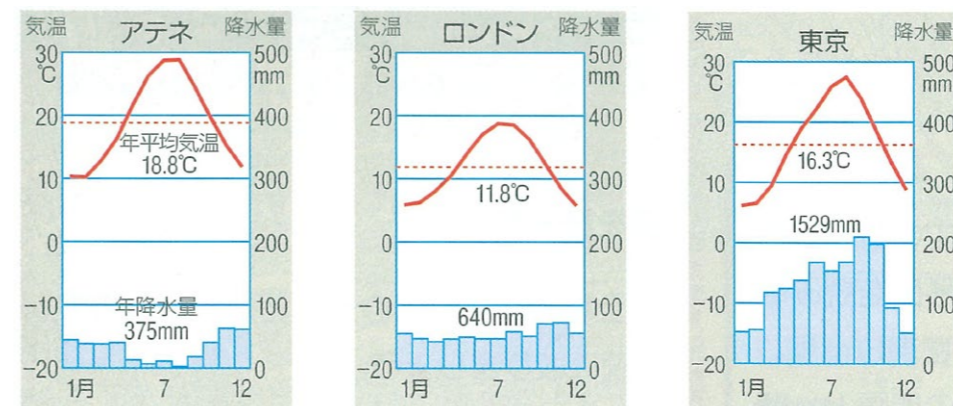
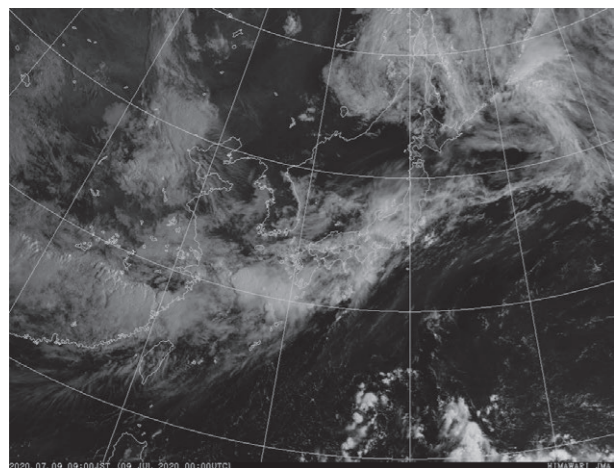


図10 アテネ、ロンドン、東京の気温と降水量(「理科年表」平成26年) アテネは地中海性気候、ロンドンは西岸海洋性気候、東京は温帯(温暖)湿潤気候に属します。★

初夏の頃には、日本列島付近では、南の暖かく湿った気団と北の冷たく湿った気団の間に停滞前線ができて、雨やくもりの日が多くなります。この時期を梅雨^{つゆ}といい、梅雨の時期に日本列島付近にできる停滞前線を梅雨前線^{ばいう}といいます。夏の終わりにも、梅雨前線と同じような停滞前線^{あきさめ}ができますが、これは秋雨前線と呼ばれます。



梅雨や秋雨の時期には、太平洋からユーラシア大陸に向かって吹く季節風などにより、海から大量の水蒸気が運ばれてきます。水蒸気を大量に含んだ空気は、停滞前線付近で上昇し、日本列島に大量の雨を降らせませす。

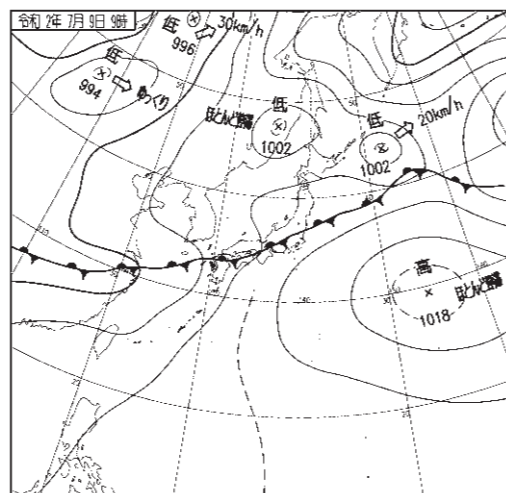


図7 梅雨の雲の様子と天気図(令和2年7月9日9時)
停滞前線の周辺で雨雲が発達し、大量の雨を降らせる。
出典:気象庁

台風

低緯度の熱帯地方で発生する低気圧を熱帯低気圧^{あきさめ}といいます。夏から秋にかけて日本列島にやってくる台風は、熱帯低気圧が暖かい海上で発生したものです。台風^{たいふう}の中心付近には、暖かく湿った空気があり、強い上昇気流を生じるため、台風は大量の雨と強い風を伴います。

春から夏にかけて太平洋高気圧の南を通過してユーラシア大陸に進んでいた台風は、秋が近くなって太平洋高

気圧が弱まると、高気圧のへりに沿うように、日本列島付近に北上することが多くなります。北上した台風は、偏西風に流されて、東寄りに進路を変えます。本州付近まで北上してきた台風は、暖かい海からの熱と水蒸気の補給が少なくなって、熱帯低気圧に弱まったり、周囲の冷たい空気を取り込んで温帯低気圧に変わったりします。

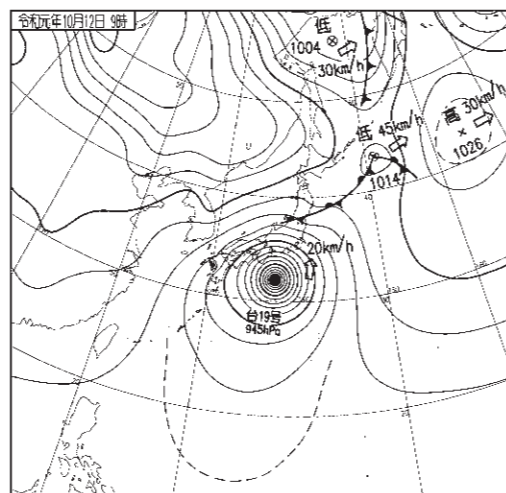
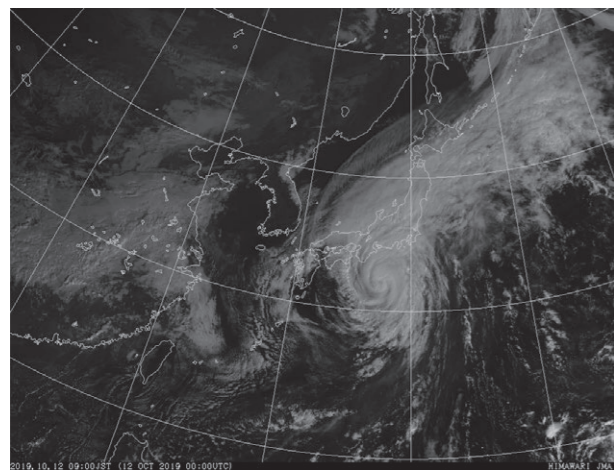


図8 台風の雲の様子と天気図(令和元年10月12日9時)
出典:気象庁

地域によって異なる日本の気候

part
7

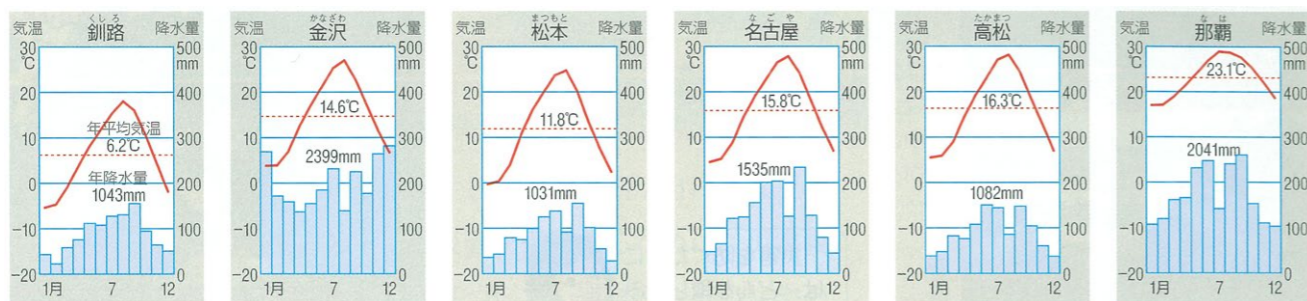
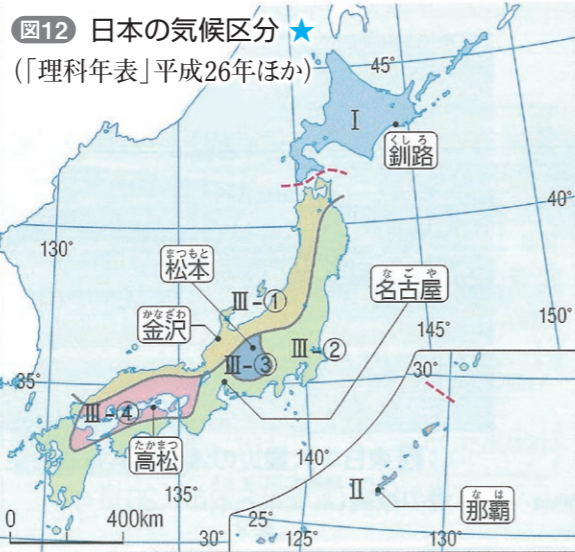


図11 各地の気温と降水量 (「理科年表」平成26年) ★

日本列島は南北に長いので、南の沖縄と北の北海道では気候が大きく異なります。一年中気温が高く、降水量が多い南西諸島や小笠原諸島は亜熱帯とも呼ばれ、島の沿岸にはサンゴ礁が発達しています。一方、北海道は梅雨がないのに降水量も少なく、冬の気温がとても低くなるため、冷帯(亜寒帯)に分類されます。



- I…北海道の気候
冷帯(亜寒帯)
- II…南西諸島の気候
亜熱帯(熱帯に近い温帯)
- III…温帯
 - ①日本海側の気候
冬は降雪・くもりが多い
 - ②太平洋側の気候
冬は晴れが多い
 - ③中央高地の気候
高地は冷帯に近い
 - ④瀬戸内の気候
夏の降水量がやや少ない

また、中央の山脈を境に、太平洋側と日本海側とは冬の天候が異なります。初めは乾いていた冬の季節風が、暖流の対馬海流が流れる日本海を渡るときに大量の水蒸気を含み、日本海側の地域に雨や雪を降らせませす。山脈を越える際に水蒸気を落とすため、太平洋側では乾いた風が吹いて晴れの天気が続きます。

瀬戸内地方は中国山地と四国山地に挟まれ、太平洋や日本海からの水蒸気が届きにくいので、降水量が少な

い地域です。夏に干ばつが起こりやすく、雨が特に少ない年は湯水などの問題が起こります。このため、稲作などに使う水を確保するために、古くからため池が造られてきました。中部地方の中央高地は、標高が高く、山に囲まれているため、年間を通して気温が低く、雨があまり降りません。また、特に夜間や冬の気温が下がるため、昼と夜、夏と冬の気温の差が大きくなります。

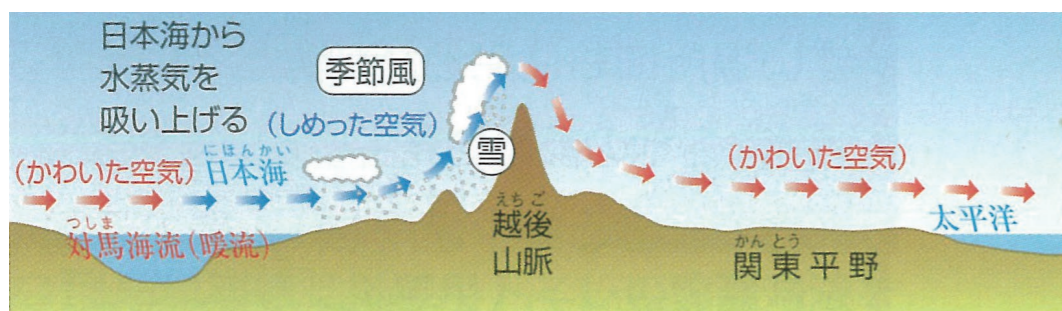
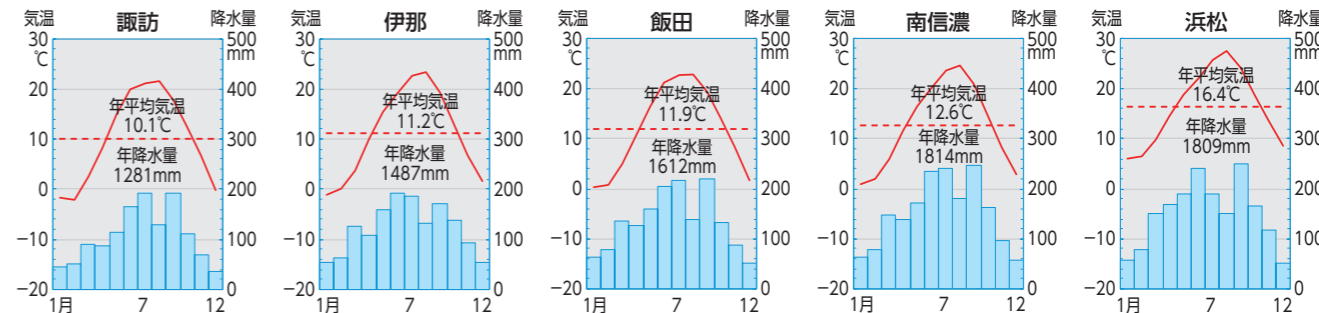


図13 日本の中央部の冬の季節風の様子 ★

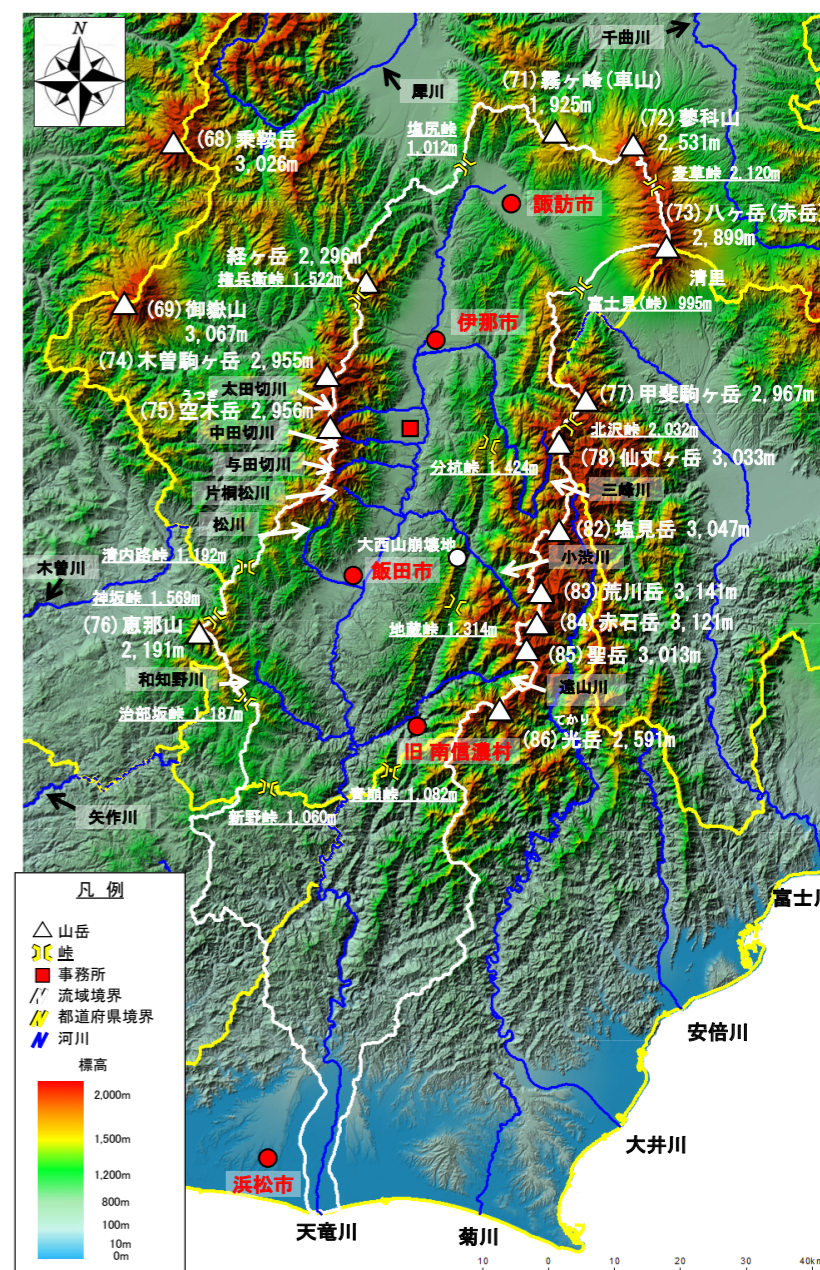
天竜川上流域の気候 (教科書の記載はありません)

part
8



※年平均気温、年降水量は1981~2010年(30年間)の平均値(気象庁データ)

天竜川上流域の気候についても見てみましょう。北部の諏訪、中部の伊那、南部の飯田の年平均気温は10~12°C、年降水量はいずれも全国平均値の約1,700mmよりも少なく、中央高地の気候に属しています。北部ほど気温が低く、降水量が少ないことがわかります。



色別標高図(国土地理院)を加工して作成

数値予報天気図を用いた簡易な降雨予測の方法

これまで見てきたように、天竜川に大雨をもたらす注意すべき気象条件はわかりました。さらに、どの程度の大雨となるのかが早くからわかれば、災害に備える時間を確保できます。

ここでは、簡易な降雨予測として、気象庁が公

開している数値予報天気図(FXFE)を用いて天竜川上流域の72時間先までの降雨量を算定し、これまでに見てきた天竜川上流域内の気象要因毎の降雨分布を用いて地域毎の降雨量を予測する方法について説明します。

天竜川上流域の72時間先までの降雨量の算定

part
1

数値予報天気図は、毎日9時および21時の12時間先、24時間先、36時間先、48時間先、72時間先の予測が、それぞれ13時、翌1時頃に気象庁HPに公開されます。数値予報天気図にはさまざまなものがありますが、ここでは「極東地上気圧・風・降水量/500hPa高度・渦度予測図」のうちの「極東地上気圧・風・降水量」の予測図を用います。

「極東地上気圧・風・降水量」の予測図には、地上気圧、風、降水量が記載されています。ここでは、点線で描かれた等降水量線や+の数字で書かれた降水量の極大値を読み取ります。気象庁のホームページをご確認ください。(URL:<https://www.jma.go.jp/jp/metcht/suuchi.html>)



図 気象庁 数値予報天気図の公開ページ
(URL:<https://www.jma.go.jp/jp/metcht/suuchi.html>)

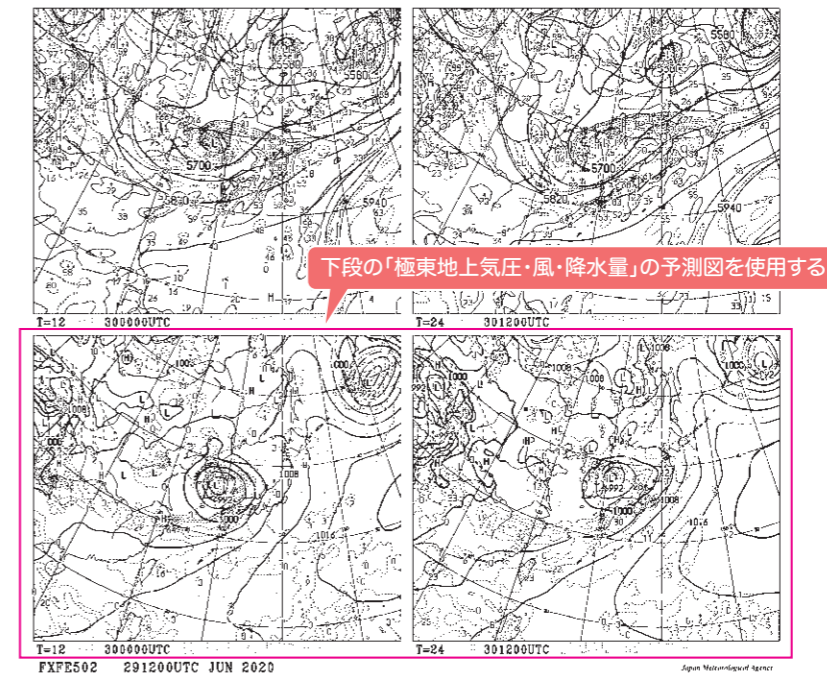


図 極東地上気圧・風・降水量/500hPa高度・渦度予測図(12・24時間予想の例)
出典:数値予報天気図(気象庁HP)

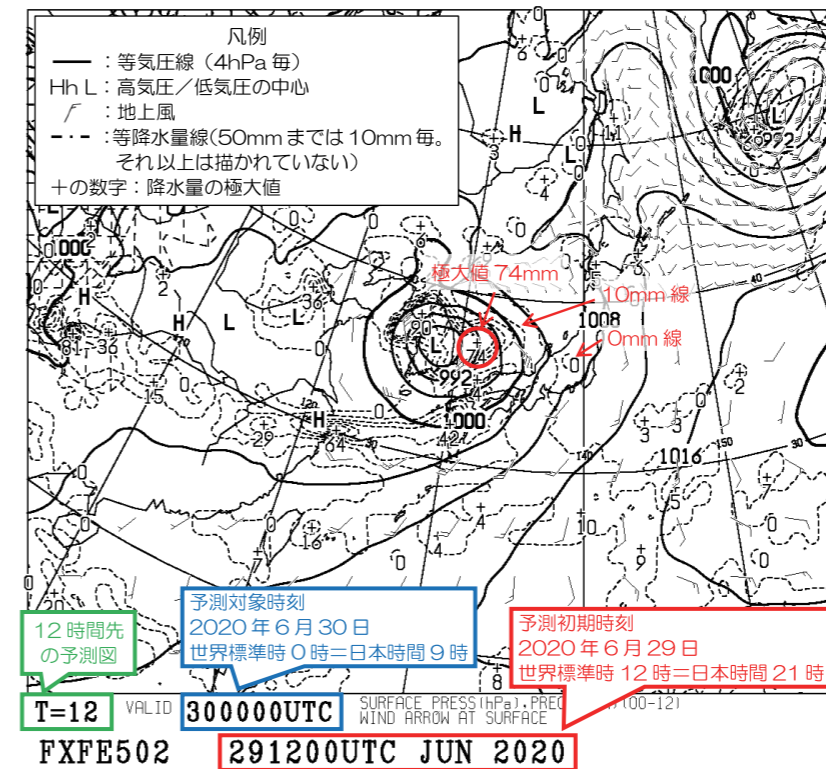


図 数値予報天気図(極東地上気圧・風・降水量)の見方

12時間先、24時間先、36時間先、48時間先、72時間先の数値予報天気図をもとに、72時間先までの積算予測雨量を算定します。具体例として、以下の2事例を用いて算定方法を説明します。

- ※対象事例
- ①平成30(2018)年9月3日 21時時点の72時間先までの予測雨量
 - ②令和元(2019)年10月11日9時時点の72時間先までの予測雨量

◆事例①

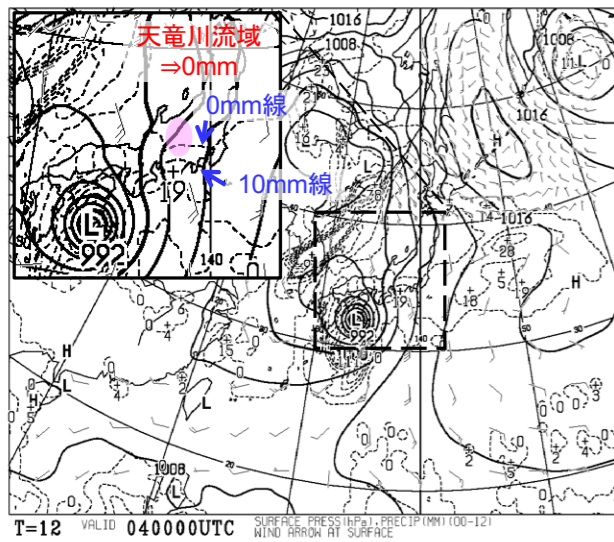
①の9月3日21時の時点で、72時間先(9月6日21時)までの数値予報天気図5枚が公開されています。それぞれの図から、天竜川上流域の雨量を読み取ります。例えばこの場合は、0~12時間先:0mm、12~24時間先:70mm、24~36時間先:30mm、36~48時間先:0mm、48~72時間先:0mmとなり、72時間先までの予測雨量はこれらを合計して100mmとなります。

◆事例②

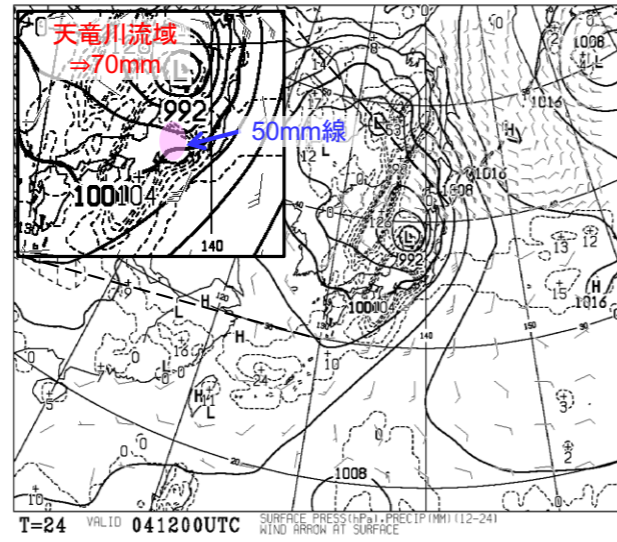
②の場合も同様に、10月11日9時時点の72時間積算予測雨量は313mmとなります。24~36時間先の12時間に天竜川上流域周辺で273mmもの雨が降ることがわかります。ただし、この273mmは極大値なので、72時間積算予測雨量を計算するには注意が必要です(後述)。

◆事例①:平成30(2018)年9月3日21時時点の72時間先までの予測雨量

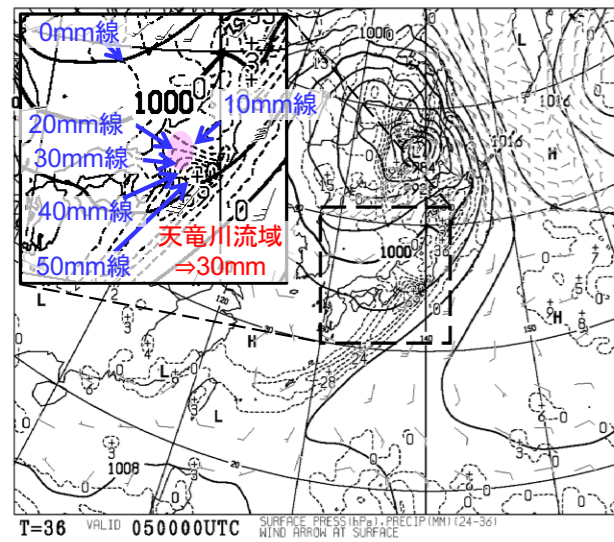
1) 9/3 21時～9/4 9時 (0～12時間先) の数値予測天気図



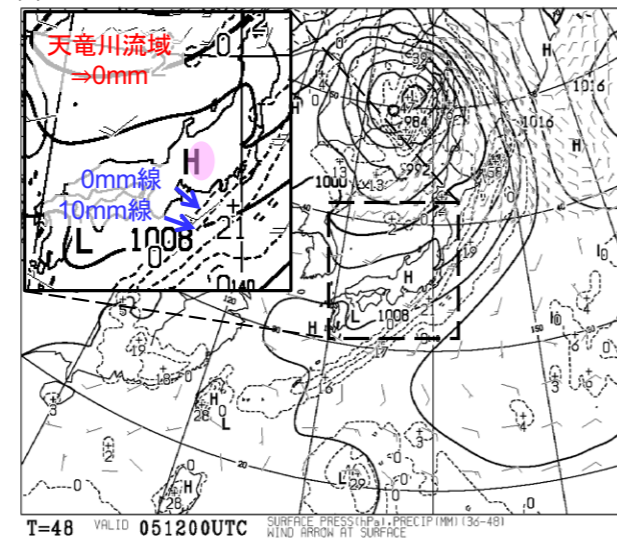
(2) 9/4 9時～9/4 21時 (12～24時間先) の数値予測天気図



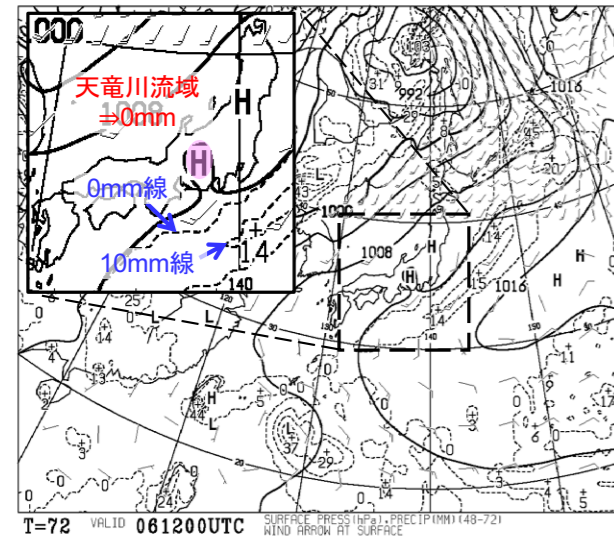
(3) 9/4 21時～9/5 9時 (24～36時間先) の数値予測天気図



(4) 9/5 9時～9/5 21時 (36～48時間先) の数値予測天気図



(5) 9/5 21時～9/6 21時 (48～72時間先) の数値予測天気図



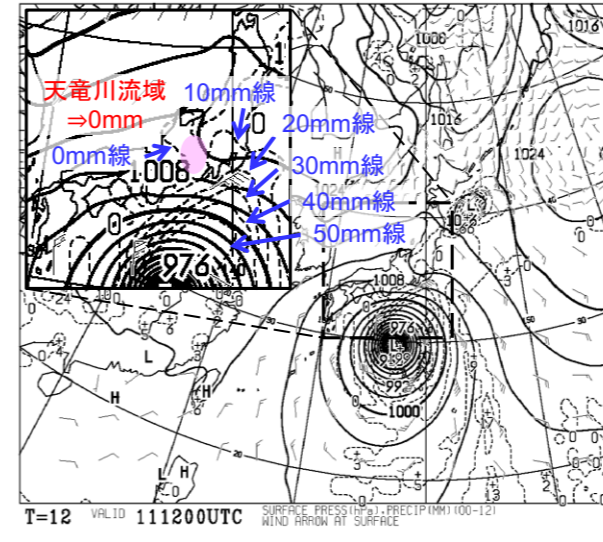
2018年9月3日21時時点の
72時間先までの予測雨量

$$0 + 70 + 30 + 0 + 0 = 100\text{mm}$$

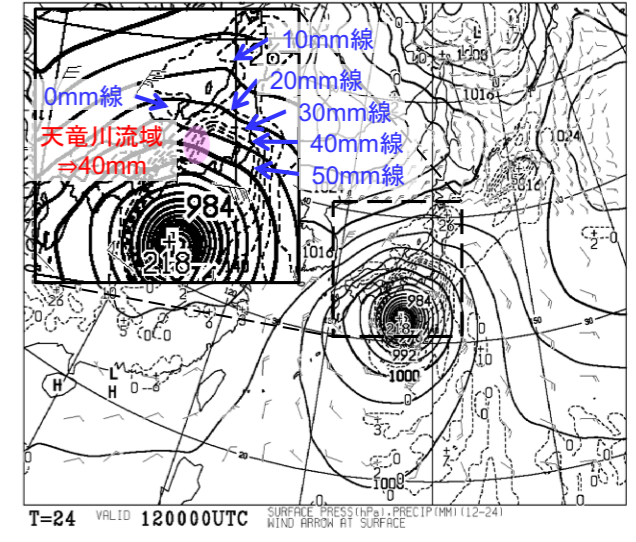
天竜川上流域を含む中部地方で、9月4日9時～4日21時の12時間に、70mmの降雨があることを示しています。

◆事例②:令和元年(2019年)10月11日9時時点の72時間先までの予測雨量

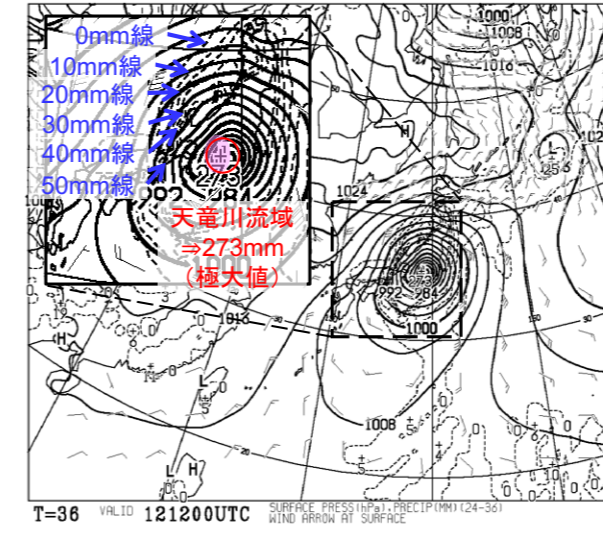
(1) 10/11 9時～10/11 21時 (0～12時間先)



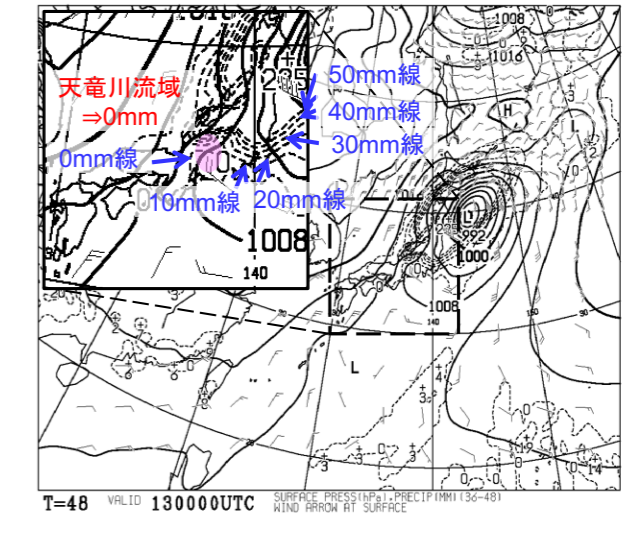
(2) 10/11 21時～10/12 9時 (12～24時間先)



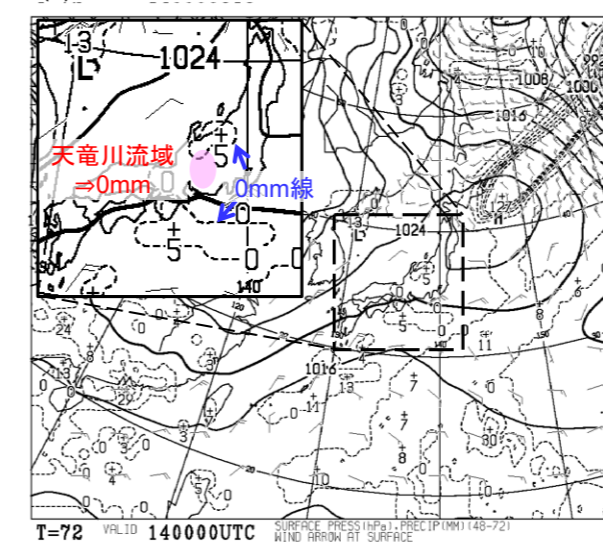
(3) 10/12 9時～10/12 21時 (24～36時間先)



(4) 10/12 21時～10/13 9時 (36～48時間先)



(5) 10/13 9時～10/14 9時 (48～72時間先)



2019年10月11日9時時点の
72時間先までの予測雨量

$$0 + 40 + 273 + 0 + 0 = 313\text{mm}$$

極大値

天竜川上流域を含む中部地方で、10月12日9時～12日21時の12時間に、273mmの降雨があることを示しています。

各地域の72時間先までの予測降雨量の目安

part
2

第1章の降雨要因毎の降雨分布図から、天竜川上流域内の総雨量の平均値に対する各地域の雨量の割合を感度係数として整理すると、次の表のようになります。数値予報天気図で読み取った72時間先までの予測雨量に、地域と大雨の気象要因に応じた感度係数を掛けることにより、その地点の予測雨量を算定することができます。

例えば、①の9月3日21時時点の降雨予測を諏訪市(諏訪地域)で行う場合は、
100mm(72時間積算予測雨量)
×0.53(諏訪地域の台風の補正係数)
=53mm
 となります。

表 各地域の感度係数

地域	降雨要因			
	前線	前線+台風	台風	低気圧
諏訪地域	1.29	0.75	0.53	0.91
上伊那地域北部(辰野町周辺)	1.46	0.74	0.41	0.99
上伊那地域東部(伊那市長谷周辺)	1.06	0.59	0.42	0.99
上伊那地域西部(駒ヶ根市周辺)	1.23	0.77	0.51	1.27
飯伊地域北東部(大鹿村周辺)	1.36	0.77	0.80	1.43
飯伊地域北西部(飯田市西部周辺)	1.23	0.92	0.91	1.22
飯伊地域南部(飯田市南信濃周辺)	1.59	1.19	1.77	1.66

ただし、台風による降雨の場合など、等雨量線が混んでいて50mmを超えている場合や極大値がある場合は、数値予報天気図からの読み取り値が過大となることがあります。このような場合は、極大値がある場合などの感度係数(下表)の値を掛けて、その地点の予測雨量を算定します。

例えば、②の10月11日9時時点の降雨予測を

大鹿村(飯伊地域北東部)で行う場合は、
313mm(72時間積算予測雨量)
×0.45(極大値がある場合などの飯伊地域北東部の補正係数)
=141mm
 となります。なお、このときの地上雨量計の72時間雨量は133mmなので、近い雨量を予測できることがわかります。

表 極大値がある場合などの感度係数

地域	感度係数
諏訪地域	0.30
上伊那地域北部(辰野町周辺)	0.23
上伊那地域東部(伊那市長谷周辺)	0.23
上伊那地域西部(駒ヶ根市周辺)	0.29
飯伊地域北東部(大鹿村周辺)	0.45
飯伊地域北西部(飯田市西部周辺)	0.52
飯伊地域南部(飯田市南信濃周辺)	1.00

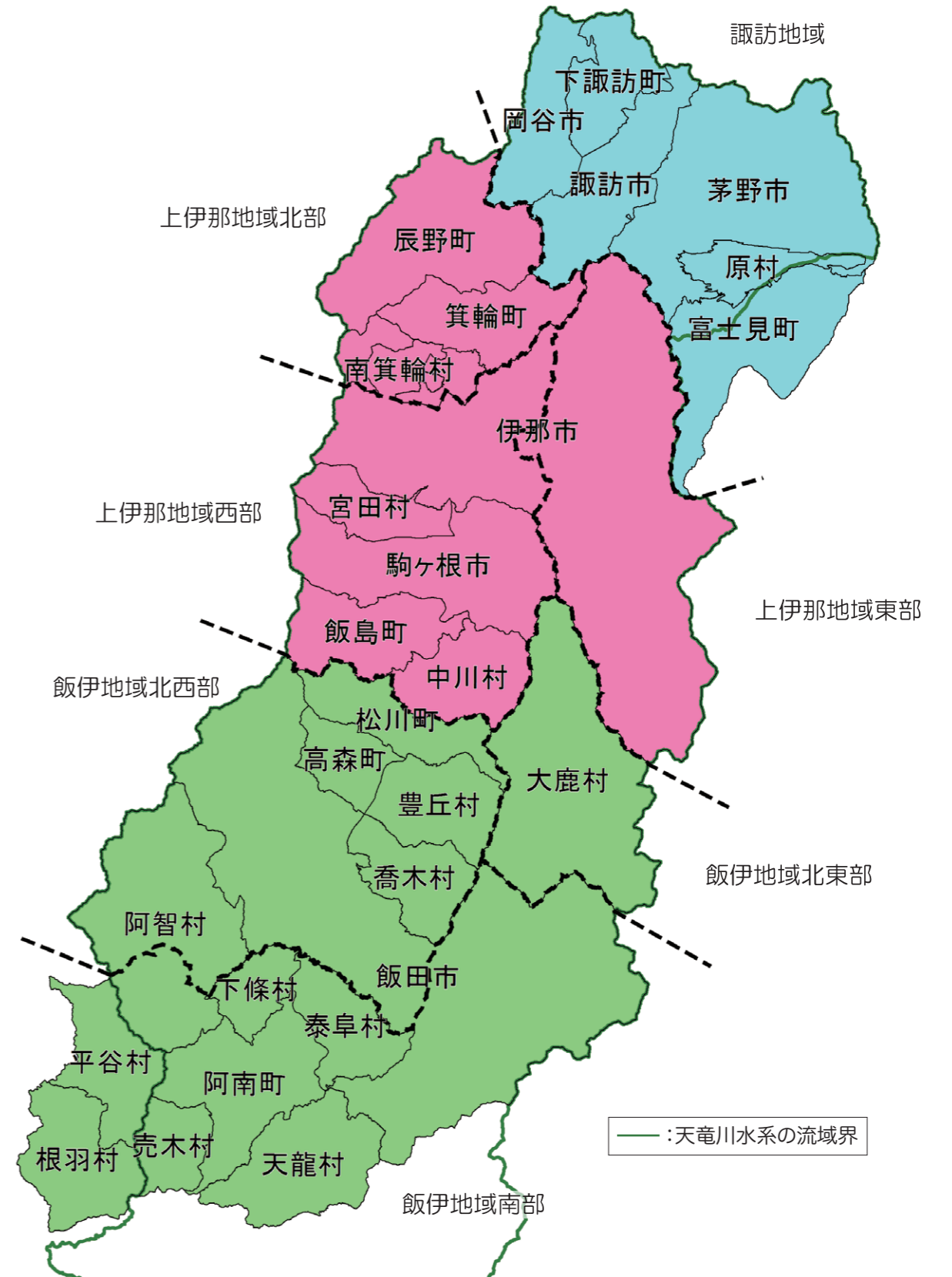


図 地域区分

国土数値情報 行政区画データ(長野 世界測地系 令和2年)を使用

