

令和4年度 卒業論文

広域長期間豪雨の増加と 偏西風蛇行

三重大学 生物資源学部 共生環境学科

地球環境学教育コース

気象・気候ダイナミクス研究室

519373 山田 裕貴

指導教員：立花 義裕 教授

目次

第1章	序論	3
第2章	使用データ	4
2.1	地域気象観測システム (AMeDAS)	4
2.2	気象庁 55 年長期再解析データ (JRA-55)	5
第3章	解析手法	6
3.1	広域長期間豪雨の抽出	6
3.2	広域長期間豪雨をもたらした主要因の判別	6
3.3	合成図解析	7
3.3.1	各偏西風の蛇行のパターンの大気場	7
3.3.2	広域短期間豪雨 (発生日のみ)	7
3.3.3	広域短期間豪雨 (発生後 2 日間も含む)	7
第4章	解析結果	9
4.1	広域長期間豪雨の抽出事例と要因の違い	9
4.2	偏西風蛇行パターンの分類について	9
4.3	偏西風蛇行パターン別の梅雨前線帯対流活発メカニズムの違い	9
4.3.1	西谷型の場合	9
4.3.2	東谷型の場合	12
4.3.3	両谷型の場合	15
4.4	比較結果	18
4.4.1	各偏西風蛇行パターンの豪雨の特徴 (降水量・発生数・期間) の比較	18
4.4.2	“広域短期間豪雨”と“広域長期間豪雨”との比較	20
4.4.3	過去と近年の比較	27
第5章	結論・課題・今後の予定	28
5.1	広域長期間豪雨の特徴	28
5.2	広域豪雨が長期間継続する原因	28
5.3	近年にかけての変化	28
5.4	課題・今後の予定	28
	謝辞	29
	参考引用文献	30
	付録	31

第1章 序論

夏季の日本では、河川の氾濫や土砂崩れなど豪雨によってもたらされる災害が度々発生する。その要因として、日本の南の太平洋高気圧と北のオホーツク海高気圧による気圧配置によって発生する梅雨前線や太平洋高気圧の縁に沿って北上してくる台風などが挙げられる。これらの豪雨によって毎年のように大きな被害を受けている。

特に、近年においては数十年に一度の顕著な大雨事例として「平成30年7月豪雨（別名：西日本豪雨）」、「令和2年7月豪雨」、「令和3年8月豪雨」の3つの事例が存在し、日本の各地で豪雨災害が発生した。これら3事例について気象庁の報告書から読み取れる共通点として、広域にわたる雨が数日から1週間程度継続したことが挙げられる。

先行研究としてはそれぞれの顕著な豪雨に着目した事例研究が盛んに行われているが、“広域”かつ“長期間”という共通点に着目した研究はない。類似している研究として、極端な“広域豪雨”の発生場に注目した研究は存在している (Shibuya et al., 2021)。しかし、この研究では広域極端豪雨発生時までの大気の流れの調査が行われているが、長期間継続していることには注目していない。

さらに、近年は豪雨のなかでも短時間における狭い範囲での集中豪雨の研究が着目されている。例えば、線状の降水帯により非常に激しい雨が同じ場所で降り続く“線状降水帯”の研究は数多く存在している (e.g., Kato 2020; Goto and Satoh 2022; Hatsuzuka et al., 2022)。

しかし、先述の顕著な3事例のように広域かつ長期間継続して雨が降り続く事例では、集中豪雨のようにある地域だけに被害は収まらず、各地で同時多発的に豪雨災害が発生する可能性をもつ。近年の3事例は特に社会的インパクトの大きい災害であったとされ、広域かつ長期間の豪雨はこれらの深刻な災害を発生させる危険性があることは十分に想定される。そのため、広域かつ長期間継続する豪雨の統計的調査による大気場の特徴や広域に長期間降雨が継続する原因、近年にかけての変化についての研究・調査を行うことの研究価値は高いと考える。

そこで本研究では、広域かつ長期間継続する豪雨を“広域長期間豪雨”と定義し、広域長期間豪雨の特性を明らかにする。そして、今後発生しうる広域長時間豪雨の予測・対策をするため、広域長期間豪雨発生時の大気場の特徴から広域長期間豪雨の発生メカニズムを調査する。また、広域の豪雨が継続する原因や近年にかけての変化についての調査を目的とし、研究を行った。

第2章 使用データ

2.1 地域気象観測システム (AMeDAS)

アメダス (AMeDAS) とは, 「Automated Meteorological Data Acquisition System」の略称であり, 「地域気象観測システム」という。アメダスは雨, 風, 雪などの気象状況を時間的, 地域的に細かく監視するために, 降水量, 風向・風速, 気温, 日照時間の観測を自動的に行い, 気象災害の防止・軽減に重要な役割を果たしている。本研究では, 降水量データとして, 1982年から2021年までの6月, 7月, 8月の全3680日の日降水量データを使用した。ただし, 使用する観測地点は1982年以前から観測開始されている941地点のみとした。参考として, 以下に使用した観測地点を示す (Fig. 1)

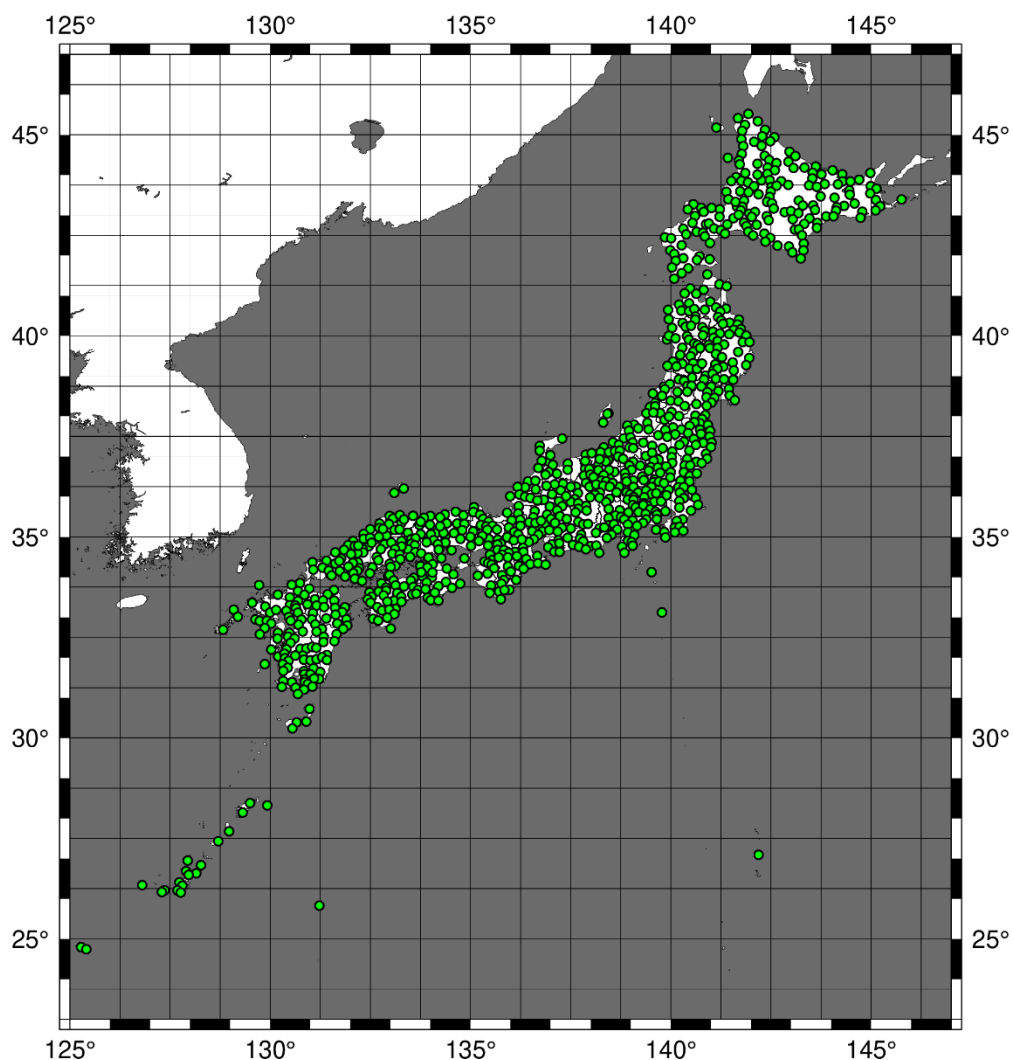


Fig. 1 使用したアメダスの観測地点分布

2.2 気象庁 55 年長期再解析データ (JRA-55)

大気場のデータには, 気象庁 55 年長期再解析データ (JRA-55) (Kobayashi et al., 2015; Harada et al., 2016) を用いた. 水平解像度は 1.25 度 (経度) \times 1.25 度 (緯度) である. 本研究では, 1982 年から 2021 年までの 40 年分の 6 月, 7 月, 8 月の日平均データを使用している. 使用した変数は, 等圧面解析値ではジオポテンシャル高度 (m), 気温 (K), 比湿 (kg/kg), 鉛直速度 (Pa/s), 南北風 (m/s), 東西風 (m/s), 全気柱積算解析値では, 南北鉛直積算水蒸気フラックス (kg/m/s), 東西鉛直積算水蒸気フラックス (kg/m/s) である.

第3章 解析手法

3.1 広域長期間豪雨の抽出

始めに、アメダスの各地点で日降水量 1.0 mm 以上を観測した地点が全地点の 50% (471 地点) 以上の日では日本の広域に雨が降ったと判断し、“広域降雨日”と定義した。

そのうち、①広域降雨日が 3 日以上連続する事例、②広域降雨日に該当しない日であっても、前後の日が該当し、該当しない日を除いて 3 日以上連続する事例のいずれかに当てはまる事例を“広域長期間降雨”とした。②の判断においては、広域降雨を発生させる大気大循環は 1 日だけでは大きく急変しないと考え、1 日該当しない日があっても、広域降雨を降らせる大気場は持続していると判断した。これらの判断により広域長期間降雨事例を定義した。

最後に、広域長期間降雨の各事例の総降水量を継続日数で割ったとき、日平均降水量が 1 万 mm 以上となる事例を“広域長期間豪雨”と定義した。このしきい値については、気象庁の「災害をもたらした気象事例」において記載されている事例と、今回抽出した広域長期間降雨事例が一致する事例の多くが日平均 1 万 mm 以上であったため、この値を豪雨のしきい値として用いた。(付録 1 参照)

3.2 広域長期間豪雨をもたらした主要因の判別

抽出された広域長期間豪雨について豪雨をもたらす要因を調査し、分類した。広域長期間豪雨日ごとに日本時間 9 時、21 時の地上天気図から、津口・加藤 (2014) を参考に主要因を以下の 3 つで判断した。また、複数の要素が豪雨の要因として判断できる場合は複数の要因がある事例として扱っている。

《台風・熱帯低気圧要因》

・台風または熱帯低気圧が日本周辺に存在し、中心からの距離が 500 km 以内に存在している場合、台風・熱帯低気圧が広域長期間豪雨の要因として判断。

《低気圧要因》

・低気圧が日本周辺の上空を東進しながら、閉塞前線を形成するまで発達した場合、低気圧の発達・東進が広域長期間豪雨の主要因として判断。

《梅雨前線要因》

・梅雨前線 (停滞前線, 温暖前線, 寒冷前線) が日本周辺に存在している場合、梅雨前線が広域長期間豪雨の主要因であると判断。日々の地上天気図においては、梅雨前線は停滞前線だけでなく、温暖前線, 寒冷前線でも解析されるため、ここで定義する梅雨前線は、停滞前線だけでなく、温暖前線・寒冷前線も含んでいる。

3.3 合成図解析

3.3.1 各偏西風の蛇行のパターンの大気場

4.1, 4.2 節で述べる結果を踏まえ、以下のように広域長期間豪雨事例を蛇行パターン別に分類した。この解析手法を用いた理由については後述する。

《蛇行パターン分類方法》

- ・梅雨前線がもたらす広域長期間豪雨の各事例における 200, 300, 500 hPa ジオポテンシャル高度の事例平均図を作成。

- ・200 hPa 面では亜熱帯ジェット気流を、300 hPa 面では寒帯前線ジェット気流の発生期間を通じた平均蛇行パターンを判断。さらに、500 hPa 面では、気候値（6, 7, 8 月の 40 年平均）からの偏差で日本周辺のトラフとリッジの分布を判断し、これら 3 つの判断を目視で行い、広域長期間豪雨事例を 3 つのパターンに分類した。

分類後、それぞれのパターンで合成図解析をした。解析したのは 500 hPa ジオポテンシャル高度、850 hPa 温度移流と相当温位の南北勾配、鉛直積算水蒸気フラックス、700 hPa 鉛直速度である。この解析結果をもちいて、大気場と豪雨の特徴（降水量・期間・降水分布）の違い、過去（1982-2001）と近年（2002-2021）比較を行った。

3.3.2 広域短期間豪雨（発生日のみ）

広域長期間豪雨がなぜ長期間継続するのかを探るため、短期間事例として、“広域短期間豪雨”の大気場の調査をした。以下の条件で広域短期間豪雨を抽出し、合成図解析をした。その結果と広域長期間豪雨の合成図を比較した。

《広域短期間豪雨の抽出》

- ・広域降雨日の条件を満たし、日降水量が 1 万 mm 以上である 1 日のみの事例
- ・要因は梅雨前線である。
- ・前後 2 日間に広域降雨日がない

3.3.3 広域短期間豪雨（発生後 2 日間も含む）

3.3.2 節で調査した“広域短期間豪雨”がなぜ 1 日のみであったのかを調べるため、広域短期間豪雨の発生日後の 2 日間も加えた 3 日間を 1 つの事例と見なし、合成図解析を行う。その後、広域長期間豪雨事例においても、同様に発生日から 3 日間の平均大気場から合成図を作成し、広域短期間豪雨の合成図と比較した。

また、3.3.1-3.3.3 節で用いた合成図解析において、気候値との差の有意性を母平均の検定を用いて確かめた。検定統計量の計算式は、(1) の通りである。

t = 検定統計量

$$t = \frac{\bar{X} - \mu_0}{S/\sqrt{N}} \quad (1)$$

\bar{X} : 標本平均 μ_0 : 母平均 S : 標本分散 N : 標本数

第4章 解析結果

4.1 広域長期間豪雨の抽出事例と要因の違い

抽出した広域長期間豪雨事例は 91 事例（554 日）であった。このうち、広域長期間豪雨発生日の約 83%（464 日）が梅雨前線を要因とするものであると判断した。一方、台風・熱帯低気圧が要因である降水日は 77 日、低気圧の発達が必要である降水日は 50 日であった。この結果より、梅雨前線が広域長期間豪雨の主要因であることが示唆された。

4.2 偏西風蛇行パターンの分類について

4.1 節の結果から、梅雨前線のみが要因である広域長期間豪雨事例に注目し、3 日以上継続した広域長期間豪雨事例を 80 事例抽出した。抽出された事例に着目して調査をしたところ、広域長期間豪雨の発生時に大気上層で期間を通して亜熱帯ジェット気流と寒帯前線ジェット気流の蛇行が持続する事例がいくつか見られた。このうち、代表的な蛇行パターンが 3 つ存在した。これらのパターンの違いによって、梅雨前線の対流を活発化させるメカニズムが異なると考えられる。そこで、この違いが広域長期間豪雨の特徴に影響を与えていると考え、抽出事例を 3 つの蛇行パターン（①西谷型：27 事例、②東谷型：14 事例、③両谷型 12 事例）に分類した。次節より、それぞれの蛇行パターンについて考察していく。

4.3 偏西風蛇行パターン別の梅雨前線帯対流活発メカニズムの違い

4.3.1 西谷型の場合

Fig. 2 のように、大気上層で亜熱帯ジェット気流の蛇行が見られ、日本の西側にトラフが存在し、かつ太平洋高気圧の張り出しが存在している事例を「西谷型」と定義した。このとき、西側トラフによる低気圧性回転に伴う下層の暖気移流が西日本で卓越していた (Fig. 3)。また、水蒸気フラックスに注目すると九州地方の上空で収束域が存在し、日本の太平洋側海上を中心に水蒸気が流れ込んでいる (Fig. 4)。これらによって、日本上空に相当温位の南北勾配が見られた (Fig. 5)。ここで、杉本 (1966) では梅雨前線は亜熱帯ジェット気流に伴った相当温位の急傾斜をもつことが述べられており、この結果と整合的である。この南北勾配が日本上空に存在し、平年に比べより急勾配になっていた。以上のことから、特に九州地方を中心とする梅雨前線帯に対流が強化され (Fig. 6)、広域に豪雨が降り続いたと考えられる。

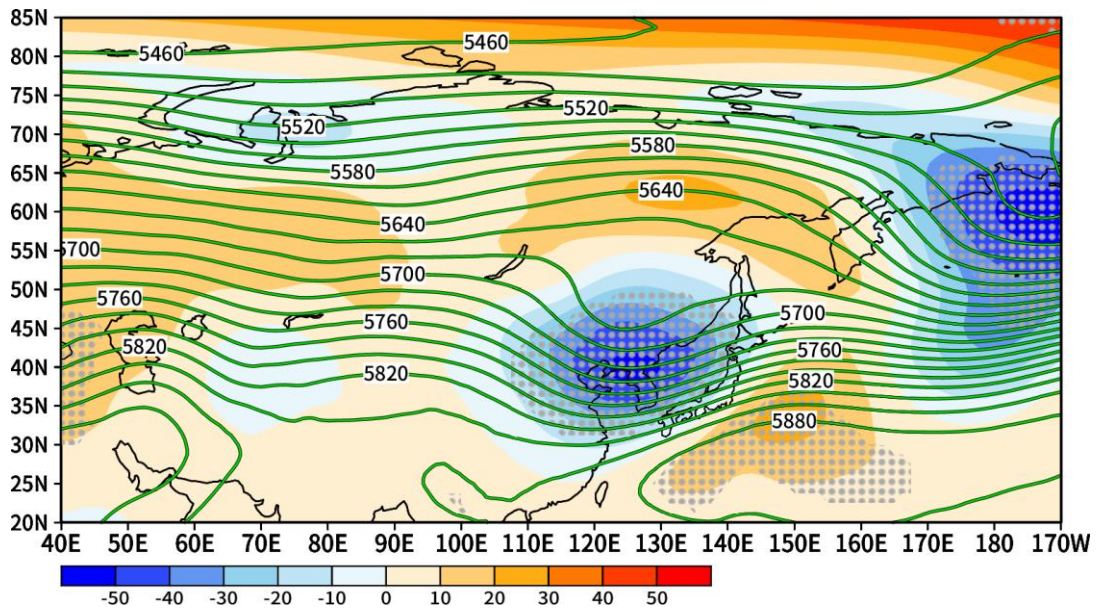


Fig. 2 西谷型における 500 hPa ジオポテンシャル高度
 線：事例平均 (m)，陰影：偏差 (m)，点：信頼係数 90%以上

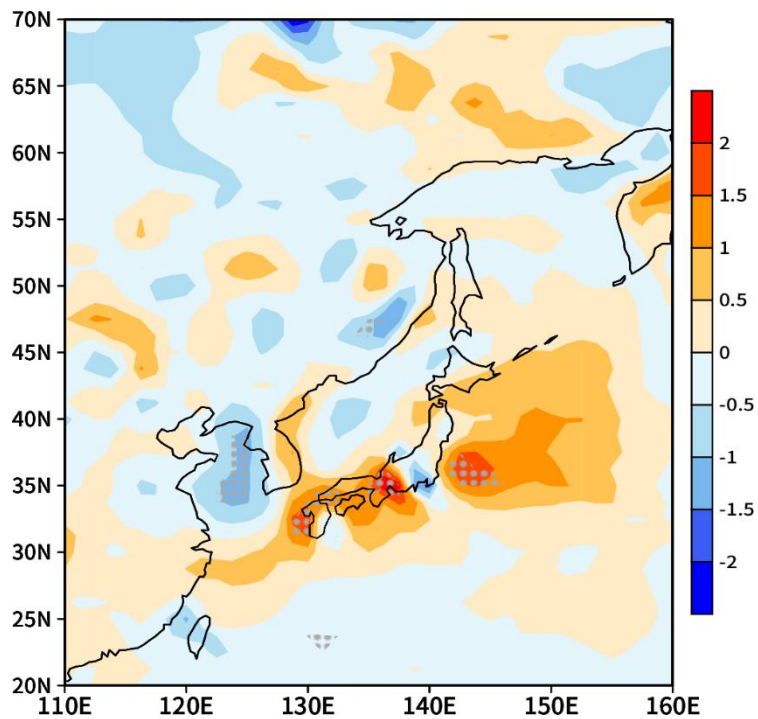


Fig. 3 西谷型における 850 hPa 温度移流
 陰影：暖気移流 (正)，寒気移流 (負) ($\times 10^{-5}$ K/day)，点：信頼係数 90%以上

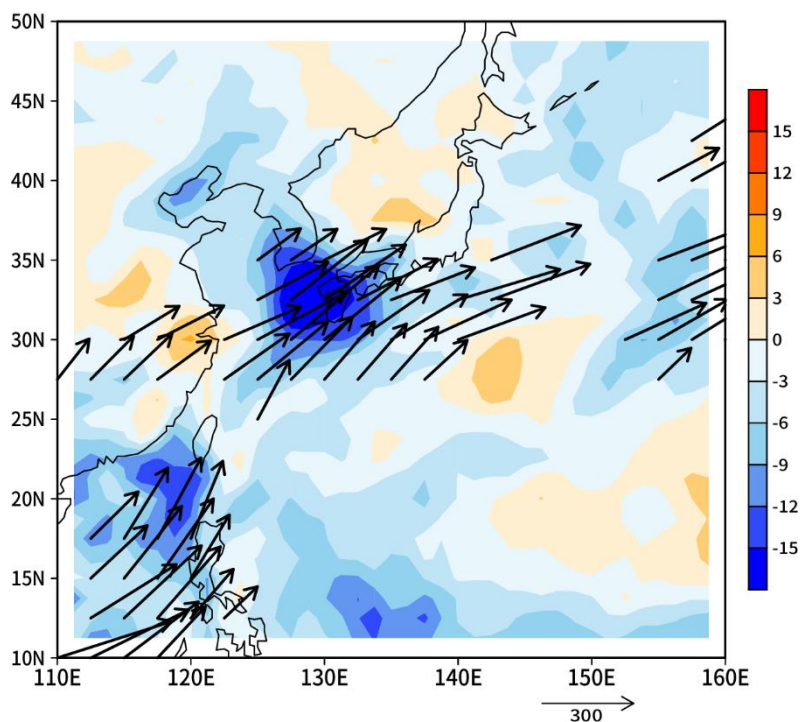


Fig. 4 西谷型における鉛直積算水蒸気フラックス
 水蒸気フラックス収束発散の事例平均 ($10^{-5}\text{kg/m}^2/\text{s}$), 収束 (負)・発散 (正)
 ベクトル: 水蒸気フラックスの事例平均 (南北成分: $+100$ (kg/m/s) 以上,
 東西成分: $+100$ (kg/m/s) 以上のみ)

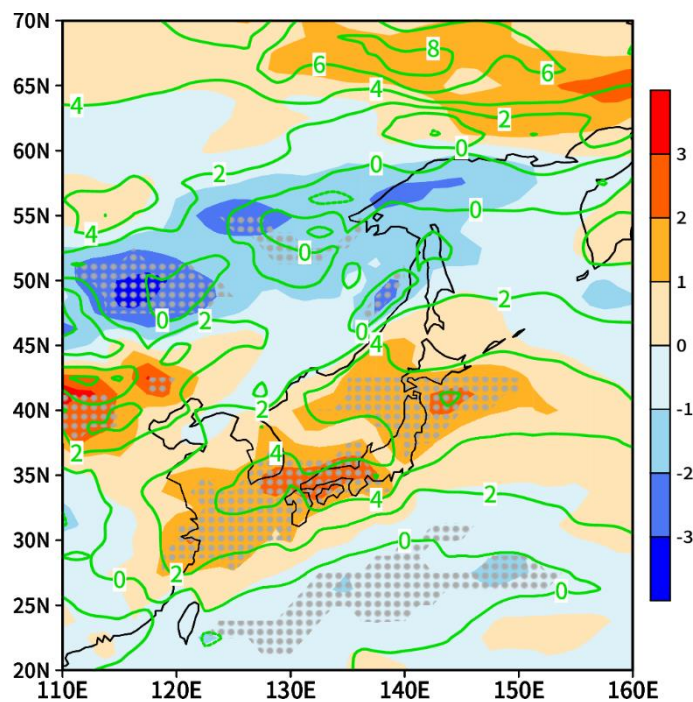


Fig. 5 西谷型における 850 hPa の相当温位の南北勾配
 陰影: 偏差 (K), 線: 事例平均 (K), 点: 信頼係数 90%以上

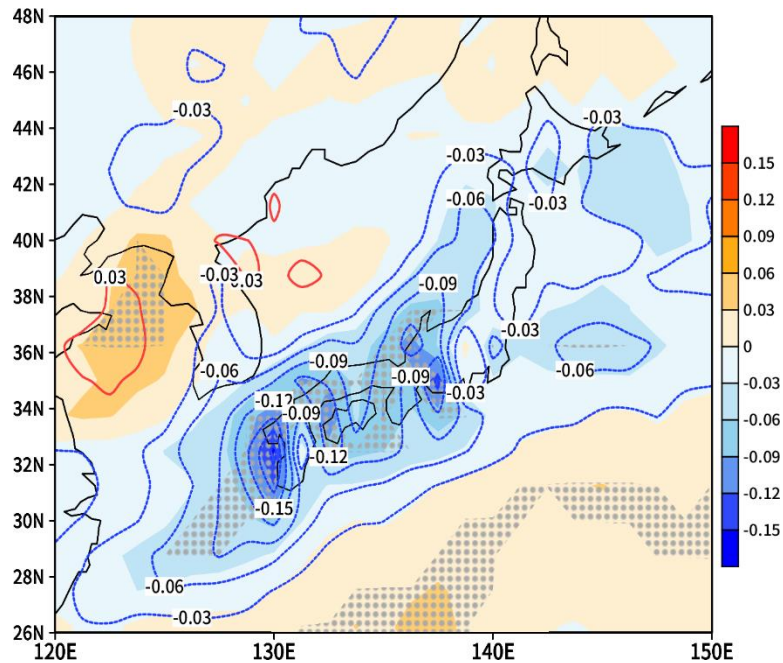


Fig. 6 西谷型における 700 hPa の鉛直速度
 陰影：偏差 (Pa/s), 下降流 (正), 上昇流 (負),
 線：事例平均 (Pa/s), 点：信頼係数 90%以上

4.3.2 東谷型の場合

Fig. 7 のように、寒帯前線ジェット気流の蛇行によって日本の東から北に延びるトラフとシベリア中央にリッジが存在し、かつ太平洋高気圧の張り出しが存在している事例を「東谷型」と定義した。この蛇行によるリッジからトラフに向けた北西からの大気の流れによって、下層では寒気移流が卓越していた (Fig. 8)。また、水蒸気フラックスについては西谷型よりも多量に水蒸気が日本の太平洋側海上を中心に流れ込み、九州地方の上空で広く収束域が存在していることがわかる (Fig. 9)。これは太平洋高気圧の張り出しの強化によって日本周辺に流れやすくなっている影響だと考えられる。これらによって、相当温位の南北勾配が日本上空の広域で増加していた (Fig. 10)。以上より、梅雨前線帯の対流がより広範囲で強化され (Fig. 11)、豪雨が続いたと考えられる。

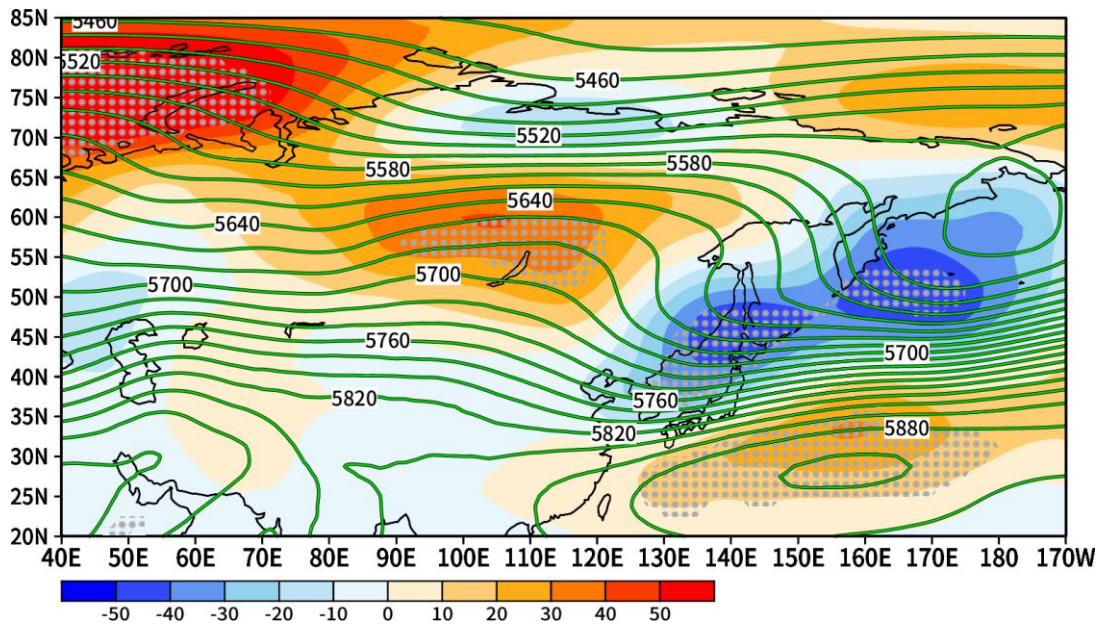


Fig. 7 東谷型における 500hPa ジオポテンシャル高度

線：事例平均 (m)，陰影：偏差 (m)，点：信頼係数 90%以上

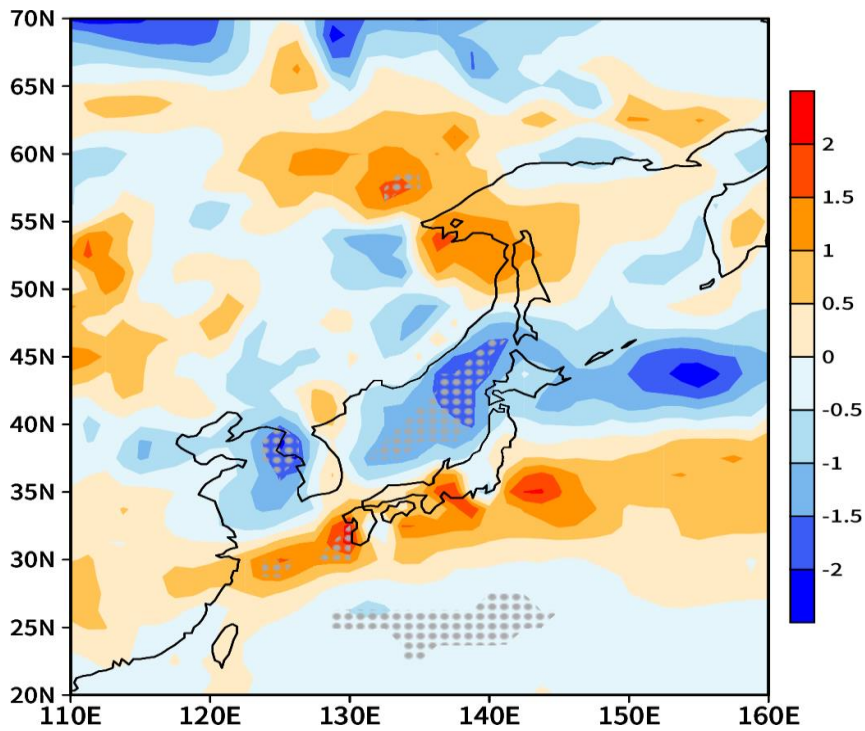


Fig. 8 東谷型における 850hPa 温度移流

陰影：暖気移流 (正) 寒気移流 (負) ($\times 10^{-5}$ K/day)，点：信頼係数 90%以上

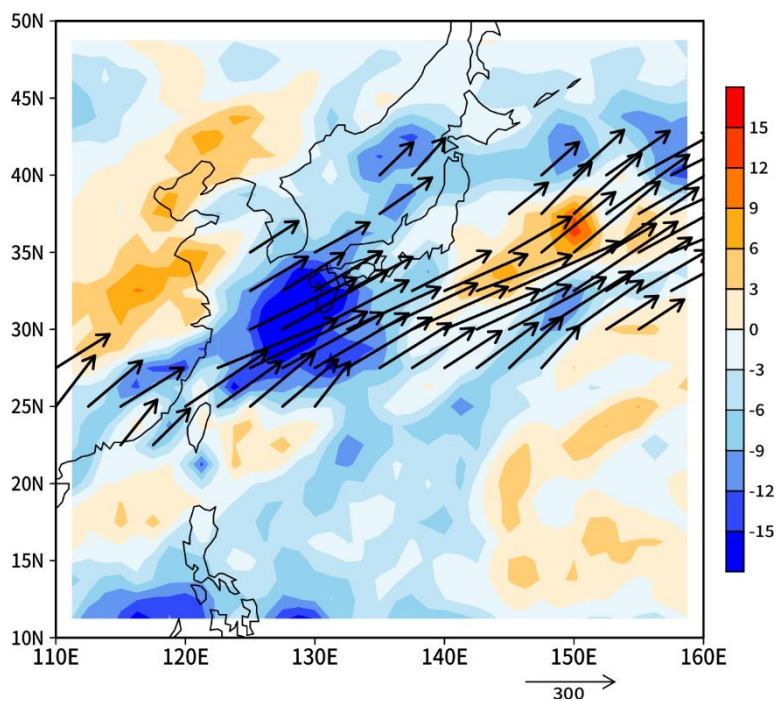


Fig. 9 東谷型における鉛直積算水蒸気フラックス

水蒸気フラックス収束発散の事例平均 ($10^{-5}\text{kg/m}^2/\text{s}$), 収束 (負)・発散 (正)
ベクトル: 水蒸気フラックスの事例平均 (南北成分: $+100$ (kg/m/s) 以上,
東西成分: $+100$ (kg/m/s) 以上のみ)

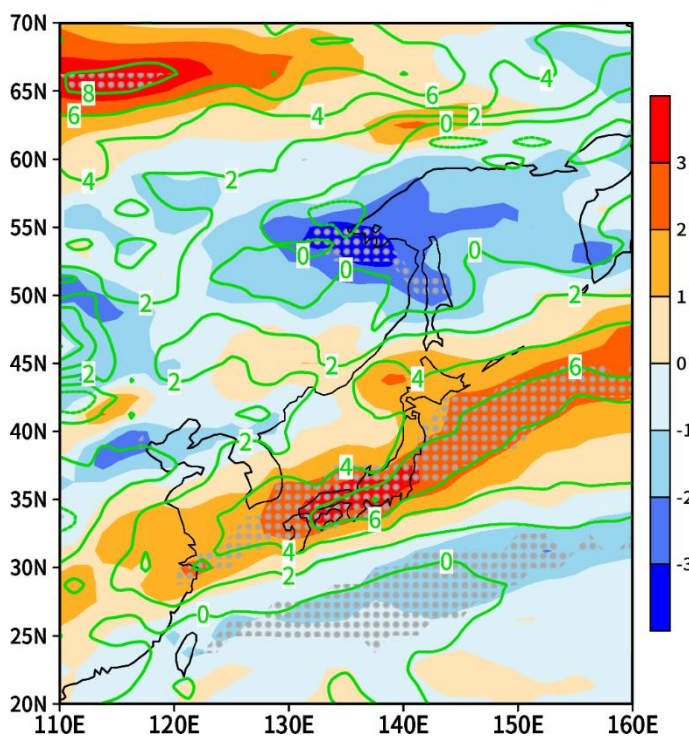


Fig. 10 東谷型における 850hPa の相当温位の南北勾配

陰影: 偏差 (K), 線: 事例平均 (K), 点: 信頼係数 90%以上

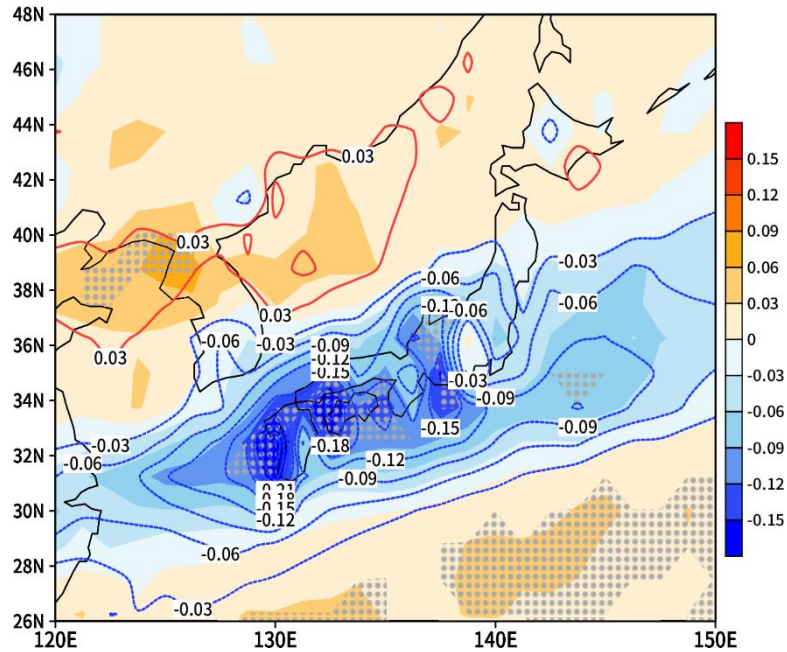


Fig. 11 東谷型における 700hPa の鉛直速度

陰影：偏差 (Pa/s), 下降流 (正), 上昇流 (負),

線：事例平均 (Pa/s), 点：信頼係数 90%以上

4.3.3 両谷型の場合

Fig. 12 のように、西谷型と東谷型の双方の特徴を持ち、亜熱帯ジェット気流と寒帯前線ジェット気流の 2 つの蛇行によってリッジとトラフが存在し、かつ太平洋高気圧の張り出しが有意に存在している事例を「両谷型」と定義した。このとき、西側トラフの低気圧性回転によって下層で暖気移流が卓越していた (Fig. 13)。また、水蒸気フラックスについては平洋高気圧の張り出しに伴う多量の水蒸気が日本の太平洋側海上を中心に流れ込み、広く収束域が存在していることがわかる (Fig. 14)。これらにより、相当温位の南北勾配が日本上空の広域で増加していた (Fig. 15)。以上のことから、梅雨前線帯の対流がより広範囲で強化され (Fig. 16)、豪雨が続いたと考えられる

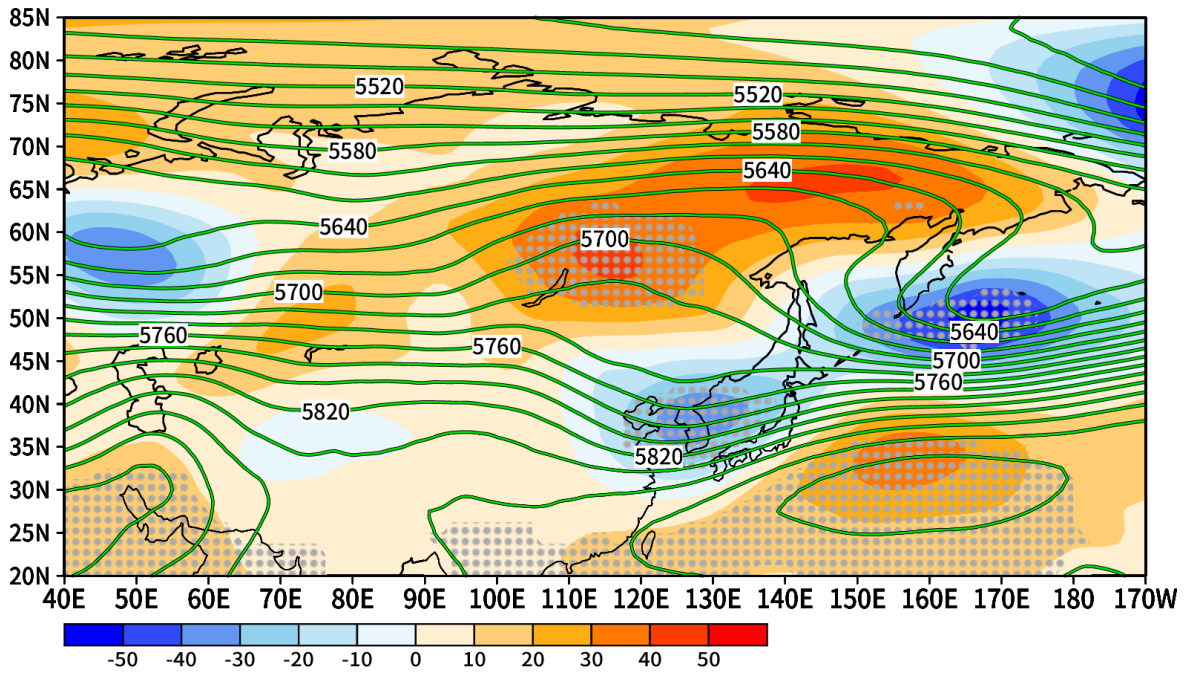


Fig. 12 両谷型における 500hPa ジオポテンシャル高度

線：事例平均 (m)，陰影：偏差 (m)，点：信頼係数 90%以上

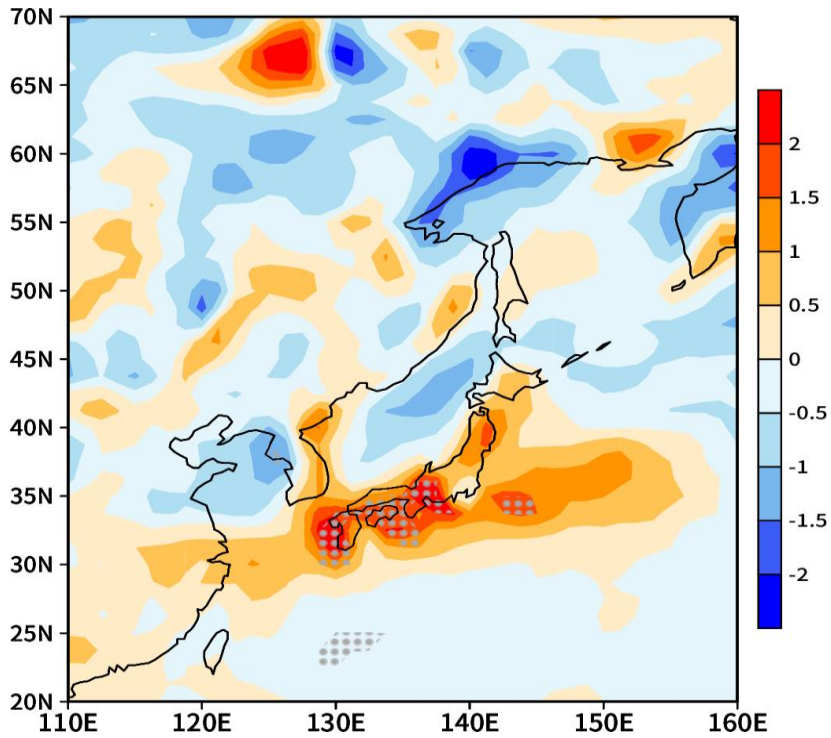


Fig. 13 両谷型における 850hPa 温度移流

陰影：暖气移流 (正), 寒気移流 (負) ($\times 10^{-5}$ K/day)，点：信頼係数 90%以上

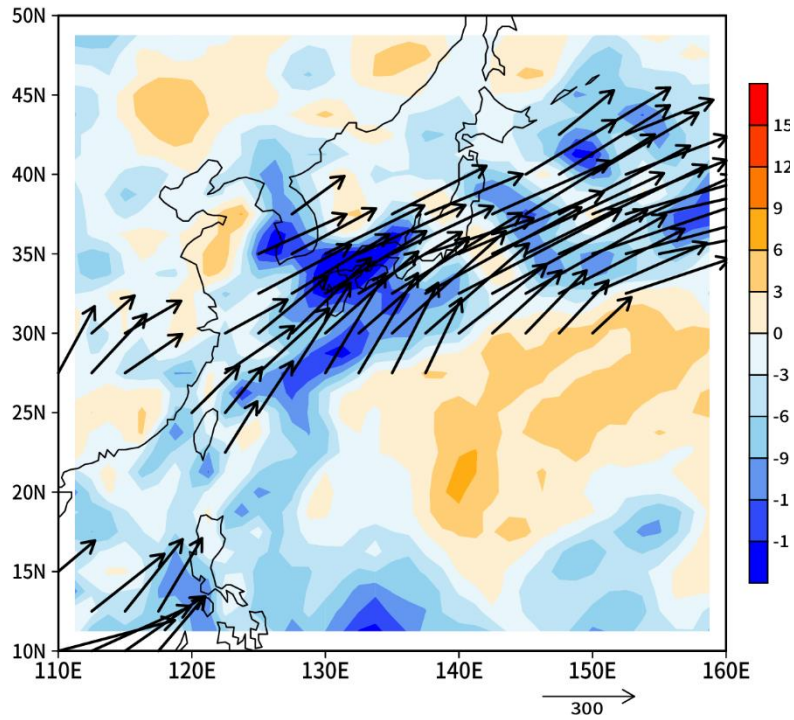


Fig. 14 両谷型における鉛直積算水蒸気フラックス

水蒸気フラックス収束発散の事例平均 ($10^{-5}\text{kg/m}^2/\text{s}$), 収束 (負)・発散 (正)
ベクトル: 水蒸気フラックスの事例平均 (南北成分: $+100$ (kg/m/s) 以上,
東西成分: $+100$ (kg/m/s) 以上のみ)

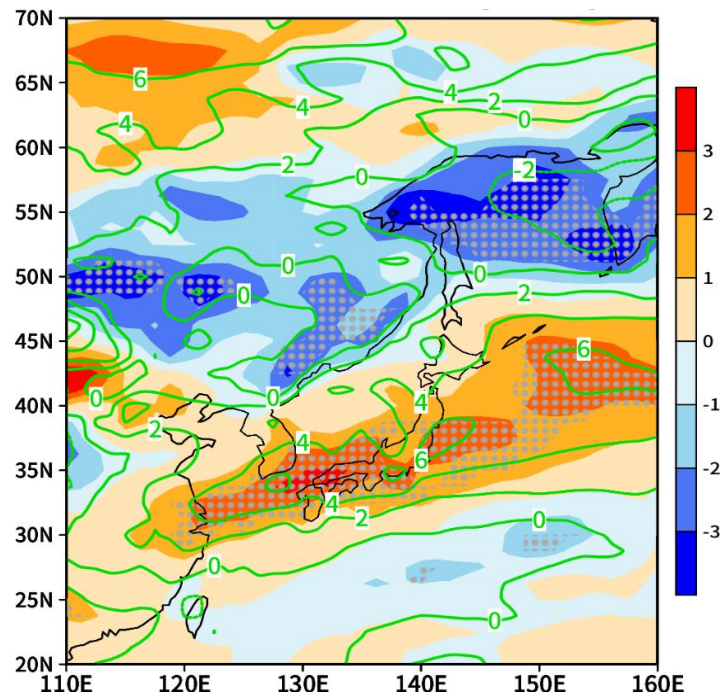


Fig. 15 両谷型における 850hPa の相当温位の南北勾配

陰影: 偏差 (K), 線: 事例平均 (K), 点: 信頼係数 90%以上

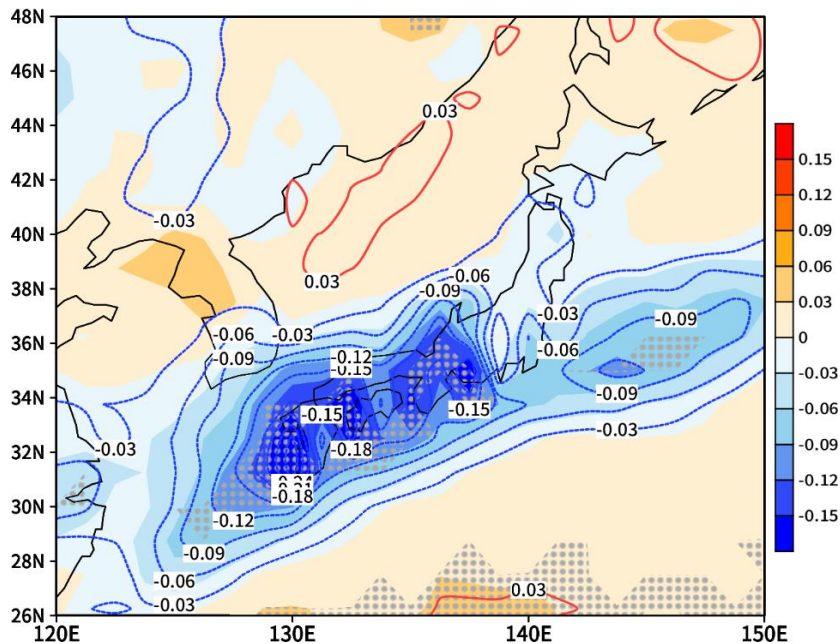


Fig. 16 両谷型における 700hPa の鉛直速度

陰影：偏差 (Pa/s), 下降流 (正), 上昇流 (負),
線：事例平均 (Pa/s), 点：信頼係数 90%以上

4.4 比較結果

4.4.1 各偏西風蛇行パターンの豪雨の特徴（降水量・発生数・期間）の比較

各パターンの発生数, 平均継続日数, 平均事例降水量, 平均日降水量を Table. 1 に示す. また, 降水分布についてもアメダスデータを用いて各パターンにおける平均日降水量分布を作成した (Fig. 17a, 17b, 17c). 西谷型では, 発生数は 27 回と 3 つのパターンの中では最も多いが, 降水量の多い地点は九州と中部の一部だけに分布していた. 一方, 東谷型では, 平均継続期間が長く, 降水量も多い. 降水分布を西谷型と比較すると日本の広域, かつ带状に分布しており, 梅雨前線帯の対流活動がより広範囲で活発化していたと考えられる. また, 両谷型は継続日数や降水量, 降水分布より, 東谷型の影響が強く表れていると考える. 以上のことから, 梅雨前線の南北勾配をより広範囲で強化させる東谷型の方が長期化・降水量増加に影響を与えていることが示唆される.

Table. 1 各偏西風蛇行パターンの広域長期間豪雨の特徴の比較

	発生数 (回)	平均継続日数 (日)	平均事例降水量 (mm)	平均日降水量 (mm)
西谷型	27	4.7	65102.1	14115.8
東谷型	14	7.1	111451.6	16282.4
両谷型	12	6.6	105084.5	16550.3

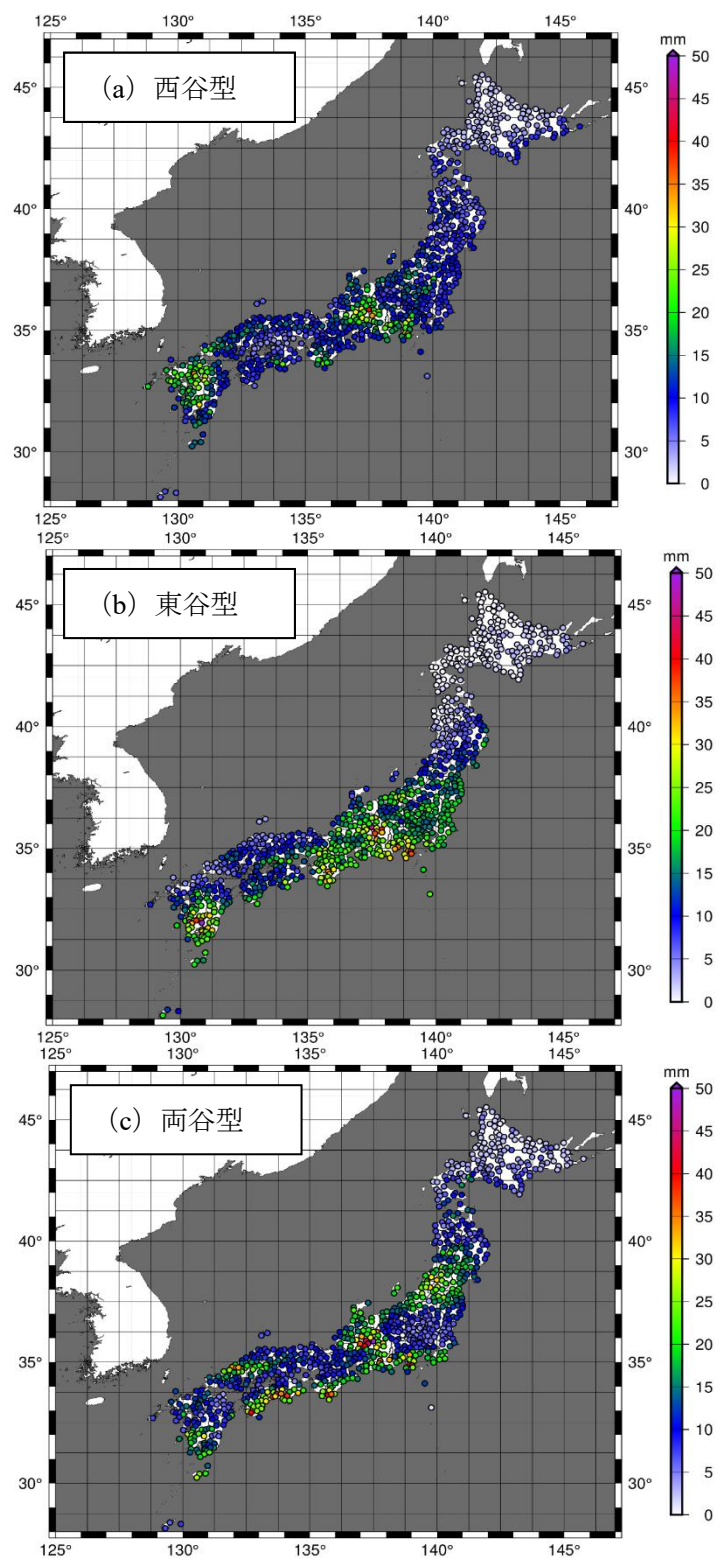


Fig. 17 各蛇行パターンにおける平均日降水量の分布 (mm)
 (a) 西谷型, (b) 東谷型, (c) 両谷型

4.4.2 “広域短期間豪雨”と“広域長期間豪雨”との比較

抽出した“広域短期間豪雨”の15事例のうち東谷型事例が10事例存在していた。そのため、“広域長期間豪雨”の東谷型と“広域短期間豪雨”の東谷型で比較を行い、長期化の原因を探った。

まず、2つの豪雨事例発生日のみで合成図解析を行った。その結果、どちらの豪雨も東谷型の特徴を示し、梅雨前線帯の対流が活発になっていたことがわかる (Fig. 18a, 18b)。

次に、どちらの豪雨事例も発生日から3日間を1事例とみなし、合成図解析を行った。この結果、広域短期間豪雨事例では、日本の北西側のリッジと太平洋高気圧の張り出しが、有意性のある領域が存在せず、一方で、広域長期間豪雨では有意性のある領域が存在していた (Fig. 19a, 19b)。これにより、東谷型のような偏西風蛇行が見られる場合、偏西風の蛇行と太平洋高気圧の張り出しが持続的でないと広域豪雨は短期間で終わると考えられ、広域豪雨の長期化には以下の2つが要因の一部であると考えられる。1つ目は、長期間事例では短期間事例に比べて、蛇行による下層の温度移流 (Fig. 20a, 20b) が持続的に存在していること。2つ目は、太平洋高気圧の張り出しがもたらす水蒸気供給 (Fig. 21a, 21b) はいずれも存在している。しかしながら、短期間事例では、水蒸気が日本海上を流れて収束しているが、長期間事例では、梅雨前線帯である日本上空から太平洋側で水蒸気供給が持続しており、水蒸気の流れと収束する位置が梅雨前線帯の上空から南側であること。以上より、日本上空の相当温位の南北勾配強化 (Fig. 22a, 22b) に伴う対流強化 (Fig. 23a, 23b) のメカニズムの持続が広域豪雨の長期化には重要であると考えられる。

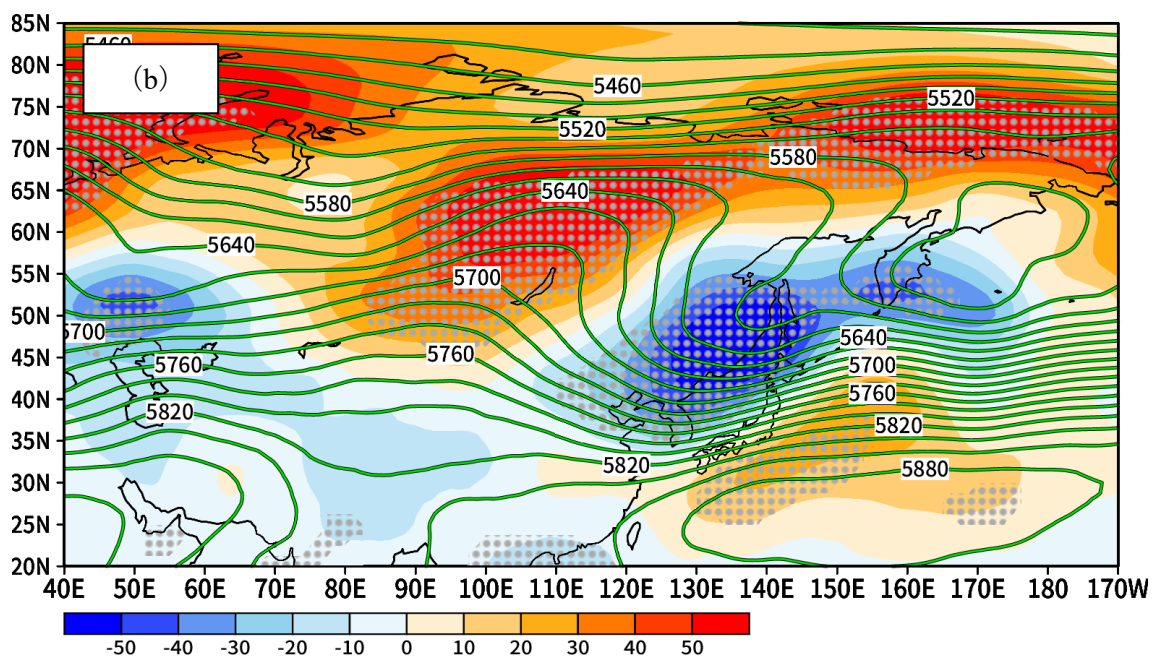
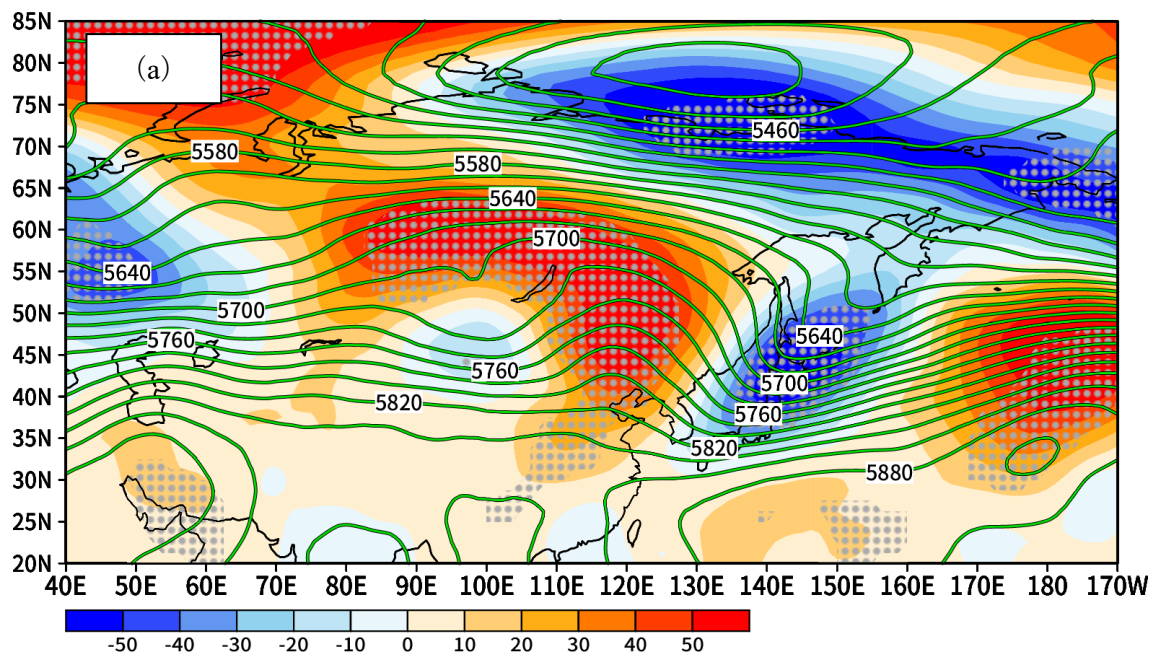


Fig. 18 広域豪雨発生日の 500 hPa ジオポテンシャル高度

(a) 広域短期間豪雨発生日, (b) 広域長期間豪雨発生日

線：事例平均 (m), 陰影：偏差 (m), 点：信頼係数 90%以上

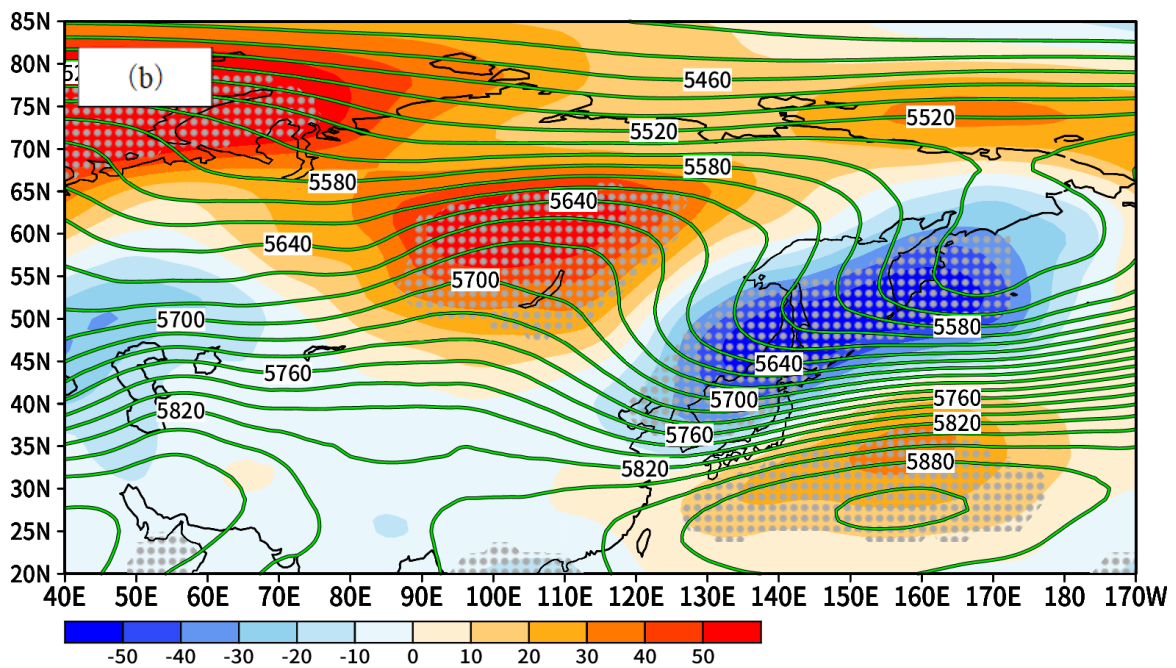
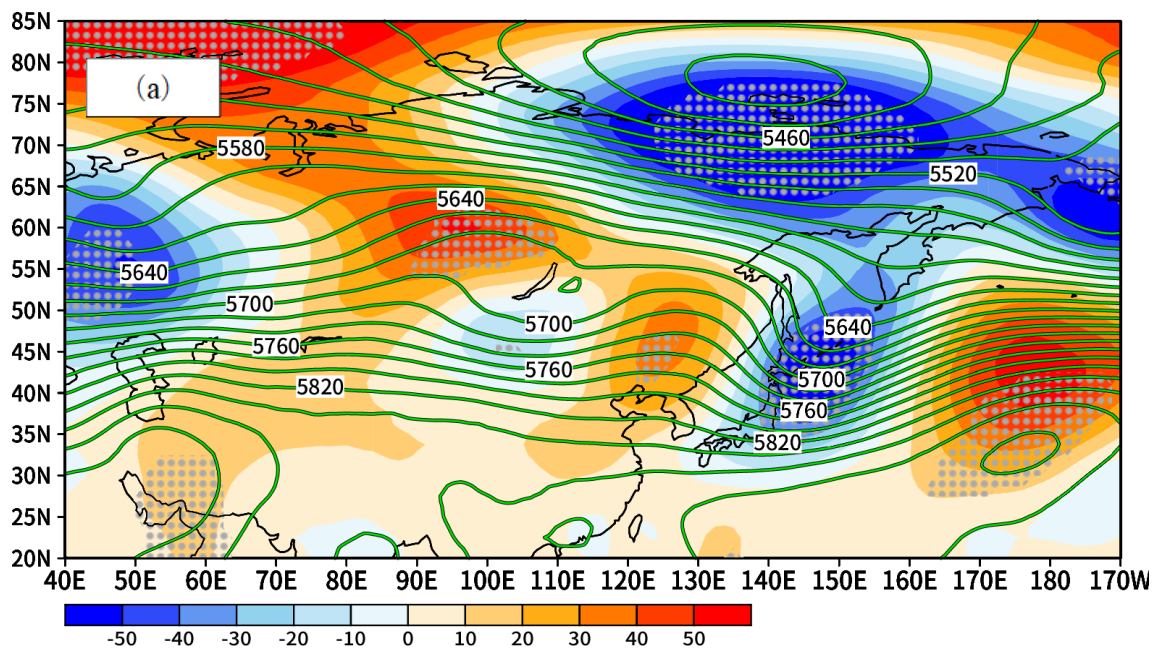


Fig. 19 広域豪雨発生日から3日間の500 hPa ジオポテンシャル高度
 (a) 広域短期間豪雨発生日から3日間, (b) 広域長期間豪雨発生日から3日間
 線: 事例平均 (m), 陰影: 偏差 (m), 点: 信頼係数 90%以上

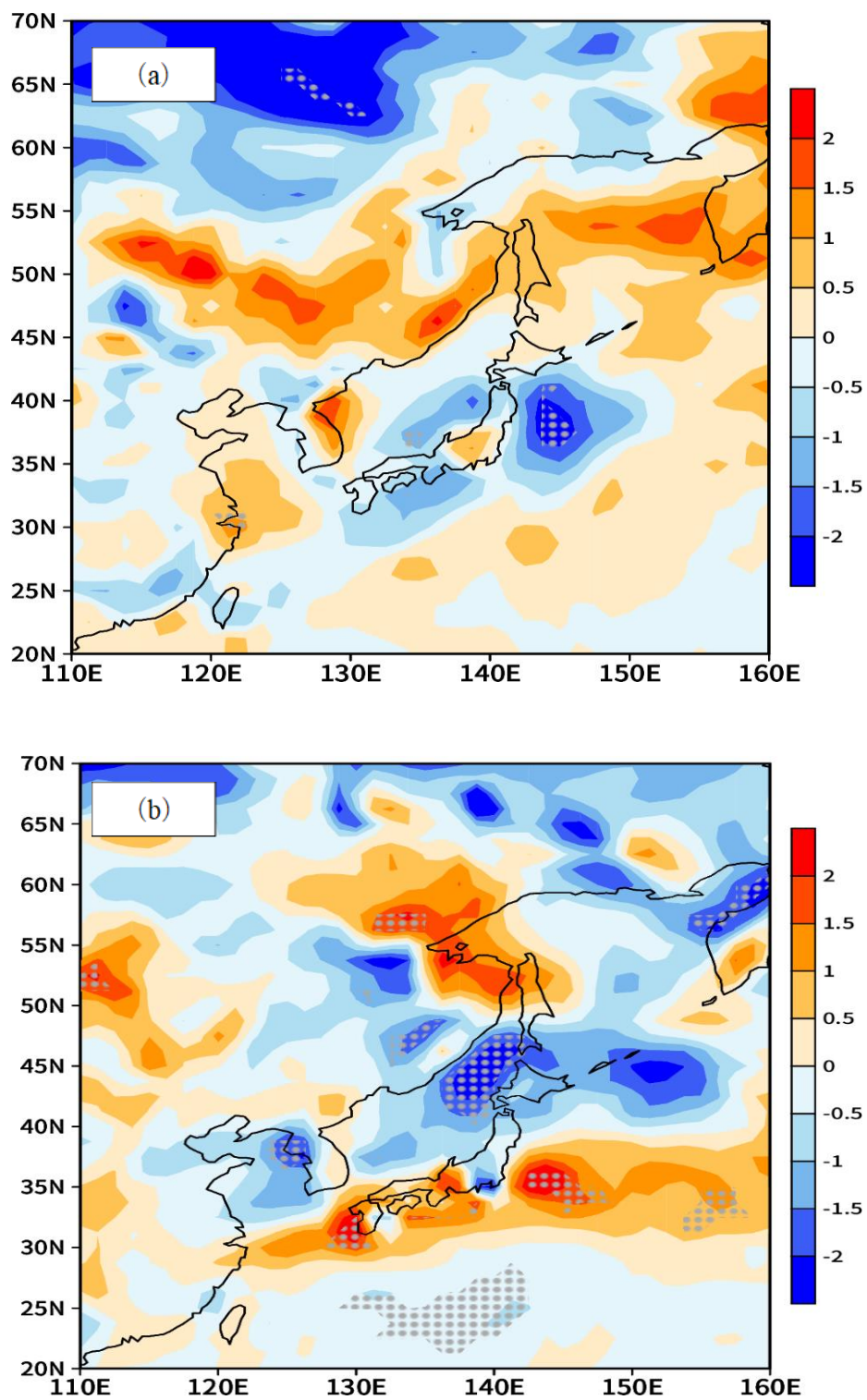


Fig. 20 広域豪雨発生日から3日間の850 hPa温度移流

(a) 広域短期間豪雨発生日から3日間, (b) 広域長期間豪雨発生日から3日間
 陰影: 暖気移流 (正), 寒気移流 (負) ($\times 10^{-5}$ K/day), 点: 信頼係数 90%以上

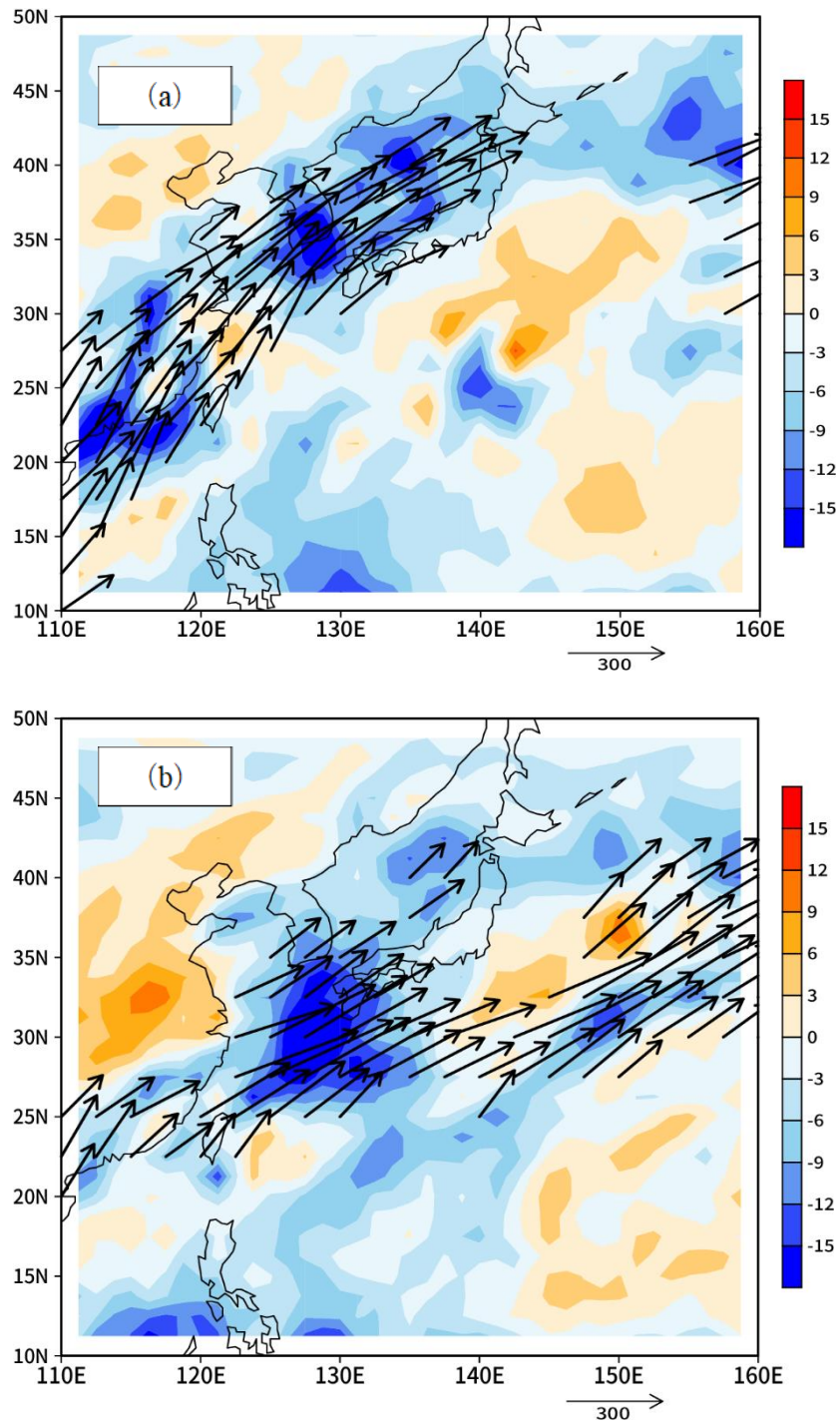


Fig. 21 広域豪雨発生日から3日間の鉛直積算水蒸気フラックス
 (a) 広域短期間豪雨発生日から3日間, (b) 広域長期間豪雨発生日から3日間
 水蒸気フラックス収束発散の事例平均 ($10^{-5}\text{kg/m}^2/\text{s}$), 収束 (負)・発散 (正)
 ベクトル: 水蒸気フラックスの事例平均 (南北成分: $+100$ (kg/m/s) 以上,
 東西成分: $+100$ (kg/m/s) 以上のみ)

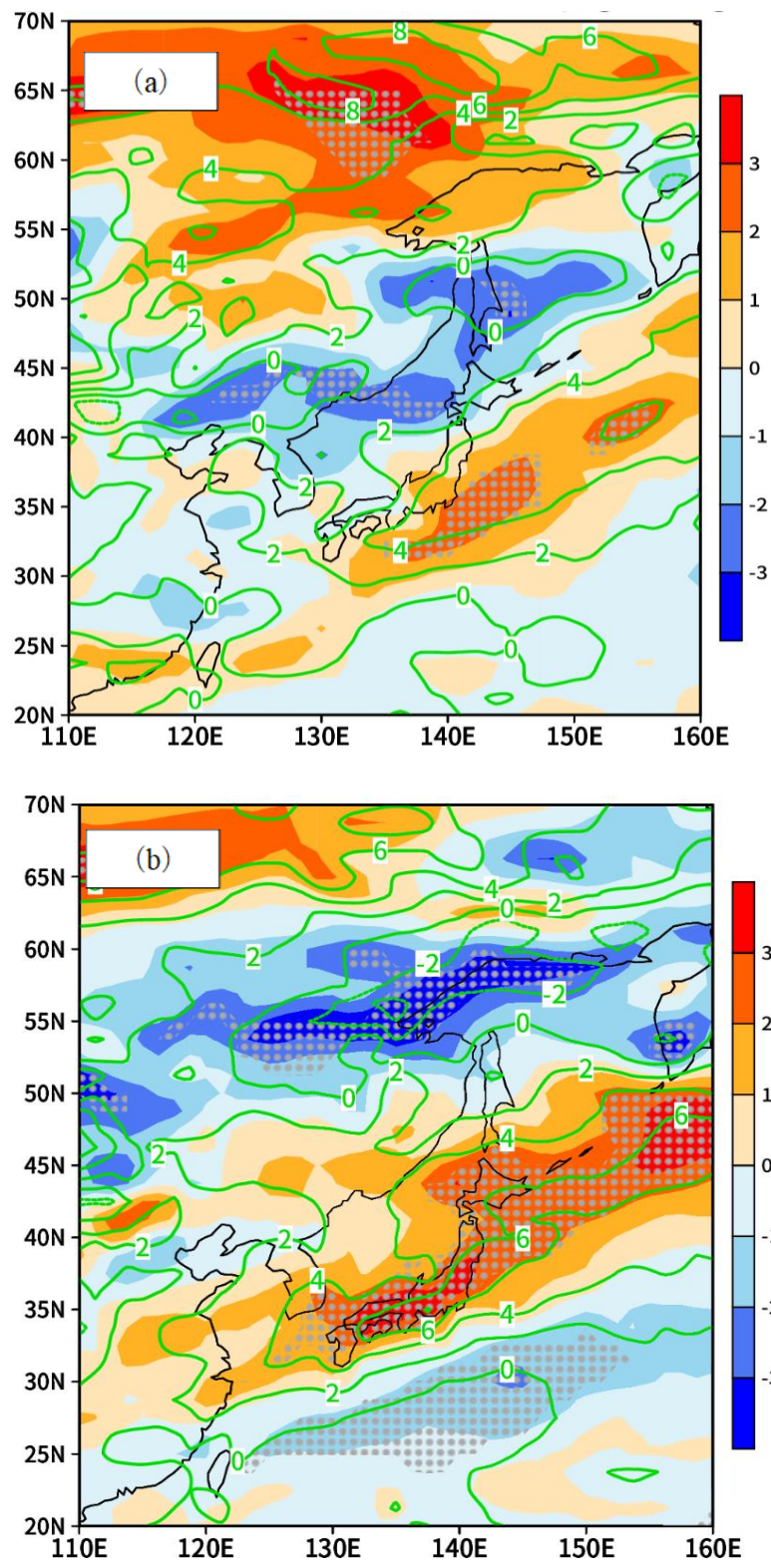


Fig. 22 広域豪雨発生日から3日間の850 hPaの相当温位の南北勾配
 (a) 広域短期間豪雨発生日から3日間, (b) 広域長期間豪雨発生日から3日間
 陰影: 偏差 (K), 線: 事例平均 (K), 点: 信頼係数90%以上

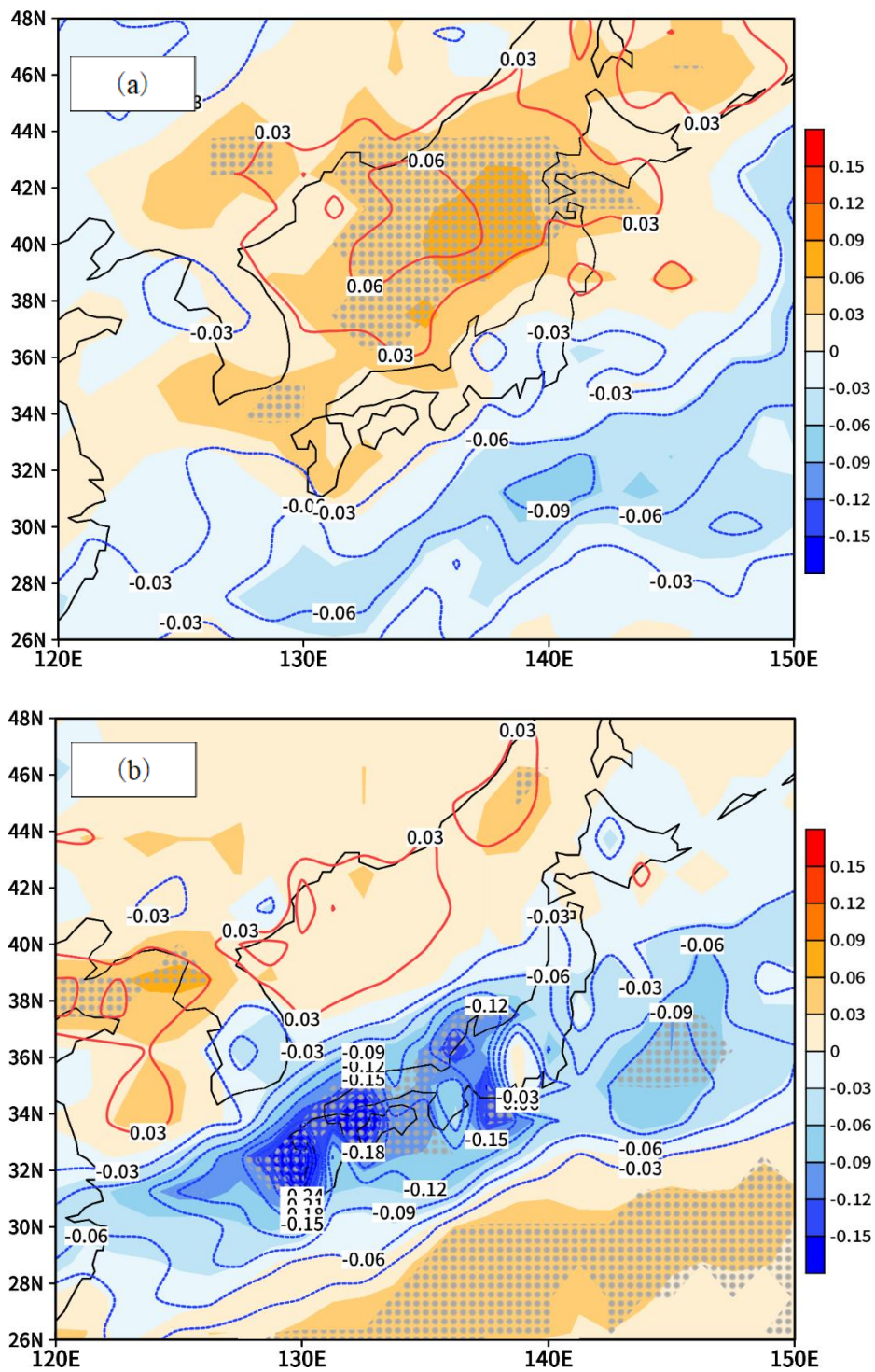


Fig. 23 広域豪雨発生日から3日間700 hPaの鉛直速度
 (a) 広域短期間豪雨発生日から3日間, (b) 広域長期間豪雨発生日から3日間
 陰影: 偏差 (Pa/s), 下降流 (正), 上昇流 (負),
 線: 事例平均 (Pa/s), 点: 信頼係数 90%以上

4.4.3 過去と近年の比較

3つの蛇行パターンで過去（1982-2001）と近年（2002-2021）で発生数・継続期間・降水量の比較を行った。その結果を Table.2 で示す。西谷型では大きな差は見られず、東谷型では近年にかけて発生数が約半分に減少しているが、両谷型では近年にかけて顕著に発生数の増加傾向が見られる。この結果から近年の広域長期間豪雨は亜熱帯ジェット気流と寒帯前線ジェット気流の双方の蛇行が見られるように変化していたと考えられる。実際に、近年の顕著な豪雨事例である平成30年7月豪雨発生時においても顕著に表れていたという先行研究も存在している（Shimpo et al., 2019）。よって、近年では両谷型のような偏西風蛇行パターンの持続が広域長期間豪雨を頻発させている可能性がある。さらに、両谷型では降水量も増加傾向であり、災害をもたらすほどの豪雨の増加にも影響を与えていることが示唆される。

Table. 2 各偏西風蛇行パターンの広域長期間豪雨の特徴における過去と近年の比較

	発生数	平均継続日数	平均事例降水量	平均日降水量
西谷型(過去)	14	4.8	69834.6	14999.6
西谷型(近年)	13	4.6	60005.5	13164.1
東谷型(過去)	9	7.1	110090.7	15831.9
東谷型(近年)	5	7.2	113901.1	14823.6
両谷型(過去)	2	6.5	71720.3	11310.1
両谷型(近年)	10	6.6	111757.4	17598.4

第5章 結論・課題・今後の予定

5.1 広域長期間豪雨の特徴

本研究では、広域長期間豪雨の主要因は梅雨前線であることがわかった。さらに、梅雨前線による広域長期間豪雨は亜熱帯ジェット気流と寒帯前線ジェット気流の2つの偏西風の蛇行パターンによって梅雨前線帯の対流を活発にするメカニズムが異なり、特に東谷型の蛇行が持続している場合、より広域に長期間かつ多量の雨が降ることが示唆された。

5.2 広域豪雨が長期間継続する原因

広域短期間豪雨事例との比較から、偏西風の蛇行と太平洋高気圧の張り出しが持続することが広域長期間豪雨には必要な条件であることが示唆された。偏西風蛇行に伴う温度移流が存在し、太平洋高気圧の張り出しによる水蒸気供給が梅雨前線の位置している日本の上空から南側に持続的に流れ込んでくることで梅雨前線帯の対流を持続的に強化し、広域豪雨を長期化させていると考えられる。

5.3 近年にかけての変化

近年は特に両谷型のような2つの偏西風が蛇行しているパターンの持続が多発し、広域長期間豪雨の降水量と発生数の増加傾向が顕著に見られた。平成30年7月豪雨発生時にも見られていることからこの2つの偏西風蛇行によって、広域に豪雨をもたらす大気場のまま持続していた可能性がある。

5.4 課題・今後の予定

本研究によって広域長期間豪雨の特徴は明らかになりつつあるが、いくつか課題も残されている。

まず、今回の解析では広域長期間豪雨発生時の大気場を中心に解析を行った。しかし、大気駆動による広域長期間豪雨のメカニズムだけでなく、海洋の影響も考慮した解析を行う必要がある。また、豪雨を長期化させる原因の解明については、広域長期間豪雨の発生期間の平均大気場だけでなく、発生日からの時間変化をより詳細に確認する必要がある。

これらの課題に対し、今後は海洋の影響も考慮した時系列変化（広域長期間豪雨の発生・継続・衰退まで）を中心に解析を行う。また、豪雨の長期化に関係すると考えられる要因（例えばブロッキング高気圧など）と、近年にかけての広域長期間豪雨の発生数増加や長期化に影響を与えると考えられる効果（例えば温暖化による海洋からの影響や北極振動との関係性など）についての調査も行う。将来は、広域長期間豪雨が長期間継続する理由と両谷型の降水量と発生数が近年増加傾向である理由の解明を目標に調査していく。

謝辞

本研究を進めるにあたり、立花義裕教授にはテーマ設定から、研究手法、方針、論理の構成等について熱くそして丁寧にご指導いただきました。深く感謝申し上げます。

また、地球環境学教育コースの先生方には合同ゼミを通して、自分の研究の至らないことや研究を進めていく上でのアドバイスについて、たくさんのコメントをいただきました。厚く感謝申し上げます。

気象・気候ダイナミクス研究室の方々にも多大なるご協力を賜りました。研究結果の解釈や論理展開、気象物理の知識についてご指導頂いた春日悟研究員、研究内容に対しプログラミングの技術、多くの専門知識、文章の書き方、スライドの作り方についてご助言を頂いた、竹端光希氏、松田佳奈氏、山中晴名氏、天野未空氏、加藤実紗氏、佐野芳氏、恒川知也氏、山本諒氏に深く感謝します。その他、研究生活を共に頑張ってきた同期をはじめ、発表練習、スライドの確認を3年生の皆様には最後まで付き合ってくださいました。この場を借りて上記全ての皆さまに重ねて感謝いたします。

参考引用文献

- Shibuya, R. et al., 2021: Dynamics of Widespread Extreme Precipitation Events and the Associated Large-Scale Environment Using AMeDAS and JRA-55 Data, *Journal of Climate*, **34(22)**, 8955-8970. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-21-0064.1>
- Kato, T., 2020: Quasi-Stationary Band-Shaped Precipitation Systems, Named “Senjo-Kousuitai”, Causing Localized Heavy Rainfall in Japan, *J. Meteor. Soc. Japan*, **98(3)**, 485-509. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2020-029>
- Goto, Y, and Satoh, M., 2022: Statistical Analysis of “Senjo-Kousuitai” in East Asia and Characteristics of Associated Large-scale Circulations in the Baiu season, *SOLA*, **18A**, 15-20. <https://doi.org/10.2151/sola.18A-003>
- Hatsuzuka, D. et al., 2022: Verification of Forecasted Three-Hour Accumulated Precipitation Associated with “Senjo-Kousuitai” from Very-Short-Range Forecasting Operated by the JMA, *J. Meteor. Soc. Japan*, **100(6)**, 995-1005. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2022-052>
- Kobayashi, S. et al., 2015: The JRA-55 Reanalysis: General Specifications and Basic Characteristics, *J. Meteor. Soc. Japan*, **93**, 5-48. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2015-001>
- Harada, Y. et al., 2016: The JRA-55 Reanalysis: Representation of Atmospheric Circulation and Climate Variability. *J. Meteor. Soc. Japan*, **94(3)**, 269-302. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2016-015>
- Shimpo, A. et al., 2019: Primary factors behind the Heavy Rain Event of July 2018 and the subsequent heat wave in Japan, *SOLA*, **15A**, 13-18. <https://doi.org/10.2151/sola.15A-003>
- 津口 裕茂・加藤 輝之. 2014: 集中豪雨事例の客観的な抽出とその特性・特徴に関する統計解析, *天気*, **61(6)**, 455-469.
- 小川 肇・松本 淳. 1987: 日本の六季. 松井 健. 小川 肇編著: 『日本の風土』平凡社, 21-40.
- 気象庁 HP | 災害をもたらした気象事例
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/index.html>
- 北本 朝展 @ 国立情報学研究所(NII) HP | デジタル台風：1883年～2023年の天気図リスト
<http://agora.ex.nii.ac.jp/cgi-bin/weather-chart/calendar.pl?lang=ja>

付録

付録1 広域長期間豪雨の判断について

Fig. 1-1 は広域長期間降雨事例から広域長期間豪雨事例を抽出時に使用したグラフである。災害をもたらした気象事例かつ広域長期間降雨である事例のほとんどは日平均降水量が 1 万 mm 以上である。この降水量を超える雨が日本で降るとき豪雨としている。

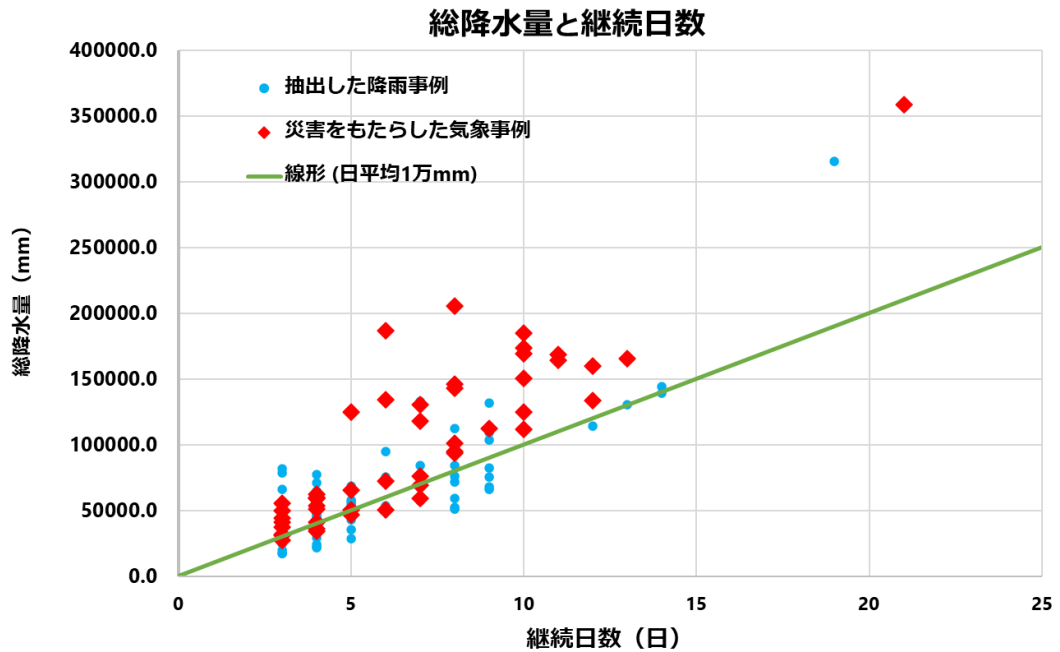


Fig. 1-1 広域長期間降雨事例と災害をもたらした気象事例の降雨日数と総降水量
縦軸：事例総降水量，横軸：広域長期間降雨事例の継続日数