シンポジウム「線状降水帯に関する研究の最前線と今後の展望」 ~ メカニズム解明、観測、予測の現状と将来 ~



川村隆一 九州大学大学院理学研究院

4. 梅雨とは何か
 2. 豪雨をもたらす大気循環場の多様性
 3. 同位体水文学からみた梅雨と線状降水帯
 4. 九州地方の梅雨に準4年変動が顕在化
 5. 黒潮SSTと線状降水帯
 6. おわりに



2022年5月19日

於気象庁

## 1. 梅雨とは何か

#### 1

#### 対流圏下層

- ・春から夏にかけて海陸間の温度差が拡大
- ・日本付近で気圧の東西勾配が強化
- 低緯度モンスーン地域から中緯度傾圧帯
  ヘビ洞気があっ
- へ暖湿気流が流入

#### 対流圈上層

・日本付近に弱い気圧の谷が存在 (チベット高原の山岳効果など)

両者の複合効果で、準定常的な降水帯が形成される。これを梅雨と呼んでいる。

# Note:

梅雨は、春から夏へ季節が移行する過程 で海陸間の温度差によってもたらされる、 短期間(40日程度)の雨季といえる。言 い換えれば、モンスーンと中緯度偏西風の 両システムが結合したハイブリッド現象 (hybrid monsoon)と捉えることもでき る。

水平風の鉛直シアが大きい中緯度傾圧帯 へ多量の水蒸気が流入する環境場が、必然 的に線状降水帯の発生頻度や地理的分布を 規定している。



図1. 平成30年7月西日本豪雨時の大気循環場の特徴(Shimpo et al. 2019)

梅雨を形成する各因子(上層トラフ,太平洋高気圧,オホーツク海高気圧等)がより顕在 化すれば,平成30年7月西日本豪雨,令和3年8月豪雨のような広域災害がもたらされる.

# - 2つの九州北部豪雨の発生環境場との比較 -

平成29年(2017年)

①大陸からブロッキング高気圧が南下・停滞している状況で、②太平洋高気圧が強化

多量の水蒸気が九州地方へ流入(事例数少ない)

# 05Jul.2017 - 05Jul.2017

# 平成24年(2012年)

低気圧が発達しながら梅雨前線帯を東進 ↓ 太平洋高気圧との気圧傾度が増大し、多量の 水蒸気が九州地方へ流入(事例数多い)

11Jul.2012 - 11Jul.2012



2017年7月5日(左図)と2012年7月11日(右図)の850hPa面の流線関数(等値線),外向長波放射量 (OLR:陰影)の空間分布(気象庁異常気象分析Webより).流線関数の等値線間隔が狭いほど等値線に平行な 風速成分が増大する.

## 2. 豪雨をもたらす大気循環場の多様性

- 朝倉の過去の豪雨と大気循環場との関係 -



#### 表1.1 朝倉の過去の豪雨事例.

順位	年	月	Ξ	日降水量
1	2017	7	5	516
2	2016	6	22	214.5
3	1990	6	15	210
4	2014	7	3	195
5	2007	7	2	194
6	1995	7	2	180
7	2012	7	13	176.5
8	2010	7	14	157.5
9	1986	7	10	155
10	2009	7	26	155
11	1976	6	22	153
12	1983	7	16	153
13	2012	7	14	152
14	2006	7	20	150
15	2010	7	13	149
16	1991	6	10	147
17	2009	7	25	138
18	1982	7	24	136
19	2012	7	20	136
20	1988	6	2	135

梅雨前線帯付近を発達しながら東 進する低気圧(BFD) + 太平洋高気圧西端のリッジの強化

水平気圧傾度が強まり、東シナ海 経由で低緯度域から九州地方への 多量の水蒸気の流入が促進される

梅雨末期に九州地方を中心として 集中豪雨が発生した過去事例に非 常に多くみられる特徴である (<u>平成24年7月九州北部豪雨</u>, <u>令和2年7月熊本豪雨</u>はその極端 事例)

朝倉の過去の大雨イベント日 (日降水量100mm以上)に おける日平均海面更正気圧 (SLP)の合成図(等値線) 及び合成偏差図(陰影). JRA-55データを使用. 九州地方の梅雨期の集中豪雨発生時に、今回(<u>平成29年7月九州</u> 北部豪雨)のような大気循環場が 形成されることは過去事例におい て稀有であった(合成図からは見 えてこない)



## 2. 豪雨をもたらす大気循環場の多様性

- 2つの九州北部豪雨の発生環境場との比較 -



(上段)2017年7月5日15時の950hPa面の水蒸気フラックス(左図)と水蒸気混合比(右図)の空間分布. (下段)上段と同じ、ただし2012年7月12日3時.JMA MSMデータに基づく.

### 2. 豪雨をもたらす大気循環場の多様性



## 3. 同位体水文学からみた梅雨と線状降水帯



Fig. 1. Partition of tagged-water source regions. Different colors denote different origins.

- ・梅雨がオンセットすると、インド洋起源 の水蒸気が増加する傾向
- ・梅雨明けを迎えると、太平洋起源の水蒸 気に置き換わる
- ・水蒸気起源の急激なreplacementから梅 雨期を定義することが可能

# Note:

梅雨期間中、水素同位体比( $\delta^2$ H)は低い 値を示す. インド洋起源の水蒸気の $\delta^2$ Hは、 モンスーン気流によって長距離輸送される 過程で、rain-out processes によって低く なる.

Western Eurasia Eastern Eurasia Sea of Japan North Pacific Ocean East Pacific Ocean Pacific Ocean South Pacific Ocean Kuroshio Area Philippine Sea East China Sea South China Sea China Indochina Tibetan Plateau Indian Subcontinent Western Asia-Sahara Southern Africa Southern Indian Ocean Arabian Sea Bay of Bengal Maritime Continent

Northern Eurasia

## 降水の安定同位体比をトレーサー とした水蒸気起源解析から梅雨の 動態を調査

例) 同位体循環モデル (Yoshimura et al. 2003) で評価された富山市の2010年夏季 の可降水量変動を起源別に示す



図4. (上図)富山市における2010年夏季の可降水量変動(棒グラフ). 水蒸気起源別に色を変えている. 実線は水素同位体比(δ<sup>2</sup>H)の変化. (下図)日降水量の推移.

## 3. 同位体水文学からみた梅雨と線状降水帯

同位体領域気象モデル(IsoRSM)を用いて 令和2年7月熊本豪雨の線状降水帯を再現

50N

06UTC03JUL

Li et al., in revision



•アジアモンスーン起源の流入高度は900-800 hPa付近(凝結量 に占める割合:61%)

・フィリピン海・太平洋起源の流入は900 hPa以下の大気境界層に 限定(凝結量に占める割合:28%)

・ 起源別に見ると、 線状降水帯への水蒸気の流入経路や流入高度が 大きく異なっている



図5. 2020年7月4日5時における可降水量, 凝結量, 水蒸気フラックスの空間分布. 上段: (a)可降水量(陰影), 凝結量(赤線), SLP(黒線), 水蒸気フラックス(ベクトル)の水 平分布. (b) 南シナ海・インド洋・アジア大陸起源のみ. (c) フィリピン海・太平洋起源のみ. (d) 東シナ海・黒潮・日本海起源のみ. 中段:線状降水帯を横切る比湿, 温位の経度-高度 断面図,下段:同じく比湿,温位の緯度-高度断面図。

線状降水帯の新しい描像が見えてくることを期待したい。。

### 4. 九州地方の梅雨に準4年変動が顕在化

今世紀に入って、梅雨降水量は年によって大きく変動する不安定期が続いている



Fujiwara and Kawamura (2022)

1980年代~1990年代は降水量変動の振幅は非常に小さい(大冷夏の1993年は例外)

## 4. 九州地方の梅雨に準4年変動が顕在化



850hPa流線関数(等値線)、降水量(陰影)、水蒸気フラックス(ベクトル)の合成偏差図. (a)多雨年, (b)少雨年, (c) 差(a)-(b)



図7.(上段)200hPa速度ポテンシャル(等値線)と降水量(陰影)の合成偏差図.(中段)850hPa流線 関数(等値線)と降水量(陰影)の合成偏差図.(下段)SST合成偏差図.左(右)の列は多雨年(多雨年 の前の冬).

2000年以降についてGSMaPの線形トレンドの除去後に多雨年(HPY),少雨年(LPY)を抽出して合成偏差図を作成



## 4. 九州地方の梅雨に準4年変動が顕在化

#### インド洋、西太平洋間のWalker循環偏差を表す指標を200hPa,850hPa速度ポテンシャル から定義: IPOC index



IPOC indexに基づく回帰係数分布.(上段)850hPa高度(等値線)と水蒸気フラックス(ベクトル).(下段)水蒸気フラックス 収束(陰影). 左列は期間1(1982-2001年),右列は期間2(2002-2021年).p値が0.05未満の領域のみ陰影.

## 5. 黒潮SSTと線状降水帯



975hPa水平風ベクトル(CNTL)も併せて示す.

Kawano and Kawamura (2022)

黒潮域の大気海洋相互作用を理解し、線状降水帯へのインパクトを定量的に明らかにしていく必要

### 6. おわりに

・多岐にわたる大気現象の階層構造と同様に、梅雨にも個々の対流セル、メソス ケールの線状降水帯、総観スケールの梅雨前線帯、ラージスケールでみたhybrid monsoonという階層構造が存在する。

・梅雨降水量の年々変動は今世紀初頭から不安定期に移行している。年々変動と 個々の豪雨災害の発生頻度や規模は必ずしも1対1に対応しないが、温暖化による 降水量のかさ上げ効果と相俟って、不安定期の存在が近年の豪雨頻発の背景にある ことは間違いないだろう。

#### 今後の課題

 不安定期が今後も続くのかという問題は中長期的な減災の観点からも季節予報の 観点からも大変重要である。

・IPOC modeの遠隔強制とアジアジェットとの間にどのような非線形相互作用が生じているのだろうか?

 ・同位体水文学のアプローチを線状降水帯にも適用することで新しい描像(更なる 理解)を得ることができるだろうか?

・降水量極大域と黒潮の流軸は重なっているが、黒潮の影響はよくわかっていない.

#### 今後の期待

・<u>新学術領域研究「変わりゆく気候系における中緯度大気海洋相互作用hotspot」</u> (領域代表:野中正見)では、今年の梅雨期に東シナ海で船舶による大気海洋相互 作用の観測を実施する予定である。既に気象庁が実施中の線状降水帯予測精度向上 のための東シナ海上の集中観測と連携することで、線状降水帯に関する更なる研究 成果が得られることを期待したい。