

## 自己組織化マップを用いた南九州で豪雨をもたらした気象場パターンの分類

朝位, 孝二  
山口大学大学院創成科学研究科

白水, 元  
山口大学大学院創成科学研究科

西山, 浩司  
九州大学大学院工学研究院環境社会部門

<https://hdl.handle.net/2324/7183019>

---

出版情報 : Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering). 77 (1), pp.111-123, 2021. Japan Society of Civil Engineers  
バージョン :  
権利関係 : © 2021 Japan Society of Civil Engineers



# 自己組織化マップを用いた南九州で豪雨をもたらした気象場パターンの分類

朝位 孝二<sup>1</sup>・白水 元<sup>2</sup>・西山 浩司<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 山口大学教授 大学院創成科学研究科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)  
E-mail: kido@yamaguchi-u.ac.jp (Corresponding Author)

<sup>2</sup>正会員 山口大学助教 大学院創成科学研究科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)  
E-mail: shiro@yamaguchi-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 九州大学助教 大学院工学研究院環境社会部門 (〒819-0395 福岡市西区元岡744)  
E-mail: nisyama@civil.kyushu-u.ac.jp

本研究では、自己組織化マップを 1954 年～2020 年の気象データに適用して、南九州地方の気象場のパターン分類を行った。32,696 個の気象場をユニット数 900、グループ数 55 に分類した。また 2006 年～2020 年の解析雨量を用いて各ユニットにおける豪雨頻度を算出した。その結果、台風による豪雨災害はマップ上で比較的固まって分類された。一方、梅雨前線による豪雨災害はマップ上で幅広く分類された。また、球磨川流域での豪雨災害と鹿児島県での豪雨災害は異なるグループに分類されることが分かった。熊本県人吉地方に水害をもたらした令和 2 年 7 月豪雨と昭和 40 年 7 月豪雨の日時に対するマップ上の挙動を比較すると、両者は異なる挙動を示すが、豪雨が最も激しかった時間帯ではどちらも同じ気象パターンであったことがわかった。

**Key Words :** Self-Organizing Map, heavy rainfall disaster, South Kyushu, 2020 Kyushu floods

## 1. はじめに

2020 年 7 月 4 日未明から朝にかけて熊本県南部で局地的に豪雨（令和 2 年 7 月豪雨）が発生し、球磨川の氾濫によって大規模な浸水が発生した。肥薩線の鉄橋が流され、球磨村では 25 人、人吉市では 20 人が死亡するなど大きな被害が出た<sup>1)</sup>。前日の 3 日夕方時点で気象庁は、熊本県内の 4 日 18 時までの 24 時間雨量の予想を「多いところで 200mm」と発表していたが、実際には 400mm を超えた<sup>2)</sup>。事前にこの豪雨を予測することができなかったために準備や避難が遅れ、被害が大きくなってしまった。住民に危機意識を共有し、迅速な避難行動を後押しするためにも事前の予測は大切であるが、今回のような線状降水帯でもたらされる豪雨の予測は難しい。

また豪雨災害が発生するたびに詳細な調査が行われ災害毎の資料は豊富である。その一方、豪雨災害事例間の類似性の議論は少ないように思われる。類似性の検討は同種の気象災害の再現性の検討であり気象災害を理解する上で重要と思われるが、複雑で大量にある気象パターンの分類が簡単ではないために、これまで類似性の議論が十分に行われなかったと思われる。

気象パターンの分類方法として自己組織化マップ (Self-Organizing Map: SOM) が有力な手法である。SOM はフィンランドの研究者、Kohonen が開発した AI 手法の一つであり、教師なし学習を行う位相保存写像の一種と位置付けられる<sup>3,4)</sup>。高次元のデータセットに対して SOM ではデータ分布の位相構造を保存しつつ低次元空間へ写像する。特に 2 次元空間（すなわち平面）への写像は、データ分布が地図のように可視化される。この地図を利用して種々のデータマイニングが行われる。

気象場においても多くの適用例がある<sup>5,6,7,8,9)</sup>。とりわけ、西山らは北部九州・中国地方で気象災害をもたらした気象場のパターン分類を行っている<sup>8)</sup>。この研究では 2018 年に発生した西日本豪雨災害に着目しており、このときの気象パターンと他の北部九州・中国地方で発生した豪雨災害時の気象パターンを分類し検討を行っている。しかしながら、彼らの SOM は北部九州を中心に気象場の解析対象領域を設置して作成されている<sup>8)</sup>。南九州で豪雨災害を引き起こした気象場の分類には、南部九州を中心に気象場の解析対象領域を設置するのが合理的と考えられる。

そこで本研究では、球磨川の氾濫を引き起こした令和

2年7月豪雨災害に着目し、南九州で発生した豪雨災害を引き起こした気象場パターンを理解することを目的に、SOMを用いて気象場パターンの分類を行った。

## 2. SOMの概要

### (1) SOMのアルゴリズム

ここでは簡単に SOM のアルゴリズムについて述べる。図-1 に示すように SOM は入力層と出力層（競合層とも呼ばれる）からなる二層の教師なしのニューラルネットワークである。入力層には式(1)で表される  $N$  個の  $n$  次元ベクトル  $\mathbf{x}$  を入力する。

$$\mathbf{x}_j = (x_{j1}, x_{j2}, x_{j3} \cdots x_{jn}), (j=1, 2, 3 \cdots N) \quad (1)$$

出力層は  $K$  個のユニット  $u$  からなる二次元平面である。 $i$  番目のユニット  $u_i$  には参照ベクトル  $\mathbf{m}_i$  が定義されており、次式で表される。

$$\mathbf{m}_i = (m_{i1}, m_{i2}, m_{i3} \cdots m_{in}), (i=1, 2, 3 \cdots K) \quad (2)$$

参照ベクトルは出力層のユニット  $u$  の特徴を表す  $n$  次元ベクトルである。マップ完成後の参照ベクトルはユニット  $u$  のパターンを表現する。

マップ作製のアルゴリズムは以下の通りである。最初に入力ベクトルの正規化と参照ベクトル  $\mathbf{m}_i$  の初期化が行われる。ある入力ベクトル  $\mathbf{x}_j$  に対してすべてのユニットの参照ベクトル  $\mathbf{m}_i$  とのユークリッド距離  $\|\mathbf{x}_j - \mathbf{m}_i\|$  が計算され、その中で最もユークリッド距離が小さくなる参照ベクトルを選択する。このときのユニットは勝者ユニットと呼ばれ、通常  $c$  の添え字で表す。

勝者ユニット  $u_c$  およびその周辺のユニットの参照ベクトル  $\mathbf{m}_i$  は次式によって更新されていく。

$$\mathbf{m}_i(t+1) = \mathbf{m}_i(t) + h_{ci}(t_e, \|\mathbf{r}_c - \mathbf{r}_i\|) [\mathbf{x}_j(t) - \mathbf{m}_i(t)] \quad (3)$$

$$h_{ci}(t_e, \|\mathbf{r}_c - \mathbf{r}_i\|) = \alpha(t_e) \exp\left(-\frac{\|\mathbf{r}_c - \mathbf{r}_i\|^2}{2\sigma(t_e)}\right)$$

ここで、 $t$  は学習ステップ数、 $t_e$  は後述の epoch 数、 $\mathbf{r}_c$ 、 $\mathbf{r}_i$  はそれぞれ勝者ユニットと各ユニット  $i$  の位置ベクトルである。 $h_{ci}$  は近傍関数と呼ばれ、ここでは正規分布を仮定した。学習率  $\alpha(t_e)$  と近傍半径  $\sigma(t_e)$  はそれぞれ式(4)と式(5)を仮定した。初期値  $\alpha(0)$  と  $\sigma(0)$  はそれぞれ 0.2 と 13 である。ここで  $T_e$  は epoch 数の最大値（最大学習回数）である。

$$\alpha(t_e) = \max\left\{\alpha(0)\frac{T_e - t_e + 1}{T_e}, 0.005\right\} \quad (4)$$

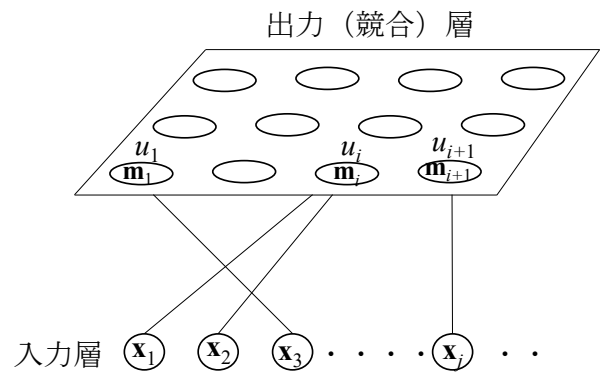


図-1 SOMの概念図

$$\sigma(t_e) = \max\left\{\sigma(0)\frac{T_e - t_e + 1}{T_e}, 1.1\right\} \quad (5)$$

式(3)は、勝者ユニットから離れるにつれて修正の程度が弱くなる。また、学習が進むほど学習率と近傍半径は小さくなり近傍関数による修正の程度が弱くなる。

同様の操作を他の入力ベクトルに対して行い、参照ベクトルが更新される。すべての入力ベクトルに対して同様の操作が終われば学習 1 回目が終了（1 epoch）とする。さらに同様の手順を所定の学習回数  $T_e$  まで実行する。1 epoch の入力ベクトルの学習が終わるまで同じ近傍関数が与えられる。本研究では  $T_e$  は 50 に設定した。学習終了後には入力ベクトルは類似の特徴を持つユニットに分類されている。性質が類似しているユニット間は近距離に配置され、性質が異なるユニット間の距離は遠くなる。

### (2) 気象場対象領域とデータセット

本研究では図-2 中の赤い菱形の点で示している 16 地点の気象要素で南九州の平面的な気象場を表現する。各地点の座標（緯度、経度）を表-1 に示している。前線系の豪雨に着目するため西山ら<sup>8)</sup>に倣って、対流活動が活発となる 850hPa（高度 1,500m 付近）における東西方向の風速、南北方向の風速および可降水量の 3 要素を用いる。入力データの次元は 3 要素×16 地点で 48 次元のベクトルとなる。

緯度経度 2.5 度間隔の NCEP/NCAR 再解析データから 1954 年から 2020 年までの 67 年間で前線系の降雨が活発となる 6 月 1 日から 9 月 30 日までのデータを用いた。なお、気象場データは 6 時間間隔（1 日 4 回）である。データ個数  $N$  は 32,696 個となる。本研究では球磨川の氾濫を引き起こした 1954 年（昭和 29 年）9 月の台風 12 号の豪雨事例を含むようにした。

西山らや朝位らのマップ<sup>8,9)</sup>と同様に、SOM 構築後のユニットに豪雨の頻度を対応づける。これにより、あるユニットの気象パターンが豪雨を引き起こしやすい気象パターンであるかどうか容易に判別できる。図-3 に点

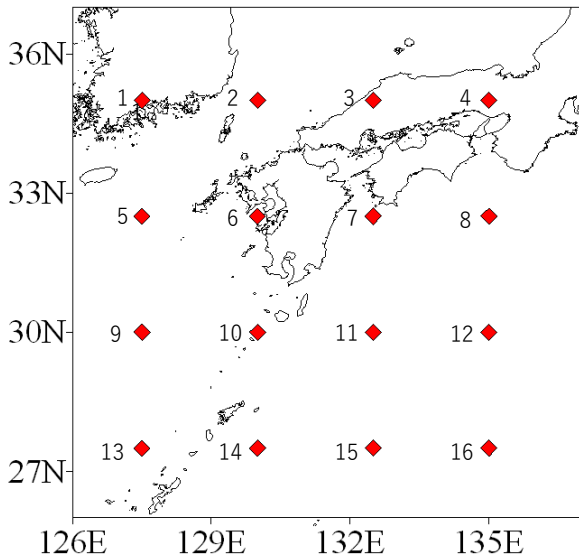


図-2 気象場の対象領域

表-1 気象場を表す16地点の座標

| 地点 | 1     | 2   | 3     | 4   | 5     | 6    | 7     | 8    |
|----|-------|-----|-------|-----|-------|------|-------|------|
| 緯度 | 35    | 35  | 35    | 35  | 32.5  | 32.5 | 32.5  | 32.5 |
| 経度 | 127.5 | 130 | 132.5 | 135 | 127.5 | 130  | 132.5 | 135  |
| 地点 | 9     | 10  | 11    | 12  | 13    | 14   | 15    | 16   |
| 緯度 | 30    | 30  | 30    | 30  | 27.5  | 27.5 | 27.5  | 27.5 |
| 経度 | 127.5 | 130 | 132.5 | 135 | 127.5 | 130  | 132.5 | 135  |

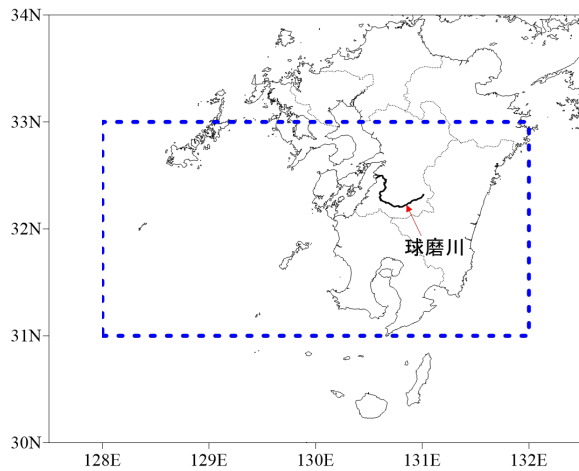


図-3 解析雨量の対象領域

線の枠で示している南九州地方を含む領域（北緯 31 度～33 度，東経 128 度～132 度）を雨量抽出の対象領域とする。解析雨量データは 1988 年から存在するが 2005 年までの解像度は 5km 格子もしくは 2.5km 格子であった。期間によって解像度が異なるデータを時空間的に整合性のあるデータにするのは大変困難であるため，本研究では 1 km 格子に変更された 2006 年から 2020 年までの解析雨量を使用した。1 日 4 回の気象場に対して，その前後 3 時間に記録された雨量を抽出する。これは一日 4 回（すなわち 6 時間間隔）の再解析気象場は出力時刻の前

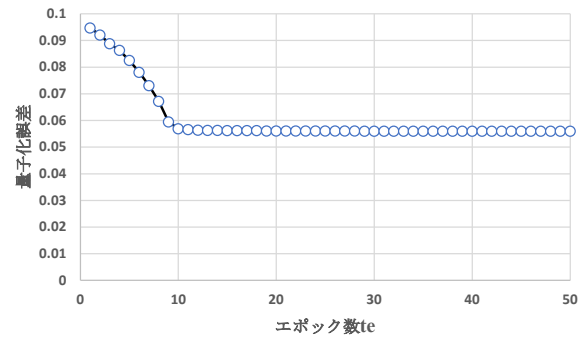


図-4 量子化誤差エポック数の関係

後 3 時間を代表していると解釈し，解析雨量も出力時刻の前後 3 時間を用いる。

あるユニットに分類されたある気象場に対応する前後 3 時間の日時の対象領域内の解析雨量から 30, 50mm/h を豪雨の閾値として，その値以上の雨量を記録した 1 km 格子の数を積算した。さらに同じユニットに分類された他の気象場も同様に積算し，それらをすべて合計したものがそのユニットの豪雨頻度と定義する。つまり本論文で用いる頻度は回数ではなく豪雨の発現面積と解釈できる。単位は格子の個数という意味で個とする。

### (3) マップサイズ

SOM を作成するためにはユニットの総数  $K$  とユニットの配置（マップの縦横比）が必要である。これをマップサイズと呼ぶ。マップサイズを決める理論的な最適手法はないが，ユニット総数を決める経験的な方法として次式が提案されている<sup>10)</sup>。

$$K = 5\sqrt{N} \quad (6)$$

$N$  は入力サンプル数である。 $N = 32,696$  であるので  $K = 907.9$  であるが  $K = 900$  とし  $(N_x, N_y) = (30, 30)$  とした。ここで  $N_x$  はマップの横方向のユニット数で  $N_y$  は縦方向のユニット数である。作成した入力データは年月日順に並んでいるが，乱数によって順不同に並び替えて学習を開始する。

1 エポック数毎に量子化誤差を求める。量子化誤差とは，あるユニットの参照ベクトルとそのユニットに属するベクトルの平均二乗誤差を全てのユニットに関して平均化したものである。量子化誤差とエポック数の関係を図-4 に示す。量子化誤差は急激に減少するが，エポック数が 10 回以降の変化は小さく，29 回で 0.560 となりその後変化はなかった。分類はすでに 29 回程度で収束している。

次にユニットのグループ化を行った。ここでグループ化とは類似の特徴を持つユニットを集めることであり，

統計学ではクラスター化と呼ばれることが多い。まずあるグループ数を仮定し、それに対して階層的クラスタリング手法の WARD 法<sup>10)</sup>を用いて各縦横比のマップ上のユニットをグループに分割する。グループ境界付近のユニットは非階層的クラスタリング手法の K-MEANS 法<sup>11)</sup>によって再配分する。この操作を 10~95 のグループ数に対して実行する。それらに対して DBI (Davies-Bouldin Index) を計算した。DBI<sup>12)</sup>とはグループ化の評価指標でその値が小さいほど良いグループ化が行われていることを表す。その結果を図-5 に示す。グループ数が大きくなると DBI は急激に低下するがグループ数 55 以上では、DBI は 1.0-0.98 あたりで収束している。つまりグループ数 55 以上ではグループ数が増えてもグループ化の精度は変わらないことを意味する。そこでグループ数が多くなることを避け、本研究では DBI の収束がはじまるグループ数 55 を採用する。

### 3. SOMによる気象場パターンの分類

#### (1) 気象パターンの分類

本研究で得られた最終的な SOM を図-6 に示す。図中の小さな□がユニットである。図-5 の左図の中に記載されている数値がユニット番号である。32,696 個の気象場データは 900 個のユニットのいずれかに属している。つまり 32,696 個の個別の気象場パターンは 900 個の類似のパターンに分類されたことになる。さらにこれらパターンは類似のユニット同士でグループを形成する。図-6 の右図のユニット内の数値はグループ番号である。太い黒線で囲まれている領域がグループである。

ユニットには 50 mm/h 以上の降雨の頻度をカラーで示

している。マップの左側中央部と右側下段部に頻度 3,000-8,000 個を示している赤色が多く分布している。紫色で示されている頻度 8,000~20,000 個のユニットは左側で見られる。これらは前線や台風による大雨がこの位置に分類されたものである。高頻度のユニットの一例としてグループ 9 のユニット 241 (以降グループは G, ユニットは U と表記する。) および G44 の U721 を図示する。

U241 の気象パターンを図-7 に示す。また、このユニットに属する気象場の一例として 2019 年 6 月 7 日 9 時の気象場と同時刻の地上天気図<sup>13)</sup>も示している。U241 の気象パターンは西南西方向から東北東方向に向かう風速場であり、北緯 32.5 度の可降水量が大きく、一方北緯 35 度と 27.5 度における可降水量は小さい。可降水量の最大値は地点 6 (図-2 参照。以下同様) で 57.4 mm, 風速の最大値は地点 8 で 17.2 m/s である。北緯 30~32.5 度付近で大量の水蒸気が運ばれる特徴を表している。

2019 年 6 月 7 日 9 時の気象場の風速は北緯 35 度の風向はやや北向きであるが、それ以外は U241 と同様である。しかし風速は U241 よりも大きく、地点 6 では最大風速

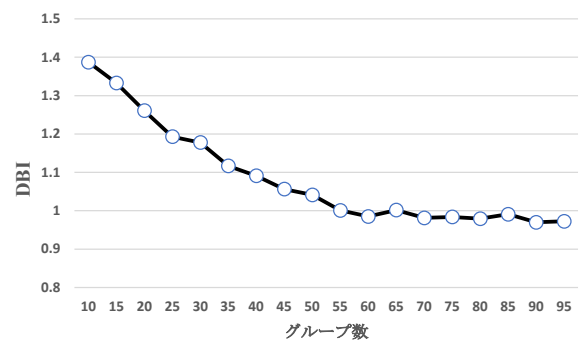


図-5 DBI とグループ数の関係

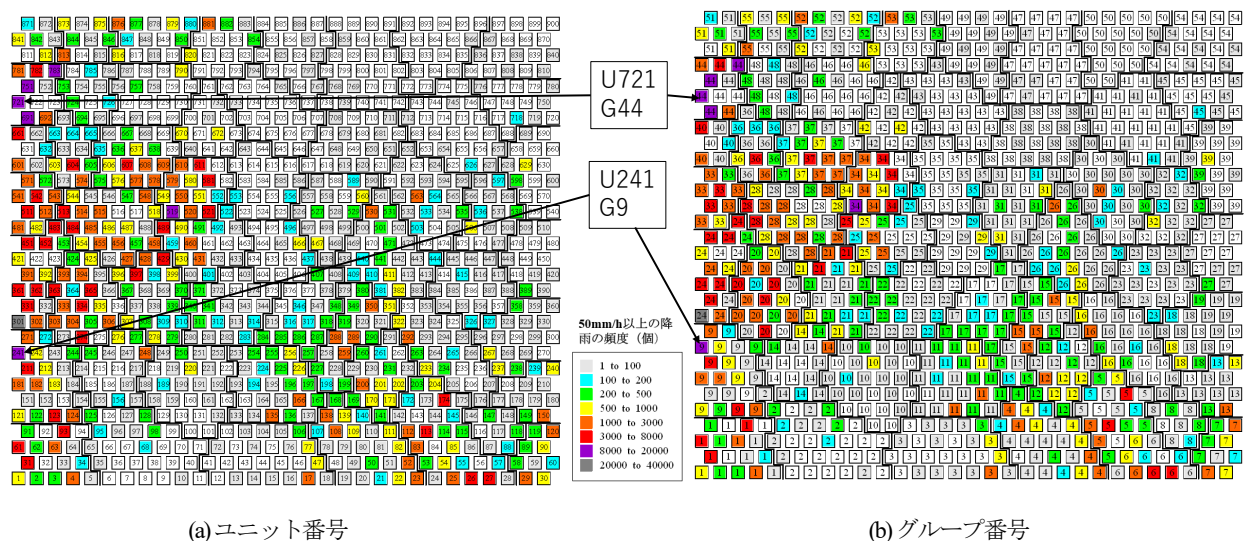


図-6 本研究で得られた SOM ((a)ユニット番号表示, (b)グループ番号表示。図中の色は 50mm/h 以上の降雨の頻度を表す)



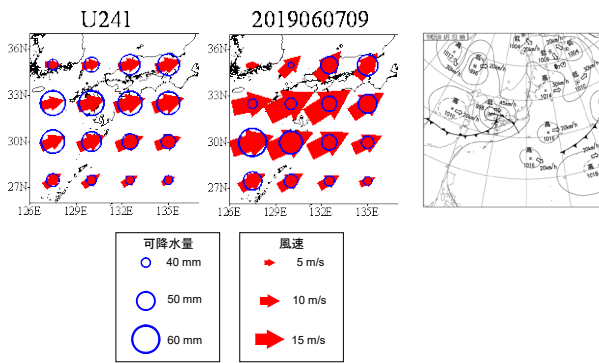


図-7 U241 の気象場（上段左：U241 気象場，上段中央：2019 年 6 月 7 日 9 時の気象場，上段右：同時刻の地上天気図，下段：可降水量と風速の凡例）

27.4 m/s を取っている。また北緯 27.5 度の可降水量は他地点のそれらよりも小さい傾向は同じである。地点 9 で 60 mm となっている。地上天気図を見ると低気圧を伴った梅雨前線が九州北部を通過していることが分かる。北緯 30 度，32.5 度の風は前線に向かって吹いており，北緯 35 度の風は低気圧の影響でやや北向きになっている。同じユニットに属する他の気象場も調べたところ，このユニットは九州北部に梅雨前線が位置し，かつ日本海に低気圧が発生している気象パターンを表していることが分かった。なお本事例の 2019 年 6 月 7 日は西日本を中心に豪雨となり高知県魚梁瀬で 60.5 mm/h の雨量を記録している。

マップ左上部に位置する G44 の U721 の気象パターンを図-8 に示す。先ほどと同様，このユニットに属する気象場の一例として 2019 年 8 月 15 日 9 時の気象場と同時刻の地上天気図も示している。U721 の気象パターンを見ると，反時計回りの循環を示しており典型的な台風パターンである。循環の中心は鹿児島県付近に位置している。可降水量の最大値は地点 7 で 65.8mm，風速の最大値は地点 16 で 17.6m/s である。2019 年 8 月 15 日 9 時の気象パターンは全体的に風速と可降水量は U721 よりも大きい。可降水量と風速の最大値はそれぞれ地点 7 で 86.0mm，地点 4 で 23.5m/s である。地上天気図からも分かるようにこの場合は台風 1910 号（Krosa）である。G44 およびその周辺のグループは台風性の気象場である。

以上，豪雨をもたらす梅雨前線系のパターンと台風系のパターンのグループがマップ上の異なった範囲に分類されていることが分かる。

## (2) 豪雨頻度の順位

表-2 に 50 mm/h 以上の豪雨の頻度の上位 5 位までのユニットとグループの順位を示す。ユニットの括弧内の数値はユニットが属するグループ番号である。同様に 30 mm/h 以上の豪雨の頻度の上位 5 位の順位を表-3 に示す。

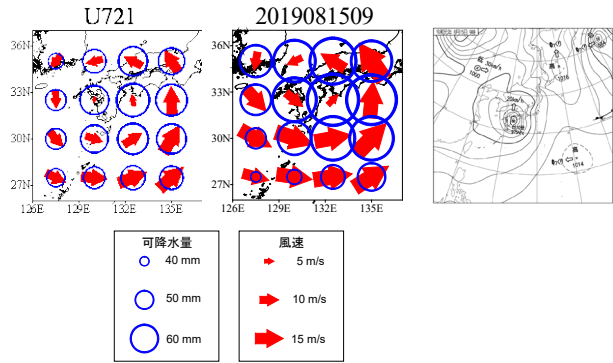


図-8 U721 の気象場（上段左：U721 気象場，上段中央：2019 年 8 月 15 日 9 時の気象場，上段右：同時刻の地上天気図，下段：可降水量と風速の凡例）

表-2 豪雨頻度のランク (50mm/h 以上)

| Rank | UNIT    | R>=50mm/h | GROUP | R>=50mm/h |
|------|---------|-----------|-------|-----------|
| 1    | 301(24) | 25939     | 24    | 65622     |
| 2    | 721(44) | 12164     | 44    | 48689     |
| 3    | 241(9)  | 10634     | 9     | 34488     |
| 4    | 751(44) | 10633     | 34    | 33126     |
| 5    | 519(34) | 9245      | 20    | 29628     |

表-3 豪雨頻度のランク (30mm/h 以上)

| Rank | UNIT    | R>=30mm/h | GROUP | R>=30mm/h |
|------|---------|-----------|-------|-----------|
| 1    | 301(24) | 145788    | 24    | 387288    |
| 2    | 361(24) | 59511     | 28    | 260177    |
| 3    | 691(44) | 53755     | 44    | 208624    |
| 4    | 397(21) | 48970     | 20    | 198548    |
| 5    | 519(34) | 48241     | 33    | 190032    |

いずれの表においても順位一番は U301 と G24 である。対象としている南九州の範囲では，U301 に属する気象パターンが最も豪雨災害を引き起こす危険性が高いと言える。

50mm/h 以上の豪雨頻度では 2 位以降は U721，U241，U751，U519 と続く。グループでは G44，G9 でここまではユニットとグループは対応している。4 位，5 位は G34，G20 となっており，ユニット 5 位まではグループの 4 位までが占めている。

一方，30mm/h 以上の豪雨頻度では 2 位以下はユニットもグループも 50mm/h 以上の場合と異なっている。2 位のユニットは U361 でこれは 1 位と同様 G24 に属している。3 位のユニットは U691 で G44 に属する。G9 は 30mm/h 以上の豪雨頻度では 9 位であった。G24 および前節で例に挙げた G9 および G44 は危険性の高いグループであることが理解できる。

あるユニットに分類される気象場において前後三時間の 50mm 以上の降雨の解析雨量メッシュ毎の総数を面的に表示したものが図-9 である。またメッシュ毎の総数の

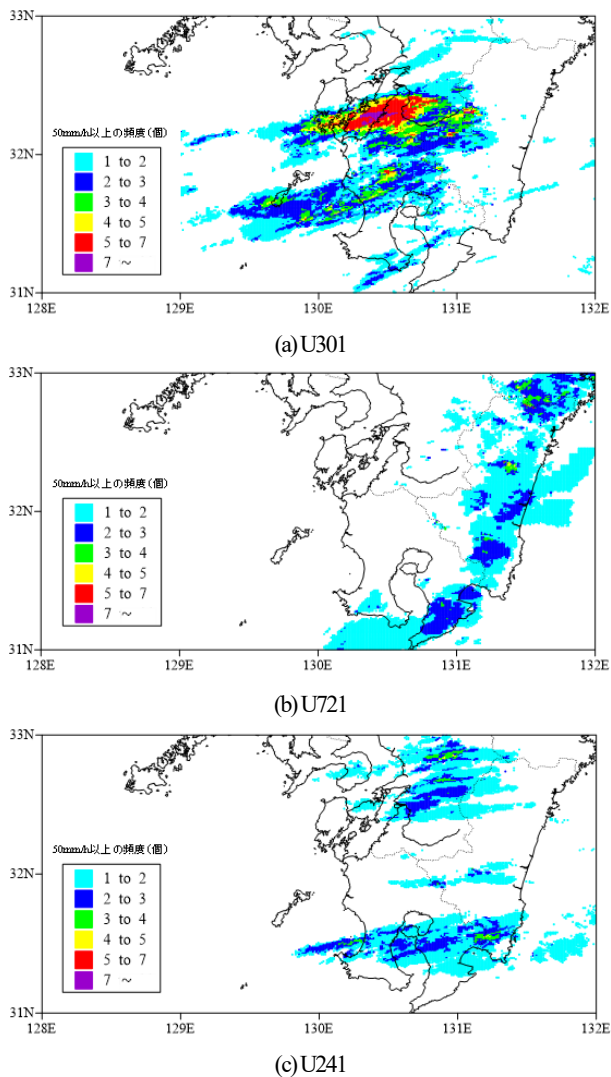


図-9 50mm/h以上の豪雨頻度の空間分布(ユニット)

総和が2.(2)で定義したユニットの豪雨頻度である。なお、表-2, 3はそれらを示したものである。(a)にはU301, (b)にはU721, (c)にはU241を示している。各ユニットに分類されている2006年以降の気象場の個数はそれぞれ33個, 21個, 18個でその内50mm/hを越える降雨を記録した気象場の個数はそれぞれ23個, 6個, 9個である。本研究で用いた解析雨量は2020年のデータを含んでいるため、頻度には令和2年7月豪雨の結果も含まれている。

U301では球磨川流域および川内川流域で頻度が高くなっている。また熊本県と宮崎県の県境の九州山地より東では頻度分布は急激に小さくなっている。後述するように令和2年7月4日9時の気象パターンはこのユニットに分類されている。解析雨量は2006年以降のデータを用いているため、それ以降で50mm以上の豪雨がこの地域に発生したのは令和2年7月豪雨が主であった。

U721では鹿児島県東部や宮崎県に頻度分布が見られる。U721は台風性の豪雨であるため、東寄りの風とともに雨域が日向灘方向から陸域に向かうためである。

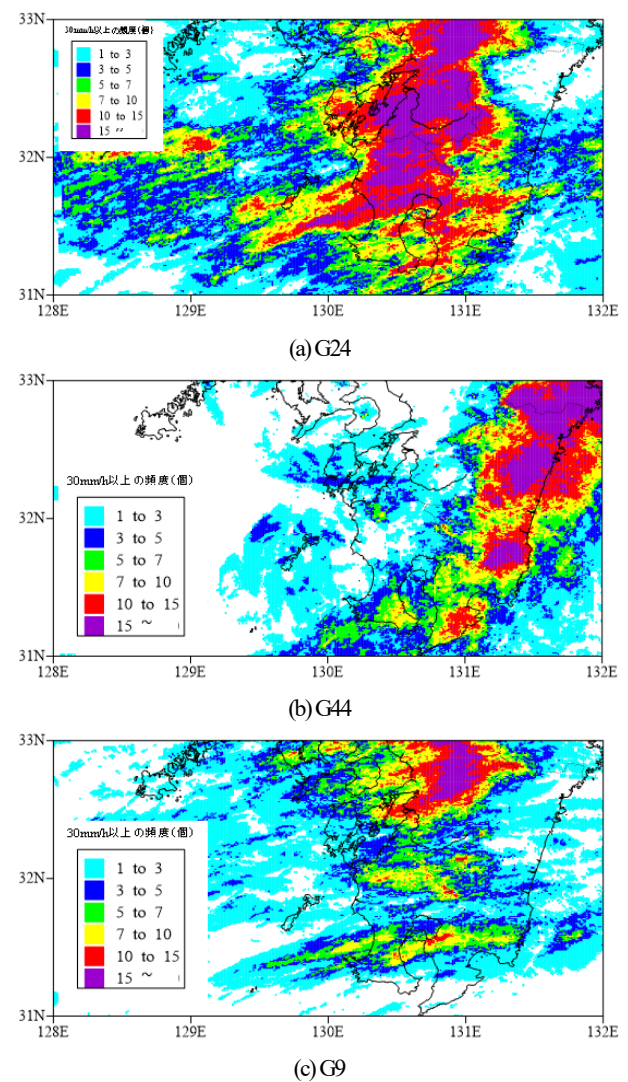


図-10 30mm/h以上の豪雨頻度の空間分布(グループ)

U241では鹿児島県中央部からやや南側と球磨川流域よりも北側の熊本県北部で青色の領域が見られる。U241の気象パターンは前線が北上しているため豪雨域は熊本県側にあることが多いが、鹿児島県側にも豪雨が発生していることがわかる。

50mm/h以上の発生頻度を空間的に表示した場合、頻度数が少なくなることと、30mm/hの降雨から災害発生すること多いことから、図-10に30mm/h以上の発生頻度の空間分布を示す。なお、この図はグループ毎に表示しており、グループ内のユニットに分類されたイベントの頻度分布を重ね合わせたものである。(a)にはG24, (b)にはG44, (c)にはG9の場合を示している。

G24では頻度10以上の赤色および紫色の領域は鹿児島県中央部から熊本県全域にわたって広く見られる。また頻度7以上の黄色の領域も宮崎県東部を除いて広く分布しており、西の海上においても黄色の分布が見られる。海上においても活発な降水帯が発達する気象パターンのグループであることが分かる。

表4 1965年以降の球磨川流域における水害

| No. | 名称               | 豪雨の要因 | 人吉における最大時間雨量                                                      |
|-----|------------------|-------|-------------------------------------------------------------------|
| 1   | 昭和40年(1965年)7月洪水 | 梅雨前線  | 7月2日5時(28.5mm), 7月3日2時(30.3mm)                                    |
| 2   | 昭和46年(1971年)8月洪水 | 台風    | 8月5日17時(38mm)                                                     |
| 3   | 昭和47年(1972年)7月洪水 | 梅雨前線  | 7月5日22時(46mm), 7月6日10時(37.5mm)                                    |
| 4   | 昭和57年(1982年)7月洪水 | 梅雨前線  | 7月24日20時(31mm), 7月25日5時(34mm)                                     |
| 5   | 平成11年(1999年)9月洪水 | 台風    | 9月24日6時(20mm)                                                     |
| 6   | 平成16年(2004年)8月洪水 | 台風    | 8月30日12時(26mm)                                                    |
| 7   | 平成17年(2005年)9月洪水 | 台風    | 9月6日13時(22.5mm)                                                   |
| 8   | 平成18年(2006年)7月洪水 | 梅雨前線  | 7月19日23時(46mm), 7月21日18時(30.5mm),<br>7月22日1時(35mm), 7月23日5時(36mm) |
| 9   | 平成20年(2008年)6月洪水 | 梅雨前線  | 6月21日1時(35.5mm), 6月21日22時(37mm),<br>6月22日3時(44mm)                 |
| 10  | 平成23年(2011年)6月洪水 | 梅雨前線  | 6月11日12時(24.5mm), 6月12日16時(27mm)                                  |
| 11  | 令和2年(2020年)7月洪水  | 梅雨前線  | 7月4日2時(68.5mm), 7月4日8時(65.5mm)                                    |

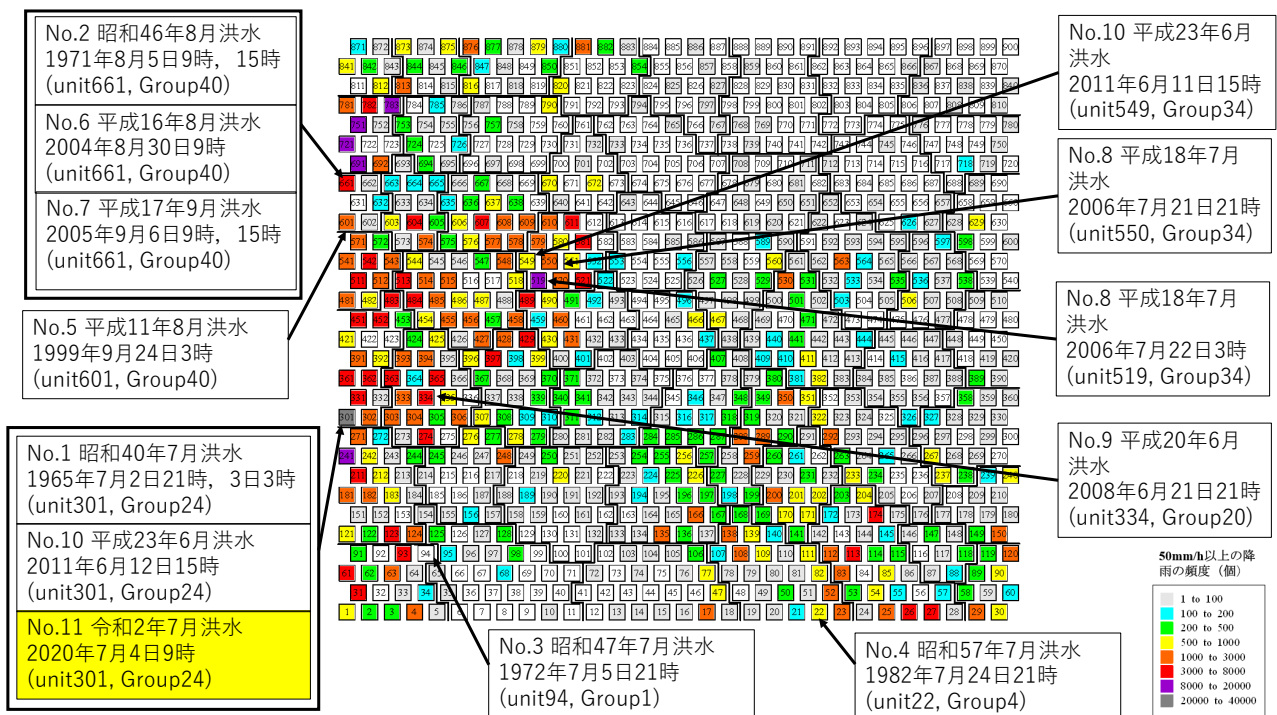


図-11 球磨川流域で水害を発生させた豪雨

G44 では 30mm/h 以上の分布にすると頻度 7 以上の領域が広く存在していることが分かる。しかしながら熊本県と宮崎県の県境を大きくは越えておらず、九州山地よりも東側で雨を降らせる台風性の気象パターンである。

G9 では熊本県で頻度 10 以上の領域があり、頻度 7 以上の領域が鹿児島県北部と熊本県、また鹿児島県の中央部に見られる。G9 では熊本県側と鹿児島県中央部に強い降水帯が生じやすい気象パターンとなっている。

### (3) 球磨川流域で水害を引き起こした豪雨事例に対応するユニット

令和 2 年 7 月豪雨では、2020 年 7 月 3 日夜半から 4 日朝にかけて発生した豪雨のため熊本県を流れる球磨川が

氾濫し、甚大な被害が生じた。過去に遡ると、球磨川流域は多くの水害に見舞われてきた。九州地方整備局八代河川国道事務所によれば昭和 40 年 7 月洪水から今次災害まで 11 回の洪水被害を経験している<sup>14)</sup>。それを表 4 に示す。参考のため該当する洪水の降雨期間における人吉で観測された最大時間雨量(正時)を記載している。最大時間雨量が複数ある場合は降雨分布が一山でないことを意味している。梅雨前線によるものが 7 件、台風によるものが 4 件となっている。

すべての入力データはどのユニットに分類されたかが分かっているため、球磨川流域で水害を引き起こした豪雨の事例を SOM 上に表示した。それを図-11 に示す。2020 年 7 月の球磨川水害に関連する豪雨の表示は黄色で



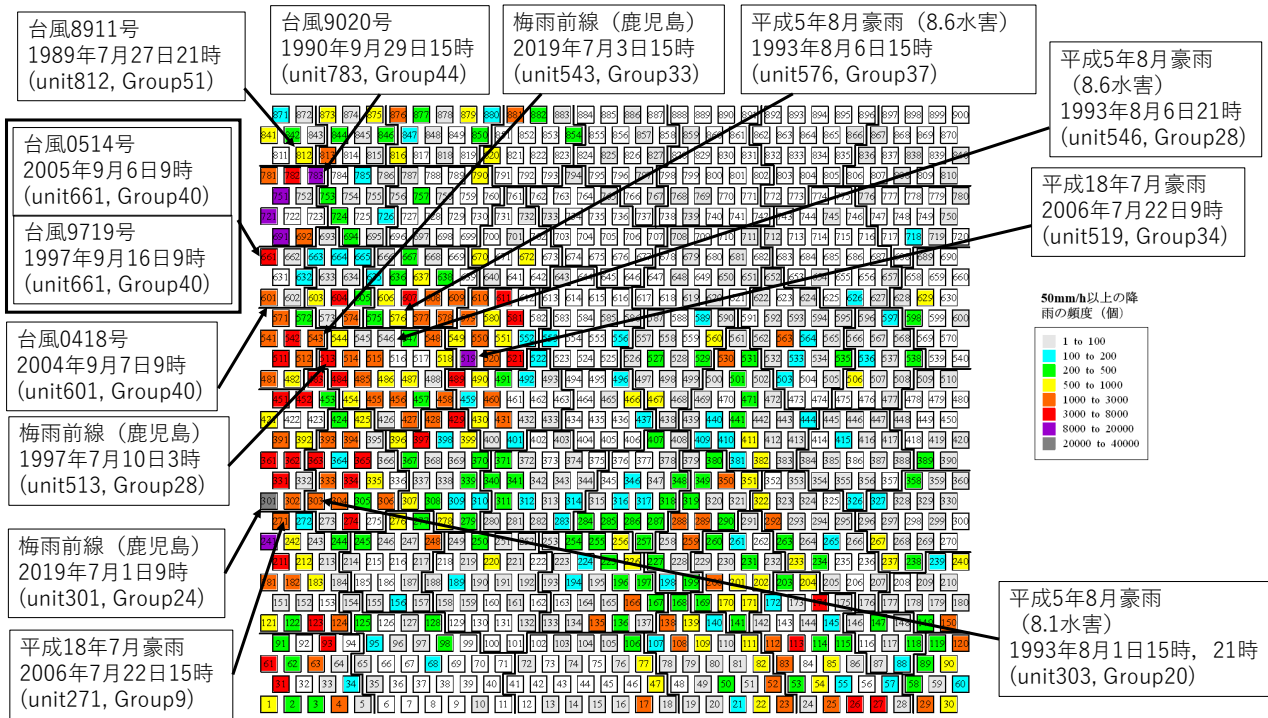


図-12 鹿児島県と宮崎県で発生した気象災害

網かけしている。

後述するように一つの降雨イベントにおいても時刻によって分類されるユニットが変わってくる。ここでは、例えば台風であれば最も接近した時刻、被害が顕著になった時刻などを考慮して時刻を客観的に選んだ。さらに入力データは6時間間隔（日本時間で3時、9時、15時、21時）でしかないため、選択した時刻に最も近い時刻を最終的に選択している。

今次水害以外では昭和40年7月洪水が甚大な水害であった。梅雨前線の停滞により1965年6月28日ごろから雨が降り始め7月2日の夜半から流域各地で豪雨となり氾濫が発生した。球磨川流域市町村において損壊・流出家屋1,281棟、床上浸水2,751棟、床下浸水10,074棟であった<sup>14)</sup>。また人吉での水位は5.05m（今次災害は7.25m）、推定流量4,100m<sup>3</sup>/sで今次災害までは過去最高であった<sup>15)</sup>。この水害を引き起こした豪雨は1965年7月2日21時、3日3時においてG24のU301に分類されている。今次災害における7月4日9時も同様にU301に分類されている。また2011年6月12日15時も同様にU301に分類されている。このユニットは豪雨の発生頻度が高いため、このユニットに属する気象パターンが発生すれば豪雨の頻度の観点および球磨川流域の水害発生の観点からも嚴重な警戒が求められる。

平成18年7月豪雨では7月21日21時はU550に、22日3時の気象場パターンは近隣のU519に分類されている。また平成23年6月豪雨では6月11日15時の気象場

パターンがU549に分類されている。これはいずれもG34である。G34は九州北部に前線が位置する気象場である。G34も降雨頻度が高いユニットも多く存在するため、防災上警戒が必要な気象場パターンである。

台風性の豪雨は1999年の台風9918号はU601に分類され、それ以外はU661に分類された。いずれもG40に属する。図-8のU721はG44に属しているため、G40の近傍のグループは台風性の気象場パターンを示している。

昭和47年7月豪雨では7月5日21時の気象場パターンはG1のU94に分類されている。昭和57年7月豪雨では7月24日21時の気象場パターンがG4のU22に分類されている。両ユニットとも太平洋高気圧の西縁に沿って湿った空気が九州に流れ込むパターンである。両ユニットの豪雨頻度は高くはないが、実績としてこのユニットに属する気象場で洪水を引き起こす豪雨になり得ることに注意しておくべきである。平成20年6月豪雨では6月21日21時にG20のU334に分類される。このユニットも豪雨の頻度が高い。

以上のように1965年以降、球磨川流域で水害を引き起こした気象場パターンを検討したところ、梅雨前線系の気象場は主にG20、G24、G34に属していることが分かった。また台風性の気象場はG40に属しており、梅雨前線系とは異なるグループである。

#### (4) 鹿児島県、宮崎県で発生した豪雨

前節では球磨川豪雨災害に着目したが、この節では同

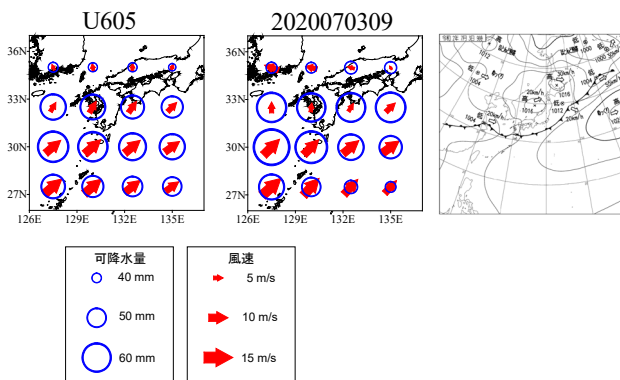


図-13 2020年7月3日9時の気象場パターン (U605,G36)

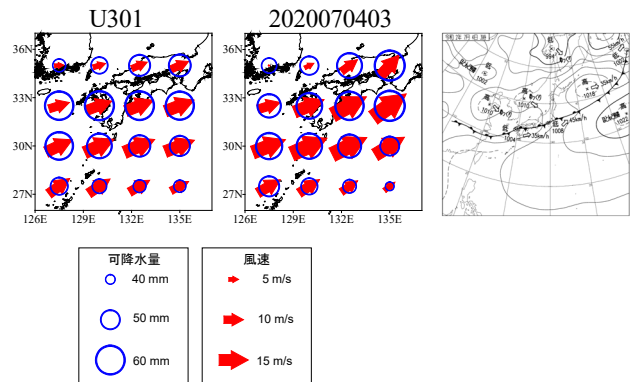


図-16 2020年7月4日3時の気象場パターン (U301,G24)

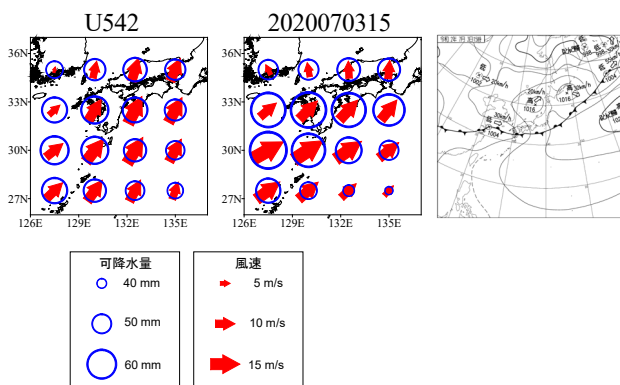


図-14 2020年7月3日15時の気象場パターン (U542,G33)

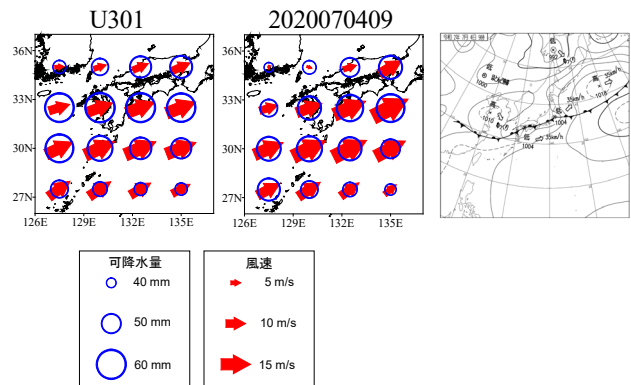


図-17 2020年7月4日9時の気象場パターン (U301,G24)

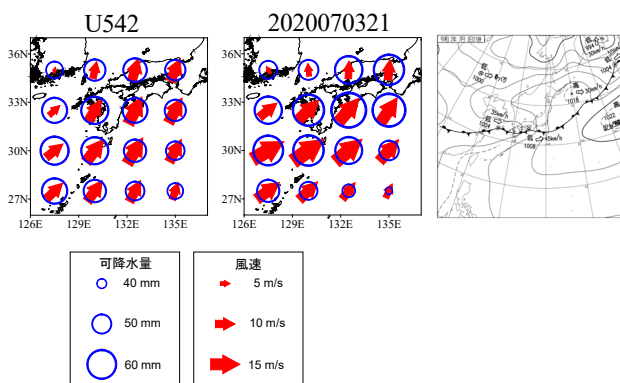


図-15 2020年7月3日21時の気象場パターン (U542,G33)

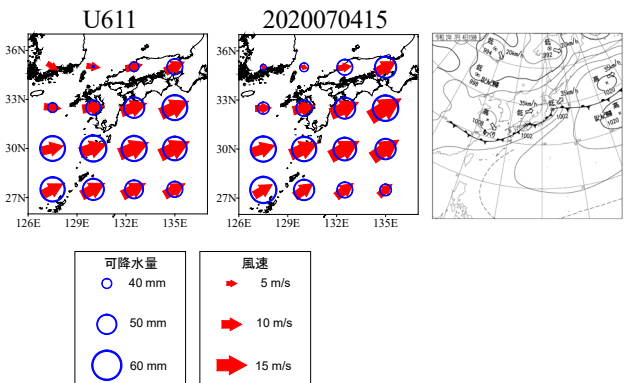


図-18 2020年7月4日15時の気象場パターン (U611,G34)

じ南九州である鹿児島県と宮崎県で発生した豪雨がどのユニットに属するのかを検討する。図-12にSOM上に鹿児島県と宮崎県で発生した豪雨の事例をプロットしたものを示す。

宮崎県の大淀川の氾濫を引き起こした台風9719号、台風0514号はそれぞれG40のU661に分類されている。また宮崎県に豪雨による土砂災害をもたらした台風0418号はG40のU601に分類された。宮崎県で死者・行方不明者を2名発生した台風9020号はG44のU783に分類された。このユニットは豪雨頻度が高いユニットである。鹿児島県で死者・行方不明者を2名発生した台風8911号はG51のU812に分類された。宮崎県や鹿児島県に被害

をもたらした台風性の災害はG40, 44, 51に分類されることが分かった。

平成5年8月豪雨は1993年8月1日と6日に甚大な災害をもたらした。1日は鹿児島県始良郡(現霧島市周辺)を中心に豪雨が発生した。鹿児島県溝辺では8月1日18時に77mmの雨量が観測された。この時刻に近い8月1日15時と21時の気象場パターンはG20のU303に分類された。一方、8月6日は鹿児島市を中心に豪雨となり、竜ヶ水の土石流など深刻な災害となった。8月6日19時に鹿児島で56mmの雨量が観測された。この時刻に近い6日15時ではG37のU576、6日21時ではG34のU519に分類された。8月6日の前線は1日と比較して南下して

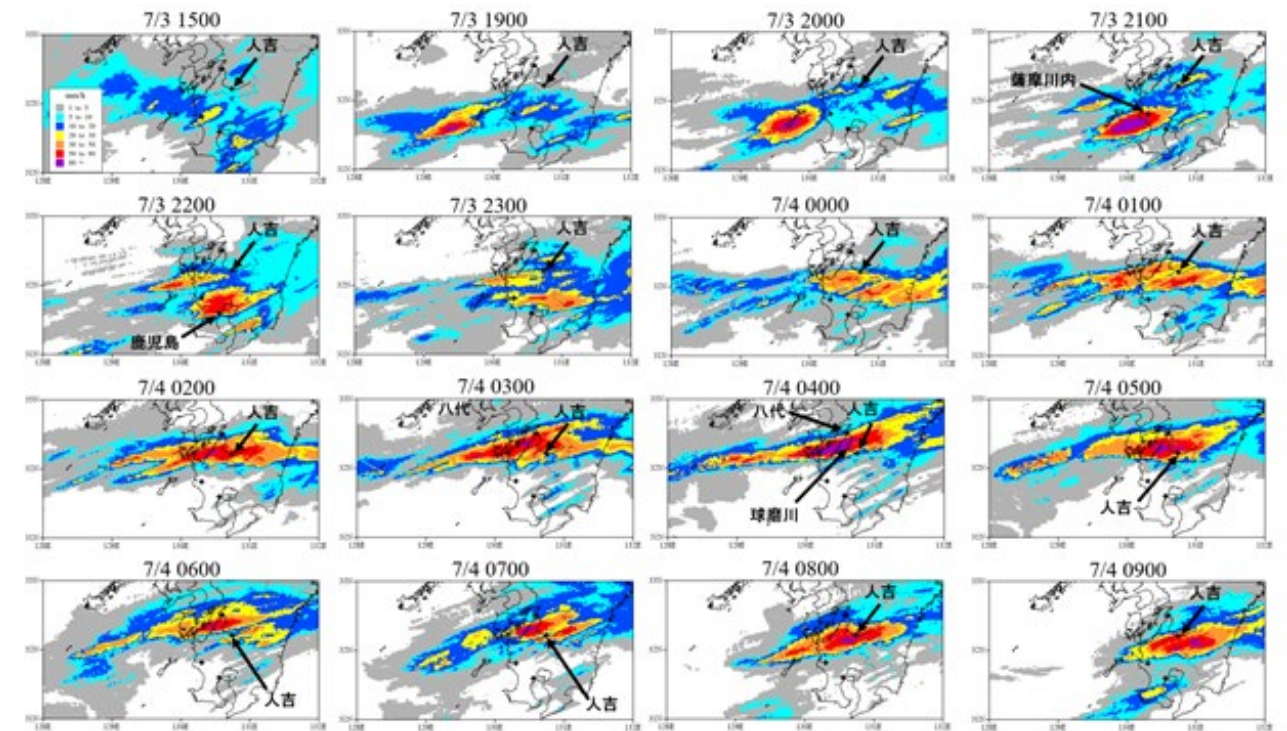


図-19 豪雨域（解析雨量）の推移

いたため気象場パターンが異なっていた。

1997年（平成9年）7月10日未明に鹿児島県出水市針原地区において、7日から降り続いた梅雨前線性降雨のために土石流災害が発生している。1997年7月10日3時を代表的気象場とすれば、それはG28のU513に分類された。

平成18年7月豪雨は2006年7月5日から24日かけて梅雨前線が停滞し九州、山陰、北陸などで記録的豪雨となった大雨であり、球磨川や川内川の洪水を引き起こした豪雨である。宮崎県えびの市では7月22日11時に55mmの雨量を記録している。7月22日9時にはG34のU519、15時にはG9のU271に分類されている。これは梅雨前線に伴った豪雨である。

2019年6月28日から7月3日にかけて梅雨前線による豪雨のため鹿児島県内で河川氾濫や土砂災害が発生した。鹿児島県鹿屋市で7月1日9時に35.5mm、3日12時に39.5mmの雨量が観測された。この時刻に近い1日9時と3日15時ではそれぞれG24のU301およびG33のU543に分類された。

図-11、図-12より台風による災害事例はG40、G44、G51などマップの左上近傍に分類されている。一方、梅雨前線系の災害は広く分類されるが球磨川水系ではG20、G24、G34に分類されており、鹿児島県では主にG28を中心とした周辺のグループに分類されている。梅雨前線は鹿児島県側にあっても熊本県側にあっても九州南部に

豪雨を引き起こすため、台風性豪雨と比較して多くのユニットに分類されている。

#### 4. 令和2年7月豪雨のSOM上の挙動

##### (1) 令和2年7月豪雨の気象パターン

本章では令和2年7月豪雨に対するSOM上の挙動を議論する。図-13～18に7月3日9時から7月4日15時まで6時間間隔でSOM上でどのようなユニットに分類されていくのかを示す。3.(1)に示している図-6～7と同様、該当時刻の気象場とそれが分類されているユニットの気象場、当該時刻の地上天気図を示している。また、気象パターンの挙動に対応する豪雨域（解析雨量）の推移を図-19に示す。

3日9時の気象場パターンはG36のU605に分類されている。U605において地点1、2、3、4における可降水量と風速が他点と比較して非常に小さいことが特徴的である。実気象場も同様である。一方、実気象場の地点9の可降水量は67.6mmで大きな値を示す。従って、それよりも北側に前線が存在することになる。実際に、地上天気図から確認できるように、梅雨前線は薩摩半島南端から大隅半島に延び、水蒸気が供給されている。この時、11時に鹿児島で22.5mmの雨量を記録しているが人吉では0mmであった。



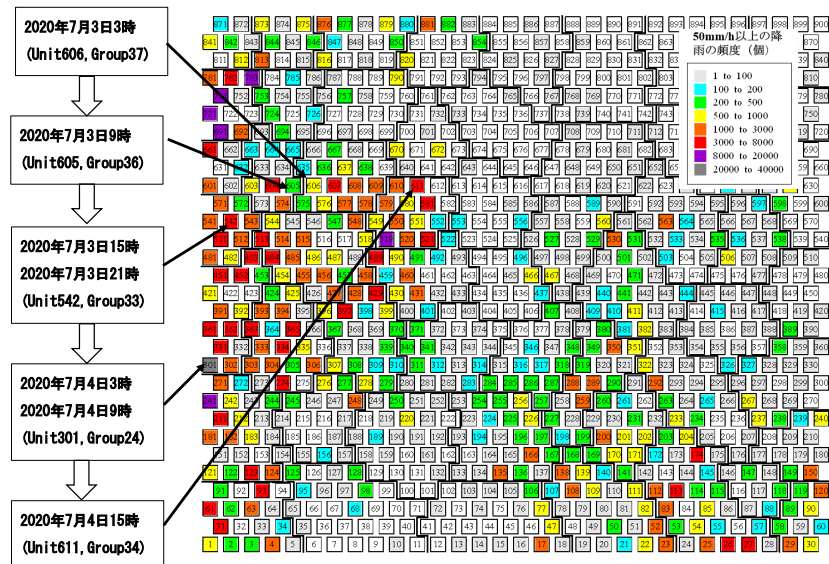


図-20 令和2年7月洪水時の気象パターンのSOM上の挙動

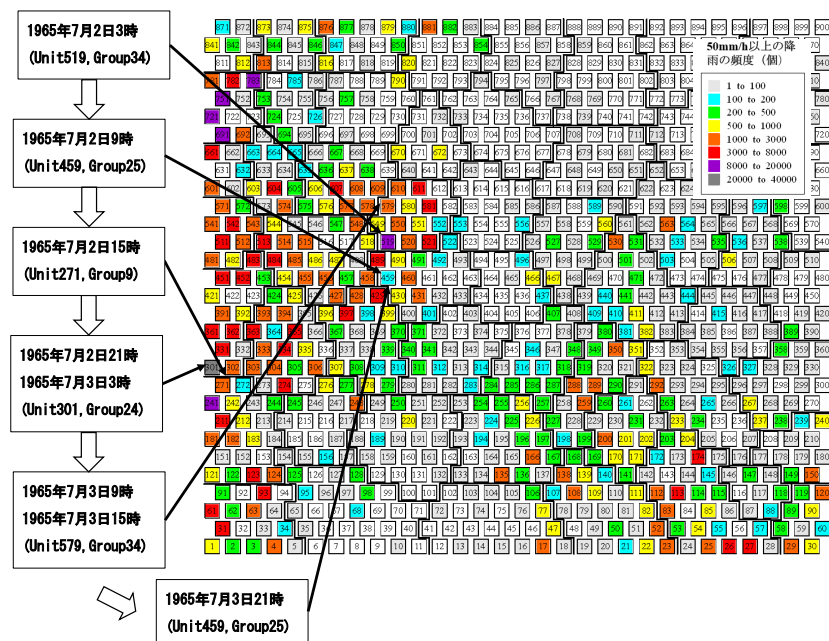


図-21 昭和40年7月洪水時の気象パターンのSOM上の挙動

3日15時の気象場パターンはG33のU542に分類されている。この気象場パターンの風向と可降水量は前述のU605と類似しているが、風速はこちらの方が大きい。U542および3日9時の最大風速はそれぞれ15.2m/s、13.1m/sであるが、15時の実気象場のそれは17.7m/sである。梅雨前線はやや北上し、鹿児島市付近に停滞している。15時～17時の鹿児島市における降水量は3.5mm程度である。一方、川内では15時に21.5mmの雨量を観測している。人吉では15時に6mmの雨量であった。図-18の解析雨量においても人吉市よりも川内川流域で降雨が強いことが分かる。

3日21時の気象場パターンは15時と同じくG33のU542に分類されている。U542では先の二例とは異なり

地点1, 2, 3, 4の可降水量が大きくなっている。当該日時の実気象場も地点3, 4における可降水量も60mm程度となっている。最大の可降水量は地点7で66.2mmである。これは梅雨前線が北上したことを意味する。実際に熊本県と鹿児島県の県境付近に梅雨前線が停滞していることがわかる。この気象場に対して、東シナ海で発生した豪雨域が陸上側に接近し、鹿児島市では22時18mmの降雨が観測された。また、川内市では21時に51mmの雨量を、23時に20.5mmの雨量が観測された。一方、人吉では21時では18mmの雨量が観測された。23時までは人吉よりも川内での雨量が大きく、球磨川流域よりも川内川流域が氾濫の危険性が高かった。図-19の解析雨量においても川内川流域で50mm/hを越える強い



雨域が広がっていることが分かる。

図-19より7月3日の22時と23時では熊本県と鹿児島県の県境周辺および鹿児島市周辺の二か所で強い雨域が現れていることが分かる。球磨川流域全域にはまだ強い雨域は広がっていない。7月4日0時には二つの強い雨域は一つとなる。

4日3時になると、気象場パターンはG24のU301に分類された。地上天気図では梅雨前線はさらに北上し、福岡県上で東西に延びている。U301では北緯27.5°の4つの地点の可降水量はU542と比較して小さくなっている。これは梅雨前線が北上したことにより湿舌も北上したパターンを表している。当時の気象場パターンは3日21時と比較して若干可降水量が小さくなっていることと、北緯35°の風向がやや東西方向に傾いたこと以外は大きな違いは見受けられない。人吉では4日2時と3時にそれぞれ68.5mm, 22.5mmの雨量であった。この気象場パターンに対応して、梅雨前線が北上し、豪雨域が鹿児島県側から球磨川流域に移動した。実際に、2時から6時まで明瞭な線状降水帯が確認できる。

4日9時の気象場パターンは3時と同じくG24のU301に分類された。4日9時の実気象場においても3時のそれと比較すると地点5, 6, 9で風向が東西方向に傾いているが、それ以外では大きな違いは見受けられない。地上天気図では梅雨前線は九州中央部に位置しているが南西から北東方向に延びている。未明から続く線状降水帯は9時まで持続して、人吉では9時に41mmの雨量を観測した。

4日15時の気象場パターンはG34のU611に分類された。U611では地点1, 2, 3, 4の可降水量は他地点と比較して小さくなっている。地上天気図では梅雨前線は再び大隅半島の南端に周辺に南西から北東方向に延びている。球磨川流域に豪雨をもたらした雨域はこの時刻までには九州から離れて行った。

## (2) 昭和40年7月豪雨との比較

この節では球磨川流域に甚大な被害を引き起こした二つの令和2年7月豪雨と昭和40年7月豪雨の類似性を検討する。SOMを用いる利点は豪雨パターンの類似性を客観的に評価できる点にある。

上記の令和2年7月豪雨災害時の気象場パターンをSOM上に時系列的にプロットし視覚化したものが図-20である。この図では2020年7月3日3時から7月4日21時までの2日間の挙動を示している。3日9時から21時程度までは梅雨前線が鹿児島県周辺に停滞しているためG37, G36, G33など近隣のグループに分類される。3日21時頃から梅雨前線が北上を始め、実気象場はG33からG24に分類された。梅雨前線はさらに北上し7月4日3時から9時までは気象場はG24に分類された。その後梅

雨前線は南下したため、G34に分類された。

昭和40年7月洪水時の気象場パターンの挙動をSOM上で見たものを図-21に示す。1965年7月2日3時から7月3日21時までの2日間の挙動を示している。2日3時にはG34のU519に分類され、9時にはG25のU459に分類されている。15時はG9のU271に分類されている。G34は梅雨前線が南下している気象場パターンでG9は梅雨前線が北上している気象パターンである。南下していた梅雨前線は2日15時までには北上をしたようである。2日21と3日3時はG24のU301に分類された。令和2年7月豪雨と同じく、最も球磨川流域に豪雨をもたらした時間帯の気象場はU301に分類されている。3日の9時と15時はG34のU579に分類された。梅雨前線が南下したためと考えられる。21時は2日9時と同じくG25のU459に分類された。

昭和40年7月の豪雨では2日15時でG9に分類された。G9はU301が属するG24の近隣のグループであり、梅雨前線が北上している気象パターンである。G9とG24の気象場は最低でも12時間持続したと考えられる。つまり球磨川で氾濫が発生するリスクが高い気象場が半日程度続いていたことを意味する。同様に考えれば、今次災害ではG24に分類される気象場の継続時間は6時間であり図-19から判断すれば、7月4日1:00から9:00までの8時間、昭和40年7月豪雨ではかなり長い継続時間であった。

## 5. 結論

本研究は南九州を対象に1954年から2020年の暖候期の再解析気象データを用いて、SOMで気象パターンの分類を行ったものである。本研究で得られた主要な結論を以下に示す。

- 1) 本研究では32,696個のデータから900ユニット、55グループから構成されるSOMを構築した。また2006年から2020年までの再解析雨量データから各ユニットにおける気象場から50mm/h以上の豪雨の頻度を解析し、それをユニットに反映した。
- 2) 30mm/hおよび50mm/h以上の豪雨頻度が最大となるユニットとグループはいずれもU301, G24である。これは令和2年7月洪水および昭和40年7月洪水を引き起こした気象パターンもこのユニット、グループに属する。
- 3) 南九州における台風による災害事例はG40, G44, G51などマップの左上近傍に集まって分類されている。一方、梅雨前線系の球磨川水系における災害事例はG20, G24, G34に、鹿児島県における災害事例は幅広く分類されているが主にG28を中心とし

た周辺のグループに分類されている。

- 4) 令和2年7月洪水および昭和40年7月洪水の気象パターンにおいて SOM 上での推移は両者で異なるが、最も豪雨リスクが高くなる時刻では両者とも U301 に属する。昭和40年7月洪水の方が豪雨リスクが長く続いていたことが SOM から示唆された。

本研究は文献 8) の流れを汲むものであるため、再解析データセットとして NCEP/NCAR を用いた。近年、JRA-55 のような 1.25 度間隔の再解析データセットも提供されている。今後はこのようなデータセットも用いて気象場分類を試みる予定である。

**謝辞：**当時朝位研究室の卒論生であった奥村翼氏には具体的な研究の遂行に直接貢献して頂いた。本論文では気象庁のホームページからダウンロードした地上天気図を使用させて頂いた（文献 11）に URL を記載）。本研究は科研費（21K04275）の助成を受けたものである。ここに記して深甚なる謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 総務省消防庁：令和2年7月豪雨により被害及び消防機関等の対応状況（第56報），[https://www.fdma.go.jp/disaster/info/items/210226\\_oaame56.pdf](https://www.fdma.go.jp/disaster/info/items/210226_oaame56.pdf), 2021.
- 2) 令和2年7月九州豪雨災害調査団：令和2年7月九州豪雨災害調査団報告書，<https://committees.jsce.or.jp/hydraulic05/system/file/令和2年7月九州豪雨災害調査団報告書HP.pdf>, p. 1, 2021.
- 3) Kohonen, T.: *Self-Organization and Associative Memory*, Springer Series in Information Sciences Vol. 8, Springer Science & Business Media, 2012.
- 4) Kohonen, T.: *Self-Organizing Maps*, Springer Series in Information Sciences Vol. 30, Springer Science & Business Media, 2012.
- 5) Ninomiya, K.: Large- and meso- $\alpha$ -scale characteristics of Meiyu/Baiu front associated with intense rainfalls in 1-10 July 1991, *J. Meteor. Soc. Jpn.*, Vol. 78, pp. 141-157, 2000.
- 6) 西山浩司, 遠藤伸一, 神野健二, 河村明：自己組織化マップを利用した梅雨期特有の気象場の分類, 水工学論文集, 第49巻, pp. 241-246, 2005.
- 7) 西山浩司, 遠藤伸一, 神野健二：自己組織化マップの特性を利用した降雨予測, 水工学論文集, 第50巻, pp. 403-408, 2006.
- 8) 西山浩司, 横田いずみ, 広城吉成, 朝位孝二：自己組織化マップに基づく広島県の豪雨災害を引き起こした気象場パターンの分析, 土木学会論文集 B1（水工学）, Vol. 75, No. 2, pp. I\_1201-I\_1206, 2019.
- 9) 朝位孝二, 西山浩司, 白水元, 丹羽晶大：SOM を用いた北部九州・中国地方で高潮災害を引き起こした気象場パターンの分類, 土木学会論文集 B2（海岸工学）, Vol. 76, No. 2, pp. I\_1219-I\_1224, 2020.
- 10) Vesanto, J., Himberg, J., Alhoniemi, E. and Parahankangas, J.: SOM Toolbox for Matlab 5, Helsinki University Report, A57, 2000.
- 11) 佐藤義治：多変量データの分類—判別分析・クラスター分析—, pp. 114-115, 124-126, 朝倉書店, 2009.
- 12) López, H. and Machón, I.: Self-organizing map and clustering for wastewater treatment monitoring, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 17, pp. 215-225, 2004.
- 13) 気象庁：過去の天気図, <https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/wxchart/quickmonthly.html>
- 14) 九州地方整備局八代河川国道事務所：過去の洪水, <http://www.qsr.mlit.go.jp/yatusiro/river/kouzui/index.html>
- 15) 国土交通省九州地方整備局：令和2年7月豪雨における出水について（第2報），記者発表資料, [http://www.qsr.mlit.go.jp/site\\_files/file/bousai\\_joho/bousai200710050.pdf](http://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/file/bousai_joho/bousai200710050.pdf)

(Received June 16, 2021)

(Accepted September 22, 2021)

## CLASSIFICATION OF METEOROLOGICAL FILED PATTERNS THAT CAUSED HEAVY RAINFALL IN SOUTHERN KYUSHU USING SELF-ORGANIZING MAP

Koji ASAI, Hajime SHIROZU and Koji NISHIYAMA

In this study, the Self-Organizing Map (SOM) was applied to the meteorological data from 1954 to 2020 to classify the patterns of the meteorological field in the South Kyushu region. In addition, the heavy rain indexes of each unit were created by using the analytical precipitation data from 2006 to 2020. As a result of classifying 32,696 meteorological fields into 900 units and 55 groups, heavy rain disasters caused by typhoons were classified into neighboring groups around one group. On the other hand, heavy rain disasters caused by the seasonal rain front were widely classified, but the groups in the heavy rain disasters in the Kuma River basin and the groups in the heavy rain disasters in Kagoshima prefecture were different. By comparing the characteristics of the meteorological fields of the heavy rain of July 2020 and July 1965, which caused flood damages to the Hitoyoshi region of Kumamoto prefecture, the behaviors on the SOM of the meteorological fields corresponding to the time were different. It was observed that both meteorological fields were in the same pattern when the rain was the heaviest.