

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

朝位, 孝二
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

白水, 元
山口大学大学院創成科学研究科

丹羽, 晶大
山口大学大学院創成科学研究科

<https://hdl.handle.net/2324/7183018>

出版情報 : Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering). 76 (2), pp.I_1219-I_1224, 2020. Japan Society of Civil Engineers

バージョン :

権利関係 : © 2020 by Japan Society of Civil Engineers



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

朝位 孝二¹・西山 浩司²・白水 元³・丹羽 晶大⁴

¹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

²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:nishiyama@civil.kyushu-u.ac.jp

³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

⁴学生会員 山口大学大学院生 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:a022veu@yamaguchi-u.ac.jp

1979年～2019年の気象データをSOMによって北部九州・中国地方の気象場のパターン分類を行った。20,172個の気象場はユニット数696, グループ数45のSOM上に分類できた。本研究で作成したマップでは台風や低気圧に起因する循環性の風はマップに上段に位置している。また北部九州・中国地方で高潮災害を引き起こした台風はグループ45の696番のユニットに分類されることがわかった。作成したSOMとGSMやMSMによる予測気象場から、接近中の台風が過去に災害を引き起こした台風と類似していることを情報として事前に与えることが可能となる。

Key Words : storm surge, typhoon, meteorological field, pattern recognition, Self-Organizing Map

1. はじめに

台風は豪雨、暴風による災害を引き起こすが、海岸においては高潮や高浪による災害を引き起こす。2018年9月の台風21号では大阪湾で甚大な高潮災害が発生した。特にタンカーの走錨により関西国際空港の連絡橋に衝突したことは記憶に新しい¹⁾。2019年9月の台風15号では房総半島で強風による鉄塔、建物の倒壊、倒木が相次ぎそれらに起因する長期間にわたる停電が社会的には注目されたが、横浜港や東京港などで高潮や高浪によるコンテナ崩れや港湾施設の被害も発生していた²⁾。また2019年10月の台風19号は中部地方から東北地方にまでわたる広域において多くの河川氾濫を引き起こしたが、この台風においても横浜港や東京港が被災した³⁾。港湾施設、臨海工場、備蓄施設の被災は人命のみならず物流や経済にも大きな影響を与えるため高潮対策は海岸防災において重要な関心事の一つである。

高潮は強い低気圧によっても生じるが、日本においては多くの場合台風に起因する。台風の常襲経路にある九州や中国地方の瀬戸内側では高潮災害はこれまでに多く発生している。1999年の台風18号による不知火海周辺や周防灘周囲における高潮災害^{4),5)}、2004年の台風16号、

台風18号における周防灘周囲の高潮災害^{6),7)}などが事例として挙げられる。

高潮災害から事業所、事業者および一般住民の生命や資産を護るためには速やかな高潮警報や避難勧告が必要である。しかしながら、これらが発表されるタイミングでは実際には雨や風が強くなっている可能性があり、避難などの防災行動を行うにはやや対応が遅くなっている場合がある。このため自主的な判断による早めの防災行動の実施が重要である。

これまでの高潮災害の研究では事例ごとの台風の特徴や高潮発生メカニズムについての報告や論文が多いが、過去に発生した高潮災害やそれを引き起こした台風や気象場のパターンの類似性に関する研究は著者らが知る限りでは少ないように思われる。気象場パターンの分類ができれば、全球数値モデル(GSM)やメソ数値予報モデル(MSM)などで予測される将来の気象場がどのパターンに分類され、それが過去に大きな災害を引き起こしたのかどうかの診断に使用できる。また、気象情報とともに過去の類似気象パターンを提供することで防災行動の実施のトリガーになることが期待される。

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

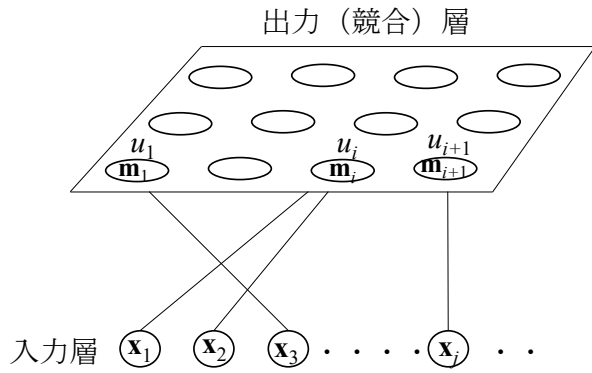


図-1 SOMの概念図

はフィンランドの研究者、T.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^{8),9)}。

気象場においても多くの適用例があるが^{10),11),12),13)}、前線系の降雨に関するものが多く、台風場に注目した分類は見当たらない。本研究では北部九州・中国地方を対象としてSOMを用いて気象場パターン、とりわけ台風場に注目した分類を行い、過去の高潮災害を引き起こした台風の事例を抽出することを目的とする。

2. 台風場における自己組織化マップ

(1) SOMのアルゴリズム

図-1に示すようにSOMは入力層と出力層（競合層）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。

マップ作製は以下の手順で行われる。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。

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

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

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。初期値はそれぞれ0.2と13である。

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

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

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了した時に学習1回目（1 epoch）とする。さらに同様の手順を任意の学習回数まで実行する。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) 対象領域とデータセット

本研究では西山らの研究¹³⁾を参考にし、図-2に示す16地点からなる気象場を設定する。西山らは前線に起因する豪雨災害に着目した気象場を分類するために、入力データとして可降水量と850hPa面の風速成分を用いていた。しかしながら、ここでは台風場に注目しているため、地表面における気圧、地表面における風速成分（東西方向成分および南北方向成分）および可降水量の4要素を用いる。入力データの次元は4要素×16地点で64次元となる。

緯度経度2.5度間隔のNCEP/NCAR再解析データからこれらデータを入手した。ここでは1979年から2019年までの41年間で台風シーズンである7月1日から10月31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 M は20,172個となる。

気象場分類に必要なデータではないが、台風では豪雨災害も引き起こすため、SOMには参考として降水に関する情報も併記する。西山らの研究¹³⁾に倣い、中国地方

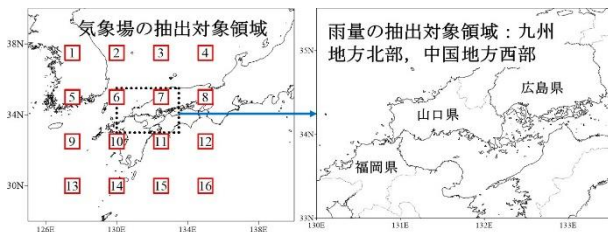


図-2 対象領域

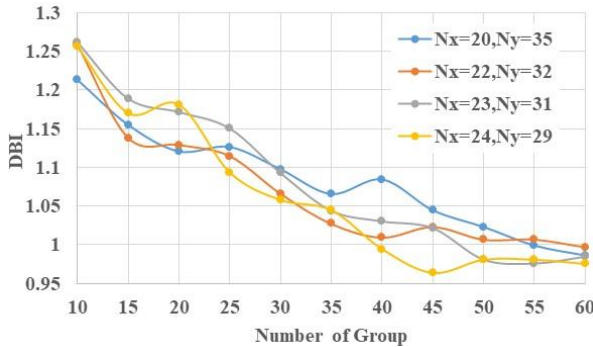


図-3 グループ個数とDBIの関係

西部と九州地方を含む経度幅3.5度×緯度幅2.5度を雨量抽出の対象領域とする。1km格子に変更された2006年から2018年までの解析雨量を使用し、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。30, 50, 80mm/hを閾値として、その値以上の雨量を記録した対象領域内の解析雨量メッシュの数を事例ごとに積算し豪雨頻度を計算した。

(3) マップサイズとグループ個数

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¹⁴⁾。

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

N は入力サンプル数である。本研究の K はおよそ710個となる。

マップの縦横比は全ての入力ベクトルから得られる共分散行列の第一固有値 e_1 と第二固有値 e_2 から次式で求める方法が提案されている¹⁴⁾。

$$N_y / N_x = \sqrt{e_1 / e_2} \quad (7)$$

ここでは 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。これらの積がユニット総数に近い組み合わせの候補を4個選択した。この候補についてSOM学習を行い、量子化誤差を比較したところ、違いが殆ど見られないことが分かった。そこでグループ化の手法に基づいてマップサイズを決定した。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る。

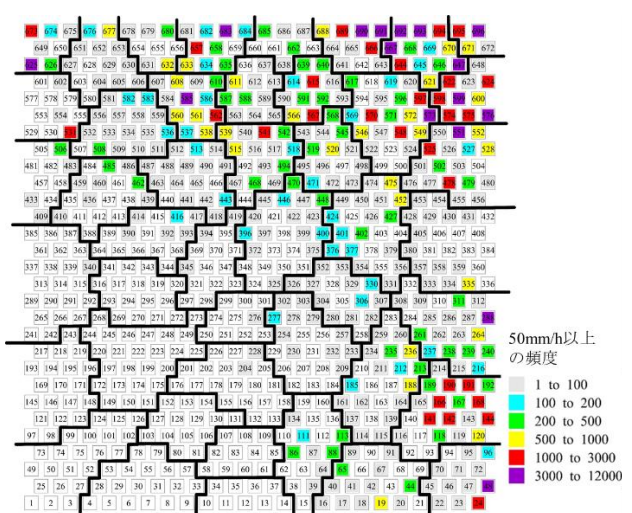


図-4 構築されたSOM

WARD法を用いて各縦横比のマップ上のユニットを10～60個のグループに分割し、グループ境界付近のユニットをK-MEANS法によって再配分する。すべての縦横比、グループ分割のすべての組み合わせに対してDBI (Davies-Bouldin Index)を計算し、その値が最小となるものをマップサイズとした。その結果を図-3に示す。最終的に、45グループ、 $(N_x, N_y)=(24, 29)$ のマップサイズを採用した。ユニット数は $24 \times 29 = 696$ 個であるため、20,172個の気象場データが696個のパターンに分類された。さらに各パターンは45個のグループにまとめられた。

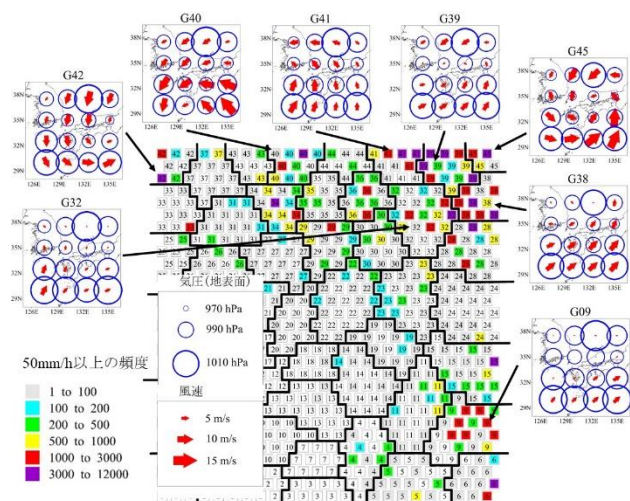
3. SOMによる気象場パターンの分類

(1) 気象パターンの分類

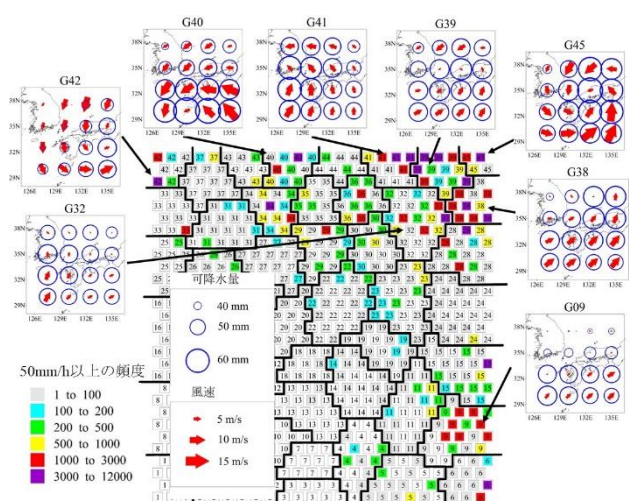
本研究で最終的に得られたSOMを図-4に示す。図中の小さな□がユニットであり、ユニット番号を記載している。またユニットには50mm/h以上の降雨の頻度もカラーで示している。または太い黒線で囲まれている領域がグループである。グループの形状は同一でないが、全部で45個のグループとなっている。マップの右上に豪雨の頻度が多いパターンが配置されている。これらは台風や前線による大雨がこの位置に分類されたものである。

豪雨頻度が高いグループの代表的な気象パターンをSOMの周囲に配置したものを図-5に示す。ユニット内の数値はグループ番号である。図-5(a)は周囲の気象パターンに地表面気圧を表示したものであり、図-5(b)は可降水量を示したものである。ここでは50mm/hr以上の降水量の頻度が高いグループの気象パターンを代表として示している。

グループ45 (G45) は風速が大きく反時計回りの循環を示していることがわかる。また中心部の地表面気圧も周囲と比較して小さく、北部九州の東側に中心を持つ典型的な台風パターンを示している。また可降水量も大き



(a) 気象パターンに気圧を表示



(b) 気象パターンに可降水量を表示

図-5 SOM (グループ番号を表示) と代表的な気象場パターン

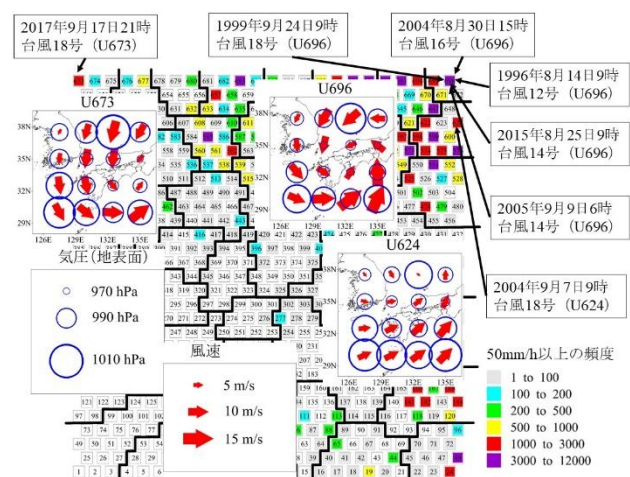


図-6 過去の台風災害のSOM上の位置

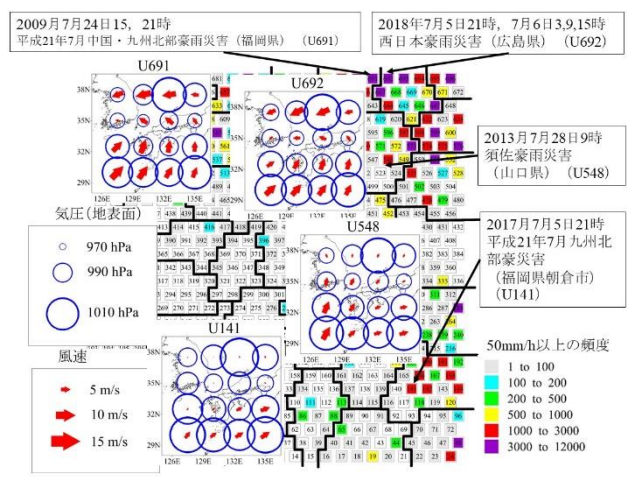


図-7 過去の豪雨災害のSOM上の位置

く豪雨災害も引き起こすパターンである。G39, G40, G41, G42の風速ベクトルも反時計回りの循環を示しており台風もしくは低気圧の気象場となっている。ただしG40やG41では低気圧の中心はこの気象場領域の外にあるようである。G32, G38も反時計回りの循環が確認できる。これは低気圧および低気圧に伴う前線に向かう風を表している。G09は前線に向かって水蒸気が運ばれていくパターンを示している。特に北側と南側で可降水量に大きな相違が見られる。梅雨前線が存在し、南側から多量の水蒸気は運ばれているパターンと解釈できる。

(2) 過去の台風災害事例に対応するユニット

図-6に過去の台風災害事例に対応するユニットを示す。また、参照のため図-7に過去の梅雨前線による豪雨災害事例に対応するユニットを示す。いずれも対象地区で災害が発生した時刻あるいは暴風等が最も激しかった時刻に最も近い時刻のデータを対象としている。G45のユニット696 (U696) には1996年8月に瀬戸内海東部で高潮

災害を引き起こした台風9612号、1999年9月に不知火海や周防灘で高潮災害を引き起こした台風9918号、瀬戸内海各地で高潮災害を引き起こした台風0416号および台風0514号が含まれている。

また同じように瀬戸内海や日本海沿岸で高潮を引き起こした台風0418号はG38のU624に分類されている。台風0418号の経路は台風9918号や台風0416号よりも北側を通過しているため風のパターンがG45と異なっている。

2017年9月の台風1718号はG42のU673に分類された。この台風は鹿児島県薩摩半島付近を通過し同県垂水市に上陸したものであり、全国的に暴風と大雨をもたらした。上述の台風よりも九州の南側を通過したため、それらと異なるグループに分類されている。

梅雨前線に起因する豪雨では図-7に示す北部九州、中国地方で発生した4個の豪雨災害について記した。2009年7月19日～26日にかけて梅雨前線の活動が活発になり山口県や福岡県において豪雨が発生した。福岡県で豪雨が発生した24日の気象パターンはG41のU691に分類され

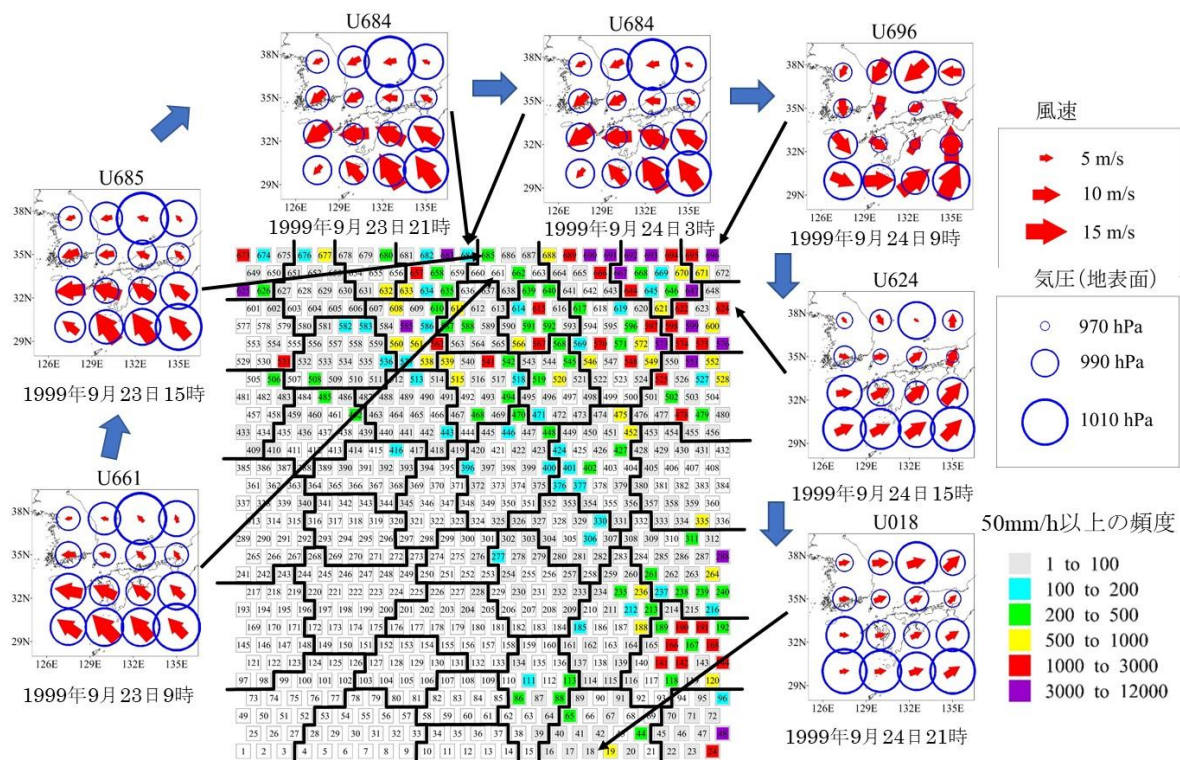


図-8 台風9918号のSOM上の動き

た。2018年7月の西日本豪雨災害（広島県を対象）はG39のU692に属する。これらは図-5で述べたように反時計回りの循環を示しており、低気圧と梅雨前線により豪雨が発生した。

一方、2013年7月の須佐豪雨災害はG32のU548に分類され、2017年7月の九州北部豪雨災害はG9のU141に分類された。これらは低気圧による回転パターンを示しておらず、前線に向かって南からの風が見られる。

本研究で得られたマップでは、上段に台風や低気圧による反時計回りの循環が見られる気象場パターンが配置されている。特に北部九州、中国地方に甚大な高潮被害をもたらした台風はG45のU696に分類された。

4. 台風9918号のSOM上での挙動

前章ではある時刻におけるある気象場がSOM上でどこに位置するのかを検討したが、この章では一つの台風に着目し、時系列的にSOM上で台風による気象パターンがどのような挙動をとるのかを検討した。ここではその一例として台風9918を取り上げる。

図-8に1999年9月23日9:00から9月24日21:00までの36時間のSOM上の挙動を示す。周囲には気象場パターンを併示している。また図-9に気象場パターンの時刻に対応する台風9918号の中心位置を示している。

23日9:00および23日15:00の中心位置はともに薩摩諸島の東側にあり、比較的遅い速度で北上している。それぞれのユニットは同一のグループG44のU661、U685である。

反時計回り循環の一部が抽出されている。

23日21:00と24日3:00の気象場はともにG40のU684のユニットに分類された。24日3:00では九州西岸に接近しており甕島列島近くに台風中心が位置している。U685と比較すると、左下の風ベクトルの向きがU684では南西方向を向いており若干パターンが異なる。

台風9918号は24日6:00頃に不知火海で甚大な高潮災害を引き起こし、その後9:00に周防灘に到達し、周防灘周囲で甚大な高潮災害を引き起こした。前出のように9:00でのユニットはG45のU696である。その後、同日15:00には島根県沖に移動した。ユニットはG38のU624である。循環的な風のパターンがまだ残っている。24日21:00には台風は石川県沖に抜けた。ユニットはG5のU18であり、気象場パターンには循環的な風のパターンは見られず、台風が過ぎ去った後のパターンとなっている。SOM上においてもU696とは離れた位置にあり、気象パターンが全く異なることが分かる。

5. 結論

本研究はSOMを用いて北部九州・中国地方で高潮災害を引き起こした台風の気象場の分類を試みたものである。本研究では696個のユニット、45個のグループからなるSOMを構築した。分析の結果、北部九州・中国地方で甚大な高潮災害を引き起こした台風はG4のU696に分類されることが分かった。また台風9918号を事例として、台風の進行にともない、SOM上でどのような挙動

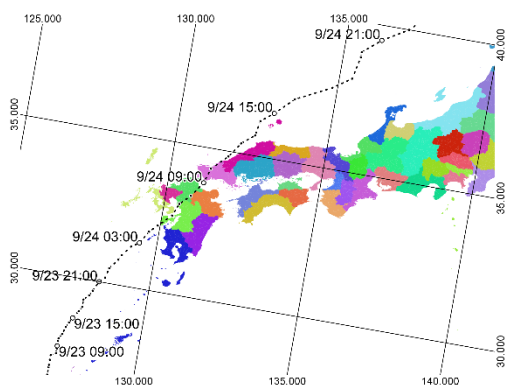


図-9 台風 9918 号の経路

を示すのかを検討した。その結果G44, G40, G45, G38, G5へと移動した。SOMの上段のグループを通過しており、これらグループには台風やそれに類似する低気圧が分類される。

さてGSMでは11日先、MSMでは51時間先の気象場を予測している。これを用いて、例えば24時間後の気象場が今回作成したSOMのどのユニット属するのか（どのユニットの参照ベクトルに最も近くなるのか）を求めることができる。もしU696のような危険なユニットに分類される場合、過去に高潮災害を引き起こした気象パターンと類似していることを住民に情報提供することで、想定される災害リスクの認識と早期の安全対策・避難行動につながるものと期待される。

参考文献

- 1) 森 信人, 中條壯大, 安田誠宏, 片岡智哉, 鈴木高二朗, 有川太郎: 2018 年台風第 21 号による高潮・高波災害の概要, 日本風工学会誌, 日本風工学会, Vol.44, No.3, 288-293, 2019.
- 2) 高木泰士, Md Rezuanul ISLAM, Le Tuan ANH, 高橋篤平, 杉生高行, 古川郁貴: 2019 年 9 月台風 15 号による神奈川・千葉・茨城の高波被害および東京湾の波浪追算 土木学会論文集 B3 (海洋開発), 土木学

会, Vol.76, No.1, 12-21, 2020.

- 3) 国土交通省, 令和元年台風第 19 号等による被害状況等について (第 50 報), <https://www.mlit.go.jp/common/001319108.pdf>
- 4) 滝川清, 田淵幹修, 山田文彦, 田中健路: 現地調査結果からみた高潮の規模と実態: 台風 9918 号による不知火海高潮災害, 海と空, 海洋気象学会, Vol.76, No.4, 179-184, 2001.
- 5) 光永臣秀, 平石哲也, 宇都宮好博, 三原正裕, 大川郁夫, 中川浩二: 台風 9918 号による周防灘での高潮高波被害の特性, 土木学会論文集, 土木学会, Vol.2003, No.726, 131-143, 2003.
- 6) 国土交通省河川局防災課災害対策室, 災害列島 2005 2004 年の災害を振り返る, https://www.mlit.go.jp/river/pamphlet_jirei/bousai/sai-gai/2005/24.pdf
- 7) 富田孝史, 本多和彦, 河合弘泰, 柿沼太郎: 2004 年台風 16 号による高松の高潮浸水被害, 海岸工学論文集, 土木学会, Vol.52, 1326-1330, 2005.
- 8) Kohonen, Teuvo: Self-organization and associative memory, Springer Series in Information Sciences Vol. 8. Springer Science & Business Media, 2012.
- 9) Kohonen, Teuvo: Self-Organizing Maps, Springer Series in Information Sciences Vol.30, Springer Science & Business Media, 2012.
- 10) Ninomiya, K : Large-and meso- α -scale characteristics of Meiyuand Baiu front associated with intense rainfalls in 1-10 July 1991, *J. Meteor. Soc. Jpn.*, Vol.78, pp.141-157, 2000.
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) 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, I_1201-I_1206, 2019.
- 14) Vesanto, J., Himberg, J., Alhoniemi, E. and Parahankangas, J.: SOM Toolbox for Matlab 5, *Helsinki University Report*, A57, 2000.

(Received March 16, 2020)

(Accepted July 27, 2020)

CLASSIFICATION OF METEOROLOGICAL FIELD PATTERNS CAUSING STORM SURGE IN NORTHERN KYUSHU AND CHUGOKU REGION USING SOM

Koji ASAI, Koji NISHIYAMA, Hajime SHIROZU and Masahiro NIWA

The meteorological field data from 1979 to 2019 in northern Kyushu and Chugoku districts were classified by The SOM, which consists of 696 units (patterns) and 45 groups. In the map created in this study, the cyclical winds caused by typhoons and low-pressure depression are located in the upper part of the map. It was found that the typhoon that caused the storm surge disaster in northern Kyushu and Chugoku region was classified into the 696th unit of group 45. From the SOM pattern recognition of meteorological fields obtained by GSM or MSM, it would be possible for residents to provide information that a meteorological field characterized by an approaching typhoon is similar as the past one that actually caused serious storm surge disaster.