19.衛星搭載型マイクロ波放射計を用いた日本国内における洪水浸水域の推定

佐藤　真優[1]*・手塚　樹哉[1]・石平　博[2]・相馬　一義[2]・馬籠　純[2]

[1]山梨大学大学院医工農学総合教育部工学専攻（〒400-8510 山梨県甲府市武田4-4-37）

[2]山梨大学大学院付属国際流域環境研究センター（〒400-8510 山梨県甲府市武田4-4-37）

＊ E-mail: *g22tr003@yamanashi.ac.jp*

本研究では，マイクロ波放射計(SSM/I, SSMIS)の輝度温度情報をダウンスケーリングしたMEaSUREsデータから算出される地表面水指標(NDFI・NDPI及びΔmNDFI・ΔmNDPI)を用いて広域浸水状況の把握を試みる。特に，2019年10月の台風第19号を対象に地表面水指標の空間分布や時間変動と浸水被害域分布及び河川水位，洪水警報危険度分布(キキクル)との対比を通して，各指標の特性について検討を行った．その結果，NDFI・ΔmNDFIでは洪水被害域やキキクルとの位置的な対応が確認された。一方，NDPI・ΔmNDPIは河川水位の変動と対応している部分も確認されたが，指標値が負となる地点が多く見受けられ，そのほとんどが海岸線付近や山地であることが明らかとなった．

Key Words : *Passive microwave remote sensing, flood inundation, NDFI, NDPI, Kikikuru*

1. はじめに

近年，線状降水帯やゲリラ豪雨による集中豪雨や大型台風の上陸による洪水被害が各地で発生している．例えば，2020年7月には梅雨前線の影響により，九州地方を中心に7県で大雨特別警報が発表され，球磨川や江の川といった大河川で溢水が確認されるなど，西日本から東北地方にかけて広い範囲で甚大な被害をもたらした[1)]．さらに2022年8月には新潟県及び山形県にて線状降水帯による大雨が発生し，大雨特別警報が発表されたほか，最上川上流や梯川で河川の氾濫が発生した[2)]．また気象庁が発表している「日本の気候変動2020－大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書－」[3)]によると，年降水量に有意な変動はみられないが，大雨や短時間強雨の発生回数は1901年から2019年の間で有意に増加していると報告されている．

このような年々増加する豪雨災害からの復旧や対策のためには，洪水被害域の特定が重要となる．現在とられている手法として，現地調査や航空機を用いた観測が挙げられるが，広範囲に及ぶ浸水域の調査には限界がある．その一方で，衛星リモートセンシングによる広域浸水状況の把握については，これまでにも多くの検討事例が報告されており，その中にはマイクロ波放射計で観測される輝度温度情報を用いる手法も含まれている。Li and Takeuchi[4)]は，AMSR-Eの輝度温度から算出されるNormalized Difference Frequent Index及びNormalized Difference Polarization Index (以下，NDFI及びNDPI)と，PALSARから得られるLand surface warter coverを比較し，NDFI及びNDPIを用いた地表面の湛水状況把握の可能性を示している．また瀬戸ほか[5)]は，GMIとAMSR2の輝度温度から算出したNDFIを用いて日単位の全球地表水マップを作成した．さらに瀬戸[6)]は，NDFIから算出した冠水率と土地利用を基にした冠水レベルから平成30年7月豪雨における小田川の氾濫の検出を行っている．しかし，これら既往研究においては，NDFIとNDPIの特性の違いや，都市部での浸水，内水氾濫の検出が課題として残されている．

そこで本研究では，2019年に発生した台風第19号について，NDFI及びNDPIが持つ浸水状況の検出能力や特性を検討することを目的とする．本稿の構成は，2章で地表面水指標のNDFI及びNDPIの算出と浸水被害域の比較を行い，3章で1地点における地表面水指標と降水量及び水位との時間変動を比較する。4章で気象庁が提供するキキクルとの比較をし，5章でまとめを行う．

2. 衛星搭載型マイクロ波放射計データによる地表面水指標算出と浸水状況との比較

(1) マイクロ波放射輝度温度(MEaSUREs)データ

本稿では，NASAのMaking Earth System Data Records for Use in Research Environment(MEaSUREs)の一部であるMEaSUREs Calibrated Enhanced-Resolution Passive Microwave Daily EASE-Grid 2.0 Brightness Temperature ESDR, Version 1[7]のうち，SSM/I及びSSMISで観測された輝度温度データを使用した．この輝度温度データは4機のDMSP衛星が上昇軌道と下降軌道の1日2回観測を行うため，1日あたり最大で8回の観測データの取得が可能である．

(2) 地表面水指標の算出

Li and Takeuchi[4]に倣い、NDFI及びNDPIを以下の式(1a)及び(1b)により算出した。

$$\mathrm{NDFI} = (\mathrm{TB}_{22\mathrm{V}} - \mathrm{TB}_{19\mathrm{V}})/(\mathrm{TB}_{22\mathrm{V}} + \mathrm{TB}_{19\mathrm{V}}) \quad (1a)$$

$$\mathrm{NDPI} = (\mathrm{TB}_{37\mathrm{V}} - \mathrm{TB}_{37\mathrm{H}})/(\mathrm{TB}_{37\mathrm{V}} + \mathrm{TB}_{37\mathrm{H}}) \quad (1b)$$

式中のTBは輝度温度を示し，22V及び19Vはそれぞれ22GHz及び19GHzの垂直偏波，37V及び37Hは37GHzの垂直偏波と水平偏波を示している．またNDFIは約6km，NDPIは約3kmの空間解像度を持つ．

NDFI及びNDPIの指標値そのままでは，水田などの恒常的に水がある場所における浸水状況の変化を考慮できないため，以下の式(2a)及び(2b)により晴天時との差を算出し，ΔmNDFI及びΔmNDPIとして浸水被害面積マップとの比較に用いた．

$$\Delta\mathrm{mNDFI} = \mathrm{mNDFI}_{\mathrm{target}} - \mathrm{mNDFI}_{\mathrm{normal}} \quad (2a)$$

$$\Delta\mathrm{mNDPI} = \mathrm{mNDPI}_{\mathrm{target}} - \mathrm{mNDPI}_{\mathrm{normal}} \quad (2b)$$

なお，式中のmNDFI及びmNDPIは各日のピクセルごとのNDFI, NDPIの最大値を表し，下付き文字のtarget及びnormalはそれぞれ対象日と晴天日を表している．本検討では対象日を2019年10月11日から13日(UTC)，晴天日を2019年10月2日(UTC)とした．

(3) 浸水被害面積マップの作成

NDFI及びNDPIの浸水被害域の検出能力を検証するために，浸水被害面積の大きさを示すマップ(図-1)を比較対象として作成した．使用したデータは国土交通省[8]が取りまとめている「水害統計調査」の「市区町村別主要異常気象別一般資産等水害被害」である．被害面積が広い場所ほど黒く表示しており，東北地方から関東地方の太平洋側に被害面積が広い場所が広い範囲で分布してい

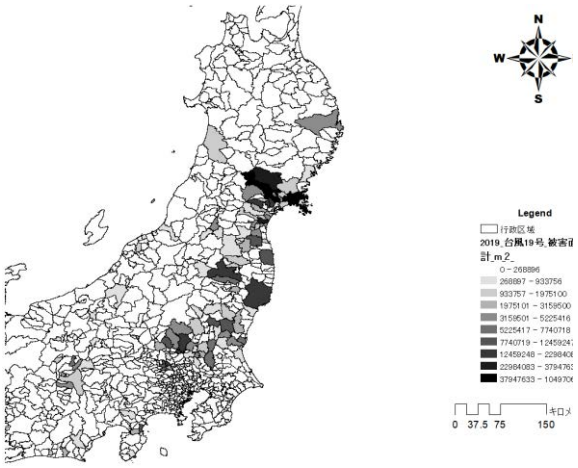
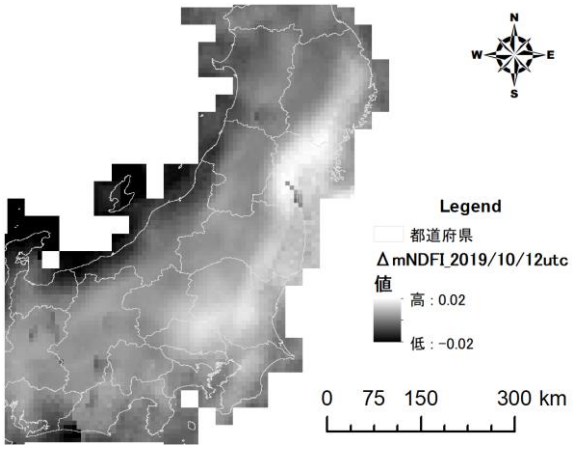
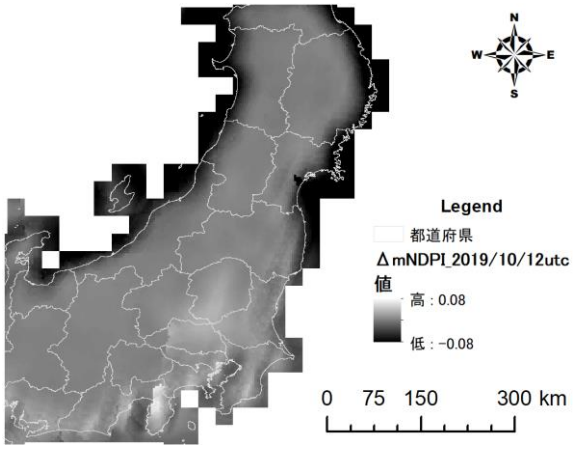


図-1　浸水被害面積マップ



(a) ΔmNDFI



(b) ΔmNDPI

図-2　地表面水指標値の分布
(2019年10月12日(UTC))

ることが分かる．このマップをΔmNDFI及びΔmNDPIと比較し，それぞれの指標が浸水域を捉えているかを評価する．

(4) ΔmNDFI及びΔmNDPIによる浸水域の検出

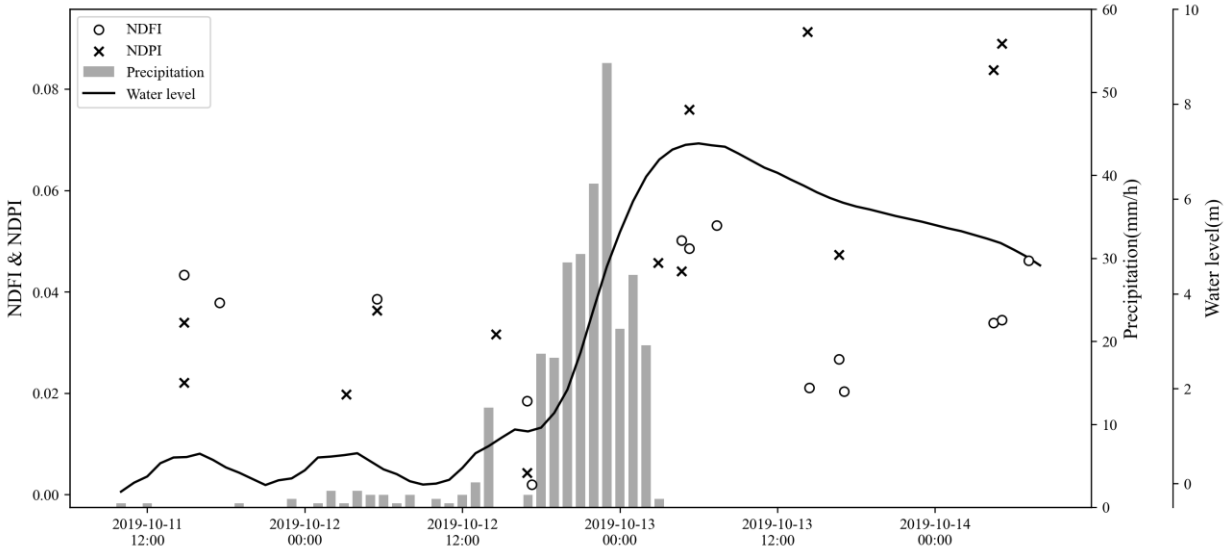
Δ mNDFI及びΔ mNDPIの分布を図-2に示す．Δ mNDFI(図-2a)は太平洋側で値が高いことを示す白色に近く，特に被害があった宮城県や埼玉県付近で値が高くなっている．一方ΔmNDPI(図-2b)では，関東地方を中心に値が高くなっているが，東北地方で目立った値の上昇は見られなかった．以上のことから，ΔmNDFIでは洪水被害域の検出が可能であることが示唆された．

表-1　抽出地点及び降水量・水位観測所

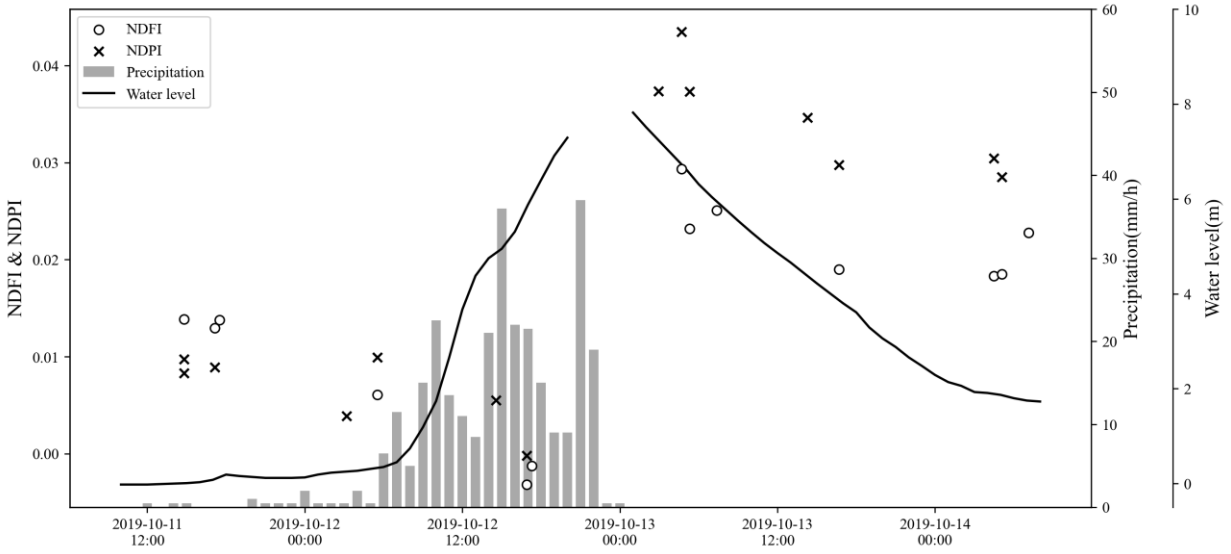
抽出地点	宮城県名取市	埼玉県さいたま市
河川	阿武隈川水系 阿武隈川	荒川水系入間川
降水量	名取	さいたま
水位	岩沼	入間川落合橋

3. 地表面水指標値及び水文量の時間変動

浸水被害域を含むピクセル2地点を抽出し，NDFI及びNDPIの変動と降水量及び水位と比較した．抽出地点と各データの観測所を表-1に示す．なお，浸水被害域は国土地理院が公開している浸水推定図[9]を使用した．また



(a) 名取市



(b) さいたま市

図-3　抽出地点における各データの時間変動

降水量や水位については抽出地点から最も近い観測所を選択した.

結果を**図-3a**及び**図-3b**に示す．また，入間川落合橋については10月12日21時～10月12日24時(JST)までの水位データが欠測となっている．いずれの地点においても降水量のピークを過ぎた後に水位がピークに達している．また，名取において水位がピークを迎えた頃にNDPIで降雨前より高い値をとる点が現れた．一方でNDFIでは水位のピーク時に降雨前より高い値を取り，その後値が低下した．さいたま市の例では，いずれの指標についても水位のピークとともに値がピークを迎え，その後水位の低下とともに値が減少した．以上の結果より，浸水が発生した地点において，どちらの指標も降水前より高い値となり，浸水の発生を検知できる可能性があると考えられる．ただし，2地点において指標値の範囲は異なっており，地点ごとに閾値を設定する必要がある.

4. 地表面水指標とキキクルの対比

⑴ 使用データ

本章では洪水警報の危険度分布(以下，キキクル)とΔmNDFI及びΔmNDPIの比較を行う．キキクルとは，流域雨量指数と過去の災害実績を基に設定した基準値から，その地点の警報・注意報基準の到達状況を5段階で示したものである[10]．本検討では気象庁甲府地方気象台より提供頂いたキキクルの1kmメッシュデータを用いた．対象範囲は特に被害のあった太平洋側と関東地方を中心とした岩手県・宮城県・福島県・茨城県・栃木県・群馬県・埼玉県・長野県とし，2019年10月12日(UTC)で解析を行った.

キキクルと地表面水指標の比較を行うため，以下の手順でキキクルのメッシュサイズを変更した.

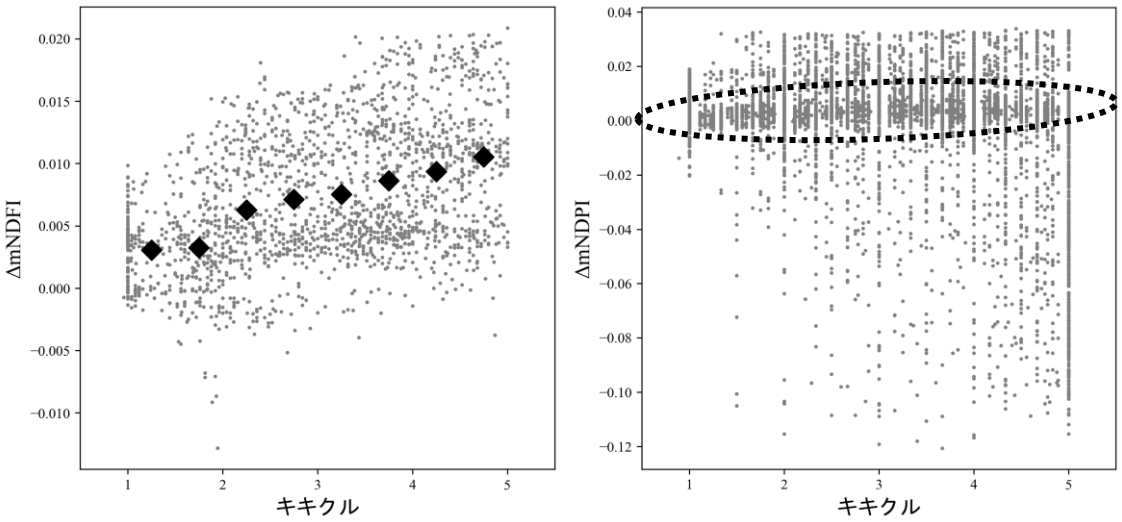
① キキクルの最大値を日ごとに算出
② キキクルの最大値と地表面水指標をそれぞれポイントデータに変換
③ それぞれのキキクルのポイントデータに最も近い距離にある地表面水指標のXY座標を付与
④ XY座標が同一のキキクル値を平均し地表面水指標値と比較

⑵ 地表面水指標との比較

上記(1)で作成したキキクルの平均値とΔmNDFI及びΔmNDPIを比較した結果を**図-5a**及び**図-5b**に示す．また**図-5**中のひし形(◆)のプロットは，キキクル値を0.5刻みの区間に分割し，各区間内で求めたΔmNDFIの平均値を示している．**図-5a**におけるプロットのバラツキは大きいが，ΔmNDFIについては，キキクルの値が高くなるにつれてΔmNDFI値も上昇する傾向が見られ，両者の間にある程度の対応関係が確認された。一方，ΔmNDPIについては，キキクル値の上昇に伴い僅かに上昇する部分(図中破線で囲まれた部分)も見られたが，キキクル値が高い部分においても，ΔmNDPIが負の値となる(洪水時のNDPIが晴天時よりも低くなる)点も多く見られた。

⑶ 異常値の分布

地表面水指標であるNDPIは，晴天時よりも洪水時において値が大きくなりΔmNDPIは正の値を取ると考えられるが，上記(2)で述べた通りΔmNDPIが負の値となる地域も多く存在することが明らかとなった。このように



(a) ΔmNDFI　　(b) ΔmNDPI

図-5 地表面水指標とキキクルの比較

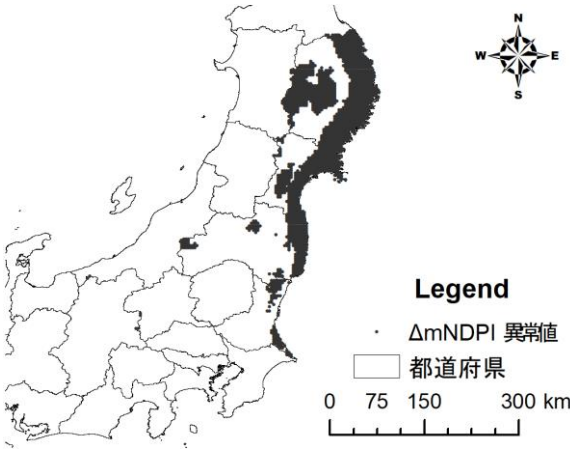


図-6 異常値の分布

ΔmNDPIが負の値(異常値)となる場所や要因を考察する．

図-6の黒い部分が異常値となった地点を示したものである．海岸から40km程度の範囲で集中して異常値を示していた．また内陸地にも固まって数か所異常値を示す点が存在している．内陸地となっている地点は山間部が多く，ΔmNDPIが異常値を示す要因が海岸付近や山地といった地形的なものである可能性が考えられる．

5. まとめ

本研究では，衛星搭載型マイクロ波放射計(SSM/I, SSMIS)で観測された輝度温度をダウンスケーリングしたMEaSUREsのデータを使用してNDFI・NDPI及びΔmNDFI・ΔmNDPIを算出し，その空間分布・時間変動と水文量(降水量，水位)及びキキクルとの対応から，それぞれの地表面水指標が持つ特性について検討した．

その結果，NDFIとそれをもとにしたΔmNDFIでは洪水被害が発生した地点と値の高い地点が一致しており，キキクルとの対応も比較的とれていることから，洪水浸水状況の検出に利用できる可能性が示唆された．一方，NDPIとそれをもとにしたΔmNDPIについては，河川水位の時間変動との対応が見られる部分も確認されたが，海岸付近や山地で異常値を示す結果となった．しかし山地の多い長野県では異常値が少ないなど，同じ山地地域であっても，異常値の発生傾向が異なる点も存在するため，傾斜や土地利用など，他の要因についても検討する必要がある．

謝辞

本研究で使用したキキクルデータは，気象庁甲府地方気象台より提供頂きました．また，本研究は，科研費基盤研究（C）22K04328の支援を受けました．ここに感謝の意を表します．

REFERENCES

1) 内閣府：令和 2 年 7 月豪雨による被害状況等について．https://www.bousai.go.jp/updates/r2_07ooame/pdf/r20703_ooame_40.pdf
2) 気象庁：8 月 1 日から 6 日の前線による大雨．https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2022/20220822/jyun_sokuji20220801-0806.pdf
3) 気象庁：日本の気候変動 2020 −大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書−．https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ccj/index.html
4) Li, X. and Takeuchi, W.：Land Surface Water Coverage Estimation with PALSAR and AMSR-E for Large Scale Flooding Detection, Terr. Atomos. Ocean. Sci., Vol.27, No.4, 473-480, 2016
5) 瀬戸心太，峯浩然：複数のマイクロ波放射計を用いた全球地表水マップの作成と基礎的な検証，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.74，No.5，I_67-I_72，2018．[Seto, S. and Mine, H.: Production of global surface water map by multiple microwave radiometers and its fundamental validation, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), Vol.74，No.5，I_67-I_72，2018.]
6) 瀬戸心太：マイクロ波放射計を用いた氾濫の検出と高空間解像度の地表水マップの作成，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.75，No.2，I_1093-I_1098，2019. [Seto, S. : Detection of inundation and production of high-spatial-resolution surface water map using microwave radiometers, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), Vol.75，No.2，I_1093-I_1098，2019.]
7) National Snow & Ice Data Center : MEaSUREs Calibrated Enhanced-Resolution Passive Microwave Daily EASE-Grid 2.0 Brightness Temperature ESDR, Version 1. https://nsidc.org/data/nsidc-0630/versions/1
8) 国土交通省：水文水資源データベース．http://www1.river.go.jp/
9) 国土地理院：令和元年台風 19 号に関する情報．https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R1.taihuu19gou.html
10) 気象庁：洪水キキクル(洪水警報の危険度分布)．https://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/bosai/riskmap_flood.html