NO.

【研究成果報告時/報告書（概要版）】様式－１－ウ

局地的豪雨に対応可能な小河川の水位監視システムに関する研究

明石工業高等専門学校　教授　鍋島康之

近年の気象災害では、局地的に時間雨量50mmを超える激しい雨が集中する地域が発生し、強雨の継続により洪水災害や土砂災害を誘発する現象が顕著に見られる。このような気象災害を防ぐためには、局地的な集中豪雨に対応した小河川の水位監視システムが必要になる。しかしながら、小河川の水位観測システム整備は費用的な理由から設置が困難な状況である。このため水位観測が実施されていない小河川の水位を高精度で把握するため、定点カメラ等の画像を使用して河川画像からでも機械学習により河川水位を判断する手法について検討した。本研究では、令和2年7月豪雨災害における小河川の被災事例をもとに、小河川の水位監視システムの必要性について明らかにするとともに、明石川下流域の三次元モデルの作成ならびに流域防災カメラ画像を用いた河川水位推定結果について述べる。

Key Words ： 局地豪雨、小河川、水位監視、機械学習、画像解析

１．はじめに

近年の気象災害[1)]では、局地的に時間雨量50mmを超える激しい雨が集中する地域が発生し、強雨の継続により洪水災害や土砂災害を誘発する現象が顕著に見られる。このような気象災害を防ぐためには、局地的な集中豪雨を正確に把握し、地域を流れる小河川の水位急上昇を把握するシステムが必要になる。このため、河川の水位観測システムの整備が広範囲に必要であるが、未だ整備されていない中小の河川も数多く存在する。特に小河川の水位観測システム整備は費用的な理由から設置が困難な状況である。

また、図-1は国土交通省が発表している平成13（2001）年から令和2（2020）年までの土砂災害発生件数[2)]である。土砂災害発生件数には、がけ崩れ、土石流、地すべりの件数が含まれている。図-1から明らかなように、2000年代と2010年代では発生件数が増加傾向を示しており、10年間の平均で、2000年代が1058件であるのに対して、2010年代は1495件と300件以上増加している。この傾向は近年の局地的な集中豪雨の増加と関係しおり、単に河川の氾濫だけでなく、土砂災害も誘発していることがわかる。

本研究では、小河川の水位をWEBカメラや定点カメラ等の画像からでも機械学習により河川水位を判断する手法について検討することを目的とし、令和2年7月豪雨災害における小河川の被災事例をもとに、小河川の水位監視システムの必要性について明らかにする。また、明石川を例として下流域の三次元モデルの作成ならびに流域防災カメラ画像を用いた河川水位推定結果について述べる。

２．令和2年7月豪雨による土砂災害

令和2年7月は日本付近に停滞した前線の影響で西日本から被害市日本の広い範囲で大雨となり、熊

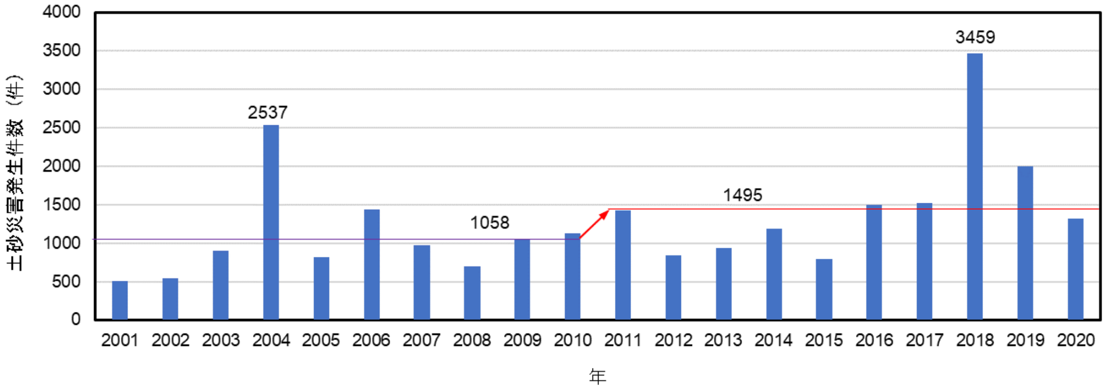


図-1　2001 年から 2020 年までの土砂災害発生件数の変遷

本県球磨川などで反乱が相次いだほか、土砂災害などが広い地域で発生した。滋賀県高島市拝戸の小河川で発生した土石流災害を紹介し、小河川の水位観測の必要性について述べる。

(1) 令和2年7月豪雨災害

令和2（2020）年7月3日から7月31日にかけて、日本付近に停滞した前線の影響で、暖かく湿った空気が継続して流れ込み、各地で大雨となり、人的被害や物的被害が発生した。気象庁[3)]では顕著な災害をもたらしたこの一連の大雨について「令和2年7 月豪雨」と名称を定めている。特に、7月3日から8日にかけて、梅雨前線が九州付近を通って東日本にまで停滞した。梅雨前線の活動が非常に活発で、西日本や東日本で大雨となり、九州では7月4日から7日は記録的な大雨となった。また、岐阜県周辺では6日から激しい雨が断続的に降り、7日から8日にかけて記録的な大雨となった。

(2) 滋賀県高島市拝戸の土砂災害

この豪雨により、近畿地方では滋賀県高島市拝戸地区において令和2年7月8日早朝に土石流が発生した。土石流は民家などを直撃しながら、写真-1に示すように大量の土砂とともに下流に流出し、民家近くの製材所敷地にも流れ込み、広範囲に被害をもたらした。その結果、家屋の損壊や床上浸水が発生した。7月14日には国土交通省からTEC-FORCEが派遣され、約500mにわたり土石流が発生していたことが報告されている。土石流が発生した地域は図-2に示すように滋賀県[4)]の土砂災害警戒区域（和田打川支流、イエローゾーン）に指定されている地域であった。土石流が発生した7月8日の天候[5)]は図-3に示すように活発な雨雲がかかっており、気象庁の記録（高島市今津[5)]）では、1時間最大59.0mm、日最大104.0mmの降雨が記録されており、活発な梅雨前線の影響でかなりの降雨があったことが伺える。

写真-1 滋賀県高島市拝戸の被災状況
（(株)前河建設　提供）

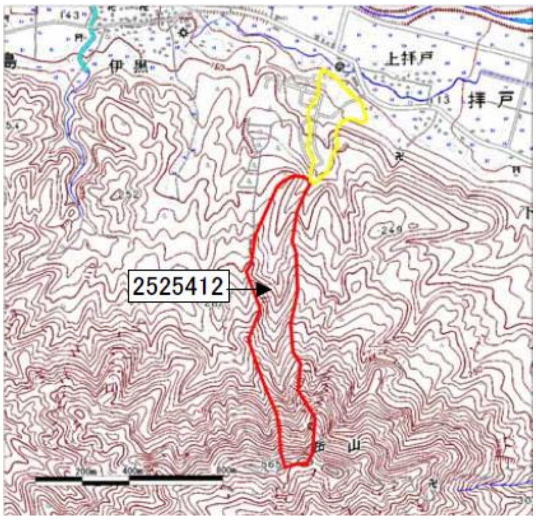


図-2 拝戸地区の土砂災害警戒区域
（滋賀県ホームページから）

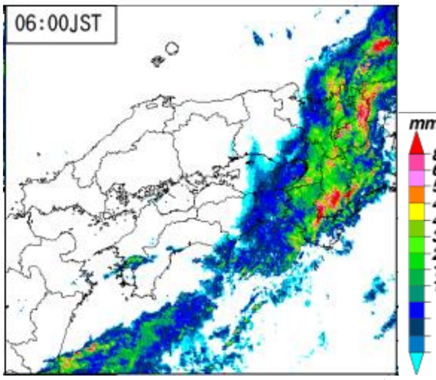


図-3 令和2年7月8日6時のレーダー画像

(3) 滋賀県高島市拝戸の現地調査

本研究では、令和2年11月4～5日に現地調査を行った。図-4は国土地理院地図[6)]の高島市拝戸地区を示している。図中の茶色の矢印は現地調査結果から推定される土石流の流下方向を示している。今回発生した土石流は、国土地理院地図では常時水流がある河川（水色の表示）としての記載は無く，普段は水量の少ない箇所であることが推測できる。図中には土石流による被災箇所の写真-1の範囲を示している。被災した家屋は和田打川支流が屈曲した箇所に位置しており、屈曲した部分を土石流が溢流して流下したものと考えられる。写真-2は土石流が流出してきた方向をUAVで空中から撮影した画像である。図-4に写真-2に該当する範囲を示している。土石流は写真-2の方向から流下したことがわかる。写真-3は国土地理院地図上で河川として記載されている方向（図-4中の●印）を撮影した画像であるが，今回の豪雨ではこの方向からの土石流は発生しておらず，普段は河川として記載されていない水量の少ない方向から土石流が発生していることがわかった。このことから普段は水量が少ない河川でも、局地的な集中豪雨が発生した場合、小河川でも土石流を伴うような災害を誘発することが明らかになっ

た。写真-4は土石流が流下した際に浸食した崖を示しており、過去の土石流で堆積した土砂の画像である。かなり厚い土砂の堆積が確認でき，過去にも大規模な土石流が発生していたことが確認できた。

今回の滋賀県高島市拝戸地区の土石流調査を通して、普段は水量のほとんどない小河川においても局地的な集中豪雨の場合には水量が急激に増加し、場合によっては土石流などの土砂災害を伴うような災害に発展する危険性が明らかになった。小河川の水位観測システムの必要性が確認された。

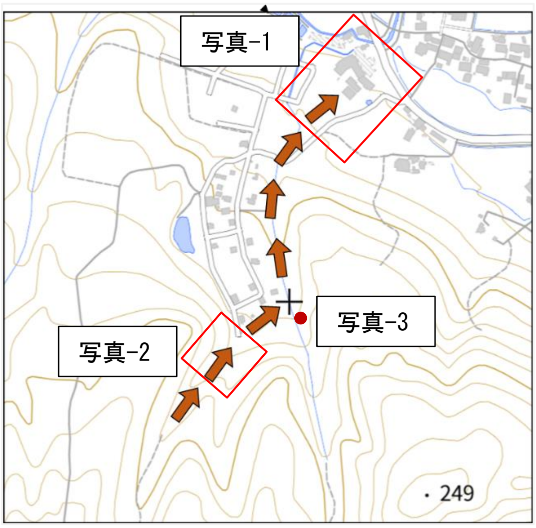


図-4　現地調査結果による土石流の流下方向

写真-2　土石流上流方向の空中写真

写真-3　国土地理院地図の河川上流方向

写真-4　過去の土石流堆積物

３．明石川の河川水位と河川カメラ画像

(1) 明石川流域防災カメラ

国土交通省の「川の防災情報」には、主要な河川の水位情報だけでなく、河川カメラの画僧が掲載されている。写真-5は加古川の粟田橋（兵庫県小野市住永町）のカメラ画像である。加古川水系には多くの河川カメラが設置されているが、河川の水位を判断するために使用可能な画像が少なく、カメラの画質もあまり高解像度ではないため、河川水位を画像から判定するにはあまり適していないことが分かった。また、兵庫県下の揖保川についてもカメラ画像を確認したが、同様にカメラの画像は鮮明ではなく、位置やアングルの関係で河川水位を判定するために適した画像はあまり多くないことがわかった。

写真-5　加古川水系加古川粟田橋カメラ画像

そこで、様々な河川カメラの画像を検索した結果、明石川の流域防災カメラの画像を使用することとした。この画像は明石市が明石市立大観小学校校舎屋上に設置したカメラで明石大橋周辺の画像をYouTubeにライブ放送しているもので、過去12時間まで遡って画像を確認することができる。写真-6は大観小学校校舎に設置されたカメラであり、写真-7は明石大橋ならびに明石川の写真である。また、明石大橋下流側では国土交通省の水位計が設置されており、河川水位を10分間隔で把握することが可能である。このため、流域防災カメラ画像と河川水位を比較することが可能である。明石川の流域防災カメラ画像については次節で述べる。

NO.

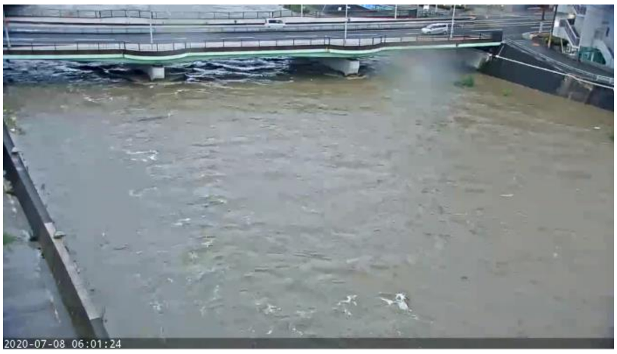
写真-6　明石川流域防災カメラ

写真-7　明石大橋および明石川

(2) 明石川の河川水位とカメラ画像

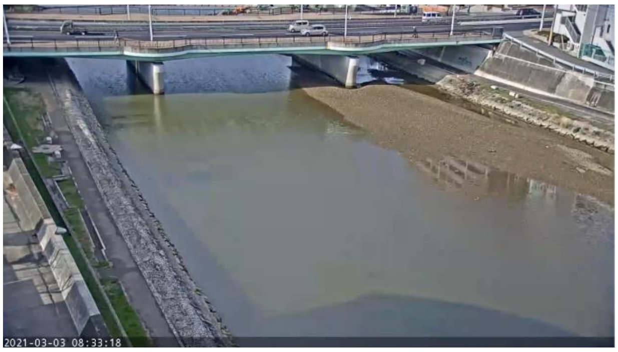
本研究では、2020年2月10日から2021年9月17日まで不定期ではあるが、明石川の河川水位と流域防災カメラの画像を記録している。写真-8は明石川の流域防災カメラ画像の一例である。それぞれ、河川水位が3.35m、2.06m、1.60mにおける画像を示している。ここで示す河川水位は先述した明石川河口から約0.8km上流に設置された水位計の水位であり、水位標のゼロ点高（EL=0m）を基準としている。明石川の氾濫危険水位は4.9m、避難判断水位は4.7m、氾濫注意水位は3.8mであり、今回の期間中に氾濫注意水位まで達する河川水位は記録されなかった。

写真-4に示すように、1年以上継続して水位ならびにカメラ画像を計測した結果、様々な様々な水位における河川の画像が取得できた。また、河口から比較的近いため、潮位変動の影響で1日で1.3m程度の水位変動が見られ、水位が低くなると右岸側に中州が現れることがわかった。



(a) 河川水位3.35m

(b) 河川水位2.06m



(c) 河川水位1.60m

写真-8　明石川流域防災カメラ画像と河川水位

４．明石川下流部の三次元モデル

(1) TLSおよびUAVを用いた計測

明石川流域防災カメラ画像から河川水位を判断する際の基礎データとするため、明石大橋から河口までの約0.8km区間について三次元モデルを作成した。三次元モデルの作成に際しては、地上型三次元レーザースキャナ（Terrestrial Laser Scanner：以下、TLS）ならびにドローン（Unmanned Aerial Vehicle：以下、UAV）を用いて測量を行い、SfM（Structure from Motion）解析を行い、三次元モデルを作成した。三次元モデルとは、明石川の形状を計測した点群データのことであり、各点データには位置情報が含まれているので、河川断面を作成することができる。写真-9、10はTLSならびにUAVによる測量の様子を示している。

写真-9　TLSによる三次元測量

写真-10　UAVによる空中写真撮影

(2) 明石川下流の三次元モデル

明石川下流の三次元モデル（点群データ）は、河川水位ならびに流域防災カメラ画像を取得している明石大橋周辺については、TLSとUAVのデータを組み合わせた詳細な三次元モデルを作成し、明石大橋から河口までの部分はUAVの空中写真のみをもとにした三次元モデルを作成した。写真-11は明石川下流の空中写真のオルソ画像を示している。上側に明石大橋側、下側が明石大橋から下流部・河口をである。明石大橋周辺は空中写真も詳細に撮影しているため分割が細かくなっている。

写真-11　明石川下流のオルソ画像

明石大橋周辺のオルソ画像を拡大したものが写真-12である。空中写真は高解像度のカメラで撮影しているため、かなり拡大しても鮮明な画像を確認できる。写真-13、14は作成した明石大橋周辺および河口部の三次元モデルを示している。今回作成した三次元モデルは、CloudCompareで確認することが可能である。CloudCompareとはWindows、Mac、Linuxで使用できるフリーのソフトウェアで点群データを読込、編集することができる。これらの三次元モデルは位置情報を有しているため河川断面図などを作成することができる。今回の調査ではTLSでは通常のレーザースキャナを使用したため、水面以下のデータは取得できていないため河床の情報は不明である。河床情報が必要な場合はグリーンレーザーを使用したレーザースキャナを使用する必要がある。

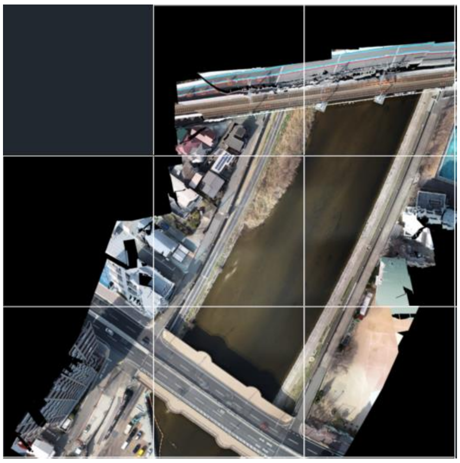


写真-12　明石大橋周辺のオルソ画像

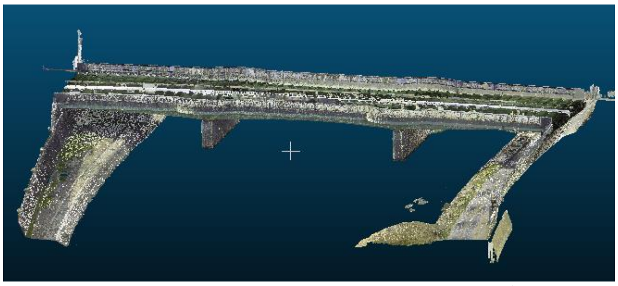


写真-13　明石大橋周辺の三次元モデル

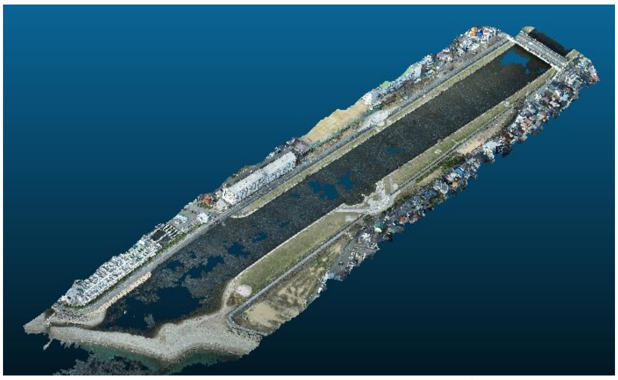


写真-14　河口部の三次元モデル

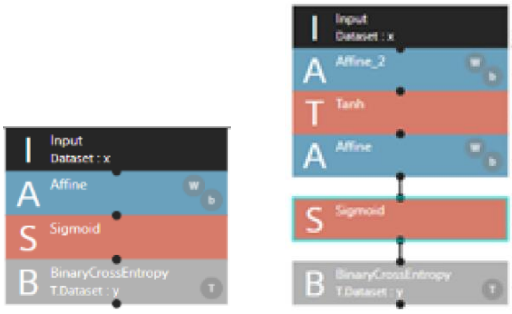
5. 機械学習を用いた河川画像による水位判定

(1) 機械学習について

機械学習[7),8)]とは、広義には機械（コンピューターなどのマシン）に学習させることを指す言葉であり、機械に大量のデータを反復して読み込ませてパターンを発見、判断、分析できるよう学習させるこ

とを示す。機械学習には、「教師あり学習」、「教師なし学習」、「強化学習」の3種類の学習方法がある。ここでは、「教師あり学習」を行い、コンピューターに正解を示しながら多くのデータを与えて、訓練を通じてコンピューターが正解を示すことができるようにする学習方法を行う。特に、ここでは機械学習の中でもニューラルネットワークを用いて画像判定を行った。使用するソフトウエアについては、Sonyが提供するNeural Network Console[9]を使用した。ドラッグ＆ドロップによる簡単編集でニューラルネットワークを構築することができ、クラウド上で計算処理が行われるため、コンピューターの性能によらず大量の画像が処理できるのが特徴[10]である。

また、ニューラルネットワークの内、中間層を多層設けたものをディープラーニングと呼ぶ。一般には分析する層が多層になることで判定精度が上がることが期待される。ここでは、図-5に示すように一般的なニューラルネットワークおよび中間層を追加したニューラルネットワークを用いて、水位判定精度について比較した。Neural Network Consoleでは、図中のIはデータ画像入力を意味し、Aは全結合層、SはSigmoid（シグモイド）関数によるアクティベーション、Tは中間層としての活性化関数、Bはロス関数による出力を示している。



(a)中間層が無い場合　(b)中間層がある場合

図-5　ニューラルネットワークの構成

(2) 入力画像

ニューラルネットワークで使用する河川画像として、3.(2)で紹介した明石川流域防災カメラ画像を使用した。写真-15には入力画像の例を示す。総数で232枚の画像を用いた。各画像には撮影された時刻における明石大橋下流で観測された河川水位が記録されている。今回使用した画像の河川水位分布を表-1に示す。河川水位としては、1.5m以上～2.0m未満（写真-中央列2枚）が142枚で最も多く、続いて2.0m以上～2.5m未満（最下列左）が70枚で多かった。最も少なかったのが、3.0m以上～3.5m未満（最下列右）で3枚である。

各画像には教師付きデータとして、計測された時間における河川水位が2m未満の時を0、2m以上の時を1としてデータセットを作成した。ニューラルネットワークで学習用データと評価用データを8対2

写真-15　ニューラルネットワークの入力画像例

表-1　明石川で観測された水位の分布

観測水位	観測数	総数
1.0m以上～1.5m未満	8	232
1.5m以上～2.0m未満	142	
2.0m以上～2.5m未満	70	
2.5m以上～3.0m未満	9	
3.0m以上～3.5m未満	3	

の割合で分割し、ニューラルネットワークで学習させた後、評価を行った。

(3) 河川画像による水位判定結果

ニューラルネットワークにより河川水位について判定させた結果を図-6に示す。今回の結果では中間層が無い場合、中間層がある場合のどちらの結果もあまり正確に判定することができなかった。

図-6　出力結果の例

この理由として、1.0m以上～1.5m未満の画像や3.0m以上～3.5m未満の画像は明らかに河川の状況に差がみられるが、今回の判定基準とした河川水位2.0m周辺では河川カメラの画像に大きな差が見られなかったため、学習データとして不適切であったことが考えられる。このため、判定精度を向上させるためには、明石大橋の橋脚周辺の拡大画像を用いて、河川水面と橋脚の相対的な位置関係が判定できる部分を拡大して入力データとして用いることが

NO.

考えられる。これらの点については今後も引き続き検討し、改良を続けていく予定である。

６．まとめ

本研究では、近年増加する局地的な集中豪雨による小河川の災害に着目し、その危険性について令和2年7月豪雨の災害調査をもとに明らかにするとともに、明石川の水位観測および流域防災カメラ画像の収集を1年以上継続した。更に収集した水位データとカメラ画像をもとに、人工知能による水位水手について研究を行った。以下に、本研究の主な結論を示す。

1) 令和2年7月に発生した滋賀県高島市拝戸地区の土石流調査を通して、普段は水量のほとんどない小河川においても局地的な集中豪雨の場合には水量が急激に増加し、場合によっては土石流などの土砂災害を伴うような災害に発展する危険性が高い。
2) 河川カメラ画像の画像は多くの場合、鮮明ではなく、位置やアングルの関係で機械学習により河川水位を判定するために適していない。
3) 明石川の流域防災カメラの画像が解像度が高く、カメラのアングル等も河川水位を判定するために適していると判断した。
4) TLSならびUAVを用いて明石川下流域の測量を行い、精緻な三次元モデルを作成した。
5) ニューラルネットワークで明石川の河川画像をもとに河川水位が2.0m未満か、2.0m以上かの判定を行ったが、正しい結果を得ることができなかった。この理由として、学習データとして使用した画像の処理が適切でなかったことが考えられる。

謝辞：本研究は、一般財団法人河川情報センターの令和2年度研究助成を受けて行った研究成果である。ここに記し感謝の意を表します。

参考文献

1)環境省，文部科学省，農林水産省，国土交通省，気象庁：気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート2018～日本の気象変動とその影響～，pp.37-39，2018.
2)国土交通省水管理・国土保全局砂防部：令和二年の土砂災害，pp.2-3，2021.
3)気象庁令和2年7月豪雨：https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2020/20200811/20200811.html
4)滋賀県ホームページ：https://www.pref.shiga.lg.jp/ippan/kendoseibi/sabou/19703.html
5)気象庁：各種データ・資料，https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/ daily_a1.php?prec_no=60&block_no=0580
6)国土地理院：電子国土WEB，http://maps.gsi.go.jp/
7)荒木雅弘：フリーソフトで始める機械学習入門(第2版),森北出版,2018.
8)金森敬文：Rによる機械学習入門，オーム社，2017.
9) Neural Network Console：https://dl.sony.com/ja/cloud/
10) 足立悠：ソニー開発のNeural Network Console 入門 ―数式なし、コーディングなしのディープラーニング，リックテレコム，2018.