

コロナ禍における災害時避難の実態分析 -令和2年7月豪雨熊本県人吉市の事例-

菊池 謙汰¹・円山 琢也²

¹学生会員 熊本大学大学院自然科学教育部土木建築学専攻 (〒860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪 2-39-1)
E-mail:208d2207@st.kumamoto-u.ac.jp

²正会員 熊本大学准教授 くまもと水循環・減災研究教育センター
(〒860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪 2-39-1)
E-mail:takumaru@kumamoto-u.ac.jp (Corresponding Author)

熊本県南部の球磨村，人吉市では，令和2年7月豪雨での球磨川の氾濫により，甚大な浸水被害に見舞われた．この浸水被害により，自宅での生活が困難となり，避難を余儀なくされた人も多数発生した．しかしながら，コロナ禍ということもあり，避難所への避難を取りやめ，在宅避難，車中泊や親戚の家などへ避難を行った人も一定数いたことが明らかになっている．感染症流行下における災害は近年で初めてであり，状況把握を行うことは，今後の感染症流行を踏まえた防災計画を策定するうえでも重要である．本研究では，NTTドコモが持つ携帯電話の運用データをもとに推計されるモバイル空間統計を用いて，人吉市を例にコロナ禍での水害時の避難行動の実態と水害後の影響を明らかにすることを目的に，発災時や長期間経過後の滞留人口および流入人口の分析を行った．結果として，発災時の滞留人口は浸水エリアで減少，非浸水エリアで増加し，平常時と大きく異なった推移がみられた．また，感染拡大防止のため，ボランティア募集対象が県内居住者に限定され，県外からの流入がほとんどなかったことも確認できた．

Key Words: flood disaster, mobile phone location data, evacuation, COVID-19

1. はじめに

(1) 背景及び目的

2020年7月3日から7月31日にかけて発生した一連の大雨(令和2年7月豪雨)は，日本各地に甚大な被害をもたらした．とくに熊本県南部の地域では，7月3日から7月4日にかけて記録的な大雨に見舞われ，多くの方が犠牲となった．この多くの犠牲者を出した要因となったのが，熊本県内最大の川である球磨川の氾濫であり，球磨村，人吉市では約5000戸の住宅が浸水する規模であったり．そのため，多くの方が自宅での生活が困難となり，避難生活を送らざるを得ない状況となった．しかしながら，2019年12月から流行が始まった新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の影響で，避難所では従来とは異なった受け入れ態勢となっていた．具体的には，熊本県では令和2年5月に，避難所における新型コロナウイルス感染症への対応指針を策定し，3密防止のために，収容可能人数を従来よりも少なく設定していた²．そのような状況下で，人吉市最大の避難所である人吉スポーツパレスでは，収容可能人数を大幅に上回る避難者が詰めかけ，想定外の状況となり，応急な対応に迫られた³．一方で，

感染を危惧し，不特定多数の人が集まる避難所には避難せず，被災した自宅や車の中，親戚・知人宅で避難生活を送るといった人も多く確認された．また，COVID-19は災害復旧のボランティア活動にも影響し，感染拡大を防ぐために募集対象を県内在住者に限定するといった取り組みも行われ，ボランティアの人手不足も続いた⁴．このように，今回の災害は近年で初の感染症流行下における災害となり，過去の災害時とは異なる避難行動およびボランティア活動がとられた．

しかしながら，発災時の避難の実態はいまだ十分に把握されていない．また，これらを把握することは，今後の感染症流行をも踏まえた防災計画を策定するうえでも重要な役割を果たすことが考えられる．そこで本研究では，コロナ禍での水害時の避難行動の実態を明らかにすることを目的とし，携帯電話の運用データを基に推計されるモバイル空間統計(MSS)を用いた分析を試みる．具体的には，今回の水害で多大な被害を受けた人吉市に着目し，水害時の滞留人口の分析を行う．また，水害時の滞留人口だけでなく，長期的な夜間人口の推移や，ボランティアが大きく関連する他市町村からの流入人口なども分析することで，多面的に今回の災害の影響を明らか

にする。

(2) 既往研究のレビューと本研究の位置づけ

MSSを用いた災害に関する研究はいくつか行われている。池田ら⁹⁾は、2016年4月に発生した熊本地震に関して、避難者とボランティアの行動を把握するために、地震発生前と発生後における滞留人口を分析し、その実態を明らかにした。山田ら⁹⁾は名古屋市における人口動態を把握し、クラスター分析手法を用いて地域類型化を行うとともに、帰宅困難者数の算出を行った。佐藤ら⁷⁾は、2014年8月に発生した広島土砂災害における滞留人口の変動要因を独立成分分析によって明らかにした。

一方で、MSSとは異なる携帯電話のGPS情報を用いて災害の回復過程に着目した研究もいくつか存在する。山口ら⁸⁾はゼンリンデータコム提供の混雑統計データを用いて、災害後の生活パターンに与える影響を観測する方法を提案し、2016年熊本地震に適用することで日常生活からの乖離とその回復過程を定量的に示した。長曾我部ら⁹⁾はAgoopのポイント型流動人口データを用い、人々の移動速度に着目することで回復過程を表現し、各市町村の回復過程が異なることを示した。

また、海外においても、日本とは異なった携帯電話の位置情報データを用いた災害の研究が行われている。Wilson et al.¹⁰⁾は携帯電話の位置データを用いて、2015年のネパール地震直後の人口移動パターンを分析し、携帯電話データを用いることでより迅速に結果が得られるということを示唆した。また、Yabe et al.¹¹⁾は携帯電話位置データと所得情報を用いて、2017年のハリケーン・イルマによる災害を対象に、所得格差が災害後の避難と再入国の移動パターンに影響を及ぼすことを示した。

このように、情報ビッグデータを用いた災害に関する研究は数多く行われている。しかしながら、感染症流行下における災害に関する研究はいまだ見られない。以上のことから本研究では、コロナ禍での災害時避難行動の実態を把握するために、MSSを用いた分析を試みる。

2. データの概要および分析エリアの選定

(1) MSS

MSSは、NTTドコモの携帯電話ネットワークを使用し得られる人口推計データである¹²⁾。データは1時間毎に推計されるほか、全国の市町村役場を100%カバーしているため、全国各地の滞留人口の経時的変化を把握することが可能である。また、携帯電話ネットワークを用いるため、個人情報およびプライバシーの保護にも留意している。具体的には、非識別化処理(個人識別性を除去)、集計処理(地域別、性年代別のドコモ携帯電話の普

及率を加味した人口推計)、秘匿処理(少人数データの除去)の3つの手順を踏んで作成される。なお、MSSの対象年齢は、携帯電話普及率などを踏まえ、15歳から79歳までとなっている。

(2) 分析対象エリア

表-1は、球磨村と人吉市における全4次メッシュ(500m×500m)の平常時のデータ取得率を算出し、集計したものである。ここでの平常時は2020年6月とし、データ取得率は、6月の24時間×30日(計720時間)において、秘匿処理がされなかった時間の割合としている。集計結果から、球磨村、人吉市ともにデータ取得率が10%未満のメッシュが多くみられ、広範囲での分析は難しいと判断した。また、球磨村ではデータ取得率50%以上のメッシュが2つのみであることや、人吉市ではデータ取得率100%のメッシュが42ほどあることから、本研究では人吉市の一部を対象とした。さらに、4次メッシュで予備分析を行ったところ、測位誤差等に起因すると推測される、解釈しにくい結果が一部見られたため、本研究では4次メッシュの滞留人口を足し合わせ、3次メッシュ(1km×1km)に拡張して分析を行う。以上のことを踏まえ、本研究では多大な浸水被害を受けた人吉市市街地部を中心とした16の3次メッシュを対象とし分析エリアとした(図-1)。この16の対象メッシュの選定条件は、水害前月の2020年6月において、24時間×30日一度も欠損なく観測し、1時間あたりの平均滞留人口が200人以上としている。また、図-2には豪雨による球磨川の浸水エリアと水害時の人吉市指定避難所の位置を示している。この浸水エリアは国土交通省から提供を受けたデータ¹³⁾を用いており、避難所は人吉市が公表しているデータ¹⁴⁾を参照した。

表-2は、分析エリアにおける平常時の性年代別夜間人口を示している。本研究では平常時を6月とし、夜間を3時、昼間を12時と定義している。このエリアにおける平常時の夜間人口は、男性女性ともに20代までの若者世代で全体に占める割合が低く、60代以上の高齢世代で割合が高い。また、2020年6月末時点での人吉市の総人口は31,696人¹⁵⁾であり、本研究の分析エリアの夜間人口は総人口の約46%に値する。

表-3は、各メッシュの平常時夜間および昼間人口と浸水区分を示している。浸水区分は浸水エリアを多く含むメッシュを浸水メッシュとし、それ以外を非浸水メッシュとした。浸水メッシュの多くは、夜間と比較して日中に人口が多く、市街地部が多く含まれる。また、広範囲にわたって浸水被害を受けたメッシュ10、11では、夜間においてもそれぞれ1000人以上滞留しており、水害によって自宅での生活が困難となった人は多いことが推測される。

表-1 平常時における4次メッシュのデータ取得率の集計結果
(2020年6月：24時間×30日データ取得できた場合を100%とする)

データ取得率	10%未満	10%以上 50%未満	50%以上 100%未満	100%
球磨村	748	3	2	0
人吉市	659	38	35	42

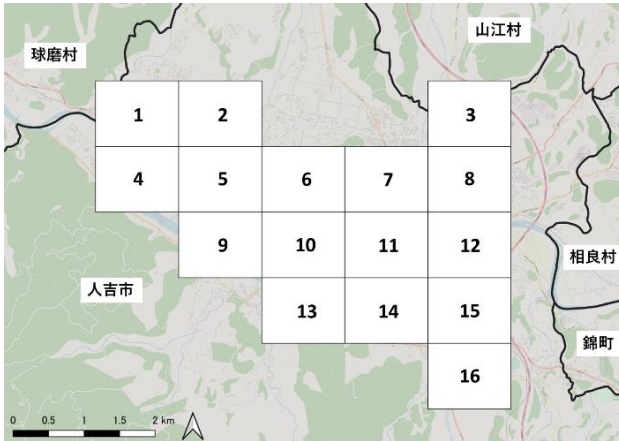


図-1 分析エリア

背景画像の出典: OpenStreetMap

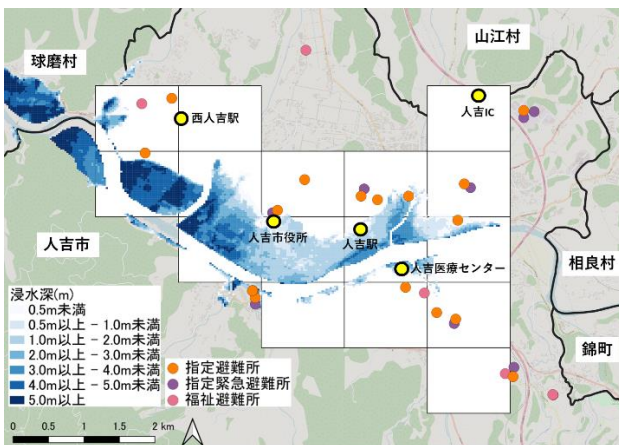


図-2 浸水エリアと避難所^{13),14)}

背景画像の出典: OpenStreetMap

表-2 平常時の性年代別夜間人口
(2020年6月3時平均)

年代	男性	女性	人口性比 (男性/女性×100)
15-19(歳)	492 (7.0%)	376 (4.7%)	131
20代	675 (9.6%)	715 (8.9%)	94
30代	1,123 (16.0%)	1,116 (13.9%)	101
40代	1,058 (15.0%)	1,208 (15.0%)	88
50代	1,191 (16.9%)	1,206 (15.0%)	99
60代	1,420 (20.2%)	1,752 (21.8%)	81
70代	1,074 (15.3%)	1,273 (20.8%)	64
合計	7,033	7,646	92

(): 合計に占める割合

表-3 各メッシュの平常時夜間および昼間人口と浸水区分
(夜間：2020年6月3時平均，昼間：2020年6月12時平均)

メッシュ	夜間人口		昼間人口		浸水区分
	平日	休日	平日	休日	
1	588	564	387 (0.66)	427 (0.76)	非浸水
2	551	559	411 (0.75)	431 (0.77)	非浸水
3	679	682	531 (0.78)	621 (0.91)	非浸水
4	309	315	203 (0.66)	234 (0.74)	浸水
5	623	627	609 (0.98)	696 (1.11)	浸水
6	371	351	620 (1.67)	561 (1.60)	非浸水
7	1,651	1,621	2,777 (1.68)	1,925 (1.19)	浸水
8	2,902	2,837	2,746 (0.95)	3,071 (1.08)	非浸水
9	622	595	753 (1.21)	727 (1.22)	浸水
10	1,483	1,456	1,884 (1.27)	2,050 (1.41)	浸水
11	1,096	1,152	2,151 (1.96)	1,707 (1.48)	浸水
12	1,250	1,238	1,324 (1.06)	1,394 (1.13)	非浸水
13	373	374	257 (0.69)	290 (0.78)	非浸水
14	1,067	1,063	1,332 (1.25)	1,032 (0.97)	非浸水
15	867	851	507 (0.59)	689 (0.81)	非浸水
16	686	683	708 (1.03)	1,014 (1.48)	非浸水

(): 夜間人口に対する比

3. 分析結果

(1) 水害時の滞留人口に着目した分析

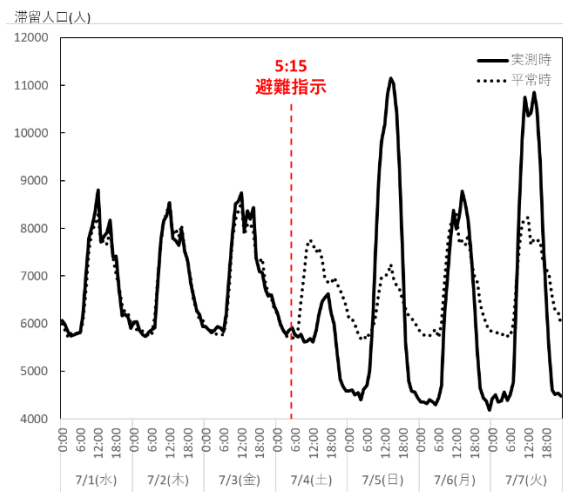
図-3は、水害前後における浸水メッシュ、非浸水メッシュそれぞれの平常時および実測時の滞留人口の推移を示している。ここで、平常時とは2020年6月の同時刻同曜日平均値、実測時とは横軸の時間帯で観測された値としている。7月4日の5時15分に人吉市全域に避難指示が出されて以降、両メッシュで平常時と大きく異なった推移が確認できた。また、図-4は7月4日の0時から12時の滞留人口の推移を示したものである。

まず、7月4日における浸水メッシュの12時までの推移に着目すると、5時から12時まで約300人の減少がみられた。しかしながら、浸水メッシュの夜間人口を考慮すると、その減少幅は小さく、大部分の人がそのまま滞留したことが考えられる。また、12時頃まで平常時と比較して大幅に減少しているのは、本章の第4節でも後述するが、他市町村からの流入がほとんどなかったからであると考えられる。一方で、非浸水メッシュでは避難指示発令前の4時ごろから増加し、7時にピークを迎えた。避難の呼びかけなどがあったこの時間帯で、浸水メッシュまたは分析エリア外から指定避難所などの安全な場所への避難が行われたことが考えられる。また、浸水メッシュにおいては13時から18時ごろまで増加が確認できた。徐々に水が引くにつれ、被害状況の確認を行うために、一時的に浸水エリアに人が集まったと考えられる。

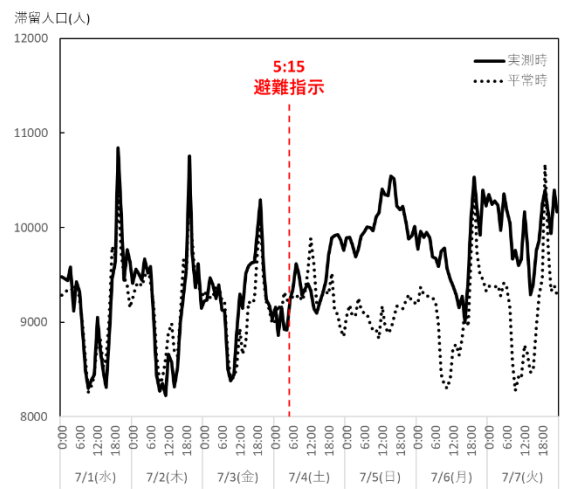
7月4日以降の夜間人口は平常時と比較して浸水メッシュで減少、非浸水メッシュの両方で増加がみられた。自

宅が浸水被害を受け、避難を余儀なくされた人が、避難所や親戚・知人宅への避難や車中泊など、何らかの形で非浸水メッシュに移動したことにより増加したと考えられる。しかしながら、浸水域では水害後も4000人以上が滞留しており、浸水した自宅の2階で夜を過ごしていた人も多かったと考えられる。また、夜間の増減は長期にわたって続いており、詳しくは本章の第2節で後述する。

翌日以降の日中時間帯は両エリアで平常時よりも大幅な増加が見られ、とくに浸水メッシュでこの傾向が強くなった。本章の第4節でも述べるように、災害復旧支援を行うために、他市町村からも多くの人々が来訪し、滞留したためであると考えられる。また、7月6日の日中時間帯の滞留人口が前後の日と比較して減少しているのは、非常に激しい雨が降り、安全を踏まえて活動などを控えたためであると考えられる。



(a) 浸水メッシュ



(b) 非浸水メッシュ

図-3 水害前後における滞留人口の推移

注) 平常時は2020年6月の同時刻同曜日の平均値

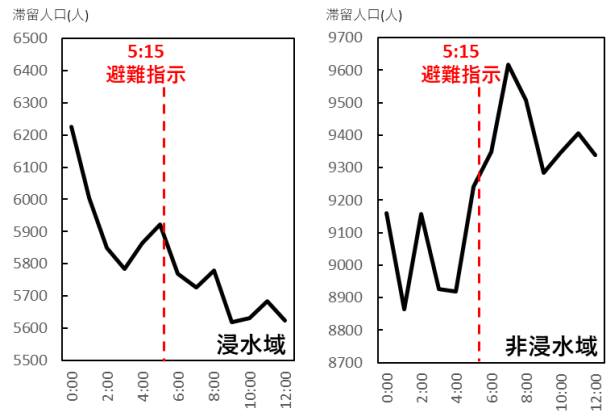


図-4 7月4日0時から12時までの滞留人口の推移

図-5は、7月4日の3時の滞留人口と4時、6時、8時、10時それぞれの滞留人口の差分をとったものを年代別に示している。また、各時間帯において3時からどの程度滞留人口が変化したかを表す指標として、 I を式(1)で算出する。

$$I = \frac{\sum_i |p_{i,t} - p_{i,t-3}|}{\sum_i p_{i,t-3}} \quad (1)$$

ここで、 $p_{i,t}$ はメッシュ*i*における*t*時の滞留人口を示す。また、 I は年代ごとに算出するため、相対的な評価が可能である。

まず I に着目すると、どの時間帯においても若者世代で値が高いことがわかる。すなわち、中年代、高齢世代と比較して、避難行動を行った人の割合が高いことが考えられる。また、中年代と高齢世代を比較すると、4時と8時で同じような値であるが、6時においては差があり、高齢世代では8時に近い値であることが分かる。すなわち高齢世代では中年代と比較して早い段階で避難を行ったと考えられる。また、すべての世代で8時から10時にかけて増加は見られず、容易に移動できる状況ではなかったことが推測される。

次に増減の分布に着目すると、多くの浸水メッシュで時間が経過してもほとんど減少していないことが分かる。すなわちメッシュ内に留まり、近場の安全な場所への避難や自宅の2階などへの垂直避難が行われたことが推測される。また、メッシュ8では、すべての年代で6時ごろから増加がみられた。このメッシュは全メッシュの中で最も多くの人々が住んでいる場所であり、また指定緊急避難所である人吉高校グラウンドが該当しているため、多くの人が集まったことが考えられる。さらに、高齢世代においては、主に指定避難所が該当するメッシュで増加がみられ、人吉スポーツパレスが該当するメッシュ6では6時ごろから増加が見られ、早い段階で避難が行われたことが考えられる。

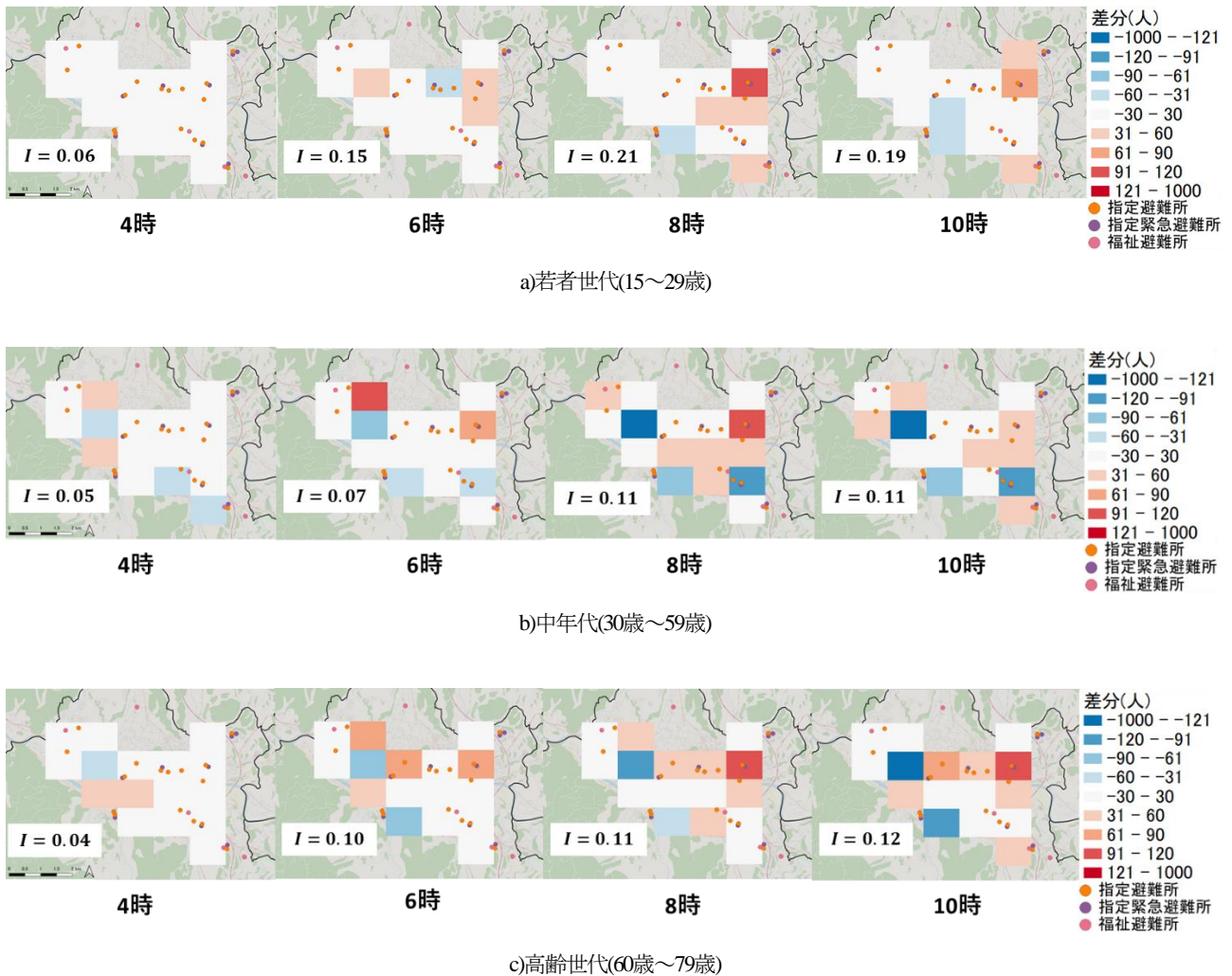


図-5 2020年7月4日午前3時と各時間帯の滞留人口の差分
背景画像の出典: OpenStreetMap

(2) 夜間人口の長期的変化に着目した分析

本節では午前3時の夜間人口に着目し、長期的な推移を分析する。図-6は、浸水メッシュ、非浸水メッシュそれぞれの2020年6月1日から2021年3月31日までの夜間人口の推移を示している。水害当日の7月4日から7月7日にかけて浸水メッシュで約1400人以上の減少、非浸水メッシュでは約1300人以上の増加がみられ、長期にわたって影響が続いていたことが分かった。浸水メッシュでは徐々に回復傾向にあるものの、大部分の人は長期経過後も水害前と異なる場所で生活をしており、今回の水害が被災者の生活に与えた影響はとて大きかったことが示唆される。また、7月4日から7月7日にかけて、非浸水メッシュにおける増加幅よりも、浸水メッシュにおける減少幅が大きいことから、人吉市以外に避難した人もいたことが推測される。この人吉市以外への避難に関しては本章の第3節で後述する。

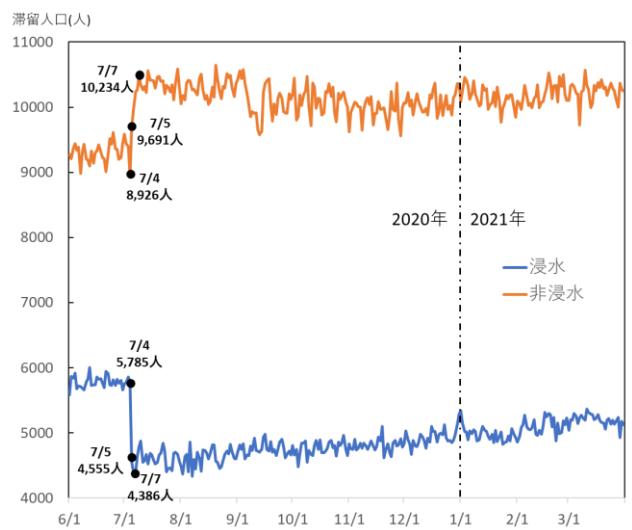


図-6 夜間人口の推移(3時)

図-7は、平常時(2020年6月)の夜間人口と2020年8月、2020年12月、2021年3月それぞれの夜間人口の差分をと

ったものを年代別に示している。なお値は月平均としている。また、各月において、平常時から夜間人口がどの程度変化したかを表す指標として、 I' を式(2)で算出する。

$$I' = \frac{\sum_i |p_{i,m} - p_{i,m=6}|}{\sum_i p_{i,m=6}} \quad (2)$$

ここで $p_{i,m}$ はメッシュ i における m 月の平均夜間人口を示している。また、 I' は年代ごとに算出する。

まず I' に着目すると、若者世代でとくに高い値をとり、水害前と大きく分布が変わったことが分かる。また、すべての世代において、2020年8月から2021年3月にかけて、

I' の値が減少しており、元の分布に戻りつつあることも確認できた。

次に増減の分布に着目すると、すべての年代において多くの浸水メッシュで長期にわたる減少がみられた。とくにメッシュ10では、水害の1か月後の2020年8月で大幅な減少がみられ、多くの家が甚大な浸水被害に見舞われて避難を余儀なくされていたことが推測できる。また、メッシュ8では2020年8月から大幅な増加がみられ、長期にわたってその影響が続いていることがわかる。このように長期にわたって分布の変化が続いていることから、今後も変化していく可能性は高く、災害公営住宅などの建設とも関連すると考えられる。

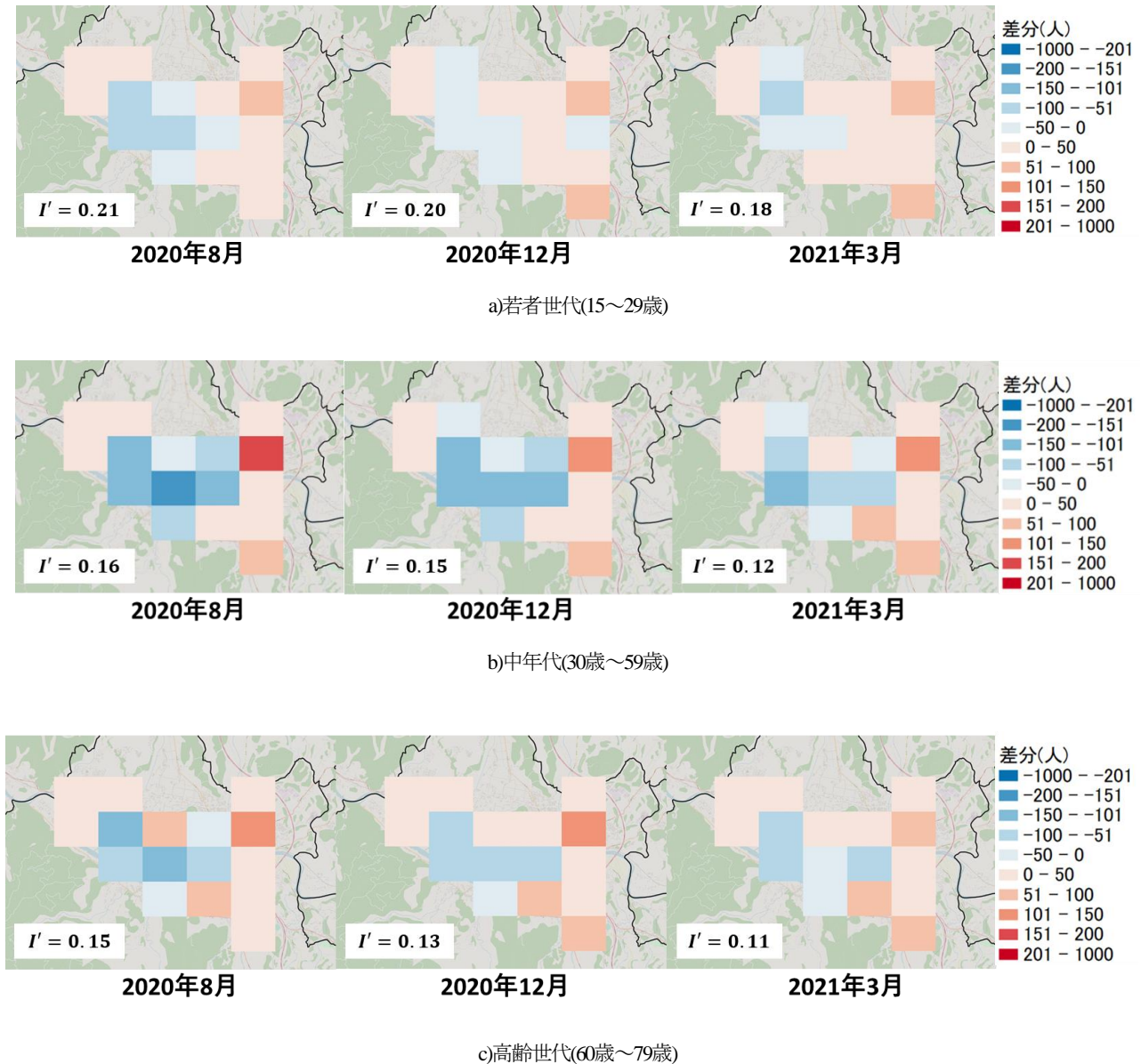


図-7 2020年6月と各月の滞留人口の差分
背景画像の出典: OpenStreetMap

(3) 人吉市民に着目した分析

本節では、居住地が人吉市である人の滞留人口に着目する。すなわち人吉市民に着目した分析を行う。図-8は、水害前後における平常時と実測時の人吉市民の滞留人口の推移を示している。平常時における人吉市民の滞留人口の推移の特徴として、日中に約2000人他エリアへの流出がある。水害当日の7月4日は、日中の流出が平常時と比較して大幅に少なく、エリア内に多くの人が留まることが考えられる。そしてこの傾向は水害翌日以降も続き、平常時と異なった状態が続いていることが分かる。一方で、夜間時間帯においては、水害以降平常時と比較して大幅に減少していることがわかる。すなわち、多くの人が他エリアでの生活を行っていたと考えられる。

図-9は、2020年6月1日から12月31日までの人吉市民の夜間人口の推移を示している。水害前日の7月3日から水害翌日の7月5日にかけて1000人以上の減少が見られた。また、その影響は長期にわたって続いており、時間が経つにつれて、徐々に戻ってきていることも確認できた。そこで、分析エリア内のどの場所で人吉市民が減少し、水害後どこへ避難していたかを分析した。

図-10は、人吉市民の平常時夜間人口と水害直後の夜間人口の差分をとって示したものである。ここでの水害直後は7/5、7/6、7/7とし、3日間の平均と平常時の平均の差分をとった。メッシュ4を除くすべての浸水メッシュで大幅に減少しており、とくに大部分浸水したメッシュ10では400人以上の減少が確認できた。一方で、非浸水メッシュではメッシュ13を除くすべてのメッシュで増加が確認できた。とくにメッシュ8では200人以上の大幅な増加がみられた。このメッシュ8は、平常時において3000人近くの人々が住んでいる場所でもあり、浸水メッシュにおいて自宅での生活が困難となった人が、このメッシュ内の親戚・知人宅に身を寄せたことなどが増加の一因として推測される。またメッシュ6には、人吉スポーツパレスが該当しており、避難所で夜を過ごしたと考えられる人吉市民も一定数いることが確認できた。

図-11は、熊本県内の他市町村において、平常時夜間人口と水害直後の夜間人口の差分をとって示したものである。すなわち、人吉市民が水害直後に県内他市町村のどこに避難したかを示している。錦町、山江村をはじめとした人吉市に近い市町村に避難していることがわかった。近隣市町村には、人が集まる避難所への避難を拒む人や近隣市町村に親戚・知人を持つ人が避難したと考えられ、Covid-19の影響も一因であると考えられる。また、文中には示していないが、熊本県外への避難は確認されなかった。しかしながら、避難先の分析に関しては、秘匿処理のために差分の増加数が過小評価されており、実際には避難先がさらに分散していた可能性がある。また、他市町村以外にも人吉市内の分析エリア外に避難した人

もいることが考えられる。

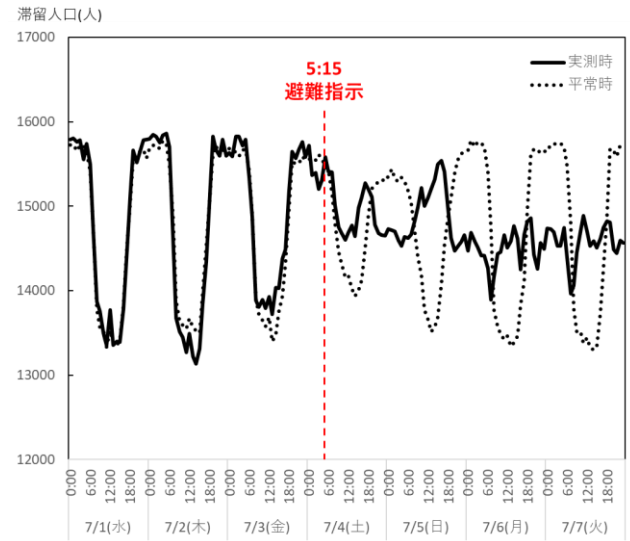


図-8 水害前後における人吉市民の滞留人口の推移

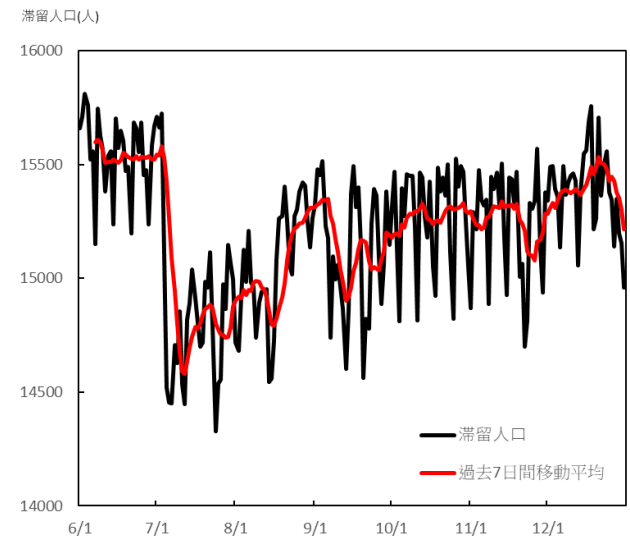


図-9 人吉市民の夜間人口の推移(3時)

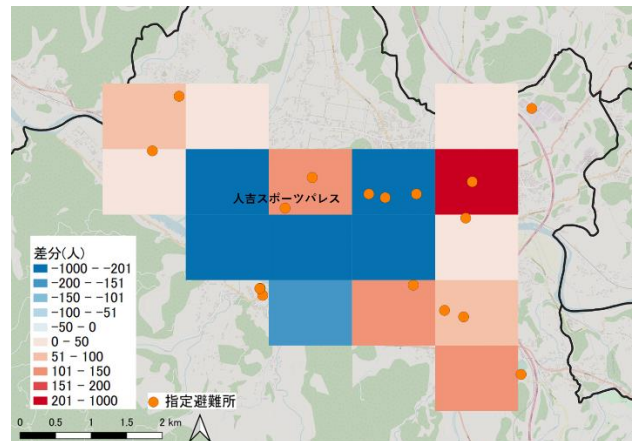


図-10 平常時と水害直後の平均夜間人口の差分(3時)

注)平常時：2020年6月，水害後3日間：7/5、7/6、7/7
背景画像の出典：OpenStreetMap

数が最も多かった日を指している。7月8日は、とくに熊本市と八代市で大幅な増加がみられた。各自治体からの派遣や、その他の機関から災害復旧活動のために多くの人が訪れたことが考えられる。また、7月23日は熊本市のみで増加がみられた。これは参加したボランティアの人の多くが熊本市を居住地としていることを裏付けることができる。9月平日は、熊本市、八代市の増加が緩やかとなり、多良木町、あさぎり町で50人以上の増加がみられた。一方で、9月休日はあさぎり町など人吉市の周辺市町村で減少がみられ、私用などで休日に人吉市を訪れる人が減ったことが可能性として考えられる。

表-4 月別平均流入人口

時刻・曜日	居住地	2020年				
		6月	7月*	8月	9月	
3時	平日	県内	22	270 (+248)	118 (+96)	54 (+32)
		県外	1	11 (+10)	2 (+1)	1 (±0)
	休日	県内	47	261 (+214)	144 (+97)	63 (+16)
		県外	3	6 (+3)	0 (-3)	1 (-2)
12時	平日	県内	3050	4034 (+984)	3389 (+339)	3557 (+507)
		県外	17	41 (+24)	10 (-7)	15 (-2)
	休日	県内	2288	2943 (+665)	1964 (-324)	1945 (-344)
		県外	8	19 (+11)	7 (-1)	16 (+8)

* : 7/5以降

() : 6月との差分

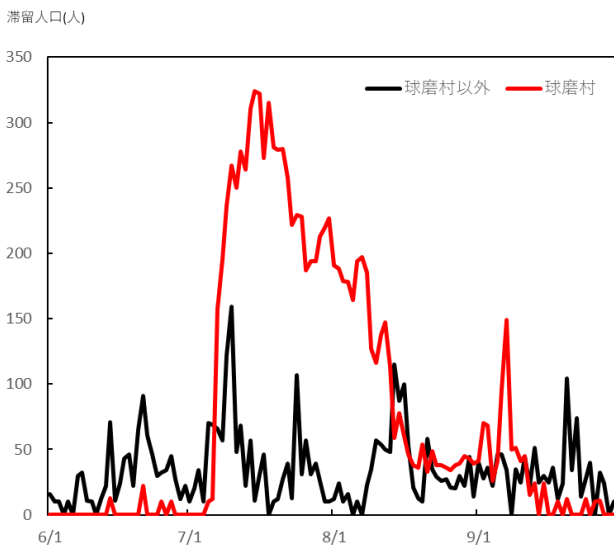


図-13 球磨村と球磨村以外の流入人口の推移(3時)

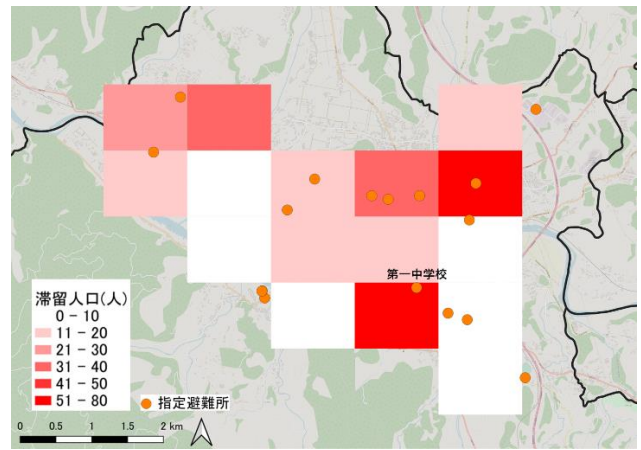


図-14 球磨村を居住地とする人の分布(3時)

背景画像の出典: OpenStreetMap

表-5 人吉市災害ボランティアセンターの概要

活動開始日	2020年7月10日(金)	
活動時間	9時～15時	
募集対象	熊本県内居住者(11/1～九州在住者)	
活動人数 (月合計)	2020年7月	7,095人
	2020年8月	5,622人
	2020年9月(金、土、日のみ)	958人

出典)人吉市社会福祉協議会¹⁶⁾

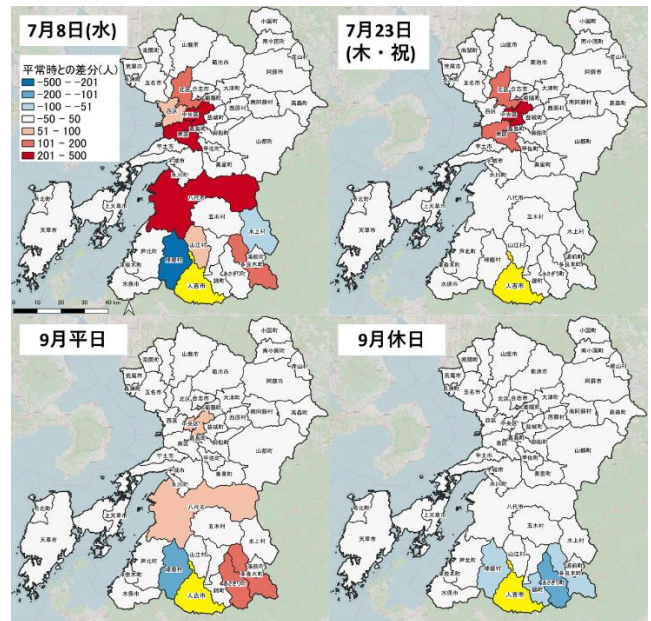


図-15 平常時と各日の滞留人口の差分

注) 平常時は2020年6月平日および休日平均値

背景画像の出典: OpenStreetMap

4. まとめ

本研究では、コロナ禍での災害における避難実態を把握することを目的に、MSS を用いて人吉市を対象に滞留人口の分析をおこなった。その結果、主に以下のような結果が得られた。

- 1) 災害直後から平常時と異なった滞留人口の推移が見られ、浸水域メッシュでは日中に大幅な増加、夜間に大幅な減少が確認できた。
- 2) 災害当時、浸水メッシュでは避難指示の前と比較してあまり大きな増減がみられず、その場にとどまった人が多いことが確認できた。
- 3) 水害直後から夜間人口は浸水域で減少、非浸水域で増加の傾向がみられ、その影響が長期的に続いていることがわかった。
- 4) 災害直後に人吉市民は分析エリアから1000人以上の減少があり、近隣市町村へ避難が確認できた。
- 5) 県外からの災害復旧活動の支援はCOVID-19により大幅に抑制されていることが確認できた。
- 6) 他市町村からの流入人口は、8月以降は平常時と比較して平日は増加、休日は減少といった異なった傾向が見られた。

本研究の課題としては、データ精度の確保や属性を用いることを考慮して、4次メッシュを3次メッシュに拡張して分析を行ったが、その反面、各エリアの増減の要因把握や避難所外避難の把握が困難であった。また、今回の分析では、多面的に水害の影響を分析できたものの、コロナ禍での災害時の避難行動に関しては十分な把握ができなかった。実際には移動経路やその手段を把握することも今後の防災計画の策定のために必須であり、今後は複数ビッグデータを組み合わせた新しい手法を用いた災害時の避難行動分析を行っていきたい。

謝辞： モバイル空間統計をご提供いただいた(株)ドコモ・インサイトマーケティングに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 国土交通省九州地方整備局八代河川国道事務所：令和 2 年 7 月球磨川豪雨検証委員会第 1 回資料，<http://www.qsr.mlit.go.jp/yatusiro/river/index/index.html>
- 2) 熊本県：避難所における新型コロナウイルス感染症

への対応指針，

<https://www.pref.kumamoto.jp/soshiki/27/51304.html>

- 3) 産経新聞：コロナ禍の避難所「想定外」で収容人数見直し相次ぐ，2020 年 7 月 14 日，<https://www.sankei.com/article/20200714-SS7QQPOQ7JLTJNTQN5TGSC3BS4/> (最終閲覧日：2021 年 9 月 30 日)
- 4) 西日本新聞：豪雨被災地ボランティア足りないコロナ禍で県内限定、国道も寸断，2020 年 7 月 14 日，<https://www.nishinippon.co.jp/item/n/625891/> (最終閲覧日：2021 年 9 月 30 日)
- 5) 池田大造，渋谷大介，今井龍一，太田勝也，金井翔哉，新階寛恭，円山琢也：携帯電話網の運用データに基づく人口統計を用いた熊本地震における避難者およびボランティアの行動に関する考察，第 55 回土木計画学研究発表会，2017.6.
- 6) 山田航輝，倉田和己，福和伸夫：モバイル空間統計を用いた人口動態に基づく地域類型化と地震対策への応用，日本建築学会計画系論文集，Vol. 84, No. 765, pp. 2345-2355, 2019.1.
- 7) 佐藤史典，力石真，藤原章正：モバイル空間統計を用いた復旧・復興過程の独立成分分析：2014 年 8 月広島土砂災害を例に，第 55 回土木計画学研究発表会，2017.6.
- 8) 山口裕通，奥村誠，金田穂高，土生恭祐：携帯電話 GPS 情報から分かる熊本地震による行動パターンの被災・回復過程，土木学会論文集 D3, Vol. 73, No. 5, pp. 105-107, 2017.
- 9) 長曽我部まどか，谷本圭志，前田夏輝：被災地における住民行動の回復過程に関する分析，土木学会論文集 F6, Vol. 74, No.2, pp. 101-109, 2018.
- 10) Wilson, R., zu Erbach-Schoenberg, E., Albert, M., Power, D., Tudge, S., Gonzalez, M., Guthrie, S., Chamberlain, H., Brooks, C., Hughes, C., et al.: Rapid and near real-time assessments of population displacement using mobile phone data following disasters: the 2015 Nepal earthquake. *PLoS Currents* 8, 2016.
- 11) Yabe, T., and Ukkusuri, S. V. Effects of income inequality on evacuation, reentry and segregation after disasters, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 82, 102260, 2020.
- 12) NTT ドコモ：モバイル空間統計，<https://mobaku.jp/>
- 13) 国土交通省：令和 2 年 7 月球磨川豪雨検証委員会資料，2020 年 10 月
- 14) 人吉市：人吉市総合防災マップ，<https://www.city.hitoyoshi.lg.jp/q/aview/108/896.html>
- 15) 人吉市：令和 2 年度 人吉市の人口，<https://www.city.hitoyoshi.lg.jp/q/aview/51/15387.html>
- 16) 人吉市社会福祉協議会：人吉市災害復興ボランティアセンター活動報告，<http://www.hitoyoshi-shakyo.com/>

(Received October 1, 2021)

ANALYSIS OF EVACUATION DURING DISASTER IN COVID-19: A CASE STUDY OF HITOYOSHI, KUMAMOTO IN THE 2020 KYUSHU FLOODS

Kenta KIKUCHI and Takuya MARUYAMA