Vol.2014-HCI-160 No.3
Vol.2014-UBI-44 No.3
2014/10/14

浸水被害の画像を用いた市街地における浸水深の検出手法の提案

廣井 慧[1,a)]　河口 信夫[1,2]

概要：都市域での豪雨が起こす市街地の浸水被害を軽減するためには，浸水の発生箇所やその浸水深のような，浸水状況の情報提供が有効である．浸水状況を知ることで，道路上の危険箇所の歩行やアンダーパスでの車両の水没からの回避が可能になると考えられる．しかし，既存で用いられる水位計は定点観測用途が主であり，観測地点数が限られるため，観測点以外の浸水状況が把握できない．また，豪雨の発生時には浸水の様子を撮影した画像がインターネット上で多数共有されるが，浸水深を検出するためには量水板のように水位と比較可能な目安となる対象物が必要となるため，このような画像から浸水深を知ることが難しい．そこで，市街地における観測点以外の地点での浸水深の把握を目的に，インターネット上から収集した市街地の浸水の様子を撮影した画像を活用して，浸水深を検出する手法を提案する．本手法は，画像に写る人物の大きさと水位を比較し，人への影響に応じて膝以下，股下以下，胸部以下，胸部以上という分類で浸水深を推定することで，目安となる対象物を必要とせず，浸水深の検出を可能にする．提案手法を用いて，過去に市街地で発生した実際の浸水被害における浸水深を検出し，その結果を述べる．

1. はじめに

豪雨の影響で市街地が水に浸かる浸水被害は，家屋や家財，人命の損失のように人々の生活に大きな影響を与える．特に都市域で発生する豪雨は，中小河川や水路から市街地への浸水を招き，避難者の歩行困難やアンダーパスでの車両の水没等，道路交通に大きな被害につながる．都市域での豪雨や，その影響による浸水の発生は大規模化すると予測されており，その被害を軽減，防止するために早急な対策をとることが求められている [1] [2]．その対策のひとつとして，一般の人々の危険回避を促すための，浸水発生の検出，浸水深の観測に基づいた情報提供がある [3]．正確な情報を知り，刻々と変化する生活道路の浸水状況やその影響を把握することは，浸水に対してとるべき行動の判断を可能にし，被害を軽減，防止する有効な手段となる．

しかし，中小河川や水路での溢水によって起きる市街地の内水氾濫は，観測が難しい．その理由として，危険箇所の特定がしにくく，既存の水位計を用いた定点観測では浸水の発生を捉えにくいこと，浸水深を知るためには高さが比較できる対象物が必要であり，一般的な画像では浸水深の検出自体が困難であることがあげられる．そこで本研究ではこれらの問題に対し，容易に浸水発生を検出し浸水深を知るため，浸水被害の画像を用いた浸水深の検出手法を提案する．インターネット上から収集した市街地の浸水の様子を撮影した画像をもとに，画像に写る人物の大きさと水面境界の高さを比較し，水位を推定することで，目安となる対象物を必要とせず，浸水深の検出を可能にする．

2. 市街地で発生する浸水観測

2.1 中小河川，水路の溢水による内水氾濫

本研究では，市街地の中小河川，水路で発生する内水氾濫を対象とする．内水氾濫は降雨に対して小河川や下水道等の処理能力が追いつかず，浸水域，浸水深が増加する現象を指す [4]．市街地の中小河川の氾濫や，本川で増水した水が支川に逆流し，起こる浸水が内水氾濫に含まれる．内水氾濫が発生するしくみを図 1 に示す．都市に降り注いだ降雨は，都市の側溝から下水道のような排水路へと流れていく．降水量が多く，排水機能が追いつかなかった場合，流入した降雨を排水することができず，降った雨は市街地に溜まり，浸水が発生する．図 2 に示す，大河川からの溢水が原因で発生する浸水は，大河川のモニタリングが有効な対策となるが，本研究が対象とする内水氾濫は，市街地の様々な地点での発生が起こりうるため，多数の地点を高密度にモニタリングする必要がある．次節から市街地の浸

[1] 名古屋大学未来社会創造機構
Institute of Innovation for Future Society, Nagoya University
[2] 名古屋大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Nagoya University
[a)] k.hiroi@ucl.nuee.nagoya-u.ac.jp

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

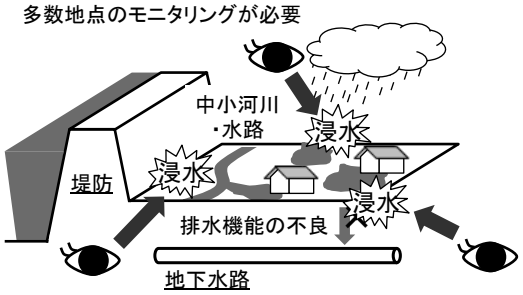


図 1 内水氾濫による浸水（[4] をもとに作成）

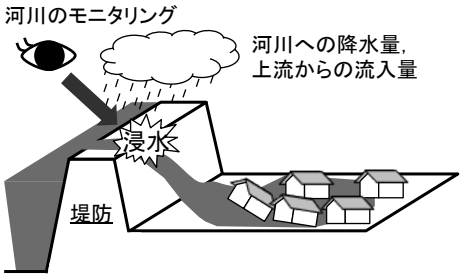


図 2 大河川の溢水による浸水（[4] をもとに作成）

水に対して行われる観測と，その問題について述べる．

2.2 市街地の浸水観測とその問題

浸水の可能性のある豪雨の発生時には，市街地での円滑な浸水観測と，その情報提供が求められる．既存の浸水観測手法として，水位計や画像解析による浸水深の検出が利用される．しかし，定点観測地点と浸水発生地点が異なることや，比較対象物の欠如による浸水検出の困難という 2 つの問題があり，既存の浸水深検出の手法を用いた浸水深の検出は難しい．それぞれの問題について以下に述べる．

2.2.1 市街地の浸水観測における既存手法

道路から水面までの高さを検出し，浸水の状況を把握するための既存の浸水観測手法として，水位計やカメラ画像を用いた観測が挙げられる．水位計には，目盛りが記された板を護岸や道路に設置し目視で水位を読みとる量水板や，浸水の水面が電極に接触し電気が流れることを利用した電極式浸水計，超音波パルスを水面に送波し水面からの反射波の伝搬時間を水位に換算する超音波式水位計がある [5] [6]．また，カメラ画像を活用した浸水深の検出手法としては，設置された量水板が水面へ反射する形状を用いた水面境界の検出手法や，カメラ画像のエッジ検出，輝度変化の特徴点の検出，色空間の変化量の検出を行い，水面の位置を推定する手法，量水板やガードレール等，あらかじめ画像に映り込む構造物の高さを測定し，浸水発生時の浸水深を推定する手法が挙げられる [7] [8] [9] [10] [11] [12]．これらの手法はすべて，平常時の画像や画像に映り込む構造物など，対象物を設定し比較することで，地面から水面までの高さの検出を実現している．

2.2.2 定点観測地点と浸水発生地点のずれによる浸水検出の困難

浸水深の観測として，浸水の発生が懸念されるいくつかの地域では，定点観測が行われ，インターネットを通じて 1〜10 分おきに観測値を提供している [6] [13] [14]．図 2 に示す，大河川からの溢水が原因で発生する浸水は，大河川のモニタリングやその周囲を観測することで浸水深が検出できる．しかし，図 1 に示す，市街地の中小河川，水路の溢水が原因で起きる内水氾濫は，発生箇所の特定がしにくいため，定点観測地点以外の地点で浸水の発生が起きることが多い．そのため，内水氾濫が原因となって起こる浸水は，危険箇所を特定しにくく，定点観測での浸水の発生，浸水深の検出が困難となる．

浸水の発生を捉えるためには，観測点を増やし高密度な観測の実施が有効であるが，既存の観測機器を用いた定点観測は設置するための設備が必要となり，設置箇所が制限される．さらに，その設置・運用コストが大きいため，増設や運用が容易ではない [12]．特に，内水氾濫の起こりやすい生活道路沿いの中小河川や水路，アンダーパスの観測に関しては，設置場所として広い場所が確保しにくく，市街地で発生する浸水の高密度な観測は実現していない．つまり，定点観測地点と異なる地点で発生する浸水を検出することができないうえ，既存の観測機器を用いた手法では高密度な観測が行いにくいため，市街地での浸水検出は困難となる．

2.2.3 比較対象物の欠如による浸水深の検出困難

2.2.2 項で述べたように定点観測ではずれが生じるが，定点観測以外に浸水を知るための手法として，インターネット上での浸水被害の画像の共有がある．twitter や facebook 等の Social Networking Service，weathernews 社の提供するサービスであるウェザーリポート ch. では，駅前や繁華街等，市街地内で浸水が発生すると，その様子を非日常の光景として写真撮影し，共有されることが多い [15]．このような被害画像の共有は定点ではなく，人のいる場所で発生した浸水を捉えることができるうえ，観測できる地点の制限がないため，市街地の様々な地点について高密度に被害画像の共有が行える可能性がある．しかし，その浸水深については，目視での確認は可能であるが，画像から浸水深の検出を行うことは難しい．その理由として，2.2.1 項に述べた画像処理の既存手法は，浸水の発生していない平常時の画像や構造物の高さ等，比較対象物が必要であるが，インターネット上の被害画像は様々な地点で撮影されるため，比較対象物が存在しないことが挙げられる．そのため，既存でインターネット上に共有される被害画像からは，浸

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

水深を検出することが難しい．

3. 浸水被害の画像を用いた浸水深の検出手法の提案

3.1 概要

浸水深やその影響を被災地域の人々へ知らせるためには，市街地に発生する浸水を高密度に観測し，その観測値を情報提供することが求められる．そのためには 2 章で説明した，定点観測地点と浸水発生箇所のずれと，比較対象物の欠如による浸水深の困難という問題の解決が必要である．本研究では，定点観測だけではなくインターネット上に共有される多くの地点での被害画像を活用し，浸水被害の画像に映り込む人の人体長を用いた浸水深の検出を実現する．人体長と水位を比較し，浸水深を推定することで，比較対象物が存在しないインターネット上の画像を観測データとして有効に用いることができ，高密度な浸水深の観測データの収集と検出を可能にする．3 章では，3.2 節で本提案で検出する浸水深について，3.3 節で被害画像を用いた浸水検出の流れについて，3.4 節で具体的な浸水深の検出手法について述べる．

3.2 本提案で検出する浸水深

本提案で検出する浸水深は，人への影響に応じた分類を行う．検出する浸水深は，図 3 に破線で示す，1. 膝，2. 股下，3. 胸の 3 つで区切り，U_K：膝以下，U_M：股下以下，U_C：胸部以下，U_X：胸部以上の 4 段階とする．浸水が発生している道路を歩行する場合，安定的な歩行を行うためには，膝程度（40〜50cm 程度）の浸水深では流速がある程度あったとしてもゆっくりであるが安定して歩くことができる．しかし，浸水深が股下程度（80cm 程度）を超えると，歩行に大きく影響を受け歩きづらくなると言われている [16]．そのため，人の避難行動への影響として，U_K：膝以下，U_M：股下以下を設定する．さらに水面が人の胸部より上の高さに達すると，人的被害発生の可能性が高くなる [17]．そのため，U_C：胸部以下，U_X：胸部以上を設定する．以上の 4 段階の浸水深について，本手法を用いて画像に写る人物の大きさと水位を比較し，検出する．

3.3 浸水深検出の流れ

図 4 に被害画像を用いた浸水深の検出の流れを示す．はじめに，入力された画像から浸水の発生があるかどうかの検出を行う．市街地で発生する浸水の水面部分は，水面の波，光の反射として画像に映される．また，高低差がある階段部分への浸水では水流やしぶきが映る．茶色の濁水として道路と異なる色で画像に映ることもある．そのため，画像から市街地での浸水発生を調べるには，水面部分と通常の道路の違いを検出することで判断できると考えられる．なお，この浸水発生有無の検出については，路面反射

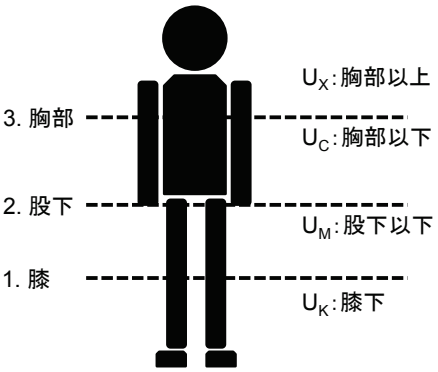


図 3 検出する 5 段階の浸水深

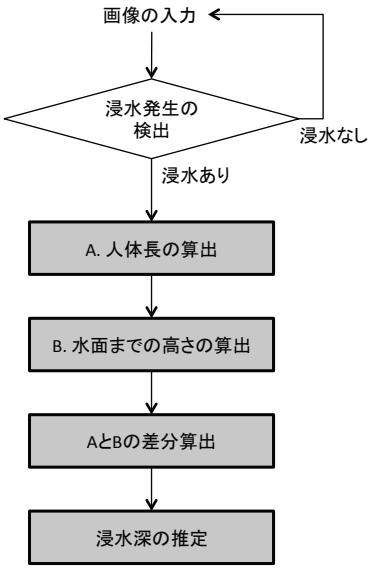


図 4 提案する浸水検出の流れ

検出等の既存手法を用いることする [18]．

次に，浸水の発生があると判別された画像について，その浸水深を推定する．浸水深の推定は人体長の推定，水面の検出，浸水深の推定の 3 段階で行う．人体長の推定では，図 5 の L_A. 人体長で示す画像に映り込む人の人体長を推定する．さらに，L_B. 水面までの高さに示す，画像内の水面を検出し，推定された人体長と，水面の高さを比較して，浸水深を推定する．浸水深の推定について次節から詳細を述べる．

3.4 画像を用いた浸水深検出

3.4.1 人体長の算出

図 5 に示す，L_A. 人体長を算出するために，日本人の平均人体寸法から推定式を構築する．画像内に映る人の頭部の長さと，平均人体寸法から求めた身長と頭部から求めた頭身を比較し，人体長を推定する．また，3.2 節に示す，1. 膝，2. 股下，3. 胸部の高さを求めるために，頭部からそれぞれまでの画像内における長さ $L_n(n = 1, 2, 3)$ を算出する．具体的には，l_1：膝/身長，l_2：股下/身長，l_3：胸部/身長として，それぞれの身長との比率 l_n を求め，画像内で

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

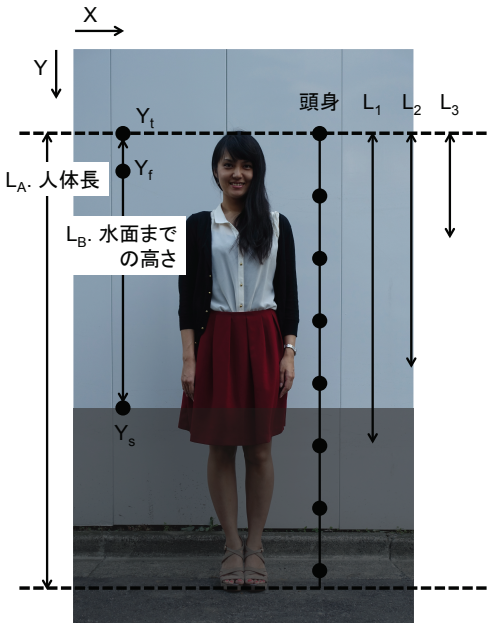


図 5 推定長の算出

の頭部の長さと比較し算出する．

l_n の算出にあたって，日本人の平均人体寸法長として，1997 年から 1998 年にかけて実施された，日本人の青年層と高齢者層の合計 318 名の被験者を対象とした人体寸法計測調査の結果を用いた [19]．頭部から膝，股下，胸部までの高さとして，それぞれ調査結果における，大腿骨外側上顆高，恥骨結合上縁高，胸骨上縁高を人体長から引いた値を用いる．また人体長として身長，頭部の大きさとして全頭高を用い，頭身 a は身長を全頭高で割った値とする．

調査結果のデータを青年男性（19〜27 歳，平均年齢 20.5 歳，110 名），青年層女性（19〜25 歳，平均年齢 20.2 歳，107 名），高齢男性（60〜82 歳，平均年齢 68.6 歳，51 名），高齢女性（60〜80 歳，平均年齢 66.9 歳，50 名）の群に分類し求めた，各群における L_n を表 1 に示す．頭身 a は各群でばらつきが見られ，6.46〜7.14 までの値となった．また，l_n については，年齢性別でほぼ差はなく，l_1，l_2，l_3 ごとの平均は，0.73，0.50，0.19 となった．ここまでに求めた a，l_n を用いて，人体長 L_A，頭部から 1. 膝，4. 股下，3. 胸部までの長さ L_n を算出する．人体長 L_A は，式 (1) を用いて算出する．H は各画像に映る人の画像内での頭部の長さを示す入力値である．また L_n については，式 (2) を用いて，人体長の推定値 L_A と l_n をかけた値を，画像内に映る人の頭部から，それぞれ 1. 膝，4. 股下，3. 胸部までの高さとして算出する．

$$L_A = a \times H \tag{1}$$

$$L_n = L_A \times l_n \tag{2}$$

表 1 人体長の推定

	頭身 a	l_1：膝/身長	l_2：股下/身長	l_3：胸/身長
青年男性	7.14	0.73	0.50	0.19
青年女性	6.87	0.73	0.50	0.19
高齢男性	6.70	0.73	0.50	0.20
高齢女性	6.46	0.73	0.50	0.19
平均	6.79	0.73	0.50	0.19

3.4.2 水面までの高さと人体長との差分の算出

図 5 に示す，L_B. 水面までの高さを算出する．算出には画像内に映り込む水面を検出し，画像内で人と水面との境界となる位置 Y_s と，3.4.1 項で求める人の顔 Y_f を用いる．Y_s，Y_f について，それぞれの画像中での Y 軸方向の位置を算出する．Y_f から頭部までの長さを足した位置を Y_t とし，Y_t と Y_s の差を L_B とする．ここまでに算出した，L_A. 人体長，L_B. 水面までの高さを，式 (3) に代入し両者の差分 L を求める．図 5 に示すように，L_A. 人体長，L_B. 水面までの高さの差分は，水中に浸かっている人体部分の高さを表す．そのため，L が示す高さは，浸水深とみなすことができると考えられる．

$$L = L_A - L_B \tag{3}$$

3.4.3 浸水深の推定

最後に，L と L_n を比較し，浸水深 D_e を推定する．これまでに算出した L と L_n を式 (4) へ代入し，L のとる値の範囲によって D_e を推定する．L が頭部から膝までの長さ L_1 より長いとき，D_e は U_K：膝以下であると推定する．同様に，L が L_2 より長く，L_1 以下であるとき，D_e は U_M：股下以下，L_3 より長く，L_2 以下であるとき，D_e は U_C：胸部以下であると推定する．L が L_3 以下であるとき，D_e は U_X：胸部以上であると推定する．以上のように推定した 4 段階の D_e を，浸水深の検出結果とする．

$$D_e = \begin{cases} U_K：膝以下 & (L_1 < L) \\ U_M：股下以下 & (L_2 < L \leq L_1) \\ U_C：胸部以下 & (L_3 < L \leq L_2) \\ U_X：胸部以上 & (L \leq L_3) \end{cases} \tag{4}$$

4. 被害画像を用いた浸水推定の評価

4.1 被害画像の取得

提案手法で検出する浸水深と，実際の浸水深を比較し，提案手法における検出値を評価する．評価には，過去に発生した浸水において，インターネット上に共有され，人の映り込んでいる画像について，合計 26 名を使用する．画像に映り込む人の年齢層は，高齢男性，高齢女性，青年男性，青年女性である．これらの画像について，3 章で示した手法を用いて，Y_f，Y_s を求め，L_a，L_b を算出する．ま

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

表 2 推定した浸水深と実際の浸水深の比較（枚数）

		D_a			
		膝以下	股下以下	胸部以下	胸部以上
D_e	U_K：膝以下	17	1	0	-
	U_M：股下以下	6	1	0	-
	U_C：胸部以下	0	0	1	-
	U_X：胸部以上	0	0	0	-

た，実際の浸水深 D_a について，画像から目視で 3.2 項に示す，4 段階への分類を行った．本提案では入力された画像から，画像内に映り込む人の顔を検出し頭部の大きさを推定した値を用いる．画像に映る人の顔は，肌色検出を行い算出した．対象が日本人であり，肌色検出された領域に毛髪部分が含まれないため，肌色領域の中心の画像位置からの顎までを 3 倍した長さを頭部の長さとして用いた．また水面の検出については，X 軸方向に沿って RGB 値の畳み込み積分を行い，算出値が変化する画像の Y 座標の位置を水面境界 Y_s とした．また，人体長の算出するための頭身 a は平均値を用いた．

4.2 浸水検出の結果

L_a，L_b を比較し，算出した浸水深 D_e を算出した．a として各群の頭身の平均である 6.79 を用いる．算出した D_e と実際の浸水深 D_a を表 2 に示す．なお，胸部以上となった浸水深については被害画像が存在しなかったため，評価を行っていない．実際の浸水深 D_a が U_K：膝以下であった画像 23 枚のうち，D_e が U_K：膝以下として算出された枚数は 18 枚であった．残りの 6 枚は U_M：股下以下として推定された．D_a が U_M：股下以下であった画像 2 枚のうち，1 枚の D_e は U_M：股下以下として正しく検出され，残りの 1 枚は U_K：膝以下として検出された．D_a が U_C：胸部以下であった画像は 1 枚であり，D_e は U_C：胸部以下として正しく検出された．

4.3 被害画像を用いた浸水検出に関する考察

4.2 節で示した検出結果より，実施の浸水深 D_a と提案手法で検出した浸水深 D_e が一致した画像は 26 枚中 19 枚であった．評価に用いた画像のうち，78.1 %が正しく浸水深を検出できた．また，実際の浸水深 D_a と推定浸水深 D_e が一致しなかった 7 枚の画像のうち，6 枚が実際の浸水深より 1 段階大きく浸水深を推定する過検知となった．過検知として，実際の浸水深より浸水深を大きく推定することは，危険性の通知や避難啓発の観点から鑑みると大きな問題とならないと考える．そのため，評価に用いた被害画像のうち，96.1 %の画像について過検知を含み，浸水深が検出できることを示した．実際の浸水深より小さい浸水深として推定され誤検知となった画像は，救出に向かった自衛隊員の肩に子どもが背負われる様子を撮影した画像であった．そのため，検出された顔から水面境界までの高さが実際よりも長く算出され，浸水深が実際よりも低い U_K：膝以下として推定されたと考えられる．

本提案では日本人の平均寸法から頭身を算出し，浸水深を推定したが，表 1 に示すように，性別，年齢によって頭身にはばらつきがあるため，人による体格の差が本提案に及ぼす影響を考察する．頭身 a を 4.2 節で用いた平均値，最大値 8.15，最小値 6.03 の 3 つを用いて求め，それぞれについて浸水深 D_e と実際の浸水深 D_a が一致した割合を表 3 に示す．最大の頭身を用いて，浸水深の推定を行ったところ，U_K：膝以下と推定された画像のうち，実際の浸水深と一致した画像の割合は 34.6 %，平均値を用いた場合と同様に過検知となった画像は 96.1 %であった．また，平均の頭身を用いて推定した浸水深は，実際の浸水深が U_K：膝下以下である画像が U_M：股下以下として推定され，1 段階のみの過検知であったが，最大の頭身を用いた場合，3 枚の被害画像が U_C：胸部以下として検出され，実際より 2 段階大きく見積もられた．U_K：股下以下の画像のうち，1 枚が U_C：胸部以下と推定された過検知であり，1 枚が U_K：膝以下と見積もられた誤検知であった．誤検知となった理由は，平均値における誤検知と同様であると考えられる．

最小の頭身を用いて推定した浸水深のうち，U_K：膝以下と推定された画像のうち，実際の浸水深と一致した画像の割合は 61.5 %，過検知となった画像は 96.1 %であった．最小の頭身を用いた推定値は，平均値と同様に 1 段階のみの過検知であった．これは，最大値 8.15 と比較して，平均値 6.79 と最小値 6.03 の値が近いため，過剰な過検知に繋がらなかったと考えられる．さらに，U_M：股下以下と推定された画像は，平均値を用いた場合と同様に 50.0 %が一致した．ここまでの結果から，頭身のばらつきは，推定浸水深の精度に影響することがわかった．ただし，いずれの値を用いた場合も，誤検知は起きにくく，危険を通知する目的で本提案で推定する浸水深を用いる場合は，大きな問題はないと考えられる．また，評価に用いた被害画像では，平均値を用いた推定が最も精度が良いことがわかった．

以上のことから，提案手法を用いて 1 枚の画像を除いてすべての被害画像について浸水深を，実際の浸水深と同等か，実際以上の値として検出することができた．浸水深の検出として，膝以下，股下以下のような避難行動に影響する浸水深の検出が行える可能性があると期待できる．

5. おわりに

本研究では，市街地で起きる浸水被害の状況把握をするうえで，定点観測地点と浸水発生箇所のずれと，被害画像に比較対象物が欠如していることにより，浸水深の検出が困難である問題に対し解決を目指した．豪雨の発生時にイ

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

表 3 推定する浸水深と実際の浸水深の一致（%）

	a		
D_e	平均値	最大値	最小値
U_K：膝以下	78.1(96.1)	34.6(88.5)	61.5(96.1)
U_M：股下以下	50(50)	0(50)	50(50)
U_C：胸部以下	100	100	100
U_X：胸部以上	-	-	-

ンターネット上で共有される浸水の様子を撮影した画像を用いて，浸水深を検出する手法を提案した．浸水が人に及ぼす影響に従って，浸水深を U_K：膝以下，U_M：股下以下，U_C：胸部以下，U_X：胸部以上と分類し，画像に写る人物の大きさと水位を比較する．比較結果を用いて浸水深を推定することで，目安となる対象物を必要とせず，高密度な浸水深の検出を可能にする．

人体寸法から日本人の平均的な体格を割り出し，浸水深の推定式を構築した．推定式を用いてインターネット上に共有されている過去の浸水の被害画像を分析し，本提案手法で検出する浸水深の精度を評価した．評価結果より，評価に用いた被害画像のうち 78.1 %の画像について実際の浸水深と一致する浸水深を検出し，96.1 %の画像について過検知を含んだ浸水深の検出ができるとわかった．浸水深の検出として，U_K：膝以下，U_M：股下以下のような避難行動に影響する浸水深の検出は行える可能性がある．さらに個人の体格差を考慮し，体格を 6 頭身から 8 頭身まで変化させて推定を行ったところ，体格の差が推定浸水深に影響を及ぼすことがわかった．日本人の平均値として算出された頭身が最も精度よく浸水深を推定できた．本提案手法を用いることで，インターネット上に共有されている被害画像から，浸水深を推定でき，これまでの定点のみの観測より，高密度に市街地の浸水真の観測が行える可能性を示した．

今後は，浸水発生有無の検出と合わせて，浸水検出精度の向上を行い，定点観測での観測データと合わせて，自治体や一般の人々への観測データ提供を目指す．本稿では，浸水の被害画像を用いた浸水深の検出を行ったが，浸水発生の検出を組み合わせることで，インターネット上の画像の中から浸水の被害画像を自動的に抽出し，観測データとして活用することが期待できる．また，インターネット上に共有される画像には様々な解像度が想定されるため，画像に映り込む人の顔や頭部の長さの推定，水面境界の位置の推定等の画像解析が評価結果に及ぼす影響について分析し，精度向上を目指す．本稿ではインターネット上に共有される人が映り込んだ画像を用いて，浸水深の推定を行ったが，車や自動販売機など大きさがある程度，固定された対象物を用いることで，より多くの被害画像を活用することができ，高密度な浸水の検出に役立てられると考える．

参考文献

[1] Lambert, S. J. and J. C. Fyfe, Changes in winter cyclone frequencies and strengths simulated in enhanced greenhouse warming experiments results from the models participating in the IPCC diagnostic exercise, Climate Dyn., Vol.26, pp.713-728, 2006.
[2] 小林文明，集中豪雨の謎を解く，災害列島 2000 都市型水害を考える，pp.12，国土交通省河川局，2001.
[3] 廣井脩, 集中豪雨時のソフト対策, 河川レビュー, Vol.130, pp.19-25，新公論社，2005.
[4] NHK 放送文化研究所，NHK 気象・災害ハンドブック，日本放送出版協会，2005.
[5] 国土交通省四国地方整備局，水文観測，http://www.skr.mlit.go.jp/kasen/mizu/index.html，2003.
[6] 中根和郎，長坂俊成，臼田裕一郎，田口仁，八文字弘行，藤原健治，鈴木豪，野島亮兵，リアルタイム浸水情報の実用化，日本災害情報学会大会，2012.
[7] 高木陽市，辻川秋雄，斎藤健，米丘孝幸，カメラ画像解析による非接触式の水位計測技術の開発，土木学会第 55 回年次学術講演会，共通セッション SC-232，pp.464-465，2000.
[8] 高木陽市，米丘孝幸，森英雄，斎藤健，辻川秋雄，画像による水位計測技術，EICA 環境システム計測制御学会誌，Vol.5，No.2，pp.67-70，2000.
[9] 株式会社いであ，CCTV 画像を利用した水位計測システムの開発，http://www.ideacon.jp/\\contents/inet/vol15/vol15_wr04_cctv.pdf，(2014.09.15).
[10] 岩橋政宏，人と環境に優しいインテリジェント・ビデオセンサー・ネットワークの構築，河川整備基金助成事業, http://www.kasen.or.jp/seibikikin/h20/pdf/rep4-03h.pdf，(2014.09.15).
[11] 渡邉謙太郎，画像処理を用いた河川の水位監視システム，福井高専　平成 25 年度電子情報工学科卒業研究発表会，2013.
[12] 廣井慧, 井上朋哉, 仲倉利浩, 妙中雄三, 加藤朗, 砂原秀樹, Web カメラを活用した浸水観測ネットワーク FloodEye の構築と評価，インターネットコンファレンス 2013，2013.
[13] 国土交通省東北地方整備局　財団法人河川情報センター，仙台湾沿岸域 浸水センサー状況提供システム，http://www.suigai.river.or.jp/shinsui/pc/，(2014.09.15).
[14] 岡崎市防災危機管理課危機管理班，浸水警報装置（サイレン），水位計，浸水計，http://www.city.okazaki.aichi.jp/100/965/bosai/p008303.html，(2014.09.15).
[15] 影澤秀明，廣井慧，奥矢淳，香取啓志，加藤朗，砂原秀樹，Twitter を用いたセンシングシステムの提案と考察，pp.725-732，マルチメディア，分散，協調とモバイル (DICOMO2014) シンポジウム，2014.
[16] 国土交通省，避難行動における限界条件の設定，http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/saigai/tisiki/chika/pdf/g-11_g-14.pdf，(2014.09.15).
[17] 千葉県, 県民への広報・市町村の活用, http://www.pref.chiba.lg.jp/bousai/jouhoukoukai/shingikai/higashi-iin/documents/240127-1-4.pdf，(2014.09.15).
[18] 斉藤祐紀，内田暁，大谷義彦，穂積順一，石原成浩，藤波研次，画像による路面状態の検出に関する基礎的研究反射特性を用いた検出方法について，平成 18 年度電気関係学会東海支部連合大会，2006.
[19] 河内まき子，持丸正明，岩澤洋，三谷誠二（2000）：日本人人体寸法データベース 1997-98，通商産業省工業技術院くらしと JIS センター．

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan