

自律型電源を用いた停電時に運用可能な 市街地の浸水観測システムの提案

廣井 慧^{1,a)} 仲倉 利浩² 落合 秀也³ 井上 朋哉⁴ 山形 与志樹⁵ 河口 信夫¹

概要：都市域で発生する豪雨は、市街地の浸水を招き、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を与える。特に中小河川や水路から溢れる水は、一般市町村道のような生活道路の浸水を招く。浸水の発生箇所や浸水深の情報提供は、歩行者や車両の被害軽減に有効であるため、生活道路での浸水の情報提供を実現を目指し、安価で簡易に構築可能な浸水観測ネットワーク FloodEye の開発と実環境での運用を行っている。しかし、豪雨や浸水被害が拡大すると、市街地では停電が発生することが多く、浸水観測やデータ提供の継続が難しい。そこで本研究は、被害拡大後も安定的に運用でき、生活道路の浸水被害軽減に活用できる浸水観測システムの開発を行う。本システムは、豪雨発生前に太陽光から蓄電した電力を活用し、停電時に観測と FloodEye へのデータ伝送をする自律型電源機能をもつ。本システムを実環境に設置して、観測とデータ伝送を行い、連続した降雨日での電力消費量を計測した。この計測結果をもとに、同程度の降雨発生時に安定的な運用を実現するための効率的な電力使用の分析を行う。近傍の降水量や警報の発表状況から推定する被害拡大の可能性、観測結果からの浸水の発生状況を用いた、観測とデータ伝送の制御開始タイミングの決定と時間間隔の最適化の考察結果を述べる。

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]。その対策のひとつに、一般の人々の危険回避を促すための、降雨や河川、浸水に関する観測値や浸水の被災状況を示す指標の情報提供がある [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が起きる危険箇所は特定がしにくく、設置や運用にコストがかかる既存の水位計では浸水の発生や浸水深を捉えにくい。浸水被害が拡大すると、市街地では停電が発生することが多く、観測観測の継続が困難となる。そこで本論文ではこれら問題に対し、設置や運用に関する障壁を軽減するため、安価で小型であり、被害拡大後も安定的に運用でき、生活道路の浸水被害軽減に活用できる浸水観測システムの開発を行う。本観測システムは、豪雨発生前に太陽光から蓄電した電力を活用し、停電時に観測とデータ伝送をする自律型電源機能をもつ。

本論文では、浸水観測システムを設計し、豪雨の発生時に限られた蓄電力を活用して、浸水の状況変化を検知するための、制御開始タイミングの決定と時間間隔の最適化手法を考える。本システムを実環境に設置して、観測とデータ伝送を行い、連続した降雨日での電力消費量を計測した。この計測結果をもとに、同程度の降雨発生時に安定的な運用を実現するための効率的な電力使用の分析を行う。近傍の降水量や警報の発表状況から推定する被害拡大の可能性、観測結果からの浸水の発生状況を用いた、観測とデータ伝送の制御開始タイミングの決定と時間間隔の最適化の

¹ 名古屋大学未来社会創造機構
Institute of Innovation for Future Society, Nagoya University
² 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科
Graduate School of Media Design, Keio University
³ 東京大学 大規模集積システム設計教育研究センター
VLSI Design and Education Center, University of Tokyo
⁴ 北陸先端科学技術大学院大学 高信頼ネットワークイノベーションセンター
Dependable Network Innovation Center, Japan Advanced Institute of Science and Technology
⁵ 国立環境研究所
National Institute for Environmental Studies
a) k.hiroi@ucl.nuee.nagoya-u.ac.jp

考察結果を述べる。なお、本研究では安価で小型の浸水観測システムとして、赤外線カメラからの画像を活用し観測と浸水推定を行うシステム FloodEye を利用している [12]。

2. 市街地で発生する浸水観測

2.1 既存の浸水観測とその情報提供

浸水の状況を把握するための既存の浸水観測既存の浸水観測として、水位計を用いた河川水位と市街地の浸水深の観測が挙げられる。河川水位の観測値は、河川から水が溢れ浸水発生の可能性のあるかの把握に活用できる。また、市街地の浸水深として、流れ込んだ水の水位を観測することで、観測点での浸水の程度を知ることができる。

河川水位の観測値は、国土交通省や各自治体から一般の人々に向けて提供されている [4] [8]。河川水位の観測値として、河川の水位や堤防までの高さが 10 分おきに提供されている。浸水の観測値は、地面からの浸水深が 1~10 分おきに提供されている [9] [11] [10]。これらの観測値は、インターネットを経由して提供されており、メールや PC、スマートフォンで確認することができる。ただし、実際の浸水深の観測とその情報提供は、被害の把握に重要であるものの、既存の浸水観測で把握できる範囲は、観測点のみにとどまる。

これらの観測値は、情報提供を行うだけにとどまらず、浸水推定への活用が考えられる [12] [13]。既存の観測機器では設置箇所周辺の浸水状況しか把握できない。また、これまでの河川観測は影響の大きい大河川が主な対象だったため、中小河川や水路で発生する浸水や道路での浸水深の観測は、ほとんど行われてこなかった。そこで水位計の設置されていない地点で発生した浸水を把握するため、浸水の実観測データを活用した水の流れを分析することで、観測結果に基づいた高精度な浸水推定に活用できる。

2.2 市街地の浸水観測の問題

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や、観測結果に基づいた精度の高い推定と、その情報提供が求められる。しかし、実際には浸水の発生や拡大を観測することは困難となる。その理由として、設置や運用が高コストであることによる観測点の不足と、停電の発生による観測継続の困難の 2 つの問題がある。それぞれの問題について以下に述べる。

2.2.1 観測点の不足

精度の向上を実現するためには、高密度な観測が重要となる。観測点数が多いほど観測密度は高くなり、浸水の発生を観測できる可能性が高くなるとともに、推定の精度が向上すると考えられる。しかし、既存の大河川に使用される観測機器は、設備規模が大きく設置箇所が制限されるうえ、その設置・運用コストや大きいため、増設や運用が容易ではない [12]。特に、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い。そのため、高密度な観測の実現には、設置に関する障壁を解決する、小型で安価な観測機器の活用が必須となる。

2.2.2 停電の発生による観測継続の困難

浸水の観測や実観測データを用いた浸水推定は、被災状況の把握に有効ではあるものの、被害が拡大するにつれてその観測が行えなくなる可能性がある。その理由として、被害の拡大による停電の発生が挙げられる。豪雨が激しくなると、被災地の周辺では落雷や浸水による電力設備の故障が多く起きる。こうした場合、観測に電力を必要とする観測機器の可動が行えなくなり、観測の継続が困難となる。被災地域の人々は、実観測データが取得できなくなり、浸水深や浸水推定の情報提供が行えず、被災状況の把握が難しい。つまり、浸水の影響が軽微なうちは、浸水深の把握が可能であるが、危険回避行動をとることがより重要となる被害が拡大した際には、観測が停止し、市街地の浸水状況把握が困難となる可能性が高くなる。

3. 自律型電源機能をもつ浸水観測システムの提案

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、高密度な観測機器で被害拡大時にも安定的に観測を行い、観測値や推定結果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、設置に関する障壁と浸水被害が拡大した際の観測停止という問題の解決が必要である。本研究では、小型で安価な構成で設置が行いやすく、被害拡大後も安定的な運用を行うため自律型電源機能をもつ、生活道路の浸水被害軽減に活用できる浸水観測システムの開発を行う。本システムの自律電源機能は、豪雨発生前に太陽光から蓄電した電力を活用し、停電時にも観測とデータ伝送を継続して行うことで実現する。上記について 3 章では、3.2 節で具体的な自律型電源機能の構成について、3.3 節で実際の設置状況について述べる。

3.2 浸水観測システムの構成

本論文で扱う自律型電源機能をもつ浸水観測システムの構成を図 1 に示す。提案する浸水観測システムは、観測部、データ伝送部、自律型電源部の 3 つから構成される。観測部の赤外線カメラで撮影された道路の画像は、データ伝送部のデータ蓄積サーバに送られ、3G 回線を経由して、観測データサーバへ送られる。観測データサーバにて、浸水の推定処理や、観測値と推定値の情報提供が行われる。通信回線の未整備地域への設置を想定し、3G 回線でのデータ伝送とした。商用電源利用時の画像の撮影と観測データサーバへのデータ伝送の時間間隔は、1 分おきに実施している。なお、この観測部とデータ伝送部について

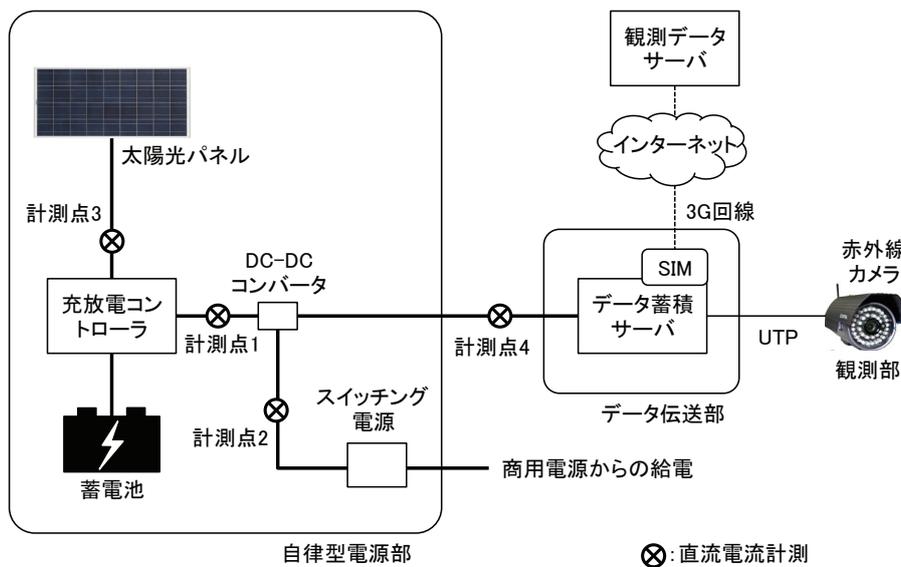


図 1 自律型電源機能をもった浸水観測システムの構成

は、FloodEye のシステムを利用している [12].

これらの観測部とデータ伝送部の電力源として、自律電源部を構成している。自律電源部の電力は、商用電源と太陽光パネルからの蓄電池の 2 つとした。商用電源が活用可能な設置箇所では、通常、商用電源を用い、停電が発生した際には電力源を蓄電池に切り替え、電力を供給する。

3.3 安価で小型の浸水観測システムの設置と運用

これまでに述べた自律型電源機能をもつ浸水観測システムを設計し、東京都内に設置し、観測対象として施設内にある水かめの水位変化を観測した。設置、運用の様子を図 2 に示す。観測システムは中小河川や水路沿いの生活道路への設置とするため、小型である必要がある。そのため、太陽光パネルの選定と観測システムの収納を工夫して小型化を行った。太陽光パネルは、本観測システムの設置が見込まれる歩道について規定されている最小幅員 0.5 メートルを超えない大きさとした [5]。方位角 0° - 45° の範囲に向け、水平面からの傾斜角 30° で設置を行うものとし、設置した際の一边の長さが 0.5 メートル以内となる大きさの太陽光パネル 1 枚を用いる。図 2 で設置した太陽光パネルの大きさは、 $625 \times 555 \times 35\text{mm}$ である。さらに、観測システムを小型にするため、データ伝送部、自律電源部はすべて防水加工を施したボックスへ収納している。通常の水位観測には、観測機器を収納する建物が必要となるが、本研究では、60mm 四方程度に収まる小型の機器を設計した。

水位観測の実施には数百から数千万円規模のコストが必要とであることに対し、本観測システムは 22 万円程度で機材の購入と設計、設置を実施できた [12]。本観測システムの運用に関わるコストは、商用電源を用いる場合の電気代、データ伝送を行うための通信費であり、月額 1000 円程度であると見込まれる。以上のことから設置、運用コス

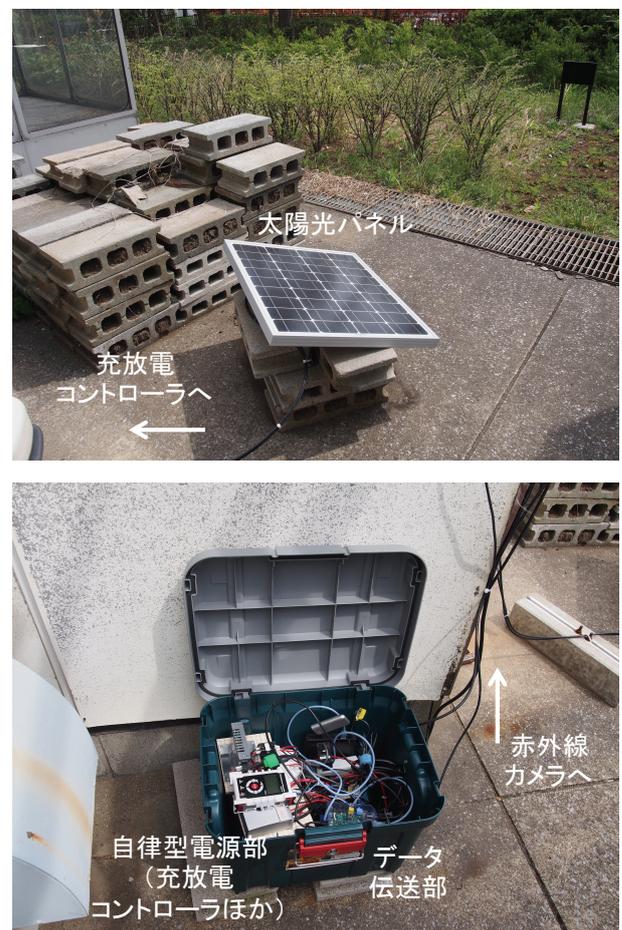


図 2 提案する浸水観測システムの設置例

トの障壁を軽減する、小型で安価な観測システムの開発と設置を行った。

4. 安定的な動作のための観測，データ伝送の制御と最適化

4.1 制御開始タイミングの決定と時間間隔の最適化の目的

最適化は，被害拡大の可能性がある際，観測とデータ伝送の制御を行い，浸水観測の可動時間を延長させる目的で行う．そのための，被害拡大の可能性や浸水の発生状況に応じた動作として，小型かつ安価に構成した観測システムを用いて，浸水の観測値の変化量を伝送しながら，安定的な動作時間を延長させる．以下から，4.2節で制御開始タイミングの決定について，4.3節で観測，データ伝送の時間間隔の最適化について述べる．

4.2 制御開始タイミングの決定

4.2.1 被害拡大時の観測，データ伝送の流れ

図3に被害拡大時の観測，データ伝送の流れを示す．商用電源を用いて，本観測システムを動作させる際は，定期的なタイミングでの観測を行う．また，日照があり蓄電池の電力を使用しない際も，同様に定期的なタイミングで観測する．日照がなく，蓄電池に蓄えた電力を消費する場合，観測とデータ伝送を行うタイミングは，被害拡大の可能性有無に応じて決定することとする．本論文ではそのための手法として，降水量をもとに被害拡大の可能性有無を判断し，可能性がある場合，観測，データ伝送の制御を開始する．さらに浸水の観測結果から浸水の発生やその可能性がある場合，時間間隔を詳細にして，浸水の状況変化を検知する．

被害が拡大する可能性の有無については，近傍で観測された降水量と警報の発表状況から判断する．近傍で多量の降水量が観測されるときは豪雨の発生があり，観測点において浸水が発生する可能性がある．また，観測点を含む地域で，大雨や洪水，雷に関する警報が発表されている場合，豪雨による浸水や雷による停電が起きる可能性がある．この浸水や停電の発生によって，商用電源が停止し，観測とデータ伝送が行えなくなると考えられる．そのため，周辺で観測されている降水量の値と警報発表の有無を利用して，被害が拡大する可能性の有無を推定する．

近傍の降水量と警報の発表状況が，浸水や停電の発生に及ぼす影響をそれぞれ $I_k (k = 1, 2)$ とし， $\forall I_k (I_k = 1)$ となったとき，制御を開始する． I_k はそれぞれが閾値を超過したとき，影響があるとして算出する． I_k は被害拡大の可能性に影響する降水量，警報の発表状況から算出する． $\forall I_k (I_k = 1)$ となり，豪雨の発生や警報の発表があり被害が拡大する可能性があるとして判断された場合，観測やデータ伝送の制御開始タイミングを決定する．被害拡大の可能性がない場合は，引き続き観測された降水量や警報の発表状況を監視しながら，定期的なタイミングでの浸水観測を行う．

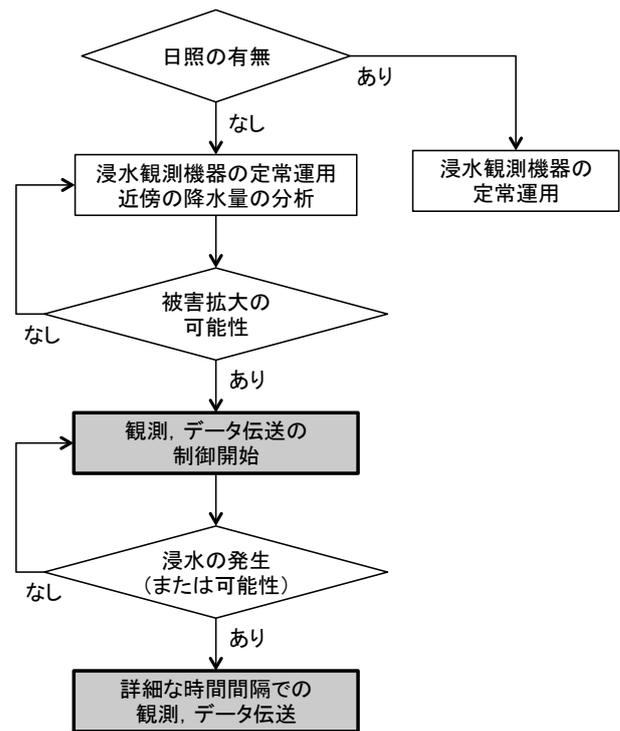


図3 被害拡大時の観測，データ伝送の流れ

4.2.2 近傍での豪雨の発生による影響 I_1

降雨が浸水発生に及ぼす影響 I_1 は，降水量を用いて推定する．降水量は，浸水観測箇所の近傍で観測している気象センサネットワークの雨量計を用いる．ここで用いる気象センサネットワークは気象庁が設置しているアメダス，東京都建設局が設置している水防災，LiveE!の雨量計を使用する [6] [8] [7]．

高密度な気象センサネットワークでは，近傍にある雨量計の示す降水量が増加傾向にあるとき，浸水の観測箇所でも降水量が増加し豪雨となる可能性がある [14]．また，近傍で豪雨が起きているとき，その豪雨の影響により，浸水の観測箇所でも浸水や停電が発生する可能性も考えられる．そのため，浸水観測点 i の近傍の n 個の雨量計 S_n で観測される降水量 $R(t)_n$ から， i が受ける降雨の影響を推定する．ただし， $n = 1, 2, 3, \dots$ とする． i の近傍で $R(t)_n$ の降雨が発生しているとき， i では同等かそれ以上の影響を受け可能性がある． i での I_1 を判別する条件式を a_1 を用いて以下に示す．ただし， i と S_n は近いほどよいが， i の近傍の限界範囲として，ひとつの積乱雲の大きさに匹敵する 5-10km を用いる．

$$I_k = \begin{cases} 1 & (R(t)_n \geq a_1) \\ 0 & (R(t)_n < a_1) \end{cases} \quad (1)$$

4.2.3 浸水と停電の発生による影響 I_2

予測される降雨と洪水が浸水の発生に及ぼす影響，および停電による浸水の観測継続への影響 I_2 は，警報の発表状況から求める．浸水観測点を含む地域で，浸水や停電の発

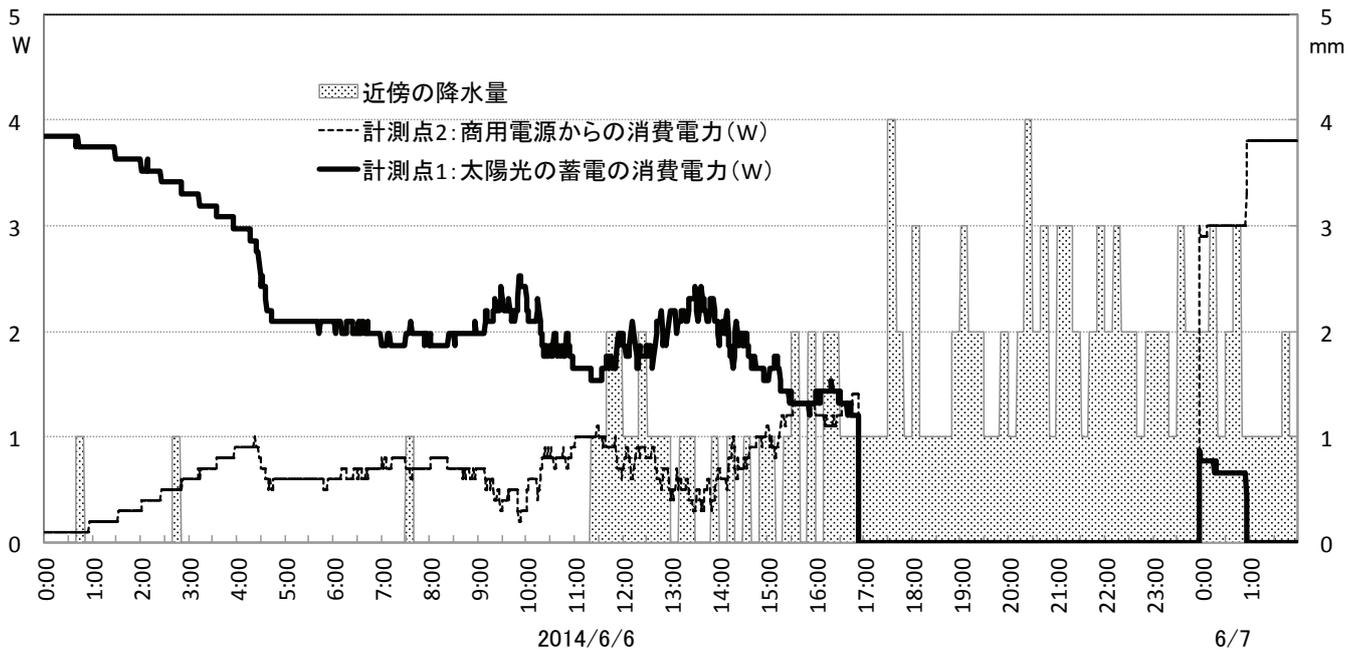


図 4 降雨時の浸水観測システムの電力計測結果

生に影響を及ぼす警報のいずれかが気象庁から発表された場合、浸水発生の可能性があるとして、 $I_2 = 1$ 、発表されていない場合、 $I_2 = 0$ とする。ここで、浸水の発生に影響を及ぼす警報として、気象庁から発表される大雨注意報・警報、洪水注意報・警報、特別警報、停電の発生に影響する警報として、雷注意報を用いる。

4.3 電力計測結果から考察する観測、データ伝送の時間間隔の最適化

4.3.1 降雨日における電力計測環境

最適化を行うために、東京都内に設置した本観測システムを利用して、連続降雨量が多く蓄電池残量が0となった日の観測データを用いて分析を行う。具体的には2014年の6月5日から10日まで続いた大雨のうち6日から7日について、降水量や警報の発表状況、本観測システムで計測された消費電力を用いる。東京では6日から7日にかけて165.5mmの降雨が観測されており、床上浸水1棟、床下浸水7棟の被害が出ている。浸水観測システムの近傍の降水量として、都内に設置された雨量計の10分あたりの降水量を用いた。また、本観測システムの消費電力は、図1に示した、4ヶ所の直流電流の計測結果から算出した。直流電流の計測値は3G回線を使用して、汎用性の高いIEEE1888通信プロトコルを使用し、3G回線からインターネットを通じて収集している[15]。

4.3.2 浸水観測システムの電力計測結果

図1の計測点1、2で計測された直流電流を消費電力に換算した結果を図4に示す。また、図1の計測点4で計測された電流を消費電力に換算した結果は、日中時間帯の最

大消費電力が2.70W、夜間が3.95Wであった。なお、計測点1、2、4での電圧はそれぞれ10V、11V、5Vである。計測点4の日中時間帯と夜間帯の消費電力の差は、夜間に赤外ライトを使用して画像の撮影を行っていることから、夜間の方が浸水観測システムにかかる消費電力が多くなると考えられる。本浸水観測システムの電力計測にあたって、太陽光からの蓄電利用のみでは、長時間に渡る観測とデータ伝送ができないため、商用電源からのバックアップを並列して活用している。電力消費の流れとして、太陽光からの蓄電容量が残っている場合は、蓄電池からの電力を優先的に使用する。蓄電池の残容量が少なくなったら商用電源からの給電を優先的に使用する。

図4から、6/6 0:00から4:30ごろまでは、日照がなく本浸水観測システムは太陽光発電の電力を消費して運用している。その後、5:18から計測点3では電流が確認でき、蓄電が開始すると、計測点1の消費電力が一定となり、9:00すぎには蓄電池からの消費電力が増加した。しかし、10:20ごろから日照が減り、計測点3での計測電流が0に近くなると、計測点1での消費電力は減少している。この際、近傍の雨量計で降水量は観測されておらず、1時間ほど遅れた11:00すぎから降水量が観測され始めている。

浸水観測システムを設置した地域では、6/5 10:18から雷注意報、16:57から大雨注意報、洪水注意報が発表されており、計測を行った6/6 5:26まで継続した。一旦、注意報が解除されたものの、6/6 16:32には雷注意報、19:15には大雨注意報、洪水注意報が発表され、この後数日間、発表と解除を繰り返していた。

11:30すぎから再び、計測点3にて電流が計測され始め、

蓄電が開始している。13:30 から、計測点 1 での電力消費が減る。この時間帯から近傍での降水量が増加し、浸水観測点の周辺で強い雨が降り始めた。その後、夜間帯になるまでデータ伝送の欠損が発生した。この際、データはサーバ上への upload ができていないが、浸水の観測と電力計測、および浸水観測システムからのデータ伝送は実施されていたため、この間、計測点 1 での消費電力は継続していたと考えられる。6/6 23:59 に通信機器の再起動により、データ伝送は復旧した。その後、6/7 1:00 に蓄電池の残容量がなくなり、商用電源に切り替わった。

4.3.3 観測、データ伝送の最適化に関する考察

、観測とデータ伝送の最適化として、制御開始タイミングと時間間隔について考察を行った。はじめに制御開始タイミングについて、降水量の閾値 $a_1 = 2$ とおくと、近傍の降水量が閾値を超え、かつ警報・注意報が発表された $\forall I_k (I_k = 1)$ となった時間は 16:32 であった。そのため、計測時での制御開始タイミングを 16:32 とする。

次に制御を開始してからの適切な観測、データ伝送の時間間隔について述べる。計測点 3 の電流計測結果から、16:32 以降の時間帯は、太陽光からの蓄電が行われていないため、蓄電池からは電力消費のみが行われていた。16:32 から蓄電池の残容量がなくなった翌 6/7 0:57 までの 505 分間の蓄電池からの消費電力の時間積分値、商用電源からの消費電力の時間積分値を概算すると、それぞれ 9.26Whr、17.68Whr であり、蓄電池からの消費電力は全体の 34.4% となる。そのため、本計測結果のように商用電源を用いず、太陽光パネルからの蓄電池のみを用いた場合、505 分間の 34.4% である、174 分間の運用が可能であると考えられる。

そこで、本観測システムを観測とデータ伝送にかかる時間のみの運用とし、それ以外の待機時間には、可動しないとして、観測システムの電源を $\forall I_k (I_k = 1)$ となる 16:32 から制御を開始した際の、観測、データ伝送の時間間隔と可動時間を表 1 に示す。ただし、浸水観測システムの起動から観測、データ伝送にかかる時間は 1 分以内であり、起動にかかる消費電力は無視する。表 1 で、それぞれの可動時間を求めた結果、時間間隔が、1 分では 6/6 19:26、3 分では 6/7 1:14、5 分では 6/7 6:32、10 分では 6/7 21:32 まで浸水観測システムの運用が可能であると考えられる。しかし、浸水が発生した際は水位の上昇が早く、5 分以上の時間間隔では浸水の水位変化を検知できない可能性が高い [12]。そのため、5 分、10 分おきの可動と運用では、浸水が発生したときの観測が水位変化に間に合わず、検知が十分に行えない可能性がある。このことから、浸水観測システムの長時間に渡る運用継続を目指しつつ、水位変化を検知するためには、観測結果を活用して、中小河川や水路の水位が上昇し、浸水が発生する可能性が高いとき、もしくは浸水が発生したときには、観測とデータ伝送の時間間隔を 1 分または 3 分と設定し、浸水発生の可能性が低いと

表 1 観測、データ伝送の時間間隔と可動時間

時間間隔	可動時間	本計測時の可動終了	浸水の水位変化の検知
1 分	174 分	6/6 19:26	○
3 分	522 分	6/7 1:14	○
5 分	870 分	6/7 6:32	△
10 分	1740 分	6/7 21:32	×

きには、時間間隔を 5 分、10 分と設定し、観測システムの長時間運用を実現することが適切であると考えられる。

以上のことから、計測結果を分析した結果、本提案の浸水観測システムと最適化手法を用いて、長時間の浸水観測、およびデータ伝送が可能になり、浸水把握のための安定的な情報提供が可能になると期待できる。

5. おわりに

本論文では、市街地で起きる浸水被害を状況把握するうえで、中小河川や水路への浸水観測システムの設置や運用コストに関する障壁と、浸水被害の拡大に多く発生する、市街地の停電による、観測観測の継続困難の問題に対し解決を目指した。安価で小型かつ太陽光発電を利用した自律型電源機能をもつ浸水観測システムを開発し、被害拡大後も安定的に運用でき、生活道路の浸水被害軽減に活用できる浸水観測システムの開発を行った。さらに、豪雨の発生時に限られた蓄電力を活用して、浸水の状況変化を検知する制御開始タイミングの最適化手法を提案した。本システムを実環境に設置・運用して、観測とデータ伝送を行い、連続した降雨日での電力消費量を計測した。

計測結果をもとに、同程度の降雨発生時に安定的な運用を実現するための効率的な電力使用について、近傍の降水量や警報の発表状況から推定する被害拡大の可能性、観測結果からの浸水の発生状況を用いた、観測とデータ伝送の制御開始タイミングの決定と時間間隔の最適化を考察した。計測・分析結果から、近傍の降水量や警報の発表状況から被害拡大の可能性を推定し、制御開始タイミングを決定する。停電の発生時に長時間の安定的な浸水観測器の運用を行うためには、被害拡大の可能性推定に基づいた制御開始が有効であり、また観測結果から、浸水が発生している際や発生の可能性が推定される際には、観測やデータ伝送の時間間隔を詳細にし、浸水の水位変化を検知することが必要であると考えられる。

謝辞 本観測システムの設計にあたりまして、浸水観測システムの開発や設置を全面的に助けてくださり、数多くの助言と示唆をいただきました。株式会社ディー・エス・アイの豊田隆志氏に深く感謝いたします。設置場所をご提供くださった、東京都環境科学研究所の横山仁博士に深く感謝いたします。

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] 国土交通省, 統一河川情報システム, <http://bousai.frics.jp>, (2014.08.15).
- [5] 内閣府, 道路構造令, (2014.08.15).
- [6] 気象庁, アメダス, <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/amedas/kaisetsu.html>, (2014.08.15).
- [7] Live E!プロジェクト, デジタル百葉箱, <http://www.live-e.org/instrument/instrument04.html>, (2014.08.15).
- [8] 東京都建設局, 東京水防災総合情報システム, <http://www.kasen-suibo.metro.tokyo.jp/im/tsim0101g.html>, (2014.08.15).
- [9] 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/>, (2014.08.15).
- [10] 中根和郎, 長坂俊成, 白田裕一郎, 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.
- [11] 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>, (2014.08.15).
- [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] 廣井慧, 妙中雄三, 松井加奈絵, 落合秀也, 横山仁, 砂原秀樹, 河川洪水の危険指標生成モデルの提案, 電子情報通信学会 IA 研究会, Vol.20, No.22, pp.1-4, 2013.
- [14] 二宮洗三, 気象観測とデータ, 天気, Vol.60, No.1, pp.37-42, 日本気象学会, 2013.
- [15] Hideya Ochiai, Masahiro Ishiyama, Tsuyoshi Momose, Noriaki Fujiwara, Kosuke Ito, Hirohito Inagaki, Akira Nakagawa and Hiroshi Esaki, "FIAP: Facility information access protocol for data-centric building automation systems," IEEE INFOCOM, M2MCN workshop, 2011.