

〔報告〕

# 気象センサネットワークを活用した 短時間強雨に対する高校生の防災教育システム

廣井 慧\* 横山 仁 中谷 剛\*\* 瀬戸 芳一\* 安藤 晴夫

三隅 良平\*\* 妙中 雄三\*\*\*\* 中山 雅哉\*\*\*\* 砂原 秀樹\*\*\*\*

(\*非常勤研究員 \*\*防災科学技術研究所 \*\*\*慶應義塾大学大学院 \*\*\*\*東京大学)

## 1 はじめに

近年、都市部において短時間強雨等、局地的な極端現象の発生が増加傾向にある。直径 10km にも満たない極めて狭い範囲で急速に発生する短時間強雨が都市域に及ぼす影響は大きく、2008 年 8 月の東京都豊島区での下水道死亡事故や、2010 年 7 月の板橋区や北区での浸水被害等、毎年人的被害を含む被害が起き、早急な対応策が求められている 1) 2)。

そこで本研究では、防災教育を実施することにより短時間強雨に対する防災対応能力の向上を目指したシステムの構築を行う。現状、携帯電話、インターネット等から気象に関する情報が数値情報として提供されている。短時間強雨をはじめとする水害への防災対応能力を身につけるためには、提供される数値情報を理解して、発生する現象と危険を予想し、身を守る行動をとる必要がある。そのため、本研究では数値情報を理解し、身を守る行動へ繋げるための防災教育の実施を目的とした防災教育システムの構築を行う。まず数値情報から発生する現象を予想できるようにするため、現象を適切に表現した降雨情報を提供することで短時間強雨の現象とその影響の理解を促す防災教育を行う。本稿で数値情報に対する認識能力を高めることによって、本研究で目的とする、身を守る行動へつながる防災教育の実施が可能になると考えられる。なお、現象にあわせた降雨情報は雨量計、積乱雲から降雨強度分布を観測する X バンドマルチパラメータレーダを組み合わせて算出する 3)。

## 2 関連研究

気象予測や気象観測の内容を伝達するシステムとして気象庁が提供するレーダ・ナウキャストや東京都下水道局が実施する東京アメッシュ、ウェザーニューズ社のゲリラ雷雨メールがある 4) 5) 6)。レーダ・ナウキャスト、東京アメッシュは観測した雨雲の状況を表示する仕組みであり、この情報を利用してユーザに現状の気象状況を伝達する仕組

みも多数構築されている。しかし、観測情報を提供することで起こりうる現象を認識し回避することには直結せず、危険を予想できるとは限らない。また、ゲリラ雷雨メールはユーザが目撃した雨雲の状況を共有するとともに、ユーザの目撃情報等から気象状況を予想する仕組みをもつ。このサービスを利用すればこれから起こりうる雨の可能性を確認することができる。しかし東京で発生する雨は降水量が同じであっても、23 区であるか、多摩地域であるか、窪地であるか等場所によって降雨に対する被害の度合いが異なる。同じ東京都内であっても現象や影響の説明を提示しても、対象者それぞれに迫る危険を伝えることはできない。

つまり、短時間強雨に対する防災対応能力を身につけるには、ユーザ自身が提供される観測情報を理解し、場所ごとに異なる現象や危険を予想することが必要である。適切な観測情報の理解と危険の予想によってはじめて、観測情報に基づいて短時間強雨による被害を起こさないための行動をとることができる。そのためには、現象が発生する前に降雨情報を提供し、対象者が降雨情報に基づいてどのような場所においてもその状況から危険を予想する訓練が重要であると考えられる。

## 3 防災教育の目的

本研究では、短時間強雨に対する防災対応能力を高めるための防災教育を実施する。ここで目的とする防災教育とは、ユーザ自身が提供される数値情報を理解して、発生する現象と危険を予想し、身を守る行動をとれるようにすることを指す。この防災教育を実施するため本稿では、はじめに提供される数値情報を理解して発生する現象を予想するまでの情報認識能力の向上に着目し、防災教育の実施に向けた取り組みを行う。

現状、2章で述べたように人が数値に対して感じる降雨の影響と実際の現象には相違がある。実際に現象を見ながら提供する降雨情報を理解することで、降雨情報の示す数

値の意味を正しく認識し、短時間強雨の及ぼす影響や危険を予想する訓練を行うことが目的である。そのため、はじめに現象を適切に表現した降雨情報を生成することと、生成した降雨情報を利用して現象を理解する防災教育を実施し、ユーザの情報の認識能力を上げることが必要となる。降雨情報の生成にあたっては X バンドマルチパラメータレーダおよび気象センサネットワークの雨量計を活用して降雨情報を提供するシステムを構築する。

本研究における防災教育は、都市域の高校に通学している高校生を対象として、授業中、通学中における災害対応、特に通学中における危険に対応する能力を身に付けることを目的とする。高校生は授業中、通学中においてテレビ、ラジオ等、災害情報の提供を詳細に行うツールの使用ができず、判断がしやすい情報を入手する手段を持たない。一方で携帯電話、スマートフォンはほとんどの高校生が所持しており、通学中に使用することが可能な状況にある<sup>7)8)</sup>。さらに災害に対する被災経験も少ないため、大人に比べて危険の判断が難しいことが対象とする理由である。特に、高校生は他の年代の学生と比較し通学時間が長いことから学校外での通学距離が長く、被害に遭う可能性が高いため、対象を高校生と定めた<sup>9)</sup>。短時間強雨の発生は 17~23 時頃に集中すると考えられているため、学校から自宅への帰宅等、学校を中心として行動する状況を想定している。

#### 4 短時間強雨に対する情報認識能力の向上に向けた防災教育システム

本稿の防災教育では、高校生に対して情報の提示と現象の体験を繰り返し実施することで短時間強雨に対する情報の認識能力を向上させる。本稿では防災教育で情報の認識能力を向上させるために高校生の気象、防災に関する意識を調査し、防災教育で高校生に提供する情報の内容を決定する。本稿で行う、高密度に設置された雨量計による地上気象観測網と高精度レーダによる降雨強度分布観測網を組み合わせた降雨情報の生成は初めての試みである。この観測網では従来、気象庁で使用されている観測網より高分解能で観測が可能であることから、どのような降雨情報を提供し、防災教育に適した情報提供を行うか検討する必要がある。

##### (1) 防災教育で提示する情報内容

高校生に危険を提示する情報内容を決定するために、被災者である高校生の短時間強雨に対する意識、降雨と災害

の関係性を調査した。調査対象は、短時間強雨の発生が多い地域の高校生に対して多段抽出法を用いた無作為抽出による抽出を行った。ただし短時間強雨にあった経験のない学生のみを対象としている。

##### ア 高校生の短時間強雨に対する意識

高校生を対象に現状、降雨に対して抱えている意識を調査した。聞き取りは質問紙を用いた集団調査で行い、聞き取り重点項目は以下の 2 点で、高校第 1 学年の男女計 22 名を対象とした。

- ・現象から危険を予測できるか
- ・情報から現象を認識し、危険を予測できるか

聞き取りは現象の説明と数値情報を高校生に提示し、情報からイメージする危険を自由記述式にて文字制限なしの文字列を用いて回答させた。

聞き取りの結果、「ザアザアの雨」、「台風のときのような雨」等、現象を説明した言葉を用いた質問や大雨が降り道路が冠水している写真を見せながらの質問では、危険は予想しやすく、降水量に見合った影響が回答として得られた。ただし交通機関への影響等の事例の想像は可能であったが、地下施設の浸水、道路の冠水やマンホールの蓋が外れる等、高校生自らが帰宅中に被害を受ける可能性のある危険についての回答は見られなかった。

一方で、同じ質問を「50mm/h の雨」、「100mm/h の雨」という言葉に置き換えたところ、ほとんどの生徒が影響の程度を低く見積もった。現状、気象庁やほとんどの機関が発表する気象情報は数値情報を利用している。現象を目にしたときや認識したときは、どのような危険があるかある程度の想像は可能であるが、現状の気象予報等で行われている数値情報の提示では、高校生は現象を想像することができず、危険を認識させることは難しいと考えられる。そのため、本研究では現象の発生にあわせて降雨情報を提示することで、現象と数値の関係性を正しく理解し、現象を予想する訓練を行う。さらに予想した現象から、起こりうる危険を想像させる。現象を見ながら降雨情報を理解すること、提示された予測情報をもとに現象や影響を予想することで、短時間強雨によって生じる影響を想像し、危険の回避に役立てることを目的とする。

##### イ 本システムを活用して高校生に提示する情報

一定時間に大量の降雨があったとき、もしくは長く雨が降り続いたときに災害へと発展する可能性が高い<sup>3)</sup>。そのため、高校生に提示する情報は観測雨量、降雨強度のほか、

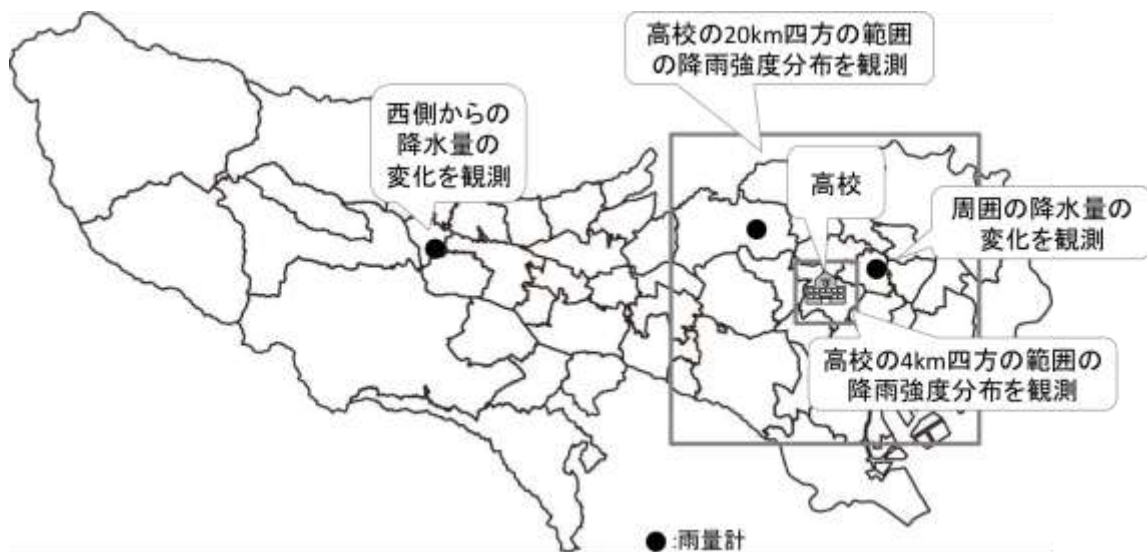


図 1. 取得した降水量と降雨強度

降雨の極大値、積算雨量を選定した。これらの情報を提示するタイミングは雨の開始時、終了時、および降水量のピーク時とした。これは雨の降る前にレーダで観測された降雨強度から現象を予測すること、実際に降った観測雨量との比較、観測雨量と現象との比較を行わせるためである。短時間強雨のピーク時には降雨強度と観測値を比較し、危険を予想する。降雨の終了後に提示される積算雨量から減少との関係を理解する。提示する情報を表 1 に示す。

(2) 降雨情報の提供方法

本研究では降雨情報の提供方法として、携帯電話、スマートフォンを使用することとした。短時間強雨が発生する可能性のある時間帯が夕方から夜間にかけてであることから、本システムが利用される状況として下校前、帰宅中を想定した。下校前、帰宅中の状況で高校生が情報を得る手段として携帯電話、スマートフォン、パトランプ、校内放送が考えられる。

パトランプと校内放送は細かい情報提供はできないが、短時間強雨の危険が迫っている際に全校生徒への危険を周知する手段として有効であると考えられる。そのため、実際の短時間強雨が発生した状況で本システムの降雨情報が正確に提供されることを十分に検証したうえで使用することとした。そのため本稿では携帯電話、スマートフォンへ情報提供のみを行っている。

表 1. 高校生に提示する情報とタイミング

提示するタイミング	情報内容	防災教育上のねらい
降雨の数分前	降雨強度、降雨の領域	危険の予想
雨の降り始め	降水量	-
極大値に達する前後	降水量、降雨強度の極大値	危険の予想、現象と降雨情報の理解
雨が降り終わる前	降水量	-
降雨終了後	積算雨量	現象と降雨情報の理解

5 防災教育の流れ

本稿における防災教育を実施するため、高校を中心とした地域での降雨情報を使用して、プロトタイプを実装した。プロトタイプには、降雨情報の算出、提供およびその情報をもとに高校生に危険を予想させる機能を組み込んだ。プロトタイプの実装には Java を用いた。防災教育を実施する高校を中心とし、近隣に設置された複数の雨量計と高校を中心として 4km 四方の範囲、20km 四方の範囲の降雨強度を使用した (図 1)。

(1) 防災教育システムで提示される情報

日常的な降雨の状態、現象と降雨情報を比較し、危険な状況になったときの影響を予想させる。そのため、日常的な降雨時に「現在の倍の雨が降ったらどのような現象になるか」等を想像させることが必要になるため随時、降水量と現象、現象と影響を想像させる問題を提示することとした。高校生は以下に示す流れで情報を受け取り災害と気象の関連性を意識する。

a) 降雨前：レーダから降雨強度の予測情報を使用し、降水量の情報を提示する。本稿では組み込んでいないが予測情報を加えることによって、高校生が発生前に現象の予想を行うことができる。

b) 雨の降り始め：雨量計で降雨を観測し、雨が降り始めたという情報を提示する。

※（随時）：随時、雨量計の値から現状の降雨情報を提示する。また、降雨の重さや浸水深等、現象を様々な言葉で説明することで現象を正確に捉えるための訓練とする。問題の提示はランダムに行う。

c) 極大値に達する前後：降雨が増加傾向にあったとき、雨が強くなる可能性があるという情報を提供する。レーダで観測した周囲の最大降雨強度を情報として伝える。

※（随時）：降雨の状況からどのような危険があるか、雨量がより大きかった場合や長時間雨が降り続いた場合にはどのような影響があるかを予想させる。

d) 雨が降り終わる前：レーダから降雨強度の予測情報を使用し、雨がもうすぐ止むという提示をする。本稿では組み込んでいないが予測情報を加えることによって提示可能である。

e) 降雨終了：雨量計で降水量が観測されなくなったら雨が止んだことを伝える。この際、雨の降り始めからの積算雨量を提示しながらまわりの様子を詳細に考えさせることで現象と情報をマージして認識させる。

(2) 降雨の検出方法

本節では、本稿で用いたシステムと本システムを用いた情報提供について示す。本研究の防災教育は降雨情報と現象を照らし合わせ危険を予想することによって行うため現象にあわせて降雨情報を提供することが必要となる。そのため降雨情報にパラメータを設定し、パラメータに従って情報提供を行うシステムを構築した。

パラメータは現象にあわせた情報提供を行うために必要となる。雨量計とレーダは観測対象が異なるため、観測値

にずれが生じる可能性が指摘されているためこのままでは現象にあわせた情報提供を行うことができない11)。レーダは上空の雨雲を観測対象としており、雨量計は実際の地上の降水を観測するため、積乱雲が検出されてから地上に降り注ぐまでの時間差により気象センサとレーダの観測値にずれが生じる可能性がある（図 3）。レーダの降雨強度のみを提供した場合、地上付近の影響により降雨強度と地上での降雨状況が合致しているか不確実となる。雨量計の降水量のみを使用した場合、地上付近の様子はよく反映されるが、一時的に雨が降っているだけなのか、今後も降り続くのか判定ができず、今後の状況に応じた情報提供を行うことが困難である。そこで雨量計とレーダの降雨強度の値に設けたパラメータの組み合わせによって雨が降っているか、雨が止んだか等の現象を算出し、表 1 に示すタイミングで地上の現象を降雨情報として提供することを可能とする。



図 2. 雨量計とレーダの違い

本研究で用いた降雨情報とパラメータの関係を以下に示す。

- rainfall：該当場所の雨量計の観測値  
0.0mm/h のとき 0、0.1mm/h 以上のとき 1 を示す。
- trend：周囲の雨量計で観測する降水量の変化  
該当場所の周囲の雨量計で観測する降水量が増加傾向にあるとき 1、増加していないとき 0 を示す。
- radar2：雨量計の空白域でのレーダ降雨強度分布  
雨量計の空白域に 0.1mm/h 以上を示す地域がないとき 0、あるとき 1 を示す。対象の高校を中心とした平均 4km 四方が雨量計の空白域となる。また、この領域内での最大の降雨強度を極大値として算出する。
- radar10：積乱雲の存在有無（20km 四方の範囲内のレーダ降雨強度分布）  
周囲 20km 四方に 0.1mm/h 以上を示す地域がないとき 0、あるとき 1 を示す。平均的な短時間強雨の積乱雲の大きさ 10km から約 20km 四方の降雨強度分布を用いた。また、

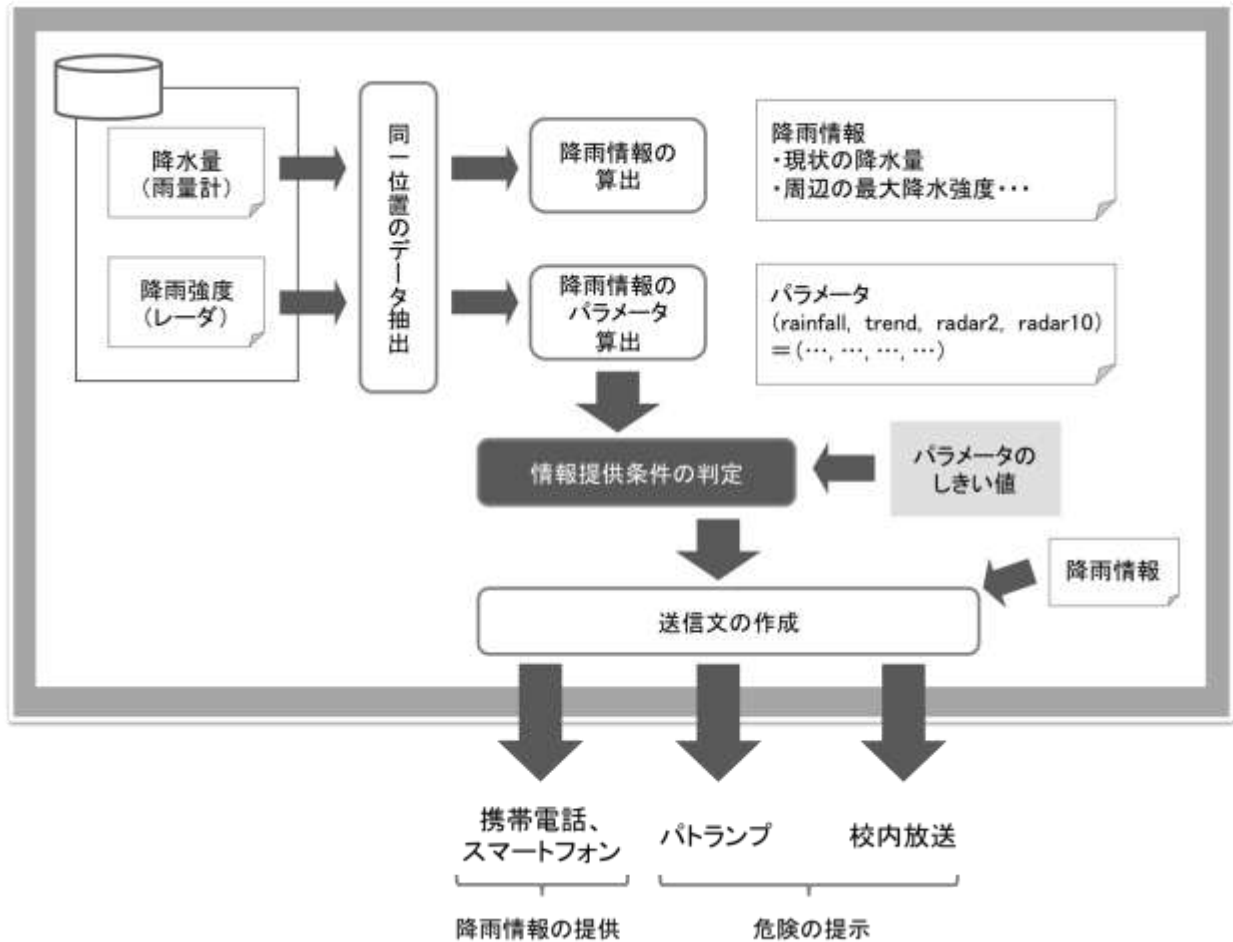


図 3. 降雨情報を提供するシステムの構成

この領域内での最大の降雨強度を極大値として算出する。

このパラメータを使用して、雨が降ってきたという現象を $(rainfall, trend, radar2, radar10)=(1, *, 1, *)$ 、学校の付近で雨は止んだという現象を $(rainfall, trend, radar2, radar10)=(0, *, 0, 1)$ 、雨が止んだという現象を $(rainfall, trend, radar2, radar10)=(0, *, 0, 0)$ 、雨のピークが近づいているという現象を $(rainfall, trend, radar2, radar10)=(1, 1, 1, *)$ かつ高校の4kmの領域内での最大値が10.0mm/hを超えた場合として算出した。

本システムの設計を図3に示す。雨量計、レーダの観測値があらかじめ設定した条件に達したとき、雨の降り始め、降り終わりの判定、降雨時間、降水量等の値を算出するものとした。算出された値は表1に示したタイミングで高校生に伝えられる。ここまでに述べた本システムを用いた防災教育の例を図4に示す。

### (3) 降雨情報の提供

本研究の防災教育は雨が降ったときに実施することを想定しており、降雨があればいつでも降雨情報を受け取り、危険の予想を可能にするため携帯電話、スマートフォンに対する情報提供を実装した。高校生への聞き取りの際、使用しやすいツールを聞いたところ、複数名から挙げた携帯電話のメール、マイクロブログサービスのtwitterを使用した。6月や10月は梅雨や台風の影響で降水量が多く、情報を受ける側の高校生が提供される情報に対し慣れや飽きが生じる可能性がある。そのためメールには送信される文章のタイプを複数用意した。簡潔に降雨情報のみを伝えるタイプと家族や恋人から送信される文章を模倣したタイプ等、複数のタイプを選択することができる。この文章は高校生自らが自由に作成、登録可能であるほか、文章を複数とおりに用意することでランダムに送信される。さらに高校生の要望にあわせて、送信される高校生の名前を登録することも可能である。

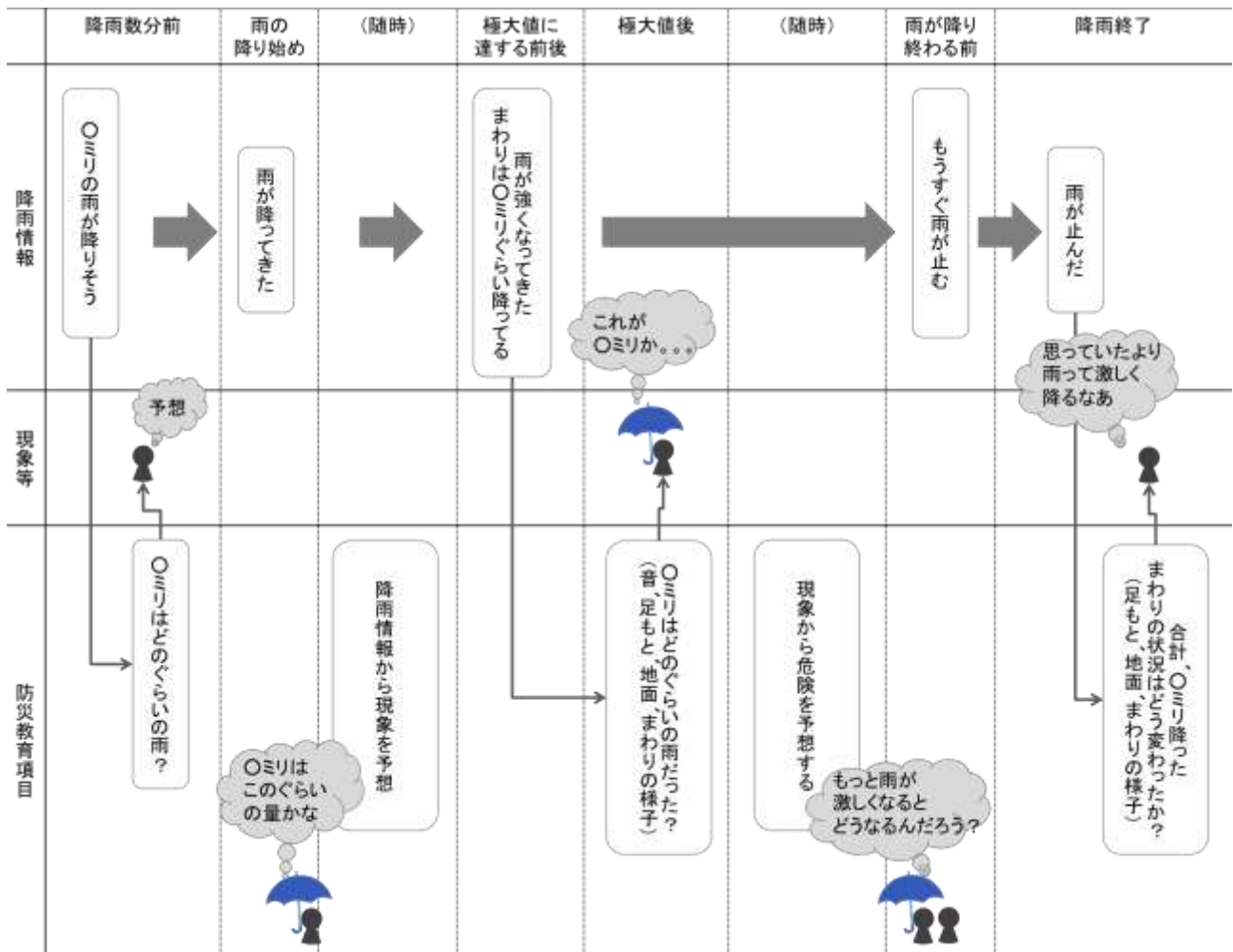


図 4. 本システムを使用した防災教育の例

## 6 提案する防災教育の評価

本稿で提案した現象にあわせた降雨情報の提供によって高校生の降雨情報に対する認識が向上したか評価を行った。行った評価実験は以下となる。

- ・構築したシステムから算出し提供される降雨情報が実際の短時間強雨の現象に合っていること
- 評価実験について詳細を述べる。

本評価実験では、本稿で定めたパラメータと構築したシステムを用いて提供される降雨情報が、現象に合わせた情報提供が可能であるかを評価した。本研究は現象を適切に表現した降雨情報によって防災教育を行うことで、情報の認識能力を向上させることが目的である。降雨情報と現象が一致するかを確認することで、認識能力向上を目的とする防災教育へ情報提供が可能かどうかを検証する。

### ア 実験環境

2011年8月26日に東京都で発生した短時間強雨の観測値を使用して降雨情報を生成し情報提供の試行を行った。過去の観測値をもとに雨量計の降水量とレーダの降雨強度から求めたパラメータを使用し降雨情報を算出した。なお、試行に使用した雨量計、レーダの更新間隔は1sec、10回試行し雨量計、レーダの情報取得に要する時間は60sec以下、情報提供までのシステムの処理時間は0.6msec以下、短時間強雨の発生していない状況でシステムでのメール送信完了から実際にメールを受信するまでの時間は60sec以下だった。

### イ 評価実験の内容

実際の現象を示す観測値として雨量計の降水量を用いて、この観測値と a) 生成した降雨情報、b) レーダの降雨強度の値についてそれぞれ情報提供のタイミングを比較した。

雨が降り始めたという判定は観測値が 0.1mm/min 以上を 3 回観測した場合、雨が降り止んだという判定は 0.0mm/min を 3 回観測した場合とした。

#### ウ 評価実験の結果

現象と情報提供決定の時間差を表 2 に示す。a) 生成した降雨情報を用いた場合、実際の現象と同時に雨が降り始めたという判定され同じタイミングでの情報提供を行うことができた。一方、b) レーダの降雨強度を用いた場合、実際の降雨より 4 分早く雨が降ったと判定された。降雨終了に関しては b) レーダの降雨強度を用いた場合は比較的早く情報提供の判定が行えたが、a) 生成した降雨情報を用いた場合は実際に雨が降り止んでから 10 分後に情報提供がされた。情報提供回数について、a) 生成した降雨情報を使用した場合は、雨の開始時と終了時の 2 回の情報提供であった。雨量計のみ、b) レーダの降雨強度の場合は 14 回、雨の開始、終了の情報提供を行った。また、雨量計のみの観測値を用いて実際の降水量をもとにすると、16 回情報提供が行われることがわかった。

さらに極大値については降雨があった 8 時間の間に 18 回の情報生成が行われた。実際の極大値は 14:59 の 101.2mm/min であったことに対し、本稿の降雨情報では 14:40 に極大値となるタイミングが近づいている可能性を判定していた。また、その後いったん降雨が落ち着き、15:12 に 91.1mm/min を観測した際には 4 分前に情報生成を行っていた。

表 2. 現象と情報提供決定の時間差

使用した降雨情報	降雨開始 (分)	降雨終了 (分)
a) 生成した降雨情報	0	10
b) レーダの降雨強度	-4	3

#### エ 評価実験の考察

b) レーダの降雨強度では、実際の降雨がない場合にも情報提供を行ってしまう可能性がある。これは 5 章(2)で述べた雨量計とレーダの観測値のずれによるものと考えられる。a) 生成した降雨情報を使用した場合、降雨開始と同時に現象と合わせた情報の生成が可能であった。雨量計のみの降雨情報は地上での現象を正確に反映しているが、判定が細かく情報提供の回数が多くなってしまふ。この降雨情報を

使用すると一旦雨が降り止んだが再びすぐに雨が降り始める状況では情報提供を行わず、降雨による危険が発生する可能性を示唆し続けることができる。

生成した降雨情報は降雨開始、極大値について、現象の発生と情報の生成タイミングに大きなずれが生じなかったことから現象を適切に表現することができた。雨の終了時においては、情報提供決定のタイミングに 10 分のずれが生じた。これは設計したパラメータが周囲に雨雲があり再び雨が降る危険があるときは雨が止んだという情報提供を行わないためである。周囲の雨雲がなくなり危険がなくなった時点で情報提供を行うことができた。

生成した降雨情報は降雨開始、降雨終了、極大値の現象とほぼ時間差がなかったことから、本システムは情報認識能力の向上を行う防災教育に必要な降雨情報を算出できていることがわかり、防災教育に適用できる可能性があることがわかった。防災教育に必要な降雨情報とは情報を受け取る人間の感覚に合わせた降雨情報を指す。観測値をそのまま使うのではなく雨量計とレーダから降雨情報を生成することで、本研究の防災教育を実施するために必要となる、現象に合わせた降雨情報の生成が可能となった。

## 7 まとめと今後の課題

本研究では都市部において増加傾向にある短時間強雨に対して防災対応能力を高めるための防災教育によって短時間強雨に対する防災対応能力を向上させることを目的とした。ユーザが提供される数値情報を理解して、発生する現象と危険を予想し、身を守る行動をとることを可能にするため、本稿では数値で提供された降雨情報に対し、情報の認識能力を高め、起きる現象を予想するための防災教育を目的として防災教育システムを構築した。降雨情報の認識能力を高めるため、実際に起きている現象にあわせた降雨情報を生成するシステムを構築し、そのシステムから事前に収集した降雨情報を用いて、高校生に対して本稿で提案する防災教育の実施が可能であるか評価実験を行った。

実際に発生した過去の短時間強雨の観測値を用いて、構築したシステムで降雨情報の生成を行ったところ、現象を適切に表現した降雨情報が生成でき、本稿で提案する防災教育に適用できる可能性があることを示した。今後は、実際の降雨時、高校生に継続的に使用させ防災教育上の効果を評価するとともにより現象を表現したシステムの検証を実施する必要がある。本稿で組み込んだ twitter やメール文

面等の工夫が高校生の継続的な使用を促すことに効果があるか検証を行う。また、あわせて本稿で提案した防災教育を継続的に実施することにより、防災教育の効果を定着させることが可能であるか評価を行う。

(情報処理学会 マルチメディア・分散・協調とモバイルシンポジウム DICOMO2012 論文集より一部抜粋)

## 謝辞

本研究の遂行にあたり観測値の収集にご協力を頂いた東京都教育庁の皆様に深謝いたします。

## 参考文献

- 1) 鈴木由人、甲斐憲次:関東地方におけるヒートアイランドと夏季雷雨に関する研究-1995年8月2日の事例解析、日本気象学会大会講演良予稿集 89、(2006)
- 2) 小林文明:ヒートアイランドが降水におよぼす影響-東京周辺における積乱雲の発達-日本気象学会 2003 年度春季大会シンポジウム「ヒートアイランド-熱帯夜の熱収支」(2004)
- 3) Xバンドマルチパラメータレーダ、<http://mp-radar.bosai.go.jp/>、防災科学技術研究所
- 4) レーダ・ナウキャスト、<http://www.jma.go.jp/>、気象庁
- 5) 東京アメッシュ、<http://tokyo-ame.jwa.or.jp/>、東京都下水道局
- 6) ゲリラ雷雨メール、<http://weathernews.jp/>、ウェザーニューズ
- 7) 青少年のインターネット利用環境に関する実態調査結果、<http://www8.cao.go.jp/youth/youth-harm/>、内閣府、2011
- 8) 子供の携帯電話の利用に係る取組、<http://www.kyoiku.metro.tokyo.jp/>、東京都教育委員会、2010
- 9) 社会生活基本調査結果、<http://www.stat.go.jp/>、総務省、2012
- 10) Live E!、<http://www.live-e.org/>、Live E! プロジェクト
- 11) 瀬戸芳一、横山仁、安藤晴夫、廣井慧、青木正敏 他:2011年8月26日に東京都区部で発生した短時間強雨事例の解析—降水量分布と地上風系との関係について—、気象研究会(2012)
- 12) 雨の強さと降り方、<http://www.jma.go.jp/>、気象庁、2012