

コンシューマ・サービス論文

短時間強雨等の局地的極端現象に対する高校生の 防災意識向上に向けた気象センサネットワークの活用

廣井 慧^{1,2,a)} 横山 仁² 中谷 剛⁴ 瀬戸 芳一^{2,3} 安藤 晴夫² 三隅 良平⁴
妙中 雄三⁵ 中山 雅哉⁵ 砂原 秀樹¹

受付日 2012年5月18日, 採録日 2012年12月7日

概要: 本研究は高校生の防災対応能力の向上を目指し, 短時間強雨の降雨情報に対する認識能力を高める防災教育を目的とする. 降雨情報の認識能力の向上は短時間強雨の危険を予想し回避行動につながると期待される. 本稿では気象センサネットワークと X バンドマルチパラメータレーダを用いて現象にあった降雨情報を生成・提供するシステムを構築し, 得られた降雨情報を高校生に提示して情報認識の変化を評価した. 実際の現象に合わせた降雨情報が生成でき防災教育に適用できる可能性, 高校生の降雨情報に対する認識が高まったことが確認でき防災教育の実施に有効である可能性を示した.

キーワード: 気象センサネットワーク, 気象レーダネットワーク, 災害情報, 防災教育

A Study on Sensor Networks for Efficient Scheme of Local Heavy Rains: Disaster Prevention Awareness for High School Students

KEI HIROI^{1,2,a)} HITOSHI YOKOYAMA² TSUYOSHI NAKATANI⁴ YOSHIHITO SETO^{2,3}
HARUO ANDO² RYOHEI MISUMI⁴ YUZO TAENAKA⁵ MASAYA NAKAYAMA⁵
HIDEKI SUNAHARA¹

Received: May 18, 2012, Accepted: December 7, 2012

Abstract: This research aims to train high school students to improve awareness of local heavy rain danger. Accurate rainfall data enables the students to know phenomena and risks of rains. We implement a prototype of our system which generates accurate rainfall information using weather sensor networks and X-band radar networks. Evaluation experiment results our information is coincident with the actual rain phenomena. Rainfall information shows our research can be applicable to raise disaster prevention awareness for students.

Keywords: weather sensor networks, weather radar networks, disaster information, disaster prevention education

¹ 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, Yokohama, Kanagawa 223-8526, Japan
² 公益財団法人東京都環境公社東京都環境科学研究所
Tokyo Metropolitan Research Institute for Environmental Protection, Koto, Tokyo 136-0075, Japan
³ 首都大学東京大学院
Tokyo Metropolitan University, Hachioji, Tokyo 192-0364, Japan
⁴ 独立行政法人防災科学技術研究所
National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Tsukuba, Ibaraki 305-0006, Japan
⁵ 東京大学情報基盤センター
Information Technology Center, The University of Tokyo, Bunkyo, Tokyo 113-8658, Japan

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 [1], [2]. 直径 10 km にも満たないきわ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.

^{a)} k.hiroi@kmd.keio.ac.jp

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す。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、身を守る行動へつなげるための防災教育の実施を目的とする。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持つ。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。

本研究で目指す防災教育のイメージを図 1 に示す。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 [7], [8]。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 [9]。短時間強雨の発生は 17~23 時ごろ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。

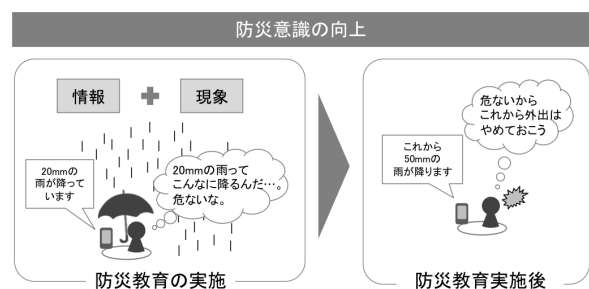


図 1 目的とする防災教育

Fig. 1 Disaster prevention education.

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

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。

4.1 防災教育の概要

本稿で実施する情報の提供から現象の予想を行うまでの防災教育の概要を図 2 に示す。防災教育は、A. 降雨情報の内容把握、B. 現象の体験、C. 降雨情報と体験の比較の 3つの教育項目によって実施する。はじめに降雨情報が提示され、高校生は A. 降雨情報の内容を把握する。降雨情報を把握したうえで次に実際に起きている B. 降雨現象を体験が行われる。C. 降雨情報と行った体験を比較することで、現象と降雨情報の適切な組合せを理解することが可能となる。ここで、適切な理解ができていないか高校生の認識を確認することで、認識能力が向上したかの確認を行うことができる。さらにここまでの 3つの教育項目を繰り返し実施するためには高校生が降雨情報や現象に対する興味を持てるように興味を喚起することが重要となる。図 2 に示す教育項目を繰り返し教育サイクル実施することで、高校生は降雨情報と現象をあわせて理解することが可能となり、情報の認識能力が向上すると考える。

4.2 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

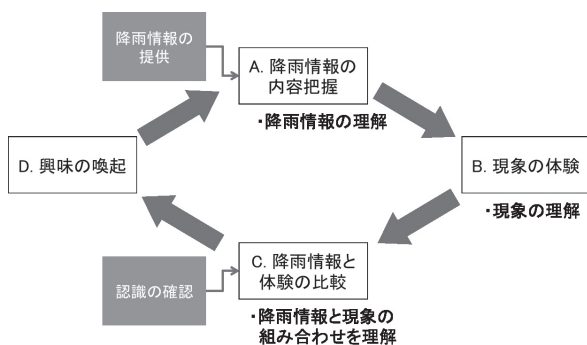


図 2 防災教育の教育項目
Fig. 2 Measurements for education.

験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中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。

4.2.1 高校生の短時間強雨に対する意識

高校生を対象に現状、降雨に対していただい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、聞き取り項目は以下の 2 点で、高校第 1 学年の男女 22 名を対象とした。

- 現象から危険を予想できるか
- 情報から現象を認識し、危険を予想できるか

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。聞き取りで使用した言葉を表 1 に示す。この聞き取りで用いた現象を説明する言葉は、気象庁が定める雨の強さと降り方に対する人の受けるイメージおよび過去の東京都における台風の観測値、過去の降雨の様子を撮影した写真を使用している。写真は 2011 年 8 月 26 日に発生した短時間強雨の際の東京都内の様子を撮影したものを使用した (図 3)。

質問、回答例を図 4 に示す。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

表 1 高校生に提示した数値情報と現象の説明

Table 1 Numerical information and description of weather phenomena for high school student.

数値情報 (雨量)	現象の説明
10 mm/h 未満	しとしの雨
10-20 mm/h	ザアザアの雨
20-30 mm/h	台風のときのような雨
30-50 mm/h	(写真の提示)
50-100 mm/h	(写真の提示)



図 3 聞き取り時に用いた写真の例
Fig. 3 Sample of photo in the survey.

<p>「現象から危険を予測する」</p> <p>〔質問〕 台風のとさのように雨が降ったらどのような影響があるか？</p> <p>〔回答例〕 ・河が溢れる ・土砂崩れが起きる ・交通がストップする ・その辺に壊れた傘が落ちていて危ない</p>	<p>「情報から現象を認識し、危険を予測する」</p> <p>〔質問〕 50mm/hの雨はどのような現象が起きるか？ どのような影響があるか？</p> <p>〔回答例〕 現象 ・靴が濡れる ・水たまりが多くできる</p> <p>影響 ・よくわからない ・閑散としている ・河が氾濫する</p>
--	--

図 4 聞き取りの質問, 回答例

Fig. 4 Sample questions and answers in the survey.

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「50 mm/h の雨」, 「100 mm/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, 本稿では現象の発生にあわせてを提示することで, 現象と数値の関係を正しく理解し, 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で, 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。

4.2.2 高校生に提示する情報とタイミング

短時間強雨をはじめとする豪雨は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 [4]。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, 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現象との関係を理解する。提示する情報を表 2 に示す。

4.3 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

表 2 高校生に提示する情報とタイミング

Table 2 Information contents presented to high school students.

提示するタイミング	情報内容	防災教育のねらい
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

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以下が考えられる。

- 携帯電話, スマートフォン: 休み時間中, 帰宅中
- パトランプ: 帰宅直前
- 校内放送: 授業中, 部活動中で情報機器の操作が制限されている場合, もしくは校則により携帯電話等, 情報機器の利用が制限されている場合

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。

5. 防災教育の実施

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 5)。

5.1 防災教育で提示される情報

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 (図 6)。

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

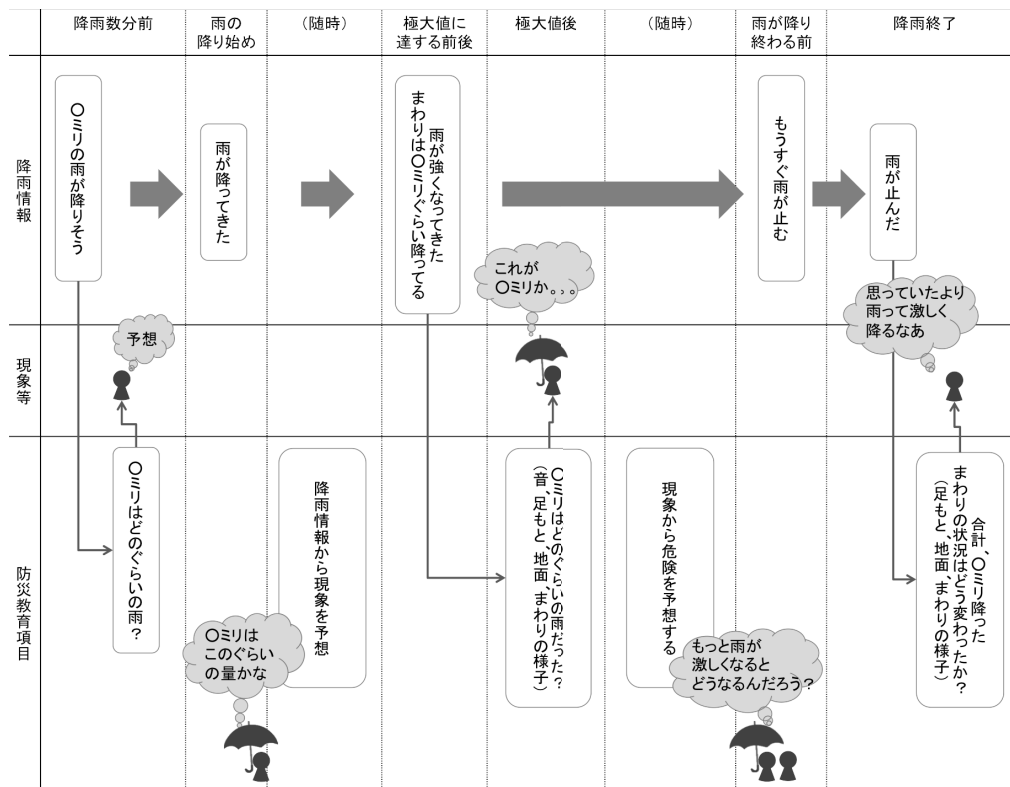


図 6 防災教育の流れ

Fig. 6 Education flow.

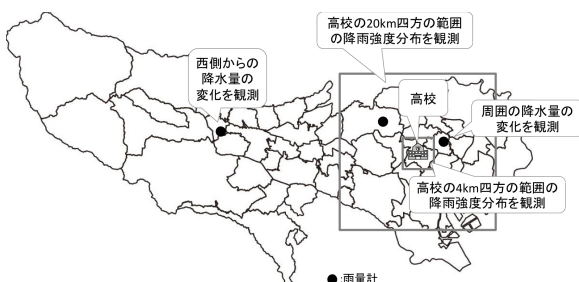


図 5 高校を中心に取得した雨量計の降水量とレーダの降雨強度

Fig. 5 Rainfall amount and rain intensity around high school.

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とら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。

5.2 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

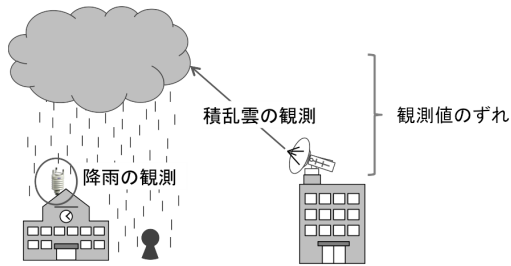


図 7 気象センサネットワークによる降水量観測とレーダによる降雨強度分布観測の違い

Fig. 7 Difference between weather sensor networks and weather radar networks.

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 7)。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合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 2 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。

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

0.0 mm/h のとき 0, 0.1 mm/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 0.1 mm/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 4 km 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 (20 km 四方の範囲内のレーダ降雨強度分布)

周囲 20 km 四方に 0.1 mm/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 10 km から約 20 km 四方の降雨強度分布を用いた。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。

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,

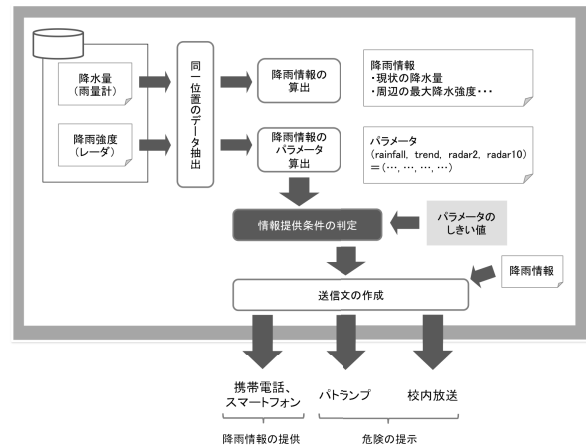


図 8 降雨情報を提供するシステムの構成図

Fig. 8 Architecture of information system of local heavy rains.

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 4 km の領域内での最大値が 10.0 mm/h を超えた場合として算出した。

本システムの構成を図 8 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 2 に示したタイミングで高校生に伝えられる。

5.3 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、複数名からあがっ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。携帯電話に送信された文章の一例を図 9、同様にして twitter に送信された文章の一例を図 10 に示す。

5.4 降雨情報をもとにした危険の予想

降雨情報の提供とともに高校生に危険を予想させるため、現象にあわせて気象に関する問題を送信する。問題は、降

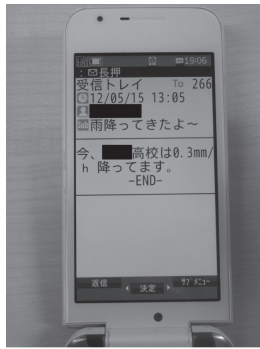


図 9 携帯電話に提供する情報例

Fig. 9 Sample of information given through cell-phones.



図 10 twitter に提供する情報例と問題の送信例

Fig. 10 Sample of information and questions given through twitter.

<p>「降雨情報から現象を予想する」</p> <p>[問題] 今、雨が○mm/min降ってます。どんな音に聞こえる??</p> <p>[回答例] ざあざあ、ゴォーゴォー 等</p> <p>[問題] 今、雨が○mm/min降ってます。このまま1平方メートルに1時間降り続けるとどのぐらいの重さになる??</p> <p>[回答例] ○kgぐらいになるよ。牛乳パックに例えると何本分になるかな??</p> <p>[問題] 今、雨が○mm/min降ってます。このまま1平方メートルに1時間降り続けるとどのぐらいの深さになる??</p> <p>[回答例] ○cmぐらいになるよ。足のどのあたりまで浸かってしまうかな??</p>	<p>「現象から危険を予想する」</p> <p>[問題] 今、雨が○mm/min降ってます。あと何時間降り続けたら気をつける必要が出てくる??</p> <p>[回答例] 降水量から25mm/h(注意報レベル)までの時間を算出</p> <p>[問題] もしも道路が水に浸かってしまったら、歩いていてどんな危険があるかな??</p> <p>[回答例] ・流れがあるため、20-30cmでも歩行困難になる ・マンホールの蓋が外れている 等</p> <p>[問題] どんなときに道路に水がたまってしまうかな??</p> <p>[回答例] ・降水量が多く下水への排水が間に合わないとき ・排水溝の詰まり等、流れが悪いとき 等</p>
--	---

図 11 高校生に提示する問題、回答例

Fig. 11 Sample of questions and answers presented to high school students.

雨情報から現象を予想させるもの、現象から危険を予想させるものの2種類を用意した(図 11)。これは気象予報士等、専門家から日常的な気象に関する情報、災害時に注意すべき情報を収集し作成している。問題についても、降雨情報の提供と同様に慣れ、飽きを防ぐため複数通りの内容

を用意しランダムに選択、送信するものとした。送信された文章の一例を図 10 に示す。

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の2つとなる。

- (1) 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
 - (2) 防災教育により高校生の降雨情報に対する認識が高まったこと
- それぞれの評価実験について詳細を述べる。

6.1 本システムによる降雨情報の算出と提供に関する評価実験

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。本稿で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。

6.1.1 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1分、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。

6.1.2 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。

6.1.3 評価実験の結果

現象と情報提供決定の時間差を表 3 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

表 3 現象と情報提供決定の時間差

Table 3 Time lag between weather phenomena and provision of information.

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

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分かった。

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 101.2 mm/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 91.1 mm/min を観測した際には 4 分前に情報生成を行っていた。

6.1.4 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 5.2 節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いったん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分かり、防災教育に適用できる可能性があることが分かった。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を組み合わせて降雨情報

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。

6.2 降雨情報の認識能力の向上に関する評価実験

ここでは、本稿の提案である現象に合わせた降雨情報を生成し提示することで、その情報によって降雨情報の認識能力が高まるかを評価した。前節の評価実験において、本稿で生成した降雨情報は現象にあわせた降雨情報を算出できていることが分かり、防災教育に適用できる可能性があることが分かった。本評価実験では情報の認識能力が高まったかを図 2 に示した A. 降雨情報の内容把握、B. 現象の体験、C. 降雨情報と体験の比較のそれぞれの教育項目を確認することによって行う。それぞれの教育項目の達成度について、図 2 に示す A. 降雨情報の内容把握については与えられた降雨情報の理解、B. 現象の体験については現象の理解、C. 降雨情報と体験の比較については降雨情報と現象の組合せを理解しているかを確認することによって行う。

以上のことから本評価実験の評価項目を 2 点とした。

- 教育項目 A と B の確認：降雨情報を理解し、現象として表現できるか
- 教育項目 C の確認：現象を理解し、与えられた降雨情報と適切に組み合わせることができるか

6.2.1 評価実験の内容

4.2 節で意識調査を行った高校生のうち 21 名を被験者として、評価実験を行った。学校で短時間強雨に遭遇した状況を想定し、降雨状況を撮影した写真を提示することで現象の体験と代替した。このとき使用した降雨情報は、提示する写真を撮影した際に構築システムで生成された数値を取得して提示した。情報内容については 5.1 節で示したもののうち、極大値を示した際の降雨情報を用いた。

評価実験で想定した短時間強雨は 50 mm/h、100 mm/h の 2 種類である。図 2 に示す教育サイクルを 2 回行ったと仮定するため、それぞれの降水量について、下記に示す手順を同じ被験者に対し実施し、図 2 に示す教育項目の確認を行った。なお、図 2 に示す教育項目 D. 興味の喚起については高校生が自主的に教育サイクルを繰り返すための項目であるため、本評価実験では確認の対象としない。

評価実験の手順を以下に示す。なお、教育項目の確認については記述式の質問紙にて自由回答形式で行った。

事前測定

はじめに防災教育を行っていない状態での被験者の情報認識能力を測定した。被験者に対し、80 mm/h の短時間強雨が発生した際の写真を提示し、写真が示す降雨が 50 mm/h、80 mm/h、100 mm/h のどの数値情報に該当するか答えさせた。ただし、被験者の学習を防ぐため、正答は伝えずに事前測定を終え、次に示す手順 1 を実施した。

手順 1 教育項目 A. 降雨情報の内容把握の実施

被験者に対し、5.1 項で述べた降雨情報の提示を行った。具体的には c) で示した極大値として「これから○ mm/h の雨が降ってくる」という降雨情報を与えた。提示した降雨情報は過去の短時間強雨を構築したシステムで観測した際に生成され得られたものである。

手順 2 教育項目 B. 現象の体験の実施

手順 1 で高校生に提示した降雨情報を示す写真の提示を行った。この写真は、システムで提示した降雨情報が手順 1 で示した数値となっていた際に高校付近で撮影した降雨状況である。写真を見せることにより短時間強雨の現象を体験しているものと仮定した。

手順 3 教育項目 A と B の確認

被験者に対し、降雨の数値情報を与え、数値情報から現象を適切に表現できるかの確認を行った。表現については、該当の降雨情報についてどのような音がするか、地面の状態はどのようになるか、周囲の様子はどのようになるかの 3 点について自由回答させた。適切な表現の基準は気象庁でまとめている「雨の強さと降り方」から、提示した雨量に近い表現をした場合、正答とした [12]。たとえば、50 mm/h の写真を提示した際に、音を「ゴーゴー」、地面の状態を「道路に川ができる」、周囲の様子を「周りが見えなくなる」という言葉で表現していた場合、正答とした。また、手順 3 を終えた時点で被験者に対し正答は与えていない。

手順 4 教育項目 C の確認

現象と与えられた数値情報を適切に組み合わせられるか、確認を行った。被験者に対し、短時間強雨の写真を提示し、写真で示される降雨が何 mm/h の数値情報であるか答えさせた。高校生の回答後、写真の降雨が示す正しい数値情報を教えた。

以上の手順 1, 2, 3, 4 について、提示する降雨情報が 50 mm/h の場合、100 mm/h の場合について 2 回の試行を行った。50 mm/h の際の情報提示が図 2 に示す防災教育の教育サイクルの 1 巡目となり、100 mm/h の際が教育サイクルの 2 巡目にあたる。

6.2.2 評価実験の結果

事前測定の結果、評価実験実施前に正しい数値との組合せを回答できた被験者数は 21 名中、5 名であった。手順 1 の教育項目 A と手順 2 の教育項目 B の実施後、手順 3 で得られた 50 mm/h のそれぞれの現象について正しく表現できた被験者数と 100 mm/h のそれぞれの現象について正しく表現できた被験者数とを表 4 に示す。正しく答えられなかった回答として、50 mm/h の場合を例にあげると、音については「ボタボタ」、地面の状態については「水たまりが少しできる」、周囲の様子については「雨が跳ねて濡れる」という表現で、実際の現象より小さく認識する傾向がみられた。最後に、事前測定の結果、手順 4 について適切

表 4 教育項目 A と B で正しく表現できた被験者数

Table 4 Number of subjects in measurements for education: A and B.

	音	地面の状態	周囲の様子
1 巡目：手順 3	13	6	6
2 巡目：手順 3	14	9	12

表 5 教育項目 C で正しく回答できた被験者数

Table 5 Number of subjects in measurements for education: C.

	正答者数
事前測定	5
1 巡目：手順 4	6
2 巡目：手順 4	13

な組合せを回答できた被験者数を表 5 に示す。

6.2.3 評価実験の考察

表 4 より、1 巡目と 2 巡目を比較すると音、地面の状態、周囲の様子のすべてにおいて適切に回答できた被験者数の増加が見られた。これは 1 巡目で手順 1, 2, 3 を実施したことによって、被験者がもともと持っていた数値情報と現象の認識の差が縮まり、2 巡目では適切な表現で回答を行う被験者数が増加したものと考えられる。音のみ、回答できた被験者の増加数が少ない理由として、評価実験では現象を体験する代替として降雨現象を撮影した写真を提示したことがあげられる。写真を提示したことにより、被験者は降雨のイメージがしやすく 1 巡目の段階から適切な回答ができたものと考えられる。

さらに、表 5 で、防災教育実施前と 1 巡目の結果を比較すると、1 巡目の方が正答者数が増加し、2 巡目では 2 倍以上の被験者が正答した。これも表 4 の表現の場合と同様に、1 巡目で手順 1, 2, 3 を実施して図 2 に示した教育サイクルを 1 度行うことによって、被験者の降雨情報に対する情報認識能力が向上し、2 巡目では適切な回答を行った被験者数が倍増したものと考えられる。これは教育項目 A, B を実施し、降雨情報と現象についての理解が深まったことから、結果として教育項目 C に示した降雨情報と現象の適切な組合せが分かるようになったと考えられる。

以上のことから、本稿の防災教育を手順に従って実施することにより、降雨情報を適切に認識できるようになった被験者数が増加した。本稿で提案する現象にあわせた降雨情報の提示が、降雨情報の認識能力を高める防災教育に有効だという可能性があることを示した。

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有効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。さらに高校生に対し、システムから得られた降雨情報と現象を提示したところ、降雨情報に対する情報の認識が向上した高校生の増加が確認できた。このことから、本稿で提案した現象にあわせた降雨情報の提供による防災教育の実施が現象の理解に有効である可能性を示した。

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。その際に、6.2.3 項で述べたとおり、写真で現象を提示したことがどの程度教育に影響したかを実際の経験に基づいて教育した場合とどのように異なるかを評価する。そのため、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。

謝辞 本研究の一部は、科学技術戦略推進費（科学技術振興機構/文部科学省）「気候変動に伴う極端気象に強い都市創り」、平成 24 年度慶應義塾大学博士課程学生研究支援プログラムによるものである。ここに記して謝意を表す。雨量計のデータを提供いただいた山内正人氏をはじめとする LiveE!プロジェクトメンバの方々、多大なご意見をいただいた松本太氏をはじめとする東京都環境科学研究所の方々、意識調査、評価実験にご協力いただいた高校生の皆さまに謝意を表す。

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] 防災科学技術研究所: X バンドマルチパラメータレーダ, 入手先 (<http://mp-radar.bosai.go.jp/>) (参照 2012-05-01).

[4] 気象庁: レーダ・ナウキャスト, 入手先 (<http://www.jma.go.jp/>) (参照 2012-05-01).

[5] 東京都下水道局: 東京アメッシュ, 入手先

(<http://tokyo-ame.jwa.or.jp/>) (参照 2012-05-01).

[6] ウェザーニューズ: ゲリラ雷雨メール, 入手先 (<http://weathernews.jp/>) (参照 2012-05-01).

[7] 内閣府: 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 (2011), 入手先 (<http://www8.cao.go.jp/youth/youth-harm/chousa/index.html>).

[8] 東京都教育委員会: 子供の携帯電話の利用に係る取組 (2010), 入手先 (<http://www.kyoiku.metro.tokyo.jp/pickup/seisaku/net.pdf>).

[9] 総務省: 社会生活基本調査結果 (2012), 入手先 (<http://www.stat.go.jp/data/shakai/2011/pdf/houdou2.pdf>).

[10] Live E!プロジェクト: Live E!, 入手先 (<http://www.live-e.org/>) (参照 2012-05-01).

[11] 瀬戸芳一, 横山 仁, 安藤晴夫, 廣井 慧, 青木正敏ほか: 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, 日本気象学会大会講演予稿集 101 (2012).

[12] 気象庁: 雨の強さと降り方 (2012), 入手先 (<http://www.jma.go.jp>).

[13] 木内 豪, 宮本 守: 神田川流域で近年浸水被害を生じた降雨の特徴について, 水循環, No.63, pp.36-41 (2007).

[14] 藤部文昭, 戸川裕樹, 阪田正明: 東京都心における暖候期午後の短時間降水の増加傾向—118 年間の毎時資料による解析, 日本気象学会大会講演予稿集 94 (2008).

[15] 白木洋平, 樋口篤志, 近藤昭彦: 東京都周辺域における都市環境が降水に及ぼす影響, 環境科学会誌, Vol.22, No.3 (2009).

[16] 東京都: 東京都豪雨対策基本方針 (2007), 入手先 (<http://www.metro.tokyo.jp/INET/KEIKAKU/2007/08/DATA/70h8s100.pdf>).

[17] 日本災害情報学会 2008 年 8 月末豪雨等調査団 (赤石一英, 厚田大祐, 天野 篤, 板井秀泰, 宇田川真之, 大原美保, 小野田恵一, 川口和哉, 蔡 垂功, 須見徹太郎, 関谷直也, 高橋淳夫, 武居信介, 田中純一, 谷原和憲, 中村 功, 中村信郎, 新堀賢志, 布村明彦, 廣井 慧, 松尾一郎, 三島和子, 水上知之): 2008 年 8 月末豪雨災害等に関する調査報告, 災害情報, No.7, 日本災害情報学会 (2009).

[18] 廣井 慧, 山内正人, 何 暢, 新堀賢志, 松尾一郎, 砂原秀樹: インターネット基盤を用いた防災情報システムの提案, 電子情報通信学会技術研究報告 インターネットアーキテクチャ, Vol.109, No.438, pp.129-134 (2010).



廣井 慧 (学生会員)

1981 年生。2004 年東北大学工学部電子工学専攻卒業。同年東日本電信電話株式会社入社。2011 年慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科修士課程修了。同年同大学院後期博士課程進学。災害情報通信, 防災情報システムの研究に従事。日本災害情報学会会員。



横山 仁

1962年生。1985年東京農工大学農学部環境保護学科卒業。その後、(財)日本植物調節剤研究協会、東京都庁、東京都農業試験場を経て、現在、東京都環境科学研究所副参事研究員。2006年日本農業気象学会論文賞受賞。博士(農学)、気象予報士。



三隅 良平

1964年生。1987年気象大学卒業。1992年名古屋大学大学院博士後期課程単位取得中退。1992年科学技術庁防災科学技術研究所研究官。1995年博士(理学)(名古屋大学)。2011年防災科学技術研究所観測・予測研究領域総括主任研究員。気象災害に関する研究に従事。日本自然災害学会、日本気象学会、米国気象学会各会員。



中谷 剛

1955年生。1980年岐阜大学工学部土木工学科卒業。1982年Asian Institute of Technology (Thailand) 修士課程修了(M.E.)。1982年岐阜大学工学部助手。1984年にはInternational Institute for Hydraulic and Environmental Engineering (Netherlands) で研修。1997年アジア航測株式会社入社、河川防災分野の業務を担当。2012年(独)防災科学技術研究所。都市型水害の研究に従事。



妙中 雄三

1984年生。2006年九州工業大学情報工学部学士(機械システム)。2008年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科修士(工学)。2010年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士(工学)。同年東京大学情報基盤センター助教。無線ネットワーク、ユビキタス技術の研究開発に従事。電子情報通信学会、IEEE、ACM 各会員。



瀬戸 芳一

1985年生。2007年東京都立大学理学部地理学科卒業。2009年首都大学東京大学院都市環境科学研究科地理環境科学域博士前期課程修了。同博士後期課程在学中。日本気象学会、日本地理学会各会員。



中山 雅哉 (正会員)

1989年東京大学大学院工学系研究科博士課程(工学博士)。現在、東京大学情報基盤センター准教授。広域分散処理技術に関する研究に従事。IEEE、電子情報通信学会各会員。



安藤 晴夫

東京都出身。1973年東京都立大学理学部化学科卒業。同年東京都公害局に入り、魚浮上事故や光化学被害発生等の緊急時・事故時の初動調査に4年間従事した後、東京都公害研究所(現、環境科学研究所)に異動し、河川の自浄作用や東京湾の水質汚濁、酸性雨の陸水影響、ヒートアイランド現象等、多岐にわたる研究テーマに取り組む機会を得た。最近、アジアや中南米等からの研修生に講義する機会が何回もあり、過去の地方自治体の公害対策事例が注目されていることを再認識させられた。博士(海洋科学)。



砂原 秀樹 (正会員)

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科教授。1988年慶應義塾大学理学部博士課程修了。電気通信大学情報工学科助手。1994年奈良先端科学技術大学院大学情報科学センター助教を経て、2001年から教授。2005年情報科学研究科教授。2008年4月より現職。村井純(慶應義塾大学環境情報学部教授)らとともに、1984年からJUNET、1988年からWIDEプロジェクトを通じて、日本におけるインターネットの構築とその研究に従事。現在は、慶應義塾大学日吉キャンパス協生館のグリーンIT化を推進。