

東京都におけるゲリラ豪雨の実態とその適応策について

Actual condition of localized torrential rainfall and its adaptation in Tokyo

横山 仁*

Hitoshi YOKOYAMA*

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

摘 要

近年、地球温暖化や都市化の進行とともに多発傾向にあるゲリラ豪雨について、東京都内における発生実態と対策(適応策)について検討した。日中、高温となりやすい区部北西部はゲリラ豪雨の多発地帯でもあり、ゲリラ豪雨に対する都市化(ヒートアイランド)の関与が示唆された。インフラ整備等ハード面での対策にはかなりの時間がかかることから、監視や予測、教育等ソフト的な対策は重要性であり、本稿では、高校生に対する温暖化やヒートアイランドといった環境分野の要素を取り入れた環境・防災教育を試行し、その概要について述べた。

キーワード：東京，ゲリラ豪雨，ヒートアイランド，適応策

Key words：Tokyo, localized torrential rainfall, urban heat island, adaptation

1. はじめに

世界の年平均気温は過去 100 年で約 0.7℃ 上昇したとされるが、東京都ではそれを大きく上回り、約 3℃ 上昇している。これには地球温暖化の影響だけでなく、都市化に伴うヒートアイランド現象が関与しているとされる。一般に、地球温暖化による日本での気温上昇量は約 1℃ とされていることから、約 2℃ の上昇が都市化によるものということになる。ところで、こうした都市部における気温上昇は、熱中症や寝苦しさの増大といったいわゆる都市生活者に対する熱環境的な悪影響のほか、都市部における局地的な大雨、いわゆる「ゲリラ豪雨」との関連があることが示唆されている¹⁾⁻⁵⁾。2008 年 8 月に東京都豊島区で発生した下水道工事中の死亡事故や、2010 年 7 月の北区を中心とした浸水被害は、ともに局地的に発生した積乱雲に伴うゲリラ豪雨によるものとみられている。こうしたなか、国や自治体の関連部局においても、ゲリラ豪雨に対する対策の検討が急がれているが、その実態やメカニズム等がほとんど明らかとなっていないことから、事前予測や効果的な対策の実施が困難な状況にある。

ここでは、今後、気候変動に伴いその増加が懸念されるさまざまな極端気象のうち、東京都区部に発生するゲリラ豪雨の実態とその適応策について検討する。なお、ゲリラ豪雨は気象用語ではないが、近年、新たな都市型災害として、広く一般に用いられ

ていることから、ここでは都市部における局地的な短時間大雨をゲリラ豪雨と称する。

2. 日本における降雨の実態

都市部のゲリラ豪雨の実態を見る前に、まず日本の降水量がどのように変化しているかをみてみたい。気象庁によれば、1901~2014 年の 114 年間で、日降水量 1 mm 以上の降水日数は減少傾向にある⁶⁾。その一方で、日降水量 100 mm 以上の日数及び日降水量 200 mm 以上の日数は、いずれも増加している(信頼度水準 99% で統計的に有意)。さらに、アメダスで観測された 1 時間降水量 50 mm 以上の年間観測回数は統計期間 1976~2014 年で増加しており(信頼度水準 99% で統計的に有意)、1 時間降水量 80 mm 以上の年間観測回数についても、同期間で増加傾向が明瞭に現れている(信頼度水準 95% で統計的に有意)。大雨や短時間強雨の発生回数は年ごとの変動が大きいものに対し、アメダスの観測期間はまだ十分とは言えないことから、結論付けるには今後のデータの蓄積が必要であるが、増加の傾向にあることに疑いはないと言える。

3. 東京におけるゲリラ豪雨の実態

東京都における 118 年間の降水データを解析した研究によると、夏季の夕方から夜間(17~23 時)に

受付：2016 年 3 月 4 日，受理：2016 年 8 月 7 日

* 現在：国立研究開発法人 防災科学技術研究所

〒 305-0006 つくば市天王台 3-1, e-mail : yokoyama-h@bosai.go.jp

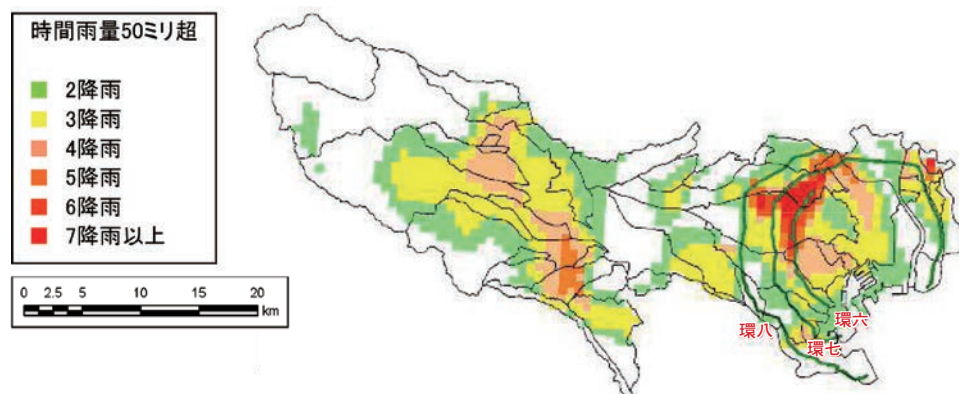


図1 東京における時間 50 mm を超える強雨の発生頻度分布(1990~2009年)⁹⁾

かけての短時間降水が、年々変動は大きいものの100年当たり約50%の割合で増加していることが示されている⁷⁾。また、1978~2007年までの30年間の短時間降水量を、東京都心とその周辺地域とで比較した結果、東京都心の降水量は暖候期の夕方を中心に周辺地域よりも30%以上多いことが認められている⁷⁾。他にも同様の報告があり^{1), 2), 8)}、周辺地域に比べ東京都心で短時間降水量、すなわちゲリラ豪雨が増えていることがわかる。さらに、東京都や区市町村が設置している117箇所の雨量データから、都内の時間50mmを超える降雨分布を調べたところ、区部北西部において特に多発していることが確認されている⁹⁾。こうした傾向は他の研究においても示されており¹⁰⁾、東京のゲリラ豪雨には比較的明瞭な地域性があることが分かる(図1)。

4. 東京におけるゲリラ豪雨の発生要因

前述のように、東京に限らず我が国全体で短時間大雨は増加傾向にあり、その要因の一つとして地球温暖化が指摘されている⁶⁾。一方で、東京等の都市部において周辺より短時間雨量が多いことや、都市部の中でもさらに地域性があることが示されていることから、地球温暖化とともにヒートアイランド等の都市化が関与していることも考えられる。事実、建築物の高層化等に伴う力学的効果や熱的效果といった都市化の影響を示唆する報告が多い^{2)-5), 7), 10)-13)}。このことから、東京におけるゲリラ豪雨に都市がなんらかの影響を及ぼしていることが考えられる。しかし、いまだ不明な点も多く、また、ゲリラ豪雨の発生には、総観規模の気圧配置や地形等さまざまな要因も絡んでいると考えられることから、都市化の影響に関する検討には、より慎重な議論が必要とされている^{14), 15)}。

5. ゲリラ豪雨に対する適応策：対策の実例

現在までのところ、ゲリラ豪雨に対する適応策を正式に謳った対策はまだ見られていない。しかし、

前述のとおり、2008年の雑司ヶ谷での事故等、既にゲリラ豪雨による被害は顕在化しており、その対策が迫られている。東京都はこれまでも、気象庁からの気象情報だけでなく、下水道局の降雨情報システム「東京アメッシュ」¹⁶⁾、さらには建設局の「東京都水防災総合情報システム」¹⁷⁾といった独自の気象観測を行い、詳細な実況監視を始めている。また、時間雨量50mmに対応したハード面でのインフラ整備等、先進的な水害対策にも取り組んでいる。しかしながら、こうした状況においても、依然として被害が発生している現状があり、早急にゲリラ豪雨を主眼とした対策の検討が求められている。

以下で、東京都におけるゲリラ豪雨対策の現状とともに環境研究総合推進費(S-8)「温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究」における研究成果の一部について述べる。

5.1 ハード面での対策

河川流域の市街化がほぼ飽和状態に達している東京都区部においては、河川流域に降った雨は地中に浸透せず一気に河川や下水道施設へ集まることになる。区部では1兆円/km²を超す資産集積の地域があるほか、地下街や地下鉄も集中しており、浸水被害発生時の被害ポテンシャルは極めて高い。こうしたなか、2012年11月の「東京都内の中小河川における今後の整備のあり方について」⁹⁾を受け、東京都が発表した「中小河川における都の整備方針～今後の治水対策」¹⁸⁾は、気候変動対策や適応策といった文言は含まれていないものの、短期的な適応策の一例といえる。そこでは、対策の目標として、現在の時間50mm降雨への対応から、流域・河川ごとの特性を踏まえ、区部河川では時間最大75mm降雨に目標整備水準を引き上げ、河川からの溢水を防止することを掲げている。そして、時間50mm降雨を超える区部の対策は、透水性舗装や浸透ます等による雨水流出抑制効果とともに調節池による対応を基本とし、河川と下水道との連携により内水被害を軽減するとともに、流域の優先度を考慮して整備を進める方針である。具体的には、近年、時間100mmを超える局地的な集中豪雨により溢水被害が発生し

た、神田川流域(2005年8月, 9月豪雨), 石神井川流域(2005年9月, 2010年7月豪雨), 野川流域(2005年9月豪雨), 境川流域(平成20年8月豪雨)を含む8流域を優先的に整備することとしている。

前述のように, 本整備方針には気候変動対策や適応策といった文言は含まれていないが, 「今後, 気候変動の影響を勘案し, 随時, 適切な時期に計画降雨の再評価を行うとともに, 対応方策の検討を行っていくことが望ましい。」とする委員意見の記載があり, 気候変動の影響を検討していくことの重要性が指摘されている。現在, 気候変動による適応策には, すでに深刻化しつつある災害への対策強化という面と, 長期的な影響を予測して段階的に取り組んでいく面の二つがあると考えられる。前述のように, 現時点において前者は適応と言われないまでも対策が進められている状況にあるが, 後者は, 2015年11月に国において気候変動への適応計画が閣議決定され, ようやく動き始めた段階であり, 今後の動向が注目される。

5.2 ソフト面での対策

5.2.1 監視・予測

現在, 東京都では, 前述のように「東京アメッシュ」¹⁶⁾や「東京都水防災総合情報システム」¹⁷⁾等の実況監視は既に行われている。一方, 下水道や河川関係以外の部局, 例えば, 環境関係の部局には雨量計は通常ないものの, 従来から大気汚染観測を目的とした常時監視網があり, 汚染物質濃度とともに風向風速や気温, 湿度等を比較的高密度に観測している。そのほかにも, 教育機関等が独自に観測しているものもあり, こうしたさまざまな地上気象観測網を組み合わせることによって, 高密度に気象状況を解析することができ, 今後, ゲリラ豪雨の予測やメカニズム解明に対して有効な情報となるものと考えられる。図2は, 練馬において8月における観測史上1位の時間雨量(90.5 mm)を記録し, 400棟を超える床上・床下浸水被害をもたらした2011年8月26日の雨量分布と豪雨前の気温分布および地上風の収束を, 上記のさまざまな地上データを用いて解析した事例である。豪雨となったエリアは, 豪雨前に高温であった地点が相対的に多い傾向が認められる。したがって, 前述のように, 地上の高温化した空気が上昇気流となり, 上空に巨大な積乱雲が形成され, ゲリラ豪雨をもたらしたとするメカニズムが考えられる。また, 地上風の収束・発散場との関係に着目して解析を行った結果, ほぼ降雨域を中心としたエリアに向かって風が収束する状況が認められた。地上気象を高密度な観測網でとらえることにより, 強雨の発生をある程度事前に予測できる可能性が期待される。今後, 地上風の収束・発散とともに, 水蒸気量等との関連を解析することによって, より高精度な予測に関する知見が得られるものと考えられる。

ところで, ゲリラ豪雨の予測やメカニズム解明は, 地上気象データだけでは難しく, さまざまな技術を用いた多角的な研究が不可欠である。近年, 防災科学技術研究所が開発したXバンドマルチパラメータ(MP)レーダのような高性能なレーダに関する取組も進められている²⁰⁾。XバンドMPレーダは, 波長が約3 cm(Xバンド帯)のマイクロ波を用いた二重偏波レーダで, 弱い雨から偏波間位相差を使用した降雨強度推定が可能であり, 従来の気象レーダに比べ局地的な短時間大雨をより高精度かつ短時間にとらえることができる。2006年には首都圏の大学や試験研究機関が所有するXバンドMPレーダをネットワーク化することによって, 「首都圏Xバンド気象レーダネットワーク(X-NET)」を構築し, 首都圏における豪雨・強風の監視を行う研究を行っている。また, 国土交通省はXバンドMPレーダを, 2010年から全国に順次配置し, 2015年8月現在, 39基のレーダが稼働している。同省はこれらをCバンドMPレーダと組み合わせ「XRAIN」²¹⁾として水害対策に活用している。このほかに, フェーズドアレイレーダ²²⁾やドップラーライダー²³⁾といった地上からのリモートセンシング技術だけでなく, 気象庁のひまわり8号のような衛星からのリモートセンシング技術の防災への活用も進められている。

5.2.2 防災教育

ゲリラ豪雨をはじめとした災害から児童生徒の生命や身体の安全を確保し, 将来への防災意識と行動を身につけさせるためには, 児童生徒に対する科学的な防災教育も重要である。文部科学省は防災教育のねらいとして, 「知識, 思考・判断」, 「危険予測・主体的な行動」, 「社会貢献, 支援者の基盤」の三つを掲げている²⁴⁾。また, 防災教育は児童生徒の発達段階に応じた系統的な指導が必要であり, 高校生の場合は, 「安全で安心な社会づくりへの参画を意識し, 地域の防災活動や災害時の支援活動において, 適切な役割を自ら判断し行動できる生徒」となることが求められている。すなわち, 高校生は小中学生よりも, より主体的な役割が期待されており, 現象の科学的な理解に対する重要性は特に大きいと考えられる。さらに, 同省は「自然災害についての教育は自然と人間との関係を考える点で環境教育とも大いに関連している。」と述べ, 環境教育と防災教育の連携についても, その有効性を指摘している。こうしたなか東京都は, 東日本大震災や今後発生が危惧される首都直下地震等を受け, 「東京都地域防災計画」を修正するとともに「学校危機管理マニュアル」²⁵⁾を見直した。同マニュアルでは, 高校における防災教育のねらいとして「まず自分の命を守り, 次いで身近な人を助け, さらに避難所の運営など地域に貢献できる人材を育成する。」こととしており, 生徒の安全確保を最優先としながらも, やはり災害時における高校生の主体的な役割を期待している。

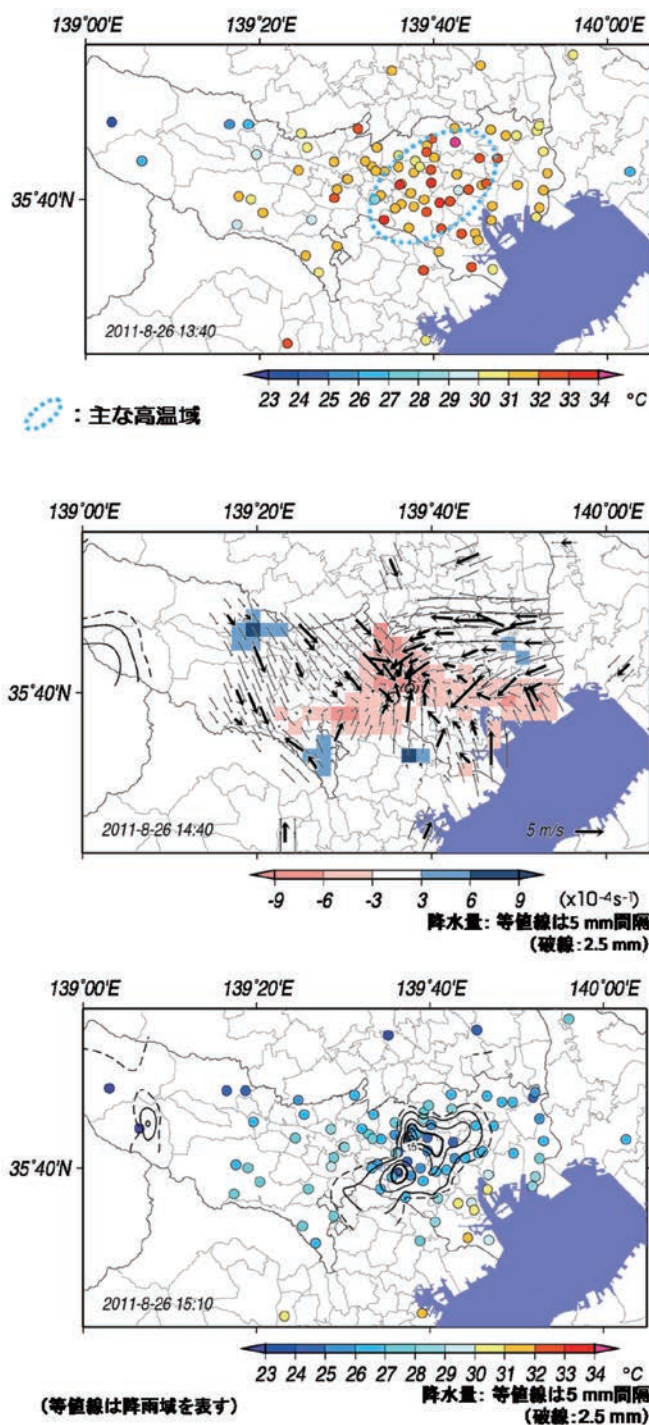


図2 東京におけるゲリラ豪雨発生前の気温分布(最上図)、収束発散分布(中段図)および最大雨量時の降雨分布(最下図)(2011年8月26日)¹⁹⁾。
(○印は気温、矢印は風、四角いメッシュは収束発散を、等値線は降雨域を表す。各図の左下には日時を表示)

ここで、高校生の主体的な防災意識の向上をめざし、著者らが行った地球温暖化やヒートアイランド現象といった身近な環境問題との関連に視点を置いた環境・防災教育に取り組んだ事例を紹介する²⁶⁾。この取組は、防災を非常時のみの特別な行動としてとらえるのではなく、普段の気象現象に対する科学的な理解のもと、その延長線上に防災行動があると考え、災害時にはその理解をもとに冷静な判断と行動がもたらされることを期待するものである。対象として、ゲリラ豪雨の発生が多い東京都新宿区と中

野区にある2校の都立高校を選んだ。両校には簡易型総合気象センサ(デジタル百葉箱、図3)が設置されている。まず1校に、XバンドMPレーダ表示システムを設置し(図4)、生徒らが自由に閲覧できる環境を整備した。その結果、本システムは、部活動や下校時における降雨の確認等に活用され、「詳細な降雨域がリアルタイムで理解できて役に立った」や「今降っている雨が画面で確認でき面白い」といった感想が聞かれた。防災と身構えずに、まずは天気を身近に感じてもらうきっかけとなったものと思



図3 デジタル百葉箱.



図4 レーダ表示システム.

られる。また、出前授業を実施した高校においては、「地球温暖化」、「ヒートアイランド現象」、「ゲリラ豪雨」といったそれぞれの現象の認知度を確認した。その結果、ほとんどの生徒が内容も含めよく認知しており、環境問題に対する関心の高さが伺えた。その一方で、地球温暖化やヒートアイランド現象と、ゲリラ豪雨等の極端現象との間には関連性が示唆されていることを知る生徒はごく少数であった。授業では、現在、明らかになっているそれぞれの現象や実態とともに、両者の関連性等について紹介した。その結果、後日行われた生徒による自主研究発表会では、気候変動や適応策、極端現象といったことに興味や関心を示す内容のものが多数発表された。また、特に関心の高い一部の生徒は、高校に設置されたデジタル百葉箱等の気象観測データをみずから解析し、日本地球惑星科学連合 2014 年大会高校生セッションにおいてポスター発表を行うなど^{27, 28)}、主体的な意識の向上が見られた。今後、このような環境・防災教育の取組を続けることにより、日頃の環境意識の向上とともに、より科学的な防災行動が導かれることが期待される。

かつて、環境と防災の「距離」は決して近いものではなかったと思われるが、近年の温暖化の進行に

伴う気象災害の増加傾向により、環境と防災を関連づけて理解することの重要性が増していると考えられる。高校生は未成年であり、まずは保護されるべき対象であるが、我々は現役の高校生に直接接していくなかで、その意識の高さと発想の豊かさに頼もしささえ感じられた。「想定外」の、そして「いまだ経験したことのない」ような災害が頻発し、これまでの防災の常識では対応しきれない状況となりつつある昨今、災害時の的確な判断や行動の支えとなる科学的な防災教育が、今求められている。環境と防災を組み合わせた環境・防災教育はまさにその一つといえる。

6. おわりに

以上、東京におけるゲリラ豪雨の実態とその適応策について述べた。インフラ整備等ハード面での対策にはかなりの時間がかかることから、監視や予測、防災教育といったソフト的な対策への期待は大きい。地上気象データの解析結果から、日中、高温となりやすい区部北西部においてゲリラ豪雨の多発が認められ、ゲリラ豪雨に対する熱的影響が示唆された。また、豪雨発生エリアでは、発生前に地上風が収束する傾向が認められたことから、地上風の収束発散の解析が今後のゲリラ豪雨の予測に結びつくものと考えられた。ゲリラ豪雨の原因やメカニズム解明にはいまだ不明な点が多いものの、こうした知見が防災対策の基礎的資料となるものと思われる。防災教育も、次代を担う若年層にとって重要であり、今後の充実が望まれる。

今回、すでに深刻化している現象への対策について述べたが、今後の気候変動に伴い予想される長期的な影響に対しても、地域の特性を生かした体系的な取り組みが求められている²⁹⁾。

謝 辞

本文で取り上げた成果の一部は、環境研究総合推進費(S-8)「温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究」ならびに科学技術振興調整費「気候変動に伴う極端気象に強い都市創り」により行われたものである。関係各位に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 藤部文昭(1998)東京における降水の空間偏差と経年変化の実態－都市効果についての検討. 天気, 45(1), 7-18.
- 2) 佐藤尚毅・高橋正明(2000)首都圏における夏期の降水特性の経年変化. 天気, 47, 643-648.
- 3) 木内 豪・宮本 守(2007)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,

- 63, 36-41.
- 4) 白木洋平・樋口篤志・近藤昭彦(2009)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, 22, 187-195.
 - 5) 鈴木由人・甲斐憲次(2006)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予稿集, 89.
 - 6) 気象庁(2015)気候変動監視レポート2014.
 - 7) 藤部文昭・戸川裕樹・阪田正明(2008)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.
 - 8) 三上岳彦(2003)ヒートアイランドの実態と影響(特集:都市環境とヒートアイランド). 環境管理, 39, 551-555.
 - 9) 中小河川における今後の整備のあり方検討委員会(2012)「東京都内の中小河川における今後の整備のあり方について」最終報告書.
 - 10) 高橋日出男・中村康子・鈴木博人(2011)東京都区部における強雨頻度分布と建築物高度の空間構造との関係. 地学雑誌, 120, 359-381.
 - 11) 小林文明(2004)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. 天気, 51(2), 115-117.
 - 12) 大高早苗・日下博幸(2015)都市の力学的効果が首都圏の降水に及ぼす影響. 日本気象学会大会大会講演予稿集, 107, 332.
 - 13) 日下博幸・縄田恵子・鈴木パーカー明日香・高根雄也・古橋奈々(2014)アンサンブル気候実験手法を用いた都市降水の研究と今後の課題. 日本気象学会大会講演予稿集, 106.
 - 14) 藤部文昭(2012)都市の気候変動と異常気象－猛暑と大雨をめぐって, 朝倉書店.
 - 15) 日下博幸(2013)学んでみると気候学はおもしろい, ベレ出版.
 - 16) 東京アメッシュ <<http://tokyo-ame.jwa.or.jp/index.html>>(2016年10月12日最終確認)
 - 17) 東京都水防災総合情報システム <<http://www.kasen-suibo.metro.tokyo.jp/im/uryosuii/tsim0102g.html>>(2016年10月12日最終確認)
 - 18) 東京都建設局(2012)中小河川における都の整備方針－今後の治水対策.
 - 19) 瀬戸芳一・横山 仁・安藤晴夫・廣井 慧・青木正敏・楠 研一・中山雅哉・高橋日出男(2012)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.
 - 20) 岩波 越・前坂 剛(2013)XバンドMPレーダーによる降雨強度の推定. ながれ, 日本流体力学会誌, 32, 313-318.
 - 21) XRAIN <<http://www.river.go.jp/kawabou/ipXAreemap.do?gameID=01-0204&fldCtlParty=no>>(2016年10月12日最終確認)
 - 22) 佐藤晋介・牛尾知雄・水谷文彦(2013)フェーズドアレイ気象レーダの研究開発. NICT NEWS, 424, 3-5.
 - 23) 水野 量・上窪哲郎・定村 努 編(2014)高層気象観測の発展と現状. 気象研究ノート, 229, 日本気象学会.
 - 24) 文部科学省(2013)学校防災のための参考資料「生きる力」を育む防災教育の展開.
 - 25) 東京都教育委員会(2013)学校危機管理マニュアル.
 - 26) 横山 仁・中谷 剛・高橋尚也・磯 敦雄・酒井将也・廣井 慧・中山雅哉(2014)気象情報を活用した環境・防災教育の試み－高校生に対する取り組み事例を中心として. 公開シンポジウム「最先端レーダ情報を社会に活かす」要旨集, 12-13.
 - 27) 佐藤大透・佐野 凜(2014)デジタル百葉箱とX-MPレーダによるゲリラ豪雨の直前予知. 日本地球惑星科学連合2014年大会高校生セッション, O04-P70.
 - 28) 大久保尚哉・井戸祥太(2014)デジタル百葉箱で観測された気象データとゲリラ豪雨の発生条件について. 日本地球惑星科学連合2014年大会高校生セッション, O04-P71.
 - 29) 田中 充・白井信雄(2013)気候変動に適応する社会, 技報堂出版.



横山 仁/Hitoshi YOKOYAMA

1962年宮城県生まれ。東京農工大学農学部環境保護学科卒。(財)日本植物調節剤研究協会, 東京都労働経済局農林水産部, 東京都農業試験場, 東京都八丈島園芸技術センター, 東京都環境科学研究所を経て, 2016年4月より, 国立研究開発法人防災科学技術研究所。著書に『みどりによる環境改善』(共著, 朝倉書店), 『気候変動に適応する社会』(共著, 技報堂), 『環境問題と社会』(共著, 同文書院)等。博士(農学), 気象予報士。