

# 先端技術と歴史的治水の融合で豪雨災害から身を守る

大石 哲\*

\* 神戸大学都市安全研究センター

## 要 旨

気象災害に備えるためには正確な情報の収集が必要である。そこで、電磁波を使ったレーダーと雷探知装置の仕組みを紹介し、さらにインターネットでその情報を通信するサイトを紹介する。その前段としていにしへの洪水災害に適応するための静岡県の知恵の一つである舟形屋敷を紹介し、適応型社会形成の議論を深めたい。

### 1. はじめに

地球は確実に暑くなっているようだ。気象庁によると日本の平均気温は1898年以降100年あたり1.1℃上昇している（気象庁 2016a）。1976年から2015年の間に短時間強雨の発生回数も増加している（気象庁 2016b）。毎日のようにスクールに襲われると、気候が変わってしまったのではないかという気分すらなってくることもある。

このような大量の雨が懸念されているときに市民の立場からは、実際にどんな気象現象が、どこで、どの程度の強さや大きさで発生しているのかを知ることが災害から身を守るために必要であろう。

しかし、実際に激しい気象現象が起こっているまただ中では、何が起きているのかがさっぱりわからない。

土砂降りの時には、雲が厚く日中でも相当暗くなるし、降りしきる雨が視界を遮る。ましてや夜になれば足下すら見えなくなる。夜間の避難中や堤防・田畑の巡視中に流されて亡くなる事例が後を絶たないのは、誤って滑り落ちるのではなく、一面水の足下が道なのか川なのかかわからずに、踏み出した足を流れにとられるからである。

一方で、我々はテクノロジーの発展によって、もう一つの目を持った。電波である。ここでは電波で雨や雷をとらえる仕組みを説明する。

もちろん、電波は万能ではないし、雨を弱めてくれるわけでもない。したがって災害が懸念されるときにはここで紹介する方法で情報を取得して、早めの準備、早めの避難をすることがいのちを守ること

になると改めて強調しておきたい。

準備、避難の意味では、先人たちの知恵に学ぶことも多い。測量道具もない時代から先人たちは川を治めるために工夫に工夫を重ねてきた。為政者として治水に取り組んだものは古代中国の夏王朝の禹王にはじまり武田信玄などの錚錚たる顔ぶれが並ぶ。しかし、忘れてはならないのが市井の人々が自らの生活の中で水と暮らしてきた実態であろう。本稿では静岡にちなんで大井川流域の人々の生活を守ってきた舟形屋敷を紹介する。

いま、気候変動は避けられないものとしてadaptation, すなわち環境に適応した社会形成が求められている。現実の適応社会では、映画「ウォーターワールド」のようにほぼ文明が滅亡してしまったような暮らしをするわけではなく、ソフトとハードが一体化して「水とともに暮らす」社会を築くことであろうと思う。その中では、リモートセンサーやスマートセンサーによる情報収集、インターネットによる情報伝達などを使って、災害時には命を守る行動をとる危険認識が必要であろう。本稿は気象災害に対する適応型社会形成の議論の一助となる温故知新の資料として、いにしへの水害適応型住居と電波による最先端技術を紹介する。

### 2. 民俗学的な水害に対する適応技術

大井川は、静岡市から南西に25kmほどの距離にある島田市を流下する、幹川流路延長168km、流域面積1,280km<sup>2</sup>の一級河川である。大井川は急峻な地形がもたらす高低差を活かした発電ダムが並び、上流

から田代ダム、赤石ダム、畑薙第一ダム、畑薙第二ダム、井川ダム、奥泉ダム、長島ダム、大井川ダム、塩郷堰堤などがあり、支川にも多くのダムがある(国土交通省2006)。そのような川に暮らした人々は川の恩恵を得ながらも洪水から命と生活を守る工夫をしてきた。その一つが舟形屋敷である。以下、民俗学者である野本(1979)を引用して舟形屋敷の説明をする。

ダムが建設される前は暴れ川で、下流域の人々の水との戦いは深刻であったといわれている。その大井川下流域の洪水対策として舟形屋敷があげられる。

舟形屋敷は微高地に作られ、図1に示すように上流部に向かって約50度の三角形をなし、三角の頂点から分かれた二辺に沿って分かれ川がひかれている。舟形屋敷の一般的特徴は先端部に土盛り(ボタ)があり、そこに樹木が茂っていて、そこに墓地がある。また、母屋の川下側に土盛りがあり、藪や樹木を植栽している。さらに母屋と先端部の間に1mほどの石垣を作りそこに倉(水屋)を建てていた例もある。

野本(1979)は指摘していないが、筆者は大井神社の敷地も、上流部に向かった三角形構造、分かれ川、先端部の土盛りなど舟形の特徴を有していると思う。

2016年10月8日から10日に島田大祭という大井神社の祭りがあるので、興味がある方はそのときに大井神社の形を眺めていただきたい。

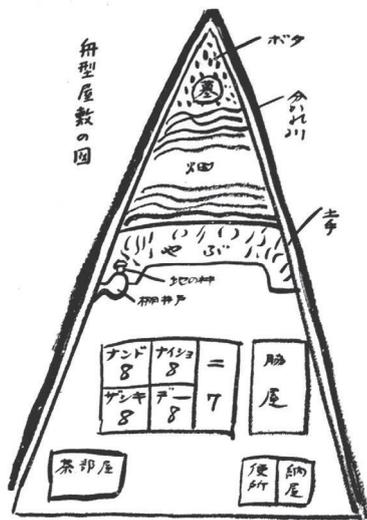


図1：舟形屋敷の概要(野本,1979より)  
この図の上の方向に大井川がある

### 3. 豪雨災害を見るための電波

#### 3.1 概要

時代は変わって大河川では以前のように河川の氾濫が頻発することは少なくなったが、それでもなお、

洪水被害はなくなる。災害を引き起こすような気象状況を知るためには、雨・雷を知ることができる。そこで、どうやってその情報を取得するのかということの説明をする。

気象状況を知るには電波の中でもマイクロ波というものを使うことが多い。マイクロ波は周波数が100MHzから100GHzくらいの電波である。波長にすると3mから3mm程度である。電気を使ってマイクロ波を送信してそれを受信するか、自然が発生するマイクロ波を受信するのかの2つの方法がある。前者をアクティブ(能動的)、後者をパッシブ(受動的)とよぶ。普段見ている景色は太陽という自然の電波(光)発生装置から発せられた電波が「もの」にあたって一部の周波数の電波が吸収され、吸収されなかった周波数(すなわち色)の電波が目を受信しているという意味でパッシブである。黒く見えるのはほとんど全ての周波数の光の電波が吸収されてしまっているからであり、白く見えるのはほとんど全ての周波数の電波(色の光)が反射しているためである。スライド投影はプロジェクターから発せられた電波(光)が目を受信しているという意味でアクティブである。

アクティブな電波送受信装置には雨を探知するレーダーがある。雷探知装置は雷が発する電波をアンテナが受け取るパッシブである。

#### 3.2 レーダー

ここではXバンド偏波ドップラーレーダー(別名、XバンドMPレーダー)を紹介する。より勉強するためには深尾・浜津(2009)が詳しい。

レーダーというのはRadio Detection And Rangingの略で、電波(Radio)を使って標的を探知(Detection)し、その位置を測る(Ranging)するための装置である。探知するためにレーダーは電波を出しているのでアクティブである。発した電波が標的にあたってはね返ってくるエコーを受信する。電波は光の速さ( $c=3.0 \times 10^8$  m/s)で進むので、発信してあたってはね返って受信するまでの時間を $\Delta t$ とすると、 $c \times \Delta t / 2$  [m]が、レーダーと標的の間の距離である。光はかなり速いので $\Delta t$ は小さい。例えば標的が150km離れたところにあると $\Delta t$ は千分の1秒である。実際にはレーダーのアンテナは3秒から20秒程度かけて回りながら360°監視しているのだが、千分の1秒は3秒に対して十分に短いので、アンテナが止まっていると考えてよい。

気象レーダーに使われているバンドは、Xバンド以外にCバンド(約5GHz)がある。周波数が高くなるとたくさんの情報を運ぶことができるので、Xバンドの方がくっきり、はっきり見える。ただし、周波

数が高いものほど減衰しやすく到達距離は短いので、Cバンドの方が遠くまで見える。

国交省と気象庁ではXバンドMPレーダーを北海道南部、岩手県南部から福島県にいたる東北、関東、北陸（新潟・富山・石川）、静岡、東海、近畿、岡山、広島、九州北部、熊本、桜島周辺に配備して特に都市周辺の豪雨を観測している。また、東京、大阪、神戸などの大きな自治体では独自のXバンドレーダーをもって雨水処理に活用しているし、民間気象会社や大学でもXバンドレーダーを有しているところがある。XバンドMPレーダーではアンテナを中心に半径約60kmの円状の豪雨を観測できる。半径約30kmまでは雨量も精度よく算定でき、それより遠くでは雨の強弱がわかる。このように空間的のどこにどの程度雨が降っているのかという情報を「降雨の空間分布」という。

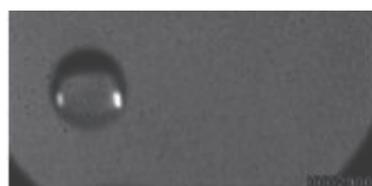
従前では約10km～100kmごとに置かれた転倒ます式雨量計を用いて雨量を測定して、1つずつの転倒ます式雨量計の責任範囲を定めて、その範囲内はすべて一様な雨が降ったと仮定していたが、レーダーの定量的な降雨強度観測精度があがってからは、Cバンドレーダーであれば1kmごと、Xバンドレーダーであれば250mごとの雨量値を得ることができるようになった。

その定量性向上に寄与したのがMP化である。

MPとはマルチパラメータの略である。マルチというのは複数という意味で、パラメータとは受信する信号のことである。すなわちMPとは複数の信号を受信するという意味である。

MPレーダーでは、従来の水平方向の電波に加えて鉛直方向の電波も送受信し、さらに電波が雨滴で散乱することによって少しだけ速度が遅れる影響も、周波数から計測することができる。一般的に雨滴は空気抵抗を受けて図2のように「豚まん形」に扁平しているのので、水平波の方が鉛直波よりも散乱されたエネルギーは強く、速度は少し遅れる。逆に言うと、水平波と鉛直波の散乱エネルギーの比や、速度遅れから上空に浮かんでいる雨滴の大きさを推計することができる。強い雨は大きな雨滴からなっているなどの雨滴と降雨強度の関係に関する知見と併せることによって、原理的には地上での観測が不要で正確な降雨強度を推定することができるようになった。

一方、ビルや山のような標的は大きすぎるので電波を反射してしまう。したがって、アンテナと雨の間にビルが入ると雨は探知できない。このことを遮蔽という。遮蔽を避けるためにはアンテナの仰角を上げてビルや山を避ければよい。しかし、仰角をあげると高い高度の雨雲を見ることになり、地上で降



(a)



(b)

図2：落下中の水滴 (a) とその概形(b)

る雨とは性質の異なるものを見ることになる。地上5kmになれば夏でも0℃になり、雨粒は凍ってしまう。凍ると電波の散乱特性が変化するので、上空の雨粒や氷粒から地表の雨量を推定する方法が必要である。

上空の氷粒は、30分後くらいの近い将来の地上にふる雨の源である。したがってこれらの量や大きさを探知できれば、降雨予測の時間を延ばすことができ、定量的な降雨予測精度も向上すると考えている。

この上の2段落で記載した、「雨滴と降雨強度の関係に関する知見」、「水で散乱する電波の散乱特性」、「上空の氷粒から地表の雨量を推定する方法」などは最先端の研究テーマであって、私たちを含めて現在さかんに取り組んでいる。

2016年7月までは実用的にMP化されたレーダーはXバンドであった。一方で、国交省と気象庁では26基のCバンドレーダーを使って日本全国をくまなく観測してきた。Cバンドではアンテナを中心に半径120kmまでの雨量を算定しているが、これまでは1km四方の平均的な雨がわかるだけでくっきりとは見えなかった。しかし、2016年7月1日から国土交通省はCバンドレーダーをマルチパラメータ化した。すなわちCバンドMPレーダーにバージョンアップした。前述したようにCバンドの方が遠くまで見通すことができるので、都市部から離れた地域でも詳細で正確な降雨強度を知ることができるようになった。たとえば、和歌山県的那智勝浦町や兵庫県豊岡市などはXバンドMPレーダーネットワーク、通称XRAINの範囲外であったのが、CバンドMPレーダーの範囲内となり、XRAINに組み込まれて7月1日から試験運用的にXRAINの範囲内になった。

ここまでレーダーの概要を伝えてきたので、国土交通省や気象庁が持つレーダーデータにアクセスする方法を述べたいと思う。

気象庁は膨大な観測情報をホームページでほぼ即時公開している。そのうちレーダーに関するものは

以下のように検索する。

- ・ 気象庁の解析雨量：「気象庁 解析雨量」で検索

国土交通省は「川の防災情報」としてレーダーのデータをホームページでほぼ即時公開している。それと同時に、地上で測った雨量や河川の水位などの水量も公開している。

- ・ Cバンド：「川の防災情報 Cバンド」で検索
- ・ Xバンド：「XRAIN」で検索
- ・ 7月1日よりCバンドMPレーダーも加わった拡大試行版のリンクボタンもある。

きわめて強い降雨強度があった場合には都市域の小河川が増水し、停滞する雨が降った場合にはそれに加えて大河川が増水する。そのときに川の様子を見に行くのではなく、インターネットで「川の防災情報 河川水位」で検索して、河川の水位を見てほしい。ここでは氾濫注意水位とは一般的には市長による避難準備情報の発令の目安であるので、この水位になったらすぐに逃げられるように準備（今していることを終え、ハザードマップや避難所を確認して、持ち物を集める）を始めてほしい。避難判断水位は市長による避難勧告の目安であるが、この水位になったら避難を開始してほしい。氾濫危険水位では市長による避難指示が出されるが、これは「避難完了の確認指示」だと思ってほしい。

レーダーは細かな雨域をよくとらえ、しばらく見ていると、いつぐらいから雨が降り出すのかも分かるようになる。夏の夕立の10分程度の隙間を見つけてそれに合わせて濡れずに帰宅するために、レーダーを見て目を肥やしておきたい。

バックトゥー・ザ・フューチャーという映画の中で、博士は「後5秒で雨がやむ」と言って、未来（2015年）の気象が秒単位で予測可能になることを伝えている。私は次世代のレーダーを担うと期待されているフェーズドアレイレーダーにその期待がかかっていると思う。フェーズドアレイレーダーと現在のレーダーの最大の違いは、現在のレーダーが機械的にアンテナを回すのに対してフェーズドアレイレーダーは電気的にアンテナの向きを変えることである。機械よりも電気の方が圧倒的に早く制御することができるので、圧倒的に高い時間解像度で測定が可能になる。現在、フェーズドアレイレーダーは大阪大学、情報通信研究機構、東芝の三者連合によって開発が進められており、また日本無線も独自に開発している。フェーズドアレイレーダーによって高時間解像度でゲリラ豪雨をとらえたデータからは上空の雨粒群が落下して地上に雨をもたらしている様子が測定されており、ゲリラ豪雨をもたらす雲のメカニ

ズム解明が期待されている。

### 3.3 雷探知

私たちは経験的に雷が豪雨の前兆と知っている。科学的には、雷は上空の氷粒でできた雲が持つ電気が地面や別の雲に運ばれる際に発生し、「上空の氷粒でできた雲」は落下して融けて豪雨になるというメカニズムで雷は豪雨の前兆である。しかし、雷も大きな雷鳴があるものばかりではないし、山の向こう側の雷は気づきにくいものであるので、電波で雷を探知することができれば、豪雨予測につながるのではないかと考えられる。私たちは、大阪大学の河崎善一郎名誉教授らのグループが開発した雷探知装置を利用して研究を進めている。

雷は枝分かれするときに電波を発する。雷探知装置ではこの電波を受信して雷が起こったことを知る。位置は電波干渉法という方法で求める。電波干渉法とは、図3のように1つの発生源からの電波を2つの受信機で受信したときの時間遅れから、発生源の角度を求める方法である。3つの受信機を東西と南北に並べると、雷発生位置である電波の発生源の東西方向の角度と南北方向の角度が分かる。さらにそれが2セットあると交点が雷発生位置として特定できる。

雷が分岐したり曲がったりしている方向の角度を測定する方法を組み合わせると雷の発生位置が特定できるようになる。

雷について、より勉強するためには河崎(2008)や高橋(2009)が詳しい。

私たちの最新の研究（千原ら 2016）では、レーダーの偏波情報を用いて上空の霰（あられ）の空中における粒子数を算定し、その粒子が氷晶に衝突することで生じる電荷量を推定して、そこから電位・電場を推定する手法を考案した。それを用いて推定される大気中の電場と実際の雷の進展を比較すると強い電場の方向に雷が進展していく様子がとらえられていた。このような研究を続けて雷の予測を行うことが目標である。

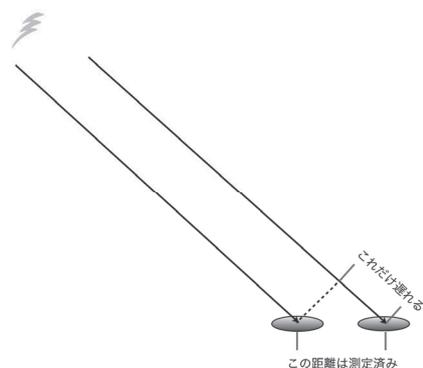


図3：電波干渉法による電波方向の特定のしくみ

#### 4. おわりに

本稿では、最初にいにしへの洪水に対する適応技術として大井川流域における舟形屋敷について述べ、その後レーダー、雷探知装置などの電波を使った豪雨関連の現象を観測するシステムについての説明をした。何の脈絡もないように思われるかもしれないが、筆者としては温故知新のつもりで書いた。すなわち、これからの適応型社会形成にとってレーダーなどのリモートセンサーや小型のスマート環境センサーは必須であろうし、その情報を伝える方法はインターネットが主流であろう。災害の元になるハザードの発生は避けられないが、その先端技術を使って命、資産、社会などを守ることができるような適応型社会について議論したい。

#### 参考文献

河崎善一郎（2008）；雷に魅せられて ～カミナリ博士、その謎を追う，化学同人，200pp.

気象庁（2016a）：ホームページ

[http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/chishiki\\_ondanka/p08.html](http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/chishiki_ondanka/p08.html) 2016年8月アクセス

気象庁（2016b）：ホームページ

<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/info/heavyraintrend.html> 2016年8月アクセス

国土交通省河川局（2006）；大井川水系河川整備基本方針.

高橋勲（2009）；雷の科学，東京大学出版会，271pp.

千原拓馬・大石哲・小池雄大・小川まり子（2016）；偏波ドップラーレーダーと雷探知装置を用いた雷雲内電荷電場推定手法に関する研究，日本気象学会2016年度春季大会，2016

野本寛一（1979）；大井川 ーその風土と文化ー，静岡新聞社，218 pp.

深尾昌一郎・浜津享助（2009）；気象と大気のレーダーリモートセンシング 改訂第2版，京都大学学術出版会.