



最新型気象レーダーを用いた気象災害避難支援システムの開発に関する研究

北村, 岳史

大石, 哲

Rachmad Setiawan Mukti

(Citation)

神戸大学都市安全研究センター研究報告, 19:149-161

(Issue Date)

2015-03

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/81011479>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/81011479>



最新型気象レーダーを用いた気象災害避難支援システムの開発に関する研究

Development of Evacuation Support System for Weather Related Disaster by Using Advanced Weather Radar

北村 岳史¹⁾

Takeshi KITAMURA

大石 哲²⁾

Satoru OISHI

Rachmad Setiawan Mukti³⁾

概要：近年集中豪雨が多発していることにより，それに伴う災害が発生しやすくなっている．災害から身を守るためには，最新の気象情報と周囲の状況を把握することが重要である．気象庁では気象レーダーによる観測画像や防災に役立つ様々な情報をインターネット上で公開しており，いつでも最新の情報を入手できる環境を整えている．しかし，日常的にそれらの情報を利用している人は少ない．そこで，多くの人々が利用しているスマートフォンを活用し，身の回りの気象情報を容易に取得しやすくするシステムを開発することが被害の軽減に繋がると考えた．本研究は超高時空間分解能を持つFURUNO気象レーダーによる観測データと，そこから移流モデルにより得られる降雨予測データを用いることで，豪雨による災害に対する避難支援システムを開発し，多くの人々に利用されることを目的としている．

キーワード： FURUNO 気象レーダー，短時間降雨予測，スマートフォン，移流モデル，避難支援システム

1. はじめに

近年スマートフォン市場が急速に拡大している．アップル社製のスマートフォンである iPhone が 2008 年 7 月に国内での販売が開始されたのを機に，スマートフォンが一般的にも広く認知され始め，現在までに各携帯電話会社から数えきれないほどの種類のスマートフォンが市場に出回った．その国内での普及率は 2010 年 6 月時点では 4.0%であったのに対して，2014 年 7 月時点では 36.9%にまで上昇している¹⁾．

スマートフォンの大きな特徴として，メールや電話の機能が通常の携帯電話と同じように使用できるということ以外に，従来の携帯電話と比べてより大きな画面をもっていることが多く，大画面でパソコン用の Web サイトを電波の届く範囲内ならばどこでも利用することができる．また，パソコン用のメールアドレスもそのまま使用することができるので，パソコンを立ち上げてメールをチェックする手間を省くことができる．さらに特筆すべきはその拡張性であり，「アプリ」を追加することで，ユーザーの好みに合わせてより便利なものにカスタマイズすることが可能である．アプリは無料で得られるものも多く，多種多様な機能を誰でも手軽に導入することができる．その中でも，スマートフォンを手にしたことでそれまでと比べてより頻繁に使うようになった機能の一つとして，歩行者用のナビゲーションシステムがある．一般に普及しているカーナビとは違い，スマートフォンは常に持ち運ぶことができ，オンラインで得た最新の地図情報を大画面で見やすく表示することができるので，外出時のちょっとした移動にも大変便利である．

歩行者用ナビを外出時に利用する機会が増え，スマートフォンが普及して利用者が増加するに伴い，地図アプリの利用頻度はますます高くなっていくであろうと思われる．そこで地図アプリをより便利なものとする機能として，短時間降雨予測を地図アプリのナビゲーションシステムに導入し雨に遭うことなく快適に移動することができれば，より快適な生活を送ることができるようになるのではないかと考えた．また，豪雨

により各地で発生する土砂災害にたいしても、雨の情報と地図を用いた周辺の地理情報をスマートフォンで管理することで、いざというときの心積もりができるのではないかと考えた。

一方で、地震、噴火、津波などの自然災害による被害を最小限に留めるための災害情報を一刻も早く伝える手段として、スマートフォンを利用しようとする動きがある。しかし、災害に高頻度で遭遇する人は多くなく、多くの人にとって災害とは一生に1度程度しか遭遇しないので、いざ災害が発生したときに用意した方法が適切に使われるのかは疑問である。そこで平素からスマートフォンを活用して、雨を避けることや、周辺の地理情報などを意識した生活をしていれば、その延長上で災害が発生した際の避難誘導にも利用できる。このことは利用者の情報リテラシーの向上だけでなく、頻度の高い運用実績によってシステムの開発や運用の経験値を向上させていざと言うときに機能させるために必要な工程であると言える。

このようにスマートフォンの地図アプリに短時間降雨予測を導入することは、日々の生活を便利にするだけでなく、災害時の避難誘導にスマートフォンを利用しようとする現在の社会情勢のうえで必須であると考えられる。

1時間降水量が50mm及び80mm以上の短時間強雨の年ごとの発生回数は過去30年間で増加傾向にあると言われている²⁾。さらには、都市部では昔と比べて道路舗装が進んでいることも相まって、近年都市型水害が多発している。このような豪雨により、ここ神戸においても水害が発生し、また広島では豪雨が引き金となる土砂災害により甚大な被害を受けた。そのような豪雨による災害に遭わないよう、普段から雨を意識し、身の回りの地理情報を把握しておくことで、被害に遭う可能性を減らすことができるのではないかと考えた。

気象庁では、現在の降雨情報や降雨予測情報などがレーダー画像付きで公開されており、さらには防災気象情報も次々に更新され、そのほかにも様々な情報を得ることができる³⁾。それらを見れば、大雨などにより起こる事故に巻き込まれないよう最善の行動をとることができると思われる。しかし実際には、普段から情報を確認する人は多くなく、いざというときの対処が遅れてしまう。そのような事態を防ぐために、すでに存在している情報と、その情報を知るべき人々とをより円滑に繋げるアプリのシステムを開発することが最終的な目的となる。

本研究では、超高時空間分解能を持つFURUNO気象レーダーを利用して、豪雨によって起こりうる災害に遭わないためのシステムの構築について探求する。具体的には、雨や土砂災害に対する避難支援システムを開発し、スマートフォン用のアプリとして実装することで、多くの人々に役立ててもらうことを目的としている。

2. 降雨予測を含めた歩行者ナビアプリの開発

(1) 概要

豪雨による災害として河川の氾濫や洪水災害などが挙げられるが、日頃から気象を意識することでこのような災害に遭う可能性を減らすことができると考える。多くの人々は普通雨には濡れたくないと考えるが、インターネットなどで雨の動きを示すレーダーの情報が公開されているにも関わらず、その情報を確認する人は少ないように思う。そこで、そのような雨の情報を効率よく人々に伝えることができるアプリを作ることができれば、人々に気象を意識させ、災害に遭う可能性を減らすことができると考える。本章では、そのようなアプリ開発について記述する。

(2) アルゴリズムの詳細

開発したアルゴリズムは2種類であり、(i)は経路を変えて雨に濡れないようにするアルゴリズム、(ii)は出発時間を変えることで雨に濡れないようにするアルゴリズムと、それを応用したものである。

(i) 経路を変える

ここでは経路を変えることで雨に濡れないアルゴリズムについて記述する。このアルゴリズムはグラフ理論を用いて計算を行うので、まずはグラフについて定義する必要がある。グラフ理論におけるグラフとは、ノードと呼ばれる点の集合とノードとノードを結ぶリンクと呼ばれる辺の集合から構成される抽象的な幾何学図形のことで、その中でもリンクに重み(コスト)がついているグラフを重み付きグラフと言う。グラフ理論において、あるノードを始点として目的のノードに行き着く経路を探すことを探索と言い、最短経路問題とは与えられた重み付きグラフにおいて、ある2つのノード間を結ぶリンクのコストが最小になるような経路を探索する問題である。経路を変えることで雨に濡れないアルゴリズムは、最短経路問題を解くことで最適な経路を見つけるというものである。

続いて、このアルゴリズムの具体的な方法について記述する。その方法は、経路のコストを降雨予測の情報に応じて変動させ、雨の降っているノードへは移動しにくくするというものである。重み付きグラフにお

ける経路探索にて、出発地点から目的地に到達するまでの総コストに、その経路を移動する最中に起こると予想される事柄ごとのコストを加算する。起こりうる事柄として、雨に濡れる、雨宿りをする、スーパーやコンビニに寄る、傘を買うなど、様々なものを考慮に入れる。また、加算するコストは雨に濡れることや時間を費やすことによる損失、労力であると定義する。まず例として、図1のような簡略な地図を仮定する。図中の青丸をスタート、赤丸をゴール、「コ」と表したものをコンビニ、「ス」はスーパーとしている。このような経路をスタートからゴールまで時速 6km/h で歩いて移動することを考える。ここでは、コストは各ノード間を移動するのにかかる時間に依存すると定義し、移動時間 1 分につきコスト 1 をとるものとする。グラフ化して各ノードに名前をつけたものが図2である。

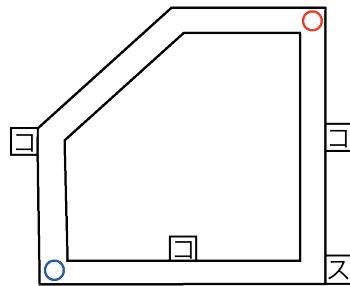


図1 仮想地図

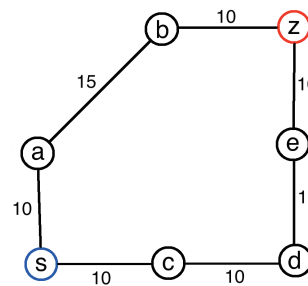


図2 地図のグラフ化

図2において、ノード a, c, e はコンビニ、d はスーパーである。このグラフでスタートからゴールまで行く経路は、s-a-b-z, s-c-d-e-z の2通りがある。以降、s-a-b-z と移動していく経路をルート 1, s-c-d-e-z と移動する経路をルート 2 と呼ぶことにする。コストが最短になる経路を探索すると、通常ではルート 1 が最短になり合計コストは 35 となる。この場合コストは時間なので、スタートからゴールまで 35 分かかるということになる。また、ルート 2 ではコストが 40 となり、移動時間 40 分となる。

次に、この地図の経路全体を覆う雨雲がこの地図の左側から右方向に時速 30km/h で移動してくると仮定する。なお 1 時間に 3mm 未満の雨を弱い雨と定義し、今回設定する雨雲は 1 時間に 1mm の弱い雨のある地点に 10 分間降らせる弱い通り雨であるとする。

雨を避ける経路を探索するために、まず降雨予測をする必要がある。降雨予測を行った結果、ノード s, a に雨が降り始めるのが、スタートノードを出発してから 20 分後、ノード b, c に到達するのが 22 分後、ノード d, e, z に到達するのが 24 分後であると予測されたとする。スタートノードから各ノードまで最短経路で移動したときに、そのノード上で雨が降っていないと予測されるノードの集合を N 、降っていると予測されるノードを R とすると、この経路の場合において N の要素ノードは s, a, c, d となり、 R に該当するものはノード b, e となる。式に表せば、 $N=\{s, a, c, d\}$, $R=\{b, e\}$ であり、通常の最短経路で歩くと、ノード a からノード b に向かって移動している途中で弱い雨が降り出してくると言える。

このような状況において、ここでは 2 通りのパターンを考える。雨には絶対に濡れたくなく、また寄るならコンビニよりもスーパーに寄りたいたいと考えるパターン I と、弱い雨には濡れてもよく、スーパーよりもコンビニに寄る方がよいと考えるパターン II について考え、それぞれの場合によって加算するコストを変える。

例えばパターン I の場合、雨宿りをコンビニで 1 分するにつきコストを 2 加算し、スーパーでは 1 分につきコストを 1 加算するものとする。また雨に濡れる場合については、歩いている最中に雨が降ってくる、または降っていると予想されるリンク (N の要素と R の要素の間、 R の要素間、 R の要素と N の要素の間) のコストを 10 倍したものを加算コストとして計算する。そしてスーパーやコンビニなどで傘を買っていく場合は、傘を買うことによるコストを 10 だけ加算するものとする。

全ての経路を考えると、雨に濡れながら歩く経路である通常のルート 1 とルート 2 のほかに、ルート 1 の途中にある a のコンビニへスタートノードから最短経路で移動し、雨が止むまでコンビニで待機した後、そこから最短経路でゴールノードまで向かうルート A, c のコンビニで待機するルート C, d のスーパーで待機するルート D, e のコンビニで待機するルート E という経路がある。さらに、スーパーやコンビニに寄った経路の中で、傘を買っていく経路 A', C', D', E' も考えなければならない。以上より、探索すべき経路は全部で 1, 2, A, C, D, E, A', C', D', E' の 10 通りとなる。

まず、それぞれの店内で雨が通りすぎるまで待機する場合 {A, C, D, E} を考える。スタートノードからノード a に移動するのにかかる時間は 10 分で、そこからノード a に雨が到達するのに 10 分、雨が a を通りすぎるのに 10 分かかると、a のコンビニで計 20 分待機してから出発すると雨に濡れずにゴールまでたどり着く。同様に c のコンビニでは 22 分、d のスーパーでは 14 分待機すればよい。そうすると、a のコンビニ

で待機する経路であるルート A のコストは 35 に $2 \times 20 = 40$ を加算し、計 75 になる。すなわち、 $\text{Cost}(A) = 75$ 。同様に c で待機するルート C のコストは $\text{Cost}(C) = 40 + 2 \times 22 = 84$ 、ルート D でコスト $\text{Cost}(D) = 40 + 1 \times 14 = 54$ となる。次にルート E であるが、d から e に辿り着く間に雨が降り、e のコンビニで 6 分間待機するので $\text{Cost}(E) = 40 + 10 \times 10 + 2 \times 6 = 152$ 。続いて店で傘を買う場合を考えると、ルート 1 の途中にある a のコンビニで購入し、傘をさして濡れずに移動する経路のコストは、35 に傘を買うことに対する加算コスト 10 を足しコスト 45 となり、 $\text{Cost}(A') = 45$ 。c のコンビニ、d のスーパーで傘を買う場合はともに $\text{Cost}(C') = \text{Cost}(D') = 50$ となる。そして e のコンビニで購入する場合は、 $\text{Cost}(E') = 40 + 10 \times 10 + 10 = 150$ となる。

以上より、傘を買わない場合を考えると、コストが最も低くなる経路はルート D となり、次いでルート A、ルート C、ルート E という順番 $\{\text{Cost}(D) < \text{Cost}(A) < \text{Cost}(C) < \text{Cost}(E)\}$ になり、傘を買う場合は a のコンビニで買って行く経路のコストが一番小さくなる $\{\min(\text{Cost}(i), i \in \{A', C', D', E'\}) = \text{Cost}(A')\}$ 。

続いてパターン II の場合を考える。II の場合において、弱い雨には濡れてもよいと考えているので、ノード間を歩いている最中に雨が降ってくる、または降っていると予想されるリンク (N の要素と R の要素の間、R の要素間、R の要素と N の要素の間) のコストを 0.5 倍にしたものを加算コストとして計算する。また、スーパーよりもコンビニに寄る経路が最小コストになりやすいように、スーパーで 1 分待機するごとにコストを 2 加算し、コンビニで待機する場合には 1 分ごとに 1 加算するものとしてコストを算出する。

この場合考えられる経路は、パターン I と同様にルート $\{1, 2, A, C, D, E\}$ と途中で傘を購入する経路 4 種類 $\{A', C', D', E'\}$ の計 10 通りの経路がある。

このグラフにおいて、コンビニやスーパーで待機しない場合に雨に濡れることが予想されるリンクは、a-b 間、b-z 間、d-e 間、e-z 間であるので、ルート 1 である s-a-b-z を通る場合ではノード a から z まで雨に遭い、ルート 2 である s-c-d-e-z を通る場合ではノード d から z まで雨に遭うことになる。よって、ルート 1 のコストは 35 に雨に濡れながら歩くことによる加算コスト $(15+10) \times 0.5 = 12.5$ を加算し、コスト $\text{Cost}(1) = 47.5$ となる。ルート 2 では 40 に $(10+10) \times 0.5 = 10$ を加算しコスト $\text{Cost}(2) = 50$ となる。続いて、ルート A、ルート C、ルート D のコストはそれぞれ、 $\text{Cost}(A) = 35 + 1 \times 20 = 55$ 、 $\text{Cost}(C) = 40 + 1 \times 22 = 62$ 、 $\text{Cost}(D) = 40 + 2 \times 14 = 68$ となる。ルート E では d-e 間で雨に遭うので、 $\text{Cost}(E) = 40 + 10 \times 0.5 + 1 \times 4 = 49$ と算出される。傘を買う場合のコストはパターン I と同様に a、c、d、e で購入する場合それぞれ 45、50、50、55 となる。

以上より、傘を買わない場合で最もコストが小さくなる経路は、弱い雨に濡れながら目的地まで歩くルート 1 である $\{\min(\text{Cost}(i), i \in \{1, 2, A, C, D, E\}) = \text{Cost}(1)\}$ となる。傘を買う場合はパターン I と同じで a で購入するルートが最小コストとなる $\{\min(\text{Cost}(i), i \in \{A', C', D', E'\}) = \text{Cost}(A')\}$ となる。

(ii) 目的地までまっすぐ行く場合

目的地まで寄り道することなく歩いて行く場合の雨に濡れないための出発時間を算出するアルゴリズム。作成したアルゴリズムは、60 分後までの 1 分間隔の降雨予測データを用い、30 分以内で何分後に出発すれば雨に濡れずに出発できるかを算出し、30 分以内では出発できない場合は傘を買うという判断をするものである。必要な入力情報とアルゴリズムを以下に示す。なお各データの最初の行、列を 0 行 0 列と定義する。

(入力 1)

経路の情報をまとめた経路データ。データの 2 列目、3 列目に経路探索をした際の出発地点、曲がる地点 (以下 CD)、目的地の地点それぞれの経度、緯度を出発地点から近い順に入力し、0 列目に出発してから各地点まで歩くのにかかる時間 (分)、1 列目に 1 つ前の地点からその地点まで歩くのにかかる時間 (分) を入力した CSV 形式のファイル (表 1)。

表 1 経路データのフォーマット

		0 列目	1 列目	2 列目	3 列目
0 行目	出発地点 の情報	出発地点を出発する 時間(分後)	0	出発地点の経度	出発地点の緯 度
1 行目	CD1 の情 報	出発地点から CD1 に 到着するまでの時間 (分)	出発地点から CD1 までかか る時間(分)	CD1 の経度	CD1 の緯度
2 行目	CD2 の情 報	出発地点から CD2 に 到着するまでの時間 (分)	CD1 から CD2 までかかる時 間(分)	CD2 の経度	CD2 の緯度
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n 行目	目的地の 情報	出発地点から目的地 に到着するまでの時間 (分)	前の CD から目的地までか かる時間(分)	目的地の経度	目的地の緯度

(入力 2)

FURUNO 気象レーダーで得られた観測データから移流モデルを用いて得られた 1 分間隔の 60 分後までの降雨データ。CSV 形式のファイルで、データの数値は降雨強度(mm/h)である。フォーマットは表 2 のようになっているが、アルゴリズムには上 5 行のヘッダ情報を除き、さらにデータを右回りに回転させた、つまりデータの左上(0 行 0 列目)が南西端、右上が北西端、左下が南東端、右下が北東端になるように変換した降雨データを用いる。データのファイル名は観測された年月日、時、分の情報に加え、何分後の予測かを示す数字を下 2 桁に記入する。例えば、2015 年 1 月 1 日午前 10 時 35 分に観測されたデータのファイル名は 201501011035_00.csv となり、そのデータから移流モデルを用いて得られる 15 分後の降雨データのファイル名は 201501011035_15.csv となる。

表 2 観測データのフォーマット(降雨データは上の 5 行を除いたもの)

収録日時				
南東端緯度	南東端経度			
北西端緯度	北西端経度			
エリア半径[km]	表示モード	CAPPI 高度[km]		
X 軸 1 メッシュの距離[m]	Y 軸 1 メッシュの距離[m]	Z 軸 1 メッシュの距離[m]		
データ(北西端)	データ	データ	…	データ(北東端)
データ	データ	データ	…	データ
⋮	⋮	⋮		⋮
データ(南西端)	データ	データ	…	データ(南東端)

(入力 3)

利用者が濡れたくない雨の降雨強度の閾値(mm/h)。(以下 RT1)

(入力 4)

利用者が濡れたくない雨の量の時間平均値(mm/min)。(以下 RT2)

アルゴリズム

アルゴリズムは以下の Step1.1 から Step1.8 を順に実行すること．

(Step1.1)

経路の座標を FURUNO 気象レーダーから得られる降雨データのメッシュのグリッドに変換する．FURUNO 気象レーダーの降雨データのメッシュ情報は表 3 の通りである．

表 3 降雨データのメッシュ情報

南西端座標	34.455704,134.909529
北東端座標	34.996604,135.564349
メッシュ間隔	100m
データの個数	600×600

FURUNO 気象レーダーの降雨データのメッシュ 1 つ分の緯度の間隔は，

$$\frac{34.996604 - 34.455704}{599} \approx 9.03005 \times 10^{-4}$$

FURUNO 気象レーダーの降雨データのメッシュ 1 つ分の経度の間隔は，

$$\frac{135.564349 - 134.909529}{599} \approx 1.09319 \times 10^{-3}$$

降雨データの 0 行 0 列目の座標は経度 134.909529，緯度 34.455704 なので，経路データの 2 列目の数値から 134.909529 を減じ，それを で除した数値を最も近い整数の値に丸めたものが降雨データのメッシュのグリッドの行に対応し，経路データの 3 列目の数値から 34.455704 を減じ，それを で除した数値を最も近い整数の値に丸めたものが降雨データのメッシュのグリッドの列に対応する．以下に都市安全研究センターから阪急電鉄の六甲駅へ向かう経路(図 3)の経路データ(表 4)と，降雨データのメッシュのグリッドへの変換の例(表 5，図 5)を示す．



図 3 経路

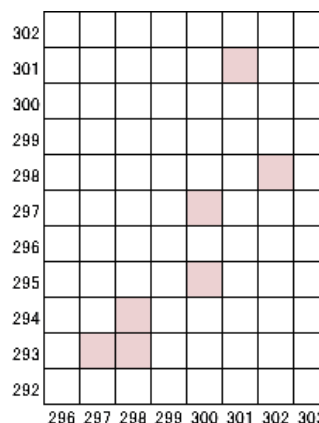


図 4 経路データを変換して算出されたグリッドを視覚化したもの

表 4 入力された図 3.3 に示された経路の経路データ

0	0	135.238297	34.727607
4	4	135.240131	34.724675
7	3	135.237149	34.723484
9	2	135.23734	34.722232
12	3	135.235108	34.721192
13	1	135.235259	34.720592
14	1	135.234548	34.720283
15	1	135.234526	34.719864

表 5 表 3.4 の経路データを降雨データのメッシュのグリッドに変換したもの

0	0	301	301
4	4	302	298
7	3	300	297
9	2	300	295
12	3	298	294
13	1	298	293
14	1	297	293
15	1	297	293

(Step1.2)

経路が横切っているメッシュのグリッドでの降雨を出力する。この Step1.2 では、全経路の内のある 1 つの区間、つまり経路データのある連続した 2 行間が示す区間での降雨を出力する。

まず、経路が横切っているメッシュのグリッドを算出する。Step1.1 で変換した経路データを 0 行目から順に連続した 2 行を取り出し、前の行の経度方向のメッシュのグリッドを x_1 、緯度方向のメッシュのグリッドを y_1 、後の行の経度方向のメッシュのグリッドを x_2 、緯度方向のメッシュのグリッドを y_2 とし、それぞれの位置関係により以下の 4 つの計算方法に場合分けして経路が横切るグリッドを算出する。以下、 $ROUND(Z)$ は、 Z を四捨五入した整数とする。

i) $|x_2 - x_1| \geq |y_2 - y_1|$ かつ $x_2 \geq x_1$ のとき

経度方向のメッシュのグリッド X は

$$X = x_1 + i \quad (1)$$

緯度方向のメッシュのグリッド Y は、

$x_1 \neq x_2$ のとき

$$Y = ROUND\left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \times i + y_1\right) \quad (2)$$

$x_1 = x_2$ のとき

$$Y = ROUND((y_2 - y_1) \times i + y_1) \quad (3)$$

ii) $|x_2 - x_1| \geq |y_2 - y_1|$ かつ $x_2 < x_1$ のとき

経度方向のメッシュのグリッド X は

$$X = x_1 + (-i) \quad (4)$$

緯度方向のメッシュのグリッド Y は

$$Y = \text{ROUND} \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \times (-i) + y_1 \right) \quad (5)$$

iii) $|x_2 - x_1| < |y_2 - y_1|$ かつ $y_2 \geq y_1$ のとき

経度方向のメッシュのグリッド X は

$x_1 \neq x_2$ のとき

$$X = \text{ROUND} \left(\frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} \times i + x_1 \right) \quad (6)$$

$x_1 = x_2$ のとき

$$X = \text{ROUND} \left(\frac{1}{y_2 - y_1} \times i + x_1 \right) \quad (7)$$

緯度方向のメッシュのグリッド Y は

$$Y = y_1 + i \quad (8)$$

iv) $|x_2 - x_1| < |y_2 - y_1|$ かつ $y_2 < y_1$ のとき

経度方向のメッシュのグリッド X は

$x_1 \neq x_2$ のとき

$$X = \text{ROUND} \left(\frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} \times (-i) + x_1 \right) \quad (9)$$

$x_1 = x_2$ のとき

$$X = \text{ROUND} \left(\frac{1}{y_2 - y_1} \times (-i) + x_1 \right) \quad (10)$$

緯度方向のメッシュのグリッド Y は

$$Y = y_1 + (-i) \quad (11)$$

グリッドを算出する際の i は、 0 から $|x_2 - x_1|$ までの範囲の整数で、 $i=0$ から順に計算する。すると、 i を変えて計算する回数が、その区間が横切るグリッドの数となる。

計算した 2 行の内、前の行の 0 列目の値を a 、後の行の 1 列目の値を b とすると、 a 分後から $a+b+1$ 分後までの降雨予測データにおいて、上の式から算出されたグリッドにある降雨強度の値を出力する。ここで、 a 、 b には小数点以下を繰り上げた整数を用いる。結果として、降雨強度の値が移動時間分を行、区間のグリッドの個数を列とした行列で出力される。

以下に、0 行目、1 行目の 2 行間が示す区間での計算例を示す。

表 6 変換後の経路データの 0 行目, 1 行目

0	0	301	301
4	4	302	298

表 6 の場合, $|x_2 - x_1| < |y_2 - y_1|$ かつ $y_2 < y_1$ となるので, 上記の iv) での計算を, $i=0$ から $i=|y_2 - y_1| = |298 - 301| = 3$ まで i を 1 ずつ変えながらグリッドを算出すると, 以下の表 3.7 のように経路が横切るグリッドが算出される. イメージは図 3.6 である.

またこの場合, 上で定義したように $a=0$, $b=4$ であり, $a=0$ 分後の降雨予測データ(つまり現在時刻の観測データ)から $a+b+1=0+4+1=5$ 分後までの 1 分間隔の降雨予測データを用いる. これら 5 つの降雨予測データのメッシュにおいて, 算出された 4 つのグリッドでの降雨強度を算出する. 0 分後から 5 分後までの降雨データの一部が図 3.7 のようであったとすると, 出力される行列は表 3.8 のようになる. なお, 降雨データのうち算出されたグリッドの部分に色付けをしている.

表 7 算出される経路が横切るグリッド

	経度方向	緯度方向
1 行目の座標($i=0$)	301	301
算出される座標($i=1$)	301	300
算出される座標($i=2$)	302	299
2 行目の座標($i=3$)	302	298

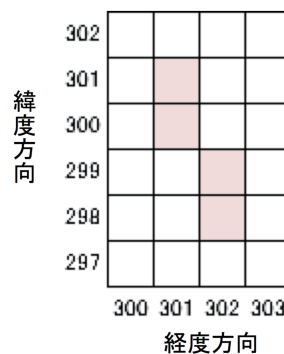


図 6 グリッドを視覚化したもの

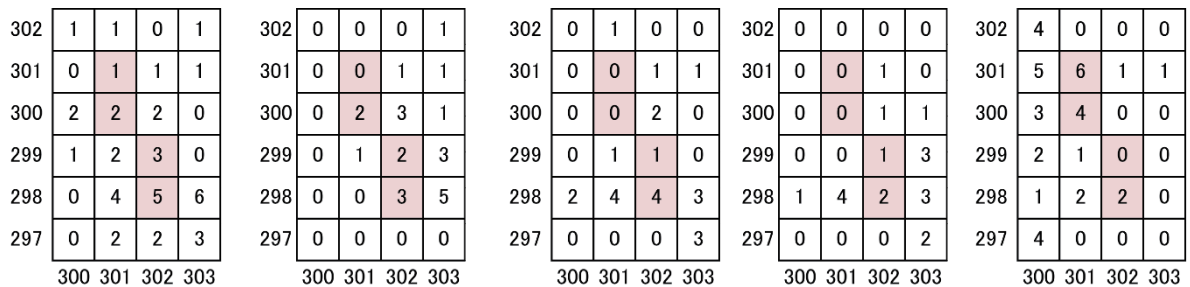


図 7 左から 0 分後, 1 分後, 2 分後, 3 分後, 4 分後, 5 分後の降雨データ

表 8 出力される行列

1	2	3	5
0	2	2	3
0	0	1	4
0	0	1	2
6	4	0	2

ここで、以上の Step1.2 の説明に用いた「経路が横切るグリッド」という表現について、注意したい点があるのでそれについて述べる。経路が横切るグリッドを算出する際の計算は、最初に入力した経路データを降雨データのメッシュのグリッドに変換した経路データを用いて行うため、また、メッシュの経度方向と緯度方向のどちらかには、メッシュ 1 行につき 1 つのグリッドしか対応させることができないため、実際の経路が横切るグリッドを正確に算出できていないことがある。その例を以下の図に示す。

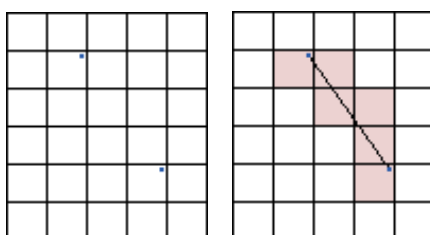


図 8 経路が実際に横切るグリッド

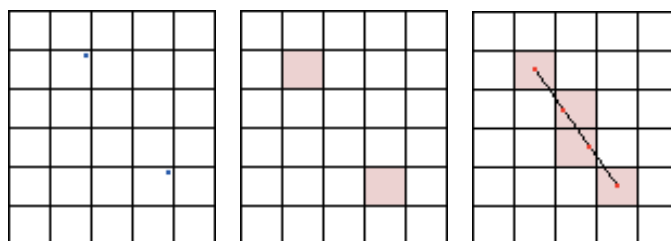


図 9 Step1.2 での計算により算出されるグリッド

図 8 および図 9 の青色のポイントは、経路データの連続する 2 地点の座標を示しており、赤の網掛けは経路が横切るグリッドを表している。Step1.2 ではグリッドの座標で計算を行い、図 9 の赤色のポイントが存在するグリッドを算出するので、図 6 の実際に横切るグリッドとは違った結果になっている。

(Step1.3)

Step1.3 では、Step1.2 で得た行列の数値が設定した降雨強度の閾値 RT1 を超えているかを判断し、閾値未満の場合は降雨強度を 0 として処理する。例えば、降雨強度の閾値 RT1 を 3 に設定した場合、Step1.2 で算出された行列は以下の表 9 のように変換される。

表 9 表 8 をもとに変換された行列

0	0	3	5
0	0	0	3
0	0	0	4
0	0	0	0
6	4	0	0

(Step1.3')

Step1.3' は Step1.3 と並行して計算を行う。ここでは、ある時間での区間における 1 つのグリッドでの 1 分間の平均降雨量を算出する。Step1.2 で算出した全ての行列の要素の総和(単位は mm/h)を行列の要素の数で除し、さらに 60 で除すと、1 つのグリッドあたりの平均降雨量(単位は mm/min)が算出される。上の図の行列を用いた場合は以下のような計算になる。

$$\frac{(1+2+3+5+0+2+2+3+0+0+1+4+0+0+1+2+6+4+0+2)}{4 \times 5} = 2 \quad (\text{mm/h})$$

(Step1.4)

Step1.3 で出力された行列の要素の総和を算出する。上図の行列を用いた場合は以下のような計算になる。

$$0+0+3+5+0+0+3+0+0+0+4+0+0+0+0+6+4+0+0=25$$

(Step1.4')

Step1.4' は Step1.4 と並行して計算を行う。ここでは Step1.2 の区間を通る間にその区間全体に降る雨の量(mm)を算出する。なお、被水量は経路を移動する際に利用者にかかる雨の量であると定義する。算出方法は、Step1.3' で算出した値に、その区間を移動する時間(Step1.2 における b)を乗じる。経路データ 0 行目、1 行目の座標を通る時間に降る雨の量は、Step1.3' の結果を用いて以下の計算になる。

$$2 \times 4 = 8 \quad (\text{mm})$$

(Step1.5)

Step1.2 から Step1.4' までの計算を、全ての経路で行う。つまり、変換後の経路データの 0 行目、1 行目を区間(0,1)と表し、経路データの最終行を n 行目とすると、区間(0,1)、区間(1,2)、・・・区間(n-1,n)の n-1 回それぞれの計算を行う。

(Step1.6)

全区間での Step1.4 の結果の総和を算出する。

(Step1.6')

Step1.6' は Step1.6 と並行に計算を行う。ここでは全区間での平均被水量(mm/min)を算出し、その値を閾値 RT2 と比較し判別する。平均被水量とは、区間を通る間に濡れる雨の量の 1 分間の時間平均値である。全区間での Step1.5' の結果の総和、つまり全区間での被水量(mm)を、経路データの最終行の 0 列目、つまり全区間を歩くのにかかる時間(分)で除すことで、全区間での平均被水量(mm/min)を算出する。その値が閾値 RT2 以下の場合を True、上回る場合を False として判別する。

(Step1.7)

出発判断を行う。Step1.6 の値が 0 かつ Step1.6' が True の場合、目的地まで雨に濡れずに出発できることを示す。それ以外の場合は、傘を買うように促す。

(Step1.8)

Step1.2 から Step1.7 までの計算を、出発地点を出発する時間を 0 分後から 30 分後まで順に変えながら 31 回繰り返し、それぞれの時間で出発判断を行う。

以上が目的地までまっすぐ行く場合の雨に濡れない時間を算出するアルゴリズムとなる。

(3) 課題

3.2 で挙げた全てのアルゴリズムは、降雨予測の情報を完全に信頼して結果を算出するので、降雨予測の誤差を考慮していない。降雨の予測手法が発達した現在でも少なからず誤差は存在し、長期の予測になるほど精度は落ち、誤差が大きくなる傾向がある。誤差を追究することで、より先の降雨の精度が改善するような降雨予測手法、あるいは誤差が存在する上でも安心して利用出来るようなシステムを考えていくことが今後の課題となる。

3. おわりに

本研究では、日常に潜む被災の可能性を減らすことに繋がる、避難支援アプリを開発することを目的とした。第1章では研究の背景、目的について述べ、第2章では本研究で用いるレーダーの説明や予測手法、過去の災害の状況、防災情報について記述した。第3章および第4章では、独自に開発した避難支援システムのアルゴリズムの詳細を説明し、実際にスマートフォンに実装したアプリの使用手順や、最新型気象レーダーから得られた実際の降雨情報をシステムに適用した例などについて論じた。さらに、第5章では災害から逃れる上で重要となる人間の心理について触れ、アプリを用いて研究室のメンバーを対象にアンケートを行い、降雨に対する人々の心理を調査した。

結論として、超高時空間分解能をもつFURUNO気象レーダーの特性を活かし、局地現象に対応した避難支援システムの基礎を開発することができた。普段から活用してもらうことを前提とした、「降雨予測を含めた歩行者ナビ」については、日常利用を想定した様々な機能を提言し、作成したことで、アプリ利用の際の幅が広がったと考える。また、これまでにない局地的な土砂災害に対応できる避難支援アプリをスマートフォンに実装するための基礎を築くことができた。

今後の課題として、アプリ化した際に多くの人々に利用されるために、フィードバックを取得し、利用者の意図を採った上で改良を重ねることが必要となる。また、アプリの信頼性も日常利用をする上で重要な要素となるので、予測精度の改善や、予測誤差の扱い方についても追究していく必要がある。

参考文献

- 1) 携帯電話・スマートフォン“個人利用”実態調査 2014, 日経 BP コンサルティング : <http://consult.nikkeibp.co.jp/news/2014/0829sp/> (2015/1/31 アクセス)
- 2) 文部科学省 気象庁 環境省:「日本の気候変動とその影響」 62pp., 2009.
- 3) 気象庁ホームページ: <http://www.jma.go.jp/jma/index.html> (2015/1/31 アクセス)
- 4) 古野電気株式会社ホームページ: <http://www.furuno.co.jp/index.html> (2015/1/31 アクセス)
- 5) 中北英一, 吉開朋弘, キムスンミン:「地形性降雨を考慮したレーダー短時間降雨予測へのエラーアンサンブルの導入」, 京都大学防災研究所報 第53号B 447-448pp., 2010.
- 6) Rachmad Setiawan Mukti, Satoru Oishi, Takeshi Kitamura: “Development of Pedestrian Navigation System Using Short Term Rainfall Prediction on Smartphone”, 気象学会 2014 年度秋季大会講演予稿集 213pp., 2014.

筆者: 1) 北村岳史, 神戸大学大学院工学研究科, 博士課程前期課程学生
2) 大石哲, 都市安全研究センター, 教授
3) Rachmad Setiawan Mukti, 神戸大学大学院国際協力研究科, 修士課程学生

Study on the development of evacuation supporting system from meteorological disaster

Takeshi KITAMURA

Satoru OISHI

Rachmad Setiawan Mukti

Abstract

In recent years, torrential rain occurs frequently, and they produce many disaster. Acquire the latest weather information, and the surrounding state information is important to avoid a disaster. Japan Meteorological Agency gives information of disaster prevention support on the Internet, and people can acquire the information anytime. However, there are few people using such information usually. It is widely considered that weather information can be delivered by smartphone many people use, and it reduces damage from meteorological disaster.

This study aims at develop the evacuation supporting system from meteorological disaster, and disseminate it in Kobe university. Specifically, I developed the system which provides a method to reach to the destination without getting wet even when it rains suddenly. The system does not only help citizens daily life, but also reduces possibility that citizens are involved into a disaster caused by the torrential rain. In addition, for sediment related disaster that might occur by a heavy rain, I developed an evacuation support system. It uses more detailed rain information, so it can deliver more correct information to the user. It allows user to evacuate with an easy feeling by showing the place to which users can evacuate easily depending on where they are.

As a future problem, although I have examined the way to the system improvement from the psychological side by questionnaires, yet comprehensive survey is required for better systems construction.

©2015 Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University, All rights reserved.