

各個人を対象とする情報収集/提供機能を備えた 防災・減災のための地理情報システムの構築

Building a GIS-based Disaster Management Information System with Aggregation and Distribution Facilities for Valuable Information for Individuals

山崎淳城[†], 八島敬暁[†], 藤田智紀[‡], 飯島正[‡]

Junki Yamasaki[†], and Takaaki Yashima[†], and Tomonori Fujita[‡], and Tadshi Iijima[‡]

[†] 慶應義塾大学大学院 理工学研究科

[‡] 慶應義塾大学 理工学部

[†] Graduate School of Science and Technology, Keio Univ.

[‡] Faculty of Science and Technology, Keio Univ.

要旨

本研究計画では、過去数年にわたり、地理情報システムを中心に、携帯端末からの被災状況情報の情報収集機能と、避難状況のエージェント・ベースド・シミュレーションに基づく避難・救助計画立案支援。ならびに、立案した計画の展開のための情報提供機能を備えた情報システムの構築を続けてきた [1, 2]。本報告では、その一部として 2012 年度に導入してきた機能に関して紹介する。その機能は、(1) ジオフェンシングを防災・減災に応用し、情報端末を持つ各個人（特に土地勘のない訪問者、観光客）から位置を含む個人属性情報を収集し、それに基づいて各個人に適した避難情報を選択的に提供する機能、(2) 標高情報や（一部の）建物情報に基づく 3 次元表示機能、(3) 物理シミュレーションによる被災状況のより詳細な予測機能の 3 点であり、本報告では、このうちで特に (1) に関して提案するものである。発災前から継続的に入手している情報に基づきシミュレーションを実施し続けておくことで、よりの確かつ迅速な避難計画のための立案支援を目指す。

1. はじめに

様々な自然災害が頻発する日本では、各地域で日常的に災害に備えることは不可欠と言わざるを得ない。例えば、ハザードマップなどの形で日頃から住民に対して、危険な場所や安全な避難場所を明示しておくことであったり、災害時の放送体制を整えておくことであったり、住民参加の避難訓練を実施したりと、各地域の自治体が講ずべき対策は数多くある。そうした自治体の日頃の努力次第で、その地域の住民であれば、ある程度は、適切な避難場所に関する知識を得ることができる。たとえば、津波に対しては、高台の方向や、逃げ込むことのできる 5 階以上の建物の位置などが、そうした知識に相当する。しかし、観光客や訪問客など、その地域に土地勘のない人々にとっては、発災時に避難先を迅速かつ適切に判断して安全を確保することは必ずしも容易なことではない。

また、大規模火災では、事前に入手できる地域に関する各種情報や、発災後の各時点の気象観測情報などを防災拠点で得ることができれば、延焼の方向を予測でき、避難に適した方向を予測できるかもしれない。具体的には、地域内の建造物の建材組成物（木造建築か否か）の情報や、防火帯となりえる道路や川、公園などの配置に関して情報を事前に得ていれば、発災時の風向きといった気象情報をもとに、延焼の方向を予測できる可能性がある¹。すなわち、土地勘のある地域住民に対しても、防災拠点からの避難に役立つ情報をタイムリーに提供することは有用である。

また、地域住民の自宅や勤務先に防災放送端末を設置することは、自治体の努力によって推進することが可能だが、訪問客や観光客に対してその地域に滞在中にだけ防災放送用の端末を持たせることは容易ではない。もっとも近年は、観光客であっても何らかの情報通信端末、それも GPS を備えた携帯電話等の機器を常時携帯していることは珍しくない。すなわち、観光客の側から情報提供を望むのであれば、その情報通信端末へ Push 型通知の形で避難支援情報を提供することも可能であり、防災拠点と観光客の間で双方向のリンクが確立されていれば、この個人に特化したきめの細かい情報提供も可能となる。

そこで、災害が起こってからではなく、発災前から、各個人の情報通信端末と防災拠点（防災・減災センターなど）のコネクションを結んでおき、まさに今、その端末が位置している地点で、災害が起こったどこに避難するべきかという避難情報を個人の属性に合わせて提供する（push する）技術に有効性を

¹ 但し、風向きは火災自体によっても変化する

見出すことができる。観光客に対しては、観光地に到着した時点で、まず、その観光地を対象とする防災拠点にリンクを結んでもらうアプリケーションを全国的に普及させることができれば、負担なく利用することができる。これが有効に機能するためには幾つかの前提がある。第一に発災時ならびにその直後にも情報通信端末の通信機能が活きていて情報を提供できることである。第二に状況の分析が迅速に的確に行えて、その利用者に適切な情報をタイムリーに生成できることである。

但し、ここでは、発災時ならびにその直後に通信を確保するための技術的詳細については対象範囲に含めていない。あくまで、通信帯域が確保できたという想定の下、議論を進めるが、災害が発生してから情報交換を始めるよりも、発災前から常に防災拠点に情報を収集している方が、迅速な計画立案のためには望ましいことは明らかである。発災直後には、仮に通信設備が直接的な被害を受けていないとしても、ただでさえ通信料が激増し設備の限界を超過する危険があるのに加えて、その時点でさらに大量の情報を収集しようとしても瞬発的に大きな通信量が必要となり、現実的ではない。しかし、発災前から情報を集めていれば、瞬発的な通信量の増大を低く抑えながら、事前に得ている情報を迅速に計画立案に活用することができる。その結果、被災者に適切な指示を伝えることができる可能性は高まる。

第二の前提を活かすためにも、発災前からの継続的な情報収集は有効である。避難計画を立案するには、状況把握に加えて、発災後からのいろいろな予測が必要となる。仮に通信機能が発災後も有効で情報収集がリアルタイムに行えたとしても、一般に有用なシミュレーション結果を得るにはリアルタイムに行うことは難しい。災害状況の物理シミュレーションや、避難行動のエージェント・ベースド・シミュレーションは、その予測に役立つが、その実行には多大な計算量が必要となったり、多様なシナリオを仮定したりと、計算時間を要するものである。現在、実時間シミュレーションを目指して、シミュレーションの並列化・高速化に向けて各所で研究が進められているが、その完成を待つてはいられない。すなわち、発災後に徐に情報を集め、それからシミュレーションを実施し、その結果をもとに防災責任者が避難計画の意思決定をするという発想から転換し、発災以前から情報を収集し、常に、その時点で何らかの災害が発生することを想定して、シミュレーションを継続して実行しておくことは、いざ、災害が発生した時に役立つためには不可欠であるといえる。本論文は、それを提案するものである。

対象利用者としては、もちろん、土地勘のない観光客だけを対象とするわけではない。防災拠点に十分な設備を設置することができれば、地域住民へ対しても個人ごとの位置情報（やその他の属性情報、たとえば年齢など）に応じた個別情報を提供することが可能である。従来、防災放送の避難勧告に対しては、いわゆる地域住民が深刻にとらえず、「自分だけは大丈夫」と他人事のように過小評価し避難開始が遅れてしまう「正常性バイアス」といった現象が知られている [3, 4]。しかし、地域住民の心理面から、広範囲な受信者に向けた情報よりも、具体的な理由の説明を伴うような、まさに自分（とその周囲）に向けられたピンポイントの個別情報が与えられたならば、（他人事と捉えず）自分自身の問題として受け入れ、迅速な行動へつなげられることが期待できる。

本研究は、そうしたピンポイントの個別情報を発信するために、発災前から、位置情報を含む利用者属性情報を収集し、常に計画立案のためのシミュレーションを継続して実施し、いざというときに役立つことのできる「防災・減災のための計画立案/展開支援」情報システム（略して「防災・減災情報システム」）を提唱する研究計画の一部である。

利用者の性別、年齢、身体的障碍の有無といった属性情報は、変化しないかあるいは、1年、もしくは数年を経て変化するものである。それに比べると、観光客の位置情報の変化は、非常に激しい。これらの個人の属性情報は、プライバシーとして保護されるべきものであるが、利用者の側から情報提供に同意した範囲であれば利用することができる。変化の乏しい属性情報は事前に提供すべく準備しておき、最初の接続時にのみ防災拠点に設置されたサーバに送信すればよい。位置情報のように変化の激しい属性情報は、位置変化に応じて（もしくは時間変化に応じて定期的に）、適宜、新しい情報をサーバに送信し、蓄積された情報を更新する。情報の更新を位置変化に応じて行う場合、いわゆるジオフェンシング (GeoFencing) といわれる技術を使うことになる。

本論文では、まず、次節で防災・減災情報システムの基本アーキテクチャを示し、今年度、新規導入している機能とその位置づけについて紹介する。次に、第3節で、そのうちの一つであるジオフェンシング技術を具体的に導入したイメージを示す。さらに、続く第4節で、その設計と実装について述べる。

2. 防災・減災情報システムの基本アーキテクチャ

発災前から継続的に入手している情報に基づき、様々な状況を想定してシミュレーションを実施し続けておくことで、よりの確かつ迅速な避難計画のための立案支援を目指す。この「防災減災のための計画立案/展開支援」情報システムの核は、地理情報システム (GIS; Geographic Information System) であり、それに対して、必要な機能を GIS から独立したサービスとして外部化し、各サービスを相互接続することで、全体として「防災減災のための計画立案/展開」サービスを構成する。

このシステムの基本アーキテクチャとしては、図 1 に示すようなクライアント・サーバ・アーキテクチャを採用している。サーバの核となる地理情報システム (GIS) は、数年前から当研究室において継続的に開発を続けているもの [1, 2] である。そのアーキテクチャは、将来的な構想を一度に実現することを避け、機能を確認しながらプロトタイプをモックアップとして成長させていく計画で進めている。第一段階 [1] では、シミュレーションから GIS の機能をライブラリとして利用する形式で実現した。次の段階 [2] では、GIS と避難シミュレーションとを独立させ、相互に情報を提供し合うサービスとして再構成した。本論文では、将来構想に基づき、さらにアーキテクチャをリファクタリング (再構成) して、GIS としてのコア機能とそれ以外の防災・減災計画/展開機能を分離することで、外部化したサービスとアドインによって通信し合う柔軟な機能拡張を可能とすることを試みている。

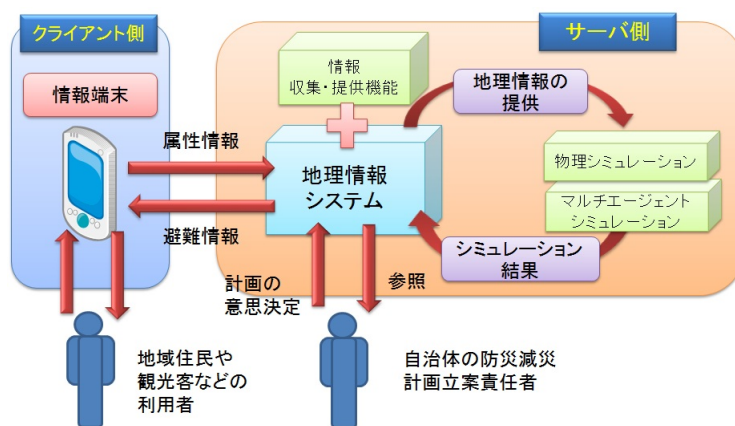


図 1: システム構成

まず、これまで構築してきた防災・減災情報システムの機能と、本年度新規導入を試みている機能について述べる。

2.1. 従来からの機能

従来より構築中の防災・減災情報システムが備えている機能は大きく分けると以下の4つに分けられ、それぞれ最低限の機能のプロタイプ実装から初めて機能を拡充していく方針で開発している。

- (1) GIS(地理情報システム) 機能
 - (1-1) 地理情報 (とそれに付随する統計情報) の蓄積・保管機能
 - (1-2) 地理情報 (とそれに付随する統計情報) の表示・可視化機能
 - (1-3) 地理情報 (とそれに付随する統計情報) の送信機能
(クライアントからのリクエストに対して指定地域の地理情報を送信する機能)
 - (1-4) 情報の変化の受信・反映機能
(地理情報の変化をクライアントからのリクエストとして受け取り反映する機能)
- (2) 計画立案支援機能
(自治体等の防災拠点における防災責任者の意思決定を支援する機能)
 - (2-1) 避難状況を予測する被災者の避難行動シミュレーション機能
- (3) (携帯通信端末からの) 情報収集機能
 - (3-1) 倒木による道路閉鎖など実際の被災状況を収集して GIS へ展開する機能
- (4) 計画展開のための (携帯通信端末への) 情報提供機能
 - (4-1) 自治体職員、地元警察、救助隊や地域住民の持つ携帯端末への情報通知機能

「(2-1) 避難状況を予測する被災者の避難行動シミュレーション機能」は、マルチエージェントシミュレーション技術によって、発災後の時間経過に応じた避難状況を予測するものである。個々のエージェントは、避難する意思決定主体（徒歩で移動する被災者個人や、乗用車で移動する被災者の集団など）を意味し各自の手持ちの情報や知識と意思決定ルールに基づいて行動を選択する。各エージェントのもつ情報や知識、および意思決定ルールを変化させることで、安全に避難できる被災者数は変化するが、これは、地域住民への防災・減災教育（ハザードマップのような情報提供や避難訓練）、発災時に参照できる掲示物、防災放送のような情報提供といった自治体の努力によって逃げ延びる人数が増えることに相当する。但し、シミュレーションは、あくまで防災責任者による避難/救助計画の立案を支援するものであり、決してシミュレーション結果を鵜呑みにして直接、被災者へ伝えるのではなく、それに基づき立案された計画を展開することが重要である。この避難行動シミュレーションのために、GISは、被災状況を地理情報の変化として提供してきた。具体的には、津波による被災状況を、海面上昇として地理情報の一環として扱い、標高に基づいて水没領域情報を避難行動シミュレータへ提供するとともに、時々刻々のシミュレーション経過であるエージェントの移動とともに、GIS機能(1-2)によって二次元平面上に表示・可視化を行ってきた。

2.2. 本年度新規導入を試みている機能

本年度、新規導入を試みている機能は以下の4点である。本報告では(1-2)²と(2-2)については本節で簡単に紹介するとどめるが、(3-2)(4-2)は本報告の主たる提案内容であるので次節で取り上げる。

- (1-2)² 標高情報や(一部の)建物情報に基づく3次元表示(図2(a))
- (2-2) 被災状況をより詳細に予測する物理シミュレーション(図2(b)(c))
- (3-2) ジオフェンシングに基づく発災前からの被災想定者の個別属性情報収集
- (4-2) ジオフェンシングに基づく被災想定者への個別情報提供

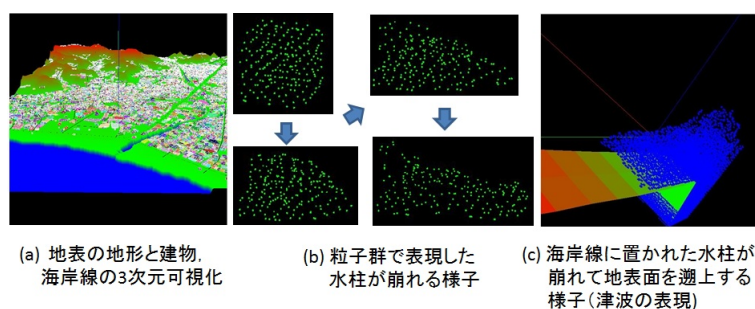


図2: 地形情報の3次元表示と粒子法による津波のシミュレーション

「(1-2) 地理情報の可視化・表示機能」の拡張として、本年度は、標高情報に基づく地形と(一部の)建物情報の3次元表示を取り入れ、よりわかりやすい可視化を目指している。標高点を結んだドロネー三角形分割で地表面を再現する可視化機能に加え、次節で述べる物理シミュレータへも提供する5mメッシュ標高情報による可視化の両方を行っている。

また、従来は、津波による被災状況を、海面上昇として地理情報の一環として扱い、標高に基づいて水没領域情報を避難シミュレータに提供してきたが、今年度からは、より現実に近い被災状況予測のために、物理シミュレーション(粒子法)の採用も試みている²。本研究の基本的立場は、精度の高いシミュレーションの実現というよりも、防災責任者や、いつ被災者となるかわからない地域住民や訪問者に対し、もし今、災害が発生した場合、どのようなことが起こりうるのかという可能性を具体的に提示し、自治体の防災責任者による防災減災計画の参考としたり、個々の地域住民や訪問者の防災意識を高め発災時に役立てることである。

現在、物理シミュレーションは、地形(標高)に基づく津波被害に加え、火山噴火に対する溶岩流被害も対象とすることを視野に入れて検討を進めている。

²但し、津波被害の大規模な物理シミュレーションのためには、本来、スーパーコンピュータを必要とする程の高速な計算能力が必要となる。そこで、自治体に配備し恒常的に運用できる程度の比較的小規模な計算機環境で実行可能とすべく、適用領域を狭めた上で計算精度を犠牲にしても簡略化を施し実現可能性を調べる試験的な導入にとどめており、従来から採用していた海面上昇モデルも排除することなく併用している

3. ジオフェンシングによる情報の収集と通知

GPS を備えた情報通信端末を持つ各個人に対して、個人属性情報をあらかじめ収集しておくことに加え、位置情報を随時取得することで、その個人に適した避難情報を選択的に提供する (図 3)。

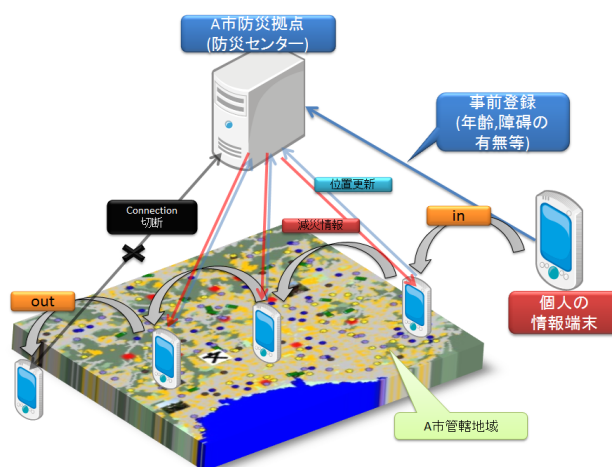


図 3: ジオフェンシングによる情報の収集と通知のイメージ (架空の地域 A 市を想定)

3.1. 情報端末 (クライアント) 側の動作と情報の流れ

- クライアント (各人の情報端末) からの事前登録
まず、クライアントの個人属性を事前に防災拠点にあるジオフェンシングサーバ (訳して GF サーバ) に登録する³。属性情報には、「年齢」「何人連れか」「お年寄りと一緒に」「車いす」といった情報があり、防災拠点から避難情報を通知 (Push 通信) する際の情報選択等に利用する。たとえば高齢者で足腰に難がある人の場合には、本来の避難所までの距離が遠ければ、一時的に近場の待避所に行くことを指示し、同時に防災拠点から介助者を派遣するといったことに用いる。
- チェックイン (クライアントが対象領域=A 市に入った時の処理)
クライアントが A 市に入ると、その旨 GF サーバへ通知する。サーバは通知してきた情報端末を避難情報の送信対象として登録する。
- クライアントが対象領域=A 市内に滞在中の処理
クライアントが A 市内にいる間は、適宜クライアントの位置の更新を行い、サーバに通知する。位置情報通知のタイミングは、緯度経度で指定されるメッシュのセル区域 (矩形領域)⁴を出入りする際や、サーバから送信された重点地域情報に基づいて送信する。被災者の位置によって向かうべき避難場所などの避難情報が異なるので、発災直後には、この情報を使って避難情報を送信する⁵。
- チェックアウト (クライアントが対象領域=A 市から出た時の処理)
クライアントからの位置情報通知により、サーバは自動的に避難情報の送信対象の登録から除外する。

3.2. GF サーバ (防災拠点) の動作と情報の流れ

情報収集と共に、常にそれに基づいた災害を想定したシミュレーションを繰り返して実施し続ける。そしてシミュレーション結果をもとに防災責任者が判断した避難情報を、各利用者の属性に適応した形で

³但し、位置情報を常に監視されることに対して嫌悪感を抱く人もいるので、プライバシー保護の観点からあくまで、利用者側からの理解と同意に基づいて行う

⁴粒度は一定ではなく一部のセルはさらに詳細化される。

⁵もちろん、プライバシー保護やバッテリー残量の都合から位置情報通知を一時停止したり、位置情報の粒度を大きくする、受信する避難情報の内容を制限するといった設定変更は可能とする

情報端末に push 送信する⁶。シミュレーションは、(たとえば津波被害を対象とする場合には) 発災時の「潮位」や「震源地」などにも影響を受けるので、事前に多様なシナリオでの被災状況をシミュレートしておき、そこに、発災時点での被災者の情報を加えて避難シミュレーションを実施する。観光客や地域住民の情報がすべて入手できるわけではないので、国勢調査などの統計情報を利用し、時間帯によって、勤労者、就学児童、高齢者、観光客の人口推移や、交通情報を利用して、個人や乗用車などのエージェントの初期配置を行う。

4. 設計と実装

地理情報として利用したのは対応地域が広範である国土地理院発行の「基盤地図情報」⁷，統計情報としては総務省統計局発行の「国勢調査(平成17年)」⁸を用いた。また、統計情報に位置情報を関連付けるため、国土政策局発行の「位置参照情報」⁹を利用した。

クライアントの情報端末は、GPS センサを搭載した Android 端末である。紙数の都合上、その一部の画面表示を示すにとどめる(図4)。サーバの実装は Java サブレットを用い、サーバでの3次元可視化の実装には、JOGL(Java Binding for the OpenGL)¹⁰，マルチエージェントシミュレーション環境には Mason¹¹，物理シミュレーションのため GPU コンピューティングには JOCL(Java bindings for OpenCL)¹² を利用している。



図4: クライアント情報端末の表示 ((c) の地図データ ©2012 Google, ZENRIN; 図中にも記載)

5. まとめ

従来から開発を継続して行っている防災・減災情報システムの新規導入機能の紹介と、その一部として、ジオフェンシングを応用して、発災以前を行うことで、土地勘のない訪問客・観光客でも常時避難情報を受信できる機能の提案と実装について報告した。

参考文献

- [1] 八島敬暁, 岡野智哉, 飯島正: “シミュレーション機能を備えた地理情報システム構築のための支援ライブラリ,” 第6回全国大会・研究発表大会, 2010年度, 情報システム学会。
- [2] 八島敬暁, 山崎淳城, 久光遼平, 飯島正: “建造物の設計図情報と広域の地理情報を活用したマルチエージェントシミュレーション環境の構築,” 第7回全国大会・研究発表大会, 2011年度, 情報システム学会。
- [3] 広瀬弘忠, 杉森伸吉: “正常性バイアスの実験的検討,” 東京女子大学心理学紀要, pp.81-86, 2005.
- [4] 桑沢敬行, 金井昌信, 細井教平, 片田敏孝: “津波避難の意思決定構造を考慮した防災教育効果の検討,” 土木計画学研究論文集, Vol.23, no2, pp.345-354, 2006.

⁶シミュレーション結果は想定した多様なシナリオによって複数の解が得られており、必ずしも適切な情報とは限らないので、そのまま利用者に通知すると、却って混乱を招いたり被害を拡大する危険がある。そこで、防災拠点にいる専門家による意思決定を挟むことは不可欠である

⁷<http://www.gsi.go.jp/kiban/>

⁸<http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2005/index.htm/>

⁹<http://nlftp.mlit.go.jp/isj/>

¹⁰<http://jogamp.org/jogl/www/>

¹¹<http://cs.gmu.edu/eclab/projects/mason/>

¹²<http://jogamp.org/jocl/www/>