オフライン環境下でのGISシステム利用に関する研究の調査

東京大学大学院 学際情報学府 修士課程 1 年 平澤彰悟 （49-226116）

**概要**

激甚災害発生時には、状況把握をするために地理情報システム（Geographic Information System: 以下 GIS）を用いた災害対応が必要になる。GIS 分析を行うため、ベースマップとして Google マップや OpenStreetMap、国土地理院が提供するマップが利用される。上記で示したモダンな Web マップは通常、インターネット通信を介してデータを取得する。一方、災害直後はネットインフラが機能しない事態が発生するため、Web マップの利用ができない場合がある。本研究では「オフライン時における GIS システム利用に関する研究の調査」を目的とした文献調査を実施する。このレポートでは"激甚災害時の情報伝達モデル"、"オフライン環境下での情報収集"、"ボランタリーな市民によるマッピング活動"の 3 つの柱をもとに、災害時のオフライン環境下における災害対応に関する先行研究を分析した。その結果、以下の 3 点のことがわかった。1）SNS 等による市民からの発信を災害対応に活かすことが重要であること 2）オフライン時の GIS 利用には事前のダウンロードやキャッシュが前提とされていること。3)被災地域でネットインフラが停止しても、衛星画像をもとに世界中のボランタリーな活動によって被災地の地図が更新されていること。

本研究の最後には、オフライン環境下における災害直後の対策に関する今後の研究機会についても議論している。

**はじめに**

GIS は自然災害における災害対応の場面で利活用されており、国内では 1995 年 兵庫県南部地震以降、国外では 2010 年 ハイチ地震を皮切りにその事例及び、研究が蓄積されてきた。災害発生直後、被害軽減のためには自治体等の災害対策本部が GIS を用いて、現地の状況をいち早く把握し、的確な災害対応を実現することが重要である。これまでに、災害直後の対策を支援する GIS ツールや技術は数多く研究されてきた（井上 et al, 2006)(佐野 et al, 2016)(田口 et al, 2015)。こういった先行研究を俯瞰してみると、災害直後の状況把握をするため手法として Web-GIS(田口 et al, 2015)が用いられていることがわかった。つまり、災害直後の現場把握を行う際にはネット環境があり、それにアクセスできることが前提とされている。2010 年 ハイチ地震発生時、ネットにアクセスできるハイチ人は国民全体の 11%であった（CNN,2010)。2022 年 トンガの海底火山噴火では、海底ケーブルが切断され、ネット環境から断絶する事態も起きた（朝日新聞, 2022)。災害発生時には往々にしてインターネットに接続できない状況が発生するにも関わらず、オフライン環境を前提とした、GIS を活用する災害対応システムは確立されていない。

**手法**

本研究では「オフライン時における GIS システム利用に関する研究の調査」を目的として文献調査を実施する。このレポートでは"オフライン環境下での情報収集"、"激甚災害時の情報伝達モデル"、"ボランタリーな市民によるマッピング活動"の 3 つの柱をもとに、災害時のオフライン環境下における災害対応に関する先行研究の分析を行った。以下に本論文で扱った論文の文献ツリーを示す。

ダイアグラム

自動的に生成された説明

**1.オフライン環境下での情報収集**

災害時にはネットインフラがダウンし、情報の受信や発信が難しい場合がある。こういった場合でも刻々と状況が変化するなかで、適切な状況判断を行うには GIS による災害分析が不可欠となる。本節ではオフライン環境下でも地図情報を活用、発信するためにどのような研究が行われてきたかをまとめる。

**1-1 災害時に使えるオフライン地図「あかりマップ」**

災害時にも使えるハザードマップの「あかりマップ」（濱村 et al, 2015）がある。このツールは Google Play Store で配信されたアプリケーションとして開発された。執筆時点では配信は停止しており、ダウンロードすることができなかった。アプリを事前にダウンロードし、アプリ起動時のキャッシュ機能を使うことによってネットの接続状況が悪い場合でも使えるマップとして活用することができる。オフライン時にはキャッシュ機能が生命線となるため、ユーザーは日常的にアプリケーションにアクセスしておく必要がある。このため「あかりマップ」ではユーザーが避難所情報を追記を行ったり、避難所の近くを通った際にアプリ内ポイントが貰えるなどのゲーミフィケーション機能を取り入れることによって、ユーザーが災害時以外の平時にもアクセスするモチベーション設計がデザインされていた。また、取得したポイントをランキングにし、それを公開することでユーザーのアプリ利用のモチベーションを高める効果も確認された。ゲーミフィケーション機能の効果を測定した分析によると、知り合いのユーザーが上位のランキングに位置していることで、他のユーザーのモチベーションが向上する結果がでた。キャッシュを前提とした本アプリケーションを災害時に活用するためには、日常的に使える地図アプリとして機能させることが必要であり、平時利用を促すためにはゲーミフィケーション機能が有効であると結論付けられていた。今後はゲーミフィケーション機能をより効果的にするために、ポイント獲得によって金銭の獲得も可能にする仕組みを導入することが検討されているという。

**1-2 奄美大島の生態調査で使われたオフライン地図**

次に、奄美大島の生態調査を行うために地図のオフライン利用ができるスマホ用アプリケーションが開発された事例を紹介する（服部 et al, 2016）。

生物多様性保全を目的とする調査において、観測地を正確に記録することは重要である。調査地によっては全地球航法衛星システム（以下 GNSS という）で位置情報が取得できない、ネット接続が難しい場合がある。このような状況でも精度高い観測を行うため、オフラインで利用のできるマップアプリケーションの開発が進められた。本アプリケーションも先に紹介した「あかりマップ」と同様に、ユーザーによる事前のアプリケーションダウンロードが必要になる。本アプリケーションは調査票の作成、編集、閲覧、送信等の機能を持っている。調査対象の写真・ 動画・音声に等を記録し、調査日時、緯度経度の情報を加えて調査票として保存する。送信機能以外は、オフライン環境下や GNSS が利用不可の状況でも利用することができる。ネット接続ができなくても GNSS による位置情報取得を行える場合は多く、オフラインマップに位置情報が記録される。GNSS が利用できない場合は、ユーザーが手入力で緯度経度情報を入力することができる。今後はこれの実証実験を行い、インターフェイスの改良と使用機種の拡大をテーマに開発が進められるという。

**1-3 道路管理で使われるオフライン地図システム**

郊外の電波が繋がりづらい場所の道路管理にもこのオフラインマップの技術は活用されている（坂本 et al,2013）。道路に関する苦情対応や維持管理業務をする上で、最新の道路ステータスが反映されたデータベース（以下 DB という）作りは不可欠である。ネット環境がある場合は、調査員がタブレット端末を用いて道路状況を DB に入力し、最新のデータが更新される。道路情報 DB の更新の際には、Google Maps API 等を利用してデータを更新するが、山間部などの地域は電波が繋がりにくい場合もあり、DB 検索や更新ができないといった事態が生じている。これを解決するため、オフライン時には一時的にデバイスに保存され、ネットが繋がり次第、DB に道路情報が自動的に送信されるシステムが開発された。調査員が利用するタブレット端末には予めアプリケーションを構築しておき、オフライン時でもデータ入力ができる状態にしておく。山間部等を離れ、オンライン環境に入り次第アプリケーションが動き、道路 DB に接続し情報が同期される。

**1-4 オフライン地図システムの現状**

これまで列挙した 3 つのオフライン地図システムに共通して言えることは、事前のダウンロードやキャッシュが必要になっている点である。言い換えるならば、オンライン時に事前にアプリケーションをインストールし、必要なセットアップやアクセスが必要になってくるということである。「あかりマップ」（濱村 et al, 2015）では事前のアクセスやセットアップのいらないデジタルマップの表示方法が必要という旨が課題として書かれていた。有事の際にはアプリのダウンロードはもちろんのこと、テキストの送信すら困難な場合がある。ネットインフラが全く機能しない状態でもモダンなマップを活用できる仕組み作りは研究の余地があるといえる。

**2.激甚災害時の情報伝達モデル**

災害時は予想に反する事態が多々発生する。刻々と変化する現場の情報をいち早く共有することで、適切な災害対応を行うことができる。情報を共有し、活用するためには、常時とは違った伝達モデルが必要になる。本節では有事の際にどのような伝達モデルが必要とされているのかに関する先行研究を紹介する。

**2-1 市民による情報発信**

効果的な災害対応を行うために、ソーシャルメディアや市民の草の根的な情報発信が注目されている（Sakurai & Murayama,2019）。2012 年のハリケーン・サンディが猛威をふるった際、約 80 万枚の写真が Instagram に #Sandy というハッシュタグで投稿された（Tim et al, 2017）。2015 年のネパール地震ではネット上で集まった 3000 人以上のボランティアが地図作成に参加し、1500 のレポートが公開された（Sakurai et al,2017）。ソーシャルメディアを筆頭に災害時における市民による情報発信が台頭するなかで、集まった情報を体系的に管理し利用するための仕組み作りがなされていない点が指摘されている（Sakurai & Murayama,2019）。ソーシャルメディアや OpenStreetMap などのデジタルツールを通じて市民が生成する情報は、被災地の状況認識を高めることができるが、これらのツールや情報を管理することが課題として残されている（Sakurai et al,2017）。また、デジタルデータを有効に活用するためには、IT に精通しているスペシャリストの存在が必要だと指摘している。自治体職員のみならず、現場に IT に明るい人物を加える防災デザインが必要であり、災害直後にどこ誰がいるべきなのかを示す必要があるという（Sakurai & Murayama,2019）。

**2-2 情報のマッシュアップ**

2011 年 東日本大震災を経験し、局所的な災害ではなく県をまたぐ規模の大きい災害に対する情報伝達モデルの必要性が浮き彫りとなった。災害時には行政やメディア、市民といった様々な情報発信主体が存在している。複数の主体から大量の情報が発信されるなかで、最適な意思決定を行うためにこれを適切に処理する必要がある。また、処理した結果をどのようなフォーマットで発信するかも重要である。井ノ口らは各主体からどのように情報を集め、アウトプットすればよいのかという点で一例として以下のようなモデルを作成した(井ノ口 et al,2011） 。

ダイアグラム

自動的に生成された説明

（出典:緊急地図作成チームにおける効果的な現場型空間情報マッシュアッブの実現に向けた提案一平成 23 年東北地方太平洋沖地震を事例として一）

各情報発信主体をまとめて管理するのではなく、その発信元の特性や質によって分類し、集まった情報を最後にマッシュアップする構造になっている。また集めた情報は PDF フォーマットだけではなく、空間情報を別フォーマットでアウトプットしている。これにより PDF では利用することができない位置情報を発信することができ、データに柔軟性を持たせている。このモデルを活用することによって、乱立する主体や情報を一元的に管理できるとしている。あくまでモデル化を行ったのみで実証実験は行われておらず、今後はこれがどのように活用され、効果をもたらしたかを分析することが課題であるという。

**2-3 静的な防災情報の必要性**

先の事例で述べたとおり、市民からの情報は広範囲かつ迅速に災害情報を集められることで有用である。こういった刻々と更新される動的に変化するモデルの情報のみならず、浸水想定区域、土砂災害の危険箇所といった予め設定されている静的な防災情報も必要であると示唆されている（田口 et al, 2011）。河川の氾濫などによる水害に関してはこれは特に重要とされている。大雨等による水害が発生した際には、行政、民間、市民から発信される情報も重要であるが、予め河川に設定されている氾濫レベルなどの静的な情報を組み入れた災害対策が必要である。前節で示した井ノ口らのモデルは、動的に発信される情報のマッシュアップモデルが示されていたが、静的な防災情報を組み込むことは想定されていない。動的な情報と静的な情報を共に利用するためのインターフェイスが必要であるとしている（田口 et al, 2011）。動的な情報を扱う場合はこのインターフェイスで、静的なものを扱うときは別のインターフェイスといった具合であると、情報が一元化されず統合的な判断を行うことが難しい。災害環境下においては、行政、企業、市民から発信される動的な情報を活用していくとともに、あらかじめ設定されている防災関連の情報を整理し、これを同じインターフェイスで活用することが重要としている（田口 et al, 2011）。

**3.ボランタリーなマッピング活動**

企業や政府が単一で作るのではなく、Wikipedia のように誰もが自由に記述し、オープンソースとして活用できるマップ OpenStreetMap（以下 OSM という）。市民が草の根的に活動を行っており、2020 年 1 月時点では、180 以上の国や地域において累計 57 億地点の入力がなされてきた(瀬戸,2020）。世界中満遍に地物が入力されているわけではなく、人口の多い地域の地図入力は盛んで、少ない地域は入力が少ない傾向にある（川崎 et al,2010）。こういった傾向がある一方、災害時には被災地を支援する目的で地図の入力が盛んになる。Humanitarian OpenStreetMap Team(以下 HOT という)は地図を用いて人道支援を行う組織である。災害により地形が変化した区域を OSM にマッピングするプロジェクトを立て、市民が草の根的にその地域をマッピングする。HOT を介して更新された地図情報は、赤十字や災害支援を行う団体に共有され活用される。2010 年に起きたハイチ地震では多くのマッピングが行われた。震災前後のハイチの OSM は以下の通りである。

マップ

自動的に生成された説明

（出典：『ウェブマッピングによる大規模災害対応支援の新動向：2010 年ハイチ地震の分析と考察』）

災害支援の目的でインターネットを介して世界中の人がマッピングを行っている。この節ではマッピングを介した災害支援活動についての研究をまとめる。

**3-1 災害時における企業の協力**

災害現場がオフラインとなっても、オンライン環境にいる別地域で生活している人がインターネットを介して災害現場をサポートする動きが OSM で起きている。OSM へのマッピングは衛星画像を用いて行われる。近年、本来有料であった民間の衛星画像が災害支援目的で OSM へ無償提供される傾向がある（川崎 et al, 2010）。ハイチ地震が発生した 5 日後には 8 カ国 15 以上の衛生が無償で画像提供を行った（川崎 et al, 2010）。民間企業の衛星画像提供により、マッピングを通した災害支援活動が後押しされている。市民が草の根的に地図情報を更新することで、行政や自治体は災害現場で彼らでしか行えない業務に集中することができ、現場の業務負担を減らすことを可能にしている。

**3-2 マッピングのモチベーション維持**

OSM や HOT の活動は基本的にユーザーの一部の有償マッパーを除き、そのほとんどがボランタリィな精神に基づき運営が行われている。企業の CSR 等でマッピングに対して給与が支払われる場合もあるが、OSM へのマッピングのほとんどはボランタリーな活動に支えられている。OSM をはじめとするオープンソースのコミュニティにとって、そこに所属する貢献者のモチベーションを維持または向上させる仕組みは不可欠とされている。オープンソースの Linux の開発に携わる開発者を対象に行われた調査によると、50%以上が、開発に関して燃え尽き症候群を感じたという結果が出た（Guido et,al,2003）。OSM も同様にユーザーのモチベーション管理やマッピングしてくれるユーザーの人数確保は課題としている。ボランティアユーザーがいつマッピングの熱量が切れてしまうかがわからない以上、持続的なマップツールとは言い難い現状を課題視している研究もある（早川 et al, 2014）。刻々と変化する地理情報をマップに反映し、災害対応の意思決定に活かすためにも OSM や HOT の持続可能な運営は不可欠である。これを継続的なものにする仕組み作りや制度設計は今後の研究課題として指摘されている。

**4.さいごに**

「オフライン時における GIS システム利用に関する研究の調査」を目的とした文献調査を行った。"オフライン環境下での情報収集"、"激甚災害時の情報伝達モデル"、"ボランタリーな市民によるマッピング活動"の 3 つのテーマに沿って先行研究を調査し、現状の研究状態と今後の研究課題を確認した。SNS を台頭に市民からの情報発信の重要性やその利活用に関して研究されているなかで、実証を行えていないものがほとんどであった。災害が起きないと実証できないという性質上、実証し効果を確かめることが難しい点がある。研究されてきた防災理論を実証するためにはどのような条件を考慮して効果検証ができるかを今後議論していくべきである。また、草の根のマッピング活動を継続的なものとするため、コミュニティ設計について研究する余地がある。OSM は 2004 年に生まれてまだ歴史が浅いコミュニティである。Wikipedia や Linux 等の歴史あるオープンソースコミュニティ等から示唆を得て、継続的な運用システムの研究を今後進めていきたい。

**## 参考資料**

Brabham, Daren C. 2008. "Crowdsourcing as a Model for Problem Solving: An Introduction and Cases." *Convergence* 14 (1): 75-90.

John D. Sutter. "Low-Tech Radios Connect some Haitians." http://edition.cnn.com/2010/TECH/01/20/haiti.amateur.radio/index.html., last modified January 20, accessed Jul 28, 2022, https://refworks.proquest.com/tools/stf/.

Sakurai, Mihoko and Yuko Murayama. 2019. "Information Technologies and Disaster Management – Benefits and Issues -." *Progress in Disaster Science* 2: 100012. doi:https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2019.100012. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590061719300122.

Sakurai, Mihoko and Devinder Thapa. 2017. "Building Resilience through Effective Disaster Management: An Information Ecology Perspective." *International Journal of Information Systems for Crisis Response and Management (IJISCRAM)* 9 (1): 11-26. doi:10.4018/IJISCRAM.2017010102. https://services.igi-global.com/resolvedoi/resolve.aspx?doi=10.4018/IJISCRAM.2017010102.

Tim, Yenni, Shan L. Pan, Peter Ractham, and Laddawan Kaewkitipong. 2017. "Digitally Enabled Disaster Response: The Emergence of Social Media as Boundary Objects in a Flooding Disaster." *Information Systems Journal* 27 (2): 197-232.

井ノ口宗成, 田村圭子, 古屋貴司, 木村玲欧, and 林春男. 2011. "緊急地図作成チームにおける 効果的な現場型空間情報マッシュアップの実現に向けた提案 一平成 23 年東北地方太平洋沖地震を事例として一." *地域安全学会論文集* 15: 219-229.

井上明, 大滝裕一, 寺田守正, 佐野嘉紀, 奥田晋也, 白井由希子, 村西あい, 竹内一浩, 中村喜輝, and 永井智子. 2006. "ウェブを活用した災害初期対応システム." *第 68 回全国大会講演論文集* 2006 (1): 113-114.

佐野浩彬, 田口仁, 花島誠人, 伊勢正, 佐藤良太, 高橋拓也, 池田真幸, 鈴木比奈子, 李泰榮, and 臼田裕一郎. 2016. "2016 年熊本地震における地図情報作成・集約・共有による災害対応支援."公益社団法人 日本地理学会, .

坂本大介, 窪田諭, 市川尚, and 阿部昭博. 2013. "オフラインでの利用を考慮した道路情報ポータルの拡張." *第 75 回全国大会講演論文集* 2013 (1): 753-754.

川崎昭如 and 目黒公郎. 2010. "ウェブマッピングによる大規模災害対応支援の新動向: 2010 年ハイチ地震の分析と考察." *地域安全学会論文集* 13: 233-242.

早川知道 and 伊藤孝行. 2014. "日本の OpenStreetMap のコミュニティ活動と東日本大震災後の活動についての調査分析." *研究報告知能システム (Ics)* 2014 (5): 1-11.

服部純子, 安川雅紀, and 喜連川優. 2016. "生物モニタリングにおける位置情報付与の利便性を向上したスマートフォン・アプリケーションの開発." *第 78 回全国大会講演論文集* 2016 (1): 57-58.

濵村朱里, 福島拓, 吉野孝, and 江種伸之. 2014. "あかりマップ: 日常利用可能なオフライン対応型災害時避難支援システム." *マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2014 論文集* 2014: 2070-2078.

瀬戸寿一. 2020. "ボランタリーな地理情報による参加型地図作成の現在." *農村計画学会誌* 38 (4): 460-463.

田口仁, 李泰榮, 臼田裕一郎, and 長坂俊成. 2015. "効果的な災害対応を支援する地理情報システムの一提案: 東北地方太平洋沖地震の被災地情報支援を事例として." *日本地震工学会論文集* 15 (1): 1\_101-1\_115.

田口仁, 臼田裕一郎, and 長坂俊成. 2011. "市町村の水害対応の判断・意思決定を支援する地理空間情報の相互運用性を有する情報システムの構築と評価." *災害情報* 9: 72-81.

西村宏治. "Toolsトンガの海底ケーブル、地滑りにより切断か　復旧は3週間との見方も." https://www.asahi.com/articles/ASQ1L5GMTQ1LUHBI02V.html., last modified January 18, accessed Jul 28, 2022, https://refworks.proquest.com/tools/stf/.