口頭発表

2025年11月1日(土) 14:20 ~ 15:40 | C会場(共通教育棟 D21番教室)

[C3] 教育

司会：桐村 喬

14:20 ~ 14:40

[C3-01] 事前学習と継続的実践を融合した防災まちあるき支援システムの構築

*葛城 太貴[1]、山本 佳世子[1] (1. 電気通信大学)

14:40 ~ 15:00

[C3-02] RFIDを用いた複数レイヤ同時取得のための触れるGIS基盤に関する研究

*中村 暢佑[1]、石黒 希海[1]、中山 俊[1] (1. 専修大学)

15:00 ~ 15:20

[C3-03] Three.jsとARマーカーを用いた物理模型操作の即時反映を可能にするWebベース触れるGISプラットフォームの開発

*石黒 希海[1]、中村 暢佑[1]、中山 俊[2] (1. 専修大学 ネットワーク情報学部 ネットワーク情報学科、2. 専修大学)

15:20 ~ 15:40

[C3-04] 視覚によるメッシュ建蔽率推定の学習ー異なる地図表現の影響についてー

*吉田 光杏[1]、磯野 綾[2]、寺木 彰浩[2] (1. 千葉工業大学大学院創造工学研究科、2. 千葉工業大学)

©一般社団法人地理情報システム学会

事前学習と継続的実践を融合した防災まちあるき支援システムの構築

葛城太貴*・山本佳世子**

Development of a Disaster Prevention Walking Tour Support System Integrating Pre-Learning and Continuous Engagement

Taiki Katsuragi*・Kayoko Yamamoto**

Abstract: In recent years, “disaster prevention walking tours,” in which local residents visit evacuation shelters and hazardous areas during normal times to learn about disaster prevention measures to take in the event of a disaster, have been gaining attention. In order to participate in these tours, it is necessary for learners to acquire disaster prevention knowledge in advance. Based on this background, this study aims to develop a system that supports disaster prevention walking tours from the perspectives of both advance learning and continuous practice. This system is developed by integrating an e-learning system, Web-GIS, and a disaster prevention walking tour support system. The e-learning system provides disaster prevention knowledge and supports prior learning necessary for disaster prevention walking tours. Web-GIS displays the locations of dangerous areas on digital maps, streamlining on-site confirmation during disaster prevention walking tours. The disaster prevention walking tour support system utilizes gamification to motivate continuous disaster prevention learning.

Keywords: 防災まちあるき（Disaster prevention walking tour），web-geographic-information-system（Web-GIS），e ラーニングシステム（E-learning system），防災学習（Disaster prevention education），ゲーミフィケーション（Gamification）

１．序論

近年，自然災害の頻発により，地域住民が災害時に適切な行動を取るための実践的な防災学習の重要性が高まっている（上杉ほか，2023）．その一形態として，地域住民が平常時に避難所や危険箇所を巡りながら防災行動を学ぶ「防災まちあるき」が注目されている（榎田ほか，2017）．こうした防災学習の実施形態は「防災まちあるき」と呼ばれている（水本，2023）．この活動を効果的に実施するには，屋外での散策に加え，防災知識の事前学習を一貫して支援する仕組みが必要である（畠山ほか, 2024）．また，災害時の適切な避難行動を促進するためには，平常時から住民の防災意識を高めることが重要であり，そのためには継続的に利用可能な支援システムの構築と，利用者への動機付けが求められる（田中ほか，2016）．そのためには，平常時に利用可能な防災まちあるき支援システムを構築し，これが継続的に利用されるように利用者に動機付けをすることが有用である（上杉ほか, 2022）．しかし，既存の防災まちあるき支援システムでは，事前知識の習得と継続的な実践支援を一貫して行うことが困難である．

本研究では，こうした課題を踏まえ，防災まちあるき支援システムに Web-GIS および e ラーニング機能を統合し，事前学習と継続的実践の両面から支援する統合型システムの構築を目的とする．本システムには，平常時の利用を想定し，①テキスト教材による危険箇所等の学習機能，②デジタル地図による位置情報の確認機能，③ゲーミフィケーションを活用した継続的な利用促進機能を実装する．

２．関連分野における先行研究と本研究の位置づけ

本研究の関連分野の先行研究は，（1）防災まちあるきの支援に関する研究，（2）防災学習支援システムに関する研究，（3）ゲーミフィケーションに関する研究の 3 つに分類できる．以下では各グループの代表的研究を紹介し，到達点と課題を整理したうえで，本研究の独自性を示す．

（1）の研究では，鈴木・富増（2019），Rachman et al.（2024）が事前学習を伴う防災まちあるきによる教育を実施している．Takenouchi et al.（2021）は，危険箇所や利用者の現在地を表示可能なシステムにより防災まちあるきを支援した．これらは短期的な学習プログラム内での活用を想定しており，平常時に地域住民が自主的に行う防災まち

* 学生会員 電気通信大学大学院情報理工学研究科 (The University of Electro-Communications)
Email：k2430029@gl.cc.uec.ac.jp
** 正会員 電気通信大学大学院情報理工学研究科 (The University of Electro-Communications)

あるきを継続的に支援するものではない．また，事前学習と実地活動が分離されているため，まちあるきの最中に防災知識を確認することが困難である．

（2）の研究では，白浜・山本（2023）が e ラーニングと Web-GIS を統合し，家庭内備蓄の支援システムを構築した．Li et al.（2022）は，台風災害の発生過程を地図上に表示する教育システムを開発し，中川ほか（2015）は AR 技術を用いて被災地巡回を支援した．これらは防災知識の提供に重点を置いているが，継続的な利用を促す動機付けの仕組みは導入されていない．

（3）の研究では，Manalang et al.（2020）がシナリオ選択型ゲームの手法を活用した防災教育システムを構築した．上杉ほか（2023），Hatakeyama et al.（2017）は，ゲーミフィケーションを用いて利用者の動機付けを図る防災まちあるき支援システムを提案している．Manalang et al.（2020）は学習意欲の向上に寄与しているが，防災まちあるき自体の支援は行っていない．一方，上杉ほか（2023）や Hatakeyama et al.（2017）のシステムは継続的な実践を支援しているが，事前学習の支援機能は含まれていない．

以上の先行研究と比較して，本研究では防災支援システムに Web-GIS と e ラーニングを統合し，ブラウザ上で利用可能な一体型システムを構築することで，（1）場所や時間の制約を受けずに事前学習と実践を支援できること，（2）訪問した危険箇所に関する情報を即座に確認できること，（3）事前学習と継続的な実践を一つのシステムで一貫して行うことができることの 3 点において独自性を示す．

３．システム設計

３.１　システムの特性

本システムは，Web-GIS，e ラーニング支援システム，防災まちあるき支援システムの 3 要素で構成される．図 1 に各システムの特性を示す．利用に際しては，ID とパスワードを設定し，利用者情報をデータベースに登録する．利用者は，テキスト教材を用いて事前に防災知識を学習した後，デジタル地図を活用して地域の危険箇所を容易に訪問できる．また，訪問中にも教材を随時閲覧し，現地の危険箇所に関する情報を確認することが可能である．これにより，利用者は防災知識を把握しながら防災まちあるきを実践できる．さらに，本システムはブラウザ上で利用可能な構成とし，防災まちあるき支援機能により継続的な利用を促すことで，平常時から防災意識の向上を図る．なお，利用者の動機付けには，ゲーム要素を非ゲーム文脈に応用するゲーミフィケーションの手法を採用する（井上，2012）．

３.２　システムの有用性

本システムの有用性は，主に以下の 3 点である．

（1）利用者の円滑な防災まちあるきの支援

Web-GIS を用いて，危険箇所や避難所などをスポットとしてデジタル地図上に表示する．これを参照して利用者はスポットの位置を容易に把握することで，円滑にスポットを訪問することができる．

（2）事前知識を必要としない防災学習の支援

e ラーニングシステムを用いることで，防災の知識を持たない利用者も，必要な知識を習得してから防災まちあるきを実施することができる．また，テキスト教材とデジタル地図を連携させることで，事前学習が不十分な場合でも，訪れた危険箇所に関する知識をテキスト教材で即座に確認できる．

（3）平常時の継続的な利用促進

本システムはブラウザ上で利用可能なシステムとして構築されるため，利用者は場所や時間の制約を受けずに防災まちあるきを実施できる．また，本システムでは，利用者への動機づけのためにゲーミフィケーションを活用する．利用者にミッションを提示することで，利用者は具体的な目標を持ってシステムを利用できるようになる．



図 1 システム設計図

４．システムの構築

４.１　システムのフロントエンド

(1) 新規利用者登録/ログイン機能

本システムを初めて利用する利用者は，最初にシステムの新規登録を行う．新規登録画面では，「ID」「パスワード」を登録する．本システムの利用が 2 回目以降の利用者は，ログイン画面で「ID」「パスワード」を入力することで，本システムにログインすることができる．

(2) スポット表示機能

危険箇所や避難所などの位置情報をデジタル地図上で閲覧することができる．また，デジタル地図上でスポットをクリック/タップすると，スポットの詳細情報を表示するポップアップが表示される．図 2 にスポット情報を表示する画面を示す．加えて，利用者の端末の GPS 機能から現在地情報をリアルタイムに取得し，Web-GIS のデジタル地図上に表示する．

(3) スポット訪問機能

デジタル地図上で利用者の現在地と任意のスポットまでの最短経路を表示することができる．また，利用者が実際にスポットに訪れた記録を残すことができる．

(4) スポット投稿機能

利用者は，危険箇所などを示すスポットを投稿することができる．

(5) ミッション機能

利用者にミッションを提示する．利用者は，具体的な目標を持ってシステムを利用できるようになる．

(6) 教材閲覧機能

防災に関する知識を，テキスト教材を用いて学習することができる．利用者は「検索」ボタンを押すことで，教材の内容に関連するスポットをデジタル地図上に表示することができる．なお，テキスト教材の内容は，以下の 3 種類に分類される．

①避難所・避難場所

運用対象地域における避難所や避難場所の運用形態や利用方法について学ぶことができる．

②災害時の危険やリスク

災害の種類ごとに，怪我などのリスクが高くなる場所や避難時の注意点について学ぶことができる．

③災害時に支援を受けられる場所

災害時に飲料を無償で提供する自動販売機など，被災者を支援するサービスについて学ぶことができる．

４.２　システムのバックエンド

本システムのバックエンドでは，以下の処理を行う．

(1) 利用者情報の登録およびログインに関する処理

利用者情報はデータベースに保存される．この時，保存されたパスワードをハッシュ化することで，第三者による悪用を防止する．また，利用者ごとにログインを実施した日数を記録する処理をバックエンドで行う．

(2) スポット表示に関する処理

データベースに保存されたスポット情報を，Web-GIS のデジタル地図上で表示する処理をバックエンドで行う．

(3) スポット訪問機能に関する処理

利用者の端末の現在地情報を取得し，現在地から任意のスポットへの経路を表示する処理をバックエンドで行う．デジタル地図の表示中は利用者の現在地情報を継続的に取得し，それに伴い利用者の現在地および経路の表示も更新する．

(4) スポット投稿機能に関する処理

新たなスポットとして，地域の危険箇所などに関する情報が利用者から投稿された際には，これをデータベースに保存する処理を行う．

(5) ミッション機能に関する処理

「自宅または通学先・勤務先の近くの危険箇所を 3 ヶ所訪問し，それらの場所についての情報を確認する」などのミッションを画面に表示する．また，ミッションが達成された時には，データベース上のミッションの進捗状況を更新し，ミッション画面で新しいミッションが表示されるように処理を行う．



図 2 スポット情報表示画面

(6) 教材閲覧機能に関する処理

データベースに保存されたテキスト教材の情報を e ラーニングシステムの画面上に表示する.

4.3 システムのインタフェース

本システムのインタフェースは，PC，携帯情報端末向けに用意しているが，携帯情報端末で主に利用されることを想定している．なお，どちらの端末を用いて本システムを利用しても，デザインに大きく差が出ないインタフェースを構築した.

5．まとめと今後の研究計画

本研究では, 防災まちあるき支援システムと Web-GIS, e ラーニングシステムを統合し, 事前学習と継続的実践の双方から平常時における防災まちあるきを支援するシステムを構築した．本システムの有用性は，利用者の円滑な防災まちあるきを支援すること，防災に関する事前知識を必要としないこと，平常時からの防災まちあるきを促すことである．本システムのフロントエンドには，新規利用者登録/ログイン機能，スポット表示機能，スポット訪問機能，スポット投稿機能，ミッション機能，教材閲覧機能の 6 機能を実装した．これらの機能それぞれに対して，バックエンドで処理を行う.

今後の研究計画として，運用対象地域内外の方々を対象に, 約 30 日間にわたるシステムの本運用を予定している．運用対象地域としては，東京都調布市を選定した．調布市は多摩川流域に位置しており，水害の影響を受けやすいことに加えて，首都直下地震による甚大な被害が生じることが想定されている（東京都防災会議，2022）．そのため，幅広い種類の災害への対応が可能な本システムを運用することで地域住民の防災を支援することの有用性が高い.

本運用終了後には，システムの利用者へのアンケート調査およびシステムのアクセスログ解析の結果から，システムを評価する．その後，評価結果に基づき本システムの機能の改善策を提案する.

参考文献

井上明人（2012)『ゲーミフィケーション<ゲーム>がビジネスを変える』, NHK 出版.

上杉昌也・森山聡之・小山和孝・和田亨・新山悠紀・石本俊亮（2022）平常時からの地域防災に向けた現地散策型アプリの開発とその有効性の検証.「都市計画論文集」, **57**(3), 1431-1438.

上杉昌也・森山聡之・小山和孝・和田亨・新山悠紀・石本俊亮（2023）地域防災のための防災教育に向けた位置情報ゲームアプリケーションの活用可能性.「都市計画報告集」, **22**(2), 287-292.

榎田宗丈・福島拓・吉野孝・杉本賢二・江種伸之（2017）まち歩き型防災マップづくり支援システムの利用による防災意識への影響.「情報処理学会関西支部支部大会講演論文集」. **G-27**, 1-6.

白浜裕貴・山本佳世子（2023）自助・共助を支援するための防災情報システムの構築.「日本地震工学シンポジウム論文集」, **16**, 10.

鈴木佐代・豊増美喜（2019）タブレット端末を用いた小・中学生向け防災まち歩きの活動プログラムの開発-教員養成大学の学生への実践とその評価の分析.「福岡教育大学紀要」, **68**(6), 1-8.

田中皓介・梅本通孝・ 糸井川栄一（2016）既往研究成果の系統的レビューに基づく大雨災害時の住民避難の阻害要因の体系的整理.「地域安全学会論文集」, **29**, 185-195.

東京都防災会議（2022）首都直下地震等による東京の被害想定報書.
<https://www.bousai.metro.tokyo.lg.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/021/571/20220525/n/002n.pdf>.

中川政治・尾形和昭・佐藤翔輔・佐藤茂久・藤間千尋（2015）ICT を活用した仮想体験型震災学習プログラムの開発-東日本大震災で被災した石巻市における「防災まちあるき」実践事例.「地域安全学会論文集」, **26**, 37-44.

畠山久・永井正洋・室田真男（2024）フィールドワークを取り入れた ICT 活用型防災学習の授業デザインとその評価-高等学校における実践-.「科学教育研究」, **48**(3), 239-251.

水本匡起（2023）地域防災力向上を目的とした 水害リスク・コミュニケーションの実践的手法: 地形発達史の観点を取り入れた防災まち歩き.「東北福祉大学研究紀要」, **47**, 55-71.

Hatakeyama, H., Nagai, M., Murota, M. (2017). Acquiring disaster prevention knowledge from fieldwork activities in a region. In International Conference on Human-Computer Interaction. 433-442.

Manalang, L.L., Misa, A.P.A., Soriano, N.M., Samonte, M.J.C., Balan, A.K.D., & Daluz, M.L.C. (2020) Kidzaster: A Web-based Learning Management System on Disaster Preparedness for Kids. *Proceedings of the 6th International Conference on Frontiers of Educational Technologies*, 16-20.

Li, J., Xia, H., Qin, Y., Fu, P., Guo, X., Li, R., & Zhao, X. (2022) Web GIS for sustainable education: *Towards natural disaster education for high school students. Sustainability*, **14**, 2694.

Rachman, I., Fumitoshi, M., & Yayoi, K. (2024) Disaster mitigation education: Efforts to improve school community disaster preparedness. *Journal of Environment and Sustainability Education*, **2**, 73-85.

Takenouchi, K., & Choh, I. (2021) Development of a support system for creating disaster prevention maps focusing on road networks and hazardous elements. *Visual computing for industry, biomedicine, and art*, **4**, 22.

RFID を活用した触れる GIS の操作に関する可能性と限界

中村 暢佑*・石黒 希海・中山 俊*****

Possibilities and Limitations of Touch-Based GIS Operation Using RFID

Yosuke NAKAMURA*, Nozomi ISHIGURO**, Shun NAKAYAMA***

Abstract: In recent years, tangible GIS (TGIS) has gained attention as an interface for spatial data manipulation. However, most systems sequentially process only a single layer, making it difficult to handle multi-layer data such as building-level or block-level information. To address this challenge, we explored RFID technology as a tangible interface for multi-layer operations. In a prototype using an M5Stack Core2 equipped with PaHUB, multiple RFID readers were used in parallel to capture tag IDs across channels in real time. While the system functioned, challenges remained, including recognition instability and the inability to read multiple tags simultaneously within a single reader. These results suggest that while RFID alone cannot fully support multi-layer TGIS, combining it with camera recognition or AR markers can provide a foundation. This research clarifies the potential and limitations of RFID, presenting a direction for hybrid approaches in future development.

Keywords: 触れる GIS（tangible GIS），RFID，並列接続（parallel connections）.

１．はじめに

近年，「触れる GIS（Tangible GIS）」と呼ばれるインタラクティブな意思決定支援ツールの開発が進展している(Francesco Tonini et al，2017)．触れる GIS とは，物理的なモデルをユーザーインタフェースにした地理情報システム(GIS)のことである．映像によるフィードバック等により，検討内容のより深い理解や納得感，共感を提供するものもあり，まちづくりの共創のシーンや意思決定プロセスにおいて大きな期待が寄せられている．

しかし，GIS のエッセンスとも言える「複数レイヤのオーバーレイ解析」だが，複数のレイヤを操作可能な触れる GIS は少ない．多くの実装では，建物や POI などいずれか一つのレイヤを対象とし，他の階層情報を同時に操作・表示することは難しい現状にある．この技術的制約は，ハードウェアの入力方式が一系統に限られることに起因している．

そこで本研究では，複数のレイヤを操作できるように，新しい技術の可用性を検証する．今回はこの課題に対する解決手段として RFID 技術の応用を検討する．RFID タグは小型かつ安価で，任意のオブジェクトや場所へ容易に取り付け可能な特徴を持つ．これを用いて効率的に地物を読み取る仕組みを構築できれば，既存の認識技術と組み合わせることで，複数レイヤを操作可能な触れる GIS の実現可能性が高まる．

２．RFID の検知手法の開発

筆者らが知りうる限り，触れる GIS において RFID が活用されている例はほとんどない．その理由として，単一のリーダーで一枚のタグしか読み取れないという制約が挙げられる．これを克服するには，複数のリーダーを並列的に接続し，それぞれのリーダーが異なるタグを独立に認識できる仕組みが不可欠である．一般に GIS で複数の地物を同時に扱うことは日常茶飯事で，並列処理と干渉回避の双方が必要となる．

本研究では，こうした要請に応えるために，複数のリーダーを I2C（Inter-Integrated Circuit）接続で統合し，その上でソフトウェア的にポーリング制御することで重複

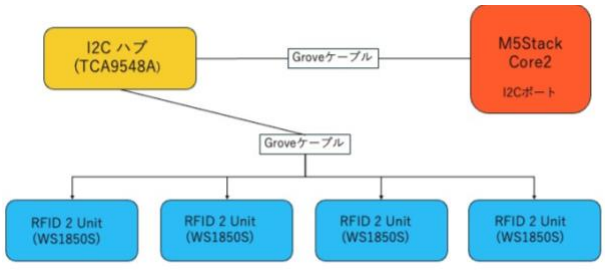


図 1　デバイス構造

*　学生会員　専修大学ネットワーク情報学部 (Senshu University)
〒214-8580　神奈川県川崎市多摩区東三田 2-1-1　Tel：044-712-7772 または E-mail：ne231112@senshu-u.jp
**　学生会員　専修大学ネットワーク情報学部 (Senshu University)
*** 正会員　専修大学ネットワーク情報学部 (Senshu University)

や競合を回避する．I2C 接続とは，フィリップス社が開発した 2 線式シリアル通信プロトコルで，単一のバス上で複数のデバイス（1 対 n)の通信を可能にする．これにより，リアルタイムに並列的に RFID の情報を取得する技術基盤の確立を目指した．

２．１　ハードウェア構成

本研究で用いたシステムは，M5Stack Core2 を中心に PaHUB を接続し，最大で 4 チャンネルの RFID リーダーを並列に接続可能な構成とした．PaHUB は I2C 信号を分岐し，複数デバイスをアドレス競合なしで接続するための拡張モジュールであり，各ポートを独立したバスのように扱うことができる．これにより，M5Stack Core2 が同一の I2C アドレスを持つ複数のリーダーを順次切り替えて利用できるようになった．

本研究で PaHUB を用いた理由は，RFID リーダーモジュールが固定的な I2C アドレスを持ち，複数台をそのまま直列接続するとアドレス競合が発生するためである．通常の I2C 通信では，デバイスごとに異なるアドレスを割り当てる必要があるが，複数接続すると制御不能に陥る．この制約を回避するために，I2C マルチプレクサである PaHUB を導入した．PaHUB は各ポートを独立した I2C バスとして切り替え可能にすることで，たとえ同一アドレスのデバイスであっても，複数台を順次切り替えて利用することができる．

図 1 に示すように，M5Stack Core2 を配置し，PaHUB を介して複数のリーダーを接続する．各リーダーは独立したチャネルに接続されており，物理的には同時に配置されたタグをそれぞれ担当することになる．

さらに，本研究では M5Stack Core2 のディスプレイを利用し，認識結果をその場で表示する仕組みを導入した．これにより，ユーザは現在認識されているタグの種類や系列を即座に確認できる．図 2 は，実際に 4 基のリーダーを PaHUB に接続した全容を示している．

２．２　ソフトウェア設計

ソフトウェア面においては，複数リーダーからの入力をポーリング制御し，競合や重複を回避する処理を導入した．具体的には，リーダーごとに「カードが置かれた」イベントと「カードが外された」イベントを検出し，状態の変化をトリガーとして記録する方式を採用した．この方式により，単純なループによる一時的な検出漏れを防ぐことができる．

認識されたデータは，M5Stack Core2 のディスプレイに表示されると同時に，シリアル通信を通じて PC に送信される．PC 側では Python スクリプトを用いてログを VV 形式で記録し，読み取りのタイムスタンプを保存する．

３．検証と結果

本研究における提案手法の有効性を検証するため，実際

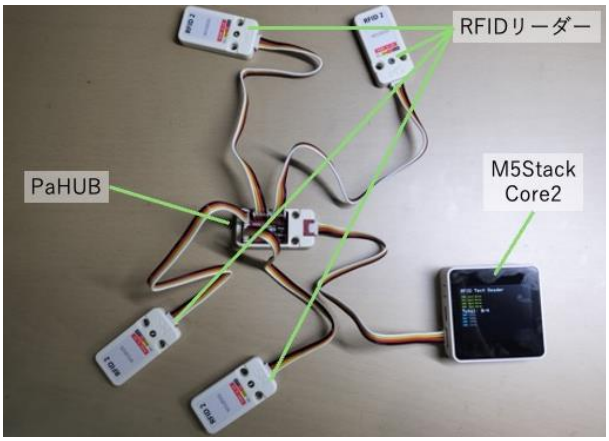


図 2　リーダーの全容

に複数の RFID タグを用いた検証を実施した．本検証は，複数タグを実際に配置した環境において行う．PC 側で保存した CSV ログを解析し，読み取りが時系列的に正しく記録されているかを確認する．特に，二種類以上のタグを近接配置した場合においても，それぞれが誤認識されることなく独立に認識されているかを検証する．

３．１　検証手順

実験の流れは以下のように設定した．

１．複数の RFID タグを用意し，それぞれを異なるリーダーに配置する．

２．M5Stack Core2 を起動し，各リーダーからのタグ検出を監視する．

３．Core2 のディスプレイに表示されるタグ ID を確認する．

４．並行して，シリアルモニタ出力を PC で受信・記録する．

５．PC 側に生成された CSV ファイルを開き，タグ ID とタイムスタンプが正しく記録されているかを検証する．

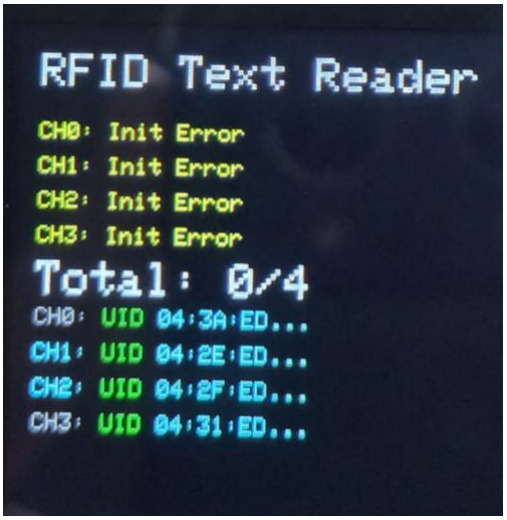


図 3　Core2 ディスプレイに表示されたタグ ID

３．２　検証結果

図 3 に示すように，のディスプレイ上には「UID XX:XX:XX…」といった形式でタグの固有 ID が表示される．これにより，個々のタグが確かに検出されていることが目視で確認できる．検証の結果，複数のリーダーに異なるタグを設置した場合でも，Core2 がそれぞれのタグ ID を正しく読み取り，順次ディスプレイに表示することが確認された．また，シリアルモニタを通じて出力された情報を確認すると，各タグが検出されたタイミングで ID が出力されていることも確認できた．

図 4 に示す通り，例えば「Card detected – UID: XX:XX:XX:XX:XX:XX」といった形式で逐次出力され，複数タグが同時に存在してもそれぞれの検出イベントが記録されていた．

さらに，PC 側に保存された CSV ファイルには，タグ ID とともに検出時刻がタイムスタンプとして記録されていた．図 5 に示すように，CSV には「datetime，timestamp，channel，action，card_uid」といった形式でデータが並び，後から実験履歴を分析できる状態が確保できた．

４．考察

４．１　RFID の認識技術における新規性

本技術は既に Web 記事でも紹介されている，一般的な方法をベースにしている．同記事では，MFRC522_I2C ライブラリと I2C ハブ（TCA9548A）を使用してシンプルに RFID リーダーを制御し，複数チャネルからの読み取りを可能にする構成が紹介されている(@misoca12，2024)．しかし，Web 記事に基づいて RFID 読み取りの試みを行ったところ，読み取れない・不安定という問題が生じたため，本研究で再構築を試みた．

同手法による読み取りが失敗した理由は二つ考えられる．一つは，GPIO ピンエラーだ．元のコードではリセットピンに GPIO12 が指定されていた．しかし M5Stack

```
========================================
🟢 CARD PLACED - Channel 0
   Card UID: 04:3A:ED:0A:C1:2A:81
   Timestamp: 427
========================================
EVENT:CH0:PLACED:04:3A:ED:0A:C1:2A:81:427
STATE:04:3A:ED:0A:C1:2A:81,-,-,-

========================================
🔴 CARD REMOVED - Channel 0
   Previous UID: 04:3A:ED:0A:C1:2A:81
   Timestamp: 432
========================================
EVENT:CH0:REMOVED:04:3A:ED:0A:C1:2A:81:432
STATE:-,-,-,-
```

図 4　シリアルモニタの出力

	A	B	C	D	E	F
1	datetime	timestamp	channel	action	card_uid	
2	0:03:43	868	0	PLACED	04:3A:ED:0A:C1:2A:81	
3	0:03:48	874	0	REMOVED	04:3A:ED:0A:C1:2A:81	
4	0:03:52	878	1	PLACED	04:2E:ED:0A:C1:2A:81	
5	0:04:01	887	0	PLACED	04:3A:ED:0A:C1:2A:81	

図 5　CSV ファイルの内容

Core2 では GPIO12 は利用できず，実行時にエラーが発生した．このため，読み取り動作自体が停止してしまった．そこで解決策として，リセットピンを無効化するコードに書き換えた．

二つ目は，カード検出の不安定さだ．元コードではカードの検出処理が 1 回しか行われないため，タイミングによってはタグを検出できないまま処理が終了してしまう．その結果，読み取り漏れが頻発した．そこで解決策として，検出を 2 回以上繰り返す処理を導入した．これにより，読み取りの冗長性を確保できた．

４．２　他の物体検知技術との連携

本研究において，RFID 技術を用いた複数地物の同時操作を試みた結果，一定の有効性が確認できた．では RFID 単独で複数レイヤを扱うことは可能だろうか．

RFID はタグごとにユニークな ID を持ち，それを用いて「建物」「街区」といった異なる階層を識別すること自体は可能である．しかし，現在の M5Stack Core2＋PaHUB 構成では少なくとも三つの制約が確認された．一つ目は，一つのリーダーで一度に読み取れるタグは一枚のみであり，複数のタグが同時に存在すると競合や検出漏れが発生することである．二つ目は，位置情報を得られない点である．すなわち，RFID は「どのタグが存在するか」は判定できるが，「どこにあるか」「どの向きか」といった GIS に重要な空間的属性を直接扱えないという点である．三つ目は，リーダーサイズの制約である．複数のレイヤを一度に操作できるほどのスケールにリーダーを小型化・多数配置することは現段階では容易でない．

したがって，RFID のみで複数レイヤを操作可能な触れる GIS を実現するのは困難であり，複数リーダーの配置

表 1　触れる GIS に用いられてきた技術と RFID との共存可能性

技術	主な用途・特徴	RFIDとの共存可否	コメント
カメラ画像認識	映像から物体位置・動きを識別.	高い共存性	RFIDが取りにくい範囲・動きの把握を補完.
ARマーカー	2Dマーカーを読み取り，高精度な位置認識が可能.	高い共存性	RFIDが識別，ARが空間位置を補完.
タッチセンサー	物理接触を通じて位置や入力を検出.	中程度	非接触不可.RFIDと機能が重複する部分あり.
投影型UI（プロジェクションマッピング）	投影による操作・フィードバック.	中程度	光条件に依存.装置構成が複雑.

＋他技術の補完が必須である．そのため，他の物体検知技術との連携を検討する必要がある．これまでの国内外の触れる GIS の研究や実装において，様々な物体検知技術が導入されている．画像認識，や AR マーカーなどはその代表例である．

これらは物体の上方からの検知という点で RFID とは異なる特性を持つ．その点，下方から物体を検知可能な RFID は，触れる GIS に導入されてきた物体検知と競合するのではない．今後このような要素技術との連携手法の確立が求められる．

５．おわりに

従来の触れる GIS では，ハードウェアの入力方式が一系統に限られるため，単一のレイヤしか操作できず，GIS の本質的機能を十分に活用できていなかった．そこで本研究では，複数レイヤを操作可能な触れる GIS の開発を目的に，RFID 技術を応用したアプローチを提案した．

M5Stack Core2 と PaHUB を用いて複数の RFID リーダーを I2C 接続で統合し，ソフトウェア的なポーリング制御により競合や重複を回避する方式を開発した．最大 4 チャンネルの並列 RFID 読み取りシステムを構築し，複数の RFID タグを異なるリーダーに配置した検証を実施した結果，各リーダーが独立してタグを認識し，時系列的に正しく記録されることが確認された．

複数 RFID リーダーの並列制御という基盤技術の確立に成功し，従来の単一系統入力の制約を部分的に克服できた．一方，複数レイヤ操作の実現という観点では，一つのリーダーで同時に読み取れるタグが一枚のみであること，タグの位置や向きといった空間的属性を取得できないこと，複数レイヤを効果的に操作できる規模までのリーダー小型化・多数配置が困難であることなどの制約が明らかになった．これらの制約により，RFID 単独での複数レイヤ操作は困難であることが判明した．

しかし，既存の触れる GIS で活用されてきた画像認識や AR マーカーなどは，上方からの物体検知技術である．これは上方からの検知に拘らない RFID との連動に親和性があると言える．このような要素技術との連携手法の確立により，触れる GIS がより多様な GIS 機能を有する可能性が見えた．

謝辞

慶應義塾大学総合政策学部の春日裕信氏には本研究の遂行にあたり，多大なるご指導とご協力を賜った．また，株式会社サトーの山内隆宏氏は RFID 活用法の提供の面でご尽力していただいた．そして，専修大学中山研究室の各位にも多くのご助力をいただいたことをここに記し，深く感謝の意を表す．

参考文献

@misoca12 (2024) M5Stack で複数の RFID タグを同時に読み取る. <https://qiita. com/misoca12/items/e7bfda1d454382e986ff>.

Francesco, T.，Anna, P.，Douglas, A，S.，& Brendan, H. (2017)Tangible geospatial modeling for collaborative solutions to invasive species management. *ResearchGate*，177.

Yun, W.，Ying, Z.，LingYu, Z. (2024) Developing a digital management system for museum collections using RFID and enhanced GIS technology. *PeerJ Computer Science*，18.

触れる GIS のための３次元地理情報プラットフォームの開発
－Three.js と AR マーカーを用いた Web ベース実装－

石黒 希海*・中村 暢佑・中山 俊*****

Development of a 3D Geospatial Information Platform for Tangible GIS
- A Web-based Implementation with Three.js and AR Markers -

Nozomi ISHIGURO*, Yosuke NAKAMURA**, Shun NAKAYAMA***

Abstract: Traditional GIS requires specialized knowledge and offers limited intuitiveness for public participation in urban planning. We developed a web-based tangible GIS enabling direct manipulation of physical models to control 3D representations. ArUco markers on building models are detected by Python/OpenCV and streamed via WebSocket to a Three.js browser interface. We evaluated the platform in an evacuation-planning case study: participants manipulated models and immediately observed changes in routes and shelter capacities. Results showed real-time synchronization with ~0.2-s latency between physical operations and visualization, enabling non-experts to understand spatial relationships and evacuation scenarios. Limitations include performance on large-scale models and marker-recognition instability under poor lighting. Findings indicate a simple, generalizable foundation for tangible GIS; future work will pursue LOD-based performance and hybrid sensing (computer vision and RFID) to scale collaborative urban-planning workflows.

Keywords: 触れる GIS（tangible GIS）, Three.js, WebGL, AR マーカー（AR markers）, 市民参加（public participation）

１．はじめに

近年，都市計画や防災分野において，住民参加型の意思決定支援を目的としたインタラクティブなツールの研究が進んでいる．その中でも「触れる GIS（Tangible GIS）」は，物理的な模型を操作対象とすることで，専門知識を持たない参加者にも直感的な理解や体験を提供できる仕組みとして注目されている．模型の操作に応じて映像や情報を重ね合わせることにより，GIS を画面上で操作するだけでは得にくい「納得感」や「共感」を伴った議論を可能にする点が大きな特徴である．

触れる GIS の開発の多くは，既存の WebGIS に使用される技術やサービスを転用したものである．そのほとんどは 2 次元にしか対応しておらず，せっかく物理的な模型が 3 次元で作成されていることの強みを活かせているとは言い難い．ウェブブラウザ上で動くウェブアプリケーションは，ネイティブアプリケーションに比べて，高速で高画質なグラフィックス処理を苦手とすることがその一因である．しかし近年では，ウェブブラウザ上でも高速に動作させるために，GPU を使ったグラフィック描画を可能にする WebGL の技術が開発されている．主流のウェブブラウザには軒並み WebGL が導入されている．

現代都市とその機能は立体的に構成されている．複雑な 3 次元空間における人々の活動を適切に分析・表現することは時代の要請とも言える．そのために，触れる GIS のシステム基盤も，3 次元も対応することが求められる．そこで本研究では，WebGL に基づくオープンソースのライブラリである Three.js に着目し，この要素技術を活用して触れる GIS のシステム基盤を開発する．

２．システム基盤の開発

２．１　インプット側の要件

本システムは，従来の GIS が 2 次元画面上での操作に留まっていた限界を超え，物理的な模型操作を通じて 3 次元都市空間を直感的に操作できる環境を提供する．これを実現するため，本研究では Three.js をコアエンジンとした Web ベースの触れる GIS プラットフォームを構築した．システム全体は，マーカー認識モジュール，Three.js 描画エンジン，空間解析モジュール，リアルタイム通信層の 4 つの主要コンポーネントから構成される．

第一のモジュールは物理模型に貼付された正方形パターンの二次元マーカー（ArUco）をカメラで撮影し，コンピュータが自動的に読み取るマーカー認識機能である．従来の GIS における「属性データの入力」に相当する．マーカー認識は認識 PC 上の Python と OpenCV（cv2.aruco）で実行し，検出した ID（必要に応じて姿勢）を WebSocket でブラウザへ送信する．ブラウザ側は追加のネイティブ

*　学生会員　専修大学ネットワーク情報学部 (Senshu University)
〒214-8580　神奈川県川崎市多摩区東三田 2-1-1　Tel：044-712-7772 または E-mail：ne231163@senshu-u.jp
**　学生会員　専修大学ネットワーク情報学部 (Senshu University)
*** 正会員　専修大学ネットワーク情報学部 (Senshu University)

アプリを必要とせず，受信した JSON（軽量なデータ交換形式）を Three.js のシーンに反映する．実測では，マーカー検出完了までの遅延は約 0.2 秒（端末構成・照明条件に依存）であった．

第二のモジュールは，マーカー認識で得られた情報を即座に 3 次元表示システムに伝達するリアルタイム通信層である．従来の GIS では「データ更新→再描画」に数秒を要することが多いが，本システムは WebSocket による常時接続の双方向通信を採用し，認識 PC からの検出イベントを JSON でプッシュ配信する．ポーリングを回避できるため，検出後の更新は次フレームで画面に反映される．その結果，参加者が模型を動かした瞬間に 3D 表示が追従し，物理操作とデジタル表示を一体化できる．

第三のモジュールは，Web ブラウザ上で 3 次元グラフィックスを高速描画するための Three.js 描画エンジンである． 従来の WebGIS は主に 2 次元の地図表示が中心であったが，Three.js は WebGL を活用してブラウザ上で高品質な 3 次元表現を可能にする．本研究では，地形は平面ジオメトリを基盤とし，建物は主に BoxGeometry を用いて属性値に応じた押し出し高さを付与して配置し，都市空間を構成する．また，GIS の「レイヤ管理」に相当する構造はシーングラフで実現し，地形・建物・道路・経路・注記などを機能別の Group／オブジェクトとして分離して保持することで，表示・非表示やスタイル（色，不透明度）をレイヤ単位で即時に切り替えられる．必要に応じて複雑形状（glTF〔GL Transmission Format，3D モデル交換形式〕等）にも拡張可能である．

第四のモジュールは，3 次元都市空間上での経路探索を実行する機能である．建物配置の変更に応じて，建物外縁とその間隙を通行可能領域として離散化し，交点からなる道路グラフを自動更新する．出発地と目的地は最寄りノードへスナップし， A*（ユークリッド距離ヒューリスティック）で最短経路を計算する． 復元した経路は 3D ポリラインとして即時に可視化され，参加者は経路の立体的関係を直感的に理解できる．

２．２　AR マーカーを利用したインプット

本システムのインプット手法は,2.1 で述べたように，物理模型の操作をデジタル空間に反映させるための AR マーカー認識技術を基盤とする．各建物模型には固有の ID を持つ AR マーカーを貼付し，カメラ画像から位置と向きを推定し，種別は ID と属性マスタを照合して取得する．マーカーは ArUco ライブラリの正方形パターンを採用し，辞書に応じて最大約 1000 の ID を利用できる．マーカーサイズは模型に合わせて調整可能で，本研究では一辺 3 センチメートルを標準とした．これは貼付作業が容易である一方，約 1 メートルの撮影距離でも安定して認識できる目安のサイズである．

カメラによるマーカー認識処理は，一般的な Web カメラから取得した映像を用い,認識 PC 上の Python と OpenCV の cv2.aruco で実行する．映像は連続フレームとして取り込み，各フレームごとにマーカーの検出と必要に応じて姿勢推定を行う．検出では，まず正方形候補を抽出し，内部パターンを照合してマーカーID を特定する．さらに，四隅の画素座標と事前に求めたカメラキャリブレーション結果を用いて，3 次元の位置と向きを推定し，レンズ歪みを補正した上で後段へ渡す JSON を生成する．

認識されたマーカー情報は， ブラウザ側の属性マスタと照合される．例えば ID 42 のマーカーが検出されると，当該 ID に紐づく「住宅建物，人口 150 人，3 階」などの属性が即時に引き当てられる．属性は設定 UI または JSON で編集可能で，同一の物理模型をシナリオ切替で再利用できる．照合結果は次フレームの描画と評価に反映され，建物の色や高さ，収容力の算出，経路の再計算が更新される．

２．３　３次元情報のアウトプット

触れる GIS はインターフェースの特殊性が取り上げられがちだが，情報のアウトプットまで含めて成立する．どう情報を伝達するかは触れる GIS の共通課題であり，方式は大きく(1)模型上への直接投影と(2)モニター表示に分けられる．前者は暗室環境や厳密な投影調整を前提とするため，公開討論やワークショップのような開かれた場への適用には制約がある(Yan et al.， 2021)．対して後者は， 市民参加を促進するプラットフォームとして成果を示している（Noyman et al.，2017）．一方で，物理模型と 2 次元画面の往復は表現の不一致を生み，理解の連続性が途切れやすいと指摘される（Noyman et al.，2018）．そこで本研究では，モニター上に物理模型を再現し，評価結果を可視化することで理解を支援する．Three.js のシーングラフ（Group）で地形・建物・道路・経路・注記をレイヤ分離し，状態切替に応じて可視／不可視やスタイル（色・不透明度）を即時更新する実装とした．図 2 に，ブラウザ側の可視化例を示す．建物は属性に応じて押し出し,歩行可能領域から生成したノード・エッジおよび最短経路を重ね合わせている．Three.js による出力例を図 1 に示す．

３．ケーススタディ

３．１　シナリオの設定

本研究ではケーススタディとして,「新しいマンションの建設に伴う避難経路および避難場所の収容力の検証」を題材とした．都市部では再開発や人口増加により建物の配置が変化し，災害時の避難経路や避難所のキャパシ

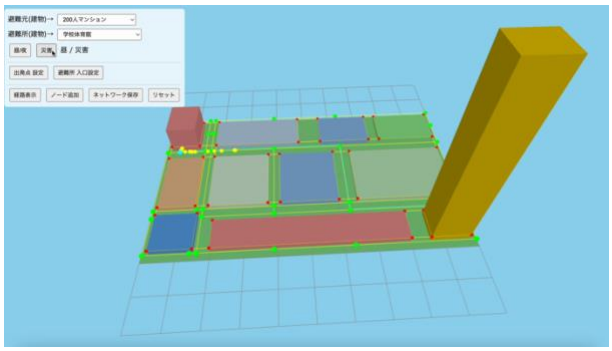


図 1　Three. js による出力例

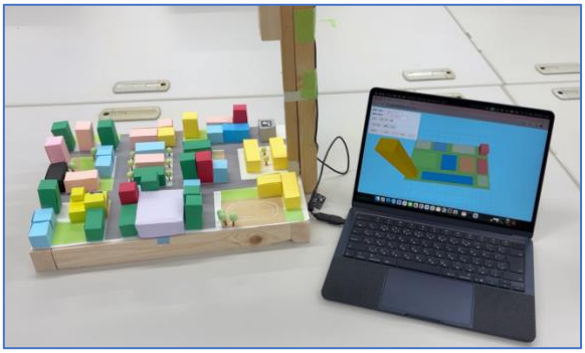


図 2　模型と画面の連動

ティに影響が生じることがある．従来の 2D 地図上での議論では直感的な理解が得にくく，参加者間での認識のずれも生じやすい．そこで，触れる GIS を用いて建物の追加や配置変更を物理模型上で行い，その影響を 3D で直感的に確認するシナリオを設定した．

３．２　実装手順

実装は次の流れで構成した.まず建物パーツに AR マーカーを貼付して物理模型上に配置する．ついでカメラでマーカーを認識し，ID と座標（必要に応じて姿勢）を取得する．得られた情報を Three.js に渡して地形モデル上に対応する建物を生成し，人口属性を高さに写像して押し出し（extrusion）により立体化する．さらに避難経路を再計算し，避難所キャパシティの変化とあわせて画面に即時表示する．

モニター側は建物表現では，AR マーカーにより認識された建物を立方体や角柱として可視化し，人口や収容能力などの属性データを建物の高さや色に反映させる．これにより，数値データを視覚的に把握しやすくしている．道路網の表現は，建物配置に基づいて自動生成される歩行可能領域を白線で表示する．建物が移動や追加された場合，道路網も即座に再計算されて表示が更新される．経路表現では，出発地から目的地への最短経路を赤線で表示し，複数の経路候補がある場合は色分けして同時表示する．経路上には距離や所要時間の情報も文字で表示される．群集の動きは，経路に沿って移動する小さな点やアイコンで表現される．避難シミュレーションの場合，避難者の流れが視覚的に理解できるよう，点の移動速度や密度を調整している．

３．３　実装結果

実装の結果，物理模型に新しい建物を配置すると，Three.js 上の都市モデルに即時に建物が追加されることを確認した．さらに，建物の高さが人口属性に基づき extrusion 処理で反映され，収容規模の大小が視覚的に表現された．その結果，避難経路の混雑や避難所の収容人数の変化を画面上で直感的に把握することが可能となり，非専門家を含む参加者にとっても避難シナリオを理解しやすい環境が実現できた． 図 2 に，物理模型と Web ブラウザ画面の連動構成を示す．

４．考察

４．１　Three. js の可能性と限界

本研究で用いた Three. js は，WebGL を基盤とする JavaScript ライブラリであり，Web ブラウザ上で高度な 3D 表現を実現できる．この特性により，触れる GIS に必要とされる「直感的かつ視覚的に理解しやすい空間表現」を比較的容易に実装できるという利点がある．具体的には，地形や建物を動的に生成・変形できる柔軟性があり，ユーザーが操作した結果を即座に視覚化できる．また，Web 技術であることから専用アプリケーションを導入する必要がなく，多様な端末で利用できるアクセシビリティの高さも大きな強みである．さらに，オープンソースとして拡張機能が豊富であり，外部データとの統合も容易であるため，将来的には交通シミュレーションや環境データの重畳表示などへの発展も期待できる．

加えて，GIS のコア機能であるレイヤの重ね合わせについては，Three. js のシーングラフ（Group）とマテリアル制御によりレイヤを分離できる．また，可視／不可視の切替や表示順序，色・不透明度などのスタイル変更をレイヤ単位で行うことで実現できる．本研究でも状態切替に応じてレイヤのスタイルを即時に割当てし直し，議論の焦点に応じた重ね合わせを運用した．なお，半透明レイヤの重畳では深度テスト／描画順に依存するため，レンダリング順やマテリアル設定の調整が必要となる．

一方で，Three. js には限界も存在する．都市全体のような大規模 3D モデルでは描画負荷が高く，リアルタイム性が損なわれやすい．このため LOD（Level of Detail，表示距離等に応じて詳細度を切替える手法）の導入やデータ軽量化が不可欠である（Luebke et al.， 2002；Losasso・Hoppe，2004）．また，Three. js は GIS 専用ライブラリではないため，空間解析機能や地理的正確性の面で制約がある．したがって，本格的な空間解析を行う際は既存の GIS 基盤との連携を前提とする．

本研究のケーススタディにおいても，人口属性を用いた建物の立体化は容易に実現できた一方で，建物数の増加に伴う描画負荷が課題となる可能性が示唆された．したがって，Three. js は「触れる GIS」を構築する上で直感的な可視化基盤として有効であるが，都市スケールへの適用を視野に入れる場合には，描画最適化や他システムとの統合を含めた設計が求められることが明らかとなった．

４．２　AR マーカーの課題

本研究では，物理模型の識別および位置姿勢の推定のために AR マーカー（Garrido-Jurado et al., 2014）を用いた. AR マーカーは印刷物を貼付するだけで導入可能であり, オブジェクトごとに固有の ID を割り当てられる点で利便性が高い．さらに，カメラを介して位置と姿勢を推定できるため，模型の移動や回転を即座に 3D 空間に反映でき，触れる GIS の基本要件である「直感的な操作と即時的な可視化」を実現できた．

一方で, AR マーカーにはいくつかの制約も確認された. 第一に，照明条件やカメラ角度によって認識精度が変動し，特に反射や影の影響で一時的にマーカーが検出されない場合があった．第二に，模型パーツが増えるとマーカー同士が互いに隠れ合う「オクルージョン」が発生し，認識が不安定になる傾向が見られた．第三に，マーカーのサイズを小さくすると模型への貼付は容易になるが，認識の安定性が低下することが確認された．これらの問題は既存研究でも指摘されており, AR マーカーは低コストかつ汎用性に優れる一方で，複雑な模型環境や長期的な運用には限界があることが示唆されている（Garrido-Jurado et al.， 2014）.

以上より，AR マーカーは触れる GIS の実装において導入のしやすさと即時性に優れるが，実環境に近い利用を考えると認識の安定性やスケーラビリティに課題を残すことが明らかとなった．今後は，カメラベースの物体認識や RFID など他技術とのハイブリッド化により，認識の堅牢性を高める方向性が有効であると考えられる．

５．おわりに

本研究では，Three.js と AR マーカーを組み合わせることで，物理模型の操作を Web ブラウザ上の 3D 都市モデルに即時的に反映する触れる GIS のプロトタイプを構築した．ケーススタディとして新規マンション建設に伴う避難シナリオを設定し，建物配置や人口属性を反映した立体化により，避難経路の混雑や避難所収容力の変化を直感的に把握できることを確認した．

その結果, Three.js は触れる GIS における直感的な可視化基盤として有効であること，また AR マーカーは導入の容易さと即時性に優れることが示された．一方で，大規模モデルの描画負荷や，照明条件・遮蔽による認識の不安定さといった課題も明らかとなった．

以上より, 本研究は触れる GIS における汎用的かつ簡易な基盤構築の可能性を提示したといえる．今後は，認識技術の多様化や描画最適化に加え, RFID や画像認識など他方式とのハイブリッド化を進めることで，より堅牢かつスケーラブルな都市計画支援システムへ発展させていくことが期待される．

謝辞

本研究を進めるにあたり，専修大学中山研究室の皆様には多大なるご協力を賜った．ここに記して深く感謝の意を表する．

参考文献

Garrido-Jurado，S.，Muñoz-Salinas，R.，Madrid-Cuevas，F. J.，＆ Medina-Carnicer, R.（2014）Automatic generation and detection of highly reliable fiducial markers under occlusion．Pattern Recognition，47（6），2280-2292.

Losasso，F.，＆ Hoppe，H.（2004）Geometry clipmaps：Terrain rendering using nested regular grids． ACM Transactions on Graphics，23（3），769-776.

Luebke，D.，Reddy，M.，Cohen，J. D.，Varshney，A.，Watson，B.，＆ Huebner，R.（2002）Level of Detail for 3D Graphics．Morgan Kaufmann.

Noyman，A.，Holtz，T.，Kröger，J.，Noennig，J. R.，＆ Larson，K.（2017）Finding Places：HCI platform for public participation in refugees’ accommodation process. Procedia Computer Science，112，2463-2472.

Noyman，A.，Sakai，Y.，＆ Larson，K.（2018）CityScope：A data-driven interactive simulation for urban design．『Proceedings of the 9th International Conference on Complex Systems（ICCS 2018）』，253-261．Springer.

Yan，W.，Murakami，Y.，Yasuda，A.，Makihara，T.，Fujimoto，R.，＆ Nakayama，S.（2021）Developing the eXtended Tangible User Interface as an experimental platform for Geo-CPS.『Emerging Technologies for Disaster Resilience : Practical Cases and Theories』, 11-32. Springer, Singapore.

視覚によるメッシュ建蔽率推定の学習
―異なる地図表現の影響について―

吉田光杏*・磯野綾・寺木彰浩****

Learning in visual estimation of grid squares building coverage ratio
- Effect of variations in map representations -

Koko Yoshida*, Aya Isono**, Akihiro Teraki**

Abstract: Building Coverage Ratio (BCR) is one of the fundamental indicators related to buildings. At the level of districts and regions, it also plays an important role as an indicator of residential environment and disaster prevention. It is desirable that urban planners and practitioners should be able to intuitively estimate BCR at the regional level from maps. In this paper, we conducted repeated experiments of visually estimating grid squares BCR, and examined how variations in map representations affect estimation accuracy and the learning effects. As a result, it was found that the first learning effect was the greatest for any map representation. Therefore, it was suggested that sufficiently accurate estimations can be achieved through a single learning session, regardless of variations in map representations.

Keyword:メッシュ建蔽率（grid squares BCR），学習効果（learning effects），地図表現（map representations）

１．はじめに

建築物に関する基本的な指標の一つに建蔽率がある．これは建築基準法第 53 条において「建築物の建築面積の敷地面積に対する割合」と定められている．通風や採光などの住環境の指標となるだけでなく，延焼危険性の評価といった防災・減災などにも広く活用されている．

建蔽率は，敷地を越えて，地区や地域などの単位でも重要な役割を果たす．例えば，市街地内で十分に都市化が進んでいない地域を抽出し未利用地への対策を講ずる場合や，建て詰まりが著しく脆弱な地域を見出して災害時の対応を検討する場合などに活用されている．

地域の建蔽率の正確な値を把握しようとするならばQGIS などを用いて計算する必要がある．しかし，都市計画の実務者は感覚的にその地域の実態を把握できることが望ましい.特に配属された直後から実務者の推定能力・直感を高くすることが業務上有益となる．そこで，視覚による地域の建蔽率の推定を繰り返し行い，学習の程度について検証する実験を実施した．

本稿は，地域の建蔽率を推定する際に地図の表現の違いが推定の精確さに与える影響について検討し，その推定方法に関する新たな知見を得ることを目的とする．

本稿は 5 章で構成される．次章では建蔽率の推定に関する既往研究との差異について示し，本論文の新規性について明記する．第 3 章では今回実施した学生を対象とする実験の概要について説明する．第 4 章では実験から得られた結果について報告する．最後に第 5 章にて，結果から考えられる展望と今後の課題について述べる．

２．既往研究

建蔽率推定の精度と作業量について述べたもの（岡部ほか，1984）がある．この論文ではディジタイザーを使って測定した値を真の値とし，視覚による推定とポイントサンプリングによる推定の精度と作業量を比較している．研究の背景として，当時，作業に用いる地図の作成や各種の評価指標の推定に多大な労力を要したことがある．しかし近年，ICT を始めとする技術革新や関連データの整備などから，費用や作業量などは劇的に軽減された．地図の適切な表現を選択することも容易となった．

本稿では，視覚による建蔽率の推定に注目し，表現方法の異なる地図が推定結果に与える影響と，被験者が推定を繰り返すことによって得る学習効果の違いについて考察する．

*学生会員 千葉工業大学大学院創造工学研究科（Chiba institute of technology, Graduate School of Creative Engineering）
〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1 E-mail：s20b2119vg@s.chibakoudai.jp
**正会員 千葉工業大学創造工学部（Chiba institute of technology）

３．実験の概要

3．1．実施期間

実験は 2025 年 6 月 19 日から 2025 年 7 月 25 日の期間に 9 回実施した．

3．2．被験者

都市計画に関する基本的な知識は持っているが実務の経験がない者を想定し，被験者は都市計画を専門とする学生 69 名である．

3．3．実験用の地図について

都市計画の実務における地域の単位について確認する．都市計画の基本となる用途地域の選定について国土交通省（2025）は「住宅地の選定にあたっては…（中略）…適切な密度構成に従った住宅地の形成を図るとともに、当該都市に求められる住宅の集積及びこれに付随する近隣生活施設の立地に必要な規模を確保することが望ましい。」としている．また，東京都（2019）は用途地域等に関する指定基準で第一種低層住居専用地域の規模を「おおむね 5ha 以上」と指定している．これらのことから，概ね 500m×500m の大きさを持つ 4 次メッシュを地域の単位とした．その中の建築面積の割合をメッシュ建蔽率と呼ぶ．

対象地域として 20 のエリアを選択した．選択にあたり，大規模空地を持つ施設（学校、公園、神社仏閣など）のある地域や住居地域，商業地域，工業地域及び市街化調整区域などの特徴を持つ地域がもれなく含まれることを試みた．真のメッシュ建蔽率（以下，「真値」）は 4 次メッシュの面積に対する建物の面積の割合から算出した．今回用意した地図の真値は 2～37%である．

地図の表現として，国土地理院地図標準地図（以下「地図 A」），淡色地図（以下「地図 B」），Google Map 航空写真（以下「地図 C」），建物ポリゴンのみの地図（以下「地図 D」）を取りあげた（図 1）．地図 A 及び地図 B，地図 D のデータに国土交通省国土地理院から試験公開されている地理院地図 vector（仮称）を用いた（国土地理院，2019）．そのうち，地図 D は国土地理院ベクトルタイルの building のみを表示している．表現の大きく異なる地図として地図 C を用いることとした．なお，表示されている建築物の位置と形状などに他の地図と大きな違いがないことを目視により確認した．

3．4．実験の概要（図２）

初めに被験者に実験の流れを説明した．説明事項は，実験は 4 セットに分けて行うこと，制限時間 3 分間で 20 枚の地図のメッシュ建蔽率の回答と回答時間終了後の答え合わせで 1 つのセットであること，実験終了後にアンケートを実施することである．各セットの最初に問題用紙などを配布したが，第 1 セットのみ地図の配布後に問題についての説明をしてから解答を指示した．

地図の出題順番は以下の条件を満たすようにランダムで並べ替えた．

［条件 1］同一エリアの地図が同じセットに含まれない

［条件 2］標準、淡色の同一エリア地図は隣り合うセットに配置しない

［条件 3］セットの 1 枚目の地図は前のセットの最後の地図の表現及びエリアと同一のものとしない

3．5．アンケート

実験後のアンケートは 2 種類用意した．①問題に関するアンケート，②色の見え方に関するアンケートである．メッシュ建蔽率の推定の際に色覚異常が影響する可能性が考えられる．そのため，本研究では色覚に異常のある人が被験者に含まれるかどうかの確認のみ行う．含まれていた場合，結果に異常なサンプルが含まれていないかを確認する．個人情報に配慮し，これらのアンケートと実験の回答は切り離し，個人が特定できないように管理した．それぞれのアンケートの内容は以下に示す．

①　問題に関するアンケート

四つの設問から構成される．一つ目は今回出題された地図の表現についての設問である．「判断しやすいと感じた地図」「判断しづらいと感じた地図」「思ったより正解できた地図」「思ったより不正解だった地図」について，それぞれ最も当てはまる地図の表現を選択させる．

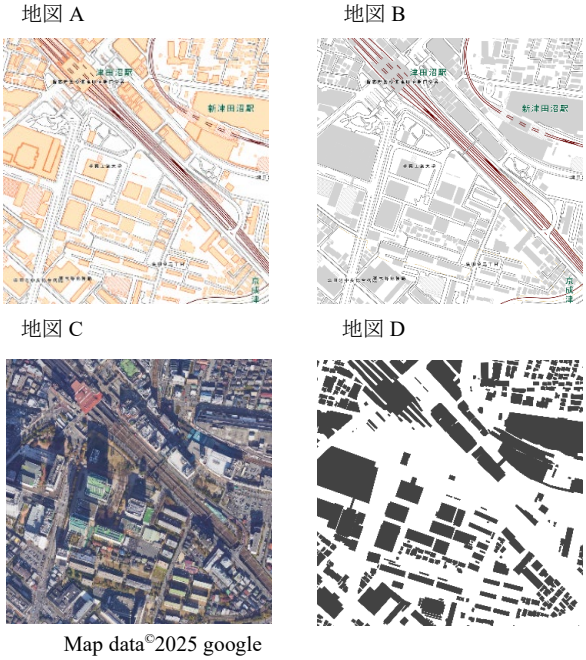


図 1　地図の表現

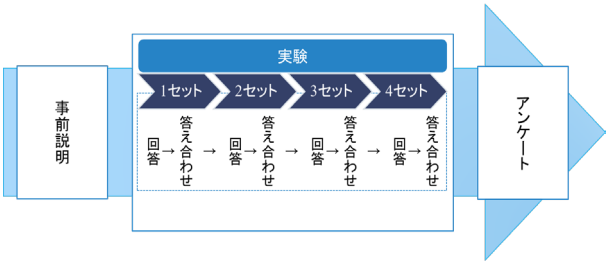


図 2　実験の流れ

二つ目はメッシュ建蔽率の推定についての設問である．判断する際に工夫した点やヒントにしたものをセットごとに自由記述で回答させる．三つ目は出題したエリアが4 セットを通してすべて同一であったことに気づいたか，また気づいたセットについての設問である．四つ目は，出題したエリアに対する土地勘の有無についての設問である．

② 色の見え方に関するアンケート

色覚に異常があると指摘されたことがあるかについて「はい・いいえ・回答しない」から選択させる．

4．結果

JIS Z 8428-1:1994 は精確さについて「“真度”は，多数の測定結果の平均値と，真の値又は参照値との一致の程度を示すものである．“精度”は，測定結果の間の一致の程度を示すものである．」としている．ここでは推定値と真値の差を誤差とみなし，誤差の平均値を真度とみなし，誤差の分散を精度とみなす．

4．1．セットに関する検討

セット毎の真度と精度を表 1 に示す．真度は第 2 セットに大きく向上する．第 3 セットでわずかに真度が低くなるが，第 4 セットでは第 2 セットと同水準の真度となる．精度についてはすべてのセットで向上しているが，最も向上しているのは第 2 セットである．

これらのことを踏まえると第 1 セットはそれ以降のセットに比べ，学習効果が顕著に大きいことが考えられる．

表 1　セット毎の真度と精度

	第1セット	第2セット	第3セット	第4セット	総計
真度	22.0	-0.3	-1.4	-0.3	4.8
精度	633.0	168.8	119.2	103.6	344.0

4．2．地図の表現の違いによる検討

ここでは地図の表現の違いによる学習効果について検討する．それぞれの地図の特徴から実験前に以下の仮説を設けた．

[仮説 1]第 1 セットでは最も情報量の少ない地図 D が一番精確な推定がされる

[仮説 2]すべての地図で学習効果は確認されるが，情報量の最も多い地図 C とそれ以外の地図で第 4 セットの精確さに差がつく

これらの仮説を検証するため，4 種類の表現について，真度の推移を図 3 に精度の推移を図 4 に示す．

・地図 A

第 1 セットで他の地図と比べて最も真度が良く，精度も最も良い地図とほぼ同等であった．真度は第 2 セットで最も向上し，第 3 セット以降は過小推定する傾向がみられる．精度は第 1 セットから良い分，セット間の差はほかの地図に比べると小さい．また，第 4 セットでの精度がほかの地図に比べて最も良い．

・地図 B

第 1 セットの真度がほかの地図と比べて最も悪い．それに対して第 2 セットで最も大きく向上し，値も最も良い．第 3・4 セットでは第 2 セットよりも過大評価になる．精度は第 2 セットで大きく向上し，第 3 セットでもわずかに向上するが，第 4 セットで悪化する．

・地図 C

真度は第 3 セットまで向上傾向がみられるが，第 4 セットで第 2 セットよりも過小になる．精度は第 2 セットで大幅に向上するが，第 3 セットで少し悪化し，第 4 セットが最も良い値となる．

・地図 D

真度は 4 セットを通じて向上傾向がみられる．第 4 セットでの真度がほかの地図に比べて最も小さい．精度は 4 セットを通じて減少している．最も大きく減少するのは第 2 セットである．

この結果から，セットを重ねることで推定の精確さは概ね向上しており，すべての表現で学習効果はあるものと思われる．また地図の表現の違いは学習効果に大きな影響を与えない可能性が示唆された．

4．3．エリアの違いによる検討

次に，エリアの違いによる学習効果について検討する．エリア別での検討は真値と真度及び精度それぞれとそれらの分布に着目する（図 5，図 6）．

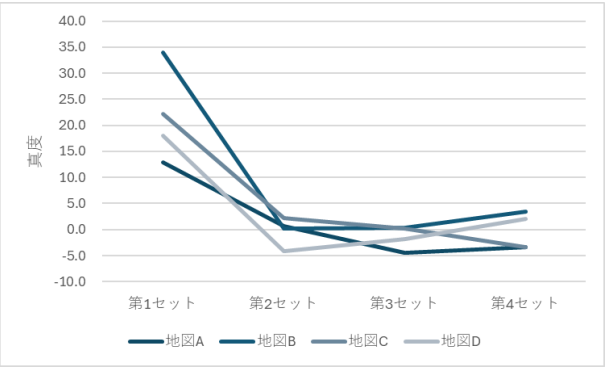


図 3　地図の表現別セット毎の真度の推移

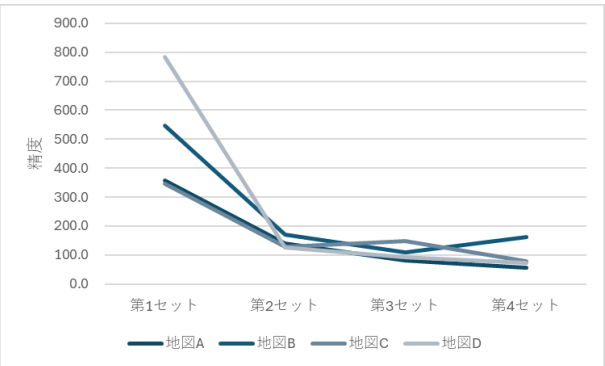


図 4　地図の表現別セット毎の精度の推移

既にみてきたように，真度・精度ともにすべてのエリアで第 1 セットの値が最も大きい．また，真値の大小が精確さに影響している可能性が示唆される．

真度は第一セットでは真値の高いエリアであるほど過大評価となる傾向がみられた．しかし，第 2 セット以降は真値との差は小さくなるが，過大評価から過小評価に転じる傾向が見られた．真値の低いエリアでは第 1 セットにわずかに過大評価は見られるが，第 2 セット以降はかなり真度のよい推定ができていると考えられる．

精度は．どのセットでも真値の高いエリアほど精度が悪くなる傾向がみられる．最もその傾向が目立つのが第 1 セットである．また，特に真値の高いエリアではセットを重ねるごとに精度が向上していると考えられる．

4．4．アンケート

アンケート①の地図の表現に関する設問の結果を図 7 に示す．この結果と地図の表現別の精確さを比較してみると，被験者の感じる印象と精確さとの間に関係はないと判断できる．

4 セットを通して対象地域がすべて同一であったことに約 6 割の被験者が気づいたと回答した．第 3 セットに気づく人が最も多く，第 3 セット終了後に気づいていた被験者は全体の半数程度であった．第 3 セットと第 4 セットの精確さを比較してみても大幅に向上していないことから，正答が暗記されたことによる影響は無視できるほど小さいことが考えられる．

アンケート②の結果，被験者の中に色覚に異常のある人が含まれていた．しかし，すべてのサンプルを確認したところ異常な動きをするサンプルは見つけられなかった．そのため，色覚の異常は本実験の結果には影響を与えなかったと考えられる．

5．まとめと今後の課題

本稿は視覚によるメッシュ建蔽率の推定の学習効果について検証するため，地図の表現方法及び反復学習に着目し，学生を対象とする実験を行った．その結果，地図の表現の違いに関係なく第 1 セット終了時点の学習効果が大きく，以降はあまり向上しないことが示唆された．つまり精確な推定をするための学習は 1 度で十分であると考えられる．このことから，都市計画の部署に新たに配属された人に対し，いくつかの地図を用いて学習させることで以降の実務に有益な推定能力・直感を手に入れることができるだろう．また，都市計画を専門に学ぶ学生についても，一度の短時間の作業で都市計画の基礎的な知識の習得効果が高いことから，同様の学習体験をすることが望ましい．

本稿は学生を対象とした実験の結果の報告である．地図の表現や地域の特徴など地図に含まれる様々な情報が精確さにどれほどの影響を与えるか分析するという課題などが残されている．今後は，特に地域の特徴として，建物棟数や地形条件、用途地域などを考慮し，様々な組み合わせで学習効果の違いを考察したい．

参考文献

岡部篤行・四茂野英彦・金子忠明（1984）建ぺい率推定法の作業量と精度．「都市計画論文集」，265-270.

国土交通省（2025）都市計画運用第 13 版．〈https://go.jp/toshi/city_plan/content/001880861.pdf〉.

国土地理院（2019）国土地理院ベクトルタイル提供実験．〈https://maps.gsi.go.jp/development/vt_expt.html〉.

東京都（2019）用途地域等に関する指定方針及び指定基準．〈https://www.toshiseibi.metro.tokyo.lg.jp/documents/d/toshiseibi/pdf_kanko_area_ree_area_ree〉.

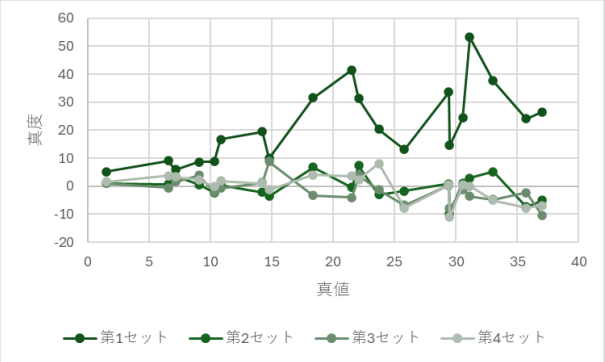


図 5　セット別の真値-真度の分布

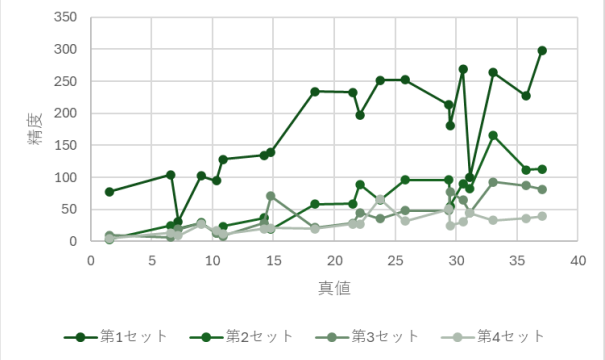


図 6　セット別の真値-精度の分布

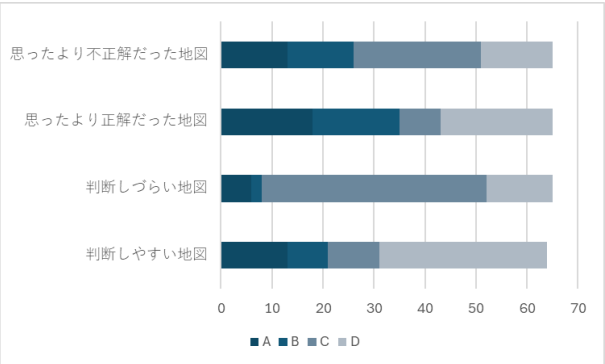


図 7　地図の表現に関するアンケート結果