

# 物体の状態認識に基づく室内の耐震対策点検アプリケーションの設計と効果検証

島田聖斗<sup>†1</sup> 佐野睦夫<sup>†1</sup>

**概要：**本研究では、物体検出技術を応用した防災教育支援アプリケーションの開発とその有効性の検証を行った。日本における地震災害の頻発と防災意識の低さを背景に、室内の家具や扉を対象とした耐震対策評価機能をスマートフォンアプリに実装した。このアプリケーションは、室内空間の写真を基に物体検出技術を用いて耐震対策状況を可視化し、チェックリスト形式で改善点を提示することで、ユーザーの防災意識を高めることを目的としている。物体検出には、YOLO モデルを基盤とし、家具や扉を認識するための転移学習を施した自作モデルを採用した。モデルの性能は mAP (Mean Average Precision) を用いて評価し、高い精度を示した。また、評価実験では、被験者に対しアプリケーションを使用した耐震対策実践を促し、防災意識の向上および行動変容の効果を調査した。アンケート結果や自由記述から、本アプリケーションが防災意識を向上させ、危険箇所への気づきを促進する有効なツールであることが確認された。しかしながら、物体検出の一部精度に改善の余地があり、さらなるデータ収集やモデルの改良が必要である。また、仮想環境を用いた防災教育シミュレーション機能の追加など、将来的な発展可能性も示された。本研究の成果は、地震災害に対する個人および社会全体の防災意識向上に寄与する新たなアプローチを提案するものである。

## 1. はじめに

近年、様々な規模の地震が発生する頻度が増加しており、2024 年 1 月 1 日には最大深度 7 を記録し、甚大な被害をもたらした能登半島地震が発生した[1]。また、南海トラフ地震や首都直下地震などの今後 30 年以内に発生する確率が 70%と予想されている地震災害があり[2]、国民のさらなる減災意識の向上が求められているのが現状である。

しかし、警察庁が集計した能登半島地震における死因割合では、家屋倒壊や家具転倒による圧死が死因の 41%で最多というデータがある[3]。このことから、日本国民の地震災害に対する減災意識はまだ低いというのも現状である。また、起震車や防災センターなど従来の減災意識向上のための地震体験法は、コストやスペースの観点から気軽に体験できないものとなっている。

近年では、モバイルデバイスを利用した防災意識向上の取り組みが行われている。板宮[4]らは、スマートフォンの空間認識機能を活用した AR 災害疑似体験アプリの開発を行い、防災教育を促進するアプローチとしての有用性を示した。Meng-Han[5]らは学校建築物の点検を行うための対話型システムを開発し、非専門家でも効率的に点検を行える事を示し、画像認識技術などを統合することでさらに高度な分析が可能となると考察されていた。また、水野[6]が行った調査では、年代ごとの防災アプリの所有率が示されており、高齢者の防災意識が最も高く、若年層が最も低いことが示されていた。また、世代ごとの特性に応じた普及施策の実施が有効であるとも示されていた。また、自室などの実空間に対して評価を行い、特に長期的な防災意識向上を図る取り組みはまだ行われていない。

そのため、アプリを用いて視覚的に危険箇所を呈示することで、若年層にも有効な防災意識向上システムとなることが考えられる。

本研究では、室内の家具などを認識し、体験者の部屋内など実在する空間の危険な場所や改善案をスマートフォンで呈示することで、地震災害に対する行動変容を促進することを目的とする。

## 2. 室内における耐震対策とその課題

室内における耐震対策には様々な手法がある。東京消防庁が公開している「家具類の転倒・落下・移動防止対策ハンドブック」[7]によると、家庭内での耐震対策には、

- ・重いものをなるべく下に置く
  - ・避難路を塞がないように家具類を配置する
  - ・対策器具を使用して家具に耐震対策を施す
  - ・ガラス飛散防止フィルムを使用しガラスを保護する
- 等の対策手法がある。

重いものを下に置く、避難路を塞がないように家具を配置するといった比較的理解しやすいものもあるが、自主的に調べなければ知識を得られない項目というものもある。例として対策器具を用いる耐震対策では、揺れに弱い器具は比較的確の環境でも使用できるが、揺れに強い器具は器具を使用する対象(実際に使用している家具や部屋の壁)の強度によっては使用できない場合がある。このような対策手法では正しく知識を習得せず対策を行うと対策効果が薄れてしまうことが考えられるため、地震発生時のための耐震対策について確認することが必要である。

東京消防庁のハンドブックには室内の耐震対策を確認す

<sup>†1</sup> 大阪工業大学

るためのチェックリスト(図 1)が付属しているが、ハンドブックの内容を理解・把握した上で利用しなければならず、チェックリスト単体での使用は防災意識向上効果が損なわれる可能性がある。

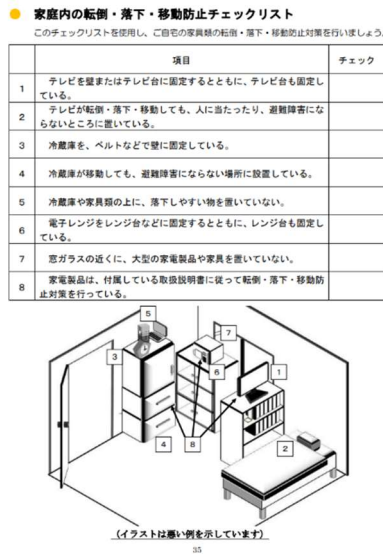


図 1 家具類の転倒・落下・移動防止チェックリスト

本研究では、これらの課題に対して、ハンドブック内のチェックリストをシステム内に実装し、項目に応じて要点をまとめた補足説明を追加する。また、チェックリストを達成した場合二次元マーカを生成し、家具に貼ることで耐震対策の有無の確認を可能にすることで解決を図る。

### 3. 室内の耐震対策評価と物体検出

#### 3.1 耐震対策の評価手法

前項の通り、自室などにおける耐震対策は正しい手法を用いて行う必要があるため、正しく行えているかなどの室内の状況についての評価を行う。評価には室内の写真などに直接描画可能で視覚的に分かりやすくなることから、物体検出技術を活用する。

一般に利用されている物体検出の推論モデルとして YOLO(You Look Only Once)[8]がある。YOLO はニューラルネットワークモデルの一つであり、推論が高速かつ正確に物体を検出することができることが特徴である。また、推論が高速なことからリアルタイム性に優れているという特徴もあることから、本研究で開発したシステムでは YOLO を採用している。

室内の家具などの物体検出には 3 種類の推論モデルを使用した。

- ・YOLOv11 モデル
- ・家具モデル
- ・扉モデル

YOLOv11 モデルは ulralytics より配布されているモデルで

あり、家具モデルと扉モデルは YOLOv11 モデルと新たに用意したデータセットを使用し転移学習を行った自作モデルである。

#### 3.2 推論モデルの評価手法

本システムでは自作モデルを使用しており、検出の信頼度の評価指標 mAP(mean Average Precision)を用いてモデルの評価を行った。mAP は物体検出モデルの性能を評価するために広く用いられている指標であり、モデルの予測精度と再現率をすべてのクラスで考慮することで包括的な性能評価を可能としている。前提として、モデルの出力の評価に表 1 の概念を定義する。

表 1 基本概念

|          | 正解データがA | 正解データがA以外 |
|----------|---------|-----------|
| 予測結果がA   | TP      | FP        |
| 予測結果がA以外 | FN      | TN        |

ここで、各項目は次の通りである。

- ・TP(True Positive:真陽性)：正しく検出した場合
- ・FP(False Positive:偽陽性)：誤検出をした場合
- ・FN(False Negative:偽陰性)：検出漏れの場合
- ・TN(True Negative:真陰性)：正しく無検出の場合

これらの概念の中で TP, FP, FN を評価に用いる。TN は背景など取りうる箇所が無数に考えられるため、一般に mAP の評価では TN の定義は行わない。また、mAP の計算の際、IoU(Intersection over Union)という TP と判定する基準を使用する。IoU は予測された領域と正解の領域の重なり率のことであり、式(1)を用いて計算する。

$$IoU = \frac{2 \text{つの領域が重なる面積}}{2 \text{つの領域の合計の面積}} \quad (1)$$

一般に物体検出では IoU が閾値を超える場合に TP と判定する。

mAP の算出には精度(Precision)と再現率(Recall)を用いて計算を行う。Precision はモデルが検出したバウンディングボックスの内、正しく検出された割合であり、式(2)を用いて算出する。

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (2)$$

Recall は実際に存在する物体をどれだけ検出されたかを示すものであり、式(3)を用いて算出する。

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3)$$

次に、検出対象の各クラスについて異なる信頼度スコアで予測結果を評価し、Precision-Recall(P-R)曲線を作成する。図 2 に P-R 曲線の例を示す。

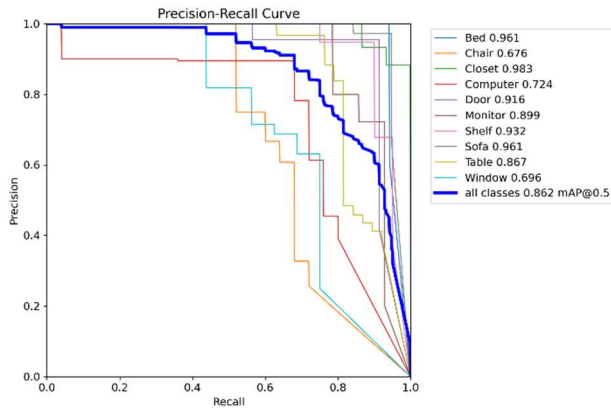


図2 Precision-Recall 曲線

P-R 曲線下の面積を計算し、これをそのクラスの平均精度 (AP)とする。その後全クラスの AP を平均し、式(4)を用いて mAP を算出する。ここで、N は評価対象モデルのクラス数を表している。

$$mAP = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N AP_i \quad (4)$$

本研究では、

- ・IoU が 0.5 以上の場合 mAP
- ・IoU を 0.5~0.95 に段階的に変化させた時の平均の mAP の 2 種類の mAP を用いて評価を行った。

#### 4. 耐震モニタリングアプリケーション

室内空間の写真を撮影し、画像内に対して物体検出を行って耐震対策評価を行い、スマートフォン上で確認することで防災意識向上を図るアプリケーションを提案する。図3にシステム構成を示す。

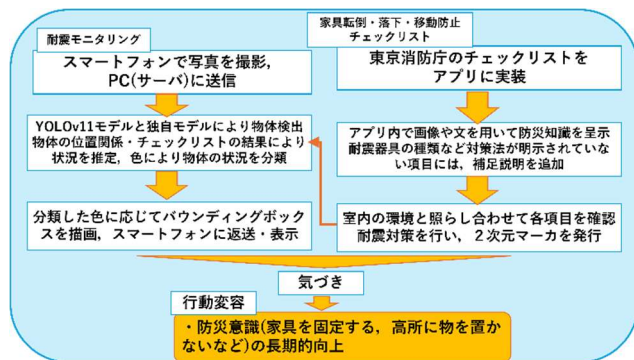


図3 システム構成図

##### 4.1 家具転倒・落下・移動防止チェックリスト

2章で示した通り、本システムにはハンドブックに付属しているチェックリストを実装する。図4に実装した画面の一部を示す。

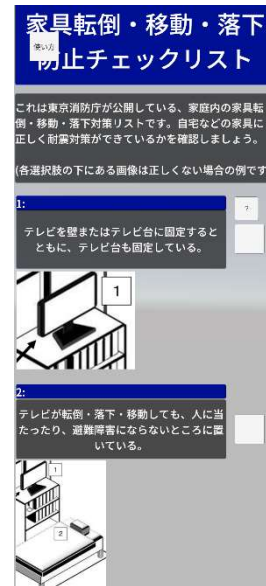


図4 チェックリスト画面

本機能では、利用者が各項目にチェックを付けていき、室内の耐震対策を確認することで利用する。チェックリスト画面に遷移直後は、図5のような使用方法の説明画面を表示し、以降は左上の「使い方」ボタンをタップすることでいつでも表示する事が可能である。また、明確な耐震方法の説明が無いようないくつかの項目にはチェックリスト項目の文に加え、補足説明を付与している。図6にその例を示す。利用者はチェックボタン上の「?」ボタンをタップすることで任意のタイミングで補足説明を表示できる。

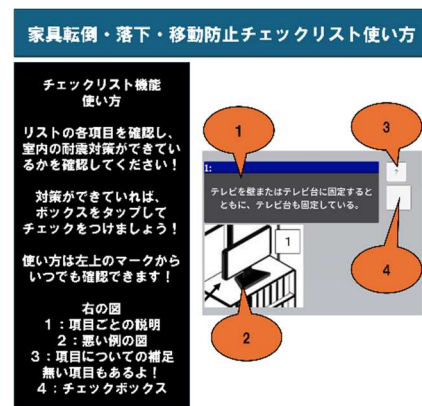


図5 使用方法の説明

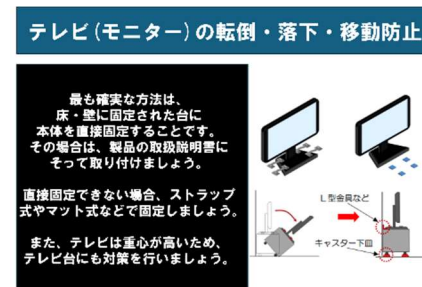


図6 補足説明の例

チェックリストには全 27 項目あり、内高層階向け(概ね 10 階以上)向けの対策項目が 7 つある。それらを除く 20 項目にチェックを付けボタンを押すと、図 7 のように 2 次元マーカをアプリ上に表示する。2 次元マーカはアプリ上の保存ボタンから端末上に保存することができ、室内の家具に貼ることで耐震モニタリング機能での認識と耐震対策有無の確認を可能とする。



図 7 二次元マーカの表示

## 4.2 耐震モニタリング

3 章 1 節の通り、物体検出を用いた室内状況の評価を行う。図 8 に耐震モニタリング機能の画面を示す。

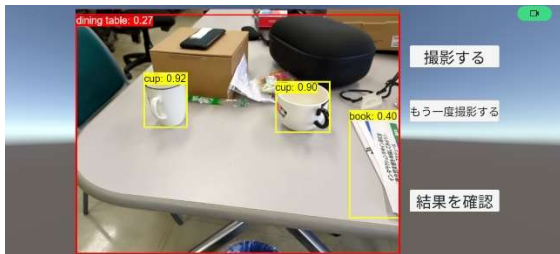


図 8 耐震モニタリング機能画面

本機能の起動時には操作・機能説明画面を表示する。図 9、図 10 に例を表示する。

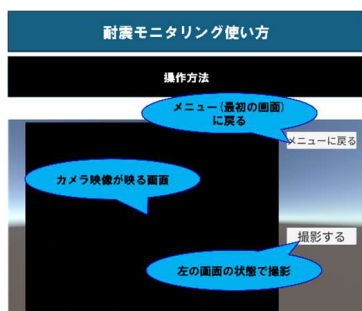


図 9 操作説明

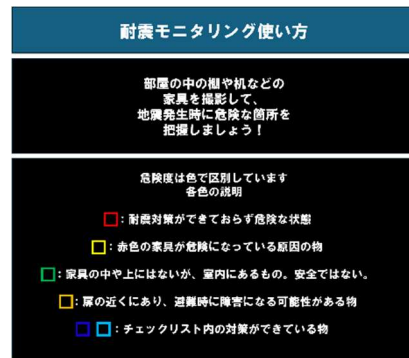


図 10 機能説明

写真を撮影後、Python の Flask でサーバを構築した PC へとデータを送信し、PC 上で物体検出を行う。その後、位置関係やマーカの検出など色での分類を行い、スマートフォンへ返送する。各色が示すのは次の通りである。

- ・赤：耐震対策無し，危険な状態
- ・黄：赤で表示された原因となっている物体
- ・緑：家具の中や上には無いが，安全では無い物
- ・橙：扉の近くにあり，避難時に危険な可能性がある
- ・青，水色：チェックリスト内の対策が済んでいる家具（二次元マーカが検出された場合）

図 11 に検出結果の例を示す。



図 11 検出結果の例

## 5. 実験と考察

### 5.1 評価実験

初めに、アプリケーションの物体検出で使用する推論モデルの評価を行った。評価したモデルは 3 章 1 節で述べた家具モデルと扉モデルである。それぞれのモデルの学習と評価に用いたデータセットについては次の通りである。

- ・家具モデル
  - ・訓練データ：1914 枚
  - ・未知データ：181 枚
  - ・テストデータ：98 枚
- ・扉モデル
  - ・訓練データ：2031 枚

- ・未知データ：579 枚
- ・テストデータ：286 枚

これらのデータを用いて、YOLOv11 モデルを使用した転移学習を行い、評価を行った。この時、過学習を防ぐために **Restriction** という変数を用いており、この数値分学習結果が良くならなければ学習を終了するようにした。また、学習後最良モデルとして保存されるものが mAP50-95 の数値が最良のものであるため、mAP50-95 の値を評価に使用した。

続いて、アプリケーションの有用性を検証するために実験を実施した。図 12 に実験の流れを示す。

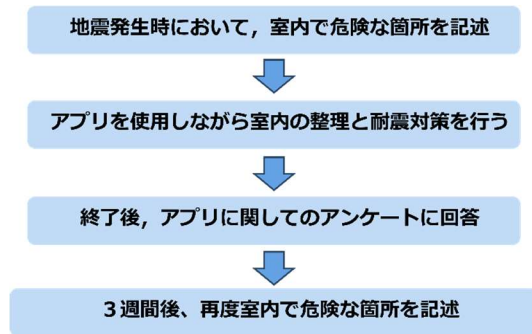


図 12 実験の流れ

本実験の被験者は 21~22 歳の男女 11 人であり、実験は著者が所属する研究室内で実施した。

初めに、被験者には防災に対する知識を提供する前に室内で危険だと思う場所を理由と共に自由記述してもらう。そして、事前に著者が設定した場所がいくつ含まれているかを調査する。設定した場所は次の通りである。

- ・棚(耐震対策無し)
- ・本棚(本の飛び出し対策無し)
- ・棚の上の箱
- ・冷蔵庫(耐震対策無し)
- ・電子レンジとレンジ台
- ・食器棚の食器
- ・机上のモニター

その後、本アプリを使用しながら室内の整理と耐震対策をしてもらい、その後アンケートに回答をしてもらう。アンケートは 5 段階のリッカート尺度を利用しており、数字が大きいほど高い評価となっている。

これらの完了 3 週間後に再度室内で危険だと思う場所を自由記述してもらい、3 週間前の結果と比較する。

本論文執筆段階では最後の調査を行えていないため、実験途中の報告となる。

## 5.2 結果と考察

初めに、推論モデルの評価実験結果を表 2、3 にそれぞれ示す。

表 2 家具モデル学習結果

| 学習回数 | Restriction | mAP50-95 | 最良モデルのエポック数 |
|------|-------------|----------|-------------|
| 10   | 10          | 0.59967  | 10          |
| 50   | 10          | 0.66082  | 48          |
| 80   | 10          | 0.65653  | 69          |
| 100  | 50          | 0.65158  | 90          |
| 200  | 100         | 0.65764  | 175         |
| 300  | 100         | 0.66733  | 249         |
| 400  | 100         | 0.67750  | 398         |
| 500  | 100         | 0.67578  | 326         |

表 3 扉モデル学習結果

| 学習回数 | Restriction | mAP50-95 | 最良モデルのエポック数 |
|------|-------------|----------|-------------|
| 10   | 10          | 0.84318  | 48          |
| 50   | 10          | 0.92194  | 48          |
| 80   | 10          | 0.92190  | 78          |
| 100  | 50          | 0.92511  | 90          |
| 300  | 100         | 0.92688  | 181         |

表 2、3 を見ると、学習の結果家具モデルは学習回数 400 回、398 エポックのモデルの mAP50-95 値が 0.67750 で最良であり、扉モデルは学習回数 300 回、181 エポックのモデルの mAP50-95 値が 0.92688 で最良となった。

また、扉モデルでは学習回数 300 回で十分な mAP 値が得られたため、学習を 300 回で終了している。本実験で得られた最良モデルを本アプリケーションで使用する推論モデルとしている。図 13、14 に両最良モデルの学習結果のグラフを示す。

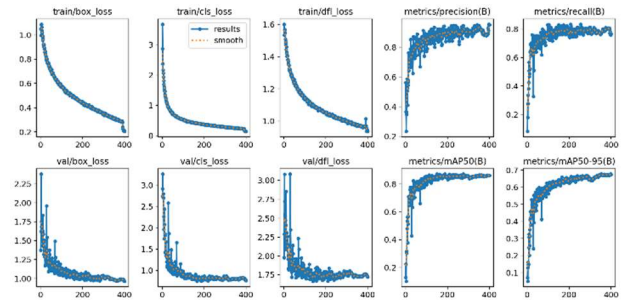


図 13 家具モデル学習結果

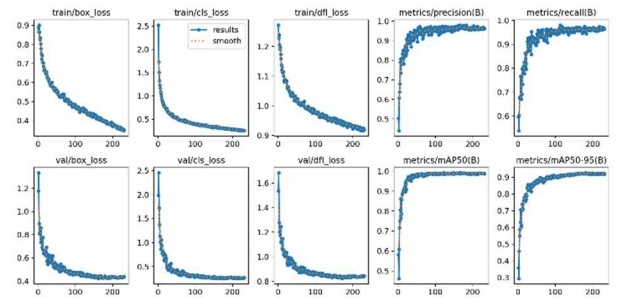


図 14 扉モデル学習結果

ここで、図 13、14 における各グラフは上段左から train/box\_loss, train/cls\_loss, train/dfl\_loss, metrics/precision(B), metricsdd/recall(B)を、下段左から val/box\_loss, val/cls\_loss, val/dfl\_loss, metrics/mAP50(B), metrics/mAP50-95(B)を表したグラフである。

次に、アプリケーションの有用性検証実験の前に行った

調査の結果を表 4 に示す。

| 表 4 危険箇所記述結果 |    |    |    |    |    |      |
|--------------|----|----|----|----|----|------|
| 正解数          | 1問 | 2問 | 3問 | 4問 | 5問 | 6問以上 |
| 人数           | 3人 | 1人 | 3人 | 3人 | 1人 | 無し   |

次に、アプリ使用後のアンケートの結果を図 15, 16, 17 に示す。

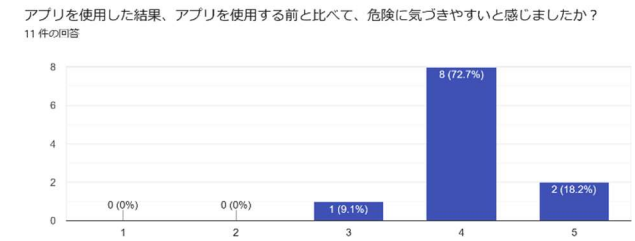


図 15 アンケート結果 1

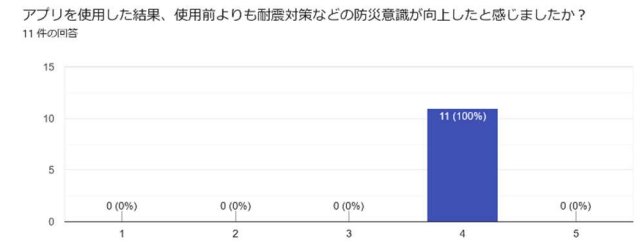


図 16 アンケート結果 2

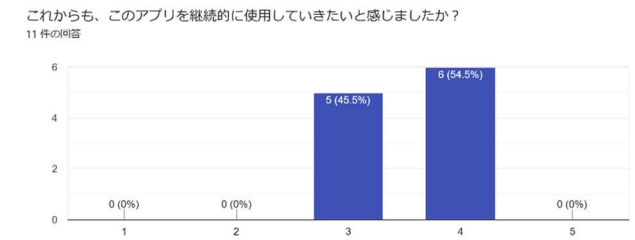


図 17 アンケート結果 3

ここからは、各結果に対する考察を行う。

表 4 を見ると、7 人の被験者が半分以下の正解数となっている。このことから、被験者の防災意識はまだ低いことが分かる。

次に図 15, 16 を見ると、両項目においてほぼ全員が評価 4 以上であった。評価の理由として、「普段から見ているものは目が慣れてしまい、危険に気が付きづらいから」や「意識外の危険に気づきやすいから」といったことが挙げられていた。このことから、本アプリケーションは利用者に防災に関する気づきを与えることができていることが分かる。また、「冷蔵庫のベルト固定など知らなかった知識があり参考になったから」や「震災時に部屋のものがどうなるかを考えるようになったから」といった意見もあつ

たことから、防災意識向上の教育という観点でも有効であることが分かる。

次に図 17 を見ると、半数以上が今後もアプリを使用したいと回答していることが分かる。このことから、アプリの継続的な利用による長期的な行動変容においても無理なくアプリが使用できるといえるだろう。

しかし、「検出結果が不安定である」という意見もあったことから、使用している検出モデルの精度向上が課題として挙げられる結果となった。

## 6. まとめ

本研究では、室内空間の写真を撮影し、画像内に対して物体検出を行って耐震対策評価を行い、スマートフォン上で確認することで防災意識向上を図るアプリケーションを提案し、防災意識向上におけるアプリケーションの有用性を確認した。

今後、さらに画像データを収集し推論モデルの向上を行うことで更なるアプリケーションの有用性向上を目指していく。また、本アプリケーションで取得した画像データを基に現実空間を仮想環境へ展開し、その中でシミュレーションを行うことで、更に防災教育のためのシステムとして有用性を高めることができると考えられる。

## 参考文献

- [1]内閣府, "令和 6 年能登半島地震に係る被害状況等について", 内閣府防災情報, 2024/03/12, [\[https://www.bousai.go.jp/updates/r60101notojishin/r60101notojishin/pdf/r60101notojishin\\_36.pdf\]](https://www.bousai.go.jp/updates/r60101notojishin/r60101notojishin/pdf/r60101notojishin_36.pdf), (閲覧日:2024/04/18)
- [2]内閣府, "地震災害", 防災情報のページ-内閣府, <https://www.bousai.go.jp/kyoiku/hokenkyousai/jishin.html>, (閲覧日:2024/04/18)
- [3]日本経済新聞, "能登半島地震の死者、「圧死」が 4 割 警察庁集計", 日経経済新聞, 2024/1/31 <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUE313YN0R30C24A100000/>, (閲覧日:2024/07/23)
- [4]板宮朋基, 吉村達之: 一般的なスマートフォンの空間認識機能を活用した AR 災害疑似体験アプリの開発と避難訓練における活用, 第 25 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2020
- [5]Meng-Han Tsai, Hao-Yung Chan, Liang-Yuan Liu : Conversation-Based School Building Inspection Support System, Applied Sciences, Vol. 10, No. 3739, 2020
- [6]水野一成: スマートフォンで活用する防災系アプリをインストールしている人の特性, 日本災害情報学会誌, pp157-167, 2019
- [7]東京消防庁, "家具類の転倒・落下・移動防止対策ハンドブック-室内の地震対策-", 東京消防庁, 2024/01, <https://www.tfd.metro.tokyo.lg.jp/content/000010472.pdf>, (閲覧日:2024/12/02)
- [8]Ultralytics, "YOLO by Ultralytics", Ultralytics YOLO Docs, <https://docs.ultralytics.com/>, (閲覧日:2024/11/20)