

衛星画像の AI 解析と物理シミュレーションの統合による地震被害検知に関する研究

山梨大学大学院 学生会員 山本 裕大

山梨大学大学院 正会員 宮本 崇

1. はじめに

大規模災害が発生した際、救助や支援活動等の災害対応を迅速に行うために早急な被害状況の把握が重要であるとされているが、災害発生直後は自治体職員の被災や通信網の遮断などにより情報の収集が困難となる。そこで、著書らは広範囲の被災地を短時間で撮影することが可能な人工衛星画像を活用した被害検知技術の開発を行っており、これまでに災害前後の衛星画像と構造物属性情報(築年数、構造種)からニューラルネットワークによって総合的に倒壊の有無を予測するマルチモーダル学習モデルを構築した¹⁾。ここでは、全壊・無被害の区別を約90%という高い精度で検知することに成功したが、一方で衛星画像の有する射角や解像度では半壊や一部損壊などの詳細な被害形態の検知が原理的に困難であることが課題に挙げられた。本研究では、そのような詳細な被害を予測するために物理シミュレーションを活用し、詳細な被害を予測する物理シミュレーションと予測精度の高い衛星画像解析を統合する被害予測技術を確立することを目的とする。

本稿では、熊本地震における熊本県益城町を対象とし、被害率曲線を用いた物理的な被害率予測技術と観測データをもとに建物被害を予測するマルチモーダル学習モデルをベイズ理論に基づいて統合した建物被害予測モデルを構築し、その評価を行った結果を報告する。

2. 被害率曲線を用いた被害率推定

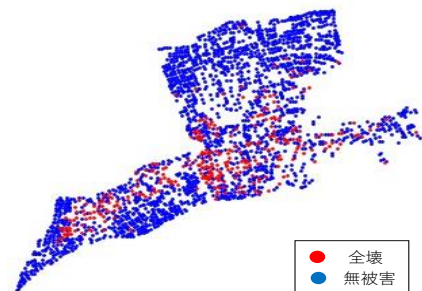
被害率曲線とは震度などの地震動指標と建物被害率との関係を示すものである。本研究では、兵庫県南部地震(1995年)時の西宮市での実績をもとに地表最大速度(PGV)と建物被害が(x_i) (全壊, 全半壊, 無被害に区分)と判別される確率($P(x_i)$)の関係を(1)式によって定める。

$$P(x_i) = \frac{\varphi(\ln(PGV) - \lambda_{y,s})}{\zeta_{y,s}} \quad (1)$$

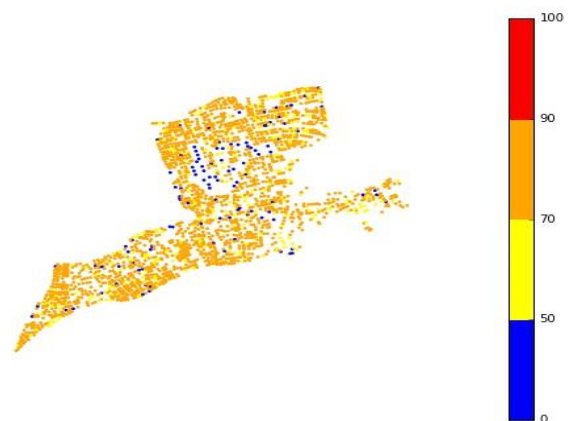
ここで、 λ, ζ は $\ln(PGV)$ の平均値および標準偏差、 y は構造物の築年代、 s は構造種別を示し、 φ は累積確率分布関数である。

検証の対象データとして、2016年の熊本地震における熊

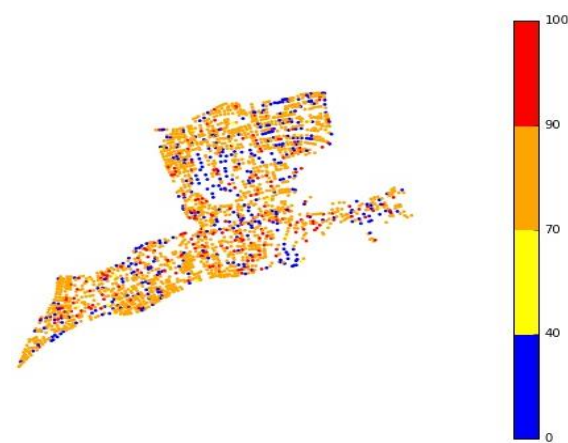
本県益城町の悉皆調査データ²⁾を利用した。地表最大速度は135cm/sとし、(1)式から各構造物の全壊率・全半壊率を算出した結果を図1(b), 図2(b)に示す。衛星画像からは判別の難しい半壊被害も予測が可能であるが、全域で高い全壊・全半壊率が算出されており、図1(a), 図2(a)に示す実際の被害状況と比べても過大評価となっている。



(a) Ground Truth (全壊)



(b) 全壊確率(事前)



(c) 全壊確率 (事後)

図1 全壊

キーワード：深層学習，地震被害判別，マルチモーダル学習，リモートセンシング，被害率曲線，ベイズ推定
連絡先：山梨県甲府市武田 4-3-11 山梨大学工学部土木環境工学科 防災研究室 TEL：055-220-8531

3. 衛星画像のAI解析を用いた予測結果のベイズ更新

物理シミュレーションによる予測結果に対して観測データによる補正を行うモデルの構築を行った。本研究では、前述した衛星画像の解析による予測結果を観測データとして位置付ける。物理シミュレーションと観測データの統合にはベイズ理論を利用し、本研究では被害率曲線による被害率を事前確率、マルチモーダル学習モデルによる予測結果を尤度と置く。以下にその定式化手法を説明する。

衛星画像解析によって得られる被害状態に関する集合を $D = \{d_1, \dots, d_m\}$ とし、被害率曲線から得られる被害確率に関する集合を $X = \{x_i | i = 1, \dots, n\}$ とする。ここで D とは全壊・無被害といった大まかな被害予測のみを含んだ集合であり、本研究では $m = 2$ である。 X は半壊や一部損壊など詳細な被害時情報を含むものであり、本研究では $n = 3$ である。実際の被害状態が x_i であるときに衛星画像解析から被害状態が D_j と判定される確率を $p(D_j|x_i)$ 、被害率曲線から被害状態が x_i と判定される確率を $p(x_i)$ と置いたとき(2)式が成り立つ。

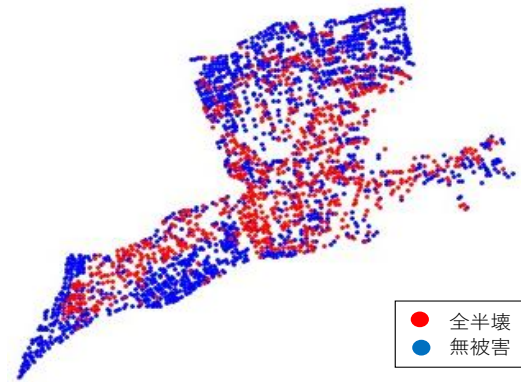
$$P(x_i|D_j) = \frac{p(D_j|x_i)p(x_i)}{p(D_j)} = \frac{p(D_j|x_i)p(x_i)}{\sum_{k=1}^n p(D_j|x_k)p(x_k)} \quad (2)$$

(2)式によって、被害率曲線から得られた建造物の被害状態を示す確率 $p(x_i)$ が衛星観測による被害推定結果 D_j に基づいて補正される。この方法によって、衛星画像解析の有する予測の確実性と物理シミュレーションの有する被害推定の詳細性の両立が期待できる。

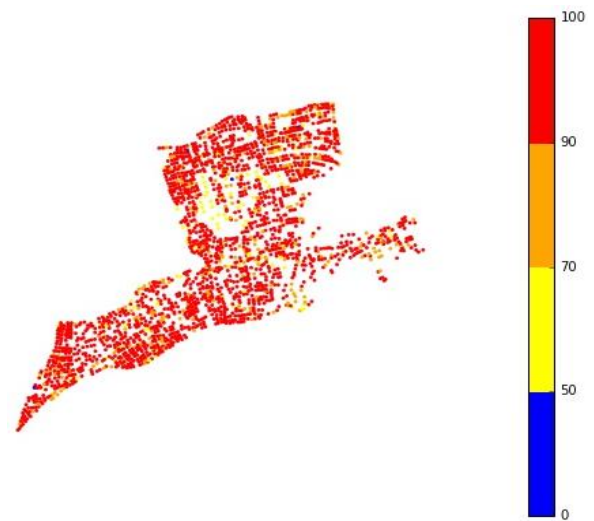
ベイズ更新による全壊・全半壊の事後確率を示す結果を図1(c)、図2(c)に示す。被害率曲線による予測結果では全域で一様に高い被害率を示していたことに対して、衛星解析結果を用いたベイズ更新を行ったことで過大評価が補正され、地区ごとの被害の差異が表現され実際の被害分布に近い結果が得られた。

4. まとめ

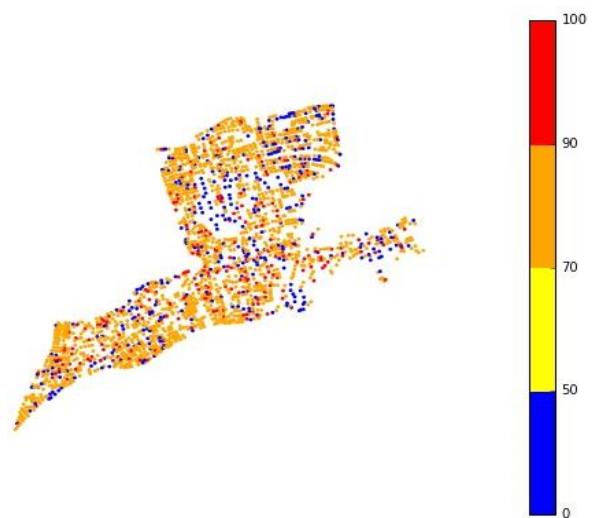
数値シミュレーションに被害率曲線、観測データにマルチモーダル学習モデルによる建物被害予測結果を統合させたベイズ更新型被害率予測モデルの構築と検証を行った。今後は、本モデルの性能を定量的に示すため正解率、再現率、適合率などの評価指標を用いて性能評価を行う。



(a) Ground Truth(全半壊)



(b) 全半壊確率(事前)



(c) 全半壊確率(事後)

図2 全半壊

参考文献

- 1) 宮本崇, 山本裕大: 衛星画像と都市データを用いた機械学習による地震被害の即時判別に関する研究, 2021
- 2) 日本建築学会: 2016年熊本地震災害調査報告, 2018