

# リモートセンシングデータを用いたヤンゴンの建物特性の把握

## Understanding of Regional Building Characteristics in Yangon Based on Remote Sensing Data

薄田 拓磨<sup>1</sup>, 〇村尾 修<sup>2</sup>, 郷右近 英臣<sup>3</sup>, 目黒 公郎<sup>4</sup>  
Takuma USUDA<sup>1</sup>, Osamu MURAO<sup>2</sup>, Hideomi GOKON<sup>3</sup>, and Kimiro MEGURO<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 前東北大学大学院工学研究科修士課程

Former Master Course Student, Graduate School of Engineering, Tohoku University

<sup>2</sup> 東北大学災害科学国際研究所

International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University

<sup>3</sup> 東京大学生産技術研究所

Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

It is difficult to assess urban vulnerability of a city without proper dataset such as building inventory. However, there are lots of developing countries in the world who do not catalogue enough data. In order to understand and to arrange regional building characteristics of Yangon, one of the rapid urbanizing cities without enough dataset, this paper explores a possibility to use DBM data which was obtained from remote sensing imageries for the urban vulnerability assessment. Comparing DBM data and actual building conditions observed in field surveys in three wards, it clarified that regional characteristics can be grasped with a probability of about 80%.

**Keywords** : Myanmar, Digital Building Model, building height, Central Business District, building collapse risk, SATREPS

### 1. 研究の背景と目的

筆者らは、科学技術振興機構 地球規模課題対応国際科学技術協力 (SATREPS) の防災研究分野「開発途上国のニーズを踏まえた防災科学技術」領域「ミャンマーの災害対応力強化システムと産学官連携プラットフォームの構築 (H27-31)」に参加しており、Earthquake-related Disaster Group としてミャンマーの中心都市ヤンゴンの地震に対する脆弱性を評価する役割を担っている<sup>1)</sup>。具体的にはヤンゴン市内の建物の脆弱性を評価する建物被害関数を構築し、地域ごとの建物倒壊危険性を評価することが求められている。しかし、日本とは異なる開発途上国において、日本と同様の地域脆弱性の評価を行うことは難しく、以下の課題を抱えている<sup>2), 3)</sup>。

- 1) 地盤データの整備されていない中で、地盤データの入手と地盤をどのように分類するか？
- 2) ヤンゴン市内の建物にはどのような構造があり、どのように分類するのが適切か？
- 3) 建物被害の実データのない中で、建物被害関数をどのように構築するのか？
- 4) 建物被害関数構築のための分析を進めるにあたり、どの地域の建物を対象にするのが適切なのか？
- 5) 急速に発展をしているヤンゴンにおいて、どの範囲の危険性評価をしていくべきなのか？
- 6) 危険性評価のための空間単位 (東京都では町丁目) をどのように設定すべきなのか？
- 7) 危険性を評価するための入力地震動をどの程度に設定したら良いのか？

世界を見渡せば、こうした課題を抱えている発展途上国は多く存在しており、データが不十分な地域における

建物の脆弱性評価手法が確立されれば、有用であろう。

こうした背景の中で、詳細な建物データの無いヤンゴン市内の建物特性を把握することを見据え、衛星画像解析により得られた Digital Building Model データ (以下、DBM) 利用の可能性を検討することを研究の目的とする。

### 2. 研究の方法

本研究では、同 SATREPS プロジェクトに参加している東京大学生産技術研究所の竹内渉准教授から提供いただいた DBM<sup>4)</sup>を用いて分析を進める。まずは DBM によるヤンゴン市内の対象範囲全域を大まかに把握する。その後現地での悉皆調査 (3 箇所) により実在の建物情報を取得する。得られた建物データを DBM と比較・考察し、その適切な活用法について検討する。なお、比較分析をするうえで、国際協力機構 (JICA) に提供していただいた地理情報システムデータを用いる。

### 3. DBMによるヤンゴン全体像の把握

#### (1) Digital Building Model (DBM) とは

本研究で用いる DBM とは、三次元座標値を持つデータ (数値モデル) の一種であり、図 1 を用いて以下のように説明できる<sup>5)</sup>。まず、建物や樹木等を除いた地表面の標高からなる三次元データを数値地形モデル (DTM : Digital Terrain Model) と呼ぶ。そして、建物や樹木等の点 (高さ) を含んだデータを数値表層モデル (DSM : Digital Surface Model) と呼ぶ。この DSM から DTM を引いた値が、地表面からの建物や樹木等の高さとなる。これが DBM である。本研究では、Sritarapipat and Takeuchi<sup>4)</sup>がリモートセンシング画像から作成した DBM を用いている。



図1 数値表層モデルと数値地形モデル<sup>5)</sup>

## (2) DBMによるヤンゴンの対象地区

ヤンゴン市内のDBM処理対象範囲と悉皆調査をした3地区を図2に示す。この範囲はヤンゴン市内全域を網羅しているものではないが、現時点でのヤンゴン市街地のほとんどは含まれている。地図上の下部に白い部分が見えるが、このあたりは中心業務地区（CBD：Central Business District）であり19世紀後半に英国によって開発された地区である。現在は高層住宅も高密度で立地しており、ヤンゴン全体を見た場合、相対的に白く表されていることが確認できる。

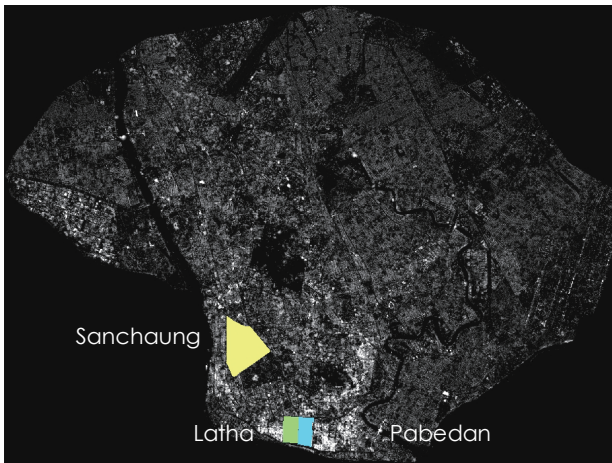


図2 ヤンゴン市内のDBM処理対象範囲と悉皆調査地区

## 4. ヤンゴンにおける建物悉皆調査

筆者らは、ヤンゴン市内における建物属性の地域性を理解するために各所をまわってきたが、本研究のために2016年5月と7月にSanchaungを、2016年12月にLatha、Pabedanの3地区の悉皆調査を実施した（図2）。

図3、図4に悉皆調査地区のDBM表示を、図5に各地区のピクセル分布を、表1に各地区における建物悉皆調査結果を示す。

Sanchaung地区（図3）は、CBDエリアから北西に進んだ場所に位置する地域である。北西部は低層から中層の建物が立ち並んでおり、南東部は中層から高層の建物が多く立ち並んでいる。同じSanchaung地区でも、場所によって異なる地域性があることが推察できた。この地域におけるJICAの建物ポイントデータ（全349地点）をもとに、建物階数と建物構造を調査した。調査結果はWailuwun地域を14エリアに分けて整理している。この地域では、2階以下の建物の占める割合が78.5%、3階以上の割合は21.5%であった。

Latha地区はイギリス植民地時代の名残を色濃く残した基盤の目上の都市構造をしており、南部は高層建造物が密集している。また、北部は病院や教育機関があり、南部とは対照的に低層建物が地域全体に立ち並んでいる。

タウンシップ全体では、低層建物が約28%、中層建物が約48%、高層建物が約17%占めている。Latha地区の北部と南部で、全く異なる建物特性があることが、リモートセンシングデータからも確認できた。

Pabedan地区はLatha地区の東部に位置しており、Latha地区と同じく高層建物が高密度で立ち並ぶCBDエリアの一角である。北西部を除いて、中層から高層の建物が多く立っており、リモートセンシングデータでもしっかりと反映されている。タウンシップ全体では、低層建物が27%、中層建物が49%、高層建物が18%占めていた。

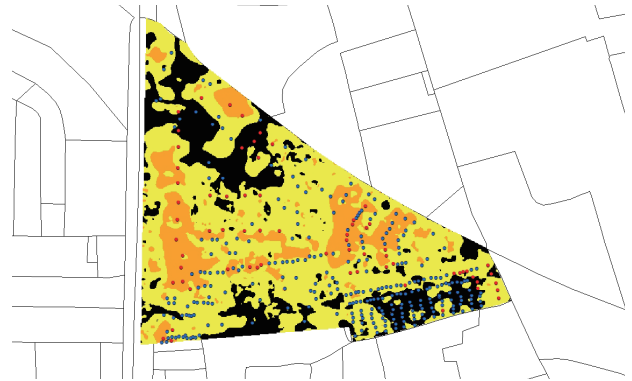


図3 Sanchaung Township内 Wailuwun 区

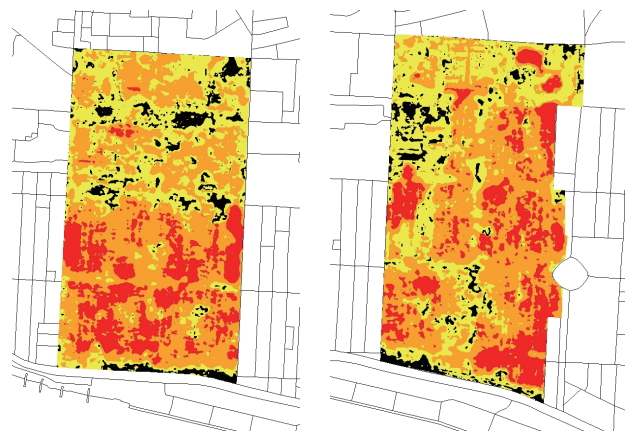


図4 Latha地区（左）とPabedan地区（右）

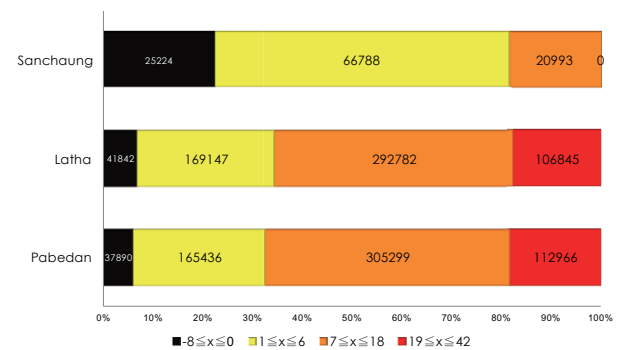


図5 各地区のピクセル分布

表1 各地区における建物悉皆調査結果

	全体	1F	2F	3F以上	更地
Sanchaung	349	51	198	100	38
Latha(南部)	874	13	98	763	14
Latha(北部)	127	8	67	52	0
Pabedan	1066	0	62	1004	0

## 5. 建物悉皆調査結果とDBMデータの比較

リモートセンシングデータで推定した建物高さ情報と、建物悉皆調査で調べた建物情報が一致するかを分析した。今回の建物悉皆調査では、2F 以下の建物に焦点を当てている。そのため、各地区における 2F 以下の建物割合（表 1）と DBM における 2F 以下に相当する割合の関係性を求めた。

今回の対象地域 3 地区において、DBM での地点高さ  $x[m]$  は、 $-8 \leq x \leq 42$  で表されている。この幅の中で、どの範囲を 2F 以下相当と定義するのかわからない。DBM における 2F 以下相当の割合を求める際、何  $m$  から何  $m$  を 2F 以下相当と示せば良い。つまり地点高さ  $x[m]$  において、 $a \leq x \leq b$  とすると、 $a1=0, a2=1, a3=2$  の 3 分類と、 $b1=5, b2=6, b3=7, b4=8$  の 4 分類によって 12 パターン構成することができる。例えば、 $a1b1$  においては  $0 \leq x \leq 5$  の範囲が 2F 以下相当と表すことができる。各地区において、 $a1b1$  から  $a3b4$  までの 12 パターンの中で、最も建物悉皆調査結果との相関が高い範囲を分析に用いることにした。

Sanchaung 地区における 2F 以下の建物割合は、78.5% だった。表 2 を見ると、現地調査結果との差が小さいものは  $a2b3(2 \leq x \leq 7)$  であり、 $a3b3(3 \leq x \leq 7)$  と  $a1b2(1 \leq x \leq 6)$  がこれに続く形となった。

Latha 地区の南部における 2F 以下の建物割合は、12.7% だった。表 3 を見ると、 $a3b1(3 \leq x \leq 5)$  が最も現地調査結果との差が小さかった。しかし、この地域は全体的に相関が悪い上に、12 パターン全てで 12.7% よりも大きい数値を示している。つまり、 $3 \leq x \leq 5$  と地点高さ  $x[m]$  の範囲が一番狭い  $a3b1$  が最も近い数値を示すことは必然である。以上より、Latha 地区南部において、リモートセンシングデータにより低層建物の高さを推定することは、難しいと言える。

Pabedan 地区における 2F 以下の建物割合は、5.81% だった。表 4 を見ると、 $a3b1(3 \leq x \leq 5)$  が最も現地調査結果との差が小さかった。Latha 地区と同じように、 $3 \leq x \leq 5$  と地点高さ  $x[m]$  の範囲が一番狭い  $a3b1$  が最も近い数値を示すことは必然である。Pabedan 地区においても、リモートセンシングデータにより低層建物の高さを推定することは、難しいと言える。

高層建物が立ち並ぶ地域において、低層建物の高さを推定することが困難であることが、前述の結果より推察される。そこで、低層建物が多く建つ Latha 地区北部の分析を行った。Latha 地区北部は、病院や教育施設が何棟にも連なって建っているため、建物 1 棟分の定義が難しい。そこで今回、JICA から提供して頂いた建物ポイントデータを活用した。JICA の建物ポイントデータと航空写真を重ね合わせ、その地点の建物階数を、建物悉皆調査にて確認した。

病院が建つ Latha 地区南部は、全 75 地点中、37 地点が 2F 以下の建物だった。その割合は、49.3% である。表 6.4 を見ると、 $a2b2(2 \leq x \leq 6)$  が最も現地調査結果との差が小さく、2 番目は  $a1b2(1 \leq x \leq 6)$  だった。Sanchaung 地区においても  $a1b1$  は相関が高い結果を示していた。

教育施設が立ち並ぶ Latha 地区北部は、全 52 地点中、38 地点が 2F 以下の建物だった。その割合は、73.1% であり、 $a1b4(1 \leq x \leq 8)$  が最も差が小さかった。しかし、地点高さ  $x[m]$  の範囲が広い順に相関が高くなっている上に、 $a1b2(1 \leq x \leq 6)$  よりも  $a3b4(3 \leq x \leq 8)$  のほうが、現地調査結果との差が小さくなっていることが読み取れた。これら

の結果より、2つの仮説を立てることができる。

I. 現地調査にて 2F と判定した建物が、3F だった(実際、判断に迷う建物が 10 棟弱存在した)。

II. 病院、教育施設という特殊な用途建物のため、階高が通常よりも高い。

仮に全 52 地点中 30 地点が 2F 以下の建物と仮定すると、 $a1b2$  と現地調査結果との差は 2.26 となり、ほぼ一致する。どちらの仮説が正しいとしても、DBM データから建物高さに基づく地域性を把握できる可能性が読み取れる。

これらの仮説に基づき、図 9 のように地区特性ごとの DBM 利用の可能性を整理した。それらをまとめて、ヤンゴン地区全体の DBM 表示を行った(図 10)。

表 2 Sanchaung 地区における DBM12 分類の比較結果

		Sanchaung地区					
		B+Y / B+Y+O			Y / Y+O		差分
地点高さ[m]		Black	Yellow	Orange	Yellow	Orange	
a1b1	$1 \leq x \leq 5$	74.485		25.515	67.153	32.847	11.35
a1b2	$1 \leq x \leq 6$	81.423		18.577	76.085	23.915	2.42
a1b3	$1 \leq x \leq 7$	87.017		12.983	83.286	16.714	-4.79
a1b4	$1 \leq x \leq 8$	91.534		8.466	89.101	10.899	-10.60
a2b1	$2 \leq x \leq 5$	74.485		25.515	61.668	38.332	16.83
a2b2	$2 \leq x \leq 6$	81.423		18.577	72.091	27.909	6.41
a2b3	$2 \leq x \leq 7$	87.017		12.983	80.494	19.506	-1.99
a2b4	$2 \leq x \leq 8$	91.534		8.466	87.281	12.719	-8.78
a3b1	$3 \leq x \leq 5$	74.485		25.515	53.804	46.196	24.70
a3b2	$3 \leq x \leq 6$	81.423		18.577	66.365	33.635	12.14
a3b3	$3 \leq x \leq 7$	87.017		12.983	76.492	23.508	2.01
a3b4	$3 \leq x \leq 8$	91.534		8.466	84.672	15.328	-6.17

表 3 Latha 地区における DBM12 分類の比較結果

		Latha地区南部					
		B+Y / B+Y+O+R			Y / Y+O+R		差分
地点高さ[m]		Black	Yellow	Orange+Red	Yellow	Orange+Red	
a1b1	$1 \leq x \leq 5$	29.807		70.193	24.643	75.357	-11.94
a1b2	$1 \leq x \leq 6$	34.553		65.447	29.739	70.261	-17.04
a1b3	$1 \leq x \leq 7$	39.528		60.472	35.079	64.921	-22.38
a1b4	$1 \leq x \leq 8$	44.401		55.599	40.311	59.689	-27.61
a2b1	$2 \leq x \leq 5$	29.807		70.193	21.119	78.881	-8.42
a2b2	$2 \leq x \leq 6$	34.553		65.447	26.453	73.547	-13.75
a2b3	$2 \leq x \leq 7$	39.528		60.472	32.043	67.957	-19.34
a2b4	$2 \leq x \leq 8$	44.401		55.599	37.520	62.480	-24.82
a3b1	$3 \leq x \leq 5$	29.807		70.193	17.059	82.941	-4.36
a3b2	$3 \leq x \leq 6$	34.553		65.447	22.668	77.332	-9.97
a3b3	$3 \leq x \leq 7$	39.528		60.472	28.546	71.454	-15.85
a3b4	$3 \leq x \leq 8$	44.401		55.599	34.304	65.696	-21.60

表 4 Pabedan 地区における DBM12 分類の比較結果

		Latha地区南部					
		B+Y / B+Y+O+R			Y / Y+O+R		差分
地点高さ[m]		Black	Yellow	Orange+Red	Yellow	Orange+Red	
a1b1	$1 \leq x \leq 5$	29.807		70.193	24.643	75.357	-11.94
a1b2	$1 \leq x \leq 6$	34.553		65.447	29.739	70.261	-17.04
a1b3	$1 \leq x \leq 7$	39.528		60.472	35.079	64.921	-22.38
a1b4	$1 \leq x \leq 8$	44.401		55.599	40.311	59.689	-27.61
a2b1	$2 \leq x \leq 5$	29.807		70.193	21.119	78.881	-8.42
a2b2	$2 \leq x \leq 6$	34.553		65.447	26.453	73.547	-13.75
a2b3	$2 \leq x \leq 7$	39.528		60.472	32.043	67.957	-19.34
a2b4	$2 \leq x \leq 8$	44.401		55.599	37.520	62.480	-24.82
a3b1	$3 \leq x \leq 5$	29.807		70.193	17.059	82.941	-4.36
a3b2	$3 \leq x \leq 6$	34.553		65.447	22.668	77.332	-9.97
a3b3	$3 \leq x \leq 7$	39.528		60.472	28.546	71.454	-15.85
a3b4	$3 \leq x \leq 8$	44.401		55.599	34.304	65.696	-21.60





図6 Latha 地区南部の航空写真と建物ポイントデータ

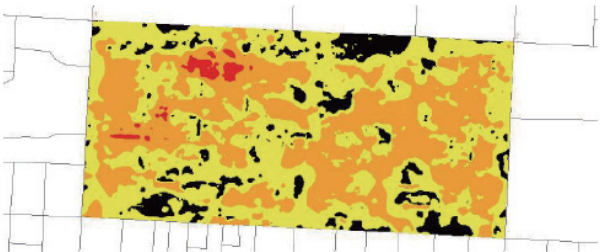


図7 Latha 地区南部のDBM (a1b2)

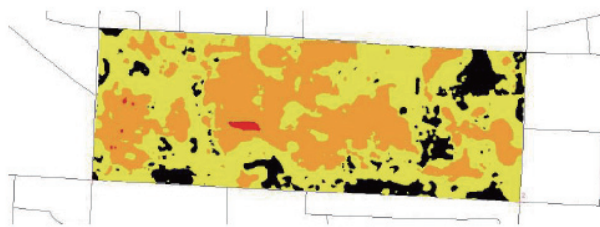
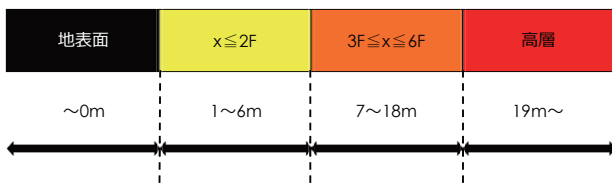


図8 Latha 地区北部のDBM (a1b2)



	低層(2F以下)	中層(3F~6F)	高層(7F以上)
低層地域	◎	◎	△
高層地域	×	○	◎

図9 地区ごとの比較結果

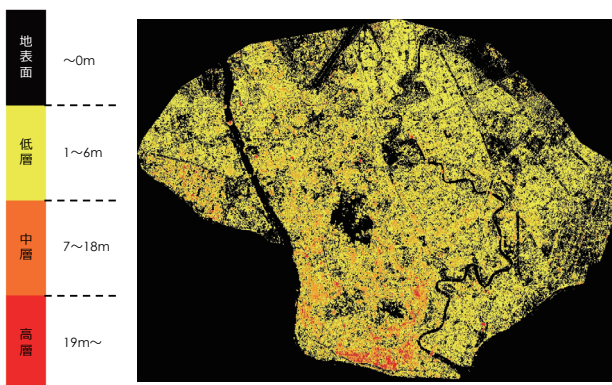


図10 DBMを用いたヤンゴンの建物地域特性

## 6. まとめ

リモートセンシングデータを用いて、ある程度の正確性を持った建物高さデータを入手できることが分かった。

高層建物が立ち並ぶ地域において、低層建物の正確な高さを推定することが難しいという課題もあるが、低層の建物群が広がる地域においては、十分に本研究の結果を活用することができると言える。建物被害関数の構築を見据えた建物特性データを把握する際には、2F以下の建物割合が重要な要素となる。その際には、DBMにおいて1mから6mの範囲が適切だと推察できる。

## 謝辞

本稿は、科学技術振興機構 地球規模課題対応国際科学技術協力(防災研究分野「開発途上国のニーズを踏まえた防災科学技術」領域)、ミャンマーの災害対応力強化システムと産学官連携プラットフォームの構築(H27-31)(代表:東京大学生産技術研究所 目黒公郎)の中で実施した研究報告である。DBMおよび地理情報システムデータ使用については、東京大学生産技術研究所の竹内渉准教授、および国際協力機構(JICA)の協力をいただいた。記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) Murao, O., Meguro, K., Yu, K. T., Matsushita, T., Gokon, H., Usuda, T., Komin, A., Kato, T., Koshihara, M., and Numada, M.: "Consideration of Making Building Vulnerability Maps for Yangon City," Proceedings of the 6th International Conference on Science and Engineering 2015 (USB), Yangon, Myanmar, 2015.12
- 2) 村尾修: ヤンゴンにおける地震による地域危険性評価のための現地調査, 2016年度日本建築学会大会(九州)学術講演梗概集F-1, 1117-1118, 2016.8
- 3) Murao, O., Gokon, H., Meguro, K., Yu, K. T.: "Tentative Building Vulnerability Assessment of Yangon," Proceedings of the 7th International Conference on Science and Engineering 2016 (USB), Yangon, Myanmar, 2016.12
- 4) Sritarapipat, T. and Takeuchi, W.: Estimating Land Value and Disaster Risk in Urban Area in Yangon, Myanmar Using Stereo High-resolution Images and Multi-temporal Landsat Images, 36th Asian Conference on Remote sensing (ACRS), Manilla, Philippines, 2015.10
- 5) 中日本航空株式会社: 数値標高モデル, <http://www.nnk.co.jp/research/product/data/dem.html>