

令和 4 年 6 月 25 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02256

研究課題名（和文）衛星からの不動産価格マッピングとその利用可能性に関する研究

研究課題名（英文）A study of satellite-based mapping of real estate price and its applications

研究代表者

柴崎 亮介（Shibasaki, Ryosuke）

東京大学・空間情報科学研究センター・教授

研究者番号：70206126

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：新型コロナにより発展途上国の都市地価データの収集に大きな障害が生じたため、都市環境を衛星画像から詳細に取得するための衛星画像の解析技術の高度化に焦点をあて、国内での地価データ等と関連を明らかにした。高分解能画像による建物の抽出や変化検出技術の高度化し、さらにフリーの中分解能衛星画像を主に利用して住環境劣悪地域（地価が顕著に安い地域）を自動抽出する技術を開発した。これらの方法は大幅な精度向上を達成できることがわかった。さらに国内で利用可能な地価データ等を大量に取得し、衛星画像から得られる環境因子との関連分析を行った。これらから、我々は衛星画像から途上国大都市での地価推計を行える見通しを得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

多様な衛星画像を利用して建物の自動抽出や変化の自動検出、あるいは住環境の劣悪な貧困地域の自動抽出など、都市環境の詳細情報を抽出する研究は他に少なく、手法開発研究としても、実証的な意味でも非常に有益な成果が得られた。

途上国の都市開発においても、固定資産価値の上昇は、都市の経済成長や都市整備のための公的財源の原資として非常に重要である。資産価値情報を衛星画像などのオープンなデータを用いてある程度推定できるようになれば、長期的には都市財政の安定化や公共サービスの高度化に貢献できる。

研究成果の概要（英文）：Since the Covid-19 has caused major obstacles to the collection of urban land price data in developing countries, we have focused on the advancement of satellite image analysis to obtain detailed urban environmental information from satellite images and clarified the relationship with domestic land price data. We have developed advanced techniques for extracting buildings and detecting the changes using high-resolution imagery, as well as those for automatically extracting slum areas (i.e., areas with significantly low environmental quality and land prices) using mainly medium-resolution satellite imagery. These methods were found to achieve a significant improvement in accuracy.

We also obtained a large amount of available land price data in Japan and analyzed the relationship with environmental factors obtained from satellite images. From these results, we have obtained a prospect to estimate land prices in large cities in developing countries from satellite images.

研究分野：空間情報科学

キーワード：衛星画像解析 住環境 地価 大都市 途上国 深層学習

1. 研究開始当初の背景

都市開発等により都市は常に変容しているが、それを駆動する最も重要な変数の一つである不動産価格(地価等)を衛星画像から推定することを試みる。東京を参照しつつバンコク、マニラ、ムンバイと、所得水準やインフラの整備状況、建物粒度等が異なるアジアの都市に適用し、精度、利用可能性を実証的に明らかにする。その際、近年進展著しい深層学習等を用い、いわゆる地物等の抽出に加え、その密度・配置、高さ、緑地・空地との関係性など多面的な特徴を衛星画像から抽出することを試みる。衛星画像は世界中の都市を時系列的にも空間的にも網羅できることから展開の可能性は非常に高い。また衛星画像から「直接目には見えない」社会経済状態を推定する研究が近年注目されているが、本研究は地価推定に初めてチャレンジする先駆的研究となる。なお、土地価格はインフラ整備の効果を金額的に評価するために利用でき、不動産開発の計画、デザイン、都市財源の確保といった観点からも非常に重要である。研究の実用的なポテンシャルはきわめて大きい。

2. 研究の目的

当初の研究目標は以下の三つである。

- 1) 衛星画像の自動判読技術の開発; 土地価格等に影響する総合的な情報(建物密度や建物の質、道路密度、緑被率などの住環境情報など)を体系的に抽出する技術を開発する。
- 2) 土地価格の推定方法を開発し精度を検証する。
- 3) 時系列の土地価格マップを作成し、インフラの整備効果の把握等利用方法を評価する。

新型コロナウイルスの影響により海外渡航が厳しく制限され海外における地価データの入手交渉等が遅々として進まなかった。そのため海外における地価データの収集は継続しつつも期間内に次に繋がる研究成果を上げるために、国内の地価データを収集し、衛星画像から得られる推定方法の分析を行うこととした。

特に3)は時系列での地価データの収集が必要になることから、既存研究の整理等を行い可能性を検討する程度に留め、本研究のブレークスルーポイントである1)衛星画像の自動判読技術の開発を中心的な目標として追及し、土地価格の推定方法については国内の地価データを利用して推定の可能性を定量的に明らかにすることとした。

3. 研究の方法

- 1) 衛星画像の自動判読技術の開発; 土地価格等に影響する総合的な情報(建物密度や建物の質、道路密度、緑被率などの住環境情報など)を体系的に抽出する技術を開発する。

衛星画像の解析については途上国の大都市を主な対象とし、容易に利用可能な衛星画像の種別ごとに、住環境等に関する情報を自動抽出する技術を開発する。容易に利用可能な衛星画像を対象とすることでグローバルな展開を可能にする計画である。

具体的には高分解能画像(衛星・航空機等)による建物の抽出や変化検出技術の高度化、中分解能ではあるが無償でどこでも得られる衛星画像を主に利用した住環境劣悪地域(地価が顕著に安い地域)の抽出技術などである。具体的にはまず地価や建物・住環境等の検証データが豊富に利用できる国内において高分解能画像から三次元建物高さ情報を自動抽出し、高さ情報とRGB情報を併用した建物抽出及び変化検出手法を開発し、どの程度の精度向上が可能になるかは明らかにする。これは完全自動化を目指した技術であり、画像が入手できればどここの大都市にも適用できるものを目指している。これにより途上国大都市を幅広くカバーした詳細な住環境・建物環境分析が可能になり、大きな意義がある。

さらに海外で自由に利用できる解像度のやや低い衛星画像を利用して、住環境劣悪地域(地価が顕著に安い地域)の抽出技術を開発する。抽出の正確性について検証をどのように行うかが大きな課題となる。

これについては、バングラデシュ国ダッカとモザンビーク国マプトにおいて、現地の協力者と連携して実査を行なうことができたため、検証データを得ることができた。当初、マニラなどを対象としていたが新型コロナの影響により十分な連携がとれなかったためダッカおよびマプトを選定した。

- 2) 土地価格の推定方法を開発する。

前述のようなグローバルに容易に展開可能な衛星画像解析技術の開発と並行して国内で利用可能な地価データ等を大量に取得し、それらと緑被率に代表されるような住環境情報との関連分析を行う。これらにより衛星画像から物理的な環境情報等が得られれば途上国大都市での地価推計を行える可能性を明らかにする。

4. 研究成果

本研究の成果を研究目的ごとに整理した。

4-1. 衛星画像の自動判読技術の開発; 土地価格等に影響する総合的な情報(建物密度や建物の質、道路密度、緑被率などの住環境情報など)を体系的に抽出する技術を開発する。

衛星画像の解析については途上国の大都市を主な対象とし、容易に利用可能な衛星画像の種別ごとに、住環境等に関する情報を自動抽出する技術を開発した。高分解能画像(衛星・航空機等)による建物の抽出や変化検出技術の高度化、中分解能ではあるが無償でも得られる衛星画像を主に利用した住環境劣悪地域(地価が顕著に安い地域)の抽出技術などである。

(1) 3次元マッピング技術を組み合わせた建物の自動抽出と変化検出技術

まず地価や建物・住環境等の検証データが豊富に利用できる国内において高分解能画像から3次元建物高さ情報を自動抽出し、高さ情報とRGB情報(画像情報)を併用した建物抽出及び変化検出手法を開発し、どの程度の精度向上が可能になるかは明らかにする。これは完全自動化を目指した技術であり、画像が入手できればどこの大都市にも適用できるものを目指している。これにより途上国大都市を幅広くカバーした詳細な住環境・建物環境分析が可能になり、大きな意義がある。

測量会社より提供された高精細な空撮画像(ステレオ画像)を用いて建物の高さを自動計測し、その高さデータ(Depth情報)を元のRGB画像に重ねた。このようにして作成されたRGBD画像を利用して建物を抽出と変化建設を行っている。建物は周辺の地面に対して非連続的に高さが異なっているものから建物の輪郭を高さ情報から抽出することができる。抽出された建物データを2時点で比較することにより変化が生じているか否かを検出できる。RGBデータを用いるだけでは似たような屋根の形状を有するケースなどでは変化を検出することは必ずしも容易ではなく実際に行くと相当の保健室が発生したそこで建物の高さ情報を利用することとした。また測量会社からは合わせて建物の高さデータの提供も受けていたもののその高さ情報のクオリティーが変化検出には必ずしも充分ではなかった。そのため本研究ではオプティカルフロー手法を改良した非常に高密度なステレオマッチング手法を開発し高精細な高さ情報を自動抽出する手法を開発した。

(2) 海外で自由に利用できる解像度のやや低い衛星画像を利用して、住環境劣悪地域(地価が顕著に安い地域)の抽出技術を開発する。

これについては、バングラデシュ国ダッカとモザンビーク国マプトにおいて、現地の協力者と連携して実査を行なうことができたため、検証データを得ることができた。当初、マニラなどを対象としていたが新型コロナウイルスの影響により十分な連携がとれなかったため、ダッカおよびマプトを選定した。

その結果、どこでも比較的安価に利用できる中解像度衛星画像を使用し、深層ニューラルネットワーク手法を適用することで、市街地をInformalityに応じて区分できること、その区分を用いることで、貧困度が高いであろうと推定される地域を精度よく抽出できることがわかった。この手法を利用することで衛星画像から発展途上国の大都市圏で土地価格等の推定を実現するための十分な見通しが得られた。

表 深層ニューラルネットワーク手法による自動分類の精度検証結果

Table 2. Detailed performance of segmentation over six cities.

City	Socioeconomic Semantic Region	Area (%)	DeepLabv3+			U-Net		FCN-8	
			Accuracy (%)	F1-Score	Accuracy (%)	F1-Score	Accuracy (%)	F1-Score	
Dhaka	Highly Informal	20.86	86.47	0.66	85.72	0.65	80.52	0.59	
	Moderately Informal	17.95	83.24	0.56	81.74	0.55	79.11	0.34	
	Moderately Formal	12.28	94.33	0.77	93.95	0.78	89.01	0.59	
	Highly Formal	0.95	99.10	0.18	98.98	0.05	98.20	0.11	
Mumbai	Highly Informal	7.13	98.10	0.86	97.27	0.77	95.12	0.67	
	Moderately Informal	8.29	91.16	0.45	88.94	0.36	89.53	0.26	
	Moderately Formal	16.56	90.25	0.71	89.34	0.69	88.09	0.66	
	Highly Formal	2.08	98.0	0.10	97.75	0.02	97.74	0.01	
Lima	Highly Informal	4.81	98.05	0.81	97.32	0.79	96.43	0.56	
	Moderately Informal	8.51	95.14	0.73	89.42	0.54	89.54	0.49	
	Moderately Formal	33.20	95.03	0.93	90.48	0.86	89.32	0.85	
	Highly Formal	0.72	99.01	0.17	99.18	0.01	99.20	0.00	
Jakarta	Highly Informal	9.78	95.20	0.73	92.31	0.50	86.52	0.38	
	Moderately Informal	19.25	91.02	0.79	84.81	0.63	78.69	0.43	
	Moderately Formal	28.13	94.01	0.89	89.04	0.81	82.59	0.69	
	Highly Formal	0.64	99.05	0.22	99.21	0.03	99.04	0.01	
Cairo	Highly Informal	9.21	93.11	0.63	90.89	0.42	89.08	0.40	
	Moderately Informal	17.35	86.94	0.63	84.07	0.58	83.58	0.54	
	Moderately Formal	20.35	90.03	0.75	88.79	0.73	87.93	0.70	
	Highly Formal	2.32	97.33	0.41	96.74	0.24	96.32	0.33	
Guangzhou	Highly Informal	11.88	90.31	0.32	90.70	0.40	88.80	0.13	
	Moderately Informal	13.19	71.11	0.36	73.03	0.36	76.30	0.28	
	Moderately Formal	21.08	77.05	0.43	74.20	0.42	70.29	0.47	
	Highly Formal	10.82	90.18	0.25	89.40	0.06	89.05	0.05	
Nairobi	Highly Informal	3.6	94.04	0.41	96.34	0.16	96.11	0.16	
	Moderately Informal	13.28	87.12	0.58	85.62	0.59	81.14	0.46	
	Moderately Formal	32.55	87.08	0.77	86.41	0.77	81.50	0.69	
	Highly Formal	1.91	98.00	0.19	98.14	0.00	98.12	0.00	

4-2.土地価格の推定方法を開発する。

前述のようなグローバルに容易に展開可能な衛星画像解析技術の開発と並行して国内で利用可能な地価データ等を大量に取得し、それらと緑被率に代表されるような住環境情報との関連分析を行う。これらにより衛星画像から物理的な環境情報等が得られれば途上国大都市での地価推計を行える可能性を明らかにした。

4-3.まとめ

長期的な視点から民間企業を經由した地価データの収集活動は続けるものの、新型コロナの蔓延により発展途上国の大都市における地価データの収集に大きな障害が生じたため、国内における地価データの分析とそれを海外に展開する際に必要な衛星画像の解析技術の高度化や地価データ等との関連分析を行った。

衛星画像の解析については途上国の大都市を主な対象とし、十分な成果を得た。高分解能画像(衛星・航空機等)による建物の抽出や変化検出技術の高度化、中分解能ではあるが無償でも得られる衛星画像を主に利用した住環境劣悪地域(地価が顕著に安い地域)の抽出技術などである。具体的にはまず地価や建物・住環境等の検証データが豊富に利用できる国内において高分解能画像から三次元建物高さ情報を自動抽出し、高さ情報とRGB情報を併用した建物抽出及び変化検出手法を開発し、大幅な精度向上を達成できることがわかった。これは完全自動化を目指した技術であり、画像が入手できればこの大都市にも適用できる。これにより途上国大都市を幅広くカバーした詳細な住環境・建物環境分析が可能になり、大きな意義がある。さらに海外で自由に利用できる衛星画像を利用して、バングラデシュ国ダッカとモザンビーク国マプトにおいて、現地の協力者と連携して実査を行ないながら、劣悪な居住環境地域の自動抽出する技術の開発を行い、十分な成果を得た。当初、マニラなどを対象としていたが新型コロナの影響により十分な連携がとれなかったためダッカおよびマプトを選定した。

こうした技術開発と並行して国内で利用可能な地価データや賃料情報を大量に取得し、それらと緑被率に代表されるような要因との関連分析を行った。その結果、衛星画像から物理的な環境情報等が得られれば途上国大都市での地価推計を行える見通しが得られた。

(発表論文)

国際学術雑誌

1. Bugalia N, Choudhury SR, Maemura Y, Seetharam K. A systems theoretic process analysis (STPA) approach for analyzing the governance structure of fecal sludge management in Japan. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*. March 2022. doi:10.1177/239980832211075639
2. Qianwei Cheng, Moinul Zaber, AKM Mahbubur Rahman, Haoran Zhang, Zhiling Guo, Akiko Okabe and Ryosuke Shibasaki, Understanding the urban environment of developing countries from satellite images with new classification methods - focusing on formal and informal, *Sustainability* 2022, 14(7), 4336; <https://doi.org/10.3390/su14074336>
3. A. K. M. Mahbubur Rahman, Moinul Zaber, Qianwei Cheng, Abu Bakar Siddik Nayem, Anis Sarker, Ovi Paul and Ryosuke Shibasaki, Applying State-of-the-Art Deep-Learning Methods to Classify Urban Cities of the Developing World, *Sensors* 2021, 21(22), 7469; <https://doi.org/10.3390/s21227469>
4. Resilience of cities to external shocks: Analysis, modeling and economic impacts <https://scholar.google.com/scholar?oi=bibs&cluster=16530954318445523516&btnI=1&hl=en> S Ukkusuri, KE Seetharam, P Morgan, L See - *Environment and Planning B: Urban Analytics and City ...*, 2021
5. Understanding rooftop PV panel semantic segmentation of satellite and aerial images for better using machine learning, Peiran Li, Haoran Zhang, Zhiling Guo, Suxing Lyu, Jinyu Chen, Wenjing Li, Xuan Song Ryosuke Shibasaki, Jinyue Yan, *Advances in Applied Energy*, Volume 4, 19 November 2021, 100057, <https://doi.org/10.1016/j.adapen.2021.100057>
6. Lian Xinlei, Yuan, Wei*, Guo Zhiling, Cai Zekun, Song Xuan, Shibasaki Ryosuke., 2020. End-To-End Building Change Detection Model in Aerial Imagery And Digital Surface Model Based on Neural Networks. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 43: 1239-1246..
7. Wei Yuan, Zipei Fan, Xiuxiao Yuan, Jianya Gong, Ryosuke Shibasaki., 2020. Unsupervised Multi-Constraint Deep Neural Network for Dense Image Matching, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information*

Sciences. 43: 163-167.

8. Wei Yuan, Xiuxiao Yuan, Ryosuke Shibasaki, et al., 2019. Dense image matching via optical flow field estimation and fast guided filter refinement, *Remote Sensing*. 11(20): 2410.
9. Xiuxiao Yuan, Wei Yuan*, Shu Xu, Yanhua Ji, 2019. Research developments and prospects on dense image matching in photogrammetry. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 48(12): 1542-1550.
10. Xiuxiao Yuan, Wei Yuan*, Shiyu Chen. 2018. An Automatic Detection Method of Mismatching Points in Remote Sensing Images Based on Graph Theory. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*. Vol. 43, Issue (12): 1854-1860.
11. Zhiling Guo, Guangming Wu, Xiaoya Song, Wei Yuan, Ryosuke Shibasaki, et al. 2019. Super-Resolution Integrated Building Semantic Segmentation for Multi-Source Remote Sensing Imagery. *IEEE Access*. PP(99):1-1.
12. Shiyu Chen, Xiuxiao Yuan, Wei Yuan*, et al. 2018. Matching multi-Sensor Remote Sensing Images via Affinity Tensor. *Remote Sensing* 10(7):1104.
〔学会発表〕

著書

1. Yoshino, N., Gopakumar, K.U., Paramanik, R.N., Taghizadeh-Hesary, F., Revilla, M.L., Ram, K.E.S. (2022). A New Keynesian AD-AS Model for India, Incorporating the Effect of Covid-19 Pandemic. In: Yoshino, N., Paramanik, R.N., Kumar, A.S. (eds) *Studies in International Economics and Finance*. India Studies in Business and Economics. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-7062-6_2

総説等

1. Public/Private Partnerships in Developing Asian Countries: Practical Suggestions for Future, Development Assistance
<https://scholar.google.com/scholar?oi=bibs&cluster=11721810150673475865&btnI=1&hl=en>
K Endo, KE Seetharam - 2021
2. Impacts of Sanitation on Child Mortality and School Enrollment: A Country-Level Analysis, <https://scholar.google.com/scholar?oi=bibs&cluster=6236893708040697003&btnI=1&hl=en> MLD Revilla, KES Ram - 2021
3. "Sanitation" in the Top Development Journals: A Review
<https://scholar.google.com/scholar?oi=bibs&cluster=16827447583378292059&btnI=1&hl=en>
M Revilla, F Qu, KE Seetha Ram, B Rao - 2021
4. Moving up the On-Site Sanitation ladder in urban India through better systems and standards, <https://scholar.google.com/scholar?oi=bibs&cluster=13990800152535310588&btnI=1&hl=en> S Dasgupta, N Agarwal, A Mukherjee - *Journal of Environmental Management*, 2021
5. Citywide inclusive sanitation: a public service approach for reaching the urban sanitation, SDGs
<https://scholar.google.com/scholar?oi=bibs&cluster=8700815970335967782&btnI=1&hl=en>
A Schrecongost, D Pedi, JW Rosenboom, R Shrestha... - *Frontiers in Environmental Science*, 2020

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yuxuan Wang, Guangming Wu, Yimin Guo, Yifei Huang and Ryosuke Shibasaki.	4. 巻 12
2. 論文標題 Learn to Extract Building Outline from Misaligned Annotation through Nearest Feature Selector.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Remote Sensing, 12(17), 2020.	6. 最初と最後の頁 12-17
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/rs12172722	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Guangming Wu, Yimin Guo, Xiaoya Song, Zhiling Guo, Haoran Zhang, Xiaodan Shi, Ryosuke Shibasaki and Xiaowei Shao	4. 巻 11
2. 論文標題 A Stacked Fully Convolutional Networks with Feature Alignment Framework for Multi-Label Land-cover Segmentation.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 1051
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/rs11091051	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Zhiling Guo, Guangming Wu, Xiaodan Shi, Mingzhou Sui, Xiaoya Song, Yongwei Xu, Xiaowei Shao, Ryosuke Shibasaki
2. 発表標題 Geosr: A Computer Vision Package for Deep Learning Based Single-Frame Remote Sensing Imagery Super-Resolution
3. 学会等名 In IGARSS 2019-2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (pp. 3376-3379). IEEE. (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	Seetharam KE (Seetharam KE) (10817290)	東京大学・空間情報科学研究センター・客員教授 (12601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------