

# 時系列光学衛星データを用いた 都市鉄道沿線開発状況の把握 —バンコクを事例として—

塩田 彩夏<sup>1</sup>・森地 茂<sup>2</sup>・稲村 肇<sup>3</sup>・日比野 直彦<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 東日本旅客鉄道株式会社 東京工事事務所 (〒151-0053 東京都渋谷区代々木 2-2-6)

E-mail: a-shioda@jreast.co.jp

<sup>2</sup>名誉会員 政策研究大学院大学名誉教授 大学院政策研究科 (〒160-8677 東京都港区六本木 7-22-1)

E-mail: smorichi.pl@grips.ac.jp

<sup>3</sup>名誉会員 東北工業大学名誉教授 (〒982-8577 仙台市太白区八木山香澄町 35-1)

E-mail: hajime.inamura@gmail.com

<sup>4</sup>正会員 政策研究大学院大学教授 大学院政策研究科 (〒160-8677 東京都港区六本木 7-22-1)

E-mail: hibino@grips.ac.jp

アジア諸外国において都市鉄道整備が活発化している。政府の財源不足からPPP事業による整備が採用され、沿線開発事業による内部補助を志向してきたが、その多くは経営破綻し、政府が対応を迫られてきた。本研究の目的は、正確な土地利用データがない発展途上国においても都市開発の進展を把握できる方法を確立し、それを用いて鉄道整備と沿線開発の関連性を分析して、アジアの鉄道建設意思決定者にその知見を提供することである。対象地域として急速に都市鉄道整備が進むバンコクを選び、衛星写真による開発の詳細な変遷とNDVIの時系列変化を比較し、NDVIが広域開発に関する評価手法として適当であることを確認した。この手法を用いた結果、バンコクでは中心から20~30km四方において特に開発が活発化していること、方角別では西側の開発が顕著なこと、MRTパープルライン沿線の開発が顕著なことが明らかになった。

**Key Words** : アジア, 都市鉄道, 沿線開発, 土地利用, 光学衛星, NDVI

## 1. はじめに

### (1) 本研究の背景と目的

近年、アジア諸外国の各都市で鉄道建設が進められている。それらの国では財源・技術・ノウハウの不足からPPP (Public Private Partnership) 事業による都市鉄道整備が多く採用されてきているが、それら事業の多くは成功したとは言えない<sup>1)</sup>。そして、マニラ<sup>2)</sup>やバンコク<sup>3)</sup>では容量不足の鉄道が建設されており、ピーク時にはほとんどの車両が満員になり、車両内のみではなく駅のプラットフォームも非常に混雑し、鉄道利用者が乗車まで列車を見送るといった事例も起きている。アジアの都市鉄道建設意思決定者は、鉄道事業は初期において利益が出にくいと、都市開発事業の利益に過剰に期待している傾向がある。しかしながら、日本における既往研究において駅周辺開発の完成までに15年から30年の時間を要している場合が多いように、駅周辺開発には時間を要し「鉄

道の初期赤字を開発利益によって補填」するというスキームの成立は困難であると考えられる。また、これまでにアジア地域における都市鉄道は多く開業しているが、その駅周辺の開発状況は十分に分析されていない。そこで本研究では、アジア地域における都市鉄道の沿線開発に着目し、その実態の詳細な調査、広域における都市開発状況の把握方法の確立をし、それを用いて過去の開発実態及び鉄道需要との関係を分析することによって、鉄道経営や沿線開発に関する教訓を得ることを目的とする。具体的には、鉄道建設の意志決定時、建設開始時、営業開始時のタイミングにおける時系列の衛星写真データを用いた整備の進捗を調査することで、開発規模と開発に要した時間の関係を明らかにする。これにより、アジア地域の都市鉄道駅周辺の開発について知見を得ることが本研究の特徴である。

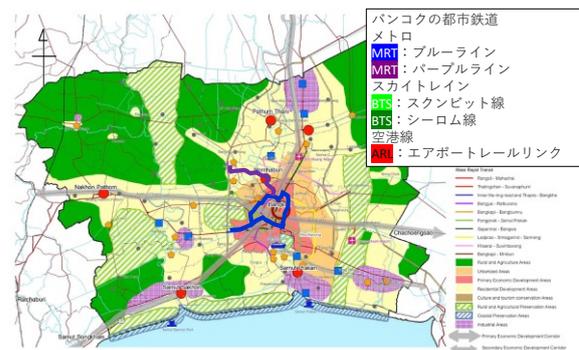
### (2) 本研究の構成

本研究では、アジア地域の都市鉄道駅周辺の開発について知見を得るために、開発実態の調査と開発の調査手法を提案する。2 章では既往研究の整理と本研究の位置付けを行う。3 章では本研究で扱うデータについて述べる。4 章では衛星写真を用いて駅周辺開発について詳細な場所、時期、開発種別の実態調査を行う。5 章ではその調査結果と路線別の乗客数を比較検討する。6 章では光学衛星データによる都市開発の把握を行う。最後に、結論と今後の課題を記す。

## 2. 既往研究の整理と本研究の位置付け

駅周辺の開発に関する既往研究として、西川<sup>4)</sup> は日本における新幹線駅 92 駅を対象に駅周辺開発の規模及び駅ごとの特徴について整理を行った結果、土地区画整理事業の範囲の開発は都市人口規模が大きい都市において必ずしも速く進展せず、駅周辺を土地区画整理事業として一括的に実施して開発を進めた箇所においては、約 9 割の土地が整備されるまでに 15 年から 30 年以上の時間を有しており、駅周辺開発には長い時間を要することを明らかにした。小森<sup>5)</sup> は近年開業した都市鉄道を対象に開業後の需要の推移と増減の要因分析を行った。沿線の人口増加率よりも輸送人員の増加率が高い路線があり、これらの路線沿線の増加人口に対する増加輸送人員の割合が高いことから、新たに引っ越してきた人の鉄道利用率が高いことを示した。また、沿線住民の居住年数を分析し、鉄道開業後、沿線に新たに引っ越してきた人が増えていることを明らかにした。中村<sup>6)</sup> は鉄道駅周辺市街地の維持再生が TOD の点で先進的とされる我が国の今後の都市整備と鉄道機能維持の鍵になるという観点から、鉄道の利用と鉄道駅周辺土地利用に着目し、鉄道駅周辺の土地利用実態等から駅乗降客数の動向を分析している。駅周辺の土地利用状況を「未開発型」、「低度利用型」「複合利用型」「その他」に分類し、駅周辺において住宅用地、商業・業務用地、公共公益施設用地などが混在した複合的な土地利用をしている駅では駅乗降客数が維持増加傾向にあることを明らかにした。新倉ら<sup>7)</sup> は、需要定着についてマクロ的視点からの分析と開業前後の利用者の意向および利用状況の把握を行った。また、経路選択モデルを使って分析した結果、知覚誤差を解消することによって、少なくとも通勤目的に対して需要の増加に有効であることを明らかにした。

アジア地域における駅周辺の開発に関する既往研究として、福田<sup>8)</sup> はタイにおけるバンコクの軌道系公共交通機関沿線における土地開発の実態について、土地開発に関して近年整備が進んだエアポートレイルリンク (ARL) とパープルライン沿線を対象に都市開発の実態を調査し、エアポートレイルリンクでは鉄道へのアクセスを考慮さ



DTP (2009) "Bangkok and its Vicinity Regional Plan 2057"<sup>10)</sup>

図-1 バンコク圏の2057年開発方針とMRTブルーライン、パープルライン

れていない自動車アクセスを前提とした開発、パープルラインでは鉄道敷設計画後の急速な住宅地の開発の実態を明らかにした。松行<sup>9)</sup> は、タイ・バンコク首都圏における都市鉄道開発前後における住宅の開発動向と住居選択の選好に関する違いについて、タイにおいて 10 年に一度実施されている「Population and Housing Census」の 2000 年と 2010 年の人口密度データを用いて、東西の郊外の区と都心東側 ARL 周辺の区において人口増加率が高いことを示した。しかしながら、バンコクやその周辺県においては多くの非登録住民がいると言われており、人口を正確に反映したものでないことにも言及している。また、住宅の立地動向について Thinknet 社が販売しているバンコク首都圏の電子地図により 2006 年と 2013 年の住宅団地、中高層住宅の戸数を都心部、都心—郊外中間部、郊外部の 3 地域に分け、都心—郊外中間部において開発が増えていることを明らかにした。

このように、日本における駅周辺のまちづくりを対象とした研究や土地利用形態の変化に着目した研究は数多く存在しているが、アジア地域を調査した事例はまだ乏しく、アジア地域における都市鉄道開業後の沿線開発を定量的に整理するという観点の研究はなされていない。そこで本研究は、日本以外のアジア地域における都市鉄道の沿線開発に焦点を当て、沿線開発の実態を調査し、その調査手法を確立する。

## 3. 本研究で扱うデータ

本研究では、アジア地域の都市鉄道駅周辺の時系列ごとの開発状況やの把握と乗降客数との比較を行う。本研究で対象とするのは、アジア地域のなかでも都市鉄道開発が活発なタイ・バンコクの MRT ブルーライン、パープルライン沿線とする (図-1)<sup>10)</sup>。以下に分析手法を記す。

### (1) 開発変遷調査

表-1 本研究における衛星写真取得時期

	取得時期
1	GoogleEarth 上の最も古い衛星写真
2	鉄道整備計画決定時
3	鉄道建設工事着手時
4	鉄道開業後
5	GoogleEarth 上の直近衛星写真

表-2 本研究で対象とする開発

開発前	開発後
<ul style="list-style-type: none"> <li>・森林</li> <li>・農地</li> <li>・緑地</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・小規模建物群</li> <li>・中規模建物</li> <li>・大規模建物</li> </ul>

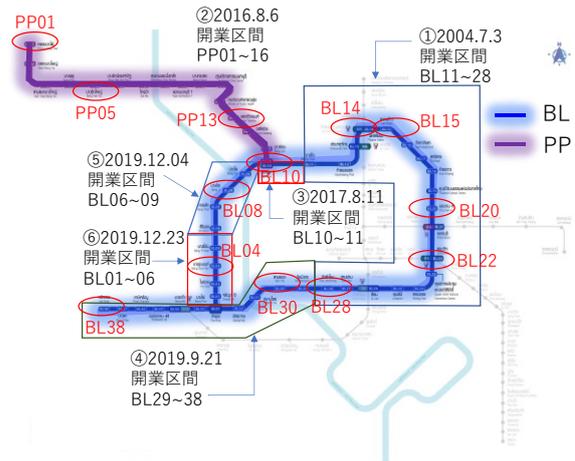


図-2 BL, PP開業時期および詳細確認箇所

本研究では、Google社の提供するGoogle Earth Pro<sup>11)</sup>の衛星写真を利用し、対象範囲における鉄道建設意思決定前後、鉄道建設前後、鉄道開業前後等の衛星写真を取得する(表-1)。駅を中心として高度1.0km(0.8km×1.4km)の写真を取得し、表-2のような農地等から新規に建物が開発された箇所にマーキングを行う。市街化面積の把握においては、Google Earth Proのポリゴン機能を使用しポリゴン内の面積を算出する。

(2) 路線別乗降客数データ

路線別乗降客数データはタイ王国 運輸省交通政策・計画局 (OTP) から提供を受けた路線別乗降客数データを使用する。これと先に(1) で出した開発状況との比較を行う。

(3) 広域における開発調査

Google社の提供するGoogle Earth Engine<sup>12) 13)</sup> (以下GEE) とColaboratory<sup>14)</sup> を使用して衛星の選択、データの取得、正規化植生指標計算、正規化植生指標を地図上に表示する。

正規化植生指標<sup>15) 16)</sup> (Normalized Difference Vegetation Index : NDVI)は次の式(1)で示することができる。

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R} \quad (1)$$

ここで、IRは近赤外領域の反射率

Rは可視領域の赤の反射率

NDVIは-1から1の値をとる。NDVIは植生が可視領域の光を吸収し、近赤外領域の光を強く反射するという特性を用いている。そのため、植生の多い緑地や農地等はこのNDVIが大きくなる。一方、植生のない建物や道路等はNDVIが小さくなる。このNDVIの大小により農地等や建物等の有無を識別する。使用衛星はLandsat-5 (1984~2013) とLandsat-8 (2013~現在) である。Landsat<sup>17)</sup> はUSGS とNASA が共同で開発し、打ち上げた地球観測

衛星である。Landsat は、長期にわたり宇宙空間から地球環境を観測することを目的としており、最初の衛星であるLandsat -1 は1972年に打ち上げられた。Landsat -4以降は、マルチスペクトラル スキャナと熱分析装置を使用して30mの解像度で2週間に1回地表を撮影している。本研究では開発変遷の確認という長期間におけるデータ取得を目的としているため、2種類の衛星を使用する。

4. 航空写真による都市開発の把握

本研究では、バンコクのMRTブルーライン、パープルライン沿線(図-2)について航空写真を用いて都市開発を調査したため、その結果を示す。

(1) MRTブルーライン (BL)

BLは2004年から段階的に開業していった路線である。全38駅のうち10駅について詳細な確認を行った。BL20,15駅のような幹線道路に近接した駅周辺では鉄道建設前からすでに開発が確認できた。BL28駅は国鉄駅周辺の既存市街地であり、再開発の様子は確認できなかった。それ以外の1期開業区間BL14,15,20,22駅ではMRT開業前後で小規模建物群から大規模建物の再開発や緑地から小規模建物群への開発が確認できた。一方、延伸区間に関しては、駅によっては空地、緑地等の開発余地が見受けられた。

(2) MRTパープルライン (PP)

PPは2016年に開業した郊外へと延びる路線である。全16中の3駅について詳細な確認を行った。チャオプラヤー川右岸側のPP01,PP05駅では農地、空地から小規模建物群への開発が見られたが、周辺にはまだ開発余地が残る。チャオプラヤー川左岸側PP13は既成市街地であり、小規模建物群から大規模建物の再開発がいくつか確認で

表-3 BL と PP 沿線開発傾向

MRT_BL		2004.7~開業					2017.8~			2019.9~		2019.12~		MRT_PP		2016.8~開業			
		BL28	BL22	BL20	BL15	BL14	BL10	BL38	BL30	BL08	BL04	PP01	PP05			PP13	PP16		
接続	国鉄	Hua Lamphong																	
	MRT						PP16												
	BTS		Asok																BL10
	ARL																		
	幹線道路				RamaIXRd	336					国道 9								
開発	建設前	NoData	NoData	NoData	NoData	NoData	×	○	×	○	○	×	○	○	×	○	○	×	○
	開業前	×	○	○	○	○	○	○	×	×	×	○	○	×	○	○	○	○	○
	開業後	×	○	○	○	○	○	○	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○

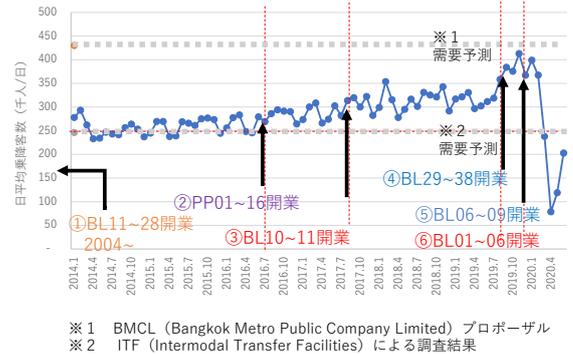
都市部

郊外部

きる。

(3) 2路線の開発実態

BLの1期開業，それ以外のBL延伸部，PPを郊外部と分けた場合，表-3のような特徴が表れた。都市部においては，MRT開業前後での開発が見られるが，郊外部においては開発がない駅もある。更に，BL10,14,22,PP16等の他路線との接続駅は大規模建物（高層 condominium 等）の開発が多いことを確認した。



※1 BMCL (Bangkok Metro Public Company Limited) プロポーザル  
 ※2 ITF (Intermodal Transfer Facilities) による調査結果

図-3 ブルーライン乗降客数推移

5. 乗降客数推移と沿線開発の関連分析

バンコクのMRTブルーライン、パープルライン沿線の乗降客数を示し，パープルラインPP01~07駅についてはより詳細な検証を行う。

(1) MRTブルーライン (BL)

BLの乗降客数は図-3に示すように年々増えてきており，環状線となった2019年12月付近では，2つの需要予測のうち高い予測値に対しても，迫る勢いがある。現在もピーク時には混雑で列車の見送りが発生していることから，今後も容量不足が課題となると考えられる。

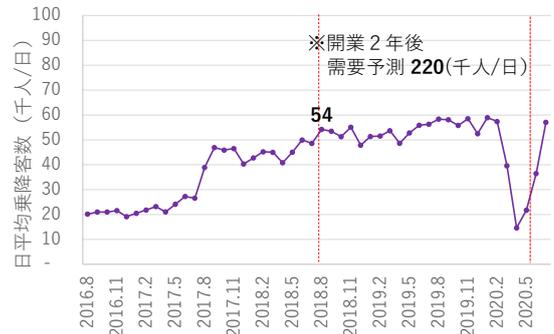


図-4 パープルライン乗降客数推移

(2) MRTパープルライン (PP)

PPも図-4に示すように乗降客数は年々増えてきている。しかしながら，開業2年後を想定した需要予測<sup>8)</sup>に対して乗降客数が下回っているため，容量にはまだ余裕のある路線であると言える。PPについてはより詳細な検証として，開業年2016年の駅別の乗降人員と航空写真によって確認した駅勢圏における開発面積との比較も行った(図-5)。その結果，乗降客数の多いPP02駅は駅勢圏も広く，駅勢圏内の開発も他駅に比べ活発なことが読み取れる。更に，駅周辺(半径2.5km)とフィーダー交通利用を加味して駅から離れた範囲(半径5.0km)での開発傾向を確認した(図-6)。駅の近傍地(半径2.5km)ではPPの建設が始まる2009年までの開発盛んであり，駅から離れた場所(半径5.0km)ではPP開業後の2016年以降

も開発が盛んである傾向が見られた。これは，既存研究<sup>8)</sup>において鉄道敷設計画後の急速な住宅地の開発が確認されていたように，駅周辺はある程度早い時期から開発しやすい土地は開発されつくされているため，鉄道開業以降は離れた場所であってもスプロールの開発がされているものと考えられる。

(3) 2路線の開発時系列変化と乗降客数推移について

都市部におけるの再開発は乗降客数の急激な増をもたらす恐れがあり，BLのような既に需要に対して容量がひっ迫しているような路線ではさらなる混雑を引き起こす可能性がある。延伸区間においては日本における既往研究<sup>4)</sup>でも示されていたように，鉄道の駅周辺開発には時間を要することと同様の傾向が示されていると推察され

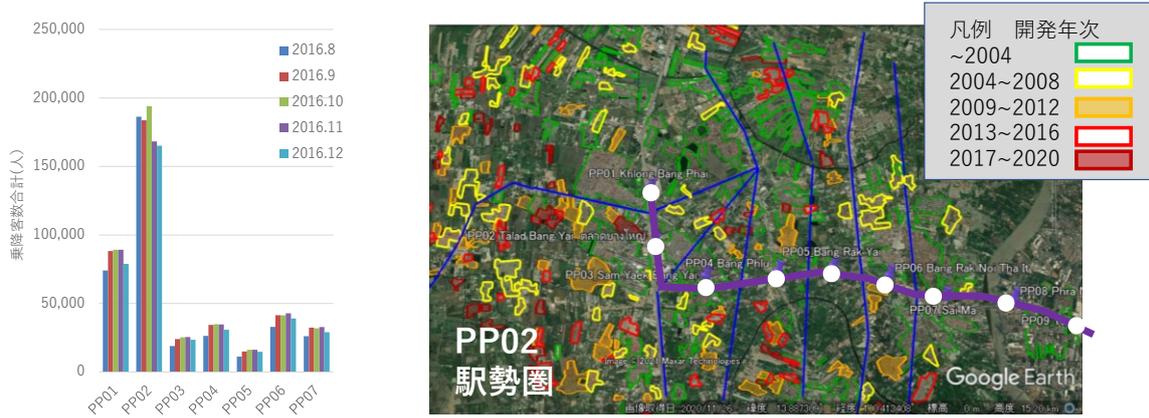


図-5 パープルライン各駅乗降客数（2016.8~12）と駅勢圏における開発

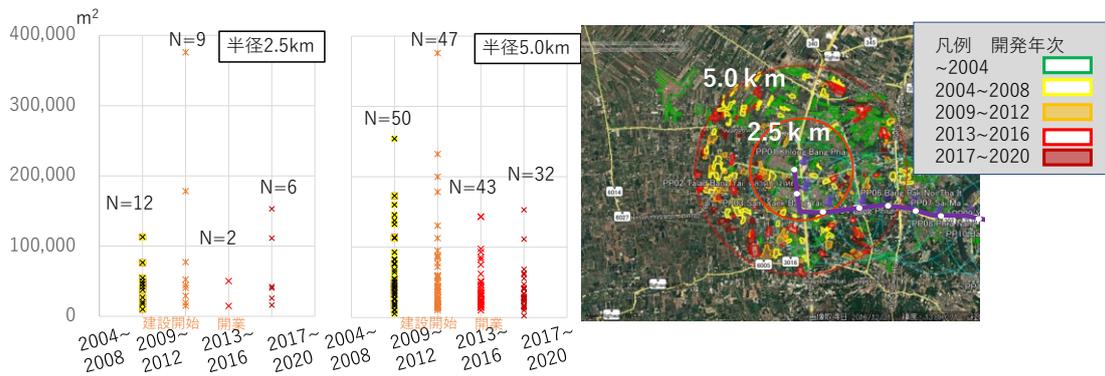


図-6 パープルライン PP01 駅 半径 2.5km, 5.0km 開発傾向

る。PPは現時点では需要予測よりも余裕のある路線であるが、長期スパンで考えると沿線には図-5右図のマーキングがないような開発余地が残っており、バンコクの人口は右肩上がりに増えていることから、今後も周辺開発が進み乗降客数も増えていくものと考えられる。

## 6. 光学衛星データによる都市開発の把握

### (1) NDVIの精度検証およびキャリブレーション

#### a) 農地・市街地の有意差検証

本研究ではNDVIを開発指標として用いる。NDVIは-1~1の値をとり、植生の多い緑地や農地等はこの大きくなる。一方、植生のない建物や道路、河川等はNDVIが小さくなる。このNDVIの大小により農地等や建物等の有無を識別する。国土院では月毎の最大値を使用しているが、本研究は駅周辺開発という長期スパンでの開発変遷を確認することや雲等への除去するため取得したNDVIの生データから2年ごとの最大値を各年のNDVIとして扱う。期間によって運用されている衛星が異なるため、本研究では衛星写真の取得ができていない2000~2020年に運用されている衛星Landsat-5, 8で検証を行う。具

体的な対応期間について、Landsat-5は2000.1.1~2013.1.15、Landsat-8は2013.2.11~現在<sup>19)</sup>である。今回、任意地点のNDVIを取得し、航空写真において各時点の農地・市街地の判定をした。Landsat-5 (238地点×9時点)、Landsat-8 (238地点×7時点) から写真判定が不明な地点・時点を取り除いたデータを対象とした農地・市街地のNDVIの確立密度を図-7に示す。農地・市街地の山が確認でき、検定でも両衛星ともP値<0.05だったためNDVIの農地、市街地には有意差が認められて判別が可能であると言える。

#### b) NDVIの農地・市街地の閾値設定

航空写真において農地・市街地の判定をした地点・時点のNDVI閾値を0.5, 0.6, 0.7とした場合の範囲内に含まれる割合を比較した(表-4)。これより、0.6の場合において2衛星の総合精度が高いことが分かる。従って、本研究ではNDVI0.6を農地・市街地判定の閾値とする

#### c) NDVIデータ処理

光学衛星データには季節や天候、取得地点等によって誤差があることが知られているため、各誤差への対処を行う。対策フローとして①2年間で計測されたNDVIの最

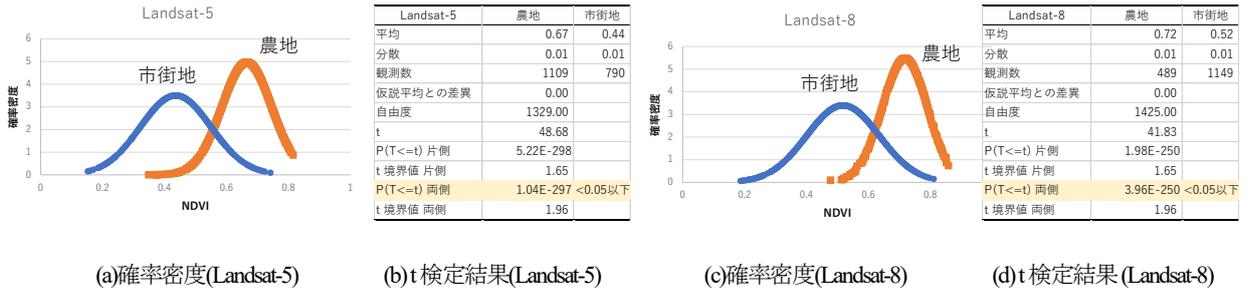


図-7 NDVIの農地・市街地の確立密度及び有意差検証

表-4 NDVIの農地・市街地の閾値

(a) 閾値 0.5					(b) 閾値 0.6					(c) 閾値 0.7							
		0.5未満	0.5以上	総数	範囲内割合			0.6未満	0.6以上	総数	範囲内割合			0.7未満	0.7以上	総数	範囲内割合
Landsat-5	農地	46	1063	1899	85.52%	Landsat-5	農地	202	907	1899	86.84%	Landsat-5	農地	699	410	1899	62.77%
	市街地	561	229				市街地	742	48				市街地	782	8		
Landsat-8	農地	1	488	1638	59.22%	Landsat-8	農地	37	452	1638	80.04%	Landsat-8	農地	166	323	1638	85.78%
	市街地	482	667				市街地	859	290				市街地	1082	67		
総合精度					-	-	3537	<b>73.34%</b>	総合精度					-	-	3537	<b>73.42%</b>

表-5 NDVI精度検証 (農地・市街地変化なし地点)

	Landsat-5 & 8	
	農地まま	市街地まま
総数 (地点×時点)	736	784
農地判定 (NDVI>0.6)	558	6
市街地判定 (NDVI≤0.6)	178	778
各クラス精度 (70%以上)	<b>75.82%</b>	<b>99.23%</b>
総合精度 (85%以上)	<b>87.89%</b>	

表-6 NDVI精度検証 (農地→市街地変化地点)

	Landsat-5 & 8	
	農地 (はじめ)	市街地 (おわり)
総数 (地点)	50	50
農地判定 (NDVI>0.6)	45	6
市街地判定 (NDVI≤0.6)	5	44
各クラス精度 (70%以上)	<b>90.00%</b>	<b>88.00%</b>
総合精度 (85%以上)	<b>89.00%</b>	

大値をとる②変化のない地点においては範囲外NDVI (農地0.6未満, 市街地0.6以上) を除去する③一度市街地開発(NDVI≤0.6)された場合農地になる可能性低いためNDVI0.6を記録した以降は一定とする④Landsat-5で0.6以下を記録したものはLandsat-8でも0.6以下とする。Landsat-5,8の2つの衛星のセンサ差異については園部ら<sup>20</sup>も述べているため, ④の処理をすることにより衛星間の差を補正することを試みる。

d) NDVIの精度確認

先述のデータ処理フローに基づいて, 任意地点の光学衛星データIR, Rを取得しNDVIを算出した。同地点で農地のまま変化のない地点 (50地点) および市街地のまま変化のない地点 (50地点) に時点をかけた総数のうち, 農地・市街地に判定された割合を表-5に示す。つぎに農地から市街地への変化のある地点 (50地点) においては計測開始の農地から計測終了時に市街地と判定された割合を表-6に示す。これより各クラス精度≥70%, 総合精度≥85%を示し, 変化のない地点, 変化のある地点においてもNDVIでの農地・市街地判定が良好であることを示唆している。

e) NDVIと航空写真の合致率

航空写真で地点ごとに農地, 市街地と判定できる時点, 不明時点を確認し, NDVIで判断された農地, 市街地とどの程度合致するかを確認した。航空写真にて判定でいない時点はデータから取り除いている。全3537 (地点・時点) に対して83.01%の合致率を示した。これより, 航空写真とNDVIの変化の合致率も精度が良好だと考える。

(2) NDVIによる開発評価

a) NDVIマッピング手法の検討および開発

NDVI数値を地図上にマッピングして開発進度を視覚的に把握することを目指した。まず, NDVIの変化を視覚的に確認するために, 2色比較を行った。視覚的に変化が分かりやすいようにいくつかの色を試し, 補色の関係にあり視認しやすかった過去をmagenta(#FF00FF)と現在をgreen(#00FF00)として2画像を重ね合わせる。過去に農地等で植生があればmagenta, 現在も変化なく農地等で植生があるならばgreenのため, それを重ねるとgray(#807f80)となる。また, 過去も現在も市街地等で植生がなければwhite(#FFFFFF)となる。従って, 過去がmagentaで現在がwhiteであればそれらが重なりmagentaで表されるため農地等から市街地等に開発されたと言える。しかしながら, この方法では変化のあった箇所がどこかを示

すことはできるが、magentaやgreenが入り混じりmagentaのなかでもNDVI大小により濃淡があることから開発地域を抽出することが困難であった。また2時期しか比較できないため、時系列の開発を追っていくことができなかった(図-8)。そこで、 $NDVI \leq 0.6$ をblack(#000000)、 $NDVI > 0.6$ をwhite(#FFFFFF)とする。更に、一度市街地化されたら農地には戻るものは少ないとの想定のもと透過度0.1で画像を時系列重ねる。ここで、透過度0~1であり1は透過なしである。これにより、過去の市街地情報を

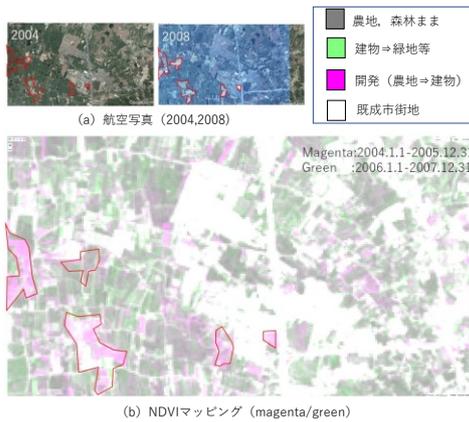


図-8 NDVIマッピング (magenta/green2色表示)

付加できることと、whiteに濃淡がつかないため、純白のピクセル数をカウントすることが可能となり農地等のまま開発されていない地域を抽出することが可能となった。取得したjpeg画像を画像編集・加工ソフトウェアのGIMPを使用してwhiteのpixel数を確認し、総データ数から引けば、 $NDVI \leq 0.6$ をblack(#000000)の市街化されている地域を抽出することができる。その市街地化地域の時系列変化から新規開発面積を計算できる。光学衛星情報による土地被覆分類の研究は数多くあるが、ここでは、簡

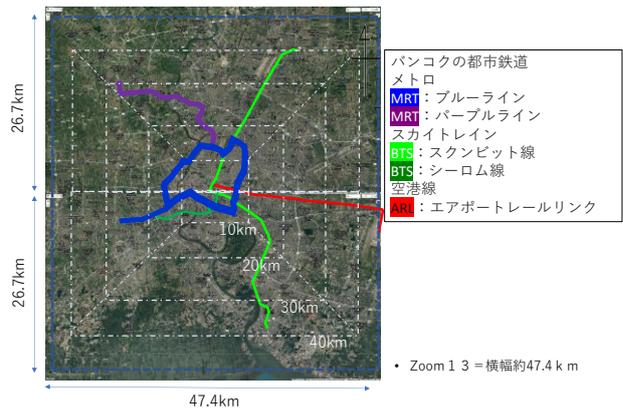
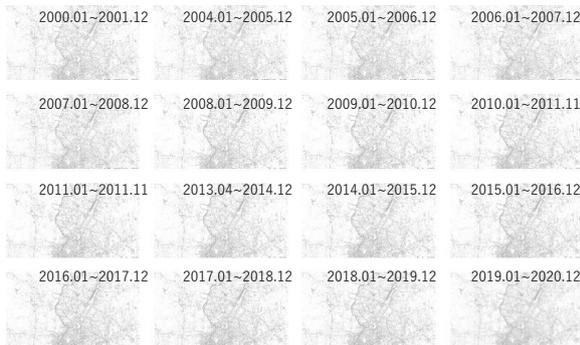
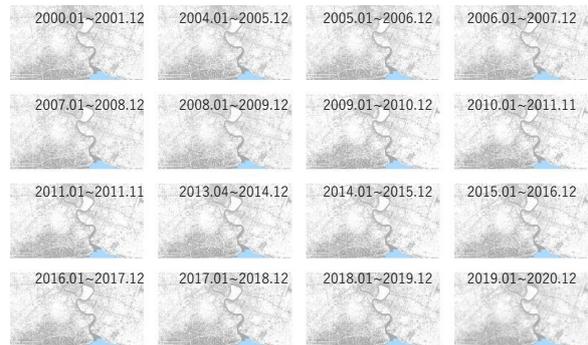


図-9 バンコク NDVI マッピング対象範囲



(a)バンコク北部



(b)バンコク南部

図-10 NDVIマッピング ( $NDVI > 0.6$ をwhite,透過度0.1で時系列重ねて表示)

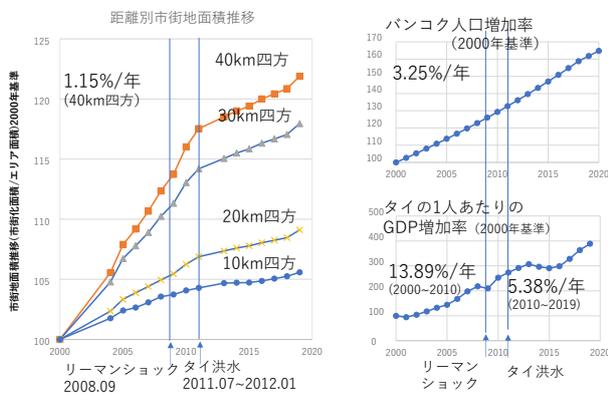


図-11 バンコク距離別市街化面積の増加傾向・人口増加率・GDP増加率

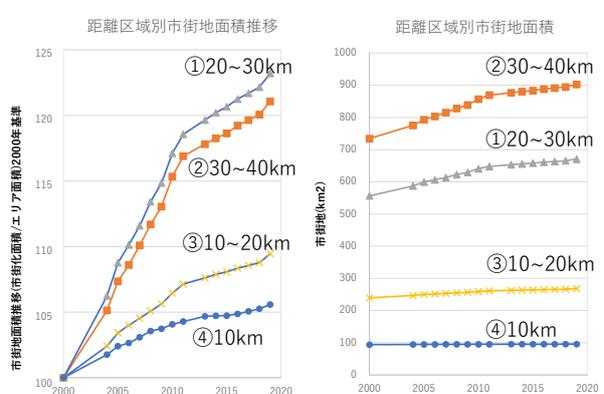


図-12 バンコク距離区域別市街化面積の増加傾向と面積

易な方法でかつ既往研究と同等の精度で、40km四方の都市圏全体について、面積30m四方の地区単位で新規開発を特定し、その面積を算出できることを確認した。

b) NDVIマッピングによる開発確認

バンコクの40km圏に対して、先述のNDVIマッピング手法を用いて開発の確認を行った。開発確認対象地域は図-9に示す通りである。画像取得モニタの関係上、バンコクのBTSセントラル駅を中心にバンコク北部、南部と2枚に分けてマッピング画像を取得する(図-10)。取得した画像をグリッドで分割し、距離別の市街化面積の増加傾向の確認を行った(図-11)。距離別においては、中心部から離れるにつれて市街化面積増加率が大きくなる。2010年を境に開発スピードが鈍化しているように見えるのは、2000~2010、2010~2013の1人あたりのGDP増加率が鈍化していることが影響していると考えられる。また、今回のNDVIによる開発確認では農地等の植生のあ

る場所から宅地が開発される開発を対象にしており、既存市街地における再開発を検出することはできていない。よって、2010年以降再開発が活発化し、人口の増加に対してNDVIで確認できる市街化面積の増加率が鈍化していると推察される。次に、10km、10~20km、20~30km、30~40kmで市街化面積を確認した(図-12)。20~30kmの区間が特に市街化が進んでいることが確認できる。中心部0~20kmは既存市街地であるため市街化の進度は遠方よりも伸びにくい。0~20km区間は都市鉄道の5路線が含まれる範囲であり、需要がある地域に鉄道が通っている、もしくは鉄道の延伸範囲内で開発が抑えられているのではないかと考える。方向別・距離別においても確認を行った。方向別の市街化面積の増加傾向を図-13に示す。東西の30~40kmでの開発活発な様子が確認できる。10~30kmの開発は全方位比較的緩やかだが西側は初期の市街地が少なかったため都心部よりでも開発が活発であることが分かる。さいごに、PPとBL沿線についても

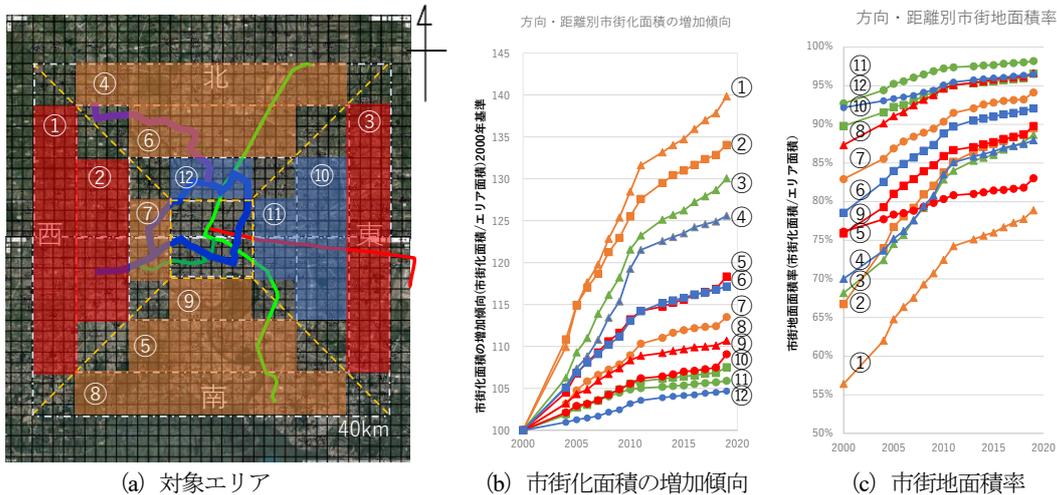


図-13 バンコク方向および距離別市街化面積の増加傾向と市街地面積率

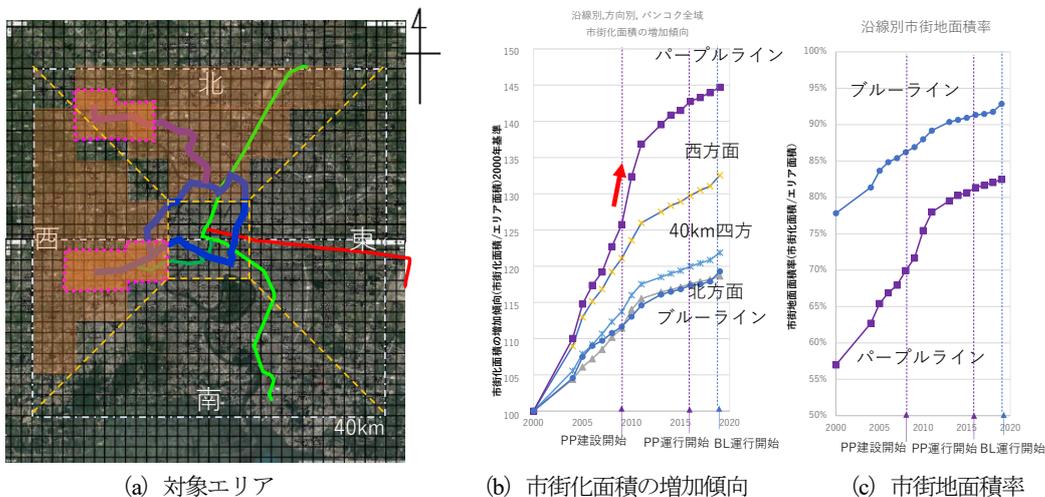


図-14 PP・BL沿線市街化面積の増加傾向と市街地面積率

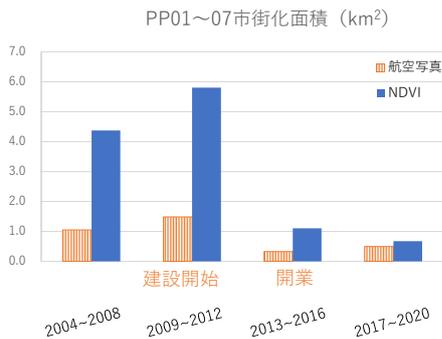


図-15 PP01~07 駅周辺市街化面積

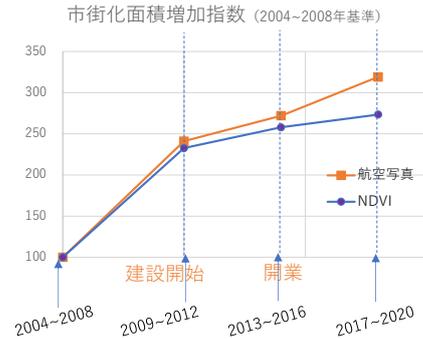


図-16 PP01~07 駅周辺市街化面積増加指数 (2004-2008年基準)

市街化面積の増加傾向の確認を行った(図-14)。PPはチャオプラヤー川右岸側(PP01~07駅)を対象としている。PPはバンコク40km四方や北西方向の市街化と比較しても急激に進んでいることが分かる。BLは2019年の延伸部を対象にしており、進度は他よりも遅く見えるが、既成市街地はPP沿線よりも広く、現在もPPよりもエリア内の市街化率は高いことがわかる。PPは開発余地の大きい郊外に建設された路線であり、PP建設直後に急激に市街化が進み、運行開始後は沿線付近の開発は緩やかになっている。一方、BLは既成市街地に建設されたため沿線における急激な市街化は確認できないが、市街化率は増加傾向にありPPよりも市街化率が高いことが分かる。

### c) 航空写真とNDVIマッピング結果比較

航空写真によって確認したPP01~07駅の半径2.5km圏内(57.4km<sup>2</sup>)とNDVIマッピングによって確認した40グリッド内(60.5km<sup>2</sup>)の2004-2008, 2009-2012, 2013-2016, 2017-2020年の各期間における市街化面積を比較した(図-15)。面積に差があることが確認できる。これは、元々の対象範囲に差異があることと、航空写真では小規模建物群・中規模建物・大規模建物をマーキングしているのに対し、NDVIマッピングでは植生の有無の判断になるため航空写真では含まない道路や小規模建物等を含んでいることが面積の差になった可能性がある。そこで、2004-2008年間の新規開発面積を基準として増加指数を算出した(図-16)。これより基準年からの新規開発の伸びを指数で表すと航空写真による判定とNDVIマッピングの判定結果はほぼ一致している。

## 7. おわりに

### (1) 結論

本研究は、バンコクにおける都市鉄道沿線開発の実態を明らかにし、その調査手法を確立するものであり、今

後計画される発展途上国における都市鉄道整備に関する有用な情報を提供するものである。

本研究で得られた知見について以下に記す。

### a) 開発実態の調査

バンコクBLとPP沿線の開発実態調査の結果、都市部と郊外部の分けをした場合、都市部では小規模建物から大規模建物へ建て替える再開発が行われていることが多く確認できた。郊外部では駅ごとに開発進度は異なっており、開発余地が残る駅も確認できた。これは新線の需要定着に時間を要することを示唆している。

### b) 沿線開発の時系列変化と乗降客数推移

PPのチャオプラヤー川右岸側の駅を対象に沿線開発の時系列変化と乗降客数推移を比較した。乗降数の多い駅は駅勢圏内の開発が活発であることを確認し、開発の時系列変化としては、鉄道建設前は駅周辺の開発が活発であり、開業後は駅から離れた地点での開発が活発であることが明らかとなった。これは駅周辺は鉄道整備計画決定や鉄道建設等、初期の段階で開発しやすい土地は開発されつくされているため、鉄道開業以降は離れた駅から場所であってもスプロール的な開発がされているものと考えられる。

### c) 広域における開発状況の把握

NDVIを用いた開発状況の把握を行い、農地等の植生がある箇所に宅地開発がされるとNDVIの数値が低下することを確認した。NDVIの農地等と市街地の閾値を0.6に設定し、データ処理を行ったNDVIと航空写真との合致率は83.01%の精度であることを確認した。NDVI>0.6を白、NDVI≤0.6を色付きで表示し、過去の画像を透過させて重ねるNDVIマッピング手法を開発した。この手法を用いてバンコク40km四方内において、距離別では中心から20~30km内での開発が活発なこと、方向別では東西の30~40kmの遠方において開発が活発なこと、西側は既成市街地が少なかったため、開発進度が他方向に比べて大きいこと、沿線別ではPPのチャオプラヤー川右岸側で鉄道建設時に沿線開発が活発化したことが分かった。

## (2) 今後の課題

本研究では、タイ・バンコクを対象として光学衛星データを用いてバンコク40km圏の開発状況を確認したが、同様の気候であれば他国・他都市であっても開発状況の確認が可能であると予測する。従って、他国・他都市でも同様の開発状況確認を行い、検証精度をさらに高めていくことが望ましい。また本研究での光学衛星データによる開発確認は農地等から市街地等への開発に限定されており、再開発を評価することはできていない。熱赤外等の他Bandの併用も検討し、小規模建物から大規模建物等への再開発も評価できるようにすることが課題である。

## 参考文献

- 1) 菅生康史：アジア大都市における都市鉄道事業へのPPP導入の課題，運輸総合研究所研究報告，2019.12.
- 2) JICA：フィリピン国大都市圏における鉄道戦略調査（マニラ首都圏内の都市鉄道），2013.7.
- 3) JICA：バンコク首都圏都市鉄道マスタープラン改定（M-MAP2），2019.3.
- 4) 西川晃司，森地茂：新幹線駅周辺整備の変遷とアジア諸国における新幹線建設への示唆，第58回土木計画学研究発表会，2018.
- 5) 小森賢，森地茂：都市鉄道の開業後における需要増減の要因分析，第61回土木計画学研究発表会・講演集，2020.
- 6) 中村隆司：駅周辺の土地利用と乗降客数の動向に関する研究，都市計画論文集，Vol.50, No.3, pp. 1324-1329, 2015. 10.
- 7) 新倉淳史，土居厚司，兵藤哲朗，岩倉成志：新たに開業した鉄道の需要定着に関する検討，土木計画学研究講演集，vol.21, p127, 2005.
- 8) 福田敦：バンコクの軌道系公共交通機関沿線における土地開発の実態～限界と可能性～，IBS Annual Report 研究活動報告，2017.
- 9) 松行：タイ・バンコク首都圏における都市鉄道開発前後  
(2021.10.? 受付)

における住宅の開発動向と住居選択の選好の違いに関する研究，日本建築学会計画系論文集，Vol.84, No.755, pp137-145, 2019

- 10) Bangkok and its Vicinity Regional Plan 2057, DPT, 2009.
- 11) Google Earth Pro :  
<https://www.google.com/intl/ja/earth/versions/#earth-pro>
- 12) Google Earth Engine :  
[https://www.google.com/intl/ja\\_ALL/earth/education/tools/google-earth-engine/](https://www.google.com/intl/ja_ALL/earth/education/tools/google-earth-engine/)
- 13) 小林秀樹：クラウドベースの地理空間データ解析プラットフォーム「Google Earth Engine」，日本リモートセンシング学会，vol.38, No.2, p.125-130, 2018.4.
- 14) Colaboratory : [https://colab.research.google.com/notebooks/intro.ipynb?hl=ja#scrollTo=5fCEDCU\\_qrC0t/](https://colab.research.google.com/notebooks/intro.ipynb?hl=ja#scrollTo=5fCEDCU_qrC0t/)
- 15) 国土地理院「植生指標データについて」：  
<https://www.gsi.go.jp/kankyochiri/ndvi.html>
- 16) 平野 勇二郎, 安岡 善文, 柴崎 亮介: 都市域を対象としたNDVIによる実用的な緑被率推定, 日本リモートセンシング学会誌 vol.22, No.2, 2002.
- 17) Landsat データ : <https://cloud.google.com/storage/docs/public-datasets/landsat?hl=ja>
- 18) JICA：2018年度 外部事後評価報告書円借款「バンコク大量輸送網整備事業（パープルライン）(I)(II)
- 19) 一般財団法人リモートセンシング技術センターHP「衛星情報データベース」：  
<https://www.restec.or.jp/satellite/landsat-4-5>
- 20) 園部雅史，羽柴秀樹：複数のLANDSAT衛星による時系列衛星画像データセットを用いた仙台平野海岸林の変化調査，土木情報学シンポジウム講演集，vol.41, 2016.

## THE EFFECT OF RAILWAY CONSTRUCTION FOR URBAN DEVELOPMENT IN THE AREA ALONG URBAN RAILWAY USING MULTI-TEMPORAL OPTICAL DATA -A CASE STUDY IN BANGKOK -

Ayaka SHIODA, Shigeru MORICHI, Hajime INAMURA and Naohiko HIBINO

Urban railway are being developed rapidly in a number of Asian countries. Due to lack of financial resources of the government, urban railway development by PPP project has been adopted in Asia. However, most of PPP projects have not been successful and the government had to deal with them. The purpose of this study is to provide the knowledge for decision makers of railway construction in Asia by conducting a fact-finding survey on how long it will take to develop the area around the railway station and proposing a method to clarify the progress of development even in countries where accurate land use data does not exist. In this study, evaluated the detailed transition confirmation of development by NDVI for MRT Blue Line and Purple Line in Bangkok, Thailand. As a result of using this method, it is clear that the development is particularly active in 20 to 30 km square from the center in Bangkok, the development on the west side is remarkable by direction, and the development along the MRT purple line is remarkable.

**Key Words** : Asia, urban railways, development along railways, land use, NDVI