

衛星リモートセンシングによる都市樹木葉面積マッピング法の開発と 東京区部全域への適用

國分優孝・高橋和清・星 純也

【要約】衛星画像解析により都市域の樹木葉面積を広域的に推定する手法を開発した。その手法を用いて、東京区部全域の樹木の葉面積マップを2m解像度で季節別に推定した。都内植栽情報を用いて、得られたマップをさらに解析した結果、より詳細（樹種別の街路樹、公園樹木等）な樹木葉面積マップとして整備することができた。

【目的】

東京都心部において、街路樹などの樹木が放出する VOC (BVOC) が、有害なオキシダント生成に及ぼす影響を評価するため、東京区部全域における BVOC 放出量マップ (BVOC 排出量インベントリ) の作成を目指している。このマップの作成には、樹木の葉面積分布が必要となる。しかし、東京区部の樹木の葉面積分布については、未だ正確に把握されていないのが現状である。そこで本研究では、WorldView-2/3 衛星画像データを用いて、東京区部全域に現存する樹木の葉面積分布の把握を行う。

【経緯と成果の概要】

まず2016年度には、WorldView-2/3 衛星画像データを用いて、樹木の位置を2mの地上解像度でマッピングする手法を開発した。2017年度より、同じ衛星画像データから、上記の手法でマッピングした樹木の葉面積の推定方法を検討してきた。そして今回新たに、高精度な樹木葉面積 (LAI) 測定装置である LAI-2200 を用いた検討を行った。具体的には、現地観測した LAI データと衛星データとの相関関係を検証し、定式化した。その結果、衛星データからの樹木 LAI 直接推定が可能となり、都内区部全域の樹木葉面積マップを2m地上解像度で緑葉期・落葉期別に推定できた。また公表されている都内の植栽情報を用いて、得られた樹木葉面積マップをさらに解析し、樹木葉面積の分布を詳細（樹種別の街路樹、公園樹木、その他の樹木）に分類できたので報告する。

【方法】

- 1. LAIの現地観測:** 都内3か所（木場公園周辺、新宿都庁周辺、光が丘公園周辺）において、LAI-2200を用いて樹木葉面積 (LAI) データを緑葉期 (2018年7-10月) に348地点、落葉期 (2019年1-2月) に264地点で取得した。
- 2. LAI推定式の導出:** 取得したLAIデータと、LAIの現地観測点と同一位置のWorldView-2/3衛星データ (NDVI) を比較し、LAIとNDVIの相関式を導出した。この相関式を用いた衛星画像解析で、樹木LAI分布を推定した。
- 3. 樹木葉面積の詳細分類:** 推定した都内区部の樹木葉面積分布を街路樹・公園樹木・その他の樹木に分割し、さらに街路樹は樹種別に細分化した。この処理は植栽情報と衛星画像を照合し、目視による手作業で行った。

【結果の概要】

- ・衛星データから算出されるNDVI値と、現地観測したLAIとの関係を季節別に定式化することができた (図1)。
- ・現地観測では膨大な時間と労力を要するLAI分布の広域把握が、この関係式を用いた解析により可能となった。
- ・マッピングした樹木について (図2左図上段)、樹木として特定された位置 (赤色) に上記の LAI-NDVI 関係式を適用し、東京区部全域の樹木 LAI 分布を季節別に得た (図2左図下段)。
- ・マッピングした樹木の「葉面積」について、さらに領域分割を行った結果、樹木を樹種別の街路樹、公園樹木、その他の樹木に分割できた (図2右図)。その結果の概要を表1に、樹種単位の詳細な結果を別表1に示す。
- ・今後は本研究成果を基に東京区部の BVOC 放出量マップを整備し、大気シミュレーションへの活用を目指す。

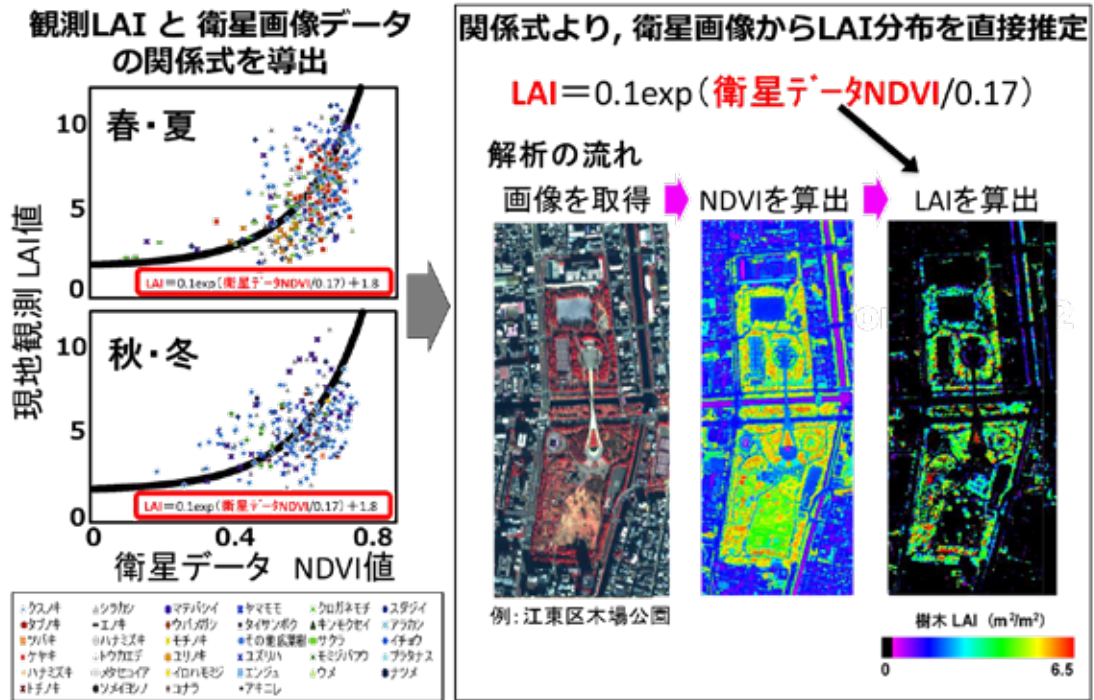


図 1. (左図) 導出した LAI-NDVI 関係式、(右図) その関係式を用いた樹木葉面積 (LAI) の推定方法

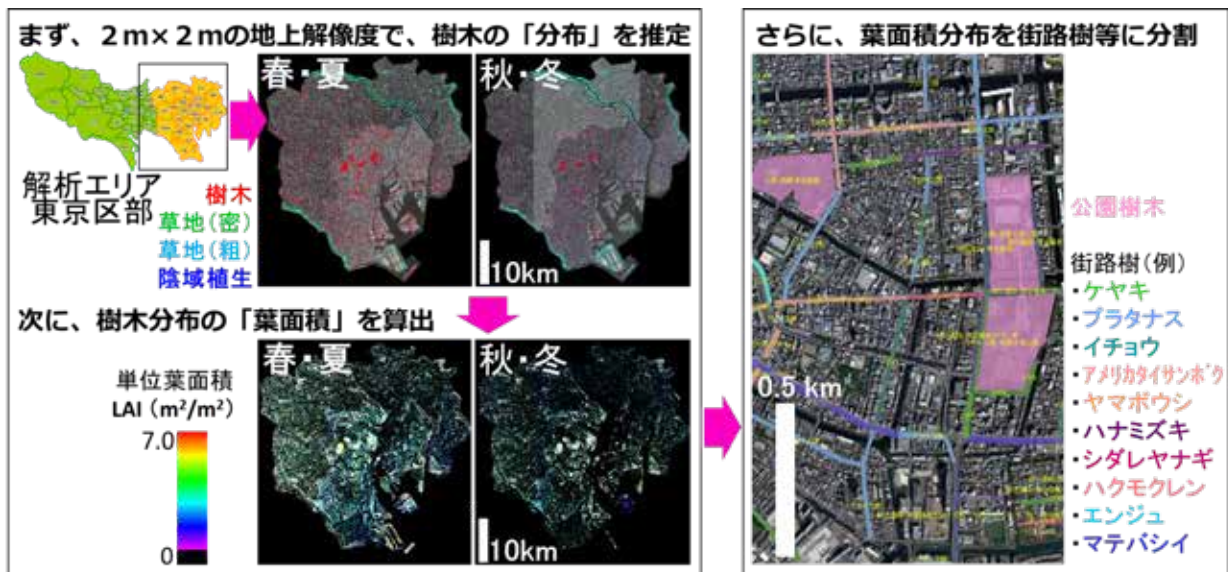


図 2. (左図) 東京区部の樹木葉面積分布の推定結果、(右図) 樹種別の街路樹・公園樹木への領域分割結果の例
 分割領域以外に分布する樹木は「その他の樹木」とした

表 1. 東京区部における街路樹・公園樹木・その他の樹木の葉面積推定結果 (樹種別の詳細結果は別表を参照)

	平均 LAI (m ² /m ²)		土地占有面積 (km ²)		総葉面積 (km ²)	
	緑葉期	落葉期	緑葉期	落葉期	緑葉期	落葉期
街路樹	3.7	2.8	4.0	1.4	14.7	3.7
公園の樹木	5.0	3.8	6.1	3.4	30.5	12.8
その他の樹木	4.2	3.0	56.1	26.6	235.7	80.2
総樹木	4.3	3.1	66.2	31.3	280.9	96.7

別表 1. 東京区部における街路樹とそれ以外の樹木の葉面積の推定結果（樹種別の詳細結果）

樹種	区分	土地占有面積[m ²]		平均 LAI		葉面積[m ²]	
		緑葉期	落葉期	緑葉期	落葉期	緑葉期	落葉期
アオギリ	街路樹	76,552	29,228	3.5	3.0	267,298	88,880
アキニレ	街路樹	44,448	17,180	3.1	2.3	138,172	39,914
イチョウ	街路樹	417,096	102,408	3.7	2.7	1,551,841	271,990
エンジュ	街路樹	91,628	28,532	3.8	2.8	344,984	78,989
クスノキ	街路樹	140,524	94,104	3.8	3.1	528,290	293,270
ケヤキ	街路樹	415,480	75,648	3.8	2.4	1,560,606	178,523
サクラ類	街路樹	592,504	161,828	3.2	2.3	1,893,840	378,750
サルスベリ	街路樹	39,840	12,484	3.3	2.3	131,235	29,315
プラタナス類	街路樹	230,376	65,412	3.7	2.7	854,428	177,011
トウカエデ	街路樹	225,040	53,412	4.1	2.6	916,818	136,616
トチノキ	街路樹	30,592	9,192	4.0	3.2	122,355	29,532
トネリコ	街路樹	1,936	928	2.9	1.7	5,568	1,607
ニセアカシア	街路樹	5,484	2,008	3.8	2.6	20,734	5,222
ハナミズキ	街路樹	244,160	95,324	3.6	2.9	867,125	275,827
フウ	街路樹	15,040	1,904	5.3	3.3	79,903	6,245
マテバシイ	街路樹	115,980	66,412	3.4	2.9	393,384	190,701
モミジバフウ	街路樹	101,128	23,344	4.7	2.5	478,825	57,994
シダレヤナギ	街路樹	72,628	28,848	3.4	2.9	243,728	82,467
ヤマモモ	街路樹	140,800	80,168	3.4	2.7	485,340	218,513
ユリノキ	街路樹	114,468	40,804	4.2	2.7	482,947	109,568
その他街路樹 (樹種記載なし)	街路樹	136,924	63,184	3.6	2.8	489,821	174,455
ウバメガシ	街路樹	9,652	4,636	3.5	2.2	33,380	10,359
シンジュ	街路樹	1,016	496	3.8	3.1	3,840	1,532
ハルニレ	街路樹	584	140	3.1	1.8	1,815	253
カロニナボプラ	街路樹	148	32	1.6	1.2	241	39
メタセコイア	街路樹	340	88	3.8	1.5	1,281	131
コブシ	街路樹	21,792	9,836	3.3	2.4	71,625	23,611
クロガネモチ	街路樹	20,776	11,200	3.7	3.3	77,298	37,012
カツラ	街路樹	20,660	7,016	3.2	2.3	66,146	16,485
ハクウンボク	街路樹	4,076	988	3.0	2.1	12,096	2,066
ヤマボウシ	街路樹	15,684	6,104	3.4	3.2	53,079	19,561
クワ	街路樹	0	0	0.0	0.0	0	0
ウメ類	街路樹	696	348	2.9	3.1	2,037	1,066
ナシ	街路樹	0	0	0.0	0.0	0	0
シラカシ	街路樹	19,308	10,564	3.5	2.2	67,536	23,387
ゲッケイジュ	街路樹	100	44	3.7	2.9	370	127
イロハモミジ	街路樹	1,364	384	3.2	2.1	4,379	818
ヒメリンゴ	街路樹	344	20	2.8	1.2	979	25
カリン	街路樹	1,852	560	3.9	1.9	7,173	1,045
ナンキンハゼ	街路樹	17,196	4,056	6.1	2.7	104,766	11,017
アンズ	街路樹	0	0	0.0	0.0	0	0
シナサワグルミ	街路樹	8,444	4,456	3.8	2.8	31,960	12,351
ツバキ類	街路樹	1,252	360	4.0	3.1	4,968	1,117
サザンカ	街路樹	5,932	3,824	5.7	5.4	33,665	20,658
コバノボダイジュ	街路樹	264	156	1.6	1.2	416	179

ナツツバキ	街路樹	1,804	808	2.5	2.0	4,553	1,613
モチノキ	街路樹	2,736	920	3.6	1.8	9,927	1,664
ハナノキ	街路樹	0	0	0.0	0.0	0	0
ヒメユズリハ	街路樹	2,792	1,088	2.1	2.1	5,792	2,259
ハクモクレン	街路樹	3,240	1,184	3.1	2.4	10,156	2,854
ムクノキ	街路樹	0	0	0.0	0.0	0	0
シデ類	街路樹	0	0	0.0	0.0	0	0
セイヨウシナノキ	街路樹	68	4	1.5	0.6	102	2
タイサンボク	街路樹	6,136	3,692	3.9	3.5	23,822	13,098
オリーブ	街路樹	208	164	2.5	1.7	526	273
ホルトノキ	街路樹	14,904	8,088	3.4	3.1	50,679	24,805
ヒメシャラ	街路樹	868	260	3.8	1.9	3,313	483
ヒマラヤスギ	街路樹	312	76	5.0	2.6	1,571	201
ベニカエデ	街路樹	648	224	4.5	4.4	2,896	981
ワシントンヤシ	街路樹	2,680	1,004	3.2	2.4	8,553	2,378
ビロウ	街路樹	0	0	0.0	0.0	0	0
フェニックス	街路樹	0	0	0.0	0.0	0	0
ケンチャヤシ	街路樹	0	0	0.0	0.0	0	0
タブノキ	街路樹	14,908	6,284	3.3	2.3	49,426	14,189
モッコク	街路樹	2,160	1,052	3.2	2.0	6,886	2,145
アメリカザイフリボク	街路樹	132	20	2.3	0.7	304	15
ヒトツバタゴ	街路樹	796	52	3.1	3.3	2,434	171
タラヨウ	街路樹	0	0	0.0	0.0	0	0
シマトネリコ	街路樹	680	368	3.6	2.7	2,479	976
緑化道路・複合植栽 (樹種記載なし)	街路樹	384,916	164,708	4.0	3.0	1,555,371	498,101
プラタナス類、クスノキ、ハナモ モ、カリン、他	街路樹	832	148	2.0	1.9	1,680	286
イチョウ、アンズ、ハナミズキ、 ナツツバキ、他	街路樹	0	0	0.0	0.0	0	0
ケヤキ、エゴノキ、ヤブツバキ、 他	街路樹	17,800	8,676	4.8	2.5	84,847	22,021
モミジバフウ、アラカシ、イヌマ キ、エゴノキ、他	街路樹	2,348	1,148	6.5	3.7	15,333	4,279
ヒノキ、コブシ、シラカシ、アカ マツ、他	街路樹	0	0	0.0	0.0	0	0
トウカエデ、クスノキ、 サクラ類、他	街路樹	1,748	336	3.4	2.1	5,941	715
カツラ、クロガネモチ、 コブシ、他	街路樹	1,656	844	4.0	2.3	6,643	1,929
ハクウンボク、ハナノキ、モクレ ン、コブシ、 サクラ類	街路樹	19,432	6,964	4.9	3.1	94,432	21,610
トウカエデ、他	街路樹	0	0	0.0	0.0	0	0
シダレヤナギ、他	街路樹	1,040	564	3.0	2.6	3,130	1,445
ケヤキ、他	街路樹	984	124	3.6	0.8	3,523	96
クスノキ、コブシ、ハナミズキ	街路樹	304	116	2.9	3.9	876	455
シダレヤナギ、ハナミズキ、他	街路樹	1,856	560	4.8	2.0	8,887	1,134
モミジバフウ、他	街路樹	1,188	264	6.7	4.9	7,982	1,301
モミジバフウ、クスノキ、ヤマモ モ、トウカエデ、他	街路樹	724	1,300	4.6	3.8	3,313	4,910
アキニレ、ヤマモモ、 クスノキ、他	街路樹	7,636	3,656	5.5	4.4	42,316	15,915

プラタナス類、ニセアカシア、シイノキ、他	街路樹	6,248	6,296	3.3	2.3	20,466	14,456
エンジュ、ヤマモモ、クスノキ、他	街路樹	0	0	0.0	0.0	0	0
ユリノキ、ケヤキ、クスノキ、他	街路樹	4	12	0.5	0.6	2	8
プラタナス類、クスノキ	街路樹	1,768	1,280	6.2	4.3	10,968	5,507
トウカエデ、クスノキ	街路樹	348	72	4.7	1.9	1,647	133
トウカエデ、ケヤキ、クスノキ	街路樹	868	140	4.9	1.8	4,246	249
トウカエデ、クスノキ、ヤマモモ、他	街路樹	7,136	3,736	5.9	4.0	42,245	14,846
トウカエデ、クスノキ、ケヤキ	街路樹	992	36	5.7	0.9	5,651	33
プラタナス類、クスノキ、ケヤキ	街路樹	1,292	432	5.1	3.1	6,566	1,344
ウバメガシ、クスノキ、ケヤキ、他	街路樹	2,240	896	4.6	3.2	10,338	2,890
ウバメガシ、エンジュ、クスノキ、他	街路樹	4,736	2,404	3.8	2.5	18,187	6,033
ケヤキ、クスノキ、ユリノキ、コブシ、他	街路樹	15,212	8,360	5.5	3.1	83,499	25,940
トチノキ類、シラカシ、エンジュ	街路樹	864	496	3.8	2.0	3,282	968
ケヤキ、クスノキ、イスノキ、他	街路樹	796	516	4.9	3.3	3,894	1,712
クスノキ、イチヨウ、ケヤキ、他	街路樹	7,736	2,172	5.5	4.4	42,738	9,516
トチノキ類、クスノキ、ケヤキ、他	街路樹	2,376	920	4.7	4.2	11,206	3,860
イチヨウ、クスノキ、ケヤキ、他	街路樹	0	0	0.0	0.0	0	0
イチヨウ、ユリノキ、クスノキ他	街路樹	0	0	0.0	0.0	0	0
シイノキ、クスノキ、ケヤキ、他	街路樹	0	0	0.0	0.0	0	0
コブシ、クスノキ、ケヤキ	街路樹	0	0	0.0	0.0	0	0
ケヤキ、クロガネモチ、ナツツバキ、アカマツ、他	街路樹	5,580	1,688	4.6	3.4	25,752	5,685
クロマツ、カエデ類、コナラ、他	街路樹	0	0	0.0	0.0	0	0
水元公園	公園樹木	392,968	307,636	5.2	2.9	2,056,845	887,195
葛西臨海公園	公園樹木	323,944	251,836	4.4	4.6	1,420,606	1,148,986
光が丘公園	公園樹木	350,932	171,448	5.6	4.5	1,960,283	765,468
代々木公園	公園樹木	384,400	193,028	5.5	3.8	2,104,253	741,849
上野恩賜公園	公園樹木	269,528	109,584	5.0	4.0	1,336,449	436,783
舎人公園	公園樹木	176,676	73,736	5.0	2.9	880,482	213,911
夢の島公園	公園樹木	191,864	123,012	4.8	4.3	915,956	522,920
駒沢オリンピック公園	公園樹木	134,944	72,696	5.1	3.4	682,362	247,211
砧公園	公園樹木	308,300	151,512	5.5	4.2	1,702,839	636,746
篠崎公園	公園樹木	81,876	53,592	4.4	3.7	362,550	196,263
赤塚公園	公園樹木	183,212	119,904	5.3	2.5	978,930	300,349
大島小松川公園	公園樹木	123,280	34,264	4.8	2.6	593,777	87,475
城北中央公園	公園樹木	126,704	52,852	5.0	2.6	629,565	136,492
木場公園	公園樹木	106,680	60,892	4.6	3.9	495,022	237,666

石神井公園	公園樹木	175,552	103,276	5.7	3.9	994,273	407,683
善福寺川緑地	公園樹木	125,796	47,596	5.1	3.7	645,523	176,995
和田堀公園	公園樹木	167,916	76,076	5.5	4.0	930,919	301,163
戸山公園	公園樹木	134,104	61,968	4.8	3.2	644,962	199,293
日比谷公園	公園樹木	97,928	56,340	4.5	4.0	444,767	225,485
東綾瀬公園	公園樹木	50,312	28,784	4.3	2.6	215,761	76,132
潮風公園	公園樹木	65,348	44,088	4.2	3.9	271,291	170,806
猿江恩賜公園	公園樹木	95,660	48,076	4.6	3.6	444,022	172,367
汐入公園	公園樹木	9,624	3,300	4.2	2.5	40,462	8,315
芝公園	公園樹木	99,108	58,868	4.3	4.1	430,582	240,810
中川公園	公園樹木	44,376	35,808	5.5	3.8	242,859	136,767
林試の森公園	公園樹木	104,836	62,316	5.5	3.0	571,510	188,458
浮間公園	公園樹木	32,252	16,244	4.6	2.9	149,836	47,118
大泉中央公園	公園樹木	41,944	20,080	5.0	3.2	208,144	63,541
亀戸中央公園	公園樹木	65,592	28,256	4.3	3.3	283,107	93,450
東白鬚公園	公園樹木	46,072	29,544	4.6	3.8	213,359	113,692
祖師谷公園	公園樹木	53,244	24,972	5.3	3.7	283,228	91,500
善福寺公園	公園樹木	56,160	30,120	5.4	3.7	304,707	111,911
蘆花恒春園	公園樹木	58,736	31,412	6.1	4.5	359,060	142,052
東京臨海広域防災公園	公園樹木	14,476	4,896	4.3	2.6	62,250	12,868
尾久の原公園	公園樹木	14,468	3,896	4.3	2.0	62,427	7,872
明治公園	公園樹木	8,816	3,984	4.4	2.4	38,680	9,382
宇喜田公園	公園樹木	14,808	3,304	3.1	2.6	45,849	8,613
青山公園	公園樹木	28,988	15,408	4.7	3.5	135,371	54,167
台場公園	公園樹木	24,608	9,676	4.6	2.8	113,810	26,646
横網町公園	公園樹木	6,588	3,172	4.2	3.7	27,833	11,583
旧岩崎邸庭園	公園樹木	10,984	6,348	4.4	4.5	48,306	28,493
旧芝離宮恩賜庭園	公園樹木	21,300	9,180	3.8	4.0	81,591	36,745
旧古河庭園	公園樹木	21,344	17,820	5.6	4.4	120,450	78,899
清澄庭園	公園樹木	54,852	34,948	4.7	4.4	258,362	154,012
小石川後樂園	公園樹木	56,400	31,784	4.6	3.7	258,726	117,298
浜離宮恩賜庭園	公園樹木	165,216	109,012	4.5	4.9	741,063	536,178
向島百花園	公園樹木	7,996	4,996	4.5	3.7	36,369	18,566
六義園	公園樹木	65,612	50,724	5.4	3.4	357,154	170,941
お台場海浜公園	公園樹木	40,380	23,200	4.5	4.5	182,322	105,055
葛西海浜公園	公園樹木	4,996	312	1.3	2.5	6,555	768
大井ふ頭中央海浜公園	公園樹木	222,564	148,232	4.2	4.2	938,439	618,515
城南島海浜公園	公園樹木	58,224	24,536	5.8	3.9	336,108	96,791
辰巳の森海浜公園	公園樹木	94,740	46,860	6.2	3.2	583,946	152,227
東京港野鳥公園	公園樹木	200,692	110,976	5.3	4.5	1,062,346	497,972
若洲海浜公園	公園樹木	266,172	132,068	4.7	4.1	1,239,859	538,580
その他 (街路樹・公園・庭園以外)	その他樹木	56,124,648	26,560,068	4.2	3.0	235,659,676	80,169,439