

一般論文

WorldView-2衛星画像を用いた
詳細土地被覆情報の把握と屋上緑化施工箇所の把握坂本 美波¹・大西 暁生^{2,†}・ジョンソン ブライアン³

摘 要

都市内の緑地は熱環境悪化の緩和や雨水流出の緩和効果などの機能を担っているため、多くの都市で緑化を推進しているが、建築物が密集している都市において、緑化を施すスペースを確保することは難しい。そこで注目されているのは、人工的土地被覆を緑地で覆う屋上緑化であり、多くの都市でそれを推進するための制度を導入している。しかし、屋上緑化の施工件数・面積は増加しているものの、都市内の緑被率はさほど増加していない。そのため、都市の土地被覆情報や屋上緑化の施工状況などを詳細かつ正確に把握することで、計画的に都市・緑地整備を行う必要がある。

本研究では愛知県名古屋市中心部を対象に、WorldView-2衛星画像を用いて詳細土地被覆情報の取得及び屋上緑化施工箇所の把握を行い、都市の現状把握を用途地域別・建築物用途別に考察する。

キーワード：高分解能衛星画像、オブジェクト分類、土地被覆分類、屋上緑化

1. はじめに

都市内の緑地は多くの機能を担っており、都市の高温化抑制もその一つである。近年、都市内の水域や樹木などの自然的土地被覆が、比熱の高いアスファルトやコンクリートなどの人工的土地被覆に転換されることで、ヒートアイランド現象が著しくなっている。コンクリートの建築物やアスファルトの舗装道路で覆われた都市の地表面は、森林や草地、田畑、裸地が主の郊外田園地帯とは熱容量や入射率などの放射特性が大きく異なり¹⁾、熱を吸収・蓄熱しやすく、昼夜問わず高温化を招いている。このような人工的土地被覆の増加の対策として、土地被覆の緑化が挙げられる。緑地は、日射エネルギーの吸収と放射熱の抑制ができると同時に、蒸発散作用の潜熱消費による昇温抑制効果を得ることができる。特に屋上緑化や壁面緑化などの敷地内緑化は、蒸発散作用による周辺冷却化や夏季の断熱効果、冬

季の保温効果、建築物の保護などの様々な効果が期待されている²⁾。さらに、建築物が密集し、新規に緑化を施すスペースを確保することが難しい都市において、人工的土地被覆を緑地で覆う屋上緑化は注目されている。そのため、多くの都市で屋上緑化を推進する取り組みが実施されており、屋上緑化の施工件数・面積は年々増加傾向にある³⁾。都市内の緑地は上記のような高温化抑制効果以外にも、大気浄化効果や雨水流出緩和効果、生態系の充実化⁴⁾など様々な機能を担っており、多くの都市で緑化地域制度⁵⁾や助成金制度を導入し、緑化の推進を行っている。しかし一方で、都市開発が進み、都市全体の緑被率は年々減少している⁶⁾。都市の良好な環境を形成するためには、都市の土地被覆や緑被率などの現状を把握し、計画的に都市・緑地整備を行う必要があると考えられる。

従来、土地被覆の把握には、データの更新が容易で都市の変化に柔軟に対応できるリモートセンシ

2018年8月17日受付, 2019年4月2日受理

doi: 10.11353/sesj.32.91

¹ アジア航測株式会社, 〒215-0004 神奈川県川崎市麻生区万福寺1-2-2 新百合21ビル

² 横浜市立大学, 〒236-0027 神奈川県横浜市金沢区瀬戸22-2

³ 地球環境戦略研究機構, 〒240-0115 神奈川県三浦郡葉山町上山口2108-11

†Corresponding author: onishi@yokohama-cu.ac.jp

グデータが用いられてきた。特に航空写真や衛星画像は以下のような特徴があることから、既往研究に多く用いられてきた。航空写真は、梅干野ら⁷⁾の研究によって航空機MSSの画像を用いることで観測できるバンドが多くなったことや、衛星画像とは異なり望んだタイミングでデータを取得できるため、即時性に優れているという特徴がある⁸⁾。また、衛星画像は広域撮像であることや、衛星に搭載されたセンサにより波長帯ごとに分析・解析をコンピュータで行うことができることから、効率的な土地被覆の把握ができるという特徴がある。一方で、航空写真は高価かつ狭域撮像であるため汎用性に欠ける。また、従来の衛星画像は解像度が数十mと粗く、土地被覆の把握には現地調査が必要であるなどの問題点がある。現在では、解像度数m程度ないしは1mを下回る、航空写真に匹敵する解像度を持つ高分解能衛星画像の利用が可能となった。これを用いた土地被覆情報の取得の研究が多く行われており、その一例として既存研究⁸⁻¹⁵⁾が挙げられる。これらの研究の一部^{8, 10, 14)}には、本研究と同様の地域を対象とした研究も含まれる。これらは2001年4月7日午後1時39分(JST:日本標準時)のIKONOSデータを用いて行われた。本研究では、高分解能衛星画像であるWorldView-2衛星画像を用いて、オブジェクト分類手法により土地被覆情報の取得を行い、その結果から屋上緑化施工箇所の抽出を試みる。WorldView-2衛星画像は地物分類に適しているとされており¹⁶⁾、他の衛星画像と比較してより詳細な分類結果を得られることが予想される。そこで、得られた分類結果と建築物データを、地理情報システム(Geographic Information System, 以下GIS)を用いて解析することで、屋上緑化施工箇所の抽出が可能であると考えられる。これまでも、WorldView-2衛星画像を用いた画像解析の研究¹⁷⁻¹⁹⁾は行われてきたが、都市を対象としたオブジェクト分類手法による土地被覆情報の取得はほとんど行われていない。屋上緑化施工箇所の抽出に関しても、アンケートによる調査や高分解能衛星画像を用いた目視判読による屋上緑化施工箇所を区分した調査²⁰⁾は行われているが、GISなどを用いた抽出は行われていない。本研究ではできる限り詳細な土地被覆情報の取得を行うとともに、この結果を用いて屋上緑化抽出とその精度検証を行い、適合率を求めることで、分類及び抽出結果の有用性を検討する。衛星画像を用いた屋上緑化施工箇所の抽出が可能であれば、今まで把握困難であった微細な緑地を含めた緑被率の算出が可能になると考えられる。さらに、土地被覆の分類結果や屋上緑化施工箇

所の抽出結果を用途地域別、建築物用途別に考察を行い、都市・緑地整備において重要な情報源となる都市の現状の把握を試みる。

2. 対象地域と使用衛星画像

2.1 対象地域

本研究の対象地域は、愛知県名古屋市中心部である守山区、西区、千種区、中区、中村区、東区、北区の一部である。

名古屋市は、都市緑地法の緑の基本計画に基づき、都市における緑地の適正な保全や緑化の推進に関する「なごや緑の基本計画2020(計画期間2011~2020年)」を策定している²¹⁾。この計画は「将来の望ましい姿として、身近なみどりと都市の骨格となるみどりを育て、市街地面積の30%をみどりにする²¹⁾」と定めている。名古屋市の緑被率は年々減少傾向にあるため、30%を達成するために屋上緑化や壁面緑化などの敷地内緑化を推進しており、緑化の義務付けや補助金などの制度が整っている。また、国土交通省が行った平成28年全国屋上・壁面緑化施工実績調査の結果報告³⁾によると、愛知県は都道府県別屋上緑化施工面積が東京都・神奈川県に次いで3位、壁面緑化施工面積は東京都に次いで2位であることから積極的に緑化活動を行っているといえる。

2.2 使用衛星画像

本研究で使用した衛星画像は、高分解能衛星画像の一つであるWorldView-2で撮影された画像である。WorldView-2はDigitalGlobe社にて最先端の技術を用いて製造され、1機目のWorldView-1同様に最高の地理位置精度を有している¹⁶⁾。さらに、この衛星は解像度0.46mと、既往研究^{8-12, 14, 15)}で使用された衛星より高い空間分解能の画像を撮影できるため、路地や建築物などの詳細な地物を識別可能である。従来のLandsatのような中分解能衛星画像で土地被覆分類を行う場合は、住宅街のような建築物の密集地の把握が限界だった。しかし、WorldView-2衛星画像では住宅個々の識別が可能であり、屋根の種類や道路の状態のような詳細な分類が期待できる¹⁶⁾。以上の点から、WorldView-2衛星画像を用いることで、土地被覆を詳細かつ正確に把握することが可能であると考えられる。使用する衛星画像の範囲は、経度136°53'33.84452"~136°58'12.68578"、緯度35°09'35.25584"~35°11'38.25180"であり、撮影日時は2015年9月15日午前10時50分38秒(JST: Japan Standard Time, 日本標準時)である。また、オルソパンシャープン処理された画像を用いて土地被覆情報の取得を行う。

3. 詳細土地被覆情報の取得方法

3.1 NDVI

リモートセンシングデータで各観測波長帯の特性を利用して植生についての情報を抽出するための指標を植生指数といい、NDVIは植生指数の一つである²²⁾。NDVIとはNormalized Difference Vegetation Indexの略であり、植物の分布や活性度を示し、近赤外のバンドと可視光赤のバンドとの比演算で計算される。植物の葉に含まれるクロロフィルは、光合成に利用するために可視光赤を吸収する一方で、葉の細胞構造的に近赤外領域の波長帯を強く反射してしまう²²⁾。この植物の反射量の差分から、NDVIを求めることができる。NDVIは-1.0から1.0の値で算出される。数値が高いほど葉が多いことを表している。

本研究では、WorldView-2衛星画像にNDVIのバンドを追加し、オブジェクト分類を行うことで、緑地分類における精度向上を試みる。NDVIのみの情報を用いて緑地分類しない理由の一つに、得られる結果の信用性が低いことが挙げられる。尹・梅干野が行った都市域の画素内緑被率推定のためのNDVIの適用可能性の検討結果では、NDVIの値によって画素内緑被率の分散値が異なるなどの理由から、実際のリモートセンシングデータにNDVIを適用し緑被率を求めるのは困難である²³⁾と述べられている。またもう一つの理由として、多くの情報を持つオブジェクトを作成することで、GISなどを用いて多様な解析が可能であることが挙げられる。NDVIのみの値ではなく、WorldView-2衛星画像にNDVIのバンドを追加し、スペクトル情報など多くの統計情報を基に緑地を分類することで精度が向上し、多くの情報を持つオブジェクトのポリゴンを作成できる。このポリゴンを使用し解析を行うことで、街路樹や屋上緑化などの各土地被覆データをさらに微細に分類することが可能である。以上の点から本研究では、NDVIの情報を加味して緑地分類を行うが、NDVIのみをそのまま用いることはしない。

3.2 ピクセルベース分類手法とオブジェクト分類手法

従来、中分解能衛星画像を用いた土地被覆分類には、ピクセルベース分類手法が多く用いられてきた。ピクセルベース分類手法とは、類似したスペクトル情報を持つピクセルをまとめることにより分類する手法である。作業者の技術力に左右されず比較的均質な成果を得ることができるが²⁴⁾、ミクセル問題が生じるため、低精度な主題図になってしまう問題点がある。

ミクセルとはMixed Pixelの略であり、1ピクセルの中に複数の物質・土地被覆が混在した状態を意味する。ミクセル問題とは、衛星画像の1ピクセルに対応した土地被覆にはエンドメンバーが複数混在しているにも関わらず、そのピクセルには一つのスペクトル情報しか記録されないというものである。例えば、コンクリートと分類された場合でも、厳密にその土地被覆を調査するとコンクリートの他に、アスファルトや樹木などのエンドメンバーが混在している。しかし、そのピクセルには、混在するエンドメンバーの中から代表の被覆のみが分類されてしまうため、主題図の精度が低くなる。従来の中分解能衛星画像ではピュアピクセルはほとんどなく、ほぼミクセルで構成されている。一方、高分解能衛星画像は解像度が1mを下回るため、ほとんどのピクセルがピュアピクセルになる。そのため、より精度の高い土地被覆分類が可能になると思われるが、分解能が高くなることで、中分解能衛星画像では均一とみなしていた空間に不均一性が生じるといった問題が発生する。このことから、ピクセルベース分類手法は高分解能衛星画像での土地被覆分類手法として適していないと考えられる。例えば、解像度10mの衛星画像を用いてピクセルベース分類を行い、土地利用が道路のピクセルをアスファルトと認識したとする。これが解像度1m以下の衛星画像になり、同じピクセルを分類してみると、自動車やセンターラインなどのエンドメンバーが抽出される。これらは道路を構成する一部だが、ピクセルベース分類手法ではピクセルの隣接関係は考慮されないため、アスファルト以外に分類されてしまい、ごま塩状の誤分類が生じる^{12, 22)}。大西・前崎¹¹⁾や安藤・大西¹³⁾の高分解能衛星画像を用いた各分類手法の精度検証の結果では、ピクセルベース分類手法はオブジェクト分類手法と比較して低精度な主題図になることが指摘されている。

ピクセルベース分類手法の問題点が解消できるのがオブジェクト分類手法である。オブジェクト分類手法は、ある程度まとまりを持ったピクセルの集合(オブジェクト)を画像分類の単位としている²²⁾。オブジェクトは、ピクセルの特異値の影響を受けないため、ごま塩状の誤分類が発生せず、分類結果の被覆の境界が明確になる¹¹⁾。

オブジェクト分類手法は、分類パラメータ設定が複雑であることや、多様な土地被覆に対応するために土地被覆カテゴリーを考慮する必要があるなど、一般的には比較的手間を要する手法である。しかし、目視判読に近い、高精度な分類結果を取得することができるため、航空写真に匹敵する土地被覆

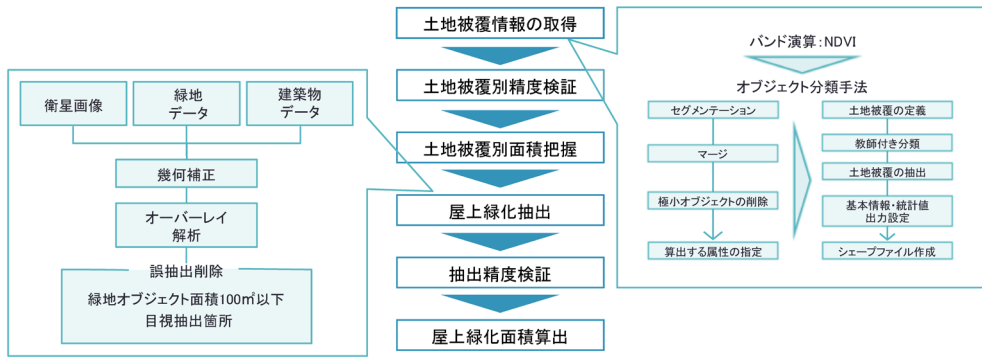


図1 全体フロー図

分類が可能である。本研究では、リモートセンシング画像解析アプリケーションであるENVI5.3を用いてオブジェクト分類を行い、詳細な土地被覆情報の取得を試みる（図1中「土地被覆情報の取得」参照）。

オブジェクト分類手法ではセグメンテーション処理とマージ処理を行うことでオブジェクトを作成する。セグメンテーション処理とは、隣接したピクセルとの近接性を基に、スペクトル情報や形、形状、色調の異質性を計算し、ピクセルをグループ化すると同時に、各異質性の因子に重み付けする処理である^{22, 24)}。マージ処理とは、セグメンテーション処理で分割したオブジェクトを結合する処理である。ENVIではこれらの処理を行うため、0から100の範囲でパラメータを設定する。まず設定するのは、セグメンテーション処理のためのスケールレベルというパラメータである。スケールレベルの値が0に近いと、異質性の許容範囲が狭まり画像がより細かく分割され、値を大きくすると粗く分割される。次に設定するのは、マージ処理を行うのに必要なマージレベルというパラメータである。スケールレベルと同様に、マージレベルの値が0に近いと狭い範囲で同じ特性を持つオブジェクトが結合され、値を大きくすると広い範囲で結合される²⁴⁾。パラメータの値は一般化された数値があらかじめ決まっているものではなく、各々使用する画像や研究目的に適した数値を設定する必要がある。本研究の対象地は都市であり、大型の商業ビルや戸建住宅、幹線道路や路地といった大小様々なオブジェクトが存在し、土地利用や土地被覆が異なる地域において共通のパラメータ値を設定することは好ましいとは言い難い。本研究では地域ごとの特徴を考慮して衛星画像を17分割し、分割した画像ごとに適したパラメータ値を設定した。スケールパラメータの平均値は約28.5、マージレベルの平均値は約87.4である。

オブジェクト分類手法には教師付き分類手法とルールベース分類手法があるが、今回は既往研究^{11, 13)}を参考に教師付き分類手法（最近隣内挿法）を用いる。教師付き分類手法とは、現地調査などで得られたトレーニングデータを用いて、事前に分類カテゴリーを選定する分類手法である。本研究では現地調査からトレーニングデータを取得するのではなく、衛星画像やGoogleマップなどを用いて取得し、サンプルとして各土地被覆を表す地点のオブジェクトから数か所マニュアル作業で抽出を行う。オブジェクトはピクセルの集合体なので、オブジェクト単位で平均値や標準偏差などの統計量が存在し、オブジェクト自身の形状や対象オブジェクトと隣接オブジェクトなどの関係など、定量的・定性的情報が豊富である²²⁾。サンプルやこれらの情報を基にENVIがどのように分類すればいいかを学習し、残りのオブジェクトを分類する。

3.3 屋上緑化の抽出方法

オブジェクト分類手法により取得した緑地データ（樹木・草地）と建築物データをオーバーレイすることで、屋上緑化の抽出を試みる（図1中「屋上緑化抽出」参照）。

本研究では、傾斜のある屋根や人が出入りできる平らな屋上に植物を植え、緑化している箇所を屋上緑化として抽出する。屋根と屋上の違いは、WorldView-2衛星画像や建築物用途、用途地域から判別する。ここで用いる建築物データは、ArcGISデータコレクション詳細地図「目標物・一般家枠」²⁵⁾である。「目標物・一般家枠」とは宿泊施設、商業施設、学校、余暇・レジャー、目標物（高層建築物、工場、会館、放送局などの建築物）、公共施設、医療、交通、一般家枠（住居）が含まれる。

衛星画像と緑地データ、建築物データをオーバーレイすると、図2のようにわずかに位置のずれが生じる。その理由として、建築物データを作成する

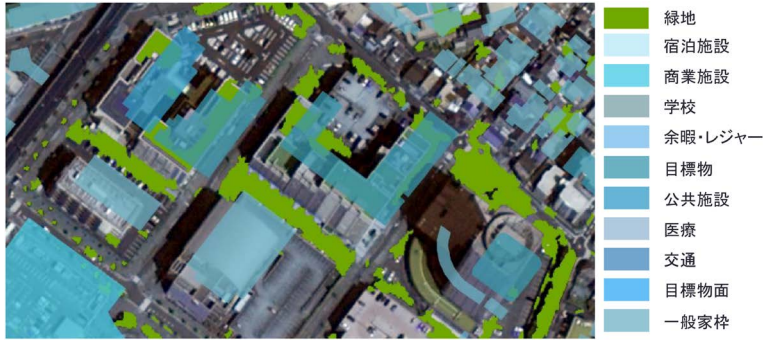


図2 WorldView-2衛星画像と建築物データのずれ

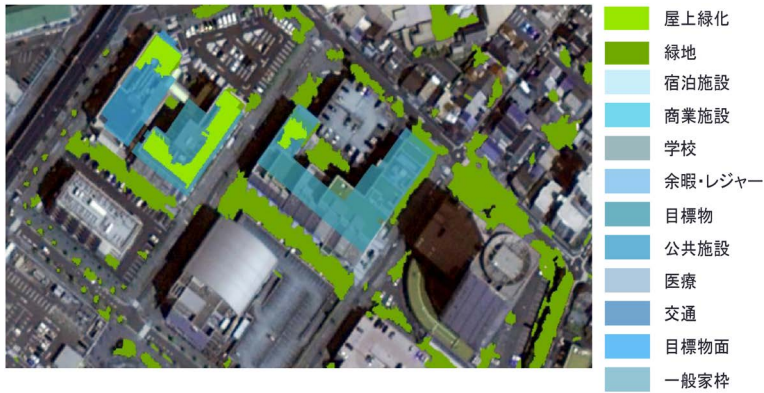


図3 緑地データと屋上緑化施工建築物データのオーバーレイ結果画像

際に用いられた画像がWorldView-2衛星画像ではないことが挙げられる。ずれが生じることで建築物に隣接している緑地が抽出されてしまい、正確に屋上緑化を抽出できないため、幾何補正を行い、WorldView-2衛星画像から得た緑地データと建築物データのずれを修正した。

緑地データと建築物データが重なった箇所を屋上緑化とする。図3は、屋上緑化を施工している建築物データの位置補正を行い、衛星画像と緑地データをオーバーレイした画像である。精度検証の結果、明らかに屋上緑化ではない極小オブジェクトが抽出された。そのため本研究では、抽出面積 100m^2 以下のオブジェクト及び目視で明らかに誤抽出だと判断できるオブジェクトに関して削除した。誤抽出の主な原因は、オブジェクト分類の際に生じた面積 100m^2 以下の誤分類によるものと、衛星画像と建築物データのずれを完全に一致させることができなかったことである。削除したことによって、屋上緑化を施していた箇所を一部除外してしまった可能性がある。本来、 100m^2 以下の微細な屋上緑化も含めた抽出を試みたが、現時点ではこれが困難であっ

たため、 100m^2 以下のオブジェクトは削除するものとした。

3.4 精度検証

高分解能衛星画像を用いた土地被覆情報の取得や精度検証を行った研究は多く存在する。しかし、WorldView-2衛星画像を用いた都市を対象としたオブジェクト分類手法による土地被覆情報の取得や屋上緑化抽出はほとんど行われていない。そのため、ここでは分類結果の精度検証及び抽出精度の検証を行う。まず、土地被覆カテゴリー別に画像オブジェクトをランダムに100地点選定し、元の衛星画像やGoogleマップを分類結果と比較して地点数の適合率を求め、土地被覆情報の取得結果を検証する(図1中「土地被覆別精度検証」参照)。次に屋上緑化の抽出結果についても、全てのオブジェクトを土地被覆情報の精度検証と同様の方法で適合率を求め検証する(図1中「抽出精度検証」参照)。

4. オブジェクト分類手法の結果

4.1 精度検証の結果

オブジェクト分類手法から得られた主題図を図4

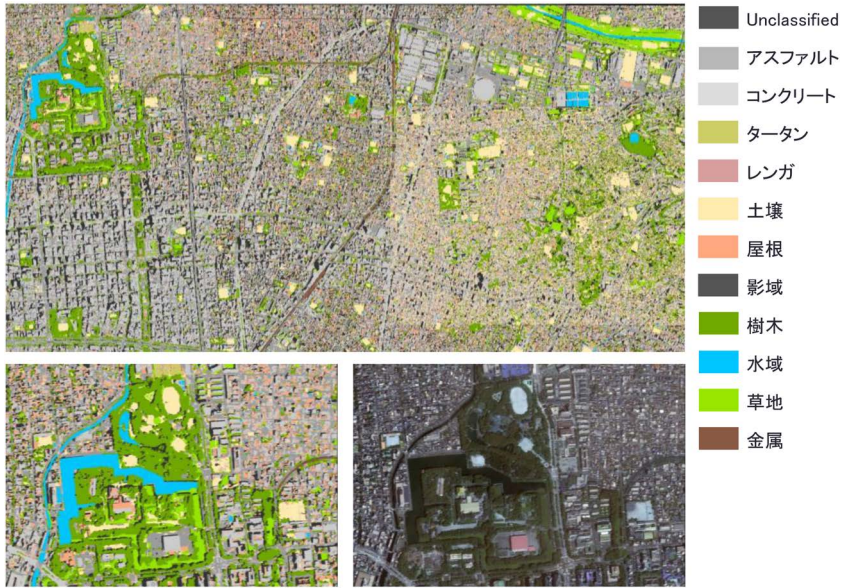


図4 オブジェクト分類手法による主題図

表1 分類カテゴリー別精度検証の結果

アスファルト	レンガ	コンクリート	タータン (ゴム)	草地	土壌
84%	82%	87%	7%	72%	68%
金属	屋根	影域	樹木	水域	
3%	74%	84%	76%	24%	

表2 分割画像別の精度検証の結果

① 城北 自動車学校	② 名古屋城	③ 久屋大通り	④ 東区芳野	⑤ 東区役所	⑥ 東区葵	⑦ 千種区新栄	⑧ 東区桜丘	⑨ 徳源寺
75%	75%	74%	74%	81%	84%	79%	82%	84%
⑩ 千種区内山	⑪ 千種区今池	⑫ 千種区千種	⑬ ナゴヤ ドーム	⑭ 東区砂田橋	⑮ 千種区 茶屋が坂	⑯ 千種公園	⑰ 見附公園	平均
84%	80%	82%	78%	84%	79%	71%	83%	80%

に示す。屋根は、主に化粧スレートやセメント瓦、トタンなどの住宅の屋根材を示す。Unclassifiedはオート分類の際に分類することができなかった未分類を意味する。

主題図から、建築物の一部が水域と分類されるなど、極小オブジェクトに誤分類が見られた。精度検証の結果（表1参照）、アスファルトやコンクリートなどの土地被覆カテゴリーのトレーニングデータとサンプル数が多い被覆は高精度な結果を得ることができた。一方で、タータン（ゴム）や金属などの土地被覆カテゴリーの少ない被覆では低精度な結果

となった。これは水域の精度が24%と低い原因も上記の理由だといえる。具体的には、本研究の対象地域には河川が矢田川の一部しか含まれておらず、水域の面積の多くを占めるオブジェクトは名古屋城の外堀であり、残りは教育施設のプールなど、面積の小さいオブジェクトであるため、トレーニングデータとサンプル数が不十分であったと考えられる。一方、樹木と草地はアスファルトやコンクリートなどと比べオブジェクトは少ないが、NDVIのバンドを追加したことで全体的に精度の高い分類結果を得ることができた。そのため、屋上緑化や街路樹

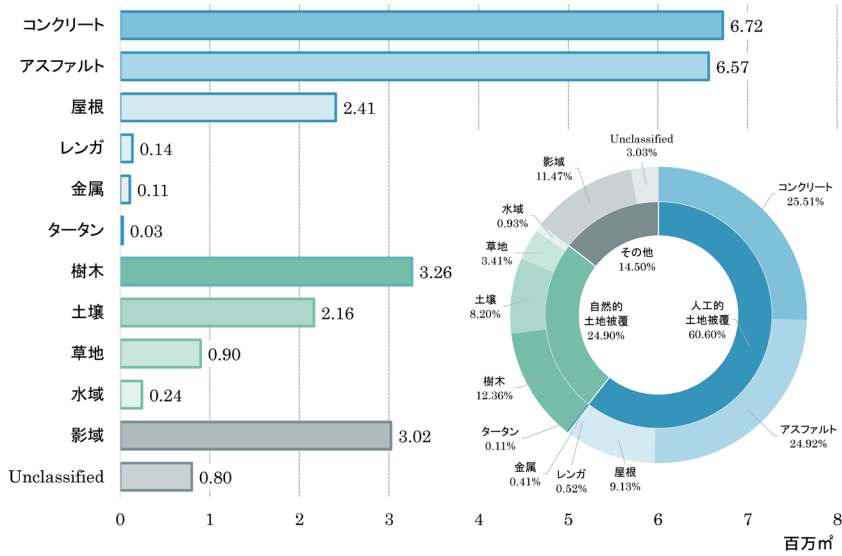


図5 土地被覆カテゴリー別の面積及び面積割合算出結果

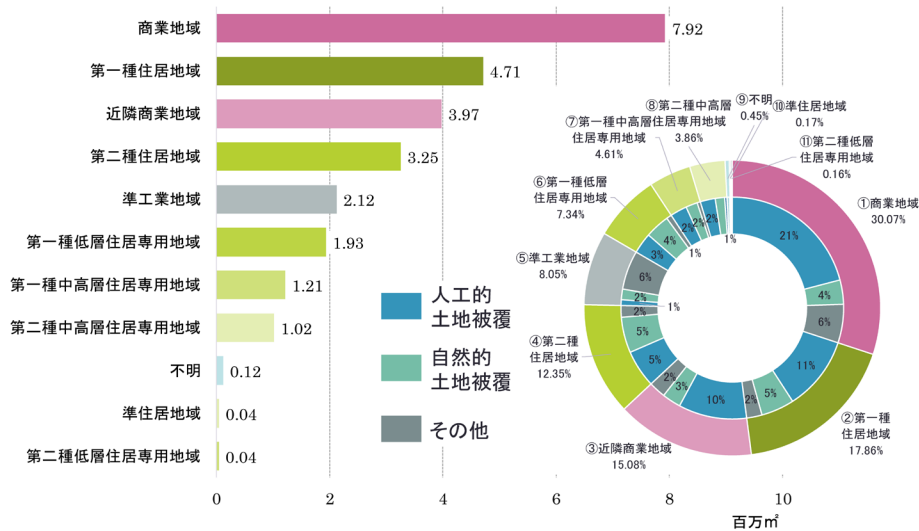


図6 用途地域別の面積及び面積割合算出結果

など詳細な緑地の把握が可能であると考えられる。衛星画像を用いた都市部の土地被覆分類を行う際は、大きな建築物や戸建住宅、幹線道路、路地など様々な大きさの土地被覆要素が混在する。誤分類を避けるためには、3.2で述べたとおり、スケールパラメータの値の設定が重要である。大きな建築物や幹線道路など面積の大きい土地被覆要素に合わせて値を決めると、面積の小さい戸建住宅や路地などがマージされ混在してしまう。反対に、値を面積の小さいものに合わせると、面積の大きい土地被覆要素がセグメントされてしまう。本研究では衛星

画像を分割し、分割画像ごとに精度を検証した。その結果を表2に示す。分割画像ごとの精度検証の結果は平均80%と高精度な結果を得ることができた。

4.2 面積の算出結果

4.2.1 対象地域全体

土地被覆カテゴリー別の面積及び面積割合の算出結果を図5に示す。本研究では、アスファルト・コンクリートなどグラフの青い部分を人工的土地被覆、樹木・草地などグラフの緑色の部分を自然的土地被覆、影域などグラフの灰色の部分をその他とする。

名古屋市緑政土木緑地事業部は1990年から5年ごとに緑被率の調査を行っている²⁶⁾。これによると、2015年の樹木の面積は約34.91km²で市街地面積に占める割合は10.69%、草地の面積は約16.78km²で市街面積に占める割合は5.14%であった²⁶⁾。本研究の範囲は名古屋市全域ではなくその一部のため、面積や面積割合は完全に一致しないが、名古屋市の調査と本研究の樹木の面積割合の誤差は約1.67%、草地の面積割合は1.73%とおおむね同様の結果を得ることができた(図5参照)。2015年の緑被率が24.90%(名古屋市調べでは22.00%)であることから²⁶⁾、「なごや緑の基本計画2020」の目標である緑被率30%の達成にはさらなる推進が必要であると考えられる。

4.2.2 用途地域別

次に、国土数値情報の平成23年度の用途地域データ²⁷⁾を用いて、用途地域別の土地被覆情報の把握を試みる。対象地域の用途別総面積及び用途地域別土地被覆の面積割合を図6に示す。

本研究の対象地域では、商業地域が全体の30%を占めている。商業地域とは、主として商業その他の業務の利便を増進するために定める地域と定義付けされている。名古屋市の商業地域は、市を代表する広域交流拠点である都心核の中心として、特に高度利用を図る区域と指定されており、建蔽率が80%と大きいことや、他地域と比較して高さなどの制限が緩いことから、高層ビルやタワーマンションなどが密集している地域である。そのため、商業地域内の土地被覆面積の割合はその2/3(図6中で21%に該当する部分)が人工的土地被覆という結果となった(図6円グラフ参照)。また、商業地域に存在する空地は将来高層ビルが建設される可能性が高いため、本結果で空地として自然的土地被覆に分類された土地も、将来は人工的土地被覆に転換される可能性がある。住居系用途地域に関しては、住居系用途地域の中でも比較的制限の緩い第一種住居地域を除き、人工的土地被覆と自然的土地被覆の割合が同値、もしくは自然的土地被覆の割合の方が高い結果となった。住居系用途地域は、良好な住居環境の維持・形成や、魅力ある住宅地として人口定着を図るために指定される区域であり、商業系用途地域や工業系用途地域とは異なり建築物の高さや建蔽率などの制限が厳しく、大型の建築物を建てることのできない地域である。そのため、商業系地域と比較し人工的土地被覆の割合が低かったと考えられる。

5. 屋上緑化抽出の結果

本研究では、建築物データ内に含まれる緑地データを屋上緑化として抽出を行った。その結果、84箇所を抽出することができた。その84箇所に対して、オブジェクト分類手法の精度検証と同様の方法(「3.4精度検証」参照)で検証した結果を図7に示す。図7の「不」は、屋上緑化を施しているのか塗料が緑色なのか判断できなかった箇所の割合である。

図7の37%の誤抽出の要因は二つある。一つ目の要因は、建築物データの精度である。今回使用した建築物データは吹き抜けや中庭、複雑な建築物の形状に対応していない。また、屋上緑化を抽出する際に緑地データと建築物データの幾何補正を行ったが、100%位置を一致させることはできなかった。そのため屋上緑化ではなく、建築物に隣接している緑地(街路樹など)や中庭などの敷地内の緑地も屋上緑化として抽出された。二つ目の要因は、オブジェクト分類手法の精度である。表1から、草地72%、樹木76%と高精度な結果が得られたものの、建築物の屋上・屋根部分については塗料が緑色のオブジェクトを緑地と誤分類しているものがあったため、屋上緑化の誤抽出を招いたと考えられる。この誤抽出に関して、オブジェクト分類を行う際に、塗装が緑色などの緑地と誤って分類される可能性がある箇所のトレーニングデータを用意することで、誤分類を防ぐことができ、屋上緑化として誤抽出されることも防ぐことができると考えられる。そのため、トレーニングデータ取得時には慎重にサンプルを吟味する必要がある。

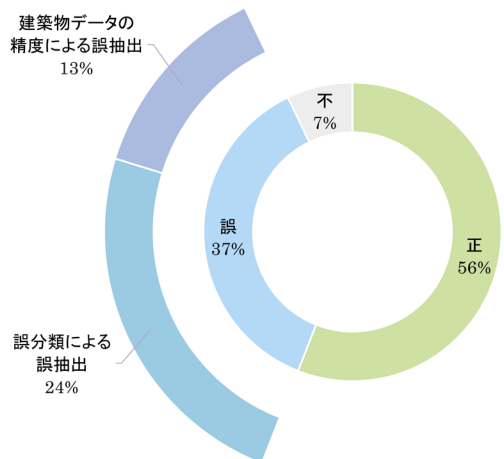


図7 屋上緑化箇所の抽出精度検証結果

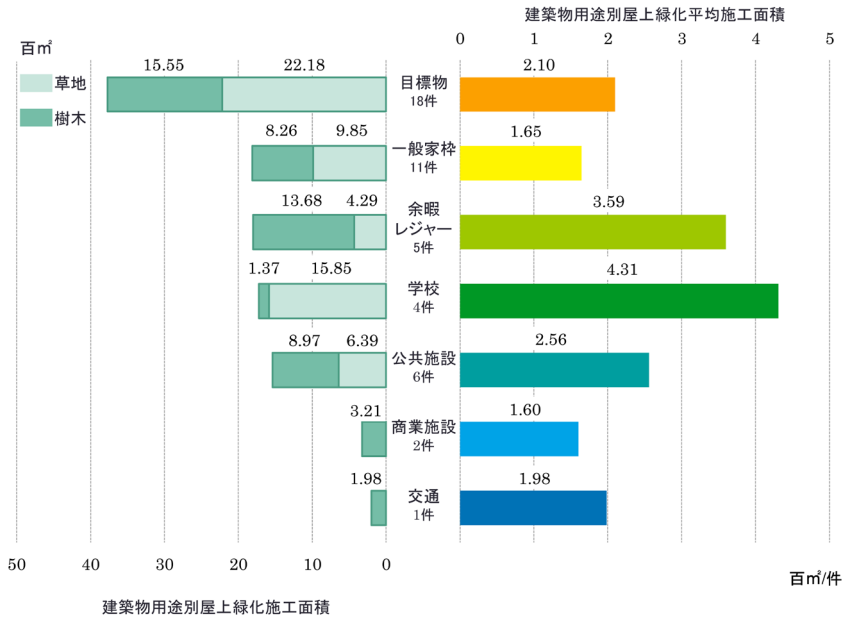


図8 建築物用途別の屋上緑化の詳細

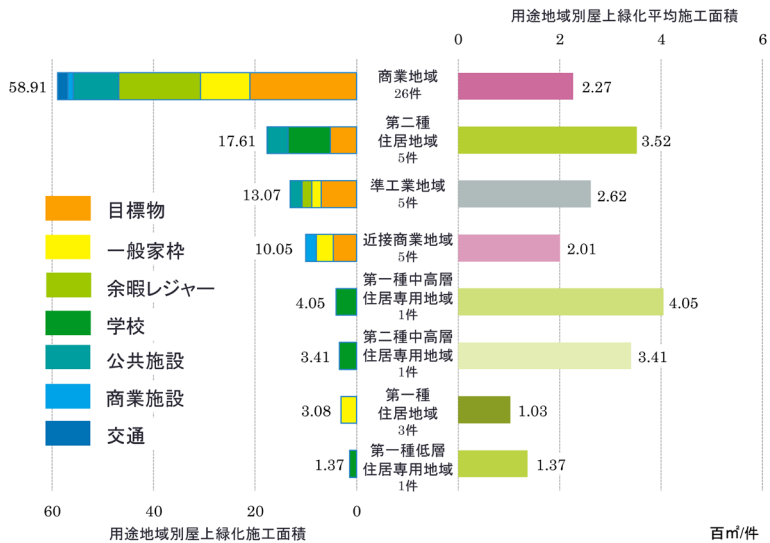


図9 用途地域別の屋上緑化の詳細

5.1 建築物用途別の抽出結果

ここでは屋上緑化として抽出された結果のうち、正確に屋上緑化を抽出できたもののみを用いて、屋上緑化を施している建築物用途別にその特徴の把握を試みる。建築物用途別の屋上緑化施工面積、件数及び平均施工面積の算出結果を図8に示す。平均施工面積は建築物用途別の面積を各件数で除して算出した。図8の建築物用途別の屋上緑化施工面積において、目標物や余暇・レジャー、学校が上位にきて

いる。目標物とは3.3で述べたとおり、宿泊施設や商業施設、学校、余暇・レジャー、公共施設、医療、交通に含まれない高層建築物や工場、会館、放送局などの建築物である。これらは一つひとつの建築物の面積が広いこともあり、上位になったと考えられる。また、学校や余暇・レジャーの屋上緑化平均施工面積が上位になったのは、名古屋市の緑化推進制度の一つである緑化地域制度の成果とも考えられる。緑化地域制度とは、都市緑地法の規定により、一定

の規模以上の敷地において建築物の新築や増築を行う場合、定められた面積以上の緑化を義務付ける制度である⁵⁾。学校、余暇・レジャーに関して、件数は少ないが、これら用途の建築物は緑化地域制度の対象に含まれる。このことから、図8の平均施工面積の結果はこの制度が寄与していると考えられる。

本研究の対象地域では交通の結果は一件と下位であった。しかし、都心に多くの駅ビルを有する旅客鉄道会社では、環境保全活動の一環として積極的に屋上緑化を導入しており²⁸⁾、今後名古屋市やそれ以外でも交通に関しては施工面積、件数ともに増加していくと考えられる。

5.2 用途地域別の抽出結果

国土数値情報の平成23年度用途地域データ²⁷⁾を用いて、用途地域別の屋上緑化の施工状況の把握を試みる。用途地域別の屋上緑化の施工面積、件数及び平均施工面積の算出結果を図9に示す。平均施工面積は5.1同様に、用途地域別面積を各件数で除して算出した。

図9の屋上緑化施工面積及び件数において、商業地域が最も大きくなった。これは、対象地域において商業地域の占める割合が約30.07%と高かったためだと考えられる(図6参照)。4.2.2で述べたとおり、商業地域は建蔽率が高く各種制限が緩いことから、様々な用途の建築物が混在している。図8で上位となった、目標物や余暇・レジャー、学校などが商業地域で建てられることがこの結果に寄与していると考えられる。

図8の結果、一般家枠の屋上緑化施工面積は目標物のそれに次いで大きくなった。それにも関わらず、図9の結果では、第二種住居地域を除いて住居系用途地域での屋上緑化施工面積が小さくなった。これは、一般家枠のデータに含まれるタワーマンションや複合型マンションなどの高層な建築物が住居系用途地域には一般的には建てられないことによるものであると考えられる。そのため、商業地域の一般家枠などにおいて屋上緑化がより施工されることがわかる。また、住居系専用地域は隣接斜線制限や高さ制限などの各種制限があり、緑化推進制度の対象となる建築物を建てることのできないことも、図9の屋上緑化施工面積の結果が下位になった原因であると考えられる。

日本では戸建住宅の屋上緑化施工は敬遠されがちである²⁹⁾。その理由として、設置費用や設置後のメンテナンス費用がかかることなどが挙げられる。日本は地震大国のため屋上部分における許容積載荷重が小さいことや、既存の建築物では屋上の強度が弱い場合が多く、建築物そのものへの負担がかかる

ため、耐震強度を強くするためのリフォームなどが必要である²⁸⁾。これらの費用の負担を軽減できる制度を設けることで、住居系専用地域において、屋上緑化を増加させることができると考えられる。また、横浜市は垣根設置助成³⁰⁾を行っているが、全国的に戸建住宅を対象とした緑化推進制度は少なく、本研究の対象地ではこのような制度はない。対象地域において住居系用途地域の占める割合は約46.35%であることから(図6参照)、今後、戸建住宅を対象に緑化推進及び助成制度を設けることで、都市全体の緑被率増加に繋がると考えられる。この場合、屋上緑化のみならず、壁面や駐車場などといった敷地全体において緑化可能な場所を探し促進していくことを考える必要がある。

6. おわりに

本研究では、高分解能衛星画像の一つであるWorldView-2衛星画像を用いて、オブジェクト分類手法による土地被覆情報の取得及び屋上緑化の抽出を行った。WorldView-2衛星画像を用いた都市の土地被覆情報の取得は、十分な精度を得ることができ、屋上緑化の抽出も多少の改善は必要なものの、本研究の手法で抽出が可能であることがわかった。

従来、アンケート調査による屋上緑化の施工件数・面積調査が行われてきたが、アンケート調査は、時間や手間がかかることや、回収率が低いなどの問題点が挙げられる。そもそも調査対象でなければ把握することは困難である。こうした場合、目視によって確認する方法が考えられるが、高層ビルの屋上は地上から肉眼で確認することは難しく、この方法による把握も困難である。本研究で行った衛星画像を用いた屋上緑化の抽出方法は、当然、広域を上空から撮影・確認できるものであり、容易に施工箇所を把握することができると同時に、オブジェクト分類の結果を用いているため、面積のような定量的な情報の取得も可能である。現在、WorldView-3やWorldView-4のようなWorldView-2より高分解能な画像の撮影が可能な衛星が打ち上げられている。今回の結果よりも微細な土地被覆情報の取得が可能であり、誤分類が原因である屋上緑化の誤抽出も防ぐことができる。また、今回困難であった面積100m²以下の屋上緑化の把握やさらなる高精度な分類が期待できる。本研究では、屋上緑化の抽出精度を向上させるためにマニュアル作業を取り入れたが、より高分解能の画像を用いることで、抽出の自動化も可能になると考えられる。Worldview-2よりさらに多くのスペクトル情報を持つ衛星画像を用いて分類を行うことで、屋上緑化の把握だけでなく、

樹木の植栽場所別の把握や熱環境の解析などを広範囲に行うことが可能である。

今後の課題を以下にまとめる。

- 1) 本研究ではオブジェクト分類手法を用いて土地被覆情報を取得したが、面積が100m²を下回るオブジェクトに誤分類が多く見られた。これは土地被覆の主題図の精度が低くなるだけでなく、屋上緑化の誤抽出の原因にもなる。スケールレベルとマージレベルを厳密に検討し極小オブジェクトを取り除くことで、土地被覆情報の取得精度の向上及び屋上緑化抽出の際に起きた24%の誤抽出(図7参照)を防ぐことができると考えられる。
- 2) 今回、屋上緑化抽出時に使用したWorldView-2衛星画像と建築物データのように、取得方法の異なるデータをオーバーレイする場合、必ず位置情報のずれが生じる。本研究では、WorldView-2衛星画像と建築物データを幾何補正したが、ずれを完全に一致させることは難しく、13%の誤抽出(図7参照)の原因となった。これは建築物データの作成をオブジェクト分類手法と同じ衛星画像を用いることで防ぐことができると考えられる。同じデータを用いることで位置情報のずれ以外にも、撮影方向のずれ、影、雲、光などの影響の問題がなくなり、高精度の抽出が可能になると同時に、作業効率が上がると考えられる。

謝 辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 (JP15K00639) の助成のもと行われた。謹んで感謝申し上げる。

文 献

- 1) 三上岳彦 (2005) 都市のヒートアイランド現象とその形成要因—東京首都圏の事例研究—. 地学雑誌, 114(3), 496-506.
- 2) 国土交通省屋上庭園, 屋上緑化の効果, http://www.mlit.go.jp/crd/park/shisaku/gi_kaihatsu/okujyo/kouka.html, (参照2018-1-25).
- 3) 平成28年全国屋上・壁面緑化施工実績調査の結果報告, http://www.mlit.go.jp/report/press/toshi10_hh_000230.html, (参照2018-10-3).
- 4) 公益財団法人都市緑化機構, みどりの技術プラットフォーム|特殊緑化の効果効用, <https://urbangreen.or.jp/tech/green-plathome/tokusyuryokka-koukako-uyou>, (参照2018-1-25).
- 5) 名古屋市緑政土木局, 緑化地域制度について, <http://www.city.nagoya.jp/ryokuseidoboku/page/0000008169.html>, (参照2018-1-25).
- 6) 国土交通省, 平成27年 全国屋上・壁面緑化施工実績調査の結果報告, <http://www.mlit.go.jp/common/001142669.pdf>, (参照2018-1-25).
- 7) 梅干野 晃・浦野良美・南川喜伸・加藤倍数 (1986) 航空機MSSデータを用いた都市の土地被覆分類. 九大工学集, 59(1), 105-112.
- 8) 大西暁生・廣田福太郎・吉川拓未・森杉雅史・井村秀文 (2003) 高分解能衛星画像を用いた詳細土地被覆情報と輝度温度との関係—緑地の特性に着目して—. 環境システム研究論文集, 31, 357-365.
- 9) 国土技術政策総合研究所, 都市緑地調査における人工衛星技術の活用に関する研究, <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryouseiseireport/no4/1-2-12.pdf>, (参照2018-1-25).
- 10) 廣田福太郎・大西暁生・森杉雅史・井村秀文 (2002) 高分解能衛星画像を用いた都市内緑地分析に関する研究. 環境システム研究論文集, 30, 91-99.
- 11) 大西暁生・前崎隆一 (2014) オブジェクト分類手法による詳細土地被覆情報の取得と地表面温度の再現性に関する研究. 土木学会論文集G (環境), 70(5), I_59-I_69.
- 12) 越智士郎 (2009) 画像オブジェクトに基づく高分解能衛星画像での土地被覆分類手法の検討. 東南アジア研究/京都大学東南アジア研究所編, 46(4), 578-592.
- 13) 安藤岳洋・大西暁生 (2015) 高分解能衛星画像 Geoeye-1 を用いた詳細土地被覆情報の取得精度検証と分類手法の比較—港北ニュータウンを対象として—. 公益社団法人日本都市計画学科都市計画報告集, 14, 153-157.
- 14) 吉川拓未・廣田福太郎・大西暁生・森杉雅史・井村秀文 (2003) 都市域の熱環境解析のための詳細土地被覆情報に関する基礎的研究. 環境システム研究論文発表会講演集, 31, 591-597.
- 15) 大西暁生・森杉雅史・村松由博・井村秀文・林良嗣 (2008) 愛知県豊田市における詳細土地被覆情報の取得と熱環境解析への適用に関する研究. 地球環境研究論文集, 16, 181-190.
- 16) DIGITAL GLOBE, WHITE PAPER The Benefits of the 8 Spectral Bands Of WorldView-2, https://www.restec.or.jp/ja/wp-content/uploads/2014/12/WorldView-2_White-Paper.pdf, (参照2018-1-25).
- 17) 福岡巧巳・越村俊一 (2012) オブジェクトベース画像解析による津波被災地の瓦礫量の把握. 土木学会論文集B2 (海岸工学), 68(2), I_371-I_375.
- 18) 神野有生・鯉淵幸生・磯部雅彦・寺田一美・関根雅彦・胡 忠 (2011) WorldView-2衛星画像を用いたサンゴ礁汎用水深推定式構築の試み. 土木学会論文集B3 (海洋開発), 67(2), I_744-I_749.
- 19) 村上拓彦・望月翔太 (2014) リモートセンシングによる植生マッピング. 日本生態学会誌, 64, 223-242.
- 20) 千代田区, 第3章 緑の実態調査, https://www.city.chiyoda.lg.jp/koho/machizukuri/kankyo/ryokuka/documents/d0001570_6.pdf, (参照2018-1-25).

- 21) 名古屋市, 緑の基本計画, <http://www.city.nagoya.jp/shisei/category/53-3-3-2-0-0-0-0-0-0.html>, (参照2018-1-25).
- 22) 加藤正人(編著)(2010) 森林リモートセンシング第3版—基礎から応用まで—, 日本林業調査会, 443 pp.
- 23) 尹 敦奎・梅干野 晁(1998) 都市域における画素内緑被率推定のための指標. 日本リモートセンシング学会誌, 18(3), 4-16.
- 24) 鈴木 圭, リモートセンシングを用いた森林面積の把握手法, http://redd.ffpri.affrc.go.jp/pub_db/course_materials/_img/2013_basic/2013_basic_chap07.pdf, (参照2018-1-25).
- 25) esri ジャパン, ArcGIS Geo Suite 詳細地図, <https://www.esri.com/products/data-content-geosuite-shosai/>, (参照2018-1-25).
- 26) 名古屋市, 平成27年度緑被率調査結果, <http://www.city.nagoya.jp/ryokuseidoboku/cmsfiles/contents/0000024/24621/27ryokuhi-result.pdf>, (参照2018-1-25).
- 27) 国土交通省, 国土数値情報ダウンロードサービス, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>, (参照2018-1-25).
- 28) 一般社団法人日本住宅工事管理協会, 屋上緑化とは? メリットデメリット, 施工費用の目安, <http://www.nichijuko.jp/column/91/>, (参照2018-1-25).
- 29) 公益財団法人都市緑化機構, 第13回屋上・壁面・特殊緑化技術コンクール国土交通大臣賞・環境大臣賞決定, <https://urbangreen.or.jp/wp-content/uploads/2014/10/cc64ea3ff82a9a402b7f67e4f8b8186d.pdf>, (参照2018-1-25).
- 30) 横浜市環境創造局, 生垣設置助成受付開始～ブロック撤去+生垣設置への上積み助成～, <http://www.city.yokohama.lg.jp/kankyokisha/h21/091015-1.html>, (参照2018-1-25).

Extracting Fine Land Cover Information From WorldView-2 Imagery to Monitor Rooftop Greening

Minami SAKAMOTO¹, Akio ONISHI² and Brian JOHNSON³

¹ASIA AIR SURVEY CO., LTD.,

Sinyuri21, 2-2 Manpukuji-1, Asao-ku, Kawasaki-city, Kanagawa 215-0004, Japan

²Yokohama City University,

22-2 Seto, Kanazawa-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 236-0027, Japan

³Institute for Global Environmental Strategies,

2108-11 Kamiyamaguchi, Hayama, Kanagawa 240-0115, Japan)

Abstract

Although greenery in urban areas has many functions, such as mitigation of the urban heat island effect, and reduction of rainfall-induced surface runoff, it is difficult to secure the space required to plant trees in cities, which are crowded with buildings. Therefore, rooftop greening has attracted attention and many cities are adopting and promoting this practice. However, the rise in the number and area of green roof has not resulted in an increase in the total area of urban cover.

In this study, we attempt to elucidate the detailed current status of central part of Nagoya using WorldView-2 images to obtain land cover information and extract the area under rooftop greening. We then analyze this status of rooftop greening according to zoning and building usage, and suggest methods to increase the urban green cover.

Key Words: High resolution, object classification, fine land cover information, rooftop greenery