（ 続紙 1 ）

京都大学	博士（　　農　学　　）	氏名	佐々木　剛
論文題目	Estimation of parameters of urban forest stand structures using airborne LiDAR （航空機LiDARを用いた都市林の構造に関するパラメータの推定）		

（論文内容の要旨）

森林や緑地において大規模にモニタリングを行い、適切な管理を行っていくためには、広域を瞬時に観測できるリモートセンシング技術の活用が有効である。特に近年技術開発が進んだLiDAR（光レーザ画像検出と測距)は、対象物の3次元情報を直接記録できるという点で大きな可能性を持つ。しかし、一般的な測量分野での応用は、地形（DEM）および森林の表面（DSM）の把握が主で、それ以外の点群情報はむしろノイズとされてきた。一方、葉面積指数など群落構造のパラメータがノイズから評価される可能性は高いものの、これまで海外の単純な疎林や針葉樹林についての研究がほとんどであり、多様な樹種からなる広葉樹林や、都市林のように細かいパッチで構成される緑地での評価法は確立していない。

本研究は航空機から取得したLiDARデータを用い、広葉樹主体の大規模都市緑地を対象とし、その構造を表す重要なパラメータである土地被覆と優占樹種の分類、および葉面積指数と天空率の推定を効率的に行う手法を開発し、その有効性を検証することを目的とした。

第1章では、上記に述べたような本論文の位置づけと構成、航空機 LiDAR システムの種類と、森林や緑地における既往研究のレビューを行い、レーザの密度が増加し、フットプリント（地上測点）が小さくなるにつれて、そのデータ処理法を開発することの意義が増大することを述べている。

第2章では、広葉樹を主体とした大規模都市林である大阪府の万博記念公園自然文化園地区を対象として、オブジェクトベースによる土地被覆分類、優占樹種分類を行っている。分類においては、LiDARデータと、従来用いられてきた、近赤外画像データを組み合わせて解析した場合の分類結果と、画像データのみを使って解析した場合の分類結果とを比較することによって、LiDARデータの有効性を評価している。また、高空間解像度情報の持つマイナス面を克服するとされるオブジェクト分類手法を適用することの意義を検証している。つまり、各オブジェクトのスペクトル特徴量、テクスチャ特徴量および LiDAR データ由来の多くの特徴量を計算し、分類におけるこれらの特徴量の重要度の検討を行っている。その結果、土地被覆分類および優占種による林分区分の両方において、LiDARデータを加えることにより、画像データだけでは一部に誤りが見られた「樹林」と「芝生」との分類に関して大きな分類精度の向上が見られることを指摘している。さらにまた、優占種分類においても、高さのデータに加えてレーザの透過の割合に関する指数が重要であった。これは生育履歴を含む優占種の違いが群落構造の違いを生み、レーザの透過の割合が、この林分の違いを評価できることを示唆している。

第3章では、同じく万博記念公園自然文化園地区において、樹林部分に17箇所のプロットを設定し、LiDARデータから計算した4種類の指数を用いて葉面積指数および天

空率の推定を行い、その有効性を画像データ由来のさまざまな植生指数と比較し、また、データを間引いて推定精度の検証を行なっている。約11.3点/m^2では、LiDAR由来の4つの指数のうち、本研究で新たに提案した2つの指数 Ground Fraction（地面到達成分）および“Only and Ground” Fraction(オンリーパルスの地面到達成分）が、葉面積指数および天空率の推定において、従来から用いられている正規化差分植生指数（NDVI）と同程度かそれ以上の有効性をもつことを明らかにしている。このうちレーザ発射数に対する地面まで達した点の割合であるGround Fractionについては、レーザの点群密度を市販のデータと同じ1点/m^2程度まで減少させても、調整済み決定係数において、画像データから計算したNDVIと同程度の高い値を維持しており、実用性の高い指数であることを示唆している。

第4章では、万博記念公園自然文化園地区および日本庭園を対象とし、園内の13箇所において植生断面図を作成し、林冠内の1mボクセルレベルでの葉群分布と、既存の3種類のパラメータ（階層数、合計植被率、葉群階層多様度）について、小フットプリント・波形記録方式の航空機LiDARのデータからの高い精度での推定を試みている。その結果、いずれも現地調査での値が高い精度で再現され、現地での目視による調査では取得困難な、1mボクセル単位での葉群分布の情報が容易に得られる可能性を示している。また3つのパラメータについては、元の約47点/m^2の点群密度を2.4点/m^2程度まで減少させても直線回帰において定量的な推定が可能であり、実用性が高いことを示唆している。

第5章では結論として、上記を取りまとめ、航空機LiDARデータを用いて、複雑な都市林の構造を推定することの、従来方式に比べて天候に左右されにくい有利性や高密度林分での限界、及びそれらの克服に関する今後の展望について論じている。

注)論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は１頁を３８字×３６行で作成し、合わせて、３，０００字を標準とすること。
論文内容の要旨を英語で記入する場合は、４００～１，１００wordsで作成し
審査結果の要旨は日本語５００～２，０００字程度で作成すること。

（続紙　２　）

（論文審査の結果の要旨）

森林や緑地のモニタリングにおいて、ほぼ天候に左右されずに対象物の3次元位置情報を直接記録できるLiDAR（レーザー画像検出と測距）は大きな可能性を持つ。しかし、多様な樹種からなる広葉樹林や、都市林のように小さなパッチで構成される林分の構造の推定手法は確立していない。本研究では、航空機から取得したLiDARデータを用い、広葉樹主体の大規模都市林を対象とし、その構造を表す重要なパラメータである（１）土地被覆分類と優占樹種（２）葉面積指数と天空率（３）林冠内の葉群分布の推定を効率的に行う手法を開発することを目的としたもので、評価できる主な成果は以下のとおりである。

1.　より高密度なLiDARデータ及び空間解像度の高い光学センサを組み合わせるメリットを生かしつつ、より深刻となるノイズをキャンセルする手法として、オブジェクトベース画像分類を適用することによって、複雑な緑地の土地被覆および優占種分類に適用可能な、高密度で高解像度のデータの有効な処理法を示した。

2.　土地被覆分類においては、光学センサのデータにLiDARデータからの高さの情報を加えることが非常に有効であり、例えば従来の光学センサだけでは一部で判別が難しい「樹林」と「芝生」の明瞭な区分が可能であることを示した。

3.　過去のオブジェクトベースの既往研究ではまだ用いられていない、LiDARの属性を利用したレーザの透過の割合に関する指数を考案することによって、これまでほとんど実用的な手法がなかったリモートセンシングによる優占樹種分類に道を開いた。

4.　葉面積指数、天空率の推定において、本研究で新たに提案したLiDAR由来の2つの指数、Ground Fraction（地面到達成分）と“Only and Ground” Fraction(オンリーパルスの地面到達成分）は、これまでの標準的な正規化差分植生指数（NDVI）と同程度に有効であり、さらに天候に左右されにくい有利性があることを示した。

5.　上記の2つの指数のうちGround Fractionについては、レーザの点群密度を市販のデータに見られるものと同じ1点/m^2程度まで減少させても、調整済み決定係数において、画像データから計算したNDVIと同程度の高い値を維持しており、実用的な指数であることを示唆した。

6.　小フットプリント型・波形記録方式の航空機LiDARデータを用いた、林冠内の1mボクセル単位での葉群分布の評価法を開発し、階層数、合計植被率ならびに、既往の常法では多大な労力を要する葉群階層多様度の推定が可能であることを示した。

以上のように、本論文は、航空機LiDAR データを用いて大規模都市林の構造を表す葉面積指数等の重要なパラメータを推定する手法を開発し、その有効性を示したもので、環境デザイン学、緑化工学、森林計測学、リモートセンシングの発展に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成24年 2月14日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。

注)Webでの即日公開を希望しない場合は、以下に公開可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日：　　年　　月　　日以降