

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Estimation Method on Thermophysical Properties of Building Surfaces Based on Multi-spectral Remote Sensing and Surface Energy Balance Simulation
著者(和文)	Xi Xu
Author(English)	Xi Xu
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12002号, 授与年月日:2021年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:浅輪 貢史,中村 芳樹,山中 浩明,松岡 昌志,大風 翼,小林 秀樹
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12002号, Conferred date:2021/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	Xu Xi		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	浅輪 貴史	准教授		大風 翼	准教授
	審査員	中村 芳樹	教授	審査員	小林 秀樹	特任准教授
		山中 浩明	教授			
		松岡 昌志	教授			

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Estimation method on thermophysical properties of building surfaces based on multi-spectral remote sensing and surface energy balance simulation」と題し、以下の5章から構成されている。

第1章「Introduction」では、都市域のヒートアイランド現象や熱環境の数値解析において都市表面と大気との間のエネルギー交換を予測するために近年多く用いられる表面エネルギー収支 (SEB) シミュレーションに着目し、都市気候等の研究分野を概観しながら現状の適用範囲や研究課題について論じている。SEB シミュレーションにおける都市表面の熱的特性の再現における現状と課題として、建物の配置や高さといった幾何形状情報は数値地図や地理情報システムの普及に伴い整備可能になってきているものの、材料情報に関しては適切な設定・推定手法が無く、同一地域内で単一材料を一律に設定している研究例が大部分であり、エネルギー収支の解析結果に大きな誤差を及ぼす要因となり得ることを指摘している。それらを踏まえて、衛星リモートセンシング分野において、広域の都市スケールでこれまで適用がされてきた土地被覆材料の推定手法を、より狭域の街区や地区スケールにおける構成材料の推定に適用するための研究課題について提示したうえで、地上付近からの多重分光リモートセンシングの観測データに SEB シミュレーションを組み合わせることで、建物表面の熱物性値 (日射反射率、熱伝導率、熱容量) を推定する手法を開発することを、本研究の目的として述べている。

第2章「Effect of thermophysical properties of building surfaces on temperature and sensible heat flux」では、SEB シミュレーションを用いて、建物表面の熱物性値がその表面温度と顕熱輸送量に及ぼす影響に関する系統的な数値解析を行うことで、開発する手法の基礎となる熱物性値と表面温度との対応関係を定量的に明らかにしている。東京工業大学すずかけ台キャンパス内の低層の建物を対象とし、SEB シミュレーションの解析精度を表面温度に着目して検証したうえで、壁面と屋根面の熱物性値を段階的に変更した場合の感度を調べている。その結果、我が国で一般に建築材料として使用されている熱物性値の変化幅を考慮すると、既往研究の SEB シミュレーションにおいて採用されている材料の種別を一律に設定する方法は、表面温度と顕熱輸送量に無視できない誤差を生じることが示すとともに、日射反射率と熱伝導率、熱容量、及びその組み合わせが表面温度に及ぼす影響を定量的に明らかにしており、それらに基づき、開発する手法において基準となる熱物性値の推定精度と感度を提示している。

第3章「Estimation of total shortwave albedo of building surfaces based on multi-spectral remote sensing」では、地上付近からの多重分光リモートセンシングにより、建物壁面の日射反射率を推定する手法について提示している。多重分光リモートセンシングの技術として、可視域～近赤外域までの波長帯を含むハンディタイプの多重分光カメラに着目し、限られた波長帯で且つ狭い波長幅で得られる観測値から、日射のエネルギーが含まれる全波長領域での日射反射率を推定する技術的手順について提案している。その推定手法の妥当性を検証するとともに、使用す

る多重分光の波長域や推定に使用する物理モデル・回帰モデルが推定結果に及ぼす影響について明らかにするために、都市に存在する百種類以上の表面材料の日射反射率を検証用データとして取得し、複数の日射照度の条件において、推定結果との比較を行っている。その結果より、本推定手法は、コンクリートなどの均等拡散性を有する表面材料であれば観測方向による誤差は十分に許容範囲内となること、可視域～近赤外域の五つの波長帯を使用するのみで比較的精度高く日射反射率を推定できることを基本的な特徴として明らかにしている。さらに第2章で提示した日射反射率推定の要求精度を満たすには、日射照度の波長特性に基づく物理モデルと、観測データより補正を行う回帰モデルを組み合わせた推定手法が有効であると結論付けている。

第4章「Estimation of thermal conductivity and heat capacity of building surfaces based on the multi-spectral remote sensing and surface energy balance simulation」では、第3章で提示をした日射反射率の推定手法に加えて、熱赤外領域のリモートセンシング技術である赤外線放射カメラと SEB シミュレーションを組み合わせることで、壁面材料の熱伝導率と熱容量を推定する手法を開発している。建築材料の熱物性値をデータベースとして整備した後に、データベースから選定した熱伝導率・熱容量と前記で得られた日射反射率を入力して SEB シミュレーションを実施し、その表面温度予測データと、赤外線放射カメラで得られる表面温度の観測データとを比較することで、両者の温度特性が最も一致する建築材料の熱物性値をデータベース内から探索する手法を提案している。その手法の妥当性を検証するために、東京工業大学すずかけ台キャンパス内の中層の鉄筋コンクリート造建物に適用し、百種類以上の建築材料について整備されたデータベースの中からクラスター分析により特性が類似した熱物性値の絞り込みを行った結果より、最終的に妥当な建築材料の熱伝導率と熱容量が推定可能であることを明らかにしている。

第5章「Conclusions」では、研究の総括と今後の課題を述べている。

以上要するに、本論文は、多重分光のリモートセンシング技術と建物表面のエネルギー収支シミュレーションを組み合わせることで、従来は困難であった建物表面材料の熱物性値の推定を可能としたものであり、都市環境工学、および都市気候学における熱環境の予測・評価手法の発展に貢献するところが大きい。よって本論文は、博士（工学）の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。