



Title	Study on the impact of atmospheric pollution on eco-environment changes using satellite remote sensing technique [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	鐘, 国盛
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第12874号
Issue Date	2017-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/67748
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Zhong_Guosheng_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称 博士（農学）

氏名 鐘 国盛

学 位 論 文 題 名

Study on the impact of atmospheric pollution on eco-environment changes
using satellite remote sensing technique

(衛星リモートセンシングを用いた生態環境変化への大気汚染の影響に関する研究)

粒子状物質(PM)として知られているエアロゾルは、大気汚染物質やウィルスなども含んでおり、人間の健康や生活の環境に深く係わっている。近年、大気エアロゾルの濃度は人類活動に伴って著しく増加し、地域スケールから地球全体へ拡大する傾向は深刻な大気環境の問題として注目されている。大気エアロゾルは、直接的および間接的に地球放射収支を左右し、グローバルな気候変動に重大な影響を与えることが認識されている。また、酸性雨や地球温暖化、成層圏オゾン層破壊などの環境問題においてもエアロゾルが大きく関与していることが明らかになっている。一方、常に不確実性が多く存在し、主に人為起源の放出と関連しているため、エアロゾルの分布は時間的または地域的に大きく異なっている。大気エアロゾルの研究は、エアロゾル粒子の発生源検出、エアロゾル・大気汚染物質の輸送と広域分布測定および地球気候系への影響を解明することが重要な課題である。したがって、エアロゾルの実態とそれが引き起こす自然環境への影響を評価するために、広域的な高精度のエアロゾル観測が求められている。衛星リモートセンシングは、広域にわたる情報が取得できる非常に有効な手段のひとつであり、特に温室効果ガス観測技術衛星(GOSAT)の打ち上げにより、放射強制力を要因とする温室効果ガスとエアロゾルの情報が同時に提供できるようになった。

本研究の目的は、(1)衛星データからエアロゾル情報を抽出するためのアルゴリズムを開発して、大気モニタリングに利用すること、(2)得られた情報から植生状態評価のモニタリングを改善するため、大気補正手法を開発することである。

1. GOSAT 衛星に搭載される雲・エアロゾルイメージャー(CAI)は大気と地表面の状態が観測できる。エアロゾルの重要な光学特徴である光学的厚さ(AOD)は、大気エアロゾルの濃度を表す。観測データから AOD を算出するには、地表面からの反射率を見積る必要がある。CAI の短波赤外線(SWIR)の $1.6\ \mu\text{m}$ バンドがエアロゾルからの影響を受けにくく、大気上端(TOA)反射率と表面反射率の差異も小さく、AOD の推定に $0.67\ \mu\text{m}$ バンドが $1.6\ \mu\text{m}$ バンドとの関係を見出せば、 $0.67\ \mu\text{m}$ バンドによって地表面反射率の推定が可能となる。そのため、放射伝達モデルを用いて計算された $0.67\ \mu\text{m}$ バンドの地表面反射率と $1.6\ \mu\text{m}$ バンドの TOA 反射率の関係を解析した。結果として、 $0.67\ \mu\text{m}$ バンドの表面反射率と $1.6\ \mu\text{m}$ バンドの TOA 反射率との間で地表面状態により変化することが明らかになった。植生指数が植生状態を表す指標としてよく利用されるが、エアロゾル影響に対する感度が鈍いエアロゾルフリー植生指数(AFRI)は、エアロゾルが存在しても正確な地表面状態を表すことが可能であり、AFRI による新しい表面反射率の推定手法、更に GOSAT 衛星の広い分野への応用と発展のため、AOD 推定アルゴリズムの開発にチャレンジした。アルゴリズムの検証は AERONET サイトからの AOD との比較を行い、強い相関関係が示された。

2. 地球表面で反射した太陽光は衛星に到達する間に散乱・吸収が起こり、実際の地表面状態を把握することが困難である。ここで、大気の影響を調べるため、MODIS 衛星データから ARVI, EVI, EVI2, VARI および AFRI 植生指数を計算し、異なる AOD レベルで植生指数のパフォーマンスを

評価した。検証を行う際、空間・時間的に一致した MODIS と AERONET データを利用した。TOA 植生指数と大気補正した(AC)植生指数が MODIS により提供された TOA 反射率データ (MOD02HKM) と表面反射率データ (MOD09HKM) から計算した。その結果、異なる AOD のレベルで、TOAARVI および TOAEVI は AC NDVI と高い一致性が示されたが、ARVI および EVI の TOA 値と AC 値の間に多少異なる傾向が現れた。AFRI には AOD の影響が最も小さく、EVI2 と VARI は ARVI と EVI より大気エアロゾルの影響を受けやすいことが判明した。

3. 正規化植生指数(NDVI)は最も広く使用される植生指数である。しかしながら、重大な欠点として、大気による散乱光の影響を受けやすいため、精度の低下が懸念される。植生指数への大気の影響を最小限に抑えるため、補正手法を開発した。ここでは AOD 値が大気状態の基礎情報を与えるものとする。AOD は 0.6 μm バンドの TOA 反射率および推定された表面反射率により計算が可能である。0.6 μm バンドの表面反射率の推定値は、2.1 μm バンドとの表面反射率の相関関係から計算された。放射伝達モデルを用いた計算結果から、赤色と近赤外バンドにおけるエアロゾル影響を補正するための経験式が導出された。本研究で補正された AFRI および NDVI のパフォーマンスについて、異なるエアロゾルレベルで調べた。その結果、AFRI は未補正の AFRI より理論値に近い値が得られることを明らかになった。補正された NDVI は、赤色と近赤外バンドの大気影響が大幅に除去され、補正手法としての優れた能力が証明された。

4. 赤色および近赤外線バンドに関する大気影響の補正手法は 2.1 μm SWIR バンドに基づいて開発されたが、そのバンドは持たずかわりに 1.6 μm SWIR バンドを持つ衛星センサに対しては、前述の補正手法を適用できない。この問題を解決するため、MODIS 表面反射率プロダクトを用いて 1.6 μm と 2.1 μm バンド両者の反射率の関係を解析し、1.6 μm バンドのセンサに適合させる補正法の開発を試みた。解析結果により、1.6 μm と 2.1 μm バンドとの間の反射率の関係が植生生育状態に依存していることを明らかになった。従って、2.1 μm バンドの反射率が 1.6 μm バンドにより推定できるように、1.6 μm バンドと AFRI を用いた経験式を導出した。本方法によって得られた 2.1 μm バンドの反射率は、実際の 2.1 μm バンドの反射率と非常に高い相関が示された。また 1.6 μm と 2.1 μm バンドとの関係を用い、2.1 μm -based の補正手法を 1.6 μm バンドのセンサへ適用することが実現できた。更に異なる AOD レベルにおける補正手法の性能をテストした。その結果、1.6 μm -based 補正手法により赤色と近赤外バンドの大気影響が効果的に除去され、植生指数の精度も明らかに向上した。

5. 現在 MODIS による AOD の抽出手法が主流であり、MODIS Dark Target (DT) アルゴリズムにより生成されたプロダクト Collection 5 と Collection 6 は、観測幾何条件と植生生育状態の情報を考慮し、2.1 μm バンドから 0.6 μm バンドの反射率を推定している。ここで観測幾何条件としての散乱角は太陽天頂/方位角、センサ天頂/方位角から計算され、植生生育状態の指標として $\text{NDVI}_{\text{SWIR}}$ (SWIR 波長帯域の 1.2 μm と 2.1 μm バンドから計算)を使用した。MODIS DT アルゴリズムの特徴を利用し、GOSAT CAI DT アルゴリズムの開発を行った。しかし、GOSAT CAI では SWIR 波長帯に 1.6 μm データしか受信できないので、 $\text{NDVI}_{\text{SWIR}}$ の算出ができない。そのため、AFRI と $\text{NDVI}_{\text{SWIR}}$ 共にエアロゾル影響に対する感度が低い植生指数であることから、GOSAT CAI DT アルゴリズムに AFRI を $\text{NDVI}_{\text{SWIR}}$ の代わりに使用した。また、既に解明した 1.6 μm と 2.1 μm の関係を用いることで 2.1 μm バンドの反射率が推定できた。解析結果に基づいて地表面反射率の計算手法および AOD 推定のアルゴリズムを開発した。算出された AOD は AERONET サイトからの AOD と比較すると、高い相関関係が示された。

本研究では、大気エアロゾルモニタリングのための新しいアルゴリズム、また、大気による散乱・吸収の影響を含めた衛星観測データを補正する手法を開発した。本研究で提案した手法は、可視、近赤外、短波赤外の反射率を測る衛星センサに対して理論的に適用することができ、特に、GOSAT の後継機として新たに打ち上げられる GOSAT-2 への応用が期待される。GOSAT-2 のセンサは 1 号機より雲・エアロゾルの観測バンドが増える設計であり、本研究の解析結果や発見はアルゴリズムの発展および推定精度の向上に貢献できる。