

学位論文題名

Studies on relationships among environmental factors in
northeast Asia by remote sensing

(リモートセンシングによる北東アジアの環境要因間の関係に関する研究)

学位論文内容の要旨

種々の地球の環境変化は、世界的規模で人間生活に影響を与えており、大きな問題となっている。そのため、世界的に地球環境システムの観測が行われ、その観測結果から地球圏・生物圏および人間社会間の相互作用を理解しようとする試みが行われている。地球環境変化は、長期間にわたる大規模なスケールであるため、衛星リモートセンシング技術がこれらの現象を解明するために、有効な手段である。すなわち、衛星データは、大規模な空間的・時系列的データを提供し、持続的かつ客観的な情報であり、現地調査が困難な地域のデータも取得可能である。さらに、衛星リモートセンシング技術は、植生、土壌、水域、森林等のような土地被覆分類、これらの地上特性の抽出、マッピング(図化)、さらに気象要素、温室効果ガスの観測も可能である。

本研究の目的は、地域環境変化に関する研究として、衛星リモートセンシング技術を用い、NDVI(正規化植生指数)時系列データ、温室効果ガス(以下、CO₂およびCH₄)データ、気候要素データ(気温・降水量)、土地被覆分類データなどの環境要因の相互関係を知ることである。

研究地域は、北東アジアを対象とし、日本、北朝鮮、韓国、中国東部、モンゴル、ロシア連邦を含む地域で、北緯30°~55°、東経110°~150°の範囲で、面積約5,125,000 km²である。この地域は、経済活動が急速に発展しており、世界で最も経済が活発な地域の一つで、地域環境変化が著しく、地球環境に及ぼす影響が懸念されている。

本研究に使用したデータは、①衛星データとして、気象衛星NOAA AVHRR、SPOT VGTおよびMODISなどからNDVI時系列データを、GOSAT(Greenhouse gases Observing SATellite)からCO₂およびCH₄データを取得した。GOSATは日本が2009年に打ち上げた、世界初の温室効果ガス観測技術衛星である。②気候データは、1981~2010年までの「Global precipitation data」と「Global temperature anomaly data」を使用した。このデータはメッシュデータで、アメリカ海洋・大気圏局とイギリスのEast Anglia大学が作成したものである。③土地被覆分類データは、2つの「Global Land Cover data」で、アメリカのメリーランド大学(1981~1994年間の土地被覆)とヨーロッパ宇宙機構(2005~2006年間の土地被覆)が作成したものをを使用した。なお、一部分の解析に土地被覆分類に衛星データのLandsatとALOSも利用した。④地上観測のCO₂およびCH₄濃度は、温室効果ガスの世界データセンターから入手した香港と与那国島のデータであり、GOSATデータの検証用に使用した。以上のデータを用いて、以下の解析を行った。

1) 生育期間中(6月~9月)における、1982年~2009年のNDVI、気候要素、および土地被覆変化間の時系列的・空間的(平面的)な関係を解析した。最初に、1982~2009年間のNDVI時系列データを、NOAA AVHRRのGIMMSデータ(1982~2006年)、SPOT VGT(2003~2009年)、およびMODISのMOD13A2データ(2003~2009年)の3データから重回帰分析で計算した。このNDVI時系列データから、1982年~2009年間に、NDVIの増加地域と減少地域が確認できたが、増加地域の方が多かった。また、土地被覆分類データを用いて、土地被覆(森林、草地、農耕地、裸地)ごとのNDVI時系列データのトレンドを解析した。何れの土地被覆のNDVI時系列データで増加のトレンドが示されたが、森林のNDVI時系列データは年による変動が大きかった。

解析地域を降水量に基づいて4つの気候帯に区分し、NDVI時系列データと気候データ(気温お

よび降水量)との相関関係を計算した。西部乾燥地域に属する気候帯では、NDVIは降水量と強い正の相関が示されたが、降水量の増加に従い、この相関関係は低下した。さらに、この地域におけるNDVIと気温の関係は明白には表れなかった。また、各気候帯について、2つの土地被覆データを比較した結果、乾燥地域と半乾燥地域では、草地の減少と裸地の増加が顕著であり、全気候帯の森林では減少傾向であった。

具体的な土地被覆変化を見るため、衛星データから過去30年間の2都市(中国・瀋陽市、日本・札幌市)における土地被覆変化を比較した。

2) GOSAT データによる東アジア(解析地域より広い範囲)の温室効果ガス濃度(以下、CO₂およびCH₄)の分布図の作成を行った。提供されたGOSAT データは、メッシュ化されていないLevel 2 データである。そのため、クリギング法(Kriging method)を利用し、パリオグラム解析により、各月に適合したモデルを選んだ。この各月のモデルを用いて、クリギング内挿メッシュ図を作成した。GOSAT データのクリギング法による値と地上観測データ値を比較した結果、クリギング法の値は観測データ値よりも2.3%~5.4%低くなった。作成した12ヵ月分のCO₂およびCH₄の分布図によると、東アジアにおけるCO₂およびCH₄の分布は、両温室効果ガス濃度とも地域による濃度差異が明確で、季節変動が観測された。また、冬期および春期には、高濃度のCO₂が認められ、石炭燃焼に伴う同ガスの生成に関連する可能性が推定された。CH₄の濃度は、秋期および冬期に緯度とともに顕著に変動しており、気温と関連があると考えられる。

3) 2)で解析した結果を用いて、2009年6月から2010年5月について、CO₂、CH₄、NDVI、気候要素(気温と降水量)、各土地被覆データの関係を解析した。この解析では偏相関および多重相関を用いたダイアグラム解析を行った。その結果、ロシア極東地域、中国北東部、および華北平原を含む地域において、この1年間の「NDVIとCH₄」および「NDVIと降水量」の間に有意な相関があった。この傾向は、全ての土地被覆区分(森林、混合植生地、草地、農耕地、裸地、都市)で認められた。すなわち、北東アジア地域では、NDVI-CH₄-降水量の3因子が、重要な因子であることが判明した。さらに、裸地では他の因子に比較して、NDVIの変動に気温の影響があった。全ての土地被覆区分で、NDVIとCO₂の間に負の相関が認められた。

メッシュごとに重回帰分析を行った結果、NDVIとCO₂・CH₄の関係およびNDVIと降水量・気温の関係が、高い重相関係数を示した。特にこれらの関係は草地で他の土地被覆区分より、高い重相関係数を示し、都市は最も低い値であった。

4) GOSAT に搭載されている光学センサについて、将来のSPOT(ヨーロッパ)やMODIS(アメリカ、NASA)のNDVIデータとの互換性について解析した。そのため、GOSAT CAI データ(分解能12.5km)とSPOT VGT NDVI(分解能0.8km)データについて、異なる季節の植生および土地被覆を比較した。GOSAT CAI Level 3 データを利用して、最大値コンポジット(MVC)法により、2009年11月、2010年1月、4月、7月における東アジア地域の10日コンポジットNDVIを算出し、これらの値を同期間におけるSPOT VGT NDVIの10日コンポジットデータと比較した。その結果、2つのNDVIデータセットに相関関係があり、その季節による変動はなかった。しかし、2つのNDVIデータセットは植生の類型と土地被覆で相関の程度が異なっていた。SPOT VGT データは、GOSAT CAI データと比較すると、高空間分解能が原因で、植生が多い所は高いNDVIを示したが、GOSAT CAI データは植生が少ないところでやや高い値を示した。

本研究の主な結果は、以下の通りである。膨大な衛星データを利用して、北東アジアのNDVI時系列データを計算した。このデータから、1982年~2009年間に、NDVIの増加地域と減少地域が確認できたが、増加地域の方が多かった。GOSAT データによる、東アジアのCO₂およびCH₄の分布を計算し、両ガス濃度とも地域による濃度差異が明確で、季節変動が観測できた。北東アジア地域では、解析に使用した因子の中で、NDVI-降水量-CH₄の3因子が、重要な因子であることが判明した。また、将来のため、GOSAT CAI データとSPOT VGT NDVI データの比較を行った。

学位論文審査の要旨

主査	准教授	谷	宏
副査	教授	大崎	満
副査	教授	齋藤	裕
副査	教授	野口	伸
副査	講師	王	秀峰

学位論文題名

Studies on relationships among environmental factors in northeast Asia by remote sensing

(リモートセンシングによる北東アジアの環境要因間の関係に関する研究)

本論文は7章からなり、図60、表22、引用文献155を含む170ページの英文論文で、参考論文3編が添えられている。

種々の地球の環境変化は、世界的規模で人間生活に影響を与えており、大きな問題となっている。地球環境変化は、長期間にわたる大規模なスケールであるため、衛星リモートセンシング技術がこれらの現象を解明するために、有効な手段である。衛星データは、大規模な空間的・時系列的データを提供し、持続的かつ客観的な情報であり、現地調査が困難な地域のデータも取得可能である。さらに、衛星リモートセンシング技術は、植生、土壌、水域、森林等のような土地被覆分類、これらの地上特性の抽出、マッピング、さらに気象要素、温室効果ガスの観測も可能である。

本研究の目的は、地域環境変化に関する研究として、衛星リモートセンシング技術を用い、NDVI（正規化植生指数）の時系列データ、温室効果ガス（以下、CO₂とCH₄）データ、気候要素データ（気温と降水量）、土地被覆分類データなどの環境要因の相互関係を知ることである。

研究地域は、北東アジアを対象とし、日本、北朝鮮、韓国、中国東部、モンゴル、ロシア連邦を含む地域で、北緯30°～55°、東経110°～150°の範囲で、面積約512万km²である。

本研究の使用データは、①衛星データ：気象衛星NOAA AVHRR、SPOT VGTおよびMODISなどからNDVI時系列データを、GOSAT（Greenhouse gases Observing SATellite）からCO₂とCH₄データを取得した。②気候データ：1981～2010年までの「Global precipitation data」と「Global temperature anomaly data」を使用した。③土地被覆分類データ：2つの「Global Land Cover data」で、アメリカのメリーランド大学とヨーロッパ宇宙機構が作成したものである。④地上観測のCO₂とCH₄濃度：香港と与那国島のデータで、GOSATデータの検証用に使用した。以上のデータを用いて、以下の解析を行った。

1) 1982～2009年間のNDVI時系列データから、NDVIの増加地域と減少地域を確認した結果、増加地域の方が多かった。また、土地被覆分類データを用いて、土地被覆クラス（森林、草地、農耕地、裸地）ごとのNDVI時系列データのトレンドを解析した結果でも、全てのクラスのNDVIは増加傾向を示した。

解析地域を降水量に基づいて4つの気候帯に区分し、NDVI時系列データと気候データとの相関関係を計算した。西部乾燥地域に属する気候帯では、NDVIは降水量と強い正の相関を示したが、降水量の増加に従い、この相関係数は低下した。乾燥地域と半乾燥地域に属する気候帯では、草地の減少と裸地の増加が顕著であり、全気候帯の森林は減少傾向であった。

2) GOSATデータでクリギング法によりCO₂とCH₄の内挿メッシュ図を作成した。この計算値と地上観測データ値を比較した結果、クリギング法の値は観測データ値よりも2.3%~5.4%低くなった。作成した12ヵ月分のCO₂とCH₄の分布図によると、東アジア(北東アジアより広い範囲)におけるCO₂とCH₄の分布は、両温室効果ガス濃度とも地域による濃度差異が明確で、季節変動が観測された。また、冬期および春期には、高濃度のCO₂が認められ、石炭燃焼に伴う同ガスの生成に関連する可能性が推定された。CH₄の濃度は、秋期および冬期に緯度とともに顕著に変動しており、気温と関連があると考えられた。

3) 2)で解析した結果を用いて、2009年6月から2010年5月について、CO₂、CH₄、NDVI、気候要素、各土地被覆データの関係を解析した。この解析では偏相関および多重相関を用いた。その結果、ロシア極東地域、中国北東部、および華北平原を含む地域において、この1年間の「NDVIとCH₄」および「NDVIと降水量」の間に有意な相関があった。この傾向は、全ての土地被覆区分で認められた。すなわち、北東アジア地域では、NDVI-CH₄-降水量の3因子が、重要な因子であることが判明した。また、全ての土地被覆区分で、NDVIとCO₂の間に負の相関が認められた。

メッシュごとに重回帰分析を行った結果、NDVIとCO₂・CH₄の関係およびNDVIと降水量・気温の関係が、高い重相関係数を示した。特にこれらの関係は草地で他の土地被覆区分より、高い重相関係数を示し、都市は最も低い値であった。

4) GOSATに搭載されている光学センサについて、将来のSPOTやMODISのNDVIデータとの互換性について解析した。GOSAT CAI Level 3データを利用して、最大値コンポジット(MVC)法により、2009年11月、2010年1月、4月、7月における東アジア地域の10日コンポジットNDVIを算出し、これらの値を同期間におけるSPOT VGT NDVIの10日コンポジットデータと比較した。その結果、2つのNDVIデータセットに相関関係があり、季節による変動はなかった。しかし、2つのNDVIデータセットは植生の類型と土地被覆で相関の程度が異なっていた。

以上のように、衛星データを主として利用し、植生、土地被覆、気象要素、温暖化ガス等の環境因子間の関係を明らかにし、またGOSATデータをいち早く利用して温暖化ガス濃度の分布を実利用可能にした成果は、学術上、応用上、高く評価される。よって、審査員一同は、劉陽が博士(農学)の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。