

学位論文題名

Study on Impact of Desertification on Greenhouse Gas Concentrations Using Remote Sensing Technique

(リモートセンシング手法を用いた温室効果ガス濃度に及ぼす砂漠化の影響に関する研究)

学位論文内容の要旨

砂漠化は地球上のバイオマス量の減少および生物生産性の悪化を引き起し、グローバルに土壌腐植量を激減させ、物質循環に影響を与えるとともに土壌中の炭素貯留量を著しく減少させる。そのため砂漠化は世界の食糧安全と環境保全にとって深刻な問題である。また、気候変動も21世紀に重要な課題の一つである。大気中の温室効果ガス濃度の増加が、気候変動の重要要因であることが確認されており、その影響を緩和するためには、大気中への温室効果ガスの排出量を削減することが必要である。気候変動は砂漠化に影響する主要な要因の1つとして認識され、気温、降水量、日射や風速などの空間および時間的なパターン変化を通じて砂漠化を進行させる。一方、砂漠化はクリアされおよび植生の枯死によってCO₂が放出され、砂漠化した土地の炭素隔離ポテンシャルの減少による更に気候変動を悪化させるという悪循環に陥っている。

本研究の目的は、砂漠化のプロセス、温室効果ガス濃度の変化を把握し、それらの関係解明を通じて砂漠化と温室効果ガス濃度の関係を明らかにすることである。この目的を達成するために、(1) アジアにおける砂漠化の進行および現状の把握、(2) 砂漠化と温室効果ガス濃度関係の解析、(3) MODIS プロダクトに基づいたCO₂濃度推定のモデル化について研究を行なった。

1. 研究地域として中国東北部に位置する砂漠化が深刻化しているホルチン沙地を選んだ。1977年から2009年までの人工衛星Landsat MSS, TMおよびETM+データを用い、エキスパート分類法によって土地被覆変化を調べた。Tasseled Cap変換 (TC) と正規化植生指数 (NDVI) に基づき、砂地の分光特性に応じて、明るさ (Brightness) とNDVIの差 (B-NDVI) を新たな分類指標として提案した。B-NDVIはNDVIおよびTCB (Tasseled Cap Brightness) と比較してみると、砂漠化の研究にもっとも適することがわかった。更に、2009年の画像を用いて、教師なし分類 (ISODATA)、教師付き分類 (最尤法) とエキスパート分類法の比較を行った。その結果は、エキスパート分類法は砂地の分類にもっとも精度が高いことを明らかになった。また、砂漠化と気候変動の関係解析から、砂漠化の進行には気候要因だけではなく、人間活動も影響していることが判明した。

2. GIMMSとMODISからによるNDVIデータを砂漠化指標として、1982年から2011年までのアジア地域における砂漠化の傾向を評価した。30年間のNDVIトレンドの時間的・空間的な異質性を解析するために、各ピクセルのMK傾向検定 (Mann-Kendall trend test) と線形回帰モデルを用いた。詳細な砂漠化プロセスを理解するために、1982年～1994年、1994年～2006年、2000年～2011年と1982年～2006年のMKの統計 (S) とスコープ (Z) およびLRモデルのピアソン相関係数 (R) と回帰スロープをそれぞれ算出した。その結果、1982年から2011年までに砂漠化は緩やかな減少傾向にあることが示唆され、今まで発表された研究結果と異なっていた。そこで、研究対象地域として中国全域を選んで、砂漠化の進行に対する気候因子の影響を調べた。その結果、砂漠化と降水量の間には関係がなく ($r=0.10$)、温度上昇は砂漠化と負の相関を示した ($r=-0.77$)。これらの結果は、アジアにおける砂漠化の時間・空間的变化の知見が得られ、広域気候システムの砂漠化に及ぼす影響についての理解を深めた。

3. 土地被覆変化は、大気中の温室効果ガスの濃度を変化させることが示唆されている。しかし、広範囲な温室効果ガスの詳細なデータが不足しているため、地域規模で土地被覆変化と温室効果ガス濃度の関係

に関する定量的な解析は行なわれていない。2009年1月23日に日本で打ち上げたGOSAT (Greenhouse gases Observing SATellite) 衛星は、この問題を解決するために十分な情報を与えてくれる。本研究では、まずGOSATデータにより2009年4月から2011年10月までの東アジアにおける月平均温室効果ガス濃度を算出した。その後、GOSATの温室効果ガスデータ、MODISのNDVIおよびEAS-GlobCover (2009) の土地被覆データを用い、土地被覆 (農地、森林、灌木林、草地と裸地) と温室効果ガス濃度の相関を調べた。植物の生育期間に、農地と灌木林で面積率とCO₂濃度には負の相関 ($r=-0.25, P<0.01$ と $r=-0.28, P<0.01$)、同期間に森林、草地および裸地では面積率とCO₂濃度には正の相関があった ($r=0.47, P<0.01, r=0.37, P<0.01$ と $r=0.54, P<0.01$)。また、灌木林と草地では面積率とCH₄は負の相関 ($r=-0.28, P<0.01$ と $r=-0.30, P<0.01$) があり、そこはCH₄の吸収源として考えられ、森林と農地はCH₄と正の相関があることから ($r=0.36, P<0.01$ と $r=0.40, P<0.01$)、CH₄のソースと考えることができた。

4. 東アジアで土地劣化が最も深刻な中国北部とモンゴル国を研究対象地域として選択し、ENVISAT SCIAMACHY(Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Chartography)とGOSAT TANSO (Thermal And Near infrared Sensor for carbon Observation)により温室効果ガス濃度データとMODISから得られたNDVIデータを用いて、季節的な温室効果ガス濃度の空間分布を解析した。通常クリギング内挿法を温室効果ガス濃度の空間分布のマッピングに使用した。また、NDVIデータを降水量および地表面温度 (以下、LST) データと組み合わせて、温室効果ガス濃度の空間分布解析に使用した。その結果、土地の劣化が温室効果ガス濃度を増加させる可能性が示された。本研究によって緑色植物の光合成や土壌の呼吸作用がCO₂濃度に影響を与える主要な原因であることが判明した。更に、中国北東部においては、水田と湿地がCH₄の濃度を決定する上で最も重要な要素であり、なかでもそこでの降水量とLSTが温室効果ガス濃度の空間分布に影響を与えると考えられた。

5. 気象現象であるサンドダストストーム (以下、SDS-Sand Dust Storm) は、環境と人間の健康だけでなく、大気組成にも影響を与える。SDSは、アジア特に中国北部で、ほぼ毎年発生している。しかし、温室効果ガス濃度とSDSの関係に関する研究例はごく少ない。本研究では、北東アジアにおける2009年と2010年の春に発生した4回のSDSを抽出し、温室効果ガス濃度に対する影響を調べた。SDSの移動ルートをMODISのL1Bデータによって追跡し、SDSの発生日およびその月のCO₂とCH₄の濃度平均値を調べた結果、SDS発生日のそれらが月の平均よりも高い値を持っていたことが分かった (CO₂濃度は5.43, 1.98, 0.14と3.88ppm, CH₄濃度は0.06, 0.02, 0.01と0.04ppm, それぞれの増加)。更にSDS発生日前後の濃度変化を解析したところ、SDSがCO₂とCH₄の濃度を増加させることが明らかになった。

6. CO₂濃度のデータは、通常、地上観測局や衛星から得られる。しかし、地上観測点の分布と衛星データの保有年数によって、長期間の地域または地球規模でのCO₂濃度変化を調べるのが困難になる。本研究では、MODIS 温度 (MOD11C3)、植生指数 (MOD13C2 と MOD15A2) と植物生産性データ (MOD17A2) に基づいたTVP (Temperature, Vegetation and Productive) モデルを地球規模でのCO₂濃度を評価するために開発した。様々な土地被覆タイプを考慮し、各々の大陸に対応するTVPモデルインデックスを選択した。GOSAT TANSO から得られたCO₂濃度がTVPモデルの精度検証に使用した。その結果、観測されたCO₂濃度と比べてみると、研究地域全体にわたる濃度誤差が-2.56~3.14 ppmであることがわかった。TVPモデルにはまだ幾つかの問題があるが、リモートセンシング手法を用いたCO₂濃度の推測に利用可能であることが示された。

本研究では、砂漠化モニタリングのための新しい手法、また、MODIS データによる新たなCO₂濃度推測モデルを提案し、土地被覆タイプと温室効果ガスの濃度の関係、サンドダストストームの発生と温室効果ガス濃度の関係を明らかにした。本研究で開発された理論や手法は、新たに打ち上げられるOCO-2, CarbonSat とGOSAT-2などの新しい温室ガス観測衛星の運用開始と相まって、更に広い分野で適用されることが期待される。

学位論文審査の要旨

| | | | | |
|----|------|---|---|---|
| 主査 | 准教授 | 王 | 秀 | 峰 |
| 副査 | 教授 | 大 | 崎 | 満 |
| 副査 | 特任教授 | 齋 | 藤 | 裕 |
| 副査 | 教授 | 野 | 口 | 伸 |
| 副査 | 准教授 | 谷 | | 宏 |

学位論文題名

Study on Impact of Desertification on Greenhouse Gas Concentrations Using Remote Sensing Technique

(リモートセンシング手法を用いた温室効果ガス濃度に及ぼす砂漠化の影響に関する研究)

本論文は8章からなり、図55、表8、引用文献287を含む218ページの英文論文で、参考論文6編が添えられている。

砂漠化は地球上のバイオマス量の減少および生物生産性の悪化を引き起し、グローバルに土壤腐植量を激減させ、物質循環に影響を与えるとともに土壤中の炭素貯留量を著しく減少させる。そのため砂漠化は世界の食糧安全と環境保全にとって深刻な問題である。大気中の温室効果ガス濃度の増加が、気候変動の重要要因であることが確認されており、その影響を緩和するためには、大気中への温室効果ガス排出量を削減することが必要である。

本研究の目的は、砂漠化のプロセス、温室効果ガス濃度の変化を把握し、それらの関係解明を通じて砂漠化と温室効果ガス濃度の関係を明らかにすることである。この目的を達成するために、(1) アジアにおける砂漠化の進行および現状の把握、(2) 砂漠化と温室効果ガス濃度関係の解析、(3) MODIS プロダクトに基づいたCO₂濃度推定のモデル化について研究を行なった。

1. 研究地域として中国東北部に位置する砂漠化が深刻化しているホルチン沙地を選んだ。1977年から2009年までの人工衛星 Landsat データを用い、エキスパート分類法によって土地被覆変化を調べた。Tasseled Cap変換 (TC) と正規化植生指数 (NDVI) に基づき、砂地の分光特性に応じて、明るさ (Brightness) とNDVIの差 (B-NDVI) を新たな分類指標として提案した。また、砂漠化と気候変動の関係解析から、砂漠化の進行には気候要因だけでなく、人間活動も影響していることが判明した。

2. GIMMSとMODISによるNDVIデータを砂漠化指標として、1982年から2011年までのアジア地域における砂漠化の傾向を評価した。30年間のNDVIトレンドの時間的・空間的な異質性を解析するために、各ピクセルのMK傾向検定と線形帰帰モデルを用いた。その結果、1982年から2011年までに砂漠化は緩やかな減少傾向にあったことが示唆された。また、砂漠化の進行に対する気候因子の影響を調べ、砂漠化と降水量の間には関係がなく、温度上昇は砂漠化と負の相関を示した。これらの結果から、アジアにおける砂漠化の時間・空間的变化の知見が得られ、広域気候システムの砂漠化に及ぼす影響についての理解を深めた。

3. 土地被覆変化は、大気中の温室効果ガスの濃度を変化させることが示唆されている。本研究では、まずGOSATデータにより2009年4月から2011年10月までの東アジアにおける月平均温室効果ガス濃度を算出した。その後、GOSATの温室効果ガスデータ、MODISのNDVIおよびEAS-GlobCover (2009) の土地被覆データを用い、土地被覆 (農地、森林、灌木林、草地と裸地) と温室効果ガス濃度の相関を調べた。植物の生育期間に、農地と灌木林で面積率とCO₂濃度には負の相関、同期間に森林、草地および裸地では面積

率とCO₂濃度には正の相関があった。また、灌木林と草地では面積率とCH₄は負の相関があり、そこはCH₄の吸収源として考えられ、森林と農地はCH₄と正の相関があることから、CH₄のソースと考えることができた。

4. 東アジアで土地劣化が最も深刻な中国北部とモンゴル国を研究対象地域として選択し、ENVISAT SCIAMACHYとGOSAT TANSOによる温室効果ガス濃度データとMODISから得られたNDVIデータを用いて、季節的な温室効果ガス濃度の空間分布、また、NDVIデータを降水量および地表温度データと組み合わせて、温室効果ガス濃度の空間分布を明らかにした。その結果、土地の劣化が温室効果ガス濃度を増加させる可能性が示された。

5. 気象現象であるサンドダストストーム（以下、SDS）は、環境と人間の健康だけでなく、大気組成にも影響を与える。本研究では、北東アジアにおける2009年と2010年の春に発生した4回のSDSを抽出し、温室効果ガス濃度に対する影響を調べた。SDSの移動ルートはMODISデータによって追跡し、SDSの発生日およびその月のCO₂とCH₄の濃度平均値を調べた結果、SDS発生日のそれらが月の平均よりも高い値を持っていたことが分かった。更にSDS発生日前後の濃度変化を解析したところ、SDSがCO₂とCH₄の濃度を増加させることが明らかになった。

6. CO₂濃度のデータは、通常、地上観測局や衛星から得られる。しかし、地上観測点の分布と衛星データの保有年数によって、長期間の地域または地球規模でのCO₂濃度変化を調べるのが困難になる。本研究では、MODISの温度、植生指数と植物生産性データに基づいたTVP (Temperature, Vegetation and Productive) モデルを地球規模でのCO₂濃度を評価するために開発した。TVPモデルはリモートセンシング手法を用いたCO₂濃度の推測に利用可能であることが示された。

本研究では、砂漠化モニタリングのための新しい手法、また、MODISデータによる新たなCO₂濃度推測モデルを提案し、土地被覆タイプと温室効果ガスの濃度の関係、サンドダストストームの発生と温室効果ガス濃度の関係を明らかにした。種々の衛星データを利用して砂漠化と温室効果ガス濃度の様々な関係の解析を行っており、その成果は、学術上、応用上、高く評価される。

よって、審査員一同は、郭 蒙が博士（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。