

論文の内容の要旨

生産・環境生物学 専攻
平成13年度博士課程 入学

氏名 岡安智生

指導教官名 武内和彦

論文題目 Model study on Asian dust occurrence and countermeasures in North-East Asia

(モデルを用いた北東アジアにおける黄砂の発生と対策についての研究)

北東アジアの乾燥・半乾燥地域は、北アメリカ、中央アフリカ、オーストラリアと並び主要なダスト給源のひとつである。風成ダストは太陽放射の反射・吸収を通し地球の気候変動の影響を与えるほか、ミネラル給源として海洋生態系にも影響を与える。また人間社会にも様々な影響がある。砂塵嵐により社会経済的に大きな被害を受ける他、養分に富む地表の微細粒子を持ち去り地力低下の原因になる。またダストは人間の呼吸器系に被害を与えることが知られている。

黄砂に対しては、既に日本と韓国で早期警戒体制が作られており、黄砂発生後すみやかに予報が行われる体制ができている。本研究は、このような短期的災害予測と対照的に、黄砂の長期的災害対策の確立を目指すものである。長期的災害対策は、現象の駆動力を把握し、その駆動力を適切に操作することにより、長期的視点においてその災害の発生を最小限にするというアプローチである。黄砂現象においては、ダスト発生を左右する駆動力は風力および地表面の状態（植生、土壌水分など）であり、黄砂発生を最小限化する適切な土地利用コントロールを提案することが長期的災害対策に繋がる。

以上の課題に対して、(1) 詳細な土地情報を取り込んだ、正確なダスト発生パターンを把握できるモデルを構築し、黄砂現象の長期トレンド及び土地利用コントロールによるダスト発生量への影響を把握できること、(2) 放牧コントロールや緑化といった、ダスト発生対策の費用対効果を算出すること、を軸に研究を行った。

1. 風食モデルとパラメタリゼーション

長期的災害対策のために必要なモデルへの要件は以下の3つに集約される。(1) 粒径区分ごとのダスト発生量の推定ができる、(2) 土地システムを区分できるほど空間解像度が高い、(3) 砂塵嵐と時間スケールが合致する。本研究では WEAM (Wind Erosion Assessment Model) を利用することとした。モデルが要求する主要なパラメータには土壌粒子の粒径分布、土壌水分、表面粗度 (植被)、そして風速がある。

WEAM が求める粒径分布は団粒の粒径分布である。現在、粒径分布の空間的変動についての研究はほとんど無いため、以下のように調査した。まず中国内蒙古自治区およびモンゴル国において土壌サンプリングを行い、乾式篩を用いて8つの粒径区分に分け、クラスター分析を行った。結果、土壌と地質との相関が強いことが判明した。以上の解析結果を用い、各種主題図を援用して粒径分布をマッピングした。

次に、土壌水分を NOAH 陸面モデルにより推定した。シミュレーション結果を RUTGERS 大学の提供する土壌水分データバンクのデータと比較したところ、土壌水分が少なく土性の粗い地域において過大評価が見られた。NOAH 陸面モデルの用いる透水係数が簡便なものだったため、PTF (Pedotransfer functions) によるより正確な透水係数推定式を組み込み、シミュレーションを行ったところ、偏向は除去された。

風速は ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts.) の再解析データを用い、表面粗度は PAL (Pathfinder Advanced Very High Resolution Radiometer Land) データから推定し、風食モデルで風食量およびダスト発生量を計算した。既存の風食モデルによる研究と同期間におけるダスト量を比較し、概ね一致した。また空間分布について、気象データによるダスト観測日数の分布と比較し、ダスト発生核になる地域が一致した。また18年間の時系列を3つの町の気象データを用い比較し、観測データと概ね一致した。

2. ダスト現象の時空間的特徴

ダスト発生量を規定する要素を議論するため、まず地表面の潜在的な風食・ダスト発生量を解析した。そのために、空間全体に一樣な風速を仮定し、その風食・ダスト発生量を潜在量とした。その結果、潜在量は乾燥度に従い増減するが、一方で局所的な土壌の違いによる風食量の増減が見られた。増加している地域は風砂土の地域と一致した。また土壌水分の空間分布が風砂土の地域と一致していた。すなわち、風砂土の高い透水係数が常に地表を乾燥状態にするため局所的に風食量が高いことが示唆された。ダスト発生量については、風砂土地域の重要性は減少し、ゴビ砂漠・ゴビステップ地域の発生が強く推定された。すなわち、風砂土は風食量が多いが、粘土含有量が少なく、ダスト発生効率が低い。一方でゴビ砂漠・ゴビステップ地域では、風食量は風砂土より少ないが、粘土含量が多く、ダスト発生効率が多いため、以上のような逆転が起こることがわかった。成帯性土壌は分布範囲も広く、ダスト発生において最も重要な地域であることが示された。

以上を踏まえ、時間軸も含めた解析を行った。空間・時間変動の両方を解析するために主成分分析を用いた。まず 18 年間のシミュレーション結果を主成分分析したところ、7 つの成分で 80% の重要度を満たした。最初の 2 つの成分は 20 年間の緩やかな変動を示し、残りの成分は突発的なダスト現象を表す成分であった。最初の成分は恒常的なダスト発生を表し、2 つ目は、長期的な増加減少傾向の広域的な地域的差異を示すものと解釈された。短期的変動を詳しく見るため、前半 9 年と後半 9 年に分け、別々に再び主成分分析を行った。両年代共に恒常的なダスト発生に対応する成分、5 年程度の変動に対応する成分、および突発的なダスト発生に対応する成分が 2 つの、合計 4 つの成分で 80% の重要度を満たした。両年代を比較すると、90 年代は恒常的なダスト発生の地域が減少し、またモンゴル高原東端にピークを示した。スコア及び固有ベクトルのヒストグラムを取ると、両方共に尖度が増しており、ダスト現象が 90 年代は局所的・突発的傾向にあることが示された。ダスト発生を規定する要因についても同様に主成分分析を行った。その結果、主にモンゴル高原中央部のダスト現象の急速な収束化は、風速の減少、土壌水分の上昇、積雪量の増加が協調して発生したためであることがわかった。更にクラスター分析を行い、突発的なダスト発生年とその要素を比較した結果、1% 発生確率のダスト突発は、土壌水分および植被率が共に低かった年で見られることが判った。ダスト発生は局所性・突発性を強め、東部草原地帯に移動してきており、適切な土地利用コントロールによってリスクを軽減できることが示唆された。

3. 黄砂対策の費用対効果の解析

中国内蒙古自治区を例として、中国の伝統的風食防止手法のモデル化と線形計画法による最適化を援用し、黄砂対策の費用対効果を解析した。風食防止手法は、禁牧、草方格、及び植栽を採り上げた。禁牧の効果は、既存の放牧圧と植被率・群落高の調査事例を用いた。現在の放牧圧は統計資料から推定した。放牧圧と植物の関係については 2 箇所の事例しか見出せなかったため、他地域への適用には各環境の牧養力で補正した。放牧管理のコストについては、放牧頭数減少による地域住民の収入の減少を見積もった。草方格については砂地のみで適用が可能と仮定し、表面粗度を 4 年間に渡り上昇させる効果を見積もった。また土壌固定効果があるため、植物の移入を促進する効果も含めた。草方格を適用した地域は禁牧することを仮定した。費用についてはムウス砂地での施工例を用い、また禁牧による収入減も含めた。植栽については、草原土壌以外で適用可能とし、ムウス砂地の *Artemisia ordosica* の生長データを用いてモデル化した。これも同様に禁牧を仮定した。費用についてはムウス砂地の施工例を用い、また禁牧による収入減も含めた。

以上の効果を WEAM を用いて計算し、その結果を単体表に組み込み最適化計算を行った。その際、費用の上限を様々に変化させた。費用制限がない場合、土地利用コントロールにより内蒙古自治区のおよそ 10% 前後、また 2000 年にダストが突発した地域に限っては 30% 前後の減少が推定された。また、利用可能な費用が上昇すると共に、ゴビステップ

の禁牧、山岳土壌及び沖積土壌における植栽、砂砂漠の草方格、砂地の禁牧、砂地の植栽、砂地の草方格、という順に選択された。

4. 総合考察

本研究は、長期的災害防止対策の手法を黄砂現象に適用するために、詳細な土地情報を考慮したダスト発生量推定、および費用対効果を考慮した土地利用コントロールによる黄砂発生量の軽減について、主にモデルを利用し議論した。ランドスケープ、特に成帯性・非成帯性土壌の区別により、風食およびダスト発生の傾向が大きく異なることが判った。風食現象にとって最も重要とされる風砂土は、ダストの給源という点では最重要でなく、より粘土含量の高く広大な面積をもつ草原土壌が最大のダスト給源であると推定された。また、90年代は気候変動によりモンゴル東端の草原付近がダスト発生の一つの重要な核となっており、草原からのダスト発生量の重要性が増したと考えられる。また、モンゴル高原東端は比較的湿潤な地域であり、人為攪乱が植生に与える影響が顕著な地域である。90年代型のダスト発生はより人為攪乱の影響を強く受けるようになったと言う事ができる。

いくつかの中国の伝統的な風食防止対策を想定した、ダスト発生量コントロールの費用対効果でも、ホンシャンダク砂地付近の放牧コントロールが最も費用対効果の高い手法であることが示唆された。但し今回のシミュレーションでは、住民生活の維持という観点から風食防止対策の現実性が疑問であり、住民生活の保障と黄砂対策を両立させるアセスメントが今後必要となると考えられる。