

学 位 論 文 題 名

A Regional Land-surface Water Deficit Model for
Arid and Semi-arid Areas : Impact of Land-cover
Changes on the Loess Plateau, China

(乾燥・半乾燥地域における地表乾燥モデル、
中国黄土高原への土地改変の影響)

学位論文内容の要旨

現在、地球上の陸域の25%は乾燥・半乾燥地であるとされ、110におよぶ国が存在し、その中で10億人の人々が生活をしていると言われている。特に中国では国土の47%を占め、8省におよび居住人口は約1億人に達している。この広大な乾燥・半乾燥地の地表環境はその地域の水環境に強く依存するとともに、土地利用形態とも相互に強く影響し合っている。この地表面の水環境が乾燥に向かい植生の減退が生じることが砂漠化現象であり、世界各地で大きな問題となっている。

この地表面の水環境を気候・植生・土壌・土地利用などの要素を組み込んで適切に数量化し表現することは、乾燥・半乾燥地域の地域特性の把握及び適切な土地利用や気候変動にともなう地域の将来予測上きわめて重要である。

乾燥・半乾燥地の環境条件を気候学的に表現するため、ケッペン（1926）以来多く研究者が様々な気候指数を提案してきた。しかし、それらはすべて気候要素を因子として使用しているために、現実の地表の水環境を適切に表現することは不可能であった。一方、地表面の水環境を表現するために、モランら（1994）は耕地の水分環境の指標として実蒸発散量と可能蒸発散量の比を用いたWDI（Water Deficit Index、地表乾燥指数）を提唱した。定義にれば、WDIの値は0-1の間にあり、0は地表面が十分な湿潤状態、1は極端に乾燥していることを示している。モランらの推定手法では地表面温度と気温の差に基づいてWDIを推算しているが、非均質地表面の特性を表現するパラメーターを考慮にいれていないため、その指数は広域非均質地表面への応用が不可能であった。

広域非均質地表面では地形の起伏があり、土壌の種類、植生の被覆率及び土地利用形態が地域により異なっているため、地表面の特性をパラメーター化する必要がある。ここ10年間で、土壌-植生-大気間相互作用（SVATS）の解明と広域地表面フラックスの算定方法、及びそのための衛星の利用と手法・モデルの開発が世界的研究テーマ

となっており、多くの研究結果 (BATs, Dickinson et al., 1984; SiB, Sellers et al., 1986 等) が発表された。

本研究では、モランらの地表乾燥指数 (WDI) の推定手法に根本的な改良を加えることとし、土壌・植生・気象などの環境条件をベースに多くの微気象学的算定手法を導入して、広域非均質地表面における実蒸発散量、可能蒸発散量と WDI の時間・地域変化を算定した。研究方法としては、まず、対象地域を緯度・経度ともに適当なスケール (緯度、経度ともに 0.25 度) に区分し、グリッド内の植生状態・土壌条件 (アルベド、拡散抵抗、葉面積など) を既存のデータベース (植生図、土壌図、調査資料等) をもとに数値化するとともに、気象要素については地域内 107 の気象観測所における 40 年間の月別平均値をグリッドごとの値に換算した。なお換算には DWLS (Distant Weighted Least Square) 内挿法を用いた。次に、エネルギー収支の原理に基づき、多くの気象、水文、植物生理学的な計算手法を組み込んで、新しい地域水収支モデルを開発し、このモデルを用いて、実蒸発散量、可能蒸発散量及び WDI の算定を行った。更に、実測データおよびその他のモデルの結果と比較し、モデルの有効性を実証した。また、地表面パラメーター (葉面積、耕地、草地と砂漠面積など) に対する実蒸発散量と WDI の感度解析を行い、土地利用・被覆変化が地表面水環境に及ぼす影響の評価を試みた。

研究対象地域である黄土高原は 58 万平方 km の面積をもち、南東部は年降水量 500mm で比較的湿潤であるが、北西部は 100mm 前後で乾燥地帯となっている。本研究では、この黄土高原全域を対象とし、土地利用データは TM 衛星データから解析した結果 (GILSP, 1991) を利用した。

得られた結果によれば、地表面乾湿状況を表現する WDI の分布は黄土高原の植被の状態とかなり良い一致を見た。また、既存の気候指数と比べると、本モデルにおいて地表面の影響を小さくするほど相関が高くなった。すなわち、このモデルは気候因子だけを入力すると、既存の気候指数とかなり一致した結果を算定でき、モデルの妥当性が示唆された。WDI の分布図によると、黄土高原における WDI は東南部の半湿潤地域から西北部の乾燥地域まで次第に大きくなり、また、地域によって季節変化もそれぞれ異なっている。感度解析により、砂漠の面積を各グリッドで 2 倍とした場合に榆林－銀川間の鄂尔多斯地域において水分欠乏が促進されることが明らかになった。また、気象の日別値が得られた臨河、鄂托克、呼和浩特の 3 地点について、2010 年までに 1℃ の気温上昇があると仮定するとともに、土地利用の形態を変化させて WDI の経年変化をシミュレーションした結果、地表面水環境への影響は温度上昇よりも土地利用変化の大きいことがあきらかとなった。

このように本研究で新しく開発した地表乾燥指数 (WDI) は乾燥・半乾燥地域の水分環境を比較的よく表現しており、土地利用の変化、気候変化による影響把握に利用が可能であると言える。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 小 野 有 五

副 査 教 授 平 川 一 臣

副 査 助 教 授 高 橋 英 紀

副 査 助 教 授 石 川 信 敬

学 位 論 文 題 名

A Regional Land-surface Water Deficit Model for Arid and Semi-arid Areas : Impact of Land-cover Changes on the Loess Plateau, China

(乾燥・半乾燥地域における地表乾燥モデル、
中国黄土高原への土地改変の影響)

現在、地球上の陸域の25%は乾燥・半乾燥地であるとされ、110 の国におよびその中で10 億人の人々が生活をしていると言われている。特に中国では国土の47%を占め、8省におよび居住人口は1億人に達している。この広大な乾燥・半乾燥地の地表環境はその地域の水環境に強く依存するとともに、土地利用形態にも影響されるところが大きい。この地表面の水環境が乾燥に向かい植生の減退が生じることが砂漠化現象であり、世界各地で大きな問題となっている。

この地表面の水環境を気候・植生・土壌・土地利用などの要素を組み込んで適切に数量化し表現することは、乾燥・半乾燥地域の地域特性を把握し、適切な土地利用や気候変動にともなう地域の将来予測上できわめて重要である。

乾燥・半乾燥地の環境条件を気候学的に表現するためケッペン(1926)以来多く研究者が様々な気候指数を提案してきた。しかし、それらはすべて気候要素を因数として使用しているために、現実の地表の水環境を適切に表現することは不可能であった。一方、地表面の水環境を表現するためにモランら(1994)は、耕地の水分環境の指標として実蒸発散量と可能蒸発散量の比を用いたWDI(Water Deficit Index、地表乾燥指数)を指標として提唱した。しかし、その指標を求めるための因数には実際に野外で観測しなければならないものが含まれていた。

本研究では、モランの地表乾燥指数(WDI)の算定手法に根本的な改良を加えることとし、土壌・植生・気象などの環境条件をベースに多くの微気象学的算定手法を導入して実蒸発散量を求め、可能蒸発散量の算定にはペンマン・モンティース式を用いて行った。

なお、研究対象地域である黄土高原は 58 万平方 km の面積をもち、南東部は年降水量 500mm で比較的湿潤であるが、北西部は 100mm 前後で乾燥地帯となっている。本研究では、この黄土高原全域の地表面水環境をWDI値を用いて表現し、解析を加えるために緯度・経度ともに 0.25 度に区分し、グリッド内の植被の状態、土壌条件を既存のデータベースから読みとるとともに、気象要因については地域内 107 の気象観測所における 40 年間の月別値を用いて、グリッドごとの値に算定し直した。

得られた結果によれば、黄土高原内のWDIの分布は気候学的な気候区分、植被の状態ともかなり良い一致を見た。また、乾燥地域を各グリッドで2倍とした場合に榆林—銀川間のにおいて水分欠乏が促進されることが明らかになった。また、気象の日別値が得られたリンへ、オートク、フフホトの3地点について、2010 年までに1℃の気温上昇があると仮定するとともに、土地利用の形態を変化させてWDI値の経年変化を算定した結果、地表面の水環境への影響は温度上昇よりも土地利用の変化の影響の方が大きいことがあきらかとなった。

このように本研究で新しく開発した地表乾燥指数(WDI)は乾燥・半乾燥地域の水分環境を比較的よく表現しており、土地利用の変化、気候変化による影響把握に利用が可能であると言える。

審査員一同は、これらの成果を高く評価し、また大学院課程における研鑽や取得単位なども併せ、申請者が研究者として誠実かつ熱心であり、博士(地球環境科学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと判定した。