

## 2.5 博士論文・修士論文・卒業論文・卒業生の進路状況

### (1) 博士論文

#### 気候・水資源部門

##### Banzragch, Nandintsetseg

###### モンゴルの寒冷・乾燥気候における土壌水分動態

要約：土壌水分は、地表面と大気間の水・エネルギーの分配を通して、世界の水循環と気候システムの形成に大きく関与している。土壌水分は、水循環の異常を保持する働き（メモリ効果）があり、熱・水の地表面フラックスを通して、時差をもって大気に持続的な影響を及ぼす。干ばつ指標の多くは干ばつ状態を定量化するため提案されてきたが、現在のところ、地上観測の土壌水分を農業干ばつの指標として用いている研究は世界でもごくわずかである。1950年代の中頃から、北半球の広域で顕著な土壌の乾燥化が観測されており、モンゴルの放牧地にも影響を及ぼしている。この農業干ばつをタイムリーに信頼できるモニタリングをするために、放牧地の土壌水分動態の正確な広域的評価とモデリングが必要である。本論文は、モンゴルの寒冷で乾燥した気候における（とくに、3つの植生帯に注目して）、土壌水分動態の観測・モデリングと、土壌水分と気候・植物活動との関係の解析において、新知見を提示した。本研究は、モンゴルにおいて土壌水分動態を包括的に解析した最初の研究であり、寒冷・乾燥気候下における土壌水分と植生のメモリ動態を解明している。

本論文では、第1に、土壌水分の季節的・地域的变化とその気候的特性を調べ、そのモデリングを行った。本解析では、他に類のない長期間の土壌水分・気象データセットを用いた。その結果、土壌水分は降水と蒸発散の微妙なバランスばかりでなく、冬の土壌凍結と春の融雪に影響を受けながら、季節的に変動していることがわかった。一般的に、土壌水分には南北経度があり、南西で小さく北東で大きい。モンゴル全域にわたって、その季節変化は小さく類似しているが、3つの季節、すなわち、春の乾燥化季、夏の湿潤化季、春の乾燥化季に区分することができた。また、モンゴル草原の優占種である *Stipa* spp. の植物季節との関係もみられた。モンゴルでは、圃場容水量のおよそ30%しか土壌水分がなく、砂漠ステップでは、一年を通じてしおれ点に近い。モンゴルのような寒冷・乾燥気候に適用できる、土壌凍結と融雪を考慮した単純な土壌水分モデルを開発し、実測値の季節・経年変化をうまく再現した。このモデルは、政策決定や家畜管理のための、農業干ばつの信頼性のあるタイムリーなモニタリングに役立つものと考えられる。

第2に、土壌水分モデルを用いて、3つの植生帯における土壌水分の数十年規模の傾向（1961-2006年）とメモリを調べた。経年変化において、モデルによる推定値は、世界で広く使われているパルマー干ばつ強度指数よりも観測値と高相関を示した。長期的傾向に関しては、3つの植生帯ともに、降水の減少と可能蒸発散の増加により、土壌水分が減少し、夏の湿潤化季が短くなったが、土壌水分の減少傾向は森林ステップのみで有意であった。森林ステップにおいて、秋・冬の土壌水分偏差の減衰時間スケールは6~7ヶ月で、春・夏の1.8~3ヶ月より大きい。このように、凍結を通して土壌水分が降水偏差の有効なメモリとして働き、翌夏の土壌水分の初期状態となっている。

第3に、モンゴル草原における根圏の土壌水分と衛星による植生活動の季節的・経年的な関係を解析した。植生活動は降水よりも土壌水分に強い相関があり、土壌水分は降水と植生活動の変化の仲立ちをしているものと考えられる。植生の多い年と少ない年の比較から、降水偏差は土壌水分偏差に約半月遅れで影響し、植生偏差に約1ヶ月遅れで影響することがわかった。植生の経年変動は同年の土壌水分だけより、前年の植生との組み合わせのほうに高相

関を示すが、これは根系が植生偏差を保持することを示唆している。このような土壌水分・根系メモリの組み合わせで植生活動を予測する試みは本研究が初めてである。

第4に、寒冷・乾燥気候下において、半年にわたる地表面（土壌水分・植生）の水分メモリについて新事実を示した。すなわち、夏の降水偏差が、時差をもって、土壌水分と植物生産の偏差を引き起こし、続く冬には、それぞれの偏差が凍結水と根系として保持された。しかし、その地表面偏差は大規模な大気擾乱で攪乱され保持されず、初夏の降水へ影響は小さい。寒候季の顕著な土壌凍結と小さい蒸発散により、草原における秋の土壌水分偏差の減衰時間スケールは7.6月とモンゴル国内で最も大きく、世界的にみても最も大きい部類にはいる。本研究で明らかになった土壌水分・植生メモリの概念は、将来、干ばつ時の牧草生産の減少を予測する早期警戒システムに応用することが可能であろう。

## Dhavu, Khumbulani

### 点滴灌漑施設の砂マルチによる灌漑水の節減

要約：世界における淡水消費量の約70%は、農業用水が占める。もし節水技術が向上されれば、その消費量の40%を削減することができる。将来における水不足の懸念が膨らむ中、水の需給ギャップを埋める政策が必要とされる。適切な食糧を確保するために、今よりも同等かそれ以上の農業用水量が節水灌漑技術によって確保される必要がある。地表ドリップ灌漑は、節水のみならず作物の収量および水利用効率の増加を可能とする。特に、透水性の高い砂フィールドでの灌漑の場合、ドリップ灌漑は灌水量を正確に制御でき節水に効果的である。しかし土壌面蒸発は地表面に灌水する限り避けることはできない。このため、本研究では土壌面蒸発を抑制させるために地表面ドリップ灌漑とドリップライン上における砂マルチとの組み合わせについて検討を行った。本研究では以下の1)から4)について明らかにする。即ち、1)湿潤砂上における乾砂層発達の迅速性についての検討、およびこの乾砂層が土壌面蒸発抑制に与える効果、2)ドリップライン上の砂マルチが土壌水分量の変化に与える影響、3)砂マルチによる根群域土壌の保水効果、4)砂マルチ条件下において土壌水理特性に基づいた土壌面蒸発量の推定である。

鳥取砂丘砂における乾砂層の迅速な形成は、土壌面蒸発を抑制させるための効果的なマルチングとして利用できる。乾砂層は、砂丘砂に十分な水を与えた後、乾燥によって形成される。この乾砂層形成は湿潤砂の上で行い、乾砂層が土壌面蒸発に与える影響を検討した。カラム内で土壌深2cmまたは5cmになるように砂丘砂を敷き詰めた。5cm層では2cmの場合に比べて土壌面蒸発の抑制が高く、土壌面蒸発量は砂マルチなしのコントロール区に比べて72%であった。

ドリップライン上の砂マルチが土壌水分量に与える効果について検討するために、砂マルチの層が0cmと5cm深さの2処理区および植栽密度が0, 12, 21本/m<sup>2</sup>の3処理区を用いて実験を行った。灌漑水をそれぞれの区に対して等量とした。5cm層では、土壌水分量が高く、作物の草丈と乾重量がコントロール区に比べて高かった。

砂マルチが土壌水分の保水効果に与える影響を検討するために、灌漑水量が蒸発散量の100または60%の2処理区および砂マルチの層が0, 2, 5cm深さの3処理区を用いて実験を行った。5cm層では根群域における土壌水分の保水効果が最も高かった。2cm層ではドリップラインが地上部に出るため実践的ではなかった。このため、根群域の保水性を最も高める最小限

の乾砂層は5cmであると提案した。

土壌面蒸発量の推定は灌漑計画を設計する上で必要であり、結果的に灌漑水量の節約となる。推定値を求めるためにはいくつかの土壌水理特性を求める必要がある。このため可能土壌面蒸発量は小型蒸発計を用い、蒸発量は、0, 2, 5cmの異なる3種類の深さで砂マルチを施した土壌カラムを用いて測定を行った。これら水理特性に基づく推定値の精度を圃場規模で検討するため、ライシメータによる土壌面蒸発量の測定を行った。この結果、蒸発量では、5cmよりも0または2cm深さの砂マルチ層の方が、高い推定が可能であった。

砂丘砂における灌漑において、迅速な乾砂層の形成は自己マルチングとして最適である。乾砂層は蒸発量を抑制するため、節水灌漑に効果的である。ドリップライン上の砂マルチは土壌の水分量を高め、根群域の保水性を高める。土壌水力学因子を用いた土壌面蒸発量推定は土壌種と土壌管理に影響される。ドリップライン上における5cm深さの砂マルチは特別な機械を必要としないため、通常の農作業に利用しやすい。また、収穫後におけるドリップラインの除去は、砂を用いたマルチングのため容易である。砂マルチが厚くなるほど蒸発量推定が困難になり、灌漑計画を設計する上で用水量などの設定が困難である。しかし、表面ドリップ灌漑と砂マルチの組み合わせはドリップ灌漑単独で行うよりも節水に効果的である。

#### **Mohamed, Abdelmoneim Abdelsalam Ahmed**

##### 地表面温度を用いた植生地の水分効率評価指標の開発

要約：乾燥地における農業生産は、水の利用可能性に左右されるとともに、干ばつの時期の間に大きな被害を被る。干ばつは、作物の必要とする水が充分でないときに発生するため、根圏における利用可能な土壌水分は食料保護にとって根本的な問題になる。このような背景から、地表面の湿潤状態をモニタリングするための何らかの指標が必要になる。熱慣性は温度変化に対する物質の抵抗値、すなわち、熱伝導率と熱容量の積で表される。水の熱伝導率と熱容量は共に大きいため、湿った土壌の熱慣性は乾燥した土壌の熱慣性より大きくなる。したがって、熱慣性は地表面の湿潤度を示す有用な物理的パラメーターである。しかし、熱慣性を遠隔から測定することは出来ないため、地表面温度の日変化の振幅、すなわち日中と夜間の温度差から熱慣性および土壌水分を推定しようという試みがなされてきた。植被がある場合、地表面湿潤度は表層の土壌水分含量と葉内水分量の和の関数となるので、このような複雑さが植生面における熱慣性の利用可能性を妨げてきた。地表面温度の日変化の振幅を使って地表面の湿潤度を評価するには、植物の生理活動による影響、すなわち、蒸散による植物の表面温度の変化を考慮しなければならない。本研究は植生面における湿潤度（水分効率 $m_a$ ：実蒸発散量と可能蒸発散量の比）をモデル化するために、地表面温度の日較差を利用した初めての試みである。研究対象地は近年常に干ばつの危険にさらされている中国黄土高原である。

植生地における水分効率を見積もるための指標(NTDI)を開発した。指標は、日中の最高地表面温度から夜間の最低地表面温度を差し引いたものを熱収支式と気象データから算定される(最高地表面温度-最低地表面温度)で除したものである。熱収支式と気象データから算定される地表面温度は、仮想的な植生面における蒸発散量がゼロと仮定した場合の温度であり、その時の気象条件によってのみ左右される。

最初に、地表面温度の日較差が水分効率を見積もるのに適しているかどうか検討したが、水分効率との相関は低くなった。理由として、水分効率は実蒸発散量(生理作用と気象条件の両方に左右される)と可能蒸発散量(気象条件によってのみ左右される)との比で表され

るため、気象条件による影響が相殺されることになる。しかしながら、地表面温度の日較差は生理作用と気象条件の両方に左右される。つまり、生理作用による影響のみを抽出するためには、地表面温度の日較差から気象条件による影響を排除する必要がある。これらを考慮したNTDI指標は水分効率と高い相関を示した ( $OR^2 = 0.97$ ,  $p < 0.001$ )。次に、NTDI指標と土壌水分(各層および全体層の平均)との関係を検討した。NTDIは根圏における土壌水分の平均値と最も相関が高く、地表面の層の土壌水分とは相関が最も低くなった。このことは、水分効率が蒸散と蒸発の両方によって影響されることを示している。すなわち、根による水分吸収は根圏全層にわたって行われ、それが蒸散として反映されるためである。

次に、広域の干ばつ状態をモニタリングすることを目的として、衛星による地表面温度(本研究ではModerate Resolution Imaging Spectroradiometer: MODISによる昼夜地表面温度)と気象データを用いたNTDIの利用可能性について探った。まず、MODISによる地表面温度の精度および衛星の通過する時間がNTDIの計算に及ぼす影響を検討し、最後に、黄土高原約100km<sup>2</sup>のNTDI値の空間分布を算出した。NTDIの空間分布はNDVIや土地利用の空間分布に酷似していたが、NDVIと比較すると土地利用毎の地表面湿潤度を細かく区別できるという利点を持っていた。すなわち、土地利用ごとの蒸発散量のランキングがNDVIでは一致しなかったのに対し、NTDIでは一致した。

本研究より、NTDI指標は水分効率を評価する際の有効な指標であることが示された。さらに、衛星データと気象データを同化することにより、NTDI指標は局地-広域スケールにおける干ばつモニタリングに有効なツールに成りうることが示唆された。

## 生物生産部門 韓 立建

### 中国北部及びモンゴルを対象とした表土凍結融解現象の受動型・能動型マイクロ波リモートセンシング

要約：地表面表層における土壌の凍結・融解サイクルは地球システムの動態に重要な役割を果たしている。しかし、近地表環境の変化が大きい中緯度地域においては、リモートセンシングを用いた表層土壌凍結・融解サイクル検出の研究はこれまでほとんど行われていない。

本研究は、能動型・受動型マイクロ波リモートセンシング手法を用いて、典型的な中緯度地域である中国北部及びモンゴルを対象とした。まず、能動型、受動型それぞれのマイクロ波リモートセンシング手法を用いて、表層土壌凍結・融解イベントを検出した。二つの手法の結果を比較・統合し、能動型及び受動型の両者を用いた、新たなマイクロ波リモートセンシング観測手法を提案した。最後に、気候変動と表層土壌凍結・融解イベントとの関係、及び土壌凍結・融解イベントがダスト発生に及ぼす影響を解析した。

以下、本論文の中核的成果について、4点に絞り、その内容を述べる。

第一に、土壌温度と7日間合成最大/最小受動型マイクロ波輝度温度を用いた、研究対象地の土壌凍結・融解アルゴリズムを作成した。ランダム・サンプリングの手法を用いて、37 GHz帯垂直偏波における輝度温度の閾値(朝と夜の衛星パスに対してそれぞれ258.2と260.1 K)を決定し、1998年から2007年の10年間の土壌凍結・融解サイクルの開始・終了時期及び日周期の凍結・融解が生じる移行期間を求めた。春の土壌凍結・融解の開始及び終了時期は、研究対象地域の南部から北部と北西部へ、また低海拔地域から高海拔地域へと進んだ。日周期の凍結・融解が生じる移行期間が最も長い地域は中国黄土高原、オルドス高原、松嫩平原であった。また、南部から北西・北東部に向かうにつれて、年間土壌凍結期間は徐々に増加し、年間融解期間は徐々に減少した。この10年の間、土壌凍結・融解サイクルの時期及び日

周期の凍結・融解が生じる移行期間の変化は、秋より春のほうが大きかった。ほとんどの地域で変化は2週間以内であったが、中国東北平原、黄土高原、陰山山脈での変化は3~4週間以上であった。

第二に、中緯度地域における地表春季土壤融解イベントを検出するためにレーダー後方散乱時系列データを利用した新しい多段階法を提案した。この方法は主に融解イベントの地理的境界と開始日検出に注目したものであり、本研究対象地の土壤凍結・融解状態に適用した結果、地上観測値と  $R^2 = 0.678 \pm 0.021$  ( $P < 0.01$ ) の相関があった。また標高、気温及び土壤水分が春季土壤融解に影響する主要因であることが示された。8年間の春季土壤融解発生の地理的境界変動と温度変化に有意な相関が認められたのは中国北東部 ( $R^2 = 0.50$ ,  $P < 0.01$ ) とモンゴル北東部 ( $R^2 = 0.56$ ,  $P < 0.01$ ) であり、中国西部、モンゴル北西部、チベットの3地域では有意な相関は認められなかった。

第三に、能動型及び受動型マイクロ波リモートセンシングデータの両者を用いた新しい理論的方法を提案した。すべての対象地域において、年間最初180日の間、輝度温度は増加する傾向を示したが、後方散乱係数は凍結地域では減少する傾向を、非凍結地域では増加する傾向を示し、砂漠地域では変わらなかった。また、朝と夜の衛星軌道による輝度温度の違いによって、土壤水分含量が高く凍結する地域、土壤水分含量は高いが凍結しない地域、及び土壤水分含量が低く凍結する砂漠地域を判別することができた。信号分析結果に基づき、中緯度地域に適用可能な新たな手法を開発し、まず、朝と夜の輝度温度差 (TI) 及び後方散乱係数と輝度温度時系列の傾き比 (SI) を提案し、この指数によって凍結地域、非凍結地域と砂漠地域を分類した、次に、能動型と受動型時系列の日常信号の差 (DI<sub>i</sub>) のロジステック関数を提案し、これによって凍結・融解サイクルの開始、終了を検出することができた。

第四に、アジア地域における風成ダスト (黄砂) の主要な長距離広域輸送源となっているモンゴル高原東部地域における春季の地表凍結と土壤水分が春季融解以降のダスト発生に及ぼす影響を解析した。その結果、ダストは主に春季融解以降に発生したことが示された。融解前ダスト発生回数は非凍結地域の面積割合と正の相関 ( $R^2 = 0.82$ ,  $P < 0.01$ ) があった。一方、土壤水分が高いときの融解後ダスト発生回数は凍結地域の面積割合と負の相関があった ( $R^2 = 0.88$ ,  $P < 0.01$ )。

## 李 莉

### 中国黄土高原における退耕還林政策が農家の生産性と効率性に及ぼす影響

要約：中国の黄土高原では、人口増加による土地不足と地力低下を背景として食料を確保するために山地や傾斜地における耕作が増えている。傾斜地では開墾によって土壤侵食が拡大し、また土壤侵食により農地の生産性が減少しているため、この地域の農家は中国国内でもとくに貧しい生活を強いられている。

貧困根絶および資源と環境の保護のため中国政府は「退耕還林政策」を1999年から試行的に実施、2002年から本格的に始めた。退耕還林政策とは、急傾斜地など、自然環境への負荷が大きいと考えられる土地における農耕や放牧をやめさせ、農牧を放棄した土地には植林し、劣化した生態環境を回復させる試みである。耕地を林地に戻すことは、耕地からの農業収入に生活を頼っている農民の生活に大きな影響を与えることから、中国政府は耕地を失う農家に対して穀物と補助金を与えている。果樹生産や温室栽培、舎飼畜産等を行っている農家に農業改良普及事業支援や低利融資等が与えられる地域もある。

退耕還林政策は農家に大きな影響を及ぼすと考えられることから、退耕還林政策の影響を定量的に把握し、影響を与える要因を分析する必要がある。計量経済学では、経済セクター

の生産性・効率性を投入要素の量に対する産出生産物の量の比として定義し、経済学的な生産活動のパフォーマンスを定量的に把握する。本研究は、退耕還林政策が農家世帯における農業と家計全体の生産活動の生産性および効率性に及ぼす影響を分析することを目的とする。生産性・効率性を相対的に比較するため、本研究では DEA (Data Envelopment Analysis) 法を用いた。DEA 分析とは、複数の入力から複数の出力を与えるようないくつかの経済主体を相対的に評価するための分析手法であり、線形計画問題として定式化可能なため汎用性が高い手法である。そこで、この手法を用い、退耕還林政策が農業活動および家計全体の生産活動の生産性および効率性に与えた影響の分析、およびその要因の分析を定量的に行った。

具体的には、退耕還林政策のパイロット事業が実施された陝西省安塞県の紙坊溝流域と県南溝流域を対象として調査・分析を実施した。この 2 流域は、黄土高原中部に位置し、退耕還林政策実施前、傾斜地では広い範囲で耕作が行われ、深刻な土壌侵食被害が生じていた。そこで農業を営む世帯を対象として、主に 3 回の現地アンケート調査と現地農業実態調査によって事業が実施される以前の 1999 年の状況と、実施後の 2007 年の状況を把握し、事業の実施による影響を分析した。サンプリング方法は単純無作為抽出法であり、有効サンプルは、紙坊溝流域の 59 世帯と県南溝流域の 53 世帯である。

1999 年と 2007 年の 2 時点の、紙坊溝流域の農家のパネルデータに基づき、DEA 法を用いた Malmquist 生産性指数を用い、農業生産の全要素生産性の変動を分析した結果、2007 年の生産性は 1999 年の生産性に比べて、52.5%と著しく増加したことが示された。さらに全要素生産性の成長率を技術進歩、純技術効率および規模効率の変動に分解した結果、技術進歩は 76.0%上昇し、一方、純技術効率と規模効率の積である技術効率は 13.5%減少したことから、技術進歩が全要素生産性の成長の要因と考えられた。また農業生産性向上の要因を分析した結果、これらの向上には段々畑の造成、農業改良普及事業支援および低利融資が有意な正の相関関係を持つことが示された。

つぎに、両流域の 2007 年のデータを用いて農業生産の効率性向上に影響している要素を分析した。その結果、農業生産の効率性と、小さな経営規模および出稼ぎ送金が有意な正の相関関係を持つこと、耕地細分化および農地の賃貸借割合が有意な負の相関関係を持つことが示された。さらに出稼ぎ労働に関する詳細な情報が得られた紙坊溝流域に焦点をあて、出稼ぎ労働所得を加えた分析を実施した結果、農家家計の効率性と、出稼ぎ労働所得割合が有意な正の相関関係を持つこと、耕地細分化が有意な負の相関関係を持つことが示された。

## (2) 修士論文

### 緑化保全部門

#### 窪田 慎一

中国の砂丘植林地における生物クラストが降雨浸透に及ぼす影響

#### 酒井 裕和

シリア北西部の傾斜地オリーブ畑における農民参加型の農地保全対策による水食防止効果

#### 福島 未希

樹木の蒸散量ならびに根群分布が地下水位低下に及ぼす影響

#### 槇野 良介

チュニジア南部における塩水による地表・地中点滴灌漑の効率性と持続性に関する評価

### **（３）卒業生の進路状況**

（社）国際農林業協働協会職員、北九州市役所職員、日本工営株式会社、株式会社国際航業、株式会社建設技研インターナショナル、株式会社鷗州コーポレーション、鳥取大学乾燥地研究センター研究員