

Terrestrial Hydrology : Soil Moisture and Snow



開發 一郎 広島大学総合科学部 小池 俊雄 東京大学大学院工学系研究科

Ichirow Kaihotsu

-

100

Faculty of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University

Toshio Koike

School of Engineering, The University of Tokyo

6.1 気候システムにおける陸域水循環の役割と人間活動への影響

Terrestrial Hydrology : Its Important Role in the Climate System and its Effects on Human Activities



図 6.1.1 水循環の概念図 Fig. 6.1.1 Hydrological circulation

陸域水文過程と大気一陸域一海洋を循環す る水は地球の気候を形成する重要な要素です。 積雪や土壌水分として陸域に貯留されている 水の影響で、局所的あるいは地域的な水循環 変動が他の領域や季節と相互関連性を持って います。たとえ局所的な水問題を考えるとき にも、地球水循環を通して他の地域とのテレ コネクション(遠隔作用)の効果を考えなけれ ばなりません。陸域水文過程とその持続的な モニタリング能力を改善して、地球水循環の 予測能力を向上させることは、水に関わる災 害の軽減や人類の持続的開発への重要な貢献 となります。AMSR/AMSR-Eは適時の、品質 の高い、長期の陸域水文情報を提供します。

Hydrologic processes on land, and water circulation among atmosphere, land, and ocean are key features of the Earth's climate. Due to variations of water storage as snow and soil moisture, local and regional variations in the water cycle correlate with different areas and seasons. Even when we address a more localized water-related event, we must consider its tele-connectivity with other areas or regions under the global water cycle variation. Enhanced prediction of variations in the global water cycle based on improved understanding of hydrological processes on land and sustained monitoring capability, greatly mitigate water-related damage and contribute to sustainable human development. AMSR and AMSR-E provide timely, long-term, quality information on land hydrology.

6.2 土壌水分と積雪の役割

Role of Soil Moisture and Snow



土壌水分は地表面での水収支(図6.2.1)を構成する重要な要素であるとともに、熱収支的には蒸発と蒸散および地中熱に重要な役割を演じています。潜熱(蒸発散)は土壌水分(地表面の水蒸気量)と大気の水蒸気量とのエネルギー差及び地表風速に依存します。この潜熱の変化は結果として熱収支の配分に影響しますので(図6.2.2)、陸域水循環、つまり気候システムに影響を与えることになります。土壌水分の変動は地域からアジア、ひいては地球規模の水循環変動に大きな影響を与える重要な要因ですので、土壌水分を時空間的に捉えることは大変意義があります。

積雪は、様々な災害や水資源の貯留として人間活動に大きな影響を与えるとともに、その高い太陽放射の反射率や融雪後の土壌水分涵養を通して、気候やその変動性に重要な役割を演じています。図6.2.3b(安成氏提供)が示すように、ユーラシア大陸の積雪変動はその年の夏のインドの降水量と負の相関関係があります。図6.2.3a(沖氏提供)はエルニーニョとタイの夏の降水量変動に強い関連があることを示していますが、積雪の影響はエルニーニョが降水変動に与える影響と同様の度合いを示しています。



Fig. 6.2.3 (a) Effect of El Niño on the summer raintall in Thailand and (b) negative correlation between snow cover area in the Eurasian continent and the Indian summer monsoon rainfall

Soil moisture is one element of water balance (Fig. 6.2.1) and plays an important role in evapotranspiration. Latent heat depends on the energy balance between soil moisture and atmospheric water vapor content as well as surface wind speed. As change of latent heat yields to the change in partition of the energy balance (Fig. 6.2.2), it influences the hydrological cycle and climatic system. We must, therefore, observe soil moisture in time and space.

Snow plays an important role in climate and its variability through its high reflectance and soil moisture supply after snowmelt. It also affects human activities through snow disasters and as a function of water resources storage. Yasunari (personal communication) suggests a negative correlation between the snow cover area in the Eurasian continent and the Indian summer monsoon rainfall, as depicted in Fig. 6.2.3b. It is comparable to El Niño in its effect on the summer rainfall in Thailand (Fig. 6.2.3a), as pointed out by Oki (personal communication).

6.3 土壌水分の地上観測と衛星観測の調和を目指して

Coordination of In-Situ and Satellite Observations of Soil Moisture



図 6.3.1 TDR法による土壌水分モニタリングシステム Fig. 6.3.1 Monitoring system of soil moisture using the TDR method



図 6.3.2 AWS・ASSHによるモンゴルでの土壌水分観測 Fig. 6.3.2 Soil moisture observations by AWS and ASSH



図 6.3.3 マイクロ波放射計の地上観測 (アイオワ) Fig. 6.3.3 Ground-based microwave radiometer experiments in Iowa

地上土壌水分の観測法

野外土壌水分量測定として最適なTDR (時間領域反射率) 法は、TDRプローブのロッドか ら土壌中に発した電磁波の走行時間により土壌水分量を測定します。図6.3.1は平行2線電 極型TDRプローブによる現場測定の概念図です。地中の所定の深度に水平にプローブを挿 入して長期のモニタリングを行います。AWS (自動気象ステーション) とASSH (自動土壌 水文ステーション) に図6.3.1の土壌水分モニタリングシステムを組み込んで、基礎的な気 象・水文要素を測定しながら、土壌水分の長期モニタリング (深度3cmから100cm:状況に 応じて) をモンゴル試験地で実施しています。図6.3.2は実際のAWSとASSHを示しています。

アイオワでのマイクロ波放射計の地上観測

2002年6~7月に米国アイオワ州にて、米国航空宇宙局(NASA)、農務省(USDA)によっ て実施された土壌水分検証実験(SMEX02)に地上設置型マイクロ波放射計が導入され、裸 地、とうもろこし畑、大豆畑の観測(図6.3.3)を行い、植生の効果を含んだ放射伝達方程式 が定式化されました。その結果を受けて、2周波、2偏波を使った土壌水分、植生水分算定 アルゴリズムが開発されました。

Soil moisture observation method

Time domain reflectometry (TDR) is well known as the best method to measure soil water content in the field. Fig. 6.3.1 illustrates a monitoring system for soil moisture measurement by TDR sensors with two parallel wires. In practice, several TDR probes are inserted horizontally into the vertical soil profile of a trench in the field. Ground-based long-term monitoring by Automatic Weather Stations (AWSs) and Automatic Stations for Soil Hydrology (ASSHs) including the TDR soil moisture measurement system is continuing successfully in Mongolia. Fig. 6.3.2 presents the conditions of AWS and ASSH in the study area.

Ground-based microwave radiometer experiments in Iowa

From June to July 2002, University of Tokyo (UT) and JAXA introduced a ground-based microwave radiometer in the intensive validation experiment for soil moisture in Iowa, the SMEX02 organized by NASA and USDA (Fig. 6.3.3). UT and JAXA measured bare soil and land surfaces covered with corn and soybeans at different stages of growth. Using the resulting data, we modeled the effects of vegetation and developed a dual-frequency and dual-polarization algorithm for soil moisture and vegetation water content.



図 6.3.4 ADEOS-II-Aquaモンゴル試験地 Fig. 6.3.4 Study area for ADEOS-II and Aqua validation experiment

モンゴル地上試験地

ADEOS-IIとAquaの検証データを得るために、モンゴル国モンゴル高原のマンダルゴビ 市とチョイル市の間に東西160km、南北120kmの地上観測用の試験地を設けました(図6.3.4)。 試験地の南側はまばらな草地(イネ科の牧草が主体)であり、北から東にかけて灌木交じ りの高密度の草地が展開しています。この試験地に5台のAWSと12台のASSHを設置し、 複数の高度や深度における基本気象要素と土壌水分のモニタリングを、AWSについては 2000年、ASSHについては2001年から行っています。

試験地の面積水分量

2001年6月から2004年5月までの深度3cmの日平均面積水分量(モンゴル試験地の全測定 点土壌水分量の算術平均値)変化を図6.3.5に示します。図中の日平均面積水分量が1.8%か ら19.6%の範囲で連続に変化し、AMSRやAMSR-Eの土壌水分アルゴリズムの低・中土壌 水分域の検証用データとして有用であることが分かります。また、夏の急激な水分上昇は 降雨によるものです。10月から2月にかけては土壌が凍土化し、見かけ上、大変乾いた土 壌水分状態となっています。



図 6.3.5 試験地の日平均面積水分量の変化 Fig. 6.3.5 Time change of the daily mean areal soil moisture

Study area for the ADEOS-II / Aqua validation experiment

To obtain ground-based data for ADEOS-II and Aqua algorithm validation of soil moisture measurement and physical parameters, a study area of 160km by 120km was established in the Mongolian plateau between Mandalgobi and Choyr (Fig. 6.3.4). The soil surface in the southern part is mostly covered with sparse pasture and that in the northern and eastern part is covered with dense pasture with sporadic shrubs. Five AWSs and twelve ASSHs were installed in this study area. Monitoring fundamental elements of meteorology and hydrology was initiated using AWS from 2000 and ASSH from 2001.

Areal soil moisture

Fig. 6.3.5 presents the time change of the areal soil moisture calculated arithmetically using all the ASSH data in the experimental field from June 2001 to May 2004. The wide range of differences (1.8% to 19.6%) in the areal soil moisture implies it will be useful in validating the satellite soil moisture algorithm as shown in the figure. Many spikes can be seen in spring and summer due to rainfall. From October to February, the soil is apparently drier because of freezing conditions.

6.4 AMSR-Eが捉えたモンゴルとチベット高原における土壌水分分布

Soil Moisture Distribution in Mongolia and the Tibetan Plateau Derived from AMSR-E



図 6.4.1 AMSR-Eによるモンゴルの夏季土壌水分分布図 (上図:7月、中図:8月、下図:9月) Fig. 6.4.1 Soil moisture distribution in Mongolia by AMSR-E (top, July; middle, August; bottom, September)

2周波、2偏波土壌水分アルゴリズムをAMSR-Eデータに適用して算定されたモンゴルの 夏(2002年7、8、9月の最初の10日平均)の土壌水分分布を図6.4.1に示しています。西部の 乾燥化の拡大が捉えられています。

図6.4.2は、2周波、2偏波土壌水分アルゴリズムをAMSR-Eデータに適用して算定された チベット高原上の2003年9月下旬の10日平均の土壌水分分布図です。北西部の乾燥域と南 東部の湿潤域のコントラストが特徴的です。また、ヒマラヤ南斜面に湿潤域が、北斜面に 乾燥域が対をなして帯状に連なっています。



図 6.4.2 AMSR-Eによるチベット高原の土壌水分分布図 Fig. 6.4.2 Soil moisture distribution in the Tibetan Plateau by AMSR-E

UT and JAXA derived the first ten-day soil moisture average in July (top panel, Fig. 6.4.1), August (middle) and September (bottom) in Mongolia based on the AMSR-E data. They observed an expansion of the dry area in the west.

By applying the dual-frequency, dual-polarization algorithm to the AMSR-E data, UT and JAXA produced a ten-day average soil moisture distribution map (Fig. 6.4.2) of the Tibetan Plateau for the end of September 2003. They identified a very clear dry-wet contrast between the northwest and southeast parts of the Tibetan Plateau. There are wet bands on the south and dry bands on the north slopes of the Himalayas.

6.5 積雪の地上観測と衛星観測との調和を目指して

Coordination of In-Situ and Satellite Observations of Snow



図 6.5.1 シベリアの試験サイト Fig. 6.5.1 Observation site in Siberia



Kenkeme (Forest & Open Field)



Khatassy (Open Field)









Viluy (Pine Forest)



Tulagino (Open Field)



図 6.5.2 ロッキー山脈のマイクロ波放射計積雪観測 Fig. 6.5.2 Ground-based microwave radiometer observation in the Rocky Mountains

衛星マイクロ波リモートセンシングによる積雪観測手法の開発のためには、積雪 中の放射伝達特性の考慮と、様々な土地条件下での検証が必要です。寒冷地過程プ ロジェクト (CLPX) にAMSR/AMSR-Eと同じ周波数をもつ地上設置型マイクロ波放 射計が導入され (図6.5.2)、積雪中のマイクロ波放射伝達過程の理解の向上とモデル 開発が進められました。シベリアには、植生状態が異なる7サイトに積雪深さ計が 2001年に設置され (図6.5.1)、AMSR/AMSR-E積雪プロダクツの改良と検証のための 貴重な観測データを提供しています。

Microwave remote sensing of snow from space should be developed based on radiative transfer characteristics of the snow pack, and validated under various land cover conditions. A ground-based microwave radiometer (Fig. 6.5.2) having observational frequencies consistent with AMSR/AMSR-E was introduced in the Cold Land Processes Experiment (CLPX) conducted in the Rocky Mountains in 2003 to facilitate understanding and modeling microwave radiative transfer processes in snowpack. In 2001, seven snow depth sensors were installed in Siberia under different vegetation covers (Fig. 6.5.1) and are providing valuable data sets for improving and validating AMSR and AMSR-E snow products.

6.6 AMSR-Eが捉えたシベリアの積雪分布

Snow Distribution in Siberia Derived from AMSR-E



図 0.0.1 AMISPELLA Sシベリア域の1月の月平均損雪力中区 Fig. 6.6.1 Monthly distribution of snow of Siberia during January

衛星による積雪観測アルゴリズムを広く世 界の寒冷地域に適用するためには、アルゴリ ズムに組み込まれている基本となる放射伝達 モデルの適用性が、積雪深、積雪物理特性、 積雪下の土壌条件の広いレンジに亘って確保 されていなければなりません。また、アルゴ リズムは衛星および他のデータソースから利 用可能なデータを最大限に利用する構造となっ ていることも重要です。そこで、4ストリーム ファーストモデルと稠密な物質内での放射伝 達モデルを用いたアルゴリズムが開発されま した。このアルゴリズムを用いてつくられた シベリア域の積雪分布図(図6.6.1)において、 シベリアにおける東西の積雪分布が年々変動 していることが示されています。

To apply an algorithm for snow to cold regions worldwide, we must improve the applicability of the basic radiative transfer embedded in the algorithm to wide ranges of snow depth, physical characteristics, and soil conditions below the snow. The algorithm must also maximize use of available data from satellites and other data sources. UT and JAXA developed an algorithm by introducing the four-stream fast radiative transfer model and the dense media radiative transfer model using the four frequency channels of AMSR and AMSR-E. The derived products present the interannual variation of snow distribution in Siberia from 2003 to 2005 (Fig. 6.6.1).