

衛星地上統合観測によるモンゴル高原-中国北部における 土壌水分・地表面状況の時空間変動解析の研究

- AMSR-E (AQUA) /ALOS/MIRAS (SMOS) /GCOM-W の地上検証実験プロジェクトへ向けて -

広島大学大学院総合科学研究科 開発一郎

1. はじめに

近年、水・エネルギー循環、自然災害、植生や水資源の管理の立場から広域でより正確な土壌水分および地表面変化の実態の把握が求められている。そのためには、現在のAQUA/ALOSや今後の地球観測衛星と地上観測による総合的な観測が重要かつ不可欠である。

2002年5月に衛星リモートセンシングの広域地表面土壌水分測定のために、マイクロ波放射計AMSR-EおよびMODISを搭載したAQUA(EOS-PM1)が打ち上げられ、現在順調に土壌水分や植生他の観測を続けている。このAMSR-Eによる衛星土壌水分測定のアプローチ開発は小池ら¹⁾やNjoke²⁾他によってなされ、AMSR-Eの広域場の比較的高精度な土壌水分推定が行なわれている。

モンゴル高原および中国北部(華北平原から東北にかけて)の半乾燥地帯は、水資源的には問題の多い地域であり、東アジア気候変動形成解明にも重要な地域である。この地域の水・エネルギー循環機構の解明、特に土壌水分・植生動態の研究が半乾燥地域の食料生産および水資源の管理のためには不可欠である。

すでにAQUAやALOSが地球観測に威力を発揮しているが、今後さらにSMOSが2007年、GCOM-Wが2011年初めに打ち上げられる予定であり、これらの衛星と地上観測を統合した水循環観測を長期に実施できれば、東アジア半乾燥地域の水循環機構の解明および植生変遷研究につながると思われる。本研究ではこの様な観点から、モンゴル高原における水循環研究の現在までの成果の一部について考察し、今後の研究のあり方について見当を試みたものである。

2. モンゴル高原での衛星地上統合観測

1) 観測方法

筆者らは2000年8月からモンゴル国の首都のウランバートル市の南側300kmにAMPEX/MAVEXプロジェクトのための水循環地上観測試験地(モンゴル高原試験地)を設定し、統合観測を実施している³⁾。このプロジェクトはADEOS IIとALOSの衛星観測検証のためにJAXAおよびモンゴル国自然環境省気象・水文研究所と

の共同研究として実施されている。

試験地には地上検証用長期モニタリングとして、基本気象要素を中心としたAWS(自動気象観測ステーション)と土壌水文自動観測ステーションASSHが設置され、2006年6月現在、JAXA(宇宙航空研究開発機構)の4つのAWSと11台のASSHが稼働している。

2) 観測成果

AWS モニタリング

2000年夏から2005年夏のAWSモニタリングの結果はKaihotsu(2005)⁴⁾に詳しいが、以下にその成果の一部について述べる。

この間の気候的な特徴としては、いずれのAWSサイトにおいても日平均気温が極めてわずかながら上昇傾向にあり、それに伴って地表面温度も上昇傾向にあることが分かった。

降水量については、例えば本試験地のMGSのAWS降水観測結果によると、年降水量は、2001年から2005年まで順に、123.4mm、102.4mm、189mm、99.6mm、67.2mmであった。2003年は相対的に多いが、全体としてはやはり減少傾向にあった。

地上観測の面積土壌水分量

AMPEX/MAVEXプロジェクトの地上観測で得られた顕著な成果の一部として、試験地の面積土壌水分量が挙げられる。

2001年6月から2005年9月までの全ステーションの深度3cm土壌水分の日の面積土壌水分量(VWC_{area})を算出した結果、毎年夏季に多くのスパイクの出現と冬季の長い低土壌水分状態が見られ、その原因はそれぞれ、夏季の降雨と冬季の土壌凍結によると推測される。この結果、この5年間わずかであるが、土壌水分は減少のトレンドにあることが分かった。

AMSR-Eによる土壌水分推定

2002年から2005年の7月下旬のAMSR-Eデータを小池アルゴリズム¹⁾を用いてモンゴル国およびその周辺の土壌水分を推定(10日平均の土壌水分量)した。推定の条件は、水体はAQUAのLand Ocean Flagで検出し、 2 Kg/m^2 以上の植物繁茂地域(NOAA-AVHRRのNDVIで0.6以上の地域)は除き、体積水分量60%を超える場

合は60%とするものであった。

その結果、全体的に土壌水分分布パターンが降水量分布に対応している⁵⁾ことが分り、AMSR-Eの土壌水分評価が水循環的にそう間違いがないことが分った。

年毎に土壌水分分布をみてみると、2002年は全体的に乾燥し、モンゴル高原全域の土壌水分は体積水分量10%未満であるが、2003年はゴビ砂漠の北側においても10%を超える水分状態となっていた。2004年になると乾燥化が進み、再度モンゴル高原全域が体積水分量10%未満の分布となり、2005年もほぼ同じ傾向を示した。モンゴル全域での降水分布解析結果はまだ得られていないが、前述のようにモンゴル高原の本試験地での降水は2001年から減少傾向にあり、土壌水分の減少に対応していた。

植生変遷

植生の地上観測を、MGSのAWSに隣接した植生観測サイト(10m x 10m)でコドラート法(0.5mを2反復)を用いて2002年から7-10日間隔でマニュアルで実施している。本調査では特に、植物水分量の推定に力を注いでおり、あらかじめ得ておいた植物体積(バイオマス)と植物水分量のキャリブレーション式から植物水分量を得ている。

結果として、2002年4月初旬から植物水分測定が実施できるようになり、8月中旬にピーク値60 g/cmm³となり、9月末にはゼロであった。2003年では4月下旬に植物水分測定が可能となり、7月中旬にピーク値138 g/cmm³に達し、9月下旬には測定不可であった。いずれの年も10月から翌年の3月一杯までは地表面に生存している植物はほとんどみられなかった。

また、ADEOS IIのGLIデータを用いてMGSの試験地の60km x 60kmの面積植物水分量の推定を試みた⁴⁾。その結果2003年8月13日のそれは47 g/cmm³であった。MGSでの地上植物水分量測定結果では8月9日が129.8 g/cmm³、8月16日が115.4 g/cmm³であったので、点データとの比較は問題があるが、経験上、本対象域のMGS以外の地域は概してMGSと同じかそれ以上の植生が繁茂しており、結果としてGLIのほうが過小評価している可能性が高いと云える。

3. 今後の統合観測

1) 水循環に関係した地球観測衛星観測

前述のようにAQUAとALOSについては、すでに土壌水分・積雪観測と植生観測を地上検証実験を行ないながら実施し、今後も統合観測を継続する。特にALOSのPALSARによるモンゴル国および周辺の土壌水分推定を積極的に行なうと共に、AMSR-Eによる植物水分量

の算定の確立を図る必要がある。

2007年9月には、ESAのMIRASのみを搭載したSMOSが打ち上げられることになっており、MIRASによる広域の土壌水分観測が可能となる。MIRASは1.4GHzの合成開口放射計であり、分解能は40-50km、回帰日数は3日以内、観測範囲は1,000 kmである。1.4GHzは土壌水分観測に最適であり、その成果は期待される。

GCOM-Wが2011年初めに打ち上げられる予定であり、これにはAMSR/AMSR-Eの後継センサーとしてAMSR2が搭載される。センサー仕様・能力は従来のAMSR/AMSR-Eとほぼ同じであるが、6GHz帯の電波干渉を避けるために7.3GHz観測バンドの追加が検討されている。

この様に、今後の土壌水分や雪氷に関する衛星観測は充実したものとなり、2007年から2011年までの間に、複数のセンサーによるシナジー観測が可能である。従って、土壌水分や積雪の時空間分布の詳細な解析や異方性の解明および相互キャリブレーションに威力を発揮すると思われる。

2) 地上観測と関連国際共同研究

モンゴル高原ではすでにAMPEX/MAVEXの地上観測が行なわれ、今後も変わりなく継続される。現在のところ本地上観測はGCOM-Wの打ち上げ後の地上検証まで(2012年?)は実施される予定である。観測内容としては大気フラックスの直接観測他の新規観測が追加される可能性もある。このモンゴル高原試験地はCEOPおよび2007年1月から始まったCEOP2のMongol Reference Siteでもあり、東アジアの重要な水循環観測拠点でもある。また、中国の黄河下流域の華北平原の禹城周辺または北東部に、CERNとIHPの共同研究の一環として、新たにモンゴル高原試験地より降水量の多い水循環観測試験地を設定することも検討中である。

4. おわりに

モンゴル高原での水循環の地上と衛星による観測成果として、水循環と植生の長期モニタリング結果の一部、面積土壌水分の経年変化、AMSR-Eの土壌水分分布の時空間変動について考察した。

寒冷半乾燥地域での長期の複数ステーションの同時水循環地上モニタリングはほとんど実施されておらず、今後、さらに安定したモニタリングの実施が重要である。また、すでにAMSR-EやALOSによるシナジー観測が可能なので、今後はこれらの土壌水分解析をAVNIR2やPRISM他による植生・地形の解析も含めて早期に試みる事が望まれる。

略語

ADEOS II : Advanced Earth Observing Satellite II
ALOS : Advanced Land Observing Satellite
AMPEX : ADEOS II Mongolian Plateau Experiment for Ground Truth
AMSR-E : Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS
ASSH : Automatic Station for Soil Hydrology
AVNIR2 : Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2
AWS : Automatic Weather Station
CEOP : Coordinated Enhanced Observing Period
CERN : China Ecological Research Network
ESA : European Space Agency
GCOM-W : Global Climate Observation Mission-Water
GLI : Global Imager
IHP : International Hydrological Program
JAXA : Japan Aerospace Exploration Agency
MAVEX : Mongol AMSR/AMSR-E/ALOS Validation Experiment
MIRAS : Microwave Interferometric Radiometer with Aperture Synthesis
MODIS : Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
PALSAR : Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar
PRISM : Panchromatic Remote-Sensing Instrument for Stereo Mapping

SMOS : Soil Moisture and Ocean Salinity

謝辞 : 本研究を実施するにあたり、JAXA の研究支援を受けた。また、関係資料をいただいた小池俊雄教授 (東京大学)、今岡啓治氏 (JAXA) に謝意を表す。

参考文献

- 1) 小池俊雄・下茂 力・大田 哲・藤井秀幸・柴田 彰 : 陸面水文量分布のグローバル推定のためのマイクロ放射計アルゴリズムの開発と検証、水工学論文集、**44**、247-252, 2000.
- 2) Njoke, E. G. : *Land surface algorithm*, Algorithm theoretical basis document for EOS-P M1/AMSR-E, NASA, 38p., 1998.
- 3) 開発一郎・山中 勤・ダンバラブジャ ウコンバータル・平田昌弘・大石風人・村松加奈子・宮崎真・近藤昭彦・小池俊雄 : ADEOS II- AMSR/AMSR-E の予備的地上検証実験、第3回水文過程のリモートセンシングとその応用に関するワークショップ論文集、1-6、2002.
- 4) Kaihotsu, I. (Ed.) : *Grand Truth for Evaluation of Soil Moisture and Geophysical/Vegetation Parameters Related to Ground Surface Conditions with AMSR and GLI in the Mongolian Plateau*, JAXA, 113p, 2005.
- 5) Batima, P and Dagvadorj, D. : " *Climate changes and its impacts in Mongolia.* " JEMR Pub. , 227p. , 2000.