MODIS 16-Day Albedo 자료를 이용한 동북아시아 지역의 토지피복 별 알베도 변화 분석

박은빈 · 한경수[†] · 이창석 · 피경진

부경대학교 공간정보시스템공학과

The Tendency Analysis of Albedo by Land Cover Over Northeast Asia Using MODIS 16-Day Composited Albedo data

Eun-bin Park, Kyung-soo Han[†], Chang-suk Lee and Kyung-Jin Pi

Department of Spatial Information Engineering, Pukyong National University

Abstract : Albedo is known as a factor that directly impacts on the surface energy balance one of the elements of earth radiation balance. The change of albedo includes the change of soil moisture, vegetation, solar zenith angle, snow, and so on. In addition, it operates as a crucial path to understanding feedback mechanisms between radiation balance and its influence on climate and vegetation dynamics and therefore, observing the variation of albedo is a one of the essential procedures for anticipating climate change. In this study, we used MODIS 16-Day composited Albedo data from 2001 to 2011 years with the purpose of observing the change of albedo over Northeast Asia. According to the tendency of albedo for 11 years, albedo in the area of an active vegetation has increased in near-infrared (NIR) domain and decreased in visible (VIS) domain. On the basis of local changes in vegetation in 2002, the both area of the Gobi Desert and the Manchuria was enormously changed and chosen the research area and furthermore, the vegetation of both regions had deteriorated due to the change of the minimum value since 2010.

Key Words : Albedo, MODIS, Northeast Asia, vegetation.

요약 : 알베도는 지구 복사균형을 이루는 요소 중에서 지표의 에너지 균형에 직접적으로 영향을 주는 인자로 알려져 있다. 이러한 알베도 변화는 토양 수분량, 식생, 태양광의 입사 각도, 적설 등의 변화를 포함하여 지구 복사균형과 그것이 기후와 식생 변화에 미치는 영향력을 이해할 수 있는 결정적인 변수로 작용한다. 따라서 알베도 변화 모니터링은 기후 변화 예측에서 필요한 과정 중 하나이다. 본 연구에서는 동북아시아의 알베도 변화를 관측하기 위하여 2001년부터 2011년의 MODIS Albedo 16-Day 자료를 이용하였다. 연간 알베도 변화에서 식생이 활발한 토지피복의 알베도 값이 NIR 밴드에서 높은 알베도 값을 VIS 밴드에서 낮은 알베도 값을 가짐을 확인하였고, 2002년을 기준으로 고비사막 부근과 만주지역의 알베도 값이 변화를 보여 식생 변화 지역으로 사료되어 세부 연구영역으로 선정하였다. 또한 최솟값의 변화로 두 지역 모두 2010년 이후 식생이 악화됨을 감지할 수 있었다.

접수일(2012년 8월 28일), 수정일(1차 : 2012년 9월 21일), 게재확정일(2012년 9월 25일).

[†] 교신저자: 한경수(kyung-soo.han@pknu.ac.kr)

1. 서론

알베도(Albedo)는 입사된 태양복사 에너지가 반사되는 비율로 정의되며 지구 온난화와 관련하여 지구 복사균형을 이루는 요소 중에서도 지표의 수분과 에너지 균형에 직접적으로 영향을 주는 인자로 알려져 있다(Dirmeyer and Shukla, 1994; 염종민 외, 2005). 알베도는 에어로졸과 함께 구름의 수명에 영향을 미치고(이권호 외, 2004) Wielicki *et al.*(2005)에 의하면 알베도 0.01의 변화는 대기의 이산화탄소가 2배로 늘어나는 효과와 같으며 Zhou *et al.*(2003)은 강수와 증발산 양의 감소로 인한 사막화와 삼림파괴의 결과로 높은 알베도가 나타난다는 것을 알린 바 있다. 실제로도 알베도 변화는 토양 수분량, 식생, 태양광의 입사 각도, 적설 등의 변화를 포함하여 지구 복사균형과 그것이 기후와 식생 변화에 미치는 영향력을 이해할 수 있는 결정적인 변수로 작용한다(Gao *et al.*, 2006). 또한 기후와 생태계 모델에서의 알베도는 지역에 따라 변화하는 토지피복으로 인해 모수화된(Wang and Davidson, 2007)는 연구에서 미루어볼 때 알베도 변화 모니터링은 기후 변화 예측에서 반드시 필요한 과정 중 하나이다.

위성으로부터 산출되는 알베도는 EUMETSAT(European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites)과 NASA(National Aeronautics and Space Administration)에서 주로 제공하고 있으며 EUMETSAT은 Meteosat을 기반으로 네 가지 지리 영역(Europe, Northern Africa, Southern Africa, South American Continent)으로 분할하여 알베도를 산출하고 있다(Geiger *et al.*, 2011). NASA는 MODIS(MODerate resolution Imaging Spectroradiometer)를 기반으로 전 지구 알베도를 1 km로 관측하여 제공하고 있다. 위성 기반의 알베도 자료를 이용한 연구는 이전부터 끊임없이 진행되어 왔으며 최근 연구에 의하면 동일한 종의 식생에서 잎의 배열의 차이와 잎 표면의 특성에 따라 알베도가 크게 변화할 수 있다는 사례가 있었다(Ridgwell *et al.*, 2009). Wielicki *et al.*(2005)는 Terra MODIS의 CERES(Clouds and Earth's Radiant Energy System) 자료를 이용한 알베도 변화 분석을 통해 5년 동안(2000-2004) 전 지구 알베도 수치가 증가함을 보였다. Loarie

et al.(2010)는 MODIS 자료로 남미 지역 10년의(2000-2009) 알베도 변화를 관측하고 그에 따른 반사도와 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)를 비교하였다. 하지만 지표 에너지 균형 연구에 전형적으로 요구되는 사항인 광대역 알베도(broad band albedo)(Liang *et al.*, 1998)를 사용하지 않고 분광 알베도(narrow band albedo)를 통해 연구를 수행하였다. 단파영역(Shortwave)은 지표면에서 반사된 총 에너지를 특징짓는 요소이고 근적외 채널(Near-Infrared, NIR)과 가시 채널(Visible, VIS)은 식생의 반사도에서 상이한 변화를 보이기에(Strahler *et al.*, 1999) 본 연구에서는 위 세 가지의 광대역 알베도를 이용하였다. Wei *et al.*(2001)과 Zhou *et al.*(2003)도 마찬가지로 각각 NOAA-14(National Oceanic and Atmospheric Administration)의 AVHRR(Advanced Very-High Resolution Radiometer)과 MODIS 광대역 알베도를 이용하여 모델로부터 얻어진 알베도 값과 함께 연구를 수행한 바 있다.

본 연구에서는 MODIS 알베도 산출물을 이용하여 2001년부터 2011년까지 지구 환경 변화의 hot spot인 동아시아 지역의(김상일 외, 2011) 광대역 알베도 변화를 연구하였다. 다양한 토지피복에서의 알베도 변화를 파악하기 위하여 6가지(Evergreen Forest, Mixed Forests, Shrublands, Grasslands, Croplands, Barren of Sparsely Vegetated) 토지피복 별 알베도 변동 특성을 분석하였고, 더 나아가 동아시아에서 사막화가 진행되고 있는 지역을 세부 연구영역으로 선정하여 연도별·광대역 밴드 별 비교를 통해 알베도 변화 패턴을 분석하였다.

2. 연구 자료 및 방법

본 연구의 범위는 Fig. 1과 같이 위도 20°N ~ 50°N, 경도 100°E ~ 145°E 지역에 이르는 동북아시아 지역으로 선정하였다. 동북아시아는 다양한 식생이 존재하여 토지피복 별로 알베도 변화를 분석함에 매우 적합하며 사막화가 진행되고 있는 고비사막과 만주지역이 연구영역에 포함되어 있다. 고비사막 부근은 사막화가 진행되었을 경우 그 변화 탐지가 용이할 것으로 사료되며 만주

지역의 경우 황사발원지의 동진 추세가 중국 내 사막지역에 서에서 동으로 점차 확대·가속화되며 최근 황사발원지로 주목 받는 지역(피정진 외, 2009)이다. 본 연구에서 사용된 알베도 자료의 시간적 범위는 2001년부터 2011년으로 MODIS 센서로부터 취득한 Albedo 16-Day(MCD43B, version5) 자료이다. 본 연구에서는 20

Fig. 1. Location of the study area.

개의 Layer 의 Black Sky 중 세 개의 Broad Band인 VIS($0.3 \sim 0.7 \mu\text{m}$), NIR($0.7 \sim 5.0 \mu\text{m}$), SW($0.3 \sim 5.0 \mu\text{m}$) 영역을 이용하였다. Broad Band 알베도 값은 spectral-to-broadband conversion 알고리즘을 이용하여 계산되며(Liang, 2000; Liang *et al*, 2002), VIS 광대역 알베도는 Red, Green, Blue 채널 spectral albedo가 혼용된 값이며, NIR 광대역 알베도는 근적외 영역 spectral albedo 뿐만 아니라 $1.2 \mu\text{m}$, $1.6 \mu\text{m}$, $2.1 \mu\text{m}$ spectral albedo를 모두 이용하여 산출한 값이다. 따라서 본 연구에 사용된 VIS 영역이나 NIR 영역의 알베도 값은 광대역 알베도 값을 의미하는 바이다. 알베도 값은 반사도를 의미하는 값이기에 단위가 없고 0과 1 사이의 값을 가진다.

토지피복 별 알베도를 분석하기 위한 보조자료는 2001년 MODIS에서 제작된 Global Land Cover 1km 이용하였고 총 17개의 클래스로 구성되어 있다. 토지피복 별 알베도 값은 현재 기후 모델에 이용되지만 정확도가 높은 data를 얻기 위해서는 원격탐사로부터 제공되

Fig. 2. Flowchart of the study.

는 알베도 자료를 사용할 필요가 있다(Strahler *et al.*, 1999). 보조자료로 이용된 MODIS Global Land Cover는 동북아시아 토지피복 분포를 확인한 결과 값의 분포가 적은 클래스가 많았기에 17개 클래스 중 본 연구에 대표적으로 이용될 6개 클래스만 추출하였다.

본 연구의 흐름은 Fig. 2와 같이 자료 수집 후 전처리 과정을 거쳐 알베도 변화 분석을 수행하는 순서로 진행되었다. 먼저 월 단위로 자료를 합성하여 11년간 알베도 값의 경향을 파악하고 이를 통하여 식생이 활발한 지역에서 각 광대역 밴드 별 알베도 값이 어떠한 패턴으로 변화하는지 분석하였다. 분석 결과는 추후 세부 연구영역에서의 알베도 변화 분석에 적용하였다. 또한 2002년을 기준으로 2011년 알베도 값의 계절별 변화를 이미지화하고 값의 차이가 큰 지역을 세부 연구영역으로 선정하였다. 이후 세부 연구영역에서의 최솟값 변화를 분석하여 대상지역에서의 식생 변화를 감지하였다.

3. 결과 및 분석

2001년에서 2011년까지 동북아시아의 전체 알베도 변화 패턴은 각 토지피복에 대해 일정한 증감의 추세를 보였으며 NIR 밴드에서 가장 활발한 증감의 추세를 보였다. NIR 밴드 알베도 값의 변화는 Fig. 3(a)과 같이 0.15~0.35 영역에서 나타나며 식생이 활발한 지역이라고 할 수 있는 Evergreen Forest와 Mixed Forests에서 여름철에 높은 값을, 겨울철에 낮은 값을 확인할 수 있었다. 비 식생지역인 Barren의 경우 이와는 반대로 여름철에 낮은 값을, 겨울철에 높은 값을 가진다. 이는 식생이 활발할수록 NIR 밴드에서 높은 알베도 값을 가짐을 의미한다. Evergreen Forest와 Mixed Forests가 같은 변화 패턴을 보였고 이와 반대되는 경향으로 Shrublands, Grasslands, Barren 이 같은 변화 패턴을 보임을 알 수 있다. 이는 식물이 성장하는 시기인 4

Fig. 3. The trend of broad band Albedo by Land Cover during 11 years.

월~9월 사이에 NIR 영역 Grasslands 알베도 값이 감소하는 경향을 보인다는 선행 연구(Wang and Davidson, 2007)와 같은 경향을 보인다. 이와 같이 식생 활력도에 따라 다른 변화 패턴을 보이는 이유는 일반적으로 NIR 영역에서 사용하지 않는 $1.2\ \mu\text{m}$, $1.6\ \mu\text{m}$, $2.1\ \mu\text{m}$ 영역을 통합하여 산출된 알베도 값으로 인한 결과로 인한 것이라고 사료된다. Croplands의 경우에는 다른 토지피복에 비해 증감의 주기가 갖게 나타나며 이는 작물 수확시기의 차이라고 사료된다. VIS 밴드에서는 Fig. 3(b)에서 볼 수 있듯이 0.02~0.18 영역에서 변화를 보였으며 Evergreen Forest와 Mixed Forests에서 여름철에 낮은 값을, 겨울철에 높은 값을 가짐으로써

NIR 밴드와는 상이한 추세를 보인다. Evergreen Forest의 경우 계절별 변화가 다른 토지피복에 비해 작은 경향을 보이며 이것은 사계절 내내 광합성을 하는 특성에 따른 영향으로 사료된다. Barren의 경우 여름철에 낮은 값을, 겨울철에 높은 값을 가짐으로써 NIR과 같은 경향을 보이고 이는 비 식생지역인 Barren에서 태양광을 흡수 또는 반사할 수 있는 식생의 개체수가 희박하기 때문이다. SW 밴드는 VIS 밴드와 NIR 밴드를 포함하는 영역으로 두 영역의 알베도 값이 상쇄된 값이라고 볼 수 있다. 알베도 값은 Fig. 3(c)와 같이 0.1~0.23으로 두 밴드의 중간 값을 가지며 대체적으로 NIR의 변화 패턴과 비슷한 경향을 보였다.

Fig. 4. Difference of albedo in 2002 and 2011.

2002년과 2011년의 알베도를 비교하기 위해 4계절을 대표하는 1, 4, 7, 10월의 차이를 보았다. 2001년의 경우 겨울철 구름과 눈에 의한 missing data가 많아 비교의 기준으로 삼기에 어려움이 있어 2002년을 기준으로 정하였고, 이는 앞선 연구로 2000년과 2001년에서 산출된 MODIS Albedo Product 내에 bad quality인 자료가 다수 존재한다(Loarie *et al.*, 2010)는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 4는 2011년과 2002년의 밴드 별 알베도 값 차이를 구하고 음의 범위만을 추출, 절대값으로 처리하여 식생이 악화된 지역을 표시한 것이다. 가장 눈에 띄는 차이는 Fig. 4와 같이 7월, 10월에서 많이 나타나고 이는 여름철인 7월에 식생이 활발하며, 곡식이

Fig. 5. Variation area of albedo between 2002 and 2011.

나 농작물의 수확시기인 10월에 지표면 상태가 크게 변화하기 때문이라고 사료된다. 세 밴드 모두 지역적으로는 중국 동부지역, 고비사막 부근, 만주부근이 큰 변화를 보였다. Fig. 4(a),(b)와 같이 NIR는 7월과 10월에 고비사막부근에서 변화를 볼 수 있었고, (c),(d)인 VIS에서는 7월에는 만주부근과 중국 동부지역, 10월에는 북부지역에서 변화를 보였다. SW도(e),(f)에서 볼 수 있듯이 NIR과 비슷한 고비사막부근과 동부지역에서 변화를 확인할 수 있었다.

연도별, 계절별 알베도 차이를 산출하여 변화가 있었던 지역을 Fig. 5와 같이 세부 연구영역 case 1(36.7°N ~ 39.8°N, 105.3°E ~ 109.7°E), case 2(41.3°N ~ 44.1°N, 119.7°E ~ 123.4°E)로 선정하여 최솟값의 변화를 분석하였다. case 1은 고비사막 부근, case 2는 내몽골 자치구 동쪽에 위치한 만주지역으로, 사막화가 진행되고 있는 지역이다. Case 1은 Shrublands와 Grasslands, Barren이 섞여있는 지역이며 최솟값의 변화를 Table 1. 과 Fig. 6(a)에서 확인할 수 있다. 전체적으로 NIR(black long dash line)과 VIS(grey solid line)는 반대 경향을 보이지만 2010년 이후로는 같은 경향을 보인다. 2003년과 2006년에 NIR 밴드의 알베도 값이 0.0305, 0.0397로 높은 값을 가지고 VIS 밴드의 값이 0.0193, 0.019로 낮은 값을 가져 식생이 활발했음

Fig. 6. The trend of Albedo in case 1 (The Gobi Desert) and case 2 (Manchuria) during 11 years.

Table 1. The minimum value of albedo in case 1 and case 2

year	Case 1			Case 2		
	NIR	VIS	SW	NIR	VIS	SW
2001	0.0220	0.0215	0.0343	0.0100	0.0160	0.0225
2002	0.0268	0.0190	0.0300	0.0100	0.0173	0.0240
2003	0.0305	0.0193	0.0367	0.0130	0.0153	0.0250
2004	0.0260	0.0180	0.0323	0.0123	0.0173	0.0253
2005	0.0237	0.0230	0.0343	0.0110	0.0160	0.0240
2006	0.0397	0.0190	0.0435	0.0030	0.0175	0.0150
2007	0.0283	0.0205	0.0357	0.0030	0.0185	0.0150
2008	0.0220	0.0200	0.0327	0.0100	0.0150	0.0155
2009	0.0230	0.0170	0.0353	0.0098	0.0160	0.0160
2010	0.0220	0.0223	0.0315	0.0060	0.0148	0.0190
2011	0.0195	0.0205	0.0325	0.0050	0.0150	0.0182

을 알 수 있었고, NIR 밴드와 SW 밴드는 2006년에 각각 0.0397, 0.435로 최고치에 달한다. Case 2는 Croplands로 Table 1. 과 Fig. 6(b)에서 확인할 수 있으며 case 1과 비교하여 전체적으로 낮은 알베도 값을 가지지만 case 1과 마찬가지로 NIR 밴드와 VIS 밴드가 반대의 경향을 보인다. 2002, 2006, 2007년에 NIR 밴드의 알베도 값이 0.01, 0.003, 0.003으로 낮은 값을 가지고 VIS 밴드의 값이 0.0173, 0.0175, 0.0185로 높은 값을 가져 식생이 악화되었음을 감지하였고 2010년 이후로도 식생이 악화되고 있음을 확인하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 2001년에서 2011년까지 MODIS 센서로부터 취득된 Albedo 16-Day 자료를 이용하여 동북아시아 지역의 토지피복 별 광대역 밴드 알베도 변화를 분석하였다. 11년간의 알베도 변화 경향은 NIR, VIS, SW 밴드 별로 일정한 패턴을 보였으며 식생 상태에 따라 주기적인 증감의 반복을 확인할 수 있었다. 또한 2011년과 2002년의 알베도 값 차이로 식생의 악화가 감지되는 지역(case 1 - 고비사막 부근, case 2 - 만주지역)을 세부 연구영역으로 선정해 그 최소값을 보았다. 고비사막 부근의 경우 2003년과 2006년에 식생이 활발했으나 2010년 이후로 식생이 악화되고 있음을 보였다. 만주지역의 경우는 2002, 2006, 2007년에 식생이 악화

되었으며 2010년 이후에도 악화되고 있음을 감지하였다. 연구 지역이 포함된 동아시아는 기후 변화의 척도이며 중국의 산업화의 영향을 많이 받는 지역이기도 하다. 따라서 동아시아의 토지피복 별 광대역 알베도 변화 경향을 분석함으로써 향후 기후 예측의 기초자료로서 활용될 것으로 기대된다. 본 연구는 2001년 상반기 자료에 missing data가 다수 존재하여 향후 연구에서는 겨울철 구름이나 적설의 영향을 더 고려하고 Quality Control과 자료의 Filtering을 통해 연구를 수행할 필요가 있다. 보조자료로 이용된 MODIS Global Land Cover는 2001년에 제공된 자료로 연구의 정확도 향상을 위해 최신의 자료를 이용할 필요가 있다. 세부 연구영역이었던 고비사막 부근과 만주지역은 향후 기후와 관련된 연구에서 관심 대상으로 주목될 것으로 사료되며 식생 및 기후와 관련된 다양한 변수를 이용하여 더 심도 깊은 연구가 수행되어야 할 필요성이 있다.

사 사

이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 2012-2066)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

김상일, 한정수, 피경진, 2011. 무감독분류 기법을 이용

- 한 동아시아지역의 식생변화 경향분석: 1999~2010 NDVI 10-Day 자료를 바탕으로, 한국지형공간정보학회지, 19(4): 153-159.
- 염종민, 한경수, 김영섭, 2005. 한반도 식생에 대한 MODIS 250 m 자료의 BRDF 효과에 대한 반사도 정규화, 대한원격탐사학회지, 21(6): 445-456.
- 이권호, 홍천상, 김영준, 2004. MODIS와 TOMS 자료를 이용한 2001년 동북아시아 지역의 대기 에어로졸 모니터링, 대한원격탐사학회지, 20(2): 77-89.
- 피경진, 한경수, 박수재, 2009. 동아시아의 황사발원지들에 대한 토지피복 비교 연구: 고비사막과 만주, 대한원격탐사학회지, 25(2): 175-184.
- Dirmeyer, P.A. and J. Shukla, 1994. Albedo as a modulator of climate response to tropical deforestation, *Journal of Geophysical Research*, 99(D10): 20,863-20,877.
- Gao, W., Q. Lu, Z. Gao, W. Wud, B. Duf, and J. Slusser, 2006. Analysis of temporal variations of surface Albedo from MODIS. *Proc. of 2006 SPIE*, San Diego, CA, Aug. 25-Sep. vol. 6298, pp. 62981G-1 - 62981G-7.
- Geiger, B., D. Carrer, L. Franchisteguy, J.-L. Roujean, and C. Meurey, 2011. The EUMETSAT Satellite Application Facility on Land Surface Analysis(LSA SAF) Product Use Manual Land Surface Albedo, Products: LSA-01(MDAL), LSA-02(MTAL), LSA-03(ETAL).
- Liang, S., A.H. Strahler, and C. Walthall, 1998. Retrieval of land surface albedo from satellite observations: A simulation study, *Journal of Applied Meteorology*, 38: 712-725.
- Liang, S., 2000. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I. Algorithms, *Remote Sensing of Environment*, 76: 213-238.
- Liang, S., C.J. Shuey, A.L. Russ, H. Fang, M. Chen, C.L. Walthall, C.S.T. Daughtry, and R. Hunt Jr., 2002. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo II. Validation, *Remote Sensing of Environment*, 84: 25-41.
- Loarie, S.R., D.B. Lobell, G.P. Asner, and C.B. Field, 2010. Land-cover and surface water change drive large albedo increases in South America, *Earth Interactions*, 15(7): 1-15.
- Ridgwell, A., J.S. Singarayer, A.M. Hetherington, and P.J. Valdes, 2009. Tackling regional climate change by leaf albedo bio-geoengineering, *Current Biology*, 19: 146-150.
- Strahler, A.H., W. Wanner, C.B. Schaaf, X. Li, B. Hu, J.-P. Muller, P. Lewis, and M.J. Barnsley, 1999. MODIS BRDF/Albedo Product: Algorithm Theoretical Basis Document Version 4.0, MODIS Product ID: MOD43.
- Wang, S. and A. Davidson, 2007. Impact of climate variations on surface albedo of a temperate grassland, *Agricultural and Forest Meteorology*, 142: 133-142.
- Wei, X., A.N. Hahmann, R.E. Dickinson, Z.-L. Yang, X. Zeng, K.J. Schaudt, C.B. Schaaf, and N. Strugnell, 2001. Comparison of albedos computed by land surface models and evaluation against remotely sensed data, *Journal of Geophysical Research*, 106(D18): 20,687-20,702.
- Wielicki, B.A., T. Wong, N. Loeb, P. Minnis, K. Priestley, and R. Kandel, 2005. Changes in Earth's albedo measured by satellite, *Science*, 308(5723): 825.
- Zhou, L., R.E. Dickinson, Y. Tian, X. Zeng, Y. Dai, Z.-L. Yang, C.B. Schaaf, F. Gao, Y. Jin, A. Strahler, R.B. Myneni, H. Yu, W. Wu, and M. Shaikh, 2003. Comparison of seasonal and spatial variations of albedos from Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) and Common Land Model, *Journal of Geophysical Research*, 108(D15): 15-1-20.