

Article

후쿠시마 제1 원전 주변 지역의 KOMPSAT-3/3A 영상 기반 지표반사도 적용 식생지수 변화

이지현 ¹⁾ · 이주선 ²⁾ · 김광섭 ³⁾ · 이기원 ⁴⁾†

Change of NDVI by Surface Reflectance Based on KOMPSAT-3/3A Images at a Zone Around the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant

Jihyun Lee ¹⁾ · Juseon Lee ²⁾ · Kwangseob Kim ³⁾ · Kiwon Lee ⁴⁾†

Abstract: Using multi-temporal KOMPSAT-3/3A high-resolution satellite images, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for the area around the Fukushima daiichi nuclear power plant was determined, and the pattern of vegetation changes was analyzed. To calculate the NDVI, surface reflectance from the KOMPSAT-3/3A satellite image was used. Satellite images from four years were used, and the zones where the images overlap was designated as the area of interest (AOI) for the study, and by setting a profile passing through highly vegetated area as a data analysis method, the changes by year were examined. In addition, random points were extracted within the AOI and displayed as a box plot to quantitatively indicate change of NDVI distribution pattern. The main results of this study showed that the NDVI in 2014 was low within AOI in the vicinity of the nuclear power plant, but vegetated area continued to expand until 2021. These results were also confirmed in the change monitoring results shown in a profile or box plot. In disaster areas where access is restricted, such as the Fukushima nuclear power plant area, where it is difficult to collect field data, obtaining land cover classification products with high accuracy using satellite images is challenging, so it is appropriate to analyze them using primary outputs such as vegetation indices obtained from high-resolution satellite imagery. It is necessary to establish an international cooperation system for jointly utilizing satellite images. Meanwhile, to periodically monitor environmental changes in neighboring countries that may affect the Korean peninsula, it is necessary to establish utilization models and systems using high-resolution satellite images.

Key Words: KOMPSAT-3/3A, Fukushima Nuclear Power Plant, NDVI, Surface Reflectance

Received November 6, 2021; Revised November 18, 2021; Accepted November 30, 2021; Published online December 7, 2021

¹⁾ 한성대학교 기계전자공학부 학부생 (Undergraduate Student, Division of Mechanical and Electronics Engineering, Hansung University)

²⁾ 한성대학교 기계전자공학부 학부생 (Undergraduate Student, Division of Mechanical and Electronics Engineering, Hansung University)

³⁾ 한성대학교 전자정보공학과 시간강사 (Part-time Lecturer, Department of Electronics and Information Engineering, Hansung University)

⁴⁾ 한성대학교 전자정보공학과 정교수 (Professor, Department of Electronics and Information Engineering, Hansung University)

† Corresponding Author: Kiwon Lee (kilee@hansung.ac.kr)

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

요약: 다중 시기 KOMPSAT-3/3A 고해상도 위성영상을 이용하여 후쿠시마 제1 원자력 발전소 주변 지역에 대한 식생지수를 산출하고 식생 변화의 양상을 분석하였다. 식생지수 산출 시에는 KOMPSAT-3/3A 위성영상의 지표반사도를 사용하였다. 4개 연도의 위성영상을 사용하였으며 이 영상이 중첩되는 지역을 연구의 대상이 되는 관심영역으로 정하였다. 자료 분석 방법으로 주로 식생이 분포하는 지역을 지나가는 축선을 설정하여 연도별 변화 양상을 살펴보았다. 또한, 2차원 공간상의 식생지수의 변화를 정량적으로 나타내기 위하여 관심영역 내에서 랜덤 포인트를 추출하여 상자그림으로 나타내었다. 연구의 주요 결과는 원전 인근 지역에서 2014년 식생지수는 관심영역 내에서 낮은 값으로 나타났지만 이후 2021년까지 지속해서 식생이 발달하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 축선이나 상자그림으로 나타난 변화 모니터링 결과에서도 확인할 수 있었다. 현장 자료를 수집하기 어려운 후쿠시마 원전 지역과 같이 접근이 제한되는 재난 지역에서는 위성영상을 이용하여 높은 정확도를 갖는 토지 피복 분류 산출물을 얻기가 어렵기 때문에 고해상도 위성영상 정보부터 얻는 식생지수와 같이 기본적인 산출물을 이용하여 분석하는 방식이 적절하다. 한편 국제적으로 공동 활용이 가능한 위성 정보 자원의 활용 체계 구축과 함께 우리나라에 영향을 줄 수 있는 주변국의 환경 변화를 주기적으로 모니터링하기 위하여 고해상도 위성영상을 이용한 활용 모델과 시스템을 구축할 필요가 있다.

1. 서론

2011년 3월 11일 일본 도호쿠 지방에서 발생한 동일본 지진과 지진 해일로 인하여 발생한 후쿠시마 제1 원자력 발전소 사고 이후로 계속 원자로에서 방사성 물질이 공기 중으로 누출되고 있어 발전소 인근 지대의 방사능 오염이 심각한 상황이다. 또한, 빗물과 지하수에 의해 방사능 오염수가 태평양 바다로 계속 유출되고 있다.

방사선 누출에 의한 오염 지역은 현장 자료의 수집하기 어렵기 때문에 고해상도 위성영상의 활용이 더욱더 필요하지만, 실제 이러한 지역에 대한 연구는 많지 않고 그동안 발표된 대부분의 연구는 Landsat이나 MODIS와 같은 중저 해상도 위성영상을 이용하였다. 이 연구는 KOMPSAT-3/3A 위성영상을 이용하여 후쿠시마 제1 원자력 발전소 주변 지역의 식생지수(Normalized Difference Vegetation Index: NDVI)의 시계열 변화 분석을 통하여 방사성 물질로 인한 식생의 변화를 확인하고자 하였다.

Modzelewska *et al.* (2013)은 체르노빌 원전 주변 지역에서 2002/2003년과 2010/2011년 Landsat TM 영상정보를 이용한 식생 분포의 변화를 분석하였는데, 사고 발생 이후 방사성 물질에 의하여 오염된 식생의 퇴화 현상이 뚜렷하게 나타나지 않는다고 하였다. Sekizawaa *et al.* (2015)는 MODIS 영상정보를 이용하여 후쿠시마 원전 주변 20 km 내에서 주민 대피와 경작 포기에 따라 자연 식생의 재생이 되고 있다는 결과를 제시하면서 이에

다른 경제적 손실을 추정하였다. Ishihara and Tadono (2017)은 Landsat-8 OLI 영상정보를 이용하여 2013년-2015년 도호쿠 지방의 토지이용 및 토지피복도(Land Use and Land Cover Map: LULC)를 작성하면서 재난의 장기적 영향을 평가하기 위해 위성정보를 활용하여 지속적인 LULC 변화 모니터링의 필요성을 강조하였다. Yamaguchi *et al.* (2017)은 후쿠시마 원전 주변의 토양과 농작물에 대한 137CS 방사능 오염 상태를 조사하여 제염 노력에도 불구하고 방사성 물질이 계속 잔류하고 있다고 하면서 농작물과 토양뿐만 아니라 산림에 대하여 각각 지속해서 연구할 주제를 정리하였다. Gemitzi (2020)은 체르노빌 원전 지역에 대하여 2000년부터 2020년까지 수집한 MODIS 위성영상으로 NDVI를 산출하여 재난 발생 지역 매 30 Km마다 식물 생태를 분석하였는데 30Km까지는 식물 생산성이 왕성하게 나타났지만, 이 범위 이후부터는 감소하게 된다고 하였다. Çolak *et al.* (2021)은 Google Earth Engine에서 제공하는 Sentinel-1/2 식생지수를 적용하여 터키 시노프 지역의 신설 예정인 원자력 발전소 인근 지역의 생태계 변화에 따른 토지피복 변화 탐지에 대한 연구를 수행하였다.

후쿠시마 지역에 대한 육상에서의 방사성 물질의 장기 관찰을 위한 연구(Saito *et al.*, 2019)와 함께 해양이나 대기 환경에 대한 장 주기 모니터링의 필요성도 최근에 부각되기 시작하였다(Hirose, 2020; Lu *et al.*, 2021). Seki *et al.* (2021)은 후쿠시마 제1 원전 재난의 영향 완화를 위한 대책의 평가와 이행을 위해 여러 기관이 축적한 환경 모

니터링 자료를 수집하고 같은 규격의 형식으로 변환하고 분류한 뒤, 공간이나 시간 조건으로 환경 정보를 감시하는 웹 기반 데이터베이스 시스템을 구축하였으나 위성정보를 활용한 정보는 포함하지 않았다.

이처럼 후쿠시마 원전 주변 지역에 대하여 여러 가지 방식으로 연구와 조사가 이루어지고 있으나 아직 공간 해상도 3 m 이하의 다중 분광 고해상도 위성영상을 가지고 수행된 연구는 발표된 경우가 없다. 따라서 이 연구는 KOMPSAT-3/3A 위성영상을 이용하여 지표반사도를 산출하고 이를 적용한 식생지수 분포도로부터 여러 시기의 식생 변화 양상을 분석해 보고자 하였다.

2. 처리 방법과 자료

이 연구는 NDVI 식생지수를 연구 산출물로 처리하고자 한다. USGS에서는 Landsat 영상의 지표반사도로부터 산출한 9개 유형의 식생지수를 주요 Level-2 산출물로 제작하여 배포하고 있으며 센서 별 지수의 산출 방식에 대한 연구도 지속하고 있다(Landsat Surface Reflectance-derived Spectral Indices). 그러나 이러한 계량화된 식생지수 들을 적용하여 후쿠시마 지역에서 식생 변화 모니

터링 목적으로 수행된 연구 사례는 아직 발표된 경우가 없다.

Fig. 1은 연구 지역을 나타낸 것이다. 같은 일시의 연도별 자료를 처리하고자 하였으나 이 지역을 촬영한 KOMPSAT-3/3A 위성영상이 많지 않았고 촬영 영상이 있는 경우에도 구름이 많아서 연구에 적용할 수 있는 자료는 더욱 한정되었다. 연구에 사용한 자료는 KOMPSAT-3/3A L1G 번들 위성영상으로 2014년 4월, 2016년 5월, 2019년 5월, 2021년 4월 자료이다(Table 1). 각 시기 영상에 대한 촬영 일시의 온도와 Aerosol Optical Thickness (550 nm), Water Vapor Amount, Ozone Amount, Pressure등과 같은 대기 조건 값은 지표반사도 산출을 위한 입력 자료로 적용되었다. 입력 자료인 대기 데이터는 NASA에서 운영하고 있는 AErosol RObotic NETwork (AERONET)(<https://aeronet.gsfc.nasa.gov/>)의 AOD Version 3 데이터로 연구 지역과 가장 근접한 Chiba University (35.625 N, 140.104 E) 사이트 값을 적용하였다. 2014년 영상 촬영 일자에는 AERONET 자료가 없었기 때문에 OTB에서 제공하는 기본 설정 값을 사용했지만 나머지 3개 영상은 모두 촬영 일자의 AERONET 자료를 적용하였다.

Fig. 2는 이 연구의 처리 과정을 정리한 것이다. 다중

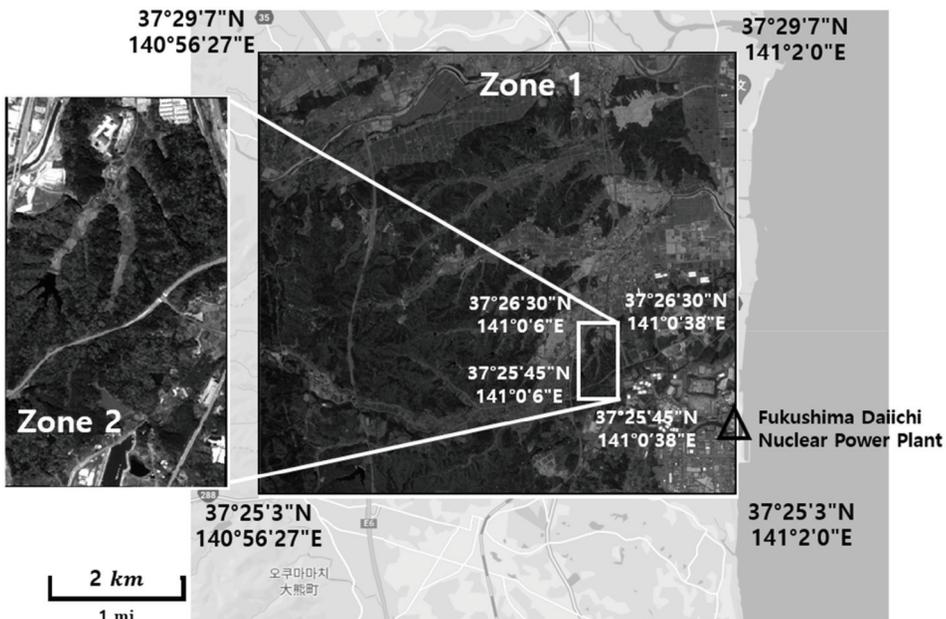


Fig. 1. The study zones around the Fukushima daiichi nuclear power plant on OpenStreetMap as basemap and KOMPSAT-3/3A image.

Table 1. KOMPSAT-3/3A image sets used in this study, and atmospheric condition data on the image acquisition date

	Date	Time	Temperature [Co]	Aerosol Optical Depth (550 nm)	Water Vapor Amount [g/cm ²]	Ozone Amount [Dobson]	Pressure [hPa]
K3	2014-04-26	03:27:49	8	0.200	2.500	0.200	1030
K3	2016-05-22	03:24:55	13	0.405	1.487	0.336	1030
K3A	2019-05-04	03:31:42	13	0.252	1.865	0.339	1030
K3	2021-04-23	03:45:44	5	0.116	0.518	0.340	1030

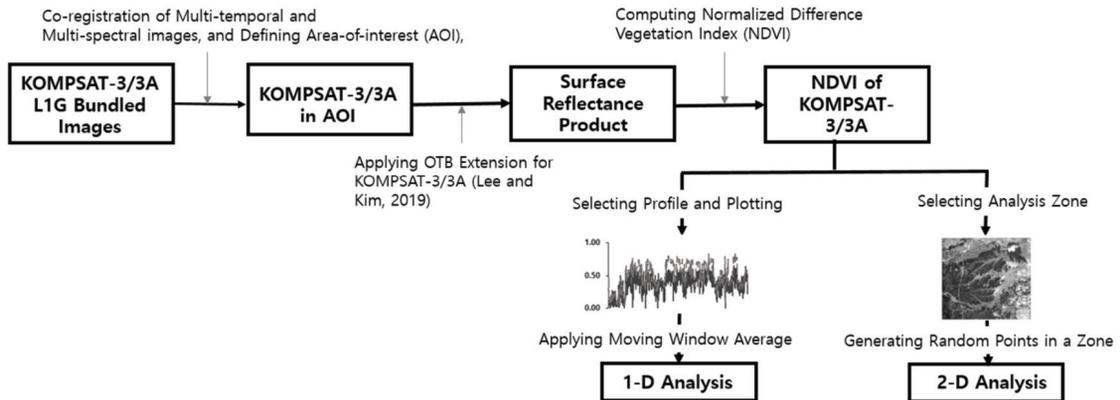


Fig. 2. Work processes for analysis of NDVI change.

시기 영상을 정위치 편집하였고 이러한 영상들의 중복 지역을 확인하여 관심영역(Area-of-Interest: AOI)으로 설정하였다. 이후 AOI 영상은 Lee and Kim (2019)에서 개발한 OTB Extension for KOMPSAT-3/3A 도구를 이용하여 지표반사도 영상으로 변환하였다. 이 연구에서 사용한 OTB Extension for KOMPSAT-3/3A는 Kim and Lee (2020a), Kim and Lee (2020b)와 Lee and Kim (2020)에서 정확도 검증을 수행한 도구로서 정확도가 RadCal Net 포털(<https://www.radcalnet.org>)에서 제공하는 자료를 기준으로 5% 이내의 오차 범위를 갖는 도구이다. Lee *et al.* (2020)은 이 도구를 활용하여 KOMPSAT 위성 지표반사도를 추출하고 NDVI 처리 결과를 Google Earth Engine에서 산출한 Landsat 위성의 NDVI 결과와 비교하여 도심지역에서 KOMPSAT-3A 위성정보에 기반한 NDVI가 Landsat의 NDVI에 비하여 세부적인 식생 변화 양상을 잘 나타낸다고 하였다.

이 도구를 이용하여 산출한 지표반사도 영상 중에서 Red 밴드와 NIR 밴드를 이용하여 NDVI를 산출하였다. 이처럼 생성된 다중 시기 NDVI 산출물은 식생이 왕성한 지역을 대상으로 측선을 정하여 이동평균법(Moving Window Average)을 적용한 뒤에 변화 양상을 분석하

였고, 2D 공간에서의 시기별 NDVI 분포를 분석하기 위하여 Zone 1과 Zone 2 영역에 대한 랜덤 포인트(Random Points)를 추출하여 상자그림(Box Plot)을 생성하였다.

Fig. 1에 나타난 바와 같이 Zone 2 지역은 Zone 1 영역에 포함되는 세부 지역으로 원전에서 가까운 일부 인공 시설물이 있는 지역을 포함하면서 산림이 왕성한 지역이다. 원전에서부터 방사성 물질인 ¹³⁷CS이 NW 방향으로 확산하는 모델(Hirose, 2020)에 의하면 이 지역은 방사능 오염 심각도에 아주 높은 곳이다.

3. 처리 결과와 분석

Fig. 3은 KOMPSAT-3/3A 위성영상의 Red 밴드와 NIR 밴드에 대한 지표반사도를 이용하여 생성한 NDVI 결과와 참고자료를 나타낸 것이다. Fig. 3(a)는 연구에 사용된 4개 영상정보에 대한 Zone 1에 대한 결과이며 2014년부터 2021년까지 계속 식생이 발달하고 있는 것을 잘 나타내고 있다. 2014년 4월 자료의 경우에는 전체적인 낮은 식생지수 분포를 보이는데, 이러한 상태에 대한 정확한 분석은 별도의 추가 자료 등을 가지고 해석해야

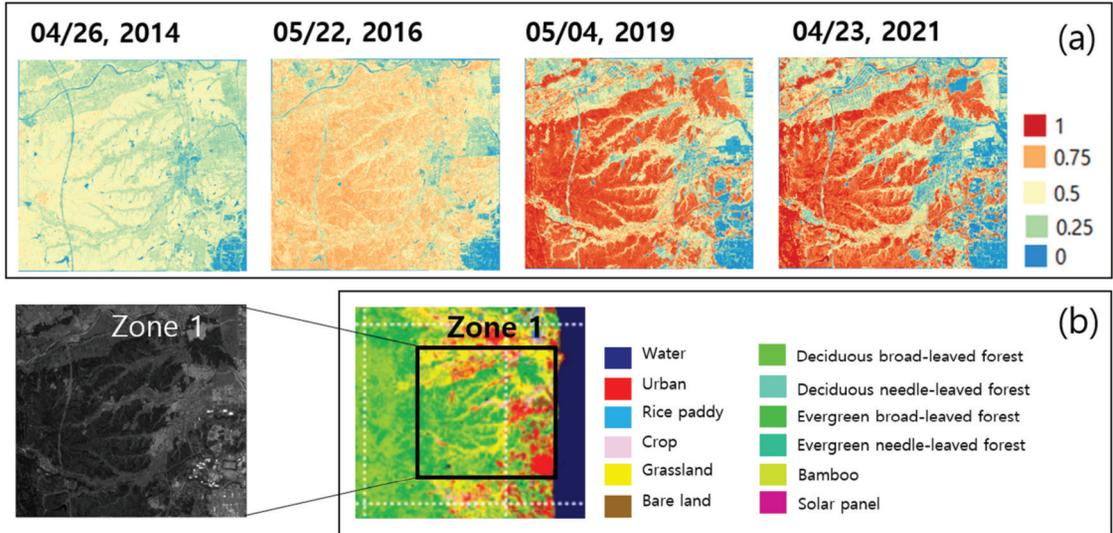


Fig. 3. (a) NDVI produced using KOMPSAT-3/3A image sets at the zone 1 and (b) land cover map provided by JAXA Earth Observation Research Center (EORC) with KOMPSAT-3 composite image on April 23, 2021.

하지만 이 결과만으로 보면 원전 사고가 발생한 초기 몇 년간은 식생에 좋지 않은 영향을 미친 결과라고 볼 수 있다. Fig. 3(b)는 일본 우주항공연구개발기구(Japan Aerospace eXploration Agency: JAXA)에서 제작하여 공개하는 일본 전역에 대한 토지이용 및 토지피복도(2018-2020 LULC (ver. 21.03)) 중에서 연구 지역에 해당하는 토지이용 및 피복 상태를 나타낸 것이다(https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/a/jp/dataset/lulc/gsimap_lulc_jp.htm). 참고로 이 자료는 ALOS Advanced Visible and Near Infrared Radiometer (AVNIR)-2, ALOS PRISM 5 m spacing Digital Surface Model (DSM), Suomi National Polar-orbiting Partnership (NPP) 등을 포함하는 8가지 입력자료를 가지고 Bayesian classifier with Kernel Density Estimation 기법을 적용하여 상록 침엽수림, 낙엽 활엽수림, 논 등을 포함한 12개의 분류 기준으로 생산한 결과이다(Homepage of High-Resolution Land Use and Land Cover Map Products). 여기서 제시한 분류 영상은 일본 전역을 대상으로 하는 LULC 지도에서 연구 지역을 발췌한 것으로 세부적으로 높은 정확도를 갖고 있지는 않지만 식생지수와 관련하여 해석한 몇 가지 특징은 다음과 같다. LULC 분류 영상에서 상록 침엽수림과 낙엽 활엽수림 지대로 분류된 범위는 0.75 이상의 식생지수를 나타내는 지역과 분포 범위나 양상이 거의 일치하고 있으며,

0.25 이하의 식생지수를 나타내는 지역은 나지와 인공 시설물 분포지역으로 분류된 범위에 대응하고 있는 것으로 나타났다. 또한 0.25에서 0.5까지의 식생지수 영역은 일부 작물재배지로 분류된 영역을 포함하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 이 LULC 자료와 2019년과 2021년 NDVI 결과는 시각적으로 상당히 잘 부합되는 것을 알 수 있다.

한편 Fig. 4는 Zone 1 내부에 설정한 Zone 2 영역(Fig. 1)의 측선에 따른 NDVI 비교 결과를 나타낸 것으로 실제 계산 값을 가지고 이동평균법을 적용하여 평활화 처리한 결과이다. 이 결과는 Fig. 3(a)에 나타난 식생 발달 양상을 다른 방식으로 나타낸 것이다. 단, 측선 b 지점 근처에서 2019년과 2021년 NDVI 값이 오히려 감소한 것으로 나타나는데, 이는 이 지점을 포함한 지역에서 오염(Decontamination)이나 벌채(Deforestation) 등과 같은 인간 활동이 증가한 결과라고 볼 수 있다.

Fig. 5와 Fig. 6은 각각 Zone 1과 Zone 2 영역에 대한 상자 그림을 나타낸 것이다. Zone 1 영역과 Zone 2 영역에서 각각 5,000개와 2,500개의 랜덤 포인트를 추출하여 상자 그림 작성에 적용하였다. 상자 그림에 나타난 결과도 모두 식생 발달 양상을 잘 나타내고 있다. 특히 2019년과 2021년 자료에서 상위 75% 지점(Third Quartile)의 값과 하위 25% 지점(First Quartile)의 값 차이를 나타내는 사분

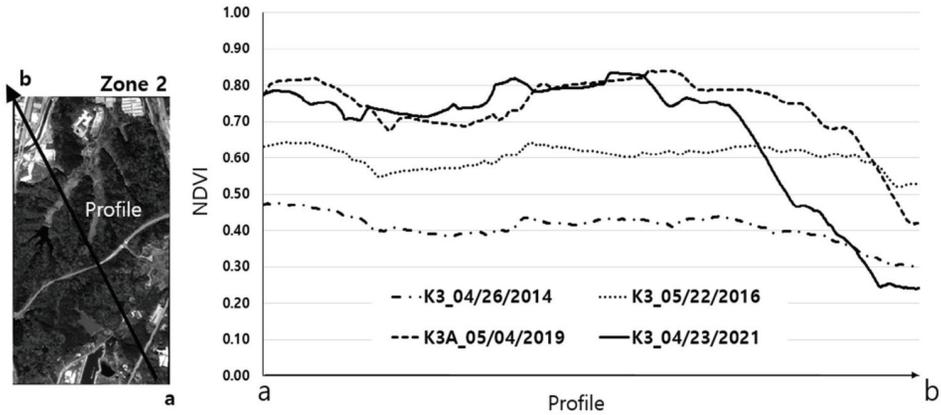


Fig. 4. NDVI change on a profile in the zone 2 on KOMPSAT-3 image on April 23, 2021.

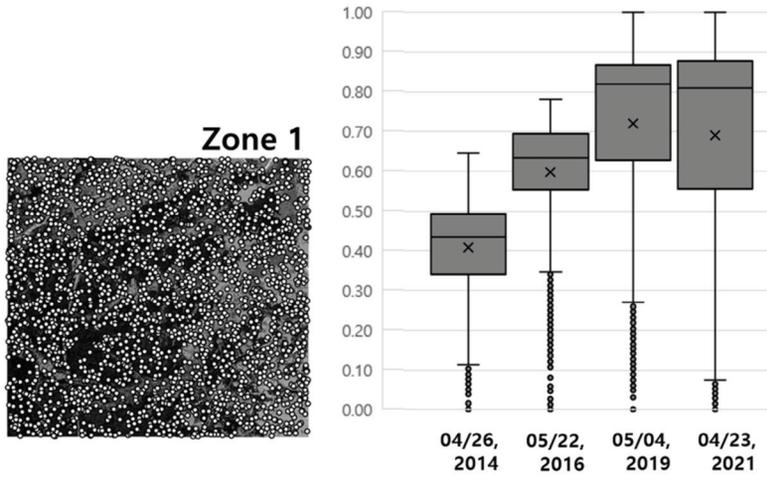


Fig. 5. Box plot using 5000 random points of NDVI in the zone 1.

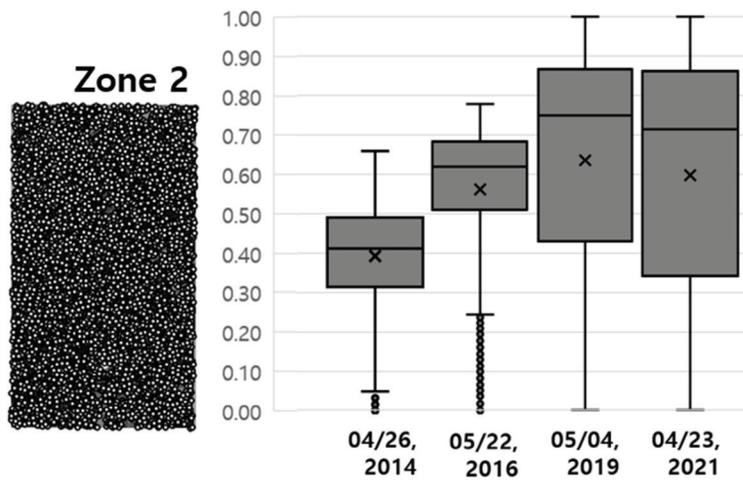


Fig. 6. Box plot using 2500 random points of NDVI in the zone 2.

범위(Inter Quartile Range: IQR)가 넓게 나타난다. 이는 2014년 자료에서는 식생지수 값이 대체적으로 낮은 값으로 분포하면서 큰 변화 없이 나타났지만(Fig. 3(a)), 2019년과 2021년 NDVI 결과는 식생 발달 정도가 낮은 지역과 높은 NDVI 값을 갖는 식생 발달이 왕성한 지역이 골고루 분포하는 양상을 나타낸 것으로 해석할 수 있다.

4. 결론

국제적 규모의 사회 문제 해결을 위하여 주요 이슈 지역에 대하여 KOMPSAT-3/3A 고해상도 위성영상 정보를 적용하는 연구가 이루어져야 한다. 다중 시기 KOMPSAT-3/3A 위성영상을 이용하여 국제적인 관심 지역인 후쿠시마 제1 원자력 발전소 주변 지역에 대한 NDVI를 산출하고 식생 변화의 양상을 분석하였다. 그동안 원전 사고 발생 주변 지역의 식생 변화 모니터링에 Landsat이나 MODIS와 같은 중, 저 해상도 위성영상을 주로 사용했기 때문에 장기간에 걸친 광역적 분포 특성을 파악하는 연구가 주로 이루어졌다. 이 연구는 고해상도 위성영상을 적용하여 정밀 분석이 가능하다. 주요 연구 결과는 원전 인근 지역에서 2014년 NDVI는 낮은 값으로 나타났는데 이후 2021년까지 지속해서 식생이 발달하고 있는 것으로 나타났다. 이는 인간 활동의 축소에 따른 결과라고 볼 수 있다. 자료 분석 방법으로는 식생이 주로 분포하는 지역을 대상으로 축선을 설정하여 연도별 변화 양상을 살펴보았으며 2차원 공간상의 변화를 정량적으로 나타내기 위하여 랜덤 포인트를 추출하여 상자그림으로 NDVI 변화를 나타내고자 하였다. 축선이나 상자그림으로 나타낸 변화 모니터링 결과는 식생이 발달하고 있는 양상을 잘 나타내고 있다. 후쿠시마 원전 지역과 같이 현장 자료를 수집하기 어려운 경우에는 위성영상을 이용한 정확도를 검증할 수 있는 분류 작업이 어려우므로 NDVI와 같이 기본적인 산출물을 이용하여 분석하는 방식이 적절하며 특히 고해상도 위성영상을 적용하는 경우에는 더욱 효과적인 결과를 얻을 수 있다. 또한 우리나라에 영향을 줄 수 있는 주변국의 환경 변화를 주기적으로 모니터링하기 위하여 고해상도 위성영상을 이용한 활용 모델과 시스템을 구축할 필요가 있다. 이와 함께 국제적으로 공동 활용

이 가능한 위성정보 자원을 활용하는 체계를 구축하고 공통 관심지역 지정 등을 통하여 자료 획득이 선행되어야 할 필요가 있다.

사사

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2021R1F1A1045923).

References

- Çolak, E., M. Chandra, and F. Sunar, 2021. The Use of Sentinel 1/2 Vegetation Indexes with GEE Time Series Data in Detecting Land Cover Changes in the Sinop Nuclear Power Plant Construction Site. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43: 701-706.
- Gemitzi, A., 2020. Are Vegetation Dynamics Impacted from a Nuclear Disaster? The Case of Chernobyl Using Remotely Sensed NDVI and Land Cover Data, *Land*, 9: 433.
- Hirose, K., 2020. Atmospheric effects of Fukushima nuclear accident: A review from a sight of atmospheric monitoring, *Journal of Environmental Radioactivity*, 218: 106240.
- Homepage of High-Resolution Land Use and Land Cover Map Products, https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/lulc/lulc_jpn.htm, Accessed on Oct. 20, 2021.
- Ishihara, M. and T. Tadono, 2017. Land Cover Changes Induced by the Great East Japan Earthquake in 2011, *Scientific Reports*, 7: 45769.
- Kim, K. and K. Lee, 2020a. Validation of Surface Reflectance Product of KOMPSAT-3A Image Data Application of RadCalNet Baotou (BTCN) Data, *Korean Journal of Remote Sensing*, 36(6-2): 1509-1521 (in Korean with English abstract).

- Kim, K. and K. Lee, 2020b. A Validation Experiment of the Reflectance Products of KOMPSAT-3A Based on RadCalNet Data and Its Applicability to Vegetation Indexing, *Remote Sensing*, 12: 3971.
- Landsat Surface Reflectance-derived Spectral Indices, https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/Landsat/Landsat-surface-reflectance-derived-spectral-indices?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con, Accessed on Oct. 20, 2021.
- Lee, K. and K. Kim, 2019. An Experiment for Surface Reflectance Image Generation of KOMPSAT 3A Image Data by Open Source Implementation, *Korean Journal of Remote Sensing*, 35(6-4): 1327-1339 (in Korean with English abstract).
- Lee, K. and K. Kim, 2020. Validation of Surface Reflectance Product of KOMPSAT-3A Image Data Using RadCalNet Data, *Korean Journal of Remote Sensing*, 36(2-1): 167-178 (in Korean with English abstract).
- Lee, K., K. Kim, S. Lee, and Y. Kim, 2020. Determination of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) with Top-of-Canopy (TOC) Reflectance from a KOMPSAT-3A Image Using Orfeo ToolBox (OTB) Extension, *International Journal of Geo-Information*, 9(4): 257.
- Lu, Y., J. Yuan, D. Du, B. Sun, and X. Yi, 2021. Monitoring Long-term Ecological Impacts from Release of Fukushima Radiation Water into Ocean, *Geography and Sustainability*, 2: 95-98.
- Modzelewska, A., A. Jarocinska, P. Pochrybniak, and M. Mostowski, 2013. The Vegetation Condition Changes near Chernobyl based on Landsat TM, *Proc. of 33rd EARSeL Symposium*, Matera, ITA, Jun. 3-6, pp. 632-640.
- Saito, K., S. Mikami, M. Andoh, N. Matsuda, S. Kinase, S. Tsuda, T. Sato, A. Seki, Y. Sanada, H.W.-Murakami, K. Yoshimura, H. Takemiya, J. Takahashi, H. Kato, and Y. Onda, 2019. Temporal Change in Radiological Environments on Land after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident, *Journal of Radiation Protection and Research*, 44(4): 128-148.
- Sekizawa, R., K. Ichii, and M. Kondo, 2015. Satellite-based Detection of Evacuation-induced Land Cover Changes Following the Fukushima Daiichi Nuclear Disaster, *Remote Sensing Letters*, 6(11): 824-833.
- Seki, A., K. Saito, and H. Takemiya, 2021. Current Status of the Environmental Monitoring Database on the Accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, *Journal of Radiological Protection*, 41(3): S89.
- Yamaguchi, N., I. Taniyama, T. Kimura, K. Yoshioka, and M. Saito, 2016. Contamination of Agricultural Products and Soils with Radiocesium Derived from the Accident at TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: Monitoring, Case studies and Countermeasures, *Soil Science and Plant Nutrition*, 62(3): 303-314.