한국지형공간정보학회
(Journal of the Korean Society for Geospatial Information System)
Vol.21 No.2 June 2013 pp.85-92

ISSN: 1598-2955 (Print)
ISSN: 2287-6693(Online)
http://dx.doi.org/10.7319/kogsis.2013.21.2.085

연구논문

GOSAT을 활용한 이산화탄소 분포 특성 분석 : 동북아시아를 사례로

Analysis of CO_2 Distribution Properties Using GOSAT : a Case Study of North-East Asia

최진호* · 엄정섭**
Choi, Jin Ho · Um, Jung Sup

要 旨

본 연구에서는 GOSAT으로부터 측정된 이산화탄소 농도와 이산화탄소의 분포에 영향을 미치는 토지피복, 식생지수 등을 GIS 공간분석기법과 연계하여 동북아시아 지역 이산화탄소의 공간적 분포 특성을 규명하였다. 그 결과 이산화탄소의 공간적 분포는 그 주변지역의 토지이용현황에 따라 그 패턴을 달리한다는 사실을 가시적으로 확인할 수 있었으며 이산화탄소는 도시와 같은 개발지에서 높은 농도대를 형성하는 반면 산림지역에서는 낮게 나타나고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 이산화탄소와 식생 간에는 통계적으로 유의한 수준에서 비교적 높은 부(-)의 상관관계가 존재함을 확인할 수 있었다. 이는 향후 온실가스 저감 대책 및 완화를 위한 계획 수립에 있어 그 기초자료로 활용되어 질 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : GOSAT, 이산화탄소, 기후변화, 동북아시아, 지리정보시스템

Abstract

This study determined the spatial distribution characteristics of carbon dioxide in Northeast Asia, connecting land coverage and vegetation index that have influence on concentration and distribution of carbon dioxide measured by GOSAT with GIS spatial analysis method. The results visibly showed that the spatial distribution of carbon dioxide had different patterns in dependent on the present status of land use in its surrounding area. Such high concentration of carbon dioxide was formed in developed sites like cities while forest areas showed low concentration of it. We also found that there were relatively high negative(-) correlations between carbon dioxide and vegetation, in statistically significant level. It is expected to be used as a basic data for establishing measures to reduce greenhouse gas in the future.

Keywords : GOSAT, CO_2, Climate Change, North-East Asia, GIS

1. 서 론

오늘날 지구온난화와 기후변화 문제가 점차 심각해짐에 따라 인간 활동이 지구 환경에 미치는 영향에 대한 관심이 한층 더 고조되는 한편 이러한 기후변화를 유발하는 이산화탄소에 대한 관심과 관련 연구가 증가하고 있다.

일반적으로 대기 중 이산화탄소를 연구하기 위해서는 지구 시스템의 탄소 순환에 대한 지식이 필요할 뿐만 아니라, 인위적 배출량, 흡수 및 배출량에 따른 이산화탄소의 분포 및 농도 변화에 대한 이해가 요구된다.

그 동안 이산화탄소를 비롯한 온실가스의 메커니즘 이해와 변동을 감시하는 과정은 세계기상기구(World Meterological Organization, WMO)에서 운영 중인 약 250여개의 지상 감시소에서 관측된 관측 결과를 바탕으로 진행오고 있다(WMO, 2009). 그러나 지상관측소의 관측소 자료를 바탕으로 이산화탄소의 변화 메커니즘은 완벽히 파악된 것이 아니다. 이는 현재 대기 중 이산화탄소 농도를 측정하고 운영하는 감시 시스템이 전 지구적으로 약 350여 곳에 불과하고 지역적으로 고정 관측지점에 설치되어 있기 때문에 공간적으로 독립된 위치와 속성을 가지고 있는 이산화탄소 농도의 광범위

2013년 4월 22일 접수, 2013년 6월 3일 채택

* 정회원 · 경북대학교 공간정보학과 박사과정(Member, Doctoral Student. Department of Spatial Information, Kyungpook National University, metalsea@knu.ac.kr)

** 교신저자 · 경북대학교 지리학과 교수(Corresponding author, Professor, Department of Geography, Kyungpook National University, jsaeum,@knu.ac.kr)

한 관찰이나 변수를 고려하기에는 많은 어려움이 있으며(Houghton *et al*, 1999), 내륙 관측소의 경우 계절에 따라 식생의 광합성 작용과 화석연료 사용에 따라 과소·과대평가의 측정 결과 차이도 발생하기 때문이다.

우리나라의 경우도 충남 태안군 안면도와 제주도 고산지역에 지구 대기감시 관측소를 운영 중에 있으나 이들 지상의 고정 관측 자료만으로는 이산화탄소를 효과적으로 분석하기에는 한계가 있다(Shim, 2010). 또한 이러한 문제점을 극복하기 위해서는 보다 많은 지상관측소 설치가 요구되나 이 과정에서 많은 인적·물적 자원이 요구되어 현실적으로 온실가스에 대한 기초 자료의 측정에 많은 어려움이 있다. 그러나 이와 같은 문제점의 인식과 연구의 필요성은 절감되면서 실질적 연구는 극히 부진하며 그 범위도 매우 한정적 이다.

최근 원격탐사기법의 발달은 그 동안 온실가스 관측에서의 시공간적 한계점을 극복할 수 있는 대안으로 제시되고 있다. 이러한 원격탐사 기술의 활용은 보다 광범위하고 동시적이며, 신속하게 이산화탄소의 특성 감시 및 분석을 가능하게 할 뿐만 아니라 예측까지도 가능하게 하였다. 또한 지리정보시스템(GIS: Geographic Information System)의 다양한 공간분석 기법의 적용을 통해 보다 체계적이고 효과적인 연구가 가능하게 되었다(Zhang, 2010; Yoo *et al*, 2011; Yan *et al*, 2013).

원격탐사기술을 이용한 온실가스 관측은 2009년 발사에 성공한 최초의 온실가스 측정 전용 위성인 GOSAT(Greenhouse gases Observing SATellite)의 활용이 대표적으로 GOSAT은 현존 위성 시스템 중 이산화탄소 성분을 관측하는데 가장 진일보한 것으로 평가되고 있으며, 이를 활용한 다양한 연구 사례와 함께 그 유용성이 인정되고 있다(Butz *et al*, 2011; Jacques and Henry, 2011; Choi and Um, 2012; Yang *et al*, 2012).

이러한 측면에서 GOSAT의 활용은 이산화탄소에 대한 공간적 분포와 그 특성을 이해하는 과정에서 그 동안 지상 관측시스템의 시공간적 한계점을 극복할 수 있는 대안으로 제시될 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 그 동안의 연구는 GOSAT 데이터의 검증 또는 단순 농도 추출에 국한되어 진행되어 왔기 때문에 이산화탄소의 흡수 및 배출에 영향을 주는 관련 인자와의 해석 등 이산화탄소의 분포특성을 이해할 수 있는 종합적 분석은 미진하였다.

이에 본 연구에서는 GOSAT을 활용하여 단순히 이산화탄소 농도만을 추출하는데 그 치지 않고 토피피복 및 식생지수의 분포 특성을 지형인자와 함께 종합적으로 분석함으로써 이사환탄소의 공간적 분포 특성을 해석하고자 한다.

2. 연구자료 및 방법

본 연구의 공간적 범위는 Fig. 1과 같이 동북아시아 지역 일대로 선정하였다. 연구 대상 지역은 최근 온도 증가율과 그 상승폭이 매우 커서 지구 온난화와 기후변화에 따른 영향이 가장 두드러지는 곳 중에 하나로 알려져 있다(Lal and Harasawa, 2001). 또한 최근에는 중국의 급속의 산업화와 발전으로 인해 발생된 온실가스를 비롯한 여러 대기오염물질이 연중 불어오는 서풍 계열 기류의 영향으로 한반도와 일본까지 영향을 미치고 있는 것으로 알려져 있어 한반도 지역의 온실가스 분포와 이와 관련 인자들의 해석하기 위해서는 한반도와 그 주변지역을 반드시 함께 고려해야 될 것으로 판단된다. 이에 따라 본 연구에서는 한반도, 일본, 중국을 중점으로 타이완, 몽골, 러시아 극동지역을 일부 포함하도록 하여 온실가스의 광역적 추세와 주변 지역의 영향을 함께 고려할 수 있도록 하였다.

연구는 크게 GOSAT의 이산화탄소 및 이와 관련된 인자들의 자료의 처리와 GIS 자료처리 및 공간분석으로 나누어 수행하였으며 그 과정은 Fig. 2와 같다.

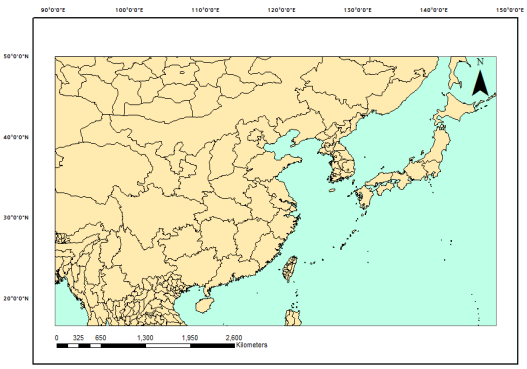

Figure 1. Study area

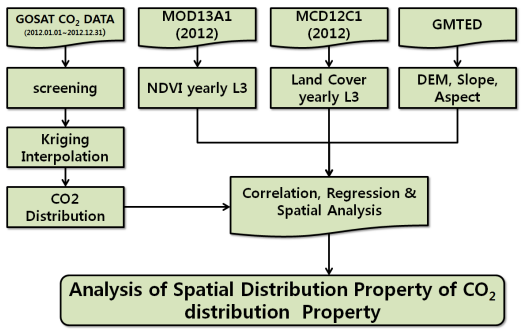

Figure 2. Flow chart

먼저 이산화탄소 측정 자료의 경우 2012년 1월1 일부터 2012년 12월 31일까지 측정된 동북아시아 지역의 이산화탄소 농도 측정 데이터를 바탕으로 'screening'이라고 불리는 자료처리 방법을 통해 연 평균화 하였으며 이 과정에서 왜도와 첨도를 기준으로 정상 값을 벗어나는 데이터를 제외하여 활용하는 전처리 과정을 거쳤다. 관련 인자들의 경우 연구 대상지의 크기와 GOSAT의 공간해상력을 고려하여 식생지수의 경우 MODIS MOD13A1을 연 평균화 하여 사용하였으며, 토지피복자료는 MODIS MCD12C1 IGBP(International Geoshpere-Biosphere Project)의 분류기준으로 총 17개의 토지피복분류 결과를 활용하였다. DEM 자료의 경우 GMTED(Global Multi-resolution Terrain Elevation Data)를 바탕으로 사면경사를 산출하여 이산화탄소 농도와 NDVI와의 종합적인 공간분석을 실시하였다.

3. GOSAT을 활용한 이산화탄소 농도 추출

GOSAT은 태양동기 궤도 위성으로 약 666km 고도에서 10.5*10.5km의 공간해상도의 이산화탄소 데이터를 취득하고 있다. 주기해상도는 3일 이며 평균 약 1%(4ppm)의 오차범위에서 이산화탄소를 측정하게 된다. 그러나 GOSAT은 대기를 투과해 온 빛의 흡수정도에 따라 이산화탄소를 측정하고 있기 때문에 측정 당시 기상조건에 따라 자료 복원 과정을 달리하고 있어, 전

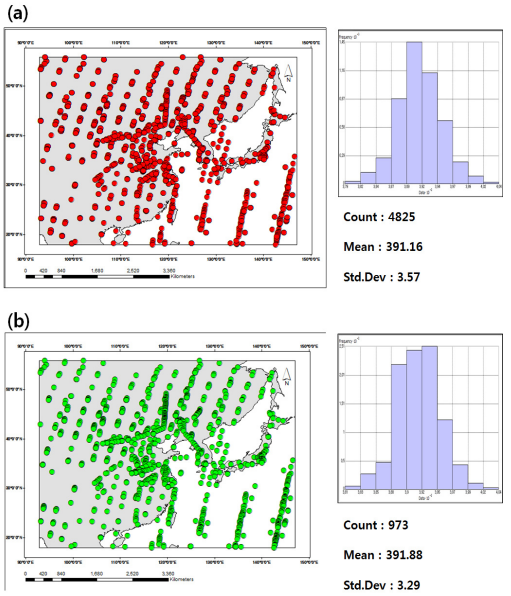

Figure 3. Result of screening (a) original data, (b) processed data

Table 1. Basic statistics of processed CO_2

Count	973
Min(ppm)	380.86
Max(ppm)	403.91
Mean(ppm)	391.88
Median(ppm)	391.83
Std.Dev	3.29
Skewness	0.03
Kurtosis	3.30

체 관측 자료의 약 10% 정도만 복원되고 있다. 따라서 GOSAT 이산화탄소 자료의 경우 공간적 관측 범위가 상당히 제한적이기 때문에 이를 활용하는 별도의 필터링 과정이 요구된다.

이를 위해 먼저 'screening'이라고 불리는 JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency)의 필터링 과정을 통해 Fig. 3과 같이 관측데이터의 보정하는 과정을 거쳤다.

필터링 된 이산화탄소 데이터의 일반 통계 값은 Table 1과 같다.

이산화탄소의 농도는 최소 380.86ppm에서 최대 403.91ppm으로 나타났으며, 평균값은 391.88ppm으로 분석되어 세계기상기구(WMO)에서 보고한 전 세계 평균 이산화탄소 평균농도인 386.8ppm에 비해 평균 5.08ppm 정도 높게 나타나고 있었다. 특히 일부지역에서는 최대 17.11ppm 이상의 차이를 보이고 있어 동북아시아 지역의 대기 중 이산화탄소 농도는 다른 지역에 비해 매우 높은 수준을 나타내고 있는 것으로 나타났다.

이산화탄소의 분포 양상은 왜도와 첨도가 각각 0.03, 3.30으로 대체로 표준정규분포의 형태를 보이고 있어, 동북아시아 지역의 전체적인 이산화탄소의 분포는 비교적 지역적 편중 없이 고르게 분포하고 있음을 알 수 있다.

이산화탄소의 공간적 분포 양상을 살펴보기 위해 XZ 평면과 YZ평면에 이산화탄소 농도 값을 산점도를 표현한 경향 분석(trend analysis) 결과, 동-서쪽 방향으로의 농도 변화는 미비한 반면, 남-북간의 방향에서는 북쪽에 비해 남쪽의 농도증가가 상대적으로 높아지는 모습을 볼 수 있다. 특히 이러한 경향은 동북아 3국의 주요 도시가 위치한 지역(북위 30~40°, 동경 110~140°)에서 나타나고 있었다(Fig. 4).

스크리닝 과정을 거친 이산화탄소 데이터는 결측값 보정을 위해 지구통계기법인 크리깅(kriging)기법을 적용하였다. GOSAT 데이터의 결측값 보정을 위한 크리깅 기법의 적용은 JAXA에서 전 지구적 이산화탄소 농도 분포를 관측하기 위한 방법으로 적용되고 있을 뿐만

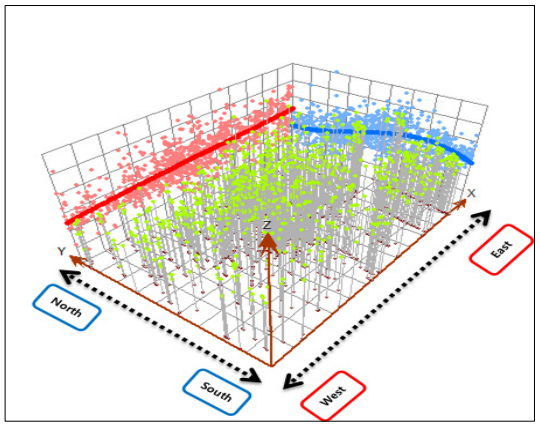

Figure 4. Trend Analyst of CO_2 Data

아니라 국내·외 선행연구에서도 그 기법의 효용성이 인정되고 있다(Tomosada *et al*, 2009, Choi and Um, 2011; Yang *et al*, 2011, Zengh *et al*, 2012).

이에 본 연구에서는 이산화탄소 데이터의 결측값 보정을 위해 크리깅 기법을 적용하였다. 크리깅 분석을 위한 자료의 공분산 값은 자료간 베리오그램 모델링 결과를 활용하였으며, 분리거리는 이웃한 점들 간의 평균거리(average nearest neighbor)를 바탕으로 설정하였고, 분리거리별 개수는 분리거리와 개수의 곱이 관측자료간 최대거리를 초과하지 않는 동시에 최대거리의 ½을 초과하는 범위에서 설정하였다. 이론적 베리오그램은 선행연구 결과와 실험적 베리오그램의 모델링 결과에 따라 가우시안 함수모델을 사용하였다(Fig. 5).

이에 따라 최종적으로 도출된 동북아시아 지역의 이산화탄소 분포는 Fig. 6과 같이 도출되었다. 이산화탄

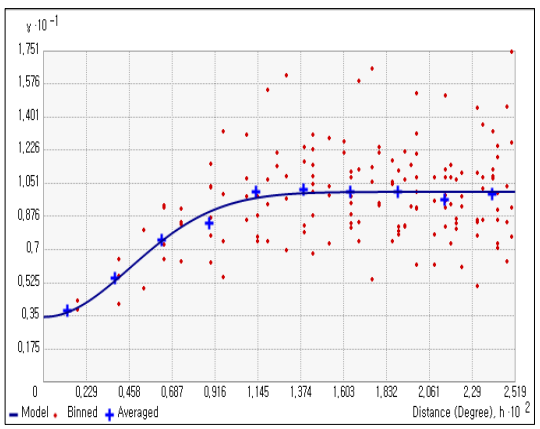

Figure 5. Gaussian variogram models fitted to the experimental variogram points

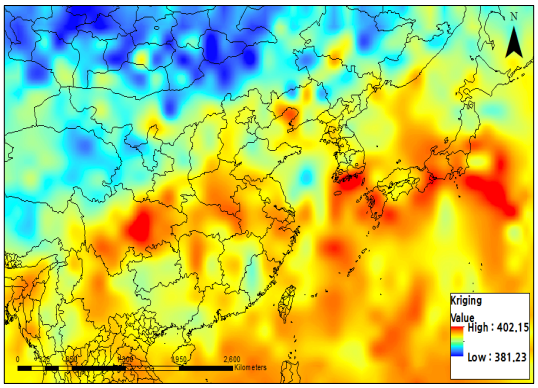

Figure 6. Kriging interpolation map of CO_2

소에 대한 전체적인 분포대를 살펴보면 중국의 경우 사천성(Sichuan)을 비롯한 동부 공업지대, 한반도의 경우 남부의 공업지대, 일본의 경우 태평양 연안의 도시공업지역이 비교적 높은 농도의 이산화탄소 분포대를 형성하고 있었다.

4. 이산화탄소 및 공간정보 분포 특성 분석

4.1 동북아시아 지역 공간정보 추출

동북아시아 지역의 이산화탄소 분포 특성을 보다 체계적으로 파악하기 위해 대상지역의 토지피복, 정규식생지수 및 고도, 사면경사, 사면방향과 같은 공간정보를 추출하여 분석하였다.

먼저 토지피복 분류는 한반도의 토지피복 연구와 지구규모의 연구에 활발하게 활용되고 있는 IGBP의 기준으로 분류하였으며, 이는 산림(상록침엽수림, 상록활엽수림, 낙엽침엽수림, 낙엽활엽수림, 혼합림), 관목·초지 및 습지(폐쇄형 관목지, 개방형 관목지, 수목이 우거진 사바나, 사바나, 초지, 영구습지), 개발지 및 혼합지(농업지, 농작물 및 자연식생 혼합지, 도시), 비식생 지역(나대지, 수계, 설빙)으로 구분된다. 연구지역 총 면적 19,309,650㎢ 중 전술된 각각의 피복별 면적은 Table 2와 같다. 연구지역에서 가장 많은 부분을 차지하는 피복은 수계로 약 8,148,000㎢을 차지하고 있으며, 다음으로 초지 3,393,300㎢, 혼합림 2,218,800㎢, 농업지 1,801,700㎢의 순으로 높은 비율을 차지하고 있었다. 반면 낙엽활엽수림은 200㎢으로 가장 낮은 비율로 나타나고 있었고, 사바나 900㎢, 폐쇄형 관목지 12,800㎢의 순으로 적은 비율을 차지하고 있었다.

이러한 동북아시아지역 토지피복의 공간적 분포 양상은 Fig. 7과 같이 분석되었으며, 초지는 내 몽골 지역

Table 2. Results of land cover (unit: 1,000㎢)

Class	Area
water	8148.0
evergreen needeleaf forest	24.6
evergreen broadleaf forest	754.6
deciduous needeleaf forest	0.2
deciduous broadleaf forest	94.3
mixed forest	2218.8
closed shrublands	12.8
open shrublands	17.3
woody savanas	659.1
savanas	0.9
grasslands	3393.3
permanent wetlands	15.4
croplands	1801.7
urban and built up	67.7
cropland/natural vegetation mosaic	612.8
snow and ice	14.6
bareen or sparsely vegetated	1473.9

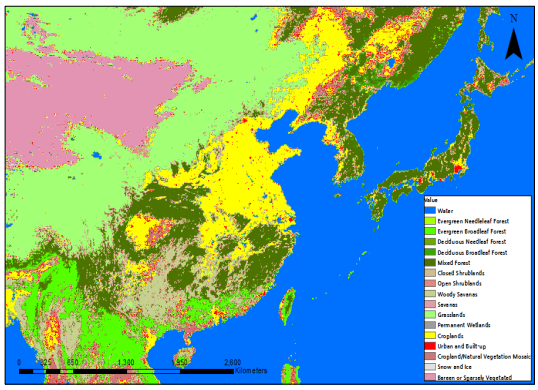

Figure 7. Land cover classification

과 중국 서부 내륙지역에 분포하고 있으며, 도시와 산림 지역은 중국 남부와 한반도 및 일본에 분포가 우세하였다.

또한 대기의 영향과 토양에 비교적 민감하지 않고 식생의 활력도를 충분히 반영할 수 있는 NDVI를 이용하여 동북아시아지역의 식생지수를 산출하였다. 산출된 식생지수는 -0.1648~0.8695 범위로 나타났으며 Fig. 8의 각 지역별 NDVI 분포를 살펴보면 각 지역별 분포 양상이 명확히 구분되고 있었다. 식생활력도는 열대지역으로 내려갈수록 높아지고 있었으며, 일본 남동부 지역에서도 비교적 높게 나타나고 있었다. 반면 중국 서부 내륙지역과 내몽골지역에서 낮게 나타나는 것으로 확인되었다(Kim *et al*, 2011).

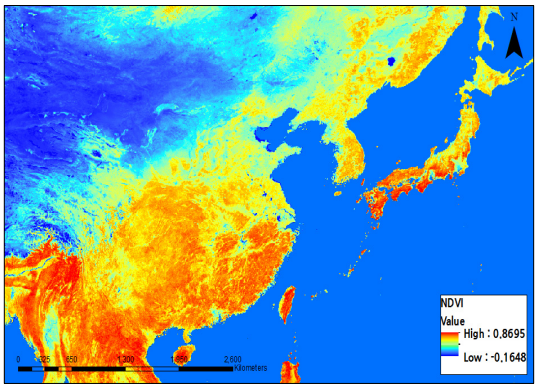

Figure 8. NDVI of MOD13A1

한편 지형고도, 사면경사 및 사면방향 정보를 생성하여 지형적 특성을 분석하였다. 그 결과 고도의 경우 최저 0m에서 최고 7487m으로 나타났으며, 평균고도는 3509m으로 나타났다. 고도의 공간적 분포는 티베트와 칭하이 성 일대의 쿤룬 산맥일대에서 가장 높게 나타났으며, 반대로 중국 동부 해안지역과 한반도 서부 등지에 낮게 나타났다. 경사도 분포는 0°의 평지에서부터

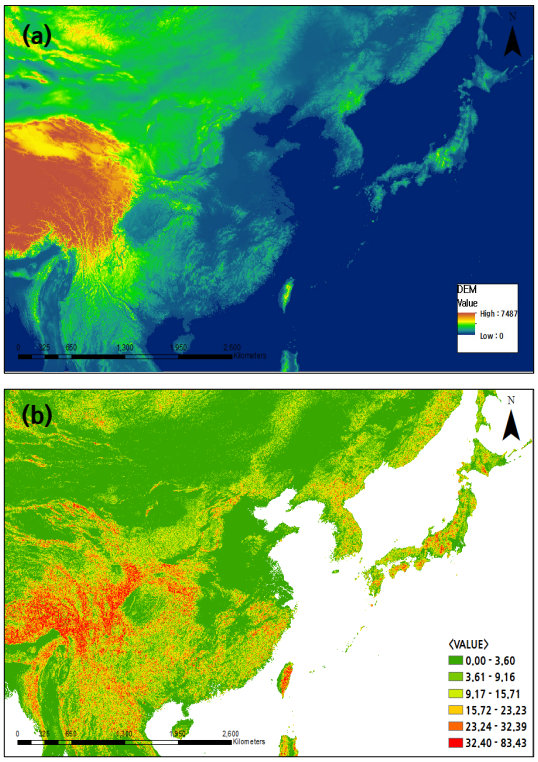

Figure 9. Geomorphic Features

최대 83.43°까지의 급경사 지역까지 나타나며, 평균 경사도는 7.42°로 나타났다. 경사지의 분포는 주로 쿤룬산맥 지역에서 급경사지를 형성하고 있는 것으로 나타났다(Fig. 8).

4.2 토지피복별 이산화탄소 농도

토지 피복별 이산화탄소의 평균 농도는 Table 3과 같이 도시(urban and built-up)지역에서 평균 395.04ppm으로 가장 높은 수치를 나타낸 반면, 혼합림(mixed forest)에서 평균 388.12ppm으로 가장 낮은 것으로 나타났다. 각 피복 인자별 최고-최저의 차이는 6.92ppm으로 전 지구적인 연평균 이산화탄소 농도 상승치(1965~2006년 기준)인 약 0.74 ppm/year에 약 9.35배에 달하는 수치로 이는 토지피복별로 이산화탄소의 농도가 상이한 지역별로 큰 차이를 나타내고 있음을 의미한다.

각각의 토지피복을 산림, 초지 및 기타나지, 개발지, 비식생 지역으로 구분하여 나타내면 산림지역이 389.30ppm으로 가장 낮은 이산화탄소 농도를 보이는 반면, 개발지역이 392.95ppm으로 가장 높은 이산화탄소 농도가 나타나고 있음이 확인된다(Table 4). 이에 대한 결과를 일반화하면 동북아시아 지역 역시 그동안 알려진 바와 같이 산림지역에서 산림의 호흡작용을 통해 이산화탄소가 낮게 나타나는 반면, 도시와 같은 개발지에서는 에너지 사용 등의 영향으로 인해 상대적으로 높게 나타나는 특징이 확인된다.

그러나 이러한 토지피복별 이산화탄소 농도의 수치는 동북아시아 전 지역을 대상으로 한 사례가 아니며 각 토지피복별로 동일한 객체수가 반영되지 못한 전역적인 수치이기 때문에 이를 일반화하여 해석하기에는 다소 한계가 따른다.

Table 3. Mean CO_2 which was extracted from small-scale classification of land-cover

Layer	ppm
Mixed forest	388.12
Snow and ice	388.15
Deciduous Needleleaf forest	388.97
Open shrublands	389.48
Evergreen Needleleaf forest	389.84
Grasslands	389.94
Savanas	389.96
Deciduous Broadleaf forest	389.97
Barren of sparsely vegetated	390.16
Evergreen Broadleaf forest	390.46
Cropland/Natural vegetation mosaic	391.33
Croplands	392.52
Woody savanas	392.58
Closed Shrublands	392.64
Water	392.93
Permanent wetlands	393.01
Urban and built-up	395.04

Table 4. Mean CO_2 which was extracted from large-scale classification of land-cover

Layer	ppm
Forest area	389.30
Non-vegetated area	390.38
Grassland and bare land	391.26
Developing area	392.95

4.3 이산화탄소 농도와 NDVI의 상관성

토지피복에 따른 동북아시지역의 이산화탄소 농도를 분석한 결과 산림지역이 가장 낮은 농도 분포를 보이고 있는 것으로 나타났다. 이를 기초로 이산화탄소 농도와 식생지수와의 상관관계를 분석하였다. 그 결과 이산화탄소와 NDVI는 상관계수 -0.412**(유의수준 0.01)으로 다소 높은 부(-)의 상관관계가 존재하고 있는 것으로 나타났다. 즉 이는 도심지역과 같이 인공구조물로 이루진 개발지역의 경우 이산화탄소 농도가 높아지는 원인이 될 수 있는 것으로 볼 수 있다.

그러나 상관분석은 각 변수들 간의 관련성 여부를 판정하는 동시에 어느 정도의 관련성이 있는지를 분석하기 때문에 독립변수를 NDVI로 종속변수를 이산화탄소 농도를 하여 Table 5와 같이 단순회귀분석을 실시한 결과 R=-0.412로 나타났으며, R2=0.169로 NDVI가 이

Table 5. Result of linear regression analysis between extracted CO_2 and NDVI

Independent variable	Dependent variable	Standard error	β	t-value	p-value	statistics
NDVI	constant	0.98		3964.960	0.000	R=-0.412 R2=0.169 F=807.974 p=0.000
	CO_2	0.249	0.412	28.425	0.000**	

**.p<0.01

산화탄소 농도를 약 16.9%로 설명하고 있는 것으로 나타났다. 또한 t값이 28.425로 ±1.96보다 크고 유의확률이 0.000($p<0.05$)로 통계적 유의수준 하에서 영향을 미치는 것으로 나타났다.

4.4 이산화탄소 농도와 지형특색의 상관성

이산화탄소와의 동북아시아 지역의 지형적 특색에 대한 관계 분석을 위해 고도와 경사도에 대한 상관관계를 분석하였다.

먼저 고도와 이산화탄소의 상관계수는 -0.303**(유의수준 0.01)으로 부(-)의 상관관계가 나타나고 있었다. 그러나 상관계수는 ±0.2~±0.4미만에 속하여 낮은 상관관계를 보이고 있었다. 이러한 고도와의 상관관계 분석 결과는 비교적 고도가 높은 고산지대의 경우 이산화탄소의 인위적 배출 지역과 다소 멀리 떨어져 있고, 중력에 의해 이산화탄소의 밀도가 떨어지기 때문인 것으로 판단된다.

지형의 경사와 이산화탄소의 상관관계 분석은 결과는 0.092**(유의 수준 0.01)으로 상관관계가 거의 없는 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구는 최근 가장 주목 받고 있는 이슈인 기후변화와 관련하여 이산화탄소의 분포와 농도에 대한 분석을 원격탐사기술을 활용하여 체계적으로 확인할 수 있었다는 점에서 의의가 있다. 또한 그 동안의 이산화탄소 관련 연구가 한정된 지상 관측소에서 측정된 데이터를 바탕으로 연구되었기 때문에 발생하는 시공간적 한계점을 극복하는 동시에 본 연구의 결과가 후속 연구에 시사점을 제공하고 이산화탄소 연구에 대한 정보 수요자들에게 작은 길잡이 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 온실가스 전용 측정인 GOSAT을 활용하여 2012년 한 해 동안 측정된 이산화탄소 데이터를 바탕으로 이산화탄소 분포에 영향을 미치는 토지피복, 식생지수 등을 GIS 공간분석기법과 연계하여 그 상관성과 공간적 분포 특성을 분석하였다. 연구결과 동북아시아 지역 이산화탄소의 공간적 분포는 그 주변지역의 토지이용현황에 따라 그 패턴을 달리한다는 사실이 극명하게 나타났다. 토지피복의 경우 도시와 같이 개발지가 평균 392.95ppm으로 가장 높은 반면 산림지역이 389.30ppm으로 가장 낮은 수준의 이산화탄소 농도를 보이고 있었다. 이러한 토지피복별 이산화탄소 농도 차이는 지난 세기 동안의 전 지구적 연평균 이산화탄소 증가량의 약 9배 이상에 달하고 있어 토지피복별 이산화탄소 농도 차이는 매우 큰 것으로 나타났다. 이를 기초로 식생지수와 이산화탄소와의 상관관계를 분석한 결과 상관계수 -.412로 통계적으로 유의한 수준에서 다소 높은 부(-)적 상관관계가 있음을 확인 할 수 있었다. 반면 고도와 경사도의 지형적 특색은 토지피복에 비해 그 상관성이 매우 떨어지고 있었으며 특히 경사의 경우는 그 상관성이 거의 없는 것으로 분석되었다. 이러한 분석결과는 향후 온실가스 저감 대책 및 완화를 위한 계획 수립에 있어 토지피복, 즉 토지이용 현황에 따라 이산화탄소의 배출원과 흡수원 관리에 필요한 기초자료로 활용되어 질 수 있을 것으로 판단된다.

그러나 현재 GOSAT을 이용한 연구는 매우 한정적인 수준에서 진행되고 있다. 이는 GOSAT의 데이터 취득과정에서 기상상황에 따라 제외되는 데이터가 존재하고 있어 필요한 데이터를 모두 취득할 수 없기 때문이다. 이러한 문제점은 현재 국내외에서 연구되고 있는 자료복원 알고리즘과 2015년 이후 발사를 목표로 하고 있는 GOSAT-2의 활용을 통해 차차 개선 될 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서는 이산화탄소의 공간적 분포에 대한 분석과정에서 토지피복과 NDVI, 지형적 특성만을 고려하여 분석하였다. 그러나 이산화탄소 분포는 제시한 요인뿐만 아니라 엽면적지수(LAI), 알베도(Albedo)등에 영향을 받기 때문에 향후 연구에서는 보다 다양한 요인을 고려한 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다. 더불어 이산화탄소와 같은 대기 구성 물질은 일반적으로 공간적으로 연속적인 형태로 존재하게 되며 지리적 여건에 따라 다양하게 변동하게 된다. 또한 공간적으로 분포하는 변인들은 보통 공간적으로 인접해있을수록 유사한 특성을 지니게 되는 공간적 자기상관성을 지니게 됨으로 일반 회귀 모델에서의 가정으로는 이러한 현상을 설명하기 어렵다. 따라서 향후에는 이를 고려할 수 있는 방법론인 지리가중회귀모델(GWR: Geographically Weighted Regression model)을 이용한 보다 정량적인 연구가 필요할 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음(NRF-2011-327-B00861)

References

1. Butz, A., S. Guerlet, O. Hasekamp, D. Schepers, A.

Galli, I. Aben, C. Frankenberg, J. M. Hartmann, H. Tran, A, Kuze, G. Keppel-Aleks, G. Toon, D. Wunch, P. Wennberg, N. Deutscher, D. Griffith, R. Macatangay, J. Messerschmidt, J. Notholts, and T. Warneke, 2011, Toward accurate CO_2 and CH4 observations from GOSAT, Geophysical Research Letter, 38(14), pp. 1-6.

2. Choi J. H., Um J. s., 2011, Comparative evaluation among different kriging techniques applied to GOSAT CO_2 map for north east asia, Korean Society Of Environmental Impact Assessment, 20(6), pp. 879-890.
3. Choi J. H., Um J. s., 2012, Comparative evaluation for seasonal CO_2 flows tracked by GOSAT in north-east Asia, Korea Spatial Information Society, 20(25), pp. 1~13.
4. Hammerling D. M., Michalak A. M. and Kawa S. R., 2012, Global CO_2 distributions over land from the Greenhouse Gases Observing Satellite(GOSAT), Geophysical Reserch Letters, 33, L08804.
5. Houghton, R. A., Hackler, J. L., and Lawrence, K. T., 1999, The U.S. carbon budget: contribution from land-use change, Science, 285(5427), pp. 574-578.
6. Jacques, G., and B. Henry., 2011, Measurement of greenhouse gases with the GOSAT-TANSO instrument, APCAS Conference on Environmental Monitoring, pp. 1-23.
7. Kim S. I., Han K. S. and Pi K. J., 2011, The trend analysis of vegetation change applied to unsupervised classification over east asia: using the ndvi 10-day data in 1999~2010, The Korean Society For Geospatial Information System, 19(4), pp. 153~159.
8. Lal M., Harasawa H., 2001, Future climate change scenarios for ASIA as inferred from selected coupled atmosphere ocean global climate models, Journal of the Meteorological Society of Japan, 79, pp. 219-227.
9. Shim, C. S., 2010, Source/sinks analysis with satellite sensing for exploring global atmospheric CO_2 distributions, Korea Environment Institute.
10. Tomosada M., Kanefuji K., Matsumoto Y. and Tsubaki H., 2009, A prediction method of the global distribution map of CO_2 column abundance retrieved from GOSAT observation derived from ordinary kriging", ICROS-SICE International Joint Conference 2009, pp. 4869-4873.
11. WMO, 2009, Technical report of global analysis method for greenhouse gases by world data center for greenhouse gases.
12. Yan Qu, Chunmin Zhang, Dingyi Wang, Pengbo Tian, Wenguang Bai, Xingying Zhang, Peng Zhang, Haishan Dai and Qingmiao Wu, 2013, Comparison of atmospheric CO_2 observed by GOSAT and two ground stations in China, International Journal of Remote Sensing, 34(11), pp. 3938-3946.
13. Yang, L., Xiufeng, W., Meng, G., and Hiroshi, T., 2011, Mapping the FTS SWIR L2 product of XCO_2 and XCH_4 data from the GOSAT by kriging method – a case study in East Asia, International Journal of Remote Sensing, 33(10), pp. 3004-3025.
14. Yoo S. H., Heo J., Jung J. H., Han S. H and Kim K. M., 2011, Estimation of aboveground biomass carbon stock using landsat tm and ratio images - kNN algorithm and regression model priority, The Korean Society For Geospatial Information System, 19(2), pp. 39-48.
15. ZENG ZhaoCheng, LEI LiPing, GUO LiJie, ZHANG Li and ZHANG Bing, 2012, Incorporating temporal variability to improve geostatistical analysis of satellite-observed CO_2 in China, Chinese Science Bulletin, 10.1007/s11434-012-5652-7.
1. 16. Zhang, C. M., 2010, Interference imaging spectrometer technology, pp.1-200, Beijing, Sicence Press.