

Research Paper

전국단위의 포유류 생물다양성우수지역 분석 연구

김지연* · 권혁수* · 서창완** · 김명진*

국립환경과학원*, 국립생태원**

A nationwide analysis of mammalian biodiversity hotspots in South Korea

Jiyeon Kim* · Hyuksoo Kwon* · Changwan Seo** · Myungjin Kim*

National Institute of Environmental Research*, National Institute of Ecology**

요약 : 생물다양성우수지역은 종다양성이 가장 우수한 지역 또는 훼손될 우려가 가장 큼에도 생물상이 가장 다양한 지역으로서, 생물다양성 보전을 위한 최적지를 선택하는 데 필수적인 요소이다. 이 연구의 목적은 포유류를 대상으로 전국단위에서 종풍부도, 희귀도를 분석하여 생물다양성우수지역을 파악하는 것이다. 대상종은 멸종위기 포유류 4종, 일반종 11종 등 총 15종을 선정하였다. 지형, 거리, 식생구조 등을 환경변수로 설정하였고, Maxent(Maximum Entropy Method)를 활용하여 종분포모형을 구축하였다. 종풍부도와 종희귀도를 통해 생물다양성을 분석하였다. 연구 결과는 다음과 같다. 첫째, 종풍부도를 분석한 결과, 멸종위기 포유류를 대상으로 할 때에는 높고 가파른 산림이 생물다양성우수지역인 것으로 나타났다. 반면, 전체종을 대상으로 했을 때는 저지대 산림에서 종풍부도가 높았다. 두 번째, 멸종위기 포유류를 대상으로 할 때에는 희귀도와 종풍부도가 유사한 공간분포를 보였다. 그러나 전체종을 대상으로 할 때에는 저지대 산림 뿐만 아니라 고지대 산림에서도 다소 희귀도가 높은 것으로 나타나, 종풍부도와는 다소 다른 공간분포를 보였다. 이와 같은 연구 결과는 추후 생물다양성 평가, 서식지 보전, 생태축 구축, 보호지역 관리 등에 활용될 수 있을 것이다.

주요어 : 종풍부도, 종희귀도, 포유류, 종분포모형

Abstract : Hotspots are top sites in terms of species diversity as the most threatened and most diverse sites which have been used to select priority areas for reserves. The purpose of this paper is to identify biodiversity hotspots through analyzing nationwide spatial patterns of species richness and rarity of Korean mammals. Four endangered mammals and eleven common mammals were selected as target species. Environmental variables as model input data were consisted of topography, distance, and vegetation structure etc. and Maxent was used to develop species distribution models for target species. Species richness and rarity were used as index of biodiversity. The results of this study were as follows. Firstly, hotspots of species richness for endangered mammals were in high elevation and steep mountain areas. However, species richness for whole

mammals were high in low elevation of mountains. Secondly, distribution pattern of species rarity for endangered mammals were similar as richness. However, hotspots of species rarity for whole mammals were a little different from species richness. Species rarity was high in both low and high elevation of mountain areas. This study will provide the useful information for a biodiversity assessment, a habitat conservation, a national ecological network plan, and the management of protected areas.

Keywords : species richness, species rarity, mammal, species distribution model

I. 서론

생물다양성은 유기체와 유기체가 살아가는 서식처의 다양성을 말하는데(CBD, 1992), 과거에 비해 100-1,000배 빠르게 소실되어 가고 있다(Watson *et al.* 1995; Wenguang *et al.* 2008). 생물다양성우수지역(Biodiversity hotspot)은 종다양성이 가장 우수한 지역 또는 가장 위협에 처해있지만 가장 다양한 지역으로 정의할 수 있는데, 보전의 우선순위를 결정하고, 자연자원의 보호와 이용을 최적화하는 데 이용되어 왔다(Myers *et al.* 2000; Prendergast *et al.* 1993; Margules and Pressy, 2000; Orme *et al.* 2005; Cellabos and Ehrlich, 2006). 생물다양성우수지역의 설정은 생물다양성 보전을 위한 최적지를 선택하는 데 필수적인 요소이며(Scott *et al.* 1993; Conroy and Noon, 1996; Kerr, 1997; Williams *et al.* 1996; Baquero and Telleria, 2001), 이를 위해서는 종풍부도, 고유종 수, 위협에 처한 종수 등을 포함하는 종다양도 분석이 필요하다(Cincotta *et al.* 2000; Cellabos *et al.* 2005; Cellabos and Ehrlich, 2006).

종다양성 분포, 종분포의 변화 탐지, 보전계획 수립 등에 있어 종분포모형을 활용한 분포 예측 결과는 필수적인 요소이지만(Trisurat *et al.* 2012), 우리나라의 경우 이와 관련한 연구는 초기 수준이다. Jung *et al.* (2010)는 의사결정나무(Decision Tree)를 이용하여 강원도 평창군의 식생을 대상으로 생물다양성을 분석한 바 있으며, Kwon *et al.* (2012)가 지리산 권역에 국한하여 동·식물상을 종합적으로 고려하여 종분포모형을 구축하고 종풍부도를 평가한 바 있다. 그러나 전국단위에서 동·식물상을 고려한 생물다양

성 분석 연구는 미흡하다.

보호지역 결정과정에서 멸종위기종, 핵심종 등이 주로 목표종으로 선택되어 왔는데(Groves 2003; Roberge and Angelstam 2004; Trisurat *et al.* 2012), 그 중 포유류는 생태계 구성에 있어 핵심종으로 인식되어 왔다. 포유류는 소속 생태계 내의 최상위 소비자로서 해당 생태계의 안정성 여부를 판단할 수 있는 근거가 된다(국립환경과학원, 2003; 김지연 외, 2012). 또한, 보전계획 수립에 있어서도 우산종의 역할을 해왔으며(Sanderson *et al.* 2002; Roberge and Angelstam 2004; Trisurat *et al.* 2012), 다수의 연구에서 생물다양성우수지역 분석, 또는 생물다양성 분석의 목표종으로 연구되었다(Baquero and Telleria, 2001; Vazquez and Gaston, 2004; Wenguang *et al.* 2008; Trisurat *et al.* 2012).

본 연구에서는 포유류를 대상으로 전국단위에서 종풍부도, 희귀도를 분석하여 생물다양성우수지역을 파악하고자 하였다. 이와 같은 결과는 추후 보호지역 지정 및 관리, 전국단위의 보전계획 수립, 생물종의 서식지 보전 및 관리 등에 활용될 수 있을 것이다.

II. 연구의 재료 및 방법

1. 연구의 재료

1) 조사자료

전국을 대상으로 제2차('97-'03) 및 제3차('06-'09) 전국자연환경조사 포유류 위치자료를 활용하였다. 제2차 조사는 전국 조사가 완료되었으며, 2009년까지의 제3차 조사는 국토의 57%에 대하여 조사가 완료되었다. 제2차 및 제3차 전국자연환경조사 자료

를 통합하여 종분포모형을 구축하는 것이 가장 모형의 정확도를 높이므로(Kim et al, 2012), 조사자료는 제2차 및 제3차 자료를 통합하여 활용하였다.

2) 대상종

제2차('97-'03) 및 제3차('06-'09) 조사 결과, 멸종위기 I급종 9종, II급종 4종을 포함해서 총 64종의 포유류가 발견되었다. 그 중 포유류 생물종다양성 지도 작성을 위해서 산양(*Naemorhedus goral*), 삵(*Prionailurus bengalensis*), 담비(*Martes flavigula*), 하늘다람쥐(*Pteromys volans*) 등 멸종위기종 4종, 고라니(*Hydropotes inermis*), 고슴도치(*Erinaceus amurensis*), 너구리(*Nyctereutes procyonoides*), 노루(*Capreolus pygargus*), 다람쥐(*Tamias sibiricus*), 두더지(*Mogera robusta*), 멧돼지(*Sus scrofa*), 멧토끼(*Lepus coreanus*), 오소리(*Meles meles*), 족제비(*Mustela sibirica*), 청설모(*Sciurus vulgaris*) 등 일반종 11종, 총 15종에 대하여 종분포모형을 구축하고 서식예측분포도를 작성하였다.

멸종위기종 중 수달은 수계위주로 선형으로 서식하는 종으로서 서식패턴이 여타의 포유류와 달라서 대상종에서 제외하였다. 그 외 현재 한국에서 자연적으로 서식한다고 보기 어렵거나 수집된 자료가 충분

하지 않은 늑대, 대륙사슴, 반달가슴곰, 사향노루, 여우, 표범, 호랑이 등 멸종위기종 중 총 9종을 대상종에서 제외하였다. 일반종 중에서는 생물종다양성 평가에 큰 영향을 미치지 않는 쥐/박쥐류, 반려동물, 생태계위해종 등 40종을 대상종에서 제외하였다.

생물다양성 분석을 멸종위기종과 전체종으로 나누어서 분석하였다. 일반종을 포함한 전체종을 대상으로 했을 때는 보다 많은 종을 보전하고자 할 경우의 가치있는 지역을 분석할 수 있고, 멸종위기종만을 대상으로 했을 때는 한정된 자원을 바탕으로 보다 가치있는 종을 중심으로 보전하고자 할 때, 우수한 지역을 판별할 수 있다.

2. 연구의 방법

1) 종분포모형

본 연구에서는 생태지위이론을 기반으로 하는 Maxent(Maximum entropy method) 모형을 활용하였다. Maximum entropy는 통계역학과 최대 엔트로피를 가지는 확률분포를 설명하는 정보이론의 원리에서 개발되었으며, 다용도 기계학습모형으로 주로 금융이나 천문학 분야에서 주로 사용되어져 왔다(Flanklin, 2009). 최근 종분포모형에 특화된 응용프로그램 Maxent가 개발되어 연구가 활발히 이루어지고 있는데, 출현 자료(Present-only data)에 최적화된 모형으로 출현지점만 수집하는 자료에 적합한 모형이다(Phillips et al, 2006; Phillips and Dudik, 2008; Kim et al, 2011). 전국자연환경조사 자료를 활용하여 종분포모형을 구축했을 때, 출현-의사(Pseudo)비출현 모형에 비하여 비교적 높은 모형정확도를 보였다(Kim et al, 2012). Maxent모형은 통계모형기반으로 구성되어있기 때문에 공간통계 분석을 위한 최소 위치자료가 필요하며, 일반적으로 최소 7지점 이상으로 본다(Flanklin, 2009). 전체 대상종 중, 7지점 이상의 자료를 보유한 종을 선택하여 모형화 가능종으로 분류하였다.

2) 환경변수 구축

기존의 포유류 서식지 연구를 참고하여 지형(향,

Table 1. Target species

	Target species	Number of data
Endangered Species	<i>Naemorhedus goral</i>	143
	<i>Prionailurus bengalensis</i>	2,566
	<i>Martes flavigula</i>	393
	<i>Pteromys volans</i>	207
Common Species	<i>Hydropotes inermis</i>	8,485
	<i>Erinaceus amurensis</i>	414
	<i>Nyctereutes procyonoides</i>	6,130
	<i>Capreolus pygargus</i>	1,881
	<i>Tamias sibiricus</i>	3,950
	<i>Mogera robusta</i>	4,498
	<i>Sus scrofa</i>	3,646
	<i>Lepus coreanus</i>	4,052
	<i>Meles meles</i>	1,812
	<i>Mustela sibirica</i>	3,550
	<i>Sciurus vulgaris</i>	4,566

Table 2. Environmental variables

Variables	Description	Data type
Landcover	Landcover	categorical data
Imsang	Forest types	categorical data
Yung	Forest ages	continuous data
NDVI	Normalized difference vegetation index from MODIS	continuous data
Northness	$\text{Cos}\{(\text{Aspect}*\pi)/180\}$	continuous data
Relief	Standard deviation by Neighborhood 5×5	continuous data
DEM	Elevation	continuous data
Dist_Forestin	Distance from edges to forest interior	continuous data
Dist_Forestout	Distance from edges to outside of the forest	continuous data
Dist_River	Distance from river	continuous data
Dist_Road	Distance from roads	continuous data

표고, 지형기복), 식생(식생유형, 피복유형), 거리(도로로부터의 거리, 수계로부터의 거리, 산림 내부로의 거리, 산림 외부로의 거리) 등의 변수들을 100m 공간해상도로 구축하였다(Table 2)(Choi and Park, 2004; Lee and Song, 2008; Seo *et al.*, 2008; Song and Kim, 2012.). 환경부에서 2007년에 제작된 토지피복분류도를 활용하였다. 산림청의 제4차 임상도로부터 임상과 영급을 추출하였으며, 임상은 활엽수, 침엽수, 혼효림, 기타로 재분류하였다. 정규식생지수는 2008년 MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)영상의 연평균 정규식생지수를 사용하였다. SRTM ver 4.1을 사용하여 DEM(Digital Elevation Model)을 생성하고, 지형기복, 향을 구축하였고, 도로로부터의 거리를 산출하였다. 산림과의 거리 변수는 산림청의 제4차 임상도를 바탕으로 산림 내외부 거리 변수를 생성하였으며, 하천으로부터의 거리는 국가수자원관리종합정보시스템(www.wamis.go.kr)의 하천도를 기준으로 생성하였다. 여기에 생성된 변수들은 100m 격자로 모두 재배열(resampling)하였으며, 자료구축은 ESRI사의 ArcGIS 10.0을 사용하였다.

3) 생물다양성우수지역 분석

① 종풍부도

종풍부도란 해당 지역에서 출현하는 생물종의 총수를 평가하는 것으로서, 군집과 지역의 다양성을 나

타내는 가장 간략한 방법이다. 종풍부도 추정은 기초적인 대상지 비교에 중요하며, 종풍부도를 최대화하는 것은 종종 보전 관련 연구의 뚜렷한 목표가 된다(Magurran 1988; Cornell 1999; Gotelli and Colwell, 2001). 따라서 종풍부도는 보전생물학의 응용연구와 보호지역계획, 종풍부도에 대한 공간적 유형 및 유형의 변화 과정 등의 연구에 기초적인 자료로 활용된다(Graham and Hijmans, 2006; Flanklin, 2009; Kim *et al.*, 2011).

본 연구에서는 전체 대상종에 대한 종분포모형을 구축하고, 0-1까지의 확률값을 갖는 서식분포예측도를 작성하였다. 이를 0(비출현)과 1(출현)을 갖는 이항형 자료로 변환하기 위해, 민감도(출현지역의 예측률)와 특이성(비출현지역의 예측률)의 합이 최대가 되는 “Maximum training sensitivity plus specificity” 값을 기준으로 하였는데(Hu and Jiang, 2011; Tronstad and Andersen, 2011; Heibl and Renner, 2012; Jeon *et al.*, 2014), 이는 출현이 예측된 지역에서 실제 출현할 확률과, 비출현으로 예측된 지역에서 실제 출현하지 않을 확률의 합이 최대가 되는 값이다. 종풍부도지도는 0과 1로 결과가 도출된 분포예측모형을 합산하여 분석하였다.

$$SR = \sum_{i=1}^n S_i$$

n = 대상지역에서 발견된 총 종수

S_i = 개별 종이 출현하는 격자(1의 값 갖는 격자)

② 희귀도

대부분의 생물종다양성 평가가 종풍부도를 평가하는 것에 집중되어 있지만, 종풍부도는 서식지에 출현하는 종수의 합계이므로 넓은 분포지역을 가지며 많은 지역에서 출현하는 생물종, 즉 일반종의 분포에 영향을 받을 수 있다. 종의 서식 범위는 보전을 위한 희귀성을 평가하는 지표로서 활용되어 왔는데(Arita et al. 1997; Baquero and Telleria, 2001), 종풍부도의 한계점을 극복하기 위해서 생물다양성 분석시, 종풍부도 외에 제한된 지역에 서식하는 종의 상대적인 희귀성(Rarity)에 대한 고려가 필요하다(Bruce et al. 2000, Kim et al. 2011). 본 연구에서는 RWRI (Rarity-Weighted Richness Index) 지수(Bruce et al. 2000)를 이용하여 희귀도를 분석하였다. 제한된 면적에서 출현할수록 희귀성은 높게 평가되고, 넓은 범위에 걸쳐 출현할수록 희귀성은 낮아진다. 희귀도는 이항형 형태로 구축된 서식분포예측도를 기준으로, 대상종이 출현한 면적(대상종이 발견된 격자)의 수를 역산하여 RWRI지수를 산출하고, 이를 합산하여 분석하였다.

$$RWRI = \sum_{i=1}^n \frac{A}{hi}$$

- hi = 종 i가 발견된 격자 개수
- n = 대상지역에서 발견된 총 종수
- A = 대상지역 내 총 격자 개수

III. 연구 결과

1. 모형정확도 및 환경인자

포유류 전체 대상종 15종에 대한 종분포모형을 구축하였고 각각의 모형정확도는 ROC(Receiver Operating Characteristic)의 AUC(Area Under Cover) 값을 통해 측정하였으며(Hastie, 1992; Thuiller, 2003), 교차검증을 통하여 모형의 신뢰도를 검증하였다(Table 3 참조).

멸종위기종 종분포모형의 경우 삶을 제외하고는 0.841-0.942로 높은 수준의 모형정확도를 나타냈다. 일반종의 종분포모형은 0.597-0.798로 멸종위기종에 비하여 낮은 수준의 모형정확도를 보였다.

Table 3. AUC of species distribution model of mammals

	5CV ROC	
<i>Naemorhedus goral</i>	0.908	Endangered species
<i>Prionailurus bengalensis</i>	0.761	
<i>Martes flavigula</i>	0.818	
<i>Pteromys volans</i>	0.809	
<i>Hydropotes inermis</i>	0.600	Common species
<i>Erinaceus amurensis</i>	0.723	
<i>Nyctereutes procyonoides</i>	0.599	
<i>Capreolus pygargus</i>	0.775	
<i>Tamias sibiricus</i>	0.643	
<i>Mogera robusta</i>	0.624	
<i>Sus scrofa</i>	0.624	
<i>Lepus coreanus</i>	0.649	
<i>Meles meles</i>	0.775	
<i>Mustela sibirica</i>	0.591	
<i>Sciurus vulgaris</i>	0.645	

멸종위기종의 경우, 삶을 제외하고는 고도가 높고 지형기복이 심한 깊은 산림에서 서식확률이 높은 것으로 나타났다. 반면, 일반종은 서식지에 주요하게 영향을 미치는 공통 인자가 도출되지 않았다.

2. 생물다양성우수지역 분석

1) 종풍부도

멸종위기종만을 대상으로 종풍부도를 도출한 결과와 멸종위기종과 일반종을 포함한 전체종을 대상으로 한 종풍부도는 Figure 1, 2와 같다. 멸종위기종을 대상으로 한 경우 0-4까지의 범주를 가지며, 백두대간을 중심으로 설악산, 오대산, 지리산 등 고도가 높고 지형기복이 심하며 깊은 산림일수록 종풍부도가 풍부한 것으로 나타났다. 1종 이상 출현할 것으로 예측된 지역은 전체면적의 40.00%를 차지하였으며, 4종이 출현할 것으로 예측된 지역은 전체 면적 중 5.23%를 차지하였다.

전체 종을 대상으로 한 경우에는 0-15까지의 범주를 가지며, 멸종위기종만을 대상으로 했을 때와는 달리 고도가 낮은 저지대 산림 및 산림의 임연부에서 종풍부도가 높은 것으로 나타났다. 1종 이상 출현할 것으로 예측된 지역은 전체 면적의 73.26%를 차지하

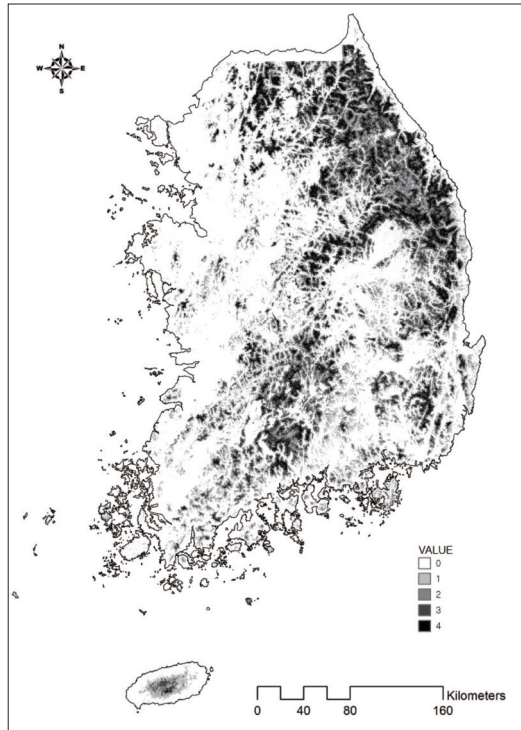


Figure 1. Species richness of endangered species

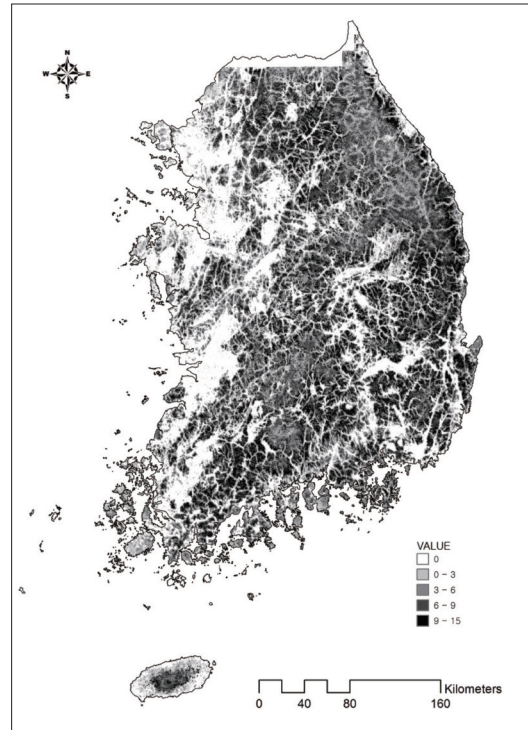


Figure 2. Species richness of whole species

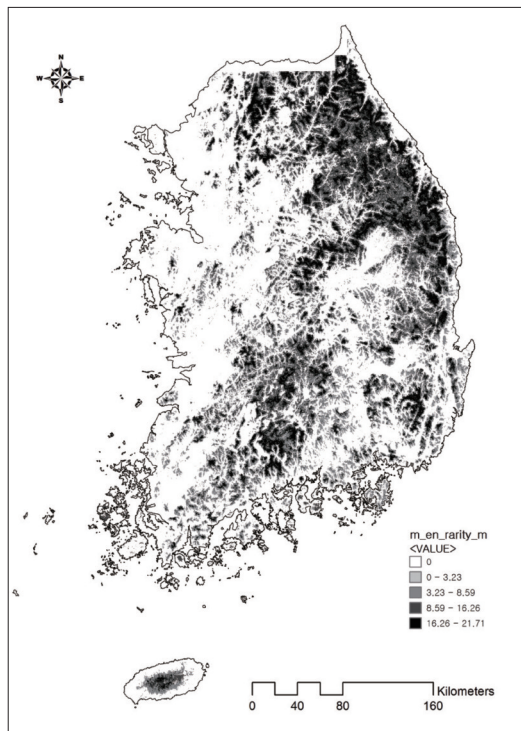


Figure 3. Species rarity of endangered species

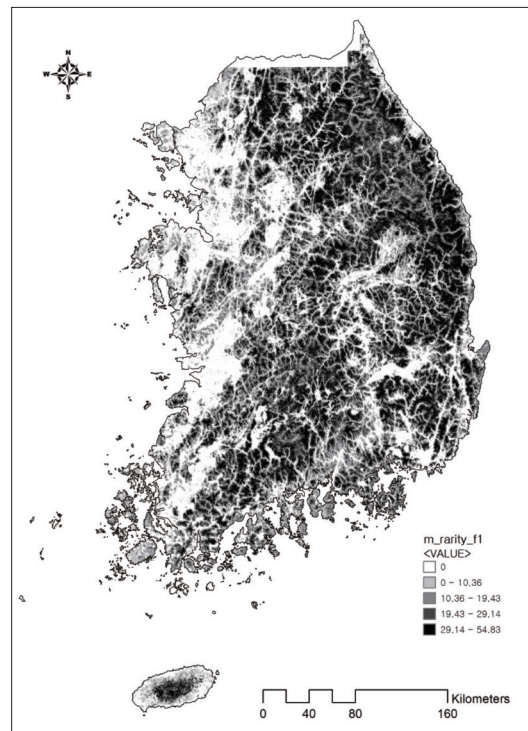


Figure 4. Species rarity of whole species

였으며, 종풍부도가 가장 높은 15종이 출현할 지역은 전체 면적의 0.02%를 차지하였다.

2) 희귀도

멸종위기종만을 대상으로 한 경우, 0-21사이의 희귀도를 보였으며, 종풍부도와 유사한 분포유형을 보였다. 백두대간을 중심으로 고도가 높고 지형기복이 심한 깊은 산림을 중심으로 희귀도가 높았다.

멸종위기종을 포함한 전체종을 대상으로 했을 때는 0-55사이의 희귀도를 보였다. 전반적인 분포는 종풍부도가 높은 것으로 나타났던 저지대 산림 및 임연부의 희귀도가 더 높은 것으로 나타났지만, 멸종위기종의 풍부도가 높았던 설악산, 지리산 등 백두대간을 중심으로 하는 고지대 산림에서도 풍부도에 비하여 희귀도가 높은 것으로 평가되었다.

멸종위기종은 삶이 2.09로서 가장 작은 희귀도를 가지며, 하늘다람쥐 3.37, 담비 3.70, 산양 5.94로 4.02 ± 1.92 의 희귀도를 보였다. 반면, 일반종은 3.34의 희귀도를 갖는 노루를 제외하고는 1.69-2.89의 범위로, 2.51 ± 0.82 의 희귀도를 보여, 삶을 제외한 멸종위기종보다 모두 낮은 희귀도 값을 보였다. 그러므로 희귀도 분석시 멸종위기종의 풍부도가 높을 것으로 예측된 고지대 산림지역이 풍부도에 비하여 높은 희귀도를 나타낸 것으로 판단된다.

IV. 결론 및 토의

생물종다양성 분포의 패턴을 확인하기 위해서 생태계 핵심종인 포유류를 대상으로 생물다양성우수지역을 탐지하였다.

종풍부도의 경우, 멸종위기 포유류만을 대상으로 했을 때 백두대간을 중심으로 하는 높고 깊은 산림이 생물다양성우수지역으로 확인된 반면, 전체종을 대상으로 한 경우에는 일반종이 다수 서식하는 낮은 산림 및 산림임연부에서 생물다양성이 높은 것으로 나타나는 등 완전히 다른 종풍부도 분포유형을 보였다. 종풍부도의 분포형태는 넓은 지역에 서식하는 종이 더 큰 영향을 미친다는 점이 기존 연구에서도 확인되었는데, 이는 희귀종과 일반종의 분포를 결정하는 요

소 및 환경적인 요구사항은 매우 다르며, 이를 동시에 만족시키기는 매우 어렵기 때문이다(Jetz and Rahbek, 2002; Lennon *et al.*, 2004; Vazquez and Gaston; 2004).

희귀도를 분석한 결과, 멸종위기종만을 대상으로 했을 때는 풍부도와 유사하게 백두대간을 중심으로 하는 깊은 산림 지역이 생물다양성우수지역인 것으로 나타났다. 전체종을 대상으로 했을 때는 저지대 산림 및 임연부에서 전반적으로 희귀도가 가장 높았지만, 낮은 종풍부도를 보였던 백두대간 일원의 높고 깊은 산림 역시 다소 희귀도가 높은 것으로 나타났다. 이는 서식면적이 제한적인 멸종위기종이 다양한 환경에 서식하는 일반종보다 희귀도가 높으므로, 종수는 적게 출현하더라도 전체 희귀도의 분포에 더 큰 영향을 미친 것으로 판단된다. 좁은 지역에 국한하여 서식하는 종의 분포가 희귀도의 지형학적 분포유형에 영향을 미칠 수 있음은 기존 연구에서도 확인된 바 있다(Arita *et al.*, 1997; Baquero and Telleria, 2001).

본 연구에서는 종풍부도 뿐만 아니라 희귀도를 함께 평가하여 분포가 희귀하거나 서식면적이 제한적인 종의 가치를 반영할 경우에 생물다양성우수지역의 분포가 어떻게 달라지는지를 확인할 수 있다. 이와 같은 결과는 생물다양성분석 결과의 활용목적에 따라 자료선택 및 분석기법이 달라질 수 있다는 것을 시사한다.

생물다양성을 분석하는 데 있어, 포유류만을 대상으로 하여 분석하였으므로, 보다 다양한 서식형태를 반영하는데 있어 다소 미흡한 부분이 있다. 추후 연구에서는 포유류와 서식특성, 분포형태에 있어 차이를 가지는 분류군을 대상으로 생물다양성을 분석하고, 이를 종합하였을 때 생물다양성우수지역의 어떻게 달라지는지를 살펴볼 필요가 있다. 또한, 제3차 전국자연환경조사 자료 중 일부자료만 활용되었으므로 전국에 대하여 조사가 완료된 자료를 활용하여 생물다양성우수지역을 분석하는 연구가 수행되어야 할 것이다.

본 연구는 식생만을 대상으로 하거나, 국소적인 대상지에 대하여 생물다양성을 평가하였던 기존연구의 부족한 점을 보완하여 포유류의 서식지를 고려하여

전국단위에서 생물다양성을 평가하고 생물다양성우수지역을 분석하였다는 데 의의가 있다. 이와 같은 연구 결과는 동식물의 서식지를 고려한 생태네트워크 구성, 보호구역 추가 지정 및 관리, 환경보전계획 수립, 동·식물 서식지 복원 및 관리 등 다양한 분야에 중요한 자료를 제공할 수 있을 것이다. 이 밖에 기후변화에 따른 생물다양성우수지역 변화예측을 통하여 자연자원관리, 보전계획 등에 활용할 수 있으므로, 이와 관련한 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2011년도 국립환경과학원의 「전국자연환경조사 결과를 활용한 종분포모델링 연구(II)」의 일환으로 수행되었습니다.

인용문헌

- 국립환경과학원. 2003. 자연환경조사는 왜 하는가, 국립환경과학원.
- 권혁수, 서창완, 박종화. 2012. 지리산 지역의 생물종 분포모형 구축 및 종풍부도 평가, 한국지형공간정보학회지, 20(3), 11-18.
- 김지연, 권혁수, 박진영, 이종효, 도재화, 이두범, 김소영, 김동원, 이윤경, 서재화, 서민환, 서창완, 류지은, 오대현. 2011. 전국자연환경조사 결과를 활용한 종분포모델링 연구(II), 국립환경과학원.
- 김지연, 서창완, 권혁수, 류지은, 김명진. 2012. 전국자연환경조사 자료를 이용한 종분포모형 연구, 한국환경영향평가학회지, 21(4), 593-607.
- 정다정, 강경호, 허준, 김창재, 김성호, 이정빈. 2010. 국가 생태정보를 활용한 생물다양성 지도 구축, 2010, 19(6), 573-581.
- 최태영, 박종화. 2004. 설악산국립공원내 산양(Nemorhaedus Caudatus Raddeanus)의 잠재 서식지 적합성 모형; 다기준평가기법(MCE)과 퍼지집합(Fuzzy Set)의 도입을 통하여, 한국조경학회지, 32(4), 28-38.
- 이동근, 송원경. 2008. 삶의 서식지 적합성 평가를 위한 분석단위 설정 및 보전지역 선정, 2008, 한국조경학회지, 36(5), 64-72.
- 서창완, 박유리, 최윤수. 2008. 위치자료의 종류에 따른 생물종 분포모형 비교 연구, 한국지리공간정보학회지, 16(4), 59-64.
- 송원경, 김은영, 이동근. 2012. 이질적 경관에서 연결성 측정: 리뷰 및 적용, 한국환경영향평가학회지, 21(3), 391-407.
- 전성우, 김재욱, 정휘철, 이우균, 김준순. 2014. 생태계 서비스 가치평가를 위한 멸종위기 포유류의 종분포 연구, 한국환경복원기술학회지, 17(1), 111-122.
- Arita, H. T., Figueroa, F., Frisch, A., Rodríguez, P., Santos-del-Prado, K. 1997. Geographical range size and the conservation of Mexican mammals, Conservation Biology, 11(1), 92-100.
- Baquero, R. A., Teller, J. L. 2001. Species richness, rarity and endemism of European mammals: a biogeographical approach, Biodiversity and Conservation, 10, 29-44.
- Bruce, A. S., Lyan, S. K., Jonathan, S. A. 2000. Precious heritage: The status of biodiversity in the U.S., Oxford university press.
- Ceballos, G., Ehrlich, P. R. 2006. Global mammal distributions, biodiversity hotspots, and conservation, PNAS, 103(51), 19374-19379.
- Ceballos, G., Ehrlich, P. R., Soberón, J., Salazar, I., Fay, J. P. 2005. Global mammal conservation: what must we manage? Science, 309, 603-607.
- Cincotta, R. P., Wisniewski, J., Engelman, R.

2000. Human population in the biodiversity hotspots, *Nature*, 404, 990–992.
- Conroy, M. J., Noon, B. R. 1996. Mapping of richness for conservation of biological diversity: conceptual and methodological issues, *Ecological Application*, 6(3), 763–773.
- Cornell, H. V. 1999. Unsaturation and regional influences on species richness in ecological communities: a review of the evidence, *Ecoscience*, 6, 303-315.
- Franklin, J. 2009. Mapping species distributions spatial inference and prediction, Cambridge: Cambridge University Press.
- Gotelli, N. J., Colwell, R. K. 2001. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness, *Ecology letter*, 4, 379-391.
- Granham, C. H., Hijmans, R. J. 2006. A comparison of methods for mapping species ranges and species richness, *Global Ecology and Biogeography*, 15(6), 587-587.
- Groves, C. R. 2003. Drafting a conservation blueprint: A practitioner's guide to planning for biodiversity, Washington: Island Press.
- Heibl, C., Renner, S. S. 2012. Distribution Models and a Dated Phylogeny for Chilean Oxalis Species Reveal Occupation of New Habitats by Different Lineages, not Rapid Adaptive Radiation, *Systematic Biology*, 61(5), 823-834.
- Hu, J., Jiang, Z. 2011. Climate Change Hastens the Conservation Urgency of an Endangered Ungulate, *PLOS ONE*, 6(8), e22873.
- Jetz, W., Rahbek, C. 2002. Geographic range size and determinants of avian species richness, *Science*, 297, 1548–1551.
- Kerr, J. T. 1997. Species richness, endemism, and the choice of areas for conservation, *Conservation Biology*, 11(5), 1094–1100.
- Lennon, J. J., Koleff, P., Greenwood, J. J. D., Gaston, K. J. 2004. Contribution of rarity and commonness to patterns of species richness, *Ecology Letters*, 7, 81–87.
- Magurran, A. E. 1998. Ecological diversity and its measurement, Princeton University Press, Princeton, U.S.A.
- Margules, C. R., Pressey, R. L. 2000. Systematic conservation planning, *Nature*, 405, 243–253.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A. B., Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities, *Nature*, 403, 853–858.
- Orme, C. D. L., Davies, R. G., Burgess, M., Eigenbrod, F., Pickup, N., Olson, V. A., Webster, A. J., Ding, T., Rasmussen, P. C., Ridgely, R. S. 2005. Global hotspots of species richness are not congruent with endemism or threat, *Nature*, 436, 1016–1019.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., Schapire, R. E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190, 231-259.
- Phillips, S. J., Dudik, M. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation, *Ecography*, 31, 161-175.
- Prendergast, J. R., Quinn, R. M., Lawton, J. H., Eversham, B. C., Gibbons, D. W. 1993. Rare species, the coincidence of diversity hotspots and conservation strategies,

- Nature, 365, 333–337.
- Roberge, J. M., Angelstam, P. 2004. Usefulness of the umbrella species concept as a conservation tool, *Conservation Biology*, 18, 76–85.
- Sanderson, E. W., Redford, K. H., Vedder, A., Coppolillo, P. B., Ward, S. 2002. A conceptual model for conservation planning based on landscape species requirements, *Landscape and Urban Planning*, 58, 41–56.
- Scott, J. M., Davis, F., Csuti, B., Noss, R., Butterfield, B., Groves, C., Anderson, H., Caicoo, S., D’Erchia, F., Edwards, T. C., Ulliman, J., Wright R. G. 1993. Gap analysis: a geographic approach to protection of biological diversity, *Wildlife Monographs*.
- Trisurat, Y., Bhumpakphan, N., Reed, D. H., Kanchanasaka, B. 2012. *Journal for Nature Conservation*, 20, 264–273.
- Tronstad, L., Andersen, M. 2011. Monitoring Rare Land Snails in the Black Hills National Forest. Report prepared by the Wyoming Natural Diversity Database, Laramie, Wyoming for the Black Hills National Forest Service, Custer, South Dakota.
- Vázquez, L., Gaston, K. J. 2004. Rarity, commonness, and patterns of species richness: the mammals of Mexico, *Global Ecology and Biogeography*, 13, 535–542.
- Watson, R. T., Heywood, V. H., Baste, I., Dias, B., G’amez, R., Janetos, T., Reid, W., Ruark, G. 1995. *Global Biodiversity Assessment, Summary for Policy-Makers*, Cambridge University Press, Cambridge (published for the United Nations Environment Programme).
- Wenguang, Z., Yuanman, H., Jinchu, H., Yu, C., Jing, Z., Miao, L. 2008. Impacts of land-use change on mammal diversity in the upper reaches of Minjiang River, China: Implications for biodiversity conservation planning, *Landscape and Urban Planning*, 85, 195–204.
- Williams, P., Gibbons, D., Margules, C., Anthony, R., Humphires, C., Pressey, R. 1996. A comparison of richness hotspots, rarity hotspots, and complementary areas for conserving diversity of british birds, *Conservation Biology*, 10(1), 155–174.

References

- Arita, H. T., Figueroa, F., Frisch, A., Rodríguez, P., Santos-del-Prado, K. 1997. Geographical range size and the conservation of Mexican mammals. *Conservation Biology*, 11(1), 92–100.
- Baquero, R. A., Teller, J. L. 2001. Species richness, rarity and endemism of European mammals: a biogeographical approach, *Biodiversity and Conservation*, 10, 29–44.
- Bruce, A. S., Lyan, S. K., Jonathan, S. A. 2000. *Precious heritage: The status of biodiversity in the U.S.*, Oxford university press.
- Ceballos, G., Ehrlich, P. R. 2006. Global mammal distributions, biodiversity hotspots, and conservation, *PNAS*, 103(51), 19374–19379.
- Ceballos, G., Ehrlich, P. R., Soberón, J., Salazar, I., Fay, J. P. 2005. Global mammal conservation: what must we manage? *Science*, 309, 603–607.
- Choi, T., Park, C. H. 2004. *Korean Groat*

- Potential Habitat Suitability Model at Soraksan National Park Using Fuzzy Set and Multi-Criteria Evaluation, *Journal of Korean institute of landscape architecture*, 32(4), 28-38.
- Cincotta, R. P., Wisniewski, J., Engelman, R. 2000. Human population in the biodiversity hotspots, *Nature*, 404, 990-992.
- Conroy, M. J., Noon, B. R. 1996. Mapping of richness for conservation of biological diversity: conceptual and methodological issues, *Ecological Application*, 6(3), 763-773.
- Cornell, H. V. 1999. Unsaturation and regional influences on species richness in ecological communities: a review of the evidence, *Ecoscience*, 6, 303-315.
- Franklin. J. 2009. Mapping species distributions spatial inference and prediction, Cambridge: Cambridge University Press.
- Gotelli, N. J., Colwell, R. K. 2001. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness, *Ecology letter*, 4, 379-391.
- Granham, C. H., Hijmans, R. J. 2006. A comparison of methods for mapping species ranges and species richness, *Global Ecology and Biogeography*, 15(6), 587-587.
- Groves, C. R. 2003. Drafting a conservation blueprint: A practitioner's guide to planning for biodiversity, Washington: Island Press.
- Heibl, C., Renner, S. S. 2012. Distribution Models and a Dated Phylogeny for Chilean Oxalis Species Reveal Occupation of New Habitats by Different Lineages, not Rapid Adaptive Radiation, *Systematic Biology*, 61(5), 823-834.
- Hu, J., Jiang, Z. 2011. Climate Change Hastens the Conservation Urgency of an Endangered Ungulate, *PLOS ONE*, 6(8), e22873.
- Jeon, S. W., Kim, J., Jung, H., Lee, W. K., Kim, J. S. 2014. Species Distribution Modeling of Endangered Mammals for Ecosystem Services Valuation, 17(1), 111-122.
- Jetz, W., Rahbek, C. 2002. Geographic range size and determinants of avian species richness, *Science*, 297, 1548-1551.
- Jung, D. J., Kang, K. H., Heo, J., Kim, C., Kim, S. H., Lee, J. B. 2010. Mapping for Biodiversity Using National Forest Inventory Data and GIS, *Journal of Korean society of environmental impact assessment*, 19(6), 573-581.
- Kerr, J. T. 1997. Species richness, endemism, and the choice of areas for conservation, *Conservation Biology*, 11(5), 1094-1100.
- Kim, J., Kwon, H., Park, J., Lee, J., Tho, J., Lee, D., Kim, S., Kim, D., Lee, Y., Suh, J., Suh, M., Seo, C., Ryu, J., Oh, D. H. 2011. Species Distribution modeling using National Ecosystem Survey(II), National Institute of Environmental Research.
- Kim, J., Seo, C., Kwon, H., Ryu, J., Kim, M. 2012. A study on the species distribution modeling using National Ecosystem Survey data, *Journal of Korean society of environmental impact assessment*, 21(4), 593-607.
- Kwon, H., Seo, C., Park, C. H. 2012. Development of Species Distribution Models and Evaluation of Species Richness in Jirisan region, *Journal of Korean society for geospatial information system*, 20(3), 11-18.
- Lee, D. K., Song, W. K. 2008. A Study on the Analytic Unit of Habitat Suitability

- Assessment and Selection in Conservation Areas for Leopard Cat, *Journal of Korean institute of landscape architecture*, 36(5), 64-72.
- Lennon, J. J., Koleff, P., Greenwood, J. J. D., Gaston, K. J. 2004. Contribution of rarity and commonness to patterns of species richness, *Ecology Letters*, 7, 81-87.
- Magurran, A. E. 1998. *Ecological diversity and its measurement*, Princeton University Press, Princeton, U.S.A.
- Margules, C. R., Pressey, R. L. 2000. Systematic conservation planning, *Nature*, 405, 243-253.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A. B., Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities, *Nature*, 403, 853-858.
- National Institute of Environmental Research. 2003. *Why ecosystem survey is need*, National Institute of Environmental Research.
- Orme, C. D. L., Davies, R. G., Burgess, M., Eigenbrod, F., Pickup, N., Olson, V. A., Webster, A. J., Ding, T., Rasmussen, P. C., Ridgely, R. S. 2005. Global hotspots of species richness are not congruent with endemism or threat, *Nature*, 436, 1016-1019.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., Schapire, R. E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190, 231-259.
- Phillips, S. J., Dudik, M. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation, *Eography*, 31, 161-175.
- Prendergast, J. R., Quinn, R. M., Lawton, J. H., Eversham, B. C., Gibbons, D. W. 1993. Rare species, the coincidence of diversity hotspots and conservation strategies, *Nature*, 365, 333-337.
- Roberge, J. M., Angelstam, P. 2004. Usefulness of the umbrella species concept as a conservation tool, *Conservation Biology*, 18, 76-85.
- Sanderson, E. W., Redford, K. H., Vedder, A., Coppolillo, P. B., Ward, S. 2002. A conceptual model for conservation planning based on landscape species requirements, *Landscape and Urban Planning*, 58, 41-56.
- Scott, J. M., Davis, F., Csuti, B., Noss, R., Butterfield, B., Groves, C., Anderson, H., Caicoo, S., D'Erchia F, Edwards, T. C., Ulliman, J., Wright, R. G. 1993. *Gap analysis: a geographic approach to protection of biological diversity*, Wildlife Monographs.
- Seo, C., Park, Y. R., Choi, Y. S. 2008. Comparison of Species Distribution Models According to Location Data, *Journal of korean society for geospatial information system*, 16(4), 59-64.
- Song, W., Kim, E., Lee, D. K. 2012. Measuring Connectivity in Heterogenous Landscapes: a Review and Application, *Journal of Korean society of environmental impact assessment*, 21(3), 391-407.
- Trisurat, Y., Bhumpakphan, N., Reed, D. H., Kanchanasaka, B. 2012. *Journal for Nature Conservation*, 20, 264-273.
- Tronstad, L., Andersen, M. 2011. *Monitoring Rare Land Snails in the Black Hills National Forest*. Report prepared by the Wyoming Natural Diversity Database, Laramie, Wyoming for the Black Hills National Forest Service, Custer, South Dakota.

- Vázquez, L., Gaston, K. J. 2004. Rarity, commonness, and patterns of species richness: the mammals of Mexico, *Global Ecology and Biogeography*, 13, 535–542.
- Watson, R. T., Heywood, V. H., Baste, I., Dias, B., G´amez, R., Janetos, T., Reid, W., Ruark, G. 1995. *Global Biodiversity Assessment, Summary for Policy-Makers*, Cambridge University Press, Cambridge (published for the United Nations Environment Programme).
- Wenguang, Z., Yuanman, H., Jinchu, H., Yu, C., Jing, Z., Miao L. 2008. Impacts of land-use change on mammal diversity in the upper reaches of Minjiang River, China: Implications for biodiversity conservation planning, *Landscape and Urban Planning*, 85, 195–204.
- Williams, P., Gibbons, D., Margules, C., Anthony, R., Humphires, C., Pressey, R. 1996. A comparison of richness hotspots, rarity hotspots, and complementary areas for conserving diversity of british birds, *Conservation Biology*, 10(1), 155–174.