

제주 노루(*Capreolus pygargus*)의 서식지 선호도 분석*

김아름¹ · 이제민¹ · 장갑수^{1*}

Modeling the Spatial Distribution of Roe Deer (*Capreolus pygargus*) in Jeju Island*

A-Reum KIM¹ · Jae-Min LEE¹ · Gab-Sue JANG^{1*}

요 약

본 연구에서는 제주도에 서식하는 노루의 출현확률을 기반으로 제주노루의 서식지 선호도를 분석하고자 하였다. 제주노루의 출현확률 분석을 위해 MaxEnt 모델을 활용하였고, 노루의 출현정보는 제주지역에서 이루어진 노루흔적조사 및 위치추적정보를 토대로 총 490개의 위치정보를 취합하였다. 환경변수로는 지형과 관련된 변수 4개, 거리변수 6개, 위성영상으로부터 얻은 변수 4개, 영급 등 총 15개의 변수가 선정되었는데, 그 중 변수 간 상관분석을 통하여 서로 간에 상관성이 높은 6개의 변수를 제거한 후 최종적으로 9개의 환경변수를 설명변수로 활용하였다. 분석에 의하면 제주노루가 출현 혹은 서식을 위해 선호하는 지역은 고도와 숲의 경계, 오름 등에 의존적인 것으로 나타났다, 특별히 선형적인 관계는 아니지만 고도에 따라 제주노루의 출현이 가장 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 제주노루는 해발고도 200~700m 사이의 지역과 1,500m 이상의 지역에서 가장 높은 출현확률을 보인 반면, 700~1,500m 구간에서는 높지 않은 출현확률을 보였다. 이는 해발고도 700~1,500m 구간은 한라산에서 가장 밀도가 높은 숲이 우거져 있는 지역이며, 이 지역에서 우점하고 있는 식생의 수관(crown)이 태양광을 차단하여 하층식생의 생육을 방해하므로 초식동물인 노루가 선호하는 연한 잎의 생산이 부족한 것이 그 원인인 것으로 판단된다. 반면 해발고도 200~700m 구간과 1,500m 이상의 정상부가 제주노루에 선호되는 배경은 우점하는 식생의 밀도가 매우 낮아 하층식생이 발달하여 있고, 이로 인해 제주노루가 구하기 쉬운 연한 잎을 생산하는 초본과 관목이 많이 생육하기 때문인 것으로 판단된다. 제주노루의 생태적 특성, 서식지 선호도 분석, 행동생태 등의 모델링을 위해서는 보다 세밀하고 심도있는 위치정보 및 현장조사가 필요하지만, 본 연구를 통하여 제주노루의 서식지 선호경향을 예측하였다는 점에서 그 의미가 있다고 사료된다.

주요어 : MaxEnt, 기계학습식 모형, 출현정보, 제주노루, 서식지 분석

2017년 12월 4일 접수 Received on December 4, 2017 / 2017년 12월 28일 수정 Revised on December 28, 2017 / 2017년 12월 29일 심사완료 Accepted on December 29, 2017

* 본 연구는 경북녹색환경지원센터 2014년도 연구과제의 일환으로 수행하였음.

1 영남대학교 자연과학대학 생명과학과 Dept. of Life Sciences, College of Natural Sciences, Yeungnam University

* Corresponding Author E-mail : sunside@ynu.ac.kr

ABSTRACT

The habitat preference of roe deers (*Capreolus pygargus*) in Jeju island, South Korea was analyzed by using their occurrence probability in MaxEnt model in this study. Totally 490 surveying data were gathered and 15 environmental variables were chosen for the model in which 6 variables out of 15 ones were filtered and finally removed because of there being higher correlation (over 0.7 in correlation coefficient). According to the modeling, roe deers were known to prefer the area ranging from 200 to 700 meter and over 1,500 meter in sea level, where there were not many dominant tree and/or dominant vegetation with low density so that understory vegetation can grow well with plentiful sunlight and can be used as a food of herbivore like roe deers. Otherwise, the region ranging from 700 to 1,500 meter was mostly covered with high density vegetation which cut off sunlight trying to penetrate through the dominant vegetation. It can cause a lower density of vegetation on surface, which can not attract to roe deers.

KEYWORDS : MaxEnt, Machine Learning Modeling, Presence-Only Data, ROC, AUC

서 론

노루는 우제목(Artiodactyla) 사슴과(Cervidae) 노루속(Capreolus)에 속하는 포유류로, 유럽에 서식하는 유럽노루(*Capreolus capreolus*)와 아시아 북부에 서식하는 시베리아노루(*Capreolus pygargus*) 2종으로 구분되고 있다(Kim *et al.*, 2007). 본 연구의 대상종인 제주도에 서식하는 노루는 시베리아노루(*Capreolus pygargus*)의 아종으로 알려져 있지만 노루속 안에서 학자들마다 주장하는 분류학적 위치가 다르다. Koh *et al.*(2012)에 의하면 제주도에 서식하는 노루는 고립된 환경조건으로 인해 내륙에 존재하는 노루들과 유전적인 변이가 상당하다고 주장하였고, Park *et al.*(2016) 등이 머리뼈 계측을 통하여 내륙의 노루와 유의미한 차이가 있다고 보고하고 있으나 아종으로의 명확한 분류가 없으므로 Yoon(2003), Oh(2004), Kim *et al.*(2007), Koh *et al.*(2012)을 따라 그 학명을 *Capreolus pygargus tianschanicus*으로 쓰고 제주노루라 표현하였다.

제주도에 서식하고 있는 노루는 흔히 보여지는 일반종이었지만 밀렵의 영향으로 1980년대까지 멸종위기에 처한 상태였다. 그 후 노루 살

리기 캠페인을 실시하여 노루의 개체 수가 증가하였는데, 특히 생태계 내 상위포식자가 없는 관계로 노루의 개체수는 지속적으로 증가하였고, 중산간 지역(200~600m)의 무분별한 개발로 인해 중산간 지역의 노루 서식지가 점차 줄면서 한라산 숲 외곽의 농경지까지 이동해 먹이활동을 하였다. 이에 따른 제주노루에 의한 농작물 피해가 사회문제까지 확산되어 제주노루를 유해야생동물로 지정하였다(Oh, 2004; Oh, 2015). 최근에는 제주특별자치도 야생생물 보호 및 관리 조례에 의거하여 노루의 한시적 포획을 허가하였는데 2013년과 2014년에만 무려 2,960마리의 노루를 포획하면서 이제는 환경단체의 반발을 사게 되었고, 결국 보호하자는 견해와 제어할 하자는 견해가 첨예하게 대립하고 있는 실정이다.

제주특별자치도에 서식하고 있는 노루와 관련된 연구는 농작물 피해증가 요인에 관한 연구(Kim and Hong, 2006), 개체군에 대한 연구(Kim *et al.*, 2007), 개체수 관리모형 연구(Jeon and Kim, 2011), 노루의 생태 전반에 관한 연구 등이 진행된 바 있으나 제주노루의 생태적 특성 및 서식지 선호도에 관한 연구는 부족하여 관련 정책으로의 활용에 한계가 있었다. 또한 국내에서 서식지 분석과 관련된 연구

는 멧돼지(*Sus scrofa coreanus* Heude) (Seo and Park, 2000), 고라니(*Hydropotes inermis argyropus* HEUDE) (Song and Kim, 2012; Park and Lee, 2013), 산양(*Naemorhedus caudatus*) (Seo et al., 2008; Cho et al., 2015), 삵(*Prionailurus bengalensis*) (Choi et al., 2012; Lim et al., 2015) 등이 진행된 바 있으나 한반도 내륙과 생태적 특성이 다른 제주도에 서식하고 있는 노루의 서식지 분석과 관련된 연구는 수행된 바 없어 이에 대한 조명이 요구되고 있다.

이에 본 연구에서는 제주노루의 출현정보를 기반으로 제주도 전역의 서식지 분석을 수행하였으며 이를 토대로 제주노루 개체군 관리를 위한 기초정보로 활용하고자 한다.

연구 방법

1. 제주노루 출현 정보

본 연구의 대상지는 제주특별자치도 전역이며, 활용된 노루 출현정보는 제3차 전국자연환경조사에서 확인한 236지점과 Yoon(2003)의 제주도지역 노루의 생태에 관한 연구에서 활용한 134지점, 그리고 한라산국립공원관리공단에서 현장조사하여 얻은 120개 노루 흔적정보를 활용하여 총 490개의 노루출현 지점이 사용되었다(표 1, 그림 1). 제주노루 출현정보들은 조사 기관과 조사방법 등이 다르지만 제주노루의 흔적과 위치추적을 통하여 제주노루의 위치가 확인된 정보이며, 2000년 이후에 조사된 정보이기 때문에 최근 제주개체군의 상황을 잘 설명하고 있다고 판단되며, 이에 따라 본 연구에서 활용된 정보는 최근의 제주노루 개체군을 설명

하는데 더 없이 귀중한 자료라고 할 수 있다.

2. 서식지분석을 위한 환경변수

서식지분석을 위한 환경변수는 기존 관련 문헌조사를 통하여 선정하였고, 서식지 분석에 용이할 것으로 판단되는 정보를 추가적으로 선정하여 ArcMap 10.1에서 10×10m의 해상도로 환경변수(지형변수, 거리변수, 식생변수, 온도변수)를 생성하였다.

지형변수로는 경사(slope), 고도(elevation), 향(aspect), 음영기복도(hillshade)를 사용하였다 (Guisan and Zimmermann, 2000; Zaniewski et al., 2002; Stockwell and Peterson, 2002; Anderson et al., 2003; Hernandez et al., 2006; Phillips et al., 2006; Pearson et al., 2007; Kwon et al., 2012; Kim et al., 2012). 고도정보는 수치지형도의 등고선 자료를 이용하여 제작하였고, 경사, 향, 음영기복도는 고도자료를 이용하여 계산하였다. 거리변수로는 산림 내부로의 거리(d_forest (in)), 산림외부로의 거리(d_forest (out)), 수계로부터의 거리(d_stream), 도로로부터의 거리(d_road), 농경지로부터의 거리(d_agri) (Cho et al., 2015; Kim et al., 2012)를 적용하였고, 제주도지역의 특이 지형인 오름이 노루의 번식과 서식에 유리한 역할을 한다는 선행연구(Oh, 2015)에 따라 오름으로부터의 거리(d_oreum)를 설명변수 중 하나로 선정하였다. 식생의 특성을 설명하기 위해서 식생의 활력을 가늠할 수 있는 정규식생지수(NDVI)와 임상도의 영급을 활용하였는데, NDVI 이미지는 출현자료의 시기와 가장 가까운 시기 중 구름으로 가려진 부분이 가장 적은 2014년 1월과 4월 영상의 red와 NIR 밴드를 이용하여 구하였

TABLE 1. The occurrence data of roe deers surveyed in Jeju island

	Year	Method	Points
The 3rd nationwide natural environment survey	2006~2010	Faeces, footprint etc.	236
A study on ecological characteristics of Roe deer (<i>Capreolus pygargus tianschanicus</i>) in Jeju island, Korea	2000	Argos animal tracking system, radio telemetry technique	134
Regular surveying done by the Hallasan National Park Service	-	Faeces, footprint etc.	120
Total			490

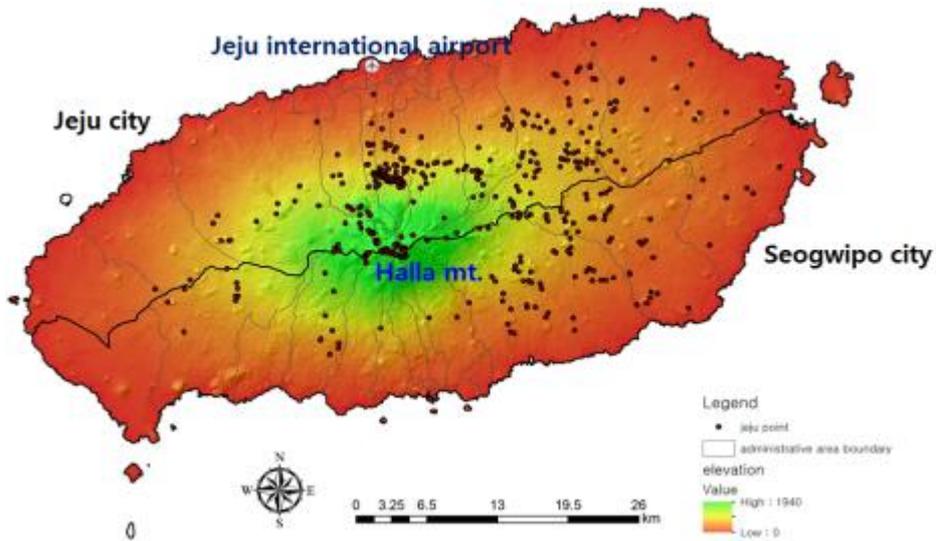


FIGURE 1. The occurrence data of roe deers surveyed in Jeju island

다. 온도변수(Temp (1), Temp (4))는 Lands at8 영상에서의 2014년 1월과 4월의 thermal band의 값을 사용하였다.

선정된 15개 환경변수는 이변량 상관분석을 통하여 상관계수가 0.7 이상인 변수들 중 Max Ent에서의 기여도가 낮은 6개의 변수를 제거하였고(Gormley *et al.*, 2011), 그 결과, 고도, 향

음영기복도, 4월의 정규식생지수(NDVI (4)), 4월의 온도(Temp (4)), 숲 내부로의 거리(d_forest (in)), 숲 외부로의 거리(d_forest (out)), 오름으로부터의 거리(d_oreum), 영급(yung) 등 9개 변수가 선정되어 이들을 MaxEnt를 활용한 중 분포모형 분석의 설명변수로 사용하였다(그림 2, 표 2).

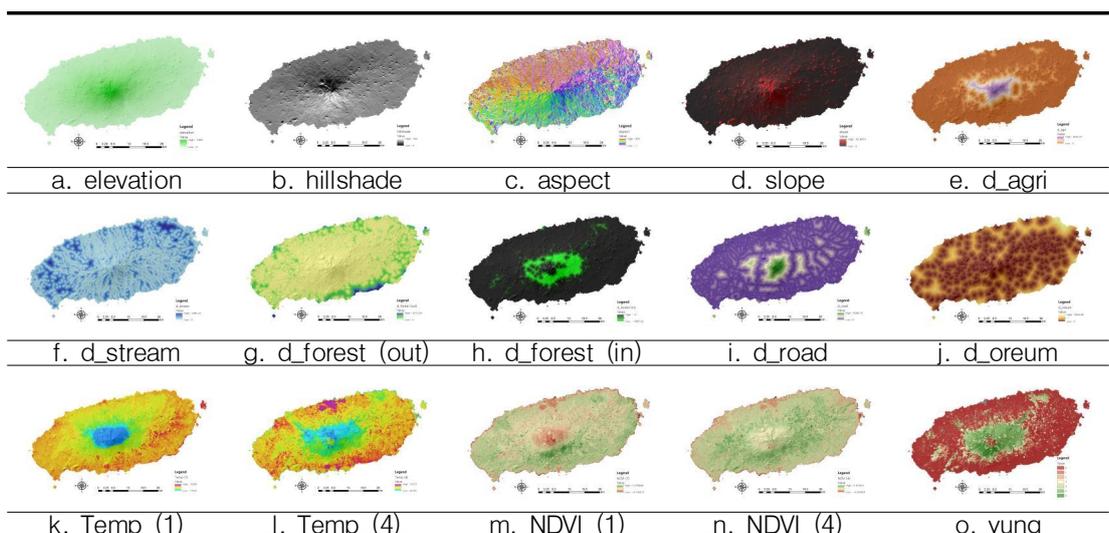


FIGURE 2. Environmental variables recommended for environmental variables

TABLE 2. Summary of environmental layers

	Name	Source	Description	Resolution	Unit	Type	Apply
1	Elevation	Digital map	Digital elevation model	10	m	continuous	○
2	Aspect	Digital map	Aspect (0° ~360°)	10	° (degree)	continuous	○
3	Hillshade	Digital map	Hillshade (azimuth180, altitude45)	10	· (0~255)	continuous	○
4	Slope	Digital map	Slope (0° ~90°)	10	° (degree)	continuous	
5	d_agri	Land covering map	Distance from agricultural area	10	m	continuous	
6	d_stream	Digital map	Distance from stream	10	m	continuous	
7	d_forest (in)	Stock map	Distance from forest boundary (inside)	10	m	continuous	○
8	d_forest (out)	Stock map	Distance from forest boundary (outside)	10	m	continuous	○
9	NDVI (1)	landsat 8	Normalized Difference Vegetation Index in January	30→10	· (-1~1)	continuous	
110	NDVI (4)	landsat 8	Normalized Difference Vegetation Index in April	30→10	· (-1~1)	continuous	○
11	Temp (1)	landsat 8	Thermal band of Landsat-8 image taken in January	30→10	16bit	continuous	
12	Temp (4)	landsat 8	Thermal band of Landsat-8 image taken in April	30→10	16bit	continuous	○
13	d_road	Digital map	Distance from road	10	m	continuous	
14	d_oreum	Stock map	Distance from oreum	10	m	continuous	○
15	Yung	Stock map	Age-class in digital forest type map	10	- (1~6)	categorical	○

3. 활용모형

1) MaxEnt 모형

공간변수를 활용한 서식지 분포 모형은 통계적 모형(GLM, GAM, Mars), 기계학습식모형(Decision Tree, Ensemble, ANN, GARP, MaxEnt), 분류 및 평가에 의한 모형(GARO, HSI) 등이 있다(Franklin, 2009).

MaxEnt는 기계학습식모형 중 하나로 최대엔트로피(Maximum entropy)이론을 기반으로 종의 분포를 예측한다(Gormley *et al.*, 2011). 최대엔트로피의 개념은 무질서도가 최대일 때의 종의 분포를 추정하는 방식이다(Phillips *et al.*, 2004). 조사가 이루어진 일부 종에 대해서는 출현과 비출현 좌표를 활용할 수 있지만, 대부분의 종에서는 비출현 좌표의 생성이 용이하지 않다(Phillips *et al.*, 2006). 이 때문에 출현좌표만을 이용하여 모형화가 가능한 MaxEnt를 사용하게 되었으며(Phillips *et al.*, 2004), 여러

선행사례에서도 출현좌표만을 활용한 모형에서 MaxEnt 모형의 높은 정확도를 확인한 바 있다(Seo *et al.*, 2008; Song and Kim, 2012). 또한 기계학습식 모형은 데이터를 조작하고 환경변수를 적용하여 다양한 모형을 적용하고 최적의 결과를 도출하는데 효과적이고(Song and Kim, 2012), 적은 수의 샘플만으로도 활용이 가능한 장점을 가진다(Phillips *et al.*, 2004). MaxEnt는 통계적 모형은 아니지만 각 변수의 기여도 등을 통하여 변수에 대한 통계적인 해석이 가능하다(Song and Kim, 2012).

본 연구에서는 9개의 환경변수와 490개의 출현정보를 MaxEnt 3.3.3k 프로그램을 활용하여 분석하였다. 모델링을 위하여 출현정보의 75%는 훈련데이터로, 25%를 검증데이터로 사용하여 100회 반복하였다. 반복실행 방법으로 'subsample' 을 선택하였으며, 선택된 반복 샘플 세트가 평가(evaluation, 모형구축)에 활용되는 방식을 채택하였다. 결과의 출력형식은

logistic output을 선택하였으며 결과 값이 종의 출현확률에 대한 추정 값을 나타내어 다른 형식에 비해 해석이 용이한 장점이 있다(Phillips and Dudik, 2008). 모형의 결과는 ROC (Receiver Operating Characteristic)분석을 통한 AUC(Area Under the Curve)값으로 검증하였다. ROC분석은 모형의 수행능력을 평가하는데 널리 사용된다(Mas *et al.*, 2013).

2) 모형의 수행능력 평가

일반적으로 ROC 분석은 모형의 수행능력을 평가하는데 널리 사용되며(Mas *et al.*, 2013), 흔히 의학적 의사결정(medical decision making)에서 사용되었지만 최근에는 기계학습이나 데이터 마이닝(data mining) 연구에도 그 사용빈도가 증가하고 있다(Fawcett, 2006). 본 연구에서는 MaxEnt에 의해 구축된 종분포 모형의 출현 예측 확률이 실제로 종의 출현과 얼마나 일치하는지를 판단하기 위해 ROC curve의 AUC 값을 사용했다. AUC란 무작위로 선택된 출현지점이 무작위로 선택된 비 출현지점보다 높게 평가될 확률을 말하는데, MaxEnt 모형처럼 출현 좌표만을 이용한 경우에도 실제 비 출현좌표를 대신해 대상지 내에서 균일하게 무작위로 선택된 의사 비 출현 자료(pseudo-absence data)를 이용해 AUC값을 측정할 수 있다(Phillips and Dudik, 2008). AUC 값은 0.5~1.0사이의 값을 가지며 1에 가까울수록 모형 설명력이 높

다(Fawcett, 2006). 보통 0.8이상의 값을 가질 때 모형의 예측력이 우수하다고 판단하는데(Park *et al.*, 2014, 재인용), 본 분석의 AUC 값은 0.816으로 모형의 적합도가 적절하다고 말할 수 있다.

결과 및 고찰

1. 변수의 기여도

모형이 최고의 결과를 구축하는데 있어 각 변수가 얼마만큼의 기여도를 가지는지를 평가하는 비율 기여도(percent contribution)(Songer, 2012)를 활용하여 9개의 환경변수 중 ‘고도’가 68%로 가장 높은 기여도를 보이는 것을 확인하였고, ‘오름으로부터의 거리’, ‘숲 내부로의 거리’가 뒤를 이었으며, 식생의 ‘영급’이 기여도가 낮게 평가되었다. 치환 중요도(Permutation importance)는 ‘고도’가 71.7%로서 가장 높은 값을 가졌는데, 이는 ‘고도’ 변수의 제거 시 AUC의 값에 가장 많은 영향을 주는 것으로 해석할 수 있으며, 다시 말해 ‘고도’ 변수는 비율 기여도와 치환중요도 면에서 가장 중요한 변수로 확인되었다(표 3).

또한 변수의 중요성에 대한 잭나이프 테스트(Jackknife test)를 통해 변수의 상대적인 예측력을 평가할 수 있다(Yost *et al.*, 2008). 잭나이프 테스트는 각 변수에 대해서 그 변수만을 사용해서 만든 모형에서의 기울기(파란색 막대)

TABLE 3. Percent contribution and permutation importance for each variable in MaxEnt model

Variables	Percent contribution	Permutation importance
Elevation	68 (1)	71.7 (1)
d_oreum	9.7 (2)	6 (3)
d_forest (in)	7.6 (3)	9 (2)
Temp (4)	4.2 (4)	3.2 (5)
d_forest (out)	2.5 (5)	2.1 (7)
Aspect	2.3 (6)	3.3 (4)
Hillshade	2.1 (7)	0.8 (9)
NDVI (4)	1.9 (8)	2.8 (6)
Yung	1.7 (9)	1.2 (8)

() : rank

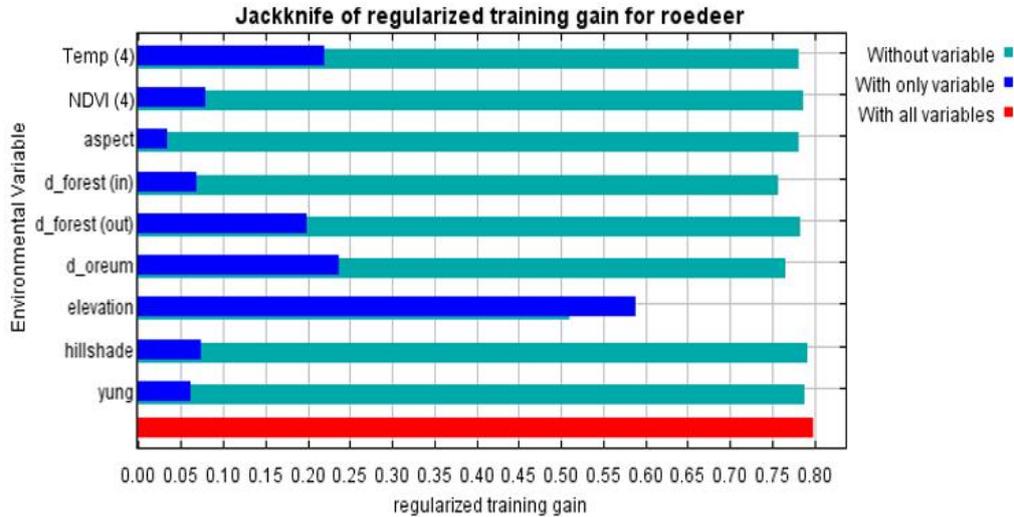


FIGURE 3. Regularized training gain in Jackknife test for investigating the importance of each variable

와 그 변수만을 제거하고 다른 변수들을 이용해 모형을 만들었을 때의 기울기(초록색 막대)를 전체 변수가 사용되었을 때의 기울기(빨간색 막대)와 비교하여 각 변수의 모형에 대한 영향력을 알 수 있다(그림 3). 그림 3의 잭나이프 테스트 결과에서 ‘고도’ 변수를 살펴보면, ‘고도’ 변수만을 활용한 영향력이 제일 크게 나타났으며, ‘고도’ 변수를 제거하였을 때 영향력의 감소도 두드러지게 나타난 것을 확인하였다. 그 외에 ‘오름으로부터의 거리’, ‘4월의 온도’, ‘숲 외부로의 거리’ 등의 변수가 많은 영향력을 가지는 것으로 나타났다. ‘4월의 정규식생지수’, ‘음영기복도’, ‘숲 내부로의 거리’, ‘영급’, ‘향’은 모형에 대한 기여도가 낮았음을 확인하였다.

2. 제주도 내 제주노루의 출현확률

1) 모델의 반응곡선 해석

MaxEnt 모형의 결과로 얻은 각 환경변수들의 반응 곡선(Response curve)은 환경변수에 따라 다양하게 반응하였다(그림 4). 먼저 ‘고도’는 383m~702m와 1,362m 이상에서 0.5 이상의 출현확률을 보였으며, 특히 1,362m 이

상에서는 고도가 높을수록 출현확률이 높았다. 이처럼 고지대에서 0.5이상의 출현확률을 나타낸 것은 백록담 인근에 오히려 교목이 적고 초지 위주의 개활지가 존재함으로 인해 노루의 서식 가능성을 높인 것이 그 원인인 것으로 해석하였다. ‘오름으로부터의 거리’ 변수에 의하면, 노루의 출현확률은 오름과 멀어질수록 낮게 나타났다. 특히 오름 정상으로부터의 거리가 220m 안쪽일 경우에는 0.5이상의 출현확률을 보였는데, 이는 오름이 노루에게 좋은 서식지로서의 역할을 담당한다고 볼 수 있다(Oh, 2015). 숲 경계로부터 안쪽으로 273m까지는 제주노루의 출현확률이 0.5이상으로 높았지만, 그 내부로 들어가면 노루의 출현확률이 떨어지는 것으로 나타났다. 하지만 낮은 출현확률이 0.4이상이기 때문에 숲 안쪽을 선호하지 않는다고 말할 수는 없으며 대체로 울창한 숲 안쪽보다는 숲의 가장자리를 더 선호하는 것으로 판단된다.

2) 제주노루의 출현확률

제주노루의 출현확률을 나타내는 예측지도에서 출현확률의 범위는 0~0.96으로 나타났고, 높은 곳은 90%이상의 출현확률을 보인 곳도 있

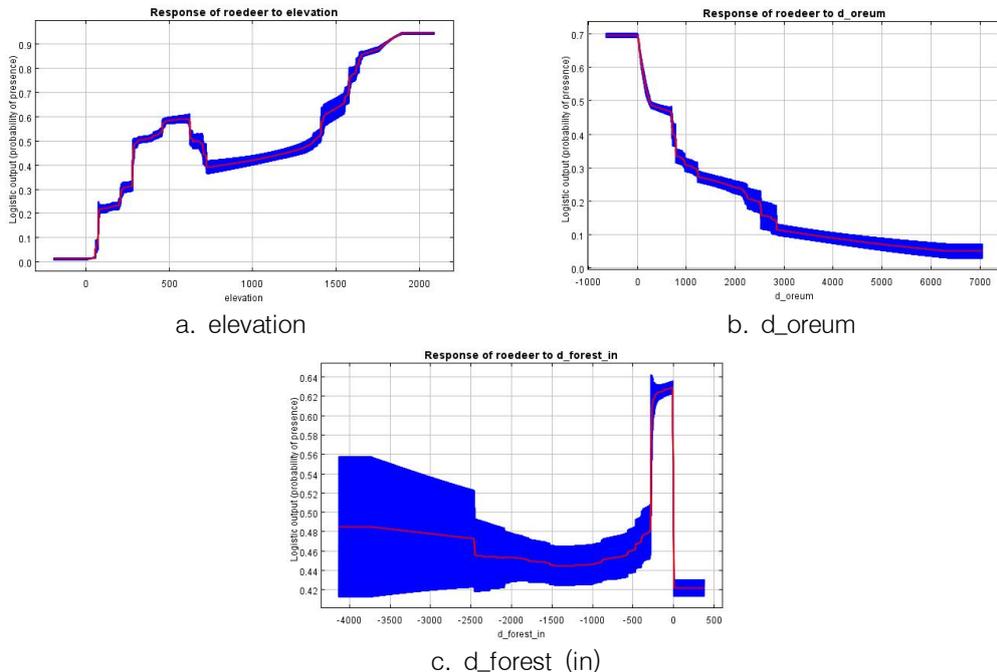


FIGURE 4. Response curves for variables in MaxEnt model: a. elevation, b. distance from oreum, c. distance from forest boundary (inside)

었다(그림 5). 출현확률이 높은 한 곳은 고도가 매우 높은 한라산 정상부였으며, 다른 한곳은 중산간지역인 것으로 드러났다. 특이한 점은 중산간 지역과 정상부 사이의 고지대에서는 결코 높지 않은 출현확률을 보인 것이다.

이는 고도에 따른 보다 세밀한 출현확률 분포를 통하여 보다 명확하게 이해할 수 있는데(표4; 표5), 출현확률이 80% 이상으로 높게 나타난 지역은 모두 1,500m 이상의 고도에 몰려 있었고, 50~80% 사이의 비교적 높은 출현확률을 보인 지역은 고도 200~700m 사이에서 나타났다. 반면 해발고도 200m 이하에서는 출현확률이 매우 낮았고, 700~1,500m 사이의 고지대에서도 그리 높지 않은 서식확률을 보였다(표 4, 표 5).

출현확률이 이처럼 고도의 일정구간에 따라서 다르게 나타나는 원인을 규명하기 위해 고도별 임상의 수령과 밀도를 통하여 비교해 보았다. 그 결과, 해발고도 700~1,500m지역의 대부분이 식생의 영급이 5~6영급으로 나타났고, 나머

지 지역은 일부가 5~6영급일 뿐 대부분이 0영급으로 나타났다. 특히 고도 200m 이하의 지역에서는 87.4%의 지역이 0영급으로 나타났으며, 200~700m의 고도에서는 52%에 해당하는 지역에서 0영급으로 나타났다. 1,500m 이상의 고도에서는 약 27%의 면적이 5~6영급을 보이지만, 이보다 많은 35%의 면적에서 0영급을 보이고 있었다(표 5).

이는 소밀도의 분석에서도 유사한 결과를 나타내고 있었다(표 6). 고도 700~1,500m에서는 약 83%의 면적에서 높은 밀도의 숲이 형성된 것으로 나타났지만, 그 외의 고도에서는 많은 면적이 밀도있는 식생이 없는 것으로 나타났다(표 6).

이 두 결과를 종합해보면, 노루의 출현확률이 50% 이하로 낮았던 고도 700~1,500m의 지역은 수령이 높은 나무들이 많고, 숲의 밀도가 높아 크고 작은 나무들이 밀도있는 수관을 형성하여 하늘을 덮고 있으며, 이 때문에 노루가 선호

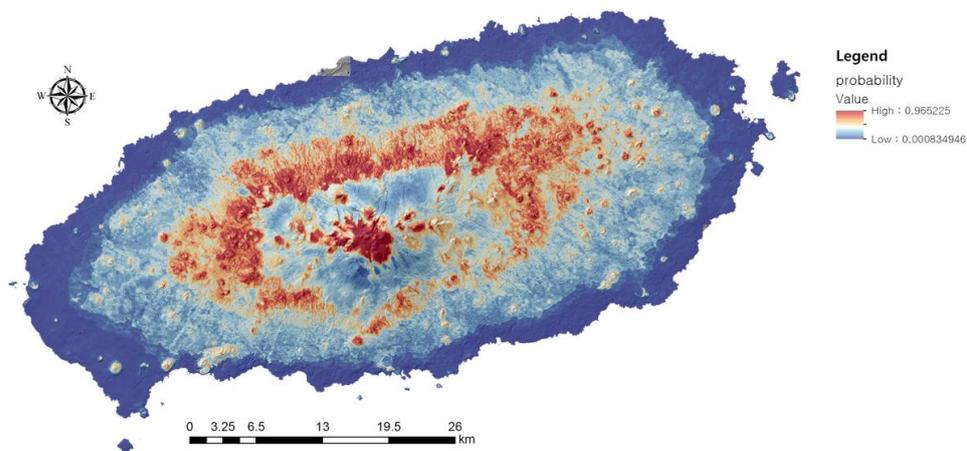


FIGURE 5. Prediction map on the occurrence of roe deers in Jeju island

TABLE 4. Distribution of occurrence probability for roe deers depending on altitudinal property

	50~60%	60~70%	70~80%	80~90%	90~100%
0~100m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
100~200m	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
200~300m	6.5	3.0	0.7	0.0	0.0
300~400m	32.1	17.3	3.5	0.0	0.0
400~500m	26.2	25.8	16.1	1.5	0.0
500~600m	18.8	28.5	30.0	4.6	0.0
600~700m	7.8	12.7	14.6	2.2	0.0
700~800m	1.1	1.9	3.9	0.6	0.0
800~900m	0.7	0.6	0.7	0.1	0.0
900~1,000m	0.9	0.7	0.4	0.0	0.0
1,000~1,100m	0.8	0.7	1.1	0.2	0.0
1,100~1,200m	0.7	0.9	1.6	0.3	0.0
1,200~1,300m	0.9	0.9	1.8	1.7	0.0
1,300~1,400m	0.9	1.6	4.3	2.5	0.0
1,400~1,500m	0.9	1.7	5.4	2.9	0.0
1,500~1,600m	0.7	2.2	8.4	21.0	3.4
1,600~1,700m	0.4	0.8	5.3	42.5	40.6
1,700~1,800m	0.1	0.3	1.6	14.8	18.5
1,800~1,900m	0.0	0.2	0.6	4.5	29.2
1,900~2,000m	0.0	0.0	0.0	0.3	8.4
Total (%)	100	100	100	100	100

TABLE 5. Distribution of age-class for dominant trees depending on altitudinal property

Elevation	Age-class (tree age)							Total (%)
	0	1	2	3	4	5	6	
0~200m	87.4	0.7	1.6	3.9	5.0	1.1	0.2	100
200~700m	52.0	3.0	7.3	14.2	11.5	10.0	2.0	100
700~1,500m	1.9	0.8	0.2	5.1	11.0	59.8	21.1	100
1,500~2,000m	35.2	10.7	1.2	10.1	15.3	12.8	14.7	100

TABLE 6. Distribution of crown density depending on altitudinal property

Elevation	Crown density				
	0	Coarse	Intermediate	Dense	Total
0~200m	88.2	1.6	5.1	5.1	100
200~700m	55.0	3.7	15.3	26.0	100
700~1,500m	2.6	0.9	13.3	83.1	100
1,500~2,000m	45.8	3.9	15.2	35.0	100

하는 연한 잎을 보유한 하층식생의 형성이 더디거나 어려운 것이 아닌가 의심되며, 이로 인해 광의 투과가 적절하게 유지되면서 하층식생도 발달한 한라산 정상부와 중산간지역을 선호하는 것으로 해석하였다.

결 론

제주노루에 대한 출현확률 분석을 위해 490개의 출현정보와 최종 선정된 9개의 환경변수를 적용하여 MaxEnt를 활용한 서식지 모형을 구축하였다. 그 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

먼저, 제주노루의 출현에 가장 큰 영향을 미치는 것은 '고도' 변수였으며, 오름으로부터의 거리에 따라, 숲 경계로부터의 거리에 따라 출현가능성에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 특히 고도는 제주노루의 서식에 가장 중요한 설명변수인 것으로 드러났으나, 그 상관성이 선형적이지는 않으며, 고도에 따라 편중된 선호도를 가지는 것으로 나타났다.

또한 제주도에서 제주노루는 중산간지대(200m~700m)와 정상부(1,500m이상)에서 그 출현확률이 높았던 반면, 고지대(700~1,500m)에서는 출현확률이 낮았고, 200m 이하에서는 출현확률이 매우 낮았던 것으로 드러났다. 이는 고지대를 중심으로 형성된 높은 영급(5~6영급)과 높은 식생밀도로 인하여 하층식생이 성장할 광조건이 모자라기 때문에 노루가 선호하는 먹이원이 부족하여 출현확률에도 영향을 미친 것으로 짐작하였다.

뿐만 아니라 200m 이하의 저지대에서는 인간의 이용, 식생의 부족 등으로 인하여 노루의 선호도가 떨어지는 중산간지역을 중심으로 넓게

펼쳐진 초지대와 저밀도 식생을 집중적으로 이용하면서 인간의 이용영역과 노루의 이용영역이 중복되는 것으로 추측하였다.

본 연구에서는 제주노루의 서식선호도 분석을 위해 다수의 일관되지 못한 출현조사자료를 활용하여 출현확률 분석을 하였다는 점에서 일부 한계를 인식하였으나, 다수의 전문가가 조사한 정보를 종합하여 가치있는 결론에 도달하였다는 점에서 의미가 있었다고 사료된다. 향후 제주노루의 개체군 및 서식지 관리를 위해 동일한 조사방법과 일관된 출현정보 취득을 통하여 정밀한 조사가 지속적으로 이루어져서 제주노루의 인간과의 공존을 위한 상생방안이 마련될 수 있기를 기대한다. [KAGIS](http://www.kagis.org)

REFERENCES

- Anderson, R.P., D. Lew, and A.T. Peterson. 2003. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling* 216:211-232.
- Cho, C.U., K.Y. Kim, K.C. Kim, H.M. Kim, and J.Y. An. 2015. Home range analysis of a pair of Gorals (*Naemorhedus caudatus*) using GPS collar according to the elevation change, in the North Gyeongbuk Province(Uljin) of Korea. *Journal of the Korean Association of Geographic information Studies* 18(1):135-146 (조재운, 김기윤, 김규철, 김현민, 안재용, 이배근, 박종길. 2015. 경북북부지역(울진) 산양(*Naemorhedus caudatus*) 암, 수 한쌍의 행동권

- 및 고도변화에 따른 행동권 분석. 한국지리정보학회지 18(1):135-146).
- Cho, H.J., D.H. Kim, M.S. Shin, T.H. Kang, and M.W. Lee. 2015. Predicting the Goshawk's habitat area using species distribution modeling: case study area Chungcheongbuk-do, South Korea. Korea Journal of Environment and Ecology 29(3):333-343 (조해진, 김달호, 신만석, 강태한, 이명우. 2015. 중분포모형을 이용한 참매의 서식지 예측 -충청북도를 대상으로-. 한국환경생태학회지 29(3):333-343).
- Choi, T.Y., H.S. Kwon, D.G. Woo, and C.H. Park. 2012. Habitat Selection and Management of the Leopard Cat (*Prionailurus bengalensis*) in a rural area of Korea. Korea Journal of Environment and Ecology 26(3):322-332 (최태영, 권혁수, 우동걸, 박종화. 2012. 농촌지역 살(*Prionailurus bengalensis*)의 서식지 선택과 관리방안. 한국환경생태학회지 26(3):322-332).
- Fawcett, T. 2006. An introduction to ROC analysis. Pattern Recognition Letters 27: 861-874.
- Franklin, J. 2009. Mapping species distributions: spatial inference and prediction. Cambridge University Press. UK.
- Gormley, A.M., D.M. Forsyth, P. Griffioen, M. Lindeman, D.S.L. Ramsey, M.P. Scroggie, and L. Woodford. 2011. Using presence-only and presence-absence data to estimate the current and potential distributions of established invasive species. Journal of Applied Ecology 48:25-34.
- Guisan, A. and N.E. Zimmermann. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. Ecological Modelling 135:147-186.
- Hernandez, P.A., C.H. Graham, L.L. Master, and D.L. Albert. 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. Ecography 29:773-785.
- Jeon, D.U. and D.H. Kim. 2011. Application of an augmented predator-prey model to the population dynamics of Roe Deer in Jeju. Korean System dynamics Review 12(2):95-126 (전대욱, 김도훈. 2011. 제주도 노루의 개체수 관리를 위한 확장적 피식-포식모형의 적용에 관한 연구. 한국시스템다이내믹스 연구 12(2):95-126).
- Kim, B.S., J.G. Oh, and H.S. Oh. 2007. The current number of its individuals and management plan of Roe Deer (*Capreolus pygargus tianschanicus Satunin*) Inhabiting Mt. Halla(Hallasan), Jeju Island, Korea. Korea Journal of Environment and Ecology 21(4):366-373 (김병수, 오장근, 오홍식. 2007. 한라산에 서식하는 노루(*Capreolus pygargus tianschanicus Satunin*)의 개체수 현황과 관리방안. 한국환경생태학회지 21(4): 366-373).
- Kim, D.H. and Y.K. Hong. 2006. A systemic approach for Roe Deer in Jesudo. Korean System dynamics Review 7(2): 191-213 (김도훈, 홍영교. 2006. 제주도 한라산 노루에 관한 시스템적 접근. 한국 시스템다이내믹스 연구 7(2):191-213).
- Kim, J.Y., C.W. Seo, H.S. Kwon, J.E. Ryu, and M.J. Kim. 2012. A study on the species distribution modeling using national ecosystem survey data. Journal of Environmental Impact Assessment 21(4): 593-607 (김지연, 서창완, 권혁수, 류지은, 김명진. 2012. 전국자연환경조사 자료를 이용한 중분포모형 연구. 환경영향평가 21(4): 593-607).
- Koh, H.S., B.G. Yang, H.S. Yoo, and T.Y.

- Chun. 2012. Diversity of mitochondrial DNA cytochrome b gene in Roe Deer (*Capreolus pygargus tianschanicus Satunin*) from Jeju Island, Korea. *The Korean Journal of Systematic Zoology* 16(2):169–176.
- Kwon, H.S., J.E. Ryu, C.W. Seo, J.Y. Kim, and D.O. Lim. 2012. A study on distribution characteristics of *Corylopsis coreana* using SDM. *Journal of Environmental Impact Assessment* 21(5):735–743 (권혁수, 류지은, 서창완, 김지연, 임동욱, 서민환. 2012. 종분포모형을 이용한 히어리 서식지의 분포 특성 연구. *환경영향평가* 21(5):735–743).
- Lim, S.J., J.Y. Kim, and Y.C. Park. 2015. Analysis of habitat characteristics of leopard cat (*Prionailurus bengalensis*) in Odaesan National Park. *Journal of Agriculture & Life Sciences* 49(3):99–111 (임상진, 김지영, 박영철. 2015. 오대산국립공원에 분포하는 살 (*Prionailurus bengalensis*)의 서식지 특성 분석. *농업생명과학연구* 49(3):99–111).
- Mas, J.F., B. Soares Filho, R.G. Pontius, M. Farfán Gutiérrez, and H. Rodrigues. 2013. A suite of tools for ROC analysis of spatial models. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 2(3):869–887.
- Oh, J.G. 2004. Characteristics of ecological behaviour of roe deer (*Capreolus pygargus tianschanicus*) in Jeju island, Korea. Graduate School of Korea National Univ. of Education Ph.D. thesis (오장근. 2004. 제주도 노루(*Capreolus pygargus tianschanicus*)의 생태학적 행동 특징. 한국교원대학교 대학원 박사학위논문).
- Oh, J.G. 2015. 제주도 전역 노루 개체수 조사. World heritage and Mt. Hallasan Research Institute, Jeju Special Self-Governing Province Research Report. 14:267–274.
- Park, H.C., J.H. Lee, and G.G. Lee. 2014. Predicting the suitable habitat of the *Pinus pumila* under climate change. *Journal of Environmental Impact Assessment* 23(5):380–393 (박현철, 이정환, 이관규. 2014. 기후변화에 의한 눈잣나무의 서식지 분포 예측. *환경영향평가* 23(5):379–392).
- Park, H.M. and S.D. Lee. 2013. Habitat use pattern of Korean waterdeer based on the land coverage map. *Journal of Wetlands research* 15(4):567–572 (박효민, 이상돈. 2013. 토지피복도를 이용한 고라니의 서식지이용분석. *한국습지학회지* 15(4):567–572).
- Park, Y.S., J.Y. Cha, and N.S. Kim. 2016. Taxonomic revision of variation in skull morphology of siberian Roe Deer (*Capreolus pygargus*, Pallas, 1771) in South Korea. *Korea Journal of Environment and Ecology* 30(1):39–47 (박용수, 차진열, 김남신. 2016. 머리뼈 형태학적 특성을 이용한 한국산 노루의 분류학적 고찰. *한국환경생태학회지* 30(1):39–47).
- Pearson, R.G., C.J. Raxworthy, M. Nakamura, and A.T. Peterson. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography* 34:102–117.
- Phillips, S.J. and M. Dudik. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31:161–175.
- Phillips, S.J., R.P. Anderson, and R.E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190:231–259.
- Phillips, S.J., M. Dudik, and R.E. Schapire. 2004. A maximum entropy approach to

- species distribution modeling. International Conference on Machine Learning 21: 665–662.
- Seo, C.W. and C.H. Park. 2000. Wild boar (*Sus scrofa coreanus Heude*) habitat modeling using GIS and logistic regression. Spatial Information Research 8(1): 85–99 (서창완, 박중화. 2000. GIS와 로지스틱 회귀분석을 이용한 멧돼지 서식지 모형 개발. 한국공간정보학회지 8(1):85–99).
- Seo, C.W., U.R. Park, and Y.S. Choi. 2008. Comparison of species distribution models according to location data. Journal of the Korean Society for Geo-spatial Information Science 16(4):59–64 (서창완, 박유리, 최윤수. 2008. 위치자료의 종류에 따른 생물종 분포모형 비교 연구. 한국지형공간정보학회지 16(4):59–64).
- Song, W.K. and E.Y. Kim. 2012. A comparison of machine learning species distribution methods for habitat analysis of the Korea Water Deer (*Hydropotes inermis argyropus*). Korean Journal of Remote Sensing 28(1):171–181 (송원경, 김은영. 2012. 고라니 서식지 분석을 위한 기계학습식 종분포모형 비교. 대한원격탐사학회지 28(1):171–180).
- Songer, M., M. Delion, A. Biggs, Q. Huang. 2012. Modeling impacts of climate change on giant panda habitat. International Journal of Ecology 2012:1–12.
- Stockwell, D.R.B. and A.T. Peterson. 2002. Effects of sample size on accuracy of species distribution models. Ecological Modelling 148:1–13.
- Yoon, S.I. 2003. A study on ecological characteristics of Roe deer. Korea university graduate school Ph.D. thesis. (윤성일. 2003. 제주도지역 노루(*Capreolus pygargus tianschanicus*)의 생태에 관한 연구. 고려대학교 대학원 박사학위논문).
- Yost, A.C., S.L. Petersen, M. Gregg, and R. Miller. 2008. Predictive modeling and mapping sage grouse (*Centrocercus urophasianus*) nesting habitat using maximum entropy and along-term dataset from Southern Oregon. Ecological Informatics 3:375–386.
- Zaniewski, A.E., A. Lehmann, and J.M. Overton. 2002. Predicting species spatial distributions using presence-only data: a case study of native New Zealand ferns. Ecological Modelling 157:261–280. [KAGIS](#)