

연구논문

위치자료의 종류에 따른 생물종 분포모형 비교 연구

Comparison of Species Distribution Models According to Location Data

서창완* · 박유리** · 최윤수***

Seo, Chang Wan · Park, Yu Ri · Choi, Yun Soo

要 旨

우리나라의 야생동물 조사가 시간적, 경제적 이유로 주로 출현지역만을 대상으로 하고 있어 종분포모형을 개발할 때 각 모형의 장점을 최대한 이용하는 것이 필요하다. 본 연구는 위치자료의 종류(출현/비출현자료)에 따라 가장 대표적인 출현/비출현모형(presence-absence model)인 GAM(Generalized Additive Model)과 출현모형(presence-only model)인 Maxent(Maximum Entropy Model)를 이용하여 비교·검토하였다. 본 연구의 대상종으로는 캘리포니아의 보호종인 피셔(Martes pennanti)를 선정하고 대상지를 지역에 따라 나누었으며, 서식지환경을 설명하는 지형, 기후, 식생변수들을 이용하여 모형을 적용하였다. 그 결과 첫째, 실제 출현/비출현자료를 사용한 GAM이 임의 비출현자료를 사용한 GAM과 출현자료만을 사용한 Maxent보다 전체적으로 나은 것을 볼 수 있었다. 둘째, 실제 출현자료만을 이용한 모형을 개발할 경우 임의 비출현자료를 이용한 GAM보다 출현자료만을 이용한 Maxent가 더 나은 것을 알 수 있었다. 마지막으로 세부지역에서 개발된 모형(Klamath/Shasta, Southern Sierra)은 서로 서식환경이 다를 경우 다른 지역의 서식지를 잘 예측하지 못함을 알 수 있었고, 대상지 외부지역에 대해 과추정하는 경향을 보였다. 위 결과를 바탕으로 위치자료의 종류, 공간적 분포 등을 감안하여 대상지의 환경에 알맞은 모형을 선택하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 생물종 분포모형, 출현/비출현 모형, 출현모형, GAM(Generalized Additive Model), Maxent(Maximum Entropy Model)

Abstract

We need to use the strength of each Species Distribution Model (SDM) because presence location data were only collected due to time and economic limitations in Korea. This study investigated and compared GAM (Generalized Additive Model) which is one of presence-absence models with Maxent (Maximum Entropy Model) which is one of presence only models according to location data (presence/absence data). The target species was Fisher (Martes pennanti) which is an endangered species in California, USA. We implemented environmental data such as topography, climate and vegetation, and applied models to sub-regions and study area. The results of this study were as follows. Firstly, GAM which used real presence and absence data was better than GAM which used pseudo-absence data and Maxent which used presence-only data. Secondly, Maxent was better than GAM when presence-only data were used. Lastly, each model which applied to different regions didn't predict other area well due to the difference of habitat environment and over-predicted outside of study area. We need to select an optimal model to predict a suitable habitat according to the type and distribution of location data.

Keywords : Species Distribution Model (SDM), presence-absence model, presence-only model, GAM(Generalized Additive Model), Maxent(Maximum Entropy Model)

1. 서 론

생물다양성협약은 1987년 유엔환경계획이 생물종 보

호를 위한 전문가 회의를 개최하면서부터 국제사회에서 처음 논의되기 시작해 1992년 6월 리우회의에서 158개국 대표가 서명함으로써 채택되었고, 1993년 12월 29일

2008년 11월 21일 접수, 2008년 12월 19일 채택

* 교신저자·서울시립대학교 대학원 공간정보공학과 BK21연구교수 (dharmascw@uos.ac.kr)

** 서울시립대학교 대학원 공간정보공학과 석사과정 (ppdbfl@uos.ac.kr)

*** 정희원·서울시립대학교 공간정보공학과 교수 (choisys@uos.ac.kr)

부터 발표되었다. 우리나라는 2004년 2월 9일 환경부에서 반달가슴곰, 산양과 같은 멸종위기종의 서식지를 특별보호구역으로 지정하여 보호할 수 있도록 기존의 자연환경보전법과 조수보호 및 수렵에 관한 법률에서 멸종위기종과 같은 특정 야생동식물의 서식지를 특별보호구역으로 지정하여 보호하도록 하고 있다.

이러한 생물다양성의 보전과 지속가능한 이용을 위한 생물다양성분석에는 중분포도가 필요하며, 중분포 예측을 위해 현재 다양한 모형들이 개발 적용되고 있다. 최근에 많이 이용되고 있는 모형들로는 GAP(Gap Analysis Program), 서식지적합성지수(Habitat Suitability Index; HSI)와 같은 단순 및 다중 선형회귀분석기법들이나 출현/비출현자료를 이용한 GLM(Generalized Linear Model), GAM(Generalized Additive Model), CART(Classification and Regression Tree), ANN(Artificial Neural Network)과 같은 다양한 회귀분석기법들(Scott et al., 2002), 그리고 다기준평가(Multi-Criteria Evaluation)나 퍼지이론을 통합한 서식지 모형들이 이용되고 있다. 최근에는 출현자료만을 이용한 Maxent(Maximum Entropy Model)와 같은 모형이 많이 이용되고 있다.

우리나라의 경우 자료수집의 어려움 때문에 통상적으로 중첩분석(김원주, 1998), 다기준평가(Multi-Criteria Evaluation)와 퍼지이론을 통합한 서식지 모형(최태영, 2004) 등을 이용하거나 또는 수집된 자료들이 주로 대상종의 출현자료가 주를 이루기 때문에 회귀분석을 위해 임의의 비출현자료를 이용하게 된다(서창완, 2001; Park et al., 2002). 중첩분석이나 HSI 그리고 퍼지이론을 이용한 서식지 분석의 경우 모형개발자의 주관적인 요소가 개입될 여지가 있어 수집된 자료만을 바탕으로 통계모형을 적용하는 다양한 회귀분석이 보다 객관적인 평가를 받을 수 있다.

우리나라의 경우 야생동식물 서식지모델링에 있어 자료의 한계로 주로 출현/비출현자료를 이용한 모형의 경우 실제 비출현자료의 수집한계로 인해 임의의 비출현자료를 생성하여 이용하게 되는데, 이때 실제 출현/비출현자료를 이용한 모형과 출현/임의의 비출현자료를 이용한 모형, 그리고 출현자료만을 이용한 모형사이의 어떠한 차이가 있는지를 살펴보는 것이 중요하다. 따라서 본 연구는 실제 출현자료와 비출현자료, 그리고 임의의 비출현자료를 이용하여 출현/비출현모형(presence-absence model)과 출현모형(presence-only model)간의 비교를 통해 위치자료의 종류(출현/비출현자료)에 따른 모형의 결과를 비교·분석하여 자료수집의 한계가 있는 우리나라의 경우 자료의 종류나 성격에 따라 어떠한 모형이 적합한지를 알아보려고 하는데 본 연구의 목적이 있다.

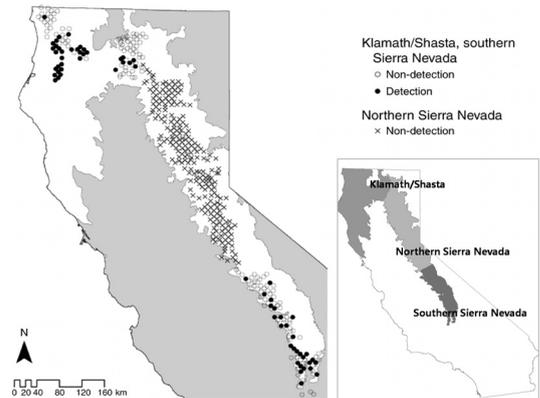


Fig. 1. The study area with a systematic cluster design by FIA (U.S. Forest Service Inventory and Analysis) (Davis, 2007).

2. 연구방법

2.1 연구 대상지 및 대상종

본 연구의 대상종으로는 종에 대한 출현/비출현자료가 정확하게 조사되어 있는 미국 캘리포니아의 야생동물인 Fisher(*Martes pennanti*)를 대상으로 하였다. 미국 전체적으로 800여 마리의 개체수를 가지고 있으며, 서부지역에 200~400여 마리가 분포하고, 캘리포니아주와 오레곤주에 주로 분포하고 있다. 캘리포니아주의 경우 북부 Sierra Nevada지역의 서식지 파괴로 인한 개체수 소멸로 인해 북부와 남부서식지는 400km 이상 떨어져 있으며, 남부서식지의 개체들의 유전적 고립이 진행되고 있다(Zielinski et al., 1999; Heinemeyer, 1994). 조사지역은 Figure 1에서 보는 바와 같이 북부지역(Klamath/Shasta), 남부지역(Southern Sierra), 조사지역(Statewide), 캘리포니아주(California)의 4지역으로 구분하였다.

2.2 자료수집

본 조사기간은 1996년부터 2002년간 캘리포니아주와 남부 오레곤주를 조사하였다(Zielinski et al., 2005). 이 중에서 캘리포니아지역(N 42° 0', W 124° 0' ~ N 35° 30', W 119° 30')을 대상으로 약 17년 동안 조사한 총 433개의 조사자료를 사용하였다. 조사방법은 FIA(U.S. Forest Service inventory and Analysis) 프로그램에 의한 체계적인 조사(Bechtold and Patterson, 2005)를 바탕으로 조사지점간 평균거리는 8~10km로서 각 조사구는 6개의 track-plate로 이루어져 있고, 1~2개의 35mm 원격무선카메라를 장착하고 있으며, 반경 500m의 면적을 포함하도록 설계되었다(Figure 2). 이는 Fisher의 평균 행동권

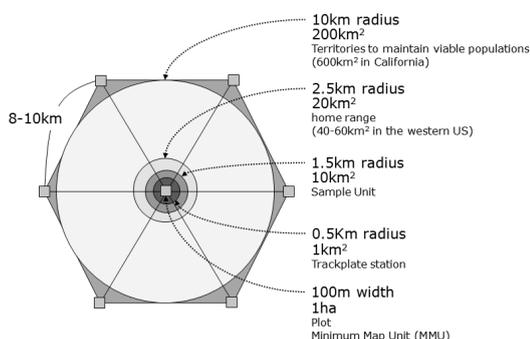


Fig. 2. A systematic hexagonal array of points with 10km FIA lattice interval distance.

(home range)이 10~20km²임을 감안하여 같은 개체가 중복되지 않게 조사하였다. 피셔의 출현확인용 track-plate 위에 남겨진 발자국과 카메라를 통해서 확인하였다 (Zielinski et al., 1995).

환경속성자료로는 지형, 기후, 식생으로 분류하고 총 8 종류의 자료를 구축하였다(Table 1). Davis(2007)의 연구에서 피셔의 서식지이용에 영향을 미치는 중요한 변수들을 사용하였다. 지형의 경우 위도를 고려한 고도자료

(adj.elevation)와 지형기복(relief), 기후의 경우 연평균 강우량(ann.ppt), 그리고 식생의 경우 위성영상을 사용하여 분류한 5가지의 자료(GIS.CWHR, GIS.CWHR2, GIS.structure, GIS.dense forest, GIS.dense hardwood)들을 이용하였다. 본 연구에서 사용한 공간해상도는 0.01km²이며, 각 공간단위가 가지는 값의 내용은 각 조사자료의 간격이 평균 10km이고, 피셔의 행동반경(home-range) 크기가 10~20km²을 고려하여 10km²의 면적을 대표하는 값으로 그 범위내의 각 셀들의 평균값을 이용하였다. 이는 피셔서식지내의 세부 서식지환경을 모델링하는 것이 아니라 전체 지역에서 적합한 피셔서식지를 모델링하기 위해서이다.

2.3 종분포모형

출현/비출현자료를 이용한 모형으로는 비선형모형인 GAM(Generalized Additive Model)을 사용하고(Hastie and Tibshirani, 1987; Guisan et al., 2002), 출현자료만을 위한 모형으로는 Maxent (Maximum Entropy Model)를 선택하였다(Phillips et al., 2006). 출현/비출현자료를 이용한 전통적인 선형회귀모형과 변량분석, 그리고 범주형 설명변수자료에 응용되는 모형으로는 GLM(Generalized

Table 1. Variables were tested for association with the detection of fishers in California. GIS variables are derived from source data with 1ha spatial resolution and are the mean value of cells in a 10km² circular window (Davis, 2007).

Variable Class	Variable	Variable Description
Topography	<i>adj.elevation</i>	latitude-adjusted elevation
	<i>relief</i>	Topographic relief (the standard deviation of elevation in a local 5×5 moving window).
Climate	<i>ann.ppt</i>	Mean annual rainfall for the period 1960-1991 (source grid has 1 km ² resolution).
Vegetation habitat scores derived from remotely sensed imagery (VGIS)	<i>GIS.CWHR</i>	Average CWHR (California Wildlife Habitat Relationships) fisher habitat rating (0-100). This system rates the suitability of each combination of habitat type, canopy closure class, and tree size. This assigns high suitability scores to upper montane, subalpine, and montane riparian forest.
	<i>GIS.CWHR2</i>	Average refined CWHR fisher habitat rating(0-100). This was modified by setting suitability scores for lodgepole pine, red fir, subalpine conifer, and montane riparian forest habitat types to 0 for fisher
	<i>GIS.structure</i>	The product of a CWHR2 habitat indicator variable (1=fisher forest habitat type, 0 otherwise), forest canopy closure (centroid of class interval) and tree size (centroid of class interval)
	<i>GIS.dense forest</i>	The proportion of 1 ha cells in a 10 km ² area classified as CWHR2 fisher forest habitat types and with 60-100% tree canopy closure.
	<i>GIS.dense hardwood</i>	The proportion of the 10 km ² sample area classified as CWHR montane hardwood or montane hardwood-conifer type and with 60-100% tree canopy closure.

Table 2. The comparison of AUC values between GAM and Maxent model using same variables. GAM was better than Maxent and different variables were significant at each model.

Models		Presence-absence Model(GAM)				Presence-only Model (Maxent)	
Data		Real presence	Real absence	Real presence		Pseudo absence	
Regions	N (prevalence)	Variables	AUC	Variables	AUC	Variables	AUC
Klamath/Shasta	111 (0.32)	GIS.structure relief	0.89	GIS.CWHR2 relief	0.79	ann.ppt relief adj.elevation GIS.structure GIS.dense forest GIS.dense hardwood GIS.CWHR2	0.82
Southern Sierra	88 (0.32)	ann.ppt GIS.dense forest adj.elevation	0.83	ann.ppt, GIS.structure GIS.dense forest GIS.dense hardwood	0.64		0.75
Statewide	433 (0.15)	ann.ppt, GIS.dense forest relief	0.85	ann.ppt, GIS.dense hardwood GIS.CWHR2 relief adj.elevation	0.82		0.82
California	433 (0.15)			ann.ppt GIS.dense hardwood GIS.CWHR2 relief adj.elevation	0.81		0.81

Linear Model)을 들 수 있는데, 로지스틱 회귀모형은 GLM의 한 형태이다. GAM은 GLM의 확장형태 중 하나로 smooth function을 이용하여 비선형적 연속형 독립변수를 처리하는데 이용된다. GAM의 경우 GLM보다 뛰어나고(Elith et al., 2006), ANN (Artificial Neural Network) 보다는 그 결과를 해석하기가 쉽다. Maxent는 모형개발자가 설정한 변수와 제한요소를 이용하여 확률분포를 예측하는 기계학습모형으로 종의 출현과 변수의 선형, 비모수적인 관계들을 잘 나타내어 준다(Phillips et al., 2006). Maxent의 경우 출현자료만을 이용할 경우 최근에 많이 사용되는 모형이다(Pearson et al., 2007).

GAM모형에는 GRASP 3.0 (Lehmann et al., 2002)을 사용하였으며, stepwise selection과 AIC information criterion (Anon, 1999)을 기준으로 모형을 적용하였다. Maxent 모형에는 MaxEnt 2.3(Phillips et al., 2006)을 이용하였다. 각각의 모형정확도는 ROC(Receiver operating characteristic)의 AUC(Area Under Cover)값을 통해 측정하였다(Hastie, 1992; Thuiller, 2003). AUC는 최소 0.5를 기준으로 분류의 정확도가 완벽할 경우 1.0을 나타내게 된다. AUC를 이용한 모형의 정확도 측정은 기존 분류정확도가 기준값(threshold)에 따라 정확도가 달라지므로 기준값에 독립적인 장점을 가지고 있어 각 모형들을 비교하는데 많이 이용되고 있다.

3. 결과 및 고찰

각 모형들을 지역에 따라 각각 분석한 결과 아래 Table 2와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 전체적인 모형의 결과는 실제 출현/비출현 자료를 이용한 GAM이 Klamath/Shasta(0.89), Southern Sierra(0.83), Statewide(0.85)의 세 지역에서 모두 높게 나타났다. 이는 모형이 실제 비출현 자료를 이용할 때가 임의 비출현자료나 출현자료만을 이용하는 때 보다 더 잘 맞는다는 것을 알 수 있다. 임의 비출현자료를 사용한 GAM과 출현자료만을 이용한 Maxent의 결과는 Maxent의 정확도가 Statewide와 California보다 Klamath/Shasta와 Southern Sierra에서 높게 나타난 것을 볼 수 있다. 특히 Maxent 모형이 Southern Sierra에서 더 높게 나타나 임의 비출현 자료나 출현자료만을 이용할 경우 Maxent가 GAM보다 유용하다는 것을 알 수 있었다(Elith et al., 2006).

다른 지역과는 달리 Southern Sierra에서 다른 지역보다 모형의 정확도가 낮게 나타나는데, 이는 Figure 3에서 보는 바와 같이 자료의 분포에서 높은 고도의 경우 접근성의 어려움으로 조사가 이루어지지 않아 전체적인 자료가 지역에 골고루 분포하지 않는 것이 중요한 원인이라고 볼 수 있다.

실제 출현 및 비출현자료를 이용한 GAM 모형이 전체

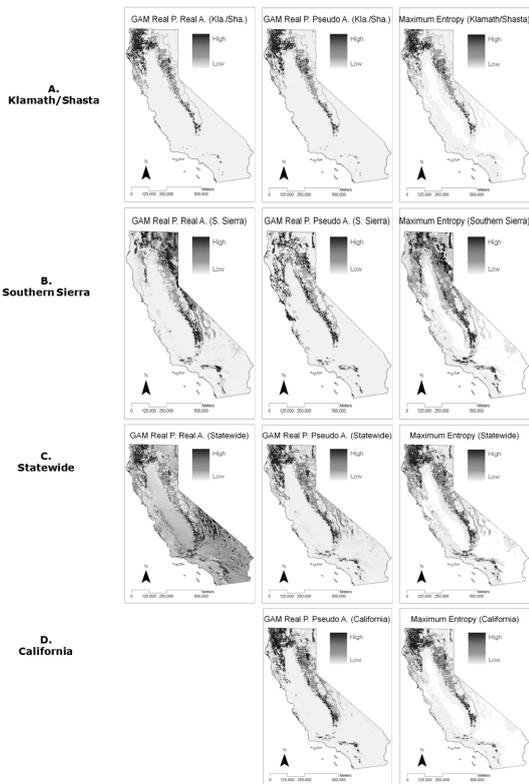


Fig. 3. The comparison of fisher habitat suitability between presence-absence model (GAM) and presence-only model (Maxent). First column: GAM model using real presence/absence data, second column: GAM model using real presence and pseudo-absence data, third column: Maxent model using presence-only data. Probability values: Low(0.0) - High(1.0).

적으로 모형의 정확도가 높은 것으로 나타난 것은 그 지역의 특성을 잘 나타내주는 실제 출현/비출현자료를 이용하였기 때문임을 알 수 있었다. 그러나 Maxent가 실제 비출현자료를 사용하지 않았다는 점을 고려한다면 그 차이가 크지 않는 것을 볼 수 있었다. 그리고 Table 2에서 보는 바와 같이 전체지역(Statewide)을 대상으로 한 두 모형의 공간적 최적지의 분포는 거의 비슷한 것을 알 수 있어 출현자료만을 이용할 경우 Maxent 모형이 매우 유용하다는 것을 알 수 있다.

실제 출현/비출현자료를 이용한 GAM의 경우 Klamath/Shasta는 GIS.structure, relief, Southern Sierra는 ann.ppt, GIS.dense forest, adj.elevation, Statewide에서는 ann.ppt, GIS.dense forest, relief으로 서로 다른 환경변수가 유의한 것으로 나타났는데, 이는 남쪽과 북쪽의 서식환경이 다르고, 피서가 서로 다른 서식환경에 적응하고 있는 것

을 알 수 있었다. 그리고 임의 비출현자료를 이용한 GAM모형과 비교하였을 경우에도 중요한 유의 환경변수는 크게 다르지 않음을 알 수 있었다.

Figure 3에서 보는 바와 같이 Klamath/Shasta와 Southern Sierra의 경우 예측된 서식지의 분포도가 각각의 모형이 그 지역에 잘 맞게 적용되어 나타난 것을 볼 수 있다. 그러나 Southern Sierra의 경우는 전체적으로 다른 지역에 비해 모형의 정확도가 낮아 조사지역 밖의 북부 Sierra 외부지역을 과추정하는 경향을 보이고 있었다.

전체자료를 모두 이용한 모형은 statewide와 California 두 지역에서 서식지분포를 모두 잘 표현하는 것을 알 수 있었다. 그러나 출현/비출현자료를 이용한 Statewide의 경우 또한 Mohave 사막지역에서 과추정된 경향이 보이고 있다. 이는 비출현자료의 경우 전체지역에 골고루 분포되지 않아 비출현지역의 서식지특성을 잘 반영하지 못하여 상대적으로 대상지의 외부지역을 잘 예측하지 못하는 경향을 나타내었다. 그러나 임의 비출현자료를 이용한 GAM과 출현자료만을 이용한 Maxent는 모두 다 외부지역에 대해 잘 예측하였는데, 이는 조사대상지 외부지역은 대부분 피서가 서식하지 않음으로 임의 비출현자료가 실제와 잘 맞아 떨어진 경우이다. 만약 임의 비출현자료를 생성한 지역에서 실제로 피서가 서식할 경우 실제 출현/비출현자료를 이용한 모형이 더욱 잘 예측할 수 있다.

4. 결 론

우리나라의 야생동식물의 조사가 수집방법에 있어 정확한 위치취득이 힘들고, 조사된 자료의 시간과 양도 충분하지 않다. 또한 시간적, 경제적 이유로 주로 출현자료만을 사용하고 있어, 이러한 자료를 이용한 종분포모형을 개발할 때, 각 모형의 장단점을 파악한 후 그 장점을 최대한 활용하는 것이 좋을 것으로 생각된다. 따라서 본 연구는 위치자료의 종류(출현/비출현자료)에 따라 가장 대표적인 모형인 GAM과 Maxent을 비교하였다.

본 연구의 결과 첫째, 실제 출현/비출현자료를 사용한 GAM이 임의 비출현자료를 사용한 GAM과 출현자료만을 사용한 Maxent보다 전체적으로 나은 것을 볼 수 있었다. 둘째, 실제 출현자료만을 이용한 모형을 개발할 경우 임의 비출현자료를 이용한 GAM보다 출현자료만을 이용한 Maxent가 더 나은 것을 알 수 있었다. 마지막으로 세부 지역에서 개발된 모형(Klamath/Shasta, Southern Sierra)은 서로 서식환경이 다를 경우 다른 지역의 서식지를 잘 예측하지 못함을 알 수 있었고, 외부지역에 대해 과추정하는 경향을 보였다.

향후 우리나라에서도 실제 출현/비출현자료에 대한 체

계적인 조사가 이루어진다면 다양한 종분포모형들을 비교·검토하여 볼 수 있을 것이다. 위에서 살펴본 결과를 바탕으로 위치자료의 종류, 양, 공간적 분포, 공간적 분석 범위 등을 감안하여 종분포모형들을 우리나라에 적용 시 대상종의 서식환경을 잘 반영할 수 있는 모형을 선택하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 현재 전반적으로 우리나라의 경우 주로 출현자료만이 조사되므로 이 경우 출현자료만을 이용한 Maxent가 적합하다고 볼 수 있다. 하지만 이 또한 조사자료의 질이 좌우하므로 자료조사에 대한 보다 체계적인 방법들이 연구되어야 할 것을 생각된다.

감사의 글

본 연구자료를 제공해주신 USDA Pacific Southwest Research Station과 Pacific Southwest Region of the USDA Forest Service, 자료조사에 참여하신 많은 연구진들 그리고 연구에 많은 도움을 주신 Frank W. Davis와 William J. Zielinski에게 감사드립니다.

참고문헌

1. 김원주, 박종화, 김원명, 1998, 멧돼지 서식지 적합성 분석 모형 개발: 점봉산, 설악산 지역을 대상으로, 한국GIS학회지, 제6권, 2호, pp. 247-256.
2. 서창완, 박종화, 최태영, 2001, Korean Goral (*Nemorhaedus caudatus raddeanus*) Habitat Suitability Modeling at Soraksan National Park, 한국GIS학회지, 제9권, 4호, pp. 577-589.
3. 최태영, 2004, 설악산국립공원내 산양(*Nemorhaedus caudatus raddeanus*)의 잠재 서식지 적합성 모형 : 다기준평가기법(MCE)과 퍼지집합(fuzzy set)의 도입을 통하여, 한국조경학회지, 제32권, 4호, pp. 28-38.
4. Anon, 1999, S-PLUS 2000 Guide to Statistics Vol 1, MathSoft, Seattle, WA.
5. Bechtold, W. A., P. L. Patterson, 2005, The enhanced Forest Inventory and Analysis Program: National sampling design and estimation procedures, Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station, 85p.
6. Davis W, Frank, Changwan Seo, William J, Zielinski, 2007, REGIONAL VARIATION IN HOME-RANGE-SCALE HABITAT MODELS FOR FISHER (MARTES PENNANTI) IN CALIFORNIA, Ecological Applications, Vol. 17, No. 8, pp. 2195-2213.
7. Elith, J., et al., 2006, Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data, Ecography, Vol. 29, pp. 129-51.
8. Guisan, A., T. C. Edwards, T. Hastie, 2002, Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene, Ecological Modelling, Vol. 157, pp. 89-100.
9. Hastie, T. J., 1992, Generalized additive models, Pages 249 - 308 in J. M. Chambers and T. J. Hastie, editors, Statistical models, S. Wadsworth and Brooks/Cole, Pacific Grove, California, USA.
10. Hastie, T. J. and R. Tibshirani, 1987, Generalized additive models: some applications, Journal of the American Statistical Association, Vol. 82, pp. 371-386.
11. Heinemeyer KS, Jones JL., 1994, Fisher biology and management in the western United States, USDA Forest Service Northern Region and Interagency Forest Carnivore Working Group, p. 120.
12. Lehmann, A., J. M. Overton, and J. R. Leathwick, 2002, GRASP: generalized regression analysis and spatial prediction, Ecological Modelling, Vol. 15, pp. 189-207.
13. Park, Chong-Hwa, Chang-Wan Seo, Woo-Young Joo, 2002, Eurasian Otter (*Lutra lutra*) Habitat Suitability Modeling Using GIS ; A Case Study of Soraksan National Park, The Journal of GIS Association of Korea, Vol. 10, No. 4, pp. 501-513.
14. Pearson, R. G., C. J. Raxworthy, et al., 2007, Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar, Journal of Biogeography, Vol. 34, pp. 102-117.
15. Phillips, S. J., R. P. Anderson, and R. E. Schapire, 2006, Maximum entropy modeling of species geographic distributions, Ecological Modelling, Vol. 190, pp. 231-259.
16. Scott, J. Michael, Patricia J. Heglund, Michael L. Morrison et al., 2002, Predicting Species Occurrences: Issues of Accuracy and Scale, Island Press, 868pp.
17. Thuiller, W., 2003, BIOMOD: optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change, Global Change Biology, Vol. 9, pp. 1353-1362.
18. Zielinski W. J., R. L. Truex, 1995, DISTINGUISHING TRACKS OF MARTEN AND FISHER at track-plate stations, J. WILDL. MANAGE., Vol. 59, No. 3, pp. 571-579.
19. Zielinski, W. J., N. P. Duncan, E. C. Farmer, R. L. Truex, A. P. Clevenger, and R. H. Barrett, 1999, Diet of fishers (*Martes pennanti*) at the southernmost extent of their range, Journal of Mammalogy, Vol. 80, pp. 961-971.
20. Zielinski, W. J., R. L. Truex, F. V. Schlexer, L. A. Campbell, and C. Carroll, 2005, Historical and contemporary distributions of carnivores in forests of the Sierra Nevada, California, USA, Journal of Biogeography, Vol. 32, pp. 1385-1407.