

일본 서식 외래 담수어종의 서식확률 평가를 위한 통계기법 연구

한 미 덕 · 정 욱 진*

(명지대학교 환경생명공학과)

Statistical Methods to Evaluate the Occurrence Probability of Exotic Fish in Japan. Han, Mideok and Wookjin Chung* (Department of Environmental Engineering and Biotechnology, Myongji University, Yongin 449-728, Korea)

This study analyzed and modeled the relationships between the probabilities of two exotic species occurrence (i.e. largemouth bass and blue gill) and environmental factors such as climatic and geographical variables using Generalized Additive Models (GAM), Generalized Liner Models and Classification Tree Analysis (CTA). The most moderate occurrence probability of largemouth bass was predicted using GAM with an area under the curve (AUC) of 0.88 and Kappa of 0.42, while those of blue gill was suggested by using CTA with an AUC of 0.92 and Kappa of 0.44. The most significant environmental variable in terms of changes in deviance for both species was the annual air temperature for the occurrence probability. Dams had stronger effect on the occurrence of largemouth bass than blue gill. Model development and prediction for the occurrence probability of fish species and richness are necessary to prevent further spread of exotic fishes such as largemouth bass and blue gill because they can threaten habitats of native river ecosystem through various mechanisms.

Key words : classification tree analysis, blue gill, generalized additive models, generalized liner models, largemouth bass

서 론

외래종의 유입은 농업, 산림업, 어업, 인간의 건강, 그리고 자연생태계에 다양한 영향을 미침에 따라서 전 세계적 인 문제로 인식되고 있다. 이러한 외래종에 대한 공간분포와 그것에 영향을 미치는 생물학적 인자를 이해하는 것은 지역보존 평가나 개발계획 수립에 있어서 중요한 인자가 될 수 있다. 그러나 이러한 외래종에 대한 자료는 매우 부족하며, 획득하는데 있어 어려움이 따른다. 외래종의 분포에 대한 불충분한 정보는 종 분포 모델링에 의해서 얻어질 수 있다(Guisan and Zimmermann, 2000; Luoto et

al., 2004).

최근 들어 외래종을 포함한 종의 분포 모델링은 경관 생태단위나 보전 계획에 있어 중요한 이슈중의 하나가 되고 있기 때문에 여러 가지 생물 종의 공간적 분포를 예측하기 위해서 이용되고 있다. 예를 들면, 기온 및 강수량을 이용한 외래 개미의 분포 예측(Word, 2007), 댐을 비롯한 기후 및 지형자료에 대한 담수어종의 서식확률의 분포패턴에 대한 예측(Amarasinghe and Welcomme, 2002; Leathwick et al., 2006; Scheffer et al., 2006; Zhao et al., 2006; Fukushima et al., 2007; Han and Lee, 2008), 일조량 및 년평균기온 등의 기후정보 위주의 환경 자료를 이용하여 식물 종의 분포를 예측(Leathwick, 1998), 서식지,

* Corresponding author: Tel: 031) 330-6687, Fax: 031) 337-2902, E-mail: wjc0828@gmail.com

에너지, 기후변화 및 지리적 환경 요인자료를 이용하여 조류의 출현종수 분포를 예측(Gonzalez-Taboada *et al.*, 2007)한 다수의 연구가 있다. 이러한 광범위한 지역에 있어서의 기후 및 지형 등의 환경자료를 이용한 생물 종의 분포 모델링의 발전은 리모트센싱(Remote Sensing)이나 지리정보시스템 기술의 개발 및 발달, 그리고 넓은 범위의 생태계에 적용할 수 있는 통계기법의 개발이 바탕이 되고 있다.

예측된 종의 분포 모델링은 1) 환경변수를 이용한 생물 분포 통계모델의 개발, 2) 테스트 자료 및 이 밖의 실증적인 기술을 통한 모델의 평가, 3) 모델 적용 예측값을 이용한 생물종의 분포도 작성 등의 3가지의 과정을 포함한다. 종의 분포모델과 그에 의해서 예측된 지도는 지역적 보존이나 관리계획 수립에 도움이 된다. 경관생태에 있어, 리모트센싱이나 지리정보시스템 기술을 접목한 새로운 통계기술은 종의 분포패턴을 이해할 수 있는 중요한 환경인자를 수치화 하는데 있어 효율적인 수단을 제공할 수 있다. 종의 분포 모델 적용 시 중요한 두 가지 분야는 적용 모델의 선택과 적용 단위 스케일의 영향이다.

최근 들어 생물의 공간적 분포를 예측하기 위한 GIS 모델, GLM (Generalized Linear Models: 일반화선형모델), GAM (Generalized Additive Models: 일반화가법모델), CAR (Conditional Autoregressive Models), ANN (Artificial Neural Networks: 인공신경망), CTA (Classification Tree Analysis: 결정목수법), GARP (Genetic Algorithm for Rule-set Prediction) 등의 다양한 모델에 대한 적용이 이루어지고 있다. 그러나 이러한 모델들 사이의 차이점이나 각 생물 종의 분포를 예측하는데 있어서의 모델 선택의 적절성 등에 대한 고찰은 부족하다.

따라서 본 연구에서는 모델에 적용할 단위스케일을 동일하게 설정한 후, 모델 별 특성 및 모의 가능성에 대한 연구를 실시하고자 한다. 다양한 종류의 회귀모델 중, 최근에 여러 연구에서 활용되고 있는 GLM, GAM, CTA를 이용하여 일본전국에 있어서 가장 넓은 지역에 분포가 확산되어 자연 하천생태계에 여러 가지 문제점을 야기하고 있는 대표 외래어종인 배스와 블루길의 공간적 분포 패턴을 분석하고 그 결과로부터 모델별 특징을 평가하는 것을 목표로 하였다.

재료 및 방법

1. 연구대상지

연구지역은 일본 전국의 하천 및 호수를 대상으로 하였

다. 일본은 북위 20° 25'~45° 33', 동경 122° 56'~153° 59'에 위치하고 있으며 남북으로 3,000 km에 달하는 폭이 좁고 긴 지형적 특성을 가지고 있으며, 북쪽부터 홋카이도(北海道), 혼슈(本州), 시코쿠(四), 큐슈의 4개의 섬으로 구성되어 있다. 남북으로 긴 지형적인 특징 때문에, 기후 및 동식물 분포도에서 지역별 차이가 크게 나타난다(Han and Lee, 2008). 일본환경청의 「일본야생생물목록(1993, 1995)」에 의하며, 일본 전역에는 약 200종의 담수어 및 기수어가 서식하고 있다고 한다. 이 중 상당수의 외래어종이 담 호수 및 자연호수 등을 중심으로 확산되고 있는 것으로 알려져 있다(Han *et al.*, 2008a, b). 총 80개의 대형댐에 의해서 형성된 호소에서 13종의 외래어종이 확인되었다. 이러한 외래어종의 생태계 교란 및 확산에 의한 악영향이 전세계적으로 이슈화 되면서 외래종의 공간적 분포와 이들이 재래어종의 군집에 미치는 영향에 대한 관심이 고조되고 있다.

2. 배스와 블루길 자료

배스(*Micropterus salmoides*, largemouth bass)와 블루길(*Lepomis macrochirus*, Bluegill)은 경우 일본에서 가장 광범위한 지역에 확산되어 있는 대표적인 외래종으로 알려져 있다. 물론 이러한 외래어종의 경우, 국내에도 광범위하게 유입되어 자연생태계에 미치는 다양한 영향 등이 알려져 있다. 배스와 블루길은 각각 1925년과 1960년에 낚시 등의 레크리에이션을 위해서 일본에 처음으로 유입되어, 현재는 매우 넓은 지역에 확산되어 있다. 특히 이들은 고유어종의 산란을 방해하고 알이나 치어를 포식함으로써 고유어종에게 매우 큰 악영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Azuma, 1992; Yuma *et al.*, 1998).

본 연구에서 사용한 배스와 블루길의 조사 자료는 1990~2005년에 조사된 수변하천조사의 자료를 이용하였으며 해당 자료는 일본 국토교통성의 하천환경데이터베이스 홈페이지(<http://www3.river.go.jp>)를 통해서 수집되었다. 하천수변국세조사는 국토교통성 및 도도부현(都道府縣)에 의해서 일본 전국의 109개 1급하천을 대상으로 1990년부터 5년에 1회 빈도로 어류, 저서생물, 식물, 조류, 양서류, 파충류, 포유류, 육상곤충류에 대해서 실시되었다. 본 조사는 하천의 적절한 정비와 관리를 위한 하천환경에 관한 기초 정보 수집을 목적으로 조사되었다. 그러나 이러한 포인트 자료의 경우 공간적으로 편중되어 있는 특징이 있는 문제로 “false absence” 에러가 발생할 수 있다. 즉, 특정의 생물종이 실제로는 서식하고 있음에도 불구하고, 조사노력, 능력, 방법 등에 따라서 서식이 확인되지 않는

잘못된 결과를 얻을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점에 의한 오류를 감소시키기 위해서 각각의 편중된 조사지점자료를 2차 격자자료(약 8×8-km)로 다시 집계하여 분석에 이용하였다. 7,324개의 조사지점 자료는 1,473개의 2차 격자자료(이하 소유역으로 정의)로 집계됨으로써 매우 많은 자료가 공간적으로 편중되어 있음이 확인되었다.

3. 환경자료

배스와 블루길의 서식확률에 영향을 미칠 것으로 예상되는 환경인자로는 경·위도, 연평균 기온, 연총강수량, 표고, 경사, 토지이용, 총인구수, 대형댐(제고 15m 이상) 개수 등의 9개 변수가 고려되었다. 각각의 환경인자는 어류자료와 동일하게 각 2차 격자자료에 대해서 계산되었다. 연평균기온, 연총강수량, 표고, 경사, 토지이용의 자료는 국토수치지정보로부터 얻어졌으며, 총인구수는 인구통계조사를 통해 얻어졌다. 댐 개수를 제외한 자료는 1×1-km 격자단위의 자료로 구성되어있다. 토지이용에서 산림, 농경지, 개발면적의 경우 상관성이 높기 때문에 주성분 분석을 실시하여 제1주성분값을 설명변수로 사용하였다. 해당성분은 3개의 변수에 대한 분산의 68.1%를 설명하는 것으로 분석되었고 산림비율과는 -0.65, 농경지비율과는 0.53, 개발지비율과는 0.53의 상관성을 보였다. 즉 배스와 블루길이 제1주성분과 정의 관계를 보일 경우는 해당 어종이 산림비율이 낮고 농경지 및 개발면적 비율이 높은 지역에서 서식확률이 높은 것을 의미한다.

4. 통계분석 기법

GLM은 선형회귀모델의 수학적 확장모델로서, 비선형성과 분산의 불균일성(예를 들면, Gaussian, Poisson, Binomial, Gamma)을 조절할 수 있다. 본 연구에서는 단계적 모델선택(stepwise model selection)을 이용함으로써 전체 변수의 선택 및 제거가 이루어졌으며, AIC(Akaike Information Criterion: Akaike, 1974)를 최대로 저하시키는 변수부터 선택하였다. 또한 각 환경인자의 설명변수는 우도비검정(Likelihood Ratio Test)을 통해 $P < 0.01$ 일 경우에 유의한 변수로 판단하였다.

GAM은 GLM의 선형예측 부분을 평광화 관수(Smooth Function)의 합으로 치환한 모델을 말한다. 변수의 선택과 제거, 각 변수에 대한 평광화 관수의 사용 유의성 등은 GLM과 동일하게 단계적 모델선택법을 이용하였으며, 각 변수의 평광화 관수의 이용에 대한 검증을 위해서 카이제곱 검정을 실시하여 $P \leq 0.001$ 일 경우에 평광화 관수를

취하였다.

마지막으로, 결정목수법은 선형모델이나 가법모델 대신에 이항반응 변량의 경우와 같이 분류문제에 대해서 선형로지스틱모델이나 가법로지스틱모델을 대신하여 사용할 수 있는 모델을 말한다. 이 모델은 자료를 분할하여 무의미하게 될 때까지 균질하게 이분할하여 완성된다(Chambers and Hastie, 1992).

5. 모델의 검증

각 통계모델의 추정능력을 검증하기 위해서는 다음과 같은 교차확인(cross-validation)을 실시하였다(Neter *et al.*, 1996). 우선 전체 1,472개의 격자자료를 무작위로 십등분한 후, 전체의 90%의 자료를 이용하여 모델을 작성하고, 그 모델로 나머지 10%의 자료에 대한 각 생물의 서식확률을 추정하는 작업을 십회 반복하여, 각 소유역에 대한 10개의 추정값을 산출하고, 이들의 평균값을 각 소유역에 대한 모델의 예측값으로 하였다. 그러나 실측값이 0 또는 1의 논리값인 것에 반해, 이러한 예측값은 0에서 1 사이의 확률값이다. 본 연구에서는 단순히 $P=0.5$ 를 구분값으로 하여 특정생물이 서식하고 있는지 아닌지를 결정하지 않고, 0부터 1까지를 1000분할하여 각각의 분계(threshold) P 값에 대한 추정의 감도(sensitivity)와 특이도(specificity)를 계산하여, 최종적으로는 AUC값과 Kappa값을 산출하였다. AUC값은 ROC(the Receiver-Operating Characteristic plot) 그래프 밑면의 면적값을 의미하며(Fielding and Bell, 1997), 그 값은 다음과 같은 의미를 나타낸다(0.90~1.00=excellent; 0.80~0.90=good; 0.70~0.80=fair; 0.60~0.70=poor; ≤ 0.60 =fail, Swets, 1988). Kappa값은 감도와 특이도의 합이 최대가 될 때의 값을 선택하였으며, 그 값은 다음과 같은 의미를 나타낸다(0.81~1.00=almost perfect; 0.61~0.80=substantial; 0.41~0.60=moderate; 0.21~0.40=fair; ≤ 0.20 =fail, Landis and Koch, 1977).

결과 및 고찰

1. 배스와 블루길의 공간적 분포 패턴

배스 서식이 확인된 소유역은 전체 1,473개 중 580개인 39.4%에서 확인되었고 블루길은 이보다 작은 445개(30.2%) 소유역에서 서식이 확인되었다(Tables 1, 2). 각 어종별로 서식이 확인된 소유역과 확인되지 않은 소유역을 분류하여 각 그룹별 환경인자의 통계값을 살펴보면, 배스와 블루길의 경우 모든 항목에 있어서 유의한 차이

Table 1. Summary of environmental variables of largemouth bass distribution in Japan.

Variable	Present (n=580) Mean ± S.D.	Absent (n=893) Mean ± S.D.	t value, P
Annual rainfall (mm)	1,646.0 ± 443.4	1,816.1 ± 585.9	5.782, 0
Mean elevation (m)	180.3 ± 209.6	339.6 ± 298.1	38.186, 0
Mean Gradient (°)	13.6 ± 9.3	20.0 ± 9.5	65.767, 0
Annual temperature (°C)	13.0 ± 2.0	10.7 ± 3.6	129.746, 0
Human population (person)	105,878 ± 207,947	29,986 ± 89,972	15.056, 0
Proportion of water body	0.06 ± 0.08	0.03 ± 0.04	31.528, 0
Proportion of forest area	0.42 ± 0.30	0.61 ± 0.29	5.562, 0
Proportion of agriculture area	0.28 ± 0.18	0.19 ± 0.17	16.738, 0
Proportion of development area	0.14 ± 0.16	0.05 ± 0.08	26.758, 0
Dam (count/mesh)	1.3 ± 2.0	0.8 ± 1.6	11.478, 0

Table 2. Summary of environmental variables of Blue gill distribution in Japan.

Variable	Present (n=445) Mean ± S.D.	Absent (n=1,028) Mean ± S.D.	t value, P
Annual rainfall (mm)	1,657.3 ± 434.9	1,788.9 ± 576.1	124.153, 0
Mean elevation (m)	166.5 ± 192.7	324.7 ± 295.0	38.201, 0
Mean Gradient (°)	13.2 ± 9.3	19.4 ± 9.6	66.186, 0
Annual temperature (°C)	13.7 ± 1.6	10.8 ± 3.4	131.110, 0
Human population (person)	128,247 ± 234,474	30,270 ± 81,916	15.056, 0
Proportion of water body	0.06 ± 0.09	0.03 ± 0.04	24.433, 0
Proportion of forest area	0.40 ± 0.29	0.60 ± 0.29	12.966, 0
Proportion of agriculture area	0.27 ± 0.17	0.20 ± 0.18	9.376, 0
Proportion of development area	0.16 ± 0.17	0.06 ± 0.08	20.095, 0
Dam (count/mesh)	1.3 ± 2.1	0.9 ± 1.6	13.766, 0

를 나타냈다(Tables 1, 2). 연평균기온, 총인구수, 수역면적비율, 농경지면적비율, 개발면적비율, 댐 수는 높은 쪽에서, 연총강수량, 표고, 경사, 산림면적비율은 낮은 쪽에서 배스와 블루길 모두 서식이 유의하게 높은 것으로 나타났다. 배스의 경우 카이제곱 검정을 실시한 결과, 연평균기온에 대한 t값이 129.746으로 환경인자 중 최대값을 보임에 따라 연평균기온이 배스의 서식 유무에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었고, 블루길의 경우는 연총강수량과 연평균기온에 의해서 유사한 수준으로 서식유무에 큰 영향을 주는 것으로 평가되었다. 각각의 t값은 순서대로 124.153과 131.110이었다. 이러한 특징은 일본 전국의 해당 어종의 분포도로부터 예측 가능하다. 배스와 블루길은 일본의 최북단에 위치하고 있는 홋카이도의 자연하천 및 호소에서는 2005년 현재까지 서식이 확인되고 있지 않다(Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan, 2005). 홋카이도의 경우는 지리적인 위치가 원인으로 혼슈와 비교하여 연총강수량이 적고 연평균기온이 낮은 극명한 특징을 보인다. 이러한 이유로부터 2가지의 기후관련 환경인자가 배스와 블루길의 서식유무에 큰 영향을 미치는 인자로 평가되었을 것으로 판단

된다. 그러나 이러한 환경적인 영향 이외에 홋카이도의 하천 및 호소에서 배스와 블루길이 서식하지 않는 이유는 해당 어종들이 2001년에 도도부현(都道府縣)별 내수면어업조정규칙에 의한 외래어이식규제(外來魚移植規制) 대상 어종으로 지정되어 철저히 자연하천 및 호소로 방류되는 것이 규제되고 있기 때문이다(Yodo and Iguchi, 2004).

배스와 블루길 모두 인구 및 댐수 등의 인위적인 환경변수와 정의 관계를 보였다. 즉 인구가 많고 댐이 많은 지역일수록 배스 및 블루길의 서식이 빈번히 확인되었다. 특히 댐에 의한 배스와 블루길 등의 외래어종 증가는 기존의 연구들과 동일한 결과로써 댐건설에 의해서 생기는 댐호는 정수역에 잘 적응하는 외래어종에게 서식하기 좋은 환경을 제공하는 것으로 알려져 있다(Holmquist *et al.*, 1998; Quist *et al.*, 2005; Marchetti *et al.*, 2006).

2. 모델별 특성

GAM과 GLM 모델에 대해서는 각 환경인자(설명변수)별 중요도를 최종모델에서 각 환경인자를 추출하였을 경우의 모델의 편차변화를 이용하여 평가하였다(Table 3). 배스의 경우는 GAM 모델에서는 연평균기온, 연총강수량,

Table 3. Changes in deviance (GAM and GLM), and number of terminal nodes (CTA) when dropping a variable from the final models of largemouth bass and bluegill. ns, not significant.

Variable	Largemouth bass			Bluegill		
	GAM	GLM	CTA	GAM	GLM	CTA
Annual rainfall (mm)	62	37	14	59	11	6
Mean elevation (m)	14	ns	1	26	3	1
Mean Gradient (°)	ns	12	4	ns	ns	ns
Annual temperature (°C)	154	70	14	292	89	14
Human population (person)	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Proportion of water body	37	4	ns	25	ns	ns
The first principal component of the proportions of three land use types	2	1	ns	19	ns	ns
Dam (count/mesh)	38	7	6	15	5	1

댐 수, 수역면적 비율 순으로 모델내에서 중요환경인자로 평가되었고, 경사도와 인구수는 유의한 환경인자로 채택되지 않았다. GLM 모델에서는 연평균기온, 연총강수량, 경사도, 댐수의 순으로 중요도가 큰 환경인자로 평가되었고 표고와 인구수는 유의하지 않은 것으로 분석되었다. 이러한 회귀모델과는 다른 CTA법의 경우는 각 환경인자 별 편차값의 산정이 어려운 이유로 각 환경인자를 모델에서 추출했을 경우의 해당모델의 terminal node수의 변화를 이용하여 각 환경인자의 중요도를 평가하였다. 즉, terminal node수의 변화가 큰 인자일수록 모델에서의 영향력이 큰 것으로 간주하였다. 그 결과 연총강수량, 연평균기온, 댐수가 배스의 서식확률을 결정하는 중요 인자로 평가되었다. 블루길에 대한 GAM 모델에서는 연평균기온, 연총강수량, 표고, 수역면적비율, 댐수의 순으로 영향력이 높은 변수로 채택되었고, GLM의 경우 역시 연평균기온이 블루길의 서식확률에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 평가되었다. CTA 모델에서는 연평균기온, 연총강수량, 표고, 댐수 등의 네 개 변수만이 유의한 인자로 채택되었고 경사도, 인구수, 수역면적비율 등은 변수로서 유의하지 않은 것으로 평가되었다.

최종적으로 두 개의 어종에 대해서 각 모델별로 AUC와 Kappa값을 비교하면 Table 4와 같다. 배스의 경우 GAM이 0.88로 가장 높았고 Kappa값 역시 0.42로 GAM 모델이 가장 높은 것으로 평가되었다. 블루길의 경우는 CTA가 0.92로 가장 높은 AUC값을 보였고 Kappa값 역시 0.44로 CTA에서 가장 높았다. AUC값을 기준으로 할 경우 배스와 블루길 모두 세가지 방법 모두 비교적 양호한 결과값을 보이는 것으로 평가되었다. 그러나 Kappa값을 동시에 고려할 경우에는 배스는 GAM방법에 의한 모델링을, 블루길은 CTA방법에 의한 모델링을 수행하는 것이 효율적이고 정확한 결과 도출을 가능하게 할 것으로

Table 4. AUC, Kappa, and a threshold *P* values for each model.

	AUC	Kappa	Threshold <i>P</i>
Largemouth bass			
GAM	0.88	0.42	0.37
GLM	0.83	0.34	0.35
CTA	0.87	0.39	0.20
Bluegill			
GAM	0.88	0.34	0.28
GLM	0.83	0.25	0.21
CTA	0.92	0.44	0.15

판단된다.

이러한 세가지 통계방법을 이용하여 예측된 결과를 지도화하면 Fig. 1과 같다. 3가지 모델방법 모두 배스와 블루길의 일본 전역에서의 분포패턴을 비교적 실제 분포패턴과 유사하게 반영하는 것으로 나타났다. 배스의 경우는 GAM에 의해서 세세한 분포까지 잘 반영되고 있는 것으로 확인되었다. GLM의 경우는 실제 배스의 분포를 과소 평가하고 있는 반면 CTA는 과대평가하는 경향을 보였다. 블루길의 경우 GAM과 GLM에 의해서는 블루길의 실제 분포를 과소평가한 반면 CTA에 의해서는 비교적 유사한 패턴을 잘 반영하고 있는 것으로 평가되어 AUC 및 Kappa값에 의한 모델평가와 유사한 경향성을 보였다. 주목할 만한 공간적 분포 특징은 모델에 관계없이 도쿄나 오사카 주변지역에서 배스 및 블루길의 서식확률이 높게 평가된 사실이다. 이러한 결과는 앞 단락에서 서술된 배스와 블루길의 공간적 분포패턴이 인구 및 댐수와 유의한 정의 관계를 보인 것과 유사한 부분으로 서식확률이 높은 지역으로부터의 확산을 방지하기 위한 꾸준한 노력 및 관리가 수반되어야 할 것이다. 또한 본 연구에서 제시된 통계기법은 외래어뿐만이 아닌 국내 고유어종에 대한 분포

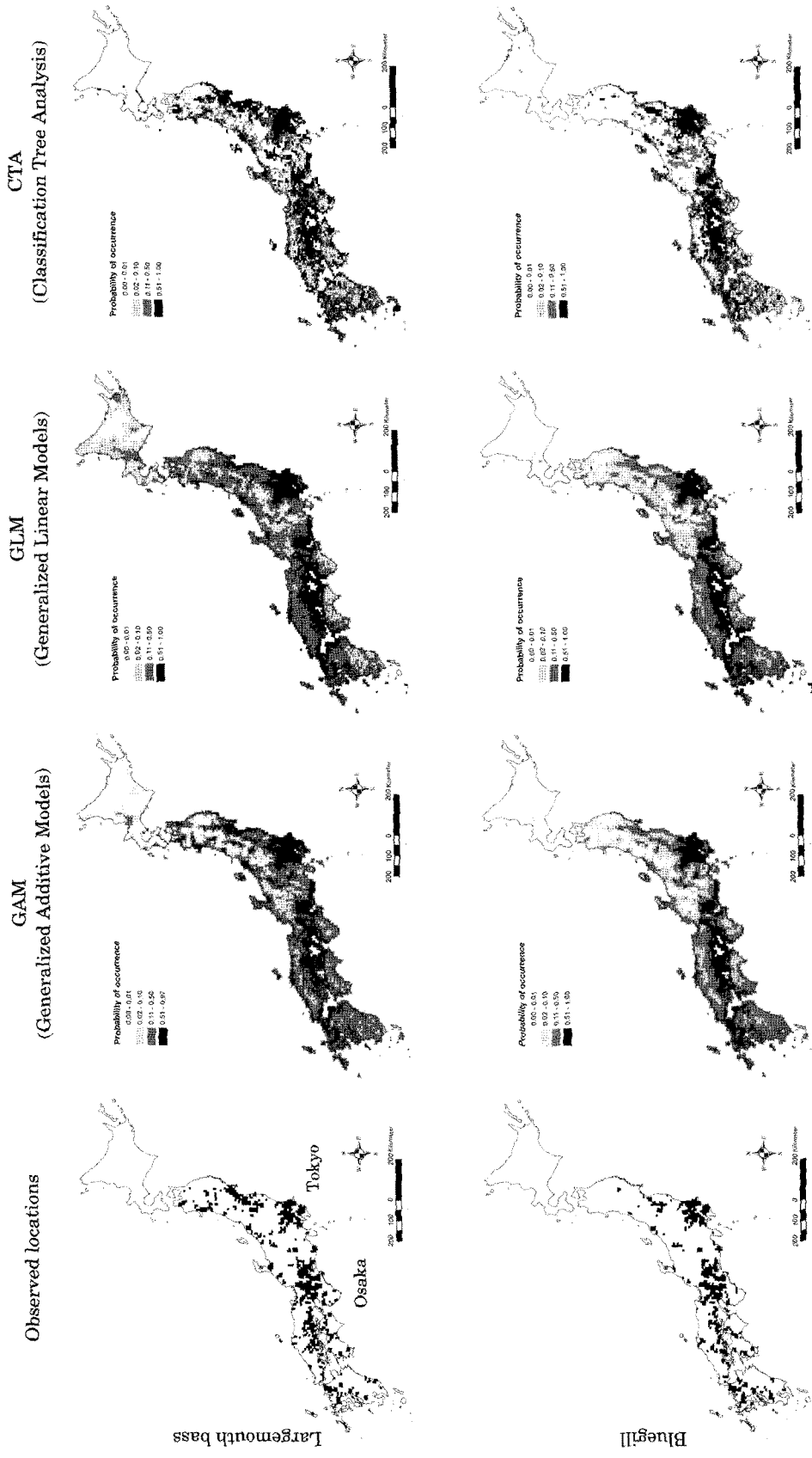


Fig. 1. Observed locations and predicted distributions of largemouth bass and bluegill using GAM, GLM and CTA in Japan.

예측도 가능하기 때문에 국내 고유어종의 보호구역설치
이나 관리정책 등에도 반영될 수 있을 것으로 판단된다.
따라서 이러한 광역범위에서의 분포예측에 대한 꾸준한
연구가 필요할 것으로 판단된다.

적 요

본 연구에서는 일본전국을 연구대상지로 선정하고 대
상지에 서식하고 있는 대표 외래어종인 배스와 블루길의
공간적 서식분포 특성을 평가하였다. 또한 GAM, GLM,
CTA 등의 세가지 통계 기법을 이용하여 일본전국에서의
해당 어종에 대한 공간적 분포패턴을 예측하였다. 그 결
과 배스와 블루길 등의 외래어종은 인구 및 댐 등의 인위
적인 환경인자와 유의한 정의 관계를 보임에 따라 외래어
종의 확산에 미치는 인간활동의 부정적인 영향이 확인되
었다. 또한 회귀모델을 통한 해당어종의 서식확률 예측을
통한 배스와 블루길의 서식 분포는 각각 GAM(AUC: 0.88,
Kappa: 0.42)과 CTA(AUC: 0.92, Kappa: 0.44)에 의해서
가장 정확하게 예측되는 것으로 평가되었고, 가장 유의한
환경인자는 연평균기온으로 나타났다. 따라서 각 생물종
별로 서식확률을 추정하고 예측하는데 있어서 적합한 통
계모델에 대한 검증은 생물종별로 선행되어야 할 필요가
있을 것으로 판단된다. 비록 본 연구의 연구대상지는 일
본이지만 국내의 경우도 최근 들어 어류를 포함한 생물조
사가 다수의 조사연구에서 광역적으로 시행되고 있기 때
문에 본 연구와 같은 다량자료를 이용한 광역 스케일에서
의 생물종의 서식확률 및 출현종수에 대한 연구가 충분히
가능할 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로
한국연구재단의 지원[NRF-2009-353-D00042] 및 대학중
점연구소 지원사업[2010-0028300]의 지원을 받아 수행된
연구임.

인 용 문 헌

- Akaike, H. 1974. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control* **19**: 716-723.
- Amarasinghe, U.S. and R.L. Welcomme. 2002. An analysis of fish species richness in natural lakes. *Environmental Biology of Fishes* **65**: 327-339.
- Azuma, M. 1992. Ecological release in feeding behavior: the case of bluegills in Japan. *Hydrobiologia* **244**: 269-276.
- Chambers, J.M. and T.J. Hastie. 1992. Statistical Models in S. AT&T Bell Laboratories.
- Fielding, A.H. and J.F. Bell. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation* **24**: 38-49.
- Fukushima, M., S. Kameyama, M. Kaneko, K. Nakeko and E.A. Steel. 2007. Modelling the effects of dams on freshwater fish distributions in Hokkaido, Japan. *Freshwater Biology* **52**: 1511-1524.
- Gonzalez-Taboada, F.C. Nores and M.A. Alvarez. 2007. Breeding bird species richness in Spain: assessing diversity hypothesis at various scales. *Ecography* **30**: 241-250.
- Guisan, A. and N.E. Zimmermann. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* **135**: 147-186.
- Han, M. and G. Lee. 2008. Modelling of spatial distribution of the species richness of fishes, plants, and birds using environmental factors on a wide-ranging scale. *Korean Journal of Environment and Ecology* **22**: 347-355.
- Han, M., M. Fukushima and T. Fukushima. 2008a. Species richness of exotic and endangered fishes in Japan's reservoirs. *Environmental Biology of Fishes* **83**: 409-416.
- Han, M., M. Fukushima, S. Kameyama, T. Fukushima and B. Matsushita. 2008b. How do dams affect freshwater fish distributions in Japan? Statistical analysis of native and nonnative species with various life histories. *Ecological Research* **23**: 735-743.
- Holmquist, J.G., J.M. Schmidt-Gengenbach and B.B. Yoshioka. 1998. High dams and marine-freshwater linkages: Effects on native and introduced fauna in the Caribbean. *Conservation and Biology* **12**: 621-630.
- Landis, J.R. and G.G. Koch. 1977. A one-way components of variance model for categorical data. *Biometrics* **33**: 671-679.
- Leathwick, J.R. 1998. Are New Zealand's *Nothofagus* species in equilibrium with their environment?. *Journal of Vegetation Science* **9**: 719-732.
- Leathwick, J.R., J. Elith and T. Hastie. 2006. Comparative performance of generalized additive models and multivariate adaptive regression splines for statistical modeling of species distributions. *Ecological Modelling* **199**: 188-196.
- Luoto, M., R. Virkkala, R.K. Heikkinen and K. Rainio. 2004. Predicting bird species richness using remote sensing in

- boreal agricultural-forest mosaics. *Ecological Modelling* **14**: 1946-1962.
- Marchetti, M.P., J.L. Lockwood and T. Light. 2006. Effects of urbanization on California's fish diversity: differentiation, homogenization and the influence of spatial scale. *Biological Conservation* **127**: 310-318.
- Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan. 2005. The report of the National Census on River Environments (<http://www.mlit.go.jp/river/IDC/database/databasetop.html>).
- Neter, J., M.H. Kutner, C.J. Nachtsheim and W. Wasserman. 1996. Applied linear regression models, 3rd edn. Times Mirror Higher Education Group, Chicago.
- Quist, M.C., W.A. Hubert and F.J. Rahel. 2005. Fish assemblage structure following impoundment of a Great Plains River. *Western North American Naturalist* **65**: 53-63.
- Scheffer, M., G.J. van Geest, K. Zimmer, E. Jeppesen, M. Sondergaard, M.G. Butler, M.A. Hanson, S. Declerck and L. De Meester. 2006. Small habitat size and isolation can promote species richness: second-order effects on biodiversity in shallow lakes and ponds. *Oikos* **112**: 227-231.
- Swets, J.A. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science* **240**: 1285-1293.
- Word, D.F. 2007. Modelling the potential geographic distribution of invasive ant species in New Zealand. *Biological Invasions* **9**: 723-735.
- Yodo, T. and K. Iguchi. 2004. A review on the black bass problem referring to the historical background in Japan. *Bulletin of Fisheries Research Agency* **12**: 10-24.
- Yuma, M., K. Hosoya and Y. Nagata. 1998. Distribution of the freshwater fishes of Japan: an historical overview. *Environmental Biology of Fishes* **52**: 97-124.
- Zhao, S., J. Fang, C. Peng, Z. Tang and S. Piao. 2006. Patterns of fish species richness in China's lakes. *Global Ecology and Biogeography* **15**: 386-394.

(Manuscript received 29 September 2010,
Revision accepted 26 May 2011)