

冬期の印旛沼流域における猛禽類の 環境選好性と生息環境評価

橋本 大¹・長谷川雅美

東邦大学理学部生物学科

1 (現所属) 八千代市立勝田台中学校

摘 要：猛禽類の生息状況から流域の環境評価をおこなうこと目的として、印旛沼流域の様々な環境を含む117地点を選択し、冬期の猛禽類の生息に影響する環境要因を解析した。猛禽類の分布地点情報と「傾斜」、「700m 圏内の畑面積割合」、「700m 圏内の水田面積割合」、「700m 圏内の市街地面積割合」、「開放水面からの距離」、「河川からの距離」、「森林からの距離」の7つの環境データをもとに、印旛沼流域における猛禽類の分布予測を行い、環境選好性に関与する重要な環境要因を推定した。MaxEnt モデルを使用し、印旛沼流域におけるトビとノスリの生息確率を求めた結果、この2種の生息には、水田や市街地、畑の面積の割合が影響し、トビについてはさらに開放水面からの距離が生息確率に大きく影響していた。また、猛禽類の飛行様式、狩りの方法には、翼の形態が大きく関与し、翼が細長いトビは上昇気流を捉えて飛翔旋回しながら餌を探索し、開放水面を選好性していた。翼が短く幅広いノスリは上空でホバリングしたり、また電柱などの止まり木にとまって地上の獲物を狙っていた。今回の分布予測結果は、野外調査の結果や種の特性をよく反映していた。

はじめに

生態系の評価手法の1つに指標種を用いた方法がある。一定の条件が満たされた広い生息地を必要とする種をアンブレラ種として指定し、これを保護することで、その種の生息地に共に生息・生育する種の全体を保全し、生物多様性の保全につながるという、保全上の戦略的な考え方の1つである。アンブレラ種は地域の生態ピラミッドの最高位に位置する消費者を指定するケースが多く、日本ではツキノワグマやヒグマ、オオタカ、イヌワシなど大型の肉食哺乳類や猛禽類などがアンブレラ種として扱われている(尾崎, 2003)。

アンブレラ種を用いた生態系の評価を行い、保全に生かしていくためには、対象種

ごとに生息環境の選好性を明らかにしておく必要がある。猛禽類を指標種とする場合、彼らが選好する環境は、目視での調査やラジオ・テレメトリ法による個体の追跡、行動圏の推定などを通して解析されてきた。例えば、オオタカの環境選好性については、ラジオ・テレメトリ法によって推定された行動圏(面積約1,000 ha)の中に森林が5~90%含まれることが報告されている(尾崎, 2003)。さらに、近年は地理情報システムの活用によって、猛禽類の環境選好性を広域スケールで把握する手法が発展している(伊藤ほか, 2012; 杉山ほか, 2009)。データベース化された国土数値情報や植生図を説明変数とし、目撃情報の有無を従属変数としたロジスティック回帰分

析により、クマタカの潜在的生息地や開発に対して脆弱な地域の抽出が行われた例がある（伊藤ほか，2012）．しかし，猛禽類の潜在的生息地を広域スケールで解析し，生態系の評価につなげることに成功した研究はまだ少ない（Bustamante and Seoane, 2004）．

印旛沼は上水道，工業用水および農業用水の貴重な水源として利用されており，千葉県民はもとより，首都圏基幹産業の重要な水がめである（印旛沼環境基金，2010）．しかし，1960年代以降，印旛沼の流域では急激な都市化が進み，流域人口の増加に伴って沼に流入する河川や沼の水質汚濁が進行した．現在，印旛沼の水質改善・水循環の健全化に向け，流域の湧水保全や生態系の保全・再生，生物多様性の向上など，総合的な水環境保全の取り組みが進められている．さらに，流域生態系の広域的な把握のため，猛禽類を生態系保全の戦略的指標とした実用的な評価手法の開発が求められている．

そこで，本研究では，印旛沼流域において，流域生態系の広域的な把握を目指して，猛禽類の環境選好性に関する野外調査を行った．そして，得られたデータをもとに地理情報システムを用いた分布予測を行い，猛禽類の生息に影響する環境要因の推定を行った．

調査地と方法

1. 調査地概要

調査は千葉県北西部利根川下流右岸，下総台地の中央に位置する印旛沼流域で行った（図1）．印旛沼の湖面積は北印旛沼の6.26 km²と西印旛沼の5.29 km²をあわせて11.55 km²であり，最大水深2.5 m，平均水深は1.7 mである．印旛沼流域の面積は541.1 km²であり千葉県の約10分の1の面積

を占める．流域人口は76.4万人である（印旛沼環境基金，2010）．

印旛沼流域は下総台地と呼ばれる台地と，その大地を刻み樹枝状に形成された浅い谷津から成り立っている．また，地層・

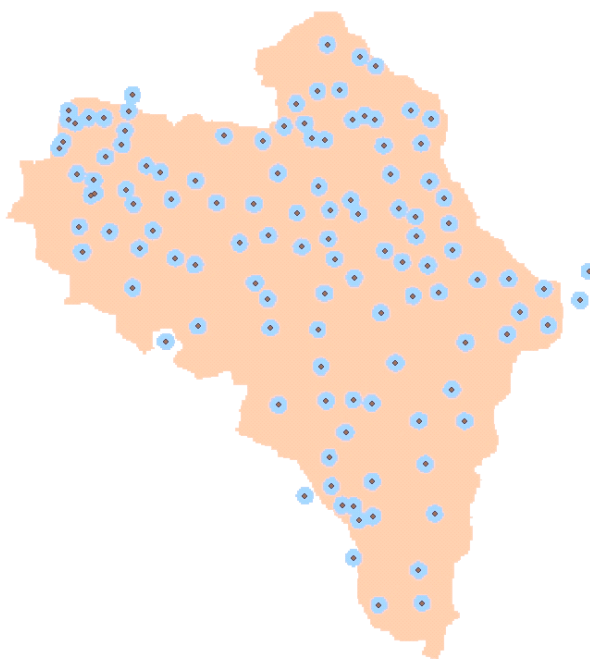


図1 印旛沼流域（上，出典：印旛沼流域水循環健全化会議）と調査地点（下）．分布予測で作成したモデルをこの範囲に出力した．点は調査実施地点を示す．その周辺円は調査地点から半径500mのバッファであり，モデル作成における環境データはこの範囲のもの．

地質的には関東ローム層から構成されており、その特徴を生かし、台地上は畑地や山林、谷津は水田として利用されている。また台地と谷津との境界は照葉樹、落葉広葉樹、スギなどの多様な樹木で覆われた急勾配の斜面となっている(印旛沼環境基金, 2010)。

印旛沼流域では、1950年代以後の人口増加や都市化により、畑や田園、森林の減少、住宅地面積の増加など、土地利用が大きく変化した。平成21年度は、印旛沼流域面積のうち、市街地等が44.8% (221.4 km²) と最も大きい割合を占め、畑地20.7% (102.0 km²)、山林19.8% (98.1 km²) と続き、水田の専有面積が14.6% (72.3 km²) で最少であった。一方、これらの各土地利用形態別の総流域面積に対する割合の推移を見ると、昭和60年以降、山林、水田および畑はいずれも減少を示し、平成21年度では昭和60年を基準として山林21.8%、水田10.3%、畑19.0%の減少となっている。これに対し、公園・緑地を含む市街地等が流域人口の急激な増加にともなって40.5%の増加となっている(印旛沼環境基金, 2010)

2. 野外調査方法

野外調査は、非繁殖期に印旛沼流域に生息する昼行性の猛禽類を対象に、2012年1月から3月、2013年1月の9時~15時の間に行った。プロットセンサス法を用い、印旛沼流域の様々な環境を含むように117地点を選択し、各地点に10分間滞在して、半径500 m以内に出現する猛禽類を記録した(図1)。猛禽類の観察、識別には10倍の双眼鏡と20~60倍のフィールドスコープを使用した。猛禽類を観察した際には、時間、種名、行動と地図上にその地点を記録した。また調査地点から周辺の様子をデジタルカ

メラにて撮影を行った。

3. 解析方法

解析は野外調査で観察された猛禽類の中から飛翔中あるいは樹木の枝などにとまっている場合等、その地点を利用していないと思われるものを除いて、観察地点の位置情報を整理して、予測精度を高めるために、飛翔・その他を除いて猛禽類の分布地点情報が10地点以上あったトビ(25地点)とノスリ(41地点)の地点情報を使用して解析を行った。環境データの整備にはArcGIS (Desktop Ver.10)を使用した。解析にはMaximum Entropy Species Distribution Modeling, Version3.33k (以下MaxEntモデル)と一般化線形モデル(GLM: generalized linear model)を使用した。

4. 分布予測

猛禽類の分布に影響を与えている要因を明らかにするため、MaxEntモデルを使用し、猛禽類の地点情報と環境データを用いて予測を行った。環境データには「傾斜」、「水田面積割合」、「畑面積割合」、「市街地面積割合」、「森林からの距離」、「解放水面からの距離」、「河川からの距離」を用いて解析を行った。「傾斜」は国土地理院の基盤地図情報(縮約レベル2500)を使用して求めた。「水田面積割合」、「畑面積割合」、「市街地面積の割合」、「森林からの距離」、「解放水面からの距離」、「解放水面からの距離」は自然環境保全基礎調査の第2-5回植生調査重ね合わせ植生を使用し求めた。周囲に占める面積の割合を求めたものについては、ノスリは越冬期に140 haの面積を使用する(内田, 2001)という報告に基づき、この範囲を漏れ無くカバーできるよう猛禽類の確認された地点を中心に半径700mのバッ

ファーを引き、その範囲内でそれぞれの環境変数を算出した。セルサイズは100m×100mで行った。分布予測のバックグラウンドは調査を行った調査地点から半径500mとした。

これらのデータを用いて分布予測を行い、その予測モデルを印旛沼流域に当てはめることにより、印旛沼流域における猛禽類の分布確率を推定した。地点情報数によって可能な試行回数が異なるMaxEntモデルを用いて、トビ25回、ノスリ41回の試行を繰り返して、生息確率の平均値を求めた。

得られた分布予測モデルはROC解析から評価した。ROC解析とはモデルの精度を評価する解析手法であり、縦軸に在データ中の正しく予測された割合、横軸に不在データ中で間違えて在と予測された割合を示すグラフが自動的に作成される。このROC曲線とx軸とx=1の直線が成す面積の値であるArea under the curve (AUC) 値が1に近いほどモデルの精度が高いことを示す。

5. 猛禽類の分布に影響を与える環境要因の推定

MaxEntモデルでの分布予測に使用した環境要因は分布予測モデル作成への貢献度、重要度とともにジャックナイフ法により評価した。貢献度は各環境データが分布予測モデル作成の際に使用された割合を示し、重要度は各環境要因の重要性の割合を示す。ジャックナイフ法においては、当該の環境要因のみを用いて分布予測を行った際のAUC値、当該の環境要因を除いて分布予測した場合のAUC値、そしてすべての環境要因を適用した場合のAUC値を比較し、各環境要因の総対的な重要性を評価する。

また、猛禽類の生息確率に影響を与えて

いる要因を明らかにするため、一般化線形モデルにより解析を行った。説明変数を各環境要因、応答変数を猛禽類の生息確率とし、回帰モデルを作成した。得られた結果において、赤池情報基準量 (AIC : Akaike's Information Criterion) を用いた総当り法によりモデル選択を行い、最もAICの低いモデルをベストモデルに選択した。

結果

1. 野外調査結果

ポイントセンサス法による分布調査の結果、調査を行った117地点中49地点で計115回猛禽類を観察することができた。その内訳はノスリ32地点46回、トビ20地点29回、チョウゲンボウ10地点10回、チュウヒ5地点10回、オオタカ7地点8回、ハイタカ7地点7回、コチョウゲンボウ3地点3回、ミサゴ2地点2回観察された(表1)。猛禽類の行動については大きく飛翔と止まりの2つに分類した。さらに飛翔についてはワシタカ類で見られる飛翔行動の区分(黒田, 1994)に従い、狩り、探索、その他の3つに分類した。止まりについては猛禽類が止まっている場所で4つに分類した(表2)。観察した際の行動、周辺環境については表にまとめた(表3, 表4)。印旛沼流域における各猛禽類が観察された地点を図にまとめた(図2-1, 図2-2)。

トビは観察された29回のうち、25回が飛行中であった。そして水田や湖面上で観察された場合が多い。ノスリは観察された46回中、25回が飛行中であり、木や電柱に止まっている個体も同程度観察された。ミサゴは印旛沼湖面上を飛翔している個体と、ホバリング、急降下といった狩りを行なっている個体が観察された。チュウヒは印旛沼縁のアシ原で飛翔している個体が観察された。ハイタカ、オオタカは開けた土地か

表1 印旛沼流域の猛禽類の調査記録.

調査日	地点	調査時間	個体番号	種名	行動	** : 左段下 (*) より続く							
2012.2.11	1	9:09~9:19	1	トビ	飛翔(探索)	2012.2.17	21	11:58~12:08	58	コチョウゲンボウ	止まり (電線)		
			2	ノスリ	止まり (電柱)				59	ノスリ	止まり (電柱)		
			3	ノスリ	止まり (杭)				60	コチョウゲンボウ	止まり (電柱)		
	2	9:32~9:42	4	トビ	止まり (電柱)	22	12:23~12:33	61	ノスリ	止まり (電柱)			
			5	ノスリ	止まり (電柱)			62	ノスリ	止まり (電柱)			
			6	コチョウゲンボウ	止まり (杭)	23	13:02~13:12	63	ノスリ	止まり (杭)			
			7	トビ	飛翔(探索)			2012.2.18	30	11:59~12:09	64	ノスリ	飛翔(探索)
			8	トビ	飛翔(探索)						65	コチョウゲンボウ	飛翔(探索)
			9	トビ	飛翔(探索)			35	13:43~13:53	66	ハイタカ	飛翔(探索)	
	3	9:53~10:03	10	チュウヒ	止まり (杭)	2012.2.20	40	10:10~10:20	67	コチョウゲンボウ	飛翔(探索)		
			11	ノスリ	飛翔(探索)				41	10:32~10:42	68	ノスリ	止まり (電柱)
			12	コチョウゲンボウ	止まり (電線)	69	オオタカ	飛翔(探索)					
			13	ミサゴ	飛翔(探索)	70	オオタカ	飛翔(探索)					
			14	トビ	飛翔(狩り)	42	11:09~11:19	71	ノスリ	飛翔(探索)			
	15	ノスリ	飛翔(探索)	72	ハイタカ			飛翔(探索)					
	4	10:14~10:24	16	ノスリ	止まり (電柱)	43	12:23~12:33	73	トビ	飛翔(その他)			
			17	トビ	飛翔(探索)			74	ノスリ	飛翔(探索)			
			18	オオタカ	飛翔(狩り)			75	ノスリ	飛翔(その他)			
	5	10:39~10:49	19	コチョウゲンボウ	飛翔(探索)			76	ノスリ	飛翔(探索)			
			20	ノスリ	飛翔(狩り)			77	オオタカ	飛翔(探索)			
	6	11:25~11:35	21	チュウヒ	飛翔(探索)	2012.2.24	45	13:21~13:31	78	ノスリ	止まり (電柱)		
			22	トビ	飛翔(狩り)				49	11:06~11:16	79	オオタカ	飛翔(探索)
			23	チュウヒ	飛翔(探索)	80	ノスリ	飛翔(探索)					
			24	チュウヒ	飛翔(探索)	81	ハイタカ	止まり (木)					
			25	ミサゴ	飛翔(狩り)	2012.2.27	54	11:01~11:11	82	ハイタカ	止まり (木)		
	26	トビ	飛翔(探索)	2012.2.28	61				10:00~10:10	83	トビ	飛翔(探索)	
	7	12:44~12:54	27			ノスリ	止まり (杭)	62		10:35~10:45	84	ノスリ	止まり (木)
			28	チュウヒ	飛翔(探索)	85	ノスリ		止まり (木)				
			29	チュウヒ	飛翔(探索)	63	10:54~11:04	86	コチョウゲンボウ	飛翔(狩り)			
			30	チュウヒ	飛翔(探索)			87	コチョウゲンボウ	飛翔(探索)			
			31	チュウヒ	飛翔(探索)			64	11:44~11:54	88	ハイタカ	止まり (電柱)	
	32	ノスリ	止まり (杭)	89	ノスリ	飛翔(その他)							
	8	13:13~13:23	33	コチョウゲンボウ	止まり (電柱)	67	14:12~14:22	90	ノスリ	飛翔(探索)			
			34	トビ	飛翔(探索)			91	ハイタカ	飛翔(探索)			
			35	チュウヒ	飛翔(その他)			2012.3.03	70	9:57~10:07	92	トビ	飛翔(探索)
	36	ノスリ	止まり (電柱)	93	コチョウゲンボウ	飛翔(狩り)							
	9	13:47~13:57	37	チュウヒ	飛翔(探索)	71	10:28~10:38	94	トビ	飛翔(探索)			
			38	コチョウゲンボウ	止まり (電柱)			95	ハイタカ	飛翔(探索)			
	10	14:18~14:28	39	ノスリ	止まり (木)	72	11:09~11:19	96	トビ	飛翔(探索)			
40			トビ	止まり (木)	97			ノスリ	飛翔(探索)				
2012.2.12	12	9:59~10:09	41	トビ	止まり (電柱)	73	11:48~11:58	98	ノスリ	止まり (木)			
			42	ノスリ	飛翔(探索)			99	ノスリ	飛翔(探索)			
			43	トビ	飛翔(探索)	100	コチョウゲンボウ	101	トビ	飛翔(探索)			
	44	トビ	飛翔(探索)	102	トビ			飛翔(その他)					
	45	ノスリ	飛翔(探索)	74	12:34~12:44	103	ノスリ	飛翔(探索)					
46	ノスリ	飛翔(その他)	104			ノスリ	飛翔(その他)						
15	11:52~12:02	47	トビ	飛翔(その他)	2012.3.12	78	10:07~10:17	105	ノスリ	止まり (木)			
2012.2.17	9:28~9:38	48	ノスリ	止まり (木)				81	11:35~11:45	106	ノスリ	飛翔(探索)	
		49	トビ	飛翔(探索)	86	14:46~14:56	107			ノスリ	止まり (杭)		
		50	トビ	飛翔(狩り)			2012.3.14	89	11:19~11:29	108	ノスリ	飛翔(探索)	
17	9:53~10:03	51	ノスリ	飛翔(探索)	2012.3.26	93				10:16~10:26	109	トビ	止まり (電柱)
20	11:13~11:23	52	ノスリ	止まり (木)			96	11:48~11:58	110		トビ	飛翔(その他)	
		53	トビ	飛翔(探索)	2013.1.12	102			10:31~10:41	111	ノスリ	飛翔(探索)	
		54	トビ	飛翔(探索)			112	オオタカ		飛翔(狩り)			
		55	オオタカ	飛翔(探索)	109	13:43~13:53	113	ノスリ	飛翔(探索)				
		56	ノスリ	飛翔(その他)			114	オオタカ	飛翔(探索)				
		57	トビ	飛翔(探索)	2013.1.12	109	13:43~13:53	115	ノスリ	飛翔(探索)			
		110	14:13~14:23	115				ノスリ	飛翔(探索)				

* : 右段上 (***) へ続く

表2 猛禽類で見られる飛翔行動の分類.

分類	行動
飛翔(狩り)	急降下：停空飛翔または低空飛行(一定の高さを飛行)から地上の獲物を襲う.
	段階的：停空飛翔をくり返して段階的に降下し、獲物を探す.
	水平飛行：停空飛翔をくり返して水平に移動し、獲物を探す. (移動範囲はせまく、いつでも獲物を狙うことができる大勢にある場合。)
飛翔(探索)	監視飛翔：停空飛翔を繰り返す、広範囲に水平飛行で移動する.
	巡回飛行：停空飛翔(一定の高さを飛行)しながら、広範囲に移動する. (移動範囲は広く、獲物を狙う仕草が見られない場合。)
飛翔(その他)	旋回：円を描いてぐるぐるまわりながら上昇し、別の場所に移動する.
止まり(木)	木に止まっている.
止まり(電柱)	電柱に止まっている.
止まり(電線)	電線に止まっている.
止まり(杭)	杭に止まっている.

表3 野外調査において観察することができた猛禽類とその行動.

行動	トビ	ノスリ	ミサゴ	チュウヒ	ハイタカ	オオタカ	チョウゲンボウ	コチョウゲンボウ	合計
飛翔・探索	18	19	1	8	4	6	5	0	61
飛翔・狩り	3	1	1	0	0	2	2	0	9
飛翔・その他	4	5	0	1	0	0	0	0	10
止まり・木	1	7	0	0	2	0	0	0	10
止まり・電柱	3	9	0	0	1	0	3	0	16
止まり・電線	0	0	0	0	0	0	0	2	2
止まり・杭	0	5	0	1	0	0	0	1	7
合計	29	46	2	10	7	8	10	3	115

表4 野外調査において観察することができた猛禽類と周辺環境.

土地	トビ	ノスリ	ミサゴ	チュウヒ	ハイタカ	オオタカ	チョウゲンボウ	コチョウゲンボウ	合計
水田・湖	27	45	2	10	7	8	9	3	111
畑	1	1	0	0	0	0	1	0	3
住宅地	1	0	0	0	0	0	0	0	1
林	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	29	46	2	10	7	8	10	3	115

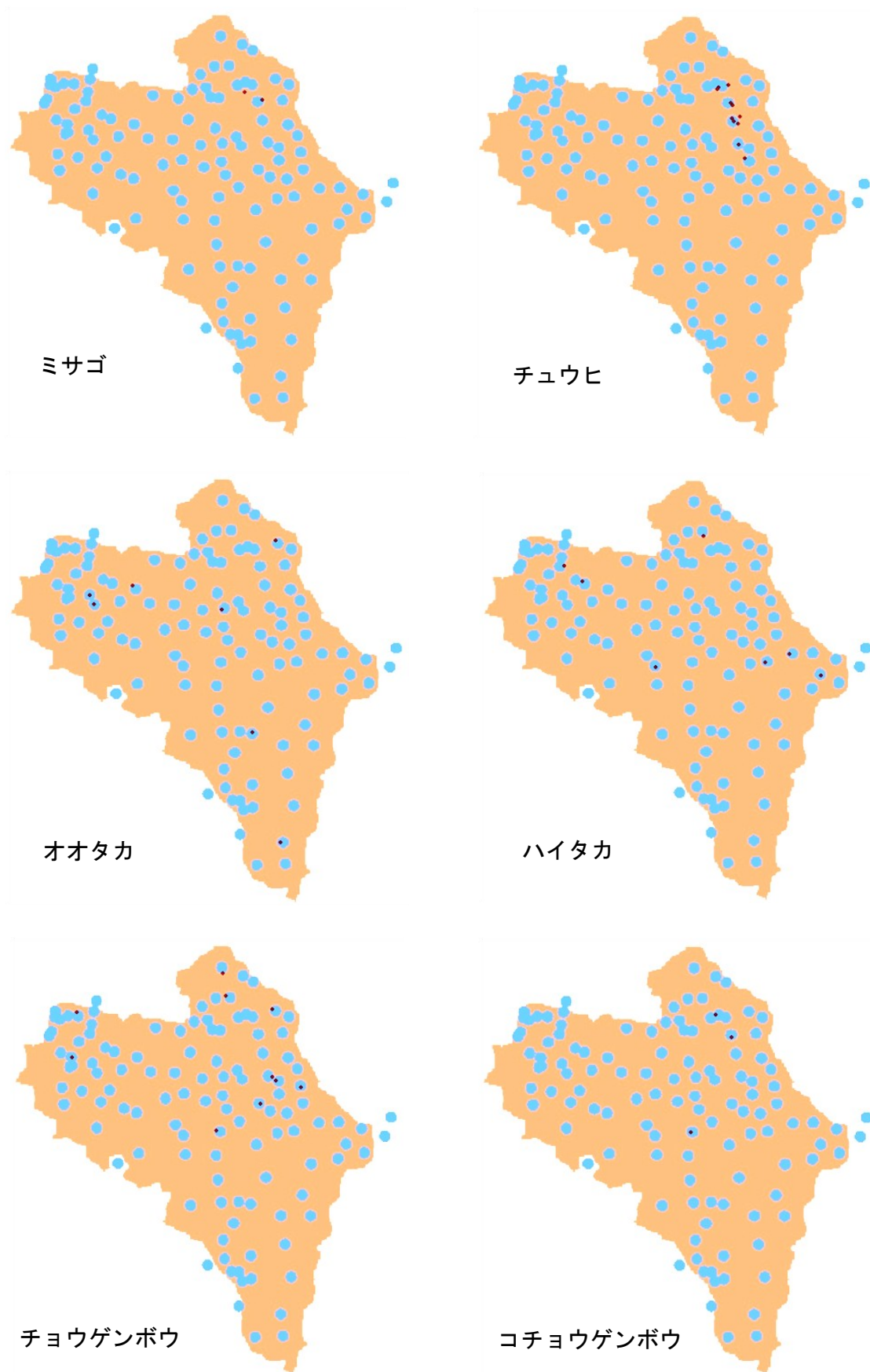


図 2-1 野外調査において猛禽類が観察された地点.

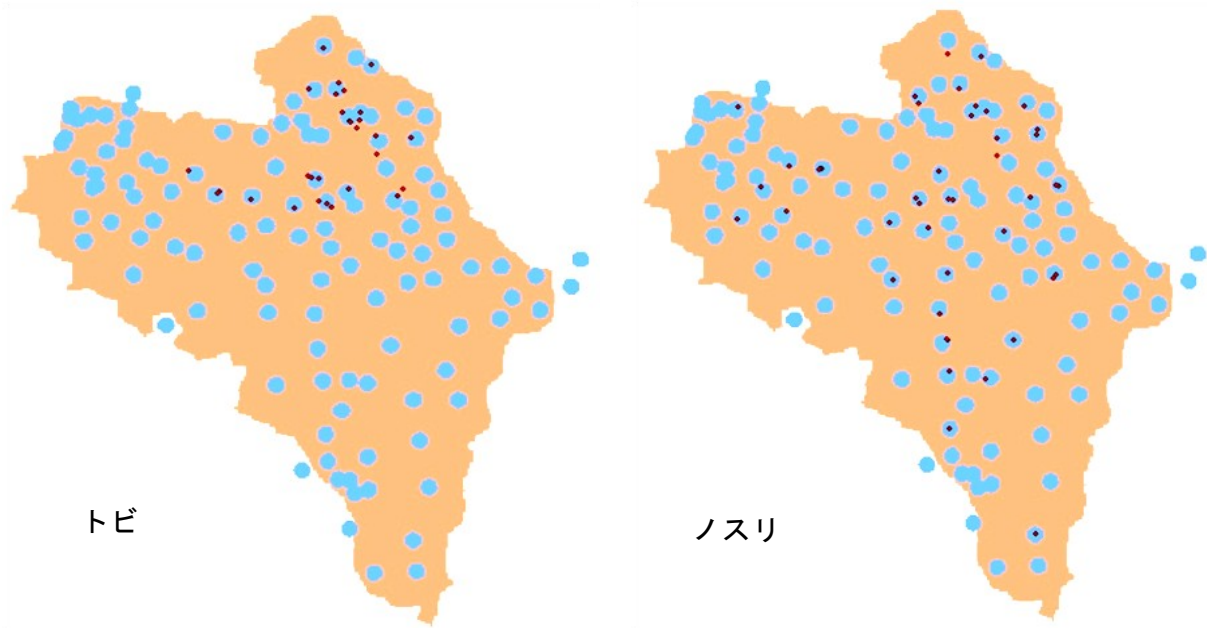
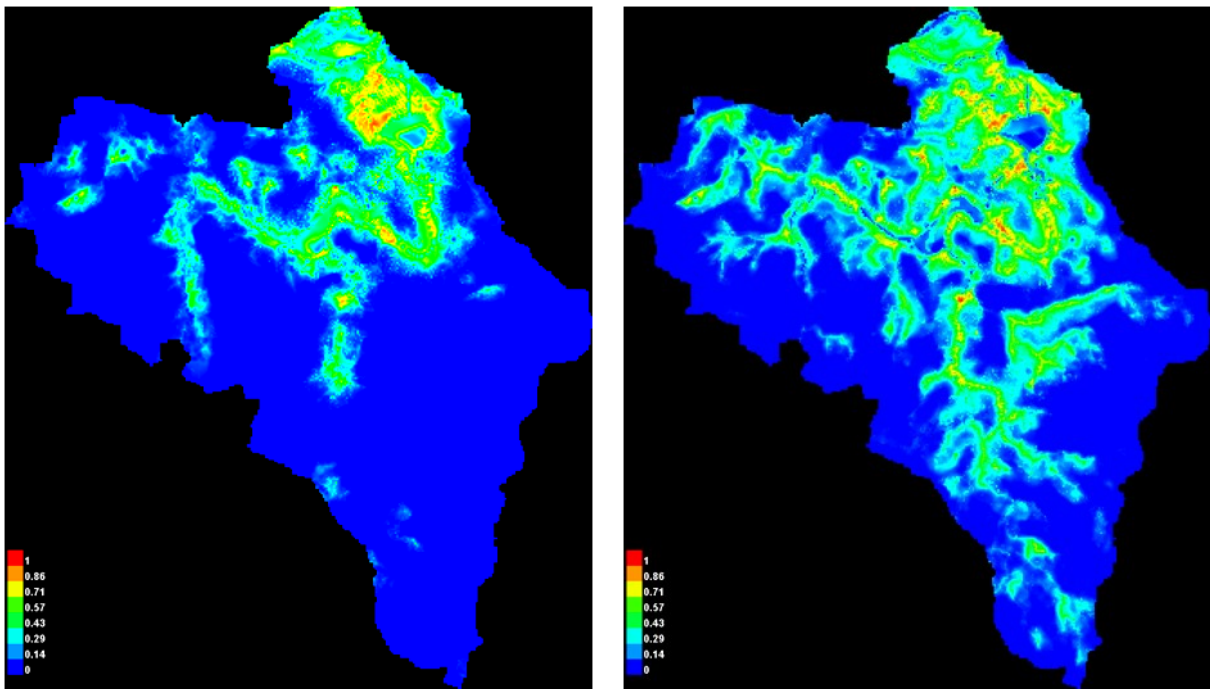


図 2-2 野外調査において猛禽類が観察された地点.



(a) トビの分布予測図

(b) ノスリ分布予測図

図 3 MaxEntによる猛禽類の分布予測図.

- (a) トビの分布予測図：北印旛沼，西印旛沼周辺での生息確率が高い結果となった。特に北印旛沼北部の水田地帯での確率が高い。また沼の水面上においても生息確率が高くなっている。
- (b) ノスリの分布予測図：北印旛沼，西印旛沼周辺での生息確率が高い結果となった。また河川沿いの入り組んだ谷津田での生息確率も高くなっており，トビに比べて広い範囲で生息確率が高くなっている。

ら起伏の大きい土地で、上空を飛行し探餌している個体が多く観察された。チョウゲンボウは開けた水田での観察が多かった。観察された個体のうち2個体は電柱から草むらへ急降下し、昆虫類を捕食していた。また飛行しているもののうち2個体はホバリングして狩りを行っていた。コチョウゲンボウは開けた水田において、杭に止まっているものと電線に止まっているものが確認された。

2. 分布予測と猛禽類の分布に影響を与える環境要因の推定

MaxEntモデルでの分布予測の結果を示す(図3)。トビ、ノスリともに印旛沼流域の中でも、北印旛沼と西印旛沼周辺での生息確率が高くなっていた。特に、トビは印旛沼北部の水田地帯での分布確率が高かった。また沼の水面上においてもある程度の生息確率が得られた。ノスリは沼周辺にかぎらず流域河川沿いの谷津田での生息確率も高い結果となった。ROC解析で分布予測モデルの評価を行ったところ、トビの分布予測モデルのAUC値は 0.903、ノスリの分布予測モデルのAUC値は0.859 と高い精度が得られた。

表5 各環境要因のMaxEntモデルでのトビの分布予測モデル作成への貢献度と重要度。

環境要因	貢献度	重要度
開放水面からの距離	46.5	16.3
水田割合	24.4	15.8
畑割合	12.7	45
森林からの距離	6.1	13.9
傾斜	4.7	3.7
市街地割合	3.2	3.9
河川からの距離	2.5	1.4

トビとノスリの分布に影響する環境要因について、MaxEntモデル(表5, 表6)及び一般線形モデル(表7, 表8)により推定した。その結果、トビでは、開放水面からの距離が46.5%とモデル作成に大きく貢献し、続いて水田割合、畑割合の貢献度が高くなっていた(表5)。ジャックナイフ検定においても開放水面からの距離、水田割合、畑割合のAUC値が高かった。つまりMaxEntモデルではトビは開放水面に近く、周囲に水田が多く、畑が少ない地点での生息確率が高いという結果が得られた。一般化線形モデルの解析では、トビは開放水面に近く、畑は少なく、河川に近く、市街地が少ない地点での生息確率が高いという結果であった(表7)。

ノスリでは水田割合、市街地割合、河川からの距離の貢献度が高かった。畑割合はモデルの作成には9.6%しか貢献していないが、重要度は38.9と高い環境要因であることが示されている(表6)。ジャックナイフ検定では水田割合、畑割合、開放水面からの距離のAUC値が高い結果になっている(表6)。MaxEntモデルでは、各環境要因間に高い相関が見られる場合に、ジャックナイフ検定の信頼度が高くなるこ

表6 各環境要因のMaxEntモデルでのノスリの分区予測モデル作成への貢献度と重要度。

環境要因	貢献度	重要度
水田割合	47.3	18.3
市街地面積の割合	12.2	16.1
河川からの距離	11.9	11.3
畑面積の割合	9.6	38.9
開放水面からの距離	9.3	10.1
傾斜	7.7	2.7
森林からの距離	2	2.7

表7 環境要因の一般化線形モデルでのトビの分布予測モデル作成への貢献度と重要度.

畑割合	開放水面からの距離	河川からの距離	傾斜	市外地割合	森林からの距離	水田割合	AIC	delta	weight
-9.819	-0.002272	0.00181		-6.569	0.005223	-4.906	63.5	0	0.079
	-0.002332	0.001932			0.003753		63.6	0.08	0.076
-9.554	-0.001982			-7.469	0.005276	-5.411	64.0	0.52	0.061
-5.114	-0.002164	0.002062			0.002769		64.1	0.57	0.059
-7.785	-0.002238	0.001823			0.004774	-3.051	64.3	0.78	0.053
	-0.002335	0.001825		-3.986	0.003245		64.6	1.11	0.045
	-0.002353	0.001802			0.004985	-1.408	65.1	1.62	0.035
-5.142	-0.002106	0.002023		-3.579	0.002347		65.2	1.64	0.035
	-0.002246	0.001898	-0.2828		0.003506		65.3	1.80	0.032
-8.579	-0.001937				0.005100	-3.918	65.4	1.85	0.031
	-0.002418	0.001581		-5.678	0.005164	-2.440	65.4	1.90	0.031
-9.698	-0.00223	0.001787	-0.0740	-6.474	0.005136	-4.876	65.5	1.98	0.029
							139.3	39.70	0

表8 環境要因の一般化線形モデルでのノスリの分布予測モデル作成への貢献度と重要度.

畑割合	開放水面からの距離	河川からの距離	傾斜	市外地割合	森林からの距離	水田割合	AIC	delta	weight
-3.948				-11.44		2.091	111.7	0	0.085
-4.948	2.92E-04			-11.64		2.263	112.3	0.63	0.062
-6.001				-12.7			112.4	0.68	0.061
-6.054		-7.78E-04		-13.23			113.1	1.36	0.043
-4.191		-5.30E-04		-11.97		1.838	113.1	1.41	0.042
-4.008			-0.09056	-11.05		1.951	113.4	1.71	0.036
-6.955	2.44E-04			-13.02			113.4	1.71	0.036
-5.344	3.72E-04		-0.16940	-11.01		2.056	113.4	1.71	0.036
-5.221				-11.65	1.01E-03		113.5	1.81	0.035
-5.895			-0.13910	-12.03			113.7	1.96	0.032
-3.952				-11.47	-4.89E-05	2.125	113.7	2	0.031
							146.4	34.72	0

とを考慮すると、ノスリは周辺に水田が多く畑が少なく、開放水面に近い地点での生息確率が高くなることがわかった。一般化線形モデルの解析結果によれば、畑面積の割合、市街地面積の割合が低く、傾斜がなく、水田面積の割合が高い地点での生息確率が高くなるという結果になった（表8）。

考 察

MaxEntモデルでトビの分布予測を行った結果、開放水面からの距離が大きく影響していることがわかった。トビは大型の翼をもち、上昇気流を利用してゆっくりとした飛翔方法をとることにより、大規模な移動をすることが予想されるが、越冬期には行動範囲が極端に狭くなることが報告されている（川路・白石，1980）。食性はネズミ類や小鳥類，爬虫類，両生類および昆虫類とされ（清棲，1966），非繁殖期にペリットからトビの食性を分析した研究では，ネズミ類，特にドブネズミが最も多く利用され，人為的な餌に依存することが明らかにされている（羽田ほか，1966）。しかし一方で，長崎空港周辺の海岸近くで生活するトビについては，食物となり得るネズミなどの小型哺乳類が生息するにもかかわらず，魚類が最も捕獲しやすい餌のために，必然的に魚類に依存する割合が大きくなっていった（川路・白石，1980）。

地形と対応した生息場所の選好性は猛禽類では比較的良好に知られている。翼のアスペクト比が高いものは滑空飛翔に適しており，高空から餌を探索するため開けた土地を好む。アスペクト比が低い種類は止まり木から地上の餌を狙うため，起伏の大きい土地を好むことが示されている（Janes, 1985）。トビの翼形態についてアスペクト比（表9）を見てみると8.83と比較的高い

値である（Tennekes, 1992）。トビは上空を帆翔で旋回，羽ばたいて移動しながら，地上や水面に横たわる鳥獣や魚の死体を探す特性がある（盛岡ら，1995）。印旛沼流域において，開放水面からの距離がトビの生息確率に大きく影響するという結果は，この特性と一致する。そのため印旛沼流域に生息するトビは開放水面上空を帆翔し探餌を行い，魚類を主な餌資源として活用している可能性が高い。実際，野外調査中にも北印旛沼湖面上にてトビが低空を飛行し魚類を狩る姿も目撃された。さらに，トビの生息確率に影響を与える半径700 m圏内の面積の割合をみると，水田割合は正の影響を与えるが，畑割合，市街地割合は負の影響を与えていた。水田や畑は農耕地とまとめられ，どちらも猛禽類の狩場として利用されるように思われるが，畑はトビの生息に負の影響を与えることが明らかとなった。森林からの距離もトビの生息確率に影響を与えたが，これはトビが集団で罅を形成し，その地点を起点に行動範囲が決まるためであると考えられる。

ノスリの生息確率には半径700 m圏内の水田割合が生息確率に大きく影響しており，主に水田を餌場に行っていることがわかった。MaxEntモデルの分布予測図からは，開けた水田だけでなく，流域河川などの谷津田でも生息確率が高かった。ノスリは林縁や開けた土地の中に立つ木や杭，電柱に止まり，地上を見張り，獲物を見つけると地上の獲物めがけて一直線に滑翔し，足の爪で取り押さえる。まれにホバリングを行うこともある（盛岡ら，1995）。ノスリのアスペクト比は，6.75と比較的低く（Tennekes, 1992），アスペクト比から見た飛行様式，狩り様式とも一致する（表9）。しかし，ノスリにおいては起伏の大きい土地だけではなく沼周囲の開けた土地

表9 猛禽類の翼のアスペクト比 (Tennekes, 1992より抜粋引用) .

種名	翼面積 (m ²)	翼幅 (m)	アスペクト比	野外調査で観察された種
クーパーハイタカ	0.090	0.71	5.60	
オオタカ	0.260	1.25	6.01	○
カタアカノスリ	0.170	1.02	6.12	
オジロワシ	0.720	2.20	6.72	
ノスリ	0.270	1.35	6.75	○
ハイタカ	0.080	0.75	7.03	○
ハネビロノスリ	0.100	0.84	7.06	
アカオノスリ	0.210	1.22	7.09	
アオタカ	0.170	1.11	7.25	
ヨーロッパハチクマ	0.190	1.20	7.58	
ケアシノスリ	0.240	1.35	7.59	
ハイロチュウヒ	0.170	1.15	7.78	
チュウヒワシ	0.410	1.80	7.90	
チョウゲンボウ	0.070	0.75	8.04	○
イヌワシ	0.540	2.10	8.17	
コミミズク	0.140	1.07	8.18	
コチョウゲンボウ	0.044	0.60	8.18	○
ヨーロッパチュウヒ	0.220	1.35	8.28	
ハヤブサ	0.130	1.05	8.48	○
ミサゴ	0.300	1.60	8.53	○
アカトビ	0.290	1.60	8.83	○
ヒメハイロチュウヒ	0.130	1.10	9.31	
チゴハヤブサ	0.056	0.75	10.04	

での生息確率も高かった。これは開けた土地、主に水田では道路にそって電柱が散在し、それをノスリが止まり木として利用していたためであると考えられる。このように電柱に止って餌を採餌するため、あるいは空中でホバリングを行うために、起伏の大きい土地だけでなく開けた土地での生息確率も高くなったと考えられる。

越冬期におけるノスリの生態に関する知見は多くはない。しかし南部スウェーデンでは冬期のノスリが排他的な縄張りを形成することが知られている (Sylvén, 1978)。しかし今回の調査の限りではそのような傾向は見られず、複数の個体が同一調査地点から確認されることも多かった。

印旛沼流域において台地は畑地や山林、谷津は水田として利用されている。解析を行ったノスリとトビに共通して言えることは、人による土地利用が2種の生息確率に大きく影響しており、水田面積は正の影響があるが、市街地、畑面積の割合は負の影響があることが明らかとなった。本研究では、同様の環境要因を用いて2種の分布予測を行ったが、それぞれ生息確率に影響を与える環境要因の比率はトビとノスリでは異なる結果が得られた。野外調査では7種類の猛禽類を観察することができたが、この結果は印旛沼流域には様々な環境がパッチ状に存在しているために、翼の形態や狩りの様式といった種の特性的によって、様々

な猛禽類がそれぞれの採餌様式に適した土地を利用しているためであると考えられる。

今回、MaxEntモデルを使用し、トビとノスリの印旛沼流域における分布確率を地図データとして示すことができた。その予測精度を示すAUC値も決して低くない値であり、野外調査の結果や種の特性をよく反映していたといえるだろう。

これまで猛禽類の生息に必要な環境要因や生息空間の推定は、谷津田単位や、テレメトリ調査を行って行動圏を求め、その範囲内で行なっているものが多く（東ほか、1998、飛来・柳川、2012、植田ほか、2006）、広域的な生息適地の予測を行った研究は少ない（東ほか、1999）。猛禽類の越冬地で研究は多くはないが、猛禽類の行動範囲は餌場の確保と関係があること（川路・白石、1980）が示唆されている。内田（2001）は、採食地域が狭ければ食物資源の枯渇や採食効率の低下を招き、長期の滞在は生存に不利になることを指摘し、冬期のノスリが比較的短期間に滞在場所を移動していくことを示した。さらに、越冬期間中、ノスリはその地域の環境収容力に応じて行動範囲を変えていることが示唆されている（高橋ら、2008）。猛禽類は広大な範囲を容易に移動することが可能なため、広域なスケールでの分布予測を行い、猛禽類の生息適地の推定を行うことは、猛禽類の生息地保全にとって非常に重要なことである（Bustamante and Seoane, 2004）。このような視点から、本研究において印旛沼流域という約540 km²という範囲で猛禽類の潜在的な生息地を解析したことに大きな意義がある。

しかしながら、プロットセンサス法を行った地点の偏りなどの不確実性が存在していること、地点情報数が少なく、解析に

かけることができなかつた種も多かつたことなどの不備もある。今後、更なる調査を行い冬期の猛禽類の地点情報数を確保することや、夏期の猛禽類についても同様の調査、解析を行うことで、印旛沼流域における生態系の保全に寄与させたい。

謝 辞

本研究を行うにあたり、調査に同行していただいた山中直樹氏をはじめ、東邦大学理学部生物学科・地理生態学研究室の仲間には調査方法の検討から解析まで多くの協力と助言をいただきました。坂入一瑛君には、文献の入手に協力いただきました。この場を借りて感謝申し上げます。

引用文献

- 東淳樹・武内一彦・恒川篤史. 1998. 谷津環境におけるサシバの行動と生息条件. 第12回環境情報科学論文集: 239-244.
- 東淳樹・時田賢一・武内一彦・恒川篤史. 1999. 千葉県手賀沼流域におけるサシバの生息地の土地環境条件. 農村計画論文集: 253-258.
- Bustamante, J. and J. Seoane. 2004. Predicting the distribution of four species of raptors (Aves: Accipitridae) in southern Spain: statistical models works better than existing maps. *Journal of Biogeography* 31:295-306.
- 羽田健三・小泉光弘・小林建夫. 1966. トビの生活史に関する研究Ⅱ: 非繁殖期. *日本生態学会誌*16(2):71-78.
- 飛来克亥・柳川久. 2012. 北海道十勝平野における猛禽類の営巣環境: 特にノスリとオオタカについて. *Symposium on Wildlife and Traffic 2012*: 55-60.
- 伊藤史彦・長澤良太・日置佳之. 2012.

- GISを用いた鳥取県におけるクマタカ (*Spizaetus nipalensis*) の潜在的生息地の推定と生息地保護に関する検討. 景観生態学17(1):7-17.
- 印旛沼環境基金. 2010. いんば沼白書(平成21・22年版) 221pp. 印旛沼環境基金, 佐倉市.
- Janes S.W. 1985. Habitat selection in raptorial birds. In: Cody M.L. (eds), Habitat selection in birds. Academic Press, Orland, pp159-188.
- 川路則友・白石哲. 1980. 長崎空港付近の鳥類-特にトビ *Milvus migrans* の行動パターンと食性. 九州大学農学部学芸雑誌 34(3/4):123-132.
- 清棲幸保. 1966. 野鳥の事典 413pp. 東京堂出版, 東京.
- 黒田治男. 1994. 岡山県・笹岡湾干拓地の冬期における猛禽類4種の環境選好. *Strix, A Journal of Field Ornithology* 13: 191-197.
- 盛岡照明・叶内拓哉・川田隆・山形則男. 1995. 日本のワシタカ類 pp.631 文一総合出版, 東京.
- 尾崎研一. 2003. アンブレラ種であるオオタカを指標とした生物多様性モニタリング手法の開発に関する研究. 46pp. 農林水産省農林水産技術会議事務所.
- 杉山智治・須崎純一・田村正行. 2009. 山形県におけるクマタカの生息適地推定モデルの構築. 景観生態学13(1&2):71-85.
- Sylvén C. 1985. Interspecific relations between sympatrically wintering Common Buzzards *Buteo buteo* and Rough-legged Buzzards *Buteo lagopus*. *Ornis Scandinavica* 9(2):197-206.
- 高橋久・河原奈苗・三浦淳男. 2008. 河北潟干拓地におけるノスリ越冬個体の個体数および分布パターン. *Kahokugata Lake Science* 11:7-11.
- Tennekes, H. 1992. *The Simple Science of Flight*. Armith Publishers, Bloemendaal, Netherlands, 1992[『鳥と飛行機どこがちがうか 鳥の科学入門』(高橋健次訳, 草思社)].
- 植田睦之・百瀬浩・山田泰広・田中啓太・松江正彦. 2006. オオタカの幼鳥の分散過程と環境利用. *Bird Research* Vol.2: A1-A10.
- 内田博. 2001. ノスリ若齢個体の越冬期の行動. *Strix, A Journal of Field Ornithology* 19: 49-54.

著者：橋本 大（現所属）八千代市立勝田台中学校，長谷川雅美 東邦大学理学部生物学科 〒274-8510 千葉県船橋市三山2-2-1.

“Habitat preference and species distribution modeling of raptorial birds inhabiting Inbanuma-lake during winter season” Report of Chiba Biodiversity Center 7: 65-78. Dai Hashimoto¹・Masami Hasegawa. Laboratory of Geographical Ecology, Department of Biology, Toho University, 2-2-1 Miyama, Funabashi-shi, Chiba 274-8510, Japan; ¹ (Present address) Kattadai Junior High School, Kattadai Yachiyo-shi, Chiba 276-0023, Japan.