

●論文

カナダ, バンクーバー島に生息するオオアオサギ (*Ardea herodias*) の営巣活動が林床植生および土壌環境に与える影響志津伶奈¹・南 佳典²・勝又暢之¹・
沖津 進¹¹千葉大学大学院園芸学研究科
²玉川大学農学部Effects of colony nesting of Great blue heron (*Ardea herodias*) on vegetation composition and soil nutrient concentration on Southeastern Vancouver IslandReina Shizu¹, Yoshinori Minami²,
Nobuyuki Katsumata¹, Susumu Okitsu¹¹Graduate School of Horticulture, Chiba University
²College of Agriculture, Tamagawa University

Effects of colony nesting of Great blue herons on understory cover and species composition, and levels of $\delta^{15}\text{N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ and $\text{PO}_4\text{-P}$ in soil were studied in a big leaf maple forests at Chase River and Clamshell Road, Vancouver Island. Species composition did differ between study sites which had different nest densities but a dominant species was not changed. Total understory cover and number of species declined with increasing nest density, and some burned plants were observed under the highest nest density. The level of ^{15}N enrichment in the soil as well as soil accumulations of $\text{NO}_3\text{-N}$ and $\text{PO}_4\text{-P}$ all related closely to increases in nest density. We conclude that the soil under the colony has undergone eutrophication by heron excrement, and the local vegetation has responded negatively. However, it was certain that Great blue herons played an important role to link marine and terrestrial ecosystems in coastal British Columbia.

1. はじめに

オオアオサギ (*Ardea herodias*) は, 体長約60cm, 体重2.1~2.5kg, 翼巾97~137cmに達する大型の鳥である (Butler, 1992). 巣はハンノキ類 (*Alnus rubra*) の樹冠に形成される場合が最も多いとされているが (Kelsall and Simpson, 1979), バンクーバー島ではカエデ類 (*Acer macrophyllum*) の樹冠にも多く巣が形成されている. Butler (1997) によると, オオアオサギは毎年同じ営巣地を利用し, 繁殖期である2月下旬から7月下旬に集団営巣を行う. 営巣地は餌場から3~15km以内の森林に形成される. 営巣期間中は栄養価の高い海洋動物を浅瀬の海岸で採餌する.

海域における鳥類の採餌行動は海洋性栄養塩類を陸上生態系にもたらす. Ellisら (2006) は, ミミヒメウ (*Phalacrocorax auritus*) およびオオカモメ (*Larus marinus*) の営巣が営巣地に海洋性栄養塩類を多量にもたらし, 特に巣の密度が高いミミヒメウの営巣地で顕著であったと報告した.

貧栄養な場所では鳥類の糞が植物に正の影響を与える. アイルランド内陸の貧栄養な湿地では, 鳥類の糞によってもたらされる窒素やリンが, 好窒素性植物の種数さらにそれらの成長量の増加を引き起こした (Tomassen et al., 2005). 韓国のアカマツ (*Pinus densiflora*) 林に形成されたオオアオサギ (*Ardea cinerea*) とチュウダイサギ (*Egretta alba modesta*) の営巣地では,

営巣が行われることで土壌中の窒素やリンを増加させた. また, 好窒素性植物の巣数およびそれらのバイオマスを著しく増加させた (Mun, 1997). ポーランド北部におけるオオアオサギの営巣地では, 営巣が好窒素性植物の種数ならびにそれらの成長量を増加させた (Żółkoś and Meissner, 2008). 営巣によって林床へもたらされる窒素やリンをはじめとする多くの栄養塩類は, 営巣地およびその周辺に生育する植物の栄養源となりえる.

一方, 継続的にもたらされる多量の栄養塩類が過剰供給となり, 植物の成長阻害や種組成の変化を引き起こす事も予想される. オオアオサギが糞の排泄によりもたらす多量の海洋性栄養塩類が, 営巣地の植物や土壌に与える影響は大きいと推察される. しかし定量的なデータは得られていない. そこで2007年にハンノキ類林に形成されたオオアオサギの営巣地にて調査を行った. 営巣は多量の窒素やリンを海洋よりもたらしたが, 過剰な窒素やリンは土壌環境を変化させ, 林床植物の植被率を低下させた (Shizu et al., submitted). オーストラリア南東部におけるマミジロウ (*Phalacrocorax varius*) の営巣は営巣木の枯死を引き起こすために, 何年かおきにマミジロウは営巣地を変える傾向がある (Gillham, 1961). 琵琶湖におけるカワウ (*Phalacrocorax carbo*) の営巣地では, 営巣が行われることで植物に負の影響を与えた (Ishida, 1996). 過剰な窒素やリンは富栄養化に関与し (松坂・栗原, 1997), 特に過剰なリンは植物の成長を阻害するなど有害な影響を与え

ることが知られている (山根, 1960). Kerns and Howe (1967) は, カナダ中部におけるオアオサギの営巣地において, 営巣期間中に排泄される多量の糞が葉に付着する事で光合成を阻害し, 営巣地の植物衰退や枯死の原因となったと報告した.

ブリティッシュ・コロンビア州沿岸の森林では, 植物にとって窒素は制限要因である (Pojar and MacKinnon, 1994). 年間 350kg/ha もの窒素を固定するハンノキ類林では (Pojar and MacKinnon, 1994), オアオサギの営巣は林床植物を枯死させ, 植被率を低下させるといった負の影響が見られた. しかし, 営巣地を優占する樹種が窒素を固定しないカエデ類であったら, 営巣によって海洋よりもたらされる多量の窒素が植物の成長を促進させる正の影響を与える可能性は大いにありうる. 営巣地の植物に与えられる個体数や成長量の減少といった負の影響は営巣地に形成された巣の数と相互関係がある (Kerns and Howe, 1967; Weseloh and Brown, 1971). また, 営巣地にもたらされる栄養塩類は営巣地に形成されている巣の密度と正の相関関係が見られる (Ellis, 2006). 毎年 2 月下旬から 7 月下旬にかけて行われる営巣によって営巣地の植物や土壌に与えられる影響は, 林冠に形成されている巣の数や巣の密度によっても変化することが考えられる.

本研究では, カエデ類優占林に形成された大きさの異なる 2ヶ所の営巣地を調査地とし, ①林冠に形成されている巣の密度の違いが林床植物の種組成や植被率に与える影響について, ②巣の密度の違いが, 土壌中に含まれる $\text{NO}_3\text{-N}$ 量, $\text{PO}_4\text{-P}$ 量, N^{14} に対する N^{15} の割合に与える影響について調査を行った.

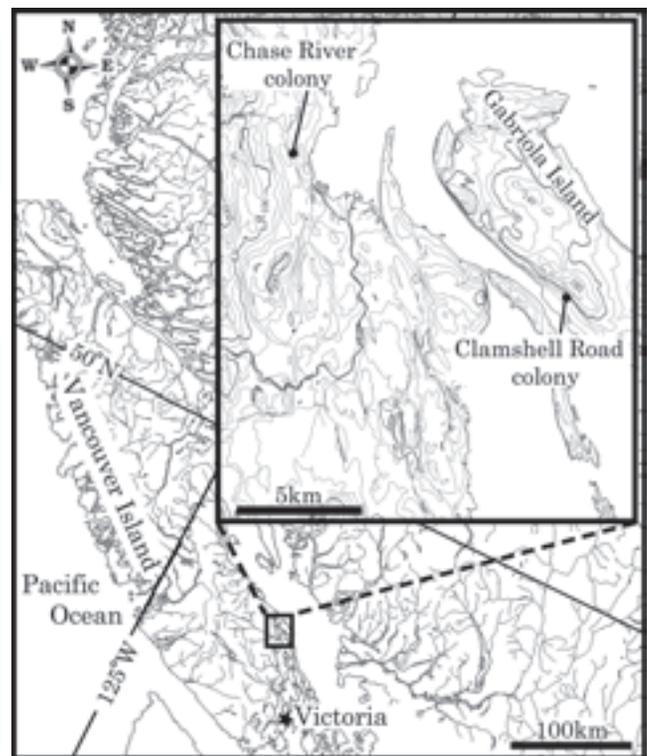
N^{14} に対する N^{15} の割合は, 一般に陸上よりも海洋で高い (Farrell et al., 1995). さらに, N^{15} 比は食物連鎖によって濃縮される (Wada et al., 1995). 海洋動物の捕食者であるオアオサギの糞は, 高い N^{15} 比を持つと考えられる. オアオサギの営巣によって海洋からもたらされる窒素量を定量化するために, 土壌中の N^{14} に対する N^{15} の割合を測定することはきわめて有効である.

2. 調査方法

(1) 調査地および調査区

調査はカナダ南西部, バンクーバー島で行った (第 1 図). 調査対象とした営巣地は調査年に営巣が見られた 2ヶ所である. これらは, ともにカエデ類優占林に形成されておりそれぞれ営巣規模が異なる.

Chase River colony ($49^{\circ}08'14.3''\text{N}$, $123^{\circ}55'42.8''\text{W}$) は面積 188.65m^2 , 巣の数 10, 小規模な営巣地である (第 1 図). カエデ類優占林にマツ類 (*Pseudotsuga menziesii* ssp. *menziesii*), モミ類 (*Abies grandis*), ハンノキ類が混交した林で, カエデ類の樹冠にのみ巣が形成されている. 調査区は営巣地内に



第 1 図 調査地の位置と地形

6ヶ所設置し, $4\text{m} \times 4\text{m}$ 方形区内に存在する巣数の違いによって設定した (調査区 1 : 0 個, 調査区 2 : 0 個, 調査区 3 : 1 個, 調査区 4 : 2 個, 調査区 5 : 3 個, 調査区 6 : 4 個).

Clamshell Road colony ($49^{\circ}08'18.8''\text{N}$, $123^{\circ}46'12.7''\text{W}$) は面積 $1,614.25\text{m}^2$, 巣の数 69, バンクーバー島にある営巣地の中でも有数の大きさである (第 1 図). カエデ類優占林にマツ類とモミ類の混交した林で, 大部分の巣がカエデ類の樹冠に形成されている. 調査区は営巣地内に 11ヶ所設置し, $4\text{m} \times 4\text{m}$ 方形区内に存在する巣数の違いによって設定した (調査区 1 : 0 個, 調査区 2 : 0 個, 調査区 3 : 1 個, 調査区 4 : 2 個, 調査区 5 : 2 個, 調査区 6 : 3 個, 調査区 7 : 3 個, 調査区 8 : 4 個, 調査区 9 : 4 個, 調査区 10 : 4 個, 調査区 11 : 5 個).

(2) 調査区内における巣数の違いが及ぼす影響

調査区内の巣数の違いが, 林床植物の種組成や植物成長に与える影響を検討するために, 調査区内に生育する植物の同定と被度の調査を行った. 調査対象は低木層, 草本層, コケ層としたため植被率は最大で 300% とした. 各調査区の出現種は Klinka ら (1989) に基づき, 3つの指標グループ (富栄養な土壌を好む植物, 中栄養な土壌を好む植物, 貧栄養な土壌を好む植物) に分類し営巣の影響が林床植生に与える影響を検討した.

調査区内の巣数の違いが, 土壌中に含まれる $\text{NO}_3\text{-N}$ 量,

PO₄-P量, N¹⁴に対するN¹⁵の割合に与える影響を検討するために、各調査区内の1地点よりリター層を除く0~10cmの深さから土壌を採取し分析を行った。土壌中のNO₃-N量, PO₄-P量の測定はマラスピナ大学, N¹⁴に対するN¹⁵の割合の測定はビクトリア大学へそれぞれ委託した。

全ての調査は営巣が終了した2007年の7月中旬から8月下旬に行った。

3. 結果

(1) 巣数の違いと植物種組成ならびに植被率との関係

Chase River colonyの全調査区で見られた植物は灌木類7種, 草本類4種, シダ類2種, 蘚苔類10種の計23種であった(表1)。イノデ類 (*Polystichum munitum*), キブリナギゴケ類

(*Kindbergia praelonga*, *Kindbergia oregana*), ヒイラギナンテン類 (*Mahonia nervosa*) は全調査区で生育が見られた。指標グループにおいて富栄養な土壌を好む植物に位置付けられているイノデ類は、全調査区で優占種であった。調査区内の巣数が最も少ない調査区1と調査区2では、貧栄養な土壌を好む植物に位置付けられているフサゴケ類 (*Rhytidiadelphus loreus*), シラタマノキ類 (*Gaultheria shallon*), シッポゴケ類 (*Dicranum fuscescens*), スノキ類 (*Vaccinium parvifolium*) が低い被度であったが生育していた。種数は調査区内の巣数が少なくなるにしたがって減少し、調査区1が最も多く種数が最も少ない調査区6の3倍であった(表1)。

植被率は調査区内の巣数が増加するにしたがって減少した。調査区6は全調査区の中で最も低い植被率(28%)を示し、最も高い植被率(97%)であった調査区2と比較すると

表1 調査区内の巣数と林床における植物種組成

調査区 (巣数)	Chase River colony						Clamshell Road colony										
	1(0)	2(0)	3(1)	4(2)	5(3)	6(4)	1(0)	2(0)	3(1)	4(2)	5(2)	6(3)	7(3)	8(4)	9(4)	10(4)	11(5)
<i>Kindbergia oregana</i>	10	5	5	10	+	+	+	10	+	5	+		5	+	+		
◎ <i>Polystichum munitum</i>	45	30	35	45	35	20	15	30	20	50	60	5			5		
◎ <i>Kindbergia praelonga</i>	+	5	+	+	+	+			+	+	+	+	+			+	+
Poaceae sp.							+	10	+	+		5	5	5	+	+	5
<i>Urtica dioica</i>							60	20	35		+			10	25	5	15
<i>Lactuca muralis</i>							5	+		+		15			+		5
○ <i>Rubus ursinus</i>	+	+	+	+			20	10	+								
○ <i>Mahonia nervosa</i>	25	20	15	+	10	5											
<i>Daphne laureola</i>									+			5	+	10		5	5
◎ <i>Oemleria cerasiformis</i>	+	+	25	+	10						+						
<i>Homalothecium fulgescens</i>			10	+			+	+		+							
◎ <i>Osmorhiza chilensis</i>								+	+			5	5			+	
◎ <i>Carex</i> sp.		+						5	+			10	5				
<i>Claopodium crispifolium</i>			+	+	+							5					
<i>Pteridium aquilinum</i>						+	5	10			5						
◎ <i>Symphoricarpos albus</i>		20	20	20													
◎ <i>Elymus glaucus</i>	+	+	+														
◎ <i>Plagiomnium insigne</i>	+	+			+												
◎ <i>Rhytidiadelphus loreus</i>	+								+	+							
◎ <i>Claytonia sibirica</i>													+			+	+
◎ <i>Galium triflorum</i>								5					+				
● <i>Gaultheria shallon</i>	+	+															
<i>Climacium dendroides</i>	+			+													
● <i>Vaccinium parvifolium</i>		+															
<i>Neckera douglasii</i>	+																
◎ <i>Tellima grandiflora</i>	+																
● <i>Dicranum fuscescens</i>	+																
◎ <i>Trillium ovatum</i>	5																
○ <i>Holodiscus discolor</i>		10															
<i>Rhizomnium glabrescens</i>					+												
○ <i>Timmia austriaca</i>								+									
<i>Orthotrichum lyellii</i>								+									
<i>Hypnum subimponens</i>										+							
◎ <i>Adenocaulon bicolor</i>													+				
<i>Stellaria crispa</i>															5		
<i>Lapsana communis</i>															+		
植被率	96	97	114	82	60	28	110	103	63	59	69	37	40	32	33	19	27
種数	15	13	10	10	8	5	10	11	10	6	6	8	10	6	5	7	5

◎： 富栄養な土壌を好む植物 ○： 中栄養な土壌を好む植物 ●： 貧栄養な土壌を好む植物 +： 1%未満

3分の1以下であった。著しく被度が減少した種は見られず、出現した全ての種で被度の減少が見られた(表1)。

調査区内の巣数の増加が林床植物の種数や植被率を減少させ、種組成を明らかに変化させた。調査区内の巣数と種数および植被率には関係性が認められた(表1)。

Clamshell Road colonyの全調査区で見られた植物は灌木類2種、草本類10種、シダ類2種、蘚苔類8種の計22種であった(表1)。全調査区で共通して生育が見られた種は無かったが、キブリナギゴケ類、イノデ類、イラクサ類(*Urtica dioica*)、アキノノゲシ類(*Lactuca muralis*)、イネ科植物は比較的多くの調査区で生育が見られ、中でもイノデ類やイラクサ類は優占種であった。種数は調査区内の巣数が少なくなるにしたがって減少し、調査区2で最も多く、最も少なかった調査区9および調査区11の2倍以上であった(表1)。

調査区内の巣数が増加するにしたがって植被率は減少した。調査区10は全調査区の中で最も低い植被率(19%)を示し、最も高い植被率(110%)であった調査区1と比較するとおよそ6分の1であった。著しく被度が減少した種は見られず、出現した全ての種で被度の減少が見られた(表1)。

調査区内の巣数の増加が林床植物の種数や植被率を減少させ、種組成を明らかに変化させた。調査区内の巣数と種数および植被率には関係性が認められた(表1)。

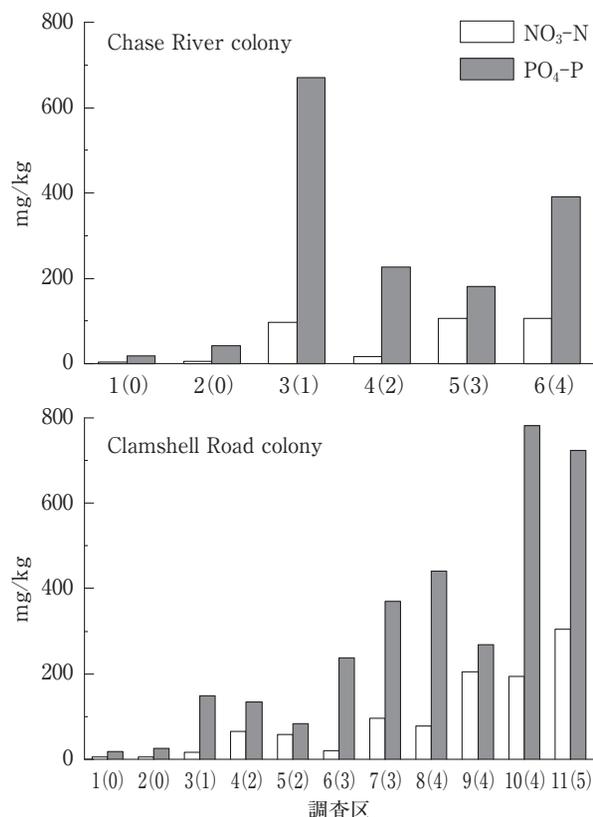
(2) 巣数の違いと土壤中のNO₃-N量、PO₄-P量、N¹⁴に対するN¹⁵の割合との関係

Chase River colonyにおいて、土壤中のNO₃-N量およびPO₄-P量は、調査区1で最低値(4.4mg/kg, 19.4mg/kg)を示した。NO₃-Nの値は調査区5と調査区6で106.0mg/kgであり、調査区1の24倍であった。PO₄-Pの値は調査区3で最高値670.0mg/kgを示し、調査区1の35倍であった(第2図)。調査区3を除くと、調査区内の巣数が多いほど土壤中のNO₃-N量、PO₄-P量は高い値を示した(第2図)。

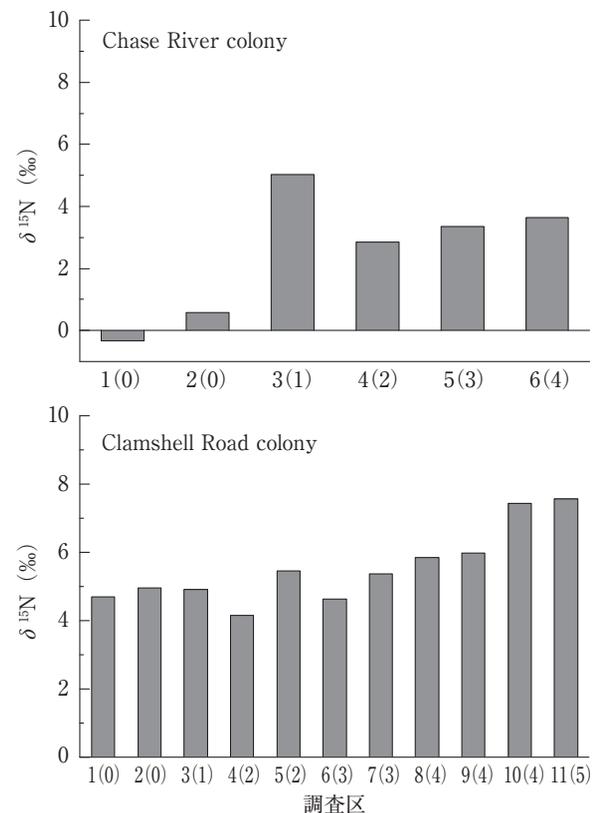
Clamshell Road colonyにおいて、土壤中のNO₃-N量およびPO₄-P量は、調査区1で最低値(5.4mg/kg, 18.0mg/kg)を示した。NO₃-Nの値は調査区11で304.0mg/kg、PO₄-Pの値は調査区10で782.0mg/kgと最高値を示し、調査区1と比較するとNO₃-Nは56倍、PO₄-Pは43倍であった。土壤中のNO₃-N量、PO₄-P量は調査区内の巣数が多いほど高い値を示した(第2図)。

Chase River colonyにおいて、土壤中に含まれるN¹⁴に対するN¹⁵の割合は、調査区1で最低値-0.33%を示し、調査区3で最高値5.02%を示した(第3図)。調査区3を除くと、調査区内の巣数が多いほど土壤中のN¹⁴に対するN¹⁵の割合は高い値を示した(第3図)。

Clamshell Road colonyにおいて、土壤中に含まれるN¹⁴に対するN¹⁵の割合は、調査区4で最低値4.29%、調査区11で最高



第2図 調査区内の巣数と土壤中のNO₃-N量、PO₄-P量との関係。()内は調査区内の巣数。



第3図 調査区内の巣数と土壤中に含まれるN¹⁴に対するN¹⁵の割合との関係。()内は調査区内の巣数。

値7.57%を示した。土壌中の N^{14} に対する N^{15} の割合は、巣数の少ない調査区よりも巣数が多い調査区の方が高い値であったが、その差はわずかであった(第3図)。

4. 考 察

(1) オオアオサギの営巣活動が林床植物の種組成や植被率に及ぼす影響

両営巣地とも巣の密度の上昇が林床植物の種数および植被率を減少させ、種組成を明らかに変化させた。しかし、優占種は巣の密度の違いによって変化することはなかった。また、著しく被度が減少した特定の種は見られず全ての種において減少が見られた(表1)。

ハンノキ類優占林に形成されたオオアオサギの営巣地においても、巣の密度が増加するにしたがって植被率の低下が見られた。原因としては、①林床へ多量に排泄される糞が葉に付着することで光合成を阻害し枯死させた(物理的影響)、②窒素が豊富にあるハンノキ類林ではもたらされる窒素は過剰であり、加えてリンも多量にもたらされることで植物成長を阻害し枯死させた(生理的影響)、と結論づけた(Shizu et al., submitted)。植物にとって窒素が制限要因であるカエデ類優占林にも関わらず、営巣は好窒素性植物までも減少させた。このことにより、営巣地の林床植物にとって生理的影響よりも物理的影響の方が影響力が大きいと推察した。実際、巣が高密度の場所では低木層や草本層の葉に糞が付着し葉が白くなった個体や、枯死している個体が多く観察された。マツ類の林に形成されたオオアオサギの営巣地では、排泄される多量の糞が営巣木の葉に付着することで光合成を阻害し営巣木を衰退させた(Kems and Howe, 1967)。

オオアオサギの営巣が林床植物に与える影響は多大なものであったが、これらは営巣地の大きさに左右されるのではなく巣の密度と関係性が認められた。

(2) オオアオサギの営巣活動が土壌中の NO_3 -N量、 PO_4 -P量、 N^{14} に対する N^{15} の割合に与える影響

両調査地とも土壌中に NO_3 -N、 PO_4 -Pの蓄積が見られ、調査区内の巣数が増加すると NO_3 -N、 PO_4 -Pの値も高くなった(第2図)。ポーランド北部および西部のカワウ(*Phalacrocorax carbo sinensis*)やアオサギの営巣地では、営巣が行われることで土壌中の窒素、リン、カリウムが増加し、特に表層土壌の蓄積が顕著であった(Ligeza and Smal, 2003)。また、琵琶湖にあるカワウの営巣地では、カワウの影響を受けていない場所よりも土壌中(リターおよび腐植土壌)のリンは明らかに高い値を示した(Hobara et al., 2005)。ニューサウスウェールズ沿岸の湿地林に形成されたダイサギ(*Egretta alba*)、チュウサギ(*Egretta intermedia*)、コサギ(*Egretta garzetta*)、アマ

サギ(*Ardeola ibis*)の営巣地では、営巣地の土壌や土壌表面に溜まった水に含まれる窒素やリンの値が対照区(同じ林分内の一度も営巣に使用されていない場所)よりもはるかに高い値を示した(Baxter and Fairweather, 1994)。オオアオサギが営巣を行うことで多くの窒素やリンが林床へもたらされたが、土壌中に蓄積する量は営巣地の大きさによって変化するのではなく林冠に形成されている巣の密度に依存していた。

Chase River colonyの調査地3が調査区内の巣数が少なかつたにも関わらず他の調査区よりも高い値を示したことについては、土壌を採取した際に糞が混入してしまったことが原因であったと思われる。

オオアオサギの営巣は、多くの N^{15} を営巣地の林床へもたらしていた。また、Chase River colonyでは巣の密度の違いと N^{15} の割合の多寡に関係性が見られたが、Clamshell Road colonyでは調査区間で大きな差はなかった(第3図)。海鳥が営巣を行うことで海洋から林床にもたらす窒素量は、林冠に形成されている巣の密度が増加することで増加する(Ellis et al., 2006)。しかしながら、Clamshell Road colonyでは、巣の密度と土壌中の N^{15} の割合の多寡には関係性が認められなかった。これは、営巣終了直後にこの地域で連続して雨が降ったことが原因であると考えられる。

カナダの西海岸河畔域では、アメリカクロクマ(*Ursus americanus*)の採餌行動が多量の海洋由来の窒素を河畔林へ運搬し、海洋生態系と陸上生態系を結ぶ窒素循環の一部を担っていることが知られている(Reimchen, 2000; Reimchen et al., 2003)。同様にオオアオサギの営巣も、カナダ西海岸の海洋生態系と陸上生態系を結ぶ物質(窒素・リン)循環の一部を担っていると考えられる。

摘 要

オオアオサギの営巣が営巣地における林床の植物種組成、植被率、土壌中の NO_3 -N量、 PO_4 -P量、 N^{14} に対する N^{15} の割合に与える影響について調査を行い考察した。

巣の密度が高い場所では林床植物の種数や植被率が減少し、種組成は明らかに変化した。しかし、巣の密度の違いによって優占する種が変化することは無かった。また、巣の密度が高くなると植被率は減少したが、著しく被度が低下した特定の種は見られず、全ての種で減少が見られた。土壌中の NO_3 -N量、 PO_4 -P量、 N^{14} に対する N^{15} の割合は、巣の密度が高くなるにつれて増加した。営巣が行われることにより営巣地の土壌や植物に与えられる影響は巣の密度と関係性が認められた。

オオアオサギの営巣は、海洋から多量の窒素やリンを林床へもたらし、営巣地の植物を枯死させるなど負の影響を与えていた。しかしながら、オオアオサギの営巣は、カナダ西海

岸の海洋生態系と陸上生態系を結ぶ物質（窒素・リン）循環の一部を担っているのは明らかであった。

謝 辞

カナダ法人玉川学園の岡田雄峰氏、杉脇大輔氏には調査に関する様々な手続きおよび調査地でのアシスタントなど本研究を遂行するにあたって多大なるご協力を賜りました。玉川大学の山田百合香氏には土壌採取や植生調査の際、調査にご協力いただきました。玉川大学の大谷有紀恵氏には調査地のデータを提供していただきました。これらの方々に深く感謝いたします。

引用文献

- Baxter, G. S. and P. G. Fairweather (1994): Phosphorus and nitrogen in wetlands with and without egret colonies. *Aust. J. Ecol.*, 19, 409–416.
- Butler, R. W. 1992. Great Blue Heron. *In: The Birds of North America*, No. 25. (A. Poole, P. Stettenheim, and F. Gill, Eds.). Philadelphia: The Academy of Natural Sciences, Washington, DC: The American Ornithologists' Union.
- Butler, R. W. (1997): The great blue heron. A natural history and ecology of a seashore sentinel. UBC press, British Columbia.
- Ellis, J. C., J. M. Fariña and J. D. Witm (2006): Nutrient transfer from sea to land: the case of gulls and cormorants in the Gulf of Maine. *J. Anim. Ecol.*, 75, 565–574.
- Farrell, J. W., T. F. Pedersen, S. E. Calvert and B. Nielsen (1995): Glacial-interglacial changes in nutrient utilization in the equatorial Pacific Ocean. *Nature*, 377, 514–515.
- Gillham, M. E. (1961): Alteration of the breeding habitat by sea-birds and seals in western Australia. *J. Ecol.*, 49, 269–300.
- Hobara, S., K. Koba, T. Osono, N. Tokuchi, A. Ishida and K. Kameda (2005): Nitrogen and phosphorus enrichment and balance in forests colonized by cormorants: Implications of the influence of soil adsorption. *Plant Soil*, 268, 89–101.
- Ishida, A. (1996): Effects of the Common cormorant, *Phalacrocorax carbo*, on evergreen forests in two sites at Lake Biwa. *Ecol. Res.* 11, 193–200.
- Kelsall, J. P. and K. Simpson (1979): A three year study of the great blue heron in southwest British Columbia. *Proceedings of the Colonial Waterbird Group*, 3, 69–74.
- Kerns J. M. and J. F. Howe (1967): Factors determining great blue heron rookery movement. *J. Minn. Acad. Sci.* 34, 80–83.
- Klinka, K., V. J. Krajina, A. Ceska and A. M. Scagel (1989): Indicator plants of coastal British Columbia. UBC Press, British Columbia.
- Ligeza, S. and H. Smal (2003): Accumulation of nutrients in soils affected by perennial colonies of piscivorous birds with reference to biogeochemical cycles of elements. *Chemosphere*, 52, 595–602.
- 松坂泰明・栗原淳 (1994): 土壌 植物栄養 環境辞典.株式会社 太洋社, 東京.
- Mun, H. (1997): Effects of colony nesting of *Ardea cinerea* and *Egretta alba modesta* on soil properties and herb layer composition in a *Pinus densiflora* forest. *Plant Soil*, 197, 55–59.
- Pojar, J. and A. MacKinnon (1994): Plants of coastal British Columbia. The B. C. Ministry of Forests and Lone Pine Publishing, Vancouver, B. C.
- Reimchen, T. E. (2000): Some ecological and evolutionary aspects of bear-salmon interactions in coastal British Columbia. *Can. J. Zool.*, 78, 448–457.
- Reimchen, T. E., D. Mathewson, M. D. Hocking, D. Harris, and J. Moran (2003): Isotopic evidence for enrichment of salmon—derived nutrients in vegetation, soil, and insects in riparian zones in coastal British Columbia. *American Fisheries Society Symposium*, 34, 59–69.
- Shizu, R., Y. Minami, N. Katsumata, S. Okitsu, G. E. Bradfield (submitted): Effects of colony nesting of Great blue heron (*Ardea herodias*) on vegetation composition and soil nutrient concentration on Southeastern Vancouver Island.
- Tomassen, B. M. H., A. J. P. Smolders, L. P. M. Lamers and J. G. M. Roelofs (2005): How bird droppings can affect the vegetation composition of ombrotrophic bogs. *Can. J. Bot.*, 83, 1046–1056.
- 山根一郎 (1960): 改定新版 土壌学の基礎知識と応用. 社団法人 農山漁村文化協会, 東京.
- Wada E., T. Ando and K. Kumazawa (1995): Biodiversity of stable isotope ratios; stable isotope in the biosphere, Kyoto Univ. Press, p. 7–14.
- Weseloh D. V. and R. T. Brown (1971): Plant distribution within a heron rookery. *Am. Midl. Nat.* 86, 57–64.
- Żółkoś, K. and W. Meissner (2008): The effect of grey heron (*Ardea cinerea* L.) colony on the surrounding vegetation and the biometrical features of three undergrowth species. *Pol. J. Ecol.* 56: 65–74.

(受付：2009年1月21日 受理：2009年2月16日)