GIS 3 次元表示を用いた岩手県三貫島オオミズナギドリ 繁殖個体数の推定

松本 経^{1,*}・風間健太郎¹・佐藤克文²・岡 奈理子³

¹ 北海道大学大学院水産科学院資源生態学研究室 〒041-8611 北海道函館市港町 3-1-1

² 東京大学海洋研究所国際沿岸海洋研究センター 〒028-1102 岩手県上閉伊郡大槌町赤浜 2-106-1

³ 山階鳥類研究所鳥学研究室 〒270-1145 千葉県我孫子市高野山 115

(2007 年 6 月 16 日受付；2007 年 7 月 19 日受理)

キーワード：オオミズナギドリ，三貫島，GIS，繁殖個体群，TIN.

日本鳥学会誌

*Japanese Journal of
Ornithology*

© The Ornithological Society
of Japan 2007

Kei Matsumoto¹, Kentaro Kazama¹, Katsufumi Sato², Nariko Oka³. 2007. Estimation of breeding population size of Streaked Shearwaters on Sangon Island, Iwate, based on 3D topography by GIS. *Jpn. J. Ornithol.* 56: 170–175.

Abstract. It has been common to estimate the number of nests and size of breeding populations of colonial seabirds based on two-dimensional (2D) areas. For seabirds breeding in areas with undulating topography, however, any nest distribution area based on the 2D area will be an underestimate, resulting in an underestimate of nest numbers. We investigated the nest density of Streaked Shearwaters according to the vegetation type on Sangon Island, Iwate, and estimated the total number of nests and breeding population in a three-dimensional (3D) area which reflected altitude, using geographical information system (GIS) and compared data with values obtained from a simple 2D area. The vegetation area obtained by the 3D method was 1.3 times that of the 2D area. Based on the conditions of the geographical feature, vegetation, and geology of Sangon Island, the total number of nests estimated by the 3D method was 1.2 times that of the 2D method. The population size parameters of Streaked Shearwaters breeding on Sangon Island obtained by the 3D method were estimated as 101,000 nests, 41,000 fledglings (= fledging nests), and 109,000 breeders during the hatching period. On another island off the same Sanriku coast, storm petrels have decreased in number, caused by the nesting activities of Streaked Shearwaters. It seems apparent that the large population of shearwaters on Sangon Island is excluding storm-petrels, including the endangered Swinhoe's Storm-petrel, from breeding.

Key words: Streaked Shearwater, Sangon Island, GIS, Breeding population, TIN.

¹ *Laboratory of Marine Ecology, Graduate School of Fisheries Sciences, Hokkaido University, Minato-cho 3-1-1, Hakodate, Hokkaido, 041-8611 Japan.*

² *Division of Coastal Conservation, International Coastal Research Center, Ocean Research Institute, The University of Tokyo, Akahama, 2-106-1, Otsuchi, Iwate, 028-1102 Japan.*

³ *Laboratory of Ornithology, Yamashina Institute for Ornithology, 115 Konoyama, Abiko, Chiba, 270-1145 Japan.*

動物の生息数や営巣数の推定法は，コドラート（方形区）やライントランセクト法で密度（単位面

積当たりの数）を求め，分布面積に密度を乗じて数の推定を行うものが一般的である．密集して巣穴営巣する海鳥でももっぱらこの方法が使われている (Weimerskirch *et al.* 1988, Gaston 1992, Croxall

* E-mail: kei-mts01@av6.mopera.ne.jp

et al. 1995, Barbraud & Delord 2006). この方法を用いた研究では、分布面積は標高を反映した斜面 3 次元面積ではなく、2 次元地図上に投影された 2 次元面積が多く使われてきた。これまで地理情報システム (GIS) によって鳥や巣の分布を推定した研究でも、扱う空間スケールが大きかったため、地形の斜度によって変化する 3 次元面積と 2 次元面積のずれは問題とされず、2 次元面積が多く使われてきた (Olivier & Wotherspoon 2005, López-López et al. 2006, Zharikov et al. 2006, López-López et al. 2007). しかし、海鳥が密集して巣穴営巣する小規模な島嶼では、営巣地が起伏に富んだり斜度が大きい地形の場合は、この方法では分布面積が過少評価され、推定数が実態より少なく見積もられることが懸念される。

近年、GIS の発展で膨大な空間データの分析や複雑な計算がコンピュータ上で高速に処理されるようになった。GIS の機能を用いることによって離散的な地形の標高データ (点分布) から連続した表面の形状を再現することができ、さらに縮尺地図上の 2 次元面積のみならず、起伏のある斜面の 3 次元面積も計算できる (Tsai 1993, 張 2001, 高橋ら 2005)。

そこで本報告は、起伏に富んだ斜面にオオミズナギドリ *Calonectris leucomelas* がコロニーを形成する岩手県三貫島で巣数と繁殖個体数を植生別に調査し、GIS を使用して標高を反映した地形を再現し、この 3 次元面積に基づき総巣数と総繁殖個体数を推計し、2 次元面積で算出した結果と比較した。

調査は、2005 年 8 月から 11 月にかけて 6 回、渡島し行った。三貫島 (北緯 39°18', 東経 141°58') は本州本土から約 1 km 離れた、東西に細長い面積 0.39 平方 km の無人島 (日本離島センター 2004) で、最高標高 120 m のピークの他に 3 つのピークを持つ地形を形成し、海食崖の海岸線が島の東西に伸びる尾根線に入り込む。昭和 10 年に「三貫島オオミズナギドリおよびヒメクロウミツバメ繁殖地」として国の天然記念物に指定され (鍋木 1938), そのうち 0.25 km² が国の特別鳥獣保護区に指定されている。極相林では高木層をタブノキ *Machilus thunbergii* が、低木層をタケ亜科のヤダケ *Pseudosasa japonica* やスズタケ *Sasamorphia borealis* が主に優占する。高木層を欠く場所では、ビャクシン *Juniperus chinensis*, ケヤキ *Zelkova serrata*, オオイタドリ *Polygonum sachalinense* が最上位階層を優占する (環境庁 1973)。

三貫島はオオミズナギドリの三陸沿岸の最大繁殖地であるとともに、本種の世界有数の繁殖地の一つに位置づけられる (岡 2004)。本種は毎年、土壌層の地面に掘った巣穴で繁殖する。巣穴の分布は植生や地面の基質により異なると考えられるので、巣数の推定のために、まず島を、植生および地面の基質から植生群落帯と岩質急斜面に 2 分類し、植生群落帯を土壌層発達帯と礫質分布帯に区分した。土壌層発達帯の植生群落帯はそれぞれの優占植物によって、オオイタドリ、タブノキ、タケ亜科群落に 3 大別した (図 1)。タケ亜科は主にスズダケとヤダケの 2 種が分布することが知られるがこれらの区分は行わなかった。礫質分布帯には広葉樹種がまばらに生えており、これを礫質樹林群落とした。島を踏査し、国土地理院発行の 1/25,000 縮尺地形図に 5 タイプに区分した分布域を記入した。オオイタドリ群落は島の南西部斜面と北に突き出た岬に多く、タケ亜科群落のほとんどは尾根部に沿って分布した (図 1)。島北部の斜面にはタブノキ群落が多く、南に突き出た岬から島中央部にかけて礫質樹林群落が分布した。海に面した斜面は岩質の崖であった。

親の給餌停止期にあたる 11 月初旬 (Oka et al. 2002), 育雛に利用され雛の巣立ちが見込まれる巣密度 (巣立ち巣密度) と、使用されていない巣も

図 1. 三貫島における 5 植生タイプ (網: オオイタドリ群落, 斜線: タケ属群落, 点: タブノキ群落, 灰: 礫質樹林群落, 白: 岩質急斜面) の分布

Fig. 1. Distribution of 5 vegetation types (mesh: giant knotweed, slash line: bamboo grass, point: evergreen forest, gray: forest growing on the shingle substrate, white: cliff or rocky steep slope) on Sangani Island

図2. TINによって描かれた三貫島の3次元立体地形。上図は南から、下図は真上から眺めた場合。50, 100mの等高線を示す太線を重ねて表示した

Fig. 2. Three-dimensional solid figure of Sangani Island drawn by the Triangulated Irregular Network. The upper and below are the figures that are seen from the south and above, respectively. Bold lines show 50 or 100 m altitudinal contour lines

含めた巣密度を調べるために、4つのタイプごとに5×5mの方形区を各5ヶ所設置した。育雛に利用された巣の確認は、巣の入口からよくしなる長い枝棒を入れ、枝先にあたる雛の反応の有無から行った。また、雛が巣内に確認されなくても、入口や産座に雛から抜け落ちた綿羽が多数散在した巣は既に雛が巣立ったとみなして巣立ち巣数に加えた。海に面した岩質の崖にはオオミズナギドリが確認されなかったため、巣密度と巣立ち巣密度を4植生タイプ間で比較した結果、礫質樹林群落の密度は、他の植生タイプに比べて低く、植生タイプ間の密度には有意な差が認められた(表1, 巣密度, One-way ANOVA, $F_{3,16}=15.7$, $P<0.001$; Tukey-Kramer, 礫質樹林群落 vs. オオミズナギドリ群落, $P<0.01$, vs. タケ亜科群落, $P<0.01$, vs. タブノキ群落, $P<0.01$, 巣立ち巣密度, $F_{3,16}=9.3$, $P<0.001$; Tukey-Kramer, vs. オオミズナギドリ群落, $P<0.05$, vs. タケ亜科群落, $P<0.01$, vs. タブノキ群落, $P<0.01$), しかし、礫質樹林群落を除く3植生タイプ間では有意な差は認められなかった(巣密度, $F_{2,12}=1.6$, $P=0.242$; 巣立ち巣密度, $F_{2,12}=1.2$, $P=0.343$)。

空間データの処理はGISソフトウェアArcGIS9.0 (ESRI Corporation)を用いた。1/25,000地形図をもとに、平面位置と標高データをもつポイントが50×50m範囲内に1点が分布する数値標高データを作成した。次にポイント分布から三角形不規則ネットワーク (Triangulated Irregular Network, TIN) を作成し、連続的な小三角形網で近似・再現した空間サーフェスを作成した(図2)。植生群落帯と岩質急斜面の分布範囲を、枠で囲んだポリゴン(頂点に座標値をもつ図形データ)として図面(レイヤ)上に描写し、植生タイプごとのポリゴンと重なる位置に含まれるTINの3次元面積および2次元面積を算出したところ、3次元面積は2次元面積よりも各植生タイプにおいて9~27%大きく、合計面積は1.32倍だった(表1)。したがって、三貫島のような山型の地形の地表面を、安易に平面として処理することは分布面積の過小評価になることが明らかとなった。

島を踏査した結果、同一の植生タイプ内で巣密度が極端に異なる場所はほとんど観察されなかったため、植生タイプごとに巣密度は一樣であると仮定し、植生タイプごとに巣密度と面積を乗じて足し合わせた島全体の巣数を、3次元面積と2次元面積の場合に分けて求めた。3次元面積で推定した巣数は101,020巣になり、2次元で算出された巣数84,452の1.2倍であった。植生タイプごとの巣立ち巣密度を用いて同様に計算された島の巣立ち巣数は、3次元面積で40,977巣、2次元面積で33,926巣であった。

8月の調査で発見した孵化確認巣43巣を11月初旬に再確認し、雛のいた巣と雛がいなかったが巣内および巣入口に雛の綿羽が多数散在した巣を巣立ち巣として巣立ち率($100 \times \text{巣立ち巣} / \text{孵化した巣}$)を求めると75%だった。植生タイプごとの巣立ち巣数にこの巣立ち率の逆数を乗じて孵化した巣数を求め、さらに2倍して孵化時期に繁殖に参加していた親数(繁殖個体数)を推定すると、3次元面積法では109,274羽、2次元面積法では90,470羽であった(表1)。この年に繁殖に参加した総個体数は、当然ながらこれを上回る。しかしながら、これらの数値は、本種の生息範囲を島面積の70%、巣穴利用率を100%と仮定し、2次元面積に巣穴密度を乗じて得られた総巣穴数を2倍して算出された総繁殖個体数24万羽(環境庁1973)と比較して、大差がある。

巣立ち巣の雛が全て無事巣立つと仮定すると、三貫島の雛の巣立ち率0.75は、本種最大繁殖地

表 1. 植生タイプごとに求めた巣密度と巣立ち巣密度 (3 次元面積法, 2 次元面積法とも同じ値を使用), および処理法別に算出された植生タイプごとの面積, 巣数, 巣立ち巣数, 孵化巣数, 孵化時期の繁殖個体数. 平均値 $\pm$ SD, 括弧内は範囲を表す
 Table 1. Nest densities and fledging nest densities (same values used in 3D and 2D surface) for each vegetation type, and predictions for area, number of nests, fledging nests, successful hatching nests and breeders at hatching within each vegetation type. Mean $\pm$ SD, ranges are shown in parentheses

処理法 Method	植生タイプ Vegetation type	巣/m ² Nests/m ²	巣立ち巣/m ² Fledging nests/m ²	面積 (m ²) Area (m ²)	巣数 No. of nests	巣立ち巣数 No. of fledging nests	孵化巣数 No. of hatching nests	繁殖個体数 No. of breeding birds
3 次元面積法 Area from 3D surface	オオイタドリ群落	0.7 $\pm$ 0.2 (0.5–1.0) N=5	0.2 $\pm$ 0.1 (0.1–0.4) N=5	42227	29559	8445	11261	22522
	Giant knotweed							
	タケ亜科群落	0.7 $\pm$ 0.2 (0.4–0.9) N=5	0.3 $\pm$ 0.1 (0.1–0.4) N=5	70684	49479	21205	28274	56548
	Bamboo							
	タブノキ群落	0.5 $\pm$ 0.1 (0.4–0.7) N=5	0.3 $\pm$ 0.1 (0.2–0.4) N=5	34653	17327	10396	13861	27722
	Evergreen 礫質樹林群落	0.1 $\pm$ 0.1 (0.0–0.2) N=5	0.02 $\pm$ 0.01 (0.0–0.1) N=5	46553	4655	931	1241	2482
	Wooded rocky							
計 Total				194117	101020	40977	54637	109274
2 次元面積法 Area from 2D surface	オオイタドリ群落	0.7 $\pm$ 0.2 (0.5–1.0) N=5	0.2 $\pm$ 0.1 (0.1–0.4) N=5	38710	27097	7742	10323	20646
	Giant knotweed							
	タケ亜科群落	0.7 $\pm$ 0.2 (0.4–0.9) N=5	0.3 $\pm$ 0.1 (0.1–0.4) N=5	55700	38990	16710	22280	44560
	Bamboo							
	タブノキ群落	0.5 $\pm$ 0.1 (0.4–0.7) N=5	0.3 $\pm$ 0.1 (0.2–0.4) N=5	29004	14502	8701	11602	23204
	Evergreen 礫質樹林群落	0.1 $\pm$ 0.1 (0.0–0.2) N=5	0.02 $\pm$ 0.01 (0.0–0.1) N=5	38631	3863	773	1030	2060
	Wooded rocky							
計 Total				162045	84452	33926	45235	90470

の御蔵島における移入された哺乳類による捕食圧の高い場所の巣立ち率 0.21 (Oka *et al.* 2002) のおよそ 3 倍であり、同島の捕食圧の低い場所の値 0.72 とほぼ同率であった。また、三貫島の巣の利用率 ($100 \times \text{孵化巣数} / \text{巣数}$) を求めると 53% であった。これまでに三貫島の繁殖個体数を報告した例では、前述のように巣の利用率を実際にはありえない 100% として巣密度に営巣可能面積 (2 次元面積) を乗じて求められた推定数 (環境庁 1973) や、巣の利用率を 30% として補正した数 (岡 2004) がある。これらの値を今回の推定数に比べるとそれぞれ 2.4 倍と 0.7 倍に相当した。これまで考慮されなかった植生タイプ別の巣密度と 3 次元面積、および植生タイプ別ではないが巣立ち率の実測値に基づき推定した今回の方法は、巣穴の分布に影響を与える土壌と植生を考慮し、2 次元面積では過小評価される地形の斜度に対応した 3 次元面積を取り入れた発展した方法になると期待される。空間データの高い処理能力を備えた GIS は、複雑な地形を扱う場合にこれまで分析者に労力を負わせてきた計算時間を短縮してくれるため、急勾配の斜面の多い三貫島での、これまで難点のあった繁殖個体数の推定を容易にしたと言える。この方法によって推定される巣数と真の値を調べて比較することが、この手法の信頼性を保障する上で今後特に重要である。

三貫島はオオミズナギドリと多数のヒメクロウミツバメ *Oceanodroma monorhis* が生息することで昭和 10 年、天然記念物に指定された (鍋木 1938)。同年に天然記念物指定を受けた 40 km 北に位置する面積 0.09 平方 km の日出島では、オオミズナギドリの繁殖数が 1970 年代から 1990 年代半ばの約 20 年間で約 8,000 羽から 16,000 羽に倍増し (岡 2004)、同所繁殖する小型ウミツバメ類が競争排除されてきた (佐藤・鶴見 2003)。今回、約 7 倍の繁殖個体数 11 万羽が推計された三貫島でも、調査中にヒメクロウミツバメ (現在絶滅危惧種 II 指定: 環境省 2002) を含めたウミツバメ類の確認数が少なく、既に海食崖地を除き観察されにくくなっている。一旦天然記念物の指定を受けると、無許可での入島が原則禁じられ、現状維持あるいは現状への回復を最優先することが法律で義務づけられる。特別鳥獣保護区でも現状の変更などを行うには許可制となる。これは人間による繁殖地の直接的な攪乱を予防し、影響を最小限にとどめる上で有効であるが、天敵や競合種の増加、海鳥群集そのものの時系列的な変化などへ

は効果が薄い。土壌に巣穴を掘り繁殖する暖流域海鳥群集のなかで体サイズが最大ゆえ、同所繁殖する小型鳥類の繁殖活動へ大きな影響を及ぼすオオミズナギドリの個体群動態を正確に検出し、鳥嶼の絶滅危惧種や希少種の保全を考えることが必要である。

本研究は東京大学海洋研究所平成 17 年度共同利用研究および科学研究費補助金 (山階鳥類研究所) のサポートを受けて実施された。野外調査は、文化庁より国指定天然記念物「三貫島オオミズナギドリおよびヒメクロウミツバメ繁殖地」の現状変更許可、および環境省自然環境局より鳥獣捕獲許可 (環東北許第 050422001 号) を得て行った。北海道大学大学院水産科学院の綿貫豊氏には原稿の校閲をいただいた。東京海洋大学大学院 (当時) の廣瀬倫芸子氏、北海道大学大学院水産科学院の古川佳道氏、同大学教育学部 (当時) の濱田隆治氏には現地調査で多大な協力をいただいた。三浦憲男氏には船による人員、物資の搬送、東京大学海洋研究所国際沿岸研究センターには、研究センター宿泊施設での宿泊便宜や支援をいただいた。北海道大学大学院北方生物圏フィールド科学センターの宮下和士氏および同大学大学院環境科学院の東条斉興氏には、GIS ソフトの操作に関する協力と空間データの 3 次元処理に関する有益な助言をいただいた。これらの方々に心から感謝申し上げます。

摘 要

集団繁殖する海鳥の営巣数および繁殖個体数はこれまで 2 次元面積を用いて推定されることが一般的であった。起伏に富む繁殖地に営巣する海鳥種や個体群では、この方法では巣の分布面積が過小評価され、推定数が実態より少なく見積もられることが懸念される。本報告は岩手県三貫島で実地調査したオオミズナギドリの植生タイプ別の巣数と繁殖個体数を、地理情報システム (GIS) を用いて標高を反映した 3 次元面積で求め、2 次元面積で算出した結果と比較した。その結果、3 次元で求めた植生帯面積は 2 次元で求めた面積の 1.3 倍になり、三貫島の地形、植生、地質条件下において、3 次元面積法による総推定巣数は、2 次元面積法の 1.2 倍となった。3 次元面積法で得られた三貫島のオオミズナギドリ繁殖個体群の規模は、巣穴数約 101,000 巣、巣立ち雛 (巣数) 約 41,000 羽 (巣)、および孵化時の繁殖個体数は約 109,000

羽と推定された。三陸沿岸の島嶼では、同所繁殖する小型ウミツバメ類がオオミズナギドリの営巣活動で減少する事例が指摘されており、三陸沿岸でオオミズナギドリが最も多く繁殖する三貫島でもウミツバメ類（特に絶滅危惧種ヒメクロウミツバメ）に対する競争排除が憂慮された。

引用文献

- Barbraud C & Delord K (2006) Population census of blue petrels *Halobaena caerulea* at Mayes Island, Iles Kerguelen. *Antarctic Sci.* **18**: 199–204.
- 張 長平 (2001) 地理情報システムを用いた空間分析. 古今書院, 東京.
- Croxall JP, Steele WK, McInnes SJ & Prince PA (1995) Breeding distribution of the snow petrel *Pagodroma nivea*. *Marine Ornithol.* **23**: 69–99.
- Gaston, AJ (1992) *The Ancient Murrelet: A Natural History in the Queen Charlotte Islands*. T & A D Poyser, London.
- 楠木外岐雄 (1938) 野生鳥類の天然記念物. 動物に関する天然記念物調査報告 **4**: 53–63.
- 環境庁 (1973) 特定鳥類等調査報告書 (日本野鳥の会編). 環境庁, 東京.
- 環境庁 (2002) 改訂 日本の絶滅のおそれのある野生動物—レッドデータブック 2. 鳥類. 自然環境研究センター, 東京.
- López-López P, Garcia-Ripollés C, Aguilar JM, Garcia-López F & Verdejo J (2006) Modelling breeding habitat preferences of Bonelli's eagle (*Hieraetus fasciatus*) in relation to topography, disturbance, climate and land use at different spatial scales. *J. Ornithol.* **147**: 97–106.
- López-López P, Garcia-Ripollés C, Soutullo A, Cadahía L & Urios V (2007) Identifying potentially suitable nesting habitat for golden eagles applied to 'important bird areas' design. *Animal Conserv.* **10**: 208–218.
- 日本離島センター (2004) 新版 日本の島ガイド SHIMADAS シマダス日本離島センター, 東京.
- Oka N, Suginome H, Jida N & Maruyama N (2002) Chick Growth and Fledging Performance of Streaked Shearwaters *Calonectris leucomelas* on Mikura Island for Two Breeding Seasons. *J. Yamashina Inst. Ornithol.* **34**: 39–59.
- 岡 奈理子 (2004) オオミズナギドリの繁殖島と繁殖個体数規模, および海域, 表層水温との関係. 山階鳥学誌 **35**: 164–188.
- Olivier F & Wotherspoon SJ (2005) GIS-based application of resource selection functions to the prediction of snow petrel distribution and abundance in East Antarctica: Comparing models at multiple scales. *Ecol. Model.* **189**: 105–129.
- 佐藤文男・鶴見みや古 (2003) オオミズナギドリによるクロコシジロウミツバメの巣穴破壊を防ぐ, 金網を用いた営巣地保全に向けての試み. 山階鳥研報 **34**: 325–330.
- 高橋重雄・井上 孝・三條和博・高橋朋一 (2005) 事例で学ぶ GIS と地域分析. 古今書院, 東京.
- Tsai VJD (1993) Delaunay triangulations in TIN creation: an overview and a linear-time algorithm. *International Journal of Geographical Information Systems* **7**: 501–524.
- Weimerskirch H, Zotier R & Jouventin P (1989) The avifauna of the Kerguelen Islands. *Emu* **89**: 15–29.
- Zharikov Y, Lank DB, Huettmann F, Bradley RW, Parker N, Yen PP-W, Mcfarlane-Tranquilla LA & Cooke F (2006) Habitat selection and breeding success in a forest-nesting Alcid, the marbled murrelet, in two landscapes with different degrees of forest fragmentation. *Landscape Ecol.* **21**: 107–120.