

自然保護区を設定する際の保護区の面積と分断の効果：  
アリ群集を用いての検討

寺山 守・村田和彦

Effects of area and fragmentation of forests for nature  
conservation: Analysis by ant communities

Mamoru Terayama and Kazuhiko Murata

**Abstract.** The optimum shape for nature reserves was analysed by the biogeographic method on *Pinus thunbergii* forest of Shikine-jima Island, Japan. The species diversities of ants and densities of ant nests and the number of species of a single large area are not significantly higher than those of the small areas. However, the forest species of ants are lost proportionately with a reduction in area. As areas of forest are reduced in size, they are increasingly susceptible to intrusion of the openland and/or grassland species from nearby anthropogenic habitats. It is suggested that larger reserves will preserve more forest species, those most in need of conservation, than a series of small reserves of equivalent total area.

(Terayama, M.: Biological Laboratory, Toho Institute of Education. Chofu, Tokyo, 182 Japan. Murata, K.: Laboratory of Applied Entomology, Utsunomiya University. Utsunomiya, Tochigi, 321 Japan)

はじめに

今日、残された自然環境や野生動物を早急に保護する必要があるという見解は国際的にも共通なものになりつつある。しかしながら自然保護の最適な方策を探る研究は不十分で、解決すべき問題も多い。自然保護区を設定する際には、島嶼生物地理学的視点から、その保護区は従来大きく円に近い形状ほど望ましいと考えられてきた (Diamond, 1975; Wilson & Willis, 1975)。しかし近年、複数の小保護区に分割した方が種の保護や多様性を高める上でより好適であるという主張も提出されている (小林, 1985; Simberloff, 1988)。自然保護区を設定する際に種の保存の点で、総面積が等しいならば単一の大保護区が好適 (Diamond, 1975, 1976; Terborgh, 1974, 1976; Faaborg, 1979; Cole, 1981, etc.) か、複数の小保護区に分割した方が好適 (Simberloff & Abele, 1976; Abele & Conner, 1979; Gilpin & Diamond, 1980; Higgs & Usher, 1980, etc.) かという命題を SLOSS [single large reservation or several small reservation?] と呼んでい

る (Simberloff & Abele, 1982; Lahti & Ranta, 1985; Shaffer & Samson, 1985)。また保護区の形状についても正円に近いほど種を保護しやすいという従来の見解に対して、それを否定する結果も得られている。このようなサイズ、形状といった保護区の最適な形態を明らかにすることは、自然保護区を設定する際の非常に重要な側面になるが、これについての実証的な研究は少ない。アリは、巣を作り定住することから採集場所での定着の存否の確認が容易であり、かつ年間を通じて調査可能であることや、現存量が大きく食性の範囲が広いことから広範に生態系の食物網に関与しており、環境や地域の生物群集の変化に反応しやすいことから、群集レベルでのこのような調査に適した動物の一つである。今回、アリ群集を用いて自然保護区を設定する際の SLOSS と保護区の形状の問題を応用生物地理学的な観点から解析した。

調査地域および方法

調査は伊豆諸島の式根島 (Fig. 1) で 1988 年 3 月 19~23 日, 6 月 22~25 日, 12 月 29~31 日, 1989 年 3 月

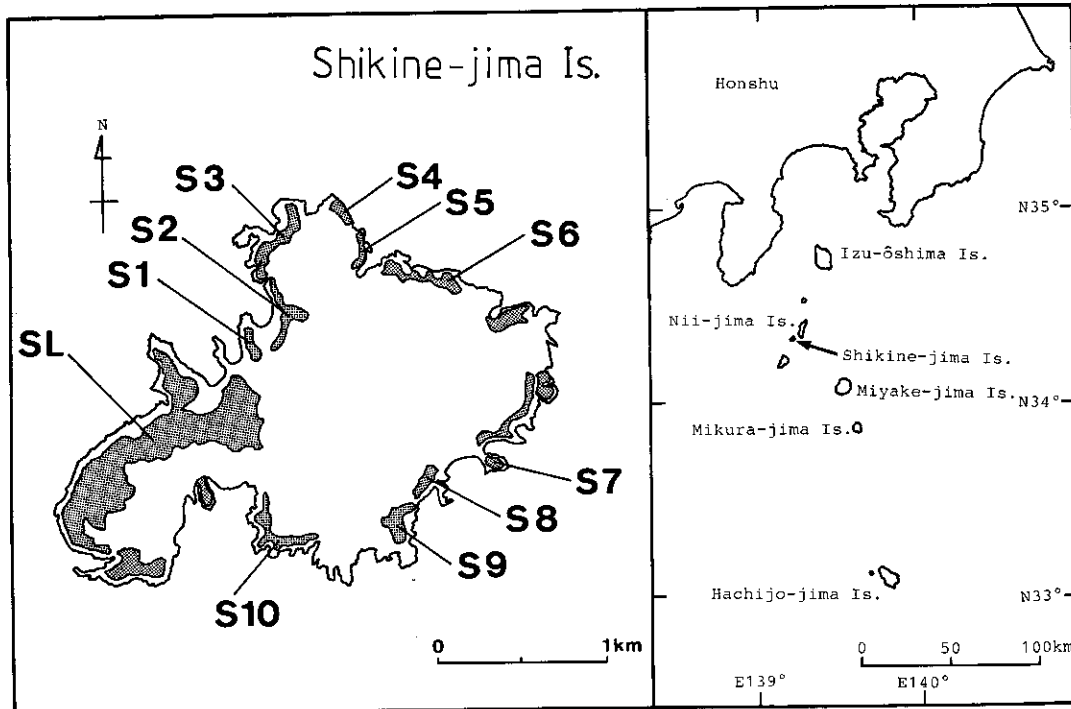


Fig. 1. Map of the study area. ■: *Pinus thunbergii* forest. SL: single large area. s1-s10: several small areas.

11~13日に行なった。式根島は面積 3.8 km<sup>2</sup> の小島であるが、自然植生のマサキートベラ群集（クロマツ林）が比較的広域にわたって見られる。本島における本植生は、人間の干渉をさほど受けずかつ広面積で残されている場所と、人間活動により分断され、複数の小島状の孤立林として残されている場所とが存在する。今回、大面積で残されている場所を単一大保護区に、小面積で複数に分断された部分を複数小保護区に見立て、これらにおけるアリ群集の比較によって SLOSS と形状の問題を検討した。また、環境の自然度を表現する上で種多様性は重要な指標になることから (Wilson, 1988)、多様度の測定も行なった。本報では、調査林内の単位面積あたりの情報を示す平均種数、巢密度、および各調査林が単位となる種多様度の比較結果を示し、その後、調査林の面積や形状と所産種数との関係を取り扱った。

(1) 平均種数・巢密度

1 m<sup>2</sup> を単位とした方形区を地下 30 cm まで掘り取り平均種数と巢密度を測定した。方形区は大面積区 (SL) 内に 9 カ所を設定し、小面積区 (ss) では 1 地点あたり 1~3 カ所を 7 地点 (s 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9) に合計 13 ケ所を設定した。

(2) 種多様性

LS, s1~s10 の各調査林内でアリのコロニー採集を行ない、発見順に種名を記録した資料を作成した。コロニー採集は、連続して種数増加を示さないコロニー数が、コロニー数全体の 20% を越えるまで行なった。また 1) 雌アリ (女王) を発見した場合、2) 卵、幼虫、サナギ、職蟻がまとまって発見された場合、3) 多くの職蟻が巢の坑道に見られた場合のいずれかの条件が満たされた時にコロニーの存在を認定した。

作成した資料から、次の三つの多様度指数を用いて解析を行なった。これらは、判別能力が高く、資料のサンプルサイズの影響を受けにくく、かつ広範に用いられている指数である (Magurran, 1983)。

i) Shannon-Wiener 関数 (H')

$$H' = -\sum P_i \log_2 P_i$$

ii) Simpson の多様度指数 (D')

$$D' = 1 / \sum P_i^2$$

iii) Fisher の多様度指数 ( $\alpha$ )

$$S = \alpha \log_e (1 + N/\alpha)$$

S および N はそれぞれ得られた総種数と総コロニー数を示し、P<sub>i</sub> は第 i 番目の種に含まれるコロニー数の全

保護区の面積と分断の効果

Table 1. Ants of Shikine-jima Is. and number of colonies of each species collected from study areas. #: forest type species.

Subfamilies and Species	SL	ss										Total
		s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10	
Ponerinae												
Amblyopone silvestrii #	1											1
Proceratium japonicum #	1					1						2
P. itoi #						2						2
Cryptopone sauteri #	1					1			2	5		9
Brachyponera chinensis	6	5		4	2	4	3	3		1		28
Hypoconerina sauteri #	1	3						1	3			8
Myrmicinae												
Aphaenogaster japonica										1		1
A. osimensis												0
Pheidole fervida		1			3	1						5
P. nodus	1									3		4
P. pieli #	1		2	1	4	4				1		12
Tetramorium caespitum												0
Monomorium intrudens	2										1	3
Solenopsis japonica	1		1			2		1	1	1		8
Oligomyrmex sauteri #	1								2			3
Myrmecina nipponica												0
Leptothorax congruus					1			2				3
Vollenhovia emeryi #				1						1		2
Pristomyrmex pungens	3					1					1	5
Crematogaster osakensis	2	1		2	4	1			2	1		13
C. teranishii								5				5
Strumigenys lewisi #			4		1					1		6
Kyidris mutica #			1							1		2
Dolichoderinae												
Iridomyrmex itoi									1		1	2
Tapinoma sp.					1	2					4	7
Formicinae												
Paratrechina flavipes	12	14	21	17	10	16	9	11	18	22	15	165
Lasius niger				1					1	3	2	7
L. talpa #	20	4	8	5	7	4	2	5	4	6	4	69
L. (Chthonolasius) sp.					1							1
L. fuliginosus												0
Formica japonica												0
Camponotus japonicus								1				1
C. devestivus			1	3	2	1	6			2		15
C. nawai	9	11	1	13	6	6	12	10	3	1	3	75
C. nipponense								1	4			5
No. of Colonies	62	39	39	47	42	46	33	40	45	49	27	469
No. of Species	15	7	8	9	12	14	6	10	13	13	7	

Table 2. Area, shape index, and number of species of study areas. AR: area in are, SI: shape index, TS: total number of species, FS: total number of forest type species.

	SL	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10
AR	2620	76	228	268	84	92	208	60	112	192	56
SI	2.20	2.67	2.29	7.33	2.33	4.50	5.43	1.67	3.00	1.12	2.33
TS	15	7	8	9	12	14	6	10	13	13	7
FS	7	3	4	3	3	5	2	1	6	4	1

体における割合, つまり  $n_i/N$  を示す. いずれの指数も多様度が高いほど高い数値を示す.

(3) 面積・形状と所産種数の関係

調査林の形状や面積と調査林内に見られたアリの種数, つまり所産種数の関係を, 両対数 (Power function model:  $S=CA^2$ ) および片対数モデル (Exponential model:  $S=C+Z \log A$ ) に適合させて規則性を調べた. 調査林の面積は奥富他 (1976) の植生図を基本に, それとは現在異なる地点を修正した地図から読み取った. 調査林の形状は形状指数 ( $SI=$ 調査林の長径/短径) で示した. この指数は地域の形状が正円に近づくほど 1 に近い値を示す. 所産種数は種多様性を測定する目的で調査, 作成したものと共通の資料で, それから算出した. つまりアリのコロニー数の増加に対して, 種数の増加が見られなくなるまで, くまなく林内を探索することで得た種数を調査林内の所産種数とした. 所産種数は各調査林で得られた総種数 (TS) と林床性種の総種数 (FS) の二つの値を用いた (Table 2). さらに二つの調査林を結合させ, 結合させた調査林の合計面積と, そこに分布が予想される種数から面積-種数関係を検討し, 地域を分断させた場合と単一大面積の場合との種数の変化を調べた.

結 果

所産種数および群集の類似性

これまで式根島からは 4 亜科 24 属 35 種のアリが記録されている. これらの内, 調査林から 4 亜科 22 属 31 種, 469 コロニーを採集あるいは確認した (Table 1: *M. nipponica* はコロニーとしては採集されていない). 本調査林において本島全体で得られたアリの種類の内, 89% が得られたことになる. Odum (1950) の差分百分率 (1-PD) による調査林間のアリ群集の類似性を Fig. 2 に示した. 伊豆諸島利島において 10 タイプの異質の植生間のアリ群集の類似性を本指数によって測定した結果, 類似度は 0.73 から 0.29 までのばらつきを見せ, 多くは類似度 0.45 以下を示した (寺山・村田, 1987). 本調査林間のアリ群集の類似度は 0.6~0.8 の間にクラスタリングされたことから, これらは比較的同質性の高い群集であるといえる.

平均種数および巣密度

平均種数と巣密度の測定結果を Table 3 に示した. 平均種数は SL で  $1.89 \pm 0.92/m^2$  ( $N=9$ ), ss で  $2.31 \pm 1.18/m^2$  ( $N=13$ ) を示し, 巣密度では SL で  $3.22 \pm 1.92/m^2$  ( $N=9$ ), ss で  $2.92 \pm 1.89/m^2$  ( $N=13$ ) を示した. しかしながら, LS-ss 間の平均種数, 巣密度の値にはいずれも,

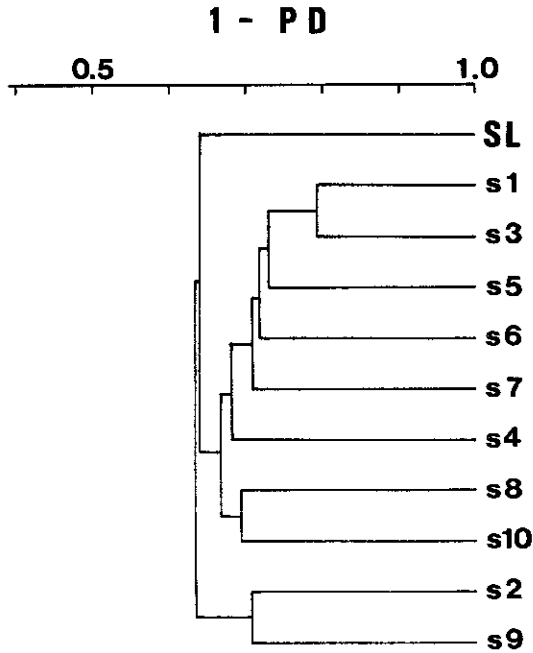


Fig. 2. Dendrogram showing of ant communities in study areas, by using Odum's percentage similarity. For areal codes, see Fig. 1.

Table 3. Comparisons species and colony densities between single large area and several small areas.

	SL ( $N=9$ )		ss ( $N=13$ )		$t$ ( $df=20$ )
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	
No. of Species per $m^2$	1.89	0.92	2.31	1.18	2.062 ( $p>0.05$ )
No. of Colonies per $m^2$	3.22	1.92	2.92	1.89	0.361 ( $p>0.05$ )

Table 4. Comparisons diversities between single large area and several small areas.  $H'$ : Shannon-Winer's  $H'$ ,  $D'$ : Simpson's  $D'$ ,  $\alpha$ : Fisher's  $\alpha$ .

	SL	ss		TN
		$\bar{x}$	SD	
$H'$	2.98	2.60	0.44	0.830 ( $p>0.05$ )
$D'$	0.82	0.77	0.07	0.732 ( $p>0.05$ )
$\alpha$	6.28	4.12	1.86	1.094 ( $p>0.05$ )

t-検定による有意差は認められなかった。

#### 種多様度

LS, ss における  $H'$ ,  $D'$   $\alpha$  による種多様度を Table 4 に示した。これらの値はスミルノフの有意差検定によると、いずれの多様度指数による値においても、SL は ss の値 ( $N=10$ ) に比べて有意に大きい値とはいえなかった。

#### 面積、形状-種数関係

Table 5 に面積、形状指数 (SI) と調査林での所産種数の相関を示した。面積と総種数 (TS) の間には有意な相関は認められず、また SI と種数の間にも有意な相関が認められなかった。しかしながら面積および面積の対数と林床性種数 (FS) の間には 5% 水準で有意な相関 (そ

Table 5. Correlation coefficients between variables. SI: shape index, TS: total number of species, FS: total number of forest type species, \*:  $p < 0.05$ , NS: not significant ( $p > 0.05$ ).

	Area	Log area	SI
TS	0.467 (NS)	0.382 (NS)	-0.261 (NS)
Log TS	0.413 (NS)	0.332 (NS)	-0.271 (NS)
FS	0.619*	0.647*	-0.146 (NS)
Log FS	0.469 (NS)	0.520 (NS)	-0.035 (NS)
FS/TS $\times 100$	0.450 (NS)	0.653*	0.214 (NS)
Log FS/TS $\times 100$	0.349 (NS)	0.535 (NS)	0.209 (NS)

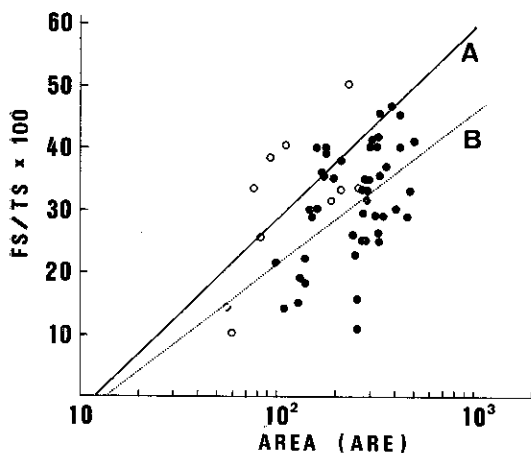


Fig. 3. Relationship between the study area combined and the expected FS/TS values. Regression equation: A;  $S = -33.654 + 31.042 \log A$  ( $r = 0.661$ ,  $p < 0.05$ ), B;  $S = -24.341 + 23.296 \log A$  ( $r = 0.441$ ,  $p < 0.001$ ).

れぞれ  $r = 0.619$ ,  $0.647$ ) が認められた。また面積の対数と総種数に対する林床性種の割合 (FS/TS) の間にも 5% 水準で有意な相関 ( $r = 0.653$ ) が認められた。さらに ss の資料から、二つの調査林を結合させ、そこに予測される所産種数と結合した調査林の面積の関係を調べたが、これら間に有意な相関は示されなかった。また面積の対数と FS の回帰直線  $Y = -2.236 + 2.633 \log X$  と比較した場合も、本回帰直線に対して数値は上下に大きくばらつき、分断による種数の変化を検定することは不可能であった。しかしながら、二つの調査林を結合させ、そこに予測される FS/TS と面積の関係は有意な相関 ( $r = 0.441$ ;  $N = 45$ ) を示した (Fig. 3)。Fig. 3 から 2 地域を結合させた地域の林床性種の割合は、それと等しい面積の実際の地域で得られた割合、つまり回帰直線 A と比較すると、明らかに低い値を示した。

#### 考 察

今回調査に用いたクロマツ自然林の、大面積の地域と小さく分断された複数小面積地域のアリ群集間では、種密度、巢密度、種多様性のいずれにおいても有意な相違が認められなかった。さらに、一般的規則性である面積-種数関係でも面積と総種数においては有意な相関が認められなかった。しかし、各調査林の林床性種と面積の間には有意な相関が認められた。つまり、林の面積が減少すると、規則的に林床性種が減少することが示された。しかしながら、林を分割した場合の効果は明らかにされなかった。面積の減少に伴う FS/TS 値の減少は、小面積の調査林ほど本来は林外に生息する種の侵入を受けていることによると考えられる。また、2 地域を結合させた地域の FS/TS 値が実際の面積で得られた値に比べて低いことは、それらの種が比較的ランダムに各調査林に侵入しているためと思われる。各調査林の種組成を比較しても、小面積の林には草地・裸地性の種がより多数侵入していることが判る。以上のことから、面積が減少すると、林床性種が減少するとともに、林の周辺部に生息する種の侵入を受けやすくなることが推察された。今回、面積-総種数関係が成立しなかった理由として、小面積の調査林への草地・裸地性種のランダムな侵入による、所産種数の増大によることが一因として考えられた。森林面積が減少すると森林性種の減少率が高まることはホ乳類、鳥類、トカゲでも知られており (Humphreys & Kitchener, 1982)、これらの森林性種は特に林縁効果 (Lovejoy et al., 1986) あるいは半島効果 (Simpson, 1964; MacArthur & Wilson, 1976; Means &

Simberloff, 1987) の影響を受けやすいと考えられる。また面積の減少に伴い、湿度等の林内環境の変化が起こることが知られ (Wilcove et al., 1986; 山本, 1987), 今回の結果でも、生息場所を本来異なる種の侵入を容易にしていることから、保護区を設定する際には、周辺域の生物群の特性についても留意が必要であることを示している。保護区の形状は種組成に影響を与えないという結果が Blouin & Connor (1985) によって報告されている。今回のアリ群集においても種数に対する形状の影響は示されなかったが、この問題についてもさらに資料の蓄積と詳細な検討が必要であろう。

保護すべき生物種や地域を考慮すると、裸地に生息するものよりも、残された自然林やそこに生息する種が圧倒的に多い。今回の結果によると、面積が小さくなるほど周辺域の種の侵入を容易にしており、それらの種の侵入によって林内の生態系が影響を受ける可能性があることを示唆している。それゆえ大面積の地域ほど、森林性の種にとってより安定した環境下にあると推定され、地域の分割は可能な限り行なわない方策、つまり単一大保護区の方が森林性の野生動物を保護する上では有利であるという見解を提示する。

#### 謝 辞

調査地域での野外調査において、植木昭弘、宮田昌典、小林岳二、瀬尾 明 (明治大学) および南波篤志 (宇都宮大学) の諸氏に御協力いただき、文献の入手で星野義延氏 (東京農工大学) に御世話いただいた。深く感謝申し上げます。また本研究の一部は桐朋学園第二種研究助成金 (1988 年度) の援助を受けて行なった。

#### 参 考 文 献

- Abele, L. G. & E. F. Connor, 1979. Application of island biogeography theory to refuge design: Making the right decision for the wrong reasons. *Proceeding of the first conference on scientific research in the national parks* (ed. R. M. Linn): 89-94.
- Blouin, M. S. & E. F. Connor, 1985. Is there a best shape for nature reserves? *Biol. Conserv.*, 32: 277-288.
- Cole, B. J., 1981. Colonizing abilities, island size, and the number of species on archipelagoes. *Am. Nat.*, 117: 629-638.
- Diamond, J. M., 1975. The island dilemma: Lessons of modern biogeographic studies for the design of natural reserves. *Biol. Conserv.*, 7: 129-146.
- 1976. Island biogeography and conservation: Strategy and limitations. *Science*, 193: 1027-1029.
- Game, M., 1980. Best shape for nature reserves. *Nature*, 287: 630-632.
- Gilpin, M. E. & J. M. Diamond, 1980. Subdivision of nature reserves and the maintenance of species diversity. *Nature*, 285: 567-569.
- Higgs, A. J., 1981. Island biogeography theory and nature reserve design. *Jour. of Biogeography*, 8: 117-124.
- Higgs, A. J. & M. B. Usher, 1980. Should nature reserves be large or small? *Nature*, 285: 568-569.
- Humphreys, W. F. & D. J. Kitchener, 1982. The effect of habitat utilization on species-area curves: Implications for optimal reserve area. *Jour. of Biogeography*, 9: 391-396.
- 小林 四郎, 1985. 自然保護区の設計 一単一大保護区か複数小保護区か一. *生物科学*, 37: 125-131.
- Lahti, T., 1986. Island biogeography and conservation: A reply to Murphy and Wilcox. *Oikos*, 47: 388-389.
- Lahti, T. & E. Ranta, 1985. The SLOSS principle and conservation practice: An example. *Oikos*, 44: 369-370.
- MacArthur, R. H., & E. O. Wilson, 1967. *The theory of island biogeography*. Princeton University Press. 203pp.
- Magurran, A. E., 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Croom Helm Limited. 179pp.
- McGuinness, K. A., 1984. Equations and explanations in the study of species-area curves. *Biol. Rev.*, 59: 423-440.
- Means, D. B. & D. Simberloff, 1987. The peninsula effect: Habitat correlated species decline in Florida's herpetofauna. *Jour. of Biogeography*, 14: 551-568.
- Murphy, D. D. & B. A. Wilcox, 1986. On island biogeography and conservation. *Oikos*, 47: 385-387.
- Odum, E. P., 1950. Bird populations of the highland (North Carolina) plateau in relation to plant succession and avian invasion. *Ecology*, 31: 587-605.
- 奥富 清・西城 好・松下正俊・安西 慎司・戸田 隆美・青田 信, 1976. 東京都現存植生園 伊豆諸島 2. 東京都公害局: 23+5.
- Shaffer, M. L. & F. B. Samson, 1985. Population size and extinction: A note on determining critical population sizes. *Am. Nat.*, 125: 144-152.
- Simberloff, D. S., 1988. The contribution of population and community biology to conservation science. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 19: 473-511.

- Simberloff, D. S. & L. G. Abele, 1976. Island biogeography theory and conservation practice. *Science*, 191: 285-286.
- & ——— 1982. Refuge design and island biogeography theory: Effect of fragmentation. *Am. Nat.*, 120: 41-50.
- Simpson, G. G., 1964. Species density of North American recent mammals. *Syst. Zool.*, 12: 57-73.
- 寺山 守・村田和彦, 1987. 伊豆諸島利島におけるアリ群集と植生との関連. *日本生物地理学会会報*, 42: 57-63.
- Terborgh, J., 1974. Preservation of natural diversity: The problem of extinction prone species. *Bioscience*, 24: 715-722.
- 1976. Island biogeography and conservation: Strategy and limitations. *Science*, 193: 1029-1030.
- Wilcove, D. S., C. H. McLellan & A. P. Dobson, 1986. Habitat fragmentation in the Temperate zone. *Conservation Biology* (ed. By M. E. Soule). *Sinauer Associate*: 237-256.
- Wilcox, B. A. & D. D. Murphy, 1985. Conservation strategy: The effects of fragmentation on extinction. *Am. Nat.*, 125: 879-887.
- Wilson, E. O., 1988. The current state of biological diversity. *Biodiversity* (eds. E. O. Wilson and F. M. Peter). *National Academy Press*: 3-18.
- Wilson, E. O. & E. O. Wills, 1975. Applied biogeography. *Ecology and Evolution of Communities* (eds. M. L. Cody and J. M. Diamond). *Harvard University Press*: 522-534.
- 山本進一, 1987. 孤立林のダイナミクス. *生物科学*, 39: 121-127.
- Zimmerman, B. L. & R. O. Bierregaard, 1986. Relevance of the equilibrium theory of island biogeography and species-area relations to conservation with a case from Amazonia. *Jour. of Biogeography*, 13: 133-143.

(寺山 守: 182 東京都調布市若葉町 1-41-1 桐朋学園  
桐朋教育研究所生物研究室. 村田和彦: 321 栃木県宇  
都宮市峰町 350 宇都宮大学農学部応用昆虫学研究室)