

---

 原著論文
 

---

# モンテカルロシミュレーションによる ニホンザル群の存続確率の推定

坂田宏志<sup>1\*</sup>・鈴木克哉<sup>1</sup><sup>1</sup>兵庫県立大学自然・環境科学研究所／兵庫県森林動物研究センター

## 要 点

- ・ ニホンザルの群れについて、オトナメスの個体数の初期値の違いごとに 20 年後の群れの存続確率を推定した。
- ・ レスリー行列モデルに出生率、出生性比、死亡率の確率変動を組み込んで、モンテカルロシミュレーションを 10,000 回行い、存続確率を計算した。
- ・ ニホンザルの出生率、死亡率の平均値と分散は、兵庫県における野外調査のデータをもとに決定し、一部は文献データで補った。長期的には 3 年分の観測データより大きな分散を想定しておく必要があるため、観測された分散を 1.2 倍したものをを用いた。
- ・ 10,000 回のシミュレーションの中では、オトナメスの個体数が 15 頭以下になると群れが絶滅するケースが出始め、10 頭では絶滅する確率は 2%程度であるが、それを下回ると存続確率は急激に低くなることが示唆された。
- ・ これは現時点の情報と知見をもとにした推定であり、出生率や死亡率の変動の大きさや要因に関する知見が加われば、推定を修正していく必要がある。

**key words** : 個体数管理 レスリー行列 出生率 出生性比 死亡率

## 1. はじめに

兵庫県内にニホンザル (*Macaca fuscata*) が生息する地域は 6 カ所 (うち 2 カ所は餌付け群) あり、各地域に 1～4 のサルの群れが分布して地域個体群を形成しているが、そのほとんどの群れが農作物に被害を出すなど、被害が深刻化している。一方、各地域に生息する群れ数や個体数は少なく、地域個体群は互いに孤立している。地域では被害対策として毎年有害捕獲が実施されており、群れの個体数の増減に影響を与えている (鈴木ほか 2013)。捕獲個体数が許容範囲を超えると、地域的な絶滅が起こる可能性もあるため、個体数や被害の状

---

\*連絡先 : 〒669-3842 兵庫県丹波市青垣町沢野 940 兵庫県森林動物研究センター  
e-mail: sakata@wmi-hyogo.jp

況を適切に把握したうえで、科学的かつ計画的な個体数管理の方針を定める必要がある。

そこで、兵庫県の特定鳥獣保護管理計画に資するために、ニホンザルの群れのオトナメス個体数によって、20年後の群れの存続確率がどのように変わるかを試算した。これらの推定には、対象地域での出産率、死亡率とその変動の大きさについての情報が必要であるが、現時点では、兵庫県での野外調査によって得られたデータを中心にして、一部を文献データで補い、それによって検討できる範囲での推定を試みた。

## 2. 方法

2009年から2011年にかけて兵庫県森林動物研究センターが実施した個体数カウント調査によって得られたデータ（鈴木ほか 2013）と文献データ（室山 2008）から出産率、死亡率の平均値と分散を決めた。その値を用いて、個体数の初期値を複数設定し、レスリー行列モデルによってメスの年齢構成と個体数の遷移をシュミレーションして、その群れの20年後の存続確率を計算した。

### 個体数の初期設定

個体数の初期値の設定は、オトナメス(6歳以上)の個体数を1頭から20頭までのそれぞれ、および25頭とした。群れの初期の年齢構成は、オトナメス1に対してアカンボウ(0歳 雌雄区別せず)0.5、コドモ(1~3歳 雌雄区別せず)0.8、ワカモノメス(4~5歳)0.2の比率で構成されると想定した。なお、上記比率に基づいて個体数を決定する際、小数点以下の端数は切り捨てた。実際の個体群の年齢構成は、兵庫県内の個体群においても、オトナメス1に対してアカンボウ(0歳 雌雄区別せず)0.09~0.79、コドモ(1~3歳 雌雄区別せず)0.5~1.5、ワカモノメス(4~5歳)0~0.29と変動が大きい(鈴木ほか 2013より算出)。特に捕獲が行われている群れでは、さまざまな値を取りうる。実際にある特定の個体群に関するシミュレーションを行う際には観測値を用いるのが望ましいが、今回の目的は一般的な目安を定めることであるため、1つの典型的な例として上の比率を設定した。

### 生存率、出産率の設定

アカンボウ以外の生存率に関しては、兵庫県森林動物研究センターが2009年から2011年にかけて収集した個体数カウント調査データ(鈴木ほか 2013)を用いて、「コドモ・ワカモノメス」と「オトナメス」の категорияに分けて生存率を求めた。同一の群れに対して2年連続で性・年齢カテゴリーごとの個体数のデータが得られた場合に、性別や成長によるカテゴリー間の移動を考慮して群れごと、年ごとおよび年齢カテゴリーごとに生存率を計算し、ロジット変換後に、全体の平均と分散を計算した。その際、各カテゴリー内の年齢ごとの個体数は均一であると仮定した。また、ワカモノメスについては群れ全体に占める個体数の割合が低く、性年齢判別時に生じる測定誤差の影響を受けやすいため、コドモと合わせて一つのカテゴリーとした。

アカンボウの生存率は、兵庫県のデータがないため、室山(2008)から得られるデータをもとに、ロジット変換後の平均を計算した。文献の上では平均値だけしか記録がないものもあり分散を計算できないため、分散は兵庫県のコドモの生存率の分散を適用することとした。最終齢は 20 才と仮定した。(表 1)

オトナメス当たりの出産率は、2011 年 11 月末時点で得られていた兵庫県の個体数カウント結果に基づくオトナメスの新生児保有率を用いた(表 2)。

表 1 各年齢区分の生存率

年齢区分	logit 変換後の平均		logit 変換後分散
	( )内は率に直したもの		
アカンボウ(0 歳)	1.064726	(0.743593)	2.465336
コドモ・ワカモノメス (1~5 歳)	2.596767	(0.930653)	2.465336
オトナメス(6~19 歳)	4.002545	(0.982059)	1.40479
オトナメス(20 歳)		0	

表 2 出産率(オトナメス 1 頭 1 年当たりの雌雄を問わない産仔数)

logit 変換後の平均 ( )内は率に直したもの	logit 変換後 分散
0.039868 (0.509966)	0.842006

### モンテカルロシミュレーション

#### 年齢区分から年齢への割り当て

アカンボウ、コドモ、ワカモノメス、オトナメス(6~19 歳)、オトナメス(20 歳)の区分を、この区分別の死亡率から推定できる年齢構成に基づいた多項分布にしたがう確率で、年齢別の個体数配分を決めた。アカンボウとコドモは、性比 1 : 1 の 2 項分布に従う確率でメスの個体数を決めた。

#### レスリー行列モデルによるモンテカルロシミュレーション

オトナメスの個体数の初期値の各設定に対して、出産率、出生性比、死亡率の確率変動を組み込んで、レスリー行列モデル(式 1)にもとづいて 20 年間の個体数のシミュレーションを 10,000 回繰り返し、群れが絶滅する確率を計算した。

$$\begin{bmatrix} N_{t+1,0} \\ N_{t+1,1} \\ N_{t+1,2} \\ \vdots \\ \vdots \\ N_{t+1,20} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_0 b_1 s_1 b_2 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & s_{19} b_2 s_{19} b_{20} \\ s_0 & 0 & \cdot & \cdot & 0 & \cdot \\ 0 & s_1 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & \cdot & \cdot & s_{19} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N_{t,0} \\ N_{t,1} \\ N_{t,2} \\ \vdots \\ \vdots \\ N_{t,20} \end{bmatrix} \quad (式 1)$$

出産率、死亡率は、それぞれのロジット変換した変数をベースに、平均と分散をもつ正規分布に従う乱数を、シミュレーションの回数ごとに年次ごと年齢ごとに個別に発生させ、確率

に変換しなおしてシミュレーションを行った。

確率変動を組み込むにあたっては、出産の性比は 1 : 1 の 2 項分布に従うと想定した。また、参照した鈴木ほか (2013) の観測データは、3 年分しかないので、長期的にはより大きな分散を想定しておく必要があると考えられる。そのため、今回のシミュレーションでは、これらの分散を 1.2 倍したものをを用いた。

### 3. 結果と考察

オトナメスの個体数の初期値ごとの 20 年後の群れの存続確率は図 1 のとおりであった。シミュレーション結果から、群れの存続確率はオトナメスの個体数の初期値が 15 頭前後で低下し始め、オトナメスの個体数の初期値が 10 頭以上では存続確率は 98%以上であるが、10 頭を下回ると存続確率は急速に低下していくことが示された。

これを踏まえて、平成 24 年 3 月に策定された兵庫県の第 2 期ニホンザル保護管理計画では、表 3 に示されるような群れの規模に応じた個体数水準ごとの個体数の管理基準が導入されることになった(兵庫県 2012)。

ただし、これは現時点での著者らの知見や技術に基づいた推定値であり、今後、兵庫県内のニホンザルの群れの出産率や死亡率とその変動の大きさ、さらには変動の要因が明らかになってくれば、それに応じてモデルや仮定を修正し、推定値を見直していく必要がある。

現状では、兵庫県に生息するほとんどの群れで集落依存が進んでいる結果、出産率が高くなっていると考えられる (鈴木ほか 2013)。しかし今後、被害対策が進展すれば、農作物への依存が少なくなることによって出産率の低下や死亡率の増加が起こる可能性もある。個体群の安定的維持のためには、出産率や死亡率の変動を注意深くモニタリングし、適宜シミュレーション結果を修正するとともに、柔軟に個体数管理計画を修正していくことも重要である。

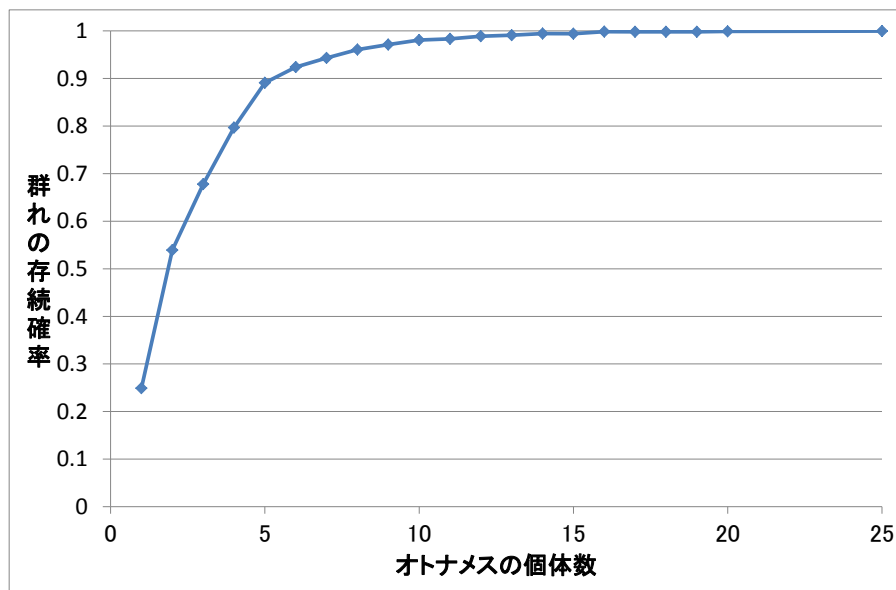


図 1 オトナメス個体数の初期値の違いによる群れの 20 年後の存続確率

表3 第2期ニホンザル保護管理計画(兵庫県 2012)における群れの規模に応じた  
 個体数管理の基準

群れの規模	個体数管理の方法
オトナメス 10 頭以下	・原則としてメスの捕獲は行わない。ただし、被害防止のため、やむを得ない場合は問題のある個体を識別して捕獲。
オトナメス 11～15 頭	・原則としてオトナメスの捕獲は行わない。ただし、被害防止のため、やむを得ない場合は問題のある個体を識別して捕獲。
オトナメス 16～20 頭	・被害対策のため、必要に応じて有害捕獲を行う。
オトナメス 21 頭以上	・被害対策のため、必要に応じて有害捕獲を行う。 ・群れの分裂や出没地域の拡大に注意を払う。

## 引用文献

- 兵庫県(2012) 第2期ニホンザル保護管理計画. 兵庫県, 神戸
- 室山泰之 (2008) 里山保全と被害管理—ニホンザル. 「日本の哺乳類学 第2巻 中大型哺乳類・霊長類」, 高槻成紀・山極寿一編著, pp. 427-452. 東京大学出版会, 東京.
- 鈴木克哉・森光由樹・山田一憲・坂田宏志・室山泰之 (2013) 兵庫県に生息するニホンザルの個体数とその動向, 兵庫ワイルドライフレポート 1: 68-74.