

猿害に対する空間要素の近接性の影響

森野真理¹・小池文人²

¹ 工博 横浜国立大学 COE フェロー 環境情報研究院 (〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7)

² 理博 横浜国立大助教授 環境情報研究院 (〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7)

猿害は、種々の防御策がとられてきたにも拘らず顕著に減っていない。猿害急増の背景には、自然林の大規模伐採等人為的な環境変動がサル環境適応能力を発現させたためと考えられる。本研究では、鹿児島県屋久島を対象に、被害低減に効果的な自然林および農地の配置決定を目的とし、ロジスティック回帰分析により、被害レベルに対する空間要素の近接性の影響を調べた。その結果、農地が森林、あるいは川幅の広い河川と離れていること、幅員の広い道路に近いことが、被害レベルを緩和することが示唆された。

Key Words : crop-raiding, habitat arrangement, adjacent to field, Yakushima Island, *Macaca fuscata yakui*

1 はじめに

霊長類による獣害問題(猿害)とは、主に農林業の生産活動における経済的被害である。そのため、捕獲や追い払い、電気柵設置などを中心としたさまざまな対策がとられてきた。鹿児島県屋久島では、1980年ごろから、ヤクシマザル(*Macaca fuscata yakui*)による農作物への被害が急増した。それに対応して、有害駆除が継続的に実施され、現在でも年間約400頭が捕獲されている^{1),2)}。また、1992年には、県や町の補助で電気柵の設置事業が本格的に始まり、被害の大きい果樹園から設置されてきた。しかし、このような取り組みにもかかわらず、被害額は必ずしも減少していない(図-1)。

では、なぜ被害は減らないのだろうか? 霊長類は、一般に、日和見主義な生活者であり、非特定で雑食性という特徴をもつことから、ヒトの居住空間の近くに適応しやすいと考えられている³⁾。ただし、種によって潜在的な適応力は異なり、ニホンザルの属するマカク属19種の中でも、人間のつくった環境に適応しやすい種とそうでない種がいることが指摘されている⁴⁾。害獣として成功する特徴は、複雑な社会構造をもつ樹上生活者といわれており⁵⁾、ニホンザルの他にもアヌビスビビ(*Papio cynocephalus*)、アカオザル(*Cercopithecus ascanius*)、サバンナモンキー(*Cercopithecus aethiops*)などが、害獣種として知られている。このような環境適応力の高い霊長類種では、他の群れが利用可能な新

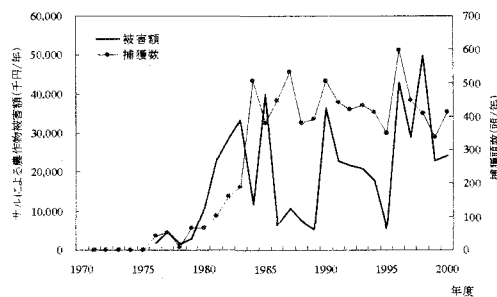


図-1 屋久島における猿害の被害額と捕獲数の変化

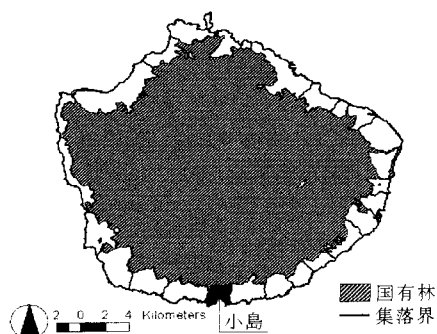


図-2 小島地区の位置

たなスペースに侵入してくるため、襲撃する群れの根絶も通常効果がない⁶⁾。しかし、害獣になりやすい霊長類は、行動・社会的パターンに潜在的な幅をもつものの、それは環境変動といった特殊な圧力なくしては発現しない⁷⁾。

ニホンザルの行動変化を引き起こす環境要因には、地域社会の森林との関わり方の変化、狩猟圧、森林伐採などがある。戦後、サルは狩猟獣から除外された。また地域社会の森林との関わりは希薄になった。その結果、サルはヒトを恐れなくなった。そして、近年の大規模森林伐採により生息地が縮小した。以上にあげた要因が、サルが害獣群となる主要因であったと推測されている⁸⁾。つまり、猿害とはサルと地域社会間の問題であるが、その原因を考えると、地域社会が生息地を攪乱した影響が、猿害という形で地域社会にフィードバックしているといえる。森林を回復すれば問題は解決するという単純なものではないという指摘もあるが⁹⁾、長期的にみれば、ヒトの居住空間への適応は、野生のサル個体群の安定的な維持にならない、被害の低減と長期的な野生個体群の維持との両立を目指すならば、生息地を回復させ、害獣群を人為的に誘導する管理計画が必要である。

そこで、本研究では、被害の低減に効果的な生息地の配置を決定するために、サルの襲撃を誘引/阻害しやすい空間的な要素を見出すことを目的とした。

2 方法

(1) 対象地

鹿児島県屋久島は、北緯30° 東経130° に位置する面積500km²の山岳島である。島の9割が森林に覆われ、植生は、海岸の亜熱帯植生から標高1900mの草原まで、連続的に分布する特徴をもつ。ヤクシマザルは、島のほぼ全域に分布するが、低地部照葉樹林帯では上部域に比べ、高密度に生息していることが確認されている⁹⁾。

猿害は1980年ごろから急増した。主な被害作物は、果樹・イモ類・マメ類である。そのうち、ポンカン・タンカンなど柑橘系の果樹は、農業粗生産額の約6割を占める主要な換金作物である¹⁰⁾。そこで、果樹を分析対象作物とし、果樹栽培が盛んな地区のひとつである小島地区(図-2)で調査を実施した。

(2) 土地被覆図の作成

小島地区について、土地利用図(屋久町, 2003)を、地籍単位でデジタル地図化し、土地被覆図に加工した。地図化および分析に使用したソフトはArcGIS ver.8.3 (ESRI社)である。土地利用図の地目では、果樹園は畑に含まれているため、果樹園の位置は現地を確認した。また、森林については、森林調査簿(屋久町, 2003)および航空写真(林業技術センター, 1994)を参照した。作成した土

表-1 インタビューの内容

カテゴリー	質問内容
果樹園	果樹齢(開園年)、元の土地利用、栽培果樹
被害状況	被害の有無、被害発生年、被害程度、被害頻度、サルの襲撃方向

地被覆図の最終的な区分は、田・畑・果樹園・宅地・森林・雑種地・道路・河川、とした。

(3) 被害状況に関するインタビュー

サルによる被害状況について、小島の果樹栽培農家30名のうち15名に対する直接訪問方式のインタビューを行った。調査期間は、2003年9月1日-2003年9月19日である。ただし、直接訪問が不可能な場合は電話で質問を行った。主な質問内容を表-1に示す。下記に、回答内容をまとめる。

まず、この地区では、樹齢70~100年の果樹もあるものの、1965年から1970年ごろに一気に果樹栽培が広まった。栽培種は、ポンカン・タンカン・温州ミカン・キンカン等だが、近年の主要栽培種は、タンカンに切り替わりつつある。また果樹園を拓く前の土地利用は、サトウキビ・カライモ・実エンドウなどを栽培していた畑が多かったが、集落北東部分のまとった果樹園については、都市基盤整備事業により、1975年ごろ山林を拓いてつくられた。

果樹に対するサルの発生年や被害程度は、果樹園によって異なっていた。1980年以前からもサルの襲撃はあったが、サルが増え、被害がひどくなった時期は1990年前後という回答が多かった。また、これまでほとんど被害がなかったいくつかの果樹園でも、2000年前後からサルが侵入し始めている。被害程度は、果実がいくつか地面に落ちている程度から、1本丸ごと果実がとられている場合などさまざまであった。被害頻度は、被害の大きい果樹園だと、1週間間隔で周期的に襲撃すること、雨上がりや朝・夕の時刻によく襲撃することが多い。また栽培種によって、サルに襲撃される時期は異なり、温州ミカンは9月末から10月にかけて、ポンカンは12月ごろ、タンカンは2月末~3月にかけて多い。サルが襲撃してくる方向は、主に山側、そして川沿いであり、海沿いの樹林帯や防風林でもよくみかけるという回答が多かった。

(4) 被害レベルの分類

今回、回答者が農業の専業か兼業かの区別はしていない。しかし、いずれにしても、果樹は、ほとんど商業用に栽培しているため、被害が出荷にどの程度影響するかは重要である。そこで、まず、サルが侵入しない果樹園と侵入する果樹園に分類し、侵入しない果樹園を被害レベル1とした。次に、侵入する果樹園については、出荷に対する影響の程度で、レベル2:被害は多少有るが、出荷に影響

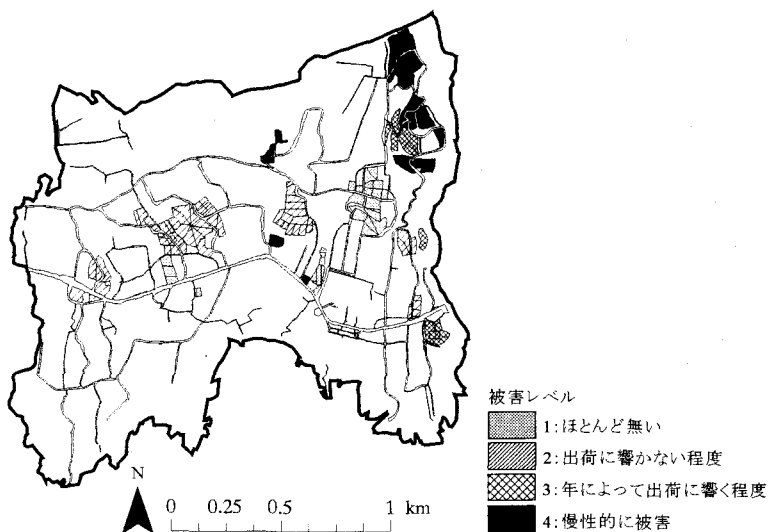


図-3 果樹園の被害レベル

くほどではない、レベル3:年によって出荷に影響被害有り、レベル4:年変動はあっても慢性的に被害有りとし、各果樹園の属性として地図に表した(図-3)

(5) 空間要素の設定

インタビューでは、サルの襲撃方向は山側・川沿いであり、よく見られるのは道路沿い・海岸沿いの樹林帯であった。また、山側に民家ができてからその近辺の果樹園になるようになったという回答もあった。そこで、これらの情報から、森林・居住区・道路・河川の4つの空間要素を設定した。

なお、道路と河川については、車の量や水の流れがサルの移動や横断に影響を及ぼすものと思われる。そこで、車の量や水量の指標として、幅の違いで、それぞれ3つに分類した。道路は、平均的な幅員によって、大(幅員10-13m)、中(幅員5-10m)、小(幅員5m未満)に分け

た。河川は、土地利用図上で川幅を判断し、大・中・小に分類した(図-4、図-5)。

(6) 距離の算出

果樹園と空間要素との距離は、各果樹園の重心と各空間要素の周縁との最近距離をGIS上で算出した。上記で果樹園に区分された区画は、地籍単位で188区画であったが、面積に偏りが大きく、サンプルの88.8%が面積3500m²以下であったため、求める距離は面積依存誤差の影響が大きくなる。そこで、面積3500m²以上のサンプルは、区画の頂点と重心を通る線で分割し、面積3500m²以下になるよう補正して226区画とした。分割した226区画のうち被害レベルの回答が得られた15名の所有地にあたる135区画(平均1760.3m²±SD917)について分析を行った。

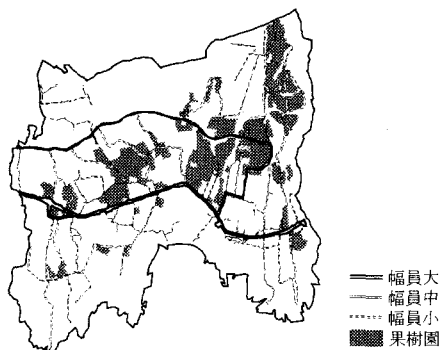


図-4 幅員による道路の分類

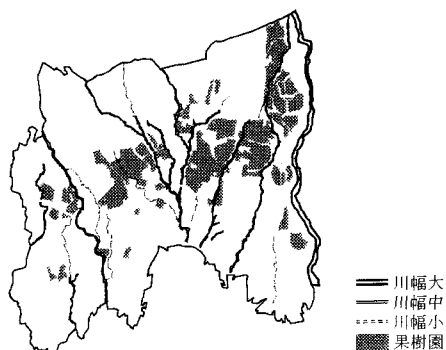


図-5 川幅による河川の分類

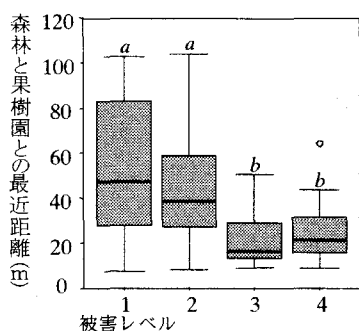


図-6 被害レベルと森林における近接性

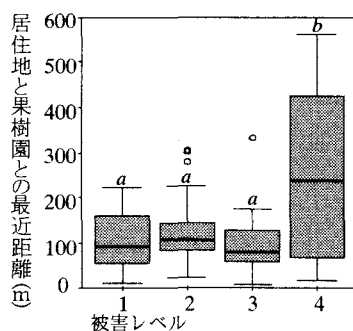


図-7 被害レベルと居住地における近接性

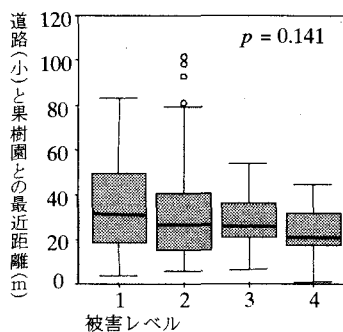
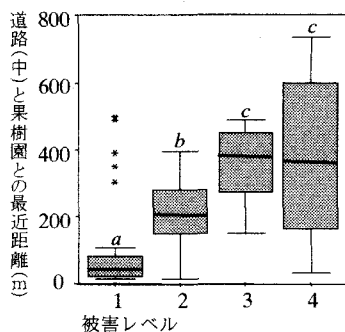
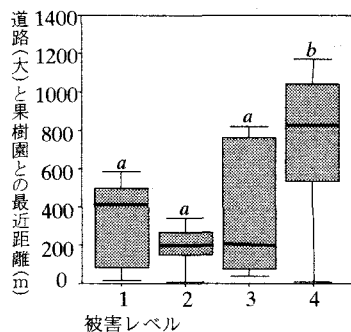


図-8 被害レベルと道路における近接性

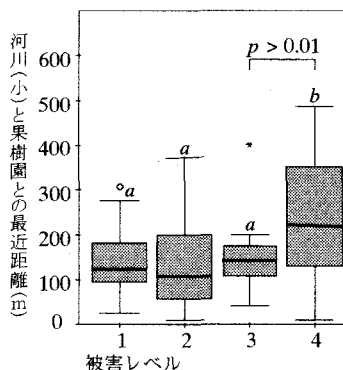
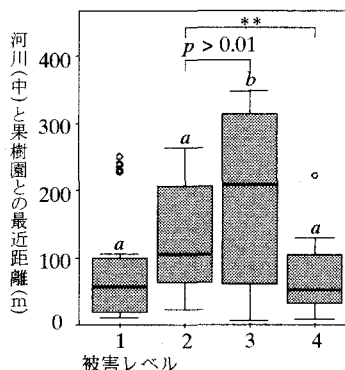
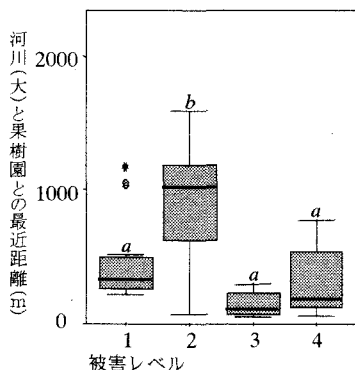


図-9 被害レベルと河川における近接性

(7) 分析

a) 分散分析：被害レベルが異なるグループ間の果樹園－空間要素間距離の有意差検定

被害レベルに対する空間要素の配置の影響を調べるために、被害レベルが異なるグループ間の果樹園－空間要素間距離の平均値の差を、分散分析（有意水準1%）で検定後、事後比較を行った。

b) ロジスティック回帰分析^{11), 12), 13)}：リスク因子の評価

次に、果樹園－空間要素間距離を被害発生の有無に対

するリスク因子とみなし、ロジスティック回帰分析により、リスクの強さを定量的に評価した。被害発生の有無は二値応答とし、被害レベル3および4を「被害有り（1）」（N=44）、被害レベル1および2を「被害無し（0）」（N=91）とした。説明変数を $X_1, X_2, \dots, X_k$ とし、「被害有り」の確率を $\pi(x)$ とすると、ロジスティック回帰モデルは式（1）で表される。また、確率 $\pi(x)$ は、式（2）で表される。

$$\log \left(\frac{\pi(x)}{1-\pi(x)} \right) = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k \quad (1)$$

$$\pi(x) = \frac{\exp(\alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k)}{1 + \exp(\alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k)} \quad (2)$$

被害の発生リスクを比較するための尺度は、オッズ比を用いた。オッズとは、イベント（ここでは被害）が起きる確率と起きない確率の比であり、オッズ比とは、従属変数2群のオッズの比をとったもので、変数の値が1単位変化したときのイベント発生率の変化を表す。式(1)のパラメータ β に対する95%信頼区間は(3)式で求まる。

$$\hat{\beta}_i \pm 1.96 \cdot SE \quad (i = 1, 2, \dots, k) \quad (3)$$

この信頼区間を指数変換することで、 X が1単位増加した場合のオッズに対する乗法効果 e^{β} の信頼区間が得られる。

変数選択は、ステップワイズ法で行った（投入確率0.05、除去確率0.10）。各モデルは、尤度比検定で適合度を比較検討した。モデルの有意性についてはWald検定を行った。

c) 森林に関する50%有効量の推定

$\pi(x)=0.5$ となる推定量は、50%有効量： EL_{50} (median effective level) と呼ばれ、被害が発生する確率が50%、発生しない確率が50%であることを示す。ここでは、森林（自然林）を回復する場合の、被害発生確率50%および

10%となる果樹園－森林間の距離を推定する。説明変数が1つの場合、 EL_{50} は(4)式で求まる。

$$EL_{50} = -\frac{\alpha}{\beta} \quad (4)$$

b)で求めた最終モデルが森林を含む複数の説明変数をとる場合、森林以外の変数は一定値（中央値とする）として、果樹園－森林間の距離を推定する。

3 結果

(1) 被害レベルに対する空間要素の配置の影響

被害レベルと果樹園－各空間要素間最近距離との対応を、図－6～9に示す。図中の○印は外れ値、*印は極値を表す。

まず、森林については、被害レベル1・2とレベル3・4の間に有意差があった（図－6）。つまり、被害が大きい果樹園は、森林と近いことが示された。

一方、居住地については、レベル1・2・3とレベル4の間に有意差があった（図－7）。つまり、被害が大きい果樹園は、居住地から遠いことが示された。

幅員大の道路については、道路から遠い果樹園の方が被害レベルが大きく、その傾向は、幅員中の道路で、より明確にみられた。一方、幅員小の道路については、レベル間に有意な差はみられなかった（図－8）。

河川については、川幅に関わらず、被害レベル間で有意な差はみられなかった（図－9）。

(2) 被害に与えるリスク因子の影響評価

ロジスティック回帰モデルのリスク因子とした各変数の分布は表－2のとおりである。変数間には、居住地－幅員大の道路（ $r=0.650$ ）、居住地－川幅小の河川（ $r=0.513$ ）、川幅大の河川－川幅小の河川（ $r=-0.526$ ）で、有意（ $p<0.05$ ）

表-2 各変数の分布

変数	度数	中央値	25～75%点	四分位偏差
森林	135	30.61	16.84 ～ 50.51	33.67
居住地	135	108.04	73.83 ～ 175.63	101.80
幅員大の道路	135	258.32	125.82 ～ 524.67	398.85
幅員中の道路	135	210.82	79.41 ～ 331.85	252.45
幅員小の道路	135	26.66	17.19 ～ 39.93	22.75
川幅大の河川	135	510.02	195.44 ～ 1036.80	841.36
川幅中の河川	135	81.08	43.05 ～ 177.16	134.11
川幅小の河川	135	135.69	77.72 ～ 219.51	141.78

表-3 モデルの比較

ステップ	投入変数	-2対数尤度	カイ2乗値	自由度	p値
1	幅員大の道路	124.578	45.891	1	0.000**
2	幅員大の道路、森林	95.513	74.926	2	0.000**
3	幅員大の道路、森林、川幅大の河川	70.128	100.311	3	0.000**
4	幅員大の道路、森林、川幅大の河川、幅員中の道路	58.806	111.633	4	0.000**

*: $p<0.05$ **: $p<0.01$

表-4 変数選択の結果得られたモデル

$$\log\{\pi(x)/1-\pi(x)\} = 2.908 - 0.083 \cdot \text{森林} + 0.003 \cdot \text{幅員大の道路} - 0.005 \cdot \text{川幅大の河川}$$

変数	推定値	標準誤差	Wald検定統計量	p値	オッズ比	95%信頼区間
森林	-0.083	0.0210	15.039	0.000**	0.921	0.883 ～ 0.960
幅員大の道路	0.003	0.0010	7.947	0.005**	1.003	1.001 ～ 1.005
川幅大の河川	-0.005	0.0010	14.793	0.000**	0.995	0.992 ～ 0.998
定数	2.908	1.0230	8.080	0.004**	18.324	

*: $p<0.05$ **: $p<0.01$

に関連があった。

ステップワイズ法による変数選択のプロセスを表-3に示す。ステップごとの尤度比検定量の差がステップ3のモデルとステップ4のモデル間で変化が小さいことから、ステップ3のモデルを最終モデルとした。モデルの有意性については、全て有意であった(表-4)。モデルより、果樹園-森林間、および果樹園-川幅大の河川間の距離が増大すると被害発生リスクは減少し、果樹園-幅員大の道路間距離が増大すると被害発生リスクも増大することが示された。また、オッズ比から、森林は川幅大の河川より被害発生リスクに対する影響が大きいことが示された。

(3) 被害発生確率50%および10%となる果樹園-森林間の推定距離

$\pi(x)=0.5$ 、幅員大の道路:258.32m、川幅大の河川:510.02mのとき、表-4のモデル式から、果樹園-森林間の推定距離は13.65mであった。同様に、 $\pi(x)=0.1$ では、果樹園-森林間の推定距離は40.12mであった。

4 考察

(1) 自然林回復の位置

農地が森林に近いと被害が大きくなることは、他の霊長類種や中・大型動物についても類似の結果が示唆されている^{14), 15)}。ただし、種によってその距離は異なり、たとえば、サバンナモンキーでは100m以下¹⁶⁾、アカオザルは25m以下、チンパンジーは290m以下、アヌビスヒビは520m以下¹⁴⁾になると被害が発生しやすくなる。Naughton-Treves¹⁷⁾によると、襲撃される農地と林縁との距離は、害獣種の樹上性ハビタットの指標であると解釈されている。この解釈にもとづけば、森林と果樹園間の EL_{50} は約14mであったことから、ヤクシマザルは樹上への依存性が比較的高く、移動は樹上ルートに制約されているといえよう。したがって、この地区で、サルを誘導するために自然林を回復するのであれば、農地に隣接した植林・再生は避けるべきである。果樹園と幅員大の道路および川幅大の河川との距離が中央値程度離れている場合であれば、果樹園から少なくとも40m以上距離をおいた、害獣群の移動可能圏に設定することが望ましい。

(2) 被害発生リスクの高い農地

結果より、被害発生リスクの高い農地は、幅員大の道路から遠く、川幅大の河川、樹林帯に近接する農地といえる。幅員大の道路は、2車線の主要道路であり、通行量が多い。また、居住地と幅員大の道路間には正の相関があったように、小島地区の居住地は主要道路沿いに集中して分布する。したがって、現在のところ、車やヒトの往来が頻繁なところには、サルは近寄りにくいと考えられる。

川幅大の河川と近接する農地で被害発生リスクが高いの

は、河畔は移動ルートとして利用され、侵入しやすい場所から果樹園に侵入してくるものと推察される。

林縁からできるだけ距離をおくことが被害を緩和することが示唆されたが、農地の周囲には防風林として樹林が植栽されている場合があり、襲撃リスクが高いといって伐採するわけにはゆかない。したがって、襲撃リスクの高い農地は、まだ大きな被害がでていなくても、防御対策を強化しておくべきだろう。

今回は、現時点での状況から、被害発生に影響を及ぼすリスク因子を評価し、被害発生確率が低い果樹園-森林間距離を推定した。しかし、害獣群がヒトの居住空間に適応しやすいことを考慮すると、サルの慣れとともに、これらの状況は将来的に変化しうると考えられる。害獣を防除する鍵は襲撃が起こる前に防ぐこと¹⁸⁾との指摘があり、アヌビスヒビについて、月ごとの防御の投資と侵入頻度に関連があるという報告もある³⁾。被害の低減には、襲撃パターン(季節性や移動経路)と被害状況をモニタリングする仕組みを設け、情報を被害の予測に反映させるとともに、襲撃前・襲撃時期の集中的な防御があわせて必要である。

謝辞: 本研究を進めるにあたり、小島地区長岩川篤好氏、ならびに小島地区のみなさま、上屋久町・屋久町農林水産課の方々に、大変お世話になった。また、横浜国立大学大学院環境情報研究院小池研究室のみなさま、酒井暁子氏、堀内史朗氏には貴重な助言をいただいた。本研究は、21世紀COEプログラム「生物・生態環境リスクマネジメント」ならびに地球環境総合研究所プロジェクト「持続的森林利用オプションの評価と将来像」に御支援いただいた。どうもありがとうございました。

参考文献

- 1) 鹿児島大学農学部鳥獣害研究会: ヤクサル生態実態調査報告, p.151, 1992.
- 2) 鹿児島県森林保全課: 屋久島サル被害資料, 2002.
- 3) Hill, C. M.: Conflict of Interest Between People and Baboons: Crop Raiding in Uganda, *International Journal of Primatology*, Vol.21, No.2, pp.299-315, 2000.
- 4) Richard A. F., Goldstein S.J., Dewar R.E.: Weed macaques: the evolutionary implications of macaque feeding ecology, *International Journal of Primatology*, Vol.10, pp.569-594, 1980.
- 5) Kavanagh, M.: Invasion of the forest by an African savannah monkey: behavioural adaptations, *Behaviour*, Vol.73, 238-260, 1980.
- 6) Strum, S.: *Almost Human: a Journey Into the World of Baboons*, W.W.Norton, 1987.
- 7) 渡邊邦夫: 地域における野生ニホンザル保護管理の問題点と今後の課題, 霊長類研究 11, pp.47-58, 1195.
- 8) Else, J.G.: Nonhuman primates as pests, *Primate Responses to Environmental Change*, Hilary O. B. eds, pp.155-165, 1991.

- 9) Yoshihiro, S., Ohtake, M., Matsubara, H., Zamma, K., Hanya, G., Tanimura, Y., Kubota, H., Kubo, R., Arakane, T., Hirata, T., Furukawa, M., Sato, A., and Takahata, Y. : Vertical Distribution of Wild Yakushima Macaques (*Macaca fuscata yakui*) in the Western Area of Yakushima Island, Japan., *Primates* Vol. 40, No.2, pp.409-415, 1991.
- 10) 鹿児島県熊毛支庁：農業生産実績，「熊毛地域農業の動向」，2000.
- 11) Agresti, A. : カテゴリカルデータ解析入門，渡邊裕之，菅波秀規，吉田光宏，角野修司，寒水孝司，松永信人訳，サイエンス社，2003.
- 12) 浜田知久馬：学会・論文発表のための統計学，真興交易（株）医書出版部，1999.
- 13) 丹後俊郎，山岡和枝，高木晴良：ロジスティック回帰分析，朝倉書店，1996.
- 14) Naughton-Treves, L.: Predicting patterns of crop damage by wildlife around Kibale National Park, Uganda, *Conservation Biology*, Vol.12, No.1, pp.156-168, 1998.
- 15) Saj, T.L., Sicotte P. and Paterson J.D.: The conflict between vervet monkeys and farmers at the forest edge in Entebbe, Uganda, *African Journal of Ecology*, Vol.39, pp.195-199, 2001.
- 16) Hill, C.M.: Crop-raiding by wild vertebrates: the farmer's perspective in an agricultural community in western Uganda, *International Journal of Pest Management*, Vol.43, pp.77-84, 1997.

EFFECT OF SPATIAL FACTORS TO CROP-RAIDING BY JAPANESE MACAQUE

Mari MORINO and Fumito KOIKE

Crop raiding by Japanese macaque have not remarkably reduced in spite of various defensive measures. Cause of this problem is mainly inferred from habitat loss. To define appropriate arrangement of new natural habitat, we investigated relationship between crop damage level and the distance from four spatial factors to field. Then, we developed a logistic regression model to estimate synthetically the spatial factors as risk factors. As the result, we showed that long distance from forest and large river, and short distance from wide road would lead to low damage level. Using this model, we calculated the distance between field and forest in low risk. We concluded that new natural forest should be arranged at the place within home range of pest troops that is more 40 meters away from field.