

## Ⅳ システムダイナミクスに基づく森林とシカ個体群の統合管理の検討

山根正伸<sup>1)</sup>・笹川裕史<sup>1)</sup>・鈴木透<sup>2)</sup>・吉田剛司<sup>3)</sup>・青柳修平<sup>4)</sup>・原慶太郎<sup>5)</sup>

### Study on the Integrated Management of Deer Population and Manmade Forests Based on a System Dynamics Model

Masanobu Yamane, Hiroshi Sasakawa, Toru Suzuki, Tsuyoshi Yoshida, Shuhei Aoyagi & Keitaro Hara

#### 要 約

システムダイナミクスに基づく人工林管理－林床植生－シカ個体群の動態予測モデルを構築し、丹沢山地における森林とシカ個体群の統合管理の基本的方向を検討した。まず、個別的なサブモデルの構築とその統合方法を検討し、それに基づいて人工林管理－林床植生－シカ個体群基本モデルをデザインした。そして、利用可能な既往の知見や研究成果からパラメーターや関係式を探しだし、基本モデルに実装し、丹沢山地に適用できるようなモデルを改良した。さらに、神奈川県丹沢山地中津川流域を対象として、人工林・二次林域でシカと共生していく際に参考となるような森林整備とシカの管理の組み合わせに関する典型的な2種類のシナリオを与えて計算を行った。この結果、メス主体の強めの捕獲によりシカの密度管理を続けたシナリオでは、10年程度で林床植生が大幅に回復して、シカの密度が安定して推移すると予測されたことから、強度の利用間伐を行う森林管理とメス成獣を中心とした強めのシカ個体数管理の統合的実行が基本的方向であると考えられた。

#### 1. はじめに

人工林・二次林域でシカと共生していくには、森林整備とシカの管理の組み合わせ方の計画的デザインの必要が次のような相互関係から導かれる。通常、間伐や枝打ちなどの森林整備を行うと林床植生が豊富になり、動植物の生息環境が改善され、土壌流出の防止が期待できる(石川ほか, 2006)。しかし、林床植生が増加すると、それをエサとするシカの栄養状態が改善し、出生率の上昇、死亡率の低下によりシカの個体群が多産多死化して個体数は増加することになる。シカが増えると、林床植生への採食圧が高まりエサ現存量は低下し、再びシカは過密化するようになる。その結果、シカは生物多様性に影響を及ぼすようになり、累積的な採食圧により林床植生が減少し、シカ自身が貧栄養化していく。

このような森林整備とシカ保護管理の相互関係を定量的に検討する方法には、実証的研究とモデル研究がある。モデル研究は、米国においてシカ管理に関する知見の集積が進んでおり、変化する森林構造に対する反応モデルが多数検討されている(Mannan *et al.*, 1996)。また、森林構造の変化を考慮したシカ管理モデルの研究などもある(Ratcliffe & Mayle, 1992)。しかし、森林管理の中身が異なり、間伐や枝打ちを内容とする森林整備と捕獲によるシカの個体群管理を行う我が国には適用可能なものはない。

また、生態研究も含めたシカの保護管理の研究の歴史が浅い我が国では、関連する研究も含めてこの種の研究は行われていない。しかし、モデル構築に関連した研究は、例えば人工林の林分構造モデル(白石, 1986)や、シカ個体群個体数モデル(堀野・三浦, 1998)などが開発されており、それらを踏まえたモデル構築が可能な段階にある。また、丹沢山地は、前回の総合調査やシカ保護管理事業の実施によりシカ個体群に関する情報や森林経営に

関する諸資料の整備も進んでおり、実態にあったモデル構築が可能である。

そこで、本論ではシステムダイナミクス(以下、SD)に基づく人工林管理－林床植生－シカ個体群の動態予測モデルを構築し、森林管理－シカ個体群統合管理の基本的方向について検討した。具体的には、個別のサブモデルの構築とその統合方法について検討し、それに基づいて人工林管理－林床植生－シカ個体群基本モデルをデザインした。そして、利用可能な既往の知見や研究成果からパラメーターを探しだし、基本モデルに実装し、丹沢山地に適用できるようなモデルを改良した。さらに、特定の流域を対象として人工林・二次林域でシカと共生していく際に参考となるような森林整備とシカの管理の組み合わせに関する典型的なシナリオを与えて計算を行い、森林管理－シカ個体群統合管理の方向性について考察を加えた。

#### 2. 基本モデル

基本モデルのフレームを図1に示した。モデルは、森林状態、林床植生、シカ個体群動態のサブモデルを別々に構築し、相互に関係する適当な変数で接合した。モデルはSDに基づくシミュレーターのSTELLA(ISEE System社製, version8.1.1)で構築した。なお、STELLAはDYNAMO(Dynamic Modelの略, 島田, 1994)と同様のシミュレーショ

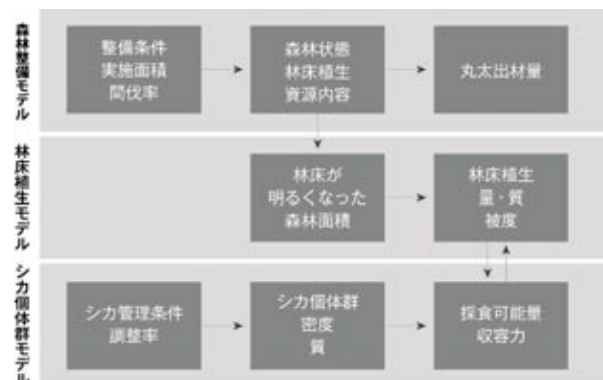


図1. 森林管理－林床植生－シカ個体群モデルのダイアグラム

1) 神奈川県自然環境保全センター 2) NPO 法人 EnVion 環境保全事務所 3) (財)自然環境研究センター 4) 木材 サプライチェーン 研究 5) 東京情報大学

ン環境を有し、Windows 対応環境で動作するフロー・ダイアグラムをベースにした汎用シミュレーター言語である。

### (1) 森林状態サブモデル

森林状態サブモデルは、SD モデルにより森林整備の実施状況に応じた年齢別面積の時系列変化の予測を行い、施業履歴の異なる森林構造の変化は林分密度管理図やシステム収穫予想表で用いられている関係式やパラメーターを適用した計算サブルーチンを組み込むかたちで構築した。

森林整備の影響を加味した林分構造変化の予測モデルには、同齢一斉人工林におけるシステム収穫予想表がある。しかし、個別林分を扱うモデルであり、流域内の多数の人工林の林分構造予測には、GIS と組み合わせるなどの拡張が必要となる。SD モデルは、そのような拡張は不要で、計算サブルーチンの組み込みなどモデルの可変性も大きいなど取り扱いが容易などの理由から採用した。このサブモデルでは、スギ・ヒノキの人工林の林齢別の面積を初期値として、1 年単位で林分を成長させ、面積と森林資源状態を求める SD モデルとした。森林管理は、40 年生ままでの保育に加えて、成林後は一定間隔で対象林齢の林分に対して指定された間伐率（本数割合）で利用間伐が行われ、伐期に達すると皆伐される内容を再現する。成立本数は、幼齢段階では自然枯死率および除伐により減少し、その後は保育間伐及び利用間伐での間伐率に応じて減少する。さらに、間伐履歴に応じて、その後の林分構造は異なって変化していく。

成長による林分構造の変化は、神奈川県民有人工林の上層樹高成長曲線と林野庁調整林分密度管理図の関係式から、林齢と成立本数に対応する値を求めた。

以上のような森林状態の関係は、次の各式で表し SD モデルに組み込んだ。

$$\begin{aligned} \text{施業履歴 } i \text{ 森林の面積 (t) =} \\ \text{施業履歴 } i \text{ の森林面積 (t-1)} \\ - \text{ 施業履歴 } i \text{ の森林間伐面積 (t-1)} \quad \dots (1) \\ \text{施業履歴 } i \text{ 森林の本数 (t) =} \end{aligned}$$

施業履歴  $i$  の森林本数 ( $t-1$ )

$$- \text{ 施業履歴 } i \text{ の森林間伐本数 (t-1)} \quad \dots (2)$$

ただし、森林本数は、20 年生までは自然枯死率分の減少、林齢 100 年での主伐を組み込む。

### (2) シカ個体群動態モデル

シカ個体群における動的な個体数変化の予測に用いられてきた基本的なモデルを採用し、幼獣（性成熟前）と成獣（繁殖可能個体）の雌雄別の個体数が、初期個体群状態、個体の性成熟成長スピード、生息環境の変化、および狩猟圧の影響などの変数に応じて予測できるように改良した。

このモデルでは、定着性が強く長距離の移動がほとんど観察されない（永田, 2005）丹沢山地のシカ個体群の特徴から、個体の移出・移入は考慮しないこととした。

以上のようなシカ個体数関係は、次の各式で表し SD モデルに組み込んだ。

$$\begin{aligned} \text{個体数 (t) = 若齢個体 (t) + 成獣個体 (t)} \\ + \text{ 出生 (t) - 死亡 (t)} \quad \dots (3) \end{aligned}$$

$$\text{出生 (t) = 成獣雌 (t) \times \text{出生率 (t)} \quad \dots (4)$$

$$\begin{aligned} \text{死亡 (t) = 成獣 (t) \times \text{死亡率} + 成獣 (t) \times \text{捕獲割合}} \\ \dots (5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{若齢個体 (t) = 若齢個体 (t-1) + (出生 - 成長)} \\ \dots (6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{成獣個体数 (t) = 成獣個体 (t-1) + (成長 - 死亡)} \\ \dots (7) \end{aligned}$$

### (3) 林床植生サブモデル

森林管理サブモデルとシカ個体群サブモデルは、林床植生の現存量への影響を介して接合した。

丹沢山地において林床植生の現存量に影響を与えている主な外的な要因は、土地生産力、地表の光条件、およびシカを主とする草食動物の採食圧である。このうち地表の光条件は、人工林では、伐採や枝打ち・間伐などの森林整備と

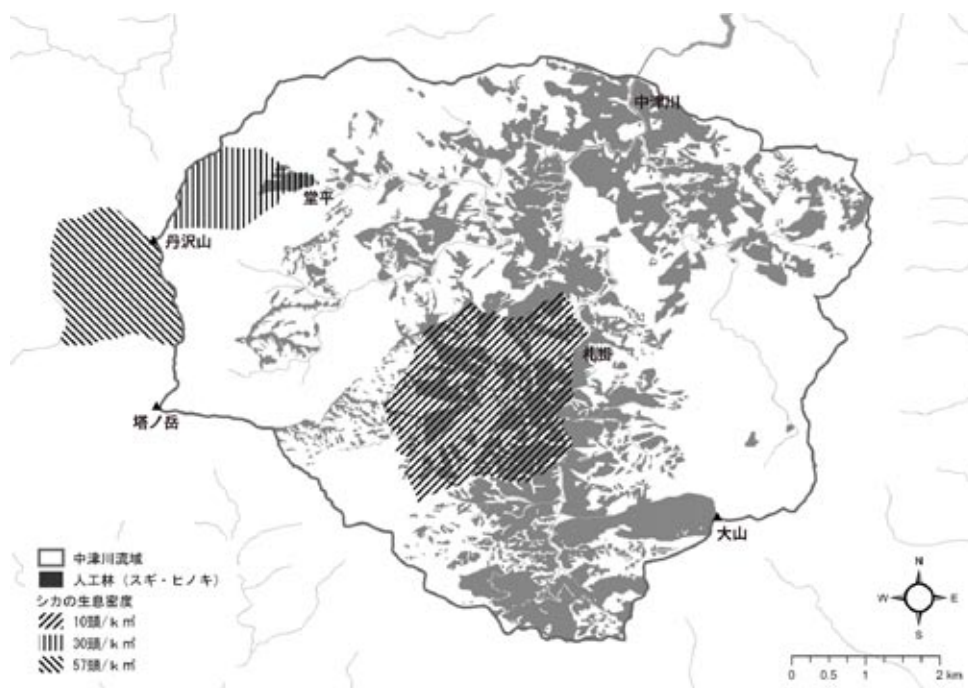


図 2. モデル流域の位置と概況

いった管理の発生やその後の時間経過による林分構造の変化と関連づけて予測できる。一方、シカの採食圧は、個体数と1頭あたりの採食量の関数として求めることができる。

これらの関係は、次のような式で表し、SDモデルに組み込んだ。

$$\text{林床植生}(t) = \text{林床植生}(t-1) + \text{林床植生(増加-減少)} \quad \dots (8)$$

$$\text{林床植生増加}(t) = \text{林床植生}(t-1) \times \text{再生率} + \text{森林整備による下草増加量}(t-1) \quad \dots (9)$$

$$\text{林床植生減少}(t) = \text{シカ個体数}(t) \times \text{シカ1日あたり採食量} \times 365 \quad \dots (10)$$

$$\text{森林整備による下草増加量}(t) = \text{下草現存量}(t) - \text{下草現存量}(t-1) \quad \dots (11)$$

ここで、森林整備による下草増加量は、下草現存量は森林の光環境の指標値でもある収量比数と林床植生現存量の関係式から推定した。ここで、下草現存量は、間伐を行った翌年に間伐率に応じて収量比数が低下して、林床が明るくなるので増加し、下草増加量は正の値を取る。下草現存量は、間伐後に森林が成長していくと樹冠が次第にうっぺいし、収量比数は再び増加して林床が暗くなって減少するため、時間経過とともに小さくなる。

表1. モデル流域における人工林の齢級配置. 単位 ha

齢級	スギ	ヒノキ	合計
1	0.8	0	0.8
2	1.1	4.6	5.7
3	0	3.8	3.8
4	37.3	14.9	52.2
5	97.4	92.3	189.7
6	6.8	21.8	28.6
7	4.3	6.3	10.6
8	37.4	3.9	41.3
9	162.8	88.5	251.3
10	58.5	22	80.5
11	92.5	28.9	121.3
12	27.5	11.5	39.1
13	33.5	9.7	43.2
14	33.7	45.4	79
15	15.1	46.7	61.8
16	17.7	39.9	57.6
17	1.7	24.3	25.9
18	6.6	23.2	29.8
19	12.6	39.7	52.3
20	63.6	124.2	187.8
合計	710.9	651.5	1362.4

表2. スギ、ヒノキ林分構造の予測式 N:haあたり成立本数。 H:林分上層平均樹高(m)

	スギ	ヒノキ
材積 V	$V=(0.082249H^{-1.372921} + 3681.6^{-2.867826}/N)^{-1}$	$V=(0.0351470H^{-1.372921} + 4711.2^{-2.922894}/N)^{-1}$
収量比数 Ry	$Ry=V/V_{Rf}$	$Ry=V/V_{Rf}$
最多密度における haあたり材積 $V_{Rf}$	$V_{Rf}=(0.082249H^{-1.372921} + 3681.6^{-2.867826}/N_{Rf})^{-1}$	$V_{Rf}=(0.0351470H^{-1.372921} + 4711.2^{-2.922894}/N_{Rf})^{-1}$
最多密度における haあたり材積 $\log N_{Rf}$	$\log N_{Rf}=5.391307-1.494905\log H$	$\log N_{Rf}=5.7384-1.842121\log H$

### 3. シナリオ計算に関わるモデル

#### (1) モデル地域

シナリオ計算では、具体的なパラメーターや初期値の基本モデルへの実装が必要となる。そこで、シナリオ計算の対象地（以下、モデル流域）を、各種調査や研究により情報がそろっている丹沢山地の東側に位置する宮ヶ瀬湖上流の中津川流域、約43,00haとした（図2）。

この流域は、ほぼ中央の南から北に宮ヶ瀬湖に注ぐ中津川が流れ、周辺は大山(1,252m)、岳ノ台(899m)、三ノ塔(1,205m)、塔ノ岳(1,491m)、丹沢山(1,572m)、丹沢三峰と連なる主尾根に囲まれる。植生は、標高800mから1,000m以下の範囲にはスギやヒノキの人工林と二次林が多く、その上部にはブナなどの落葉広葉樹を主体とする自然林が分布する。

モデル流域に含まれるスギ、ヒノキの人工林の齢級別面積は表1に示すとおりである。一帯は、丹沢大山国定公園に指定され、主尾根付近は特別保護地区で、大半が県有林などの公有林である。また、鳥獣保護区に指定されている場所も多く、シカの密度は自然林が分布する丹沢山山頂一帯ではおよそ50頭/km<sup>2</sup>、同じく堂平付近では約30頭/km<sup>2</sup>、人工林が多い札掛一帯は約10~20頭/km<sup>2</sup>と全般に高い（永田ほか、2003）。堂平と札掛ではシカの累積的な影響が大きく、スズタケが1980年代以降大規模に消失し（古林ほか、1997）、人工林、二次林いずれにおいても林床植生の現存量は非常に乏しくなっている。丹沢山など主尾根付近では、1990年代以降シカの高密度集中現象が起り、林床植生への影響が累積しているが、シカの採食に耐性のあるミヤマクマザサなどが生育している。

#### (2) 森林管理

モデル流域では、人工林の管理は、主に成林前の40年生くらいまでは保育間伐が行われ、その後、80年生まで利用間伐が10年程度の間隔で実施されている。間伐率は、本数保育間伐、利用間伐ともに本数割合で20-40%程度であり、弱度の劣勢木間伐が多い。主伐は長伐期化しており、80年生から100年生となっている。流域の人工林は、現在、大半が30年生を越え保育間伐期を過ぎ、利用間伐期にあり、10年程度の間隔で利用間伐が始まっている。主伐は、皆伐が一般的で、翌年には植栽が行われるが、その際、シカの食害を防止するため、造林地全体を防鹿柵で囲まれるのが通常である。このため、主伐により下草供給量は大きく増加しない。

このようなモデル流域における資源状況と森林管理の実態を踏まえて、森林状態サブモデルでは、下草現存量に影響を及ぼす森林管理の内容を、40年生から80年生ま

で10年間隔で実施する利用間伐とした。間伐を実施する面積は、各年の間伐該当林齢の林分面積に対する割合として、間伐率も、任意の本数間伐率をそれぞれ指定できるようにした。さらに、間伐により林内照度が改善する持続期間を5年と仮定した。伐期は100年生とし、主伐の後は翌年に同じ樹種を植え付けることとし、植栽本数は、ヒノキは5,000本/ha、スギは3,300本/haとした。

上層樹高成長(Y)は、ミッチャーリッヒ式で推定し、神奈川県民有人工林地位「中」のパラメーターを与えた(12)、(13)式を用いた。また、haあたりの本数、材積、収量比数などの林分構造は表2に示す関係式を用いた。林内照度は、以上の関係式から収量比数を求めて、(14)式に示す収量比数(y)と照度(x)の関係式により推定した。

スギ

$$Y(t) = 28.0063 * \{1 - 1.068864 * \exp(-0.0240185 * t)\} \quad (12)$$

ヒノキ

$$Y(t) = 24.3694 * \{1 - 1.072970 * \exp(-0.0204694 * t)\} \quad (13)$$

ここでt: 林齢,

$$y = 15.138x - 85.345 \quad (14)$$

### (3) シカ個体群管理

前述した関係式(3)～(7)に示したように、シカ個体数は出生と死亡の関係から求めるので、それぞれ適当な死

表3. シカ個体群モデルのパラメーター値

項目	設定値	備考
成獣オス	145	
成獣メス	435	H14神奈川県ニホンシカ保護管理事業による推定密度から算出
若齢オス	95	
若齢メス	95	
出生率	0.7	
個体群パラメーター	死亡率	生息密度100頭/km <sup>2</sup> まで以上で0.3、それ以上で0.9
	出生性比	0.5
	捕獲割合	シナリオにより指定
捕獲パラメーター	メス捕獲割合	シナリオにより指定
	捕獲調整	生息密度が5頭/km <sup>2</sup> を下回ると、捕獲圧を0にする、密度に応じて調整率を指定

表4. シナリオ計算に用いた間伐による森林構造の変化と間伐後5年間平均下草増加量

樹種	間伐時期	強度施業(間伐率0.35)			弱度施業(間伐率0.20)		
		間伐前Ry	間伐後Ry	間伐後5年間平均	間伐前Ry	間伐後Ry	間伐後5年間平均
		下草増加量(ton/km <sup>2</sup> /年)			下草増加量(ton/km <sup>2</sup> /年)		
スギ	40	0.86	0.76	8.81	0.86	0.81	3.35
	50	0.8	0.69	11.73	0.86	0.8	3.93
	60	0.73	0.61	15.26	0.84	0.78	4.62
	70	0.63	0.51	18.98	0.81	0.75	5.46
ヒノキ	40	0.77	0.65	12.17	0.77	0.72	4.28
	50	0.73	0.6	14.83	0.79	0.73	4.98
	60	0.66	0.53	17.76	0.79	0.72	5.69
	70	0.57	0.45	20.38	0.76	0.7	6.47

亡率と出生率を与える必要がある。そこで丹沢山地での観察値を参考にして表3のように設定した。なお、出生率に関しては、初期死亡と冬季死亡による幼齢個体の減少割合を差し引いた値として、栄養状態の変化に伴う増減は考慮しないこととした。また、自然死亡率は、このモデルでは過密化が進むと急速に高まると考えて、高密度化すると大幅に増加するかたちで、密度が100頭/km<sup>2</sup>までは0.3、それ以上の密度では0.9に設定した。

捕獲は、捕獲割合を0から100%の範囲で、10%単位で指定できるように設定した。助走計算で初期モデルを用いて捕獲割合を大きくして計算すると、個体数が急減して絶滅するケースがしばしば観察された。そこで、過剰捕獲による地域的絶滅を回避するように、密度が5頭/km<sup>2</sup>を下回ると捕獲割合を0とするような捕獲調整係数を組み込んだ。

出生数は、成獣オスの捕獲数より成獣メスの捕獲数に強く影響を受けるので、成獣メス捕獲割合を変化させるようモデルに修正を施した。助走計算において初期モデルは、メスを捕獲し続ける個体数が大幅に減少し世代更新ができなくなるので、密度が10頭/km<sup>2</sup>を下回るとメスの捕獲を行わないような雌雄捕獲割合調整を初期モデルに組み込んだ。

以上の関係からシカの死亡は、次のような式として表した。

$$\text{成獣死亡[オス]} = (\text{成獣[オス]} \times \text{死亡率} + (\text{成獣} \times \text{捕獲割合} \times (1 - \text{雌雄捕獲割合}))$$

$$\times \text{捕獲調整} \times \text{雌雄捕獲割合調整} \quad \dots (15)$$

$$\text{成獣死亡[メス]} = (\text{成獣[メス]} \times \text{死亡率} + (\text{成獣} \times \text{捕獲割合} \times \text{雌雄捕獲割合}))$$

$$\times \text{雌雄捕獲割合調整} \times \text{捕獲調整} \quad \dots (16)$$

ただし、メス成獣個体数が10頭以下では雌雄捕獲割合調整を0とする。

### (4) 林床植生サブモデル

シナリオ計算には基本モデルに、再生率と初期植生現存量、シカの採食による減少、森林施業による下草植生量の増加のそれぞれのパラメーターや関係式を与える必要がある。

林床植生の再生率は、植生タイプや光環境、さらにはシカの採食圧などによって異なると考えられるが、具体的な値は不明であったので、いくつかの定数を与え助走計算を行い、0.6と0.3の2種類の値を用いることとした。

初期の下草量は、対象地域の既往調査結果などを参考に平均で50g/m<sup>2</sup>とし、シカの利用可能量を植生量の5%と仮定した。

間伐による植生の増加は、次式により収量比数から(17)式によって、相対照度(x, 単位%)から推定した植生現

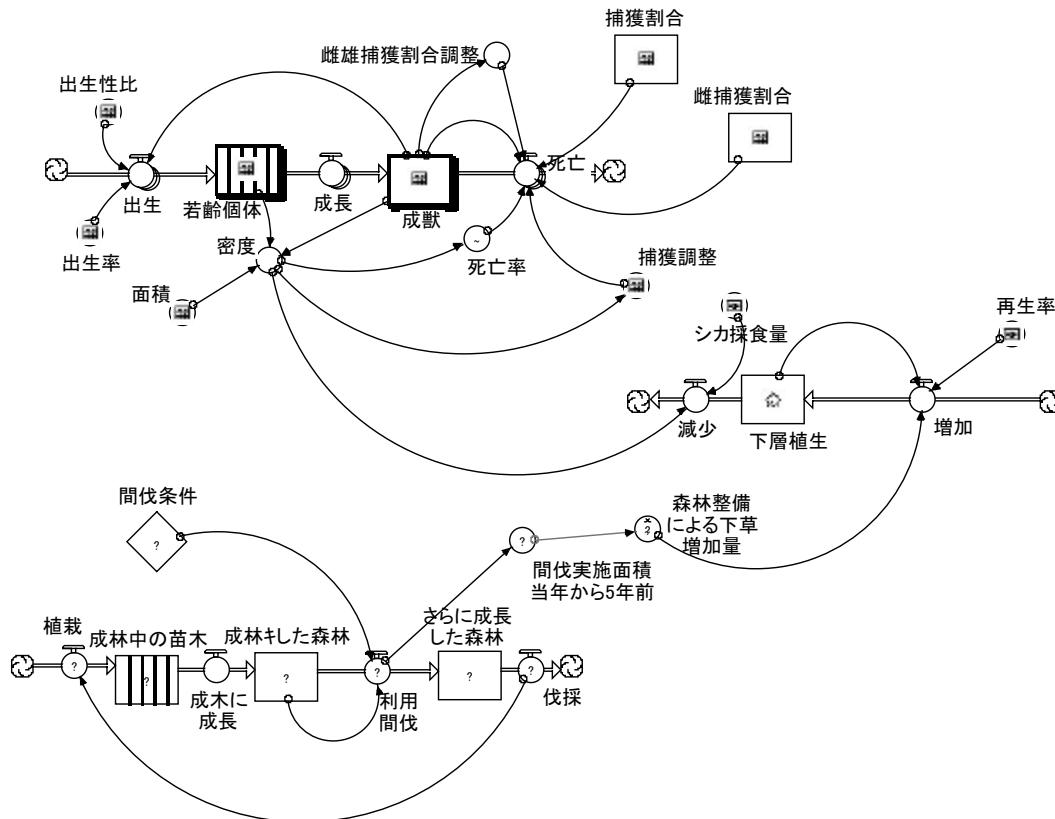


図3. シナリオ計算に用いた最終SDモデル

存量 ( $y$ ,  $g/m^2$ ) とした。この式は、対象地に含まれる札掛地区の人工林で、照度と下草現存量を実測から求めた式である。

$$y = 65.826 \times x^2 + 102.3 \quad \dots (18)$$

森林構造は施業履歴により成立本数が異なるので、施業履歴により下草増加量は異なってくるが、簡便化して、表4に示した間伐後5年間平均下草増加量に間伐面積を乗じて求めた。すなわち、まず、間伐時期の平均的な成立本数と上層平均樹高から間伐前の収量比数を推定し、間伐後の収量比数は間伐率に応じた本数減少分を差し引いた成立本数を用いて推定した。そして、間伐後5年目までの収量比数を、上層樹高の成長分を見込んで推定し、各時点の下草現存量を求め、前年度の差分を下草増加量とした。間伐による下草増加量は、このようにして求めた5年間の下草増加量の平均に、毎年間伐による効果が及ぶ面積と仮定した間伐後5年以内の人工林面積を乗じることで算出した。シカの採食量は、札掛での給餌試験での観察から、生重で  $5kg/日$  とし、これを年間採食量に換算した。

#### (5) シナリオ計算に用いた最終モデル

図3がシナリオ計算に用いた最終FMVDPモデルである。実際の計算は、森林状態モデルの計算を最初に行い下草増加量を求め、その値をシカ-林床植生モデルに与えて、シカ個体数と林床植生現存量を予測する2段階で行うかたちで行った。

シカ-林床植生モデルでの出力は、経過年数ごとの、シカ個体数密度、単位面積当たりの下草現存量である。

## 4. シナリオ計算

### (1) 条件

シミュレーションには、構築したFMVDPモデルに森林整備とシカ管理に対して、2つの典型的なシナリオを適用した。

森林整備のシナリオでは、皆伐による森林収穫が少なく利用間伐を主体とした森林利用・整備が行われている現状を踏まえて、利用間伐の実施対象面積と本数間伐率を変化させ、流域内の利用間伐対象年齢にある人工林すべてに対して本数で35%の利用間伐を実施するケース(ケース1)と、対象人工林の半分に本数で20%の利用間伐を実施するケース(ケース2)を設定した。利用間伐の対象林齢は40年生から70年生として、実施間隔は10年とした。

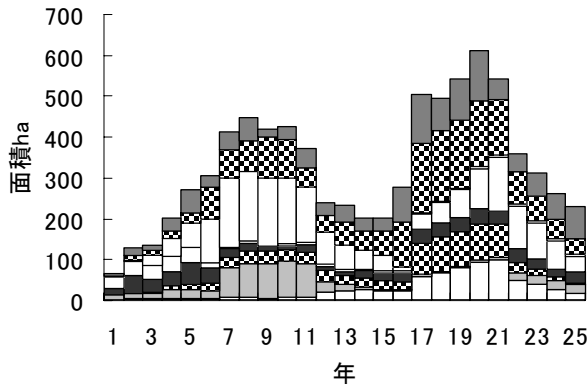
シカ管理のシナリオでは、成獣に対する捕獲割合と捕獲の性比を変化させ、メスの捕獲割合を7割として成獣の5割を毎年捕獲するケース(ケースA)と、メスの捕獲割合を1.5割として成獣の2割を毎年捕獲するケース(ケースB)を設定した。

最終的に適用したシナリオはケース1とケースAの組み合わせ(シナリオ1-A)、ケース2とケースBの組み合わせ(シナリオ2-B)とし、25年間における間伐による出材量、間伐により光条件が改善されて林床植生が増加している森林の面積(間伐効果の持続期間は5年間と仮定)、森林整備による林床植生の増加量、シカの個体数、林床植生の現存量の変化を予測した。

### (2) 結果および考察

まず、人工林の生育段階を幼齢(10年生未満)、保育(10年生から39年生)、利用(40年生から79年生)、主伐(80年生から100年生)の4つに区分して、今後25年間の面積割合の変化を見ると、利用段階の林分の割合が約半分

強度施業



弱度施業

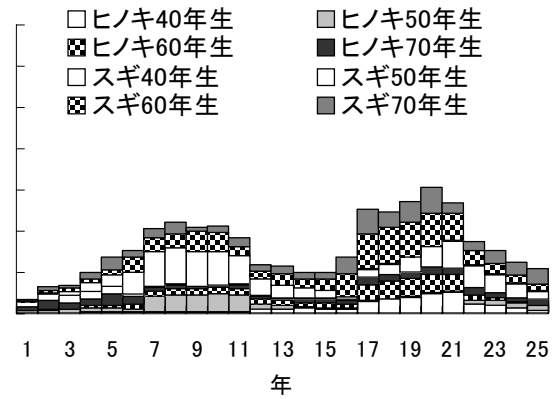


図4. 二つのシナリオのもとでの利用間伐による下草増加面積の推移

を占め、10年後ぐらいまでに減少して推移し、その後回復しており、この地域では利用間伐が人工林の光環境に及ぼす影響が大きいことがわかる。

間伐により下草増加が期待できる面積の推移では、8年目と20年目にピークがあり、15年目に落ち込む推移を示した(図4)。シナリオ2とシナリオ1の差は、実施面積の差を反映して2倍となった。下草増加は、保育段階をやや過ぎた人工林が多いため、当初は50年生林分での間伐による面積割合が多く、後半になると、その次回間伐にあたる60年生での間伐による面積割合が多くなっている。このため、増加面積を平準化するには、間伐対象林すべてを間伐せず、高齢林を優先した利用間伐を進め、40-50年生での間伐面積を適度に減らすことが有効である。

下草の増加量は、下草増加面積の推移と同様な推移を示すが、強度施業で間伐面積が2倍で間伐率が1.75倍であるため、ケース1の増加量はケース2の3.5倍となった(図5)。

次に、森林整備の2つのシナリオをベースとして、メス成獣を中心として成獣の半分を捕獲するケース(ケースA)と、オス成獣を中心として成獣の2割を捕獲するケース(ケースB)を組み合わせるシカ密度と林床植生の変化を予測した。この際、林床植生の変化は植生再生率を0.3と0.6とした結果を併記した。

すべての対象林を強度に間伐して林床植生を増やし、メス主体の強めの捕獲によりシカの密度管理を続けた場合(シナリオ1-A)では、10年程度で林床植生が大幅に回復して、シカの密度が安定して推移することが示された(図

6-b)。約5割の対象林を弱度に間伐するケースと強度のシカ捕獲圧の組み合わせ(シナリオ2-A)では、林床植生の供給は少なくなるので、植生再生率を0.3とした場合は、植生が顕著に回復するまでに10年以上を要することが示された(図6-a)。これらのシナリオでは、当初は植生の増加量が小さいため、シカが集中して思うような植生回復が期待できないことが十分に想定できる。このため、強度間伐を実施した場所を植生保護柵で囲うといった餌場のコントロールが必要と考えられる。

一方、弱度の森林管理と現在の狩猟のようなオス主体の弱めの捕獲を組み合わせたケース(シナリオ2-B)では、シカの密度は徐々に増加して、林床植生は採食により5年ほどで無くなり、その後も回復することがなかった(図6-c)。

以上から、人工林・二次林域でシカと共生しながら林床植生を早期に回復させるには、強度の利用間伐を行い、同時に、当初はフェンスなどによるエサ場のコントロールなども組み合わせる植生保護を図りながら、シカが増えないようにメス成獣を中心とした強めの個体数管理を行うことを組み合わせる管理が有効だと考えられた。

### 5. 今後の課題

以上に示したように、人工林管理—林床植生—シカ個体群モデルをSDで構築し、丹沢山地の中津川流域を対象として、既知のパラメーターや初期値を与えて典型的な2種類のシナリオによりモデル計算を行った結果、林床植生を短期的に再生するための森林管理とニホンジカ管理の基本的方向が示された。そのポイントとして、計画的かつメスを主体とした個体数増加を防ぐシカ管理の必要性が確認されたと同時に、森林施業による林床植生回復との組み合わせの有効性を示されたことは意義が大きいと考える。

丹沢山地では、シカ保護と森林機能保全の観点から、鳥獣保護区でのシカ禁猟と林地保護のための新植地などでの防鹿柵設置が、その具体策として30年以上にわたって並行して行われ、効果を上げてきた。しかし一方、鳥獣保護区などでスズメの大規模な消失が起り、林床植生の貧弱化とシカ個体群の低質化、さらには生物多様性の減少など様々な問題が生じている。これらの問題解決には、シカ保護管理と森林管理の統合が課題であり(山根, 2003)、本研究で示した基本的方向に沿った事業展開が考えられる。

ただし、本稿で示したモデル計算では、林床植生の自然再生率やシカの採食圧による変化などの情報が不十分で

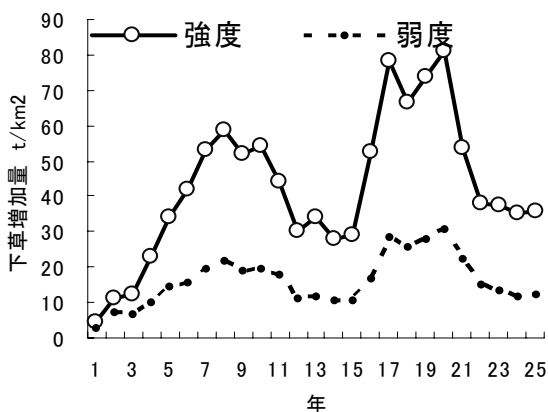


図5. 二つのシナリオのもとでの利用間伐による下草増加量の推移



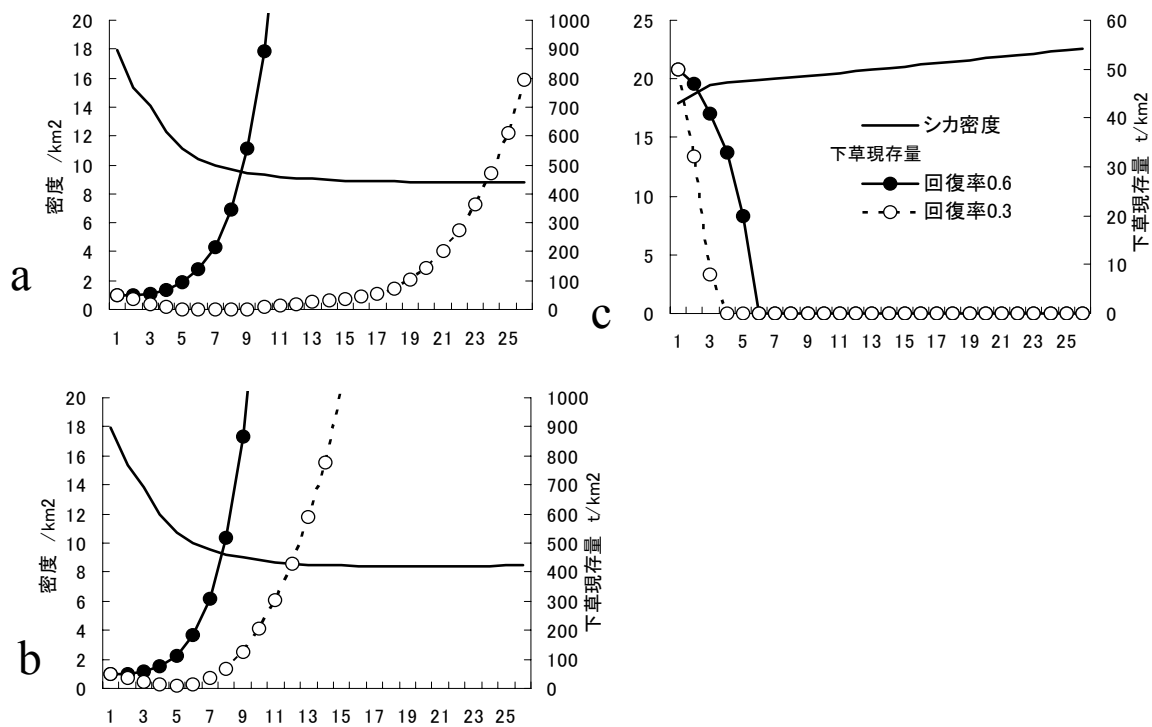


図 6. 二つのシナリオのもとでのシカ生息密度と下草現存量の推移

あったため、適切な値や関係式などを実装した再検討が必要と思われる。また、森林管理を通じた植生回復は、モデルの性質から流域内での施業箇所を考慮していない。モデル流域における人工林の配置は、比較的低標高の林道周辺に多くあるため、施業が広く行われると、現在は乏しい低標高域の下草現存量が豊富になる。この場合、流域全体に分布し高標高域に高密度化しているシカの行動や密度分布にどのような影響を及ぼすかは、個体追跡や個体レベルのシミュレーションモデル (Abbott *et al.*, 1997) などによりさらに検討していく必要がある。また、施業による下草増加は主に春から秋の草本類が主体となり、草本類が枯れる冬には大きく減少する。このため、冬のシカのご食物としてはササを主体とする常緑植物が重要であるので、下層植物の現存量だけでなく質的な変化についても考慮した検討も今後の課題である。

### 文献

Abbott, C. A., M. W. Berry, E. J. Comiskey, L. J. Gross, & H.-K. Luh, 1997. Computational Models of White-Tailed Deer in the Florida Everglades. *IEEE Computational Science and Engineering*, 4(4), 60-72.

古林賢恒・山根正伸・羽山伸一・羽太博樹・岩岡 樹・白石利郎・皆川康雄・佐々木美弥子・永田幸志・三谷奈保・ヤコブ・ボルコフスキー・牧野佐絵子・藤上史子・牛沢 理, 1997. ニホンジカの生態と保全生物学的研究. 神奈川県公園協会・丹沢大山自然環境総合調査団企画委員会編, 丹沢大山自然環境総合調査報告書, pp319-429, 神奈川県環境部, 横浜.

堀野真一・三浦慎悟, 1998. 第 5 章 シカ個体群シミュレーション SimBambi —その仕組みおよびシミュレーションの立場から見た個体群管理—. 高槻 成紀編, 五葉山

のシカ調査報告書 (1994 ~ 1997 年度), pp.41-48. 岩手県生活環境部自然保護課.

石川芳治・白木克繁・戸田浩人・宮 貴大・鈴木雅一・内山佳美, 2006. 丹沢堂平地区における土壌浸食と緊急対策. 神奈川県自然環境保全センター報告, (3): 62-70.

Mannan, W. R., R. N. Conner, B. Marcot & J. M. Peek, 1996. 野生動物のための森林管理. T. A. Bookhout 編, 鈴木正嗣編訳. 野生動物の研究と管理技術, pp.831-862. 文永堂出版, 東京.

永田幸志, 2005. 丹沢山地札掛地区におけるニホンジカの行動特性. 哺乳類科学, 45(1): 25-33.

永田幸志・小林俊元・山根正伸・田村 淳・栗林弘樹・瀧井暁子, 2005. 2003 年度神奈川県ニホンジカ (*Cervus nippon*) 保護管理事業におけるニホンジカ個体群調査報告. 神奈川県自然環境保全センター報告, 2: 1-10.

Ratcliffe, P. R. & B. A. Mayle, 1992. Roe deer biology and management. *Forestry Commission Bulletin*, 105: 1-28 島田俊郎編, 1994. システムダイナミクス入門. 250pp. 日科技連.

白石則彦, 1986. 同齢単純林の生長予測に関する研究. 東京大学演習林報告, 75: 199-256.

山根正伸, 2003. ニホンジカ被害問題に残されている課題, 神奈川県丹沢山地の経験から. 森林科学, 39: 35-40.