

北海道演習林標茶区人工林におけるエゾシカ害の状況と防護法(Ⅳ)

—同一造林地における被害の拡散過程について—

松下幸司・高柳 敦・山内隆之・大窪 勝
谷口直文・柴田正善・山田容三

1. はじめに

京都大学農学部附属演習林北海道演習林標茶区(北海道川上郡標茶町字多和)ではエゾシカによる造林木の被害が目立っており、これまでエゾシカ被害の状況とその防護法に関する研究が進められてきた。ところで、1回限りのプロット調査では被害率の推定は大きな誤差を伴う。これには、被害が継続している途上での1時点における調査に過ぎないという側面と、造林地の特定の1箇所だけを切り取ってプロットとして調査することによる側面とがある。被害は経時的にも空間的にも拡大しており、こうした状況下でプロット調査で被害状況を把握するのは困難である。

標茶区では従来より第2林班と第9林班において被害本数の調査を行っており第Ⅰ報でその被害概況が報告された。その際、第9林班はプロットを設定するのではなく造林地全体を調査するという方法が採用された。しかしながら、調査木の特定化を行っていなかった。1988年、山田容三によって造林地全体の樹木位置を確定し、エゾシカによる被害木の分布を記録し、かつ一定期間その調査を継続することの重要性が提案された。この提案に従って、1988年からの5年間、毎年1回の継続調査を行うことが決まり、被害が1造林地の内部でどのように拡大していくのか、その過程を明らかにする調査が始まった。本報告はこの一連の調査に関する前半3回分のとりまとめを行ったものである。まず、第2章で調査地の概要と調査方法を述べ、次に第3章で3回の調査により明らかになった被害木の分布を示す。第4章で若干の考察を行い、最後に今後の調査課題に触れる。

2. 調査地と調査方法

調査プロットは図-1に示す通り標茶区第9林班に位置している。造林地面積は0.66haで、植栽年度は1978年である。ha当りの植栽密度は3,000本で、植栽樹種はトドマツ及びアカエゾマツである。1978~1987年の間は下刈りを行った。造林地の周囲は天然林及び幹線林道によって囲まれている。道路を挟んで東側には同じく1978年植栽のカラマツ造林地がある。この造林地は道路沿いに長さ約50m、幅20m以下の小さなもので、その東側は演習林外の草地である。本調査プロットは第2林班から第9林班にかけて広がる標茶区人工林の一団の北端に位置する(註1)。

ところで、エゾシカによって加えられるキズには、樹皮だけの軽微なものから直ちに枯死に至

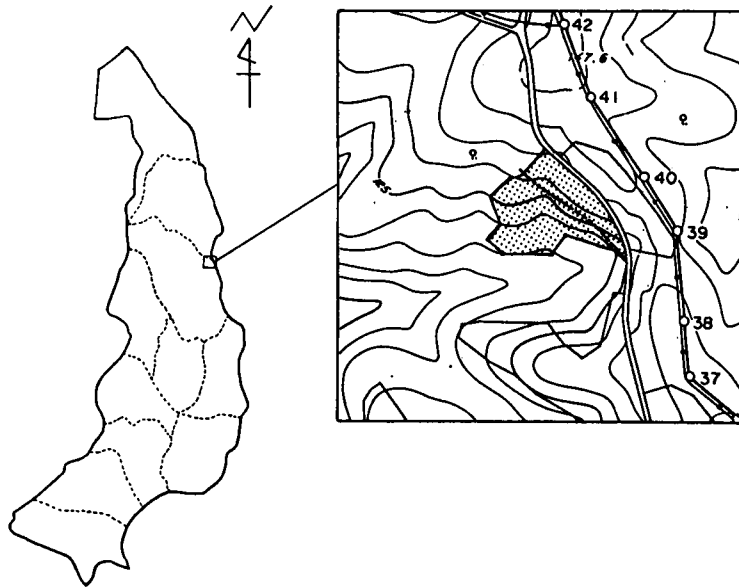


図-1 プロット位置

らしめる程のもの、あるいは枯死しなくても将来の収穫時の元玉の価値を著しく損うものなど、その程度は様々である。しかし、被害の程度とその後の成長、あるいは製材時の価値の変化についてはまだわかっていない。また、高柳ほか(1990)により被害形態には「ツノトギ型」、「樹皮食い型」の2タイプがあることが示唆されている。しかしながら、本報告では被害がどのように拡散していくかを時間的空間的に追跡するという目的から、エゾシカによって樹皮およびその内側に加えられたキズ全般を単に被害と呼び、過去において1箇所でも被害を受けた造林木を被害木と呼ぶ。なお、被害を受けていない造林木を無被害木と呼び区別する。

第1回調査は1988年5月11, 12日に山田容三・山内隆之・松下幸司によって行われた。調査は植栽列ごとに行った。その際、造林地の中央に基線(図-1のプロット内の破線)を設定し、植栽列ごとにその基線から何番目の造林木であるかで位置を決定し、樹木位置図を作成した。なお、植栽列内での造林木同士の距離は等間隔とした(実際は植栽列、微地形により異なってくるが、作図の際には2m間隔と仮定した)。また、1978年造林時には、伐根などにより植栽が不可能でない限り、等間隔に植栽されたものと仮定し、本来あるべき位置に造林木が見当たらない場合は、植栽後に枯れたものと判断し、枯死・行方不明木としてデータ化した。その結果、本造林地の初期植栽本数は1,734本と推定された(造林台帳上は、ha当り3,000本植の0.66haなので1,980本である)。被害調査は、枯死木を含め現存する造林木全てを対象に、各造林木ごとに最も程度の激しい被害を1つだけ取り上げ、その発生年、被害程度を調べ、造林木の生育状態とともに記録した。生育状態は健全、不良の2区分を行った。これらの区分は、木全体の勢い、葉の量・色、樹形などを総合的に評価したもので、先枯などの個別の欠点の有無とは別の視点から評価しており、主観的な側面も含まれる。従って、高柳ほか(1989, 1990)の「健全木」とは定義が異なる。

第2回調査は1989年5月15日に山内隆之・松下幸司が行った。第1回調査による被害木分布図をもとに過去1年以内に発生したと推定される被害を調べた(枯死木を含む)。造林木のナンバリングは行われていなかったが、第1回調査で作成した樹木位置図、造林木の前後関係などから前回と同一個体かを確認することができた。なお、調査は各造林木について、全てのキズの位置と大きさを計測した。調査方法は高柳ほか(1990)に準拠しているので省略する。生育状況に関

する調査（枯死木の確認を含む）は行わなかった。

第3回調査は1990年8月21, 28, 29, 31日, 9月5日に山内隆之・大窪勝・谷口直文・柴田正善が行った。継続調査を迅速かつ確実に行えるように、第1回調査によって与えられた樹木番号（枯死・行方不明木を含む総通し番号）を造林木に付した（ダイモテープを針金で枝に付けた）。調査は造林木に関する調査と被害に関する調査に分けることができ、前者については胸高直径（直径巻尺により1mm単位まで測定）、樹高（測竿により1cm単位まで測定）、生育状態を調査した。胸高直径・樹高の計測を行ったのは、5ヶ年調査の中間年として造林木の生育状況を数値的に捉えるためであり、このデータは1992年調査終了後にまとめて報告する。生育状態については、健全、不良、半枯に区分した。第1回調査同様、その区分は総合的かつ主観的なものであり特定の指標に基づいているものではない。そのため、同一人物ができるだけ同じ基準で判定を行うよう努めた。今回新設した半枯という区分は、まだ枯れていないが将来は枯死する可能性が高いもので、前2回の調査では不良に含まれていた。具体的には、単に部分的に緑の部分が残っているだけで一応生きているに過ぎないものを指す。また、樹高を計測すること自体が不可能なものは原則として半枯に分類した。以下、本論文では、健全、不良、半枯という用語を上の意味でのみ用いる。なお、枯死木については傷の判別のみ可能な限り行ったが、胸高直径・樹高の測定は行わなかった。第1回調査で枯死木と判断されながら第3回調査で枯死していないことが確認された13本については第1回調査結果を修正した（生立木を枯死木と見間違えたことから、当時不良木であったものと仮定した）。被害状況については第1回調査の野帳と比較しながら造林木ごとに、キズの発生時期、キズの程度、キズの個数を記した。なお、第3回調査において相当古いキズと判断されたものについては以前の調査結果を修正しないこととした。理由の第1は本数が少なく（17本）、大きな問題はないことである。第2にキズの発生時期を外見的に判断する以上、相当の誤差を含んでおり、実際に、比較的新しくつけられたキズでも古く見ることがあり修正が困難なためである。また、第3回調査ではエゾシカ以外の原因による被害損傷（先枯れ、気象害等）の有無についての調査も併せて行った。

3. 調査結果

(1) 第1回調査結果（1988年5月）

1988年の第1回調査時の生立木本数は1,197本である。初期植栽本数（推定）が1,734本であるから、植栽後10年目での残存率は69%となり、年平均3%の割合で本数が減少してきた。現存する造林木の生育状態は、健全が887本（74%）、不良が310本（26%）であった。

被害調査の結果、被害木は229本、無被害木が968本であった。第1回調査は1つの造林木に対し、最も激しい傷を一つだけ取り上げてその被害時期、被害程度を推定したが、このような調査法で検出される被害パターンは形成層に達するような傷が多くなるため、激害の比率が高くなった。また、被害時期も実際に比べると古いものの比率が高くなった。

被害率は、分母・分子に何をもちくかて変わるが、本論文では調査時点における生立木に対する被害木の本数比で示し、単に被害率と呼ぶ（累積被害率と記す場合もある）。これに対し、調査時点を起点としてそれ以前の一定期間（具体的には表-3参照）の間に新規に発生した被害を新規被害、新規被害を受けた造林木のことを新規被害木と呼び、その本数の生立木本数に対する比率を新規被害率と呼ぶ。1988年時点での被害率は19%、また1987～1988年の新規被害率は3%である。

これら被害を受けた造林木の分布を示した結果が図-2である。白抜きが無被害木、黒色が被

害木である。樹木の生育状況を併せて表示したが、○印が健全木、△印が不良木である。図は造林地に設定した基線（方位角318度）が水平になるように書かれており、手前側（下側）が林道、左上方との境界部が天然林である。本文中で、図中の場所を説明するために便宜的に格子で区分した。以下、例えば方位記号のある付近については区画1Aと呼ぶ。格子は作図エリアを機械的に5等分したものである（横方向は約24m、縦方向は約22mで、1区画の面積は約0.05haである）。

1988年調査時に認められた被害木は区画1C、2C付近を除き造林地全体に広がっている。また、図の左下（区画4A、4B、4C、5A、5B、5C）の被害木の分布がつながっているように見え、ここがシカの通り道になっていたことも考えられる。なお、区画2Dには大きな空白が生じているが、ここは当時すでに全滅または枯死寸前の状態にあった（原因は不明である）。

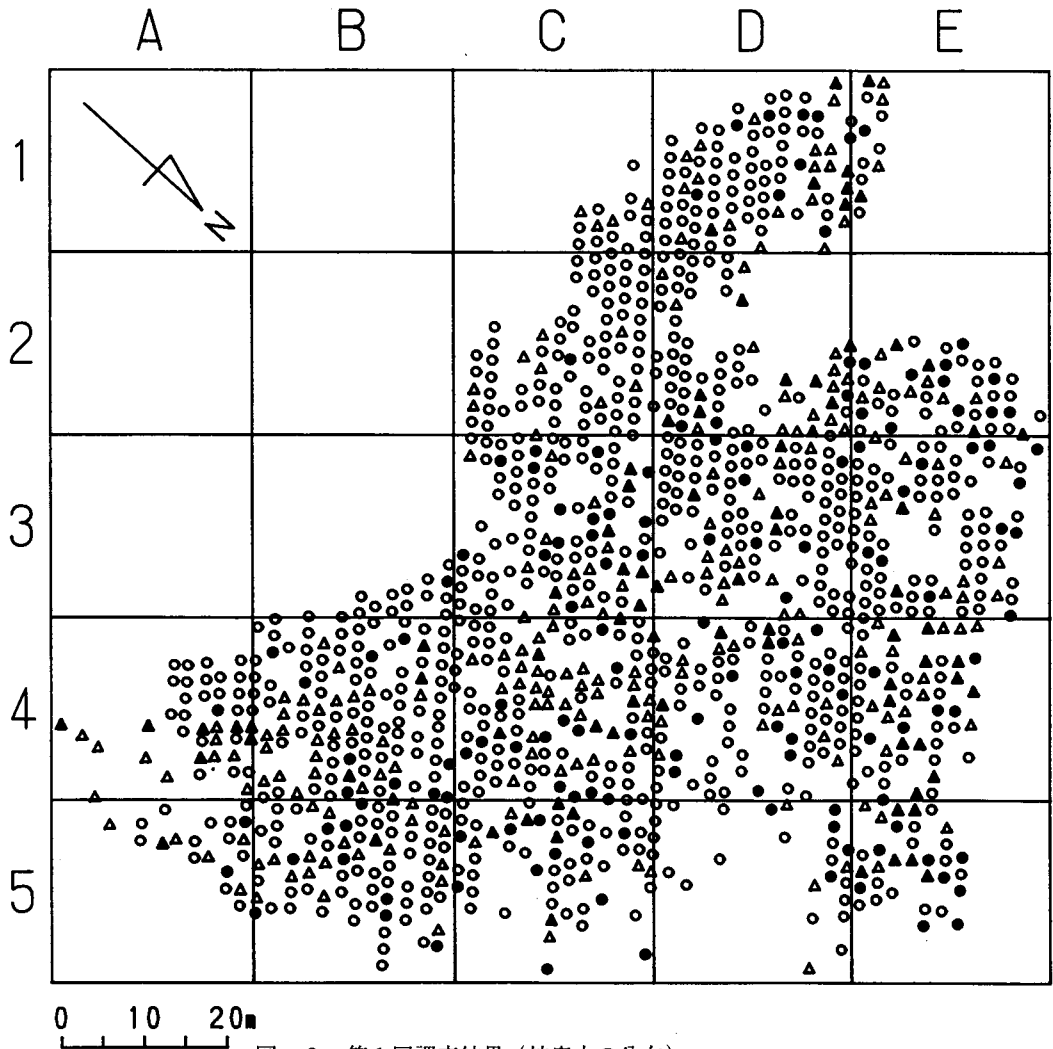


図-2 第1回調査結果（被害木の分布）

注) 1988年5月以前のすべての被害を対象にしている。

黒が被害木、白が無被害木である。

○印が健全木、△印が不良木である。

(2) 第2回調査結果（1989年5月）

第1回測定以来ちょうど1年間の新規被害本数は123本で、新規被害率は10%である。この結

果、被害率は1年で、19%から26%へと上昇した。新規被害木のうち、以前に被害を受けた前歴があり、この1年で再び被害を受けたもの（再被害木と呼ぶ）は41本、今回の調査で初めて被害を受けたものが82本であった。再被害率（再被害木の比率をいう）は33%であり第1回調査の被害率19%より明らかに高く、再被害を受ける可能性が高いことを示唆している。

新規被害木の位置を示したのが図-3である。新規被害木は主に区画3D, 4D付近を中心に比較的まとまって存在し、第1回調査同様、区画1C, 2C付近には被害はほとんど発見されなかった。また、過去の被害があるにもかかわらず区画1Dの新規被害発生は小さかった。総じて南部の天然林寄りの造林木には被害がほとんど見られなかった。第1回調査結果の図は過去の被害の累積を示しているため、直接の比較はできない。しかし両者の差は、累積すると全造林地に広がってみられる被害も、単年度でみるとまとまって発生する場合があることを示唆している。

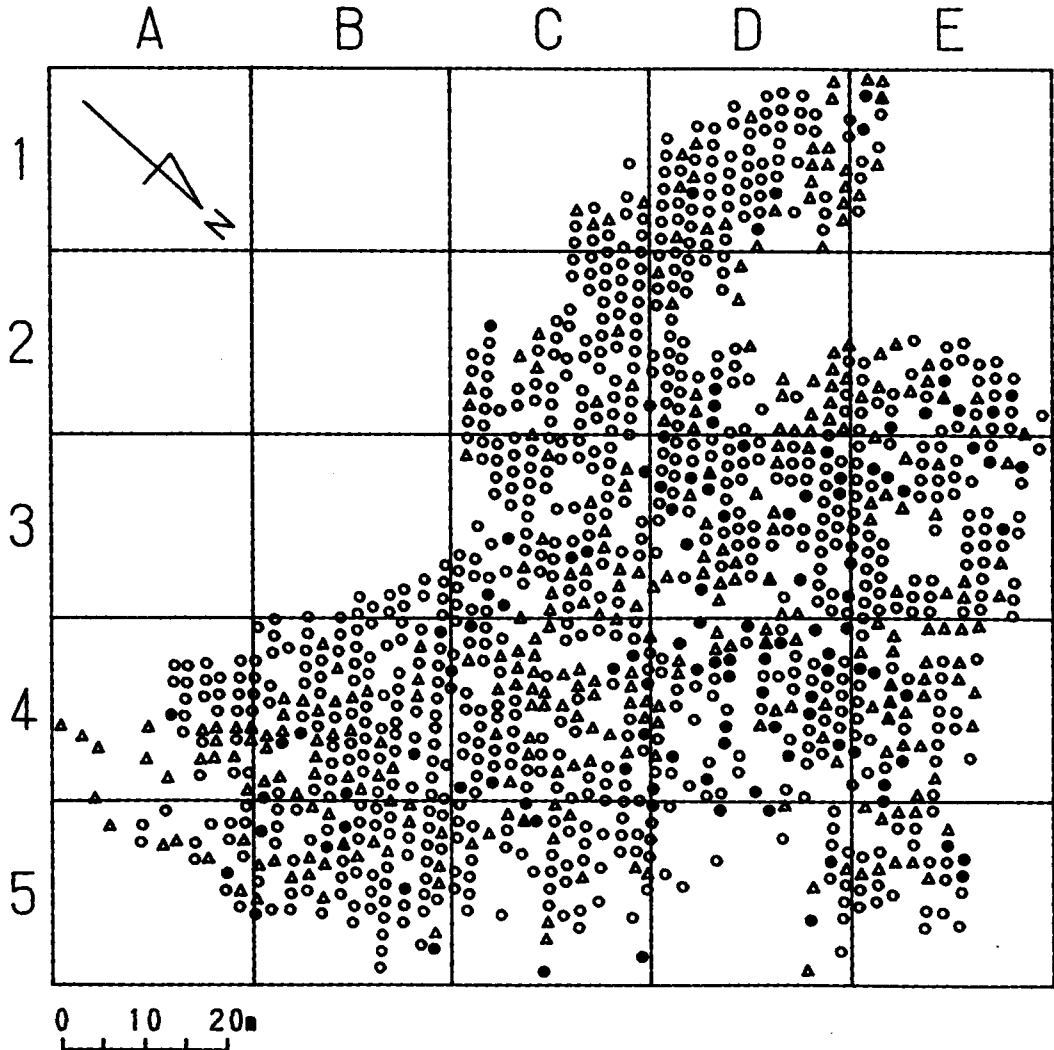


図-3 第2回調査結果（新規被害木の分布）

注）1988年5月～1989年5月の間の被害を対象にしている。

黒が被害木、白が無被害木である。

○印が健全木、△印が不良木である。

なお、第2回調査では被害の大きさについての測定を行ったが、その結果については考察で述べる。

(3) 第3回調査結果(1990年8月)

新規被害は、第1回調査の結果と比較して判断しており、1988年5月からの約2年間に発生したものである(註2)。第3回調査時点での生立木は1,076本とこの2年間で121本が枯死した(枯死率10%)。この2年間の新規被害木は325本で、この結果、被害木は475本となり、被害率は44%へと急上昇した。新規被害木のうち再被害木は72本(再被害率22%)であり、第1回調査時点での被害率19%と大差ない。第2回調査では再被害率が高く、特定の造林木が狙われているような様相を示していたが、今回の調査の結果、そのような状況を消えている。今回観察された新規被害木のなかでも比較的新しい、この1年間に発生したと推定される被害は被害前歴の有無とは無関係に発生している。

被害程度についてはⅠ、Ⅱ、Ⅲと3区分した。Ⅰは激害で、その定義は深さが形成層に達するキズのうち剥皮幅が全周の1/2以上のもの。Ⅱは、深さが形成層に達するキズのうち剥皮幅が1/2未満のもの。Ⅲは、樹皮のみのキズである。各造林木について、このように区分された被害が何個あるかを調査した。レベルⅠの激害を受けた造林木は112本であり、新規被害木の34%を占める。また、被害のすべてが微害のレベルⅢであったものは81本(25%)であった。

第3回調査では造林木の生長に関する調査も併せて実施したが、その概要は以下の通りである。まず、胸高直径は平均3.6cm(標準偏差2.0cm)、樹高は平均2.72m(標準偏差1.13m)である。直径および樹高の分布については後述する。生育状況別に分類すると、健全と評価されたものが465本(43%)、不良が452本(42%)、半枯が159本(15%)である。健全率(健全木の比率をいう)が半分を割っている。健全木のみを対象にすると、胸高直径は平均4.6cm(標準偏差1.8cm)、樹高は平均3.48m(標準偏差0.92m)である。胸高直径、樹高成長の状況は造林地のなかでも場所的には相当異なっている。右下の区画4C、5C、5D、5Eは平均直径、平均樹高とも本造林地のなかでは最も大きな値を示している優良地区である。これに続くのは、この優良地区に隣接する区画4E、3D、2C、2D、5Bである。残りは全般によくなく、なかでも右上の区画E1～E2にかけてと、左下の区画4A～4Cにかけての胸高直径、樹高が劣っている。

新規被害木の位置を示したものが図-4で、図-3同様に、白抜きが無被害木、黒色が被害木である。樹木の生育状況は、○印が健全、△印が不良、□印が半枯である。この2年間の被害は全造林地にまんべんなく及んでおり、第2回調査時に見られたような偏りを見いだすことはできない。第1回調査時にはほとんど被害のなかった、区画2C、1D付近にも相当被害が出ている。区画2Dに見られた全滅区域は、その境界部での枯死が10本程度見られ、さらに拡大した。区画1Dは被害が急増し、生育状態も悪化したため、隣接の区画2Dの空白区が食い込んできており、この2年間で急速に悪化した区画の一つである。第1回調査で被害が集中する傾向をみせた区画3D、4D付近では、追加的被害を受けている。

ところで、本造林地ではエゾシカ害以外にも様々なダメージを受けている。霜害を含む何等かの気象害が258本、先枯が88本、先が替わってきているものが45本、先折れなどによって先が欠けているのが26本、二又・三又になっているものが114本などである。1つの造林木が複数の損傷を受けている場合も見られ、これらエゾシカ以外に起因する被害を受けている造林木の実数は503本(生立木の47%)である。これらエゾシカ以外の原因による諸損傷木は造林地全般に広がっており、一見した限りでは、その分布に特徴を見いだすことはできない。

本造林地ではエゾシカ害と今述べた様々な原因によって枯死が進んでいるので、その分布の関係を見ておく。図-5は第3回調査で明らかになったこの2年間の枯死木(・印)と、近く枯死

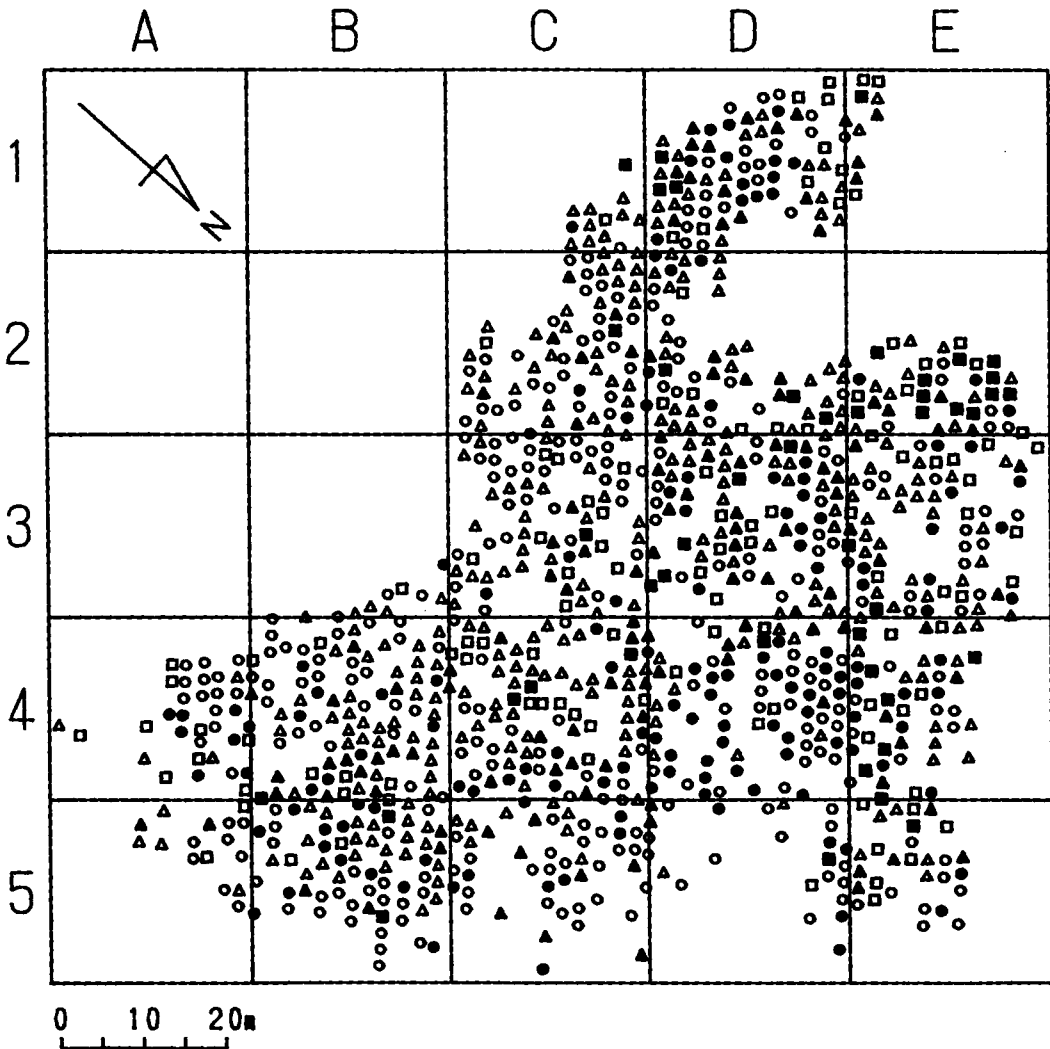


図-4 第3回調査結果（新規被害木の分布）

注）1988年5月～1990年8月の間の被害を対象にしている。

黒が被害木，白が無被害木である。

○印が健全木，△印が不良木，□印が半枯木である。

する可能性が高いと判断された半枯木（■印が被害木，□印が無被害木）の位置を示している。まず，枯死木から見ると，その分布は造林地全般に及んでいるが，区画C3，B4など南部の天然林との境界部で目立つ。これら南部での半枯木が例外なく無被害木であることは，エゾシカ以外の理由による枯死が進んでいることを示唆している。半枯木の分布を見ると，左下（区画4B，5B），区画2Dの空白部の周囲，中央部（区画3C，3D，4C），右下（区画4E，5E）が目につき，ほぼ全域である。いずれも被害木の割合が多く，シカ害との関連を示唆している。とくに，区画2Dの空白区の隣に位置する区画2Eにその傾向が強く，まもなく全滅に近い状態に移行するものと思われる。

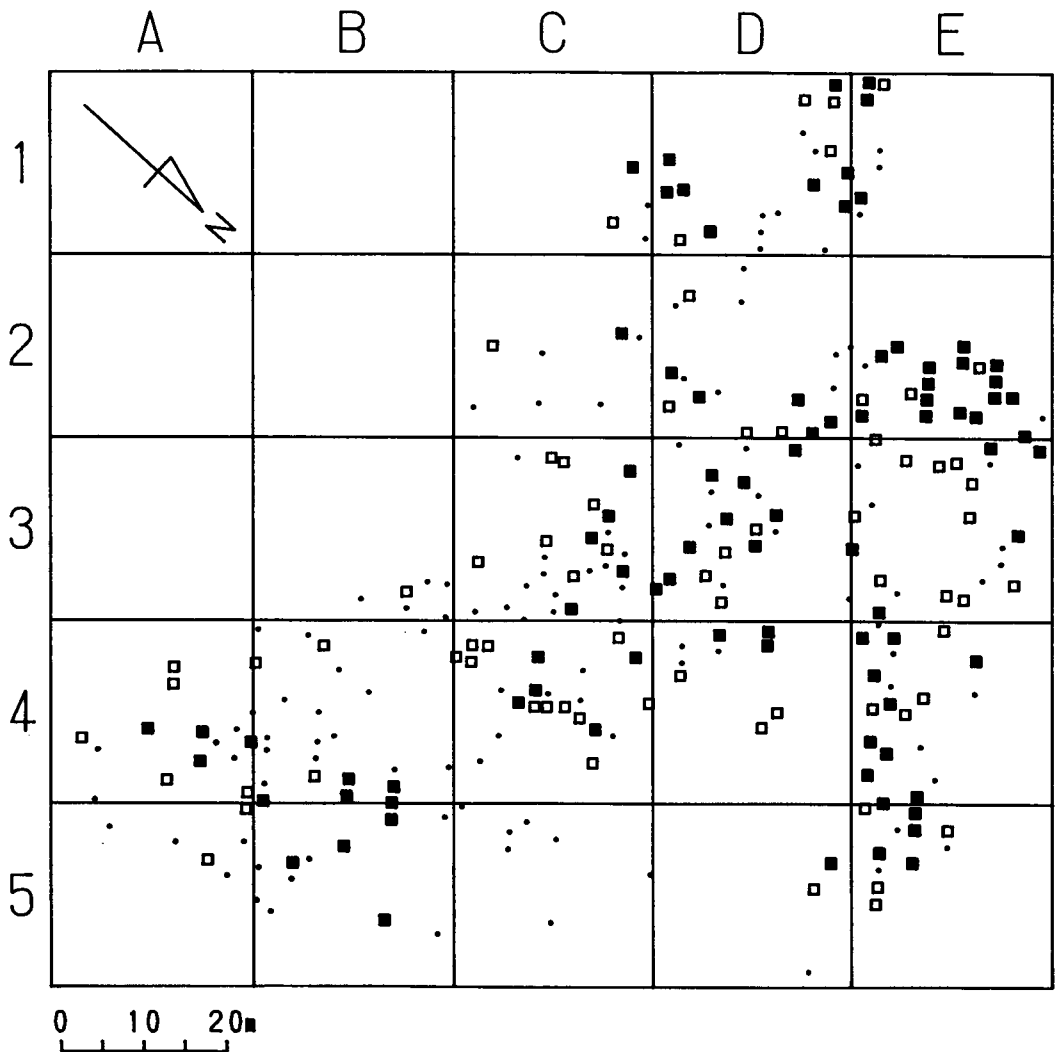


図-5 最近の枯死木・半枯木の分布
 注) ・印は1988年5月～1990年8月の間の枯死木
 □印は1990年調査時点で半枯木(無被害木)
 ■印は1990年調査時点で半枯木(被害木)

4. 考 察

(1) 被害木の特徴

最初に、どのような造林木が被害にあっていているかについて検討する。第3回調査の際に行った胸高直径、樹高を用いて直径階別および樹高階別にみた被害率を検討した結果が表-1、表-2である。最初に胸高直径について見てみよう。新規被害木、累積被害木ともに、その平均と分散は総数のそれらと大差ない。次に直径階別被害率を検討する。過去の被害と現在の直径を比較するよりも、被害当時の直径がポイントになるため、新規被害木の直径階別本数分布を調べた結果、直径階4～5cmのところピークがあるが、それほど際だったものではなく、ほぼ無差別といえる。なお、累積被害木についても同様である。山内ほか(1987)の表-7に掲載されている本造

林地の1986年度被害集計では、根元直径3～5cmの場合の被害率がその前後に比べて明らかに高い数値を示していたのと対照的である。当時の被害率は5%と低かったことを考えると、直径に対する選好は被害の初期においては明確であっても、被害が拡大するに従って無差別化していくことを示唆している。高柳ほか(1990)において明らかにされた30年生前後のトドマツ人工林の場合もやはり直径に対する選好は見いだされなかった。この場合も被害率の高いプロットでは全くといってよいほど関連が見いだされなかったのに対し、10%と低い被害率だったプロット10Bについてのみ直径4～8cmに選好が見られた。なお、樹高階別にみた被害率も直径階同様で、一応3～3.5mにピークが観察されるが、これも直径同様、無差別と判断できる。以上の通り、被害の有無と造林木の直径・樹高との間には目立った関係を見いだすことができなかった。

表-1 直径階別被害率

直径階 (cm)	生立木 本数	新規被害 ¹⁾		累積被害	
		本数	被害率	本数	被害率
計測不可	235	58	24.7	109	46.4
0-1	71	19	26.8	29	40.8
1-2	134	42	31.3	55	41.0
2-3	147	39	26.5	55	37.4
3-4	162	57	35.2	77	47.5
4-5	121	46	38.0	57	47.1
5-6	104	35	33.7	46	44.2
6-7	53	16	30.2	25	47.2
7-8	29	5	17.2	9	31.0
8-9	14	6	42.9	8	57.1
9-10	4	1	25.0	3	75.0
10-11	1	0	0.0	1	100.0
11-12	1	1	100.0	1	100.0
合計	1,076	325	30.2	475	44.1
平均 ²⁾	3.6	3.6	-	3.7	-
標準偏差 ²⁾	2.0	1.9	-	2.0	-
変動係数 ²⁾	55.3	52.7	-	54.9	-

註1)1988年5月～1990年8月の期間の被害

2)胸高直径が測定できない造林木は含まれない。

表-2 樹高階別被害率

樹高階 (cm)	生立木 本数	新規被害 ¹⁾		累積被害	
		本数	被害率	本数	被害率
計測不可	130	37	28.5	75	57.7
50-100	31	5	16.1	9	29.0
100-150	104	23	22.1	37	35.6
150-200	148	46	31.1	61	41.2
200-250	159	49	30.8	63	39.6
250-300	131	41	31.3	57	43.5
300-350	135	50	37.0	67	49.6
350-400	108	37	34.3	45	41.7
400-450	67	19	28.4	31	46.3
450-500	37	10	27.0	17	45.9
500-550	14	5	35.7	7	50.0
550-600	6	1	16.7	1	16.7
600-650	3	0	0.0	2	66.7
650-700	2	2	100.0	2	100.0
800-850	1	0	0.0	1	100.0
合計	1,076	325	30.2	475	44.1
平均 ²⁾	272.0	279.7	-	281.8	-
標準偏差 ²⁾	112.8	107.2	-	114.9	-
変動係数 ²⁾	41.5	38.3	-	40.8	-

註1)1988年5月～1990年8月の期間の被害

2)樹高が測定できない造林木は含まれない。

さて、こうしたエゾシカ被害状況と林木の生育状況との関連を若干検討してみたい。表-3は総数、過去3回の調査時点での被害木本数、それぞれの調査時点での新規被害木の本数を1988年、1990年時点での生育状況別に集計したものである。第1回調査時の生立木を対象にその変化を検討するため、第3回調査では枯死木を生育状態の1区分として扱う。従って、生育状態区分は第1回調査が健全、不良の2区分、第3回調査が健全、不良、半枯、枯死の4区分となる。総数欄を見ると、第1回調査で不良と評価されながら、第3回調査で健全へと昇格したものは10本しかない。これが、実際に樹勢が改善された結果なのか評価基準が変化した結果なのかは判断できないが、いずれにせよ健全という評価区分は2回の調査を通じて一定の基準(下限)を持っていると解釈することもできる。しかし、健全から不良へ移行したものが多く、評価基準が変化(より厳しくなった)した可能性もある。なお、半枯については第1回調査の項目にないため、不良から不良、半枯への移行は単に表の上での数字であり、不良、半枯を合算して比較する必要がある。

以上のような調査方法上の限界があり、さらに期間が2年間と短いこともあって断定できない面が多いが、以下のような傾向を観察することができる。

表-3 生育状況の変化とエゾシカによる被害

項目	年	第1回 調査時 の状況	第3回調査時の状況									
			実数(本)					総数に対する比(%)				
			健全	不良	半枯	枯死	合計	健全	不良	半枯	枯死	合計
総数	1990年	健全	454	310	73	50	887	100	100	100	100	100
		不良	10	142	87	71	310	100	100	100	100	100
	1988年 ¹⁾	健全	16	8	5	1	30	4	3	7	2	3
		不良	0	0	2	5	7	0	0	2	7	2
新規 被害	1989年 ²⁾	健全	62	27	12	10	111	14	9	16	20	13
		不良	1	4	5	2	12	10	3	6	3	4
	1990年 ³⁾	健全	149	93	34	13	289	33	30	47	24	33
		不良	3	35	11	8	57	30	25	13	11	18
	1988年	健全	80	36	21	9	146	18	12	29	18	16
		不良	2	32	32	17	83	20	23	37	24	27
累積 被害	1989年	健全	121	55	29	17	222	27	18	40	34	25
		不良	2	36	34	17	89	20	25	39	24	29
	1990年	健全	208	118	47	23	396	46	38	64	46	45
		不良	4	56	42	23	125	40	39	48	32	40

註1) 1987年～1988年5月までの被害。

2) 1988年5月～1989年5月の1年間の被害。

3) 1988年5月～1990年8月の2年3か月間の被害。

第1に、生育状況に関する総合評価の低下は予想以上のものであった。造林木空白区の拡大だけでなく、残存木の評価の低下も著しかった。わずか2年前には健全の評価を受けた造林木の8%が半枯に、6%が枯死に至ったのは驚くべき状況である。2年間で健全から半枯という枯死一步手前の状態へと移行した73本の64%にあたる47本が1990年時点での被害木であり、枯死に至ったものについては50本のうち46%が被害木であった。健全な造林木が短期間に半枯または枯死に至った場合は、被害との間に相当程度の関連があるといえる。また、健全木から不良木へと移行したものが35%もあり、今後2年間でどのように推移するのか注目される。

第2は、各調査の度に発見された新規被害について、第1回調査時における生育状態が健全であったか不良であったかを比較すると、健全であった場合の被害率が不良のそれよりも大きい点である(註3)。第1回調査では健全な造林木の新規被害率は不良のものに比べてやや多い程度であるが、第2回、第3回調査における健全な造林木に対する新規被害率は不良のその2～3倍の高さである。総合的評価の高い造林木が被害を受け易い傾向がこの2年間の新たな特色をなしている。

第3は、被害率をみると、第1回調査時には不良木27%、健全木16%であったものが、第2回調査時には不良が健全をやや上回る程度になり、第3回では逆転した。新規被害は比較的健全な造林木で発生し、その健全木は後に不良木へと移行するため、累積被害率では不良木の比率が高くなるという構造が考えられる。最近の被害急増で、生育状態が健全から不良へと移行する以上に健全な造林木の被害が増加し、比率の逆転につながったと考えられる。

エゾシカ害については、気象害を逃れて成長した造林木が追加的に受ける被害であって、より根本的に重要な問題は気象害を始めとする別の問題にあるとの見解もある。後にみるような異常な本数減少は確かにこうしたエゾシカ以外による面に起因する問題と推定される。しかし、本造

林地においては残った造林木のなかでもより健全なものに被害が多いという点に留意しなければならない。成長は劣るにせよ気象害を逃れた造林木はその後成長し、一応成林を期待することができる。健全木に対する新規被害率が高いという構造が続くならば、成林自体を遅らせるばかりか、場合によっては危うくさせる危険性を持っている。

(2) 被害率の推移

本造林地に関するこれまでの各種調査の結果をもとに被害率の推移を示した結果が図-6である。1981年12月の時点では3%だった被害率は1986年までの5年間に穏やかに上昇し1986年11月には19%にまで上昇した。調査方法の変更により完全には接続しないが(註4)、その後2年間は被害が余り拡大しなかったことは確かなようである。1988年の第1回調査の際の被害木229本のうち新しいものは10本しかなく、あとは1987年以前に発生していることからこのことは裏付けられる。この時期なぜ被害が拡大しなかったのかは、今後の検討課題の一つである。1989年以降の2年間は被害率が急速に上昇した時期である(これには本数減少も寄与している)。以下、被害木の総本数の推移について検討を加える。

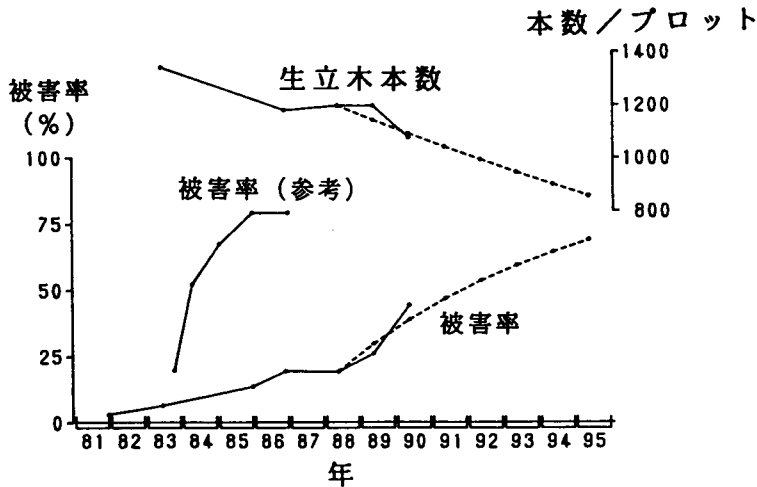


図-6 被害率の推移

被害率・生立木本数の点線はマルコフ連鎖モデルを用いた推定値。

所与の2期間について、無被害木、被害木、枯死木の相互の推移を推移確率行列を用いて一般化してみよう。本報告では最も基本的な関係のみを検討する。状態集合として $\{1, 2, 3\} = \{\text{被害木}, \text{無被害木}, \text{枯死木}\}$ を考え、第 i 期の被害木、無被害木、枯死木の本数をそれぞれ x_1, x_2, x_3 とし、第 i 期の状態を $X_i = (x_1, x_2, x_3)$ と示す。推移確率行列 P の各要素 p_{mn} は第 i 期において状態 m であった造林木が第 $i+1$ 期に状態 n に移行する推移確率である。第 i 期の被害木はその定義上、第 $i+1$ 期には被害木または枯死木にしかならない。また、第 i 期の無被害木は第 $i+1$ 期には被害木にも枯死木にもなり、また無被害木に留まるかも知れない。なお第 i 期の枯死木は第 $i+1$ 期にも枯死木である ($p_{33}=1$)。第 i 期の被害木、無被害木がそれぞれ第 $i+1$ 期には枯死木となる確率 p_{13}, p_{23} を α_1, α_2 とし、第 i 期に無被害木であったものが第 $i+1$ 期に被害木となる確率 p_{21} を β とする。また、各期における造林木の状態はその定義から被害木か無被害木か枯死木かのいずれかでありその比率の合計は1となる。このとき第 $i+1$ 期の状態 X_{i+1} は $X_i P$ で表わすことができる。同様に $i+1$ 期のデータから次期の状態を計算するこ

とができる。ところで、枯死木からは枯死木にしか推移できないため、本推移確率行列は対角線部分に1という値をもつ吸収マルコフ連鎖をなす。

単純な計算であるが上記の方法によって本造林地の今後の被害率を試算してみよう。1988年から1990年にかけての変化を年率換算したものを推移確率とみなすと、 $\alpha_1=0.05$ 、 $\alpha_2=0.04$ 、 $\beta=0.13$ となる(註5)。1988年5月を初期点とし、その後毎年5月時点での被害率と生立木本数を計算すると、図-6の点線のようになる。マルコフ連鎖の特質上、この推移は推移確率を求めた期間の初期点における瞬間的な変化の方向を示している(註6)。今回見られた被害の急拡大が今後しばらくの期間続くのか、あるいは短期的なもので再び漸増傾向に戻るかが注目される。

これまで被害率の推移を調査してきた場所として、第2林班のプロット(山内ほか(1987)のプロット1)があり、参考値として記入した。ここは1958年植栽と本論文で取り上げている造林地より林齢で20年先をいっており直接の比較はできないが、すでに閉鎖後の林分において急速に被害が拡大する事例を示している。このプロットは1985年に防護ネットを設置したため1986年には被害拡大は停止し、その後はネットを破っての侵入による部分的な被害のみである。

ところで、図-6に示した被害率の推移は全ての被害に関するものであり、軽微なものを含んでいる。軽微なキズはいずれ癒される可能性もあり、第5回調査終了後に再検討が必要である。

(3) 枯死木の推移

エゾシカ害の影響は造林木の枯死、成長の阻害、樹形への影響などがあるが、第1回・第2回調査では造林木の測定を行っていないため成長等への影響が判断できない。第3回調査で造林木の直径・樹高のほか様々な異常状態のリストアップを行ったため、成長面への影響等は今後検討可能となる。そのため、本論文では造林木の枯死についてのみ考察を加える。まず、全ての被害の計測を行った第2回調査の際の被害木がその後どのように推移したかを調べることによって、被害と枯死との関係について考察する。その後で、エゾシカによる被害の有無とは別に本造林地で観察された枯死傾向について述べる。

表-4は第2回調査時に発見した123本の被害木について、その被害の程度、タイプ別に第1回調査時から第3回調査時にかけて生育状態がどのように変化したかを示している。さらに、第2回調査の際に新規被害が発見されなかったものを参考数値として計上した(第1回調査の際に被害が発見されているものを含む)。まず総数欄から見ると、新規被害木のほうが無被害木より被害にあう以前の生育状態(第1回調査時の健全率)がよい。被害前の健全率は無被害木の72%に対し、新規被害木では90%に達している。90%を占めていた健全率はわずか2年で52%へと低下した。枯死12本に、半枯17本を加えると、約1/4が事実上枯死したことになる。枯死・半枯になった比率は無被害木、新規被害木ともほぼ同じ水準であるが、新規被害木のほうがもともと条件がよかったことを考慮する必要がある。無被害木も結構枯死している状況を考慮すると、生育状態の悪化や枯死の原因はエゾシカによる被害のみではない。本論文では、被害を以下のように分類して考察することによって、被害と枯死との関連性についてその概要をつかむことにする。

まず、被害の程度から検討する。第2回調査では高柳ほか(1990)の方法に準拠して被害の測定を行った。剥皮幅については、被害の最大幅が主軸の外周に対して占める割合(分数表示)という形で表現される。まず、被害前である第1回調査時には剥皮幅のクラス別に差はみられない。しかし、第3回調査結果を見ると、1/2を越える幅の被害を受けると健全率は急減し、そして2/3以上やられると枯死・半枯比率が急増し致命的ダメージを与えていることがわかる。第2回調査時には新規被害木全体の11%を占める13本が全周被害であった。この13本のその後の推移を見ると、7本が枯死、4本が半枯、2本が不良である(樹高は105cm, 124cmであり成長が大きく阻害されている)。次に被害の縦方向の大きさについて検討すると、幅同様に被害前の健全率には差

表-4 第2回調査時の新規被害木・無被害木の生育状態

(本, %)

		第1回調査				第3回調査				健全率 ⁴⁾	枯死・半枯率 ⁴⁾
		総数	生育状態		健全率 ⁴⁾	生育状態		健全率 ⁴⁾	枯死・半枯率 ⁴⁾		
			健全	不良		健全	不良				
新規被害のなかった造林木 ¹⁾		1,074	776	298	72	401	422	142	109	37	23
	総数	123	111	12	90	64	30	17	12	52	24
新	1/4未満	27	24	3	89	17	8	1	1	63	7
	1/4	19	18	1	95	12	4	3	0	63	16
規	被害程度 ²⁾	35	33	2	94	24	6	3	2	69	14
	(剥皮幅)	26	23	3	88	10	10	4	2	38	23
被	2/3	3	2	1	67	1	0	2	0	33	67
	全周	13	11	2	85	0	2	4	7	0	85
害	10cm未満	70	62	8	89	43	18	8	1	61	13
	被害程度 ²⁾	22	21	1	95	16	4	2	0	73	9
木	(剥皮長)	11	10	1	91	5	3	1	2	45	27
	30cm以上	20	18	2	90	0	5	6	9	0	75
	ツノトギ型	76	68	8	89	35	20	10	11	46	28
被害タイプ ³⁾	樹皮食い型	40	36	4	90	24	9	6	1	60	18
	込・不明	7	7	0	100	5	1	1	0	71	14

註1) 第2回調査の際に新規被害のなかったものを指すため、第1回調査時の被害木を含む。

2) 同一の造林木に複数の傷がある場合は各項目ごとに最大のものを選択した。

3) 被害タイプの分類は高柳ほか(1990)による。同一造林木の傷のすべてがツノトギ型、樹皮食い型の場合をツノトギ型、樹皮食い型に分類し、両方が混ざっている場合を込とする。

4) 第1回調査時の生立木総数に対する割合。

は見られない。被害後の状況は、長さが長い程健全率が落ちるが、20~30cmで50%を割り、30cmを越えると0となる。20cm以上の傷のダメージが大きく、特に30cmを越えると致命的である。また、被害タイプ別にみると、やはり被害前の状況に差はない。被害後の健全率をみると、「ツノトギ型」の場合だと46%にまで低下し、「樹皮食い型」の場合のほうが60%とその割合が小さい。「ツノトギ型」では枯死11本(枯死率14%)に対し、「樹皮食い型」ではわずかに1本(同3%)であり、「ツノトギ型」は致命的な影響を与える場合がある。以上をまとめると、本造林地における現在の成長段階においては、2/3以上の幅、30cm以上の長さ、「ツノトギ型」といった特徴を有する被害は、造林木を直ちに枯死あるいは枯死寸前の状態に追い込むこと、1/2以上の幅、20cm以上の長さの場合は不良木へと転落する可能性が高いことを指摘できる。これまで調べられてきた他の造林地での被害状況から考えて、一定以上の径級に達するとすぐ枯死に至る被害は見られない。造林木がその大きさになるのが直径何cm以上または何年生からかは明らかではないが、気象害を始めとする諸要因により成長速度が遅い分だけ、本造林地はまだしばらくの間、上でみたような致命的ダメージを受ける危険性にさらされ続けることになる。

ところで、図-5でみたように本造林地では1988年から1990年にかけて相当の枯死木が発生した。被害木の場合が年率換算で5%、無被害木の場合が同4%であり、両者に大きな差は見られない。先の単純なモデルで試算すると、枯死本数が初期造林木の半数を越えるのは1995年、17年生の時点であり、20年の時点では造林木は植栽本数の45%まで減少する。なお推移確率による予測はあくまでも1時点における瞬間的な変化を長期に延長するものであるから利用に当たってはその傾向が継続するかどうかの判断がポイントとなる。まず、長期的にみると1983年6月から1986年11月にかけて159本が枯死木及び衰弱木(樹高50cm以下)になっている。枯死率は11.8%であり、年率換算すると3.5%となる。衰弱木を検討していないので直接の比較はできないが、以前

から枯死・衰弱が進行しており、その程度が高まっている。第3回調査では半枯が15%もあることから、この枯死傾向は単に1988年のみに特別見られたものではなく、傾向として続いていると考えられる。

こうした枯死木の増大を踏まえて、本造林地ではどの程度の成林が見込まれるか検討してみる。過去3回の調査結果から現時点において将来とも生存が期待される造林木がどの程度あるかを個別にチェックしてみよう。まず、1990年調査時点での生立木は1,076本(1,630本/ha)である。第3回調査時点で将来が期待できない半枯160本を最初に除く。次いで、過去3回の調査で少なくとも1回はエゾシカによる激害を受けたもの136本を除く。激害の定義は調査の度に微妙に異なっているが、まだ平均胸高直径が4cmにも満たないような初期段階での大きな傷は直接枯死にまで至らせないまでもその後の生育に大きな影響を与える可能性が高い。第2回調査結果からも幅が1/2を越えると健全率は激減することが明らかになっている。次に、エゾシカ以外による欠点をもつ造林木349本を除外する。標茶区人工林では気象害を始めとする諸要因により不成績地が続出している状況を考慮すると、これら欠点が確認される造林木も将来衰弱する可能性が少な

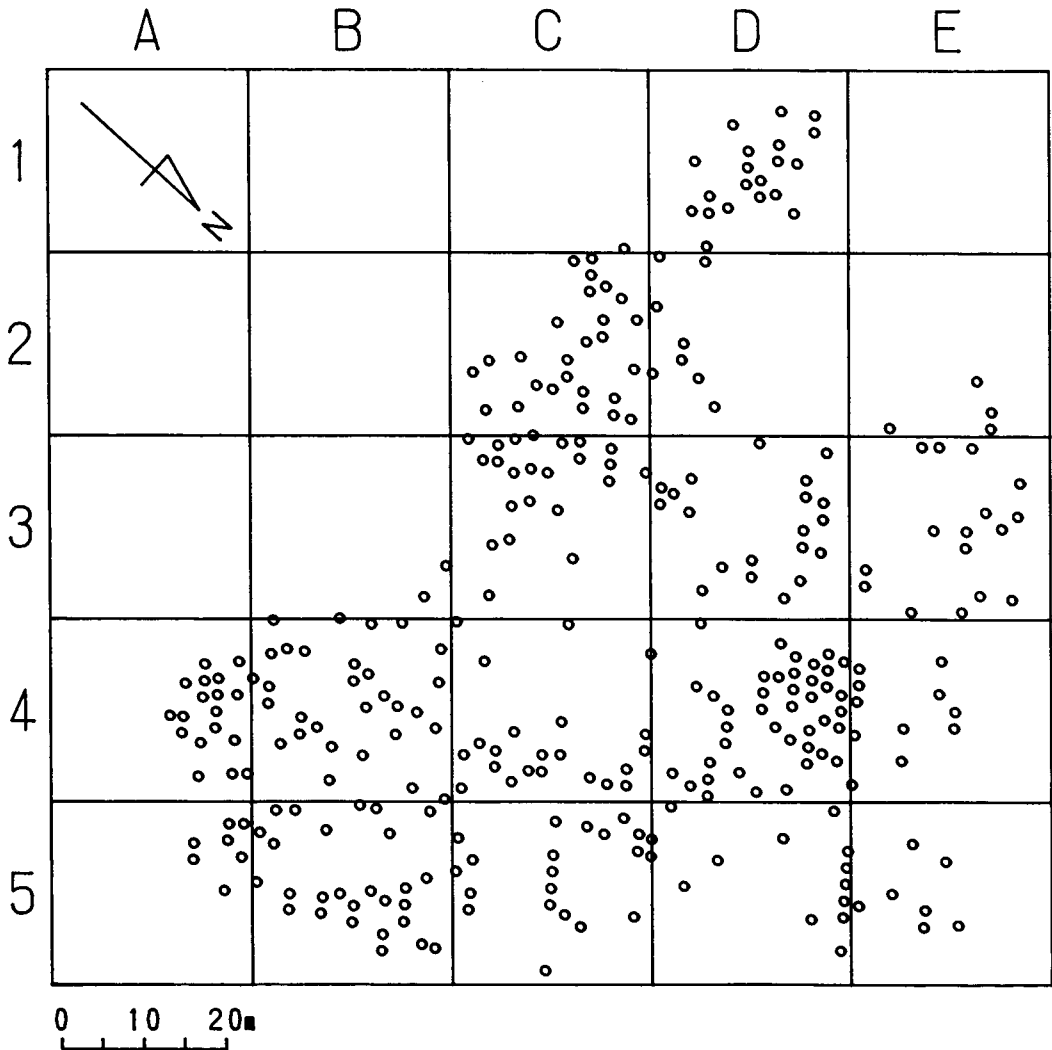


図-7 無傷健全木の分布

くないと思われるからである。

以上の手順により残った造林木は431本、これは現在の40%の水準である。ところでこうして残った造林木の生育状態に関する総合評価を見ると不良木が115本含まれている。つまり、先枯、霜害などの具体的な欠点はなくとも全体的にみて明確に劣っているものがまだ115本も残っている。第3回調査の結果、総合的見地から不良木と判定された452本の75%がエゾシカ害および様々な具体的な欠点をも同時に抱えており、既上記の手順の中で棄却されている。残りの不良木についても除去する。一連の操作の結果最終的に残った無傷健全木は316本(479本/ha)である。これは植栽時にあったと推定される本数の18%である。現段階ではまだ平均直径が4cmに満たないだけに先に述べたような致命的ダメージを受け続け、直ちに枯死または枯死同然になるものも出て来ることを考慮すると、20年生の時点での無傷健全木は200本程度かも知れない(註7)。図-7にこれら第3回調査時点での無傷健全木の分布を示しておいた。造林木は全体にまばらになるものの、ある程度まとまって部分的に成林する場所は大体3箇所と思われる。第1は区画2C付近、第2は区画4D付近、そして第3は区画4B~5B付近である。前2者は直径成長、樹高成長とも比較的良好なのに対し、最後の区画は成長状態が悪い。空白化が進む区画4Cよりややましな程度だけに将来心配な部分である。空白区は区画2D付近で拡大傾向を示しているが、ここで仮定したような枯死が進むとこの空白区は今後は東部方向にも急拡大し、区画3C~4C付近にも大きな空白区が生じる可能性が高い。

5. おわりに

本報告では3回の調査をもとにその調査結果の概要を述べた。高柳ほか(1989)の指摘によれば標茶区全体では、7年生前後で最低樹高が1mを越えるころから被害は激化し、その後10年間で累積被害率は10~20%に達するとしている。本造林地は1990年時点で植栽後12年が経ち平均樹高も2.7mと成長し、予想通り数年前から被害が激化してきた。その意味で本試験地は被害拡大が時間的に、また空間的にどのように拡大していくかを検証するよい調査地となっている。残り2年間の調査を行うとともに、その後も継続観察地として扱うことにより1つの造林地がその成長過程においてどのように被害を受けていくかを示す重要な事例を提供する。

本報告では第3回までの調査結果をもとに被害木の分布を提示し、ついで、被害木の特徴、被害率の時間的変化、被害と枯死の関係について個々に考察を行った。被害木の分布に関する研究については、Iwaoの m^*-m 法の応用も考えられるが、これは今後の課題である。被害木の特徴については健全という総合評価の造林木に対する被害率のほうが不良の場合のそれよりも高かった点が注目され、今後の調査が必要である。また、被害率について、その第1次近似としての単純な試算結果を提供した。造林木の直径分布と組み合わせたモデル設計が今後の課題となる。本報告では被害率上昇の原因に言及する余裕はなかったが、高柳ほか(1990)は10~15年で林床が回復しエゾシカが利用しにくくなる可能性を指摘している。林床状態など被害率を左右すると思われる諸要因に関する資料を充実させる必要がある。ある強い仮定のもとに本造林地の将来を検討すると、2、3箇所が部分的に成林するだけで、他は現在の空白区が広がるという結論になった。以上の個々の考察結果は第5回調査終了後、再集計するとともに、さらに総合的な視点から検討を加える必要がある。

当初調査方法も十分に決まらず、従って3回の調査方法には相違点も少なくない。3回の調査を通じて、一応の調査基盤が完成したと言える。今後とも試行錯誤を重ねながらも、より簡便な調査方法を目指す必要がある。ところで、本試験地は基本的にはエゾシカによる造林木への被害

に関するプロットであるが、標茶区の他の造林地同様、異常なペースで本数減少が続いていることがわかった。また、これからも続くことが予想されることもわかった。山田ほか(1988)により、北海道演習林では理由は不明確ながらも造林木が消滅しているという実態が明らかにされたが、造林木の消滅は結果であり、その原因と過程を今後明らかにしなければならない。本造林地はその重要な一例を提供している。ところで、エゾシカ問題に限らず、「被害」調査というものはその測り方、期間などによってなんとでも言い得る側面があるだけに、様々な角度から、また長期的な視点にたったの調査の積み重ねが大切である。本試験地は、調査方法・調査担当者こそ毎回のように違うものの1983年6月の初調査以来実に7年間にわたり維持されてきた貴重な試験地であり、今後とも北海道演習林教職員によって調査が継続されることを期待している。

註

- 1) 1988年の第1回調査時には造林地の至るところにシカ道を見いだすことができた。こうした、シカ道と被害の関係を探ることも本試験地の設定目的の一つであった。飯村(1980)はシカ道付近では皮剥ぎ被害が見られることを報告しているが、本造林地と隣接するカラマツ林の東側は草地になっており、エゾシカの通り道になっている可能性がある。現在、北海道演習林では林内でのエゾシカ目撃記録の作成を行っている。職員が演習林内で偶然見かけたものを記録するのであるから、統計的に検証することはできないが、将来何等かの定性的な傾向を読みとることが可能になるかも知れない。なお、第3回調査において全木に番号を付したため、今後は造林地内でのエゾシカの大体のルートをデータ化することが可能となった。
- 2) 形式的には第3回調査における新規被害木(1988年5月～1990年9月)から第2回調査(1989年5月～1990年9月)の新規被害木を除けば、1989年5月から1990年9月の新規被害を析出できるはずである。しかし、第2回調査と第3回調査では被害査定方法が異なり被害の相互検討が困難であった。また、被害結果には第2回調査で被害ありとされながら第3回調査で被害なしになるという不整合が31本にみられた。調査の元となる第1回調査では、最も激しい傷1つのみを取り上げるという方法が取られていることに起因するもの、あるいは第3回調査時に半枯状態になり識別できなかったものなど原因を一応推定できるものを除くと少なくとも16本、18個の傷が「消失」した。これが、傷自体の治癒を意味するのか、あるいは調査漏れなのかは確認していない。「消失」した傷の内訳は「ツノトギ型」が10個、「樹皮食い型」が7個、不明が1個である。被害程度は縦方向の平均が3.9cm、剥皮幅は1/4未満が9本と半数を占める。
- 3) 1990年の被害については1990年の生育状態との関連も考慮すべきところであるが、1990年調査の新規被害が過去2年間を対象にしていることから直接比較が難しい。こうした限界を承知のうえで第3回調査結果の生育状態別被害率を計算すると、健全木、不良木、半枯木の新規被害木比率はそれぞれ33%、28%、28%となり、やはり健全木の比率が高くなる。しかし、表-3程は差がでない。現実には両者の中間にあるものと思われる。同様に、累積被害率について計算すると、それぞれ46%、38%、56%となる。
- 4) 1986年から1988年にかけて諸数値が完全には接合しない理由の一つは、調査対象木の差に起因する。1985年12月の値と1986年11月の値のみ、衰弱木(樹高50cm以下)が除かれている。そのため、それ以前に比べて本数が急減し、その後の調査で若干ではあるが増加してしまった。今回の調査結果から新規被害は健全な造林木によくみられることから、この調査対象外となった衰弱木における被害率は小さいものと推定され、衰弱木を除外することによって被

害率はその前後の調査に比べて高めにしているものと思われる。衰弱木を調査から排除することに関しては確かに一理はあるものの、その定義が難しく、また成長段階に応じて基準も変わるものである。よって、本論文では被害率は生立木に対する比と定義し、衰弱木も分母に含める立場をとっている。

- 5) 被害率の変動には不規則的な要素も含まれているように思われる。特に枯死に関しては1年ごとの推移を検討するよりもある程度長期間を取った方が良いかも知れないが、本試算では年単位を採用した。また、被害には季節性も考えられるが、年率計算において考慮していない。
- 6) マルコフ連鎖モデルは推移確率が定常性を持つという強い仮定を含んでいる。前期の状態に一定の推移確率行列を掛け合わせるにより次期の状態を推定するのであるが、この際使用する行列が常に一定になっているが、これを定常性という。どのような分野に応用する上でもマルコフ連鎖適用上の最大の問題がこの定常性仮定にある。従って、こうした一定の構造が無限に継続するという仮定にたった盲目的な予測値には自ずから限界がある。議論の前提になっている確率がどのような状態での値なのかを検討し、相対的な指標として用いる必要がある。なお、参考までにこの単純なモデルを西暦2000年まで盲目的に延長した結果を示すと、被害木561本、無被害木106本、枯死木1,067本、被害率84%である。被害率が50%を越えるのは1992年、また1996年以降は枯死木との関係から、被害木自体の本数減少が始まる。なお、枯死木の増大は生立木(分母)の減少として直接被害率に影響するが、長期的には被害率の動向に大きな影響を与えるものではない。無被害木が被害を受ける確率 β の値が長期的には被害率を左右する。本造林地では健全木がよりねられる状況にあるため β が大きく、将来に与える影響も大きい。
- 7) 本論文で示した単純なモデルを林齢が20年になる1998年まで延長すると、被害木585本、無被害木153本(232本/ha)となる。仮に1988年5月の第1回調査直後に防護ネットを設置し、その後の被害発生がない場合($\beta=0$)を考えてみると、20年生の時点では被害木(防護ネット設置以前の被害木で枯死を免れているもの)136本、無被害木620本(939本/ha)となる。直径がある程度大きくなると枯死に至る推移確率 α_1 、 α_2 は現状より小さくなると推定されることからha当りの無被害木として1,000本以上を見込むことが可能である。

引用文献

- 1) 山内隆之・光枝和夫・岡部宏秋・山田容三：北海道演習林人工林におけるエゾシカ害の状況と防護法(I)。京大演集報. 17. 14~20, 1987
- 2) 高柳 敦・山田容三・柴田正善・山内隆之・大窪 勝・木田政彦・松下幸司：北海道演習林人工林におけるエゾシカ害の状況と防護法(II)。京大演集報. 19. 17~27, 1989
- 3) 高柳 敦・山内隆之・柴田正善・松下幸司：北海道演習林人工林におけるエゾシカ害の状況と防護法(III) - 30年生前後のトドマツ人工林における被害の状況 -。京大演集報. 20. 10~18, 1990
- 4) 原純輔：マルコフ連鎖と社会移動。安田三郎編『数理社会学』所収。東大出版。東京。79~114, 1973
- 5) 山田容三・山内隆之・大窪 勝・木田政彦・古本浩望・渡辺康弘・石原寛一・赤井龍男：北海道演習林におけるトドマツ・アカエゾマツ人工造林地の成林率について(予報)。京大演集. 18. 37~42, 1988
- 6) 京都大学農学部北海道演習林長期施業計画。第一次計画期間(1987~1996), 1989
- 7) 飯村武：シカの生態とその管理 - 丹沢の森林被害を中心として -。大日本山林会。東京。83~85, 1980