

減反率法による森林資源の将来予測に関する検討 —鳥取県智頭町における民有人工林の事例について—

黒川泰亨*・戸田英輝**

平成12年6月30日受付

*鳥取大学農学部森林科学講座, **鳥取大学大学院農学研究科

A Study on the Forecasting of the Forest Resources Using the Gentan Probability Theory A Case Analysis of Man-made Private Forest at Chizu in Tottori Prefecture

Yasuaki Kurokawa* and Eiki Toda**

Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, Tottori University, Tottori 680-8553, Japan
The Graduate School of Agricultural Science, Tottori University, Tottori 680-8553, Japan

A content and trend of forest resources is more important for inhabitants and economic activity at the mountain village region. Therefore the prediction of forest resources over a long time is very significant. In this paper a kind of Markov Process in theory of stochastic processes was applied. This paper examined whether any result came out when the Gentan probability theory was applied to the future prediction of forest resources and to verify effectiveness and the limit of this method at a small mountain village in Tottori Prefecture. The results of this paper were presented to the forestry-interested party of the local area, and some points in which they differed from the actualities were pointed out but the results of the paper are more useful for the long-term future prediction of the man-made forest resources. It is considered that these results of this method can give a useful suggestion about the ideal way for the management of forest resources in the future.

(Received 30 June 2000)

Key words: Markov Process, Gentan probability theory, forest resources future prediction

緒 言

森林資源の内容と動向は山村地域の住民や経済活動に重要な影響を及ぼすものであり、その将来予測は極めて重要なものである。個別林家の森林資源に関する将来予測は比較的容易といえるが、個別経営の集合としての地域全体の森林資源の将来動向を予測することは必ずしも容易ではない。

このことは経済分析における集計の問題とも似ている。つまり巨視的分析と微視的分析の関連は、個別主体の行

動から集計量の間で成立する行動様式への集計という操作を通過する。集計的な関係は個別の経済主体の行動の結果であるとし、集計量の背後に入ってそれが個別の行動からいかにして得られるかについて考察するものであるが、両者の乖離が従来から問題にされてきた。

森林資源についても、同様に、個別林家の植伐動向を地域全体で集計すれば個別林家の集合である地域全体の森林資源の予測につながるようになるはずであるが、この作業は決して容易ではない。また個別林家の行動様式はすべてが経済合理性にもとづくとは限らない点もこの

ことを困難なものにしている。これを克服するものとして、地域全体の森林資源の将来予測に確率的な方法を導入したものが減反率の理論である。

この理論は確率過程論のなかのマルコフ過程(Markov Process)を応用したものである。マルコフ過程では各系列の値が独立確率変数ではなく互いに自己相関するものとし、ある時点以降の状態はその時点の状態のみによって決定され、それ以前の状態には無関係であるという考え方を導入する。これは偶然性を伴う非決定論な現象を時間の関数として扱う確率過程論が推計学における時系列論を構成しているために行われた試みともいえる。

智頭町の森林現況

本稿では鳥取県八頭郡智頭町の民有人工林を事例として減反率法に関するケーススタディを行いその有効性を検討するが、智頭町の森林資源の将来における構造を正確に予測し森林行政に直接役立てることを目的とするものではない。本稿は減反率法を適用した場合にいかなる結果が出るかを検討してその問題点を明確にし、減反率法の有効性と限界について検証することを主な目的としている。

始めに、事例として取り上げた智頭町の森林について概観しておきたい。1999年度鳥取県林業統計によれば智頭町の総土地面積22,461ha、総林野面積20,877haで林野率が92.9%に達している。民有林野面積は17,230ha(蓄積: 250.0m³/ha)、うち人工林13,523ha(蓄積: 287.8m³/ha)、天然林3,466ha(蓄積: 120.1m³/ha)、竹林38ha、伐採跡地8ha、未立木地189ha、除地6haとなっている。人工林率は78.5%で鳥取県下でも最高位にある。ちなみに鳥取県全域の民有林人工林率は53.7%、わが国全域の民有林人工林率は46.0%、蓄積は201.2m³/haである。智頭町の森林資源は充実しており、いわゆる智頭林業地の中心部分を形成している。第1表に針葉樹人工林の概要を示した。

第1表 智頭町民有人工林の現況(針葉樹)

樹種	面積	総蓄積	平均蓄積
総数	13,785	3,987,140	289.2
スギ	8,704	2,969,717	341.2
ヒノキ	4,637	915,997	132.8
マツ	432	98,049	227.0
その他	13	3,377	259.8

注) 単位: 面積: ha, 総蓄積: m³, 平均蓄積: m³/ha
平成11年度鳥取県林業統計(鳥取県農林水産部: 平成12年3月)

第1表に示すとおり人工林に占めるスギの割合が63%と圧倒的に高い。歴史的に見て明治期より天然スギによる赤挿苗が試みられたが、これがいわゆる沖の山スギとして大々的に普及した。藩政時代から明治期にかけて地方の建築材や樽丸材を主として生産してきたが、従来の千代川筏流から鉄道やトラックによる陸路輸送への転換が進むとともに樽丸生産から電柱材さらには一般用材の生産へと展開し、近年では長伐期大径優良材生産を目標に桁丸太の生産も行われている[1]。

当町の場合も全国的な動向と同様に、材価の長期低迷と労働力不足などで近年は主伐面積が縮小し、間伐による収穫の確保が中心となっていて長伐期化の方向にある。つまり、次節で述べる保存率曲線の右シフトが着実に進行している状況にある。したがって減反率法の適用が難しい環境となっているが、当地の主力樹種でありスギ人工林に限定して減反率法によって森林資源の将来予測を試みて減反率法の有効性と限界を検討する。

減反率法に関する予備的検討

ここで減反率法の理論について若干の予備的検討をしておきたい。ある分期に植栽された林分がちょうどj齢級で伐採される確率をj齢級の減反率と呼び $q(j)$ と定義する。よって新植された林分がj齢級までに伐採されずに残存している確率は、

$$1 - q(1) - q(2) - q(3) - q(4) - \dots - q(j-1)$$

で表される。これをj齢級の保存率という。

したがって、現在j齢級の森林が第1分期に伐採される確率 $q(j,1)$ は、以下に示すように保存率のうちの減反率となる。これをj齢級の森林に関する第1分期の減反率という。

$$q(j,1) = q(j) / [1 - q(1) - q(2) - \dots - q(j-1)]$$

同様にすでにj齢級の森林に関する第k分期の減反率は以下ようになる。

$$q(j,k) = q(j+k-1) / [1 - q(1) - q(2) - \dots - q(j-1)]$$

この減反率を使用して伐採面積および保続面積を計算し、これによって将来の各分期における伐採面積、伐採材積と林分蓄積を齢級別に予測する方法が減反率法の基本的考え方である。この方法は地域森林計画の樹立においても使用されていて広く実用に供されている。

減反率は、森林が植栽されてから伐採されるまでの1種の待ち時間に関する確率とも考えられる。鈴木は簡単な仮定を使用して森林の寿命がt齢級となる確率が、

$$F_M(t) = e^{-m(t)} M^{-1} \cdot m / (M-1)!$$

となることを導いた[8]。ここで計画対象地の平均伐採齢 $E(t)$ と伐採齢分散 $\sigma^2(t)$ は、

$$E(t) = M/m$$

$$\sigma^2(t) = M/m^2$$

によって求められる。

減反率 $q(t)$ は林分の寿命が j 齢級と $j+1$ 齢級の間にある確率であるから、次式で求められる[8]。

$$q(j) = \int_j^{j+1} F_m(t) dt$$

この積分は

$$M = n/2, mt = \chi^2/2$$

とおくと自由度 n の χ^2 分布であって、 χ^2 分布表を使用して計算できる。

本稿では、 $\bar{t} = M/m$ 、 $\sigma^2 = M/m^2$ として自由度 $2M$ の χ^2 分布表を使用し減反率曲線を描き、グラフの横軸を $2m$ ずつに分割し $2m(j)$ と $2m(j+1)$ の2点における縦軸の差が j 齢級の減反率 $q(j)$ となるとして計算した[4]。

減反率の推定

減反率法の適用においては、減反率の推定が重要な問題となる。一般に減反率の計算では伐採齢と平均と分散を求めるのに1分期間の齢級別伐採面積の値を使用している。これが可能となるのは毎分期間の伐採面積が概ね均等であるということをも前提としているが、現実には各分期間の植伐面積の変動が見られる[5,6]。このことを前提として計算した減反率の推定は誤差が大きくなり、減反率法による森林資源の将来予測を不確かなものとしている。これを回避する1つの方法として標本減反率を時間打ち切り標本として捉え、伐採齢の平均と分散を推定する方法等が提案されている[7]。本稿では従来の方法を踏襲し、減反率法を適用した森林資源の予測における問題点を検討した。

照査法によって把握した鳥取県全域の齢級別伐採面積を第1表に示した。8~9齢級に1つの小さいピークが認められ、12~15齢級に大きなピークがあってこの時期に伐採が集中していることが分かる。平均伐採齢と伐採齢分散ならびに χ^2 分布から減反曲線を導出するためのパラメータ m 、 M は以下のとおりである。

なお、平均伐採齢と伐採齢分散の計算においては必ずしも齢級別の実伐採面積を必要としない。総伐採面積に占める齢級別伐採面積の比率に関する情報すなわちウエイトが明らかになれば十分である。

$$\text{平均伐採齢 } \bar{t} = 12.8301$$

$$\text{伐採齢分散 } \sigma^2 = 7.2269$$

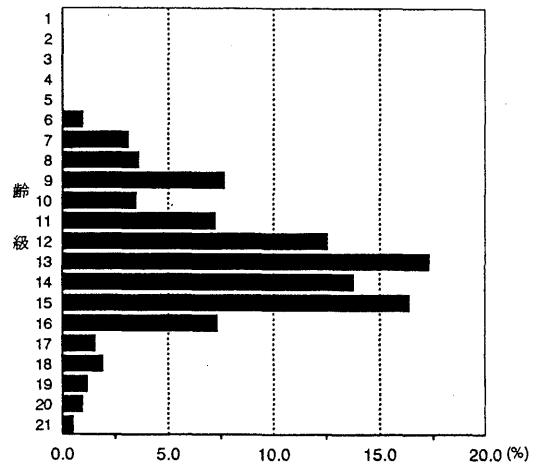
$$m = 1.7753$$

$$M = 22.7779$$

第2表 齢級別平均伐採面積

齢級	平均伐採面積	伐採面積比	対象面積
1	0.0	0.0	2,311
2	0.0	0.0	5,880
3	0.0	0.0	7,759
4	9.2	4.1	10,264
5	1.0	0.4	15,621
6	0.0	0.0	18,850
7	0.8	0.4	21,594
8	15.2	6.8	16,905
9	14.6	6.5	6,360
10	1.0	0.4	2,769
11	0.0	0.0	1,824
12	48.6	21.7	1,497
13	24.0	10.7	1,349
14	31.4	14.0	1,328
15	61.6	27.5	875
16	11.0	4.9	1,077
17	0.0	0.0	684
18	1.2	0.5	281
19	2.8	1.3	145
20	1.4	0.6	72
21以上	0.0	0.0	122
合計	223.8	100.0	117,567

注)単位:面積:ha,面積比:%
伐採照査データ(鳥取県1992~1996年人工林針葉樹:
鳥取県林務課資料による)



第1図 伐採齢の分布

八頭地方農林振興局や智頭町役場における諸資料、林家に対する聞き取り調査の結果等を突き合わせても智頭町スギ林に関する齢級別の伐採面積の実績を把握することは容易ではないが、齢級別の伐採面積の比率についてはある程度把握できる。第1図は1993~1997年における齢級別伐採面積の比率を示したものである。実面積ではないので信憑性は十分確保できたと考える。

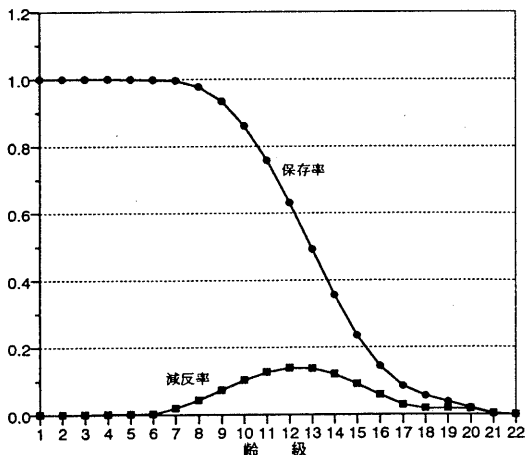
これをもとにして計算すれば以下ようになる。

平均伐採齢 $\bar{t}=12.9083$
 伐採齢分散 $\sigma^2=7.9393$
 $m=1.6259$
 $M=20.9873$

次に、 $n=2M=41.9746 \div 42$ から自由度42の χ^2 分布を利用し、このグラフ上の横軸に $2m=3.2581$ の間隔で点を取り、この各点から垂線を立ててこれとグラフの交点の縦軸に関する値が各年齢における保存率となるが、グラフ上でこの値を正確に把握するのは易ではない[3]。そのため本稿では便宜的に χ^2 分布曲線に対して8次の回

第3表 年齢別保存率と減反率

年齢	保存率	減反率
1	1.000	0.000
2	1.000	0.000
3	1.000	0.000
4	1.000	0.001
5	0.999	0.001
6	0.998	0.002
7	0.996	0.019
8	0.977	0.043
9	0.934	0.073
10	0.861	0.103
11	0.758	0.127
12	0.631	0.139
13	0.492	0.137
14	0.355	0.120
15	0.235	0.091
16	0.144	0.059
17	0.085	0.029
18	0.056	0.018
19	0.038	0.018
20	0.020	0.017
21以上	0.003	0.003



第2図 保存率と減反率

帰式を当てはめ(相関係数 $r^2=0.999948$,自由度調整済み相関係数 $=0.999911$, y 評価値の標準誤差 $=0.004195$), $2m$ の倍数に相当する値を代入して各年齢に対応する保存率を計算し、これをもとに減反率を計算した。この結果を第3表に示した。さらにこれを図示したのが第2図である。

減反率法による森林資源の予測

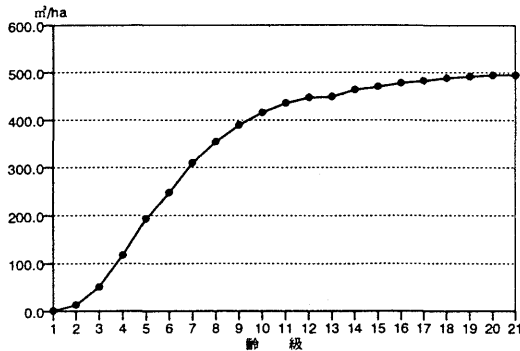
当町の森林資源の把握には鳥取県農林水産部林務課による人工林施業方法別・制普別・伐採方法別森林資源構成表(平成7年度調査,平成8年度発表)を使用した。この表には、町村別、樹種別、年齢別、制普別(制限林と普通林の略)、施業方法別(単層林と複層林)の面積、蓄積、成長量が記載されており、市町村段階における森林資源を把握するのに信憑性の高いものと考えられる。

第4表はこの資源構成表から抜粋した智頭町の民有人工林(スギ)の年齢別面積・蓄積および成長量を示したものである。第3図に単位面積当りの蓄積量を示した。第4図は第4表をもとにして計画初期の年齢別森林面積を図示したものである。当町の場合も全国的傾向と同じく7~9年齢の林分が多い。第4表に示した森林資源を計画の初期条件とし、計画期間を20分期(1分期=5年)として分期の推移に伴ったこの森林資源の動態を次に検討する。

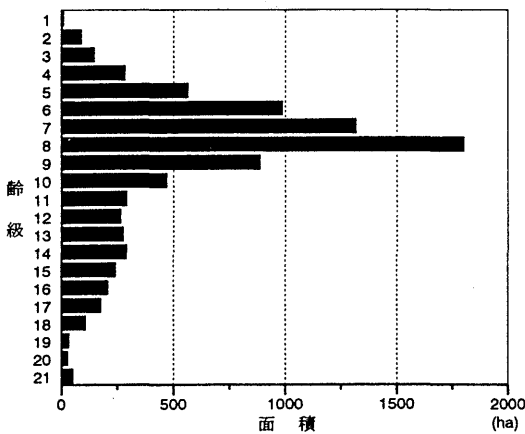
第4表 年齢別面積・蓄積・成長量

年齢	面積	蓄積	成長量
1	13.3	17	2
2	94.0	1,259	373
3	151.0	7,637	1,644
4	286.2	33,668	4,627
5	566.7	109,561	8,501
6	991.0	245,535	12,508
7	1,320.9	408,934	14,473
8	1,805.1	640,364	15,431
9	891.2	347,251	5,743
10	472.8	196,719	2,187
11	293.0	127,639	930
12	267.3	119,517	529
13	278.3	124,907	448
14	292.9	135,730	423
15	245.2	115,338	323
16	212.2	101,393	225
17	181.0	87,305	165
18	112.0	54,703	78
19	37.3	18,348	23
20	31.6	15,621	13
21以上	54.8	27,101	18
合計	8,597.7	2,918,547	68,664

注)単位;面積:ha,蓄積: m^3 ,成長量: m^3
 人工林施業方法別・制普別・伐採方法別森林資源構成表
 (平成8年度鳥取県農林水産部林務課資料)による。



第3図 齢級別平均蓄積



第4図 齢級別森林面積(計画初期)

当町は森林資源の成熟化が比較的速く進んだため人工林率が高く拡大造林の余地は小さい。最近の実績では3~5ha/年であるので、本稿では計画期間全体を通じて1分期間における拡大造林面積を10haと仮定し、計画前期からの繰越面積も10haと仮定した。また間伐は考慮外としたが、現実には主伐が少なく間伐が多い状況となっている。本稿はあくまで減反率法の適用によって森林資源の推移を予測し、減反率法適用の問題点の検討を主目的としたのでこのように仮定した。

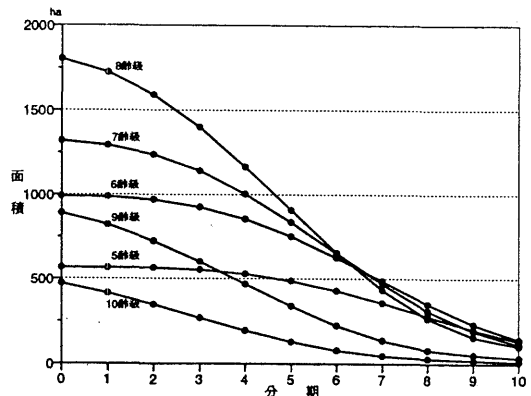
結果と検討

第5図は計画初期に存在する5~10齢級の林分が計画分期の進行とともに減少していく状況を示したものである。すでに第2図に示したとおり減反率は10~14齢級で大きくなっているため、この齢級の近傍の齢級に属しかつ比較的面積の大きい林分が面積が速い割合で進行するのは

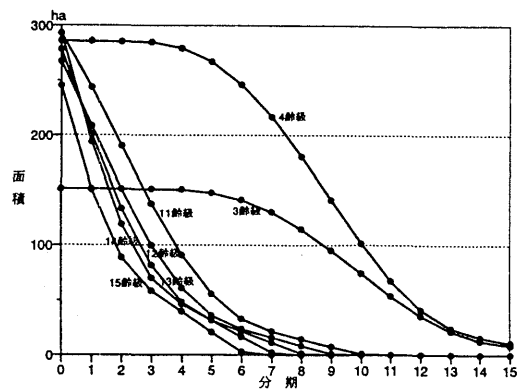
当然といえる。7・8齢級の林分がこれに相当する。何れにせよ計画当初に存在した5~10齢級の林分は、減少のパターンは違うものの10分期末に殆ど伐採され、消滅して新生林分に置換されてゆくことになる。

同様に、図6に計画初期に存在する3・4齢級と11~14齢級の林分が計画分期の進行とともに伐採され消滅していく状況を示した。3・4齢級の林分は当然ながら4~5分期が経過するまではそのまま維持されるが、11齢級以上の林分は急速に面積が減少し10分期末までに完全に伐採され尽くされて消滅し新生林分に置換される。この置換の状況如何が当町森林資源の将来構造を決定づけることになる。

第5表は4~10分期末における齢級別森林面積を具体的に示したものである。減反率法では、その理論的特徴から、減反率が安定しかつ植伐が円滑に実行されれば時間の推移にしたがって齢級構成が安定した状態に誘導されていくことになるが、この状況が第5表である程度確認



第5図 齢級別森林面積の推移(6~10齢級)



第6図 齢級別森林面積の推移(3・4, 11~14齢級)

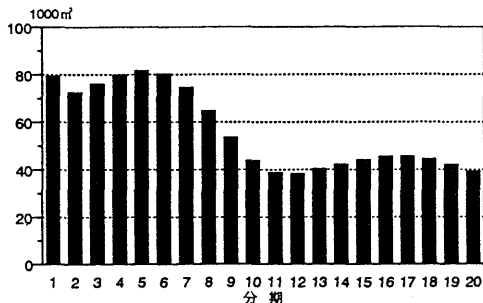
第5表 齢級別森林面積の推移

齢級	4分期首	6分期首	8分期首	10分期首
1	869.1	928.5	865.7	651.8
2	870.0	906.9	918.9	769.3
3	558.3	869.1	928.5	865.7
4	13.3	870.0	906.9	918.9
5	93.9	557.8	868.2	927.6
6	150.7	13.3	868.3	905.1
7	285.1	93.6	556.1	865.6
8	554.2	147.5	13.0	850.1
9	927.4	267.3	87.8	522.1
10	1,141.9	488.4	130.0	11.5
11	1,400.5	752.7	216.9	71.3
12	602.1	836.8	357.9	95.3
13	270.2	909.0	488.5	140.8
14	137.2	338.7	470.8	201.4
15	99.5	129.0	434.2	233.4
16	81.5	55.7	137.4	191.0
17	70.1	36.0	46.7	157.0
18	58.4	31.7	21.6	53.4
19	56.0	31.4	16.1	20.9
20	42.6	20.9	11.3	7.7
21以上	6.0	4.4	2.5	1.3
合計	8,288.0	8,288.8	8,347.4	8,460.8

注)単位: ha

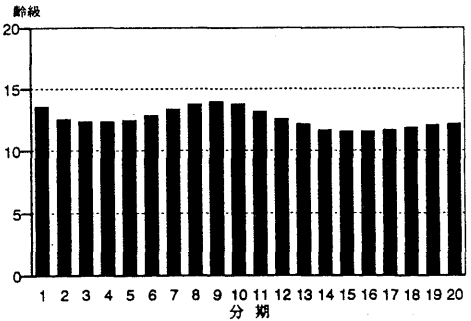
できる。計算によれば計画初期に存在する林分が概ね伐採され消滅して新生林分に置換される21分期末以降にこの安定状態が形成されるが、これまでに約100年という超長期のスパンを要する。

第7図は年平均収穫材積の推移を1~20分期期について示したものである。これによれば収穫材積は5分期後に最高に達しその後減少傾向に転じ11分期で最低になるが、再度上昇傾向に転じて17分期に2回目の小さいピークを迎えその後徐々に安定することになる。安定後の年平均収穫材積は約40,000m³で推移していくことになる。後で示す第9図からも分かる通り17分期首における当町スギ林の総蓄積量は約260万8,500m³と計算される。したがって年1.53%の収穫材積率となって総蓄積は徐々に増加していく計算になる。

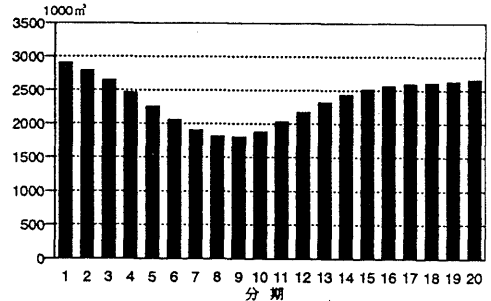


第7図 年平均収穫材積の推移

平均伐採齢の推移を第8図に示した。平均伐採齢は伐採面積をウエイトして齢級を加重平均した値である。5分期までは若干の低下傾向を示して12.5齢級にまで低下するが、その後上昇傾向を示して9分期でピークの14.0齢級に達し、その後また低下傾向を示して15分期で11.6齢級にまで低下する。再度上昇して20分期には12.2齢級になり、以後緩やかに安定する計算になる。



第8図 平均伐採齢の推移



第9図 総蓄積の推移

第9図は1~20分期の期首における総蓄積の推移を示したものである。従来の伐採性向が維持され保存率が変わらずに推移すれば、総蓄積は1~8分期にかけて緩やかな減少傾向を示し、9分期首で最低レベルの181万7,500m³にまで低下する。その後増加傾向に転じ徐々に安定レベルに達する。16~17分期期において安定した後の総蓄積は約270万m³で推移していく計算になる。この時点における総面積は約8,550haと推定されるため、平均蓄積は316m³/haとなって計画初期の304m³/haと比較して森林資源は若干充実する計算になる。

齢級別蓄積の推移を5~20分期の期首について5分期毎に示したものが第6表である。計画初期において大面積を持つ6~9齢級林分の動向が齢級別蓄積の推移に大きく影響するのは当然であるが、分期の進行に伴って徐々にその影響が小さくなり、蓄積が各齢級に均等に分配されていくことが分かる。第10図~第13図は計画初期の1,4,

第6表 齢級別蓄積の推移

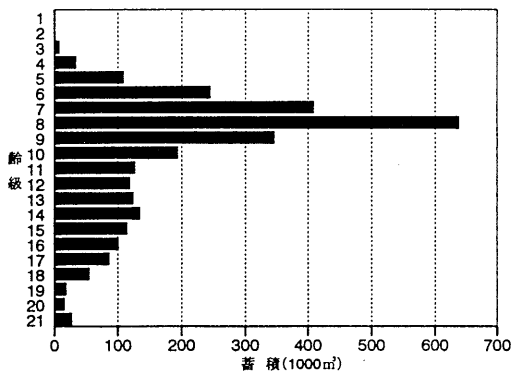
齢級	5分期首	10分期首	15分期首	20分期首
1	0.9	0.7	0.5	0.5
2	11.3	10.0	6.2	6.9
3	44.4	44.1	23.3	27.7
4	65.9	108.4	56.0	63.6
5	2.6	1479.0	104.8	100.6
6	23.3	224.5	161.3	123.4
7	46.6	268.3	237.5	146.1
8	99.0	300.9	299.4	158.0
9	206.1	203.1	334.2	172.8
10	351.4	4.7	330.8	193.6
11	438.3	31.1	307.5	220.9
12	521.1	42.6	263.7	233.4
13	210.8	63.2	228.3	227.2
14	90.3	93.2	130.4	214.6
15	42.7	109.7	1.5	193.7
16	29.2	91.3	6.5	174.9
17	23.2	75.7	6.2	159.0
18	22.6	26.1	7.8	156.8
19	19.5	10.3	10.6	99.4
20	14.6	3.8	9.8	0.1
21以上	3.2	0.6	2.0	0.1
合計	2,266.7	1,891.4	2,528.2	2,673.4

注)単位：1,000m²

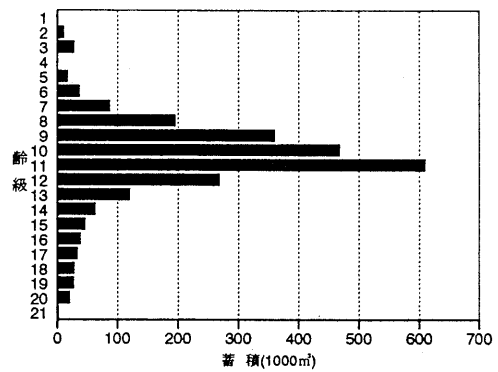
6および8分期の期首における齢級別蓄積の状況を示したものである。分期の進行にしたがって対称分布が崩れ、8～10分期を経過する辺りで中間齢級の抜けた双峰型の非対称分布となる。計算によれば、20分期を経過する時点になると1～5齢級の蓄積は少ないものの5～20齢級に亘たる一応分布の形になってゆく。

智頭町スギの場合、伐採の大部分は間伐となっている。間伐面積を見ると1997年度129ha、1998年度161ha、1999年度208haとなっていて、間伐の実績は着実に上がっているが皆伐は極く少ないのが現状である。智頭町森林組合での聞き取り調査でも「主伐を計画的に実行することは殆どなく、間伐は補助金が支給される場合に実行するというのが森林所有者の平均的な行動パターンである」という回答であった。かかる事情から、最近の齢級別伐採面積を把握することは容易ではなかった。

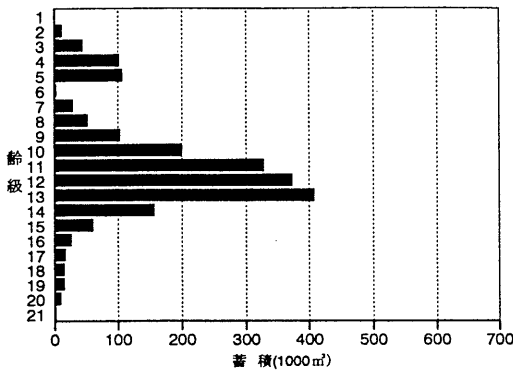
このような事情から、過去の伐採の実績から保存率曲線を導き減反率を計算し、この減反率にしたがって森林の植伐が継続的に安定して繰り返されていくことを前提とした減反率法の適用には厳しい環境にあったことは否めない。



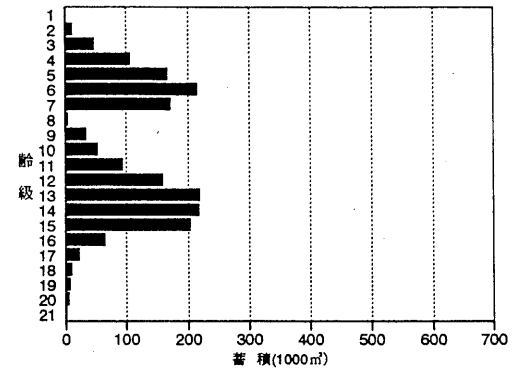
第10図 齢級別蓄積(1分期首)



第11図 齢級別蓄積(4分期首)



第12図 齢級別蓄積(6分期首)



第13図 齢級別蓄積(8分期首)

本稿は幾つかの大胆な仮定を置いて計算したものである。この仮定を説明したうえで計算結果を地元の林業関係者に提示したところ、興味は示したものの大方の賛同は得られなかったことを明記しておきたい。本稿で示した森林資源の将来予測の結果は、必ずしも現実に即応していない点は認めざるを得ないが、この結果はあくまで減反率の理論を適用した場合にはこのような結果になるということの意味するものである。

減反率法の理論が革新的といえるのは、従来の決定論的なモデルから確率論的なモデルに置き換えたことであつたとしてその評価も高いが[2]、現在のように林業が長期低迷に陥り、植伐活動が異常な低レベルで長く続いている場合においては減反率法による森林資源の将来予測に誤差が生じるのはむしろ当然といえよう。これは決してこの理論の欠点ではない。

謝 辞

本稿の作成にあたり諸資料の提供にご協力頂いた鳥取県八頭地方農林振興局林業振興課の岸田淳氏、智頭町役場産業課の小坂明彦氏ならびに鳥取県農林水産部林務課の方々に謝意を表す。

引用文献

- 1) 智頭町・智頭町森林組合：智頭林業。智頭町森林組合・智頭町役場，鳥取(1995)pp.2-5
- 2) ピータブランドン：イギリス人が見た日本林業の将来。築地書館，東京(1996)pp.32-56
- 3) 森林計画制度研究会：新版森林計画の実務。地球社，東京(1992)pp.142-145
- 4) 鈴木太七：森林経理学。朝倉書店，東京(1979)pp.124-131
- 5) 高橋護：スギ人工林の伐採性向について(I)－山形県民有林における地利級別減反率の推定－。日林東北支誌，43:202-203(1991)
- 6) 高橋護：スギ人工林の伐採性向について(II)－山形県民有林における時系列変化－。日林東北支誌，42:73-75(1990)
- 7) 田中和博：時間打ち切り標本からの減反率の推定について。日林論集，90:123-124(1979)
- 8) 田中和博：森林計画学入門。森林計画学会出版局，東京(1996)pp.100-105