

論 文

森林の動態に関する研究 (IV) — 京都大学北海道演習林の天然林成長率について —

竹内典之¹⁾・松下幸司¹⁾・川村 誠³⁾・枚田邦宏⁴⁾
古本浩望²⁾・佐藤修一²⁾・高橋絵里奈¹⁾・寺尾紀彦¹⁾・田口 標¹⁾

Studies on Dynamics of Natural Forest (IV) — Growth Rate of Natural Forests of Kyoto University Forests in Hokkaido —

Michiyuki TAKEUCHI¹⁾, Koji MATSUSHITA¹⁾, Makoto KAWAMURA³⁾, Kunihiro HIRATA⁴⁾
Hiromochi FURUMOTO²⁾, Shuichi SATO²⁾, Erina TAKAHASHI¹⁾,
Norihiko TERAO¹⁾ and Kozue TAGUCHI¹⁾

京都大学北海道演習林白糠区固定プロット14箇所計2.8haについて、1976年の設定時から1997年の第5回測定時にかけての21年間の成長率の平均と分布を検討した。その結果、haあたり平均蓄積は261.4m³から299.2m³へと増加しており、プレスラー式による成長率は0.6%であった。これは、京都大学北海道演習林長期施肥計画第一次計画において白糠区天然林成長率の暫定値として採用されている1.0%よりも低い数値である。針広別の成長率は、トドマツ成長率のプロット平均が1.5%に対し、広葉樹成長率は0.0%であった。つまり、広葉樹については成長が観察されず、トドマツの成長度合いに全体の成長率が左右されていることがわかった。広葉樹については、成長率に関するファジィメンバシップ関数の検討を行った。広葉樹の成長率を林班別に検討した結果、6林班については「ほとんどゼロである」(平均0.0%)、4林班については「ある程度の成長が見込まれる」(平均0.4%)、8林班は「変化の幅が大きく、全体にマイナス成長が見込まれる」(平均-0.6%)との総合評価を行い、それぞれのメンバシップ関数を例示した。

キーワード：北海道、天然林、成長率、ファジィ、メンバシップ関数

The average and distribution of annual growth rate of natural forests of Kyoto University Forests in Hokkaido (Shiranuka District) were analyzed using the continuous inventory on 14 permanent plots with a total area of 2.8ha. Average volume per ha changed from 261.4m³ in 1976 to 299.2m³ in 1997 and the annual growth of 0.6% rate was calculated by Pressler Method. The rate was less than 1.0% which was temporally used as the annual growth rate for natural forests in the Long-Term Forest Management Plan of Kyoto University Forests in Hokkaido (1987-1996). The annual growth rate classified by forest type was 1.5% for coniferous trees (*Abies sachalinensis*) and 0.0% for broad-leaved trees, respectively. Namely, the total growth rate mainly depends on the presence of *Abies sachalinensis*. For broad-leaved trees, the characteristics of the growth rate were analyzed. As an overall estimation, it was shown that the growth rate is approximately zero in Compartment 6 (average = 0.0%), some degree of growth will be probable in Compartment 4 (average = 0.4%), and minus growth will be probable with a large bias in Compartment 8 (average = -0.6%). In these estimations, fuzzy membership functions are exemplified.

Key words: Hokkaido, natural forest, growth rate, fuzzy, membership function

はじめに

森林計画の樹立にあつては、保続表という形で、将来蓄積の推移を表示することが多い。人工林の将来蓄積を計算する場合は、材積表を用いることができる。都道府県林務部局が管理する森林簿の場合、簡易材積表がコン

ピュータのなかに組み込まれており、地域・樹種・林齢・地位より材積が自動的に計算される。森林簿では、広葉樹林についても、簡易材積表より材積が自動計算される^{注1)}。しかし、林齢がはっきりしない天然林の材積については計算方法は定かではない。一つの方法は、現有蓄積をもとに一定の成長率を乗ずることであろう。京

1) 京都大学農学研究科 Graduate School of Agriculture, Kyoto University
2) 京都大学北海道演習林 University Forests in Hokkaido, Kyoto University
3) 鳥取大学農学部 Faculty of Agriculture, Tottori University
4) 鹿児島大学農学部 Faculty of Agriculture, Kagoshima University

都大学の『北海道演習林長期施業計画（第1次計画期間、1987-1996年）』ではこの方式が採用され、標茶区では0.5%、白糠区では1.0%という数値が用いられている。同計画は、「現在得られている生長量調査資料の精度には問題が多く、この生長率はあくまで暫定的な値であるので、今後の資料の積み重ねによって確かな生長率をもとめ、生長量の修正を行うこととする」と記されている。本論文では設定後約20年を経過した固定プロットの成長率を検討し、今後の道東天然林の森林計画樹立に資するものである。

京都大学北海道演習林白糠区の天然林には、1975年から1978年にかけて固定プロットが設けられ、以後、継続的な調査が行われてきた。これらのプロットは、天然林

の蓄積調査を主目的として設定されたもので、1997年に第5回測定を実施した。白糠区の固定プロットは0.2ha (40m × 50m) プロット15個 (S4-1 ~ S4-9, S6-1 ~ S6-3, S8-1 ~ S8-3) 及び0.5ha (50m × 100m) プロット3個 (K4-1 ~ K4-3) からなる (括弧内はプロット番号、S及びKの次の数字が林班番号、ハイフンの後が林班内連番を示す)。1997年には全18プロットの調査を実施した。これら白糠区天然林の動態については、第3回測定時での成果を和田ほか (1988, 1989, 1990) で、第4回測定時での成果を和田ほか (1993) で公表した。0.2ha プロットと0.5ha プロットでは、面積及び調査項目が異なるため、本論文では0.2ha プロットについてのみ述べる。本論文の構成は、まずプロット及び調査の概

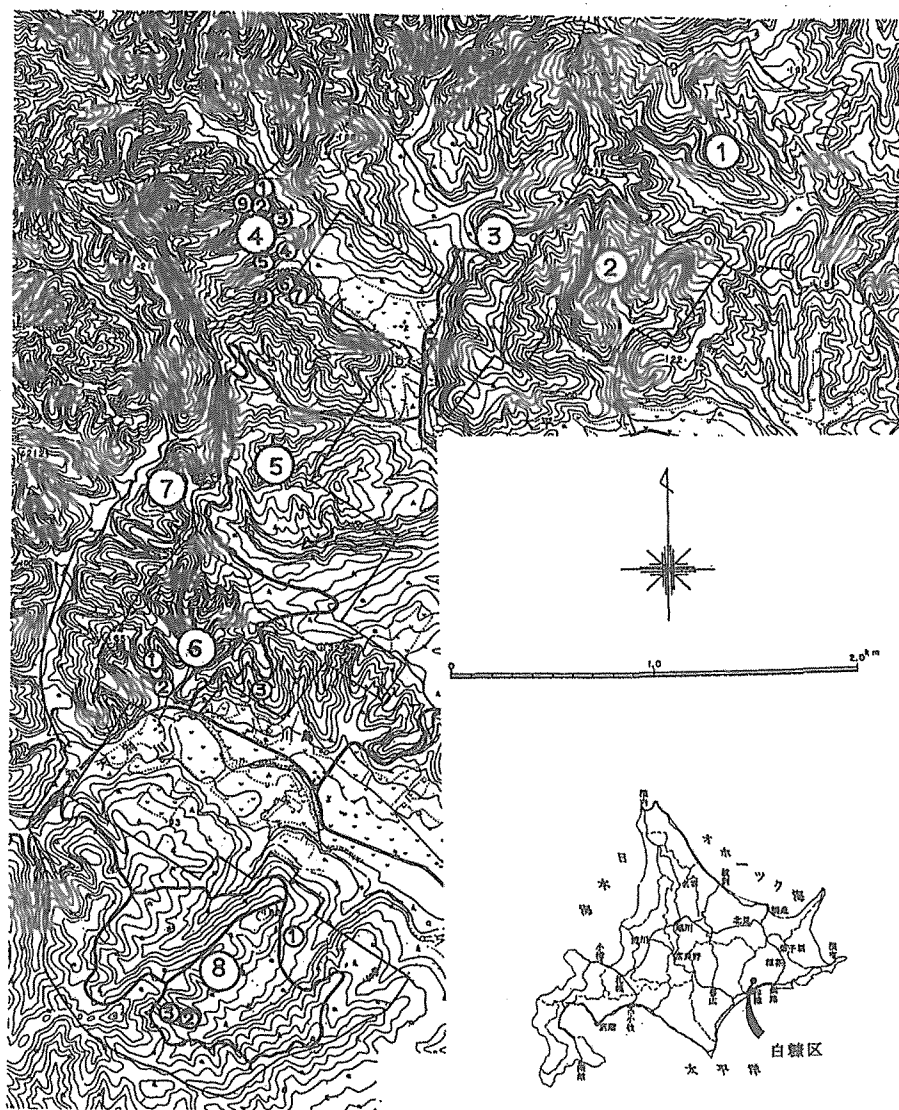


図-1. プロット位置

Figure 1 Location of plots

注：大きな○内の数字は林班番号を示し、小さな○内の数字は林班内プロット番号を示す。

Note: ○(large) = Number of compartment, ○(small) = Plot number

表-1. 樹高曲線式及び材積曲線式
Table 1 Height curve and curve of estimated volume

樹種区分 Species	a ₁	a ₂	b ₁	b ₂	b ₃
トドマツ <i>Abies sachalinensis</i>	1.4351	0.1739	-4.118050	1.952183	0.830404
ヤチダモ <i>Fraxinus mandshurica</i> var. <i>japonica</i>	1.1076	0.1894	-4.192571	2.026058	0.773508
広葉樹 Broad-laeved trees (L-2)	1.0750	0.2021	-4.275876	1.954105	0.922684
広葉樹 Broad-laeved trees (L-3)	0.8204	0.2175	-4.186137	1.981394	0.813849
広葉樹 Broad-laeved trees (L-4)	1.1148	0.2202	-4.119291	2.074820	0.633782

資料：和田ほか(1982,1984)。

注：樹高曲線式(Height Curve)

$$H = (D / (a_1 + a_2 \cdot D))^2$$

材積曲線式(Curve of estimated volume)

$$\text{Log } V = b_1 + b_2 \cdot \text{Log } D + b_3 \cdot \text{Log } H$$

要を述べ、次に第5回測定による主な結果を示す。その上で、成長率に関する検討を行う。得られた成長率に関する諸数値は、曖昧さを伴っている。京都大学北海道演習林の場合は、プロット数も少なければ測定期間もようやく20年に達したばかりである。曖昧さに関連して、ファジィ理論研究において使用されるメンバシップ関数に注目し、成長率のメンバシップ関数表示を検討する。

第5回調査の概要

1. プロットの概要

白糠区固定プロット(本論文では0.2haプロットのみを示す、以下説明略)の位置は図-1に示すとおりである。第1回測定は1976年、第2回測定は1980年、第3回測定は1987年(S4-2, S4-8, S8-2, S8-3)及び1988年(S4-1, S4-3, S4-4, S4-5, S4-6, S4-7, S4-9, S6-1, S6-2, S6-3, S8-1, S8-4)、第4回測定は1992年、第5回測定は1997年に実施した。プロットは当初17箇所設置されていたが、林道開設及び伐採により、S6-4を1980年に廃止、S8-4を1992年に廃止、S6-3を1980年に面積縮小した(S6-3のみ面積が0.1ha)。その結果、現在では15プロットとなっており、4林班に9箇所、6林班及び8林班に各3箇所設置されている。本論文で扱うのは、1980年に面積を縮小したS6-3を除く14箇所の0.2haプロットである。調査対象木は胸高直径6cm以上で、調査項目は樹種名及び胸高直径である。第1回測定及び第2回測定では輪尺を用いて山側一方差しによる2cm括約の直径測定を行った。第3回~第5回測定では、直径巻尺を用いて1mm単位で測定を行った。第1回~第2回測定の結果を含め全調査結果を統一的に扱うため、第3回~第5回測定結果については2cm括約データに変換し、分析を行う。材積計算にあたっては、北海道演習林の業務上の利用形態による樹種区分を行い、区分ごとに

樹高曲線式及び材積曲線式をあてはめた。和田ほか(1982, 1984)による両曲線式は、表-1に示すとおりである。

固定プロット調査も5回の測定を行うと直径成長の相互矛盾も観察された。特に第2回測定と第3回測定では輪尺と直径巻尺という測定器具の違いもあり問題がみられた。第1回調査及び第2回調査で6cmとされていたものが、第3回調査では6cm未満と計測されたものが35本みられたが(何れも5~6cm)、これらについては6cmとして扱った。また、6cm未満を進界木扱いしているものが54本みられたが、6cm未満の進界木は集計から除外している。また、本論文では1980年に面積縮小を行ったS6-3を集計から除外している。このため、本論文の集計結果には、これまでの公表結果と異なる部分があることを断っておく。なお、5回の測定結果のなかには、直径が小さくなったりする矛盾が発生しているが、本報告ではそのまま計算を行っている。

2. 本数及び平均直径の推移

プロット別針広別の本数、胸高断面積合計、平均直径、総材積の推移は表-2に示すとおりである。全14プロット中、S8-1及びS8-2は針葉樹がなく広葉樹のみのプロットである。また、S8-3もトドマツはわずかで、ほとんどが広葉樹のプロットである。プロットの平均的状況を見ると、haあたり総本数は、第1回測定及び第2回測定時には大きくは変わっておらず、何れも1,400本前後であった。第3回測定では1,283本、第4回測定では1,269本、第5回測定では1,190本と減少傾向を示している。第1回測定時点(1976)と第5回測定時点(1997)における針広別haあたり本数の変化をみると、トドマツの本数が増加したS4-3と、トドマツの本数が増加したS4-4を除くと、何れのプロットにおいても針葉樹・広葉樹とも本数が減少している。第5回

測定時のプロット別樹種別本数をみると、トドマツが29.2%を占め最も多い。残り7割が広葉樹であるが、最も多いのはアオダモの15.2%、以下、サワシバ9.0%、ミズナラ4.7%、ヤマモミジ4.1%、イタヤカエデ4.0%、シナノキ3.8%、ナナカマド3.3%、ハシドイ3.0%、ハウチワカエデ3.0%、ハルニレ2.9%、ダケカンバ2.6%、アサダ2.1%と続く。8林班のプロットにはトドマツがなく、S8-3にトドマツが1本あるのみである。

平均直径のプロット平均値をみると、第1回測定時の14.9cmが、第5回測定時には17.5cmと、2.9cmの増加である。プロット別に見ると、8林班のS8-2とS8-3以外はどれも直径は増加傾向に推移している。S8-2では16cm前後で横ばい、S8-3では設定時の21.0cmが第3回測定時に18.5cmとなり、以後、緩やかな上昇となっている。

haあたり断面積合計の推移をみると、第1回測定時の32.8m²が、第5回測定時には38.3m²へと5.5m²増加している。第1回測定時から第2回測定時、第2回測定時から第3回測定時にかけて、それぞれ2.2m²、2.3m²と同程度の断面積合計の増加が観察された。しかし、第3回測定時から第4回測定時にかけては、増加面積が1.1m²と半減し、第4回測定時から第5回測定時にかけては、0.1m²と若干ではあるが減少傾向を示した。針広別に断面積合計の推移をみると、トドマツは9.7m²、10.8m²、12.5m²、13.8m²と増加傾向を示しており、21年間の増加率は42%である。一方、広葉樹については、第4回測定時までには23.1m²、24.2m²、24.8m²、25.2m²と増加を続けてきたが、第5回測定時には24.6m²と第2回測定時及び第3回測定時の中間位のところまで低下している。第4回測定時から第5回測定時にかけての広葉樹断面積合計の減少は、14プロット中10プロットで生じており、特定のプロットでの減少が全体に影響を与えているものではない。なお、第3回測定時から第4回測定時にかけて広葉樹断面積合計が減少したプロットは4プロットのみであった。近年の断面積合計の減少により、21年間の広葉樹断面積合計の増加率は6%となり、これはトドマツに比べ低い。第4回測定時から第5回測定時にかけては、トドマツの断面積合計の増加より、広葉樹の断面積合計の減少のほうが大きかったため、全体としても断面積合計の減少となっている。

3. 進界及び枯損

プロット別の進界木・枯損木の本数は表-3に示すとおりである。全体の動向を合計欄からみえてみる。進界木の本数をみると、第1期（第1回測定から第2回測定の間、以下略）が205本、第2期（第2回測定から第3回

測定の間、同）が199本、第3期（第3回測定から第4回測定の間、同）が188本となっている。進界木の本数には若干の減少が観察されるものの、ほぼ200本と安定していた（総面積は2.8haなので、haあたり約70本）。しかし、第4期（第3回測定と第4回測定の間、以下略）には、96本と進界木の本数が半減している。総進界木本数は688本である（但し、21年間の間に進界木となりかつ期間中に枯損したものの183本を除くと、進界木本数は505本となる。このような分析期間中に進界し枯損したものの樹種はアオダモ38本、トドマツ28本、サワシバ17本、ダケカンバ13本が主なものである）。進界木688本の樹種別内訳をみると、2.0%以上を占めているのは、トドマツ20.2%、アオダモ15.0%、サワシバ11.3%、ミズナラ5.8%、シナノキ5.7%、ノリウツギ5.4%、ヤマモミジ3.5%、イタヤカエデ3.3%、ハシドイ3.2%、ケヤマハンノキ2.9%、ダケカンバ2.8%、ハウチワカエデ2.8%、ナナカマド2.6%、オオヤマザクラ2.0%の14種である。広葉樹については、北海道演習林で使用している業務上利用形態による区分では、区分L-2が19.5%、区分L-3が33.1%、区分L-4が26.7%となっている。進界木の2.0%以上を占める14樹種について第5回測定時の構成比率（本数比率）をみたところ、ノリウツギ（0.9%）、ケヤマハンノキ（1.2%）、オオヤマザクラ（1.1%）以外は、どれも構成比率においても2.0%以上を占めていた。ノリウツギを除くと、進界樹種と構成樹種に大きな違いはみられない。第5回測定時の構成比率と大きな違いがみられるのはトドマツで、29.6%の構成比率に対し、進界木比率は20.2%である。

枯損木については、第2期の543本と第4期の317本が多く、はっきりした経年的傾向が見られない。合計1,254本の樹種別内訳をみると、2.0%以上を占めているのは、アオダモ27.4%、トドマツ22.5%、サワシバ5.7%、キハダ4.2%、ナナカマド4.2%、ケヤマハンノキ4.1%、ダケカンバ3.5%、ハシドイ3.5%、シナノキ3.4%、ハルニレ2.8%、イタヤカエデ2.7%、オオヤマザクラ2.1%、ミズナラ2.0%の13種である。広葉樹の利用形態別区分では、区分L-2が14.2%、区分L-3が46.3%、区分L-4が16.9%である。枯損木の2.0%以上を占める13樹種について第5回測定時の構成比率をみたところ、キハダ（0.7%）、ケヤマハンノキ（1.2%）、オオヤマザクラ（1.1%）以外は、どれも構成比率においても2.0%以上を占めている。枯損木比率が第5回測定時の構成比率と大きな違いがみられるのはアオダモで、15.0%の構成比率に対し、枯損木比率は27.4%である。なお、枯損木の胸高直径階別比率は、6~8cmが53.9%、10~18cmが30.6%、20~28cmが7.7%、30~38cmが

表-2. プロット別本数、胸高断面積合計、平均直径、総材積
Table 2 Number of trees, basal area, average diameter and volume by plot

プロット 番号 Plot Number	調査年 Year of survey	haあたり本数 Number of trees per ha			胸高断面積(m ² /ha) basal area			平均直径(cm) Average Diameter			総材積(m ³ /ha) Volume		
		Total	計トドマツ ¹⁾ Broad- leaved trees	広葉樹 Broad- leaved trees	Total	計トドマツ ¹⁾ Broad- leaved trees	広葉樹 Broad- leaved trees	Total	計トドマツ ¹⁾ Broad- leaved trees	広葉樹 Broad- leaved trees	Total	計トドマツ ¹⁾ Broad- leaved trees	広葉樹 Broad- leaved trees
S4-1	1976	1,705	225	1,480	33.9	5.9	27.9	12.6	16.0	12.0	261.9	54.5	207.4
	1980	1,670	210	1,460	34.8	6.1	28.7	12.9	16.8	12.3	270.5	56.7	213.8
	1988	1,515	185	1,330	38.1	6.6	31.4	14.2	18.5	13.6	280.2	59.6	220.5
	1992	1,445	155	1,290	37.6	4.9	32.7	14.5	17.8	14.2	275.2	42.7	232.4
	1997	1,325	140	1,185	35.6	4.8	30.7	14.8	18.6	14.3	263.6	42.8	220.7
S4-2	1976	1,560	640	920	41.1	15.8	25.3	14.6	14.7	14.5	339.3	146.7	192.6
	1980	1,600	605	995	41.8	16.4	25.4	14.6	15.5	14.0	346.9	154.8	192.1
	1987	1,595	585	1,010	43.4	17.4	26.0	14.8	15.9	14.1	364.7	167.8	196.9
	1992	1,490	545	945	44.5	17.9	26.6	15.8	17.0	15.1	344.2	158.7	185.4
	1997	1,415	525	890	45.2	18.1	27.0	16.4	17.5	15.8	357.1	165.4	191.7
S4-3	1976	1,925	555	1,370	31.9	6.9	25.0	11.4	10.1	12.0	243.2	58.1	185.1
	1980	1,935	560	1,375	33.4	6.2	27.2	11.7	9.7	12.5	251.7	50.6	201.0
	1988	1,945	605	1,340	33.8	7.1	26.7	12.3	10.7	13.1	225.7	48.7	176.9
	1992	2,095	680	1,415	35.6	7.7	27.9	12.3	10.6	13.1	232.9	50.2	182.6
	1997	2,110	695	1,415	36.5	8.4	28.0	12.4	11.0	13.1	239.6	56.4	183.2
S4-4	1976	905	385	520	30.9	15.9	14.9	17.1	20.7	14.5	271.3	153.8	117.4
	1980	915	380	535	36.1	19.1	17.0	18.6	22.9	15.5	323.2	190.1	133.0
	1988	900	380	520	43.2	23.6	19.5	20.5	25.5	16.9	376.1	229.4	146.6
	1992	945	390	555	44.3	26.1	18.2	20.3	26.3	16.1	389.8	256.7	133.1
	1997	880	390	490	46.3	28.5	17.8	21.6	27.4	17.1	411.7	280.3	131.4
S4-5	1976	1,385	195	1,190	35.1	6.4	28.7	14.7	17.5	14.3	277.2	61.4	215.8
	1980	1,410	185	1,225	36.6	6.1	30.4	15.0	17.8	14.6	287.6	58.7	228.8
	1988	1,260	155	1,105	39.6	6.4	33.1	16.6	19.9	16.2	294.4	60.3	234.1
	1992	1,285	160	1,125	41.8	7.0	34.8	16.8	20.2	16.3	313.3	65.2	248.0
	1997	1,170	155	1,015	41.2	7.5	33.7	17.5	21.3	17.0	313.6	70.7	242.9
S4-6	1976	1,315	730	585	31.9	16.1	15.8	15.1	15.2	15.0	256.1	138.9	117.2
	1980	1,440	750	690	37.6	20.0	17.6	15.4	16.4	14.4	310.9	180.0	130.8
	1988	1,300	700	600	43.5	24.3	19.1	17.6	18.7	16.3	346.2	212.2	133.9
	1992	1,140	650	490	44.5	26.0	18.4	19.2	20.1	17.9	364.7	234.4	130.2
	1997	1,025	605	420	44.6	27.9	16.6	20.4	21.7	18.5	376.7	255.7	121.0
S4-7	1976	1,120	190	930	21.4	2.7	18.6	13.2	12.1	13.4	157.2	21.9	135.2
	1980	1,210	205	1,005	25.0	3.4	21.5	13.7	13.0	13.8	185.9	28.9	157.0
	1988	965	150	815	26.5	3.3	23.1	16.2	15.5	16.4	186.5	26.3	160.1
	1992	1,000	145	855	27.8	3.4	24.4	16.2	15.9	16.3	192.6	26.0	166.6
	1997	1,015	150	865	29.7	4.0	25.7	16.5	16.8	16.4	210.4	32.2	178.2
S4-8	1976	1,390	745	645	40.3	26.5	13.8	16.4	19.2	13.1	352.2	250.2	101.9
	1980	1,340	715	625	43.2	29.3	13.8	17.3	20.6	13.4	386.3	283.8	102.5
	1987	1,175	635	540	47.2	33.3	13.9	19.3	23.4	14.5	438.5	334.1	104.3
	1992	1,070	585	485	51.4	36.8	14.5	21.3	25.8	15.8	455.5	353.2	102.3
	1997	920	525	395	50.6	36.5	14.1	23.0	27.2	17.4	457.8	357.1	100.7
S4-9	1976	1,825	715	1,110	41.3	17.8	23.5	13.8	15.1	12.9	340.3	163.3	176.9
	1980	1,745	675	1,070	45.2	19.9	25.2	14.8	16.8	13.6	379.2	187.1	192.0
	1988	1,450	580	870	49.0	21.3	27.6	17.3	19.0	16.1	390.0	189.3	200.6
	1992	1,435	580	855	50.4	22.5	27.9	17.4	19.2	16.3	405.4	203.2	202.1
	1997	1,280	540	740	48.6	22.3	26.3	18.3	19.9	17.2	397.7	205.8	191.8
S6-1	1976	2,455	890	1,565	41.7	17.2	24.4	12.5	13.7	11.8	318.4	148.5	169.8
	1980	2,465	890	1,575	43.7	19.4	24.2	12.9	14.4	12.0	337.6	172.4	165.1
	1988	2,220	830	1,390	50.4	24.2	26.2	14.7	16.6	13.6	372.3	207.8	164.5
	1992	2,270	870	1,400	52.2	25.6	26.6	14.7	16.5	13.6	390.0	222.2	167.8
	1997	2,050	845	1,205	52.5	26.0	26.4	15.6	16.8	14.7	397.6	227.8	169.7
S6-2	1976	1,680	310	1,370	28.6	4.0	24.6	12.1	10.7	12.4	205.5	33.6	171.9
	1980	1,675	310	1,365	29.8	4.3	25.4	12.4	11.1	12.7	215.4	36.6	178.8
	1988	1,525	310	1,215	31.0	6.1	24.9	13.7	13.1	13.9	205.8	49.4	156.3
	1992	1,530	300	1,230	33.1	6.6	26.4	14.2	14.0	14.3	220.4	55.1	165.2
	1997	1,475	295	1,180	33.2	7.4	25.8	14.6	14.9	14.6	226.8	64.3	162.5
S8-1	1976	755	755	0	22.8	0	22.8	16.9	16.9	16.9	169.1	169.1	0
	1980	805	805	0	24.1	0	24.1	16.8	16.8	16.8	179.5	179.5	0
	1988	735	735	0	25.7	0	25.7	18.2	18.2	18.2	180.0	180.0	0
	1992	690	690	0	25.1	0	25.1	18.7	18.7	18.7	176.8	176.8	0
	1997	700	700	0	26.4	0	26.4	19.1	19.1	19.1	189.3	189.3	0
S8-2	1976	955	955	0	32.6	0	32.6	16.6	16.6	16.6	255.3	255.3	0
	1980	970	970	0	33.5	0	33.5	16.7	16.7	16.7	263.1	263.1	0
	1987	910	910	0	31.0	0	31.0	16.3	16.3	16.3	245.5	245.5	0
	1992	895	895	0	27.0	0	27.0	15.8	15.8	15.8	195.6	195.6	0
	1997	825	825	0	23.5	0	23.5	16.2	16.2	16.2	162.9	162.9	0
S8-3	1976	510	5	505	26.3	0.6	25.6	21.0	40.0	20.9	212.3	6.8	205.5
	1980	500	5	495	25.7	0.6	25.0	20.8	42.0	20.5	208.8	7.6	201.2
	1987	465	5	460	20.2	0.8	19.4	18.5	46.0	18.2	166.1	9.3	156.8
	1992	470	5	465	22.9	1.0	21.8	19.0	52.0	18.7	183.5	12.1	171.3
	1997	465	5	460	22.8	1.1	21.7	19.1	54.6	18.7	184.6	13.2	171.3
Average	1976	1,392	399	993	32.8	9.7	23.1	14.9	14.6	14.3	261.4	88.4	172.9
	1980	1,406	392	1,014	35.0	10.8	24.2	15.3	15.5	14.5	281.9	100.5	181.3
	1987/88	1,283	366	917	37.3	12.5	24.8	16.4	17.3	15.5	290.9	113.9	176.9
	1992	1,269	362	907	38.4	13.3	25.2	16.9	18.2	15.9	295.7	120.0	175.7
	1997	1,190	348	842	38.3	13.8	24.6	17.5	19.1	16.4	299.2	126.6	172.7

Note 1) *Abies sachalinensis*

表-3. プロット別継続木・枯損木・進界木本数
Table 3 Number of trees of mortality and ingrowth by plot

プロット 番号 Plot Number	期間 Period		継続木 (cm) Remajor Change of average diameter (cm)					枯損木 Mortality	進界木 Ingrowth	(本 Number) 計 Total
	調査年1 From	調査年2 To	+0	+2	+4	+6	+8以上 over			
	S4-1	1976	1980	261	64	0	0	0	16	9
	1980	1988	242	44	10	1	1	36	5	339
	1988	1992	194	84	4	0	0	21	7	310
	1992	1997	214	43	1	3	0	28	4	293
S4-2	1976	1980	225	71	0	1	0	15	23	335
	1980	1987	215	68	14	1	0	22	21	341
	1987	1992	222	57	6	2	0	32	11	330
	1992	1997	175	92	3	4	1	23	8	306
S4-3	1976	1980	276	89	5	0	0	15	17	402
	1980	1988	204	120	15	3	0	45	47	434
	1988	1992	262	111	4	1	0	11	41	430
	1992	1997	317	69	1	11	0	21	24	443
S4-4	1976	1980	52	106	19	2	0	2	4	185
	1980	1988	93	45	27	2	2	14	11	194
	1988	1992	100	76	2	0	0	2	11	191
	1992	1997	133	38	5	0	0	13	0	189
S4-5	1976	1980	182	81	2	0	0	12	17	294
	1980	1988	164	57	9	4	2	46	16	298
	1988	1992	180	63	1	0	0	8	13	265
	1992	1997	191	39	1	0	0	26	3	260
S4-6	1976	1980	100	110	35	2	0	16	41	304
	1980	1988	173	48	15	6	0	46	18	306
	1988	1992	168	53	4	0	0	35	3	263
	1992	1997	133	64	5	2	0	24	1	229
S4-7	1976	1980	76	120	15	1	0	12	30	254
	1980	1988	117	56	8	6	0	55	6	248
	1988	1992	141	37	0	0	0	15	22	215
	1992	1997	123	59	3	0	0	15	18	218
S4-8	1976	1980	176	75	14	0	0	13	3	281
	1980	1987	130	69	16	12	0	41	8	276
	1987	1992	166	36	8	1	1	23	2	237
	1992	1997	119	60	3	0	0	32	2	216
S4-9	1976	1980	180	145	7	0	0	33	17	382
	1980	1988	201	65	12	4	0	67	8	357
	1988	1992	205	66	1	0	3	15	12	302
	1992	1997	158	86	1	8	0	34	3	290
S6-1	1976	1980	328	138	12	0	0	13	15	506
	1980	1988	284	111	30	12	1	55	6	499
	1988	1992	320	107	1	0	0	16	26	470
	1992	1997	287	95	5	10	0	57	13	467
S6-2	1976	1980	283	49	0	0	0	4	3	339
	1980	1988	182	89	17	2	2	43	13	348
	1988	1992	214	70	5	1	0	15	16	321
	1992	1997	216	67	3	0	1	19	8	314
S8-1	1976	1980	107	39	2	0	0	3	13	164
	1980	1988	93	32	8	2	0	26	12	173
	1988	1992	80	50	3	1	0	13	4	151
	1992	1997	75	53	6	0	0	4	6	144
S8-2	1976	1980	137	47	1	0	0	6	9	200
	1980	1987	84	67	10	2	1	30	18	212
	1987	1992	122	38	7	0	1	14	11	193
	1992	1997	110	53	1	0	1	14	0	179
S8-3	1976	1980	75	20	1	0	0	6	4	106
	1980	1987	58	21	4	0	0	17	10	110
	1987	1992	50	27	5	3	0	8	9	102
	1992	1997	53	31	3	0	0	7	6	100
計 Total	1976	1980	2,458	1,154	113	6	0	166	205	4,102
	1980	1987/88	2,240	892	195	57	9	543	199	4,135
	1987/88	1992	2,424	875	51	9	5	228	188	3,780
	1992	1997	2,304	849	41	38	3	317	96	3,648

4.7%、40cm 以上が3.1%であった。

4. 材積成長率

全体的に見ると本数は減少しても直径成長が続いていることから総材積は増加傾向に推移している。表-2より、プロット平均値をみると、第1回測定時の261.4m³/haが第5回測定時には299.2m³/haとなっており、21年間に37.8m³/haの蓄積増が観察された。これはプレスラー式による0.6%の年間材積成長率（以下、単に成長率）に相当する。プロット別の材積に関する総括表は表-4に示すとおりである。最も成長率が高かったのはS4-4の2.0%で、以下、S4-6の1.8%、S4-7の1.4%、S4-8の1.2%と続いている。このうち、S4-4、S4-6、S4-8はトドマツの占める比率の高いプロットである（第5回測定時のトドマツ材積比率をみると、S4-4が68.1%、S4-6が67.9%、S4-8が78.0%となっており、14プロット中トドマツ比率の上位3プロットである）。逆に成長率が低かったのは、S8-2の-2.1%とS8-3の-0.7%であった。なお、8林班はトドマツの少ない林班で、第5回測定時には、S8-2にはトドマツがなく、S8-3のトドマツ材積比率は7.2%である。継続木、枯損木、進界木別の材積をみると、プロット平均で継続木の成長量は4.6m³/ha、枯損量は3.0m³/ha、進界成長量は0.2m³/haとなっている。マイナス成長のみられたS8-2とS8-3では他プロットに比べると直径の大きなものに枯損がみられた。具体的には、S8-2では、6~8cmが19本、10~18cmが11本、20~28cmが18本、30~38cmが11本、40cm以上が5本であった。また、S8-3で

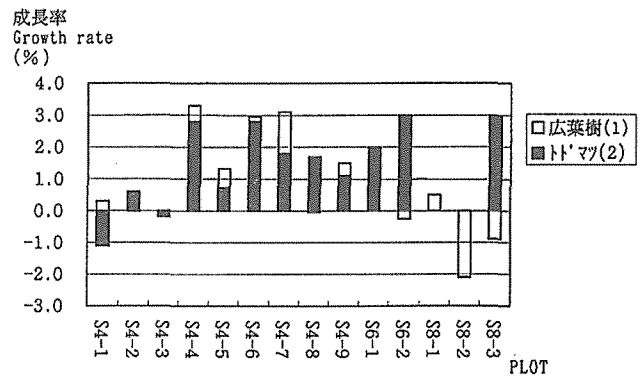


図-2. プロット別針広別成長率 (1967-1997年)

Figure 2 Growth rate (1976-1997)

Note: (1) Broad-leaved trees, (2) *Abies sachalinensis*

は、6~8cmが5本、10~18cmが11本、20~28cmが7本、30~38cmが10本、40cm以上が5本であった。他のプロットでは、20cm未満の枯損木が多かったのと対照的である。進界成長量の分布は、S4-3のみ年0.6m³/haと大きい、他のプロットは何れも0.1~0.3m³/haであった。S4-3は14プロット中唯一、本数増加の見られたプロットである。

次に、針広別の成長率をプロット別に示すと図-2のとおりである。各プロットとも材積成長分の多くがトドマツの成長によるものであることがわかる。プロット別成長率について針広別の平均を求めたところ、トドマツが1.5%、広葉樹が0.0%となった。プロット設定後21年間を経たが、広葉樹についてはほとんど材積の成長がみられなかったことを示している注2)。

表-4. 材積関連総括表¹⁾

Table 4 Summary of the stand growth on permanent plots

プロット Plot number	期首材積 Volume (1976)	期末材積 Volume (1997)	純成長量 Growth	成長率 ²⁾ Growth (%)	期間 (1976-1997) Period			年平均 Annual		
					継続木 成長量 ³⁾	枯損量 Mortality	進界成長量 Ingrowth	継続木 成長量 ³⁾	枯損量 Mortality	進界成長量 Ingrowth
					(m ³ /ha)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha)
S4-1	261.9	263.6	1.7	0.0	63.0	62.8	1.4	3.0	3.0	0.1
S4-2	339.3	357.1	17.8	0.2	85.1	74.2	6.9	4.1	3.5	0.3
S4-3	243.2	239.6	-3.6	-0.1	66.9	82.8	12.2	3.2	3.9	0.6
S4-4	271.3	411.7	140.4	2.0	161.8	22.6	1.2	7.7	1.1	0.1
S4-5	277.2	313.6	36.4	0.6	86.2	51.7	1.9	4.1	2.5	0.1
S4-6	256.1	376.7	120.6	1.8	151.6	32.5	1.5	7.2	1.5	0.1
S4-7	157.2	210.4	53.2	1.4	84.8	36.8	5.2	4.0	1.8	0.2
S4-8	352.2	457.8	105.6	1.2	158.3	53.4	0.7	7.5	2.5	0.0
S4-9	340.3	397.7	57.4	0.7	126.9	71.3	1.8	6.0	3.4	0.1
S6-1	318.4	397.6	79.2	1.1	156.8	80.1	2.4	7.5	3.8	0.1
S6-2	205.5	226.8	21.3	0.5	70.9	54.9	5.3	3.4	2.6	0.3
S8-1	169.1	189.3	20.2	0.5	43.9	30.4	6.7	2.1	1.4	0.3
S8-2	255.3	162.9	-92.4	-2.1	53.0	148.9	3.4	2.5	7.1	0.2
S8-3	212.3	184.6	-27.7	-0.7	54.3	86.7	4.6	2.6	4.1	0.2
平均 Average	261.4	299.2	37.9	0.6	97.4	63.5	3.9	4.6	3.0	0.2

1) 単位未満四捨五入のため内数の和が合計に一致しない場合がある。

Breakdown figures were not added to total, because each figure was rounded.

2) プレスラー式による。By Pressler's formula.

3) Growth of remajored trees.

ところで、現行の京都大学北海道演習林長期施業計画では、白糠区における成長率として1.0%が採用されている。トドマツが生育していることから、標茶区の0.5%より高い1.0%という暫定値が採用されている。しかし、固定プロットの調査結果からみると、この暫定値は高めといえる。

成長率のメンバシップ関数

1. ファジィ数

白糠の固定プロット調査の結果、広葉樹については成長率がほぼゼロであることがわかった。平均値に基づく議論をおこなう限り、このようにして得られた数値が、森林計画における保続計算時の定数として利用される。ここで重要な点は、広葉樹の成長率についてはプロット平均がゼロになっている点である。成長率がゼロということは、成長しないということと必ずしも同義ではない。正確にいえば、「だいたいゼロであった」、というべき部分を含んでいる。このような曖昧さを含む数量的表現については、1980年代以降、ファジィ数に関する議論が用いられている。本章では、成長率ゼロではなく、成長率が「だいたいゼロ」ということの表現について検討してみる。以下、本論文では、広葉樹の蓄積のみを分離して扱う。実際は、針葉樹及び広葉樹の総蓄積を検討すべきところであるが、変数が複数になり議論が複雑になるため、まず、広葉樹だけについて検討を行い、針広混交林としての議論は今後の課題としたい。

針広別の成長率については、5回の測定により約5年間隔の成長率に関するデータが4個得られる。集計対象プロット数が14であるから、計56個の成長率のデータが得られる。同じプロットでも必ずしも安定した成長率が得られるわけではない^{注3)}。これら56個の成長率の分布(ヒストグラム)をみたものが図-3である。図の横軸はヒストグラムの階級の中央値を示している(例えば0.0は-0.25%~+0.25%を示す)。プロットごとにも、また同じプロットのなかでも短期的に観察される成長率は相当ばらついており、全部込みで分布を見るとゼロを中心とする、ある程度左右対称な分布を示している。つまり、このような分布が「だいたいゼロ」の成長率の指す内容である。以下、この「だいたいゼロ」の成長率をファジィ数で表現することを検討する。

曖昧さに関する議論はファジィ理論のなかで広く検討されてきており、森林に関する経営研究においても、松下(1988)、野上(1990a、1990b)の研究がある。曖昧さのない2の場合は、常に2であるが、曖昧さがある場合の2の表現は様々なメンバシップ関数を用いて表現す

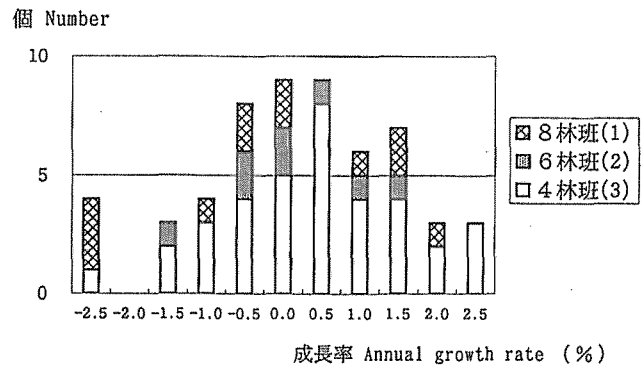


図-3. 広葉樹の成長率の分布

Figure 3 Distribution of growth rate (broad-leaved trees)

Note: (1) Compartment No.8

(2) Compartment No.6

(3) Compartment No.4

ることができる。代表的なメンバシップ関数は図-4の直線部分で示されるような三角型のものである。この場合、0とは-1~+1の間の数字であること、ウェイトとしては0の可能性が最も高いものである。結局のところ、まず、どのようなメンバシップ関数を定めればいいかが実用上の問題となる。

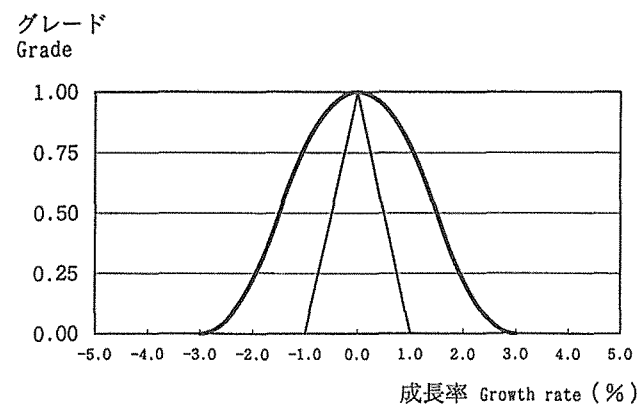


図-4. メンバシップ関数

Figure 4 Membership function

2. メンバシップ関数

成長率の分布を示す関数として、上に凸で0が平均となるような関数を決める必要がある。分布を簡略に示すだけであれば三角型のメンバシップ関数で十分であるが、本論文では π 関数を用いて議論を進める。後述するように、メンバシップ関数を集中化・拡大化する上では、三角型のメンバシップ関数より π 関数のほうが優れている。成長率の分布を議論する際に用いる関数形の検

討自体は今後の課題としたい。白糠区天然林の成長率を $u\%$ とする。 $\pi(u) > 0$ となる範囲を $(-1, 1)$ とするため、成長率の範囲を $(-3, 3)$ とする。図-3のヒストグラムでは最大階級を $2.5 (\pm 2.25 \sim 2.75)$ としているが、これには ± 2.75 以上も含んでいる。実際には $\pm 3\%$ 以上の成長が観察されているが、本論文では計算の便宜上、これを無視することとする。

$$\pi(u) = \begin{cases} 0 & u < -3 \\ 2(u/3 + 1)^2 & -3 \leq u < -1.5 \\ 1 - 2(u/3)^2 & -1.5 \leq u < 1.5 \\ 2(u/3 - 1)^2 & 1.5 \leq u < 3 \\ 0 & u \geq 3 \end{cases} \quad (1)$$

この関数は図-4の曲線部分である。この関数では、 $\pi(\pm 1.5) = 0.5$ となっている。図-3のヒストグラムに戻ると、 ± 1.5 の値は $+1.5$ が7、 -1.5 が3となっており、0のときの9に対して、それぞれ78%、33%である。メンバシップ関数の適合性の問題は今後の検討課題とし、以下、このメンバシップ関数が白糠区天然林の広葉樹成長率をある程度示すものとして議論を進める。

先に得たメンバシップ関数はプロット全体を同一のものとして扱っている。また、5回の計測の結果得られた短期的な4回の成長率を互いに独立なものとして扱っている。上の二つの意味で、このメンバシップ関数は平均的な成長率と考えられる。例えば、林班単位で成長率を定義すると、必ずしも「だいたいゼロ」とはならないであろう。図-2より、4林班は「ある程度の成長が見込まれる」、6林班は「ほとんどゼロである」、8林班は「変化の幅が大きく、全体にマイナス成長が見込まれる」との総合評価が得られたとする。そのとき、各林班の成長率を示すメンバシップ関数を検討してみる。

まず、6林班の成長率は「ほとんどゼロである」とは、メンバシップ関数の勾配をより急にするに対応する(集中化, concentration)。このような場合のメンバシップ関数は式(2)のような形で、 $n > 1$ とすればよい。

$$\pi(u) = \begin{cases} 0 & u < -3 \\ (2(u/3 + 1)^2)^n & -3 \leq u < -1.5 \\ (1 - 2(u/3)^2)^n & -1.5 \leq u < 1.5 \\ (2(u/3 - 1)^2)^n & 1.5 \leq u < 3 \\ 0 & u \geq 3 \end{cases} \quad (2)$$

逆に、8林班のようにバラツキ具合が広い場合は、 $n < 1$ とすることにより、勾配を緩やかにして表現することが可能である(拡大化, dilation)。4林班の「ある程

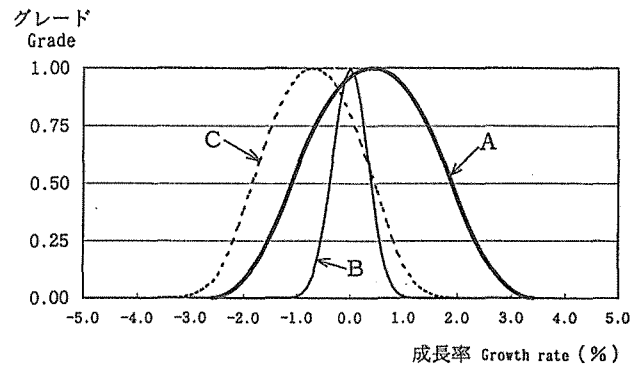


図-5. 林班別の広葉樹成長率のメンバシップ関数の例
Figure 5 Example of membership function by plot
(growth rate of broad-leaved trees)

- Note (A) 4 林班 Compartment No.4
- (B) 6 林班 Compartment No.6
- (C) 8 林班 Compartment No.8

度の成長が見込まれる」については、最も簡単な方法は平行移動である。4林班の9プロット計36の成長率について平均を求めると 0.4% となる。従って、(1)式において u の範囲を 0.4 移動すれば表現可能である。8林班はプロット数が少ないので何ともいえないが、4林班同様に平均を計算すると -0.7% となる。勾配を緩くすることと合わせて表現すると、(2)式で例えば、 $n=0.5$ 等として、かつ u の範囲を -0.7 移動すればよい。(2)式において、4林班は $n=1$ 、6林班は $n=20$ 、8林班は $n=0.5$ とし、6林班と8林班については 0.4% 、 -0.7% 相当分の平行移動を行うと、林班別の広葉樹成長率のメンバシップ関数は図-5に示すとおりである。

3. 今後の検討課題

図-5で求めたメンバシップ関数は暫定的なものである。定義域については特に根拠のあるものではない。曖昧さを減らすのであれば、勾配を急にしたりすることにより対処可能であり、曖昧さを完全になくすと平均値と等しくなる。以下、このようなメンバシップ関数を推定することに関連し、今後の検討課題について述べる。

まず、従来の平均値による議論には一定の限界があることに注意が必要である。第5回測定の結果、広葉樹に関しては 0.0% 成長であることがわかったが、これは平均的にみれば変化なしということになる。しかし、図-3からわかるように、林班ごとに、あるいはプロットごとにみると、短期的な変化がないわけではない。表-2が示すように、第1回測定から第5回測定にかけての21年間におけるプロット別広葉樹成長率も様々である。既

に述べてきたように、増減率の平均が0.0%であったということであって、変化がないこととは違う点に注意が必要である。本論文では関数の形状及び計算の容易さを考慮し π 関数を用いたが、天然林の成長率についてどのような分布関数を用いるのがよいかは今後の検討課題である。図-5は一例に過ぎず、採用した関数型に特別な根拠があるわけではない。なお、メンバシップ関数の重心部分を代表値として採用すれば、既存の集計結果と矛盾することもない。

次に、成長率の分析に「曖昧さ」を導入することについて述べる。人工林の場合は、造林地のなかに一定面積のプロットを取れば全体像は大略推定できる。しかし、天然林の場合、プロットの配置そのものが問題となる。例えば、白糠区全体の蓄積推定を行うのであれば何らかの手続きによりプロットを選定し調査を行えばよいが、特定林班、特定場所の蓄積を考えると、平均的状況を当てはめることには躊躇する場合が多い。すなわち、明らかに蓄積が足りない場所、明らかに特定樹種の比率の多い場所等が存在する。結局、常に毎木調査が必要ということにもなりかねない。このような場合、例えば、蓄積が「高い」、トドマツが「多い」といった曖昧ではあるが、確実に蓄積に影響する情報をどのようにしてデータ化するかを考えることも、蓄積推定の効率化という点から考えられていように思われる。但し、サンプリング方法やプロットの類型化によりこの種の問題は長期的にはある程度解決可能である。曖昧さの導入は、このような調査・集計の基本的な手続きを否定するものではない。現存する調査結果をより有効に利用する上での導入といえる。なお、本論文では天然林広葉樹成長率にメンバシップ関数の導入を若干検討したものであるが、同様のファジィ化は森林計測の他の側面にも応用可能と思われる。

最後に、メンバシップ関数の形状に触れる。本論文では、平均を中心とする左右対称の単峰型関数を用いた。しかし、様々なメンバシップ関数の設定が可能である。簡単化のために、三角型の関数を想定しよう。この場合でも、図-4に示すように左右の幅が同じである必要はない。毎木調査の結果、一定径級の継続調査木が次回調査時には枯損木となる可能性が高いことが分かっている場合、枯損・伐採等により進界木の成長が確実に予想されることが現地調査で分かっている場合、メンバシップ関数に反映させることが可能となる。

おわりに

本論文では白糠区天然林の固定プロットに関して、設

定後21年間に観察された成長率について検討を行った。京都大学北海道演習林白糠区には、本論文で使用した14プロットのほか、面積が縮小された固定プロットが1箇所、より大きな面積の固定プロットが3箇所設定されている。その他、継続調査の対象とはなっていないプロットもある。本論文で使用した14プロットについては、例えば、針広別 ha 当たり本数をみると、トドマツの比較的多いプロット、トドマツの比較的少ないプロット、トドマツのほとんどない8林班プロットに分けることができる。さらに斜面部位等も考慮すると、14プロットの結果だけから成長率の差異に関する多変量解析を行うことは難しい。北海道の天然林については東京大学北海道演習林における固定標準地調査があるが、石橋(1990)によると、その数は106箇所、計42.08haに及んでいる。多くのプロットは1958年以降の設定であるが、1929年設定のプロットも含まれている。しかし、このように、特定地域に多数の天然林固定プロットが設定され、かつ継続的に調査が行われているケースは少ないのではないかと思われる。

本論文では、上記の例に比べて少ない固定プロット数及びまだ短い調査期間という条件の下で、成長率の検討を行った。プロット数が少ないため、短期的に観測される成長率を分離して扱うことにより、成長率の分布を若干無理に決定しているという問題がある。得られた関数は多くの仮定に基づいていることを最後にあらためて断っておきたい。本来、特定のプロットに関する成長率は、基本的には、関連付けて取り扱うべきところであろう。ただ、21年間を4期に分けて計算した成長率には、必ずしもはっきりした関連性を見いだすことはできなかった。直径の大きな枯損木があれば当然マイナス分が大きくなる。しかし大きなマイナスを記録したからといって次期の成長率が大きくなるというものでもない。21年間のデータでは十分に議論が難しい。通常の1回限り、または2回の調査で得られる短期的な成長率の分布を検討したことになる。本研究では、成長率以外の情報を使用していない。しかし、実際には進界木・枯損木の分布、直径分布などまだ利用可能な情報もあり、これらを含めた議論も必要である。また、プロットの類型化、針広¹⁾率と材積及び材積成長率との関連についても検討を進める必要がある。さらに、本論文では、針広混交林の成長率のうち、広葉樹についてのみメンバシップ関数を議論した。針葉樹成長率に関する議論も必要であるが、トドマツについては人工林に関する分析結果を含めた検討が必要である。これらの点については今後の検討課題としたい。

京都大学北海道演習林白糠区固定プロットは、道東天

然林に関する数少ない固定プロットであり、多数の関係者の努力により調査が継続されてきた。今後とも調査が継続され、より長期的な天然林動態データの提供が可能になることを期待している。

謝 辞

白糠区固定プロットの設定及び過去5回の測定は、演習林の教職員、旧林学教室の教官・院生により継続的に行われてきた。プロット設定者である和田茂彦名誉教授ほか多くの関係者に対して、厚く御礼申し上げる。また、九州大学農学部吉田茂二郎氏から文献の提供を受けた。厚く御礼申し上げる。

注

1) 吉田(1998)によると、府県林務部局は森林簿上での材積計算のために簡易材積表を用意している。広葉樹についても針葉樹同様に簡易材積表が電算システムに組み込まれている。簡易材積表の林齢の上限は、西日本の場合、短い場合で50年、長い場合で100年となっている。上限を越えた場合は、最高林齢が定められる。

2) 天然林の成長率に関する報告事例は余り多くない。東京大学北海道演習林については、第(2)作業級択伐林(トドマツ・広葉樹の混交林)における34箇所の平均成長量が、針葉樹2.9%、広葉樹2.5%となっている(竹内ほか, 1980)。屋久スギ天然林の成長率としては、-0.17%~0.34%で、4箇所の単純平均は0.18%である(吉田, 1994)。愛媛大学演習林のモミ・ツガ・広葉樹混交天然生二次林については、期間別に、2.26%、2.21%、1.74%となっている(山本ほか, 1988)。何れも樹種構成が異なるので単純比較はできないが、総数で0.5%という成長率は屋久スギ天然林並みの値である。

3) 測定期間別の広葉樹成長率が2%を越えたのは、1976-1980年のS4-3、S4-4、S4-6、S4-7、S4-9に限られている。この時期の広葉樹成長率はプロット平均でも1.3%と高いものとなっている。一方、1980-1987/88年は-0.3%、1987/88-1992年は-0.1%、1992-1997年は-0.3%と何れもマイナス成長となり、全期間で0.0%となる。

文 献

1) 赤井龍男ほか(1988) 京都大学農学部附属演習林北海道演習林長期施業計画, 第1次計画期間, 1987-1996年, 40-42.

2) 石橋整司(1980) シミュレーションモデルに基づく天然林の林分構造の動態に関する研究, 東大演報 82, 11-101

3) 野上啓一郎(1990a) 林業経営計画におけるファジイ意思決定手法の応用について (I) -線形計画における代替案の作製-, 日林誌 72(1), 23-26

4) 野上啓一郎(1990b) 収穫規整におけるファジイ線形計画法の応用について, 日林誌 72(3), 188-193

5) 松下幸司(1988) 森林計画に関する研究-ファジイ理論の応用について-, 京大演報60, 126-140

6) 水元雅晴(1988) ファジイ理論とその応用, 359pp, サイエンス社, 東京.

7) 竹内公男・河原漢・広川俊英(1980) 天然林生長資料 (V), 日林論 91, 73-74

8) 山本武・藤本幸司・田中正臣(1988) 演習林モミ・ツガ・広葉樹混交天然生二次林における林分構造の経時的変化 (II) -1980~1987年の動き-, 愛媛大演報 26, 149-158

9) 吉田茂二郎(1994) 屋久島の固定試験地におけるスギ天然林の林分構造・動態解析, 平成5年度科学研究費補助金(一般研究B) 研究成果報告書, 68pp.

10) 吉田茂二郎(1998) 収穫表, (民有林に関する森林マイクロデータの有効利用に関する研究, 平成9年度科学研究費補助金(重点領域研究) 研究成果報告書, 松下幸司編著, 76pp), 12-28

11) 和田茂彦・川村誠・牧瀬明弘(1982) 天然林の樹高曲線について, 京大演集 15, 76-85

12) 和田茂彦・岡部宏秋(1984) 立木材積計算の簡易化について, 京都大学農学部附属演習林業務参考資料集 1984, 1-12

13) 和田茂彦・竹内典之・川村誠・酒井徹朗・山田容三(1988) 森林の動態に関する研究 (I) -北海道演習林の天然林について-, 京大演報 60, 91-110

14) 和田茂彦・竹内典之・川村誠・酒井徹朗・松下幸司(1989) 森林の動態に関する研究 (II) -北海道演習林の天然林について-, 京大演報 61, 116-129

15) 和田茂彦・竹内典之・川村誠・酒井徹朗(1990) 森林の動態に関する研究 (III) -北海道演習林の天然林について-, 京大演報 62, 96-107

16) 和田茂彦・竹内典之・川村誠・酒井徹朗・高柳敦・松下幸司(1993) 北海道演習林(白糠区)における天然林の動態について, 京大演集 24, 45-67