

森林材積の推定とボロノイ図(I)

—北海道演習林標茶区第7林班学術参考林について—

松下幸司・合田好広・山内隆之
大窪 勝・石原寛一・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、第5林班・第7林班の全部と第6林班の一部の合計277.70haが学術参考林に指定され、伐採の対象外として保存されてきた。もっとも、戦前の軍馬補充部時代および戦後の演習林初期の時代に人手が加えられ、いわゆる「原生林」というわけではない。学術参考林内には、天然林が時間の変化とともにどのように移り変わっていくかを追跡するための固定プロットが旧来より設置され、その成果は大畠ほか(1982)によって報告された。しかし、調査面積が小さかったため、1980～1981年に0.5haのプロット5個に0.25haのプロット1個の計2.75haからなるプロットとして再整備され、現在、調査継続中である。本報告の第1の目的は、1986年に実施された第7林班学術参考林の第2回調査の集計結果を資料として提供することである。

ところで、ある林分の総材積を知るためには、その林分面積がある程度大きくなるとその一部を測定し全体を推定する方法が用いられる。本論文では、林相図も何もなくただ所与の調査地から林分全体の材積を算定する際の重みの付け方としてボロノイ図(勢力圏図)の使用を提案し、第7林班の材積推定の第1次的な接近方法を提示するが、これが本論文の第2の目的である。

2. 調査地の概要と調査方法

北海道演習林標茶区では第5林班・第7林班の全部と第6林班の一部を学術参考林として伐採事業の対象から除外している(図-1)。ところで、演習林初期の「択伐」時代(1957年度まで)に伐採が行われているが、本研究で取り上げる第7林班についてその伐採数量をみておこう。第7林班北部の88.1haについては1957年度に1,957m³(22m³/ha)、第7林班南部31.8haについては1955年度に791m³(25m³/ha)の「択伐」が行われている。以下、この「択伐」の概況について北尾(1982)に従って簡単に示しておく。1955年度の伐採は第5林班と第7林班にまたがっているため、第7林班分だけ取り出すことができないが、伐採木1本当りの材積は1.5m³近くもあり大径木中心の伐採であった。また1957年度の第7林班北部の「択伐」は同1.0m³強と1956年度以前に比べ大幅に低下しており、この北部の「択伐」は林内のよいところを一巡した後の最後の伐採場所の一つと考えられる。ha当り伐採量は20m³台前半である。当時の第7林班の総材積は不明であるが、30%の試験択伐という建前のもとに伐採が行われていたことを考慮すると、当時

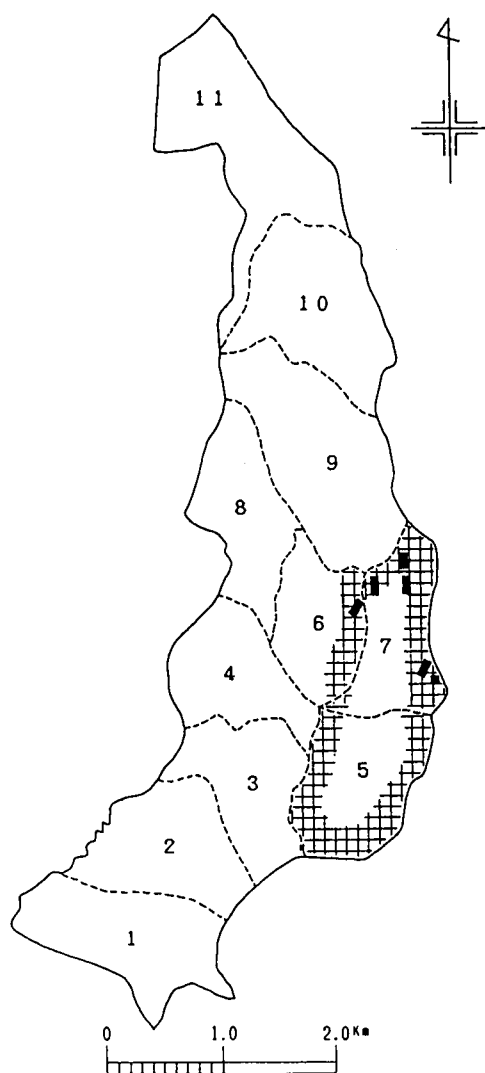


図-1 標茶区学術参考林

表-1 標茶区学術参考林第7林班内のプロット

番号	面積 (ha)	第1回 調査年	第2回 調査年
プロット1	0.25	1981	1986
プロット2	0.50	1981	1986
プロット3 ¹⁾	0.50	1980	1986
プロット4 ²⁾	0.50	1980	1986
プロット5	0.50	1980	1986

注1) 大島ほか(1982)の調査区7-3と同一。

2) 大島ほか(1982)の調査区7-4(面積0.1ha)はこれに含まれる。

のha当り材積は100m³前後のけっして材積の多くある場所ではなかったように思われる。このとき優良大径木はあらかた抜かれてしまい、現在残っている大径木は当時から既に暴れ木、割れなどの諸欠点により残されたものである。

学術参考林内には森林の動態を追跡調査するための固定プロットが図-1の通り6箇所設定されている。うち1箇所は第6林班に属しており、本報告では第7林班の5つのプロットについて集計を行った。従来から設置されていた学術参考林内のプロットを拡大する形で、そして学生実習(京都大学農学部林学科3回生)の際に年2箇所、5年で一巡するように計10箇所の設置が当初検討された。第1回調査は1980年、1981年の学生実習の一環として実施された。まず、1980年7月23日に、大島誠一・北尾邦伸・竹内典之の指導のもとにプロット3~5の調査が、また1981年7月29日には山本俊明・大島誠一・竹内典之・北尾邦伸の指導のもとにプロット1~2の調査が実施された。調査には北海道演習林職員も参加した。第2回調査は1986年7月に岡部宏秋・山田容三をはじめとする北海道演習林職員および学生によって行われた。各プロットの面積と調査年は表-1に示す通りである。調査は胸高直径(以下、本論文では単に直径と呼ぶ)5cm以上を対象に、直径巻尺を用いて0.1cm括約で調べ(註1)、その際、全ての調査木に番号を付した。

2回の調査を集計するにあたり資料の整合性を保つため註2に示す通りのデータ補正を行った。データ補正後、第1回調査に遡って諸統計数値を算定した。そのため、第1回調査結果の数値が現在、北海道演習林において「学術参考林内の林相」として作成し公表してきた数値と若干異なる。また使用した材積式は和田ほか(1984)によるため、先のデータ補正と合わせ和田ほか(1982)を用いている大島ほか(1982)に掲載されている諸数値とも若干異なっている点を予め断わっておく。

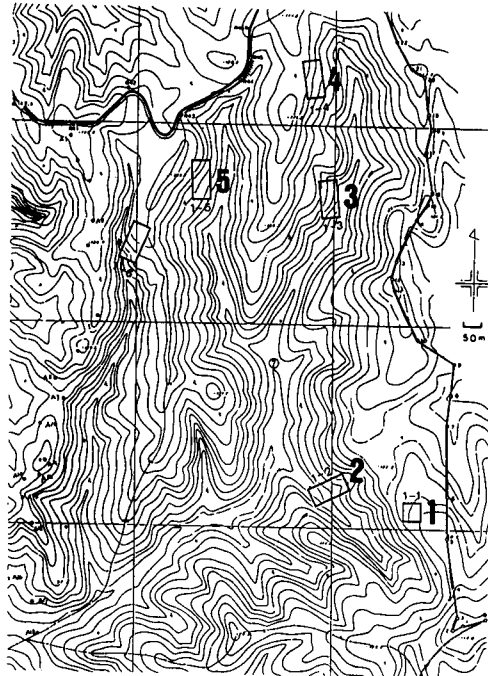


図-2 プロット位置図

注)「1-1」などは北海道演習林内部で用いているプロット番号で、本報告で使用するプロット番号は太字の1～5である。

3. 調査結果

1) 各プロットの結果

各プロットの調査結果は表-2-1～5に示す通りである。また、各プロットの1986年における直径階別本数は表-3に示す通りである。これらの調査結果をもとに、プロットごとに第2回調査結果と、第1回調査からの5～6年間に於ける諸統計数値の変化について簡単に述べる。なお、直径分布については本報告ではプロット別総本数分布の現状のみを表として提供するにとどめた。樹種別直径分布、直径分布の変化などの分析は調査開始後10年目の動態が明らかになる第3回調査後に検討したい。

プロット1は20cm以下の小径木が中心の本数の多いプロットである。調査本数はha当り1,820本でありこれは後にみるプロット2, 3の約2倍、プロット4, 5の4～5倍である。生立木本数は、この5年間で52本が枯損し30本が進界したため差引き22本の減少となった。本数比でみると、キハダ(26%)・ダケカンバ(25%)の2樹種のみで50%を越えており、ミズナラ(12%)、ヤチダモ(10%)がそれに続く。平均直径は1986年で9.9cmとまだ小さく、直径が30cmを越えるものはミズナラ(86.7cm, 51.7cmの2本)、ニレ(76.7cm)、ダケカンバ(43.5cm)の計4本のみである。ha当り材積は101.0m³から118.7m³へと増加している。

プロット2は本数的にみると、ハシドイ(23%)、ミズキ(19%)、キハダ(15%)、ダケカンバ(13%)の多いプロットである。枯損木53本に対し、進界木75本のため生立木の本数は増加したが、直径67.5cmのニレ、43.0cmのハンノキ、39.0cmのイタヤカエデが枯れたため材積は減少した。本プロットでは進界木による材積増1.5m³/ha、継続木の材積増7.2m³/haに対し枯損木が先

表-2-1 プロット1の調査結果

樹種	本数(本)		平均直径(cm)		断面積(m ² /ha)		材積(m ³ /ha)	
	1981年	1986年	1981年	1986年	1981年	1986年	1981年	1986年
ミズナラ	43	55	11.5	11.4	4.22	5.10	30.4	36.2
ダケカンバ	120	113	9.5	10.9	4.06	5.11	20.7	27.6
ニレ	9	10	16.8	16.7	2.07	2.18	16.3	17.0
キハダ	131	118	7.6	8.1	2.66	2.72	10.3	10.9
ヤチダモ	47	46	8.0	8.7	1.24	1.40	6.9	7.9
ヤナギ	50	42	9.0	10.0	1.40	1.47	5.7	6.3
ミズキ	16	19	8.3	8.9	0.39	0.54	1.7	2.6
セン	18	14	8.5	9.6	0.44	0.44	2.0	2.1
ハンノキ	4	4	16.1	17.6	0.33	0.40	1.6	2.0
クルミ	4	3	14.3	17.1	0.29	0.31	1.7	1.9
イタヤカエデ	12	13	8.4	8.7	0.32	0.38	1.3	1.7
シラカンバ	5	5	11.0	12.2	0.20	0.25	1.0	1.3
オオヤマザクラ	2	2	15.4	17.5	0.15	0.19	0.7	0.9
クワ	13	9	6.4	6.6	0.17	0.12	0.6	0.4
ハシドイ	2	2	5.7	5.8	0.02	0.02	0.1	0.1
ヤマナラシ	1	-	7.6	-	0.02	-	0.1	-
計	477	455	9.0	9.9	17.98	20.64	101.0	118.7
継続木	425	425	9.3	10.2	17.12	20.35	97.8	117.7
枯損木	52	-	7.0	-	0.86	-	3.2	-
進界木	-	30	-	5.5	-	0.29	-	1.0

注：樹種の掲載順位は1986年材積の多い順である。

該当なしの場合は「-」を表示し、単位未満の「0」と区別した。

1981年、1986年ともに4～5cmの調査木(2本)は集計の対象外である。

1981年には4～5cmで、1986年に5cm以上となった調査木(1本)は進界木の項に含まれている。

の3本を始め10cm以上のものが22本ありその材積は12.9m³/haに達したため、最終的にha当り材積は187.3m³から183.1m³へと低下した。本プロットはプロット5と並び調査プロット内では大径木の多いところである。直径50cm以上の生立木は17本であり、1mを越えるのはミズナラ(119.0cm, 122.0cm)の2本がある。プロット1及びプロット2は何れも第7林班南部に位置している。直径分布には大きな差があるものの材積構成はよく似通っておりミズナラ・ダケカンバ・ニレの3樹種でおよそ7割を占める。

プロット3は本数的にはキハダ(28%)、ハシドイ(26%)で半分以上を占め、10%以上のシェアを占める樹種はもう他にはない。プロット2と比べると先にみた直径50cm以上の大径木が少ない。本プロットも直径51.5cmのニレ、41.0cm、30.3cmのイタヤカエデ、39.0cmのクルミ、33.8cmのハンノキが枯損したためプロット2同様、枯損材積が大きく、ha当り材積は129.3m³から130.1m³へとほとんど変化しなかった。

プロット4と次のプロット5はいずれも本数が少ないプロットである。ハシドイ(24%)、ヤチダモ(13%)、キハダ(10%)が本数的には多く、この間24本が枯損し19本が進界したため本数上は大きな変化が見られなかった。直径40.0cmのヤチダモ以外に直径が30cmを越える枯損木もなく、ha当り材積は継続木の材積増加を反映し、133.5m³から137.8m³へと増加した。

プロット5は全プロットで最も本数の少ない調査区である(406本/ha)。本数比率でみると、キハダが36.5%と目立って多く、10%を越える樹種はもう他にはない。12本の枯損に対し、68本の進界のため生立木本数は147本から203本へと大きく増加した。しかしながら、枯損木には直径

表-2-2 プロット2の調査結果

樹種	本数 (本)		平均直径 (cm)		断面積 (m ² /ha)		材積 (m ³ /ha)	
	1981年	1986年	1981年	1986年	1981年	1986年	1981年	1986年
ミズナラ	14	19	41.8	33.3	7.83	7.97	65.6	66.5
ダケカンバ	49	57	14.6	14.1	4.14	4.36	31.1	32.4
ニレ	19	22	28.1	22.5	4.32	3.68	33.7	28.5
イタヤカエデ	6	5	43.9	45.2	1.95	1.73	12.8	11.5
ハンノキ	22	17	18.0	18.8	1.84	1.51	11.3	9.3
ヤチダモ	23	25	15.0	14.9	1.13	1.22	8.2	8.8
ハシドイ	117	105	10.5	9.9	2.49	2.07	9.4	7.8
ミズキ	76	88	8.5	9.0	0.93	1.25	4.2	5.9
キハダ	58	70	8.4	8.6	0.76	0.97	3.2	4.1
クルミ	12	6	11.8	15.5	0.56	0.50	3.8	3.6
オオヤマザクラ	9	10	14.6	14.9	0.44	0.49	2.4	2.7
ヤナギ	11	11	9.6	10.4	0.17	0.21	0.7	0.9
セン	4	4	11.5	12.2	0.11	0.13	0.7	0.8
ノリウツギ	4	5	7.5	7.1	0.04	0.04	0.1	0.2
クワ	4	5	7.9	6.9	0.04	0.04	0.1	0.1
カツラ	1	2	7.5	7.3	0.01	0.02	0.0	0.1
ツリバナ	4	3	6.0	6.1	0.02	0.02	0.1	0.1
マユミ	1	1	6.0	7.2	0.01	0.01	0.0	0.0
サワシバ	-	1	-	5.4	-	0.00	-	0.0
計	434	456	13.2	12.7	26.78	26.21	187.3	183.1
継続木	381	381	13.3	14.1	24.59	25.78	174.4	181.6
枯損木	53	-	12.4	-	2.20	-	12.9	-
進界木	-	75	-	5.8	-	0.43	-	1.5

注：樹種の掲載順位は1986年材積の多い順である。

該当なしの場合は「-」を表示し、単位未満の「0」と区別した。

108.8cmのミズナラ、52.8cmのニレ、40.5cmのハンノキを含み、材積上のマイナスが大きかった(21.4m³/ha)。最終的には、ha当り材積は164.2m³から149.5m³へと9%もの減少を示した。なお、表-3からわかるように、このプロットの直径分布は、直径階16~22cmの部分が完全に欠けているのが特徴である(紙面の関係で省略したが第1回調査の際も同様であった)。また、表-3にみるようにプロット2と並び大径木の残っているプロットである。プロット内で直径が1mを越える調査木は、何れもミズナラで4本(直径137.5cm, 114.2cm, 107.5cm, 105.7cm)ある。そのため、材積構成をみるとミズナラのみで54%と過半を占めている。なお、第7林班北部に位置するプロット3~5の材積構成をみると何れもニレが約3分の1を占めており、その比率はプロット1, 2の倍以上である。

2) 進界木・枯損木の集計

表-4は枯損木についてプロット別樹種別本数をまとめたものである。枯損木の上位樹種はハシドイ(21%)、キハダ(19%)であり、以下ヤチダモ、クワ、クルミ、ダケカンバ、ハンノキ、ツリバナ、ヤナギと続いている。また、表-5は枯損木のうち直径が10cmを越える調査木についてのみ樹種名・枯損木の第1回調査時の直径を列挙したものである。枯損本数192本のうち10cm未満のものが136本(71%)を占め、以下、10~20cmが35本(18%)、20~30cmが9本、30~40cmが4本、40~50cmが4本、50~60cmが2本、60~70cmが1本、そして少し離れて100~110cmが1本であった。第1回調査時の全調査木に対する枯損本数の比率は全体で10.4%であった。測定期間が

表-2-3 プロット3の調査結果

樹種	本数(本)		平均直径(cm)		断面積(m ² /ha)		材積(m ³ /ha)	
	1980年	1986年	1980年	1986年	1980年	1986年	1980年	1986年
ニレ	49	55	18.0	17.8	5.33	5.71	40.2	42.8
ヤチダモ	48	48	23.3	22.2	5.19	4.95	40.3	38.7
キハダ	142	163	7.6	8.2	1.68	2.17	7.4	9.4
イタヤカエデ	8	7	34.3	32.5	1.83	1.47	11.9	9.4
カツラ	29	31	13.6	14.2	1.10	1.26	6.6	7.6
ハシドイ	129	149	8.2	8.2	1.64	1.87	5.9	6.7
ハンノキ	7	5	26.3	28.4	0.82	0.67	4.8	3.9
クルミ	31	30	11.4	10.3	0.98	0.67	6.0	3.8
セン	4	5	23.6	21.5	0.44	0.49	3.0	3.4
ミズキ	18	20	8.8	10.7	0.23	0.38	1.1	1.9
クワ	19	24	7.4	7.5	0.21	0.26	0.7	0.9
ツリバナ	29	21	6.8	7.0	0.23	0.17	0.7	0.6
ヤナギ	2	2	14.0	15.5	0.08	0.09	0.4	0.5
オオヤマザクラ	1	1	12.5	14.2	0.02	0.03	0.1	0.1
マユミ	2	4	5.7	6.9	0.01	0.03	0.0	0.1
ノリウツギ	6	5	6.6	6.7	0.04	0.04	0.1	0.1
ミヤマザクラ	2	4	6.7	6.7	0.01	0.03	0.0	0.1
オヒョウニレ	2	3	7.1	7.1	0.02	0.02	0.1	0.1
ニワトコ	-	1	-	6.2	-	0.01	-	0.0
計	528	578	11.5	11.3	19.86	20.32	129.3	130.1
継続木	477	477	11.4	12.5	17.88	19.78	116.7	128.4
枯損木	51	-	11.6	-	1.98	-	12.6	-
進界木	-	101	-	5.7	-	0.54	-	1.8

注：樹種の掲載順位は1986年材積の多い順である。

該当なしの場合は「-」を表示し、単位未満の「0」と区別した。

1980年、1986年ともに4～5cmの調査木(30本)は集計の対象外である。

1980年には4～5cmで存在していたが、1986年には枯死していた調査木(15本)は集計の対象外である。

1980年には4～5cmで、1986年に5cm以上となった調査木(72本)は進界木の項に含まれている。

5年と6年のプロットが混ざっているが、年平均枯損率は2%弱と思われる。プロット別にみても大体どのプロットも同様の数値をとっているが、しいていえば南側の2つのプロットが幾分高い。また、直径を10cm刻みに集計して本数枯損率を見ると(本数が少ないので50cm以上はまとめ、測定期間としては平均をとり5.6年とする)、10cm未満が2.0%、10～20cmが1.6%、20～30cmが2.0%、30～40cmが1.0%、40～50cmが1.7%、50cm以上1.5%である。30cm以下を中心に枯損が見られたが、40cm以上の値もそれほど低くなく全直径階で枯損がみられたのが特徴的である。

表-5でリストされた枯損木は全枯損木材積の90%以上をカバーしているが、このリストを樹種別に集計し枯損材積を計算すると、ミズナラ(枯損材積8.02m³、枯損本数1本)、ヤチダモ(4.68m³、10本)、ニレ(4.63m³、3本)の順になり、この3樹種で10cm以上の枯損木材積の約2/3を占める。ミズナラの枯損はわずかに1本であったが、直径が1m以上あったため、材積では最大となった。「択伐」時代に残されたミズナラ・ニレに混じってヤチダモの中径木の枯損木材積の大きさが注目される。ヤチダモの枯損が見られるのは第7林班北部に位置するプロット3およびプロット4である。標茶区ではかつてヤチダモのみ残し、他の樹種を除伐するという試みが行われたが、結局環境条件の変化により全滅に至った。また、松下ほか(1990)で扱った第10林班択伐調査区においても、ヤチダモの枯損が目立っている。学術参考林として30年間伐採が加わ

表-2-4 プロット4の調査結果

樹種	本数 (本)		平均直径 (cm)		断面積 (m ² /ha)		材積 (m ³ /ha)	
	1980年	1986年	1980年	1986年	1980年	1986年	1980年	1986年
ニレ	21	21	38.2	39.4	5.64	5.93	42.5	44.9
イタヤカエデ	22	22	32.5	33.6	4.46	4.68	28.6	30.2
ヤチダモ	42	33	17.3	17.9	2.53	2.07	18.1	14.8
ボダイジュ	18	19	20.5	20.7	1.62	1.75	11.2	12.1
ミズナラ	2	2	61.3	63.7	1.18	1.27	9.4	10.1
ハンノキ	11	9	26.1	27.3	1.30	1.18	7.6	7.0
オヒョウニレ	12	13	17.3	19.1	0.77	0.96	5.1	6.4
キハダ	25	26	11.2	12.6	0.74	0.89	3.8	4.6
ハシドイ	59	61	9.6	9.6	1.03	1.04	3.8	3.8
シウリザクラ	6	5	15.8	18.6	0.32	0.33	2.0	2.1
ノリウツギ	26	23	6.5	7.0	0.18	0.18	0.6	0.6
コブシ	4	5	10.0	9.8	0.08	0.10	0.4	0.4
クワ	8	12	7.4	7.3	0.07	0.11	0.2	0.4
ツリバナ	4	3	9.4	10.6	0.07	0.07	0.3	0.3
セン	1	1	7.5	9.5	0.01	0.01	0.0	0.1
ネムロブシダマ	-	1	-	5.4	-	0.00	-	0.0
計	261	256	17.2	17.7	19.98	20.59	133.5	137.8
継続木	237	237	17.5	18.6	18.93	20.41	126.6	137.0
枯損木	24	-	13.8	-	1.05	-	6.8	-
進界木	-	19	-	6.5	-	0.18	-	0.8

注：樹種の掲載順位は1986年材積の多い順である。

該当なしの場合は「-」を表示し、単位未満の「0」と区別した。

1980年、1986年ともに4～5cmの調査木(14本)は集計の対象外である。

1980年には4～5cmで存在していたが、1986年には枯死していた調査木(2本)は集計の対象外である。

1980年には4～5cmで、1986年に5cm以上となった調査木(13本)は進界木の項に含まれている。

進界木には1980年調査漏れと思われるオヒョウニレ(直径23.4cm、断面積0.09m²/ha、材積0.56m³/ha)1本が含まれている。

っていない第7林班においても緩やかながら枯死が進んでいる。

表-6は進界木についてプロット別樹種別本数をまとめたものである。一応集計を行い合計を求めておいた。進界木の上位樹種はキハダ(29%)、ハシドイ(17%)、ミズキ(10%)で、この3樹種で56%を占めミズナラ、クワ、ダケカンバ、ニレ、ヤチダモがその後に続く。直径10cm未満の小径木が1,245本と全体の64%を数え、うち283本が進界木による。つまり他の962本はこの測定期間を通じて10cmに満たなかったものである。これら継続的に10cm未満のものと同進界木のうちのどのくらいが枯損するのか、あるいは進級するのか等は直径分布の形状に大きな影響を与えるものであるが、これらについては今後の調査を待たねばならない。

3) 材積成長率

表2-1-1～5の数値より各プロットの年平均材積成長率を多い順に掲げると、プロット1が最も大きく3.5%増加で、それに次ぐのがプロット4の0.5%増加、プロット3の0.1%増加である。残りの2つのプロットでは材積が減少を示し、プロット2の0.4%減少、プロット5の0.5%減少となる(プロット4は註1により実際はもう少し低い値となる)。以上の結果より、プロット面積で加重平均した全体の平均材積は第1回調査結果が147.7m³、第2回調査が146.6m³であり年平均0.1%のマイナス成長となった。現在の材積自体もけっして高い方とはいえ、しか

表-2-5 プロット5の調査結果

樹種	本数(本)		平均直径(cm)		断面積(m ² /ha)		材積(m ³ /ha)	
	1980年	1986年	1980年	1986年	1980年	1986年	1980年	1986年
ミズナラ	10	15	67.3	42.2	11.27	9.59	95.9	81.0
ニレ	19	19	39.3	37.7	6.30	6.03	49.4	47.4
ハンノキ	15	15	22.8	21.1	1.66	1.49	10.0	8.9
イタヤカエデ	6	8	21.8	18.6	0.62	0.66	3.7	3.9
キハダ	47	74	7.0	7.6	0.49	0.83	2.1	3.5
ヤチダモ	16	17	9.3	9.8	0.31	0.37	1.8	2.4
ミズキ	8	17	7.3	9.0	0.07	0.23	0.3	1.1
ミヤマザクラ	2	7	7.2	8.3	0.02	0.08	0.1	0.3
オオヤマザクラ	4	4	8.1	10.5	0.04	0.07	0.2	0.3
クワ	9	10	8.4	6.8	0.11	0.08	0.4	0.2
シラカンバ	2	2	8.0	10.5	0.02	0.04	0.1	0.2
セン	3	6	5.5	5.9	0.01	0.03	0.1	0.1
タラ	2	2	7.3	7.9	0.02	0.02	0.1	0.1
マユミ	4	4	5.7	5.8	0.02	0.02	0.1	0.1
ツリバナ	-	2	-	5.9	-	0.01	-	0.0
ノリウツギ	-	1	-	5.4	-	0.00	-	0.0
計	147	203	17.8	14.7	20.96	19.56	164.2	149.5
継続木	135	135	17.3	18.8	18.29	19.09	142.8	147.7
枯損木	12	-	23.0	-	2.66	-	21.4	-
進界木	-	68	-	6.5	-	0.48	-	1.8

注：樹種の掲載順位は1986年材積の多い順である。

該当なしの場合は「-」を表示し、単位未満の「0」と区別した。

1980年、1986年ともに4～5cmの調査木(13本)は集計の対象外である。

1980年には4～5cmで存在していたが、1986年には枯死していた調査木(14本)は集計の対象外である。

1980年には4～5cmで、1986年に5cm以上となった調査木(43本)は進界木の項に含まれている。

も材積成長も見られないという結果である。

比較のために1989年7月に実施した標茶区第2林班、第3林班、第6林班のヤチダモ・ニレが主体の林分での第2回調査について、その材積成長率のみ記しておく(これら調査区は第1回調査時に番号を付けていないため単木レベルでの比較ができない)。第2林班のプロットは幹線林道の西側に位置しており多和川東側沿いの湿性林である。ヤチダモ、ニレの材積がそれぞれ全体の39%、35%を占め、下層にはヤチボウズがみられるような場所であるが、1985年の第1回調査以来わずか4年間でha当り材積は137m³から116m³へと大きく低下した(年平均3.9%の減少)。プロット中央部で枯損木が出ており材積を大きく低下させる原因となった。第3林班のプロットはヤチダモ林、とくに中径木を主体とする林分で、ヤチダモ、ニレの材積比率はそれぞれ60%、31%を占めている。ここでは、1985年の98m³から96m³と若干の減少をみせている(同0.4%の減少)。第6林班のプロットもやはり小河川沿いの湿性林であるが、プロットは2個ありABと区分すると、プロットAはヤチダモ、ニレの材積比率が51%、38%を占め、1985年から1989年にかけて材積は98m³から101m³へと増加した(同0.8%の増加)。プロットBについては、142m³から147m³へと増加した(同0.9%の増加)。これらプロットを面積加重し、1984年、1988年における平均蓄積を求めると、119m³、113m³となり、年平均成長率は1.1%のマイナスである。なお、大径木の枯損の見られた第2林班のプロットを除いて計算しても、材積成長率は高々0.4%弱のプラスに過ぎない。

ところで、現行の北海道演習林長期施業計画においては、0.5%という暫定的な天然林材積成

表-3 直径階別本数(1986年)

直径階(cm)	プロット1	プロット2	プロット3	プロット4	プロット5
4	72	76	123	29	36
6	138	123	183	44	78
8	89	93	93	40	28
10	59	46	47	19	16
12	36	30	28	11	8
14	18	23	22	13	5
16	17	14	12	11	
18	6	8	9	9	
20	8			11	
22	4	4	5	8	
24	2	2	1	9	1
26	1	3	3	2	4
28	1	1	9	4	1
30		2	8	2	4
32		1	6	1	2
34		2	8	7	1
36		1	4	4	2
38		3	4	6	1
40		2	1	4	1
42	1	1	2	5	2
44		3	2	3	2
46			1	2	
48		1	1	2	
50	1	2	1	5	
52		1	1		1
54		1	1		1
56		2			1
58			1		1
60		1		1	1
62				1	1
64				2	
68		2			
70		2			
72		1			1
74			1	1	
76	1				
78		1			
84					2
86	1				
88		1			
90			1		
94		1			
104					1
106					1
114					1
118		1			
122		1			
136					1
計	455	456	578	256	203

注：調査対象が直径5cm以上のため、直径階4cmには直径5~6cmの調査木が含まれる。

表-4 枯損木の樹種別本数

樹種	プロット1	プロット2	プロット3	プロット4	プロット5	計
ハンドイ		26	9	5		40
キハダ	21	3	10		2	36
ヤチダモ	2		6	11		19
クワ	5	2	4		4	15
クミ	1	6	6			13
ダケカンバ	9	3				12
ハンノキ		5	2	2	3	12
ツリバナ		1	10	1		12
ヤナギ	9	2				11
ノリウツギ			2	3		5
セン	4					4
ニレ		2			1	3
イタヤカエド		1	1			2
ミズキ		2				2
ヤマナラシ	1					1
マユミ			1			1
シクリザクラ				1		1
ボダイジュ				1		1
ミズナラ					1	1
タラ					1	1
計	52	53	51	24	12	192

注：樹種の掲載順位は5つのプロットの合計本数の多い順である。

1 長率が保続計算のために用いられている。その根拠は特にはっきりしないが白糠区の1%の半分ということになっているが、今回報告したプロット、昨年調査したヤチダモ・ニレ主体の林分での成長率はさらに低い値であった。今回報告したプロット1は30cm上のものが5本しかなく、小径木が中心のプロットである。当面の伐採対象となっている林分はむしろプロット2~5に近く、この場合は大径木の枯損の大きさによって成長率が短期的に左右される。しかも、この大径木は「択伐」時代に不良木として無視されたものであり不安定な状態にあるものと思われる。従って、現行長期施業計画上の外挿値である0.5%という控え目な材積成長率自体、その上限に近い値である可能性を示唆している。

5つのプロットのなかでは大径木の比率の高く平均材積が相対的に高かったプロット2とプロット5において大径木の枯損が発生し、しかも進界木材積、継続調査木の材積成長量も小さかった。このような状況が今後とも両プロット

表-5 直径10cm以上の枯損木一覧

プロット番号	樹種	本数(本)	直径 (cm)	材積 (m ³)
1	ヤナギ	3	11.5, 11.4, 10.3	0.12
	キハダ	1	14.4	0.08
	クルミ	1	11.3	0.05
	計	5		0.25
2	ニレ	2	67.5, 16.2	2.96
	ハンノキ	4	43.0, 16.9, 14.0, 12.5	1.17
	ハシドイ	13	20.4, 20.0, 17.2, 16.7, 16.0, 15.0, 14.1 14.0, 13.8, 13.8, 11.0, 10.4, 10.2	0.92
	イタヤカエデ	1	39.0	0.75
	クルミ	1	19.5	0.18
	ヤナギ	1	11.7	0.05
	計	22		6.00
3	ヤチダモ	4	41.0, 30.3, 26.5, 17.3	2.23
	イタヤカエデ	1	51.5	1.41
	クルミ	2	39.0, 28.0	1.28
	ハシドイ	3	15.6, 15.4, 14.2	0.20
	ハンノキ	2	33.8, 16.5	0.64
	キハダ	1	15.0	0.08
	ツリバナ	1	10.5	0.03
計	14		5.86	
4	ヤチダモ	6	40.0, 29.8, 27.5, 21.3, 13.8, 13.2	2.45
	ハンノキ	2	25.5, 25.0	0.55
	ハシドイ	2	19.5, 16.5	0.21
	計	10		3.20
5	ミズナラ	1	108.8	8.02
	ニレ	1	52.8	1.67
	ハンノキ	2	40.5, 10.0	0.85
	クワ	1	15.4	0.07
	計	5		10.61

注：樹種の掲載順位は枯損材積の多い順である。

単位未満四捨五入のため合計と内数の和が一致しない。

において続くのかどうか注目される。現行の計画では第 XII 分期先まで一定比率の材積成長が続くことを仮定しているが、単純な複利計算をすると60年後には約35%増となる。しかしながら、一定以上の材積になると上でみたような低下傾向があるとすると、保続計算の際に上限の設定が必要になる。

ところで、本調査はまだ2回を数えるのみであり各プロットの細かな分析を始め上記の材積成長率算定についても今後調査を重ねることにより、より確かなデータを得る必要がある。プロット内のこれまでの大径枯損木、「択伐」時代に伐採されたと推定される伐根の調査などを行うことにより「択伐」後30年間の変化をある程度議論できるように思われる。これらは、第3回調査終了後、林分の直径分布との関連で議論する必要がある。また、隣接の第5林班、第6林班の学術参考林内のプロット調査、その他林内の各調査等を積み重ね、より実態に合った材積成長率を検討していく必要がある。

表-6 進界木の樹種別本数

樹種	(本)					計
	プロット1	プロット2	プロット3	プロット4	プロット5	
キハダ	8	15	31	1	29	84
ハンドイ		14	29	7		50
ミズキ	3	14	2		9	28
ナラ	12	5			6	23
クワ	1	3	9	4	5	22
ダケカンバ	2	11				13
ニレ	1	5	6		1	13
ヤチダモ	1	2	6	2	1	12
ミヤマザクラ			2		5	7
クルミ			5			5
ツリバナ			2		2	4
セン			1		3	4
イタヤカエデ	1				2	3
ヤナギ	1	2				3
カツラ		1	2			3
ノリウツギ		1	1		1	3
マユミ			3			3
ハンノキ					3	3
オヒョウニレ			1	1		2
ボダイジュ				2		2
オオヤマザクラ		1				1
サワシバ		1				1
コブシ				1		1
ネムロブシダマ				1		1
ニワトコ			1			1
タラ					1	1
計	30	75	101	19	68	293

注：樹種の掲載順位は5つのプロットの合計本数の多い順である。

表2-1-1~5の脚注で断わったように、1980年または1981年調査時に4~5cmで、1986年に5cmを越えていた調査木(129本)を含む。

4. 材積推定とボロノイ図

1) 林分の材積推定

ある林分の材積推定を行う場合、通常は標準地法あるいは標本地法が採用される。ところで、標準地法では、対象林分を踏査したり航空写真を用いて平均的な場所を選択し、毎木調査を行うものである。従って、推定値の確からしさは測定者の場所選択の如何に関わることとなる。また標本地法では無作為抽出により、標準誤差、信頼区間をも得ることができるが、当然そのためには一定の手続きが必要である。ところで、実際に天然林に設置されているプロットを見ると、位置が現在確認可能で、かつ最新のデータが入手可能というプロットは必ずしも標準地でもなければ標本地でもない。一般に、天然林の固定調査地の継続は様々な点で困難を伴い、これまで北海道演習林標茶区では必ずしも一定の基準による統一的な調査が行われてきたとは言い難い状況にある。その理由の第1は、調査目的、そしてそれに伴い調査方法が時代とともに変化することで

ある。従って、ややもすると調査者が交代する度にプロット設定が必要といった非効率を生みがちである。一定の目的をもって標準地を設定する以上、目的等に変化があれば既存のプロットには満足できないといった状況が多々見られる。第2に人的側面などによる調査事業継続の困難性である。第3に長い時間のなかで林道等によりプロットそのものがなくなったり、プロット位置が不明確になったり、調査資料が散逸したりすることによるデータ自体の消滅である。

標茶区学術参考林は現在のところ、まだ林相図を作られていないほか、航空写真、リモートセンシングなどによる大域的な分析は実施されていない。また、本研究で用いられたプロットについても、設定当時の資料には単に「7林班の特徴ある林分に設定された」としか記載はなく、設定基準も必ずしも明確ではない。また、大畠ほか(1982)で報告された第5林班学術参考林内の4つのプロットについては、面積が0.02haと小さく、さらに当時境界杭として木杭を使用したため、前回調査後9年を経た1989年に位置確認を行ったところ何れも発見不可能という状態であった。

こうした調査の不連続性は、広域の調査では必ず生じるといってよいであろう。それではこのような場合、プロットの調査結果より全体を計算するにはどうしたらよいのであろうか。一番簡単な方法は、調査結果の単純平均(あるいはプロット面積をウェイトとする加重平均)であり、主としてこの方法が採用されてきた。つまり、各データの重みが全く分からないため皆平等に扱うという考え方である。次に、各プロットが面的にその周囲を代表していると考えられるという情報が与えられた場合(そのようにプロットが設定されたと仮定した場合)の加重計算方法が次に述べるボロノイ図に相当する。

2) ボロノイ図

平面上に複数の点が与えられたとき、平面上の任意の点はそれらの所与の点のどこに1番近いかを定めることが可能である。このようにして決まるある点の勢力圏をボロノイ図(Voronoi Diagram)という。ボロノイ図の応用は社会科学、自然科学の双方に及んでおり、また近年では効率的な解法の研究も進んでいる。林学関連分野では、樹木の空間分布問題への応用がBrown(1965)、高田ほか(1988)により議論され、また長谷川ほか(1977)によって動物のなわばり分析などに応用されてきた。以下、ボロノイ図に関しては室田(1983)をもとに議論を進める。

ボロノイ図の基本は、所与の2点から等距離の点の集合は2点間の垂直二等分線によって与えられるというものである(ここでは距離として通常のユークリッド距離を用いるが、別な定義も可能である)。隣接する2点について各々垂直二等分線を引くことによって完成する多角形(互いに相隣合う3点を取り上げると、任意の2点の垂直二等分線は1点に交わり、三角形の外心と呼ばれる)をボロノイ多角形といい、この多角形で囲まれる部分はその多角形内部にある1点(母点という)で代表される。材積推定でこの考えを用いるということは、未調査地は最も近いプロットで代表するという仮定することになる。第7林班について、各プロットの中心(対角線の交点)を母点として各プロットの勢力圏を決定したものが図-3である。例を示すと、北部のプロット3、プロット4、プロット5を頂点とする点線で示される三角形の各辺の垂直二等分線の交点が外心Oである。外心Oを中心とする三角形の外接円内には他の母点は存在しない。ボロノイ図は外心同士結んだ線分と、外心から外へ向かう半直線からなるので、とりあえず林班界をいれておく。なお、図からわかるようにプロット2で代表される面積が大きい、今もしも林相が全くわかっていないのであれば、各プロットの精度はボロノイ多角形の面積が規定することになるから、このプロット2のボロノイ多角形の南西部に新たにプロットを作ることにより精度は向上する(実際問題、第7林班南西部からプロット3の南側にかけては低湿地となって

おり、部分的には材積がほとんどない部分があることがわかっている)。

この方法では区域外のプロット結果も援用可能となる。第7林班内部のみで計算すると5つしかプロットがないが、第7林班に隣接する第5林班、第6林班のボロノイ多角形のうち第7林班に食い込んでいる部分をもデータとして加えることが可能となる。例えば、第6林班に属するプロット6のデータを追加すると、プロット6の第7林班における勢力圏は図の点線ABCDおよび林班界で囲まれる部分である。これはプロット6を追加する以前のプロット5、プロット3、プロット2の勢力圏を再配分することになる。別な言い方をすると、このプロット6はプロット5の旧勢力圏の南半分を代表しており、プロット3、プロット2の勢力圏に与える影響は小さい。また、隣接しないプロット4、プロット1には何の影響も与えない。このように隣接林班のデータを用いることができる。同様に、第7林班の5つのプロットの勢力圏は周囲の第5林班、第6林班にまで及ぶ。逆に最初からプロット6のデータがあったが、どうしても当該林班だけのデータを用いたい場合は点線で囲まれたプロット6の勢力圏を、隣接するプロット2、プロット3、プロット5に再配分し実線のように修正するというように考えればよい。

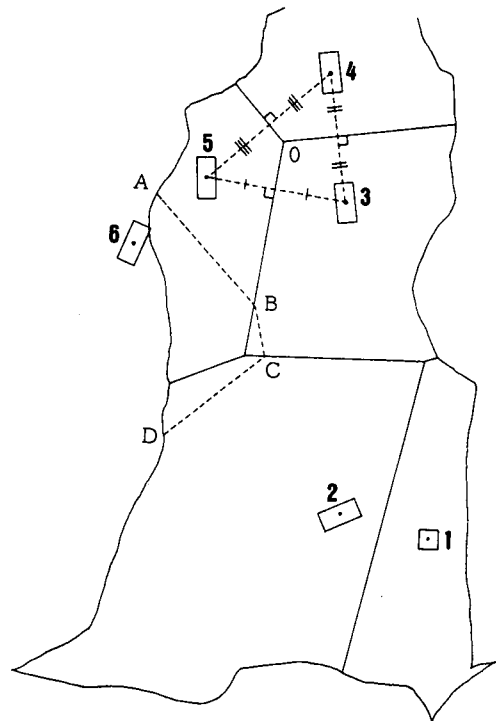


図-3 ボロノイ図

以上、ボロノイ図の基本である等しいウェイトを持った点に関する議論の単純な適用方法を例示した(南部が林班全体を代表していないことが明らかのため、計算結果は示さない)。ところで、第7林班の調査地はプロット1を除き皆0.5haと等面積であるため、先に示した図-3のように単純に中点をとることに一理あると思われるが、常に等面積とは限らない。各点が等しいウェイトを持つとは、ボロノイ多角形の内部を母点ただ1点に代表させることを意味している。ところで、例えば第5林班の旧プロットは0.02haと小さく、本論文で報告したプロットとはその面積に25倍もの差がある。こうした全く大きさの異なるプロットを等しく扱うのは問題である。ボロノイ図作成の際にプロットの大きさを重みとして検討することも可能であるが、このように母点にウェイトがある場合は勢力圏は単純な垂直2等分線ではない。簡単な例をあげると、大きな円とそれに外接する小さな円がある場合を考えてみるとよい。この場合、2つの円の中心が母点に当たる。母点同士を結んだ線分の垂直2等分線は大きな円を明らかに横切っておりこのような境界区分が問題であることは明らかである。この場合は、2つの円の共通内接線が区分線となることが容易に理解される。

この議論はボロノイ図の考え方が点のみではなく線分・一般図形に対しても容易に拡張できることを意味している。以上の説明では母点(各プロットの中心)が周囲を代表しているという仮定から出発したが、今度は尾根・谷といった地形要素により区分できるという仮定を考えてみよう。谷部、尾根部に適当な相交わらない線分を引き、線分上の大体の材積(細長いプロットを設定、あるいは仮想)を推定し、この線分に関するボロノイ図を検討することができる(線分同士

のポロノイ図は線分及び放物線となり、自動計算・作図は難しいとされる)。このようにして作成されたポロノイ図と先の結果を適当に組み合わせることも可能である(地理情報システムにおける面的情報の重ね合わせ)。もっともこうした方法は、もともと情報のない場所における総材積等の基礎的経営資料を得るための便法であり、重ねる要素も高々2~3種程度にとどまるように思われる。ところで、物理学、化学などにおける精緻な管理実験の測定結果と異なり森林に関する情報はその意味では測定結果は厳密な意味での確率・統計学の対象とはなりにくい側面を持っている。特に経営的側面を議論する場合、忘れてはならない点は、調査がコスト的に見合うかどうかである。本報告で述べたような便法もその林分に関する大域的な情報がほとんどない場合には、暫定的な第1次近似としてある程度有効なのではないかと思われる。

5. おわりに

以上、本論文では、標茶区第7林班学術参考林内の固定標準地の第2回調査結果を集計し、その結果を報告した。また、ポロノイ図により調査林班の総材積を算定するためのウエイト付けの方法について解説した。

道東は草地開発、人工林化など様々の形で大規模な土地変化が進み、天然林が残されている地域は非常に少なくなっており第7林班を始めとする標茶区学術参考林の価値はその意味で高いものと思われる。現行の北海道演習林長期施業計画のなかで継続調査として位置づけられている標茶区学術参考林内の固定調査区の毎木調査が今後とも確実に継続されることにより、道東の天然林の動態に関する貴重な資料を今後とも提供することが可能となる。隣接の第5林班、第6林班学術参考林内においてもプロットの整備を進めていくことが望まれる。また、限られたプロット調査のみではなく、リモートセンシング、航空写真、踏査による林相図作成等を通じて面的な森林情報をも併せて収集することにより、大学演習林の学術参考林としての価値をより一層高めることが可能となる。

註

- 1) 本調査は0.1cm括約で調査を実施したはずであるが、プロット4の第1回調査結果をみるとミリ単位が0と5のものが異常に多く、合わせて85%に達している。途中まで0.5cm括約で調査したものと推測される。また、プロット3も部分的にミリ単位が0と5に集中し、両者を合わせると55%に達している。実際の調査上、比較的0と5が多くなりがちなのはある程度仕方ないものの、これはやや異常である。その意味でプロット3とプロット4については第1回調査の直径がやや低めに測定されている可能性がある。
- 2) 2回の調査の延本数は2,230本であったが、以下の4点について補正をこの順序で行った。本報告では多くの補正を行ったが次回の第3回調査において、これら補正結果の一部は見直すこととする。
 - ①第2回調査時点での直径が第1回調査時点での直径より小さい場合、無条件に第2回調査の数字を正しいものと仮定し、第1回調査の直径を第2回調査の数字で置き換えた。つまり直径成長が小さかったための測定誤差と考えることとした。どちらの調査も学生実習の一環として実施したため、また調査が2回しか行われていないためどちらがより正確かについては何ともいえない。しかしながら、プロット5についてのみ直径が小さくなった調査木について現地での再確認の作業が行われており、いずれも小さくなった直径に誤りがないことが確認されており、第2回調査のほうが確からしいように思われる。直径が小さくなった調査

木の本数はプロット1が38本（プロット内調査本数の7.5%）、プロット2が56本（11.0%）、プロット3が19本（2.8%）、プロット4が21本（7.1%）、プロット5が14本（5.8%）の計148本（6.6%）であった。なお縮んだ直径が1cm以上のものは23本あり、うち5本は8～10cmのため2回の調査のどちらかの直径が10cm違っているものと思われるが、本報告では現地での再確認による修正を行っていない。直径の小さくなった調査木については、第3回調査の際に注意する。

②進界木のうち直径が10cm以上あり第1回調査時の見落としの疑いのあるものは計10本（0.4%）あり、うち20cmを越えていたのはプロット4のオヒョウニレ1本（23.4cm）であった。これら10cm以上の進界木も未補正のまま進界木として計上されている。

③調査方法の不徹底により最小測定直径が4cmの調査と5cmの調査が混在しており、それを機械的に5cmに統一した。具体的には、第1回調査で4～5cmだった調査木が第2回調査では5cmを越えた場合、進界木とみなす処置をとり、2回とも最低直径に達しないもの（第1回調査時に4～5cmで第2回調査時に枯損したものを含む）はデータから削除された。この結果、90本（4.0%）が削除され、129本（5.8%）が調査上は継続木であるが進界木と区分された。

④サクラ、カエデの種類については過去2回の調査野帳等をもとに確定した。また、プロット1のカエデ進界木、プロット3のサクラ進界木については当該プロットにある唯一の樹種であるイタヤカエデ、ミヤマザクラを当てはめたので、次回調査時にこれら樹種の再確認が必要である。

引用文献

- 1) 北尾邦伸：京大北海道演習林経営史・試論。京大演集報。15。1～34, 1982
- 2) 和田茂彦・岡部宏秋：立木材積計算の簡略化について。京都大学農学部附属演習林業務参考資料集 '84。1～12, 1984
- 3) 和田茂彦・川村誠・牧瀬明弘：天然林の樹高曲線について。京大演集報。15。76～85, 1982
- 4) 大畠誠一・竹内典之・北尾邦伸・和田茂彦：天然林の純成長量の推定と問題点。京大演集報。15。86～95, 1982
- 5) 松下幸司・大窪勝・木田政彦・佐藤修一・石原寛一・山田谷三：北海道演習林標茶区における天然林の動態に関する研究—10林班択伐調査区の11年間の変化—。京大演集報。20。116～132, 1990
- 6) 赤井龍男・山田谷三ほか：京都大学農学部附属演習林北海道演習林長期施業計画。第一次計画期間（1987～1996）。1989
- 7) 北村昌美：標本調査における森林材積の推定。大隅眞一編著『森林計測学講義』所収。養賢堂。東京。136～166, 1989
- 8) 高田和彦・小林正吾：樹木の空間分布の尺度としてのVoronoi多角形。日林誌。70(11)。491～494, 1988
- 9) 長谷川政美・種村正美：生物集団に見られる幾何学的パターン—動物のなわばりを中心に—。北方林業。29(5)。115～119, 1977
- 10) 室田一雄：Voronoi線図とDelaunay三角形分割。『地理的情報の処理に関する基本アルゴリズム』所収。日本オペレーションズ・リサーチ学会報文シリーズ。T-83-1。98～134, 1983