

2.3. 現地調査(宮崎県)

2.3.1. 調査地の概要

宮崎県日南市に位置する宮崎南部森林管理署管内のオビスギの植栽密度試験地(以下「ネルダー試験地」という)において地上部および地下部の調査を実施した。

調査地は図 2.23 に示すとおり、昭和 48 年度(昭和 49 年 1 月)に宮崎南部森林管理署内の板谷国有林に設定されたネルダー試験地に相当する。



図 2.23 調査位置

(1)ネルダー試験地について

ネルダー試験地は当初、オビスギを弁甲材から一般建築材へ転換利用するに当たり、適切な植栽密度を決定することを目的に設置された。板谷国有林と約 30km 西に離れた大荷田国有林に各 2 プロット、合計 4 プロットが配置されている。

各国有林の 2 つのプロットは、ほぼ同じ地位で同心円方向に等間隔で 36 本植栽され、半径約 35m の中心付近から外部方向に、超高密～低密度で同心円状に配置されている。植栽樹種はスギ(トサアカ:挿し木苗)である。各国有林のネルダー試験地の概要を図 2.24 に示す。

【大荷田国有林140ぬ林小班】
 LPデータなし
 略正方形植栽
 標高320m、傾斜25度(NW)
 地質：砂岩泥岩互層
 土壌：適潤性褐色森林土(偏乾亜型)
 有効深度45cm
 地位級15
 (施業)
 無間伐
 下刈り10回、9年目で除伐
 ツル切り5,6,7年 枝打ち13年目
 (1世代前)
 大正13年植栽スギ40年生人工林
 平均樹高20m、495m³/ha



【板谷国有林98た林小班】
 LPデータあり(低密度)
 略三角形植栽
 標高520m、傾斜 不明
 地質：砂岩層
 土壌：適潤性褐色森林土(偏乾亜型)
 有効深度〃
 地位級 不明
 (施業)
 2001~2002に高密度域で間伐
 下刈り不明、
 ツル切り不明、枝打ち不明
 (1世代前)
 モミ・ツガ、その他広葉樹林
 平均樹高不明、310m³/ha

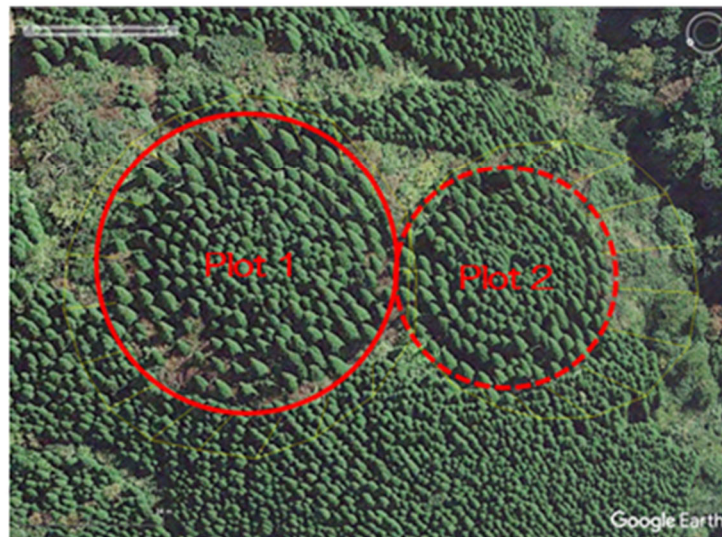


図 2.24 ネルダー試験地の概要

(2) 大荷田国有林と板谷国有林

大荷田国有林と板谷国有林の違いは、植栽配置と施業履歴ならびに調査履歴である。

1) 植栽配置

図 2.25 に示すとおり、板谷国有林のネルダー試験地は、円周方向の立木配置が交互となる略三角形植栽となっている。一方、大荷田国有林は、放射方向に配列される略正方形植栽となっている。

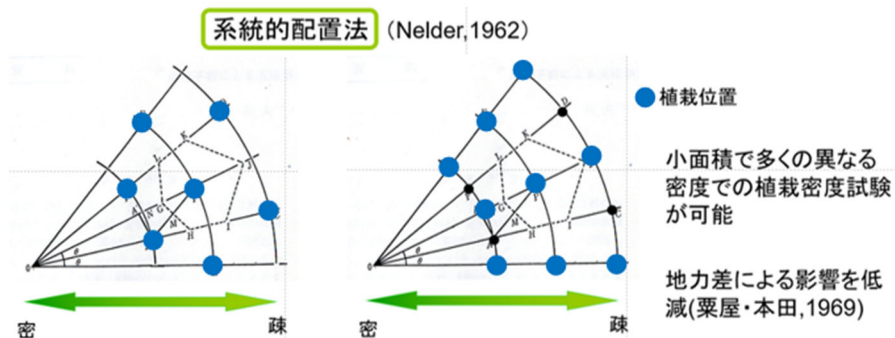


図 2.25 系統的配置法(左:略三角形植栽 右:略正方形植栽)

2)施業履歴

大荷田国有林は、再造林林分に相当し前生樹はスギの40年生である。植栽後、幼齢段階で下刈りとツル切り、若齢段階で枝打ちが実施されたものの、その後は無施業で推移している。今後の施業方針として、宮崎南部森林管理署によると、今後も無施業で推移を計測する予定である。

板谷国有林は、拡大造林として植栽された。前生樹はツガやモミを含む広葉樹林であった。植栽後の施業履歴は不明瞭である。2002年に同心円の中心付近において間伐が実施されている。また、2007年に九州大学によって、樹幹解析のため3本伐採されている。

3)調査履歴

大荷田国有林では、5～10年に1回の頻度で胸高直径と樹高が計測され、材積や形質に関する論文が発表されている。一方、板谷国有林では、2007年に九州大学による形質調査が実施されているが、胸高直径や樹高に関し、継続的な調査は実施されていない。

大荷田国有林の調査成果を図2.26に示す²⁵。平成26年(41年生)時における試験地内の胸高直径と樹高成長をもとに、ha当たりの植栽本数密度に対する材積を示している。平均胸高直径は、ha当たりの植栽本数密度が高いほど小さく、密度が低いほど大きい。最大径が39.3cmに対し、最小径は14.1cmと2.8倍である。樹高についても、低密度ほど高く(20.6m)、高密度ほど低い(15.3m)。一方、材積について、41年生のha当たりの材積は1,200～5,800本/haで700～900m³/haの値を示し、植栽密度に関わらずほぼ一定となっている。

ha当たりの材積は、調査年度毎の成果が記録されており、15年生までは植栽密度が高いとha当たり材積も高い。しかし、31年生以降は、低密度域の材積蓄積速度が低減する一方、高密度域は材積蓄積が停止する。実際の結果として3,000～4,000本/ha周辺の植栽密度域を中心として、相対的にha当たり材積が増大している。

ha当たりの材積量は地上部の成長の過程を把握することになるため、地下部の根系の量と分布等を把握すれば、植栽密度や生育密度の違いによる特性を把握することが可能となり、間伐等の施業によって望ましい根系の発達へ導く根拠を得ることができる可能性がある。

なお、LPデータについては、板谷国有林ではデータが取得されているが、年次が古く低密度データとなっている。大荷田国有林のLPデータは取得されていないが、本年度の九州森林管理局の森林・林業の技術交流発表会において、UAVレーザを活用した研究が発表されている。

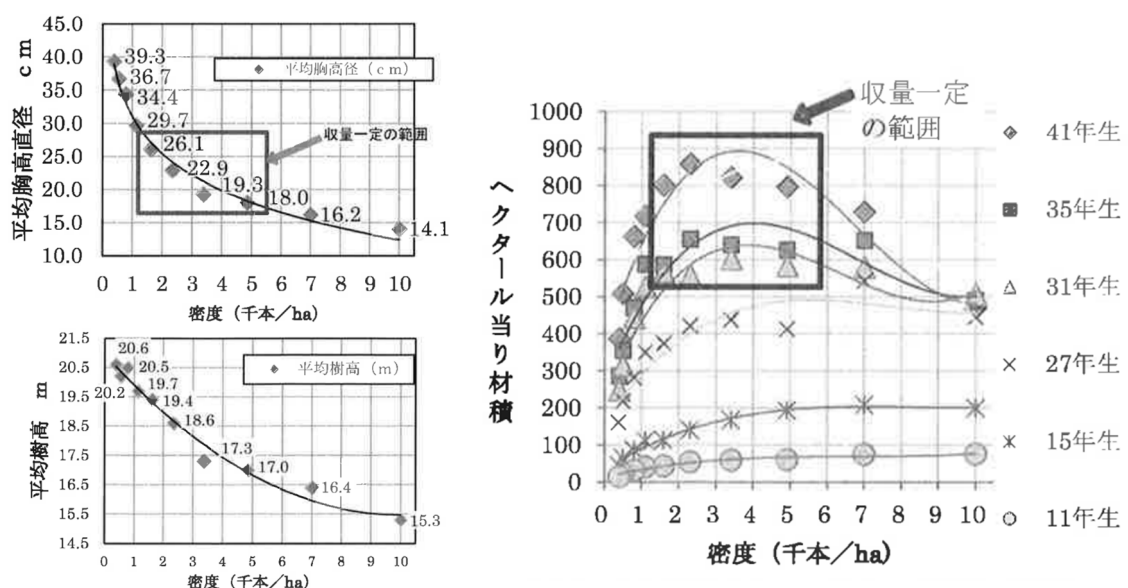


図 2.26 植栽密度と成長(左上:平均胸高直径 左下:平均樹高 右:ha 当たり材積)

²⁵ 下山晴平・石神智生(2017)オビスギ密度試験地40年の成果. フォレストコンサルNo.147. P49-63

2.3.2. 調査内容

本年度の第1回検討委員会において、根系調査は、地形や地質の影響が根系の成長に影響を受けにくく、立木間隔等、地上部の条件が整えられており、かつ生育に伴う時系列的な成長履歴を追跡できる「林分密度試験林」等での調査が望ましいと意見をうけ、板谷ネルダー試験地において実施することとした。

前述のとおり、最初に文献等を活用しネルダー試験地(大荷田国有林、板谷国劉林)の特徴を把握した。次に、板谷ネルダー試験地における現在の成長状況を把握するため、UAV や地上レーザ機器を活用して林分成長量調査を実施した。その上で、過年度の根系に関する定量調査と同様、理論式による ΔC や Wr の算定値を現地照合するため、地下部調査として掘削調査を実施した。また、地上部の成長との関係を明らかにするために、調査対象木を選定し、年輪解析や枝葉の現存量調査を実施した。なお、貴重な試験林であるため、極力林分を攪乱させないよう調査対象木と掘削地点の選定は慎重に検討した。

掘削調査は、根系全量調査を1箇所、根系サンプリング調査を3箇所実施した。根系全量調査は、ネルダー試験地における標準的な成長を示す立木について、地上部と地下部の現存量を把握することと、根系サンプリング調査における掘削地点の根系分布の特性を確認することを目的として実施した。

根系サンプリング調査では、立木間中央の幅 60cm×延長210cm×深さ 80cm で Wr を取得し、 ΔC は立木間中央の延長 210cm×深さ 80cm の断面に露出する根系の直径毎の本数をもとに算出した。

2.3.3. UAV および地上レーザ機器による林相把握

(1) UAV による林相把握

調査地は図 2.27 のとおり、UAV を活用して調査対象地周辺の林相を上部から撮影した。



図 2.27 板谷国有林ネルダー試験地の UAV によるオルソ撮影写真

(2) 地上レーザ機器による立木配置

地上レーザ機器(OWL)を活用し、プロット1におけるE～Lの植栽円を中心に図2.28に示す立木配置図を作成した。また、前述のUAV撮影の際に設定した対空標識を目印にオルソ画像と重ね合わせ、図2.29のとおり樹冠投影図を作成した。

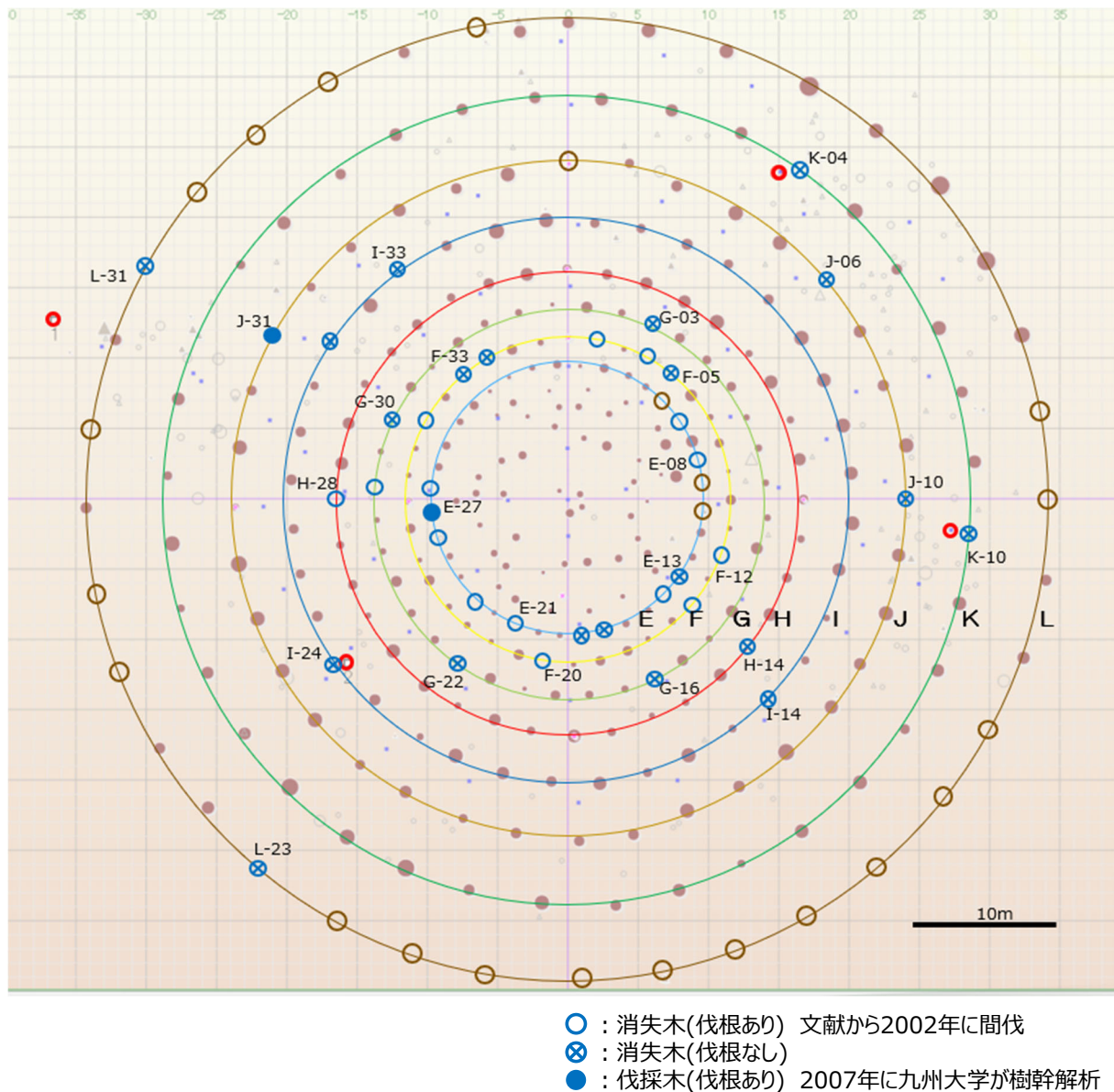


図 2.28 地上レーザ機器による立木配置図

表 2.5 植栽当初の同心円別植栽位置情報

記号		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
円周の半径	m	4.63	5.56	6.67	8	9.6	11.52	13.82	16.58	19.9	23.88	28.66	34.39
苗間(放射方向)	m	0.94	1.11	1.33	1.6	1.92	2.3	2.76	3.32	3.98	4.78	5.73	
苗間(接線方向)	m	0.81	0.97	1.16	1.40	1.68	2.01	2.41	2.89	3.47	4.17	5.00	6.00
1本当たり占有面積	m ² /本	0.7	1.0	1.4	2.1	3.0	4.3	6.2	8.9	12.8	18.5	26.6	38.3
1ha当たり本数	本/ha	14,440	10,000	6,944	4,823	3,349	2,326	1,615	1,122	779	541	376	261

樹幹投影図により、それぞれの樹冠形状やうっ閉状況、広葉樹の侵入状況等を把握できる。E～J 円の密度域の立木は、それぞれ隣接木の樹冠によりうっ閉している。K～L 円密度域の立木では、隣接する樹冠の間に隙間があり、うっ閉していない。

EFG 円密度域の立木では、消失あるいは間伐した立木の空間に隣接木の樹冠が占有している箇所がある。また、IJK 円密度域の立木では、消失あるいは間伐した立木の空間は、開放しているか広葉樹が侵入している。

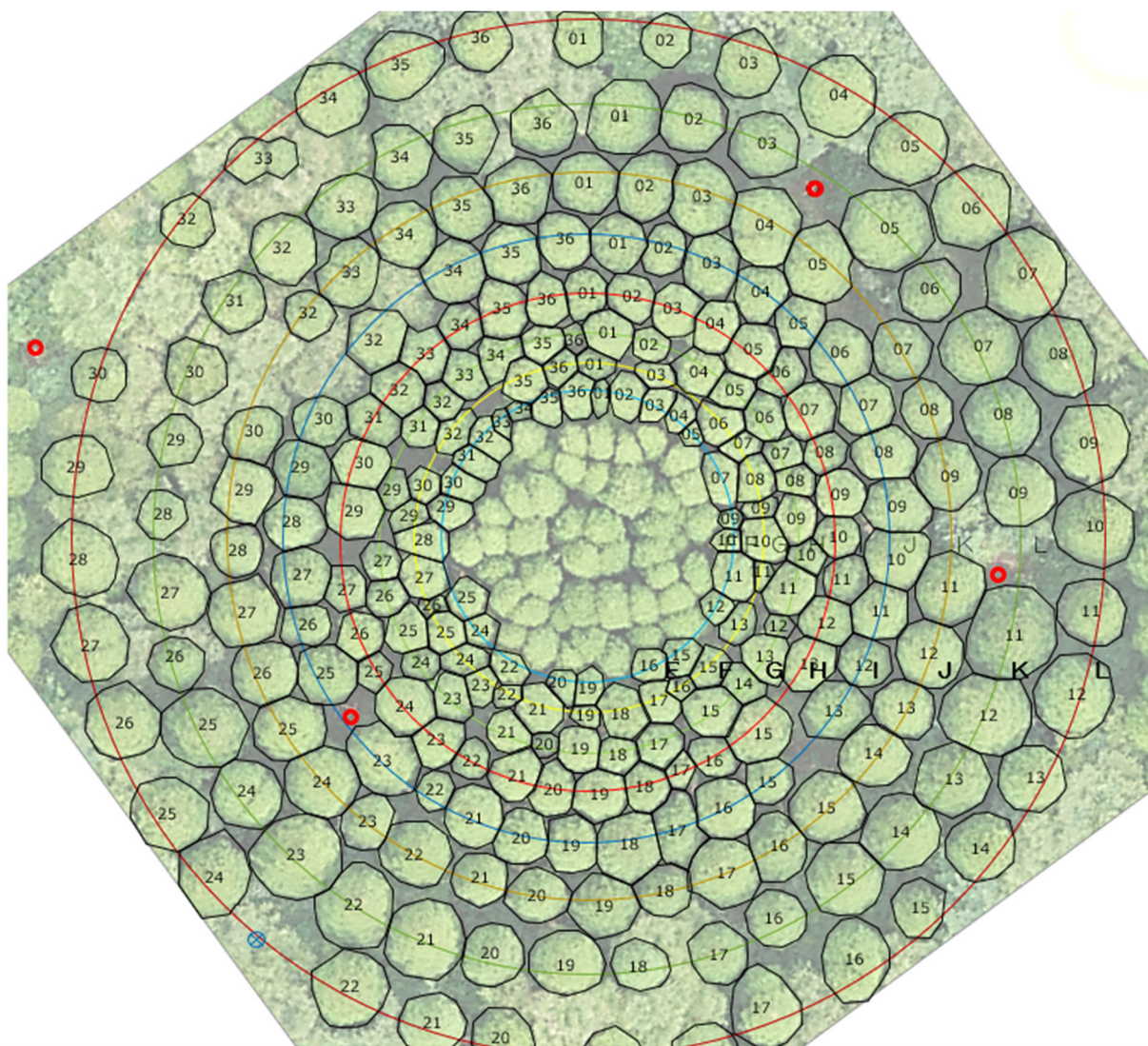


図 2.29 地上レーザ立木配置と UAV オルソ写真を重ね合わせ樹冠形状を表現

2.3.4. 林分成長量調査

(1) 立木位置別成長量

プロットNo.1 とNo.2 について、表 2.6 および表 2.7 に示すとおり、すべての立木の成長状況を計測した。胸高直径は直径巻尺、樹高はバーテックスIVを活用した。

1) 直径成長

図 2.30 に示すとおり、No.1 およびNo.2 のプロットのうち E から L の植栽密度円の胸高直径を比較した。左図のように、すべての植栽円を示すと煩雑になるため、内部(E～G)と外部(IJK、L は控除)に区分し、中部(GHI)は図 2.31 に示した。

表 2.6 全木の胸高直径と樹高(プロット1)

板谷ネルダー集計 プロットC1 令和3年8月31日、令和4年1月21日調査

板谷ネルダー集計 プロットC1 令和3年8月31日、令和4年1月21日調査

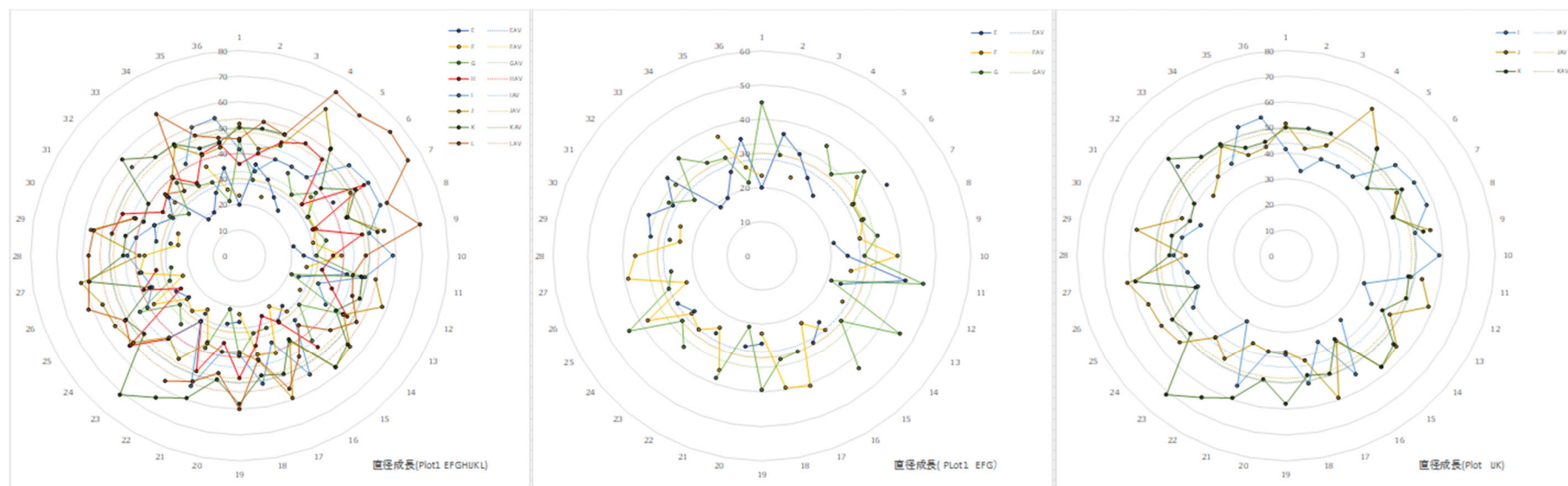
サークル A				サークル B				サークル C				サークル D				サークル E				サークル F				サークル G				サークル H				サークル I				サークル J				サークル K				サークル L							
No.	DBH (cm)	樹高 (m)	材積	No.	DBH (cm)	樹高 (m)	材積	No.	DBH (cm)	樹高 (m)	材積	No.	DBH (cm)	樹高 (m)	材積	No.	DBH (cm)	樹高 (m)	材積	No.	DBH (cm)	樹高 (m)	材積	No.	DBH (cm)	樹高 (m)	材積	No.	DBH (cm)	樹高 (m)	材積	No.	DBH (cm)	樹高 (m)	材積	No.	DBH (cm)	樹高 (m)	材積	No.	DBH (cm)	樹高 (m)	材積								
1	×			1	×			1	26.9	20.3	0.55	1	△			1	19.9	18.8	0.29	1	23.4	18.6	0.39	1	44.9	24.2	1.56	1	35.7	22.3	0.98	1	41.5	22.7	1.28	1	51.5	25.5	2.06	1	49.8	23.4	1.79	1	45.6	21.0	1.39				
2	24.4	19.2	0.43	2	△			2	△			2	△			2	36.2	22.2	1.00	2	△			2	29.9	21.3	0.70	2	40.4	22.8	1.23	2	33.4	20.8	0.82	2	42.3	23.1	1.35	2	50.2	22.9	1.78	2	53.0	23.5	2.00				
3	△			3	×			3	26.3	20.9	0.54	3	×			3	31.6	21.2	0.76	3	24.3	20.3	0.46	3	×			3	47.0	23.5	1.63	3	40.0	21.3	1.13	3	45.7	21.5	1.43	3	50.5	22.5	1.76	3	50.3	21.0	1.64				
4	38.2	21.5	1.06	4	△			4	×			4	23.4	19.4	0.41	4	26.2	20.3	0.52	4	△			4	37.1	21.7	1.02	4	50.6	24.1	1.89	4	40.0	22.1	1.18	4	66.0	26.0	3.18	4	×			4	73.7	26.9	3.95				
5	△			5	△			5	△			5	△			5	22.9	18.8	0.38	5	×			5	31.1	22.4	0.78	5	49.0	23.9	1.78	5	40.0	23.1	1.23	5	54.5	24.1	2.14	5	54.1	24.3	2.14	5	71.4	25.5	3.55				
6	△			6	△			6	×			6	×			6	29.7	22.1	0.72	6	△			6	38.2	22.7	1.12	6	31.2	21.3	0.75	6	54.8	25.5	2.29	6	×			6	40.8	22.3	1.23	6	75.2	26.8	4.07				
7	×			7	21.5	18.8	0.34	7	△			7	△			7	32.7	21.7	0.83	7	41.4	24.0	1.35	7	30.5	22.2	0.75	7	30.0	20.7	0.68	7	55.0	25.4	2.29	7	56.8	21.2	2.02	7	49.1	24.8	1.85	7	51.4	22.8	1.84	7	74.5	25.2	3.77
8	×			8	△			8	15.9	16.8	0.17	8	△			8	△			8	31.1	21.5	0.75	8	30.5	20.3	0.69	8	29.8	20.5	0.67	8	57.4	25.1	2.43	8	43.5	22.8	1.39	8	44.0	21.1	1.32	8	60.0	23.7	2.47				
9	×			9	△			9	△			9	△			9	24.0	18.8	0.41	9	20.9	18.8	0.32	9	28.6	20.0	0.60	9	33.7	22.5	0.90	9	47.7	23.3	1.66	9	50.3	23.1	1.80	9	56.2	22.7	2.13	9	53.6	22.3	1.93	9	70.2	25.3	3.43
10	△			10	16.5	17.0	0.19	10	△			10	△			10	24.6	19.4	0.44	10	39.0	22.1	1.13	10	29.5	19.5	0.62	10	35.9	22.3	0.99	10	58.7	24.7	2.49	10	×			10	×			10	48.4	21.4	1.56				
11	25.7	20.0	0.50	11	△			11	△			11	△			11	41.9	21.9	1.26	11	26.0	18.8	0.48	11	47.1	24.2	1.69	11	32.1	20.4	0.75	11	48.7	23.7	1.75	11	53.0	23.5	2.00	11	47.7	20.0	1.43	11	44.1	20.9	1.31				
12	×			12	△			12	△			12	△			12	25.8	20.2	0.51	12	24.0	19.0	0.42	12	△			12	21.2	18.6	0.32	12	37.6	22.5	1.08	12	32.0	17.6	0.65	12	58.2	23.6	2.34	12	49.0	22.6	1.69	12	46.0	19.9	1.34
13	×			13	24.5	20.8	0.47	13	31.3	21.4	0.76	13	△			13	△			13	26.8	18.8	0.50	13	△			13	45.8	22.9	1.53	13	47.5	23.0	1.63	13	38.0	19.7	0.96	13	46.0	23.5	1.58	13	42.7	19.0	1.13	13	51.8	20.3	1.66
14	29.4	20.8	0.66	14	△			14	△			14	△			14	26.9	18.8	0.51	14	△			14	△			14	×			14	×			14	55.3	23.6	2.15	14	54.0	22.4	1.96	14	45.3	19.8	1.30				
15	×			15	30.4	19.4	0.65	15	△			15	△			15	25.5	19.6	0.48	15	28.4	19.0	0.57	15	43.3	22.9	1.39	15	46.5	22.3	1.52	15	32.9	20.5	0.79	15	57.1	23.0	2.21	15	57.1	21.9	2.11	15	35.3	17.6	0.76				
16	×			16	△			16	△			16	△			16	18.3	17.7	0.24	16	29.4	19.6	0.62	16	△			16	30.1	18.7	0.62	16	53.8	23.9	2.08	16	38.5	18.9	0.95	16	37.7	19.5	0.94	16	45.7	19.3	1.28				
17	35.3	22.6	0.98	17	△			17	△			17	△			17	×			17	40.7	22.0	1.21	17	30.0	20.7	0.68	17	25.1	19.2	0.46	17	59.3	24.6	2.52	17	49.4	22.4	1.69	17	55.5	22.5	2.06								
18	×			18	△			18	△			18	△			18	×			18	39.4	22.2	1.15	18	30.9	21.1	0.73	18	35.7	21.0	0.93	18	50.9	23.1	1.84	18	41.9	21.0	1.21	18	47.6	21.6	1.54	18	41.3	21.5	1.21				
19	27.0	20.6	0.56	19	×			19	23.9	19.8	0.43	19	△			19	△			19	25.8	21.5	0.54	19	22.8	17.2	0.34	19	39.5	22.8	1.19	19	48.0	23.5	1.69	19	39.0	20.0	1.02	19	37.8	20.0	0.97	19	58.1	23.4	2.32	19	60.0	23.5	2.45
20	×			20	△			20	△			20	△			20	22.1	18.6	0.35	20	27.0	20.5	0.56	20	△			20	21.2	17.0	0.30	20	34.7	21.0	0.88	20	38.3	20.2	1.00	20	38.3	20.6	1.02	20	49.3	22.0	1.66	20	46.7	20.5	1.41
21	△			21	17.1	17.1	0.20	21	△			21	△			21	△			21	35.9	21.4	0.95	21	38.3	22.6	1.12	21	48.2	23.6	1.71	21	54.3	23.9	2.11	21	36.4	20.7	0.94	21	59.2	26.0	2.65	21	52.5	23.5	1.97				
22	△			22	△			22	△			22	△			22	32.1	20.3	0.75	22	26.2	20.0	0.51	22	△			22	29.5	20.2	0.65	22	29.7	19.8	0.64	22	46.7	23.2	1.60	22	64.2	24.6	2.87	22	56.8	23.3	2.22				
23	△			23	△			23	29.4	20.3	0.64	23	25.0	20.4	0.48	23	△			23	28.2	19.2	0.56	23	34.9	22.6	0.96	23	42.5	21.2	1.25	23	42.0	21.3	1.23	23	41.7	21.5	1.23	23	71.2	26.4	3.66	23	×						
24	31.8	22.2	0.81	24	△			24	29.0	21.0	0.65	24	△			24	25.3	19.7	0.48	24	26.3	19.2	0.50	24	29.8	20.1	0.65	24	54.8	23.7	2.13	24	×			24	52.9	22.3	1.89	24	47.6	21.9	1.56	24	54.4	23.2	2.06				
25	△			25	×			25	△			25	×			25	27.9	20.0	0.58	25	37.8	21.1	1.02	25	44.0	24.0	1.50	25	25.8	18.3	0.46	25	40.8	20.7	1.14	25	54.9	22.5	2.03	25	50.1	26.1	2.02	25	50.7	23.2	1.83				
26	△			26	×			26	22.9	18.8	0.38	26	△			26	△			26	23.0	18.8	0.38	26	△			26	28.4	21.4	0.64	26	39.0	21.6	1.10	26	35.7	21.8	0.96	26	55.8	25.1	2.32	26	36.6	17.6	0.81	26	61.4	24.0	2.60
27	×			27	△			27	×			27	△			27	△			27	38.9	21.3	1.08	27	26.5	20.9	0.55	27	32.3	21.7	0.81	27	38.1	21.4	1.05	27	61.5	23.7	2.58	27	58.4	21.9	2.19	27	58.5	21.0	2.11				
28	26.5	20.1	0.53	28	△			28	28.0	20.8	0.60	28	△			28	26.5	20.2	0.53	28	36.3	23.3	1.05	28	△			28	△			28	42.9	21.9	1.31	28	38.2	21.9	1.08	28	44.5	21.3	1.35	28	57.7	21.5	2.11				
29	△			29	×			29	24.7	19.5	0.45																																								

表 2.7 全木の胸高直径と樹高(プロット1)

板谷ネルダー集計 プロットC2 令和3年9月1日、令和4年1月21、30日調査

板谷ネルダー集計 プロットC2 令和3年9月1日、令和4年1月21、30日調査

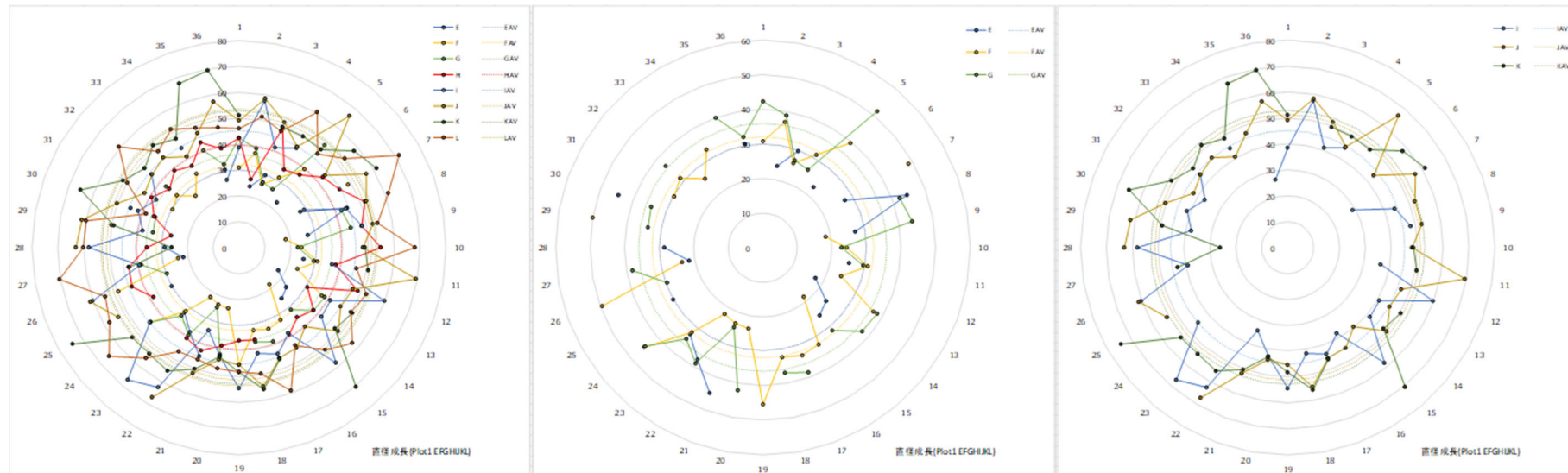
サークル A				サークル B				サークル C				サークル D				サークル E				サークル F				サークル G				サークル H				サークル I				サークル J				サークル K				サークル L			
No.	DBH (cm)	樹高 (m)	材積	No.	DBH (cm)	樹高 (m)	材積	No.	DBH (cm)	樹高 (m)	材積	No.	DBH (cm)	樹高 (m)	材積	No.	DBH (cm)	樹高 (m)	材積	No.	DBH (cm)	樹高 (m)	材積	No.	DBH (cm)	樹高 (m)	材積	No.	DBH (cm)	樹高 (m)	材積	No.	DBH (cm)	樹高 (m)	材積	No.	DBH (cm)	樹高 (m)	材積	No.	DBH (cm)	樹高 (m)	材積				
1	△			1	25.5	25.6	0.63	1	23.3	21.2	0.44	1	29.7	24.2	0.79	1	△			1	30.8	22.6	0.78	1	42.3	25.1	1.46	1	42.4	23.0	1.35	1	38.5	23.5	1.17	1	49.1	22.8	1.71	1	51.1	22.5	1.80	1	46.0	20.3	1.36
2	△			2	×			2	△			2	23.2	23.0	0.48	2	24.0	21.7	0.48	2	36.9	23.6	1.10	2	38.9	25.0	1.27	2	26.7	21.0	0.56	2	57.6	26.2	2.55	2	58.4	25.5	2.54	2	×			2	51.3	21.7	1.75
3	35.4	26.0	1.13	3	×			3	×			3	×			3	29.7	24.1	0.78	3	26.0	21.5	0.55	3	26.9	22.3	0.60	3	49.1	26.3	1.96	3	41.0	23.0	1.27	3	51.5	24.0	1.94	3	49.5	23.7	1.80	3	47.7	22.0	1.57
4	△			4	×			4	24.0	22.3	0.49	4	37.7	26.6	1.28	4	×	立枯		4	31.1	24.5	0.86	4	26.0	20.7	0.53	4	34.7	24.0	1.01	4	44.4	23.0	1.46	4	45.0	21.3	1.38	4	49.5	22.3	1.69	4	60.4	24.5	2.59
5	39.7	26.1	1.37	5	△			5	△			5	△			5	22.8	21.5	0.43	5	39.5	24.9	1.30	5	51.5	26.0	2.10	5	36.7	24.8	1.14	5	×			5	66.5	26.2	3.24	5	49.4	23.0	1.74	5	47.3	21.3	1.50
6	×			6	×			6	△			6	21.0	20.5	0.35	6	×	立枯		6	×			6	×			6	42.3	23.5	1.37	6	×			6	43.5	23.4	1.43	6	58.1	26.0	2.57	6	53.5	22.6	1.95
7	39.0	24.8	1.26	7	×			7	△			7	18.9	19.7	0.28	7	27.5	25.3	0.72	7	48.7	26.1	1.92	7	×			7	45.0	25.5	1.65	7	29.0	20.7	0.64	7	56.9	25.4	2.43	7	61.4	25.2	2.73	7	71.4	26.1	3.64
8	28.0	19.9	0.58	8	△			8	×	風倒		8	44.5	25.1	1.59	8	×			8	×			8	42.1	25.2	1.46	8	51.8	26.0	2.12	8	44.0	23.3	1.45	8	52.3	23.9	1.99	8	×			8	61.4	25.9	2.81
9	×			9	△			9	△			9	△			9	27.1	21.1	0.58	9	18.5	18.6	0.25	9	43.9	26.0	1.61	9	48.2	25.0	1.81	9	48.3	23.0	1.67	9	52.6	24.2	2.03	9	×			9	54.4	24.0	2.13
10	△			10	×			10	×			10	18.9	20.2	0.29	10	×			10	24.3	20.3	0.46	10	22.8	19.0	0.38	10	54.9	25.5	2.29	10	×			10	48.0	24.3	1.75	10	48.6	23.9	1.76	10	68.0	26.9	3.45
11	△			11	×			11	×	立枯		11	41.2	25.0	1.40	11	25.4	21.8	0.53	11	30.8	21.2	0.73	11	29.5	22.0	0.70	11	38.0	22.4	1.09	11	36.6	22.1	1.01	11	69.5	26.2	3.49	11	50.7	23.2	1.83	11	46.1	21.2	1.43
12	29.4	23.1	0.74	12	△			12	△			12	△			12	×			12	24.1	21.4	0.47	12	△			12	48.9	26.4	1.96	12	59.8	25.5	2.65	12	46.8	22.1	1.53	12	×			12	52.4	23.5	1.96
13	26.0	22.7	0.58	13	△			13	27.5	23.1	0.65	13	22.4	20.2	0.39	13	17.6	17.4	0.22	13	37.0	24.1	1.13	13	38.2	25.2	1.24	13	30.6	19.8	0.68	13	40.8	22.5	1.24	13	45.4	23.0	1.51	13	50.5	22.5	1.76	13	49.9	22.2	1.71
14	×			14	×			14	△			14	×			14	23.9	19.4	0.42	14	△			14	37.6	26.0	1.25	14	37.5	22.2	1.06	14	41.6	23.5	1.33	14	50.1	23.7	1.83	14	48.4	22.8	1.67	14	57.2	22.8	2.20
15	×			15	△			15	×			15	35.0	26.4	1.12	15	25.6	21.5	0.53	15	18.5	18.7	0.26	15	31.3	22.0	0.78	15	35.0	18.7	0.80	15	58.3	26.0	2.59	15	39.7	21.8	1.15	15	70.5	25.8	3.52	15	51.9	21.4	1.76
16	△			16	32.2	24.4	0.90	16	22.5	22.6	0.44	16	△			16	×			16	32.3	22.4	0.84	16	△			16	38.8	22.5	1.14	16	38.0	20.5	1.00	16	44.7	21.0	1.35	16	×			16	43.5	20.5	1.26
17	×			17	△			17	×			17	42.2	26.2	1.52	17	△			17	33.4	23.1	0.91	17	38.6	22.4	1.12	17	×			17	44.0	22.5	1.40	17	45.7	23.5	1.56	17	46.0	21.0	1.41	17	59.0	21.3	2.17
18	×			18	△			18	18.3	18.2	0.24	18	18.6	17.7	0.24	18	△			18	32.4	22.3	0.84	18	37.0	22.5	1.05	18	36.1	22.5	1.01	18	41.8	23.0	1.32	18	54.7	25.9	2.32	18	55.8	22.2	2.06	18	49.6	22.2	1.69
19	×	立枯		19	×			19	34.5	24.1	1.00	19	×			19	×	風倒		19	45.5	24.5	1.61	19	×			19	35.9	22.4	1.00	19	54.5	24.5	2.18	19	45.5	22.6	1.49	19	48.4	20.6	1.51	19	48.2	20.0	1.45
20	×			20	×			20	△			20	×			20	△			20	23.8	20.2	0.44	20	42.1	23.8	1.38	20	38.4	22.9	1.14	20	42.8	23.8	1.42	20	44.1	24.3	1.52	20	43.1	20.6	1.24	20	47.6	21.5	1.53
21	27.6	23.2	0.66	21	19.8	21.2	0.33	21	×			21	×			21	45.0	24.0	1.55	21	23.3	20.4	0.42	21	24.5	21.7	0.50	21	42.7	22.5	1.33	21	34.0	20.6	0.84	21	51.9	23.2	1.90	21	50.2	20.7	1.61	21	46.3	22.5	1.53
22	×			22	×			22	19.3	17.0	0.25	22	△			22	37.7	25.1	1.21	22	22.1	20.3	0.38	22	38.9	19.8	1.01	22	40.5	22.2	1.21	22	62.5	26.3	2.94	22	67.0	25.5	3.20	22	55.2	22.1	2.01	22	46.7	22.5	1.55
23	×			23	29.8	24.6	0.80	23	△			23	×			23	32.7	24.3	0.92	23	31.9	21.9	0.80	23	34.4	21.9	0.91	23	×			23	66.9	25.7	3.21	23	×			23	54.0	24.0	2.10	23	56.0	22.5	2.10
24	×			24	×	風倒		24	×			24	36.2	25.2	1.13	24	×	風倒		24	44.8	25.6	1.64	24	44.5	24.0	1.52	24	×			24	45.0	22.8	1.48	24	×			24	53.8	23.6	2.06	24	65.6	23.5	2.85
25	×			25	30.8	25.2	0.87	25	△			25	△			25	29.9	23.4	0.77	25	△			25	×			25	38.2	21.5	1.06	25	×			25	53.7	22.5	1.95	25	74.2	25.6	3.80	25	57.7	21.3	2.09
26	35.6	23.6	1.03	26	△			26	△			26	31.3	24.8	0.88	26	×			26	49.5	25.3	1.92	26	29.5	22.9	0.73	26	44.0	23.2	1.45	26	60.2	22.2	2.33	26	61.2	24.0	2.59	26	×			26	55.0	23.0	2.08
27	29.3	24.0	0.76	27	×			27	21.9	21.0	0.39	27	△			27	21.7	21.8	0.40	27	23.8	20.7	0.45	27	38.3	24.3	1.20	27	43.2	22.2	1.34	27	39.0	21.8	1.11	27	×			27	43.1	22.0	1.33	27	70.4	26.0	3.54
28	×			28	△			28	△			28	△			28	28.6	21.3	0.64	28	△			28	△			28	35.5	21.7	0.95	28	57.9	24.3	2.39	28	63.0	25.3	2.86	28	26.0	15.2	0.38	28	60.1	24.7	2.59
29	△			29	×			29	40.2	25.3	1.36	29	△			29	△			29	50.0	24.7	1.90	29	33.8	22.1	0.89	29	26.5	20.1	0.53	29	37.8	21.3	1.03	29											



E～Lの直径分布：L列の4～7とK列の23は70cm以上となっている。

E～Gの直径分布：隣接木(放射方向、接線方向)の直径差が大きい。

IJKの直径分布：隣接木(接線方向)の直径差がE～Lに比べ小さい。



E～Lの直径分布：K列とL列で2本が70cm以上となっている。

E～Gの直径分布：隣接木(放射方向、接線方向)の直径差が大きい。

IJKの直径分布：隣接木(接線方向)の直径差がE～Lに比べ小さい。

図 2.30 No.1(上)とNo.2(下)の内部植栽円と外部植栽円の直径成長比較

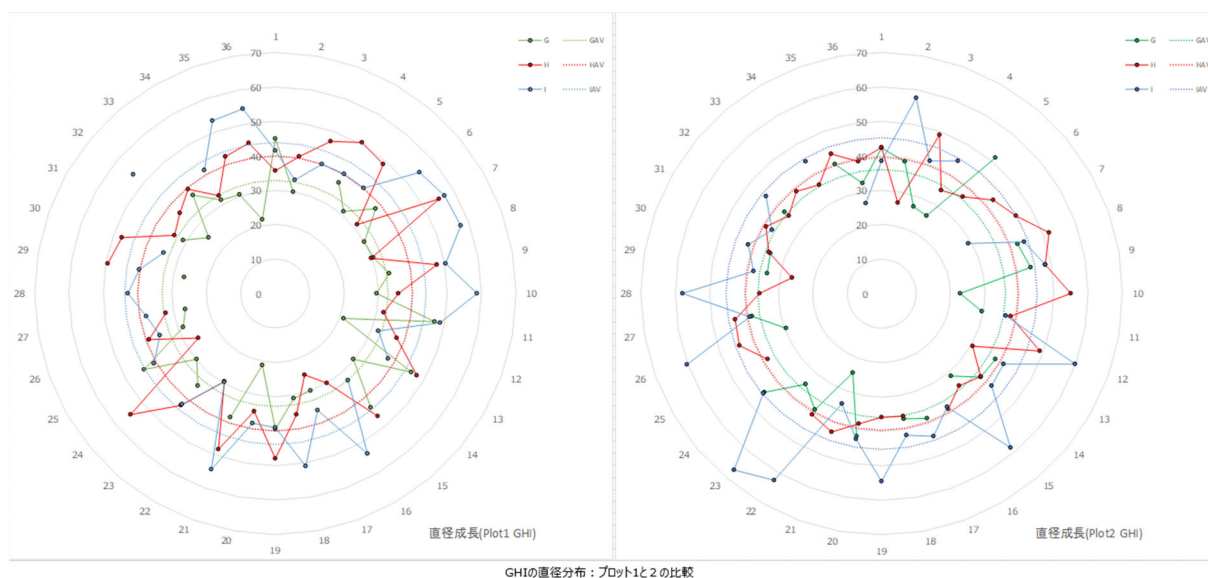


図 2.31 No.1 とNo.2 の中部植栽円付近の直径成長比較

これらによると、内部ほど隣接木(接線方向、放射方向)の直径差が大きく、樹冠の競合により成長差が生じていると想定される。中部植栽円の変化を2つのプロットともに各円における平均直径はほぼ同じ(G:33cmと36cm、H:2プロットとも40cm、I:44cmと45cm)。成長差の発生状況も、ほぼ同じく隣接木(接線方向、放射方向)で競合している。

2) 樹高成長

計測したすべての樹高のうち、プロットNo.1の平均樹高は21.8m(G:21.3m、H:22.0m)に対し、プロットNo.2の平均樹高は22.9m(G:23.2m、H:22.8m、I:22.9m)と、プロットNo.2が1～2m樹高が高く、地位の影響を受けていると想定される。なお、ばらつきは少ないが上記図 2.31の直径と相関があり、隣接木と個体間競争の影響が認められる。

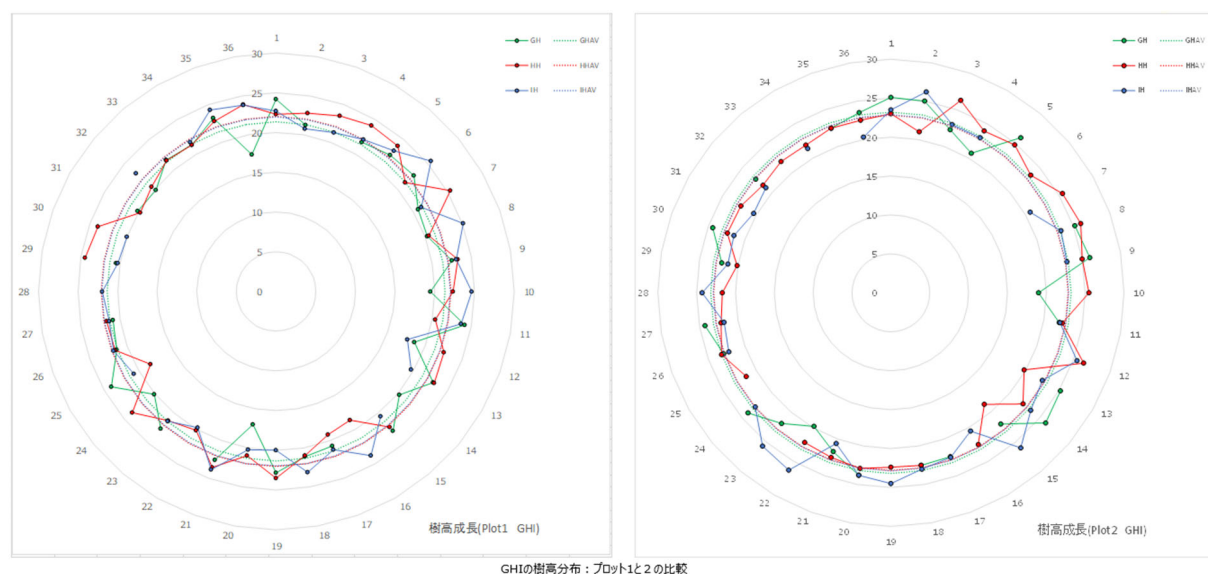


図 2.32 No.1 とNo.2 の中部植栽円付近の樹高成長比較

(2) プロット別成長量

2.3.4 の(1)の結果をもとに、プロットNo.1(C1)およびプロットNo.2(C2)の生育密度、平均成長状況、材積ならびに成長状況の指標である収量比数や形状比等を算出し、その数値を比較しながら特性を示す。

1) 生育密度の変化と平均胸高直径と平均樹高の比較

植栽密度別の生育密度変化と平均胸高直径および平均樹高の関係は図 2.33 に示すとおりである。生育密度の変化については、1,200 本/ha 植栽より密度が高い立地では、間伐あるいは自然枯死により 2,000 本/ha 前後で推移している。その傾向はプロットNo.1 およびNo.2 とともに同じである。

平均胸高直径については、プロット間ではほぼ差がない。一方、平均樹高は、明瞭な差をもってプロット2が高い値を示す。これはプロットNo.2 の立地が谷部でスギの適地であり、地位差が樹高成長に影響していると想定される。高密度林分ほど、その傾向が顕著であり、地上部の光競争とともに、地下部の水分や養分量の差によって樹高差が生じていると想定される。

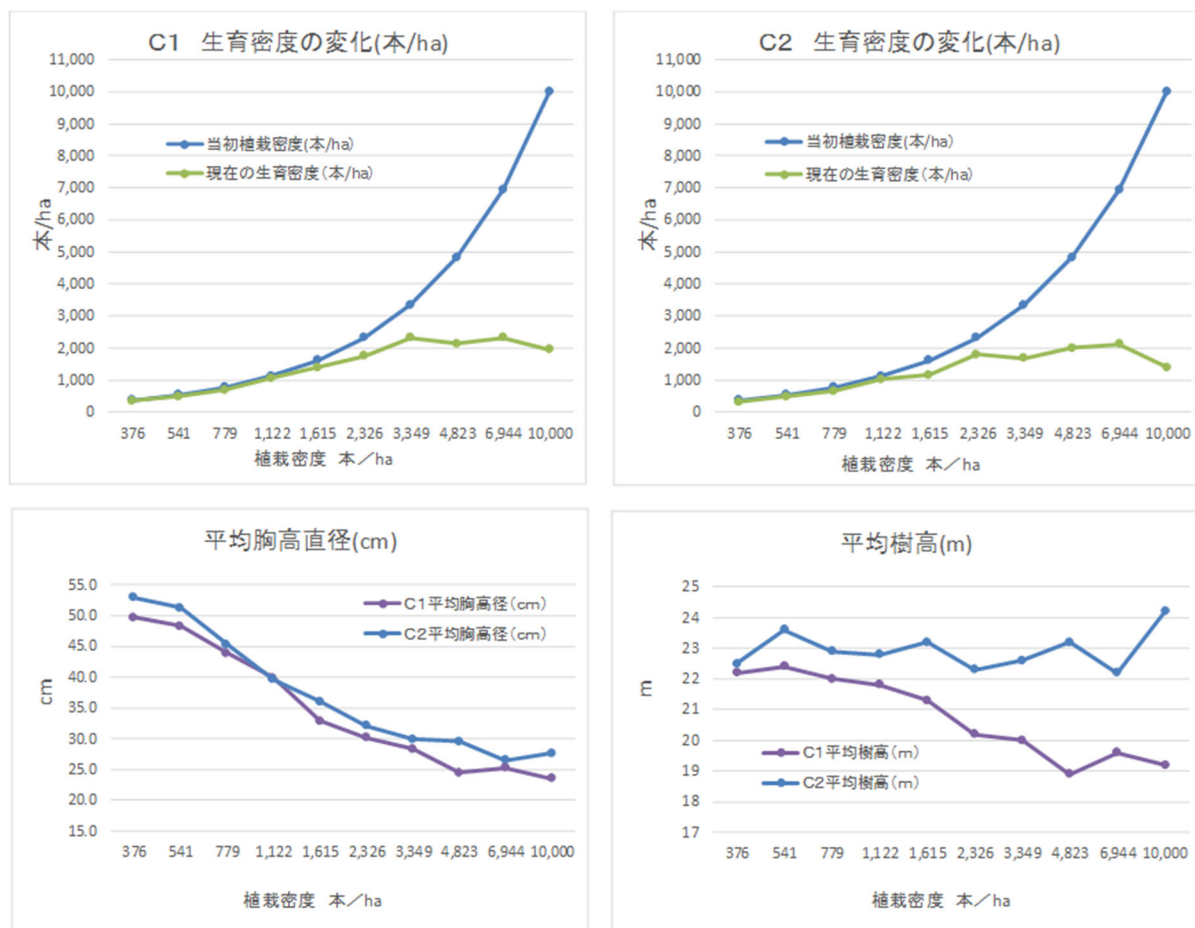


図 2.33 生育密度の変化と平均胸高直径および平均樹高の関係

2) プロット間の材積比較

単木の材積および林分の材積における成長量について図 2.34 に示す。単木の材積成長は、低密度の林分の胸高直径が大きいいため、低密度の林分は材積が大きく、高密度の林分は小さい。プロット間を比較すると、プロットNo.1 はプロットNo.2 より胸高直径が小さく、かつ高密度ほど樹高が小さいため、プロットNo.2 が大きい値を示す。

面積当たりの材積を評価してもプロットNo.2 の方が大きい。植栽密度による差をみると、プロットNo.1 およびNo.2 とともに、概ね 2,500～3,000 本/ha をピーク(No.1 は 1,300m³/ha、No.2 は 1,500m³/ha)として、

低密度林分と高密度林分は、単位面積当たりの材積は小さくなる。

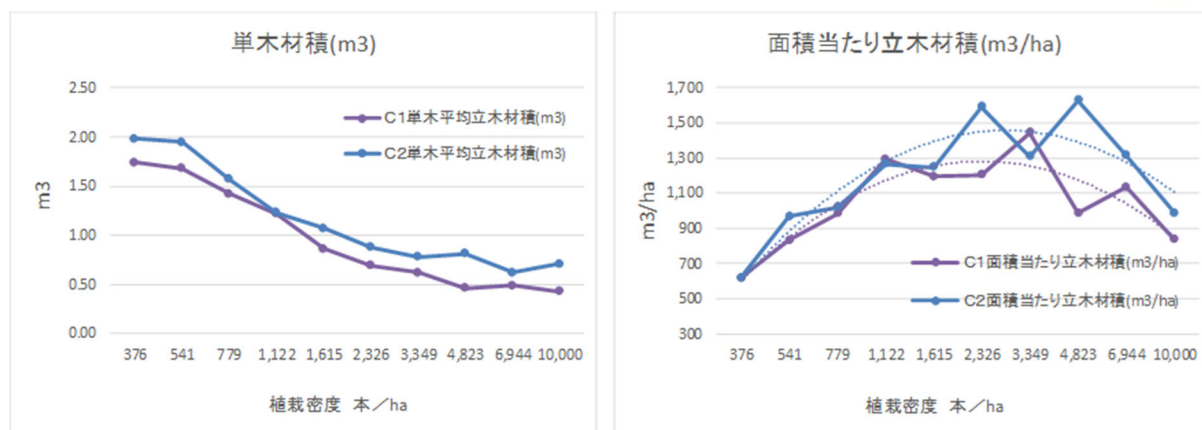


図 2.34 材積の比較

3) 成長指標の比較

成長の指標値として収量比数と形状比を示す。収量比数は上層樹高の設定によるが、現段階で500～800 本/ha が理想的収量比数(R_y 0.7～0.8)となる。 R_y が 0.9 を超えると間伐することが望ましいとされているが、 R_y の値の割に林内が明るく下層植生は多い。この傾向は円周単位の立木密度のため、林内散光による影響があると想定される。

形状比は気象害への対応として70 以下が望ましいとされており、2,500 本/ha までその林分に該当する。一般的な林分における植栽密度の割に形状比が低い傾向にあり、その原因のひとつとして、苗木(飢肥スギ:トサアカ)の形質特性と想定される。

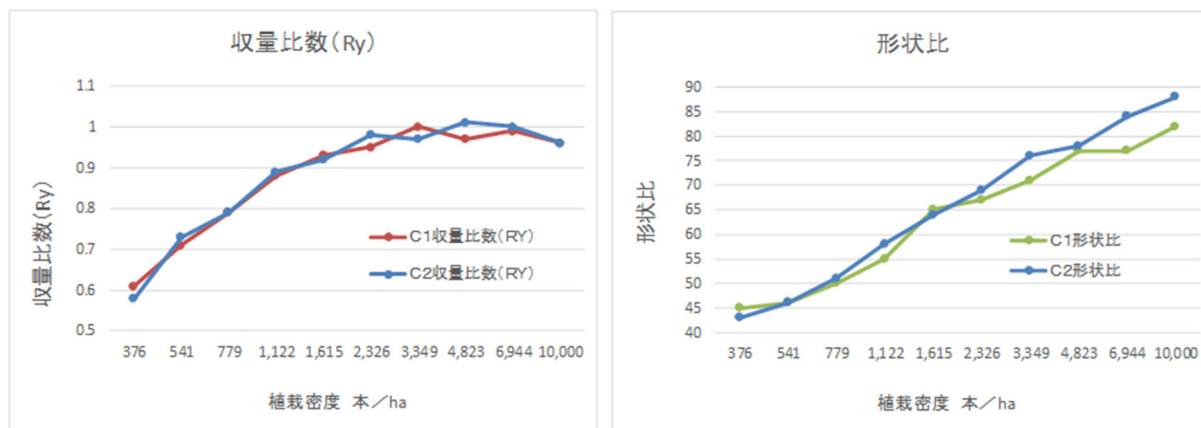


図 2.35 成長指標(収量比数および形状比)の比較

2.3.5. 掘削調査地点の検討

ネルダー試験地において掘削調査を実施する方針として、検討委員会の議論の結果、まず標準的な成長を示す個体の地上部と地下部を、標準値としてデータ化し、立地や施業の異なる立木を将来的に掘削して差を調査することとした。

同心円の中で、E～L 植栽円全林分の平均胸高直径(41.6cm)に近いのは H 植栽円(39.9cm)であり、その同心円の中から、胸高直径 40cm に近い個体を選定すると、H02(40.4cm)、H23(42.5cm)、H26(39.0cm)、H33(39.5cm)、H35(42.3cm)となった。

掘削地点は、作業道のアクセスを考慮し、現存の林分に極力影響を与えない動線となるよう、プロットの西側とし、伐採時にかかり木になりにくく、かつ劣勢木や優勢木ならびに伐根が隣接する条件を考慮して、H26 を根系全量調査対象木とした。また、その地点を含む隣接木の立木間中央 3 箇所に対し、根系サンプリング調査地点を設定した。なお、斜面角度は 15° 程度、方位は WSW である。

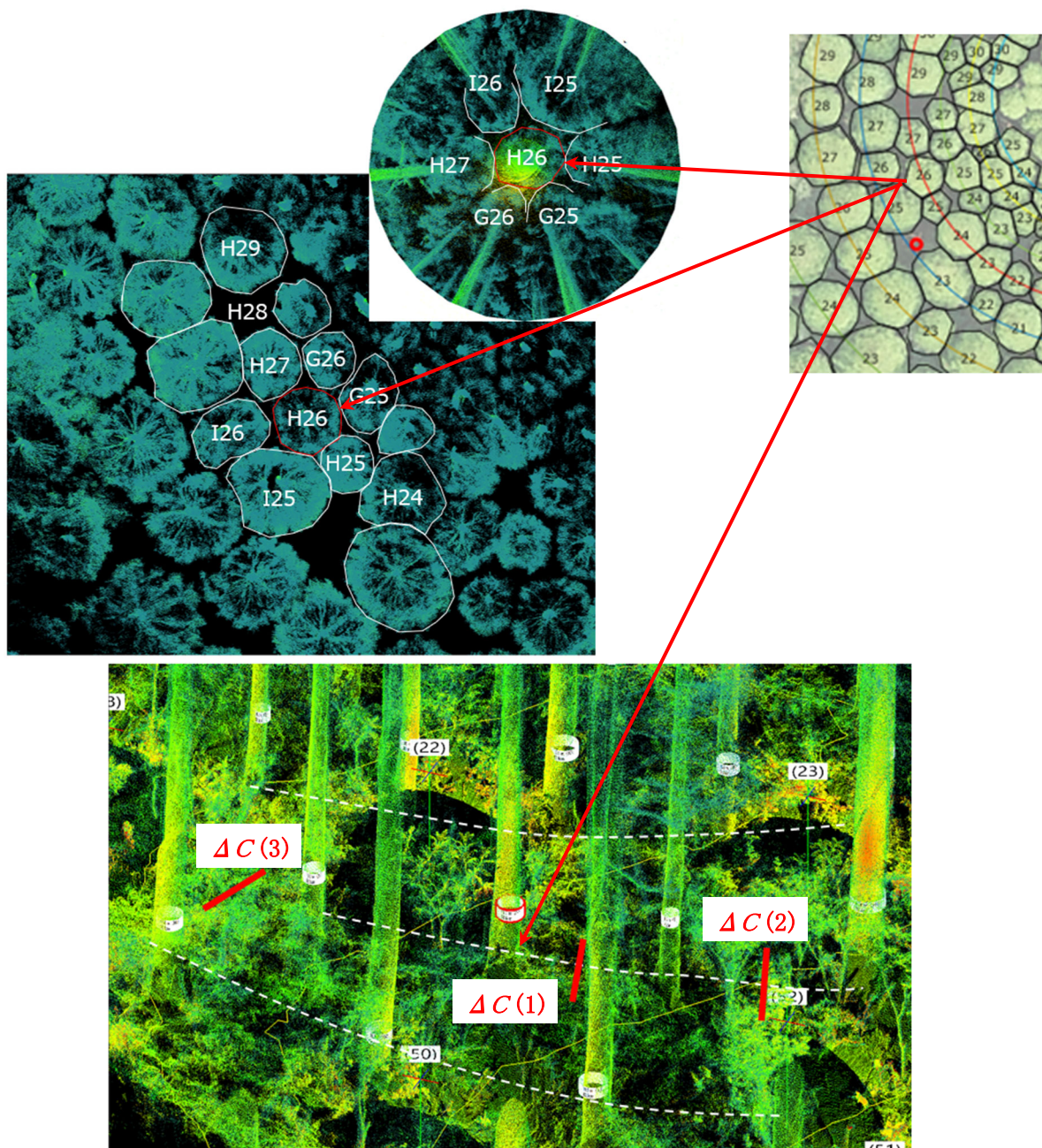
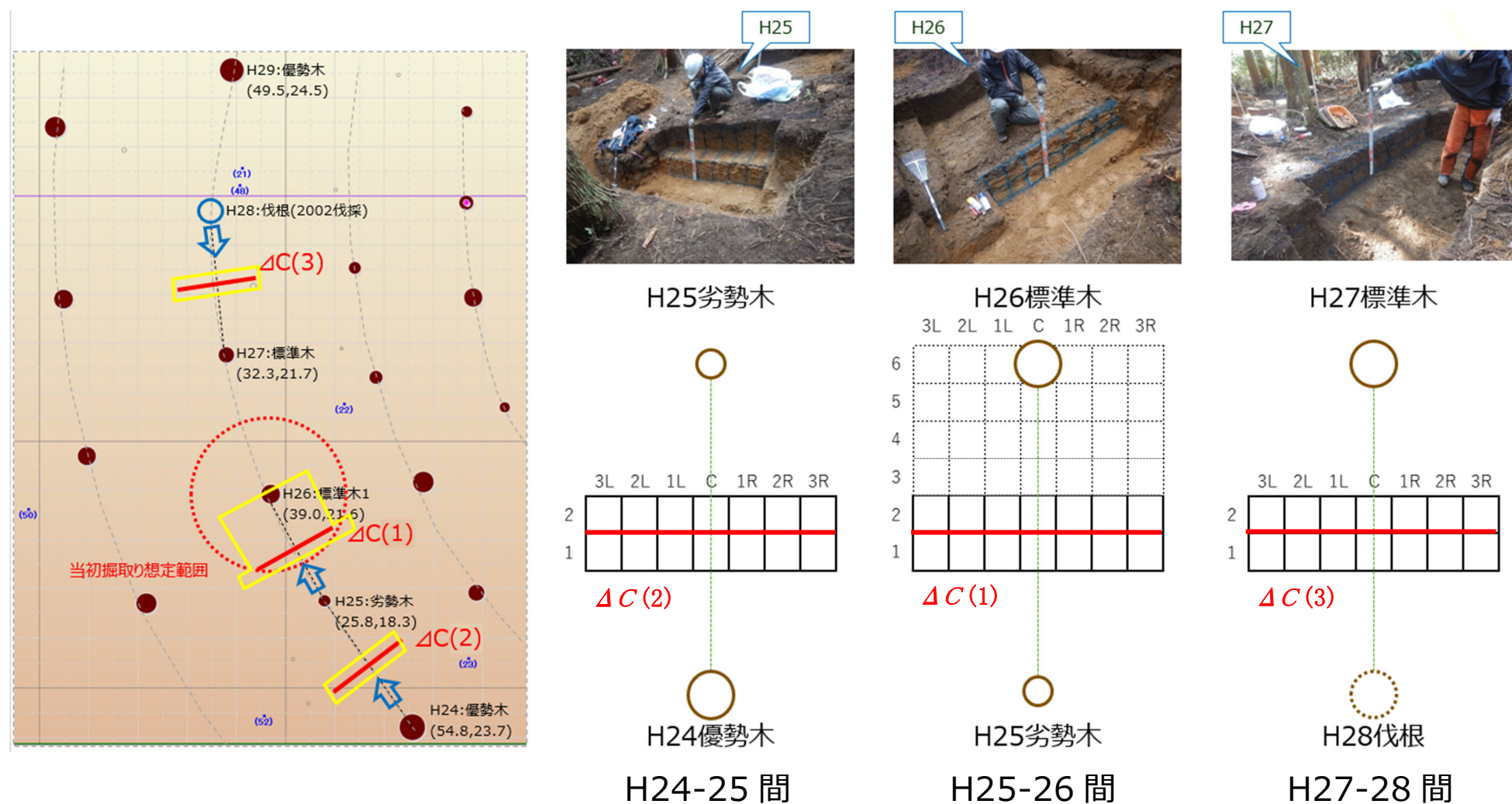


図 2.36 掘削地点の検討



ΔCはH25-26間、H24-25間およびH27-28間で取得する。取得する断面の面積は、仕様書に従い幅210cm×深さ80cmとする。

Wrは、30cm×30cm×20cmのブロックサンプリングにより算出。H26において適用する根系全量調査は、ΔC断面の30cm手前からH26の立木位置までとし、掘削幅は210cm以上とする。

ΔCとWrの関係を把握するため、H24-25間とH27-28間の断面を挟む土壌空間に対しても、ブロックサンプリングを適用しWrを算出。

図 2.37 掘削地点と実際の掘削状況

2.3.6. 掘削調査(根系全量調査)

ネルダー試験地のプロットNo.1において、標準的な成長を示す H26 の根系の量や分布特性および周辺に分布する下層植生の根系の量や分布特性を把握することを目的として、図 2.37 に示した H25-H26 間にて根系全量の掘削調査を実施した。仕様書や文献²⁶を参考に、行方向 30cm×列方向 30cm×深さ方向 20cm のブロックサンプリングを適用した。

(1) 掘削位置

掘削位置イメージ(図 2.37 参照)の詳細を図 2.38 に示す。H25 の劣勢木と H26 の標準木の立木間中央線(図中の赤線、延長 2.1m)を基準にメッシュを形成し、行方向(斜面上部から下部にかけ 4R、3R の順に立木間中心の C を挟んで 3L、4L)、列方向(立木中央線の 30cm 手前から 1 列目とし、H26 の根株直下を含む 6 列目まで)、深さ方向(A₀層を除去し、0～20cm を第 1 層、20～40cm を第 2 層、40～60cm を第 3 層、60～80cm を第 4 層)を設定した(図 2.40 参照)。なお、各ブロックの名称は、採取位置を判別するため列→行→層の順に示した。下図の根株位置は「6 列 C 行 1 層目」となる。

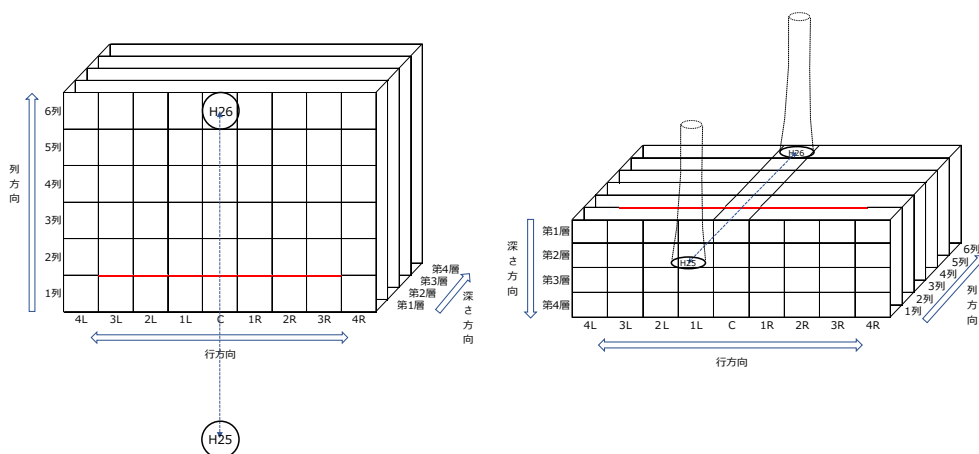


図 2.38 H25-26 間の掘削図

(2) ブロックの掘削

H25 と H26 の立木の中央付近から、H26 の立木の方に向かって掘削を開始した。立木間中央(図 2.38 赤線部)から 40cm 離れた位置において、図 2.39 のとおり、根切りチェンソーにて土壌を切断した。H25 側に小型パワーショベルを活用して掘削し、バケット幅程度の作業空間を確保した。その上で、第 1 層について行方向 30cm×列方向 30cm×深さ方向 20cm のブロックを採取した。掘削範囲は、図 2.38 に示す範囲とするが、行方向について、3R～C～3L はすべての列と層を掘削・採取し、4R(5R)行および 4L(5L)行については、隣接するブロックの根系の出現状況に応じ、掘削後に根系を採取するかどうか判断した。採取したブロックは、列と行および上下の位置関係を記録して手箕(デミ)もしくはフルイに入れ、極力形状を破壊しないよう慎重に運搬した。

運搬場所は、採取場所と 20m 程度離れた平坦地とし、設置したブルーシートの上に掘削順に配置した。当初は、根系分布の方向性を記録するため、ラッカースプレーにてブロック 6 面のうち 3 面を着色(図 2.43 参照、上面を青、手前面を黄色、内側を赤色)によりマーキングし、根系の方向性を明示した。しかし、土壌との分離作業や、洗浄および乾燥の際にラッカーの色素が剥離し、根系のみを区分した際、マーキングによって方向性を判断できなかった。

第 2 層以降の深さ方向は、階段状に掘削しブロックを採取した。第 2 層以降は腐植と根系が少なく、図 2.44 のとおり、ブロック底面にチェンソーの刃を入れ切断しようとすると、容易にブロックが分解した。その際は、角スコップでブロックを押さえ、壊れないように掘削を進めた(図 2.45 および図 2.46 参照)。

²⁶ 荻住昇(2010)最新樹木根系図説総論。誠文堂新光社。P811



図 2.39 H25-26 の立木間中央から 40cm 離れて根系を切断し、重機で作業空間を確保。



図 2.40 左:立木中央から H26 方向 右:当初は全ての根系を取得する予定で 90cm 枠を作成。



図 2.41 ブロックの採取(写真は H24-25 掘削地点)。



図 2.42 ブロックの採取と運搬・移動。



図 2.43 根系の方向性を明示するため、ブロック(6面体)の3面に着色し爪鋏でほぐす。



図 2.44 第2層(20～40cm)では、容易に崩れる(写真は H24-25 掘削地点)。



図 2.45 根切りチェーンソーを活用し階段状に切り進める。ブロックが分解する場合、スコップで固定。



図 2.46 6列2層目までの掘削状況(左)と、6列目3層と4層の掘削前状況。

(3) 根系と土壌の分離

ブロック内の根系について、爪鋤でほぐしながら根系と土壌を分離した。土壌はフルイにかけ、土壌中に含まれる細根を極力採取した。第1層のブロックについてほぐした状態を図2.47に示す。直径3～6mmで長さ30～40cmの直線状の根系が多く確認できた。そのうちの1本を抜き出すと、図2.48のとおり、細根の先端部に土壌が球状(直径5～20mm程度)に付着していることを確認した。

主な根系を採取し土壌をフルイにかけると、同じような球状となった土壌を多く確認した。これらは前述の球状の土壌が、根系から分離したもので、土壌中の根系による水分吸収や、根系から分泌される物質(ペクチン質)によって、塊状構造や団粒状構造等の土壌構造が発達する過程と考えられた²⁷。



図 2.47 ほぐすと第1層からは直線ロープ状の根系が多く観察できる。



図 2.48 根系の先端に付着する球状の土壌。フルイにかけると多く存在し、スギの細根を含む。

²⁷ 苅住昇(2010)最新樹木根系図説総論, 誠文堂新光社, P194

(4) 根株付近の掘削と原形復旧

根株付近の掘削について、まず地上部の幹を切断し、伐根の中心に行方向 30cm×列方向 30cm のブロックを取得できるよう切断した。伐根直下の土壌は固結しており、掘削が困難であった。土壌硬度計で 27.5(22-32)mm と、根系の侵入が困難な硬度であった。

最終的に、図 2.51 のとおり第 4 層、6 列目まで掘削・採取し、図 2.52 のとおり原形復旧した。



図 2.49 伐根近接部の断面と伐根地上部の除去。



図 2.50 5 列目 1 層目(伐根部)の掘削と、抜根から直接発根した小根。



図 2.51 掘削完了状況と埋め戻し状況。

(5) 下層植生の根系

林内の下層植生の状況と、掘り取り状況について示す。図 2.52 および図 2.53 の左写真は、地上レーザ計測のため、アオキ等を地上高 1m で刈払いした後の状況である。刈払い前は、図 2.54 の左写真のとおり、アオキが樹高 2m 程度で密に繁茂する林分であった。広葉樹の根系は、根系の形状特性をもとにアオキ、サカキ、シキミおよびその他広葉樹に区分した。



図 2.52 伐倒・掘削作業前後の林相(H26 の伐根をのぞむ遠景)。



図 2.53 伐倒・掘削作業前の広葉樹低木の状況(アオキ、サカキ、シキミ等)



図 2.54 刈払い前の広葉樹低木の状況と広葉樹低木の伐根

(6)室内作業

室内作業は、図 2.55 に示すとおり、土や粘土を洗浄除去するとともに、樹種別、径級別に根系を区分した。樹種別はスギとともに、根系に特徴をもつ広葉樹として、アオキ、サカキ、シキミ、その他広葉樹に区分した。径級は表 2.8 のとおり、苧住による区分を参考に、スギは太根(直径 1cm を超える、5.0cm 以下は大径根、5.0cm を超えると特大根に区分)、スギ小根(1cm 以下、0.2cm 以下は細根、0.2cm を超えると小径根に区分)、広葉樹および枯死根に区分した。取得した根系は自然乾燥時の重量とともに、すべて絶乾重量を計測した。

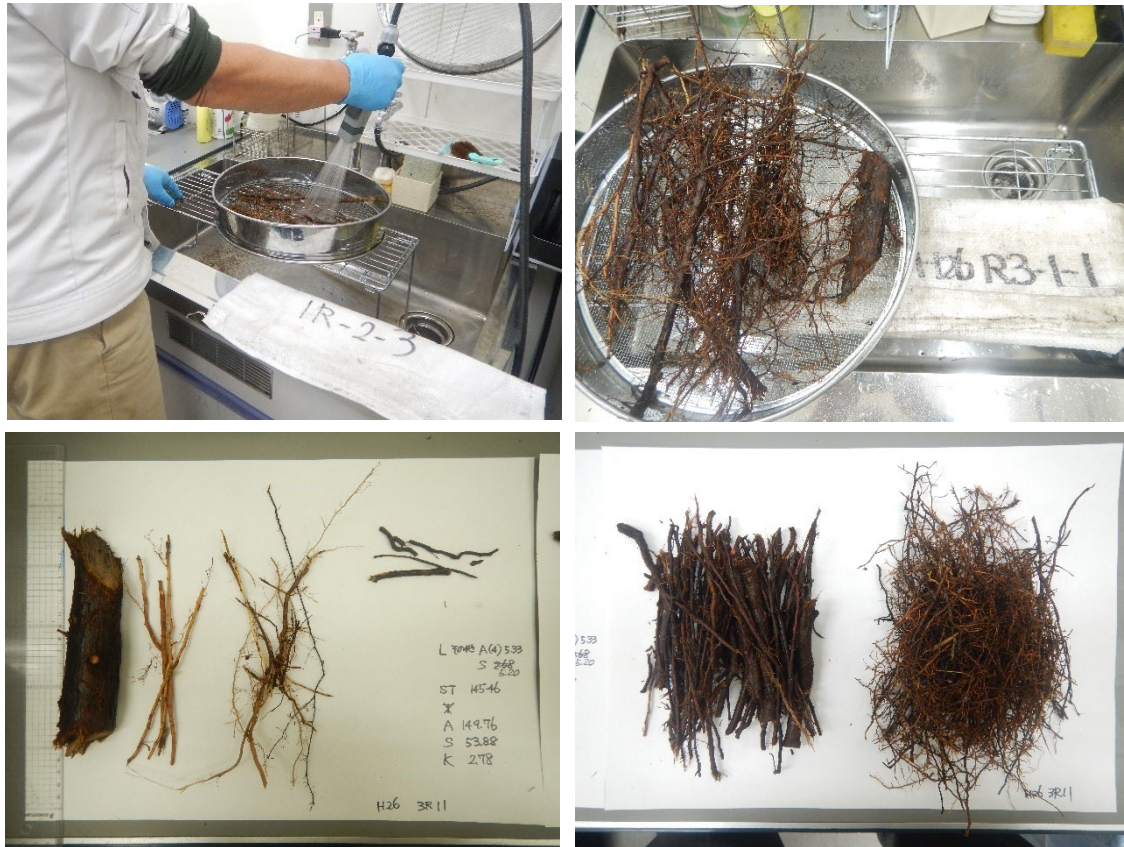


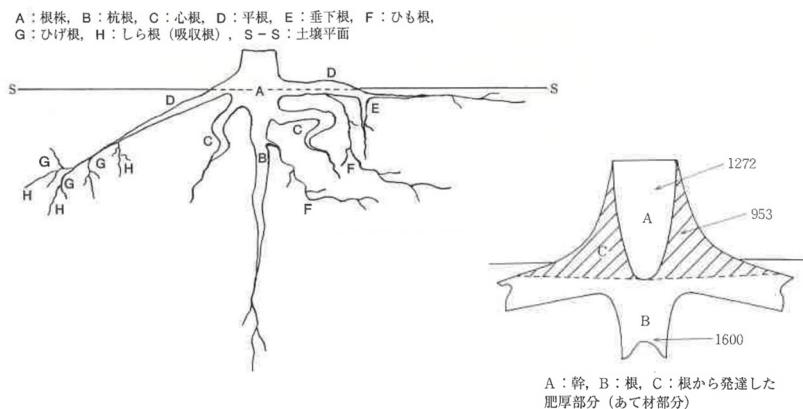
図 2.55 室内洗浄と根系区分

表 2.8 根系の区分²⁸

文献 区分	名称	小根		太根			(St) 根株
		(f) 細根	(s) 小径根	(m) 中径根	(l) 大径根	(L) 特大根	
	直径 (cm)	0.2以下	0.2~0.5	0.5~2.0	2.0~5.0	5.0以上	根系区分で きない部分
摘要 区分	名称	小根		太根			
		細根	小径根	大径根		特大根	
	直径 (cm)	0.2以下	0.2~1.0	1.0~5.0		5.0以上	

根株については、根系の名称として図 2.56 の左図を一例として示す。しかし、幹と根の区分が示されていない。苧住は、根と幹の仮道管の長さが異なることを示すために、右図を示しているが、この図をもとに根株を区分することも困難であった。そのため、今回は土壤平面線より下部に位置する材部分を根株として区分した。

²⁸ 苧住昇(2010)最新樹木根系図説総論, 誠文堂新光社, P701

図 2.56 根株の取扱い²⁹

(7) メッシュによる根系分布図

根系の地下分布状況を表現するため、図 2.63 から図 2.68 に示すメッシュ根系分布図を作成した。

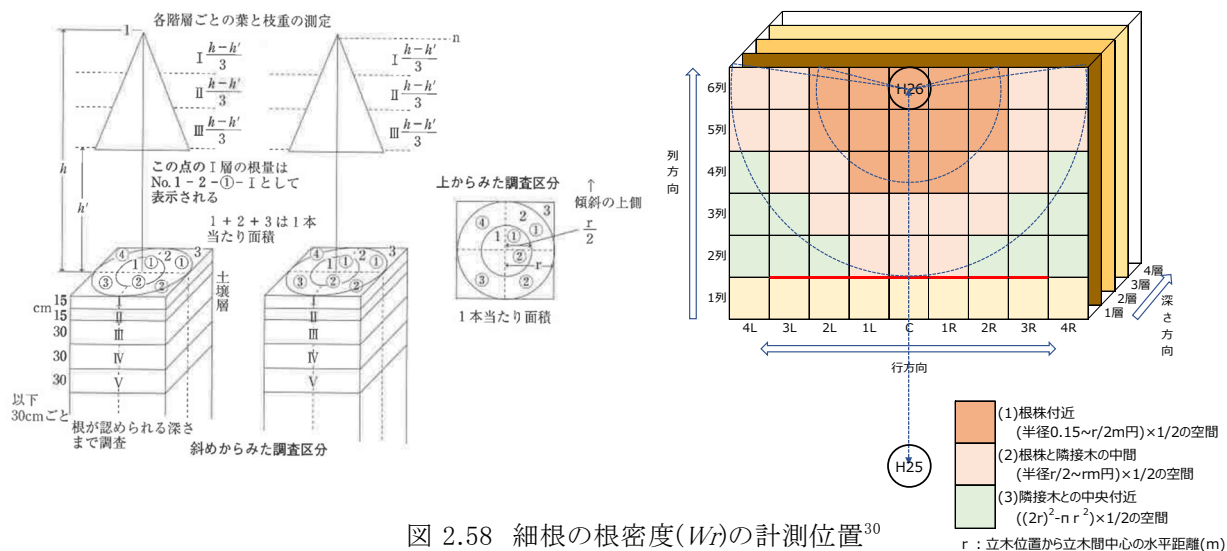
全根系、スギ太根(直径 1cm をこえる)、スギ小根(直径 1cm 以下)、広葉樹および枯死根の分布状況について、それぞれ平面分布と深さ方向の分布、計測した重量と 1m^3 当たりに換算した Wr を示した。メッシュの着色については、メッシュ図毎に相対的な Wr の数値差を示すため、最大値を濃く、最小値を無着色とし、図 2.57 の着色とした。

最小値			中間値						最大値	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

図 2.57 メッシュ根系分布図中の相対数値に基づく着色

平面方向の分布においては、苺住の分析データと比較するため、図 2.58 のとおり、立木位置と隣接木との中央付近までの距離によって(1)根株付近、(2)根株と隣接木との中央付近の中間、(3)隣接木との中央付近の3区分し、そのエリアに含まれる Wr を集計して表示した。

なお、深さ方向について、本事業では 20cm 厚さ毎に区分しているが、苺住は 0~15cm、15~30cm、30~60cm、60~90cm の層厚に区分している。そのため、本事業の深さ方向をアラビア数字で層区分し、苺住による層区分をローマ数字で表示することとする。

図 2.58 細根の根密度(Wr)の計測位置³⁰

²⁹ 苺住昇(2010)最新樹木根系図説総論. 誠文堂新光社. 左 P701. 右 P208

³⁰ 苺住昇(2010)最新樹木根系図説総論. 誠文堂新光社. P811

1) 全根系の分布

全根系の分布状況を図 2.63 に示す。掘削範囲の根系は総量で 44.3kg となった(行範囲は 3R から 3L の範囲、H26 のスギとともに広葉樹の根系も含む)。その分布を深さ別、H25-26 間の立木間中心から H26 立木までの距離別および斜面上部から斜面下部別に分布状況を示す。

最初に、第 1 層から第 4 層の深さ別に、3R 行から 3L 行の 7 行×6 列の空間における根系分布比率をみると、第 1 層は 53.9%、第 2 層は 29.9%、第 3 層は 10.1%および第 4 層は 6.0%と、地表面から 40cm までの深さで掘削深さ 80cm 範囲の 83.8%を占めている。

次に、第 1 列から第 6 列まで、立木間中心から根株に近づく方向において、3R 行から 3L 行の 7 行×4 層の空間における根系分布比率をみると、第 1 列は 1.9%、第 2 列は 1.6%、第 3 列は 3.1%、第 4 列は 6.2%、第 5 列は 43.3%および第 6 列は 44.0%となっている。第 1 列と第 2 列の境界面は、後述する ΔC を算出する面となっており、その周辺の根系分布は、掘削範囲の 3.5%となっている。第 3 列と第 4 列の分布率も 10%以下である。根株に近接する第 5 列から、分布率は急激に増加しており、9 割近くの根系が立木周辺に集中している。

最後に、3R 行から 3L 行まで、斜面上部から斜面下部方向の分布をみると、斜面上部の 3R 行は 1.1%、2R 行は 4.2%、1R 行は 18.8%、根株位置の C 行は 44.1%、1L 行は 20.7%、2L 行は 9.3%、3L 行は 1.7%となっている。立木が位置する行において全体の半数近くの分布率を示し、30cm 離れると、その分布は半減する。斜面上部と下部とを比較すると、わずかに斜面下部の分布率が高い傾向にある。

以上のとおり、掘削範囲の深さ、列、行別に根系の分布率をみると、深さ方向では、図 2.63 中の青破線のように、概ね H26 の立木位置を中心として根系が集中して分布している。

一方、平面方向では、後述する太根の分布や小根の分布にバラツキがあり、加えて下層植生として生育する広葉樹の存在によって、根系は複雑な分布形態を示している。第 1 層と第 2 層の最大値は根株位置(6 列 C 行)で第 1 層は 419.5kg/m³、第 2 層は 168.0kg/m³を示し、隣接するメッシュでも第 1 層で 6 列 R1 行の 10.7kg/m³ から 5 列 L1 行 2 層の 10.9kg/m³、第 2 層で 5 列 L1 行の 10.9kg/m³ から 5 列 R1 行の 130.9kg/m³ と大きく開きがあり、根系はランダムに分布しているといえる。つまり、H26 のスギ立木位置を中心として根系が集中しているが、その内部には、 Wr の大きい空間と小さい空間があることになる。その形状を詳細に把握するため、根系の樹種別および表 2.8 の根系の区分別に分布を示す。

なお、苅住の根系調査法を参考に、立木位置と隣接木の距離を基準として同心円状に Wr の分布を評価すると、第 1 層では、(1)の根株付近は 93.5 kg/m³、(2)の根株と隣接木の間では 3.6 kg/m³、(3)の隣接木との中央付近では 2.7 kg/m³と、平面的な Wr の分布は根株周辺に集中している。第 2 層以深も同様の傾向であるが、深さ方向の分布について各層の(1)～(3)の平均値を算出すると、第 1 層が 30.0 kg/m³ に対し、第 2 層が 16.6 kg/m³、第 3 層が 5.7 kg/m³、第 4 層が 3.4 kg/m³ となり、深さ方向の Wr は第 1 層と第 2 層の範囲で 83.6%を占めている。

2) スギ太根の分布

スギの太根の分布状況を図 2.64 に示す。6 列 C 行にある立木(H26)の根系について Wr の分布をみると、図中の青破線に示すように 2 方向に伸長している。また、赤破線の円で示す部分は太根の空白地帯となっており、後述するスギの小根が密に分布している。

掘削採取した太根の例として、4 列 R2 行 2 層および 5 列 L2 行 2 層の太根を図 2.59 に示す。



図 2.59 太根の状況(4 列 R2 行 2 層目と 5 列 L2 行 2 層目)

3) スギ小根の分布状況

スギの小根の分布状況を図 2.65 に示す。小根は第 1 層に多く分布している。全層の平均 Wr が $0.87\text{kg}/\text{m}^3$ に対し、第 1 層は平均 $1.68\text{kg}/\text{m}^3$ (最大 3.27、最小 0.08)となっている。図中の根株から半径 60~120cm の範囲における図中の破線赤丸地点に多く分布している。なお、第 4 層の一部に、第 1 層と同様の現存量で分布していた(図 2.60 参照、5 列 1L 行 4 層目が $3.04\text{kg}/\text{m}^3$)。この部分は、第 1 層に太根が分布しない空間と一致している。

小根に含まれる細根については、 Wr の分布に特徴を認めたため別途図 2.69 に示し、苧住によるスギの細根分布に関する考察との関係を検討する。



図 2.60 4 層目の細根の発達状況(3 列 R3 行 4 層目と 5 列 L1 行 4 層目)

4) 下層植生(広葉樹)の根系分布状況

下層植生である広葉樹の根系分布状況を図 2.75 に示す。下層植生は、立木間中央付近にサカキが分布し、第 4 層まで根系を伸長させている(図 2.61 参照)。

広葉樹の根株が立地する場所については Wr が多く評価されている。広葉樹の根系は第 4 層まで到達している個体もあるが、ほとんどが第 2 層までで、深さ方向の展開は少ない。しかし平面方向については、各樹種の根系の発達特性にもよるが、根株周辺に根が集中している。

5) 枯死根系の分布状況

枯死根系の分布状況を図 2.76 に示す。第 1 層に多く分布しており、第 2 層以深には枯死根系をほとんど目視確認できなかった。この結果は、第 1 層の根系データ採取時に地表面付近の根系と枯死枝の見分けがつかず混入していた可能性がある。



図 2.61 1 列 C 行 1 層目 左:スギ太根と広葉樹細根と小径根 右:スギの小径根と細根および枯死根

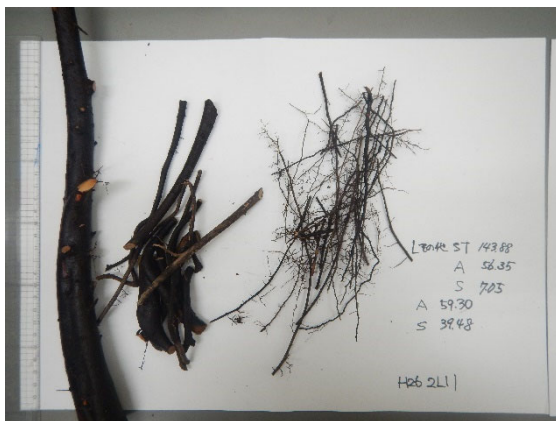
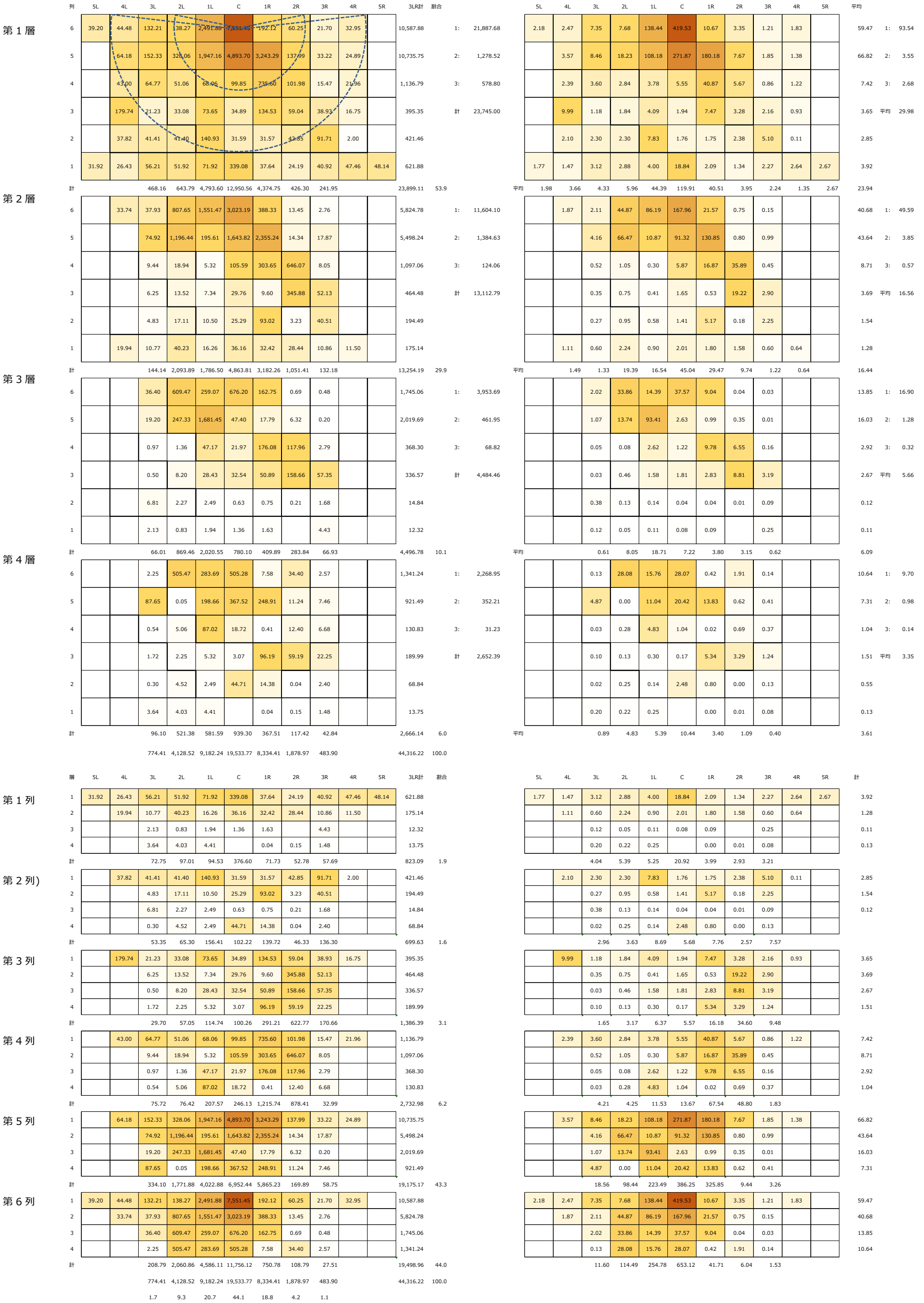
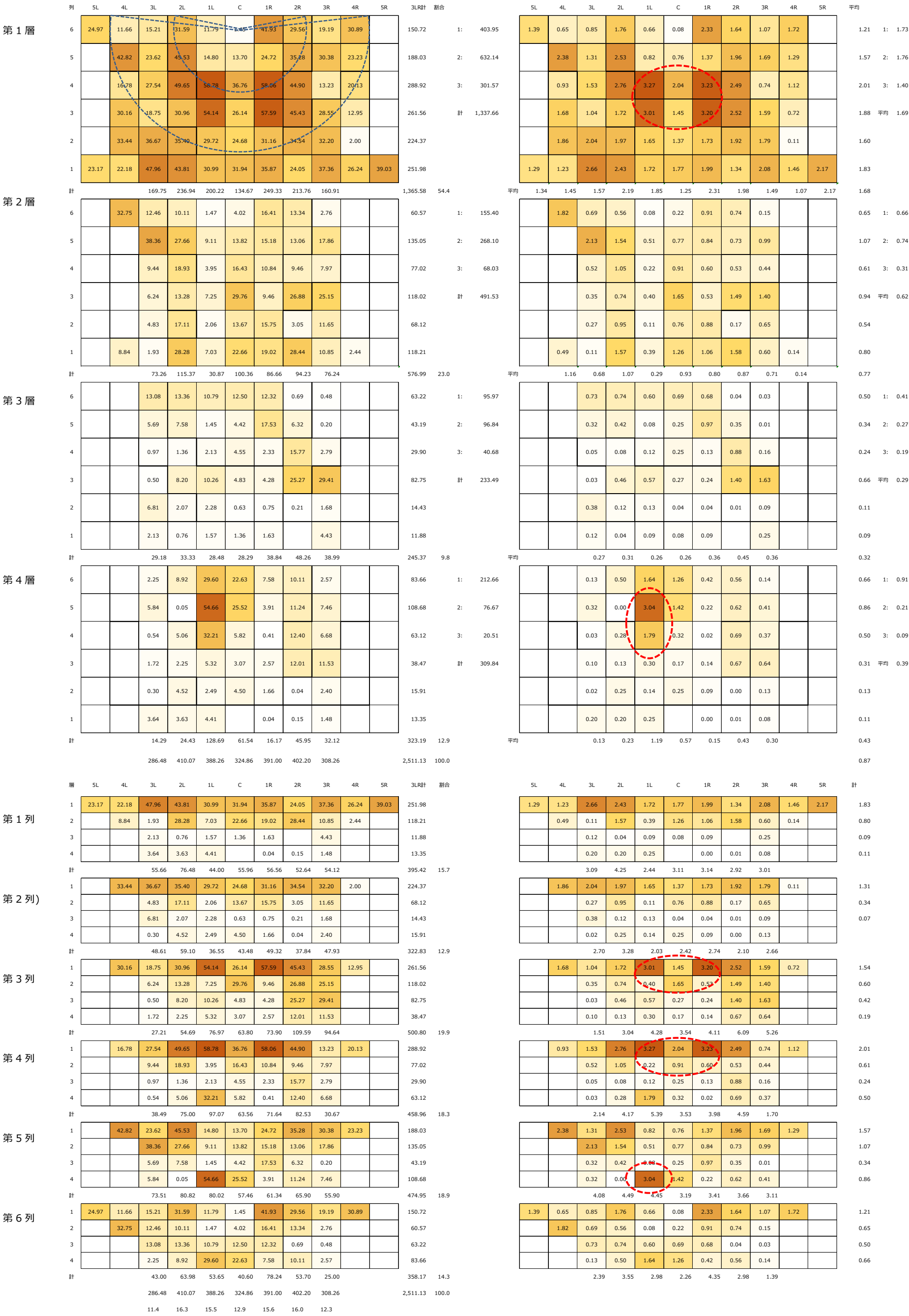
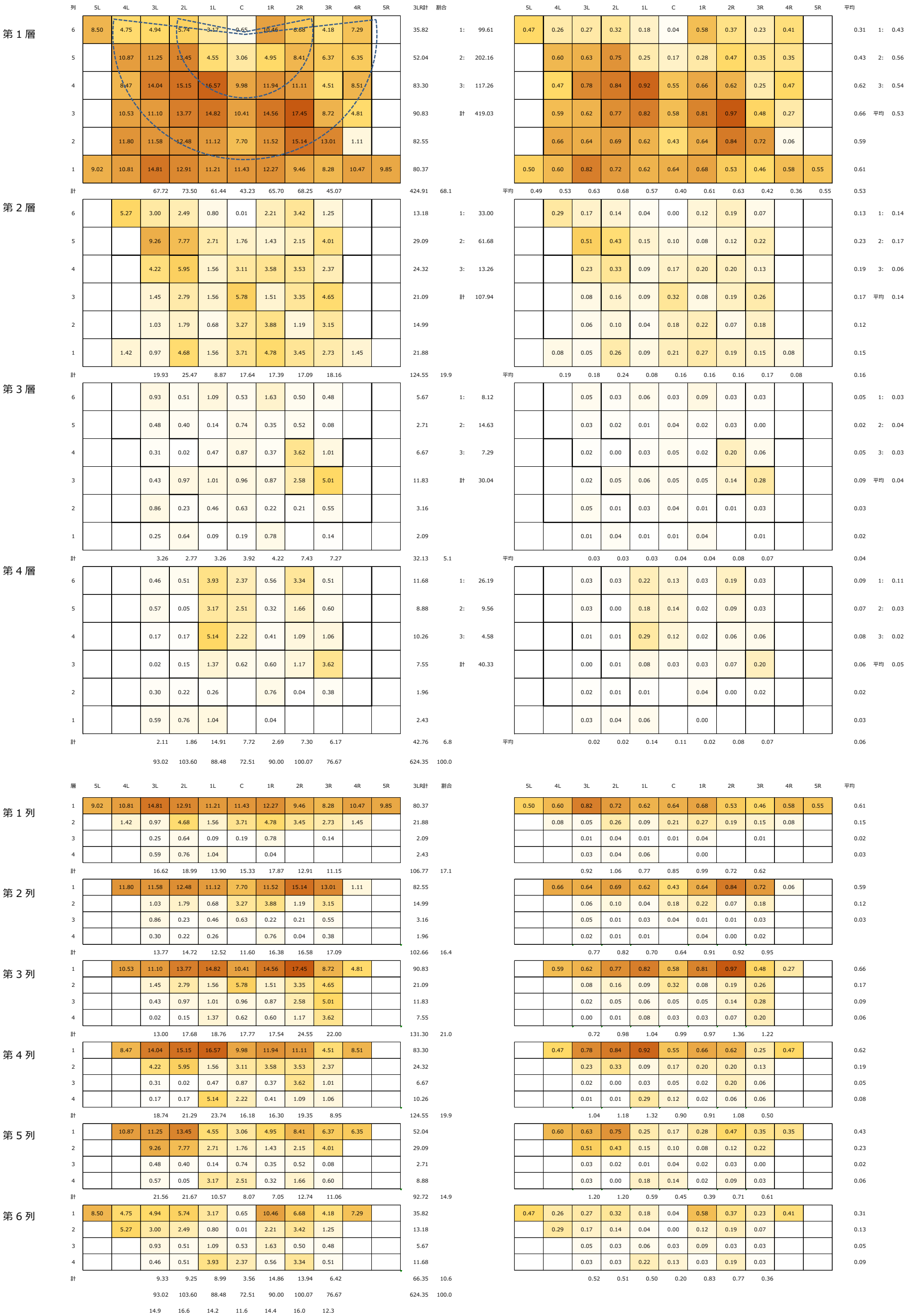


図 2.62 2 列 L1 行 1 層目の根系 1 列 C 列 1 層のサカキを含みサカキの太根が水平方向に分布。









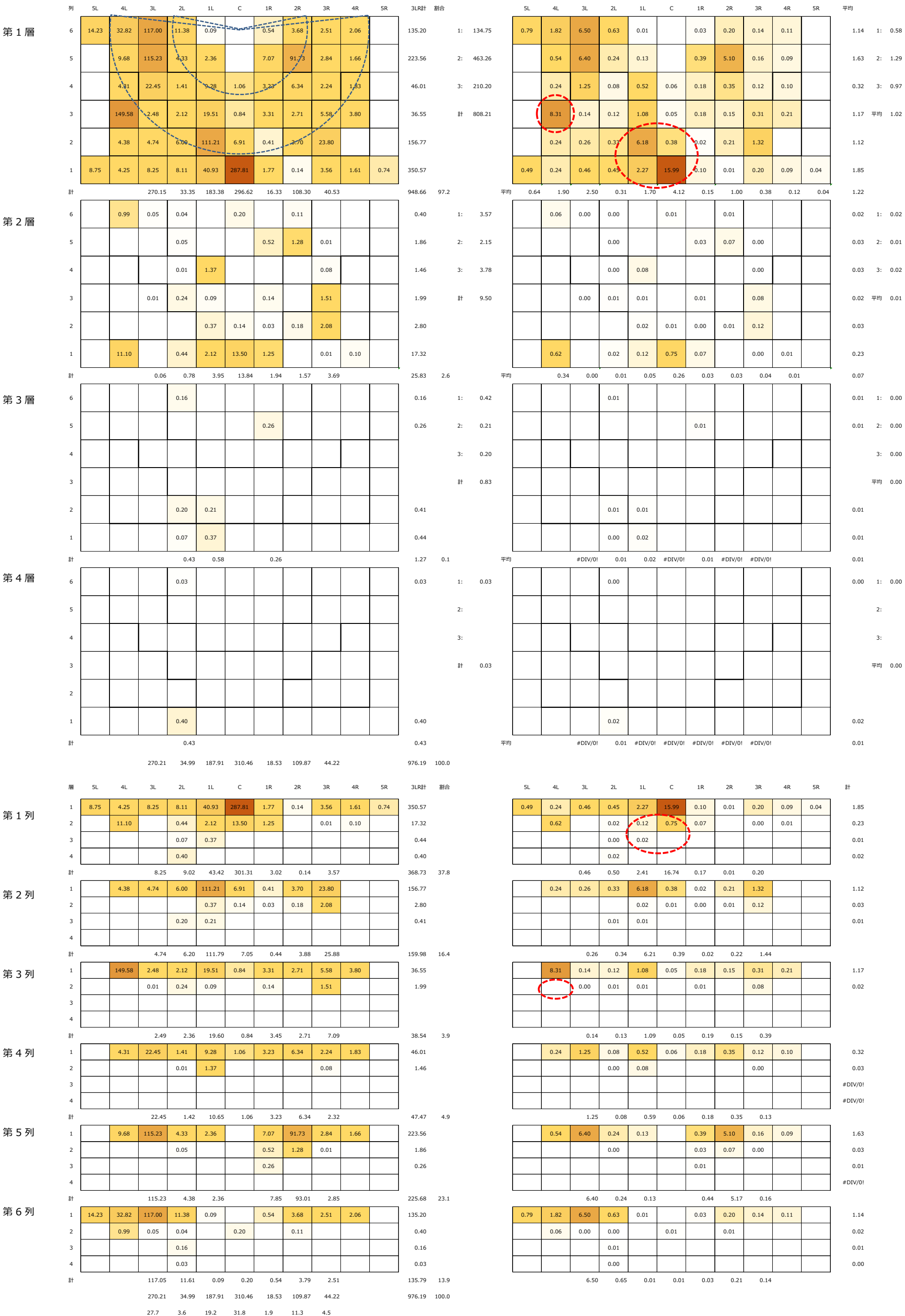


図 2.67 広葉樹根のメッシュ別平面分布・深さ分布と Wr (左:g、右:kg/m³)

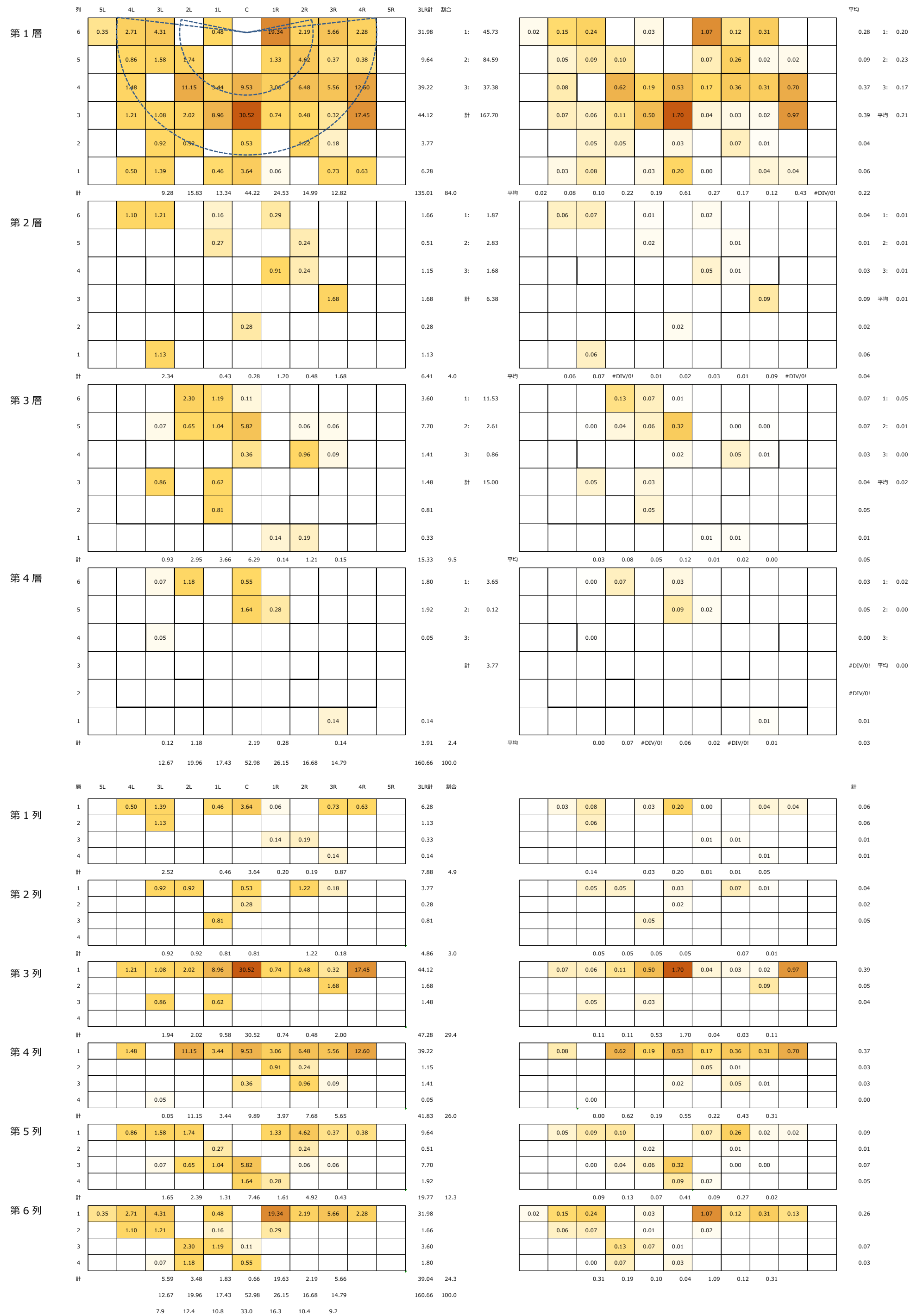


図 2.68 スギ枯死根のメッシュ別平面分布・深さ分布と Wr (左:g、右:kg/m³)

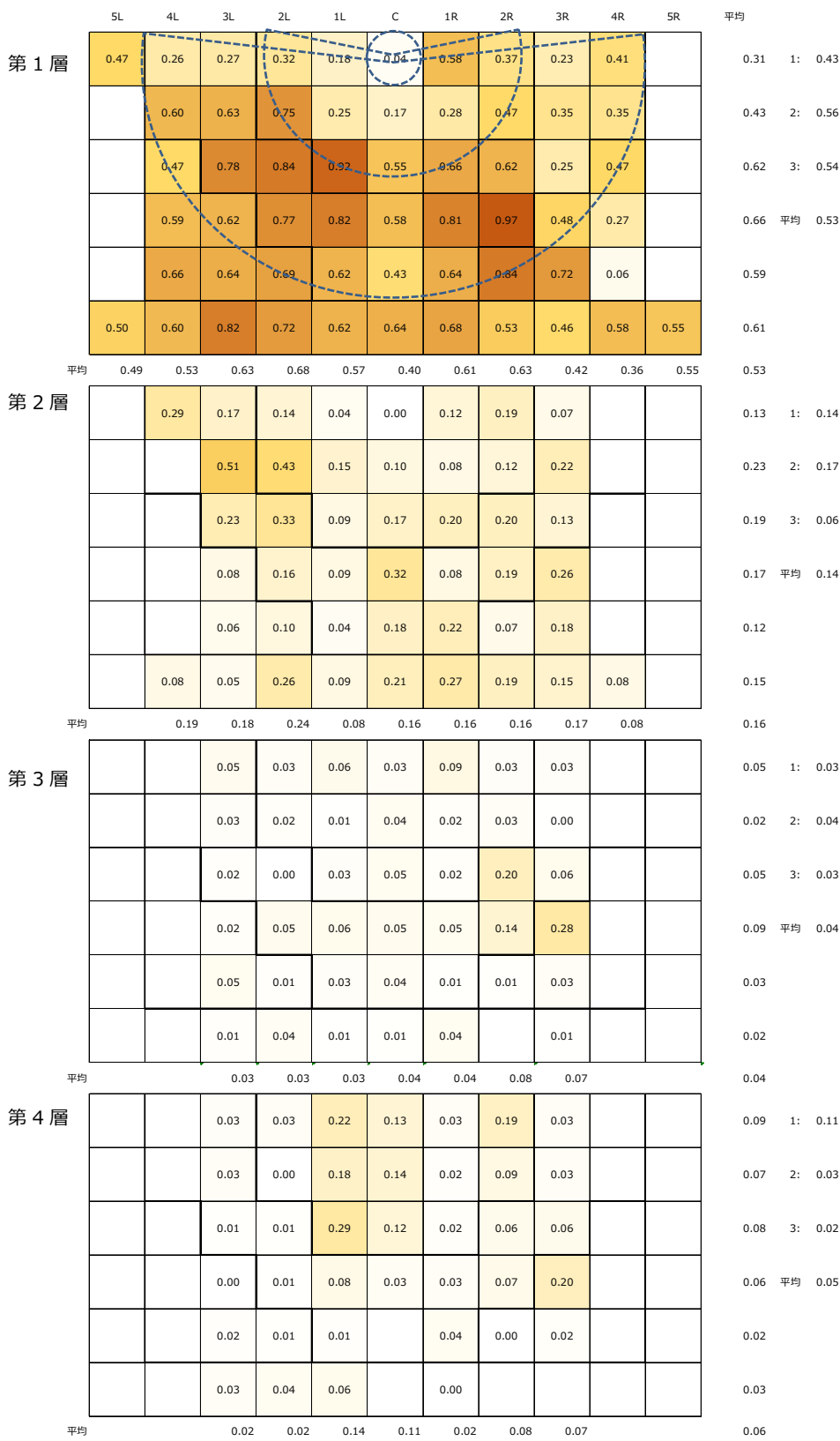


図 2.69 スギ細根のメッシュ別 Wr (kg/m^3)の平面分布

苺住は、各地域のスギ林分において、根株付近(1)、隣接木との中央付近(3)、両者の中間部(2)で第Ⅰ層(0～15cm)、第Ⅱ層(15cm～30cm)の根密度(単位体積当たりの根量で Wr と定義は同じであるため、以下「 Wr 」とする)の測定を行った。その結果、胸高断面積が 200cm^2 (直径 16cm 程度)までは、 $950\text{g}/\text{m}^3$ 程度の林分が存在し、(1)～(3)の根系分布にバラツキがみられるが、胸高断面積が 200cm^2 を超えると、第Ⅰ層の Wr は図 2.70 に示すとおり、 $500\text{g}/\text{m}^3$ 未満となるとともに、(1)～(3)の Wr の差が小さくなる傾向がみられた。また、第Ⅱ層(15～30cm)の下層の Wr は、 $200\text{g}/\text{m}^3$ 未満に低下する傾向がみられた。

苺住は、調査を実施した林分の植栽密度や林齢にもよるが、幼齢段階から若齢段階の林分では、地上部の競争とともに地下部についても種間、異種間の競争が発生し、第Ⅰ層(0～15cm)において、養分や水分の争奪競争の結果、細根が $700\sim 900\text{g}/\text{m}^3$ を超えるが、胸高断面積が 200cm^2 を超えると、細根の発達、地下の空間に移行し、第Ⅰ層の根系発達速度が緩和され $500\text{g}/\text{m}^3$ 程度になると想定した³¹⁾。

一方、地下深部の空間は、根系の発達にとって不利な条件が多く、養水分の吸収とともに通気性の確保が難しく、不利な条件の空間に伸ばした細根は消失していく。成熟段階の林分になると、地下深部に発達した細根の位置と量が安定するとともに、再び第Ⅰ層での競争が開始され、第Ⅰ層は $500\sim 700\text{g}/\text{m}^3$ の Wr になると推測している(図 2.71 参照)。

本事業の調査における細根に関するデータについて(図 2.69 参照)、第Ⅰ層(0～20cm)における(1)のデータは $430\text{g}/\text{m}^3$ 、(2)のデータは $560\text{g}/\text{m}^3$ 、(3)のデータ $540\text{g}/\text{m}^3$ である。また、第Ⅱ層(20～40cm)における(1)のデータは $140\text{g}/\text{m}^3$ 、(2)のデータ $170\text{g}/\text{m}^3$ 、(3)のデータ $60\text{g}/\text{m}^3$ となっている。

なお、第Ⅲ層と第Ⅳ層において、平均値が $40\sim 50\text{g}/\text{ブロック}$ の Wr の中、一部のメッシュでは $280\sim 290\text{g}/\text{m}^3$ のメッシュが分布している。

本事業における第Ⅰ層と第Ⅱ層の結果を、図 2.70 の第Ⅰ層および第Ⅱ層のグラフにプロットした。本事業と苺住の層区分に違いがあるが、本事業の第Ⅰ層の平均が $530\text{g}/\text{m}^3$ 、第Ⅱ層が $140\text{g}/\text{m}^3$ 、第Ⅲ層が $40\text{g}/\text{m}^3$ 、第Ⅳ層が $50\text{g}/\text{m}^3$ と、深くなるほど概ね Wr が小さく傾向であり、苺住の層別区分を適用すると過小な Wr となっている。

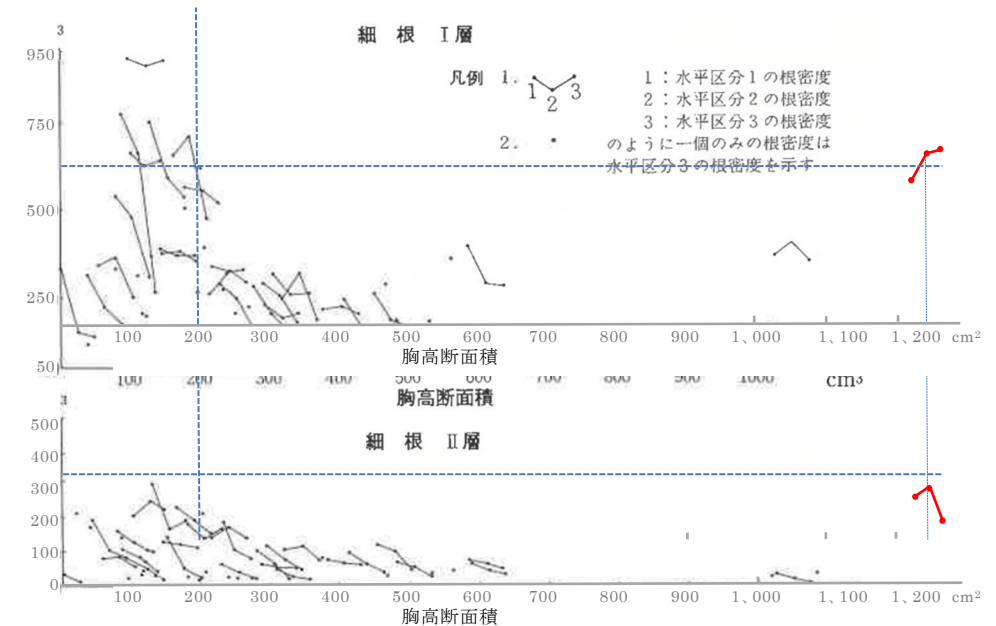


図 2.70 胸高断面積とスギ細根の $Wr(\text{g}/\text{m}^3)$ ³²⁾

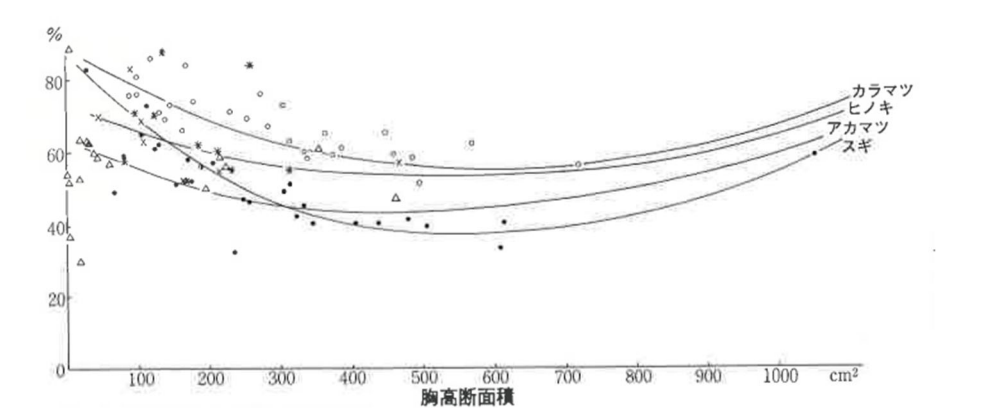


図 2.71 林木の生長と表層土壌(第Ⅰ層)における細根の根量比

本調査地のスギ林分は、50 年生で、若齢段階から成熟段階へ移行する段階にあると想定され、安定的に第Ⅲ層(40～60cm)や第Ⅳ層(60～80cm)で細根を発達させた後、平均 $530\text{g}/\text{m}^3$ と第Ⅰ層(0～20cm)の Wr を増加させつつある段階であると想定できる。

なお、後述する ΔC の計測空間における Wr も同様の傾向を示しており、図 2.72 のとおり、第Ⅰ層の Wr は H25-26 間で平均 $650\text{g}/\text{m}^3$ 、H24-25 間で平均 $560\text{g}/\text{m}^3$ となっている。なお、H27-28 間では平均 $780\text{g}/\text{m}^3$ となっており、 Wr の値が大きくなっている。これは、隣接木の間伐による影響と想定される。

H25-26	Wr	1	0.73	0.71	0.62	0.53	0.66	0.68	0.59	0.65	0.65
		2	0.06	0.18	0.06	0.19	0.24	0.13	0.16	0.15	0.15
		3	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02
		4	0.02	0.03	0.04		0.02	0.00	0.01	0.02	0.02
	(kg/m^3)	行平均	0.21	0.23	0.18	0.19	0.24	0.20	0.20	0.21	0.22
H24-25	Wr	1	0.51	0.53	0.53	0.56	0.66	0.50	0.59	0.56	0.56
		2	0.36	0.17	0.25	0.10	0.04	0.06	0.14	0.16	0.16
		3	0.05	0.01	0.05	0.02	0.02	0.08	0.06	0.04	0.04
		4	0.13	0.03	0.03	0.06	0.05	0.04	0.05	0.06	0.06
	(kg/m^3)	行平均	0.26	0.19	0.22	0.18	0.19	0.17	0.21	0.20	0.20
H27-28	Wr	1	0.71	0.55	0.67	0.87	0.79	0.95	0.89	0.78	0.78
		2	0.24	0.19	0.18	0.30	0.29	0.30	0.43	0.28	0.28
		3	0.05	0.09	0.04	0.08	0.10	0.12	0.17	0.09	0.09
		4	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.04	0.06	0.02	0.02
	(kg/m^3)	行平均	0.25	0.21	0.23	0.31	0.30	0.35	0.39	0.29	0.29

図 2.72 ΔC 断面付近における第Ⅰ層の細根 Wr

³¹⁾ 苺住昇(2010)最新樹木根系図説総論, 誠文堂新光社 P811

³²⁾ 苺住昇(2010)最新樹木根系図説総論, 誠文堂新光社 P347 に本事業の成果を追記して表示

6) 3D グラフによる根系分布

前述までのメッシュ図では、根系の地下分布状況を列方向と行方向に把握し、立体イメージを創造する必要があった。これをわかりやすく可視化するため、3D グラフを作成した。図 2.73 に示すとおり、一つのグラフで平面方向と深さ方向の根系の分布を示し、メッシュ当たりの根量を、球体の大きさおよび色差で示した。

図 2.73 は全根系とスギの太根の分布を示す 3D グラフである。両グラフでは、メッシュ内根量の最大値と最小値の差が大きく、球体あるいは着色表示したメッシュ内根量のうち、最小値付近の球体が判別できない結果となった。それだけ根株の現存量が、根系と比べて大きい比率を持つことを示している。球体の分布をみると、根株付近に大きな球が分布し、そこから R(右)方向と深さ方向に小球が分布している。

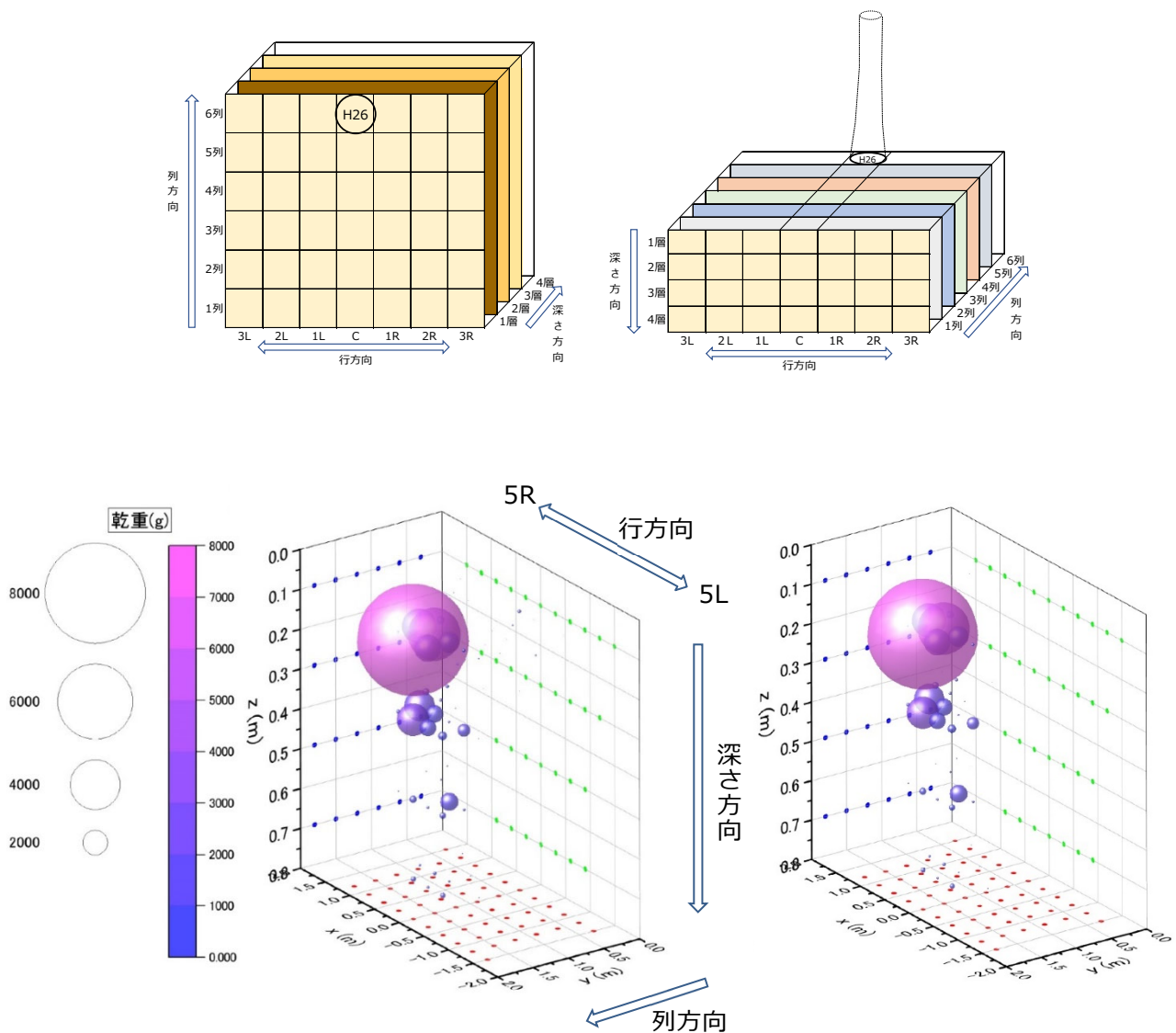


図 2.73 全根系(左)とスギ太根(右)の 3D グラフ

図 2.74 のスギの小根を示す 3D グラフは、第 1 層にほぼ同じ大きさの球体が分布する傾向となった。深さ方向に、球が第 4 層まで続き、第 4 層に第 1 層と同等の球体が分布している。小根は吸収根として水分や養分を吸収する役割であるため、第 1 層に集中して分布する傾向があるが、第 4 層に小根が存在することは、この深さに、細根が発達できる環境条件があったか、もしくは発達できる環境条件が形成された可能性がある。

図 2.75 の広葉樹については、ほとんど第 1 層と第 2 層に根系が分布している。単木当たりの Wt は高く、広葉樹の存在により Wt は高く評価される。なお、図 2.76 の枯死根については、地表面付近の根系と枯死枝との区別がつかず混入した可能性があり、第 1 層に多く分布することとなった。

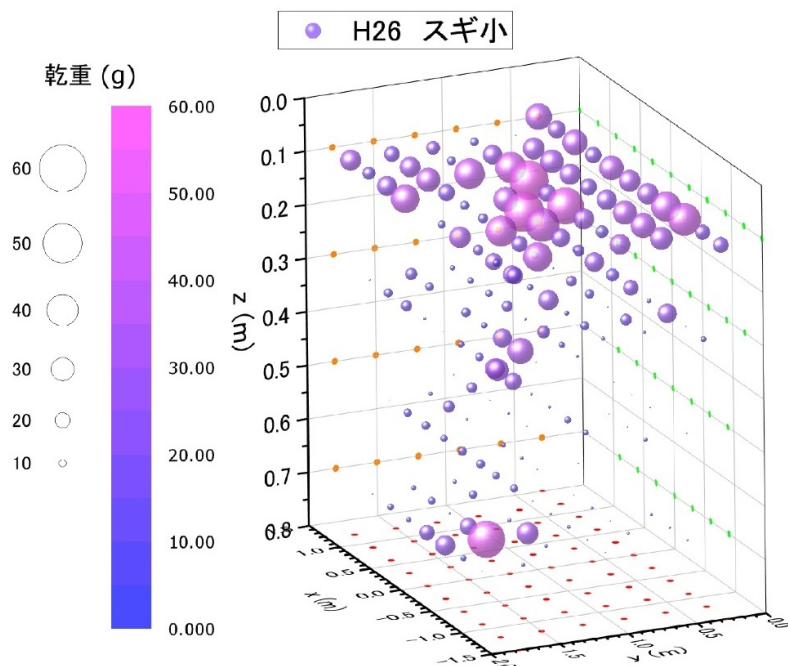


図 2.74 スギ小根の 3D 分布

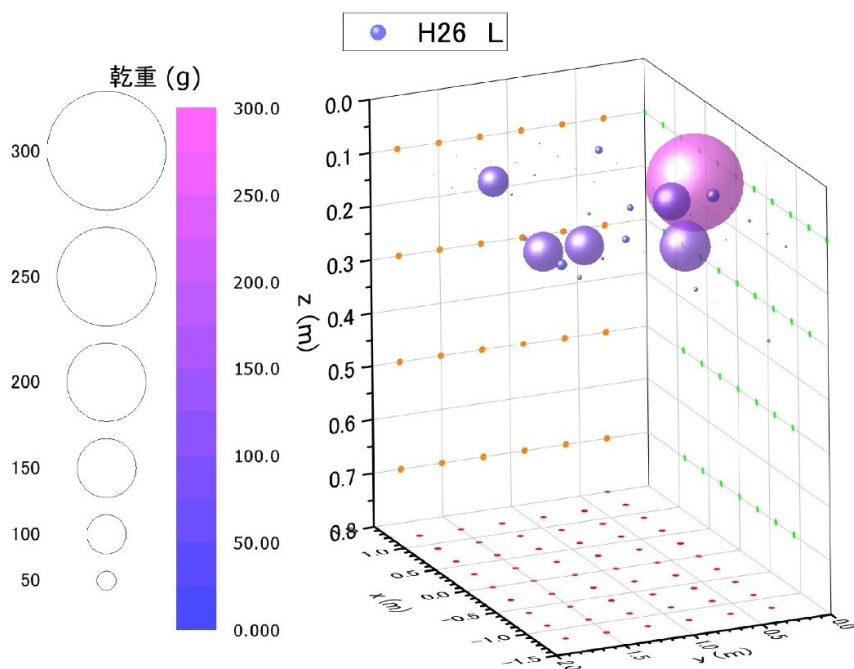


図 2.75 広葉樹根の 3D 分布

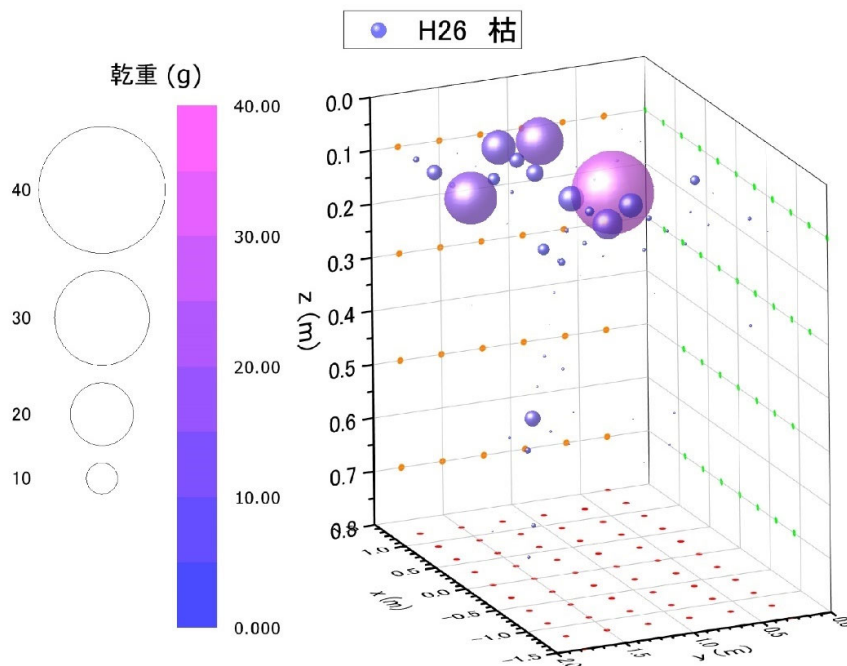


図 2.76 スギ枯死根の3D 分布

(8) 結果の整理

根系全量掘削調査の結果、以下のことが明らかとなった。

ブロックサンプリングによる掘削の際、第1層のブロックは中に含まれる根系量が多く、ブロック採取や運搬時に崩れることはなかったが、第2層以降のブロックは、根切りチェーンソーの振動で容易にブロックが崩れる等、ブロックの強度が異なることを確認した。土性について、第1層は粘土質傾向、第2層は、母岩由来で砂質傾向と違いはあるが、ブロックの崩れやすさは根量の影響を受けていると想定された。

ブロックをほぐして根系を採取するに当たり、第1層のブロックは2～5mm未満の小径根が、水平方向へロープ状に多く分布していることを確認した(図 2.47 参照)。第2～4層には、そのような傾向は見られなかった。また、第1層の細根は、ブロックをほぐす際に細根先端に土壌が球状に残存し、団粒状構造を形成しつつある状況を確認した。

掘削を進め、根株の直下に到達すると、根株直下の土壌は固結しており、土壌硬度計で27mm以上の値を示し、立木の地上部の自重によって土壌が固結していると想定された。

根系の分布をみると、根株周辺に根系の分布は集中しているが、立木位置に近接するメッシュ間において W_e に著しく差があることが分かった。根はすり鉢状にまとまりつつ、すり鉢内はランダムに分布していることが推測された。図 2.64 のとおり、スギの太根が2本分布し、図 2.65 のとおり、その隙間を埋めるようにスギの小根が密に分布している。

3D グラフによる根系分布の表示では、全根系とスギ太根について、根系の分布は不明瞭であった。一方、スギ小根は第1層にほぼ全面に小根が分布しているとともに、第2層と第3層にも少量ながら分布し、第4層には第1層と同等の小根が分布していることが明らかとなった。

広葉樹については、下層植生の根際付近には根系が集中し、スギの小根よりも根系量が多い場合がある。しかし、第2層よりも深い位置での出現は少なかった。なお、枯死根については、第2～4層にわずかに検出している。第1層については枯死枝との判別がつかなかった。