

総説 (REVIEW)

木材研究とファイトトロン*

角谷和男**

Wood Research and Phytotron

KAZUO SUMIYA

はじめに

ファイトトロンとは、一般的に言って、植物の生育環境（光の強さ、明暗の時間、温度など）に対する応答を研究できるように設計された実験設備で、環境因子の多くの組合せを同時に研究できるように組織されたものと定義される¹⁾。そこでこの設備が木材研究の中で占める役割を考えるのが本説の目的である。言葉をかえれば、本説では筆者が木材研究の今後の展望を考えた時、どのようにしてこの設備の必要性に行きついたかを主として述べることになるであろうということである。

話を始めるに先立って、ここに言う木材研究とは何かをまず決めておこう。木材研究の定義としては木材研究所の設立目的ともいえる森林資源の利用の合理化と木材加工技術、用途の科学的究明²⁾を出発の原点としたい。これは木材科学と呼ばれているものの定義でもあろう。

1. 木材資源の現状

前述の木材研究の定義では木材資源の無限の存在が前提とされているし、またそれは森林資源の利用、木材加工技術、用途を目的とする限り、必然の前提である。しかし、現在あるいは将来にわたってこの前提は、とくにわが国において、正しいであろうか。この点を少し考えてみよう。

1955（昭30）～1970（昭45）年の製材用材（建築用材、土木建設用材、木箱仕組板、こんぼう用材、家具建具用材、造船車輛用材、その他）供給量の推移³⁾および1970～1975（昭50）年の木材需要（供給）量の推移⁴⁾を表1-A, 1-Bに示す。これらの結果を概観的に見れば、わが国の木材需要量は経済全体の発展のテンポに比例して、細かくは経済の好、不況の波に支配されながら増加していることは明らかである。

しかし、この需要のうち国内産材の占める割合（自給率）は年々低下し（とくに1965（昭40）～1970（昭45）年の5年間の低下はいちじるしい）、最近の自給率は35%に落ちこんでいる。この内1971および1975年に自給率低下の一時的停滞が見られるが、これは経済不況による木材総需要量の停滞によるもので、国産材の供給量の増加によるものでは決してなく、国産材の供給量は年々低下の一路をたどっている。

ここで単純に国産材が不足するなら外国産材を利用すればよいという論理は現代の国際社会の中でそのまま通用するものとは考えられない。たとえば、わが国の最大供給量をしめる南洋材（丸太で1975年度約2,504万m³、1976年度約1,751万m³）の最近におけるわが国の輸入量の減少が供給国に経済的、社会的に大きな影響を与え、これらの国の民間団体によって組織された東南アジア木材生産者連合（SEALPA）が消費

* 第32回木研公開講演（1977. 5. 20, 大阪）での講演をもとにした。

** 木材物理部門 (Division of Wood Physics)

表 1-A 製材用材供給量の推移³⁾

年次	区分	実数			構成比			指数		
		総数	国産材	外材	総数	国産材	外材	総数	国産材	外材
昭和	30	千m ³ 30,295	千m ³ 30,080	千m ³ 215	% 100	% 99.3	% 0.7	64.3	88.1	1.7
	35	37,789	33,817	3,972	100	89.5	10.5	80.3	99.1	30.6
	40	47,084	34,124	12,960	100	72.5	27.5	100.0	100.0	100.0
	41	50,373	34,450	15,923	100	68.4	31.6	107.0	101.0	122.9
	42	55,398	33,572	21,826	100	60.6	39.5	117.7	98.4	168.4
	43	58,981	31,301	27,680	100	53.1	46.9	125.3	91.7	213.6
	44	59,534	28,890	30,644	100	48.5	51.5	126.4	84.7	236.5
	45	62,009	27,362	34,647	100	44.1	55.9	131.7	80.2	267.3

注：数値は素材（丸太）材積であり，輸入された製材品は丸太に換算して加えている。

表 1-B 用材需要（供給）量の推移^{4,5)}

年次	区分	実数			構成比			指数		
		総数	国産材	外材	総数	国産材	外材	総数	国産材	外材
昭和	40	万m ³ 7,054	万m ³ 5,038	万m ³ 2,016	% 100	% 71.4	% 28.6	100.0	100.0	100.0
	41	7,686	5,182	2,504	100	67.4	32.6	109.0	102.9	124.2
	42	8,595	5,274	3,321	100	61.4	38.6	121.8	104.7	164.7
	43	9,180	4,896	4,284	100	53.3	46.7	130.1	97.2	212.5
	44	9,557	4,682	4,875	100	49.0	51.0	135.5	92.9	241.8
	45	10,268	4,624	5,644	100	45.0	55.0	145.5	91.8	280.0
	46	10,141	4,597	5,544	100	45.3	54.7	143.8	91.2	275.0
	49	—	—	—	100	34.9	65.1	—	—	—
	50	9,637	3,458	6,179	100	35.9	64.1	136.6	68.6	306.5

注：指数は表 1-A, B とも昭和40年を 100 とした。

国向け丸太輸出を需要に応じて輸出規制する決議を行ない，わが国に対する南洋材需要量の見通し提示を求める⁵⁾など国際的問題となってきた。さらに外材の第2位供給量をしめるアメリカ（丸太で1976年度954万m³）や丸太輸出を1906年以来原則的に禁止しているカナダのブリティッシュ・コロンビア州などがわが国の枠組壁工法の一般工法化に伴って製材品輸出増大をはかっている現状（この結果は製材業界への影響が考えられる）やわが国外材の3位供給量をしめるソ連も輸入の数量，価格の交渉がわが国木材市況のここ1, 2年の低迷より難航している現状⁶⁾など木材資源の外材依存は現代の国際社会やその中でわが国の現状を抜きにしては論ぜられない。しかも，林業白書も指摘しているように⁷⁾最近の世界の情勢は，開発途上国が第4回国連貿易開発会議総会（UNCTAD）で「一次産品総合プログラム」を採択するなど経済の安定的発展を求める動きが強まり，開発途上国以外でも自国資源の有利な利用を図ろうとする姿勢が強まっているなど自国資源に着目し始めている。

このような現状を認識し，さらに科学技術庁計画局が行なった「民間企業における研究開発の動向に関する調査」で民間企業が今後10年以内あるいは10～50年で不足が心配される資源名として水，石油に並んで林産物がいずれも顔を出している事実⁸⁾や国際木材科学アカデミーのパンアメリカングループが米国資源政策

委員会への中間報告として1971年に提起した声明に「2000年までに木材の需要は倍増し、林業経営を強化してもなお不足することが予想される」と述べている事実⁷⁾よりわかるように、先進工業国での木材資源の枯渇が憂慮されている現状を考えた時、あるいは石油、農産物など一次産品が世界戦略の武器として使用されつつあることを考えた時、自給率の上昇あるいは国内消費にある程度みあう絶対量の確保は今後ますます必要となってくるであろう。しかも木材資源は本質的に再生産可能な資源であるということを考えれば、その育生にもっと力をそそぐべきである。さらに木材資源の供給源である森林には災害防止、環境保全という重要な役割があることから、森林の確保は一層緊急の問題となっている。

2. 木材研究のあり方への私見

前節に述べて来たことより、木材研究にたずさわるものは資源の利用のみに目を奪われることなく、資源育生を考慮のどこかに（直接的でなくとも間接的にでも）入れておくことが責務とを感じるようになるのは筆者のみであろうか。そこで、この節では木材資源の利用を目的とした木材研究のあり方を考えるが、その場合一つの基本的態度として、森林を育てるとのことより始めてみたい。

森林が人手もなしに自生していた時はいざ知らず、林業という形態が整い、山で働き森林により日常の糧をうる人々によって森林が守られて来ているわが国の現状より、これらの人々が安心して山で働かうようにすることが森林を育てることそのものであろう。この意味で本来林業の基盤をさきえて来たのが林産工業であるはずである。しかもたとえば、柱、板材生産を目標とした場合は通直、無節、大径木を育てるための森林施業を行なうなど、木材資源を何にどう利用するかすなわち需要の動向ひいては林産工業の内容が林業のあり方に重要な影響を与えて来た。ところが、林産工業の外材依存度が強まるに伴って、ごく少数の大山林所有者を除いて、林家の99%まではその経営と生活が大きな不安にさらされるようになった⁸⁾。

現在林業経営の中で森林組合の役割は大きく、林業基本法（昭和39年7月公布）の目的の一つである「林業構造の改善」のための事業費によって、林道の開設すなわち生産基盤の整備や集材機、チェーンソー、刈払機など資本整備の高度化が主として進められて来た（入会林野の近代化など経営基盤の充実のための事業費は2%前後と少ない）が、森林組合の中にも最近地域産業と山村経済振興の担い手として自らの社会的役割を認識し、地域の経済と生活を守り発展させるための事業を積極的に行なってゆこうとする動きもできている⁹⁾。また政府の昭和51年度林業白書においても、始めて一章をもうけて、林業の地域的発展をめぐる課題を大きく取上げ¹⁰⁾、その中で「林業の地域的発展を図る上で大きな役割を果たすものは、それぞれの地域において生産される木材の商品性の向上およびこれに関する市場、需要者の側における評価であり、この面からは木材についての商品性の向上に寄与する技術の改善向上が極めて重要な意義をもつことになる」と述べている。

このような動きの中では、各地域の山林と結びついた地域産業のあり方が当然問題となり、ここでは小規模な、協同組合的な林産工業に対する技術的問題がおこってくるであろう。このあたりに将来の木材研究の一つの方向があるのではなからうか。

さらに、木材の商品性の向上を考えた場合、樹幹内部の品質がその外形、外観以上に重要な因子となることは当然である。ここで誤解をさけるために一言すれば、ここにいう「樹幹内部の品質」は木材の用途によって要求される性能や性質を総称する材質の指標として挙げられる重要な樹幹内形質すなわち繊維長、晩材率、容積密度数、ミセル傾角など^{10,11)}をさす。さて、内装材など視覚的要素の入ってくるものは外観的因子も重視されるが、現在あるいは将来にわたってわが国木材需要の大きな分野である建材、紙パルプにおいては樹幹部の品質そのものが商品価値を決めるといっても過言ではない。しかも、従来木材樹幹の外形を重視してきた森林施業法も内部の品質にまで影響するものがほとんどである。たとえば高度の枝打ちを行なった枝下材では細胞の晩材化の季節的時期が早められる¹²⁾などである。

木材樹幹の品質に関する知識は長年の経験によって受継がれていることが多く、これらが近代産業として発展してゆくためには、技術が単に経験的な知識の集積からより普遍的な科学技術として見直され確立してゆくことが必要である。たとえば、産地や立地条件の影響として知られる地域の特徴が環境条件として十分解析されないまま、これをその産地材の特徴として経験的に集積されている。したがって、樹木の生育過程で個々の生長条件や地方による伝統的な森林施業法が樹幹の品質にどのような影響を与えているかを系統的に検討することは品質制御の要因を探り、森林施業の科学技術化をはかる基礎的研究として位置づけされることになる。

今日、育生林業を積極的に行なっている国としてはわが国のほかに西ドイツ、オーストリア、スウェーデン、ニュージーランドなどがあり、さらに東南アジア等開発途上国においても、森林資源の再生産確保、自然環境の保全等のために伐採跡地へユーカリ類その他の造林を進めようとする気運が高まっている現状⁹⁾を考えると、これらの研究はわが国のみならず世界的にも重要とならざるをえないであろう。

この研究方向は木材研究所の短期整備計画にも資源生産研究分野の材質形成研究プロジェクトとして取上げられている¹⁰⁾。その具体的内容は、(1) 光、温度など外的生育環境因子と栄養、ホルモンなど樹木の内的因子の細胞構造、細胞内微細構造や材質に及ぼす影響、(2) 樹幹構成成分の生合成とこれをコントロールしている因子の化学的解明、(3) 生合成に関与する細胞器官とその配列や消長、(4) 遺伝的変異を含む各種処理などの育種の研究などである。さらに保育技術の科学技術化としては、(1) 植栽密度(間伐)、枝打ちなどの森林施業により生産される材の類型化とその材質評価、(2) 使用目的に応じる材質の分類、(3) 樹冠の構造と材形成の関連などがある。

これらの研究は現に木材研究所で文部省科学研究費などをもとに研究グループとしてその一端が進められているが、その研究の過程で表題に述べたファイトトロンの役割は重要である。すなわち、一定の生育環境で樹木で生育させることは、生育環境因子の樹幹内部の構造の発生さらに材質への効果を明らかにするという直接的メリットがあることはもちろん、ホルモン、枝打ちなどの効果を調べる時にも、環境因子に支配されずに、純粋にその効果を取り出せるなど有効である。

以上で筆者の述べたいことは一応終った感があるが、ファイトトロンの重要性に対する理解を助けるために、次節で木材研究所のファイトトロンを説明し、最後にその見通しなどに再度触れてみたい。

3. 木材研究所ファイトトロン

木材研究所ファイトトロンの平面図を図1に示す。この設備の心臓部は樹木を生育させるための人工照明室とその生育環境条件である温度、湿度、照明を制御するための機械室で、人工照明室の断面図および内部の写真をそれぞれ図2、写真1に示す。

(1) 人工照明室

約1m²、深さ1~1.5mの自然排水式地下ポット6個が備えられ、室の有効高さ3mとともに5年生程度までの樹木が生育できるように設計されている。灌水はタイマーによって一定時間に室内タンクに貯蔵された一定量の水が自動的に噴水する方式がとられている。

樹木の生育に必要な他の環境条件のうち、温度、湿度の条件を制御することはもちろんであるが、とくに光の条件については全く人工光のみによって制御する。人工照明室と呼ばれるゆえんはここにある。さらに、樹木の生長、発育には昼夜の時間および温度の差が重要であるため、明暗時の温度の切換えに自動制御装置を用い、完全ではないが光、温、湿度の三条件を自由に組合せられるようにした。すなわち日長条件に関しては24時間週期の一定の明暗条件を作るための定時間切りタイムスイッチを用い、さらに明暗時の温度の切換えを自動的に行なうため、タイムスイッチに温度制御を連動させた。また、このタイムスイッチは多接点を使用することによって24時間の週期を任意の時間に区分することも可能である。

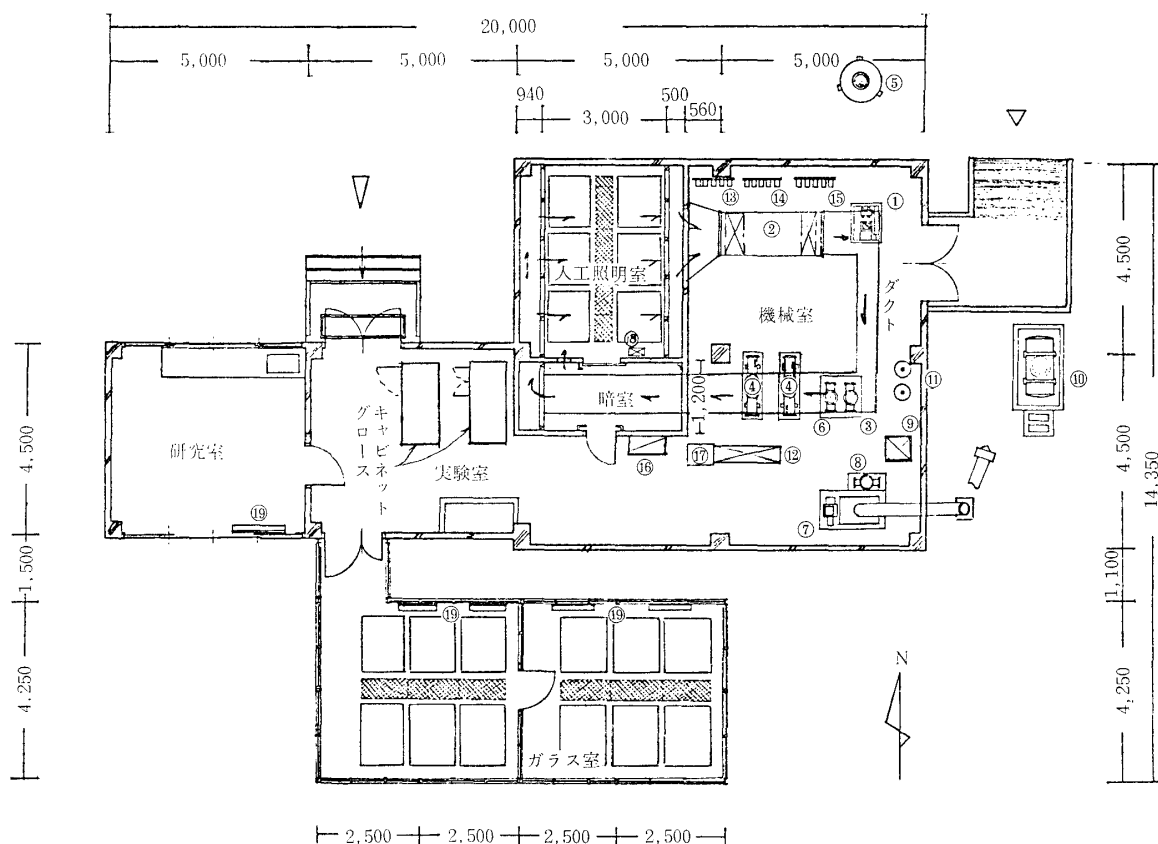


図1 木材研究所ファイトトン平面図

- ①送風機 ②空気調和機 ③スプレーポンプ ④冷凍機 ⑤冷却塔 ⑥冷却水ポンポ ⑦温水ボイラー ⑧温水ポンプ ⑨膨脹槽 ⑩貯油槽 ⑪水質処理装置 ⑫操作盤 ⑬水銀ランプ用安定器盤 ⑭BOCランプ用安定器盤 ⑮陽光ランプ用安定器盤 ⑯照明盤 ⑰記録計盤 ⑱記録用端子箱 ⑲ファンコンベクター (図中の数字は単位 mm)

人工照明室は 前室として人工照明室と同様の温、湿度に保たれた 暗室を持ち、黄化処理実験にも用いられ、分光室としても使用できる。

a) 温、湿度制御装置

温度、湿度調整のためには、空気調和機内で冷却あるいは加熱、調湿した空気をダクトにより巡環させる新鮮空気導入再巡環空気方式を用いている。

加熱は灯油を燃料とする温水ボイラーにより行ない、冷房には高速多気筒水冷密閉型の冷凍機2台を用いている。また加湿に際しては空気調和機内に噴霧し、除湿は冷凍機により行なう。これらの作動は人工照明室よりのダクト吸入口に取付けた電子管式温度、湿度調節計によってそれぞれ調節され、温度調節可能範囲は $(15\sim 30)\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 、湿度調節可能範囲は $(70\sim 80)\pm 7\% \text{ R.H.}$ であるよう設計されている。現在人工光点灯時(昼間に相当)は 25°C 、消灯時(夜間に相当)は 20°C とし、湿度はいずれも $75\% \text{ R.H.}$ 一定を用いている。

b) 照明装置

天井にあるランプハウスは5つの反射盤ユニットを持ち、各ユニットには水銀ランプ(1KW)4灯、陽光ランプ(400W)3灯、BOCランプ(400W)3灯が取付けられ、各半分ずつ別に手動で点滅しうるようにして照度を規定する。全ランプ点灯の場合は床上1mで40,000ルクスの照度がえられる(現在の使用条

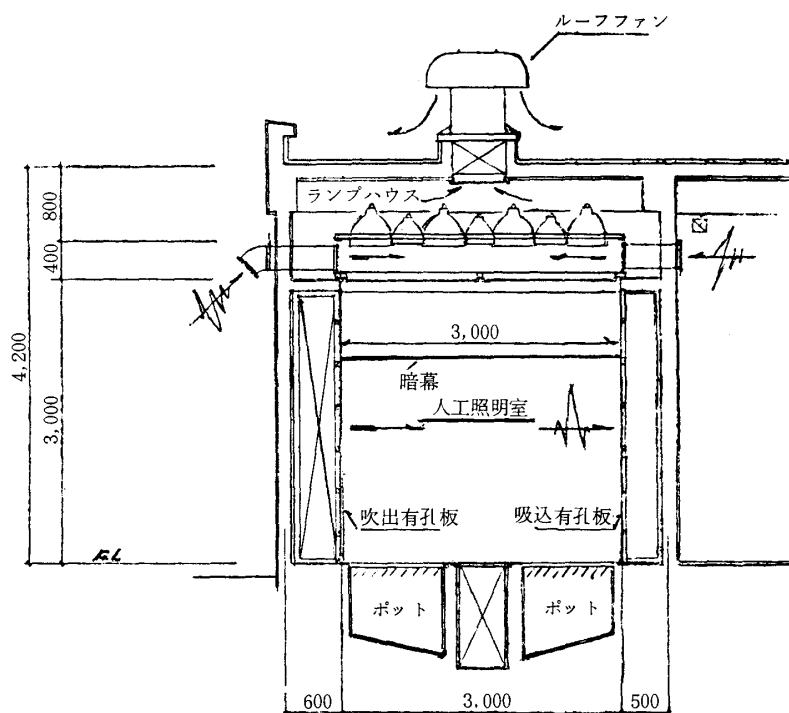
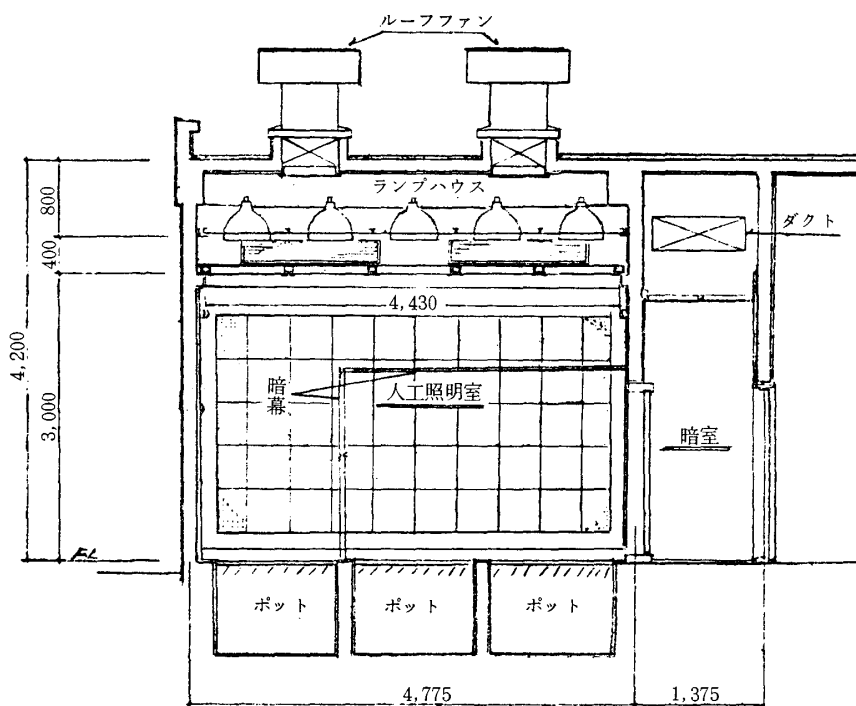


図2 人工照明室断面図 (図中の数字は単位 mm)

件は約 30,000 ルックスである)。

また、奥2ユニットを点灯したまま、入口側3ユニットをタイムスイッチによって点滅しうるようにし、これと人工照明室を仕切る暗幕の開閉とを連動させ、人工照明室内で日長時間を変えられるように工夫されている。現在、奥の日長は16時間(長日条件)、入口側を8時間(短日条件)で使用している。

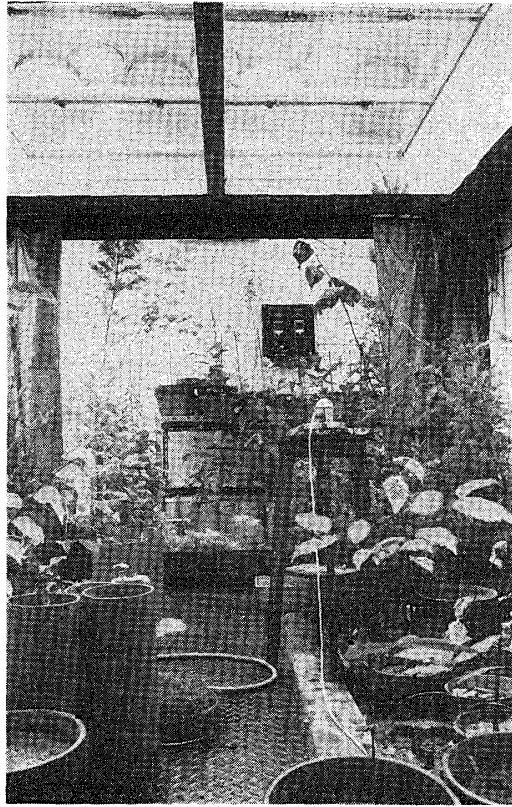


写真1 人工照明室内部

(2) グロースキャビネット

はじめの項で述べたように、ファイトトロンは環境因子の多くの組合せを同時に研究できるよう組織されることが要求されるから、木材研究所ファイトトロンには人工照明の栽培装置として、人工照明室のほかに2台のグロースキャビネットを保有している。

その中の1台は室の有効寸法幅100×奥行80×高さ150cmで、水銀灯(400W)3灯、蛍光灯(40W)6灯、白熱灯(40W)6灯により床上75cmで最大30,000ルクスをうる(1灯ずつの手動点滅により照度調節)ものである。この照明装置は24時間週期の定時間切りタイムスイッチにより、人工照明室と同様の任意の日長(24時間内の任意の時間多区分も可能)を作り出すことができる。ただし、温、湿度に関してはランプの点滅と連動せず、設計温度調節範囲15~30°C、設計湿度調節範囲50~80% R.H.内の任意に設定された温、湿度一定でつねに運転される。

他の1台は室の有効寸法幅100×奥行90×高さ150cmで、水銀灯(700W)2灯、ハロゲン灯(400W)2灯、蛍光灯(60W)6灯、白熱灯(100W)8灯により床上75cmで最大40,000ルクスをうる(1灯ずつの手動点滅で照度調節)。設計温度調節範囲は15~30°C、設計湿度調節範囲は50~90% R.H.である。この装置の最大の特徴はタイムスイッチ2個(それぞれ時間範囲0~48時間)をそなえ、それぞれがランプの点灯時間、消灯時間を規定し、24時間以外の明暗の週期を作出せることである。ランプ点灯時と消灯時の温度、湿度をさらにこれらタイムスイッチに連動させて規定することができる。この装置は生育環境の概日性リズムに変化を与えた時の樹木の応答を調べることを目的の一つとして設計されたものである。

(3) ガラス温室

人工照明室と同様の自然排水式地下ポット6個を有する約20m²のガラス室2室(高さは最大3.5m、最小3mの傾斜)は、夏期30~35°Cの任意温度で自動的に作動する強制換気ファン各4基により、できる

だけ外温以上に室温が上昇しないようにし、冬期は人工照明室加熱用温水ボイラーとファンコンベクターの連動により 15~25°C に保てるようにしてある。なお、灌水は人工照明室と同様の方法で行なう。ここでは稚苗の生長促進や特殊成分を含む南洋系樹種の生育が主として行われている。

おわりに

第2節で木材樹幹の品質については産地や立地条件の影響として知られる地域の特徴が環境条件として十分解析されないまま、経験的に集積されているから、生育環境と樹幹の品質との関係を系統的に検討する必要のあることを述べたが、生育環境を完全に制御し、環境条件と植物の生長などとの関係を調べられるようになったのは、1949年アメリカのエアハート植物研究所でファイトトロンが動き出して以来であろう¹⁴⁾。それまでは1933年に始めて作られた空気調節温室などによって光条件を天然光にまかせた実験が植物に対して行なわれていた。とくに樹木の品質に関しては、細胞壁肥厚速度と日長時間の関係¹⁵⁾、細胞壁厚さ、壁物質の堆積速度と光の強さの関係¹⁶⁾、光周リズムと細胞の形態¹⁷⁾など樹幹細胞形成と生育環境条件についてのデータが1970年代になってやっと出始めたといつてよく、細胞分裂、伸長の速度や期間への日長時間の組織形成的効果や熱周期性の樹種間の反応差などまだ全く不明のまま¹⁸⁾の点が多く、総合的な法則化とともになお多くの基礎的データの集積が必要である。

一般的に言って、樹木の生長に必要な環境因子としては最適な光、水、炭酸ガス、無機養素と温度であり、樹木の生理過程より見れば、生長に必要な食物の生産と内部水分のバランスの保証に適する環境条件ということになる¹⁹⁾であろうが、生長条件と樹幹内部の品質にはある程度の相関が考えられ、したがって木材の品質向上を旨すわれわれとしては上記の環境因子とそれらの相互作用による品質および生長への効果を見出すこととそれを森林施業と結びつけることが仕事といいうるのである。すなわち、森林施業との結びつきあるいはその科学技術化とは樹木生理を主とした科学と林地における技術の結びつきを強めることであり、われわれの研究グループで確められたように、実際には林地における枝打ち、間伐などによる樹幹内部の品質の変化とファイトトロンなどを用いた理想的実験の対比が重要な意味を持つことになるであろう。さらに森林施業を樹令のどの段階で施すか、ある地方の樹木を他の地方で育てる時の注意、樹木固有の内在リズムなどそこから波及する問題はいろいろ存在する。

最後に樹木の育成には樹木そのものに手を加える技術がもちろん重要であるが、生育環境そのものの浄化を常に心掛けることがさらに重要であることを加えてしめくりとしたい。

参考文献

- 1) R. J. DOWNS and H. HELLMERS, Environmental and the experimental control of plant growth, Academic Press, 132 (1975).
- 2) 京都大学木材研究所概要, 木材研究資料, No. 1, 33 (1951).
- 3) 農林統計協会, 昭和46年度林業白書, 林業の動向に関する年次報告, 12 (1972).
- 4) 農林統計協会, 昭和47年度林業白書, 林業の動向, 13 (1973).
- 5) 農林統計協会, 昭和51年度林業白書, 林業の動向, 8; 林業の動向に関する年次報告, 6, 45 (1977).
- 6) 科学技術庁, 昭和48年版科学技術白書, 11 (1973).
- 7) Wood—The neglected resource. A statement submitted to the National Commission on Materials Policy, IAWS, Pan-American Group (1971).
- 8) 奥地 正, 国土問題, No. 8, 29 (1973).
- 9) 農林統計協会, 昭和51年度林業白書, 林業の動向に関する年次報告, 16 (1977).
- 10) 加納 孟, 第27回日本木材学会研究発表要旨, S-12 (1977).
- 11) 宮島 寛, 同上, S-10 (1977).
- 12) 久保隆文, 蕪木自輔, 同上, 294 (1977).
- 13) 京都大学木材研究所, 木材研究所短期整備計画, 付表 (1974).

木材研究資料 第12号 (1978)

- 14) 日本生物環境調節学会, 生物環境調節ハンドブック, 東京大学出版会, 3 (1973).
- 15) M. P. DENNE and C. J. SMYTH, *J. Exp. Bot.*, **22**, 347 (1971).
- 16) M. P. DENNE, *Ann. Bot.*, **38**, 337 (1974).
- 17) 角谷, 伊東, 野村, 島地, 山田, 第27回日本木材学会研究発表要旨, 297 (1977).
- 18) M. H. ZIMMERMAN and C. L. BROWN, *Trees, Structure and function*, Springer, 158 (1971).
- 19) P. J. KRAMER and T. T. KOZLOWSKI, *Physiology of trees*, McGraw-Hill, 468 (1960).