

(18) 温暖条件下で育成したヒノキの成長と生物季節

Growth and phenology of *Chamaecyparis obtusa* grown under the warmer condition

吉田尚美\*, 中島敦司\*\*, 山本将功\*, 奥田尚考\*\*\*, 櫛田達矢\*\*\*\*

Naomi YOSHIDA\*, Atsushi NAKASHIMA\*\*, Masanori YAMAMOTO\*, Hisanori OKUDA\*\*\*, Tatsuya KUSHIDA\*\*\*\*

ABSTRACT ; We investigated the growth and the phenology in *Chamaecyparis obtusa* two-year-old seedlings grown under several controlled temperature conditions of the outdoor temperature altered by  $\pm 0.0^{\circ}\text{C}$ ,  $+1.0^{\circ}\text{C}$ ,  $+2.0^{\circ}\text{C}$  and  $+3.0^{\circ}\text{C}$ . The results showed that growth period were longer under the warmer conditions, because initiation of elongation were earlier and end of growth were later. There were a greater length of main shoot elongation and diameter of main shoot under  $+2.0^{\circ}\text{C}$  and  $+3.0^{\circ}\text{C}$  treatments, with a higher ratio of main shoot elongation and H/D ratio, and longer length of branch gaps. Length of lateral branches were longer under the warmer conditions. Thus, length of main shoot elongation and diameter of main shoot were greater under  $+2.0^{\circ}\text{C}$  and  $+3.0^{\circ}\text{C}$  treatments, but dry weight and T/R ratio remained almost the same. It was thought that the growth and the phenology of *Chamaecyparis obtusa* should change under the warmer conditions.

KEY WORDS ; warming; *Chamaecyparis obtusa*; growth; phenology; conifer

1. はじめに

近年, 地球規模での平均地上気温の上昇が進行している。IPCC の第三次評価報告書によると, 最近 100 年間で地球の平均地上気温は  $0.6^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$  上昇し, とくに 1976 年以降では  $1.5^{\circ}\text{C}/100$  年の速度で上昇したものと評価されている<sup>1)</sup>。加えて, 今後さらなる上昇すら予測されている<sup>2)</sup>。このような中, 平均地上気温上昇を含め, 温暖化が植物の成長や生物季節に与える影響についての予測が後をたたない<sup>3) 4)</sup>。しかし, その多くは単純な理論からの予測や, マクロな視点でのシミュレーションに終始しているのが実状である。

表-1 平均地上気温の上昇に関連した実証研究

| 手法                 | 長所                 | 短所                           | 特徴            |
|--------------------|--------------------|------------------------------|---------------|
| 人工気象室を用いた室内実験タイプ   | 環境の制御が正確           | 建設費が高額<br>ポットサイズの制限<br>光質の変質 | 生理研究に適している    |
| 赤外線ヒーターを用いた野外実験タイプ | 根系の抑制なし<br>光質の変質なし | 環境の均質化が困難                    | チェンバー効果が起こらない |

\*和歌山大学大学院システム工学研究科 (Graduate School of Systems Engineering Wakayama University)

\*\*和歌山大学システム工学部 (Faculty of Systems Engineering Wakayama University)

\*\*\*ゆとりとみどり振興局緑化推進部 (RECREATION AND TOURISM BUREAU GREENERY Promotion Division Parks Construction Department)

\*\*\*\*産業技術総合研究所生命情報科学研究センター (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology Computational Biology Research Center)

正確な予測を行うためには、温暖化を想定した環境下で実際に植物を育成し、その反応をみた上で検討する実証研究が必要である。

温暖化が植物の成長と生物季節に与える影響予測の実証研究は、1970年代からアメリカのデューク大学の人工気象室で始まった<sup>5)</sup>。その後、温暖化に関連した研究が世界中で行われるようになった。平均地上気温上昇についての実証研究手法は大きく分けて、生育環境の大部分を制御する人工気象室を用いた室内実験タイプと、赤外線ヒーターを用いて植物の周辺の温度を調節する野外実験タイプ<sup>6)</sup>がある(表-1)。各実験とも長所と短所があり、特徴も様々である。また、生育環境においては、野外実験タイプは室内実験タイプに比べ制御が困難と言われている<sup>7)</sup>。そのため、赤外線ヒーターを用いた実験は、人工気象室を用いた実験に比べ正確な温度制御が難しいといえる。また、恒温条件や日長処理と変温処理を組み合わせた実験も各所で行われているが、自然界ではありえない条件設定にとどまっているものが多い<sup>8) 9) 10)</sup>。自然界では、気温が常に変動しているため、それらの結果の自然界での再現性は乏しいといえる。

このような状況の中、筆者らは、本研究に先立ち、平均地上気温の上昇が植物の成長と生物季節に与える影響を検討することを目的として、スギの2年生挿し木苗を用いた育成実験を行った<sup>11)</sup>。この実験では人工気象室を用い、変動する外気温に対して常に同じ温度条件、 $+1.0^{\circ}\text{C}$ 、 $+2.0^{\circ}\text{C}$ 、 $+3.0^{\circ}\text{C}$ 加温する条件をつくり出し、それらの中で個体を育成した。なお、本研究のようにポットを用いた育成実験では、根系の抑制は苗木のポットの容量によって決まり、地上部と地下部の成長は5Lを境に影響を受けるという報告がある<sup>12)</sup>。そのため、本研究では大型のポット(7.6L)を用いることで苗木の根系の抑制を防いだ。実験の結果、 $+1.0^{\circ}\text{C}$ 区、 $+2.0^{\circ}\text{C}$ 区、 $+3.0^{\circ}\text{C}$ 区の供試植物の成長開始時期は対象区( $\pm 0.0^{\circ}\text{C}$ )よりも早まり、成長停止時期は遅れた。さらに、 $+2.0^{\circ}\text{C}$ 区、 $+3.0^{\circ}\text{C}$ 区の供試植物の樹高伸長量、分枝数は増加し、分枝間長は大となった。これらのことから、平均気温が上昇した際に起こり得る現象として、成長期間の長期化、細胞長の増加によるスギ材の強度の低下、スギの頂芽優勢の崩れなどが挙げられた。

そこで、本研究では、スギと同じ連続成長型の針葉樹であるヒノキでも、前述したような現象が起こるのかを検証するために、人工気象室を用いた育成実験を行った。ヒノキは人工造林面積が広く、スギと並ぶ日本の代表的な木材である。さらに、面積増加率が最も大きい針葉樹であることから<sup>13)</sup>、本研究の供試植物に選定した。

## 2. 材料および方法

本研究は、和歌山大学システム工学部の屋上(北緯  $34^{\circ} 16'$ 、東経  $135^{\circ} 16'$ 、標高 80m)に設置した、4基の自然採光型の人工気象室内で行った。人工気象室の全景を写真-1に示す。人工気象室内の設定温度は、対照区に相当する常に野外の温度と同じ条件( $\pm 0.0^{\circ}\text{C}$ 区)、常に野外よりそれぞれ  $1.0^{\circ}\text{C}$ 、 $2.0^{\circ}\text{C}$ 、 $3.0^{\circ}\text{C}$ 高い条件( $+1.0^{\circ}\text{C}$ 区、 $+2.0^{\circ}\text{C}$ 区、 $+3.0^{\circ}\text{C}$ 区)の4種類とした。これは、平均地上気温の上昇が引き起こさ

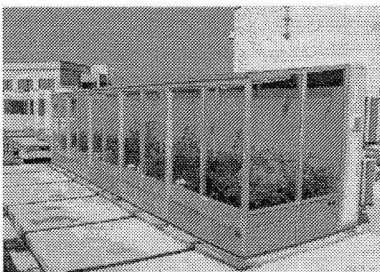


写真-1 人工気象室の全景

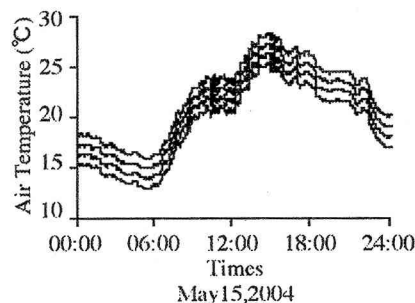


図-1 人工気象室の温度制御の様子

れた際の状況をシミュレートする処理である。実験中の人工気象室の温度制御の様子は図-1で示した通りである。実験中の灌水は、1日1回自動灌水器を用いて行い、1個体に対する灌水量は250ccとした。

供試植物は、ヒノキ *Chamaecyparis obtusa* の2年生実生苗を直径22cmの不織布ポットに植え付けたものとし、各加温処理区で6個体ずつ、合計24個体を用いた。供試用土はバーミキュライトと肥料を添加していないピートモスを容積比で1:1の割合に混合したものとした。実験で用いた供試植物を写真-2に示す。

2004年4月5日に供試植物を各人工気象室内に搬入し、実験を開始した。搬入日に全ての供試植物を対象に、樹高と地際直径を測定し、搬入後は5日に1回の頻度で主軸の伸長量を測定した。各個体の主軸が1.0mm以上伸長した時期をその個体の成長開始時期とし、各個体の伸長が認められなくなった時期をその個体の成長停止時期とした。また、各個体の成長開始時期から成長停止時期までの期間をその個体の成長期間とした。成長停止後には、各個体の主軸の樹高伸長量、地際直径成長量、側枝長、分枝間長、樹高、地際直径、器官別乾物重量を測定した。伸長量の測定は、供試個体の主軸の樹高伸長量を対象とした。地際直径成長量は、供試個体の搬入日と、全ての個体の成長停止後に測定した値をもとにした。伸長開始以降に伸長した主軸の全ての側枝の長さを側枝長とし、側枝と側枝の間の長さを分枝間長として測定した。さらに、各個体の樹高と地際直径からH/D比を算出した。その後、主軸、側枝、根を器官ごとに切断し、器官別に乾燥機に入れ、設定温度80℃で48時間乾燥させた後、速やかに測定したものを器官別乾物重量とした。加えて、器官別乾物重量をもとに、光合成産物の地上部と地下部の分配比であるT/R比を算出した。

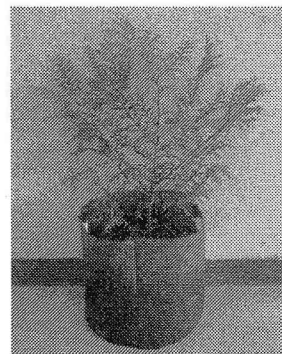


写真-2 供試植物として用いたヒノキ

### 3. 結果および考察

図-2に各処理区の成長期間を示した。+1.0℃区、+2.0℃区、+3.0℃区における成長開始時期は、対照区と比べ早くなる傾向が認められた。成長停止時期は、設定温度が高くなるほど遅くなるという結果であった。成長期間は、+3.0℃区で132±22.5日と最も長くなり、対照区で95.0±31.5日と最も短くなった。これは、スギを供試植物として行った過去の研究結果を支持するものである。これらのことから、平均地上気温が上昇した場合成長開始時期が早まり、成長停止時期が遅延することで、ヒノキの成長期間は長期化する可能性が考えられた。

図-3に各処理区の樹高伸長量を示した。樹高伸長量は、+2.0℃区、+3.0℃区で対照区と比べ増加する傾向が認められた。このような、+2.0℃区、+3.0℃区における樹高伸長量の増加は、スギを供試植物とした過去の実験においても確認されている。これらのことから、平均地上気温が上昇した場合、ヒノキの樹高伸長量が増加する可能性は高いと判断された。

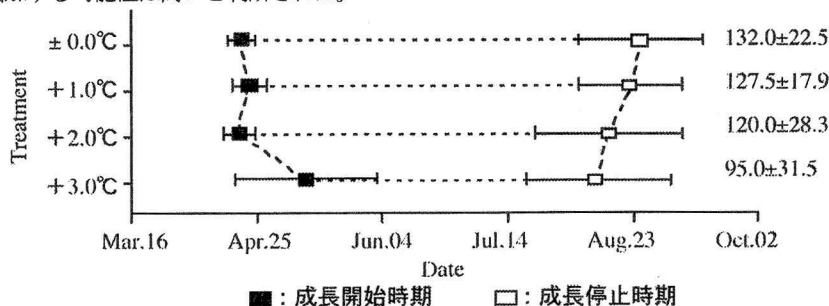


図-2 設定温度の違いがヒノキの成長期間に与える影響  
※中央の垂線：標準偏差

図-4に各処理区の1日あたりの平均樹高伸長速度を示した。1日あたりの平均樹高伸長速度は、+2.0℃区、+3.0℃区において大きくなる傾向がみられた。このことから、樹高伸長期間の長期化に加えて、1日あたりの平均樹高伸長速度が大きくなったことが、+2.0℃区、+3.0℃区でヒノキの樹高伸長量が増加した要因と考えられた。

図-5に各処理区の側枝長を示した。側枝長は、設定温度の上昇とともに大きくなり、+3.0℃区で最大となった。スギを供試植物とした過去の実験では、+3.0℃区において分枝数が増加したことから、地上平均気温の上昇によって起こり得る現象として、スギの頂芽優勢の崩れを挙げている。これらのことから、地上平均気温が上昇した場合、ヒノキの側枝の成長は旺盛になると考えられた。

図-6に各処理区に分枝間長を示した。分枝間長は対照区と比べて+3.0℃区で最も増加した。スギを供試植物とした過去の実験では、分枝間の縦断面細胞の観察を行った結果、+3.0℃区で細胞長の増加する傾向を認めている。これらのことから、平均地上気温が+2.0℃、+3.0℃上昇した場合、細胞長が増加し、シュートが間延びすることが考えられた。また、細胞長の増加は、ヒノキの材の強度に影響を与える可能性があるため、材質についての検討も重要な課題であると考えられる。

図-7に各処理区のH/D比を示した。+2.0℃区、

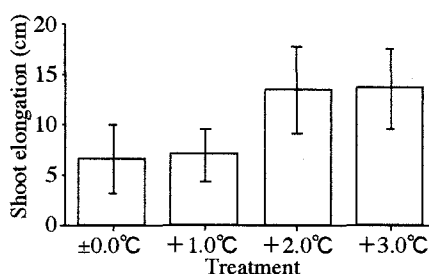


図-3 設定温度の違いがヒノキの樹高伸長量に与える影響  
※中央の垂線：標準偏差

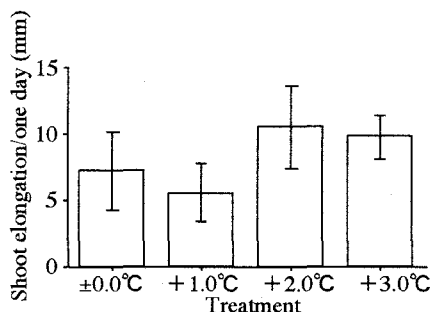


図-4 設定温度の違いがヒノキの1日あたりの樹高伸長量に与える影響  
※中央の垂線：標準偏差

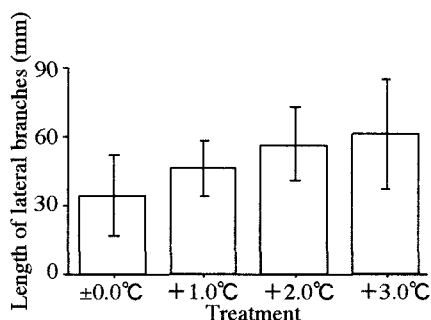


図-5 設定温度の違いがヒノキの側枝長に与える影響  
※中央の垂線：標準偏差

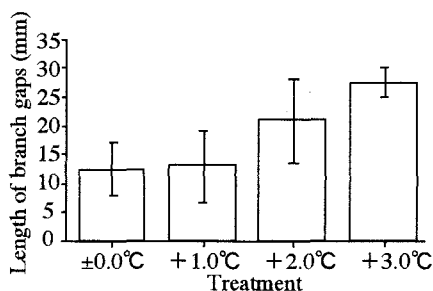


図-6 設定温度の違いがヒノキの分枝間長に与える影響  
※中央の垂線：標準偏差

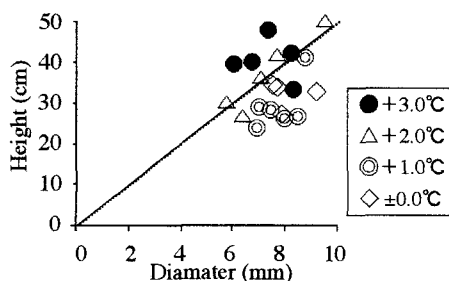


図-7 設定温度の違いがヒノキのH/D比に与える影響  
※破線：H/D比が50の線

+3.0℃区では、H/D比が高い値を示す個体が多く確認された。このことは、平均地上気温が上昇した場合、H/D比が高くなる、つまり樹幹が間延びするヒノキが増えることを示している。

図-8に各処理区の地際直径成長量を示した。地際直径成長量は、設定温度の上昇とともに大きくなり、+3.0℃で最大となった。図-9に各処理区の器官別乾物重量を示した。各処理区の器官別乾物重量は、主軸、側枝、根とも差はみられなかった。図-10に各処理区のT/R比を示した。T/R比は環境によって変化するとされており、城田らは、養分や水を多く与えた結果、ヒノキのT/R比が増加したことを報告している<sup>14)</sup>。今回の異なる加温処理区を用いた実験では、各処理区間で差はみられなかった。

一般に、地際直径成長量が増加すると、体内にCO<sub>2</sub>を炭素の形で固定する量が増えると言われている。しかし、+2.0℃区、+3.0℃区では対照区と比べてヒノキの樹高伸長量および地際直径成長量の増加がみられたにもかかわらず、主軸における器官別乾物重量やT/R比は差がみられなかった。これらのことから、平均地上気温が+2.0℃、+3.0℃上昇した場合、ヒノキの樹高伸長量および地際直径成長量の増加にともない、CO<sub>2</sub>の固定量が増えるとはいえない可能性が考えられた。

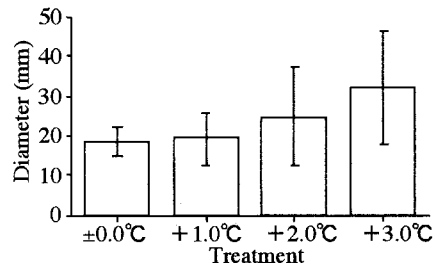


図-8 設定温度の違いがヒノキの地際直径成長量に与える影響  
※中央の垂線：標準偏差

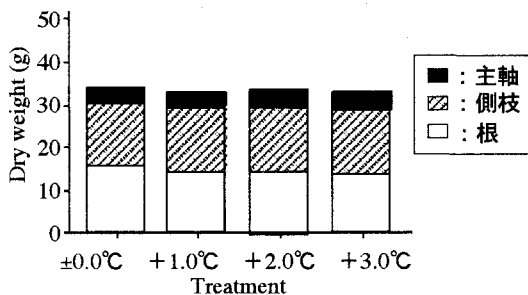


図-9 設定温度の違いがヒノキの器官別乾物重量に与える影響

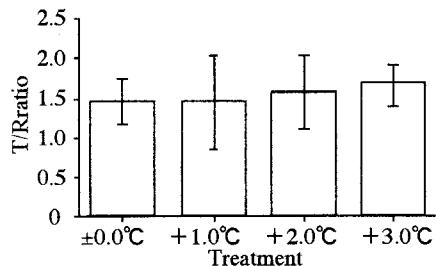


図-10 設定温度の違いがヒノキのT/R比に与える影響  
※中央の垂線：標準偏差

#### 4. まとめ

異なる温度条件下でヒノキ実生苗を育成し、平均地上気温の上昇が本種の成長や生物季節現象に与える影響について調べた結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) +1.0℃区、+2.0℃区、+3.0℃区では、対照区よりもヒノキの成長開始時期は早くなり、成長停止時期は遅延した。このことから、地上平均気温が上昇した場合、ヒノキの成長期間は長期化すると考えられた。
- 2) +2.0℃区および+3.0℃区では、対照区と比べ、ヒノキの樹高伸長量、平均樹高伸長速度、分枝間長は大となった。また、分枝間長が大となった要因は細胞長の増加による可能性が考えられた。
- 3) ヒノキの側枝長は、設定温度が高くなるほど大となった。このことから、地上平均気温の上昇が起こった場合、ヒノキの側枝の成長は旺盛になり、樹形が現在とは変化する可能性も考えられた。
- 4) +2.0℃区および+3.0℃区のヒノキの多くは、対照区と比べ、H/D比が高くなった。このことから、+2.0℃、+3.0℃の平均地上気温の上昇が起こった場合、H/D比が高くなる、つまり樹幹が間延びするヒ

ノキが増えると考えられた。

5) ヒノキの地際直径成長量は+3.0℃区で最も大となり、設定温度が高くなるほど大となった。加えて、ヒノキの主軸、側枝、根の乾物重量およびT/R比は、各処理区で差はみられなかった。これらのことに加え、上記2)の結果から、平均地上気温が+2.0℃および+3.0℃上昇した場合、樹高伸長量および地際直径成長量の増加にともない、CO<sub>2</sub>を固定する量が増えるとはいえない可能性が考えられた。

#### 引用文献

- 1) 環境省：環境白書（2005）
- 2) 環境省：気候変化2001 IPCC 地球温暖化第三次評価報告書（2001）
- 3) FARNSWORTH, E. J. et al. : J.Ecol.83, 967-977（1995）
- 4) IPCC Subgroup on agriculture, Forestry, and Other Human Activities of Working Group III (Response strategies) : Report of the Subgroup on Agriculture, Forestry and Other Human Activities (Draft Report and draft Executive Summary), 85（1990）
- 5) Hendrey, GR., Lewin, K. F. and Nagy, J. : Free air carbondioxide enrichment, development, progress, result, Vegetatio, 104/105, 17-31（1993）
- 6) Zavaleta ES, Shaw MR, Chiariello NR, Thomas BD, Cleland, EE, Field CB, Mooney HA. : Grassland responses to three years of elevated temperature, CO<sub>2</sub>, precipitation, and N deposition., Ecological Monographs 73, 585-604.（2003）
- 7) 小池孝良・森茂太・高橋邦秀・及川武久：温暖化研究の手法とその動向，森林立地学会誌，28-34（1995）
- 8) 中島敦司・中尾史郎・山田宏之・山田和司・養父志乃夫：年間を通じた気温上昇がサザンカの開花に及ぼす影響，第113回日林学術講2000，429-429（2002）
- 9) 中島敦司・万木豊・永田洋：夏季の温度および日長がサザンカの開花に及ぼす影響，日林誌76，584-589（1994）
- 10) 櫛田達矢・万木豊・永田洋：ポプラの冬芽形成に及ぼす明期温度の影響，日林誌81，116-119（1999）
- 11) 山本将功・中島敦司・奥田吾記・奥田尚考・櫛田達矢：年間を通じた温暖条件下で育成したスギの成長と生物季節現象，土木学会環境工学研究論文集，645-650（2004）
- 12) Arp.WJ : Effects of source sink relations on photosynthetic acclimation to elevated CO<sub>2</sub>, Plant and Environment 14, 869-875（1991）
- 13) 餅田治之：日本林業の構造的変化と再編過程，22，農林統計協会（2002）
- 14) 城田徹央・高橋厚子・玉泉幸一郎・齋藤明：ヒノキ1年生実生のT/R比に及ぼす被陰，施肥，灌水の影響，日林九支研論集47，115-116（1994）