

地球温暖化傾向に伴うヤナセスギ等の
成長促進効果の検証作業について

はじめに

20 世紀半ば以降に観測された世界平均気温の上昇のほとんどは、人為起源の温室効果ガスの増加によってもたらされている可能性がかなり高いとされている。この地球温暖化防止対策として、森林は二酸化炭素吸収源及び炭素の貯留庫としての機能に期待が寄せられている。

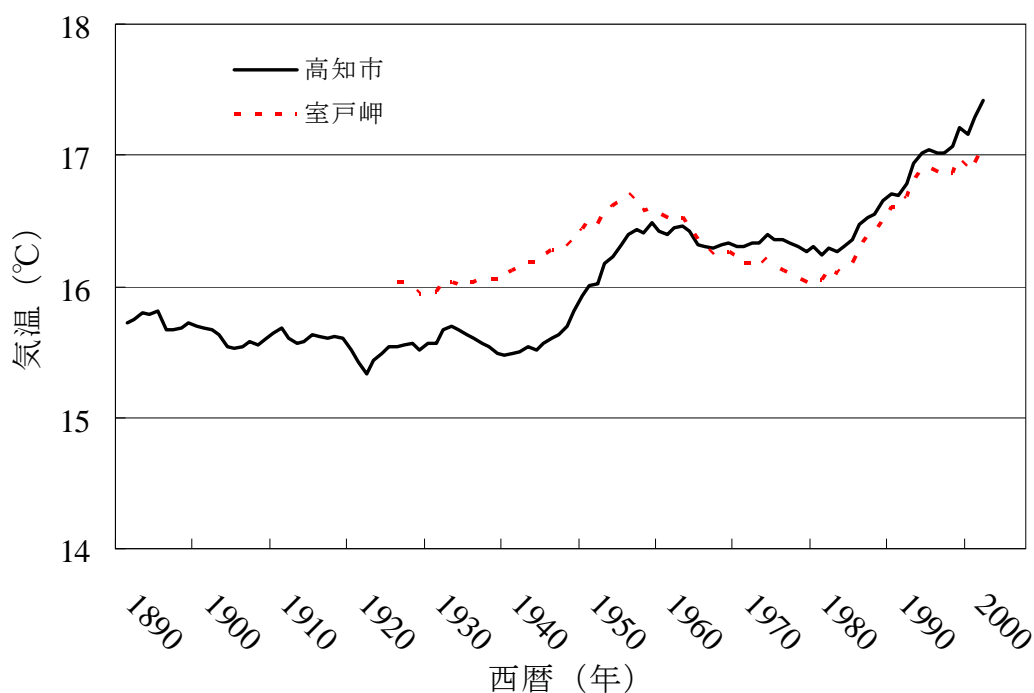
四国森林管理局安芸森林管理署管内国有林の千本山林木遺伝資源保存林及びその周辺には、ヤナセスギ (*Cryptomeria japonica*) と呼ばれる樹齢 200 年を超える天然スギが分布しているが、これまでヤナセスギを含めた四国のスギと気候変動との関連は報告されていない。このため、地球温暖化に伴う年平均気温の上昇がもたらすヤナセスギと高齢級人工林スギの材質の経年変化調査と成長への影響について年輪気候学的解析による成長の応答状況を検証するとともに、ヤナセスギの成長量・二酸化炭素吸収量を算出した。

この研究は、四国森林管理局の技術開発課題の 1 つで、高知工科大学、高知大学、愛媛大学、鳴門教育大学が共同研究機関として実施した。専門的な分析については、年輪気候学的解析は鳴門教育大学、材質の分析は高知大学が実施した。年輪解析に係る試料収集については、安芸森林管理署、愛媛森林管理署の協力で実施した。関係者に感謝申し上げます。

1. 近年の気温の上昇傾向

温暖化の状況について、高知市と室戸岬の年平均気温の 11 年移動平均^{注 1} による経年変化を図 1 に示した。1980 年頃から上昇傾向がみられた。

注 1：長期的に上昇あるいは下降する傾向変動。今回は、気温時系列の数年間の短い周期で変動する成分を取り除くため、11 年移動平均値（ある年とその前後 5 か年、計 11 年分の実測値の平均をその年の値とした）から長期傾向を求めた。



注：気象庁気象統計情報より算出

図一1 高知市、室戸岬における年平均気温（11年移動平均値）の推移

2. 試料

年輪解析のための試料（スギ円板）の採取地の概要は表1のとおり。

表一1 試料採取地等

	採取地	伐採時林齢（年生）
ヤナセスギ	高知県馬路村（安芸署魚梁瀬 2032 い 41 林小班）	—
高知産人工林スギ	高知県の町（嶺北署奥南川山 267 に 4 林小班）	103
愛媛産人工林スギ	愛媛県内子町（愛媛署小田深山 48 へ林小班）	103

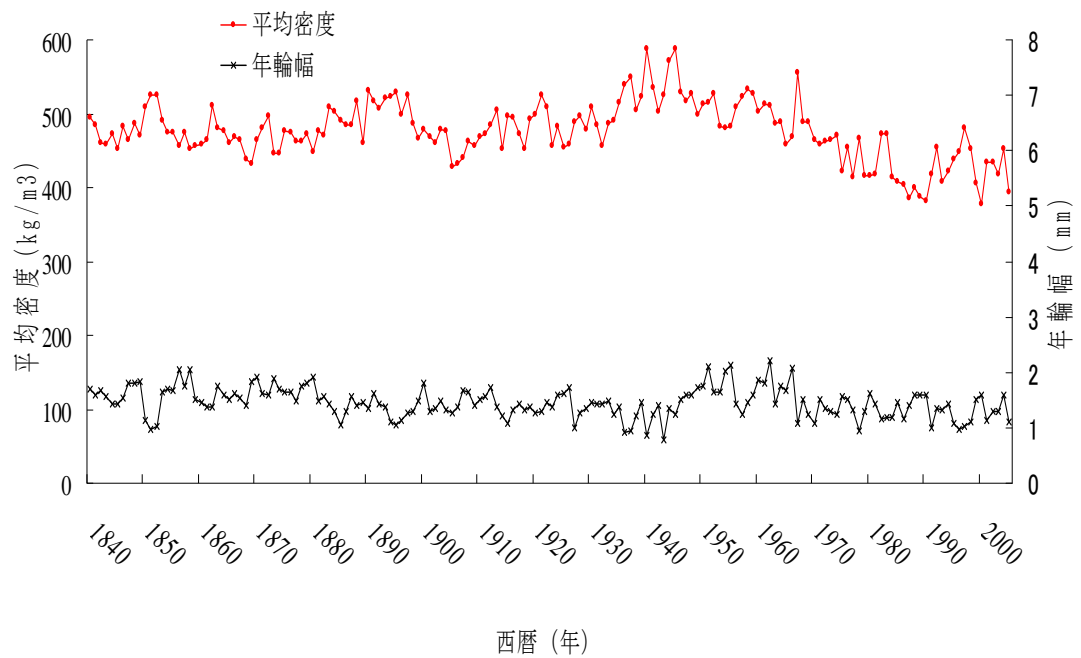
3. 容積密度測定

各採取地の試料の平均容積密度^{注2}と平均年輪幅を測定した結果を図2～4に示した。

ヤナセスギの年輪幅では、一定の範囲内で変動しており、特定の傾向はみられなかったが、容積密度は、全年輪幅内の総平均容積密度は 500 kg/m^3 、過去 20 年間の平均では 420 kg/m^3 となった。なお、人工林スギは林齢が明確なことから、林齢で、ヤナセスギについては、天然林であり、正確な林齢が不明なことから西暦で示している。



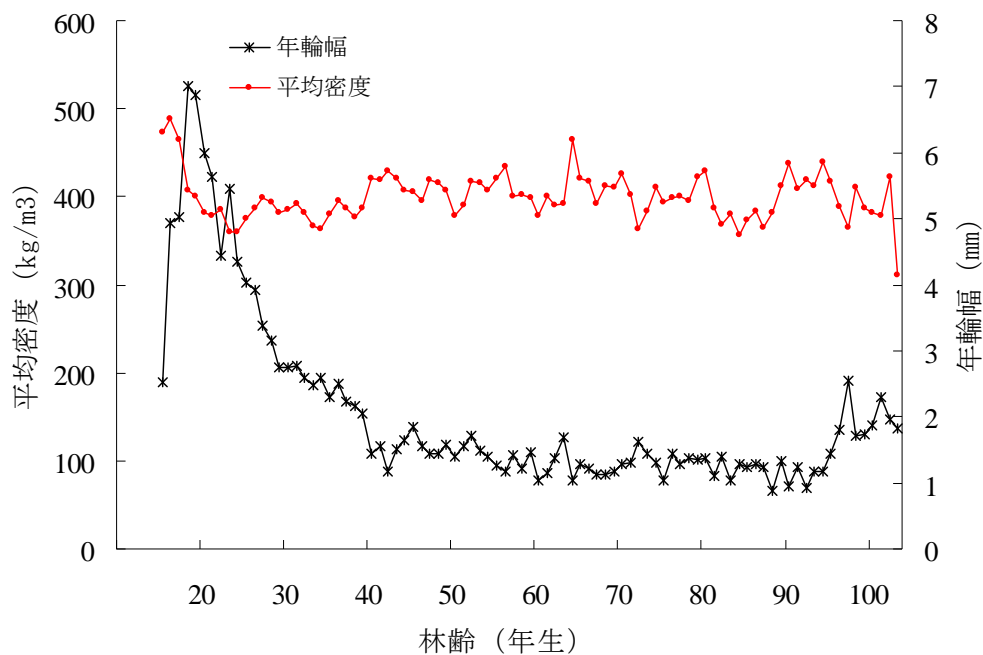
写真一 採取されたヤナセスギの円板（試料）



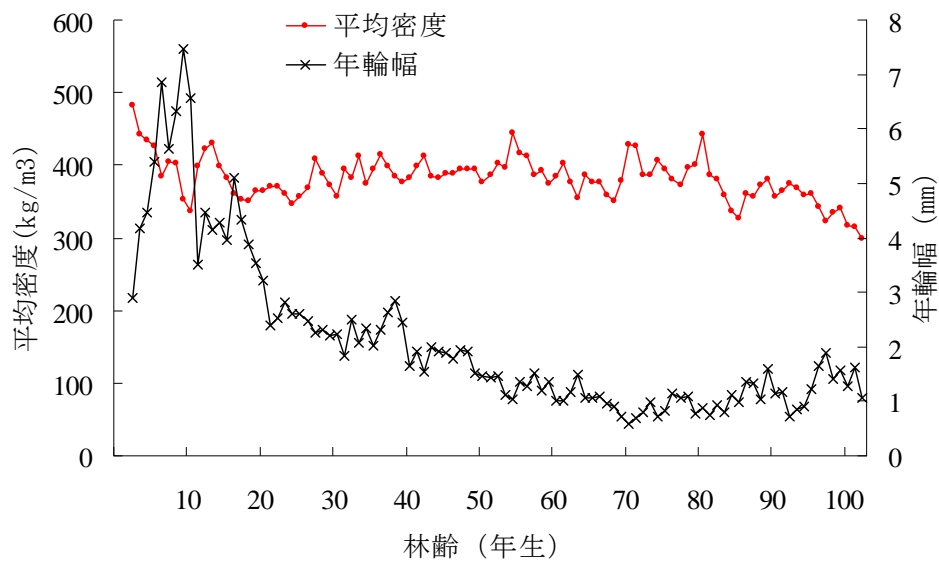
図一 2 ヤナセスギの年輪幅と平均容積密度の変動

高知産と愛媛産人工林スギは、年輪幅については、ともに 1990 年頃から上昇傾向がみられた。平均容積密度は、高知産人工林スギの総平均容積密度は 400 kg/ m³、過去 20 年平均で 393 kg/ m³、愛媛産人工林スギについては、総平均容積密度は 381 kg/ m³、過去 20 年平均で 348 kg/ m³であった。

注 2：容積密度は単位材積当たりの木材の実質重量。今回は、木材 1 m³ 当たりの kg または t (トン)。
炭素量、二酸化炭素吸収量算出に必要。



図一3 高知産人工林スギの年輪幅と平均容積密度の変動

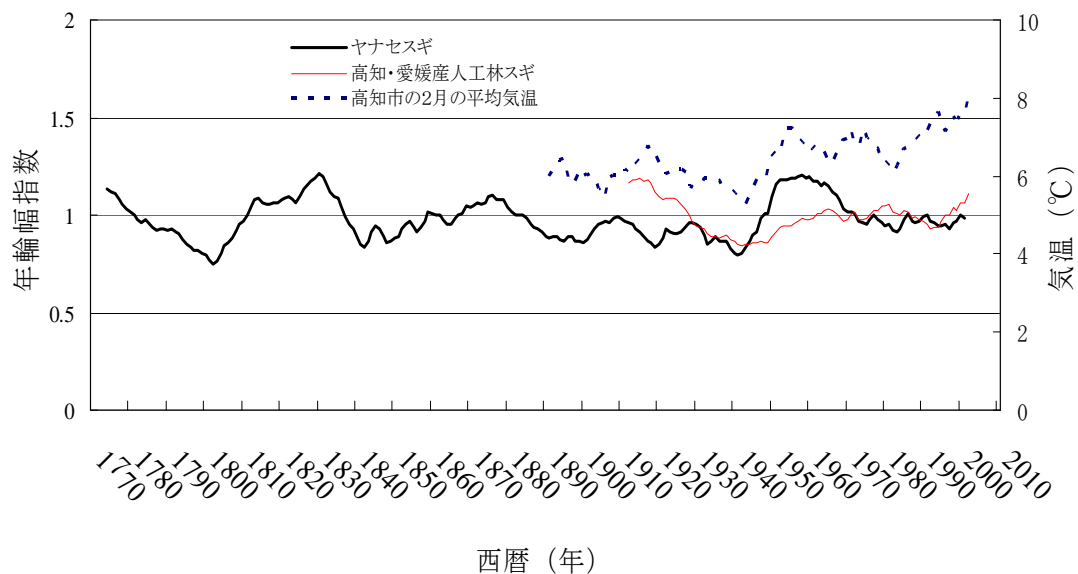


図一4 愛媛産人工林スギの年輪幅と平均容積密度の変動

4. 標準年輪曲線の作成

ヤナセスギ及び高知産・愛媛産人工林スギの円板を試料として、年輪解析を実施した。図5に年輪幅等のデータにより作成した標準年輪曲線^{注3}の11年間移動平均値を示した。

注3：加齢によって徐々に減少する年輪幅を樹齢にかかわらず比較できるように標準化することで得られた曲線。調査対象の林分の平均的な成長変動を示す。具体的には試料ごと生年輪幅を傾向変動の値で除した年輪幅指数を求め、全ての試料について年輪の年代ごとに平均したもの。図5では林分間、あるいは気象データ(図1)との比較を容易にするため、11年間移動平均値で示した。



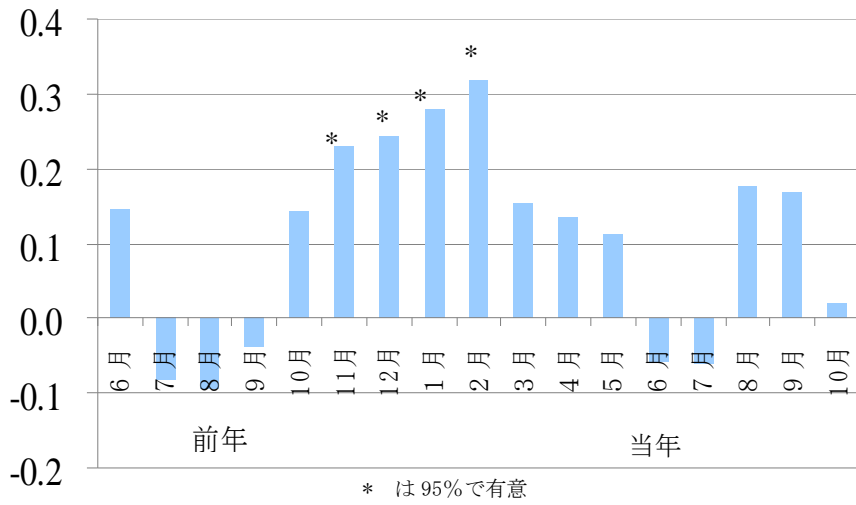
図一五 ヤナセスギと高知・愛媛産人工林スギの標準年輪曲線と高知市の2月の平均気温の推移（いずれも11年間の移動平均値）

ヤナセスギの肥大成長は1950～1960年代にピークを示す。その後2000年まで標準年輪幅指数1付近で増減を繰り返している。

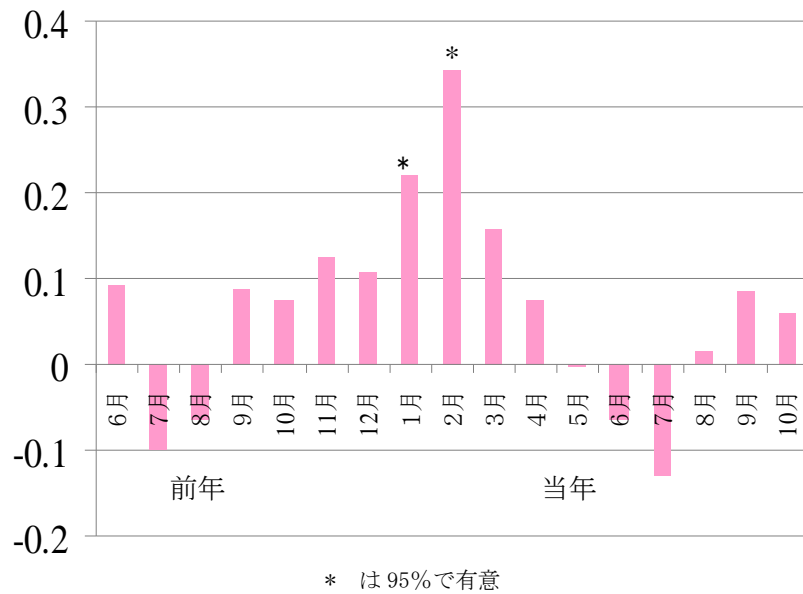
高知産、愛媛産の人工林スギについては、試料の個体数が少ないこと、年輪幅の推移が同様な傾向を示していることから合わせて解析した。1990年頃以降に上昇傾向が認められた。高知市の2月の平均気温の推移は、肥大成長との相関が高いことから、参考に示した。

5. 標準年輪曲線と気温との相関

ヤナセスギと高知・愛媛産人工林スギの標準年輪曲線と気温との相関についてそれぞれ図6及び7に示した。ともに成長開始前の冬期気温が高いほど、肥大成長量が大きく、とりわけ1～2月の気温の関与が大きい。



図一六 ヤナセスギの気候（気温）への応答



図一七 高知・愛媛産人工林スギの気候（気温）への応答

グラフの見方は、棒グラフがプラスに大きいほど、その月が暖かいと年輪幅が広く、マイナスに大きいほど逆にその月が暖かいと年輪幅が狭いことを表す。

6. 樹幹モデルの作成

温暖化による肥大成長の影響を反映した評価を実施するため、ヤナセスギにおける年輪解析と材質密度のデータを用い、樹幹のモデル（樹齢を 300 年生として樹齢ごとの胸高直径、樹高、幹材積）を作成し、平成 17・18 年度魚梁瀬千本山保護林調査報告（四国森林管理局）（以下「保護林調査報告」という。）の 1 プロットの毎木調査データから算出した最近 20 年間（温暖化が顕著になったおおよその期間）の ha 当たり材積等と比較した（表 2）。

7. 二酸化炭素吸収量の試算

樹幹モデルの幹材積から(独)森林総合研究所温暖化対応推進拠点が公表している次式により、ha 当たりの炭素量を算出した。ただし、容積密度 $0.42 \text{ t} / \text{m}^3$ は、実測値の最近の 20 年間の平均値を使用した。

炭素量=材積×容積密度×拡大係数×(1+地下部・地上部比)×炭素含有比

容積密度（材の密度、 1 m^3 当たりの重量で最近 20 年間の実測値平均）： $0.42 \text{ t} / \text{m}^3$

拡大係数（幹に枝葉を加えて地上部のバイオマスを算出するための係数）：1.23

地下部・地上部比（地上部の量に対する地下部の量の割合）：0.25

炭素含有比（炭素がバイオマスに占める割合）：0.5

この炭素貯留量 ($\text{t-C}^{\text{注4}}$) に $44/12$ を乗じて二酸化炭素量に換算した。このなかで、300 年生時（2006 年）と 280 年生時（1986 年）の炭素貯留量の二酸化炭素換算量の差を二酸化炭素吸収量とした。また、保護林調査報告から算出した材積についても同様に二酸化炭素吸収量 ($\text{t-CO}_2^{\text{注5}}$) を試算した（表 2）。

これらは、(独)森林総合研究所温暖化対応推進拠点が公表している平均的なスギ人工林における 20 年生前後の ha 当たり年平均二酸化炭素吸収量 12t-CO_2 以上の値であった。

注 4：炭素トン、温室効果ガスの移動量等を、相当する二酸化炭素中の炭素重量に換算した単位。二酸化炭素トンとは、二酸化炭素分子中の炭素原子の重量の割合を乗じた関係にある。

$$1 \text{ t-C} = 1 \text{ t-CO}_2 \times (12/44) = \text{約 } 0.27 \text{ t-CO}_2$$

12 とは、 CO_2 分子中に原子量 12 の炭素が 1 原子含まれるため。

44 とは、 CO_2 の分子量 ($^{12}\text{C} + 2 \times ^{16}\text{O} = 12 + 32 = 44$)

注 5：二酸化炭素トン、二酸化炭素その他の温室効果ガスの排出、吸収、貯蔵等の量を、相当する温室効果を有する二酸化炭素の重量に換算した単位。

表2 最近 20 年間の二酸化炭素吸収量等 (ha 当たり)

	樹高推移 (m)	幹材積増加量 (m ³ /ha)	炭素増加量 (t-C/ha)	二酸化炭素吸収量 (t-CO ₂ /ha)	年平均二酸化炭素吸収量 (t-CO ₂ /ha)
樹幹モデル	34→36	210	68	248	12
保護林報告	34→38	260	84	308	15

まとめ

年輪解析の手法を用い、解析に必要な樹齡(概ね 100 年生以上)を持つヤナセスギ及び高齢級人工林スギで検証した結果、ともに 1~2 月の気温の関与が大きく、この時期の温暖化が進むにつれて肥大成長が大きくなることが示唆された。

容積密度については、最近 20 年間の平均値でヤナセスギ (420kg/ m³)、高齢級人工林スギ(高知産 393kg/ m³、愛媛産 348kg/ m³)とも平均的な人工林スギ(314kg/ m³)^{注6}と比較して高い値を示した。

成長量から算出した二酸化炭素吸収量(最近 20 年間の ha 当たり年平均吸収量 15 t-CO₂(二酸化炭素トン)の面で、ヤナセスギは、平均的な 20 年生前後のスギ人工林(12 t-CO₂(二酸化炭素トン))^{注7}に劣らないということが示唆された。

森林の地球温暖化防止効果については、材積成長による二酸化炭素吸収量のみでなく、呼吸量や土壌の二酸化炭素の動向等総合的に評価されることになるが、今回の成果がデータの少ない高齢級スギ林の材積等成長事例として、地球温暖化防止対策に資するデータのひとつとなるほか高齢級スギ林の優れた二酸化炭素吸収機能を裏付けるデータとして四国局管内の高齢級スギに関する保護林(千本山林木遺伝資源保存林、雁巻山林木遺伝資源保存林、千本山植物群落保護林)の重要性について理解を深めていく材料、森林環境教育の資料として活用されることを期待する。

注6、注7：(独)森林総合研究所温暖化対応推進拠点

(<http://www.ffpri.affrc.go.jp/research/ryoiki/new/22climate/new22-2.html>)のデータまたはデータより算出