

論文

九州産スギの炭素貯留量に及ぼす品種と植栽密度の影響*¹津島俊治*²

津島俊治：九州産スギの炭素貯留量に及ぼす品種と植栽密度の影響 九州森林研究 61：49-53, 2008 28年生の植栽密度の異なる九州産スギ在来品種6品種を対象に、樹幹の炭素貯留量へ及ぼす品種および植栽密度の影響について検討した。その結果、低い植栽密度区ほど立木残存率が高く、DBHと平均木の樹幹材積および炭素貯留量が大きいが、逆に1ヘクタール当たりの樹幹材積および炭素貯留量は小さかった。樹幹材積および炭素貯留量の品種間差は、平均木では品種の影響が大きく、1ヘクタール当たりでは逆に植栽密度の影響が大きかった。1ヘクタール当たりの炭素貯留量とその樹幹材積および植栽密度との間には正の相関関係が認められたが、樹幹の容積密度との間には統計的に有意な関係が認められなかった。これらのことから、品種と植栽密度は1ヘクタール当たりの炭素貯留量に両者とも影響することが明らかとなった。

キーワード：スギ、品種、植栽密度、炭素貯留量、二酸化炭素

I. はじめに

近年、再造林放棄地の増加、シカ被害の激化、木材需要の低迷と木材価格の低落など林業・木材産業を取り巻く環境は厳しい状況にある。しかし、一方では地球温暖化防止への森林・木材利用の役割が注目されてきたことや新生産システム推進事業に見るように国産材への期待が高まりつつあることなど将来に明るい気運も起こっている。

そういう中、古くから九州で展開してきたスギ在来品種主体の林業は、スギ品種の成長特性や材質特性を活かしながら、前述したような時代の要請に応えられる森林施業や木材利用を行ってきたと言えるのだろうか(8, 14)。すなわち、森林造成においては、成長量が優れ、病虫害や台風災害への抵抗性が高く、保育管理が容易なばかりでなく、しかも花粉が少なく、CO₂吸収の旺盛な品種が林業関係をはじめ社会的にも望まれる筈である。一方、スギ材利用の立場からみれば、軸組構造用部材や集成材需要への対応が期待されている中で、丸太形質の良い製品歩留りが高い品種、強度性能に優れた品種、乾燥性の良い心材含水率が低い品種、そして樹幹内の材質変動が小さい品種などの資源造成を行ってきたと言えるのだろうか。

ところで、最近では京都議定書や地球温暖化対策推進大綱に基づく取り組みが始まり(4, 9)、全ての温室効果ガスの56%のCO₂吸収源としての影響を占める森林機能を評価したり(1, 5, 15, 16)、炭素貯留機能を高める林木育種の検討(2, 10)や木材利用による温暖化防止効果の検討(11)が行われ、森林機能の中でも地球温暖化防止に果たす森林の役割は極めて重要視されている。

そこで、これまで主に木材利用への適応と関連づけた九州産スギ在来品種の成長と木材性質に関して報告(12, 13)してきたが、本研究では既報で用いたスギ品種別・植栽密度別比較試験林を対

象として、樹幹の炭素貯留量に及ぼす品種と植栽密度の影響について検討した。

II. 試験方法

試験は、大分県玖珠郡九重町大字町田字城野(通称：地蔵原)にあるスギ品種試験地内(11.72ha)にある蜘蛛の巣型スギ品種別・植栽密度別比較試験林(0.8ha)の九州産スギ在来品種を対象にした。この試験林は、植栽密度が成長に及ぼす影響を品種別に明らかにする目的で1976年3月に設定されたものである。図-1に示すように、同一林分の中にスギ在来品種9品種と実生スギの試験区が蜘蛛の巣状に配置されており、1ヘクタール当たり5000本、3000本、1500本の3段階の植栽密度(以下5000本区、3000本区、1500本区)になるようそれぞれ43本、62本、54本が植

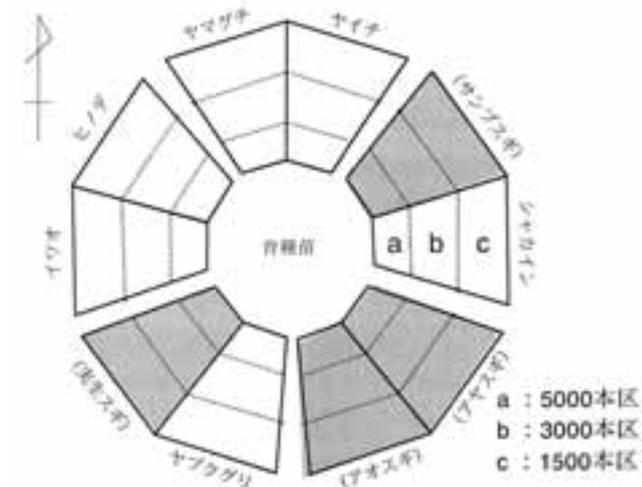


図-1. 蜘蛛の巣型スギ品種別・植栽密度別比較試験林の試験区配置

*¹ Tsushima, S.: Effects of cultivar and initial spacing on carbon stock of sugi (*Cryptomeria japonica*) planted in the Kyushu region

*² 大分県農林水産研究センター林業試験場 Oita Pref. Agric. For. Fish. Res. Ctr. For. Ins., Hita, Oita 877-1363

栽されている。試験林は、標高930m、傾斜5～10°の北向き緩斜面に位置し、植栽後9年間の下刈り作業と20年生時に地上高4mまでの枝打ち作業が実施されているが、これまで間伐は実施されていない。

実験に先立ち、品種を同定するためにMuPS (Multiplex PCR of SCAR markers) によるDNA鑑定を行った。その結果、サンブスギ、アヤスギ、アオスギがDNAの品種データベース(3)と一致しなかったため、これら3品種と検定不能であった実生を除くイワオ、ヒノデ、ヤマグチ、ヤイチ、シャカイン、ヤブクグリの6品種(6)を対象とした。

2003年12月に胸高直径(以下DBH)を毎木調査により測定し、2004年2月に各試験区の平均DBHをもつ個体の中から隣接木を除く3個体を供試木として選び、伐採した。各供試木の地上高0.2mから4m毎および胸高部位から厚さ約3cmの円盤を2枚ずつ採取し、それぞれ樹幹解析と容積密度の測定に供した。樹幹解析は、各地上高の円盤の随を通る長径を基準として、その直角方向の4方向の木部長さおよび年輪幅を測定した。容積密度は、各地上高の円盤から切り出した扇形試料を随から5年輪ごとの小ブロックに割り、浮力法により測定した生材体積と全乾重量から5年輪ごとの平均値を算出した。

樹幹の連年の炭素貯留量 W_c (tC) は、次の換算式により求めた(5, 7)。

$$W_c \text{ (tC)} = 1/100 \times C \times R \times V$$

ここで、Cは炭素含有係数(gC/g:0.5)、Rは容積密度(kg/m³)、Vは樹幹材積(m³)である。樹幹材積は、各林齢における各地上高の円盤径から算出した玉切丸太の平均断面積に材長を乗じて求めた丸太材積の総和とした。ただし、梢端部の末口径6cm未満および地上高0.2mまでの地際部分は木材利用に供されない場合が多いことから、材積に算入しなかった。また、連年の炭素貯留量は、連年の材積成長量に容積密度の5年輪平均値を乗じて算出した。

Ⅲ. 結果と考察

1. 各試験区の立木残存率、平均DBH、平均樹高

各試験区の立木残存率、平均DBH、平均樹高を表-1に示す。この試験地はこれまで一度も間伐されておらず、また台風災害等による被害も比較的少なかったことから、立木残存率の全平均は74%であった。6品種を平均した立木残存率は、5000本区が60%、3000本区が77%、1500本区が86%であり、低い植栽密度区ほど高

い傾向を示した。しかし、各品種の5000本区と1500本区の立木残存率を比較すると、イワオでは47%と98%、シャカインでは67%と70%と異なる傾向を示しており、立木残存率が品種特性であると推察された。

次に、平均DBHは、5000本区と3000本区がいずれも21cm、1500本区が25cmであり、低い植栽密度区の方が大きい傾向を示した。また、宮島(6)が示したスギ品種の成長型と比較すると、いずれの試験区においても中生型の成長を示すシャカインおよび晩生型の成長を示すヤブクグリは、DBHが他の早生型の成長を示す4品種に比べ小さい傾向にあった。各試験区におけるDBHの正規分布図では、ヤマグチおよびシャカインのそれは試験区間で比較的類似したが、他の4品種の特に1500本区では大きなバラツキを示した。

さらに、平均樹高は、植栽密度間に差が認められず、品種間ではヤイチが大きく、ヤブクグリが小さかった。

2. 平均木および1ヘクタール当たりの樹幹材積

各試験区の平均木の樹幹材積は、5000本区が0.171m³、3000本区が0.192m³、1500本区が0.255m³であり、低い植栽密度区ほど大きく、5000本区と1500本区の比は約1.5倍であった。また、品種間では、ヤイチが0.305m³で最大値を示し、最小のヤブクグリ(0.120m³)の約2.5倍であった。

次に、1ヘクタール当たりの樹幹材積を各試験区の平均木の樹幹材積に立木本数を乗じて算出し、試験区間で比較した。その結果、表-2に示すように5000本区が499m³、3000本区が426m³、1500本区が328m³であり、低い植栽密度区ほど小さく、5000本区と1500本区の比が約1.5倍であった。また、品種間では、ヤイチが581m³の最大値を示し、シャカインが308m³の最小値であり、両者の比が約1.9倍であった。

ここで、品種と植栽密度を因子とする樹幹材積の分散分析を行った。その結果、平均木の樹幹材積では、品種間および植栽密度間に1%水準の有意差が認められ、品種の分散寄与率が68%で植栽密度の24%に比べ高かった。最小有意差法により比較すると、6つの品種間ではイワオ・ヤマグチ間を除き全て、3つの植栽密度間では全て5%水準以上の有意差が認められた。同様に、表-3に示すように、1ヘクタール当たりの樹幹材積では、品種間および植栽密度間に1%水準の有意差が認められ、平均木とは逆に植栽密度の分散寄与率が64%で品種の27%に比べ高かった。最小有意差法により比較すると、イワオ・ヒノデ・ヤマグチ間とシャカイン・ヤブクグリ間を除く6つの品種間、ならびに3つの全て

表-1. 各試験区の立木残存率、平均DBH、平均樹高

品種名	立木残存率 (%)				DBH (cm)				樹高 (m)			
	5000本区	3000本区	1500本区	平均値	5000本区	3000本区	1500本区	平均値	5000本区	3000本区	1500本区	平均値
イワオ	47	76	98	73	22	22	24	23	17	16	16	16
ヒノデ	58	79	74	70	22	23	29	24	16	15	15	15
ヤマグチ	56	74	89	73	21	22	27	23	15	16	16	16
ヤイチ	56	58	91	68	26	25	27	26	18	19	19	19
シャカイン	67	79	70	72	16	18	21	18	16	16	16	16
ヤブクグリ	79	97	93	89	17	18	20	18	13	13	13	13
平均値	60	77	86	74	21	21	25	22	16	16	16	16

表-2. 各試験区における樹幹の平均容積密度と1ヘクタール当たりの樹幹材積および炭素貯留量

品種名	容積密度 (kg/m ³)				樹幹材積 (m ³ /ha)				炭素貯留量 (tC/ha)			
	5000本区	3000本区	1500本区	平均値	5000本区	3000本区	1500本区	平均値	5000本区	3000本区	1500本区	平均値
イワオ	292	291	300	294	413	489	372	425	60	71	56	62
ヒノデ	290	279	273	281	549	493	355	466	80	69	53	67
ヤマグチ	303	301	302	302	479	406	351	412	73	61	53	62
ヤイチ	297	299	283	293	749	517	478	581	111	77	68	85
シャカイン	336	339	348	341	390	323	210	308	66	55	37	52
ヤブクグリ	312	316	316	315	415	327	199	314	65	52	31	49
平均値	305	304	304	304	499	426	328	418	76	64	50	63

の植栽密度間に5%水準より高いの有意差が認められた。

以上のことから、平均木の樹幹材積は植栽密度が低いほど大きくなるが、逆に1ヘクタール当たりの樹幹材積は小さくなること、平均木の樹幹材積が大きな品種ほど1ヘクタール当たりの樹幹材積も大きくなることが示唆された。

3. 樹幹の容積密度

各試験区の平均木における樹幹の平均容積密度は、いずれの植栽密度区も305kg/m³程度であり、植栽密度区間の差が認められなかった。また、品種間では、シャカインが最小のヒノデの約1.2倍にあたる341kg/m³の最大値を示した(表-2)。

品種と植栽密度を因子とする樹幹の容積密度の分散分析を行った結果、表-4に示すように、イワオ・ヤイチ間を除く6つの品種間に1%水準の有意差が認められるが、いずれの植栽密度間にも有意差が認められなかった。

次に、容積密度の樹高方向変動を見ると、地上高0.2m, 1.2m, 4.2m, 8.2m, 12.2mの容積密度の全平均値がそれぞれ330kg/m³, 324kg/m³, 322kg/m³, 332kg/m³, 347kg/m³であり、樹幹材積の大部分を占める地上高部位間の差は小さかった。したがって、容積密度測定用の試料採取にあたっては地上高の比較的低い部位であれば問題ないと考えられた。

4. 樹幹の炭素貯留量

各試験区の平均木の炭素貯留量は、5000本区が26kg, 3000本区が29kg, 1500本区が38kgであり、低い植栽密度区ほど大きく、5000本区と1500本区の比が樹幹材積の比とほぼ同じ約1.5倍であった。また、品種間では、ヤイチが最大で45kg, ヤブクグリが最小で19kgであり、両者の比も樹幹材積の比とほぼ同じ約2.4倍であった。

次に、各試験区の平均木の炭素貯留量に立木本数を乗じて1ヘクタール当たりの炭素貯留量を算出し(表-2)、試験区間で比較した。その結果、5000本区が76tC/ha, 3000本区が64tC/ha, 1500本区が50tC/haであり、低い植栽密度ほど小さく、5000本区と1500本区の比が約1.5倍であった。次に、品種間では、ヤイチが最大で85tC/ha, ヤブクグリが最小で49tC/haであり、両者の比は約1.7倍であった。各品種の植栽密度区ごとにそれぞれの林齢にお

ける1ヘクタール当たりの炭素貯留量を図-2に示す。

品種と植栽密度を因子とする1ヘクタール当たりの炭素貯留量の分散分析を行った結果、表-5に示すように、品種間および植栽密度間に1%水準の有意差が認められ、品種の分散寄与率が44%で植栽密度の36%に比べわずかだけ高かった。最小有意差法により比較すると、イワオ・ヒノデ・ヤマグチ間とシャカイン・ヤブクグリ間を除く6つの品種間、ならびに3つの全ての植栽密度間に5%水準より高い有意差が認められた。

そこで、炭素貯留量(tC/ha)と樹幹材積(m³/ha)、植栽密度および樹幹の平均容積密度との関係について検討した。図-3に示すように、相関係数はそれぞれ0.99, 0.62, -0.41であり、樹幹材積(m³/ha)および植栽密度との間に1%水準で有意な正の相関関係が認められたが、樹幹の平均容積密度との間には負の傾向は存在したものの統計的に有意な関係は認められなかった。

これらのことから、植栽密度が低いほど炭素貯留量は平均木では大きく、逆に1ヘクタール当たりでは小さくなること、平均木の炭素貯留量すなわち樹幹材積が大きな品種は1ヘクタール当たりの炭素貯留量も大きいことが示唆された。

表-3. 1ヘクタール当たりの樹幹材積の分散分析表

要因	偏差平方和	自由度	平均平方	F値	P値	寄与率	判定
品種	709	5	142	25.4	0.000	27	**
植栽密度	1683	2	841	150.7	0.000	64	**
誤差	257	46	6			10	
全体	2649	53				100	

注：**は1%水準の有意差ありを表す。

表-4. 樹幹の容積密度の分散分析表

要因	偏差平方和	自由度	平均平方	F値	P値	寄与率	判定
品種	19902	5	3980	64.2	0.000	87	**
植栽密度	18	2	9	0.1	0.869	0	ns
誤差	2852	46	62			13	
全体	22771	53				100	

注：**は1%水準の有意差あり、nsは有意差なしを表す。

表-5. 1ヘクタール当たりの炭素貯留量の分散分析表

要因	偏差平方和	自由度	平均平方	F値	P値	寄与率	判定
品種	7428	5	1486	21.2	0.000	44	**
植栽密度	6097	2	3048	43.5	0.000	36	**
誤差	3225	46	70			19	
全体	16751	53				100	

注：**は1%水準の有意差ありを表す。

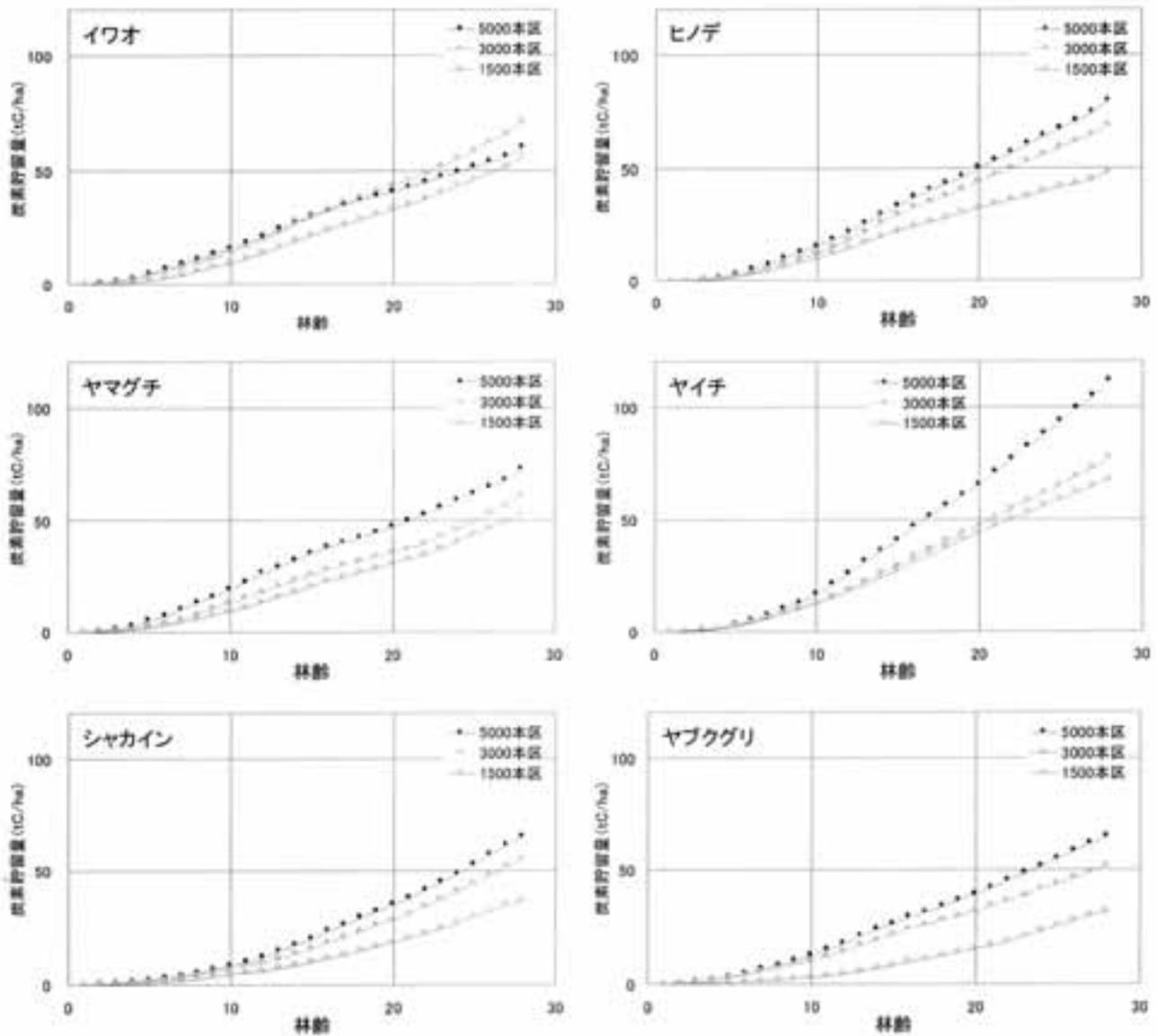


図 - 2. 各品種の植栽密度区における林齢と炭素貯留量の関係

IV. まとめ

植栽密度の異なる九州産スギ在来品種6品種を対象に、品種と植栽密度の違いによる樹幹の炭素貯留量の差異について検討した。主な結果は、次のとおりであった。

- (1) 低い植栽密度区ほど立木残存率が高く、DBHと平均木の樹幹材積および炭素貯留量が大きく、逆に1ヘクタール当たりの樹幹材積および炭素貯留量が小さかった。樹幹の容積密度の植栽密度区間差は認められなかった。
- (2) 樹幹材積および炭素貯留量の品種間差は、平均木あるいは1ヘクタール当たりにおいても統計的に有意差が認められ、平均木では品種の寄与率が高く、1ヘクタール当たりでは植栽密度のそれが高かった。
- (3) 1ヘクタール当たりの炭素貯留量とその樹幹材積および植栽密度との間には正の相関関係が認められ、樹幹の平均容積密度との間には統計的に有意な関係は認められなかった。

以上のことから、品種と植栽密度は両者とも1ヘクタール当たりの炭素貯留量へ影響することが判明した。したがって、品種と植栽密度を選択することや間伐等の森林施業による立木密度をコントロールすることによって、CO₂吸収源としてのスギ林の役割を高めることが可能であると考えられた。

V. おわりに

九州産スギは、素材生産量が全国の約4割を占め、比較的良質材として評価され流通しているが、品種特性に起因する成長と木材性質のバラツキを内在し、木材加工や木材利用の現場ではそれが原因する様々な支障も生じている。一方、スギ花粉症対策の無花粉スギの開発や地球温暖化対策のCO₂吸収量の増大など新たな社会的要求にも適応する林業のあり方が求められており、これらの社会的ニーズを充たしつつ経済的な価値を生む林業を実践しなければならないという難しい時代となっている。そういう意味で、

優れた品種を植栽することが何よりも重要であると思う。

引用文献

- (1) 千葉幸弘 (2001) 森林科学 33 : 18-23.
- (2) 藤澤義武 (2001) 森林科学 33 : 37-43.
- (3) 久枝和彦・白石進 (1999) 日林九支研論 52 : 49-50.
- (4) 小林紀之 (2005) 山林 1452 : 2-12.
- (5) 松本光朗 (2001) 森林科学 33 : 30-36.
- (6) 宮島寛 (1989) 九州のスギとヒノキ, 1-275. 九州大学出版会, 福岡.
- (7) 能本美穂ほか (2005) 日林誌 87 : 313-322.
- (8) 小田一幸 (2000) 木材工業 55 : 50-54.
- (9) 林野庁計画課 (2003) 林野時報 582 : 4-9.
- (10) 武津英太郎ほか (2005) 林木の育種「特別号」: 33-36.
- (11) 恒次祐子 (2005) 木材工業 60 : 8-12.
- (12) 津島俊治ほか (2005) 木材学会誌 51 : 394-401.
- (13) 津島俊治ほか (2006) 木材学会誌 52 : 196-206.
- (14) 堤壽一 (1992) 林木の育種 164 : 8-11.
- (15) 渡邊仁志 (2003) 山林 1432 : 13-20.
- (16) 渡邊仁志ほか (2005) 岐阜森林研報 34 : 11-16.

(2007年11月19日受付; 2008年1月16日受理)

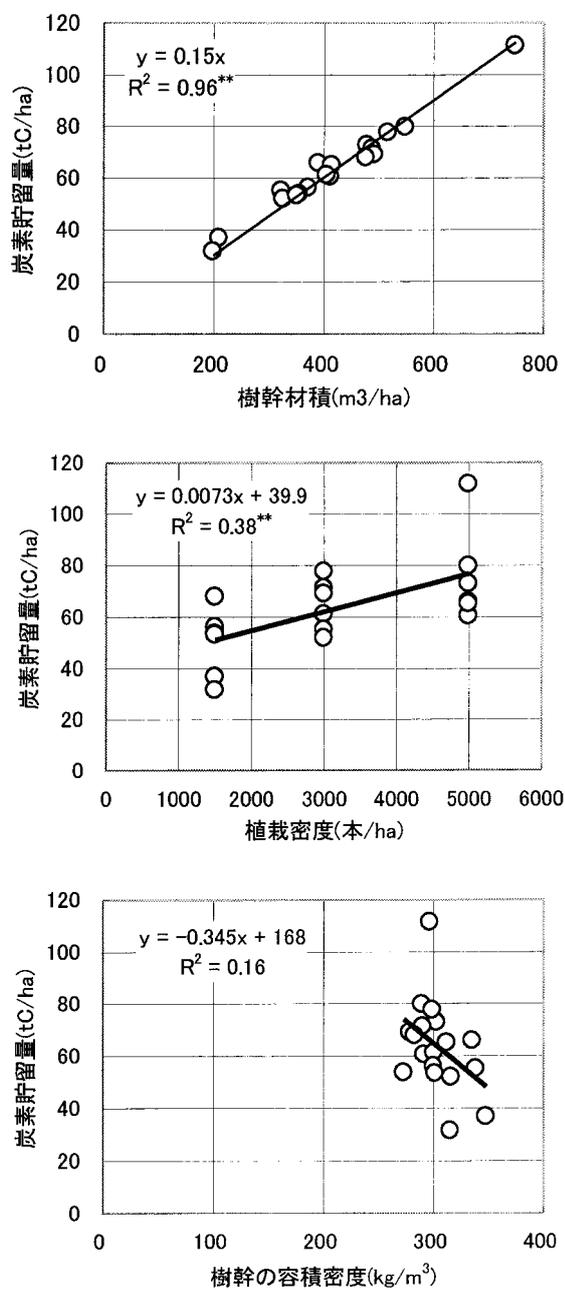


図-3. 樹幹材積, 植栽密度, 樹幹の容積密度と炭素貯留量の関係