

老齢木曽ヒノキ天然生林における林冠木の成長に及ぼす サイズ-空間構造の影響

信州大学大学院農学研究科 修士課程 1 年

信州大学学術研究院農学系 助教

信州大学学術研究院農学系 教授

さいとうだい
○齋藤大
しろたてつおう
城田徹央
おかのとつお
岡野哲郎

要旨

木曽地方の老齢天然生ヒノキの成長特性を明らかにするために、樹木の空間分布の解析と、老齢個体の肥大成長に与える個体間競争とサイズの効果について検証しました。その結果、現在生じている立ち枯れ木は過去の個体間競争の結果、生じたことが示唆されました。一方、現在の老齢個体の肥大成長は、個体間競争の影響を有意に受けておらず、樹木自身のサイズに依存していることが明らかになりました。

はじめに

木曽ヒノキは歴史と伝統あるブランド材であり、特にその大径木は伊勢神宮をはじめとする文化財補修用材として重要です(只木・鈴木 1994)。また、炭素の吸収源としての価値(Luyssaert 2008; Matsushita et al. 2014)や生物多様性の高さ(Gibson 2011)から、老齢林が国際的に注目されており、樹齢300年以上のヒノキが生育している木曽ヒノキ林もその一つです。これらの木材・環境的価値を有する木曽ヒノキ林を維持していくには、稚樹が定着して老齢木に至るまでの成長プロセスを明らかにする必要があります。

これまで、ヒノキの天然更新に関する研究が多くなされてきましたが(Hoshino et al. 2003; 森澤 1999; 森澤ら 2010; 中部森林管理局 1999, 2012; Yamamoto 1993), 老齢木の成長特性に関する知見は不十分です。Matsushita et al. (2014)は赤沢の300年生の木曽ヒノキ林を23年間モニタリングした結果、林分レベルでヒノキの蓄積量が持続的に増加していることを示しましたが、個体レベルでヒノキの老齢木がどのように成長しているかは明らかになっていません。

そこで本研究では、ヒノキ老齢個体の肥大成長に与える要因として、個体間競争の効果とサイズの効果に着目しました。個体間競争は樹木の空間分布に大きく左右され、対象としている樹木に隣接する個体の数とサイズで評価できます。また、サイズの効果とは、例えば「サイズが大きい個体ほど成長量が大きい」というように、成長量が樹木自身のサイズに依存している状態のことを指します。以下では、個体間競争と関連が深い樹木の空間分布を明らかにした上で、個体間競争の効果とサイズの効果がヒノキ老齢個体の肥大成長に与える影響について考察しました。

1. 調査地の概要

調査地は長野県木曽郡王滝村の中部森林管理局木曽森林管理署管内三浦国有林2629林班“は”小班であり、三浦実験林の一部となっています(図1)。当実験林は、三浦国有林における1959年の伊勢湾台風、1961年の第二室戸台風により生じた風倒被害地の植生回復やヒノキの天然更新技術の開発を目的として設置されました。2629林班は台風による風倒被害が比較的少なかった林分で(中部森林管理局 2012)、“は”小班をはじめ、大部分が学術参考保存林に設定されました。中部森林管理局(1999)

によると、平均樹齢が 300 年を超える天然生ヒノキ林が成立しています。林床はチマキザサに覆われ、土壌型は湿性鉄型ポドゾルです。

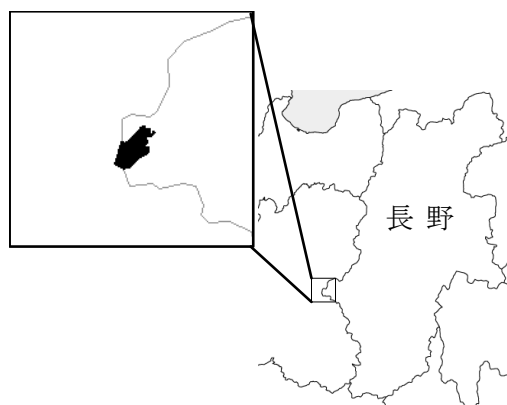


図 1 三浦実験林位置



写真 1 プロット内の様子

2. 調査方法及び解析方法

(1) 調査方法

2013 年 6 月に 40m×50m のプロット（標高：1500m，斜面方位：北北西，斜面傾斜：約 10°）を設置し（写真 1），樹高が 4m 以上の全生存木について，樹高と直径，位置を計測しました。立ち枯れ木については位置のみを計測しました。

プロット内の林冠ヒノキ（樹高 ≥ 18 m）75 本について，成長錐によって，幹の基部から上に 1.3m の高さで年輪コアを採取しました。

(2) 解析方法

(ア) 空間分布の解析

林冠ヒノキ，立ち枯れ木，林冠ヒノキと立ち枯れ木を合わせたときの空間分布を明らかにするために，Ripley の K 関数を変換した L 関数を用いて点過程解析を行いました（Ripley 1976；図 2）。ここで，林冠ヒノキと立ち枯れ木を合わせたものは，立ち枯れ木が生きていた過去の空間分布を表すと考えられます。また，林冠木と立ち枯れ木の分布相関を解析するために，2 変量の L 関数を用いました（図 3）。

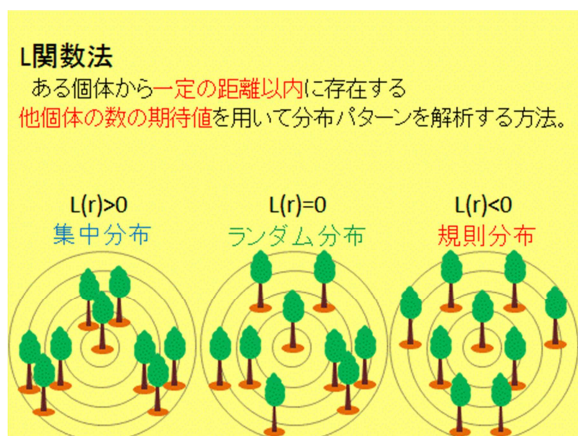


図 2 L 関数法の概略

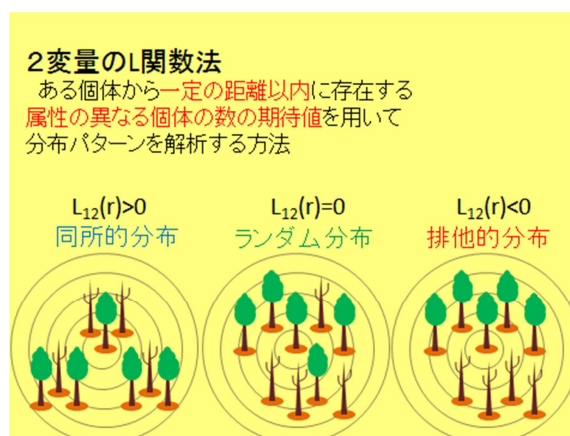


図 3 二変量の L 関数法の概略

(イ) サイズと個体間競争の効果が肥大成長に与える影響の評価

林冠ヒノキの肥大成長に与えるサイズと個体間競争の効果を評価するために、重回帰分析を行いました(図4)。伊勢湾台風、第二室戸台風以後の50年間(1964~2013年)を5分割し(1964~1973年, 1974~1983年, 1984~1993年, 1994~2003年, 2004~2013年), 特定の10年間の年平均胸高断面積成長速度(m^2/year)を目的変数, 対象木の期首胸高断面積(m^2)と競争指数を説明変数としました。ここで, 競争指数は以下の式で算出しました。

$$(\text{競争木の期首胸高断面積合計}) / \pi r^2$$

なお, 競争木の定義として, 「対象木から半径 r (m) 内に含まれるすべての個体(双方向的競争)」, 「対象木から半径 r (m) 内に含まれる対象木よりも期首胸高断面積が大きな個体(一方向的競争)」の2つの定義を考慮し, それぞれで競争指数を算出しました。競争半径 r は1m, 2m, 3m, 4m, 5mの5つの距離を考慮しました。

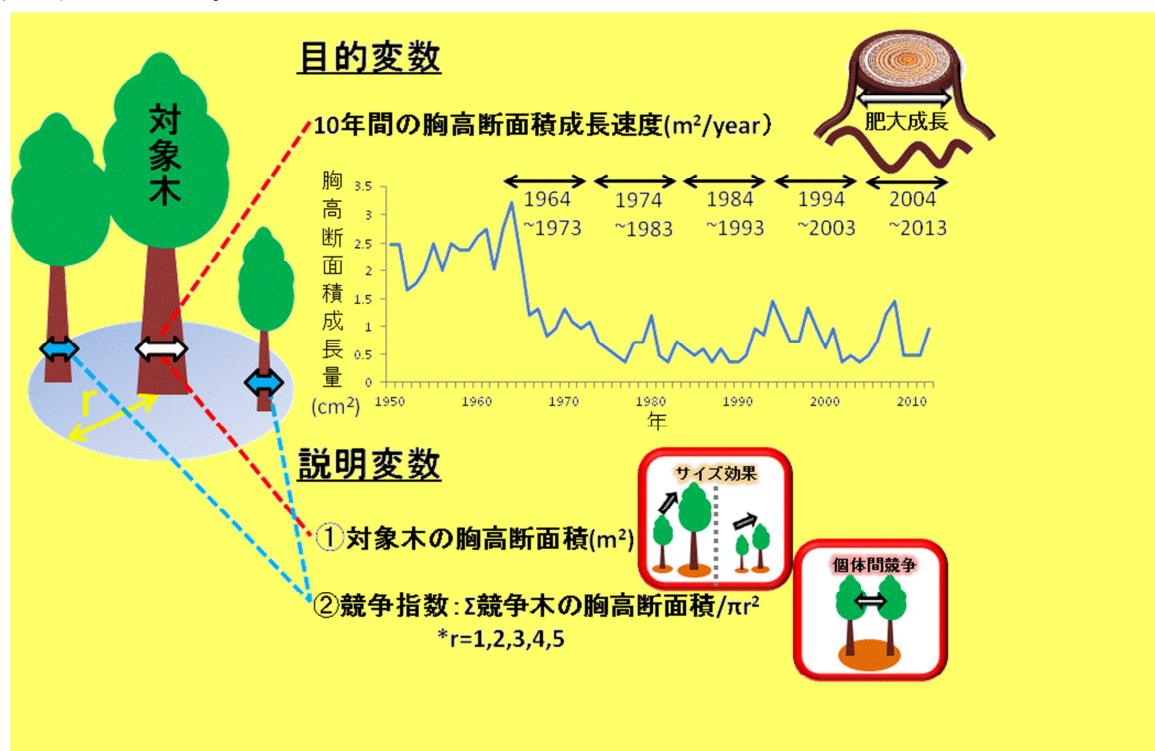


図4 重回帰分析の模式図

3. 結果

(1) プロットの現況

生存木は97本, 立ち枯れ木は48本確認され, 生存木の内80本がヒノキでした。林冠木はヒノキとヒメコマツ, ダケカンバで構成され, 本数と断面積合計ともに約90%をヒノキが占めていました(表1; 図5)。

表1 林冠木(樹高 $18 \geq \text{m}$)と立ち枯れ木の本数とサイズ

樹種	本数(本)	平均樹高(m)	平均直径(cm)	断面積合計(m^2/ha)
ヒノキ	75 (89)	24.8	44.1	58.7 (88)
ヒメコマツ	8 (10)	25.3	43.5	7.1 (11)
ダケカンバ	1 (1)	27.7	49.6	1.0 (1)
立ち枯れ木	48	—	—	—

() : 相対値 (%)

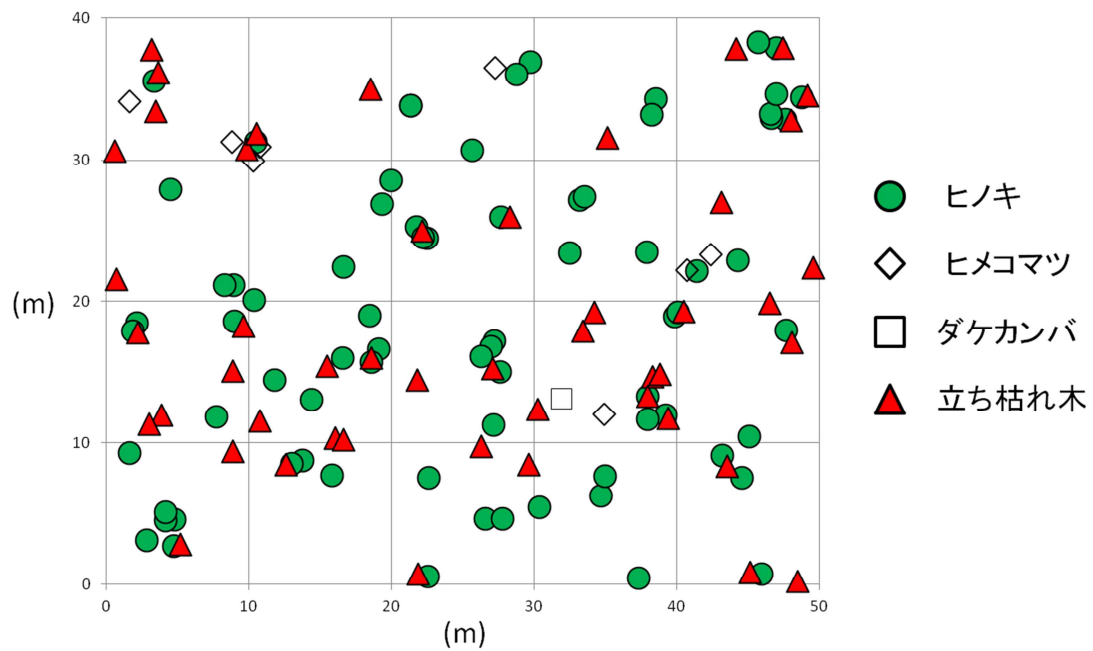


図5 林冠木と立ち枯れ木の分布

(2) 空間分布

林冠ヒノキは1~3mのスケールで集中分布、7~9mのスケールで規則分布をしていました(図6)。一方、林冠ヒノキと立ち枯れ木を合わせて解析したところ、1~4mのスケールで集中分布を示しましたが、規則分布はみられませんでした(図7)。林冠ヒノキは現在も過去も集中斑を形成しており、その集中斑が現在、規則的に分布していることを示しています。また、林冠ヒノキと立ち枯れ木は1~3mのスケールで同所的に分布していました(図8)。

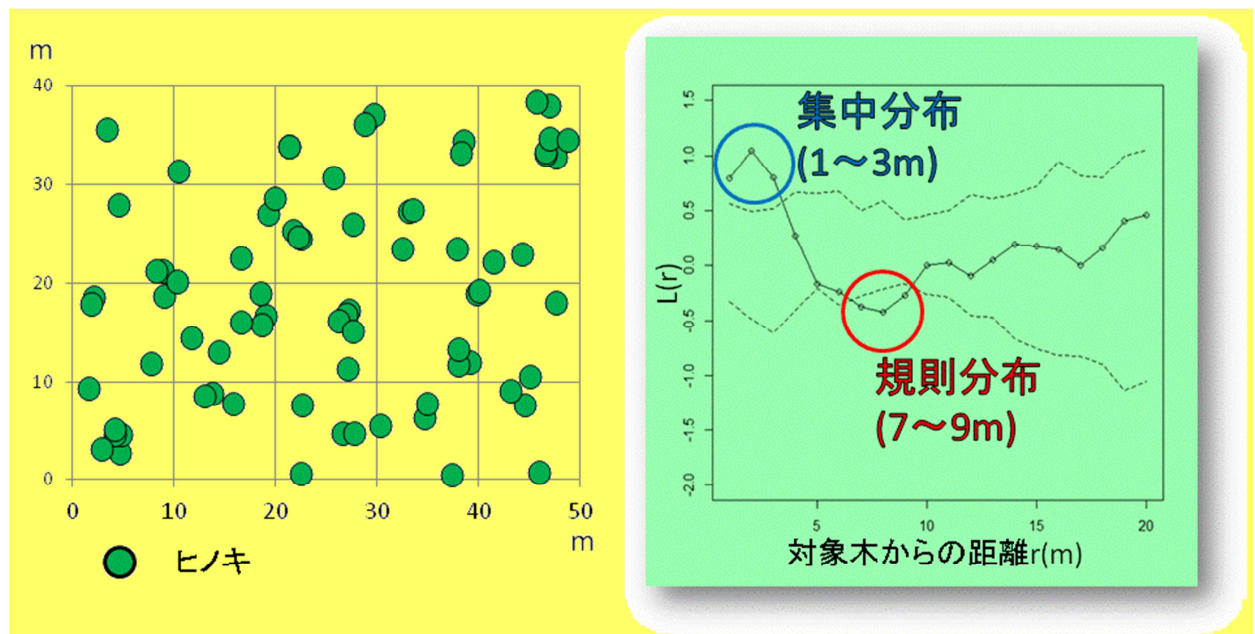


図6 林冠ヒノキの分布とL関数

点線は95%信頼区間

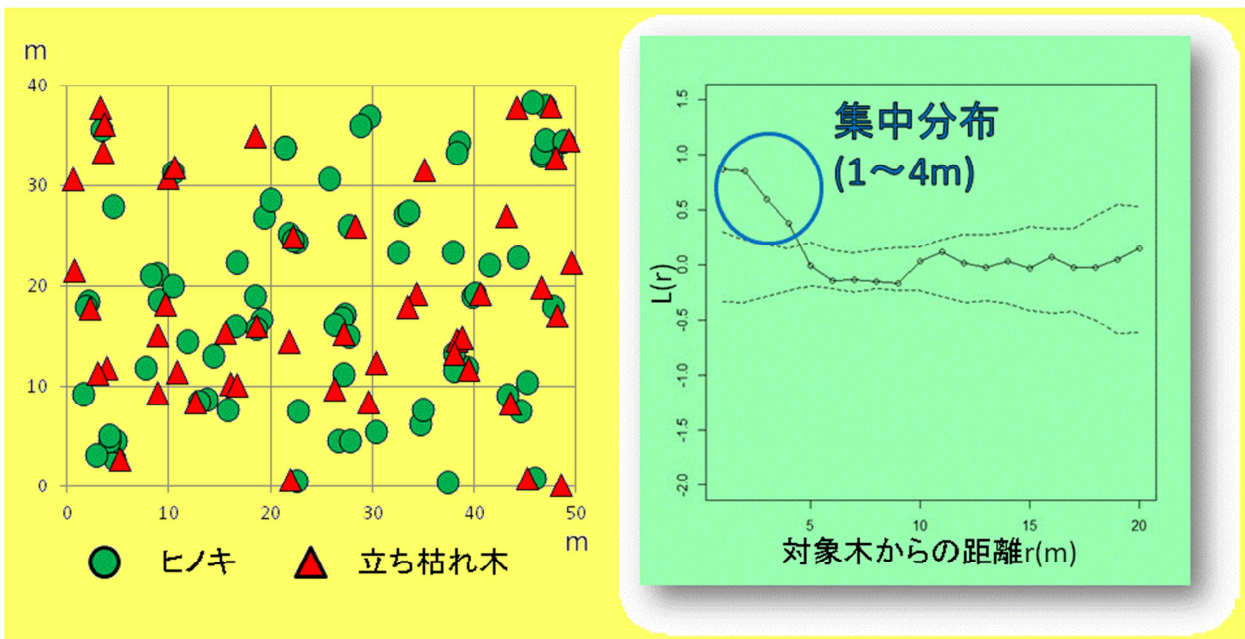


図7 林冠ヒノキと立ち枯れ木の分布と L 関数
点線は 95%信頼区間

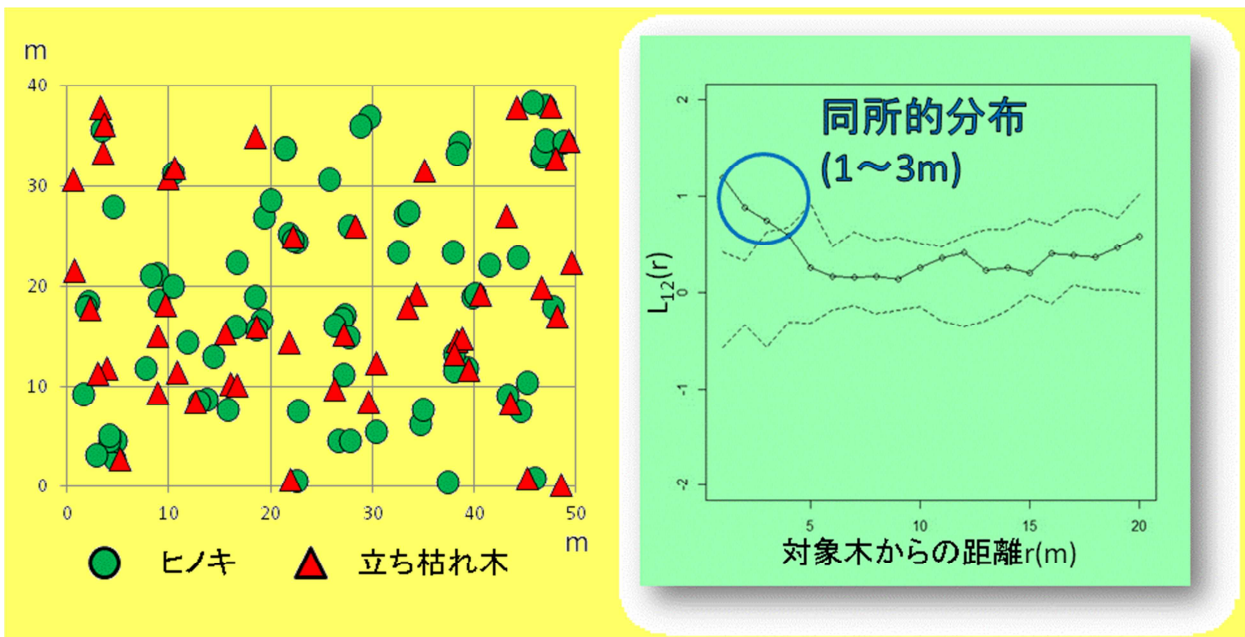


図8 林冠ヒノキと立ち枯れ木の分布と 2 変量の L 関数
点線は 95%信頼区間

(3) サイズと個体間競争の効果が肥大成長に与える影響

過去 50 年間の林冠ヒノキの肥大成長に対して、隣接個体間の競争効果は有意ではなく、肥大成長量は対象木自身の胸高断面積と正の相関を示しました (表 2)。

表 2 重回帰分析の結果

year	説明変数の条件		係数			R2	
	競争半径(m)	方向	切片	サイズ	競争指数		
2003~2012	1	一方	0.057 n.s.	4.434 ***	-1.060 n.s.	0.303 ***	
	1	双方	0.011 n.s.	4.645 ***	0.287 n.s.	0.301 ***	
	2	一方	-0.012 n.s.	4.746 ***	2.154 n.s.	0.302 ***	
	2	双方	-0.006 n.s.	4.673 ***	1.832 n.s.	0.302 ***	
	3	一方	0.082 n.s.	4.351 ***	-4.970 n.s.	0.302 ***	
	3	双方	0.046 n.s.	4.543 ***	-2.100 n.s.	0.301 ***	
	4	一方	0.156 n.s.	4.055 **	-15.747 n.s.	0.307 ***	
	4	双方	0.151 n.s.	4.288 ***	-15.231 n.s.	0.309 ***	
	5	一方	0.140 n.s.	4.136 **	-17.592 n.s.	0.305 ***	
1993~2002	5	双方	0.204 n.s.	4.194 ***	-26.870 n.s.	0.313 ***	
	1	一方	-0.023 n.s.	5.126 ***	0.039 n.s.	0.350 ***	
	1	双方	-0.018 n.s.	5.105 ***	-0.109 n.s.	0.350 ***	
	2	一方	-0.124 n.s.	5.578 ***	6.722 n.s.	0.361 ***	
	2	双方	-0.057 n.s.	5.215 ***	2.448 n.s.	0.352 ***	
	3	一方	-0.022 n.s.	5.123 ***	0.046 n.s.	0.350 ***	
	3	双方	-0.014 n.s.	5.101 ***	-0.648 n.s.	0.350 ***	
	4	一方	-0.096 n.s.	5.437 ***	8.825 n.s.	0.352 ***	
	4	双方	0.092 n.s.	4.831 ***	-13.745 n.s.	0.356 ***	
1983~1992	5	一方	-0.109 n.s.	5.482 ***	13.227 n.s.	0.352 ***	
	5	双方	0.200 n.s.	4.604 ***	-33.587 n.s.	0.367 ***	
	1	一方	-0.001 n.s.	4.089 ***	-0.495 n.s.	0.306 ***	
	1	双方	-0.019 n.s.	4.184 ***	0.082 n.s.	0.305 ***	
	2	一方	0.028 n.s.	3.965 ***	-2.995 n.s.	0.308 ***	
	2	双方	0.019 n.s.	4.074 ***	-2.524 n.s.	0.308 ***	
	3	一方	0.158 n.s.	3.384 ***	-14.947 n.s.	0.324 ***	
	3	双方	0.063 n.s.	3.956 ***	-7.156 n.s.	0.311 ***	
	4	一方	0.034 n.s.	3.950 **	-6.076 n.s.	0.306 ***	
1973~1982	4	双方	0.107 n.s.	3.848 ***	-15.355 n.s.	0.315 ***	
	5	一方	-0.002 n.s.	4.110 **	-2.196 n.s.	0.305 ***	
	5	双方	0.143 n.s.	3.788 ***	-24.888 n.s.	0.318 ***	
	1	一方	0.096 n.s.	3.735 **	-0.879 n.s.	0.232 ***	
	1	双方	0.079 n.s.	3.834 **	-0.331 n.s.	0.231 ***	
	2	一方	0.127 n.s.	3.602 **	-4.004 n.s.	0.235 ***	
	2	双方	0.079 n.s.	3.852 ***	-0.767 n.s.	0.231 ***	
	3	一方	0.272 n.s.	2.929 *	-17.905 n.s.	0.255 ***	
	3	双方	0.184 n.s.	3.560 **	-10.682 n.s.	0.243 ***	
1963~1972	4	一方	0.157 n.s.	3.476 *	-10.916 n.s.	0.234 ***	
	4	双方	0.202 n.s.	3.520 **	-17.076 n.s.	0.242 ***	
	5	一方	0.058 n.s.	3.929 **	1.589 n.s.	0.230 ***	
	5	双方	0.109 n.s.	3.782 **	-6.422 n.s.	0.231 ***	
	1	一方	0.231 n.s.	2.197 *	-1.424 n.s.	0.123 *	
	1	双方	0.200 n.s.	2.378 *	-0.394 n.s.	0.115 *	
	2	一方	0.236 n.s.	2.199 *	-3.356 n.s.	0.120 *	
	2	双方	0.162 n.s.	2.510 **	1.842 n.s.	0.117 *	
	3	一方	0.274 n.s.	2.019 n.s.	-7.771 n.s.	0.123 *	
	3	双方	0.146 n.s.	2.554 **	3.874 n.s.	0.117 *	
	4	一方	0.270 n.s.	2.045 n.s.	-10.408 n.s.	0.120 *	
	4	双方	0.172 n.s.	2.478 **	2.019 n.s.	0.115 *	
	5	一方	0.230 n.s.	2.237 n.s.	-6.644 n.s.	0.115 *	
	5	双方	0.156 n.s.	2.516 **	5.164 n.s.	0.115 *	

* : p<0.05, ** : p<0.01, *** : p<0.001, n.s. : p>0.05

4. 考察

一般的に、林分の発達に伴う自己間引きによって、立木の空間配置が規則分布へと移行していくことが報告されています (Kenkel 1988 ; Suzuki et al. 2008)。本研究の結果においても、林冠ヒノキの分布が集中斑単位で規則化し、また、林冠ヒノキと立ち枯れ木が同所的に分布していたことから、過去の個体間競争によって現在の立ち枯れ木が生じたと考えられます (図 9)。一方で、過去 50 年間における林冠ヒノキの肥大成長に関して、隣接個体間の競争効果は有意な影響を与えていなかったことから、当分は、空間分布に影響を与える立ち枯れ木は個体間競争によって生じず、攪乱が生じない限り、空間分布は安定すると推察されます。

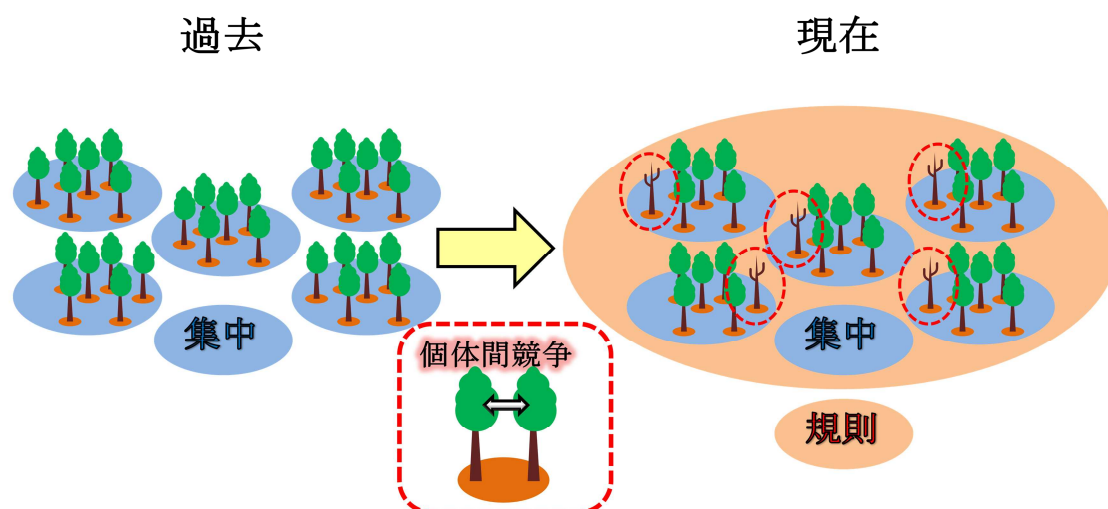


図 9 過去から現在に至る空間分布の変化

おわりに

重回帰分析の結果より、過去 50 年間に於ける林冠ヒノキの肥大成長に関して、サイズと正の相関を示し、隣接個体間の競争効果は有意な影響を与えていなかったことが示唆されました。しかし、サイズと肥大成長の相関の経時変化をみてみると、過去に遡るにつれて相関が低下しています（図 10）。これは、生存している個体のみを解析に用い、過去に生存していた枯死個体を考慮していないためだと考えられます。したがって、今後の課題として、立ち枯れ木などの枯死個体の年輪データを採取し、生存個体と合わせて解析することで、木曽ヒノキの成長特性をより正確に評価していく必要があります。

最後になりますが、本研究を遂行するにあたり、中部森林管理局の方々にご協力頂きました。ここに厚く御礼申し上げます。

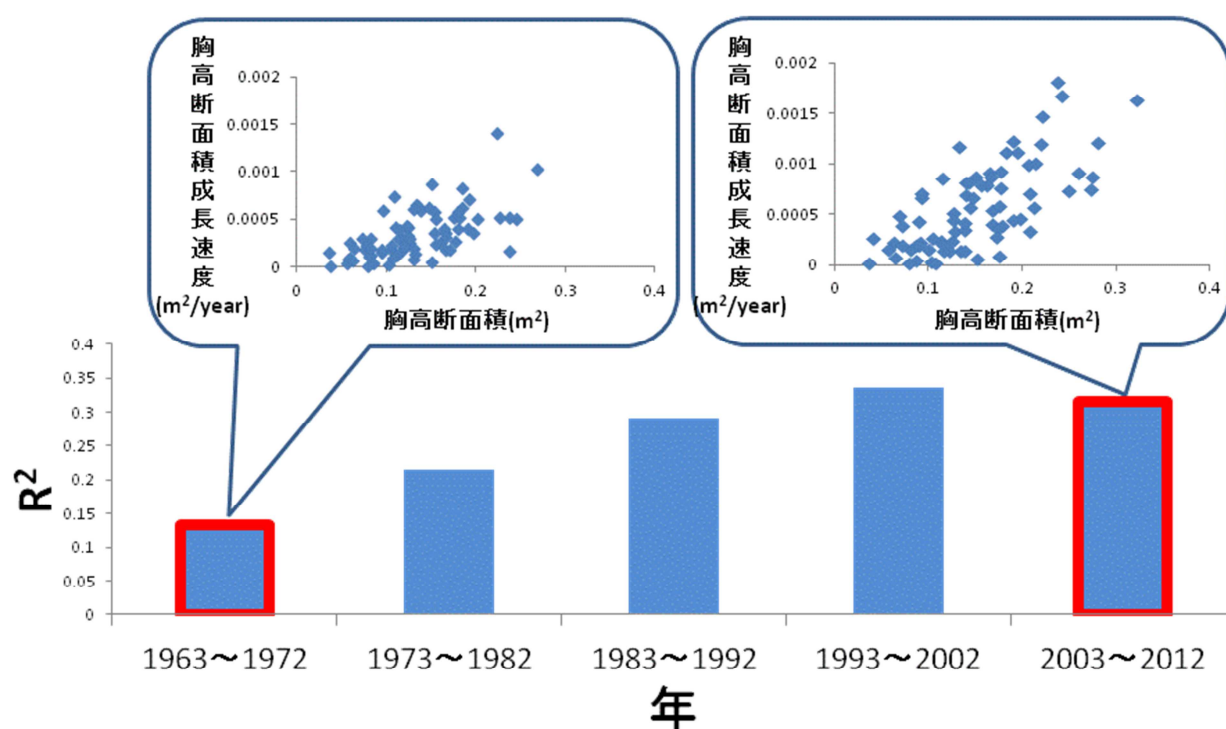


図 10 サイズ-肥大成長関係の経時変化

参考文献

- Gibson, L., Lee, M.T., Koh, P.L., Brook, W.B., Gardner, A.T., Barlow, J., Peres, A.C., Bradshaw, J.A.C., Laurance, F.W., Lovejoy, E.T., Sodhi, S.N. (2011) Primary forests are irreplaceable for sustaining tropical biodiversity. *Nature* 000 : 1 - 4
- Hoshino, D., Nishimura, N., Yamamoto, S. (2003) Effects of canopy conditions on the regeneration of major tree species in an old-growth *Chamaecyparis obtuse* forest in central Japan. *Forest Ecology and Management* 175 : 141-152
- Kenkel, N.C. (1988) Pattern of Self-thinning in Jack Pine: Testing the Random Mortality Hypothesis. *Ecology* 69 : 1017-1024
- Luyssaert, S., Schulze, E.D., Börner, A., Knohl, A., Hessenmöller, D., Law, E.B, Ciais, P., Grace, J. (2008) Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 455 : 213 - 215
- Matsushita, M., Hoshino, D., Yamamoto, S., Nishimura, N. (2014) Twenty-three years of stand dynamics in central Japan. *J For Res* 19 : 134-142
- 森澤猛 (1999) 木曽ヒノキの天然更新について. *森林計画誌* 32 : 21-24
- 森澤猛・杉田久志・橋本良二・赤井龍男 (2010) 空中写真から解析した木曽地方三浦実験林のヒノキ帯状皆伐天然更新試験地におけるササおよび更新木樹冠被覆の 36 年間の変遷. *日林誌* 92 : 22-28
- Ripley, D. (1976) The second-order analysis of stationary point process. *J. Appl. Probab.* 13 : 255-266
- Suzuki, S.N., Kachi, N., Suzuki, J. (2008) Development of a Local Size Hierarchy Causes Regular Spacing of Trees in an Even-aged Abies Forest: Analyses Using Spatial Autocorrelation and the Mark Correlation Function. *Annals of Botany* 102 : 435-441
- 只木良也・鈴木道代 (1994) 物質資源・環境資源としての木曽谷の森林 (1) -木曽谷の森林施業-. *名大演報* 13 : 39-53
- 中部森林管理局 (1999) 三浦実験林 30 年のあゆみー木曽ヒノキ更新技術確立への挑戦とその成果ー. 264pp.
- 中部森林管理局 (2012) 平成 23 年度三浦・助六実験林に関する調査報告書. 129pp
- Yamamoto, S. (1993) Seedling Establishment of *Chamaecyparis obtuse* in Different Microenvironments in the Akasawa Forest Reserve, Central Japan. *日林誌* 75 : 519-527