

ナラ類の種内交配および種間交雑における 堅果生産とアイソザイムの遺伝様式

河野耕藏⁽¹⁾・長坂寿俊⁽²⁾・織田春紀⁽³⁾
栄花 茂⁽⁴⁾・久保田 権⁽⁵⁾

KOOZOO KOONO, Kazutosi NAGASAKA, Haruki ORITA, Shigeru EIGA and
Gon KUBOTA : Acorn production in intra-and interspecific
crosses and inheritance of isozymes in oaks

要 旨：コナラ節の交雑親和性を検討するため、ミズナラ、コナラおよびカシワの3種を用いて人工交配を行い、自然受粉、種内他家交配および種間交雑における親和性を調べた。

ミズナラ種内交配においては、豊作年で35%の成熟した堅果生産が可能である。しかし、凶作年では僅か4%と著しく低下する。

ミズナラを雌性親とした種間交雑では、コナラの花粉親においては堅果生産量は極めて低く、1%程度と推定された。また、カシワの花粉親では、豊作年で17%、凶作年では2%であった。

コナラ種内交配では、8~22%と推定された。それは、雌性親や花粉類の違いによって堅果の生産量に大きな差が生じた。

種間交雑においては、コナラの雌性親に対し、ミズナラの花粉親では、6~9%の堅果生産が可能である。カシワの花粉親では、1家系のみ23%の堅果が生産され、他の家系においては、堅果の形成は認められなかった。

いずれの交配組合せにおいても、ナラ類の交雑親和性は雌性親や花粉親の違いによって著しく差が生じた。また、堅果の生産量は交配年の豊凶に大きく左右され、雌花の着花性と堅果の結実性とは別の要因によることが推定された。

交雑家系苗木の葉組織を用いて、アクリルアミド電気泳動法により、アイソザイムの遺伝様式を解明した。アイソザイム分析では、開葉後、間もない時期に採取した葉で、明瞭な活性の高い泳動像が得られ、次の4酵素種において遺伝子座を明かにした。

グルタミン酸脱水素酵素(GDH)では、単型的な*Gdh*遺伝子座が観察された。アスパラギン酸アミノ転移酵素(GTO)では、3タイプの遺伝子型の存在がみとめられ、2対立遺伝子からなる*Got*遺伝子座に支配されることが推定され、雑種バンドが出現することからダイマー型の遺伝様式と確認された。非特異性エステラーゼ(*Est*)では、3つのゾーンで、それぞれ2つの対立遺伝子からなる3つの遺伝子座*Est-1*、*Est-2*、*Est-3*に支配されるモノマー型の遺伝様式が推定された。酸性フォスファターゼ(*Acp*)では、変異のあるゾーンにおいて3つの対立遺伝子からなる*Acp*遺伝子座が存在し、モノマー型の遺伝子様式であった。

I は じ め に

北海道の森林に天然分布しているコナラ節には、ミズナラ(*Quercus mongolica* var. *grosseserrata* REHDER et WILSON)、コナラ(*Q. serrata* THUNBERG)、カシワ(*Q. dentata* THUNBERG)、モンゴリナラ(*Q. mongolica* FISCHER)の4樹種がある^{9,10,17)}。そのなかでも、ミズナラ材は一般に、家具材、建築材として高い需要があり、特に、北海道産のミズナラ材は加工性の点で高く評価され、インチ材として海外にも輸出されている¹⁾。しかし、近年、優良大径木の伐採が進み、その資源量も減少の傾向にある。このため、ミズナラの資源の質的な改善と、その継続的な供給が今後の課題である。また、ミズナラの材質は、個体間や地域間に大きな差がみ

(1)(3)(5) 北海道林木育種場 (2) 森林総合研究所北海道支所 (4) 関東林木育種場

られるが⁹⁾、このことは遺伝的変異に起因するのか、あるいは環境に起因するのかは明らかではない。

北村⁸⁾は、コナラ属内では、同一節内において、かなり高い交雑親和性があることを示唆し、また、宮崎¹⁰⁾は、ナラ類の林分での外部形態的調査において複数樹種の混交林では、自然雑種の混生が生じ、種の境界を越えた遺伝子の流入によって、しばしば変異型が形成され、この過程は遺伝子の滲透によってさまざまな自然雑種が形成されることを報じている。しかし、これらの報告は、いずれも外部形態上の変異を観察したものであり、コナラ属の人工交雑種と比較した報告は国内では見あたらない。

筆者らは、北海道に分布するコナラ節内の人工交配種から諸形質の遺伝的変異や交雑親和性等を確認するため、ミズナラ、コナラおよびカシワの3種を用いた人工交配を行った。

なお、本報告では、種内交配および種間交雑による堅果生産の検討と、これらの交配家系苗の葉を用いたアイソザイムの遺伝様式について報告するものである。

なお、本実験の遂行にあたり、交配のためにコナラ花粉を提供していただいた東北林木育種場川村忠士研究員および北上彌逸技官に心からお礼申し上げる。また、交配作業および育苗等に協力いただいた北海道林木育種場育種課職員ならびに業務課職員に感謝する。さらに、本報告のとりまとめにあたり、ご指導と助言をいただいた同育種課長片寄 麟博士、同研究室長丹藤 修氏に厚くお礼を申し上げる。

II 実験の概要

交配に用いた材料はTable 1 に示すとおりで、天然生林のなかから比較的着花量の多いミズナラ、コナラをそれぞれ8個体、さらに、カシワ7個体を選出し、1987年から1989年にかけて種内交配および種間交雑を行った。

ナラ類の着果結実については、豊凶の差が著しく、また、種や個体によって異なる。

ナラ類は毎年多量のタネが生産されることはなく、希に豊作が2年間続くこともあるが⁹⁾、一般的には4～5年以上に一回の周期で豊作年が繰り返される¹¹⁾。

Table 1. 供 試 材 料
Materials

樹 種 Species	個体番号 Individual tree No.	樹 高 Height (m)	胸高直径 D. B. H. (cm)	所 在 地 Location
ミズナラ <i>Quercus mongolica</i> var. <i>grosseserrata</i>	G-1	11.0	28.3	北海道江別市文京台
	G-2	7.2	24.0	〃
	G-3	13.5	20.0	〃
	G-4	8.0	36.5	〃
	G-5	7.4	17.0	〃
	G-6	10.3	16.8	〃
	G-7	10.1	25.7	〃
	G-8	8.5	20.2	〃
コナラ <i>Quercus serrata</i>	S-1	19.0	45.0	北海道札幌市厚別区大谷地
	S-2	19.0	52.0	〃
	S-3	15.2	26.5	北海道岩見沢市志文
	S-4	11.0	22.0	〃
	S-5	13.5	22.8	岩手県岩手郡滝沢村
	S-6	13.0	20.8	〃
	S-7	14.5	40.0	〃
	S-8	4.0	12.0	岩手県遠野市遠野
カシワ <i>Quercus dentata</i>	D-1	11.3	26.0	北海道岩見沢市志文
	D-2	9.5	28.0	〃
	D-3	5.6	18.5	北海道石狩郡石狩町
	D-4	7.0	24.0	〃
	D-5	6.7	22.0	北海道厚田郡厚田村
	D-6	6.8	24.5	〃
	D-7	5.5	20.0	〃

交配を行った3年間の豊凶状況は、1987年はほぼ全道的にミズナラが豊作年であったが、1988年および1989年は札幌周辺ではミズナラの凶作年にあたり、特に1988年は結実量は皆無の状態であった。また、コナラは1988、1989年ともに並作であり、カシワは凶作であった。しかし、両年とも交配母樹に用いたすべての個体に着花量の差はあるが、一定量の雌雄花芽の着生が認められた。

交配袋掛けの時期は、その年の気象条件等に左右されるが、1987～1989年の3年間においては、ミズナラおよびコナラの袋掛けは5月上旬～下旬、カシワはそれよりも一週間程度遅く5月下旬～6月上旬に行った。なお、交配袋は現在市販されているもので、紙質は王子製紙KKの晒クラフトパルプで作られた一重袋(20×40cm)を用いた¹⁹⁾。

花粉採集は、黄色味をおびて飛散直前の雄花穂を取り、水洗い後、紙袋(白色グラシン紙)に入れ日覆のされたガラス室内で乾燥させ採集した。なお、ミズナラおよびコナラの開花最盛期はほぼ同時であるが、カシワはそれよりも一週間程度遅い。したがって、カシワの花粉については前年に採集し、-60℃の冷凍庫内に保存した花粉を交配に用いた。

受粉は、ミズナラおよびコナラでは6月上旬、カシワでは6月上旬～中旬に行った。

交配袋の取りはずしは、それぞれ受粉後10日目の6月上旬に行った。

堅果は、10月上旬に採取したが、なかにはすでに風等で落下し、殻斗のみのものも見られたが、それも堅果の総数として含めた。採取された堅果はただちに重さと大きさを測定し、苗畑にまき付けた。

また、1987年に交配した3年生苗木については、成長調査および葉を用いたアイソザイム分析を行った。

III 堅果の結果率

結果率の算出にあつては、一般に、雌花数に対する採取された種子数の比率で求めるが、ナラ類の雌花は、雌花序軸が伸びその基部につくので、交配時には肉眼での判定が難しく、そのため、交配袋取り払い時の雌花数をもとに、採取した堅果数の比率で算出した。

なお、1988年に交配したミズナラ母樹および1988、1989年のカシワを母樹とした種内交配、種間交雑においては着花(雌雄花芽)はみられたが、堅果の結実は認められず、自然受粉においても皆無であったので、以下の報告では、これらを省略した。

1. ミズナラの種内交配

(1) 材料と方法

Table 2 および Table 3 にミズナラ種内交配の交配組合せと供試雌花数、採取堅果数および結果率を示した。

1987年の交配では雌性親を3個体、花粉親4個体を用いて、自家受粉を含む12組合せを行った。1989年では雌性親5個体、花粉親6個体で交配を行ったが、1組合せにおいて交配できず、29組合せとなった。袋掛け時期は両年とも5月22～26日の間であり、受粉は6月2～5日の間に2回行った。

(2) 結果

1987年の種内交配においては、自家受粉を除くすべての交配組合せで6～49%、平均35%の結果率で堅果が生産されたが、なかでも、G-1を雌性親とした組合せの結果率は39～49%、平均43%と最も高く、ついで、G-2の雌性親では18～35%、平均27%で、G-3では6～34%、平均24%であった。また、自家受粉では全く堅果の形成は認められなかった(Table 2)。1989年の種内他家受粉の交配結果率は、0～23%、平均4%であり、24組合せのうち16組合せで堅果が得られた(Table 3)。このことは、1987年と比較すると極めて低い結果率であった。そこで、両年に共通に用いたG-1とG-2の交配組合せでも著しく異なり、1987年ではそれぞれ

49, 35%であったが, 1989年ではそれぞれ0, 5%と低い値を示した。

Table 2. 1987年に行ったミズナラ種内交配の組合せと堅果のできかた
Cross combination of intraspecific crossing of
Q.mongolica var. *grosseserrata* and nut yield in 1987

雌性親 Female	花粉親 Male	G-1	G-2	G-3	G-4
G-1	雌花数/袋 ¹⁾	21.8	15.8	16.8	16.4
	総雌花数 ²⁾	262	189	202	180
	成熟堅果数 ³⁾	0	92	82	70
	結 果 率 ⁴⁾	0	48.7	40.6	38.9
G-2	雌花数/袋 ¹⁾	11.4	5.8	8.4	14.2
	総雌花数 ²⁾	114	75	84	128
	成熟堅果数 ³⁾	40	0	15	35
	結 果 率 ⁴⁾	35.1	0	17.9	27.3
G-3	雌花数/袋 ¹⁾	10.1	7.8	7.4	2.9
	総雌花数 ²⁾	91	47	37	38
	成熟堅果数 ³⁾	29	3	0	13
	結 果 率 ⁴⁾	31.9	6.4	0	34.2

1) : Number of female flowers per bag

2) : Number of total female flowers tested

3) : Number of nuts collected

4) : Nuts yield percentage

□ : Selfing

Table 3. 1989年に行ったミズナラ種内交配の組合せと堅果のできかた
Cross combination of intraspecific crossing of
Q.mongolica var. *grosseserrata* and nut yield in 1989

雌性親 Female	花粉親 Male	G-1	G-2	G-5	G-6	G-7	G-8
G-1	雌花数/袋 ¹⁾	14.6	14.8	18.4	21.0	22.6	23.1
	総雌花数 ²⁾	117	118	147	168	158	185
	成熟堅果数 ³⁾	0	0	1	8	12	10
	結 果 率 ⁴⁾	0.0	0.0	0.7	4.8	7.6	5.4
G-2	雌花数/袋 ¹⁾	12.5	13.5	10.8	10.5	10.8	14.6
	総雌花数 ²⁾	75	53	65	63	65	73
	成熟堅果数 ³⁾	4	0	2	0	0	3
	結 果 率 ⁴⁾	5.3	0.0	3.1	0.0	0.0	4.1
G-5	雌花数/袋 ¹⁾	6.5	3.1	10.0	3.1	11.0	9.0
	総雌花数 ²⁾	39	22	70	22	77	69
	成熟堅果数 ³⁾	1	0	0	2	0	2
	結 果 率 ⁴⁾	2.6	0.0	0.0	9.1	0.0	2.9
G-6	雌花数/袋 ¹⁾	4.6	—	18.0	5.8	7.4	6.8
	総雌花数 ²⁾	23	—	90	29	37	34
	成熟堅果数 ³⁾	3	—	2	0	0	0
	結 果 率 ⁴⁾	13.0	—	2.2	0.0	0.0	0.0
G-8	雌花数/袋 ¹⁾	5.2	6.0	3.2	0.4	7.4	2.4
	総雌花数 ²⁾	26	30	19	15	52	12
	成熟堅果数 ³⁾	6	0	3	1	3	1
	結 果 率 ⁴⁾	23.1	0.0	10.5	6.7	5.7	8.3

1) : Number of female flowers per bag

2) : Number of total female flowers tested

3) : Number of nuts collected

4) : Nuts yield percentage

□ : Selfing

一方、雌花数は、その雌性親によって着花数も異なるが、共通の雌性親 (G-1, G-2) で、袋あたり雌花数を比較すると、1987年では平均14個であり、1989年では16個と袋あたり雌花数はほぼ同数となった。兩年を通じて雌花数にはほとんど差がみられなかったが、結果率には大きな差がみられたことから、着花性と結実性とは全く別の要因によることが推定された。

2. コナラの種内交配

(1) 材料と方法

コナラ種内交配の組合せとその結果率をTable 4 およびTable 5 に示す。

1988年には雌性親3個体、花粉親3個体の総当たり交配を試みたが、花粉量の不足で交配できず、8組合せとなった。また、1989年には雌性親3個体に対し、花粉親8個体を用い、自家受粉3組、他家受粉14組合せの交配を行った。

受粉は、ミズナラと同時期で1988年は6月1日、1989年は6月2日に行った。兩年とも十分な花粉量がなかったので受粉は1回のみ行った。

(2) 結果

1988年の種内他家受粉の結果率は、S-1×S-2およびS-2×S-1で、それぞれ12%であり、正逆に差はなかった。S-1×S-3においては、正逆ともに堅果の形成は認められなかった。S-2を雌性親にした場合には、すべての花粉親に対して堅果が生産され12~18%の結果率を示し、他の雌性親の交配組合せよりも高い値を示した。自家受粉においてはS-2のみに堅果が得られ、11%の結果率を示した。なお、他の自家受粉には堅果の形成は認められなかった (Table 4)。

Table 4. 1988年に行ったコナラ種内交配の組合せと堅果のできた
Cross combination of intraspecific crossing of
Q. serrata and nut yield in 1988

雌性親 Female	花粉親 Male	S-1	S-2	S-3
S-1	雌花数/袋 ¹⁾	9.0	5.7	2.7
	総雌花数 ²⁾	27	17	8
	成熟堅果数 ³⁾	0	2	0
	結 果 率 ⁴⁾	0	11.8	0
S-2	雌花数/袋	8.3	12.3	13.3
	総雌花数	25	37	40
	成熟堅果数	3	4	7
	結 果 率	12.0	10.8	17.5
S-3	雌花数/袋	18.0	—	5.0
	総雌花数	54	—	15
	成熟堅果数	0	—	0
	結 果 率	0	—	0

1) : Number of female flowers per bag

2) : Number of total female flowers tested

3) : Number of nuts collected

4) : Nuts yield percentage

□ : Selfing

1989年の他家受粉では、雌性親あるいは花粉親の違いによっても著しく異なるが、すべての交配組合せにおいて成熟した堅果が生産され、4~47%の結果率を示した。特に、S-4を雌性親にした場合に高く、35~47%の値を示した。また、1988年で堅果生産がみられなかったS-1×S-3の組合せにおいて43%の結果率で成熟した堅果が得られ、同じ交配組合せでも年次の違いによって著しく差が生じた (Table 5)。

Table 5. 1989年に行ったコナラ種内交配の組合せと堅果のできかた
Cross combination of intraspecific crossing of
Q. serrata and nut yield in 1989

雌性親 Female	花粉親 Male	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-7	S-8
S-1	雌花数/袋 ¹⁾	1.4	—	1.8	2.6	3.8	13.0	6.0	5.3
	総雌花数 ²⁾	10	—	7	13	15	26	24	16
	成熟堅果数 ³⁾	0	—	3	1	2	4	3	2
	結 果 率 ⁴⁾	0	—	42.9	7.7	13.3	15.4	12.5	12.5
S-2	雌花数/袋	13.0	18.7	14.3	14.0	10.7	11.0	8.0	—
	総雌花数	65	56	43	70	32	22	24	—
	成熟堅果数	6	0	3	18	3	1	1	—
	結 果 率	9.2	0	7.0	25.7	9.4	4.6	4.2	—
S-4	雌花数/袋	9.7	5.7	—	10.0	—	—	—	—
	総雌花数	29	17	—	30	—	—	—	—
	成熟堅果数	10	8	—	1	—	—	—	—
	結 果 率	34.5	47.1	—	3.3	—	—	—	—

- 1) : Number of female flowers per bag
 2) : Number of total female flowers tested
 3) : Number of nuts collected
 4) : Nuts yield percentage
 □ : Selfing

3. ミズナラを雌性親としたコナラおよびカシワの種間交雑

(1) 材料と方法

1987年はミズナラ雌性親3個体に対し、花粉親にコナラ1個体およびカシワ2個体を用いた交配を行った。組合せ数はミズナラ×コナラが3組合せ、ミズナラ×カシワが6組合せであった。

1989年には個体数を増やしミズナラ5個体を用い、コナラ花粉親2個体による10組合せとカシワ花粉親5個体を用いた17組合せを行った。袋掛けおよび交配の時期は、ミズナラおよびコナラの種内交配と同様である。

(2) 結果

1987年および1989年の結果率は、Table 6, 7のとおりで、1987年の種間交雑ではミズナラ×コナラの3組合せのうち1組合せのみに堅果が1個（結果率1%）形成された。1989年では10組合せのうち2組合せに堅

Table 6. 1987年に行ったミズナラを雌性親とした種間交雑の交配組合せと堅果のできかた
Nut yield of interspecific cross using *Q. mongolica* var.
grosseserrata as female parent crossed in 1987

雌性親 Female	花粉親 Male	コ ナ ラ <i>Q. serrata</i>			カ シ ワ <i>Q. dentata</i>	
		S-2	D-3	D-4		
ミ ズ ナ ラ	G-1	雌花数/袋 ¹⁾	9.1	13.8	14.6	
		総雌花数 ²⁾	82	165	82	
		成熟堅果数 ³⁾	0	47	0	
		結 果 率 ⁴⁾	0	28.5	0	
	G-2	雌花数/袋	8.3	7.2	4.8	
		総雌花数	75	65	43	
		成熟堅果数	1	20	0	
		結 果 率	1.3	30.8	0	
	G-3	雌花数/袋	6.3	3.3	8.3	
		総雌花数	19	10	25	
		成熟堅果数	0	0	0	
		結 果 率	0	0	0	

- 1) : Number of female flowers per bag
 2) : Number of total female flowers tested
 3) : Number of nuts collected
 4) : Nuts yield percentage

果が形成され、その結果率は6～9%であった。

また、ミズナラ×カシワにおいては、1987年では6組合せのうち2組合せに、すなわち、D-3の花粉親のみに29～31%の結果率を示し、種間受粉として高い値であった。しかし、G-3の雌性親およびD-4の花粉親では堅果の形成はみられなかった。1989年では、17組合せのうち4組合せにおいて堅果が形成され、結果率は2～9%であった。いずれの年度においても雌性親、花粉親の違いによって、結果率に大きな差が生じた。

Table 7. 1989年に行ったミズナラを雌性親とした種間交雑の交配組合せと堅果のできかた

Nut yield of interspecific cross using *Q. mongolica* var.
grosseserrata as female parent crossed in 1989

雌性親 Female	花粉親 Male	コ ナ ラ <i>Q. serrata</i>		カ シ ワ <i>Q. dentata</i>				
		S-1	S-2	D-1	D-3	D-4	D-6	D-7
ミズナラ <i>Q. mongolica</i> var. <i>grosseserrata</i>	雌花数／袋 ¹⁾	14.9	21.8	16.5	16.3	14.2	11.0	—
	総雌花数 ²⁾	119	174	99	114	85	66	—
	成熟堅果数 ³⁾	0	0	2	4	0	1	—
	結 果 率 ⁴⁾	0	0	2.0	3.5	0	1.5	—
	雌花数／袋	15.3	13.7	10.4	5.6	—	4.4	17.0
	総雌花数	92	82	52	28	—	22	68
	成熟堅果数	0	0	0	0	—	0	6
	結 果 率	0	0	0	0	—	0	8.8
	雌花数／袋	11.8	5.2	14.0	10.0	8.4	—	—
	総雌花数	71	31	70	20	42	—	—
	成熟堅果数	6	0	0	0	0	—	—
	結 果 率	8.5	0	0	0	0	—	—
	雌花数／袋	3.2	4.5	7.0	8.8	1.0	—	—
	総雌花数	19	27	35	44	7	—	—
	成熟堅果数	0	0	0	0	0	—	—
	結 果 率	0	0	0	0	0	—	—
	雌花数／袋	4.6	8.5	6.6	8.4	8.8	—	—
	総雌花数	23	51	33	42	44	—	—
	成熟堅果数	0	8	0	0	0	—	—
	結 果 率	0	5.9	0	0	0	—	—

- 1) : Number of female flowers per bag
2) : Number of total female flowers tested
3) : Number of nuts collected
4) : Nuts yield percentage

4. コナラを雌性親としたミズナラおよびカシワの種間交雑

(1) 材料と方法

1988年にはコナラ雌性親3個体に対し、ミズナラ花粉親2個体およびカシワ花粉親4個体を用いて18組合せの交雑を行った (Table 8)。

1989年にはコナラ雌性親3個体に対し、花粉親にミズナラ5個体とカシワ2個体を用いて、それぞれ13組合せおよび4組合せの種間交雑を行った (Table 9)。

(2) 結果

1988年にはコナラ雌性親に対し、ミズナラおよびカシワの花粉親で交配を行ったが、雌性親あるいは花粉親によって堅果の生産量は異った。

コナラ×ミズナラにおいて、S-3の雌性親では堅果は形成されず、S-1とS-2の雌性親に対し、G-1とG-2の花粉親で4～15%の結果率で堅果の形成がみられた。特に、S-2の雌性親の結果率は12～15%で、S-1の雌性親の4～5%に比べて高い値を示した。

一方、1989年では、S-1とS-2の雌性親およびG-1とG-2の花粉親の組合せにおいては、1988年と同じ交配組合せであるにもかかわらず、全く成熟した堅果は認められなかった。成熟堅果は13組合せのうち3組合せ（S-2×G-7，S-4×G-2，S-4×G-6）において5～22%の結果率で形成された。

Table 8. 1988年に行ったコナラを雌性親とした種間交雑の交配組合せと堅果のできかた

Nut yield of interspecific cross using *Q. serrata*
as female parent crossed in 1988

雌性親 Female	花粉親 Male	ミズナラ <i>Q. mongolica</i> .var. <i>grosseserrata</i>			カシワ <i>Q. dentata</i>		
		G-1	G-2	D-1	D-2	D-5	D-7
コナラ <i>Q. serrata</i>	S-1	雌花数/袋 ¹⁾	7.3	5.5	5.3	0.7	8.0
		総雌花数 ²⁾	29	22	16	2	24
		成熟堅果数 ³⁾	1	1	0	0	0
		結 果 率 ⁴⁾	3.5	4.6	0	0	0
	S-2	雌花数/袋	21.5	10.8	11.5	23.5	12.5
		総雌花数	86	43	23	47	25
		成熟堅果数	13	5	1	13	2
		結 果 率	15.1	11.6	4.4	27.7	8.0
	S-3	雌花数/袋	8.0	10.7	10.5	4.5	7.0
		総雌花数	24	32	21	9	14
		成熟堅果数	0	0	0	0	0
		結 果 率	0	0	0	0	0

1) : Number of female flowers per bag

2) : Number of total female flowers tested

3) : Number of nuts collected

4) : Nuts yield percentage

Table 9. 1989年に行ったコナラを雌性親とした種間交雑の交配組合せと堅果のできかた

Nut yield of interspecific cross using *Q. serrata*
as female parent crossed in 1989

雌性親 Female	花粉親 Male	ミズナラ <i>Q. mongolica</i> .var. <i>grosseserrata</i>					カシワ <i>Q. dentata</i>	
		G-1	G-2	G-6	G-7	G-8	D-3	D-6
コナラ <i>Q. serrata</i>	S-1	雌花数/袋 ¹⁾	2.5	3.8	1.3	1.4	2.5	4.0
		総雌花数 ²⁾	15	19	9	7	5	16
		成熟堅果数 ³⁾	0	0	0	0	0	0
		結 果 率 ⁴⁾	0	0	0	0	0	0
	S-2	雌花数/袋	1.4	7.8	6.6	16.0	12.8	5.5
		総雌花数	7	39	84	64	64	11
		成熟堅果数	0	0	0	4	0	0
		結 果 率	0	0	0	6.3	0	0
	S-4	雌花数/袋	6.0	12.0	7.3	—	—	—
		総雌花数	18	36	22	—	—	—
		成熟堅果数	0	8	1	—	—	—
		結 果 率	0	22.2	4.6	—	—	—

1) : Number of female flowers per bag

2) : Number of total female flowers tested

3) : Number of nuts collected

4) : Nuts yield percentage

1988年のコナラ×カシワにおいてはS-2の雌性親に対しすべての花粉親で4～36%の結果率を示し、雌性親側の交配稔性の高いことが推定された。しかし、S-1およびS-3の雌性親においては、どの花粉親に対

しても堅果の形成は認められなかった。また、1989年では4組合せすべてに堅果が認められず、これは、雌性親が同じでも花粉親が異なったためかは明らかではないが、年次間の差の大きいことがみられた。

IV 堅果の発芽率と交配苗の生育

1987年と1988年に交配したミズナラおよびコナラの種内交配、また、種間交雑において、発芽率や苗木生存率が交配組合せ間でどの程度の差が生じるかを検討した。また、すでに一部植栽されているミズナラ交配苗を用いて、それらの生育状況について調査した。

1. 堅果の発芽率と苗木生存率

(1) ミズナラを雌性親とした種内交配および種間交雑による堅果の発芽率および3年生苗木の生存率について調査した (Table 10, 11)。

ミズナラ種内の他家受粉による堅果の発芽率はG-1の雌性親で79~90%, 平均87%で最も高く、G-2とG-3では平均53%と55%であり、雌性親間で差があった。しかし、3年生苗木の生存率では90%以上の高い値を示し、発芽して3年間の生存率には大きな差は生じなかった (Table 10)。

Table 10. ミズナラ種内受粉堅果の発芽率と3年生苗木の生存率
Germination percentage of nuts and survival percentage
of the 3-yea-old interspecific seedlings of *Q.mongolica*
var. *grosseserrata* crossed in 1987

組 合 せ Combination		結 果 率 Nuts yield percentage (%)	供試堅果数 No.of total nuts tested	発 芽 率 Germination percentage (%)	生 存 率 Survival percentage in nursery (%)
♀	♂				
種内他家受粉 Crossing					
G-1	× G-2	48.7	92	90.2	100.0
	× G-3	40.6	82	79.3	98.5
	× G-4	38.9	70	90.0	98.4
	(Mean)	(42.7)		(86.9)	(99.0)

G-2	× G-1	35.1	40	50.5	95.7
	× G-3	17.9	15	60.0	88.9
	× G-4	27.3	35	48.6	100.0
	(Mean)	(26.8)		(53.0)	(94.9)

G-3	× G-1	31.9	29	69.0	93.8
	× G-2	6.4	3	33.3	100.0
	× G-4	34.2	13	61.5	100.0
	(Mean)	(24.2)		(54.6)	(97.9)

自家受粉 Selfing					
G-1		0.0	—	—	—
G-2		0.0	—	—	—
G-3		0.0	—	—	—

種間交雑においては、ミズナラ雌性親に対しコナラ花粉親では成熟堅果の結果率は極めて低く、堅果の発芽はみられなかった。一方、カシワ花粉親で55~79%の発芽率を示し、その生存率は極めて高く100%であった (Table 11)。

Table 11. ミズナラを雌性親とした種間受粉堅果の発芽率と3年生苗木の生存率
Germination percentage of nuts and survival percentage of the
3-yea-old seedlings of interspecific crosses using *Q.mongolica*
var. *grosseserrata* as female crossed in 1987

組 合 せ Combination		結 果 率 Nuts yield percentage (%)	供試堅果数 No.of total nuts tested	発 芽 率 Germination percentage (%)	生 存 率 Survival percentage in nursery (%)
♀	♂				
ミズナラ×コナラ (<i>Q.mongolica</i> var. <i>grosseserrata</i> × <i>Q.serrata</i>)					
G-1	S-2	0.0	—	—	—
G-2	S-2	1.3	1	0	—
G-3	S-2	0.0	—	—	—
ミズナラ×カシワ (<i>Q.mongolica</i> var. <i>grosseserrata</i> × <i>Q.dentata</i>)					
G-1	D-3	28.5	47	28.7	100.0
	× D-4	0.0	—	—	—
G-2	D-3	30.8	20	55.0	100.0
	× D-4	0.0	—	—	—
G-3	D-3	0.0	—	—	—
	× D-4	0.0	—	—	—

(2) コナラを雌性親とした種内交配および種間交雑の発芽率と2年生苗木の生存率をTable 12および13に示す。

コナラ種内の他家受粉においては、S-1×S-2では発芽しなかったが、S-2×S-1およびS-2×S-3において、それぞれ67%と43%の発芽率を示した。そして2年生苗木の生存率は50%と67%であり、ミズナラ他家受粉に比べると発芽率も生存率も低下した。自家受粉では25%の発芽率を示し、生存率は100%であった (Table 12)。

Table 12. コナラ種内受粉堅果の発芽率と2年生苗木の生存率
Germination percentage of nuts and survival percentage of the
2-yea-old interspecific seedlings of *Q.serrata* crossed in 1987

組 合 せ Combination		結 果 率 Nuts yield percentage (%)	供試堅果数 No.of total nuts tested	発 芽 率 Germination percentage (%)	生 存 率 Survival percentage in nursery (%)
♀	♂				
種内他家受粉 Crossing					
S-1	S-2	11.8	2	0.0	—
	× S-3	0.0	0	—	—
S-2	S-1	12.0	3	66.7	50.0
	× S-3	17.5	7	42.9	66.7
S-3	S-1	0.0	0	—	—
自家受粉 Selfing					
S-1		0.0	—	—	—
S-2		10.8	4	25.0	100.0
S-3		0.0	—	—	—

種間交雑ではコナラ×ミズナラにおいて、S-2の雌性親で54~60%の発芽率を示した。その生存率はG-1の花粉親で71%、G-2花粉親で33%の生存率であった。また、カシワ花粉親では、S-2の雌性親の堅果のみであるが、D-2およびD-6を花粉親にした場合それぞれ9%と22%の発芽率を示した。また、その生存率は50%と78%であった。いずれの交雑組合せにおいても雌性親あるいは花粉親によって差が生じ、結果率の低い組合せほど発芽率も低い傾向を示した (Table 13)。

Table 13. コナラを雌性親とした種間受粉堅果の発芽率と2年生苗木の生存率
Germination percentage of nuts and survival percentage
of the 2-yea-old seedlings of, interspecific crosses using
Q.serrata as female parent crossed in 1987

組 合 せ Combination	結 果 率 Nuts yield percentage (%)	供試堅果数 No.of total nuts tested	発 芽 率 Germination percentage (%)	生 存 率 Survival percentage in nursery (%)
♀ ♂				
コナラ×ミズナラ (<i>Q.serrata</i> × <i>Q.mongolica</i> var. <i>grosseserrata</i>)				
S-1×G-1	3.5	1	0.0	—
G-2	4.6	1	0.0	—
S-2×G-1	15.1	13	53.8	71.4
G-2	11.6	5	60.0	33.3
S-3×G-1	0.0	—	—	—
G-2	0.0	—	—	—
コナラ×カシワ (<i>Q.serrata</i> × <i>Q.dentata</i>)				
S-1×D-1	0.0	—	—	—
D-2	0.0	—	—	—
D-5	0.0	—	—	—
D-6	0.0	—	—	—
S-2×D-1	4.4	1	0.0	—
D-2	27.7	13	8.5	50.0
D-5	8.0	2	0.0	—
D-6	35.7	15	21.5	77.8
S-3×D-1	0.0	—	—	—
D-2	0.0	—	—	—
D-5	0.0	—	—	—
D-6	0.0	—	—	—

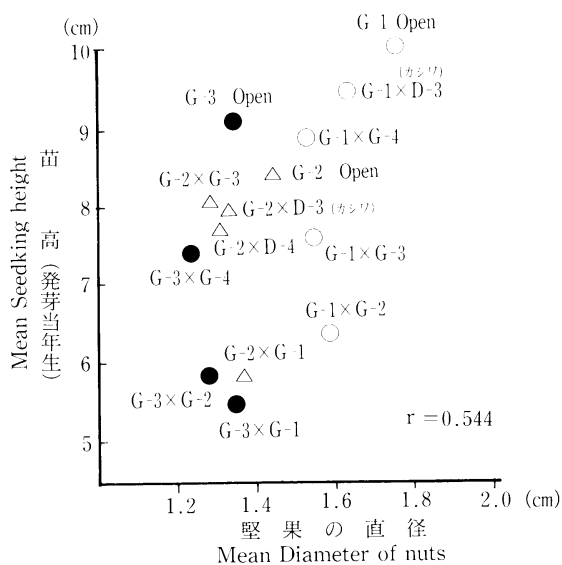


Fig.1 ナラ類の種内・種間交雑における堅果の平均直径と平均苗高の相関
Correlation between mean diameter of nut and mean height of 1-year-old
seedlings in intra-and interspecific crosses

2. 交配苗木の生育

(1) 材料と方法

1987年に行った種内交配および種間交雑で得られた苗木は、1990年春、北海道林木育種場内に植栽された。試験地は3ブロックを設けたが、苗木本数が不揃いのため、各ブロック内にさらに2~14の反復区を設け1プロットあたり各々5本を基準にわりつけ植栽した。なかには苗木本数が不足した組合せもあり、1本のもも生じた。生育調査は発芽当年の苗高と、まきつけ後3成長期間終了後の9月上旬に各交配家系の苗高を測定した。

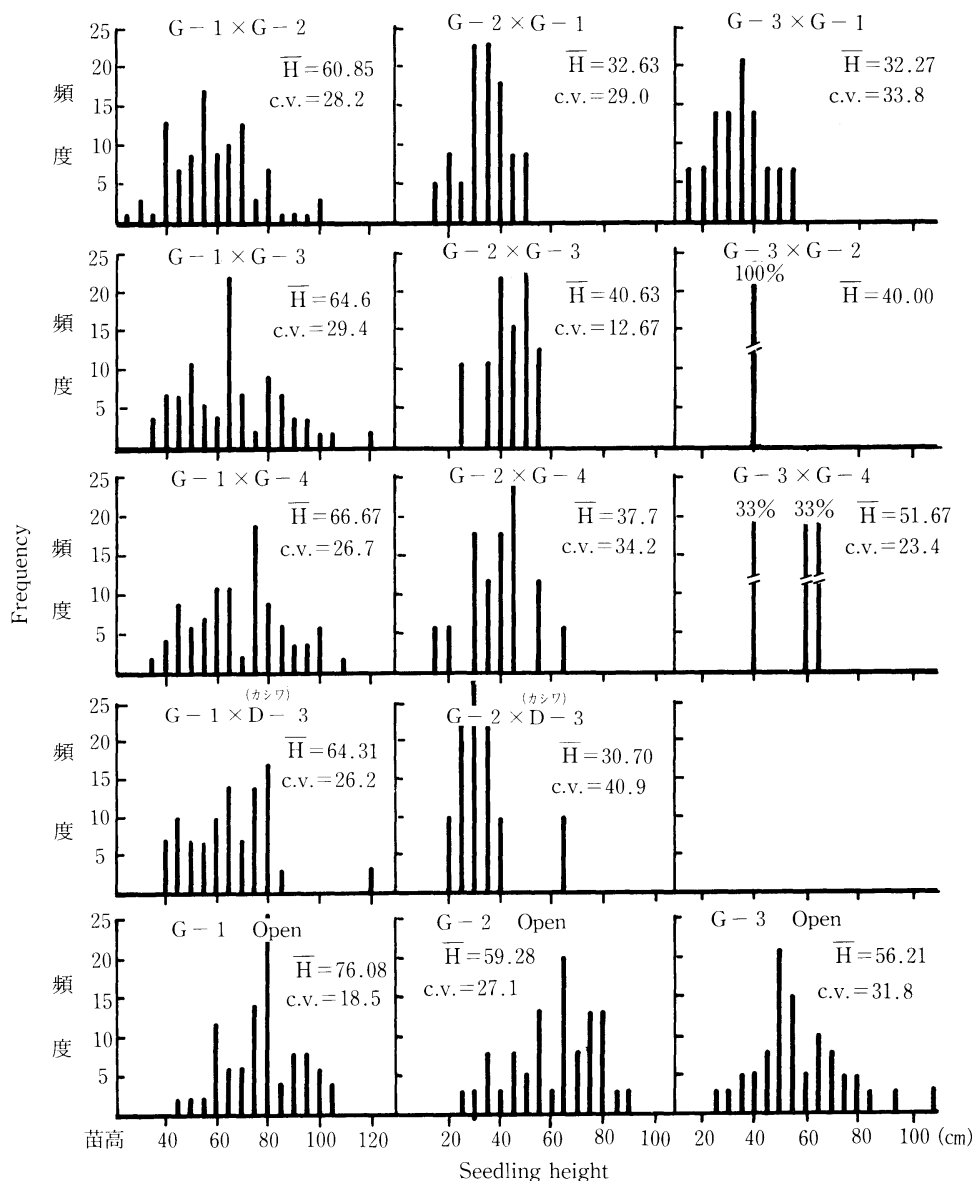


Fig.2 ナラ類の種内・種間交雑における苗木の苗高 (3年生)

Height of 3-year-old seedlings in intra-and interspecific crosses

(2) 結果

発芽当年の苗木の高さは、直径の大きな堅果ほど苗高も高い傾向を示し、発芽当年生の苗高と堅果の直径には5%水準で有意な相関 ($r=0.544$) が認められた (Fig.1)。

また、各組合世家系ごとの3年目の苗高をFig.2に示す。種内他家受粉の苗高は雌性親に起因する効果が極めて大きく、G-1の雌性親で約61~67cm、平均64cmと最も高い値を示した。G-2の雌性親では33~41cm、平均37cm、G-3の雌性親で33~52cm、平均42cmであった。また、G-1とG-2の正逆組合せでは、それぞれ61cmおよび33cmであり、また、G-1とG-3の正逆組合せでも、それぞれ65cm、33cmとなり、いずれも大きな苗高差が生じた。

ミズナラ種内交配の3年生苗高の分散分析において各ブロックの本数が不揃いであることと、ブロック内に欠測値が生じたため、ブロックの平均値を補足して計算を行った。その結果、家系間に1%水準で著しい有意差が認められた (Table 14)。また、各家系について家系平均値を用い相互間の有意性を判定するため、G-1家系を比較の基準として最小有意差 (LSD) による方法で家系相互間の有意差を検討すると、G-1を雌性親とする家系内では有意差は認められなかったが、G-1を雌性親とする家系と、G-2、G-3を雌性親とする家系の間には5%および1%水準の有意差が検出された。 (Table 15)。

種間交雑のミズナラ×カシワにおいては、G-1×D-3で、64cmであり、G-2×D-3では31cmと低く、種間交雑においても苗高は雌性親側の影響が極めて大きかった。

Table 14. 1987年に行ったミズナラの種内交配家系における3年生苗高の分散分析
Analysis of variance of the height growth of interspecific families of *Q.mongolica* var. *grosseserrata* crossed in 1987

Factors	df	S.S.	M.S.	F
Block	2	75.5873	37.7937	2.11 ^{NS}
Families	8	4439.5552	554.9444	30.96**
Error	5	268.8327	17.9222	
Total	25	4783.9752		

* * Significant at 1% level

Table 15. 1987年に行ったミズナラの種内交配家系3年生苗高の最小有意差による家系間差
Difference of family means of the height growth of the 3-year-old intraspecific seedlings of *Q.mongolica* var. *grosseserrata* crossed in 1987

No.	家 系 Family	苗 高 平均値 Average height	1 G 1 × G 2 60.85	2 G 1 × G 3 64.65	3 G 1 × G 4 66.67
1	G 1 × G 2	60.85	—	3.80	5.82
2	G 3	64.65	3.80	—	2.02
3	G 4	66.67	5.82	2.02	—
4	G 2 × G 1	32.63	28.22**	32.02**	34.04**
5	G 3	40.63	20.22**	24.02**	26.04**
6	G 4	37.72	23.13**	26.93**	28.95**
7	G 3 × G 1	33.27	27.58**	31.38**	33.40**
8	G 2	40.00	20.85**	24.65**	26.67**
9	G 4	51.67	9.18*	12.98**	15.00**

* Significant at 5% level

* * Significant at 1% level

V アイソザイムの遺伝様式

林木の遺伝的変異や遺伝様式を知る一つの手段としてアイソザイム分析手法が活用されるようになってきた。しかし、ナラ類についての報告は極めて少なく、これまでナラ類の遺伝変異の報告については、*Q. rubra* およびミズナラにおいて葉を用いたザイモグラムから地域変異や個体変異を解析した報告^{3,6,7)}がみられるが、いずれも酵素種がパーオキシダーゼ (POD) に限られている。また、POD以外の酵素種では、コナラ、クスギの内樹皮を用いたアルコール脱水素酵素 (ADH)、ロイシニアミノペプチダーゼ (Lap) の酵素種で遺伝分析の可能性を報じた例のみである¹⁵⁾。

本報告ではミズナラ人工交配家系を材料にして4酵素種のアイソザイムの遺伝様式を検討した。

(1) 材料と方法

アイソザイム分析には、1987年に交配し、育成したミズナラ種内交配およびミズナラ×カシワの交雑苗3年生の葉を材料にして、1990年6月中旬から7月下旬の期間に、葉を採取し泳動実験に用いた。その結果、6月中旬から7月上旬までに採取した葉で活性の高い安定したバンドが得られたが、7月中旬以降の葉では活性が低く、分析には至らなかった。試料採取時期について津村らは¹⁵⁾、葉組織はフェノール性の物質、タンニン等が多いため、アイソザイムの検出は難しいことを論じている。また、白石は¹²⁾広葉樹の葉を分析対象とする場合は、樹種、抽出酵素によって採取時期が異なるのでザイモグラムの季節変化等を調べておく必要があることを指摘している。このことは本実験においても同様であったので、以下のアイソザイム検出には6月中旬から7月上旬の時期に限定した葉を用いた。

泳動用試料として葉 (100mg) に、ポリクラールAT (70mg) と抽出緩衝液 (1.3ml) を加え、ホモゲナイズし、冷却遠心分離後、その上澄み液 (7 μ l) を用い、ポリアクリルアミドゲル垂直平板電気泳動法により4℃で、12mA/cm²に設定して泳動した。酵素種の染色は、白石の方法^{12,13)}によった。

本実験では、シキミ酸脱水素酵素 (ShDH)、グルタミン酸脱水素酵素 (GDH)、パーオキシダーゼ (POD)、アスパラギン酸アミノ転移酵素 (GOT)、非特異性エステラーゼ (Est)、酸性フォスファターゼ (Acp) およびロイシニアミノペプチダーゼ (Lap) の7酵素種について泳動を行った。しかし、その中でShDH、PODおよびLapは、それぞれに特異的なバンドパターンが検出されるものの、バンドの出現が不明瞭であるため解析は行わなかった。したがって、GDH、GOT、EstおよびAcpの4酵素種で遺伝分析を行った。以下各酵素種について、その分析結果を述べる。

(2) 結果

1) グルタミン酸脱水素酵素 (GDH)

GDHでは分析に用いたどの交配家系においても変異が認められず、明瞭なバンド1本のみ観察され、単型的なGDH遺伝子座 (Rf14) の存在が推定された (Fig.3)。しかし、これは、それぞれ交配母樹4個体からの



Fig.3 GDHアイソザイムのバンドパターンとその遺伝子型

Banding patterns of GDH isozyme and their genotype

分析結果であり (Table 16)、対立遺伝子が全く無いとは言いきれない。生方ら¹⁶⁾は、クリ (*Castanea crenata*)

10個体の内樹皮アイソザイム分析において個体間に差はなく、1本のみのバンドを観察しており、本実験結果においても供試した組織および樹種も異なるが同様の結果であった。

2) アスパラギン酸アミノ転移酵素 (GOT)

GOTでは2つのゾーンが観察され、移動度の大きいゾーンではバンドの出現が不明瞭であるため解析は行わなかった。移動度の小さいゾーン (Rf27~32) では3本のバンドが観察でき (Fig.4), 3タイプの遺伝子型として *aa*, *ab*, *bb* の存在が認められた。これらはいずれも 1 : 2 : 1 の期待分離比に適合して分離することから (Table 16), このゾーンは2対立遺伝子を持つ *GOT* 遺伝子座に支配されていることが推定され、雑種バンドが出現することからダイマー型の遺伝様式と確認された。



Fig.4 GOTアイソザイムのバンドパターンとその遺伝子型

Banding patterns of GOT isozyme and their genotypes

3) 非特異性エステラーゼ (Est)

Estでは変異がある3つのゾーンが検出できた。移動度の小さいゾーン *Est-1* (Rf53~57) では2本のバンドが出現した。カシワとの交雑では、*Est-1*は非常に明瞭なバンドが検出でき、分離が認められた。しかし、ミズナラの種内交雑では不明瞭であった。また、移動度が中間のゾーンに出現する *Est-2* (Rf64~66) では2本のバンドが観察された。これらの分離は、いずれも期待分離比に適合した。*Est-3* (Rf68~71) でも2本のバンドが観察され、期待分離比に適合して分離した (Table 16, Fig.5)。これらの結果からEstの3つのゾーンでは、それぞれ2つの対立遺伝子からなる3つの遺伝子座 *Est-1*, *Est-2*, *Est-3* によって支配されていることが推定された。

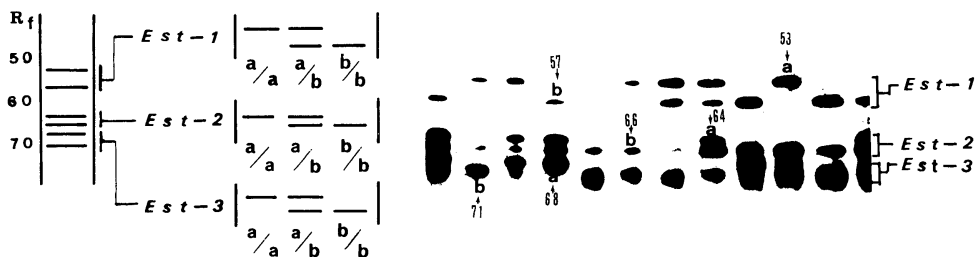


Fig.5 Estアイソザイムのバンドパターンとその遺伝子型

Banding patterns of Est isozyme and their genotypes

4) 酸性フォスファターゼ (Acp)

Acpではゲル上に活性のあるいくつかのゾーンが観察されたが、明瞭なバンドが分離し変異のあるゾーンとして Rf64~73 の間に *Acp* 遺伝子座を検出した。そこでは3本のバンドが期待分離比に適合して出現した。このことから3つの対立遺伝子からなる *Acp* 遺伝子座と確定され、モノマー型の遺伝様式であった (Table 16, Fig.6)。

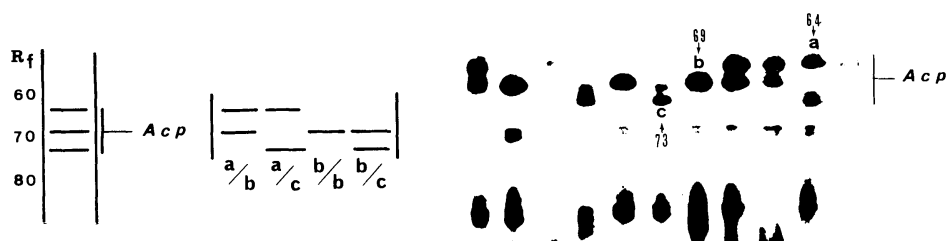


Fig.6 Acpアイソザイムのバンドパターンとその遺伝子型

Banding patterns of Acp isozyme and their genotypes

Table 16. ミズナラ交配苗における葉のアイソザイムの分離
Segregation of isozyme genotypes in leaves of crossed oaks families

Locus	Combination	Parental genotypes	Segregation						χ^2	P	
			aa	ab	ac	bb	bc	cc			
ミズナラ×ミズナラ (<i>Q.mongolica</i> var. <i>grosseserrata</i> × <i>Q.mongolica</i> var. <i>grosseserrata</i>)											
GDH	G-1×G-2	aa×aa	18	—	—	—	—	—	—	—	
	G-1×G-3	aa×aa	18	—	—	—	—	—	—	—	
	G-1×G-4	aa×aa	18	—	—	—	—	—	—	—	
	G-2×G-4	aa×aa	18	—	—	—	—	—	—	—	
GOT	G-1×G-2	ab×ab	4	18	—	4	—	—	0.22	0.90-0.80	
	G-1×G-4	ab×ab	5	11	—	3	—	—	0.89	0.80-0.50	
	G-2×G-1	ab×ab	5	8	—	4	—	—	0.18	0.90-0.80	
EST-2	G-1×G-3	ab×bb	—	11	—	7	—	—	0.89	0.50-0.30	
	G-1×G-4	ab×bb	—	8	—	10	—	—	0.22	0.90-0.80	
	G-2×G-1	bb×ab	—	11	—	7	—	—	0.89	0.50-0.30	
	G-2×G-3	bb×bb	—	—	—	7	—	—	—	—	
	G-2×G-3	bb×bb	—	—	—	18	—	—	—	—	
	G-2×G-4	bb×ab	—	7	—	7	—	—	—	—	
EST-3	G-1×G-3	ab×ab	2	13	—	3	—	—	3.67	0.20-0.10	
	G-1×G-4	ab×ab	4	7	—	6	—	—	0.99	0.80-0.50	
	G-2×G-1	bb×ab	—	12	—	6	—	—	2.00	0.20-0.10	
	G-2×G-3	bb×ab	—	7	—	4	—	—	0.82	0.50-0.30	
	G-2×G-4	bb×ab	—	12	—	6	—	—	2.00	0.20-0.10	
	G-3×G-1	ab×ab	2	13	—	3	—	—	3.67	0.20-0.10	
ACP	G-1×G-2	bc×ab	—	4	5	5	3	—	0.65	0.90-0.80	
	G-1×G-3	bc×bb	—	—	—	11	7	—	0.89	0.50-0.30	
	G-1×G-4	bc×bb	—	—	—	10	10	—	—	—	
	G-2×G-1	ab×bc	—	5	2	6	5	—	2.00	0.80-0.50	
	G-2×G-4	ab×bb	—	21	—	13	—	—	1.88	0.20-0.10	
ミズナラ×カシワ (<i>Q.mongolica</i> var. <i>grosseserrata</i> × <i>Q.dentata</i>)											
GDH	G-1×D-3	aa×aa	18	—	—	—	—	—	—	—	
	G-2×D-3	aa×aa	10	—	—	—	—	—	—	—	
GOT	G-1×D-3	ab×ab	6	9	—	3	—	—	1.00	0.80-0.50	
EST-1	G-1×D-3	ab×ab	4	6	—	9	—	—	5.20	0.10-0.05	
	G-2×D-3	bb×ab	8	2	—	—	—	—	2.93	0.10-0.05	
EST-2	G-1×D-3	ab×bb	—	8	—	10	—	—	2.00	0.20-0.10	
EST-3	G-1×D-3	ab×ab	4	7	—	7	—	—	1.89	0.50-0.30	
	G-2×D-3	bb×ab	3	5	—	2	—	—	0.20	0.95-0.90	
ACP	G-1×D-3	ba×ab	—	3	3	3	9	—	6.00	0.20-0.10	
	G-2×D-3	ab×ab	2	5	—	3	—	—	0.20	0.95-0.90	

VI 考 察

1. ナラ類の交雑親和性

交雑による堅果生産量は、どの個体を雌性親あるいは花粉親にするかで大きな差が生じる。また、ナラ類のように豊凶性に左右される樹種においては、交雑親和性を的確に把握するには、多くの個体を用い、長期にわたる観察結果によって判断しなければならない。

ナラ類の種内交配および種間交雑について以下にまとめるとTable 17, 18に示すとおりである。

ミズナラ種内交配では、豊作年（1987）での成熟堅果の結果率は、平均約35%であり、交雑によって堅果生産が可能である。しかし、凶作年（1989）では僅か4%と著しく低下する。

ミズナラ×コナラでは、結果率は極めて低く、1%程度であった。

ミズナラ×カシワの結果率は、豊作年で約17%、凶作年では2%にも満たないが、雌性親や花粉親に交雑親和性の高い個体を選出することによって量的な生産も可能であると推定される。

コナラの種内交配においては、1988, 1989年ともに並作年であったが、両年の結果率はそれぞれ8%と22%であった。これは、雌性親や花粉親が異なることによって堅果生産量に差が生じるものと推測される。

コナラ×ミズナラでは、1988, 1989年の結果率は、それぞれ平均約9%と6%である。したがって、堅果生産量については、ミズナラ×コナラと比較すると極めて高いことが伺われる。

コナラ×カシワにおいて、1988年では1家系のみに23%の結果率を示したが、1989年では全ての交配家系で堅果の生産がされなかった。これは、交配年の違いよりも雌性親や花粉親の違いで著しく異なるものと推定される。

2. ミズナラの着花性と結実性

ミズナラの結実は豊凶によって大きく左右される。佐々木¹¹⁾の観察では14年間に4回の豊作年が記録されているが、一定の周期性はみられない。

実験に供試したミズナラにおいては、一般に毎年一定量の雌雄花芽の着生が認められるが、凶作年には、堅果の成熟過程で、未成熟での落下量が非常に多いことが観察された。堅果の豊凶は、その落下量によって大きく左右されるものと推定される。1989年の人工交配において自家受粉と種内他家受粉の堅果の形成とその落下経過について調べるとFig. 7に示すとおりで、自家受粉では8月上旬で61%減少し、8月下旬では全て落下した。種内家系では8月下旬で48~74%落下し、10月上旬の堅果採取時までには93~98%落下したことになる。成熟した堅果は僅か2~7%であった。したがって、凶作年は雌雄花芽の着生が多く見られても成熟堅果の生産性は極めて低くなり、このことは生理的落下が要因の一つであるものと推定された。

橋詰²⁾は、コナラ林分の調査において豊凶周期は内生的なリズムの外に気象条件に大きく影響されることを論じ、一方、今田⁵⁾はミズナラ林分の調査から気象条件よりもミズナラ固有の結実豊凶性にもとづくものであることを報じている。これらの結実豊凶性については、多くの個体を用い長期にわたる観察結果によって判断しなければならない。

3. アイソザイム試料（葉）の採取時期

開葉し、早い時期（6月中旬~7月上旬）のアイソザイムパターンは活性が高く、明瞭なバンドを得ることができ、葉の採取時期が遅くなるにつれてバンドパターンに変化がみられ、活性が低く不安定となり、解析が困難となることから、ナラ類の葉を試料に用いる場合は、早い時期に採取することが望ましい。一般

Table 17. ミズナラの種内・種間交雑の年度別結果率
Nuts yield percentage on intra-and interspecific crosses of
Q. mongolica var. *grosseserrata* in each year

Crossed in 1987				
雌性親 Female	花粉親 Male	ミズナラ <i>Q. mongolica</i> var. <i>grosseserrata</i>	コナラ <i>Q. serrata</i>	カシワ <i>Q. dentata</i>
ミズナラ <i>Q. mongolica</i> var. <i>grosseserrata</i>	G-1	総雌花数 ¹⁾	571	82
		成熟堅果数 ²⁾	244	0
		結果率(%) ³⁾	42.7	0
	G-2	総雌花数	326	75
		成熟堅果数	90	1
		結果率(%)	27.6	1.3
	G-3	総雌花数	176	19
		成熟堅果数	45	0
		結果率(%)	25.6	0
	Total		1073	176
	Mean		379	1
			35.3	0.6

Crossed in 1989					
	雌性親 Female	花粉親 Male	ミズナラ <i>Q. mongolica</i> .var. <i>grosseserrata</i>	コナラ <i>Q. serrata</i>	カシワ <i>Q. dentata</i>
ミズナラ <i>Q. mongolica</i> var. <i>grosseserrata</i>	G-1	総雌花数 ¹⁾	776	293	364
		成熟堅果数 ²⁾	31	0	7
		結果率(%) ³⁾	4.0	0	1.9
	G-2	総雌花数	341	174	170
		成熟堅果数	9	0	6
		結果率(%)	2.6	0	3.5
	G-5	総雌花数	229	102	132
		成熟堅果数	5	6	0
		結果率(%)	2.2	5.9	0
	G-6	総雌花数	184	46	86
		成熟堅果数	5	0	0
		結果率(%)	2.7	0	0
	G-8	総雌花数	142	74	119
		成熟堅果数	13	3	0
		結果率(%)	9.2	4.1	0
		1672	689	871	
	Total	63	9	13	
	Mean	3.8	1.3	1.5	

1) : Number of total female flowers tested

2) : Number of nuts collected

3) : Nuts yield percentage

Table 18. コナラの種内・種間交雑の年度別結果率
Nuts yield percentage on intra-and interspecific
crosses of *Q.serrata* in each year

Crossed in 1988					
	雌性親 Female	花粉親 Male	コ ナ ラ <i>Q.serrata</i>	ミ ズ ナ ラ <i>Q.mongolica</i> .var. <i>grosseserrata</i>	カ シ ワ <i>Q.dentata</i>
コ ナ ラ <i>Q.serrata</i>	S-1	総 雌 花 数 ¹⁾	25	51	68
		成熟堅果数 ²⁾	2	2	0
		結果率(%) ³⁾	8.0	3.9	0
	S-2	総 雌 花 数	65	129	137
		成熟堅果数	10	18	31
		結果率(%)	15.4	14.9	22.6
	S-3	総 雌 花 数	65	56	61
		成熟堅果数	0	0	0
		結果率(%)	0	0	0
			155	236	266
		Total	12	20	31
		Mean	7.7	8.5	11.7

Crossed in 1989					
	雌性親 Female	花粉親 Male	コ ナ ラ <i>Q.serrata</i>	ミ ズ ナ ラ <i>Q.mongolica</i> .var. <i>grosseserrata</i>	カ シ ワ <i>Q.dentata</i>
コ ナ ラ <i>Q.serrata</i>	S-1	総 雌 花 数 ¹⁾	101	55	29
		成熟堅果数 ²⁾	15	0	0
		結果率(%) ³⁾	6.7	0	0
	S-2	総 雌 花 数	256	258	77
		成熟堅果数	32	4	0
		結果率(%)	12.5	1.6	0
	S-4	総 雌 花 数	46	76	—
		成熟堅果数	18	9	—
		結果率(%)	39.1	11.8	—
			303	389	106
		Total	65	13	0
		Mean	21.5	5.9	0

1) : Number of total female flowers

2) : Number of nuts collected

3) : Nuts yield percentage

に樹木の葉は、フェノール性物質、タンニン、樹脂成分などの酵素にとっての阻害物質が多量に含まれているため、多くの酵素種が活性をもった状態で抽出することは困難とされている^{14,15,18)}。本実験において採取時期の遅い葉で明瞭な泳動像を得ることができなかったことは、これらの阻害物質のためと推定される。

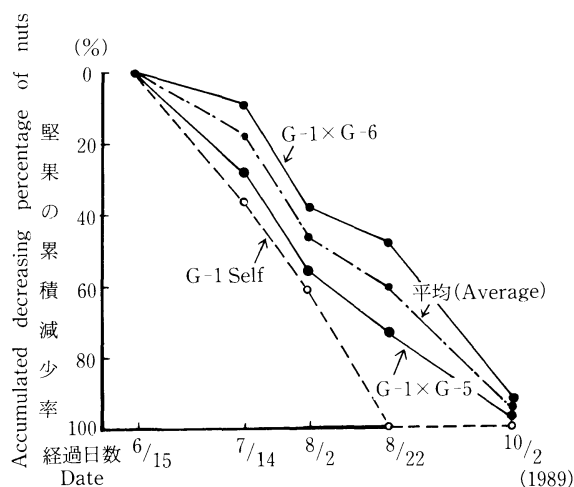


Fig.7 ミズナラ種内交配における堅果の減少経過
Decreasing process of the number of nuts in intraspecific
cross of *Q. mongolica* var. *grosseserrata*

4. アイソザイムの遺伝様式

4 酵素種についてのアイソザイム分析では、グルタミン酸脱水素酵素 (GDH) では単型的な *Gdh* 遺伝子座が観察された。アスパラギン酸アミノ転移酵素 (*GOT*) では3種類の遺伝子型の存在が認められ、2対立遺伝子からなる *Got* 遺伝子座に支配されていることが推定され、雑種バンドが出現することからダイマー型の遺伝様式と確認された。非特異性エステラーゼ (*Est*) では3つのゾーンで、それぞれ2つの対立遺伝子からなる3つの遺伝子座 (*Est-1*, *Est-2*, *Est-3*) に支配されるモノマー型の遺伝様式と推定された。酸性フォスファターゼ (*Acp*) では、変異のあるゾーンにおいて3つの対立遺伝子からなる *Acp* 遺伝子座が存在し、モノマー型の遺伝様式であることを確認した。

引 用 文 献

- 1) 深沢和三：ナラ素材および組織構造，北方林業**22**，95～101，(1970)
- 2) 橋詰隼人：クスギ採種園における種子生産，鳥大農，広葉樹研究**4**，1～18，(1987)
- 3) HOUSTON, D.B. : Stand and seed source variation in peroxidase isozymes of *Quercus rubra* L, *Silvae Gentica*, **32**, 59—63, (1983)
- 4) 今田盛生：ミズナラ用材林作業法に関する研究第2報 ミズナラの結実量 (予備調査)，九大演報**22**，75～92，(1968)
- 5) 今田盛生：ミズナラ構造成材林作業法に関する研究，九大演報**45**，114～122，(1972)
- 6) 門松昌彦：ミズナラの地域変異に関する研究，北大演報**41**，1，1～48，(1983)
- 7) KANAZAWA, Y. : Some analyses of the reproduction process of a *Quercus crispula* Blume population in Nikko. II. Analyses of spatial distribution of individuals based on differences in tree size and peroxidase isozyme bands, *Japanese Journal of Ecology*, **32**. 4, 463～471, (1982)
- 8) 北村四郎・村田 源：原色日本植物図鑑木本編Ⅱ，保育社，261pp，(1979)
- 9) 倉田 悟：原色日本林業樹木図鑑，Ⅰ，地球出版，東京，p106～111，(1971)
- 10) 宮崎安貞：北海道におけるナラ類の遺伝子浸透と自然雑種，北海道の林木育種，**31**，1，5～8，(1988)
- 11) 佐々木忠兵衛：道央自生広葉樹の着果の周期性，日林北支論，**34**，130～131，(1985)
- 12) 白石 進：アイソザイム分析法，林木の育種**142**，23～25，(1987)
- 13) 白石 進：アイソザイム分析法，林木の育種**143**，34～38，(1987)
- 14) 白石 進：スギおよびヒノキ針葉のアイソザイムパターンの季節変化，日林九支論，**33**，189～190，(1980)
- 15) 津村義彦・戸丸信弘・陶山佳久・モハammad=ナイム・大庭喜八郎：アイソザイム実験法，筑大農技演**6**，63～95，(1990)
- 16) 生方正俊・宮田増男・今井史夫：コナラ，クスギ，クリの内樹皮アイソザイムについて，100回日林論，291～292，(1989)
- 17) 上原敬二：樹木大図説，Ⅰ，有明書房，東京，p757～781，(1959)
- 18) 瓜谷郁三・大羽和子：植物起原酵素分離・精製の問題点，別冊蛋白質核酸酵素 (植物酵素・蛋白質研究法)，**76**，(2)，170～179 (1976)
- 19) 横山周一・河野耕蔵・萩行治義：試作交配袋の2・3の試験結果，日林試，**52**，382～385，(1970)

Acorn production in intra-and interspecific crosses and inheritance of isozymes in oaks

KOOZOO KOONO⁽¹⁾, Kazutosi NAGASAKA⁽²⁾, Haruki ORITA⁽³⁾,
Shigeru EIGA⁽⁴⁾ and Gon KUBOTA⁽⁵⁾

Summary

In order to study cross-compatibility within *Quercus* section *Prinus* Loudon syn. intra-and interspecific hybridizations among *Quercus mongolica* var. *grosseserrata*, *Q. serrata* and *Q. dentata* were carried out from 1987 to 1989.

There were large differences in the cross fertilities of oaks by female or pollen parent. Productivity of nuts depended strongly on the natural condition of a rich or poor harvest in the year of crossing. And there was no relation between the number of female flowers and nut set percent.

Inheritance of isozyme variants was studied using leaves of crossed seedlings by acrylamide gel electrophoresis. The following four enzyme systems were used in this study, Glutamatedehydrogenase(GDH), Glutamate oxaloacetate transaminase(GOT), Esterase(EST) and Acid phosphatase(ACP). The band activities were high in leaves collected at the early stage after leaf opening.

(1)(3)(5) Hokkaido Forest Tree Breeding Institute

(2) Hokkaido Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute

(4) Kanto Forest Tree Breeding Institute