

根粒菌と根粒植物

植村誠次 = 林業試験場研究顧問

マメ科植物の多くは根に粒状の根粒を形成し、そのなかに根粒菌(細菌)が共生して、空気中の窒素を固定して自分の養分とし、同時に土壌の地力改善(とくに土壌の窒素成分の蓄積)に大きな貢献をしていることは、ひろく知られているところである。しかし、マメ科植物以外にも、現在、百数十種にのぼる根粒植物が知られている。これらの植物の多くは、マメ科植物の根粒菌とは異種の微生物(恐らくは放線菌)と共生していることが実証され、マメ科植物と同様、地球上の窒素の循環ならびに森林生態系に大きな影響をもつことが明らかになってきた。推算によると、地球の陸地において、生物による窒素固定量は、少なくとも年間 $10^6 \times 53t$ 、そのうちマメ科植物によるもの $10^6 \times 14t$ 、非マメ科植物(主に根粒植物と葉粒植物など)により $10^6 \times 5t$ といわれている。これは、生物による窒素固定量の約 $2/5$ を占めており、また年間 $10^6 \times 30t$ とされている工業的窒素固定量に比べてほぼその $2/3$ 以上に該当するものである。

マメ科植物の根粒

マメ科植物は世界各地に分布しており、とくに熱帯、亜熱帯に多数の種類がみられている。現在450余属、13,000種ほど知られているが、これまでに約2,000種について根粒の調査が行なわれ、その結果、マメ科に属する植物のうちにも、本来根粒を形成しない種類が約10%あることが認められた。

マメ科植物の根粒内には、いずれもリゾビウム属の細菌(根粒菌)が共生して窒素固定を営んでいるが、いくつかの種類に分けられている。現在実用的見地からは、交互接種群による分類方法が用いられている。交互接種群とは、その群にふくまれる植物は、相互に根粒菌を交換しても根粒の形成が見られる植物群を指すものであって、現在20数種以上の群が知られている。その主なものは表1のようである。

普通、根粒菌は土壌中に広く分布しているが、多くの場合、種子が土中で発芽すると、早いものでは初葉ができるころ、肉眼で根粒の形成が見られる。菌は普通根毛から侵入し、感染糸をつくって内層部に侵入してから根の肥大生長、すなわち根粒の形成を開始する。根粒の寿命は多くは1年以内であって、開花時期までは生長がみられるが、結実するころから根粒の内容物は寄主植物に吸収され、次第に空洞になって崩壊し、同時に根粒内の根粒菌は土中に放出される。なお多年生のマメ科植物の中には、1年以上生き延びるものもみられる。

根粒菌の形態は、土壌中では鞭毛のある小型の球菌であるが、共生する時は大型となり、根粒内で種々な形態の変化を示す。根粒が完成すると桿状であった根粒菌は不規則な形態のバクテロイドとなり、同時に根粒組織中にレグヘモグロビンという赤色の色素がみられるようになり、この二つの特異な存在物が、共生窒素固定と深

い関連があるものとされている(図1)。

マメ科植物と根粒菌の共生関係は、根粒菌は寄主植物から炭水化物や他の栄養となる非窒素含有化合物をもらい、寄主植物に対しては、窒素化合物のほかホルモンなどを供給して、相互に利益を交換しているわけである。

根粒内における共生窒素固定の機構については、まだ完全に解明されていないが、恐らくモリブデンと鉄を活性の中心とする酵素ナイトロゲナーゼの触媒作用によって、空気中の窒素が固定されてアミノ酸化合物を形成するものと考えられている。その過程の中間生成物として、オキシム説とヒドラジン説がみられたが、最近では単独窒素固定菌(アゾトバクターやクロストリディウム菌)および共生窒素固定菌の場合を問わずアンモニア説が有力視されている。

土壌中に自然に分布している根粒菌には、共生窒素固定能力の大きい有効菌と、殆んど窒素固定能力のない寄生的な無効菌まで、各種の系統がみられる。したがってマメ科植物、とくにマメ科作物を栽培するさいには、無効菌が先に寄主植物の根に侵入しない前に、人工培養した有効根粒菌を種子に接種して有効根粒を形成させる人工接種が行なわれ、作物の収穫量(生長)の増加と品質の向上に大きな効果をもたらしている。とくにこれまで同一交互接種群のマメ科作物を栽培していない場所や、土壌条件が悪くて根粒菌の分布が不足している場所(せき悪地、

表1 - 交互接種群

群	交互接種群	細菌名	包含されるおもな植物名
第1群	アルファルファ類	<i>Rhizobium meliloti</i>	アルファルファ・スイートクローバー・コムツウマゴヤシ・黄花スイートクローバー
第2群	クローバー類	<i>R. trifolii</i>	赤ツメクサ・白ツメクサ・アルサイクローバー・クリムソンクローバー
第3群	ピー類	<i>R. leguminosarum</i>	エンドウ・ソラマメ・レンリソウ・コンモンベッチ、ニオイエンドウ
第4群	ピーン類	<i>R. phaseoli</i>	ガーデンピーン・インゲン類
第5群	ルーピン類	<i>R. lupini</i>	黄花ルーピン・ハウチワマメ・セラデラ・白ルーピン
第6群	ダイズ類	<i>R. japonicum</i>	ダイズ・大葉ツルマメ
第7群	カウピー類	<i>Rhizobium sp.</i>	カウピー・ナタマメ・ラッカセイ・クズ・アズキ・ハギ・エニシダ・ネムノキ・アカシア類・ヤハズソウ
第8群	ロタス属		ミヤコグサ
第9群	ダレア属		ダレア
第10群	イガマメ属		イガマメ
第11群	<i>Strophostyles</i> 属	<i>Strophostyles helvola</i>	
第12群	ニセアカシア属		ニセアカシア・青島トゲナシニセアカシア・英国トゲナシニセアカシア
第13群	<i>Amphicarpa</i> 属	<i>Amphicarpa monica</i>	
第14群	クロバナエンジュ属		イタチハギ類
第15群	タチレンゲソウ属		タチレンゲソウ・オウゴンハギ
第16群	ムレスズメ属		ムレスズメ類

●注 以上はFred, BaldwinおよびMc Coy(1932)による分類であるが、その後種々追加されて20数種の群に達しており、わが国のレンゲソウも独立した群として取扱われている

表2 - 非マメ科根粒植物が属する科、属

型	科名	属名	主なる分布地域	備考
ハンノキ型 根粒植物	モクマオウ科 <i>Casuarinaceae</i>	モクマオウ属 <i>Casuarina</i>	濠州、熱帯アジア、太平洋諸島	モクマオウ類
	ヤマモモ科 <i>Myricaceae</i>	ヤマモモ属 <i>Myrica</i>	熱帯、亜熱帯、温帯地方	ヤマモモ、ヤチヤナギ
マキ型 根粒植物	カバノキ科 <i>Betulaceae</i>	ハンノキ属 <i>Alnus</i>	欧州、シベリア、北アメリカ、アンデス、日本	ハンノキ、ヤマハンノキ、ヤシヤブシ
	グミ科 <i>Elaeagnaceae</i>	グミ属 <i>Elaeagnus</i>	アジア、欧州、北アメリカ	アキグミ、ナワシログミ
	クロウメモドキ科 <i>Rhamnaceae</i>	<i>Hippophae</i> 属	アジア、欧州	外国産
		<i>Shepherdia</i> 属	北アメリカ	外国産
	クワメドモドキ科	<i>Ceanothus</i> 属	北アメリカ	外国産
	Rhmannaceae	<i>Colletia</i> 属	北アメリカ	<i>C. cruciata</i>
		<i>Discaria</i> 属	南アメリカ、ニュージーランド、濠州	<i>C. cruciata</i>
	ドクウツギ科 <i>Coriariaceae</i>	ドクウツギ属 <i>Coriaria</i>	地中海地域、チリ、日本、ニュージーランド	ドクウツギ
	バラ科 <i>Rosaceae</i>	チョウノスケソウ属 <i>Dryas</i> 属 <i>Purshia</i> 属 <i>Cercocarpus</i> 属 <i>Rubus</i> 属	北極圏、北半球温帯山岳部 北アメリカ 北アメリカ 東南アジア	<i>D. drummondii</i> 外国産 外国産 外国産 <i>R. ellipticus</i> 外国産
	ツツジ科 <i>Ericaceae</i>	<i>Arctostaphylos</i> 属	北、西部および中央アメリカ、欧州、アジア	外国産
ソテツ型 根粒植物	ソテツ科 <i>Cycadaceae</i>	ソテツ(<i>Cycas</i>)属 その他8属	アジア、アフリカ、亜熱帯、北濠	本邦産ソテツのみ 他は外国産
マキ型 根粒植物	マキ科 <i>Podocarpaceae</i>	マキ(<i>Podocarpus</i>)属その他3属	南米、アフリカ、南洋群島、ニュージーランド	本邦産はイヌマキ、ナギの2樹種
コウヤマキ科 <i>Sciadopitaceae</i>	コウヤマキ属	日本	コウヤマキ	

秃しゃ地、崩壊地、鉱毒汚染地、砂漠)での接種効果は、マメ科農作物のみならず樹木にとっても著しいことが知られている。

元来、マメ科植物の根粒の形成は、比較的好気的条件下が必要であって、野外においては地表10~15cmの間に多くみられるが、堅密な粘土質土壌や湛水地では殆んどみられない。また窒素肥料を多量に施すと、根粒の形成と窒素固定能力を著しく低下させるが、逆にリン酸肥料は著しく促進する効果がみられる。リン酸成分の欠除は、たとえ他の条件が適当であっても根粒の形成はみられない。またこの他、微量元素のうち、硼素(B)は根粒の組織およびバクテロイドの形成に、モリブデン(Mo)は窒素固定に必須の元素とされている。なおこのような傾向は非マメ科根粒植物でも認められている。

非マメ科植物の根粒

マメ科植物以外の植物で根粒の形成が報告されているものは、表2のような科、属に属している植物の中にみられている。これらの根粒は一応、ハンノキ型、ソテツ型、マキ型およびハマビシ型の4つの型に大別されるが、ハマビシ型に属するハマビシ科およびアカネ科の根粒については報告例も少なく、根粒の範ちゅうに入れることについても異論がみられるので、ここでは除外することにした。

(1)ハンノキ型の根粒

この型に属する根粒植物は、現在、表2にしめ

すように世界で8科14属、総計158の種あるいは変種が知られている。わが国ではハンノキ属16、グミ属13、ヤマモモ属3、ドクウツギ属1、計33のものについて根粒の形成が報告されている。なお表2に記載されているバラ科のチョウノスケソウ属のうち、わが国の高山植物に属するチョウノスケソウには根粒の形成はみられていない。

この型の根粒は、いずれもほぼ類似した形態をしめしており、側根が伸長をやめて膨大したもので、根そのものの構成組織をもっている点で、マメ科植物の根粒とは内部構造が著しく異なっている。いずれも多年生根粒で、古いものは叉状分岐が密集したサンゴ状の球形をしており、ハンノキ、グミでは直径10cm以上のものがみられる。なおモクマオウ、ヤマモモ属の根粒には、他の属のものとは異なり、多くの場合根粒の先端部に本来の形態をした背地性の根粒細根の形成がみられ、これは根の呼吸作用と関連があるものと推定されている。これらの根粒の内生菌は、根粒の肥厚した皮層部柔細胞に分布しているが、その本体については、これまで細菌、糸状菌、放線菌、粘菌説などいろいろ異説が主張されているが、いずれについてもまだ異論のない根粒形成菌の分離に成功していない。しかし最近の詳細な電子顕微鏡による観察結果や、根粒から圧倒的に放線菌の分離に成功している例がしばしば見られることなどから、根粒内生

菌の本体は放線菌とする説が有力である。なおハンノキ、ヤマモモ、モクマオウ属などの根粒内には、内生菌系のほかに、内生菌の菌系より生じたと思われる特異な形態物として胞状体とバクテロイドの存在が報告されており、前者は共生窒素固定機構に、後者は根粒の形成に密接な関連があるものとみなされている。

ハンノキ型に属する代表的な根粒(ハンノキ、ヤマモモ、グミ、モクマオウ、ドクウツギ、Ceanothus, Cercocarpusなど)は、最近の無窒素培養や¹⁵Nを用いた、またはアセチレン還元方法による基礎実験の結果では、マメ科根粒と同じように、共生窒素固定を行なうことが多数の研究者によって明らかにされている。その中には、マメ科作物に劣らない窒素固定能力をもつ例も少なからず報告されている。

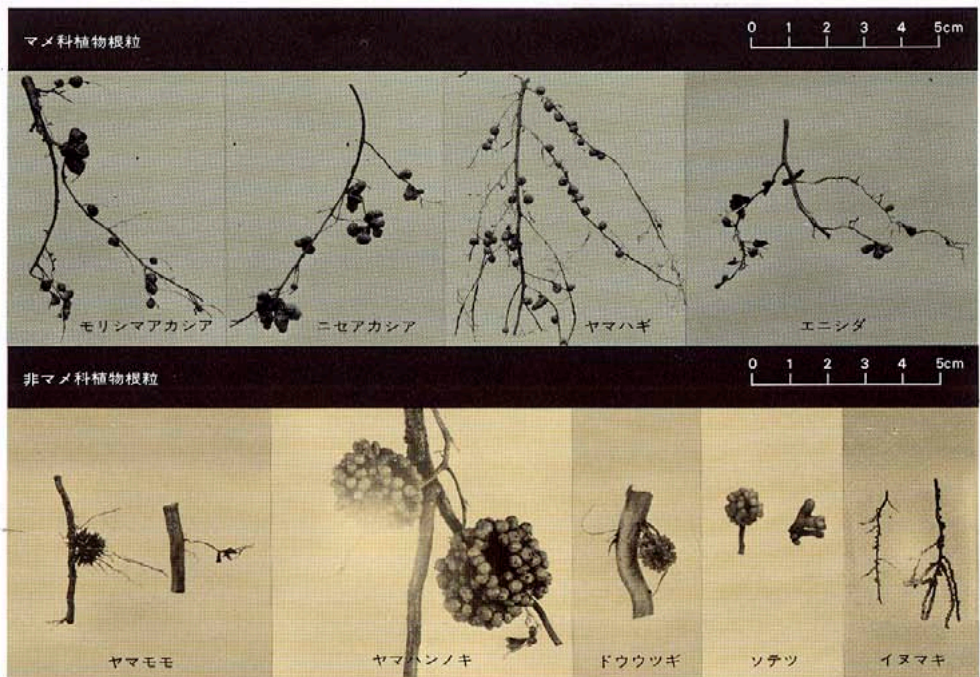
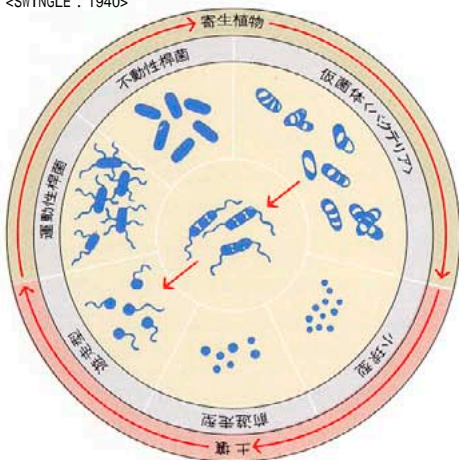
ハンノキ型の根粒についての研究は、マメ科根粒に比べると大変遅れており、かつ調査が進むにつれて新しく追加されたものもあり、また根粒内生菌の本体も解決されていない現状で、その共生窒素固定機構の解明も含めて、極めて興味深い課題を提供している。

(2)ソテツ型の根粒

ソテツ科の植物は、9属約90種が知られ、これまでにその約1/3に根粒の着生が報告されている。ソテツの根粒は地表あるいはその近くに形成され、多年生で叉状分岐をしており、古いものはサンゴ状体をしていて、直径10cm以上に達す

図1 - 根粒菌の生活史における菌の各種形態

<SWINGLE, 1940>



るものもある。外部形態は、ハンノキ、グミなどの根粒にやや類似しているが、内生菌を含んだ内皮細胞は著しく発達し、これに反して維管束の発達は不良である。ソテツの内生菌として最初に注目されたのは、内皮細胞中にみられる藍藻類であって、これは、根粒の断面が緑色をしているので肉眼的にも認められる。この他数種の細菌類の存在も主張されているが、根粒形成菌の実体は明らかでない。しかし最近では、ソテツの根粒は、イヌマキの根粒と同様、微生物と関係のない本来の性質であって、藍藻類などの内生菌は2次的に侵入したものと推定されている。

これらの根粒が共生窒素固定を行なうかについては、最近 Ceratozamia, Encephalartos, Macrozamia 属の根粒を対象とした ^{15}N テストの報告があるが、強力な窒素固定がみられている。また根粒から分離された藍藻類および細菌類の中に、単独で窒素固定するものがみられている。

(3) マキ型の根粒

マキ科(4属約60種、わが国ではイヌマキ、ナギが分布している)、コウヤマキ科あるいはこれに類縁の植物(Agathis, Araucaria属など)の根には、直径1~2mmの球状の根粒が多数着生しており、とくにマキ属の根粒は、古くから内外で非マメ科根粒の一つとして注目されてきた。これらの根粒は側根の変形したもので、中央維管束の発達は比較的不良であって、内生菌は内皮細胞中に分布している。普通1年生の根粒であるが、まれに2年生のものも認められる。内生菌の本体としては、糸状菌説、細菌説などが主張されてきたが、最近の電子顕微鏡による調査結果では糸状菌説(菌根説)が有力である。しかし他方では、根粒から主に放線菌を分離することに成功している例もあり、根粒菌の実体はまだ不明である。最近多くの研究者によれば、無接種の無菌養成苗にも根粒の形成をみており、根粒形成はソテツ型の根粒と同様、そのもの本来の性質であって、内生菌は2次的に侵入したものとする説が有力である。また、根粒は一種の保水器管の機能を兼ねるとする人もいる。マキ属の根粒が共生窒素固定を行なうものであるか否かについては、最近 ^{15}N を用いた2~3の実験が報告されており、その中には僅かな量ではあるが、窒素の固定が認められた例もみられている。

根粒植物と土壤生態系におけるチッ素の集積マメ科、非マメ科根粒植物は、やせ地、禿山、砂地、ときには湿地などの環境条件の悪い地域において、植生の先住木(先駆樹種)としての性質をもっているが、それと同時に土壤に窒素を蓄積する能力をもっているため、植物生態学上重要な役割をになっている。特に林業分野では、ニセアカシア、アカシア類、ハギ、イタチハギ、ネムノキ、エニシダなどのマメ科樹木、ハンノキ、ヤシャブシ、ヤマモモ、グミ、モクマオウなどの非マメ科根粒植物は、肥料木という名称で、やせ地や砂防地の造林木あるいは混植樹として利用され、大きな成果をあげている。

これらの根粒植物の野外あるいは林地における1ha当たりの年間窒素固定量の調査結果の数例を見ると、自然植生におけるマメ科樹木では、平均して50~150kgの間とされており、またマメ科樹木のタンニンアカシアは、30年生の林で毎年200kgを固定する例がアフリカのナタール地方で報告されている。非マメ科根粒樹木では、ハンノキ属についての調査が多く、アラスカの石礫の不毛地で、ハンノキ(*A. crispa*)とチョウノスケソウを主体とした林では、毎年62kg/haの窒素の蓄積がみられ、土地が肥沃になると針葉樹が優生樹種となること。また、同様な現象が欧州のアルプスの氷河跡地においても報告されている。オランダのグルチノザハンノキを主体とした森林では、毎年60~130kg/haという報告例がある。なおアメリカのカリフォルニア湖では、湖畔に面してハンノキ林が密生していて、湖畔周囲の土壤及び湖水の水が富栄養化し、プランクトンが旺盛に発育している例があげられている。

ヤマモモは、わが国では、瀬戸内の石英粗面岩地帯における粘土質せき悪土壌の改良には必須の肥料木であって、マツと混植して大きな成果をあげており、混植後12年間に、毎年80kg/haの窒素増加の例がみられている。またアメリカのペンシルバニアの窒素分不足のボタ山では、定着樹種としてヤマモモが最も優れており、次いでグルチノザハンノキがあげられている。

グミ科の植物のうち、グミ属とくにアキグミの植物は、わが国の海岸砂丘などの緑化造林にクロマツと混植して大きな成果をあげている。スカンジナビヤではHippophae属の植物が氷河跡地の最初の優生樹種の位置をしめており、英国の海岸砂丘のHippophaeの若い林では、年間

1ha当り27kg、壮齢林では179kgの窒素の増加が報告されている。オランダの10~15年生のHippophaeの灌木林では毎年15kg/haの窒素増加が知られている。

モクマオウ属は熱帯性の樹種であるが、アフリカのケイベルデ岬諸島におけるモクマオウの造林地では、毎年64kg/haの窒素固定の例がみられ、またマレー半島では、牧草の収量増加のための母樹として、その効果が期待されている。ドクウツギは、マメ科植物の少ないニュージーランドやスペインの東部山岳地帯で、林内に侵入して地力の増強に大きな貢献をしている。Ceanothus属の植物は、アメリカのオレゴンでは不毛地に分布し、野獣の好飼料となっている一方、地力の維持、増強にも大きな役割を果たしている。また北部ロッキー山岳地帯では、ボンデローサマツの混植木として推奨されている。チョウノスケソウ(Dryas)属の植物は、最近アラスカや欧州の山岳地帯の寒冷地や、氷河跡地の先占木(土壌改良植物)として注目されており、アラスカの氷河跡地のチョウノスケソウとShepherdia属の植生で被覆された灌木林では、過去70年間に、毎年60kg/haの窒素の増加をみている。そのほかのハンノキ型の根粒植物に属するPurshiaおよびCercocarpus属の植物は、アメリカの西部11州に広く分布し、Arctostaphylos uva-ursiはカリフォルニア山脈のやせ地で、ヤマモモやCeanothus属の植物と一緒に自生し、やせ地の地力増強に貢献しているといわれている。

ソテツ科の根粒がかなりの共生窒素固定能力をもつことはすでに実証されているが、わが国の暖地でも、ソテツ林の林縁下では農作物の生長が促進されている例からも、ハンノキ型の根粒植物と同様な効果をもつものと思われる。

マキ型の根粒の共生窒素固定能力については、まだ実験的に十分な結果を得ていないが、オーストラリア、ニュージーランド、タスマニアの岩石地や山岳崩壊地に、先駆樹としての森林植生を占めている点から判断して、根粒植物に近い機能を持つものと推定される。

以上は、おもに各種根粒植物が、郷土の自然植生において、どの程度の窒素固定を行なっているかを紹介したものであるが、わが国では古くからこれらの根粒植物は、肥料木としてやせ地、砂防造林に取り入れられている。

いま前述のヤマモモの混植効果について、筆者

らが調査した事例の一部を紹介する。試験地は姫路に近い、海岸から2km離れた緩斜面で、石英粗面岩の粘土質せき悪地である。付近一帯は樹齢10～15年、樹高1～2mの矮生のクロマツ林が占め、短期間の皆伐の繰返しで土性は著しく劣悪化していた。1957年、約30haのクロマツ林内に、ha当りに換算して50kgの窒素を施して、3年生ヤマモモ苗4,000本を混植した。12年後の1969年に、隣接して、A区=ha当たりヤマモモは萌芽株も含めて4,300本、クロマツ1,500本の混植区。B区=ヤマモモ2,380本、クロマツ1,540本の混植区。C区=クロマツ6,490本単植区。という3つの試験区を設置し、各試験区のクロマツ標準木の生長ならびに土性調査を行なった。その結果の一部を示したものが、図2・図3である。すなわち

(1)ヤマモモ混植区のクロマツ標準木は、いずれも混植後3～4年目から生長が促進し、12年目には、非混植区のクロマツの標準木材積に比べ、A区で約5倍、B区で約3倍を示した。

(2)ヤマモモ混植区の土壌は、非混植区のものに比べ、いずれもアルカリ性に傾き、置換酸度 y_1 の値も小さく、また置換性Ca、Mgの含量も高く、C区に比べて土性の改善がうかがわれた。

(3)A、B、C区の層別土壌の窒素含有率にはそれほど差はみられないが、林床も含めて、地表下30cmの土壌のha当りの窒素含有量は、それぞれ、3,089kg、3,163kg、2,370kgで、これにバイオマス(ヤマモモ、クロマツの地下部も含

めた樹体全量)から換算した窒素量を加算すると、それぞれ合計3,452kg、3,395kg、2,428kgとなり、初期にA、B区に施与されたha当たり50kgの窒素を差し引いても、12年間に、C区に比べてA区は974kg、B区は917kgの窒素の増加、年間にしてha当り80kg内外の窒素の増加が認められている。いまそれらの肥培機構を分析してみると、以下の事項が考えられる。

(1)落葉・落枝の林地への還元

窒素含有量の高い落葉・落枝が、林床で容易に分解し、土壌へ還元され、土壌の物理的、化学的、微生物的条件を改善する。とくに、林床の窒素養分の増加と土壌腐植の造成を促進する。本効果は、落葉量の多いハンノキ類などでとくに大きい。

(2)根系および根粒崩壊物の林地への還元

本効果は、(1)の場合に準ずるものであるが、とくに根粒は、ほかの部分にくらべて窒素含有量が多く、しかもアカシア、ハンノキなどの例では、根粒が樹体の重さの10%近くの多量を占める場合もみられている。またマメ科作物のうち、地下部が地上部に比べて大きいルーサンやクローバーでは、その効果が大きいとされている。

(3)肥料木の根粒あるいは根系からの化合態窒素の分泌

ある環境条件下で、クローバーやハンノキの根粒からこのような現象が見られることから、根粒植物がもたらす肥培効果の一つと考えられるにいたったものであるが、(1)、(2)の場合にもた

らされる窒素量にくらべて、分泌される窒素量は極めてわずかであるとする説もみられる。

(4)根粒植物と非根粒植物の根系間の連結

異種植物間で根系の生理的連結が可能であるか否かは別として、マメ科と非マメ科牧草の混播あるいは肥料木と主林木(マツ、スギ、ヒノキなど)の混植林では、しばしば両者の根系が分離不可能な状態まで交索あるいは密着している場合が認められる。その著しい例として、アカマツの根がグミの根粒を貫いている例も見られている。このような場合は、根粒植物の根系あるいは根粒からの、窒素に富んだ分泌物が非根粒植物の根に吸収されて生長に有利な結果をもたらすことも考察される。なお老木の幹のうつろの中に、異樹種の植物が定着して生育している例は、時おり見られる

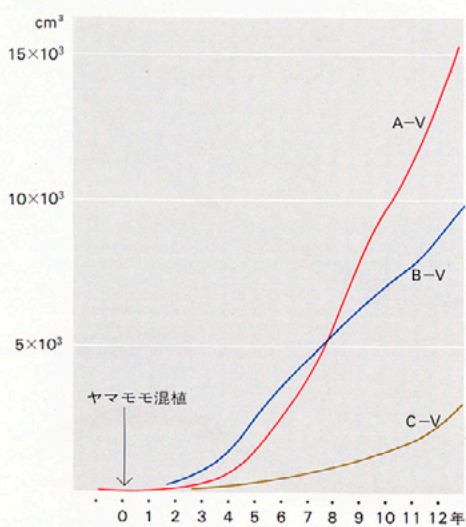
(5)炭酸ガス同化作用の促進

一般に根粒植物の根は、他の植物の根にくらべて炭酸ガスの発生量が2～3倍をしめしており、とくに根粒において著しいとされている。このことは植物の炭素同化作用を促進し、一方、土壌の養分水の濃度を高めて植物の生育を促す効果が期待される。

(6)その他

上述した以外にも、根粒植物の導入によって、根系による土壌の物理性の改善、病虫害を含めた諸被害の減少、林床の落葉、落枝の分解を促進して菌根菌や有効菌を増加させるなどの報告例がみられている。

図2 - 各試験区クロマツ標準木の樹幹材積生長経過



●注1 A区はヤマモモ4300本、クロマツ1540本ha当り
●注2 B区はヤマモモ2380本、クロマツ2850本ha当り
●注3 C区はクロマツ6490本ha当り

表3 - 各試験区の土性調査結果

試験区	層	深さ	酸度 (H_2O)	置換 酸度 y_1	全窒素 %	アンモニア 態窒素 mg/100g	硝酸態 窒素 mg/100g	炭素	塩基置換 容量 mg/100g	置換性塩基 mg/100g			容積 比重 %	全窒素 kg/ha		
										石灰	マグネ シウム	カリ			計	
A区ha当り ヤマモモ 4300本 クロマツ 1540本	L	3	4.35		1.84	22.7	52.5	48.9							129	3,089
	F	1-2	4.27		2.01	56.4	19.9	37.3							62	
	A	0-10	4.65	8.8	0.22	4.0	0.6	1.2	10.6	0.16	0.15	0.15	87	1,914		
	B ₁	10-25	4.85	8.2	0.05	2.3	0.7	0.5	4.6	0.13	0.05	0.16	118	708		
B区ha当り ヤマモモ 2380本 クロマツ 2850本	B ₂	25-30	5.17	5.7	0.03	1.7	1.0	0.3	4.6	0.05	0.18	0.13	115	276		
	L	3	4.50		1.68	34.3	42.2	46.8							113	3,163
	F	1-2	4.70		1.77	45.0	17.5	38.7							43	
	A	0-10	4.85	7.7	0.19	4.0	0.9	1.1	9.7	0.15	0.12	0.13	83	1,577		
B ₁	10-25	4.78	7.7	0.07	2.0	1.0	0.5	4.3	0.12	0.07	0.14	110	1,155			
C区ha当り クロマツ 6490本	B ₂	25-30	5.05	6.0	0.05	1.8	0.8	0.3	4.1	0.05	0.13	0.13	110	275		
	L	3	4.00		1.09	22.6	33.3	48.6							72	2,370
	F	1-2	3.90		1.46	33.2	6.0	44.4							58	
	A	0-8	4.43	14.9	0.17	2.4	0.6	1.3	12.0	0.13	0.05	0.13	85	1,156		
B	8-20	4.77	14.9	0.05	1.7	0.6	0.6	6.5	0.09	0.05	0.14	134	804			
B	20-30	4.80	16.5	0.02	1.5	0.6	0.3	5.0	0.02	0.15	0.12	140	280			