

不耕起草地造成におけるイネ科牧草の発芽・ 定着に関する研究

森 田 脩
三重大学生物資源学部

Studies on the Germinating Behavior and Establishment of Surface-Sown Grass Seeds

Osamu MORITA
Faculty of Bioresources, Mie University

Summary

Sod- and over-seeding methods have been considerably employed on grassland development, especially in mountainous area of Japan. On the surface of untilled land, however, seed germination and seedling establishment seem variable depending on the ecosystematically combined conditions of vegetation, soil, and weather. In the present study the germinating process and behavior of surface-sown seeds of temperate grass species was, on a laboratory scale, investigated in relationship to the function of coleorhiza hairs in seedling establishment under several different conditions of soil and temperature.

I. Characteristics of Germination and Establishment of Surface-sown Grass seeds

1) Germination process and behavior

In the germination process of tall fescue seed placed embryo downward on the soil of the seed bed, the coleorhiza appeared at the basal portion of the lemma and developed numerous hairs around the tip of that organ first. The coleorhiza hairs adhered to the soil surface, entered the soil and then bound soil particles. This anchoring action of the coleorhiza and its hairs was followed by the appearance and penetration of the seminal root. The germination process of the coleorhiza phase was identical for different conditions of soil and environment, while the process of seminal root penetration was variable depending on the adhering strength of coleorhiza hairs equivalent to the maximum tensile load to pull seed out of the soil surface. To measure these values, an apparatus was devised in the present study. Germinating behavior was classified as three different types as follows:

TYPE I (Lying type); Coleorhiza hairs of the seed adhered to, and were anchored in the soil, and the seed germinated in the same lying posture as it was placed.

TYPE II (Rising type); Coleorhiza hairs grasped the soil well, and seed germinated in rising posture.

TYPE III (Exposed-root type); Coleorhiza hairs failed to grasp the soil particles, and the seminal root could not directly penetrate into the soil adequately. Seminal roots in most of the seeds were held up and exposed over the soil surface.

2) The variations in germinating behavior and adhering strength of coleorhiza hairs of six temperate grass species

Orchardgrass, tall fescue, and Kentucky bluegrass had a relatively higher percentage of rising type in germinating behavior and of penetration of seminal root than did meadow fescue, perennial ryegrass and Italian ryegrass. The adhering strength of coleorhiza hairs was higher at the level of 2 gr per seed for orchardgrass, tall fescue, and Kentucky bluegrass than at that of 1 gr per seed for the other grass species tested. Within each of grass species, the adhering strength of coleorhiza hairs was found to be closely related to the percentage of rising type in germinating behavior ($r=0.96$, $p<0.01$). Overall six grass species examined, however, there was not relationship between those two measurements, probably reflecting in their differences in the shape and weight of seeds.

Coleorhiza hairs, and especially their adhering strength, are a very important factor associated with seedling establishment of surface-sown seeds. From this perspective, there were some advantages in sod- and over-seeding were for tall fescue, orchardgrass and Kentucky bluegrass.

II. Effects of Environmental Conditions of Temperature and Soil on Germinating Behavior and Adhering Strength of Coleorhiza hairs

1) Temperature

The germinating behavior and the adhering strength of coleorhiza hairs of the surface-sown tall fescue were investigated under different temperature conditions. The best germination process was observed at the temperatures of 15–25°C which have been known as the favorable range of growth temperatures for temperate grass species. Within that temperature range the coleorhiza hairs appeared, grew vigorously, and adhered strongly to the soil surface, and the percentage of the rising type in germinating behavior was considerably higher as compared with other temperatures, such as 5°C and 35°C. At the unfavorable temperatures, the exposed root type was observed more frequently, reflecting the weak adherence of coleorhiza hairs which was associated with lower number and length of the hairs. The lying type was infrequent throughout all temperature conditions tested. The adhering strength of coleorhiza hairs was closely correlated with number and length of those hairs and with the percentage of rising type ($r=0.89$, $p<0.01$ and $r=0.92$, $p<0.01$).

2) Soil type, moisture and hardness

The germinating behavior and the adhering strength of coleorhiza hairs of surface-sown tall fescue seed in a yellow paddy field soil and in three different types (sampled from Takanoo, Kawatabi, and Nishinasuno areas) of Kuroboku soil treated with 7 or 6 moisture levels (40–90%) were observed. With all soil types and moisture levels, the lying type was remarkably dominant below the hardness value of 3 gr which was determined on the soil surface by the silk needle method. The percentages of the rising type and the exposed-root type were increased with increasing soil hardness related to the decreasing moisture content. The highest percentage of the rising type was obtained at 40% and 85% moisture contents for paddy field soil and for the Kuroboku soils respectively, indicating that the adhering of coleorhiza hairs was very variable in different physical structures of soil.

3) Forms of organic litter on the soil surface

As for with the germination rate and percentage of tall fescue sown on the soil surface, those values of that grass were not influenced by three different forms of organic litter placed on the soil surface (the leaf litter layer, the decomposed layer, and the ash layer), except for a lower germination rate with the leaf litter layer. The rising type tended to be higher for the decomposed matter than the leaf litter form, although all percentages were considerably higher in the exposed-root type. The adhering strength of the coleorhiza was, as the result of combining adhering potentiality of the hairs and physical

structure of soil or organic matter, lower with the decomposed matter and ash layers as compared with the yellow paddy field soils.

III. Effects of Soil Amendment matter and Seed Pressing on the Seed Germination and Seedling Establishment

1) Application of soil amendment matter

The germination behavior of surface-sown tall fescue was investigated at the different pH conditions of each of the yellow paddy field soils and the Takanoo Kuroboku soils treated with applications of soil amendment matter. The rising type in germinating behavior was dominant at the pH values of 5 to 8 in the paddy field soils and at the values of 5 to 6 in the Kuroboku soils. An application of fused magnesium phosphate was more effective in improving the pH value of the acid Kuroboku soils and the germinating behavior in that soil than was that of superphosphate.

2) Seed pressing

Cattle trampled surface-sown seeds into the soil induced more favorable germination, such as higher percentage and higher initial growth of plant. Without trampling, most of seeds were lost during unsettled conditions.

The adhering strength of coleorhiza hairs of surface-sown seeds was increased by seed pressing to about 1.4–2.4 times as much as no pressing, showing a higher percentage of the rising type which was superior in the initial growth to the exposed-root type. By inserting the embryo part of the seed into the soil to about 2 mm depth, or by pressing seeds at the force of about 1 gr, good penetration of the seminal root and good seedling establishment were highly achieved even for the Kuroboku soils in which the exposed-root type was normally dominant.

In the present study adhesion of coleorhiza hairs to the soil surface was found to aid favorable penetration of the seminal root and thereby to induce favorable seed germination and seedling establishment because such anchoring action could protect seeds from being held by the penetration of the seminal root. The strength of coleorhiza hairs was found to be positively related to the percentage of the rising type in germinating behavior observed during such initially critical stage of germination. The rising type in germinating behavior resulted in good seedling establishment, while the exposed-root type did not survive. With the sod- and over-seeding establishment tested here, the percentage of the rising type was variable depending on grass species, soil type and moisture level, hardness of soil surface, form of organic litter, application of soil amendment matter, and seed pressing. From the viewpoint of the adhering function of coleorhiza hairs, application of soil amendment matter and seed pressing were found to be effective methods to improve seed germination and seedling establishment, especially for acid Kuroboku soils which weakened the adhering strength of coleorhiza hairs.

Key words: Adhesion of coleorhiza hairs, Germinating behavior, Surface-sowing, Temperate grass.

目 次

第1章 緒 言	5
第2章 不耕起播種した林内草地におけるイネ科牧草の発芽・定着	6
第1節 林内草地におけるイネ科牧草の発芽・定着と発芽床の微気象の実態	6
第2節 林床の落葉の有無がイネ科牧草出芽率と平均出芽日数に及ぼす影響	9
考 察	12
小 括	13
第3章 土壤表面におけるイネ科牧草の発芽・定着過程	13
第1節 イネ科牧草の発芽過程と土壤表面における発芽動態	13
第2節 土壤表面への根鞘毛の固着と種子の立ち上がりとの関係	16
第3節 牧草種子の置床方法と発芽動態との関係	18
考 察	20
小 括	20
第4章 土壤表面における発芽動態と根鞘毛の固着力の草種間差異	21
第1節 土壤表面における発芽動態の草種間差異	21
第2節 土壤表面における根鞘毛の固着力の草種間差異	24
第3節 水中発芽における根鞘毛の発生量の草種間差異	25
第4節 種子根の伸長速度並びに太さの草種間差異	26
考 察	26
小 括	28
第5章 温度要因が発芽動態と根鞘毛の固着力に及ぼす影響	28
第1節 置床温度が発芽動態と根鞘毛の固着力に及ぼす影響	29
第2節 浸漬温度が根鞘毛発生に及ぼす影響	31
考 察	33
小 括	34
第6章 土壤条件が発芽動態と根鞘毛の固着力に及ぼす影響	34
第1節 土壤の種類・水分並びに硬度が発芽動態と根鞘毛の固着力に及ぼす影響	35
第2節 土壤表面の乾燥が発芽・定着に及ぼす影響	40
1 給水遮断が表面播きされた種子の発芽・定着に及ぼす影響	
2 乾燥処理の開始時期と期間が再給水後の発芽に及ぼす影響	
第3節 粗腐植上における発芽動態と根鞘毛の固着力	42
考 察	44
小 括	46
第7章 土壤改良資材の施用が発芽動態に及ぼす影響	46
第1節 pH を変えた水田土壌と黒ボク土壌表面における発芽動態	47
第2節 磷酸質肥料の施用が発芽動態に及ぼす影響	51
考 察	53
小 括	54
第8章 土壤表面の種子に加えた鎮圧処理が発芽・定着に与える効果	54
第1節 家畜の踏圧が種子の発芽・定着に与える効果	55

第2節 種子の物理的固定が発芽動態と幼植物の初期生長に及ぼす影響	58
1 土壌の種類と鎮圧の有無が発芽動態と幼植物の初期生長に及ぼす影響	
2 黒ボク土壌と腐植並びに灰の表面における種子鎮圧が発芽動態と根鞘毛の固着力に及ぼす影響	
3 胚部の埋め込みと鉛円板による種子の固定が発芽動態に及ぼす影響	
考察	63
小 括	64
総括および結論	65
引用文献	69

第1章 緒 言

自然草地の野草などを主な粗飼料源として利用していたわが国の畜産は、その発展に伴い1950年代に入って、牧草を導入した野草地の改良や草地造成が高度集約牧野として積極的に推し進められるようになった。そして、最初は主に機械利用による全面耕起法によって始められた草地造成は、開発が平坦地から傾斜地へ、また近接地から遠隔地へと移るにつれて造成経費がかかるのみでなく、樹木の伐採、土壌侵食、崩壊など周辺環境への悪影響も指摘されるようになった^{36,59}。これらの欠点を補う造成法として、同年代の後半に入ると、既にわが国の一部や諸外国において野草地の改良や樹木の伐採跡地への牧草導入に試みられていた不耕起造成法が注目されるようになった⁶⁶。この方法は造成前の地形や表土の破壊が少ないため、地表面の腐植と養水分が利用できること、かなりの急傾斜地まで土壌侵食を伴わずに造成できること、造成後の土砂崩れも少ないこと、有用木を残した樹林地或いは植林地内の林床へも適用可能で周辺環境への影響が少ないこと、経費が安いこと²⁶などが特徴であった。さらに、畜舎に近接する裏山とか里山の野草地や樹林地内に牧草を導入する際は、保有する家畜頭数や労力・資力に応じて、毎年小面積ずつ計画的に草地化して利用することも可能な方法であった。

不耕起造成法は簡便ではあるが、地表面に堆積する落葉、前植生の遺体などによる発芽・定着の阻害、或いは萌芽や切り株からの再生枝が発芽牧草の生長を抑制することなどが問題であった。しかし、これらの点に関しては、家畜を放牧して野草などの前植生を採食させながら、同時に地表面を蹄によって耕して播種床を整備し、播か

れた種子を踏みつけて土壌と密着させて発芽を助け、発芽後は幼植物と前植生の再生芽が光競合を起こさないように管理放牧をして造成する蹄耕法^{26,42,47,63,64}、或いは、前植生を除草剤で枯殺するか、刈り払ったのち、焼却して施肥・播種する火入れ直播法⁴²などの技術が開発された。そして、1970年代に入って、わが国における草地の不耕起造成に関して、各地域別に、研究成果の集大成と技術指針の提案並びに問題点の整理がなされた⁶⁶。

この様に進展をみせた不耕起造成法であるが、表面播種であるため種子が地表面に露出している場合が多く、発芽が不安定で定着率が極端に低下したり、草生も不均一になりやすいという問題^{32,49,65,75}が解明不十分のまま残された。これは発芽床となる土壌表面の気温・大気湿度、土壌水分・硬度、地温などが気象要因の影響を強く受けて変動が大きいという、土壌の種類や粗腐植の有無、或いは野草との競合なども加わり、耕起して覆土される全面耕起法に比べて、極めて複雑で不安定であることが原因と考えられた^{1,21,32,75}。

しかし、発芽・定着に関する試験が現地試験中心で進められたことも一因と思われるが、種々の耕種条件で表面播種し、その後日時をおいて測定した発芽数や定着数などと、土壌や気象条件との因果関係を論じたものが多く^{7,14,38,48,86,96}、発芽して定着に成功する過程、或いは失敗して枯死する過程と外的条件との関係を明らかにするには不十分であった。

その中であって、発芽・定着率向上には種子周囲の発芽環境を積極的に改善することが有効で、土壌表面に種々の処理を施す^{2,16,48,84,96}とか、庇陰処理^{7,41,75}、或いは、種子を化学物質などで被覆する種子造粒法^{7,25,56,98,99}などの方法が提案されたり、土壌表面の種

子を何らかの方法で固定すると種子根の進入を助けること⁷⁾なども明らかになった。

この様に、土壤表面での種子根の進入方法や伸長状態を観察するなど、発芽生態学的観点からの研究もみられたが、いずれも定着の第一歩である種子根が土壤中へ進入する機構を解明するまでには至らなかった。土壤表面で発芽した種子の定着の成否は、種子根が土壤中へ遅滞なく進入できるか否かにかかっており、進入の機構・条件等を明らかにすることができれば、発芽・定着の向上と安定化のための技術的対応も可能になると考える。

そこで、本研究は、発芽生態学的観点から、不耕起造成した林内草地における発芽・定着の実態の把握と、耕種条件並びに発芽環境の異なる土壤表面におけるイネ科牧草種子の発芽過程を観察し、表面播種における発芽・定着機構の解明を図った。そして、発芽・定着率の向上と安定化の条件を明らかにするとともに、家畜による踏圧等、造成時に行われている技術的諸対応の効果についても検討し、不耕起草地造成技術安定化に貢献しようとしたものである。

本研究の取りまとめにあたり、懇篤なるご指導とご校閲を賜りました東北大学農学部教授伊藤 巖博士に深甚な謝意を表します。また、懇篤なるご校閲を賜りました東北大学農学部教授水間 豊博士、同教授星川清親博士に衷心よりお礼申し上げます。

本研究の遂行に当たり、終始懇篤なるご指導を賜りました三重大学生物資源学部教授三石昭三博士に深甚な謝意を表します。また、多大のご支援を戴いた農場管理学研究室の後藤正和博士並びに専攻生の皆様に深謝致します。牧草および草地研究の緒を与えて戴き、終始温かく見守って下さった藤田時雄、猿丸勝晴両三重大学名誉教授に深謝致します。さらに、東北大学農学部附属草地研究施設助教授菅原和夫博士をはじめ、研究施設の皆様から多大のご支援を戴いたことに心よりお礼申し上げます。

第2章 不耕起播種した林内草地におけるイネ科牧草の発芽・定着

草地の不耕起造成では播種床となる土壤の表面は不均一で、気温、地温、大気湿度、土壤水分など発芽に関与

する気象・土壤要因の変動が大きい為、発芽環境としては極めて不安定である。さらに水分保持が極めて悪い落葉や前植生の遺体などの粗腐植²⁰⁾が堆積している事が多く、これも発芽・定着の不安定さを増す原因となっている。そのため、種子を少しでも土壤表面に接触させようと、火入れや搬出、或いは家畜などを放牧して粗腐植を処理して播種床を整備するが、この作業は多くの労力を必要とする。一方、粗腐植の堆積量が多くても、林内のように樹冠による庇陰がある条件下ではかなり厚い落葉層においても良好な発芽が得られる事も明らかにされており⁷⁾、条件次第では粗腐植は無処理のままでも造成が可能なことを示している。そこで、発芽環境が複雑で不安定な落葉の堆積する林内において、土壤や落葉中における発芽・定着の経過と、そこに関与している環境要因との関係を解析することは、粗腐植の処理を最小限に止め、しかも発芽・定着の安定した不耕起草地造成技術確立の端緒が得られるものと考えられる。

本章では庇陰強度の異なる林内に寒地型牧草を表面播種し、出芽数や枯死個体数、表層の粗腐植と土壤水分等を経時的に調査した。そして、播種された牧草の発芽・定着と発芽環境の実態の把握、並びに庇陰の強さや落葉の存在が播種床の微気象と発芽・定着に及ぼす影響について検討した。

第1節 林内草地におけるイネ科牧草の発芽・定着と微気象との関係

不耕起法により牧草を導入して草地造成をするため、林床にアカマツ、コナラ、タニウツギの落葉が堆積する雑木林の樹木を伐採して林内の明るさを調節した。そして、寒地型牧草を播種して長期間にわたり出芽個体数を追跡した。この調査と平行して、庇陰度の異なる播種床ごとに落葉層と土壤表面の水分を連続的に、また、温度や日射量の日変化等を測定し、牧草の発芽・定着とそれら環境要因との関係について検討した。

実験材料および方法

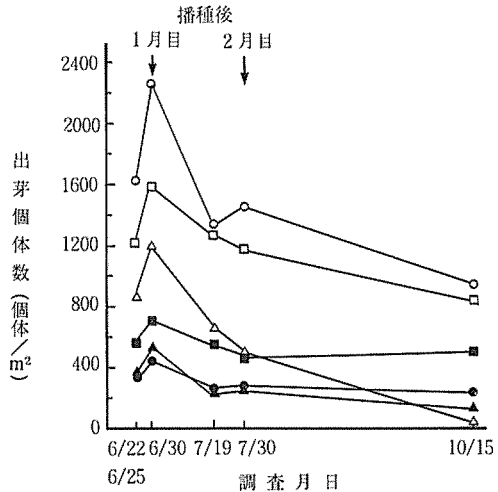
試験地は宮城県鳴子町川渡にある東北大学農学部附属農場内のアカマツ、タニウツギ、コナラ等が生い茂る林を、主にアカマツとコナラを残して伐採し、林床の明るさを強庇陰区(A)、弱庇陰区(B)そして全面伐採の対照区の3段階に整えた。1979年5月28日に土壤改良資材として

炭酸カルシウム 100 kg/10a と基肥として N-P-K=5-10-5 kg/10a を施した。そして、5月30日にオーチャードグラス (*Dactylis glomerata* L., 品種; ポトマック, OG と略) とトールフェスク (*Festuca arundinacea* Schreb., 品種; ケンタッキー 31, TF と略) をそれぞれ 2400粒/m² となるように表面播種した。両牧草とも出芽10日目、播種後1月目、2月目に出芽個体数を調査し、10月15日には落葉の厚い場所を選んで落葉層に定着した個体の種子が着床した深さを調査した。

林内の日射量は林試式日射計により、6月19~26日、7月31日~8月7日の1週間ずつ2回測定し、各区の相対日射量を求めた。さらに、各区とも播種後から土壌表面に堆積する落葉層 (L層) と腐葉層 (F層)、腐植層 (H層) 並びに土壌 (S層, 0~2.5 cm) の4層に分けて採取し、乾燥法により各層の水分含有率を求め、6月から7月にかけては3~6日おきに、7月29日の降雨後から晴天の続いた8月1日までは毎日調査した。8月29日の晴天時には林内の気温、地温、湿度、照度の日変化を調査した。

実験結果

試験区は播種床準備の段階で庇陰度に差をつけるため、立木密度を変えて伐採した。しかし、コナラ等の新葉が展開すると第1表に示した様な相対日射量となり、全面伐採した対照区との差は認められたが、庇陰A、B区間の差は僅かであった。この様な光条件の林内における発芽個体の推移を示したのが第1図である。TFは6月12日に、OGは6月15日に発芽個体を確認した。出芽確認後10日目にはOGはB区の576個体が最も多く、A区の352個体が最も少なかったが、その差は小さかった。その後は、梅雨時で降雨の日が多く、播種後1月目の6月30日にはB区720個体、A区432個体と、各区とも増加していた。しかし、7月上旬に晴天が続き、高温と乾燥と



第1図 林内に不耕起播種したトールフェスクとオーチャードグラスの出芽個体数の推移
○—○, TF・A区; □—□, TF・B区;
△—△, TF・対照区; ●—●, OG・A区;
■—■, OG・B区; ▲—▲, OG・対照区。

により枯死する個体が現れたが、その後の降雨によって発芽する種子もあり、2月目には第5葉目が出葉中から発芽直後まで、個体間の生育段階にかなりの差が見られた。そして、A、Bの両庇陰区は10月になっても、出芽10日目の個体数とほぼ同じであった。一方、対照区の出芽数は最初A区よりもやや多く、播種後1月目には最高に達するが10月には1/3以下に減少し、出芽10日目に比べても1/2以下となって、減少が顕著であった。特に、落葉層の厚さが5 cm以上の場所では殆ど枯死していた。TFもほぼ同じ傾向を辿るが、OGに比べて発芽個体はるかに多かった。即ち、庇陰の最も強いA区は播種後1月目には約2000個体と、播種した種子の約80%が発芽していた。そして、10月には約半数に減少したが、900個体以上が定着していた。しかし、対照区は播種後1月目には1200個体発芽していたものが、10月には80個体へと、最も多い時の約7%にまで激減していた。この年の梅雨明けは7月30日でやや遅く、その後も天候は不順であったが、7月に入ると各区とも枯死する個体が多くなった。

表面に播いた牧草種子も肥料も、最初のうちは落葉の表面や、間から見られ、6月20日過ぎにはOG、TFとも落葉の間から発芽している種子を見ることができた。

第1表 試験地の相対日射量 (川渡)

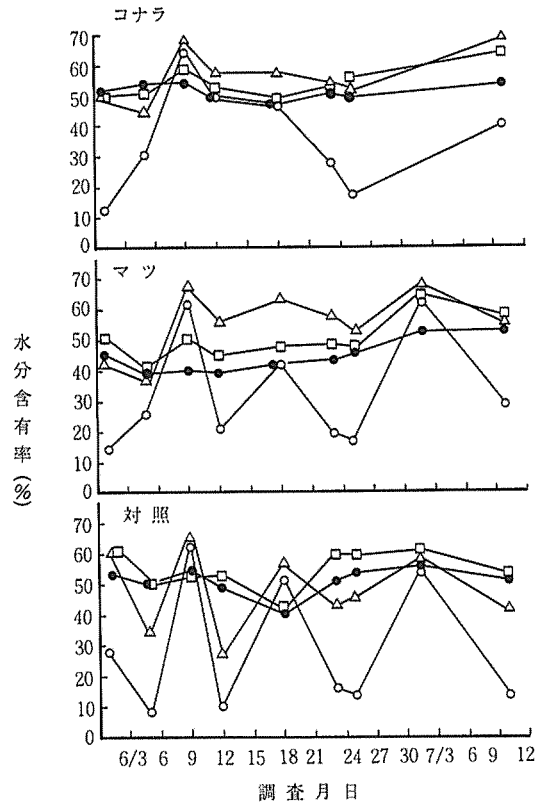
処理区	相対日射量 (%)	
	6月	8月
A	58.6	31.4
B	62.0	37.4
対照	100.0	100.0

第2表 落葉中に定着した種子の着床位置

着床位置 (cm)	OG		TF	
	対照区 (%)	A 区 (%)	対照区 (%)	A 区 (%)
0-1	40.0	45.0	45.5	68.2
1-2	50.0	55.0	45.5	7.3
2-	10.0	0	9.0	4.5
個体数	10	20	11	22
落葉の厚さ (cm)	3.5±1.1	5.6±1.4	4.6±0.9	5.4±1.4

しかし、それら肉眼で見ることのできる個体のなかには、この時既に萎凋し始めるものも認められた。なかには、コナラ葉の表面に止まって発芽する種子もあったが、それらは枯死することが多く、生長を続ける個体の多くは落葉の下層にもぐり込んだ種子からのものであった。そこで10月に、A区と対照区の落葉が厚い場所で定着した個体について、その種子が播種時に着床した深さを測定し、層ごとの割合で示したのが第2表である。落葉層が最も厚い所でも5.6cmであったことにもよるが、両種とも表層から2cmまでの層から90%以上出芽していた。しかしながら、落葉の下から出芽してきた個体の中には葉身が落葉によって抑えられて折れ曲がり、その部分が損傷する個体も見受けられた。

次に、L層（落葉層）と土壤の水分含有率の推移を示したのが第2図である。庇陰A、B両区の相対日射量に大きな差が見られなかったので、林内のコナラ主体とマツ主体の落葉が堆積している場所を選んで測定した結果を対照区と比較したものである。林内では樹冠による庇陰にもかかわらずマツ、コナラ両区とも最表層のL層の水分含有率の変動は大きく、降雨後は60%以上に達するが、晴れると20%以下にまで急激に減少した。第2層のF層（腐葉層）の水分含有率は庇陰区では降雨後は60%以上に達し、それ以外でも50%以上の時が多く、最も高かった。コナラではH層（腐植層）の方がやや高いが、S層（土壌層）と共に比較的変動が少なく、常に50%前後であった。マツもH層がS層よりも常に高く推移する傾向がみられた。また、マツのS層はコナラに比べてやや低かったが、それでも常に40%以上の含有率を示した。これに対して、樹木を全面に伐採した対照区のL層の水分含有率は、降雨後は60%以上に達し、乾燥すると10%程度まで減少するという経過を繰り返し、大きく変動し

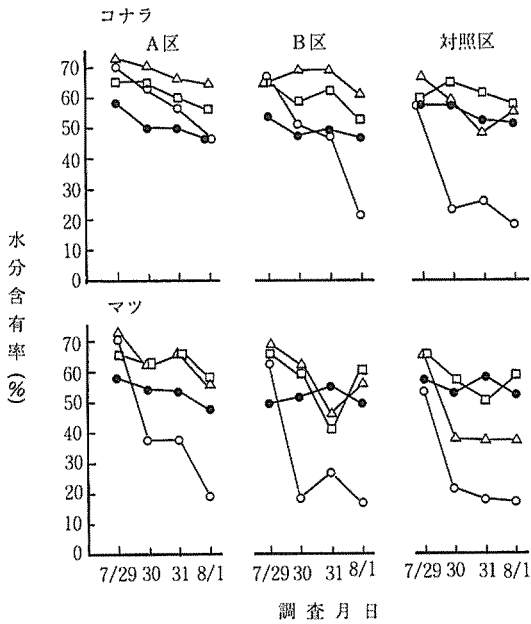


第2図 不耕起造成草地の落葉層ならびに土壤の水分含有率の推移

- , L層 (落葉層);
- △—△, F層 (腐葉層);
- , H層 (腐植層);
- , S層 (土壌層).

た。F層も50%以下になる時が多かったが、F、Sの両層では林内に比べると必ずしも低くはなかった。

この様に、林床は気象条件の変化に対応して乾湿を繰り返すが、降雨後における1日ごとの水分含有率の変化



第3図 不耕起造成草地における降雨後の土壌と粗腐植層の水分含有率の変化
7月28-29日にかけて降雨。
図中の記号は第2図と同じ。

を知るために4日間毎日調査した結果が第3図である。対照区ではマツ、コナラ両区とも降雨直後60%以上であったL層の水分も、1日後には20%程度までに激減し、林内においてもL層の減少は短時日のうちに顕著に現れた。特に、マツの弱庇陰区では1日後、強庇陰区では3日後、コナラの弱庇陰区でも3日後には対照区と同じ程度にまで乾燥していた。しかし、コナラ強庇陰区の減少は緩やかで、3日目でも45%以上の水分を含んでいた。また、両樹種のF層も減少するが、減少率はマツの方が大きかった。H、Sの両層は4日目でも殆ど減少せず、45~50%以上の水分含有率であった。

以上のように、発芽に関係する外部要因のうち水分環境についてその実態を明らかにしてきたが、もう一つの大きな要因である温度環境について検討する。表面播種

された種子が着床する位置にはほぼ相当する、落葉の表層から3cmの深さにおける地温について10日毎の平均で示したのが第3表である。最初の出芽が認められる播種後20日間の地温が欠測しているが、6月下旬の庇陰区は19°C前後であり、7月上、中旬の庇陰区もやや低いが、寒地型牧草の発芽には支障無いものと思われた。地温は強庇陰区が最も低く、対照区が最も高く、樹冠による庇陰の影響が見られた。

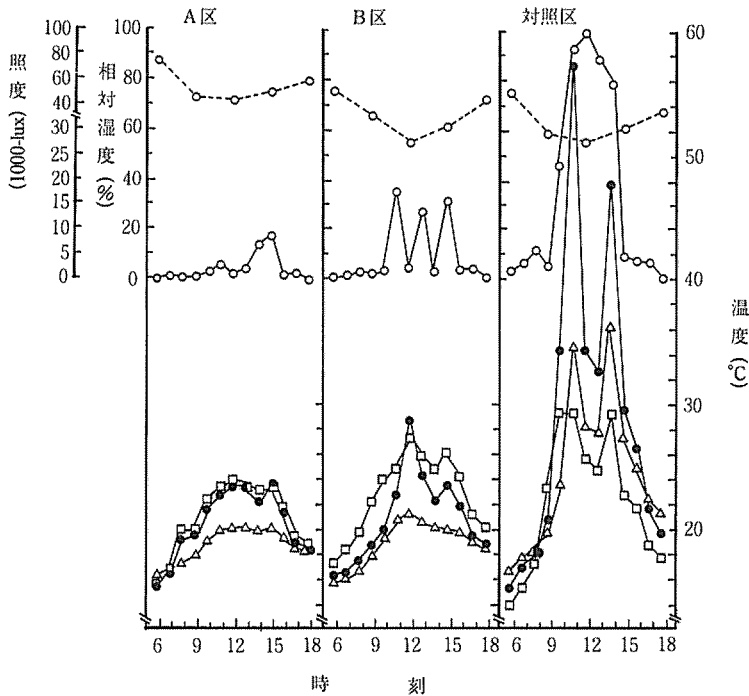
次に、晴天の日における午前6時から午後6時まで12時間の気温、地温、相対湿度並びに日射量の変化を見たのが第4図である。対照区のL層(0cm)の温度変化は著しく、午前11時には57°Cと最高に達し、10時から3時までには30°C以上の高温であった。なお、この時の照度は約10万Luxであった。3cmの層でも日中は35°C前後にまで達した。一方、気温も6時の約14°Cから、日射が強くなった10時には29°C以上に達し、その後一旦は4°C程度下がるが、再度上昇するといった様に、短時間に著しく変動し、日較差が大きいのが特徴であった。これに対して、強庇陰区の日射量は最高でも9千Lux程度しかなく、4千Lux以下の時間が多かったこともあり、L層0cmの温度は約24°Cが最高で、最低は約16°Cであった。気温も0cm区とはほぼ同じ推移を示し、両者は非常によく一致していた。また、3cm区は20°Cが最高で、各層の日較差は非常に小さかった。B区は対照区とA区のちょうど中間を推移した。相対湿度は6時が一番高く、12時に最も低くなり、その後上昇するという経過を辿り、強庇陰区で約72~88%、弱庇陰区と対照区が約55~77%の間を推移した。

第2節 林床の落葉の有無がイネ科牧草の出芽率と平均出芽日数に及ぼす影響

前節において、播種床の表層に堆積する落葉層は薄いと種子は定着しやすく、厚いと出芽しても枯死する個体が多くなることを確認した。また、落葉層は降雨や日射により、短時間のうちに水分含有率や温度が大きく変動

第3表 林内草地の地温(°C)の推移(川渡)

処理区	6/21-30	7/1-10	7/11-20	7/21-31	8/1-10	8/11-20	8/21-30
A	18.8	17.9	16.5	20.9	21.0	21.8	19.9
B	19.5	18.6	17.2	22.0	22.1	23.3	20.7
対照	20.2	20.3	18.2	24.0	24.0	26.3	22.6



第4図 不耕起造成草地の気象の日変化 (1979年8月29日, 晴れ時々曇り)
 □-□, 気温; ●-●, 0 cm (落葉中); △-△, 3 cm (地温);
 ○-○, 照度; ○--○, 相対湿度.

するが、その存在により、下層のF・H・S各層の水分含有率を高め維持する効果も認められた。本節では、この落葉の有無と庇陰とを組み合わせ、庇陰度の異なる林内草地と、土壤表面に粗腐植が殆ど無い林外の不耕起草地とにおいて、発芽率や平均発芽日数、枯死個体数等を比較し、発芽・定着と微気象に及ぼす落葉存在の影響について検討した。

実験材料および方法

試験地は三重大学生物資源学部附属農場内にある30年生のアイグロマツ主体で、林床は部分的に落葉が厚く堆積している庇陰の強い林 (A区) と、15~16年生のアイグロマツがまだらに生え、ネザサ、ススキ、チガヤ等が密生するが、樹冠による庇陰は弱い林 (B区)、放棄した耕地跡を整備した対照区の、3区を設けた。そして、A、Bの両区は、播種床の表面に堆積した落葉をそのまま播種する区 (L区) と落葉のみを除去した区 (NL区) を設けた。なお、対照区の大部分は表面に土壤が露出した状態であった。そこに OG は1980年4月25日、

TF は5月23日に1か所 (25×25 cm) に100粒ずつ、各処理区ともそれぞれ4反復ずつ播種した。そして、5週間にわたり毎日、出芽個体数並びに枯死個体数を調査して出芽率、平均出芽日数並びに枯死率を求めた。また、実験期間中自記温度計により、林内の気温と地温を、そして、5月12~18日、6月10~17日の1週間ずつ2回、林試式日射計によって林内の相対日射量をそれぞれ測定した。4月26日から6月9日までは1日おきに、以後は4日おきに落葉層 (L層) と腐植層と土壤層 (F-S層) とに分けて、乾燥法により水分含有率を求めた。

なお、試験地の相対日射量は第4表の通りであった。

第4表 試験地の相対日射量 (三重大学附属農場)

処理区	相対日射量 (%)	
	5月	6月
A	60.8	26.5
B	96.1	94.9
対 照	100.0	100.0

実験結果

OG, TF の各処理区別に出芽率, 平均出芽日数, 枯死率を示したのが第5表である。同じ林内とはいっても必ずしも同一条件ではないので, 場所により変動はみられるが, 両草種とも日当たりの良いB区では, 落葉をそのままにして播種したL区が, 逆に庇陰の強いA区では表面の落葉を取り除いたNL区の出芽率が高かった。また, 土壌表面に播かれた対照区はB-NL区と同じ程度の高い出芽率であった。草種間では, B区と対照区はOGよりもTFの方が高かったが, A区ではその差は小さく, A-L区ではむしろOGの方が高かった。平均出芽日数を見ると, B区のOGはNL区が2日ほど長く要したが, TFは差がなく, A区では両種ともL区が4日程度長かった。土壌表面ではOGはB区よりも短かったが, TFはB区と同じ日数であった。草種間ではOGの方がTFよりも約1週間長かった。また, 枯死率は, 庇陰の強いA区が最も少なく, 逆に, B区が最も多く, 特にTFは出芽した半数以上が枯死した。B区のOGは出芽個体数が少ないことにもよるが, 枯死率もL

区の半分以下で, 出芽個体の枯死は少なかった。TFはB区では落葉の無い方が, A区ではあった方が枯死率が高くなった。土壌表面の枯死率は弱庇陰B-NL区と比べOGは同じ程度, TFは半分以下であり, 土壌表面における発芽の方が安定していた。また, 落葉の有無の影響は草種によって僅かに異なっていた。これはTFの播種時期が約1か月遅かったため, 播種後の降雨量や気温・地温など気象条件に差があったことが影響したものと考えられる。

なお, B-L区においては伸長した鞘葉が晴天の日にはマツの落葉と接触すると, その部分が翌日には白変して枯死し, 2, 3日後にはその先が脱落し, 生長が停滞する個体が観察された。

発芽に影響を与える外部要因のうち, 気温と落葉層並びにその下の腐植と土壌層の温度を測定した結果を第6表に示した。5月の気温は庇陰の強いA区で約15°Cと, 他区に比べ3°Cほど低かったが, 出芽率が一番高かった点を考えると発芽には支障なかったものと思われる。そして, 6月に入るとB区よりも高い傾向があった。地

第5表 不耕起播種されたOGとTFの出芽率, 枯死率と平均出芽日数

処理区	草種	出芽率 (%)		平均出芽日数 (日)		枯死率 (%)	
		L	NL	L	NL	L	NL
A	OG	36.5	42.3	22.3	18.9	5.3	0
	TF	31.8	59.0	15.0	11.3	10.7	4.7
B	OG	13.5	7.3	24.3	26.7	27.9	10.7
	TF	39.3	15.8	12.9	12.3	20.1	56.2
対 照	OG		39.3		20.1		13.3
	TF		52.5		12.5		24.1

L, 落葉区; NL, 落葉除去区.

第6表 不耕起造成草地の気温と地温

処理区	5月				6月			
	気温 (°C)	L区 (°C)		NL区 (°C)	気温 (°C)	L区 (°C)		NL区 (°C)
		L	F-S	F-S		L	F-S	F-S
A	15.1	18.3	18.0	18.1	23.9	23.3	23.1	23.0
B	18.2	20.8	20.3	20.9	22.9	26.0	25.4	25.3
対 照	18.1			18.5	23.7			24.7

L, 落葉; F-S, 腐植+土壌.

5月は1980年5月12—18日, 6月は6月10—17日の間の平均値である.

第7表 落葉層と土壤の水分含有率

処理区	4-5月			5-6月		
	L区 (%)		NL区 (%)	L区 (%)		NL区 (%)
	L	F-S	F-S	L	F-S	F-S
A	31.1±17.0	41.9±5.5	36.4±7.3	41.9±18.4	46.4±5.3	37.5±7.0
B	22.4±19.7	38.0±8.0	22.5±8.3	31.7±22.4	41.5±7.5	22.1±7.0
対 照			14.1±5.5			17.0±6.1

L, 落葉; F-S, 腐植+土壤.

温はB区が高く、A区が最も低かった。しかし、A、B両区ともにL、NL区間に差がなかった。対照区の土壤温度はA、B区の間値であった。

落葉層並びに土壤の水分含有率について示したのが第7表である。水分環境は、4-5月よりも5-6月にかけて高くなる傾向があった。層別にみると、落葉の水分含有率の変動は非常に大きい。強庇陰のA区の方が10%程高く、庇陰の効果が認められた。また、L区のF-S層の水分含有率はA、B両区とも落葉層に比べてかなり高く、しかも変動が小さく、特に、4-5月までのA区の水分含有率は40%以上を示していた。一方、NL区のF-S層では5-6月は落葉層よりも低かった。この様に落葉がある場合は、F-S層の水分含有率が最も高く、時期によっては、落葉を除去すると庇陰の強さにかかわらずF-S層の方が逆に低くなることが認められた。対照区の土壤水分は、林内の落葉や土壤に比べてかなり低かったが、変動は小さかった。

以上から落葉を取り除くと地温よりもその下層のF、S層の水分含有率により強い影響を与えることが明らかとなった。

考 察

マツを主体の林内に、寒地型牧草を2年間にわたり春季に不耕起播種して、出芽個体数の追跡と発芽に影響を及ぼす外的要因を調査した。表面播種された種子の大部分は降雨などにより落葉の間に入り込むが、コナラの様な広葉の落葉の表面に固着して発芽する種子もみられた。しかし、そのような種子は晴天が続くと最初に枯死した。これは牧草根は落葉層から土壤層へ伸びようとするが、その到達以前に乾燥状態が続くと、途中で枯死するとの指摘⁷⁵⁾があるように、種子根が土壤中へ遅滞なく進入

できることが定着の第一歩であることを示していた。本実験において林内では、落葉の厚い場所でも定着したが、それら個体の多くは表面から2cmまでの層に種子が着床して発芽したもので、この様な場所は庇陰が強かった。この落葉層は雨が降ると水分は十分であるが、非常に乾燥しやすく、水分、温度いずれとも短時間のうちに大きく変動し、特に、樹冠による庇陰が少ないほどその傾向は著しかった。これは、スギの壮齡林と新植地との環境要素の比較から、森林が気象緩衝作用の働きを持つとの指摘⁸⁷⁾があるように、庇陰が播種床の温度、水分環境の変動幅を小さくして高温や乾燥から発芽・定着中の種子を守る役割を果たしていることが認められた。

また、粗腐植を取り除くと地温を4-5°C高めるとの指摘⁸⁰⁾がみられるが、本実験の様に林内の庇陰条件下では、落葉を除去しても地温の上昇は殆ど見られなかった。しかし、弱庇陰の林内の落葉層やF層の温度は強庇陰に比べ2°C以上高かった事から、庇陰がない条件下で落葉層を除去するとその下のF層の温度が高くなり、発芽に悪影響を及ぼすことは十分予想される。これは、乾燥地の表面播種では裸地よりも粗腐植のある方が発芽にとって良いとの報告⁵⁸⁾や、発芽初期には湿度が重要であり、粗腐植で種子の周りを覆うことが発芽率に良い結果を与えるとの高畑らの指摘⁸⁶⁾にみられるように、落葉は樹冠ほどの効果は無いにしても、F層やS層の水分含有率を高め、発芽に有利に働くものと考えられる。落葉層の相対湿度は測定しなかったが、林内では相対湿度が低下する日中でも70%以上に保たれていたことと、土壤水分の影響を考慮すると落葉層ではかなり高い湿度を維持していることが予想される。しかしながら、無庇陰状態では晴天の日に落葉は直射日光に当たると50°C以上になる。そして、伸長した鞘葉が高温の落葉

に接触すると熱障害を受け、接触した部分が白変し、やがてその部分から先の鞘葉は枯死、脱落する。そのような個体は生長が停滞するか、枯死することがあり、この点は落葉が存在することのマイナス面と考えられる。

一方、露出した土壌の表面における発芽は、無庇陰で水分含有率がかなり低い条件下においても、林内で発芽が良好であった落葉を除去した状態と匹敵する結果が得られ、種子が土壌表面に接触することの必要性が認められた。

落葉中、或いは土壌表面における OG の発芽は、4月下旬播きの平均発芽日数が20日以上であったこと、5月播きしても9月の秋雨の頃に発芽する種子もあってかなり不揃いであった。しかし、梅雨前の5月下旬に播種した TF が10日後で発芽したことは、できるだけ斉一な発芽を得るために播種時期を選ぶことの重要性を示唆していた。

小 括

庇陰度の異なる林内に寒地型イネ科牧草を不耕起播種し、出芽数や枯死個体数を調査した。また、表層に堆積する粗腐植と土壌の水分含有率、気温、地温、相対湿度、相対日射量等を測定し、発芽・定着と発芽環境との関係について検討した。

1. 林内および林外に不耕起で OG と TF を表面播種したところ、OG の4月下旬播きは平均出芽日数は20日以上を要したが、梅雨前の5月下旬播きの TF は約12日と短かった。また、播種後4か月以上経った9月に入ってから発芽する種子もあり、表面播種における発芽は不斉一で、しかも、かなりの長期間にわたることが明らかとなった。
2. 林外で露出している土壌表面は、林内の落葉層やその下層より水分含有率は低かったが、出芽率は高く、土壌と接触することの有効性が認められた。
3. 地表面に堆積する落葉は、林内では除去して、林外ではそのままの状態での播種した方が出芽率は高かった。
4. 林内は林外に比べ、落葉、土壌とも水分含有率は高く、相対湿度も高く、発芽条件は良好で、庇陰の効果が認められた。
5. 庇陰の少ない状態では、落葉は直射日光を受けると水分含有率は1日に40%以上も激減し、温度が

50°C 以上に上昇することがある。しかし、落葉が存在すると F 層や S 層の水分が高めに保たれ、発芽を高める効果が認められた。

第3章 土地表面におけるイネ科牧草の発芽・定着過程

地表に堆積している粗腐植の表面並びに露出した土壌表面にイネ科牧草種子を播いて出芽個体と枯死個体数を調査したところ、粗腐植の厚いところほど枯死する個体が多く、土壌表面では水分含有率が低いにもかかわらず定着率が高くなり、土壌表面の方がやや安定した結果が得られた。そして、粗腐植上で発芽しても定着に失敗する個体は種子根が土壌表面まで達しないか、或いは土壌中へ進入できないうちに着床面が乾燥して枯死することが観察された。

この様に、不耕起造成においては粗腐植中や土壌表面で発芽を始めた種子の種子根が順調に土壌中へ進入できることが定着の条件であることが確認された。牧草を土壌表面に播種して発芽率や発芽行動を調査した研究はいくつかみられるが^{2,7,13,14,86)}、種子根が土壌中へ進入する経過の解明は不十分で、進入機構が解明されたいがいがない。また、他のイネ科作物についても、発芽経過について生理的、或いは形態的研究は多数見られるが、種子根進入の経過については水稲の直播栽培における観察結果⁵²⁾がみられる程度で、発芽動態を解明しようと試みた研究は少ない。

そこで、本章では土壌表面並びにろ紙上での発根・発芽の過程を外部形態から観察し、イネ科牧草種子の発芽動態と、そこに関与する要因について明らかにしようと試みた。

第1節 イネ科牧草の発芽経過と土壌表面における発芽動態

寒地型イネ科牧草トールフェスクの発芽経過をろ紙上で、発芽動態を土壌表面でそれぞれ外部形態面から観察して、表面播種におけるイネ科牧草の発芽特性について検討した。

実験材料および方法

実験にはトールフェスク（品種：ケンタッキー 31）の有稈種子と胚各部の観察が容易なように脱稈種子も用

いた。そして、発芽過程の調査には根鞘と根鞘毛の観察がし易いように墨で黒く染めて十分に水洗したろ紙を用い、容器を包むように外面を密着させ、あらかじめ十分に吸水させておいた有稈種子は外穎を下に、脱稈種子は胚部を上にして置床した。そして、ろ紙の下端を浅く水に浸して水分を上昇させ、給水した。

発芽動態の調査には三重大学生物資源学部附属農場の水田土壌（第三紀層、壤土一埴壤土）と津市高野尾町の非火山灰性黒ボク土壌を用い、両土壌とも風乾・碎土して1mmの篩を通した後プラスチック製の小型容器に表面が平滑となるよう充填した。そして、容器の隅に溝を作ってそこに給水した。

播種後、30°Cの定温器（相対湿度約100%）に入れ、根鞘出現から発根して鞘葉が認められるまでの過程を経時的に実体顕微鏡で観察し、適宜、写真撮影した。

実験結果

ろ紙上においてトールフェスク種子の発芽過程を観察したのが第5図である。外穎を下側にして置床した有稈種子の発芽過程を側面から見ると（第5図5～7）、吸水によって外穎基部が膨張し、やがて亀裂が生じてそこから根鞘が出現してくる。根鞘は出現後、長さ、幅とも徐々に大きくなり、数時間後には先端から根鞘毛が発生する。この根鞘毛は時間の経過とともに先端・背側・腹側（外穎側＝置床側を腹側とし、反対側を背側とする）へ順次発生し、根鞘先端から腹側の根鞘毛は置床面に達して密着する。この様な種子を持ち上げるとろ紙と離れ難いので根鞘毛が固着していることがわかる。根鞘が外穎を突き破って出現した直後には根鞘毛を肉眼で認めることは困難であるが、多数発生する頃には、はっきりと確認できる。

胚部の生長と発根の過程を脱稈種子（第5図1～4）と発根直前種子の断面（第5図-8）で見ると、根鞘は伸長を続けながら、先端から順次根鞘毛を発生させ、やがて種子根が根鞘の腹側を突き破って出現する。鞘葉の伸長もかなり早い時期から始まっており、種子根が出現する頃には胚部は吸水膨張時の3倍以上になっている（第5図1と3）。

土壌表面で発芽中の種子は根鞘が出現し、根鞘毛が発生する頃まではほぼ同じ経過を辿るが、種子根の出現以後は様々な動きを示す。その動態は第6図に示したよう

におおよそ次の5つの型が観察された。

1（第6図-1、以下同じ）。種子は横たわったまま根鞘毛により根鞘が土壌表面に固定され、種子根を直下の土壌中へ進入させる。したがって、種子根、根毛とも全く外気に触れることがない。

2。1と同様に根鞘が固定された後、種子腹部が置床面から徐々に浮き上がり、頂端部を上、ついには垂直に上まで立ち上がるものがある。この立ち上がる角度・速度とも種子により一様ではないが、種子根は外気に触れることなく土壌中へ進入するので鞘葉の伸長も順調である。

3。2と同様に立ち上がるが、種子根が根鞘の直下から土壌中へ進入できず地面を這ったり、空中で弧を描きながら根毛を発生する。その根毛が土壌表面に固着して根端が土壌中に進入することもあるが、大部分は外気中に露出するので、大気湿度が下がったり、直射日光に当たると、種子根・根毛とも萎れて鞘葉の伸長も停止する。

4。根鞘毛が土壌表面に密着せず、種子根先端が土壌中への進入を阻害されるため、種子根の伸長とともに種子基部は押し上げられ、やがて種子根で支えきれず横転する。種子根の大部分は地表面を這って伸長し、空気が乾燥していればやがて萎凋するので鞘葉は伸長しない。

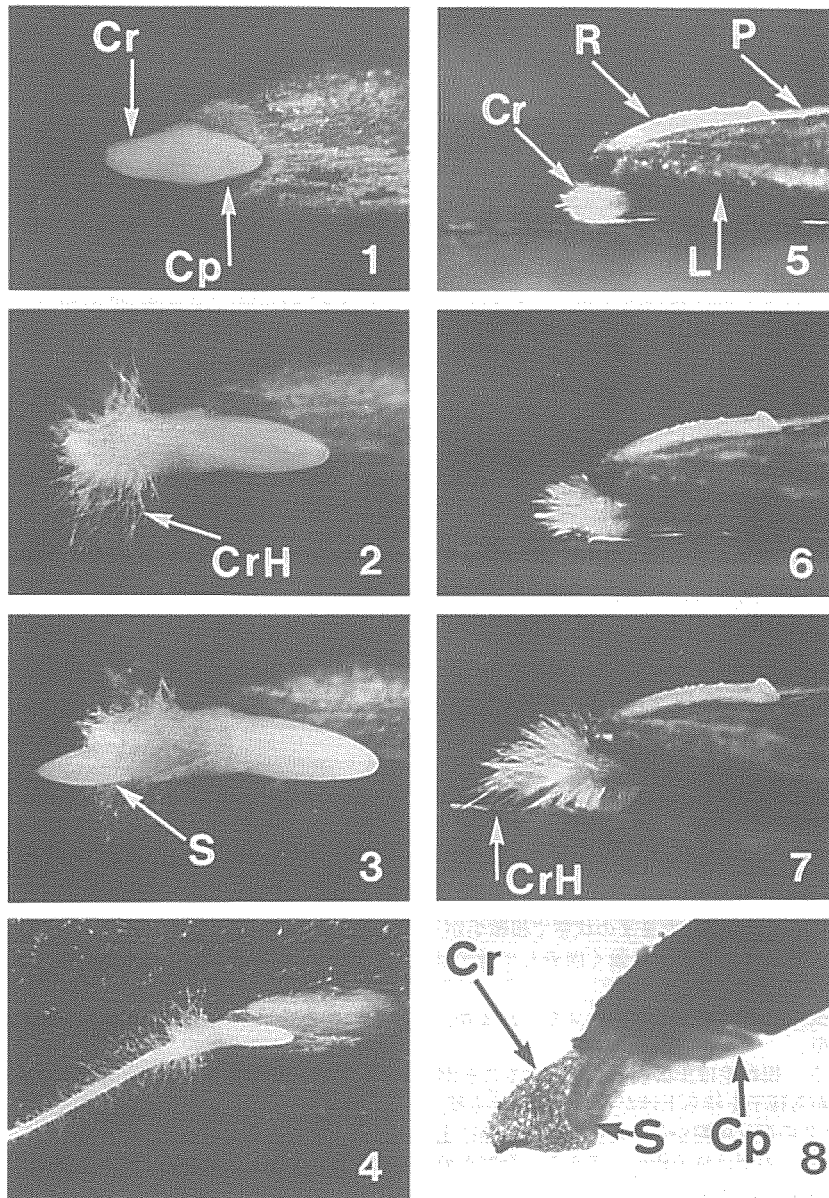
5。根鞘毛の発生が少なく、種子根が地表面で伸長し、その先端が固形物に触れたり、土壌表面に少し入ると種子根の伸長にともない種子が土壌表面を移動する。空気が乾燥すれば萎凋する。

1の型は土壌水分が多い場合や、表面が軟らかい場合に多く、3の型は黒ボク土壌で観察された。4および5は根鞘毛の発生が少ないか、短いために土壌表面に固定されないことが原因と考えられる。この3～5の場合には大部分の種子は発芽しても土壌に定着しないものと推察される。

以上の発芽動態を種子の動きと地表面への種子根露出の有無などを基準にさらに次の3発芽型に整理することができよう。

I型；置床された時と同じく外穎が土壌表面に密着したままで根鞘毛が固着し、種子根が直接土壌中へ進入する型。鞘葉が外穎から出た時点で始めて確認できる（以後、この発芽型を横臥型と呼ぶ、以下同じ）。

II型；根鞘毛によって、根鞘は土壌表面に密着し、種子は立ち上がりながら種子根が土壌中へ直接進入する



第5図 トールフェスク種子の発芽過程

1~4; 胚部を上側にして置床した脱稃種子

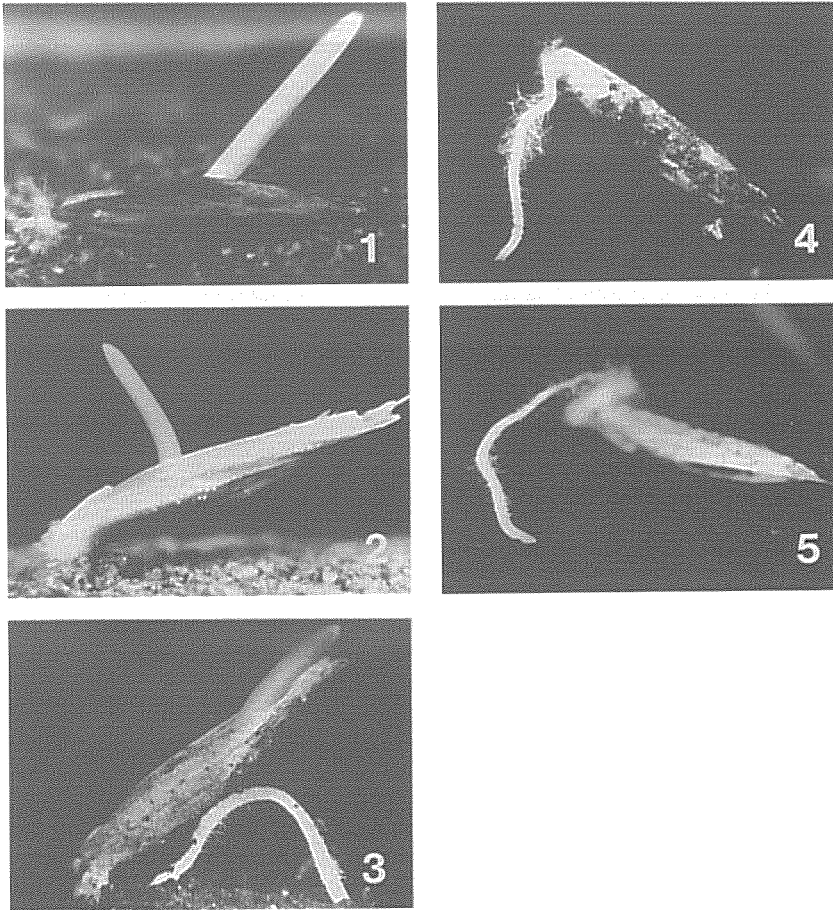
5~8; 外穎を下側にして置床した種子の側面

8; 胚部を下側にして置床した種子の発根直前の断面

倍率: 1~3, $\times 16$; 4, $\times 6$; 5~8, $\times 16$.

Cp, 鞘葉; Cr, 根鞘; CrH, 根鞘毛; S, 種子根,

P, 内穎; L, 外穎; R, 小穂軸。



第6図 土壤表面における発芽型

1. 種子は置床されたままの状態で根鞘毛が土壤表面に固着し、種子は良く固定される型。
 2. 根鞘毛は土壤表面に強く固着して種子は立ち上がりながら種子根が直接土壤中へ進入する型(立ち上がり型)。
 3. 根鞘毛が固着して種子は立ち上がるが、種子根が直接土壤中へ進入できずに一部が露出する型。
 - 4と5. 根鞘毛は土壤表面へ固着することができないため、伸長を始めた種子根は地表面を這いながら種子を持ち上げたり、移動させる型。
- 1と2の型は根鞘から出た種子根は順調に土壤中に進入して空気に触れることがない。
3から5の型は種子根の一部または全部が地表面に露出して空気に触れる。
倍率：1~5, $\times 7$.

型(立ち上がり型)。

Ⅲ型; 土壤表面への根鞘毛の固着が弱い、固着しないため種子根は直接土壤中へ進入できず一部又は大部分が地表面に露出する型。立ち上がった種子でも種子根の一部が露出しているものはこの型に含めた(根上がり型)。

第6図の1, 2はそれぞれⅠ, Ⅱ型に、そして、3~5はⅢ型に分類した。

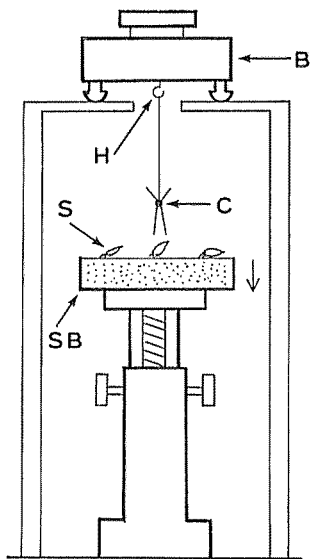
第2節 土壤表面への根鞘毛の固着と種子の立ち上がりとの関係

発芽に際し、土壤表面における種子の発芽動態は根鞘

が土壌表面に固定されるか否かによって、横臥型、立ち上がり型、根上がり型の3発芽型に分類できた。そして、この根鞘固定の程度は根鞘毛が地表面に固着する強さにかかっているものと推察した。そこで、本節では種子の側から固着できる条件を探るため、土壌表面へ根鞘毛が最も強く固着しているものと思われる立ち上がり型の種子について立ち上がるまでの経過時間並びに根鞘毛の固着力を測定した。

実験材料および方法

土壌表面とろ紙上で立ち上がった種子について、前節と同じ方法でその過程を随時写真撮影し、その写真から立ち上がりの経過時間の測定をした。また、第7図に示した装置を考案して、根鞘毛によって発芽床に固着し、立ち上がっている種子の固着力を測定した。即ち、自動上皿天秤の台下フックに小型クリップを吊り下げ、立ち上がっている種子をクリップで挟み、置床面を徐々に下げて根鞘毛が置床面から引き離されるのに要した最大負荷重を求めた（以後、この重量を根鞘毛の固着力と呼ぶ）。さらに、引き抜いた種子の根鞘毛に固着している土塊の縦、横の長さ（種子と平行方向を縦、直角方向を横とする）と厚さを測定し、その容積を求めた。



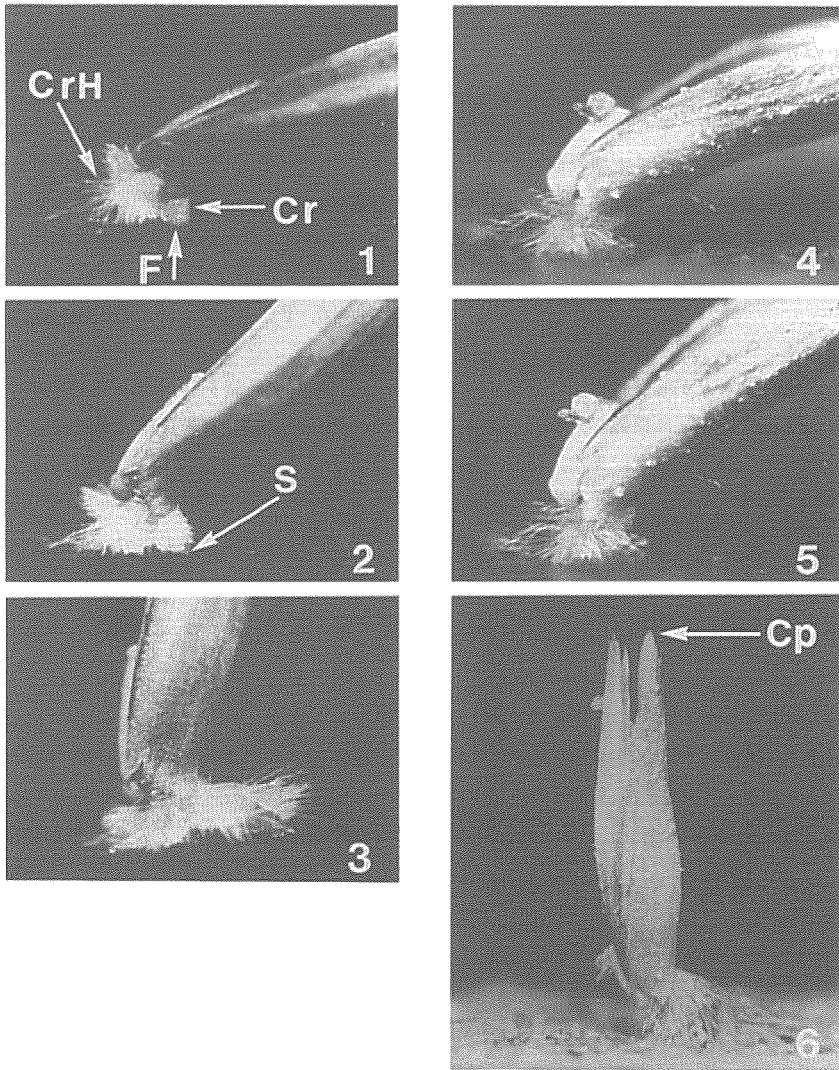
第7図 牧草種子の根鞘毛固着力の測定装置
B, 自動上皿天秤; H, 台下フック;
C, クリップ; S, 種子; SB, 播種箱.

実験結果

第8図はろ紙上（1～3）と土壌表面（4～6）で発芽中の種子が立ち上がる過程をそれぞれ追跡観察した結果である。また、立ち上がり始めてからおおよその経過時間も合わせて示した。二つの種子ともほぼ直立近くまで立ち上がった例である。その過程を見ると、根鞘毛で置床面に固定された種子は根鞘腹部の伸長につれて先端の平面部から腹部にかけての尖った部分を支点にして（第8図、1・F）、外穎が置床面を離れて徐々に立ち上がっていく。立ち上がり始めてからほぼ直立するまでにろ紙上で約40時間を要したが、土壌表面では僅か5時間ほどであり、28時間後には鞘葉が出現した。種子は立ち上がり始めて間もなく発根するが、ろ紙上では約4時間後に根鞘から種子根が出現するのが確認された。土壌表面の場合は出現した種子根が土壤中に直接進入するため確認することはできなかったが、鞘葉出現までの経過時間が短かったことから、ろ紙上よりも短時間で発根しているものと思われる。

次に、土壌表面とろ紙上で立ち上がった種子の根鞘毛の固着力を示したのが第8表である。根鞘毛の固着力は土壌表面で約2.66g、ろ紙上が約4.10gとろ紙の方が大きかった。この値はエンドウの種子根が土壤中へ進入する時の力⁸⁾と比べると、土壌表面ではやや小さいが、ろ紙上ではほぼ同程度であった。イネ科牧草の種子根はマメ科のそれより細いため土壌中へ進入しやすく、土壌表面での固着力は吸水種子重（0.005g）の約550倍にも達したことから、発根前の種子を固定し、種子根の進入を助ける力として十分機能を果たしているものと思われる。ただ、固着力は種子間でかなり大きな差が見られた。

土壌表面から種子を引き離すと根鞘毛に固着した土壌粒子の塊が一緒に抜けてくる（これを土塊と呼ぶ）が、その状態を示したのが第9図である。この土塊の大きさは種子によって差が見られた。そこで第10図に固着力と土塊の容積との関係を示した。固着力と土塊の容積の間には強い正の相関関係（ $r=0.89$, $P<0.001$ ）が見られ、固着力の大きい種子は土塊も大きいことを示していた。この土塊の多くは根鞘を中心に逆四角錐に近似した形をしており、その外面で根鞘毛の先端部が露出しているのが認められた。したがって、根鞘毛は土壌表面だけでなく、土壌粒子の間隙を通して土壌中へ進入して固着することを確認した。そして、土塊の形と大きさは根鞘



第8図 ろ紙上 (1~3) と土壌表面 (4~6) におけるトルフェスク種子の立ち上がり過程
 立ち上がり始めてからの経過時間
 1; 2.5時間 4; 1時間
 2; 4 ♫ (種子根の出現) 5; 2 ♫
 3; 40 ♫ 6; 28 ♫ (鞘葉出現)
 倍率: 1~5; ×14, 6; ×9.
 F; 立ち上がりの支点
 その他の記号は第5図と同じ.

毛の伸長方向や長さ、或いはそれらが固着できる土壌の範囲の概略を示しており、根鞘毛発生量の間接的指標ともなり得る。この事は、根鞘毛発生量の差が固着力に差をもたらす重要な要因であることを示しており注目すべき点である。

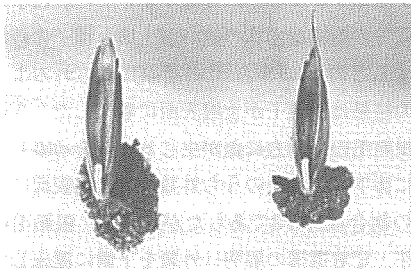
第3節 牧草種子の置床方向と発芽動態との関係

多くのイネ科牧草の種子は地表面に播種されると外穎か内穎の何れかを下側にして着床する。その際どちら側が地面に接するかによって発芽過程や根鞘毛の固着に影響を受けることが予想される。

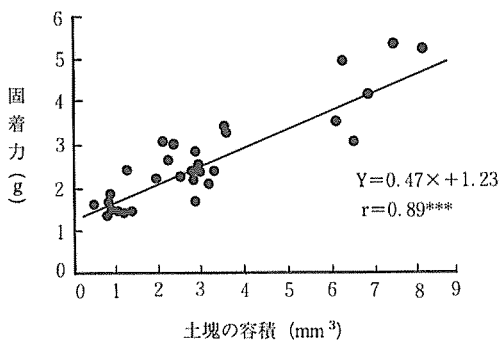
第8表 土壌表面とろ紙上で立ち上がったトールフェスク種子根鞘毛の固着力

播種床	固着力 (g)
土壌表面	2.66±1.11
ろ紙	4.10±1.74

n=30



第9図 土壌表面において根鞘毛が掴んだ土塊



第10図 土壌表面で根鞘毛が掴んだ土塊の大きさと根鞘毛の固着力との関係

そこで本節では種子の置床方向を変えて土壌表面に播種してその発芽動態の比較と牧草種子を地表面に落下させて、外穎と内穎ではどちらが地表面に接する割合が高いか調査したものである。

実験材料および方法

イネ科牧草の中では大粒で形状も比較的偏平で、地表に播種された時外穎か内穎の何れが接地するか判定が容易なトールフェスク種子を供試した。そして、前節と同

じ水田土壌の土壌水分を容水量の40%に調節し、その表面に、外穎を下側にして置床した外穎下区と内穎を下側にした内穎下区の2処理区を設けて播種した。播種後2週間にわたって、25°Cの定温器内で発芽させ、前節で分類した3種類の発芽型に分けて発芽動態を調査した。

また、播種した時に内・外穎何れが地表面に接するかを知るため、トールフェスク種子を1回に50粒ずつ、地上1mの高さから均平に整地した硬度が異なる土壌表面に6回播き、外穎が下側になる割合を調査した。なお、土壌表面は耕起・整地直後を想定して軽く鎮圧した軟区と、強く鎮圧した硬区の2段階に分けた。

実験結果

種子の置床方向を変えて発芽動態を調査した結果を第9表に示した。外穎下区は立ち上がり型が約80%で根上がり型は約14%に止まった。一方、内穎下区は立ち上がり型と横臥型は少なく、根上がり型が約54%と過半数を占めた。この様に種子の置床方向によって発芽型に差が見られたので、地表に自然落下した種子の外穎が下側になる割合を調査した結果が第10表である。土壌表面の硬度は軟区が4.7mm、硬区が12.5mmであった。外穎が地表面に接する割合は軟区が約52%、硬区が約51%で、外穎が上側になる場合と殆ど変わらなかった。また、土壌硬度による差も見られなかった。

第9表 種子の置床方向の違いが発芽型別発芽率に及ぼす影響

処理	横臥型 (%)	立ち上がり型 (%)	根上がり型 (%)
外穎下	6.8	79.5	13.7
内穎下	18.3	27.4	54.3

第10表 トールフェスク種子を播種した時、内穎或いは外穎が地表面に接する割合

土壌表面	外穎下 (%)	内穎下 (%)	その他 (%)
軟	52.4	47.2	0.4
硬	50.5	48.1	1.3

注1) 土壌表面の軟区は山中式硬度計により4.7mm、硬区は12.5mm。

注2) その他は横向きで着床した種子。

考 察

表面播きされた種子が発根し、定着するためには種子根が土壤中へ進入しなければならない。種子が軽かったり、固定されていない場合、種子根は土壤の抵抗に打ち勝って進入する力が弱く、地面を這って伸長するか、その先端を基点にして種子のほうが移動する。この地表面を這う種子根から発生した根毛が地表面に固着して芽生えを固定し、根端が土壤中へ進入するのを助けるとの指摘²⁾もある。しかし、高畑ら⁸⁶⁾は乾いた土壤の上で発芽した種子は芽が伸びず根だけが伸びて地表面にとぐろをまくことをみている。また、McWILLIAM ら³⁹⁾は地表面に露出した種子根や根毛は乾燥した外気に5時間さらされると枯死すると述べ、CAMPBELL ら¹⁾もたとえ種子根の先端が土壤中に入ってもその一部が乾燥すると芽生えは枯死する、と述べており、いずれにしても種子根が地表面に露出すると萎凋して夭折することを指摘している。

本研究の結果から、土壤中へ種子根が進入する際の基点となるのが根鞘を置床面に固定する根鞘毛であり、その固着力が種子根の伸長に対する土壤の抵抗力よりも強い時、種子根は遅滞なく土壤中へ進入することができ、その結果、外気にさらされずに土壤中へ進入できるので支障無く伸長できることが明らかとなった。

この様に重要な働きをする根鞘毛は根鞘の表皮細胞が伸長したものであるが⁶¹⁾、その根鞘は胚発生学的には付属的な器官として扱われ、機能的には殆ど評価されていなかった^{10,11)}。また、根鞘毛については発生・形態、或いは生理的機能等の面から解明が進められ、種子根出現までの吸水作用や無機物質の吸収能力を持つなど生理的機能の重要性は指摘されているところであるが^{8,60,61)}、物理的機能については殆ど注目されなかった。僅かにDOWLING ら⁷⁾がイネ科牧草の根鞘毛にゼラチン質の存在を示唆しているが、置床面に固着するとか、種子を固定すると言った物理的機能面までは言及していない。しかし、イネ科牧草の表面播種の発芽・定着機構の解明には根鞘毛の生理的機能面とともに固着機能面からも究明していく必要がある。

土壤表面に根鞘毛が強く固着して根鞘を固定し、順調な発芽過程を辿る事象として種子の立ち上がりを挙げることができる。この立ち上がり現象は他のイネ科牧草でも認められており⁵⁰⁾、イネ科牧草の表面播種では特徴的

な発芽動態と考えられる。イネ科牧草の種子はオーチャードグラスやケンタッキーブルーグラスの様に外穎の龍骨部が発達して横断面が三角形の形から、イタリアンライグラスやトールフェスクの様に偏平な種子まで、大きさも形態もかなり異なる。トールフェスクでは播種された時外穎が上方で、胚部が土壤から離れた状態で発芽を始めると、根鞘毛発生直後から回転・移動し、根上がり型が多くなる。逆に、胚部が土壤表面に接触すると立ち上がり型が多くなり、定着が安定した。種子と土壤表面の双方の微細な形状の違いが土壤と種子の接触程度に影響するとのHAPER ら¹³⁾の指摘に見られるように、本実験の結果は、種子が土壤表面に着床したときの状態によって根鞘毛の固着力に差が生じることを示唆していた。

地表に落下した種子のうち外穎側が土壤表面に着床する種子の割合は約1/2であったが、今後、根鞘毛の固着性と発芽・定着機構の解明は外穎を下側に置床して根鞘毛が固着し易い条件下で行うこととする。

また、この立ち上がりの程度は本実験に供試した黒ボク土壤と水田土壤との間においても大きな差を生じることが観察された。これは土壤をはじめとする環境条件の違いが根鞘毛の発生程度や固着力に影響を与えることを示唆しているものと考えられる。

小 括

トールフェスク種子を用い、土壤表面とろ紙上で発根・発芽の過程を外部形態面から観察して、イネ科牧草の発芽動態とそこに関与する要因について検討した。

1. 置床された種子は外穎基部を破り、まず、先端が丸い円柱状の根鞘が出現する。その後、根鞘は根鞘毛を多数発生しながら先端部を拡大して平面となり、根鞘毛は置床面に固着する。
2. 根鞘毛の固着が弱いと根鞘は十分に固定されないの、種子根が土壤中へ進入できなかつたり、種子の方が移動することもある。
3. 根鞘毛の固着が強いと根鞘はしっかりと固定され、根鞘腹部が伸長するにつれて、種子は徐々に置床面から頂端部を上方に持ち上げていく（これを種子の立ち上がりと呼ぶ）。立ち上がった種子の種子根は根鞘直下の土壤中へ進入し、発芽過程も順調であった。
4. 根鞘毛が土壤表面に固着する力（固着力と呼ぶ）は

種子1粒当たり2.66gを示し、吸水種子重のおおよそ550倍の強さであった。その時、根鞘毛が固着して摺む土壌粒子(土塊)の量と固着力との間には強い正の相関($r=0.89, P<0.001$)が見られた。

5. 以上から、土壌表面の発芽・定着には置床面に固着して種子を固定する根鞘毛の物理的固着機能が重要な働きをしていることが明らかとなった。そして、この固着の強さ、種子の動きと地表面への種子根露出の有無等により発芽動態を次の3発芽型に類別した。

I型; 置床された時と同じく外穎が土壌表面に密着したままで根鞘毛が固着し、種子根が直接土壌中へ進入する横臥型。

II型; 根鞘毛によって根鞘は土壌表面に固定され、種子は立ち上がりながら種子根が土壌中へ直接進入する立ち上がり型。

III型; 土壌表面への根鞘毛の固着が弱いか、固着しないため種子根が直接土壌中へ進入できず一部又は大部分が地表面に露出している根上がり型。

6. 播種された種子は外穎を下側にして胚部が土壌と接していると立ち上がり型が多くなるのに対し、外穎が上側になって土壌から離れると根上がり型が過半数を越え、置床の方向により3種の発芽型の割合に差が見られた。

第4章 土壌表面における発芽動態と根鞘毛の固着力の草種間差異

不耕起法による草地造成や追播・自然下種^{35,106})など

による草地更新が広く行われ、土壌表面で発芽・定着に適する草種については従来から多くの実験や実証試験によって検討されてきた。その結果、イネ科牧草ではイタリアンライグラス、ペレニアルライグラス、オーチャードグラス、トールフェスク、ケンタッキーブルーグラス等が適草種に挙げられている。しかし、草地の立地、土壌・気象条件、播種時期などが異なるうえ、それらの組合せが複雑なため、適草種は必ずしも一致していない^{34,57,65,72,76,100})。これに牧草の発芽特性の違いが加わるので、造成条件によって適草種が異なるのはむしろ当然のことかもしれない。牧草の発芽特性について、主に生理的な面からは多くの草種について明らかにされているが、生態的側面から比較した研究は少ない。不耕起造成においては各草種の土壌表面における発芽・定着の生態的特性を明らかにして草種を選択する必要がある。

本章では種子の形態や発芽特性が異なる寒地型イネ科牧草の発芽動態と、それに大きな影響を及ぼす根鞘毛の固着力と根鞘毛の発生状態、種子根の太さと伸長速度等を調査した。そして、発芽動態と根鞘毛の固着力の面から表面播種に適する草種、或いは順調な定着過程を辿るための草種の具備すべき条件等について検討した。

第1節 土壌表面における発芽動態の草種間差異

本節では寒地型イネ科牧草7種類を水田土壌と黒ボク土壌の表面に播種して発芽型別に発芽率を調査して、各草種の発芽動態の特徴について検討した。

実験材料および方法

実験には、オーチャードグラス(OG)、トールフェスク(TF)、メドウフェスク(MF)、ケンタッキーブルー

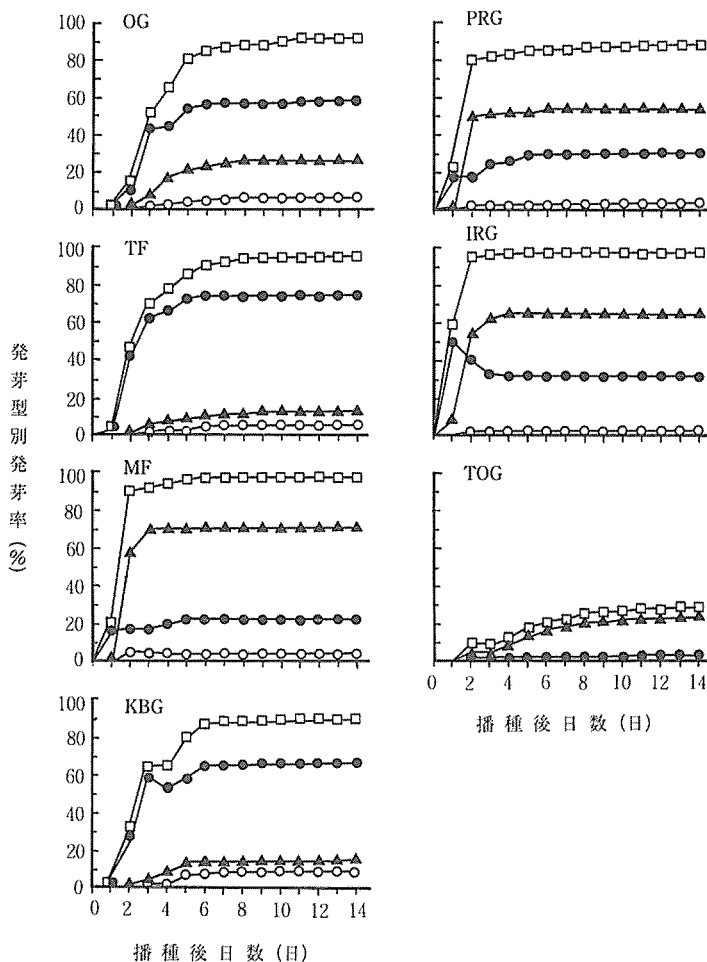
第11表 供試牧草

草種	品 種	千粒重 (g)
オーチャードグラス (<i>Dactylis glomerata</i> L.)	ポトマック	1.05
トールフェスク (<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.)	ケンタッキー 31	2.35
メドウフェスク (<i>Festuca pratensis</i> L.)	ファースト	1.99
ケンタッキーブルーグラス (<i>Poa pratensis</i> L.)	トロイ	0.31
ペレニアルライグラス (<i>Lolium perenne</i> L.)	キヨサト	2.46
イタリアンライグラス (<i>Lolium multiflorum</i> Lam.)	ワセユタカ	2.92
トールオートグラス (<i>Arrhenatherum elatius</i> Presl.)	メスコ	—

千粒重は有稔種子の重量。

グラス (KBG), ペレニアルライグラス (PRG), イタリアンライグラス (IRG), トールオートグラス (TOG) の寒地型牧草7種を用いた。各草種の品種と、その種子重を第11表に示した。そして、三重大学生物資源学部附属農場内の水田土壌 (第三紀層, 黄色土, 壤土—埴壤土) と東北大学農学部附属農場内の腐植質火山灰性黒ボク土壌を播種床とした。蓋付の縦 19.5 cm, 横 9.0 cm, 深さ 4.5 cm の透明プラスチック製の播種箱に, 風乾して 1 mm の篩を通した水田土壌 700 g を入れ, 均平に

して軽く鎮圧し, 水道水 160 ml (土壌含水量の40%) を加え, 18時間以上放置した。黒ボク土壌は土壌 500 g, 水道水 350 ml (土壌含水量の85%) とした。そこに, 約24時間浸漬して十分に吸水させた充実した種子を各草種 2箱, 1箱に100粒ずつ外穎を下にして置床し, 25°C の定温器に入れた。その後2週間, I型 (横臥型), II型 (立ち上がり型), III型 (根上がり型) の3発芽型別に発芽率を調査した。



第11図 水田土壌表面における各草種の発芽型別発芽率の推移

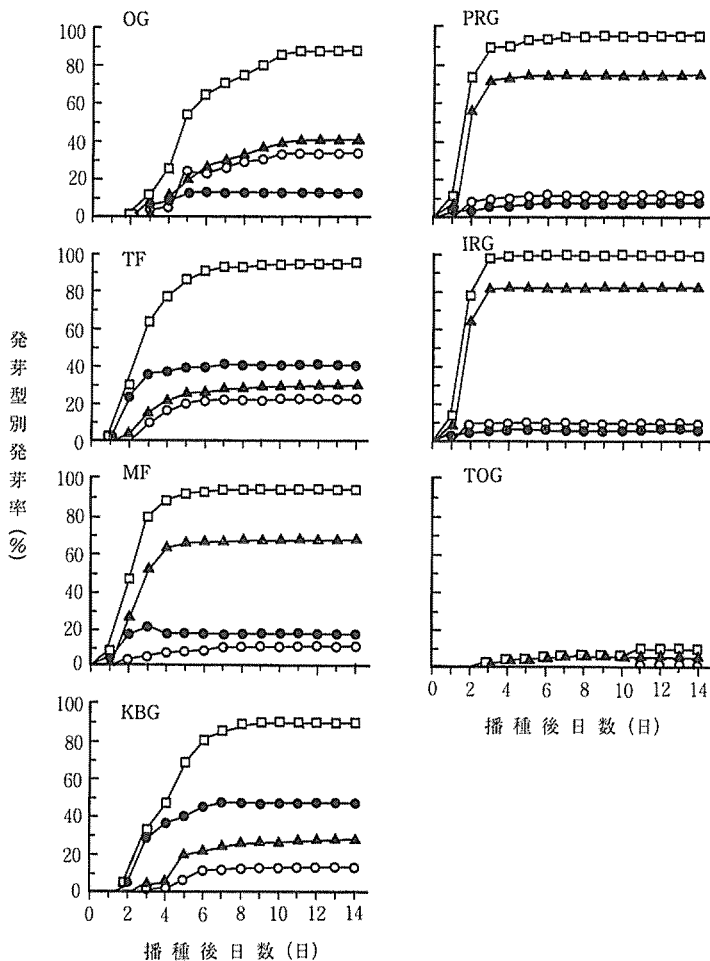
OG, オーチャードグラス; TF, トールフェスク; MF, メドウフェスク;
KBG, ケンタッキープルーグラス; PRG, ペレニアルライグラス;
IRG, イタリアンライグラス; TOG, トールオートグラス。

○—○, 横臥型; ●—●, 立ち上がり型; ▲—▲, 根上がり型; □—□, 全発芽率。

実験結果

水田土壌と黒ボク土壌における各草種の発芽型別発芽率の推移を第11, 12図に、そしてほぼ発芽型が安定する置床10日目における3発芽型の割合を第12表に示した。水田、黒ボク両土壌とも各草種の3発芽型を合せた発芽率はほぼ90%以上に達し良好であった。ただし、TOGの発芽率は水田土壌で25%、黒ボク土壌で5%と非常に悪かったので結果は示したが参考程度にとどめる。水田土壌における発芽型別発芽率を見ると、TF, OG, KBGの3草種は最初から立ち上がり型が多く、6~7日目には63~80%に達したのに対して、根上がり型はOGが29%、TF, KBGは13~16%であった。これに対して、

MF, PRG, IRGは2日目では根上がり型は立ち上がり型より僅かに多い程度であるが、3日目になると急増して過半数を越して最も多くなった。そして、立ち上がり型は20~30%にとどまった。この発芽経過を見ると、IRGでは置床2~3日目にかけて、KBGでは3~4日目にかけて立ち上がり型の減少がみられた。これは立ち上がり型から根上がり型に移行する種子が見られたためである。PRGやMFにおいても2~3日目に立ち上がり型の数が停滞し、根上がり型の種子が急増した中にはこの様な移行型の種子が含まれており、他の草種も移行型を示す種子が見られた。また、各草種とも横臥型は少なかった。発芽型は置床6~7日目にはほぼ決定し、以



第12図 黒ボク土壌（川渡）表面における各草種の発芽型別発芽率の推移
図中の略号は第11図と同じ。

第12表 草種別にみた水田土壌と黒ボク土壌表面における播種後10日目の3発芽型の割合

草 種	水田土壌			黒ボク土壌		
	発芽型			発芽型		
	I (%)	II (%)	III (%)	I (%)	II (%)	III (%)
オーチャードグラス	7.2	63.3	29.4	39.3	15.6	45.1
トールフェスク	6.4	79.9	13.8	24.1	43.5	32.5
メドウフェスク	6.2	35.2	58.5	11.2	17.6	71.3
ケンタッキーブルーグラス	10.1	73.6	16.3	15.6	53.9	30.6
ペレニアルライグラス	9.3	35.6	62.1	12.0	9.4	78.5
イタリアンライグラス	2.0	32.5	65.5	9.5	8.4	82.4
トールオートグラス	2.0	11.8	86.3	0.0	0.0	100.0

I, 横臥型; II, 立ち上がり型; III, 根上がり型.

後発芽型間の関係は殆ど変化しなかった。この時期には殆どの種子で鞘葉の伸長が認められた。

黒ボク土壌においても、TF と KBG は最初から立ち上がり型が多く、42~55%に達し、根上がり型は30%と比較的少なかった。また、OG では立ち上がり型は16%程度であったが、横臥型が約40%を占めたため、両型を合わせると根上がり型よりも多かった。これに対して、IRG, PRG, MF は最初から根上がり型が圧倒的に多く、70%を占めた。MF では3~4日目にかけて立ち上がり型の減少が見られ、移行型の種子があったことが認められるが、PRG, IRG では最初から根上がり型になる個体が殆どであった。

第2節 土壌表面における根鞘毛の固着力の草種間差異

前節では OG, TF, KBG の3草種は立ち上がり型が多く、他の草種は根上がり型が多かったが、根鞘毛の固着力を草種別に比較して発芽動態との関係について検討した。

実験材料および方法

発芽型別発芽率調査と全く同じ要領で調整した水田土壌に TOG を除く6草種を播き、立ち上がった種子の根鞘毛の固着力を前章と同じ方法で各草種20粒ずつ (TF は30粒) 測定した。

実験結果

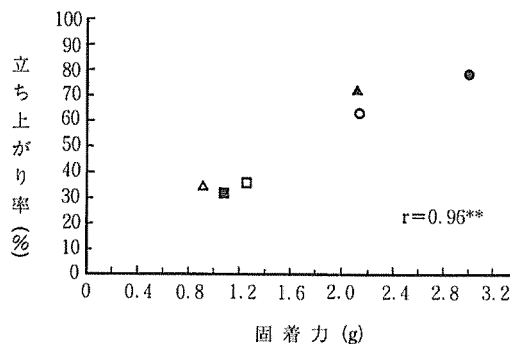
水田土壌において立ち上がった種子の固着力を測定し、草種ごとの平均値を示したのが第13表である。固着力は

TF が3gと最も大きく、ついで OG と KBG の約2.1gで、この3草種の値は大きかった。しかし、PRG と IRG は1.2g, 1.1gと小さく、MF は0.9gと最も小さ

第13表 水田土壌表面における各草種根鞘毛の固着力

草 種	固着力 (g)
オーチャードグラス	2.14 a
トールフェスク	3.01 b
メドウフェスク	0.92 c
ケンタッキーブルーグラス	2.12 a
ペレニアルライグラス	1.24 c
イタリアンライグラス	1.27 c

欄内の異なる英小文字間は5%水準で有意差あり。



第13図 草種の立ち上がり率と根鞘毛の固着力との関係
○, オーチャードグラス; ●, トールフェスク;
△, メドウフェスク; ▲, ケンタッキーブルーグラス;
□, ペレニアルライグラス;
■, イタリアンライグラス.

くなり草種によって差が見られた。

この草種別固着力と前節第12表の立ち上がり率との関係を示したのが第13図である。両者の間には強い正の相関関係 ($r=0.96$, $P<0.01$) が認められ、根鞘毛の固着力が強い草種は立ち上がり率が高いことを示していた。

第3節 水中発芽における根鞘毛の発生量の草種間差異

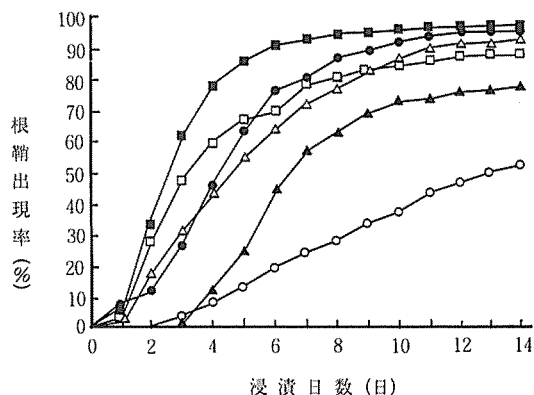
前節で根鞘毛の固着力は草種によってかなり大きな差のあることが明らかとなった。この固着力は根鞘毛の発生数や長さ等の発生量が関係しているものと考え、草種ごとの発生量を比較し、立ち上がり率や固着力との関係を検討した。

実験材料および方法

TOGを除く6草種について、1草種当たり200粒を25°Cの水道水200mlに浸漬して、根鞘が出現した種子数を2週間にわたって数えた。根鞘の出現した種子は別の容器に移し、同じ条件で24時間生長させた後、FAA液で固定した。そして、固定した種子を後日ルテニウムレッドで染色して根鞘の大きさ、根鞘毛の発生本数と、その中の最長根鞘毛の長さを測定した。

実験結果

各草種の水中における根鞘の出現経過と、根鞘から発生した根鞘毛の数と長さを第14図と第14表にそれぞれ示した。IRG, PRG, TF, MFの4草種は浸漬後1日目には根鞘が出現する種子が見られ、2日目から急増し、1週間目にはほぼ70%以上に達した。なかでもIRGとPRGは2～4日目にかけての増加が顕著で、初期の根鞘出現速度が早かった。一方、OGとKBGは3日目



第14図 草種別にみた水中浸漬種子の根鞘出現率の推移
図中の記号は第13図と同じ。

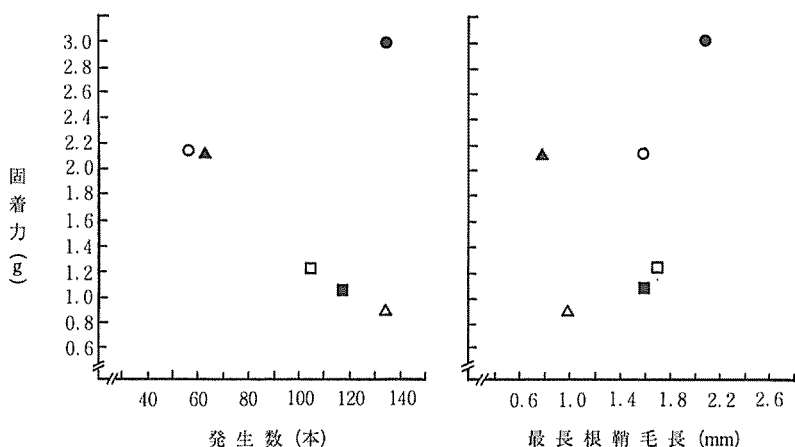
初めて根鞘出現種子が認められ、KBGはその後急速に数を増して2週目には77%に達したが、前述の4草種ほど出現率は高くなかった。OGはさらに緩慢で2週間になっても53%に過ぎず、土壌表面における発芽率に比べてかなり劣っていた。なお、TOGは水中では根鞘は出現しなかった。根鞘毛の発生数はTF, MFの約130本が最も多く、次にPRGとIRGが約110本、そして、OGとKBGは約60本と少なく、草種間に差が見られた。長さはTFの2mmが最も長く、OG, PRG, IRGは1.6～1.7mm, MF, KBGは約1mmと最も短く、やはり草種間に差が見られた。この様に水中においては、TFは多数の長い根鞘毛を、MFは短い毛を多数発生させるのに対し、IRGとPRGはやや長い毛を多数発生させ、OGはやや長い毛を少数発生させていた。そして、KBGの根鞘毛は短く、少数であった。

そこで草種の固着力と根鞘毛の数並びに長さとの関係

第14表 水中発芽させた各草種の根鞘毛の発生数並びに長さ大きさ

草種	根鞘毛		根鞘		
	発生数	長さ(mm)	長さ(mm)	幅(mm)	厚さ(mm)
オーチャードグラス	56 a	1.6 a	0.7	0.5	0.4
トールフェスク	134 b	2.1 b	1.0	0.6	0.5
メドウフェスク	135 bc	1.0 c	0.8	0.5	0.4
ケンタッキーブルーグラス	63 a	0.9 c	0.4	0.2	0.2
ベレニアルライグラス	105 c	1.7 a	0.7	0.6	0.5
イタリアンライグラス	117 c	1.6 a	0.7	0.7	0.5

縦の欄内で異なる英小文字間は5%水準で有意差あり。



第15図 根鞘毛の発生数および最長根鞘毛と固着力との関係
図中の記号は第13図と同じ。

を見たのが第15図であるが、本数や長さとの間には一定の関係は認められなかった。

第4節 種子根の伸長速度並びに太さの草種間差異

立ち上がった種子の中には種子根が発根するにつれて根上がり型に移行する種子がみられる。移行の割合は草種により一様ではないが、発芽型を決定するのは根鞘毛の固着力とともに、伸長を始めた種子根が土壤中へ進入する際の抵抗力、即ち、伸長速度と太さが影響するものと考えられる。そこで各草種の種子根の伸長速度と先端部の直径を測定し、立ち上がり率との関係を検討した。

実験材料および方法

シャーレにろ紙を敷き前節と同じ6草種について根鞘毛が出現した種子を置床し、蓋をして25°Cの定温器内で生長させた。そして、24時間に伸長した種子根長と、種子根の先端から1~3mmの根毛が発生し始める部位の直径を測定した。根鞘毛および種子根の長さや直径の調査は各草種ともそれぞれ20粒ずつ行った。

実験結果

ろ紙上で根鞘毛出現後24時間に出現した種子根の長さや先端部の直径を測定した結果を第15表に示した。24時間に伸長した種子根の長さはPRGとIRGが6.2mmで最も長く、OG、TFが3.3mm、KBGは2.8mmと短くなり、MFは2.4mmで最も短かった。また、種子根

第15表 各草種の根鞘出現後24時間に伸長した種子根長と先端部の直径

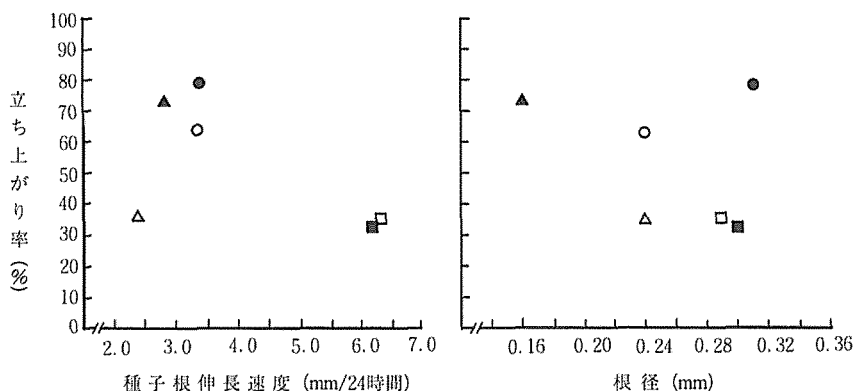
草種	根長(mm)	根径(mm)
オーチャードグラス	3.3	0.24
トールフェスク	3.4	0.33
メドウフェスク	2.4	0.24
ケンタッキーブルーグラス	2.8	0.16
ペレニアルライグラス	6.3	0.29
イタリアンライグラス	6.2	0.30

の太さはTFが0.33mmと最も太く、次にPRGとIRGが0.30mm、OGとMFが0.24mm、KBGは0.16mmと最も細かった。この様に、草種間には種子根の伸長速度にも直径にも差が見られた。

そこで、立ち上がり率と種子根の伸長速度並びに太さとの関係を見たのが第16図である。種子根の伸長速度の早いPRGやIRGでは立ち上がり型が少なく、根上がり型が多くなる傾向は認められるが、伸長が緩慢なMFも根上がり型が多かった。また、根径の大小との間にも一定の関係は認められず、種子根の伸長速度並びに太さが発芽型に及ぼす影響は草種により異なることを示唆していた。

考 察

イネ科牧草6草種を供試して、土壌表面で発芽動態を調査した。その結果、TF、OG、KBGの3草種は立ち



第16図 種子根の伸長速度および太さと立ち上がり率との関係
図中の記号は第13図と同じ。

上がり型が70%以上を占め発芽過程は順調であり、これら草種の根鞘毛はそれぞれ2g以上の強さで土壤表面に固着していた。これに対して、MF, PRG, IRGの3草種は根上がり型が過半数を占め、固着力はそれぞれ1g前後と弱かった。

この結果から考えると、土壤表面で発芽中のイネ科牧草種子の種子根が遅滞なく土壤中へ進入するためには根鞘毛が少なくとも2g程度の強さで固着する必要がある、平均値がこの値より小さい草種は種子根が土壤表面に露出する種子が多くなることが明らかとなった。

この固着力に影響を及ぼす形質として根鞘毛の数および長さが考えられるが、6草種のうちOGとKBGの数は明らかに少なかった。しかし、OGとKBGの根鞘毛の固着力はPRG, IRG, MFより明らかに大きく、根鞘毛の数が多い草種は固着力が強いとは言えなかった。

そこで、供試草種の有稈種子の千粒重を測定し、それぞれの値に高畑ら⁸⁶⁾が調査した草種別の外被(内穎+外穎)重量比を乗じて脱稈種子の千粒重を求めたところ(但し、IRGはPRGの値を準用)、OG: 0.58g, TF: 1.72g, MF: 1.41g, KBG: 0.22g, PRG: 1.75g, IRG: 2.07gであった。そして、脱稈種子千粒重と根鞘毛の発生数との間には正の相関関係($r=0.83$, $P<0.05$)が認められたことから、OGやKBGの根鞘毛が少ない原因のひとつとして種子重の小さいことが挙げられる。しかし、最も小粒のKBGはTFに比べて根鞘毛の数は約1/2で、かつ短かったが、種子重量が約1/8である点を考えると、種子が小さいにもかかわらず、根鞘毛はむしろ

多数で、長く、固着力も相対的に大きいと認められる。さらに、KBGは種子根が細く、しかも伸長速度が遅いことが土壤中へ進入する際に抵抗が少なくして有利に働いているものと考えられる。OGにしても、種子重はTFやIRGに比べ約1/3で、しかも、種子根の太さや伸長速度も中程度である点を考えると、種子の大きさに対して根鞘毛が少ないとは必ずしも言えなかった。

また、本実験では根鞘毛の数は水中における発生数を基にしたものである。KBGでは水中でも大気中でも発生数は変わらないとの結果⁶⁰⁾もみられるが、OG, KBGの両草種は土壤表面における発芽率に比べ水中での根鞘出現が緩慢であった本実験の結果や、土壤水分が多い土壤では出芽や初期生長が悪いとの結果⁷⁸⁾を考えると、土壤表面に比べて水中発芽では根鞘毛の発生が少ないことも考えられるので今後検討を要する。一方、根上がり型が多かった3草種のうち、PRGとIRGは根鞘毛の数は120本程度発生し、多かったが、短い毛が多いことが固着力を弱めた。さらに、種子根が太く、しかも伸長速度が他の草種に比べて早かったことが根上がり型が多くなった主な原因と考えられる。また、MFはTFと同程度の根鞘毛を発生したものの、短い毛が多かったことが固着力を弱めたものと思われる。

この様に、種子重をはじめとして、形態的にも、生態的にも違いがある草種間で、根鞘毛の数や長さの絶対値を個別に比較することは適切でなく、土壤とこれら形質の複合した結果として固着力があると考えられる必要がある。

土壤表面に種子を固定して種子根が土壤中へ進入する

支点となる力として根鞘毛の固着力の強弱の観点から見ると、表面播種に適した草種として TF, OG, KBG を挙げることができる。佐藤ら⁷⁶⁾ は雑木林を皆伐して地表処理をせず不耕起播種した12草種の比較から、発芽・定着・初期生育が極めて良好であった草種として OG, PRG, MF, KBG, RT をあげている。不耕起造成において、TF, KBG, IRG などは広範囲の播種期にわたり安定した定着の傾向が窺われるとの報告⁶⁵⁾もある。自然下種による草地の更新には OG や PRG などが適するとの北原ら³⁴⁾の結果があり、地表条件が悪く、しかも充分に覆土、鎮圧ができないような条件では OG が適する¹⁰⁰⁾との報告がある。これら諸研究で、表面播種に適した草種として挙げられたもののうち MF, IRG, PRG, RT を除き本実験において根鞘毛の固着力が強い草種とほぼ一致した。

本実験では IRG と PRG の固着力は余り強くなかった。しかし、IRG は水中でも⁹⁾、水分不足の状態でも⁴⁰⁾発芽し、わが国では不耕起栽培の基幹草種として追播に利用され、発芽・定着も良好である^{67,68,82,83)}。また、落合ら⁷²⁾は種子根のルートマット貫通率の比較から、自然下種や追播の定着には種子重の重い草種が有利として IRG や PRG などを挙げており、実際に広く表面播種に利用されている。この両種の中には固着力が3~4gを示す個体も僅かながらみられるが、両種とも種子根の伸長速度が他の草種の2倍近く早かった。各草種は種子根の先端1~3mmの所から根毛が発生し始めるが、根毛は土壤表面に固着し、芽生えを固定する働きがある²⁾。種子根の伸長速度の早かったこの両種は他の草種に比べて根毛が早く発生して土壤表面に固着し、定着に有利に作用するものと思われる。本実験においても種子根が2mm以上伸長して根毛が発生し始めた種子の固着力が急に大きくなるのがしばしば観察されたが、根鞘毛の固着力に種子根の根毛の固着力が加わり、種子の固定をより強化していることを示唆していた。

一方、KBG の様な小粒種子については、発芽は良好ではあるが落葉中での定着率が悪いとの指摘³²⁾がある反面、発芽・定着・初期生育が極めて良好との結果⁶⁵⁾もある。本実験のように土壤表面に着床すれば根鞘毛により種子は強く固定され、種子根は遅滞なく土壤中に入して定着できるものと考えられる。

小 括

種子の形態や発芽特性の異なる6種の寒地型イネ科牧草の発芽型別発芽率や根鞘毛の固着力と発生量、さらに種子根の伸長速度等を比較して表面播種に適する草種について検討した。

1. OG, TF, KBG の3草種は根鞘毛の固着力が2g以上の大きさで強く固着し、立ち上がり型が多く、発芽過程も順調であった。しかし、固着力が1g程度の大きさしかなかった MF, PRG, IRG の3草種は根上がり型が多かった。そして、根鞘毛の固着力と立ち上がり率との間には強い正の相関関係 ($r=0.96$, $P<0.01$) が認められ、固着力の強い草種は立ち上がり率も高かった。
2. 水中発芽では、TF, MF, PRG, IRG の4草種は OG と KBG よりも多数の根鞘毛を発生させた。また、TF の根鞘毛は OG, PRG, IRG よりも長く、MF と KBG が最も短かった。
3. PRG と IRG の種子根は他の草種に比べておよそ2倍の伸長速度があり、根径も OG, MF, KBG より大きかった。しかし、これら形質と立ち上がり率との間に一定の傾向は認められず、種子根の伸長速度の遅速や太さが発芽型に与える影響は小さかった。
4. 表面播種の定着過程において、根鞘毛の固着力は重要な役割を果たしており、固着力の観点から、表面播きには OG, TF, KBG が適していた。

第5章 温度要因が発芽動態と根鞘毛の固着力に及ぼす影響

土壤表面に播種されたイネ科牧草の種子は発芽・定着過程において根鞘毛が土壤表面へ固着する強弱により様々な発芽型を示す。前章では草種ごとに発芽型と固着力の関係を検討し、固着力の強い草種は立ち上がり型が多く、発芽過程が順調であることを明らかにした。そして、この固着力には根鞘毛の数や長さが関係していると推察されたが、これら形質は草種間に差は認められたが、一定の関係は見出せなかった。これは、形態的にも、また、生態的にも違いのある草種のそれら形質の絶対値を個別に比較したことに問題があったと思われる。しかし、この固着力には根鞘毛の発生量が大いに関係しており、根鞘毛が発生し易い環境条件を整えることが固着力を強めることにつながると考える。

根鞘毛の発生に関する研究は少なく、イネ、ムギ類等で水分、土壤水分、酸素、空気、高塩分等の外的条件下で根鞘又は根鞘毛の発生状態を観察するとか^{45,61,62)}、牧草類で根鞘毛の発生数を調査⁶⁰⁾しているに過ぎず、環境要因と根鞘毛発生との関係は殆ど明らかにされていない。土壤表面では地温、土壤水分などが短時日の間に大きく変動することが発芽・定着を不安定にしているが、温度要因と根鞘毛の固着力との関係を明らかにすることは発芽・定着の改善に寄与するだけでなく、牧草の播種時期と定着との関係を解明するうえからも重要と考える。

そこで、前章で根鞘毛の発生量が多くて固着力の強かったトールフェスクを種々の温度条件の土壤表面と水中で発芽させ、温度が発芽動態、根鞘毛の固着力、根鞘毛の発生数と長さ等に及ぼす影響について検討した。

第1節 置床温度が発芽動態と根鞘毛の固着力に及ぼす影響

種々の温度条件下で土壤表面に播種したトールフェスク種子の発芽型別発芽率と立ち上がった種子の根鞘毛の固着力を測定し、発芽型と固着力との関係並びにそれらに及ぼす温度の影響について検討した。

実験材料および方法

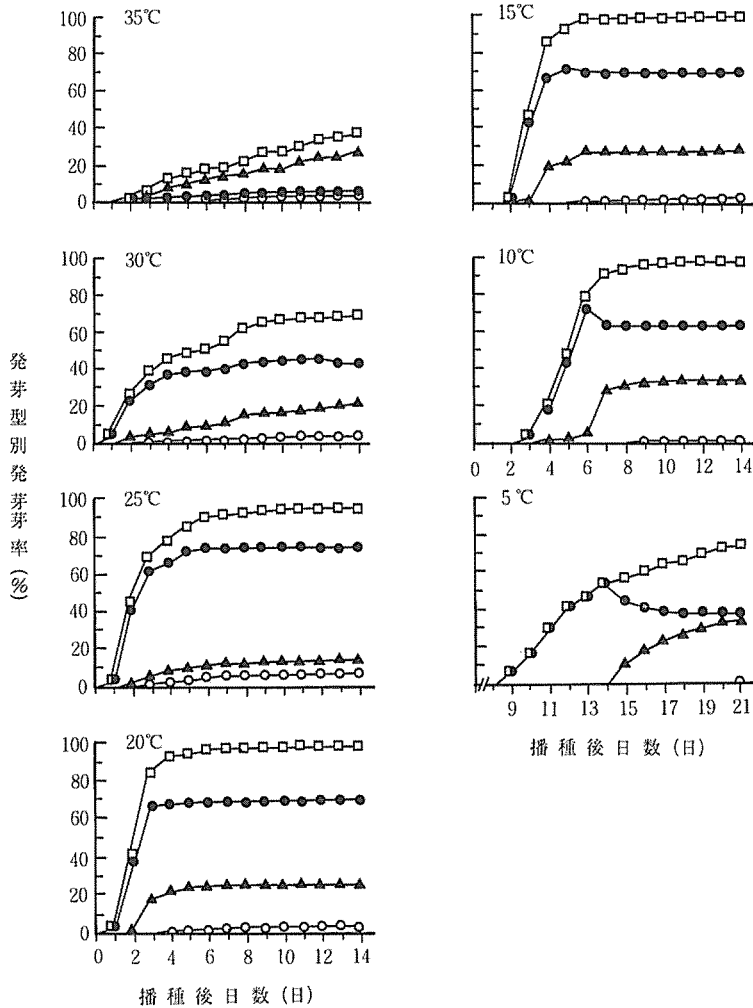
実験はトールフェスク種子を供試し、5°C から 35°C まで7段階の温度条件のもとで土壤表面と水中で発芽させた。土壤表面播きは水田土壌を用い、前章と全く同じ要領で播種した。発芽動態の調査は各温度区とも2週間を原則としたが、発芽速度の遅かった 30°C 区は3週間、5°C と 35°C 区は7週目まで観察した。さらに、各温度区とも立ち上がった種子のうち、未発根のものから根長が 1 mm 以内のもの30粒（但し、35°C 区は20粒）について第3章と同じ方法で固着力を測定した。

実験結果

温度ごとに土壤表面における発芽型別発芽率の推移を示したのが第17図である。充実した種子を選んだ結果各型を合わせた2週目の発芽率は 10°C～25°C の各区では95%以上と良好であった。根鞘毛の発生が認められるまでに約1週間を要した 5°C 区は2週目は51%で、7週目には75%に達した。30°C 区は2週目で70%、3週目でも78%とやや低かった。35°C 区は2週目では38%、

7週目でも50%に過ぎず、この未発芽とした種子のうち、外穎基部から根鞘の一部あるいは根鞘毛のみ僅かに出現しただけで発根しなかったものが28%も見られた。温度と発芽型との関係は以下の通りであった。35°C 区を除き、各温度区とも3発芽型のうち立ち上がり型が最も多く、次に根上がり型で、横臥型は最も少なかった。なかでも 20、25°C 区で70%以上が置床後3～5日で立ち上がり、そのまま順調に発根・発芽した。5～15°C の区では最初一度は立ち上がるが、その1～5日後に根上がり型に移行する種子が現れた。その数は 15°C 区では僅かであったが、10°C 区、5°C 区と低温区ほど移行傾向が強くなり、根上がり型が増加する一因となっていた。この様な立ち上がり型から根上がり型に移行する経過を 5°C 区でみると、置床9日目頃最初の立ち上がり種子が現れ、その後徐々に増加していく。そして、立ち上がり後5日目頃から根鞘を突き破って伸長し始めた種子根は土壤中へ進入できないで根端を支点にして固着していた根鞘を土壤表面から引き離して押し上げるため、立ち上がっていた種子を90度以上に傾かせる。種子根がさらに伸長すると地表面に露出して這うようになり、根上がり型に移行していく。そして、7週目には立ち上がり型の方が僅かに多いが、ほぼ同率であった。一方、35°C 区は発芽率が低いうえに、根上がり型の方が多く、他の温度区とは様相が著しく異なった。しかも、この区では殆どの種子が発根するにつれて最初から根鞘部が持ち上げられたり、横方向へ押しやられ、立ち上がり型から根上がり型への移行は見られなかった。この様に発芽型の割合が温度によって異なったり、低温で変わるのは根鞘毛の固着力が種子の個体差のほかに温度の影響を受けることを示唆しており、播種時の温度と定着との関係を考えるうえで興味深い現象である。

そこで、ほぼ発芽揃いとなった10日目（5°C 区は7週目、30、35°C 区は3週目）までに発芽した種子数について3発芽型の割合を示したのが第16表である。立ち上がり型は温度が高くなるにつれてその割合を増していき、25°C 区で80%と最高に達し、30°C 区では54%へ減少し、35°C 区では13%へと激減した。根上がり型は逆の推移を示し、25°C 区が14%と最も少なく、それより低温でも、高温でも増加した。特に、35°C 区では発芽した種子の70%は根上がり型であり、根鞘毛の固着が弱い、或いは全く固着しないことを示していた。また、



第17図 種々の置床温度におけるトルフェスク種子の発芽型別発芽率の推移
○—○, 横臥型; ●—●, 立ち上がり型; ▲—▲, 根上がり型; □—□, 全発芽率。

置床されたままの状態では根鞘毛が固着して発芽する横臥型は高温になるに従って増える傾向にあるが、最も多かった35°C区でも13%、20°C区以下では僅か数パーセントに過ぎなかった。この様に地表面に播かれた種子は種子根が土壤中へ進入するに際し何らかの動きを示し、置床されたままの状態では定着する種子(横臥型)は10%にも満たないことが明らかとなった。

次に、各温度ごとに立ち上がった種子の根鞘毛の固着力を測定した結果を第17表に示した。各温度区とも固着力は種子により最大5~6g、最小は0.4~0.8gと大

きな幅が見られたが、5°C区でも平均2.47gで、30°C区までは温度が高くなるにつれて大きくなる傾向が認められた。しかし、35°C区では1.10gと他の温度区の1/2以下となり固着力が急激に弱くなっていた。

各温度区での平均固着力と立ち上がり率との関係は第18図の様に両者の間には強い正の相関関係($r=0.90$, $P<0.01$)が認められ、固着力の強さと種子の立ち上がりとの間には密接な関係があることを示していた。

第16表 各温度条件における播種後10日目の3発芽型の割合

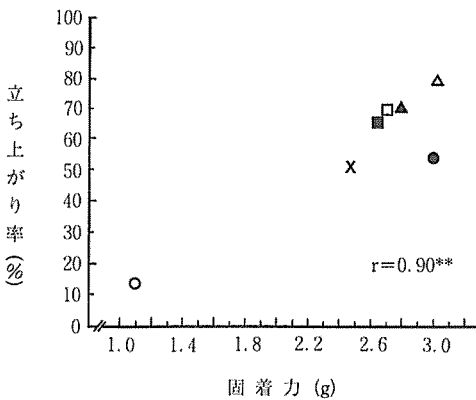
置床温度 (°C)	発芽型		
	横臥型 (%)	立ち上がり型 (%)	根上がり型 (%)
35*	13.1	13.7	73.2
30*	7.3	53.6	39.1
25	6.4	79.9	13.8
20	3.0	71.6	25.4
15	2.0	70.7	27.3
10	1.0	65.8	33.2
5**	1.3	52.0	46.7
L. S. D. (0.05)	5.9	15.3	17.8

* ; 3週目, ** ; 7週目.

第17表 播種温度別に土壌表面で立ち上がったトールフェスク種子の根鞘毛の固着力

置床温度 (°C)	固着力 (g)		
	平均	最大	最小
35	1.10 b	2.26	0.47
30	3.01 a	4.86	0.78
25	3.01 a	6.60	0.79
20	2.79 a	5.40	0.92
15	2.71 a	6.18	0.79
10	2.65 a	6.23	0.63
5	2.47 a	5.12	0.75

欄内の異なる英小文字間は5%水準で有意差あり.



第18図 トールフェスク種子の置床温度別立ち上がり率と根鞘毛の固着力との関係

○, 35°C; ●, 30°C; △, 25°C; ▲, 20°C; □, 15°C; ■, 10°C; ×, 5°C.

第2節 浸漬温度が根鞘毛の発生に及ぼす影響

前節において、根鞘毛の固着力が強い温度条件では立ち上がり型を示す種子が多いことが明らかとなった。この固着力には根鞘毛の発生量が影響し、その発生量は温度によっても影響を受けているように推察された。そこで、種々の水温で根鞘と根鞘毛の発生状態を調査して固着力との関係を検討した。

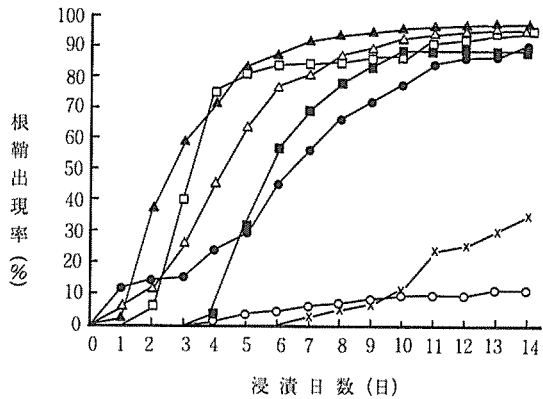
実験材料および方法

水中での根鞘および根鞘毛の発生観察は、土壌表面播きと同じ容器1箱に水道水約200 mlを入れて種子100粒を浸し、各温度とも2週間にわたり行った(5°C区は4週間, 35°C区は5週間)。この水中発芽実験の水は1~2日ごとに取り替えた。根鞘の大きさ、根鞘毛の数と長さの測定は前章と同じ方法で行ったが、10°C区は根鞘出現後5日目, 5°C区は7日目についても同様の方法で測定した。

また、水中での結果と比較するため、25°Cのろ紙上で根鞘毛を発生させ同じ方法で調査した。

実験結果

水中において、2週間にわたる各温度区の根鞘出現の推移を第19図に示した。10~30°C区では根鞘の出現は水中でも順調で、2週目で90%以上に達した。5°C区でも4週目には58%になるが、35°C区では緩慢で、2週目で13%、5週目で34%と低く、土壌表面と同様高温で伸長を阻害された。



第19図 トールフェスク種子の浸漬温度別根鞘出現率の推移

図中の記号は第18図と同じ.

第18表 トールフェスク種子の温度別水中発芽における根鞘毛の発生数並びに長さ
と根鞘の大きさ

置床 温 度 (°C)	根鞘毛		根 鞘		
	発生数	長さ (mm)	長さ (mm)	幅 (mm)	厚さ (mm)
35	89.7±43.5 a	0.7±0.2 a	0.6±0.2	0.4±0.1	0.4±0.1
30	135.8±62.2 b	2.0±0.6 b	0.9±0.3	0.5±0.1	0.5±0.1
25	134.0±41.3 b	2.1±0.6 b	1.0±0.2	0.6±0.1	0.5±0.1
20	136.8±51.5 b	1.9±0.6 b	1.0±0.2	0.6±0.1	0.5±0.1
15	119.8±84.5 ab	1.5±0.5 c	0.8±0.2	0.6±0.1	0.5±0.1
10	92.7±38.3 a	1.0±0.4 a	0.6±0.1	0.5±0.1	0.4±0.1
10*	110.3±59.6 ab	1.4±0.6 c	0.8±0.2	0.6±0.1	0.5±0.1
5	33.4±25.5 c	0.4±0.2 d	0.4±0.1	0.5±0.1	0.3±0.1
5**	112.0±47.3 ab	1.7±0.6 c	0.9±0.1	0.6±0.1	0.4±0.1
25・F	130.9±57.7 b	1.9±0.4 b	0.6±0.1	0.4±0.1	0.3±0.1

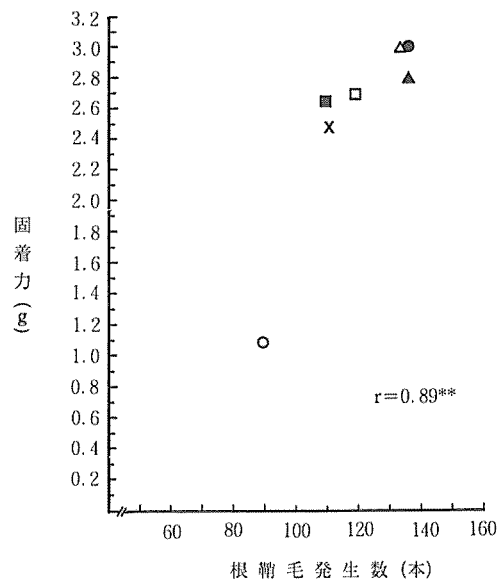
注1) 根鞘毛は根鞘出現後24時間に発生した数と長さであり、その時の根鞘の大きさである。そして、* は根鞘出現後5日目、** は7日目に測定したものである。

注2) F;ろ紙上。

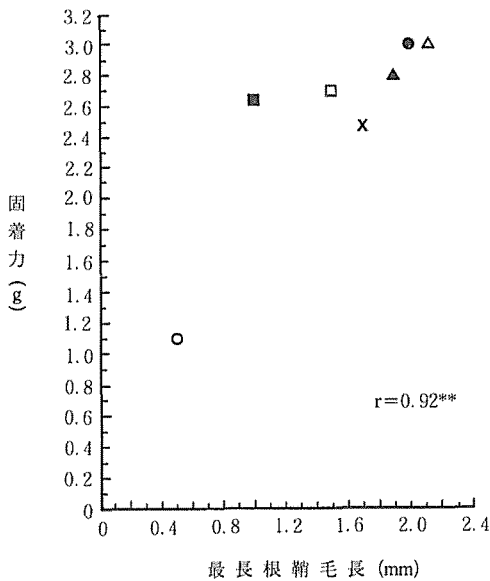
注3) 縦の欄内で異なる英小文字間は5%水準で有意差あり。

水中で出現した根鞘の大きさと、根鞘毛の長さ、数、さらに比較のためろ紙上での結果を示したのが第18表である。根鞘の大きさは20および25°C区では長さ1mm、幅0.6mm、厚さ0.5mmであり、温度がそれより高くなっても、また、低くなっても小さくなる傾向が見られた。そして、水中で一番小さい35°C区の根鞘とろ紙上でのそれは同じくらいの大きさであり、水中の方が大きくなることを示唆していた。また、20~30°C区では根鞘毛は130本以上発生し、2mm程度の長さであった。これはろ紙上での発生数とほぼ一致しており、根鞘毛の発生は水中でも、大気中でも殆ど変わらないものと思われる。5°C区では根鞘出現後1日目の根鞘毛の発生は数も少なく短いが、種子根が発生する時期(7日目頃)には110本以上になり、時間が経てば、低温条件でも根鞘毛は数も長さも適温のそれにかかなり近づくことが明らかとなった。ただ、根鞘毛の発生数は各温度区とも種子により差がみられた。各温度区の根鞘毛の発生が固着力にあたる影響を知るために固着力と根鞘毛の発生数並びに長さとの関係を表したのが第20、21図である。これによると、固着力と発生数との間には $r=0.89$ ($P<0.01$)、長さとの間には $r=0.92$ ($P<0.01$)と、いずれも強い正の相関が認められ、根鞘毛の固着力には発生

した数とその長さの両方が密接に関係していることが明らかとなった。



第20図 トールフェスク種子の根鞘毛の発生数と固着力との関係
図中の記号は第18図と同じ。



第21図 トールフェスク種子の最長根鞘毛長と固着力との関係
図中の記号は第18図と同じ。

考 察

土壌表面の発芽動態を左右する根鞘毛の固着力が温度によりどのような影響を受けるかを知るため、温度条件と発芽動態、固着力、根鞘毛の発生状態との関係を調査したところ、発芽動態や根鞘毛の固着力は温度の影響をかなり受けることが分かった。即ち、5°C から 30°C までは温度が高くなるにつれて固着力は強くなり、なかでも、15～25°C の間では70%以上の種子が立ち上がり、種子根も順調に土壌中へ進入した。この温度範囲においては根鞘毛の発生も良好で、多い種子は200本以上、平均でも120本以上発生し、最も長い根鞘毛は3mmにも達し、外穎長の1/2、穎果とほぼ同じ長さであった。これが種子自重の500倍以上の強さで固着する源泉のひとつであろう。35°C の高温になると根鞘毛は発生数も少なくて短い、10°C 以下の低温でも種子根の発根間際になると多数発生し、固着力も強くなることから、根鞘毛が多数発生して強い固着力を示す温度範囲はかなり広い幅をもっていることも明らかとなった。特に、寒地型牧草の生育適温と言われる15～25°Cの間で根鞘毛の発生量が多くて固着力が強く、従って、立ち上がり率も高く発芽・定着が安定していたことは注目すべきであろう。

温度と根鞘毛の発生量との関係を調査した研究は見られないが、本実験では温度と発芽率並びにその速度と根鞘毛の固着力の強さとの関係はよく一致していた。そこで、温度と発芽との関係を見ると、早川ら¹⁹⁾はトールフェスクの発芽は15°C以上で順調で、5°Cでも半数が発芽すると述べ、飯田²⁸⁾もイタリアライグラスでは5°Cの低温でも長い時間をかければよく発芽するが、35°C以上の高温では実用的な発芽は期待できないとし、高温による発芽障害がでる地表温度は35°Cに近いものと思われると述べ、野田⁶¹⁾はイネで発芽限界に近い高温では根鞘は出現するが種子根は伸長しないとの結果を得ている。本実験でも30°Cまでは根鞘が出現した種子は水中では100%発根・発芽し、土壌表面では立ち上がり型、根上がり型ともに発根しても発芽しない種子が稀に見られたが、2週間後にはほぼ全粒が発芽した。35°Cではたとえ根鞘が出現しても発根・発芽しない種子が水中で約10%、土壌表面で約1/3もあり、これら発芽試験の結果と同様に高温による障害が現れていた。また、発根した種子も根鞘毛の固着力が弱く根上がり型が多くなったこと、地表の粗腐植は直射日光が当たると50°C以上に達するとの第2章や佐藤⁷⁷⁾の結果と考え合わせると、表面播種では土壌表面が高温になることによる発芽障害に加えて、根鞘毛の固着力の低下が定着率をより一層悪くするものと考えられる。高温ほど多くはないが根上がり型は低温になるに従い増加した。その原因として、10°Cや5°Cの低温では、いったん立ち上がりながらその後種子根が伸長を始めると根上がり型に移行していく種子が見られたことが挙げられる。

移行する種子の固着力を測定していないので何故移行するのか断定はできないが、この移行は立ち上がり始めてから時間的に遅速はあるが種子根が数mm伸長した頃起きていた。立ち上がった種子の固着力は種子により大きな差が見られたことから、これら種子の中で固着力が小さい種子は種子根が土壌中へ進入しようとして土壌粒子を押し広げる圧力²⁾に固着力が抗し切れないで根鞘部が地表面から離れ、転倒して種子根が地表面に露出してくるものと思われる。

また、横臥型は種子根が種子直下に直接進入し、外気に全く触れることがないので定着には最も望ましい型と考えられる。しかし、各温度ともこの型が非常に少なかったという結果は、表面播種の発芽・定着過程では、

地表面に播かれたままの静止状態で発根し定着する種子は少なく、殆どが何らかの動作を示している。その動きが根鞘毛により固定されて制約を受け、その力が強いと種子は立ち上がるか、横たわったままの状態而定着するが、固定されないか、或いは固着力が弱いと根上がりになるものと考えられる。

小 括

寒地型イネ科牧草の中で根鞘毛の固着力が強く、発芽経過が安定していたトールフェスク種子を用い、種々の温度条件下で発芽型別発芽率、根鞘毛の固着力や発生量等を比較し、発芽動態に及ぼす温度の影響について検討した。

1. 置床温度と発芽動態および根鞘毛の固着力との関係は次の通りであった。15～25℃の間では70%以上の種子が立ち上がり、順調に定着し、根鞘毛の固着力も2.7～3.0gと大きかった。低温の5℃では立ち上がり型と根上がり型の種子がほぼ匹敵した。高温の35℃では発芽率も低く、固着力も1.1gと小さく、70%が根上がり型であった。横臥型は各温度とも10%以下と少なかった。
2. 根鞘毛は水中でもよく発生し、15～30℃では根鞘出現後約24時間で120～130本に達し、平均2mm程度の長さであった。5℃では根鞘出現後、1日目は短くて数も少なかったが、7日目頃の種子根の発根時には110本以上発生した。35℃では数も少なく短かった。
3. 根鞘毛の数および長さや固着力、固着力と立ち上がり率との間にはいずれも強い正の相関関係が認められた。
4. 土壌表面に播かれた種子は置床されたままの姿勢、位置で定着に至る種子は少なく、発根・発芽中に何らかの動作をみせ、根鞘毛は根鞘部を固定してその動きを抑止する働きをする。そして、寒地型牧草の生育適温と一致する15～25℃の間では長い多数の根鞘毛が発生し、固着力も強く、立ち上がり型が多い。それよりも低温や高温では数も少なく短いため、その力が弱まり根上がり型が増加することが明らかとなった。

第6章 土壌条件が発芽動態と根鞘毛の固着力に及ぼす影響

土壌表面における根鞘毛の固着力の強さに関与する要因として、根鞘毛の発生量を左右する種子自体の特性とともに、気象・土壌などの外的要因が考えられ、前章までに牧草の種類や温度条件について検討してきた。不耕起造成においては前植生の刈株、残置植物体による地表面の被覆、土壌表面の小さな窪み、或いは林内草地における樹冠の庇陰や落葉等は土壌表層の乾燥を防ぎ、水分を保持し、発芽・定着を高める効果のあることが指摘されている^{1,7,48,77)}。また、土壌水分が高まれば土壌が軟らかくなることは一般的に知られており^{6,91)}、この事は種子根の進入に有利に働くであろうが、土壌の水分や硬度と発芽・定着との関係を追求した研究は少ない。土壌要因に関しては第3章の土壌表面における発芽動態の観察の中で同じ水田土壌でも土壌水分の多少により、或いは水田土壌と非火山性黒ボク土壌との間で発芽型に差があることを見た。これらの差は土壌の種類や水分含有量の違いにより、根鞘毛の固着力に差が生じる可能性があることを示唆している。そのため、土壌の種類別に水分含有率と発芽型との関係を解析して根鞘毛が強く固着し、種子根が順調に進入できる水分条件を明らかにする必要がある。また、土壌表面の乾燥の程度の少ない季節に播種した方が発芽・定着に失敗して紛失する種子が少ないとの報告もあり¹⁾、土壌表面の水分が次第に減少して乾燥状態になると根上がり型の種子の定着には不利になることは十分に予想される。この様に土壌とその表面には前植生の遺体や落葉、或いはそれらが分解した腐植などが層状に堆積して、播種された種子の発芽・定着環境を形成している。造成時には火入れか攪乱等の処理をして種子を土壌と密着させる手段がとられることが多いが、粗腐植は気象条件の変動に伴い温度や水分含有率の変動が大きい反面、その下層の腐植や土壌の水分含有率等を高める効果のあることも明らかとなった。しかし、土壌水分や、土壌硬度、乾燥或いは粗腐植と発芽・定着との関係を発芽動態の観点から追求した研究は少なく、不明な点が多い。

そこで、本章では土壌の種類や水分含有量、硬度並びに乾燥等の土壌条件と地表面に堆積する粗腐植が発芽動態に及ぼす影響を調査し、異なる土壌や粗腐植表面にお

ける根鞘毛の固着力と根鞘毛が掴む土塊の大きさを測定した。そして、発芽・定着や根鞘毛の固着性に及ぼす土壌・粗腐植の影響について検討した。

第1節 土壌の種類・水分並びに硬度が発芽動態と根鞘毛の固着力に及ぼす影響

わが国の広い地域で草地として開発利用されている火山灰性黒ボク土壌と非火山灰性黒ボク土壌並びに鈹質水田土壌のそれぞれについて土壌水分を変えて播種し、その発芽型を経時的に調査した。そして、土壌水分の影響や、土壌水分の多少によって土壌表面の硬度が変化することに着目して、土壌硬度と発芽動態との関係についても検討した。

さらに各土壌ごとに立ち上がった種子の根鞘毛の固着力を測定し、土壌の種類による発芽型別発芽率の違いを根鞘毛の固着力の面から検討した。

実験材料および方法

前章と同様にトルフェスク種子を用い、土壌は、三重大学生物資源学部附属農場の水田土壌（第三紀層、黄色土、壤土一埴壤土、以後水田土壌と呼ぶ）と津市高野尾町の非火山灰性黒ボク土壌（軽埴土、高野尾土壌と呼ぶ）、宮城県鳴子町川渡の東北大学農学部附属農場内の牧草地の火山灰性黒ボク土壌（第三紀層、川渡土壌と呼ぶ）並びに栃木県西那須野町の農林水産省草地試験場内

放牧地の火山灰性黒ボク土壌（砂質埴壤土、西那須野土壌と呼ぶ）の4種類を用いた。第4章と同じ要領で水田土壌は700g、黒ボク土壌は500gを播種箱に詰めた。土壌水分はシュブラー氏法（但し24時間放置）により各土壌の容水量を求め、その容水量に対する水分割合とし、各土壌の土壌水分を第19表のように設定した。

第19表 供試土壌の容水量と試験区の土壌水分

土 壌	容水量 (%)		土壌水分 (%)	
黄色土 水田土壌	58	90, 80, 70, 60, 50, 45, 40		
黒ボク土壌 高野尾 川 渡 西那須野	81 83 78	90, 85, 80, 75, 65, 55		

注) 土壌水分は容水量に対する割合。

播種の方法、発芽型別発芽率の調査も第4章と同じ要領で行った。そして、土壌表面への根鞘毛の固着力の強さと土壌の種類との関係を知るため水田土壌は40%、黒ボク土壌は85%に土壌水分を調整して播種し、各土壌とも立ち上がった種子30粒について、第3章と同じ方法で固着力と根鞘毛が掴んだ土塊の大きさについて測定した。さらに、黒ボク土壌の根上がり型については、根鞘毛が最初から固着せず持ち上げられたり、移動したりする種子（不固着型）と、根鞘毛が固着して一度は立ち上がる

第20表 供試土壌の土壌水分と絹針および硬度計により測定した土壌硬度との関係

土 壌 分 水 分 (%)	水田土壌		高野尾		川 渡		西那須野	
	S (g)	D (mm)	S (g)	D (mm)	S (g)	D (mm)	S (g)	D (mm)
90			1.27	2.1	1.86	1.8	1.68	4.3
85			5.36	10.0	4.59	9.1	3.29	7.3
80	0.31	0.0	8.01	11.9	6.92	10.9	5.58	10.5
75			10.96	11.0	11.35	10.9	6.61	10.9
70	2.08	1.5						
65			15.09	12.8	15.71	12.1	11.58	12.1
60	3.01	2.5						
55			28.90	15.8	20.23	13.1	14.56	13.1
50	5.49	4.0						
45	8.54	4.0						
40	13.50	9.8						

S：直径約0.3mmの絹針を表面から約3mm貫入させたときの抵抗値。

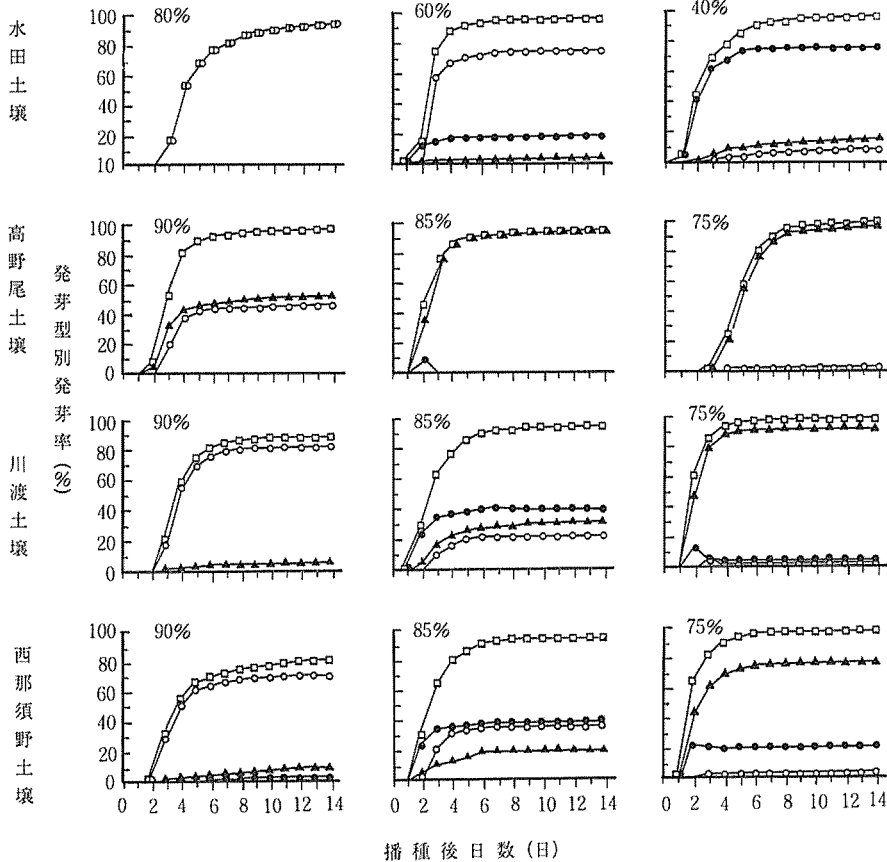
D：山中式硬度計。

が種子根の伸長ともなって、立ち上がった種子が倒れたり、傾いたりして種子根の一部又は全部が地表面に露出してしまふ種子（移行型）の2種類に分け、根上がり型の内訳を調査した。また、固着の良好な土壤水分40%の水田土壤で強く押し固めて硬くした土壤表面における発芽動態を調べた。なお、各区とも播種の直前に山中式硬度計と絹針により土壤硬度を測定した。山中式硬度計では1播種箱で2か所測定し、絹針による測定は以下の方法で行った。即ち、根鞘毛の固着力を測定したのと同じ自動上皿天秤の台下フックに、約50gの重しをつけた直径0.8cm、長さ14cmの円筒を吊り下げ、その先端に牧草の種子根に似せた先端をやや丸くし、先端から3mmの所の直径が0.3mmの太さの絹針を固定した。

そして、根鞘毛の固着力の測定とは逆に、播種箱をゆっくりと押し上げて絹針を3mm突き刺し、その時の最大負荷重を求めて土壤硬度とした（3mm突き刺すまでの所要時間約10秒）。絹針による測定は1播種箱当たり10箇所行い、その平均値を土壤硬度とした。なお、各土壤水分区分における絹針と土壤硬度計による土壤硬度は第20表の通りであった。

実験結果

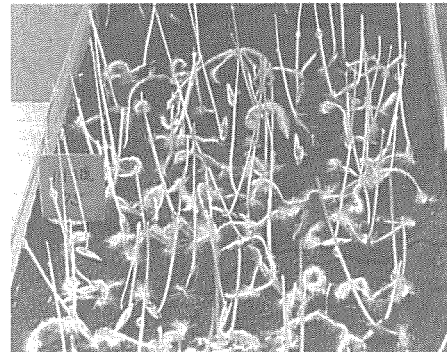
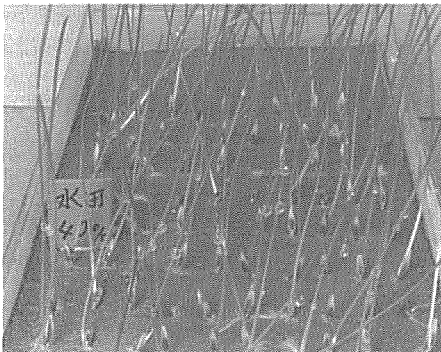
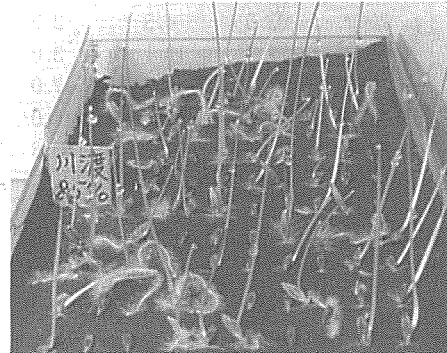
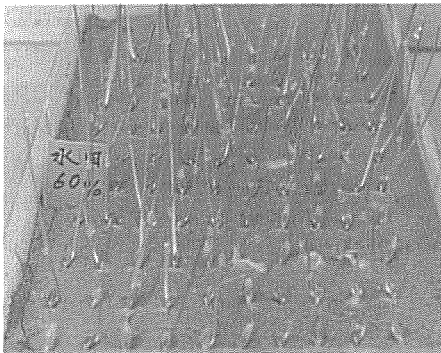
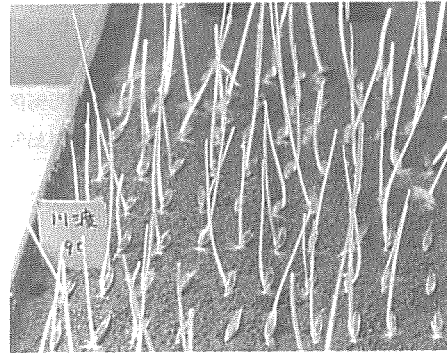
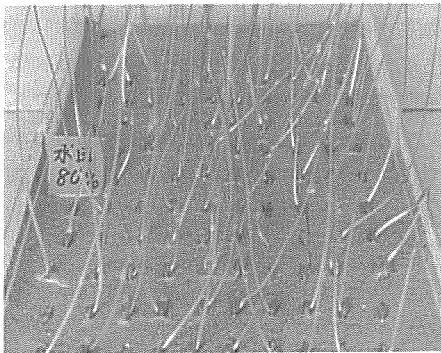
土壤の種類と水分区分別発芽型別発芽率の推移を示したのが第22図であるが、全処理区の中で水田土壤は80、60、40%、黒ボク土壤は各土壤とも90、85、75%の土壤水分区分について図示した。そして、水田土壤と川渡土壤



第22図 土壤水分を異にした水田土壤と3種類の黒ボク土壤の表面におけるトルフェスク種子の発芽型別発芽率の推移
 図中の数字は土壤水分含有率を示す。
 ○—○、横臥型；●—●、立ち上がり型；▲—▲、根上がり型；□—□、全発芽率。

について播種後6日目の発芽状態を第23図に示した。3発芽型を合わせた全発芽率は西那須野土壤の水分90%区で90%に達しなかったが、他区はいずれも90%以上であった。そして、黒ボク土壤についての発芽経過を見ると各土壤の水分90%区を除き、1～2日目には立ち上がり型あるいは根上がり型が確認され、以後その数を増した。ただ、川渡や西那須野のような黒ボク土壤で2日目から3日目にかけて立ち上がり型が減少しているのは、

移行型があるためである。なお、土壤水分の多い水田土壤80%区、黒ボク土壤90%区において発芽種子を最初に確認できるのが2～3日目では他区より約1日遅くなっているが、これらの区は横臥型が多いためである。横臥型も他の水分区と同じ時期に発根しているものと思われるが、種子根が外部から確認できず、鞘葉が出て始めて発芽と認定するため、発根と鞘葉出現の時間的なずれがこの1日間の遅れになっていた。



第23図 土壤水分を異にした水田土壤と川渡土壤表面におけるトールフェスク種子の発芽状態
図中の数字は土壤水分含有率を示す。

第22図からも明らかなように各発芽型の出現頻度は土壌の種類、特に水田土壌と黒ボク土壌との間で、また、同じ土壌でも土壌水分により大きく異なっていた。そこで発芽型別発芽率がほぼ決定した10日目における全発芽数に対する各発芽型の割合を示したのが第21表である。水田土壌は80%区以上では全て横臥型となり、土壌水分が減少するに従って横臥型が減り、立ち上がり型が増加した。そして、両者の関係は45%区で逆転した。また、各水分区とも根上がり型は少なく、根鞘毛の固着が良好なことを示していた。これに対して川渡土壌は土壌水分90%区では横臥型が95%と大部分を占め、根上がり型が僅かに見られるだけで立ち上がり型は無かった。85%区は立ち上がり型が44%と最も多く、次に根上がり型33%

第21表 土壌の種類と土壌水分別にみた播種後10日目の3発芽型の割合

土 壌	土壌水分 (%)	横 臥 型 (%)	立ち上がり型 (%)	根上がり型 (%)
水田土壌	90	100.0	0.0	0.0
	80	100.0	0.0	0.0
	70	93.5	4.5	2.0
	60	77.7	19.1	3.0
	50	55.1	37.9	7.0
	45	28.0	60.0	12.0
	40	6.4	79.9	13.8
高野尾	90	47.4	0.0	52.7
	85	0.0	0.0	100.0
	80	0.0	0.0	100.0
	70	0.5	0.0	99.5
	65	0.0	0.0	100.0
	55	0.0	0.0	100.0
川 渡	90	94.4	0.0	5.6
	85	24.1	43.5	32.5
	80	2.0	22.7	75.3
	75	0.5	4.6	94.9
	55	0.5	0.5	99.0
西那須野	90	89.7	1.3	9.0
	85	38.6	40.7	20.6
	80	2.0	37.6	60.4
	75	2.1	21.2	76.7
	65	3.6	5.2	91.2
	55	5.6	5.6	88.8

注1) 土壌水分；容水量に対する%。

であった。そして、80%区になると立ち上がり型が23%に減少するのに対して根上がり型は75%と、圧倒的に多くなる。さらに水分含有率が減少して75%区以下になると根上がり型が95%以上になって殆ど定着できなくなった。西那須野土壌は90%区では殆どが横臥型で、根上がり型は9%、立ち上がり型も僅か1%に過ぎなかった。しかし、85%区では立ち上がり型が41%と最も多く、横臥型は39%であり、根上がり型は21%であった。その後は土壌水分の減少に伴い横臥型が激減して、根上がり型が増加すると言う傾向は川渡土壌とほぼ同じであるが、65～55%区でも約10%が立ち上がり型か横臥型であり、川渡土壌に比べてやや種子根の進入が良好であった。一方、高野尾土壌は90%区では横臥型が約47%で根上がり型の53%より僅かに少なかったものの85%区以下の水分では殆ど根上がり型となり、立ち上がり型は全ての区で1個体も見られなかった。

この様に土壌水分が非常に高い場合を除き供試土壌の違いにより各発芽型の割合は大きく異なり、黒ボク土壌では根上がり型が特に多く見られた。これら黒ボク土壌では一度立ち上がりながら、置床3～4日目頃から種子根の一部または大部分が露出して根上がり型に移行する種子が多く見られた。そこで、固着が比較的良好で横臥型と立ち上がり型が多い水分85%区で根上がり型のうち不固着型と移行型との内訳を調査した結果が第22表である。根上がり型のうち移行型が川渡土壌では47%、西那須野土壌では56%と、およそ半数が一度は立ち上がりしており、根鞘毛は弱いながらも固着していることを示していた。一方、高野尾土壌では78%の種子が不固着型で、根鞘毛が固着して一度でも立ち上がる種子は20%に過ぎず、それらもやがては全て根上がり型になった。

以上のように黒ボク土壌の種類によって根上がり型の

第22表 黒ボク土壌における根上がり型の内訳

黒ボク土壌	移行型 (%)	不固着型 (%)
高野尾	22.2	77.8
川 渡	46.4	53.6
西那須野	56.2	43.8

移行型；根鞘毛が固着して一旦は立ち上がるが、種子根の伸長に伴い根上がりになる型。
不固着型；根鞘毛が固着せず、種子根が伸長するに従って種子が移動する型。
根上がり型はこの両型により構成されている。

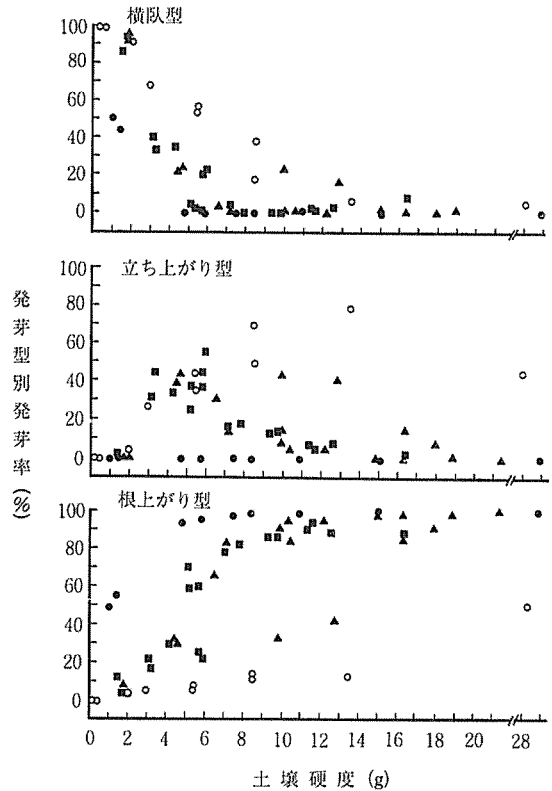
内容が異なるのは根鞘毛の固着力に差があることを示唆している。そこで、3種の黒ボク土壌とも立ち上がり率が最も高かった水分85%区において立ち上がった種子の固着力と根鞘毛が固着して摺んだ土塊の大きさを測定し、水田土壌40%区の結果と合わせ示したのが第23表である。黒ボク土壌3種類の固着力を見ると、最も大きな西那須野土壌でも0.79g、次に川渡土壌で0.71g、高野尾土壌は0.43gであった。これらの値は水田土壌の3.01gと比べると約1/4以下で明らかに小さかった。そこで、根鞘毛に固着した土塊の大きさを見ると、高野尾土壌の土塊は非常に小さく、次に川渡土壌、そして、西那須野土壌の順となり、固着力が大きくなるにつれて土塊も大きくなる傾向が見られた。西那須野土壌の土塊の大きさは水田土壌と同じ程度であったが固着力には大きな差があり、黒ボク土壌の方が多くの土壌粒子を根鞘毛に保持させる割には固着力が弱い傾向が見られた。

第23表 各土壌表面で立ち上がったトルフェスク種子の根鞘毛の固着力と根鞘毛が摺んだ土塊の大きさ

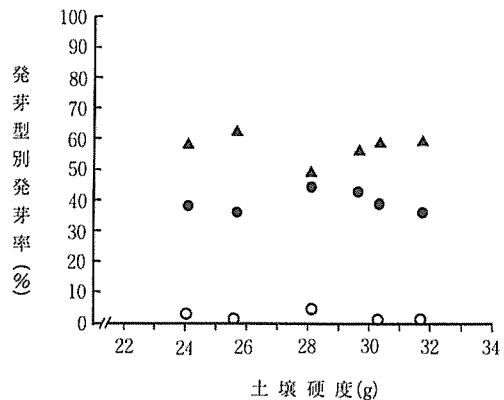
土 壌	固着力 (g)	土塊の容積 (mm ³)
水田土壌	3.01 a	1.76 a
高 野 尾	0.43 b	0.36 b
川 渡	0.71 c	1.10 c
西那須野	0.79 c	1.86 a

縦の欄内の異なる英小文字間は5%水準で有意差あり。

土壌の種類と水分含有率の違いによる発芽型別発芽率の差は、土壌水分の違いによる土壌硬度の違いも影響しているものと考えられる。そこで、供試した4種類の土壌について全水分区の絹針による土壌硬度と各発芽型との関係を見たのが第24図であり、水田土壌40%区を鎮圧して土壌を固くし、発芽型を見たのが第25図である。立ち上がり型は黒ボク土壌のうち川渡と西那須野土壌では土壌硬度が3.3~4.6gの時約40%で最高となったが、水田土壌では10g以上まで増加を続けて80%に達した。そして、25g以上で減少するが、それでも約40%の種子が立ち上がっていた。根上がり型は黒ボク土壌ではほぼ5g以上の硬さになると60%をこえ、以後激増した。なかでも、高野尾土壌は殆ど0gに近い非常に軟らかな状態でも約半数が、5g以上の硬度では殆どが根上がり



第24図 絹針で測定した土壌硬度と各発芽型との関係
○, 水田土壌; ●, 高野尾土壌;
▲, 川渡土壌; ■, 西那須野土壌.



第25図 鎮圧して固めた水田土壌表面におけるトルフェスク種子の発芽型別発芽率
○—○, 横臥型; ●—●, 立ち上がり型;
▲—▲, 根上がり型.

型になった。一方、水田土壌では10g程度の硬度になっても根上がり型は少なく、25g以上になってはじめて立ち上がり型よりも多くなった。各土壌とも横臥型は5g以下の軟らかさになるとその割合を増し、高野尾土壌を除き3g以下では大部分がこの型であった。

この様に、水田土壌と黒ボク土壌では土壌硬度と発芽型との間でやや反応が異なっていたが、水田土壌の方が根鞘毛の固着力が強く、土壌が硬くても種子根の進入は順調であった。

第2節 土壌表面の乾燥が発芽・定着に及ぼす影響

前節では含有率の異なる一定の土壌水分条件下で発芽動態を観察した。土壌表面は天候によって乾湿を繰り返す、せっかく発芽した個体も置床面が乾燥すると枯死することを第2章で見た。土壌表層の乾燥は発芽や定着にとって最も障害となる要因の一つであろう。

本節では土壌表面並びにろ紙上における給水の遮断に対し、発芽中の種子がどの程度耐えられるかを知るために行った。

実験材料および方法

実験1. 「給水遮断が表面播きされた種子の発芽・定着に及ぼす影響」

畑作用の1/5000aワグナーポットに風乾した黄色土を4.5kg詰め、その上に前節と同じ水田土壌と川渡土壌を200g/ポット(約2cmの厚さ)詰めて、表面を均平にして軽く鎮圧した。この様なポットを各土壌それぞれ10個用意し、約5cmの深さに水をはった水槽につけて表面に水分が上昇するまで放置した。表面まで水が行き渡ったところでポットを取り出し、ガラス室内に並べた。そして、約24時間吸水させたトルフェスク種子をポットの表面1/2に30粒ずつ外穎を下側にして1988年10月27日に播種した。

そして、播種後21日目までは毎日発芽型別発芽率を調査した。21日目には両土壌とも5ポットについて1ポットから4個体を選んで草丈、根長を調査した。残りの5ポットについては28日目まで発芽型別の調査を続けた。土壌水分の調査は以下の方法で行った。ポット表面の播種していない1/2の部分さらに半分に分け、そこから1回に2ポットずつ表層約1cmの土壌を採取して乾燥法により求めた。また、播種後4日目からは土壌を採取

する際に山中式硬度計により土壌硬度も測定した。

さらに、発芽の温度環境を知るため、ポットの上方30cmの高さに乾湿温度計と最高・最低温度計を吊るし、土壌には2cmの深さに温度計をさして大気中の気温と相対湿度並びに地温を毎日午前10時に測定した。

第24表 実験期間中の環境条件

期 間	気温(°C)			地温(°C)		相対湿度(%)
	平均	最高	最低	水田	川渡	
10/ 2-11/ 5	23.9	30.0	8.6	22.3	20.6	83.2
11/ 6-11/15	23.2	29.5	6.8	21.8	20.0	76.6
11/16-11/25	18.6	23.4	6.7	18.5	16.9	83.2
期間平均	21.9	27.6	7.4	20.9	19.2	81.0

気温で平均とあるのは午前10時の測定値である。

実験2. 「乾燥処理の開始時間と期間が再給水後の発芽に及ぼす影響」

乾燥処理に遇わせる時期は吸水24時間の種子(吸水種子区)、根鞘出現直後で根鞘毛が殆ど発生していない種子(根鞘出現区)、種子根が数ミリ出現した種子(種子根出現区)の3段階とした。各区は、ろ紙1枚を敷いた15cmのベトリシャーレにそれぞれ200粒外穎を下にして置床し、5シャーレずつ(種子根出現区は4個)用意した。そして、蓋を取って1, 3, 5, 7日間室内に放置して乾燥に遇わせた。処理期間が終わった日に水道水7mlを給水して25°Cの定温器に入れ、それ以後は毎日3mlずつ給水して発根・発芽の種子数を数えた。その期間は吸水種子区が10日間、根鞘出現区が18日間、種子根出現区が30日間とした。

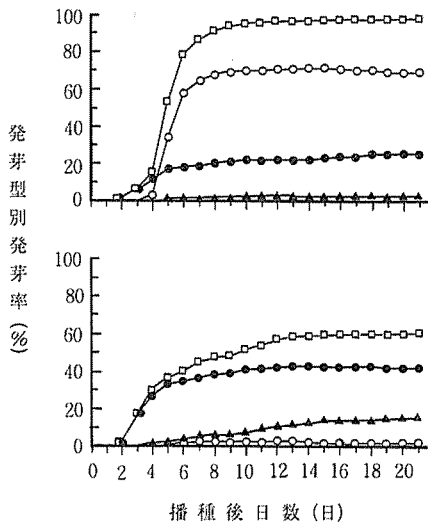
なお、乾燥処理期間中は室内の最高・最低気温、午前10時の気温、相対湿度を測定した。

実験結果

実験期間中の温度条件を第24表に、土壌水分と硬度の推移を第25表に示した。実験の開始後10日間の最高気温は30°Cに達したが、最低気温は約8°Cと日較差はやや大きかった。しかし、10時の気温、地温とも22~23°C、大気中の湿度も80%以上であった。また、土壌水分は水田土壌が播種当日が27.4%に対して13日目が25.8%、川渡土壌は44.6%が43.5%と、両土壌とも給水を遮断して10日以上たっても表層は僅か1~2%の減少にとどまっ

第25表 給水遮断後の土壤水分並びに土壤硬度の推移

土壤	項目	播種後日数(日)									
		0	1	2	3	4	6	8	13	20	30
水田	土壤水分(%)	27.3	27.4	27.4	27.7	27.1	26.5	26.6	26.8	6.1	2.8
	土壤硬度(mm)					9.5	9.5	9.8	10.0	10.3	15.0
川渡	土壤水分(%)	44.6	44.1	44.7	44.2	44.0	42.8	43.7	43.5	15.6	9.1
	土壤硬度(mm)					12.0	14.8	13.3	13.8	11.8	8.5



第26図 給水を遮断した水田土壤と川渡土壤におけるトールフェスク種子の発芽型別発芽率の推移
○—○, 横臥型; ●—●, 立ち上がり型;
▲—▲, 根上がり型; □—□, 全発芽率。

ていた。土壤硬度は水田土壤が約 10 mm, 川渡土壤が約 13 mm であった。

この様な条件下における発芽型別発芽率の推移を示したのが第26図, 全発芽率並びに3発芽型の割合と草丈・根長について示したのが第26表である。全発芽率は水田土壤は98%と良好で給水遮断の影響は認められなかったが, 川渡土壤は61%とやや悪く, 影響が現れていた。3発芽型の割合をみると, 水田土壤では横臥型が70%と最も多く, 次に, 立ち上がり型が26%で, 根上がり型は僅か3%であった。これに対して川渡土壤では立ち上がり型が最も多く, 根上がり型は逆に26%と少なかった。この結果は前節の播種箱での結果と比べ, 両土壤とも根上がり型が減少して立ち上がり型と横臥型が増加していた。また, 根上がり型であっても, 殆どの種子は種子根を土

第26表 給水を遮断した水田土壤と川渡土壤表面における発芽率, 並びに3発芽型の割合と発芽型別の草丈と根長

項目	水田土壤			川渡土壤		
	I	II	III	I	II	III
発芽型の割合(%)	70.7	26.2	3.1	3.8	70.5	25.7
草丈(cm)	8.8	8.5	7.9		7.1	8.0
根長(cm)	15.5	13.4	8.3		12.0	13.4
個体数	10	9	1	0	13	7
発芽率(%)	98.0			61.0		

I, 横臥型; II, 立ち上がり型; III, 根上がり型。

壤中に入らせ, 枯死する個体は無かった。しかし, 10日目以降に発芽した根上がり型の種子の中には各ポットとも1~2個体枯死するものが現れた。

また, 定着した個体の草丈・根長を見ると, 水田土壤では横臥, 立ち上がりの両型に比べ根上がり型の生長がやや劣る傾向がみられたが, 川渡土壤では水田土壤とむしろ逆の傾向であった。

次に, ろ紙上で乾燥に遭遇させた後再給水した場合の発芽率を示したのが第27表である。そして, 乾燥遭遇期間中の室内の温度, 相対湿度について示したのが第28表である。シャーレの蓋をとって室内に放置すると, ろ紙は徐々に乾燥し, 約20時間後には注水する前の重さに戻った。この時点で種子は室内で乾燥状態に置かれたと判定してよいであろう。この様な方法で, 吸水種子区は7日間乾燥にさせても, 給水再開後3日目には他の処理区と同様に90%以上の種子の種子根が出現し, 鞘葉も順調に出現し, 乾燥の影響を全く受けていなかった。根鞘出現区においては, 3日間の乾燥処理では95%の種子が発芽発根し, 影響を受けなかったが, 5日間では86%, 7日間では81%とやや発芽率が低下した。これら処理区

第27表 乾燥の開始時期と期間の差異が再給水後のトールフェスク種子の発芽率に及ぼす影響

乾燥時期 処 理	再給水 日数	発 芽 率 (%)				
		乾 燥 処 理 日 数				
		0	1	3	5	7
吸水種子区	10	99.5 (s: 0.5)	99.5 (s: 0.5)	99.5	97.0	99.0 (c: 0.5)
根鞘出現区	18	98.5 (s: 0.5)	97.0	94.5	86.0 (s: 4.0, c: 2.0)	80.5 (s: 2.0, c: 4.0)
種子根出現区	30		100.0	94.0	89.0	78.5 (s: 2.0, c: 5.0)

注1) 発芽率は種子根（種子根出現後区は冠根）、鞘葉ともに出現した種子の割合。

注2) 括弧内の s は種子根のみ、c は鞘葉のみ出現した種子の割合で発芽率の中には含まれていない。

第28表 乾燥処理日数別処理期間中の環境条件

環 境 要 因	吸水種子区				根鞘出現区				種子根出現区				
	1日	3日	5日	7日	1日	3日	5日	7日	1日	3日	5日	7日	
気 温 (°C)	平均	22.0	21.9	21.9	21.3	22.0	20.6	21.2	21.1	22.3	22.4	22.1	20.9
	最高	22.3	22.6	22.8	22.6	23.0	22.5	22.8	23.0	22.8	23.0	22.5	21.9
	最低	16.0	16.5	16.5	16.4	16.5	16.4	17.3	17.1	19.0	19.3	19.2	18.4
湿度(%)	66.0	62.0	62.3	62.1	63.0	62.3	60.3	58.1	66.0	65.0	57.8	56.2	

注1) 1日, 3日, 5日, 7日とあるのはそれぞれの乾燥処理日数を示す。

注2) 平均気温は午前10時の測定値である。

給水再開後、鞘葉のみ、或いは、種子根のみ伸長する種子がそれぞれ6%ずつ見られ、乾燥の影響が若干現れていた。一方、種子根出現区では、1日間乾燥処理すると種子根は褐変して枯死するが、給水再開後1日目には鞘葉が、そして、3日目には冠根が発生し、200粒全てが生長を続けた。この経過は他の処理区でも同じであり、3および5日間処理では1日目に鞘葉が、3日目には冠根が発生した。7日間処理では2日目に鞘葉が、4日目に冠根が発生した。そして、鞘葉・冠根ともに伸長を続けた種子は7日間処理でも78%に達した。この様に、室内で乾燥状態に遇わせても大部分の種子はその後給水が十分であれば、種子根は枯死しても冠根が発生するのでその後の生長には何ら支障はなかった。なお、乾燥処理を開始した時の種子根の長さは4mm程度、発生した冠根は2本であった(第29表)。

第29表 種子根出現種子に対する乾燥処理開始時の種子根長と給水再開後発生した冠根数並びに給水再開後も生長しなかった種子の種子根長とその個体数

乾燥処 理日数	乾燥処理開始時		給水再開後	
	種子根長 (mm)	冠根数 (本/種子)	生長停止種子 の種子根長	個体数
1	4.2	2.1		0
3	4.4	2.2	5.3	2
5	4.0	2.0	5.8	7
7	3.5	1.8	4.3	11

生長停止種子；給水再開後21日経過しても冠根、鞘葉の両方とも出現しないか、或いは何れか片方しか出現しなかった種子。

第3節 粗腐植上における発芽動態と根鞘毛の固着力
不耕起造成する地表面には分解過程の異なる粗腐植が

堆積しており、分解の程度によって発芽・定着に与える影響は異なった。特に、落葉はその下層の腐植や土壌表面の水分含有率を高める効果のあることを第2章で見た。この様に粗腐植と土壌とは不離一体の関係にあり、分解程度の異なる粗腐植上での発芽過程の実態を明らかにすることは、草地造成に当たり発芽・定着の改善だけでなく、粗腐植の処理、活用法を決定する上からも意義あるものと考えられる。

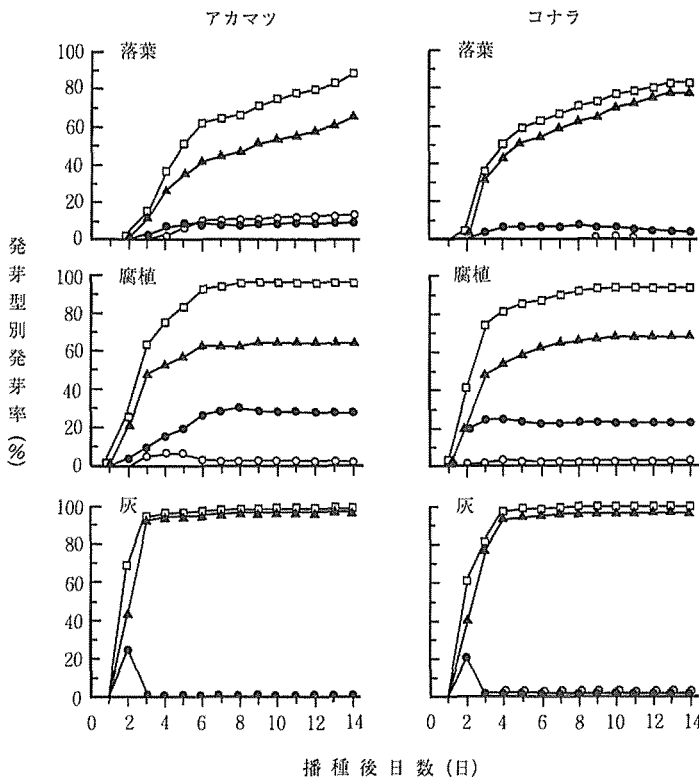
本節ではわが国の代表的な樹種であるアカマツとコナラの落葉、並びに分解程度の異なる粗腐植と、火入れを想定して落葉を焼いた灰の上で発芽型別発芽率の調査を行い、分解程度と発芽動態との関係、或いは樹種による違い等を検討した。

実験材料および方法

実験には三重大学生物資源学部附属農場内のアカマツ林と津市内のコナラ林の林床に堆積する落葉から腐植ま

での粗腐植を採取し、ガラス室内で風乾した。そして、コナラは原形ををとどめた落葉と5~19.5 mm, 1~5 mmの腐葉並びに1 mm以下の腐植にふるい分け、さらに、落葉を焼却した灰の5処理区を、アカマツは落葉と分解途中を想定して葉身を5~15 mmに切断したもの、1 mmの篩を通過した腐植と灰の4区を設けた。

そして、第1節と同じ播種箱に水田黄色土500 gを充填して容水量の80%の水道水を注ぎ、その上に各粗腐植を敷き詰めて軽く鎮圧した。播種箱に詰めた粗腐植は各区とも表層の厚さが8~10 mmとなるように量を調節した。これら播種箱を25°Cの定温器内に2~3日放置し、表面まで水分が上昇してきた時点でトールフェスク種子(ケンタッキー31)を1箱に100粒ずつ、1処理区に2箱播種した。そして、2週間にわたり3発芽型別に発芽率の調査をした。また、腐植の上で立ち上がった種子の根鞘毛の固着力と根鞘毛が擱んだ腐植塊の大きさを20粒ずつ測定した。



第27図 落葉とその腐植並びに灰の表面における発芽型別発芽率の推移

○—○, 横臥型; ●—●, 立ち上がり型; ▲—▲, 根上がり型; □—□, 全発芽率。

実験結果

アカマツとコナラそれぞれの処理区のうち、落葉、腐植、灰の3区について発芽型別発芽率の推移を示したのが第27図であり、播種後10日目における3発芽型の割合を示したのが第30表である。両樹種とも落葉上における発芽率の増加は最初やや緩慢であったが、2週目にはコナラは85%、アカマツは90%以上に達し、土壌表面と変わらなかった。また、腐植、灰の両区とも発芽は順調で、しかも短期間に殆どの種子が発芽し、土壌表面と同じ傾向を示した。広葉のコナラの落葉上では根鞘毛が固着して立ち上がる種子がかなり見られた。しかし、立ち上がり型を示しているも、種子根は伸長を始めると落葉の表面を這うため、大気に曝される点では根上がり型と同じであり、これらの種子は根上がり型として分類した。一方、細い葉身のアカマツ区では葉身の間に入り込んで立ち上がるか、横臥のまま外部から種子根が全く見えない状態で生長する種子が見られた。これを発芽型別に見ると各区とも根上がり型が67~99%を占め最も多かった。立ち上がり型はアカマツ落葉区の13%に対して腐植区が30%、コナラはそれぞれ8%と25%と分解が進むほど多くなる傾向はみられた。そして、横臥型と立ち上がり型を合わせた割合は、両樹種とも腐植区が最も高く、発芽過程が一番安定していることが窺えた。また、灰区は2日目頃には20%程度の種子が立ち上がるが、発根するにつれて根上がりに移行し、殆どが根上がり型になった。

第30表 落葉とその分解物並びに灰の表面における播種後10日目の3発芽型の割合

処 理	アカマツ			コナラ		
	I (%)	II (%)	III (%)	I (%)	II (%)	III (%)
落 葉	16.6	12.6	70.8	0.6	8.4	91.0
腐 葉*	8.5	15.3	76.2	0.0	6.5	93.5
***				1.1	21.6	75.3
腐 植***	3.1	29.9	67.0	2.7	24.6	72.7
灰	0.0	1.0	99.0	2.0	1.5	96.5

注1) I, 横臥型; II, 立ち上がり型; III, 根上がり型.

注2) * ; 葉身を5-15mmに切断(アカマツ), 5mm以上19.5mm以下の篩を通過した腐葉(コナラ).

** ; 1mm以上5mm以下の篩を通過した腐葉(コナラ).

*** ; 1mmの篩を通過したもの.

樹種間では各区ともアカマツの方がやや立ち上がり型が多かった。

この樹種間の発芽型の違いを検討するために腐植上で立ち上がった種子の根鞘毛の固着力と根鞘毛が掴んだ腐植塊の大きさを示したのが第31表である。アカマツの腐植上における固着力は1.04gとコナラの0.47gの2倍以上の強さであった。しかし、根鞘毛が掴んだ腐植の量はコナラの方が大きい傾向が認められたが、有意差は見られなかった。

第31表 落葉の腐植表面における根鞘毛の固着力と根鞘毛が掴んだ腐植塊

樹種	固着力(g)	腐植塊(mm ³)	表面の硬度(g)
アカマツ	1.04 a	3.73a	7.0
コナラ	0.47 b	4.21a	6.8

注1) 表面の硬度; 絹針による貫入抵抗値.

注2) 欄内の異なる英小文字間は5%水準で有意差あり.

考 察

草地土壌の表層面の土壌水分、硬度、乾燥の程度、堆積する粗腐植等が発芽動態に及ぼす影響について検討した。

どの程度の土壌水分が発芽に有効かについては、土壌水分が多いと発芽が遅れたり、発芽率が悪くなるとの指摘^{27,38)}がある。一方、イタリアンライグラスでは沖積水田土壌で水分含有率50%以上⁸²⁾、或いは、最大容水量の40~80%²⁸⁾、赤クローバで腐植含量の少ない土壌を使用すれば35%でも過半数の発芽が見られるとの結果や²⁰⁾、洪積層火山灰土では最大容水量の40~60%でイネ科、マメ科牧草とも良好な発芽率を示すとの報告²⁷⁾もあり、土壌、牧草の種類によって一定ではない。本実験において、充実した種子を選んだこともあって殆どの処理区で発芽率は90%を越えたことは、土壌水分が最も少ない水田土壌の40%区、黒ボク土壌の55%区共に、発芽にとって十分な土壌水分量であったと考えられる。この様に、発芽にとって土壌水分が十分であっても、種子根が土壌中へ進入する過程で、土壌の種類や水分含有率によってかなり異なった発芽動態を示すことが明らかとなった。

本実験では一定量の土壌をほぼ同じ強さで鎮圧して同じ容積にし、それぞれ所定の水を加えて土壌水分を変え

たため、各土壌とも水分が増すに従って硬度は軟らかくなる傾向が見られた。川渡と西那須野の黒ボク土壌では土壌水分が90%、土壌硬度が2gでは殆どの種子が横臥型となり定着した。そして、水分85%、3~5g程度の硬度になると横臥型は減少して立ち上がり型と根上がり型が増加した。さらに、水分75~80%、硬度5~7gになると横臥型は殆ど見られなくなり、立ち上がり型も減少し、根上がり型が急激に増加して定着は不安定になった。一方、水田土壌では土壌水分60%以上、硬度3g以下では横臥型が最も多く、立ち上がり型は少なかった。そして、土壌水分が減少して土壌硬度が大きくなるにつれて横臥型が減少して立ち上がり型が増加し、水分40%、硬度13gでは立ち上がり型が80%に達した。しかし、水田土壌では根上がり型は土壌硬度が10g以上になっても少なく、強く押し固めて硬度が25g以上になって立ち上がり型よりも多くなった。

この様に、土壌の容水量が異なるため同じ土壌水分でも黒ボク土壌と水田土壌の硬度は同じではなかった。しかし、土壌の種類や水分に関係なく、土壌硬度がおおよそ3g以下の軟らかな状態では、置床されたままの姿勢で種子根は土壌中へ順調に進入した。ところが、根上がり型が多くなる硬度を見ると黒ボク土壌では5g以上に対して水田土壌のそれは25g以上と大きな差が見られた。この原因として、黒ボク土壌における根鞘毛の固着力は水田土壌の約1/4の大きさであったことから、土壌に対する根鞘毛の固着力の強弱の差と考えられる。この固着力と根鞘毛が掴む土塊の大きさは強い正の相関が見られるが、水田土壌と西那須野土壌では固着力に大きな差が認められたにもかかわらず土塊の大きさには差が見られなかった。これは西那須野土壌では掴んだ土壌粒子の量は水田土壌のそれと変わらないのに引っ張り抵抗には弱かったことを示しており、孔隙率が多く軽鬆で粒子間の付着力が弱い黒ボク土壌の特質^{31,70)}が小さな固着力となって現れたものと考えられる。そして、黒ボク土壌では、5g以上の土壌硬度になると根鞘毛は種子根が進入する力以上の力で種子をその場に固定することが不可能になる。また、たとえ固着して立ち上がっても、その力が弱いため、種子根は土壌中に進入できず、逆に、種子を押し倒したり、移動させて根上がり型になるものと考えられる。これに対して水田土壌では固着力が強いいため、10g以上の硬度になっても種子は土壌表面に強

く固定され、立ち上がりながら種子根を直接進入させ定着できるのである。

以上から土壌の種類により土壌硬度は同じではないが、根鞘毛の固着力は一定以上の土壌硬度になった時種子根が土壌中へ進入するのを助ける重要な役割を果たすことが明らかとなった。

また、土壌表面に堆積した粗腐植上における発芽動態も根上がり型が多かった。これは、腐植上での根鞘毛の固着力はアカマツは約1gで黒ボク土壌と比べるとやや大きかったが、コナラは高野尾土壌と同じ程度であり、何れにしても水田土壌よりはかなり小さかったことが主な原因と考えられる。一方、根鞘毛が掴んだ腐植塊が土壌の2~3倍の大きさであったことは供試した腐植が黒ボク土壌以上に孔隙率が高く付着性が悪いことを間接的に示している。さらに、黒ボク土壌における硬度と発芽型との関係から推定して、腐植表面の硬度が7gであった事が根上がり型が多くなった一因とも考えられる。それでも分解が進むほど発芽速度は土壌表面のそれに近づき、しかも、立ち上がり型の割合が増加した点を考慮すると、播かれた種子を腐植面或いは土壌表面に着床させることが、より安定した定着を得るための条件のひとつである、という従来の造成法の有効性が裏付けられた。

落葉を焼いた灰の上では発芽率、発芽速度とも土壌表面や腐植面でのそれとよく一致していた。しかし、殆どの種子が根上がり型となり、火入れは発芽率の改善には効果的であるが、種子根の進入を助けることにはならなかった。これは火入れ区では発芽したクローバの2/3が枯死し、他の処理区より枯死率が高かったとの指摘⁷⁵⁾に見られるように、定着を促すには表面の攪乱や鎮圧など、更に何らかの措置が必要なことを示唆している。

以上のように、土壌の種類や土壌水分或いは粗腐植の分解程度によって根鞘毛が強く固着して種子根が土壌中へ進入し易い条件があり、これらの条件が満たされないと根上がり型の種子がかなりの数に上ることが明らかとなった。

種子は発芽・定着の過程で晴天が続いて空気や土壌表面の乾燥に遭遇することが十分考えられる。乾燥条件を作るためポットで給水をせずに表面の土壌水分の推移を見たが、10日以上経過しても表面の水分含有率は殆ど低下せず、給水を遮断しても表層の水分含有率の減少程度は意外に小さいことを知った。ガラス室内の相対湿度は

80%前後、気温も20°C程度という条件は第2章の林内における不耕起造成草地の環境条件に近かった。さらに、吸水だけの種子はもとより、種子根が3~4mm伸長した種子を室内のろ紙上で1週間程度乾燥に遭遇させても80%の種子は給水再開後3~4日目には冠根を発生させ、鞘葉も伸長を始めた。また、乾燥により、種子根は枯死しても2本の冠根が直ちに発生して殆ど支障を来さなかった。この点に関しては、クレスチッドホワイトグラスやロシアンワイルドライでも種子根が2~5mm伸びた状態で乾燥に遭わせると種子根は枯死するが冠根は発生する²¹⁾と、同様の結果が報告されている。さらに、数種のイネ科牧草で1~4週間程度乾燥に遭遇させても再給水後は生長を続けるとか^{37,89)}、幼芽長1mm以内のイタリアンライグラスの催芽種子を5日間陰干しして播種すると不催芽種子より発芽、草立ちが良い²⁰⁾、と言う報告もある。これは、発芽を始めたイネ科牧草種子は数日間乾燥に遭遇しても、その後給水があれば枯死することは少なく、しかも、大気湿度が70%以上あった第2章の林内のように、庇陰のある土壤表面ではかなり長期間、乾燥に耐えられることを示唆していた。

しかし、種子根を5時間乾燥に曝すと枯死するとの結果⁴⁶⁾や、たとえ、先端が土壤中に入っている種子根の一部が乾燥に遭遇すると個体は枯死するなど^{1,14,32,90)}、発根した種子では乾燥が枯死の原因になることは数多く指摘されている。本実験でも、発根し、しかも種子根が長い種子は枯死し易い傾向が見られた。この様に、発芽を始めた種子が乾燥によって枯死する場合は、土壤や大気乾燥程度とその持続期間、高温等の発芽床の条件が最も大きく影響すると考えられる。また、乾燥に遭遇した時の発根の有無、種子根が地表面へ露出する程度等の種子側の条件によっても枯死の割合は異なる。さらに、発芽動態も関係する。3発芽型のうちでは根上がり型が最も枯死し易く、根上がり型のなかでは、根鞘毛によって種子の固定ができず、土壤中へ種子根が進入できない不固着型がより枯死し易いと考える。

小 括

種々に土壤水分を変えた水田土壤と3種類の黒ボク土壤の表面と粗腐植上におけるトールフェスク種子の発芽型別発芽率、根鞘毛の固着力、根鞘毛が囲んだ土塊の大きさ等を比較し、発芽・定着や根鞘毛の固着性に及ぼす

土壤の種類・水分、粗腐植の影響並びに発芽中の種子と乾燥との関係について検討した。

1. 各土壤とも土壤水分が増すと軟らかくなって横臥型が増え、逆に水分が少なくなって硬くなると根上がり型が増えた。立ち上がり型は水田土壤では土壤水分40%区が、黒ボク土壤では85%区が最も多く、立ち上がり率はそれぞれ約80%と40%であった。
2. 立ち上がりが最も多い土壤水分区における根鞘毛の固着力は黒ボク土壤では0.4~0.8gで、水田土壤の3gに比べて小さかった。
3. 黒ボク土壤では土壤硬度が5g以上になると根上がり型が急増するが、水田土壤では10g以上の硬さでも立ち上がり型が多かった。
4. 各土壤とも土壤硬度が3g以下になると横臥型になった。
5. 発芽型別発芽率および根鞘毛の固着力は土壤の違い、特に、水田土壤と黒ボク土壤との間における差が大きかった。
6. 落葉とその分解物或いは焼却灰の上でも発芽は良好であった。腐植、灰の上では発芽率も発芽速度も土壤のそれと変わらなかった。しかし、何れの区も根上がり型が多かったが、分解が進むにつれて立ち上がり型が増える傾向が認められた。
7. アカマツ腐植上における根鞘毛の固着力は約1g、コナラのそれは約0.5gであった。アカマツ腐植における固着力は黒ボク土壤と比べるとやや大きかったが、水田土壤よりかなり小さかった。
8. 水田土壤、黒ボク土壤とも十分に給水すると給水遮断後10日以上経過しても土壤表面の水分含有率は殆ど減少せず、播種した種子は枯死せずに定着した。
9. 種子根が4mm程度出現した種子を相対湿度60%の室内で7日間乾燥させると、種子根は枯死するが、再給水後は冠根が発生して、約80%が順調に生長を続けた。

第7章 土壤改良資材の施用が発芽動態に及ぼす影響

酸性土壤が多いわが国では、草地の造成にあたり酸性の矯正のために石灰質肥料が必ず施される。不耕起造成において、地表面に堆積する粗腐植は、火入れをするとその灰は強いアルカリ性を示し、そのまま放置すると分

解して強酸性の腐植³³⁾となり、処理の方法によって pH が大きく変動して、土壤表層の pH に影響を与える。また、粗腐植のなかにはその浸出液が発芽を阻害する種類⁹⁷⁾もある。さらには基肥として施された化学肥料も土壤と腐植の pH に影響する。この様に、草地造成にあたって土壤とその表層に堆積する腐植双方の pH が発芽に関係している。牧草種子の発芽については、肥料や塩類濃度との関係を追求して濃度障害を指摘した研究は見られるが^{12,14)}、pH を取り扱ったものは少ない。僅かにウルシの一種でかなり広い範囲の pH に対して発芽適応が見られるとか⁷³⁾、土壤の酸性が強いと発芽個体が消失する等の報告が見られるに過ぎない³⁾。また、強酸性土壤においても少量の石灰施用で草地造成は可能であるとの指摘^{93,94)}もみられる。一方、わが国の草地として多く利用されている磷酸吸着力の強い火山灰土壤や鉍質重粘土壤、泥炭土壤等、有効態磷酸に欠ける不良土壤中の磷酸を富化させる目的で磷酸質肥料が土壤改良資材として施されることも多い。そして、発芽・定着に対して磷酸が制限因子となり¹²⁾、種子根の伸長を助ける²³⁾ことも知られている。また、初期生長や生草収量を高める等磷酸質肥料は土壤改良資材として、或いは、基肥や追肥としても重要であることが種々の実証試験などで指摘されている^{19,22,79,93,94)}。

この様に、草地造成にあたり土壤改良の目的で土壤改良資材が施されるが、その種類や牧草の種類によって発芽・定着に与える効果は一様でなく、これを発芽動態の面から検討した研究は見られない。

そこで、本章では主に土壤 pH の面から、土壤改良資材の施用が牧草の発芽動態に及ぼす影響について検討した。

第1節 pH を変えた水田土壤と黒ボク土壤表面における発芽動態

不耕起造成法では種子と同じ土壤表面に化学肥料や土壤改良資材を施すため、化学肥料による発芽・定着障害や、初期生育の遅滞等に関心が払われ、矯正後の土壤 pH との関係はあまり検討されなかった。

前章において発芽動態が異った2種類の土壤の pH を、酸性からアルカリ性まで幅広く変えて播種し、発芽型別発芽率を調査して、pH が発芽動態に及ぼす影響を土壤の種類別に検討した。また、pH を変えた水中に種子を

浸漬して根鞘と根鞘毛の発生状態を調査し、根鞘毛の固着力と密接に関係している根鞘毛の発生量が、pH によって受ける影響を検討した。

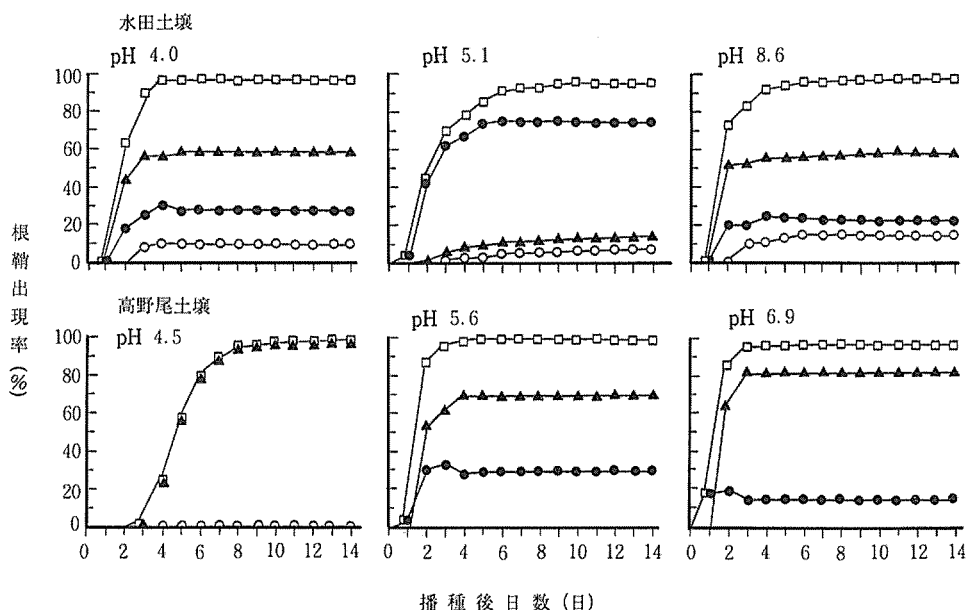
実験材料および方法

実験には前章の土壤のうち最も根鞘毛の固着力が強く、発芽過程の安定していた三重大学生物資源学部附属農場の水田土壤と、最も悪かった津市高野尾町の黒ボク土壤を用い、pH は以下のような方法で調整した。水田土壤の pH は5.1であったので、それ以下の pH 値は硫酸を希釈した蒸留水を、また、それ以上の値は消石灰をそれぞれ量を変えて風乾した土壤に加え、良く混和して調整した。pH が4.5と酸性が強かった黒ボク土壤は、消石灰を一定量ずつ段階的に加えて調整した。土壤は少量の水を加えて攪拌したのち7~10日放置した。そして、前章と同じ要領で播種箱に詰めて水田土壤は容水量の40%に、黒ボク土壤は75%に土壤水分を調整したのち、トールフェスク種子を播種した。なお、播種前に pH を測定して、その土壤の pH (H₂O) とした。

水中の pH 調節は次の様な方法で行った。25 l 入りのポリエチレン製の容器に蒸留水 20 l を入れ、硫酸と水酸化ナトリウムによって、pH 3 から12まで pH 1 ずつ10段階に調節した。なお、水中の pH は毎日1回測定して所定の値となるよう補正した。そして、種子100粒をポリエステル製の布に包み、それぞれ2袋ずつ水中に吊るし、2週間にわたって根鞘の出現数を数えた(但し、pH 4~7は3週間目まで数えた)。根鞘が出現した種子はあらかじめ同じ pH に調整した別の水中に24時間浸して生長させた。その後の、根鞘、根鞘毛の固定と調査は第4章と同様の方法で行った。

実験結果

種々に pH を変えて発芽動態の推移を調査した土壤のうち、水田土壤は pH=4.0, 5.1, 8.6 区、黒ボク土壤は4.5, 5.6, 6.9区のそれぞれ3処理区の発芽型別発芽率の推移を示したのが第28図である。土壤表面における発芽率は pH が4以下になると発芽速度がやや遅かったが、4以上では大きな差は見られなかった。しかし、3発芽型の割合は、pH によりかなり異なった。即ち、水田土壤でも pH が4程度の強酸性になると最初から根上がり型が最も多く、立ち上がり型は一旦は20%以上に達



第28図 pHを変えた土壌の表面におけるトルフェスク種子の発芽型別発芽率の推移
 図中の記号は第22図と同じ。

するが、4～5日目にはやや減少し、立ち上がり型から根上がり型へ移行する種子があることを示していた。pH 5.1 区では最初から立ち上がり型が多く、しかも、立ち上がり型から根上がり型に移行する種子は殆ど見られないため根上がり型は少なかった。pH 8.6 区では最初から根上がり型が多い。立ち上がり型は2日目にはかなり増加するが、移行する種子もあって20%程度となった。そして、横臥型も10%以上となった。一方、黒ボク土壌において、pH 4.5 区の強酸性状態では発芽始めが遅れ、最初に発芽が確認されたのは3日目、その後は急速に発芽数を増した。しかし、殆どの種子が根上がり型となった。これが、pH 5.6 区へと pH が上昇すると1日目から立ち上がる種子が認められた。しかし、立ち上がった種子の多くは根上がり型に移行するため2日目には根上がり型が最も多くなり、立ち上がり型は3～4日目にかけては減少した。さらに、pH 6.9 区では1日目の立ち上がり種子数は pH 5.6 区よりも多いが、根上がりに移行する種子が多いため2日目には根上がり型が圧倒的に多くなった。この区でも立ち上がり型が2～3日目にかけて減少したが、最終的には15%程度認められ、pHを矯正すると立ち上がり型が増えて発芽過程が安定することを示していた。

以上はそれぞれの土壌について代表的な3例についてその発芽経過を中心に見たものであるが、pHの変化と発芽型との関係を知るために、播種後10日目の3発芽型の割合

第32表 土壌 pH を変えた水田土壌と黒ボク土壌表面における播種後10日目の3発芽型の割合

pH	水田土壌			pH	黒ボク土壌		
	I (%)	II (%)	III (%)		I (%)	II (%)	III (%)
3.1	1.5	1.5	97.0	4.5*	0.5	0.0	99.5
3.6	4.1	12.9	83.0	5.0	6.3	12.1	81.6
4.0	11.2	28.6	60.2	5.3	4.6	35.1	60.3
5.1*	6.4	79.9	13.8	5.4	9.1	50.2	40.6
5.7	11.0	42.5	46.5	5.6	0.5	30.5	69.0
5.9	13.0	33.0	54.0	6.1	1.1	33.3	65.6
6.4	6.5	61.1	32.4	6.7	0.5	18.7	80.8
8.6	15.3	24.0	60.7	6.9	0.0	15.3	84.7
11.6	100.0**			9.1	0.0	22.2	77.8

注1) I, 横臥型; II, 立ち上がり型; III, 根上がり型。

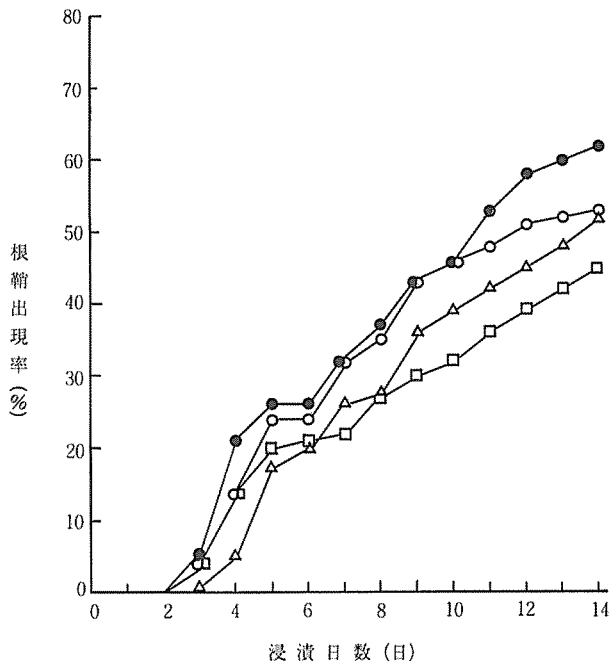
注2) * ; pH調整に用いた原土。

注3) ** ; 横臥の状態で鞘葉は抽出したが、種子根は根鞘から出現したのち土壌と接触すると黒変して伸長を停止した。

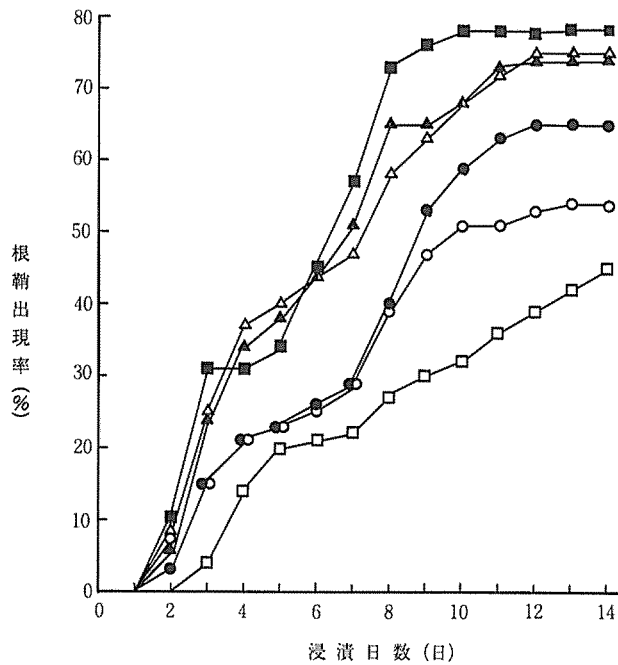
の割合を示したのが第32表である。水田土壌では pH 3.1, 3.6 の両区は横臥, 立ち上がり型とも少なく, 根上がり型が80%以上となった。そして, pH 4.0 区では根上がり型は60%まで減少し, さらに pH 5.0 区では10%台まで減少したが, pH が高くなるにつれて再び増加し, pH 6.4 区の30%以外はほぼ47~60%であった。pH 11.6 区は外見上は全ての種子が横臥型を示したが, 種子根が根鞘から出現して土壌に触れると1両日に黒変し, 以後伸長せず, 定着しなかった。この様に, 水田土壌では pH 実験に使用した無処理区 (pH 5.1 区) における立ち上がり型が最も高かった。

黒ボク土壌の無処理区の pH は4.5で, 全ての種子が根上がり型であった。そして, pH が上昇するにつれて根上がり型が減少して, 立ち上がり型が増加し, pH 5.4 区では横臥型と立ち上がり型を合わせた割合は50%以上となった。しかし, pH が6以上になると根上がり型が再び80%前後を占めたが, この範囲内のいずれの区も無処理区 (pH 4.5 区) より立ち上がり型が多く, pH 矯正の効果が認められた。

以上の結果は両土壌とも根鞘毛の固着力が強まる pH 帯が存在することを示していた。そこで, pH を3~12まで調整した水中において根鞘が出現する経過を, pH 7以下の時を第29図に, pH 7以上を第30図に示した。そして, 根鞘毛の発生数と長さの測定結果を示したのが第33表, 出現した根鞘のうち24時間以内に根鞘毛が発生した割合を示したのが第34表である。pH 3 区は根鞘が全く出現しなかったため結果は pH 4~12 を示した。調査は2週間で打ち切ったが, pH 7 区の根鞘出現が最も緩慢で遅く, それより pH が高くなるほど, また低くなるほど出現率は高くなる傾向が認められた。特に, pH 10~12 の強アルカリ区では出現速度も早く, 出現率も70%台と, 良好であった。しかし, これらの区は根鞘が出現しても根鞘毛が1本も発生しない種子が多く, 特に pH 12 区では根鞘毛が発生した種子は僅か15%しかなく, たとえ発生しても短い毛が少数発生したに過ぎなかった。これと同様の傾向が pH 4 区においても認められ, 極端に酸性か, 或いは, アルカリ性が強いと根鞘の出現も, 根鞘毛の発生も悪いことを示していた。根鞘から根鞘毛



第29図 pH の異なる水中 (pH 4-7) におけるトールフェスク種子の根鞘出現率の推移 (I)
○, pH 4; ●, pH 5; △, pH 6; □, pH 7.



第30図 pHの異なる水中 (pH 7-12) におけるトールフェスク種子の根鞘出現率の推移 (II)
 □, pH 7; ○, pH 8; ●, pH 9; △, pH 10;
 ▲, pH 11; ■, pH 12.

第33表 pHを変えた水中において発生した根鞘毛の数と長さ

pH	発生数(本)	長さ (mm)
4	5.2 a	0.2 a
5	18.5 a	0.6 b
6	17.5 a	1.0 bd
7	44.8 b	1.4 ce
8	68.4 b	1.5 c
9	51.1 b	1.1 d
10	47.2 b	1.5 c
11	40.6 b	1.0 de
12	17.1 a	0.4 a

注1) pH 3 では根鞘が全く出現しない。

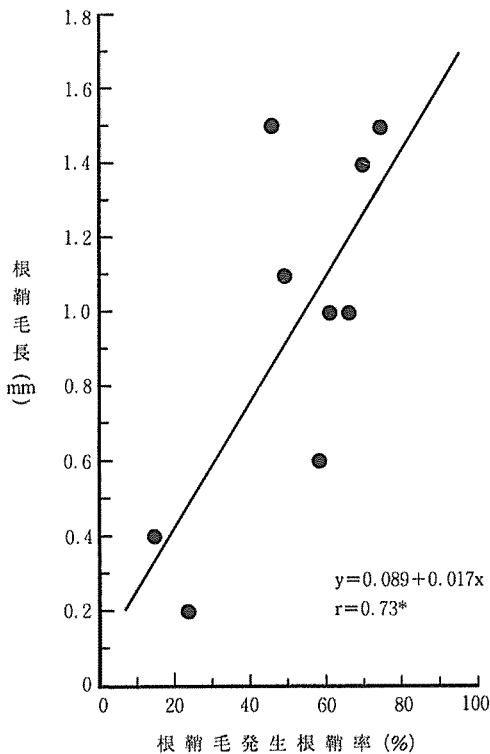
注2) 縦の欄内の異なる英小文字間は5%水準で有意差あり。

が発生する種子は pH 6, 7, 10, 11 区で60%以上の高い割合を示したが, pH 8, 9 区では約半数は発生しなかった。しかし, 発生数は pH 7~10 区で, 長い根鞘毛は pH 7, 8, 10 区と, 中性からアルカリ性で多く発生

第34表 根鞘が出現した種子のうち24時間以内に根鞘毛が発生した種子の割合

pH	根鞘出現粒数	根鞘毛発生粒数	根鞘毛発生割合 (%)
4	101	24	23.8
5	128	75	58.6
6	88	58	65.9
7	123	86	69.9
8	87	40	46.0
9	71	35	49.3
10	35	26	74.3
11	110	68	61.8
12	133	20	15.0

していた。そして, 第31図に示したように, 根鞘出現率と根鞘毛の長さとの間には $r=0.73$ ($P<0.05$) と正の相関関係が認められたが, 発生数との間には相関は認められなかった。



第31図 pHの異なる水中で出現した全根鞘のうち根鞘毛が発生した根鞘の割合と最長根鞘毛長との関係

第2節 磷酸質肥料の施用が発芽動態に及ぼす影響

磷酸の施用は主に磷酸欠乏土壤において根圏の可給態磷酸の量を増して発芽・定着，初期生育を助ける土壤改良の効果のあることは周知の事実である。しかし，表面播種において発芽動態にどのような影響を及ぼすかについては明らかにされていない。

本節では前節で pH 改善によって発芽動態の改善効果が認められた同じ非火山灰性の黒ボク土壤に，性質の異なる磷酸質肥料を施し，その表面で発芽型別発芽率を調査し，発芽動態に及ぼす磷酸質肥料の影響について検討した。

実験材料および方法

土壤は津市高野尾町の非火山灰性の黒ボク土壤を，そして，磷酸質肥料は熔成燐肥（熔燐と呼ぶ）と過燐酸石灰（過石と呼ぶ）を用いた。風乾した黒ボク土壤 1 kg に対して磷酸質肥料をそれぞれ 2.5, 5, 10 g ずつ加え

て良く攪拌したのち，1 播種箱に 500 g を詰めて各 2 箱用意し，土壤水分を容水量の 85% に調節して蓋をし，1 週間室内に放置した。そして，トルフェスクの種子を 100 粒ずつ外穎を下にして置床し，25°C の定温器に入れて 2 週間にわたって発芽型別発芽率の調査を行った。

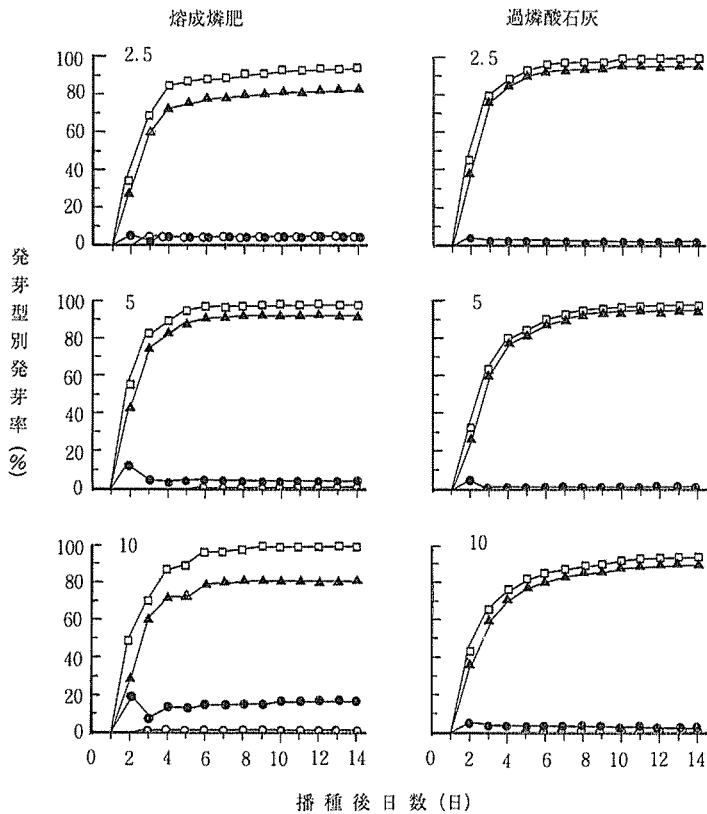
なお，調査終了時に供試した黒ボク土壤の磷酸吸収係数とトルオーグ法により有効態磷酸量並びに土壤 pH (H_2O) を測定した。

実験結果

土壤表面における発芽型別発芽率の推移を示したのが第32図であり，播種後10日目に発芽した種子のうち3発芽型の割合を示したのが第35表である。熔燐と過石では施用量によって発芽経過の様相が異なった。即ち，熔燐は施用量を増すほど，過石は逆に少ないほど発芽・発根が早くなった。特に，過石 5, 10 g 区では最初は緩慢であり，特に 10 g 区では 2 週間目にやっとなら 90% に達した。

発芽型別発芽率の割合と磷酸質肥料施用量との関係は以下の様であった。熔燐の 10 g 区では 2 日目には立ち上がり型は根上がり型よりやや少ない程度であったが，その後は発根とともに根上がり型に移行する種子も多く，10 日目には立ち上がり型が 17%，根上がり型が 81% であった。2.5 g と 5 g の両区とも立ち上がり型は僅か 5% であったが，移行型の種子が見られたことから根鞘毛の固着力がやや強くなっていることが推察された。しかし，過石では 2 日目頃に 1～4 粒ほど立ち上がる種子が見られたが，それらも発根と共に根上がり型に移行し，横臥型と立ち上がり型は合わせても 3% 以下で，殆どが根上がり型となった。根上がり型のうち，過石では根鞘毛は殆ど固着せず，発根と同時に種子が持ち上げられることが多いが，熔燐では一旦は根鞘毛が固着する種子が多く，根鞘毛の発生は熔燐の方が良好なことを示していた。この傾向は種子根の根毛の発生にも認められ，熔燐は過石よりも発生量が多く，しかも多施用区ほど発生量が多くなることが観察された。

この様に熔燐と過石では，施用量によって発芽経過も発芽型別発芽率の割合も異なった。そこで，施用量を変えた黒ボク土壤の磷酸吸収係数と有効態磷酸並びに pH を調査した結果が第36表である。供試した黒ボク土壤に磷酸質肥料を加える前の磷酸吸収係数は 1100，有効態磷酸 2.5 mg，pH 4.3 であった。この土壤に熔燐を加えた



第32図 熔成磷肥と過酸石灰の施用量を変えた黒ボク土壌表面におけるトールフェスク種子の発芽型別率の推移

図中の数字は風乾土壌 1 kg 当たりの混和量 (g) である。

○—○, 横臥型; ●—●, 立ち上がり型; ▲—▲, 根上がり型; □—□, 全発芽率。

第35表 黒ボク土壌への磷酸質肥料の施用が3発芽型の割合に及ぼす影響

肥料	施用量	横臥型 (%)	立ち上がり型 (%)	根上がり型 (%)
熔成磷肥	2.5	6.0	5.4	88.2
	5	0.5	4.7	94.8
	10	1.5	17.2	81.3
過磷酸石灰	2.5	0.0	1.0	99.0
	5	0.0	0.5	99.5
	10	0.5	2.7	96.7
無施用		0.0	0.0	100.0

注1) 黒ボク土壌は高野尾土壌。

注2) 施用量は風乾土壌 1 kg に対する g 数。

第36表 磷酸質肥料を施用した黒ボク土壌の pH, 有効態磷酸並びに磷酸吸収係数

肥料	施用量 (g)	pH	有効態磷酸 (mg)	磷酸吸収係数
熔成磷肥	2.5	4.65	12.0	931
	5	4.95	15.6	957
	10	5.25	33.3	949
過磷酸石灰	2.5	4.40	11.3	507
	5	4.31	24.6	490
	10	4.25	34.8	569
無施用		4.32	2.5	1103

注1) 施用量は乾土 1 kg 当たり, 有効態磷酸は同 100 g 当たり。

pH は 2.5 g 区で 4.65, 10 g 区で 5.25 と施用量を増すと高くなっており、酸性矯正の効果が認められた。しかし、過石では 2.5 g 区の 4.4 から 10 g 区は 4.25 と、施用量が増すにつれて僅かに酸性が強くなっていった。有効態磷酸は両肥料とも施用量が増すに従って同じように増加し、10 g 区では 30 mg 以上と、無施用区に比べかなり増加していた。磷酸吸収係数は熔燐が 930~960, 過石が 490~550 と、過石で無施用区の 1/2 以下となり、肥料の種類による差は認められたが、施用量による差は見られなかった。

考 察

根鞘毛の固着力が強くと立ち上がり型の多い水田土壌と固着力が弱くと根上がり型が多い高野尾土壌の pH を変えてトールフェスク種子を播種し、発芽型別発芽率を調査して pH と発芽動態との関係を検討した。

その結果、土壤表面においては pH 3 から pH 11 とかなり広い範囲で発芽発根したが、水田土壌では pH 5~8 の、黒ボク土壌では pH 5~6 の範囲で立ち上がり型が比較的多く、根鞘毛の固着も良好なことを示していた。しかし、両土壌とも酸性やアルカリ性が強くなるほど根上がり型が増加し、しかも不固着型の割合が多くなった。そして、pH 3 前後或いは pH 11 以上では根鞘は出現しても種子根が土壤に接触すると間もなく黒褐色に変色して伸長を停止し、鞘葉のみ伸長して外見上は横臥型と同一の様相を呈する種子が幾つか見られた。この様に、発芽した種子の発芽型別発芽率は土壤 pH により差がみられ、pH の影響を強く受けていた。

そこで、発芽動態に直接影響する根鞘毛の固着力と pH との関係を探るため、pH を調整した水中における根鞘と根鞘毛の発生状態を調査したところ、pH によりかなり差がみられた。根鞘・根鞘毛は pH 3 区の水の中では全く出現しなかったが、pH 4~12 の広い範囲にわたって発生した。しかし、pH 4 区と pH 12 区の根鞘毛は少数のうえ短く、pH の影響を強く受けていた。次に、各形質の状態と pH との関係を見ると、根鞘の出現率は pH 5, 9, 10, 11, 12 区が、根鞘毛の発生率は pH 5, 6, 7, 10, 11 区が、発生数は pH 7~11 区、長さは pH 7, 8, 10 区が他区より勝っていた。この様に、各形質が適する pH は必ずしも一致していなかった。しかし、各 pH で出現した根鞘から根鞘毛が発生した割

合と根鞘毛の長さとの間には正の相関関係が認められ、根鞘毛が発生した根鞘が多い pH 区は根鞘毛も長いことを示していた。また、2 週目で根鞘の出現率が劣った pH 4, 6, 7 区とも 3 週目には 60% に達した。そこで、根鞘毛の固着力と直接関係する発生率、本数、長さの 3 形質を総合して考えると pH 7 区と pH 10 区の発生状態が最も良好であった。ただ pH 10 区は調査粒数が少なかったのもっと多数調査すれば結果は異なることも考えられる。根鞘については、かなりの高塩分条件でも出現するとの報告は見られるが⁶¹⁾、pH と根鞘毛発生との関係を調査した研究は他に見当たらない。ここで断定はできないが、本実験の結果からすれば pH 7 の中性付近が根鞘毛の発生には好条件であると言えよう。

一般的にイネ科作物の中には耐酸性が強い種類が多いと言われており、森次ら⁶²⁾はイネやトウモロコシでは pH 3 に至ると生育の低下が見られると述べている。そして、田中ら⁶³⁾はイネ科作物の中には pH 3.5 になると生育は急激に悪化するが、pH 4.0 の方が pH 5.0 よりも生育良好な種類があり、トールフェスクの耐酸性を“強”に分類している。さらに、佐藤ら⁷⁴⁾のオーチャードグラスは pH 4.5 でも生育が良いとの結果や、発芽日数には耐酸性の差が現れるが、イタリアンライグラスは pH に影響されないとの茶村ら⁴⁾の指摘もあり、低 pH には比較的強い結果が多い。しかし、本実験では pH 4, 5, 6 区の水の中における根鞘毛の発生はアルカリ性におけるよりも少なかった。一方、土壤表面においては pH 5 前後で立ち上がり型が多かったことは、根鞘毛の発生が多く、固着力も強かったことを示しており、土壤表面では酸性状態でも根鞘毛の発生は良好と考えられる。第 5 章において、水道水中とろ紙上における根鞘毛の発生量に差は見られなかった。しかし、根鞘毛の発生には少量の空気の供給を必要とするとの指摘⁶²⁾もあり、pH の高低によっては土壤表面と水中との酸素供給量の差が影響するのかもしれない。

また、本実験では pH 12 区は根鞘の出現が早く、出現率も高かった。この理由は明らかでないが、シャーレで行った予備試験でも同様の結果が得られており、pH が高くなるにつれて根鞘の出現は早くなるものと思われる。広田²⁵⁾は水溶液の pH が 4.2~10.3 の各種造粒剤で粉衣したヘアリーベッチの発芽試験で、造粒剤の水溶液の pH は発芽に影響しないと述べている。また、ウルシ

の一種では pH 4~10 の範囲で発芽に差がみられなかったとの結果⁷³⁾もあり、pH 10 程度までは発芽に影響しないことは十分考えられる。しかし、pH 12 区においては根鞘毛は短い毛が少数発生したに過ぎず、pH 11.5 区の土壤表面でも全て根上がり型で、しかも種子根が黒変した点を考えあわせると、根鞘の出現率は高くても発芽・定着には不良な環境と考えられる。

以上から、イネ科牧草の根鞘或いは根鞘毛は pH 4~12 のかなり広い範囲で出現するが、根鞘毛の固着力と密接に関係する発芽型別発芽率の割合や酸性土壤の多いわが国の実情等を考慮すると、発芽・定着に対しては土壤 pH を pH 5~7 の範囲内に矯正することが適切と考える。

次に、土壤改良資材としての磷酸肥料の効果について検討する。熔燐を施すことにより立ち上がり型が増え、施用の効果が認められた。供試した黒ボク土壤は全く耕作されたことがなく、土壤改良も行われなかったため、熔燐の施用量が多いほど立ち上がり型が多くなった。しかし、過石は施用量を増しても、発芽型別発芽率に変化は無く、発芽動態改善効果は認められなかった。この2種類の磷酸質肥料を施した結果、磷酸吸収係数は過石ではやや小さくなったが、熔燐では殆ど変わらなかった。また、有効態磷酸は両肥料とも同じように増加した。そして、土壤の pH は熔燐では施用量を増すほど高く、pH 5 以上になったのに対して、過石では pH 4.3 程度と低く、しかも施用量が多いほど低下する傾向が認められた。

このような各処理区の土壤条件から考えて、熔燐の多施用区で立ち上がり型が多くなったのは、主に pH が改善されたことにより根鞘毛の固着力を強めた結果と考えられる。

熔燐は施用量を増すと根上がり型の種子でも種子根の根毛の発生が良好であったのに対し、過石は多施用区ほど不固着型が多く、根毛の発生も悪かった。ただ、過石 2.5g区は根上がり型は多かったが、発芽速度は全処理区の中で最も早かった

化学肥料はその種類によって、施肥すると土壤が酸性化したり、酸性土壤の pH を高めることが指摘されている^{3,15,16)}。磷酸質肥料は、種子根は磷酸の吸収力が弱いので土壤の表層には有効態磷酸を高めるために必要²³⁾とか、発芽や初期生育に対する効果^{4,12,93,94)}が指摘され

るように、根圏の有効態磷酸の量を増加させるために施されることが多く、熔燐は pH 改善の効果も大きい。本実験の結果でも熔燐の施用が土壤の酸性を改善し、根鞘毛の固着力を高め、発芽・定着をより安定化する効果のあることも明らかとなった。

小 括

トールフェスク種子を土壤 pH を変えた水田土壤と黒ボク土壤の表面に播種して発芽型別発芽率を、そして、pH を変えた水中で根鞘の出現率や根鞘毛の発生量等を調査して、発芽・定着に及ぼす pH の影響について検討した。

1. 水田土壤では pH 5~8 の、黒ボク土壤では pH 5~6 の範囲で立ち上がり型が多く、発芽・定着がより安定することを示しており、根鞘毛の固着性の点からみて、両土壤とも pH 5~7 程度に改良することが望ましい。
2. pH を変えた水中において、根鞘は pH 4~12 まで広い範囲で出現したが、根鞘の出現率、出現した根鞘のうち根鞘毛が発生する割合、さらに、根鞘毛の発生数と長さ等が良好な pH はそれぞれ異なった。根鞘毛が発生した根鞘の割合、根鞘毛の発生数、長さの3要素を総合して考えると pH 7 における発生量が良好であった。
3. pH の異なる水中で出現した根鞘の中で、根鞘毛が発生した割合と根鞘毛の長さとの間には正の相関関係があり、根鞘毛の発生率の高い pH 区は根鞘毛も長いことを示していた。
4. 黒ボク土壤に熔燐と過石の2種類の磷酸質肥料を施用して、発芽・定着に対する効果を検討したところ、熔燐を施用すると土壤 pH を改善し、立ち上がり型の割合が多くなり、発芽・定着が安定することが明らかとなった。

第 8 章 土壤表面の種子に加えた鎮圧処理が発芽・定着に与える効果

不耕起造成においては播種前に前植生の茎葉を採食させながら家畜により地表面を攪乱し、播種後は前植生の再生長の抑圧と踏によって表面播きされた種子を強く踏みつけて土壤に密着させて、発芽・定着を助けることを目的に家畜が放牧される^{47,63,64,92)}。また、家畜以外にも

大型機械などによる地表面の攪乱，土壤の露出が発芽・定着に効果があることも指摘²⁴⁾されている。この様に，種子を土壤表面へ物理的に固定したり，強く押しつけると発芽・定着が良好になることは知られている。しかし，これら物理的措置は，種子根が土壤中へ進入するのをどの様にして助けるのか，或いは，発芽動態がどのように変化して発芽・定着が改善されるのか，不明な点が多い。

本章では，圃場において家畜が踏みつけた足跡内や接地圧を変えて鎮圧した種子の発芽過程を観察し，ポットと播種箱において種子鎮圧による発芽型別発芽率を調査した。そして，不耕起造成で行われている鎮圧作業が発芽・定着に与える効果について，発芽動態の面から検討した。

第1節 家畜の踏圧等の種子鎮圧処理が発芽・定着に与える効果

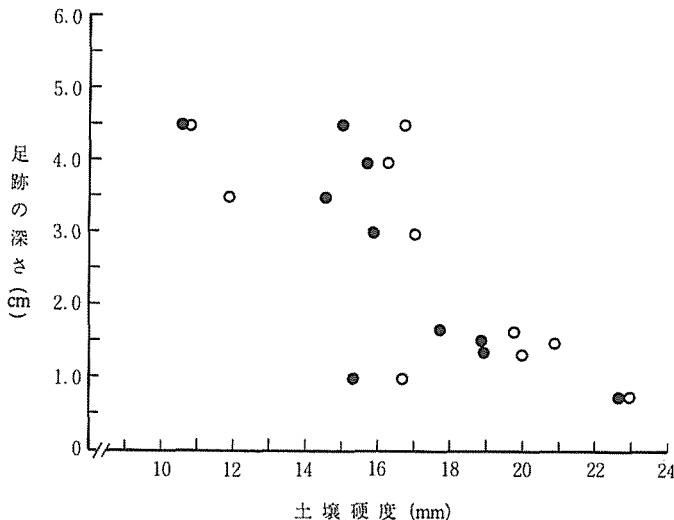
不耕起造成において，播種床の準備のために前植生の採食と地表面の攪乱，発芽後の管理放牧に家畜の果たす役割は大きい。特に，家畜が消耗しない範囲で播種前後にできるかぎり重放牧して，土壤を露出させて種子を密着させることが発芽・定着を高めることは知られている^{24,44,63)}。

本節では圃場に表面播種した後，家畜に踏ませ，その

足跡における発芽過程と，同じ圃場の土壤表面において，接地圧を変えて鎮圧した種子の発芽過程を観察し，土壤条件も加味して種子鎮圧の効果について検討した。

実験材料および方法

試験は1988年の初夏と秋期の2回，三重大学生物資源学部内の実験圃場で行った。試験圃場は森林黄色土を客土後牧草を栽培して15年以上経過しており，土質は前章まで供試した水田土壤に比べ砂質分がやや多いが類似していた。圃場はあらかじめよく耕耘し，表面の土壤硬度・土壤粒子の大きさが，できるかぎり均一となるようにローラーをかけて整地した。そして，1988年6月28日(初夏試験)と10月19日(秋期試験)にトールフェスク(ケンタッキー31)を播種した。初夏試験では播種後乳牛(体重486kg，足面積;前足132cm²，後足110cm²，平均121cm²)を歩かせて踏圧し，以後足跡12箇所について35日目まで4回足跡内にある種子の発芽粒数を数えた。また，播種当日に乳牛を歩かせた後，足跡内とその周囲各5箇所ずつを，山中式硬度計で硬度を測定すると同時に，足跡の深さを測定した。さらに，同一圃場内で表面播きした種子を，0.5，1.0，1.5kg/cm²の3段階に荷重をかけて鎮圧し，牛足跡区とともに，35日目に牧



第33図 試験圃場の土壤硬度と乳牛前足跡の深さとの関係

○，足跡内；●，足跡周囲。

足跡内 $y=9.20-0.40x$ $r=-0.79^{**}$

足跡周囲 $y=8.05-0.32x$ $r=-0.75^*$

全体 $y=8.41-0.35x$ $r=-0.76^{**}$

草の草丈を調査した。播種後、圃場の土壌水分を乾燥法によって1ないし2日ごとに、そして、土壌硬度と3 cmの深さの地温を毎日測定した。

秋期試験では、初夏と同様に準備した圃場に、播種後1区100 cm²の方形区内に50粒播種し、初夏と同様に0.5, 1.0, 1.5 kg/cm²と3段階に荷重して種子を鎮圧した。なお、0.5と1.5 kg区は同じ圃場の一角に深さ5 cm, 幅約50 cmの広い溝を掘り、そこで鎮圧処理を行った。さらに、比較のために鎮圧処理を施さない区も設けた。鎮圧処理は各区4反復した。そして、11月20日までの間に4回、区内の全粒数と立ち上がった種子数を調査し、調査終了時に各処理区で生育中の個体を無作為に10個体ずつ選んで、草丈、最長根長を測定した。土壌水分・土壌硬度は1日おきに、地温は毎日調査した。

実験結果

初夏試験は、梅雨期の頻繁な降雨を利用して発芽・定着の促進を図る目的で行ったものである。試験区の播種粒数を同数としなかったために、足跡により数の変異が多く、しかも処理した翌日大雨があり、無処理区からかなりの種子が流されて移動し、さらに、多数の種子が土壌に埋まった。そのために播種粒数を正確に把握することが不可能となったので、家畜の足跡内では発芽種子数の調査にとどめた。そして、人為的な鎮圧処理区は、圃場条件における発芽過程の観察を中心に行い、35日目に全区の草丈を調査した。播種当日、家畜による種子踏圧後に、前足を選んで足跡の深さと、足跡の内外の土壌硬度を測定し、その結果を第33図に示した。圃場の土壌硬度は硬い所が20~23 mm程度、軟らかい所が10~12 mm程度であり、足跡の深さも硬い所で1 cm前後、軟らかい所は4 cm前後であった。そして、足跡内の土壌硬度と深さとの間には負の相関関係 ($r = -0.79$, $P < 0.05$) が認められ、また、足跡周辺の硬度と深さの間にも同様の関係が認められた。なお、供試した家畜の体重と足の接地面積から算出した停立時の接地圧は約1 kg/cm²であった。

次に、足跡12個を選び、10日目と35日目に地表面と土壌中から発芽している個体とに分けて示したのが第37表である。足跡内の発芽種子は10個体以下のものから100個体以上のものまでかなりの差が見られたが、10日目と35日目を比べると発芽数が増加していた足跡は2個で、

第37表 乳牛の足跡内で発芽した個体数

播種後 日数(日)	発芽粒数	土壌表面で発芽 した種子数(%)
10	67±29.2	5±4.5 (7.5)
35	40±31.2	2±2.9 (5.0)

8個は減少していた。そして、平均では10日目の67粒に対して35日目には40粒へと減少していた。この発芽個体は大部分が土壌中に埋没した種子からのもので、地表面で発芽していた種子は1割にも達しなかった。表面で発芽した種子の中には立ち上がり型を示す種子が見られ、それらの種子根は土壌中へ順調に進入していた。また、根上がり型の種子も観察されたが、これら種子の多くは降雨時に雨滴によって飛散した土壌粒子が根鞘毛や根毛に付着して種子根を覆ってしまい、一見、根上がり型には見えなかった。そして、枯死する種子もかならずしも根上がり型のものばかりではなかった。この様に、家畜の蹄により踏みつけられた足跡内の種子は、踏みつけ時やその後の降雨により土壌中へ埋没することも明らかとなり、この点も踏圧効果のひとつと考えられる。

35日目における鎮圧処理区別の草丈を示したのが第38表である。家畜鎮圧区と鎮圧1.0 kg区の草丈はともに約11 cm程度で鎮圧0.5 kg区より2 cm程長く、鎮圧の強さにより差がみられた。また、無鎮圧区の草丈は家畜鎮圧区や鎮圧0.5 kg区よりも長かったが、これは、無鎮圧区では定着している個体が少なく、広い面積から定着している個体を採取したことがこの様な結果になったものである。

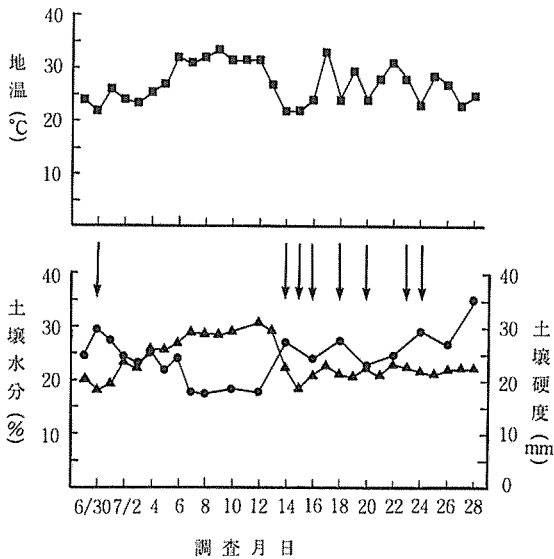
なお、試験期間中の地温、土壌水分並びに土壌硬度を第34図に示した。播種の翌日かなりの降雨があったが、

第38表 乳牛による踏圧並びに鎮圧処理が草丈に及ぼす影響

処 理	草丈(cm)	調査個体数
乳 牛	10.7 a	117
0.5 kg/cm ²	8.8 b	38
1.0 kg/cm ²	11.3 ad	42
無鎮圧	13.2 cd	33

注1) 乳牛の接地圧は1.0 kg/cm²である。

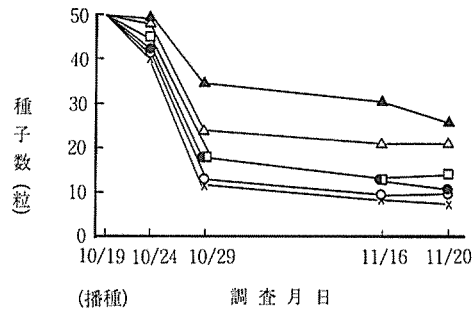
注2) 欄内の異なる英小文字間は5%水準で有意差あり。



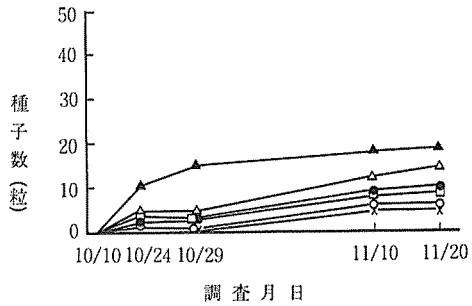
第34図 鎮圧試験圃場の地温と土壌水分並びに土壌硬度の推移(初夏)
 図中の矢印は5 mm以上の降雨があったことを示す。
 ■—■, 地温; ●—●, 土壌水分;
 ▲—▲, 土壌硬度。

その後は梅雨時にかかわらず13日間も雨が降らず、土壌水分は20%以下となった。そして、地温は30°Cを越える日が多く、土壌硬度も30 mm程度まで硬くなり、寒地型牧草の発芽・定着条件としては必ずしも適してはなかった。しかし、その後は降雨も時々あり、地温は30°C以下に、土壌水分は25%以上、硬度も22 mm前後を保った。

秋期における鎮圧処理区別の粒数の推移を示したのが第35図である。処理区内の種子は風、雨等の影響をうけて播種後5日目には無鎮圧区と鎮圧0.5 kg区では約20%が消失していた。そして、10日目には約1/5に減少したが、以後は余り減少しなかった。これに対し、鎮圧が最も強かった鎮圧1.5 kg区でも10日目には約1/2に減少するが、以後余り変化しなかった。さらに、広幅溝の鎮圧1.5 kg区は10日目でも約70%、1月後でも約60%の種子が区内に止まっており、鎮圧が強くなるほど種子の消失は少なくなる傾向が認められた。そして、窪地で強く鎮圧されると、最も消失が少なかった。これらの区は鎮圧処理により播種面が地表面より約3~4 cm低くなっていた事が消失率が少ない一因と考えられる。こ



第35図 播種直後に接地圧を変えて鎮圧した種子数の推移
 処理区当たり50粒播種。
 ○—○, 0.5 kg/cm²・平面; □—□, 1.0 kg/cm²・平面; △—△, 1.5 kg/cm²・平面, ●—●, 0.5 kg/cm²・広溝; ▲—▲, 1.5 kg/cm²・広溝; ×—×, 無鎮圧。



第36図 接地圧の差による立ち上がり型種子数の推移
 図中の記号は第35図と同じ。

の種子減少程度が播種面の深さに支配されているのか検討するために、処理区内で立ち上がった種子の推移を示したのが第36図である。広幅溝鎮圧1.5 kg区では5日目に約20%の種子が立ち上がっていた。これに対して無鎮圧区と鎮圧0.5 kg区は10日目には立ち上がり型の種子は殆ど見られず、1月後に約10%が立ち上がり型を示した。この様に、鎮圧の強さにより発芽型に差が生じ、鎮圧が強いほど、或いは、平面より窪地ほど立ち上がり型が多く、根鞘毛の固着が良好になり、この点も種子の移動消失が少ない原因のひとつと考えられる。

鎮圧が強いほど立ち上がり型が増加して定着に有利であることが判明したが、1月後に掘り取って草丈と最長根長を調査した結果は第39表のようであった。なお、無鎮圧区は調査しなかった。平面の草丈は、鎮圧0.5 kg区と鎮圧1.0 kg区以上の間に有意差が認められ、鎮圧

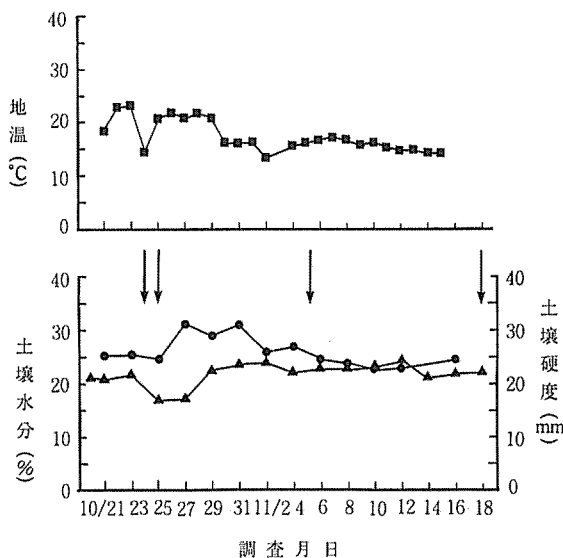
第39表 鎮圧処理の違いによるトールフェスクの草丈と最長根長

処 理	草丈 (cm)	根長 (cm)
0.5 kg	4.8 a	7.4 a
1.0 kg	5.8 b	5.7 ac
1.5 kg	6.0 b	7.5 a
0.5 kg*	5.3 ab	4.0 b
1.0 kg*	5.8 b	4.7 bc

注1) 鎮圧処理の接地圧の単位は kg/cm^2 。

注2) * ; 平面から深さ約 5 cm, 幅約 50 cm の溝を掘り, その表面で鎮圧処理した。

注3) 縦の欄内の異なった英小文字間は 5% 水準で有意差あり。



第37図 鎮圧試験圃場の地温と土壌水分並びに土壌硬度の推移 (秋期)

図中の記号は第34図と同じ。

が草丈の伸長には有利であることを示していた。しかし、根長では差が認められなかった。溝区は平面区に比べて草丈では差がなかったが、根長はやや短かった。

なお、秋期試験中の圃場の地温、土壌水分、土壌硬度の測定結果を第37図に示した。試験期間前半の地温は 20°C 前後であったが、後半は $14\sim 17^{\circ}\text{C}$ であった。そして、土壌水分は $24\sim 31\%$ 、土壌硬度は $16\sim 25\text{mm}$ の間で推移した。特に、処理区内の種子数の減少程度が大きかった播種後10日間の発芽定着条件はむしろ良好と認め

られた。

第2節 種子の物理的固定が発芽動態と幼植物の初期生長に及ぼす影響

前節では、家畜や $1.0\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上の力で鎮圧すると、種子の消失が少なく、立ち上がり型が増加し、根鞘毛の固着性が良好になることが示唆された。しかし、圃場条件で降雨等の影響を受けたため発芽動態の確認が不十分で、根鞘毛の固着機能を解明するには至らなかった。また、前節の鎮圧処理法は種子と置床面を同じ接地圧で鎮圧するのでより実地的である。この方法でも、十分に鎮圧された種子は土壌表面よりさらにその厚さだけ土壌中へ押し込まれる。これは種子を取り除くとその跡がついていることで確認できる。さらに、家畜が歩くと表面が攪乱され種子の一部または全体が埋没するが、このような種子の発芽は比較的良好で、これも種子を固定する効果のひとつと考えられた。

本節では、まず、屋外の自然条件下の土壌表面で鎮圧処理した種子の発芽型別発芽率と、発芽型別に定着した幼植物の生長を調査した。次に、一定環境下の黒ボク土壌と腐植表面で種子の鎮圧や胚部埋め込み等の処理をして、発芽動態や根鞘毛の固着力を比較した。そして、発芽・定着を高める方法としてとられている、種子に対する物理的固定処理の有効性について検討した。

実験材料および方法

実験1. 土壌の種類と鎮圧の有無が発芽動態と幼植物の初期生長に及ぼす影響

1988年9月に深さ 30 cm の $1/5000\text{a}$ 畑作用ワグナーポットに森林黄色土を風乾重で 7 kg 詰め、その上層に第6章と同様に調整した4種類の土壌をそれぞれポット当たり 500 g ずつ詰めて均平にした。表層の各土壌の厚さは約 3 cm であった。この様なポットを各土壌とも4個ずつ用意した。そして、水を入れた大きな水槽にポットを並べて底面から 2 cm の高さに水深を調節し、以後、常時給水した。水分が土壌表面まで上昇した後、24時間浸漬したトールフェスク種子 (ケンタッキー31) を1ポット当たり100粒ずつ外穎を下にして9月9日に播種した。4ポットのうち2ポットは、置床後、種子の内穎が土壌表面と同じ高さになるまで押さえ (鎮圧区)、残りの2ポットの種子は置床したままの状態とした (無鎮

庄区)。

播種後ポットは屋外に並べた。ただ、降雨の影響を避けるためにポットの上方1mの高さに透明のビニールシートを張った。そして、ポットの上方約30cmの高さに乾湿温度計と最高・最低温度計を吊るして気温と湿度を、さらに、各土壌毎に1ポットずつ2cmの深さの地温を毎日午前10時に、それぞれ測定した。

そして、毎日発芽型別発芽率の調査を行うとともに、28日目には発芽型別に草丈と、山中式硬度計による土壌硬度を、29日目には各ポットの表層5mmの土壌水分を乾燥法により、それぞれ測定した。

実験2. 黒ク土壌と腐植並びに灰の表面における種子鎮圧が発芽動態と根鞘毛の固着力に及ぼす影響

前章と同じ播種箱に、土壌水分を85%に調節した川渡土壌と西那須野土壌を充填した。そして、両土壌の表面に、トールフェスク種子を外穎を下側に1箱当たり100粒置床し、種子の内穎が表面と同じ高さになるまで押しつけた。その後、25°Cの定温器内で2週間にわたって発芽型別に発芽率を調査した。また、アカマツとコナラの腐植並びに灰の表面における実験は以下の方法で播種床を用意した。土壌の場合と同じ播種箱に水田黄色土500gを充填し、容水量の80%の水道水を注ぎ、その上に8~10mmの厚さにそれぞれの腐植と灰を敷き詰めた。腐植(又は灰)の表面まで水分が上昇した時点で、トールフェスク種子を外穎を下側に1播種箱当たり100粒置床して、種子の内穎が腐植(又は灰)の表面と同じ高さになるまで押しつけた(鎮圧区)。そして、25°Cの定温器内で2週間にわたって発芽型別発芽率を調査した。

さらに、発芽型別発芽率調査と同じ方法で準備した、川渡土壌と水田土壌並びにアカマツの腐植の表面で鎮圧処理を加えた種子の根鞘毛の固着力を測定し、第6章の

鎮圧処理を加えない時の固着力と比較した。

実験3. 胚部の埋め込みと鉛円板による種子の固定が発芽動態に及ぼす影響

胚部埋め込み実験は、土壌水分を75%に調整した川渡土壌と西那須野土壌を供試し、その表面に直径約2mm、深さ2mmの小さな穴を垂直に穿ち、そこに、トールフェスク種子の胚部を挿入した。この要領で両土壌とも1箱100粒ずつ2箱を用意し、25°Cの定温器内で2週間にわたって発芽率を調査した。なお、挿入した状態で種子根が土壌中へ進入して鞘葉が抽出した種子を定着種子、種子根が地表面に露出してきた種子を根上がり種子とした。

鉛円板荷重実験は、胚部埋め込み実験と同じ条件に調整した川渡土壌と西那須野土壌をそれぞれ4箱ずつ準備し、1箱に50粒ずつ外穎を下側にしてトールフェスク種子を置床した。そして、種子の真上に直径約6~8mmの鉛円板を1枚乗せた区(円板重量480~520mg)と2枚乗せた区(同重量980~1020mg、無荷重(対照区))の3処理区を設け、25°Cの定温器内で発芽させた。調査は、根鞘が固定されて種子根が土壌中に直接進入している種子(横臥型+立ち上がり型)と種子根が地表面に露出した根上がり型とに分けて行った。

実験結果

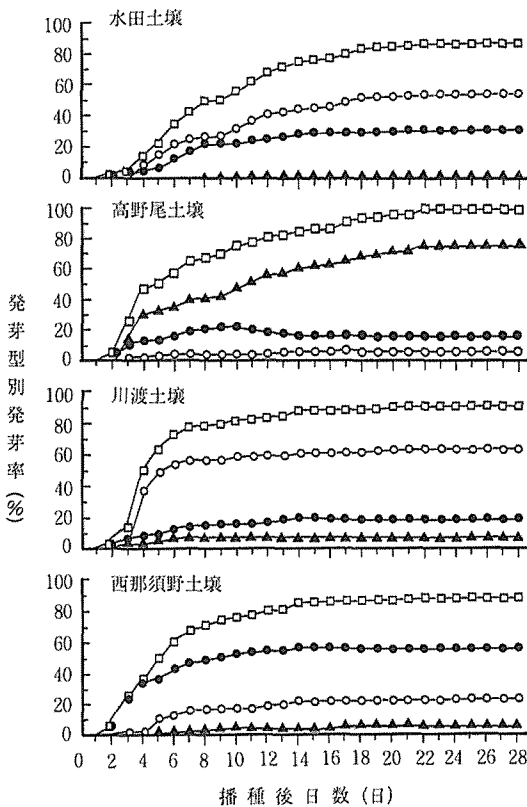
実験1. 実験期間中の気温、地温、相対湿度等について10日毎の平均値で示したのが第40表である。最初の10日間は晴天の日が多く最高気温は30°Cを越え、平均気温が29°C、地温が28°Cとやや高めであった。以後は気温も低下して、平均気温は23~26°C、地温も21~26°Cと、ほぼ寒地型牧草の生育適温内であった。また、相対湿度は期間中の平均が77%であった。

以上のような環境条件下でポット実験は行われたが、

第40表 実験期間中の気温と地温並びに大気湿度

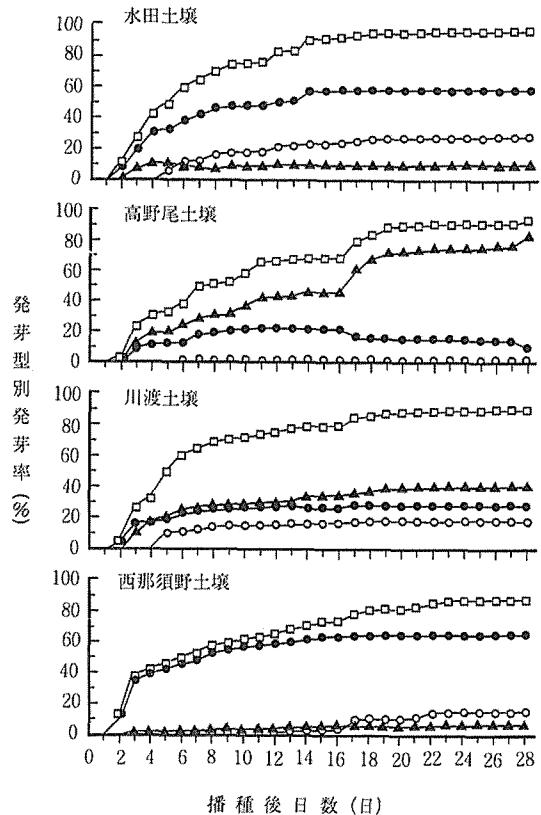
期 間	気温(°C)			地温(°C)				相 対 湿度 (%)
	最高	最低	平均	水田	高野尾	川渡	西那須野	
9/10-9/19	33.1	21.2	29.2	28.8	28.1	28.6	28.9	74.1
9/20-9/29	29.3	19.7	26.3	26.0	25.8	26.1	25.6	79.1
9/30-10/7	25.9	15.2	23.3	21.3	21.0	21.5	21.0	78.2
期間平均	29.4	18.7	26.3	25.4	25.0	25.4	25.2	77.1

注1) 気温で平均とあるのは午前10時の測定値である。



第38図 水田土壌と黒ボク土壌における種子鎮圧区の発芽型別発芽率の推移
○—○, 横臥型; ●—●, 立ち上がり型;
▲—▲, 根上がり型; □—□, 全発芽率。

4種類の土壌の表面における鎮圧区及び無鎮圧区の発芽型別発芽率の推移を示したのが第38図と第39図である。そして、発芽率が80%に達するのに要した日数と、実験終了日における全発芽率並びに3発芽型の割合を示したのが第41表である。全発芽率は28日目には鎮圧・無鎮圧、いずれの区もほぼ90%に達しており良好であった。黒ボク土壌の鎮圧区は3種類とも80%発芽に要する日数が、無鎮圧区に比べて6~7日短く、鎮圧区の発芽速度が早まった。しかし、水田土壌では逆に無鎮圧区がやや早かった。3発芽型の発芽経過を土壌別にみると、水田土壌では、鎮圧により最初から横臥型が最も多くて約60%を占め、次に、立ち上がり型が多く、根上がり型は殆ど見られなかった。これに対して、高野尾土壌は鎮圧により横臥型と立ち上がり型が僅かに増加するが、根上がり型が無鎮圧区で約90%、鎮圧区でも70%以上と、圧倒的



第39図 水田土壌と黒ボク土壌における種子鎮圧区の発芽型別発芽率の推移
図中の記号は第38図と同じ。

に多かった。川渡土壌の鎮圧区は播種直後から横臥型が急速に増加して70%を占め、次に、立ち上がり型が多く、根上がり型は8%に過ぎなかった。一方、無鎮圧区では立ち上がり型と根上がり型がほぼ拮抗していた。西那須野土壌では、鎮圧、無鎮圧区とも立ち上がり型の種子が順調に増加して多数を占め、根上がり型は少なかった。

発芽型は土壌硬度によっても影響されるが、実験終了日に測定した土壌硬度と土壌水分の測定結果を示したのが第42表である。土壌水分は、土壌間、特に、水田と黒ボク土壌には大きな差がみられたが、これは土壌容水量の違いに起因するものであり、鎮圧、無鎮圧区間はほぼ同程度であった。土壌硬度は水田土壌の方が黒ボク土壌よりもやや軟らかかった。また、黒ボク土壌では、無鎮圧区より鎮圧区の方が僅かに硬かった。

以上のように、水田土壌、黒ボク土壌とも種子を鎮圧

第41表 種子鎮圧の有無と発芽率並びに3発芽型の割合との関係

土 壤	無 鎮 圧					鎮 圧				
	発芽型別 I	発芽率(%) II	III	全発芽 率(%)	80%発 芽日数	発芽型別 I	発芽率(%) II	III	全発芽 率(%)	80%発 芽日数
水田土壌	30	60	10	96.5	12	63	36	2	88.0	17
高野尾	1	11	89	93.5	18	7	17	76	100.0	12
川 渡	21	32	46	89.5	17	70	21	8	91.0	10
西那須野	18	74	8	88.0	18	28	64	8	89.0	12

I, 横臥型; II, 立ち上がり型; III, 根上がり型.

第42表 各土壌の水分含有率と土壌硬度

土 壤	処 理	水分含有率(%)	土壌硬度(mm)
水田土壌	無鎮圧	24.9	9.4
	鎮 圧	24.5	9.0
高野尾	無鎮圧	40.9	11.9
	鎮 圧	41.4	13.0
川 渡	無鎮圧	43.7	12.9
	鎮 圧	45.7	14.0
西那須野	無鎮圧	38.7	11.8
	鎮 圧	38.1	13.4

注1) 土壌硬度は山中式硬度計による.

すると、横臥型が増加し根上がり型が減少する傾向が認められ、発芽型の改善効果が現れていた。

次に、播種後28日目に各処理区で定着している個体のうち発芽型別に草丈と分けつ数を調査した結果を第43表に示した。各土壌とも、鎮圧区の横臥型と立ち上がり型の草丈は発芽後順調に伸長し、差が認められなかったが、根上がり型は4~15cm短かった。無鎮圧区では、水田土壌や川渡土壌において、やや根上がり型の草丈が短い傾向が認められたが、発芽型と草丈との関係は、鎮圧区ほど明瞭でなかった。また、鎮圧区と無鎮圧区の草丈を比べると、土壌により異なり、一定の傾向は認められなかった。しかし、鎮圧と無鎮圧区を合わせた発芽型間

第43表 土壌の種類別にみた種子鎮圧が草丈と茎数に及ぼす影響

土 壤	発芽型	無鎮圧		鎮 圧		全 体	
		草丈(cm)	茎数	草丈(cm)	茎数	草丈(cm)	茎数
水田土壌	I	15.7 a	1.0 (6)	18.1 a	1.3 (8)	17.1 a	1.2 (14)
	II	15.7 ab	1.1 (8)	17.5 a	1.1 (10)	16.7 a	1.1 (18)
	III	12.7 b	1.0 (6)	7.6 b	1.0 (2)	11.4 b	1.0 (8)
高野尾	I	—	— (0)	11.8 a	1.0 (6)	11.8 a	1.0 (6)
	II	9.2 a	1.0 (11)	14.1 a	1.0 (8)	11.3 a	1.0 (19)
	III	8.3 a	1.0 (9)	8.2 b	1.0 (6)	8.3 b	1.0 (15)
川 渡	I	12.9 ab	1.0 (6)	16.5 a	1.2 (6)	14.7 a	1.1 (12)
	II	14.7 a	1.0 (8)	16.4 a	1.4 (8)	15.5 a	1.2 (16)
	III	10.2 b	1.0 (6)	7.4 b	1.0 (6)	8.8 b	1.0 (12)
西那須野	I	9.6 a	1.0 (5)	20.5 a	2.5 (6)	15.5 a	1.8 (11)
	II	17.9 b	2.2 (9)	17.9 a	2.6 (8)	17.9 a	2.4 (17)
	III	9.5 a	1.0 (6)	5.3 b	1.0 (6)	7.4 b	1.0 (12)

注1) I, 横臥型; II, 立ち上がり型; III, 根上がり型.

注2) 縦の欄内の異なった英小文字間は5%水準で有意差あり.

注3) ()内は調査個体数.

の草丈をみると、各土壌とも、横臥型と立ち上がり型間には差が見られなかったが、根上がり型は明らかに短かった。

茎数について見ると、西那須野土壌においては横臥型と立ち上がり型の個体で、2ないし3本に分げつしていたが、根上がり型は分げつしていなかった。水田土壌と川渡土壌の横臥型と立ち上がり型では、1本の個体が多かったが、2本の個体も見られた。根上がり型は全て1本であった。この様に、各土壌とも根上がり型の茎数は横臥型や立ち上がり型に比べて少なく、根上がり型は草丈が短いだけでなく、分げつも、やや遅れる傾向が認められた。

実験2. 播種箱において、黒ボク土壌表面の種子に鎮圧処理をして発芽型別発芽率の調査をした結果を第44表

第44表 黒ボク土壌における種子鎮圧が発芽動態に与える効果

土 壌	処 理	横臥型 (%)	立ち上がり型 (%)	根上がり型 (%)
川 渡	無鎮圧	1.0	11.7	87.4
	鎮 圧	20.0	42.4	37.7
西那須野	無鎮圧	2.1	21.2	76.7
	鎮 圧	21.2	50.2	28.7

に、アカマツとコナラの腐植並びにそれらの落葉を焼いた灰の表面における結果を第45表に示した。川渡、西那須野の両土壌とも種子を鎮圧することにより横臥型と立ち上がり型が無鎮圧に比べ大幅に増加し、根上がり型は40%以下に減少した。腐植の表面では、コナラの3発芽型の割合は黒ボク土壌とほぼ同じであった。アカマツでは鎮圧することにより、根上がり型が67%から3%へ激減した。灰の表面の種子も鎮圧しないと殆ど根上がり型になるが、鎮圧処理により両樹種とも45%程度まで減少した。そして、横臥型と立ち上がり型を合わせた種子が過半数を占めた。

この様に、種子を鎮圧処理すると根上がり型が大幅に減少した。この原因を解明するため、水田土壌、川渡土壌並びにアカマツ腐植の表面で鎮圧した種子の根鞘毛の固着力と根鞘毛が掴んだ土塊の大きさを測定し、第46表に示した。水田土壌における根鞘毛の固着力は無鎮圧の3.0gから鎮圧区は4.1gへ、川渡土壌では0.7gから1.7gへ、腐植上では0.9gから1.5gへと、それぞれ大きくなった。根鞘毛が掴んだ土塊の大きさも、水田土壌1.5mm³から2.5mm³へと、また、川渡土壌は1.1mm³から2.1mm³へと、鎮圧処理を加えることにより明らかに大きくなった。しかし、腐植は変わらなかった。実験3. 川渡土壌と西那須野土壌において、胚部を埋

第45表 腐植と灰の表面における種子鎮圧が発芽動態に与える効果

樹 種	処 理	腐 植			灰		
		I (%)	II (%)	III (%)	I (%)	II (%)	III (%)
アカマツ	無鎮圧	3.1	29.9	67.0	0.0	1.0	99.0
	鎮 圧	38.2	58.8	3.0	24.4	30.5	45.1
コナラ	無鎮圧	2.7	24.6	72.7	2.0	1.5	96.5
	鎮 圧	16.5	58.8	24.7	35.4	18.2	46.4

I, 横臥型; II, 立ち上がり型; III, 根上がり型。

第46表 水田土壌、川渡土壌並びにアカマツ腐植の表面における種子鎮圧が根鞘毛の固着力に及ぼす影響

処 理	水田土壌		川渡土壌		アカマツ腐植	
	固着力 (g)	土塊 (mm ³)	固着力 (g)	土塊 (mm ³)	固着力 (g)	腐植塊 (mm ³)
無鎮圧	2.99 a	1.47 a	0.71 a	1.10 a	0.91 a	4.16 a
鎮 圧	4.13 b	2.49 b	1.71 b	2.11 b	1.49 b	3.31 a

縦の欄内で異なる英小文字間は5%水準で有意差あり。

め込み、発芽動態を調査した結果を第47表に示した。両土壤とも、発根した種子根が地表面に露出した種子は僅か3%程度であり、胚部を2mm程度土壤中へ埋め込むことで種子根の96%は地表面に露出せずに進入した。

第47表 種子胚部の埋め込みが発芽動態に及ぼす影響

土 壤	定着 (%)	根上がり (%)
川 渡	96.3	3.7
西那須野	96.7	3.3

注1) 定着；種子根が地表面に露出しない種子、根上がり；種子根の一部が地表面に露出した種子。

注2) 土壤水分；容水量の75%。

次に、鉛円板で荷重した種子の発芽動態の調査結果を第48表に示した。この円板1枚の重量480~520mgは、吸水種子5mgのおよそ100倍に相当する。1枚の荷重では、川渡土壤の85%、西那須野土壤の58%は根上がり型となり、無荷重に比べ、種子根が直接進入できる種子の増加程度は僅かであった。しかし、1g程度荷重すると、両土壤とも根上がり型は減少し、種子根が土壤中へ直接進入する種子が7割を占めて、種子固定の効果が認められた。

第48表 鉛円板の荷重による種子の固定が発芽動態に及ぼす影響

荷重	土 壤	横臥型+立ち上がり型 (%)	根上がり型 (%)
0 枚	川 渡	5.1	94.9
	西那須野	23.3	76.7
1 枚*	川 渡	14.1	85.9
	西那須野	41.2	57.8
2 枚*	川 渡	69.0	31.0
	西那須野	68.9	31.1

注1) *, 480~520mgの荷重；**, 980~1020mgの荷重。

注2) 土壤水分；容水量の75%。

考 察

不耕起造成の際に家畜の蹄や作業機による攪乱・鎮圧の効果を確認する目的で、土壤、腐植、灰の表面に播種

し、家畜の踏圧や人為的な鎮圧、胚部の埋め込み等の処理をして、物理的な種子固定が発芽動態に及ぼす影響について検討した。

播種前後に家畜を放牧する事に関しては、家畜によるストックの割合が多いほど土壤の露出が多くなり発芽・定着に有利であるとの指摘が多く見られる^{24,44,63,92)}。供試家畜の停立時の接地圧は約1kg/cm²で、1.5kgとする三股らの結果⁴⁷⁾よりやや小さかった。しかし、圃場の土壤硬度が20mm程度では約1cm、硬度10mmでは約4.5cmの深さの足跡ができた。播種・踏圧後、家畜が歩いた足跡を観察すると、種子を押しつけるだけでなく、表面の土壤が飛び散って、足跡内の種子が一部埋没していた。本実験において、家畜で踏圧した翌日に大雨が降ったため、表土が流され、足跡内の種子は大部分が土壤中に埋没するか、流されてしまい、表面に止まっていたものは少なかった。この様に、家畜による踏圧の直接的効果は、土壤と種子の密着と、種子を土壤中に埋没させことである。さらに、攪乱された土壤が降雨により流され、足跡内など低地の種子を埋めてしまう二次の効果もあり、自然条件下ではよく起こる現象と考えられる。土壤表面で発芽を始めた種子の中で根上がり型が幾つか見られた。しかし、降雨があると、土壤表面の土壤粒子や腐植等が飛び散って、露出していた種子根に付着して外部から見えなくなった。この様な種子は横臥型や立ち上がり型と区別が困難となり、しかも、種子根は大気に触れることなく土壤中へ進入した。降雨のある時期に播種すると発芽・定着が良好になるのは水分環境が良好である点と、この様に種子根が保護されることも関係しているものと思われる。

秋期に接地圧を変えて鎮圧した土壤表面の種子は播種後5日目に無鎮圧と鎮圧0.5kg区は20%程度が、1月後には80%が消失した。鎮圧1.5kg区の様強く鎮圧して表面が周囲より約4cm程窪みになった状態でも40~50%が消失した。自然条件下では雨、風等の影響を受けて、たとえ強く鎮圧されても消失する種子の多いことを確認した。しかし、種子の消失程度は接地圧が大きいほど、また、同じ接地圧では広溝区の方が少なくなっており、播種面が周囲より低いほど種子の消失が少なかった。この窪地は土壤が軟らかかったり、鎮圧が強くと深くなり、周囲が乾燥してもその表面は湿っており、発芽も良好であった。土壤を強く鎮圧すると気相が減少して

水分含有率が増加して発芽・初期生育に有利なことや^{71,85)}、穴工法や溝工法は発芽や初期生育に対する微気象を改善すること⁴⁸⁾が指摘されており、水分環境が良好になったことは明らかである。さらに、鎮圧によって立ち上がり型が増加した事実は、根鞘毛の固着力が強まった事を示しており、この点も発芽・定着に有利に作用しているものと考えられる。

鎮圧と初期生長との関係を見ると、1.0 kg 以上の鎮圧区の草丈は鎮圧 0.5 kg 区より明らかに長かった。火山灰土壌において、岡本ら⁶⁹⁾は土壌の粗区(土壌硬度 6.8 mm)よりも密区(同 16.8 mm)の方が、高井ら⁸⁴⁾は、地表無処理播種では無鎮圧より鎮圧する方が、初期生育が良好であると指摘している。さらに、三田村ら⁴³⁾も土壌硬度は幼植物に影響を及ぼさないと、いずれも土壌をある程度鎮圧して密にした方が生育が良好なことを指摘している。本実験の結果からは軽鬆な火山灰土壌だけでなく森林黄色土についても鎮圧処理の有効性が認められた。

種子の物理的固定に関しては、地表面の種子をナイロン布で覆って移動を制限するか、ワイヤーピンで固定すると種子根の進入が容易であるとの指摘^{2,7)}があり、種子のみを何らかの物理的方法で固定する事は効果的であると言われている。本実験でも土壌表面、腐植、灰の何れの表面においても、種子をその厚さ分だけ外穎部を土壌中に埋め込むだけで根上がり型が大きく減少して、発芽型が改善された。これは、種子を鎮圧すると無鎮圧に比べ水田土壌では約1.4倍、川渡土壌では2.4倍、アカマツ腐植で1.6倍も根鞘毛の固着力が強くなったことが原因と考えられる。本実験のように外穎側を下にして鎮圧すると、胚部が土壌中に入るため根鞘毛も殆どが土壌中で発生し、より多くの土壌粒子を掴んだことが固着力の強化につながったものと考えられる。この点は鎮圧区の土塊の方が大きいことから裏付けられる。無鎮圧種子の根鞘毛は一部しか土壌表面に固着できないが、鎮圧処理すると根鞘毛の大部分が土壌を掴むことができるようになり、土壌への固着機能がより効率的に発揮できるのである。

第6章と同じ水田土壌と黒ボク土壌の表面の種子を鎮圧処理して発芽型と初期生育を調査したところ、黒ボク土壌においては種子の鎮圧は根上がり型が大幅に減少し、横臥型や立ち上がり型が増えるだけでなく、発芽速度を

早めた。また、各土壌とも鎮圧区では横臥型や立ち上がり型の草丈は根上がり型に比べ、明らかに長かった。鎮圧の有無にかかわらず、根上がり型の草丈は他の型に比べ短かった。さらに、各土壌とも根上がり型は全く分けつしていなかったが、横臥型や立ち上がり型は1~2本の分けつが認められた。この様に、発芽型によって初期生長の速度に差があり、特に、根上がり型では種子根の一部が地表面に露出していると、たとえ枯死しなくとも生育が遅れることが明らかとなった。

黒ボク土壌を用い種子の一部、特に胚部を土壌中に埋没させると、殆どの種子根は順調に土壌中に進入し、根上がり型になることは少なかった。この実験では根鞘毛の固着力は測定しなかったが、胚部が完全に土壌中に埋没しているため、発生した根鞘毛は全て土壌粒子に固着することが可能であった。これは、種子鎮圧以上に有利な状態であり、土壌中へ種子根が順調な進入できる要因のひとつと考えられる。

また、種子に吸水種子重の約100倍に相当する0.5 g程度の重量物を乗せたが、発根を始めた種子は錘を持ち上げてしまい、あまり効果はなかった。しかし、1 g程度になると持ち上げることが出来ず、胚部も土壌に密着した状態で発根し、根上がり型が大きく減少し、効果が認められた。牧草種子が小さいため、錘の全重量が種子に荷重されたわけではない。しかし、前章までの各種土壌表面における固着力が1 g以下では根上がり型が起りやすかった結果を考えると、安定した定着には、1 g以上の荷重が必要と考えられる。これは攪乱などで覆土された場合、種子を固定するためには一定量の土壌必要なことを示している。しかし、種子全体が土壌中に埋没する必要はなく、胚部が土壌中に入れば定着が容易になることも明らかとなった。

以上のように、種子のみを鎮圧するとか、胚部の埋没、錘を乗せる等、物理的に種子を固定すると、根鞘毛の固着力が強化され、根上がり型が減少して、発芽・定着が良好になり、初期生長も促進されることが明らかとなった。

小 括

トールフェスク種子を用い、圃場において家畜の蹄と接地圧を変えた鎮圧処理を、ポットと播種箱において種子の鎮圧や埋め込み等2, 3の物理的固定処理を行い、

発芽型別発芽率、根鞘毛の固着力、草丈等を調査し、種子鎮圧の効果について検討した。

1. 家畜の足跡内の種子は降雨により大部分土壤中に埋没し、発芽率も良好であった。
2. 接地圧を強めて鎮圧するほど種子の移動・消失は少なくなり、立ち上がり型が多く、草丈も長くなる傾向が認められた。
3. 水田土壌、高野尾土壌、川渡土壌、西那須野土壌の4種類の土壌表面で種子を鎮圧すると各土壌とも発芽速度が早くなり、根上がり型が減少した。そして、鎮圧区では横型型や立ち上がり型の草丈は根上がり型に比べて明らかに長かった。
4. 水田土壌、黒ボク土壌、腐植表面の種子を鎮圧すると根鞘毛の固着力は1.4から2.4倍強くなり、根鞘毛が掴む土塊も腐植を除き大きかった。
5. 黒ボク土壌において、胚部を2mm程度土壌中に埋め込むだけで殆どの種子根は地表面に露出せず、土壌中へ順調に進入した。
6. 黒ボク土壌表面において、種子が1g程度の荷重で固定されると、土壌中へ直接進入する種子根の割合が多くなった。
7. 以上から、鎮圧処理は根鞘毛の固着力を増し、発芽型を改善して、初期生長を早める効果のあることが認められた。

総括および結論

本研究は、草地の不耕起造成の際に問題となる、表面播種された牧草種子の発芽・定着の不安定性改善を目的として行ったものである。まず、林床の落葉をそのままにして不耕起播種した林内草地において、イネ科牧草種子の発芽・定着の実態と微気象の測定を行った。その結果、牧草種子は、無庇陰では落葉があった方が発芽率は高くなった。しかし、庇陰が少ないと、落葉は短時間で水分や温度環境が大きく変動し、発芽した種子の枯死率も高くなった。この様に、庇陰や落葉存在の効果が認められた。一方、林外の無庇陰状態の土壌表面においては、水分含有率は庇陰状態の落葉や腐植に比べて低くても、より安定した発芽・定着過程を辿った。これは多くの造成試験において、種子と土壌との密着効果が指摘されている様に、種子根が土壌中へ遅滞なく進入できるか否か

が定着の成否を決定し、土壌へ着床することの重要性をあらためて認識させるものであった。

そこで、不耕起造成において発芽・定着を安定させるためには土壌表面における発芽過程を明らかにすることが肝要であると考え、主に、

1. 土壌表面における発芽過程の実態把握と土壌中への種子根進入機構の解明並びに草種との関係。
2. その発芽・定着過程に影響を及ぼす土壌・気象要因など外部条件との関係。
3. 不耕起草地の造成工程でとられている土壌改良や家畜等を使用した種子鎮圧の処理と発芽過程との関係の3点から、寒地型イネ科牧草の着床から種子根が土壌中へ進入するまでの、発芽・定着の初期段階に限定して検討し、以下の結果を得た。

I. 土壌表面における発芽・定着過程の特性と草種間差異

土壌表面とろ紙上で、トールフェスク種子の発芽過程を外形態から観察し、イネ科牧草の発芽動態の特性と発芽動態に関与する要因について検討するとともに、6草種間の比較も行った。

1. 置床された種子は外穎基部を破り、まず、先端が丸い円柱状の根鞘を出現する。その後、根鞘は根鞘毛を多数発生しながら先端部を拡大して平面となり、根鞘毛は置床面に固着する。
2. 根鞘毛の固着が弱いと根鞘は十分に固定されないの、種子根が土壌中へ進入できなかつたり、種子が移動することもある。根鞘毛の固着が強いと根鞘はしっかりと固定され、根鞘腹部が伸長するにつれて種子は徐々に置床面から頂端部を上方に持ち上げていく（これを種子の立ち上がりと呼ぶ）。立ち上がった種子の種子根は根鞘直下の土壌中へ進入し、発芽過程も順調であった。
3. 土壌表面では、根鞘毛は表面だけでなく、土壌の粒子の間隙を通して土壌中にまで伸長して、土壌粒子に固着する。その様な種子を引き抜く場合には力（根鞘毛の固着力と呼ぶ）を必要とし、引き抜くと根鞘毛の周りに多量の土壌粒子が付着してくる（土塊と呼ぶ）。そして、この根鞘毛の固着力と根鞘毛が掴んだ土塊の量との間には強い正の相関関係($r=0.89$, $P<0.001$)が認められ、発芽過程におい

て置床面への根鞘毛の物理的固着機能の重要性を確認した。

4. この固着の強さと種子の動き、地表面への種子根露出の有無等により発芽動態を次の3発芽型に類別した。
 - I型; 置床された状態と同じく、外穎が土壌表面に密着したままで根鞘毛が固着し、種子根が直接土壌中へ進入する横臥型。
 - II型; 根鞘毛によって根鞘は土壌表面に固定され、種子は立ち上がりながら種子根が直接進入する立ち上がり型。
 - III型; 土壌表面への根鞘毛の固着が弱いか固着しないため、種子根が直接土壌中へ進入できず、一部又は大部分が地表面に露出している根上がり型。
5. 播かれた種子は外穎が下側で胚部が土壌と接していると立ち上がり型が多くなり、外穎が上方になって土壌から離れると根上がり型が過半数を越え、置床の方向により3発芽型の割合に差が見られた。
6. 外穎を下にして6種の寒地型イネ科牧草で発芽動態と根鞘毛の固着力を調査したところ、OG, TF, KBGの3草種の根鞘毛の固着力は2g以上の大きさで強く固着し、立ち上がり型が多く、発芽過程も順調であった。しかし、固着力が1g程度の大きさであったMF, PRG, IRGの3草種は根上がり型が多く、種子根が地表面に露出するものが多かった。そして、根鞘毛の固着力と立ち上がり率との間には強い正の相関関係 ($r=0.96, P<0.01$) が認められ、固着力の強い草種は立ち上がり率も高かった。表面播種の定着過程において、根鞘毛の固着力は重要な役割を果たしており、固着力の点から見て、表面播きにはOG, TF, KBGの3草種が適していた。
7. 水中発芽では、TFは長い多数の根鞘毛を発生させたが、OGとKBGの発生は少なく、PRG, IRG, MFの根鞘毛は多数発生したがやや短かった。この草種の根鞘毛の数ならびに長さや固着力との間には一定の関係は認められなかった。
8. PRGとIRGの種子根は、他の草種に比べて2倍の伸長速度があり、根径もOG, MF, KBGより大きかった。しかし、これら形質と立ち上がり率の間には一定の傾向は認められず、種子根の伸長速度の

遅速や太さが発芽型に与える影響は草種により異なった。

II. 温度、土壌等の環境要因が発芽動態と根鞘毛の固着力に及ぼす影響

土壌表面における発芽動態と根鞘毛の固着力が置床温度や土壌の種類・水分含有率・硬度、乾燥、土壌表面に堆積する粗腐植により、どのような影響を受けるか、トルフェスク種子を用いて検討した。

1. 置床温度と発芽動態および根鞘毛の固着力との関係は以下の様であった。15~25°Cの間では70%以上の種子が立ち上がり、順調に発芽した。根鞘毛の固着力も2.7~3.0gと大きかった。5°Cでは立ち上がり型と根上がり型の種子がほぼ匹敵した。高温の35°Cでは発芽率も低く、固着力も1.1gと小さく、70%が根上がり型であった。横臥型は各温度とも少なかった。
2. 根鞘毛は水中でも良く発生し、15~30°Cでは根鞘出現後約24時間で120~130本に達し、平均2mm程度の長さであった。5°Cでは、根鞘出現直後は短くて数も少ないが、種子根が出現する頃には110本以上発生した。35°Cでは少数で、短く、高温の影響を受けていた。

この様に、寒地型牧草の生育適温と一致する15~25°Cの間では、長い多数の根鞘毛が発生し、固着力も強く、立ち上がり型が多い。それより低温や高温では数も少なく、短いため、その力が弱まり、根上がり型が増加することが明らかとなった。そして、根鞘毛の数および長さや固着力との間には何れも強い正の相関関係が認められた。

3. 土壌要因に関してみると、水田土壌並びに黒ボク土壌とも、土壌水分が増すと軟らかくなって横臥型が増え、逆に水分が減少して硬くなると根上がり型が増えた。立ち上がり型は水田土壌では土壌水分40%区が、黒ボク土壌では85%区が最も多く、立ち上がり率はそれぞれ80%と40%であった。また、黒ボク土壌では、土壌硬度(絹針貫入抵抗値)が5g以上になると根上がり型が急増するが、水田土壌では10g以上でも立ち上がり型が多かった。そして、各土壌とも3g以下の土壌硬度になると横臥型になった。また、立ち上がり型が最も多い土壌水分区

における根鞘毛の固着力は、黒ボク土壌は 0.4～0.8 g で、水田土壌の 3 g に比べて小さかった。

この様に、発芽型別発芽率および根鞘毛の固着力は水田土壌と黒ボク土壌との間における差が大きかった。

4. 落葉とその分解物あるいは落葉焼却灰の表面でも発芽は良好であった。腐植、灰の上では発芽率も発芽速度も土壌のそれと変わらなかった。何れの区も根上がり型が多かったが、分解が進むにつれて立ち上がり型が増える傾向が認められた。また、アカマツ腐植上における根鞘毛の固着力は黒ボク土壌のそれよりやや大きかったが、コナラは1/2以下であり、水田土壌と比べるとかなり小さかった。

この様に、腐植や灰の表面では発芽率は改善されるが、固着力は弱く、種子根が順調に進入するためには何らかの措置が必要と考える。

5. 水田土壌、黒ボク土壌ともに、十分に給水すると給水遮断後10日以上経過しても、土壌表面の水分含有率は殆ど減少せず、播種した種子は正常の発芽、生長をし、枯死することなく定着した。また、種子根が 4 mm 程度出現した種子を相対湿度60%の室内で7日間乾燥させても、種子根は枯死するが、再給水後は冠根が発生して、約80%が順調に生長した。

Ⅲ. 土壌改良資材の施用および種子鎮圧処理が発芽・定着に与える効果

草地造成の際に行われる酸度矯正や磷酸質肥料の施用や家畜の踏圧、作業機等による種子鎮圧が発芽動態に及ぼす影響について、トールフェスク種子を用いて検討した。

1. 水田土壌では pH 5～8 の、黒ボク土壌では pH 5～6 の範囲で立ち上がり型が多く、発芽・定着がより安定しており、根鞘毛の固着の点からも、両土壌とも pH 5～7 程度に改良することが望ましい。
2. pH を変えた水中において、根鞘・根鞘毛は pH 4～12 まで広い範囲で出現した。しかし、根鞘の出現率や出現した根鞘のうち根鞘毛が発生する割合、根鞘毛の発生数と長さ等、それぞれに対する好適 pH は異なった。根鞘毛が発生した根鞘の割合、根鞘毛の発生数、長さを総合して考えると、pH 7 における発芽が良好であった。さらに、各 pH の水中で出

現した根鞘の中で根鞘毛が発生した割合と根鞘毛の長さとの間には正の相関関係 ($r=0.73$, $P<0.05$) があり、根鞘毛の発生率の高い pH は根鞘毛も長いことを示していた。

3. 黒ボク土壌に、熔成燐肥と過磷酸石灰の2種類の磷酸質肥料を施用して、発芽・定着に対する効果を検討したところ、熔燐は土壌 pH を改善し、立ち上がり型の割合を高め、発芽・定着を改善することが明らかとなった。
4. 家畜の足跡内の種子は降雨により大部分は土壌中に埋没し、発芽も良好であった。また、接地圧を強めて鎮圧するほど種子の移動・消失が少なくなった。そして、立ち上がり型が多くなり、草丈も長くなる傾向が認められた。
5. 水田土壌、高野尾土壌、川渡土壌、西那須野土壌の4種類の土壌表面で種子を鎮圧すると、各土壌とも発芽速度が早くなり、根上がり型が減少した。そして、鎮圧区では横臥型や立ち上がり型の草丈は根上がり型に比べて明らかに長く、初期生育に差が見られた。

また、水田土壌、黒ボク土壌、腐植の表面で種子を鎮圧すると、無鎮圧に比べ根鞘毛の固着力は1.4から2.4倍強くなり、根鞘毛が掴む土塊も大きくなった。

この結果は種子を鎮圧することにより根鞘毛の固着力が増し、発芽が早まり、定着が安定することを示していた。

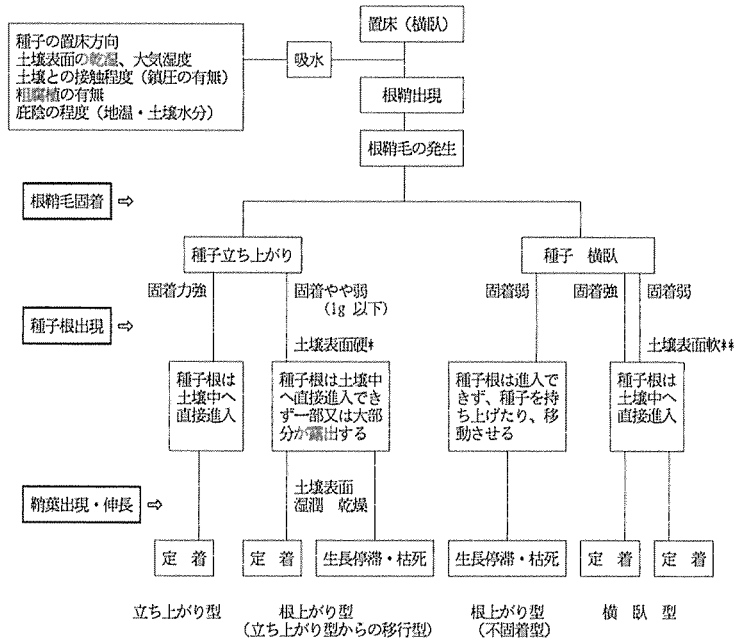
6. 黒ボク土壌の表面で、胚部を 2 mm 程度土壌中に埋め込むと、殆どの種子根が土壌中に進入した。さらに、同じ土壌表面において、種子を 1 g 程度の錘で固定すると、種子根が土壌中へ直接進入する割合が多くなった。

以上の様に、土壌表面に播かれたイネ科牧草の種子は置床されたままの姿勢、位置で発芽・定着に至る種子は少なく、発根前後に何らかの動作を見せる。種子が発芽を始めると、最初に出現した根鞘から発生した根鞘毛が地表面に固着して根鞘部を固定し、種子の動きを抑制する働きをする。この時の固着力の強弱によって発芽動態が異なり、横臥型、立ち上がり型、根上がり型を示す。そして、固着力が強いと立ち上がり型や横臥型が多くな

り、発芽・定着は安定し、弱いと根上がり型が多くなって、定着が不安定になる。この発芽型別の発芽率は土壤の種類・水分・硬度、土壤と粗腐植や落葉焼却灰など、発芽床によって異なる。しかし、種子を鎮圧する等、人為的処理を加えると固着力が強くなり、根上がり型が減少して発芽型が改善される。また、発芽を始めた種子はかなり長時間乾燥状態にも耐えられるが、根上がり型は

乾燥等に遭遇すると枯死や生長の遅延を招き、定着や初期生長に影響する。そこで、本研究によって明らかにされた土壤表面において横臥型、立ち上がり型、根上がり型の3発芽型に分かれる発芽過程と、そこに関与する気象・土壤要因等各種要因との関係を含めて図示すると第40図の通りである。

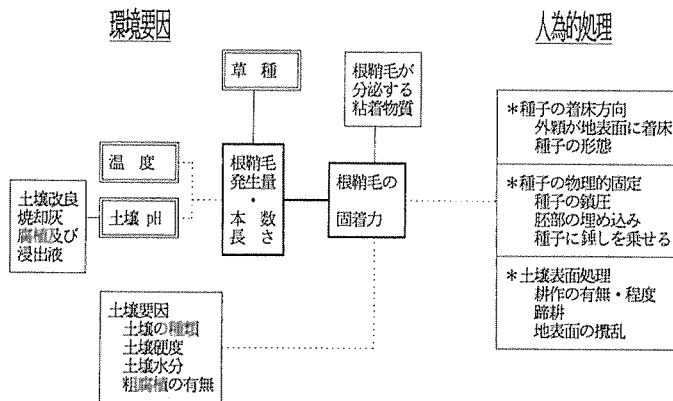
発芽動態は、根鞘毛が発生して地表面に固着するまで



第40図 土壤表面におけるイネ科牧草種子の発芽型別の発芽・定着過程とそこに関与する要因

*； 絹針貫入抵抗値水田土壤 25 g 以上、黒ボク土壤 5 g 以上

**； 同3 g 以下。



第41図 根鞘毛の固着力に関与する要因

—, 主体的要因；……, 環境的要因。

は各発芽型とも同じ経過を辿るが、発根を始めると発芽床の条件や固着の良否によって差がでてくる。この様に、根鞘毛の固着力は、種子根が土壌粒子を押し分けて土壌中へ進入して行く支点として不可欠の要素であり、発芽動態を直接左右し、定着の成否を決定する力である。また、本研究の固着力測定時に種子根が土壌中へ3~4 mm 以上伸びて、根毛が発生すると固着力が急に強くなり、土塊も大きくなる種子を多数測定した。この事実は、土壌中へ種子根が進入し、幼植物をより強く固定するまでの間、根鞘毛が種子を固定する役割を担っていることを示している。この重要な役割を果たす固着力は根鞘毛の発生数や長さや密接に関係している。そして、根鞘毛は草種や温度や pH など外的要因によって発生量が異なり、固着力に影響する。さらに、家畜の踏圧などによる各種の物理的鎮圧処理は根鞘毛の固着力を増し、発芽型の改善を側面的に助ける。この様に、本研究によって、表面播種されたイネ科牧草の発芽・定着において、土壌中への種子根の進入に重要な役割を果たす根鞘毛の固着機能と、そこに関与する諸要因との関係は第41図のとおりであることが明らかとなった。

引用文献

- 1) CAMPBELL, M. H. and F. D. SWAIN. Factors Causing Losses during the Establishment of Surface-sown Pastures. *J. Range Manage.* 26: 355-359 (1973).
- 2) CAMPBELL, M. H. and F. D. SWAIN. Effect of Strength, Tilt and Heterogeneity of Soil Surface on Radicle-entry of Surface-Sown Seeds. *J. Brit. Grassld. Soc.* 28: 41-50 (1973).
- 3) 茶村修吾, 齊藤正三, 吉岡勝雄. 作物の耐酸性と低 pH との関係 (13) 不耕起播き飼料作物の消失する原因. *日作紀* 35: 17-23 (1966).
- 4) 茶村修吾, 水島豊平. 作物の耐酸性と低 pH との関係 (14) 数種の低 pH 段階における施肥効果. *日作紀* 36: 346-353 (1967).
- 5) COCKS, P. S. and C. M. DONALD. The Germination and Establishment of Two Annual Pasture Grasses (*Hordeum leporinum* LINK and *Lolium rigidum* GAUD.). *Aust. J. Agric. Res.* 24: 1-10 (1973).
- 6) 土壤物理学会編. 土壤の物理性と作物生育. 養賢堂, 東京, pp. 7-15 (1979).
- 7) DOWLING, P. M., R. J. CLEMENTS and J. R. MCWILIAM. Establishment and Survival of Pasture Species from Seeds on the Soil Surface. *Aust. J. Agric. Res.* 22: 61-74 (1971).
- 8) FOARD, D. E. and A. H. HARPER. Use of Growth Characteristics in Studies of Morphologic Relations. I. Similarities between Epiblast and Coleorhiza. *Amer. J. Bot.* 49: 520-523 (1962).
- 9) 福井重郎, 大野 元. 緑肥・飼料作物の水田裏作に対する適応性に関する研究 (第2報) 水中浸漬期間と発芽との関係. *日作紀* 24: 108-110 (1965).
- 10) GUIGARD, J. D. Du Cotyledon des Monocotyledones. *Phytomorph.* 25: 193-200 (1975).
- 11) GUTTENBELG, H. V.. Die Entwicklung der Wurzel. *Phytomorph.* 14: 265-287 (1964).
- 12) 原田 勇. 牧草の養分吸収過程並びにそれに基づく合理的施肥法に関する研究. *酪農学園大紀要* 3: 1-160 (1970).
- 13) HARPER, J. L., J. T. WILLIAMS and G. R. SAGAR. The Behavior of Seed in Soil I. The Heterogeneity of Soil Surface and its Role in Determining the Establishment of Plants from Seed. *J. Ecol.* 53: 273-286 (1965).
- 14) HARPER, J. L. and R. A. BENTON. The Behavior of Seed in Soil II. The Germination of Seeds on the Surface of a Water Supplying Substrate. *J. Ecol.* 54: 151-166 (1966).
- 15) 橋本 武, 中村和弘. 施肥による土壤酸性化ならびに中和に関する研究 (第1報) 土壌と肥料との化学反応ならびに硝酸化成による土壌 pH の変化. *日土肥誌* 42: 453-458 (1971).
- 16) 橋本 武, 中村和弘, 横田弘司. 施肥による土壤酸性化ならびに中和に関する研究 (第2報) 溶脱による土壌 pH の変化. *日土肥誌* 45: 213-218 (1974).
- 17) 橋本 勉, 竹内徳猪. 積雪地帯における水田裏作イタリアンライグラスの不耕起栽培に関する研究——水稲作付前の石灰施用とイタリアンライグラスの催芽播——. *日草誌* 13: 19-25 (1967).
- 18) HASSANYAR, A. S. and A. M. WILSON. Drought Tolerance of Seminal Lateral Root Apices in Crested Wheatgrass and Russian Wildrye. *J. Range Manage.* 31, 254-258 (1978).
- 19) 早川康夫, 橋本久夫. 根釧地方火山灰地における牧草地土壌の理化学的特性とその施肥法に関する試験 第5報 牧草地土壌としての特性発現過程と窒素, 磷酸, 加里の供給力について. *北海道立農試集報* 7: 16-33 (1961).

- 20) 早川康夫, 橋本久夫. 根釧地方の牧野改良 第2報 牧野に堆積する植物遺体, 腐朽物質とこれが草地造成に及ぼす影響. 北海道立農試集報 12: 23-36 (1963).
- 21) 早川康夫, 奥村純一, 橋本久夫. 根釧地方の牧野改良 第3報 造成方式と牧草の発芽活着. 北海道立農試集報 13: 80-90 (1964).
- 22) 早川康夫, 佐藤康夫. 草地における燐酸の肥効. 北農試彙報 96: 101-113 (1970).
- 23) 平島利昭編監修. 北海道の牧草栽培技術. 農業技術普及協会, 北海道. p 67 (1982).
- 24) 平山秀介, 浅原敬二, 上出 純, 沢田嘉昭, 杉本亘之. 蹄耕法による草地造成利用試験 第3報 ストッキング量と発芽率. 日草誌 14: 207 (講要) (1968).
- 25) 広田秀憲. 草地の不耕起造成における表面播種法, 特に造粒種子の応用に関する研究. 新潟大農紀要 13: 1-66 (1975).
- 26) 堀野 厚. 不耕起による草地造成 (I). 畜産技術 243: 6-10 (1975).
- 27) 星野正生, 池田十五, 松本フミエ. 草類の種子発芽および初期生育に及ぼす環境要因の影響に関する研究 II. 数種牧草種子の発芽に及ぼす土壤水分の影響. 日作紀 28: 92-93 (1959).
- 28) 飯田克実. イタリアンライグラスの発芽に及ぼす温度と水分の影響. 日草誌 11: 104-109 (1965).
- 29) 加甲艶照, 豊田広三. 傾斜草地の土壤保全に関する研究 II. 傾斜草地の土壤水分の変化. 草地試研報 8: 55-66 (1976).
- 30) 加甲艶照, 小田日出夫, 豊田広三. 傾斜草地の土壤保全に関する研究 III. 傾斜草地の造成, 定着過程における土壤侵食. 草地試研報 10: 135-145 (1977).
- 31) 加藤芳郎. 東海地方の「黒ボク」土壤の一般理化学性——火山灰土壌との対比を中心として——. 日土肥誌 41: 174-177 (1970).
- 32) 川鍋祐夫, 牛山正昭, 石田良作. 不耕起造成における各種牧草の発芽および定着. 草地試研報 3: 10-17 (1973).
- 33) 河田 弘. 落葉の有機物組成と分解にともなう変化について. 林試研報 128: 115-144 (1961).
- 34) 北原徳久. 寒地型牧草の自然下種に関する研究 I. 春期の利用抑制が種子の生産並びに落下種子の発芽・定着に及ぼす影響. 日草誌 30: 375-383 (1985).
- 35) 北原徳久, 吉村義則, 鈴木慎二郎. 寒地型牧草の自然下種に関する研究 IV. 自然下種によるオーチャードグラス—レッドトップ放牧地の植生改善の実証. 日草誌 32, 189-196 (1985).
- 36) 河野憲治・尾形昭逸・安藤忠男. 牧草の定着に関する研究 II. 不耕起追播暖地型牧草の定着に及ぼすN施与効果. 日草誌 26: 404-411 (1981).
- 37) MAYNARD, M. L. and D. H. GATES. Effects of Wetting and Drying on Germination of Crested Wheatgrass Seed. *J. Range Manage.* 16: 119-121 (1963).
- 38) MCGINNIES, M. J.. Effects of Moisture Stress and Temperature on Germination of Six Range Grasses. *Agron. J.* 52: 159-162 (1960).
- 39) McWILLIAM, J. R., R. J. CLEMENTS and P. M. DOWLING. Factors Influencing the Germination and Establishment of Pasture Species. *Proc. Aust. Grassld Conf.* 1 Sect. 3a: 5-7 (CAMPBELL ら, 1973. 前掲 1, による) (1968).
- 40) McWILLIAM, J. R., R. J. CLEMENTS and P. M. DOWLING. Some Factors Influencing the Germination and Early Seedling Development of Pasture Plants. *Aust. J. Agric. Res.* 21, 19-32 (1970 a).
- 41) McWILLIAM, J. R. and P. M. DOWLING. Factors Influencing the Germination and Establishment of Pasture Seed on the Soil Surface. *Proc. of the XI International Grassld. Congress:* 578-583 (1970 b).
- 42) 美沢育雄. 最近における不耕起による人工草地の造成技術. 草地自給飼料百年史 中央畜産会, 東京: pp. 842-852 (1976).
- 43) 三田村 強, 小川恭男, 鎌田悦男. シバ草地に関する研究 III. シバの発芽・定着・生存に及ぼす土壤硬度, 土壤改良資材および肥料の影響. 日草誌 28: 82-88 (1982).
- 44) 三田村 強, 小川恭男, 手島道明, 鎌田悦男. シバ草地に関する研究 IV. 伐採跡におけるミヤコザサ群落の攪乱がシバの発芽・定着に及ぼす影響. 日草誌 28: 89-95 (1982).
- 45) 三石昭三. イネ科作物の発芽に関する研究 (第1報) 水稻種子の吸水部位と発芽発根. 石川農短大報 1, 1-8 (1976).
- 46) 三石昭三. 水稻の湛水直播における土壤中埋没播種に関する作物学的研究. 石川農短大特別研報 4: 1-59 (1975).
- 47) 三股正年, 高野信雄. 自然草地の改良と牧養力の向上に関する研究. 北海道農試報 77: 1-144 (1970).
- 48) 水口 茂, 広田秀憲. 草地造成における表面播種法の改善 第6報 穴工法および溝工法が牧草の発芽および初期生育に及ぼす効果. 日草誌 22: 132-135 (1976).

- 49) 森田 脩, 後藤正和, 野村弘司, 藪内英一, 大市章, 草深佳郎, 海野 豊, 猿丸勝晴. 林内草地の不耕起造成とその放牧利用について. 三重大農場研報 6: 53-62 (1984).
- 50) 森田 脩, 三石昭三, 後藤正和. 表面播種におけるイネ科牧草の発芽・定着. 日草誌 32 (別): 66-67 (1986).
- 51) 森田 脩, 三石昭三, 後藤正和. 表面播種におけるイネ科牧草の発芽・定着 1. 根鞘毛の固着と種子の立ち上がりとの関係. 日草誌 33: 256-263 (1987).
- 52) 森田 脩, 三石昭三, 後藤正和. 表面播種におけるイネ科牧草の発芽・定着 2. 置床温度がトールフェスク (*Festuca arundinacea* Schreb.) の発芽動態並びにその根鞘毛の固着力に及ぼす影響. 日草誌 35: 1-8 (1989).
- 53) 森田 脩, 三石昭三, 後藤正和, 近藤敦裕. 表面播種におけるイネ科牧草の発芽・定着 3. 土壌の種類, 水分並びに硬度がトールフェスク (*Festuca arundinacea* Schreb.) の発芽動態とその根鞘毛の固着力に及ぼす影響. 日草誌 35: 9-16 (1989).
- 54) 森田 脩, 三石昭三, 後藤正和, 福田直樹. 表面播種におけるイネ科牧草の発芽・定着 4. 寒地型牧草の発芽動態と根鞘毛の固着力の草種間比較. 日草誌 36 (1989).
- 55) 森次益三, 河崎利夫. 作物生育ならびに無機養分吸収に及ぼす培養液 pH の影響 (自動 pH 栽培の場合). 日土肥誌 51, 374-384 (1980).
- 56) 村山三郎, 久保英樹, 小阪進一, 高橋利和, 伊藤晃, 鈴木裕志. 牧草類におけるペレット種子の実用化試験 I. 灌水・造粒剤がペレット種子の出芽および初期生育におよぼす影響. 畜産の研究 41: 640-642 (1987).
- 57) 名田陽一, 高橋 俊. 不耕起追播による寒地型草地の改良 I 追播のための適草種の選定およびそれら草種の放牧条件下での定着. 日草誌 33: 356-362 (1988).
- 58) NELSON, J. R., A. M. WILSON and C. J. GOEBEL. Factors Influencing Broadcast Seeding in Bunchgrass Range. *J. Range Manage.* 23: 163-170 (1970).
- 59) 西村 格, 石田良作, 須山哲男. 草地の開発計画に関する研究 II. 土地利用ならびに草地の崩壊発生に及ぼす傾斜角度と草地造成法の影響. 草地試研報 8: 1-10 (1976).
- 60) NISHIMURA M.. Comparative Morphology and Development of *Poa pratensis*, *Phleum pratense* and *Setaria italica*. *Jap. Jour. Bot.* 1: 55-85 (1922).
- 61) 野田愛三. 禾穀類の根鞘に関する研究. 香川大農紀要 13: 1-81 (1963).
- 62) 野田愛三, 林 甚太郎. 禾穀類の根鞘に関する研究 VII. 稲の根鞘毛について. 日作紀 29: 63-65 (1960).
- 63) 農林省福島種畜牧場草地改良課. 蹄耕法による草地の造成とその利用に関する調査 (I). 畜産技術 199: 1-7 (1971).
- 64) 農林省福島種畜牧場草地改良課. 蹄耕法による草地の造成とその利用に関する調査 (III). 畜産技術 201: 1-5 (1972).
- 65) 農林省四国農試土地利用部傾斜地利用研究室. 暖地傾斜地の周年放牧草地化技術の研究 昭和46年度試験成績: 7-91 (1962).
- 66) 農林水産技術会談事務局編 農林水産研究文献解題 No. 2 草地の不耕起造成編 1-307. 農林統計協会 東京 (1971).
- 67) 岡本恭二, 沢村 浩, 渡辺成美. イタリアンライグラスとローズグラスの不耕起連続栽培に関する研究 第1報 イタリアンライグラスのローズグラス間不耕起まきの可能性と栽培上の問題点について. 日草誌 13: 7-12 (1967).
- 68) 岡本恭二, 沢村 浩, 渡辺成美. イタリアンライグラスとローズグラスの不耕起連続栽培に関する研究 第2報 ローズグラスのイタリアンライグラス間不耕起まきの可能性と栽培上の問題点について. 日草誌 13: 13-18 (1967).
- 69) 岡本恭二, 沢村 浩, 渡辺成美. イタリアンライグラスとローズグラスの不耕起連続栽培に関する研究 第3報 土壌の粗密がローズグラス *Chloris gayana* KUNTH の生育収量に及ぼす影響. 日草誌 13: 248-253 (1967).
- 70) 大平幸次. 川渡火山灰土壌の肥沃度. 東北大農場報告特別号, 64-70 (1969).
- 71) 大崎亥佐雄, 奥村純一. 根圏土壌の理化学性が牧草生育に及ぼす影響 第1報 土壌ち密度と牧草生育との関係. 北海道立農試集報 27: 77-88 (1973).
- 72) 落合昭吾, 山田和明, 笹村 正, 太田 繁. 高冷地における不耕起放牧草地の草生回復に関する研究 第2報 天然下種による草生回復. 岩手県畜試研報 11: 33-42 (1982).
- 73) RASMUSSEN G. A. and H. A. WRIGHT. Germination Requirements of Flameleaf Sumac. *J. Range Manage.* 41: 48-52 (1988).
- 74) 佐藤春治, 齊藤孝夫, 高玉精一, 竹内正治. 牧野の人工草地造成に関する研究 (IX) pH および Ca

- のレベルが牧草の生育におよぼす影響. 日草誌 11 (別): 35-36 (1964).
- 75) 佐藤勝信, 橋本 恵. 雑灌木林における不耕起草地に関する研究 第1報 牧草の播種期および前植生処理法の影響. 福島県畜試研報 1: 1-18 (1974).
- 76) 佐藤勝信, 橋本 恵. 雑灌木林における不耕起草地に関する研究 第3報 不耕起草地の放牧用草種について. 福島県畜試研報 1: 35-63 (1974).
- 77) 佐藤勝信. 不耕起草地造成における牧草の発芽定着に関する実証的研究. 東北大学審査博士学位論文 (1979).
- 78) 佐本啓智, 山口 隆, 宇田昌義. 飼料作物の過湿に対する生態変異 土壤水分が冬作飼料作物の出芽定着に及ぼす影響. 日作東海支部研究梗概 65: 1-2 (1972).
- 79) 関口久雄, 奥村純一. 天北地方の鉾質土壤における各種草地造成法と施肥について. 北海道立農試集報 26: 69-79 (1973).
- 80) SHARROW, S. H. and H. A. WRIGHT. Effects of Fire, Ash, and Litter on Soil Nitrate, Temperature, Moisture and Tobosagrass Production in the Rolling Plains. *J. Range Manage.* 30: 266-270 (1977).
- 81) STOLZY, L. H. and K. P. BARLEY. Mechanical Resistance Encountered by Roots Entering Compact Soils. *Soil Sci.* 105: 297-301 (1968).
- 82) 高橋 均, 飯田克実, 高橋保夫. 水田裏作イタリアンライグラスの省力栽培法とくに不耕起まき栽培. 日草誌 17: 161-169 (1971).
- 83) 高橋 均. ケイヌビエの発芽生理とその栽培利用に関する研究. 農事試研報 21: 161-210 (1974).
- 84) 高井慎二, 広瀬又三郎. 傾斜樹林地における不耕起造成——地表処理および鎮圧が牧草の定着に及ぼす影響——. 東北農試研報 12: 21-29 (1971).
- 85) 高畑 滋, 三井豊穂, 嶋村匡俊, 平野孝雄. 牧草地の播種床造成に関する研究 第2報 牧草の生育に及ぼす土壤の団粒の大きさならびに土壤圧密の影響. 畜試研報 15, 7-14 (1967).
- 86) 高畑 滋, 早川康夫. 不耕起草地造成における発芽と定着に関する研究 第1報 表面播種した牧草種子の発芽特性. 北海道農試彙報 97: 1-8 (1970).
- 87) 武田明正, 梅林正直, 島地岩根, 山下善平. 森林の環境形成作用に関する研究 第1報 スギの壮令林とその新植地との間における環境要素の比較. 三重大環研紀要 2: 49-68 (1977).
- 88) 田中 明, 早川嘉彦. 耐酸性の作物種間差 第1報 耐低 pH 性の種間差——比較植物栄養に関する研究——. 日土肥誌 45: 561-570 (1974).
- 89) WATT, L. A. Germination Characteristics of Several Grass Species as Affected by Limiting Water Potentials Imposed through a Cracking Black Clay Soil. *Aust. J. Agric. Res.* 33: 223-231 (1982).
- 90) WILSON, A. M., J. R. NELSON and C. J. GOEBEL. Effects of Environment on the Metabolism and Germination of Crested Wheatgrass Seed. *J. Range Manage.* 23, 283-288 (1970).
- 91) 山中金次郎, 松尾憲一. 土壤硬度に関する研究 (第1報) 土壤硬度と含水量との関係. 日土肥誌 33: 343-347 (1962).
- 92) 山根一郎, 飯泉 茂, 森 彰, 津田恒之, 佐藤和夫, 菅原亀悦, 岩波悠紀, 北目子良, 嶋田 饒, 小田島守, 内藤俊彦. 山地草原における羊の放牧による牧草地造成試験 (3) 1963-1965年の試験. 東北大農研報 17: 87-118 (1966).
- 93) 山根一郎, 佐藤和夫, 庄司敏子. 山地草原における不耕起法による牧草地造成 (4) 耕起・不耕起と石灰・燐酸との関係. 東北大農研報 19: 1-17 (1967).
- 94) 山根一郎, 佐藤和夫. 蔵王山麓のササ草地における牧草地造成. 日土肥誌 39: 426-432 (1968).
- 95) 楊 中芸, 丸山純孝, 福永和男. 人工草地の自然下種に関する生態学的研究 I. 寒冷地域のオーチャードグラス放牧地における自然下種の実態および放牧地の植生変化からみた自然下種の位置づけ. 日草誌 32: 211-217 (1986).
- 96) 矢野 明. 暖地傾斜地の草生改良に関する研究 第7報 土塊の精粗と牧草種子の発芽. 日草誌 19: 261-264 (1973).
- 97) 矢野 明. 暖地傾斜地の草生改良に関する研究 第8報 粗大有機物 (落葉) の種類と牧草種子の発芽および初期生育. 日草誌 19: 265-268 (1973).
- 98) 矢野 明. 暖地傾斜地の草生改良に関する研究 第9報 イタリアンライグラス種子ベレットの作製. 日草誌 19: 269-275 (1973).
- 99) 矢野 明. 暖地傾斜地の草生改良に関する研究 第12報 ベレット種子の発芽定着条件. 日草誌 22: 99-103 (1976).
- 100) 矢野 明, 小山 弘, 本庄栄二. 暖地傾斜地の草生改良に関する研究 第13報 造成法と牧草の種類. 徳島県農試研報 15: 85-89 (1977).