

省エネルギー栽培を目的とした水稻の耐肥性に関する研究

| | |
|-----|---|
| 著者 | 鯨 幸夫 |
| 雑誌名 | 昭和63(1988)年度科学研究費補助金 一般研究(C) 研究成果報告書 |
| 巻 | 1987-1988 |
| ページ | 1-13 |
| 発行年 | 1988-03-01 |
| URL | http://hdl.handle.net/2297/43891 |

KAKEN

1988

22

省エネルギー栽培を目的とした
水稲の耐肥性に関する研究

(研究課題番号 62560015)

昭和63年度科学研究費補助金(一般C)
研究成果報告書

平成元年3月



研究代表者 / 鯨 幸夫
(金沢大学・教育学部)



昭和 63 年度科学研究費補助金（一般 C）研究成果報告

- 1 課題番号 62560015
- 2 研究課題 省エネルギー栽培を目的とした水稻の耐肥性に関する研究
- 3 研究代表者 鯨 幸夫（金沢大学・教育学部）
- 4 研究分担者 長谷川 和久（石川県農業短期大学）
- 5 研究経費
昭和 62 年度 1,500 千円
昭和 63 年度 500 千円
計 2,000 千円
- 6 研究成果 別記
- 7 研究発表
○鯨幸夫・長谷川和久，生育初期における水稻根系の品種間差異—地下部温度 18℃の場合—，日作紀，57 巻 別号 1，昭和 63 年 4 月
○鯨 幸夫，農業技術体系，イネ基礎編，追録第 10 号，IV. 根の機能と生理 (2)根量と収量との関係，昭和 63 年 11 月
○鯨 幸夫，施肥法の違いが水稻根の形態に及ぼす影響，日作紀，58 巻 別号 1，平成元年 4 月予定
○鯨 幸夫，F₁水稻の根系形態の変異について，日作紀，58 巻 別号 1，平成元年 4 月予定



8000-07482-6

金沢大学附属図書館

1 研究目的

水稻の耐肥性についての定義は歴史的な変遷があるが、狭義的な定義と広義的な定義とが不明確のまま使用されている場合が多い。

本研究は、「耐肥性」を、水稻根の養分吸収力（特に窒素吸収）、根系形態および光合成能力との関係から検討し、「耐肥性品種」のもつ意味を別の角度から考えてみるどころから出発した。1930年代から今日まで栽培されてきた水稻品種の中の代表的な品種と、現在の多収穫品種とを材料に用い、上記の観点から、施肥水準を変化させた場合の各品種特性（特に地下部）のスクリーニングを行った。その結果を参考にしながら追試を重ね、施肥量が少くとも収量の減少率が小さい水稻品種の特性とは何かを、根系の形態や機能の面から検討し、省エネルギー水稻栽培に貢献することを目的とした。また、水稻根系形態の品種間差異の問題を、遺伝的な発現機構の点から解明することも目的の一つとした。

2 栄養生長期における根系形態の品種間差異

1) 地下部温度が常温の場合

生育に伴い、水稻根の全窒素含有量は変化するが、品種によってその変化の型に違いがあることは既に報告した。A型（仮称、以下同様）は、少肥区と多肥区で根の全窒素含有量に大きな差はなく、生育期間を通して全窒素含有量の変化も小さい傾向を示す品種群をさす。B型は、生育期間を通して少肥区より多肥区で根の全窒素含有量が大きい傾向を示す品種群である。C型は、生育期間を通して、少肥区より多肥区で根の全窒素含有量が大きい傾向を示す品種群であり、D型では、生育前半は少肥区で根の全窒素含有量が大きい、後半多肥区で大きくなる傾向を示す。

本実験では、A型から撰一、農林3号、B型から十石、朝日、双葉、C型から竹成、D型から陸羽132号を選び、その他に外国稲の多収穫品種として南京11号、桂朝2号、来敬、密陽23号、Calrose 76、Saturn、Rancaroloの計14品種を用いて、生育初期における根系形態の品種間差異を検討した。実験は根箱を用いて行った。15 cm×15 cm×3 mm厚のガラス板の間に外径5 mmのポリエチレンチューブをU字形にはさみ、周囲をガムテープで固定して根箱を作った。土は、市販の床土を用い、少肥区は2.5 kg-N/10 a、多肥区は10.0 kg-N/10 aに調整した土壌を根箱につめ実験を行った。6月27日、催芽種子を1粒ずつ根箱の中央に播種した。根箱は、90 cm×90 cm×20 cm（深さ）の容器内に固定して、常時湛水状態に保った。植物体の調査は7月30日に行った。各品種による根系生育量の変化は、表1に示した。

表1 施肥条件の違いによる根系生育の品種間差異

| 品 種 | 少 肥 区 | | | | | 多 肥 区 | | | | |
|------------|----------------------|--------|--------|--------|-----------|----------------------|--------|--------|--------|-----------|
| | 根系占有面積 | 根系開度 | 根系横幅 | 根 縦 | 系 地 上 部 重 | 根系占有面積 | 根系開度 | 根系横幅 | 根 縦 | 系 地 上 部 重 |
| 陸羽132 | 190.8cm ² | 128.5度 | 14.3cm | 15.0cm | 0.74g | 149.4cm ² | 124.5度 | 13.7cm | 14.8cm | 1.07g |
| 撰 一 | 123.8 | 80.0 | 10.6 | 15.1 | 0.75 | 113.0 | 82.0 | 10.6 | 14.8 | 0.83 |
| 農林3 | 78.6 | 46.5 | 8.1 | 14.4 | 0.54 | 80.9 | 61.5 | 7.9 | 14.2 | 1.01 |
| 十 石 | 150.0 | 95.0 | 13.7 | 14.7 | 0.73 | 100.9 | 99.5 | 9.3 | 14.4 | 0.75 |
| 朝 日 | 124.2 | 78.5 | 11.0 | 14.7 | 0.71 | 100.6 | 78.5 | 9.0 | 14.4 | 0.78 |
| 双 葉 | 133.8 | 87.0 | 12.8 | 14.6 | 0.73 | 90.7 | 70.0 | 9.0 | 14.2 | 1.01 |
| 竹 成 | 142.3 | 107.5 | 13.3 | 14.7 | 0.69 | 104.0 | 93.5 | 9.5 | 13.8 | 0.92 |
| 南京11 | 146.1 | 89.0 | 14.1 | 14.4 | 0.68 | 129.2 | 107.0 | 11.4 | 14.5 | 1.26 |
| 桂朝2 | 169.3 | 125.0 | 13.0 | 14.8 | 0.70 | 129.0 | 109.5 | 11.6 | 14.3 | 1.07 |
| 来 敬 | 120.0 | 81.5 | 11.9 | 13.8 | 0.58 | 105.0 | 87.5 | 10.5 | 13.7 | 1.15 |
| 密陽23 | 144.2 | 157.5 | 11.9 | 13.7 | 0.64 | 112.2 | 103.5 | 11.7 | 13.8 | 0.94 |
| Calrose 76 | 127.9 | 80.0 | 12.0 | 15.0 | 0.79 | 116.7 | 90.0 | 11.0 | 14.3 | 1.24 |
| Saturn | 164.3 | 130.5 | 13.5 | 14.9 | 0.77 | 99.1 | 79.5 | 9.2 | 14.4 | 1.10 |
| Rancarlo | 127.1 | 77.5 | 12.5 | 14.6 | 0.76 | 122.6 | 92.0 | 11.9 | 14.1 | 1.49 |

根系占有面積は、乾燥させた根系標本の上にトレース用紙を置いて根系のトレース図を得、根系の全体を切り抜いた後、葉面積計によって面積を測定し、根系占有面積とした。根系占有面積は、施肥水準の違いにより有意差が認められ ($P < 0.001$)、少肥区で大きな値を示した。品種間差についても有意差 ($P < 0.01$) が認められ、農林3号で小さな、陸羽132号で大きな根系占有面積を示すことが特徴的に認められた。

根系開度は、水稻根がどのような角度で土の中に入り込んでいるかの全体像を現わす指標として用いた。施肥水準の違いによる有意差は認められなかったが、品種による有意差 ($P < 0.05$) は認められた。農林3号は狭い角度で、陸羽132号は広い角度で根系を形成していた。

地上部乾重は、品種による有意差は認められず、施肥水準による有意差 ($P < 0.001$) が認められた。水稻の生育初期においては(未だ、うわ根が十分に形成されていない時期)、茎数、地上部全乾重に品種間差異が認められず、地上部はほぼ同じ生育量を示しているにもかかわらず、根系形態については、根系開度、根系占有面積に有意な品種間差が認められたことになる。品種による根系形態の変異は、遺伝的な現象として考えることが可能と考えられる。

2) 地下部温度が低温 (18°C) の場合

品種の特性としての形態や機能は、どのような範囲で把握したらよいのかということは大変難しい問題を含んでいる。関塚は、麦類の根の形態が地温によって影響されると報告している。根の形態的な品種間差異の問題を論じる場合は、これが遺伝的な現象であるのか、それとも環境変異の中に包括される現象なのかについて検討する必要がある。

本実験では、水稻の根圏温度を低下させ、地下部温度の低下による根系形態の変化を常温区

と対比させて品種間差の観点から検討した。8月13日、消毒済みの種子を浸漬し、8月16日、ハト胸状の種子を根箱に1粒ずつ播種した。ペニヤ製の大型の箱(90cm×90cm×40cm深さ)にビニールを敷き、中の水道水を大型のハンディ・クーラーで冷却し、18℃に保った。水温が18℃で安定するのを確認した上で、根箱を容器に並べて固定させ、湛水状態で生育させた。施肥については少肥条件(2.5kg-N/10a)で行った。調査は9月28日に行った。陸羽132号、農林3号、来敬、密陽23号については、土壌温度調節装置(コイト165-A)を用いて、土壌温度18℃の条件下で同様の実験を平行して行った。

表2 地下部温度18℃条件下における根系生育の品種間差異

| 品 種 | 根系占有面積(cm ²) | 根 系 開度(度) | 根 系 横 幅(cm) | 根 系 縦 幅(cm) | 根数(本) | 根 N 含有率(%) | 葉身部N 含有率(%) |
|------------|--------------------------|-----------|-------------|-------------|-------|------------|-------------|
| 陸羽132 | 178.5 | 122 | 15.0 | 14.0 | 122 | 1.0 | 2.0 |
| 撰 一 | 130.6 | 88 | 12.0 | 13.0 | 107 | n.d. | n.d. |
| 農林3 | 113.5 | 57 | 9.5 | 15.0 | 67 | 1.1 | 2.5 |
| 十 石 | 86.7 | 87 | 9.5 | 13.0 | 74 | 1.1 | 3.4 |
| 双 葉 | 147.1 | 87 | 14.0 | 13.5 | 116 | 0.9 | 2.3 |
| 竹 成 | 121.6 | 94 | 12.0 | 12.5 | 84 | 1.0 | 2.4 |
| 桂朝2 | 104.5 | 79 | 11.5 | 12.5 | 95 | 0.9 | 2.5 |
| 来 敬 | 101.3 | 111 | 12.5 | 10.5 | 101 | 1.0 | 2.8 |
| 密陽23 | 104.3 | 80 | 11.0 | 12.0 | 102 | 0.9 | 2.5 |
| Calrose 76 | 147.6 | 103 | 15.0 | 13.0 | 62 | 0.9 | 2.4 |
| Saturn | 121.4 | 100 | 11.0 | 14.0 | 46 | 1.0 | 2.5 |
| Rancarolo | 184.6 | 126 | 15.0 | 13.0 | 101 | 1.1 | 2.8 |

各種の根系生育量を表2に示した。根の全窒素含有量は、ケルダール法により定量した。

根系占有面積は陸羽132号、Rancaroloで大きい値を示し、十石、農林3号では小さかった。根系開度も、根系占有面積の品種間差異と同様の傾向を示し、陸羽132号、Rancaroloで大きく、農林3号は最小の値を示した。根数は、Saturnが最も少なく、農林3号、十石、Calrose 76も少ない根数を示し、陸羽132号が最大の根数を示した。根および葉身部の全窒素含有率には品種間による有意差は認められなかった。

地下部温度18℃といった低水温条件下における水稻根系の形態変化を品種間差の面から検討したが、陸羽132号は根数が多く、広い角度で疎な根系を形成し、農林3号は密な状態で、狭い角度で根系を形成していることが特徴的に認められた。これは、常温区における結果と同一であり、根系形態に及ぼす地下部温度(低温)の影響は少ないものと考えられた。

3 水稻根系が異なる品種間の正逆交雑によるF₁水稻

1) F₁水稻の根系変異

根系形態の異なる品種間での交雑によって得られたF₁水稻の根系形態の変異を、根箱を用い

て栄養生長期について検討した。組合せる親の根系形態については、これまでの実験結果から判断した。農林3号は狭く密な根系を形成し、陸羽132号は、広く疎な根系を形成する特性を持ち、密陽23号は陸羽132号に、来敬は農林3号に準じた根系形態を示す傾向が認められているので、これらの中から4つの組合せを選び、4系統のF₁水稻を得た。農林3号×密陽23号からF₁-A、密陽23号×農林3号からF₁-Bを、陸羽132号×来敬からF₁-C、来敬×陸羽132号からF₁-Dを得た。

6月7日、浸漬したF₁種子を根箱(15cm×15cm×5mm)の中央に播種した。土は市販の赤土を使用し、施肥成分は、N、P、K、各0.3g/1kgとした。7月8日、各個体の生育量を調査した。各組合せによって得られたF₁系統の各生育量の平均値は表3に、根系開度、根系占有面積における個体頻度分布を図1、図2に示した。

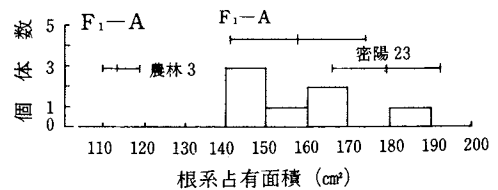
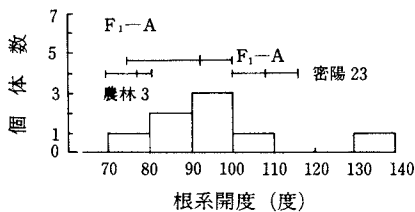
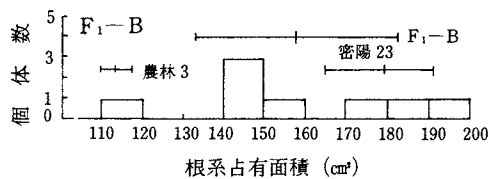
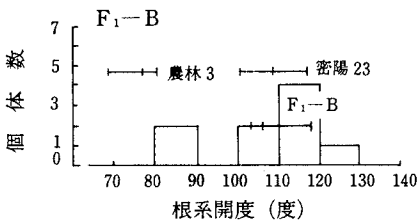
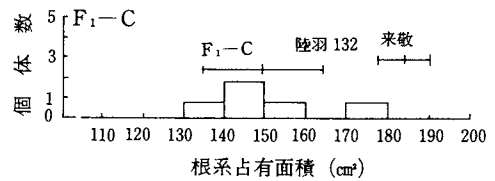
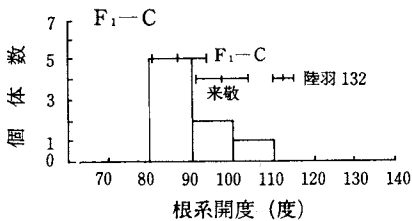
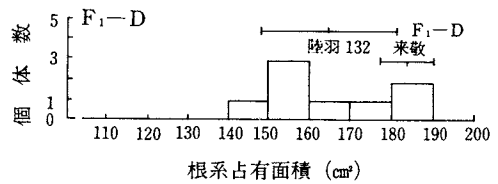
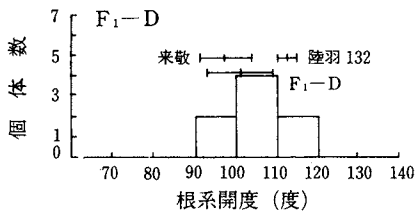


図1 F₁水稻における根系開度の個体頻度分布

図2 F₁水稻における根系占有面積の個体頻度分布

表3 F₁水稻の生育量の変異

| 品 種 | 草丈(cm) | 茎数(本) | 地上部 開度(度) | 葉身乾重 (g) | 葉鞘乾重 (g) | 根系開度 (度) | 根系占有 面積(cm ²) |
|-------------------|--------|-------|--------------|-------------|-------------|-------------|------------------------------|
| F ₁ -A | 50.2 | 7.5 | 34.4 | 0.486 | 0.479 | 91.9 | 156.9 |
| F ₁ -B | 49.8 | 8.4 | 38.4 | 0.535 | 0.547 | 105.6 | 157.7 |
| F ₁ -C | 55.6 | 7.5 | 32.5 | 0.565 | 0.542 | 86.9 | 149.4 |
| F ₁ -D | 54.1 | 7.5 | 30.3 | 0.623 | 0.683 | 101.5 | 164.7 |
| 農林3号 | 46.7 | 7.0 | 44.0 | 0.290 | 0.253 | 76.7 | 112.5 |
| 陸羽132号 | 61.2 | 8.5 | 45.3 | 0.585 | 0.615 | 112.5 | 183.5 |
| 密陽23 | 43.5 | 8.6 | 55.2 | 0.550 | 0.445 | 108.0 | 178.8 |
| 来 敬 | 47.3 | 7.5 | 41.5 | 0.651 | 0.576 | 97.5 | 184.5 |

F₁-A：農林3号／密陽23 F₁-B：密陽23／農林3
 F₁-C：陸羽132号／来敬 F₁-D：来敬／陸羽132号

根系開度はF₁-A、F₁-B、F₁-Dで両親の中間の値を示し、F₁-Cは両親よりも小さい値を示した。根系占有面積も、根系開度の場合と同様の変異を示した。

F₁世代における形質発現を、F₁効果の点から検討したものを表4に示した。F₁効果は、 $\{F_1 - (\bar{\varphi} + \bar{\delta}) / 2\} / \{(\bar{\varphi} + \bar{\delta}) / 2\} \times 100$ として計算した。F₁-A、F₁-Bでは、特に草丈、葉身乾重、葉鞘乾重について、+（プラス）のF₁効果が認められた。地上部開度については、すべてのF₁で-（マイナス）のF₁効果が認められた。根系占有面積、根系開度については、F₁-A、F₁-Bでは+の、F₁-C、F₁-Dでは-のF₁効果の傾向が認められ、組合せ品種の違いによってF₁効果にも差があることが認められ、興味深い。これらのF₁効果が遺伝的な現象であるかどうかについては、調査個体数が少ないため、今後、データを蓄積しながら後代検定を行うことにより検討する予定である。

表4 F₁水稻におけるF₁効果

| F ₁ | F ₁ -Effect | | | | | | |
|-------------------|------------------------|------|------------|----------|----------|----------|-------------|
| | 草 丈 | 茎 数 | 地上部 開 度 | 葉身乾 重 | 葉鞘乾 重 | 根系開 度 | 根 系 占有面積 |
| F ₁ -A | 11.3 | -3.8 | -30.6 | 15.7 | 37.2 | - 0.5 | 7.7 |
| F ₁ -B | 10.4 | 7.7 | -22.6 | 27.4 | 56.7 | 14.3 | 8.2 |
| F ₁ -C | 2.4 | -6.3 | -25.1 | - 8.6 | - 9.1 | -17.2 | -18.8 |
| F ₁ -D | - 0.4 | -6.3 | -30.2 | 0.8 | 14.6 | - 3.3 | -10.5 |

$$F_1 - \text{Effect (Index)} = \frac{F_1 - (\bar{\varphi} + \bar{\delta}) / 2}{(\bar{\varphi} + \bar{\delta}) / 2} \times 100$$

4 栽培環境の違いによる根系形態の変異

1) 根箱試験

農林3号、陸羽132号、コシヒカリを材料に用いて、施肥法の違いによる根系形態の差異を品種間差の面から検討した。実験は厚さ3mmのガラス板で作った根箱(25cm×25cm×1.5cm)を用いて行った。施肥法は、深層施肥、全層施肥、側条深層施肥(片側)、表層施肥(深水管理)の4種類とした(図3)。6月7日、浸漬した種子を根箱の中央に1粒ずつ播種した。調査は7月19日に行った。施肥法の違いによる各生育量を表5に示した。

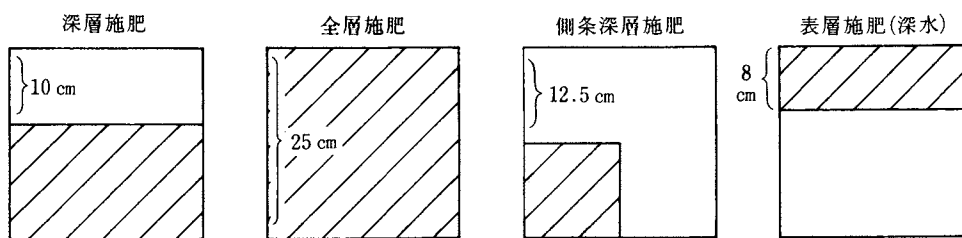


図3 根箱試験における施肥法の種類(大きさ:25cm×25cm×1.5cm厚さ)

斜線: 施肥部分、空白: 無肥料部分

(N.P.K)
(0.3g/1kg)

表5 施肥法の違いによる根系、地上部の生育(平均値)

| 品 種 | 施 肥 法 | 葉 色 (SPAD) | 茎 数 (本) | 草 丈 (cm) | 地上部 開度(度) | 根 系 開度(度) | 根系占有 面積(cm ²) |
|--------|----------|---------------|------------|-------------|--------------|--------------|------------------------------|
| 農林3号 | 深層施肥 | 38.4 | 14.5 | 63.0 | 40.5 | 70.5 | 319.5 |
| | 全層施肥 | 38.3 | 17.5 | 77.5 | 42.5 | 77.0 | 314.1 |
| | 側条深層施肥 | 33.8 | 9.5 | 77.5 | 35.0 | 78.0 | 390.8 |
| | 表層施肥(深水) | 40.3 | 8.0 | 68.0 | 45.0 | 90.0 | 350.7 |
| 陸羽132号 | 深層施肥 | 39.3 | 14.0 | 85.0 | 45.0 | 130.0 | 525.8 |
| | 全層施肥 | 36.0 | 17.0 | 83.0 | 39.0 | 82.0 | 483.6 |
| | 側条深層施肥 | 34.5 | 11.0 | 74.5 | 40.0 | 79.0 | 409.7 |
| | 表層施肥(深水) | 34.0 | 9.0 | 79.0 | 45.0 | 156.0 | 540.6 |
| コシヒカリ | 深層施肥 | 38.7 | 14.0 | 83.0 | 43.0 | 82.0 | 428.3 |
| | 全層施肥 | 38.7 | 17.5 | 76.0 | 42.0 | 73.5 | 365.1 |
| | 側条深層施肥 | 36.3 | 10.0 | 61.5 | 36.5 | 85.5 | 451.9 |
| | 表層施肥(深水) | 35.3 | 8.0 | 76.0 | 55.0 | 97.0 | 328.7 |

葉色(SPAD値)、草丈についての品種間差異、施肥法による差異は認められなかった。茎数は施肥法の違いによって有意差が認められ、全層施肥区で一番多く、表層施肥区(深水)で一番少なかった。品種の違いによる茎数の有意差は認められなかった。根系開度は、農林3号が一番小さく、次いでコシヒカリ、陸羽132号の順序で大きかった。また、深層施肥区、表層施肥区(深水)の施肥法の違いによって根系開度に有意差が認められ、いずれの品種においても、深層施肥区の方が狭い角度の根系を形成していた。

根系占有面積は、農林3号が最小であり、コシヒカリ、陸羽132号の順で大きな値を示し、有意な品種間差異が認められたが、施肥法の違いによる有意差は認められなかった。

地上部開度は、品種による有意差は認められなかったが、施肥法の違いによる有意差が認められ、側条深層施肥（片側）で小さく、表層施肥区（深水）では大きかった。

生育初期の段階で、人工的に根切除処理を行った場合、品種本来の根系形態と異なる根系を形成するかどうかを検討するため、根切除処理の実験を行った。6月7日に播種した植物体に、7月1日、根切除処理を行い（地際から5cmの所で根系を切除した）、根箱に移植し、湛水状態で生育させた。8月12日に根系生育を調査し、結果を表6に示した。本実験での施肥法は、全層施肥区と深層施肥区の2処理とした。草丈、茎数共に、深層施肥区で減少する傾向が認められた。根系開度、根系占有面積は施肥法の違いによって大きな変化は認められない。人工的な外圧である根切除処理を行っても、農林3号は狭い角度で根系を形成し、陸羽132号は広い角度で根系を形成した。地下部におけるそれぞれの品種の形態的特性は変化しにくいものと考えられた。

表6 根切除処理による各種生育量への影響（平均値）

| 品 種 | 施 肥 法 | 草 丈 (cm) | 茎 数 (本) | 根系開度 (度) | 地上部開度 (度) | 根系占有 面積 (cm ²) |
|--------|-------|-------------|------------|-------------|--------------|-------------------------------|
| 農林3号 | 全層施肥 | 85.0 | 16.0 | 86.0 | 42.5 | 445.7 |
| | 深層施肥 | 80.0 | 10.0 | 74.0 | 30.0 | 434.8 |
| 陸羽132号 | 全層施肥 | 99.5 | 13.5 | 115.0 | 41.5 | 485.1 |
| | 深層施肥 | 84.0 | 10.0 | 115.0 | 50.0 | 516.4 |

備考：移植時における生育量 { 農林3号：草丈31.5cm、茎数1本
 (1988.7.1) 陸羽132号： " 41.0cm、 " 1本

2) 圃場調査

(1) 多収穫水田の根系形態（ササニシキ）

水稻の根系は、播種、田植えから収穫期に至るまでの長い期間にわたり、種々の環境に対応して形成されてくる。山形県庄内地方に代表される多収穫水田で、ササニシキの収穫期における根系を調査した。酒田A、酒田B等の栽培概要は表7の通りである。

表7 山形県庄内地方における多収穫水稻の栽培概要（ササニシキ）

| 場 所 | 育 苗 | 栽植密度 (株/坪) | 施 肥 量 (N成分) | | | | |
|-------|---------------|---------------|------------------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|
| | | | 堆 肥 (kg/10 a) | 基 肥 (kg/10 a) | つなぎ肥 (kg/10 a) | 穂 肥 (kg/10 a) | 実 肥 (kg/10 a) |
| 酒 田 A | ハウス (無加温) | 70 | ワラ | 1.0(全層) 3.0(側条) | 1.7 | 3.0 | 2.0 |
| 酒 田 B | トンネル (無加温) | 80 | 200 | 3.6(全層) | 2.8 | 8.7 | — |

酒田Aの水稲根は、根系全体が鮮やかな褐色を呈し、酸化鉄の被膜でおおわれている。根量も多いがうわ根も多く、全体に広い範囲で根系形成がなされていた。酒田Bの根系も根が酸化鉄の被膜でおおわれているのは同じであるが、うわ根の量は酒田Aよりは少なく、逆に、直下方向に伸長している根の割合が多い傾向が認められた。鶴岡Aでも、根は褐色を呈し活力の高さを示しており、酒田A、酒田Bと同様であった。直下方向に伸長している根の割合は酒田Aよりも鶴岡Aの方が大きい傾向が認められたが、うわ根は少ないようであった。多収穫水田に共通している点は根の活力の高さと根量の多さであったが、同じ多収穫の水田でも土壌条件の違いによって根系形態の違いが見られた。酒田Aの土壌は重粘土壌で耕土深があるが、酒田B、鶴岡Aは礫を含んだ土壌で耕土深も比較的浅かった。今後、土質の違いによる根系形態の変異も詳細に検討する必要がある。

(2) 水管理の違いによる根系形態（コシヒカリ）

コシヒカリを材料に用い、水管理を異にして栽培した水稲根系を改良モノリス法により、9月8日に調査した。

慣行の中干しを行った水稲は、密な根系を形成しているが、根は割合浅く分布している。基肥0、追肥にI B肥料（5 kg - N/10 a）を用いて常時湛水状態で栽培した水稲根系は、全体として分散された状態で根が張り、直下方向にも斜方向にも深く長い根を張った根系を形成し、根域は広い。自然農法（基肥は堆肥1 t /10a、追肥0、中干し）で栽培した水稲根は白く、活

表8 処理区の説明

| 地 域 | No. | 施肥時期 | 施肥量(N成分/10 a) | 水 管 理 | 備 考 |
|-----|-----|------|---------------|-------|---------|
| 松 任 | 1 | 春 | 5 kg | 深 水 | |
| | 2 | 春 | 5 kg | 深 水 | セリタード施用 |
| | 3 | 春 | 5 kg | 深 水 | |
| | 4 | 春 | 5 kg | 深 水 | |
| | 5 | 前年秋 | 5 kg | 深 水 | |
| | 6 | 前年秋 | 5 kg | 深 水 | |
| | 7 | 前年秋 | 5 kg | 深 水 | |
| | 8 | 春 | | 深 水 | 疎 植 |
| | 9 | 春 | 5 kg | 中 干 し | |
| 金 沢 | 1 | 春 | 5 kg | 深 水 | 密 植 |
| | 2 | 春 | 5 kg | 深 水 | |
| | 3 | 春 | 5 kg | 中 干 し | |
| | 4 | 春 | 5 kg | 中 干 し | |

力があまり高くないことを示し、横方向への伸長は認められるが、直下方向に伸長する根は少なく、株の真下に空間ができたような、浅く横に広がった根系を形成していた。

深水管理を行うことにより、直下方向に伸長する根が多くなり、中干しを行うことによってうわ根の増加が認められるが、根系形態は中央部（株の真下）がくぼんだ形の根系を形成する傾向が認められた。

水管理の違いによって根系形態が変化することが示されたが、地下部形態の変化に伴って地上部形質、特に下位節間長がどのような影響を受けるかについて検討した。土壌条件の違いを考慮して、松任地区、金沢地区の2地域において調査した。栽培条件の違いを表8に、節間長の変異を表9に示した。

表9 コシヒカリの節間長の変化

| 処理区 | No. | 節間長 (cm) | | | | |
|-----|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | I | II | III | IV | V |
| 松 任 | 1 | 18.9±0.36 | 38.5±0.35 | 20.6±0.35 | 12.9±0.39 | 9.3±0.43 |
| | 2 | 18.9±0.45 | 39.0±0.63 | 19.4±0.54 | 11.5±1.00 | 6.9±0.32 |
| | 3 | 18.2±0.29 | 37.5±0.55 | 18.9±0.44 | 12.8±0.26 | 8.1±0.31 |
| | 4 | 18.7±0.25 | 38.4±0.48 | 18.5±0.39 | 12.9±0.23 | 7.5±0.38 |
| | 5 | 20.8±0.50 | 41.6±0.78 | 24.5±0.34 | 13.7±0.63 | 7.9±0.65 |
| | 6 | 19.9±0.57 | 40.1±0.87 | 23.6±0.36 | 14.2±0.45 | 8.3±0.57 |
| | 7 | 20.0±0.46 | 41.5±0.44 | 22.8±0.24 | 14.6±0.53 | 9.0±0.60 |
| | 8 | 18.3±0.27 | 35.3±0.44 | 21.2±0.24 | 13.1±0.37 | 8.7±0.49 |
| | 9 | 18.1±0.21 | 38.2±0.58 | 22.5±0.32 | 15.6±0.57 | 11.5±0.32 |
| 金 沢 | 1 | 16.9±0.42 | 34.2±0.69 | 21.9±0.40 | 20.2±0.73 | 11.7±0.59 |
| | 2 | 17.2±0.29 | 35.2±0.53 | 23.0±0.31 | 17.0±0.46 | 11.9±0.57 |
| | 3 | 16.4±0.36 | 35.4±0.86 | 20.7±0.32 | 14.9±0.45 | 11.9±0.30 |
| | 4 | 17.7±0.31 | 37.2±0.43 | 21.8±0.19 | 15.3±0.31 | 10.7±0.16 |

備考・平均値±標準誤差
・処理区は表8参照

松任地区では、中干し区の下位節間長（第IV+第V節間長）が27.1cmであるのに対し、深水栽培区のすべてで中干し区より短くなっている。特に倒伏軽減剤セリタードを施用した松任2区では、18.4cmと最短の節間長を示し、深水栽培による下位節間の伸長抑制効果が認められた。

金沢地区においては、逆に、湛水区より中干しでの下位節間長が短く、中干し効果による下位節間伸長抑制が認められた。

節間の伸長は、節間基部に形成される分裂帯で細胞が増加し、そのすぐ上部の伸長帯で細胞が伸長することによって行われる現象である。イネでは、穂が分化する頃から11~12節の間(第

IV節間)が伸び始め、次いで第IV節間が3 cmほどに伸長した時、第III節間、次いで第II節間が伸長を開始して、第IV節間の長さが決定するとされている。よって、下位節間(第IV、第V節間)が伸長する時期の土壌等の環境条件が下位節間の伸長に大きな影響を及ぼしていると考えられる。特に、この時期の土壌遊離窒素量と植物体の稈中澱粉含有量の多少が、下位節間の伸長に大きな影響を及ぼしていると考えられる。しかし、本実験の結果のように、土壌環境が異なることによって、中干し処理が下位節間の伸長に対して、促進的にも抑制的にも作用することが示された。中干し処理の程度や時期の違い、さらには中干し終了後の栽培条件の違いも、下位節間の伸長に大きな影響を及ぼしている可能性がある。土壌の遊離窒素含有量、稈中澱粉含有量の測定も含めて、今後検討する必要がある。

5 根系と収量との関係

1) 基肥だけを施用した場合

水稻の収量に関して根が重要な役割を果たしていることは、以前から指摘されていたところである。しかし、現在のところ、根量と収量との関係を客観的に、かつ定量的に理解する段階にまでは至っていない。それは、根系を正確に調査する方法が完全には確立されていないことにも原因があるが、どの生育段階の根量や根の機能が収量と最も密接に関係しているのかを判断することが難しいところにも原因がある。

水稻品種を、基肥だけ生育させた時の潜在的収量性について、根量との関係から過去の実験結果もふまえて検討した。

施肥条件に関係なく、根乾重と葉身乾重の間には有意な正の相関関係が認められた(図4)。陸羽132号、撰一、農林3号は根乾重、葉身乾重ともに小さい傾向を示し、朝日、双葉は根乾重、葉身乾重が共に大きく、品種群による明確な違いが認められる。

改良モノリス枠における根乾重と玄米収量との関係は図5に示した。少肥区、多肥区ともに精玄米収量が500 g/m²以上の品種は、桂朝2号と来敬であり、施肥水準に関係なく、450 g/m²以上の収量を示した品種は、農林3号、南京11号、密陽23号であった。前掲の根の全窒素含有量の生育時期別変化の型で示した品種群との関係から考察すると、A型に属する農林3号と多収品種群とが少肥区でも比較的高い収量性を示しているようである。B型に属する朝日は、少肥区/多肥区(収量比)で90以上の値を示し、少肥区における減収率は比較的小さかった。

一般的に、基肥量が多くなると根の生育は促進され、根乾重の増加が見られるが、それに伴う収量の増加は、単純には認められない。陸羽132号、撰一、アキヒカりは施肥水準が変化しても根乾重は大きな変化は示さないが、神力、朝日は施肥水準に敏感に反応し、少肥条件下で根量は減少するが収量はさほど低下しない。これらの品種群では、根量ではなく、根の機能といった別の要因が収量に関係しているものと考えられる。第5図は、出穂期直前の根量が、その後の登熟期を経た収穫期の収量と関係があるかどうかを調べたものである。根乾重と葉身乾重と

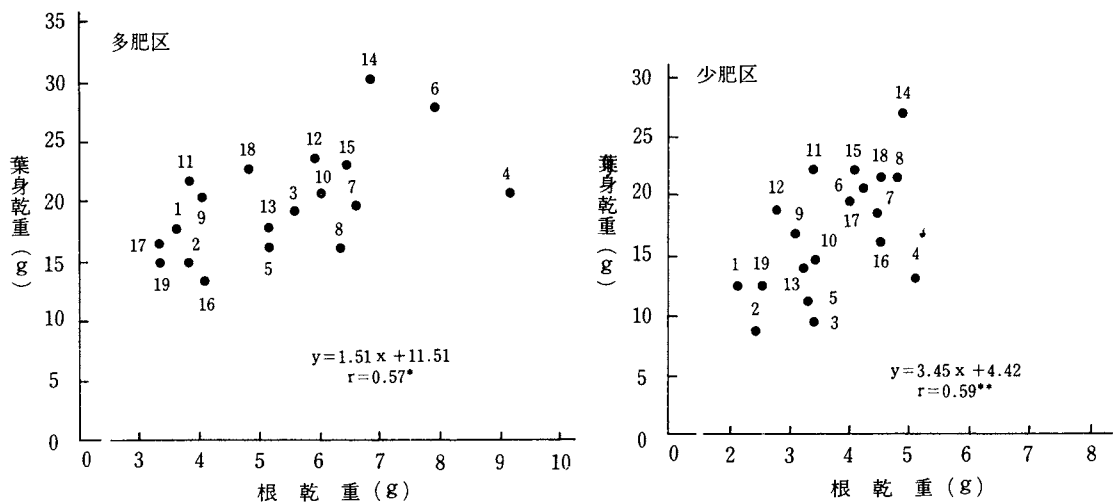


図4 根乾重（モノリス枠内）と葉身乾重との関係

多肥区：7.5 kg-N/10 a、少肥区：2.5 kg-N/10 a。B・B化成056を元肥として施用

*：P<0.05、**：P<0.01

1～19：品種（1.陸羽132号、2.撰一、3.農林3号、4.神力、5.十石、6.朝日、7.農林18号、8.双葉、9.亀治、10.竹成、11.南京11号、12.桂朝2号、13.水原258号、14.米敬、15.密陽23号、16. Calrose 76、17. Saturn、18. Rancarolo、19. アキヒカリ）

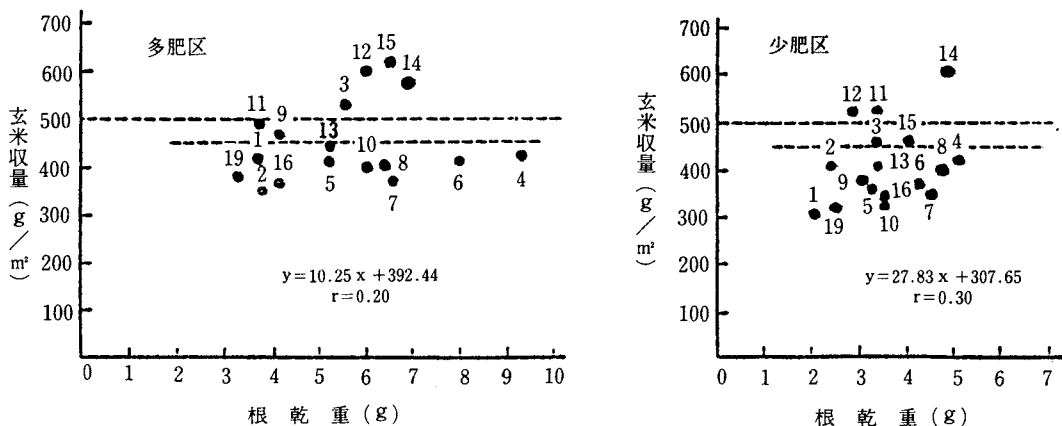


図5 根乾重（モノリス枠内）と収量との関係

の間には正の相関関係があり、根量はシンクとして乾物生産に寄与していると考えられるが、根の絶対量としては、直接的には子実収量と結びつきにくいようである。このことは、収量に影響を及ぼしている種々の要因の比重が、品種によって異なることを意味しているものと考えられる。

表10 基肥と追肥を施用した場合の収量の品種間差異

| 品 種 | 茎 数 (本) | | もみ収量 (g/m ²) | | 精玄米収量 (g/m ²) | |
|------------|---------|------|--------------------------|-----|---------------------------|-----|
| | 少肥 | 多肥 | 少肥 | 多肥 | 少肥 | 多肥 |
| 陸羽132号 | 25.4 | 34.4 | 459 | 571 | 382 | 471 |
| 撰 一 | 23.6 | 32.6 | 476 | 600 | 388 | 488 |
| 農林3号 | 27.8 | 37.4 | 535 | 576 | 435 | 476 |
| 十 石 | 36.2 | 42.4 | 524 | 606 | 429 | 506 |
| 朝 日 | 30.6 | 38.8 | 559 | 500 | 459 | 418 |
| 双 葉 | 29.6 | 31.4 | 553 | 571 | 459 | 476 |
| 竹 成 | 30.6 | 35.8 | 535 | 576 | 435 | 482 |
| 南京11 | 26.4 | 33.0 | 618 | 682 | 465 | 518 |
| 桂朝2 | 25.0 | 35.8 | 635 | 847 | 506 | 682 |
| 水原258 | 25.2 | 32.6 | 718 | 606 | 465 | 524 |
| 来 敬 | 21.4 | 28.4 | 612 | 829 | 494 | 647 |
| 密陽23 | 23.0 | 34.6 | 565 | 753 | 435 | 588 |
| Calrose 76 | 21.0 | 30.8 | 476 | 488 | 388 | 400 |
| Saturn | 12.6 | 20.0 | 329 | 382 | 247 | 300 |
| Rancarolo | 14.2 | 23.2 | 465 | 588 | 371 | 465 |

備考 1) 少肥：基肥 (2.5kg-N/10a) + 追肥 (1.0kg-N/10a)
多肥：基肥 (7.5kg-N/10a) + 追肥 (3.0kg-N/10a)
2) 株間26cm、うね幅45cm、1株1本植

2) 基肥と追肥を施用した場合

基肥と追肥を施用した場合の各品種の収量を表10に示した。少肥区、多肥区共に500 g/m²以上の精玄米収量を示した品種は桂朝2号だけであった。施肥水準に無関係に450 g/m²以上の玄米収量を示した品種は、双葉、南京11、水原258号、来敬であった。少肥区/多肥区(収量比)で90以上の値を示した品種は、農林3号、双葉、竹成、Calrose 76の品種であり、朝日は収量比(少肥/多肥)で109.8を示した。

基肥だけを施用した場合と、基肥と追肥を施用した場合の玄米収量を比較してみると、全般に追肥を行うことによる増収効果が認められる。しかし、農林3号、密陽23号の場合は、施肥水準に無関係に追肥による減収が認められた。これらのデータは、年次間による変動を含んだものではあるが、興味深い。根系形態、および地上部の群落状態の解析の観点から実験を継続して解析する必要がある。

6 む す び

水稻の省エネルギー栽培を最終の目的として、施肥量を減少させても収量の減少が小さい品種の特性について、根系形態の観点から検討し、いくつかの品種特性が明らかになった。

1) 栄養生長期における水稻の根系形態には、明確な品種間差異が認められる。そして、この品種特性は、地上部の諸形質とは関係なく、かつ、土壌温度の変化に対しても安定であるところから、品種としての遺伝的な特性の可能性が高いと考えられる。農林3号は、狭い角度で

密な根系を形成し、陸羽132号は、広い角度で疎な根系を形成することが特徴的に認められた。

2) 根系に特徴のある品種間において正逆交雑を行い、F₁水稻の種子を得、F₁水稻の根系形態について検討した。F₁水稻の根系開度、根系占有面積には、組合せの違いにより、+と-のF₁効果が現われる傾向が認められた。これらのF₁系統の根系形態の遺伝性については、次年度、後代検定により詳細に検討する予定である。

3) 栽培環境の違いによる根系形態の変異について、施肥法の違いの観点から検討した。施肥法の違いにより根系形態は変化するが、品種によって変化の程度に差が認められた。同じ施肥法であっても、それに適する品種と適さない品種とがあることを考える必要がある。

4) 根乾重と収量との間には、複雑な要因が介在しているので根量と収量とを一元論的に結びつけることは難しく、今後、更に検討を加える予定である。

5) 施肥量が減少しても収量の低下程度が小さい品種は、古い品種群にも多収穫品種群にも存在するようであるが、概して古い品種群に多い。これが、根系形態の違いに起因しているかどうかについては、今のところ判断できない状態である。しかし、品種による根系形態の差異が遺伝的な現象である可能性が示唆され、また、施肥法の違いによっても根系形態が変化する事実が認められ、根系形態を遺伝変異と環境変異とに明確に分離できる日も遠くはないものと考えられる。今後、さらに検討を進めてゆく。

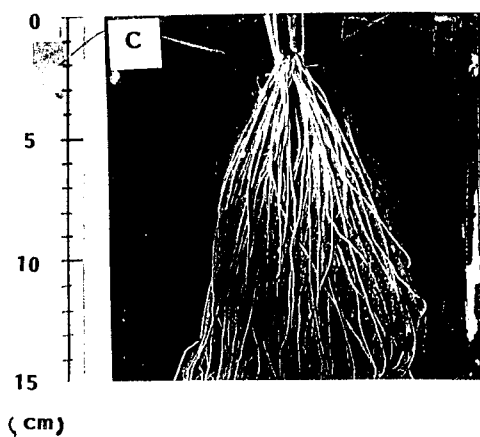
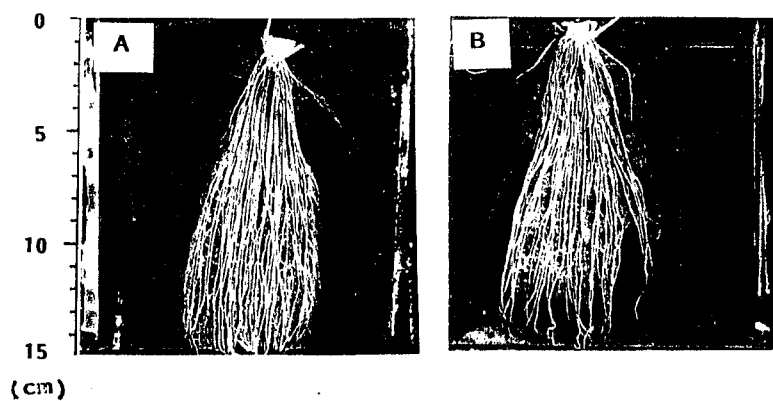


写真1 農林3号の根系形態（根箱試験）
 A. 少肥区（常温） 2.5 kg-N/10 a
 B. 多肥区（常温） 10.0 kg-N/10 a
 C. 少肥区（地下部温度 18℃）

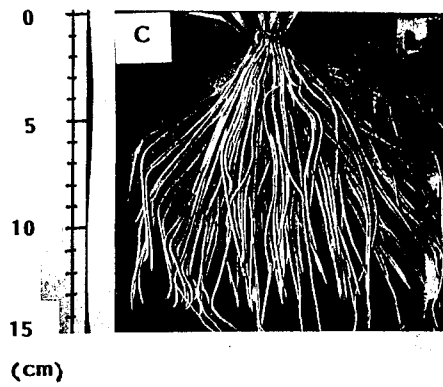
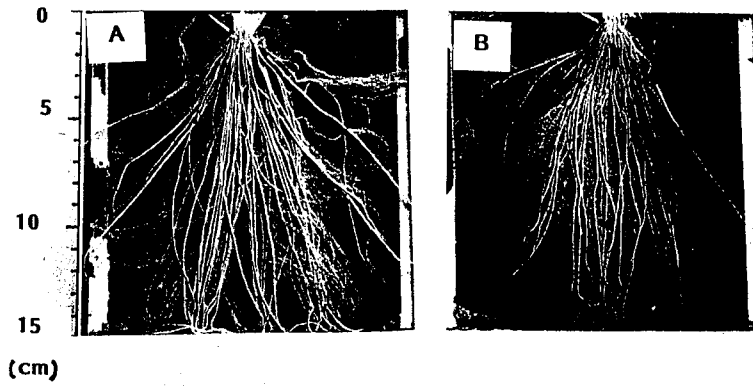


写真2 陸羽132号の根系形態(根箱試験)
A. 少肥区(常温) 2.5 kg-N/10 a
B. 多肥区(常温) 10.0 kg-N/10 a
C. 少肥区(地下部温度18℃)

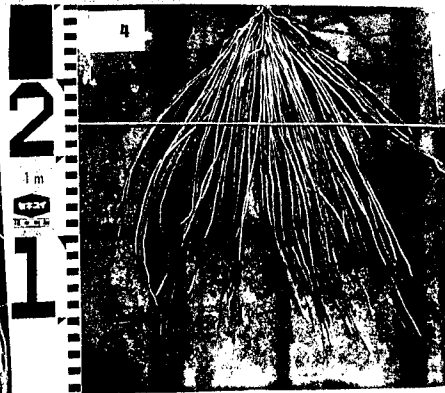
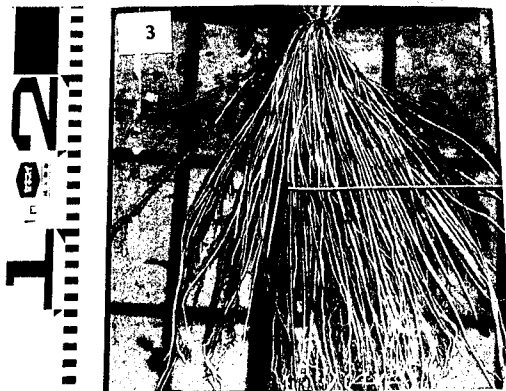
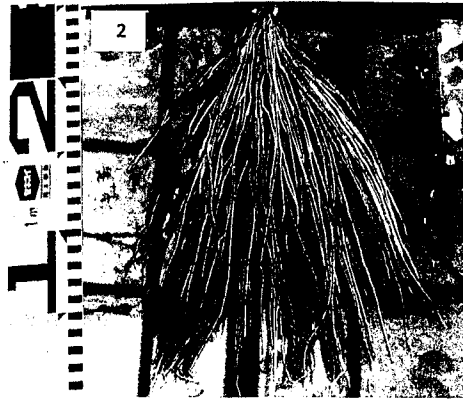


写真3 施肥法の違いによる農林3号の根系形態（根箱試験）
1. 深層施肥、2. 全層施肥、3. 側条深層施肥（片側）
4. 表層施肥（深水管理）

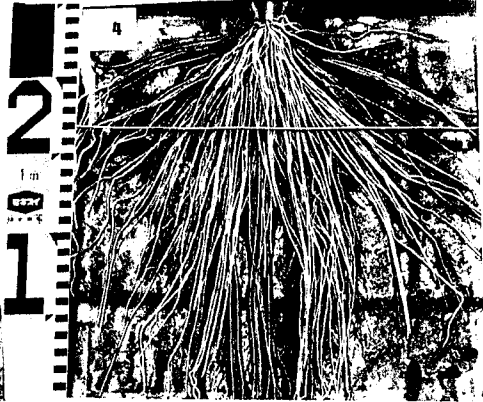
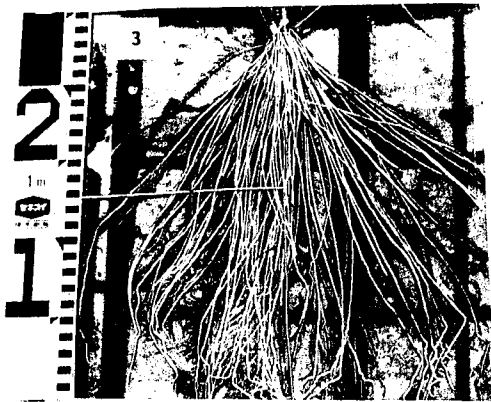
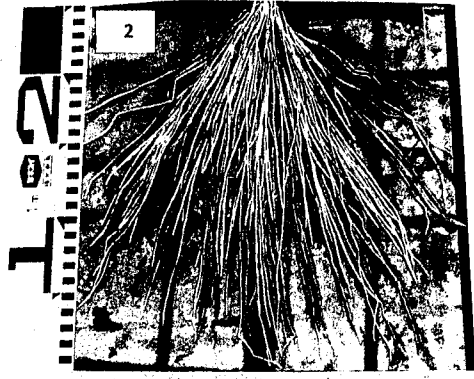
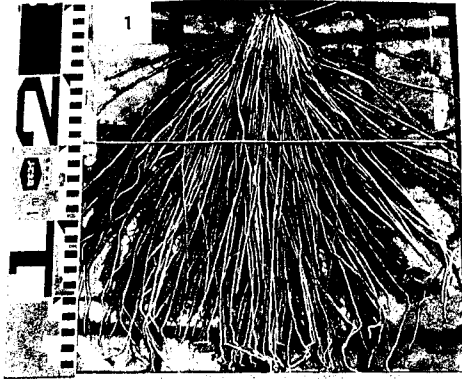


写真4 施肥法の違いによる陸羽132号の根系形態（根箱試験）
1. 深層施肥、2. 全層施肥、3. 側条深層施肥（片側）
4. 表層施肥（深水管理）

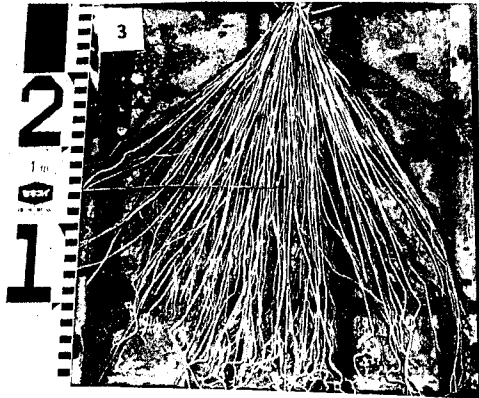
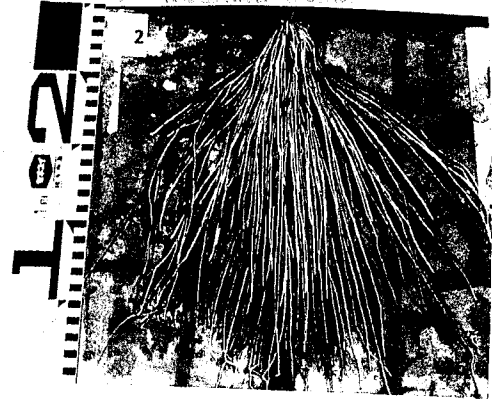
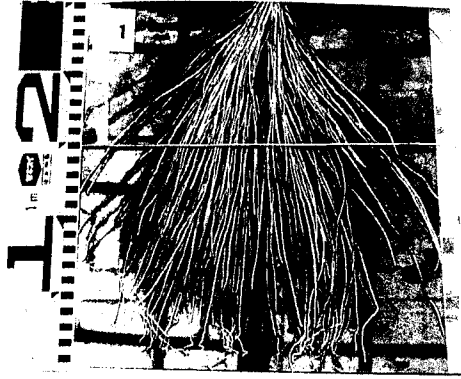


写真5 施肥法の違いによるコシヒカリの根系形態（根箱試験）

1. 深層施肥、2. 全層施肥、3. 側条深層施肥（片側）
4. 表層施肥（深水栽培）

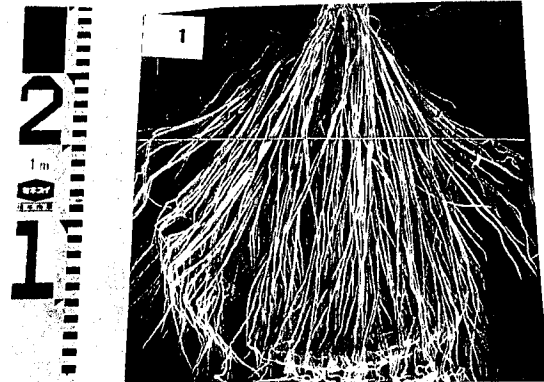
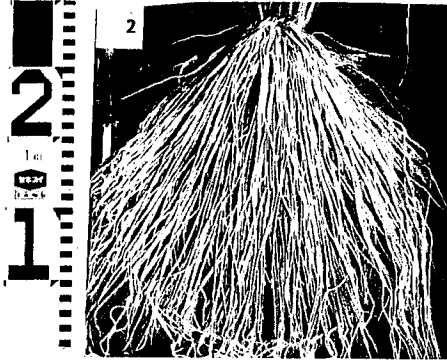


写真6 根切除処理を行った場合の農林3号の根系形態
1. 深層施肥、2. 全層施肥

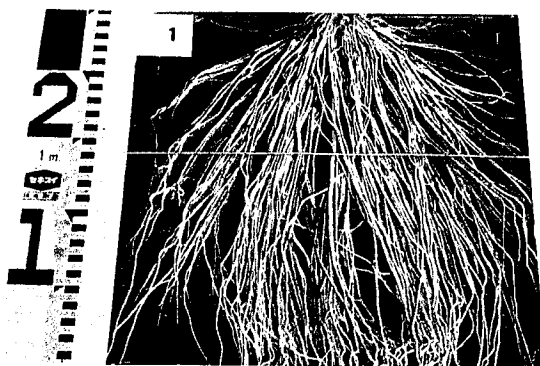
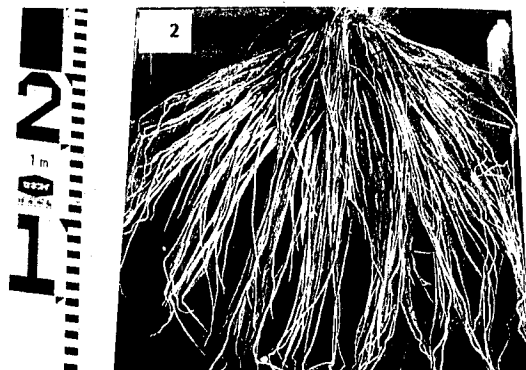


写真7 根切除処理を行った場合の陸羽132号の根系形態
1. 深層施肥、2. 全層施肥

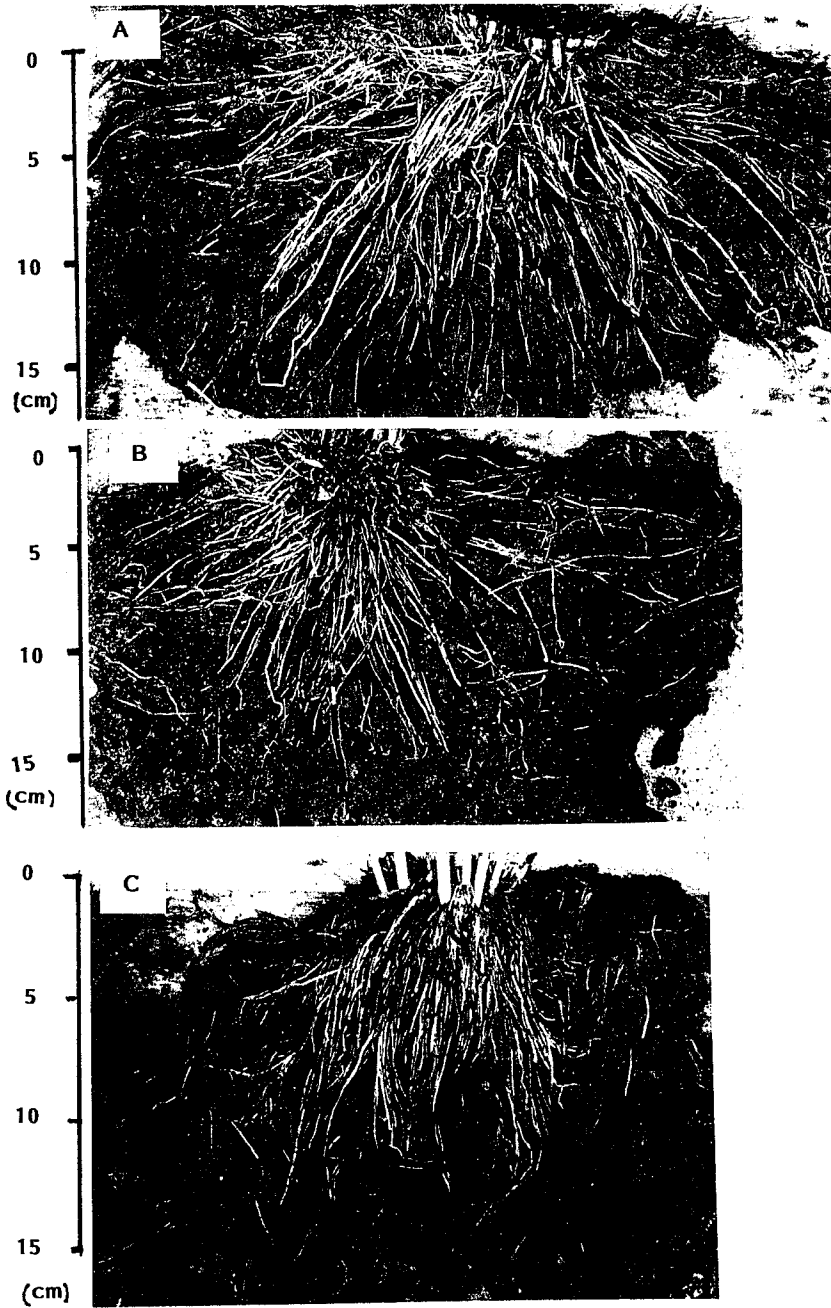
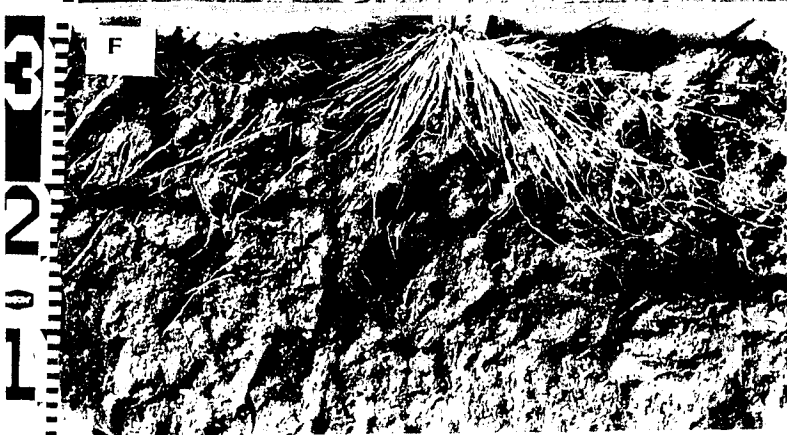
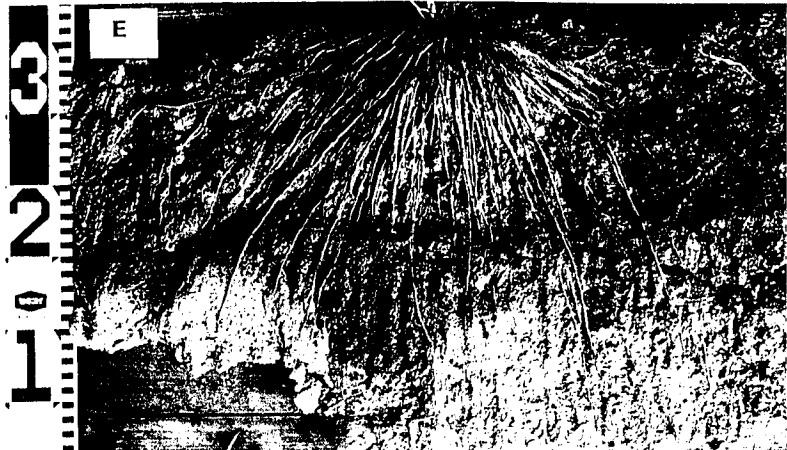
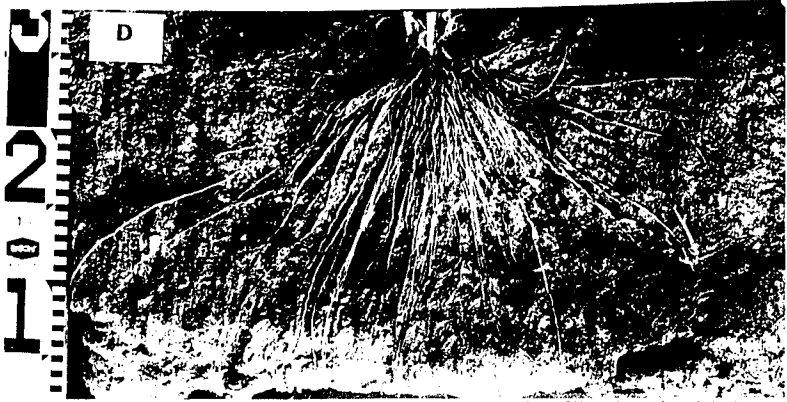


写真8 多収種水田におけるササニシキの根系形態
A. 酒田市A、B. 酒田市B、C. 鶴岡市A



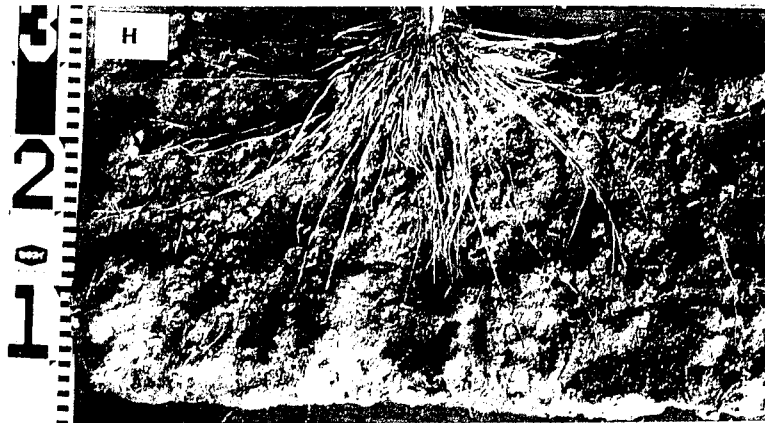
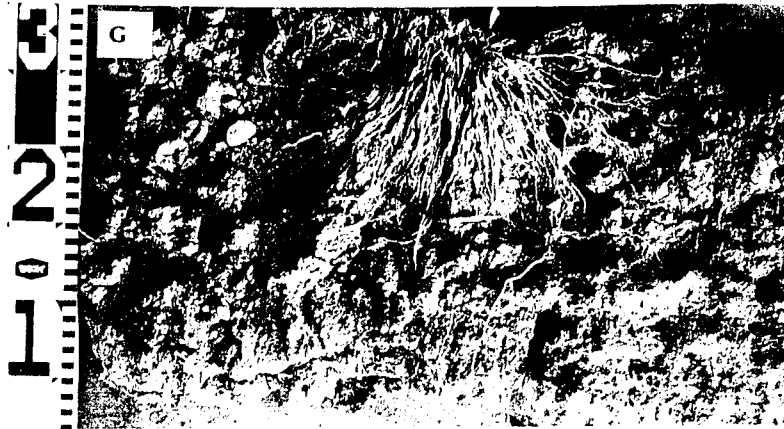


写真9 水管理の違いによるコシヒカリの根系形態

- D. 深水管理（基肥0、追肥I B化成：少肥、疎植栽培）
- E. 深水管理（基肥0、追肥I B化成、多肥、疎植栽培）
- F. 慣行法（中干し）（自然農法、基肥は堆肥のみ、追肥なし）
- G. 慣行法（中干し）（基肥 $3\text{ kg-N}/10\text{ a}$ 、追肥 $5\text{ kg-N}/10\text{ a}$ ）
- H. 深水管理（基肥0、追肥I B化成、普通栽培）