

報告番号 ※ 甲 第 2023 号

# 主論文の要旨

## 題名

Studies on Root System of Crop Plants  
- Significance of root system structures in  
relation to waterlogging and drought  
tolerances in cereals -

作物の根系に関する研究

— 耐湿性・耐旱性から見たイネ科作物  
の根系構造の意義 —

氏名 山内 章

## 主論文の要旨

報告番号	※甲第	号	氏名	山内章
<p>根は、不良環境下での作物の生育に、重要な役割を果たしていると考えられている。しかし、研究方法上の困難性などが原因となって、知見の蓄積が地上部に比べて少ない。そこで本研究では、改良根箱法によって生育させ、採取した根系を用いて、主要なイネ科作物の根系構造を定量的に調べ、さらに、それらの作物の、異なる土壤水分条件下での生長を、根系の生長・機能と関連させつつ、比較作物学的見地から検討した。それらを通じて、これらのイネ科作物の、過湿・乾燥条件下で生育し、収量をあげ得る能力（以下耐湿性・耐旱性）と関連させて、根系の意義を明らかにしようとした。</p> <p>まず、13種のイネ科作物（夏作、播種後30日；冬作、播種後126日）について、根系構造を比較した。節根（種子根を含む）の走向角と、節根・側根の発達程度に基づいて根系構造を評価し、次の4つのグループに大別した。第1グループ：節根の走向角は比較的小さく、その多くは土壤を縦走する。節根数は4つのグループの中で最も多い傾向をもつ。1次側根は細く、短く、分枝に乏しい。水稻、陸稻、シコクビエ、ヒエを含む。第2グループ：数本の節根は株直下へ縦走するが、他の多くの節根は、走行角が大きく土壤中を斜走する。アワ、キビを含む。第3グループ：節根の走行角が大きく、土壤中を斜走する。1次側根は長く、太く、分枝が盛んである。トウジンビエ、モロコシ、トウモロコシ、オオムギ（裸）、コムギ、ライムギ、エンバクを含む。第4グループ：節根が斜走し、それらの発達は偏在して進む。側根の発達は旺盛である。ハトムギを含む。</p> <p>根系構造上の特徴に基づき、第1グループおよび第3グループに属する作物の根系をそれぞれ”集中型”根系、および”分散型”根系と呼んだ。また、第2グループの根系はそれらの中間型、ハトムギの根系は独自の型を形成すると考えた。この2つの根系型間の重要な差異は、”集中型”では、節根が比較的狭い土壤空間に高い密度で分布したのに対し、”分散型</p>				

”では、節根は比較的広い土壌空間に疎に分布したことであった。また、種子根軸上の側根で比較した場合、前者ではS型（短く、比較的根径が小さく、高次の側根を分枝しない）1次側根の発生数が多く、種子根軸単位長さ当たりの発生密度が高く、根系構成要素中に占める割合が比較的高かった。それに対し、後者においてはS型1次側根は発生密度が低く、根系要素中に占める割合が極めて小さかったが、L型（長く、比較的根径が大きく、高次の側根を分枝する）1次側根の割合が高く、長さでみると根系のほとんどを占めていた。また、ハトムギの根系の側根発達の様相は、“集中型”のものに類似していた。

次に、“集中型”根系をもつ作物群から陸稲を、“分散型”根系をもつ作物群からトウモロコシを対象として取りあげ、とくにL型側根とS型側根の役割分化に注目しつつ、それぞれの播種後1か月の根系について、直接法によって、根系構造の特徴を定量的に明らかにしようとした。その結果、根系全体では、陸稲は29本の節根上に計42,394本の側根（高次の側根を含む）を発生させ、表面積は58,048 mm<sup>2</sup>であった。それに対し、トウモロコシでは、17本の節根上に計11,628本の側根（高次の側根を含む）が発生し、表面積は122,697 mm<sup>2</sup>であった。

両作物の根系の特徴をまとめると、次のようであった。陸稲の根系は、相対的に節根に依存する程度が、一方、トウモロコシでは側根に依存する程度がそれぞれ高かった。また、陸稲では、節根の走向角が小さく、節根が密に分布した結果生ずる比較的狭い空間において、S型1次側根、L型1次側根が、ともに長さは短い、発生数が圧倒的に多いことによって根系拡大に貢献した。トウモロコシにおいては、側根の発生数は陸稲の約

1/3あるいはそれ以下であった。しかし、長さでは、S型1次側根は陸稲のそれとほとんど同じであったが、L型1次側根は変異が極めて大きく、極端に根長の短いものから、長く、高次側根を旺盛に分枝するものまで発生していた。これらが、節根の走向角が大きく、節根が疎に分布した結果生ずる比較的大きな空間において、根系拡大に寄与した。これらのことより、両作物の根系拡大戦略が基本的に異なることが明確に示された。なお、本研究の結果は、従来不明確であった、根系構造の種間差について、供試

作物間で遺伝的差異に基づく差異が存在することを明らかにした。

従来の文献において、記述に若干の混乱が見受けられる、これらイネ科作物の耐湿性・耐旱性を、同一条件下で定量的に比較・検討した。供試作物を、湛水（W区）・湿潤（M区）・乾燥（D区）の土壤水分条件下で生育させ、乾物生産および蒸散係数を基準として、耐湿性・耐旱性を評価した。

植物体全体と穂の乾物重に基づくW/M比（耐湿性程度）が、D/M比（耐旱性程度）より大きいか、またその逆の関係かどうかによって、供試作物は2群に大別された。その一つは、D/M比よりもW/M比の方が大きい群であり、水稻、陸稻、シコクビエ、ハトムギ、ヒエ、オオムギ（皮）を含む。他の一つは、W/M比よりもD/M比の方が大きい群であり、キビ、トウジンビエ、アワ、モロコシ、トウモロコシ、オオムギ（裸）、コムギ、ライムギ、エンバクを含む。前者の群を耐湿性程度が耐旱性程度より大きい群（RLWTC群）、後者の群を耐旱性程度が耐湿性程度より大きい群（RLDTC群）とした。

次に、W・M・D区の各作物の蒸散係数を、地上部乾物重当り（TCs）だけでなく、植物体全乾物重当り（TCp）と穂乾物重当り（TCe）でも求めた。各作物のTCsとTCpに基づくD/M比は1に近く、作物間で顕著な差異が認められなかったが、W/M比は作物によって変異を示した。ShantzとPiemeisel（1927）の知見に基づき、「TCeにおけるW/M比またはD/M比が、1を大きく上回れば上回るほど、湛水または乾燥条件はその種の生育にとって不適當な環境であることを示す」とする仮説をたて、湿潤条件下での蒸散係数に対する、湛水条件下または乾燥条件下における蒸散係数の比が1に近いか、あるいはそれ以下になった場合、その作物は、それぞれ湛水または乾燥条件に対して安定であり、その比が1を上回れば上回るほど感受性が高いと考えた。この評価法によってRLWTC群とRLDTC群は、さらに2つの亜群に分け得た。RLWTC群は、（1）湛水条件で最も安定しているが、乾燥条件に対する感受性が最も高い作物である水稻、陸稻、ハトムギ、を含む亜群と、（2）湛水条件でも乾燥条件でも比較的安定している作物であるシコクビエ、ヒエ、オオムギ（皮）を含む亜群に分かれた。

一方、RLDTC群は、(1) 湛水条件に対する感受性は比較的高いが、乾燥条件では安定している作物であるキビ、トウジンビエ、モロコシ、トウモロコシ、オオムギ(裸)、コムギを含む亜群と、(2) 湛水条件に対する感受性が最も高いが、乾燥条件では安定している作物であるアワ、ライムギ、エンバクを含む亜群に分かれた。

この実験では、各作物の耐湿性・耐旱性を主に成熟期で評価した。そこで、次に幼植物からの生育経過をさらに詳細に検討するために、供試作物の中から、RLWTC群に含まれる陸稲と、RLDTC群に含まれるトウモロコシを選び、湛水・湿潤・乾燥の土壤水分条件下における、幼植物期から出穂期までの生育を、根系の生長・機能に注目しつつ、生長解析によって比較、検討した。

乾物重、相対生長率(RGR)の推移によって両作物の生長を比較すると、ほぼ全実験期間を通じて、陸稲は乾燥条件下よりも湛水条件下で良い生育を示し、トウモロコシはその逆の傾向を示した。RGRの、土壤水分条件の違いによる差異は、陸稲では純同化率(NAR)と葉面積比(LAR)の両方に、トウモロコシでは主にNARの差異によく一致した。そこでNARと関係の深い葉身中の窒素濃度を調べたところ、両作物のNAR,そしてRGRとの間に密接な関係が認められた。また、根の窒素吸収力を反映していると考えられる、各個体の葉身の窒素含量の根数に対する比と、NARを比較すると、それらは両作物ともよく一致した。さらに、根のRGRとNARの間にも密接な関係が認められた。陸稲とトウモロコシが湛水・乾燥条件下で示したこのような特徴的な生長反応は、先述した両作物の耐湿性・耐旱性の違いをよく反映していた。

以上の結果は、これらの作物の耐湿性・耐旱性は、各土壤水分条件下での各作物の根系の生長と機能と密接に関連していることを示している。

さらに、供試作物の中で”集中型”根系をもつ作物は、RLWTC群に属し、”分散型”根系をもつ作物は、RLDTC群に属するという対応関係が認められた。このことは、根系の構造もまた、各作物が耐湿性・耐旱性を発揮する上で重要な役割を果していることを強く示唆するものである。