

透水と水稻の生育について

石原 邦*

はじめに

水田土壌中をかんがい水が縦浸透——透水——する場合、従来、水稻栽培に対して、つぎのような効果があると考えられている。すなわち、利点として、土壌中に酸素が補給される；土壌中に発生する種々の有害物質を除去する；難点として、浸透過多の場合に顕著に認められるが、土壌中の養分が流亡する；水温の低い山間地帯の水田で冷水の害を助長する；ことなどである。このように、透水の効果には、利点・難点の両面があるが、ここでは、透水の無い、常時タン水されている——停タン水——土壌条件と透水のある土壌条件に生育した水稻を比較して、透水により生育が助長され、収量が増加する場合、水稻生育のいかなる点に差異を生ずるのかについて検討することにしたい。

透水性をもつ水田であれば、水田表面からかんがい水を排除——排水——することは容易であり、このような水田で、水稻の栽培が行われる場合には、栽培期間中の排水（註1）（中干し、間断かんがいなど）の行われるのが普通である。このように、実際栽培において、透水・排水の水管理が組合されて行われることも関連して、従来、水稻の生育に対する透水と排水の効果は、必ずしも明確に区別して認識されていないように思う。したがって、水稻の生育について、停タン水状態と透水状態を比較する場合、透水の効果のなかに、しばしば排水の影響の含まれていることをお断りしておく。

1. 収量について

水稻生育に対する適正透水量について、岐阜県本巣郡の長良川、揖斐川の扇状地で調査された結果¹⁾をみると（図-1）、収量にある程度の変異があり、透水以外の因子の含まれることは当然予想されるが、最多収量を示す1日当り減水深は20~30mmであることが判る。減水深には、葉面蒸散と水面蒸発が含まれ、これらは環境条件、水稻の生育時期により異なるが、仮に1日当り10mmの減水深に相当するとすれば、適正透水量は1日当り10~20mmということになる。米作日本一となった農家（1951年から1961年までの10戸の農家）の水田の調査結果²⁾では、その大部分は20~30mmの減水深のある水田であ

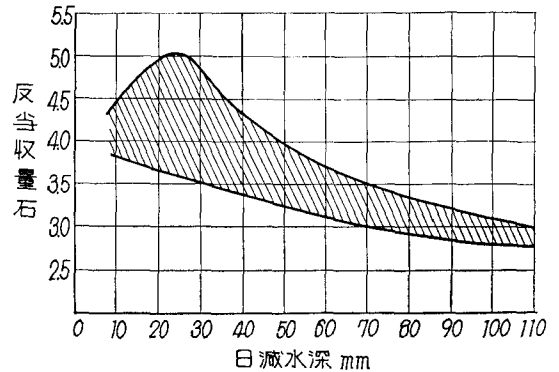


図-1 日減水深——反当収量（五十崎，1956）

り、これらの結果から、多収穫を上げる一つの条件として、減水深にして1日当り20~30mmの透水の必要性が推定される。

透水の効果を検討するために、ポット、ライシメーターを用いて、あるいは圃場で行った実験結果をみると、停タン水状態に比較して、透水により収量の増加した場合³⁾⁴⁾⁵⁾と増加の認められなかった場合⁶⁾⁷⁾とがある。前者の著しい例は、城下ら⁵⁾の結果（表-1）であって、対照田（停タン水状態）で10a当り600kgであるのに対し

表-1 水稻の収量と登熟歩合との関係
（城下ら，1962 より作成）

| 水田別 | 区 別 | 項 目 | | | |
|-------|--------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| | | 精玄米重 (kg/a) | 全 稈 数 (株当り) | 精 籾 数 (株当り) | 登熟歩合※ (%) |
| 対 照 田 | 500 ※※ | 51.14 | 1411 | 1049 | 74.7 |
| | 1000 | 51.63 | 1505 | 1049 | 69.7 |
| | 1500 | 60.05 | 1726 | 1144 | 66.2 |
| | 1500N | 47.05 | 1716 | 924 | 53.8 |
| 排 水 田 | 500 | 48.10 | 1452 | 1150 | 79.5 |
| | 1000 | 59.18 | 1564 | 1285 | 82.2 |
| | 1500 | 62.61 | 1770 | 1392 | 78.8 |
| | 1500N | 80.66 | 2110 | 1672 | 79.2 |

※ 精籾・シイナの分別は比重1.06の塩水による。

※※ 500, 1000, 1500はタイ肥の施用量を示し、それぞれ187.5, 375.0, 562.5 kg/aである。Nは元肥窒素施用量が他の3区に比べて5割増となっていることを示す。

註1) 排水の行われる場合、透水により地下へ排水される場合と、透水性に乏しい水田で、もっぱら、蒸散、蒸発などにより地表から排水される場合とがあるが、この両者を区別して、それぞれ水稻の生育に対して、どのような影響をもつかについては、充分検討されていないように思う。ここで排水という場合には、透水により地下へ排水される場合をいう。

て、排水田（透水、中干し、間断かんがい）が組合されている）では806 kgという高い収量を得ている。透水の効果は、土壌条件、栽培条件により異なることは当然予想されるが、透水の効果の認められない場合について、その結果を検討してみると、停タン水、透水いずれの場合も、水稻の生育は必ずしも良好でなく、収量の比較的小さい場合（10 a当り300～400 kg）であることが認められる。本谷²⁾は、東北地方の水田を調査した結果、10 a当り600kgの収量は、施肥、土壌肥沃度によりかなり可能であるが、それ以上750kg近い収量を得るには、土壌の透水性が問題となることを指摘している。結局、土壌条件、栽培条件が整い、比較的高い収量（たとえば、東北地方では10 a当り600 kg）をあげている水田で、さらに多収穫を得ようとする場合に、透水という条件が必要となると考えられる。

2. 地上部の生育について

前述した城下⁵⁾の実験結果を中心として、停タン水の土壌条件（対照田）と透水のある土壌条件（中干しと間断かんがい）が組合され、氏は排水田としている）に生育した水稻の地上部について比較することにする。

草丈、莖数には、他の実験結果³⁾と同様、対照田、排水田の間にほとんど差異はないが、乾物重の増加についてみると、幼穂形成期以後差異が認められ、生育のす

すむにつれて、著しくなる(図-2)。この場合、窒素の施肥量の多いものほど、その相違は顕著である。窒素、燐酸、加里の吸収についてみても、対照田（排水不良田）では幼穂形成期以降その吸収量はわずかとなり、出穂期以後はほとんど吸収が停止するのに対し、排水田では、成熟期まで継続して、かなりの量の吸収が行われている(図-3)。このようなことと関連あると思われるが、出穂期以後生葉数に差が認められ、透水のある場合により多くなるという結果も報告⁴⁾されている。

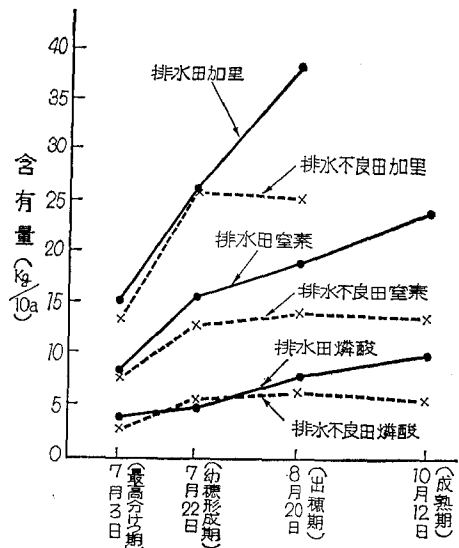


図-3 排水田と排水不良田における水稻の時期別養分含有量（城下，1961）

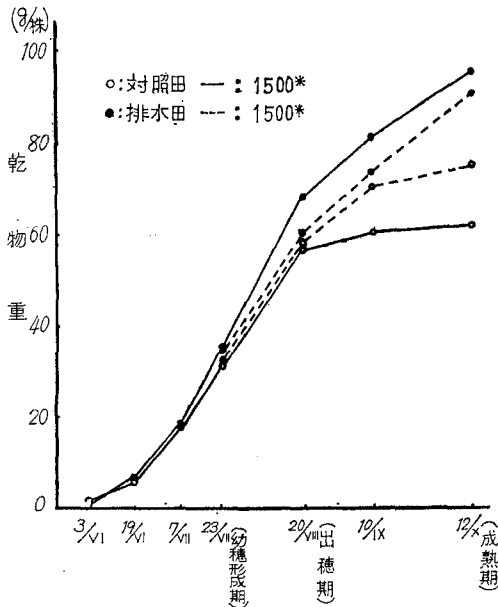


図-2 乾物重の増加傾向（城下，1962より作成）
（※は表-1参照）

以上の結果から、対照田と排水田の水稻生育の差異は、生育後期に現われることが判る。収量を構成する要素は、生育のすすむにしたがって、穂数、一穂粒数、登熟歩合、千粒重の順に決定されるが、この場合、対照田と排水田を比較してみると、生育の後期に決定される登熟歩合に最も著しい相異が認められる(表-1)。すなわち、施肥量が増加すると、対照田、排水田ともに株当り粒数は多くなるが、それにともなって、両区間の収量に著しい差異を生じ、その主たる要因は、登熟歩合の違いにあるということである。一般に株当り粒数がある程度以上多くなると、粒数と登熟歩合との間に負の相関関係が存在するようになる¹⁰⁾が、対照田ではこの関係が明瞭であるのに対し、排水田では粒数が増加しても登熟歩合は低下せず、粒数の増加に比例して、収量も増加しているのである。他の結果をみても、透水により収量の増加する場合、登熟歩合の高まること、換言すれば粒数が増加しても登熟歩合の低下しないことが、その主たる要

因となっている例が多い³⁾⁴⁾。

以上の結果から、透水は、栄養生長に対しては著しい影響をおよぼさないが、生育後期に養分の吸収、乾物重の増加を促進し、収量構成要素のうち、とくに登熟歩合を高めるという効果をもつことが推定できる。

3. 根の生育について

水稻の根については、地上部に比較すると研究が少なく、透水のある水田と停タン水状態の水田に生育した場合、水稻の根系あるいは根の形態に異なる相異があら

われるかについては、ほとんど検討されていない。そこで、ここでは、著者ら¹¹⁾¹²⁾¹³⁾が、ポットを用いて、停タン水区と透水区に生育した根を比較した実験を中心として述べることにしたい。

まず冠根の伸長についてみると(表-2)、停タン水区に比較して透水区では、最大根長・平均根長ともに大であることが認められる。他の実験についてみても、透水により根が土壌中深く伸長するという結果が得られており⁷⁾¹⁴⁾、たとえば、収穫期に土壌を上中下の層に分けて、それぞれの土層に生育した根の乾物重を百分率で比較してみると、透水区では44:32:24であるのに対して、停タン水区では51:32:17となっており、前者で下層に発育する根の割合の多いことがわかる³⁾。

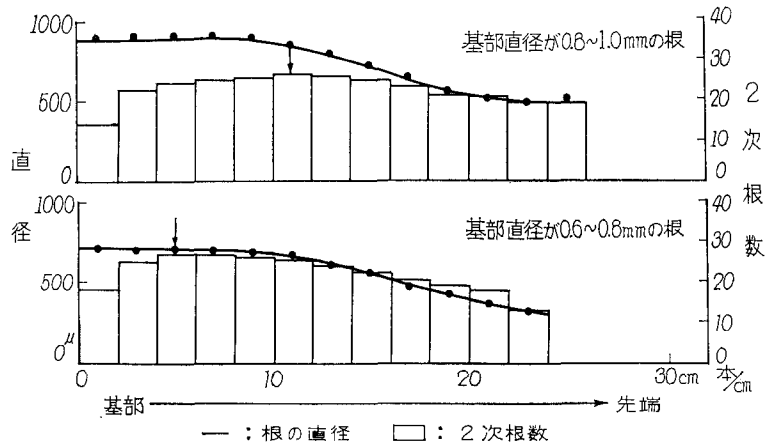
つぎに冠根から分枝する2次根についてである。2次根の発生は、土壌条件あるいは冠根の種類により、種々の様相を呈するが、一般的にいえば、冠根の単位長さ当りの2次根数は基部で少く、先端部に向うにしたがって

表一 2 停タン水区と透水区に生育した冠根の長さの比較

| 土 壤 | 処 理 区 | 最大根長 | 平均根長 |
|------------|-------|-------|----------|
| ※ 東金湿田土壌 | 停タン水区 | 21 cm | 17 cm※※※ |
| | 透水区 | 28 | 24 |
| ※※ 関東火山灰土壌 | 停タン水区 | 12 | 7.8 |
| | 透水区 | 21 | 9.2 |

※ 川田・石原¹³⁾(未発表)
 ※※ 三浦¹⁴⁾
 ※※※ 長い順に根を10本選び、その根長を平均する。

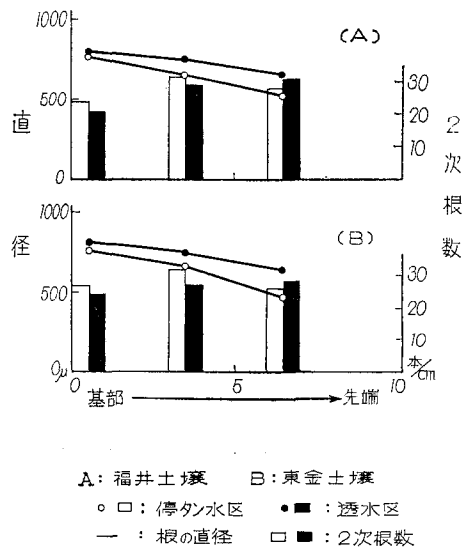
註2) この実験では、排水の影響を除外するために、停タン水区・透水区ともに、常時2cm以上の深さの水がタン水してあるようにした。なお透水量は1日当り25~30mmであった。



図一 4 根の直径と単位長さ当りの2次根数との関係 (川田, 芝山, 1966)

徐々に増加し、ある部分で最も数が多くなり、その後再び減少する(冠根の直径が小となるにしたがって)という傾向を示し、最大値は冠根1cm当り25本前後となると報告されている(図-4)¹⁵⁾。これを参考にして、停タン水区と透水区に生育した冠根の比較を行ってみると、2次根数の最も多くなる冠根部位が、停タン水区では基部に近いところにある、換言すれば、透水区では、より根端近くまで、多数の2次根の形成されることが判る(図-5)¹⁶⁾。

水稻冠根の表皮組織に形成される根毛について、つぎのような機能をもつことが推定されている。すなわち、① 根の表面積を著しく増大する¹¹⁾; ② RNA が根毛



図一 5 根の直径と単位長さ当り2次根数との関係 (川田, 石原, 未発表)

以外の表皮部分に比較して、根毛内に多量にしかも長期間にわたって存在することから、養分吸収に対して積極的な役割をもつ¹⁹⁾; ③ 2価鉄を3価鉄に酸化する力、あるいはパーオキシダーゼの存在から、根の表皮組織のうち、とくに著しい酸化力を有する¹⁷⁾; ことである。このように、根の生理的活性に対して重要な役割をもつ根毛の形成あるいは伸長を、透水区、停タン水区に生育した場合について比較してみると、透水区の根は、基部から先端部にわたって数多くの根毛が発生し、しかもその長さも大である。一方停タン水区のそれは、基部においては透水区の場合と同様多くの根毛が形成されるが、先端部へいくにしたがって、その発生は著しく減少し長さも小となることが認められた。この場合、両区の冠根の土壤に接触している表面積を計算すると、とくに根の先端部において著しい差異のあることがわかる(図-6)。この差異を生じた大きな要因は、根毛部分の表面積にあるのであって、前述した根毛の生理的機能を考慮すれば、透水区と停タン水区に生育した冠根には、生理的活性の点でさらに著しい相異のあることが推定される。

さらに、根毛内のRNAに着目して、透水区、停タン水区に生育した冠根の根毛の生理的寿命を比較してみると、停タン水区の根毛は、透水区のそれに比べて、より

早く生理的活性を失う、換言すれば、停タン水区では根の老熟化が早く進行するのに対して、透水区では、長期間根が生理的活性を保持しているということがわかった¹⁹⁾。前述した城下ら⁵⁾も、幼穂形成期に根の外部形態を観察し、排水田に生育した場合、より若く、生理的活性の高いと推定される根の割合が多いことを指摘している。従来、しばしば根の生理的活性を根の呼吸あるいは α ナフチルアミンの酸化力で推定するという方法(注3)が用いられているが、この方法を用いて、透水区と停タン水区を比較すると、透水区に生育した場合に、根の生理的活性が高いという報告もなされている⁵⁾⁷⁾¹⁹⁾。

以上の結果、停タン水区に比較して、透水区に生育した場合、冠根の伸長が大で、2次根、根毛も冠根基部から先端部にわたって数多く形成される、換言すれば、根が土壤中深く発達し、その表面積を拡げているということであり、しかも、これらの根はその生理的活性をより長い期間保持していることが解る。

最後に、透水区と停タン水区に生育した根の間に、上述したような差異が生ずる要因についてふれておきたい。その要因の一つとして、透水区における水の浸透にともなって、土壤中に酸素が供給され、停タン水区に比較して土壤が酸化的になるということが考えられる。透水とともに排水が行われ、土壤表面と空気が直接接触する場合は、停タン水状態に比較して土壤の酸化還元電位の上昇することは衆知の事実であり、城下ら⁵⁾もこのことを認めている。しかし、著者らの実験の如く、土壤表面が常時タン水されている場合には、従来の結果をみると¹¹⁾¹⁹⁾²⁰⁾、停タン水・透水両区の酸化還元電位の間には、著しい相異は認められず、この場合、土壤の酸化還元電位に関与する要因によって、根の発育が一次的に著しく支配を受けたとは考えられない。いま一つ要因として考えられることは、水の浸透にともなって、タン水下水土中に発生する種々の有害物質を排除することである。これらの物質としては従来の研究結果²⁰⁾²¹⁾²²⁾から、硫化水素、種々の有機酸などが推定されるが、そのうち、蟻酸、酢酸、酪酸について、冠根の根毛形成に対する影響を検討してみた(表-3)。その結果、これらの有機酸はいずれも現実の水田において発生の認められる程度の極めて低い濃度²⁰⁾²¹⁾で根毛形成に著しい影響をおよぼすことがわかった²³⁾。これら有機酸によって影響された表皮の様相を、停タン水区に生育した根のそれと比較してみると、とくに酢酸の場合にみられたものと極めてよく類似している。そして、土壤中に発生する有機酸の

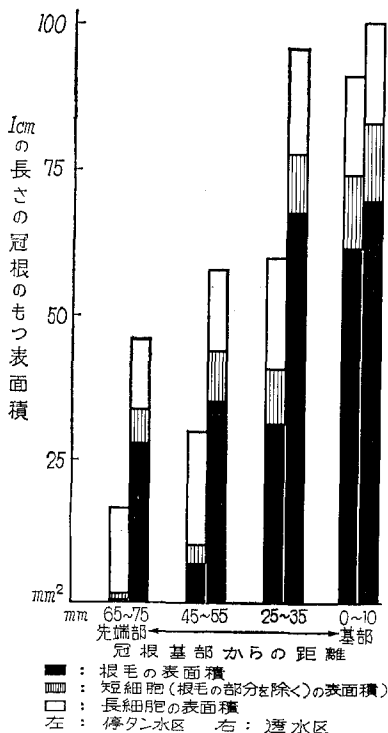


図-6 1 cmの長さの冠根の表面積 (福井土壤) (川田, 石原, 1961 a)

註3) この方法には、検討の余地がある¹⁷⁾。

うち、酢酸が量的に最も多く、高位収穫の水田土壌においても一時的にはあるが、根毛の形成を抑制する程度の濃度の酢酸が存在することも報告されている²⁰⁾。これらの事実と透水により土壌中の有機酸の濃度が減少する²¹⁾²²⁾という事実を考へ合せると、根の生育に対する透水の効果は、土壌中に発生する有害物質の排除にあると推定してよいように思う。

むすび

以上述べてきたことから、やや大胆な推論を行うと、つぎのようにいうことができると思う。すなわち、停タン水状態に比較して、透水のある土壌条件に生育することにより、水稻の収量が増加する場合、透水は、主として土壌中に発生する有害物質を除去することにより（透水により、かんがい水が土壌表面から排除される場合には、土壌が酸化するということも無視できないが）、水稻の根の発育を促進し、その生理的活性を高めることを通じて、地上部の生育とくに幼穂形成期以後の発育を助長し、登熟歩合を高めたということである。多収穫を得るためには、単位面積当りの穂数の多いことが前提条件であるが、その場合、登熟歩合をいかに高く保持するかが主要な問題と考えられる。登熟歩合と密接な関係をもつ条件として、光、気温、水稻の受光態勢など光合成に関連をもつ要因以外に、すでに述べたように、土壌環境とくに透水の有無をあげることができる。この点、さ

らに、排水の問題も考慮しつつ（註1参照）透水と水稻とくに根の生育との関係が明らかにされる必要があると考えられる。

引用文献

- 1) 五十崎恒 適正浸透量について 農土研24:311. 1956.
- 2) 農林省振興局農産課 米作日本一表彰受賞者の稲作技術 1951~1961.
- 3) 農林水産技術会議 稲作における土壌と水に関する研究 1961.
- 4) 林政衛他3名 湿田におけるかんがいの地下浸透と水稻の登熟一穂孕期以後の浸透について 日作紀 29:43. 1960.
- 5) 城下強他3名 施肥効果の増進による水稻の高位生産に関する研究 農事試報 1:1. 1962.
- 6) 野島敦馬・田中市郎 水田における透水が水稻生育におよぼす影響 第1報, 日作紀 29:341. 1961.
- 7) 上田博愛・大山一夫 タン水下における水稻の根の呼吸生理機構に関する研究 第3報・第4報 かんがい水の地下浸透が水稻の生育におよぼす影響 日作紀 26:249. 1958.
- 8) 本谷耕一 稲作多収の基礎条件 農文協 1966.
- 9) 城下強 米作日本一の肥培について カリシンボジウム 1961.
- 10) 松島省三 水稻収量の成立と予察に関する作物学的研究 農技研報告 A5:1. 1957.
- 11) 川田信一郎・石原邦 透水の有無と水稻冠根における根毛形成との関係. 日作紀 29:345. 1961 a.
- 12) ———— 水稻冠根における根毛の生理的寿命の推定, RNA に着目した場合について 日作紀 30:334. 1962.
- 13) ———— (未発表)
- 14) 三浦輝政他 排水地と停タン水地との稲田における水稻の根の発育関係 日作紀 5:305. 1933.
- 15) 川田信一郎・芝山秀次郎 水稻冠根における2次根の分枝の様相 日作紀 35:59. 1966.
- 16) 川田信一郎・石原邦 水稻冠根の表皮におけるRNAの分布について 日作紀 29:387. 1961 b.
- 17) 川田信一郎・石原邦 水稻の根における根毛の酸化力について 日作紀 33:168. 1964.
- 18) 山田登・太田保夫 水稻根の生理的活力に及ぼすかんがいの浸透の影響 日作紀 29:404. 1961.
- 19) 内山修男他3名 水田の浸透性の意義について(第1報) 浸透速度とタン水下水土壌のEhの関係 土肥誌 27:23. 1956.
- 20) 高井康雄 水田土壌の還元と微生物代謝(1~5) 農業技術 16:1. 51. 122. 162. 213. 1961.
- 21) 松平敬夫 緑肥の肥効増進に関する研究 第2報 有害物に関する研究 東大農肥料研 昭和24年研究実施報告 1949.
- 22) 三井進午他2名 作物の養分吸収に関する動的研究(第22報) 湿田土壌における有機酸の生成と水稻の生育について(その1) 土肥誌 30:345. 1959.
- 23) 川田信一郎・石原邦 水稻根の根毛形成に対する低飽飽和脂肪酸の作用について 日作紀 30:27. 1961 c.

表一 冠根の伸長および表皮の形態形成に対する
蟻酸、酢酸、酪酸の作用 (川田・石原,
1961C)

| 処 理 | 4日間の根 の伸長量 | 根毛の発生し ている細胞 | | 根 毛 長 | 表皮細胞長 |
|---------------|---------------|-----------------|-------|-----------|-----------|
| | | 全細胞 | 全表皮細胞 | | |
| 対 照 | 5.8 cm | 53.5% | | 199 μ | 106 μ |
| 蟻 酸 2.5 mmol | 2.0 | 2.3 | | 51 | 38 |
| 酢 酸 2.5 mmol | 5.3 | 10.4 | | 18 | 122 |
| 酪 酸 0.25 mmol | 4.6 | 28.7 | | 23 | 89 |

※ 根毛の発生している細胞と発生していない細胞の根の縦軸方向の長さの平均。