

第1部 湿害の現状と対応

最初の講演者は、農研機構作物研究所麦類遺伝子技術研究チームの小柳敦史さんです。新潟県のご出身で、専門は作物の栽培です。現在、小麦の湿害と耐湿性の研究で、主に現場における湿害発生様相の解明を進めておられます。湿害研究歴20年ということで、非常に長い湿害研究の経験をお持ちです。

講演1 「湿害の現実とは何か？－水田作小麦を中心として」

◇はじめに

「湿害」、この本当に難しい問題を皆さんと一緒に考える機会をいただき、大変ありがたく思っています。私の話では、今日の最初の講演として、水田作小麦の話題を中心に、湿害の定義と症状、被害の実態などを紹介し、最後に耐湿性の小麦の作出の方向を考えたいと思っています。

シンポジウムのポスターにも使われたこの写真は、簡易空撮気球「ひばりは見た！」で上空100mほどのところから茨城県桜川市の水田地帯を撮影したものです(図1-1)。撮影時期は5月頃で小麦の出穂期に当たります。この川沿いは大きく三つのブロックに分かれていて、この年は、写真奥のブロックが水稻、中央のブロックが小麦と大豆の転作です。



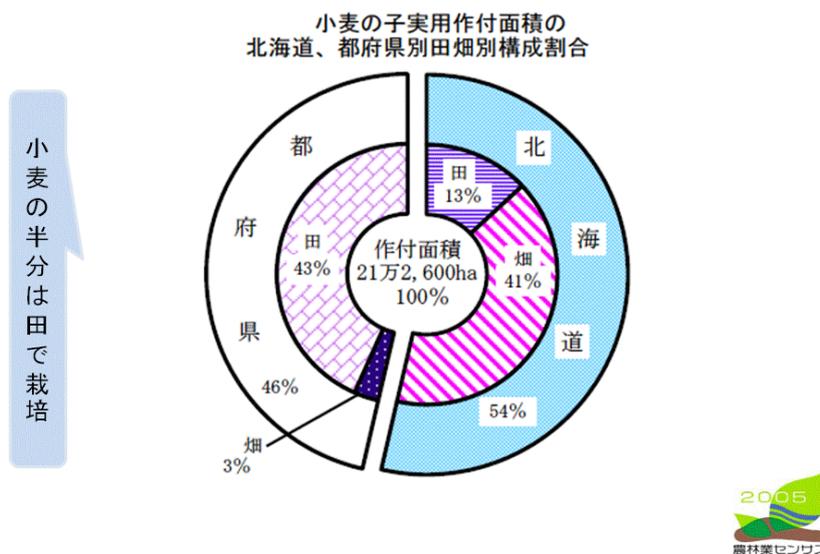
(図1-1) 簡易空撮気球で撮影した小麦の湿害圃場

出穂期の小麦の圃場ですから本当は青々としているはずですが、湿害が発生しているため、白っぽく見えています。この写真だけを見ても全体の3分の1くらいの面積で湿害の被害

が見られ、経営者にとっては大きな問題となっています。

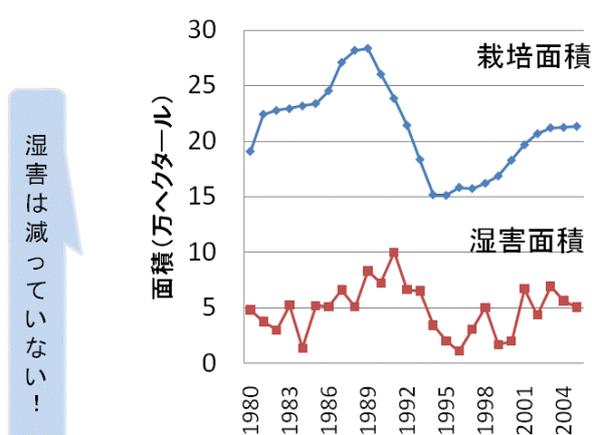
◇小麦作の最近の状況

小麦の作付面積は全国で約 21 万 ha あります。北海道では主に畑作ですが、都府県では多くが水田転換畑で作られています。この図から、日本の小麦の作付面積の半分以上は転換畑で作られているということが分かります（図 1－2）。小麦の栽培面積は平成元年頃に



(図 1－2) わが国の小麦の作付面積 (2005 年)

多く、その後いったん減少、後に増加し現在に至っています。湿害の被害面積は、年平均で 4 万から 5 万 ha と報告されていますので、全国の小麦の栽培面積の 4 分の 1 に当たりません（図 1－3）。全国では、小麦は半分くらいが田で作られていますので、水田作小麦の半



日本における小麦の栽培面積と湿害発生面積の推移 (米麦改良 2010年5月号より)

(図 1－3) 小麦の湿害の発生面積の推移

分で湿害が出ていることになります。最近の 30 年は、水田で基盤整備が急速に進み、大規模な水田が増えるとともに暗渠の施工も盛んに行われた時期だと思います。それにもかかわらず、小麦の湿害の被害面積はこの期間中に全くと言っていいほど減っていないのが現状です。

農林水産省から発行される「作物統計」には、その年に発生した湿害の内容や特徴が書かれています（図 1－4）。例えば平成 16 年の記述では「関東・東海地域等では播種期の

作物統計の調査期間	小麦の 作付面積 (万ha)	湿害の 被害面積 (万ha)	湿害の年平均 被害面積率 (%)	湿害の記述がある年数		
				出芽期 (年)	生育中期 (年)	登熟期 (年)
昭和33～41年産	56.5	5.6	10.6	1	2	4
昭和42～52年産	18.2	4.0	24.1	4	5	4
昭和53～61年産	19.3	3.3	16.5	3	5	6
昭和62年～平成8年産	22.0	5.7	25.2	5	4	8
平成9年～18年産	19.3	4.7	23.9	7	1	3
昭和33年～平成18年産	26.5	4.6	20.2	20	17	25

米麦改良 2010年5月号より

例) 平成16年の記述では「関東東海地域等では、播種期の降雨により湿害等が発生した」と記録されている。

(図 1－4) 「作物統計」からみた小麦の湿害発生

降雨により湿害等が発生した」となっています。昭和 33 年から平成 18 年までの 49 年間の記録を、出芽期、生育中期及び登熟期の湿害に分けて拾い出してみますと、のべ年数で、出芽期の湿害が 20 年、生育中期が 17 年、登熟期が 25 年となり、湿害は小麦の生育時期にかかわらず、いつでも発生しているということがわかります。ただ、最近の 10 年で見ますと出芽期の湿害が多くなっているようです。近年、関東などで 11 月から 12 月によく大雨が降るようになったと感じることと関係しているのかもしれませんが。

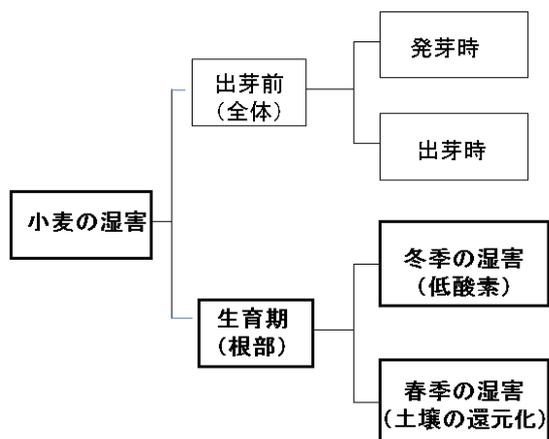
◇湿害の定義と症状

湿害は「土壌中の過剰水分に基づく土壌の空気不足に起因して作物が生育障害を起こす現象」と定義されています（図 1－5）。この湿害は出芽前の湿害と生育期の湿害に分けて考えることができ、出芽前の湿害は植物体全体が過湿の影響を受けます。これに対して生育期の湿害は根の部分だけが直接、過湿の影響を受けるという違いがあります。生育期の湿害は、冬季の湿害と春季の湿害に分けられます。冬は低酸素の害と考えられますし、春は土壌の還元化の害が主要なものと考えられます（図 1－6）。冬季は、土壌の酸素不足により根の呼吸作用が阻害され、根の伸長が停止して養分吸収が減退します。一方、春の地温が高い時には微生物の活動が活発となり、土壌の酸化還元電位が低下して土壌中に有害

な物質が生じます。その結果、根腐れ、壊死及び根の木化が起こり、最後は枯死するということとなります。

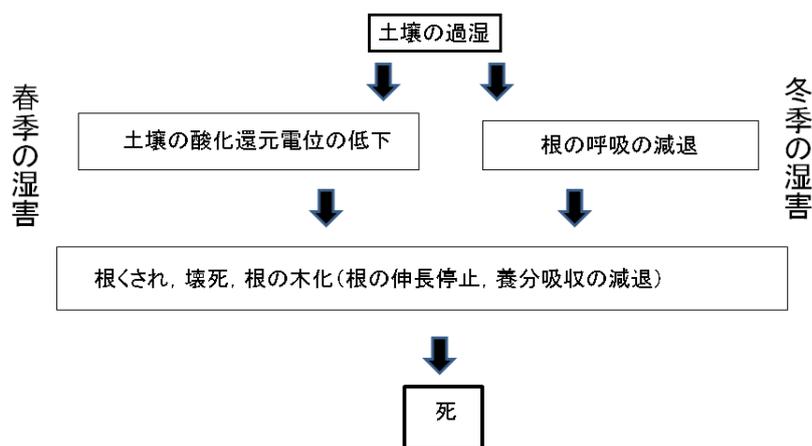
湿害の定義

土壤中の過剰水分にもとづく土壤の空気不足に起因して、作物が生育障害を起こす現象



(図1-5) 湿害の定義

春季の湿害と冬季の湿害



山崎 傳(1952) 農業技術研究所報告B1:1-92より改変

(図1-6) 春季の湿害と冬季の湿害

湿害の代表的な症状は苗立ちが悪くなることその他、草丈・茎数・葉色の低下があります(図1-7)。その後に収量の低下および子実タンパク質の含有率の低下が起こります。一

方、小麦や大麦で湿害と間違えられやすい症状に縞萎縮病があります。縞萎縮病に弱い品

湿害の症状

苗立ち
草丈
茎数
収量
蛋白



湿害の被害程度の順に並べた小麦農林61号

(図1-7) 湿害の症状 (小麦農林61号)

種は感染により葉が黄色くなり、強い品種は緑色を保ちます (図1-8)。もし縞萎縮病に弱い品種だけが一つの圃場で栽培されていたら、湿害と区別するのが難しくなります。また、肥料不足でも葉色の低下が起こり、湿害と似たような症状となりますので、外観症状だけで湿害とその他の被害を区別するには注意が必要です。

湿害に似た症状



湿害と見間違われることが多い縞萎縮病
(農研機構 作物研究所 縞萎縮病の検定圃場で撮影)

(図1-8)

◇湿害の被害の実態

実際に湿害が発生した様子を写真で示します。まず、大規模な圃場でくぼんだところに水たまりができ、その場所で小麦が出芽しなかったという例です（図1-9）。次に、春先

湿害の被害の実態

水たまりで湿害

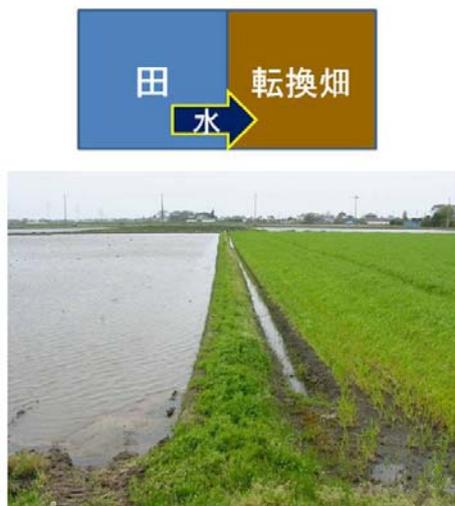


大規模圃場の凹部でみられた小麦の湿害

（図1-9）

に隣の水田から水が入ってきて小麦の生育の中期に湿害が起こったという例です（図1-10）。この場所はブロックローテーションの境目となっていて、隣接する水田からの漏水があることを予想し、畦畔に沿って明渠が掘られていましたが、それでも十分な効果があ

隣から水がしみこんで・



湛水田の隣りで見られた小麦の湿害

（図1-10）

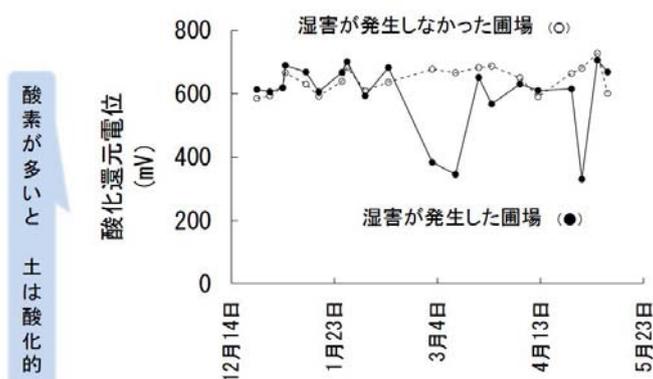
りませんでした。最後に、枕地に湿害が発生した圃場です（図1-11）。近年、農業機械が大型化して枕地は強く踏み固められることが多くなり、透水性が悪く、地盤も低くなり、枕地で湿害が発生することがより多くなっているように思います。



枕地で見られた小麦の湿害(気球から撮影)

(図1-11)

湿害の原因を探るために土壌の酸化還元電位と地下水位を測定した結果を示します。湿害が発生した圃場では一時的に酸化還元電位が低下していたことがわかりました（図1-12）。ただ、その値は+300 mV程度で、土壌が特に還元的になっていたわけではありませ

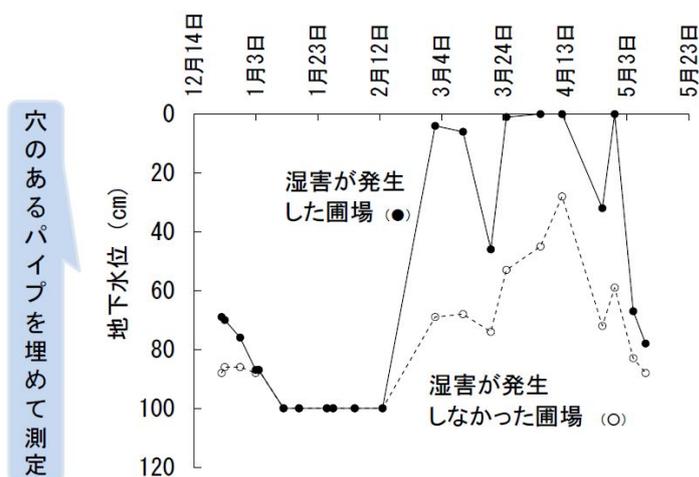


小麦を栽培した水田圃場における酸化還元電位の推移

(図1-12)

んでした。この+300 mVというのは、2価の鉄やマンガン、硫化水素などの有害物質が生成する条件よりも高い値ですので、ここで起こっていた湿害はいわゆる冬季の湿害だったということがいえます。次に地下水位を測定した結果を示します。湿害が発生した圃場で

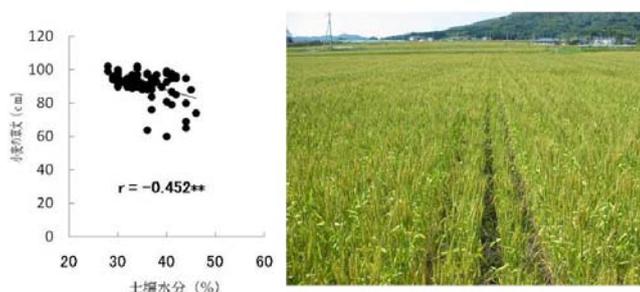
は地下水位が高くなることが多く、3月から5月までは地下水面が地表に近いところがありました。一方、湿害が発生しなかった圃場ではおおむね地下水面が-40 cmより低いということがわかりました（図1-13）。これは小麦の栽培においては地下水位を-50 cm以下にするべきだとよく言われることと一致しています。



小麦を栽培した水田における地下水位の推移

(図1-13)

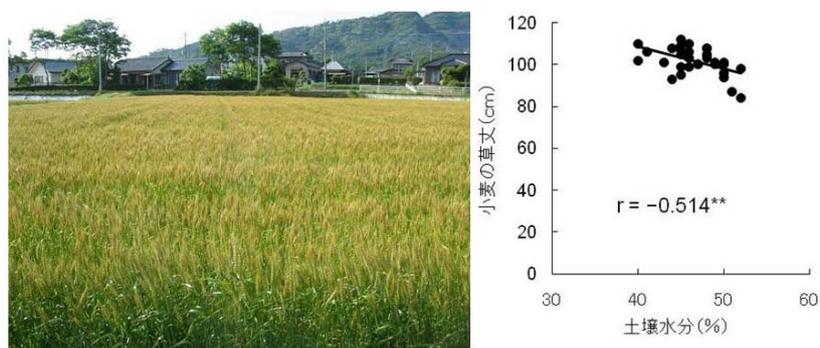
ところで、ある時、私は湿害の実態を調べようと思い、農家の方に頼んで湿害が発生した圃場と発生しなかった圃場を紹介していただきました。農家の方が「湿害が出た」といわれた圃場に行ってその中を歩き回り、TDR 土壌水分計（編集注：センサー部を土壤に差し込み、誘電率から土壌水分を簡易に推定する測定機器）を使って土壌水分を測り、小麦の草丈との関係を調べました。そうすると両者には有意な負の相関関係があり、土壌水分が高いところで小麦の草丈が低いことが確認されました（図1-14）。次にやはり農家の



「湿害が発生した」小麦圃場

(図1-14)

方が「湿害が出ていない」とした圃場に行って調べたところ、何と、同じような負の相関関係が見られたのです（図1-15）。このことから、農業の現場では、農家の方さえ気づかないような軽い湿害があり、それは、圃場の中の土壌水分の分布と草丈の関係を調べてみれば確認できることがわかりました。



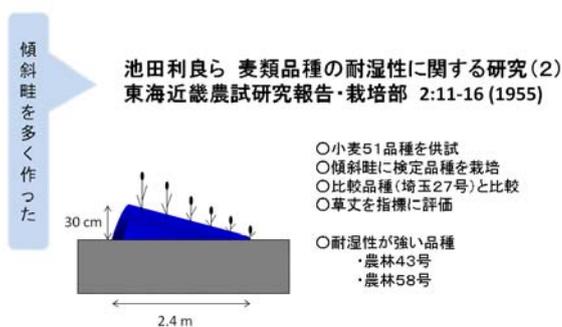
「湿害が発生しなかった」小麦圃場

(図1-15)

◇小麦の耐湿性の品種間差

ここまでご紹介したような湿害を克服するには品種改良が最も良い方法です。小麦に耐湿性の品種間差があるかどうかは、昔からよく調べられてきましたが、いまだにはっきりしていません。これまでに行われた耐湿性試験の中で最も信頼性が高いと思われる実験は、池田らが行った圃場検定です。かつて三重県にあった東海近畿農業試験場は、日本の湿害研究のメッカと言えるような場所でした。そこでは、圃場に傾斜するうねをたくさん作って、耐湿性を検定したい小麦品種と比較品種の埼玉27号を並べて植えて、水処理を行いました（図1-16）。うねの低いところに植えた個体は草丈が低くなりますので、この草丈

－耐湿性小麦の作出方向－



(図1-16) 圃場での耐湿性検定の例

の低下程度から各品種の耐湿性の程度を評価するという実験でした。この研究の結果、耐湿性が強い品種として選ばれたのが農林 43 号と農林 58 号でした。さて、他の多くの研究者たちも独自の方法で、小麦の耐湿性を調べています。農林登録番号の付いた品種で比較しますと、池田らの実験では、農林 43 号と農林 58 号の耐湿性が強いという結論でしたが、他の研究者たちの中には、この品種を強いと評価した人が誰もいませんでした（図 1-17）。私自身も同様の圃場実験をしたことがあります。耐湿性の強い品種として選んだのは農林 44 号という、また別の品種でした。このことは、品種比較試験はなかなか再現性が得にくいということを示しています。この表を紹介しますと、よく「実験が下手だったのではないか」というように受け取られます。しかし、たとえどんなに上手に検定をしたとしても、そこで耐湿性が強いと思った品種を農家に持って行って栽培したら、結局は今までの品種とほとんど変わらないという評価を受けると思います。

○ 農林登録品種の中で耐湿性が強いとして選定された品種

農林登録番号(1~75)	12	17	20	22	34	36	43	44	50	51	53	58	72
山崎(1952)									○		○		
中国農試(1951)													○
時政(1952)			○		○								
池田ら(1955)							○					○	
桐山ら(1956)						○							
竹上(1957)			○		○				○	○	○		
Suh(1971)		○	○	○									
佐藤(1990)	◎												
小柳(未発表)								◎					

品種が一致しない



注)上表は吉田(1977)のレビューからの引用
 注)下表は75品種を検定した結果、最も耐湿性が強いと判定された品種

(図 1-17)

私の耐湿性検定の失敗例を紹介します。隣接する 2 枚の圃場の左側を対照区、右側を湛水処理区として、冬季に 1~2 カ月にわたって水を入れ続けたのですが、小麦の生育は一向に悪くなりませんでした（図 1-18）。圃場を管理する職員の人たちも、これは本当に湿害に弱いと言われる小麦かというほど目を疑ったような状態でした。このような経験は実は一回だけでなく何度もあります。東北農業研究センターで試験した際にも、対照区よりも過湿区での乾物重が大きくなってしまいました（図 1-19）。これらは、湿害を出そうとしたにもかかわらず湿害が出ずに失敗した例ですが、他にも実験の結果に再現性がないことをよく経験しました。その原因は、検定した圃場に凸凹があり、同じ品種でも高いところに植えられた個体は生育が良くなるとか、あるいはポット試験をした時にポット間での条件、例えば酸素濃度や土壌の酸化還元電位などがそろわなかったと、そのような

理由で信頼性の高い品種検定をすることができなかったと考えています。



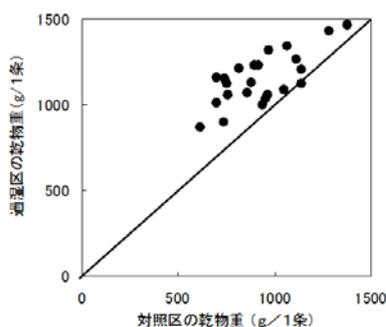
対照区の小麦

湛水区の小麦

(図1-18) 対照区と湛水区の小麦の生育状況

a) 湿害が出ない

耐湿性の検定は難しい



b) 実験の再現性がない

- ・ 圃場の凹凸の影響
- ・ 微生物の影響

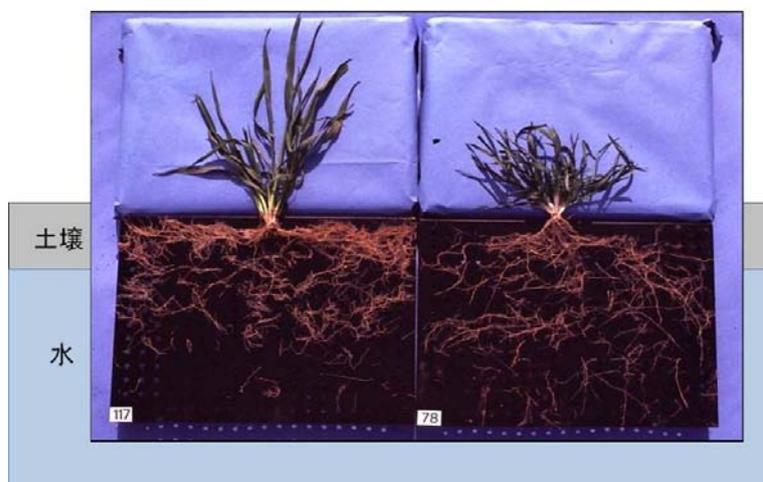
(図1-19) 耐湿性検定の困難性

◇耐湿性小麦の作出方向

最後に、耐湿性小麦の作出方向について考えてみます。小麦の耐湿性の品種間差を検定する上では、実験環境を安定的に設定することが難しいことが分かったので、小麦の根の個々の形質に着目して品種改良を進めなくてはいけないと考えるようになりました。まず、根の生長の深さの違いを利用して耐湿性系統を作出することを考えました。根が浅い品種は、比較的土壌中の酸素濃度が高いと思われる地表付近に根を多く張ることから、地下水位が上昇した時にもダメージが少ないのではないかと考えたのです。小麦の根の深さには明瞭な品種間差があり(図1-20)、北日本の品種は根が深く、関東以西の品種は根が浅い傾向にあります。そこで、実際に浅根性の系統を作り、耐湿性を調べてみました。その結果、確かに浅根化によって多少は耐湿性が強くなる効果はありましたが、実用に適する

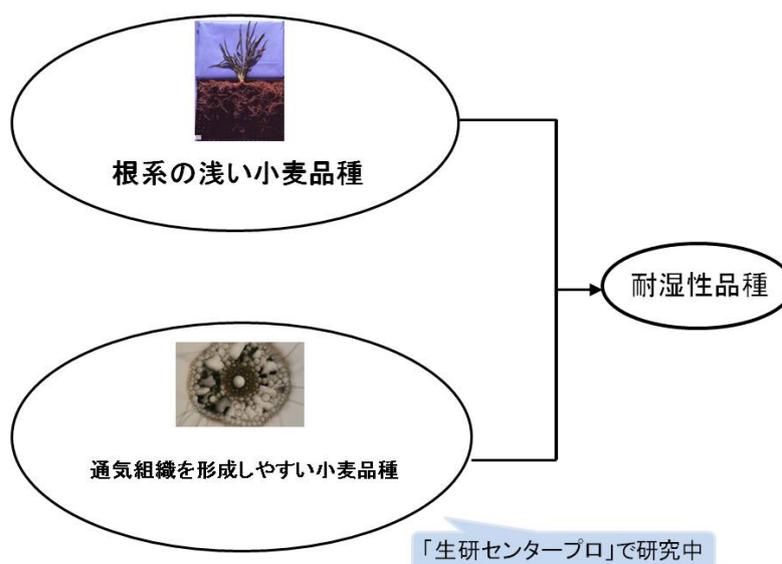
ほどまで十分に強い系統を作ることはできませんでした。根の深さの品種間差異は、耐湿性の違いを生じるほどには必ずしも大きくないためではないかと考えられます。

根系の浅い品種と深い品種



(図 1 - 2 0) 根系の浅い品種 (左) と深い品種 (右)

そこで、今、私たちは根に通気組織を形成しやすい小麦系統を作ることを目指しています。この取り組みの内容については、講演 5 と 6 の発表に譲りますが、私の考えとしては根の浅いことも大事だとは思いますが、通気組織をつくらせることも大事だと思いますので、そのような耐湿性に関わる根の幾つかの形質を組み合わせて最終的に本当に耐湿性が強い品種をつくりたいと思っています (図 1 - 2 1)。



(図 1 - 2 1) 耐湿性品種を作出するための取り組み

これで私の話は終わりです。ご静聴ありがとうございました。

[質疑応答]

川口 大変ゆっくりわかりやすく発表していただいたと思います。印象に残ったのは湿害の発生している圃場についての説明です。これは次の講演者の田中さんの、このように対策するとその結果こうなるという湿害対策のお話と関係するのではと感じて聞いておりました。また、耐湿性育種という点についてのお話がありました。これは第2部の講演とかわかってくると思います。作物ごとに耐湿性育種の戦略があり、作物別に耐湿性に関わる形質の議論ができるではと思いました。講演後の時間は個別の質問ということで、現場での湿害について、その発生メカニズムについて等々、ご質問を受けたいと思います。

◇耐湿性試験の方法について

中野（農研機構） 品種間で耐湿性を比較された研究のご紹介がありました。研究者によって耐湿性が強いとする品種が異なってしまうということでしたが、それぞれの実験で用いた土の種類が違っていたのではないかとというのが気になる点です。用いた土はどうだったのかを教えてくださいませんか。

小柳 供試土壌は、それぞれの実験で違っていたと思いますし、検定結果に影響を与えた可能性はあると思います。ただ、同じ土を使って実験を2回やっても、品種の相対的な強弱関係は、なかなか一致しません。「それは温度が違ったからだろう」という方がおられるので、温度がコントロールできるグロースキャビネットで実験したのですが、それでも結果は合いませんでした。次には「自然光型のグロースキャビネットだったから日長が違ったのだろう」ということになり、際限がありません。

これに関連して、海外の研究を見てもみると、大変にレンジの広い土壌で仕事をしていますので、土壌の違いを強く意識しています（編集注：オーストラリアではpH 4程度、インドではpH 9程度の土壌が分布しており、鉄、マンガン及びアルミニウムなどの過剰害が問題となっている圃場がある。このため、金属元素の過剰害に対する耐性など、土壌特性への適応形質に着目した耐湿性育種が必要であるとされる）。ただ、日本では近年、水田の土壌の物理化学性は著しく改善されているため、海外の場合ほど土壌の違いを考えなくてもいいのではないかと思います。

川口 今のお話は、耐湿性の検定法における難しさ、注意点に関する質疑でした。土壌の種類だけでなく、湿害の要因は非常にたくさんあると考えると、実験ではその全ての条件をいつも均一に設定するのが難しいという一面もあるのでしょうか。

小柳 それは間違いなくそうだと思います。

川口 関連で質問がございましたら受けたいと思います。

小田（作物研究所） 検定法についての質問です。これまでの試験の結果は、生育段階の進んだ植物体を使っての耐湿性評価でしょうか。育種の立場からいいますと、生育の初

期段階で耐湿性が評価できれば、効率的な選抜ができると考えます。幼苗で耐湿性検定をした時に、現場で栽培した時の耐湿性の強度と一致するののかという情報があったら教えてください。

小柳 先ほど示した表の中に幼苗検定のものがあります。これは岡山大学の武田和義先生の実験の方法を、当時、中国農試の佐藤淳一さんが見習って大規模に行ったスクリーニングです。その結果がやはり、他の研究者の圃場試験などの結果と合わないということです。このことから、耐湿性の幼苗検定は可能ですが、その結果を現場で再現することは難しいのではないかと思います。

◇現場での湿害の発生状況について

Q: 冒頭の空撮の写真では、川に隣接している圃場で湿害がかなり出ているように見えました。一方、同じように川に隣接している圃場でも湿害が出ていないところもあり、湿害の発生様相として非常に不規則な感じがあったと思います。また、一筆の圃場の中の周辺部分のところが湿害を受けているという写真がありました。転換畑での麦栽培ですと額縁状に明渠なりを施工される例が多いと思います。このように、川に隣接した場所や明渠付近という排水強度の強いところで湿害が出ている場合には、例えば別の要因、土壌の下層の物理性や機械作業の履歴等にも原因があるのではないかというお話について、もう少し詳しくご説明いただけませんか。

小柳 全くそのとおりです。あの川は、以前、蛇行していたものを直線状に改修した経緯があります。川沿いの圃場には、昔、川の底だったところもあります。この点について、国土地理院に行って昔の地図と合わせてみたことがあります。はっきりしたことは言えませんが、やはり川を真っすぐにする過程で土を入れたあるいは削ったという圃場造成の履歴が、現在の湿害の発生の違いにあらわれているのではないかと思います（編集注：（図1-11）の圃場には播種前に額縁状の明渠は作られていなかった。このことも枕地で湿害が発生した一因であった）。

川口 湿害は圃場間、または圃場内でも均一に症状が出るわけではなく、地域、場所、一筆の中でも土壌環境が違い、これに伴って湿害の発生も不均一になるように思います。学術的には、それを平均値で数値として出さなければいけないところに難しさみたいなところがあるのでしょうか。

小柳 はい。湿害は平均値ではなかなか語れないといいますか、湿害には平均値や反復という考え方がなかなか使いにくい研究テーマのように感じています（編集注：編集注：講演4の講師である島村氏は、作物の湿害について次のように例えている。「人間で言えば風邪のようなもので、原因も症状も様々である」。とすれば、ここに疫学で用いられるような研究手法を研究に用いることも考えられる）。

◇耐湿性検定圃場の状態について

Q: 大変わかりやすいすばらしい発表だったと思います。耐湿性検定の試験例として、湛水処理をしたが小麦は枯れなかったというお話がありました。私は現場での経験が長く、畑作物を特に見っていますが、トマトなどでは水が多く出る場所でも湿害が見られない場合があります。よく見てみると、湛水状態になるところでは湿害は出るけれども、水が流れて動いているところでは湿害は出ないという傾向がありました。これは水耕栽培のような条件になっているのだと思います。先ほどの圃場の排水性について、土の中に水が停滞していて流れていなかったのか、あるいは流れていたのか、その状況をお聞かせください。

小柳 水は流れていました。耐湿性の検定をする時には、まず出芽を良好にしたいので、排水のよい状態にして播種しています。その後、生育が進んでから湛水処理を行い、例えば地上5 cmなどを目標に水位コントロールするのですが、水はどんどん抜けていきました。このため、湛水処理期間中は、常に水を入れ続けるという状態になっていました。おっしゃることはそのとおりです（編集注：この実験の後、圃場の透水性が悪い条件で耐湿性検定を行うため、代かきをしてから排水して小麦を播種しているが、その分、良好な出芽を得るのが難しくなっている）。

川口 土壤水分が高いほど草丈が低いという傾向のグラフがありました。例えば圃場では土壤水分を測ることは簡便にできるから今はその数値を使っているけれど、本当は湿害には水の多少とは別の要因もかかわっているというふうに考えたらいいのでしょうか。

小柳 別な要因もかかわっていますが、TDRの水分計を持って圃場内を歩けば、土壤水分は簡単に測れますので、まず水分を測る。そして生育不良を湿害と確定する。それが最初だと思います。

川口 ありがとうございます。時間になりましたので最初の講演はここで終わらせていただきたいと思います。