

作物における倒伏と根

農業研究センター
稲栽培生理研究室
寺島 一 男

根を研究対象としている研究者の主たる関心は、養水分の吸収、アミノ酸や蛋白等の代謝および再転流、あるいは各種植物ホルモンの生成等の機能面にあるといっても否定されないであろう。最近では、乾燥条件のいわばセンサー的な役割を果たす根といった問題が新たに話題となってきた。これにもホルモン生成代謝が関連しているのだろうが、根から地上部にいち早くシグナルが送られるという仮説は魅力的に聞こえる。このような生理的機能に比べて地上部を支えるという物理的な根の働きはいかにも地味で、重要であるとは認識されても植物生理学の研究の対象とはなりにくいかもしれない。しかし、作物研究分野の場合、倒伏は育種上あるいは栽培上重要な問題であり（実際のところ、耐倒伏性品種の育成や倒伏の栽培的回避が研究目標の相当部分を占めてきたといって過言ではない。）、地上部を支える根が倒伏の防止や軽減に関与するのであるならば、その定量的把握と解析は取り組む必要のある課題となり得る。

一般に倒伏は2つないし3つのタイプに分けられる。一つは茎の部分が折れて倒れる挫折型倒伏と呼ばれるものであり、もう一つはころび型倒伏で、茎には損傷がなく地際から倒れこむものをいう。稲ではこれ以外になびき型倒伏がもう一つのタイプとしてあげられている。挫折型倒伏は他の倒伏に比べて被害が大きいと予想されることからこれまでに多くの研究が行われてきた。ここで参考文献を列挙するのがはばかられるほどの研究実績がある。これに比較するところび型倒伏については研究例が著しく少ないといえる。Root Lodging の名の通りころび型倒伏には根の支持力の強弱が関連しているため、労力と時間のかかる根の調査を必要とすることがその一因かもしれない。しかし、ころび型倒伏も発生の時期や程度によっては挫折倒伏と同様に減収をもたらすのみならず、品質を著しく低下させる。したがって作物生産の安定化を図る上で、根の地上部を支持する力とその機構に関する研究のもつ意義は小さくないと言えよう。

1. 地上部支持力の測定手法と耐倒伏性の評価

では、いったいどの程度のかで根は地上部を支えているのか。これにはいくつかの測定手法が考案されているが、畑作物、とくにトウモロコシでは引き抜き抵抗 (Vertical pulling resistance) がよく利用されている。これは作物体にばねばかりを固定し、上方へまっすぐ引っ張りあげた時の最大抵抗力を測定するものである。Penny L. H. (1981) はトウモロコシの自殖系統間で引き抜き抵抗を比較し、品種間で有意な抵抗力の違いがあることを認めるとともに、このような遺伝的変異が環境変動に対しても安定していることを明らかにした。例えば抵抗力の弱い自殖系統は80kg程度の引き抜き抵抗値を示すのに対し、強い系統では170kg程度の値を示した。また、これらと他系統との交配一代の引き抜き抵抗は、抵抗値の低い自殖系統を親にしたものが110kg、高い系統を親にしたものは170kg程度であった。Kevern and Hallauer (1983) はトウモロコシの開花後における引き抜き抵抗を品種間で測定比較し、試験年次によって多少異なるがこれが100から200kgに及ぶことを明らかにした。さらに、トウモロコシの引き抜き抵抗の遺伝力の調査の結果は、育種の改良が十分に見込める程度に遺伝力が高い値となることを示している (Kevern and Hallauer 1983, Dourlejin et al. 1988)。ただしこの抵抗値は当然ながら測定を行うステージによって変動する。Arihira and Crosbie (1982) はトウモロコシの引き抜き抵抗

を幼苗期と成熟期との間で比較し、両者の間の相関係数が低く幼苗検定には限界があるとしている。引き抜き抵抗が他作物に利用された例は多くないが、稲の場合、O' Toole and Soemartono (1981) が耐干性を評価する目的で播種後3週から6週目にかけて毎週引き抜き抵抗を計測した例がある。この場合も品種間で有意な差が認められている。

引き抜き抵抗値と実際の耐倒伏性（以下耐ころび型倒伏性を耐倒伏性と略す。）との関係については研究者間で結果がやや異なる。例えばKevern and Hallauer (1983) は両者の間に密接な関連があるとしているのに対し、Dourlejin et al. (1988) はその関係はあまり明確でないと報告している。これは倒伏に対しては根の支持力だけでなく地上部の重量や高さも関係するためであろう。例えば、石毛ら (1983) はトウモロコシについて根の引き抜き抵抗、地上部の生体重および重心位置の3形質を変数とする判別関数値の遺伝特性を検討し、これが耐倒伏性の評価と選抜に有効であることを明らかにしている。挫折倒伏の場合、茎の挫折強度に対する地上部モーメント（測定位置より上部の重さと高さの積）との比率を倒伏指数（瀬古1962）として耐挫折型倒伏性の指標に用いているが、ころび型倒伏の場合も同様で、常に地上部生育量に比較して検討しなければ実際の耐倒伏性の評価につながりにくい。

このような引き抜き抵抗以外にもいくつかの測定方法が考案されている。芳賀ら (1977) は稲株が完全に倒伏するまでに必要な穂首荷重量に基づくモーメントと稲株自重によるモーメントとの和から株支持力を推定する方法を考案し、品種間比較を行った。しかし、この場合芳賀ら (1977) も指摘しているように稈の質が測定値に影響を及ぼす恐れがある。

一方作物体を横方向に押すか引っ張るかして倒した際の作物体の抵抗力を測定する手法が櫛引 (1979)、松尾ら (1986) により開発されている。櫛引 (1979) はトウモロコシについて雄穂の首部をつかんで弧を描くように地表に向けて引き倒し、地表近くで離してこの過程およびその後の復元状態をいくつかのパターンに区分することにより耐倒伏性を評価する引き倒し法を用いている。松尾ら (1986) の手法はバネに接続した器具を稲株基部を押し、ある角度まで倒した際に得られる株の応力（押し倒し抵抗）を測定する方法である。この手法の場合、株の比較的基部側で測定を行うために稈質の影響を受けにくく、測定も引き抜き抵抗に比べて容易である。とくに松尾ら (1986) により開発された倒伏試験器は取扱やすく、測定が迅速に行える。また、倒伏が横からの風等によって作物が押し倒される現象であることを考えると、純粹に根の支持力をもとめる場合には引き抜き抵抗が良いかもしれないが、耐倒伏性との関係ではこれらの押し倒し抵抗やひき倒し抵抗の方が実際の耐倒伏性により近い値を示すといえる。寺島ら (1992) は松尾ら (1986) の方法を用いて押し倒し抵抗を水稻の多数品種間で比較している。これによると例えば m^2 当り22.2株 (30cm×15cm) の間隔で栽培された稲では、弱い品種で株当り0.5kg、強い品種では同2kg程度となった。また、地上部の高さ（稈長）をほぼ同じにする品種間では押し倒し抵抗値と実際のころび型倒伏の程度との間には密接な相関関係があることが認められている（寺島ら1992）。以上のように引き抜き抵抗や押し倒し抵抗等測定方法は各研究者により異なるが、これらで測定された根による地上部支持力には品種間に有意な差異が存在し、これと地上部生育量のバランスに応じて品種の耐倒伏性の強弱が定まっていると言える。

2. 根の諸特性と地上部支持力

1) 根の太さおよび数

このような根の株の支持力にはいかなる形質が関わっているのであろうか。まず根の形態特性については、畑作物の場合、Hall (1934) がトウモロコシについて冠根数や冠根の太さと耐倒伏

性との関係を検討しているが、両者の間には有意な関係はなかったとしている。しかし、Beck (1988) は冠根の太さと関連する根の切れにくさがトウモロコシの耐倒伏性に関与していることを明らかにした。麦類ではHarrington and Waywell (1950) が冠根の数と耐倒伏性との間に関連のあることを認めている。一方、小柳ら (1988) は冠根の太さと冠根数の積との積と耐倒伏性との間に有意な相関関係を示した。稲ではMiyasaka (1969, 1970) が冠根の切れにくさとの関連から冠根の太さが耐倒伏性に関与するとしている。芳賀ら (1977)、滝田・櫛淵 (1983) も耐倒伏性の強い品種で根が太い傾向にあることを指摘した。しかし、寺島ら (1994) は、冠根の断面積と数の積値にあたる株全体での冠根の断面積が耐倒伏性と明瞭な関係を示さないことから、水稻における冠根の太さと耐倒伏性との相関関係は冠根の切れにくさではなく冠根の太さと根の各土層中の分布との関係 (寺島ら1986) に基づくと述べている。滝田・櫛淵 (1983) も、根の太い品種で根の伸長の角度がより株直下方向となる傾向を指摘している。一方、稲の場合に冠根の数と押し倒し抵抗との間には有意な相関関係は得られていない (寺島ら1994)。このように冠根の太さや数と耐倒伏性との関係については作物間、あるいは研究者間で一致していない点があり、十分な解明をみていない。

2) 根量

次に根の量との関係についてであるが、Hall (1934) はトウモロコシにおける耐倒伏性と根の発育特性を詳細に調査し、耐倒伏性の強い自殖系統やそれらの交配一代は根の量が多いことを明らかにしている。伊達ら (1986)、Beckら (1988) も耐倒伏性トウモロコシ品種で根が多いことを報告している。麦類の場合は、Harrington and Waywell (1950) が小麦と大麦について比較し、根重との関係は不明確であるとしている。ただしこの場合、小麦で3品種、大麦は4品種と少ない供試品種での比較に基づいた結果であった。一方Hamilton (1951) はオート麦8品種を比較し、耐倒伏性品種で根量の多いことを指摘した。稲では寺島ら (1994) が、耐ころび型倒伏性の弱い日本品種とこれの強いアメリカ品種および半矮性インド型で穂重型の品種との間で根を含む乾物生産を比較している。その結果、直播条件で育成栽培されてきたアメリカ合衆国の水稻品種では日本品種より高い根への乾物分配比率により、また、半矮性インド型では日本品種に比較した全体の乾物生産量の増大に伴っていずれも根重が多くなることを明らかにした。このように根の多いことが耐倒伏性に寄与していることはどの作物についてもほぼあてはまるように思われる。

3) 根の分布特性

一方、根の各土層への分布様式も耐倒伏性に影響を及ぼすことが指摘されている。トウモロコシの場合は広く横方向に発達する根の形状を有する品種で耐倒伏性が強い (Hall 1934)。Pinthus (1967) も耐倒伏性の強い小麦品種は弱い品種より冠根の伸長角度がより広い、すなわち、比較的浅い層にも多くの根を分布させる特性を有すると述べている。稲の場合は山田・大久保 (1977) は畑水稻の耐倒伏性と根の特性について調査し、畑作物同様、根の伸長角度が大きく株の横方向にも根を発育させる品種が耐倒伏性に優れると報告している。一方芳賀ら (1977) は、根系と耐倒伏性の間には関連がみられ、倒伏に到るまでの穂首への荷重量から推定された支持力と土壌の深い位置における根の量との間に相関関係のあることを指摘した。滝田・櫛淵 (1984) は根の伸長角度がより小さい品種、すなわちより株直下の方向へ冠根を伸長させる品種で耐ころび型倒伏性にまさることを明らかにしている。寺島ら (1994) も株の横方向の浅い層より株直下方向で作土深部や心土層により根を多く分布させる品種において押し倒し抵抗値が高いとしている。このように稲ではいかなる根の分布特性が耐倒伏性と関連するかは畑条件の場合と水田条件の場合とで異なるようである。すなわち、耐倒伏性に有利な根の分布特性が、畑作物や畑地で栽

培される稲では浅い層にも分布する開張角の広い根系であるのに対し、水田の稲ではむしろ開張角がせまくいわば直根型の品種がより強い地上部支持力を示すと考えられる。しかし、このような水田と畑との違いの原因については十分に解明されていない。

以上作物の耐倒伏性に関わる根の地上部支持力について簡単に述べてきた。根の物理的な支持力といえども、これに関わる形質は作物の種類や栽培される条件によって異なるとみられ単純ではない。各作物の形態特性や栽培条件等生態的要因が深く関与している。さらに、稲の日本品種とアメリカ品種との比較においてみられたように根への物質分配が耐倒伏性の強弱を左右しているのであるならば、その機構の解明には地上部を含めた物質分配の生理的解析を必要とするであろう。つまるところは耐干性や養分吸収の問題と同様、地上部と根の相互関連やこれに対する環境条件の影響といった総合的な視点が要求されているのである。

引用文献

- Arihira, J. and T. M. Crosbie 1982. *Crop Sci.* 22:1197-1202.
- Beck, D. L., L. L. Darrah and M. S. Zuber 1988. *Crop Sci.* 28:571-573.
- 伊達 毅・渡辺清武・由川利美・岡崎勉・宗石忠信・大矢秀三 1986. 福井県畜試研報 10:55-62.
- Dourleijin, C. J., A. P. M. den Nijs and O. Dolstra 1988. *Euphytica Suppl.* : 69-75.
- 芳賀光司・香村敏郎・高松美智則・朱宮昭男・釈一郎 1977. 愛知農総試研報 A9:13-23.
- Hall, D. M. 1934. *Minnesota tech. Bull.* 103:5-31.
- Hamilton, D. G. 1951. *Scientific Agric.* 31:286-315.
- Harrington, J. B. and C. G. Waywell 1950. *Scientific Agric.* 30:51-60.
- 石毛光雄・山田 実・志賀敏夫 1983. 農技研報 D35:125-152.
- Kevern, T. C. and Arnel R. Hallauer 1983. *Crop Sci.* 23:357-363.
- 櫛引英男 1979. 北海道立農試集報 42:21-27.
- 松尾喜義・小松良行・上村幸正 1986. 農業技術 41:223-225.
- Miyasaka, A. 1969. *Proc. crop Sci. Soc. Japan.* 38:321-326.
- Miyasaka, A. 1970. *Proc. crop Sci. Soc. Japan.* 39:7-14.
- O'Toole, J. C. and Soemartono 1981. *Euphytica* 30:283-290.
- 小柳敦史・佐藤暁子・江口久夫 1988. NARC. 研究速報 5:13-17.
- Penny, L. H. 1981. *Crop Sci.* 21:237-240.
- Pinthus, M. J. 1967. *Crop Sci.* 7:107-110.
- 瀬古秀生 1962. 九農試集報 7:419-499.
- 滝田 正・櫛渕欽也 1983. 農研センター研報 1:1-8.
- 寺島一男・秋田重誠・酒井長雄 1992. 日作紀 61:380-387.
- 寺島一男・尾形武文・秋田重誠 1994. 日作紀 63:34-41.
- 寺島一男・平岡博幸・西山岩男 1986. 日作紀 55 (別2):233-234.
- 山田 盾・大久保隆弘 1977. 農事試研報 26:1-60.

Root characteristics relating to lodging in crops.

Kazuo TERASHIMA, National Agriculture Research Center.