

研究情報

アメリカ合衆国の稲作から学んだもの

—根系調査を主体にして—

岩 田 忠 寿

(福井県農業試験場)

はじめに

福井県では、昭和 55 年と昭和 58 年の不作年〔作況指数=92〕は豊作年と異なり梅雨期間が著しい日照不足、低温であった。この気象条件により稲の生育は、地上部は軟弱徒長で過繁茂となる。逆に、地下部（根）の生育は抑制され、両者間のバランスが崩れる⁵⁾。さらに、省力化によって作土が浅く、土層が硬くなり、根の伸長が抑制されてた⁶⁾ ことなども重なって、大巾な不作の原因⁵⁾ になると推定した。このため溝切り、早期中干し、晩期追肥、深耕等きめ細かな生育抑制技術が開発された。

これに対し、日本のように稲の生育最盛期の梅雨期がないとはいえ細かい生育制御の不可能な大型機械を駆使した大規模経営による低コスト化・収量増加を実現しているアメリカの稲作技術を、主に根の伸長性に着目して検討した。昭和 59 年 9 月 17 日から約 1 カ月間、表 1 の日程で、各地の根をモノリスでサンプリングした。

当時はバイオテクノロジー、ハイブリッドライス等のアメリカの技術革新を伝える新語がマスコミに登場したばかりで、アメリカ稲作の実態に関する情報はきわめて少なかった。このため現地では予想をはるかに越えた規模格差の大きさ、稲作に対する考え方の違いにとまどいながらアメリカの大地をかけ回った。生産現場に近い県の研究者の見たアメリカ稲作の一端を紹介し、ご批判をいただきたい。

1. アメリカ稲の根の伸長性について

1) 南部の根と土壌断面の特徴

アーカンソー大学稲分場はアメリカ最大の稲作地帯アーカンソー州の州都リトルロックから約 2 時間のシュタットガルトという田舎町にある（人口 1 万人）。飛行場から緑色をした大豆畑と収穫期が近づき、黄金色をした水田が碁盤の目のようにきれいに仕分けされていて、輪作体系の様子がよく理解できた（写真 1）。100 ha ほどの大区画の水田は等高線状にカーブした畦畔によって約 2～15 ha に小さく区切られている。水田のところどころに、数アール程度の倒伏した部分が点のように見えた。

迎えてくれた Dr.Bobby Wells 教授に私は「根は深く伸びるほど良いと考えている。しかし、日本では省力化を進めるあまり作土層が浅く下層土が硬くなって、根の伸びが悪くなり大凶作となった。そこで、大型機械による省力化が進んでいるアメリカの稲の根の状態を知りたい」と根の調査の目的を伝えた。すると教授は君の考え方は逆だ、「根は表層に多く張っている方が肥料の吸収が良いはずだ」と発想が全く逆の予想もしない返答だった。その後、教授も一緒に根のサンプリングをし、水道水で洗うと写真 2 のような褐色の活力に富んだ根が現れみんなが非常に感激した。

さらに南部各地のいずれの地点でも同様な太く、褐色で、活力に富み根ぐされの症状が全くみられない健全な根が直下深く伸びていた。また、土壌の断面は南部の各地とも写真 2 のように作土は非常に深

表 1 視察スケジュール (1989)

月・日	目的	視察先 (所在地)
9.17～ 10.9	南部地帯の稲作 農家と民間育種	アーカソン大学稲分場 (リトルロック), ミシシッピ大学デルタ分場 (ストーンビル), ルイジアナ大学稲作試験場 (クローリー), テキサス A&M 大学農業試験場 (ボーモント), テキサス A&M 大学 (イーグルレーク), 大型農家 (アルビン)
10.10～ 10.15	カリフォルニアの稲作 稲育種と普及体制	カリフォルニア大学農学部 (デービス) カリフォルニア稲試験場 (ビックス)



写真 1. アーカンソー州の輪作風景。

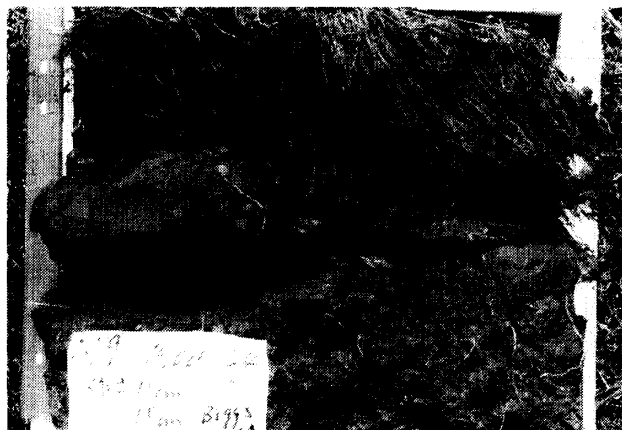


写真 3. カリフォルニア州での根の状況。
(ビッグス, M-9)



写真 2. アーカンソー州での根の状況。
(シュタットガルト, スターボネット)

い。日本の水田土壌にみられる土壌断面の層別の違いはない。しかし土壌硬度が 13~15 cm と 20~25 cm のところで大きく違い、下部ほど明らかに硬い。日本では直下根が伸びにくいとされる硬度以上⁸⁾ (山中式硬度計の読み 15 以上) にもかかわらず直下方向に伸びていた。また、いずれの調査地点でもグライ層の発達がみられなかった。

2) カリフォルニアの根と土壌断面図の特徴(写真 3)

カリフォルニアの稲作地帯は、水稻単作が続いている。土壌の断面は約 5 cm, 13 cm, 20 cm のところに断層ができていて硬度が明確に違い下層ほど硬く、耕盤が形成されていた。断層は、ディスクハロー等で数回耕耘、碎土が繰り返す際に形成されるものと推定され、輪作体系が主体の南部と異なる点であろう。硬土は南部以上に硬く、持ち込んだモノリスが壊れてしまった。

根は直下方向に伸びている南部に比べ、やや表層(第一層)に多く耕耘の度に形成されたと推定される断層のところで横方向に伸びる特徴がみられるが、全体に下層まで多くの根が観察された。

このように、耕耘整地法による土壌構造の違いが根の分布状態の違いに影響を及ぼしている。さらに日本では決して見られない健全な根が地下深く伸長している様子が観察できた。

3) アメリカ稲と日本稲の根の比較

テキサス A&M 大学の Tunner 教授が日本稲とアメリカ稲が畑状態と水田に生育している両方の根を比較して見せてくれた。畑状態での根ぐされは両品種とも水田に比べ少ない。また、日本稲はアメリカ稲に比べ両条件ともに根ぐされに弱かった。

帰国後、東大田無農場の松崎先生をお願いをして、日本稲(コシヒカリ)とアメリカ稲(NATO)が同じ条件で栽培されている圃場から採集した根が写真 4 である。この写真によるとコシヒカリは根数は多いが、細く横に広がりやすい。また、根ぐされが多い。これに対し、アメリカの稲(NATO)は直下方向に伸びやすいことが明確であり、アメリカで見られた状態と同じ傾向が認められた。これは土壌の構造以上に品種特性の影響が強いことを示している。

日本の稲は、多収を得るため多肥によって旺盛な生育を促し、品種選抜を続けた結果、根は浅く施肥に敏感で生育制御しやすい品種に育てられてきた。また根ぐされに弱い欠陥をきめ細かい肥培管理技術によってカバーしてきた。この点は、Bobby Wells 教授の「根は浅い方が肥料の吸収効率が良いはずだ」との指摘を、日本では永年続けてきた結果が既に品種特性としてあらわれている。

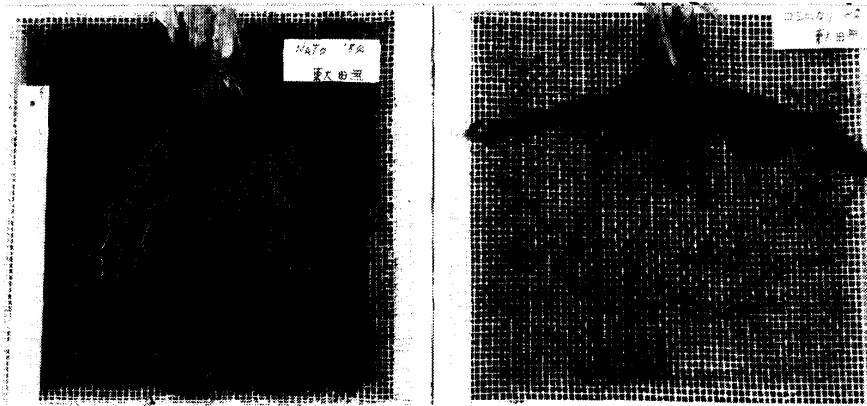


写真 4. NATO (左) とコシヒカリ (右) の根の伸長状況。
(東大・田無農場)

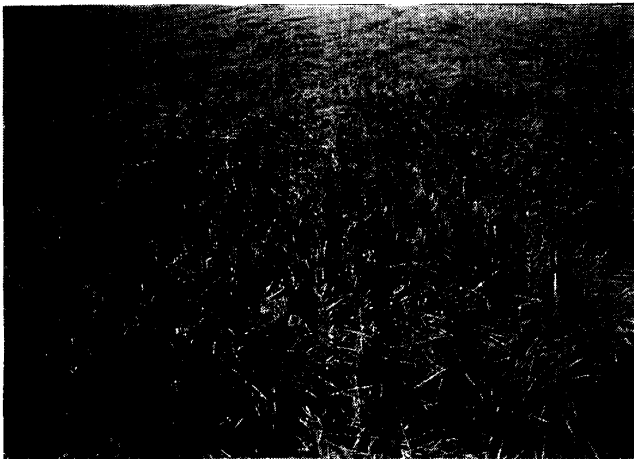


写真 5. 飛行機による散播であるがスジ播の如く見える。
(カリフォルニア州, ビックス)

一方、アメリカは大規模経営のため細かい肥培管理ができないので、根が深く伸長して肥沃な土壤の養分を吸収し、粗放な栽培にもよく耐えられる。さらに、大型機械でしめつけられた土壤条件でも直下方向に根が伸長する力のある品種が選ばれ、あるいは育てあげられていると推察した。秋田¹⁾は、アメリカ合衆国の品種はアジアの品種に比べ生育の初期に根の形成に多くのエネルギーが使われ、収量性を犠牲にしてでも厳しい自然環境への耐性を有しているとしている。また、川田ら³⁾は収量形成に根群の発達的重要性を指摘し、乾田化、下層土の構造変化など冠根形成の生育環境の改善をあげているが、アメリカの土壤構造がその改善方向を示唆していた。

2. 直播の作業体系

1) 播種準備のための作業体系

アメリカの播種作業体系⁶⁾は次のとおりで、10 a 当たり労働時間は約 3~5 時間と日本の 1/5~1/8 程度であろう。

稲の収穫の後、稲ワラを燃やす、あるいはローラで踏みつぶす。次に、レーザー光線利用の均平を行う。その後、プラウまたはデスクハロー等での耕耘を数回繰り返し碎土する。

碎土が進んだところで、カリフォルニアではティースハローによって波状の“スジ”をつけて溝を作り、湛水して飛行機で播種する。

播種された粳は、先につけられている溝に入り込んで、飛行機で播いたにもかかわらず、苗立後はきれいに“スジ”状に見える。稲の刈取株(写真 5)がこの状態を示している。“スジ”をつけて湛水し播種するのは、水温の低いカリフォルニアでは保温による発芽率の向上及び、初期生育の促進と自然に覆土されるため大区画圃場で種子が移動しないなど一挙兩得の工夫された播種法である。

南部では赤米の防除が困難なため、トウモロコシや大豆、棉等と稲との輪作体系である。耕耘はプラウ耕などで深く耕耘され、耕耘整地など播種準備作業はカリフォルニアと大きな違いはない。播種は、トラクタにドリルシーダーを装着して行われる場合が多い。また、南部はカリフォルニアよりも高温のため、初期生育の促進は必要ではない。従って、カリフォルニアでは湛水直播、南部では乾田直播体系が主体になっている。

2) 乾田直播と湛水直播の考え方の日本との違い

アメリカでの湛水直播 (water seeded rice) は湛水状態の水田に種子を播き、乾田直播栽培 (dry seeded rice または drill seeded rice) は、畑状態の

ところに播く。従って、播種時の水の有無が湛直か乾直かの分かれめになる。

日本での湛水直播は代かき後に落水をして、土壌表面を少々硬く乾かして播種する。播種する時は水がないのだから、アメリカ人の考え方からみれば「乾田直播である」と指摘された。しかし、日本での湛水直播は水を張って代かきをする。さらに、発芽時は湛水状態が長い。これに対し乾田直播は、畑状態で耕耘、碎土、整地、播種を行い、発芽・苗立の時は乾田状態が長い。従って、播種準備作業と播種後の水の有無または代かきの有無など各作業ごとに分類定義すべきであろう。

3) 代かきか無代かきか

アメリカには水が少ないので、水を節約するため、水を一度に沢山使う代かきは不可能だろう。また、乾燥による蒸散が大きいので、塩害を生ずる危険もあり、ある程度の透水が必要のようである。さらに大型機械の作業性も畑地状態の方がはるかに有利である。

こうした背景から、無代かき直播が成立したのである。

一方、代かき作業は水を使って碎土、整地、均平、漏水防止、雑草防除などを行う水資源の豊富な日本の風土に最も適した技術である。

今後、日本で直播による低コスト化をはかるためには、水利条件を生かし、代かきをする湛水直播か、あるいは大型機械化、輪作に有利な乾田直播を選ぶのか、大きな課題である。

3. 育種の方向

アメリカの品種育成の目標の第1は短稈化である。これは短稈化によって耐肥性を高め、倒伏性の強化による多収化にあった。収穫後に稲ワラを燃やす煙による大気汚染を防止するため、稲ワラ量の軽減も必要のようだ。

第2は、早生化である。これは晩生で生育期間が長いと要水量が多くなるので生育期間が短い早生種の方が生産費が少なく済み、低コスト化に役立つからである。

短稈化はカリフォルニアで1980年代に大きな成果を納め、最近では南部諸州でも短稈化が急速に進んでいる^{1),2)}。また、短稈化が進むことによって深水状態での発芽、苗立性、初期生育の確保といった課題や従来からのイネミズゾウムシ耐虫性、耐塩性などで各地域にそれぞれの課題があった。

4. アメリカの育種体制

カリフォルニアでは、カリフォルニア大学を中心に素材開発を進め、それをもとにビッグスの稲作試験場で奨励品種の選抜や種子の増殖をしていた。

この稲作試験場は農家の拠出金で運営されている特殊な試験場である。このためカリフォルニア大学の成果を早く農家に役立てようとしていた。

ビッグスのさらに北のチコ郡には、国宝ローズを販売している野村カンパニーの試験場があった。ここでは、日本のコシヒカリ、ササニシキなどを用いた品種育成を行っており、さらにハワイ大学と提携して育成期間の短縮をはかっていた。

また、国府田農場でも鯨岡氏がコシヒカリを母本とした品種育成を試みていた。

テキサス州のチョコレートバレーに Farms of Texas Co. という農場があった。この農場では品種比較圃場、種子増殖圃場を持ち、分けつの多い品種を選んで種子量を減らすのが育種目標であった。また小規模ながら、組織培養による品種育成を行い、冬期間も品種比較ができるように巨大な温室を持っていた。ここで、IRRI で IR-8 を育成した Beachell 博士が指導に当たっていた。

アメリカにおけるコメはマイナークロップであり、将来の見通しも決して明るくない。しかし、大学、民間企業、農家など様々な立場で世界中の消費地の要望、さらに自国の生産環境に併せて実用化を最優先に取り組む戦略的な姿勢には敬服した。特に最近では彼等が日本を戦略目標にして、コシヒカリ、ササニシキ、あきたこまちとの交配品種を「我々西洋人には日本人の食味感覚はわからない」といいながら、なれぬ手つきで米をとぎ、炊飯し、フォークやスプーンで食味試験をする様子には脅威を感じた(写真6)。コシヒカリ等の日本稲を母本にした育種は始まったばかりで収量性、倒伏性などに問題があり、なかなか成果があがらなくなっていた。しかし、大胆な発想、自由な競争による戦略的な取り組みからみて、長期的には日本より先にコシヒカリなどを母本とした直播用品種が生まれるのではないかと危惧を感じた。その結果、コシヒカリを母本とした新品種による骨肉の争いの可能性も否定できない。カリフォルニアの稲試験場の Tseng 教授は、日本は将来直播栽培へ移行しようとするなら、品種育成の過程から直播で選抜する必要があると教示してくれた。



写真 6. カリフォルニア産コシヒカリ, あきたこまちの試食 (ビッグス)

5. 栽培技術上の問題点

1) レーザー均平機の開発効果

カリフォルニア州の飛躍的な増収をもたらしたのは、短稈品種の育成とレーザー光線を利用した均平化技術によるといわれた。

均平化技術が増収技術として大きく評価されている理由が理解できなかった。しかし、帰国後、大区画圃場での乾田直播栽培に取り組んで⁹⁾、均平化技術の効果が納得できた。

圃場区画が大きくなればなるほど、均平化は極めて困難になる。しかし、レーザー光線を利用すれば水を使わずに高精度の均平作業が可能であり、大区画圃場では不可欠の技術である。

均平精度が高まると、品種の短稈化が可能になり、さらに発芽、苗立、生育の均一性など生育面にもきわめて良好な効果がみられた。この技術が水の少ないカリフォルニアで成立したのは、水深を一定に保つことによって水管理に伴う要水量の減少をはじめ、雑草防除、施肥等すべての肥培管理にも大きな波及効果を及ぼす。さらに、大型機械の作業効率の向上によって大規模な稲作の低コスト化を促進する重要な革新技術となったのだろう。

この技術は、オーストラリア、イタリアでも既に実用化され、大きな成果を上げている。

2) 耕耘整地法

アーカンソー大学の農機具の格納庫には、主に耕耘用のプラウ、ディスクハロー等が開発、改良され、ずらりと並んでいた。大区画圃場では作業のスピードの点でプラウ耕の方が日本独特のロータリーよりはるかに効率的なのだろう。このため、アメリカの耕耘・整地は超大型トラクタを主体に単純化された

作業体系で稲作だけを特別に扱わず畑作と同じである。

こうした技術を総合して、アメリカの稲作技術は広大な農耕地を大型機械を様々に工夫して効率よく使いこなし、生産性をあげており、決して粗放ではない。また、大規模化だけが低コストをもたらしているのではなく、技術の細部に渡ってコスト低減の要因があり、それぞれに革新的技術開発がダイナミックに進んでいる。

6. 日本の稲作研究の方向

1) 研究方向の明確化

日本がアメリカの稲作技術を見本として低コスト化をはかる場合、両者の基本的技術が全く異なっている点を認識する必要がある。まずそれぞれの技術開発方向を明らかにすべきである。

第1に、品種については、根の伸長性から特性が著しく異なる。このため、直播適応性品種の具備すべき条件、生育特性、草型など具体的方向性を示し、そのための直播品種の育成方法、母本の選択、選抜方法なども工夫しなければならないだろう。

第2に耕耘整地は日本式のロータリー耕が圃場を大規模にした場合に適應できるかどうか疑問である。

第3に均平には従来どおりの代かきがよいのだろうか、大区画圃場条件あるいは大型機械による作業の効率、快適性からも泥んこにならなくて済むレーザー光を利用する方がすぐれているのではなかろうか等、各作業段階における基本的な技術開発の方向性を明らかにすべきであろう。

2) 長期展望に立った日本型稲作の方向の明確化

アメリカの稲作は南部の湿地帯から始まったが、大型機械の利用の可能な農地を移動しながら機械効率性で優位な畑地稲作に駆逐された。このように畑地稲作は、機械効率性で有利な点は明確である。

武井⁷⁾は、日本とアメリカの稲作は異質であり、農法は本来、風土に根ざすもので、その転換はその国の固有の方向になるのではないかの述べている。確かに、農法の転換に伴う農地の移動が可能な広大なアメリカと、それが不可能な日本では、風土に適合し、しかも機械効率が高く、アメリカ等の低コスト稲作に競合できる日本型稲作技術の方向性を明らかにし、そのための総合的な研究・開発が急務であろう。

おわりに

瑞穂の国，日本の稲作研究は世界の最高水準と自負してきた。ところが外国では，低コスト化及び収量増加のための技術開発が着実に進み，日本との技術格差の大きさに驚かされた。コメの輸入が目前に迫ってきたが，日本農業の再生のための技術開発が急務であることを痛感した。

謝辞：視察中，クミアイ化学株式会社の河野一彦氏には，終始大変なご指導を得た。また，姫田正美氏には，校閲を賜った。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

1. 秋田重誠 1990. アメリカ合衆国の稲作を支える技術と研究—わが国稲作へのインパクト—. 農技 45: 337—341, 392—399, 459—464, 509—511.
2. 奥野員敏 1986. アメリカ合衆国におけるイネ育種の現状と“Crop Productivity”に関する会議の印象. 育雑 36: 84—85.
3. 川田信一郎・片野 学・山崎耕宇 1977. 水稻における根群の形成について，とくに湿田・乾田に着目した場合の一例. 日作紀 46: 261—268.
4. 北倉芳忠・佐藤 勉・林 恒夫・田中英典・朝日泰蔵・岩泉俊雄 1993. 低コスト稲作技術研究の現状，乾田直播を軸とした大区画における高度土地利用技術体系の実証. 農業技術 (投稿中).
5. 間脇正博・森田茂紀・菅 徹也・岩田忠寿・山崎耕宇 1990. 幼穂形成期から出穂期にかけての遮光処理が水稻の根系の形成および収量に及ぼす影響. 日作紀 59: 89—94, 95—99.
6. 杉 頼夫・工藤健一 1990. アメリカ稲作見聞記—コメ主産州現地調査報告. 農業別刷: 1—57.
7. 武井 昭 1984. 日本稲作の技術的性格. 明文書房. 1—195.
8. 瀧嶋康夫・佐久間宏 1969. 土壌の圧縮および硬度が水稻の根系発達ならびに生育に及ぼす影響に関する研究. 農技研報告 B21: 255—328.