

アメリカの土壌力学研究

木 谷 収*

1. まえがき

著者は1964年から2年間、フルブライト交換留学生として米国ミシガン州立大学に留学し、主として農業機械の走行と耕耘に関連した土壌力学の研究を行った。当時アメリカで見聞した研究内容は4年後の今日すでに旧聞に属するので、新しい研究動向については最近の帰国者のお話や近刊の雑誌に譲り、ここでは土壌力学に関連した主要研究所を訪れたときの印象を綴りたい。

ここではアメリカ農務省の耕耘機械研究所、国防省の水陸試験場と走行研究所、大学としてはミシガン州立大学、カリホルニア大学、アイオワ州立大学、民間の研究所としてキャピラーの技術研究所などの印象を記したい。

2. 国立耕耘機械研究所 (National Tillage Machinery Laboratory)

この研究所は1930年代に、土壌力学と耕耘の研究で有名な N. L. Nichols 教授の提唱で、農務省の一研究所として Alabama 州, Auburn に設置されたものである。その伝統からして耕耘の研究が中心であるが、トラクタのタイヤやシューと土壌との関係など走行に関係したことにも力を入れている。近年は陸上のみならず海底のことにも目を向け、筆者が訪れたときにも海底トラクタの走行部の研究に力を入れていた。このように看板にとられない自由さ、研究組織の柔軟性には大いに参考にすべきものがある。

耕耘機械研究所の特徴の一つは、徹底した土壌槽試験主義である。圃場では土の条件をコントロールして再現性のあるテストが難しいため、長さ82m、巾6.5m、深さ1.6mないし0.65mの屋外土壌槽を9本もうけ、これらに各種土壌をつめ、さらに長さ65mの屋根付土壌槽2本を用いて完全な実機テストを、正確に整地された条件下で行うことができる。耕耘装置の実験で中心となるのは、一般に土壌抵抗の分力測定であるが、ストレインゲージを用いた6分力計から出た信号をデータコーダに入

れ、必要な因子を選び出して、いきなり X-Y レコーダでグラフ化するとか、アナコンを通じて一連の計算をしたのちグラフ化したり、または A-D コンバータを通じてタイプで打出すなど、データ処理が実に巧みで自動化されているのには目をみはった。

土壌槽実験装置の良否は、いかに整地を精密にしかも能率的に行えるよう設計されているかにかかっていると云っても云い過ぎではない。耕耘機械研究所では、碎土、均平と散水、下層鎮圧、表土鎮圧など一連の整地作業をそれぞれ独立の専用台車につけられた作業機で行い、能率を上げるとともに、試験用台車も、作業機テスト用、タイヤテスト用、牽引負荷テスト用と機能的に分けられており、たいへん使いやすく設計されている。

さらに室内には円形の土壌槽をそなえ、比較的高速のモデルテストや耐久テストを行っている。

筆者が訪れた頃には、フィン付プラウの土壌槽テストをはじめ、耕耘用刃物と土壌の相似律、ミニマムティレッジのための作業機、プラスチックを張った低摩擦プラウなど実用開発の基礎試験をやっていたが、これと並行して、土の引張強度試験や圧縮せん断試験、土壌強度とエネルギーの関係、電気浸透と摩擦低減の問題など土壌力学の基礎になる研究にも力を注いでいた。

所長の A. W. Cooper 博士には以前東京でお目にかかったこともあるので博士のお宅に一晩泊めて頂いたが、その悠々とした生活のみて、未来をみつめた息の長い研究にはこのような生活の基盤が必要ではないかと感じた。美しい花の咲きほこる隣家をさして、謹厳な博士が「隣りは花を育て、うちは子沢山で子供を育てる。これも社会的分業だ」と冗談を云って一家だんらんを楽しんでおられたのが印象的であった。

3. ミシガン州立大学 (Michigan State Univ.)

East Lansing にあるこの大学は、米国でもつとも古い土地交付大学として、21学科を擁する大きな農学部をもち、土壌の研究も土壌科学科をはじめ、農業工学科、資源開発学科などにまたがっている。筆者は農業工学科に籍をおいていたので主としてその土壌力学の研究に

* 三重大学 農学部

ついでにのべたい。

筆者はスウェーデン人の S. Persson 教授の下でその研究の手助けをするとともに、私自身の Ph. D. 論文の研究を行った。教授の研究の中心テーマは、土壌の力学パラメータを用いて土壌を分類し、耕耘や走行に直接役立つ土壌地図を作ろうと云う雄大なもので、主としてリングせん断試験機、ペーパーメータ、コーン貫入試験機の油圧化したものを用い、クーロンの定数、ペッカーの貫入定数などを求め、牽引力や耕耘抵抗との関係を出そうと云うものであった。90馬力のトラクタの脇腹に装着した上記のメータ類を用い、各種の土壌条件の土地にをかけて実測した。もち帰った膨大なデータを手製のカーブフォアにかけ、カードにせん孔して電算機で処理した。実験は筆者が主任となり、大学院生と学部のアルバイト学生2人を助手として、1年がかりで行った。実験のためには大型トラレーヤや散水機を積んだトラックも一緒に移動しなければならないので、たいへんな労力とチームワークを要するものであった。

その他、巾4mの大型ロータリ耕耘機、ミニマムティレージの研究、小土壌槽を用いての土壌切削テスト、土中にアスファルトの層を吹きこんで不透層を作る研究などが行われていた。

筆者自身の Ph. D. 論文テーマとしては、土壌の応力一歪関係の研究をとりあげた。これはかねてから土壌の一次元的な応力一歪関係に疑問をもっていたからである。教授はその意義をみとめて、すぐ研究費をさいてくれた。アメリカでは契約研究制度が中心なので、経常研究費がほとんどなく、飛び入りの研究をはじめのがたいへん難しい。幸い実験には高圧のX線を使う他は、自分で設計・製作した装置で間に合ったので、研究を順調にすすめることができた。研究は土壌の円柱試料の横歪をコントロールしながら3次元的な応力一歪関係を求め、塑性論の歪硬化の理論を用いて、硬化現象を含んだ応力一歪関係式をみちびき、その応用をはかったものであった。

ところで Ph. D. の資格試験に要求される専門および関連分野や語学の知識の中の広さと、他大学から学位をとり来ている50歳近い教授にも機械的にそれをおしつける徹底さにはびつくりした。近年米国では、国公立および民間の研究機関で指導的地位に立つには、学位をもっていることが要求されるようになっており、広い範囲の研究を管理し、共同研究のまとめ役をするには、そのような巾の広さが当然必要であるとのことである。

4. カリホルニア大学 (Univ. of California)

Davis の農学部を訪れたのは、アメリカの土を踏んで

2日目であった。それだけに、ジェット機の煙だけがかずかにたなびいている澄みきった青空のサンフランシスコを後にして、一面茶褐色に夏枯れした野や丘を過ぎて Davis にいたる光景の印象は強烈であった。その後、ジェット機でロッキー山脈をこえたときの暗灰色の乾燥地帯、南部を夏に自動車旅行したときの乾ききり白茶けたコットンベルトの印象とともに、Davis への道はアメリカの土壌と水が、日本のそれときわめて異質であることを強く印象づけるものであった。

カリホルニア大学では、ちょうど東京教育大学の山中勇教授がみえておられ、懇切に御案内頂いた。土壌力学関係では W. J. Chancellor 教授が研究室をみせて下さり、土壌の破壊強度に関する各種の実験装置をみせて頂いた。筆者もエネルギーの少ななくてすむ耕耘法を追求するために圧縮せん断、振りせん断、引張り破断、切断などによる土壌の破壊強度の比較試験をまとめた直後のことであり、教授の見せてくれた遠心力による引張り強度テストや曲げ強度試験装置には興味をそそられた。教授は耕耘に引張り破壊を導入するために曲げを使おうとして、圧縮・引張り試験結果をもとにして土の曲げ強度を精密に解析しようとしており、またメニスカス理論をもっと深めなければならないことなど、我々と同じようなことを考えているので驚いた。実験ではサンプル作りをきわめて慎重に行っているのには感心した。また、土壌の粘弾性についての研究も筋道立った計画に従って行っていると感じた。

5. アイオワ州立大学 (Iowa State Univ.)

筆者が Ames にあるアイオワ州立大学を訪れたとき、日本から小中俊雄氏(現三重大学)が留学中で、同氏のお世話で研究施設をみせて頂いた。この大学の農学部はやはり古い伝統を誇っているが、日本の大学では考えられないくらい実用機の試作研究が盛んであって、実験室や農場にごろごろしている試作機をみて、プラグマティズムに徹し、地域社会に奉仕する大学の姿勢を端的に表わしていることを感じた。

もつとも、基礎研究もないがしろにされているわけでは決してなく、土壌力学関係としても、振動耕耘機の研究や、種々の形状のペネトロメータによる土壌硬度の測定法比較、耕耘前後の土壌面形状や力学性の測定、とくに圃場におけるありのままの土壌性状測定や非攪乱サンプリングなどに力を入れているのに興味をひかれた。

室内土壌槽は、土槽を動かす型のもので、小型ではあるが、集中制御式でたいへん使いやすく作られていて、能率がよいとのことであった。小型の移動土槽は、土壌の入れ替えや、湛水土壌のテストを行なうのに便利であ

って、湛水耕うんのテストにも力を入れているとのことであった。

6. 水路試験所 (Waterway Experiment Station)

ミシシッピ川を見下す南北戦争の古戦場 Vicksburg にある軍事研究機関、水路試験場は、もともとミシシッピ川の洪水調節の研究を目的として作られたものであるが、その広大な敷地 (たとえばミシシッピ川の実験用野外水理模型だけでも 100ha に及ぶ) を利用して小規模な原爆の地下爆発の研究も行ったことがあるそうで、このためか見学の許可をとるまでにたいへん手間どった。Persson 教授の紹介にもかかわらず、出発の前々日になっても許可がこず、照会したところ、今大使館を通じてまだ身元調査をしているとのことであった。ようやく出発直前に OK がきた。しかし一度中に入ると所長が直接会ってくれて何でも望みのものを見せてあげましょとアメリカらしいあけつびろげさであった。

土壌力学の研究をやっているのは主として同試験場の車輛走行性能研究部であって、大がかりな装置を使って主として実験的研究を行っていた。たとえば土壌槽は長さ×巾×深さが約 8×2×1m で小さな貨車ほどもある。ミキサープラントのような土のコンディショニング装置を用いて、粉碎、注水、攪拌された土がこの土槽につめられる。この土壌を数箇以上連結し、この上を高架式モノレールに導びかれたタイヤ・シュー試験車が走行する。最高速度としては 11m/S まで出すことができる。計測はガラス窓をへだてた静かな計測室で行われる。計測システムは耕耘機械研究所のそれと質的に似ているが、さらに大がかりなデータ処理システムをそなえている。この研究部は 70 人余りの職員をかかえ、土壌力学に關した研究機関としてはアメリカでも最大のものである。

主任研究員の D. R. Freitag 博士は、この研究所がきわめて基礎的な土壌の力学性の研究から、航空機よりセンサーを投下して土につき立て、その貫入、振動から土壌条件を判定してタンクの走破性の可否をしらべると云ったきわめて軍事的な研究まで幅広い研究を行っていることを説明してくれた。研究の中心は土壌の trafficability であり、そのため土壌の分類、含水比、硬度、傾斜、気候等の条件から車輛の走破性の可否を判定し、走破性がないところではその対策を研究するものである。このため土の分類方法についての広範囲な研究をはじめ、分類の基礎の 1 つになる振りせん断試験や土の締固め試験に関する新しい試験装置、試験方法の開発を試みており、理論的にも土の剪断強度についての塑性論的な研究など、かなりつつこんでいい仕事をしていると感じた。

7. 走行研究所 (Land Locomotion Laboratory)

ミミガン州、Detroit の郊外にある走行研究所は、主として特殊車輛の走行の研究を行っている軍事研究所であるが、著名な M. G. Bekker 氏 (前技師長) の走行理論がここで生れたことから察せられるように、きわめて基礎的、理論的研究にも力を入れている。筆者が訪れたときには、Bekker 氏はすでに G M 社へ去って、昔日の活気が薄れたのではないかと感を得たが、それでも、走行に關した土壌パラメータの研究、土壌貫入の次元解析、人工土壌、トラフィカビリティーの決定方法、不整地走行における不規則運動の解析、剛性車輪およびシューへの土壌反力の分布、ベッカーの貫入定数の再検討など、広範囲な基礎研究を手がけており、ベッカーをこえようとする努力が払われていることが、2 度の訪問と討議の間にかがうことができた。

8. キャタピラー技術研究所 (Caterpillar Tractor Company)

イリノイ州、Peoria にあるキャタピラー社の技術研究所をたずね、その規模の大きさにまず一驚した。何十と云うエンジンテストルームや材料試験室、建設中の巨大な構造強度テスト室などキャタピラーの実力をまざまざと見せつけられた気がした。土壌力学関係では、広大な丘陵地における機械の実物テストの他に室内に作られた大小 2 つの土壌槽を用いてのモデルテストを徹底してやっており、筆者が目にした模型だけでもたいへんな数であった。とくに小土槽では、標準砂とグリースまたは純粘土を混ぜた模擬土を用いて相似性についての基礎研究を続けていた。このように一貫して基礎的な研究が続けられることは、世界のトップ企業の自信と、長い目でみた合理性を示すものであろう。

私企業でも基礎研究にきわめて力を入れている傾向は、John Deere, Massey-Ferguson, Ford など農業機械メーカーを訪れたときにも強く感じたものである。たとえば、Ford のトラクタ工場の研究部で聞いた言葉は印象的であった。「未来のものを生み出す研究者は、日常性の中に完全に埋没してはダメなのです。Ford では改良的な仕事をする研究者を未来的な仕事をする人と分離しています」。

9. あとがき

アメリカの研究はヨーロッパのそれに較べ一般に体系的でないといわれる。土壌力学についてもそのような批判があたっていないわけではない。しかし、土壌力学も所詮応用科学の 1 つであり、現実の技術問題に対し、解

答と発展を与えなければならないとの立場を重視すれば、アメリカ流のプラグマティズムに徹した研究方法——常に何らかの形で実用化のプログラムをもって研究すること——はきわめて効率のよい方法であり、この効率の高さがピューリタンの勤勉さとあいまってアメリカの発展の原動力となったのであろう。

精密な実用技術体系を立てるには、その基礎も体系化

され、精密化されなければならない。したがって我々は基礎研究にも大いに力を入れているのだとアメリカ人は云う。我国でも大勢として同じ傾向であろう。しかし、ここに実用性、日常性の落とし穴がある。この落とし穴をさけて発展するには、研究組織上の流動性を前提とした分業と協力が必要であろう。

農林省登録腐植酸肥料

フミン酸肥料懇話会

会員メーカー（ABC順）

アツミン

日本重化学工業株式会社

東京都中央区日本橋小網町2-14(洋糖ビル)

フミゾール

北炭化成工業株式会社

埼玉県戸田市川岸1丁目1-20

エスコン

日本水素工業株式会社

東京都千代田区有楽町1-10(三信ビル)

テルナイト

帝石テルナイト工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷1-31