

## 大学放浪記 (20)

伊藤信孝

マエジョ大学客員教授・再生可能エネルギー学部

本報でも筆者の「研究回顧」について軍事研究との関わりの観点から記述する。第2次大戦後の食糧難を国民全体が経験し、大学院を終えて大学に助手として就職した当時の研究は、水田での車両（特にトラクタ、コンバインなど）の水田への導入に関するものが多かった。主食である米の安定生産供給が必要であったとした国策に基づき、稲作に対する政府の力の入れ様は、ほぼ独占的な支援、保護の如き形で実施されてきた。農業の機械化の社会的ニーズのたかまりと食糧難からの脱却、自作農創設など、次から次へと多種のプロジェクトが打ち出されてきたし、その主たる対象作物は米であった。戦後GHQの指示で農地改革が行われ、大地主の農地を小作農に安価な値段で払い下げる政策が実施された。しかしそうして払い下げられた農地であっても、子供の多い家庭では、就職もままならず、長男のみならず2男、3男にも農業をさせるべく田畑を分け与えた。ただでさえ小規模零細農であった上に、2男、3男にも田畑を分け与えるとなると、貧困からの脱出は難しくなる。小規模零細農業でもともと高い収入を望めない状況の中で益々親の財産としての田畑を次男、三男に分譲すれば、長男も含めて母屋も、隠居も全てが貧困になる事は目に見えている。この事から馬鹿げた対応という意味で「田分け」という言葉が生まれたと聞く。年に一度の米の収穫が一家の生活を支える収入となる。重労働の上に貧困から抜け出せないから、何時まで経ってもワーキング・プアにとどまるしかない。農家の収入の多くは稲作であり、あとはサツマイモ、菜種、小麦などの米の裏作作物からまかなってきた。農家の米からの収入を政府が一定の収入を保持するため、米については常に米の価格を下げないように生産調整（減反政策）を続け補助金まで出して保護してきた。日本で言う稲作は自然降雨に依存せず、灌漑施設の整備が進められてきた。殆どの農作業は人力で行われ、とりわけ、植え付け（田植え）、除草、収穫の3作業が稲作に於ける重労働と位置づけられた。耕うんは主に牛馬を使って行われてきた。また大面積を所有していても、一区画が小さく、その上、区画の間には段差が有り、資材の運搬は容易でなく、時には危険であった。機械化を推進するには平坦で段差のない矩形の圃場が提唱された。正方形でなく、長方形で、その面積は1ヘクタールで縦と横の費は3:1程度（中には正方形圃場もあったようである。干拓地に入植した農家から筆者が開発提唱した上部回転式コンバインについて質問があったのもこの頃である。その質問とは正方形圃場なので頻繁な旋回動作が必要である。しかし上部回転方式では旋回に要する時間、或いは距離が短いので注目している、と言うものであった。）に指定され、圃場整備と灌漑設備が国の積極的指導でセットで行われた。天水に依存しない稲作が主体で、必要な時期に必要な水を圃場に入れることができる様になった。揚水は共同の灌漑用水ポンプの接置もあるが、従来の河川堰をそのまま利用したものもあった。いずれにしても西欧のアップランド（畑作）農業と異なり、稲作は灌漑設備の整った水田農業が主体であった。圃場に灌水、湛水すると圃場表面は軟く、人間ならいざ知らず、重い機械の導入は難しかった。そうした観点から研究の多くは水田稲作圃場への（大型）機械の導入が多かった。小型の耕うん機程度では重量も差程なく、問題は無かったが大規模化を見越した機械化農業にはどうしても大型機械の水田への導入が必要であった。この種の問題を取り扱う研究分野は、テラメカニクス(Terramechanics) と言い、テ

ラは地面、土地、土を意味し、メカニクスは力学、或いはメカニズムを意味する。従ってわかりやすく言えば土地と機械に関する分野と言うことで、わかりやすく言えば次の 4 つになる。

- 1) 農業機械・・・トラクタ、コンバインなど農耕地の如き不整地上で利用される機械と土の関係を扱う。不整地とは舗装の成されていない自然の状態、もしくは人が手を加えた凸凹な表面を有する路面環境を言う。
- 2) 林業機械  
林、山道など獣道の如き整備されていない不整地の上を伐木した木々を運搬（運材と言う）する機械と土の関係を扱う。
- 3) 建設機械  
言わずと知れた土地、農地、宅地造成、ダムなどのインフラ設備の設置を目的に山間部、丘陵地を開発するために利用する機械とその機械が関わる土との関係を扱う。
- 4) 軍用車両  
道なき道に道路を作るとか、河川に浮遊設備を作り重量のある戦車、装甲車などの渡河作戦を支援する機械が典型的であるが、それを可能にするためには機械とそれを支持する土の両面から考察を進めなければならない。いずれにしても機械と土のインタフェース (Interface) の問題、関係を取り扱う。

水田のような軟らかい軟弱地に重量のある機械を導入し、動けるようにするには人の接地圧力が一つの目安となる。人の接地圧力はその人の体重を両足の接地面積で除した値を言う。人が水田に足を踏み入れたときに足の「くるぶし」まで沈むようであれば、それが一つの目安で有り、その具体的値は  $0.3 \text{ kg/cm}^2$  でこれ以上の値であれば機械の導入は無理という判断である。解決作はこの値を下回る接地圧にすべく、機械の走行部の接地面積を拡げるか、圃場の水分を排水により減らし、天日で乾かすと言うのが具体的対応である。日本では農業の大規模機械化を推進するべく、湖沼を埋め立てて圃場を作る干拓事業がいくつも立ち上げられたが、米の過剰生産が問題となり、全ての干拓事業は頓挫、取りやめになって居る。その総面積は 4700ヘクタールにも及ぶが放置に近い状況にある。一部太陽光パネルを敷設して発電を行う事業展開（愛知県と三重県の県境に位置する木曾崎干拓地）もあるが殆どが本来の目的での利用は成されていない。

水田などの軟弱地への大型機械の導入に関する研究の多くは米国や諸外国の軍関係の研究所で行われており、日本で大型トラクタなどの導入に関する研究も、これらの研究所の研究論文、報告を学んだものが多い。基本的学問は土質力学であるが、理論は理論として立派であるが、具体的に様々な現場、現場での実験、測定値は必ずしも一致せず時には大きな誤差を見て驚かされることがあった。土を扱う基本的分野では土の剪断応力が摩擦角と粘性により構成されている考え Coulomb、軟弱地、不整地での機械の走行については機械の重量による走行部の土中への沈下、圧縮の観点から Bekker M.G がこの分野でのバイブル（聖書, Bible)になって居り、土に携わる者には余りにも有名で神様の存在である。建築構造物の基盤については Bousinesque の名前が知られている。土の剪断試験などを基本にその応力としての反力が推力を出すと言うのが基本である。しかし現場に行って予測を立てても、そこそこの予測結果を得るのは極めて難しい。現場でけん引試験を行い、すべ率の増加と共に牽引力がどの様に変化するかと言う実験値は得られるが、それだけである。何かむなしい思いがして、何時までもこのようなことをしていて良いのであろうか、と思うようになった。場所が異なれば結果も異なる。似通った形状のグラフの結果は得られるがそれ以上ではないと悟った。しからば機械の側からオリジナルなものを見いだせないか

と考へ、研究姿勢をあらためた。そこから生まれたのが「トラクタのすべり率・負荷制御」研究で有り、履帯式車両の旋回抵抗を如何に削減するかと言う「離泰式車両の旋回抵抗の削減法」であり、「ブルドーザ排土板の負荷制御」である。具体的な機械の試作、それを用いた試験、実験に基づく実機の試作、実証も行ってきた。必ず実験時の状況を8ミリフィルムに収め、「見える化」(Visualization)を心得とし、説得力のある内容を学会で講演発表してきた。その中で軍事関係にある研究の一つを紹介する。テラメカニクス分野が扱う領域の一つに軍事関係がある事は既述したと言うよりも米欧で軍関係の研究者が多くこの分野での研究に従事していた。農業でも未だ完全に乾いていない圃場の中を収穫した農産物や資材運搬をする必要が多々ある。その時の踏破性に優れた車両について2機種を試作提案した。そのうちの一つを以下に示す。装甲車は一般に兵員や資材、物資(弾薬、銃など)の運搬に用いられる。戦車もそうであるが、中に操縦者、兵員、それに弾薬などが一緒に詰め込まれている。被弾すると弾薬にも飛び火し車両全体が燃え、爆発する。車中の空間が十分でないと迅速に逃げ出すことができないのでほぼ爆死となる。凹凸起伏の多い、また起伏の大きい障害物がある不整地を踏破(Negotiation)するには、それなりの機能が機構的に備わって居なければならない。筆者が提案した車両は2台の履帯車両をタンデムに連結し、その2台の間に自在に動くボールジョイントを入れて前後2台の車両がどの様に傾いても対応できる(ローリング、Rolling)様にすると共に車両の左右を2本の油圧シリンダで結合し、その伸縮の差で操舵(ヨーイング、Yawing)とピッチング(Pitching)を制御するようになっている。この発案に喜び勇んで早々に試作車を作り、そこそこの所まで行ったが、その年のデトロイトでの国際学会に出てちょっとがっかりした。同じアイデアを盛り込んだ結合車両が既にできており、それは装甲車(M113、最近ウクライナへの供与物資の中に旧式だが含まれていた)を2台、上記の様な方式で結合したものであった。早速研究担当者に連絡し、中を見せて貰った。学会の後半は米国のTACOMを見学させてもらった。プログラムの一環で有り、参加をするには日本の外務省に申し出て予め登録しておく手続きが必要であった。カナダとの国境のHoughtonと言う森に深く覆われた一帯で有り、湿地帯もあった。TACOMとはUS Tank Automotive Commandで米国戦車指揮研究所とでも言うべき試験、開発、研究をまとめて行う機関のようであった。先端の研究は軍事分野で始まり、次いで自動車、最後に農業分野に回ってくるという事は過去においてよく言われたことである。産業としての市場規模が大きくなく、消費者の購買力などを考えると無理からぬことでもある。この連結車両の利点は起伏の多い不整地での障害走行踏破性に富み、急な傾斜地での登坂は前の車両が後ろの車両を引っ張り、後部の車両は前の車両を押し上げる働きをする。この種の連結車両は2両の結合にとどまらず、3台もしくはそれ以上の数の車両を同様の方法で連結したものも既に利用されている。また4輪駆動トラクタのように、車輪の全てが動力を得て駆動される場合は前輪は後輪よりいくらか周速度が速くしてある。これをリードと言うが、そのリード速度は1~2%である。何故このようなリードを敢えて儲けるのかは次のように説明できる。すなわち前輪の周速度が後輪のそれより少ないと後輪で発生された動力に制動作用を課すことに成り、せつかく出した駆動力を制動するという無駄にもつながる。それよりは前輪が後輪を引っ張る形にしておく方が動力の損失を防げるからである。

同様の結合部の機構(メカニズム)を用いた車輪型バージョンの車両を図4に示す。また、図3に試作し8輪駆動型車両を示す。左右それぞれの側に4輪を装備し、それぞれ2輪づつがフレームで結合され、チェーン、油圧モータで駆動される。旋回抵抗を減じ、旋回性能を上げるには、旋回軸側中央部の2輪を接地して路面に押しつけ両端の2輪を非接

地として浮き挙げ旋回することで旋回抵抗を減じる。同様の機構はフランスの車輪型走行車量にも装備されていて同様の制御ができるようになっている。



図1. ブランド: タコム(TAKOM)  
タコム 1/35 Bv206S 関節連結型装甲兵員輸送車 プラモデル TKO2083, amazon.com



図2 筆者が製作した農業用不整地走行車両による台形障害物踏破 (Obstacle Negotiation) の示威挙動 (Demonstration)



図3 8輪駆動車の旋回性能(左)、直進走行時の駆動性能制御(右)。以下に原理を示す。旋回抵抗を削減するには中央2輪のみで接地支持し、両端の車輪を非接地とする。直進走行時の駆動性能時は全輪を接地して駆動力を増す。

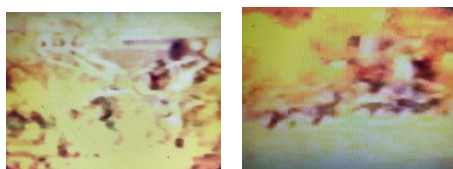


図4 履帯式の2つの車両を結合した図1、図2の車両の車輪型車両で、2車両の結合部は2本の油圧シリンダと1個のボールジョイントで結合されている。ピッチングの操作で後部車両への積荷、積み降ろしを容易にする。(8ミリフィルム画像をビデオ変換したもので鮮明でないが容赦頂きたい。)