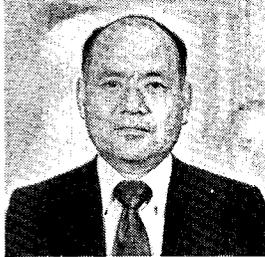


退 官 記 念 講 演

UDC 82-53 : 539.3 : 669-415.056
621.01 : 51.01

研 究 覚 え 帖

Recollective Notes from my Research Roll at University of Tokyo

山 田 嘉 昭*

Yoshiaki YAMADA

塑性力学と金属薄板の加工から電子計算機の登場を迎え、有限要素法による非線形問題の解析に集中していった筆者の生産技術研究所における研究を顧りみ、その覚え帖とするとともに、これからの課題を展望して

生産技術研究所において筆者が送り迎えた年月として、第二工学部時代を含めた36年半に及ぶ間に、社会と環境、工学と技術、その他もろもろの事象に、大きな変革がもたらされた。筆者の専門としてきた固体力学、構造力学の分野にあっても、コンピュータの出現、その止まることを知らない進歩によって、目的とする機械および構造物の安全確保のための解析技術が、一新されてしまった。このような事情から、かつて特定の問題に対する解析手法開発の優先権に重きがおかれた時代に代わって、今後は進歩を先取りする誤りのない方向を見定め、そこに仕事や研究の努力を集中していくことが、重要と考えられる。情報の不足、あるいはその誤った解釈から、すでに確立されている事柄の再発見に時間を費すこと、あるいは発展性のない手法の習得や応用範囲の限られた課題の追求に時間を労費することは許されないことである。

以上は、本年4月1日に東京大学を退官して後も、筆者が易りなく自戒としているところであるが、一つの区切りとして、生産技術研究所において筆者が歩んできた研究の跡を顧み、生研教官であった者の一つの務めとしても薦められるまま、本生産研究に覚え書きとして一文を留めさせていただくこととした。覚え書きであるので、個人的な記録あるいは回顧に傾斜するところが多いと思われるが、生産技術研究所の数々の公式記録^{1)~5)}には陽に現れていない舞台裏の挿話などとして、読み過ごしていただければ幸いである。

生産研究が昭和24年に発刊されて、いまに34年、筆者はその第1巻、第1号からの発展と消長の生々しい歴史の中に年月を送った数少ない者の一人となった。また特別なこととして、筆者は、生産研究に寄稿した研究解説あるいは報文^{6,7)}によって、二つの学会賞を受ける幸運に出会っている。したがって、この覚え書きでは、生産研究と筆者の係わり合いについても、若干記述しておきたいと思う。

* 東京大学名誉教授

1. 塑性力学と金属薄板の加工

第二工学部は、昭和17年4月に設立され、その第1回、第2回生の多くは、旧制高校、昭和17年春秋の卒業生であった。したがって終戦の1年前の昭和19年と、終戦の昭和20年に大学を卒業したことになる。筆者は第2回生であったが、その多くは苦難の中に戦後のスタートを切り、その後に歩んだ道は個々にさまざまであったとしても、戦中派の中でも特異な存在として、いまほとんどの者が還歴を迎えるにあたり、感懐に共通するところが多いのではないであろうか。以下に、岡山市の操山下、筆者が学んだ旧制第六高等学校の昭和17年春秋の卒業生が、卒業40周年の同窓会⁸⁾の開催にあたって起草した檄の中から、原文のまま引用を行い、鮮明に往時を回顧する一端とさせていただきます。引用の第3節は、筆者が属した理科系ばかりでなく、文科系を含めた寮あるいは運動部の友人を考えると、とくに強く訴えるところのものである。

‘思えばわれら操山下の学窓にあわたくしき訣別を告げしより一去40年。或いは学業の研鑽に、或いは戦陣の往来に、或いは祖国の再建に、或いは職域の精励に、憧憬の歳月を送迎して寧日なく、薄髮弊齒をかこつ身は、加漸早くも耳順に達せんとして往時茫茫、うたゝ懐旧の情にたえざるものもあり’。

‘そもそもわれら17年春秋卒こそ、かの太平洋戦争に際会し、高校-大学の珠玉の六年間を、学年短縮、京都戦中止、出陣征戦など相つぐ痛撃もて無残に破砕され、沸騰する青春の激情を不完全燃焼のまま、鬱勃として今に抱き続ける、戦中派中さらに特異の世代に非ずや’。

‘しかもその間或いは戦野に斃れ、或いは病患に歿し、長恨の悲涙を呑みし友、その数を知らず’。

さて筆者が塑性力学に興味を抱き始めたのはどの時点であったのか、自分自身でも定かではないが、戦時中に、機械工学科の同窓生が軍や工場に動員あるいは派遣されていった中で、学科に残って、機械科教官の研究の手伝

いを命ぜられた三人の仲間の一人であったことに源を発しているようである。筆者は 鈴木弘 現東京大学名誉教授の仕事を手伝って、電子部品の力学機構の特性を解析するかたわら、塑性加工に関する Sachs の著書⁹⁾、学術雑誌に掲載された論文では理想金属塑性体を取り扱った Hencky の迂り線場の理論¹⁰⁾、その結果を土の力学に拡張した Prandtl の論文¹¹⁾を読んで、はなはだ感銘を覚えたことを思い起こす。

戦時中から終戦の年である 1940 年代の半ば過ぎまで、塑性力学の分野における研究の主導はドイツにあり、わが国もその影響を強く受けていたと云ってよい。古典として、Ludwik の著書¹²⁾があり、終戦のしばらく後には、第二工学部、共通第一教室の機械系材料力学教官の間で、Nadai の Plasticity¹³⁾ をテキストとした輪講が行われ、筆者もそれに参加して緊張の時を過ごした記憶がある。当時わが国では、中原益治郎博士ほかによって著わされた金属塑性学¹⁴⁾が、唯一の塑性力学の教科書というべきであった。

太平洋戦争を戦うために、工学者が学術的研究の側から尽くされた努力は、非常なものであったことに違いない。その跡を、筆者は書架に残された数々の古い図書にみるのであるが、開戦の不幸に到る要因の一つに数えられることとして、欧米における進歩の情報に欠けるところの分野が、数多くあったのではないであろうか。終戦の後に間もなく、日比谷に開かれた米軍の図書館は、閉ざされていた学術情報が、奔流のごとく流れ込む窓口となり、筆者はそこに通いつめて、Journal of Applied Mechanis や Journal of Applied Physics 等を読み、必要な論文の筆写に時間を割いたことを思い起こす。これらの雑誌には、戦中および戦後の約 10 年間の塑性力学分野における珠玉の論文が集められており、筆者が最初に生産技術研究所報告とした論文¹⁵⁾の研究を推進する上での原動力ともなった。

やがて、塑性力学あるいは塑性加工の分野は、Hill¹⁶⁾ および Prager と Hodge¹⁷⁾ によって書かれた二つの著書によって、国の内外を問わず大きな衝撃を受ける。こうして、1900 年代の初めから 1950 年にいたる塑性力学の発展が、正しい歴史的記述と一貫した理論の定式化に従って集大成され、それまでドイツにあった研究の主導は完全に英国および米国に移ることになるのである。Hill は、1952 年に発刊された The Journal of Mechanis and Physics of Solids を主宰し、Oxford 大学と Nottingham 大学に在職して、きわめて多彩な研究を展開した。1950 年代の初めから 60 年代の終りにいたる約 20 年間、各国で書かれた塑性力学、塑性加工、あるいは広く一般の固体力学分野の論文において、Hill の研究について引用のない場合は、ほとんど稀であったと云ってよい。一方、Prager の所属した米国、Rhode Island 州、Providen-

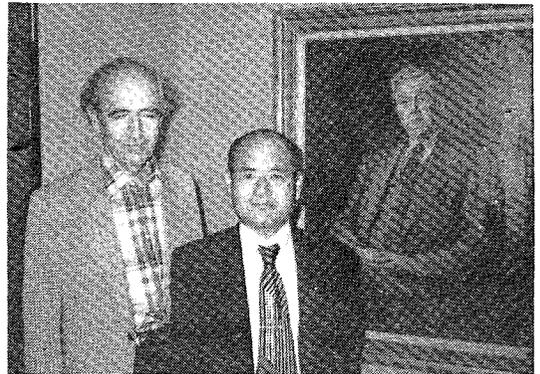


写真1 E. H. Lee 教授と筆者、1978 年 12 月、Stanford 大学の Timoshenko 博士(バックの肖像面)の記念室において撮影

ce の Brown 大学は、世界各国から優れた研究者が集まり、塑性力学のメッカの観を呈した。こうしてリミット・アナリシスあるいは塑性設計、塑性体から粘弾性体に至る材料非線形性の広い分野にわたり、大きな足跡が残されたことは、あまねく認められているところである。筆者は、1950 年代、Brown 大学留学を希望しながら実現に至らなかったが、その当時に Brown 大学 Applied Mathematics Division の主任教授を務めたことのある E. H. Lee 教授と、同教授が Stanford 大学に移られて以後、塑性加工の大変形、定常流れ問題への有限要素法的应用¹⁸⁾を通じ、交流の機会をもったことは奇遇であった。

以上の進歩の中で、筆者には、生研報告に最初に発表した論文が機縁となり、日本機械学会の編集委員会から、同学会の機械工学講座の 1 冊として、「塑性学」という名の著書をまとめる使命が課せられることとなる。故郷津久一郎 東京大学名誉教授らとともに、Hill の原著の訳書を、「塑性学」として完成した 1954 年のことである。Hill や Prager を核として発表された多数の文献の調査から始めて、一冊の成書とするための構成について想を練り、改稿を重ねながら出版¹⁹⁾に至るまで約 6 年を要するのであるが、同著の執筆を通じ、筆者に塑性力学の基礎を納得できるところまで追求する機会を与えられた鶴戸口英善 現東京大学名誉教授、倉西正嗣 現日本大学名誉教授に感謝の意を表したい。なお、同著については後に再編増補の機会があつて、塑性力学²⁰⁾という名前で改版し、刊行されたことを記録に留めたい。

生産技術研究所の 10 年誌と 20 年誌²³⁾や 1960 年代半ば頃までの本誌によれば、山田研究室における主要な研究の一つに、塑性力学の基礎理論の応用として、金属薄板の深絞り加工、関連して摩擦と潤滑、および加工性試験機の試作研究がある。終戦後に間もなく自動車技術会に設けられた鋼板委員会は、筆者の基礎研究に、応用の

最初の機会を与える場となった思い出の深い委員会である。委員会が設置された当時、自動車用外板として、アームコ鋼板が宝物のよう珍重されたことを、いまでは世界最高の技術レベルを誇るわが国の鉄鋼業の現状から、むしろ神話であったかのごとく思い起こす。いずれにせよ、自動車技術会の鋼板委員会における調査と研究を出発点として、筆者の研究室の応用分野における活動は、深絞り試験機の試作研究⁶⁾、その高速型への拡張²¹⁾、摩擦係数の新しい推定法⁷⁾等々に向かって進展した。こうして、西千葉時代および麻布庁舎に移転後の数年間における主要な成果を本誌ならびに昭和 36 年に刊行が始められた‘塑性と加工 (日本塑性加工学会誌)’に寄稿し、数々の賞を受けたことを名誉とし、先輩のご支援ならびに研究協力者の助力の賜であったことに感謝したい。

2. 電算機登場の曙

ここで、1960 年代の初期に、筆者が上記の深絞り加工に関する理論および実験の成果を、学位論文²²⁾や生産技術研究所報告²³⁾にまとめていた頃の計算機事情について回顧しておきたいと思う。いまでは電卓で簡単に実行できる計算を、当時は Monroe という電動計算機によって行っていた。大型計算機から電卓にいたる進歩の恩恵を評価するにやぶかきでないにしても、挺子の固まりの観を呈した機械が、モータをブンブン唸らせながら、計算の結果を出してくれたことを懐しく思い起こす。一方では、薄板の軸対称成形加工を支配するものとして導いた非線形微分方程式を解く上で、千葉の講堂の建物の一角に設置されていた微分解析機のお世話になったことも、思い出として忘れ難い。微分解析機は、機械式積分機と加減算の実行を担当する差動歯車、およびこれらの要素を結合する軸系からなり、非線形関係については、曲線で表示した図形の輪郭を、ハンドルを回しながら追跡する仕組であった。この場合、曲線追跡の良否は計算の精

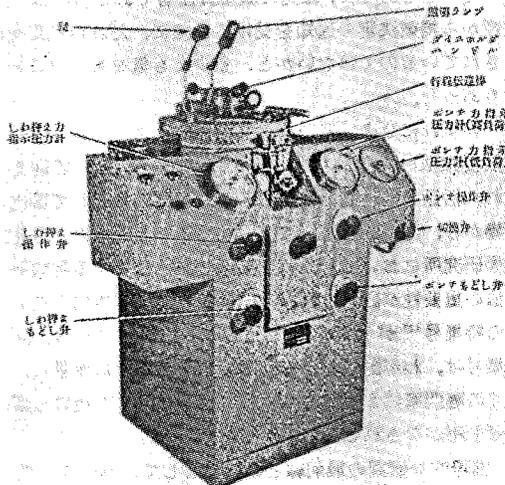


写真 2 試作した成形性試験機⁶⁾

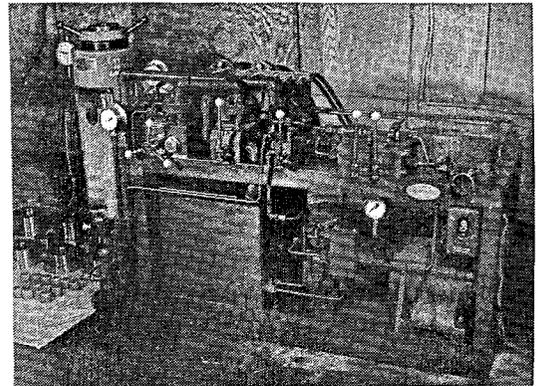


写真 3 高速型深絞り試験機²¹⁾

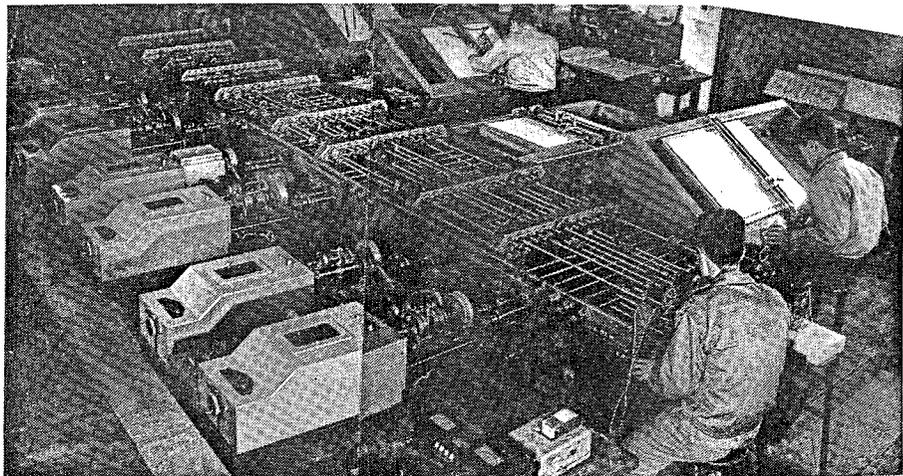


写真 4 機械式微分解析機、左から牛尾 および 川和田技官、前方の曲線追跡者は筆者

度を支配するものであったが、筆者らはほとんど追跡不可能の事態に直面し、それをかえって方程式の特異点の発見に結びつけることができた。計算の実行が理論の展開に役立つことを体得する貴重な機会でもあった。

1960年代の初期は、わが国における電子計算機の開発が始まったときでもあり、機械式微分解析機について、使用を指導していただいた渡辺勝 現東京大学名誉教授には、初期の電子計算機による計算の試みでもお世話になっている。Monroe 電動計算機を動かして解いた深絞り問題の数値解析結果の精度を筆者が保証したことから、同教授が、東京大学における TAC の試用に、同じ例題を選ばれたからである。これが、筆者の電子計算機との最初の出会いであり、後に有限要素法の研究に専念するに至って、ますますその恩恵に浴することになるのである。

同じ頃、千葉から麻布に実施された庁舎の移転は、筆者にとって研究の一つの転機となった。この遷移となった一時期において、山田研究室での課題は、深絞り加工で代表されたような準静的な加工の領域から、動的問題に展開、拡大している²⁴⁾。対象とする材料非線形の特徴が、常温の金属で代表される塑性から、プラスチックや高温金属の粘弾性挙動に拡張できたのも同じ頃である²⁵⁾。実験力学への足がかりとして、モアレひずみ測定法についての開発研究も²⁶⁾同じ時期の開発課題であった。千葉から麻布への移転、またその頃わが国が高度成長期にあったことは、優れた大学院学生を数多く研究室に迎える契機となり、研究課題の拡大や成果の蓄積を支える原動力となった。こうして、1967年の某月某日、筆者は、以後15年間にわたり、研究の課題として止むことのなかった有限要素法に遭遇するのである。

3. 有限要素法との出会いから

筆者の有限要素法との出会いは、川井忠彦 現東京大学教授から、当時東京大学助手であった吉村信敏君の有限要素法に関する研究に対し、とくに弾性から塑性問題への拡張について、助言を求められたことが縁となっている。有限要素法の工学への応用の起源は1954年に遡るものとされているが、同じ分野で、わが国における調査研究が始まったのは、1965年、日本鋼構造協会に構造解析小委員会が設けられて以来のことである。この小委員会は、故 鷲津久一郎 東京大学名誉教授、山本善之 現東大教授、川井忠彦 現東大教授らの先見と強い要請によって生まれ²⁷⁾、筆者が加わったのは設置の約1年後、すなわち上のような契機から、有限要素法の塑性問題への応用を試みたときである。

幸いにして最初の試みは成功し、本誌に「弾塑性問題における剛性マトリックス」と題し、速報²⁸⁾の形で寄稿することができた。この誘導した剛性マトリックス、な

らびに関連して開発した弾塑性解析の手法は、吉村信敏および桜井達美両氏によって有限要素解析プログラムの中に組み込まれ、計算結果を含む全成果をまとめた論文を International Journal of Mechanical Sciences に寄稿することとした。この論文²⁹⁾の方法は、その一般性を認められて、後に r_{min} 法あるいは山田の方法とよばれるようになった。筆者はかつて、古典塑性力学の分野で、剛塑性体の降伏点荷重についてかなりの期間を研究に費やしたことがある³⁰⁾。ところがそこで対象としていた基本的な例題から、まだ解の知られていない問題に至るまで、一挙に有限要素法により数値解が得られることになったのである。当時を回顧して、有限要素法との出会い、およびその無限と云ってよい汎用性の発見から、いささか興奮気味の日々を送ったことを思い起こす。また、外国誌に寄稿した上記の論文が一般性の高い課題を論じていたこともあって、雑誌の編集責任者である Johnson 教授から掲載決定の通知を受けるまでに、だれかに先を越されているのではないかと、多少とも気をもんだこともあった。

いずれにせよ、幸運な論文の発表によって、筆者は有限要素法の先駆的な開発者の中に好意をもって迎えられ、活動の地理的な範囲も、それまでの主として国内の場から、国際的な規模に拡大することとなった。生産技術研究所においても、有限要素法を始めとする数値解析法の重要性が認められ、数値計算に関する本誌の初めの特集号³¹⁾が1968年に刊行されるに至っている。同特集号は、わが国における有限要素法の普及に貢献し、多くの専門家によって繰り返して読まれ、また後にしばしば引用がなされることとなった。

国際的な研究の最前線との接点として、1969年の夏、日米科学協力事業の一つとして、農協会館を会場として、東京で開催されたマトリックス構造解析法に関する第1回の日米セミナーは、忘れることのできないものの一つである。有限要素法の研究に着手を始めたばかりであっ



写真5 マトリックス構造解析法の第1回日米セミナー写真集から、Banquetのナップ

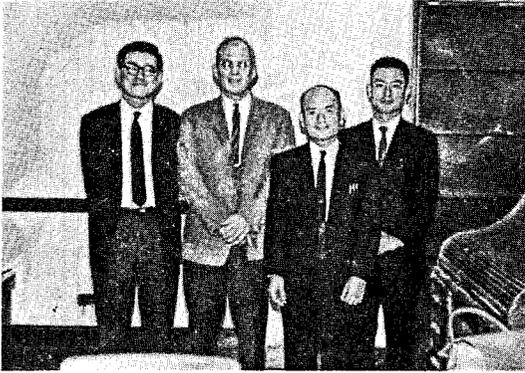


写真6 海外出張の最初の訪問先, California 大学, Berkeley 分校において, Clough 教授とともに

たが, その無限の可能性に魅せられた筆者は, 1968 年, 当時すでに高いレベルに達していたわが国における基礎研究と, 米国における応用研究とを一堂に会したセミナーを開催する可能性を追求することを目的とし, Dayton 市で開かれた Second Conference on Matrix Methods in Structural Mechanics に論文発表を認められたのを機に, 米国における有限要素法の先駆な開発者の歴訪を試みたのである。それは, 筆者が生産技術研究所在職中に承認された 20 数回に及ぶ海外出張の初めての機会でもあった。訪問した学者あるいは研究所は, California 大学 Berkeley 分校において Clough 教授, Philco Ford 社に Melosh 博士, TRW 社に Archer 博士, Cornell 大学では Gallagher 教授, MIT に Pian 教授, Washington 大学に故 Martin 教授等であった。また, Cornell 大学を訪れた際には, たまたま Ithaca 空港において, 英国の Swansea, Wales 大学の Zienkiewicz 教授に初めて出会っている。

こうして 1969 年 8 月に実現した日米セミナーは, 以上を含め, 米国から 20 数名に達する学者および研究者を迎えた盛大なものであり, わが国における有限要素法の発展に強い刺激を与えたばかりでなく, 国際的に記念すべき会合の一つにも数えられている。会議の様子は, 本誌のマトリックス構造解析特集³²⁾に記録として残っており, 会議の Proceedings は, 後に著書にまとめた形で出版され³³⁾, 文献として, また会議を記念する貴重な資料となっている。第 1 回の日米セミナーの成功が, 1972 年, 米国 California 州 Berkeley における第 2 回セミナーの開催に発展し, ふたたび記念すべき Proceedings³⁴⁾が刊行されたことを述べておかなければならない。工学における有限要素法の最初の応用を取り扱った論文の著者の一人であった Clough 教授が米国側のコーディネータであったこともあって, 第 2 回の会議でも, 米国の第一線の学者, 研究者を網羅し, また日本からの出席者が手厚いもてなしを受けたことを思い起こす。California 大学



写真7 第 2 回マトリックス法に関する日米セミナー講演会場のスナップ

Berkeley 分校の Wilson 教授により, Bathe 現 MIT 教授と協力して開発がなされていた構造解析プログラム SAP IV の発表が行われたのも, 同じ会議においてであった。

顧みて, 1967 年から停年退官にいたる 15 年間, 筆者の生産技術研究所における仕事は有限要素法に集中し, 複合材料技術センターに移ってからの 7 年間でも, 有限要素法の立場から複合材料をみることに終始した。この間に志を同じくする大学院学生あるいは研究生等の研究協力者に恵まれ, 対象とする課題の領域を逐次に拡大していくことができたのである。生産技術研究所の年次要覧等の中から, 筆者および共同研究者がターゲットとし, 達成してきた有限要素法の課題は, ほぼ年代の順を追って次のようである。

弾塑性応力-ひずみマトリックスの陽表示の塑性異方性材料への拡張。

一樣断面を有する棒の St. Venant ねじり問題, および引張り・ねじり・曲げの組合せ負荷問題の解析。

円形平板および円筒殻の軸対称の塑性変形問題。

高速試験における一次元応力波の伝ばおよび反射。

材料非線形性を取り扱う対象の塑性体から粘弾性体への拡張。

幾何学的非線形性問題における幾何剛性および荷重補正マトリックスの誘導。

弾性および塑性不安定問題の解析。

流体力学領域における Navier-Stokes 方程式の有限要素解析。

大規模の実および複素固有値問題の解法の定式化。

粘弾性体の周波数応答を求める簡易解析法の開発。

複合材料の力学的特性の有限要素法によるシミュレーション解析。

アーチの解析に適した曲線要素とその剛性マトリックスの陽表示式の誘導。

接触要素, 特異要素, 無限要素等を含む一般化パラメ

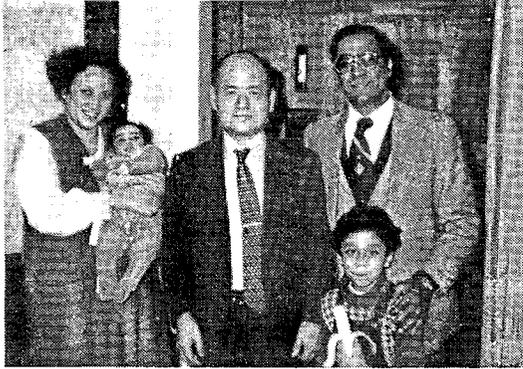


写真 8 山田研究室で生まれた外国人博士の一人, Cairo 大学 Wifn 講師の家族とともに, 1982 年 1 月, エジプトにおいて



写真 9 California 大学, Berkeley 分校の E. L. Wilson 教授を山田研究室に迎えて, マイクロコンピュータ応用について討論の後, 1981 年, 11 月

トリックス要素の定式化,

弾塑性解析の極限として金属定常塑性流れの大変形問題を解く試み,

特異応力場の固有値問題の有限要素解析とその複合材料への応用,

塑性の全ひずみ理論における増分形解法の定式化,

弾塑性解析プログラムの開発とその標準ベンチマーク問題解析への適用,

有限要素法のリンク機構への応用,

有限要素解析のマイクロコンピュータ化,

以上の各課題について, 筆者と共同研究者は, 研究が一段落した都度, あるいは完成のとき, 本生産研究にいろいろな形で成果を発表させていただいている。また, それらを基礎として発展していった成果の多くを, 国際的な専門雑誌, あるいは国際会議の Proceedings に発表している。初期の成果により, 筆者が次の四つの雑誌の Editorial Board の一員として迎えられたことは, 論文を国際誌に発表する上でのチャンネルを知り, また編集の仕組みを学ぶ上に, 非常に有益であった。

International Journal of Mechanical Sciences,

International Journal for Numerical Methods in Engineering,

Computers and Structures, An International Journal,

Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering.

4. 結語とこれからの課題

筆者の生産技術研究所における在職の後半にあたる約 15 年間は, 優れた研究協力者および大学院生に恵まれ, 有限要素法の研究に専念することのできた最も充実した期間であった。この間に, 山田研究室を核として誕生した工学博士は海外からの 2 名を含めて 15 名, 筆者の毎日

の時間は, 学位論文の指導, 海外から送られてくる情報の消化, 論文のレビューやレフェリーの仕事だけでも, 一杯であった。

こうして時は過ぎ, 工学と工業のあらゆる分野に有限要素法が浸透し, 日常化の段階にまで達したときといわれるようになった。このことから, 有限要素法の分野において, 新しい発展の余地は少ないのではないかという疑問, あるいは結論に飛躍される向きもでてきているが, 当たっているであろうか。筆者の生産技術研究所時代の最終の報文³⁵⁾は, この問いに私見として答えている。また筆者自身だけを考えてみても, 個々の問題について納得を重ねながら仕事を進めてはきたものの, はりおよび板曲げの要素, 曲管, 非線形解析における反復計算の方法など, 時間をかけて検討してみたい問題が多く残されている。

さらに新しい趨勢として, マイクロコンピュータの登場とその活用化に, 無関心であってはならないと思う。顧みて, 筆者の生産技術研究所におけるほとんどの有限要素解析は, 大型計算機によるものであった。したがって計算機は, 工学の研究の熱い現場からは, ある一定の距離におかれていたといえることができる。筆者は, 動力炉・核燃料開発事業団からの委託を受けて, 日本機械学会内に組織された非弾性解析に関する研究分科会の主査を, 約 8 年にわたって務めたことがある。しかしそこでも計算解析あるいはプログラムの開発は, ほとんど大型機によって black box 化され, また高価な費用を要するものであった^{36)~38)}。

マイクロプロセッサおよび関連技術の進歩は, 情勢を大きく変化させつつあるかに見える³⁹⁾。筆者のマイクロコンピュータへの係わりは生産技術研究所時代に始まるが⁴⁰⁾, いまではいつそう熱の入ったものとなった⁴¹⁾。自身でも計算の実行を習得することとし, 退官後に筆者に与えられた教育に傾斜した場において, 若者に, 夢と職

を与えるものとして、ソフトウェア生産に結びついた教育と訓練が最も重要と考えている。

終わりに、本誌に筆者の退官記念講演を数えんした研究覚え書の寄稿を薦められ、筆者自身の回顧に大きく傾く結果となった本稿の掲載を認められた編集委員会の委員諸氏に感謝したい。なお、引用文献も、本稿の性格から、筆者本位に止まっていることを、お許しいただきたいと思う。
(1982年10月12日受理)

引用文献

- 1) 東京大学第二工学部史, 開学 25 周年記念, 東京大学生産技術研究所編, 昭和 43 年 11 月.
- 2) 東京大学生産技術研究所 10 周年誌, 生産研究, Vol. 11, No. 6, 1959. 6.
- 3) 東京大学生産技術研究所 20 周年誌, 生産研究, Vol. 21, No. 5, 1965. 5.
- 4) 東京大学生産技術研究所 30 周年誌, 生産研究, Vol. 31, No. 5, 1979. 5.
- 5) 東京大学生産技術研究所要覧, 第 1 号(1952 年度)~第 30 号(1981 年度).
- 6) 山田嘉昭, 試作した薄板深絞り試験機について, 生産研究, Vol. 9, No. 10, pp. 357-360, 1957.
- 7) 山田嘉昭, 球頭ポンチによる深絞りと摩擦係数の推定, 生産研究, Vol. 13, No. 7, pp. 217-224, 1961.
- 8) 六高同窓会 檄, 昭和 57 年 9 月.
- 9) von G. Sachs, Spanlose Formung der Metalle, Handbuch der Metall Physik, Band III, Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig.
- 10) H. Henky, Zur Theorie plastischer Deformationen, Z. angew. Math. Mech., Vol. 3, pp. 241-251, 1923.
- 11) L. Prandtl, Anwendungsbeispiele zu einem Henckyschen Satz über das plastische Gleichgewicht, Z. angew. Math. Mech., Vol. 3, pp. 401-406, 1923.
- 12) P. Ludwik, Elemente der technologischen Mechanik, Berlin, 1909.
- 13) A. Nadai, Plasticity, McGraw Hill Book Co., 1931.
- 14) 中原益治郎, 柏原方勝, 金属塑性学, 概要編, 黒百合社, 1935.
- 15) 山田嘉昭, 二次元塑性理論とその塑性加工への応用について, 東京大学生産技術研究所報告, Vol. 1, No. 5, pp. 151-168, 1951.
- 16) R. Hill, The Mathematical Theory of Plasticity, Oxford at the Clarendon Press, 1950.
- 17) W. Prager and P. G. Hodge, Jr. Theory of Perfectly Plastic Solids, John Wiley, 1951.
- 18) Application of Numerical Methods to Forming Processes, AMD-Vol. 28, ASME, 1978.
- 19) 山田嘉昭, 中原益次郎, 塑性学, 日本機械学会, 1960.
- 20) 山田嘉昭, 塑性力学, 日刊工業新聞社, 1965.
- 21) 山田嘉昭, 輪竹千三郎, 試作した高速度型の深絞り試験機について, 生産研究, Vol. 12, No. 11, pp. 427-430, 1960.
- 22) 山田嘉昭, 金属板材の成形性に関する研究, 学位論文, 東京大学, 1962 年, 1 月.
- 23) 山田嘉昭, 金属板材の成形性に関する研究, 東京大学生産技術研究所報告, Vol. 11, No. 5, pp. 240-296, 1961.
- 24) 山田嘉昭, 棒の縦衝撃と塑性波の伝ば(1), (2), 生産研究, Vol. 17, No. 3, pp. 65-70, No. 5, pp. 114-120, 1965.
- 25) 山田嘉昭, 沢田孚夫, 不連続粘弾性波の差分法による解析, 塑性と加工, Vol. 10, No. 98, pp. 141-148, 1969.
- 26) 山田嘉昭, モアレ法による塑性ひずみ測定の可能性, 機械の研究, Vol. 19, No. 8, pp. 1047-1054, 1967.
- 27) 山田嘉昭, 構造解析小委員会 5 年間の歩みと今後の展望, JSSC 日本鋼構造協会誌, Vol. 6, No. 50, pp. 45-59, 1970.
- 28) 山田嘉昭, 弾塑性問題における剛性マトリックス, 生産研究, Vol. 19, No. 3, pp. 75-76, 1977.
- 29) Y. Yamada, N. Yoshimura and T. Sakurai, Plastic Stress-Strain Matrix and Its Application for the Solution of Elastic-Plastic Problems by the Finite Element Method, Int. J. Mechanical Sciences, Vol. 10, pp. 343-354, 1968.
- 30) 山田嘉昭, 剛塑性体の降伏点荷重 [I]-[V], 機械の研究, 1958 年 3 月から 1959 年 2 月の間に 5 回にわたって連載.
- 31) 生産研究, 最近の数値計算特集, Vol. 20, No. 5, 1968.
- 32) 生産研究, マトリックス構造解析小特集, Vol. 22, No. 1, 1970.
- 33) R. H. Gallagher, Y. Yamada and J. T. Oden(ed.), Recent Advances in Matrix Methods of Structural Analysis and Design, Univ. of Alabama Press, 1971.
- 34) J. T. Oden, R. W. Clough and Y. Yamamoto(ed.), Advances in Computational Methods in Structural Mechanics and Design, UAH Press, 1972.
- 35) 山田嘉昭, 有限要素法とこれからの課題, 日本機械学会論文集(A編), Vol. 48, No. 429, pp. 521-527, 1982.
- 36) 非弾性構造解析プログラムの調査と試用(I)および(II), 日本機械学会, 1974, 1975.
- 37) 非弾性構造解析法の実用化に関する研究(I)および(II), 日本機械学会, 1977, 1978.
- 38) 非弾性解析の設計への適用方法に関する研究(I)および(II), 日本機械学会, 1980, 1981.
- 39) A. K. Noor and J. M. Housner, Advances and Trends in Structural and Solid Mechanics, Computers & Structures, Vol. 16, No. 1-4, 1982.
- 40) 山田嘉昭, 奥村秀人, 吉永 寛, 有限要素法による応力解析とそのマイクロコンピュータ化, 生産研究, Vol. 32, No. 3, pp. 182-189, 1980.
- 41) 山田嘉昭, 弾塑性解析とコンピュータ, 第 82 回塑性加工エシンポジウム, 講演予稿集, pp. 1-10, 1982.