

アメリカにおける固体力学研究の最近の動向

Recent Trend in Researches of Solid Mechanics in the United States

川 井 忠 彦*

Tadahiko KAWAI

1966 年 9 月より 1 年間ニューヨーク州立大学バッファロー分校土木工学科に招かれて、教育および研究活動に従事するかたわら、いくつかの学会に出席する機会に恵まれ、アメリカにおける構造力学研究の動向についてその一端を探知することができたと思われるので、その印象を要約してご報告したいと思う。

1. ニューヨーク州立大学バッファロー分校にて

私の滞在したニューヨーク州立大学バッファロー分校 (State University of New York at Buffalo) は、かの有名なナイアガラ滝に程近いバッファロー市にある。この町は人口約 200 万、ニューヨーク州第二の都会であり、アメリカ開拓の時代より、交通、文化、産業の要衝としてアメリカの発展に寄与して来たが、現在もアメリカ東部の電力を一手に供給しているナイアガラ発電所が近くにあり、バスレームスティール、ガルフその他の製油所を始め各種の化学工場があり、ニューヨーク州西部における工業の中心として、近年ますます発展の途上にある。

この大学は 1846 年バッファロー大学 (University of Buffalo) の名のもとに医科大学として誕生した。初代の総長は後に第 13 代アメリカ合衆国の大統領となった Millard Fillmore で、今日アメリカにおける医学界の名門校の一つに数えられ、また世界的に知られている癌研究のセンターとなったのである。このようにして医科大学として出発したこの大学は、以後 70 年の間に社会的要求から次第に総合大学としての形態をとるようになり、1954 年に国防長官補をつとめたことのある Dr. Clifford C. Furnas が第 9 代の総長に就任すると同時にバッファロー州立大学に移行し、ニューヨーク州西部における最高学府となったのである。しかしながら、工学部の設置されたのは 1946 年で、歴史は浅く、建物、施設の規模や人材、学生数において東京大学の比ではないが、1962年にニューヨーク州立大学バッファロー分校となるに及んで、州立としては最大にして最初の総合大学院大学として脚光を浴びるようになったのである。そして現在 1 億 3 千万ドル (約 500 億円) を上回る大学拡充予算と 1,000 エーカー (約 4,047,000 m²) の土地を確得して新しい大学作りが始まり 178 エーカー (約 720,400 m²) の現在の大学の建物、土地は、そっくりそのまま医学部に明け渡し、1970年までに 2 万 7 千人の学生を教育



ニューヨーク州立大学バッファロー分校にて (後の建物は工学部本館)

人物は右より

Dr. Simon Ince (カナダよりの客員教授)

一人おいて

Dr. Ralph R. Rumer (土木工学科主任)

Dr. Emanuel Partheniades (土木工学科準教授)

以上三人とも専門は水力学、河川工学

筆者

するための各学部建物、研究所、およびその附属施設の建設が着々と進行している。

現在、若冠 44 才の Dr. Martin Mayerson が第 2 代目総長として、新しい大学作りに思い切った政策をどしどし推し進めており、これを助けているのが、筆者が約 10 年前ペンシルベニア州ベスレーム市にあるリーハイ大学 (Lehigh University, Bethlehem Pa.) に留学していた当時、塑性設計法 (plastic design) の先駆的研究をやっていた Dr. Robert L. Ketter で、現在彼は副学長の要職にあって、大学拡充計画の事実上の推進役を動めている。

おもしろいことに、Dr. Mayerson の専門は都市計画で、彼自身ハーバード大学で教鞭をとっていたことがあり、その後カリフォルニア大学バークレー分校に転じ数年前の大規模な学生運動の説得鎮圧に敏腕を振って一躍有名となり、その手腕を買われて第 2 代総長になったという話である。

副学長の Dr. Ketter も今年 40 才、有名なドイツの

* 東京大学生産技術研究所第 2 部

世界的数学者ガウスの子孫に当たり、リーハイ大学時代圧縮部材の塑性曲げや骨組構造の最小重量設計問題について顕著な業績をあげ、34~5 才の若さでこの大学の土木工学科の主任教授として迎えられたが、一昨年春に大学院院長 (Dean of Graduate School) に栄進、1 年もたたぬうちに大学の副学長に抜てきされた。

このような人事は、アメリカの大学においても異例に属することであろうが、彼の人格、識見、政治力もさることながら、アメリカにおける学校行政のきわめて弾力的なやり方について強い感銘を受けた。

この 2 人の青年学長のつきつきに打ち出す大学作りの政策は全く思い切ったもので、工学部の運営方針についての若干述べるとすれば、まず在来の縦割り式の専門教育重視の方針を改め、学部教育は将来工学者として如何なる分野に入っても十分独力でその道の専門家として立って行けるよう、みっちり数学、物理、化学、基礎工学などの習得に重点を置き、学生の能力と希望を考慮しつつ必要最小限度の専門課目を習得せしめるよう適宜指導しようというもので、その範をイギリスのケンブリッジ、オクスフォードやハーバート大学の工学教育に求めている。これは何も筆者の行っていた大学に限らず、めまぐるしい技術革新の進展に対応して、将来本当の意味でアメリカにおける自然科学、工学の進歩の推進力となるような若手科学者技術者の教育は従来の既成の学問の体系にあまりとらわれず、自由に新しい学問分野の開拓や技術開発の潜在力が涵養されるように学生を指導しようとするアメリカの大学一般における一つの流れと考えることができるであろう。私が昨夏帰国する前後から強力に打ち出されて来たこの政策に、当初各分野の古手教授連の間に大部抵抗があり、なかなか前途は多難の様相を呈していたが、わが国における工学部教育のあり方についても他山の石として十分検討の余地があると思われる。

このような政策と併行し、各学科の教育施設、なかんずく研究設備の充実に力を注ぎ、土木工学科でも、文字どおり世界第一の構造物試験センター建設の計画が進行している。またこれらの新施設の建設と同時に各学部で現在いくつかの高等研究所 (Institute for Advanced Studies) を作り、それぞれの分野で世界的業績をあげている著名な学者を集めて、終身その生活を保証し、自由に研究を推進されるような計画も立てられているようである。これはプリンストン大学の有名な物理学の高等研究所と同じ思想で、各分野の学問の進歩に貢献せしめようという雄大な構想に基づいているものと思われる。

始めに述べたように、膨大な州の予算を獲得し、若手教育者によって推し進められているこの大学の将来には非常に興味があるが、この計画遂行に当たっての最大の悩みは優秀な人材の獲得である。この大学の歴史は決して

浅いものではないが、理学部、工学部は大体戦後設立されたものであるため、何といっても教授陣の層が薄く、著名な人材に乏しいようである。したがって大学当局の人材の獲得に払う熱意は想像以上のものがあり、筆者の滞在中に土木工学科だけで、20 人に近い人々がインタビューに来訪し筆者も意見を求められたこともたびたびあった。現在土木工学科の主任をしている Dr. R. R. Rumer は MIT で学位をとった河川工学の専門家で、現在 37 才位、構造力学関係の指導に当たっている中心人物は筆者のリーハイ大学時代の学友で、梁の弾塑性横倒れ座屈の研究で学位をとった Dr. G. C. Lee (中国人) で彼もまた 35 才という若さである。その他数人の教授および準教授 (Associate professor) がいるが、助教授連はすべて 25~6 才の若さであり、それぞれ斬新な研究を精力的にやっているが、層の厚さという点で日本の一流大学に比べると見劣りする。

このような傾向は著名な一流大学を除いてアメリカの大学全般にいえることであって、その人材の争奪戦は正にプロ野球のストーブリーグ並みである。筆者が出席したいいくつかの学会は、研究討論の場であることはもちろんだが、同じ専門の分野で活動する人々の動静を知り、また、自分の宣伝と逆に人材をスカウトする一つ場になっていることを知り、いささかびっくりした。その好例はカリフォルニア大学サンディエゴ分校であり、昨年、空力弾性学 (Aeroelasticity) の大家 Dr. Y. C. Fung と数理塑性学 (Mathematical Theory of Plasticity) の Dr. W. Prager を獲得し、また一時マサチューセツ工科大学より殻理論の大家 Dr. E. Reissner が来ていたようである。

地方の新興大学は、一人でも多くの優秀な卒業生を社会に送り出し、大学の名声を少しでも早く高めようとして、その原動力となる著名な学者、教授の獲得に血眼で大学同志また国立、民間の研究所や会社との人事交流はきわめて活発である。したがって若い心身気鋭の学者技術者は能力次第でどんどん要職に抜てきされ、高給を貰い経歴を重ねて行くわけで意欲的な仕事を夢みる若い研究者にとって非常に魅力となり、世界各国から“頭脳のアメリカへの流出”が起こる原因ともなっている。

歴史、風土が異なり、富みの点で桁違いのアメリカとわが国とを比較することは土台無理であると思われるが、宇宙開発、原子力工業を頂点としてアメリカの技術革新の最大のにな手となっているのは 30 代から 40 代の青年科学者技術者達であり、十分な研究費と報酬に恵まれ、いたれり尽せりの環境で、研究に情熱を傾けることができる境遇は、単にアメリカの富のみに由来するとは考えられないのである。産業の自由化や外国資本の攻勢が喧しく論ぜられる今日、10 年、20 年先の科学技術発展の将来計画を真剣に討議し、抜本的学術振興策

の推進が必要であることをひしひしと感ずるのは筆者一人ではないと思う。

2. アメリカにおける研究上の収穫

筆者は前に述べたように、この大学の土木工学科大学院において秋学期は平板構造、春学期は殻構造理論の講義を修士および博士課程の学生を対象にしているように依頼されたが、平板構造の方はともかく、殻理論の方は未だ駆出しの段階であり、しかも英語で講義をするのは生まれて始めてなので、いささか重荷に感じたが、何事も経験と思ってこの仕事に体当たりした。学生は全部で約 10 人、うち学部を出たばかりの 2 人の若いアメリカ人の学生を除いて、他のほとんどの人が博士課程の学生で、内訳は中国人 4 人、印度人 1 人、ハンガリ系カナダ人 1 人(後アメリカに帰化)、エチオピア人 1 人、それにバッファロー市外にある有名なヘリコプターの会社ベルエアロシステムに昼間は勤めているアメリカ人 1 人、中国人 1 人という国連並みの顔振れであった。いずれの学生も 2 人の若いアメリカ人(修士課程)を除き、数年間大学院でそれぞれの専門をかなり突込んで勉強にきた学生ばかりで、私の下手な英語にもかかわらず終始熱心に勉強し、クラスでもよく質問や議論を提出して逆に張り合いを与えてくれた。筆者はここ数年間固体力学の変分原理に強い興味を引かれ、既成の工学的理論を応用して新しい問題を解析することよりも、一般的な仮想仕事の原理から、従来の梁柱、平板、殻構造はもとより三次元連続体に関する理論がどの程度の近似で誘導されて来ているのか、あるいはまた、より厳密な解析理論はどのようにして組立てられるかについて研究してきた。このような方向への興味を開いてくれたのは、工学部の鷲津久一郎教授の研究論文¹²⁾であるが、変分原理は基礎の平衡方程式と同等であり、仮想仕事の原理から純数学的に対象構造体の平衡を支配する基礎方程式と境界条件が導き出せるし、しかもその間に導入されるいくつかの仮定からして解析の精度が客観的に評価できる点が一つの大きな魅力でもあった。また複雑な構造上の問題、たとえば殻の座屈の基礎方程式などはきちんと初期応力問題(Initial Stress Problems)として一般の変分原理から求めるべきもので、従来 Love, Vlasov, Timoshenko, Flugge などの世界の大学者がやって来たような、微小要素の釣合を物理的に考えて出す方法は一般に理解しやすいが、その近似度の評価がむずかしい点で問題があると思っている。これが筆者をして変分原理に異常な興味を抱かせた第二の点であるが、第三の大きな魅力は、工学上の問題の大部分のものは教科書や参考書に書いてあるような単純な問題ではなく、厳密解(基礎方程式の近似度は別として)の求められるものは極限されており、如何なる問題に遭遇しても信頼できる近似解が求められる方法の

確立ということであった。よく知られた Rayleigh-Ritz の方法は誰でも知っている割に活用されていないように思う。筆者はこの方法の驚くべき実用性を後退平板翼の振動解析の研究において再認識した³⁾。この研究が動機になって梁柱、平板、殻構造そして曲り梁、三次元連続体などすべての構造体の Rayleigh-Ritz の方法による実用解析法の確立を志し、やがて有限要素法に非常な興味をもつようになったのである。

前置きが長くなったが、筆者は殻の構造解析を鷲津教授の理論を足場に、工学的によく用いられる Kirchhoff-Love の仮定をすて、三次元弾性論の立場から構成し薄い殻から厚い殻まで一貫した方法で解析し得る実用解法の展開を試みた⁵⁾。その間いろいろ迂余曲折があったが研究を進めながら、次回にその結果を要約して説明するという強引な講義を昨年の 1 月から 5 月まで行なった。大学院の学生はさき程述べたように皆将来性のある頭脳の持ち主ばかりであったが、その学力が不揃いのため結局ベクトル、テンソル解析から始めて三次元弾性論、変分学や微分幾何の概要を説明し、講義の本筋に入れたのは 4 月という有様で、僅か 1 月半足らずの間に殻理論の要点を教え込むような羽目に落ち入ったから、さすがの熱心な学生達もいささか消化不良を起こしてしまったようであった。しかし筆者にとって、殻理論を本当に突込んで研究する機会が与えられ、学問的視野が大いに広められたことは大変うれしいことであった。この研究が基になってかねてから不満に思っていた Vlasov の薄肉開断面材の曲げ振り理論⁶⁾の修正、一般化の仕事の足掛りがつかめ、St. Venant の振り理論との関係も明快に把握することができるようになった。

3. 学 界 の 印 象

今回の渡来の目的の一つは、最近、日本でも各方面で次第に研究開発が盛んになって来た有限要素法(Finite Element Method)による複雑な構造物の構造解析の米国における現状を調査することと、固体力学の研究における最近の動向を探知することにあつたので、できるだけ機会を捕えて、めばしい学会に出席するように心掛けた。またそれと同時に自分のやっている研究を宣伝するいい機会でもあるので、一つでもよいから適当な学会で研究発表をしようと努力したのであるが、向うに行って驚いたのは大きな講演会は意外に数が少なく、また一学会の主催のものよりいくつかの学会の共催のものが多く規模も大きく、論文の締切も大体遅くて半年前位というのが大半で、講演の機会を見つけるのに一苦労した。しかし一年間に四つの学会に出席する機会に恵まれ、いろいろな分野の人々と接触し、討論や情報交換をすることができたのは幸せなことであった。

出席した学会は次のとおりである。

① 1966 年 10 月 12~14 日 (Washington D. C. において) ASCE, Engineering Mechanics Division, Speciality Conference

② 1967 年 1 月 23~26 (New York 市において) AIAA 5th Aerospace Sciences Meeting

③ 1967 年 5 月 8~12 日 (Seattle 市において) ASCE National Meeting on Structural Engineering

④ 1967 年 5 月 22~26 日 (カナダ Québec 市において) Canadian Congress of Applied Mechanics

出席した最初の会議はアメリカ土木学会の応用力学部門の主催で、その規模はあまり大きくなく、また発表された論文の中に特に目にとまったものは少なかったが、この会議は二つの点で印象に残った。第一の点は、この会議の中に Biological Flow という部門があり、それにかんがりの論文が集っていたが、これは最近特に目覚しくなった医学領域への工学の進出を物語るもので、生体現象の工学的解明という新しい学問の流を端的に示すものであろう。この部門では、水力学の専門家が血液流その他の循環器系統における生体現象のメカニズムを流体力学的に追跡しようというのがそのねらいようである。

また、この会議開催中、午餐会があったが、これには NASA, National Science Foundation, Bureau of Public Roads, National Institute of Public Health など四つの機関から研究計画立案の代表者がゲストとして招かれ、座長である Prof. R. M. Haythornthwaite の司会でそれぞれ各機関が現在どのような研究計画を持ち、どのような研究課題に興味を持っているか、また特定の研究課題に対してどの位の研究費の交付が可能であるかといった話を約 30 分位づつ行ない、この会議に集った大学教授、研究所、民間会社の研究者、技術者と熱の入ったやりとりをする場面を見たが、これは要するに研究スポンサーと研究者との間の一つの“取引市場”であることを発見した。この四つの機関のうち、NSF のやり方がわが国における文部省大学学術局のそれに類似し、基礎的研究のスポンサーとして将来性のあると思われる研究にできるだけ広く研究費を配分しようという方針をとっておりしたがって、研究費は Grant という形で配分され、研究成果の首尾についてはあまり問題にしないという博愛衆に及ぼす形の有難いスポンサーであるが、その研究費の交付額は他のスポンサー、たとえば NASA などと比べると一般に少ないようである。これに対し、たとえば NASA はアメリカがソビエトと宇宙開発でしのぎを削っている関係上、何といっても月ロケットのアポロ計画に関する高度な技術的問題の解決に役立つ研究ならばいくらかでも研究費を投入しようという大口のスポンサーであって、研究費は Contract という形で交付され、研究担当者は所定の期間（一般に 1 年位の短期間のものが多いと聞いている）に予想しうる成果をあげる責任を負

わされるのである。したがって研究者の方もある程度研究の見通しが立ち十分短期間に成果があがる自信のある場合にのみ限られてしまうようであるが、代表者の述べた数多い研究課題を聞くにつけアメリカの宇宙開発にそぐ並々ならぬ熱意のほどがうかがわれた次第である。

また NIPH は近年医学と工学の境界領域を探索する目的で誕生した新しい生体工学(Bioengineering)の推進役となっている有力なスポンサーの一つで、NASA に勝るとも劣らぬ位の膨大な研究費を有し、工学者のこの方面への進出を大いに奨励している。昨年機械学会創立60周年記念行事に参加するため来日したシアトルのワシントン大学機械工学科アルバート小林教授の話によると、空力弾性学の世界的権威の一人である Prof. Y. C. Fung は最近すっかりその専門から足を洗い、生物力学 (Biomechanics) のパイオニアとして新しい情熱を燃しているということである。また小林教授自身も血管をモデル化した三つの層から成る円管の内圧によるクリープ破壊のメカニズムを有限要素法を用いて解析し、動物実験の結果との比較を行っており、また同じような手法で眼球内の圧力分布を調べているが、これらは動脈硬化、眼底出血等老人病の生体工学的研究の 1 テーマとして NIPH から研究費の交付を受けているようで、近年、ますますこの方面へのエンジニアの進出が盛んになりつつあるということである。

昨年 1 月ニューヨークで開かれた AIAA の会議は、予想していたようにきわめて多彩であり、あまりにも専門的な宇宙開発上の最先端における技術的問題についての研究ばかりで、ただただ驚くばかりであったが、構造部門の講演会に出席してみても目立ったことは、講演題目の約 80% は殻構造問題で、しかもその有限変位あるいは座屈後の挙動や動的安定などがその大半を占め、アメリカの航空宇宙関係の構造部門では、殻構造の研究論文でないと注目されないような印象を強く受けた。これもひとえにソビエトとの激烈な宇宙開発競争のため、研究課題が極度に専門化され、重要課題の研究を重点的に押し進めなければならない厳しい現実を物語るものであろう。このような状況下においては、スポンサーがこれだと思う研究には惜しみなく研究費を注ぎ込み、その代わり期限をつけて研究者を督促するから、特定のテーマの研究は確かに著しく進展するものと思われる。

しかし、一方においては、そのために問題研究の方法について十分な検討もせず手をつけて、金の力で強引にとにかく解決して行こうとするアメリカ一流のやり方が生れる原因ともなり、最少の研究費で最大の成果を上げようとする日本の研究に比べてまったくお粗末な金の使い方をしているような印象を受けたこともたびたびあった。この意味において研究費の乏しいわが国の研究者がとらざるを得ない研究態度は立派なものであると思うが

同時に一般的に日本の研究者は研究の進行予定とか期限についてもっと真剣に考える必要があるのではなかろうかということを感じた次第である。

シアトルで行なわれた ASCE の構造工学関係の講演会には、座長である Prof. E. F. Masur の厚意で“加速度を受ける構造部材の安定(Stability of the Accelerated Structural Members)”という題で講演することができた。この論文は従来あまり組織的研究が行なわれていなかった剛体運動が運動する梁部材に及ぼす影響について一般的に検討し、高速運動をする機械要素や航空機ロケット、人工衛星などの構造設計への応用を目標にしたもので、シャフトのふれ回り(whirling)、タービン翼への遠心力の影響などは、その卑近な応用例である。この講演においては部材が等加速度運動をする場合に起こる準静的変形および弾性安定の問題を主として論じた。この講演会における収穫は“構造力学における有限要素法”というテーマでシンポジウムが開かれ、アメリカにおけるこの新分野の指導的立場にある人々と会う機会に恵まれたことである。このシンポジウムの次第を記すと次のとおりである。

司会者: M. J. Turner, Boeing Airplane Co. Seattle

① 有限要素の思想 (R. W. Clough, Univ. of Calif., Berkeley)

② 有限要素法における計算機自動化の問題 (R. J. Melosh, Philco Western Development Lab., Palo Alto)

③ ダムや三次元連続体解析に対する有限要素法の応用 (E. N. Wilson, Univ. of Calif., Berkeley)

④ 有限要素法と構造物の最小重量設計 (R. H. Gallagher, Bell Aerosystems, Buffalo)

⑤ 質疑応答 (B. J. Hartz, Univ of Wash., Seattle)

約 300 人位入れる会場が満員になる位の盛況で、土木工学界の研究者や技術者の関心の深さを物語っていたが各講演者の熱の入った講演の割には聴衆の盛り上がりが少なかったような感じがした。その原因を考えてみたが土木工学界は新技術の導入に対して保守的というか慎重であるということがその一因であろう。有限要素法はきわめて有力な構造解析法であるが、その威力を十分発揮させるためには大形計算機センターの存在を前提とし、同時にそれを使用して如何なる種類の構造問題をも取扱えるような汎用プログラムが開発されていなければならないのである。したがって、有限要素法の開発研究や応用研究は主としてポーイング、ノースアメリカン、ダクラス、ベルその他の主要航空機会社において事実上推進され、各社はそれぞれ独自の巨大な計算センターを建設し汎用プログラムを開発、保有している。そしてそれを資本にして NASA などから出る膨大な宇宙開発の研究費の取り合いをやっており、大学における小規模な研究では全く太刀打ちできない状態になっているのである。

このように有限要素法の研究はほとんど生産会社に主動権を握られているため、好むと好まざるとしてかわからず研究成果の公開が閉鎖的になり、いろいろな学会で数多くの論文が続々発表されるにもかかわらず、その研究者の参考になるものがきわめて少ないという矛盾を生じている。もちろん大学においても Prof. H. C. Martin のいるワシントン大学、カリフォルニア大学の Prof. R. W. Clough や M. I. T. の Prof. T. H. H. Pian など活躍している人々も少なくないが、概して基礎的研究が多く新しい解析法や平板、殻の有効な曲げ有限要素の開発などに研究の焦点が絞られている。昨夏、帰国直前イギリスの土木構造力学 Prof. O. C. Zienkiewicz の連続体の有限要素解析法の著書⁷⁾を入手することができたが、同教授はこの本の中で有限要素法は航空構造力学の研究者などの努力によって開発されたものであるが、その源は固体力学の変分原理に根ざしており、現象を支配する物理法則が変分形式で与えられる連続体の問題ならば同じような方法で現象の解析ができることを論じ、熱伝導や流体力学方面への応用などにも言及している。

確かに近い将来、この方法が応用数学者の興味を引き階差法(Finite Difference Method)と同様、物理や工学に現われる偏微分方程式の有力な数値解法として脚光を浴びる日も近いと筆者も思っている。

この会議に出席するため乗った飛行機の中で、Dr. R. H. Gallagher と一語になり、いろいろ有限要素法の現状と将来について雑談を交わしたが、彼は事実上のベルエアロシステムの構造解析グループの育ての親であり、ゼロから出発して今日のベルの構造解析システムと汎用プログラムの開発整備に約 12 年の歳月を要したことを述懐していたが、有限要素法開発の初期の段階においてその将来性を見通し、その手足となって働いてくれる若い技術者を養成しながら、電子計算機のエンジニアの協力を呼び掛けて次第にその研究グループを拡大し、計算センターの建設と汎用プログラムの開発に精力的活動が続けて来たのだそうで、このような開発の仕事はこれだよいという限界がなく、電子計算機の大形化、高速化と共に絶えずシステムや汎用プログラムの改良拡大を計り常にその時点における最良のものにする努力が続けているのだという話を聞いた。彼の話は宇宙開発と有限要素の将来に向けられ、不規則な、時間と共に変化する外力を受ける構造物の振動や動的安定問題の有限要素法による解析と数多くのパラメータを有する構造物の最適設計法を電子計算機に自動的に行なわしめるシステムの開発に現在没頭中であるということであった。彼は月に何回となくアメリカの各地に飛び、新しいプロジェクトの獲得、研究の中間報告、情報交換などに精力的な活動が続けており、旅行中も常にいくつかの航空関係の雑誌に目を通し、宇宙開発の将来計画の方向を察知して、その推

カナダの応用力学会議の中にもあった前記二つの特別講演が企画された理由もうなづけるわけで、ここしばらくの間はこの方面の研究に世界の学者の関心が集まるものと思う¹⁰⁾。この Bolotin 旋風で感じたことは、これらの本に限らず、ソビエトで出版された科学技術関係のおびただしい参考書や文献は直ちにアメリカに輸入され、選別されて斬新なものは次から次へとほん訳され、政府出版物として僅か 3 ドル位の値段で研究者の手に入るような態勢になっている。これも宇宙開発を始めとして科学技術の面でソビエトに先んじようとするアメリカの努力の一面を物語るもので、アメリカの研究者はこのようにして世界中の文献を容易に入手でき、ヨーロッパの学界との交流も国内の交流とほとんど変らぬ位活発に行なわれている。かかる研究環境は欧米から遠く離れ、文献の入手も思うように行かない日本の研究環境に比べてまったくうらやましい限りであるが、このような意味においても政府の積極的な学術振興政策が熱望される。

固体力学の分野でアメリカにおいて出版されているソビエトの参考書や文献の英訳本には、圧倒的に殻理論の参考書や文献が多く、しかもこれまであまり名前の知られていない人々の手になる本に斬新なものが多いのは、ソビエトの固体力学界が理論解析の面で研究者の層が厚く、またきわめて高度に進んでいることを物語っておりアメリカは有限要素法を始め高度の電子計算機による数値解析法や実験技術でこれに対抗しているのはまことに興味深く感ぜられる。

3. む す び

いずれかの機会に、滞米生活一年間において見聞したことや学界活動の報告を本誌に寄せるつもりではいたが原稿締切まであまり時間をいただけなかったので、十分に材料を整理し文章を推高する暇もなく、筆のおもむくまま一瀉千里に書きなぐり、はなはだまとまりもなく、また、あまり読者に裨益する所の少ない一人よがりの雑文になってしまったことを恐れている。これは一つにかかって筆者の不徳の致すところでお許し願うほかないが、

(p. 39 よりつづく)

3000~4000 個/cm² にもおよぶ凝縮点が観察されている。したがって、計算機の容量の許す限り発生点の数を多くとって計算してみることも必要であろうが、筆者自身は、凝縮量 (すなわち凝縮熱伝達率) は凝縮点の数が 1,000 個/cm² を越すあたりから飽和しはじめ、ある程度のところで計算を打ち切ることができるのではないかと予想している。またこの問題とからんで、凝縮面の大きさの選び方が結果に影響を与えるということも考えられるが、これについては適当ないくつかの場合について寸法効果をチェックしておけば十分であると考えている。

またこの方法では、凝縮点の分布はまったくランダム

その責任の一端を出版委員会が負っていただけること期待して筆をおく次第である。

最後に今回の海外出張は、岡本前所長を始め水町教授や第 2 部の諸先生の寛大なご配慮とご厚意により可能になったものであることを記し、深い感謝を捧げるものである。
(1968 年 1 月 18 日受理)

参 考 文 献

- 1) K. Washizu, "Variational Principles in Elasticity and Plasticity" to be published by Pergamon Press.
- 2) K. Washizu, "Variational Principles in Continuum Mechanics" University of Washington, College of Engineering, Department of Aeronautical Engineering Report 62-2, June, 1962.
- 3) 川井, 靖他 "平板翼の振動について" 航空宇宙技術研究所報告 TR-30, 1962 年 10 月
- 4) K. Washizu, "Some Consideration on Shell Theory", The Report of Aeroelastic and Structures Research Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Oct., 1960.
- 5) T. Kawai "General Method of Solution for the Responses of Shells Based on Rayleigh-Ritz's Procedure" Civil Engineering Report No. 14, Department of Civil Engineering, State University of New York at Buffalo, Aug., 1967.
- 6) V. Z. Vlasov, "Thin-Walled Elastic Beams", Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem (1961)
- 7) O. C. Zienkiewicz, "The Finite Element Method in Structural and Continuum Mechanics", McGraw-Hill Publishing Company, Berkshire, England (1967)
- 8) V. V. Bolotin, "Nonconservative Problems of The Theory of Elastic Stability" Pergamon Press, New York (1963)
- 9) V. V. Bolotin, "Dynamic Stability of Elastic Systems" Holden-Day, San Francisco (1966)
- 10) V. V. Bolotin, "Statistical Methods in Structural Mechanics", Stoi'izdat, Moscow, 1961(1st edition) 1965 (2nd edition); English Translation to be published by Holden-Day, San Francisco (1966)
- 11) G. Herrmann, "Dynamic Stability of Structures", Proceedings of an International Conference held at Northwestern University, Evanston, Illinois, Pergamon Press (1967)

に決められるため、必ずしも実際の伝熱面における分布とは類似でない場合が生ずる可能性もある。しかし数多くの場合について計算を行ない、その結果を平均すれば凝縮点の選び方の問題は考える必要のないものになるであろう。

もし今後この方法による計算が順調に進めば、蒸気の種類によるパラメータの違いや、温度差による成長速度の変化の影響、落下限界径の影響、さらに転落液滴による掃除の効果 (すなわち液滴が凝縮面上から転がり落ちるときに、その通路にある液滴を吸収・合体して運んでしまうこと) などを実験によらずに求めることができることになる。
(1967 年 12 月 22 日受理)