

1. はじめに

本伝熱研究会が発足以来25年の歴史を刻むことになり、この100号記念特集号を出すことは慶賀の至りに思います。またこのような折に「国際的観点からの日本の伝熱研究」という命題で意見を述べるよう依頼されたことは、日本の伝熱研究もこの約25年間の間に国際的に評価されるようになったと編集委員の方々が考えられた結果と思われ、また私個人の見解としても、表記の命題で意見を述べるのは、非常に適当な機会と考えました。しかしこのような命題について伝熱の専門家である会員の方々にお読みいただくために、私より適当な方がおられるのではないかと考え、お引き受けすることをいささかためらいましたが、お断わりしましては特集号の編集に迷惑をかけるのではないかと思い、お引き受けしました。

考えてみると第2回の国際伝熱会議が米国コロラド州のボルダー市で開催されたのは25年前の1962年で、ほぼ本会の発足の時期と一致しています。その時の日本からの出席者は6人、論文は2編位だったと思う。この時の全論文集は124編で日本以外のアジア地区からの論文はなかったと記憶している。それ以来昨年サンフランシスコ市での第8回国際会議まで私はほとんどの伝熱国際会議に論文を出し、かつ出席してきた。また Int. Journal Heat and Mass Transfer の Editor を13年間務めてきて、その間に5、6回行なわれた Editor 会議にほとんど欠かさず出席した。その折、各国の Editor はそれぞれ Journal に載った論文には目を通してあるので、互いに率直に他国の論文を評価したり、自由に意見の交換を行なうなど、国際的交流の役の一端を果たしてきた。またこれらの機会の他に、私個人としては ASME の年次総会および米国伝熱会議、ユーゴスラビアにある Int. Center for Heat and Mass Transfer の国際シンポジウム、米国の大学での大学院学生への集中講義などに召へいされたりなどで30回近くも外遊し、この間に多くの海外の伝熱の研究者と既知となり、また直接外国人から見た日本の伝熱研究についての評価の意見、および海外の友人との手紙による意見交換などの機会があった。したがってこれらのことから得られた知識、見解を基にして、本稿を執筆したことを先ずお話ししておく。

さて国際的観点としてどういう内容を考えてこの稿を記したかをまず説明する。与えられた命題を簡単に解釈すると国際的な立場に立って考えると、日本の伝熱研究はどんな水準にあるといえるのか、またその国際性はどうかということなどについての意見を述べられ

ばよいようである。しかしもう少し詳しく考えてみると、日本の伝熱の論文の国際性、外国人から見ての国際的評価などについての意見も説明する必要があると思うし、できれば将来日本の伝熱研究が国際的水準、国際性を維持するためにはどのような研究を行なうのが望ましいかについての意見を述べたいと考えている。

2. 日本の伝熱研究の国際的水準と国際性

伝熱研究といっても内容により伝熱学、伝熱工学、伝熱技術に大別できるという意見については2年程前に本誌で述べた。伝熱研究の基礎的分野を扱う伝熱学での、最も重要な国際的観点からの評価の項目は、当然のことながら研究対象と創造性であり、ついで波及効果であろう。従ってこれらの条件を満たし、国際性のある伝熱学の分野の研究は、学問的な意味でも国際的に関心をもたれ、その効果が多くの人の関心を引き、次の段階の研究を引き出すような伝熱現象を取り上げるものでなければならない。しかし研究者自身は独創性があると思っても、学問的価値がないものは、その研究結果は利用されないし、他の研究に引用されることもない。独創性とは誰も今まで研究していない問題を取り上げることでだけでは十分にその条件を満たしているとはいえない。このことを説明するためによく用いられるたとえ話に、新無人島発見的研究というのがある。それは今まで地図にも載っていない小さな島を初めて発見した場合、その島が例えば観光的にも、資源的にも全く無価値の場合には、たとえ新しい発見でも国際的にも関心をもたないだろうということである。すなわち独創性のある研究は国際的にも関心をもたれ、かつそれから発展する新しい研究の導火線にもなるような波及効果、将来性があるものでなければならず、これは言い換えると学問の流れに添うか、あるいは新しい流れを作り出すものが国際的に高く評価される。

多くの場合、一つあるいはいくつかの一連の論文で一つの現象を対象とする研究は一段落がつけられる。しかし、伝熱学の研究で国際的に高く評価されるものの中に、見掛け上異なる現象を対象としていると思われたいくつかの研究分野、成果が同一の理論などで解釈できるという体系付けを行なうような研究、または異なった解釈などで説明されていた多くの研究結果を体系的に整理し、伝熱学に新しい体系の導入、または統一的解釈の導入を内容とするような研究は国際的に非常に評価される。

伝熱技術はエネルギー工学および先端技術の開発のために必要な伝熱に関するものであり、そのほとんどは実際の機器の構造などに密接に関係している。従って自動車のラジエーターなど、熱交換器そのものの性能が第一義的な重要性を持つ場合とともに、電子機器の冷却のように伝熱特性が、その機器が国際的競争力を持つ上で非常に重要な場合などがあり、これらの分野の伝熱技術を国際的水準に保つために活発な開発が進められている。しかしこれらの伝熱技術には当然なことながら、重要と考えられる種々の異なったかつ比

較的基礎的な条件での各種の伝熱研究の結果が利用され、この目的でいわゆる多くの伝熱工学研究が行なわれ、報告されている。上に説明した伝熱技術のほとんどのものの日本の水準は国際的レベルに達し、国際的競争力を持っていると考えてよい。しかし新しいプラントにおいて利用すべき優れた伝熱技術、また従来より苛酷な条件、あるいは高性能の熱交換器あるいは機器の重要な部分の冷却などでは、新しい現象・内容に関する伝熱技術の開発が必要になると考えられる。このためにもその基礎となる伝熱の研究特に単なる従来の研究の延長的内容ではなく、将来の利用、発展、波及効果を持つ国際的水準の内容の伝熱工学的研究が望まれる。しかし伝熱学的研究が比較的国際性を持ち易いのに対し、新しい伝熱技術が問題となる機器はその国特有の社会的要求から開発が必要となる場合がかなり多い。すなわち開発される伝熱技術はその国のエネルギー事情、産業界が重点をおいて開発する製品・機器の市場によってかなり異なっており、すべてを国際性を考慮して議論することはできない。たとえば最近でも日本においては新エネルギーを用いるプラント、省エネルギー機器についての技術開発が活発に行なわれ、またその必要が十分にあるが、米国では電子機器の冷却技術に重点が置かれて、エネルギー工学における伝熱技術の研究開発のテンポはスローダウンされている。

更に一般的な問題としては、伝熱関係の機器・製品は、現在は国際市場競争として新聞紙上で取り上げられるような問題となっていないし、いわゆるNICSの追い上げによる影響を直接的に受けているものもないようである。しかしわが国などの技術あるいはプラントなどを輸入したNICSの諸国が、鉄製品、各種電子機器などを製作し、輸出するようになってきたので、わが国のこの分野の市場における競争はかなりきびしいものとなっている。しかし私見としては、製品の基礎となる技術・工学の研究開発が常に行なわれて、たとえば国際競争力を要求される伝熱技術についても伝熱学的に国際水準でそれに関連する現象の基礎研究が続けられていければ、近い将来に製品の性能に差が生ずることは当然期待できることと考える。このような予想があればこそ本稿で与えられた伝熱研究の国際的観点の議論が重要となるものと思う。

さて上述の議論では国際的水準、国際性について抽象的な説明に終始してきた。それは国際的水準とか国際性などを定量的な表現は容易にはできないためである。しかし日本の伝熱研究が国際的水準にあり、また国際性を持っていると考える私なりの理由を述べるべきだと思うが、この意見はかなり主観的なものであることをお断わりしておく。とともに、内容の説明に用いる幾つかの例として私自身の個人的な意見を用いざるをえないことをお許しいただきたい。先ずその国際性、国際的水準について考える上で、審査がかなり厳しく行なわれており、かつ国際的に高い水準と考えられている論文集である International Journal of Heat and Mass Transfer、および国際会議では International Heat Transfer Conferenceなどで報告されてきたわが国の研究論文の全論文に対する内容の比較、数

の比率などを調べるのも一つの方法である。しかし Int. J. の各 Editor は、担当する地域より提出される論文をその国の Advisory Board の方々などの意見を基にして審査し、また Editor の論文は他の国の Editor に審査してもらうことになっている。私が Editor をお引き受けした1973年頃はわが国から提出される論文の数は多くなく、専ら Editor 会議においては議論の聞き役であった。しかし10年前位から慎重な審査の結果、掲載される論文の数も多くなり、かつ他国の Editor からわが国の論文の内容、独創性などの評価も次第に高くなってきたことが述べられ、日本の伝熱研究が国際的水準に達してきたことが徐々に裏付けられてきた。

ある国の科学・工学・技術が国際的水準に達する過程は、先ず外国からの既成の知識、ノウハウの輸入、次いでそれらを消化して自分のものとした上で、輸入したものの模倣か改良についての研究・開発および製品化が行なわれ、これらの過程を経て国際的水準へと進んで行くものであり、わが国の伝熱研究もこの25年の間にこの過程を経てきた。特にこの10年間程で研究内容、成果が国際的に評価されるようになった。すなわち1982年のミュンヘンおよび1986年のサンフランシスコで行なわれた国際伝熱会議においては、日本から発表された論文が、国際的にも水準の高い内容を持つに至ったことを多くの外国人から直接聞いており、また私自身も全く同様に感じ、改めて日本の伝熱研究者の永年の努力に敬意を表する次第である。さらに1985年10月に米国カリフォルニア州サンチャゴ市で開かれた先端技術とエネルギー工学に関する日米セミナーにおいては、両国よりほぼ同数の25人ずつの代表的伝熱研究者が出席して、最近の各人の研究成果について発表と討論が行なわれた。その論文全体を収録した単行本は米国の Hemisphere 社から最近出版されている。そのセミナーの終わりごろ、MIT の Rohsenow 教授が直接私に日本側の研究は米国側と比較して優れているものが多く、全体として対等またはそれ以上の水準であると賞賛してくれた。これらのことで私は日本の研究が国際的水準にあることを更に確信するようになった。

科学・技術はヨーロッパにおいて基礎がきづかれ、ついで米国において近代的な発達を遂げてきたとよく言われる。伝熱研究もこれと同じような経緯で発達してきたことは、伝熱に関するほとんどの無次元数が英国人、ドイツ人、フランス人などの名で表わされていることでも分かる。更に Int. J. Heat and Mass Transfer は Saunders 教授らと欧州の諸国の伝熱研究者らの提唱により、英国の Oxford 市にある Pergamon 社により出版されて以来、世界で最も高い水準を保っている。また国際伝熱会議はその第1回は1965年に米国ロンドン市で開催された。しかしその後伝熱研究が活発に行なわれている中心的な地域は、欧州から次第に米国に移ってきたと言っても過言ではない。更に最近になってわが国が米国および欧州の研究者に肩を並べるような研究を行なうようになってきた。この事実の定量的な表示は難しいが、伝熱の研究の水準の高さはそれに対する関心の高さと同様

あると考えられる。従って伝熱研究の関心の高さを示すために、各国における Int. J. Heat and Mass Transfer の購読数を一つの例として取り上げる。このため昨年8月のサンフランシスコの国際伝熱会議の際に行なわれた Editor 会議の折に示された各国での購読数を、米国のを100 としこれに対する主要国のものを下に示す。

米国	日本	英国	フランス	西独	カナダ	インド	インド	イタリ	韓国	ソ連
100	46	28	21	15	10	10	10	8	5	5

この表からわが国の伝熱研究者の国際論文に対する関心の大きさが理解される。また米国とわが国の購読数の和が全体の約半分である。先端技術等を含む最近の科学・技術の研究・開発の世界的中心が欧州・米国から次第に米国・日本に移りつつあると言われているが、伝熱研究も同じような状況になってきたと考えてもよいのではないか。

更に日本の伝熱研究の国際性について、海外の研究者による評価を説明するため、幾つかの伝熱についての国際的会議開催までの経緯について述べるが、これらからも国際的観点により見た私の日本伝熱研究に対する意見を理解して頂けるものと思う。ASMEとJSMEの合同会議の初めてのものはたしか1975年に応力力学の分野を中心として、ASMEの西海岸支部とJSMEとにより開催された。1981年に私がASMEの総会に出席した折、Michigan大学のW. J. Yang教授から1983年に伝熱の分野を中心としてASME-JSMEの熱工学合同会議を開催してはとの提案があった。会議には日本と米国の研究論文のみではなく、世界中からの研究を募集すること、および論文の審査、司会、会議の事業・事務とも全く対等に行なうことが提案された。上述の1975年の会議と比較して分かる重要な差異は、前回は西支部との会議であったが、1983年の合同会議はASMEが日本の伝熱研究を対等な国際性があると考え、ASMEがJSMEを全く対等な立場で国際会議を開くことを積極的に提案してきたものと考えてよい。事実、熱工学合同会議は日米両国からほぼ同数の論文の報告があり600人余の出席者があった。また出席した米国および海外の研究者からのわが国の研究論文が多くの分野に渡っているばかりでなく、その水準が高いことについてよい評価が得られた。それまで国際会議で度々論文を発表してきた経験からも、初めて米国と共同会議を開催し、高い評価が得られ、また多くの研究者が出席し、日本と米国の研究者が対等に活発な討論が行なわれたことは日本の代表者として大変嬉しい思い出である。このASME-JSME熱工学合同会議はその後も米国において評判が非常によいことが伝えられてきており、それに答えるように本年3月に第2回が開かれるようになった。更に今後もこの伝熱研究を中心とする日米の合同国際会議が4年位

の間隔で定期的に開かれることが予想されている。

この1983年の日米合同会議で米国の伝熱研究者の間でのわが国の伝熱研究の高い国際的評価がほぼ固定したことをその後度々聞く機会を得た。またそれと同時に私が出席した他の国際会議、ASMEの総会および米国伝熱会議等で発表される日本の研究者の論文も日本の伝熱研究の国際的評価に大きく貢献してきた。上に述べた1980年以後のわが国の伝熱研究の国際性、さらに日本の研究への高い評価が米国において一般的となった事実をふまえ、1984年に先端技術とエネルギー工学についての日・米のセミナーの開催の提案が第1回ASME-JSME会議の米国側代表者のYang教授から私宛てになされてきた。セミナーは先に述べたように1985年10月に開催され、その折の日本の伝熱研究の水準についてのRohsenow教授の意見については既に述べた。私の個人的意見のみでなく、これらの国際会議、国際セミナーの開催運営に当たっての議論、意見交換により日本の伝熱研究の水準の国際的高さは世界的に認められるようになったと確信している。

3. 今後日本の伝熱研究の国際性

およそ工学における研究は伝熱の分野にしる、はじめから国際性を目標に行なうべきものではない。また民間において行なわれる研究・開発には、プラント・機器などの性能向上に直接関係のあるものが多く、必ずしも国際性を持つとは限らない。またわが国の伝熱研究が国際的水準に達するようになったことも、わが国の伝熱研究者が特にそのための努力をしてきたというわけでもなく、研究者が独自の考えで、その時点で伝熱学的に必要と思ひ、あるいは学問的な流れに添う題目を選び、独創性のある研究を行なってきた結果の蓄積が高い評価となってきたと考えるべきものと思う。しかし先にも述べたように10年位前までは、各種のJournalに載っていた欧州および米国における研究論文を読み、勉強してきた。しかし国際的水準に達したこれからは、わが国の伝熱研究者はどのような課題、内容、方法などで研究を行なっていくべきかということについて、私の意見を述べるべきだと思う。結論的にいうならば、わが国の伝熱の研究者は従来の研究・開発の方針・内容・方法を続けていかれることがよいと申し上げたい。しかし米国の科学・技術と肩を並べるようになった分野の中にはその関連する製品、例えば半導体などのようにその日・米間の競争などの新聞紙上をにぎわすようになったものもある。伝熱の研究・技術ではこのようなニュースになる問題は余り起こらないと考えられる。しかし電子機器の冷却では伝熱についての研究開発がますます重要となると考えられ、国際競争的内容を持つものもあるので、この問題について次に述べる。米国のIBM社の研究・技術者の半分以上はいわゆる機械屋であるといわれ、同社が電子機器の性能向上のため、その冷却についても基礎研究から新しい冷却技術まで、多くの伝熱研究者を動員しているものと考えられる。わが国のこの方面の製品開発などを行なっている企業は、IBM社などの開発方針も検討し、ま

た電子機器冷却の仕事に従事している研究者は、これからは国際競争を常に念頭に置いた研究・開発を進める必要がある。

最近の石油の価格の鎮静化により、文明・社会を支えているエネルギーについての人々の関心が薄れたようである。しかしソ連のチェルノブイリ原子炉の事故のようなエネルギー産業・工学上重要な問題が起これ、その事故報告書には炉内で伝熱・2相流の複雑な現象が起こったと述べられており、今後この方面の伝熱の研究が必要であるように思われる。エネルギーに関する研究開発の必要性はそれぞれの国の持つエネルギーの種類とその保有量、関連する各種の問題により大いに異なる。伝熱研究は従来その多くがエネルギー工学と関係して進められてきた。しかしこれからの文明、社会を支える科学・技術の中心的分野はエネルギーと情報といわれている。従って例えば原子炉の安全性を更に向上させるための人工知能(AI)の導入とそれに必要な新しい伝熱の研究等が国際的関心を引くと考えられる。一方情報産業の基になる電子機器と伝熱との関係については既に述べた。このような状況で国際的水準に達したわが国の伝熱研究がこれから対象としなければならない現象は、これまでとはかなり異なってくると思われるし、また海外の研究者はわが国の研究に大いに注目すると思われる。これまでわが国の伝熱研究に欠けていたと思われる点で、今後注目すべきものとしては、“結果本位”の研究ではなく、現象の本質を解明すること、また単なる知識の蓄積を行なうのではなく新しいノウハウの獲得、さらに伝熱知識の体系化、伝熱状態の最適化とその方法等に注目して行く必要がある。これらの研究が行なわれ、わが国の伝熱研究がますます海外から評価を受けるようになることを希望する。先にもエネルギー分野に関連して述べたように伝熱の研究で関心を持たれる分野は、当然のことながら国によってかなり異なってくると思われる。そこでわが国でこれまでに主に関心を持たれてきた伝熱の分野を考え、かつわが国のエネルギー事情と、国際競争力があり、かつ伝熱研究が必要なハイテク分野を考慮し、国際的に関心を持たれると思われる具体的な伝熱研究の課題を次に挙げる。

(1) 対流・相変化等の各種伝熱促進現象の伝熱学的(伝熱工学的ではなく)基礎解明と応用、(2) EHD効果などの特殊効果利用の伝熱促進、(3) 高温伝熱とその機器の性能、信頼性向上、(4) ナノテクノロジーなどの極微細技術・加工と伝熱(極精密ロボットの熱変形の制御)、(5) 原子炉、エネルギープラントなどの伝熱制御とAIとのシステム化

4. おわりに

研究者の業績の国際性は、その研究者が国外の学会、国際会議などからの招待講演の招へいの内容、数などによって示される。外国人の履歴書にはこのような招待講演が明記されている。それはその人がある分野で国際的に評価の高い研究論文を発表し、その方面の第一人者と見なされていることを意味するからである。私事に渡って恐縮であるが、この

私は10年余り前からASMEの総会、米国伝熱会議、International Center for Heat and Mass Transferが毎年国際的に関心の深いテーマで開催する国際シンポジウム、および国際伝熱会議などで計8回の招待講演に招かれた。これらの講演はこの5年位にかなり密度が高くなっているのは、私のこれまでに発表してきた研究が国際的に認められてきたものと考えている。

われわれ日本の伝熱研究者は語学のハンディキャップを感ずるためと、わが国の伝熱産業に寄与するためなどの理由で、研究結果を邦文で発表する場合が多い。しかし海外から高い国際的評価を受けるようになったわが国の伝熱の研究者は、国際的関心が高いと考えられる研究結果は、努めてInt. J. Heat Mass Transferなどの国際誌に投稿することをお勧めしたい。これは伝熱の分野のみでなく、わが国の国際性を高めることに大きな貢献をするばかりでなく、先進国の研究者としてその成果を広く海外で利用してもらいにより、他の国の産業技術の進歩に寄与することができ、今後わが国の研究者が果たさねばならない国際的責任でもあると私は考えている。