

見聞記

第15回国際伝熱会議に参加して

The 15th International Heat Transfer Conference

津 島 将 司*

Shohji Tsushima

1. はじめに

「伝熱学」とは熱の移動や物質の輸送を扱う学問分野であり、第15回国際伝熱会議 (International Heat Transfer Conference, IHTC)¹⁾ が、日本伝熱学会と日本学術会議の主催により、この夏、京都において開催された。会期は2014年8月10日から15日であり、台風11号の影響が心配されたが、世界中から1,070名の伝熱研究者が、国立京都国際会館に一堂に集まった。

国際伝熱会議は、表1に示すように1951年に第1回が開催され、1966年以降からは4年に一度の開催であることから、伝熱分野のオリンピックとして位置づけられる最も大規模かつ権威ある国際会議である。我が国での開催は、1974年東京での開催以来、40年ぶりである。筆者にとっては初めての参加であり、近年、大小さまざまな国際会議が

表1 国際伝熱会議の開催年と開催地

開催回	開催年	開催地
1	1951	London/Atlantic City
2	1961	Boulder
	1962	London
3	1966	Chicago
4	1970	Paris Versailles
5	1974	東京
6	1978	Toronto
7	1982	München
8	1986	San Francisco
9	1990	Jerusalem
10	1994	Brighton
11	1998	Kyongju
12	2002	Grenoble
13	2006	Sydney
14	2010	Washington
15	2014	京都
16	2018	Beijing
17	2022	Cape Town

*大阪大学大学院工学研究科機械工学専攻教授、科学技術振興機構「エネルギー高効率利用と相界面」研究領域さきがけ研究者 (兼任)
〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1
E-mail: tsushima@mech.eng.osaka-u.ac.jp

世界中で開催されている中で、一参加者として感じるところも多く、見聞記として会議の「熱」を共有できればと思う。

2. 「伝熱学」：熱の科学と工学の200年の歩み

Openingでは笠木伸英 組織委員長が40年前を振り返り、当時、国際伝熱会議が日本で開催されたことにより、海外開催では参加が困難な若手研究者が多く参加でき、そこで得た刺激と影響の大きさについて、経験にもとづきながら言及された。40年の時を経て、個別の研究分野の進展に加えて、21世紀の社会における我々研究者コミュニティの役割と将来を議論する場として本会議の開催が宣言された。

これを受けて、吉川弘之氏による「Science of Scientific Advice」と題したPlenary Lectureがあり、「社会の中における科学・工学と研究者」という参加者への問いかけは、後日に行われるPlenary Panel Sessionへと続いていくこととなる。

「伝熱学」すなわち、熱と物質の輸送は、ありとあらゆる現象の根底をなすものであり、Plenary Lectureの後に設けられたFourier Lecture (熱伝導方程式を導いたジョゼフ・フーリエにちなんだオープニングでのキーノート・レクチャー) では、University of MarylandのAvram Bar-Cohen教授がマクロからナノに至る200年の熱の科学と工学の歴史を概説した²⁾。Newton (冷却の法則)、Fahrenheit (温度)、Black (熱容量および比熱) という熱科学の創世記 (Genesis) から熱工学の父とされるWatt (蒸気機関)、熱力学の基礎を築いたJoule (エネルギー保存則)、熱科学の父であるFourier (熱伝導の法則) とつづき、流体との連成となる対流伝熱では、Reynolds, Prandtl, Nusselt, Jakobなどの業績が示された。相変化を伴う伝熱では、沸騰伝熱における熱流束と過熱度の関係を明らかにしたNukiyamaの業績が示された。Nukiyamaの名を冠したThe Nukiyama Memorial Awardが日本伝熱学会により創設され、第2回受賞者であるMassachusetts Institute of TechnologyのGang Chen教授により、会議中の8月12日に受賞記念講演が行われたことを付記しておく。

いかにして熱流束を増やし、かつ、制御するか、というのは、伝熱機器の性能向上において極めて重要であ

り、燃焼ボイラーや蒸気発生器などの大型機器からスーパーコンピュータのCPUチップの冷却にまで至る挑戦的課題である。これらを解決するために、伝熱学のカバーする領域は、マイクロ・ナノスケールに拡がっており、米国DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) の下でBar-Cohen教授により進められたThermal Managementプロジェクトにおける成果と将来への展望が示され、Plenary Lectureは締めくくられた。

多くの、そして偉大な研究者たちによる積み重ねの上に今日の伝熱学があり、本会議が存在していることを思い起こさせる講演であり、直後の参加者による記念撮影 (図1) ともあいまって、一体感が生まれるふさわしいスタートとなった。Opening Lecture, Plenary LectureともにスライドがWeb上に公開¹⁾ されている。



図1 Plenary Lecture直後の記念写真とロゴ¹⁾

3. 基礎研究と応用研究：セッション構成

今回の国際伝熱会議におけるタイムテーブルは図2のとおりである (厳密には時間については多少の前後はある)。キーノート・レクチャーとオーラル・プレゼンテーションの各セッションで構成されている。キーノート・レクチャーおよび記念講演は同時に5件程度、一般セッションは10件程度が並行して進行する (図中の括弧内が同時進行の講演件数を表している)。一般セッションとしては、第7回よりポスター発表が定着し、前回会議ではオーラル形式での一般発表は設けられなかったとのことであるが、今回はすべてオーラル形式での発表が採用された。発表形式として、今回、大幅な変更がなされたことになる。これについては、主催学会としての日本伝熱学会の伝統とIHTC議長 (吉田英生 京都大学教授) の思いに負うところが大きいようである。日本伝熱学会が毎年、国内で開催している日本伝熱シンポジウムにおいては、個別のオーラル発表と質疑応答の後に、各セッションをまとめる総合討論の時間が20分ほど設けられており、オーラル発表と討論が重視されている。オーラルとポスターの長所と短所を考慮しながらも、前回の国際伝熱会議の後には、吉田英生 IHTC議長はオーラル主体でのセッション構成について述べてお

り³⁾、今回、それが実現されている。

ここで発表件数などの統計について、参加者に配布されたConference Program Bookletから抜粋する。

- ・キーノート/記念講演：32
- ・採択論文：699 (Abstract submitted：1308, Full paper submitted：914)。

採択論文のうち、日本と中国が約150件ずつ、米国とフランスが約50件ずつ、次いで、英国、ロシア、ドイツ、韓国、オランダが40~25件程度であり、南アフリカ、イタリア、オーストラリア、インド、ブラジル、カナダ、イスラエル、スイス、ポルトガルとつづき、世界43の国と地域から参加者が集まった。講演論文集は、会場受付で手渡されるカンファレンスバッグの中にカード型のUSBメモリ (図3) に収められて参加者に配布された。後日、Begell House Inc. のDigital Libraryとして、Webからもアクセス可能となる。カンファレンスバッグは、創業170年の老舗織物メーカーによるものであり、受付では好みの色を選ぶことができた。中には、ペン、下敷きなどの文房具に加えて、京都の夏の

	Mon. 11	Tue. 12	Wed. 13	Thr. 14	Fri. 15
8:00	Opening	Keynote	Session (10)	Session (11)	Session (11)
9:00	Plenary Lecture	/Award (6)			
10:00	Fourier Lecture	Session (12)	Session (10)	Session /Panel Session (11)	Keynote /Award (5)
11:00	Keynote (5)				
12:00		Keynote /Award (6)	YRM	Keynote (4)	Session (10)
13:00	Session (11)	Session (12)			
14:00		Session (10)		Plenary Panel Session	Session (10)
15:00	Session (11)				
16:00			Banquet (-21:00)	Closing /Farewell	
17:00					
18:00					
19:00					

図2 タイムテーブル



図3 講演論文集が収められたカード型USBメモリ¹⁾

暑さに備えた扇子 (Silk Fan), 塩飴 (Mineral Candy) が添えられていた。

オーラルセッションは, 最大12室で並行して進められた。セッション構成は, Condensation (凝縮), Convection (対流), Radiation (ふく射), Turbulent Transport (乱流輸送), Combustion (燃焼) のように基礎現象にフォーカスしたものから, Heat Transfer Enhancement (伝熱促進), Thermal Management (熱制御), Porous Media (多孔質), Nano/Micro Scale Measurement and Simulation (ナノマイクロスケールの計測と解析) などの機能や場の観点から取り扱ったもの, そして, Heat Exchanger (熱交換器), Heat Pipe (ヒートパイプ), Gas turbine (ガスタービン), Solar Energy (太陽エネルギー), Bio and Medical Application (バイオ医療応用), Fuel Cell (燃料電池) など, より具体的な応用を指向したものに分類される。56の異なるセッション名が与えられており, ここでは一部のみを紹介させていただいた。基礎研究を縦糸, 応用研究を横糸とするならば, それらが絡み合うように各セッションが配置されており, 自身の専門分野は勿論であるが, 様々な基礎現象や応用課題の研究動向について, 最新の状況を把握するには効率的であると感じた。

筆者はEnergy Conversion and Storageのセッションで大規模電力貯蔵デバイスとして期待されるレドックスフロー電池に関する研究発表を行った⁴⁾。多孔質電極内における活物質を含んだ電解液とイオン, 電子の輸送現象の解明がフロー電池の性能向上の鍵であり, 伝熱学を基礎としながらも, 電気化学, 溶液化学, 材料科学などにまたがる研究について発表した。

会議中になされた多岐にわたる最新の研究発表について総括する力量はもとより持ち合わせておらず, 専門分野の偏った見方であるが, いくつか感じたことを記させていただく。

・実験, 計測, 解析技術の進展

実験技術としては微細構造構築や表面処理 (親疎水性制御) 技術の利活用^{5, 6)}, 計測技術としては高速度赤外可視化による局所時系列温度場計測⁷⁾, FIB-SEMによるナノマイクロ構造断面観察^{8, 9)}, X線CT計測による複雑多孔質体の3次元可視化^{10, 11)}, 解析技術としては格子ボルツマン法^{12, 13)}, モンテカルロ法, 分子動力学法¹⁴⁾, などがより複雑な系に適用されている。個別には対象は異なるが, 最先端の手法が競うように適用されている。それぞれの技術を生かして, 本質的課題に取り組み, 現象解明に結び付けられるか, が研究者の腕の見せ所であり, 例えば, 沸騰現象における三相接触線近傍での局所熱流束と温度分布計測など, 今後の発展が期待される報告⁷⁾ がなされていた。

・コラボレーション

大きな目標を設定し, 基礎から応用にわたり分担して研究開発を推進する報告が特に欧米の研究者において顕著であった。熱制御, 相界面, バイオ, 電池など学際領域にまたがり, 筆者にとっては, ETH, PSI, IBMが共同して取り組む脳の構造を参考にした新世代のマイクロプロセッサの共同開発の紹介¹⁵⁾ が興味深かった。CPUへの電力供給と冷却を電解液輸送により同時に行うという提案であり, 電気化学, 伝熱学, 電子工学を横断した産官学によるコラボレーションは創造的かつ野心的なものであった。

・現象解明への執念と新領域の開拓

キーノート・レクチャーにおけるShanghai Jiaotong UniversityのPing Cheng教授の講演¹²⁾ は印象に残るものであった。特に, 沸騰現象の解明のためには自身が進めてきた実験的アプローチでは不十分と認識し, 格子ボルツマン法を駆使した数値解析手法の開発に取り組み, 知見を積み上げていく姿には, 現象解明に対する執念を感じた。また, 筆者は聴講する機会を逃したが, 近年, Entransyという概念を提案しているTsinghua UniversityのZeng-Yuan Guo教授のキーノート・レクチャー¹⁶⁾ にも多数の参加者が集まったとのことである。新たな概念や提案に直接, 遭遇できるのが国際会議の魅力の一つであり, 新領域を開拓していくことの大事さが示されているのではないと思う。

4. 発信されたメッセージ: 「社会的課題に対する熱科学の役割」

今回の会議では, 二つのPanel Sessionが企画された。一つ目は「The Role of Thermal Science for Nuclear Disaster Resilience」と題されたものであり, 8月14日午前に他のセッションと並行して進められた。そして, 会議後半の8月14日夕刻のバンケットの直前には, Plenary Panel Sessionが企画された。討論主題は「The Role of Thermal Science in Meeting Societal Challenges」である。パネリストはRice UniversityのYildiz Bayazitoglu教授, Rutgers UniversityのYogesh Jaluria教授, Seoul National UniversityのJoon Sik Lee教授, ETH ZurichのDimos Poulikakos教授, Technische Universitat DarmstadtのPeter Stephan教授であり, Moderatorは笠木伸英 組織委員長が務めた。

社会からの要請を優先すればIssue-driven (top-down) 型, 研究者の興味を優先すればSeeds-push (bottom-up) 型の研究開発となり, それぞれの長短について会場を交えた議論がなされた。議論は研究成果や組織における評価にまで及んだ。さらに, これからの熱科学の教育についても問題提起がなされた。パネリストらを中心とした周知な準備の上で討論主題が設定されていたこともあり活発な議論

となった。最後に、「Message from the Panel」としてまとめられ、熱科学に関わる我々研究者は、伝熱学の発展に加えて持続可能な社会へ向けた役割を担っている、ことを参加者で共有した。このメッセージは、Web上で公開¹⁾され、発信されている。

5. 共有された時間と記憶：次回とその先へ

今回の国際会議では、Young Researchers Meeting、という企画が設けられた。若手研究者、大学院生を対象として、8月13日の午後に京都御所などを巡り、その後、Dinnerを共にする、というものである。67名が参加したとのことであった。8月14日のバンケットは800名程度が参加して盛大に行われた。8月15日夕方のClosingでは、吉田英生 IHTC議長により、8月10日のWelcome Receptionから6日間にわたる会議が振り返られた。

前述のように、会期中に参加者が一堂に会する企画がいくつか設けられており、時間と意見を共有するというプロセスが盛り込まれた国際会議だった。会場係のアルバイト学生が一律に着ていたお揃いのT-shirtに象徴されるように、参加者も含めて一体感が感じられた。Booklet¹⁷⁾には鳥獣戯画の挿絵がふんだんに用いられ、和食などの日本文化が丁寧に紹介されるなど、今もWebから見ることでできるので一見をお勧めしたい。参加者同士が再会した時に、京都の会議ではこんなことがあったね、と言い合える記憶に残る会議であったと思う。

次回は2018年に北京で開催される。2022年はケープタウンとのことである。再び日本で開催できるように、そのためには、日本の伝熱研究を継承し、発展させていかなければならない、と思いを新たにし、帰路についた。

参考文献

- 1) The 15th International Heat Transfer Conference; <http://www.ihtc-15.org/index.shtml> (アクセス日 2014.10.2)
- 2) A. Bar-Cohen; Thermal science and engineering-From macro to nano in 200 years, Proceedings of the 15th International Heat Transfer Conference, (2014), IHTC15-FL01.
- 3) 吉田英生; 第14回国際伝熱会議の概要, 伝熱, 49, 209, (2010), 3-6.
- 4) S. Tsushima, F. Kondo, S. Sasaki, S. Hirai; Efficient utilization of the electrodes in a redox flow battery by modifying flow field and electrode morphology, Proceedings of the 15th International Heat Transfer Conference, (2014), IHTC15-9326.
- 5) T. Gambaryan-Roisman; Controlling hydrodynamics, heat transfer and phase change in thin liquid films and drops, Proceedings of the 15th International Heat Transfer Conference, (2014), IHTC15-KN01.
- 6) D. Poulikakos; The rational nanostructuring of surfaces for extreme icephobicity in nature and technology, Proceedings of the 15th International Heat Transfer Conference, (2014), IHTC15-KN21.
- 7) S. Fischer, S. Batzdorf, T. Gambaryan-Roisman, P. Stephan; High resolution heat transfer measurements at the three phase contact line of a moving single meniscus, Proceedings of the 15th International Heat Transfer Conference, (2014), IHTC15-8230.
- 8) M. Kishimoto, M. Lomberg, E. Ruiz-Trejo, N. Brandon; Towards the microstructural optimisation of solid oxide fuel cell Electrodes, Proceedings of the 15th International Heat Transfer Conference, (2014), IHTC15-9440.
- 9) K. Miyoshi, H. Iwai, M. Kishimoto, W. Matsumoto, M. Saito, H. Yoshida; Influence of porous cathode microstructure on overpotential characteristics of solid oxide fuel cells, Proceedings of the 15th International Heat Transfer Conference, (2014), IHTC15-9617.
- 10) J. Wang, Y. Song, J. Zhao, D. Liu, L. Yang, Z. Zhu, X. Chen; Numerical study of physical characteristic of porous media containing methane hydrate using pore network model, Proceedings of the 15th International Heat Transfer Conference, (2014), IHTC15-8734.
- 11) T. Pattanotai, R. Nakano, H. Watanabe, K. Okazaki; An investigation of anisotropic structure of wood-derived char using X-ray CT and effect of particle aspect ratio on its gasification reactivity, Proceedings of the 15th International Heat Transfer Conference, (2014), IHTC15-8763.
- 12) P. Cheng, X. J. Quan, S. Gong, L. N. Dong, F. J. Hong; Recent studies on surface roughness and wettability effects in pool boiling, Proceedings of the 15th International Heat Transfer Conference, (2014), IHTC15-KN27.
- 13) L. Zhang, M. Wang; Surface charge effects on reactive transports in microporous media, Proceedings of the 15th International Heat Transfer Conference, (2014), IHTC15-9837.
- 14) J. Shiomi; Nanoscale thermal transport in thermoelectrics, Proceedings of the 15th International Heat Transfer Conference, (2014), IHTC15-KN09.
- 15) D. Poulikakos; Developing transformative energy technologies: role of thermal sciences?, <http://www.ihtc-15.org/proceedings/IHCT-15%20Panel%20D%20Poulikakos.pdf> (アクセス日 2014.10.2)
- 16) Z.-Y. Guo, Q. Chen, X.-G. Liang; Entransy theory for the analysis and optimization of thermal systems, Proceedings of the 15th International Heat Transfer Conference, (2014), IHTC15-KN14.
- 17) The 15th International Heat Transfer Conference Program Booklet, http://www.ihtc-15.org/PDF_file/IHTC-15%20Conference%20Program.pdf (アクセス日 2014.10.2)