報 告

COST 732 Workshop に参加して COST 732 WORKSHOP on “Quality Assurance of Micro-Scale Meteorological Models”

義江龍一郎*

Ryuichiro YOSHIE

2009年6月3日から6月5日にかけて、ハンブルグ大学において、COST 732 Workshop on “Quality Assurance of Micro-Scale Meteorological Models” が開催された。COST とは intergovernmental framework for European Cooperation in Science and Technology (科学技術におけるヨーロッパ協調のための政府間レベルの枠組み) のことである。「何でCOとSとTを取ってくるのか、他にも取り方があってだろうに」と言いたくなる方も多いと思われるが、それはさておき兎も角 COST にはヨーロッパの36カ国(EU27カ国+9カ国)もの国が加盟しているのである。COST は加盟国の税金で運営されており事務局はブリュッセルにある。研究費は拠出しませんが、ヨーロッパの科学者たちの研究協力のためのプラットフォーム(会議費、出版費、旅費等)を提供している。COST には様々な分野における数多くの研究プロジェクトがあるが、各プロジェクトは Action と呼ばれている。ひとつの Action の期間は4年で、平均的にはひとつの Action につき年間10万ユーロのお金が支払われているようだ。COST 732 はそのうちのひとつであり、都市の風通しや汚染物質輸送を予測するための Micro-Scale Meteorological Models (主として CFD) の品質を向上させ保証することを目的としている。主査はハンブルグ大学気象研究所の Michael Schatzmann 教授である。COST 732 の活動は既に4年を経過しており、今回の Workshop はその成果を総括するものであった。Photo 1 に参加者の集合写真を示すが、ヨーロッパから約50名、アメリカから数名、日本から1名(私)が参加した。私は日本建築学会の風環境数値計算 WG の活動を紹介してほしいと Schatzmann 教授から依頼され参加したのである。

Photo 1 集合写真

Photo 2 ハンブルグ大学の風洞

* 東京工芸大学工学部建築学科 教授
Professor, Department of Architecture, Tokyo Polytechnic University

初日の6月3日の夜には、ハンブルグ大学の風洞実験施設 (Photo2, 3) において、チーズ&ワインパーティーが行われた。ここには幅4m×高さ3mのテストセクションを持つ大型風洞がある。同大学の Bernd Leitl 教授自ら設計し、材料を調達し、職人を指揮して作ったそうである。パーティーの間にはレーザーライトシートとスモークを用いた流れの可視化のデモンストレーションも行われた。風洞の中には Photo3 に示すように奇妙な形をした模型が並べられていた。これはヨーロッパの典型的な都市形態をモデル化したものらしい。

2日目の6月4日の朝には、まず Schatzmann 教授が COST 732 の背景と目的等の趣旨説明を行った。次に “Model Evaluation Activities Word Wide” と称したセッションが設けられていて、アメリカからの招待講演者3名と私が発表を行った。私は日本建築学会の風環境数値計算 WG が1998年から行ってきた CFD ベンチマークテストの概要や、それに基づき2007年に出版した「市街地風環境予測のための流体数値解析ガイドブック」を紹介した。アメリカの招待講演者の発表の中で興味深かったのは、アメリカ海軍研究所 (U.S. Naval Research Laboratory) の Gopal. Patnaik 博士の研究である。彼は危険性ガスが都市に撒かれた直後の非定常ガス拡散予測の精度検証を目的として、ハンブルグ大学で行われたオクラホマシティのガス拡散実験 (後述) と LES による数値計算を比較した。LES の流入変動風は、風洞内のスパイヤーやラフネスブロックを忠実に再現して計算したそうであり、実験とよく一致する平均風速や乱流エネルギーの鉛直分布、および空間相関が得られていた。比較の対象としていたのは、点源からパルス的に発生させたトレーサーガス (Puff) が各測定点までに到達する時間である。その到達時間は Puff ごとにばらつくため、実験では200回、計算では62回の puff が放出され、それらの到達時間の確率密度が比較されていた。極めて大規模な LES 計算といい、流入変動風の作成方法といい、puff 到達時間の確率密度といい、大変興味深い発表であった。

2日目の午後には MUST に関するセッションが行われた。MUST とは Mock Urban Setting Test の略称であり、アメリカの平原で行われた実測のことを指す。Photo 4 のように平原に数多くのコンテナを並べ、ここで風速測定やガス拡散の実測が行われた。またハンブルグ大学ではこれを対象とし、数値解析モデル検証用の風洞実験 (Photo 5) を行っている。このセッションの最初の発表者は風洞実験を行った前述の Bernd Leitl 教授である。風速の測定には2次元の LDV を使用しており、焦点距離800mmと500mmの2種類のプローブを使い分けているようだ。シーディングには劇場でよく使われている Hazer のスモークジェネレーターを用いているとの由。ガス濃度の測定には高応答 FID を使用している。実験には細心の注

意を払っており、実験者も変えて何回も繰り返し実験を行って再現性をチェックしているとのことであった。実験の信頼性は極めて高いと思われる。実験データは Excel にまとめられていて、COST 732 のサイト <http://www.mi.uni-hamburg.de/Home.484.0.html> から自由にダウンロードすることができる。

Photo 3 ハンブルグ大学の風洞内部

Photo 4 MUST 実測

Photo 5 MUST 風洞実験

次にイタリア Università del Salento の Silvana Di Sabatino 准教授らが、MUST を対象とした RANS モデルによる CFD 解析結果と風洞実験結果との比較について発表を行った。15 の研究グループがこのベンチマークテストに協力し、計算コードや乱流モデル等の違いを含めると延べ 40 種類の計算が行われたそうだ。風速の U 成分は比較的良好合うが、W 成分（鉛直成分）や乱流エネルギーはあまり合わないという報告であった。彼らは合っているか否かの判断指標としてヒットレイトというものを使っている。例えばある測定点の実験値と計算値の差が、ある許容範囲に収まっていればヒットとカウントするのである。これを全ての測定点について調べ、ヒットとなった測定点の割合をヒットレイトと呼ぶのである。ドイツの規格 VDI では、許容範囲を 25%以内としたヒットレイトが 0.66 以上であればよしとするらしい。他にも判断指標として FAC2 とか FB とか MG とかいう指標があるようで、彼らはそれらのことを総称して Validation metrics と呼んでいた。これらの指標の詳細について興味のある方は、COST 732 のホームページから“Model Evaluation Guidance and Protocol Document” をダウンロードして読んでいただきたい。

その夜には、湖畔のレストラン Hamburger Segel-Club (Photo 6) にて Banquet が行われた。6 月のハンブルグの日は長い。夜になっても明るい湖を眺めながら、おいしいドイツビールで喉を潤し、シーフードに舌鼓を打ったのである。会話にも花が咲き 11 時になっても話が尽きないほどの盛り上がりであった。

3 日目の 6 月 5 日の午前中はオクラホマシティのガス拡散に関するセッションであった。オクラホマシティでは SF₆ ガスを充填した風船を破裂させ (Photo 7)、その後の SF₆ ガスの拡散について実測調査を行っている。ハンブルグ大学ではこれを対象とした風洞実験も行っている (Photo 8)。昨日に引き続き Leitl 教授が風洞実験について発表を行った。実験装置は MUST 風洞実験と同様である。平均風速分布や平均濃度分布等を測定する実験の他に、パルス的に発生させたトレーサースガス (Puff) が各測定点までに到達する時間を 200 回も測定し、到達時間の確率密度を求めていた。この確率密度のデータが Patnaik 博士の LES 計算の検証に使われたのは前述のとおりである。次に Siegen 大学の Jörg Franke 博士が FLUENT の $k-\epsilon$ モデルを用いて計算した流れ場と濃度場を風洞実験結果と比較した結果について発表した。Franke 博士は“COST 732 Best Practice Guideline for the CFD Simulation of Flows in the Urban Environment” の筆頭執筆者である。オクラホマシティのストリートキャニオン内の平均濃度分布の計算結果を実験結果と比較したが、流れ場の非定常性が非常に強いので全然合わないとのことであった。

次のセッションではパネルディスカッションが行われ、前述のアメリカからの招待講演者や University of Southampton の Ian Castro 教授等がパネラーを勤めた。私もパネラーとして前に座らされたが、自分がしゃべることを考えていて、何が議論されたのかあまり覚えていないことは誠に面目ない。全体を通して感じたことは、Schatzmann 教授の強力なリーダーシ

Photo 6 Hamburger Segel-Club

Photo 7 オクラホマシティの Puff 実測

Photo 8 オクラホマシティの風洞実験

ップの下、数多くの研究者がこのプロジェクトに単に参加するだけでなく、各々が相当な労力を費やして役割を果たしているということである。一方で年齢にかかわらず皆がお互いをファーストネームで呼び合う家族的な雰囲気があった。

なお、COST 732 の4年間の成果は以下の5冊の報告書にまとめられている。これらも COST 732 のサイト <http://www.mi.uni-hamburg.de/Home.484.0.html> から自由にダウンロードすることができる。

- 1) Proceedings, COST-ESF Workshop "Quality Assurance of Micro-Scale Meteorological Models", Hamburg, July 28/2, 2005.
- 2) COST 732 Background and Justification Document to Support the Model Evaluation Guidance and Protocol. Version May, 2007.
- 3) COST 732 Best Practice Guideline for the CFD Simulation of Flows in the Urban Environment. Version May 2007.
- 4) COST 732 Model Evaluation Guidance and Protocol Document. Version May 2007.
- 5) COST 732 Model Evaluation Case Studies: Approach and Results. Draft Version, May 2009.

その日の午後からは COST 内部の委員会が行われるとのことで、部外者の私はお役御免となった。翌朝には帰国しないといけないので、今日しかハンブルグの街を見てまわる時間はない。夕方までハンブルグの街を懸命に徘徊した。街の景色をいくつか示す (Photo 9)。夕方からはダウンタウンのビアホールでビヤパーティーが開かれた (Photo 10)。会議が終わった開放感もあり、昨日よりも一層会話が花が咲いたのである。小振りの木樽から直接注ぐドイツの地ビールは大変おいしく、酒に強くない私の体質にも合うのか、何杯飲んでも大丈夫であった。考えてみるとハンブルグに来て以来、毎晩遅くまでお酒を飲んでいる。この日もお開きになったのは11時過ぎであった。歓楽街などを散歩してホテルに戻ったが、6月のハンブルグは気候も大変爽やかで本当に気持ちがいい。来る前までは、日本人ひとりで乗り込むのはいささか気が重かったのであるが、この Workshop に参加して日本のアクティビティを紹介することもできたし、多くのヨーロッパやアメリカの研究者たちと知り合い、多くの話をする事ができた。初夏の北ドイツの雰囲気に触れることもできた。翌朝は後ろ髪を引かれる思いで帰国の途についたのである。

Photo 9 ハンブルグの街の風景

Photo 10 ビヤパーティー