

JACM 会長からのメッセージ

吉村 忍 JACM 会長 (東京大学)

この度、2014 年度末に行われました新運営委員による互選により、2015-2017 年度の JACM 会長に再度選任されました。2012-2014 年に引き続き会長を務めさせていただくことになりましたが、副会長及び事務局長につきましても、引き続き副会長を東京工業大学の青木尊之教授と京都大学の西脇眞二教授に、事務局長を東京理科大学の岡田裕教授にお引き受けいただきましたので、よろしくお願い致します。

JACM は 2002 年 12 月に設立され、矢部孝初代会長、宮崎則幸 2 代目会長のもと、300 名近くの会員の皆様とともに、29 の国内の計算力学関連学協会（今回から、新しく日本船舶海洋工学会と日本気象学会に加わっていただきました）の支援を受けながら、IACM、APACM をはじめとする国際的計算力学コミュニティにおける活動及び貢献を目的に活動してきています。

私が、2012 年 4 月に会長に就任した折には、「今後は会長として皆様とともに、これまでの活動を基盤として継続発展させながら、さらには、国内関連学協会やアジアの関連学協会等と積極的に協働して、世界の計算力学の極をアジア地区に構築すべく活動していくことを目標としていければと思います」と申し上げました。この 3 年間に、WCCM や APCOM, USNCCM, ECCOMAS 等の会議への協力に加えて、JACM にとってもっとも大きなイベントの一つは、2014 年 4 月に仙台において APACM Thematic Conference であり IACM Special Interest Conference でもある COMPSAFE2014 会議を共催で開催し成功させたことかと思えます（詳しくは JACM メールマガ No.25 を参照ください。）。

以上のように JACM の活動も IACM 関連活動への参画、協力という観点では活発に活動しており、概ね定常状態になってきていると感じています。一方で、国内の計算力学関連活動（個人も組織も）を国際的にアピールしていくという観点からは、もっともっとできることがあるのではと考えています。その一つは、JACM をサポートいただいている各学協会、あるいは会員の皆様の所属機関などで行われている様々な計算力学関連国際活動（たとえば各学会が主催される国内で開催される国際シンポジウムや講演会など）を JACM-IACM のネットワーク（メーリングリストや HP、メールマガ、IACM Expression への記事掲載など）を活用して、国内や海外にアピールすることなどです。それ以外にも、会員皆様のアイデアで、是非、JACM をこれまで以上に積極的に活用いただければ幸いです。

今後とも、JACM の活動に対して会員各位のご支援を賜りますようお願い申し上げます。最後に、2015-2017 年度の JACM 運営体制を次のようにさせていただきましたので、よろしくお願い致します。

会 長：吉村忍（東大）
副 会 長：青木尊之（東工大）
西脇眞二（京大）
事務局長：岡田裕（東京理科大）
事務局補佐：荻野正雄（名大）
藤井秀樹（東大）
企画委員：池田徹（鹿児島大）
今井陽介（東北大）
越塚誠一（東大）
渋谷陽二（阪大）
滝沢研二（早大）
竹澤晃弘（広大）
萩原世也（佐賀大）
山田崇恭（京大）
山田知典（東大）
元 会 長：宮崎則幸（京大）
矢部孝（東工大）

運営委員： 店橋護（東工大）日本機械学会
西脇眞二（京大）日本機械学会
萩原世也（佐賀大）日本機械学会
山本誠（東京理科大）日本機械学会
嶋英志（JAXA）日本流体力学会
白山晋（東大）日本流体力学会
水野明哲（工学院大）日本流体力学会
石井克哉（名大）日本流体力学会
奥田洋司（東大）日本シミュレーション学会
吉村忍（東大）日本シミュレーション学会
金山寛（日本女子大）日本応用数理学会
畔上秀幸（名大）日本応用数理学会
秋葉博（アライドエンジニアリング）
日本原子力学会
本間俊司（埼玉大）化学工学会
渋谷陽二（阪大）日本材料学会
岸本喜久雄（東工大）日本材料学会
香山正憲（産総研）日本金属学会
松尾亜紀子（慶大）日本航空宇宙学会
堀宗朗（東大）日本地震工学会
志澤一之（慶大）日本塑性加工学会
海保真行（日立）可視化情報学会
新宮清志（日大）日本知能情報ファジィ学会
梶原稔尚（九大）日本レオロジー学会・
プラスチック成型加工学会
泰岡顕治（慶大）日本熱物性学会
大崎純（京大）日本建築学会
小石正隆（横浜ゴム）日本ゴム協会
澤田達男（慶大）日本 AEM 学会
和田成生（阪大）日本生体医工学会

棟朝雅晴（北大）情報処理学会
矢部孝（東工大）プラズマ・核融合学会、
元 JACM 会長
長嶋利夫（上智大）日本複合材料学会
渦岡良介（徳島大）地盤工学会
芝原正彦（阪大）日本伝熱学会
酒井幹夫（東大）粉体工学会

早瀬敏幸（東北大）日本フルードパワーシ
テム学会
鈴木克幸（東大）日本船舶海洋工学会
富田裕文（理研）日本気象学会
宮崎則幸（京大）元 JACM 会長



会長 吉村忍



副会長 青木尊之



副会長 西脇眞二



事務局長 岡田裕

WCCM2016のご案内

吉村 忍 JACM 会長（東京大学）

12th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XII) and 6th Asia-Pacific Congress on Computational Mechanics (APCOM VI)が2016年7月24日（日）～29日（土）に韓国，ソウル市（Coex Convention & Exhibition Center）で開催されます。前回，第11回のWCCMは2014年にスペイン・バルセロナ市で開催されています。

詳細は会議の詳細はWEBページ：

<http://wccm2016.org/>

に掲載されております。以下に重要な締切日を列举致します。

11月30日 アブストラクト提出締切

3月31日 Early Registration 締切

状況により変更があるかもしれません。WEBページを適宜ご覧下さい。JACM総会ならびに2016 JACM Awards授賞式をWCCM2016期間中に開催致します。JACM会員の皆様におかれては本会議に奮ってご参加の程お願いいたします。

COMPDYN2015 & UNCECOMP2015 会議報告

吉村 忍 JACM 会長（東京大学）

2015年5月25日（月）-27日（水）にギリシャのクレタ（Crete）島で，COMPDYN2015 (5th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering) と UNCECOMP2015 (1st International Conference on Uncertainty Quantification in Computational Sciences and Engineering)のジョイントの国際会議が開催された。COMPDYNは，ECCOMAS Thematic ConferenceかつIACM Special Interest Conferenceであり，今回で5回目の開催，UNCECOMP2015はECCOMAS Thematic Conferenceであり，今回が第1回目の開催であった。COMPDYN2015の議長は，アテネ工科大学のM. Papadrakakis教授が務めており，UNCECOMP2015は，Papadrakakis教授とV. Papadopoulos教授（アテネ工科大学），G. Stefanou教授（テサロニキ大学、ギリシャ）が共同議長を務めた。2011年のJACMメルマガNo.12，及び2013年のNo.21にも報告したが，COMPDYN会議は2007年のクレタ島での第1回会議を皮切りに，2009年ロードス(Rhodes)島，2011年はコルフ(Corfu)島，2013年はコス (Kos) 島と2年毎にギリシャ・エーゲ海の島で開催されてきている。



写真1 イラクリオンの考古学博物館に展示されているクノッソス宮殿の復元模型

クレタ島の名は日本人によく知られているが、ギリシャ最大、地中海では5番目に大きな島であり、ギリシャ文明発祥の地としても知られクレタ文明が花開いた。3700年前のクノッソス (Knossos) 宮殿は4階建ての部分もあったということで、構造的にもそこに描かれた絵画も含めて極めて興味深いものであった (写真1)。なお、クレタ島は兵庫県と同じ程度の広さがあり、中央には2000m級の山々があり、サマリア (Samaria) 溪谷は全長16kmにも及ぶ深い溪谷である。

会議場はクレタ島第一の都市イラクリオン (Iraklion) から車で20分程度の地にあるエーゲ海を望むクレタ会議センターであった (写真2, 3, 4)。この会議場は、コテージ型のリゾートホテルCrete Marisの一角にあり、プールサイドで休暇を楽しむ家族連れを横目に、会議場に向かうことになる。

COMPdyn2015会議の主テーマは、会議名にも表れているように、特に構造力学ダイナミクスと地震工学である。一方、UNCECOMP2015では、最近注目を集めているUncertainty Quantificationを主テーマにした会議であり、特に不確実性下の解析と設計に関して特に複雑システムのマルチスケール性と設計に重点を置いた講演が多数発表された。8名のPlenary Lectures, 18名のSemi-plenary Lectures, 41件のミニシンポジウム, 650件を超える講演が15パレルセッションで発表された。私は、2011年の第3回会議、2013年の第4回会議に続く3回目の参加となったが、UNCECOMP2015との合同会議ということもあり、Dynamicsや地震工学に加えて、Fluid-Structure Interaction, Reduced Order Model, Uncertainty Quantification等、日頃学びたいと思っていた分野の講演が多数あり、大変勉強になった。たとえば、Plenary Lecturesでは、フランスのA. Combescure教授が分離型解法に基づくSPHとFEMの連成解析とその数理的安定性、スタンフォード大学のC. Farhat教授が大規模非線形解析に対して精度をほとんど落とすことなく実時間で実行するためのHyper Model Order Reduction法、ブラウン大学のG. Karniadakis教授が過去15年のUncertainty Quantificationに関するレビュー、私が京コンピュータを活用した柏崎刈羽原子力発電所や福島第一原子力発電所の原子炉のフルスケールの地震応答解析、などが発表された。また、筆者は東大地震研の堀宗朗教授、九州大学の浅井光輝准教授らと、構造工学と地震工学/津波工学のためのハイパフォーマンスコンピューティングに関するミニシンポジウムを企画し、堀教授がコンシステント地震応答解析のためのメタモデル、浅井准教授が大規模粒子法シミュレーションによる多階層津波損傷予測解析、私がコンクリートと鉄骨フレームのボルト締結体の破壊解析などの成果を発表した。

2日目に開催されたバンケットでは、ギリシャの踊りと歌、食事をしみながら、12時近くになるまで楽しんだ (写真5)。

自然災害の種類も増え、世界中で大地震が多発するようになっており、この研究分野は今後もさらに重要となっていく分野である。会議の詳細は<http://2015.compdyn.org/>で見られるので、是非参考にしていきたい。

COMPdyn2017はロードス島で開催されるそうである。また、来年は6月5日-10日にECCOMAS2016が同じくクレタ島で開催されるので、是非、ご参加いただき、計算力学の最新成果とともに、ギリシャの文化を堪能いただきたい。



写真2 エーゲ海を望みながら会議場テラスで開催された Welcome Reception



写真3 会議場正面玄関にて (左から、筆者、コロラド大学のK.C.Park教授、東大の堀宗朗教授)



写真4 会議場正面玄関にて (左から、筆者、九大の浅井光輝准教授)



写真5 バンケットにおいて (左から、会議議長の M. Papadrakakis 教授、筆者、スタンフォード大学の C. Farhat 教授)

PANACM 2015 (1st Pan-American Congress on Computational Mechanics)

会議報告

岡田 裕 JACM 事務局長 (東京理科大)
河合 浩志 (諏訪東京理科大), 田村 善昭 (東洋大)
萩原 世也 (佐賀大)、武居 周 (宮崎大)

1. Opening Ceremony と会議全体

4月27日から29日にかけて、第1回W Pan-American Congress on Computational Mechanics (PANACM 2015) がアルゼンチン・ブエノスアイレス (Hilton Buenos Aires, 写真6) で開催されました。なお、PANACM 2015だけでなく、アルゼンチンの国内会議 (第10回 Argentine Congress on Computational Mechanics) との併催でした。Opening Ceremony でのアナウンスによれば、8件のPlenary講演、12件のSemi-Plenary講演、43件の基調講演、約540件の一般講演が予定されていたとのことでした。特筆すべきは、日本からも相当多くの参加者がいたことでした。議長のS. R. Idelsohn 教授にはOpening Remarkの中でご紹介いただきました。後日、事務局に教えて頂いたところによれば、参加者数とその内訳は下記の通りです。

参加者総数、約550名、うちアルゼンチン133名、ブラジル81名、米国78名、チリ29名、フランス28名、日本27名、スペイン25名、ドイツ22名、イタリア11名、ポーランド11名などでした。

Opening Ceremony (写真7) は4月27日 (月) 8時30分から開始の予定でしたが、出席予定のMinister of Science, Technology and Productive Innovation of the Nation (科学技術・生産革新大臣)、Lino Barañao 博士の到着が遅れたため、約20分遅れて開始されました。議長のS. R. Idelsohn 教授の挨拶がはじめにあり、Argentina Association for Computational Mechanics を代表してV. Sonzogni教授、さらに、A. Huerta教授 (IACM, Secretary General) の挨拶がありました。続けて、Lino Barañao 博士 (アルゼンチン科学技術・生産革新大臣) から歓迎のスピーチがありました。

Opening Ceremony に続き、Thomas J. R. Hughes教授とPeter Wriggers教授による全体講演が行われました (写真8, 9)。Hughes教授は”Isogeometric Analysis; Ten Years After”, Wriggers教授は”Material Modeling based on Multiscale Analysis”と題した講演でした。それぞれ、題目の通り、Isogeometric Analysisとマルチスケール材料モデリングに関する内容でした。その後、コーヒーブレイクを挟んでパラレルセッションが始まりました。全体講演の一覧は次節の通りです。

Welcome Cocktail (写真9) が1日目の夜に開催され、バンケットディナーは3日目の夜、全てのプログラムの終了後に行われました。貸切バスでSeñor Tango Restaurant (写真5) に行き、食事とタンゴを満喫しました。



写真6 PANACM 会場・Hilton Buenos Aires



写真7 PANACM 議長の議長の S. R. Idelsohn 教授



写真8 Thomas J. R. Hughes 教授による全体講演”
Isogeometric Analysis; Ten Years After”

2. 全体講演 (PlenaryとSemi-Plenary Lecture) 一覧

Plenary Lecture

- Klaus Jorgen Bathe 教授, Massachusetts Institute of Technology, USA, "Some Advances in Finite Element Procedures"
- Luis Caffarelli 教授, University of Texas, Austin, USA, "The porous media equation: local and non local"
- Charbel Farhat 教授, Stanford University, USA, "ECSW: An Energy-based Structure-preserving Method for the Hyper Reduction of Nonlinear Finite Element Reduced-Order Models"
- Thomas J. R. Hughes 教授, University of Texas, Austin, USA, "Isogeometric Analysis; Ten Years After"
- Eugenio Oñate教授, Universitat Politècnica de Catalunya, Spain, "A Particle-Discrete-Finite Element Method for analysis of particulate flows and their interaction with structures"
- Olivier Pironneau 教授, "Foundation Sciences Mathématiques de Paris, France Fluid-Structure Interaction Algorithms"
- Ekkehard Ramm教授, Stuttgart University, Germany, "Advances in Isogeometric Analyses – (a) Contact, (b) Beams and Shells"
- Peter Wriggers教授, Hannover University, Germany, "Material Modeling based on Multiscale Analysis"

Semi-Plenary Lecture

- Gustavo Buscaglia教授, Universidade de São Paulo, Brazil, "Finite elements for soft interfaces"
- Alberto Cardona 教授, CIMEC (CONICET-UNL), Argentina, "Nonsmooth generalized-alpha scheme for the simulation of flexible multibody"
- Leszek Demkowicz教授, The University of Texas at Austin, USA, "Recent Developments for the Discontinuous Petrov-Galerkin (DPG) Method with Optimal Test Functions"
- Eduardo N. Dvorkin 博士, SIM&TEC, Argentina, "Structural Models and Mechanical Tests in the Development of a Communications Spacecraft"
- Irene M. Gamba教授, The University of Texas at Austin, USA, "Deterministic schemes to non-linear collisional Boltzmann and Landau type models in gas dynamics and plasma simulations"
- Antonio Huerta教授, Universitat Politècnica de Catalunya, Spain, "Model reduction for decision-making in simulation-based engineering: real-time, inverse and optimization in real engineering problems"
- Abimael Loula教授, Laboratório Nacional de Computação Científica, Brazil, "On Hybrid and Mixed Finite Element Methods for Stokes and Darcy Flows"
- Xavier Oliver教授, Universitat Politècnica de Catalunya, Spain, "Multiscale modelling of propagating material fracture. A continuum approach."
- Rodolfo Rodriguez教授, Universidad de Concepción, Chile, "Finite element computation of force-free Beltrami fields"
- Mario Storti博士, CIMEC (CONICET-UNL), Argentina, "Advances in the Solution of Incompressible Navier Stokes Equations on GPU Hardware using a Semi Lagrangian Approach"
- Frédéric Valentin 博士, Laboratório Nacional de Computação Científica, Brazil, "Multiscale Hybrid-Mixed Finite Element Methods"

- Tarek Zohdi教授, University of California at Berkeley, USA, "The Multiphysics of Computational Additive Manufacturing"



写真9 K. J. Bathe 教授による全体講演 "Some Advances in Finite Element Procedures"



写真10 Welcome Cocktail の様子



写真11 バンケットディナーが行われた Señor Tango

3. ミニシンポジウム・パラレルセッション

WCCMほど巨大でないとしても、多くのパラレルセッションが同時進行していました。全てを網羅することは不可能ですので、報告者が出席したミニシンポジウム／セッションについてだけの報告とさせていただきます。

【HPC関連トピックス、田村善昭（東洋大）、武居周（宮崎大）】筆者らは、HPC関連と混相流を中心に聴講したが、ここではHPC関連について報告する。3.17 MS: High Performance Computing and Related Topicsは2セッション計9件の発表があった。オーガナイザーが塩谷教授（東洋大）、田上准教授（九大）と日本人であったこともあり、日本からの発表が7件だったが、あとの2件はノルウェーとパラグアイで、国際色豊かなセッションとなっていた。また、他のHPC関連セッションとして、3.3 MS: Algorithmic Aspects of High-Performance Computing for Mechanics and Physics（2セッション計13件）および3.20 MS: HPC Techniques in Computational Mechanics（2セッション計12件）などもあった。講演内容としては、領域分割法のアルゴリズムと並列実装、反復法ソルバーの高性能化、大規模固有値解析手法に関する報告や、GPUクラスタなどの並列計算機利用技術に関する報告がそれぞれ数件ほどあり、その他コンパイラや並列プログラミングライブラリの最適化に関する報告など、セッション全体で内容が多岐に渡った。またアプリケーションとしても、解剖学的人体モデルの電波伝搬解析、地球内部の電磁流体、肝臓の脂肪蓄積の予測などさまざまなテーマがとりあげられていた。なお日本からJST CRESTプロジェクト「ポストペタスケール高性能計算に資するシステムソフトウェア技術の創出」研究領域にかかわるいくつかのチームからの参加があった。ただ、日本では京コンピュータやその次のエクサ級コンピュータが話題となっていて研究の盛んな分野であるが、この会議ではまだそれほど重要なテーマではないように見受けられた。

【粒子法／メッシュフリー法解析関連報告、萩原世也（佐賀大）】粒子法あるいはメッシュフリー法の関連のMinisymposiaは「Recent Advances in Meshfree and Particle Methods」（発表7件）organized by Seiichi Koshizuka, Kazuo Nishimoto and Liang-Tee Chenが企画された。このセッションは最終日の4月29日に開催され、Keynote Lecherは東京大

学の越塚教授であり、Moving Particle Semi-implicit (MPS) methodの産業界への応用例についての講演があった。全部の講演が粒子法関連の講演であり、ガラーキン法ベースのメッシュフリー法の講演はなかった。内容については、MPS法を用いたダムブレイク問題における穴あき止水板の形状パラメータの影響、MPS法の自由境界への取り扱い、Moving Particle eXplicit (MPX) methodの提案、離散渦法による渦の相互作用のシミュレーション、Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) methodによる構造解析、Discrete Element Method (DEM)による高炉ヘコークスの供給シミュレーションへの応用例などが発表された。

【破壊力学・構造健全性関連報告、河合浩志（諏訪東京理科大）】構造物の健全性を評価するための破壊力学あるいは損傷力学関連のMinisymposiaとして1.33 MS: Structural Integrity - Fracture Mechanics（発表7件）が企画された。このセッションも最終日の4月29日に開催され、破壊力学パラメータ評価手法や損傷モデルの提案、またそれらに関連する弾塑性、非線形材料構成則に関する講演があった。その他、近年話題のシェールガス・シェールオイルの採掘にかかわるとされる最先端地盤解析技術に関する講演などもあった。

4. むすび

筆者らは飛行機の便こそ違うものの、皆、ニューヨーク経由で東京（成田）→ブエノスアイレス往復をしました。行きも帰りも機中泊2回という旅程でした。3年前にブラジル・サンパウロで開催されたWCCMに参加したときも同様な旅程でした。ブエノスアイレスは地球儀では丁度日本の裏側あたりに位置しますので、これより長い旅程の出張はほとんどあり得ないことになります。どこにでも出かけていけそうに思える、妙な自信が付いてしまいました。3年度に予定されている、次回のPANACM開催地については聞き逃してしまいましたが、南米に出かけるいい機会になるかもしれません。以上で第1回 Pan-American Congress on Computational Mechanics（PANACM 2015）参加報告のむすびといたします。

JACM 関連若手研究者紹介（その3）

JACMに関連する若手研究者の方を順次紹介しています。その第3回として、前年度にThe JACM Award for Young Investigators in Computational Mechanicsを受賞された3名の先生方、伊井仁志先生（大阪大学）、田中智行先生（広島大学）、山田崇恭先生（京都大学）を紹介します。

オイラー型連成解析手法の紹介と バイオメカニクス問題への発展

伊井 仁志（大阪大学）

この度はThe JACM Young Investigator Awardという名誉ある賞を頂き誠にありがとうございます。また、Mail Magazine に原稿を寄贈できる機会を頂き、大変感謝しております。簡単にではありますが、筆者が行ってきた研究紹介と現在取り組んでいる内容の紹介をさせていただきます。

自然科学の問題を解析する際、物理現象に即した数理モデルが立てられ、通常、数理モデルに適した定式化が行われます。流体・構造体(固体)連成解析においては、流体挙動は速度勾配に依存する応力場が与えられるためオイラー型(Eulerian)枠組みで、固体挙動は変位勾配(ひずみ)に依存する応力場が与えられるためラグランジュ型(Lagrangian)枠組みで定式化され解析されるのが一般的です。また、両者が混在するような問題に対しては、それぞれの特徴を取り入れた混合型枠組みである ALE(Arbitrary Lagrangian-Eulerian)が広く用いられます。この利点は、流体相と固体相およびその界面を陽に記述し定式化するため、各相での解析精度を低下させる事無く連成解析が行えるという点です。

一方、オイラー型とラグランジュ型の枠組みの違いは単に運動記述の違いであり、数理モデルは両枠組みにおいて数学的に等価であるという視点に立ち、固体変形をオイラー型枠組みで扱う方法も古くから提案されています(Wilkin, UCRL-7322, 1969; Benson, Comput. Meth. Appl. Mech. Eng., 1992)。図1に簡単な概念を示します。この概念においては、定式化の上で必ずしも界面を陽に記述する必要がなくなるため、当初は高速変形による破壊や流動性を有する粘弾性体の変形など界面のトポロジー変化が頻繁に起こる問題に対して非常に有用なアプローチとして提案され、その後、オイラー型枠組みで解析される流体運動との親和性を考慮し、それを見越した構造解析(Okazawa et al., Int. J. Numer. Meth. Eng., 2007)および流体・構造体連成解析に拡張した完全オイラー型連成解析手法が提案されてきました(Van Hoogstraten et al., Appl. Sci. Res., 1991; Xiao et al., Computational Fluid Dynamics J., 1999; Liu et al., Arch. Rational Mech. Anal., 2001; Dunne et al., Int. J. Numer. Meth. Fluids, 2006; Cottet et al., Math. Model. Numer. Anal., 2008)。完全オイラー型手法では、固定格子上で定式化・離散化を行うため、大移動・大変形に伴う計算格子の再構築が不要となり、また、直交格子を用いた場合、既存の確立された離散化スキームの適用、大規模並列計算時における領域分割の効率化など、計算科学的な面で様々な利点があります。しかしながら、物理量の輸送(移流)に伴う数値

散逸、界面における各相のカップリングに伴う近似誤差など、解析精度を低下させるいくつかの問題点が考えられ、その影響に関して定量的に把握する必要があります。

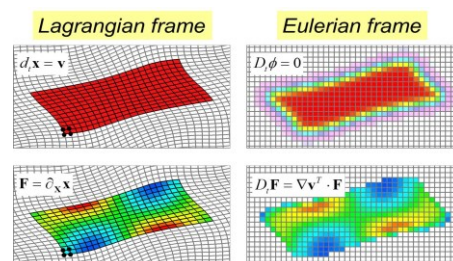


図1 ラグランジュ型とオイラー型の枠組みの違い。

Sugiyama ら(Sugiyama et al., J. Comput. Phys., 2011)は、非圧縮性流体と超弾性体の連成問題に対して、各相の体積率を用いたオイラー型定式化を提案し、格子解像度の増加に伴い、提案手法による結果が既存のラグランジュ型手法で解かれた流体・構造体連成問題に関連する様々な結果に収束するのを定量的に確認しています。また、提案手法の誤差および収束性も数値的に調べられており、カップリングにおける近似操作により、空間一次精度になる事を示しています。

筆者らは Sugiyama らの完全オイラー型連成解析手法を発展させ、流体と弾性膜との連成解析手法の提案を行いました(Ii et al., Commun. Comput. Phys., 2012)。バルクの構造体と違い、弾性膜は厚み方向を無視し自由度の空間次元を一次下げているため、定式化と離散化を工夫する必要があります。三次元下で表現される表面射影テンソル(Pozrikidis, CRC: Bosa Raton, 2003)などを定式化に積極的に取り入れる事で、世界で初めて、完全オイラー型による流体と超弾性膜の連成解析手法を提案しました。

また、離散化の工夫として、新たな界面捕獲手法の提案を行いました(Ii et al., J. Comput. Phys., 2012)。筆者らが提案しているオイラー型手法では、各媒質相を固定格子上で体積率関数を用いて表現し、その移流を解く事により界面の移動を行うため、体積率関数の移流による数値的散逸を抑える必要があります。このような方法は界面捕獲手法として多相流解析の分野では広く知られています。そこで筆者らは、代数的界面捕獲手法である THINC 法(Xiao et al., Int. J. Numer. Meth. Fluids, 2005)を多次元に拡張した MTHINC 法(Ii et al., J. Comput. Phys., 2012)を提案しました。MTHINC 法により界面の数値散逸を抑制する事ができ、なおかつ、流体・構造体連成解析におけるカップリング精度の向上を達成しました。

提案した完全オイラー型手法を用いて、毛細血管サイズの弾性円管を流れる血漿(液相)および多数の血球(赤血球、血小板)挙動の解析を行いました(Ii et al., J. Biomech. Sci. Eng., 2012)。解析例を図2に示します。本解析により、血漿中を流れる赤血球の移動変形挙動が、血栓初期過程で起こる血小板の血管壁面への粘着現象に力学的にも貢献している事を明らかにする事ができました。

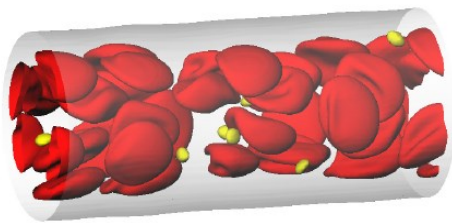


図2 微小血管を流れる血球挙動解析の一例.

(Ii et al., 2012, J. Biomech. Sci. Eng.)

著者らの仕事に関していくつかまとめておりますので、興味のある方はぜひご覧頂ければと思います(Takagi et al., J. Appl. Mech., 2012; Ii et al., Visualization and Simulation of Complex Flows in Biomedical Engineering, Lecture Notes in Computational Vision and Biomechanics, Springer, 2014).

肺音の種類の一つにクラックル音というものがあります。これは、呼吸に伴い気道が収縮する際、気道壁の内側に存在する粘液層がマージし液中架橋を形成し、その後、吸気に伴う気道の拡張で液柱架橋が崩壊し、粘液の表面エネルギー開放・気道壁振動・急激な圧力開放などにより粗密波が発生する現象として知られていますが(Tavana et al., LabMedicine, 2009), その詳細メカニズムは明らかになっていません。この問題の解析は、空気相・粘液相・気道壁相・気道周囲相といった気相・液相・固相の力学連成に加え、粗密波を扱える(微)圧縮性を考慮した非常に複雑な数理モデルを必要とします。現在、完全オイラー型手法を用いてこの問題に取り組んでいます。まだ予備計算の段階ですが、図3に結果の一例を示します。呼吸の際、粘液層がマージし液柱架橋が形成される事で気道が閉塞し($t=1.0\text{ms}$)、呼吸に移るにつれその形も変わり($t=2.0\text{ms}$, 5.0ms)、あるところで液中架橋が崩壊($t=8.0\text{ms}$)し拡張する($t=9.0\text{ms}$)様子が分かります。現状、音波の解析は不十分ですが、今後、これらのダイナミクスと音源生成との関連性を明らかにし、クラックル音の解明を行っていきます。

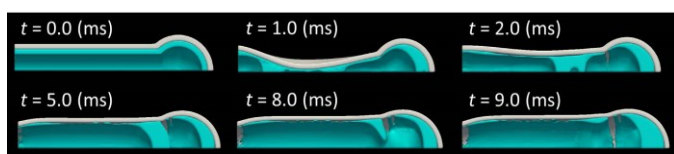


図3 クラックル音シミュレーションにおける粘液層の液中架橋形成と崩壊に伴う気道壁の閉塞と拡張

これらのように、計算力学的な視点から発展させてきた完全オイラー型連成解析手法ですが、バイオメカニクス分野において、その適用が望まれる複雑な問題は多数あり、今後、それらの問題に取り組んでいく次第です。

最後になりましたが、筆者の学位取得時、指導教官である東京工業大学の肖鋒先生には計算科学の基礎を教わるとともに研究者としての心構えを学ばせて頂きました。また、オイラー型連成解析手法の研究時、東京大学の松本洋一郎先生(現在は独立行政法人理化学研究所に在籍)、東京大学の高木周先生、東京大学の杉山和靖先生(現在は大阪大学に在籍)には、現象に対する物理学的視点の重要性を学ばせて頂きました。また現在、筆者が在籍している大阪大学・基礎工学研究科の和田成生先生には、バイオメカニ

クスの面白さと計算力学との絶妙な関係を学ばせて頂きました。ここに記して感謝申し上げます。

ウェーブレットガラーキン法

田中 智行 (広島大学)

著者らの研究グループでは固定直交格子型の新しい数値解析手法としてウェーブレットガラーキン法 (Wavelet Galerkin Method) の基礎/応用研究を行っている。固定直交格子型の数値解析手法は、立方体を単位とした解析法ということでボクセル法と呼ばれることが多い。解析対象を等間隔の格子状に分割し離散化するため、CT スキャンなどの画像データをそのまま活用でき、複雑形状を持つ機械部品や複合材の解析などに利点がある。一方、解析対象を等間隔で分割するために部分的な解の高精度化には何らかの工夫が必要になる。著者らは、画像処理や信号解析などで応用が進んでいるウェーブレット法をもとに部分的な空間解像度の制御が可能な数値解析手法開発に取り組んできた。これまでに、さまざまな性質を持つウェーブレット関数が提案されているが、最もシンプルな形状を持つスプラインウェーブレット関数を採用している。一次 B スプライン関数は有限要素法で用いる双直交型の基底関数と同じであり、従来のボクセル法に異なる解像度を持つウェーブレット関数を追加するだけで解の高精度化を行うことができる。メッシュフリー法や粒子法、X-FEM などの最新の数値解析技術の知見を応用し、さまざまな固体や構造物の数値解析に対する検討を行ってきた。これまで実施した研究内容について以下にまとめる。

ウェーブレットガラーキン法を用いた固体解析のイラストを図4に示す。一般的にウェーブレット法では無限に広がる領域に対して解析や処理を行うことが多く、境界値問題を解く場合には周期境界条件や物体外部に非常に小さい材料定数を用いた架空領域 (fictitious domain) を用いることが多かった。基底関数として用いるウェーブレット関数について詳細に検討を行い、Fictitious domain を用いない解析法の提案を行った(1)。ウェーブレット関数は格子と格子をまたぐ連続関数であるため、き裂などの不連続変形を表現するには工夫を要する。新しい破壊解析法として注目されている X-FEM のアイデアを用いてウェーブレットガラーキン法にエンリッチ関数を導入し、破壊力学解析への展開を行った(2)。また、応用研究として、溶接構造物で良く用いられる T 字継手の溶接止端部に存在する表面き裂に対して、二次元のウェーブレットガラーキン法と、溶接止端での応力集中を表現する Mk ファクターを用いた表面き裂進展解析を行った。有限要素法による三次元表面き裂進展解析結果との比較を行い本手法の有効性について検討した(3)。文献(4)では、動的問題、動的破壊問題への適用を行った。Newmark- β 法を導入して、ウェーブレットガラーキン法での基本的な関数の性質である多重解像度解析の検証、動的応力拡大係数の評価を行い、動的問題でのウェーブレットガラーキン法の有効性を示した。本論文ではウェーブレット関数の位置は固定してあるが、誤差評価を用いて時々刻々と移動する応力波を効率的に追跡できるような解析法の可能性を示した。

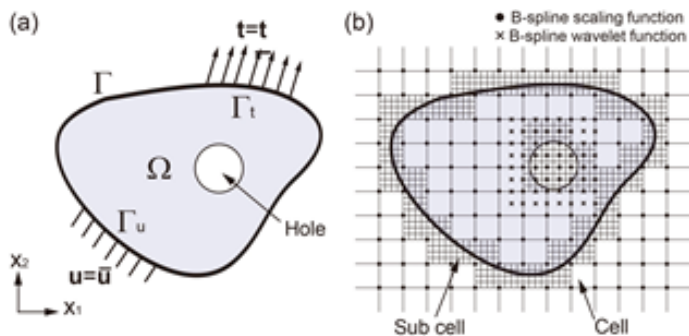


図4 ウェーブレットガラーキン法のイラスト⁽¹⁾

[(a) 二次元の解析対象, (b) ウェーブレットガラーキン法の離散化図]

数値解析の重要性や解析対象の複雑化に伴い固定直交格子を用いた解析手法の必要性はますます高まってゆくものと考えられる。新しい境界条件処理方法の提案、三次元問題への適用、オイラー型有限要素法への展開などを念頭におき、産業応用に対応可能な数値解析技術を目指して研究・開発を行ってゆく。

今回、日本計算力学奨励賞 (The JACM Young Investigator Award) という大変名誉ある賞を受賞させていただき誠にありがとうございました。深く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] S. Tanaka, H. Okada, S. Okazawa. A wavelet Galerkin method employing B-spline bases for solid mechanics problems without the use of a fictitious domain. *Comput Mech* 2012;50:35-48.
- [2] S. Tanaka, H. Okada, S. Okazawa, M. Fujikubo. Two-dimensional Fracture Mechanics Analyses using the Wavelet Galerkin Method and eXtended Finite Element Method, *Int J Numer Meth Eng* 2013;93:1082-108.
- [3] S. Tanaka, T. Kawahara, H. Okada. Study on crack propagation simulation of surface crack in welded joint structure. *Mar Struct* 2014;39:315-34.
- [4] S. Tanaka, S. Sannomaru, M. Imachi, S. Hagihara, S. Okazawa, H. Okada. Analysis of dynamic stress concentration problems employing spline-based wavelet Galerkin method. *Eng Anal Bound Elem* 2015;58:129-39.

レベルセット法に基づく トポロジー最適化に関する研究

山田 崇恭 (京都大学)

この度、日本計算力学奨励賞を頂き、大変光栄に思います。また、日本計算力学連合のメルマガの特集記事として研究紹介の機会を頂きまして、誠にありがとうございます。今回、受賞対象となりましたレベルセット法に基づくトポロジー最適化の研究は、西脇眞二先生 (京都大学) のご指導のもと、博士後期課程在学時に基礎理論の開発に着手しました。その後、名古屋大学在籍中から現在まで、松本敏郎先生 (名古屋大学) に多くの議論の機会を賜りながら、発展させてきました。さらには、現在の研究滞在先である仏国エコール・ポリテクニーク (Ecole Polytechnique) の

Allaire 先生と数学的観点から多くの議論をさせて頂いております。本稿では、これまでに発表した応用例の一部を紹介させていただきます。

構造最適化とは、物理的、数学的観点に基づき、構造物の最適な形状を求める方法である。その中で、トポロジー最適化は最も設計自由度が高く、孔の数などの形状形態と外形形状の変更を許容した方法論であり、研究論文の発表件数は年々増加傾向にある。その代表的な方法として、均質化設計法と密度法があるが、いずれの方法も、仮想的な密度関数の分布による形状表現が特徴であり、本手法と異なる点である。この密度関数は、構造と空洞の中間領域状態をも許容するため、工学的に有効な形状を得ることが難しい問題を持つ。これに対して、本手法[1]、すなわち、レベルセット法に基づく方法では、図5に示すように、スカラー関数の零等位面により物体の外形形状を表現するため、明確な境界が存在する特徴を持つ。

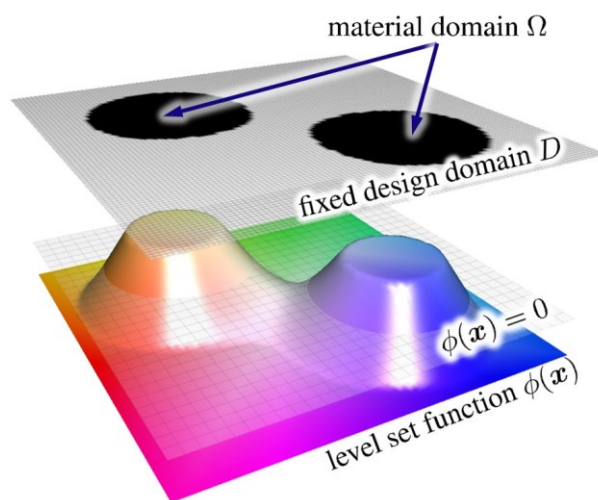


図5 レベルセット法による形状表現 (二次元の場合)

その適用例として、自動車部品の最適設計例を図6に示す。図に示すように、あたかもCADで描画したかのような滑らかで明確な外形形状を持つ最適設計解が得られる点が本方法論の特徴の一つである。したがって、産業製品の開発プロセスへの適用可能性が高い方法であると言える。

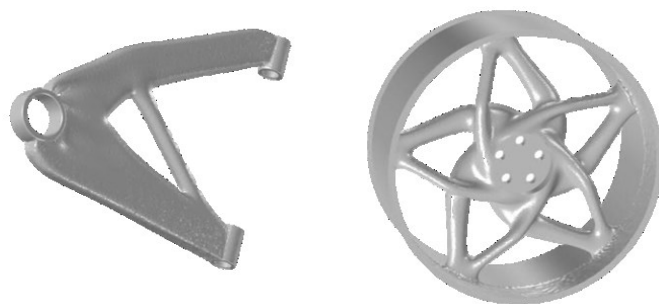


図6 自動車部品の最適設計例

このような構造問題を始め、熱、流体、電磁気及びそれらが連成するマルチフィジクス問題への展開を行ってきた。特に電磁波に関連する最適設計問題において、従来法では適当な最適設計解が得られない場合が多い問題を持つが、本手法ではそれらの問題においても有効であることを示すことができた。その一例として、図7に太陽光発電パネルにおけるフィルターの最適設計例[2]を示す。なお、本研究成果は当時博士後期課程学生であった乙守正樹博

士（アイシン・エイ・ダブリュ）が中心となり開発した。

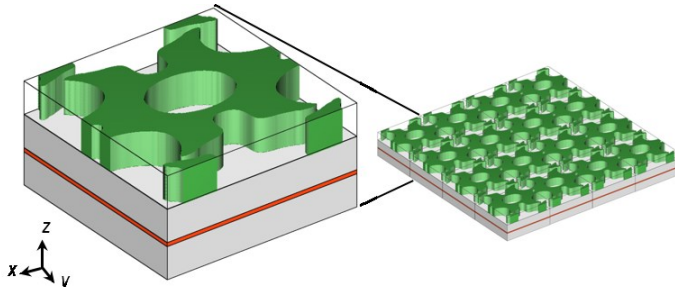


図7 太陽光発電パネルの効率最大化

他方、最適設計関連の研究論文の多くは、有限要素法に基づいた方法であるが、本手法の基礎理論は、離散化の方法に依存しないため、種々の計算力学手法の利用を可能とする特徴も持つ。これにより、種々の解析手法の特徴を最大限に生かした最適設計法の開発が可能となる。例えば、開領域を対象とした音波や電磁波等の解析には境界要素法の利用が最適な解析手法の選択と言える。実際に、名古屋大学在籍中から、松本敏郎先生（名古屋大学）、高橋徹先生（名古屋大学）、飯盛浩司先生（名古屋大学）にご指導頂き、共同で境界要素法を用いた最適化アルゴリズムを開発することに成功している（図8）[3]。

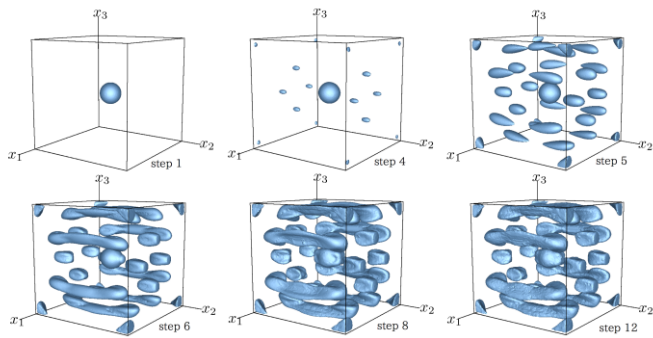


図8 境界要素法を用いた音響構造の最適設計例

さらに、流体問題においては、吉野正人先生（信州大学）、松本敏郎先生（名古屋大学）にご指導頂きながら、格子ボ

ルツマン法を用いた方法を開発してきた（図9）[4]。なお、格子ボルツマン法に基づく方法論は、矢地謙太郎氏（京都大学・博士後期課程学生）が中心となり開発した。

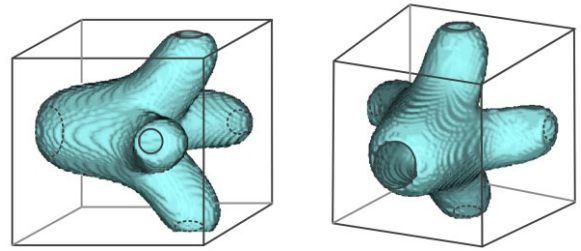


図9 格子ボルツマン法を用いた流路の最適設計例

今後の展望として、種々の計算力学手法や、大規模高速計算技術、CAD・CAE 連携技術等を利用しながら、幅広い分野への展開及び実際の産業製品への展開に関する基礎技術の開発を行う予定である。

参考文献

- [1] Yamada, T., Izui, K., Nishiwaki, S., Takezawa, A., A topology optimization method based on the level set method incorporating a fictitious interface energy, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol.199, No.45-48, (2010), pp.2876-2891.
- [2] Otomori, M., Yamada, T., Izui, K., Nishiwaki, S., Kogiso, N., Level set-based topology optimization for the design of light-trapping structures, *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol.50, No.2, (2014), p.701804.
- [3] Isakari, H., Kuriyama, K., Harada, S., Yamada, T., Takahashi, T., Matsumoto, T., A topology optimization for three-dimensional acoustic with the level set method and the fast multipole boundary element method, *Mechanical Engineering Journal*, Vol.1, No.4, (2014), p. CM0039.
- [4] Yaji, K., Yamada, T., Yoshino, M., Matsumoto, T., Izui, K., Nishiwaki, S., Topology optimization using the lattice Boltzmann method incorporating level set boundary expressions, *Journal of Computational Physics*, Vol.275, (2014), pp.158-181.

編集責任者

西脇 眞二（京都大学）

山田 崇恭（京都大学）