学会10周年記念特集(2)

日本混相流学会創立 10 周年記念座談会 (その 1)※

— 混相流に関する研究開発の将来展望 —

JSMF 10th Anniversary Discussion (1)

— Future Research and Development in Multiphase Flow —

出席者	大橋 昭 ¹ OHASHI Akira	笠木 伸英 ² KASAGI Nobuhide	齋藤 隆之 ³ SAITO Takayuki
	清水 昭比古 ⁴ SHIMIZU Akihiko	高橋 昌宏 ⁵ TAKAHASHI Masahiro	田中 敏嗣 ⁶ TANAKA Toshitsugu
	萩原 良道 ⁷ HAGIWARA Yoshimichi	橋本 雅方 ⁸ HASHIMOTO Masakata	堀 慶一 ⁹ HORI Keiichi
	真鍋 亮 ¹⁰ MANABE Ryo	箕浦 忠行 ¹¹ MINOURA Tadayuki	(アイウエオ順)
司会	村瀬 道雄 ¹² MURASE Michio		

司会：ただいまから日本混相流学会創立 10 周年を記念して、座談会を始めさせていただきます。編集委員会からの要望で、企業の方からも忌憚ないご意見を頂くため、自己紹介を除き匿名とさせていただきます。内容としては、混相流に関する研究開発の将来展望と、日本混相流学会への期待に分けて議論をお願いします。初めに、自己紹介をお願いします。

自己紹介

清水：初めまして、九州大学の清水です。私と混相流との係わりは、学生時代に固気混相流による高温ガス炉の冷却で、その当時は新しいアイデアとして脚光を浴びていたものです。出身が原子力ということで、現在は核融合炉の固気混相流冷却、いわゆる

※ 本座談会は、編集委員会によって企画され、第 15 回混相流シンポジウムの前日 1996 年 7 月 28 日に、福井大学 工学部 機械工学科の会議室において、行われました。

1 (株) 鴻池組 技術研究所	〒554 大阪市此花区伝法 4-3-55
2 東京大学 大学院工学系研究科 機械工学専攻	〒113 東京都文京区本郷 7-3-1
3 資源環境技術総合研究所 地殻工学部	〒305 つくば市小野川 16-3
4 九州大学 大学院総合理工学研究科	〒816 春日市春日公園 6-1
5 地熱エンジニアリング(株) 探査部	〒020-01 岩手県岩手郡滝沢村鶏飼字笹森 72-2
6 大阪大学 工学部 産業機械工学科	〒565 吹田市山田丘 2-1
7 京都工芸繊維大学 工芸学部 機械システム工学科	〒606 京都市左京区松ヶ崎御所海道町
8 三井造船(株) 技術本部	〒104 東京都中央区築地 5-6-4
9 三菱重工業(株) 高砂研究所	〒676 高砂市荒井町新浜 2-1-1
10 石油公団 石油開発技術センター	〒261 千葉市美浜区浜田 1-2-2
11 (株) 神戸製鋼所 機械研究所	〒651-22 神戸市西区高塚台 1-5-5
12 (株) 日立製作所 電力・電機開発本部	〒319-12 日立市大みか町 7-2-1

先進的冷却システムとしての固気混相流を扱っています。その中で様々な問題がありますが、わりあいコンベンショナルなシステムと共通していますので、例えばエロージョン、あるいは熱泳動、固気混相流を使ったエネルギー変換システム、こういう様々な問題で悪戦苦闘しています。

九州大学 教授 清水 昭比古 氏

◎1949 年 7 月生まれ
◎1979 年 九州大学 大学院 応用原子核工学 博士課程
◎原子核エネルギーシステムの熱流動工学、固気混相流を用いた先進的エネルギー変換システムの研究

田中：大阪大学 工学部 産業機械工学科に所属しています田中と申します。私が学生のときに配属された森川先生の研究室で空気輸送の研究をやられていました。その関係で固気なのですが、初めは管内の粒子の流動を計測していました。その後、数値シミュレーションで粒子の流動が再現できるか、予測できるかということに興味を持ちまして、一般的

大阪大学 助教授 田中 敏嗣 氏

◎1959 年 11 月生まれ
◎1984 年 大阪大学 産業機械工学科 修士課程終了
◎固気二相流に関する研究

な固気系の流動現象の数値シミュレーションに取り組んでいます。アプリケーションの分野としては、管内であれば空気輸送がありますが、例えば流動層とか、様々な粉粒体プロセス、固体だけの流動にも興味を持っています。

箕浦：神戸製鋼所 機械研究所の箕浦と申します。私は 78 年に入社しまして、当時は、混相流というよりむしろ熱工学・伝熱関係の研究に従事していました。混相流に関係したことで思い出してみると、一つは、プレートフィン熱交換器の中の気液二相流分配という問題を実験的に研究したことがあります。それから、移動層とか固定層の伝熱および反応に関する解析をやっていました。現在は、主に流動層都市ごみ焼却炉の高性能化とか高機能化、あるいは熱分解といった機器の開発に関係してしまして、その中でも三次元数値シミュレーションを使った解析とか、あるいは、流動層での小型の燃焼熱分解実験を担当しています。

(株)神戸製鋼所 箕浦 忠行 氏

◎1953 年 11 月生まれ
◎1978 年 大阪大学 機械工学科 修士課程終了
◎流動層による燃焼 熱分解に関する研究開発

笠木：東京大学の笠木です。私自身はバックグラウンドは元々は伝熱工学でして、今まで乱流に係わることを研究の幹として仕事をしていました。二相流に係わったこととしては、かつてパイプの中の強制対流沸騰の実験を研究室の仲間と一緒にやっていたことがあります。あるいはスターリングエンジンの試作をしていたころ、二相流を使うと等温過程がうまく再現できそうだということで、理論的なモデル作りや実験をやったことがあります。今から 6～7 年前「グラフィック・シミュレーションと可視

化」の研究会で、流体の中に小さなパーティクルを入れて三次元的にトラッキングをして流体計測する手法について話題提供しまして、その時が多分この学会に参加した最初でした。大変面白い学会だなと感じて入会したのですが、学会誌を見たり、時々シンポジウムに出たり、この学会の成果を参考にさせて頂いており、大変関心を持って見えています。

東京大学 教授 笠木 伸英 氏

◎1947年5月生まれ
◎1976年 東京大学 大学院工学系研究科 博士課程終了
◎熱工学, 流体工学, 流体計測法に関する研究

齋藤：資源環境技術総合研究所の齋藤です。私と混相流の係わりはかなり古くなりますが、学生時代にベントライトという粘土を使った鉱物輸送の卒論をやりました。資源環境技術総合研究所に入ってから、海底の鉱物資源、マンガン団塊とかコバルトリッチクラスというような深海の鉱物資源を海底から海上までパイプを使って輸送する、その中で固液

資源環境技術総合研究所 齋藤 隆之 氏

◎1954年1月生まれ
◎1979年 東北大学 工学部 資源工学科卒業
◎固液二相流, 気液二相流の素過程と応用技術の研究

二相流あるいは気液固三相流を対象として応用面から何年間かやっていました。その後また固液二相流に戻り、粒子の挙動を三次元で追っています。最近では気液二相流の基礎的な、素過程などところと、混相流を積極的に応用してどんどん使っていこうという2つの面から研究を行っています。私、混相流は非常に面白いなと思ってまして、興味は尽きないという感じを持っています。

大橋：鴻池組の大橋です。私の職種の主たるところは建設機械と申しますか、施工システムの構築ないし実施運用に携わっています。混相流との係わりですが、主として土木系の分野を担当していますので、様々な自然現象に近い状態の混相流を扱っています。一番最初はウオータージェットの利用技術を扱いました。目的は岩盤掘削とか地盤改良です。それから、土木分野では特に泥水、スラリーとして、セメント系、粘土系の混合材料をたくさん使いますので、そういったものの現場対応の技術の究明をケース・バイ・ケースでやっています。あまりにも対象が多様であり、今後ともどのような形で混相流分野をもう少し学のあるものとして取り扱うことができるのだろうかということで、この学会にお世話になっています。

(株) 鴻池組 大橋 昭 氏

◎1947年12月生まれ
◎1968年 大阪府立工業高等専門学校 機械工学科卒業
◎建設機械, 流体工学関連の研究開発

萩原：京都工芸繊維大学の萩原です。私は最初の5年ぐらいは噴霧流の計測を、その後10年ぐらいは環状流の界面波の計測とモデル化、あるいは数値シミュレーションをやっていました。最近では、液液の混相流や、数値シミュレーション、実験もやってい

ます。結構、混相流をメジャーにやってきたのですが、わからないことがたくさんありますので、シンポジウムや、国際会議を通して、色々な人の色々な見方を取り入れて、研究を update したいと思います。

京都工芸繊維大学 教授 萩原 良道 氏

◎1953 年 10 月生まれ
◎1981 年 京都大学 博士課程終了
◎輸送現象の混相化による促進・制御に関する研究

真鍋：石油公団 石油開発技術センター 生産技術研究室の真鍋と申します。私は、石油開発生産一般という形で、混相流、特にパイプラインとか石油の井戸の中を流れる天然ガスと油と水の気液二相流あるいは気液液三相流を扱っています。近年、特に 1980 年代ぐらいから北海油田、メキシコ湾等での中小規模の油田をいかに安く開発するかが大命題で、その要素技術として、石油会社等で積極的に混相流研究をやり始めました。石油開発産業における混相流研究の基盤は小さいのですが、今後、非常

石油公団 真鍋 亮 氏

◎1969 年 2 月生まれ
◎1993 年 北海道大学 資源開発工学科 修士課程修了
◎多相流体輸送、水平坑井開発、パライン析出予測技術等

にメジャーになると考えています。今後とも我々の基盤の小さいところを学会等を通じて、できるだけ大学等のアカデミックなところとコミュニケーションをとってやっていきたいと思って学会に参加しています。

高橋：地熱エンジニアリングの高橋と申します。地熱開発は、石油と同じように地下に井戸を掘り、地下から地熱流体を取り出します。地熱流体は、地下の中で、多くの場合は液単相ですが、流動に伴って減圧してフラッシュを開始するので、地層の中の液単相ないしは気液二相、井戸の中の液単相・気液二相等を取り扱っています。私、実は 10 年ぐらい前に地熱井の中の気液二相流シミュレーションをやっている、ある程度実測と計算が合うシミュレーターを作ったと思っていたのですが、その後、必ずしも精度が良くないことが分かってきまして、もう少し精度の良いシミュレーション技術を確立しなければということで、再度、気液二相の業務に取りかかったわけです。そういう観点で、混相流学会にはほんの数ヵ月前に入会させて頂きました。

地熱エンジニアリング (株) 高橋 昌宏 氏

◎1959 年 2 月生まれ
◎1981 年 早稲田大学 理工学部 資源工学科卒業
◎地熱地域の貯留層解析、坑井内流動解析、検層業務等

橋本：三井造船の技術本部の橋本です。混相流との係わりは浅く広くという感じでして、研究所に 15 年おりました間は主にガスタービンの翼列性能、振動、非定常空気力などをやっていました。その他に土砂輸送関係のエアリフトポンプ、マンガン団塊の輸送、液滴・粒子によるタービン翼の磨耗、さらには、磁性流体の光-磁気機能応用などで係わってきました。最近では、ディーゼルエンジンの噴霧・燃

焼シミュレーションを設計現場と一緒に考えています。ボイラーの場合には液体燃料もありますが、微粉炭の燃焼は固気流でして、どのようにシミュレーションしていけば良いかということを考えています。それから、焼却炉の流動層の数値シミュレーション、これも C F D (Computational Fluid Dynamics) 寄りのアプローチを考えています。

三井造船 (株) 橋本 雅方 氏

◎1948 年 7 月生まれ
◎1976 年 東京大学 工学部 航空学科 博士課程修了
◎ガスタービンの空力性能等に関する研究開発

堀 : 三菱重工 高砂研究所の堀と申します。私は混相流, 気液二相流をずっとやってきたのですが, 大学時代までさかのぼりまして, もう二十数年前になります。三菱重工では, 最初は蒸気発生器の中の沸騰を伴う気液二相流をやりました。十数年前に原子炉炉心の熱流動をやれという話になって, そ

三菱重工業 (株) 堀 慶一 氏

◎1949 年 5 月生まれ
◎1977 年 九州大学 工学部 機械工学科 博士課程修了
◎原子力発電プラントの熱流動に関する研究開発

れから現在まで炉心の熱流動をやっています。炉心では通常の運転時には水ですが, 異常な過渡変化, 事故事象では沸騰して気液二相流状態になりますので, その評価, それから限界熱流束, を現在やっています。試験をやるにしても大がかりな, 非常に大変な話になりますので, その中の流れ, メカニズムをもう少しはつきりさせるため, 実験と解析ということで進めています。混相流といっても, 気液二相流を中心にやっています。

司会 : 私は日立製作所の電力・電機開発本部に所属しています村瀬と申します。本日は編集委員として司会を担当させていただきます。私は入社して 23 年になりますが, 一貫して原子力の伝熱流動に関する研究開発を担当しています。特に原子力の安全性, 気液分離システム, 熱交換器とか冷却水の浄化設備などを含む熱流動システム・機器等の研究開発に従事してきました。従って, 気液二相流との係わりは深いのですが, 実験が中心で, 実験式を使ってマクロな挙動や性能を評価するのが主な業務です。

(株) 日立製作所 村瀬 道雄 氏

◎1947 年 7 月生まれ
◎1973 年 京都大学 機械工学科 修士課程修了
◎原子力の安全・システムに関する研究開発

司会 : 自己紹介かたがた混相流との係わりについて紹介して頂きました。初めに, 企業での現状と課題, 将来展望, 及び大学での科学技術に対する期待等についてお話をいただいて, その後, 科学技術の観点から見た将来展望と企業への提言を含めて大学の先生方にコメントをいただく形で進めさせていただきます。最初に, A さんから, 企業における問題とか。

〔構成式の高温・高圧条件への適用性〕

A氏：先ほども少し触れましたように、少し前まで、原子炉が複雑ということもあり、実験に依存してきたところがあるのですが、最近になって解析評価もできるだけしよう、そういう試みを始めています。しかし、例えば高温・高圧のPWRの炉心で使えるような構成式があるかないかを探してみると、どんびしゃりというのはないというか、現状ではあまり十分なものがない。そこら辺から掘もうとすると相当基礎的なところからやらないといけない。大学での要素研究として、どう構成式を使ったらいいのか、指針をある程度出していただくと、メーカーの現場でも活用できる。現状は、さっきも言いましたようになかなか難しいところがあります。また、あまり要素研究的になりすぎると、メーカーでは取り組みにくいという状況もあります。

〔実験式の適用限界とデータベース〕

B氏：私個人と社内幾つかの部署に聞いた話をまとめてお話しします。混相といいましても固気、固液、気液、多成分等ありますが、固気二相流の分野で、一例ですが、閉塞限界などの問題に関して、砂をベースに作られた実験式が今も使われているのですが、それがどの辺まで使えるのか、外挿するだけで用が足りるのかという問題があるのではないかと。それから、固液二相流では、私どもですとスラリー輸送、土砂輸送とかですが、限界速度が石炭や岩石などの実験データによるものですが、最近ではもっと細かいもの、あるいは大きいものを輸送するニーズがあり、実験データがどこまで使えるかという問題があると思います。それから、気液二相流に関して、いわゆる流動様式線図がありますが、実験データは数インチぐらいの管の中の水での実験データを基にして説明されているケースが多いと思いますが、液体が変わった場合、管径が大きくなった場合、小さくなった場合、あるいは物性として非ニュートン流体になった場合とか、そういう場合にどうなのかという問題も出てくるのではないかと。それから、多成分多相流は究極の混相流なのかもしれませんが、具体的に言いますと燃焼流・化学反応を伴う流れまで混相流という幅を広げて考えると、これはかなり難しいかもしれませんが、その辺まで含めたグローバルな指針とデータベース、枠組みができてく

れば設計に使える、という感じがしています。

今、Aさんからお話がありましたが、一つは実験で今まで扱われてきたものがシミュレーションで扱われるようになるだろうと。そのバックグラウンドになるメカニズムを大学の諸先生方に解明していただけると、ありがたい。それから、混相流と一口に言ってしまうと、連続流体の相が違うものの扱いになるかと思いますが、粒子などを考えると多体の問題があると思います。連続流体の間の粒子が少ない場合の多粒子系と、粒子が多くなって連続体に近い多粒子系とか、色々な段階があるかと思いますが、その辺を全部つないで説明できるような理論を先生方に出していただけると大変に良いかもしれませんが、その中に乱流の渦の大きさと粒子の大きさの関係という具体的な問題が入ってくるかと思いますが、多分、微粉炭焚きのボイラーなどでは乱流の渦と粒子の大きさも関係する。それから、これは将来の話になるかもしれませんが、流動だけではなくて、燃焼などにも関係しますが、粒子の表面で化学反応が進行する多相多粒子系の流れになると、物性とか機能も関係してくるような、流れとchemistryといえますか、反応も重要になってくると思いますので、この辺も先生方の知恵を拝借できればと思っています。

〔複雑形状（地層・亀裂）内での二相流挙動〕

C氏：今、Bさんからお話のあったことと相当ダブるところがあるかと思いますが、地熱の業界で混相流を扱うのは、地上設備を除けば、地層の中の流れと井戸の中の流れの2つに大きく分けることができると思います。まず井戸の中の流れについては、Bさんからお話があったように、実験データがどこまで使えるのかといった問題とか、実験データを組み合わせたとき、それが連続的に取り扱えないといった問題がありますので、何か連続的に使えるような方法がないかと考えています。それから、パイプの中の流れは比較的实验しやすいと思いますので、実験データは探せば色々あるかと思いますが、実際に私どもの現場で掘っています井戸では、一番細いところで直径が8.5インチ、一番太いところで13インチ3分ぐらいのパイプの中を気液二相が減圧してフラッシュしながら流れるといった現象が起きています。しかも流体はpure waterではなくて、濃度の差はありますが、その中に色々なガスが含まれていまして、特に液相の中に溶け込んでい

た非凝縮性の例えば炭酸ガスが解離してくる。そういったところの取り扱い方にも頭を悩ませています。パイプの中の流れは、径の違いはありますが、実験をしたり、現場でも井戸の中に各種の測定器を下ろして計測することができますので、フィールドデータと実験データとの対比、それに伴う何らかの補正で両者をマッチングさせることは可能だと思います。

非常に難しいと思っていますのが地層の中の流れでして、残念ながら地層の中にまで測定器を下ろす手段、方法を持っていません。地熱の場合、流体が流れているのは、多分、幅が数ミリから数センチくらい、その程度のオーダーの亀裂の中と考えています。多分、井戸の周辺ですと相当な高速になっている、当然、乱流になっていると考えるのですが、例えばプレッシャードロップがどういう感じで起きているのか、液単相の場合はどうなっているのか、もし地層の中でフラッシュしている場合どうなっているのか、確認できていません。もし可能であれば、大学側でそういった現象に興味を持っていたいて、例えばラボ実験等をしていただけると我々としても非常に助かると常日ごろ思っています。

[多相流メーター・多相流機器]

D氏：地層や井戸の中の混相流の実際の流れをシミュレーションする、それは我々もほとんど一緒です。違いは流体が蒸気か、油かということです。その中で、研究開発の分野と現場の分野で技術にかなり差があるというか、乖離があると思います。一つは、シミュレーションモデルについては研究開発がある程度のレベルまで行っているのですが、実際に現場では古い実験式に頼っていたりします。実験データ等での検証とか評価をやらなければフィールドでのアプリケーションは無理でしょうが、その辺ができていない。そういう意味で、いかに開発したモデルをフィールドアプリケーションに持って行けるかが、我々の課題の一つだと思います。それで、できるだけ大規模実験設備のデータやフィールドデータを集めたり、そういう面での協力を学会を通じて提供していただければと思っています。

現状の課題ではもう一つ、いかに開発コスト、特に海洋の大水深や中小規模の油田の開発コストを低下するまで出てきた課題ですが。今まではブラットホームという大規模な海洋構造物を作り、そこに

できるだけ早く流体を持って来て、分離して、それぞれ計量して輸送する形をとっていたのですが、そのようなシステムでは到底中小規模の油田は開発できないということで、近年、産出する混相流体を未処理のまま、分離しないで計量してパイプラインで輸送するシステムが考えられました。このコンセプトが考えられたのが1980年代で、課題の一つには、パイプライン内の流動のシミュレーションがあります。他には、海底パイプラインの温度変化がかなり激しくて、油の中でワックスとかパラフィンとか、あるいはハイドレードという氷の粒が析出して、それが管を閉塞してしまうことが考えられるので、それらを取り除くあるいは析出しないようにする方法の研究があります。

他には、多相流メーターといいまして、井戸の油、ガス、水の量というのは井戸1本、1本で管理しなければいけないのですが、それぞれ分離して計っていましたが、分離するシステムをなくしてダイレクトに、例えばオリフィスとγ線をコンビネーションで使ったりして、分離しないで計れるもの、あるいは気液が混じったまま昇圧できる多相流ポンプの開発などの要素技術研究が必要になってきて、現状ではそういうものを行っています。ただ、石油開発業界で専門家が少ないという現状がありまして、原子力・化学工学・機械工学などの専門家の先生との協力で色々開発をやってきた経緯があります。今後とも、大学の先生のなさる基礎研究の成果を利用させていただくことが必要と考えています。

司会：気液を中心にお話いただいたのですが、流動様式とか、それがどの程度の範囲で使えるかという問題、大口径の問題などが出たわけですが、Eさんから、全般的なコメントを含めて、お願いします。

[データベースの現状と情報収集]

E氏：非常に面白い、興味あるお話を聞かせていただいたのですが、研究機関でやれる限界もあり、世界中どこにもデータがないとかアイデアがないものも沢山あると思います。しかし、大口径管のデータはバラバラとあります。例えば混相流学会誌に論文が出ています。それから、世界でもデータを、データベースとして集めているところもあります。開発で幾つかのジャーナルに出ているので、それを集める努力をどこかがしないといけない。それから、計測の件、例えば、二相流状態で計測できる流量計

が外国の企業によって開発されたように、各国で、あるいは各個人が取り組んでいることは事実です。色々なジャーナルを見るなりして、情報収集することと同時に、混相流学会あるいは研究機関の人間がそういうものを集める努力もある程度必要だと思います。

司会：全般的な今後の方向性で何かございましたら。

〔今後の方向性〕

E氏：今後は、片方で素過程、つまり細かい部分を理解しよう、それを実際のアプリケーションにフィードバックしようという動きが出てくると思います。もう片方では、ともかくより複雑な現象に対して現在の知見を外挿できるかどうかというアプローチが出てくると思いますし、既に出てきています。二極化とは言いませんが、そういう2つの大きな流れが出てくると思います。

司会：続きまして、固液に関して、Fさんから企業の現状と課題等につきまして。

〔シミュレーションの統一モデルへの期待〕

F氏：建設業の立場から見た現状は先ほど自己紹介で少し述べたと思いますが、多種の材料の混合体あるいは流れを取り扱う機会が多いこと、それから系統的にフォローアップできないこと、この2点を述べました。その延長にある話になるとともに、後の学会への期待につながるのですが、この学会は固気、固液、気液と分野別に取りまとまった形で運営されていると思うのですが、具体的に仕事で出会う多様なマルチフェイスを考えると、窓口が広く、色々な混合体を扱ってもらいたい。大変難しいと思うのですが、こういう混合体が現象としてあって、こういう扱いが試みられているよ、というような一種のデータベースができれば、我々もそれを利用して、その現象に近似した扱いと解釈ができるのではないかな。そういうものがデータベースとして欲しいなという気がしています。

固液というお話をされましたので、特段専門ではないのですが、例えば、テスト工事では市街地のトンネル施工に泥水を使ったシールド工法があります。実際に地盤を掘ると、固液で先生方が色々なスラリ輸送の成果を上げておられますが、現実にはベースとなる形態がコロイドから数10ミクロンの非

ニュートン流体に掘削土砂が乗っている、あるいは土塊が乗っている形態での輸送になりますので、残念ながらスラリ輸送の学問的な進捗に呼応した設計の進展はあまりないと思います。また、例えば泥土シールドのように、泥水を循環させながら掘るのではなくて、なるべく地盤を掘ったままの状態で送るという工法があります。その時には、当然、力技で土砂を送るわけですが、同様にコンクリート圧送といったものも混合流体現象としてありますが、これらはほとんど力学的な解析は行われていない。これも大変難しい問題だろうと思うのですが、一方でシミュレーションの進展があり、固液も固気もかなり解析にのってきているように見受けられますが、依然として経験則に頼る部分が多い。そこら辺は固気、固液、気液というはっきりした分野分けではなくて、扱っておられる対象に少しバリエーションをつけて、全般的な扱い方あるいは解釈の仕方程度でいいと思うのですが、先生方に見通しをつけてもらえば非常に助かります。

司会：先ほどBさんから固液の流れ、Dさんからワックスによる閉塞、一種の固液と思いますが、Gさん、シミュレーションなり、今後の方向性なり、ご意見をいただけますか。

〔混相流におけるブレイクスルー〕

G氏：一つよく分からないのは、シミュレーションを一体何のためにやるのか、実験をすると非常に予算がかかるから効率化しようという観点から見るのか、あるいはシミュレーションによって実験では見えないものを見ようとするのか、どちらかということをやまずお聞きしたいのですが。というのは、確かにシミュレーションは非常に大きな武器になると思いますが、例えばものすごい素過程のところから新しい現象を見ていこうという場合には、シミュレーションから新しいものが生まれてくるのかな、と若干疑問を感じています。

もう一つ、話が変わるのですが、混相流の世界には大きな問題、小さな問題、色々あると思います。その問題をインクリメンタル (incremental) な問題とブレイクスルーすべき問題と2つに分けて考えていけないといけけないのではないかな、という気がします。特にブレイクスルーする部分では、アカデミックなどか、応用とかは関係ないと思います。混相流の中でブレイクスルーするのは何なのか、それ

をこれから整理していく必要があるのではないかと思います。そういうふうに問題を整理すると、案外、多くの部分はインクリメンタルな部分の問題ではないかと。本当に我々がなすべきことはブレークスルーすべきところを探していくとか、そこをきっちり掘んでいくことが重要なのではないか、という気がします。今、ブレークスルーをやっている、そういう考えを持っていると何か生まれてくるのではないかと考えています。問題を大きくまとめてしまうと、そういう感じを私は受けているのですが。

司会：関連しまして、Iさん、モデル化をする上でもう少しグローバルな取り扱いができないかとか、全般に関してお願ひします。

〔大学の役割とシミュレーションの限界〕

I氏：色々な形態の混相流の個々の問題をここで議論するには余りにもスコープが大き過ぎるので、今まで出てきたご意見に対して全般的な私の感想を申し上げたいと思います。産業界の方々は現実に具体的な問題に直面しておられるわけです。その問題を解決するために役立つ、あるいは従来ある知識の適用範囲を越えてそれが使えるかどうかには大変ご関心があると思います。それから、ある種の解析コードなり、いわばオールマイティなものの開発を目指して大学側が頑張っているという期待が出てくるのは自然だと思います。ただ、例えばある種の数値予測コードを作る時に、これはどんな場合でも使えますよと、どんどん汎用化しようとする、恐らく相当膨大なプログラムコードにならざるを得ない。実際に産業界の設計で使おうとすると、こういったソフトウェアはほとんど使われないですね。それから、混相流の世界での解析コードができたとした時に、現実に直面する問題における境界条件とか初期条件とかが的確に記述できるかどうかを大変心配しています。そういう意味で、混相流解析のためのシミュレーション開発は、やや悲観的ですが、個別的にならざるを得ないのではないかと、という気がします。

そういう基本的な認識があるのですが、一方、大学の研究を見てみると、applied research もあり basic research もあると思います。ここまでの混相流の10年間を見てみると、大学の研究はある側面において精緻化する方向に来ていると思うのですが、どこかでインテグレートする部分も必要だと思います。大

学での研究に対して社会が求めること、独創性のある研究、若い人が関心を持てるテーマを考えていくと、実際に産業界で直面する問題解決型の研究だけでは大学の研究は動いていかない面があります。私は、最近、混相流にかかわらず、もう少し提案型といいますか、何か新しい価値が生み出せるかどうか、この学会も機能性流体という研究会があって大変面白い研究をやっていると思いますが、むしろ大学の研究はそういう方向に力を入れていく必要があると思います。産業界の方々をお願いしたいのは、余り性急にならずに、大学の研究を見ていただきたいし、理解していただきたい。勿論、我々は産業界からのフィードバックに対して敏感でなければいけないという気がします。

それから、お話が出てきた中でデータベースがありました。データベースには実際の数値のデータベース、相関式のデータベースなど、色々なレベルのデータベースがあると思いますが、大学の人間が少し広い視野から整理する努力をすべきだと思います。もう一つは、整理した結果をできるだけ外で使いやすい形に持っていく。最近はネットワークなどが広がってきましたので、新しいメディアを使ったデータベースの供給の仕方とか、既に蓄積された知識データベースの体系化あるいは利用の仕方への工夫が必要かなという気がします。

シミュレーションについては、今後ますます使われていくことは必然的であると思います。現実にこれだけコンピュータのパワーが出来てきて、しかも連続体レベルの力学的な記述、あるいは分子、原子レベルの記述が整理されてきますと、シミュレーションが色々な所で行われると思います。ただし、先ほどご指摘がありました、かなり注意が必要であって、シミュレーションはやれば結果が出てくる。我々の経験ですと、シミュレーションをやっていると、出てきた結果にだけ注意がいきます。したがって、それを可能な限りの元々の力学的な記述の部分、素過程の部分に対する疑問といいますか、注意がだんだんと薄れていく場合があります。これは特に注意する必要があると、大学の人間がそういうことに対して常に謙虚である必要があると思います。

それから、固気、固液、気液、色々な組み合わせがある。そういうものを統一的に扱える見通しを作ってほしい、というご希望があると思います。それは極めて当然だと思いますが、少なくとも10年の混相流学会の歩みを見てみると、固気、固液、気

液というような個々の部分を単純に集めることによって総合的な視点は出てきそうにないと思います。いつか出来るのかもしれませんが、私はむしろ冷めた見方をしているのではないかと思います。ただ、こういう場合にはこういうことが出来るということを正しく見る、従って無理にくっつける、あるいは統一する必要はなくて、極めて自然体にも他の組み合わせを理解していくことが、実はそれなりに役に立つのではないかという気がします。

司会：ありがとうございます。それでは、Jさん。

〔企業から大学への要望〕

J氏：これは混相流には限らないのですが、企業での研究の現状で感じることを言いますと、バブル経済がはじけて企業では経済的にまだ十分に望ましい状態ではないと思います。そういう背景があって、すぐに事業化ができる研究にドライビングフォースがかかるところがあります。いわゆる要素的な研究でも将来の事業化が見えないと企業ではやりにくくなっていると思います。そういう意味で3年、2年、もっと短い視点での研究開発が望まれます。混相流関係の研究でも基本的に同じで、混相流の研究だけで物が作れることはあまりないと思います。生産技術にしても新しいプロセスの開発にしても、混相流の知識・技術はそのうちの一部の要素です。混相流の研究をやろうとすれば、対象が大きくて、後で投資にみあうリターンが返ってくるものでないといきにくい。そこで、要素的な共通基礎研究は大学にお願いしたい。ではどんな研究かというと、使える研究というか、答えが出る研究が我々としては最も欲しい。I先生も言われましたが、細かな視点で行われる研究は我々の開発に使えるものが多いと思います。ですから、非常に精緻な理論ではないけれど設計に使えるような、そういった視点で研究していただきたいというのが一つの要望です。

それと、先ほどから共通データベースというお話が出ていて、これも非常に重要だと思います。今まで膨大な研究がなされているわけですから、それを利用できる形で使えたらと日ごろから思っています。この間、事業部から研究所に入ってきた一例ですが、石炭を空気輸送で数百メートル送るのだけれど、150mmの配管を200mmにスケールアップして2本を1本に出来ないか、という話がありました。多分、色々研究されていると思いますが、身近に関

係するデータがあれば見当がつけられますので、共通データベースの整理は非常に重要だと思います。

それから、問題解決型の研究が非常に多い。我々も今、新しいものを創造する視点で研究を進めることが望まれています。例えば、学会でシーズとしてピックアップできるようなものがあるかという、使えそうなものは非常に少ないと思います。そういう意味で、新しいものを生み出す視点を持った研究をやっていただきたいと感じます。

私は流動層の研究をこの10年来やっていますが、流動層にかかわらずシミュレーション技術は非常に発達してきていると思います。企業において、汎用プログラムの開発に関してはかなり必要性が薄れてきたのではないかと思います。ただ、個々の特殊な問題については汎用プログラムで解決できない面もありますから、そういったものは必要だと思いますが、ソフトの開発で金がかかり過ぎる研究は企業では難しい面があります。そこで、個々の問題を大学の研究で色々カバーしていただくとありがたいと思います。ただ、企業で物を作る観点からだと、まだシミュレーションは現象を理解して、理解した上で新たに発想する道具としての使い方が大方かなという気がしています。精緻な方法で攻めていただくのは非常に重要だと思いますが、我々としては実際のプロセスを開発したり、プラントを作っていくわけですから、そういったものに使える、計算時間のかからない、大体の方向が見えるようなシミュレーション技術も、大学も一緒に考えていただきたいと思っています。

司会：今までに、データベースとシミュレーションの議論が出ていますが、Kさん。

〔シミュレーションの現状と問題点〕

K氏：まず今のJさんの話で、精度は少し悪くても実際的な問題を扱えるようなもの、その辺のところは考えていかなければいけないと思うのですが。ただ、今、具体的にこういう方向でやればよいというものは持っていないのですが、そういったものが必要だということは認識しています。それから、I先生から固気、固液、気液の統一に対する悲観的な意見がありましたが、私は必ずしもそうではないのではないかと思います。例えば、大きな体系の中に全て固気、固液、気液が収まってしまうという意味のものではなくて、数値シミュレーションと関係して

きますが、素過程といった部分で共通になる部分は多いわけです。例えば Turbulence modification, その他, Lagrangian simulation とか、色々なところで共通項があって、そういった素過程でかなり共通的なものが見えてきて、例えば混相流シンポジウムのセッション分けとかを見ても、固液、気液的な分類のものから、もう少し混相乱流であるとか、ある意味ではそういった分野が融合したものもできるようになってきていると感じます。

それから、Gさんからありましたシミュレーションを何のために使うかというのは、これは両方だとも思います。実験で見られないものを見る。これは実際のアプリケーションの意味から言えば当然実験の代替だけれども、実験で見られないものを見るという理由がかなり大きいと思います。例えば単相の乱流などでもそうでしょうが、私が関係しています固体粒子が関係する場合、実際に計測自体が難しいという問題があります。例えば流動層とか、非常に高濃度の場合、少なくとも視覚的に見ることは無理です。実際、分散相がどのような変形をしているかを見る場合、例えば粉粒体のプロセスであれば、容器の中に色をつけた粒子を入れて混合してやる。後でそれを切って中を眺めることはできますが、実際に動いている時にどのような挙動を起こしているのか、あるいは装置のあるものがどういう働きをしているのかまで知りたい場合、数値シミュレーションの意味はかなり大きいと思います。

非常に幅広いものを統一的に扱おうとするとシミュレーションコードが膨大なものになるというお話がありましたが、それは混相流の持つ多重構造というか、空間スケール、時間スケールとが複雑に絡み合っている、そういったものがどこで支配的に出てくるかがなかなか分からないわけです。例えば、粒子間相互作用の問題なのか、あるいは乱流と粒子の相互作用の問題なのか、空間スケールでいえば、相互作用の空間スケールとか、あるいは流れのスケールとか、色々ありますが、非常に多くの空間スケール、時間スケールが存在する。そういったものの中で何が支配的に顔を出すかがまだはっきりしていないのが現状だと思います。そういった複雑なものを完全に統一的にやろうとすると、それこそ問題が顕に現れてこないといえますか、支配的になってこないものも扱わなければいけないことになって非常に効率が悪くなります。ですから、ある程度整理して、どのような場合にこういった要因を考えな

ければいけないのか、それは必ずしも今現在、十分整理されているとは思いません。そういったことも、数値計算などを使って議論することができるとは思いますが、ある程度整理したもので、こういう条件であればこれを考えればいいでしょう、こういう場合にはだめですよ、そういった体系づけをきっちりやっていくことも残されていると思います。そういったことをやっていって、統一的なものではなく、ある程度個別的な、効率的に使える計算コードなりができるのではないかと考えます。

〔データベースとシミュレーションの課題〕

L氏：前半の企業の方からの色々なご意見に対する私の感想をメモしていたら、それをI先生がまとめてしまわれた形ですね。悲観的と書いていたのですが、私自身の結論を先に言われてしまった感じです。企業側からデータベースに相当するものを要求されるのは当然だろうと思いますが、多分、同床異夢という言葉がぴったりだと思います。つまり大学の人間は基本的には手法を取り扱っているのであって、データベースに相当する部分をやるのはその瞬間に興味がなくなっている。では誰がやるのかということになる。例えば気液二相流の流動マップのようなものを考えると、固気系の場合、多分、流動様式の境界の幅を大きく取らないと実際に役立つものにはなりにくい。そうするとシミュレーションの役目として、何処かにアンカーを打つ、要するに比較の基準となるものを実験しないといけない。その上で、シミュレーションを振らせてみて色々な探索をする手法にならざるを得ないと思います。私も、離散粒子系の数値計算をたくさんやってきましたが、圧力損失を一つとっても、固体粒子の摩擦係数がちょっと狂うとがらっと変わる。それをやっ合わせて、今度は粒子の反発に相当するランダム性、乱反射のパラメーターを振るとがらっと変わります。そうすると、これはどこかで収束していくような性質のものではないと思わざるを得ない。そういう意味で悲観的です。そうかと言って我々の方がそういうものを捨て去ってしまって、私の知ったことではありませんと言うことはできませんし、世の中に何で貢献しているかについても答えになっていないと思うので、どこかで analytic なものと反対の synthetic なものに対して貢献する場を提供する必要があると思います。その一つは学会の場であると思います。

さっきおっしゃいました固気系の多粒子系と希薄系の問題などでは、大ざっぱに言いますと、粒子間衝突で決まるフィールドと、turbulence modulationで決まるフィールドがあって、その間が実は抜けているのです。それが、今、大きな問題だと思います。そういうふうに粒子間衝突の方から攻めていくものと turbulence modulation から攻めていくもので、比較的、支配パラメーターの少ないようなシンプルな体系については、かなりのところまで行っているような気がします。

先ほどの問題に戻りますが、手法はどんどん細くなって行って、それが現実とどうつながっているかについては、どこかに迷い込んでしまっただけをやっているか分からないという経験を持っていますので、大学の人間としても、実際の生産現場でデータを集めなければいけないニーズがあるのを知っていますから、できるだけアンテナを高く持って、互いに刺激を受け合いながら進めていくより他はない。

一つの例えなのですが、これはある意味で地震予知に似ていまして、ものすごく複雑な体系でしょう。地震予知も基本的には破壊力学だからシンプリアイすれば何か必ず答えに近いものは出てくるけれども、では実際に複雑な地殻の構造の地震予知ができるかという、それはベスマスティックで、分からないということです。ですから、どこに安住の地を見つけるかは一人一人の人生哲学と絡んでくるような気がしています。

座談会はこの後、引き続き日本混相流学会への期待について議論しましたが、紙面の都合で12月号に掲載します。

後記：議論の中心はデータベースとシミュレーションでした。データベースについては、使用条件や設計条件が構成式や実験式の適用範囲を超える、もしくは適用限界が不明確である場合が多い等の問題が指摘されました。データが少ない領域での実験へ

司会：特にデータベースとシミュレーションがキーワードになっていますが、これに関してご意見を。

[物理現象の理解とシミュレーションへの見方]

E氏：シミュレーションに関して申し上げますと、私も基本的にはI先生、L先生と同じように、統一はまだまだ先の話だと思うのですが。混相流の物理現象も分かっていないしパラメーターもまだ分かっていない。そのためにデータがばらついているのだと思います。さっきK先生が言われたように、何が起きているかを探るためにはシミュレーションは非常に有効な手段ではないかと思います。ただ、シミュレーションを無闇に使うと、先ほどL先生が言われたように、何かをちょっと変えらるとものすごく変わってしまう。それはむしろ現場ですぐこれを使いたいという人にはかえって悪影響になるかもしれません。たまたま予想したものとは合わなかったら、これは全部シミュレーションが悪いのだということで、シミュレーション手法に対する偏見といいますか、ネガティブに考えるのはまずいと思います。分かっていないことが多過ぎるので、シミュレーション手法を割り引いて見て頂きたいし、手法はまだまだ改良しなければいけないと考えています。

司会：それでは、前半はこれで終了させていただきます。ありがとうございました。

のニーズの他に、当面、既存データの情報収集・整理の必要性が指摘され、学会での取り組みへの要望がありました。

シミュレーションでは、汎用的な統一モデル開発への期待が表明されましたが、有効なツールではあるが現状では限界があり、使用方法や結果の評価に注意が必要であること、当分は個別現象毎に使い勝手の良いモデル開発が中心になると思われること、一方、素過程では共通点も多く各分野を融合する方向性も必要であることなどが指摘されました。
(村瀬)