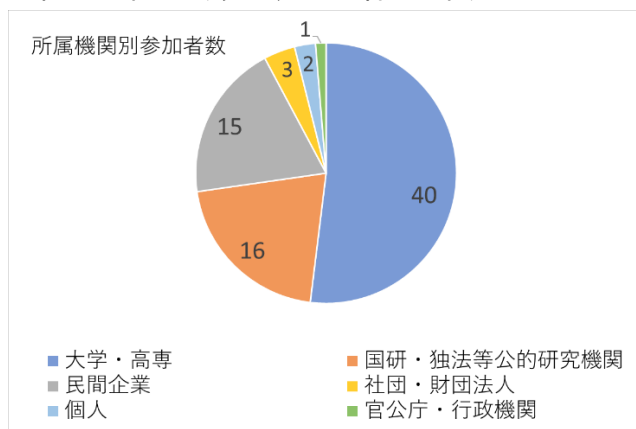


未来社会創造事業「超スマート社会の実現」領域
公開ワークショップ「サイバー世界とフィジカル世界を結ぶモデリングと AI」開催概要

開催日時：2018年5月25日（金）13:00～16:00

会場：イトーキ東京イノベーションセンター SYNQA 1階

出席：77名（うち、登壇者14名）



【概要】

平成30年度新規重点公募テーマの検討の一環として、モデリングの研究とAIの研究を組み合わせることによる新たな研究開発の方向性や、研究開発がどのようなインパクトをもたらすかという可能性について、議論し明らかにすることを目的に、前田章運営統括をファシリテータとして、登壇者の方に問題意識や取り組みを発表いただいた上で会場を交えて議論するスタイルを各7名2回、計14名の方に登壇いただき議論を展開しました。

当初目指していたモデリングとAIの具体的な技術の組合せに関する議論には至りませんでした。一方、それぞれの特長と課題について意見交換することにより、研究者相互の理解を深め、連携の可能性を感じていただく機会となりました。

【登壇者発表概要】

- A：金融市場の社会シミュレーションに取り組んでいる。100年に一度の金融危機のようなブラックスワン現象を分析、再現可能かという問題意識。個人の行動データをモデルによりどう集団や社会に結びつけるのか、ミクロとマクロを結ぶモデルをどう評価するか、技術的な課題があると考えている。
- B：システムを知的に構築するにはどうするかという問題意識。モデルには数学モデルやアルゴリズム、ルールで表されたモデルなど様々。それらを統合してシステムの設計論を考える必要がある。様々なモデルを統合して実世界と深化（進化？）させていくことを考えている。
- C：専門は数値解析。電子の相互作用についてモデル化した固有値計算をやってきた。シミュレーションはいろいろな要素の相互作用がモデル化されている。データを見ると同じように考えることができ、非常に近い固有値計算が可能。シミュレーションもデータも相互作用という共通のレベルで考えられるのではないか。
- D：データマイニング、時系列データのリアルタイム解析に取り組んでいる。社会実装・産業貢献が大事だと考え、日本が強い製造業においてソフトウェアで貢献したい。民間企業と共同研究を進め、スマート工場の設備不良の兆候を事前に察知するというに取り組んでいる。
- E：制御工学が専門。複数のものが大規模に繋がった場合、まず安定性を保証した上でできるだけ高効率にする研究に従事。スマートコネクテッド・コミュニティとして、地域の電力や交通などを結合したシステムを考えたい。今後はセキュリティが重要。ダイナミズムが入ったときに

間違った方向にいかないようにする必要がある。

F : マルチエージェントシミュレーションを用いた分散システムの設計や、社会シミュレーションに取り組んでいる。今後、無数の AI がネットワークに繋がると、2つの社会現象が起きうる。一つは自分の利益を追求して競争し合う社会。二つ目は AI 同士が互いにコミュニケーションして win-win になる社会。後者の方が生産的な社会となる。AI 間の交渉、制度設計を考えたい。

G : シミュレーションと AI の研究に取り組んでいる。課題は新たな研究コミュニティを確立できるかどうか。互いに認め合い、結合して形にすることが重要。発表できるジャーナルや国際会議が必要ではないか。

融合・連携の可能性として、シミュレーションに AI を取り込み、機械学習により精度を高めるデータ同化、シミュレーション結果を理解する助けに AI を使う研究。AI からは、シミュレーションをツールとして観察アルゴリズムに入れ、条件を変えて観測し最適解を求める。またサロゲートモデルといい、機械学習でシミュレーションを丸ごと学習し、高速でシミュレーションを動かして最適化問題を解く。それぞれの立場から可能性を検討することが有効ではないか。

H : 気象や大気・海洋の現象を、シミュレーションによりマルチスケールに予測することに従事。全地球の気候から都市・街区内の気象まで予測。都市街区のリアルタイム予測により、超スマート社会に貢献したい。IoT の局所データをデータ同化して使うのは並大抵でなく、機械学習を用いながら IoT のデータをリアルタイムの気象予測に活用したい。

I : ものづくり領域にフォーカス。デジタル・ツインと言われるように、実世界の双子をサイバー世界に再現し、サイバー空間内で最適化して現実世界に返すことを実現したい。課題として、実空間をサイバー空間に焼き直すときにギャップが生じることや、サイバー空間で最適化するにもシミュレーションに時間を要することがある。シミュレーションは逆問題を解くのが課題。

J : 人間の行動をどうモデル化できるか、どういう情報をインプットすればより地域が活性化し新たな価値が生まれるか、そこに貢献したい。課題は個人情報特定しない形でいろいろな属性を踏まえた分析や多様な人の行動のモデル化をできるかどうか。人のコンポーネントができれば、先ほどの熱環境のシミュレーションとあわせて、新たなサービスが提供できると考える。

K : モデリング・分散シミュレーションの研究をやってきた。今は空飛ぶ車の研究に従事している。有人の空飛ぶ車はドクターヘリの代替や災害救助など、緊急性が高いケースでは夜飛ぶこともあり、ビッグデータを持ち自分のモデルを持って実時間でシミュレーションしつつ、センサー情報に対応しながら、AI が自主判断するということが必要になる。

L : 人間の活動が社会のシステムを作っていると考えており、マルチエージェント社会シミュレーションとして、交通、イベント人流、経済などのシミュレーションに従事。計算社会科学という研究分野を設立した。計算による社会科学という分野が、これからの社会制度やサービス、システムを設計するのに欠かせない技術になると考えている。幅広い連携が必要。

M : 制御工学で適応制御機能の研究に従事。不確かな動的システムを如何に制御するかという分野。問題意識は、非協調な動的システムでどんなことができるのか。非協調なシステムが落ち着く先が安定か不安定か。状況を安定化させるためにはインセンティブを付けた制度設計にする。人間の行動は不確かなので、不確かな中で市場行動を作れるかという点に関心を持っている。

N : 元々機械学習を研究。企業や他分野の方と協働で取り組み、電力系統やエネルギーの効率運用についてシミュレーションベースで進めている。機械学習がシミュレーション・モデルの方と何ができるかということに関心。再生可能エネルギーの供給予測について、気象科学のデータを上手く使いたい。電力システムの中では、再生可能エネルギーはデータが十分にあれば機械学習が効果を発揮できるかもしれない。

【主な論点】

〈AI 間の協調・交渉〉

- ・ AI 同士が競争するという話は、制御や予測は可能か。
- ・ 制御は分からないが、例えばシミュレーションを多く繰り返すことにより、「こういう状況ではこう行動した方が良い」とか「競合が発生するから協調した方が良い」という判断ができるようになってくる。そのレベルでは学習できるだろう。
- ・ 自動車が全て自動化した際、目的地に我先にたどり着こうとすると渋滞が発生する。お互いに交渉して譲り合うような仕組みにしないと混乱する。いろいろなシステムに AI が実装されると、問題が起きてくる。
- ・ 株の取引についても、人間がやると株価が下がったら売れなくなることが生じるが、機械がやると感情に流されずに客観的にやれるようになる。そうになると今とは異なる社会の振る舞いになる。
- ・ 目的依存で交渉や協調のプロトコルが変わってくる。数学的に全体最適で交渉すればいいとか、問題依存でどういう数学的な記述をしたらいいかという議論はできる。

〈マクロなモデルによるミクロな行動の推定について〉

- ・ マルチエージェントシミュレーションは、マクロな情報からミクロな情報をどこまで特定できるようになっているか、技術的にどれだけ進んでいるのか。
- ・ すでに実現している。ただしそれは本物ではない。いろいろな人の動きのデータを集めておいて、ある種アグリゲートされたデータにあわせるように活用することで予測することができる。少なくとも、人の動きに関しては実現できている。
- ・ 社会シミュレーションでは、社会としての解と、技術としての解が異なることがある。渋滞シミュレーションは可能だが、それを現実のデータにあわせようとする、合わない。あわせようとするのは技術的なチャレンジではあるが、社会としての解と技術としての解の両方を考えるのが社会実装の問題。
- ・ 「できる」という話と「できない」という話がある。群衆の中で、どういう判断でこの道を選んだのか、モデルを用いて推定することはある程度できる。問題は、人は結果を知ったことで行動を変えてしまうという点。株価が上がると聞けば行動を変えてしまう。それも含んだ社会なので、その意味ではできないとしか言えない。
- ・ 数学の立場からみると、粒子でも社会でも人間でも、ちゃんとモデル化できていれば表現できると考える。人間や社会を特別に考えるのはもちろんだが、モデル化という立場では、如何に正確にモデル化するかと考えた方がいいのではないか。
- ・ パラメータをマクロな現象に合わせられるか、という問題だと思うが、ある程度はあわせられる。人間の考えることなので完全にはモデル化できないが、大まかに制度や政策を打つと良くなるか悪くなるか、傾向を見ていくことが重要。
- ・ 本質的な問題。マクロにあわせるモデルを作ることはできるので、ミクロな行動がどうマクロに繋がるか、そこを同化させることが大切。人の価値観が関わることになると難しいかもしれない。

〈モデルと AI の違いと相補的な可能性〉

- ・ 複雑な対象を扱うモデリングや AI を考える時に、複雑さの本質とは何か。たとえば、複雑さの分類とモデリングや AI 技術のアプローチに関するコメントはないか。
- ・ 場合分け・枝分かれしていく複雑さと、データの中の分布にいろいろな確率が含まれている多様性の複雑さがあって、実際には結びついている。現実の世界では、ダイナミクスで現象が進んで、データが出てくる。無関係ではないが、どうつながるのかという統一的な理論は無い。
- ・ AI 側から言うと、いろいろな可能性があるときに、不確定性を評価するところは統計的機械学習

が有効であり、それを基にして可能性の低いところをリカバリーして探索することも機械学習・AI はやってきた。そこにシミュレーションを組み合わせると、レアな現象を定量化していくことにも結びついていき、いろいろな可能性がある。

- ・ディープラーニング (DL) はブラックボックスというところがある。なぜその予測結果になったのか分からない。モデル・シミュレーションは物理モデルを使っているのに、DL とは遠く、間を取った新しい技術というのを作ることができるのではないか。



- ・様々なパターンがあるが、機械学習にはできるがシミュレーションにはなかなかできないこと、モデルでは時間がかかるところ機械学習だと楽にできる、等のケースがあるのではないか。機械学習とシミュレーションで同じ結果が出るのであれば、どれだけ早くモデルを作る／学習できるか、という点に帰結し、結果が違うのであればどちらがいいのか、ということになる。結果が異なる原因を追究するのであれば、シミュレーションは人のモデルを作ることもあるので、人の振る舞いを理解できるという学問としてのメリットはある。両方同じ対象を取り上げ、学問として追究するというのもあるのではないか。

〈対象による技術アプローチの違い〉

- ・自然現象（気象）と社会（エネルギー、交通）で技術的アプローチは異なるか、共通か。
- ・マルチスケールという点で共通性はある。気象などの自然現象は、マルチスケールでもある程度時空間が対応している。短い時間スケールの現象は小さなものとなる。社会現象では、株価の大暴落のように時空間が1対1に対応しない。だがマルチスケールという点は同じ。
- ・人間という存在は、結果を知ってから行動を変えてしまう点がポイントであり、マクロの影響がダイレクトにミクロに影響してしまう。例えば、渋滞が起きているというマクロな状況がミクロな運転手の行動に反映されてしまうのは難しい問題で、物理シミュレーションではレイヤーに分けられるところが、分けられない点が難しいところ。
- ・空飛ぶ車では、リアルタイムにシミュレーションをしている。気象情報のような物理的なシミュレーションと、人間の判断を含むようなシミュレーションを同時にシミュレーションするということもあり得る。
- ・気象の場合にはマルチスケールとあり、一方で機械学習的にデータからマクロで一気にとってしまうアプローチもあるがどうか。
- ・短時間であればある程度線形化できる。短時間であればAI でも活用できる。
- ・平均的な事象として、一週間後のデータを予測するというのであれば内挿の一種。これまで経験したことの無い事象が起きるところに対しては、予測シミュレーションしかない。
- ・気象予測の観点で時間軸の予測と内挿・外挿の捉え方、時系列を扱う上で区別、違いはあるか。
- ・時系列予測する場合でも、大きなトレンドとしては登り基調でも細かくは揺れがあるなど、気象も同じではない。いろいろな粒度、短期か長期か、分けてモデル化することになる。粒度ごとにいろいろなモデルを用意する。気象、社会現象などを予測するのに、いろいろな要因ごとにそれぞれモデル化して、それを組み合わせる。

- ・シミュレーションの種類によって、機械学習の手法も変わってくる。時系列のことを扱うケースと回帰問題は異なる。問題の対象の性質が一つ。シミュレーションの実行時間、実行環境ということも関係してくるのではないか。
- ・データやシミュレーション結果の取り扱いの際、一体自分がいま計算した結果というのが、内挿なのか外挿なのか、どれくらい信頼できるのか、そういう評価をきちんと機械学習やシミュレーションが出せるようになることが大事。
現状、シミュレーションは境界条件と初期条件を与えて答えを出し、機械学習はデータから出す。確信度は出てくるが、システムティックな評価に関する研究も大事。現実社会で実装するには必要ではないか。
- ・確信度と予測精度の幅というのは同じことか。
- ・誤差がどれくらい期待されるかということと、答えそのものをどれだけ信用できるかということとは違う。モデルにも AI にもどちらにも関わる問題。

〈シミュレーションのリアルタイム性〉

- ・気象や材料など、マルチスケールの対象だと、シミュレーションに係る実行時間が問題だという話も聞く。それをサロゲートモデルで高速化する。交通やエネルギーなど社会システムにおいて、シミュレーションに時間がかかって間に合わないというケースは多いのか。
- ・シミュレーションの時間だけでなく、シミュレーションの精度も大きく関係している。
ものづくりではシミュレーションの精度はいいとっていて、マルチエージェントシミュレーションなど、シミュレーション自体に開発要素があるシミュレーションもあり、シミュレーションの対象によって開発／実用フェーズが異なるのではないか。開発技術も異なるのではないか。
- ・モデルの構築の手間を指摘されるケースもある。分野毎・目的毎に作る。どんな解決策があるか。
- ・マルチスケールや非線形とあったが、境界の問題は重要。システムの範囲はここ、と境界を設定する。マクロとミクロの境界を決めてモデルやシミュレータを作る。境界が決まらなかったり、変わったり、特に人間が関わるシステムや経済システムでは、境界が決められない。モデリングの難しいところはその点。
- ・ビッグデータは極端で、構造や仕組みをすっ飛ばしてモデル化してしまう。今の問題意識を用いて学習を上手くやるという発想はあるか。
- ・境界の話について、時系列データを扱う際の新しいアプローチとして、非線形な微分方程式だが、このモデルは合わないと思ったら即モデルを切り替えてしまう。急な事象に対して急にモデルを切り替えるというアプローチをとって、リアルタイムにモデルを切り替えながら予測し続けるというシステム。
非常に複雑な物理モデルでパラメータチューニングが大変だという話があるが、簡単なモデルを切り替えながら用いる。この境界ではこのモデル、この境界ではこのモデル、と切り替えながら用いるというアプローチも有効なのではないか。
- ・モデルを作るコストもそうだが、データをとるコストも関係している。データをとるか、シミュレーションでデータを補完するか、最も良い方法を選べば良いと思う。
- ・シミュレーションのモデルを作る際、そもそも何を見たいか、きちんと定める必要がある。人間をモデリングするとキリが無い。経済活動なら儲けたい、交通渋滞なら早く行きたい、シャープに切り取らないと現状ではモデルは作れない。「境界条件」は何を知りたいかにより決まる。

〈人間のモデル化〉

- ・人間そのものを科学すること抜きに AI やシミュレーションが進むのはどうか。人の認識に出てこない身体の暗黙知について言語化・科学化できないか。人間そのもののモデル化により、

人間理解が進むのではないか。

- ・一つ大きな変化として、人間の活動をつぶさに見られるようになった。物理的な事象は見えていたが、心の中は分からなかった。心の中が見えるわけではないが、Twitter でつぶやく内容が情報という形で見えるようになった。物理的な事象とセットで捉え人間の活動がだいぶ説明でき、人間のモデリングが従来の大雑把なものに比べて精緻化するのではないかというフェーズ。それをベースに社会学を再構築・リファインしていく段階ではないか。
- ・どんどん情報がとれるようになってきて、アクチュエーターも良いものが出てくると、選択肢の幅が広がる。人間の振る舞いもあらわになってきている。その意味で、原理的にどういうことがモデル化できていくのか、ということを考えることも大事だと思っている。今日の議論はテクニカルな現状の話が多いが、今後、限りなく情報が取れる社会がどうなっていくのか、という議論も大事ではないか。
- ・人の行動は多様なのである面を切り取ることが重要。都市をデザインする立場からは、これまでの経験から「こういうルールで人が動く」という知見がある。実際のデータを取ると異なるかもしれないが、一からデータを取りそこからルールを生み出すよりは、いままでのデザインの知見を出発点にすることによって、効率的にモデル化ができる。デザイナーとシミュレーションやAIと上手く連携して効率化が図れないかと考えている。



〈シミュレーション／機械学習の活用〉

- ・モデルの信頼性について、何を調べればどれくらいモデルの信頼性があるのかということを出すことができると考えている。網羅的シミュレーションと呼んでいる。
考えらえる要件を全部、モデルの接合まで計算して、この領域では安定して同じ答えが得られるとか、ここからいきなり外れ出すという領域を見極めようという努力をしている。
どのデータを調べれば、このモデルの合ってる合っていないという判定ができますよ、という予見ができるようになれば、ある程度証拠がそろったと言えるのではないか。そういうシミュレーションの使い方はあり得るのではないかと考える。
- ・モデルのチューニングや AI の学習において、その結果から対象に関する理解が深まる、ということがあるか。DL には説明機能が無いということだが、碁というゲームの理解が深まったか。
- ・シミュレーション・モデルを作る時の知見というのが、気象学者がこう解釈できますという解釈論になるが、そこで気づかないような分類というものを提示できる方法として機械学習の結果がいくつか使われている。知見を機械学習が全く生み出さないとは考えていなくて、そういう活用の仕方が分野間の連携の中であり得る。

〈機械学習とモデリングの差異〉

- ・DL の画像認識で、全然人間と違う特徴を捉えているということが言われている。対象の本質を理解しているのかどうか。本質は学習できていないという、言い過ぎか。
- ・シミュレーションは対象のメカニズムを反映して使う。DL は入出力関係だけ。作ったモデルで何か意思決定すると言うときに、社会的に使うときには多くの場合変数を操作する。メカニズムに

忠実なシミュレーションなら何らかの答えが出る。ところが、単に入出力関係をデータからマッピングした機械学習では、原因から結果を予測しているのではなくて、結果から原因を予測していることもある。

- ・意思決定や実際のアクションには、単に A から B の予測だけではなくて、どっちが原因でどっちが結果かという点が重要になる。シミュレーションはメカニズムのモデルなので、それを持っているが、機械学習は無い。その限界は考えながら使わないと、とんでもないことになる。データドリブンで求めたモデルがシミュレーションに何でも使えるわけではない。
- ・人間にとって理解とは何か、という哲学的な問題に入ってしまう。画像を見てネコだと判断するメカニズムが人間と機械学習で違っていたら何が問題なのかということ。我々は線形回帰で相関つけたことによって理解したつもりになっているが、それが本当の理解といえるのかどうか、ということと本質的に同じこと。
DL で困るのは、モデルを分解できないという問題。ここを切り出して応用しよう、ということが上手いかないという課題はある。
- ・理解するということと予測できるかという点では色々あるが、モデルは対象を理解して人が考える。将来 AI がモデル式を見つけられないか。そうなるるとまた観点が変わって、AI は理解したのかどうか、ということになる。
- ・DL にできないこととして、問題の構造理解、と整理した。対象を絞れば何かできるのか。
- ・バイオ系では、AI 使って新しい遺伝子の相関関係などの発見は始まっている。
解法を見つけるところが大事なのではなくて、問題を見つけるところが重要と考えている。DL は与えられた入出力を処理しているだけだが、「その入出力を与えなければいけない」と考えるとところは、まだ AI にはできない。
- ・適応制御では、必ずしも完璧には分からなくても、入出力関係だけをみてある状態をローカルに制御できれば OK という考え方もある。

〈計算量と精度について〉

- ・計算量の観点で、サイバーとフィジカルのどこで計算をするのかということが重要。データはリアル空間で生まれるので、どうデータを輸送するのか、どこで計算するのか。エッジ側で計算するのか、クラウド側で計算するのか、非常に重要である。
- ・リアルタイムの点からみると、大型スパコンだけでなく、分散システムで計算するようになってきている。重要なのは、できることはなるべくエッジ側で、マルチスケールの場合や大規模のモノは分散と考えている。
- ・リアルタイムでシミュレーションを回して制御するという文脈であれば重要。技術革新が必要と考える。一方で、シミュレーションはそこまでリアルタイムでなくても、例えば制度設計には計算量の壁は緩いと思う。
- ・計算量について、シンプルな微分方程式のモデルをスイッチさせながらリアルタイムに対応している。微分方程式のモデルを検索してスイッチしており、モデルをたくさん作りすぎると検索に時間がかかる。一方で、モデルが少なすぎると精度がでなくなってしまう。
その時にどうするかというと、事前のデータを学習、あるいは実行しながら学習して、この予測精度の中で最も早いというアプローチで事前にチューニングしている。計算量は大事で、精度とのトレードオフということはある。
- ・どこで計算するかというと、自動運転では車でやるかデータセンターでやるか、という議論がある。CPU の性能が向上すればモデル作成まで車で可能となる。CPU の性能見合いとなる。
- ・シミュレーションのリアルタイム性について、自動運転では集中管理か分散管理か、ピアツーピアか。それらをインテグレーションする必要がある。インテグレーションする技術の研究が必要。

〈説明責任と納得性について〉

- ・DLの可読性やホワイトボックス化の議論があるが、何らかのサービスを提供する際に、説明責任が必要となる。その際に、サービスの受益者が分かる形で説明しなければならないが、DLがそれに耐えうるかどうか。
一方、DLにこだわる必要はなくて、例えばレイジーラーニングというテクニックがある。面倒くさくてやらない、押されたら押し返すという、その程度でデータがリッチになればエッジ側はそれで十分というケースもある。
- ・説明責任に関しては、災害時の避難を扱う時には説明責任がシビアに求められると考えている。
- ・信頼性については、避難シミュレーションはやれるが、リアルタイムの誘導は非現実的。事前の予見はシミュレーションで知見を得ることができる。その意味での信頼性は出せるのではないか。
- ・ニュートンの時代の微分方程式の話と同じ状況ではないか。時を経ると、微分方程式で因果関係が分かるという認識が世の中で形成される。100年以上前に統計的に優位水準などというのと、95%優位ということは通じなかった。ニュートンだと300年、統計だと100年かかった。AIが流行り出したのは2-30年前。AIが説明できるかできないかという議論がたくさんあるが、逆に言うと、世の中の人々が納得力に欠けるということ。納得させるには時間がかかる。その点を社会実装する際に、どのレベルで説得・納得できるか、という議論があるべきではないか。
- ・説明責任については、社会受容性という点で、人の認知や納得などどのレベルで納得するかという集団心理学の問題で、認知心理学など人文社会科学の人も含めて研究をするべき。

〈社会実装に向けて〉

- ・社会システムを考える際、制約や限界という点も押さえる必要がある。今何が引っかかっていて、インプリができないのか。例えば規制の問題などを考慮する必要がある。
人間自体がそれほど論理的ではなく、毎日思うことは異なり、気も変わる。それが主体者として社会システムを動かしている。ユーザーに立ち返って、何のメリットがあるのかという話や評価につなげないとならない。全体の構造を考える必要があるのではないか。
- ・モデリングとAIのコミュニティの距離が遠いとあったが、確かにその通り。製品設計・製造・運用・保守など、いずれにも共通してモデリングはあり信号処理もある。機械学習のアプローチも使われてきている。いろいろな使われ方は融合し、分野横断的な活用ということが重要であり、いまの世界にマッチする。
- ・モデリング・シミュレーション、AI機械学習、新しい研究ができるのではないかという期待がある。立ち上げ、リードするという機運を起こしたい。

—終了—