

8・文部科学省委託事業関連

・文部科学省委託事業「数学アドバンスイノベーションプラットフォーム (AIMaP: Advanced Innovation powered by Mathematics Platform)」
(中核機関：九州大学マス・フォア・インダストリ研究所, H29-33 年度)

① 名称 地域グリッド開発関連技術ワークショップ

趣旨・目的： 地域グリッド開発技術に関連する技術者と数学・数理科学研究者が一同に会する場を設けることにより、地域グリッド開発のためにどのような技術が必要であるかを整理する。また、それらの技術に数学・数理科学のどのような技術を活かすことができるのかを検討し、新概念コンピューティングをはじめとする数理科学の社会展開を目指す。

キーワード： スマートグリッド、オンライン予測、多目的最適化、時空間最適化、トポロジー最適化、P2P 取引、ブロックチェーン、蓄電池、マルチ燃料エンジン 連携相手の分野・業界 スマートグリッド、時空間最適化、多目的最適化、トポロジー最適化、エネルギーシステム学

運営責任者 北海道大学電子科学研究所附属社会創造数学研究センターデータ数理分野
寺本 央 准教授

主催機関 北海道大学

開催日時 2020/3/10～2020/3/11

プログラム：

3/10 (水) MathWorks による小規模グリッドモデル構築とそのシミュレーション講座(仮)

3/11 (木)

午前の部(産業関係者からの話題提供)

- 09:00 – 09:30 竹本享史 (日立製作所) 趣旨説明
- 09:40 – 10:10 産業側講演者 1
- 10:20 – 10:50 産業側講演者 2
- 11:00 – 11:30 産業側講演者 3
- 11:40 – 12:10 産業側講演者 4

午後の部(大学関係者からの話題提供)

- 13:00 – 14:00 泉井良夫 (金沢工業大学)
「金沢工業大学白山麓キャンパス内における電力 P2P 取引にかかわる実証実験」
- 14:15 – 15:15 矢地謙太郎 (大阪大学)
トポロジー最適化とレドックスフロー電池の設計
- 15:30 – 16:30 Nguyen Dinh Hoa (九州大学 IMI)
P2P 電力マーケットの最適化、EV を介した電力取引
- 16:45 – 17:45 畑埜晃平 (九州大学)
オンライン予測と最適化

取り扱うテーマ・トピックや解決すべき課題

菅義偉首相が2020年10月臨時国会の所信表明演説で、2050年までの温室効果ガスのネット・ゼロ・エミッションの方針を示したことが大きな話題となっており、その中で再生可能エネルギーに大きな期待が寄せられています。再生可能エネルギーは発電時に二酸化炭素を排出しませんが、日照や風況などの自然状況により発電量が大きく変動し、そのままでは需要とマッチしないので、その発電量や需要を予測して適切なエネルギーマネジメントをしたり、調整力となる蓄電池やマルチ燃料エンジンといった技術開発が重要となります。また、北海道においては過疎化が進行し続けており将来的には過疎地域への送配電網を維持することが困難になると予想されること、および、先のブラックアウトのような災害時における停電時にも耐えられるよう、既存の送配電網によらない地域マイクログリッドの構築が検討されてきています。しかしながら、再生可能エネルギーによる地域マイクログリッドの構築にはその初期投資を如何に抑えるか、EVによる輸送等の付加的なサービスにより災害時以外の採算性を如何に上げるのか、二酸化炭素排出削減の価値の定量化、マイクログリッド間の電力取引のシステムの構築、自然状況や経済活動により変動する電力需給を予測しつつどのようにシステム全体を最適化していくのか等解決しなければならない課題が山積みです。

以上のような課題を解決するための糸口を見つけるために、産業界および大学の関連する研究者が一同に会する場を設けることが本研究会の目的です。本研究会ではまず以上の問題に直面している産業界の方々に、北海道地域特有の電力事情と地域グリッド構築に欠かせない蓄電池、マルチ燃料エンジン等のカギとなる技術をご紹介します。次に、大学側からはまず地域マイクログリッド構築に向けた先進的な実証実験に関して泉井先生にご紹介いただきます。次に、矢地先生にはトポロジー最適化を用いたドックスフロー電池の設計に関して、Nguyen Dinh Hoa 先生にはP2P電力マーケットの最適化、EVを介した電力取引、畑埜先生にはオンライン予測の最新の知見をご紹介します。また、地域マイクログリッドのモデルは半年に一度新しいモデルが提案されているような状況であり、またモデルもより現実になるよう複雑さを増してきています。そのようなモデルは、数学者がより単純なモデルを構築してそのカギとなる要素を見つけたり、情報科学者が最適化アルゴリズムを構築するのにも役に立ちますし、一方で、技術者がマイクログリッドの実証実験に向け、より本番に近い環境でシミュレートすることで、事前の実証実験の問題点を洗い出すことにも役に立ちます。このようなモデル構築とシミュレーションには高度に専門的な知識が必要となりますので、初日にMathWorksによる小規模グリッドモデル構築とそのシミュレーション講座を参加者に向けておこなうことで、その開発技術支援をしていただきます。以上が本研究会で取り上げるテーマです。

考えられる数学・数理科学的アプローチ

1. オンライン予測技術による自然電源の発電量および需要の予測
2. トポロジー最適化による高効率蓄電池の設計
3. P2P電力マーケットの最適化、EVを介した電力取引プロトコルの構築
4. 多目的最適化、時空間最適化アルゴリズムによる最適なエネルギーマネジメントの設計
5. マイクログリッドの数理モデルの構築とその単純化によるカギとなる要素の抽出

これまでの準備状況

日立製作所の竹本享史らと北海道大学の本企画の運営責任者である寺本央とは毎週火曜日の17:00より定例会議を設けており、地域マイクログリッド開発に向けた情報共有を進めている。それと並行して、地域グリッド構築に取り組んでいる研究者を訪問し、情報収集も進めている。具体的には例えば北海道

大学原亮一に現在取り組んでおられる太陽光発電と蓄電池を組み合わせ、太陽光の日内変動、天気等の環境による変動を予測し、太陽光の発電量の増減を蓄電池からの電気の放出・蓄電により相殺することで安定な電力供給をするシステム開発およびその実証実験等に関して教えて頂いたりしてきている。また、関連するテーマで関係各所と連携して大型予算 A-STEP (産学連携・本格型)も申請中である。

さらに本企画の招待講演者の一人である矢地謙太郎はレドックスフロー電池の充放電性能最大化を目的とした構造最適化に取り組んでおり、昨年度 3 回北海道大学の寺本 央とその機械学習の応用に関する議論を行った。レドックスフロー電池は、北海道電力が住友電気工業(株)と共同で大型蓄電システム実証事業として基幹系統の変電所に大型蓄電池(レドックスフロー電池)を設置し、再生可能エネルギーの出力変動に対する新たな調整力としての性能実証および最適な制御技術を確立することを目的として、2019年1月まで実証試験を行っている。

終了後のフォローアップの計画 このセミナーシリーズで得た交流をもとに地域グリッド開発技術に関連する技術者と数学・数理科学研究者間の議論を継続的に行うことができるように大型予算をとりに行く。このセミナーシリーズで同定された地域グリッド開発に必要な最適化技術を深化・発展させるために関連するプログラミングコンテストを開催する。

② 名称	非ノイマン型計算、理論と応用
採択番号	2018A000
重点テーマ	イジング計算機等専用ハードウェアがターゲットとすべき問題探索。 またアプリケーションの側から望ましい専用ハードウェアとは何か。
キーワード	アンサンブル学習。深層学習。確率セルラーオートマトン、確率過程
運営責任者	北海道大学電子科学研究所附属社会創造数学研究センターデータ数理分野 寺本 央 准教授
開催日時	2019/03/26
開催場所	北海道大学電子科学研究所 1 階会議室

プログラム

- 09:45 - 10:00 開催趣旨説明 (寺本)
- 10:00 - 11:00 社会システム最適化のための CMOS アニールマシンの開発
日立製作所 竹本享史主任研究員
Norman Mertig 研究員
- 11:15 - 12:15 線形回帰におけるモンテカルロ法を用いた変数選択
東京工業大学 樺島祥介先生
- 昼休み -
- 14:00 - 15:00 圧縮データ上のブースティング
九州大学 畑埜晃平先生
- 15:15 - 16:15 深層ニューラルネットワークの適応能力と汎化誤差解析
東京大学 鈴木大慈先生
- 16:30 - 17:30 Finding optimal solutions by stochastic cellular automata
北海道大学 坂井 哲先生
- 17:45 - 18:45 二つの確率過程の重ね合わせに対する混合時間
大阪大学 角田 謙吉先生意見交換会

参加者数 数学・数理科学:13 人, 諸科学: 04 人, 産業界: 02 人

当日の論点

- ・イジング計算機等の専用ハードウェアを活かすためのアルゴリズム探索のため、まず日立製作所の竹本享史主任研究員よりイジング計算機のハードウェアに関する最新の開発状況をご報告いただいた。イジング計算機はスピン間の相互作用のネットワークとしてキングスグラフと呼ばれるチェスのキングの動ける升目をつないだネットワークを採用しているが、その構造を使うことの利点、イジング計算機を大規模化する際に生じるスピン間の情報のやり取りの遅延が最終的に得られる解の精度にどのように影響を与えるのか等が議論された。
- ・イジングモデルによる定式化とその平均場近似による理解が情報科学に寄与した事例、低密度パリティ検査符号、等の事例の紹介を東京工業大学の樺島祥介先生よりしていただき、先生の最新のアニーリングによる線形回帰における変数選択のご研究の紹介もしていただいた。レプリカ交換モンテカルロ法を通常の温度によるレプリカだけではなく、化学ポテンシャルも合わせた2パラメータ空間でのレプリカ交換法を使うと1次相転移がある場合にもうまくいく場合もある等のアイデアもご紹介いただいた。
- ・イジング計算機の一つの有望なターゲットとして、アンサンブル学習が期待されているが、九州大学畑埜晃平先生にはアンサンブル学習に関連する話題をご提供いただいた。
- ・東京大学鈴木大慈先生からは深層学習の基礎的な事柄からその適用能力と汎化誤差解析に関してご紹介いただいた。
- ・北海道大学坂井哲先生からは、通常の熱浴法/メトロポリス法に代わるモンテカルロ法をより高速にシミュレートすることを可能とすると期待されている Stochastic (Probabilistic) Cellular Automata(SCA)の紹介をしていただいた。
- ・大阪大学角田謙吉先生からは確率過程の基本的な事柄から二つの異なるプロセスを混合して構成できる確率過程の挙動に関する最新の仮説に関してご紹介いただいた。

研究の現状と課題（既にできていること、できていないことの切り分け）

- イジング計算機の大規模化、社会問題をイジング計算機により求解可能な問題に変換するためのグラフ変換アルゴリズムに関しては昨年度から進展があったが、一方で、イジング計算機がキラーアプリケーションとすべき問題はまだ見つかっていない。今回、イジング計算機の有望なターゲットとなりうるアンサンブル学習、深層学習に関する話題を提供していただき、それらのイジング計算機への実装可能性は検討すべき課題である。また、熱浴法/メトロポリス法に代わる専用ハードウェアの長所を活かせるようなモンテカルロ法の高速度化アルゴリズムの検討も課題として残されている。
- ・イジング計算機の利用しているキングスグラフと D-Wave マシンが利用しているキメラグラフはどちらが望ましいのか？
 - ・キングスグラフをより無駄なく大きな問題を解けるようにするにはどのようなグラフに変更すべきなのか。
 - ・イジング計算機を大規模化する際に発生するスピン間の情報伝達の遅延は最終的に得られる解の精度にどのような影響を与えるのか。
 - ・誤り訂正符号の復号問題はイジング計算機のターゲットとすべき一つの良いターゲットかもしれないことが明らかになった。
 - ・レプリカ交換法及び化学ポテンシャルも変化させる多パラメータのレプリカ交換法のイジング計算機への実装可能性を議論すること。

新たに明らかになった課題、今後解決すべきこと

- ・日立のイジング計算機で初期条件はランダムに決まっているが、初期条件を工夫することでその性能を改善することができるかどうかの検証。
- ・日立のイジング計算機で乱数を入れてスピンの状態をその状態から離れた状態へと遷移させることの是非。
- ・日立のイジング計算機の計算ファイナンスの CVA (or XVA)への適用可能性の吟味。
- ・Qboost 以外のブースティングを QUBO で定式化可能性の検討。
- ・イジング計算機の磁場、相互作用係数の対数量子化。

今後の展開・フォローアップ

アンサンブル学習の一つであるブースティングがイジング計算機のターゲットになりうるのか、あるいは、イジング計算機のターゲットとするにはどのようなアンサンブル学習のアルゴリズムが望ましいのかを畑笠晃平先生と議論し、関連する膨大な数の文献をご紹介いただいた。まずは、それらの文献を消化し、専用ハードウェア開発のエンジニアも交えて、専用ハードウェアからの観点とアンサンブル学習の観点、それぞれの観点から見て望ましい着地点を探る予定である。他にも誤り訂正符号の復号問題へのイジング計算機の応用検討、熱浴法/メトロポリス法に代わる新しいモンテカルロ法である SCA 理論解析とその専用ハードウェアへの実装可能性も検討事項である。

③ 名称 反応拡散系と実験の融合 2

採択番号 2018A001

重点テーマ 実験により検証可能な数学理論の考察

キーワード 生命科学, 反応拡散系, 数理モデリング, パターン形成, 異分野融合研究

運営責任者 北海道大学大学院理学研究院数学部門 栄 伸一郎 教授

/電子科学研究所附属社会創造数学研究センター教授兼務

北海道大学電子科学研究所附属社会創造数学研究センター人間数理分野

長山 雅晴 教授

開催日時 2019/02/18 ~ 2019/02/20

開催場所 石川県金沢県政記念しいのき迎賓館

プログラム

2月18日 (月曜日)

15:00-15:40 中田 聡 (広島大学) 「自己駆動体の往復運動」

15:40-16:20 長山 雅晴 (北海道大学) 「自己駆動体運動の数理解析」

16:20-16:40 討論時間

2月19日 (火曜日)

09:55 Opening

10:00-10:40 八杉 徹雄 (金沢大学)

「ショウジョウバエの脳における分化の波の数理モデルと実験的考察」

10:40-11:20 石井 宙志・栄 伸一郎 (北海道大学)

「分化の波の数理モデルとその球面上への拡張」

11:20-11:40 討論時間

昼食

14:00-14:40 麓 勝己(大阪大学)

「肺の形態形成 I: 細胞形状制御による組織変形の分子機構」

14:40-15:20 今村 寿子 (九州大学大学院)

「肺の形態形成 II: 細胞形状制御による組織変形の数理モデル」

15:20-15:40 討論時間

休憩

16:00-16:40 山内 (石川) 祐 (筑波大学)

「卵管収縮とマウス精子の卵管内移行」

16:40-17:20 石本 健太 (東京大学)
「受精ダイナミクスにおける流体数理」
17:20-17:40 討論時間

2月20日 (水曜日)

10:00-10:40 富樫 英 (神戸大学)
「カドヘリン依存的な細胞選別における接着分子の動態」
10:40-11:20 村川 秀樹 (九州大学)
「細胞選別を理解するための個体群動態モデルと表面張力モデル」
11:20-11:40 討論時間
昼食
14:00-14:40 林 貴史 (金沢大学)
「ショウジョウバエ複眼のタイリングメカニズム 実験的アプローチ」
14:40-15:20 秋山 正和 (北海道大学)
「ショウジョウバエ複眼のタイリングメカニズム 数理的アプローチ」
15:20-15:40 討論時間
15:40 Closing

参加者数 数学・数理科学: 27 人, 諸科学: 06 人, 産業界: 0 人

当日の論点

数理科学者と諸分野との融合研究のきっかけや進展について講演を行ってもらった。その中で、実験研究者と数理科学者が共同研究することの意義や共同研究するに至った経緯、共同研究時の異分野融合研究ならではの困難さについても議論した。

研究の現状と課題 (既にできていること、できていないことの切り分け)

今回は、融合研究へと進む可能性のある話題と現在進行中の融合研究の現状について講演して頂いた。そのためには、数理科学と諸分野(今回は特に生命科学の研究者)の研究者間のコミュニケーションが重要であることがより明確になった。特に共通の動機と目的を確立することの重要性が認識された。一方、生命科学者が求めている数理モデリングと数理解析可能な数理モデリングには大きな乖離があることも明確になった。諸分野と数理科学の真の融合研究には、実験から数理モデリング、数理解析へと繋がる一連の方法論が必要であると考えられる。現状では、数理モデリングが現象を説明するための道具として、一方向的に実験の請負仕事になる可能性が高いと危惧される。双方向の発展が促されるような方法論の構築が望まれる。

新たに明らかになった課題、今後解決すべきこと

諸分野と数理科学の研究者がコミュニケーションを取るための方法論を確立しないと今後のさらなる融合研究の発展に大きな障壁となる。どのような方法が適切なのか議論していく必要がある。

実験↔現象を説明できる数理モデリング↔縮約化↔数理解析可能な数理モデリング↔数理解析 という連携の中で、 定量性も保持できる新しい形の数理と諸分野の融合研究を行う方法論を確立する必要があると思われる。

今後の展開・フォローアップ

今回講演して頂いたテーマは、 将来的に有望な融合研究へと発展していく可能性を秘めたものや、 現在進行中の融合研究がさらに大きく発展することが見込まれるものなど、 今後の研究の進捗が期待できることから、 以降も継続的に同様なテーマの研究集会を開催してその進展具合を報告してもらう予定である。 今回は反応拡散系の理論研究と実験研究の融合研究にテーマを絞って開催したが、 近年は多彩で新しい融合研究も進んでいるので、 次回は数理科学の分野を広げて融合研究の進捗状況を把握するための研究会 を開催したい。

④ 名称 反応拡散系と実験の融合3

採択番号 2019A021

重点テーマ 実験により検証可能な数学理論の考察

キーワード 生命科学, 反応拡散系, 数理モデリング, パターン形成,
異分野融合研究

運営責任者 北海道大学大学院理学研究院数学部門 栄 伸一郎 教授
/電子科学研究所附属社会創造数学研究センター兼務

北海道大学電子科学研究所附属社会創造数学研究センター人間数理分野
長山 雅晴 教授

開催日時 2020/02/19 ~ 2019/02/21

開催場所 石川県金沢県政記念しいのき迎賓館

プログラム

2020年2月19日(水)

9:55 Opening

- 皮膚 -

10:00-10:40 傳田光洋(資生堂グローバルイノベーションセンター)
「In Silico のモデルによる3次元培養表皮の構築法の予言」

10:40-11:20 長山雅晴(北海道大学 電子科学研究所)
「表皮の数理モデル」

11:20-11:30 討論時間

昼食

13:20-14:00 森田善久(龍谷大学 理工学部)
「Lee-Shibata の極性モデルに対する数学的アプローチ」

14:00-14:40 奥田覚(金沢大学 ナノ生命科学研究所)
「力学モデリングと幹細胞オルガノイドで紐解く三次元眼杯構造の自己組織化機構」

14:40-15:20 関坂歩幹(明治大学 先端数理科学インスティテュート)
「曲面上の局在スポット解について」

15:20-15:30 討論時間

休憩

- 細胞接着 -

15:30-16:10 富樫英(神戸大学 大学院医学研究科)
「細胞間接着の親和性とモザイクパターン」

16:10-16:50 村川秀樹(龍谷大学 理工学部)
「細胞間接着の親和性とモザイクパターン: モデリングと解析」

16:50-17:00 討論時間

2020年2月20日(木)

– 分化の波 –

- 10:00-10:40 田中吉太郎(公立ほこだて未来大学 システム情報科学部)
「「分化の波」の空間離散モデルの連続化と生体内での検証Ⅰ」
- 10:40-11:20 八杉徹雄(金沢大学 新学術創成研究機構)
「「分化の波」の空間離散モデルの連続化と生体内での検証Ⅱ」
- 11:20-11:30 討論時間
- 昼食
- 13:20-14:00 佐藤純(金沢大学 新学術創成研究機構)
「複眼と脳のタイリングメカニズム」
- 14:00-14:40 上田肇一(富山大学 学術研究部理学系)
「集団振動子群同士の同期振動創発」
- 14:40-15:20 瓜生耕一郎(金沢大学 理工研究域生命理工学系)
「移動する細胞の遺伝子発現リズムの同期」
- 15:20-15:30 討論時間

– 食道の蠕動運動 –

- 15:30-16:00 伊原栄吉(九州大学 医学研究院)
「高解像度食道内圧検査で可視化する食道運動の生理と食道運動異常症」
- 16:00-16:40 三浦岳(九州大学 医学研究院), 石井宙志(北海道大学 理学院)
「食道運動異常症と数理モデル」
- 16:40-17:20 栄伸一郎(北海道大学 理学研究院)
「ネットワークにおける本質的積分核」

Closing

2020年2月21日(金) 10:00 – 12:00

10:00-12:00 討論時間

参加者数 数学・数理科学:38人, 諸科学:7人, 産業界:1人

当日の論点

数理科学者と諸分野との融合研究のきっかけや進展について講演を行ってもらった。その中で、実験研究者と数理科学者が共同研究することの意義や共同研究するに至った経緯、共同研究時の異分野融合研究ならではの困難さについても議論した。また共同研究の萌芽となる最新情報を提供してもらった。

研究の現状と課題(既にできていること、できていないことの切り分け)

今回は、現在進行中の融合研究の現状、および将来的に共同研究の種となりそうな最新の話について講演して頂いた。そのためには、数理科学と諸分野(特に生命科学)の研究者間のコミュニケーションが重要であることを昨年に引き続き確認した。特に共通の動機と目的を確立することが非常に重要であ

ると認識された。一方、生命科学者が求めている数理モデリングと数理解析可能な数理モデリングには大きな乖離があることが認識されていたが、その乖離は徐々に狭まっているという印象であった。諸分野と数理科学の真の融合研究には、実験から数理モデリング、数理解析へと繋がる一連の方法論が必要であると考えられるが、そのための新たな理論も提供され始めており、より一層の進展が望まれる。現状では、数理モデリングが現象を説明するための道具として、一方向的に実験の請負仕事になる可能性も依然として高く、双方向の発展が促されるような方法論の構築を引き続き模索していきたい。

新たに明らかになった課題、今後解決すべきこと

諸分野と数理科学の研究者がよいコミュニケーションを取るために、現場任せではなく一般的な方法論として確立する必要がある。コミュニケーション不足が今後 のさらなる融合研究発展の障壁とならないよう、どのような方法が適切なのか議論していくことが必要である。実験↔現象を説明できる数理モデリング↔縮約化↔数理解析可能な数理モデリング↔数理解析という連携の中で、定量性も保持できる新しい形の数理と諸分野の融合研究を行う方法論を確立する必要があると思われる。

今後の展開・フォローアップ

今回講演して頂いたテーマは、将来的に有望な融合研究へと発展していく可能性を秘めたものや、現在進行中の融合研究がさらに大きく発展することが見込まれるものなど、今後の研究の進捗が期待できることから、以降も継続的に同様なテーマの研究集会を開催してその進展具合を報告してもらう予定である。今回は反応拡散系からテーマを若干拡大して理論と実験の融合研究に関わる話題について講演してもらったが、近年は多彩で新しい融合研究も進んでいることから、今後は数理 科学の分野をより一層広げた上で融合研究の現状について情報交換を行うための研究会を開催したい。