

平成 23 年度 数学・数理科学と諸科学・産業との連携ワークショップ  
『広がっていく数学 ～期待される”見えない力”～』

## 開催報告書

# 平成23年度 文部科学省 数学・数理科学と諸科学・産業との連携研究ワークショップ

## 拡がっていく数学 ～期待される“見えない力”～

主催：文部科学省、各大学及び研究機関 後援：(社)日本数学会、日本応用数理学会、統計関連学会連合、(独)科学技術振興機構

	開催時期	テーマ	主催機関名	研究代表者 (オーガナイザー)	所属	開催場所
1	6月7日(火)	秘密分散とクラウドコンピューティングの数理	九州大学	高木 剛	マス・フォア・インダストリ研究所 (IMI)	九州大学 伊都キャンパス
2	6月9日(木)	地球環境流体研究と数理科学	北海道大学	坂上貴之	大学院理学研究院	北海道大学
3	8月30日(火)～ 9月2日(金)	応用トポロジー：情報通信・生命科学との連携を目指して	九州大学	平岡裕章	マス・フォア・インダストリ研究所 (IMI)	JR博多駅ビル10F 博多シティ会議室
4	9月8日(木)	情報セキュリティと数理科学の連携による融合領域の創造	北陸先端科学技術大学院大学	宮地充子	情報科学研究科	北陸先端科学技術大学院大学
5	9月12日(月) ～13日(火)	ウェブレット理論と工学への応用	大阪教育大学	芦野隆一	教育学部	大阪教育大 天王寺キャンパス
6	9月16日(金)	金融数理科学と金融技術への将来展望 —ポスト金融危機への視点—	明治大学	刈屋武昭	先端数理科学研究科	明治大 駿河台キャンパス
7	10月8日(土) ～10日(月・祝)	理工学および産業界における連続体力学の数理と研究連携	九州大学	木村正人	マス・フォア・インダストリ研究所 (IMI)	広島国際学院大学 袋町キャンパス
8	10月13日(木) ～14日(金)	最適化理論の産業・諸科学への応用	九州大学	白井朋之	マス・フォア・インダストリ研究所 (IMI)	九州大学 伊都キャンパス
9	10月15日(土)	社会的リスクの予測と制御に対する数理工学アプローチ	東京大学	竹村彰通	情報理工学系研究科 数理情報学専攻	東京大学 本郷キャンパス
10	10月27日(木) ～28日(金)	複雑系ゆらぎデータの分析と制御の数理：脳から社会まで	明治大学	高安秀樹	先端数理科学研究科	明治大学 駿河台キャンパス
11	11月8日(火) ～10日(木)	致死性不整脈の機序の解明	東京大学	儀我美一 斉藤宣一	数理科学研究科	東京大学 駒場キャンパス
12	11月28日(月)	数学・数理科学に基づくサービスイノベーションの新展開	北陸先端科学技術大学院大学	中森義輝	知識科学研究科	北陸先端科学技術大学院大学
13	11月29日(火)	数学をコアとするスマート・イノベーションの探索	東北大学	尾畑伸明 小谷元子	情報科学研究科、 理学研究科	東北大学 青葉山キャンパス
14	11月29日(火)	人工原子と光の相互作用を利用した量子デバイスのモデリング	岡山大学	廣川 真男	自然科学研究科 先端基礎科学専攻 数理科学講座	国立情報学研究所
15	11月30日(水) ～12月2日(金)	数理モデルの産業・諸科学への活用 —数理モデルの夢—	九州大学	西井龍映	マス・フォア・インダストリ研究所 (IMI)	富士通汐留シティセンター
16	12月9日(金) ～11日(日)	マルチスケール数学・集団現象の他階層性と階層の連関	九州大学	福本康秀	マス・フォア・インダストリ研究所 (IMI)	九州大学 伊都キャンパス
17	12月19日(月)～ 22日(木)、26日(月)	産業界からの課題解決のためのスタディ・グループ研究集会	東京大学	坪井 俊 山本昌宏	東京大学大学院 数理科学研究科GCOE	東京大学 駒場キャンパス
18	12月26日(月) ～29日(木)	数理連携10の根本問題の発掘	北海道大学	津田一郎 小谷元子 橋本幸士	数学連携研究センター	理化学研究所 和光研究所
19	2012年 1月26日(木) ～27(金)	乱流と流体方程式の解の特異性	名古屋大学	木村芳文	多元数理科学研究科	名古屋大学 東山キャンパス
20	2012年 2月18日(土)	非平衡熱力学の解析的・数学的手法	理化学研究所	橋本幸士	仁科加速器研究センター 理論研究部門	理化学研究所 和光研究所
21	2012年 2月23日(木)	ネットワーク型知識に対する機械学習的アプローチ	統計数理研究所	福水健次	モデリング研究系	統計数理研究所
22	2012年 3月9日(金)	数理論理学の諸科学への発展と展開	北陸先端科学技術大学院大学	石原 哉	情報科学研究科	石川県立美術館 広坂別館

平成23年度 数学・数理学と諸科学・産業との連携研究ワークショップの概要報告

主催機関	九州大学マス・フォア・インダストリ研究所	
題 目	秘密分散とクラウドコンピューティングの数理	
開催日時	2011年6月7日（火曜日） 10:00～20:00	
開催場所	九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 大会議室 1	
運営責任者 (オ-ガナヅ-)	(フリガナ)	(タガキ ヲヨシ)、 (モロゾフ キリル)
	氏 名	高木 剛、 Morozov Kirill
	所属機関	九州大学
	部局・職	マス・フォア・インダストリ研究所・教授、同研究所・助教
参加者	29名	(一般参加者21名、講演者8名) 九大数理(8名)、九大IMI(5名)、九大システム情報(4名)、 ISIT(2名)、NEC、IJJ、KDDI、日立製作所、ソニー(株)、 阪大、東工大、電通大、京大、ロンドン大学
<p>1. 今回のワークショップにおける論点</p> <p>今回のワークショップにおける主な論点は、以下の通り。</p> <p>① <u>クラウドコンピューティングにおけるセキュリティと秘密分散</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● クラウドコンピューティングにおける秘匿性、信頼性、可用性の問題の定式化と解決。</li> </ul> <p>② <u>クラウドコンピューティングに適した秘密分散のビジネスにおける要件</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 顧客のニーズに応じた、秘匿性、信頼性、可用性のトレードオフの調整。</li> <li>● 秘密分散と機密保持の一体化。</li> </ul> <p>③ <u>秘密分散の新たなプライバシー技術</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 間違った共有データを提供する不正者が存在しても安全な秘密分散。</li> <li>● 共有したデータの相互通信を伴わない計算可能性。 合理的秘密分散のゲーム理論を利用した安全性証明。</li> </ul>		
<p>2. 研究の現状及び課題（現状でどこまで分かっている、どこから先が分かっているのか）</p> <p>今回のワークショップにおいて明らかになった研究の現状及び課題は、以下の通り。</p> <p>① <u>分散計算と共有データ上の計算の技術としての秘密分散</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 色つきグラフ（同じ色の節は同じプラットフォーム上のサーバで動作していることを示す）を利用したネットワークの表現方法が提案され、この方法を利用した秘密分散法が提案された。</li> <li>● メッセージを複数サーバで秘密分散しているとき、安全なEメールが実現できる。</li> <li>● 分散計算の簡易なものの一つが「共有データ上の計算」の技術である。</li> <li>● 「クライアント側が常に規則に沿った行動を取る」という新たなモデルが提案された。 これにより安全性を簡易にし、新たな最適化が可能になった。</li> <li>● 現状の分散計算は2進ベクトル演算よりも整数演算が適している。</li> <li>● 共有データのソート技術と検索技術の現状。</li> </ul>		

## ② 排他的論理和を利用した効率的な秘密分散

- 2進ベクトル演算のみを利用した秘密分散とデータの再構築。
- この技術の応用による秘密分散と機密保持の一体化。

## ③ 秘密分散の新たなプライバシー技術

- データの再構築の際に間違った共有データを提供する不正者に対し安全で、(ほぼ)最適な秘密分散法。
- $d$ -乗法不完全秘密分散の不可能性( $d$ -乗法とは $d$ 個の共有データが相互通信無しに乗算可能であることを指す)。
- 安全性証明にゲーム理論を用いた一定ラウンド再構築の合理的秘密分散法。

## 3. 今後の展開 (今後展開すべきこと、そこからの発展可能性)

今回のワークショップにおいて今後さらに解明・展開する必要があるとされた事項、そこから更に発展が期待されることは、以下の通り。

### ① クラウドコンピューティングに適した共有データ上の計算の新たな手法の開発

- Semi-honestな参加者が存在するモデルの研究を行う必要がある。このモデルでは現存のプロトコルよりも通信コストや計算コストの削減を達成する必要がある。
- より効率的な秘密分散計算アルゴリズムの構築。
- 安全かつ効率的な、新たな論理演算を利用した秘密分散法の提案。

### ② 排他的論理和を利用した秘密分散法の安全性に関する研究

- 「不正者に対し安全」のような、新たなセキュリティ要件の定義。
- それらのスキームと符号理論との関係の調査。

### ③ 秘密分散の新たなプライバシー技術

- 不正者が全体の多く(1/3よりも多く)を占める場合に、効率的に不正者の特定が可能な秘密分散法の構築。
- 秘密分散を利用した分散計算に必要な最小通信コストの探索。
- 合理的秘密分散における共有データの削減と結託攻撃耐性の向上。

## 4. 課題及びその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチ

今回のワークショップにおいて明らかになった課題とその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチは、以下の通り。

- 分散計算と共有データ上の計算の技術としての秘密分散→【コンピュータネットワークの数式モデル化とそれに応じたセキュリティモデル】
- 排他的論理和を用いた効率的な秘密分散法→【最大距離分離符号によるこの秘密分散法の表現】
- 不正者に対し安全な、(ほぼ)最適な秘密分散法→【リードソロモン符号におけるエラー訂正による不正者の検出と特定のモデル化】
- 一定ラウンド再構築の合理的秘密分散→【ナッシュ均衡による合理的な振る舞いのモデル化】

平成23年度 数学・数理科学と諸科学・産業との連携研究ワークショップの概要報告

主催機関	北海道大学	
題 目	「地球環境流体研究と数理科学」ワークショップ	
開催日時	2011年6月9日(木) 9:20~20:00	
開催場所	北海道大学理学部三号館3-210号室	
運営責任者 (オ-ガナイザ-)	(フリガナ)	(カジヨウ カシ)
	氏 名	坂上 貴之
	所属機関	北海道大学
	部局・職	大学院理学研究院 教授
参加者	29名	一般参加者24名、講演者5名 (数学・数理科学系19人、諸科学10人、産業界0人)
1. 今回のワークショップにおける論点		
<p>地球環境の変動予測を目指す流体研究の様々な側面を基礎的なところから概観するとともに、数学者に対して問いかけたいことなども含めて議論が行われた。各講演者の講演により提案された論点は以下の通りである。</p>		
<p>① データ同化：カオスの予測の数理科学的アプローチ          気象予測に用いられるデータ同化手法を大気科学と数理科学の境界領域と位置づけ、その問題点を明らかにするとともに、あらたなデータ同化アルゴリズムの開発に対して数理に対する期待が述べられた。</p>		
<p>② 数値気候モデル研究の現状と将来展望          計算機の性能の向上にともない、気候モデルは高精度・高解像度化が進んでいる。その数値予報における現状と課題について説明された。</p>		
<p>③ 非線形時系列解析の発展          高次元のシステムの生成する時系列データを解析する手法の一つであるサロゲートデータ解析の手法とその気象データへの応用について解説が行われ、その有用性を示すとともに、幅広い応用の可能性について議論した。</p>		
<p>④ 雲微物理学での数学手法と数値手法の応用          雲を形成する機構（飽和した水滴の生成、衝突による併合過程）を物理的な手法で研究する雲微物理学の説明が行われた。雲の物理は地球環境の長期変動を考える予測において、次期IPCCでも重要なファクターと言われており、この分野の研究の重要性は増している。その研究の現状と課題について講演があった。</p>		
<p>⑤ 気候力学確率微分方程式の構築に向けて          地球の気象モデルの歴史的変遷（プリミティブ方程式から準地衡風近似方程式）と気候力学における最頻出気象パターンの多重アトラクタとしての理解を概説し、それらを再現し、よりよい精度を与える確率微分方程式の可能性について議論された。</p>		

## 2. 研究の現状及び課題（現状でどこまで分かっている、どこから先が分かっているのか）

今回のワークショップにおいて明らかになった研究の現状及び課題は、以下の通り

- ① データ同化：カオスの予測の数理科学的アプローチ  
従来のカオス同期の限界から生まれた気象予測に対するデータ同化手法は、従来の気象予測を超えて二酸化炭素データ同化や海洋のデータ同化などに展開されその重要性は増しているが、その精密化においては現在なされている多くの数学的仮定をどう外していくかが重要である。メリーランド大学での数理連携のあり方についても説明があり、日本がその面では遅れをとっているとも指摘された。
- ② 数値気候モデル研究の現状と将来展望  
現在の気象モデルの発展に従って、より現実な状況を再現するために、日々新たな要素が加えられて、精密な数値予測を目指しているが、その中で数値計算手法に関する小さな技術的問題からスケールの異なる物理現象のモデルへの取り込みといった大きな問題まで多くの問題が存在していることが指摘された。
- ③ 非線形時系列解析の発展  
サロゲートデータ解析は、非線形時系列解析における仮説検定の仕組みであることを明らかにし、元のデータとサロゲートデータを検定統計量（Wayland統計）と比較することで検定を試みる。その手法を北極振動のデータを使って解析することで決定論的カオスと整合的であることがわかるなど、その有効性は実証できるが、一方で、ここで用いた検定統計量であるWayland統計は低次元力学系向けであることから、別の手法としてリカレンスプロットの手法による検定手法の開発が進んでいる。
- ④ 雲微物理学での数学手法と数値手法の応用  
雲の物理学において、一旦水滴が凍って結晶となった後、併合・融合を繰り返す過程の研究は極めて難しい問題であり、その重要性は認識されつつも多くの問題が存在している。雪片がどのように流体中をおちるのか、またそれらが集まってどのような形状の塊を作るかなど、その研究においては数理的な手法の導入が強く望まれている。
- ⑤ 気候力学確率微分方程式の構築に向けて  
長期気象予報のモデルとしての確率微分方程式の導出に関して、気象の基礎方程式の確率微分方程式から得られる演繹的なFokker-Planck方程式と気象データ解析から得られる帰納的Fokker-Planck方程式の二通りの数学的定式化があり、特に前者の演繹的な方程式の導出に数学の力が必要であるとの提示があった。

### 3. 今後の展開（今後展開すべきこと、そこからの発展可能性）

今回のワークショップにおいて今後さらに解明・展開する必要があるとされた事項、そこから更に発展が期待されることは、以下の通り。

- ① データ同化：カオスの予測の数理科学的アプローチ  
(1) 雲データの同化技法 (2) Non GaussianやNonlinearityを考慮したデータ同化手法 (3) 異なるスケールの結合系（大気-海洋など）のデータ同化 (4) 大量の観測データの有効利用法 (5) 相関誤差のある観測データの利用法
- ② 数値気候モデル研究の現状と将来展望  
(1) 気象モデル方程式系の選択 (2) 水平・鉛直離散化手法の選択 (3) 計算格子の改良 (4) 物理的パラメトライゼーション（雲微物理・乱流・大気放射）の研究
- ③ 非線形時系列解析の発展  
(1) 高次元の検定統計量の開発 (2) サロゲートデータ解析の気象データへの応用
- ④ 雲微物理学での数学手法と数値手法の応用  
(1) 氷粒子の流体力学的理解 (2) 凝結・昇華成長過程の数値計算手法 (3) 雲水の衝突併合成長の統計方程式の解法 (4) 実験観測と数理モデルの協働による理解の推進
- ⑤ 気候力学確率微分方程式の構築に向けて  
北半球の冬の気候に対して (1) 長期予報のスプレッドを帰納的Fokker-Planck方程式により解釈 (2) 演繹的Fokker-Planck方程式の合理的導出 (3) これらのモデル方程式を利用して、高次元位相空間内における気象の運動を理解 (4) これらのモデルの南北両半球の四季への拡張。

### 4. 課題及びその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチ

今回のワークショップにおいて明らかになった課題とその解決に有効であろう諸問題と数学。ワークショップ終了後に開催された総合討論・および意見交換会において、講演者5名（三好・三浦・端野・平田・稲津）と招待討論者（楠岡）本WS企画者（坂上・斉木・中野）に加えて本WSへの参加者の間で極めて活発な議論が行われ、以下のような問題と数学的手法が有効ではないかと思われる。

- ① データ同化：カオスの予測の数理科学的アプローチ  
(1) データ同化手法の数理的研究（複雑系科学・非線形力学理論・確率論）  
(2) 実データの解析（数理統計学）  
(3) ランダムな系において、ランダム性を含む情報を得た時にその後の系の予測にどのような影響を与えるかという点について、後から得た情報の信頼性によって重みをつけてより良い予測ができるのではないかと（数理統計学）
- ② 数値気候モデル研究の現状と将来展望  
(1) 雲パラメータを取り込んだ数理モデル開発（偏微分方程式論・数値解析学）  
(2) 計算格子と離散モデル（離散数学・数値解析学・計算幾何）  
(3) 地球温暖化モデルのパラメトライゼーション（非線形力学系・数理統計学）  
(4) 二つの上昇気流の相互作用の数理解析（偏微分方程式論・非線形力学系理論・数値解析学）
- ③ 非線形時系列解析の発展  
他の講演者が提供した様々な地球環境流体現象の統計処理にこの手法は利用できる可能性がある。

④ 雲微物理学での数学手法と数値値手法の応用

(1) 雪片の周りの流れの解析 (偏微分方程式論・数値解析学)

(2) 雪片の成長過程に対するランダムグラフを用いた確率モデルの構築 (確率論・離散数学)

(3) 雲の内部における乱れた流れの実測などがすすみ, その状況を考慮した数学・物理理論に基づく曇力学のシミュレーション技法の開発 (偏微分方程式論・数値解析学)

⑤ 気候力学確率微分方程式の構築に向けて.

(1) 長期気象変動の確率的数理モデル (確率論・偏微分方程式論・数値解析学)

(2) 気象学確率モデルに入れるべき有色ノイズの統計力学的枠組みからの決定

今後はこれらの問題を整理し, さらに講演者との連携を深めて具体的な連携活動へとつなげていきたいと考えている.



平成23年度 数学・数理科学と諸科学・産業との連携研究ワークショップの概要報告

主催機関	九州大学マス・フォア・インダストリ研究所	
題 目	応用トポロジー：情報通信・生命科学との連携を目指して	
開催日時	2011年8月30日～9月2日 9:00～17:00	
開催場所	JR博多駅ビル10F 博多シティ会議室	
運営責任者 (オーガナイザー)	(フリガナ)	(ヒラカ ヤスキ)
	氏 名	平岡 裕章
	所属機関	九州大学
	部局・職	マス・フォア・インダストリ研究所 准教授
参加者	57名	一般参加者44名、講演者13名 (数理科学系約30人、諸科学約18人、産業界約8人、その他1人)
1. 今回のワークショップにおける論点		
今回のワークショップにおける主な論点は、以下の通り。		
①情報通信分野へのトポロジーの応用		
・ センサーネットワークなどに代表される局所的な情報から大域的な情報を再構成する手法としてのトポロジーの応用を議論		
②生命科学分野へのトポロジーの応用		
・ 大量の生命科学に付随するデータベース（タンパク質データベースなど）の解析手法としてのトポロジーの応用を議論		
③純粋数学としてのトポロジーの更なる応用の可能性の探索		
・ 組合せ論的トポロジーの上記2分野への応用を議論		
2. 研究の現状及び課題（現状でどこまで分かっている、どこから先が分かっているのか）		
今回のワークショップにおいて明らかになった研究の現状及び課題は以下の通り。		
①情報通信分野へのトポロジーの応用		
・ オイラー数積分のセンサーネットワークへの応用は数値計算法を確立することが最大に課題		
・ 一方理論的進展としてはオイラー数積分のフーリエ変換、ラドン変換バージョンが定義できることが明らかになり、ターゲットの位置情報も抽出できる理論的枠組みができつつある		
②生命科学分野へのトポロジーの応用		
・ タンパク質をCech複体で表現しそのパーシステント・ホモロジー群を調べることで圧縮率に代表されるようなタンパク質の物性情報が取り出せることが明らかになった。		
・ パーシステント・ホモロジー群を用いた解析手法は非常に斬新であり今後のバイオインフォマティクス分野において重要になってくることが予想される		
③純粋数学としてのトポロジーの更なる応用の可能性の探索		
・ stratified cellular spaceの組合せ論的理論整備が整いつつあり、ロボティクス分野を含めた今後の応用が期待されることが明らかになった		
3. 今後の展開（今後展開すべきこと、そこからの発展可能性）		
今回のワークショップにおいて今後さらに解明・展開する必要があるとされた事項、そこから更に発展が期待されることは、以下の通り。		
①情報通信分野へのトポロジーの応用		
・ オイラー数積分の高速数値計算アルゴリズムを開発することは非常に重要		

- ・ パーシステント・ホモロジー群との関係を更に明らかにする必要がある

#### ②生命科学分野へのトポロジーの応用

- ・ パーシステント図の逆問題を必ず考える必要があり、これにより今後タンパク質の基本構造をトポロジカルに調べることが可能になる

#### ③純粋数学としてのトポロジーの更なる応用の可能性の探索

- ・ stratified cellular spaceの位相空間構造のみでなくその上の層の解析を更にすることはトポロジカル・データ解析の発展のために重要な課題

#### 4. 課題及びその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチ

今回のワークショップにおいて明らかになった課題とその解決に有効であろう数学数理科学的アプローチは、以下の通り。

- ・ センサーネットワークの解析に代表される「局所から大域」を取り扱う諸科学の分野においてトポロジーは普遍的な道具を提供しうることを再確認した。またその理論的整備も整いつつあり、今後は数値計算法の開発にも取り組むべきである。
- ・ タンパク質の幾何構造はCech複体とそのフィルトレーションを考えることで解析が可能であることが今回のワークショップで明らかになったが、今後はパーシステント図の逆問題を考えることが最大の課題となる。この逆問題を数学的に定式化できればタンパク質の構造解析において重要なブレークスルーとなるであろう。

平成23年度 数学・数理科学と諸科学・産業との連携研究ワークショップの概要報告

主催機関	北陸科学技術大学院大学	
題 目	数学・数理科学と諸科学・産業技術の連携研究：情報セキュリティ技術におけるケーススタディ	
開催日時	2011年9月8日(木) 9:00～19:00	
開催場所	北陸科学技術大学院大学情報科学研究科3棟5階コラボレーションルーム7（遠隔配信先(東京)：北陸科学技術大学院大学品川キャンパス)	
運営責任者 (オガナイザ-)	(フリガナ)	ミヤジアツコ
	氏 名	宮地 充子
	所属機関	北陸科学技術大学院大学
	部局・職	情報科学研究科 教授
参加者	27名	一般参加者18名、講演者9名 (大学関係(情報セキュリティ分野)22人、産業界(企業、独立行政法人産業総合研究所)3人、数学系2)
<p>1. 今回のワークショップにおける論点</p> <p>今回のワークショップにおける主な論点は、以下の通り。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 情報セキュリティを支える根幹技術として暗号理論が知られており、<u>計算量理論、情報理論、確率統計、数論など数学的・数理科学的アプローチによりその安全性や効率性が証明</u>されている。しかしながら、各分野を必要に応じて横断的に利用しているという特性上、<u>必ずしもそれぞれの分野の最先端の研究結果が反映されているとは言えない</u>。さらに、同じ研究分野を専門とする研究者同士の交流に留まることが多く、<u>異分野間の研究連携が成功しているとは言い難い</u>。</li> <li>・ 本ワークショップ（暗号フロンティア研究会，Cryptology Frontier Group (CFG)）では、<u>数学・数理科学を基礎とした暗号理論の新しい展開・応用先を発掘すること</u>を目標とし、異なる分野の研究者の招聘及び各分野の最新の研究成果の発表を行い、さらに講演後には研究に焦点をあてたディスカッションを実施することにより、異なる研究分野間の連携を促進すると共に暗号理論に関する共同研究としての議論を進めていく。</li> </ul>		
<p>2. 研究の現状及び課題（現状でどこまで分かっている、どこから先が分かっているのか）</p> <p>今回のワークショップにおいて明らかになった研究の現状及び課題は、以下の通り。</p> <p>①数学的な成果と暗号理論との融合の難しさ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 本ワークショップにて圧縮データに対する探索方法や文字列マッチングなどの最新成果が発表された。暗号理論においてもこれらの数学的なツールは利用されてはいるが、古典的なものに終始している。そこで暗号理論とこれら「最新の」検索技術とを融合させることでどのようなブレークスルーが期待されるのか、また具体的にはどのようにして融合させるのかについて議論が行われた。前者については著しい成果が期待できるとの結論にまで至ったが、後者については今後のさらなる議論の場を設けることが必要である。</li> </ul>		
<p>3. 今後の展開（今後展開すべきこと、そこからの発展可能性）</p> <p>今回のワークショップにおいて今後さらに解明・展開する必要があるとされた事項、そこから更に発展が期待されることは、以下の通り。</p>		

#### ①数学的な成果と暗号理論との融合に向けて

- ・ 上記で報告したとおり、最新の数学的成果と暗号理論とを融合させることで**これまでにはない有用な機能を暗号ツールに付加することや新たな暗号解析手法の提案**に繋がるであろうという認識を共有でき、その実現が暗号界、ひいては産業界全体に大きなブレークスルーが期待される。
- ・ 特に最新の検索技術（特に今回発表された圧縮データに対する検索）を利用することで、これまで知られている暗号解析手法における計算量及びメモリ効率の著しい向上が期待される。また新たな安全性の指標を提示することにも繋がるため、これらの安全性を実現する新たな暗号方式の提案にも寄与し、本研究の有用性は計り知れない。
- ・ その一方で、それぞれの研究成果の理解が概要レベルに留まり、より具体的な設計方策についての議論にまで至らなかった。そこで今後の方策として、継続的に「情報セキュリティ技術者と数学者との」話し合いの場/進捗確認の場を設けることで、より具体的な「技術融合」に向けた建設的な議論を行い、上記問題点の解決に努めることが必要である。

#### 4. 課題及びその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチ

今回のワークショップにおいて明らかになった課題とその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチは、以下の通り。

- ・ 新たな暗号解析技術の開発→【圧縮データに対する検索技術】
- ・ 概要：暗号の安全性解析においては膨大な解析データが必要となるため、如何にしてメモリ量/計算量を削減するのが大きな課題である。今回のワークショップにて紹介された圧縮データに対する検索技術を応用することで、これら膨大な解析データを圧縮し、かつ効率的に検索することが期待されるため、大幅な効率改善が見込まれる。これは本ワークショップを開催することで、普段顔を合わすことのない異分野同士の研究者間での議論の場を設けたゆえの成果であるといえる。

平成23年度 数学・数理学と諸科学・産業との連携研究ワークショップの概要報告

主催機関	大阪教育大学	
題 目	ウェーブレット理論と工学への応用	
開催日時	平成 23 年 9 月 12 日(月)13:00 – 18:00, 13 日(火)9:00 – 12:30	
開催場所	大阪教育大学 天王寺キャンパス中央館 213, 214 教室	
運営責任者 (オ-ガナヅ-)	(フリガナ)	(アジノ リュウイチ)
	氏 名	芦野 隆一
	所属機関	大阪教育大学
	部局・職	教育学部教養学科 教授
参加者	27名	一般参加者20名、講演者7名 (数学・数理学系3人、諸科学24人、産業界0人)
<p>1. 今回のワークショップにおける論点</p> <p>今回のワークショップにおける主な論点は、以下の通り。</p> <p>①いろいろな逆問題における数理モデル、数学的アプローチの重要性 様々な逆問題の裏に隠れた数理的構造をウェーブレットによって解析し、適切な数理モデルを作り、その数理モデルの候補となる多くの解の中から真の解に近い解を特定するにはどうすればよいか？</p> <p>②逆問題における信号処理・画像処理の難しさ 逆問題の真の解が持つべき構造や性質がわかり、適切な数理モデルが得られたとしても、実際に真の解に近い解を構成するためには、信号処理や画像処理を行う必要がある。そのような信号処理や画像処理を定量的・安定的に行うことができる適切な処理をどうすれば数学によって設計できるのか？</p> <p>③ウェーブレット解析や独立成分分析の有用性 ウェーブレット解析を信号に適用することにより、現象を近似（ゆっくりとした変動）と詳細（急激な変動）に分解することができる。また、独立成分分析は信号を統計的に独立な成分に分解する。これらの分解が持つ数学的意味と実用的有用性を産業界にどう理解してもらうか？</p>		
<p>2. 研究の現状及び課題（現状でどこまで分かっている、どこから先が分かっているのか）</p> <p>今回のワークショップにおいて明らかになった研究の現状及び課題は、以下の通り。</p> <p>①独立成分分析を実際に適用する上で不可欠なスケールや成分置換の不定性問題の解消法 独立成分分析の基礎から実用化に向けた施策までが体系的に講演された。さらに、音源分離を例として、独立成分分析に既存技術を併用して、より高精度な結果を得るための施策や、実環境に独立成分分析を適用する際の留意事項が言及されるとともに、さらなる高性能化に向けて解決すべき問題が提起された。</p> <p>②解析信号の中の異常信号を検出・分離することができる寄生的離散ウェーブレット変換の設計と自動車エンジンのノッキング検出への応用 従来の離散ウェーブレット変換に適切なフィルタ寄生させることにより、特定のタイプの信号だけを検出できる新しいタイプの離散ウェーブレット変換の設計方法が提案された。さらに、提案された寄生的離散ウェーブレット変換を自動車エンジンのノッキング検出へ応用する研究が自動車会社との共同研究として進行中であることが報告された。</p> <p>③地下構造探査における時系列処理の現状と問題点の解決法 数学的に良く記載された技術であっても、実際のデータへの適用では、データの切断やデータに混入</p>		

するノイズの影響を考慮した処理が必要となる。なぜなら、当然存在すべき自己相関関数や相互相関関数にさえ、データ切断によるバイアスがかかる可能性を否定することはできないからである。短時間データからスペクトルをどのように推定するかという問題から、ウェーブレットと呼ばれる基本波形の推定にも影響する理論が構築されていることが報告された。今後の課題として、実際のデータを処理する際に、こうしたノイズや切断誤差に十分配慮したデータ処理方法が必要となることが示された。

#### ④ウェーブレットによるコンテンツ保護の現状と課題

急速に高度化されている現在の情報社会において、情報セキュリティの重要性が飛躍的に増大し、ウェーブレットによるコンテンツ保護への期待も増大していることが報告された。流通するコンテンツに秘密鍵を埋め込み保護する場合の課題として、以下の2項目：

(1) 流通コンテンツにおける秘密鍵の秘匿性

(2) 流通コンテンツの改竄、処理 加工されたとしても秘密鍵が抽出できるか

が報告された。これら課題を克服する方法として、ウェーブレット多重解像度解析に基づくデータハイディングの前処理に主成分変換および斜交座標変換を施す手法が提案され、この手法における今後の課題が示された。

#### ⑤連続マルチウェーブレット変換に基づく画像分離

いくつかの画像が混合された複数の観測画像から、元画像を分離する問題が提起された。これは信号解析におけるブラインド信号源分離の2次元バージョンである。連続マルチウェーブレット変換による画像のエッジ解析を用いて、画像分離する手法が提案され、混合画像の分離問題に応用する際の解決すべき問題が提起された。

#### ⑥音声からの声道長推定における聴覚的ウェーブレット変換

人間は、寸法(スケール)と声道形状(音韻性)を分離抽出する機構を持っていると推測できる妥当な理由が示された。この聴覚理論として、安定化ウェーブレット-メルン変換が提案され、声道長比を求める実験の結果が示された。さらに、聴覚的非線形性も含めた理論的枠組みの必要性とその概略が提案された。

#### ⑦脳波によるヒトの状態推定のためのウェーブレット手法の応用

ウェーブレット変換手法や、その非線形バージョンとも考えることができるモルフォロジカルフィルタを用いた多重解像度解析手法を終夜睡眠脳波の解析や、BCI (Brain Computer Interface) における事象関連電位や誘発電位の抽出に応用した事例が紹介された。また、モルフォロジカル・ウェーブレットとしての理論体系は発展途上であり、まだ確立されておらず、その点に関する問題提起が行われた。

### 3. 今後の展開 (今後展開すべきこと、そこからの発展可能性)

今回のワークショップにおいて今後さらに解明・展開する必要があるとされた事項と、そこから更に発展が期待されることは、以下の通り。

#### ①いろいろな逆問題における数理モデル、数学的アプローチの重要性

線形システムの数理モデルを扱う場合、従来のウェーブレット解析が有用であったが、入出力が寸法(スケール)によらない場合には、提案された安定化ウェーブレット-メルン変換がさらに有効である。このように、扱う問題に適応した新しいウェーブレット解析を研究する必要がある。また、実際の応用では、データの切断やデータに混入するノイズの影響を考慮した処理が重要である。この点で、地下構造探査において研究されてきた様々な方策は、ウェーブレット解析をさらに進化させる可能性を持っている。脳波によるヒトの状態推定のために提案されたモルフォロジカルフィルタを用いた多重解

像度解析手法は汎用性があり、工学の様々な問題を解決できるポテンシャルを持っている。モルフォロジカル・ウェーブレットとしての理論体系を早急に確立することが重要である。

#### ②逆問題における信号処理・画像処理の難しさ

工学においては、様々な信号処理・画像処理が工夫されてきた。そのような工夫の多くは、数学的に裏付けることが難しいが、寄生的離散ウェーブレット変換や連続マルチウェーブレット変換は数学的に裏付けられている。それぞれ、特定の信号に特化した寄生させるフィルタを適切に設計すること、特定の画像に特化したマルチウェーブレットを設計することが重要な課題である。また、ウェーブレットによるコンテンツ保護は重要な課題であり、ウェーブレット多重解像度解析の前処理に主成分変換および斜交座標変換を施す手法が提案されたが、今後さらに解明・展開する必要がある。

#### ③ウェーブレット解析や独立成分分析の有用性

ブラインド信号源分離問題等を解くために提案された、独立成分分析に既存技術を併用してより高精度な結果を得るための施策は、ウェーブレット解析にも応用できるものである。独立成分分析とウェーブレット解析はそれぞれ非常に強力な解析の手法であることは既に認められている。独立成分分析とウェーブレット解析のコラボレーションによる新しい解析手法を発展させることが重要である。

#### 4. 課題及びその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチ

今回のワークショップにおいて明らかになった課題とその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチは、以下の通り。

【自動車エンジンのノッキング検出】→できるだけ少ないセンサーをエンジンの熱の影響を受けないところに設置し、エンジンの振動からノッキングを検出する→【離散ウェーブレット変換に寄生させるフィルタの設計】

【地下構造探査の精度の向上】→データの切断やデータに混入するノイズの影響を考慮した処理→【独立成分分析とウェーブレット解析に基づく特定のノイズに適応した新しいノイズ除去法の開発】

【聴覚の非線形性モデルの提案】→非線形性が扱える安定化ウェーブレット-メリン変換の開発→【多様体上の安定化ウェーブレット-メリン変換の提案】

【ウェーブレットによるコンテンツ保護】→流通コンテンツの改竄、処理加工に耐える秘密鍵の開発→【ウェーブレット多重解像度解析に基づくデータハイディンクの前処理の開発】

【混合された観測画像の分離問題】→いくつかのウェーブレットを使った時間周波数情報を比較→【適切なマルチウェーブレット関数の設計】

【独立成分分析におけるスケールや成分置換の不定性問題の解消】→独立成分分析に既存技術を併用→【独立成分分析とウェーブレット解析のコラボレーションによる新しい解析手法の提案】

【脳波によるヒトの状態推定問題】→非線形バージョンのウェーブレット解析の開発→【モルフォロジカル・ウェーブレット理論の確立】

主催機関	明治大学	
題 目	金融数理科学と金融技術への将来展望—ポスト金融危機への視点	
開催日時	2011年9月16日(水) 13:00~18:00	
開催場所	明治大学紫紺館3階大会議室	
運営責任者 (オ-ガナイザ-)	(フリガナ)	(カリヤ タケアキ)
	氏 名	刈屋 武昭
	所属機関	明治大学
	部局・職	先端数理科学研究科 教授
参加者	118名	一般参加者112名、講演者6名 (数理科学系約60人、諸科学約12人、産業界約30人、その他10人)
<p>1. 今回のワークショップにおける論点</p> <p>今回のワークショップにおける主な論点は、以下の通り。</p> <p>①金融の世界では、制度的にも経営のうえでも数理科学は浸透しているが、金融危機ではその利用法が必ずしも十分適切ではなかったという点。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ポスト金融危機の金融環境の中で進化していく金融産業界での金融数理・技術について展望し、諸課題について議論</li> </ul> <p>②金融危機の原因となったサブプライム・ローンの証券化問題に焦点を当てると、金融数理のモデルとリスク評価が適切でなかったという点</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ リスクの分散化可能性に関して、下方に関して相関が変動していくモデルを利用せず、AA Aサブプライム証券化商品を作り出す結果になっていた</li> <li>・ サブプライムショックのように信用リスクが急激に変化することに対応するモデルが採用されておらず、流動性枯渇の数理モデル化の必要性</li> </ul> <p>③正規分布構造に過度に依存していたという点</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 金融の世界では、これまで以上に金融現象の特徴を十分記述可能な確率モデルと、それに基づくリスク量を計算する必要がある。</li> </ul>		
<p>2. 研究の現状及び課題（現状でどこまで分かっている、どこから先が分かっているのか）</p> <p>今回のワークショップにおいて明らかになった研究の現状及び課題は、以下の通り</p> <p>①基本的な課題は、金融現象と確率数理モデルとの距離を近づけること</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 確率プロセスの非正規性を考慮したモデルの開発。特に下方への変動の相関構造をたとえば、時系列モデルのDCC (Dynamic Conditional Correlation)モデルや、相関構造が無条件に過去に依存したモデルなどの構築の必要性</li> <li>・ 上方への変動と下方への変動が非対称な投資分析モデルの定式化</li> <li>・ 金融現象は、景気変動に大きく依存するので、マルコフ性を仮定したこれまでの数理ファイナンスモデルの限界を克服する必要性</li> </ul> <p>②信用リスク評価の重要性</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 企業のデフォルト可能性は、将来の利益キャッシュフローに大きく依存し、企業は平均的には4つの事業にかかわっているので、そのことを考慮した信用リスク分析を可能にするモデル構造が必要。しかし、現状では、信用リスク評価モデルは、この段階になく、今後この点を含めた包括的研究が必要。一方、シンガポール国立大学リスクマネジメント研究所では、世界の企業のデフォルト確率（の期間構造）の評価を公開している。また株価は企業の</li> </ul>		



将来からの利益キャッシュフローについての期待を表現しているともみられ、この視点からも信用リスクを理解することが必要である。

### 3. 今後の展開（今後展開すべきこと、そこからの発展可能性）

今回のワークショップにおいて今後さらに解明・展開する必要があるとされた事項、そこから更に発展が期待されることは、以下の通り。

#### ①金融機関の信用・市場リスクマネジメント

- ・ 欧州の金融混乱の原因の一つとして、金融機関が保有する資産（ローン、債券、株式、派生商品）に内包するリスクの保有構造をこれまで以上に精緻に評価し、自らの資本と比べて適正なリスク量に調整することが必要である。そのため、資産間の相関も含めた最適ポートフォリオをダイナミックに調整していく方法を開発・展開していくことが望ましい。

②金融機関のリスク量も景気変動と一緒に動く（プロシクリカリティ）であるので、景気変動の予兆を把握し、それが資産価値に影響する度合いを計測するモデルの開発が望まれる。企業のデフォルトは、景気や為替レート、あるいは米国の経済状況など多くの変数に関係している。この関係は、時間の中で変動するのでこれを表現するモデルを展開するなど、多様なアプローチが必要。

#### ②金融倫理の難しさ

- ・ 金融の場合、投資銀行など当事者は収益性に目がゆき、自己の利益を追求して、最後は「大きすぎて倒産させることはできない」という理由で国民の税金が投与されてきた。これを防ぐために、モデルを含めた透明性・リスク量の計算方式などの開示などが必要

### 4. 課題及びその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチ

今回のワークショップにおいて明らかになった課題とその解決に有効であろう数学・金融の世界は、数理科学なくして成立しない。実際、リスクマネジメント・投資などの金融技術体系は、数学、統計学、工学などに基づく。その有効性は、実証済みだが、金融ショックなど急激な変化に対応する課題がある。

非マルコフ性を持つ信用リスク(デフォルト可能性)分析に対応する時系列分析や数理モデルのさらなる発展が必要ということ。金融現象とモデルの関係をさらに数理的に追及すること。

それを踏まえて、金融機関の経営はリスク量をできる限り定量的に計測し、リスクヘッジな経営志向を発展させること。

平成23年度 数学・数理学と諸科学・産業との連携研究ワークショップの概要報告

主催機関	九州大学マス・フォア・インダストリ研究所・広島国際学院大学	
題 目	「理工学および産業界における連続体力学の数理と研究連携」	
開催日時	平成23年10月8日（土）-10日（月）	
開催場所	広島国際学院大学袋町キャンパス	
運営責任者 (オガナイザー)	(フリガナ) 氏 名	(オオツカコウジ) 大塚 厚二
	所属機関	広島国際学院大学
	部局・職	情報デザイン学部・教授
運営責任者 (オガナイザー)	(フリガナ) 氏 名	(キムラマサト) 木村 正人（連絡責任者）
	所属機関	九州大学
	部局・職	マス・フォア・インダストリ研究所・准教授
参加者	25名	一般参加者10名、講演者15名 (内訳：数学系19人、諸科学5人、産業界0人、その他1人)
1. 今回のワークショップにおける論点		
<p>本ワークショップは、固体力学、変分法、破壊力学、感度解析、設計最適化、境界要素法、高速多重極法、有限要素法、及び連続体力学の数理研究を研究分野としている。</p> <p>時代の変化と共に変化する工学・産業界における最新の研究テーマへの数学研究を推進し、分野横断的な数学研究の発展を目指し、破壊問題のモデリングとそのシミュレーション手法の数理、粒子法シミュレーションの数理、連続体における逆問題、等の問題に関する研究発表が行われた。</p>		
2. 研究の現状及び課題（現状でどこまで分かっている、どこから先が分かっているのか）		
<p>今回のワークショップでは、海外からの招待講演者のB. Bourdin氏（ルイジアナ州立大学）による「変分型破壊理論とその応用」と、A. Muntean氏（アイントホーフェン工科大学）による「均質化法の数理とその応用」の講演がそれぞれ2回にわたり行われ、活発な議論を引き起こした。特に、B. Bourdin氏による変分型破壊の理論は、日本の工学ではあまりまだ知られていない新しい数学理論を利用するもので、参加した工学者にも大きなインパクトを与えたように思われる。またこの破壊と均質化法それぞれに関連する話題が他の講演者からも発表された。</p> <p>破壊問題と均質化法は共に、工学でその重要性が早くから認知され多くのシミュレーションがなされてきたが、一方でその数学的基礎付けは遅れがちであった。最近、B. Bourdin氏やA. Muntean氏のように数学的な理論を元に、工学的な具体的な応用・シミュレーションを積極的に行い、工学的にも大きなインパクトを与える結果を出している数学者もいるが、日本の応用数学・工学での認知度は低い。</p> <p>今回のワークショップでは、そのような優れた産業数学の例として2人の海外招待講演者を日本の応用数学・工学の研究者に紹介する機会を得ることができた。今回、工学からの講演に</p>		

もあったように、散乱解析における時空間境界要素法（廣瀬氏）、力法による形状最適化（畔上）、連続体力学・粒子法を用いたアニメーションの数理（服部）など、今後数学との連携研究が期待される様々な工学的に重要な問題がまだ多く残されている。

### 3. 今後の展開（今後展開すべきこと、そこからの発展可能性）

上に述べたような、工学から派生した連続体力学に関するなるべく多くの課題（破壊・均質化法・時空間境界要素法・力法・粒子法など）を、本研究集会では毎年取り上げ、工学者と応用数学者、産業界の研究者を交えて交流を続けていく重要性を再認識した。今回はその意味で非常に成功であったと考えている。今後とも長くこの活動を続け、すでに行われている数学連携の共同研究をバックアップしていくとともに、新たなテーマの発掘にも力を入れていくことで、数学による工学・産業技術の基礎技術化・日本の科学技術の基礎体力としての応用数学研究の推進に一定の役割が果たせるものと考えている。

### 4. 課題及びその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチ

個々の工学的課題への数学的アプローチについては、分野にとらわれず広い数学的視野から取り組む必要がある。そのためなるべく多くの分野の数学者にこのような取り組みに興味を持ってもらうとともに、数学的基礎研究や数学者との交流に興味を抱く工学の若手研究者の減少も懸念されている。

1つ目の問題点は、比較的長期間にわたり地道に行われることの多い数学研究が、目まぐるしく変化する工学・産業界の新しい研究動向にどう対応するか、ということで、これには、諸分野の最新の研究動向を数学者に紹介する場を設け、応用に興味を持つ数学者の絶対数を増やす必要がある。

2つ目の問題点は、CoMFoSで現在中心的な活動をされている工学・産業界の研究者は、発足当初からの方が多く工学の若手研究者が少なくなって来ていることである。これは、計算機やソフトウェアの発達により、必ずしも数学に頼らずに工学研究が出来てしまうため、数理に興味を持つ30代の若手工学研究者が育ちにくい現状がある。

平成23年度 数学・数理学と諸科学・産業との連携研究ワークショップの概要報告

主催機関	九州大学, 京都大学	
題目	最適化理論の産業・諸科学への応用	
開催日時	2011年10月13日9:55~14日16:00	
開催場所	九州大学数理学研究教育棟 大講義室1, 中セミナー室1	
運営責任者 (オガナイザ-)	(フリガナ)	(シライ トモキ, イワ サトル)
	氏名	白井 朋之, 岩田 覚
	所属機関	九州大学, 京都大学
	部局・職	マス・フォア・インダストリ研究所 教授, 数理解析研究所 教授
参加者	63人	一般参加者31名、講演者7名 (数学系43人、諸科学15人、産業界4人、その他1人)
<p>1. 今回のワークショップにおける論点</p> <p>今回のワークショップにおける主な論点は、以下の通り。 最適化理論の中でも特に半正定値計画問題について重点的に議論した。</p> <p>① <u>半正定値計画問題の理論の重要性</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>線形計画法の一般化としての半正定値問題の理論的側面の紹介。半正定値計画問題のモーメント問題・二乗和多項式との関連、問題に潜在する群対称性の利用の可能性。</li> </ul> <p>② <u>半正定値計画問題の応用の重要性</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>半正定値計画問題の拡散過程、待ち行列、ロバスト最適化、圧縮センシングなどへの応用についての可能性とその問題点。</li> </ul> <p>③ <u>半正定値計画問題の大規模化への対応。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>半正定値計画問題を実際の問題に応用する際にあらわれる大規模問題への対応と、スーパーコンピュータを用いた大規模計算の現状。</li> </ul>		
<p>2. 研究の現状及び課題 (現状でどこまで分かっているか、どこから先が分かっているのか)</p> <p>今回のワークショップにおいて明らかになった研究の現状及び課題は、以下の通り。</p> <p>① <u>半正定値計画問題の理論の重要性</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>半正定値問題は研究が始まって約15年ほどになり、理論はかなり整備されてきている。特に正値多項式の理論、確率論におけるモーメント問題との関連で広く研究されている。</li> <li>多項式最適化問題の緩和によりあらわれる半正定値問題の解の挙動には、数値計算による誤差が微妙に影響する。退化した問題を摂動することにより真の解が求められる可能性がわかった。また、この状況はかなり広い状況で成り立つ可能性が示唆された。</li> <li>問題に潜在する群対称性の利用により、大型問題の計算量の軽減可能性が指摘された。</li> </ul> <p>② <u>半正定値計画問題の応用の重要性</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>半正定値計画問題の拡散過程の領域からの脱出時間のモーメントの計算への応用が紹介されて、同様の手法を待ち行列の問題に応用することが議論されている。半正定値計画問題による数値実験を用いて、モーメントを用いた待ち時間の期待値の新しい表現が求められたことが報告された。</li> <li>建築物の安定性の解析、特にトラス構造の計算に表現論を用いた計算の紹介があり、他にも対</li> </ul>		

称性に注目することの重要性が指摘された。

### ③ 半正定値計画問題の大規模化への対応。

- ・ 現在のベタスケールの次世代スーパーコンピューティングの可能性について報告があり、現時点でも疎なグラフネットワークであれば10億程度(アメリカの道路地図程度)であれば容易に計算可能なサイズになっていることが報告された。この計算能力を半正定値計画問題に応用した量子化学計算の成功例についての報告があった。

### 3. 今後の展開 (今後展開すべきこと、そこからの発展可能性)

今回のワークショップにおいて今後さらに解明・展開する必要があるとされた事項、そこから更に発展が期待されることは、以下の通り。

#### ① 半正定値計画問題の理論の重要性

- ・ 正値多項式とモーメント問題の議論を精密に行なうことにより、誤差による摂動が計算結果に与える影響を理論的に保証できる。このことを利用して、恣意的に誤差を与え計算を安定させる方法論の確立が見込まれる。
- ・ 問題の対称性を用いる手法を表現論などを用いて押し進めることで、半正定値計画問題でしばしばネックとなる大規模問題へのアプローチが期待される。

#### ② 半正定値計画問題の応用の重要性

- ・ 報告された半正定値計画問題の応用は一部であり、多くの問題への定式化が期待される。
- ・ ソルバーのインターフェースの開発は、半正定値計画問題の具体的問題への応用の際に、重要なキーとなる。

#### ③ 半正定値計画問題の大規模化への対応

- ・ 多くの最適化問題が半正定値計画問題に帰着可能であるが、問題の大規模化がつねにボトルネックとなる。上で述べた対称性の利用や、スーパーコンピューティングの利用により対応可能になることが期待される。

### 4. 課題及びその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチ

今回のワークショップにおいて明らかになった課題とその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチは、以下の通り。

- ・ 半正定値計画問題に潜む対称性の利用・トラス構造の計算 → 【ヨルダン代数, スター代数, 表現論】
- ・ 半正定値計画問題の双対性 → 【ヨルダン代数, 実代数幾何, 確率論, モーメント問題】
- ・ 大規模問題のスーパーコンピューティングによる解析 → 【グラフ理論, アルゴリズム論】
- ・ 計算量の軽減のために乱択アルゴリズムとそれを模倣する決定論的アルゴリズムの研究 → 【確率論, アルゴリズム論】
- ・ 圧縮センシングの理論 → 【確率論, 特にランダム行列,  $L^1$ 最適化】
- ・ ロバスト最適化 → 【機械学習】
- ・ 研修医配属問題(安定マッチング) → 【マトロイド, 劣モジュラー性】

主催機関	東京大学	
題 目	社会的リスクの予測と制御に対する数理工学アプローチ	
開催日時	2011年10月15日(土) 09:50~16:30	
開催場所	東京大学本郷キャンパス工学部6号館3階セミナー室AD	
運営責任者 (オガナイザー)	(フリガナ)	(ケムラ アキミ)
	氏 名	竹村 彰通
	所属機関	東京大学
	部局・職	大学院情報理工学研究科 教授
参加者	38名	一般参加者31名、講演者7名 (数学系21人、諸科学14人、産業界3人、)
1. 今回のワークショップにおける論点		
<p>今回のワークショップにおける主な論点は、以下の通りである。</p> <p>① <u>非正則な数理モデルに対する一般的なアプローチ</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>今年の震災に見られるように、正規分布に基づく標準的な統計モデルでは予測できないような規模の大きな自然現象の予測などが重要な社会的な問題となっている。このような問題に対応するためには、非正則な数理モデルに対する一般的なアプローチを構築する必要がある。</li> </ul> <p>② <u>放射線被曝の影響など、データが十分得られていない領域への予測問題</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>長期にわたる低線量の放射線被曝の影響の大きさについて、これまでデータが十分に得られていないために、これまでの知見を外挿して予測をおこなう必要がある。絶対的な影響の大きさの評価には外挿の困難があるが、たとえば年齢別の影響など相対的な影響の評価についてはこれまでの知見が十分に活用できる。このように、これまでの知見が適用できる部分とできない部分を区別して予測の問題を理解する必要がある。</li> </ul> <p>③ <u>ネットワークにおけるリスクの伝搬問題</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>現在ヨーロッパの金融危機に見られるような、金融機関の連鎖的な破綻の危険性など、ネットワーク的な構造におけるリスクの伝搬問題の研究が重要である。アメリカ、EU、日本、中国を含むブリックス諸国の間のネットワーク的な関係も急速に変化しており、このような変化を正確に記述する手法の確立も重要である。</li> </ul>		
2. 研究の現状及び課題（現状でどこまで分かっているか、どこから先が分かっているのか）		
<p>今回のワークショップにおいて明らかになった研究の現状及び課題は、以下の通りである。</p> <p>① <u>非正則な数理モデルに対する一般的なアプローチ</u></p> <p>さまざまな現実の問題に対する数理的なモデリングおよび統計的モデリングにおいては、これまでは標準的な数理工学の理論が適用できるための正則条件の仮定を置いた議論がおこなわれてきた。たとえば統計的なモデリングにおいては、フィッシャー情報量の正則性を仮定して、精緻な議論が展開されて来た。情報幾何学的な統計モデルの扱いにおいても指数型分布族を典型として、正則なフィッシャー情報量を計量とする微分幾何学的な構造が利用されて来た。しかしながら、裾の非常に重いベキ分布のようなモデルを扱うには、このような正則性を仮定することは不適切であり、非正則性を許容するより一般的なアプローチの構築が</p>		

重要である。

### ② 放射線被曝の影響など、データが十分得られていない領域への予測問題

今年3月の福島の原子力発電所の事故は、長期にわたる低線量の放射線被曝という大変に困難な社会的な問題を引き起こすこととなった。この問題の難しさは、今後長期にわたると予測される低線量の被曝という状況に関するデータが不足しており、これまでの知見を外挿せざるを得ない点にある。しかしながら、広島・長崎の被爆者のデータに基づく放射線の影響の従来の知見は最大限活用される必要がある。そのためには、これまでの知見で得られたモデルのどの部分が外挿に適しているか、外挿のために必要な追加的なパラメータは何か、などの点を吟味し、今後得られるデータとつきあわせながら長期にわたる低線量被曝の影響のモデルを構築していくことが重要である。

### ③ ネットワークにおけるリスクの伝搬問題

無向グラフおよび有向グラフを対象とするネットワークモデルの数理的な解析の理論は近年大幅な進展を見せている。一方で、現在のヨーロッパの金融危機にあらわれているような金融機関の連鎖的な破綻のリスクの問題に関しては、複雑な金融商品の影響の評価やブリックス諸国の投資行動の変化など、定量化の困難な要因も存在しており、現状の数理モデルでは適切に扱えない側面があることに留意が必要である。

## 3. 今後の展開（今後展開すべきこと、そこからの発展可能性）

今回のワークショップにおいては、社会的リスクに対する数理工学的アプローチというやや大きなテーマを設定し、さまざまな分野の専門家から数理工学的アプローチの現状と問題点について講演をいただき、討論をおこなった。このテーマの設定は、震災後の我が国の復興への数理工学の貢献を念頭においたものであり、さまざまな分野で有効性の確認されている手法を他の分野へも応用し、また新たな課題に適する形に発展させることを目指したものである。

このような議論の中から、よりロバストな情報量の定義に基づく非正則な数理モデルの構築の可能性や、モデルの外挿において全体のスケールに依存しないと考えられる部分の活用などの有用な視点が提供された。

## 4. 課題及びその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチ

今回のワークショップにおいて明らかになった課題とその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチは、以下の通りである。

- ・  $\alpha$  ダイバージェンスのようなロバストな情報量の定義に基づく非正則な数理モデルの構築の方法論。
- ・ モデルの外挿において、全体のスケールを表わすパラメータと、全体のスケールには依存しないような相対的な構造を表わすパラメータを分離することにより、外挿の精度を向上するための手法。

平成23年度 数学・数理科学と諸科学・産業との連携研究ワークショップの概要報告

主催機関	明治大学	
題 目	複雑系ゆらぎデータの分析と制御	
開催日時	2011年10月27日, 28日 10:30~18:10	
開催場所	明治大学大学会館会議室	
運営責任者 (オガナイガー)	(フリガナ)	(タカヤス ヒデキ) (ミムラ マサヤス)
	氏 名	高安秀樹 三村昌泰
	所属機関	明治大学
	部局・職	大学院先端数理科学研究科 教授
参加者	80名	一般参加者60名、講演者16名 (数学系5人、諸科学40人、産業界30人、その他5人)
<p>1. 今回のワークショップにおける論点</p> <p>今回のワークショップにおける主な論点は、以下の通り。</p> <p>① <u>複雑系ゆらぎデータの分析方法のレビュー</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>多数の構成要素からなる複雑系が生み出すデータを分析する方法を分野の壁を乗り越えて俯瞰する</li> </ul> <p>② <u>複雑系をゆらぎデータから制御する方法を考察する</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>どのような場合に、複雑系を制御することができるのか、最先端の話題を題材に議論を深める</li> </ul> <p>③ <u>ベキ分布・非定常・超多変数系のデータ解析方法の模索</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>平均値が意味を持たないベキ分布や時々刻々状態が変化する複雑系、潜在的な変数の数が極めて多い系のデータ解析に関する一般的な方法を探索する。</li> </ul>		
<p>2. 研究の現状及び課題（現状でどこまで分かっている、どこから先が分かっているのか）</p> <p>今回のワークショップにおいて明らかになった研究の現状及び課題は、以下の通り。</p> <p>① <u>脳波や脈拍などの時系列解析によって、潜在する疾患を推定する技術が進展していること。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>時系列の統計性から異常を抽出する手法は、他の現象への横展開可能。</li> <li>健全なゆらぎと不健康なゆらぎの発生原因をさらに解明し、実用に向けた根拠を固める。</li> </ul> <p>② <u>人間の行動に関連するデータ解析によって、ビジネス応用可能な知見が増加していること。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>会社内部での人間関係の健全性を定量的に自動抽出する技術ができていること。</li> <li>インターネットの書き込み語の解析から人間集団の行動特性が予測できること。</li> <li>値下げや気温の変動が購買行動に及ぼす影響が定量的に明らかになったこと。</li> </ul> <p>③ <u>非定常性を示す膨大な経済データを分析する新たな手法が開発されてきたこと。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>高頻度市場データに網羅的連検定を施し、上下変動の連動性の変化が観測されること。</li> <li>ランダム行列処理によって多変数相互作用のノイズとシグナルの分離ができること。</li> <li>加速度や相互作用を考慮する物理モデルを導入し市場変動が適切に記述可能となった</li> </ul>		
<p>3. 今後の展開（今後展開すべきこと、そこからの発展可能性）</p> <p>今回のワークショップにおいて今後さらに解明・展開する必要があるとされた事項、そこから更に発展が期待されることは、以下の通り。</p>		



#### ① 複雑生体情報解析の実用化

- ・ 電氣的信号や画像信号から、疾患の前兆を検出する技術を実用化し、疾患が悪化する前の段階で対処できるような技術を開発すること。
- ・ 個体差や履歴の影響を大きく受けるような場合のデータ解析方法を強化すること。

#### ② 人間集団行動データ解析手法の深化と応用

- ・ 人間の集団行動を数理モデル化する技術を高めること。
- ・ データから検出される集団行動分析を実務に使えるように具体化すること。

#### ③ 経済ビッグデータの解析手法の深化と応用

- ・ 市場が不安定化したことをリアルタイムで定量化するシステムを構築し、市場を安定的に維持するための制御方法を構築すること。
- ・ 多数の市場の相互作用を再現する数理モデルを構築し、市場のショックがどのように伝播し、緩和するのかを予測できるようにすること。

#### 4. 課題及びその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチ

今回のワークショップにおいて明らかになった課題とその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチは、以下の通り。

- ・ 複雑で非定常な挙動を示す超並列時系列データから統計的に意味のある情報を引き出す手法の開発→【超並列非定常時系列データ解析による特異性の抽出】
- ・ 潜在的なパラメータ数が非常に大きいシステムの中の重要な変数をデータ解析によって抽出する手法の開発→【超多自由度複雑システムにおける重要変数の抽出】
- ・ 経済システムなど、複雑なシステム同志が相互作用するメカニズムを解明すること→【複雑システム間相互作用推定方法】

主催機関	東京大学	
題 目	致死性不整脈の機序の解明：非線形ダイナミクスからのアプローチ	
開催日時	2011年11月8日(火)10:30～10日(木)14:00	
開催場所	東京大学大学院 数理科学研究科 002室	
運営責任者 (オガナイザ-)	(フリガナ)	(キリヨカス) (サイトウ リカス)
	氏 名	儀我美一 齊藤宣一
	所属機関	東京大学
	部局・職	大学院数理科学研究科 教授 准教授
参加者	36名	一般参加者31名、講演者5名 (数学系26人、諸科学5人、産業界2人、その他3人)
1. 今回のワークショップにおける論点		
<p>我が国では年間約5万人が心臓性突然死を起こしている。その主原因である心室細動において、心筋の電氣的興奮に渦状波(spiral wave)が現れるが、その生成・持続機構は未だ明らかではない。したがって、致死性不整脈の機序に対する数理的な研究の目標は、渦状波の生成を数理的・物理的に明らかにし、究極には、心室細動を効果的に停止させる方策を得ること、また致死性不整脈の前兆判定の指標を決めることにある。本シンポジウムでは、その目標に対して、医学者と数学、数理科学研究者が問題意識と用語を共有し、効果的な研究チーム作りを目指す。</p> <p>今回のワークショップにおける主な論点は、以下の通り。</p>		
①心筋の電気興奮現象の数理モデルとしてどのモデルを採用するか		
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 生理学的に整合的か？計算上扱いやすいか？</li> <li>● スパイラルを記述できるか？</li> <li>● 心室細動を惹起するスパイラルの制御へ繋がるか？</li> </ul>		
②心室細動の実験結果を数学的な表現で把握		
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 数理モデルの妥当性と適応限界を判断する上で必須</li> <li>● 制御法をAEDの救命率やQOLの向上に寄与させたい</li> </ul>		
2. 研究の現状及び課題（現状でどこまで分かっている、どこから先が分かっているのか）		
<p>今回のワークショップにおいて明らかになった研究の現状及び課題は、以下の通り。</p>		
① 心筋の電気興奮現象の基本モデル		
<ul style="list-style-type: none"> <li>● FitzHugh-Nagumoモデルは、イオンチャンネルの動態に合致しているが、回復特性を再現できないという問題がある。</li> <li>● Aliev-Panfilovモデルは、回復特性を再現可能であるが、イオンチャンネルの動態に合致していないという逆の問題がある。</li> <li>● これらの問題を克服する第3のモデルを導出することは可能か？そのために、心筋スパイラルの特徴を、あらためて抽出したい。</li> </ul>		

## ②心筋スパイラルの特徴

- 正常な心筋でも特殊な電気刺激により誘発が可能（実験）であり、数理モデルでも再現可能
- スパイラルの消滅は互いの衝突か解剖学的障壁への衝突でおこる（実験／モデル）
- 新たなスパイラルが出現するときには互いに反対方向に回転する一対が生じる（実験）
- 2つのスパイラルが接近しても衝突せずに共存することがある（実験／モデル）
- スパイラルのコアは位相特異点でドリフトが可能である（実験／モデル）
- 温度の回復特性曲線への影響（実験）
- この他に、ウサギの心筋冷却実験によりスパイラルの興味深い特徴が多くわかった（本荘晴朗先生（名古屋大学））

## 3. 今後の展開（今後展開すべきこと、そこからの発展可能性）

今回のワークショップにおいて今後さらに解明・展開する必要があるとされた事項、そこから更に発展が期待されることは、以下の通り。

### ①基本数理モデルの精密化とシミュレーション

- スパイラルを消滅させるシミュレーションを行う。
- スパイラルが消滅しやすい条件の推定。
- それを踏まえて、スパイラルを消滅させるための外部刺激として有効な手段を推定する。とくに、弱い周期電流に着目する。
- 温度の回復特性曲線への影響をどう解釈するか。
- ただし、実験データに基づいて再現可能か否かの検証が重要である。

### ②臨床への応用

- AEDによる救命率を改善すること。
- 特に、体内埋め込み式の除細動器の通電エネルギーを減少させて、患者のストレスを軽減させる方策を提案すること。

## 4. 課題及びその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチ

今回のワークショップにおいて明らかになった課題とその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチは、以下の通り。

- ・ 基本数理モデルの導出とシミュレーション→【反応拡散系の理論. とくに、スパイラルとは直接に関係がつかなくても、位相縮約の方法やパルスダイナミクスの理論は、有効であることがわかった】

平成23年度 数学・数理科学と諸科学・産業との連携研究ワークショップの概要報告

主催機関	北陸先端科学技術大学院大学	
題 目	数学・数理科学に基づくサービスイノベーションの新展開	
開催日時	2011年11月28日（月曜日） 13：30～17：20	
開催場所	北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科 3棟8階セミナー室	
運営責任者 (オガナイザー)	(フリガナ)	(ナマリ ヨシテル)
	氏 名	中森 義輝
	所属機関	北陸先端科学技術大学院大学
	部局・職	北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科 教授
参加者	30名	一般参加者20名、講演者および討論者10名
<p>1. 今回のワークショップにおける論点</p> <p>今回のワークショップにおける主な論点は、以下の通り。</p> <p>①サービスサイエンスにおける数理・数学的なアプローチの可能性</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>最適化やシミュレーションにより、どのようなサービスが良いかを見出すことは可能か。</li> </ul> <p>②ビジネスモデルにおける価値の共創</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>サービスをどうして提供者と顧客が一緒に作らないといけないのか。</li> </ul> <p>③サービス価値の評価方法</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>サービスの価値を評価する関数をどう見つけていくか。</li> </ul>		
<p>2. 研究の現状及び課題（現状でどこまで分かっている、どこから先が分かっているのか）</p> <p>今回のワークショップにおいて明らかになった研究の現状及び課題は、以下の通り。</p> <p>①サービスサイエンスにおける数理・数学的なアプローチの可能性</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>数理アプローチは与えられた価値を実現するシステムの形式知みたいなものには強い。それに対して、マネジメント・サイエンスは、ニーズやシーズを有機的に結合して、価値を実現するプロセスを作る形式知を持っている。サービスサイエンスにおいては、プロセスのところは文理融合のような形になるが、何らかのかたちの形式知で数理科学や情報科学の手法が提供できる可能性がある。</li> </ul> <p>②ビジネスモデルにおける価値の共創</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>価値の共創によるビジネスモデルは、グッズ・ドミナントとサービス・ドミナントの間にある。すなわち、価値の共創を真に進めていくためには、サービスを受ける顧客のプライバシーや企業秘密に踏み込んでいかないといけない。その一つ手前で情報のやり取り、価値の評価等を数学的なアプローチで上手くやるスキームがある可能性がある。</li> </ul> <p>③サービス価値の評価方法</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>モノづくりで主要な機能を相手にしている場合は、最適化の話は皆のコンセンサスを得られるが、サービスの場合は、最終的にはビジネスとして何らかの目的関数・価値を選択することになる。しかし実態的には、どういうステークホルダーにどういう価値を分配するのか、自分たちにどれだけ分配するか、相手にどのくらい分配するのか、あるいは目的関数が人によって極めて異なっている。したがって個別の問題に関する最適化ではなく、パレート最適化というか、どこにウエイトを置く場所によって最適点が異なるが、最終的にビジネスでは、ここを選択するという構造にならざるを得ない。</li> </ul>		

### 3. 今後の展開（今後展開すべきこと、そこからの発展可能性）

今回のワークショップにおいて今後さらに解明・展開する必要があるとされた事項、そこから更に発展が期待されることは、以下の通り。

#### ①サービスサイエンスにおける数理・数学的なアプローチの可能性

- ・ サービスサイエンスは、人間の価値選択に強く依存している科学であり、サービスに品質という概念を描けるかどうか分からないが、パレード最適解が重要になる。
- ・ 意思決定や意思の不確実性は、人間が参加しているため、極めて重要になっている。意思決定の不確実性を知る道具は、ファジィ理論があり、ファジィ理論が持っている不確実性は確率論が持っている不確実性とは異なる。確率論で言うと主観確率と言われている日本に入ってこなかった話もある。
- ・ 現象が将来起こる不確実性と自分の行動や顧客、意思決定に関わる不確実性をどう融合するかが課題である。

#### ②ビジネスモデルにおける価値の共創

- ・ 価値の共創は、必ずしも提供者側が全てをやる必要はない。顧客ではないと分からない、作れない価値の部分は顧客にやってもらう。提供者側のモノと合わせて、トータルで良い価値を作り上げることが共創である。
- ・ しかし、この仕組みは、数学的なモデリングを作った上で、議論されていない。顧客が参加して価値を作り出すモデルが、共通認識の下で実施できれば、これまでの製品提供でのオプティマイゼーションとは、異なったアプローチが期待できる。

#### ③サービス価値の評価方法

- ・ 価値（共創）は、サービス提供者と顧客と一緒に作っていくモデルにしないといけない。次にそのモデルを評価する必要があるが、評価をスカラーにしてしまうため評価からサービスに戻れない。評価は一つということはない。
- ・ ビジネスとしてどの価値にウエイトを置くかの選択は非常に綺麗な解になっているが、サービス科学として数理的にするには、もう一段前の非常に価値が多様で動いているということ、こちら側が何かの価値を作ろうと思ったらその目的関数自身も変動していくということが、消費者の中で起きることを前提に作っていると、数理的にも新しい問題になる。

### 4. 課題及びその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチ

今回のワークショップにおいて明らかになった課題とその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチは、以下の通り。

- ・ 不確実性を考慮した最適なサービス選択のための意思決定支援 → 【ファジィ多目的意思決定分析手法】
- ・ サービス提供者とサービス受容者のサービス価値共創の可視化 → 【数理モデリング手法、サービスサイエンス、知識マネジメント】
- ・ サービス価値評価のための感性・文脈の評価と経済・物理的評価の統合化手法の開発 → 【感性データ解析手法、多目的意思決定分析手法】

平成23年度 数学・数理学と諸科学・産業との連携研究ワークショップの概要報告

主催機関	東北大学大学院情報科学研究科・同理学研究科	
題目	数学をコアとするスマート・イノベーションの探索	
開催日時	2011年11月29日(火) 13:00~17:30	
開催場所	東北大学大学院情報科学研究科大講義室	
運営責任者 (オガナイザ-)	(フリガナ)	(オバタ ノブキ)
	氏名	尾畑 伸明
	所属機関	東北大学
	部局・職	大学院情報科学研究科 教授
運営責任者 (オガナイザ-)	(フリガナ)	(コタニ モトコ)
	氏名	小谷 元子
	所属機関	東北大学
	部局・職	大学院理学研究科 教授
参加者	41名	一般参加者34名、講演者7名 (数学系16人、諸科学21人、産業界2人、その他2人)
<p>1. 今回のワークショップにおける論点</p> <p>東北大学は重点戦略支援プログラムの一つとして「数学をコアとするスマート・イノベーション融合研究共通基盤の構築と展開」(平成22~26年度、代表者：尾畑)を採択し、5年間で数学と諸分野(特に、材料科学・生命科学・ITコミュニケーション・社会環境)の連携を強化し、総合大学としての学術基盤を構築することとなった。本ワークショップでは、このプログラムを通して得られてきた数学連携研究の知見をもとに、数学を現実の問題に適用していく上で困難さの原因は何か、その困難さを乗り越えるためには何が必要か、そして真の意味でのブレークスルーをもたらすための方策はどのようなものかについて議論を深め、数学連携の目指すべき方向性を現況報告とパネル討論を通して探った。</p>		
<p>2. 研究の現状及び課題(現状でどこまで分かっている、どこから先が分かっているのか)</p> <p>① 材料科学との関連から 最近のナノテクの進歩によって、半導体を中心に高品質な低次元系(二次元系や一次元系)が実現できるようになり、分数(整数)量子ホール効果、スピン(核スピン)物性などに関する新しい発見が相次いでいる。しかし、スピン自由度まで考えた量子ホール効果や核スピン偏極の拡散など多くの新しい事象に対する理論は未熟であり、数学者や理論物理学者とのコラボに期待がかかる。</p> <p>② 生命科学との関連から ゲノム情報をはじめとする生命情報は増大の一途をたどっており、生命科学にとって、データを解析し知見を得るために情報科学や数学の必要性は論をまたない。たとえば、類似性検索などにおいて最適解を1つ求めるのではなく、準最適解のような曖昧さを残した形の検索法が応用上重要になっている。</p> <p>③ 情報科学の関連から 勢力均衡を表すポロノイ図の拡張として提案されているゾーンダイアグラムは、地理情報処理や空間データマイニング、ネットワーク網の設計、コンピュータグラフィクス、CADやロボティクスなどの広い分野に応用が広がるものと予想される。一方で、情報科学や計算機科学の標準的手法では解決できない困難な問題が多数あり、純粋数学として研究す</p>		

べき分野が拓かれてきている。

④ より産業界に近い研究から 多様な産業分野において経年劣化事象の一つとしての応力腐食割れが経験されており、生産設備の安全性・信頼性そして経済性に大きな影響を及ぼしている。材料特性や力学的および化学的環境など多様な因子が複雑に連成して発生する応力腐食割れ現象を、酸化の局在化・加速化として統一的に捉え、原理的理解をめざす必要性が高まっている。

⑤ 数学との連携研究のあり方 本学において実施中のいくつかのプログラムでは、数学連携による共同研究が着実に進行している。特に熱意のある若手研究者に負う部分が大きく、より組織的な支援のもと大きく展開する可能性がある。固定した分野間の連携に拘泥せず、新しい分野間の交流を生み出す不断の努力が今後ますます重要になってくる。

### 3. 今後の展開（今後展開すべきこと、そこからの発展可能性）

①不均一媒質中の分数量子ホール効果、核スピン偏極の拡散、スピン自由度を含む量子ホール効果、など実験家による新しい発見の現場に数学者が参入すること。量子物性に関する最近の成果は量子コンピュータへつながる可能性を秘めており、それを先取りする理論研究を推進すること。

②生命情報解析において、確率的アライメント手法の開発とその数理。タンパク質データベースからの立体構造の分類と機能予測。

③ゾーンダイアグラムに関する幾何学的研究、特に存在と一意性。一意性のない場合のダイアグラムの分類など。ランダム配置などに関連させた確率論的一般化は生態系などへの応用が考えられる。

④ 金属/酸化物界面の成長モデルの提案。微分方程式や確率過程によるモデル化、および数値シミュレーション。複雑ネットワークとしての観点からのアプローチなど。

⑤ 数学連携の組織的基盤形成 連携を進める上で、幅広い専門知識を有し、高度なコーディネーションができる人材の確保と養成が鍵になるだろう。最近、注目されて始めた「リサーチアドミニストレータ」にはこの役割が期待される。所属が異なる研究者間の時間調整の困難さ、および交通の不便は、小さなアイデアを膨らませるために必要な研究者間の頻繁な接触を阻害し、ひいては連携研究の停滞を招きかねない。これを克服し、解消するための工夫や方策を打ち出すことが急務になってきている。熱意をもって新しい科学を切り拓いている若手研究者への期待が高まっている一方で、キャリアパスの問題を解消してゆくことが重要課題となる。研究上は当然であるが、この観点からも国際展開が重要になってくると思われる。

### 4. 課題及びその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチ

本ワークショップの趣旨は、個別課題の解決ではなく、数学連携の在り方やその将来像を探ることにあるので、特に記載する事項はない。

平成23年度 数学・数理科学と諸科学・産業との連携研究ワークショップの概要報告

主催機関	岡山大学	
題 目	人工原子と光の相互作用を利用した量子デバイスのモデリング	
開催日時	2011年11月29日(火曜) 9:25~18:40	
開催場所	国立情報学研究所2005会議室	
運営責任者 (オ-ガ+ナイザ-)	(フリガナ)	(ヒロカワ マサ)
	氏 名	廣川 真男
	所属機関	岡山大学
	部局・職	大学院自然科学研究科 教授
参加者	28名	一般参加者21名、講演者7名 (数学系8人、諸科学6人、産業界6人、その他1人)
1. 今回のワークショップにおける論点		
今回のワークショップにおける主な論点は、以下の通り。		
①人工原子と光の相互作用を利用した量子デバイス		
<p>今回のWSの先にある目標への流れは、基礎科学的なものと産業への応用的なものがある。前者は、産業界でもここ数年注目を集めている人工原子を用いた「太陽光発電」や「光源の開発」などの量子デバイス設計のための数理モデルを構築し、さらに、その数理モデルの解析を行い新しい物性を予想し、それを利用した新技術を提案する、と言った基本的な流れである。後者は、開発された数理モデルを基に量子デバイスの制御用『組み込みソフトウェア』の開発に繋げる応用的な流れである。組み込みソフトウェアは、やはり、量子デバイスにおいても、デバイス性能の向上には欠かせない技術になると思われる。これらの2つの流れの過程において、「現在の日本の数理科学が日本国内外でどのような役割を担えるか？」を探るのが今回のWSの論点の一つであり、人工原子と光の相互作用を利用した量子デバイスの研究・開発というテーマを日本の数理科学者へ紹介するための手法、また、数理モデル構築の可能性や方向性も論点であった。そのために、まずは、「現在の日本の持つ先端ナノテクノロジーには何ができ、何がこれからの課題であるのか」という『現実』を数理科学者も把握する必要があり、</p> <p>日本では NECと NTTの2社にしかない、世界でもトップ・レベルにある回路量子電磁力学(circuit QED)の技術、さらに、NTTが持つ共振器量子電磁力学(cavity QED)の高い技術の紹介を行い、これらの技術に関して数理科学者(特に、数理物理学者)らとの意見交換を行い、上述の論点について議論した。</p>		
②情報からエネルギーへ		
<p>今回の発表のあった物理の理論及び実験技術は、主に量子情報や量子コンピュータのための量子デバイスといった意味合いの強いものであるが、ここに潜在する数理構造もしくは理論物理学的構造を見出すことで、今実験系での研究が盛んになり、欧米では数理科学の参入も見られ始めて来た、『人工原子と光の相互作用を利用したデバイス』を発電・発光のための技術として使用するための数理モデル開発の可能性、そして、日本国内でそれを行うための数理科学的下地の有無も一般的な議論として論点に挙げた。</p>		
2. 研究の現状及び課題(現状でどこまで分かっている、どこから先が分かっているのか)		



今回のワークショップにおいて明らかになった研究の現状及び課題は、以下の通り。

### ①先端ナノテクノロジーの日本の数学者への啓蒙の必要性

一般的な日本国内の現状と課題として見えてきたのは、ナノテクノロジー、特に、半導体集積回路技術や微細加工技術の進歩により半導体基板上の超伝導回路で実現可能となった「人工原子と光の相互作用」を扱う量子デバイスを初め、この分野の様々な先端技術の内容は日本の数学者の間ではそう馴染みのあるものにはなっていないようである。つまり、先端のナノテクノロジーの実態が必ずしも数学者間には知られてはいない、という現実が見えてきた。特に、2004年に実験的に実現され急速に発展をしている circuit QEDの技術に関しては、その存在すらも知らない数学関係者が多いようである。この事情、この人工原子と光の相互作用に係わる分野が次の産業の種になると予想し力を投入している産業界、また物理学者や工学者達、さらには、この分野に数理科学者を含め組織的に関与している欧米の機関と大きな違いがあり、この分野への数学の係わり度合いに関しては、日本と欧米の差はかなり開いてしまっているようにさえ思える。実際、このWSで発表のあった技術のレベルは、日本の数理物理学者の想像を超える内容を実験的に実現しているという印象を持った参加者も居たようだ。従って、残念ながらこの分野の日本での数理科学における下地はほぼ皆無に近いので、この状況に応じた連携の仕方を考える必要がある。

### ②数理モデル構築の上での具体的な課題

本WSの約3ヶ月前に、人工原子と光(マイクロ波)の相互作用の強さを決める結合定数が『超強結合領域』に入ったときの circuit QEDで一般的に使われる、最も基本的な Rabiハミルトニアンの特異点問題に進展があり、米国物理学会でも話題になっていたが、この問題に関しては『3. 今後の展開』でも触れるが、cavity QEDや circuit QEDで扱われるハミルトニアンを、数学として生まれた概念である「非可換調和振動子のハミルトニアン」のあるクラスと捉え、日本の数学においても数論から作用素論に跨る幅広い共通のスペクトル解析問題意識にたどり着き、数学的課題や理論物理学的課題も見えてきた。

また、他に見えてきたものとして、今回の NTTの結果[Nature 478 (2011) 221]に関する発表にあったように、ジョセフソン接合を使った超伝導回路で作る2準位人工原子(量ビット)は光のみならずダイヤモンドのNV中心スピン集団と相互作用をし、量子メモリとしての応用の可能性が示された。この数理モデルの構築が一つの課題として挙げられた。

Cavity QEDでは、(本物の)原子集団と共振器(に閉じ込められた光)とが強く相互作用する場合には、共振媒体内での透過性が NTTから報告され、NECからも circuit QED (従って人工原子)に関して、同様な問題の報告もあった。これらに対する数理モデル的解釈も数理科学者間で今後の検討課題として挙げられた。

また、実験的問題として、「本物の原子では集団を構成し制御する技術があるのに対して、人工原子では原子集団を構成することの難しさ」といった、数理モデルに取りこむ事ができない、つまり、数理モデルのみで実際の現象を把握することの難しさとその対処に関しても課題として指摘された。

### 3. 今後の展開 (今後展開すべきこと、そこからの発展可能性)

今回のワークショップにおいて今後さらに解明・展開する必要があるとされた事項、そこから更に発展が期待されることは、以下の通り。

### ①先端ナノテクノロジーの日本の数学者への啓蒙活動

『2. 研究の現状及び課題』の①で述べた状況のため、この分野を日本の数理科学の中で組織的に推進する手法は時間的にも経費的にも得策ではないと判断できるので、日本の其々の数理科学者、理論物理学者、実験物理学者が個々の価値観で連携し、既に数理科学者も関与し組織的に動き出している欧米のプロジェクトに日本の個々の研究者グループも参画する手立てを考えるべきと思われる。例えば、ベルリンのワイエルシュトラス応用解析確率研究所 (WIAS)が参加している [SFB 787 Halbleiter-Nanophotonik](#) などにも注目すべきであろう。この彼らの連携の中で感じる点として、ドイツにはこの分野に参加する半導体メーカーとその企業の基礎研究機関がなく、大学や公的研究機関のみでのプロジェクトであり、日本の高い半導体技術は彼らに取っての魅力に成り得る事が挙げられる。従って、日本国内の連携が、この分野の産業化を見据えて参画を模索するのは損をする話ではないと思われる。この流れを作り、その流れに日本国内での数理科学的研究も乗る策を見つけ出そうと思う。この流れを作るには、日本の半導体メーカーのマネージメントからの助言は不可欠であるのは明らかであり、その流れで日本の数理科学に要請されるものを見定めて行く必要もあろうと思われる。また、この分野は、素粒子物理学などのように物理の原理的な指針から導き出される綺麗な世界とは違い、実験が先行し手探りで数理モデルを検討して行く分野なので、実際の現象を観測できる実験物理学者、その物理の理論を見抜き数理モデルへの指針を提案する理論物理学者、それらの現実の現象、データ、そして理論物理学的指針を受けて、数理モデルの構築に理論・数値解析の両面から支援する数理科学者の連携が不可欠である。この連携を知的財産権の観点を含めどう構築して行くかを国内外の視点に立って考える必要もあるので、ここにも企業のマネージメント側の助言は必要となる。従って、この分野の連携では、企業のマネージメントの視点にたった助言をももらえるような連携組織を作って行こうと思う。

この啓蒙活動の一環として、2012年3月に九州大学 Institute of Mathematics for Industry が主催する国際研究集会『Avoided ? Crossing of Eigenvalue Curves』のオーガナイザーに加わり、彼らの協力の下、この分野を紹介するセッションと企業の研究者と彼らの研究を紹介する場を設ける。また、例えば雑誌「数理科学」の2012年5月号へ、この分野の解説記事執筆を予定している。

### ②数理モデル構築の上での具体的な課題への対処

人工原子とダイヤモンドのNV中心スピン集団との相互作用ができるならば、今、WIASに提案している研究課題(量子ドットを半導体で作成したときのフォノン振動から来るラマン効果の有無の確認をし、ラマン効果が有った場合に、それを使いそのときのストークス散乱による発熱発光に対して、アンチ・ストークス散乱による冷却発光を用いるアイディアの可能性を探るモデリングの開発)を超伝導回路で作る人工原子での実現可能性の理論的検討を今後の展開に加える。

また、2本の量子細線の中に量子ドットを挟んだ材料の電子の透過に関する研究は既に我々の理論的・モデリング的共同研究としても成果が出始め[JPA, 43 (2010) 354010; JP Conf. Ser. 302 (2011) 0124044]、WIAS側ではこの研究を基に色々な形状の量子ドットに対する理論解析的・数値解析的な議論が既に始められていて、サムスン電子の実験結果[Appl. Phys. Lett. 92 (2008) 052102]を彼らの開発した数理モデルを用い解析し始めている。現在、これらの数理モデルの量子細線内の電子を光に、量子ドットの設定を共振器に変え、改良を行う事で報告のあった実験結果を解析できないかという点も今後検討したい。

#### 4. 課題及びその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチ

今回のワークショップにおいて明らかになった課題とその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチは、以下の通り。

この分野は、元々量子光学における cavity QED、そしてそれを超伝導回路で実現した circuit QED への物理学史的流れがあるので、量子光学に係わる場の量子論を扱う数理物理学の手法は使えると思う。実際、その方向で結果は出始めている。また、現在の技術により、原子を2準位にし、それを1モードの光(レーザーもしくはメーザー)と共に共振器に閉じ込め相互作用させるので、この物理系のハミルトニアンは、場の量子論に現れるものより格段に自由度が落ち、行列係数のシュレディンガー作用素となるので、(偏)微分方程式論も関与してくる可能性は大きいと思われる。このとき、人工原子となる量子ドットとそれらを繋ぐ量子細線が作る人工分子は、グラフ上のシュレディンガー作用素として記述されるので、この方面のグラフ上のスペクトル理論は不可欠となるであろう。さらに、この分野に現れる行列係数のシュレディンガー作用素は、数学として独立に研究され生まれた概念である非可換調和振動子のハミルトニアンのあるクラスになるので、この方面に係わる数論的解析や作用素論的スペクトル解析が関与する可能性もあると思われる。

平成23年度 数学・数理科学と諸科学・産業との連携研究ワークショップの概要報告

主催機関	九州大学	
題 目	数理モデルの産業・諸科学への活用 —数理モデルの夢—	
開催日時	2011年11月30日10:30 - 12月2日16:50	
開催場所	富士通汐留シティセンター 富士通株式会社 大会議室	
運営責任者 (オガナイザ-)	(フリガナ)	(ニシイ リュウエイ) (エイ シンイチロウ) (アナイ ヒロカズ)
	氏 名	西井 龍映(運営責任者) 栄 伸一郎 穴井 宏和
	所属機関	九州大学
	部局・職	マス・フォア・インダストリ研究所・教授
参加者	58名	一般参加者 36名、講演者 22名 (数学・数理科学系 23 人、諸科学 10 人、産業界 25 人)
1. 今回のワークショップにおける論点		
① 産業と数学の連携の現状認識と推進のための提案		
<ul style="list-style-type: none"> <li>産業への数学の貢献と工学による貢献との違いを意識し、数学をより効果的に活用するしかけを考える。</li> </ul>		
② 産業界における数理的手法の事例紹介		
<ul style="list-style-type: none"> <li>もの作りに数理的手法を適応し、一定の成果を上げた事例を紹介することにより、成功体験を共有し、数理的手法を産業界に導入する動機付けを行う。</li> </ul>		
③ 定性的モデル、単純化の有用性		
<ul style="list-style-type: none"> <li>現象を定量的に正確に表現できなくても、その本質を記述する単純化された定性的モデルの有用性をどう理解してもらうかを考える。たとえば流体现象においてレイノルズ数さえ一致すれば、おもちゃの実験も本物も同じ性質を有する。</li> </ul>		
2. 研究の現状及び課題（現状でどこまで分かっている、どこから先が分かっているのか）		
① 産業と数学の連携の現状認識と推進のための提案		
<ul style="list-style-type: none"> <li>マッチングの問題：企業のある問題に適切に対応できる大学研究室を探せるか。</li> <li>守秘義務の問題：問題の本質を秘匿しながら問題解決に至ることは困難であるため、情報公開とコンプライアンスのトレードオフが難しい。</li> <li>時間感覚の問題：企業に比べて大学の時間はゆっくり流れる。大学が問題への解答を与えたところに企業は当該問題に興味を失っている場合もある。</li> <li>コミュニケーションの問題：異なる価値観・背景をもつ人間同士が双方の理解を確認しながら研究を進める必要がある。</li> </ul>		
② 産業界における数理的手法の事例紹介		
<p>車両の構造設計における回帰モデルの利用、走行中の車両が走向レーンを逸脱する前に予測し警報を発するARXモデル、エンジンの最適制御のためのQEの利用、企業の倒産リスクを評価する統計モデルが紹介された。また、土壌汚染の数理モデルによる拡散予測や、生物学的モデルを用いた最短経路探求問題、非線形振動現象を応用した原子顕微鏡制御法などが紹介された。共同研究により数理的手法を身につけた企業研究者が、独立して別の課題の解決している事例紹介もあった。</p>		

### ③ 詳細を無視した定性的モデル、単純化の有用性

タンパク質構造や細胞内の代謝メカニズムなど、非常に複雑な構造を知る手がかりとして、数理的概念である位相不変量やアトラクター次元などが実際に計測できる量として提案された。これらの量は実態の持つ非常に普遍的な構造のみを高度な数学テクニックを適用することにより、論理的に厳密に抽出したものである。こうした量と、実際の物性や遺伝子発現との関係が明らかになると、大きな応用が期待できる。

## 3. 今後の展開（今後展開すべきこと、そこからの発展可能性）

### ① 産業と数学の連携の現状認識と推進のための提案

- ・ 産業側のコンシェルジュ（コーディネーター）の育成が重要であり、問題の切り出し、コミュニケーションの問題等を克服する必要がある。
- ・ 共同研究の成果による知財の適切な管理が必要である。

### ② 産業界における数理的手法の事例紹介

- ・ エキスパートが持つノウハウを数理モデルに埋め込み、数理モデルおよび少数のエキスパートで企業の財務評価を行うようにしたための試みの現状が報告された。
- ・ 巨大なクレーム情報から製品品質管理を高度に行うデータマイニングの問題。
- ・ 単純化された数理モデルから抽出されたメカニズムを応用した、最短経路探索アルゴリズムやバイオインフォマティクスへの応用。

### ③ 定性的モデル、隠喩的モデルの有用性

- ・ 非常に複雑に見える現象も、その本質は単純なメカニズムであることもある。定性的モデルや隠喩的モデルはその本質を探る上で大変有用である。少なくとも物事の傾向について予想することができる。
- ・ 普遍構造を抽出することにより、単純化された定性的モデルと実際現象の間に、普遍構造を通した対応付けをすることが可能である。

## 4. 課題及びその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチ

- ・ 企業はCAE (computer-aided engineering) により課題解決ができないかと考えている。そのため数理的手法が企業の問題になじむか否かを見極められる企業側の人物（コンシェルジュ）が必要である。またなじみそうな問題については、どの大学のだれにどの様に問題を提示すれば的確な解決方法が得られるかが判断できる人材の育成が重要である。このために大学院教育の改革も必要である。
- ・ CAEにはなじみにくいと思われる人間の感性評価を、各種の測定値から定量的に評価する問題は今後重要になるであろう。
- ・ 多項式で記述された制約付最適化問題をQEにより代数的に解く数学的手法とシステムの開発、特に大規模問題にも適応可能な手法が求められている。
- ・ 数理的手法の成功事例を企業が知ることにより、企業に産学連携へ水をむける機会を増やすべきである。

平成23年度 数学・数理科学と諸科学・産業との連携研究ワークショップの概要報告

主催機関	九州大学、東京大学	
題 目	マルチスケール数学：集団現象の多階層性と階層の連関	
開催日時	2011年12月9日(金)13:00～12月11日(日)12:30	
開催場所	九州大学伊都キャンパス・センター1号館 第一会議室	
運営責任者 (オ-ガナイザ-)	(フリガナ)	(フクモト ヤスヒデ)
	氏 名	福本 康秀 (連絡責任者)
	所属機関	九州大学
	部局・職	マス・フォア・インダストリ研究所・教授
運営責任者 (オ-ガナイザ-)	(フリガナ)	(ヨシダ センショウ)
	氏 名	吉田 善章
	所属機関	東京大学
	部局・職	大学院新領域創成科学研究科・教授
参加者	40名	一般参加者23名、講演者17名 (数学系21人、諸科学16人、産業界2人、その他1人)
<p>1. 今回のワークショップにおける論点</p> <p>複雑系は、無数のマイクロな要素が非線形的に結合することで、大小様々なスケールの階層において複雑で多様な構造を形成する。マクロな階層である「集団」は、つねにマイクロあるいはメソ(中間スケール)との連関において、そのアイデンティティーが定まる。階層間の結合も非線形的で、一つの階層を他から切断して「閉じたモデル」を作ることはできない;マイクロの世界で起こる「複雑な運動」を「ランダム」と仮定して、統計的な平均と分散だけでモデル化すると、集団の中に生起する豊かな多様性は捨象され、階層を縦断する連関を隠蔽した不適切な評価が導かれる。広範なスケールにわたってヘテロな物質状態が同居する地球内部、大気と海流そして宇宙が連関する気象、生態系、人間社会・経済、あるいは、大規模で複雑な人工物の理解や設計・制御において、<b>不確実性を克服し精度をより高めるためには、マイクロな構成要素とマクロな系のダイナミクスを多階層的に記述し、評価や予測に活かすモデルを構築すること</b>求められている。</p> <p>本ワークショップでは、多階層(マルチスケール)構造をもつ集団現象を俯瞰し、マイクロからマクロを縦断する非線形性を分析する数学的手法を探り、複雑な現象を<b>定量的に記述し制御するためのマルチスケール数学の可能性</b>を具体的に検討した。</p> <p>①<u>自然現象・社会現象の非線形性と階層性</u> ものづくり産業を含む材料科学、プラズマ科学、固体地球科学、気象学、流体、経済の諸分野からひろく多階層性構造をもつ複雑系にかかわる問題提示を行った。</p> <p>②<u>階層構造を解析するための数学的記述の可能性</u> 時空スケールが大きく異なる階層にまたがる系を扱うための数学的手法を探った。 変分原理、特異摂動法、均質化法、確率論、数理統計学、そして、これらに基礎をおく数値シミュレーション法</p> <p>③<u>多階層的現象の解析・シミュレーションの課題</u> 異なる分野で開発されている最新のマルチスケール数値シミュレーションコードについて紹介してもらい、今後進むべき方向について検討した。 材料の設計、土壌汚染、気象、気泡乱流、非平衡プラズマ系</p>		

## 2. 研究の現状及び課題（現状でどこまで分かっている、どこから先が分かっているのか）

今回のワークショップにおいて明らかになった研究の現状及び課題は、以下の通り。

### ① 材料科学におけるマルチスケール数学

- 材料科学において、均質化法と数値計算の連携が進んでいる。ミクロな部分系をそれぞれ解いてその平均から物質定数の局所値を計算してマクロな系を定め、マクロな系を解いて、それをミクロな系に跳ね返らせるという形の数値計算アルゴリズムの開発がすすめられている。これはマルチスケール科学の原型的な例となろう。
- OCTAは、マルチスケールの数値計算だけで高分子物質の設計を行おうとするアルゴリズムに基づいて開発された大規模数値計算ソフトウェアでユーザーは多い。現状ではあまり数学的な考え方が使われていない。
- 土壌中の汚染物質の拡散もマルチスケールの現象で、通常の拡散と異なり、サブおよびスーパー拡散が実験室やフィールドで観察されている。これらの拡散則は時間あるいは空間微分を非整数階に拡張することによって得られるが、これとミクロな透水過程の間には大きなギャップが残る。トポロジーや微分幾何学の援用が検討されている。
- 気泡乱流の実効的な粘性率は界面活性剤の添加によって予期せぬ変化を起こす。これもマルチスケールな現象で、この集団的な振る舞いの変化は、個々の気泡の振る舞いの変化に起因することが流体力学の理論と数値計算によって明らかになった。
- 密度の高い流体が低い流体の上にあるとき重力によってRayleigh-Taylor (RT) 不安定性が起こる。最近、群対称性を援用することによって、界面の非線形ダイナミックスの記述がようやく可能になった。物質の混合促進の手段としてRT乱流の活用が考えられる。RT乱流は非定常で、時間を含むスケールリングの議論から、時間とともに乱流が弱まるというパラドックスが残される。

### ② プラズマにおけるマルチスケール数学

- 核融合実験装置や太陽表面、地球磁気圏などでみられる高温希薄プラズマでは、衝突が稀であり局所熱平衡を仮定できない。このようなプラズマの非線形現象は、様々な特性スケールを持った運動論効果が重要になるため、各スケールにおける現象が複雑に連関した多階層構造を持つ。ミクロとマクロのはざまを記述するジャイロ・カイネティックスの大規模数値計算コードAstroGK が開発された。磁力線のつなぎ換え、太陽風乱流、位相空間乱流などの計算が可能になった。
- プラズマを構成する電子やイオンのダイナミックスはハミルトン力学系である。多階層構造をもつ系において、階層を上がる時粗視化操作を行うが、(断熱)不変量を明示的に利用することによって位相空間の葉層構造が抽出でき、プラズマの力学はその上の自然なハミルトン力学系として実現できる。この構造を利用した新しい変分原理(ハミルトン・ヤコビの変分原理)変分原理を援用した特異摂動法、ゆらぎも込めた系の自己組織構造の発現を記述する熱力学的変分原理などが紹介された。ミクロな効果は高階の微分項の形で特異摂動として働くので数値計算が困難である。数学の力が求められる。

### ③ 地球科学におけるマルチスケール数学

- 気象は大気のみならず、海洋や太陽活動までが結合する時空マルチスケールの現象である。モデル化(GCM)による大規模数値シミュレーションによって、たとえば、熱帯域の湿潤対流に関する30-40日周期のMadden-Julian振動(MJO)の理解が進んだ。決定論モデルと確率論の双方を駆使して数値予報を行うことを目指しているが、計算能力の限界をはるかに越えている。
- 地球内部の固体力学は時間・空間双方において幅広いスケールにまたがる。M1-2程度の微小地

震率は応力状態または歪み状態の有効な情報である。過去10年程度の日本列島域の微小地震率を空間的に区切った値をベクトル時系列として構成し、数理統計学の手法である次元圧縮による主成分表現によって、微小地震を実効的な3次元空間上のアトラクタとして表現できることを示した。微小地震と大規模地震との関係の解明は今後の課題である。

#### ④ 経済学におけるマルチスケール数学

- ・ 貨幣経済が誕生し成長する過程をあらゆる動的モデルを構成した。分割可能な貨幣を含む動学的モデルにおいて一般的に定常均衡が非決定(連続無限個の均衡解が存在)になることを示した。また、たとえ貨幣が分割不可能であっても1単位が小さければ定常均衡は多数存在し、均衡は極めて不安定になる。現実の経済はマルチスケールの。現実的なモデルを構築し、経済の動向を予測する、それを政策に反映させる等、数理的な課題がいくつも見えた。
- ・ コピュラは、多変数の分布関数とその周辺分布関数の非線形関係を記述する関数のことで、確率変数の相関係数の関数への拡張とみなせる。統計学のみならず、金融、地震学等へ応用されている。時間に依存するパラメータをもつコピュラが提唱され、偏微分方程式論によってその具体例の存在が証明された。新しいコピュラの応用は今後の展開を待つ。

### 3. 今後の展開 (今後展開すべきこと、そこからの発展可能性)

今回のワークショップにおいて今後さらに解明・展開する必要があるとされた事項、そこから更に発展が期待されることは、以下の通り。

#### ① マルチスケール数値シミュレーションの展開

- ・ OCTA、AstroGK、人体シミュレーション、GCMモデルなど大規模マルチスケール数値シミュレーションあるいは連成計算が材料科学、プラズマ科学、流体力学、気象学およびそれらの境界分野で力強く展開されている。計算機の性能の大幅な向上も見られるが、所望の人工物質を設計したり、信頼できる予測を計算機だけで行ったりできるまでには道のりがある。
- ・ 計算対象となる数理モデルの構築のために、数学の力をもっと活用する必要がある。階層を上げるときの粗視化を系統的に行う数学的手法の開発が求められる。位相空間および動的構造・生成ルールの同定、対称性と保存則の活用、それらによる秩序変数の適切な選択。平均操作のための確率論の深化。巨視的輸送係数を適切な定義するための均質化法(homogenization)の開発。
- ・ 数値計算アルゴリズムの構築や効率化に数学の力が生きる。ミクロスケールとマクロスケールを同時並行的に解くために、均質化法が本質的に役立つことが明らかになった。しかし、数学的に定式化できるのは、境界形状が単純な場合や、構成方程式が線形関係である場合などに限定される。これらの壁の打破が求められる。
- ・ 大規模数値シミュレーションが紡ぎ出す大量のデータの処理するための統計的手法、可視化法の開発が求められている。

#### ② マルチスケール数学の展開

- ・ プラズマや流体の動力学において、ハミルトン構造に光を当てることによって、マルチスケール性を系統的に記述できる可能性が示された。位相空間を導入し、マクロな系でのその葉層構造の発現を明示的に記述することによって、階層間の連関が透明になる。これら表現するための変分原理やハミルトン・ヤコビ偏微分方程式の開発は発展途上である。
- ・ マルチスケール系では、ミクロな効果はマクロな支配方程式に高階の微分項が加わることが多い



。これが数値計算のボトルネックになることが多く、より高度な特異摂動法が要求される。変分原理の援用、数値的接合法などで新展開が期待される。

- ・ 系を構成するミクロな系は、ランダムネスと秩序構造が共存する場合が多い。フラクタル系ではこれらが入れ子状に組み上がる。多様なありようを呈するマクロ系の種々の特性量を計算できる確率論の発展が望まれる。トポロジーや微分幾何学からの指標の活用も試みる価値がある。ニーズが高いのは3次元系である。

### ③ マルチスケール数学の経済学・社会学への展開

- ・ 経済学や社会学においては、多階層構造と階層間の連関という切り口から明らかになる側面が無数にあると思われる。マルチスケール数学の問題の宝庫である。

## 4. 課題及びその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチ

今回のワークショップにおいて明らかになった課題とその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチは、以下の通り。

- ・ マルチスケール構造と階層間の連関の記述→【ハミルトン力学系と変分原理、ハミルトン・ヤコビ偏微分方程式】
- ・ マルチスケール数値シミュレーション→【ハミルトン力学系と変分原理による数理モデリング、均質化法による数値計算アルゴリズム、確率論にもとづく平均操作、領域分割法など数値計算法の効率化、プラズマ科学・混相流や乱流の流体力学・複合系の固体力学の深化】
- ・ マクロ系へのミクロ系の摂動効果→【変分原理にもとづく特異摂動法、数値的接合法】
- ・ 気象学、地震学、金融工学におけるデータ解析→【数理統計学にもとづく次元圧縮と主成分表現、動的コピュラ】

平成23年度 数学・数理科学と諸科学・産業との連携研究ワークショップの概要報告

主催機関	東京大学	
題 目	産業界からの課題解決のためのスタディ・グループ研究集会	
開催日時	2011年12月19日(月曜日)－12月26日(月曜日) 10:00～18:00	
開催場所	東京大学 大学院数理科学研究科 118, 122, 123, 128, 002, 052, 056号室	
運営責任者 (オガナザ)	(フリガナ)	(ヤマトマサヒロ) (ツボイカシ)
	氏 名	山本 昌宏、坪井 俊
	所属機関	東京大学
	部局・職	大学院数理科学研究科 教授
参加者	45名	一般参加者 45 名、話題提供：2 社 (内訳は分かる範囲で記載。数学系 31 人、諸科学 3 人、 産業界 7 人、その他 4 人)
1. 今回のワークショップにおける論点		
二社から数学による解決が求められている現場における次のような課題が提示された。		
① 花王株式会社：		
「internet 空間、twitter における最適化問題」：Internetの登場により、顧客とのコミュニケーションが大きく変化し、花王もその対応に迫られている。Social Mediaは、参加者一人一人が、Mediaの特徴である話題の伝播や、投稿・訪問の頻度に関係している。このようなMedia空間を事前にシミュレーションできないかというのが、本課題である。		
② 新日本製鐵株式会社：		
「不均質媒質中の物質の異常拡散の数理とシミュレーション」：本課題は今般の震災後の科学技術の1つとして重要であると想定される汚染物質の土壌中の拡散と関連し、さらには多様な産業現場で現れる不均質媒質の拡散の評価や予測技術の改良にも有用である。その一方で数学的な基礎研究が完備しておらず、大規模な対象のスケールに見合うマルチスケールなどの数値計算手法の開発も十分でない背景があり、このような課題を連携して議論することにより今後の継続的な連携体制を確立させることを目指す。		
2. 研究の現状及び課題（現状でどこまで分かっているか、どこから先が分かっているのか）		
今回のワークショップにおいて明らかになった研究の現状及び課題は、以下の通り。		
1. twitter問題に関して：		
前回のスタディ・グループ・ワークショップ（2011年8月1－9日）において、twitter の時間変化を記述するモデル方程式が確立され実際のデータをよく解釈していることが明らかになった。そのような経緯を踏まえて、市場活動における問題として、掲示板を用いた商品宣伝を考察した。すなわち、固定されたメンバーだけが利用できる掲示板が存在することを仮定して、メンバーの掲示板への訪問頻度の数理モデルを確立した。例えば、十分時間が経過したら掲示板はどうなっているか予測できることが、数理モデルを開発する際の使命であったが、パラメータなどをできる限り少なくして現象を予測する最小モデルの構築において大きな進展があった。		
2. 不均質媒質中の物質の異常拡散に関して：		
上に挙げた前回のスタディグループ・ワークショップにおいて、異常拡散を特徴づけるためのフラクタル次元などの媒質に関する指標の重要性が明らかになっていた。またモデル方程式に関し		

て、解の一意存在など最低限の数学的な結果と数値計算法は得られている。今回のワークショップではそれらの考察を深化・発展させ、より多様な観点から考察を進めた。その1つとして、不均質媒質中に異常拡散の数理モデルの構築にあたって、フラクタル上における拡散によるモデル化や非線形ラプラスアンによる数理モデル式などのモデル化と非整数階拡散方程式によるモデル化を比較検討した。工学上の要請としてより適切な数理モデルの策定があるが、数学を基調として多様なモデルを比較検討でき、より実用的なモデル化が可能になったと評価できる。

### 3. 今後の展開（今後展開すべきこと、そこからの発展可能性）

今回のワークショップにおいて今後さらに解明・展開する必要があるとされた事項、そこから更に発展が期待されることは、以下の通り。

#### 1. twitter問題に関して：

- (1) 当該課題に関して、数理モデル式が提案された。実際のデータを用いてモデル式の一層の精密化を行っていく。
- (2) 書き込みを記述するパラメータに確率的な因子を組み込む。
- (3) 関連する制御問題を考察していく。

#### 2. 不均質媒質中の物質の異常拡散に関して：

- (1) 不均質媒質を均質化法で考察し比較する。これはマルチスケールによる考察であり、既存の多くの成果を取り込み数学における新たな研究分野に発展する可能性が大いにある。
- (2) 異常拡散を特徴づけるパラメータを実験などで評価するための数学的な考察を発展させる。

### 4. 課題及びその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチ

1. このようなスタディグループ・ワークショップは数学による産学連携のプラットフォームとして大いに有効である：産業界側からは、院生など若手の数学研究者による集中的な作業により新規性の高い解決策が得られ、状況によっては共同研究に発展することが期待できる。すなわち産業界にとっては、ワークショップが数学活用のきっかけを得てそれを発展させるための開かれた場となる。一方で大学側からは、院生の数学力の実践と鍛錬とならんで数学の成果を異分野の研究者に伝達して発展させていくコミュニケーション力の練成にも有益であり、異分野からの動機付けを受けて新たな研究課題の発見につながる。

2. 産業界からの課題解決のためには、広い範囲の数学的な知識を応用する必要があり、能力のある人材を国際的にも動員する必要がある。そのような信頼性のある人的ネットワークは教員の日頃の地道な研究活動の積み重ねによって確固としたものになるが、そのようなネットワークを有する大学の教員をなるべく多く確保することが重要である。

3. 構築された人的なネットワークや院生などの関連した研究活動を持続させるために、スタディグループ・ワークショップは年に2回程度開催することが望ましい。そのための産学間のスムーズな意志疎通のために工場見学やインターンの派遣なども有効である。

平成23年度 数学・数理科学と諸科学・産業との連携研究ワークショップの概要報告

主催機関	北海道大学、東北大学、理化学研究所	
題 目	数理連携10の根本問題の発掘	
開催日時	2011年 12月26日(月) 2:20 ~ 29日(木) 17:00	
開催場所	理化学研究所大河内記念ホール	
運営責任者 (オガナイザー)	(フリガナ)	ツダ イチロウ      ハシモト コウジ      コタニ モトコ
	氏 名	津田 一郎 / 橋本 幸士 / 小谷 元子
	所属機関	北海道大学 / 理化学研究所 / 東北大学
	部局・職	数学連携研究センター・センター長、電子科学研究所・教授 /仁科加速器研究センター・准主任研究員 /大学院理学研究科・教授、東北大学原子分子材料科学高等研究機構 (WPI-AIMR)・機構長
参加者	105名	一般参加者75名、招待講演者10名、招待討論者20名 (内訳は分かる範囲で記載。数学系14人、諸科学86人、その他5人)
1. 今回のワークショップにおける論点		
<p>今回のワークショップにおける主な論点は、以下の通り。</p> <p>数学・数理科学と諸分野の境界に潜む根本問題の抽出を目指し、新しい数理科学の確立に向けての活動の一環として「数理連携10の問題」という形での問題抽出を行った。今回は、次のテーマに焦点を当てて、根本問題を一講演者につき一問として問題抽出を行った。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 「特異点と次元」— 数学と素粒子論・宇宙論、数学と工学と社会科学の結節点</li> <li>2. 「脳と生命科学」— 数学と生物・脳科学の結節点</li> <li>3. 「超弦理論の数学と物性、ソフトマターと物質科学」— 数学と物質科学の結節点</li> </ol>		
2. 研究の現状及び課題（現状でどこまで分かっているか、どこから先が分かっているのか）		
<p>今回のワークショップにおいて明らかになった研究の現状及び課題は、以下の通り。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 特異点と次元： <ul style="list-style-type: none"> <li>・構造安定性の概念では捉えきれない多くの現象が観測されている。構造安定性を超える新しい安定性の概念が必要である。</li> <li>・人のスケールをはるかに超えた時空スケールで起こる事象に対して、それを解析し予測する数学理論がもとめられている。</li> <li>・2次元時空の場合の量子重力理論の定式化は成功している。この成功は、Liouville理論からの無矛盾性にも基礎を置いている。しかし、この成功例を我々の時空次元である4次元へ拡張する試みは未だ成功していない。4次元での数学理論が求められている。</li> <li>・時空の特異性、特に特異点の解消問題は広く論じられてきたが、特異点を回避することと量子論との関係、因果律の成立と特異点の関係などを解明することは未解決であり、新しい理論が望まれている。</li> </ul> </li> <li>2. 脳と生命科学： <ul style="list-style-type: none"> <li>・従来は機械論的な解釈が可能な一個の分子の動きか分子の集団運動を平均化法的に扱えるような多数の分子の動きに研究の焦点があったが、少数個の分子の運動が生命機能に重大な役割を</li> </ul> </li> </ol>		

果たすという事実が集まってきた。少数分子を扱う数学的手法の開発が課題である。

- ・従来の脳科学ではさまざまなレベルで実験主導で行われてきたが、個々の膨大なデータの意味が不明なままであり、個々の研究が脳の高次機能と結びつかないままになっている。高次機能と個々の細胞活動とをつなぐ新しい数学理論が求められている。

### 3. 超弦理論の数学と物性、ソフトマターと物質科学

- ・場の量子論は数学的には満足のゆく定式化が欠けている。ホログラフィーという新しい視点から、21世紀の宇宙の数学が生まれてくる可能性がある。
- ・相互作用する電子系では平均場近似以上の強力な数学理論は出ていないが、新しい物性を探求する材料物性の分野では、強い相関があらわに効いてくる。また、磁場などが存在する系においても、一体近似ではうまく行かない。多体相互作用の本質的な定式化が望まれている。
- ・粘性の強い液体やゴムのような高分子を扱う非平衡物理は未完成である。数学的アプローチによって、ブレイクスルーを起こすことが期待されている。

### 3. 今後の展開（今後展開すべきこと、そこからの発展可能性）

今回のワークショップにおいて今後さらに解明・展開する必要があるとされた事項、そこから更に発展が期待されることは、以下の通り。10の根本問題として以下に要約した。

問題1. 複雑な自然現象、特に生物現象の科学的小よび工学的に有効なモデルを数学的に定式化せよ。

解説：アンドロノフ・ポントリャーギンの構造安定性は微分可能力学系の全空間を位相同相で分類したものであり、自然現象の合理的なモデルの定式化を意図したものだ。しかしながら、カオス現象などをモデル化しようとする上での意味の構造安定性では不十分であることが次のような事情によって分かってきた。位相同相で結ばれる力学系の中に、すなわち構造安定な力学系の近傍にアトラクターを含めその振る舞いが質的に異なる力学系が存在する。また、構造不安定な力学系の有限精度、有限時間の数値計算において構造安定に見えるものが存在する。また、生物現象の中には、有限時間の過渡現象が本質的であるものが多く存在する。力学系のアトラクターだけではなく、過渡現象を含めた相空間の大域構造を考慮する必要がある。また、自然現象にはノイズが常に含まれている。これを力学系として定式化するには、ノイズ付き力学系の理論の定式化かノイズ項をカオス力学系で定式化して力学系とカオス力学系の斜積変換で定式化する方法が考えられる。これらの問題を考慮して、構造安定性の新しい定式化を考える必要がある。

問題2. 少数個の分子が支配的である生物現象のダイナミクスを調べる数学的方法を開発せよ。

解説：従来は分子が多数あると仮定して、反応素過程を反応物質の濃度を変数とする微分方程式を使って論じてきたが、実際は関与する分子（タンパク質、cAMP）が少数であることが多い。これにより、次の問題意識が生物学者の中に生まれている。

1. 一入力に対して多様な出力が期待されるが、この系の頑健性、安定性、適応性を保証できるのだろうか。
  2. タンパク質分子個々の個性が細胞の多様性を生み出しているのではないか。
  3. 統計性が成り立たないほど少数である分子からなる反応が安定に進行する仕組みは何か？
  4. 少数個の分子の反応で顕在化する個々の分子の個性をどのように捉えるか？
  5. 統計力学的・熱力学的パラメーターを用いて、少数個の分子反応を論じる合理性はあるか？
- こういった問題に答えられる数学理論を開発することが要求されている。

問題3. 生物学的な神経細胞集団のダイナミクスによって心説明する数学理論とはどのようなものであるか。

解説: 脳内の多数の細胞群から成り立つ生物学的世界から情報空間を伴い生成する意識現象を説明する数理的な理論とはどのようなものか? 意識現象は、多数の細胞が自律的集合体として適応する複雑系の動的システム論の視点から定式化できるのではないかと期待が高まってきている。複雑系数理理論による意識現象の理解の方法を明確にする必要がある。

問題 4. 人の経済活動や大規模地震などにみられる人の時間・空間スケール（マクロスケール）よりも大きなスケール（メガロスケール）を持つ稀現象を数学的に定式化し、例えば貨幣のようなマクロスケールでは不変だがメガロスケールで変化するような変数を定義せよ。

解説: 経済物理学的に人の行動を観察すると、次のような問題意識が生まれる。

1. 経済活動の次元に着目し、貨幣の再定義を行え。
2. 日本政府への政策提言: 相続税を見直せ。
3. 超多自由度複雑系の問題点: 大量の詳細なデータは入手可能だが、そこから何を読み取るかという方法が確立されていない。

既存のデータ解析: 変数の数よりデータの数が多いたことが前提だった。

また、これらの問題はシステムダイナミクスとしては、大地震のような稀現象にも共通する問題である。

問題 5. 4次元時空の量子重力理論を定式化し、時空次元が2の場合の格子による定式化の成功例との関連を示せ。

解説: ランダム格子に自由度を載せ、格子とその自由度の可能性を足し上げることで、2次元時空の場合の量子重力理論の定式化は成功している。この成功は、Liouville 理論からの無矛盾性にも基礎を置いている。しかし、この成功例を我々の時空次元である4次元へ拡張する試みは未だ成功していない。2次元の場合でも、量子重力理論を解いて得られる格子の構造のフラクタル次元は多彩な値をとり、その時空的な意味付けは不明である。高次元へのランダム格子重力の一般化は、フォームの拡大とそれを元に作られたトポロジカル不変量の存在を示唆している。

問題 6. 一般相対性理論に現れる時空の様々な特異性を分類し、特異性を回避するという問題自身をまず定式化せよ。

解説: 時空の特異性には、宇宙初期特異点（過去の特異性）、重力崩壊による特異点（未来の特異性）、そして高次元時空に特有な特異点、などが存在する。それらはそれぞれ、多様な物理と関連があるが、そもそも、特異点を回避する必要があるのか、の観点から議論が必要である。重力の量子論（究極理論）で宇宙の初期特異点は回避できるか、との問いは、例えば超弦理論でポピュラーな研究テーマである。しかしその一方で、特異点を回避することと量子論との関係、因果律の成立と特異点の関係などを解明することは、時空の特異性を論じる意義的な問題でもあり、特異点の分類や物理との関係に密接に関連する。

問題 7. 我々の住む時空の次元がなぜ4なのか、答えよ。

解説: 時空の次元を定めるためには、まず様々な時空次元における重力理論を設定し、そこに様々な次元に広がる物体もしくはブラックホールを定義して、その動力的安定性を証明することが必要である。超弦理論から示唆される高次元時空の中に浮かぶ物体「ブレーン」は多彩な次元と形状を持つため、その一般的安定性を論じる枠組みの発見が必要である。例えば、4次元時空でのブラックホールの唯一性定理に相当するものを5次元時空にそのまま拡張することは出来ず、近年、様々なホライズン形状を持つ重力解が発見されている。これらの安定性の一般的取り扱いを整備することが必要である。

問題 8. 場の量子論とブラックホールの物理の関係（ホログラフィー）を定式化し証明するための数学的手法を発見せよ。

解説: 超弦理論から示唆された新しい双対性であるホログラフィーは、場の量子論と重力理論の

新奇的な関係を明らかにした。ブラックホールの情報喪失問題がホログラフィーによって解決され、また逆向きの応用として、場の量子論における計算困難な問題がブラックホールを用いた計算で解かれるといった例があり、発展が大きい。物理の美しい理論は思いがけない応用を持つことがある、という典型である。一方で、場の量子論は数学的には満足ゆく定式化が欠けている。ホログラフィーという新しい視点から、21世紀の宇宙の数学が生まれてくる可能性がある。

問題9. 相互作用する電子系をトポロジカルに分類せよ。

解説：物性理論における根本問題は、電子系の諸相をいかに「生き生きと」描き出し新しい相を予言発見していくか、電子間相互作用が強結合の場合にどう扱うか、という問題である。トポロジカル秩序は、系の詳細に依らずに系を特徴づけられる新しい概念であり、量子ホール系などで特に適用が進んでいる。相互作用の無い場合のフェルミオン粒子のトポロジカルな分類は完成しているが、相互作用する場合、特に分数量子ホール効果に対応する概念の発見や、3次元空間への拡張は未完成である。これらを完成させることは、電子物性系の理解を飛躍的に高めることに直結している。

問題10. ソフトマターの物性発現の根本を描く数学の枠組みを見いだせ。

解説：気体を扱う数理、結晶のような固体を扱う数理は確立しているが、粘性の非常に強い液体であるガラスや、ゴムなど、ソフトマターの物性の本質を効果的に扱うモデルは未だ確立されていない。特に、ソフトマターを、高分子鎖に架橋や絡み合いによって定義されるトポロジカルなグラフ構造を持つ物質と考えたとき、温度変化に伴って次々に現れる相の物性を制御する構造には階層性がある。これらを統一的に扱う数理モデルの確立は、非平衡系、階層性などの興味深い数学を産み出す可能性がある。

#### 4. 課題及びその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチ

今回のワークショップにおいて明らかになった課題とその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチは、以下の通り。

- ・ 特異性と次元 → 大自由度カオス力学系、計算ホモロジー、フラクタル幾何学
- ・ 脳と生命科学 → 複雑系の数理科学
- ・ 超弦理論と物質科学 → 量子重力理論、ホログラフィー理論、非平衡系の数学理論

平成23年度 数学・数理科学と諸科学・産業との連携研究ワークショップの概要報告

主催機関	名古屋大学	
題 目	乱流と流体方程式の解の特異性	
開催日時	2012年1月27日(金曜日) 10:00~16:00	
開催場所	名古屋大学 理学南館 1階セミナールーム	
運営責任者 (オ-ガナイザ-)	(フリガナ)	(キムラ ヨシミ)
	氏 名	木村 芳文
	所属機関	名古屋大学
	部局・職	大学院多元数理科学研究科・教授
	(フリガナ)	(オカモト ヒサシ)
	氏 名	岡本 久
	所属機関	京都大学
	部局・職	数理解析研究所・教授
参加者	44名	一般参加者32名、講演者12名 (数学系16人、諸科学17人、産業界5人、その他6人)
<p>1. 今回のワークショップにおける論点</p> <p>今回のワークショップにおける主な論点は、以下の通りである。</p> <p>① 流体の非線形性の特徴は何か？</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>流体方程式の非線形性がもたらす様々な特徴を捉え、解の特異性の持つべき性質を探る。</li> </ul> <p>② 乱流における散逸のメカニズムの本質は何か？</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>乱流の散逸メカニズムを理解し、多様な数値モデルの構築、評価に資する。</li> </ul> <p>③ 乱流の統計性の起源はどこにあるのか？</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>多自由度の力学系としての乱流を考察し、その統計性の特徴について考察する。</li> </ul> <p>④ 乱流の特徴をどのように捉え、応用するか？</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>自然科学や工学分野における様々な乱流を考察し、新たな乱流理論の構築を目指す。</li> </ul>		
<p>2. 研究の現状及び課題（現状でどこまで分かっている、どこから先が分かっているのか）</p> <p>今回のワークショップにおいて明らかになった研究の現状及び課題は、以下の通り。</p> <p>① 乱流現象の普遍性と多元性</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>乱流現象は宇宙、地球環境、産業、工学など極めて多くの分野に普遍的に存在する流体の運動形態であり、その解明と制御には乗り越えるべき多くの未解決問題が存在する。</li> </ul> <p>② 乱流中の構造とその非線形相互作用のメカニズム</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>乱流中には渦や波といった流れ構造が存在し、乱流の散逸や特異性などの特徴を捉えるためにはそれらの構造が織りなす非線形相互作用を考察し、十分に理解することが重要である。</li> </ul> <p>③ 乱流の数値解析の成果</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>スーパーコンピュータの発展により、素過程としての一様等方性乱流の性質が明らかになってきている。しかしながら、実際の乱流は一様等方性の仮定では捉えきれない様々な側面を有している。工学的な応用を視野にいれた乱流科学を発展させるためにはさらなる数値解析が必要であり、それを支える理論、実験・観測を融合していくことが非常に重要である。</li> </ul>		



### 3. 今後の展開（今後展開すべきこと、そこからの発展可能性）

今回のワークショップにおいて今後さらに解明・展開する必要があるとされた事項、そこから更に発展が期待されることは、以下の通り。

#### ① コルモゴロフ理論を超えた新しい乱流理論の構築

- ・ 乱流の古典的理論であるコルモゴロフ理論は流れ場における局所的な等方性を仮定したものである。しかし実際の乱流は力学や境界条件による様々な異方性を有しており、古典的理論では十分な記述や予想が難しい。古典的な乱流理論を超えた新たな理論の構築を目指していく必要がある。

#### ② 理論、実験・観測、数値解析の連携の必要性

- ・ 乱流の新しい理論を構築していくためには実験・観測のデータをもとに仮説を立て、それを数値解析で実証していくというプロセスが重要である。そのためにも理論、実験・観測、数値解析の分野からの研究者がプロジェクトを組んで問題に取り組んでいく仕組みが必要であると考える。

#### ③ 大規模数値解析の必要性

- ・ 乱流は本質的に無限自由度の力学系であり、その十分な理解のためには大規模な数値解析が不可欠である。ある意味で乱流研究の発展はスーパーコンピュータの発達と歩調を合わせているとも考えられる。日本のお家芸とも言えるスーパーコンピュータの開発に匹敵する乱流研究の進歩が望まれていると思う。

### 4. 課題及びその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチ

今回のワークショップにおいて明らかになった課題とその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチは、以下の通り。

- ・ 乱流中の構造の動力学を研究する上では解析学、幾何学、トポロジー、流体力学の連携が重要である。新しい分野としてトポジカル流体力学の発展が期待できる。
- ・ 数値解析の精度、効率、計算可能性を保証するためには数学的な計算理論の確立が不可欠である。特に**大規模数値解析のための新しい計算手法の開発が必要**とされている。
- ・ 新しい数学を創造していくためには計算機を多方面の問題に活用し、様々な示唆を得ることによって新たな問題やそれに対する仮説を作り、それらを証明していくといったプロセスが今後大切になってくると思う。

主催機関	独立行政法人理化学研究所	
題 目	重イオン衝突と非平衡物理の理論的發展	
開催日時	2012年2月18日(土)10:00-18:00	
開催場所	理化学研究所仁科記念ホール	
運営責任者 (オ-ガナイザ-)	(フリガナ)	ハシモトコウジ
	氏 名	橋本 幸士
	所属機関	独立行政法人理化学研究所
	部局・職	橋本数理物理学研究室・准主任研究員
参加者	40名	一般参加者30名, 講演者10名
<p>1. 今回のワークショップにおける論点</p> <p>今回のワークショップにおける主な論点は、以下の通り。</p> <p>①重イオン衝突に現れる非平衡現象の解明</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>宇宙の極初期に素粒子であるクォーク, グルーオンからなる超高温のプラズマ(QGP)状態が実現したと考えられている。実際に重イオン衝突実験と呼ばれる実験においてそのQGPが生成され近年注目されている。しかし理論的な理解は不十分である。その実験に現れる量子非平衡の相転移現象を取り扱う理論の数学的構築に向けてどう取り組めばよいか?</li> </ul> <p>②非平衡物理の定式化</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>重イオン衝突の物理にかぎらず自然界の至る所に現れる非平衡現象を統一的に記述する理論は存在するか。存在するとすれば、それは第一原理理論である場の量子論から導出することができるか。</li> </ul> <p>③強い場の元での非平衡現象の解明</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>強電場や強磁場などの強い場の元で引き起こされる量子論的非平衡かつ非線型現象を解明するにはどのような数学的手法を用いればよいか?</li> </ul>		
<p>2. 研究の現状及び課題 (現状でどこまで分かっている、どこから先が分かっているのか)</p> <p>今回のワークショップにおいて明らかになった研究の現状及び課題は、以下の通り。</p> <p>① 重イオン衝突初期における熱平衡化過程の重要性</p> <p>重イオン衝突におけるクォーク, グルーオンのプラズマ状態の生成過程において衝突直後から熱平衡化までのプロセスの理論的理解が不十分であることがわかった。</p> <p>衝突初期の時間発展を記述すると考えられる古典ヤンミルズ方程式を数値的に解く方法では、熱平衡化までに時間がかかりすぎ、実験で示唆されている熱平衡化時間を再現することが困難であることがわかった。量子的ゆらぎが重要である事が示唆される。</p> <p>② くりこみ群を用いた粗視化による巨視的な方程式の導出法の有用性</p> <p>ボルツマン方程式からくりこみ群を用いて相対論的流体方程式を導く手法が紹介された。この手法は自然にスケールの分離が行われ、不定性なしに流体方程式が導かれる有用な方法であることがわかった。</p> <p>また、動的密度汎関数法やThermo Field Dynamicsの有用性も議論された。</p>		

### ③ ゲージ重力対応の有用性

ゲージ重力対応と呼ばれる超弦理論の数学的手法を用いた強結合ゲージ理論の非平衡定常系における相転移の解析が紹介された。これはゲージ重力対応が強結合非平衡系を解析する上で強力な武器になり得ることがわかった。

## 3. 今後の展開（今後展開すべきこと、そこからの発展可能性）

今回のワークショップにおいて今後さらに解明・展開する必要があるとされた事項、そこから更に発展が期待されることは、以下の通り。

### ① 量子ゆらぎの重要性

重イオン衝突初期の時間発展を記述するためには、量子ゆらぎが重要であることが示唆され、このゆらぎを取り込んだ時間発展の方程式を解くことで熱平衡化を理解できる可能性がある。

### ② くりこみ群を用いた粗視化による巨視的な方程式の導出

くりこみ群の方法による状態の粗視化は巨視的な自由度と微視的な自由度を分離する上で非常に有用である。これを場の量子論へ応用することで量子非平衡系の巨視的な自由度と微視的な自由度の自然な分離を可能にし、量子非平衡現象の解明が進むことが期待される。

### ③ ゲージ重力対応の有用性

ゲージ重力対応は強結合ゲージ理論の様々な系に応用されている方法である。この方法は非平衡現象を記述するのに有用であり、今後ますます発展することが予想される。

## 4. 課題及びその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチ

今回のワークショップにおいて明らかになった課題とその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチは、以下の通り。

- ・ 重イオン初期における時間発展の記述  
→ 【量子ゆらぎを取り入れた古典ヤン-ミルズ偏微分方程式】
- ・ 場の量子論による非平衡物理の定式化  
→ 【くりこみ群法、動的密度汎関数法の場の量子論への応用, Thermo Field Dynamics】
- ・ 強結合ゲージの理論における非平衡現象の解明  
→ 【ゲージ重力対応と呼ばれる超弦理論の数学を用いた手法】

平成23年度 数学・数理科学と諸科学・産業との連携研究ワークショップの概要報告

主催機関	統計数理研究所	
題 目	ネットワーク型知識に関する機械学習的アプローチ	
開催日時	2012年2月23日(木) 10:00~18:00	
開催場所	統計数理研究所大会議室	
運営責任者 (オ-ガナイザ-)	(フリガナ)	(フリミズ ケンジ)
	氏 名	福水 健次
	所属機関	統計数理研究所
	部局・職	モデリング研究系 教授
参加者	117名	一般参加者111名、講演者6名 (内訳：大学・研究機関51人、企業42人、学生17人、 その他7人)
<p>1. 今回のワークショップにおける論点</p> <p>今回のワークショップにおける主な論点は、以下の通り。</p> <p>①社会ネットワークに対する数理的アプローチ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>社会ネットワークの解析に対する、有効な数理的、統計的手法はどのようなものか？</li> </ul> <p>②ニューラルネットワークに対する数理的アプローチ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>脳科学に対する機械学習的アプローチとしての、ベイズ的方法、スパース性を用いたデータ解析技術。</li> </ul> <p>③スパース性を用いた信号の復元</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>スパース性を用いた情報復元法の数理と応用。</li> </ul> <p>④関係構造の推論、構造変化の検知に対する数理的アプローチ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>社会ネットワークデータやセンサーデータなど複雑な関係を有するデータに対する推論のための、ベイズ的方法に基づく数理手法。</li> <li>潜在的なネットワーク構造の時間的な変化を、データから検知するための数理的手法。</li> </ul>		
<p>2. 研究の現状及び課題（現状でどこまで分かっている、どこから先が分かっているのか）</p> <p>今回のワークショップにおいて明らかになった研究の現状及び課題は、以下の通り。</p> <p>①社会ネットワークに対する数理的アプローチ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>エントロピーなどの概念によって会話相手の予測可能性を定義し、統計的検定によって予測可能性や会話ネットワーク構造の変化を検定することが可能である。しかし、このような複雑な概念を検定する際の、標準的な統計的方法是必ずしも明確ではない。</li> </ul> <p>②ニューラルネットワークに対する数理的アプローチ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>脳と情報通信機器を直接つなぐブレインマシンインターフェース技術においては、意思決定過程のモデリングや予測に対して、ベイズ法に基づく機械学習的アプローチが有望である。しかし、計測技術や推論の精度に関しては挑戦すべき課題が多く存在している。</li> <li>MRI画像など脳計測画像の解析に、③項のスパース性を用いたアプローチが注目されている。</li> </ul> <p>③スパース性を用いた信号の復元</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>スパース表現を用いた信号復元法は、従来法に比べて画期的な精度向上を示し、数学者が参加しての数理的解析も進んでいる。</li> </ul>		

#### ④関係構造の推論、構造変化の検知に対する数理的アプローチ

- ・ データから潜在的なネットワークの構造変化を検知するための機械学習的アプローチが、さまざまな実問題に対して有効に働いている。
- ・ ベイズ法の一般性と柔軟性は、複雑な関係をモデリングするのに適した方法である。しかし超大規模データに対しては計算量の問題が課題となりえる。

### 3. 今後の展開（今後展開すべきこと、そこからの発展可能性）

今回のワークショップにおいて今後さらに解明・展開する必要があるとされた事項、そこから更に発展が期待されることは、以下の通り。

#### ①社会ネットワークに対する数理的アプローチ

- ・ ネットワーク構造の変化など、複雑な構造を持つデータに対する統計的検定の標準的方法の確立。

#### ②ニューラルネットワークに対する数理的アプローチ

- ・ 高次元、高雑音のデータに基づく予測に対する新しい統計的手法。次元が非常に大きいとした時の統計的推定理論の発展と、その推論アルゴリズムへの展開などが有効と期待される。

#### ③スパース性を用いた信号の復元

- ・ 実環境下でも安定した有効性を示すよう、アルゴリズムの高度化と理論の深化が重要である。

#### ④関係構造の推論、構造変化の検知に対する数理的アプローチ

- ・ 柔軟なモデリングが可能なベイズ推論法を超大規模ネットワークに対しても適用可能とするような、効率的な計算アルゴリズムの確立が重要である。

### 4. 課題及びその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチ

今回のワークショップにおいて明らかになった課題とその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチは、以下の通り。

- ・ 複雑なネットワーク構造を持つデータの数理的解析法 → 【高次元・ネットワークデータに対する統計的理論とアルゴリズムの確立】
- ・ ビッグデータと称されるような、超大規模データに対する推論法 → 【サブリニアアルゴリズムなど、データ量に対して計算量が増大しない効率的計算アルゴリズムの理論と方法】

平成23年度 数学・数理論理学と諸科学・産業との連携研究ワークショップの概要報告

主催機関	北陸先端科学技術大学院大学	
題目	数理論理学の諸科学への発展と展開	
開催日時	2012年3月9日(金) 09:00~17:00	
開催場所	石川県立美術館広坂別館	
運営責任者 (オーガナイザー)	(フリガナ)	(イナハラ ハジメ)
	氏名	石原 哉
	所属機関	北陸先端科学技術大学院大学
	部局・職	情報科学研究科 教授
参加者	45名	一般参加者40名、講演者5名 (数学系34人、諸科学10人、産業界0人、その他1人)
<p>1. 今回のワークショップにおける論点</p> <p>今回のワークショップにおける主な論点は、以下の通り。</p> <p>① <u>数学の形式化とそのコンピュータによる支援</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>一般的に用いられている従来の形式体系は、数学の基礎づけの観点からも、コンピュータ科学の観点からも、素朴すぎる。現在開発中のコンピュータ支援システムを題材に、様々な形式化のアプローチの有効性と問題点を比較検討した。</li> <li>数学の形式化に関して、逆数学をテーマに、その目的・問題点を明らかにし、超準的手法の有効性・問題点を検討した。</li> </ul> <p>② <u>法令と認識論理・義務論理・動的論理</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>法令の無矛盾性の(コンピュータによる)検証の際の問題点を明らかにし、法令に現れる様々な「含意」に関して比較検討を行った。</li> <li>哲学や法令に現れる様々な様相論理(認識論理、義務論理、動的論理など)に関して、その意味論に基づく解析、および今後の問題点などを検討した。</li> </ul> <p>③ <u>図式表現とチャネル理論</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>地図、表、グラフなどの図式表現の意味論を構築するさいの問題点、およびチャネル理論の有効性に関して検討を行った。</li> </ul>		
<p>2. 研究の現状及び課題(現状でどこまで分かっている、どこから先が分かっているのか)</p> <p>今回のワークショップにおいて明らかになった研究の現状及び課題は、以下の通り。</p> <p>① <u>数学の形式化、およびそのコンピュータ支援の重要性</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>コンピュータの大きな発展を考えると、今後数学の形式化、およびそのコンピュータ支援が大きく展開することが予想される。コンピュータ支援システムによる、証明支援、証明検証が、数学の研究スタイルを大きく変えることは必至である。また、構成的数学における証明から正しいプログラムを自動合成するシステムは、数学のみでなくソフトウェア工学に多大な影響を与えるであろう。そのようなコンピュータ支援システムの開発は、おもにコンピュータ科学者が行っており、数学者が(ユーザとして)参加することは少ない。</li> </ul>		

## ② 法令の形式化の難しさ、(哲学における)認識論理・義務論理などの研究

- ・ 法令を(コンピュータにより)自動的に形式化する試みがなされたが、法令には様々な「含意」や様々な「様相(認識・義務など)」が含まれているため、正しく形式化することが難しい。いったん正しく形式化できれば、その無矛盾性の検証などは、比較的容易である。
- ・ 数理論理学には大きく分けて、「構文(証明)論」と「意味論」の研究がある。(哲学における)認識論理や義務論理の研究は、主に意味論を用いて研究されており、構文論を用いた研究が待たれる。

## ③ 図式表現の意味論の難しさ

- ・ 図式表現の意味論は斬新な研究であるが、図式という形式化しにくい対象をあつかっているため、大変な困難がある。しかしながら、数理論理学の手法を用いる余地は大きく残っている。

## 3. 今後の展開(今後展開すべきこと、そこからの発展可能性)

今回のワークショップにおいて今後さらに解明・展開する必要があるとされた事項、そこから更に発展が期待されることは、以下の通り。

### ① 数学の形式化とそのコンピュータによる支援

- ・ 世界的に様々な数学形式化の支援システムが開発されてきているが、ユーザとしての数学者の参加が必要である。数理論理学の研究者は、比較的参加しやすいと考えられる。
- ・ 今回のワークショップではテーマになっていないが、数学形式化のコンピュータ支援システムのみでなく、一般に数理論理学は、プログラム検証やモデル検査などソフトウェア工学分野への応用が期待できる。ソフトウェア産業では、プログラム検証やモデル検査に対するニーズが高いため、連携研究が期待できる。

### ② 法令と認識論理・義務論理・動的論理

- ・ 法令に現れる様々な論理演算(例えば、含意、様相演算)を、数理論理学の立場から研究を進める必要がある。この研究は、数理論理学の研究者と法律家、哲学者、コンピュータ科学者と連携して行う必要がある。
- ・ 哲学や法令に現れる認識や義務の論理を、意味論のみでなく構文論を含めた数理論理学の様々な手法を用いて研究する必要がある。ここでも、哲学者などとの強い連携が求められる。

### ③ 図式表現とチャネル理論

- ・ 図式表現の、数理論理学の立場から、その構文論と意味論を構築できる可能性がある。

## 4. 課題及びその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチ

今回のワークショップにおいて明らかになった課題とその解決に有効であろう数学・数理科学的アプローチは、以下の通り。

- ・ 数学者の証明支援、証明検証→【数学形式化の支援システム】
- ・ プログラム検証やモデル検査→【数学形式化の支援システム】
- ・ 正しいプログラムの自動合成→【構成的論理とその形式化支援システム】
- ・ 法令の形式化→【数理論理学における「含意」や「様相」】
- ・ 哲学や法令における認識や義務の研究→【様相論理学における「構文論」と「意味論」】
- ・ 図式表現の数理的取扱い→【数理論理学における「構文論」と「意味論」】