

日中韓フォーサイト事業
平成 27 年度 実施報告書（平成 23～26 年度採用課題用）

1. 拠点機関

日本側拠点機関：	東京大学 大学院数理科学研究科
中国側拠点機関：	浙江大学
韓国側拠点機関：	ヨンセイ大学

2. 研究交流課題名

(和文)：応用逆問題のモデル化とその数値計算

(交流分野： 数学)

(英文)：Modeling and Computation of Applied Inverse Problems

(交流分野： Mathematics)

研究交流課題に係るホームページ：<http://faculty.ms.u-tokyo.ac.jp/~a3inverse/index.html>

3. 採用期間

平成 26 年 8 月 1 日～平成 31 年 7 月 31 日

(2 年度目)

4. 実施体制

日本側実施組織

拠点機関：東京大学 大学院数理科学研究科

実施組織代表者（所属部局・職・氏名）：研究科長・教授・坪井俊

研究代表者（所属部局・職・氏名）：大学院数理科学研究科・教授・山本昌宏

協力機関：筑波大学、広島大学、金沢大学、京都大学、東京海洋大学、岡山理科大学、
大阪教育大学、神戸大学、北海道大学、東北大学

事務組織：東京大学教養学部等総務課

相手国側実施組織（拠点機関名・協力機関名は、和英併記願います。）

(1) 中国側実施組織：

拠点機関：(英文) Zhejiang University

(和文) 浙江大学

研究代表者（所属部局・職・氏名）：(英文) Department of Mathematics・Professor・
BAO Gang

協力機関：(英文) Fudan University, Southeast University, Central China Normal

University

(和文) 復旦大学、東南大学、中華師範大学

(2) 韓国側実施組織：

拠点機関：(英文) Yonsei University

(和文) ヨンセイ大学

研究代表者(所属部局・職・氏名)：(英文) Computational Science & Engineering
Mathematics・Professor・SEO Jin-Keun

協力機関：(英文) KAIST, Seoul National University, Ewha University, Kyung Hee
University, Inha University

(和文) 韓国科学技術院、ソウル大学校、梨花女子大学校、慶熙大学校、仁荷
大学校

5. 研究交流目標

5-1. 全期間を通じた研究交流目標

本プロジェクトの主要課題である逆問題によるモデリングと高機能科学計算手法において、中国、韓国側の研究者・研究機関とは長い協力関係にある。特に日本側 PI と中国側の研究者とは 2000 年以來現在に至るまで、新日鐵及び新日鐵・住友金属などとの共同研究で産業界における諸問題の逆問題に基づいたモデル化や計算手法を編み出しイノベーションを生み出してきた。高機能科学計算を支える数値計算手法を開発するためには現象の適切なモデル化が必要であり、そのようなモデル化を定量的に行う逆問題の研究が重要である。本プロジェクトではそのような三国間の共同研究の実績に基づいて、以下を研究目標とする：

- (1) 現代のテクノロジーを支え、公共の福利や健康などを保証するために本質的な課題の数学的な解決ならびにそのためのモデル化を行う。
- (2) モデル化、数学解析、イメージング、数値手法という一連の問題の解決を同一のプロジェクトチームで実施することにより、実用に耐える高機能科学計算手法を確立する。

5-2. 平成 27 年度研究交流目標

<研究協力体制の構築>

本研究の主たる課題の 1 つである応用逆問題の数学と数値手法の研究交流を本格的に行う。そのために、

1. 北京で開催される応用数学と産業数学の S I A M 連合による大規模な国際会議 ICIAM 2015 のサテライト会議として浙江大学で中国側 PI の BAO Gang 教授が「International conference on Inverse Problems, Imaging, and Applications」(平成 27 年 8 月 6-9 日)を開催し、イメージングを中心とした研究成果の報告と本研究の枠組みでの共同研究を行う。
2. 東京大学大学院数理科学研究科において平成 27 年 11 月(予定)に医用イメージング

の Autumn School を開催し、若手研究者のためのチュートリアルな講義と研究発表を行う。若手研究者の育成も主要な目的である。

さらに、課題ごとに中韓の研究者を日本に 1 カ月程度招聘して平成 26 年に行った共同研究を継続する。

<学術的観点>

現象から見た場合の本プロジェクトの課題は以下の通りである：

- (1) 非侵襲的な医学診断技術における医学イメージング計算法によるイノベーション
- (2) セシウムや PM2.5 などの大気中ならびに河川における汚染物質の拡散のより精度のよい将来予測と有効な対策のためのシミュレーション技術としての科学計算法

(1) に関しては我が国では数学関連の研究者が少ないので、上記のサテライト国際会議や Autumn School を通じてイメージングに関する研究活動の裾野を広げていく。

上記の課題 (1)、(2) に関する数学解析、数値手法の研究を継続して行う。

<若手研究者育成>

逆問題手法は環境問題や医学診断のような我々の生活や産業界の課題解決のために不可欠となってきた。そのような分野において若手研究者の人材育成を日中韓で今年度は以下の活動を通じて行うことを目標とする：1. R-1 に記載されているように医用診断のイメージングに関する集中講義を日本で開催し、若手研究者に数学的な基礎と応用を習得してもらい、研究者の裾野を広げる。若手研究者を中国、韓国から計 25 名程度受け入れる。2. 産業界からの課題解決のためのスタディグループに日本だけでなく、中国、韓国の若手研究者を招き、社会連携の下で本研究課題の逆問題をどのように応用するかを学ぶ実践の場にする。中韓から計 10 名程度受け入れる。

3. S-1 に記載されている国際会議に日本の若手研究者を 10 名程度派遣する。

<その他（社会貢献や独自の目的等）>

汚染物質拡散のより良い予測のためには拡散現象を支配している物理パラメータの数学的な手法による決定がまず重要である。本課題の逆問題の研究を通じてそのようなパラメータ決定の手法の向上が望め、拡散の予測精度の向上による安全・安心のための施策に数学から寄与することを目指す。

6. 平成 27 年度研究交流成果

6-1 研究協力体制の構築状況

中国側 PI の BAO Gang 教授が「International conference on Inverse Problems, Imaging, and Applications」(平成 27 年 8 月 6-9 日)を開催し、日本側参加者が本研究の主要課題である応用逆問題に関して、計 8 件(うち 1 つは日本側 PI の山本昌宏による基調講演)の成果発表を行った。またこの国際会議のなかで A3 プロジェクトセッションも組織され、本研究の中韓からの参加者と発表された成果について、討議を綿密

に行うことができた。

さらに、以下のような活動も通じて研究協力体制を維持し、発展させた：東京大学大学院数理科学研究科において平成 27 年 12 月 7 日—11 日と 28 年 2 月 29 日—3 月 4 日に開催された産業界・環境工学からの課題解決のためのスタディグループにおいて、逆問題手法を必要とする製品の最適制御や、汚染物質の拡散モデルの決定などの課題に日本・中国側参加者が共同で取り組み、異分野の課題提供者から高い評価を受けた。それを受けて、それらの現象の支配方程式である非整数階拡散方程式の解の一意存在、安定性、漸近挙動などの理論的な研究やパラメータ推定の逆問題の理論と数値手法などの開発に関して、主に日中の参加者が継続的に共同研究を進め、論文出版に結びつつある。さらに、このような本事業の参加者による共同研究体制による成果は、中国や欧米などでも注目され、共同研究に参画する研究者が日中韓の枠を超えて拡大している。

6-2 学術面の成果

課題である応用逆問題の範囲が多様であるので、成果も多岐にわたるが、主要なものは以下である：

1. 非整数階偏微分方程式に関して境界での汚染物質などのソース項の決定逆問題の一意性を証明し、再構成法を構築した。
2. 材料工学における基本的な現象であり、製造業などにおいて品質設計のために極めて重要な結晶成長モデルにおけるモデル式の決定という応用逆問題の数学解析ならびに高速の数値解法の開発を行った。
3. 非整数階偏微分方程式の係数、階数などの決定に関する逆境界値問題の一意性を確立した。
4. 非整数階偏微分方程式の作用素論的な取扱いの基礎を確立した。それを踏まえて非整数階偏微分方程式の初期値・境界値問題に関して、広範な理論構築が可能になる。

6-3 若手研究者育成

東京大学大学院数理科学研究科において平成 27 年 12 月 7 日—11 日と 28 年 2 月 29 日—3 月 4 日に開催された産業界・環境工学からの課題解決のためのスタディグループに、日本側の若手研究者を参加させて、中韓の参加者と具体的に提示された問題に関して、作業グループに分かれて解決に向けて共同作業を行った。数学的な能力を発揮・啓発するだけでなく、専門や国籍が異なる様々な研究者、院生と議論を展開していくコミュニケーション力の発展にも役立てることができた。

医用診断のイメージングに関する冬の学校が平成 28 年 1 月に韓国で開催され、日本側参加者 3 名を含む中韓国の研究者が聴講した。若手研究者を中国、韓国から計 25 名程度（本事業による支援 4 名を含む）受け入れ、医用診断のイメージングに関する集中講義に参加してもらい、逆問題の理論や産業界への逆問題手法についての共同研究や討議を行った。さらに、本研究に関連した研究集会やセミナー、研究打合せ会に若手研

究者に主体的に参加してもらい、成果発表や議論の機会を持った。そのような受入の結果、日常的なディスカッションや共同作業を通じて日本の若手と受け入れた中韓の若手の間で、お互いが得意とするアプローチなどを把握でき、さらに実効性のある日中韓の将来的研究交流ネットワークの礎石となった。

6-4 その他（社会貢献や独自の目的等）

応用逆問題の手法を活用して、以下のような産業界からの課題の解決に貢献した：

1. シャフトの自動歪取のための最適プロセスの開発。課題は東和精機株式会社（愛知県安城市）から提示された。
2. 人間の平衡感覚を測定するために重心動揺を測定する機械がある。短時間の重心の軌道のデータから各人の平衡感覚を支配するパラメータを決定する逆問題の解決に、若手を中心として取り組んでいる。

環境工学における課題解決：セシウムなどの汚染物質が時間とともにどのように拡散していくのかという社会的に重大な課題に関して、本研究の枠内で、工学者とも共同して解決に取り組んでいる。主な問題は、より適切なモデル式の探索とその数学解析である。モデル式の探索は、パラメータ決定などであり、応用逆問題の典型的な問題である。主な成果の1つは、現象を入力・出力関係を線型のブラックボックスで記述するボックスモデルの改良である。ボックスモデルは現場で良く使われているが、物理的な第一原理に基づいていないため、精度が悪くなる。ここでは遅い拡散など物理的な背景を取り入れてボックスモデルを改良して、現場で使える数学モデルの提案を行った。

6-5 今後の課題・問題点

1. 日本と韓国の間で、さらに共同研究体制を発展させること：韓国側で得意とするイメージングの研究成果が日中で十分に共有されていない部分がままあるので、これまでに発展させてきた体制を活用して、イメージングに関してよりきめ細かい共同研究を展開していく。
2. 若手を、いっそう参加させていくために、応用逆問題に関連した小研究集会、異分野研究会、チュートリアルな研究集会をより頻繁に組織する。
3. 個々の課題については、共同研究は順調であると判断している。しかし、本研究で ある応用逆問題が多様な問題群であるので、見通しのよい便利な一般的な方法論の構築を目指し、本事業としてまとまりある成果をあげていく。

6-6 本研究交流事業により発表された論文

- (1) 平成27年度に学術雑誌等に発表した論文・著書 2本
うち、相手国参加研究者との共著 2本

- (2) 平成27年度の国際会議における発表 8件
 - うち、相手国参加研究者との共同発表 0件
- (3) 平成27年度の国内学会・シンポジウム等における発表 3件
 - うち、相手国参加研究者との共同発表 0件
- (※ 「本事業名が明記されているもの」を計上・記入してください。)
- (※ 詳細は別紙「論文リスト」に記入してください。)

7. 平成27年度研究交流実績状況

7-1 共同研究

整理番号	R-1	研究開始年度	平成26年度	研究終了年度	平成31年度
研究課題名	(和文) 応用逆問題のモデル化とその数値計算 (英文) Modeling and Computation of Applied Inverse Problems				
日本側代表者 氏名・所属・職	(和文) 山本昌宏・東京大学大学院数理科学研究科・教授 (英文) Masahiro YAMAMOTO, The University of Tokyo, Graduate School of Mathematical Sciences, Professor				
相手国側代表者 氏名・所属・職	(英文) BAO Gang・Zhejiang University・Professor				
参加者数	日本側参加者数	42 名			
	中国側参加者数	15 名			
	韓国側参加者数	16 名			
27年度の研究 交流活動	<p>1. 「International conference on Inverse Problems, Imaging, and Applications」(平成27年8月6-9日)の場を利用した以下の共同研究遂行：(1) 東京大学と浙江大学の研究者グループで討議していた逆問題の正則化手法の具体的な応用についての議論を深め、韓国側から医用診断への応用についての具体的な方策を会期中に討議した。</p> <p>(2) 双曲型方程式のソース項決定逆問題について東京大学と浙江大学や中華師範大学のグループと理論的な基盤と数値計算手法の確立について討議が行われ、成果が論文としてまとまった(ただし出版は28年度)。</p> <p>2. 東京大学大学院数理科学研究科において平成27年12月7日-11日と28年2月29日-3月4日に開催されたスタディグループにおいて、応用逆問題による産業界・環境工学からの課題の解決にあたった。</p> <p>3. 中国から参加研究者を1~2か月招聘して、非整数階方程式や双曲型方程式に関する逆問題、逆問題の数値手法であるチホノフの正則化手法などに関する共同研究を実施した。</p> <p>4. 逆問題に関連して、代数幾何や幾何学的手法が必要であるので、関連した研究打合せを山本昌宏、上村豊(東京海洋大学)らと中国側参加者のJin Cheng教授、Shuai Lu准教授(復旦大学)と実施した。</p>				

<p>27年度の研究 交流活動から得 られた成果</p>	<p>平成27年度において、本研究開始以来、発展させてきた共同研究体制を活用して応用逆問題の数理と数値手法に関して成果を挙げた。主な成果として、具体的に以下をあげる：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 非整数階偏微分方程式に関する逆問題の数学解析と可能な数値計算法の探索 2. 結晶成長に関する Time cone モデルにおける結晶成長率決定などの逆問題の解析と数値解法の開発を行った。 3. 非整数階偏微分方程式の非整数階偏微分方程式の初期値・境界値問題に関する一般理論の構築に向けて共同研究。 4. 産業界に現れる逆問題の課題の実用解法の創出と実用化に向けた共同研究。
--------------------------------------	--

7-2 セミナー

整理番号	S-1
セミナー名	(和文) 日本学術振興会日中韓フォーサイト事業：国際会議「逆問題、イメージングと応用」 (英文) JSPS A3 Foresight Program: “International conference on Inverse Problems, Imaging, and Applications “
開催期間	平成 27 年 8 月 6 日～ 平成 27 年 8 月 9 日 (4 日間)
開催地 (国名、都市名、会場名)	(和文) 中国、杭州、浙江大学 (英文) China, Hangzhou, Zhejiang University
日本側開催責任者 氏名・所属・職	(和文) 山本昌宏・東京大学大学院数理科学研究科・教授 (英文) Masahiro YAMAMOTO, The University of Tokyo, Graduate School of Mathematical Sciences, Professor,
相手国側開催責任者 氏名・所属・職 (※日本以外で開催の場合)	(英文) BAO Gang, Zhejiang University, Department of Mathematics, Professor

参加者数

派遣先 派遣	セミナー開催国 (中国)	
	A.	B.
日本 〈人／人日〉	A.	8/ 32
	B.	0
中国 〈人／人日〉	A.	4/ 20
	B.	35
韓国 〈人／人日〉	A.	5/ 20
	B.	0
合計 〈人／人日〉	A.	17/ 72
	B.	35

A. 本事業参加者 (参加研究者リストの研究者等)

B. 一般参加者 (参加研究者リスト以外の研究者等)

※日数は、出張期間 (渡航日、帰国日を含めた期間) としてください。これによりがたい場合は、備考欄を設け、注意書きを付してください。

セミナー開催の目的	<p>医用イメージングは数学解析とそれに基づく数値手法の開発がブレークスルーにつながる大きな可能性を秘めている。一方で関連技術の発展も近年著しく、最新の成果のサーベイも容易ではない。この会議は北京で開催される応用数学と産業数学のS I A M連合による大規模な国際会議 ICIAM 2015 のサテライト会議として開催されるため専門家も広く参加する。最新の知見のサーベイとそれを踏まえて、共同研究を行う。</p>	
セミナーの成果	<p>(1) 電磁波や弾性波を利用した医学診断技術における医学イメージング計算法のための理論的な基礎付けについての研究連絡が密接になされた。</p> <p>(2) 既に開始されていた非整数階微分方程式の逆問題の共同研究を推進するために、その成果発表とともに新たな参加者との議論を深めることができた。</p> <p>(3) 本事業とは独立であるが優れた研究者がヨーロッパを含めて世界規模で参加したので、本事業の成果をよりグローバルな視野で討議することができ、事業遂行のために学術的に貴重な刺激となった。</p>	
セミナーの運営組織	<p>現地組織委員長は Zhejiang 大学の BAO Gang 教授で、BAO 教授とともに日韓の研究代表者がプログラム委員として全体のセミナーの構成を決定する。</p>	
開催経費分担内容と金額	日本側	<p>内容 外国旅費 金額 831,500 円 外国旅費・謝金等に係る消費税 62,477 円 合計 893,977 円</p>
	中国側	<p>内容 会議費 国内旅費</p>
	韓国側	<p>内容 外国旅費</p>

7-3 研究者交流（共同研究、セミナー以外の交流）

所属・職名 派遣者名	派遣・受入先 (国・都市・機関)	派遣期間	用務・目的等
東京大学・教授・山本昌宏	中国・上海・復旦大学	H27. 5. 16 -H27. 5. 20	環境関係の逆問題の数学解析の研究連絡

7-4 終了時評価、中間評価（※）の指摘事項等を踏まえた対応

該当なし

8. 平成27年度研究交流実績総人数・人日数

8-1 相手国との交流実績

派遣先 派遣元	四半期	日本	中国	韓国		合計
日本	1		2/ 10 ()	()	()	2/ 10 (0/ 0)
	2		8/ 48 ()	()	()	8/ 48 (0/ 0)
	3		1/ 3 ()	()	()	1/ 3 (0/ 0)
	4		12/ 49 ()	5/ 21 ()	()	17/ 70 (0/ 0)
	計		23/ 110 (0/ 0)	5/ 21 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	28/ 131 (0/ 0)
中国	1	()		()	()	0/ 0 (0/ 0)
	2	1/ 40 ()		()	()	1/ 40 (0/ 0)
	3	3/ 36 (6/ 24)		()	()	3/ 36 (6/ 24)
	4	8/ 136 (10/ 50)		()	()	8/ 136 (10/ 50)
	計	12/ 212 (16/ 74)		0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	12/ 212 (16/ 74)
韓国	1	()	()		()	0/ 0 (0/ 0)
	2	()	()		()	0/ 0 (0/ 0)
	3	8/ 36 ()	(5/ 20)		()	8/ 36 (5/ 20)
	4	(5/ 25)	()		()	0/ 0 (5/ 25)
	計	8/ 36 (5/ 25)	0/ 0 (5/ 20)		0/ 0 (0/ 0)	8/ 36 (10/ 45)
	1	()	()	()		0/ 0 (0/ 0)
	2	()	()	()		0/ 0 (0/ 0)
	3	()	()	()		0/ 0 (0/ 0)
	4	()	()	()		0/ 0 (0/ 0)
	計	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)		0/ 0 (0/ 0)
合計	1	0/ 0 (0/ 0)	2/ 10 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	2/ 10 (0/ 0)
	2	1/ 40 (0/ 0)	8/ 48 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	9/ 88 (0/ 0)
	3	11/ 72 (6/ 24)	1/ 3 (5/ 20)	0/ 0 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	12/ 75 (11/ 44)
	4	8/ 136 (15/ 75)	12/ 49 (0/ 0)	5/ 21 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	25/ 206 (15/ 75)
	計	20/ 248 (21/ 99)	23/ 110 (5/ 20)	5/ 21 (0/ 0)	0/ 0 (0/ 0)	48/ 379 (26/ 119)

※各国別に、研究者交流・共同研究・セミナーにて交流した人数・人日数を記載してください。(なお、記入の仕方の詳細については「記入上の注意」を参考にしてください。)

※本事業経費によらない交流についても、カッコ書きで記入してください。

8-2 国内での交流実績

1	2	3	4	合計
()	()	4/ 19 ()	27/ 96 ()	31/ 115 (0/ 0)

9. 平成27年度経費使用総額

(単位 円)

	経費内訳	金額	備考
研究交流経費	国内旅費	1,961,420	国内旅費、外国旅費の合計は、研究交流経費の50%以上であること。
	外国旅費	6,025,420	
	謝金	0	
	備品・消耗品購入費	187,106	
	その他の経費	0	
	外国旅費・謝金等に係る消費税	198,554	
	計	8,372,500	研究交流経費配分額以内であること。
業務委託手数料		837,000	研究交流経費の10%を上限とし、必要な額であること。また、消費税額は内額とする。
合計		9,209,500	