

実践的油層評価および最適開発計画策定に関する研修

研究代表者 栗原 正典
(創造理工学部 環境資源工学科 教授)

1. 研究課題

インペックス南西カスピ海石油株式会社殿 (INPEX) は、アゼルバイジャン共和国において Azeri-Chirag-Gunashli (ACG) 油田の権益を保有し、オペレーターBP社と共に主要パートナーの1社として安定的な操業・生産・開発事業に貢献している。

かねてより INPEX は、アゼルバイジャン共和国国営石油会社 SOCAR より、同社の石油ガスビジネスに従事する若手社員育成を目的とした研修の実施要請を受けていた。INPEX は ACG 事業への関与とともに、アゼルバイジャン共和国および SOCAR との関係強化・継続を目的として同社の要請を受諾し、平成 27 年度から人材育成事業を実施している。また、日本国政府も SOCAR との関係の強化は日本のエネルギー安全保障に資するものであるとして当該事業を評価し、財務的支援を継続している。

INPEX は、アゼルバイジャン共和国の人材育成事業の一環として、平成 28 年度、29 年度および令和元年度に、SOCAR 若手技術者を対象とした、それぞれ約 3 ヶ月の研修 (INPEX・Waseda University Practical Training for Subsurface Evaluation and Field Development Planning) を日本で実施してきている。また、バクーにおいても短期間の特別講義・セミナーを実施しており、平成 29 年には SOCAR 傘下の大学 (Baku Higher Oil School) を対象に EOR (Enhanced Oil Recovery : 石油増進回収法) 特別講義を、平成 30 年度には SOCAR および大学の教員・研究者を対象に EOR シミュレーションのセミナー (INPEX-Waseda University EOR Reservoir Simulation and Exercise Seminar) を開催した。令和 2 年度にも同様の研修を企画したが、世界的な COVID-19 の感染拡大により断念した。令和 3 年度も世界的に COVID-19 がまん延している状況であったため、初の試みとして、オンライン形式で EOR シミュレーションに関する特別講座を実施した。令和 4 年度には SOCAR および現地大学 (Baku Higher Oil School : BHOS) の教員・研究者を対象に多成分系および熱シミュレーションに関するセミナー (INPEX・Waseda University Compositional/Thermal Reservoir Simulation Seminar) を開催した。これらの研修やセミナーは高い効果を上げており、SOCAR 幹部から謝辞が述べられているのみでなく、日本国とアゼルバイジャン共和国間の政府高官レベルでの面談でも人材育成貢献事業の成功例として言及されたり、アゼルバイジャン共和国の現地新聞や SOCAR website 等で報道・評価されたりしている。

令和 5 年度も INPEX は SOCAR より、同社が高い関心を寄せる EOR やガス・コンデンセート開発の計画策定や評価に不可欠な多成分系シミュレーションに特化した特別講座に加えて地質系に関する新たなプログラムを同社社員に対して何らかの形式で実施することを要請された。INPEX はこの要請に応えるべく、SOCAR との協議を重ね、アゼルバイジャン共和国バクーにて対面による 2 週間の特別講座を実施することを決定した。これに伴い、INPEX は同プログラムに係る以下の作業を早稲田大学・環境資源工学科の栗原研究室 (栗原研) に委託した。栗原研はこれを受諾し、

特別講座（INPEX - Waseda University: Seminar for Geostatistical Reservoir Modeling and Compositional Reservoir Simulation Seminar (in Baku)）を INPEX と共同で実施した。

なお、本研修プログラムは、経済産業省「令和 5 年度 産油国石油精製技術等対策事業費補助金（石油天然ガス権益・安定供給の確保に向けた資源国との関係強化支援事業の産油・産ガス国産業協力等事業に係るもの）」の交付対象事業である。

2. 主な研究成果

2.1 研究概要

INPEX は、SOCAR 技術者約 20 名を対象として、地質統計学的貯留層モデリングおよび多成分系シミュレーションに特化した特別講座を、暫定ではあるが表 1 に示す内容で実施することを計画した。本講座はバクーにおいて対面で開催するため、バクーにおける事前準備等が必要であったが、事前準備は INPEX と SOCAR が実施し、栗原研は、主として研修に関する以下の技術的な業務を遂行した。

- バクーでの研修に伴う研修環境の整備の支援
- 地質統計学的貯留層モデリングおよび多成分系シミュレーションに関する講義資料の作成および講義の実施
- 多成分系シミュレーション、地質統計学的モデリングの演習問題・模範解答・シミュレータ使用説明資料・デモンストレーション用資料の作成およびこれらを用いたワークショップ演習の実施
- 資料作成およびセミナー実施に際しての助手・学生による補助

表 1 “INPEX - Waseda University: Seminar for Geostatistical Reservoir Modeling and Compositional Reservoir Simulation Seminar (in Baku)”講義・演習内容案（暫定版）

Day	Time Frame		
	10:00-12:00 (120 min.)	13:00-15:00 (120 min.)	15:15-17:15 (120 min.)
Day 1	<ul style="list-style-type: none"> • Opening/introduction • Introduction to Geostatistical Modeling 	<ul style="list-style-type: none"> • Introduction to Geostatistical Modeling (cont'd) 	<ul style="list-style-type: none"> • Variogram
Day 2	<ul style="list-style-type: none"> <Workshop for Geostatistical modeling> • Generation of Variogram 	<ul style="list-style-type: none"> • Data Correlation/Estimation 	<ul style="list-style-type: none"> • Kriging
Day 3	<ul style="list-style-type: none"> <Workshop for Geostatistical modeling> • Modeling by Kriging 	<ul style="list-style-type: none"> • Conditional Simulation 	<ul style="list-style-type: none"> <Workshop for Geostatistical modeling> • Modeling by Conditional Simulation
Day 4	<ul style="list-style-type: none"> • Indicator based methods 	<ul style="list-style-type: none"> <Workshop for Geostatistical modeling> • Modeling by Indicator based methods 	<ul style="list-style-type: none"> • Incorporation of soft data • Introduction to Upscaling
Day 5	<ul style="list-style-type: none"> • Introduction to reservoir simulation • Practical reservoir simulation procedure 	<ul style="list-style-type: none"> • Introduction to compositional simulation 	<ul style="list-style-type: none"> • Compositional simulation study for gas-condensate reservoir

Day 6	<Workshop for compositional simulation for gas-condensate reservoir> • Field scale simulation (Input data preparation and base case run)	<Workshop for compositional simulation for gas-condensate reservoir> • Field scale simulation (Case studies)	<Demonstration for compositional simulation for CO2-EOR> • Problem statement • PVT simulation • Field -scale simulation
Day 7	• Discussion on PVT simulation	• Upscaling study for gas-condensate reservoir	• Small scale (radial model) simulation (Input data preparation and execution)
Day 8	• Discussion on small scale compositional simulation study for gas-condensate reservoir and expansion to field scale simulation	<Workshop for compositional simulation for gas-condensate reservoir> • Upscaling(condensate blocking) • Field scale simulation	<compositional simulation for gas-condensate reservoir > • Problem statement • PVT simulation
Day 9	• Field scale simulation (Input data preparation and base case run)	• Field scale simulation (Case studies)	• Discussion on compositional simulation for gas-condensate reservoir
Day 10	• Introduction and discussion on complex reservoir studies	• Discussion on solution of problems in practical work	• Wrap-up and Closing

	: Lecture
	: Work and discussion with SOCAR engineers
	: Lecture and discussion with SOCAR engineers
	: Classes for Geostatistical Modeling
	: Classes for Compositional Simulation

2.2 研修準備

(i) 演習用ソフトウェアの入手

演習に使用する以下のソフトウェアおよびそのライセンスコードを入手した。

- CMG 社 (Computer Modelling Group Ltd.) シミュレータ (有料)
- GSLIB ソフトウェア (WinGslib) (無料)

(ii) 講義・演習教材の改訂ならびに作成

令和 5 年度に実施した EOR シミュレーションの特別講座のために作成した講義・演習用の教材を参考に、本セミナー用に以下の講義・演習資料を準備した。

- 講義用資料
- 演習問題・模範解答
- CMG 社シミュレータおよびライセンスコードの導入説明資料
- WinGslib およびライセンスコードの導入説明資料
- シミュレータ使用説明資料
- WinGslib ソフトウェア使用説明資料
- デモンストレーション用資料

2.3 研修実施

以下の分野を対象に、講義、演習および討論を主導した。

- 地質統計学的貯留層モデリングの基礎と応用（講義および討論）
- 実践的な多成分系シミュレーションの基礎と応用（CO₂-EOR、ガスコンデンセート）（講義および討論）
- 油層シミュレーションの基礎と応用（講義および討論）
- CO₂-EOR 挙動予測のための多成分系シミュレーション（講義）
- CO₂-EOR 挙動予測のための多成分系シミュレーション（演習および討論）
- ガス・コンデンセート層評価のための多成分系シミュレーション（講義）
- ガス・コンデンセート層評価のための多成分系シミュレーション（演習および討論）

2.4 研修実施詳細

令和 5 年 12 月 11 日～22 日に、SOCAR が選抜した 21 名の研修生を相手に、上記セミナーを実施し、以下の業務を行った。

- 地質統計学的貯留層モデリングおよび多成分系シミュレーションに関する講義および議論
- 使用ソフトウェアおよびライセンスの導入手法の説明
- 地質統計学的貯留層モデリングおよび多成分系シミュレーション（ガス・コンデンセート）の演習問題・模範解答・シミュレータ使用説明を用いた演習（ワークショップ）の実施および議論
- 多成分系シミュレーション（CO₂-EOR）のデモンストレーションおよび議論
- 研修生からの事後評価の実施
- 修了証の準備

具体的なセミナーの実施内容の実績を表 2 に示す。なお、実施時間は SOCAR の希望を受け入れ、午前が 10:00～13:00（休憩 11:15～11:30）、午後が 14:00～17:00（休憩 15:15～15:30）と当初計画から多少変更した。また、SOCAR では、表 1 の暫定計画に従って、最初の 4 日間を地質統計学的貯留層モデリングに、その後の 6 日間を多成分系シミュレーションに費やすものと考えていたが、実際には地質統計学的貯留層モデリングへの参加者が 18 名で、多成分系シミュレーションへの参加者が 6 名であったため、最終日に予定していた wrap-up セッションを地質統計学的貯留層モデリングの補講に充てた。講義やワークショップの進行に関しては、質問や議論の多寡によって当初の計画から多少の変更はあったが、概ね計画通りであった。

表 2 “INPEX - Waseda University: Seminar for Geostatistical Reservoir Modeling and Compositional Reservoir Simulation Seminar (in Baku)”講義・演習実施内容（実績）

Day	Time Frame		
	10:00-12:00 (120 min.)	13:00-15:00 (120 min.)	15:15-17:15 (120 min.)
Day 1 (Dec. 11)	<ul style="list-style-type: none"> • Opening/introduction • Introduction to Geostatistical Modeling 	<ul style="list-style-type: none"> • Introduction to Geostatistical Modeling (cont'd) 	<ul style="list-style-type: none"> • Variogram
Day 2 (Dec. 12)	<p><Workshop on geostatistical modeling></p> <ul style="list-style-type: none"> • Generation of variogram 	<ul style="list-style-type: none"> • Data correlation/estimation 	<ul style="list-style-type: none"> • Kriging
Day 3 (Dec. 13)	<p><Workshop on geostatistical modeling></p> <ul style="list-style-type: none"> • Modeling by kriging 	<ul style="list-style-type: none"> • Conditional simulation 	<p><Workshop on geostatistical modeling></p> <ul style="list-style-type: none"> • Modeling by conditional simulation
Day 4 (Dec. 14)	<ul style="list-style-type: none"> • Indicator based methods 	<p><Workshop on geostatistical modeling></p> <ul style="list-style-type: none"> • Modeling by indicator based methods 	<ul style="list-style-type: none"> • Incorporation of soft data • Objectbased modeling • Multipoint statistics
Day 5 (Dec. 15)	<ul style="list-style-type: none"> • Introduction to upscaling 	<ul style="list-style-type: none"> • Discussion on geostatistical modeling 	<ul style="list-style-type: none"> • Review of CO2 injection • Introduction to reservoir simulation • Practical reservoir simulation

Day	Time Frame		
	10:00-13:00 (165 min.)	13:00-15:15 (75 min.)	15:30-17:00 (90 min.)
Day 6 (Dec. 18)	<ul style="list-style-type: none"> • Introduction to compositional simulation 	<ul style="list-style-type: none"> • Compositional simulation study for gas-condensate reservoir 	<ul style="list-style-type: none"> • Discussion on PVT simulation
Day 7 (Dec. 19)	<p><Workshop Demonstration on compositional simulation for CO₂ EOR></p> <ul style="list-style-type: none"> • PVT simulation/Slimtube test simulation/Field scale simulation (case studies) 	<ul style="list-style-type: none"> • Small scale compositional simulation study for gas-condensate reservoir and upscaling to field scale simulation 	<p>Discussion on small scale compositional simulation study for gas condensate reservoir and upscaling to field scale simulation</p>
Day 8 (Dec. 20)	<p><Workshop on compositional simulation for gas-condensate reservoir></p> <ul style="list-style-type: none"> • Problem statement • PVT simulation 	<p><Workshop on compositional simulation for gas-condensate reservoir></p> <ul style="list-style-type: none"> • Problem statement • PVT simulation • Field scale simulation (input data preparation) 	<p><Workshop on compositional simulation for gas-condensate reservoir></p> <ul style="list-style-type: none"> • Problem statement • PVT simulation • Field scale simulation (case studies)
Day 9 (Nov. 21)	<p><Workshop on compositional simulation for gas-condensate reservoir></p> <ul style="list-style-type: none"> • Field scale simulation (post processing) 	<ul style="list-style-type: none"> • Discussion on compositional simulation for gas-condensate reservoir 	<ul style="list-style-type: none"> • Introduction and discussion on complex reservoir studies
Day 10 (Dec. 22)	<ul style="list-style-type: none"> • Discussion on solution of problems in practical work 	<ul style="list-style-type: none"> • Make-up class for geostatistical modeling 	<ul style="list-style-type: none"> • Wrap-up and Closing

□ : Lecture

□ : Work and discussion with SOCAR engineers

□ : Lecture and discussion with SOCAR engineers

4. 研修の評価

セミナーの最終日に、セミナーの内容等の5項目について、研修生に質問した。セミナーの前半（地質統計学的モデリング）しか参加していなかった研修生が多かった、等の理由で、21名の研修生の内10名からの回答を得たのみであり、また、手書きの回答が読みにくく、一部の回答に判読不能なものも含まれていたが、本セミナーを好評裏に終了することができたと感じている。以下に各質問とその回答の概要を記載する。

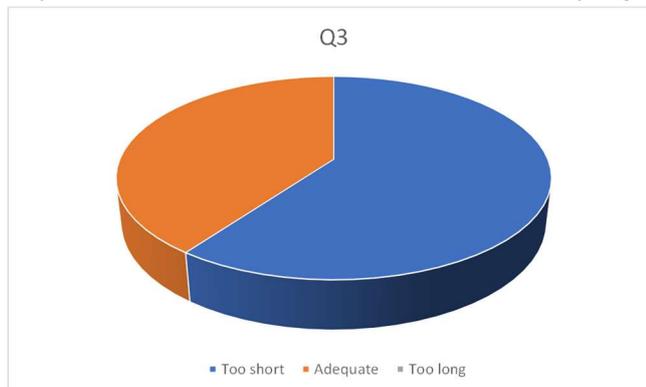
Q1 : What is your overall impression of the INPEX Seminar? (single selection)



Q2 : Which part(s) of the following were you interested in? (multiple selection)

- Lecture on Geostatistics: 6 名
- Lecture on compositional simulation: 3 名
- Lecture on gas-condensate reservoir study 5 名:
- Workshop on Geostatistical modeling: 8 名
- Demonstration on PVT simulation for CO2 EOR: 2 名
- Demonstration on slim-tube test simulation for CO2 EOR: 3 名
- Workshop on compositional full field simulation for EOR: 7 名
- Workshop on gas-condensate reservoir simulation: 5 名

Q3 : How do you think of the duration of the seminar? (single selection)



Q4 : How do you think of the overall seminar allocation? Should we focus on some particular areas/subjects or cover more various areas/subjects?

- I would like real geological modelling after time.
- I would like to study more part of the geology.
- I think the areas you focused on were productive for us.
- Overall the allocation within 2 week given the topics was very well planned. Especially

appreciate the workshops as it was not just how to push buttons or use programs BUT why as WELL! As a RE it was very nice to learn about geoscience. I can now extend my experience in this area as well.

- I think you should cover more various areas.
- In the future it would be good to give preference to of practical work rather than theoretical knowledge.
- There are good distribution. Study in specific areas correct and study in a broader format takes place the overall seminars was quite informative. I greatly believe that this course enhanced my knowledge in reservoir conception and expanded my interest more and more deeply.
- Reservoir simulation is very good and it is adequate.
- The overall seminar was (判読不能) Thus I greatly believe that this course elongated my knowledge in reservoir conception and expanded my interest more and more deeply.

Q5 : For the future INPEX Training, please let us know if you have any opinions and ideas to improve our programs.

- For the future it would be reservoir modelling course, it would helpful for us
- Petrophysical and seismic survey course
- The course was short, but very interesting. My opinion is that next time the course duration should be longer.
- Overall the training was well planned and Mr. Kurihara explained very well in details as a RE, (love details) and math. I enjoyed this. For the future I would love to have a small example field and more a simple geomodel with wells and do H and forecast.
- I would like to prefer to work with our own data.
- The program used in the INPEX training is nich, not all areas were studied by us. I would like to study the program more deeply for the future. I would like to apply the analyses and program in a real project in the fields in Azerbaijan.
- Whole lectures and workshops were highly professional. However, it would be better to

enhance the duration of program.I think you will use RMS for Azerbaijan course.

- Whole lectures and workshops were highly professional. However, it would be better to enhance the duration of program. I think you will use RMS for Azerbaijan course.

5. 結言

バクーに於ける 2 週間（実質 10 日間）の研修プログラムは、ほぼ予定通りに遂行して目的を達成でき、研修生を含む関係者の事故もなく完了した。質問に回答してくれた SOCAR の研修生全員から総体的研修への評価として「Excellent」との回答を得ることができた。

また、研修生からの詳細な回答を分析すると、

- セミナー期間が 2 週間では短く、より長期の研修を希望している。
- 実油田のデータに基づく研修を希望している。
- 新規研修のテーマとして、「Geomechanics」、「Machine/Deep Learning」の希望が多い。

ことが窺える。

3. 共同研究者

栗原正典（リーダー：早稲田大学創造理工学部環境資源工学科教授）

劉 雨晨（教材作成補助：早稲田大学創造理工学部環境資源工学科講師）

山岡麻子（プロジェクト管理・業務補助：早稲田大学理工学術院）

学生（修士）5 名（教材作成補助、演習説明補助）

4. 研究業績

4.2 総説・著書

INPEX - Waseda University: Seminar for Geostatistical Reservoir Modeling and Compositional Reservoir Simulation Seminar in Baku (Textbook for Lecture), 2023

INPEX - Waseda University: Seminar for Geostatistical Reservoir Modeling and Compositional Reservoir Simulation Seminar in Baku (Exercise Problems and Example Solutions), 2023

INPEX - Waseda University: Seminar for Geostatistical Reservoir Modeling and Compositional Reservoir Simulation Seminar in Baku (Software User's Guide), 2023

4.4 受賞・表彰

BHOS 学長から感謝状を受領。

4.5 学会および社会的活動

石油技術協会評議員・元会長

石油学会理事

日本地層評価学会（SPWLA Japan）元会長

5. 研究活動の課題と展望

上記のように、令和5年度は、COVID-19の影響はほとんどなく、現地でセミナーを開催することができた。本来このセミナーはSOCARの技術者を日本に招聘し、日本の技術や文化を学んでもらうことを一義的な目的として実施し始めたものであるが、日本で開催した場合には、セミナーを受講できる研修生の数が限定されるため、SOCAR側がバクーでの開催を希望してきた。来年度は理工総研の新規プロジェクトとして本研修を実施する予定であるが、オンライン or 対面、日本開催 or バクー開催を含めて研修内容をINPEXおよびアゼルバイジャン共和国政府と詳細に検討し、新規プロジェクトに相応しい研修を実施したいと希望している。