

平成 18 年度援助金使用報告

国際研究集会「第 8 回物理探査学会国際シンポジウム」報告

三ヶ田 均¹⁾ 稲盛 隆穂²⁾ 内田 利弘³⁾
尾西 恭亮¹⁾ 佐藤 源之⁴⁾ 真田 佳典⁵⁾
柴田 武²⁾ 須藤 公也⁶⁾ SONG, Yoonho⁷⁾
利岡 徹馬⁸⁾ 渡辺 俊樹⁹⁾

Report on “The 8-th SEGJ International Symposium
Imaging and Interpretation ”

Hitoshi MIKADA¹⁾, Takao INAMORI²⁾, Toshihiro UCHIDA³⁾,
Kiyosuke ONISHI¹⁾, Motoyuki SATO⁴⁾, Yoshinori SANADA⁵⁾,
Takeshi SHIBATA²⁾, Koya SUTO⁶⁾, Yoonho SONG⁷⁾,
Tetsuma TOSHIOKA⁸⁾ and Toshiki WATANABE⁹⁾

Abstract

The Society of Exploration Geophysicists of Japan (SEGJ) hosted the 8th SEGJ International Symposium on Imaging and Interpretation Technologies at Kyoto University Clock Tower Centennial Hall, Kyoto, Japan on November 26-28, 2006, following a tutorial course for young geoscientists and engineers on 24 and 25 at Kyotodaigaku Kaikan. A technical tour was also held on November 29. The symposium was co-sponsored by the Korean Society of Exploration Geophysicists (KSEG), the Australian Society of Exploration Geophysicists (ASEG), the Society of Exploration Geophysicists (SEG), European Association of Geoscientists and Engineers (EAGE), and the Environmental and Engineering Geophysical Society (EEGS), and Vietnam Association of Geophysicists (VAG). Discussions at the symposium focused on Imaging and Interpretation technologies that contribute to Interdisciplinary Integration of Geosciences for better understanding and modeling invisible underground structures and processes. In particular geophysical imaging technologies, such as seismic methods, electrical and electromagnetic methods, ground penetrating radar, gravity and geomagnetics in various applications in human activities, such as natural resource exploration, civil engineering, environmental applications, and natural hazard mitigation were discussed as a major theme of the symposium. Also, our discussions included theoretical develop-

¹⁾ 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻

²⁾ 石油資源開発株式会社

³⁾ 産業技術総合研究所

⁴⁾ 東北大学東北アジア研究センター

⁵⁾ 海洋研究開発機構地球深部探査センター

⁶⁾ テラ・オーストラリス・ジオフィジカ株式会社

⁷⁾ 韓国地質資源研究院

⁸⁾ 応用地質株式会社

⁹⁾ 名古屋大学大学院環境学研究科附属地震
火山・防災研究センター

¹⁾ Department of Civil and Earth Resources Engineering, Graduate School of Engineering, Kyoto University

²⁾ Japan Petroleum Exploration Co. Ltd.

³⁾ National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

⁴⁾ Center for Northeast Asian Studies, Tohoku University

⁵⁾ Center for Deep Earth Exploration, Japan Marine Earth Science and Technology

⁶⁾ Terra Australis Geophysica Pty. Ltd.

⁷⁾ Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

⁸⁾ OYO Corporation

⁹⁾ Research Center for Seismology, Volcanology and Disaster Mitigation, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

ments in geophysical methods, laboratory measurements, various data-processing schemes, and modeling and inverse theories that help to understand geoscientific processes in the invisible underground. Geophysical data management and integrated geophysical technologies were recognized as indispensable tools for deepening our understandings of subsurface structures and focusing into survey objectives.

Key words : earth sciences, natural resources, geoelements, subterrestrial visualization, geotechnical developments

キーワード : 地球科学, 天然資源, 物理探査, 地下可視化, 技術開発

I. はじめに

社団法人東京地学協会からの補助を受けた第8回物理探査学会国際シンポジウムは、平成18年11月24日(金)から29日(火)まで京都大学会館および京都大学百周年時計台記念館において開催された。本シンポジウムは、物理探査学会(Society of Exploration Geophysicists of Japan: SEGJ)が主催し、SEGJと協定関係にある米国物理探査学会(Society of Exploration Geophysicists: SEG)、欧州物理探査連合(The European Association of Geoscientists & Engineers: EAGE)、韓国物理探査学会(The Korean Society of Exploration Geophysicists: KSEG)、豪州物理探査学会(Australian Society of Exploration Geophysicists: ASEG)、米国環境土木物理探査学会(The Environmental and Engineering Geophysical Society: EEGS)、ベトナム物理探査連合(Vietnam Association of Geophysicists: VAG)が共催し、それぞれ代表者を派遣している。

第8回となる今回のシンポジウムでは地球科学と物理探査の関わりを強調すべく、可視化技術と解釈(Imaging and Interpretation)という副題を付し、参加者を募集した。また11月24日(金)および25日(土)は、主として東南アジア~東アジアの学生を対象とした技術コースを開催する教育を担う部分として、後半26日(日)から28日(火)までをシンポジウム各セッションに、さらに27日(月)午後には招待講演者による特別セッションを割り当てた。さらに29日

(水)には、希望参加者によるテクニカル・ツアーを実施し、奈良における地中の遺跡探査などの現状を伝える試みも実施した。最終的に21カ国から参加した全204名の研究者・技術者に、印刷冊子およびCD-ROMで出版された講演論文集が頒布された。

II. 若手研究者旅費助成プログラム

本シンポジウムでは、35歳以下の若手研究者および学生に対する旅費補助を行うことを考え、若手研究者・学生の投稿した論文から、最多10名程度の優秀論文を選定し、アジアの若手研究者および大学院学生による発表を促進するプログラムを実施した。論文募集の段階で学生を含む若手研究者論文コンペティションにより、最終的に6名の学生・若手研究者に日本までの旅費を支給した。

III. 国際シンポジウム日程

先ず、11月24日(金)および25日(土)の2日間、京大会館でチュートリアル・コースを開催した。若手研究者旅費助成プログラム選抜者は参加を補助の条件として課したが、この6名以外にも多数の参加者があり、コース全体で最終的に、一般15名、学生41名の計56名の受講者を得た。地球科学から物理探査に跨がる基礎事項を主要な講座内容として設定し11名の講師による10講座を開設した(表1)。

チュートリアル・コース終了後、11月26日(日)から28日(火)の3日間、テクニカル・セッションが開催された。テクニカル・セッション

表 1 チュートリアル・コースにおける講座のタイトルと講師 .

Table 1 List of lectures and lecturers.

講座タイトル : Lecture Titles	講師 : Lecturers
電気探査 : Inversion of Electrical Resistivity Data	Hee Joon KIM
衛星リモートセンシング : The High-precision Technique of Surface Deformation Monitoring Using Satellite Radar Data for Geotechnical Engineering Application	Toshimi MIZUNO
リスク管理 : Risk Management in Civil Engineering	Hiroyasu OHTSU
地中レーダ : GPR Technology: Fundamentals to Applications	Motoyuki SATO, Jung Ho KIM
メタンハイドレート : The Way to the Exploration for Methane Hydrate	Takao INAMORI
反射法 : The Basics of Seismic Reflection Surveys	Hitoshi MIKADA
浅層探査法 : Some Integrated Geotechnical-Geophysical Applications in Investigation of Soft Clays in Asia	Pham Huy GIAO
受動探査 : Toward a Better Understanding of the Daylight Imaging Method by the Help of Simple Analytical Models	Hisashi NAKAHARA
電磁探査 : Electromagnetic Methods: Application to Geothermal and other Explorations	Toshihiro UCHIDA
屈折法 : Brief Course Description Advancing Shallow Refraction Seismology with the GRM and the RCS	Derecke PALMER

は、欧米およびアジアからの招待講演 17 件に加え、国内外からのポスターおよび口頭の一般講演 104 件、そして特別講演 3 件の全 124 件で構成された。投稿数は 152 件であり、全 124 件と少なくなったのは、厳しい査読を実施し、シンポジウムの質を維持することに努めた結果である。

第 1 日目全日、第 2 日目午前、第 3 日目全日はテクニカル・セッションで、下記のテーマ別に発表が行われた。

- センサーおよびデータ取得方式
- 地震・電磁気・地中レーダ・測地学的イメージング技術
- データ処理手法
- 実験地球科学
- 多次元データ解釈技術
- 地下構造と時間変化
- 浅層探査技術
- 全地球的地下探査技術
- 防災・減災のための物理探査
- 探査技術のフロンティア

第 2 日目午後には、資源エネルギーおよび環境問題について海外の著名な研究者（スウェーデン 1 名、オーストラリア 1 名、日本 1 名）を招聘し、入場を無料とし、日英同時通訳の提供された一般公開特別講演およびパネル・ディスカッションが実施された。タイトルは「Special seminar on the future of hydrocarbon resources (炭化水素資源の将来に関する特別セッション)」であり、現代文明を支える資源が有限であること、そしてその資源の減耗が近づいていることが明確な資料をもとに説明された。事前のアナウンスを控えめにしたにもかかわらず、約 100 名の聴衆が集まった。パネル・ディスカッションでは、炭化水素資源により成り立つ現代社会、資源の将来、環境問題との接点、さらに今後の国際協力のあり方について、一般の方々を含めた積極的な意見交換がなされた。

テクニカル・セッション終了後の 29 日（水）には、希望参加者によるテクニカル・ツアーを実施した。奈良における地中の遺跡探査の現状を視

察したこのテクニカル・ツアーには、12カ国から全25名の参加者があった。

IV. 科学的な議論

テクニカル・セッションにおける科学的な発表および議論の内容は、関連するテーマごとにまとめると次のように記述することができる。

1) データ取得に関連するセッション

例えば研究船舶で測深や海底地形調査に行われるサイド・スキャン法を無人探査ヘリコプターに応用した例や合成開口型の小規模エアガン群列の浅海域の探査に使用しデータの品質を改善した例など、海洋やりモートセンシングで培われた技術を有効に利用した成果が披露された。

2) 地震学や測地学的手法によるイメージング技術のセッション

地球科学の分野で多用されている地下構造推定手法であるレーバ関数の紹介、地震探査データ処理に関し、WKB法などの手法により反射面あるいは散乱体ごく近傍の波動場を推定しイメージング効果を高める方法、地下構造の要素ブロックへの離散化による三次元屈折法探査手法、特性曲線法を用いた実体波や表面波などの波動場推定法、格子点でモデル化された地下空間における各種波動場や走時場推定法、要素を用いないガレルキン法による波動場推定、格子点配置の工夫による亀裂存在下の地震波動伝播推定手法などの提案や地表の変形から地下の温度分布や媒質非弾性問題を扱った事例などの紹介が行われた。このセッションでは、探査の目的である地下構造や媒質の物性把握に向けて、高精度なモデリング手法が求められていることや、三次元での構造探査が必須となっている事実が明らかになった。

3) 地球電磁気学に関連するセッション

比抵抗トモグラフィーによる地下構造可視化、マグネトテルリクス法による地下深部までの比抵抗構造推定における地形補正などのS/N比改善の試みや周波数の異なる手法や複数の制御送信源との組み合わせといった高解像度化への取り組み、ボアホールレーダと地下水挙動の数値シミュレーションを組み合わせ地質学的な解釈を向上さ

せる試み、地中レーダによる地雷探査、遺跡などのケーススタディ、時間軸を含めた四次元探査の提案など、これまで以上に数多くの発表があった。このセッションでは、電磁気学的探査が地下浅部分から深部に至るあらゆる空間スケールに適用されていること、地震探査同様に探査目的が強く意識されるようになってきていること、そして高精度化が進んでいることなどが明らかとなった。

4) データ処理に関するセッション

数多い地震波インターフェロメトリの発表があった。データ処理に際して長時間記録を圧縮する手法というデータ取得の問題から、表面波等の除去というデータ処理、そして実際のケーススタディおよびイメージング結果に至るまでを網羅するセッションとなった。相互相関関数によるグリーン関数推定に関し数多くの発表が行われたことは、データ取得技術やデータ処理技術の進化により、イメージングに用いられる探査データの種類が広がったと同時に地下構造推定の必要性が高まっていることを意味している。既存の能動的な弾性波探査手法は高価な手法であるが、上述したようなレーバ関数や地震波インターフェロメトリによる受動的な探査がコストを抑制した手段として今後も試みられるという印象を残した。また受動的探査手法の技術向上が極めて活発に行われている現状も明らかとなった。

5) 四次元探査に関するセッション

時間とともに変化する地下の状態を推定した研究成果が数多く発表された。炭化水素資源胚胎層における流体挙動把握を目的とする大規模な地震観測ネットワーク整備を提起する発表、地下深部の地震発生帯における物理化学状態を推定するための震源および観測方法の提案、二酸化炭素地中固定に関する近年の研究成果発表、地中汚染の把握など、やはり異なる空間スケールや必要な時間軸スケールの応用が試みられていることが明らかとなった。地下構造が可視化されるだけでなく、その地下構造内で生じている流体の運動や物理化学状態変化を捕らえることが現在の探査に強く求められていることを強く認識させた。

6) 実験地球物理学および貯留層キャラクタライゼーションに関するセッション

時間変化する地下構造を扱うだけでなく、現在地震波や電磁現象を通じて推定することの可能な空間スケールより細かな地下の物性を推定したいとする現在の探査の傾向が明確となった。室内実験などで理想的な試料に関する知見や地震波応答などを確認し、炭化水素胚胎層だけでなくメタンハイドレートのような新しい対象まで、入手可能な探査データや既存の地質学的知見を総動員し、地下で生じている現象を詳細に把握しようとする現在の探査目的の高度化が背景にある。最終日に行われた探査のフロンティアに関するセッションでは、この傾向が強く現れた。地下構造把握という観点から三次元探査が必須であること、可視化された地下構造を理解するためのプレゼンテーション技術の重要性、地震波アトリビュートなどを駆使してなるべく細かい空間スケールに至る地下媒質の物性把握が不可欠となってきたことなどが強調された。

7) 土木工学や環境工学で重要な浅層や地表直下の構造把握に関するセッション

屈折法や表面波探査、地中レーダなどの手法を用い、断層、地下水、浅層の媒質物性把握に加え、シミュレーション手法の高度化などの発表が行われた。

8) 地域から地球規模のスケールでの応用分野のセッション

砂箱実験や数値計算などの手段により、地下構造や地形学的な特徴を捕らえる試みや高精度物理探査の結果を広域的に解釈する必要性を訴えた。

今回の国際シンポジウムにおける科学的議論は、三次元探査による構造地質学あるいはシーケンス層序学的な構造把握、時間的に変化する地下の媒質物性把握などの必要性を訴えただけでなく、探査における技術的向上が進行していること、様々な分野に探査技術の応用範囲が広がっている現状を明らかにした。また、物理探査の対象となる時間および空間のスケールの構造や物性値変化は幅広いスペクトルを持つことも明らかになった。

表 2 国別参加者数 .

Table 2 Number of participants by resident country.

居住国 : Resident Country	参加者数 (名): Number of Participants
日本 : Japan	128
韓国 : Korea	27
米国 : USA	11
オランダ : Holland	5
オーストラリア : Australia	5
イタリア : Italy	3
イラン : Iran	3
インドネシア : Indonesia	3
中国 : China	3
カナダ : Canada	2
シンガポール : Singapore	2
タイ : Thailand	2
ベトナム : Vietnam	2
エジプト : Egypt	1
クロアチア : Croatia	1
ナイジェリア : Nigeria	1
ノルウェー : Norway	1
ブラジル : Brasil	1
マレーシア : Malaysia	1
ロシア : Russia	1
スウェーデン : Sweden	1
総参加者数 : Total	204

V. 参加者および開催の成果

招聘 VISA 申請者を除き、個人情報である国籍の確認を行っていない。従って、参加者の国籍の代わりに居住国別のリストを表 2 に示す。当初、地方開催ということで参加者確保が心配されたが、最終的に前回は 2 割以上上回る講演数および新たな一般公開講座開催の成功と予想以上の成果を挙げることができた。共催である海外の学会からの参加者も積極的に議論に参加した。

科学的発展を牽引する米国・欧州・我が国に加え、科学的成果を重視しながら著しい発展を遂げている韓国・中国といった東アジア諸国、そして現在積極的な資源開発に取り組んでいる東南アジア諸国からの参加者を一堂に集めたことから、前章で述べた科学的な内容についての記述で明らか

などおり、地下の可視化技術の発展、可視化目的に合わせた技術や可視化のためのデータ解釈技術の向上、技術と科学の相互発展のリンク強化に至る議論を展開することができた。これにより、当初目論んだ地下構造探査分野での議論や情報交換の場の提供は達成できたと思われる。

査読の終わった論文はとりまとめられ、本国際研究集会の Proceedings 論文集（冊子、ISBN 4 938493 08 X および、CD-ROM、ISBN 4 938493 09 8; Mikada *et al.*, 2006）が刊行された。また、本講演会の Proceedings 論文集から、5 編の論文がさらに鋭意選択され、物理探査学会と海外の学会（ASEG および KSEG）が共同で出版する学術誌論文の候補として著者照会が行われた。

VI. まとめ

環境の保全、資源探査、地震発生帯の解明、地震防災、火山噴火予知などに携わる研究者・技術者は、全て地下という場の解明を目指し、調査・観測・シミュレーションなどの研究を行っている。地球表面を覆う地殻の内部は人類の繁栄を支えている資源が存在するだけでなく、大きな災害を引き起こす地震が発生する場でもある。地下に関する知見の蓄積には長期にわたる研究者・技術者の試行錯誤が伴っており、本国際シンポジウムでは、地下構造可視化に取り組む研究者・技術者の科学的・技術的な情報交換の場を提供してきた。過去のシンポジウムは、調査に必要な機器の

開発、調査・観測技術の発展、データ解析手法の高度化などに世界各国でどのような取り組みがなされ、どのような技術発展につながったかを中心に議論が行われていたが、第 8 回となる今回の国際研究集会では、これまでの議論を総括し、得られたデータの解析技術および科学的な成果、研究の方向性を中心に議論が行われた。

謝 辞

本シンポジウムの運営を財政的に支えて下さった東京地学協会、日本学術振興会（科学研究費）、井上科学振興財団に御礼申し上げます。オーストラリアからのチュートリアル講師派遣の旅費をご負担下さった豪州物理探査学会のご配慮に、心からの謝意を捧げたいと思います。また、本シンポジウムの開催に当たり広報・管理・運営にご協力いただいた物理探査学会関係者に、テクニカル・ツアーに協力をいただいた西村 康氏を始めとする奈良文化財研究所の皆様にも深く感謝いたします。匿名の査読者および地学雑誌編集委員会の皆様には、本報の完成に必要な不可欠な数々のご指摘を戴きました。厚く御礼申し上げます。

文 献

Mikada, H., Asakawa, E., Endo, T., Hato, M., Inamori, T., Inazaki, T., Kim, J.-H., Nishizawa, O., Onishi, K., Saeki, T., Saito, A., Sato, M., Song, Y., Takahashi, T., Wapenaar, C.P.A., Watanabe, T. and Yamada, Y. eds. (2006) *Proceedings of the 8th SEGJ International Symposium Imaging and Interpretation Kyoto, Japan, 26-28 November 2006*. Society of Exploration Geophysicists of Japan, Tokyo, Japan, 642p.