第 3 回「海底ケーブルの科学利用及び関連技術 に関する国際ワークショップ」報告

三ヶ田 均¹⁾ 笠原 順三²⁾ 浅川 賢一³⁾
白崎 勇一⁴⁾ 林 昌奎⁵⁾ 石井 康義⁶⁾

Report for TGS Support on the Workshop on the Use of Submarine Cables and Related Technologies

Hitoshi MIKADA¹⁾, Junzo KASAHARA²⁾, Kenichi ASAKAWA³⁾,
Yuichi SHIRASAKI⁴⁾, Chang-Kyu RHEEM⁵⁾ and Yasuyoshi ISHII⁶⁾

Abstract

Scientists have been trying to understand how Earth processes occur and influence each other, and are now looking at advanced, next-generation observation technologies. The third International Workshop on the Scientific Use of Submarine Cables and Related Technologies (SSC'03) was held last June at the University of Tokyo to review what has been achieved and to explore future observations technologies. Scientists and engineers started looking at opportunities to conduct observations that would cover the dynamics and structure of the Earth's interior, plate dynamics, natural resources, geohazardous events such as earthquakes and tsunamis, hydrogeological processes in sediment, heat and material exchanges or circulation through the ocean, dynamics of microbiological or ecological processes, deep water currents, physical oceanography, marine meteorology, and air-ocean interactions, *etc.*, from the deep earth to its surface. Cross-disciplinary areas might develop depending on the scales of observations of spatial coverage. Long-term and real-time observatories would surely deepen our knowledge of these processes, about which much is still unknown. We believe that the workshop will lead to the initiation of new steps toward future sea floor observation technologies and scientific findings.

¹⁾ 海洋開発研究機構

²⁾ 東京大学地震研究所

³⁾ 海洋開発研究機構

⁴⁾ (有) マリン・エコ・テック

⁵⁾ 東京大学生産技術研究所

⁶⁾ 日本電気株式会社

¹⁾ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

²⁾ Earthquake Research Institute, University of Tokyo

³⁾ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

⁴⁾ Marine Ecotech

⁵⁾ Institute of Industrial Science, University of Tokyo

⁶⁾ NEC Corporation

I. はじめに

東京地学協会や井上科学振興財団等の後援を受け、2003年6月25日から27日にかけて東京大学駒場キャンパス（数理科学講堂）において第3回「海底ケーブルの科学利用及び関連技術に関する国際ワークショップ（The Third International Workshop on Scientific Use of Submarine Cables and Related Technologies）」が開催された（共同議長は笠原順三と Alan D. Chave；共催は IEEE 海洋工学会日本支部、東京大学地震研究所、東京大学生産技術研究所、東京大学海洋研究所、海洋科学技術センター）。わが国では、海底のプレート境界で発生する巨大地震や海洋環境に関する研究において、科学観測用海底ケーブルシステムは重要な地位を築いており、これまで気象庁、防災科学技術研究所、東京大学地震研究所、及び海洋科学技術センターにより、地震観測のための海底ケーブル観測システムが整備されている。また観測のための通信ケーブルの再利用も行われ、1990年代前半より太平洋横断ケーブル（TPC-1, TPC-2, HOW-1, HOW-2）を用いた観測が試みられた。残念ながら日本における通信ケーブル利用は、地電位ポテンシャル測定を除き2003年に終了したが、米国では現在も HOW-2 ケーブルを用いた H2O（Hawaii-2 Observatory）計画が進行中である。

本ワークショップは、海底観測を必要とする地震、津波、海洋物理などの関連科学分野の発展のために、一堂に会した理学及び工学の分野の研究者に議論の場を提供し、今後の科学観測用海底ケーブルシステムの利用に関する研究の促進と国際協力の推進を目的として開催された。第1回ワークショップは1990年ハワイ、第2回ワークショップは1997年に沖縄で開催され、それぞれ Geo-TOC ケーブル観測開始、VENUS プロジェクト実施および米国の NEPTUNE プロジェクトの発足といった成果が挙げられている。以下に今回の第3回ワークショップでの議論内容及び成果について報告する。

II. 近年の海底ケーブル観測を取り巻く状況

近年、世界を取り巻く光海底ケーブル技術及びネットワーク技術は急速に進化し、TPC-2 を用いて試みられた多目的観測（笠原ほか、2000；Kasahara *et al.*, 2000）を発展させた分岐装置方式による科学観測用海底ケーブルシステムを実現する技術的基盤が整いつつある。米国・カナダでは、西海岸の沖合に3000 km 超のケーブル観測システムを築きプレートの誕生から収束までを同時観測する NEPTUNE 計画（他の沿岸域や全地球観測網を含む全体計画は ORION 計画と呼ばれる）が開始されている。欧州では、北海と大西洋の境界域、ポルトガル沖大西洋中央海嶺、地中海海底等で、地球物理学から生物学までを網羅する数1000 km 長のケーブルを用いた地球科学観測網 ESONET 計画が開始されようとしている。これまで海底ケーブル観測の先進国であった我が国では異種分野間の結びつきが弱く、欧米のような大観測計画になかなか結びつかないのが現状である。今回のワークショップの目的は、こうした海外の動向を紹介し、日本の研究者の関心を喚起することにもあった。最終的に、講演数は全67件、参加者は104名（国外から31名、参加国数は全9か国）となり、海底ケーブル観測に興味を示す国内外の研究者間で、活発な意見交換を達成することができた。今後の多分野間の協力や新規プロジェクト開始に繋がる議論であったと自負している。

III. ワークショップの概要

本ワークショップでは、海底観測の科学的観点と技術的観点から議論が行われた。科学的には、沈み込みに伴う海底の変形過程、沈み込み帯の地震発生過程、大陸棚の地質・環境問題、中央海嶺の海洋底拡大過程、海洋水と物質の循環問題等、地質学、地球物理学、生物学、資源工学、音響トモグラフィ、沿岸海洋のモニタリング、海流のモニタリングといった多岐分野にわたる話題が提供され、科学及び工学双方の見地から議論がなされた。また、こうした観測に、リアルタイム性や時

ORION計画

Regional

Global

Coastal

図 1 ORION 計画の全体像。

沿岸 (Coastal: 図は LEO-15 ホームページから), 地域 (Regional: 図は Maffei *et al.*, 2003), 全地球 (Global: 図は R. Stephan 私信) 観測網からなる観測網の構築は OOI (Ocean Observatory Initiative) と呼ばれている。2006 年からの国際運営を目指している。

系列でのデータ取得が必要であることも確認された。一方、技術的内容として、ケーブルシステムを構築するための基礎技術、センサ技術、建設・保守技術、自走式海中ロボット AUV 等の周辺技術の現状及び今後の計画等が紹介され、工学のみならず、将来の科学的応用という観点から議論されることとなった。

ワークショップでは、まず既存のシステム及びそのシステムで得られた科学的成果について議論が行われた。国内ではまず Geo-TOC Project

(Kasahara *et al.*, 1995) で、太平洋横断通信ケーブルを再利用し、1997 年から 2002 年秋まで IZU 観測点において地震観測が行われた。ケーブル再利用の技術的な進化のみならず、5 年以上にわたり伊豆諸島の地震観測に役立てられ、観測点直下の地殻変動を世界で初めて捕らえる等、科学的に興味深い成果を得ている。ほぼ同時に 1995 ～ 1999 年に実施された VENUS (Versatile Ecomonitoring Network by Undersea-cable System) Project では、海中に分岐装置を設置し、15

図 2 ESONET 計画.

欧州連合の GMES 計画 (Global Monitoring for Environment and Security) の一部として、欧州全体の海洋観測計画として開始される予定。図中の小さい丸印は地震の分布および深さを示している。図中の大きな○印が観測の対象となる。ESONET 計画では、これら全ての地点での観測をリアルタイム化するためにケーブルを使おうとしている (Priede *et al.*, 2003)。

種類のセンサーを多目的観測のために設置する努力がなされた (Kasahara *et al.*, 2000)。更に、ケーブルを用いた地震観測、海流観測、海底環境観測等の国内成果の報告も行われた。海外に目を向けると、米国では、1997 年に LEO-15 (Long-term Ecosystem Observatory in 15 meters of water) Project が、沿岸域での生態系と海中環境の関係を解明する目的で、多種センサーを用いた詳細な観測の試みが開始された。LEO-15 では、研究者や教育者の連携及びインターネットを通じたデータの提供、AUV (Autonomous Underwater Vehicle: 自走式水中ロボット) の観測参加等の試みが行われている (Clark and Isern, 2003)。1998 年から実施された H2O では、ハワイと米国本土を接続する通信ケーブルを再利用し、やはり分岐装置を接続することにより多目的観測を実現するための試みが継続されている

(Chave *et al.*, 2003)。国内外ともに、3 次元時系列観測計画 (SCOTS) を主眼にする必要があることは、成果及び議論内容から明らかとなった。

こうした既存のプロジェクト成果に引き続き、構想が固められつつあるか、或いは今後実施が計画されているプロジェクトの現状報告、そして新規プロジェクトに必要な技術開発の現状等についての発表が行われた。米国 NSF からは海底観測施設整備計画として進みつつある ORION 計画 (図 1) とその一部である米国の北東太平洋ネットワーク観測実験計画 (NEPTUNE)、欧州の科学観測ネットワーク計画 (ESONET: 図 2) や日本の将来型海底リアルタイム観測ネットワーク計画 (ARENA: 図 3)、地中海ニュートリノ観測所計画 (NEMO: 図 4) 等の新規プロジェクトの紹介があった。上述の通り、こうした新規計画は世界の海洋観測に大きな影響を与えると想像され、これ

Conceptual Image of Network

図 3 ARENA 計画.

現在は机上設計の段階であるが、将来的に、日本周辺海域を取り巻く海底観測網の構築を目指している (Shirasaki *et al.*, 2003).

図 4 シシリー島沖にニュートリノ検出器を三次元的に配置する NEMO 計画に先立ち実施されているマルセイユ沖 ANTARES 計画の水中センサー概念図.

検出器間の位置は常に音響測距でモニタされる。核崩壊等の素粒子物理学やニュートリノ等の宇宙物理学観測のために海洋を新たな観測の場として開発する意欲的な計画である (図は ANTARES ホームページ <http://antares.in2p3.fr/> から)。

らが我が国の研究者・技術者に紹介されたことは幸であった。技術開発に関する報告では、国内ではほとんどもと全く別個に行われる科学者・技術者間の議論が、海外の計画では、いずれもプロジェクトの初期から活発に行われている現状が印象的であった。

IV. 今後の国際協調による技術開発

ワークショップ会期中、毎日パネルディスカッションの時間を設け、データの取り扱いや標準化、技術交流等の国際協力及びその実施体制についての議論も行われた。AUV 技術、新しい海底システムの技術革新、データ利用のための標準化作業等、多岐にわたる講演がなされ、将来に関する活発な議論の場となった。その結果、下記の分野について国際的な協力を推進していくことが参加者の間で合意された：

- (1) 日米欧で新規に開発するケーブルシステムでは、相互にセンサーを共有 (交換) できるシステムを実現できるよう努力する。
- (2) 今後の議論は国際地震学及び地球内部物理

学会 (IASPEI) の下部機関である国際海洋ネットワーク (ION) で継続する。

(3) 退役するケーブルを科学的に利用できるような国際通信業界と密接な関係を築く。

(4) 特に次の分野で、主として日米の研究者による技術的交流を開始・継続する。

①海底給電方式

②海底通信方式

③海底ケーブルシステムのデータフォーマット標準化とデータ交換

④海底で接続されるセンサーの標準インターフェース

⑤海底ケーブル敷設やメンテナンス技術

⑥海底ケーブル観測システムの長期信頼性確保および障害回避方式

(5) 現在構想の固まりつつある日本の ARENA プロジェクトと米国 NEPTUNE プロジェクト間での技術白書交換及び相互評価の実施。

現在、関係者で上記の合意に従った作業が始まっている。これまでの2回のワークショップと同様に、この第3回ワークショップから新たな海底観測の一步が生まれることであろう。上記の諸計画が実現できれば、地震学・海底測地、海底環境、海洋循環等の諸問題に大きく貢献することは間違いないと考えている (Kasahara *et al.*, 2003; 笠原, 2004a, b)。

V. 結 語

海底という人類のアクセスが困難な場所の観測は非常に高価にならざるを得ない。しかし今後の地球科学の発展にとり、地球表面の7割を占める海洋での観測は必要不可欠である。これまでのケーブル観測システムによって、技術的に非常に多くの成果を挙げることができ、科学的にもこれまで得られることの無かった観測記録及び成果が得られている。今後とも技術的な発展と同時に科学的成果を追い求める多くの研究者・技術者の努力の継続が重要である。

昨今欧米で進行する巨大海底観測プロジェクトでは、科学的にどのような観測を必要とするかという議論を先ずとめ、その科学的要求に対しど

こまで技術的に可能かを討論する方法が採用されている (笠原ほか, 2004)。また、当然のように多分野にまたがる多目的観測が主体となっている。このワークショップの議論からも明らかになったが、海底というアクセスの困難な場所で、限られた観測機会をどのように多くの研究者で利用するかについて議論が深められる必要がある (笠原, 2004a, b)。また、観測を実現する技術についても、科学者・技術者双方の参加する議論や討論が必要である。更に、今回のワークショップのような国際的、科学的、技術的議論を深めるための場の必要性は言うまでもない。

なお、口頭発表およびポスター等の発表は、プロシーディング論文集として印刷物および CD-ROM で出版 (IEEE 番号: 03EX660, ISBN: 0-7803-7775-3, 米国国会図書館番号: 2002117597) された。参加者以外の研究者や研究機関で購入することができる。ご購入を希望される方は IEEE Online Catalog & Store (<http://shop.ieee.org/store/>) を御覧いただきたい。

また、ワークショップの詳細については IEEE Ocean Engineering Society, Japan Chapter のホームページをご参照戴きたい。

VI. 参考 WEB サイト

ARENA: http://homepage.mac.com/ieee_oes_japan/ARENA/ARENA-J.html

ESONET: <http://www.abdn.ac.uk/ecosystem/esonet/>

H2O: <http://www.whoi.edu/science/AOPE/DSO/H2O/>

IEEE Ocean Engineering Society, Japan Chapter: http://homepage.mac.com/ieee_oes_japan/SSC03/index.html

LEO-15: <http://www.whoi.edu/science/AOPE/dept/OSL/LEO/>

NEMO: <http://www.es.ucl.ac.uk/research/rip/CREEP/Nemo1.htm>

NEPTUNE: [http://www.neptune.washington.edu/](http://www.neptune.washington.edu/ORION計画: http://www.coreocean.org/dev2go.web?id=249051)

SCOTS: http://www.geo-prose.com/projects/scots_rpt.html

謝 辞

会議の開催にあたり、東京地学協会の国際会議開催助成金を得たことを深く感謝します。同様に、井上財団、国際通信、東京大学生産技術研究所、海洋科学技術センター（現：海洋研究開発機構）からそれぞれ国際会議に対する助成金を得ました。関係各位に感謝します。

文 献

- Chave, A.D., Bailey, J.W., Beaulieu, S., Butler, R., Duennebie, F.K., Filloux, J.H., Harris, D., Manda, M., Orcutt, J.A., Smith, K., Stephen, R., Tarits, P., Vernon, F.L. and Wooding, F.B. (2003): 2003-2004 Upgrades and additions to the Hawaii-2 observatory. *Proc. 3rd Int. Workshop on Scientific Use of Submarine Cables and Related Technologies, IEEE*, 14-19.
- Clark, H.L. and Isern, A. (2003): Cabled observatories for ocean research: A component of the ocean observatories initiative. *Proc. 3rd Int. Workshop on Scientific Use of Submarine Cables and Related Technologies, IEEE*, 209-214.
- 笠原順三 (2004a): 海底ケーブルを用いた海洋・地球・環境科学研究の科学的目的. 月刊地球, **26**, 209-212.
- 笠原順三 (2004b): 海底ケーブル式観測におけるリアルタイム地震観測の目的と意義. 月刊地球, **26**, 234-239.
- Kasahara, J., Utada, H. and Kinoshita, H. (1995): Geo-TOC project- Reuse of submarine cables for seismic and geoelectric measurements. *J. Phys. Earth*, **43**, 619-628.
- 笠原順三・白崎勇一・川口勝義・岩瀬良一・中塚 正 (2000): 海底観測の新時代—海底ケーブル利用によるリアルタイム多目的海底観測—. 地学雑誌, **109**, 902-933.
- Kasahara, J., Shirasaki, Y. and Momma, H. (2000): Multidisciplinary geophysical measurements on the ocean floor using decommissioned submarine cable VENUS project. *IEEE J. Ocean Eng.*, **25**, 111-120.
- Kasahara, J., Chave, A.D. and Mikada, H. (2003): Exploring the use of submarine cables and related technologies. *EOS Trans.*, **84**(50), 563.
- 笠原順三・三ヶ田 均・浅川賢一・白崎勇一 (2004): 海洋地球観測の大変革: 1D 観測から 4D への幕開け. 月刊地球, **26**, 201-208.
- Maffei, A., Chave, A., Bailey, J., Bradley, A., Garcia, X., Gelman, H., Lerner, S. and Sonnichsen, F. (2003): A modular gigabit ethernet backbone for NEPTUNE and other ocean observatories. *Proc. 3rd Int. Workshop on Scientific Use of Submarine Cables and Related Technologies, IEEE*, 191-196.
- Priede, I.G., Solan, M., Mienert, J., Person, R., Van Weering, T.C.E., Pfannkuche, O., O'Neill, N., Tselepidis, A., Thomsen, L., Favali, P., Gasparoni, F., Zitellini, N., Millot, C., Gerber, H.W., de Miranda, J.M.A. and Klages, M. (2003): ESONET- European sea floor observatory network. *Proc. 3rd Int. Workshop on Scientific Use of Submarine Cables and Related Technologies, IEEE*, 263-265.
- Shirasaki, Y., Yoshida, M., Nishida, T., Kawaguchi, K., Mikada, H., Asakawa, K. and Members of committee on the submarine cable-network for scientific seafloor monitoring organized by IEEE OES Japan Chapter, ARENA (2003): A versatile and multidisciplinary scientific submarine cable network of next generation. *Proc. 3rd Int. Workshop on Scientific Use of Submarine Cables and Related Technologies, IEEE*, 226-231.