

Ten-year Review for the Ocean Hemisphere Research Center

1. Committee and its Charge

The external committee to review the Ocean Hemisphere Research Center (hereafter OHRC) consisted of five members. In alphabetical order, they were Professor Hiromi Fujimoto (Tohoku University), Professor Kazuo Hirahara (Kyoto University), Dr. Mizuho Ishida (National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention), Professor Jean-Paul Montagner (University of Paris VII, France), and Professor Toshiro Tanimoto (University of California, Santa Barbara, USA). The Chair of the committee was Professor Tanimoto.

The charge to the committee, given by Professor Shuhei Okubo (Director of Earthquake Research Institute), was (1) to evaluate the performance of OHRC over the last ten years on its administration and research activity and (2) to provide suggestions and recommendations for its future directions.

2. Procedure for Evaluation

From the beginning, OHRC had multi-faceted goals; it was expected to (i) maintain the Ocean Hemisphere Network, originally developed by a Grant-in-aid research program called the Ocean Hemisphere Project (1996-2001), (ii) develop new instruments for geophysical observations (seismic and electromagnetic), (iii) conduct cutting-edge research projects and (iv) provide OHP data as a data center to international research community. We broadly reorganized these four points into three and evaluated performances on (1) Observation, (2) Scientific achievements, and (3) Data Center. We also discussed and evaluated OHRC from its (4) graduate education records and (5) international collaboration. These five items are elaborated in more detail in the next section.

3. Evaluation

(3.1) Observation

Truly pioneering, world-class achievements were made by OHRC researchers in various aspects of observations. The committee was particularly impressed with

- a) Development of Broadband Ocean Bottom Seismometers (BBOBS). It now seems possible to plan and conduct temporary, flexible seafloor arrays using many broadband OBSs. Such a capability is unique in the world. OHRC with collaborations with JAMSTEC, leads the world in this aspect.
- b) Completion of seafloor borehole seismometer installation (WP-1 and WP-2). Seafloor (semi-)permanent facilities are still rare in the world. Needless to say, data from remote oceanic areas are valuable for understanding earth structure and earthquakes. These stations, along with JT-1 and JT-2 by JAMSTEC, are excellent prototypes for future permanent stations on the seafloor.
- c) Seafloor electric field measurements using submarine cables. From its trans-Pacific scale, these data provide constraints on electrical conductivity in the deep

earth and are a unique source of information. This is also a good example of successful international collaboration (with US institutions, in this case).

- d) Development of seafloor electromagnetic observation techniques.
- e) Heat flow measurement at shallow oceans. Heat flow measurements at shallow ocean floors has been known to be very difficult because of large temperature variations. Successful measurements were made on the Japan side of the Nankai Trough.

Each of these five developments contains innovative approach and may point to the way the future observations should be done in geophysics.

OHRC also successfully maintained on-land permanent broadband seismic stations, located in Southeast Asia and Pacific islands. Some of them were the legacy of previous projects, POSEIDON and OHP, and are important and valuable stations for researchers in the world. Standardized instruments and good maintenance, as well as contribution of data to other seismological data centers (FDSN data center and IRIS-DMC in US) are important contributions to the international community.

Because of its importance, the committee felt that the maintenance of these broadband seismic stations must be responsibly continued in the future. We hope these valuable assets will not be lost by reorganization of research institutions. Because OHRC (and ERI) is a research institution which should put priority on performing creative research, we think the maintenance of permanent seismic stations and the data center should be transferred to other institutions in the future such as JAMSTEC.

Data center has received requests that peaked over 2000 in 2004. It has carried out its task faithfully and provided important data sets to the international community.

(3.2) Scientific achievement

The committee was especially impressed with the combined study of seismic and electromagnetic tomography. Strictly speaking, joint inversion was not done or even possible at present but this combined approach for the same region provides additional perspectives as to the cause(s) of 3D mantle anomalies. Results are clearly richer in information content than seismic tomography alone. We recognize a number of difficulties in the interpretation of two tomographic results. But the fact that this committee was unanimously impressed, with members consisting of different backgrounds, probably means that this line of approach also appeals to other researchers and the joint seismic and EM study may become a popular approach in the near future. These results by OHRC researchers will then be recognized as the cutting-edge work that demonstrated their importance at its early stage.

Research activities at OHRC also led to surprising by-products such as

- a) Continuous oscillations, now often called the HUM outside Japan,
- b) Seismology in the atmosphere,

c) Broadband seismological study of volcanic processes.

They are all first-class research achievements. We regard them as by-products of OHRC because these projects were not the ones that led to the original formation of this research group. But there is no question that collection of global seismologists at OHRC led to these serendipitous discoveries. We think it would not have been possible without the existence of a research unit like OHRC.

The original goal of OHRC is closely related to the Stagnant Slab Project (2004-2009, hereafter SSP). Members of OHRC are the main players in the SSP. This is an on-going project with great promise for breakthrough because of the planned data collection using BBOBS and data from WP-1 and other permanent stations maintained by OHRC. We expect these results will lead to more robust results to clarify the nature of stagnant slabs in this western Pacific region and possibly lead to our new understandings of large-scale mantle dynamics.

(3.3) Future Projects

SSP is the main project that currently occupies the main research efforts by members at OHRC. This project will last until 2009, so a large portion of research efforts at OHRC must be expended on this large, funded project. An important question of future is what are potential scientific questions that OHRC should pursue beyond SSP.

For future directions after SSP, we felt that questions that address large-scale, deep mantle dynamics is the area that should be pursued. While there will undoubtedly be much progress in our understanding of tectonics from SSP, some important questions still remain such as

- (1) How deep slabs will go after stagnation at 700 km?,
- (2) Do slabs stop at about 2000 km as some seismic tomographers have proposed?
- (3) What is the role of fluids in geodynamics? The fluid content in the crust and mantle may have important implications to earthquakes, volcanic processes and mineralogical compositions.

These are certainly long standing questions that have been addressed many times before and are crucial ones in understanding mantle dynamics. With dense array data from lands (NECESSArray) and oceanic regions, both in seismic and electromagnetic data, efforts at OHRC may lead to breakthroughs in this area of research topics and we hope this line of efforts to be continued after SSP.

Another question the committee addressed is how we regard the current NECESSArray proposal, which is a proposal for on-land array observation in the Northeastern China (NE China). This proposed project is similar to USArray, the efforts in North America being pursued in US.

We believe the proposed NECESSArray project will be a good, complimentary project to SSP; the dense observation in NE China will most likely clarify the shallow structure above the stagnant slabs that extends from Japan to NE China. Effects from stagnant slabs on tectonics may be crucial in determination of the style of tectonics in this

region and we may gain some perspectives by this project. Considering its promise for success and relatively cheaper cost in comparison to seafloor instruments, we believe the proposal to purchase some on-land seismic instruments is a good idea.

The committee also felt that future efforts should be interdisciplinary. We note such an attempt is already under way within SSP, which includes mantle convection calculations and high-pressure experiments. It is obvious to us that any future projects that are related to deep earth dynamics should contain interdisciplinary elements, because understanding mantle dynamics requires understanding rheology, temperature effects and compositional variation effects. Seismic and EM data alone are clearly not sufficient.

It is also a good idea to take advantage of fantastic computing facilities that are uniquely available to Japanese scientists. “Earth Simulator” and the next generation supercomputer are important resource that gives an edge to scientists in Japan. We believe that interdisciplinary efforts should include this computational element whether it is in the form of simulation, modeling or data analysis.

(3.4) Graduate education

OHRC produced 13 Ph.D. students over the last 10 years. For the same period, ERI as a whole produced 68 Ph.D. students in science and 82 Ph.D. students, including engineering students. Within ERI, the number of students are on par or slightly better than average. Thirteen students over 10 years are not necessarily high for a graduate academic institution but all of their graduates went on to research positions in academia or government research laboratories. In that sense, we believe OHRC has done a job of producing researchers in geophysics for the next generation.

After the 1995 Kobe earthquake, study of the Earth’s interior by Japanese seismologists has tended to focus exclusively on local structure surveys related to problems of earthquake occurrence. Only a small number of groups have pursued research on global structure and dynamics. Among them, OHRC has played an important and central role in this field. We recognize the foresight that ERI had when OHRC was formed, and hope that ERI will support this group and continue to attract young researchers to this field.

(3.5) International collaboration

Because of limitation on time, we could only briefly discuss this point and mainly focused on the visiting professorship program. Over the 10 years, there were 22 visiting professors with two of them returning for the second time. Publication list indicates good interactions and collaboration between visiting professors and scientists at OHRC. Also joint funding application has been attempted in various counties; for example, funding for the new project NECESSArray is being submitted to Japanese government by Professor Kawakatsu and to the US National Science Foundation by Professor Niu and Professor Grand, two scientists who came as visiting professors (The proposal includes Professor Ni, who has not been to OHRC/ERI as a visiting professor). We think this visiting professor program has been a successful, important element for the activity of OHRC and encourage continuation of the current program.

It appears that the current rule for visiting professors has an undesirable, inflexible element. For a given year, OHRC typically had three visiting professors, but the current rule stipulates that their stay cannot overlap; only one researcher could be at ERI at any given time, meaning two other scientists' visit (on average) must be scheduled to avoid this time period, even though the total number of appointments for three scientists do not exceed 12 months. Considering the difficulties for senior scientists to leave their home institutions for long period of time, a more flexible rule would probably have attracted other prominent scientists to this program. Changes for more flexibility should be explored within the rules of the University.

4. Recommendations

Review of performance of OHRC during its first 10 years indicated to us the development of first-rate observational facility, innovative new observation techniques and scientific achievements. Many aspects of them are world-class and a few of them (BBOBS, Seafloor borehole facility) are ahead of the world. OHRC has clearly achieved distinction and respect in the field of global seismology and electromagnetic study.

We make the following recommendations with hopes of maintaining success and achievements by this research group within ERI:

- I. **We unanimously and whole-heartedly support to continue OHRC beyond the original 10-year period.** We have no doubt that this group will bring further distinction to ERI and the University of Tokyo as a world-class global geophysics group.
- II. **We recommend to take advantage of a few techniques that this group uniquely possesses.** This includes BBOBS and EM (Electromagnetic) measurements on the seafloor. Both are related to observation in oceanic regions. Naturally, this will require some ship-time and close collaboration with JAMSTEC. Development of future plans and close collaboration with JAMSTEC should be sought.
- III. **As for future projects, we recommend that OHRC will further pursue study of deep interior and mantle dynamics in general. And this effort should be an interdisciplinary effort.** Developed techniques for oceanic observations, both seismic and electromagnetic ones, will give special advantage to this group. Combined inversion of seismic and EM tomography will inspire scientists in the world and we believe that such efforts will naturally lead to distinction of this group in global geophysics. The effort should also include numerical modeling and simulation, taking advantage of fantastic computational facilities in Japan.

10年目を迎える海半球観測研究センターの外部評価レポート（和訳）

1. 外部評価委員会とその任務

海半球観測研究センター（以下、OHRC）に対する外部評価委員会は5名から構成されている。アルファベット順に、藤本博巳教授（東北大学）・平原和朗教授（京都大学）・石田瑞徳博士（防災科学技術研究所）・Jean-Paul Montagner 教授（パリ第7大学）・谷本俊郎教授（カリフォルニア大学），であり，委員長は谷本教授である。

当委員会に対し，大久保修平教授（地震研究所所長）より与えられた任務は，（1）過去10年間に於ける OHRC の活動をその組織運営と研究成果の点で評価すること，および（2）その将来の方向性について示唆と提言を与えること，であった。

2. 評価の手順

設立当初から，OHRC には多面的な目標があった。（i）海半球ネットワーク計画（1996－2001，以下，OHP）と呼ばれる科学研究費プログラムで独自に開発した海半球観測網を維持すること，（ii）地球物理観測（地震および電磁気）の為に新しい機器を開発すること，（iii）最先端の観測研究を実施すること，および（iv）データセンターとして国際コミュニティへ OHP のデータを提供すること，が期待されていた。我々はこれら4点を概ね3点にまとめ直し，（1）観測，（2）科学的成果，及び（3）データセンター，に対して活動を評価した。また，（4）大学院教育，及び（5）国際協力，に関しても議論し評価を行った。次章にてこれら5項目について詳しく述べることにする。

3. 評価

（3. 1）観測

観測の数々の面において，OHRC の研究者により，真に開拓的で世界に比肩する業績が得られている。当委員会は以下の項目で特に感銘を受けた：

- a) 広帯域海底地震計（BBOBS）の開発。今や，多数の BBOBS を用いた海底機動アレイ観測を計画し実行することが可能になっている。このような観測ができるのは世界でも OHRC のみである。OHRC は JAMSTEC との連携により，この分野で世界の先頭に立っている。
- b) 海底孔内地震計の設置（WP-1 と WP-2）。海底での（準）定常的観測施設は世界的に現在でも希である。言うまでもなく，遠く離れた海域でのデータは地球構造と地震現象を理解する上で価値の高いものである。これらの観測点は，JAMSTEC による JT-1 と JT-2 と共に，今後の海底定常観測点の優れたプロトタイプとなる。
- c) 海底ケーブルを用いた海底電場観測。その太平洋横断という規模により，このデータは地球深部での電気伝導度への拘束条件を与える唯一の情報源となっている。これは国際協力（ここでは米国研究機関との）に成功した良い事例にもなっている。
- d) 海底電磁気観測技術の開発。

e) 浅海での熱流量測定. 大きな温度変化があることから, 浅海での熱流量測定は非常に困難であることが知られていたが, 南海トラフの日本列島側での測定に成功した.

これら 5 件の開発にはそれぞれに革新的取り組みがあり, 地球物理学において将来の観測でなされるべき方向を指し示しているとも言える.

OHRC では, 東南アジア地域と太平洋の島々に配置した陸上の定常的広帯域地震観測点についても成功裏に運用してきた. それらのうちいくつかは POSEIDON や OHP などの計画の成果を引き継いだものであり, 世界中の研究者にとって重要かつ価値のある観測点である. 標準化された観測機器とその適切な維持は, 他の地震データセンター (FDSN データセンターと米国の IRIS-DMC) へのデータの寄与と同様に, 国際コミュニティに対する重要な貢献である.

その重要さから, 当委員会は, これら広帯域地震観測点の維持を将来に渡って責任を持って続けるべきものと痛切に感じた. 我々は, これら価値のある資産が, 研究機関の再編により失われことが無いように願っている. OHRC (そして地震研究所) は創造的研究を優先すべき研究機関であることから, 定常地震観測点とデータセンターの維持は将来的には JAMSTEC 等の他の機関へ移行するべきと考える.

データセンターでは, 2004 年に 2000 件を超えるデータの要求を受けている. これは, センターとしての責務を忠実に果たし, 国際コミュニティに対し重要なデータを供給している, ということである.

(3. 2) 科学的成果

当委員会は, 地震および電磁気トモグラフィーの統合的研究に格別な感銘を受けた. 厳密に言えば (地震と電磁気) の結合インバージョンがなされているわけではないし, それを行うことが今現実的なわけでもないが, 同一地域での統合的研究手法は 3 次元マントル不均質の原因に関する新たな視点を与えている. この結果は, 地震トモグラフィーのみによるものよりも, 多くの情報に富んでいることが明かである. 我々は 2 つのトモグラフィーの結果への解釈にいくつかの検討の余地があることを理解している. しかし, 異なる研究分野のメンバーからなるこの委員会が全員一致して強く感銘を受けたという事実は, このような研究の方向性は他の多くの研究者にも魅力的に思えるだろうし, 地震と電磁気を結合させた研究が近い将来に (深部マントル研究分野に於ける) 標準的手法となり得ることを意味していると考えられる. OHRC の研究者によるこれらの結果は, その初期段階に於けるそれらの重要性を証明した最先端の研究成果として認識されることになるであろう.

OHRC での研究活動は以下のような驚くべき副産物ももたらしている :

- a) 常時地球自由振動 (日本国外では今日 HUM と呼ばれている),
- b) 大気地震学,
- c) 火山現象の広帯域地震観測による研究.

それら全てが第一級の研究成果である. OHRC 設立の元来の趣旨には直接はつながらないこと

から、我々は、これらの成果は OHRC の副産物であると見なしている。しかしグローバル地震学分野の研究者が OHRC に集まったことが、これらのある意味で偶然的で驚くべき発見をもたらしたことは疑問の余地はない。OHRC のような研究組織の存在無しにはおこりえなかったであろう。

OHRC 元来の目標は、現在はスタグナントスラブ計画（2004–2009、以下 SSP）に引き継がれている。OHRC の構成員は SSP での中心的役割を担っている。SSP は現在進行中の計画であり、新たなブレークスルーをもたらす可能性が高いと考えられる。なぜなら、BBOBS による機動観測データと、OHRC により維持されている WP-1 や他の定常観測点のデータが得られるからである。我々はこれらの観測結果が、西太平洋域でのスタグナントスラブの実態を明らかにするより強固な成果につながることを、さらに大きなスケールでのマントルダイナミクスの新たな知見を導くことを期待している。

（3. 3）将来計画

SSP は、OHRC の構成員が中心的に遂行している研究プロジェクトである。この計画が 2009 年まで継続することから、OHRC の研究的活動の多くは、この大規模ですでに研究費補助を受けている計画に対し費やされるべきものである。したがって将来計画についての重要な懸案は、OHRC が SSP の後に追い求めるべき課題は何かということである。

SSP 後の将来の方向性としては、大きなスケールの深部マントルダイナミクスに関する研究課題が追求されるべきであると、我々は感じた。SSP によってテクトニクスに対する知見が大幅に進展するであろうことに疑いはないが、以下のようないくつかの重要な疑問点が依然残る：

（1）スラブは 700km で滞留した後どの深さまで沈み込むのか？

（2）ある地震トモグラフィー研究者が提唱するように、スラブは約 2000km で本当に止まるのか？

（3）ジオダイナミクスにおいて、流体のはたす役割は何か？ 地殻およびマントルにおける流体の存在量を明らかにすることは、地震・火山活動・鉱物構成に対する重要な示唆を与えるかもしれない。

これらは、これまでに何度となく提出されてきた重要な課題であり、マントルダイナミクスを理解する上で決定的に重大なものである。陸域（NECESSArray）と海域で得られる、地震と電磁気の高密度なアレイ観測データを用いることで、OHRC による研究は、この研究分野に画期的な進展をもたらす可能性があり、我々はこの方向での研究活動が SSP 後も続けられることを望んでいる。

当委員会はさらに、中国北東部での陸上アレイ観測計画である NECESSArray 計画の提案を検討した。この計画は、米国で進行中の北米における USArray に似た規模のものである。

我々は、提案されている NECESSArray 計画は、SSP と相補的で適切な良い計画であると考えている；中国北東部での高密度観測は、日本から中国へと広がるスタグナントスラブより上の浅い構造を明確にするであろう。スタグナントスラブによるテクトニクスへの影響はこの領域

でのテクトニクスの状態の決定に重大で、この計画からなんらかの展望が開けるかもしれない。その成功の見込みと海底観測機器と較べて低コストなことを考慮すると、陸上用地震観測機器を整備する提案は良い考えである。

当委員会はまた、将来の研究的活動は分野間の連携によるものであるべきと感じた。そのような試みは、マントル対流の数値計算と高圧実験を取り込んでいることで、SSP では既に進行中である。今後行われる地球深部のダイナミクスに関連した研究計画には、分野間連携の要素が含まれていなければならないのは明かである。マントルダイナミクスを理解するには、レオロジー、温度の影響、組成変化の影響を理解する必要があるからである。地震と電磁気のデータだけでは十分ではないのは明らかである。

日本の研究者だけに与えられている素晴らしい計算機の設備を利用するのも良い考えである。“地球シミュレーター”と次世代のスーパーコンピュータは日本の科学者に有利さを与える大事な資産である。分野間連携の研究活動には、シミュレーション、モデリング、データ解析のどれであってもよいが、この計算科学の要素を取り入れるべきであると我々は信ずる。

(3. 4) 大学院教育

OHRC は 13 名の課程博士をこの 10 年間に輩出してきた。同じ期間に、地震研究所全体では理学系で 68 名、そして工学系を含めては 82 名を輩出した。学生数は、地震研究所の中では、平均的もしくはやや上である。10 年間で 13 名の博士学生という数字は大学院教育の研究機関として必ずしも高くないが、それら全ての修了生が教育機関又は政府の研究所の研究職に進んでいる。その意味で、OHRC は次世代を担う地球物理学の研究者を育てる役割を果たしてきたと我々は信じる。

1995 年の神戸地震の後、日本の地震学者による地球内部の研究は、地震発生の問題に関連した局所的構造の調査にもっぱら集中している傾向がある。少数のグループのみがグローバルな地球の構造やダイナミクスの研究にたち向かっている。その中で、OHRC はこの分野での重要かつ中心的役割を果たしてきた。我々は、OHRC が設立される際、地震研究所に先見の明があったことを認める。地震研究所が、この研究グループを援助していくこと、さらにこの分野へ若い研究者を引き寄せ続けることを望んでいる。

(3. 5) 国際協力

時間的制約のため、我々は国際協力の点では簡単な議論をするにとどまり、主に客員教授制度について焦点をあてた。この 10 年間で 22 名の客員教授がおり、内 2 名は 2 度の滞在をしている。客員教授と OHRC の研究者の間に良い研究交流と協力があったことは発表論文リストが示している。更に、連携した研究資金申請の試みも各国で実施されている。例えば、新たな計画である NECESSArray についての研究資金を、日本政府に対しては川勝教授から、米国 NSF に対しては Niu 教授と Grand 教授から申請されている。この二人の研究者は、客員教授として滞在したことがある（申請書には、OHRC/地震研究所に客員教授として来ていない Ni 教授も含まれている）。我々はこの客員教授制度が成功しており OHRC の研究活動において重要な要素となっていると考えており、現行制度の継続を奨励する。

客員教授についての現行の規定には、不必要で柔軟性の乏しい項目があるようだ。通常 OHRC は 1 年間に 3 名程の客員教授を招聘しているが、現行の規定では彼らの滞在は重複出来ないと明記されている。一人の研究者しか、与えられた期間に地震研究所に滞在出来ないという事で、他の（平均で）2名の滞在はこの期間を避けて日程調整する必要があることを意味する（合計の滞在期間が12ヶ月を超えないという条件のもとで）。上級の科学者が長期間にわたり所属研究機関を離れることが難しいことを考えると、この客員教授の制度がより柔軟であれば、さらに他の高名な科学者を招聘出来たであろう。大学の規定をより柔軟なものに変更することを検討すべきである。

4. 提言

OHRC の最初の 10 年間の研究活動のレビューを行った結果、第一線級の観測機器・設備の開発が行われ、革新的な新しい観測技術、数々の科学的業績がもたらされたことが明らかになった。それらは多くは世界トップクラスであり、さらにその内のいくつか（BBOBS と海底孔内観測施設）は世界を凌駕している。OHRC は、グローバル地震学と電磁気学の研究分野において特別な地位と尊敬を勝ち得たのは明らかである。

我々は、地震研究所内のこの研究グループによる成功と業績が継続されることを期待し、以下の提言をする。

- I. **我々は全員一致、そして誠意をもって、OHRC が当初の 10 年間を超えて組織として継続されることを支持する。** このグループが、世界トップクラスのグローバル地球物理学研究グループとして地震研究所と東京大学に対して更なる榮譽をもたらすということに疑問の余地はない。
- II. **我々はこのグループのみが所有するいくつかの技術を適切に利用することを推奨する。** これには BBOBS と海底での電磁気計測が含まれる。両者とも大洋域での観測に関係している。そのためには備船が必要であり、JAMSTEC との密接な連携が必要となる。将来計画の構築と JAMSTEC との密接な連携を計るべきである。
- III. **将来の計画として、OHRC は地球深部構造とマントルダイナミクスの研究を更に追求することを我々は総論として推奨する。そしてこの研究活動は分野間連携的であるべきである。** 海域における地震および電磁気観測に対して開発されてきた技術は、このグループに特別な有利さを与えるであろう。地震と電磁気トモグラフィーを結合したインバージョンは世界の科学者に多大な刺激を与えるであろう。そのような研究を続けることにより、グローバル地球物理学分野において、OHRC の特別な地位が自然に得られるであろう。その研究活動には、日本の素晴らしい計算機の設備を利用した数値モデリングやシミュレーションもまた含まれるべきである。