

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2019～2023

課題番号：19H00731

研究課題名(和文) SPPIM計画 - 海中浮遊ロボット地震広域観測による太平洋ブルーム全貌イメージング

研究課題名(英文) SPPIM: South Pacific Plume Imaging with floating robots

研究代表者

大林 政行 (Obayashi, Masayuki)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・海域地震火山部門(火山・地球内部研究センター)・主任研究員

研究者番号：30359179

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,800,000円

研究成果の概要(和文)：太平洋下大規模マントルブルームの詳細な地震波速度構造を得るため、ハイドロフォン搭載フロート50台を用いた海洋地震観測を日仏米中4カ国共同により2019年に開始した。これにより衛星通信にて準即時的に地震P波波形データが海洋観測点で入手可能となった。予備的なトモグラフィーによりカロリン海山列下のブルームの構造を明らかにした。水深1500mの深海サウンドチャンネルを漂流するフロートにより2022年1月15日に起きたトンガでの海底火山噴火に伴うT波が観測され、フロート間のT波走時差を測定しT波発生源を求めた。同様に2023年10月9日の鳥島沖地震に伴うT波解析により孀婦海山における噴火の可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

観測が困難な海洋での地震観測をハイドロフォン搭載フロートという海底地震計とは異なる機器を用いて国際協力により南太平洋で大規模に行った。この世界初の大規模観測により新たな海洋地震観測の手法を示すと共に、今まで観測点不足のため不可能であった海洋下マントルの詳細な地震波速度構造の解明に向けて新たな展望を開いた。また、フロートによる海底火山噴火に伴うT波が観測されそれらを解析することにより、正確な噴火場所推定にフロートデータが有効であることが示された。これにより、時には津波を引き起こすなど甚大な被害を伴う海底火山の基礎研究発展につながる観測がフロートで期待される。

研究成果の概要(英文)：In order to obtain detailed seismic wave velocity structure of the mantle plume from the core-mantle boundary in the South Pacific, Japan, France, the United States, and China have started seismic observations in the South Pacific using 50 floats equipped with hydrophones. This makes it possible to obtain seismic P-wave waveform data from ocean observation points in quasi-real time via satellite communication. Preliminary tomography has revealed the plume structure beneath the Caroline Seamount chain. In addition, T-waves associated with the submarine volcanic eruption of Tonga that occurred on January 15, 2022 were observed with floats drifting in a deep sound channel at a depth of 1,500 m, and the T-wave propagation time difference between floats was measured to identify the source of the T-waves. Similarly, T-wave analysis of the Torishima-oki earthquake on October 9, 2023 suggested that it may have been an eruption of the Sofu Seamount.

研究分野：地震学

キーワード：海洋地震観測 ハイドロフォン 太平洋ブルーム 地震波トモグラフィー フロート 海底火山 T-phase

### 1. 研究開始当初の背景

プレートの沈み込み、マントル大規模上昇流によるマントル内の熱輸送は地球冷却に大きな役割を担っていると考えられ、マントルダイナミクス・進化の研究上の大きな意義を持つ。マントル対流に関連する温度分布の指標となる地球内部 3 次元地震波速度構造の推定は、地球内部ダイナミクスを解明するのに重要かつ必要不可欠な手段である。地震波トモグラフィーで明らかとなった 3 次元地震波速度構造により、マントル対流が太平洋とアフリカで上昇流、環太平洋で下降流の大規模パターンを持つこと、沈み込んだプレートが深さ 660km の上部マントルの底で水平に横たわりマントル対流が単純な一層対流ではないこと等、マントルダイナミクスの根幹に関わる発見がなされた。しかし地球表面の約 7 割を占める海洋にはほとんど地震観測点がないため、得られる地球内部構造の分解能が海洋域で非常に低いという致命的欠点がある。従って全マントルで均一かつ高解像度に地震波速度構造を得る理想的なトモグラフィーの達成はグローバル地震学の目標であり、地球の進化、ダイナミクスを研究する上で切望され続けてきた。このようなトモグラフィーの実現に向けて、海底地震計による多くの観測が行われ、そのデータを使用することで海洋域でのトモグラフィー解像度向上が図られてきた。このアプローチは最も正攻法であるが、海底地震観測は船舶により設置し、1-2 年間の観測後、再び船舶による回収を経て初めてデータを得るため、多大な時間・コスト・労力を要する。よって、この手法で全海洋域への地震観測点の展開・データ取得は非現実的であり、代替の手法が望まれていた。

### 2. 研究の目的

本研究は均一高解像度な全マントルトモグラフィーモデルの構築に向けたスタートとなる海域地震観測を南太平洋で前例のない規模で行い、それによって得られるデータを使用し観測海域下でのトモグラフィー分解能を大幅に向上させることを目的としている。南太平洋には地球に 2 つしかない核-マントル境界から地表までに至る大規模なマントル上昇流が存在しており、その上昇流のマントル全深さにわたる形態全貌を高解像度で明らかにする。海域地震観測ではハイドロフォン搭載海中浮遊型ロボット (MERMAID フロート) を用いて海底で地震 P 波から変換された水中音波データを衛星通信にて準即時的に入手する。MERMAID フロートは深海サウンドチャンネルに当たる水面下 1500m を漂流するため海底火山による T-phase の観測を試みることも本研究の目的である。

なお本研究目的の延長線上にある最終的な目標 (全マントルの均一かつ高解像度に地震波速度構造を得る理想的なトモグラフィーの達成) には延べ 1000 台規模の MERMAID フロートでの観測が望まれる。全海域での地震データの取得を一度ではなく、本研究の様に段階的に進めていくことで達成につながるであろう。

### 3. 研究の方法

- (1) 日仏米中 4 カ国による国際連携で MERMAID フロート 50 台を南太平洋で展開し、5 年間海底で地震 P 波から変換された水中音波データを蓄積する。
- (2) 蓄積されたデータを解析し、マントルトモグラフィーによってマントル大規模上昇流が存在する南太平洋下の地震波速度不均質構造を明らかにする。MERMAID フロートデータを活用するためトモグラフィー手法を開発する。
- (3) 海底火山噴火等の T-phase 検出を試み、そのデータの特徴を明らかにする。

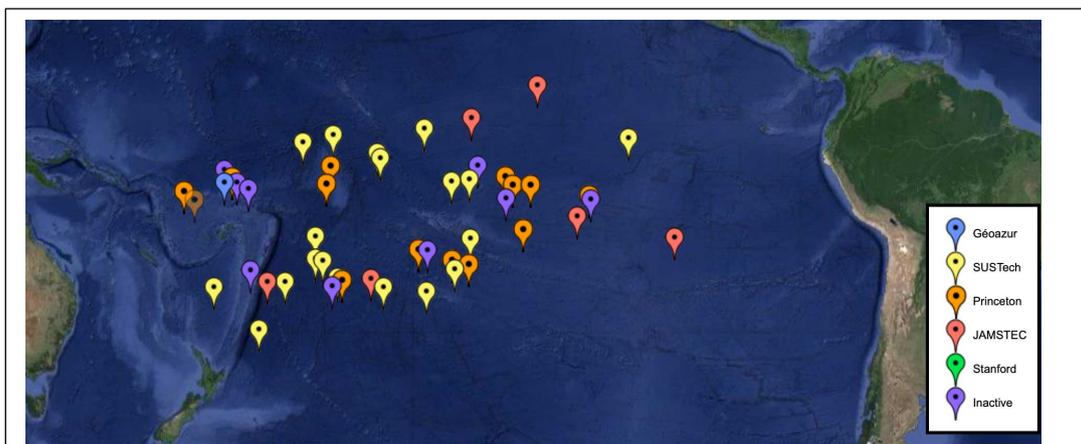


図1 2024年3月31日におけるMERMAIDフロートの位置

#### 4. 研究成果

(1) 2019年8月にフランス研究船 Atalante のパペーテ (タヒチ) –ヌメア (ニューカレドニア) 間の航海にて本研究で取得した MERMAID フロートと中国の MERMAID フロートと合わせて 27 台を日仏米中の研究者の共同で海中へ投入展開した。その結果、日仏米により既に展開されている 23 台に加えて、計 50 台の MERMAID フロートが図 1 の通り南太平洋で稼働することとなり、前例のない大規模な海洋地震観測が開始された。そのうち 40 台は現在稼働中であり、データを送信し続けている。

(2) 日仏米中の研究者で P 波実体波走時解析が行われた。その走時データを使用してトモグラフィを実行したところ、走時解析に不備があったことが判明し、現在走時解析をやり直しているところである。このトモグラフィ解析により南太平洋下の大規模上昇流の詳細解明が期待される。一方、MERMAID フロートデータに応用可能な地震波トモグラフィをオントンジャワ海台周辺に展開した海底地震計のデータを用いて実施した。その結果、オントンジャワ海台の下のマントル遷移層にかつて沈み込んだ太平洋プレートの残骸が横たわっていることを発見した。本研究で対象にしている太平洋プルームの底にある低速度異常の西端から小規模な上昇流がカロリンホットスポットに向かって上昇していることが過去の研究で示されているが、横たわるプレートの残骸によりマントル上昇流が妨げられ、カロリン火山列に沿ったシート状の上昇流に変わることを示した (図 2)。

(3) 2022年1月15日にフンガ・トンガ=フンガ・ハアパイ火山で海底火山の大規模な爆発的噴火が起きた。一部の MERMAID フロートによってこの噴火に伴う T-phase が観測された。T-phase が観測されるか否かは火山と各フロート間の伝達経路における海底地形が影響することを示した。各フロートの T-phase 波形データの相関をとることでフロート間の T-phase 走時差を測定し、走時差データを用いて T-phase の発生源を求めると共に地震波形等で示唆される噴火イベントとは異なる噴火の様子が T-phase によって描写できることを示した。

さらに 2023年10月9日 (日本時間) 鳥島沖で起きた地震に伴い T-phase が少なくとも 13 回観測され、MERMAID フロートのデータを使用することで T-phase 源が孀婦海山に集中することを明らかにした。

(4) 海中を漂流するフロートの水圧を連続的に測定することで津波を検出できることを理論的に示した。

これは MERMAID フロートの展開によって津波の高密度観測が可能であることを示唆する。試験的に 1 台の MERMAID フロートで水圧連続記録を取得できるよう改良した。2021年3月4日に起きたマグニチュード 8.1 のトンガ地震による津波は、MERMAID フロートによる津波検出能力を検証する良い機会であったが、6時間前に起きたマグニチュード 7.3 の地震のデータを自動送信するために海面に浮上しており、水圧データが取得できなかった。これは現在の MERMAID フロートが地震波検出直後に海面に浮上してデータを送信する仕様となっているため、津波検出のための水圧連続測定と地震観測を共存させる手法が必要である。

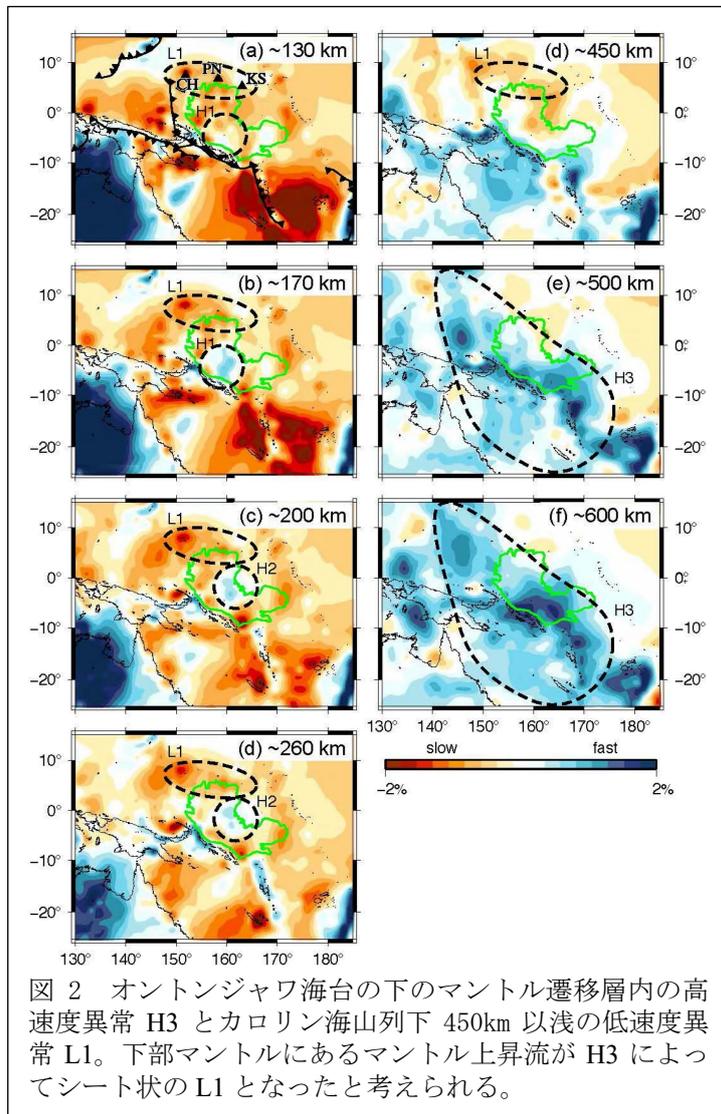


図 2 オントンジャワ海台の下のマントル遷移層内の高速度異常 H3 とカロリン海山列下 450km 以浅の低速度異常 L1。下部マントルにあるマントル上昇流が H3 によってシート状の L1 となったと考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Fu, Y., Wang, Z., Obayashi, M.	4. 巻 128
2. 論文標題 Global P-wave and joint S-wave tomography in the North Pacific: Implications for slab geometry and evolution	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2023JB027406	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Daisuke Suetsugu, Masayuki Obayashi, Takashi Tonegawa, Hajime Shiobara, Hiroko Sugioka, Aki Ito, Takehi Isse, Yasushi Ishihara, Satoru Tanaka, Junko Yoshimitsu	4. 巻 334
2. 論文標題 Nature of mantle discontinuities beneath the Ontong Java Plateau	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physics of the Earth and Planetary Interiors	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.pepi.2022.106969	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Obayashi Masayuki, Yoshimitsu Junko, Suetsugu Daisuke, Shiobara Hajime, Sugioka Hiroko, Ito Aki, Isse Takehi, Ishihara Yasushi, Tanaka Satoru, Tonegawa Takashi	4. 巻 11
2. 論文標題 Interrelation of the stagnant slab, Ontong Java Plateau, and intraplate volcanism as inferred from seismic tomography	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-021-99833-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Isse Takehi, Suetsugu Daisuke, Ishikawa Akira, Shiobara Hajime, Sugioka Hiroko, Ito Aki, Kawano Yuki, Yoshizawa Kazunori, Ishihara Yasushi, Tanaka Satoru, Obayashi Masayuki, Tonegawa Takashi, Yoshimitsu Junko	4. 巻 2
2. 論文標題 Seismic evidence for a thermochemical mantle plume underplating the lithosphere of the Ontong Java Plateau	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Communications Earth & Environment	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s43247-021-00169-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計22件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 Dalija Namjesnik, Karin Sigloch, Joel D. Simon, Tom Garth, James Harris, Dmitry Storchak, Frederik. J. Simons, Sebastien Bonnieux, Yong Yu, Masayuki Obayashi
2. 発表標題 Re-location and integration into the ISC Bulletin of earthquakes recorded by hydro-acoustic MERMAID instruments freely floating in the South Pacific Ocean
3. 学会等名 European Geosciences Union 2024 meeting (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Joel D. Simon, Yong Yu, Masayuki Obayashi, Hiroko Sugioka, Frederik Simons, Jessica C E Irving and The Earthscope-Oceans Consortium
2. 発表標題 The 15 January 2022 Hunga Tonga-Hunga Ha'apai Eruption as Recorded by MERMAIDs Adrift in the Pacific: Investigating the Effect of Bathymetric Occlusion on Hydroacoustic Signature
3. 学会等名 American Geophysical Union 2023 fall meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yuko Kondo, Masayuki Obayashi, Hiroko Sugioka, Hajime Shiobara, Aki Ito, Masanao Shinohara, Hikaru Iwamori, Masataka Kinoshita, Matthew Miller, Carlos Tassara, Javier Ojeda
2. 発表標題 Seismic velocity structure beneath South America from finite-frequency tomography
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yuko Kondo, Masayuki Obayashi, Hiroko Sugioka, Hajime Shiobara, Aki Ito, Masanao Shinohara, Hikaru Iwamori, Masataka Kinoshita, Matthew Miller, Carlos Tassara, Javier Ojeda
2. 発表標題 有限周波数トモグラフィによる南米中南部の3次元P波速度構造の推定
3. 学会等名 日本地震学会2023年度秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大林 政行、近藤 優子、吉光 淳子、村上 聡、杉岡 裕子、Simon Joel
2. 発表標題 MERMAIDフロートによる南太平洋下における地震P波記録
3. 学会等名 日本地震学会2023年度秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 村上 聡、大林 政行、杉岡裕子、近藤 優子、吉光 淳子、Joel SIMON、Yong YU
2. 発表標題 MERMAIDで検出された2022年トンガ火山噴火に伴うT-phase解析
3. 学会等名 日本地震学会2023年度秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masayuki Obayashi, Junko Yoshimitsu, Hitoshi Kawakatsu, Masanao Shinohara
2. 発表標題 Multifrequency P-wave tomography of Honshu slab
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大林 政行、Metz Dirk
2. 発表標題 Long-range underwater acoustic observations of the recent 2021 eruption at Fukutoku-Okanoba
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2022 2022/05
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大林 政行、杉岡 裕子、吉光 淳子、Simon Joel
2. 発表標題 Three-year seismic observation by hydrophone floats
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大林 政行、吉光淳子、杉岡裕子、Joel Simon、Yu Yong
2. 発表標題 MERMAIDハイドロフォンアレイで捉えたフンガ・トンガ噴火
3. 学会等名 日本地震学会2022年度秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Joel D. Simon, Yong Yu, Masayuki Obayashi, Frederik Simons, Jessica C. E. Irving and The Earthscope-Oceans Consortium
2. 発表標題 The Explosive Hunga Tonga-Hunga Ha'apai Eruption as Heard by an Array of Hydroacoustic MERMAID Floats
3. 学会等名 AGU fall meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masayuki Obayashi
2. 発表標題 updates from the floating seismometer MERMAID array
3. 学会等名 Mini-seismo-2021 Seismology Frontiers (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masayuki Obayashi, Junko Yoshimitsu, Yoshio Fukao
2. 発表標題 Slow anomalies atop the 410-km discontinuity oceanward of the Kurile slab
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masayuki Obayashi, Hiroko Sugioka, Junko Yoshimitsu
2. 発表標題 Two-year seismic observation by hydrophone floats
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大林 政行、吉光 淳子、深尾 良夫
2. 発表標題 千島 - 本州スラブ海側の410-km不連続面 直上の低速度異常
3. 学会等名 地震学会2021年度秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masayuki Obayashi, Hiroko Sugioka, Yann Hello, Frederik Simons, Yongshun John Chen, Guust Nole
2. 発表標題 Seismic monitoring by autonomous floats to image Earth's interior
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masayuki Obayashi, Junko Yoshimitsu, Yoshio Fukao
2. 発表標題 Mantle discontinuities oceanward of the Kriile - Honshu slab
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大林政行、吉光淳子、深尾良夫
2. 発表標題 千島 - 本州スラブ海側の410-km不連続面 直上の低速度異常
3. 学会等名 日本地震学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Joel D Simon, Frederik Simons, Guust Nolet, Yann Hello, Hiroko Sugioka, Masayuki Obayashi, Yongshun J Chen
2. 発表標題 One Year, Fifteen Hundred MERMAID Seismograms from the South Pacific
3. 学会等名 American Geophysical Union 2019 fall meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masayuki Obayashi, Hiroko Sugioka, Hajime Shiobara
2. 発表標題 Seismic monitoring by an autonomous robotic float equipped with a hydrophone: MERMAID
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masayuki Obayashi, Shingo Watada, Hiroko Sugioka
2. 発表標題 Drifting float measurement of pressure change by tsunami
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroko Sugioka, Masayuki Obayashi
2. 発表標題 Installation of a floating hydrophone system within the SOFAR channel
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	杉岡 裕子  (Sugioka Hiroko)  (00359184)	神戸大学・海洋底探査センター・教授   (14501)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協力者	塩原 肇  (Shiobara Hajime)	東京大学・地震研究所・教授   (12601)	
研究 協力者	細田 滋毅  (Hosoda Shigeki)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門   (82706)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	吉光 淳子  (Yoshimitsu Junko)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・海域地震火山部門  (82706)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関