

平成21年度 先端研究拠点事業—国際戦略型—
事後評価資料

1. 概要

領域	数物科学	分科	天文学	
		細目	天文学	
研究交流課題名	(和文) 最新情報技術を活用した国際ヴァーチャル天文台の我が国における拠点形成 (英文) Establishment of Japanese Virtual Observatory in relation with International Virtual Observatory by utilizing state-of-the-art information technology			
実施期間 (拠点形成型時含む)	2004年4月1日 ~ 2009年3月31日 (60か月)			
日本側拠点機関名	自然科学研究機構 国立天文台			
実施組織代表者 所属・職・氏名	台長・観山正見			
コーディネーター 所属・職・氏名	天文データセンター・准教授・大石雅寿			
協力機関数	6 機関	参加者数	32 名	
交流相手国	ドイツ			
拠点機関名	ヨーロッパ南天天文台(ESO)			
コーディネーター 所属・職・氏名	EURO-VO・Project Scientist・Paolo Padovani			
協力機関数	2 機関	参加者数	9 名	
マッチングファンド (出資機関名)	European Commission, EU FP6, EURO-VO-DCA			
交流相手国	英国			
拠点機関名	ケンブリッジ大学			
コーディネーター 所属・職・氏名	Institute of Astronomy・AstroGrid2 Project Scientist・Nicholas Andrew Walton			
協力機関数	7 機関	参加者数	13 名	
マッチングファンド (出資機関名)	European Commission, EU FP6, EURO-VO-DCA			
交流相手国	米国			
拠点機関名	宇宙望遠鏡科学研究所			

コーディネーター 所属・職・氏名	Operations and Data Management Division・Project Manager・Robert James Hanisch		
協力機関数	9 機関	参加者数	12 名
マッチングファンド (出資機関名)	US National Science Foundation, NSF grant, No. AST0122449		

※交流相手国数に応じて記入欄を追加して記入してください。

2. 研究交流目標

移行審査申請時に計画した研究交流目標とその達成度について記載してください。(2頁以内)

○移行審査申請時の研究交流目標（移行審査資料に記載した目標を転載のこと）

ヴァーチャル天文台間のデータ共有は可能になった。しかし、現状のシステムはまだ初歩的なものであり、以下の観点をもって機能向上を図り「いつでもどこからでも多波長天文学が可能」となる運用システム構築という目標を達成したい。

① 検索プロトコルの統一化・高度化

現在は、いくつかの検索プロトコルが並立しており、検索対象によって用いるプロトコルを変えなければならぬ。これはシステムの実装を複雑化する要因となるため、現状の発展形として検索プロトコルの統一化及び機能の高度化を図る。日本は IVOA 参加時点より検索プロトコルの標準化を主導してきており、統一検索プロトコル案を IVOA に提出している。本課題は検索プロトコルの策定に熱心な米国と共同で研究開発を行う。

② 解析処理手順(ワークフロー)の標準化

ヴァーチャル天文台は、単に世界中の多波長を収集するためのものではない。これらの多波長データから宇宙の諸現象に関する理解を深めるための情報を引き出すための各種解析ツールが自由に利用できなければならない。解析ツールも天文データと同様に世界中に分散して存在し、通常複数の解析ツールを組み合わせる。これを可能にするため、利用者が指定した解析処理手順(ワークフロー)を標準化し、世界各地のサーバーで順次あるいは並行して処理を実行する方式を英国と共同で開発する。

③ 利用者認証方式の標準化

現在のヴァーチャル天文台プロトタイプシステムは、R&D のためのものであるため利用者認証機構は導入していない。しかし、運用システムにするためには運用ポリシーが異なる各ヴァーチャル天文台システム間で共通となる利用者認証が必須である。そこで本申請の関連国全てが協力して認証方式を標準化する。

④ クロスマッチアルゴリズムの開発

天体は波長毎に異なる情報を発信している。従って多波長天文学の実現のためには異なる波長データから同一天体の情報を引き出さなくてはならない。これをクロスマッチと呼ぶ。クロスマッチはヴァーチャル天文台でも最も重要な解析手順の一つであり、観測データが含む各種誤差要因(位置の誤差、ノイズ、空間分解能の違い等)を考慮したクロスマッチアルゴリズムを開発することが重要となる。これは日本、米国及びドイツと共同で実施する。

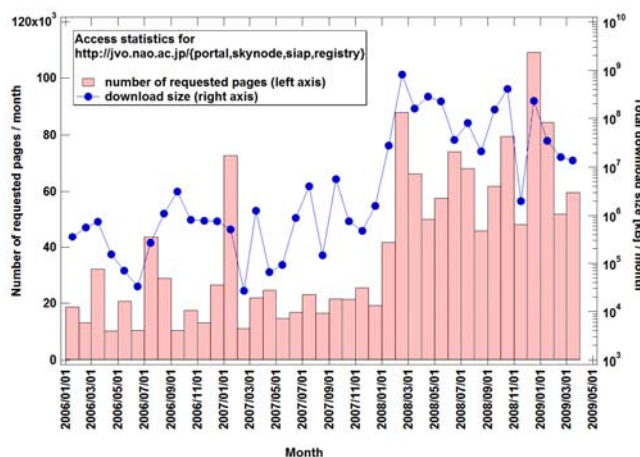
⑤ VO の標準化と標準ツールの共同開発, 及びソフトウェア相互利用の促進

①~④以外にも、ヴァーチャル天文台ではメタデータ情報の標準化、遠隔地間の大量データ転送方式の標準化等が必要である。また各国がそれぞれ開発する有用なツール類に対するインターフェースを標準化することにより、お互いが開発したソフトウェアをお互いに利用できるようになる。これは研究開発の効率向上、そして、天文学研究の高度化を図る上で極めて重要である。

○目標に対する達成度

- 目標は想定以上に達成された。
- 目標は想定どおり達成された。
- 目標はある程度達成された。
- 目標はほとんど達成されなかった。

【理由】



最大の目標であったバーチャル天文台運用システムの本格公開を2008年3月から行うことができた。そのURLは

<http://jvo.nao.ac.jp/portal/> である。左図に

本事業終了時におけるJVOシステムへのアクセス統計を示す。横軸は年月、左側の縦軸は月当たりの要求ページ数（ヒストグラム）、右側の縦軸が月当たりのダウンロードデータ量（折れ線グラフ、対数表示）である。特に着目すべきは、2008年3月以降のダウンロードデータ量の急増である。

本格運用以前は、試験運用という位置づけであったため、国内外の本事業関係者などが主たる利用者であったが、本格運用開始以降、世界中の多くの天文学研究者がバーチャル天文台システムを介して研究用データを取得し、研究を推進していることが推測される。月当たりのダウンロードデータ量は本グラフにおいても最大10⁹キロバイト = 1テラバイト（1兆バイト）に達しているが、本事業終了後は月当たり7テラバイトものアクセスがあることが判明している。

本事業の交流相手国と共に運営している国際ヴァーチャル天文台連合（IVOA; <http://www.ivoa.net/>）では、各国におけるヴァーチャル天文台システムの利用成果である関連論文数を調査している。その結果は、IVOAニュースレターに半年ごとに掲載されているが、最新の調査によれば、これまでの関連論文数は1300を超え、また、ヴァーチャル天文台システムを利用して執筆された査読論文数も約170となっており、さらに増加している（別表1に示したURLを参照）。

これらの成果は、国際戦略型採択時に目標としたデータ検索プロトコルの高度化、複数の解析プログラムを連携させる新プロトコル（SAMP）の成立や、これらを利用できるよう各国のヴァーチャル天文台システムにおいて新プロトコルを採用するように働きかけたこと、などによる。上記目標中、③の認証方式の標準化については、現在利用する天文データが公開データであるため、交流相手国等との話し合いの結果、当面は導入しないことにしたため、標準方式は策定していない。

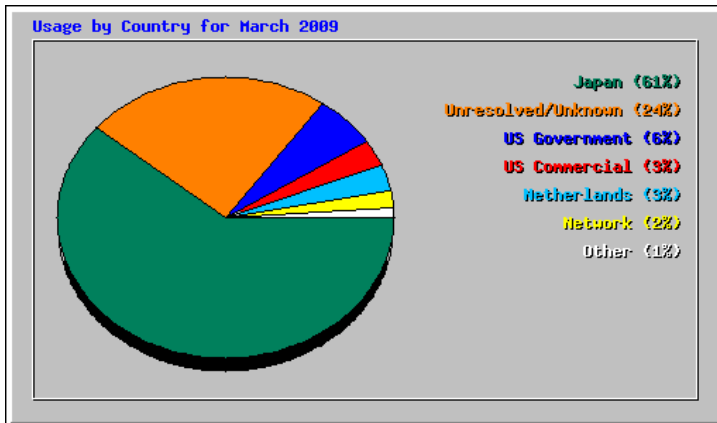
しかし、ヴァーチャル天文台システムを利用する天文学研究はようやくその緒についたばかりであり、生み出される論文は全体から見ればまだ少ない。この状況を改善するためには、事業終了後も本事業によって培われた交流網を相互に活用して、天文研究者に対する講習会実施などの啓発活動、新しいサーベイデータの追加によるヴァーチャル天文台システムの向上などを常に実行していく所存である。

3. これまでの交流を通じて得られた成果

これまでの交流を通じての成果を「国際学術交流拠点の形成」、「成果の学術的価値」、「若手人材育成への貢献」、「情報集約性」、及び「社会貢献性」の観点から記載してください。(3頁以内)

○国際学術交流拠点の形成

ヴァーチャル天文台システムは、高速ネットワーク上に建設された天文観測所と呼称できる研究用インフラ



ストラクチャーである。我が国のシステムは、2008年3月から本格運用に入り、当初想定した、「日本の天文研究者は、高速ネットワークに接続さえしていれば、いつでもどこからでも世界の一線級観測データ等にアクセスし、必要なデータを取得、解析するという新たな天文研究が可能となる。」研究環境が動き出した。この環境は、まずは日本の天文学研究者を対象としているものの、ネットワークが海外と繋がっていることから、当然ながら世界の研究者も利用可

能である。このことは、上図（2008年3月のアクセス元統計情報）からも容易に理解できる。日本からのアクセスが全体の約60%を占めているが、米国、欧州（オランダ）など海外からのアクセスも相当の割合で存在する（オレンジ部分はトップノードが国名に対応しないなどのため、統計処理システムが正しく分類できなかったもの）。

残念ながらヴァーチャル天文台システムの存在が広く知られ活用されている状況には至っていないが、今後、国際研究集会などでヴァーチャル天文台システムが稼働し、多くの研究成果が出つつあることを周知する努力を重ねることを通じ、ネットワーク上の国際学術交流拠点としての認知度を高めてゆきたい。

○成果の学術的価値

研究用インフラストラクチャーによる成果の学術的価値が本当に評価されるにはそれなりの年月がかかるのが通例ではあるものの、現在でもその価値を判断する材料が存在する。

国立天文台では、その研究活動を第三者が客観的に評価する国際外部評価を2008年1月に実施した。天文データセンターに対する評価報告書 (<http://www.nao.ac.jp/Report/ADC.pdf>) には、本事業の対象であるヴァーチャル天文台構築に対する評価が掲載されている。その3ページには、

The self-evaluated levels of the research output are properly evaluated to be commendable, with as explained recognition as outstanding research center by the JSPS since 2004 in a fierce competition and a large number of publications and reports.

とあり、本事業に関連する研究開発が極めて高い学術的成果に繋がったことが示されている（下線はコーディネーターによる）。

さらに、本事業に参加した国立天文台の田中昌宏君が執筆した論文 (Tanaka et al.: Development of a prototype system of the Japanese Virtual Observatory (JVO), DBSJ Letters Vol. 3, p. 81, 2004) が、2005年度日本データベース学会論文賞を受賞したこと

(<http://www.dbsj.org/Japanese/news/2005/07/soukai-20050714.html>) もまた、本事業を通じた成果の学術的価値が高いことを客観的に示すものであると言えよう。

○若手人材育成への貢献

本事業は欧米の研究者との研究情報交換、共同作業を通じた新しい天文研究環境、及び、それを用いた天文学的成果を挙げることを目的としている。本事業は、天文学に情報学の要素を取り入れるものであるが、そこで最も重要なものが人的ネットワークの構築である。我が国のみならずどのプロジェクトでも研究開発の実施主体は若手であり、本事業によって研究協力者のみならずプロジェクトを共に進めているポスドクや大学院生による海外の研究者との頻繁な直接交流が可能となれば、自然にグローバルな研究ネットワークが構築できる。この人的ネットワークは、Virtual Observatories の運用が開始された際に、安定的なサービスを提供し、かつ、VO の機能を向上させるための検討に大きく役立つと期待される。日本にいと母国語以外の言語を日常的に用いることが少なく、これが外国語に対する劣等感を生んでいると言われる。しかし本事業に関わる若手研究者については事情が全く異なった。彼らは、必然的に他国の研究者と接触し、言葉の問題や習慣の違いを乗り越えた人脈が自然に構築することができた。研究交流に際して同じテーマに関して意見を交わし合うことにより、異なる視点や観点・文化が存在することを知らることは、特に若手にとって研究の幅を広げることになり、外国語を用いたコミュニケーション能力の向上を含めその研究能力を大きく向上させる土壌となったのである。

その具体例としては IVOA における役職者を日本人若手が務めていることが挙げられる。国立天文台天文データセンターの白崎裕治君は、IVOA の VOQL WG の vice chair を数年に渡って務めている。この点は、上記国際外部評価においても commendable (S) という評価をいただいた。このようなポストは、相応の実力と周囲の推薦が無ければ得ることができないものであり、本事業による人的交流の具体的成果と位置づけることができよう。

○情報集約性

天文学において最も重要な学術情報の一つが各種望遠鏡・観測装置が生み出すデータである。現在ではこれらのデータのほとんどがデータベース化され、蓄積されている。しかし、地上に設置した観測装置の場合はその位置によって決まる観測不可能な天域が存在するし（例えば日本から天の南極近辺は観測不可能である）、大気吸収によって地上での観測が原理的に不可能な波長帯もある。地上から観測できない波長帯の観測のためには衛星を打ち上げなくてはならないが、衛星には地上装置に比べて短い寿命や望遠鏡の大きさに制限があるなどの問題がある。従って、様々な波長に対応する世界各地の天文台及び衛星によって高感度なデータを取得し、それらを世界中でオンライン活用できるよう研究基盤を整備することによってもたらされる効果は計り知れない。

本事業は、世界の天文台と連携することによって、上記の天文情報ネットワークを構築したものであり、天候に左右されず「いつでもどこからでも」世界の全波長データを収集・解析する観測的研究を可能にするものである。このモデルは、天文学に限らず他分野でも同様の考え方を取ることが可能であるし、実際、そのような世界的ネットワークを構築しつつある例（惑星科学、太陽地球環境科学、など）が挙げられるが、天文学ではそのデータフォーマットを共通化させる試みが 1970 年代初めに行われて以来、常に先駆的な試みを進めてきた。本事業の成果も、まさにその一端と言え、世界の情報を集約し、科学的研究を進める良いモデルになっていると言えよう。このため、上記惑星科学、太陽地球環境科学の分野の「ヴァーチャル観測所」構築のための国際会議において本事業関係者が招待講演を行うなど、本事業の波及効果は大きく広がっている。

○社会貢献性

税金で運営されている研究機関として国立天文台ではかねてより研究成果の社会への還元を努めている。その背景には、研究者層の薄さという問題を長期的に解決するため、まず、研究成果の社会還元を通して国民の天文学に対する支援を増やしたいという考えがある。同時に研究者育成のためには大学や高校での教育にも貢献する必要がある。国立天文台では中期目標の一つとして各種研究成果を広く社会に還元することを掲げている。現在は天文情報センターが観望会の実施、インターネット経由でのすばるの画像配布等を行っている。

一方、ヴァーチャル天文台からは全てのデータが入手可能である。つまり学校教育用のインターフェースを用意すれば大学や高校などでの教育利用が可能になるし、天文ファン用のインターフェースを用意すれば世界中の望遠鏡を使った「疑似観測」も可能になる。即ちヴァーチャル天文台は、最先端の研究成果を社会に還元するための有用な「装置」ともなり得るのである。

本事業期間内では、残念ながら「教育用インターフェース」の構築まで行うことはできなかったものの、研究用インターフェースであるにも関わらずアマチュア天文家からのアクセスも多く見られた。特にアクセスが集中したのは、ハワイに設置しているすばる望遠鏡が取得した画像を自動処理した結果データに対してであった。この事実は我々の予想を超えるものであり、多くの国民が機会および手段さえあれば研究用の一級データに接したいという要望が極めて強いということを教えられた。

本事業の成果であるヴァーチャル天文台システムは大量のデータへのアクセスを可能にするということから、事業終了後ではあったもののNHK テレビにも取り上げられ（NHK 教育，IT ホワイトボックス，2009 年 8 月 20 日・23 日放送：<http://www.nhk.or.jp/itwb/workshop/20.html>），大変好評であったと聞く。

4. 実施状況

(1) 戦略性

移行審査申請時に記載した拠点機関の将来構想及び全体戦略を踏まえて、拠点機関全体として、どのように戦略的かつ計画的に本事業を実施したかを記載してください。またそれがどのように拠点機関及び日本のプレゼンスを高めるのに役立ったかを記載してください。

拠点機関である国立天文台では、データベース天文学推進室が設置され、ヴァーチャル天文台構築、特に国際連携の中心的役割を果たしている。国立天文台では、その中期目標に掲げた「先端的電子技術、情報処理技術、データ利用技術を天文学と融合することにより、新たな分野を開拓する。」を実施することとしていた。データベース天文学推進室は、国立天文台内の観測データベースの運営の中心である天文学データ解析計算センターのデータベースはヴァーチャル天文台を通じて国内外の研究機関等で活用されることとなっていた。この関係を本事業採択を機にさらに強化・発展させ、かつ中期目標を達成するため、国立天文台は天文学データ解析計算センターを発展的に改組し、天文学におけるデータを活用した研究を促進・加速するための組織として天文データセンターを設置した。データベース天文学推進室も天文データセンターの内部に移行し、日本のヴァーチャル天文台システム構築の中心的役割を果たすこととなった。

これらの措置により国立天文台から本事業に参加している構成員の多くが所属しているデータベース天文学推進室は、本事業の成功に向けた体制を取ることが可能となり、本事業の大きな目標の一つである国際的な研究交流に注力しつつ、交流相手国との密接な連携の元、2008年3月にはヴァーチャル天文台システムの本格運用を開始することになった。交流相手国においても試験的運用は行われているが、日本のシステム及び米国のシステムが本格運用の先駆けとなり、我が国の存在感を大いに示すことができた。その一つの証拠として、2009年5月に発足したICSU(International Council for Science: 国際科学会議) 配下の特別委員会である「データと情報の戦略的調整委員会 (Strategic Coordinating Committee on Data and Information)」への国際天文学連合 (IAU) 代表として本事業コーディネータである大石が指名されたことが挙げられる。これにより、科学の他分野に本事業の成果を応用・発展させる国際的枠組み構築に大きく貢献することが可能となる。

(2) 拠点形成に向けた実施体制

拠点機関及び協力機関においてどのような運営体制をとっていたかについて、国内外の連携体制にも触れながら記載してください。

本事業の交流相手国と比較すると、拠点機関である国立天文台と協力機関である宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部 (JAXA/ISAS) の2機関で天文学の全波長のデータをカバーできる国は日本のみである。ISASは、我が国で唯一衛星搭載望遠鏡を開発・運用している研究機関であると同時に、国立天文台との間では従来から研究協力が行われ、衛星の共同開発、また、観測データベースの開発・運用協力も行われている。特筆すべきことは、国立天文台とISAS間には、データ共有を推進するための専用回線が引かれていることである。国立天文台とISASが研究協力することにより、X線から電波まで全ての波長の観測データが揃うのである。これらの特色を生かし、さらに強化するため、本事業の実施に当たっては、国立天文台天文データセンターとISASのC-SODA (科学衛星運用・データ利用センター) との間で定期的な会合を持ち、本事業の推進状況の確認の実施、地上望遠鏡や衛星の運用状況把握、それぞれが構築する観測データベースの公開に向けた国際連携状況に関する情報交換等を行い、また、IVOAのセミナーや研究発表や研究情報交換の場となっているADASSへの共同参加を行った。

これら2機関の連携を主軸とした上で大学等の協力機関とも密接な連絡を取り、本事業を推進した。

5. 今後の展望

今後、当該拠点の研究交流活動を持続的に展開してく上での将来展望について記載してください。

国立天文台では第 1 期中期計画の終了を控え、第 2 期中期計画案を策定中である。本事業に関連する部分として、第 1 期では「先端的電子技術、情報処理技術、データ利用技術を天文学と融合することにより、新たな分野を開拓する。」としていたものが、本事業を通じて運用を開始することとなり、これを踏まえて第 2 期中期計画案では、「観測装置の共同利用だけでなく、データの共同利用を推進する。特に、情報処理技術とデータ利用技術を天文学に融合したバーチャル天文台の運用と、これを利用した研究を進める。」とより具体的に踏み込んだ案が作成されている。これは、まさに、本事業により実現した世界各国に分散する天文データを活用した研究が今後も重要であると認知されたものと考えられ、天文学におけるより多くの研究成果を生み出すと共にヴァーチャル天文台機能をさらに向上させるために必要な予算措置が国立天文台内でなされることを意味する。ヴァーチャル天文台システムの機能向上のためには、これまでに培った相手国も含めた研究交流活動が必須であり、中期目標案に採択されていることは、その活動資金がある程度確保されることを意味する。

一方、我が国の天文学コミュニティでは、日本学術会議物理学委員会 天文学・宇宙物理学分科会 天文学・宇宙物理学長期計画小委員会が「天文学・宇宙物理学の展望と長期計画」を取りまとめ中である。この中の「第 3 章 現代の宇宙観測と未来を目指す長期計画」において掲げられている重要な 4 本柱のうちの一つとしてデータベース天文学を取り上げ、

天文学では衛星や地上望遠鏡による観測データをデータベース化し世界に公開・利用することが大きな流れとなっている。これを国際的に組織化し、世界中の研究者が膨大な観測データを利用できるようにすることによって効率的に研究を推進しようとするのが「データベース天文学」である。大型装置とは異なる性格のものではあるが、天文学・宇宙物理学の研究環境を広く提供・強化するものであること、また国際共同も含めてコミュニティの合意と中核的研究機関の関与が不可欠であることから、この長期計画の検討に含めるべきものである。

としている。これは、本事業の成果を広く天文学コミュニティに広めることにより、天文学や宇宙物理学のさらなる発展に繋げるべきであるとの強いメッセージである。

さらに目を世界に拡げると、2009 年 8 月に開催された国際天文学連合総会では、30m 望遠鏡や SKA 時代の 10 年後・20 年後を見据え、今からどのような研究環境を整備しどのような研究をするかの議論が盛んに行われた。そこでの共通の視点は、地上望遠鏡や天文観測衛星によって取得されるペタバイトを超える多波長の超大規模データを有効に使って天文学的知見を迅速に引き出すところにある。その基盤となるのが高速ネットワークを介して天文データを世界中で共有し、共有された連携データアーカイブを「望遠鏡」とみなして天文学的研究を推進する Virtual Observatory である。

このような国内外の動きは偶然に一致したのではなく、本事業を中心として展開されてきた研究基盤構築が大きな期待を担っていることの世界における具現化であると考えらるべきである。今後も、国立天文台と宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部 (JAXA/ISAS) の 2 機関を中心とした連携をさらに強化し、また、これまで構築した国際交流活動を継続することにより本事業の成果が大きく花開くものと考えられる。

6. 活動実績

(1)実施した「共同研究」について概略を記入してください。

1	研究課題・テーマ名	連携データベース検索言語の開発
	実施期間	2004年4月～2009年3月
	代表者 国名	日本
	所属機関・職・氏名	国立天文台・助教授(当時)・大石雅寿
2	研究課題・テーマ名	検索結果の可視化
	実施期間	2005年4月～2006年3月
	代表者 国名	フランス
	所属機関・職・氏名	ストラスブールデータセンター・所長・フランソワーズ ジェノヴァ
3	研究課題・テーマ名	天文用ワークフローシステムの開発
	実施期間	2006年4月～2009年3月
	代表者 国名	英国
	所属機関・職・氏名	レスター大学・アストログリッドプロジェクトマネージャ・トニー リンデ
4	研究課題・テーマ名	国内観測データの発信
	実施期間	2006年4月～2009年3月
	代表者 国名	日本
	所属機関・職・氏名	国立天文台・教授・水本好彦
5	研究課題・テーマ名	
	実施期間	
	代表者 国名	
	所属機関・職・氏名	
6	研究課題・テーマ名	
	実施期間	
	代表者 国名	
	所属機関・職・氏名	
7	研究課題・テーマ名	
	実施期間	
	代表者 国名	
	所属機関・職・氏名	
8	研究課題・テーマ名	
	実施期間	
	代表者 国名	
	所属機関・職・氏名	

※ 記入欄が足りない場合には、適宜追加してください。

(2)この研究交流課題に関連した主な発表論文等(詳細は別表1により記入してください。)

※ 論文等総数	101 件	内訳	論文	93 件
※のうち、相手国参加研究者との共著	21 件		著書	0 件
※のうち、本事業名が明記されているもの	66 件		総説	7 件
			その他	1 件

(3)共同セミナーの開催実績について記入してください。(詳細は別表3により記入してください。)

(回)

	平成 15 年度	平成 16 年度	平成 17 年度	平成 18 年度	平成 19 年度	平成 20 年度
国内開催		0	1	1	0	1
海外開催		2	1	2	4	2
合計		2	2	3	4	3

(4)派遣・受入実績について記入してください。(詳細は別表4-1、4-2により記入してください。)

(名)

	平成 15 年度	平成 16 年度	平成 17 年度	平成 18 年度	平成 19 年度	平成 20 年度
派遣人数		30	27	38	25	24
受入人数*		1	0	0	0	0

* 本事業経費により受け入れた人数を記入のこと。

