

令和 6 年 6 月 15 日現在

機関番号：34304

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K14541

研究課題名(和文) 彗星の各種分子の元素同位体比と鉱物の熱履歴から探る原始太陽系円盤の物質輸送

研究課題名(英文) Exploring material transportation in the solar nebula from the isotopic ratios of various molecules and the thermal history of minerals in comets

研究代表者

新中 善晴 (Shinnaka, Yoshiharu)

京都産業大学・神山天文台・専任専門員

研究者番号：60774429

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：原始太陽系円盤の物質輸送を理解するため、彗星をプローブとして研究を行った。彗星の形成温度は、揮発物質の主成分であるH₂O・CO₂・COの存在量比から、彗星核の形成距離は鉱物組成から、ダストの性質はコマの偏光度の空間分布からそれぞれ推定した。これらの手法を21P彗星に適用した結果、同彗星は他の彗星と同定の距離にもかかわらず暖かい場所で形成されたことを示した。この手法を他の彗星に適用することで原始太陽系円盤の物質輸送について統計的な議論を進める。また、形成温度の推定のために開発した物理モデルをC/2014 Q2彗星のコマの空間分布に適用し、NH₃が二次的に生成されていることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

彗星は46億年前に原始太陽系円盤で作られた氷微惑星の残存物であり、太陽系の化石とも呼ばれる。彗星には高温生成物と低温生成物が含まれており、原始太陽系円盤中での大規模な物質輸送の存在が指摘されている。本研究において、同一彗星の揮発性分子の元素組成比や同位体比と鉱物の熱履歴等を組み合わせることで、従来より詳細に原始惑星系円盤での彗星核の形成環境を推定する手法を確立した。さらに、本研究課題で開発した彗星コマの物理モデルを用いることで、彗星コマ中の化学反応を再現できることを示した。これらの手法は他の彗星や他の分子についても適用可能で、統計的な議論を進めるための基礎情報を提供する。

研究成果の概要(英文)：To understand the transportation of materials in the solar nebula, we conducted research using comets as probes. The formation temperature of the comet was estimated from the abundance ratio of H₂O, CO₂, and CO, which are the main components of cometary icy materials. The formation distance of the comet nucleus was estimated from the mineral composition, and the properties of the dust grains were estimated from the spatial distribution of the polarization degree in the coma. As a result of applying these methods to the 21P comet, it was shown that this comet was formed in a warm place despite being at the same distance as other comets. By applying this method to other comets, we will advance statistical discussions on the transport of materials in the solar nebula. In addition, we applied the physical model developed for estimating the formation temperature to the spatial distribution of the coma of the C/2014 Q2 comet, and revealed that NH₃ is being generated as a secondary product.

研究分野：太陽系小天体

キーワード：彗星 原始太陽系円盤

1. 研究開始当初の背景

ALMA 望遠鏡を用いた観測により、原始惑星系円盤に対する理解が大きく進みつつある。しかし、光学的に厚い円盤赤道面付近のガスやダストの物理状況については、いまだに十分な理解は得られていない。一方、太陽系始原天体の観測に基づく原始太陽系円盤の理解は、一般的な原始惑星系円盤の理解、特に円盤赤道面付近の円盤進化モデルの試金石として重要である。それにもかかわらず、原始太陽系円盤における物質輸送・循環に関する倒立的な物理描像は得られておらず、その解明が課題である。

2. 研究の目的

本研究では、原始太陽系円盤の氷微惑星の生き残りである彗星をプローブとし、円盤の氷雪線外側における物質輸送・循環に敏感な各種分子の同位体比存在比および超揮発性分子の存在比と同時に、円盤の氷雪線内側における物質輸送のプローブであるシリケート鉱物の結晶度を観測的に求める。これらを組み合わせて原始太陽系円盤の物理化学も出ると比較することで、現在、ガスとダストについて別々に議論され、統一的な理解が得られていない原始太陽系円盤内の大局的な物質輸送・循環とその原因を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究では、同一の彗星において可視光線から近赤外線波長域における高分散分光観測および中間赤外線波長における低分散分光観測を行い、以下の物理量を決定する。得られた各物理量について円盤中での輸送モデルとの比較を行うことで、原始太陽系円盤における大局的な物質輸送・循環の統一的な理解を目指す。

(I) ダスト鉱物：シリケート鉱物の結晶度（結晶質／アモルファス質量比）

彗星には星間空間ではほとんど見られない結晶質のシリケート鉱物が広く存在することが知られている。シリケート鉱物の結晶化は $>850\text{K}$ で生じるため、原始太陽系円盤では中心星近傍で生じる。そのため、シリケート鉱物の結晶度は、定性的には太陽から遠方ほど小さくなる。彗星のシリケート鉱物の結晶度は、波長 $10\mu\text{m}$ 付近に持つ Si-O 伸縮振動バンドのスペクトルを、研究代表者らのグループで開発した鉱物の熱輻射モデル (Ootsubo et al. 2007, P&SS, 55, 1044; Shinnaka et al. 2018, AJ, 156, 242) でフィッティングすることで決定する。

(II) ダスト粒子：コマ中の直線偏光度分布

大気をほとんど持たない太陽系天体（彗星や小惑星）の直線偏光度は、その表面で太陽光を散乱した際に生じるため天体表面の物理特性を調査する目的に有効な手段である。ダストによる散乱光が卓越する 700nm 付近の直線偏光度の空間分布から、コマ内でのダストの性質（サイズ分布、複素屈折率など）の変化の有無を明らかにする。得られたダストの性質から、ダストの形成環境について制限する。

(III) 揮発性分子：揮発性分子の化学組成比（彗星核中の揮発性分子の存在量比）を用いた彗星形成温度の推定

彗星氷の主成分である H_2O 、 CO_2 、 CO の存在量比は彗星核に含まれる氷の形成環境を理解するうえで本質的に重要である。これらの分子は、それぞれ真空中で昇華する温度が異なることから、これらの分子の存在量から彗星核が形成された領域の温度を推定することが可能となる。 H_2O 分子は近赤外線観測で観測が可能だが、 CO_2 及び CO を直接観測するには、宇宙望遠鏡を用いる必要があるため、主要3分子の化学組成比のサンプル数を増やすことが困難であった。そこで我々のグループでは、彗星コマ中でこれらの分子が太陽紫外線により壊れることで作られる酸素原子に着目した。

4. 研究成果

我々は上記の手法の確立のため、21P/Giacobini-Zinner 彗星に着目した。この彗星は周期 6.5 年の短周期彗星で、10 月りゅう座流星群（ジャコビニ流星群）の母彗星として知られている。これまでの観測から、多くの分子（炭素を含む分子、 NH_2 、高揮発成分）の欠乏、ダストによる可視光連続光の偏光度が負の傾き（一般的な彗星は星の傾き）を持つこと、彗星の分光学的分類では Giacobini-Zinner 型（全彗星の約 6%）に分類されるなど、揮発性分子もダストも共に特異な性質を持つことが知られていた。これらの先行研究から、同彗星は、原始太陽系円盤中で他の彗星とは異なる特殊な環境で形成された可能性が指摘されてきたが、具体的な場所については議論が続いていた。

H₂O, CO₂, CO の化学組成比から同彗星の形成温度の推定は、コマ中の酸素禁制線を用いた。従来の推定手法では、酸素禁制線の線幅を説明できないことや CO 分子の寄与を無視する等の問題があった。そこで DSMC 法を用いて各種分子・原子について彗星核からの昇華、コマ中での光解離反応や衝突などを考慮して、運動をシミュレートする彗星コマの物理モデルを開発した。このモデルを 21P 彗星に適用した結果、上記の問題の解決に加えて、同彗星は CO₂ がほとんど存在しておらず、彗星の平均的な範囲と比べて優位に小さいことを示した。この結果から、同じ彗星は -70K ~ -150K の領域で形成された可能性が示唆される。

次に形成距離やダストの性質に関して、21P/Giacobini-Zinner の熱輻射スペクトルから鉱物の組成比、結晶質／非晶質比、サイズ分布を決定し、同彗星が他の彗星と比べて平均的な太陽距離で形成されたことを示した(図1)。また、熱輻射スペクトルには、脂肪族炭化水素や多環芳香族炭化水素といった複雑な有機分子に起因する可能性が高い輝線バンドが検出された。これらの複雑な有機分子は高温環境で形成されやすいことが知られている。また、同彗星の偏光撮像画像(図2)から、コマ中では核から約 10,000km にわたって偏光度が変化していないことが明らかとなった。この結果は、コマ中で偏光度が優位に変わるほどのダスト特性(組成、空隙率、サイズ分布)が変化していないことを示唆する結果である。この結果は、ジャコビニ・ツィナー彗星から放出されたダストが起源とされる「10 月りゅう座流星群」の流星体が大気飛翔中の発光途中でバラバラになりやすい特徴と一見矛盾するように見える。しかし、同彗星の熱輻射スペクトルで観測された豊富な有機分子がダストの主成分であった場合、コマ内の環境(最大で数百 K)では昇華しないのに対し、流星体であるダストが大気に突入する際に最大で 10,000K まで加熱されることから有機分子の昇華が起こって物質の結合作用が失われ、崩壊するため、両者の特徴を矛盾なく説明できる。

上記の結果や先行研究の知見を総合すると、21P/Giacobini-Zinner は、太陽からの距離は他の彗星と似ているにも関わらず、他の彗星より暖かい場所で形成されたことが示唆される。このような特殊な場所の有力な候補として、原始太陽系円盤では木星などの巨大惑星周囲に作られる「周惑星円盤」が挙げられる。周惑星円盤は周囲よりも密度が濃く温度も高くなるため、有機物を形成できる環境にある。

この他に、本課題で開発した彗星コマの物理モデルを C/2014 Q2 彗星のコマの空間分布に適用し、これまで彗星核から直接放出されると考えられていた NH₃ が別の分子等から二次的に生成されていること、元となる分子は太陽紫外線による光解離に対して 500 秒程度の寿命を持つことを明らかにした。具体的な分子は明らかにできていないが、本結果は今後の実験室での起源物質調査への基礎情報となる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件／うち国際共著 7件／うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Kawakita Hideyo, Dello Russo Neil, Vervack Ronald J., DiSanti Michael A., Bonev Boncho P., Kobayashi Hitomi, Boice Daniel C., Shinnaka Yoshiharu	4. 巻 166
2. 論文標題 Direct Simulation Monte Carlo Modeling of Ammonia in Comet C/2014 Q2 (Lovejoy)	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 207 ~ 207
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/acfee7	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 該当する
1. 著者名 Shinnaka Yoshiharu, Kawakita Hideyo, Kobayashi Hitomi, Furusho Reiko, Watanabe Jun-ichi	4. 巻 4
2. 論文標題 Optical Imaging Polarimetry of Comet 21P/Giacobini-Zinner during Its 2018 Apparition	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Planetary Science Journal	6. 最初と最後の頁 125 ~ 125
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/PSJ/acdf49	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 Bonev B. P., Dello Russo N., Kawakita H., Vervack Jr. R. J., DiSanti M. A., Shinnaka Y., et al.	4. 巻 166
2. 論文標題 The Return of the Rosetta Target: Keck Near-infrared Observations of Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko in 2021	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 233 ~ 233
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/acee59	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 該当する
1. 著者名 Geem J., Shinnaka, Y., et al.	4. 巻 516
2. 論文標題 (3200) Phaethon polarimetry in the negative branch: new evidence for the anhydrous nature of the <i>DESTINY</i> target asteroid	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters	6. 最初と最後の頁 L53 ~ L57
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnrasl/slac072	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 該当する

1. 著者名 Moulane Y., Jehin E., Manfroid J., Hutsemekers D., Opitom C., Shinnaka Y., Bodewits D., Benkhaldoun Z., Jabiri A., Hmiddouch S., Vander Donckt M., Pozuelos F. J., Yang B.	4. 巻 670
2. 論文標題 Activity and composition of the hyperactive comet 46P/Wirtanen during its close approach in 2018	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A159 ~ A159
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202244779	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 該当する

1. 著者名 Ootsubo Takafumi, Kawakita Hideyo, Shinnaka Yoshiharu	4. 巻 363
2. 論文標題 Mid-infrared observations of the nucleus of Comet P/2016 BA14 (PANSTARRS)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Icarus	6. 最初と最後の頁 114425 ~ 114425
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.icarus.2021.114425	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 Opitom C., Jehin E., Hutsemekers D., Shinnaka Y., Manfroid J., Rouselot P., Raghuram S., Kawakita H., Fitzsimmons A., Meech K., Micheli M., Snodgrass C., Yang B., Hainaut O.	4. 巻 650
2. 論文標題 The similarity of the interstellar comet 2I/Borisov to Solar System comets from high-resolution optical spectroscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 L19 ~ L19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202141245	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 該当する

1. 著者名 Arai Akira, Tajitsu Akito, Kawakita Hideyo, Shinnaka Yoshiharu	4. 巻 916
2. 論文標題 Detection of ⁷ Be ii in the Classical Nova V5669 Sgr (Nova Sagittarii 2015 No.3)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 44 ~ 44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac00bf	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 Shinnaka Yoshiharu, Kawakita Hideyo, Tajitsu Akito	4. 巻 159
2. 論文標題 High-resolution Optical Spectroscopic Observations of Comet 21P/Giacobini-Zinner in Its 2018 Apparition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 203 ~ 203
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/ab7d34	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 Moulane Y., Jehin E., Rousselot P., Manfroid J., Shinnaka Y., Pozuelos F. J., Hutsemekers D., Opitom C., Yang B., Benkhaldoun Z.	4. 巻 640
2. 論文標題 Photometry and high-resolution spectroscopy of comet 21P/Giacobini-Zinner during its 2018 apparition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A54 ~ A54
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202037997	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 該当する

1. 著者名 Suzuki T., Shinnaka Y., Majumdar L., Shibata T., Shibaike Y., Nomura H., Minamoto H.	4. 巻 645
2. 論文標題 Possibility of concentration of nonvolatile species near the surface of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A134 ~ A134
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202038491	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 該当する

1. 著者名 Ootsubo Takafumi, Kawakita Hideyo, Shinnaka Yoshiharu	4. 巻 363
2. 論文標題 Mid-infrared observations of the nucleus of comet P/2016 BA14 (PANSTARRS)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Icarus	6. 最初と最後の頁 114425 ~ 114425
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.icarus.2021.114425	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 -

〔学会発表〕 計17件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 10件）

1. 発表者名 新中善晴
2. 発表標題 将来の日本の彗星探査計画
3. 学会等名 第51回彗星会議 in 倉敷
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Shinnaka, H. Kawakita, H. Kobayashi
2. 発表標題 Forbidden atomic oxygen lines far from the Sun for dynamically new comet C/2017 K2 (PanSTARRS)
3. 学会等名 DPS-EPSC 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Boice, A. A. de Almeida, H. Kawakita, H. Kobayashi, Y. Shinnaka
2. 発表標題 Understanding Phosphorus Chemistry in Cometary Comae
3. 学会等名 DPS-EPSC 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 B. P. Bonev, N. Dello Russo, E. L. Gibb, M. A. DiSanti, Y. Khan, N. X. Roth, S. Faggi, A. J. McKay, C. Finley, M. Saki, R. J. Vervack, H. Kawakita, Y. Shinnaka, H. Kobayashi, G. L. Villanueva, T. Ootsubo, C. T. Ejeta
2. 発表標題 Parent Volatiles in Jupiter-Family Comets: Insights and Open Questions from Recent Ground-Based Infrared Studies
3. 学会等名 Asteroids, Comets, Meteors Conference 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鈴木 雄大、吉岡 和夫、村上 豪、桑原 正輝、亀田 真吾、田口 真、吉川 一朗、河北 秀世、新中 善晴
2. 発表標題 Comet Interceptor搭載水素イメージャによる彗星コマ中の水素の温度およびD/H比の測定可能性
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2023年大会（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yoshiharu Shinnaka
2. 発表標題 Comet observations: science background and open questions
3. 学会等名 Planet seminar at NAOJ
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 新中善晴
2. 発表標題 ジャコビニ・ツィナー彗星の偏光撮像観測
3. 学会等名 第50回彗星会議
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Bonev, B., Shinnaka, Y., et al.
2. 発表標題 Time-sensitive Keck/NIRSPEC observations of the Rosetta target 67P/Churyumov-Gerasimenko during its favorable 2021 apparition
3. 学会等名 AAS Division of Planetary Science meeting #54（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 新中善晴
2. 発表標題 Comet observation: science background and open questions
3. 学会等名 ISAS惑星探査ワークショップ2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshiharu Shinnaka
2. 発表標題 Wavelength dependence of polarization of comet 21P/Giacobini-Zinner
3. 学会等名 54th Annual Meeting of Division for Planetary Science (DPS 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 新中善晴
2. 発表標題 現存する太陽系小天体
3. 学会等名 始原天体ワークショップ2021 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshiharu Shinnaka
2. 発表標題 21P/Giacobini-Zinner 彗星の形成環境
3. 学会等名 2020年日本惑星科学会秋季講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshiharu Shinnaka
2. 発表標題 Imaging polarimetry of comet 21P/Giacobini-Zinner in the 2018 apparition
3. 学会等名 IAUS 360: Astronomical Polarimetry -- New Era of Multi-Wavelength Polarimetry (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kawakita, H.; Ootsubo, T.; Shinnaka, Y.
2. 発表標題 Mid-infrared observations of P/2016 BA14 (PANSTARRS) during its close approach to Earth: Thermal emission spectrum of the cometary nucleus
3. 学会等名 AAS Division of Planetary Science meeting #52 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Boice, D. C.; Kobayashi, H.; Kawakita, H.; Shinnaka, Y.
2. 発表標題 Relevant Coma Composition Investigations for the Comet Interceptor Mission
3. 学会等名 American Astronomical Society meeting #237 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 笠原慧, 吉岡和夫, 坂谷尚哉, 亀田真吾, 松岡彩子, 村田直史, 船瀬龍, 中島晋太郎, 尾崎直哉, 宇佐美尚人, 河北秀世, 新中善晴, 杉田精司
2. 発表標題 Comet Interceptor ミッション: WGからISAS所内検討チームに移行
3. 学会等名 2020年日本惑星科学会秋季講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 船瀬龍, 笠原慧, 中島晋太郎, 尾崎直哉, 宇佐美尚人, 吉岡和夫, 坂谷尚哉, 亀田真吾, 松岡彩子, 村田直史, 横田勝一郎, 浅村和史, 齋藤義文, 村上豪, 桑原正輝, 河北秀世, 新中善晴、他
2. 発表標題 ESA-JAXA共同Comet Interceptorミッションの計画概要と科学戦略
3. 学会等名 第21回 宇宙科学シンポジウム
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>彗星コマ中のアンモニア分子はどこから来たか？ https://www.kyoto-su.ac.jp/news/20231121_859_comet.html ジャコビニ・ツィナー彗星でダストは崩壊していなかった～特異な彗星の新たな素顔が偏光撮像観測で明らかに～ https://www.kyoto-su.ac.jp/news/20230717_859_comet.html ベールに隠された彗星核の観測に成功 https://www.kyoto-su.ac.jp/news/20210406_859_comet.html 史上初めて彗星活動を示した恒星間天体ボリソフ彗星の起源は太陽系と似ていた https://www.kyoto-su.ac.jp/news/20210702_859_comet.html 神山天文台の研究者らがすばる望遠鏡を用いて明らかにした新星爆発によるリチウム生成量の多様性 https://www.kyoto-su.ac.jp/news/20210707_859_nova.html オーロラの光で探るジャコビニ・ツィナー彗星誕生の現場 https://www.kyoto-su.ac.jp/news/20210406_859_comet.html</p>
--

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
研究協力者	河北 秀世 (Kawakita Hideyo)		
研究協力者	大坪 貴文 (Ootsubo Takafumi)		

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
---------	---------