

令和 3 年 6 月 23 日現在

機関番号：51401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04400

研究課題名（和文）行動文脈を考慮した活動状態の定量的調査方法の開発

研究課題名（英文）Development of a Quantitative Survey Method for Traffic Behavioral States Considering Behavioral Context

研究代表者

長谷川 裕修（Hasegawa, Hironobu）

秋田工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：00533374

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題は、1）眼鏡型装置（視線計測・3軸加速度センサ・3軸角速度センサ）とスマートウォッチ（GPS）によって収集した生理指標を含む時系列センサデータを用いて歩行者の活動状態を精度良く自動検出するとともに、2）視線計測結果から原因となる対象を特定する技術の開発を目的として実施した。このうち、前者については十分な成果を得た。また、後者についても概ね達成することができた。更に、視線の動きを表すスキャンパス同士の非類似度に対する因子の影響をPERMANOVAによって検定する方法論を提案し、注視行動と道路環境に対する慣れ・不慣れおよび自動車免許保有との関係について有意な影響があることを発見した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では視線の動きを表すスキャンパス同士の非類似度に対する因子の影響をPERMANOVAによって検定する方法論を提案し、注視行動と道路環境に対する慣れ・不慣れおよび自動車免許保有との関係について有意な影響があることを発見した。同様のアプローチはイベント時の群衆行動における視線誘導・交通誘導施策効果の把握、通学路の危険予知トレーニングの効果把握等にも適用可能であり、大きな発展可能性を有している。

研究成果の概要（英文）：This research project was conducted for the following two purposes: 1) to automatically and accurately detect the activity state of pedestrians using time-series sensor data including physiological indices collected by an eyeglass-type device (eye measurement, 3-axis acceleration sensor, and 3-axis angular rate sensor) and a smartwatch (GPS), and 2) to develop a technology to identify the causal object from the eye measurement results. Of these, we achieved satisfactory results for the former. In addition, we were able to achieve mostly the latter. In addition, we proposed a methodology to test the effect of factors on the dissimilarity between scanpaths representing eye movements using PERMANOVA, and found that there was a significant effect on the relationship between gazing behavior and familiarity/unfamiliarity with the road environment and holding a driving license.

研究分野：交通計画，交通工学，土木計画学

キーワード：交通行動分析 視線計測 慣性センサ センサフュージョン 行動文脈 交通安全 歩行者挙動 通学路

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

昔から「目は口ほどにものを言う」と言われてきたが、視線を計測して定量的に分析するには大規模な装置が必要であったため、その適用分野は限られてきた。しかし、近年の技術革新によって装置の小型化・携帯性向上が進み、視線計測の応用範囲が広がりつつある。また一方で、インフラ整備においては、全国画一的な整備から地域の実情に合わせた整備へ、量的充足から質的充実へと転換している。利用者によるインフラ整備に対する評価方法として、定性的な評価を行うアンケート調査が広く行われてきたが、バイアスの存在が調査の信頼性を損ねるといった指摘も根強い。

以上を踏まえて本研究は、装着時の心理的・肉体的負荷が小さい眼鏡型装置（視線計測・3軸加速度センサ・3軸角速度センサ）とスマートウォッチ（心拍数計・GPS・加速度センサ・角速度センサ）によって収集した生理指標を含む時系列センサデータを用いて、歩行者の「戸惑い」などの活動状態を精度良く自動検出するとともに、視線計測結果から得られるヒートマップ・ゲイズマップによって原因となる対象を特定する技術の開発を行うものである（図1）。そのために、移動時に人が取る一連の行動の中で戸惑いなどの活動状態にある場合に特徴的な目と体の動きがあるとの仮定のもと、目の動きやまばたきのパターンおよび体の動きと活動状態との関係を機械学習手法によってモデル化する。

眼鏡型装置のみによる計測では、よく似た目の動きやまばたきのパターンを持つ活動状態（例えば、戸惑い状態と集中状態など）の判別が困難な場合が考えられるが、スマートウォッチから得られる移動方向・歩数・速度・心拍数を融合的に用いることで、行動文脈を考慮した形で精度を向上させることが可能となると考えている。戸惑い状態を例に取れば、複数のセンサを組み合わせることで、例えば、i)手元のスマートフォンを使って情報を検索する、ii)何度も同じ場所を行ったり来たりする、といった戸惑いに直面した際に行うであろう行動を検出可能であると考えられる。

また、視線計測結果から得られるヒートマップ・ゲイズマップとGPSによる位置情報によって「戸惑い」などの活動状態を生じさせる原因の特定を行うことで、既存施設の改善に繋げることが可能である。

2. 研究の目的

本研究は、装着時の心理的・肉体的負荷が小さい眼鏡型装置（視線計測・3軸加速度センサ・3軸角速度センサ）とスマートウォッチ（心拍数計・GPS・加速度センサ・角速度センサ）によって収集した生理指標を含む時系列センサデータを用いて、歩行者の「戸惑い」などの活動状態を精度良く自動検出するとともに、視線計測結果から得られるヒートマップ・ゲイズマップによって原因となる対象を特定する技術の開発を目的とする。「慣れ」によって解消する「戸惑い」を含む活動状態に着目し、これらを精度よく自動検知する技術を開発することにより、円滑・安全な移動や活動を妨げる原因を簡便に特定することが可能となる。

3. 研究の方法

(1) 歩行挙動の測定と歩行挙動判別モデルの構築

加速度センサ・ジャイロセンサ・眼電位センサが搭載された眼鏡型ウェアラブルデバイス JINS MEME（以下、MEMEと記す）とGPSを搭載したスマートウォッチを用いて歩行実験を行い、歩行者の挙動を時系列データとして収集した。

MEMEの加速度センサおよびジャイロセンサから得られたデータにデータフュージョン技術であるMadgwickフィルタを適用して姿勢角を算出した。Madgwickフィルタは英国ブリストル大学のMadgwickによって開発され、IMU（Inertial Measurement Unit、3軸加速度・3軸ジャイロセンサ）およびMARGセンサ（Magnetic, Angular Rate and Gravity、3軸加速度・3軸ジャイロセンサ・3軸地磁気センサ）の測定値から姿勢角を精度良く推定する手法であり、同様の目的で用いられるカルマンフィルタに比べて計算量が抑えられることから、ドローンの姿勢角推定および制御への適用事例が多い。本研究では回転軸の定義を右手系（ZYX）とし、加速度と角速度を入力して、姿勢角をオイラー角（X軸周りの回転を表すピッチ角 ϕ 、Y軸周りの回転を表すロール角 θ 、Z軸周りの回転を表すヨー角 ψ ）として推定した。なお、計算にはRのRAHRSパッケージに含まれるMadgwickIMU関数を用いた。得られた姿勢角を頭部動作として解釈す

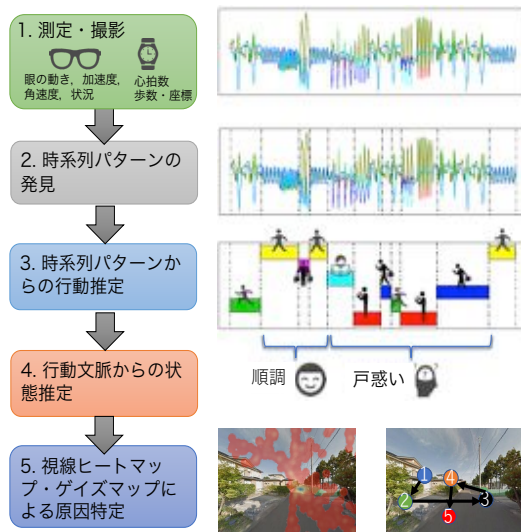


図1 研究のフレームワーク

れば、それぞれ「 ϕ ：うなずく、仰ぎ見る動作」「 ψ ：首を横に振る動作」「 θ ：首を傾げる動作」の3種類となる。

次に、GPSで測定された累積移動距離 D (m) と経過時間から歩行速度 V (m/s) を算出した。歩行挙動の把握に有用と考えられる姿勢角 ϕ , ψ , θ , 上下方向の加速度 A_z , 歩行速度 V の時系列変動をグラフ化し、同時に GPS から得た緯度経度情報をもとに移動経路を可視化する。これら姿勢角と歩行速度、上下方向の加速度を折れ線グラフに、移動経路を地図上にプロットする。測定データごとに同様の図を作成し、この図と歩行者胸部に装着したアクションカメラで撮影した映像を比較するとともに、実験参加者に行動の確認をしてもらいながら、歩行挙動の抽出を試みた。その結果、ただ歩いている・注意しながら歩いている・ただ止まっている・注意しながら止まっている、の4つの歩行挙動が抽出された。

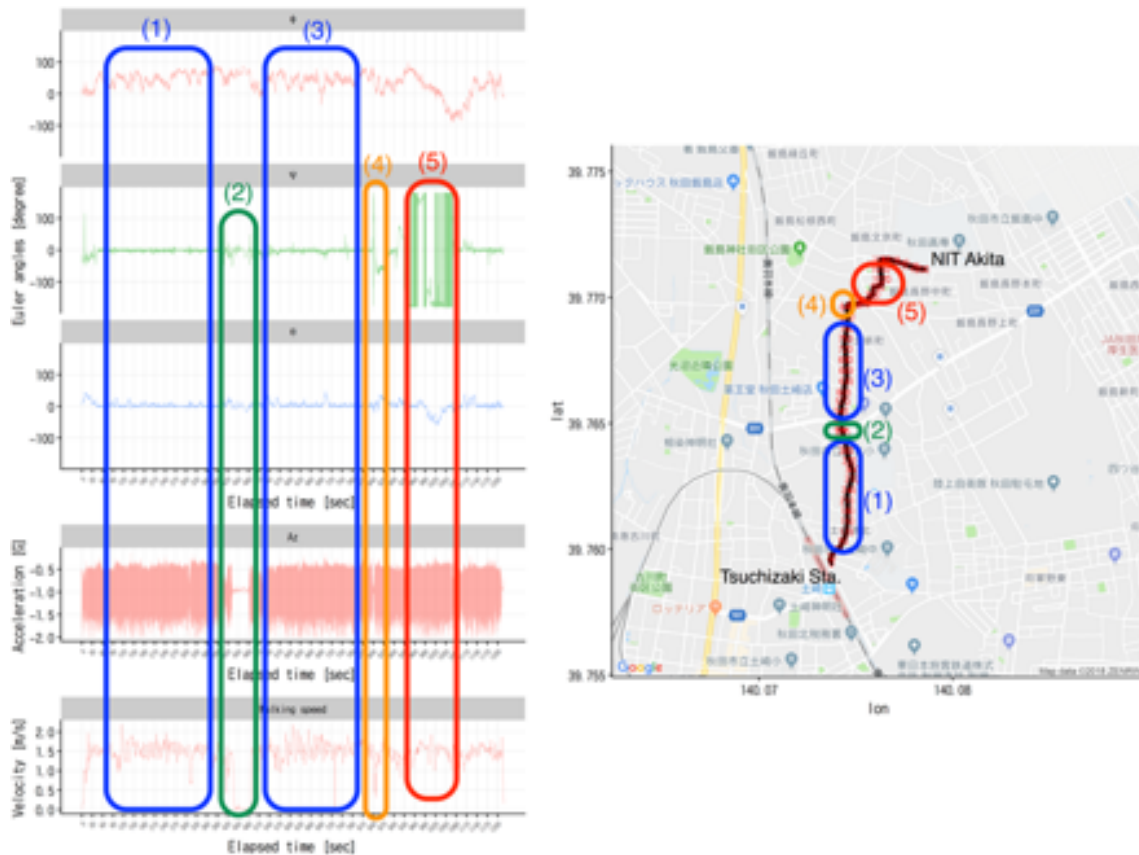


図2 歩行挙動の抽出

図2にこれら4つの歩行挙動について、2018年1月31日の歩行挙動特性値の時系列変動と歩行経路上との関係を示す。抽出した4つの歩行挙動を、歩行挙動クラスラベルとしてデータに付値した。このデータのうち半分を非復元ランダム抽出で抽出し、モデルの学習に用いる学習用データとする。そして残りの半分をモデルの評価に用いる検証用データとする。算定した歩行特性値と抽出した歩行挙動との関係をクラス判別問題として、ランダムフォレストによる歩行挙動判別モデルを構築する。モデルの構築にあたり、入力は、加速度 A_x , A_y , A_z , 角速度 G_x , G_y , G_z , 姿勢角 ϕ , ψ , θ , 歩行速度 V の10変数からなる歩行特性値であり、出力は「1. ただ歩いている」「2. 注意しながら歩いている」「3. ただ止まっている」「4. 注意しながら止まっている」の4種類の歩行挙動ラベルである。モデル構築に際しては、特徴選択を行い、最終的なモデルには V , θ , G_z , ϕ の4変数を用いた。

(3) 通学路歩行時の注視行動分析

スウェーデン Tobii 社製のアイトラッカー Tobii pro glasses 2 (以下、トビーグラスと記す) を使用し、通学路歩行時の注視行動の測定を行った。対象区間として交差点や道路反射鏡などの注視対象物を含む実験区間を上飯島駅～秋田高専間を設定した。

本研究では、1) 道路環境に対する慣れ・不慣れ、2) 普通自動車運転免許保有の有無、によって注視行動が変化するという仮説のもと、実験を行った。前者の仮説については、通い慣れた道を歩行する場合、周辺環境に対する事前知識が注視行動に変化を及ぼすと考えた。後者の仮説について補足すれば、普通自動車運転免許保有者は、自動車教習所における技能講習34時限(MT)・学科教習26時限・修了検定(仮免許試験)・卒業検定、免許センターにおける学科試験および適性試験を受講および合格しており、非保有者に比べて交通安全意識・知識ともに高いことが想定され、これが注視行動に影響を与えると考えた。

実験条件は実験区間；普通自動車運転免許保有の有無；実験区間に対する慣れ・不慣れの3項

目について各2水準、合計8条件とした。なお、個人差の影響を緩和するため、各実験条件につき参加者3名ずつ実験を行い、その結果を統合して用いることとした。以上の実験条件を満たす最小の参加者数は12名であり、事前のインタビューにより条件を満たす参加者を選定した。

道路環境への慣れの有無と免許の有無が注視行動に与える影響を把握するために、以下の手順で分析を行った。

- 測定によって得られた視線データから分析対象箇所における注視データを以下の手順で作成。なお、作成した注視データには、各注視の座標および開始時間が含まれる。
 - 測定によって得られた視線映像中に別途撮影した分析対象箇所の静止画像が映り込んでいる時間を画像認識技術によって特定し、その間の視線データの座標を背景画像上の座標に対応付けする
 - 視線移動速度が $100 \text{ }^\circ/\text{s}$ 以下の状態が 60 ms 以上継続する場合を注視とするフィルタ処理 (Tobii I-VT (Attention) フィルタ) を適用
- 注視データから各注視の継続時間を算出し、スキャンパスを作成。スキャンパスは注視の座標および継続時間からなり、ある注視から次の注視までがサッカードを表している。サッカードとは、ある対象物から別の対象物を見るときに高速に視線を移動させる動きのことである
- スキャンパスの比較による仮説検証
 - Jarodzka らによって提案されたスキャンパスの比較方法である MultiMatch で参加者 i と j とのスキャンパスの類似度指標 (ベクトル V_{ij} ・長さ L_{ij} ・方向 DI_{ij} ・位置 P_{ij} ・期間 DU_{ij}) を算出。なお、 $i=j$ のとき類似度は1となる
 - 非類似度を $1-V_{ij}$ (ベクトルの場合、他の指標も同様) として算出
 - 指標ごとに PERMANOVA で非類似度を検定。PERMANOVA は、シドニー大学の Anderson によって一般距離行列に対してノンパラメトリック多変量分散分析を行うことを目的として開発された手法である

4. 研究成果

(1) 歩行挙動判別モデルの評価

3.(1)で構築した歩行挙動判別モデルに検証用データを入力し、出力されたクラスラベルを判別結果とした結果を表1に示す。

モデル全体の評価として、全体精度=0.994であり非常に高い。しかし本研究で用いたデータセットはクラス1が圧倒的に多い不均衡データである。そこでクラス間のデータ数の多寡を考慮しない平均精度を求めると、平均精度=0.914であった。全体精度と比較すれば低いが多分に高精度と言える。

表1 RF モデル混同行列 (検証用データ)

	観測			
	1	2	3	4
予測				
1	204768	665	10	423
2	37	3171	0	0
3	9	0	4625	42
4	20	0	13	2344

1:ただ歩いている, 2:注意して歩いている,

3:ただ止まっている, 4:注意して止まっている

(2) 通学路歩行時の注視行動分析結果

非類似度をヒートマップとして可視化したものを図3に示す。色が黄色に近いほど非類似度が高い (=似ていない) ことを表している。

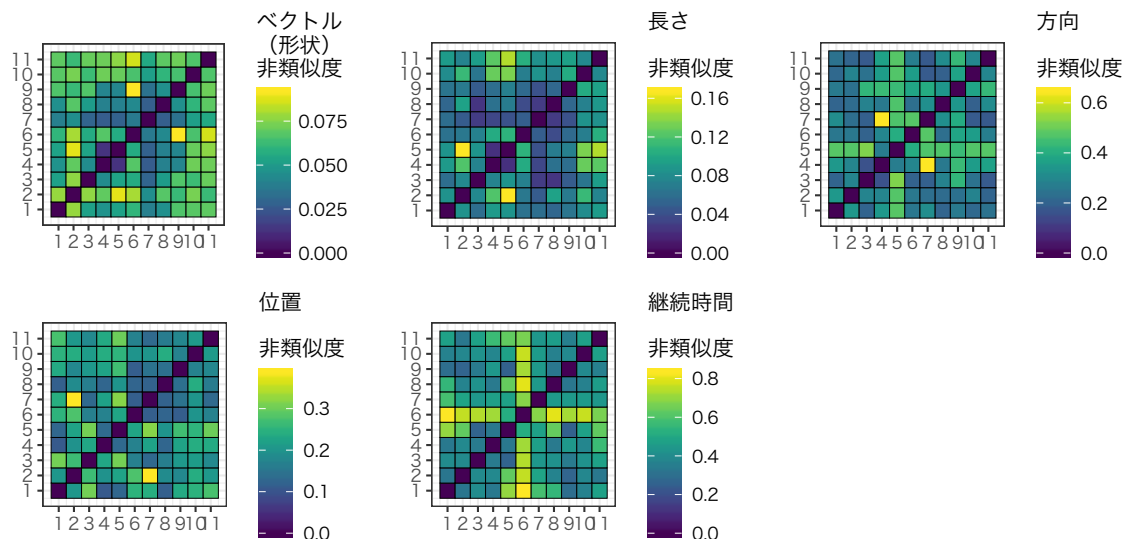


図3 非類似度のヒートマップ

免許の有無と道路環境に対する慣れ・不慣れが非類似度に与える影響を PERMANOVA で検定した結果を整理したものを表 2 に示す。表中の数字は p 値であり、免許有無と慣れ・不慣れそれぞれ単独では有意な影響がないが、交互作用をみるとベクトルと長さが有意水準 0.05 で有意、期間が有意水準 0.1 で有意となった。

表 2 PERMANOVA 結果

指標	免許有無	慣れ不慣れ	交互作用
ベクトル	0.580	0.342	0.029
長さ	0.536	0.533	0.012
方向	0.173	0.285	0.572
位置	0.589	0.114	0.303
期間	0.122	0.223	0.075

以上より、道路環境への慣れの有無と免許の有無が注視行動に影響を与えることが示唆された。

(4) 研究成果のまとめ

本研究課題は、1) 眼鏡型装置 (視線計測・3 軸加速度センサ・3 軸角速度センサ) とスマートウォッチ (心拍数計・GPS・加速度センサ・角速度センサ) によって収集した生理指標を含む時系列センサデータを用いて歩行者の「戸惑い」などの活動状態を精度良く自動検出するとともに、2) 視線計測結果から得られるヒートマップ・ゲイズマップによって原因となる対象を特定する技術の開発を当初の目的として実施された。

このうち、前者については 3. (1) および 4. (1) に記したとおり、時系列センサデータから歩行者の活動状態を精度良く推定する技術を開発することができた。また、後者については 3. (2) および 4. (2) に記したとおり、歩行者の注視行動を可視化することで把握することが可能となったものの、注視行動と対象物との因果関係の解明については不十分であった。しかし、スキャンパス同士の非類似度に対する因子の影響を PERMANOVA によって検定する方法論を提案し、注視行動と 2 つの因子 (道路環境に対する慣れ・不慣れおよび普通自動車運転免許保有の有無) との関係について有意な影響があることを発見したことは、当初の計画外の大きな成果であった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hironobu HASEGAWA, Hayato KONNO, Kohki KIKUCHI, Tohru TAMURA	4. 巻 5
2. 論文標題 Pedestrian Behavior Analysis using Smart Eyewear	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Asian Transport Studies	6. 最初と最後の頁 453-469
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11175/eastsats.5.453	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 長谷川 裕修, 堀井 遥花, 葛西 誠, 田村 亨	4. 巻 40
2. 論文標題 生活道路単路部での歩行位置が自動車に追い越される際の危険性認知に与える影響の検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 交通工学研究発表会論文集	6. 最初と最後の頁 13-17
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 長谷川 裕修, 葛西 誠, 田村 亨	4. 巻 76 (5)
2. 論文標題 運転免許保有有無と慣れが通学路歩行時の注視行動に与える影響の検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集D3 (土木計画学)	6. 最初と最後の頁 I_927-I_936
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/jscejipm.76.5_I_927	査読の有無 無
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6件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 長谷川裕修, 佐藤真実, 葛西誠
2. 発表標題 運転免許保有有無と慣れが通学路歩行時の注視行動に与える影響
3. 学会等名 令和元年度土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 堀井遥花, 長谷川裕修, 葛西誠
2. 発表標題 生活道路での歩行位置が自動車に追い越される際の危険性認知に与える影響の検討
3. 学会等名 令和元年度土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長谷川裕修
2. 発表標題 道路への『視線』と『姿勢』
3. 学会等名 第89回東北地方道路計画研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷川裕修, 今野迅人, 菊池光貴, 田村亨
2. 発表標題 眼鏡型デバイス搭載センサを用いた歩行挙動分析
3. 学会等名 第58回土木計画学研究発表会・秋大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷川 裕修, 堀井 遥花, 葛西 誠, 田村 亨
2. 発表標題 生活道路単路部での歩行位置が自動車に追い越される際の危険性認知に与える影響の検討
3. 学会等名 第40回交通工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長谷川 裕修, 葛西 誠, 田村 亨
2. 発表標題 運転免許保有有無と慣れが通学路歩行時の注視行動に与える影響の検討
3. 学会等名 第61回土木計画学研究発表会・春大会
4. 発表年 2020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
---------------------------	-----------------------	----

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