

令和 5 年 5 月 23 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H00569

研究課題名（和文）勤労者の心身不調のリスク制御を図る個人適合型IoTシステムの構築と臨床応用

研究課題名（英文）Development and clinical application of personalized IoT system to control the risk of mental and physical disorders of workers

研究代表者

山本 義春（Yamamoto, Yoshiharu）

東京大学・大学院教育学研究科（教育学部）・教授

研究者番号：60251427

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 34,900,000円

研究成果の概要（和文）：就労者における精神衛生上のリスク状態の検知と日常生活下でのリスク制御の実現を目的に研究を行った。日常生活下で計測された感情中立的な発話データを用いて、就労者の気分を推定するAIモデルの開発に着手し、客観的な生体情報のみから気分不調を検出できる可能性が示された。これに加えて、精神衛生上の問題との関係が知られる睡眠の個人内変動に着目することで、睡眠時間の安定化を目的としたMicro-randomized trialを実施した。その結果、睡眠の乱れが顕著である就労者において睡眠時間の安定化効果が認められた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では(1)感情中立的発話データに基づく気分推定技術の開発、および(2)睡眠習慣の安定化を目的としたMicro-randomized trialの実証実験を行った。これらの研究開発は、国際的にも実証例の少ない、あるいは、前人未達の試みであり、不調の検知・制御に関する先駆的な取り組みであったと言える。また、上述の研究成果は全て日常生活下で得られたデータを基盤として得られたものであることから、real-worldでの健康リスクの予兆検知・一次予防の実現可能性を担保するものである。

研究成果の概要（英文）：The aim of this research project was to identify the vulnerable state of mental health among Japanese employees and to modify their health-related behaviors in real-world settings. By using digital devices, including a smartphone application and a wearable activity monitor, we measured employees' moods and bio-signals (i.e., physical activity, heart rate, and voice) in real-world settings. Then, we developed an AI model to predict the self-reported moods from the emotionally neutral voice data. As a result, the model could predict employees' moods reasonably. In addition, we conducted micro-randomized trial targeting instability in habitual sleep behaviors, which is known as potential factor contributing to mood disturbances. It was found that habitual sleep duration was significantly stabilized during the trial especially among the employees with unstable habitual sleep behaviors.

研究分野：教育生理学、生体信号処理、健康情報学

キーワード：Micro-randomized trial Affective computing 睡眠安定性 AIoT

1. 研究開始当初の背景

就労者の精神衛生上の問題の予防は身体の健康とともに喫緊の社会問題とみなされつつある。例えば、本邦においては、労働上のストレスを報告する就労者の割合は半数以上に及ぶとされている[1]ほか、2019年時点では、業務上の心理的負荷が精神疾患の原因となったとして労災請求が行われる事例は過去最高の1820件に及んでいる[2]。一方で、実際に精神衛生上の問題を産業医や保健師などへ相談したケースは3%にも満たないと推計されている[1]。こういった精神衛生上の潜在的なリスクを客観的に検知し、実時間で、かつ必要性の生じた時に(just-in-timeで)サポート・介入を提供する基盤技術の開発は産業衛生の改善・保全に貢献することが期待できる。

心身の不調に対しては、運動や睡眠リズムの安定化など生活行動の改善が一般的に有効であるとされているものの、実際に“どのような場合に、あるいは、どのタイミングでサポートを提供することが効果的であるか”、という点においては明確なエビデンスは提供されておらず、今日においても医師などの臨床家の経験に依拠するところが少なくない。IoT(Internet of Things)やモバイルデバイスの活用によって健康・医療上の諸問題の解決を目指すmobile-Healthという分野では、Micro-randomized trial(MRT)[3]と呼ばれる介入パラダイムが近年注目を集めている。MRTでは日常生活の中で反復的かつランダムに介入を提供することによって、介入が効果的であった心理社会的文脈を見出し、介入の個人最適化に資するエビデンスが生成できると期待されている。しかしながら、MRTの実現には個人の状態を把握するためのモバイルセンサーや、それらを統合的に管理・分析するための大規模サーバー、さらには介入を個人に提供するためのゲートウェイ、といった一元化された技術的基盤が不可欠であり、未だに実現例は乏しいのが現状である[4, 5]。

申請者はこれまでに、IoTデバイス、スマートフォンアプリ(HITアプリ)、クラウドサーバー(HITサーバー)によって構成されるIoTクラウドデータコレクターシステム(HITシステム)の開発に着手してきた。本システムではHITアプリをゲートウェイとして、IoTデバイス(リストバンド型の活動量計など)から得られたデータをHITサーバーに転送・集積することが可能である。また、データの分析結果に基づき、HITサーバーを介して任意のHITアプリユーザーに向けてpush通知を送信する機能も実装されている。本研究では、この技術的基盤を拡張・活用することで、就労者における心身不調のリスクの検知と制御の実現に資する研究開発を行う。

2. 研究の目的

本研究では、日常生活下で計測可能な生体情報から心身の不調を検知する技術の開発を行うとともに、push通知介入による健康行動効果を検証するためのMRT実証実験を行う。

3. 研究の方法

(1) HITシステムの改良と機能拡張による多次元生体情報の収集

開発済みのHITアプリでは、日常生活下で実施可能な問診機能(Ecological Momentary Assessment; EMA)によって抑うつや不安、眠気といった対象者の心身症状を反復的に評価することが可能であった。また、ウェアラブルデバイスから得られる生体情報(身体活動や睡眠データ)と対応付けることで、行動と気分の個人内相関の解析に利用されてきた。本研究では、日常生活下での多次元生体情報計測を実現させるため、HITアプリによる音声記録機能の実装と脈波と身体活動量とが計測可能な専用ウェアラブルデバイスの開発を行った。

(2) 就労者を対象とした多次元生体情報と問診データの収集

機能拡張されたHITシステムを用いて、就労者362名(男:女=228:134)を対象に多次元生体情報と問診データの収集調査を行った(図1)。調査に先立って、参加者はスマートフォンにHITアプリをインストールするとともに、専用ウェアラブルデバイス(Sciencenet社製)を非利き手に装着するよう教示された。2週間の調査期間の間に、参加者は、1日5回HITアプリでスマートフォンのマイクに向かって感情中立的な文章の読み上げを行ってもらった(本調査では「今はX月X日X曜日X時X分です」と現在の時刻の回答を求めた)。音声入力の直後には、アプリのEMA機能によってそのときの心身症状(“抑うつ”や“不安”など)の自己評価を求めた。これに加えて、ウェアラブルデバイスによって身体活動量と脈波の記録を行った。身体活動量は調査開始時から睡眠時も含め連続的に計測し、脈波はEMA回答開始から120秒間のみ計測した。以上の手続きによって、日常生活下での心身症状に対応した多次元生体情報(音声、身体活動、脈波)を含んだ大規模データセットを作成した。本データセットを用いて、感情中立的な発話データからそのときの気分を推定するAIモデルの開発を行った[4. 研究成果(1)参照]。

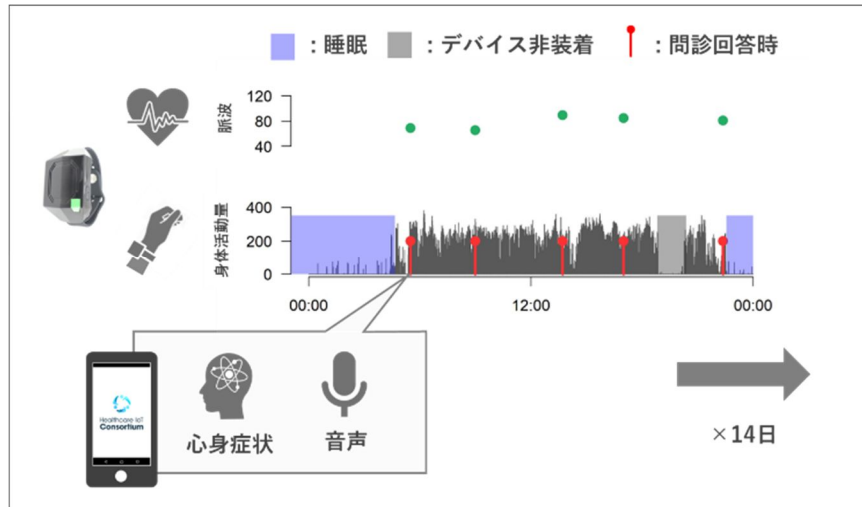


図1 データ収集プロトコルの概要

(3) 睡眠安定化を目的とした MRT 実証実験

精神衛生の改善につながる健康行動の一つとして知られる睡眠習慣に着目し、push 通知型介入によって健康行動が変容可能であるかを検証する MRT を実施した。(2)によって得られた就労者のうち 182 名の身体活動データを用いて睡眠指標(睡眠時間、睡眠中間点、睡眠効率)を推定した。さらに各指標の個人内平均・標準偏差に基づき、睡眠習慣が比較的安定している群(グループ A、男:女=228:134)と不安定な群(グループ B、男:女=228:134)とを同定した。グループ A から 25 名、グループ B から 58 名(合計 83 名)を再度リクルートし、睡眠安定化を目的とした MRT 実証実験を行った。

実験期間中、参加者は(2)と同様に HIT アプリによる 1 日 5 回の音声/問診記録およびウェアラブルデバイスによる生体情報計測を 2 週間行った。これに加えて、本実験では、睡眠状態を知らせる push 通知が毎日一定の確率でのみフィードバックされるよう個人内でランダム化された。具体的には、毎日 12 時に HIT サーバー上にアップロードされている身体活動データから直前の睡眠時間を個人ごとに計算し、その値が(2)の調査時の平均睡眠時間と比べてどの程度長かったか/短かったか知らせるフィードバック通知を対象者の HIT アプリに 50%の確率で送信した。これによって、通知があった場合となかった場合におけるその直後の睡眠行動の比較が可能になっている。

4. 研究成果

(1) 感情中立的発話データによる心身不調検知技術の開発

就労者 342 名(男:女=216:126)から得られた 20,827 クリップの発話データを用いて感情中立的な音声情報からそのときの気分の推定精度を検証した。特に、本分析では、マルチタスクニューラルネットワークモデルによって 9 次元の気分(“はつらつとした”、“嬉しい”、“楽しい”、“暗い”、“嫌な”、“沈んだ”、“不安な”、“気がかりな”、“心配な”)の同時学習を行うことで、気分における多面的な側面の評価を試みた。結果としてモデルによって得られた平均一致相関係数は 0.547 (0.428 ~ 0.609、表 1)であり、日常生活下での感情中立的かつ客観的なデータのみから気分不調を検出できる可能性が示された。現在では身体活動データや脈波データを併用することでマルチモダル生体情報に基づく心身不調検出器の開発に着手している段階である。

気分	一致相関係数
はつらつとした	0.492
嬉しい	0.496
楽しい	0.428
暗い	0.603
嫌な	0.545
沈んだ	0.581
気がかりな	0.609
不安な	0.593
心配な	0.600
平均	0.547

表 1 気分推定結果

(2) 習慣的睡眠行動に着目した MRT 実証実験

睡眠フィードバックの有無によって、その後の睡眠行動に変化が生じるかを調べるため、階層的統計モデリングを用いた分析を行った。その結果、介入初日ではフィードバックの送信によって 40 分程度の睡眠時間の増加が見込まれた ($p = 0.01$)。これは睡眠フィードバックによる短期効果と解釈でき、MRT の実施によって初めて得られた研究成果である。特にこの効果は睡眠習慣に不安定性を呈していたグループ B の就労者において顕著であり(最大で 59 分増加、 $p = 0.01$ 、図 2)、もともと睡眠が相対的に良好なグループ A ではほとんど効果を示さなかった。これに加えて、実験期間前と実験期間中とで睡眠指標の比較を実施したところ、短期効果の分析結果と対応するようにグループ B の就労者では睡眠時間の個人内標準偏差(睡眠時間の不安定性に関する指標)が統計的に有意に減少しており($p = 0.01$ 、図 3)、就労者の睡眠習慣を実証的に変容させることに成功した。以上の結果は、日常生活下での健康リスクの制御において、健康行動の脆弱状態の検知に基づく早期対応が重要であることを示唆する知

見である。今後は(1)で示した知見を組み込むことで、生体情報に基づく客観的な心身不調検出と just-in-time での心の状態制御に着手してゆく計画である。

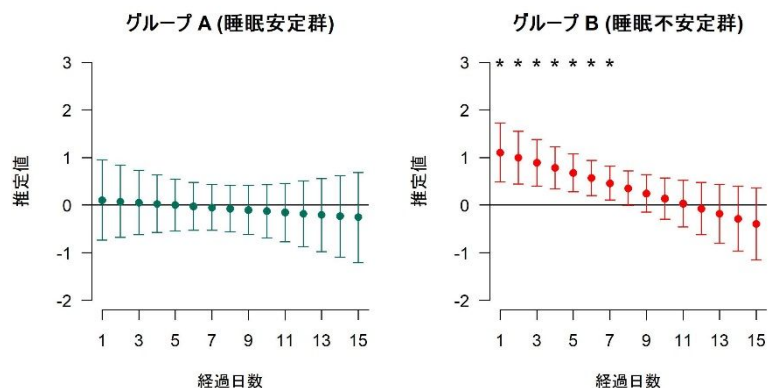


図2 睡眠フィードバックの効果

階層線形モデルを用いて、日ごとに睡眠フィードバックの効果を推定。
 図中*は95%信用区間に基づき、統計的に有意な効果が示された日を表す。

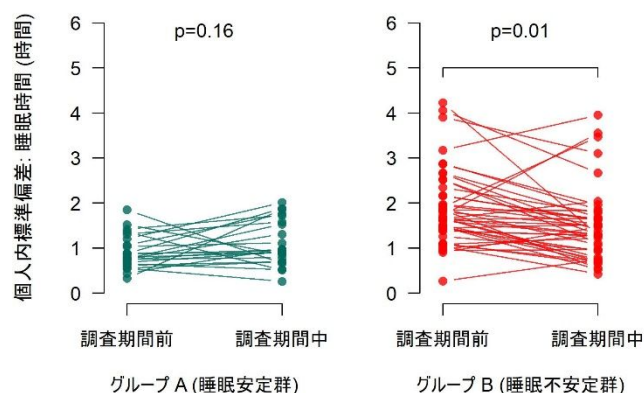


図3 MRT 実験による睡眠安定化効果

3. 研究の方法(2)で得られた睡眠指標を用いて MRT 実験期間中にどの程度睡眠習慣が変容したかを検証した。二要因分散分析の結果、睡眠の不安定性が顕著であった集団(グループ B)において安定化効果が示された。

引用文献

- [1] 厚生労働省. 平成 30 年度労働安全衛生調査. 2019
- [2] 厚生労働省. 平成 30 年度過労死などの労災補償状況. 2019
- [3] Klasnja P, Hekler EB, Shiffman S, et al. Microrandomized trials: An experimental design for developing just-in-time adaptive interventions. *Health Psychol.* 2015; 34S(0): 1220-1228. doi:10.1037/hea0000305
- [4] Klasnja P, Smith S, Seewald NJ, et al. Efficacy of Contextually Tailored Suggestions for Physical Activity: A Micro-randomized Optimization Trial of HeartSteps. *Ann Behav Med.* 2019; 53(6): 573-582. doi:10.1093/abm/kay067
- [5] NeCamp T, Sen S, Frank E, et al. Assessing Real-Time Moderation for Developing Adaptive Mobile Health Interventions for Medical Interns: Micro-Randomized Trial. *J Med Internet Res.* 2020; 22(3): e15033. doi:10.2196/15033

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 9件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Qian Kun, Koike Tomoya, Nakamura Toru, Schuller Bjorn, Yamamoto Yoshiharu	4. 巻 23
2. 論文標題 Learning Multimodal Representations for Drowsiness Detection	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems	6. 最初と最後の頁 11539-11548
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TITS.2021.3105326	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 Li Li, Nakamura Toru, Hayano Junichiro, Yamamoto Yoshiharu	4. 巻 3
2. 論文標題 Seasonal Sleep Variations and Their Association With Meteorological Factors: A Japanese Population Study Using Large-Scale Body Acceleration Data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Digital Health	6. 最初と最後の頁 677043-1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fdgth.2021.677043	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 Li Li, Nakamura Toru, Hayano Junichiro, Yamamoto Yoshiharu	4. 巻 11
2. 論文標題 Age and gender differences in objective sleep properties using large-scale body acceleration data in a Japanese population	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 9970-1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-89341-x	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 Qian Kun, Koike Tomoya, Yoshiuchi Kazuhiro, Schuller Bjorn W., Yamamoto Yoshiharu	4. 巻 -
2. 論文標題 Can Appliances Understand the Behaviour of Elderly via Machine Learning? A Feasibility Study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Internet of Things Journal	6. 最初と最後の頁 1~1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JIOT.2020.3045009	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 Schuller Bjorn W., Schuller Dagmar M., Qian Kun, Liu Juan, Zheng Huaiyuan, Li Xiao	4. 巻 3
2. 論文標題 COVID-19 and Computer Audition: An Overview on What Speech & Sound Analysis Could Contribute in the SARS-CoV-2 Corona Crisis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Digital Health	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) 10.3389/fdgth.2021.564906	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 Qian Kun, Schmitt Maximilian, Zheng Huaiyuan, Koike Tomoya, Han Jing, Liu Juan, Ji Wei, Duan Junjun, Song Meishu, Yang Zijiang, Ren Zhao, Liu Shuo, Zhang Zixing, Yamamoto Yoshiharu, Schuller Bjorn W.	4. 巻 -
2. 論文標題 Computer Audition for Fighting the SARS-CoV-2 Corona Crisis ? Introducing the Multi-task Speech Corpus for COVID-19	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Internet of Things Journal	6. 最初と最後の頁 1~1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JIOT.2021.3067605	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 Qian Kun, Janott Christoph, Schmitt Maximilian, Zhang Zixing, Heiser Clemens, Hemmert Werner, Yamamoto Yoshiharu, Schuller Bjorn W.	4. 巻 25
2. 論文標題 Can Machine Learning Assist Locating the Excitation of Snore Sound? A Review	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics	6. 最初と最後の頁 1233~1246
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JBHI.2020.3012666	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 Kun Qian, Zixing Zhang, Yoshiharu Yamamoto, and Bjorn W. Schuller.	4. 巻 38
2. 論文標題 Artificial Intelligence Internet of Things for the Elderly: From Assisted Living to Health-Care Monitoring.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Signal Processing Magazine	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) 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 該当する

1. 著者名 Qian Kun, Hu Bin, Yamamoto Yoshiharu, Schuller Bjorn W.	4. 巻 4
2. 論文標題 The Voice of the Body: Why AI Should Listen to It and an Archive	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Cyborg and Bionic Systems	6. 最初と最後の頁 1-3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.34133/cbsystems.0005	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 Wang Zhihua, Qian Kun, Liu Houguang, Hu Bin, Schuller Bjorn W., Yamamoto Yoshiharu	4. 巻 82
2. 論文標題 Exploring interpretable representations for heart sound abnormality detection	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Biomedical Signal Processing and Control	6. 最初と最後の頁 104569 ~ 104569
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bspc.2023.104569	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 Takeuchi Hiroki, Suwa Kaori, Kishi Akifumi, Nakamura Toru, Yoshiuchi Kazuhiro, Yamamoto Yoshiharu	4. 巻 10
2. 論文標題 The Effects of Objective Push-Type Sleep Feedback on Habitual Sleep Behavior and Momentary Symptoms in Daily Life: mHealth Intervention Trial Using a Health Care Internet of Things System	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 JMIR mHealth and uHealth	6. 最初と最後の頁 e39150 ~ e39150
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2196/39150	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 Hirose Marina, Nakamura Toru, Watanabe Akiko, Esaki Yuichi, Koike Shigefumi, Yamamoto Yoshiharu, Iwata Nakao, Kitajima Tsuyoshi	4. 巻 13
2. 論文標題 Altered distribution of resting periods of daily locomotor activity in patients with delayed sleep phase disorder	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Psychiatry	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fpsy.2022.933690	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 Hu Bin, Qian Kun, Dong Qunxi, Luo Yuejia, Yamamoto Yoshiharu, Schuller Bjorn W.	4. 巻 9
2. 論文標題 Psychological Field Versus Physiological Field: From Qualitative Analysis to Quantitative Modeling of the Mental Status	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Computational Social Systems	6. 最初と最後の頁 1275 ~ 1281
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TCSS.2022.3204144	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

〔学会発表〕 計0件

〔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	北島 剛司 (Kitajima Tsuyoshi) (40360234)	藤田医科大学・医学部・教授 (33916)	
研究分担者	吉内 一浩 (Yoshiuchi Kazuhiro) (70313153)	東京大学・医学部附属病院・准教授 (12601)	
研究分担者	中村 亨 (Nakamura Toru) (80419473)	大阪大学・基礎工学研究科・特任教授(常勤) (14401)	

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