

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：17301

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K17870

研究課題名（和文）新開発シャツ型心電計の生理学的指標変動による原子力災害対応者の精神的負荷要因調査

研究課題名（英文）Investigation of mental stress factors of nuclear disaster responders using a newly developed shirt-type electrocardiograph

研究代表者

井山 慶大（Iyama, Keita）

長崎大学・病院（医学系）・講師

研究者番号：50778694

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,900,000円

研究成果の概要（和文）：緊急被ばく医療の訓練参加者に対して、訓練中にシャツ型心電計を着用してもらい、心拍数の変動からストレス値を導き出した。経時的に得たストレス値は、模擬患者に付着している放射性物質を取り除く処置（除染）時に、有意にストレスが上昇していた。一方で、訓練終盤にあたる防護服の脱衣時には、ストレスは除染時に比べ十分に軽減していた。ここから、緊急被ばく医療時に医療従事者のストレスが高まる状況に関する事前指導や知識の提供が必要であることが示された。また、極端なストレスの軽減はヒューマンエラーを誘発する可能性があるため、適度な緊張が与えられるストレス環境を維持するような訓練項目を構築する必要性が考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

通常、訓練の指導ポイントはアンケートなどの主観的な指標でしか評価できていなかったが、本研究ではシャツ型心電計を着用することで、客観的な指標を用い訓練の指導ポイントを具体的に把握することが可能となった。緊急被ばく医療への従事者は不足している。そこには不安/ストレスを契機とする負の連鎖が生じており、人材不足のため教育活動は脆弱化し、医療従事者が放射線関連の基本的知識や経験を得る十分な教育機会が喪失することで、緊急被ばく医療に従事する際の不安/ストレスが解消されない。本研究はその負の連鎖を断ち切るため、効率的に不安/ストレスを取り除き、有能な人材を短期間で育成するためのヒントを得ることができた。

研究成果の概要（英文）：Participants in the radiation emergency medicine training were asked to wear a shirt-type electrocardiograph during the training course, and stress values were derived from the heart rate variability. Stress values obtained over time showed a significant increase during the removal of radioactive materials from the patients (decontamination). On the other hand, the stress was sufficiently reduced during the final stage of the training, when the participants were removing his/her protective clothing, compared to the decontamination process. This indicates the need to provide medical personnel with advance guidance and knowledge of stressful situations during radiation emergency medicine. In addition, since extreme stress reduction may induce human errors, it was considered necessary to construct training items that maintain an appropriate stressful environment that provides moderate tension.

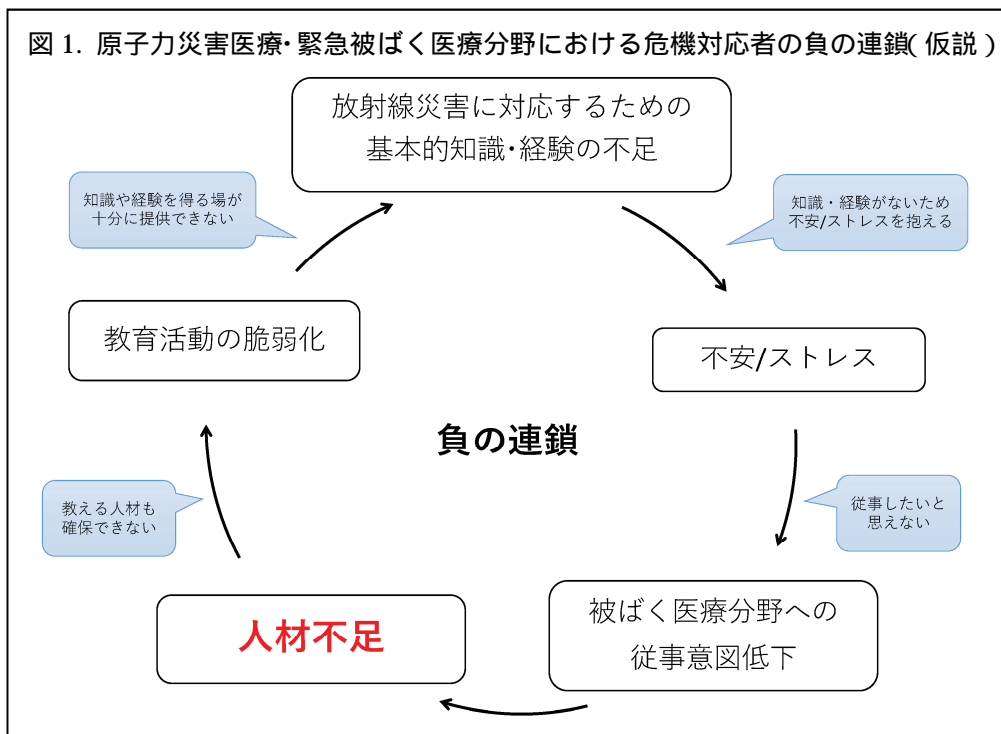
研究分野：救急医学

キーワード：原子力災害 緊急被ばく医療 教育 人材確保 ストレス 心拍変動

1. 研究開始当初の背景

2011年3月11日に発生した東日本大震災と続く東京電力福島第一原子力発電所事故(福島第一原発事故)により、危機対応の専門職であっても一般住民と同様に放射線リスクに対する不安を抱えていることが明らかになった。福島第一原発事故の初期対応においては、傷病者を受入れる医療機関の病院職員に放射線不安が強く、その診療には大きなストレスが加わり、病院受入が円滑に進まなかったことが報告されている¹。また看護師を対象とした過去の研究においては、放射線や医療被ばくに対する知識不足のため放射線に対する不安が強いことが報告されている。さらには看護師のみならず、医師やその他の医療従事者の原子力災害医療・緊急被ばく医療への関心は一般的に低く、放射線に対する知識不足が不安を助長し、その結果被ばく医療への参画を敬遠する医療従事者がいると考察されている²⁻⁴。上述の如く、今日の緊急被ばく医療を担う医療従事者の数は充足されていない^{5,6}。その理由は、不安・ストレスなどの精神的負荷、関心の低下、教育活動の脆弱化、知識不足などの複数の因子による負の連鎖が発生していると考えられた(図1)。2011年の福島第一原発事故後、多様な集団に対して不安・ストレスなどの精神的負荷に関する調査研究が行われたが、研究方法には質問紙等によるアンケート調査が選択されていた⁷⁻⁹。そのため、原子力災害医療・緊急被ばく医療分野において、危機対応者の精神的負荷を生理学的指標の変化に注目して客観的に定量化し解析した調査研究はこれまでにない。

そこで我々は、「どのような状況が不安・ストレスの発生に影響を与えるのか」を客観的に評価・抽出し、解明したいと考えた。合わせて、危機対応における精神的負荷を低減するには、どのような活動・教育内容に留意すべきかを上記の結果を用いて解明したいと考え、本研究を計画した。本研究では、図1の負の連鎖を打ち切るため危機対応者の不安・ストレスなどの精神的負荷とそれを誘発する因子に焦点を当てる。近年、精神的ストレスを定量化する手法が臨床応用されつつある。具体的には、精神的負荷時の内分泌系や自律神経系測定値の値とその変化が用いられる。このうち血液や唾液中のホルモン等を測定対象とする内分泌系解析は、高精度の反面、侵襲性・経済性・迅速性に課題がある。一方、心拍数変化、脈波形、呼吸パターンなどの自律神経系の測定は、迅速・非侵襲的かつ低コストである。中でも心拍変動解析法は、交感神経/副交感神経バランスを数値化することで不安・ストレスを定量化する方法であり、既にホルター心電図等の解析に実用化されている¹⁰⁻¹⁶。実際の心電図波形を用いることで、脈拍のみを検知する市販のウェアラブル端末(スマートウォッチ etc.)では捉えることのできない期外収縮等の微細な不整脈まで捉えることができ、心電図から得られる情報量は脈拍からの情報と比較して格段に増加する。ただしホルター心電計においてはその構造が複雑故に、装着によって受ける被験者の身体的・精神的負荷が課題であった。しかし近年、シャツ型の着用型心電計が開発され、その臨床応用が強く期待されている¹⁷。



2. 研究の目的

本研究では原子力災害医療・緊急被ばく医療に従事する危機対応者を対象として、新たに開発された医療用シャツ型心電計を着用し、訓練・研修に参加した際に得られる心電図波形をリアルタイムでモニタリングし、それらを用いて自律神経系の解析を行うことで、精神的負荷・ストレスを経時的・定量的に評価する。得られた解析結果から精神的負荷に影響を与える状況・因子を導き出し、危機対応における現場活動、訓練、教育の具体的な留意点を抽出し、その内容を訓練や教育内容に反映することを目的とする。ひいては、上記により図 1.における負の連鎖を断ち切り、原子力災害医療・緊急被ばく医療分野の人材安定供給を目指す。

3. 研究の方法

本研究に同意を得た緊急被ばく医療関係の訓練・研修の受講者から、セミナーの前後でアンケートを実施し、訓練中は医療用シャツ型心電計を着用してもらい、訓練・研修中に得られる心電図波形をリアルタイムでモニタリングした。心拍変動 (Heart Rate Variability: HRV) データを収集し、HRV を周波数解析して得られた LF/HF 比からストレス値を導き出した。測定期間中に得られた個々の参加者の LF/HF データを用いて、各参加者の LF/HF 値の正規分布モデルを構築した。このモデルに基づいて、経時的に得られた任意の時点の LF/HF 値のパーセンタイルを 0~100 の範囲で出力し、これを本研究で使用するストレス値として数値化した。またアンケートから得られるデータは、年齢、性別、家族構成、原子力災害医療・緊急被ばく医療への興味・関心、放射線のリスク認知、状態不安などの項目からなる。

緊急被ばく医療関連の訓練・研修内容を以下の通り分類した；座学、防護衣装着、傷病者の受け入れ、通常の医療対応、除染作業、防護衣からの脱衣。除染は、傷病者の脱衣、体表を拭く乾式除染、傷口の洗浄を行う湿式除染を含んだ。本調査では、上記の各プロセスにおけるストレス値の違いを比較した。また被ばく医療教育の前後で、受講生の精神的負荷を経時的に解析することで、教育がもたらす効果を客観的に示した。

4. 研究成果

シャツ型心電計の装着および研究への参加に同意いただいた 39 名を対象とした。研究参加者へは事前に研究内容について説明し、インフォームドコンセントを取得したうえで行った。

各活動中のストレス値の平均値を図 2 に示す。除染作業中のストレス値は、防護衣装着・脱衣時および通常の医療対応中のストレス値に比べ、有意に高値であった (それぞれ $P = 0.001$, $P = 0.004$, $P = 0.023$)。通常の医療対応中は、防護衣を着用していてもストレス平均値の有意な上昇は見られず、被ばく医療特有の除染作業時にのみストレス値が上昇することが明らかとなった。また、元々原子力災害へ興味・関心を持つ群 ($n = 17$) ともたない群 ($n = 22$) とで、訓練中のストレス値を比較したが、どのプロセスにおいても有意差は認めなかった ($P = 0.270 - 0.617$)。原子力災害対応活動参加時の不安度の評価では、セミナー後に不安と回答した参加者 ($n = 20$) は、セミナー前 ($n = 33$; $P = 0.010$) に比べて有意に低いことがわかった (Table 1)。

本研究では、これまで主観的な質問紙を用いて調査されてきた被ばく医療診療を行う医療従事者のストレスを、生理指標 (HRV) を用いて客観的に定量化することに成功した。被ばく医療業務中にどのような行動がストレスとなるのかを客観的に明らかにし、不安やストレスの負の連鎖を断ち切るため、効率的にストレスを軽減して人材確保につなげることを目指した (図 1)。ストレス値は行動によって異なり、今後、医療従事者が経験するストレスを効果的に軽減するためには、いくつかの具体的なプロセスに着目する必要がある。本研究で導き出されたストレス値は、除染作業が緊急被ばく医療の従事者に最も高いストレス負荷を与えることを明らかにした (図 2)。また、原子力災害への関心はストレス値に有意な影響を与えないことも明らかとなった。つまり、もともとの興味・関心にかかわらず、除染作業中にはストレス値が上昇したことから、緊急被ばく医療対応中のストレスを効果的に軽減するためには、除染作業に関する重点的な教育/訓練が全員に必要であることが示唆された。

図 2. 被ばく医療訓練中の作業内容別ストレス値

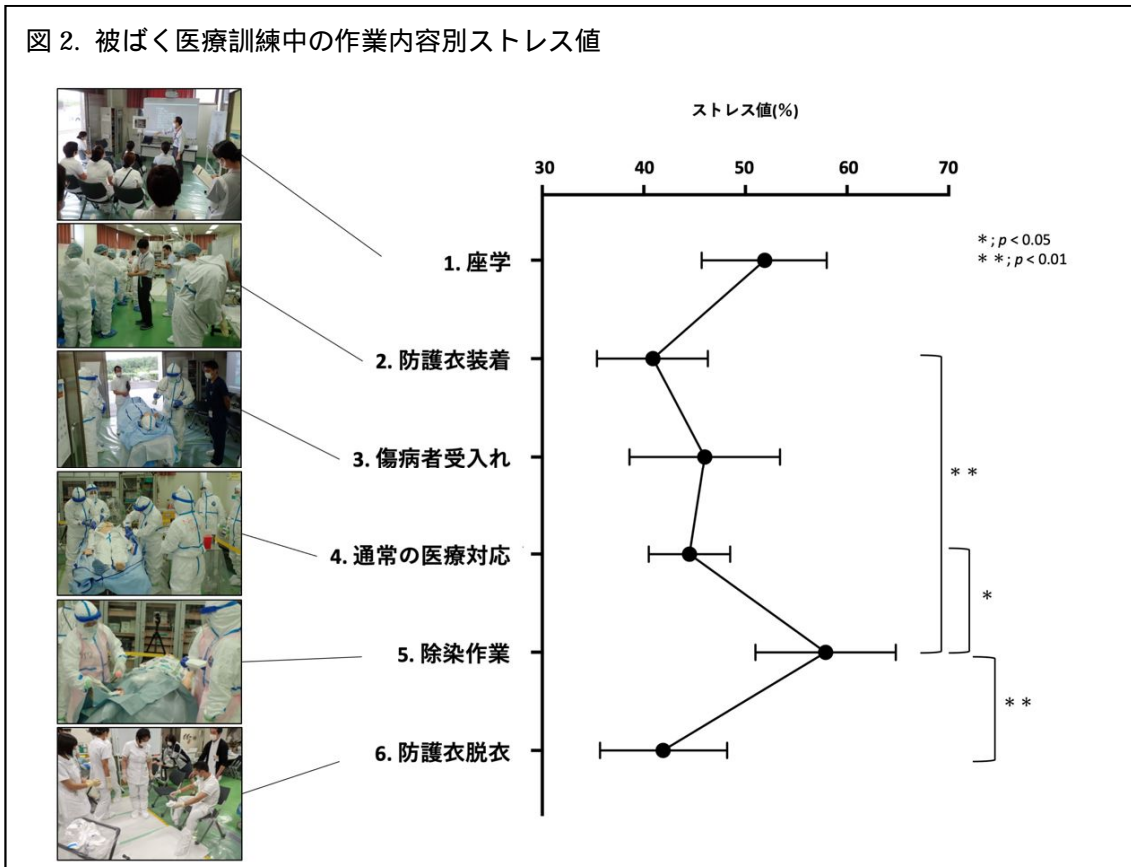


Table 1. Comparison of anxiety before and after attending the seminar.

Anxiety during nuclear disaster response activities, n (%)	Before seminar n = 39	After seminar n = 39	P-value
Extreme	4 (10.3)	2 (5.1)	0.010
Moderate	29 (74.4)	18 (46.2)	
Minimal	5 (12.8)	17 (43.6)	
None	1 (2.5)	2 (5.1)	

本研究では不安やストレスの軽減を目的としたが、ある程度の不安・ストレスは災害対応者の安全確保に寄与することに留意する必要がある。特に、防護衣装着時と脱衣時のストレス平均値は、6項目の中で最も低かった（それぞれ 40.9 と 41.9）（図 2）。これは、防護衣を正しく着用することへの注意力が低下することや、汚染された患者への対処を終えた安堵感によるものと考えられる。しかしこの安堵感から、自身の防護衣を不用意に脱いでしまい、その状況で自己汚染につながる可能性がある。実際の緊急被ばく医療対応中にこのようなことが起こるかは明らかではないが、本研究の結果は、感染症などを含めて脱衣時に汚染のリスクが高まるという過去の報告を支持するものである^{18,19}。したがって適度な不安やストレスは必ずしも有害ではないと考えた。

今回の緊急被ばく医療訓練・研修の内容はごく基本的なものであった。訓練・研修の内容は、参加者の基礎知識や経験値によって大きく異なる。より高度なトレーニングを提供するために、世界中で様々な緊急被ばく医療関連の訓練・研修が開催されており、長いものでは4日間かかるものもある。したがって各訓練・研修では、対象となる参加者のニーズを満たすようなカリキュラムを作成することが望まれる。参加者が適度な緊張感をもって訓練・研修に参加することが理想と考えられることから、本研究の結果は、参加者のHRVがカリキュラムの内容を評価する上で有用である可能性を示唆している。またHRVは、トレーニングを繰り返す参加者の習熟度の指標として利用できる可能性がある（例えば、過去に知識を得た手順や、参加者が実施経験があり自信を持って実施できる手順については、訓練中にストレス値の上昇がないことを習熟度の指標とする、など）。今後、医療従事者に過度な不安・ストレスの増加を招くことなく、的確に教育するための具体的な教育方法について研究が進むことが期待される。

結語：

シャツ型心電計を使用することで、緊急被ばく医療の訓練・研修中のストレスレベルを評価することができた。ストレス負荷は、除染作業中に最も上昇することが客観的に示された。今後、緊急被ばく医療分野における不安・ストレスの負の連鎖（図1）を断ち切り、当該分野の人材不足を解消するためには、除染作業中のストレスを効果的に軽減することが重要である。また、除染作業中のストレスに影響する要因はまだ明らかにされていないため、今後、これらの要因を明らかにすることで、除染作業中のストレスを効率的に軽減するための具体策を明らかにし、最終的には人材不足を解消することで原子力災害活動を円滑に行う環境を整えたい。

<引用文献>

- The National Diet of Japan. The official report of The Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission. Available from: <https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/3856371/naaic.go.jp/en/report/>.
- Oishi F, Shiratori S, Ito M, Yamahata A. Anxiety in radiology nurses about occupational exposure: A qualitative analysis. *The Journal of Radiological Nursing Society of Japan*. 2018;6(1):22-32.
- Kunugita N. Investigation of the relationship between knowledge concerning radiation and the level of anxiety toward radiation in student nurses. *J uoeh*. 2008;30(4):421-429.
- Yoshida K, Orita M, Goto A, Kumagai A, Yasui K, Ohtsuru A, et al. Radiation-related anxiety among public health nurses in the Fukushima Prefecture after the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: a cross-sectional study. *BMJ Open*. 2016;6(10):e013564.
- Iyama K, Kakamu T, Yamashita K, Shimada J, Tasaki O, Hasegawa A. Survey about Intention to Engage in Specific Disaster Activities among Disaster Medical Assistance Team Members. *Prehospital and disaster medicine*. 2021;36(6):684-690.
- Iyama K, Takano Y, Takahashi T, Hasegawa A. Factors associated with the intention to participate in activities during a nuclear disaster situation among firefighters. *J Radiat Res*. 2020;61(6):871-875.
- Hidaka T, Kakamu T, Endo S, Kasuga H, Masuishi Y, Kumagai T, et al. Association of Anxiety over Radiation Exposure and Acquisition of Knowledge Regarding Occupational Health Management in Operation Leader Candidates of Radioactivity Decontamination Workers in Fukushima, Japan: A Cross-Sectional Study. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;17(1):228.
- Hayashi T, Mafune K, Matsuda N, Hasegawa A, Kato T, Kanda R, et al. [Questionnaire Survey of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Workers in 2016 on Knowledge and Anxiety About Radiation]. *J uoeh*. 2020;42(4):339-346.
- Takebayashi Y, Lyamzina Y, Suzuki Y, Murakami M. Risk Perception and Anxiety Regarding Radiation after the 2011 Fukushima Nuclear Power Plant Accident: A Systematic Qualitative Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2017;14(11):1306.
- Kim HG, Cheon EJ, Bai DS, Lee YH, Koo BH. Stress and Heart Rate Variability: A Meta-Analysis and Review of the Literature. *Psychiatry Investig*. 2018;15(3):235-245.
- Dalmeida KM, Masala GL. HRV Features as Viable Physiological Markers for Stress Detection Using Wearable Devices. *Sensors (Basel)*. 2021;21(8).
- Thayer JF, Ahs F, Fredrikson M, Sollers JJ, 3rd, Wager TD. A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neurosci Biobehav Rev*. 2012;36(2):747-756.
- Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Eur Heart J*. 1996;17(3):354-381.
- Singh JP, Larson MG, O'Donnell CJ, Tsuji H, Evans JC, Levy D. Heritability of heart rate variability: the Framingham Heart Study. *Circulation*. 1999;99(17):2251-2254.
- JÄRvelin-Pasanen S, Sinikallio S, Tarvainen MP. Heart rate variability and occupational stress—systematic review. *Industrial Health*. 2018;56(6):500-511.
- Johansson E, Johansson T. Heart rate variability estimation and data visualisation for use in stress level determination in neuro-intensive care patients. 2009. Available from: <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/107732.pdf>.
- Kurosaka C, Maruyama T, Yamada S, Hachiya Y, Ueta Y, Higashi T. Estimating core body temperature using electrocardiogram signals. *PLoS One*. 2022;17(6):e0270626.
- World Health Organization. Interim infection prevention and control guidance for care of patients with suspected or confirmed filovirus haemorrhagic fever in health-care settings, with focus on Ebola. 2014. Available from: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/130596>.
- Okamoto K, Rhee Y, Schoeny M, Lolans K, Cheng J, Reddy S, et al. Impact of doffing errors on healthcare worker self-contamination when caring for patients on contact precautions. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 2019;40(5):559-565.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1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 Iyama Keita, Sato Yoshinobu, Ohba Takashi, Hasegawa Arifumi	4. 巻 17
2. 論文標題 Objective stress values during radiation emergency medicine for future human resources: Findings from a survey of nurses	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0274482
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0274482	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3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Keita Iyama, Yoshinobu Sato, Arifumi Hasegawa
2. 発表標題 Objective stress values during radiation emergency medicine for future human resources
3. 学会等名 21st International Conference on Emergency Medicine（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井山慶大、佐藤良信、長谷川有史
2. 発表標題 シャツ型心電計を用いた緊急被ばく医療研修路のストレス評価
3. 学会等名 第49回日本救急医学会総会・学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 神田正樹、井山慶大、長谷川有史
2. 発表標題 新開発シャツ型心電計の災害時危機対応における生体モニタリングへの応用
3. 学会等名 第48回日本救急医学会総会・学術集会
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
---------	---------