

令和 5 年 6 月 27 日現在

機関番号：32416

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K10969

研究課題名(和文) 認知-運動制御機能の活性化を目指した至適運動プログラムの開発

研究課題名(英文) Development of optimum exercise program aiming at brain activation in cognitive-motor control.

研究代表者

加藤 雄一郎 (Kato, Yuichiro)

平成国際大学・スポーツ健康学部・教授

研究者番号：90393173

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、継続的な有酸素性運動に伴う認知-運動制御機能の効果が、どのような運動強度や快適感情でもたらされるのか、反応時間、事象関連脳電位、快適感情尺度を用いてその機序を明らかにすることであった。高強度インターバル、中等強度、自己設定強度の3種類で一過性の効果を検討した結果、高強度インターバル運動が、快感情を向上させ、脳の実行・抑制機能に有効であることが示唆された。高強度インターバル(HIT)群、中等強度(MCT)群に週3回3ヶ月間の運動介入を実施した結果、脳の実行・抑制機能の慢性的な改善に最も効率的なのは、高強度インターバル運動であることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

継続的な有酸素性運動は、高強度インターバル運動(90s高強度+60s低強度)、中等強度運動(30minジョギング)のどちらにおいても脳の実行・抑制機能の向上に有効であることが示され、特に高強度インターバル運動の方がより強い効果が望めることが明らかとなった。このことは若年者の認知機能の維持増進に対して高強度インターバル運動が至適強度であることを示唆している。今後、高齢者においてその有効性が示されれば、認知症の予防などに高強度インターバル運動が役立つと考えられる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study investigated chronic effect of cognitive-motor control induced to aerobic exercise using Go/NoGo reaction time, event-related brain potential, and mood measurements. As a result of examining the acute effect of high-intensity interval, moderate-intensity, and self-paced intensity exercises, it was suggested that high-intensity interval exercise improves pleasant emotions and is effective for the brain's executive and inhibitory functions. In addition, the high-intensity interval group and the moderate-intensity interval group were subjected to exercise intervention three times a week for three months. As a result, it was suggested that high-intensity interval exercise was the most effective for chronic improvement of executive and inhibitory functions of the brain.

研究分野：健康スポーツ科学

キーワード：認知-運動制御機能 事象関連電位 Go/NoGo 反応時間 有酸素性運動 運動強度 全身持久性体力

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

身体活動・スポーツの生涯を通しての実践は、心身機能や生活の質 (Quality of life, QoL) を維持・改善し、人生の活力にとって重要であることは広く知られている (WHO, 2003)。脳イメージング研究によれば、身体活動に伴う脳の可塑性が、やる気や認知機能を司る前頭前野、前帯状回の神経活動と関連していることが報告され (Kramer et al., 2005)、認知機能に対する身体活動の効果が注目されて来ている。若年者に対する適度な強度の有酸素性運動は、脳機能を活性化させ刺激に対する注意機能を一過性に改善させる (Hillman et al., 2003; Pontifex et al., 2009)。また、高齢者に対する長期間の有酸素性運動の実施は、エリクセン・フランカー課題の反応時間が改善したり (Colcombe et al., 2004; Kramer et al., 1999)、海馬容積の増大と空間的記憶課題の成績向上が報告されている (Erickson et al., 2011)。このように適度な強度の有酸素性運動は、注意、作業記憶といった認知機能を改善させる。

有酸素性運動は一過性に注意機能を改善させるが、行動指標である反応時間を改善し得る運動強度・様式については一定の見解が得られていない。また、全身持久性体力の高い者は、低い者と比べて高い行動モニタリング機能を有するが、一過性の有酸素性運動による認知機能の改善効果については体力レベルで差異がないことも報告されている (Themanson et al., 2006, 2008)。したがって、若年者に対する継続的な有酸素性運動が、注意・モニタリング、反応実行・抑制といった認知-運動制御機能を改善させるかどうかは未知の問題となっている。このように有酸素性運動が認知機能を活性化させることの生理・心理的メカニズムの解明は、近年ようやく研究され始めた段階であり、異なる体力レベルの者に対してどのような運動強度・様式が、注意・モニタリング機能、反応実行・抑制機能に慢性的な効果を与えるのか詳細に検討する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、反応実行・抑制機能を評価する Go-NoGo 選択反応課題を用い、反応時間・正確性と併せて事象関連電位を用いた注意資源 (Go-P3/NoGo-P3) の測定を有酸素性運動の前後に計測した。継続的な有酸素性運動が認知-運動制御機能の活性化させる要因 (運動強度、快適感情) を明らかにすることで、若年者に合致した至適運動プログラムを提案することを目的とした。

① 研究課題 1 では、認知-運動制御機能を一過性に活性化させる有酸素性運動の強度・様式を明らかにした。自己設定ペース、中等強度 (%HRmax@VT, 60%VO₂max)、高強度 (90%HRmax, 85%VO₂max) の有酸素性運動 (自転車エルゴメータ漕ぎ) の一過性効果について、Go/NoGo 反応時間、事象関連電位、唾液アミラーゼ、心理調査 (感情尺度) を用いて比較検討を行った。

② 研究課題 2 では、継続的な有酸素性運動が認知-運動制御機能にどのような影響を及ぼすのかを検討した。中等強度 (%HRmax@VT, 60%VO₂max)、高強度 (90%HRmax, 85%VO₂max) の2種類の強度を用いて有酸素性運動を3ヶ月間実施する。運動介入前後の最大酸素摂取量、Go/NoGo 反応時間、事象関連電位、唾液アミラーゼ、心理調査 (感情尺度) を用いて比較検討を行った。

3. 研究の方法

3-1. 研究課題 1

(1) 被験者

対象者は健康成人 15 名 (男性 12 名、女性 3 名) であった。

(2) 運動条件

有酸素性運動は自転車エルゴメーター (232CXL, Combi) による自転車漕ぎを用い、全被験者ともに3条件の運動強度による運動を別々の日に行った (自己設定強度、被験者自身が負荷と回転数を自由に設定 (20 分間); 中等強度, 55%VO₂max 強度・50 rpm (20 分間); 高強度インターバル, 85%VO₂max 強度・50 rpm (90 s 高強度 + 60 s 低強度 50W を4セット))。運動前後、運動後 30 分に左右選択 Go/NoGo 反応時間、唾液アミラーゼ、感情尺度短縮版 (MCL-S. 2) を計測した。

(3) 反応課題

被験者の目の位置から 2 m 前方に光刺激提示板を設置した。注視点として緑色 LED を用い、その左右の視野角 5° の位置に赤色または青色 LED を設置した。反応課題は、左に赤色 LED が点灯したら左のボタンを押し (Go 反応)、右に赤色 LED が点灯したら右のボタンを押し (Go 反応)、青色 LED が点灯した場合はボタンを押ししないものであった (NoGo 反応)。赤色と青色の提示確率は 70:30 とした。LED の点灯時間は 100 ms であり、刺激間隔は 1,750 ms であった。試行回数は1ブロック 80 試行を2セットの 160 試行であった。被験者には、できるだけ素早く正確に反応するように指示した。

(4) 脳波計測

脳波電極は、国際 10-20 法に基づき頭皮上の Fz, Cz, Pz から導出し、基準電極は両耳朶とした。脳波電極は、アクティブ電極であり、頭皮上で増幅された脳電位をサンプリング周波数 1 kHz で生体信号収録装置 (Polymate II, Miyuki 技研) に取り込み、ノート PC に記録した。記録した脳波データは、数値演算ソフト MATLAB (Mathworks) 上で動作する EEGLab (Swartz Center for Computational Neuroscience) で読み込み、バンドパスフィルター 1-40 Hz で平滑化し、刺激呈示をトリガーにして -500 ms から 800 ms でエポック化した。脳波上にアーチファクトが視覚的に混入したエポックは分析から除外した。エポックを Go 試行と NoGo 試行のそれぞれに分けて、基準電位 -200 ms から 0 ms として加算平均処理を行った。Go-P3, NoGo-P3 振幅と潜時は、250 - 500 ms 区間の最大振幅値から求めた。

3-2. 研究課題 2

(1) 被験者

対象者は健康な学生 19 名 (男性 11 名, 女性 8 名) であった。そこから高強度インターバル (HIT) 群 10 名, 中等強度 (MCT) 群 9 名に無作為にグループ分けを行った。

(2) 運動課題

運動課題は、高強度インターバル走 (90%HRmax, 90 s 高強度 + 60 s 低強度を 4 セット), または、30 分間の中等強度ジョギング (75% HRmax) を週 3 回 3 ヶ月間実施させた (図 1)。運動期間中の運動強度の設定とモニタリングのために GPS 心拍計 (FA235J, GARMIN) を用い、被験者の腕に装着させた。介入前後に、VO₂max, 左右選択 Go/NoGo 反応時間, 感情尺度短縮版 (MCL-S.2) を計測した。

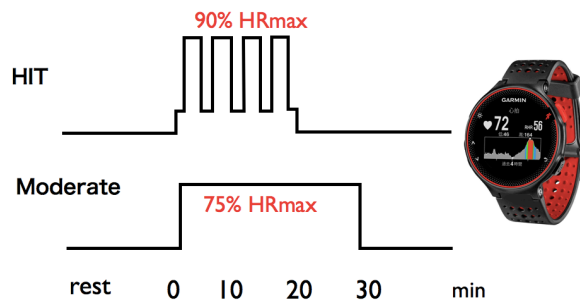


図 1. HIT 群と MCT 群の運動介入プロトコル

(3) 反応課題

反応課題は、3-1 と同様であった。

反応課題の前後に 20 分間の中等強度 (55%VO₂max 強度・50 rpm) による自転車漕ぎを行った。

(4) 脳波計測

2 回の反応課題中は、脳波計測を行い、Go-P3, NoGo-P3 振幅と潜時を計測した。計測方法は 3-1 と同様であった。

4. 研究成果

4-1. 研究課題 1

快適感情は、運動後において全ての条件で改善された (期間の要因: 0.47, 1.55, 1.05)。唾液アミラーゼは、高強度インターバル条件において有意に高くなった (高強度: 26, 34, 23 kIU/L)。一方、Go/NoGo 反応時間は、高強度インターバル条件で有意な改善を示したが (285, 272, 276 ms) (図 2), その他の条件では有意差は認められなかった (自己設定: 281, 283, 282 ms; 中等強度: 288, 289, 284 ms)。Go-P3, NoGo-P3 の振幅と潜時の両方において、3 条件間に有意な改善は認められなかった。これらの結果より、高強度インターバル運動は、ストレスはかかっているが、快適感情は向上することが認められ、脳の注意機能に影響しないが、実行・抑制機能を一過性に高めることが示唆された。高強度のインターバルトレーニングは、一過性の運動後の反応時間を向上させることが確認された (Tsukamoto et al., 2016; Wohlwend et al., 2017)。

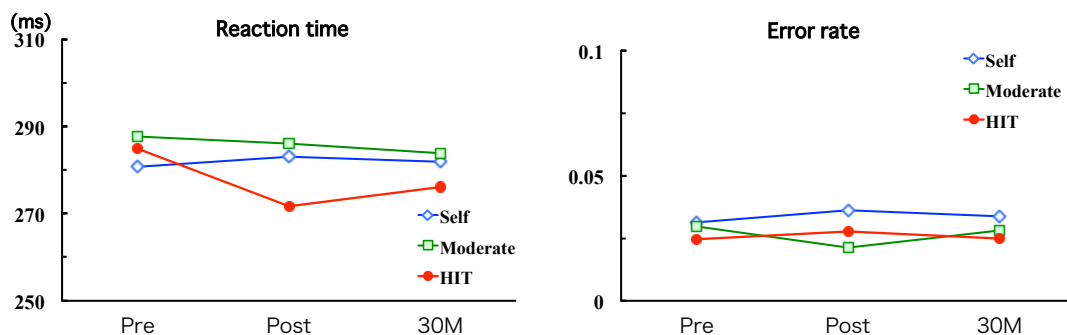


図 2. 3つの運動条件における Go/NoGo 反応時間とエラー

4-2. 研究課題 2

VO₂max は、HIT 群、MCT 群ともに有意に低下した (41.0 vs 37.7 mL/kg/min)。快適感情は、運動介入後のセンシティブリティが両群ともに有意に大きくなった (HIT 群: 0.7 vs 1.6; MCT 群: 0.2 vs 0.9)。Go/NoGo 反応時間は、両群とも運動介入後に有意に早くなるのが認められ (HIT 群: 274, 269 ms; MCT 群: 289, 282 ms), HIT 群の方が慢性的な向上効果が大きかった (pre: 284 vs 270 ms) (図 3)。また、MCT 群の方が運動介入後の一過性の向上効果が大きかった (post: 289, 275 ms)。Go-P3 振幅は両群で運動介入後に変化は認められなかったが、有酸素性運動に対する一過性のセンシティブリティは MCT 群の方が減少傾向にあった (図 4)。Go-P3 潜時は両群で一過性の有酸素性運動による改善が認められた (図 5)。NoGo-P3 振幅は、有酸素性運動に対する一過性のセンシティブリティが両群で低下する傾向であった (図 4)。NoGo-P3 潜時は両群において一過性、慢性的な運動効果は認められなかった (図 5)。これらの結果から、脳の実行・抑制機能の慢性的な改善に最も効率的なのは、高強度インターバル運動であることが示唆された。若年者の脳の認知-運動制御機能を改善させるには、高強度インターバル運動のように VT (換気閾値) 以上の運動強度が必要とされることが考えられる。高強度インターバル運動は、運動時間が短くて済むという利点もある。また、事象関連電位のデータからは、両群ともに注意処理資源への影響が認められ、どちらの運動強度でも長期的にみれば脳の実行・抑制機能の改善効果が得られることが推察される。

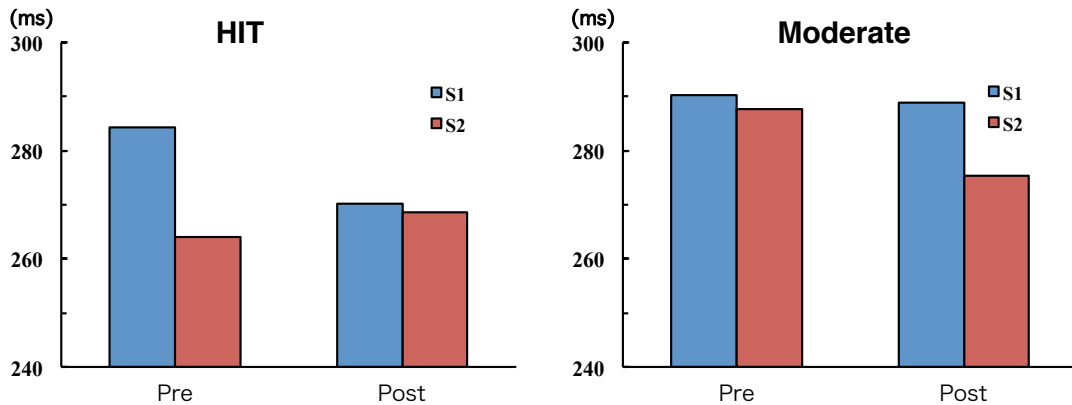


図 3. 3ヶ月の運動介入前後の HIT 群と MCT 群の Go/NoGo 反応時間

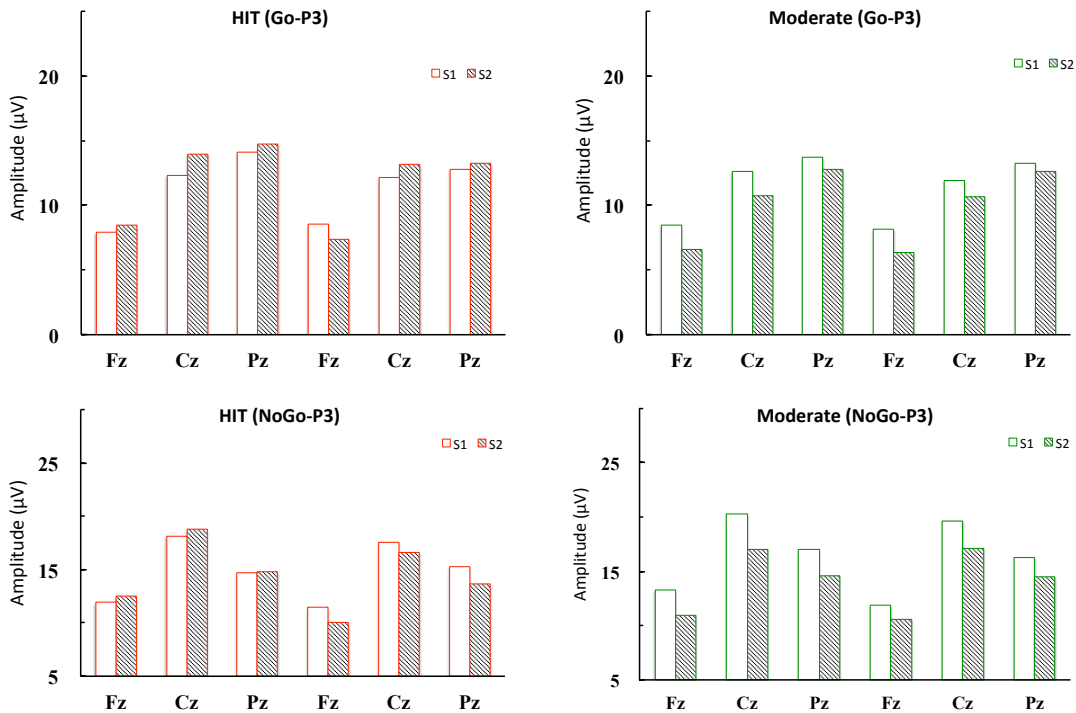


図 4. 3ヶ月の運動介入前後の HIT 群と MCT 群の Go/NoGo-P3 振幅

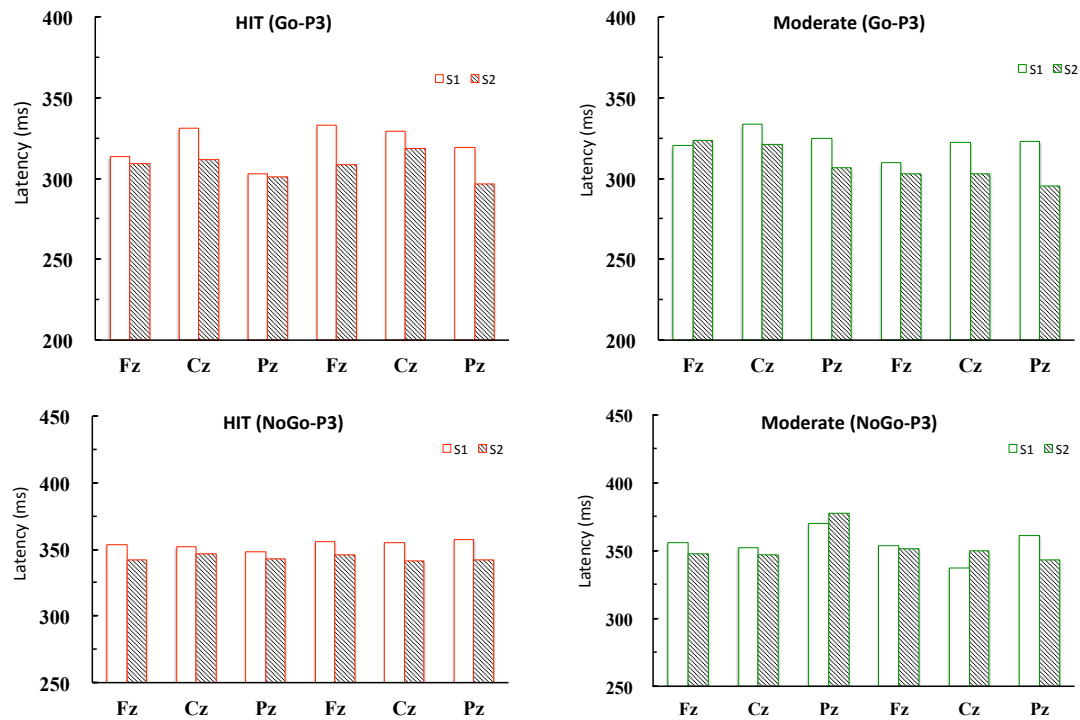


図5. 3ヶ月の運動介入前後の HIT 群と MCT 群の Go/NoGo-P3 潜時

文献

- Colcombe SJ, Kramer AF, Erickson KI, Scalf P, McAuley E, Cohen NJ, Webb A, Jerome GJ, Marquez DX, & Elavsky S. (2004). Cardiovascular fitness, cortical plasticity, and aging. *Proc Natl Acad Sci U S A.*, 101, 3316-21.
- Erickson KI, Voss MW, Prakash RS, Basak C, Szabo A, Chaddock L, Kim JS, Heo S, Alves H, White SM, Wojcicki TR, Mailey E, Vieira VJ, Martin SA, Pence BD, Woods JA, McAuley E, & Kramer AF. (2011). Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proc Natl Acad Sci U S A.*, 108, 3017-22.
- Hillman CH, Snook EM, & Jerome GJ. (2003). Acute cardiovascular exercise and executive control function. *Int J Psychophysiol.*, 48, 307-14.
- Kramer AF, Colcombe SJ, McAuley E, Scalf PE, & Erickson KI. (2005). Fitness, aging and neurocognitive function. *Neurobiol Aging*, Suppl 1:124-7.
- Kramer AF, Hahn S, Cohen NJ, Banich MT, McAuley E, Harrison CR, Chason J, Vakil E, Bardell L, Boileau RA, & Colcombe A. (1999). Ageing, fitness and neurocognitive function. *Nature*, 400, 418-9.
- Pontifex MB, Hillman CH, Fernhall B, Thompson KM, & Valentini TA. (2009). The effect of acute aerobic and resistance exercise on working memory. *Med Sci Sports Exerc.*, 41, 927-34.
- Themanson JR, & Hillman CH. (2006). Cardiorespiratory fitness and acute aerobic exercise effects on neuroelectric and behavioral measures of action monitoring. *Neuroscience*, 141, 757-767.
- Themanson JR, Pontifex MB, & Hillman CH. (2008). Fitness and action monitoring: evidence for improved cognitive flexibility in young adults. *Neuroscience*, 157, 319-28.
- Tsukamoto H, Suga T, Takenaka S, Tanaka D, Takeuchi T, Hamaoka T, Isaka T, Ogoh S, & Hashimoto T. (2016). Repeated high-intensity interval exercise shortens the positive effect on executive function during post-exercise recovery in healthy young males. *Physiol Behav.*, 160, 26-34.
- Wohlwend M, Olsen A, Häberg AK, & Palmer HS. (2017). Exercise intensity-dependent effects on cognitive control function during and after acute treadmill running in young healthy adults. *Front Psychol.*, 8, 406.
- WHO. (2003). Health and development through physical activity and sport. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/67796>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 加藤雄一郎
2. 発表標題 3ヶ月の運動介入が事象関連電位，反応時間に及ぼす効果：高強度インターバルと中等強度運動の違い
3. 学会等名 第76回日本体力医学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤雄一郎
2. 発表標題 高強度インターバル運動と中等強度連続運動が事象関連電位，反応時間に及ぼす一過性効果
3. 学会等名 第75回日本体力医学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 加藤雄一郎，風間菜々
2. 発表標題 有酸素運動の強度の違いが作業記憶に及ぼす一過性の影響
3. 学会等名 日本体育測定評価学会第20回記念大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤雄一郎
2. 発表標題 高強度インターバルと連続運動が反応時間，ストレスに及ぼす一過性効果.
3. 学会等名 日本体育測定評価学会第19回大会
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
---------	---------