

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 28 日現在

機関番号：14302

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22700725

研究課題名（和文） 体熱産生レベルによる温熱的快適性閾値の人種差と日本人に適合する閾値推定式の研究

研究課題名（英文） Ethic and sex differences in human thermal comfort sensation in Japanese and Caucasian -Relevance of thermal comfort limit of the whole body to heat production-

研究代表者

深沢 太香子（FUKAZAWA TAKAKO）

京都教育大学・教育学部・准教授

研究者番号：90423574

研究成果の概要（和文）：温熱的に快適な労働環境の実現に貢献する知見を得ることを目的として、温熱的快適感閾値の性差および人種差について、実験的に検討した。その結果、温熱的快適感閾値には、人種差のないことが明らかとなった。一方、温熱的快適感閾値には、性による違いが認められ、男性よりも女性の方が温熱的に不快感を覚えやすいことが明らかとなった。さらに、既存の温熱的快適感閾値の推定式は、男性には適合するものの、女性には適合しないことを示した。そこで、本研究では、女性の温熱的快適感に適合する推定式を導出した。

研究成果の概要（英文）：This study has been made to discuss ethic and sex differences in thermal comfort sensation through a series of subjective experiments. Healthy young Japanese female and male students, and Caucasian male students participated voluntary in the experiment, in which the subjects exercised on a treadmill with a speed of 4.5 km/h. The thermal comfort limits of the whole body were 0.21 ± 0.03 (-) in the Japanese females, 0.39 ± 0.05 (-) in the Japanese males, and 0.34 ± 0.03 (-) in the Caucasian males. The thermal comfort limit in the Japanese males was found to be statistically equal to that in the Caucasian males. On the other hand, the thermal comfort limit was significantly larger in the Japanese males than in the Japanese females. Those obtained results indicated that the thermal comfort limit did not differ depending upon the ethic, while it differed depending upon the sex. In addition, the obtained data revealed that the Gagge's prediction equation overestimated the thermal comfort limit in the female subjects, although it estimated validly the one in the male subjects. Therefore, the present study derived an equation to predict the thermal comfort limit for females using the heat production.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2011 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：生活科学一般

科研費の分科・細目：生活科学・生活科学一般

キーワード：温熱的快適性、熱産生量、閾値、性差、人種差

1. 研究開始当初の背景

(1) 客観的な温熱的快適性評価

作業能率が求められる労働環境をはじめ、快適な日常生活を実現する一要因として、ヒトの温熱的快適性があげられる。このヒトの温熱的快適性は、温冷感と湿り感の複合的主観評価であるものの、温冷感よりもむしろ湿り感に依存することが実験的に明らかとされている。

そこで、皮膚の湿り状態の指標として、皮膚濡れ率 (skin wettedness, 無次元数) という概念が考案された。この指標は、“人体表面からの水分 (汗) の蒸発量”を“人体表面からの可能な (汗) の蒸発量”に対する比で表したものであり、温熱的快適感と高い相関性の成り立つことも実証されている。さらに、温熱的不快感を覚える際の皮膚濡れ率、すなわち、温熱的快適感の閾値は、人体の熱産生量との関係からも推測することができる。それゆえ、皮膚濡れ率は、非常に便利な指標として広く活用されている。

(2) 日本人の温熱的快適感

同一の温熱刺激に対して、熱帯気候や温帯気候を生活圏とする人々では、異なる体温調節反応を示すことが報告されている。ヒトの体温調節反応と温熱的快適性との関係は、未だ明らかとされていないものの、ISO などの推奨する作業環境基準値や許容値は、日本人の温熱感覚に適合しない場合のあることが報告されている。

本著者による既往の研究成果によると、熱産生量 3 Met における皮膚濡れ率を指標とした場合の温熱的快適感閾値は、白人若年成人男性は 0.34 ± 0.03 (-) であり、日本人若年成人女性は 0.21 ± 0.03 (-) であった。両者の閾値には、約 40% の差異があった。これは、性差の影響は否めないものの、温熱的快適感閾値には人種による違いの存在することを示唆していると考えられる。

(3) 熱産生量と温熱的快適感閾値

皮膚濡れ率を指標とした温熱的快適感の閾値は、人体の熱産生量の増加に伴い上昇する。この関係より、熱産生量に用いた温熱的快適感閾値の推定式が導出されている。

この推定式による温熱的快適感閾値の予測値は、前述の本著者による研究成果における白人若年成人男性の温熱的快適感閾値の結果とほぼ一致する。他方、日本人若年成人女性の温熱的快適感閾値の結果とは一致しな

い。

2. 研究の目的

本研究では、若年成人を対象として、温熱的快適感閾値における人種差 (日本人と白人) と性差について、被験者実験より検討する。そして、日本人の温熱感覚に適合した熱産生レベルに応じた温熱的快適性閾値の推定式の導出を試みる。

3. 研究の方法

(1) 温熱的快適感閾値の人種差

日本人および白人若年男性を対象として、皮膚濡れ率を指標に用いて全身における温熱的快適感閾値について、人種差を検討した。なお、本著者が白人若年男性 8 名 (22.4 ± 4.2 歳, 178.8 ± 6.2 cm, 74.7 ± 8.8 kg, BMI 23.4 ± 2.7 kg/m²) を対象として実施した研究成果と比較することとした。そこで、本研究へ協力の得られた日本人若年男性 7 名 (22.5 ± 1.2 歳, 171.0 ± 9.7 cm, 62.3 ± 5.2 kg, BMI 21.3 ± 1.0 kg/m²) に対して、以下に記すとおり、同様の実験プロトコルを採用した。

実験は、気温 22 °C, 絶対湿度 10 mmHg, 気流 0.2 m/s の温熱環境下に制御された風洞内で、全 65 分間実施した。実験用衣服 (薄手のオーバーオール) を着用した被験者に、実験開始から 20 分間、椅座位による安静を維持させた。その後、3 Met 相当の熱産生量となる 4.5 km/h の歩行運動を、トレッドミル上で 45 分間行わせた。実験中は、皮膚温 (8 部位) と皮膚露点温度 (5 部位) を連続的に測定した。さらに、被験者には、全身の温熱的快適性に関して、5 分ごとに主観申告をさせた。

(2) 温熱的快適感閾値の性差

日本人と白人若年男性を対象とした、上述の (1) 温熱的快適感閾値の差を検討した結果、人種による違いは認められなかった。(結果の詳細は、研究成果を参照されたい。)

そこで、本稿の背景に記述したとおり、温熱的快適感閾値における性差を明らかとすることとした。

日本人若年男女を対象とした。男性被験者は、前述の (1) と同一の 7 名 (22.5 ± 1.2 歳, 171.0 ± 9.7 cm, 62.3 ± 5.2 kg, BMI 21.3 ± 1.0 kg/m²) であった。女性被験者は、前述の (1) と同一のプロトコルにて実施された著者の既報の研究成果と比較するこ

ととし、16名 (22.1 ± 0.3 歳, 160.8 ± 3.0 cm, 51.8 ± 6.2 kg, BMI 20.0 ± 2.1 kg/m²) であった。なお、女性被験者は、卵胞期間中に実験へ参加した。

(3) 温熱的快適感閾値の推定式

皮膚濡れ率を指標とした温熱的快適感閾値には、人種差は認められなかったものの、性差のあることが認められた。(結果の詳細は、研究成果を参照されたい。) さらに、既報の熱産生量から温熱的快適感閾値の推定式は、男性には適合するものの、女性には適合しなかった。そこで、女性の温熱的快適感閾値と熱産生量との関係を検討することとした。

皮膚濡れ率の適応範囲を配慮して、設定する熱産生量は、2 Met から 5 Met までとし、1 Met 刻みの計 4 条件とした。本研究では、トレッドミル上での運動により、設定した熱産生量を実現することとした。各熱産生量条件となる運動負荷量を、被験者ごとに設定するために、被験者の有酸素的作業能力測定を事前に実施した。被験者は、日本人若年女性 5 名 (21.8 ± 2.5 歳, 162.9 ± 4.2 cm, 51.2 ± 2.8 kg, BMI 19.3 ± 1.1 kg/m²) であり、卵胞期間中に実験へ参加した。

実験は、気温 30 ° C, 絶対湿度 10 mmHg, 気流 0.2 m/s に統制された風洞内で全 60 分間実施した。実験中は、トップスとショートスパッツ、靴下、運動靴を着用した。この着衣による熱抵抗は、0.15 clo 程度であった。被験者は、実験開始 10 分間、椅座安静状態を維持した。その後、50 分間トレッドミル上での運動を行った。実験中、皮膚温 (8 部位) と皮膚露点温度 (5 部位) を連続的に測定した。さらに、被験者には、全身の温熱的快適性に関して、5 分ごとに主観申告をさせた。

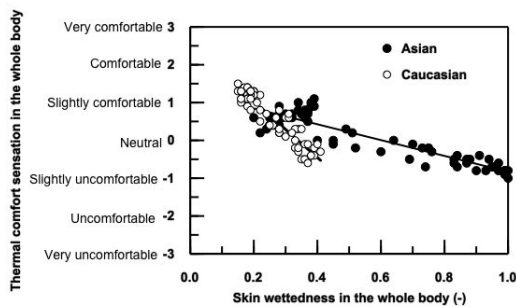


図1 日本人 (Asian) と白人 (Caucasian) 若年男性における全身の皮膚濡れ率に対して申告された温熱的快適感。皮膚濡れ率と温熱的快適感には、日本人: $r = 0.91$ ($p < 0.001$), 白人: $r = 0.93$ ($p < 0.001$) の強い相関性が認められた。

本研究における全ての被験者は、事前に研究目的と実験内容に関する説明を十分に受けており、実験への参加に同意を示した。

4. 研究成果

(1) 温熱的快適感閾値の人種差

日本人若年男性 (Asian) と白人若年男性 (Caucasian) における全身の皮膚濡れ率に対して申告された全身の温熱的快適感を図 1 に示す。皮膚濡れ率の増加に伴う温熱的な不快感の線形的な増加は、各人種において認められた (各人種ともに, $p < 0.001$)。

そこで、皮膚濡れ率 (w_{whole}) を指標とした、各人種における温熱的快適感の閾値 (図中, comfort limit) を図 2 に示す。温熱的に不快感を覚え始める全身の皮膚濡れ率は、日本人若年男性の場合, $w_{\text{whole}} = 0.39 \pm 0.05$ (-) であり、白人若年男性の場合, $w_{\text{whole}} = 0.34 \pm 0.03$ (-) であった。平均値の差の検定を行った結果、両人種の温熱的快適感閾値には、有意差は認められなかった。

これより、皮膚濡れ率を指標とした場合、日本人と白人若年男性の温熱的快適感の閾値は同等であることが明らかとなった。

(2) 温熱的快適感閾値の性差

日本人若年者を対象とした女性 (Female) と男性 (Male) における温熱的快適感閾値を図 3 に示す。男性は、全身の皮膚濡れ率が $w_{\text{whole}} = 0.39 \pm 0.05$ (-) に達すると温熱的な不快感を覚え始める。一方、女性が温熱的な不快感を覚え始めるのは、全身の皮膚濡れ率が $w_{\text{whole}} = 0.21 \pm 0.03$ (-) に達してからであった。平均値の差の検定結果によると、男性と女性の温熱的快適感閾値には、有意差が認められた ($p < 0.001$)。したがって、皮膚濡れ率を指標とした場合、温熱的快適感の閾値には性差の存在することが示された。

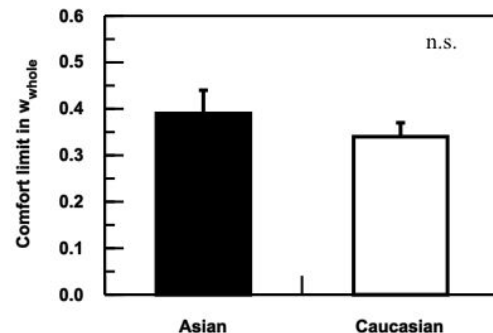


図2 皮膚濡れ率を指標とした際の、日本人 (Asian) と白人 (Caucasian) 若年男性における温熱的快適感の閾値。人種による違いは認められなかった。

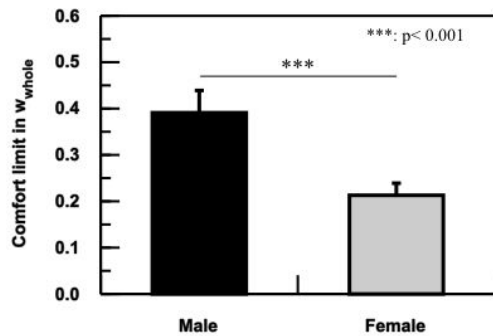


図3 皮膚濡れ率を指標とした際の、日本人若年男性 (Male) と女性 (Female) における温熱的快適感の閾値. 性差が認められ、男性よりも女性の方が、温熱的な不快感を覚えやすかった。

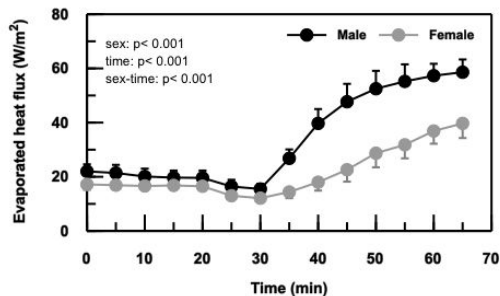


図4 日本人若年男性 (Male) と女性 (Female) を対象とした実験時間中における体表面から潜熱量. 潜熱量は、性差 (sex)、実験時間 (time) によって有意に変化した。さらに、性差と実験時間 (sex-time) による交互作用も認められた。

温暖・暑熱環境下や運動時における温熱的快適性は、温冷感よりもむしろ湿り感に強く依存することが報告されている。ヒトの温冷感温度受容器により知覚されることが明らかとなっているものの、湿り感の感覚受容器は未だ発見されていない。しかしながら、湿り感、体表面からの水分蒸散による微小な温度変化によって認識されやすい。そこで、湿り感、温冷覚、特に冷覚と密接な関係にあると推測されている。

ヒトの温冷覚いわゆる温度感受性には、性差があり、男性よりも女性の方が皮膚表面温度の変化を鋭敏に感知することができる。この冷覚感受性の性差が、温熱的快適感閾値にも関与しているものと考えられた。

体温調節反応には、性差のあることが報告されている。男性は、単一汗腺における発汗量が女性よりも多いため、暑熱環境暴露時に

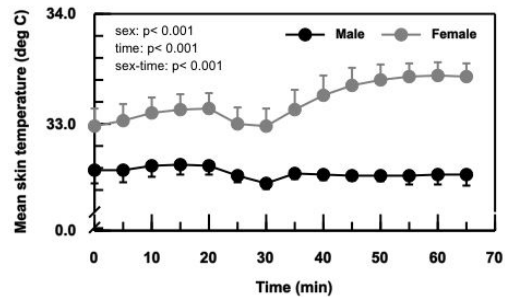


図5 日本人若年男性 (Male) と女性 (Female) を対象とした実験時間中における平均皮膚温. 平均皮膚温は、性差 (sex)、実験時間 (time) によって有意に変化した。さらに、性差と実験時間 (sex-time) による交互作用も認められた。

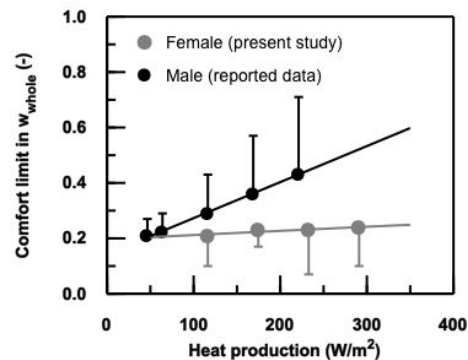


図6 日本人若年女性 (Female) を対象として得られた、熱産生量に伴う温熱的快適感閾値の変動 ($r=0.82$, $p=0.18$). 男性 (Male) における熱産生量と温熱的快適感閾値の変動データは、既報より引用。

における発汗量は、女性よりも男性が著しく多い。本実験中、男性の方が多く発汗したため、男性における体表からの水分蒸散量は、図4に示すとおり、女性のそれよりも明らかに多くなった ($p < 0.001$)。さらに、蒸発による冷却効果によって、男性における皮膚温は、図5に示すとおり、女性のそれよりも低値を示したと考えられる ($p < 0.001$)。

皮膚濡れ率は、“人体表面からの水分 (汗) の蒸発量”を“人体表面からの可能な (汗) の蒸発量”に対する比で表わされる。人体表面からの可能な蒸発は、皮膚温における飽和絶対湿度と周囲環境の絶対湿度との差で決定される。したがって、高い皮膚温を示したとしても、体表からの水分蒸発量が少ない場合には、低い皮膚濡れ率を示すことになる。本研究において、男性は低い皮膚温を示したものの、高い水分蒸散量を示したので、高い皮

膚濡れ率を示した。このように、体温調節における性差が、温熱的快適感閾値にも影響を及ぼしたものと考えられる。

(3) 推定式

皮膚濡れ率を指標とした場合、各熱産生量における温熱的快適感の閾値は、2 Met : 0.22 ± 0.11 (-), 3 Met : 0.24 ± 0.06 (-), 4 Met : 0.26 ± 0.16 (-), 5 Met : 0.24 ± 0.14 (-) であった。温熱的快適感閾値は、図 6 に示すように、熱産生量の増加に伴ってやや上昇した。両者の間には、相関係数 $r=0.82$ の相関性の成り立つ傾向が認められた ($p=0.18$)。これに基づいて、熱産生量 ($M, W/m^2$) から温熱的快適感閾値 (comfort limit, (-)) を推定する式として、以下のとおりに表すことができる。

$$\text{女性: comfort limit} = 0.0002M + 0.1969 \quad (1)$$

男性の温熱的快適感閾値の推定には適合する既報の推定式 (式 2) を図 6 に記載した。

$$\text{男性: comfort limit} = 0.0013M + 0.1431 \quad (2)$$

図 6 に示されているとおり、男性と同様に、女性の場合においても、熱産生量の増加に伴い、温熱的快適感閾値は上昇する。しかしながら、熱産生量増加に対する温熱的快適感閾値の上昇率は、女性は男性よりも小さい。これより、女性の場合、熱産生量増加による温熱的快適感閾値は男性ほど大きく上昇 (変動) しないことを示した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 20 件, うち招待講演計 6 件)

- (1) 深沢 太香子: 高所環境での衣服 - 体温調節に大切な汗・危険な汗 -, 奈良女子大学 ライフサイエンスセミナー, 2012 年 2 月 29 日, 奈良市
- (2) 深沢 太香子: 衣服設計における生気象学, 第 50 回日本生気象学会, 2011 年 11 月 5 日, 京都市
- (3) Takako Fukazawa: Clothing at altitude - Effects of low air pressure on thermal responses in cold environment -, The 4th International Conference on Human-Environment System, 2011 年 10 月 6 日, 札幌市
- (4) 深沢 太香子, 熊谷 伸子, 織本 知英子, 栃原 裕: 東アフリカにおける民族服カンガの日常着としての受容に関する社会学的および生理学的考察, 文部科学省特色ある共同研究拠点の整備の推進事業服飾文化共同研究発表, 2011 年 3

- 月 5 日, 東京
- (5) 深沢 太香子, 栃原 裕: 着衣量評価におけるサーマルマネキンの活用, 第 3 回サーマルマネキン研究会シンポジウム, 2011 年 3 月 4 日, 東京
- (6) Takako Fukazawa, Yuki Takahara, Yutaka Tochiara: Different impacts of normobaric and hypobaric hypoxia upon thermal sensation under a cold environment, 九州大学オープンセミナー「温熱環境および環境適応に関する研究発表会」, 2011 年 1 月 10 日, 福岡市
- (7) 深沢 太香子: 民族カンガの温熱的快適性, 日本衣服学会第 63 回 (平成 23 年度) 年次大会, 2011 年 11 月 12 日, 名古屋市
- (8) 深沢 太香子: 温熱的快適性における男女差について, 日本家政学会関西支部第 33 回 (通算 89 回) 研究発表会, 2011 年 10 月 15 日, 彦根市
- (9) Takako Fukazawa, Ayumi Yaku, Rie Fukuyama, Tsumugi Shimizu, Yutaka Tochiara: Relevance in salivary amylase activity and cortisol to thermally comfortable and uncomfortable states, The 4th International Conference on Human-Environment System, 2011 年 10 月 4 日, 札幌市
- (10) Takako Fukazawa, Sachiyo Ikeda, Soen-Suk Kim, Yutaka Tochiara: Thermal resistance of Japanese-infant clothing ensembles using a baby thermal Manikin, The 4th International Conference on Human-Environment System, 2011 年 10 月 4 日, 札幌市
- (11) Takako Fukazawa, Tsumugi Shimizu, Rie Fukuyama, Ayumi Yaku: Thermal comfort limit of the whole body and local skin wettednesses for Japanese young females, The 14th International Conference on Environmental Ergonomics, 2011 年 7 月 13 日, ナフプリオン (ギリシャ)
- (12) Takako Fukazawa, Marjo Tourula, Hannu Rintamäki, Yutaka Tochiara: Thermal resistance of Finnish infant's winter clothing ensembles and their range of use, The 14th International Conference on Environmental Ergonomics, 2011 年 7 月 14 日, ナフプリオン (ギリシャ)
- (13) 深沢 太香子, 夜久 あゆみ, 福山理絵, 清水 紡: 温熱的快適性における身体部位差, (社) 日本繊維製品消費科学 2011 年次大会, 2011 年 6 月 26 日,

- 西宮市
- (14) 織本 知英子, 熊谷 伸子, 深沢 太香子, 山本 嘉一郎, 栃原 裕:カンガに対する着意意識, (社) 日本家政学会第 63 回大会, 2011 年 5 月 29 日, 市川市
 - (15) 深沢 太香子, 栃原 裕:温熱的快適性における身体部位差, (社) 日本家政学会第 63 回大会, 2011 年 5 月 29 日, 市川市
 - (16) 深沢 太香子, 渡邊 慶子, Marjo Tourula, Hannu Rintamaki, 栃原 裕: 北欧における冬季用乳幼児衣服の熱抵抗測定とその環境適応, 第 34 回人間-生活環境系シンポジウム, 2010 年 11 月 28 日, 新潟市
 - (17) 深沢 太香子, 安藤 朋子, 織本 知英子, 熊谷 伸子, 栃原 裕:着衣の熱抵抗からみた民族服カンガに対する日常着としての受容, 日本衣服学会第 62 回(平成 22 年度)年次大会, 2010 年 10 月 17 日, 和歌山市
 - (18) 深沢 太香子, 安藤 朋子, 織本 知英子, 熊谷 伸子, 栃原 裕:着衣の熱抵抗からみた民族服カンガに対する日常着としての受容, 日本家政学会関西支部第 32 回(通算 88 回)研究発表会, 2010 年 10 月 23 日, 姫路市
 - (19) 深沢 太香子, 安藤 朋子, 栃原 裕, 熊谷 伸子, 織本 知英子:民族服カンガの風合い特性とその環境適応域の推測, 日本家政学会被服衛生学部会第 29 回被服衛生学セミナー, 2010 年 8 月 28 日, 神戸市
 - (20) 深沢 太香子, 熊谷 伸子, 織本 知英子, 栃原 裕:民族服カンガの風合いと環境適応域, 日本家政学会第 62 回大会, 2010 年 5 月 29 日, 東広島市

〔図書〕(計 3 件)

- (1) 日本家政学会被服衛生学部会(編著), 井上書院, アパレルと健康 -基礎から進化する衣服まで-, 2012, 全 173 p. (担当: pp. 20-23, p. 64)
- (2) 彼末 一之(監修), 朝倉書店, からだと温度の事典, 2010, 全 625 p. (担当: pp. 266-268, pp. 274-277)
- (3) 岡田 宣子(編著), 建帛社, ビジュアル衣生活論, 2010, 全 156 p. (担当: pp. 6-11, pp. 38-51)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

深沢 太香子 (FUKAZAWA TAKAKO)
京都教育大学・教育学部・准教授
研究者番号: 90423574

(2) 研究分担者

栃原 裕 (TOCHIHARA YUTAKA)
九州大学大学院・芸術工学研究院・教授
研究者番号: 50095907

George Havenith (GEORGE HAVENITH)
Loughborough University (英国)・Human Sciences・教授
研究者番号: なし

(3) 連携研究者

なし