

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 21 日現在

機関番号：53701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011年度～2012年度

課題番号：23760560

研究課題名（和文）

地球温暖化下にある日本の住宅温熱環境におけるアダプティブモデルの提案

研究課題名（英文）

Proposal of the adaptive model in thermal environmental of residential in global warming

研究代表者

中谷 岳史 (NAKAYA TAKASHI)

岐阜工業高等専門学校・建築学科・講師

研究者番号：80469585

研究成果の概要（和文）：

本研究では、日本(岐阜県岐阜市)の住宅を対象に、快適温度に関する実態調査を行った。室内温熱環境と快適温度調査を年間を通して測定した。居住者は温熱環境に対する満足度が高いこと、快適温度の季節差は非常に大きいことが明らかとなった。以上の事柄は、快適温度は室内外の気候変動によって、変化することを示す結果である。

研究成果の概要（英文）：

This study described in this paper was undertaken to investigate comfort temperatures in Japanese homes. In it temperatures were measured in the living rooms and a thermal comfort survey of residents was completed over a full year in the Gifu region of Japan. The residents were found to be highly satisfied with the thermal environment of their houses. Significant seasonal differences were found in their comfort temperatures. The results showed that comfort temperature changes varied with changes in both the indoor and outdoor climate.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,200,000	660,000	2,860,000

研究分野：建築環境・設備

科研費の分科・細目：

キーワード：アダプティブモデル

1. 研究開始当初の背景

快適温度は住宅の快適性を高めるために必要度が高い。日本の設定温度は冬に 20℃、夏に 28℃と推奨されている。これは中央管理方式の空調設定基準であり、住宅居住者の温熱的欲求や我慢、調節行動を説明するには不十分である。またオイルショック頃に提唱されて 30 年以上経過するが、実態調査に基づく十分な検討は行われていない。

住宅における快適温度を明らかにし、その温度に近づけるような様々な工夫を行えば冷暖房等のエネルギーの節約に役立つと考えられる。現在までに快適温度に関する研究は国内外で行われている。しかし、1 年間のデータをもとにした研究は少なく、季節差につい

て明らかでない。実際、日本人は一年間の四季における様々な気候の中で暮らしているため、居住者の熱的快適性を向上させるためには、一年間のデータから快適温度を算出し、気候の変化による快適温度の変動を明らかにする必要がある。また人々は気候風土に適応しながら生活をしている。Humphryeys によると適応とは生理的であり、行動的であり、心理的である。人はある温熱環境に対し、不快に感じるような変化が起こると快適性を取り戻そうと行動する傾向がある。人は温熱環境をただ受け入れるだけでなく、自らその環境に合わせて調整をし、適応している。平均外気温に対し、室内快適温度を予測するため、ASHRAE や CEN による適応モデル(Adaptive

Model : アダプティブ・モデル)が提案されている。しかし、これらの適応モデルは欧米のオフィスを中心としており、日本のデータが含まれていない。そのため、異なる気候風土と生活習慣を持つ日本での程度利用できるかが明らかではない。また、住宅はオフィスに比べ自由に温熱環境を調整できるため、日本の住宅独自の適応モデルを提案する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、岐阜県の住宅のリビングにおける1年間の温熱環境の実測と、居住者の熱的主観申告調査、窓開閉調査を行い、快適温度の季節差を明らかにし、今回のデータから、適応モデルを提案する。

3. 研究の方法

(1) 調査方法

本調査では、岐阜県の木造住宅居住者を対象に温熱的快適性に関する室内温熱環境の実測と主観申告調査を行った。

①調査対象

調査対象地域は岐阜県岐阜市近郊である。住戸種類は戸建住宅であり、平屋もしくは二階建であった。調査住戸数は30家族、調査人数は78名(男性40名、女性38名)で平均年齢は男性40.5才(9~66才)、女性41.3才(7~79才)であった。被験者には事前に調査内容の説明を行い、調査の承諾を得た。若年者及び高齢者は事前調査で室内環境を言語で評価することに問題がないことを確認している。なお疾患を有する被験者や、調査内容を理解することが難しい幼児は調査対象から外した。また調査期間中に被験者から調査中断の申し出や要望があれば、速やかに対応した。

調査は2010年5月13日から開始し、1年間のデータ収集を予定している。梅雨から夏の終わり(2010年5月13日~9月16日)にかけて入力・分析が完了したため報告する。外気環境のデータは、気象庁の公開データを用いた(気象庁HP)。観測地点は調査住戸の中心に位置する岐阜県岐阜市を用いた。

②室内温熱環境の測定

調査項目は室内温熱環境と申告調査である。室内の温熱環境は測定項目を表に示す。空気温度及び相対湿度は携帯型データロガー(T&D, TR-71, TR-72)、グローブ温度(Sibata, 150mmφ)である(図1)。人室内に設置する際には、日射や電気機器などの影響が少ない地点に置くように依頼した。アンケートは申告時の人体側要因(代謝量、着衣量)と主観申告で構成した。人体側要因は、主観申告時にアンケート形式で回答してもらった。代謝量は申告前

の活動強度から推定した。着衣は総重量を記入してもらい推定した。主観申告を表1に示す。温熱的快適性に関する項目として、温冷感(9段階)、適温感(3段階)、熱的快適感(5段階)、熱的受容感(2段階)、我慢感(2段階)、体調(4段階)を用いた。主観申告は一人につき1カ月のうち約10日間、1日に4回(起床~12時、12時~16時、16時頃~20時、20時~就寝)、それぞれ一回申告するよう依頼した。ただし指定時間中の回答が困難であれば1時間以上の間隔をあけて申告することを認めた。室内における空調方式を主観申告時に回答してもらい、冷房時、自然通風時、暖房時を判別した。

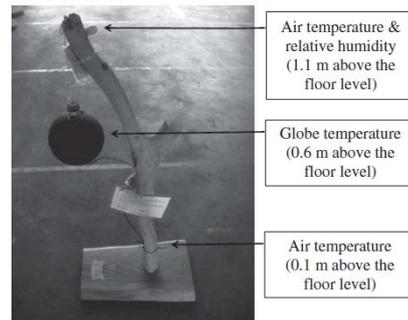


図1 測定器具

(2)分析方法

日単位の中立温度はGriffiths法で算出し、外部環境に対する適応の定量的効果はアダプティブモデルで検討する。

①Griffiths法

中立温度の算出には回帰法とGriffiths法の二種類がある。回帰法は説明変数に温度、目的変数に温冷感を設定して、線形回帰分析を行い、温冷感が中立(TSV=0)に相当する温度を計算する。統計的に安定した結果を得るためには、幅広い温度分布を持つことが必要になる。しかし実態調査では計画的に温度範囲を幅広くとることが難しい。そのため線形回帰式の統計的有意が得られないこと、中立温度が外挿でしか得られないことなどが懸念される。

Griffithsは、室内作用温度と温冷感の線形回帰係数を標準化した値を用い、中立温度を推定する方法を提案した。グループの平均主観申告と平均室内温度をデータの重心とし、回帰直線が通るように設定することで、中立温度を求める。室内作用温度と温冷感申告の関係は次式から中立温度が求まる。

$$TnG = Tgm + (0 - TSm) / a^*$$

a*: 回帰係数 [°C]

Tgm: 日平均外気温度 [°C]

TnG: 快適温度 [°C]

TSm: 日平均申告

Griffiths法は回帰係数を設定する必要が

ある。Nicolら(2010)はヨーロッパの調査データ(SCATs)をもとに、0.50を提案している。本研究では9段階の温冷感尺度を採用しているため、修正した0.6(=0.5×8/6)を用いた。

②アダプティブモデル

Humphreys(1976)は室内環境に適応するならば、居住者が経験する気温と快適温度は高い相関があると考え、複数の既往研究に対して分析を行い、アダプティブモデルを提案した。CEN15251では環境履歴を加味するため、加重移動平均外気温を採用している。定義式を次に示す。

$$\theta_{rm} = (1-\alpha)(\theta_{ed-1} + \alpha\theta_{ed-2} + \alpha^2\theta_{ed-3} + \dots)$$

θ_{rm} :対象日の移動平均外気温

θ_{ed-1} :前日の日平均外気温

α :0 から1 の間の係数

本調査ではCEN15251を参考にし、 α は0.8を用いる。

4. 研究成果

(1) 室温の分布

申告中の室温を明らかにするため、図2に室温の分布を示す。自然換気時は自然通風時、エアコン使用時は冷房時、暖房使用時は暖房時である。申告中の平均室温は冷房時では推奨値の28℃と同じであるが、暖房時では推奨値の20℃より2.3K低い。なお、平均外気温は自然通風時で18.8℃、冷房時で28.9℃、暖房時で6.7℃である。

(2) 温冷感の分布

居住者の温熱感覚を明らかにする為、図3に温冷感の分布を示す。冷房時では5以上の申告している居住者がやや多く、暖房時では5以下の申告している居住者がやや多い。居住者が冷暖房を利用しても「暑い」または「寒い」と感じている場合がある。自然通風時では「5. 暑くも寒くもない」申告が多いため、多くの居住者が温熱環境を最も快適と感じ、満足しているといえる。これは居住者が気候風土に適応しながら暮らしているためと思われる。

(3) 回帰法による快適温度の予測

温冷感と室温の回帰分析を行い、快適温度の予測を行う。図4に各モードの温冷感と室温の散布図を示す。回帰分析から温冷感申告(C)と室温(Ti, °C)の間に下記の式が得られた。

NV $C=0.149Ti+1.59$ (n=13,471, $R^2=0.48$, S.E.=0.001, $p<0.001$)

AC $C=0.130Ti+1.95$ (n=1,955, $R^2=0.05$, S.E.=0.013, $p<0.001$)

HT $C=0.064Ti+3.04$ (n=5,240, $R^2=0.10$, S.E.=0.003, $p<0.001$)

自然通風時の回帰係数や相関係数は冷房時より高い。これらの式を用いて、温冷感「5. 暑くも寒くもない」を代入して快適温度を予測すると、自然通風時で22.9℃、冷房時で23.5℃、暖房時で30.6℃となる。暖房時の快適温度は高い結果になっているが、既往研究で言われているように、回帰法に問題があると思われるため、次節ではGriffiths法を用いて快適温度を検証する。

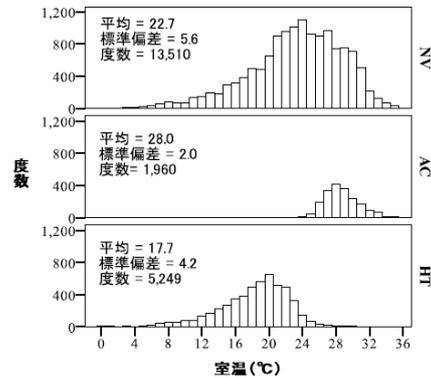


図2 空気温度の分布

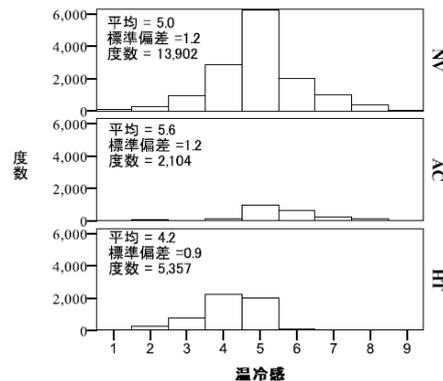


図3 温冷感申告の分布

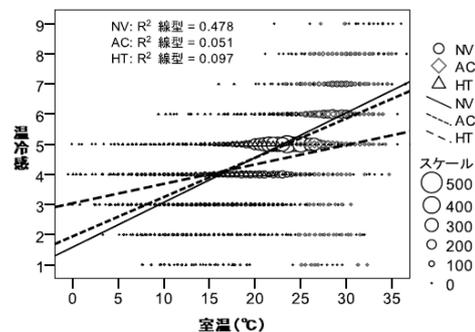


図4 室温と温冷感申告の関係

(4) Griffiths 法による快適温度の予測

Griffiths 法で各モードの快適温度を検証した(図5)。Griffiths 法による平均快適温度は、自然通風時で22.7℃、冷房時で27.1℃、暖房時で18.9℃である。Griffiths 法の平均快適温度は平均室温と近いことから回帰法より Griffiths 法が実態調査には適していると考えられる。

(5) 適応モデルの提案

適応モデルは外気温を用いて室内快適温度を予測するモデルである。図6に Griffiths 法で計算した快適温度と移動平均外気温の関係を示す。回帰式は下記に示す。

NV $T_c = 0.531T_{rm} + 12.5$ (n=13,471, $R^2=0.68$, S.E.=0.003, $p<0.001$)

AC $T_c = 0.297T_{rm} + 18.8$ (n=1,955, $R^2=0.06$, S.E.=0.026, $p<0.001$)

HT $T_c = 0.307T_{rm} + 16.5$ (n=5,240, $R^2=0.11$, S.E.=0.012, $p<0.001$)

CEN 基準の回帰係数は自然通風時で0.33であり、本研究の方が高い。CEN 基準はオフィスビルを対象としており、本研究と直接比較はできないが、自由に環境調整のできる住宅では結果が異なると考えられる。回帰式に移動平均外気温を自然通風時で20℃、冷房時で28℃、HTモードで10℃を代入すると、室内快適温度はそれぞれ23.1℃、27.1℃、19.6℃になる。このように外気温が分かれば、回帰式を用いて室内快適温度を予測することができる。

図7に快適温度と移動平均外気温の局所的重み付け曲線を示す。本研究は住宅を対象としているためオフィスに比べ、自由に環境調整ができるので外気温が低くても適応できると思われる。今後、日本のオフィスビルでも熱的快適感調査を行って、適応モデルを検討する必要がある。

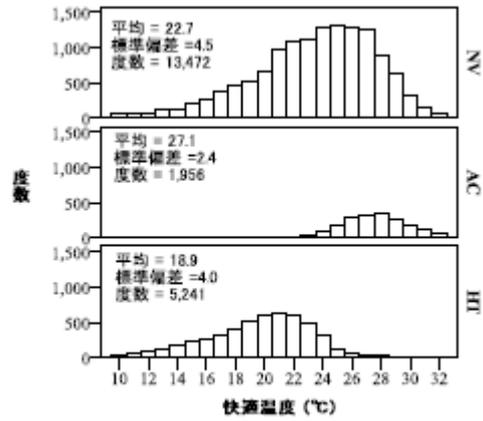


図5 空調方式毎の快適温度

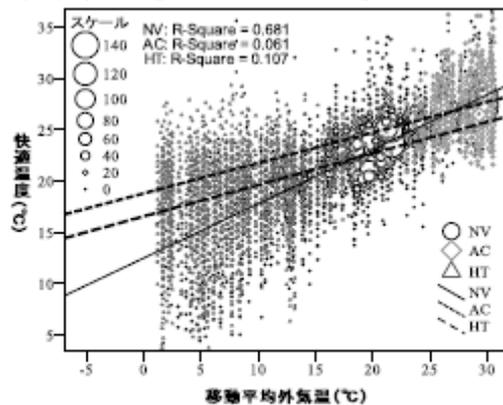


図9 快適温度と移動平均外気温の関係

図6 移動平均外気温と快適温度の関係

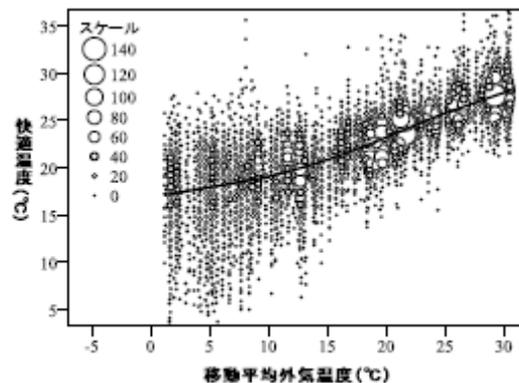


図7 アダプティブモデル(日本, 岐阜)

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)

[雑誌論文] (計 1 件)

1. Hom B. Rijal, Miho Honjo, Ryota Kobayashi & Takashi Nakaya, Investigation of comfort temperature, adaptive model and the window-opening behaviour in Japanese houses, *Architectural Science Review*, 査読有, 56(1), pp. 54-69, 2013

[学会発表] (計 30 件)

1. Hom B. Rijal, Takashi Nakaya, Development of the Adaptive Model in Japanese Houses, *Clima2013*, 16-19 June 2013, Prague Congress Centre, Czech Republic
2. 渡部幸樹, H.B.リジャル, 中谷岳史, 着衣量に関する研究 その 1 岐阜の住宅における熱的快適性と着衣量の検討, 日本建築学会関東支部研究発表会, 2013.3.6-9, 建築会館ホール
3. H.B.リジャル, 本庄美穂, 小林良太, 中谷岳史: 住宅における適応的快適性と環境調整行動に関する研究, 日本建築学会環境工学委員会熱環境運営委員会第 42 回熱シンポジウム, 2012.11.16-17, 建築会館ホール
4. 藤田和也, リジャル H.B., 中谷岳史: 岐阜の住宅における熱的快適性に関する実態調査 その 1 窓開閉の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp. 439-440, 2012.9.12-14, 名古屋大学
5. 矢野真梨奈, リジャル H.B., 中谷岳史: 地岐阜の住宅における熱的快適性に関する実態調査 その 2 浴房利用の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), 2012.9.12-14, 名古屋大学
6. 本庄美穂, リジャル H.B., 中谷岳史: 地岐阜の住宅における熱的快適性に関する実態調査 その 3 快適温度の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp. 443-444, 2012.9.12-14, 名古屋大学
7. 小林良太, リジャル H.B., 中谷岳史: 岐阜の住宅における熱的快適性に関する実態調査 その 4 適応モデルの提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp. 445-446, 2012.9.12-14, 名古屋大学
8. 菅野佑樹, リジャル H.B., 中谷岳史: 岐阜の住宅における熱的快適性に関する実態調査 その 5 好まれる温度の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp. 447-448, 2012.9.12-14, 名古屋大学
9. 松下純規, リジャル H.B., 中谷岳史: 岐阜の住宅における熱的快適性に関する実態調査 その 6 快適感の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp. 449-450, 2012.9.12-14, 名古屋大学
10. 芥川光明, リジャル H.B., 中谷岳史: 岐阜の住宅における熱的快適性に関する実態調査 その 7 許容度の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp. 451-452, 2012.9.12-14, 名古屋大学
11. 佐藤翔平, リジャル H.B., 中谷岳史: 岐阜の住宅における熱的快適性に関する実態調査 その 8 忍耐度の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp.453 -454, 2012.9.12-14, 名古屋大学
12. 永田圭一, リジャル H.B., 中谷岳史: 岐阜の住宅における熱的快適性に関する実態調査 その 9 想像温度の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp. 455-456, 2012.9.12-14, 名古屋大学
13. 本田諒佑, リジャル H.B., 中谷岳史: 岐阜の住宅における熱的快適性に関する実態調査 その 10 室内外の温度差感の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp. 457-458, 2012.9.12-14, 名古屋大学
14. 遠藤誠央, リジャル H.B., 中谷岳史: 岐阜の住宅における熱的快適性に関する実態調査 その 11 湿度感の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp. 459-460, 2012.9.12-14, 名古屋大学
15. 渡部幸樹, リジャル H.B., 中谷岳史: 岐阜の住宅における熱的快適性に関する実態調査 その 12 着衣量の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp. 461-462, 2012.9.12-14, 名古屋大学
16. 小林樹, リジャル H.B., 中谷岳史: 岐阜の住宅における熱的快適性に関する実態調査 その 13 温冷感の中立性の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp. 463-464, 2012.9.12-14, 名古屋大学
17. Rijal H.B and Nakaya T. (2012), Investigation of window opening behaviour in Japanese houses, *Proceedings of 7th Windsor Conference: The changing context of comfort in an unpredictable world Cumberland Lodge, Windsor, UK, 12-15 April 2012*. London: Network for Comfort and Energy Use in Buildings.
18. Honjo M., Rijal H.B., Kobayashi R., Nakaya T. (2012), Investigation of comfort temperature and adaptive model in Japanese houses, *Proceedings of 7th Windsor Conference: The changing context of comfort in an unpredictable world Cumberland Lodge, Windsor, UK, 12-15 April 2012*. London: Network for Comfort and Energy Use in Buildings.
19. 藤田和也, リジャル H.B., 中谷岳史: 岐

- 阜の住宅における熱的快適性に関する実態調査 その1 窓開閉の検討, 日本建築学会関東支部研究発表会, pp. 49-52, 2012.3.6-9, 建築会館ホール
20. 矢野真梨奈, リジャー H.B., 中谷岳史: 岐阜の住宅における熱的快適性に関する実態調査 その2 冷房利用の検討, 日本建築学会関東支部研究発表会, pp. 53-56, 2012.3.6-9, 建築会館ホール
21. 本庄美穂, リジャー H.B., 中谷岳史: 岐阜の住宅における熱的快適性に関する実態調査 その3 快適温度の検討, 日本建築学会関東支部研究発表会, pp. 57-60, 2012.3.6-9, 建築会館ホール
22. 小林良太, リジャー H.B., 中谷岳史: 岐阜の住宅における熱的快適性に関する実態調査 その4 適応モデルの提案, 日本建築学会関東支部研究発表会, pp. 61-64, 2012.3.6-9, 建築会館ホール
23. 菅野佑樹, リジャー H.B., 中谷岳史: 岐阜県の住宅における好まれる温度に関する研究 その5 好まれる温度の検討, 日本建築学会関東支部研究発表会, pp. 65-68, 2012.3.6-9, 建築会館ホール
24. 松下純規, リジャー H.B., 中谷岳史: 岐阜の住宅における熱的快適性に関する実態調査 その6 快適感の検討, 日本建築学会関東支部研究発表会, pp. 69-72, 2012.3.6-9, 建築会館ホール
25. 芥川光明, リジャー H.B., 中谷岳史: 岐阜の住宅における熱的快適性に関する実態調査 その7 許容度の検討, 日本建築学会関東支部研究発表会, pp. 141-144, 2012.3.6-9, 建築会館ホール
26. 佐藤翔平, リジャー H.B., 中谷岳史: 岐阜の住宅における熱的快適性に関する実態調査 その8 忍耐度の検討, 日本建築学会関東支部研究発表会, pp. 145-148, 2012.3.6-9, 建築会館ホール
27. 永田圭一, リジャー H.B., 中谷岳史: 岐阜の住宅における熱的快適性に関する実態調査 その9 想像温度の検討, 日本建築学会関東支部研究発表会, pp. 149-152, 2012.3.6-9, 建築会館ホール
28. 本田諒佑, リジャー H.B., 中谷岳史: 岐阜の住宅における熱的快適性に関する実態調査 その10 室内外の温度差感の研究, 日本建築学会関東支部研究発表会, pp. 153-156, 2012.3.6-9, 建築会館ホール
29. 遠藤誠央, リジャー H.B., 中谷岳史: 岐阜の住宅における熱的快適性に関する実態調査 その11 湿度感の検討, 日本建築学会関東支部研究発表会, pp. 157-160, 2012.3.6-9, 建築会館ホール
30. 渡部幸樹, リジャー H.B., 中谷岳史: 岐阜の住宅における熱的快適性に関する実態調査 その12 着衣量の検討, 日本

建築学会関東支部研究発表会, pp. 161-164, 2012.3.6-9, 建築会館ホール

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中谷 岳史 (NAKAYA TAKASHI)

岐阜工業高等専門学校・建築学科・講師

研究者番号: 80469585

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: