

平成 22 年 5 月 1 日現在

研究種目：	基盤研究(A)
研究期間：	2007 ～ 2009
課題番号：	19206059
研究課題名(和文)	個人の耐震化対策を誘導する説明力を持った地震ハザード予測と体感型提示手法の開発
研究課題名(英文)	Development of Explanatory Seismic Hazard Prediction and Physically Experimental Presentation Method in order to Guide Individuals to Seismic Retrofitting and Furniture Fastening
研究代表者	
	福和 伸夫 (FUKUWA NOBUO)
	名古屋大学・大学院環境学研究科・教授
	研究者番号：20238520

研究成果の概要(和文)：切迫する大地震を前にして災害被害軽減のために個々人の耐震補強と家具固定を抜本的に進めるための研究が必要とされている。そこで、本研究では、耐震化の推進を支える人材育成や啓発教材構築のため、「国民に対して説明力を持った高精度・高解像度の地震ハザードの予測法」と、「簡易振動台や耐震実験教材、eラーニング、3次元 WebGIS を活用した体感型提示法」の開発を行い、これらを耐震化推進活動に活用した。

研究成果の概要(英文)：In order to reduce the damage due to the coming huge earthquake, all the people should act seismic retrofitting and furniture fastening. In this research, the explanatory seismic hazard prediction method with high-resolution and accuracy and the physically experimental presentation method using the shaking table, - experiment, e-learning tool and 3-D web-GIS have been developed and used in dissemination activities.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	24,800,000	7,440,000	32,240,000
2008 年度	9,400,000	2,820,000	12,220,000
2009 年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
年度			
年度			
総計	38,100,000	11,430,000	49,530,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：耐震化、家具固定、防災教育、地震ハザード、振動台、実験教材、WebGIS

1. 研究開始当初の背景

中央防災会議の試算によれば、今世紀前半に予想される我が国の地震被害は最悪 200 兆円に及ぶと予想されている。その主たる原因は建物被害にあり、耐震化の推進は急務である。このため、2005 年に、十年間での被害半減をめざす地震防災戦略が策定され、2006 年にはその促進のため「災害被害を軽減する国民運動の推進に関する基本方針」が策定さ

れた。

耐震化推進の最大の阻害要因は、国民個人の意識の問題にあり、国民一人一人が耐震化の重要性を認識するような意識啓発こそが、耐震化推進の根幹になると認識したためである。

研究代表者は、この活動に中心的に参画し、各地での国民運動推進に全力を注いだ。当時、種々の活動の中で、意識啓発を担う人材

の不足や啓発に使える効果的な教材の不足を痛感していた。

そこで、本研究では、住宅の耐震化推進を研究者の立場から支援するために、国民一人一人が、耐震化の重要性に気づき、身の回りの地震危険度を学び、耐震化の実践へと誘導するための総合的シミュレーションツールを開発することを意図した。また、耐震強度偽装問題の発生もあり、建築技術者の地震に対する意識啓発と安全に対する倫理観の醸成のため、建設敷地で想定される地盤の揺れや建物の揺れを正しく理解し、建物の安全性向上を目指すことを誘導するツールとしても活用することを意図した。

2. 研究の目的

住宅の耐震化推進を支援するために、国民一人一人が耐震化の重要性に気づき、身の回りの地震危険度を学び、耐震化実践へ誘導するための総合的シミュレーションツールを開発することを目的とした。

具体的には、耐震化の推進を支える人材育成や啓発教材の構築のため、専門家の立場から「国民に対して説明力を持った高精度・高解像度の地震ハザードの予測法」と「簡易振動台や耐震実験教材、eラーニング、3次元ウェブGISを活用した体感型提示法」の開発を行うことを目的とした。

個々の研究項目は以下の通りである。

- (1) 過去の都市計画基本図・空中写真を用いた表層の地形改変に関する4次元データの構築
- (2) 濃尾平野域を対象とした過去の地下構造調査結果のコンパイルと深部・浅部地下構造モデル構築
- (3) 経験的グリーン関数法と3次元ハイブリッド法を融合した高精度・高解像度地震動予測法の開発
- (4) 兵庫県南部地震での被害を説明可能な建築物の倒壊シミュレーション法の開発
- (5) 転がり支承とサーボモーターを用いた揺れの体感用2次元振動台の開発
- (6) 各種の建物倒壊実験模型、マウスを利用した振動シミュレータ、eラーニング教材の開発

3. 研究の方法

下記に示す方法により研究を実施した。

- (1) 基礎データの収集・データベース化

愛知県下の県立高等学校に、使用年限を経過して更新・廃棄された地震計を再整備して設置し、各地区の震動特性を把握するとともに、経験的グリーン関数法に利用可能な地震動波形取得に努める。また、過去の都市計画基本図や、空中写真、戦前、戦争直後の標高データと地質区分データなどを整備する。

合わせて、愛知県・名古屋市が実施した耐

震診断データのデータベース化を行う。これに、継続的に蓄積してきた強震データ、微動データ、地盤データを加え、本研究に必要となるデータベースを構築する。

- (2) 深部・浅部・表層地下構造モデルの構築

濃尾平野地下構造調査・伊勢平野地下構造調査、愛知県の実施した地震被害予測などの調査結果を元に、現時点で最良の深部地下構造モデルを構築する。

また、名古屋市の地震マップ作成のために収集した約40000本のボーリング資料を基に、3次元N値地層構造モデル化手法を構築する。

これらのデータを用いて、地盤の卓越周期を計算し、(1)の微動データや強震観測データで得られた地盤の卓越周期との適合度を把握し、適宜、地盤モデルのチューニングを行う。さらに、名古屋圏の任意地点や任意断面の地下構造(速度構造)を推定するウェブシステムを作る。

- (3) 高解像度・高精度の地震動予測手法の開発と地震動評価

名古屋大学で運用している東海版の大都市圏強震動総合観測ネットでは500点程度の地盤観測点を有している。この強震観測データと、(2)に示した高解像度地下構造モデルを活用して、経験的グリーン関数法と3次元ハイブリッド法を組み合わせた擬似経験的グリーン関数法により強震動予測を行う。

この方法は、豊富な地震観測データを活用して、強震観測地点では経験的グリーン関数法により強震動評価を行い、さらに3次元ハイブリッド法の結果を用いて地震動の空間補間を行うことで、高解像度の地震動評価を実現するものである。

本法は、既存の強震観測データと地下構造データを最大限活用した新たな地震動予測法であり、地震動評価における3つのキーワードである「地震動強さ」、「周期特性」、「継続時間」を適切に評価できる特徴を有している。また、地形改変データに基づく説明性も高い。

- (4) 地震動評価結果を解説するための地形改変表示3次元ウェブGISの開発

(3)で得られた地震動の特徴を解説し、その生成要因を分かりやすく解説することを目的として、地形改変データを4次元WebGISにより表示するシステムを実現する。これにより強震動評価結果の説明性や住民にとっての受容性を確保する。鳥瞰的に視点を移動して地盤改変を表示するシステムであり、切り盛り改変の進んだ名古屋市東部丘陵を対象に具体化する。

- (5) 過去の地震被害を説明可能な建物地震応答解析法の開発

兵庫県南部地震での地震被害を説明可能な地震応答解析モデルを耐震診断結果に基づいて構築する方法を開発する。ここでは都

市内に数多く存在する小中学校建物や集合住宅を対象に、耐震診断データや地震被害データに基づいて、適切な地震応答解析モデルを構築し、その有効性を検証する。

(6) 体感・啓発用の振動台、倒壊実験模型、eラーニングシステムの開発

サーボモータで牽引する綱引き型の2軸ロングストローク振動台を開発する。まず、小型の直動転がり支承を用いて、プロトタイプの上型振動台を試作する。さらに、このアイデアを生かして、人間が搭乗できる2軸ロングストローク振動台を開発する。変位振幅1m程度、最大速度300cm/s程度の加振性能を目標にする。その際に、揺れの体感効果を高めるために、バーチャルリアリティ技術を利用し、揺れを感じる室内環境も同時描画するシステムを作る。

また、一般住民が住宅や建物の倒壊原因を容易に理解できる実験教材を作成する。具体的には、容易に復元可能な木造倒壊実験模型教材、鉄筋コンクリート用の倒壊実験模型、津波の再現模型などである。

さらに、場所や時間を選ばずに利用できるウェブ上で稼働するバーチャル振動実験システムを作成する。これは、ウェブ上でマウスの動きにより加振する振動シミュレータである。

(7) 上記成果を利用できる環境の開発

(1)～(6)に示した成果を総合的に利用できるウェブ環境や、体験の場を構築する。さらに、教育・啓発の現場で実践的に利用し、その効果を把握し、継続的に、システムの改善を進める。

4. 研究成果

(1) 基礎データの収集・データベース化

強震観測記録、常時微動観測、地盤調査結果、地図情報、地盤・地形情報、都市計画基本図、空中写真、古地図、バス停地名、昔の写真、公共建物の耐震診断結果など、各種の基礎データの収集・整理と、データベース化を行い、これらをGoogleEarth上で参照できるシステムを開発した。また、更新された地震計を愛知県下の高校に設置し、P-netと呼ぶ強震観測網を整備した。一例として、図1に名古屋市内の収集地盤データ位置を示す。

なお、強震観測に関する成果は⑥に、地名に関する成果は⑦に公表している。また、これらのデータを活用するシステムについては、⑩⑪などに公表している。

(2) 地震動予測用の深部・浅部・表層地下構造モデルの構築

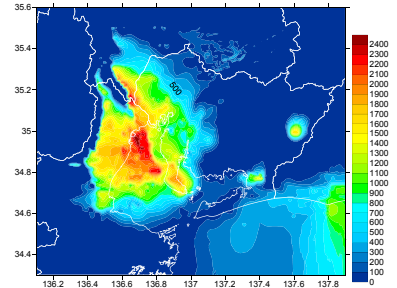
(1)で収集したデータに基づいて、中京圏の深部地下構造モデル、浅部地下構造モデル、切り盛り変更が進んだ東部丘陵地の高解像度表層地盤モデルの構築を行った。

まず、濃尾平野地下構造調査・伊勢平野地

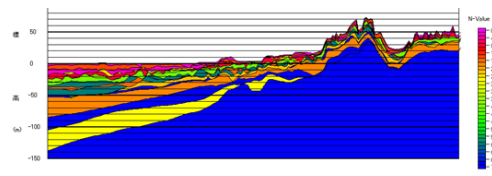


(a)標準貫入試験データ (b)PS 検層データ

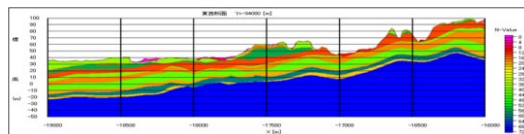
図1 収集した表層地盤データの一例



(a)深部地盤モデルの例：地震基盤深度分布



(b)浅部地盤モデルの例：名古屋市内の東西断面



(c)東部丘陵の表層断面の微視的变化

図2 モデル化した地下構造モデルの一例

下構造調査などを基に、現時点での最良の深部地下構造モデルを構築した。また、名古屋市が収集した約4万本のボーリング資料を基に、3次元N値地層構造モデルを作成した。さらに、切り盛りデータや微地形区分データを元に、市内全域の最表層の追加・削除・修正を行い、市域全体の深部・浅部・最表層地下構造モデルを生成した。地盤モデルの妥当性については、既存の強震観測データや微動観測データを用いて振動性状の再現性の検証によった。モデルの作成例を図2に示す。本成果は⑩などに公表をしている。

(3) 高解像度・高精度の地震動予測手法の開発と地震動評価

(2)で構築した地下構造モデルを用い、3次元差分法と統計的クリーン関数法を組み合わせたハイブリッド法で想定震源域内に点震源で加振したときの予測波形を求め、さらに強震観測点と地震動評価点との伝達関数を求めデータバンク化した。この伝達関数に(1)で収集した強震観測記録を乗じることで、名古屋市域任意地点の揺れを予測し、さらに

この揺れを経験的グリーン関数法と同様の方法で合成することで想定地震に対する強震動予測を行った。図3は、予測結果の一つとして、中央防災会議モデルを用いて東南海地震発生時の最大速度分布を予測したものである。この結果は、1944年東南海地震時の被害分布から推定された震度分布と良く対応しており、本研究で構築した地下構造モデルと予測方法の妥当性が検証された。なお、本成果は、⑩などに公表している。

(4) 地震動評価結果を解説するための地形改変表示3次元ウェブGISの開発

(3)に示した強震動予測結果から、表層地盤の硬軟によって揺れの違いが支配されることが分かった。特に、東部丘陵地域では、切り盛りなどの地形改変により近接地点でも揺れに差がある。そこで、地盤の改変が揺れの大小に与える影響を一般住民に納得感を持って伝えるために、図4に示すような、過去と現在の空中写真を対比しつつ、土地の切り盛りの様子を鳥瞰的に表示するシステムを構築した。この成果は③や⑧の中で公表している。

(5) 過去の地震被害を説明可能な建物地震応答解析法の開発

学校建築、集合住宅などに関する耐震診断データ、地震被害データ、強震観測や常時微動観測結果などに基づき、中低層RC構造物である学校建築や集合住宅を対象に、兵庫県南部地震における地震被害を説明可能な建物地震応答解析モデルの構築を行った。

これに加え、群杭で支持される建物の動的相互作用解析や、家具転倒に関する各種家具転倒防止装置の効果を検討した。

これらの成果は、②⑤⑩に公表をしている。

(6) 体感・啓発用の振動台、倒壊実験模型、eラーニングシステムの開発

体感・啓発用の長周期ロングストローク2軸振動台を開発するのに先立って、まず、直動転がり支承とサーボモーターを用いた卓上2軸振動台を試作し、動作テストを行った。また、この振動台用に、振動台学習用の精巧な室内模型を作製した。さらに、小型センシングシステムと小型カメラによる映像取得装置を開発し、相似則を利用した居室内の振動応答に関する縮小模型実験を可能とした。図5に外観を示す。このシステムは「マイホームぶるる」と名付け、⑧で公表をした。

さらにこの機構を利用して、LMガイドとボールネジ・ベルトを用いて、図6に示すような水平2軸の振動台を新たに開発・試作した。この振動台はテーブルサイズ1m角、積載重量70kgと小型であるが、PCによるモーションコントローラ制御により、最大加速度2,000 Gal、最大速度4m/sec(長辺)・1.5m/sec(短辺)、最大変位±1.5m(長辺)・±0.5m(短辺)の加振が可能である。さらに、

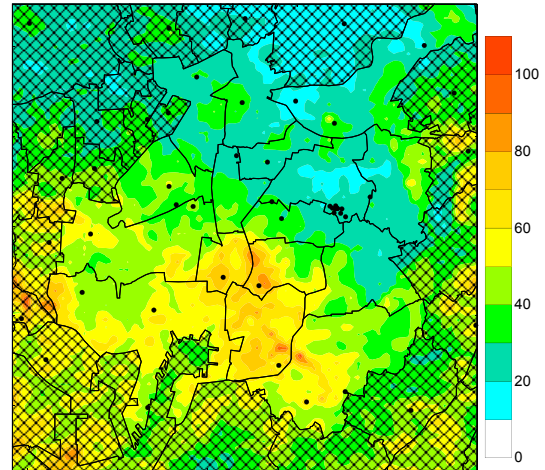


図3 擬似経験的グリーン関数法による東南海地震に対する名古屋圏の最大速度分布



(a)左上から日本陸軍・GHQ・現在の空中写真

(b)丘陵地の切り土と盛り土の分布

図4 地形改変表示3次元ウェブGIS

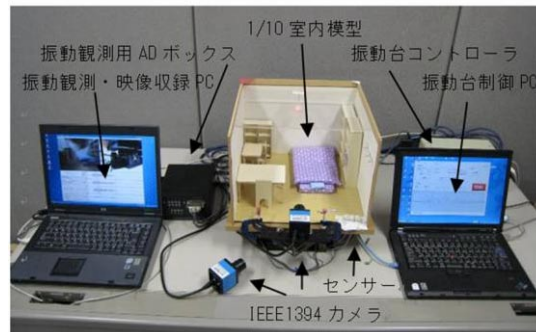


図5 卓上2軸振動台、縮小室内模型、振動制御システムと振動・映像収録システム



図6 統合振動体感システム BiCURI

図6に示すように振動台背面の大型ディスプレイに、図5に示した小型振動台での実験結果を拡大投影し、振動台の動きに同期させて、動画も前後左右に動かすシステムを実現した。大小の振動台とバーチャリアリティ技術を利用したこれまでに例のない振動体感システムであり、BiCURI (Bi-directional shaker and Computed Ultra-Response Integration environment) と名付けた。これらの成果は、④や⑧で公表をしている。

一方、時間や場所に関係なく振動体感できる実験環境を提供するため、FLASHを用いたWeb上で利用可能なバーチャル振動実験環境を整えた。これは、図7のようにマウスの左右の動きを地盤の動きとして認識することにより、住宅や建物の揺れ、地盤と建物の連成振動を体感できるシステムである。現在、耐震啓発に加え建築振動教育にも活用されている。これらの成果は、⑬⑭⑯などに公表をしている。

また、図8に示すように、シミュレーションを補完する体感型教材を種々開発してきた。いずれも非線形な現象を表現するモデルであり、倒壊後簡単に復元できる2階建て木造模型(左上)、積み木ブロックと銅線で作った鉄筋コンクリート模型(右上)、簡易なビルの倒壊模型(左下)、津波実験装置(右下)などである。これらの教材は、防災リーダー、防災まち作りアドバイザー、耐震化アドバイザー、災害ボランティアコーディネータなどにより、地域での耐震化啓発活動に頻繁に用いられている。これらの成果は、①⑧⑨などに公表している。

(7) 上記成果を利用できる環境の開発

上記に示した各種のシステムや教材の多くは、当研究グループのホームページから利用できる環境を整えている。さらに、機能の一部は愛知県防災学習システムとして愛知県防災局のホームページにアップしている。このホームページは、アクセス数から、概ね愛知県民の1割程度の家庭で利用されたと推定されている。

また、これらのシステムや教材を体験できる場として、新城市に新たに開設した防災学習ホールに、本研究での成果の多くを取り入れてもらった。この防災学習ホールには、新城市内の小中学生が多く訪れており、各家庭の安全対策へとつながっている。

さらに、ここで得られた研究成果なども踏まえ、地元ラジオ局で毎日放送している防災番組の内容作りに活用してもらっている。

以上の成果は、⑪⑭⑰⑱に公表している。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 30 件)

- ① 佐武直紀、福和伸夫、繰返し使用が可能な強非線形建物・地盤実験模型の開発、

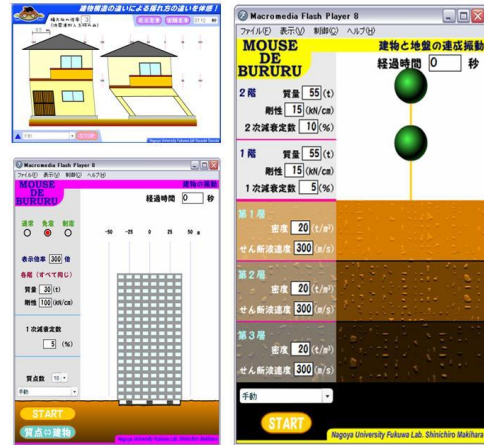


図7 Web上で利用できる振動シミュレータ「マウスでぶるる」



図8 啓発用教材例



図9 愛知県防災学習システム



図10 新城市防災学習ホール

日本建築学会技術報告集、第 33 号、2010
(掲載決定)、査読有

② 岩城梨佳、福和伸夫、護雅史、彦坂智基：基礎形状の不整形性や基礎形式の混用がねじれ基礎入力動に与える影響、日本建築学会構造系論文集、第 649 号、pp. 531-538、2010、査読有

③ J. Tobita, N. Fukuwa and M. Mori, Integrated Disaster Simulator using WebGIS and its Application to Community Disaster Mitigation Activities, Journal of Natural Disaster Science, Vol. 30, No. 2, pp. 71-82, 2009, 査読有

④ 護雅史、福和伸夫、飛田潤、減災行動を誘導するための統合型地震応答体感環境の構築、日本建築学会技術報告集、第 30 号、pp. 605-610、2009、査読有

⑤ N. Fukuwa, J. Tobita, M. Mori and H. Takahashi, Prediction of Strong Ground Motion and Building Damage in Urban Area and Development of Disaster Mitigation Strategy, Journal of Disaster Research, Vol. 4, No. 2, pp. 135-141, 2009, 査読有

⑥ 飛田潤、福和伸夫、倉田和己、ウェブ GIS とデータ相互運用技術による強震観測記録の統合利用環境、日本地震工学会論文集、第 9 巻、第 2 号、pp. 51-60、2009、査読有

⑦ 河合真梨子、福和伸夫、護雅史、飛田潤、地震ハザードの説明力向上のための地名活用に関する研究、日本建築学会構造系論文集、No. 636, pp. 409-416, 2009、査読有

⑧ 花井勉、石井渉、押田光弘、村尾秀己、福和伸夫：防災教材、振動論教材としての卓上 2 軸振動台とその模型の開発、日本建築学会技術報告集、第 15 巻、第 29 号、pp. 57-60、2009、査読有

⑨ 佐武直紀、福和伸夫、原徹夫、太田賢治、飯沼博幸：地震防災教育のための津波実験装置の開発、日本建築学会技術報告集、第 15 巻、第 29 号、pp. 321-324、2009、査読有

⑩ 高橋広人、林宏一、福和伸夫、擬似経験的グリーン関数法を用いた強震動予測、応用地質技術年報、No. 28, pp. 15-29、2008、査読無

⑪ 川端寛文、福和伸夫、飛田潤、護雅史、災害被害を軽減する国民運動をめざす地方自治体の誘導事業に関する考察、地域安全学会論文集、No. 10, pp. 205-214、2008、査読有

⑫ 倉田和己、福和伸夫、飛田潤、効果的な防災意識啓発を支援するための WebGIS 開発、地域安全学会論文集、No. 10、pp. 293-300、2008、査読有

⑬ 廣野衣美、牧原慎一郎、福和伸夫、飛田潤、護雅史、小島宏章、多点多成分振動観測記録の効果的な分析を支援する動画ア

プリケーションの開発、日本建築学会技術報告集、第 28 号、pp. 423-428、2008、査読有

⑭ 新井伸夫、福和伸夫、佐枝一史、沢田孝、坂上寛之、地震防災啓発ラジオ番組の実践とその評価、災害情報、No. 6、pp. 119-126、2008、査読有

⑮ 酒入行男、山岸秀之、中田信治、花井勉、福和伸夫、ほか 3 名、家具転倒防止対策促進のための振動実験・シミュレーションウェブの作成、日本建築学会技術報告集、第 26 号、pp. 463-468、2007、査読有

⑯ 高橋広人、福和伸夫、鈴木康弘、海津正倫、飛田潤、地形改変の進んだ丘陵地における強震動予測のための表層地盤モデルの構築、日本建築学会構造系論文集、第 618 号、pp. 33-39、2007、査読有

⑰ 福和伸夫、坂上寛之、花井勉、高橋広人、飛田潤、鈴木康弘、耐震化を促進するための地域防災力向上シミュレータ、日本地震工学会論文集 第 7 巻、第 4 号、pp. 5-22、2007、査読有

⑱ 倉田和己、福和伸夫、飛田潤、耐震化促進 e ラーニングのための自然言語インターフェース開発、日本建築学会技術報告集、第 25 号、pp. 331-336、2007、査読有

⑲ 鶴田庸介、福和伸夫、耐震・振動論学習のための能動型振動シミュレーション教材の開発、日本建築学会技術報告集、第 25 号、pp. 327-330、2007、査読有

[学会発表] (計 51 件)

[図書] (計 1 件)

[その他]

<http://www.sharaku.nuac.nagoya-u.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福和 伸夫 (FUKUWA NOBUO)

名古屋大学・大学院環境学研究科・教授
研究者番号：20238520

(2) 研究分担者

飛田 潤 (TOBITA JUN)

名古屋大学・大学院環境学研究科・准教授
研究者番号：90217521

護 雅史 (MORI MASAFUMI)

名古屋大学・大学院環境学研究科・准教授
研究者番号：40447842

小島 宏章 (KOJIMA HIROAKI)

名古屋大学・大学院環境学研究科・助教
研究者番号：40402557

(3) 連携研究者

飯場 正紀 (IIBA MASANORI)

(独) 建築研究所・構造研究グループ長
研究者番号：40344006

宮腰 淳一 (MIYAKOSHI JUNICHI)

清水建設 (株)・技術研究所・主任研究員
研究者番号：00393570