

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：13201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24620003

研究課題名(和文) 高等植物の生活環と重力 - 宇宙植物工場の基礎 -

研究課題名(英文) Life cycle of higher plants and gravity - Basis for developing a plant factory in space -

研究代表者

唐原 一郎 (Karahara, Ichirou)

富山大学・大学院理工学研究部(理学)・教授

研究者番号：60283058

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：宇宙での植物栽培は長期の有人宇宙活動を支えるために必須であり、これを成功させるためには、植物の生活環に重力が与える影響について明らかにしていく必要がある。しかし特に、生殖生長に関してはほとんどわかっていないため、その手がかりを得るため、まず過重力刺激を与えたシロイヌナズナ花芽のトランスクリプトーム解析を行った。その結果、花粉の発芽・伸長や、種子の物質貯蔵に影響を及ぼす可能性のある遺伝子発現が変化することが示された。また、宇宙試料の非破壊観察を念頭に置き、X線CT法を用いた三次元観察の条件検討を行った。また長期間の過重力を与えて植物を栽培する装置の開発・改良と、これを用いた実験系の確立を進めた。

研究成果の概要(英文)：Developing a successive plant-cultivation system in space environment is crucial to secure a stable food supply in a long-term space exploration. It is necessary to clarify effects of altered gravity on the reproductive processes of plants to successfully develop such a cultivation system in space. Effects of gravity, on various processes of life cycle of plants, particularly on the reproductive phase, are still largely unknown. As a first step to clarify which and how physiological process in plant's reproductive phase is affected in space environment, transcriptome analysis of floral buds of hypergravity-treated arabidopsis plants was performed. In addition, experimental conditions for X-ray micro-CT observation of plant samples were optimized in preparation for observing samples obtained by space experiments. Further, an apparatus needed for long-term plant cultivation under hypergravity was developed and experimental conditions for such experiments were optimized.

研究分野：植物形態学，植物生理学

キーワード：重力 シロイヌナズナ 生活環

1. 研究開始当初の背景

植物は水中から陸上に進出した後、浮力がなくなり見かけ上増加した重力に適應するため、植物はリグニン合成能力を獲得し、体に機械的強度を与える支持組織を発達させ、樹木へと進化した。重力は植物の生活環を通じて常に影響を及ぼす。しかし全生活環の観点から見ると、植物の生理基盤に重力が与える影響について明らかになっていることは、重力屈性や抗重力反応を含めまだ一部に過ぎない。植物の生理基盤に地球の重力がどのように関わっているかをあぶり出すことは、陸上植物の進化を探る観点から重要である。他方、人類の宇宙進出に備えるための、長期の有人宇宙活動を支える生命維持システムの一部として、食物・大気再生・建築資材などの様々な局面で植物栽培が必須である。月面・火星・宇宙船などにおける、地球とは異なる重力環境で地球の植物・作物を栽培していけるのかを明らかにしていくことは必須の課題である。そのために、地球と異なる重力環境が植物の生活環に与える影響を丹念に検証し、地球と異なる重力環境に植物が適應する能力を明らかにしていくことが必須である。

2. 研究の目的

pin 突然変異体の表現型からも推測されるように、過重力により花芽においてオーキシン動態が変化するなら、花芽形成をはじめとする生殖生長が影響を受ける可能性がある。しかし特に、異なる重力環境が生殖生長に与える影響に関してはほとんどわかっていなかった。まずその手がかりを与えるためには、遺伝子発現の解析が有効であり、そのためには、短期の過重力刺激も有用である。そこで短期の過重力刺激が花芽における遺伝子発現に与える影響を調べた。一方で、長期間の過重力を与えて植物を栽培するために、特許を取得した長期間の過重力を与えて植物を栽培するための「植物培養方法及び植物培養装置」(基盤研究(C), H21~H23)を実際に作製するとともに、装置そのものの改良と栽培条件の検討を進めた。

化学固定・包埋し切片を作製する従来の形態観察手法では固定時の人工産物発生が避けられない上、基本的に二次元の形態情報に限られる。特に乾燥種子の観察への適用には向かない。宇宙ステーションにおいて植物に生活環を全うさせる Seed to Seed 実験で得られた貴重な植物試料の形態観察にこれを用いるのは極力避けたい。そこで、非破壊的な観察により三次元的な情報が得られる X 線マイクロ CT 法に注目した。植物組織の観察についてはこれまで余り行われておらず、まずはこれを用いた組織形態の可視化および解析の方法論の確立に取り組んだ。

3. 研究の方法

短期の過重力刺激が花芽における遺伝子

発現に与える影響については、シロイヌナズナ (*Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh.) の Col-0 株の花茎が 5 mm の長さになった植物体を選び、遠心機を用いて 25 の条件で暗所で 300 G の過重力を茎から根の方向に向けて 24 時間与えた .1 G 対照区としては、25 の条件で暗所で 24 時間静置した。これらの植物を用いてトランスクリプトーム解析を行った。

長期間の過重力を与えて植物を栽培する実験としては、特許を取得した装置の開発を進めるとともに、市販の遠心装置も用いた実験もすすめた。20-23 日齢の植物体を、光を照射しながら 10 G の過重力環境下で 10 日間生育させ、花茎の横断切片を観察した。

X 線マイクロ CT 法を用いた解析については、大型放射光施設 SPring-8 を利用して、試料観察のための X 線のエネルギーなど撮影条件について検討した。

4. 研究成果

短期の過重力刺激が花芽の遺伝子発現に与える影響の解析については、ペクチン修飾に関わると推測されるベータ 1,3 グルコナーゼ遺伝子の発現上昇およびベータガラクトシダーゼやアミノ酸輸送に関わる遺伝子の発現低下が見られ、花粉の発芽・伸長に影響を及ぼす可能性が示唆された一方で、アスパラギン酸アミノ基転移酵素の発現上昇および細胞壁インペルターゼやショ糖トランスポーター遺伝子の発現低下が見られ、プロテインボディの発達やデンプン蓄積にも影響を及ぼす可能性も示唆された。

長期過重力栽培が花茎における組織形態に与える影響を調べた結果、予備的であるが過重力環境下においては、多くの組織で細胞が拡大生長することで花茎が太くなるとともに、木部の形態に影響を及ぼす可能性が示唆された。

X 線マイクロ CT 法を用いた解析については、実生内部については通気空間が可視化できること、また乾燥種子においては通気空間に加えて、細胞の輪郭も可視化できることが示された。

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)

[雑誌論文](計 9 件)*責任著者

*Karahara I, The History and Current Status of Space Life Sciences in Asia - A report of the 10th Asian Microgravity Symposium 2014 Seoul -. Biological Sciences in Space, 29, 8-11 (2015), 査読無

Tamaoki, D., *Karahara I, Nishiuchi, T., Wakasugi, T., Yamada, K., Kamisaka, S.

Effects of hypergravity stimulus on the global gene expression during reproductive growth in arabidopsis. *Plant Biol. (Stuttg.)*, 16, 179-186 (2014). 査読有

Yukiyoshi, K. , *Karahara I Role of ethylene signalling in the formation of constitutive aerenchyma in primary roots of rice. *AoB Plants*, 6, plu043 (2014), 査読有

Karahara I, Kang B-H: "High-pressure freezing and low-temperature processing of plant tissue samples for electron microscopy" *Methods Mol Biol* 1080. 147-157 (2014), 査読無

Hoson T, Soga K, Kazuyuki W, Takahashi H, Karahara I, Yano S, Tanigaki F, Shimazu T, Kasahara H, Masuda D, Kamisaka S: "Growth stimulation in inflorescences of an Arabidopsis tubulin mutant under microgravity conditions in space" *Plant Biology* 16. 91-96 (2013), 査読有

*Karahara I: "Earthquake and plant root researches II" *Plant Root* 7. 1-4 (2013), 査読無

Yamauchi D, Tamaoki D, Hayami M, Takeuchi M, Karahara I, Sato M, Toyooka K, Nishioka H, Terada Y, Uesugi K, Takano H, Kagoshima Y, Mineyuki Y: "Micro-CT observations of the 3D distribution of calcium oxalate crystals in cotyledons during maturation and germination in *Lotus miyakojimae* seeds." *Microscopy* 62. 353-361 (2013), 査読有

Yano S, Kasahara H, Masuda D, Tanigaki F, Shimazu T, Suzuki H, Karahara I, Soga K, Hoson T, Tayama I, Tsuchiya Y, Kamisaka S: "Improvements in and actual performance of the Plant Experiment Unit onboard Kibo, the Japanese experiment module on the international space station" *Adv Space Res* 51. 780-788 (2013), 査読有

Yamauchi D, Tamaoki D, Hayami M, Uesugi K, Takeuchi A, Suzuki Y, Karahara I, Mineyuki Y: "Extracting tissue and cell outlines of Arabidopsis seeds using refraction contrast X-ray CT at the SPring-8 facility" *AIP Conference Proceedings* 1466. 237-242 (2012), 査読有

〔学会発表〕(計 39 件)

唐原一郎, 村本雅樹, 篠原弘徳, 玉置大

介, 久米篤, 蒲池浩之, 西内巧, 矢野幸子, 谷垣文章, 嶋津徹, 笠原春夫, 曾我康一, 吉田久美, 神阪盛一郎, 宇宙における植物の生活環, 第 29 回宇宙環境利用シンポジウム, (20150124-25), 相模原

北宅善昭, 東谷篤志, 唐原一郎, 高橋秀幸, 保尊隆享, 平井宏昭, 矢野幸子, 宇宙における植物栽培・実験装置およびその制御・解析システム, 第 29 回宇宙環境利用シンポジウム, (20150124-25), 相模原

北宅善昭, 東谷篤志, 唐原一郎, 高橋秀幸, 保尊隆享, 平井宏昭, 矢野幸子, 宇宙植物実験における栽培・実験装置およびその制御・解析システム, 第 15 回宇宙科学シンポジウム, (20150106-7), 相模原

藤田知道, 蒲池浩之, 唐原一郎, 久米篤, 坂田洋一, 高林厚史, 田中歩, 長嶋寿江, 西山智明, 橋本博文, 長谷部光泰, 半場祐子, 日渡祐二, 松田修, 本村泰三, 矢野幸子, コケ植物を用いた宇宙実験に向けて: スペース・モスの活動報告, 第 29 回宇宙環境利用シンポジウム, (20150124-25), 相模原

久米篤, 蒲池浩之, 半場祐子, 竹村香里, 唐原一郎, 長嶋寿江, 矢野幸子, 藤田知道, コケ植物を用いた宇宙実験に向けて: ヒメツリガネゴケの過重力応答, 第 29 回宇宙環境利用シンポジウム, (20150124-25), 相模原

Karahara, I., Ohara, K., Katayama, M., Kume, A., Kamachi, H., Kamisaka, S., Effects of long-term hypergravity treatment on the development of arabidopsis plants, 10th Asian Microgravity Symposium, (20141028-31), Seoul, South Korea.

Kamachi, H., Karahara, I., Kume, A., Nagashima, H., Hanba, Y., Takemura, K., Fujita, T., Effects of hypergravity treatment on the growth of the moss *Physcomitrella patens*, The 17th annual moss international conference (Moss 2014), (20140925-28), Beijing, China.

篠原弘徳, 唐原一郎, 村本雅樹, 玉置大介, 久米篤, 井上弘, 神阪盛一郎, 長期間の過重力環境がシロイヌナズナの花茎における組織形態に与える影響, 日本宇宙生物学会第 28 回大会, (2014.9.22-23), 大阪

村本雅樹, 唐原一郎, 矢野幸子, 谷垣文章, 嶋津徹, 笠原春夫, 神阪盛一郎, 宇宙環境下で生育したシロイヌナズナの花茎先端部の形態学的解析, 日本宇宙生物学会第 28 回大会, (2014.9.22-23), 大阪

唐原一郎, 小原和樹, 片山瑞紀, 松倉一郎, 久米 篤, 蒲池浩之, 神阪盛一郎, 長期間の過重力環境がシロイヌナズナのシュートおよび根の発達に与える影響, 日本植物学会第 78 回大会, (20140912-14), 川崎

唐原一郎, 山内大輔, 峰雪芳宣, X 線マイクロ CT を用いた植物の根および種子の 3D イメージング, 日本植物学会第 78 回大会シンポジウム「細胞の機能を 3D イメージングで観る」, 明治大学生田キャンパス(神奈川県川崎市).

篠原弘徳, 唐原一郎, 村本雅樹, 玉置大介, 久米 篤, 井上 弘, 神阪盛一郎, 長期間の過重力環境がシロイヌナズナ花茎の組織形態に与える影響, 日本植物形態学会第 26 回大会, (20140911), 川崎

Karahara, I., Shinohara, H., Yamaguchi, T., Tamaoki, D., Kume, A., Inoue, H., Kamisaka, S., Effects of long-term hypergravity treatment on the development of inflorescence stems of arabidopsis, Proceedings of the 40th COSPAR (Committee on Space Research) Scientific Assembly, (2 - 10 August 2014), Moscow, Russia.

村本雅樹, 唐原一郎, 矢野幸子, 谷垣文章, 嶋津 徹, 笠原春夫, 神阪盛一郎, 宇宙環境下で生育したシロイヌナズナの花茎先端部の解剖学的解析, 北陸植物学会 2014 年度大会, (20140629), 福井

後藤圭太, 唐原一郎, 須藤宇道, 栗林剛正, 矢野幸子, 谷垣文章, 嶋津 徹, 笠原春夫, 上杉健太郎, 竹内晃久, 鈴木芳生, 玉置大介, 山内大輔, 峰雪芳宣, 神阪盛一郎, 国際宇宙ステーション「きぼう」実験棟で得られたシロイヌナズナ種子の X 線マイクロ CT による三次元観察, 第 55 回日本植物生理学会年会, (20140318-20), 富山大学

栗林剛正, 唐原一郎, 山内大輔, 玉置大介, 上杉健太郎, 竹内晃久, 鈴木芳生, 峰雪芳宣, X 線マイクロ CT によるシロイヌナズナ胚の器官および細胞の形態の三次元解析, 第 55 回日本植物生理学会年会, (20140318-20), 富山大学.

松澤勇介, 坂東理史, 山内大輔, 玉置大介, 上杉健太郎, 峰雪芳宣, 唐原一郎, イネの一次根における通気組織形成初期の X 線マイクロ CT による非侵襲三次元観察, 第 55 回日本植物生理学会年会, (20140318-20), 富山大学.

Fukuda, A., Kuribayashi, T., Karahara, I., Yamauchi, D., Tamaoki, D., Uesugi, K.,

Takeuchi, A., Suzuki, Y., Mineyuki, Y., X-ray micro CT analysis of 3D cell geometry in hypocotyl root axis of seeds, 第 1 回ピコバイオロジー研究所国際シンポジウム, (20140107-20140108), 佐用町.

竹村香里, 蒲池浩之, 久米篤, 藤田知道, 唐原一郎, 半場祐子, 過重力下におけるヒメツリガネゴケの光合成能力と形態変化, 平成 25 年度近畿植物学会講演会, (20131207), 帝塚山大学.

福田安希, 栗林剛正, 唐原一郎, 山内大輔, 玉置大介, 上杉健太郎, 竹内晃久, 鈴木芳生, 峰雪芳宣: "X 線マイクロ CT によるシロイヌナズナ種子の細胞地図作製 – 幼根と胚軸の皮層細胞列の三次元解析-" 公益社団法人日本顕微鏡学会・関西支部「若手の会」設立記念講演会. (20131207-20131208). 大津

②松澤勇介, 坂東理史, 山内大輔, 玉置大介, 上杉健太郎, 峰雪芳宣, 唐原一郎, イネの一次根における通気組織形成初期の X 線マイクロ CT による非侵襲観察, 公益社団法人日本顕微鏡学会・関西支部「若手の会」設立記念講演会, (20131207-20131208), 大津

②栗林剛正, 福田安希, 唐原一郎, 山内大輔, 玉置大介, 上杉健太郎, 竹内晃久, 鈴木芳生, 峰雪芳宣: "X 線マイクロ CT によるシロイヌナズナの胚における細胞構築の三次元解析" 日本顕微鏡学会第 57 回シンポジウム. (20131115-20131116). 名古屋

③栗林剛正, 唐原一郎, 山内大輔, 玉置大介, 上杉健太郎, 竹内晃久, 鈴木芳生, 峰雪芳宣: "X 線マイクロ CT によるシロイヌナズナ胚における細胞構築の三次元解析 - 従来の固定・包埋による光学および電子顕微鏡観察と X 線 CT 観察の比較-" 生理研研究会「電子顕微鏡機能イメージングの医学・生物学への応用」. (20131113-20131114). 岡崎

④峰雪芳宣, 唐原一郎, 紅朋浩, 竹内美由紀, 中井朋則, 堀尾哲也, 栗林剛正: "電子線トモグラフィーを使った植物細胞表層のナノマシンの解析" 生理研研究会「電子顕微鏡機能イメージングの医学・生物学への応用」. (20131113-20131114). 岡崎

⑤Karahara I, B.T., Matsuzawa Y, Tamaoki D, Abe J, Yamauchi D, Uesugi K, Mineyuki Y, Non-destructive imaging of aerenchyma development in the primary root of rice using X-ray Computed Tomography, 11th Conference of the International Society for Plant Anaerobiosis, (October 7-11, 2013), Los Banos, Philippines.

⑳後藤圭太, 唐原一郎, 須藤宇道, 栗林剛正, 矢野幸子, 谷垣文章, 嶋津 徹, 笠原春夫, 上杉健太郎, 竹内晃久, 鈴木芳生, 玉置大介, 山内大輔, 峰雪芳宣, 神阪盛一郎: "宇宙環境下で得られたシロイヌナズナの種子の X 線マイクロ CT による非侵襲観察" 日本宇宙生物科学会第 27 回大会. (20130927-20130928). つくば市

㉑北宅善昭, 唐原一郎, 高橋秀幸, 矢野幸子, 保尊隆享, 植物栽培・実験装置およびその制御・解析システム, 日本宇宙生物科学会第 27 回大会, (20130927-20130928), つくば市.

㉒竹村香里, 蒲池浩之, 久米篤, 藤田知道, 唐原一郎, 半場祐子, 過重力下におけるヒメツリガネゴケの光合成能力と形態変化, 日本植物学会第 77 回大会, (2013 年 9 月 13 日~15 日), 北海道大学, 札幌.

㉓栗林剛正, 福田安希, 唐原一郎, 山内大輔, 玉置大介, 上杉健太郎, 竹内晃久, 鈴木芳生, 峰雪芳宣, X 線マイクロ CT によるシロイヌナズナの胚の非侵襲観察 - 幼根及び胚軸における細胞構築の三次元解析 -, 日本植物形態学会第 25 回大会, (2013.9.12), 札幌.

㉔松澤勇介, 唐原一郎, 坂東理史, 山内大輔, 玉置大介, 上杉健太郎, 峰雪芳宣, イネの一次根における通気組織形成初期の X 線マイクロ CT による三次元観察, 日本植物形態学会第 25 回大会, (2013.9.12), 札幌

㉕Yashiro, U., Karahara, I., Yano, S., Tamaoki, D., Tanigaki, F., Shimazu, T., Masuda, D., Kasahara, H., Kamisaka, S., Life cycle of arabidopsis in the international space station - Growth direction of the inflorescence stems in the presence of light under microgravity -, 34th Annual International Gravitational Physiology Meeting, (20130623-28), Toyohashi, Japan.

㉖山内大輔, 福田安希, 玉置大介, 佐藤繭子, 豊岡公德, 上杉健太郎, 唐原一郎, 峰雪芳宣, X 線マイクロ CT によるミヤコグサ子葉における細胞間隙形成の 3D 観察, 第 54 回日本植物生理学会年会, (20130321-23), 岡山.

㉗唐原一郎, 加圧凍結法を用いたタマネギ子葉表皮細胞の分裂準備帯における膜系の解析 - 加圧凍結法入門 -, 植物電子顕微鏡若手ワークショップ 2012, (20130115-16), 横浜

㉘唐原一郎, 矢代宇視, 須藤宇道, 栗林剛正, 玉置大介, 矢野幸子, 谷垣文章, 嶋津 徹,

笠原春夫, 笠原宏一, 曾我康一, 保尊隆享, 上杉健太郎, 竹内晃久, 鈴木芳生, 山内大輔, 峰雪芳宣, 神阪盛一郎: "国際宇宙ステーション「きぼう」におけるシロイヌナズナの生活環 - 生殖成長に関する解析 -" 第 26 回日本宇宙生物科学会. (20120927-20120929). 徳島市

㉙唐原一郎, 峰雪芳宣, 加圧凍結法を用いた植物細胞の分裂準備帯の微細構造解析 - シンポジウム「加圧凍結法が切り拓く世界」 -, 日本植物学会第 76 回大会シンポジウム, (20120915-17), 兵庫県立大学姫路書写キャンパス.

㉚栗林剛正, 唐原一郎, 玉置大介, 上杉健太郎, 竹内晃久, 鈴木芳生, 山内大輔, 峰雪芳宣, X 線コンピュータトモグラフィによるシロイヌナズナの胚の非侵襲観察, 日本植物形態学会第 24 回大会, (20120914), 姫路.

㉛Karahara I.: "Life cycle of Arabidopsis under microgravity condition in the International Space Station" Plant Biology Congress 2012. (20120729-20120803). Freiburg, Germany

㉜Karahara I., Suto T, Yashiro U, Yamaguchi T, Tamaoki D, Yano S, Tanigaki F, Shimazu T, Kasahara H, Kasahara H, Soga K, Hoson T, Kamisaka S: "Life cycle of Arabidopsis thaliana under microgravity condition in the International Space Station Kibo module" 39th COSPAR Scientific Assembly. (20120713-20120721). Mysore, India

㉝峰雪芳宣, 山内大輔, 玉置大介, 上杉健太郎, 竹内晃久, 鈴木芳生, 唐原一郎, X 線 CT を使ったシロイヌナズナ種子の細胞配列解析方法の検討, 日本顕微鏡学会第 68 回学術講演会, (20120514-16), つくば市.

{ 図書 } (計 6 件)

Noguchi, T., Kawano, S., Tsukaya, H., Matsunaga, S., Sakai, A., Karahara, I., Hayashi, Y. *Atlas of Plant Cell Structure*. Springer, Tokyo (2014), 202.

Mineyuki, Y., Fukuda, A., Yamauchi, D., Karahara, I. Cell geometry in a whole Arabidopsis seed visualized by X-ray micro-CT. In *Atlas of Plant Cell Structure*. Edited by Noguchi, T., Kawano, S., Tsukaya, H., Matsunaga, S., Sakai, A., Karahara, I. and Hayashi, Y. pp. 184-185. Springer, Tokyo (2014).

Karahara, I., Staehelin, L.A., Mineyuki,

Y. Ultrastructural appearance of nuclei at different cell stages in high pressure frozen onion epidermal cells. In *Atlas of Plant Cell Structure*. Edited by Noguchi, T., Kawano, S., Tsukaya, H., Matsunaga, S., Sakai, A., Karahara, I. and Hayashi, Y. pp. 2-3, Tokyo (2014).

Karahara, I., Murata, T., Staehelin, L.A., Mineyuki, Y. Ultrastructural appearance of microtubules in high-pressure frozen onion epidermal cells. In *Atlas of Plant Cell Structure*. Edited by Noguchi, T., Kawano, S., Tsukaya, H., Matsunaga, S., Sakai, A., Karahara, I. and Hayashi, Y. pp. 112-113. Springer, Tokyo (2014).

Karahara, I., Mineyuki, Y. Microtubules and their end structures in high-pressure frozen onion epidermal cells visualized by electron tomography. In *Atlas of Plant Cell Structure*. Edited by Noguchi, T., Kawano, S., Tsukaya, H., Matsunaga, S., Sakai, A., Karahara, I. and Hayashi, Y. pp. 114-115, Tokyo (2014).

唐原一郎 電子線トモグラフィー. In 植物細胞壁. Edited by 西谷和彦 and 梅澤俊明 pp. 275-276. 講談社サイエンティフィック, 東京 (2013).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

唐原一郎 (KARAHARA ICHIROU)
富山大学・大学院理工学研究部 (理学)・
教授
研究者番号 : 60283058

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

峰雪芳宣 (MINEYUKI Yoshinobu)
兵庫県立大学・生命科学研究科・教授
研究者番号 : 30219703

峰雪芳宣 (MINEYUKI Yoshinobu)
西内 巧・金沢大学学際科学実験センタ
ー・准教授
研究者番号 : 20334790