

令和元年6月17日現在

機関番号：17601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K14945

研究課題名(和文)未発根カルス苗を用いたスギ挿し木再造林の超低コスト化への挑戦

研究課題名(英文)Challenge to low-cost reforestation by utilizing callused (unrooted) sugi cuttings

研究代表者

伊藤 哲 (Ito, Satoshi)

宮崎大学・農学部・教授

研究者番号：00231150

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：再造林の低コスト化に向けて、未発根カルス苗の利用可能性を検証した。まず、挿し穂に形成されるカルスが根の原基ではなく、植物ホルモン生成部位として発根の前駆的な役割を果たしている可能性を認めた。次に、夏季植栽で苗を活着させるには植栽後3か月で1.345g以上の根量に到達させる必要があること、期首根乾重が0.1g未満の苗は春季植栽でも活着率が低いものの、それ以上の根量があれば摘葉で側枝重を0.65g以下に減らすことで高い活着率が得られること、根系未発達苗を活着させる手段としてペーパーポットが有望であることを明らかにした。また、3週間遡った積算土壌含水率が苗の生死をよく説明できることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義：スギ挿し木の発根メカニズムとして、これまで未解明であったカルスの役割について、カルスが必ずしも根の原基ではないことを確認するとともに、発根の前駆的な役割を持つ可能性が高いことを、内生植物ホルモンの定量によって明らかにすることができた。これにより、挿し木の発根メカニズムのさらなる解明や発根制御技術の発展に寄与できる。

社会的意義：カルス苗に代表される少根苗の植栽後の活着条件を明らかにし、活着率を高める摘葉やペーパーポット活用の可能性を示すことができた。この成果は今後の効率的かつ安価な苗木生産技術の確立を通して、苗の安定供給や確実な再造林に寄与することが期待される。

研究成果の概要(英文)：We examined usefulness of callused (unrooted) sugi cuttings for low-cost reforestation. We found a possibility that callus has a role of precursor rather than primordia of rooting by generating cytokinin and gibberellin. For establishment of callused cuttings after outplanting, we found that 1) reaching 1.345g of root mass 3 months after summer outplanting is the minimum requirement for survival of cuttings, 2) the initial root mass of 0.1g is the threshold for the survival of cuttings after spring outplanting, 3) defoliation (reducing branch mass to being less than 0.65g) is effective to raise the survival of callused cuttings that have roots more than 0.1g, and 4) paper pots as an alternative to multi-cavity containers would be useful for utilizing cuttings with undeveloped roots. Further, analyses based on irrigation experiments suggested that the cumulative soil water content calculated for preceding 3 weeks is a good indicator explaining the survival of outplanted cuttings.

研究分野：造林学

キーワード：低コスト再造林 コンテナ苗 挿し木 植物ホルモン 根量 水耕・ミスト栽培

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 戦後の一斉造林地が伐期を迎えつつある一方、林業を取り巻く経済状況は厳しい。このような状況下で再造林を推進していくためには、再造林の低コスト化が必須である。

(2) 低コスト再造林の柱の一つにコンテナ苗の活用がある。コンテナ苗は通年植栽が可能であることから、伐採・植栽一貫作業による大幅なコスト削減を可能にする上で期待が高いが、苗の単価が裸苗に比べて高いこと、重量が重く運搬に問題があること、成長速度や夏季植栽時の裸苗に対する優位性が限定的であることなどの課題が指摘されており、より軽量で安い新たな種苗の開発が強く望まれていた。

(3) 一方、コンテナ苗導入初期(2010年前後)にコンテナ苗が発根不十分な状態で植栽され、通常苗と同等の活着率を示した事例があった。この事例から、カルスが形成され発根準備が整った「未発根カルス苗」であれば、一般的な植栽には十分使用できる可能性があり、短期間でコンテナ苗よりも軽量かつ安価な苗を生産できる可能性が示唆された。ただし、これを現場に適用できる技術に発展させるには、効率的なカルス形成の促進、植栽後に活着可能な苗のカルス形成・根系発達状態の判定技術、および実際の造林現場における適用可能範囲等を明らかにする必要がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、低コスト再造林の鍵を握るコンテナ苗の弱点を克服し、再造林の低コスト化および苗木の安定供給を実現するために、「未発根カルス苗」の育苗および造林技術を開発することである。具体的には、以下の項目を当初目的として設定した。

- (1) 栽培方法の改良により効率的なカルス形成誘導方法を開発する。
- (2) 植栽(山出し)に最も適したカルス形成・根系発達状態とその判定手法を開発する。
- (3) 現地植栽試験でカルス苗を用いた再造林の可能性を検証し、適用条件を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 効率的なカルス苗育成方法の開発

スギ(一部ヒノキ)の挿し穂を用いて、水耕栽培やミスト灌水等の栽培条件を変えて、効率的なカルス形成を誘導する実験を行った。また、秋に採穂したスギ挿し穂に低温処理(ハードニング)を行い、水耕栽培時の発根促進効果を検証した。さらに、カルス形成から発根に至るプロセスを科学的に解明するために、カルス形成・発根過程における挿し穂サンプルの解剖学的観察および内生植物ホルモン濃度の計測を行った。

(2) 適切なカルス形成状態とその判定手法の開発

他のプロジェクトで水耕栽培およびミスト灌水によるスギ挿し穂の発根誘導が可能となり、従前の露地育苗と違って目視でカルス形成・発根状態を逐次確認することが可能となった。そこで、本課題では野外植栽時の活着に適したカルス形成・根系発達段階を解明することを主目的に設定し、異なる根系発達状態の苗をポットおよび路地に植栽して、同時に植栽した普通裸苗およびコンテナ苗と活着および成長を比較した。また、苗の活着を左右する根量を明らかにするために、実験に使用した苗を掘り取って期間別の重量を計測し、活着可能となる最小根量を分析した。

また、未発根カルス苗の活着を促進する方策として摘葉による蒸散器官量の調節に着目し、発根状態の異なる苗に摘葉処理を施した露地植栽実験を行い、活着を左右する物質分配(葉量・根量比等)を分析した。

さらに、根系未発達でも培地ごと植栽可能なペーパーポット苗に着目し、ペーパーポットで育苗した苗の現地植栽試験を実施して、植栽後の苗の成長、根系発達およびペーパーポットの腐朽プロセスを調査・分析した。

(3) 植栽適用可能条件の解明

ポット苗を用いた灌水実験を行い、実験期間中の土壌水分の挙動および苗の樹勢の変化を調査した。これらのデータを統計的に分析することで、苗の生残・枯死を左右する土壌水分指標を抽出するとともに、苗種による活着率の違いを明瞭に推定できる土壌水分指標を検索した。

4. 研究成果

(1) 効率的なカルス苗育成方法の開発

a. 水耕栽培および低温処理によるカルス形成・発根促進

水耕栽培によるカルス形成・発根誘導試験の結果、水耕栽培では、水温や曝気による溶存酸素の制御よりも地上部(水面上)の温湿度環境が挿し穂の生残に大きく影響することが明らかとなった。また、水耕栽培およびミスト栽培により、通常露地栽培と同等またはそれ以上にスギ挿し穂のカルス形成および発根が誘導され、カルス形成・発根プロセスを目視で逐次確認することが可能となった。また、低温処理(ハードニング)によってマアカのカルス形成は促進できたものの、発根促進は困難であり、マアカ以外の系統ではカルス形成促進効果も認められなかった。したがって、カルス形成および発根には採穂時のホルモンバランスによる制限が強く作用していると考えられた。

水耕栽培およびミスト灌水で発根させた根量の異なる挿し穂に、根切りの有無の処理を設けてコンテナに秋移植し、その後の根の発達状況を6か月間観察した。その結果、根量が0.5g以下の苗および根切りによって0.5g以下に根量を抑えた苗は、移植時および移植3か月後までは根切りをしない苗よりも有意に根量が少なかったが、移植半年後にはすべて同等の根量まで発達することを確認した。また、水耕およびミスト栽培で発生する根は径が大きく脆い白色根であったが、6か月後には十分な木化根が充実することを確認した。

b. カルス形成・発根プロセスの解剖学的解明

水耕栽培した挿し穂の発根部位を解剖学的に観察した結果、根は必ずしもカルスから発生せず、水面上のカルス以外の部位からの発根がしばしば認められること、および根がカルスを經由せず、木部細胞内に放射状に維持されてきた分裂組織が根の原基となることを明らかにした。(図-1)

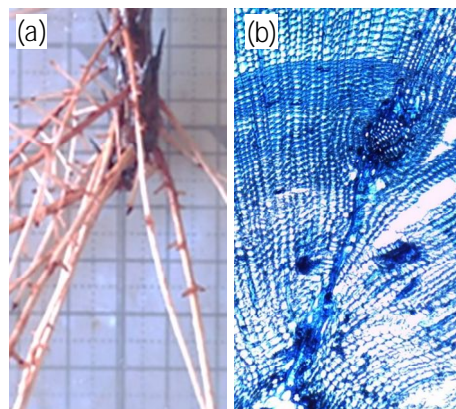


図-1 水耕栽培により発根したスギ挿し穂(a)と、発生した根が連結する水耕栽培以前に形成された年輪内の組織(b)

c. カルス形成・発根過程における内生植物ホルモンの影響

2016年度の実験で、カルス形成前、形成後、および発根後の試料の内生ホルモン量を分析した結果、カルスでは他の試料でほとんど検出できない活性型のサイトカイニン及びジベレリンが大量に生成されており、これらが最終的な発根を誘導している可能性が示唆された。さらに、挿し木試料内の植物ホルモン分布において、カルス発生場所から離れるに連れて含有量が低下することを明らかにした。

2017年度には、ヒノキの挿し穂の水耕栽培を行い、カルス形成経過と挿し穂の内生ホルモン量との関係について調査した。その結果、カルス形成を早期に開始し、多量のカルスを形成した挿し木ほどサイトカイニン(ゼアチン)量が少ない傾向を示した(図-2(a))。オーキシシン量は、このような関係は認められずほぼ一定であった。組織培養ではサイトカイニンに対するオーキシシンの含有率が高いほど根が形成される。以上の結果から、カルス形成が発生する根の原基ではなく、発根を促進するホルモン生成および各種植物ホルモンの含有率を制御する役割を果たしている可能性が高いことが示された(図-2)

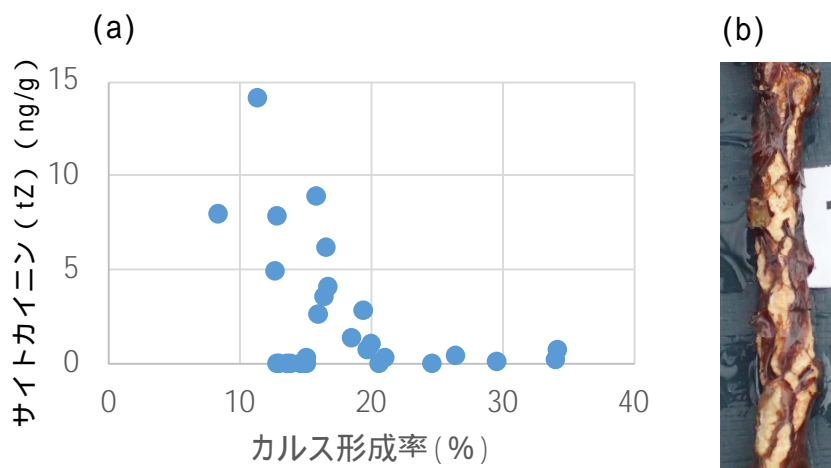


図-2 ヒノキ挿し穂のカルス形成率とサイトカイニン量との関係(a)と、ヒノキ挿し穂枝部でのカルス形成の様子(b)

(2)適切なカルス形成状態とその判定手法の開発

a. 苗の活着を可能にする必要最小根量

夏季植栽を行ったコンテナ苗および裸苗の実験試料の1生育期終了時の根重を樹勢と関連付けて分析し、夏植栽時に苗の活着・枯死を分ける根量を明らかにした。その結果、植栽後3か月で根量が1.345g以上に到達しない苗は植栽後の生残が見込めないこと、およびコンテナ苗であれば根量が1.345g以下でも半数が生存できることを明らかになった(図-3)

b. 摘葉による未発根カルス苗の活着促進

2016年度に、発根量の異なる挿し木裸苗をポットおよび路地に夏季植栽し、摘葉により葉量を調節して灌水、無灌水および自然降雨条件下で生育させ、樹勢および機構コンダクタンスの計測を行った。その結果、一定量の根系がある場合は摘葉による蒸散・給水機関バランスの調

節が夏季植栽時の活着に有効であるが、根量の少ないカルス苗では夏季植栽の活着率が低いことが示された。

夏季植栽試験に続いて、2017年度は水ストレスが比較的起きにくい春季に摘葉処理を施した植栽試験を行い、1生育期後の活着および苗の器官重量を調査した。その結果、少根苗・カルス苗（期首根乾重 < 0.1g）では春季植栽でも活着率が低く、摘葉により側枝重量を 0.85g 以下に抑えても活着率は 80% であった。これに対して、期首根乾量が十分（ 2.875g ）な普通苗の活着率は摘葉の有無にかかわらず 100% であった。中庸の根量の苗（0.1g < 期首根乾重 2.875g）では摘葉によって期首側枝重を 0.65g 以下に抑えることで 100% の活着率が得られた（図-4、図-5）。

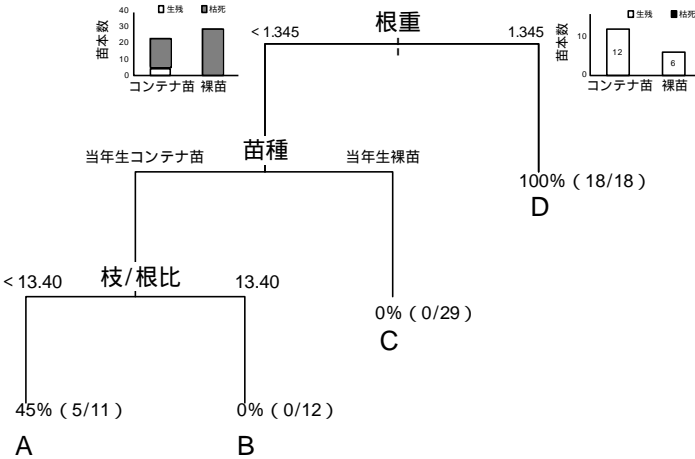


図-3 苗種および植栽1年後の苗の器官重量による生残率の決定木分析結果

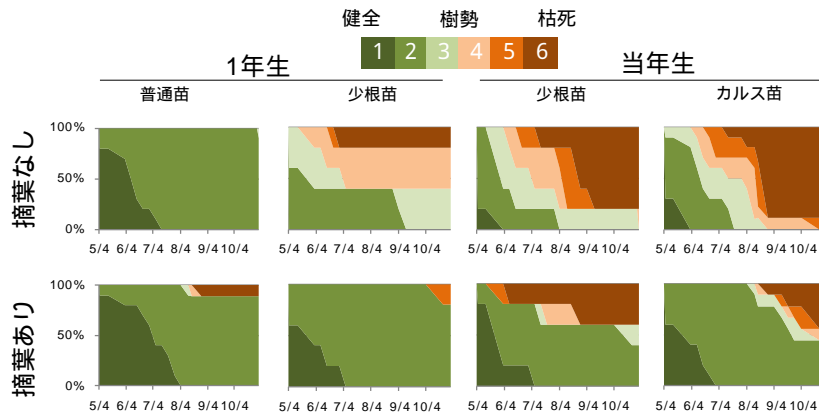


図-4 植栽時の根量および摘葉による苗の樹勢の変化

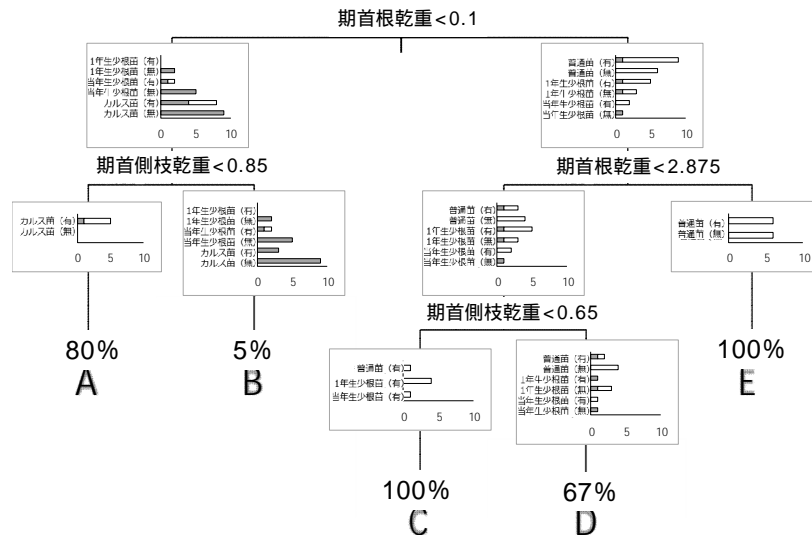


図-5 植栽時の根量・摘葉による苗の生残率の決定木分析結果

d. ペーパーポットで育苗した苗の根系発達とペーパーポットの腐朽プロセス

根系がある程度未発達でも根鉢が崩れることなく植栽可能なペーパーポット苗を試験植栽し、植栽後の根の発達やペーパーポットの腐朽過程を調査した。その結果、根系植栽2年後のペーパーポットは約20%程度しか普及していなかったものの、コンテナ苗と同等またはそれ以上の根量をポット外に発達させており、苗の活着や地上部の成長もコンテナ苗と同等もしくはそれ以上であることを確認した。これにより、少ない根量でも培地と一体化して苗を出荷できるペーパーポットが、育苗・山出しの両面で活用できる可能性が高いことを示すことができた。

(3) 植栽適用可能条件の解明

2016 度に行った灌水実験結果をもとに実験期間中のポット内土壌の含水率の変化を推定し、苗の枯死・生残を左右する土壌水分条件を一般化線形モデルを用いて検索した(図-6)。

その結果、土壌水分の様々な瞬時値、平均値、積算値のなかで、3週間遡った積算の含水率が苗の生残をよく説明できることを明らかにした。

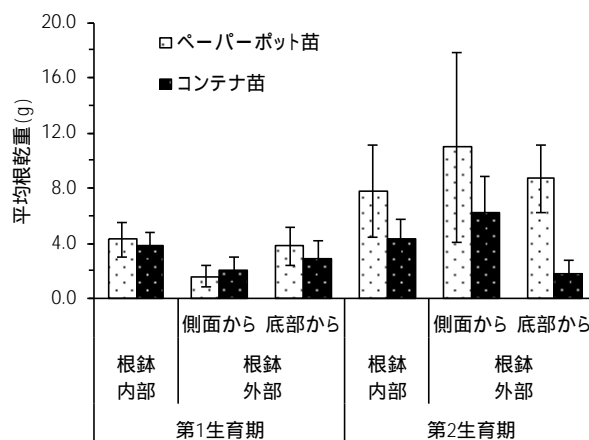


図-6 露地植栽したペーパーポット苗およびコンテナ苗の根量

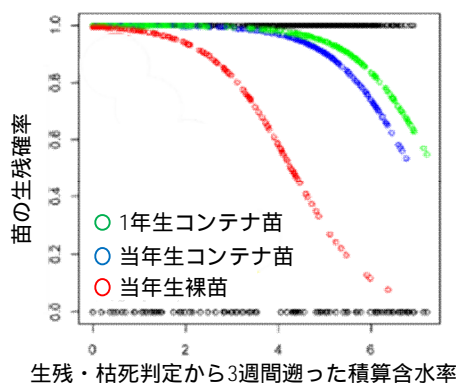


図-7 GLMによる生残確率の推定結果

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 3 件)

伊藤 哲、新保 優美、平田 令子、溝口 拓朗、異なる灌水条件下で夏季植栽したスギ挿し木コンテナ苗および裸苗の活着とその要因、日本森林学会誌、査読有、101 巻、2019、印刷中

伊藤 哲、低コスト再生林の全国展開に向けて - 研究の現場から -、山林、査読無、1586 巻、2016、2-11

新保 優美、平田 令子、溝口 拓朗、高木 正博、伊藤 哲、スギコンテナ苗は夏期植栽で本当に有利か? - 植栽時の水ストレスから1年後の活着・成長・物質分配までの比較 -、日本森林学会誌、査読有、98 巻、2016、151-187
<https://doi.org/10.4005/jjfs.98.151>

[学会発表](計 17 件)

伊藤 哲、古里 和輝、平田 令子、長倉 良守、ペーパーポットで育苗したスギ挿し木苗の林地植栽後の根系発達、第130回日本森林学会大会、2019

徳田 楓、伊藤 哲、平田 令子、長倉 良守、栗田 学、古里 和輝、スギ挿し木苗の根切りがコンテナ移植時の作業効率と根系発達に及ぼす影響、第130回日本森林学会大会、2019

古里 和輝、徳田 楓、伊藤 哲、平田 令子、栗田 学、長倉 良守、空中挿し木法を用いたスギコンテナ苗育成の試行、第74回九州森林学会大会、2018

古里 和輝、伊藤 哲、平田 令子、生分解性ペーパーポット苗の植栽後1年間の成長と容器劣化、第129回日本森林学会大会、2018

古里 和輝、平田 令子、長倉 良守、伊藤 哲、スギ挿し木ペーパーポット苗における灌水処理の違いが育苗時の根系発達に与える影響、第73回九州森林学会大会、2017

伊藤 哲、田中 沙耶香、新保 優美、平田 令子、古川 浩児、梶丸 正幸、シカ食害軽減と下刈り省略を目的としたスギ中苗植栽における葉量調節の検討、第73回九州森林学会大会、2017

新保 優美、古里 和輝、伊藤 哲、平田 令子、長倉 良守、根量および葉量の異なるスギ挿し木苗の植栽直後の水ストレスと活着、第73回九州森林学会大会、2017

川路 龍之介、中村 凌、雉子谷 佳男、平田 令子、伊藤 哲、スギ挿し木の発根におけるカルス形成の役割について、第73回九州森林学会大会、2017

十時しおり、雉子谷 佳男、平田 令子、伊藤 哲、ヒノキ挿し木の発根におけるカルス形成の役割について、第 73 回九州森林学会大会、2017

伊藤 哲、低コスト育林とコンテナ苗、招待講演、第 128 回日本森林学会大会、2017

新保 優美、平田 令子、今岡 成紹、伊藤 哲、夏季植栽されたスギ挿し木苗の生残規定要因 - 苗種か物質分配か? -、第 128 回日本森林学会大会、2017

古里 和輝、平田 令子、長倉 良守、伊藤 哲、摘葉の有無がスギ苗の水ストレスに与える影響、第 128 回日本森林学会大会、2017

平田 令子、黒木 皇成、中村 凌、雉子谷 佳男、伊藤 哲、水耕栽培によるスギ挿し穂のカルス形成と発根誘導、第 128 回日本森林学会大会、2017

田中 沙耶香、平田 令子、長倉 良守、伊藤 哲、夏季植栽直後のコンテナ苗培地の水分状態、第 72 回九州森林学会大会、2016

古里 和輝、平田 令子、長倉 良守、伊藤 哲、生分解性ペーパーポットを用いたスギ挿し木苗育成の試行、第 72 回九州森林学会大会、2016

中村 凌、雉子谷 佳男、平田 令子、伊藤 哲、スギ挿し木における発根過程の解剖学的特徴と内生性ホルモン、第 72 回九州森林学会大会、2016

斎藤 健太郎、秋丸 民花、城丸 あかり、雉子谷 佳男、春期および秋期採取のスギ挿し木発根性と内生植物ホルモン量、第 72 回九州森林学会大会、2016

〔図書〕(計 1 件)

中村 松三、伊藤 哲、山川 博美、平田 令子、日本林業調査会、低コスト再造林への挑戦 - 一貫作業システム・コンテナ苗と下刈り省力化 -、2019、169

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：平田 令子

ローマ字氏名：(HIRATA, Ryoko)

所属研究機関名：宮崎大学

部局名：農学部

職名：准教授

研究者番号(8桁)：50755890

研究分担者氏名：雉子谷 佳男

ローマ字氏名：(KIJIDANI, Yoshio)

所属研究機関名：宮崎大学

部局名：農学部

職名：教授

研究者番号(8桁)：10295199

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、研究者個人に帰属されます。