

機関番号：13302

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20300082

研究課題名（和文） 文法化と超越性の計算モデル構築による言語の起源と進化の研究

研究課題名（英文） Study on origin and evolution of language by constructing computational models of grammaticalization and displacement

研究代表者

橋本 敬（HASHIMOTO TAKASHI）

北陸先端科学技術大学院大学・知識科学研究科・教授

研究者番号：90313709

研究成果の概要（和文）：

文法化と超越性という人間言語に特有で普遍的な性質に着目して、言語の起源と進化について構成論的研究を行った。その結果、言語ルールを拡大適用する能力である言語的類推能力が、獲得可能・変化可能な言語ができるために非常に重要であり、この能力が超越性をもたらす得るものであり、言語起源で獲得しているべき能力であることを示した。そして、メタファー的・メトニミー的推論が文法化に特徴的な具体から抽象への一方向性をもたらすことを見出した。

研究成果の概要（英文）：

We conducted a constructive study on the origin and evolution of language focusing on grammaticalization and displacement which are particular and universal features of human languages. We claimed that the ability of linguistic analogy, which is to extendedly apply acquired linguistic rules, plays an important role to develop acquirable and changeable languages and to bring out displacement, and thus, this ability should emerge at the origin of language. Further, we showed that metaphoric and metonymic inferencing bring unidirectionality from concrete to abstract, which is an important feature of grammaticalization.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	5,000,000	1,500,000	6,500,000
2009年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2010年度	5,300,000	1,590,000	6,890,000
年度			
年度			
総計	14,700,000	4,410,000	19,110,000

研究分野：進化言語学

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：文法化, 超越性, 言語の起源と進化, 構成論的アプローチ, 一方向性, 認知能力, 言語的類推, メタファー的・メトニミー的推論

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 言語学・認知科学・人類学・計算機科学などの発達を受け、言語の起源・進化を理解しようとする進化言語学が隆盛してきている。これは、生物進化の過程で言語を獲得し扱う能力がどのように進化してきたか（言語

の起源)、初期の言語からどのように複雑化・構造化して現在のような構造をもった言語になってきたか(言語の進化)を明らかにする試みである(橋本, 2004)。言語の起源と進化の問題は、生物進化・学習・文化進化が二重に循環的相互作用をする言語進化ダ

ブループ・ダイナミクスをなす動的な複雑系の問題である。複雑な問題であることに加え、直接的実証証拠を得ることが困難であること、そして、言語の起源と進化の事実だけではなく、進化メカニズムの解明が必要であることから、進化生物学・情報科学・人工知能・認知科学等の成果に基づいた理論的研究・構成的シミュレーション研究による仮説形成・検証が重要な役割をになうことが認識されている。

言語進化のシミュレーション研究は、エディンバラ大(S. Kirby)、ブリュッセル自由大(L. Steels)などのグループで活発である。特にこれらのグループでは、合成性(文の意味が各単語の意味と組み合わせ方から決まる)や共有語彙の発達に注力されてきた。

(2) 近年は、人間言語の主要な特徴である文法の創発と進化に取り組む動きができ、その中でも文法化という現象が、言語が複雑化するメカニズムとして着目されている。文法化とは、動詞や名詞などの内容を表す単語が助動詞や接続詞のように文法的機能を帯びるように変化する言語変化現象である(Heine, 2005)。この変化には世界中の言語に同型の変化が観察されるという普遍性と、内容から機能への変化がほとんどであり逆方向の変化があまり見られないという変化の一方向性という特徴がある。これらの特徴から、文法化は、言語に文法が生じるプロセス、言語が複雑化・構造化するプロセス、すなわち、言語の進化に大きな役割を果たしていると考えられている(Hurford, 2003; Heine and Kuteva, 2002, 2007)。

さらに、「いま・ここ・わたし」を離れた事象に言及できる性質である「超越性」も、人間言語にだけ見られる特徴であり、他の動物のコミュニケーションには見られない(Hockett, 1960)。したがって、超越性は人間言語の起源をもたらすものとして重要だと考えられている。橋本はこの超越性と文法化の関係を指摘している(橋本・中塚, 2007)。

(3) これまでの言語進化のシミュレーション研究では、言語の文化進化プロセスだけがモデル化されており、言語進化のダブルループ・ダイナミクスはモデル化されていない。言語の起源・進化を考える上で重要な生物進化プロセスはニッチ構築、すなわち、生物自身による能動的な環境変化である。生物は、環境によって自然選択された遺伝子が次世代に遺伝されるだけではなく、環境を改変するニッチ構築を行い、その環境はある程度の

期間持続する。言語は人間集団が作り出し変化させていく社会的環境であり、個体はそこに適応する必要があるため、ニッチ構築された選択環境として働いている。このようなニッチ構築の効果を分析するためには、生物進化、個体学習、文化進化を含めたモデルを開発する必要がある。

## 2. 研究の目的

本研究計画では、文法化と超越性という人間言語に特有で、かつ、普遍的な性質に着目して言語の起源と進化について研究を行った。そのために、これまでに開発した文法化モデルを発展させ、進化的に妥当な人間の言語機能の理解を目指す。具体的には、次の3点を目的とする。

(1) 文法的機能が表現できる認知モデルを開発し、機能的意味を表す語彙が現れ共有化される文法化過程をシミュレートすることを通して、文法化を可能にする認知能力を明らかにする。

(2) 特に、言語的類推能力が超越性にどのように機能するか、どう制約されるかを明らかにする。

(3) ニッチ構築を考慮した進化モデルを構築し、文法化能力の進化のプロセスとメカニズムを明らかにする。

## 3. 研究の方法

(1) 上に述べたとおり、言語起源・進化の間いでは、モデリングとシミュレーションを用いてシステムを構成し動かすことを通して、ある現象を実現するメカニズムを探求する構成論的アプローチという研究方法論が重要な位置を占める。特に、初めから複雑な構造を構成するのではなく、システムが自律的に変化するしくみを組み込むことで、単純な状態が複雑化・構造化して行くプロセスを観察するという方法が、言語の起源と進化を生じさせるメカニズムの探求には有効であると考えられる(Hashimoto et al., 2008)。

本研究では、文法機能を表現することが可能な言語主体のモデルを開発する。ここでベースとした仮説は、Hopper and Traugott (2003)による「再分析と類推が文法化プロセスに不可欠である」という考えである。本研究では、この再分析と類推を言語話者が持つ能力と捉え、さらに、類推を、類似性を見いだす認知的な能力である「認知的類推」と、経験を通じて獲得した文法ルール(構文)を拡大適用する能力である「言語的類推」に分けて扱う。後者がHopper and Traugott (2003)の類推に対応する。

このような言語主体モデルの間の相互作用、すなわち、世代間の言語知識の伝達のモデルとして、繰り返し学習の枠組み(Kirby and Hurford, 2002)を用いる。言語知識を持つ発話者の発話を受け、学習者が汎化学習により言語知識を構築する。後に学習者は発話者となり、新たな学習者へ発話を提供する。このプロセスを繰り返すことで、学習を通じた言語知識の変化をシミュレートする。

シミュレーションでは、上記の各能力が文法化過程にどう働くかを詳しく調べる。そして、汎化の機能と文法化をにやう機能の対応を明らかにする。また、具体から抽象へという文法化に特徴的な一方向的意味変化の解析を行う。

(2) さらに、言語的類推を通じて言語知識、および、発話がどう変化するかを詳しく調べ、言語的類推能力が超越性をもたらすというこれまでの研究で示唆したことを確認する。そして、これら言語的類推、超越性を持つ言語の起源と進化における意味を考察する。

(3) ニッチ構築を含めた言語進化を研究するために、まずは、生物(遺伝的)進化、個体学習、文化進化の3つの変化プロセスを組み合わせた言語進化のダブルループ・ダイナミクス(図1)の単純なモデルを構築し、この進化プロセスの性質をシミュレーションにより解析する。

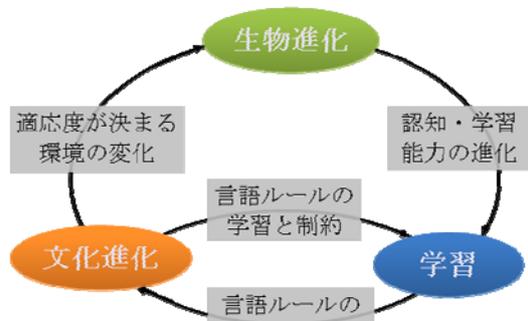


図1. 言語進化のダブルループ・ダイナミクス

#### 4. 研究成果

(1) 再分析と類推の能力を組み込んだ主体モデルの繰り返し学習プロセスをコンピュータ・シミュレーションで解析した結果、「言語的類推」という認知メカニズムが意味の変化(図2)、および、言語知識の表現力向上(図3)、すなわち、言語の獲得に重要な役割を果たしていることが分かった。「表現度」は可能の意味のうちある言語知識で表現できる割合を表し、言語獲得の度合いに対応する。言語的類推がない場合は、言語を獲得する程度は記憶のみと同じであり、まったく表現度は増えない。

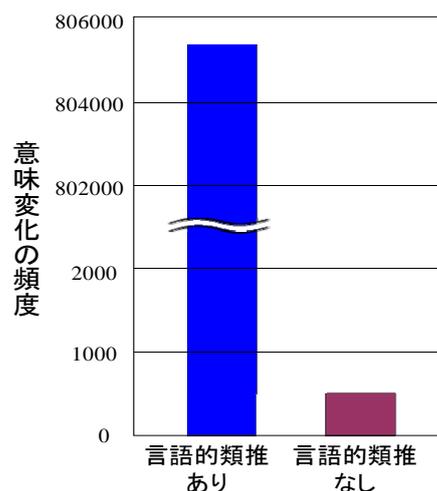


図2. 言語的類推による意味変化頻度の違い

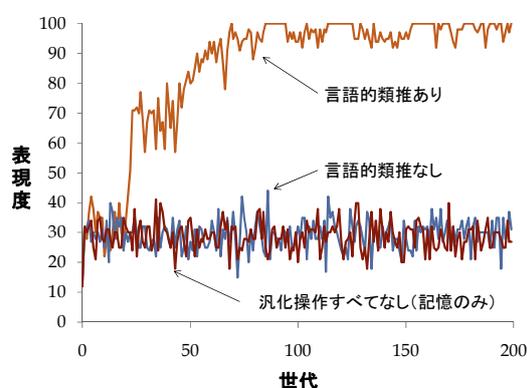


図3. 言語的類推による表現度の発展の違い

(2) また、このモデルのままでは一方向性は生じないこともわかった。すなわち、内容語から機能語への意味変化は起きるが、他の意味変化や逆の変化も同程度の頻度で起こることがわかった。そこで、このモデルに意味理解のバイアスを導入する。解析の結果、一方向性が生じるには、「共起」と「語用論的拡張」というバイアスが有効であることがわかった。「共起」とは、ある意味は別の特定の意味とともに現れやすいという性質であるが、ある意味と別の特定の意味の随伴性を認識するという認知バイアスに対応する。「語用論的拡張」は、ある意味を表すために、別の意味に対応する形式を用いることができるという性質である。それらの意味間の類似性を認識し言葉を流用する認知バイアスに対応する。シミュレーションでは、特定の意味にこれらの関係を設定する。

それぞれの認知バイアスを設定する・しないという4パターンに対し、意味変化の頻度を観測した(図4)。共起バイアスのみを設定した場合は、なにもバイアスがない場合よりも意味変化の頻度は増えるが、その増加は有意ではない。一方、拡張バイアスのみ、お

よび、両方のバイアスを設定した場合は、どちらも設定しない場合に比べて有意に意味変化が増えている。

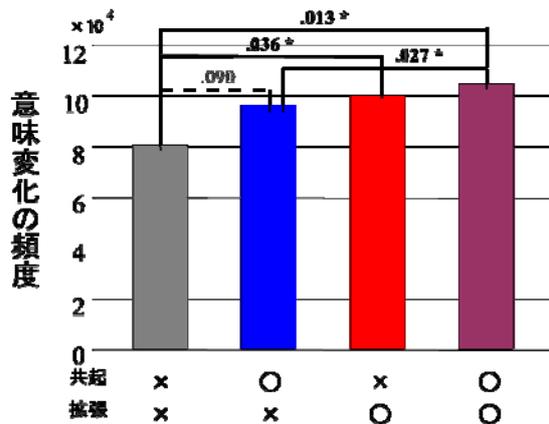


図4. 認知バイアスによる意味変化頻度の違い

次に、同じ4パターンにおいて、共起・拡張を設定した特定の意味間の変化頻度を分析した(図5)。共起バイアスを設定した場合には、共起関係を持たせた意味間の変化(ここでは、go から future)が、共起関係を持たない意味(ここでは、present と future)に比べて倍程度の頻度が増える。この意味変化は、共起・拡張の両方を設定した場合により増加する傾向にある。一方、拡張バイアスだけでは3つの頻度の差は有意ではなかった。

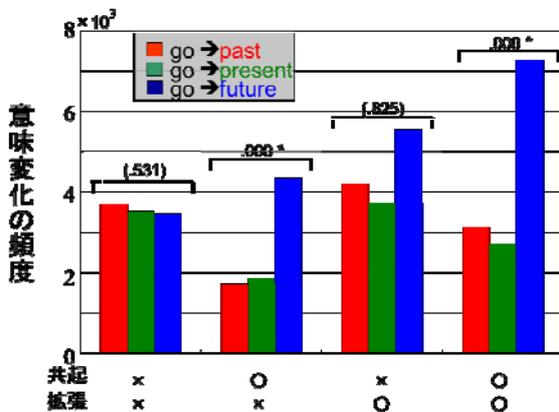


図5. 認知バイアスによる特定の意味変化頻度の違い

以上の結果から、拡張は意味変化全体を増大させ、共起は一方方向性をもたらすという効果があることがわかった。語用論的拡張は前述の通り類似性の認識であり、それに基づいて言語を使用する、メタファー的推論である。一方、共起は随伴性の認識であり、それにもとづくメトニミー的推論である。すなわち、メタファー的推論とメトニミー的推論という認知バイアスの組み合わせにより、一方向の意味変化が実現されることを示した。

(3) 本研究で見出された重要な認知能力・バイアスである言語的類推、および、メタファー的・メトニミー的推論が、言語の起源と進化にどのような重要性を持つのかについて考察した。言語的類推は、経験を通じて獲得した言語(構文や文法)のルールを拡大して適用することを可能にする能力である。したがって、拡張対象によっては経験を通じて学んだことではない、一度も見たことも聞いたこともない状況に対応するような表現も生成可能となる。これは、「いま、ここ、私」から離れたことに言及できるという人間言語に特異的な性質である超越性をもたらさるものと考えられる。

このように、言語的類推は新しい、あるいは、超越的な表現を可能にする。しかし、この表現自体が意味を持っているとは限らず、コミュニケーションや現実に関する推論に用いるには、新しい表現を意味づける必要がある。その方法として、「現実と文の解釈を変更する」と「現実を変更する」という2つを想定できる。前者は新しい表現が意味をなす、あるいは、真となるように、単語が指し示す概念を変えるなどして再解釈するものであり、創造的なメタファーをもたらす。後者は新しい表現が有意味、あるいは、真になるように、世界自体を変更するというのである。したがって、「ものづくり」や「技術革新」へとつながる。ともに、形式的操作による新表現の生成とそこへの意味づけという言語を通じた創造性の発露と考えられる。

この新表現の生成と意味づけを人類進化上の出来事に位置づけると、約5~6万年前以降に生じた文化のビッグバンと言われる文化的・芸術的にも大きな発展(Mithen, 1996)に対応させられる。すなわち、この頃に生じた芸術的創造とものづくり的創造という、先ほど指摘した新しい表現に意味づける2つの方法に対応すると考えることができる。さらに同時期、人類はアフリカを出発し、地球上の様々な地域に生存域を広げたとされているが、これはこのような創造性によって適応能力が飛躍したから可能になったのではないだろうか。

すなわち、5万年前に言語的類推=形式的操作でルールを拡大適用し新しい表現を生み出す能力、すなわち、言語を通じた創造力を獲得したことが、文化のビッグバン、および、出アフリカをもたらしたという仮説である。それ以前に記号を用いるコミュニケーションは行われており、語彙も構文ルールもたくさん記憶できるようになっていたであろう。拡大適用能力の獲得は、経験から離れた言語の自律的發展を可能にする。したがって、現代的な言語の起源とはこの約5万年前とすることができる。その後、メタファー的類推・メトニミー的類推という認知バイアスに

より文法化が起き、言語の多様化と概念の多様化、それによって作られる世界の複雑化が共進的に生じて、現代的な複雑さと構造を備えた言語へと進化した、という言語の起源と進化の仮説を考えることができる (Hashimoto, Nakatsuka, and Konno, 2010).

(4) 目的(3)の文法化能力の進化プロセスとメカニズムを明らかにするために、ニッチ構築を考慮した進化モデルの研究を進めた。ここでは、図1の言語進化ダブルループを反映させた進化計算モデル、すなわち、生物進化、個体学習、文化進化という3つの適応的变化が相互作用する進化計算のハイブリッドモデルを開発し、その性質を解析した (Hashimoto, Warashina, and Yamauchi, 2010). 計算モデルには、NK 適応度地形という遺伝子間の複雑な相互作用を抽象化したモデルを用いる。どのような複雑な適応度地形において、3つの変化の相互作用が探索・最適化に効果的かを調べた。

3つの適応的变化は次のように相互作用することがわかった。まず遺伝子個体の集団があり、個々の主体が個体学習により適応度地形を山登り的に準最適解を探索する。次に、教師から生徒へと個体学習の結果が伝達される社会学習が起きる。最後に、学習に課される選択圧により、個体学習・社会学習の結果が遺伝的に同化される。このようにして、生得的に学習結果を持った個体が集団中が広まっていく。

社会学習は以下のような環境で有効に働くことが見出された。()内は本研究で用いたモデルでの定量的評価である。

- ① 個体学習のコストが社会学習のコストに比べて大きい(前者は後者の1.5倍以上)
- ② 教師が教えること自体に適応価がある。
- ③ 突然変異率はエラー閾値よりも低い(遺伝子あたり0.04以下)
- ④ エピスタシスは低い、すなわち、あまりに複雑な適応度地形ではない(3つ以上の遺伝子が相互作用しない)

また、我々が用いたアルゴリズムは適応度地形が時間的に変化する動的環境で有効であることも示した。遺伝的進化だけではうまく働かないような環境で、ハイブリッドモデルはより良い解を見つけることができる。社会学習は動的環境でより効果的で、環境変化の頻度が大きいほど個体学習が用いられる。

しかし、この研究の段階では現象論的にハイブリッドモデルの性質、とくに、社会学習の効果を見ただけなので、そのメカニズムの解明に進まなくてはならない。

#### 参考文献

Hockett, C.F. (1960). The origin of speech. *Scientific American*, 203, 3, 89-96.

Kirby, S. (2002) Learning, bottlenecks and the evolution of recursive syntax. In T. Briscoe (ed.) *Linguistic Evolution through Language Acquisition*. Cambridge University Press, pp. 173-203.

Kirby, S. & Hurford, J. (2002) The emergence of linguistic structure: An overview of the iterated learning model, In *Simulating the Evolution of Language*, 121-148, Springer.

橋本敬 (2004), 言語進化とはどのような問題か? ~構成論的な立場から, 第18回日本人工知能学会予稿集

橋本敬, 中塚雅也 (2007) 文法化の構成的モデル化 -進化言語学からの考察-, 認知言語学会論文集, 7, 33-43.

Hashimoto, T., Sato, T., Nakatsuka, M. & Fujimoto, M. (2008) Evolutionary constructive approach for dynamic systems, In G. Petrone & G. Cammarata (eds.), *Recent Advances in Modelling and Simulation*. I-Tech Books, pp.111-136.

Hashimoto, T., Nakatsuka, M., & T. Konno (2010) Linguistic analogy for creativity and origin of language, A. D. M. Smith, et al. (eds.) *The Evolution of Language*, pp. 184-191, World Scientific.

Hashimoto, T., Warashina, K., & Yamauchi, H. (2010) New composite evolutionary computation algorithm using interactions among genetic evolution, individual learning and social learning, *Intelligent Data Analysis*, 14(4), 497-514.

Heine, B. (2005) Grammaticalization. In P. Strazny (ed.), *Encyclopedia of Linguistics*. Vol.1, Taylor & Francis Books, pp. 402-404.

Heine, B. & Kuteva, T. (2002) On the evolution of grammatical forms. In A. Wray, (ed.), *The Transition to Language*. Oxford: Oxford University Press, pp. 376-397.

Heine, B. & Kuteva, T. (2007) *The Genesis of Grammar: A Reconstruction*, Oxford: Oxford University Press.

Hopper, P. J. & Traugott, E. C. (2003) *Grammaticalization*. Cambridge University Press.

Hurford, J. R. (2003) The language mosaic and its evolution. In M. H. Christiansen and S. Kirby (eds.), *Language Evolution*. Oxford: Oxford University Press, pp. 38-57.

Mithen, S. (1996) *The prehistory of the mind: a search for the origins of art, religion, and science*. London: Thames

and Hudson.

#### 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 24 件)

1. T. Hashimoto, M. Nakatsuka, T. Konno, Linguistic analogy for creativity and origin of language, *The Evolution of Language*, 184-191, 2010, 査読有
2. H. Yamauchi, T. Hashimoto, Relaxation of selection, niche construction, and the Baldwin effect in language evolution, *Artificial Life*, 16, 271-288, 2010, 査読有
3. T. Hashimoto, K. Warashina, H. Yamauchi, New composite evolutionary computation algorithm using interactions among genetic evolution, individual learning and social learning, *Intelligent Data Analysis*, 14(4), 497-514, 2010, 査読有
4. 橋本敬, 言語の起源と進化への進化的構成論的アプローチ, 認知言語学会論文集無, 10, 2010, 745-748, 査読無
5. 橋本敬, 稲邑哲也, 柴田智広, 瀬名秀明, 社会的知能発生学における構成論的シミュレーションの役割と SIGVerse の開発, *ロボット学会誌*, 28(4), 39-44, 2010, 査読有
6. 金野武司, 橋本敬, 合成的言語の形成過程における言語変化と多義性の役割, 認知言語学会論文集, 10, 2010, 754-757, 査読無
7. 橋本敬, 文法化を起こす認知能力・バイアスの検討—構成的手法によるモデル化—, *日本言語学第 137 回大会予稿集*, 36-41, 2008, 査読無

[学会発表] (計 41 件)

1. H. Yamauchi, Niche construction and language evolution, University of California, San Diego Computer Research Laboratory Talk, 2012.2.24, University of California, San Diego, USA
2. T. Hashimoto, Evolution of symbolic communication and language: Constructive and experimental approaches, Global COE International Symposium “Future Trends in the Biology of Language”, 2011.3.9, 東京
3. 橋本敬, 言語とコミュニケーションの進化的研究: ロボットコミュニケーションの設計原理へ向けて, 日本ロボット

学会ロボット工学セミナー 第61回シンポジウム「記号・言語を基盤としたロボットの知能化技術」, 2010.11.29, 東京

4. 橋本敬, 言語進化の問題とモデル化～繰り返し学習と一方向的意味変化～, 電子情報通信学会非線形問題研究会, 2010.7.12, 石川
5. 橋本敬, 文法化のシミュレーションから、言語の起源と進化へ, 関西言語学会第35回大会, 2010.6.26, 京都
6. T. Hashimoto, Constructive approach to language evolution, The International Seminar on the Emergence and Evolution of Linguistic Communication 2010, 2010.3.11, 京都
7. T. Hashimoto, K. Warashina, Evolutionary computation using interaction among genetic evolution, individual learning and social learning, The Tenth Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence (PRICAI-08), 2008.12.18, Hanoi, Vietnam

[図書] (計 3 件)

1. 橋本敬, 進化言語学の構築—新しい人間科学を目指して, 藤田耕司, 岡ノ谷一夫 (編), 第13章 繰り返し学習モデルによる文法化の構成論的研究, pp. 241-258, ひつじ書房, 2012.
2. T. Hashimoto, M. Nakatsuka, T. Konno, Future Trends in the Biology of Language (第3章 Constructive modeling of gramaticalization for the Origin and Evolution of Language), Center for Advanced Research on Logic and Sensibility, Keio University, pp. 53-81, 2012.

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

橋本 敬 (HASHIMOTO TAKASHI)

北陸先端科学技術大学院大学・知識科学研究科・教授

研究者番号: 90313709

##### (2) 研究分担者

山内 肇 (YAMAUCHI HAJIME)

独立行政法人理化学研究所・生物言語研究チーム・研究員

研究者番号: 80467125