

平成 22 年 5 月 28 日現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：2006 ～ 2009

課題番号：18079003

研究課題名（和文） ニューロンのスパイクの揺らぎによる神経回路網の推定

研究課題名（英文） Estimations of neural networks by fluctuations of neuron spikes

研究代表者 岡田 真人 (OKADA MASATO)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：90233345

研究成果の概要（和文）：多重電極測定法の進歩により多数のニューロンの活動電位(スパイク)を同時に計測できるようになった。情報統計力学の重要な特長は、ミクロな大自由度系からマクロで本質的な少数パラメータを抽出することである。このような階層連関や巨視的記述は脳の機能の理解に本質的であると考えられる。そのような観点で、我々は新たな神経回路モデルの統計力学的解析およびベイズ推定や情報理論にもとづく神経スパイクデータの新たな解析手法を提案した。

研究成果の概要（英文）：It has become possible to make simultaneous measurements of neural activity (spikes) in large numbers of neurons with large arrays of electrodes. Significant advantage of the statistical mechanical informatics (SMI) is to extract a macroscopic description of the system with a small number of parameters by performing reduction of many microscopic degrees of freedom. Hierarchy, reduction, and macroscopic description should also be essential in order to understand the brain. From this point of view, we proposed new SMI frameworks for neural network models, and methods for analyzing neuronal spike data based on the information theory and the Bayesian inference.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	7,300,000	0	7,300,000
2007 年度	19,700,000	0	19,700,000
2008 年度	19,700,000	0	19,700,000
2009 年度	18,200,000	0	18,200,000
年度			
総計	64,900,000	0	64,900,000

研究分野：情報統計力学，理論神経科学

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：多体問題，統計力学，神経科学，BMI，データマイニング

## 1. 研究開始当初の背景

電気生理学による神経細胞の活動電位の測定は、脳の解明の重要なアプローチの一つである。単一電極による単一神経細胞測定は数々の重要な知見をもたらしたが、多重電極測定法の進歩は著しいものがあり、多数の神

経細胞の活動電位(スパイク)を同時に計測できるようになってきた。

## 2. 研究の目的

本研究課題は、多重電極測定法によって得られた多数の神経細胞のデータを解析する手法を、情報統計力学的観点から提案するこ

とを目的とする。その際に最も重要な点は、得られたデータに対して実験の試行回数が少ないということである。これは本領域が新たな展開を図っていた生物学全体に共通する問題である。

その解決策の一つは、これまで得られた知見などを用いて、データ解析の際に何らかの拘束条件や事前知識を導入することである。この事前知識の導入は、事前確率を積極的に用いるベイズ推定の枠組みと親和性が高い。また神経回路モデル自体も統計力学を用いて研究されており、事前知識として取り入れるべき性質の多くが、これまでも統計力学的手法により得られている。

以上の述べた高次元データの性質と対象である神経回路モデルの解析手法の両方の観点で、情報統計力学の良い展開先として脳科学を取り上げた。

### 3. 研究の方法

本課題は大きく分けて二つの副課題からなる。一つは神経回路モデルの理論的研究であり、もう一つが神経系のデータ解析手法の開発である。両者とも主に情報統計力学的手法を用いる。また領域内の成果報告会などでの質疑応答やコメントから、これらの副課題から多くの新規課題が生まれた。これらの領域から派生した他分野への応用に関する課題に関しても遂行した。

### 4. 研究成果

#### (1) 神経回路モデルの理論的研究

##### 【二次統計量の理論とフィッシャー情報量】

神経のモデルとして標準的なスパイクレスポンスモデルの二次統計量の理論を平均場近似の枠組みで構築した(雑誌論文 4)。この理論を用いると、神経回路モデルに符号化された情報のフィッシャー情報量を計算することができる。フィッシャー情報量に関するこれまでの研究は、発火率の二次統計量を天下一の与えた上での研究である。神経回路モデルの物理的特性がどのようにフィッシャー情報量に影響を与えるかは全く議論されておらず、神経回路モデルであるハードウェアレベルの研究と計算理論レベルであるフィッシャー情報量の間には首尾一貫した理論体系は存在しなかった。さらにこの枠組みをショウジョウバエの嗅覚系に適用する研究を行っている(雑誌論文, 3)。

##### 【神経回路モデルのアトラクター構造】

視覚パターン認識の責任領域と考えられたと言える側頭葉の神経回路モデルを解析した。側頭葉では、パターン識別に対応するような離散的な情報表現と、顔の表情や回転角のような連続的な情報表現が適応的に援用されているとされている。我々はこのような情報表現を持つ神経回路モデルを提案し、そのアトラクターの性質を求めた(雑誌論文,

9)。またこの知見を元に現在は、理研脳総研谷藤チームと側頭葉の神経細胞のデータ解析をすすめており、離散情報と連続情報がどのように側頭葉で表現されているかを実験的に研究している。

##### 【シナプス抑圧の理論】

シナプス前細胞の活動により、シナプスの強度が減衰することが知られている。この現象をシナプス抑圧と呼ぶ。近年シナプス抑圧とフィッシャー情報量の関係が盛んに議論されるようになってきた。そこで我々は、シナプス抑圧を持つ神経回路モデルの平均場理論を構築し、シナプス抑圧が系の巨視的な状態にどのように影響を与えるかを議論した(雑誌論文 1, 2, 7)。現在この理論を拡張し、シナプス抑圧を持つ系の二次統計量の理論とフィッシャー情報量への応用を研究している。

##### 【まとめ】

ここで得られた知見は、データ解析の事前知識として取り込むことが可能であり、解析手法を開発中である。

今後は得られた生理学的な知見をさらに取り込むとともに、スパイクニューロンモデルなどのより現実的なモデルへ理論を拡張していく(雑誌論文 29, 34, 52)。

#### (2) 神経系のデータ解析手法の提案

##### 【変動発火率推定】

神経スパイクの発射確率である発火率は、外界や行動の情報のキャリアであることが知られている。一般に発火率は時間変動し、離散的に生成されるスパイクから、連続的に時間変動する発火率を推定することは困難である。この問題は解が一意に決まらない不良設定問題である。この不良設定性を良好化する拘束条件としては、発火率の時間的連続性を導入することである。我々は、この時間的連続性が、当領域で盛んに研究されている画像修復の空間的連続性に対応すると考え、画像修復で用いられているマルコフ確率場(MRF)モデルを用いた変動発火率推定手法を提案した。

単一神経細胞のスパイク列は1次元画像と見なすことができる。その観点で確率伝播法を用いた変動発火率推定手法を提案した(雑誌論文, 12)。電気生理実験では、実験動物に刺激が突然与えられることが多い。このような状況では、さきほどの発火率が不連続に変化することが予想される。その不連続が生じる時刻は神経系の処理時間に依存するため不明であると予想される。この状況は画像修復において、視覚物体の端を抽出するエッジ検出の問題と同じ状況である。そこで我々は、画像修復でエッジ検出に用いられているラインプロセスを発火率の不連続変転の検出に応用した(雑誌論文 15)。

脳には非常に多くの再帰的結合が存在す

るため、脳自体も力学的な対象である。そのため同じ入力でも、脳の状態により異なった知覚や認識を得る場合がある。この知見は、脳はアトラクター状態にあり、その状態に依存して同じ神経細胞であっても、スパイクの統計性が変化することを示唆する。そこで我々は、スイッチング状態空間モデル(SSSM)を用いて、脳の状態に依存する形で、観測されるスパイク列の統計的性質の変化を記述する。統計的性質の変化に対しては、さきほどのラインプロセスを用いたモデルは対応できない。そこで、スパイク生成の時定数よりはゆっくりした時間で、スパイクの統計性が離散的に変化することを考える。SSSMでスパイク列を記述する際には、それぞれのスパイクの統計性を一つの状態と考え、スパイク系列はその状態が変化(スイッチ)した結果が得られると考えるのである。我々はSSSMをベイズ推定の枠組みで議論した。この成果により、第一著者である私の研究室の学生の瀧山氏は神経回路学会奨励賞、IEEE Young Researcher Award等の受賞した。この成果は現在雑誌投稿中である。

私は、SSSMは単一神経細胞のスパイク列からの変動発火率推定の決定版だと考えている。今後は今の枠組みを複数の神経細胞のスパイク列の推定に拡張するとともに、EEG(脳波)の推定にも応用していく予定である。

#### 【集団ベクトル解析】

各神経細胞の発火率を要素とする神経集団ベクトルの解析手法を提案した。従来の単一細胞記録では、実験者が予備的にいくつかの刺激を提示して、本格的に測定する神経細胞を選別していた。これはデータ解析の立場では、次元選択に対応する。また、二つの神経細胞が全ての刺激に対して同様に反応する場合、それらの出力を足し合わせたものが刺激の集合を効率的に表現する。これは主成分分析(PCA)を用いた次元圧縮に相当する。

単一細胞測定とは異なり、多神経細胞測定では予め神経細胞を選別する事はできない。言い換えると、実験に用いた刺激セットに関して適切ではない神経細胞も測定されてしまう。そのため、実験データ取得後にその不適切な神経細胞を恣意性なしにデータから排除する必要がある。そこで我々は、得られた神経細胞の発火率は、それより少数の因子の線形結合で生成されると考えた。この線形結合は行列の形であらわさえる。さらに我々は、行列の各列と各行がほとんど0であるという拘束条件を負荷することで、次元選択と圧縮を同時に行うベイズ推定の枠組みを提案した。

#### 【新しい相互情報量解析手法の提案】

神経活動に高次相関が存在するだけでは、高次相関が情報のキャリアであるかを判断することはできない。そこで我々は情報理論

の分野で Merhav らによって提案されたミスマッチ復号の概念から、新たな相互情報量解析を提案すると共に、理化学研究所の細谷研究ユニットと共同研究することによって実際の網膜のスパイクデータを解析した。その結果、神経活動には強い相関が観測されたものの、このような神経相関は視覚刺激の情報をあまり持っていないということがわかった。これは脳内の高次の領野において視覚刺激の情報が読みだされる際に神経相関を無視することができる、言い換えれば脳内における情報の読み出しが簡略化され得ることを示唆する。この結果は The Journal of Neuroscience 誌に掲載され注目論文として紹介された(雑誌論文 5)。

#### (3)他の分野への応用

4(1)と4(2)で開発された手法は脳科学以外の分野に適用可能である。本課題での主な応用先は、工学的パターン認識、医用画像処理、地質学の媒質評価、光スペクトル分解と多岐にわたる。これらの幅広い成果は、情報統計力学が当初の予想を超えて展開していることを強く示唆する。

#### 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 59 件)

1. Yosuke Otsubo, Kenji Nagata, Masafumi Oizumi and Masato Okada, Instabilities in associative memory model with synaptic depression and switching phenomena among attractors, to be published in Journal of the Physical Society of Japan (査読有)。
2. Yasuhiko Igarashi, Masafumi Oizumi and Masato Okada, Mean field analysis of stochastic neural network models with synaptic depression, to be published in Journal of the Physical Society of Japan (査読有)。
3. Ryota Satoh#, Masafumi Oizumi#, Hokto Kazama and Masato Okada, Mechanisms of maximum information preservation in the Drosophila antennal lobe, to be published in PLoS ONE, #These authors equally contributed to this work (査読有)。
4. Masafumi Oizumi, Keiji Miura and Masato Okada, Analytical investigation of the effects of lateral connections on the accuracy of population coding, to be published in Physical Review E (査読有)。
5. Masafumi Oizumi, Toshiyuki Ishi, Kazuya Ishibashi, Toshihiko Hosoya and Masato Okada, Mismatched

- decoding in the brain, *Journal of Neuroscience*, **30**(13), 4815-4826, 2010 (査読有).
6. Keisuke Ota, Takamasa Tsunoda, Toshiaki Omori, Shigeo Watanabe, Hiroyoshi Miyakawa, Masato Okada and Toru Aonishi, Is the Langevin phase equation an efficient model for oscillating neurons? , *Journal of Physics: Conference Series*, **197**, 012016, 2009 (査読有).
  7. Yasuhiko Igarashi, Masafumi Oizumi, Yosuke Otsubo, Kenji Nagata and Masato Okada, Statistical mechanics of attractor neural network models with synaptic depression, *Journal of Physics: Conference Series*, **197**, 012018, 2009 (査読有).
  8. Shigeo Takahashi, Issei Fujishiro and Masato Okada, Applying manifold learning to plotting approximate contour trees, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, **15**(6), 2009 (査読有).
  9. Jun Kitazono, Toshiaki Omori and Masato Okada, Neural network model with discrete and continuous information representation, *Journal of the Physical Society of Japan*, **78**(11), 114801, 2009 (査読有).
  10. Kazuyuki Hara, Yoichi Nakayama, Seiji Miyoshi and Masato Okada, Statistical mechanics of on-line mutual learning with many linear perceptrons, *Journal of the Physical Society of Japan*, **78**(11), 114001, 2009 (査読有).
  11. Kazuho Watanabe, Shotaro Akaho, Shinichiro Omachi and Masato Okada, Variational Bayesian mixture model on a subspace of exponential family distributions, *IEEE Transactions on Neural Networks*, **20**(11), 1783-1796, 2009 (査読有).
  12. Kazuho Watanabe, Hiroyuki Tanaka, Keiji Miura and Masato Okada, Transfer matrix method for instantaneous spike rate estimation, *IEICE Transactions on Information and Systems*, **E92.D**(7), pp. 1392-1368, 2009 (査読有).
  13. Yohei Saika, Jun-ichi Inoue, Hiroyuki Tanaka and Masato Okada, Bayes-optimal solution to inverse halftoning based on statistical mechanics of the Q-Ising model, *Central European Journal of Physics*, **7**(3), pp. 444-456, 2009 (査読有).
  14. Jun-ichi Inoue, Yohei Saika and Masato Okada, Quantum mean-field decoding algorithm for error-correcting codes, *Journal of Physics: Conference Series*, **143**, 012019, 2009 (査読有).
  15. Ken Takiyama, Kentaro Katahira and Masato Okada, Exact inference in discontinuous firing rate estimation using Belief propagation, *Journal of the Physical Society of Japan*, **78**(6), 064003, 2009 (査読有).
  16. Ken Takiyama, Yasushi Naruse and Masato Okada, Statistical mechanics of Mexican-hat-type horizontal connection, *Journal of the Physical Society of Japan*, **78**(6), 064002, 2009 (査読有).
  17. Seiji Miyoshi and Masato Okada, Effect of slow switching of ensemble teachers in On-line learning, *Journal of the Physical Society of Japan*, **78**(5), 053001, 2009 (査読有).
  18. Toshiaki Omori, Toru Aonishi, Hiroyoshi Miyakawa, Masashi Inoue and Masato Okada, Steep decrease in the specific membrane resistance in the apical dendrites of hippocampal CA1 pyramidal neurons, *Neuroscience Research*, **64**(1), pp. 83-95, 2009 (査読有).
  19. Kosuke Hamaguchi, Hiromitsu Urano and Masato Okada, Effect of asymmetry in a binary state on the collective behavior of a system with spatially modulated interaction and quenched randomness, *Physical Review E*, **78**, 051124, 2008 (査読有).
  20. Jun Nishikawa, Masato Okada and Kazuo Okanoya, Population coding of song element sequence in the Bengalese finch HVC, *European Journal of Neuroscience*, **27**(12), pp. 3273-3283, 2008 (査読有).
  21. Florent Cousseau, Kazushi Mimura, Toshiaki Omori and Masato Okada, Statistical mechanics of lossy compression for nonmonotonic multilayer perceptrons, *Physical Review E*, **78**, 021124, 2008 (査読有).
  22. Tomoyuki Kimoto, Tatsuya Uezu and Masato Okada, Multiple stability of a sparsely encoded attractor neural network model for the inferior temporal cortex, *Journal of the Physical Society of Japan*, **77**(12), 124002, 2008 (査読有).
  23. Masafumi Oizumi, Yoichi Miyawaki and Masato Okada, Rate reduction for associative memory model in Hodgkin-Huxley-type network, *Journal of the Physical Society of Japan*, **77**(6), 064802, 2008 (査読有).

24. Satohiro Tajima, Masato Inoue and Masato Okada, Bayesian-optimal image reconstruction for translational-symmetric filters, *Journal of the Physical Society of Japan*, **77**(5), 054803, 2008 (査読有).
25. Hiroyuki Tanaka, Keiji Miura and Masato Okada, Image restoration with a truncated Gaussian model, *Journal of the Physical Society Japan*, **77**(3), 034003, 2008 (査読有).
26. Kentaro Katahira, Kazuho Watanabe and Masato Okada, Deterministic annealing variant of variational Bayes method, *Journal of Physics: Conference Series*, **95**, 012015, 2008 (査読有).
27. Kazuyuki Hara and Masato Okada, Statistical mechanics of mutual learning with a latent teacher, *Journal of the Physical Society of Japan*, **76**(1), 014001, 2007 (査読有).
28. Keiji Miura, Yasuhiro Tsubo, Masato Okada and Tomoki Fukai, Balanced excitatory and inhibitory inputs to cortical neurons decouple firing irregularity from rate modulations, *Journal of Neuroscience*, **27**, 13802-13812, 2007 (査読有).
29. Kazuya Ishibashi, Kosuke Hamaguchi and Masato Okada, Sparse and dense encoding in layered associative network of spiking neurons, *Journal of the Physical Society of Japan*, **76**, 124801, 2007 (査読有).
30. Kentaro Katahira, Kazuo Okanoya and Masato Okada, A neural network model for generating complex birdsong syntax, *Biological Cybernetics*, **97**, 441-448, 2007 (査読有).
31. Tatsuya Uezu, Seiji Miyoshi, Mika Izuo and Masato Okada, Theory of time domain ensemble on-line learning of perceptron, *Journal of the Physical Society of Japan*, **76**, 114006, 2007 (査読有).
32. Hideto Utsumi, Seiji Miyoshi and Masato Okada, Statistical mechanics of nonlinear on-line learning for ensemble teachers, *Journal of the Physical Society of Japan*, **76**, 114001, 2007 (査読有).
33. Narihisa Matsumoto, Daisuke Ide, Masataka Watanabe and Masato Okada, Retrieval property of attractor network with synaptic depression, *Journal of the Physical Society of Japan*, **76**, 084005, 2007 (査読有).
34. Kosuke Hamaguchi, Masato Okada and Kazuyuki Aihara, Variable time scales of repeated spike patterns in synfire chain with mexican-hat connectivity, *Neural Computation*, **19**, 2468-2491, 2007 (査読有).
35. Naoki Masuda, Masato Okada and Kazuyuki Aihara, Filtering of spatial bias and noise inputs by locally connected neural networks, *Neural Computation*, **19**, 1854-1870, 2007 (査読有).
36. Sei Suzuki and Masato Okada, Study on quantum annealing using the density matrix renormalization group, *Interdisciplinary Information Sciences*, **13**, 49, 2007 (査読有).
37. Shinpei Hara, Yuta Akira, Eisuke Ishii, Masato Inoue and Masato Okada, LDPC decoding dynamics from a PCA viewpoint, *Interdisciplinary Information Sciences*, **13**, 43, 2007 (査読有).
38. Kenji Morita, Masato Okada and Kazuyuki Aihara, Selectivity and stability via dendritic nonlinearity, *Neural Computation*, **19**, 1798, 2007 (査読有).
39. Mika Yoshida, Tatsuya Uezu, Toshiyuki Tanaka and Masato Okada, Statistical mechanical study of CDMA multiuser detectors — Analysis of RS and IRSB solutions —, *Journal of the Physical Society of Japan*, **76**(5), 054003, 2007 (査読有).
40. Masahiro Urakami, Seiji Miyoshi and Masato Okada, Statistical mechanics of on-line learning when a moving teacher goes around an unlearnable true teacher, *Journal of the Physical Society of Japan*, **76**(4), 044003, 2007 (査読有).
41. Masafumi Oizumi, Yoichi Miyawaki and Masato Okada, Higher order effects on rate reduction for networks of Hodgkin-Huxley neurons, *Journal of the Physical Society of Japan*, **76**(4), 044803, 2007 (査読有).
42. Kentaro Katahira, Masaki Kawamura, Kazuo Okanoya and Masato Okada, Retrieval of branching sequences in an associative memory model with common external input and bias input, *Journal of the Physical Society of Japan*, **76**(4), 044804, 2007 (査読有).
43. Takashi Shinozaki, Hideyuki Cateau, Hidetoshi Urakubo and Masato Okada, Controlling synfire chain by inhibitory synaptic input, *Journal of the Physical Society of Japan*, **76**(4), 044806, 2007 (査読有).
44. Masato Okada, Brain science, information science and associative

- memory model, New Generation Computing, **24**, 185-201, 2006 (査読有).
45. Kosuke Hamaguchi, Jonathan PL Hatchett and Masato Okada, Analytic solution of neural network with disordered lateral inhibition, Physical Review E, **73**, 051104, 2006 (査読有).
  46. Keiji Miura, Masato Okada, and Shun-ichi Amari, Unbiased estimator of shape parameter for spiking irregularities under changing environments, Advances in Neural Information Processing Systems, **18**, 891, 2006 (査読有).
  47. Toshiaki Omori, Toru Aonishi, Hiroyoshi Miyakawa, Masashi Inoue and Masato Okada, Estimated distribution of specific membrane resistance in hippocampal CA1 pyramidal neuron, Brain Research, **1125**, 199, 2006 (査読有).
  48. Keiji Miura, Masato Okada, and Shun-ichi Amari, Estimating spiking irregularities under changing environments, Neural Computation, **18**, 2359, 2006 (査読有).
  49. Kazushi Mimura and Masato Okada, Statistical mechanics of lossy compression using multilayer perceptrons, Physical Review E, **74**, 026108, 2006 (査読有).
  50. Masaki Kawamura and Masato Okada, Stochastic transitions of attractors in associative memory models with correlated noise, Journal of the Physical Society of Japan, **75**(12), 124063, 2006 (査読有).
  51. Seiji Miyoshi and Masato Okada, Statistical mechanics of linear and nonlinear time-domain ensemble learning, Journal of the Physical Society of Japan, **75**(12), 124002, 2006 (査読有).
  52. Kazuya Ishibashi, Kosuke Hamaguchi and Masato Okada, Theory of interaction of memory patterns in layered associative network, Journal of the Physical Society of Japan, **75**(11), 114803, 2006 (査読有).
  53. Sawako Tanimoto, Masato Okada, Tomoyuki Kimoto and Tatsuya Uezu, Distinction of coexistent attractors in an attractor neural network model using a relaxation process of fluctuations in firing rates - Analysis with statistical mechanics, Journal of the Physical Society of Japan, **75**(10), 104004, 2006 (査読有).
  54. Seiji Miyoshi, Tatsuya Uezu and Masato Okada, Statistical mechanics of time domain ensemble learning, Journal of the Physical Society of Japan, **75**(8), 084007, 2006 (査読有).
  55. Seiji Miyoshi and Masato Okada, Statistical mechanics of online learning for ensemble teachers, Journal of the Physical Society of Japan, **75**(4), 044002, 2006 (査読有).
  56. Masato Inoue, Koji Hukushima and Masato Okada, Analysis method combining Monte Carlo simulation and principal component analysis - Application to Surlas code, Journal of the Physical Society of Japan, **75**(8), 084003, 2006 (査読有).
  57. Seiji Miyoshi and Masato Okada, Analysis of on-line learning when a moving teacher goes around a true teacher, Journal of the Physical Society of Japan, **75**(2), 024003, 2006 (査読有).
  58. Jonathan PL Hatchett and Masato Okada, Dynamical replica theoretic analysis of CDMA detection dynamics, Journal of Physics A:Mathematical and General, **39**(15), 3883-3902, 2006 (査読有).
  59. Keiji Miura and Masato Okada, Globally coupled resonate-and-fire models, Progress of Theoretical Physics Supplement, 161, 255-259, 2006 (査読有).
- [図書] (計2件)
1. 岡田真人, 「スパイクの確率論」, 『シリーズ脳科学1 脳の計算論』, 深井朋樹(編), 甘利俊一(監修), 東京大学出版社, pp.223-251, 2009
  2. 岡田真人, 「視覚情報処理入門」, 『理工学系からの脳科学入門』, 合原一幸(編), 神崎亮平(編), 東京大学出版社, pp.81-98, 2008
- [その他]  
ホームページ等  
<http://mns.k.u-tokyo.ac.jp/~okada/>
6. 研究組織
- (1) 研究代表者  
岡田 真人 (OKADA MASATO)  
研究者番号 : 90233345
  - (2) 研究分担者  
三村 和史 (MIMURA KAZUSHI)  
研究者番号 : 40353297