

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月31日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21300129

研究課題名（和文） 社会知性と意思決定の脳機能の数理：モデル提案と実験による検証

研究課題名（英文） Neural computations on social decision making: theory and experimental validations

研究代表者

中原 裕之 (NAKAHARA HIROYUKI)

独立行政法人理化学研究所・理論統合脳科学研究チーム・チームリーダー

研究者番号：10312282

研究成果の概要（和文）：

社会的知性を実現する脳機能の解明という目標に向け、本研究を推進した。諸処の成果を挙げたが、ここでは中心的成果を述べる。非社会的意思決定と社会的意思決定の関連の解明を目指したヒトfMRI実験で、自らの報酬を予測する条件と、他者の報酬予測を予測する条件を比較し、モデルベース解析手法を用い、価値意思決定の情報処理過程の主変数と脳活動の対応を解明した。自らの報酬予測の機能を基に、他者の報酬予測のシミュレーションを行う部位として腹内側前頭葉が中心的役割を示すことが分かった。

研究成果の概要（英文）：

We conducted studies with an ultimate aim of elucidating neural computations for social decision making. While we made several achievements towards the aim, here we summarize the result of a most central study. Using human fMRI experiment, combined with so-called model-based analysis, we investigated brain functions for value-based decision making, comparing two situations; when the subject makes value-based decisions for their self reward and when the subjects predicts what value-based decision another person would make, when the other person is in the same situation for themselves. We found that the ventromedial frontal cortex plays a central role in simulating the other's value-based decision making process.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	5,500,000	1,650,000	7,150,000
2010年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2011年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
年度			
年度			
総計	14,600,000	4,380,000	18,980,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：神経科学・神経科学一般

キーワード：①神経科学 ②数理工学 ③神経経済学 ④認知科学 ⑤機械学習 ⑥意思決定  
⑦社会的知能 ⑧計算論的神経科学

## 1. 研究開始当初の背景

本研究は、意思決定の脳機能研究の国際的な潮流を俯瞰し、「今後の進展に本質的に何が重要か」、「理論脳科学の最も有効な研究は何か」を考察して着想するに至った。本研究では、意思決定の中でも、価値に基づく意思決定／行動選択 (value-based decision making, VDM) の研究に焦点をあてた。VDMの近年の目覚ましい発展には、二つの世界的な研究の潮流がある。それは、「非社会的な VDM (non-social VDM, NVDM)」と「社会的な VDM (social VDM, SVDM)」である。NVDM は、たとえば神経生理学や心理物理学で伝統的に主流の研究、いわば“通常”の研究に対応する。そこでは、社会性とは無関係な状況での生物 1 個体による「非社会的な意思決定」が研究される。最近の NVDM 研究の興隆は、たとえばドーパミン神経細胞活動の報酬予測誤差仮説に代表されるように、理論 (例：強化学習理論) と実験の融合に支えられている。その一方で、SVDM の研究の発展は、たとえば「囚人のジレンマ」ゲーム課題を利用した fMRI 実験などの、他者が関与する社会的状況下でのヒトの実験研究に依拠する。しかし、実は SVDM での理論的背景のある実験課題 (例：ゲーム理論の課題) の利用では、SVDM では理論と実験の融合は果たされていない。さらに重要なのは、NVDM と SVDM の研究は、現在、別々に発展しているが、これは、発展途上故の歴史的偶然である。従って、社会知性を含む意思決定の脳機能の十全な解明には、NVDM と SVDM を共通の基盤から

研究できるようにすることが、今後の発展に最も重要であると考えた。その共通の基盤のもとで、「一般化された価値意思決定の理論に基づくモデルの構築」が最も重要であり、そのモデルの実験検証が重要と考えた。

## 2. 研究の目的

本研究では、以下の二つの本研究の目的を、融合して研究を推進する。

目的 I：一般化価値意思決定の数理論と、それに基づく脳数理モデル構築と仮説の提唱

目的 II：そのモデルと仮説を、NVDM と SVDM を共通に調べられる実験課題による検証

これらの目的はいわば究極の大目標であり、実現に向けた期間内の具体的な研究目標としては、

目標 A：理論的な共通基盤としての一般化価値意思決定 (generalized VDM, GVDM) の提唱

目標 B：理論的共通基盤に対応した実験課題を用いた fMRI 実験

を研究の中心に据えた。

目標 A では、理論的な進展を生むような研究をいくつか行った。同時に目標 A, B を串刺しにして、本研究の中心的研究として、「研究成果概要」に抄録したヒト fMRI 実験を中心とした研究を推進した。以下の「研究の方法」「研究成果」では、この中心的研究について詳述する。

### 3. 研究の方法

ヒト fMRI 実験で、もっとも基本的な価値意思決定課題 (instrumental learning task) を用いつつ、本人が自ら選択をする条件と、他者の選択を予測する条件を比較した。これにより、「自らのために報酬を予測する」と「他者の報酬予測を予測する」という二つの場合について、脳内情報処理を比較した。

モデルベースド解析と呼ばれる解析手法を用い、価値意思決定の情報処理過程の主変数と脳活動を対応づけることを可能にした。

### 4. 研究成果

研究成果は大別して二つある。一つは概要にも報告したように、自らの報酬予測の機能を基に、他者の報酬予測のシミュレーションを行う部位として腹内側前頭葉が中心的役割を示すことが分かった。

もう一つは、他者の価値学習をシミュレーションの中から学んでいく機能に関してである。本来、自らの価値学習では、報酬予測誤差を学習信号として用いた学習が行われているとされている。他者の価値学習をシミュレーションする際にも、他者の報酬予測誤差のシミュレーションが腹内側前頭葉で見られた一方で、そのシミュレーションの学習では、他者の行動予測誤差も学習信号として用いていることが明らかにされた。その行動予測誤差信号は主として背外側前頭葉に存在することを見出した。

### 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 5 件)

1. Santos, G, S., Nagasaka, Y., Fujii N., & Nakahara, H. (2012). Encoding of social state information by neuronal activities in the macaque caudate nucleus. *Social Neuroscience*. 7(1): pp.42-58. 査読有

2. Yu, S., Yang, H., Nakahara, H., Santos, G, S., Nikolić, D., & Plenz, D. (2011). Higher-Order Interactions Characterized in Cortical Activity. *The Journal of Neuroscience*. 31(48): pp.17514-17526. 査読有

3. Bromberg-Martin, E, S., Matsumoto, M., Nakahara, H., Hikosaka, O. (2010). Multiple timescales of memory in lateral habenula and dopamine neurons. *Neuron*. 67(3): pp.499-510. 査読有

4. Nakahara, H., & Kaveri, S. (2010). Internal-Time Temporal Difference Model for Neural Value-based Decision Making. *Neural Computation*. 22(12): pp.3062-3106. 査読有

5. Santos, G, S., Gireesh, E, D., Plenz, D., & Nakahara, H. (2010). Hierarchical interaction structure of neural activities in cortical slice cultures. *The Journal of Neuroscience*. 30(26): pp.8720-8733. 査読有

[学会発表] (計 23 件)

1. Two issues in neural value-decision making: emulating the other's decision processes, and time representations. *Invited Seminar, Center for Theoretical Neuroscience, Columbia University*. New York, USA. 2011. 11. 22.

2. Two issues in neural value-decision making: emulating the other's decision processes, and time representations. *Invited Seminar, Center for Neural Science, New York University*. New York, USA. 2011. 11. 21.

3. Santos, G, S., Gireesh, E, D., Yu S., Plenz D., & **Nakahara, H.** The structure of higher-order interactions in cortical LFP activity. *Program No. 661.29/E20 . 2011 Neuroscience Meeting Planner. Washington DC, USA: Society for Neuroscience, 2011*. Online. 2011. 11. 15.

4. Santos, G, S., Dharmaraj E. G., Plenz D., & **Nakahara, H.** The hierarchical model captures higher-order interactions in cortical activity. *Neuro 2011*. Abst., pp: P3-u06. Yokohama, Japan. 2011. 9. 6.

5. Two issues in neural value-decision making: emulating the other's decision processes, and time representations. *Invited Seminar, Department of Experimental Psychology, University of Oxford*. Oxford, UK. 2011. 4. 8.

6. Hierarchical interaction structures of neural coding, in relation to information geometry. *Workshop on Geometric and Algebraic Statistics 3(WOGAS3)*. Coventry, UK. 2011. 4. 5.

7. Two issues in neural value-decision making: emulating the other's decision processes, and time representations. *Invited Seminar, Gatsby Computational Neuroscience Unit, University College London*. London, UK. 2011. 4. 4.

8. Two issues in neural value-decision making: emulating the other's decision processes, and time representations. *Emotion Club Invited Seminar, Wellcome Trust Centre for Neuroimaging, University College London*. London, UK. 2011. 4. 4.

9. Santos, G, S., Nagasaka, Y., Fujii, N., & **Nakahara, H.** Separate encoding of reward expectation and social ranking in the primate caudate nucleus. *Program No. 511.3/NNN16. 2010 Neuroscience Meeting Planner. San Diego, CA: Society for Neuroscience, 2010*. Online. 2010. 11. 15.

10. Suzuki, S., Harasawa, N., Ueno, K., Kaveri S. R., Gardner, J., Ichinohe, N., Haruno, M., Cheng, K., & **Nakahara, H.** Emulation of other's reward prediction error in social value-based decision making. *Program No. 503.4/KKK54. 2010 Neuroscience Meeting Planner. San Diego, CA: Society for Neuroscience, 2010*. Online. 2010. 11. 15.

11. Value-based decision making, and the mechanisms of neural computations. *10th China-India-Japan-Korea Joint Workshop on Neurobiology and Neuroinformatics (NBNI 2010)*. Kunming, China. 2010. 10. 10.

12. Computational issues on value-decision making in nonsocial and social contexts. *Neuro 2010, New perspectives on value-based decision making*. Kobe, Japan. 2010. 9. 4.

13. **Nakahara, H.** Computational issues on value-decision making in nonsocial and social contexts. *Neuro 2010, New*

*perspectives on value-based decision making*. Abst., pp: P90. Kobe, Japan. 2010. 9. 4.

14. Santos, G, S., Nagasaka, Y., Fujii, N., & **Nakahara, H.** Modulation of caudate activity by social dominance. *Neuro 2010*. Abst., pp: P3-m11. Kobe, Japan. 2010. 9. 4.

15. Suzuki, S., Harasawa, N., Ueno, K., Kaveri S. R., Gardner, J., Ichinohe, N., Haruno, M., Cheng, K., & **Nakahara, H.** Neural correlates of the emulated-other's prediction errors in value-based decision making. *Neuro 2010*. Abst., pp: P2-106. Kobe, Japan. 2010. 9. 3.

16. Neural coding and information geometry. *Information Geometry and Its Applications III*. Leipzig, Germany. 2010. 8. 5.

17. Kaveri, S, R., & **Nakahara, H** Internal time temporal difference model of neural valuation. *COSYNE 2010*. Abst., pp: 73-74. Salt Lake City, USA. 2010. 2. 26.

18. Suzuki, S., Harasawa, N., Ueno, K., Gardner, J., Ichinohe, N., Haruno, M., Cheng, K., **Nakahara, H.** & Kaveri S. R. Does one simulate the other's value-based decision making by using the neural systems for his own? *COSYNE 2010*. Abst., pp: 74-75. Salt Lake City, USA. 2010. 2. 26.

19. Computational Issues for Value Based Decision Making in Nonsocial and Social Contexts. *Reward and Decision Making Batsheva Conference*. Jerusalem, Israel. 2010. 2. 18.

20. Suzuki, S., Harasawa, N., & **Nakahara, H.** Does one really simulate the other's value-based decision making in one's value-based decision making? *Program No. 194.18. 2009 Neuroscience Meeting Planner*. Chicago, IL: Society for Neuroscience, 2009. Online. 2009. 10. 18.

21. Santos, G, S., Dharmaraj, E, G., Plenz, D., & **Nakahara, H.** Cluster organization of instantaneous activity in cortical cultures. *Program No. 322.2. 2009 Neuroscience Meeting Planner*. Chicago, IL: Society for Neuroscience, 2009. Online. 2009. 10. 19.

22. Santos, G, S., Dharmaraj, E, G., Plenz, D., & **Nakahara, H.** Modeling instantaneous network correlations over multiple spatial scales. *The 32nd Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society (Neuroscience 2009)*. P1-p06. Nagoya, Japan. 2009. 9. 16.

23. Value-based decision making -- temporal discounting and context effect: neural mechanisms and computations (in Japanese). *Waseda Morning Seminar (Institute for Research in Contemporary Political and Economic Affairs, Waseda University)*. Tokyo, Japan. 2009. 5. 18.

〔図書〕 (計 2 件)

1. **中原 裕之**. (2010). 神経回路網の数理 (項目分担; 項 V. 9). *専門医のための精神科臨床リュミエール 16 脳科学エッセンシャル-精神疾患の生物学的理解のために*. pp. 303-304. 株式会社中山書店.

2. 中原 裕之. (2009). 意思決定とその学習理論(第5章). シリーズ脳科学 第1巻 脳の計算論. pp. 159-221. 東大出版会.

[その他]

ホームページ等

研究室ホームページ

<http://www.brain.riken.jp/jp/faculty/details/35>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

中原 裕之 (NAKAHARA HIROYUKI)

独立行政法人理化学研究所・理論統合脳科学

研究チーム・チームリーダー

研究者番号：10312282

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし