

脳における異種感覚情報の統合メカニズム（継続6）

Brain mechanisms underlying integration of multimodal sensory information

中村克樹 国立精神・神経センター、京都大学霊長類研究所

NAKAMURA, Katsuki National Institute of Neuroscience, National Center of Neurology and
Psychiatry, Primate Research Institute, Kyoto University

川島隆太† 泰羅雅登†† 倉岡康治†††

KAWASHIMA, Ryuta† TAIRA, Masato†† KURAOKA, Koji†††

東北大学未来科学技術共同開発センター† 日本大学医学部†† 京都大学霊長類研究所†††

NICHE, Tohoku University† Nihon University School of Medicine†† Primate Research Institute,
Kyoto University†††

研究期間 平成13年度～平成15年度

研究費総額 13,022,000 円（間接経費、消費税を含む）

概要

ヒトにおける異種感覚情報の統合過程を調べるため脳機能画像実験を行った。その結果、前頭葉、頭頂葉、側頭葉の領域を含む神経ネットワークが機能していることが分かった。今回の結果は、特に右半球の各領域が異種感覚情報統合に重要であることが示唆された。側頭葉の機能に関してより詳しく調べるため、サルにおいて単一ニューロンの記録を行った。その結果、視覚情報と聴覚情報の統合が単一ニューロンのレベルでも行われていることが分かった。今後さらに、ヒトでERPを用いたり、サルで他の領域のニューロンを記録したりして、異種感覚情報の統合過程を明らかにしていきたい。

Abstract

To examine brain mechanisms underlying the integration of multimodal sensory information, we carried out neuroimaging studies. Our data demonstrate that neural networks consist of frontal, parietal, and temporal cortical areas function in the integration of multimodal sensory information. Our present results further suggest that those areas on the right side are more important than those on the left side. To investigate the detailed role of temporal neurons in the integration of multimodal sensory information, we analyzed response properties of single neurons in response to multimodal sensory stimuli. Our results demonstrate that some single neurons responded only when both visual and auditory stimuli were presented simultaneously. We are going to examine the brain mechanisms related to the integration of multimodal sensory information using ERP system and so on.

1. 研究目標

本研究の目標の中心は、頭頂葉皮質がどのように異なる情報を統合し、正確な運動に適した情報をつくり出

しているのかを解明することであった。全体の構想としては、脳機能画像研究により、全体のネットワークを構成する脳領域を同定し、サルを用いた電気生理実験で詳細な神経機序を検討するというものであった。しかし、実施した脳機能画像研究の結果から、頭頂葉以外にも前頭葉と側頭葉も重要な機能を果していること、統合過程でもどの感覚種の刺激が先に与えられるのかなどの条件で脳の働きが異なることなどが示唆された。また、体性感覚―視覚の統合と聴覚―視覚の統合の両方に関与しているのは、前頭葉と側頭葉であることも示唆された。このため、サルを用いた電気生理実験では、側頭葉にもターゲットをおき、研究を進めることとした。異種感覚情報の統合は言語等コミュニケーション能力とも深く関わるもので、スタート時点で予測したほど単純なネットワークでは説明が見つからないことが分かった。

2. 研究内容

脳における異種感覚情報の統合メカニズム

本研究は、現存する最高の情報処理システムである脳における異種感覚情報の統合メカニズムを、ヒトを対象とした脳機能画像研究とサルを対象とした神経生理学的研究の両面から調べることを目的とする。成果を各々の項目毎に以下にまとめる。

I. ヒトを対象とした脳機能画像研究

I-1. 視覚情報と体性感覚情報の統合機序

私たちヒトは、ある感覚種の情報を他の感覚種に置き換えて理解することができるという高次の能力を有している。まず脳機能画像研究では、こうした異種感覚情報のマッチング能力に注目し、異種感覚情報の統合機序を検討した。このため、視覚情報と体性感覚情報に関する異種感覚見本合わせ課題を行っている時の健常成人の脳活動を、PET（陽電子断層撮影法）を用いて検討した。結果、右前頭葉、右頭頂葉の領域が活動することが明らかになった。また、特に先に視覚刺激を提示し、その後に触覚刺激を与えた場合の見本合わせ課題では、右半球の背側運動前野、腹側運動前野、下側頭回に特異的な活動が見られた。これらの領域は、受容する感覚種の順序に依存的な異種感覚情報の統合過程に関与していると考えられる。（参考文献1、Kawashima et al. Eur. J. Neurosci. 2002）

I-2. 視覚情報と聴覚情報に基づく情動評価の神経機序

私たちは、相手の表情やジェスチャーからその人の情動を読み取ることができる。また、声の抑揚からも、相手の情動を読み取ることができる。ヒトの脳が、感覚種に依存せず「相手の情動を読み取る」機能を示す領域を有しているのか、視覚（表情やジェスチャー）や聴覚（声）という感覚種ごとに異なる領域が機能しているのかを検討した。このため、表情・ジェスチャー（視覚）と声の抑揚（聴覚）をもとに情動を評価しているときに活動する脳部位を、fMRI（機能的核磁気共鳴画像法）を用いて検討した。結果、右前頭葉と右上側頭溝が視覚でも聴覚でも共通して活動することが明らかになった。これらの領域は、サルの神経生理学的知見からも多種感覚野であることが示されている。ヒトでも視覚と聴覚の統合機能を持っていると考えられる。

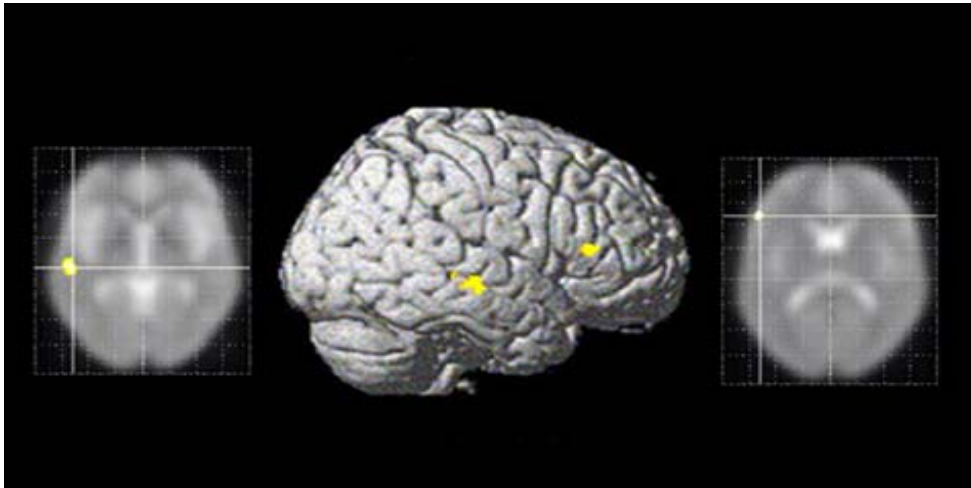


図 1. 感覚種（視覚か聴覚か）によらず相手の情動を読み取る課題で活動した右前頭葉と右上側頭溝の領域（黄色で示す）。

これらの領域は、さまざまな感覚情報の統合過程に関与していると考えられる。(Nakamura et al. 2002a, 2002b, 2004)

さらに、これらの領域がどのように相互作用し、機能的に関連しながら異種感覚統合を実現しているのかを、時間分解能の高い EEG/ERP 装置（脳波計測装置）を用いてデータ収集を試みた。前頭葉は、表情刺激に対して刺激提示からおよそ 200 ミリ秒で応答を示すことがわかった。（投稿準備中）

I-1、I-2 いずれにおいても、右半球の前頭葉に活動が認められた。今後は、右前頭葉に注目して、異種感覚情報の統合機序を検討していく。

I-3. その他

また、脳機能の可塑性を検討する目的で、視覚残効に対する神経応答を、健常成人を対象に機能的 MRI を用いて検討した。(Takemoto et al. 2002)

II. サルを対象とした神経生理学的研究

II-1. 頭頂間溝後部領域における眼球位置情報と視覚情報の統合機序

サルの神経生理学的研究では、まず頭頂葉頭頂間溝後部領域からサルの眼球位置に依存して活動性を変化させるニューロンを記録した。本年度はその応答性をサッカード課題中の活動性を解析することでさらに検討を加えた。また新たに、記録された「眼球位置ニューロン」の情報が、視覚的な手がかりなしにサルが眼球位置を保持することに重要か否かを検討した。後半の研究では、サルに新たな条件で注視課題を訓練し、ムシモル（抑制性伝達物質 GABA のアゴニスト）を注入して頭頂葉頭頂間溝後部領域のニューロンの機能を一時的に脱落させ、課題の成績に及ぼす効果を調べた。課題は、暗室でおこなった。サルが手元のレバーを押すと眼前の CRT に小さな点（注視点）が提示される。サルが注視点を 1 秒間注視すると、その注視点が 1 秒間消える。この期間もサルは、注視点の提示されていた領域に視線をとどめていることが要求される。1 秒間眼球位置を保つと再び注視点が提示され、さらに 1 秒間の注視が求められる。合計 3 秒間の注視を正しく行えたら、報酬としてジュースを与えた。これまでに、特定の脳領域にムシモルを注入すると、30 分ほど後から CRT 上の特定の位置に視線をとどめることが困難になることがあった。エラーは注視点の消えている

1秒間に多く見られた。例数が十分でないので、今後も引き続き検討していく。(投稿準備中)

II-2. 視覚情報と聴覚情報に基づく情動評価のニューロンレベルでの神経機序

fMRI 実験の結果から、上側頭溝皮質が視覚と聴覚の情動情報を統合していることが示唆されたので、サルを用いた神経生理学的研究で検討した。サルが画面の中央を注視しているときに刺激として、サルの3種類の情動表出（グラント・クー・スクリーム）のビデオを提示した。情動刺激に対する上側頭溝皮質ニューロンの応答を調べた後、刺激の視覚要素（動画）のみ、あるいは聴覚要素（音声）のみを提示し、さらにニューロンの応答性を調べた。

以下に記録されたニューロン応答の1例を示す。

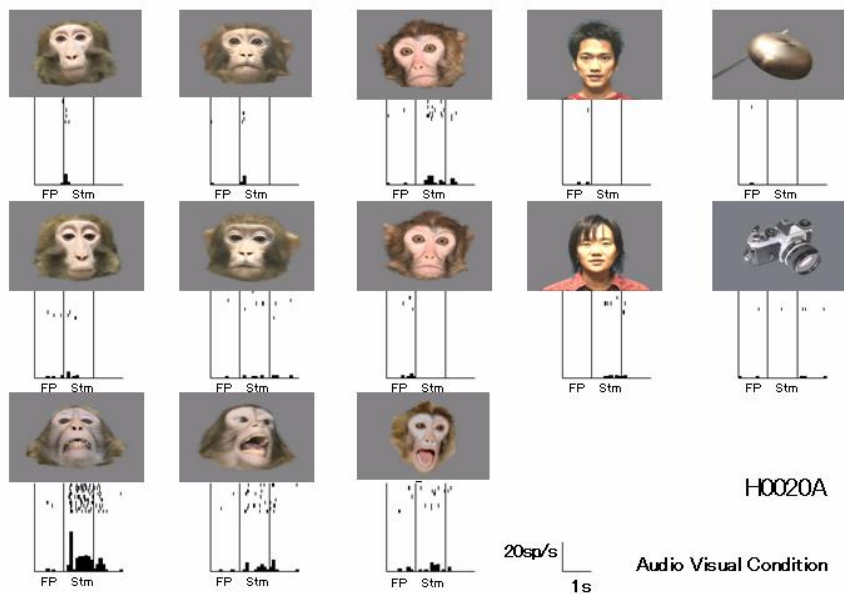


図2. ビデオ刺激に対する上側頭溝ニューロンの応答。このニューロンは、ある個体のスクリーム（左下の刺激）に強く応答した。

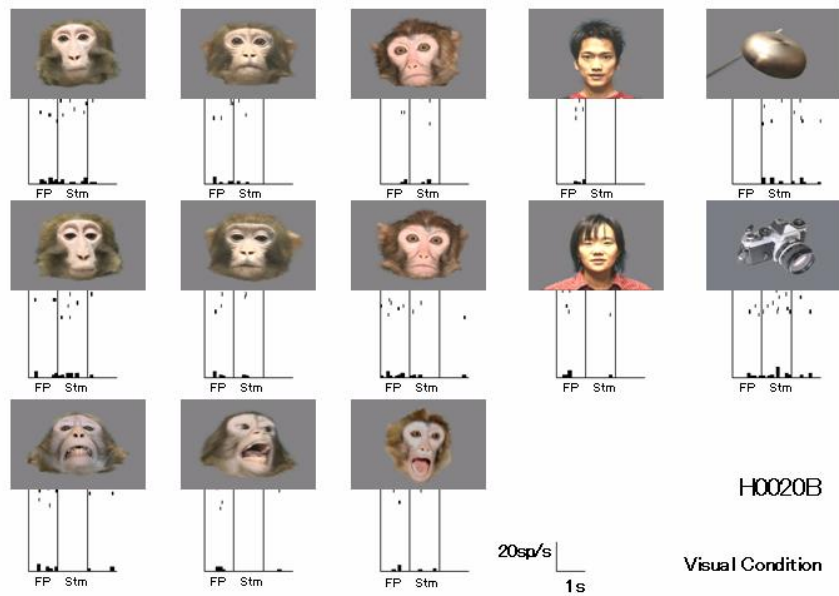


図 3. 同じニューロンが、視覚要素のみには応答しなかった。

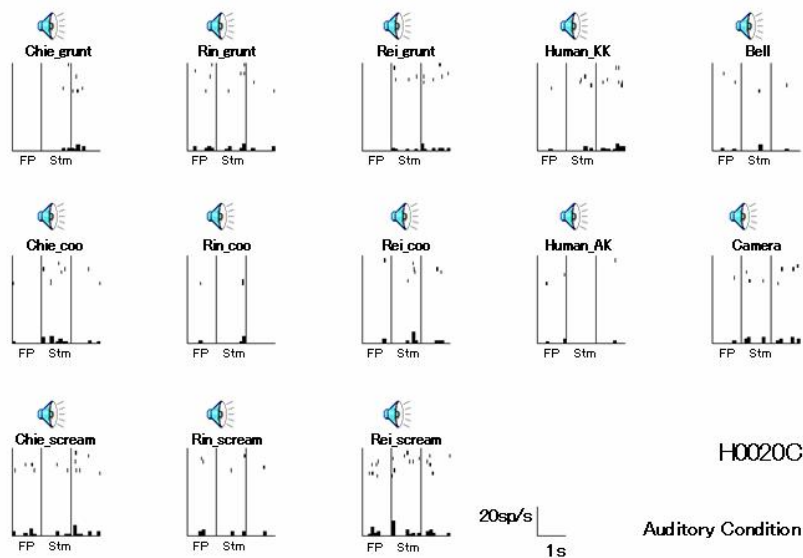


図 4. 同じニューロンが聴覚要素のみにも応答しなかった。

この上側頭溝ニューロンは、あるサルのスクリームのビデオ刺激に非常に強い応答を示した（図2）。しかしその応答は、ビデオ刺激の持つ視覚要素だけを提示しても（図3）、聴覚要素だけを提示しても（図4）、引き起こせなかった。つまり、視覚と聴覚の刺激が同時に与えられたときにのみ応答を示すニューロンだと解釈できる。上側頭溝皮質には、このようなニューロンレベルで異種感覚の統合を行っていると考えられるニ

ニューロンが存在することが示された。現在、データ数が不十分のため、引き続き研究を継続している。

II-3. 海馬傍回における物体情報と空間情報の統合

海馬傍回は、視覚における物体視の経路と空間視の経路の両方に含まれる領域である。情報の統合過程という見地から、異種感覚ではなく視覚情報の異なる要素ではあるが、物体視の情報と空間視の情報の統合を行っている可能性のある海馬傍回のニューロン応答の特性を検討した。多くのニューロンの応答性を調べ、海馬傍回のニューロンは、予想通り物体視に関与すると考えられる応答と空間視に関与すると考えられる応答を示した。これに対し、物体視の高次中枢と考えられる嗅周囲皮質ニューロンは、空間情報を担っていると考えられるものはほとんどなく、隣接している領域での機能差が浮き彫りにできた。(参考文献 2、Sato and Nakamura 2003) 今後は、海馬傍回が異なる情報をどのようにニューロンレベルで統合しているのかを検討する必要がある。

今回の研究から、異種感覚情報の統合が行われているさまざまな脳領域があきらかになった。しかし、統合する感覚種や脳領域が異なれば、その統合様式が異なることも神経生理学的研究から示唆された。今後は、各領域における統合様式とその差異を検討していきたい。

3. 研究結果

今回の研究では、異種感覚統合に関与する複数の領域が明らかにできた。しかし、視覚—体性感覚の順番か体性感覚—視覚の順番かなどの影響、体性感覚—視覚の組み合わせか聴覚—視覚の組み合わせかの違い、さらに味覚や嗅覚などの影響など十分に検討しきれていないテーマが研究を行うことにより新たに出てきた。こうした問題に十分取り組むことができなかった点を考慮すると、目標の30～40%の達成であったと言わざるを得ない。また、サル電気生理実験では、単一ニューロンにおける異種感覚情報の統合の可能性を初めて示唆できたという成果を得た。今後、さらに研究を進めて領野間での機能を比較し、詳細な神経機序を描こうと考えている。

4. 今後の展開と波及効果

現在までの成果では、応用まで語ることはできない。しかし、同じ体性感覚と視覚の情報統合においてもどちらの感覚種が先に与えられるかで脳の処理方法が異なる可能性を示唆できたことは、ある障害を持った患者に対してどの順番で刺激を与えることが有効であるか、学習障害を示す子供にどのような刺激の与え方が有効であるかなどの応用面が考えられる。また、統合の詳細な機序が解明できれば、健常者に対しても、教育面での適切な方法などに結びついていくであろう。

5. 誌上発表リスト

- [1] Kawashima R, Watanabe J, Kato T, Nakamura A, Hatano K, Schormann T, Sato K, Fukuda H, Ito K, Zilles K. Direction of cross-modal information transfer affects human brain activation: a PET study. *European Journal of Neuroscience* 16: 137-144, 2002.
- [2] Sato N, Nakamura K. Visual Response properties of neurons in the parahippocampal cortex of monkeys. *Journal of Neurophysiology* 90: 876-886, 2003.

6. 口頭発表リスト

- [1] Nakamura K, Inoue-Nakamura N, Taira M. Functional magnetic resonance imaging during assessment of gestures of emotion. 8th International Conference on Functional Mapping of the Human Brain, June 2-6, 2002a, Sendai.
- [2] Nakamura K, Inoue-Nakamura N, Taira M. The same right frontal region is involved in assessment of gestural and facial emotion. 32th Annual Meeting, Society for Neuroscience, November 2-7, 2002b, Orlando.
- [3] Takemoto A, Taira M, Nakamura K. FMRI activation during the perception of depth corrugation aftereffect. 8th International Conference on Functional Mapping of the Human Brain, June 2-6, 2002a, Sendai.
- [4] Nakamura K, Inoue-Nakamura N, Taira M.

Reading others' emotional states. 10th International Conference on Functional Mapping of the Human Brain, June 13-17, 2004, Budapest.

[5] Kuraoka K, Nakamura K. Response of single neurons coding emotional expressions in the amygdala of monkeys. The 27th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, September 21-23, 2004, Osaka.

[6] Kuraoka K, Nakamura K. Amygdala neurons convey more emotional information than neurons in the superior temporal sulcus do in monkeys. 34th Annual Meeting, Society for Neuroscience, October 23-27, 2004, San Diego.

7. 申請特許リスト

なし。

8. 登録特許リスト

なし。

9. 受賞リスト

なし。

10. 報道発表リスト

なし。