

■原著

漢字および仮名文字の読字過程

—PET による activation study—

櫻井靖久* 百瀬敏光** 岩田誠* 石川尚志* 武田克彦*

要旨：H₂¹⁵O-PET を用いて、漢字および仮名文字の読字過程を比較検討した。3文字の無意味仮名、3文字の仮名单語、2文字の漢字単語の黙読課題の各々から凝視点固視課題を引いて subtraction 画像を作成し、賦活された領域を同定した。その結果、4名中2名で、仮名单語が無意味仮名、漢字単語より多くの領域を賦活し、また左優位の両側縁上回の賦活が、仮名单語に著明に見られた。つぎに、2文字の漢字単語音読課題を被検者5名に負荷した。有意に賦活されたのは、両側（左優位）側頭葉後下部、Broca 野、両側基底核、左視床、右上側頭回後部、左 Heschl 回であった。側頭葉後下部は顔や形の弁別課題でも賦活されることから、文字の形態処理を行っていることが示唆された。

神経心理学 8 ; 176~181

Key Words : 漢字, 仮名, 側頭葉後下部, PET, activation study
kanji, kana, posterior inferior temporal area, PET, activation study

はじめに

1980年代から、PET (positron emission tomography) を用いて人間の言語活動を局所脳血流の変化としてとらえる activation study がさかんに行われるようになった。英語圏で行われた言語の PET study の明らかにしたところによると、単語の視覚入力（黙読課題）では、両側一次視覚野、視覚連合野、右の側頭・後頭移行部が、単語の聴覚入力（聴くのみ課題）では、両側一次聴覚野、左上側頭回前部、Wernicke 野、左側頭・頭頂移行部（角回を含む）が賦活される (Petersen et al, 1988)。両側一次聴覚野、聴覚連合野の賦活は単語のみならず、無意味単語 (Wise et al, 1991)、単語の意味判断を求める課題 (Friston et al, 1991; Wise et al, 1991) でも得られる。発語課題

(音読または復唱) では、両側一次感覚運動野の口の領域、両側運動前野、補足運動野、両側島皮質（左は Broca 野に相当）が賦活される (Petersen et al, 1988)。

これらの結果は、次のような意味を持つ。視覚入力で Wernicke 野および角回が賦活されなかったことは、視覚野→角回→Wernicke 野という Dejerine 以来の古典的な serial processing model が成り立たないことを意味し、視覚入力、聴覚入力いずれも共通して賦活されたところがないということは、parallel processing model の妥当性を示すものといえる (櫻井ら, 1992)。しかし、視覚課題で果たして Wernicke 野、角回が本当に賦活されないのかどうか、また漢字、仮名という異なった表記体系を持つ日本語の場合、同様の結果が期待できるのかどうかについては、不明である。特に日

1992年6月8日受理

Kanji and Kana Letter Reading Process : Activation Studies by Positron Emission Tomography

* 東京大学医学部脳研究施設神経内科, Yasuhisa Sakurai, Makoto Iwata, Takashi Ishikawa, Katsuhiko Takeda : Department of Neurology, Institute of Brain Research, University of Tokyo School of Medicine

** 東京大学医学部放射線科, Toshimitsu Momose : Department of Radiology, University of Tokyo School of Medicine

本語の場合、左側頭葉後下部が漢字の読字、書字に関わっていることが指摘されており (Iwata, 1984; 岩田, 1988), 英語圏での activation study とは異なった結果が期待される。これらの問題を解決するため、われわれは tracer として $H_2^{15}O$ を用い、PET による漢字、仮名文字の activation study を行った。

なお I および II の結果の一部はすでに発表しており (Momose et al, 1992; Sakurai et al, 1992), 重複する部分があることをお断りしておく。

I 漢字、仮名文字の黙読過程の解析

被検者

日本人の学部学生で強度の右利きと判定された者、4人 (男2人, 女2人)。プロトコルは東京大学医学部研究倫理委員会の承認を得ており、検査は内容をあらかじめ被検者に十分説明した上で、被検者の同意を得て行われた。

方法

被検者は1.4m前方の白いスクリーン上に投影された刺激文字ないし図形をよく見るか、可能であれば、黙読するように教示された。検査は全部で6つの異なった課題条件で行われた。すなわち、1) スクリーンの中央に映し出された凝視点の固視、2) 二種類の無意味図形 (ITPA の形の記憶に用いられる図形から任意の二種類を組み合わせて作った) を縦に並べたもの、3) 3文字の無意味仮名、4) 3文字の仮名单語、5) 二種類の漢字類似の図形 (漢字のへんとつくりを任意に組み合わせて作った) を縦に並べたもの、6) 2文字の漢字単語。これらは刺激文字の形態処理、意味処理過程をできるだけ分けて解析することができるようにデザインされたものである。いずれも刺激呈示時間は500msで、刺激間隔は1500msであった。一課題につき、全部で60の刺激が連続して呈示され、したがって一課題修了に2分を要した。 $H_2^{15}O$ 静注および PET scanning は刺激呈示30秒後に90秒間行われた。課題の呈示順序は1) ~6) の順とし、各課題の間に15分間の休止時間をおいた。部屋は常に暗く保ち、休止時間中

は閉眼を命じ、また耳には耳栓をして感覚刺激がなるべく入らないようにしたが、完全には遮断されていない。

結果の処理

得られた画像は全脳平均で normalize した。無意味仮名、仮名单語、漢字単語については、凝視点固視課題との subtraction を行い、画像上、全脳平均の5%以上 (これ以下の血流増加は背景ノイズと区別できない) の血流増加が見られたものを有意と判定した。

結果

無意味図形、無意味仮名については、ほとんど見るべき血流増加が得られなかったのもっぱら無意味仮名、仮名单語、漢字単語を分析の対象とした。賦活された領域を一括して表1に示す。言語に関係する領域では、被検者1と2とで、仮名单語黙読課題で、右の角回が賦活された。縁上回は、仮名单語課題では、左優位に、漢字単語課題では右優位に賦活された。被検者3では漢字単語課題で左の上頭頂小葉が、無意味仮名、漢字単語課題で側頭葉後下部が左優位に賦活された。被検者4では左角回が無意味仮名で、また仮名单語でもわずかに賦活された。

以上の結果は、次のようにまとめられる。

1) 仮名单語課題は、無意味仮名、漢字単語課題より多くの領域を賦活した。2) 漢字、仮名課題とも共通して賦活されたのは両側上、中前頭回および帯状回であった。3) 仮名单語課題で、縁上回が左優位に賦活された。4) 漢字単語課題で選択的に賦活された領域はなかった。

予想に反して左側頭葉後下部が漢字単語課題によって賦活されなかったが、方法論上の問題として、課題内容が容易であったこと、被検者が果たして黙読していたかどうか確認されていないことは否めない。そこで次に漢字の読字のみに焦点を当てて、繰り返し測定を試みた。

II 漢字の音読過程の解析

被検者

日本人の文学部学生で、強度の右利きと判定された者 (Edinburgh Handedness Inventory [Oldfield, 1971] で、laterality quotient が89

表1 文字黙読課題において賦活された領域

被検者	無意味仮名	仮名单語	漢字単語
1	両側後頭葉外側面 両側後頭葉内側面 右視床 右基底核	両側上, 中前頭回後部 帯状回前, 後部 右中側頭回前部 両側側頭葉内側面 右角回 両側縁上回 (左優位) 右楔部, 楔前部 右小脳	両側上, 中前頭回後部 帯状回前, 後部 両側側頭葉内側面 両側縁上回 (右優位) 両側楔部, 楔前部 右小脳
2	Broca 野 両側後頭葉内側面 両側楔部, 楔前部 右小脳	両側上, 中前頭回 両側下前頭回後部 帯状回前, 後部 右中側頭回前部 右側頭葉内側面 両側縁上回 (左優位) 右角回 両側後頭葉内側面 両側楔部, 楔前部 右小脳	両側中前頭回後部 帯状回前, 後部 両側縁上回 (右優位) 両側後頭葉内側面 両側楔部, 楔前部 右小脳
3	両側側頭葉後下部 (左優位) 両側後頭葉内側面	両側下前頭回後部 帯状回前部	両側上前頭回後部 Broca 野 両側側頭葉後下部 (左優位) 左上頭頂小葉 両側後頭葉内側面
4	左角回	左角回	

以上), 5人(男3人, 女2人)。

方法

全体的な手続きはIと同様であるが, 周囲の景色が視野に入ってくるのを防ぐため, 今回は黒いスクリーン上に白抜き視覚刺激を呈示した。課題内容は, 1) スクリーンの中央に映し出された凝視点の固視, 2) 縦に並べた2文字漢字単語の音読, である。刺激呈示時間はIよりやや短く, 300ms, 刺激間隔は1700msで, 1 scanの間に全部で80の刺激が連続して呈示された。凝視点固視課題, 漢字音読課題を交互にそれぞれ3回ずつ, 計6回行い, 各課題の間に20分の休止時間をおいた。呈示した漢字は小学校6年間に習う教育漢字の中から選び, 全て異

なるものを用いた。漢字の呈示順序はrandomとした。刺激呈示開始は $H_2^{15}O$ 静注およびPET scanningの60秒前とし, 刺激呈示は90秒のscanningが終わるまで行われた。

結果の処理

得られた画像は全脳平均が一定(40ml/100g/min)となるように, normalizeした。subtraction画像を漢字音読課題3回の加算平均から凝視点固視課題3回の加算平均を引いて作成し, 同じスライスレベルのMRI水平断画像と比較して, 賦活された部位を同定した。定量的に評価するため, 各scanごとに直径8mmの円形の関心領域を左右対称にいくつかのスライス上に置き(計30個), 局所脳血流(regional ce-

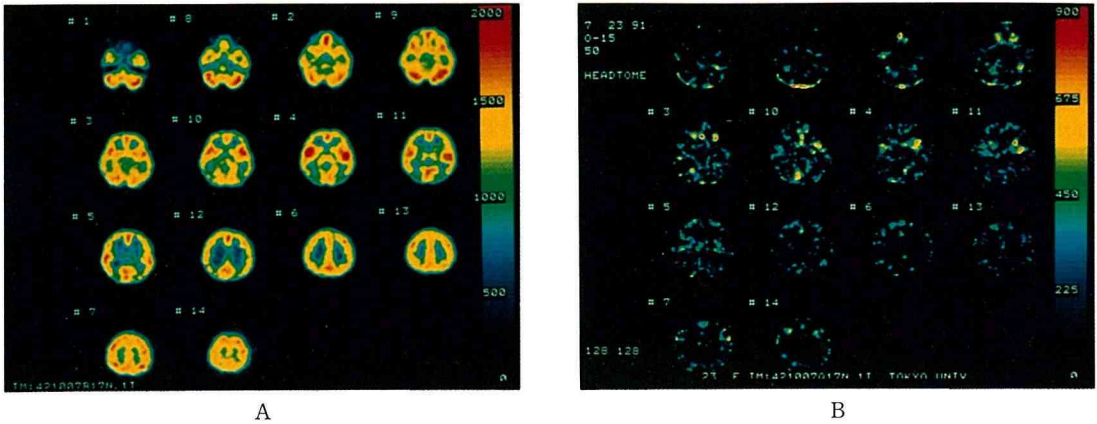


図1 漢字単語音読課題遂行時の activation 画像 (1 scan : A) および subtraction 画像 (音読課題 3 回の加算平均から凝視点固視課題 3 回の加算平均を引いて作成 ; B)
 向かって右が被検者の左である。この被検者では、両側眼窩回、側頭葉後下部 (#9, #3), 両側下前頭回後部 (左優位, #10, #4, #11), 右後頭葉内側面 (#10), 左基底核 (#10, 4) 左 Heschl 回 (#11) が賦活されている。

rebral blood flow, rCBF) を計測した。
結果

図1に漢字音読課題遂行時の画像と subtraction 画像の例を示す。対応のあるt-検定で繰り返しを許したものを計14 (1データは欠落) の activation scan とその直前の fixation scan のデータの組について行った (表2)。有意に賦活されたのは、両側側頭葉後下部, Broca 野, 両側基底核, 左視床, 右上側頭回後部, 左 Heschl 回, 帯状回前部であった。有意ではなかったが, t-値が比較的高かったのは, Wernicke 野, 左後頭葉内側面であった。それに対して, 右縁上回, 左角回, 両側上頭頂小葉は有意に血流が低下していた。

III 考 察

ここでは、冒頭で述べた二つの問題、すなわち視覚刺激で Wernicke 野, 角回が賦活されないのかどうか, また漢字と仮名, 日本語と英語とで賦活部位に差があるのかどうかについて検討することにする。

1. Wernicke 野, 角回の局所血流

I, IIとも、漢字, 仮名いずれの条件でも Wernicke 野の賦活は得られてい

表2 凝視点固視課題および漢字単語音読課題遂行時の局所脳血流 (SD) (ml/100g/min, n=14)

		凝視点固視	音読課題	t-値
小脳 ¹⁾	R	70.12(6.57)	72.35(5.45)	1.69
	L	73.80(8.68)	75.79(8.97)	1.67
眼窩回	R	54.36(2.78)	55.42(1.98)	1.60
	L	54.48(4.47)	55.27(3.04)	1.02
側頭葉後下部	R	50.74(7.05)	54.03(8.00)	3.40**
	L	49.21(5.90)	53.83(6.48)	5.07**
下前頭回後部	R	57.90(8.47)	58.58(7.77)	0.72
	L	58.29(7.22)	61.17(7.28)	4.56**
基底核	R	55.63(7.35)	58.21(6.55)	2.72*
	L	55.03(4.78)	58.75(6.84)	4.32**
視床	R	56.62(4.64)	57.88(4.48)	1.43
	L	55.24(4.07)	57.35(3.54)	2.79*
上側頭回後部	R	55.09(3.63)	57.85(4.93)	3.70**
	L	57.15(8.42)	59.16(6.32)	2.02
後頭葉外側面	R	42.20(4.66)	43.49(5.92)	1.13
	L	43.11(4.69)	43.43(4.26)	0.36
前頭前野	R	53.64(2.46)	52.88(2.06)	-1.07
	L	51.28(2.85)	50.03(3.56)	-1.78
Heschl 回	R	62.32(3.39)	64.17(3.00)	1.33
	L	66.73(4.68)	69.04(5.25)	2.86*
後頭葉内側面	R	62.33(4.81)	63.87(3.90)	1.46
	L	61.99(5.59)	63.92(3.32)	2.25
帯状回前部	R+L	62.79(5.27)	65.27(3.82)	2.85*
	縁上回	R	54.53(6.72)	52.57(5.75)
角回	L	55.05(5.14)	53.55(3.89)	-1.58
	R	49.87(5.51)	49.63(5.19)	-0.39
補足運動野	L	50.82(5.37)	48.92(5.95)	-2.73*
	R+L	63.18(5.52)	64.75(5.80)	1.51
上頭頂小葉	R	62.71(2.17)	59.45(3.92)	-3.30**
	L	61.45(5.22)	58.33(4.97)	-6.56**

* p<0.05 **P<0.01 対応のあるt-検定による。

1) 個々の関心領域は, OM slice level で下から順に並べてある。

ない。ただIIの漢字単語の音読課題で左のHeschl回と右のWernicke野相当領域が賦活されていた。この理由は被検者が音読時の自分の声を聞いていたため左右の上側頭回が部分的に賦活されたのであろうと推察された(Sakurai et al, 1992)。

角回に関しては、Iの仮名黙読課題で左の角回の軽度賦活を見たのは1名にすぎなかった。Iは定性的な分析しかしていないので、単語黙読時の局所血流の定量的評価は他日を期したい。IIの漢字単語音読課題では、左の角回はむしろ活動性が低下(deactivate)していた。その後われわれはIIと同じ条件で、仮名单語音読課題も施行したが(櫻井ら, 1992)、この場合も左角回は、血流が有意に低下していた。ちなみにわれわれと同様に仮名および漢字音読課題のPET studyを行ったLawら(1991)によると、仮名单語の音読で左の縁上回/角回が血流が漢字単語音読時に比べ相対的に上昇していたというが、安静時または凝視点固視時のscanningを行っていないので、仮名单語音読で縁上回/角回が賦活されるのかどうかはこれではわからない。

結局、漢字、仮名单語音読課題では、われわれの研究結果でも英語圏での結果と同様、Wernicke野、左角回の賦活は得られていない。しかし、このことからただちに音読時にWernicke野、左角回が機能していないとはいえない。何故なら、rCBFは全脳平均を常に一定に保った相対値で表現されているからである。また左角回の活動性低下の意味も現時点では不明である。

2. 仮名、漢字の賦活領域

Iの黙読課題では、仮名单語で右の角回および左優位の縁上回の賦活が、漢字単語で右優位の縁上回の賦活が、2名に見られた。しかしIIの漢字音読課題およびわれわれが最近行った仮名音読課題(櫻井ら, 1992)では頭頂葉の賦活そのものが得られていない。音読課題での両者の違いは、賦活部位が漢字単語音読課題で両側(左優位)側頭葉後下部に比較的限局していたのに対し、仮名单語音読課題では両側後頭葉内

側面(一次視覚野)、外側面(視覚連合野)から両側(左優位)側頭葉後下部を含む広い範囲にわたっていたということである。この仮名单語音読課題での賦活領域の分布パターンは英単語黙読時のそれ(Petersen et al, 1988)に近い。

全く逆の結果をLawら(1991)が出している。彼らは視覚連合野の賦活は仮名より漢字で相対的に強かったとしている。また側頭葉後下部が賦活されたかどうかは、前に述べたように安静時のデータがないので不明である。この結果のくいちがいは、刺激文字の内容、呈示条件の差に基づくものであろうが、今後の再検討を待ちたい。

漢字、仮名音読課題で見られた両側(左優位)の側頭葉後下部の賦活は、英単語(Petersen et al, 1988)や英語のつづりの規則に従う無意味語(Petersen et al, 1990)の視覚呈示では見られない。この領域(中、下側頭回の後部、紡錘状回の一部を含み、Brodmann 37野にほぼ相当する)は、顔(Haxby et al, 1991)や形(Corbetta et al, 1990; Gulyás et al, 1991)の弁別課題で両側とも賦活されることが明らかにされている。このことより側頭葉後下部は、文字の形態的特性に対して反応していることが十分考えられる。このプロセスが意味処理を伴うものかどうかは、今後明らかにすべき課題である。

文 献

- 1) Corbetta M, Miezin FM, Dobmeyer S et al: Attentional modulation of neural processing of shape, color, and velocity in humans. *Science* 248: 1556-1559, 1990
- 2) Friston KJ, Frith CD, Liddle PF et al: Investigating a network model of word generation with positron emission tomography. *Proc R Soc Lond B* 244: 101-106, 1991
- 3) Gulyás B, Roland PE: Cortical fields participating in form and colour discrimination in the human brain. *NeuroReport* 2: 585-588, 1991
- 4) Haxby JV, Grady CL, Horwitz B et al:

- Dissociation of object and spatial visual processing pathways in human extrastriate cortex. *Proc Natl Acad Sci USA* 88 ; 1621-1625, 1991
- 5) Iwata M : Kanji versus kana. Neuropsychological correlates of the Japanese writing system. *Trends Neurosci* 7 ; 290-293, 1984
- 6) 岩田誠 : 左側頭葉後下部と漢字の読み書き. *失語症研究* 2 ; 146-152, 1988
- 7) Law I, Kanno I, Fujita H et al : Left supramarginal/angular gyri activation during reading of syllabograms in the Japanese language. *J Neurolinguistics* 6 ; 243-251, 1991
- 8) Momose T, Sasaki Y, Sakurai Y et al : Functional studies with $H_2^{15}O$ PET. *Biomedical Research* 13 (suppl 1) ; 77-82, 1992
- 9) Oldfield RC : The assessment and analysis of handedness : the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 9 ; 97-113, 1971
- 10) Petersen SE, Fox PT, Posner MI et al : Positron emission tomographic studies of the cortical anatomy of single-word processing. *Nature* 331 ; 585-589, 1988
- 11) Petersen SE, Fox PT, Snyder AZ et al : Activation of extrastriate and frontal cortical areas by visual words and word-like stimuli. *Science* 249 ; 1041-1044, 1990
- 12) 櫻井靖久, 百瀬敏光, 岩田誠 : 言語の PET study. 百瀬敏光, 米倉義晴(編) PET, SPECT による脳神経疾患診断, 金原出版, 東京, 印刷中, 1992
- 13) Sakurai Y, Momose T, Iwata M et al : Kanji word reading process analysed by positron emission tomography. *NeuroReport* 3 ; 445-448, 1992
- 14) 櫻井靖久, 百瀬敏光, 岩田誠ら : $H_2^{15}O$ PET による漢字および仮名文字の読字過程の解析. 第33回日本神経学会総会プログラム/抄録, p 271, 1992
- 15) Wise R, Chollet F, Hadar U et al : Distribution of cortical neural networks involved in word comprehension and word retrieval. *Brain* 114 ; 1803-1817, 1991

Kanji and kana letter reading process

—Activation studies by positron emission tomography—

Yasuhisa Sakurai*, Toshimitsu Momose**, Makoto Iwata*,
Takashi Ishikawa*, Katsuhiko Takeda*

*Department of Neurology, Institute of Brain Research, University of Tokyo School of Medicine

**Department of Radiology, University of Tokyo School of Medicine

We compared reading process of kanji with that of kana by $H_2^{15}O$ -PET. The images of the regional cerebral blood flow changes were obtained for each subject by subtracting the point-fixation task images from the silent reading task images of three-letter kana non-word, three-letter kana word or two-letter kanji word. The results showed that in two of the four subjects kana word task activated more widespread regions than kana non-word or kanji word task and that left-side dominant activation of the supramarginal gyrus was noted in kana word

task. Next, two letter kanji reading aloud task was given to five subjects. The main cortical responses occurred in the bilateral (left-side dominant) posterior inferior temporal area, Broca's area, the bilateral basal ganglia, the left thalamus, the right posterior superior temporal gyrus and the left Heschl's gyrus. We believe that the posterior inferior temporal area processes the morphological features of letters, based on the fact that this area was also activated by a face or shape discrimination task.