

Model Human Processor と運動準備電位の出現位置の比較と検討 Comparison and Consideration of Appearance Positions of Model Human Processor and Readiness Potential

清水 菜々子*¹
Nanako Shimizu

東野 利貴*²
Toshitaka Higashino

曾我 真人*¹
Masato Soga

*¹ 和歌山大学システム工学部

*² 大阪大学大学院情報科学研究科

Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

Abstract: In thinking about human-computer interface, it is important to know how human beings recognize, judge and act. Therefore, Card et al. devised a model of human cognitive processing process called Model Human Processor (MHP). However, this MHP predicts processing time from empirical rules, and is not much considered from the aspect of brain activity. In this study, we focused on readiness potential (RP), which is a characteristic brain wave, and verified MHP from the aspect of brain activity by measuring EEG when performing basic user performance. Experimental results show that MHP can be roughly explained from the aspect of RP, which is a characteristic brain activity.

1. はじめに

人間の認知処理過程をモデル化したものに、Card らの Model Human Processor (MHP) がある[Card 1987]。しかし、MHP は経験則に従い処理時間を予測したものであり、脳活動の側面からはあまり検討されていない。そこで、本研究では、脳波の中でも、運動準備電位 (Readiness Potential: RP) と呼ばれる脳波に着目し、脳波を計測・解析して、脳活動の側面から MHP の検証を行う。

2. 研究目的

MHP では、知覚に要する平均時間を 100ms、認知に要する平均時間を 70ms、運動に要する時間を 70ms と定めている (図 1)。

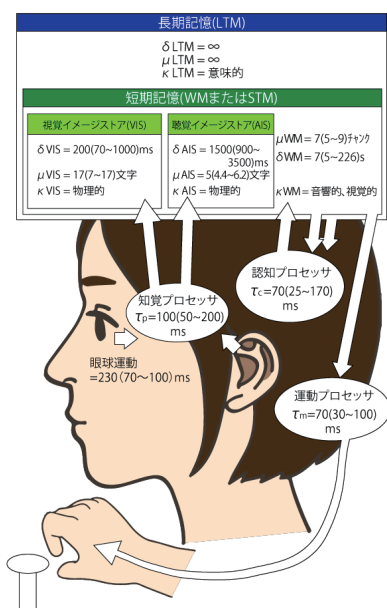


図 1 MHP のモデル

そこで、MHP を用いて、人間の 4 つの基本的ユーザ・パフォーマンスである単純反応、物理的照合反応、名称照合反応、カテゴリ照合反応における認知処理過程を表すと図 2 に示すようになる[古市 1987]。なお、単純反応は何らかの情報が呈示されたときに行う反応、物理的照合反応は呈示された情報が事前に記憶していた情報と同じときに行う反応、名称照合反応は呈示された情報が事前に記憶していた名称と同じ名称で表すことができるときに行う反応、カテゴリ照合反応は呈示された情報が事前に記憶していたカテゴリと同じカテゴリで表すことができるときに行う反応のことである。

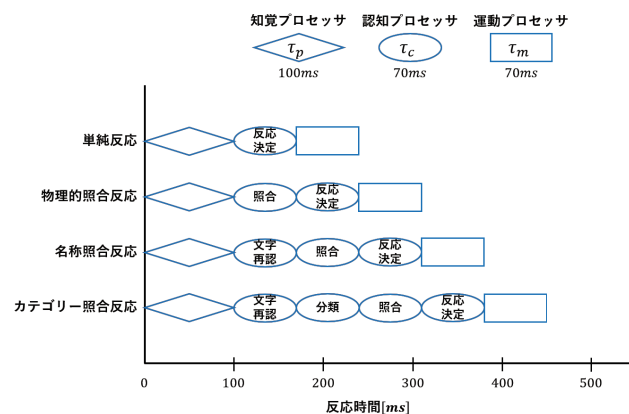


図 2 MHP における 4 つの基本的ユーザ・パフォーマンス

また、RP は Kornhuber らによって、発見された脳波である[Kornhuber 1965]。随意運動に 550ms 先立って生じる微小な電位の変化であり、電位の変化は負の方向である。随意運動に対する準備に関連する脳波であり、運動野で見られる。以上から、MHP の 4 つのモデルにおいて、RP が出現すると考えられる位置を重ね合わせて図示すると図 3 に示すとおりになる。

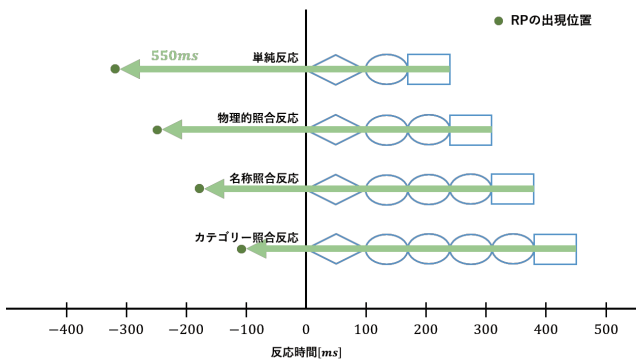


図3 RPとMHPの矛盾

(緑色の矢印はMHPにおける運動プロセッサの終了位置から550ms 前の位置を示している。)

MHP において、脳内で運動の準備が行われるのは、認知プロセッサの区間である。しかし、図3に示すように、RPの出現位置は知覚プロセッサよりも前になっており、これはMHPとRPが矛盾していることを示している。そこで、本研究では、4つのモデルに対応する実験を構築し、その実験中の脳波を計測して、RPの出現位置を確認することで、この矛盾点について検証を行う。

3. 実験手法

MHP に対応する4つの実験を構築し、実験中の被験者の脳波を計測した。実験は、脳波計を装着した被験者に視覚刺激を呈示し、事前に教示した視覚刺激(ターゲット刺激)が呈示されたらマウスの左クリックを、それ以外の視覚刺激が呈示されたら右クリックを行ってもらった。また、視覚刺激の呈示からマウスクリックまでの時間を反応時間(Reaction time: RT)として記録した。本実験の実験環境を図4に示す。視覚刺激を呈示するためのディスプレイは、被験者から1m離れた位置に設置した。被験者には脳波計を装着してもらい、利き手にマウスを握ってもらった。

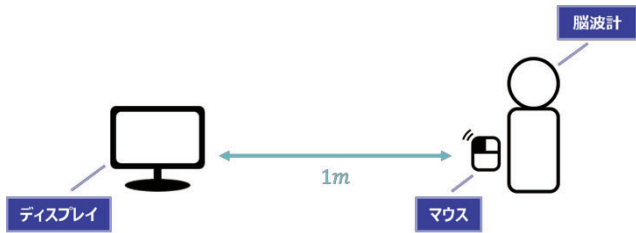


図4 実験環境

各実験における視覚刺激、ターゲット刺激を表1に示す。なお、脳波計測には BIOSEMI Active Two を用いた。サンプリングレートは512Hzとし、電極は国際10-20法に基づいて配置した(図5)。

表1 視覚刺激の種類

	視覚刺激	ターゲット刺激	ターゲット刺激の出現確率[%]
単純反応	●	●	100
物理的照合反応	A, B, C, a, b, c, 1, 2, 3	B	11
名称照合反応	A, B, C, D, E, a, b, c, d, e, 1, 2, 3, 4, 5	/di:/と読む記号(D, d)	13
カテゴリー照合反応	A, B, C, D, E, a, b, c, d, e, 1, 2, 3, 4, 5	子音(B, C, D, b, c, d)	40

電極の配置 (10-20 法)

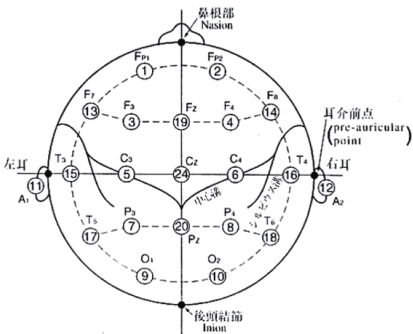


図5 国際10-20法[松田 1995]

また、視覚刺激の呈示方法は、図6に示すように、注視点(+)が呈示された画面と、視覚刺激が呈示された画面を交互に呈示した。注視点の画面の呈示時間は、1000-2000msの間でランダムにした。これは、視覚刺激が呈示されるタイミングをずらすことで、被験者が、視覚刺激が呈示されるタイミングを覚えてしまうことがないようにするためである。視覚刺激の画面は600ms間呈示した。また、各実験において、視覚刺激の提示回数は、どの視覚刺激もそれぞれ30回とした。これは、脳波のデータを加算平均するためである。

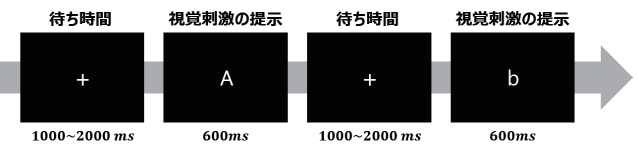


図6 視覚刺激の呈示方法

4. 解析手法

取得した脳波のデータから被験者ごとの加算平均波形を導出するまでのデータ処理の過程を図7に示す。脳波のデータから眼電位のデータを除算することで、眼球運動やまばたきによるノイズを除去し、1-30Hzのバンドパスフィルタを適用することで、脳波以外の現象によるノイズを除去した。ノイズを除去した脳波のデータを、トリガー(マウスクリックの位置)を起点に-1000msから500msの区間で分割した。分割したデータ1つ1つに対して、視覚刺激呈示の位置を起点に-700msから-500msの区間の平均電位をベースラインとして、ベースライン補正を行った。その後、RTが平均±2SD(標準偏差の±2倍)を超えるデータを外れ値として除外し、加算平均を行った。また、被験者ごとの加算平均波形をさらに加算平均することで、総加算平均波形を導出した。

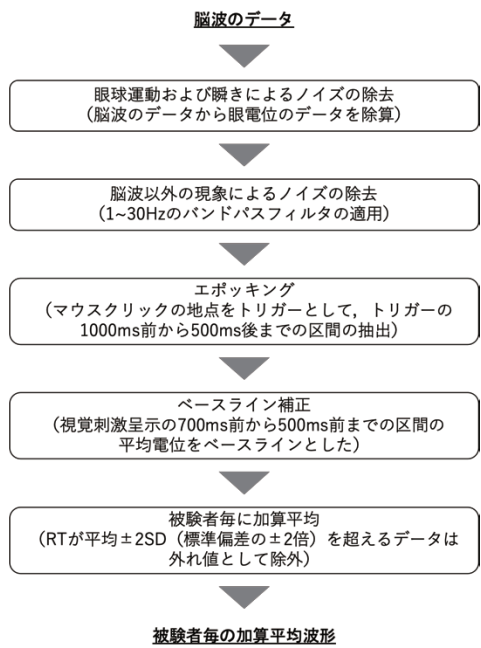


図 7 脳波データ整形の過程

5. 実験結果

解析には、健康な男女 10 名の被験者の C3 電極のデータを用いた。C3 電極の位置は運動野であり、RP が検出できる。

5.1 4 つのモデルにおける RT の比較

4 つのモデルにおける RT の平均値、分散を表 2 に示す。

表 2 4 つのモデルにおける RT の平均値・分散

	RTの平均値[sec]	RTの分散[sec ²]
単純反応	0.2819	0.0223
物理的照合反応	0.4799	0.0488
名称照合反応	0.5253	0.0558
カテゴリー照合反応	0.6144	0.0964

4 つのモデルにおける RT について、有意水準 5% で一元配置分散分析を行った。多重比較の結果、4 つのモデルの RT の間には有意差があり、単純反応、物理的照合反応、名称照合反応、カテゴリー照合反応の順に RT が有意に長くなっていることが分かった。4 つのモデルにおける RT の平均値、標準誤差、p 値を図 8 に示す。

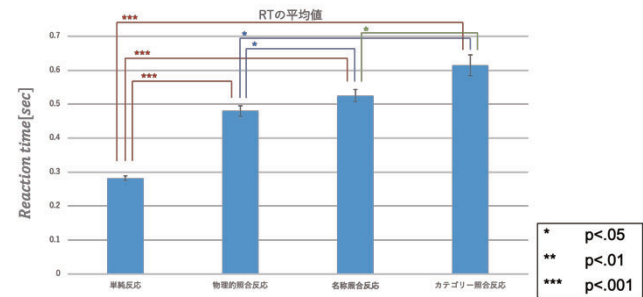


図 8 4 つのモデルにおける RT の平均値、標準誤差、p 値 (エラーバーは標準誤差を示している。)

5.2 RP の出現位置

4 つのモデルにおける総加算平均波形および RP が出現し始めた位置 (波形の振幅が有意に負に振れ始めた位置) を図 9 に示す。図 9 において、0ms の位置はマウスクリックの位置であり、赤線は視覚刺激提示のタイミングを示している。縦軸は振幅 (μV)、横軸は時間 (sec) である。なお、水色の区間は、帰無仮説を「平均がゼロで分散が未知の正規分布である」として、1 標本 t 検定を行い、有意水準 5% で棄却された区間である。

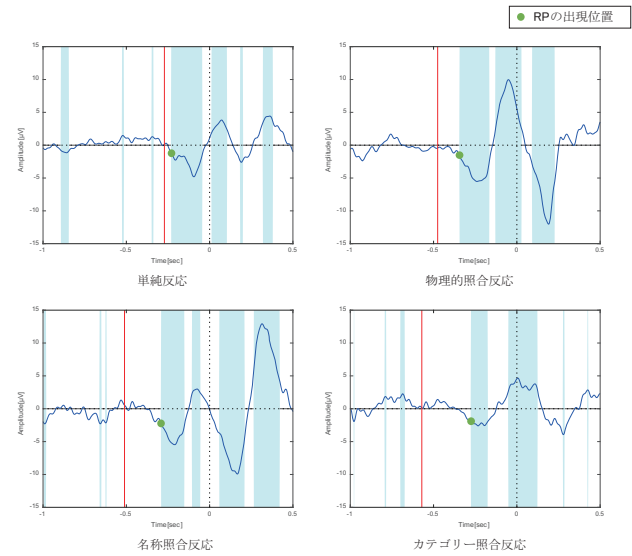


図 9 RP の出現位置 (緑色の○は RP の出現位置を示す。)

また、MHP における 4 つのモデルでの認知処理過程の予測、RP の出現位置、マウスクリックの位置を図 10 に示す。なお、図 10 において 0ms の位置は視覚刺激提示のタイミングである。図 10 より、物理的照合反応、名称照合反応、カテゴリー照合反応では、RP の出現位置は認知プロセッサの区間であることが分かる。しかし、単純反応では知覚プロセッサの区間で RP が出現していた。

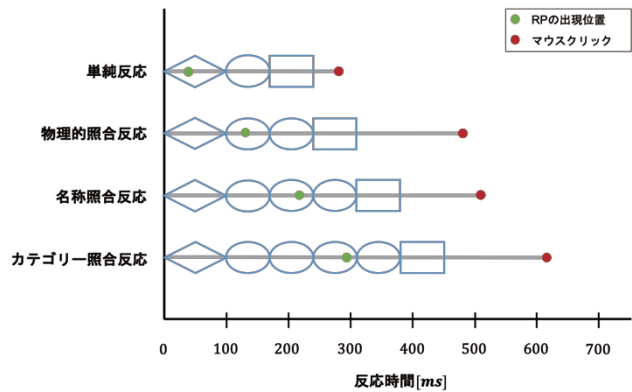


図 10 MHP における予測モデルと RP の出現位置

5.3 RP のピーク

4 つのモデルにおける総加算平均波形および RP のピークの位置 (RP の出現区間において波形の振幅が有意に最大になる位置) を図 11 に示す。図 11 において、0ms の位置はマウスクリ

ックの位置であり、赤線は視覚刺激呈示のタイミングを示している。

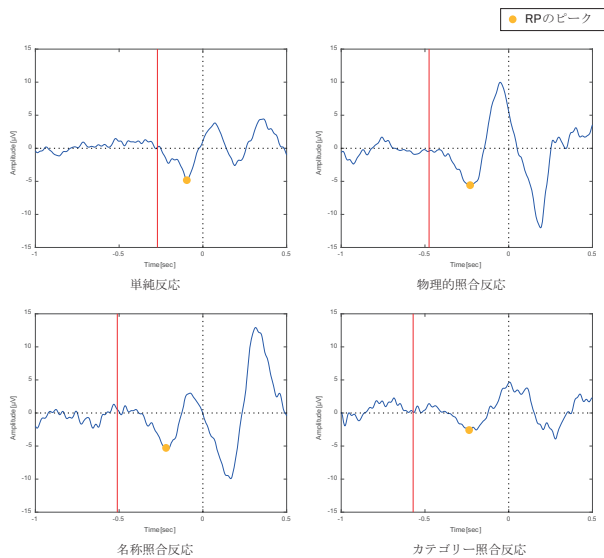


図 11 RP のピークの位置
(黄色の○は RP のピークを示す。)

また、MHP における 4 つのモデルでの認知処理過程の予測、RP のピークの位置、マウスクリックの位置を図 12 に示す。なお、図 12 において 0ms の位置は視覚刺激呈示のタイミングである。図 12 より、各反応において、視覚刺激呈示から RP のピークが出現するまでの時間が、単純反応、物理的照合反応、名称照合反応、カテゴリー照合反応の順に伸びていることが分かる。この結果は、MHP における認知プロセッサの数が、単純反応、物理的照合反応、名称照合反応、カテゴリー照合反応の順に増えていることと共通している。

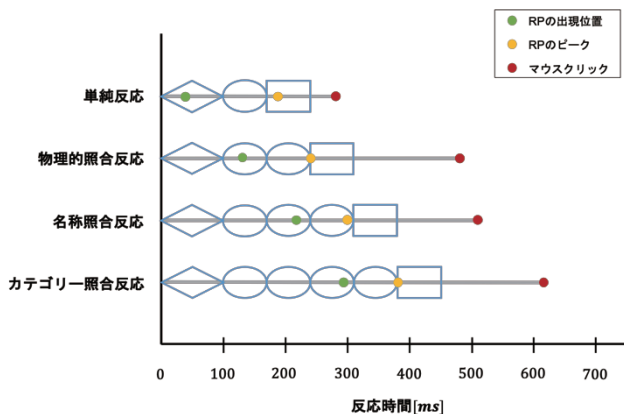


図 12 MHP における予測モデルと RP のピークの位置

6. 考察

4 つのモデルの RT は、単純反応、物理的照合反応、名称照合反応、カテゴリー照合反応の順に有意に長くなっていた。MHP における 4 つのモデルの RT の予測は、単純反応、物理的照合反応、名称照合反応、カテゴリー照合反応の順に長くなっている。すなわち、今回行った 4 つのモデルの実験は、MHP における RT の予測と一致した。

RP の出現位置について、物理的照合反応、名称照合反応、カテゴリー照合反応では、認知プロセッサの区間で出現した。そのため、物理的照合反応、名称照合反応、カテゴリー照合反応においては、MHP は脳活動の側面から見て問題がないといえる。一方、単純反応では、知覚プロセッサの区間で RP が出現した。単純反応は、視覚刺激が呈示されたらマウスクリックを行うという、他の 3 つの反応と比較しても非常に簡単な反応である。そのため、実際に視覚刺激を知覚するよりも前から、マウスクリックをしようという準備状態に脳内であった可能性が考えられる。しかし、脳内がマウスクリックの準備状態にあったとしても、実際にマウスクリックを行うかどうかの決定を行うのは、視覚刺激を知覚した後と考えられるため、単純反応の認知処理過程を「知覚→認知(反応決定)→運動」と予測した MHP のモデルに間違いはない。

また、RP のピークの位置は、MHP における認知プロセッサの反応決定の位置が、単純反応、物理的照合反応、名称照合反応、カテゴリー照合反応の順に遅れるのと同様に遅れている。よって、RP のピークの位置は MHP における反応決定の位置に相当すると考えられる。

以上より、MHP は特徴的な脳活動である RP の側面からも概ね説明できることが分かった。

7. まとめ

本研究では、経験則的に導かれたモデルである MHP が脳活動の側面からも正しいかどうかを検証するために、特徴的な脳波である RP に着目し、4 つの基本的ユーザ・パフォーマンスに対応する実験を構築して、その実験中の脳波を計測した。実験の結果、RT は単純反応、物理的照合反応、名称照合反応、カテゴリー照合反応の順に有意に長くなっており、MHP における RT の予測の傾向と一致した。RP の出現位置は、物理的照合反応、名称照合反応、カテゴリー照合反応では、認知プロセッサの区間で出現した。単純反応では、知覚プロセッサの区間で出現した。また、視覚刺激呈示から RP のピークが出現するまでの時間は、単純反応、物理的照合反応、名称照合反応、カテゴリー照合反応の順に増加していることが分かった。これは、単純反応、物理的照合反応、名称照合反応、カテゴリー照合反応の順に MHP における認知プロセッサの数が増えていることと対応している。したがって、物理的照合反応、名称照合反応、カテゴリー照合反応では、MHP は正しいことが分かった。一方、単純反応では、RP が知覚プロセッサの区間で出現したが、単純反応が他の 3 つの反応と比べて非常に簡単な反応であるため、視覚刺激を知覚するよりも前から脳が運動の準備状態になった可能性が考えられる。そのため、単純反応においても MHP は間違っていないとはいえない。以上より、MHP は特徴的な脳活動である RP の側面からも概ね説明できることが分かった。

参考文献

- [Card 1987] Stuart K. Card, Thomas P. Moran, Allen Newell, "The Psychology of Human-Computer Interaction", Crc Press, 1983
- [古市 1987] 古市康一, 溝口文雄, "インタフェースの科学(知識情報処理シリーズ 5)", 共立出版, pp49-76, 1987
- [Kornhuber 1965] Hans H. Kornhuber, Lüder Deecke, "Hirnpotentialänderungen bei Willkürbewegungen und passive Bewegungen des Menschen: Bereitschaftspotential und referente Potentiale", Pflüger's Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere, 第 284 巻, pp. 1-17, 1965
- [松田 1995] 松田信義, 菅野剛史, "臨床検査技術学(7) 臨床生物学", 医学書院, 1995